

千葉大学環境リモートセンシング研究センター

30周年記念誌



Center for Environmental Remote Sensing (CERES), Chiba University



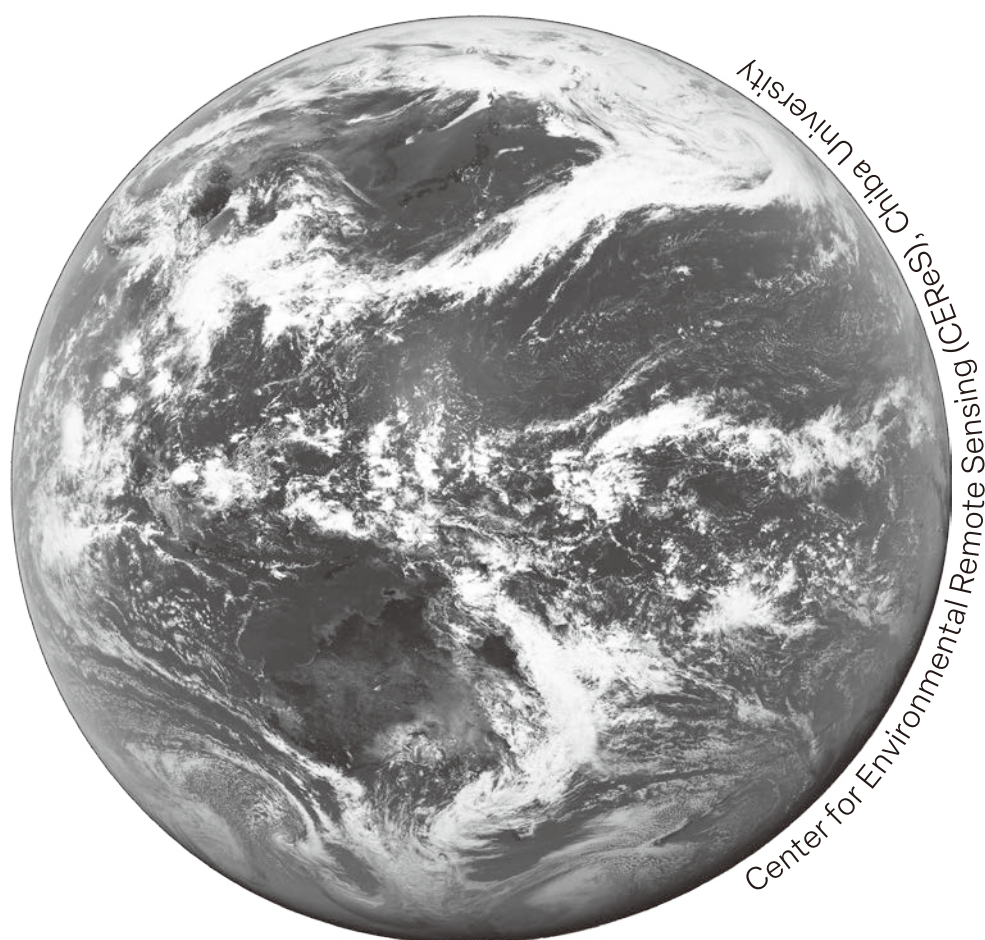
CHIBA UNIVERSITY



環境リモートセンシング
研究センター
Center for Environmental Remote Sensing

千葉大学環境リモートセンシング研究センター

30周年記念誌



CHIBA UNIVERSITY

センターをとりまく風景（2010年代～2020年代に撮影）



千葉大学環境リモートセンシング研究センター（CEReS）付近の風景



工学系総合研究棟



CEReS研究棟付近



東通りと工学系総合研究棟



工学系総合研究棟8F 入口



CEReS 研究棟



千葉大学西千葉キャンパスの風景



弥生通り



松韻会館

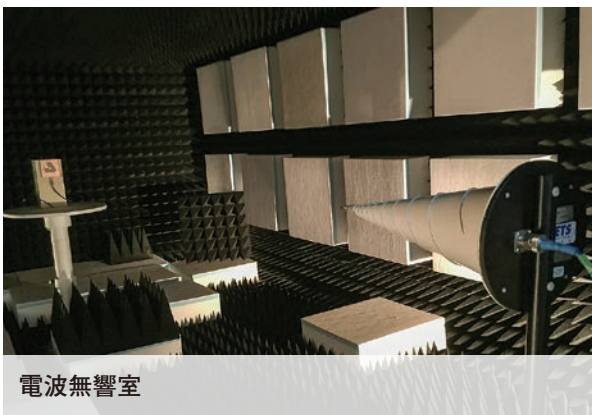


弥生通りと図書館

設備・装置



大気観測装置群



電波無響室



合成開口レーダ搭載無人航空機の実証実験



マルチメディア室での実習



図書館でも気象衛星ひまわりリアルタイム画像を展示



全球静止気象衛星データの多画面高精細表示

会合



CEReS 創立20周年記念式典
(千葉大学 2015年11月)



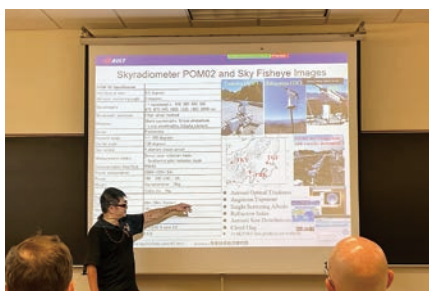
Future Earth シンポジウム
(千葉大学 2018年2月)



SATREPS シンポジウム
(バリ島ウダヤナ大学 2019年7月)



JSPS 拠点形成研究事業 会合
(ハワイ大学 2023年8月)



千葉大学環境リモートセンシング研究センター 創立30周年記念誌の刊行にあたって



センター長
服部 克巳

環境リモートセンシング研究センター（Center for Environmental Remote Sensing, CEReS）は1995年4月1日に大学附置の全国共同利用施設として発足し、2010年4月に環境リモートセンシングに関する全国唯一の共同利用・共同研究拠点として文部科学省に認定されて現在に至り、本年（2024年）は創立30周年にあたります。本センターのルーツを遡りますと、1963年に発足した工学部附属「天然色工学研究施設」、さらにそれを1986年4月1日に発展的改組した学内共同研究施設「映像隔測研究センター」が前身となり、その歴史は「還暦」を超えた62年にも及びます。本センターは天然色工学研究施設で培われた映像・画像に関する技術および科学的な研究成果や、映像隔測研究センターにて深化展開した衛星から得られるリモートセンシングデータに関するセンシング技術、データ解析、画像処理などの基礎的な研究成果や地球環境への応用的研究の成果を基盤とし、リモートセンシングを利用した「地球環境学」の発展に寄与することを目的としています。本センターとその前身の2つの組織の設立と発展に、長年にわたって多大なご支援・ご尽力を賜った諸先輩方、国内外のリモートセンシング研究者の皆様、本学および文部科学省の皆様に深く感謝申し上げます。

1970年代の初期の地球観測科学衛星から現代の第3世代静止気象衛星、合成開口レーダー（SAR）衛星、超小型衛星など地球衛星観測技術やデータ解析技術は大きく進歩し、その科学的な成果やその社会応用の成果も多数輩出されています。本センター（前身を含めて）はその黎明期から今日に至るまで中核的な役割を果たしてきました。

本センターの変遷を振り返りますと、1995年の発足時は3研究部門とそれを支援する1開発運用部から構成されていました。国立大学法人化の際に2研究領域と衛星データ処理室へと組織改革を行い、共同研究を含めてプロジェクト制による重点的な研究推進システムへと運営改革を行いました。プロジェクト研究は、

第2期の中期目標・中期計画期間以降はプログラム研究として発展継承されています。第4期および地球環境研究の展開を鑑み、2021年10月に5研究部門（先端センシング研究部門、環境診断研究部門、環境予測研究部門、統合解析研究部門、社会実装研究部門）制に改組しました。プログラム研究の実効性を上げるための役割の明示とリーダーシップの促進がその骨子です。気候変動、環境変動、災害、食料をテーマにしたプログラム横断型の重点プロジェクト研究も推進しています。

千葉大学は文部科学省の「地域中核・特色ある研究大学強化促進事業（J-PEAKS）」に採択され、研究力の向上した10年後の大学ビジョン（強みや特色ある研究領域）の一つとして本センターが中核となる「地球観測ビッグデータ統合解析」が挙げられています。本センターの基盤であるリモートセンシング技術は、環境モニタリングに役立つ一方で、国際目標の達成状況をモニタリングすることもでき、国内の政策に対しても重要なエビデンスを提供することになります。

地球環境変動が顕在化するなかで、気候変動に関する「パリ協定」、生物多様性に関する「昆明・モントリオール生物多様性枠組」、災害に関する「仙台防災枠組2015-2030」などの国際目標が次々に策定され、地球環境モニタリングの重要性がますます増大しています。国連においてもこの環境変動・災害多発の時代において、“Early Warnings for All”として2027年までにすべての人に災害などの早期情報を提供することを目標としています。また、日本でも「カーボンニュートラル」に向けた取り組みが急速に進んでいます。2021年6月に開催されたG7など国際政治の場面で生物多様性の保全が言及されるなど、地球環境問題に対する取り組みが科学的のみならず政策的にも重要になっています。

日本は世界の中で最も自然災害の多い国の1つです。2011年の東北地方太平洋沖地震や2016年熊本地震、2024年能登半島地震などの地震災害、2019年9月の房総半島台風や同年10月の東日本台風、2000年東海豪雨などの気象災害など、枚挙に暇がありません。自然災害に関しては現在では発災後のクライシス管理や災害応急対応を容易にするための建物の堅牢化に主眼が置かれていますが、地球観測ビッグデータを活用した精度良い事前予測情報や監視情報、診断情報があれば、リスク管理や危機回避のための行動様式的意思決定者に適切なタイミングで適切な質の情報を提供でき、災害を軽減することや、場合によっては事象を制御することが可能になるかもしれません。本センターが取り組んでいる衛星リモートセンシングデータを用いた「地球環境学」は、まさにデータサイエンス、特に地球環境ビッグデータの社会応用に関してその中心的要素、すなわち衛星技術の中核とした異分野融合研究の現場であり、新しい研究分野創成の可能性や関連コミュニティの拡大が期待されます。そして、「環境診断」、「環境予測」は社会とアカデミアとの接点が比較的近いテーマで、本センターおよびJ-PEAKSの核となる新しい学問領域です。このように本センターでは、気候変動や災害軽減などの社会実装に繋がるイノベーションを創出していきます。

本センターでは前身組織を含め、これまで周年記念誌を編集してきませんでした。過去の組織変遷の過程について知ることが、40周年、50周年と本センターがさらに発展していくことの一助になることを願って、ここに30周年記念誌を刊行し、本センターの活動を支えてくださった我が国政府、千葉大学、全国の関連研究機関や研究者のみなさまに感謝の気持ちとともにお届けすることとしました。関係各位には、より一層のご指導ご鞭撻をお願い申し上げる次第です。最後に本記念誌の刊行は、ご寄稿・ご執筆くださった多くの方々、本書の企画・編集をご担当いただいた30周年記念事業準備委員会・記念誌編集委員会とセンター支援係・秘書の方々のご尽力がなくては実現できませんでした。ここに関係各位に謝意を表します。

目 次

第1章 環境リモートセンシング研究センター（CEReS）の沿革	1
1.1 天然色工学研究施設と映像隔測研究センター（1963～1995）	2
1.2 環境リモートセンシング研究センターの創立と創成期（1995～2004）	4
1.2.1 環境リモートセンシング研究センター（CEReS）の発足	4
1.2.2 国立大学と地球観測をとりまく状況	6
1.3 国立大学法人化から創立20周年まで（2004～2016）	7
1.3.1 国立大学法人化（2004）	7
1.3.2 共同利用・共同研究拠点制度の開始（2010）	10
1.3.3 第2期中期目標・中期計画期間の開始と研究プログラム制	13
1.3.4 ミッション再定義と第2期の拠点期末評価	13
1.3.5 地球観測の進展と東日本大震災	16
1.4 第3期中期目標・中期計画期間の開始から30周年まで（2016～2024）	19
1.4.1 Future Earthと農業リモートセンシングのSATREPSプロジェクト	19
1.4.2 拠点の第3期期末評価（2021）	20
1.4.3 第4期中期目標・中期計画期間（2022～2027）の開始と5研究部門制	21
1.4.4 最近の衛星地球観測の進展	21
第2章 組織と教員・研究者	23
2.1 CEReS創立から創成期の研究組織（1995～2004）	24
2.2 国立大学法人化から創立20周年までの研究組織（2004～2016）	26
2.3 第3期中期目標・中期計画期間の開始から30周年まで（2016～2024）	31
2.4 建物と主要研究設備	35
2.4.1 建物と研究スペース	35
2.4.2 主要研究設備	37
Topics CEReS が提供する地球環境データ	39
2.5 運営委員会・運営協議会	41
2.6 自己点検・外部評価	44
2.6.1 センター創立から法人化までの外部評価（1996、1999、2003）	45
第1回自己点検・外部評価（1996）	
第2回自己点検・外部評価（1999）	
第3回自己点検・外部評価（2003）	
2.6.2 国立大学法人化以降の外部評価（2008、2012、2015、2020）	47
第4回自己点検・外部評価（2008）	
第5回自己点検・外部評価（2012）	
第6回自己点検・外部評価（2015）	
第7回自己点検・外部評価（2020）	

第3章 研究	53
3.1 国立大学法人化以前の研究（1995～2004）	54
3.1.1 「3研究部門・開発運用部制」による研究	54
3.1.2 共同利用研究（1995～2003）	57
Topics モンゴルプロジェクトとその成果	57
3.2 国立大学法人化から20周年までの研究（2004～2016）	60
3.2.1 「プロジェクト制」による研究推進（2004）	60
3.2.2 「プログラム制」による研究推進（2010）	60
3.2.3 共同利用研究（2004～2015）	63
Topics 地球温暖化寄付研究部門	64
3.3 20周年から現在までの研究（2016～2024）	65
3.3.1 第3期に向けての大学改革	65
3.3.2 「研究部門制」による研究推進	66
3.3.3 共同利用研究（2016～2024）	69
3.4 国際シンポジウム	70
Topics 気候診断系に関わるバーチャルラボラトリー（VL）の形成	75
第4章 教育と人材育成	79
4.1 国立大学法人化以前の教育（1995～2004）	80
4.2 国立大学法人化から20周年までの教育（2004～2016）	84
Topics 大学院GP地球診断学	90
4.3 20周年から現在までの教育・リモートセンシングコースの開設	91
CEReS修了生からの寄稿	98
第5章 広報	109
5.1 年報	110
5.2 CEReSニュースレター	110
5.3 CEReSパンフレット	111
第6章 特色ある研究成果	113
先端センシングプログラム	
世界最先端のリモートセンシング技術による地球大気環境変動研究の推進	
入江仁士	114
マイクロ波リモートセンシングとその社会的な活用	
—地域と人にねざしたAI減災サステイナブル学学際ハブ拠点形成—	
ヨサファット テトォコ スリ スマンティヨ	121

GCOM衛星の検証と植生リモートセンシングの展開	
本多嘉明・梶原康司	128
環境診断プログラム	
地上観測・衛星観測・モデリングを統合した陸域温室効果ガス収支のモニタリング	
市井和仁	134
GOSAT データによる温室効果ガスの全球プロファイル解析	
齋藤尚子	140
陸域と水域を統合した衛星生態学の展開	楊 偉
	145
静止軌道衛星を活用した都市・植生の熱環境解析	
山本雄平	151
環境予測プログラム	
衛星・地上 SensorWEB による巨大地震・津波の監視と予測	
—新世代地震情報システムの構築とそれを利用したレジリエントな社会の創成—	
服部克巳	157
気象制御への挑戦	小槻峻司
	168
水同位体によるシームレス気象・気候予測の発展	
岡崎淳史	174
統合解析プログラム	
ひまわり8/9号を代表とした第3世代静止気象衛星の利活用に関する研究	
樋口篤志	179
社会実装プログラム	
先駆的な農業リモートセンシング技術で社会課題を解決に導く	
—気候変動適応策としての農業保険の強化と持続的食料生産の実現—	
本郷千春	185
Synopsis in English	
	192
附表 資料	198
A1 CEReS の事務支援体制	
A2 最近10年間の財務状況	
A3 国際交流協定（令和6年10月1日現在）	
編集後記	202

第1章

環境リモートセンシング研究センター
(CEReS) の沿革

1.1 天然色工学研究施設と映像隔測研究センター（1963～1995）

千葉大学環境リモートセンシング研究センターの始まりは、1963（昭和38）年に千葉大学工学部附属として設立された天然色工学研究施設に遡ることができる。この研究施設では、千葉大学で開発した多層式カラー写真法の研究が基礎となり、映像情報や感光材料、発色映像処理などに関する研究が行われ、1976～1978（昭和51～53）年度には隔測画像処理や隔測画像解析に関する研究部門が増設されて衛星画像や航空画像の処理・解析を含むリモートセンシングに関する研究も行われるようになった。

環境リモートセンシング研究センターの直接の前身である映像隔測研究センターは、1986（昭和61）年4月に工学部附属の学内共同利用施設として設立された。天然色工学研究施設は廃止され、10年時限の映像隔測研究センターに改組された（図1.1に両施設のパフレット表紙を示す）。1972年に米国の地球観測衛星 Landsat 1号が打ち上げられ、1977年には気象庁の静止気象衛星であるひまわり1号（GMS-1）が米国から打ち上げられるなど、1970年代から1980年代にかけて人工衛星を利用した地球観測システムの開発研究が本格的にスタートした。これに伴い、天然色工学研究施設で得られた映像・画像の技術的・科学的な研究成果をデジタルリモートセンシング技術分野に拡張し、多方面に利用することを目的として映像隔測研究センターが開始された。

映像隔測研究センターが学内外研究者と行う共同研究では、衛星から得られるリモートセンシング環境情報や、それと関連する映像・画像技術についての研究を進展させるため、センシング技術、データの記録・処理・解析、画像判読、画像表示・材料などの基礎的研究、さらに地域的な環境や地球環境への応用的研究などが主要テーマであった。映像隔測研究センター設立時の組



図1.1 天然色工学研究施設と映像隔測研究センターのパフレット表紙

組織は3部門と1客員部門から成り、第1部門の映像情報研究部門（教授1、助手1、技官1）、第2部門の隔測情報処理研究部門（教授1、講師1、助手1）、第3部門の隔測情報解析研究部門（教授1、講師1、助手1）、および学外の専門家を招聘する第4部門として隔測情報判読応用研究部門（客員教授1、客員助教授1）という構成であった。センター長は第3部門の土屋清教授（気象学、衛星リモートセンシング）が務めた。学内共同研究センターとして、千葉大学内の学部横断組織である「環境科学研究機構」におけるリモートセンシング分野の研究を分担し、学内で毎年数件から十数件の共同研究を実施した。教育面ではセンター所属教員が工学研究科・画像工学専攻の修士課程の一部を担当し、自然科学研究科専攻の博士課程の教育研究にも貢献した。センターの管理運営には学内全部局から運営委員を選任し、センターの重要事項の審議を行った。

映像隔測研究センターが発足した1986年にはフランスの衛星SPOT 1が打ち上げられ、翌年には日本初の地球観測衛星であるMOS-1（海洋観測衛星1号「もも1号」）が打ち上げられた。MOS-1には可視近赤外放射計MESSR（走査幅100 km、地上分解能50 m）や可視熱赤外放射計、マイクロ波放射計MSRが搭載され、地球観測衛星の基本技術の確立に貢献した。NOAA衛星シリーズのAVHRRセンサによる観測は1978年のTIROS-N衛星から開始され、1993年にはNOAA-13号、1994年にはNOAA-14号が打ち上げられた（CEReSでは、1997年4月から2017年3月までのAVHRRデータを処理し、提供している）。衛星マイクロ波リモートセンシングの分野でも、1991年に欧州宇宙機関（ESA）のERS-1（Cバンド）が、翌1992年には日本のJERS-1（ふよう1号、Lバンド）が打ち上げられ、合成開口レーダ（synthetic aperture radar, SAR）による地球観測が本格的に始まった。

国内学会では、衛星リモートセンシングに密接に関連する気象学会が1982年に創立100周年を迎えた。リモートセンシングをテーマとする主要な学会としては、日本写真測量学会が1962年に発足し、1966年に社団法人となった。また、日本リモートセンシング学会が1981年に設立され、その後1992年に社団法人となった。気候変動に関する国際的な動向としては、世界気象機関WMOと国際学術連合会議ICSUの協力によって1980年に世界気候研究計画WCRPが組織され、衛星や地上観測網による観測や気候モデルの構築と検証などによって様々な科学的知見が集積されるようになった¹。

1 千葉大学映像隔測研究センター年報 1986年 vol.1～1994年 vol.9

千葉大学五十年史 平成11年11月30日発行 p.59 (3) 工学部附属映像隔測研究センター

全国地球温暖化防止活動推進センター 地球温暖化をめぐる日本と世界の主な出来事

<https://www.jccca.org/global-warming/trend-japan/history>

中島映至、世界気候研究計画（WCRP）の現状と気候研究の方向性、天気、58巻、2011

<http://www.infra.kochi-tech.ac.jp/takalab/download/manual/laser/satfraim.htm>

1.2 環境リモートセンシング研究センターの創立と創成期（1995～2004）

1.2.1 環境リモートセンシング研究センター（CEReS）の発足

映像隔測研究センターは10年の時限付で設置された学内共同利用施設であり、1996（平成8）年3月末をもって廃止となる予定であった。しかし、このセンターでの研究の中心的なテーマであるリモートセンシング技術は地球観測技術として学術的・社会的に重要度が高く、その実績を踏まえて全国レベルの共同利用機関を新たに設置することには、日本のリモートセンシング研究、ひいては気候研究や地域環境研究の進展のために喫緊の必要性が認められることが明白であった。こうした理由により、1992（平成4）年からセンター長を務めてきた竹内延夫教授（大気リモートセンシング）が中心となり、文部省（当時）に概算要求が行われた。

申請の骨子として、千葉大学にこのような機関が設置される場合、既存の組織を拡大して、リモートセンシングの基礎研究分野と環境問題への応用分野を並立させることが望ましいこと、また、リモートセンシング技術の利用研究分野が極めて多岐にわたることから、全国共同利用施設であることが望ましいことが要望された。それらが認められる形で、新しい「環境リモートセンシング研究センター」が1995（平成7）年4月に大学附置で10年時限の「全国共同利用施設」として発足する運びとなった。なお、後述する2004（平成16）年4月からの国立大学の法人化以前は、全国共同利用研究所・センターは国立学校設置法のもとで法令によって設置された組織であった。その運営に必要な経費は国立学校特別会計により通常の大学運営経費とは別に措置される仕組みになっていた。

初代のセンター長は、理学部から転任した新藤静夫教授（水文学、環境地質）であった。創立当初の環境リモートセンシング研究センター（Center for Environmental Remote Sensing, CEReS）の運営や進展の方向性をもっとも明瞭な形で伝える文章として、最初の年報となった1995年版の巻頭言を以下に再録する。

はじめに

当センターは学内共同利用施設として多くの実績を残してきた映像隔測研究センターを基礎として、平成7年4月1日に新たに発足した全国共同利用施設です。この新しいセンターの設置計画は、前々センター長の石川敏雄名誉教授、および前センター長の竹内延夫教授を委員長とする将来計画委員会での多くの、かつ熱心な論議検討を踏まえて立てられたものです。委員会には学内外の先生にも加わっていただきました。私も当時、理学部から選出された委員として、そのお手伝いをさせていただきました。

段々と煮詰まってきた計画案をみて、本当にこのようなセンターが実現できるのだろうかと思ったこともございました。計画案の100%とはゆかないまでも、ほぼそれに近いものが認められ、新センターの発足をみた次第です。ここをかりて文部省はじめ関係者の皆様にあらためてお礼を申し上げさせていただきます。

さて、センター年報発刊にあたり、当センターについて若干紹介させていただきます。

当センターは、センサ・大気放射研究部門、地球環境情報解析研究部門、データベース研

究部門、の3つの研究部門と、それらを支援するかたちのデータベース開発運用部から構成されております。これらの各部門はその基礎的研究を推進するとともに、たがいに連携して、リモートセンシングを利用した「地球環境学」の発展に寄与することを目的としております。

発足以来、センターの整備を進める一方、対外的にはこれまでに「国際植生モニタリングシンポジウム」を開催し、また、中国、アラブ首長国連邦、モンゴル、インドネシア、ヴェトナム、スリランカなどでの海外調査を実施してきました。また研究交流、情報交換の一層の推進を期して、海外関係機関との部局間協定などを積極的に進めることとしています。

当センターの重要な仕事は全国共同利用施設としての責務を果たすことであり、積極的に共同研究を推進することです。詳細については本文に紹介されていますが、現在40数件をかねる共同研究が進行中で、その成果が期待されます。その他、ニュースレター（CEReS ニュース）の発行や、月1回の頻度での研究集会（CEReSの夕べ）の開催、また「データベースの開発と運用」など、各種のワーキンググループの作業などを進めています。

我々を取り巻く環境問題は、時代とともに、局地的なものから広域的なものまで、また単純なものから複合的なものまで、多種多様になっています。この多種多様な環境問題は、一つ一つ、その要因と、それらの相互関係を追究することが必要ですが、一方広い視野でこれを捉えることも必要です。リモートセンシングは、そのための不可欠な手段として、今後益々重視されてくるものと確信しています。

最近のリモートセンシング技術の進歩には目を見張るものがあります。何年か後には今日では想像もできないことまで分かるようになるかも知れません。しかしそれも地域特性を踏まえた地上での科学的な、かつ地道な観測・調査の裏付けがあつてのことでしょう。そのためには国際的な研究協力が絶対に必要です。当センターが今後強力に押し進めて行こうと考えているのはこの点です。アジア諸国からの留学生や研究生を通して、また訪問される研究者を通して研究交流、情報交換を一層推進して行きたいと考えております。

我々の目標は、このセンターをアジアにおける研究拠点とすることです。そこでの主要な共通課題を「環境変動危機地域のモニタリングとその予測」としています。現在このような点を含めて、将来への展望を若手研究者を中心として勉強会を行っております。国立大学唯一のセンターとしての自覚と自負をもって、センター教職員一同、一層の努力を続けてゆく所存ですが、皆様のご支援に期待するところも多々ございます。今後とも変わらぬご支援、ご鞭達をお願い致し、年報発刊に際してのご挨拶とさせていただきます。

平成8年9月

千葉大学環境リモートセンシング研究センター長

新藤静夫

この巻頭言にあるような経過を経て、CEReSは10年時限の全国共同利用施設として発足し、その組織はセンサ・大気放射研究部門（大気環境研究グループ）、地球環境情報解析研究部門（植生環境研究グループ・リモートセンシング基礎研究グループ）、データベース研究部門（RS/GIS応用研究グループ・データベース研究グループ）の3研究部門・5研究グループと、それら

を支援するデータベース開発運用部（データベース開発運用グループ）から構成されていた。センター共通の目標を「リモートセンシングによるアジアの環境変動地域のモニタリング」と設定し、部門横断的なコアプロジェクトとして、戦略的基礎研究プロジェクト「衛星観測による植物生産量推定手法の開発」を推進した。この間の研究組織と人員配置の詳細については2.1節、研究とその成果については3.1節で述べる。

1.2.2 国立大学と地球観測をとりまく状況

1995年のCEReSの創立から2004年の国立大学の法人化までの間、大学やリモートセンシングを取り巻く社会状況として次のようなできごとがあった。2001年には、中央省庁再編で文部省と科学技術庁が統合し、文部科学省が発足した。2003年には、宇宙科学研究所（ISAS）、航空宇宙技術研究所（NAL）、宇宙開発事業団（NASDA）の3機関が統合し、宇宙航空研究開発機構（JAXA）が発足した。関連学会では、2005年、日本学術会議の改革に対応し、細分化していた地球惑星科学関連学協会を束ねる窓口組織としてJpGUが発足した。JpGUは、2008年12月には一般社団法人となり、2011年12月にはさらに公益社団法人 日本地球惑星科学連合としてスタートし、現在に至っている。

1995年3月には、スピン安定方式の気象観測衛星であるGMS-5が、H-IIロケット3号機により打ち上げられた。CEReSでは1997年4月からGMS-5データの受信を開始し、rawデータと緯度経度にリサンプリングされたプロダクトのデータを提供している。1996年8月には、可視近赤外放射計AVNIR・海色海温走査放射計OCTS・オゾン全量分光計TOMSなど多種類のセンサを搭載した大型の地球観測プラットフォーム技術衛星ADEOS（みどり）が打ち上げられた。ADEOSは温暖化、オゾン層破壊、熱帯雨林の減少、異常気象等の環境変化に対応した全地球規模の観測データを約10カ月間取得したが、太陽電池パドルの不具合により1997年6月に運用を停止した。一方、1997年11月に降雨レーダを搭載した熱帯降雨観測衛星TRMMが打ち上げられ、2015年4月まで17年以上にわたって地球全体の降雨量の約3分の2を占める熱帯の降雨を観測し、台風内部での降雨の強さを立体的な分布として示すなど、特色ある科学的成果を挙げた。

米国では1999年4月にLandsat-7が打ち上げられた。同年12月には36バンドというそれまでにない多くのバンドをもち、大気・地表・海洋を観測するMODISセンサを搭載したTerra衛星が、また2002年5月には同じセンサを搭載したAqua衛星が打ち上げられ、設計寿命の6年を大きく超えて現在に至るまで観測データを取得・提供している。なお、Terra衛星には日本の経済産業省が中心となって開発した資源探査センサであるASTERも搭載され、地表面被覆など長期にわたるASTERプロダクトの提供につながった。2002年12月には日本の大型衛星ADEOS-2（みどりII）が打ち上げられ、2003年10月に交信不能となるまでの短期間ではあったが、グローバルイメジャGLIや高性能マイクロ波放射計AMSРなどのデータが取得・提供された。

上述したWCRPなど国際的な気候科学の進展を受け、1995年4月に気候変動枠組み条約第1回締約国会議（COP1）がベルリンで開催され、2000年以降の気候変動対策についてCOP3で数値目標を伴う議定書を採択することが決議された。1997年12月にCOP3が京都で開催され、先進諸国が6種類の温室効果ガスを削減する数値目標と目標達成期間が「京都議定書」として合意

された。日本政府においても、地球温暖化対策推進本部が1998年6月に地球温暖化対策推進大綱を決定し、その進捗状況について毎年フォローアップが行われることになった。さらに、日本の地球温暖化対策に関する基本方針を定めた「地球温暖化対策の推進に関する法律」が1999年4月から施行された。1995年4月のCEReSの創立は、こうした国内外の動向と軌を一にするものであったと言えよう。

1.3 国立大学法人化から創立20周年まで（2004～2016）

1.3.1 国立大学法人化（2004）

2004（平成16）年4月から国立大学が法人化され、文部科学省が設置する国の行政機関から、各大学が独立した法人格をもつ「国立大学法人」となった。予算面では、大学の判断で人件費・物件費・旅費などの枠を変更できる自由度が増え、科研費などの競争的資金が拡充された反面、財政合理化・行政改革の観点から一般の行政法人と同様に国からの運営費交付金が全体として年あたり約1%減少することになり、それ以降今日までの大学運営に大きな影響を及ぼすことになった。運営面では、6年間の中期目標・中期計画期間が設けられ、大学が立案した計画を文科省が認可し、その達成状況を国立大学法人評価委員会が評価して大学への資金配分に反映させる仕組みが導入された。以下に、文部科学省の示す『「国立大学法人」制度の概要』を引用しておく。

「国立大学法人」制度の概要²

1. 「大学ごとに法人化」し、自律的な運営を確保
 - ・国の行政組織の一部 → 各大学に独立した法人格を付与
 - ・予算、組織等の規制は大幅に縮小し、大学の責任で決定
2. 「民間的発想」のマネジメント手法を導入
 - ・「役員会」制の導入によりトップマネジメントを実現
 - ・「経営協議会」を置き、全学的観点から資源を最大限活用した経営
3. 「学外者の参画」による運営システムを制度化
 - ・「学外役員制度」（学外有識者・専門家を役員に招聘）を導入
 - ・経営に関する事項を審議する「経営協議会」に学外者が参画
 - ・学長選考を行う「学長選考会議」にも学外者が参画
4. 「非公務員型」による弾力的な人事システムへの移行
 - ・能力・業績に応じた給与システムを各大学の責任で導入
 - ・兼職等の規制を撤廃し、能力・成果を産学連携等を通じて社会に還元
 - ・事務職を含め学長の任命権の下での全学的な人事を実現
5. 「第三者評価」の導入による事後チェック方式に移行
 - ・大学の教育研究実績を第三者機関により評価・チェック

2 https://www.mext.go.jp/a_menu/koutou/houjin/03052704.htm

- ・第三者評価の結果を大学の資源配分に確実に反映
- ・評価結果、財務内容、教育研究等の情報を広く公表

部局長の選考に関しても、法人化前は各部局の教授会（センターでは教員会議）で構成員の投票を行い、その結果に基づいて学長が任命する方式であったが、法人化にともなって制定された「千葉大学部局長選考等規程」に基づき、部局長は学長が選考し、選考のために必要と認めるときは、当該部局に複数名の候補者の推薦を求めることができる、と改められた。教員の選考に関しても法人化前には各部局教授会の議により採用や昇任人事が決まっていたが、法人化後は、各部局で教員の採用や昇任の計画がある場合は、全学の「教員人事調整委員会」に事前に協議し、承認を得る方式が導入された。

国立大学法人化に伴い、1995年の発足から10年時限の全国共同利用の研究施設であった CReS も、時限を1年残す形で「中期目標・中期計画に記載された全国共同利用研究施設」として再出発した。中期目標では「全国共同研究」の項目に「研究施設等の共同利用体制を一層充実させ、大学の枠を越えた全国共同研究を積極的に推進する」と記載され、中期計画での記述は、「環境リモートセンシング研究センターは、人工衛星データ等のデータセンターとしての体制を整備するとともに、全国共同利用施設として、蓄積したデータを活用して国内外の研究機関との共同研究を積極的に実施する」というものであった。

2004年4月の国立大学法人化に際し、CReSでは従来の部門制を廃し、新たにプロジェクト制による重点的な研究推進システムへと運営改革を行った。これ以降、組織的な人事管理は研究領域制（リモートセンシング基盤研究領域・リモートセンシング複合研究領域・衛星データ処理室）で行うが、研究の推進は共同利用を含めてプロジェクト制に基づいて行うことになった。発足当初の4つのプロジェクト（PJ）は以下の構成であった：

PJ1 「衛星データによる地球表層環境変動の実態把握とその要因解析」

PJ2 「衛星データによるユーラシア大陸の植生3次元構造の変遷を中心とする表層・植生・土地被覆変動の研究とデータ解析・処理手法・検証データ観測手法の研究」

PJ3 「衛星データと地上観測ネットワークによる放射収支の評価と大気パラメータの長期変動」

PJ4 「地域社会に役立つリモートセンシングの実現 ―多様な空間情報のシナジーによる社会基盤情報の発信―」

各プロジェクトの詳細については後述する（2.2節参照）。なお、2005年4月から第5プロジェクトとして

PJ5 「円偏波合成開口レーダ搭載小型衛星の開発」

を新規に開始し、また、株式会社ウェザーニューズ社の寄付金に基づき、「地球温暖化寄付研究部門」が2008年10月から開設されたことにともない、

PJ6 「地球温暖化と気象・海洋情報の活用」（寄付研究部門）

が加わった（2011年3月に終了）。

2006年7月には、CReS内に設けられた「中期計画委員会」により、それまでの数年間の検討を経て「千葉大学環境リモートセンシング研究センターの将来構想」がまとめられた。その記

載事項から重点的な項目をいくつか抽出すると、次のようになる。

千葉大学環境リモートセンシング研究センターの将来構想（2006年7月）

- ・本センターは、衛星観測や環境研究のわが国におけるコミュニティの一つの核としての活動を担ってきた。また、ほぼ毎年開催されたCEReS国際シンポジウムや数多くの研究者交流を通じ、衛星データや地上検証データを通じて活発な研究活動を展開する研究機関として、アジアを中心とする諸外国の関係機関にもわが国における拠点のひとつとしての存在が認められてきた。
- ・本センターの研究は、衛星によるリモートセンシングが軸となり、それを地上検証で支えることによって衛星データの定量的かつ信頼性の高い解析を可能とするのが基本的なスタンスである。一方、地球環境の研究は、大気、植生、水文、海洋、雪氷など非常に多岐にわたり、そうした様々な分野の研究者が有機的な連携を保って研究を行うことによってセンターの力を最大限に発揮することができる。
- ・平成7年以来、新しいメンバーを加えた本センターでは、このような共通認識に基づき、モンゴルコアプロジェクト、大気、植生、水文、データアーカイブの5つのグループをユニットとして研究を進めた。その研究の中心は日本を含むアジア域であり、各グループの研究は、センターの中心的テーマとして設定した「リモートセンシングによるアジアの環境変動地域のモニタリング」と密接に関連付けながら実施された。
- ・平成8年度、平成11年度の2回の自己点検・外部評価を経て、平成13年度以降、次第に可能性が現実的になってきた国立大学の独立行政法人化に向けて、センターの将来像に関する検討が基本計画推進委員会を中心として精力的に行われた。そうした議論を通じ、平成16年度以降の研究活動は大学レベルで設定される中期計画に合致する形でのプロジェクト制により実施すること、新しいセンターの中心的テーマとして「リモートセンシングによる地球表層環境のモニタリング」および「社会に役立つリモートセンシングの実現」を掲げて現在の研究活動を実施している。
- ・法人化にあたってとくに配慮した点は、従来にも増して全国共同利用としての研究活動をプロジェクトの中に位置づけていくこと、学内において関連する分野の研究者と積極的な交流を図っていくこと、および、従来は研究センターとして付随的にしか扱われていなかったリモートセンシング分野での人材育成を重視し、とくに大学院レベルでの教育に力を注いでいくこと、の3点である。
- ・同時に、全国共同利用施設としてのコミュニティ内での研究活動およびアーカイブデータを通じての貢献、アジア地域をはじめとする国際的な研究交流は、センターの活動の基本的な柱として変わらぬ重要性をもっている。

このような流れを受け、今後、5年から10年での範囲のセンターの将来像を次のように描くことができる。

- ・理学と工学を融合する形でのリモートセンシング研究の展開
- ・学部・大学院の教育課程としてリモートセンシングを位置づける
- ・4大学連携のVL（Virtual Laboratory）活動を通じ、気候変動の研究でCEReSの特色を発揮していく

- ・安全と安心をキーワードとして学内連携を深めていく
- ・大学の社会的責任を担う観点から、リモートセンシングデータの公開とデータを活用した社会貢献により注力する
- ・大学院GP（Good Practice）を初めとする大学院教育とリモートセンシング分野の人材育成に注力する

文中にある外部評価については2.6節で、大学院GPについては4.2節で述べる。この将来構想提言やそれに関わる集中的な議論を通じ、将来に向けての方向性が統一的な見解としてまとまった。これらの方向性は、運営委員会（2.5節参照）や外部評価委員会での審議検討を経て、その後のセンターの運営の改善、研究組織の改編につながり、大学院におけるリモートセンシングコースの開設（4.3節参照）をはじめ、多くの事項が具体化されることになった。

2007年度より CERE S を含む 4 大学センターの共同プロジェクトとして文部科学省・特別教育研究経費「地球気候系の診断に関わるバーチャルラボラトリーの形成」（通称 4 大学連携 VL）が開始された。CERE S 以外の参画機関（当時）は、東京大学気候システム研究センター、名古屋大学地球水循環研究センター、東北大学大気海洋変動観測研究センターである。国際的にもレベルが高く、特色ある研究成果を挙げているこれら 4 センターの連携によって、単独では難しい複雑な地球気候変動現象の多面的な理解に貢献するとともに、毎年開催する講習会の機会などを通じてこの分野の若手研究者の育成を図ることがこの連携活動の主眼となっている（現在まで続くこの活動の詳細は、3.4 節のコラム「4 大学連携 VL」を参照されたい）。

2008（平成20）年 8 月に、CERE S（西尾文彦センター長）と東海大学（松前達郎理事長）および千葉市美浜区に本社を置く民間気象情報会社である株式会社ウェザーニューズ社（草開千仁代表取締役）の間で両大学のコンテンツ素材とウェザーニューズ社のネットワークを相互に活用して「静止気象衛星による日射量推定値の利用と応用」を行うことをテーマとした覚書が締結された。さらに、同年10月から、同社の寄付金に基づき、「地球温暖化寄付研究部門」が CERE S に開設され、寄付研究部門の教員（教授相当）として同社の石橋博良会長が、また助教相当として同社の長 康平氏が着任し、また設置後の公募人事を行って常松展充氏（准教授相当、前職は情報通信研究機構）が採用された。残念なことに石橋氏は2010年5月に任期半ばで病没され、その後2011年3月末の寄付研究部門の終了までは代わって同社の宮部二郎副社長が教授相当教員を担当した（詳細については、3.2 節のコラム「地球温暖化寄付研究部門」を参照されたい）。

1.3.2 共同利用・共同研究拠点制度の開始（2010）

国立大学が法人化されると、法令上は全国共同利用施設の明示的な位置づけは消失した。予算面においても、運営費交付金は個々の大学へ配分され、大学ごとに執行される。そのため、大学の枠を超えて全国の研究者コミュニティが運営する形での全国共同利用のシステムについて、新たに制度的な位置づけを行うことが必要となり、文科省で検討が続けられた。2008（平成20）年5月に科学技術・学術審議会の学術分科会 研究環境基盤部会が公表した報告書「学術研究の推進体制に関する審議のまとめ ― 国公立大学等を通じた共同利用・共同研究の推進」において、

- ・大学の枠を越えた共同利用・共同研究の拠点組織等を、国全体の学術研究の発展の観点から国として重点的に整備を推進すること、
- ・共同利用・共同研究拠点以外については国立大学の附置研究所・センターに対する国の関与を廃止すること、
- ・共同利用・共同研究に係る経費は国が重点的に支援すること、
- ・大学に設置する共同利用・共同研究拠点の制度的位置付けを明確化するため、学校教育法施行規則等に必要な規定を整備すること、

という方針が示された。これを受けて、文部科学省では2008（平成20）年7月に学校教育法施行規則を改正し、国公私立大学を通じたシステムとして、新たに文部科学大臣による「共同利用・共同研究拠点の認定制度」が設けられた。

CEReSは、当時の西尾文彦センター長が中心となって「日本におけるリモートセンシング研究の発展とリモートセンシングを利用した環境研究の発展を目的とする拠点」としてこの新しい制度への申請を行った。当時の「共同利用・共同研究拠点 申請書」の冒頭部分を次に引用しておく。

「共同利用・共同研究拠点 申請書」冒頭部分抜粋

拠点の名称 環境リモートセンシング研究拠点

【拠点の目的・概要】1972年に米国の地球観測衛星Landsatが打ち上げられて以来、衛星から地球を観測するリモートセンシングは世界的に普及し、日本を含めて多くの国が地球観測衛星を打ち上げるようになった。一方、この間に地球環境問題が全世界で認識されるようになり、地球環境を継続的にモニタリングすることが重要となった。広域を同時に、かつ繰り返し観測できるリモートセンシングは、この地球環境モニタリングの必須の技術となった。

この背景の下に、申請施設である環境リモートセンシング研究センターは、1995年に全国共同利用研究施設として発足し、衛星データから必要な情報を抽出するリモートセンシング研究および衛星データを用いた環境研究を実施してきた。これらの広範な研究分野の中で、センサ開発、情報抽出、環境変動評価を3重点分野として研究成果を上げてきた。さらに、外部の研究者に対して、前処理済みの利用し易い衛星データおよび衛星データから導出した地理データを積極的に公開してきた。これらの実績から本センターはリモートセンシングの分野で日本の代表的な研究機関となった。例えば、2005年の第3回地球観測サミットにおいて計画が承認された全球地球観測システム（GEOSS）に対して本センターが大きく貢献していることはその一例である。

【拠点の目的】上述した本センターのこれまでの研究実績から、本センターはリモートセンシング研究と衛星データを用いた環境研究の分野でもっとも力を発揮することができる。この分野で本センターは独自に研究を進めるだけでなく、リモートセンシング研究者、環境研究者との共同研究にも1995年以来14年の実績があり、また多数の研究者に衛星データなどを公開することによりリモートセンシング研究および環境研究を推進してきた。本センターが拠点として目指す目的は、日本におけるリモートセンシング研究の発展と衛星データによる（リモートセンシングを利用した）環境研究の発展である。すなわち、世界水準の研究拠点として、センサ開発および衛星データからの情報抽出の分野でリモートセンシング研究を発展させる

と同時に、このリモートセンシングを利用して環境解析の研究を発展させることである。

これらの目的を進めていくことで、水問題、食糧問題、地球温暖化、環境汚染問題等に対する科学的な理解が進み、より適切な対応策に近づける意味において波及効果をもたらし、社会への貢献へと繋がる。

この申請の結果、文部科学大臣の認定を受けることができ、国立大学法人第2期（2010年4月～2016年3月）の中期目標・中期計画に記載され、「環境リモートセンシング分野における共同利用・共同研究拠点」として新規に活動を開始することが決まった。なお、2009年6月時点においては、国立大学は千葉大学の環境リモートセンシング研究センターと真菌医学研究センターを含む70拠点、私立大学は9拠点の合計79の共同利用・共同研究拠点が認可されていた（学術機関課調べを出典とする文科省の資料³による）。図1.2に、2018（平成30）年度の共同利用・共同研究拠点（国立大学分）の一覧を示す。



図1.2 2018（平成30）年度の共同利用・共同研究拠点（国立大学分）⁴

³ https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shinkou/044/shiryo/_icsFiles/afiedfile/2017/03/28/1383515_04.pdf

⁴ https://www.mext.go.jp/b_menu/hakusho/html/hpab201901/detail/_icsFiles/artimage/2019/11/01/c_pbl_14_4/1421989_008.gif のデータにより作成。

1.3.3 第2期中期目標・中期計画期間の開始と研究プログラム制

2010（平成22）年4月から第2期中期目標・中期計画期間が開始された。これに先立つ2009年度には、第1期中期目標期間において実施したプロジェクト研究の総括と見直しを行い、これを発展・継承するプログラム研究として「先端的環境情報創出（先端的リモートセンシング）」、「総合環境情報（情報統合）」、「衛星利用高度化」、そして「地球温暖化と気象・海洋情報の活用（寄付研究部門）」の4つのプログラムを策定し、第2期とともに開始した（2.2節、3.2節も参照）。あわせて、2011年にはCEReSは自らを「リモートセンシングに関する中核的研究機関」として位置づけ、次の3つの事項をその使命として定めた。

- (1) リモートセンシングに関する先端的な研究を行うこと
- (2) リモートセンシングデータを用いて地球表層環境変動研究を発展させること
- (3) リモートセンシングを社会に役立てる研究を行うこと

1.3.4 ミッション再定義と第2期の拠点期末評価

2012～2013（平成24～25）年度に、大学の改革・強化プランの一環として、全国の国立大学で「部局のミッション再定義」が実施された。CEReSの研究・教育分野は工学系と理学系から成るが、ミッション再定義の過程では工学系が先行して行われた。そのため、CEReSでは工学系の部局の一つとして久世宏明センター長が中心となって文科省と意見交換を行い、その結果、千葉大学の「工学分野」に下記のCEReS関係の記述がなされた。

文部科学省 国立大学部局のミッション再定義

【学部等の教育研究 組織の名称】 環境リモートセンシング研究センター

【沿革】 1986（昭和61）年 映像隔測研究センターを設置。

1995（平成7）年 映像隔測研究センターを廃止・転換、環境リモートセンシング研究センター設置。

2010（平成22）年 環境リモートセンシング研究センターが共同利用・共同研究拠点に認定。

【設置目的等】 平成7年に、リモートセンシングによる「地球環境学」の発展に寄与することを目的に、全国共同利用機関として環境リモートセンシング研究センターが設置された。

【強みや特色、社会的な役割】 環境リモートセンシング研究分野における共同利用・共同研究拠点として、グローバルな環境情報を収集するとともに、リモートセンシング及び関連技術の研究開発に関するアジアにおける国際拠点として、先端的な研究を推進する。

第2期中期目標・中期計画期間の最終年度である2015（平成27）年度には、国立大学法人における77拠点を対象として文部科学省による期末評価が実施され、CEReSは建石隆太郎センター長が中心となって期末評価への対応に当たった。その結果、下記に示すように、CEReSは総合評価としてS・A・B・Cのうちの「A」評価を取得することができ、第3期中期目標・中期計画期間（2016～2021年度）においても環境リモートセンシング研究拠点としての活動を継続することになった。

【拠点の名称】 環境リモートセンシング研究拠点

【認定期間】 平成22年度～平成27年度

【拠点の目的・概要】 本センターは、日本におけるリモートセンシング研究の発展とリモートセンシングを利用した環境研究の発展を目的とする拠点として認定された。拠点としての活動は、リモートセンシング研究の発展に向けた独自の研究活動とともに、研究者コミュニティからの「地球環境研究の分野ではリモートセンシングの研究者と陸域、大気などを対象とした環境研究者の緊密な協力が必要である」、「環境研究を推進する上で使い易い衛星データを入手したい」などの要望にも応えるため、①独自の研究、②共同研究、③データ提供、④人材育成の4つに大きく分けることができる。なお、共同研究では、リモートセンシング関連分野で「先端的な成果を目指す研究」と、リモートセンシングを利用する研究者を増やし、「底辺拡大を目指す研究」と2つの方向性を持っている。

【総合評価】

(評価区分) A：拠点としての活動は概ね順調に行われており、関連コミュニティへの貢献もあり、今後も、共同利用・共同研究を通じた成果や効果が期待される。

(評価コメント) 共同利用・共同研究拠点として、リモートセンシングに関して他の大学や研究機関との連携を広げ、人材育成やデータ提供の拡大などに努めるとともに、関連コミュニティへの貢献も認められる。また、ひまわり8号のデータ提供などは防災、減災などの観点から重要な役割を担っている点が評価できる。今後は、ひまわり8号のデータがより広く利用されるようその提供方法について検討するとともに、外国人に比べて日本人の博士号取得者が少ないことから、日本人の博士課程在籍者も含め、より効果的な人材を育成するための取組が望まれる。

【観点毎の評価】

- ①拠点としての適格性(評価コメント) 施設、設備、データベースが整備されており、稼働率や利用状況も良好であるとともに、各種情報を適切に提供する体制が整備されている点が評価できる。
- ②拠点としての活動状況(評価コメント) 先進的リモートセンシング及び情報統合に関する特色あるプログラム研究が実施されるとともに、国外研究者や留学生の参加を促進するための取組が行われ、各種設備の利用状況も良好である点が評価できる。
- ③拠点における研究活動の成果(評価コメント) 発表論文数、インパクトファクターの高い雑誌への論文掲載、プロジェクト研究の実施等、概ね順調な活動成果をあげており、特に、地域対象の公開講座は頻繁に実施されている。
- ④関連研究分野及び関連研究者コミュニティの発展への貢献(評価コメント) 研究成果を通じたコミュニティへの貢献だけでなく、アジアのリモートセンシング研究のハブとして機能している。
- ⑤中間評価結果のフォローアップ状況(評価コメント) 支援スタッフの業務見直しによる拠点の利便性向上を図るとともに、大学からの支援も行われており、適切に対応して

いる。また、科研費等の競争的資金獲得の取組については、今後の成果を期待したい。

⑥各国立大学の強み・特色としての国立大学の機能強化への貢献（評価コメント）リモートセンシングは、大学の研究面で強みを有する6分野の一つとされていることから、様々な拠点活動が大学の機能強化に貢献することが期待される。

⑦第3期における拠点としての方向性（評価コメント）世界的な成果を得られたマイクロ波リモートセンシングのさらなる推進やひまわり8号のデータの提供、大学院にリモートセンシングコースの新設が計画されており、それぞれの成果を期待したい。

2015（平成27）年11月30日には、創立20周年を記念して千葉大学けやき会館大ホールにおいて、「環境リモートセンシング研究センター創立20周年記念式典」を挙行了。式典では、建石隆太郎センター長が式辞に続いてスライドにより「CEReSの歩み」を紹介し、ついで徳久剛史学長からの学長式辞があった。その中で、今後6年の第3期となる大学の中長期期間の大方針では、「世界最高水準の研究分野の戦略的強化」および「大学の国際化」の二つの点でCEReSの貢献を期待しており、大学としてセンターが推進する事業について必要な支援を惜しまない決意が表明された。来賓として文部科学省 研究振興局 学術機関課長牛尾則文氏より、本センターがリモートセンシング研究分野における世界トップレベルの研究拠点となり、我が国の学術研究をリードするとともに、千葉大学の強み・特色として機能強化における重要な役割を担い、より一層大学の教育研究力の向上に貢献することを期待している旨の祝辞があった。また、京都大学生存圏研究所の津田敏隆所長、宇宙航空研究開発機構の山本静夫理事からも祝辞があり、総合地球環境学研究所の安成哲三所長による特別講演「Future Earth — 持続可能な地球社会へ向けた新しい科学の展開」が行われた。けやき会館を全館借り切ったの一大イベントで、センターのスタッフ・学生・OB総動員の式典となった。下記に、式典のプログラムを引用し、記念写真を図1.3に示しておく。

環境リモートセンシング研究センター創立20周年記念式典

日 時	2015年11月30日（月）午後	
場 所	千葉大学けやき会館大ホール	
受付開始	14：30	式典 15：00 開始
式 辞	環境リモートセンシング研究センター長	建石隆太郎
学長式辞	千葉大学学長	徳久剛史
祝 辞	文部科学省研究振興局学術機関課長	牛尾則文
	京都大学生存圏研究所長	
	国立大学附置研究所・センター長会議会長	
	日本地球惑星科学連合（JpGU）会長	津田敏隆
	宇宙航空研究開発機構（JAXA）理事	山本静夫
特別講演（16：30～17：30）	大学共同利用機関法人 人間文化研究機構	
	総合地球環境学研究所 所長	

日本学術会議会員

安成哲三

「Future Earth — 持続可能な地球社会へ向けた新しい科学の展開」

記念祝賀会（17：45～19：15）

会 場：けやき会館三階レセプションホール



図1.3 環境リモートセンシング研究センター創立20周年記念式典の記念撮影
(2015年11月30日、千葉大学けやき会館)

1.3.5 地球観測の進展と東日本大震災

1995年に打ち上げられて気象観測を担ったひまわり5号（GMS-5）の設計寿命は5年であったが、1999年11月に後継機の打ち上げが失敗し、設計寿命を大幅に超えて8年間にわたって運用が継続された。しかし、搭載センサの老朽化と、姿勢制御用燃料の残存量の減少があり、2003年5月に待機モードに移行し、米国の気象衛星GOES-9による代替運用が行われた。そのような状況下で、2005年2月にGMS-5の後継機である運輸多目的衛星MTSAT-1R（ひまわり6号）を打ち上げることができ、6月から運用を開始した。翌2006年2月には、そのバックアップ機であるMTSAT-2（ひまわり7号）が打ち上げられ、2010年7月から2015年7月までの5年間にわたって観測の任にあたった。

2006年にはLバンドのPALSARを搭載したALOS衛星（だいち）がJAXAにより、また可視・近赤外2波長のライダーを搭載したCALIPSO衛星と雲・降雨レーダを搭載したCloud Sat衛星がNASA・CNES等により打ち上げられた。2007年にはCバンドSAR観測が行えるRADARSAT-2がカナダにより、また、Xバンドで都市域などの解析に適したTerraSAR-XがドイツDLRにより打ち上げられた。米国では、商用の高分解能衛星であるWorldView-1（0.5 m分解能）が2007年に、またWorldView-2（0.46 m分解能）が2009年にMaxar Technologies Inc.により打ち上げられた。2009年1月にはFTIR分光装置を搭載し、近赤外から熱赤外の4バンドでCO₂など温室効果ガスのカラム濃度を全球で観測する日本のGOSAT衛星（いぶき）が打ち上げられた。



図1.4 総合研究棟8階の天井板の落下と臨海部コンビナートからの黒煙

2008年には「宇宙基本法」が制定され、宇宙開発利用についての基本理念を定めて国の責務等を明らかにした。宇宙基本計画の作成、宇宙開発戦略本部の設置が定められ、宇宙の平和利用、宇宙開発利用の国民生活の向上や産業振興への活用、国際協力を含めた人類社会の発展に向けた責務、環境への配慮などが条文として述べられている。

2011年3月11日には、東日本大震災が発生した。震源は宮城県牡鹿半島の東南東130 km付近で、深さは約24 km、マグニチュードは9.0であった。最大震度7が宮城県北部で観測され、震度6を宮城県、福島県、茨城県、栃木県などで観測、そのほか北海道から九州まで震度6弱から震度1の揺れが観測された。東北地方の太平洋沿岸各地での津波の高さは、福島県相馬では9.3 m以上、岩手県宮古で8.5 m以上などで、陸地面上での津波の遡上高は国内観測史上最大となる40.5 mであったと報じられている⁵。千葉県においても、旭市など太平洋岸で津波の直接的な被害を受けたほか、市原市では石油コンビナートの爆発事故が起こり、また、浦安市など東京湾岸の埋め立て地では地盤の液状化被害が生じた。西千葉キャンパス構内では、工学系総合研究棟の最上階8階部分で天井板が落下し、本棚が倒れ、レールの破損によってエレベータが数か月にわたって使用不能になる被害が発生した。図1.4に地震発生直後に撮影した総合研究棟8階の天井板落下の様子（左）と同屋上からポートタワー方向を見た爆発事故から黒煙が上がる様子を示す。

この地震と津波の影響で、東京電力福島第一原子力発電所では全電源の喪失が生じた。3月12日から15日にかけて1号機から4号機まで水素爆発と考えられる爆発が起こり、放射性物質が発電所外部の広範な領域へと放出される事態になった⁶。千葉県内では、茨城県に近い北部を中心に、福島第一発電所からの放射性物質の沈着量の大きな場所が飛び地状に生じた。東京電力管内では電力供給能力がひっ迫し、3月中は予め時間を決めて地域を限って停電する「計画停電」が実施され、また、電力需要が大きくなる夏季に向けて大口需要家を中心に社会運動として節電が行われた。これらの影響により、CEReSでもデータサーバの頻繁な停止と再起動が必要になるなど、千葉大学の教育研究も大きな制約を受けることになった。

千葉大学では、園芸学部を中心に従来から福島県の川俣町と地域起こしの連携があり、原発事

5 https://www.bousai.go.jp/kohou/kouhoubousai/h23/63/special_01.html

6 https://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/outline/2_11-j.html

故を受けてCEReSの近藤昭彦教授や園芸学研究所の小林達明教授を中心とするグループが震災発生から間もない時期にガンマ線カウンターを搭載した車により空間線量率の走行サーベイを行った。

2011年8月の測定では、川俣町の浪江町との境界に近い水境での空間線量率は $6\mu\text{Sv/h}$ に達し、飯館村との境界の山地部でも $2\mu\text{Sv/h}$ を超えていることが見いだされた⁷。図1.5は、この調査で得られた川俣町および周辺地域の空間線量率分布である。こうした調査はその後にも継続的に実施され、原発事故の深刻な影響を受けた地域への住民の帰還や、農業など産業の復興に向けて必要なデータを提供した。

2012年にはマイクロ波放射計を搭載した日本のGCOM-W衛星（しずく）が³、2013年には米国のLandsat-8号が打ち上げられた。2014年5月には合成開口レーダPALSAR-2を搭載したALOS-2（だいち2号）、10月にはMTSATの後継機であるひまわり8号が打ち上げられた。欧州では、地球環境の観測から欧州市民に様々な利益をもたらすことを目的としたEUのコペルニクスプログラムが開始され、2014年にCバンドSARを搭載したSentinel-1Aが³、2015年に光学センサを搭載したSentinel-2Aが相次いで打ち上げられた。2014年には米国の温室ガス観測衛星OCO-2と、パンクロマチックで 0.31 m という高い分解能をもった商用衛星WorldView-3も打ち上げられた。

将来の日本の地球観測衛星のあり方についてボトムアップでの検討を行うため、2012年、今後の宇宙開発体制のあり方に関するタスクフォース会合・リモセン分科会（TF）が日本リモートセンシング学会、日本写真測量学会、JAXA地球観測研究センターなど25の学協会により立ち上げられた。CEReSの本多嘉明准教授は、TFのリモートセンシング分科会における「地球科学研究高度化ワーキンググループ」でグループ長を務め、コミュニティでの議論を先導している。2014年5月には、久世宏明教授・前センター長が日本リモートセンシング学会の第16代会長に就任し、2016年5月までの2年間にわたってTF活動のサポートを含む学会の運営に尽力した。

2015年2月には、CEReS（建石隆太郎センター長）と大学共同利用機関法人 人間文化研究機構 総合地球環境学研究所（地球研、安成哲三所長）の間に学術交流に関する包括協定が締結され、両機関の間で学術交流を促進すること、相互の研究の発展に資するため共同企画事業の推進を図ること、などが定められた。



図1.5 2011年8月の走行サーベイで得られた福島県川俣町および周辺地域の空間線量率分布

7 https://www.h.chiba-u.jp/lab/helloeps/homepage/fukushima/pdf/kondou_kawamata.pdf

1.4 第3期中期目標・中期計画期間の開始から30周年まで（2016～2024）

1.4.1 Future Earthと農業リモートセンシングのSATREPSプロジェクト

2016（平成28）年4月から第3期中期目標・中期計画期間が開始された。2015年までの建石隆太郎センター長の後任として、徳久剛史学長をはじめとする大学執行部は東京大学名誉教授・元日本リモートセンシング学会会長でリモートセンシング分野全般に造詣の深い安岡善文氏をセンター長・特任教授として招聘し、安岡センター長を中心として第3期におけるCEReSの活動が開始された。2016年度には、JICA/JSTのSATREPS（地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム）に、本郷千春准教授の「食料安全保障を目指した気候変動適応策としての農業保険における損害評価手法の構築と社会実装」が採択された。千葉大学とインドネシアのボゴール農科大学（先方の代表者はB. Barus教授）を中心として5年半の期間にわたり、衛星やドローンからのリモートセンシングデータを活用して農業保険の損害（水害・干ばつ・病虫害）評価を効率的に行う手法の開発が行われた⁸。これは、アジアのリモートセンシング研究のハブを標榜し実施しているCEReSの国際的な共同研究から生じた大きな成果の一つと言える。

もう一つの新しい活動として、学術会議を中心とする国際的プログラムであるFuture Earthへの参画がある。2017年3月には千葉大学Future Earthキックオフワークショップを、2018年2月には千葉大学Future Earthシンポジウムを開催した。図1.6にこれら2つのシンポジウムのパンフレットを示す。2018年2月15日に開催したシンポジウムの開催趣旨とプログラムを下記に示しておく。



図1.6 千葉大学Future Earthキックオフワークショップとシンポジウムのパンフレット

8 https://www.jst.go.jp/global/kadai/h2804_indonesia.html

■千葉大学Future Earthシンポジウム

開催主旨：Future Earthは学界のみならず社会におけるステークホルダーと協働することにより地球的規模での課題解決を目指す「超学際アプローチ」です。本学はフューチャーアース日本コンソーシアムメンバーとして活動を行っています。昨年3月に「千葉大学Future Earth Kickoff Workshop」を開催し、本学のフューチャーアースの取り組みを紹介・議論しました。その議論に基づき、千葉大学ではフューチャーアースタスクフォースを中心に、「食」「健康」「環境」をキーワードにした取り組みを進めてきました。本シンポジウムでは、これまでの千葉大学のフューチャーアースに関する取り組みや成果を紹介し、今後の方向性についての議論を行うことを目的とします。

ゲスト：

佐藤 哲（基調講演・パネリスト）

愛媛大学社会共創学部 教授 総合地球環境学研究所 名誉教授

University of Saskatchewan (Canada) 客員教授

山本百合子（基調講演・パネリスト）公益財団法人イオン環境財団 事務局長

イオン株式会社 秘書部 シニアマネジャー

日本学術会議 フューチャー・アースの推進と連携に関する委員会 特任連携会員

池田 要（パネリスト）一般財団法人リモート・センシング技術センター 理事長

元 ITER 国際核融合エネルギー機構長 元科学技術庁科学審議官 元クロアチア大使

1.4.2 拠点の第3期期末評価（2021）

2018年には共同利用・共同研究拠点の中間評価が、また、2021年に期末評価が文科省により実施された。期末評価では、CEReSでは学長をはじめとする大学執行部の協力も得ながら服部克巳センター長を中心として対応に当たった。その結果、2021（令和3）年10月末に公開された「共同利用・共同研究拠点及び国際共同利用・共同研究拠点の第3期中期目標期間における期末評価結果（国立大学）」では、CEReSは下記のように「A-」の評価を得ることができ、関連コミュニティの拡大や異分野融合研究を通じたイノベーションの創出など課題はあるが、2022年度からの第4期においても環境リモートセンシング分野での共同利用・共同研究拠点を継続できることになった。

【共同利用・共同研究拠点名】 環境リモートセンシング研究拠点

【研究施設名】 千葉大学 環境リモートセンシング研究センター

【評価区分】（期末評価結果）A-

【評価コメント】

環境リモートセンシングにおける中核的拠点として、国内外の関連研究者に対するデータを提供し、リモートセンシング技術の開発からデータ処理、データを用いた基礎

研究、社会実装まで幅広い課題に取り組み、また多くの留学生を受け入れるなど共同利用・共同研究を生かした人材育成を進めていることは評価できる。

一方で、中間評価結果の留意事項への対応も一定程度進められているが、研究実績や外部資金の獲得状況は研究施設の規模に比して必ずしも十分ではなく、共同利用・共同研究課題の応募・採択件数も限定的である。

今後は、当該研究分野の広がりの可能性を見据えた関連コミュニティの拡大に努めるとともに、衛星技術の中核とした異分野融合研究の更なる促進を通じた、イノベーションの創出にも貢献する具体的な方策を検討することが望まれる。

1.4.3 第4期中期目標・中期計画期間（2022～2027）の開始と5研究部門制

2017～2019年の新メンバーの加入にともない、2021年10月から従来の3プロジェクト制（先端のリモートセンシング、情報統合、利用高度化）を発展的に改組し、先端センシング部門、環境診断部門、環境予測部門、統合解析部門、および社会実装部門の5研究部門体制に移行した。これにより、従来の情報統合関連研究領域をより強化するとともに、衛星リモートセンシングデータ（地球観測ビッグデータ）と情報科学的アプローチのシナジーによる「地球環境診断および地球環境予測学の創生」を推進し、これに関連する千葉大学国際高等研究基幹の学際的先端研究支援プログラムのトップリーダー型の関連プロジェクトにも貢献する方向性を明確にした（2.3節参照）。

1.4.4 最近の衛星地球観測の進展

2017年12月にはJAXAの気候変動観測衛星 GCOM-C（しきさい）が打ち上げられた。搭載されたSGLIセンサは、可視から近赤外までの13バンド（2つの偏光観測バンドを含む）と短波長赤外から熱赤外の6バンドをもち、地上分解能は0.25～1 km、観測幅は1,150～1,400 kmである。2018年10月に初代GOSATの後継機であるGOSAT-2が、また2021年にはNASAによりLandsat-9が打ち上げられた。2023年3月、新規に開発されたH3ロケット初号機で先進光学衛星 ALOS-3（だいち3号）の打ち上げが試みられたが、ロケットの2段目への点火ができず衛星は失われた。2024年7月には、H3ロケット3号機により先進レーダ衛星 ALOS-4（だいち4号）の打ち上げに成功した。ALOS-4はLバンド合成開口レーダを搭載し、デジタルビームフォーミングの採用によりASLO-2の高い空間分解能（3 m）での観測を4倍の幅（200 km）に拡大して観測頻度を向上させている。欧州宇宙機関（ESA）と日本が共同で開発を進めてきた雲エアロゾル放射ミッション Earth CARE衛星は、2024年5月に打ち上げられた。ESAが開発した大気ライダーATLIDと、日本が開発した雲プロファイリングレーダ CPRを搭載し、エアロゾルや雲の水平・鉛直分布に関する詳細なデータ取得を行うこととしている。

第2章

組織と教員・研究者

2.1 CEReS 創立から創成期の研究組織（1995～2004）

創立年度である1995年度末（1996年3月）におけるCEReSの組織と人員配置は下記のようにであった。

◆センター長 新藤静夫

◆センサ・大気放射研究部門

教授 竹内延夫、高村民雄*、助教授 久世宏明*

◆地球環境情報解析研究部門

教授 三輪卓司、助教授 建石隆太郎、本多嘉明*

◆データベース研究部門

教授 新藤静夫、助教授 近藤昭彦*、唐 常源*、講師 梶原康司

◆データベース開発運用部

教授（兼務）安田嘉純、講師 岡山 浩、助手 旭 洋一、石山 隆、本郷千春*、黄 少博*、技官 池田 卓

◆データベース基礎研究分野

客員教授 杉森康宏（東海大学）、客員助教授 竹内章司（リモート・センシング技術センターRESTEC）



新藤静夫教授
(初代センター長)

専任教員のうち、*印はCEReS創立にともなって外部から転任または新規採用された教員である。前所属・職は、高村民雄教授（大気放射学、大気環境解析）が防衛大学校助教授、久世宏明助教授（レーザー分光學、大気環境の光学計測）が静岡大学助教授、近藤昭彦助教授（自然地理学、水文学）が筑波大学地球科学系講師、本多嘉明助教授（リモートセンシング工学、植生環境解析）が横浜国立大学講師、唐 常源助教授（水文学、水環境モデリング）が中山大学（中国）・筑波大学、本郷千春助手（植物栄養学）が農業環境技術研究所非常勤職員、黄 少博助手（情報工学、環境リモートセンシング）が東京大学大学院博士課程（1997年論文博士）であった。

1997（平成9）年度は、新藤教授に代わって浅井富雄教授（気象学、海洋学；東京大学名誉教授）がセンター長を務め、また1998～1999（平成10～11）年度は工学部所属・CEReS兼務の安田嘉純教授（パターン認識、画像処理）がセンター長の任に当たった。1998年には浅井教授が定年退職した（その後、2024年11月30日に享年92歳で逝去された）。同年、杉森康宏教授（海洋リモートセンシング）が東海大学から転任、そして橋本俊昭講師（写真測量学、リモートセンシング）が宇宙開発事業団の地球観測データ解析研究センターから採用され、CEReSに加わった。1999年には新藤教授が定年退職し（名誉



浅井富雄教授
(第2代センター長)

教授)、西尾文彦教授(雪氷リモートセンシング)が北海道教育大学から転任してCEReSのメンバーとなった。唐 常源助教授は1998年度まで専任教員として、1999年度は自然科学研究科との兼務教員として在籍し、その後、園芸学部に移任した。

2000～2003(平成12～15)年度は高村民雄教授(大気放射学、大気環境解析)がセンター長を務めた。2004年3月には、三輪卓司教授(画像工学、リモートセンシング工学)と杉森康宏教授が定年退職した。なお、杉森教授は国際学会 PORSEC (Pan Ocean Remote Sensing Conference) の会長を1996～2004年に務め、海洋リモートセンシング分野の国際的な発展に貢献した。千葉大学退職後はインドネシア・バリ島のウダヤナ大学に移任し、Center for Remote Sensing and Ocean Sciences (CReSOS) の創設に尽力して初代のセンター長を務めた(その後、杉森教授は2008年9月5日に享年70歳で、三輪卓司教授は2016年2月16日に享年77歳で逝去された)。安田嘉純教授は2001年3月に定年退職した(その後、2017年5月26日に享年82歳で逝去された)。CEReS創立時の助手のうち、旭 洋一氏は1996年度で退職した。黄 少博氏は2000年度末に転出し、その後任として品川徳秀氏(2001年筑波大学で博士(工学)の学位取得、情報工学)が2001年度から2003年度まで助手を務めた。なお、2001～2002年の間、西尾教授は第43次南極観測において隊長を務め、日本の極地研究に貢献した。表2.1に1995～2004年度のCEReS教員の異動を、また、表2.2にこの間の客員教員の異動を示す。この間の事務支援体制の年次推移については巻末の附表にまとめた。



安田嘉純教授
(第3代センター長)



高村民雄教授
(第4代センター長)

表2.1 1995～2004年度のCEReS教員

年度	H7 1995	H8 1996	H9 1997	H10 1998	H11 1999	H12 2000	H13 2001	H14 2002	H15 2003	H16 2004
センター長	新藤	新藤	浅井	安田	安田	高村	高村	高村	高村	竹内
専任教員数	15	15	15	15	15	15	15	14	14	12
それ以外の教員	4	4	4	5	5	4	4	4	3	3
研究者総数	19	19	19	20	20	19	19	18	17	15
新規採用・昇任	*1	浅井		*2	西尾		品川			
年度末退職等		旭	浅井	新藤	唐	*3			*4	

*1 高村、久世、本多、近藤、唐、本郷、黄(転任・採用)

*2 杉森、橋本(採用)

*3 安田(定年退職)、橋本、黄(転出)

*4 三輪、杉森(定年退職)、品川(転出)

表2.2 1995～2004年度の客員教員

客員教授	杉森康宏 1995～1997、千賀康弘 1998～1999、2001 浅沼市男 2002、田中 佐 2000、2003
客員准教授	竹内章司 1995～1996、浅沼市男 1997～2001、須崎純一 2002～2003、 鈴木力英 2004、中島 孝 2004

この間の研究は、3 研究部門＋1 開発運用部、6 研究グループの体制で行われた。下記に各部門・グループの所属をまとめておく。

◆センサ・大気放射研究部門

(大気環境研究グループ 竹内・高村・久世)

◆地球環境情報解析研究部門

(植生環境研究グループ 建石・石山・本多・梶原・本郷・黄／杉森・浅井・千賀*・浅沼**)

*客員教授、**客員准教授

(リモートセンシング基礎研究グループ 三輪・岡山)

◆データベース研究部門

(RS/GIS応用研究グループ 新藤・近藤・唐・樋口篤志*・中山大地*) *COE 研究員

(データベース構築研究グループ 建石・橋本・本多・黄)

◆データベース開発運用部

(データベース開発運用グループ 安田・高村・本多・浅沼・梶原・黄・本郷・池田)

◆センターの共通目標「リモートセンシングによるアジアの環境変動地域のモニタリング」での部門横断的コアプロジェクト

戦略基礎研究プロジェクト「衛星観測による植物生産量推定手法の開発」

(本多・梶原・橋本・高村・黄・本郷)

2.2 国立大学法人化から創立20周年までの研究組織 (2004～2016)

2004年度末(2005年3月)における CEReS の組織と人員配置は下記のものであった。

◆センター長 竹内延夫

◆リモートセンシング基盤研究領域

教授 竹内延夫、高村民雄、西尾文彦、講師 岡山 浩、
客員助教授 中島 孝(東海大学)

◆リモートセンシング複合研究領域

教授 建石隆太郎*、近藤昭彦*、久世宏明*、助教授 本多嘉明、
樋口篤志**、客員助教授 鈴木力英(海洋研究開発機構)

◆衛星データ処理室

室長・講師 梶原康司、助手 石山 隆、本郷千春、技官 池田 卓

(* 2004年度に助教授から教授に昇任) (** 2005年2月着任)



竹内延夫教授
(第5代センター長)

法人化開始時におけるプロジェクト（PJ）は下記のPJ1～PJ4であり、少し遅れて2005年4月からPJ5が、また2008年10月からPJ6が加わった。

-
- (PJ1)「衛星データによる地球表層環境変動の実態把握とその要因解析」(建石、西尾、石山)
-
- (PJ2)「衛星データによるユーラシア大陸の植生3次元構造の変遷を中心とする表層・植生・土地被覆変動の研究とデータ解析・処理手法・検証データ観測手法の研究」(本多、梶原)
-
- (PJ3)「衛星データと地上観測ネットワークによる放射収支の評価と大気パラメータの長期変動」(竹内、高村、久世*、岡山、中島)(*PJ4兼任)
-
- (PJ4)「地域社会に役立つリモートセンシングの実現—多様な空間情報のシナジーによる社会基盤情報の発信—」(近藤*、樋口*、本郷*、鈴木)(*PJ1兼任)
-
- (PJ5)「円偏波合成開口レーダ搭載小型衛星の開発」(ヨサファット)
-
- (PJ6)「地球温暖化と気象・海洋情報の活用」(寄付研究部門)(2008.10～2011.3)
-

2004（平成16）年度から2015（平成27）年度までの間、CEReS専任教員の構成に次のような異動があった。2005年2月に樋口篤志氏（衛星気候学）が名古屋大学地球水循環研究センター助手から准教授としてCEReSのメンバーとなった。2004～2005年度は、竹内延夫教授がセンター長を務めた。2005年4月にヨサファット（Josaphat Tetuko Sri Sumantyo）准教授（マイクロ波リモートセンシング、マイクロ波センサ開発）が加わった。前職は千葉大学電子光情報基盤技術研究センター講師（中核的研究機関研究員）であった。2006年3月には竹内延夫教授が定年退職した（名誉教授）。

2006～2009年度は、西尾文彦教授がセンター長を務めた。2007年には池田 卓技官（写真工学）、2008年には岡山 浩講師（応用光学）、石山 隆助手（環境リモートセンシング）が定年退職した。2009年10月には、齋藤尚子助教（大気化学、衛星リモートセンシング）が東京大学気候システム研究センター特任助教から転任してCEReSに加わった。なお、2007（平成19）年4月からの学校教育法の一部改正により、「助教授」と「助手」の職位名は廃止され、それぞれ「准教授」と「助教」となった。

2010～2013年度は久世宏明教授がセンター長を務めた。2012年3月に西尾文彦教授が定年退職した（その後、2018年11月22日に享年73歳で逝去された）。2012年4月、入江仁土氏（大気環境変動、リモートセンシング）がテニュアトラック特任准教授として採用され、CEReSに加わった（前職は海洋研究開発機構 地球環境変動領域 物質循環研究プログラム 大気組成研究チーム研究員）。2012年4月に本郷千春助教が准教授に昇任し、2013年4月にヨサファット准教授が教授に昇任した。2014年3月には高村民雄教授が定年退職した（名



西尾文彦教授
(第6代センター長)



久世宏明教授
(第7・10代センター長)

誉教授)。なお、2014年度からは理学研究院、工学研究院、園芸学
研究科でリモートセンシングと密接に関わる研究を行っている教員を
CEReSの兼務教員として正式に委嘱し、学外からの共同利用の受け
入れを兼務教員も担う形での運用が開始された（兼務教員のメンバー
は次節参照）。

2014～2015年度は建石隆太郎教授（陸域リモートセンシング、環
境情報処理）がセンター長を務めた。2015年4月には、入江仁土特
任准教授がテニュアトラック期間を終え、全学審査を経て准教授と
なった。同年に楊 偉氏（衛星生態学）がテニュアトラック特任助教
として採用された（前職は海洋研究開発機構 博士研究員）。

表2.3に2004～2016年度のCEReS教員の異動を示す。また、表2.4
にこの期間の客員教員を、表2.5にこの期間の特任助教・特任研究員
を示す（事務支援体制の年次推移は巻末の附表を参照）。



建石隆太郎教授
(第8代センター長)

表2.3 2004～2016年度のCEReS教員
(2004～2009年度は第1期、2010～2015年度は第2期の中期目標・中期計画期間)

年度	H16 2004	H17 2005	H18 2006	H19 2007	H20 2008	H21 2009	H22 2010	H23 2011	H24 2012	H25 2013
センター長	竹内	竹内	西尾	西尾	西尾	西尾	久世	久世	久世	久世
専任教員数	12	13	12	12	10	11	11	11	10	10
それ以外の教員	3	3	3	2	5	9	13	9	10	13
研究者総数	15	16	15	14	15	20	24	20	20	23
新規採用・昇任	*1	*2				齋藤			*4	*5
退職・転出		竹内	池田	*3				西尾		高村

年度	H26 2014	H27 2015	H28 2016
センター長	建石	建石	安岡
専任教員数	9	10	9
それ以外の教員	19	19	20
研究者総数	28	29	29
新規採用・昇任		*6	
退職・転出		建石	

*1 建石（6月）・近藤（6月）・久世（11月）教授昇任、樋口（准教授に採用）

*2 ヨサファット（准教授に採用）

*3 岡山・石山（定年退職）

*4 本郷（准教授昇任）・入江（テニュアトラック特任准教授に採用）

*5 ヨサファット（教授昇任）

*6 入江（テニュアトラック特任准教授から准教授に昇任）、楊（テニュアトラック助教に採用）

表2.3からも読み取れるように、2007年頃までは専任教員以外の教員（客員や特任助教など）
の人数は全国共同利用施設に割り当てられる客員枠の2名程度に限られていた。その後、法人化
後の競争的経費の全国的な増加にともない、外部資金によるプロジェクトに従事する形で若手教

員が多く在籍するようになった。その中には、CEReSで博士号を取得（第4章参照）して特任助教・特任研究員になるケースや、外国で博士号を取得してポスドクとして着任するケースなどが顕著に増加した。

表2.4 2004～2016年度の客員教員

客員教授	鈴木力英 2005、渡辺 宏 2006～2007、若林裕之 2007～2008 大内和夫 2008～2009、石橋博良 2008～2009（寄付研究部門） 宮部二郎 2010（寄付研究部門）、鈴木 睦 2011～2012 小林文明 2012、浦井 稔 2012～2014、馬淵和雄 2013～2018
客員准教授	鈴木力英 2004、中島 孝 2004～2006、 常松展充 2008～2010（寄付研究部門）、増永浩彦 2009～2010 田殿武雄 2010、小林文明 2011、鏡味麻衣子 2011～2013、朴 鐘杰 2013 西廣 淳 2014～2015、田中賢治 2014～2017、竹中栄晶 2016～2019

表2.5 2008～2015年度の特任助教・特任研究員等

2008	長 康平（寄付研究部門）
2009	早崎将光、山本宗尚、竹中栄晶、Alimujiang Kasimu、長 康平（寄付研究部門）
2010	小花和宏之、早崎将光、山本宗尚、竹中栄晶、Khatri Pradeep、小野朗子、 Luhur Bayuaji、Nguyen Thanh Hoan、長 康平（寄付研究部門）
2011	小花和宏之、竹中栄晶、谷川 聡、Khatri Pradeep、Luhur Bayuaji、Nguyen Thanh Hoan
2012	Khatri Pradeep、眞子直弘、小花和宏之、Nguyen Thanh Hoan、Yohandri
2013	広瀬民志、眞子直弘、小花和宏之、Khatri Pradeep、谷川 聡、格根塔娜、 Alsaaidh Bayan、Alimuddin Ilham
2014	広瀬民志、眞子直弘、小花和宏之、Khatri Pradeep、谷川 聡、井村信義、小林利行、 Alsaaidh Bayan、格根塔娜、岡本 浩、Xiaokaiti Aji
2015	小林利行、布和宝音、広瀬民志、眞子直弘、山田明憲、Khatri Pradeep、井村信義、 小野祐作、谷川 聡、岡本 浩、豊嶋紘一

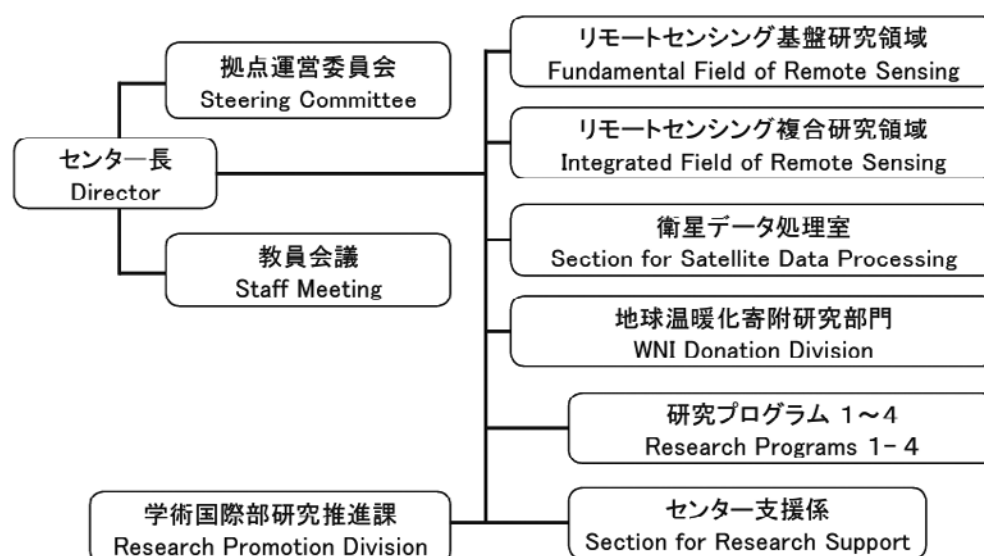


図2.1 研究領域と研究プログラムによるCEReSの組織図

2010年4月、第2期中期目標・中期計画期間の開始とともに共同利用・共同研究拠点制度が始まり、CEReSではそれまでの6研究プロジェクト制を廃し、新たに図2.1に示すような2つの研究領域と4つの研究プログラム（PG）を設定した。表2.6に第2期の中期目標・中期計画期間におけるCEReSのプログラム研究の詳細を示す。

表2.6 第2期の中期目標・中期計画期間（2010～2015年度）におけるプログラム研究

【PG1】 先端的環境情報創出（先端的リモートセンシング）PG

リモートセンシング技術による地球環境研究の進展とともに、既存の観測方法の限界がしばしば問題となっている。本プログラムでは、これまで十分な観測が困難であったターゲットについて、新たなリモートセンシングセンサとアルゴリズムを開発することによって新局面を積極的に切り拓いていく。とくに、可視光からマイクロ波に至る広い波長域でのリモートセンシング情報の統合と活用、次世代小型衛星センサによる大気情報と植生情報を含むグローバルな環境情報の取得などの活用を通じて、先端的リモートセンシングの創生と新たな環境情報の創出をめざす。

（第1期のPJ2、3、5に対応。担当はヨサファット、久世、齋藤、本多、梶原）

【PG2】 総合環境情報（情報統合）PG

情報統合プログラムはデータの作成、統合、公開を基軸として、主に大気圏・陸域の環境研究を推進する。取り扱うデータは衛星観測データ、地上観測データ、研究成果としての環境データである。本プログラムに含まれる主要な研究テーマは、衛星データの補正・前処理、膨大な衛星データの効率の良い処理手法の確立、衛星データと地上のデータ統合による環境モニタリング手法の開発、および衛星データからの大気・陸域環境情報の抽出である。なお、本プログラムはCEReSとしての各種データ公開（VL；計算機データベース委員会業務）、共有システムの運用（CEReS Gaia）に密接に関係する。

（第1期のPJ1、3、および4大学連携VLプロジェクトに対応。担当は建石、高村、西尾、樋口。VLは久世、西尾、高村、樋口、齋藤。）

【PG3】 衛星利用高度化PG

宇宙基本法の成立（2008年）により、「宇宙開発と利用」に関する我が国の施策は「研究開発」から技術の幅広い「利用」へと変化した。今後の環境リモートセンシングは具体的な問題の発見・理解・解決、施策への反映を目指した多くの関連分野の協働体制の中におけるリモートセンシング技術の利用方法の確立を推進する必要がある。そこで、本プログラムでは日本および世界における解くべき重要な課題を設定し、リモートセンシングの成果を地上における情報と融合させ、異分野協働による衛星利用方法の高度化を達成することを目的とする。

（第1期のPJ4、1に対応。担当は近藤、本郷）

【PG4】 地球温暖化と気象・海洋情報の活用PG（寄付研究部門）

地球温暖化の影響が顕在化する中で、温暖化の現象の解明・対策・適応を目標とした研究領域において、衛星リモートセンシングと気象・海洋情報を活用した研究活動を行う。IPCC報告で人間活動を起源とした温室効果ガスの排出が温暖化に影響を及ぼしている可能性が指摘されて久しい。しかし、地球温暖化の影響を監視し、現象を解明する場合の問題点は数多く存在する。同時に、温暖化の影響を把握して対策・適応を研究することも重要な課題であり、研究目標として急がれる。本プログラムでは、とくに温暖化の対策・適応を、主として交通と気象との関連を中心に研究するとともに、リモートセンシングによる環境研究と社会のつながりの強化を図る。

（担当は石橋、宮部、常松、長、ヨサファット、西尾）（2011年3月で終了）

2008年5月には、建石隆太郎教授（陸域リモートセンシング）が日本リモートセンシング学会の第13代会長に就任し、2010年5月まで務めた。その後、2011年1月には、建石教授が編集委員長を務めた教科書「基礎からわかるリモートセンシング」（リモートセンシング学会編、理

工図書) (図2.2左) が出版され、のちに出版されたその英訳版 (図2.2右) と合わせて長期にわたってこの分野の標準的な教科書として使われるようになった。



図2.2 「基礎からわかるリモートセンシング」(理工図書) とその英訳版である Remote Sensing — an Introductory Textbook (Maruzen Planet)

2.3 第3期中期目標・中期計画期間の開始から30周年まで (2016～2024)

2016年3月に建石センター長・教授が定年退職した(名誉教授)。後任に安岡善文特任教授(東京大学名誉教授)がセンター長として着任し、2017年度までセンター長を務めた。2017年4月、市井和仁氏(地球環境変動のモニタリングとモデリング)が教授として着任した(前職は海洋開発研究機構 主任研究員)。2018年3月、齋藤尚子助教が准教授に昇任した。2017年12月に千葉大学(徳久剛史学長)と宇宙航空研究開発機構(JAXA、奥村直樹理事長)の間でクロスアポイント協定が結ばれ、本多嘉明准教授が2019年11月までの間、CEReSとJAXA地球観測研究センターの主幹研究開発員を兼務し、地球環境情報発信クラウドシステムの構築・社会実装やGCOM-C衛星等の研究開発活動に貢献した。



安岡善文特任教授
(第9代センター長)

2018年4月から2020年3月まで、久世宏明教授が3期目となるセンター長を務めた。2019年11月に小槻峻司氏(大気水圏科学・データ同化)が准教授として採用され、CEReSのメンバーに加わった(前職は理化学研究所 計算科学研究機構研究員・文部科学省卓越研究員・京都大学連携准教授)。なお、2019年4月から2021年3月の間、近藤昭彦教授が日本水文科学会の会長を務めた。コロナ禍で困難の多い中、水文・水資源学会との合同大会の実現に尽力するなど、学会運営に貢献した。

2020年3月に久世教授・センター長が定年退職し（名誉教授）、同年4月から理学研究院の服部克巳教授（電磁波計測、自然災害科学、研究・地域連携担当副学長）が兼務でセンター長を務めることになった。2020年1月以降、新型コロナウイルス感染症が広がって世界的に多くの社会活動が停滞することになり、2023年5月に法律に基づく外出自粛が求められなくなるまで、CEReSを含め、千葉大学における教育研究活動も大きな制約を受けた。この間、対面での感染を避けるため、学部や大学院の授業、大学の会議、学会などのほとんどの研究教育活動がZoomやTeamsを使ったオンラインの形で行われるようになった。



服部克巳教授
(第11代センター長)

2020年4月、楊テニュアトラック特任助教が全学の審査を経て助教に昇任した。2022年7月、小槻准教授が千葉大学に新設された国際高等研究基幹の教授に昇任し、CEReSを兼務することとなった。国際高等研究基幹は、「学問の多様性の尊重、学際領域の開拓及び新たな価値を創造するイノベーション創出を推進し、我が国の社会・経済・文化の発展に資することを目的」として、2022年4月に千葉大学に新設された組織である。2022年11月、入江准教授が教授に昇任した。

2023年3月に、近藤教授が定年退職した（名誉教授）。2023年10月には、岡崎淳史氏（数値天気予報・水同位体モデリング・データ同化）が国際高等研究基幹・環境リモートセンシング研究センターのテニュアトラック准教授として採用された（前職は弘前大学理工学研究科 助教）。2023年4月には、山本雄平氏（衛星リモートセンシング・都市気候・陸域生態系）が国際高等研究基幹のテニュアトラック助教・CEReS兼務として採用された（前職はCEReS特任助教）。2024年10月には、樋口篤志准教授が教授に昇任した。

表2.7に2016～2024年度のCEReS教員の異動を示す。また、表2.8に2014年度から正式に制度化した他部局からの兼務教員を、表2.9にこの期間の客員教員を、表2.10に特任助教・特任研究員を示す。

表2.7 2016～2024年度のCEReS教員
(2016～2021年度は第3期、2022～2027年度は第4期中期目標・中期計画期間)

年度	H28 2016	H29 2017	H30 2018	R 1 2019	R 2 2020	R 3 2021	R 4 2022	R 5 2023	R 6 2024
センター長	安岡	安岡	久世	久世	服部	服部	服部	服部	服部
専任教員数	9	10	10	11	11	11	11	11	12
それ以外の教員	20	22	20	23	18	18	23	25	28
研究者総数	29	32	30	34	29	29	35	37	40
新規採用・昇任		*9		小槻	*10		*11	*12	*13
退職・転出		安岡		久世			近藤		

*9 市井（教授に採用）、齋藤（准教授に昇任）

*10 楊（テニュアトラック助教から助教に昇任）

*11 小槻（国際高等研究基幹教授に昇任、CEReS兼務）、入江（教授に昇任）

*12 山本（テニュアトラック助教に採用）、岡崎（テニュアトラック准教授に採用）

*13 樋口（教授に昇任）

表2.8 2014年度から開始した他部局からの兼務教員

鷹野敏明	(工学研究院・教授、電波科学) 2014～2019
山崎文雄	(工学研究院・教授、都市システム安全工学) 2014～2019
服部克巳	(理学研究院・教授、地球物理学・自然災害科学) 2015～継続中
椎名達雄	(工学研究院・准教授、散乱光学計測・光電計測) 2017～継続中
加藤 顕	(園芸学研究院・助教／2020年4月より准教授、森林リモートセンシング) 2014～継続中
劉 ウェン	(工学研究院・助教／2023年10月より准教授、都市システム安全工学) 2020～継続中
小槻峻司	(国際高等研究基幹・教授、データ同化・気候変動) 2022～継続中
岡崎淳史	(国際高等研究基幹・テニュアトラック准教授、気候予測・データ同化) 2023～継続中
山本雄平	(国際高等研究基幹・テニュアトラック助教、都市気候・陸域生態系) 2023～継続中

表2.9 2016～2024年度の客員教員

客員教授	馬渕和雄 2013～2018、Prabir Kumar Patra 2019～2023 小林秀樹 2020～2021
客員准教授	田中賢治 2014～2017、竹中栄晶 2016～2019 牧 雅康 2017～2019、山之口 勤 2018～2021、小林秀樹 2018～2019 木村篤史 2020～2024、濱田 篤 2022～2024、Khatri Pradeep 2024～
客員研究員	Ram C. Sharma 2016、金丸佳矢 2022～2024

表2.10 2016～2024年度の特任助教・特任研究員等

2016	孫 玫、高橋綾香、井村信義、Alessandro Damiani、眞子直弘、山田明憲、Chua Ming Yam、岡本 浩、豊嶋紘一、橋本俊昭
2017	高橋綾香、Alessandro Damiani、井村信義、近藤雅征、Chua Ming Yam、Nofel Lagrosas、山田明憲、岡本 浩、豊嶋紘一、橋本俊昭、広瀬民志
2018	井村信義、近藤雅征、広瀬民志、Alessandro Damiani、Nofel Lagrosas、高橋綾香、豊嶋紘一、橋本俊昭、Richa Bhattarai
2019	井村信義、近藤雅征、眞子直弘、祖父江侑紀、Alessandro Damiani、山本雄平、Nofel Lagrosas、高橋綾香、豊嶋紘一、橋本俊昭、Cahya Edi Santosa、Dmitry Belikov
2020	竹中栄晶、Alessandro Damiani、眞子直弘、祖父江侑紀、山本雄平、高橋綾香、Cahya Edi Santosa、豊嶋紘一、橋本俊昭、Dmitry Belikov
2021	竹中栄晶、眞子直弘、祖父江侑紀、Alessandro Damiani、山本雄平、Dmitry Belikov、Mao Ouyang、Hu Jun、塩尻大也、平山英毅
2022	Wang Ruci、Mao Ouyang、Zou Shan、竹中栄晶、平山英毅、眞子直弘、山本雄平、Pascal Oettli、大橋正尚、塩尻大也、Ram C. Sharma、Dmitry Belikov、Daniel Henri、武藤裕花
2023	Wang Ruci、Zou Shan、竹中栄晶、平山英毅、武藤裕花、塩尻大也、Pascal Oettli、大橋正尚、金子 凌、黒澤賢太、Shao Shuai、Ram C. Sharma、露木 義、Tiwari Gaurav、Dmitry Belikov、Daniel Henri、Mao Ouyang
2024	竹中栄晶、武藤裕花、Zou Shan、Wang Ruci、塩尻大也、Dmitry Belikov、Pascal Oettli、Daniel Henri、大橋正尚、Ram C. Sharma、Tiwari Gaurav、金子 凌、Shao Shuai、黒澤賢太、露木 義、竹島 滉、青野憲史、Tikemani Bag、岸川大航、Khan Muhammad Abid

安岡センター長着任以降の新メンバーの加入にともない、2021年10月から従来の3プロジェクト制（先端のリモートセンシング、情報統合、利用高度化）を発展的に改組し、先端センシング部門、環境診断部門、環境予測部門、統合解析部門、および社会実装部門の5研究部門体制に

移行した。2024（令和6）年度における5研究部門の内容、主担当教員は下記のようになっている。図2.3に5部門体制の組織図を示す。

表2.11 2024年度における5研究部門

①先端センシング部門	…センサ開発、観測システム開発、観測データからの情報抽出法の開発など、計測技術に関する先端的な研究を行う。（入江、ヨサファット、本多、梶原）
②環境診断部門	…衛星観測、地上観測データベースを活用し、地球環境の変動とその要因を解明する研究を行う。（市井、齋藤、楊、山本）
③環境予測部門	…様々なリモートセンシングデータに基づき数値シミュレーションやビッグデータ解析を活用した環境予測研究を行う。（服部、小槻、岡崎）
④統合解析部門	…リモートセンシングデータを中心とした地球環境情報を統合的に解析し、地球環境理解のさらなる深化に資する。（樋口、濱田 篤*、金丸佳矢**）
⑤社会実装部門	…様々なステークホルダーとの協働を通してリモートセンシング研究の成果を社会実装し課題解決を行う。（本郷、木村篤史*）

*客員准教授、**客員研究員



図2.3 第4期中期計画・中期目標期間における5部門制の組織図

2022～2027年度の第4期中期目標・中期計画期間では、上記の5部門に対応する「先端センシング」「環境診断」「環境予測」「統合解析」「社会実装」の5プログラムを軸として研究を進めている。さらに、環境変動、気候変動、自然災害、食料問題の4つの社会課題に関する7つの重点プロジェクト「豪雨災害予測・監視」、「地球観測衛星検証」、「温室効果ガス収支研究」、「先端マイクロ波リモートセンシング」、「静止気象衛星観測網を活用した地球環境モニタリング」、「地域農業」、「我が国の地球観測のあり方・次世代衛星ミッション検討」を部門横断のプロジェクトとして推進している。また、千葉大学は文科省が公募を行った令和5年度「地域中核・特色ある研究大学強化促進事業」に採択され、その中で、研究力の向上した10年後の大学ビジョン（強みや特色ある研究領域）としてCEReSが中核となる「地球観測ビッグデータ統合解析」が挙げられている。リモートセンシングデータ（地球観測ビッグデータ）×情報科学による地球環境診断および地球環境予測学の創生を牽引していくことが第4期の大きな目標となっている。

2.4 建物と主要研究設備

2.4.1 建物と研究スペース

創立以来の30年間には、CEReSが研究教育に使用できる建物状況も大きく変化した。現在CEReSが使用している建物は、図2.4に示すように、西千葉キャンパスの建物のうち、南門近くの4階建て研究棟の1～4階（各階の面積は404 m²）、研究棟と1階部分でつながっている3階建て共同棟の1階（346 m²）、平屋建ての実験棟1階（107 m²）、そしてこれらと道を隔てた8階建て工学系総合研究棟の8階（1,065 m²）の4か所である。研究棟屋上には南側に中国の気象衛星FY2の受信に用いられていたアンテナがあり、北側には大気観測室が設けられている（それらの間に公称出力10 kWの太陽電池パネルがある）。工学系総合研究棟屋上の南側にはSKYNETの放射観測装置群があり、屋上中央部の東側にマイクロ波衛星の受信アンテナ、屋上北側にPPI（Plan Position Indicator）回転機構などライダー受信装置を含む大気観測室が設けられている。実験棟の西側には地上部分にマイクロ波実験室があり、その地下部分に電波無響室が設置されている。



図2.4 CEReSの研究棟、共同棟、実験棟および工学系総合研究棟の配置（Google Earth）

4つの建物のうち、工学系総合研究棟がもっとも新しく、2002（平成14）年に新設された（その建築以前は、この場所にテニスコートがあった）。共同棟と実験棟は2003（平成15）年に耐震補強の改修工事がなされており、その工事の折に共同棟にはエレベータが設置された。共同棟の2～3階部分は、情報画像工学科（現：情報・データサイエンス学部）の教員室・研究室となっている。研究棟は1981（昭和56）年、天然色工学研究センターの時代に建設されており、もっとも古い形をとどめている。4階建てであるがエレベータは設置されておらず、重量のある研究設備の搬入・搬出や車いすが必要な研究者・学生の利用に課題を残している。図2.5に、CEReS事務書庫で保管されていた資料から発見された昭和56年の竣工直前の研究棟と、当時の西千葉駅前の写真を示す。



図2.5 昭和56年の竣工直前の研究棟と、当時の西千葉駅前の写真

記録に残っている2003（平成15）年度末における研究棟の部屋割りの様子を図2.6に示す。この時点では工学系総合研究棟の8階部分は使用できているが、共同棟・実験棟は改修工事中であった。そのため、一部を除き多くの教員・学生について研究棟の2～4階に研究スペースを割り当てるを得ない状況であった。なお、この建物の1階部分には会議室（66 m²）、事務室、センター長室、コピー室、配電室などがあり、研究室部分は2階から上に設けられていた。3～4階には計算機室が多くを占めているが、これはNOAA/AVHRRなどの衛星データを受信・解析・保存するために必要な装置群で、3階にはその任に当たるデータ管理室があった。この状況では各研究室ごとに学生室を割り当てることはほぼ不可能で、学生スペースは毎年4月時点で研究室への学生配属状況を確認し、CEReSの教員で構成する施設委員会・教育委員会が割り当てを決める方式がとられていた。

改修が終了した2004年4月以降は、研究棟・共同棟1階・実験棟・工学系総合研究棟8階がすべて使えるようになり、セミナー室や資料室、客員室を含めて安定的な運用ができるようになった。表2.12は、この間の利用可能なスペースの変化を示している。図2.7に工学系総合研究棟8階の平面図を示しておく。各室の名称は設計時のものである。

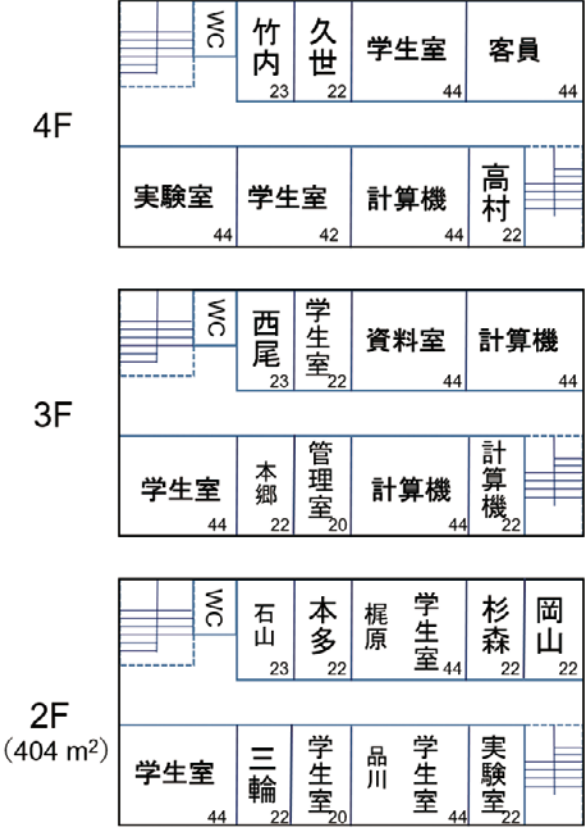


図2.6 2003（平成15）年度末における研究棟での教員室・学生室・計算機室の配置

表2.12 新棟（工学系総合研究棟）建設に伴う床面積の増加改善（m²）

	平成13年度以前	平成14年度以降
教員研究室	363	495
実験室等	565	923
以上の専任教員1人あたり	62	95
大学院生研究室	210	337
大学院生1人あたり	2.6	4.2
その他（廊下・トイレ等）	469	640

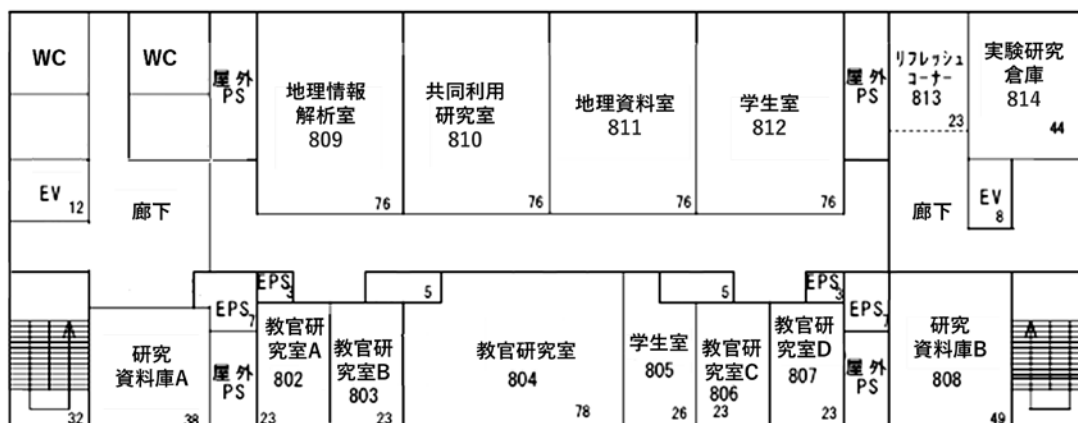


図2.7 工学系総合研究棟8階平面図（略図）：面積は1,065 m²で、そのうち研究室・実験室として使用可能な面積は608 m²である。

2.4.2 主要研究設備

共同利用に向けて各年度に整備した大型設備と、その変遷を下記にまとめた。

- 1995年度 高度隔測情報処理装置

静止気象衛星GMS（ひまわり）および米国海洋大気庁が運用する極軌道衛星NOAAのデータをアンテナより受信、自動的に一次処理し、記憶装置に保存する。

- 1995年度 大気補正用地上設置ライダー

平成7年度の補正予算により、大気補正用の大気ライダー装置が設置された。355 nmの紫外から1,064 nmの近赤外まで4波長のレーザー光により昼間でも偏光を含めた大気エアロゾルの後方散乱情報を取得でき、水蒸気ラマン散乱も計測可能。

- 1996年度 衛星データ受信及び解析システム・大容量環境データアーカイブシステム

衛星データ受信および解析システムで受信された衛星データと現地観測データを最大で300 TBの記憶容量を有するD3テープに保存する。4CPUへ入れる処理計算機システムにより、一般的なUNIXのファイルシステムとしてデータ利用が可能になる。

- 1997年度 携帯型フーリエ分光放射計

屋外環境で近赤外の2 μmから熱赤外の14 μmまでのスペクトルを計測可能。温度制御装置付きの標準黒体、金反射拡散板も附属しており、絶対熱放射スペクトルと分光放射率が計測できる。

- 1997年度 大気状態量高精度解析システム

人工衛星で取得される広範囲の大気・地表面情報を、より高品質の物理量に変換するための地上支援システムであり、大気状態観測装置群（マイクロ波放射計、オーレオールメータ、サンフォトメータ、直達日射計、全天赤外放射計、全天日射計、全天分光日射計、積分散乱計、エアロゾル吸収測定器、放射温度計、データ収集装置、赤外画像作成装置、蒸発散測定装置）、システム検定装置群（野外分光測定器、日射計検定装置、放射計検定装置、マイクロ波スペクトラムアナライザ、デジタルオシロスコープ）、および大気状態集積装置（データ収集・解析用計算機、データ記憶装置）から構成されている。本システムは、後にSKYNETの観測ネットワークに発展した。

- 1998年度 衛星データ加工演算システム

並列演算処理サーバ（Ultra SPARC-II、主記憶4 GB）、ディスクアレー（ユーザデータ保存用72 GB、衛星画像処理用160 GBのハードディスク）、並列演算処理クライアント（Pentium-II 400 MHz、20台）で構成される。CEReSで開発した高度解析アルゴリズムを広域の時系列データセットに適用する。本システムを通じ、学内外から既設のネットワークを通じて受信データや処理データを利用することが可能になった。

- 1999年度 超マルチチャンネルデータ表示解析システム

それぞれがPCで制御された30面のマルチビジョン型液晶表示装置により多チャンネルの人工衛星センサからの画像データを概観することが可能になる。

- 2002年度 地理情報解析室

リモートセンシングデータを含む多様な空間情報の解析を目的とし、工学系総合研究棟8階に開設した。主要な解析ソフトウェアとしてはER Mapper、ArcGIS、ArcView、MapInfo (GIS)を配備している。機器利用は共同利用研究として行うことができる。

- 2006年度 気象情報受信システム

気象庁アメダス、気象レーダ画像、米国気象衛星GOES、ヨーロッパの気象衛星METEOSATなどをまとめて、通信衛星経由で配信しているデータをリアルタイムで受信し、表示・アーカイブするための装置。これらのデータは、衛星データ受信システムによるGMS・NOAA受信データの解析の支援や、解析結果の検証に利用される。リモートセンシングによる東アジア地域の環境問題の研究の推進に貢献できる。

- 2007年度 電波無響室（図2.8）

幅4.0 m、奥行6.6 m、高さ2.4 mで吸収特性35 dB以上の電波無響室で、周波数1～40 GHzのマイクロ波の伝搬・散乱実験に使用可能。ネットワークアナライザ、マイクロ波回路・基板加工装置、高精度回転台、デジタルオシロスコープなども整備した。同時に、合成開口レーダの開発に向け、モーメント法（MoM）、有限要素法（FEM）によるアンテナ設計用のソフトウェアも整備した。

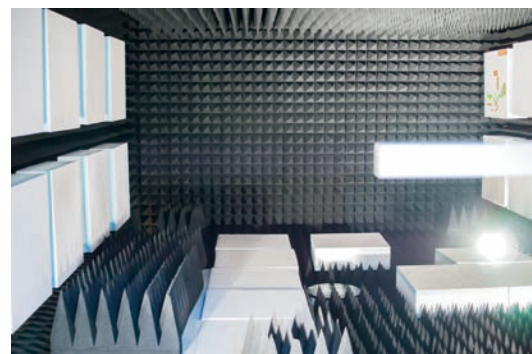


図2.8 電波無響室の内装

- 2008年度 衛星データ受信システム

NOAA/AVHRRと中国静止気象衛星FY-2の準リアルタイム処理を継続。日本のMTSAT-1Rはウェザーニューズ（WNI）、東大、気象庁業務支援センターからネット経由でデータ取得し、FY-2と同様にサーバ内で緯度経度直交座標系フォーマットに自動変換処理して公開している。

NOAA/AVHRRシリーズ	1997年4月15日受信開始
MTSATシリーズ	2005年6月よりアーカイブ開始
FY (B/C/D) シリーズ	1998年4月より受信開始
GOES-E, -Wシリーズ	1998年分よりアーカイブあり
MODIS	2004年8月よりアーカイブ開始

・2010年度 大気データ取得ライダー装置

レーザー光を散乱する大気エアロゾルの形状分布が計測可能な多波長計測装置と、面的・立体的な分布計測が可能なPPIモード計測装置が中心となっている。可搬性も考慮した送受信装置のコンポーネント化を図り、モノスタティック・バイスタティック配置など多様なニーズに対応可能な構成とした。また、多波長ネフェロメータなど地上レベルでのエアロゾル特性を連続計測し、定量的かつ信頼性の高いライダー信号解析が可能になった。

・2017年度 衛星データ受信システム（表2.13）

CEReS設立初期に設置したNOAA/AVHRR受信装置はアンテナモータの経年劣化による画像劣化・受信シーン数の大幅減、AVHRRシリーズの実質的な終焉、ひまわり8号の登場により2017年度に装置一式を撤去した。また、アンテナ受信していたFY-2もより観測性能の高いEUMETSAT MSGがIODCに移行し、多くの観測実績を上げてきたことを鑑み、2023年度末をもってアンテナ受信を終了した。この終了により、CEReSにおけるアンテナ受信での衛星データ取得はゼロとなったが、過去に受信した、あるいはインターネット経由で取得したデータはこれまでと同様公開している。

表2.13 主な受信データシリーズ

NOAA/AVHRR シリーズ	1997年4月15日受信開始、2017年3月13日受信装置撤去
GMS-5, MTSAT シリーズ	GMS-5は1997年よりアンテナ受信開始、MTSAT-1R は2005年6月よりランドライン取得開始
ひまわり8／9号	2015年7月より正式運用開始、現在も継続中
FY-2 (B/C/D/E/G) シリーズ	1998年4月よりFY2-B数ヶ月受信、2007年度末よりFY2-C受信、公開開始。2023年度末にて受信終了
GOES-E, -W／第2世代 シリーズ	WNIより提供されたデータを処理公開してきたが、第2世代の運用停止に伴いリアルタイム処理は終了し、過去データはVL活動を通じて公開中
GOES-E, -W／第3世代 シリーズ	GOES-R, GOES-S (NASA Ames 研究センターより共同研究の一環で収集、公開中)
MODIS	2004年8月よりJAXA受信分アーカイブ開始したが2019年3月にて終了。全球関連プロダクト群はTerra/Aqua開始時よりアーカイブ有り

TOPICS

CEReSが提供する地球環境データ

CEReS設立初期には「高度遠隔情報処理装置」（ひまわり、NOAA/AVHRRアンテナ受信装置：1995年度）、「衛星データ受信及び解析システム・大容量環境データアーカイブシステム」（1996年度）、「衛星データ加工演算システム」（1998年度）、と衛星データ収集・処理に関わる大型設備をほぼ毎年導入している。これらは（当時も）大容量であった人工衛星データを自前で受信し、必要な処理を行なった上で地球環境研究に資するデータとしてコミュニティに提供するために必要な投資であり、まずはデータと運用のノウハウを蓄積する必要があったと思われる。一方、米国EOS計画によるMODISの成功は、人工衛星による地

球環境研究のスタイルを大きく変えた。観測データはインターネットを通じ無償で提供され、必要なデータがタイムリー、かつスピーディに扱えるかが重視されるようになった。こうした状況の変化に対応するため、初期に導入された大容量環境データアーカイブシステム（ロボットアーム式のテープアーカイバ：写真1（左））から、ランダムアクセスに耐えうるハードディスク RAID をベースとしたシステムへの移行が必要であった。



写真1：（左）大容量環境データアーカイブシステム、（右）初期のPC-UNIXデータサーバ（2005～2006年度）

2005年度からPC-UNIXベースでの衛星データ公開サーバ群（写真1（右））をテスト導入し、テープアーカイバからデータを移行するとともに、稼働していたNOAA/AVHRR受信システムから送られるデータに関するフロー変更により、（当時としては）できる限り取得したデータを即時に公開するようにした。2007年度からは別コラムで記載する4大学連携バーチャルラボラトリー（4大学VL）がスタートし、ひまわりデータのみならず世界の主要な静止気象衛星データの収集・公開が求められたため、サーバラック（2009年当時42Uラック5台）・ストレージ容量（同時期約500 TB）共に飛躍的に増大した。当時のサーバ室はCEReS研究棟3階にあったが、想定以上の重量機器設置により床が抜ける懸念が発生したこと、2015年から運用が開始されるひまわり8号は飛躍的な機能強化が見込まれることから、同施設1階旧センター長室と第二事務室を改修、重量負荷に耐えうる構造物導入により本格的なサーバ室として稼働させる工事を2014年度中に実施した（写真2）。



写真2：CEReS 1階サーバ室設置の様子。（左）重量負荷に耐えうる構造物を入れるため床に穴を開けた状態。（右）サーバラック群設置直後の様子

これらの改修に加え、インターネット環境も10 Gbps化し、大量のデータをより高速で提供可能となった。一方、アンテナ受信はNOAA/AVHRRは2017年度末、VL開始時に導入した中国静止気象衛星FY2シリーズ受信は2023年度末にそれぞれ終了し、2024年度現在アンテナ受信はゼロとなり、全てインターネットでの取得である。

時代に合わせた改修・更新により、蓄積されたデータは非公開データも合わせ令和5年度末現在で約3,569 TB（3.5 PB：ペタバイト）であり、種類も表2.13に示す以外にも多く存在する。詳しくはCEReSホームページ上で確認できる。データ利用実績（ダウンロード数）も、2005年度のPC-UNIX公開当初は15万ファイルに過ぎなかったが、2019年度以降は毎年1億ファイル以上の利用実績があり、隔世の感がある。

公開データの利用実績はCEReSの知名度向上に伴い飛躍的に増えたが、衛星データの使われ方も時代の変化をリードする形で更に進化している。サーバ・クライアント形式での利用はもはや主流ではなく、Google Earth EngineやAmazon Web Servicesに代表されるクラウドシステム上での解析が主流となりつつある。こうした潮流を意識しつつ、より適切な衛星データ提供・データ利用について考える必要がある。

（樋口篤志）

2.5 運営委員会・運営協議会

1995年のCEReS創設以来、センター長・センター教授若干名・外部有識者若干名で構成される運営委員会（2000～2004年度は運営協議会）を毎年開催し、共同利用研究を含めたセンターの重要事項についての審議を行ってきた。1995～2004年度の運営委員会・運営協議会委員の氏名と当時の所属を表2.14に示す。

表2.14 1995～2004年度の運営委員会・運営協議会委員

新藤静夫	CEReS教授、センター長（1995～1996）	委員長 1995～1996、1997～1998
竹内延夫	CEReS教授	1995～2003
松野太郎	北海道大学地球環境科学研究科教授／ 地球フロンティア研究システムシステム長	1995～1999
横山隆三	岩手大学工学部教授	1995～1999
川村 宏	東北大学理学部・理学研究科教授	1995～2003
高木幹雄	東京大学生産技術研究所教授／ 東京理科大学教授	1995～2003
野上道男	東京都立大学理学部教授／日本大学教授	1995～1999
山口正恒	総合情報処理センター長	1995
古谷尊彦	理学部教授	1995～1996
大野隆司	工学部教授	1995～1998
今 久	園芸学部教授	1995～1999
安田嘉純	工学部教授・CEReS 兼務／センター長 （1998～1999）	1995～1997、委員長 1998～1999、 2000

高村民雄	CEReS 教授／センター長（2000～2003）	1995～1999、 <u>委員長 2000～2003</u>
三輪卓司	CEReS 教授	1995～2003
杉森康宏	CEReS 客員教授／1998～ CEReS 教授	1995～2003
土屋 俊	総合情報処理センター長	1996～1997
浅井富雄	CEReS 教授／センター長（1997）	1996、 <u>委員長 1997</u>
伊勢崎修弘	理学部教授	1997～1998、2000～2003
島倉 信	総合情報処理センター長	1998～2003
千賀康弘	東海大学教授／CEReS 客員教授	1998
佐倉保夫	理学部教授	1999
矢口博久	工学部教授	1999～2003
安岡善文	東京大学生産技術研究所教授	2000～2003
住 明正	東京大学気候システム研究センター教授	2000～2003
和田英太郎	京都大学生態学研究センター教授／ 総合地球環境学研究所教授	2000～2003
丸田頼一	園芸学部教授	2000～2002
西尾文彦	CEReS 教授	1999～2003
本條 毅	園芸学部教授	2003

2004年の国立大学法人化後の「環境リモートセンシング研究センター拠点運営委員会規程」では、運営委員会の審議事項は、共同利用・共同研究に関する重要事項、共同利用研究課題の公募及び採択に関する事項、およびセンター長から諮問された事項の3項目とされている。委員はセンターから選出された専任の教授（若干名）、拠点の研究に関連する分野の千葉大学の専任教授（若干名）、学外の学識経験者（若干名）および、その他センター長が必要と認めた者、と規定されており、文科省の定める共同利用・共同研究機関の規定に基づく形で、学外の委員数は委員総数の2分の1以上で、センター長の推薦に基づいて学長が選考して委嘱することとされている。また、運営委員会の委員長は、センター長を除く委員の中から互選とすることが規定されている。定例会議は毎年6～7月頃に行われ、その年度における共同利用研究の採否はこの会議で決定される。そのほか、共同利用・共同研究に関する重要事項などの必要が生じた場合には、随時、開催されることになっている。表2.15に、法人化後から20周年（2004～2015年度）までの運営委員会委員を、表2.16に2016年度から2024年度現在までの運営委員会委員を示す。

表2. 15 2004～2015年度の運営委員会委員

竹内延夫	CEReS 教授、センター長（2004～2005）	<u>委員長 2004～2005</u>
安岡善文	東京大学生産技術研究所教授／ 国立環境研究所理事	2004～2007
住 明正	東京大学気候システム研究センター長	2004～2005
古濱洋治	JAXA 理事	2004
才野敏郎	名古屋大学地球水循環研究センター教授／ JAMSTEC プログラムディレクター	2004～2013

平田更一	日本測量協会 GIS 総合研究所主任研究員	2004～2007
島倉 信	自然科学研究科教授／工学研究科教授	2004～2009
伊勢崎修弘	理学部教授／理学研究科教授	2004～2007
本條 毅	園芸学部教授／園芸学研究科教授	2004～2007
立田光廣	工学部教授／融合科学研究科教授	2004～2007
高村民雄	CEReS 教授	2004～2009
西尾文彦	CEReS 教授・センター長（2006～2009）	2004～2005、 <u>委員長 2006～2009</u>
堀川 康	JAXA 理事	2005～2009
池淵周一	京都大学防災科学研究所教授	2005
建石隆太郎	CEReS 教授・センター長（2014～2015）	2005～2015
近藤昭彦	CEReS 教授	2005～2015
久世宏明	CEReS 教授・センター長（2010～2013）	2005～2010、 <u>委員長 2011、</u> 2012～2015
井上 元	名古屋大学環境学研究科教授	2006～2007
中島映至	東京大学気候システム研究センター教授	2006～2013
伊藤秀男	融合科学研究科教授	2008～2009、 <u>委員長 2010、2011</u>
佐倉保夫	理学研究科教授	2008
天野 洋	園芸学研究科教授	2008
笹野泰弘	国立環境研究所地球観測研究センター長	2008～2012
上田 博	名古屋大学地球水循環研究センター教授	2008～2015
岡崎 淳	千葉県環境研究センター主席研究員／室長	2008～2010
唐 常源	園芸学研究科教授	2009
本間正修	JAXA 理事	2010～2012
服部克巳	理学研究科教授	2010～2011、 <u>委員長 2012～2015</u>
飯村 晃	千葉県環境研究センター主席研究員	2011～2014
黒岩眞吾	融合科学研究科教授	2012～2015
山本静夫	JAXA 理事	2013～2015
田村正行	京都大学工学研究科教授	2013～2015
長谷川均	国土館大学文学部教授	2014～2015
梅干野晃	放送大学教授／東京工業大学名誉教授	2014～2015

表2. 16 2016～2024年度の運営委員会委員

黒岩眞吾	融合科学研究科教授／工学研究院教授／ 情報学研究院教授	<u>委員長 2016～</u>
山本静夫	JAXA 理事／元理事	2016～2021
長谷川均	国土館大学文学部教授	2016～2019
上田 博	名古屋大学地球水循環研究センター教授／ 名古屋大学名誉教授	2016～2017
梅干野晃	放送大学教授／東京工業大学名誉教授	2016～2017

飯村 晃	千葉県環境研究センター主席研究員	2016～2017
服部克巳	理学研究科教授／理学研究院教授・CEReS センター長（2020～現在）	2016～
安岡善文	CEReS 客員教授・センター長（2016～2017）	2016～2017
久世宏明	CEReS 教授・センター長（2018～2019）	2016～2019
近藤昭彦	CEReS 教授	2016～2022
住 明正	国立環境研究所理事長／東京大学名誉教授／東京大学サステイナビリティ学研究機構特任教授	2016～2021
石坂丞二	名古屋大学宇宙地球環境研究所教授	2018～2023
長 幸平	東海大学情報理工学部教授	2018～2021
内藤季和	千葉県環境研究センター主席研究員	2018～2019
井上智博	千葉県環境研究センター室長	2020～
松山 洋	東京都立大学都市環境科学研究科教授	2020～
三枝信子	国立環境研究所領域長	2022～
竹内 渉	東京大学生産技術研究所教授	2022～
田殿武雄	JAXA 研究領域主幹	2022～
松岡延浩	園芸学研究院教授	2022～2024
三木隆司	医学研究院教授	2022～
市井和仁	CEReS 教授	2023～
檜山哲哉	名古屋大学宇宙地球環境研究所教授	2024～
丸山喜久	工学研究院教授	2024～

2.6 自己点検・外部評価

1995年のCEReS創設から2024年までの30年間に、7回の自己点検・外部評価を実施した。表2.17に示すように、このうちの3回は国立大学の法人化以前に行ったものであり、第4回以降は法人化後に行ったものである。

表2.17 7回の自己点検・外部評価

- ・平成8（1996）年 第1回 自己点検・外部評価 新藤静夫センター長
- ・平成11（1999）年 第2回 自己点検・外部評価 安田嘉純センター長
- ・平成15（2003）年 第3回 自己点検・外部評価 高村民雄センター長
- ・平成20（2008）年 第4回 自己点検・外部評価 西尾文彦センター長
- ・平成24（2012）年 第5回 自己点検・外部評価 久世宏明センター長
- ・平成27（2015）年 第6回 自己点検・外部評価 建石隆太郎センター長
- ・令和2（2020）年 第7回 自己点検・外部評価 服部克巳センター長

以下では、各回の報告書の内容を参照しながら、その時点における研究センター運営の課題や方向性についてまとめておく。これまでの30年間の歩みでは、こうした自己点検・外部評価を

行うことで、ともすれば現状固定になりがちな組織や運営の考え方、方針を外部の関連分野専門家の眼もいれて検討し、可能な限り具体的な形で活用してきたものと考えられる。なお、文部科学省が拠点に対して行う中間評価・期末評価においては、6名程度で構成される委員会が理工学系の「共同研究型」(CEReSもここに属する)である20程度の分野も規模も多様な拠点を定められた観点から評価するので、評価委員は通常はリモートセンシング分野について、外部評価委員ほどは専門的知見を有していない。共同利用・共同研究拠点がコミュニティの意見を適切に反映させて日本におけるそれぞれの学術分野の振興に大きな役割を担っていることを考えると、今後も自己点検・外部評価の機会を最大限に活用できるよう、運営上で配慮していくことが必要であろう。

2.6.1 センター創立から法人化までの外部評価(1996、1999、2003)

2.6.1.1 第1回自己点検・外部評価(1996)

平成8(1996)年実施の第1回(松野太郎委員長)は発足間もなく、センターとしての業績がまだ十分に蓄積されない段階の外部評価であったが、その趣旨はセンター発足にともなって千葉大学の学外組織から着任した教員も含めて改めて集中的な議論を行い、当時想定されていた10年間の時限内に最大の成果を上げられるよう、研究センターとしての活動の方向性を定めるというものであった。「第三者評価委員」として委嘱された有識者は6名で、大沢弘之(リモートセンシング技術センター理事長)、大林成行(東京理科大学教授、日本リモートセンシング学会会長)、樫根 勇(愛知大学教授、筑波大学名誉教授)、中村和郎(駒澤大学教授、日本地理学会会長)、沼田 眞(千葉県立中央博物館館長、千葉大学名誉教授)、村井俊治(東京大学生産技術研究所教授)の各氏であった。外部評価委員からは業績面が十分でない時点での評価は難しいとの意見もあったが、アジア地域を中心とする環境変動地域を衛星リモートセンシングと地上検証によりモニタリングする、という方向性については大方の賛同が得られた。

2.6.1.2 第2回自己点検・外部評価(1999)

平成11(1999)年実施の第2回では国内の委員7名、国外の委員5名で構成された委員会への説明と意見交換を経て、2000年3月に50ページの外部評価報告書が取りまとめられた。委員長は光易 恒・九州大学名誉教授が務め、そのほか国内からの委員は小川克郎(名古屋大学教授、日本リモートセンシング学会会長)、小川利紘(宇宙開発事業団 地球観測データ解析研究センター研究ディレクター)、田中正之(東北工業大学教授)、沼田 眞(千葉県立中央博物館名誉館長、千葉大学名誉教授)、村井俊治(東京大学生産技術研究所教授)、和田英太郎(京都大学教授・生態学研究所所長)の各氏を含む計7名であった。さらに、国外からも Robert A. Brown (Professor, Department of Atmospheric Sciences, University of Washington)、Alfredo Heute (Professor, Department of Soil, Water and Environmental Science, Remote Sensing and Earth System Science, University of Arizona)、James O'Brien (Center for Ocean-Atmospheric Prediction Studies, Florida State University)、Shi Guangyu (Professor, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences)、Tong Qingxi (Academician, Professor, Institute of

Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences) の各氏、5 名を外部評価委員として委嘱した。

主な指摘事項は次のようであった。研究組織については、組織的に先端的研究を行える仕組みが必要であり、とくに地球環境情報の解析はセンターの中心的課題として強化を要する。人事構成については、大学全体で検討して、思い切った人事の流動化と強化を図ることが望ましい。研究設備は順調に整備が進んでいるが、狭隘な研究スペースが研究の進展の妨げとなっており、早急に対策が必要である。研究活動については共通課題の明確化が進んでおり、いくつかのプロジェクトが連携して進めるとよい。リモートセンシングの中核的機関として先端的な基礎研究の成果も期待され、基礎研究とプロジェクト研究のバランスを保って進めることが望ましい。教育活動については、研究センター自体の活性化のためにも望ましく、60名にもおよぶ大学院生の指導を行っていることは高く評価できる。

2.6.1.3 第3回自己点検・外部評価（2003）

平成15（2003）年に実施した第3回は、松野太郎・地球フロンティア研究システム長が委員長を務め、委員は池淵周一（京都大学防災研究所教授、水循環・雪氷）、今脇資郎（九州大学応用力学研究所教授、海洋）、及川武久（筑波大学生物科学系教授、植生）、小川利紘（JAXA地球観測利用研究センター研究ディレクター、データベース）、石 廣玉（中国科学院大気物理研究所教授、大気・国際共同研究）、安岡善文（東京大学生産技術研究所教授・副所長、日本リモートセンシング学会会長、植生とリモートセンシング全般）の各氏であった。委員長による総合概評を次に引用しておく。

教育・研究の両面において、限られた教官数のもとで努力し、現在一定の成果をあげていると評価する。特に、地域から地球レベルまでを対象として、かつ、環境リモートセンシングというかなり広い研究分野を対象としないといけないセンターとして、工学的側面と地球科学的側面の双方から幅広い研究を目指していることは理解できる。しかしながら、そのために逆に、研究内容が総花的となり、これまでセンターとして核の部分が見えないという印象を受けたことも事実である。勿論、“環境とリモートセンシング”という核は存在するが、この核のみでは、類似の研究を行っている他の大学や機関との差異化は難しい。

これまでセンターとしての特色が見えにくかったのは、各教官、グループが互いに関連せずに独立に活動しているということから来たものではないだろうか。教官の独立性を確保することは重要であるが、これは教官の独立性が、個々の教官の独り善がりに陥らず、センター全体としての独自性、独立性も担保できる、という場合にのみ有効となる。国立大学における附置研究所、センターの存在意義が問われている今日、センターの独自性を強調するためには、各グループの教官が共通の目標を意識し、その中に各自の研究を位置づけてなお一層の連携を進めることが必要であろう。

一つの方策として、一つのプロジェクト、すなわち戦略的研究推進事業（モンゴルプロジェクト）を核として、大気グループ、植生グループ、水文グループ、データベースグループが、

何割かの研究時間をそこに具体的に注ぎ込むことにより、全体としての協同性を打ち出す努力がなされつつある。これにより、一つの方向性が“外から”見えるようになり、総花的との印象を回避できるようになって来た。この努力を一層強めることを望みたい。

2.6.2 国立大学法人化以降の外部評価（2008、2012、2015、2020）

2.6.2.1 第4回自己点検・外部評価（2008）

平成20（2008）年実施の第4回外部評価では、大阪大学産業科学研究所所長の川合知二教授が委員長を務め、そのほかの委員は今協資郎（九州大学応用力学研究所所長、海洋）、石橋博良（株式会社ウェザーニューズ会長、千葉大学経営協議会委員、気象）、堀川 康（宇宙航空研究開発機構理事、衛星地球観測）、および安岡善文（国立環境研究所理事、リモートセンシング全般、植生）の各氏であった。ポイントとなる指摘事項を以下に引用しておく。

各プロジェクトの成果の説明を通じ、センターのミッションとして、21世紀に最も重要で社会的にも不可欠な環境問題の根幹に関わる研究活動を行っているセンターであることが理解できた。研究組織としては、衛星データを研究者や社会に提供するというミッションの重要性も考慮し、必要人員を確保していく努力が望まれる。本センターは環境に関するリモートセンシング分野の自立、分散、かつ協調、共同型の研究推進のハブとなるべきであり、4大学連携VL形成はその方向の活動として高く評価できる。国際交流活動ではアジアにフォーカスしており、今後もそのような特徴をもつ国際交流活動を進めてほしい。地域活動では少し敷居を下げて地域に対して存在感を出し、アピールできるようになるとよい。人材育成の観点からは、学位取得数などアジアのリモートセンシングのハブとしての役割を果たしている。将来計画としては、社会的な重要性のアピールを通じて学内のサポートも得て組織の充実を図ってほしい。近く行われるG8サミットでも環境問題が大きく採り上げられる社会状況の中、千葉大学の一つのランドマークとして情報発信を行ってほしい。センター内で様々な研究分野の連携を図るとともに、随所にみられるオンリーワンの技術の存在感も強調して欲しい。

2.6.2.2 第5回自己点検・外部評価（2012）

平成24（2012）年に実施した第5回の外部評価では、委員長をJST地球規模課題国際協力室・研究主幹の安岡善文・東京大学名誉教授（環境モニタリング、リモートセンシング）が務め、そのほかの委員は椎葉允晴・京都大学工学研究科教授（水工学、水文・水資源学）、石 廣玉・中国科学院大気物理研究所教授（大気リモートセンシング）、福田 徹・JAXA地球観測研究センター センター長（衛星地球観測）、梅干野晃・東京工業大学総合理工学研究科教授（都市・熱環境リモートセンシング）の4名であった。3つのプログラム（先端的リモートセンシング、情報統合、利用高度化）による研究活動、プログラム制と理学研究科・融合科学研究科のマトリックスによる

研究組織、留学生を多く含む多数の学位取得者を出している教育活動、スタッフの国際化や国際シンポジウムの開催、大震災への対応を含めた地域・社会活動など各項目について、具体的な4項目を含む形での提言があった。以下に、「総合評価」を引用しておく。

全国共同利用の環境リモートセンシング研究センターとして、共同利用件数、研究者数、研究センター在籍学生数、修士・博士学位取得者数及び研究成果など、いずれにおいても水準を超えた成果を挙げていると評価します。特に、センターの人員数から考えると十分な成果を挙げているといえます。

今後、全国共同利用センターとしての特色を活かして研究をさらに発展させ、全国共同利用をさらに活性化させるために、

- ① 当該研究分野と関連分野を俯瞰した上で、内外研究機関との連携、役割分担を明確にする
- ② 環境リモートセンシング研究分野の中核としての役割を担う仕組み（リモートセンシング専門家のコアの形成など）を検討する
- ③ センター内においてもPDや助教、そして准教授、教授の連携、役割分担を明確にするとともに、助教等のスタッフを充実することにより教育、研究、サービス機能提供のバランスを取る（頭でっかちになりがちな組織を検討する）
- ④ 人員拡充に向けて、大学、文部科学省に対してセンターの必要性、重要性を常にアピールしその組織展開を図ることなどを検討されることを期待します。

2.6.2.3 第6回自己点検・外部評価（2015）

平成27（2015）年には、第6回の自己点検・外部評価を実施した。委員長は山田 正・中央大学教授（水文・水資源学会会長）が務め、委員として今脇資郎・海洋研究開発機構特任参事（九州大学名誉教授）、岡本謙一・鳥取環境大学名誉教授（元日本リモートセンシング学会会長）、金 斗煥（Kim Tu Hwan）・亜洲（Ajou）大学校教授、窪田順平・人間文化研究機構 総合地球環境学研究所副所長という構成であった。まず、上記2012年外部評価の「総合評価」にある①～④の事項へのその後の対応については、「4つの指摘事項について真摯に対応しようとしている点は評価できる。特に、①については研究の方向性について分析した上で研究プログラムを設定し、研究を実施している点、②については共同研究拠点としての役割が定着してきたという点、③についてはひまわりデータ公開業務を主務とした特任研究員の新規採用等、スタッフの充実を図っている点、④については、特任助教の増加等の点が評価できる。今後も世界最高水準の研究分野の戦略的強化のためにセンターの必要性、重要性を国内外に積極的にアピールし、グローバルな研究拠点としての役割を実行されることが期待される。」との評価がなされた。

外部資金の獲得については、「研究予算は着実に増加しており、総合的に見て、本項に関する問題はなく、適切に運用されており、十分に評価できる。但し、科研費については採択件数が増加しているものの大型予算を確保できておらず、これについては本研究センターの特性を活かし

た研究費の獲得を目指して頂きたい。科研費の外部資金に占める割合が増えるように努力して頂きたい。また、企業との連携については研究テーマの設定によってさらに増強できる可能性があることから、これへの尽力を期待する。」との指摘があった。

研究成果についての記述は、「すべてのプログラムにおいて目標を十分に達成していると評価する。ひまわり8号のデータ活用、放射能汚染への対応、さらに食糧安全保障や農業保険など、当該センターの特色を活かした研究や、ユニークな研究に取り組んでいる点は、特に評価したい。その中で今後の努力目標を挙げさせて頂くとすれば、Web of Science (WoS) 登録雑誌への投稿を意識して行うことでWoS登録論文数の占める割合を増加させて頂きたい。さらに、CEReSの役割だと言える地球環境研究そのものをリードしていくような研究を目指して頂きたい。そうした中で世界発の円偏波合成開口レーダ (CP-SAR) の開発は注目に値する。」というものであった。

第3期中期目標・中期計画期間 (2016~2021年度) に向けての研究の方向性については、「第3期に向けた研究の方向性を考えるとき、CEReSの3つの使命 (ミッション) に即し、現在の3つのプログラムを存続、強化する方向性は、妥当なものと総評する。プログラムごとに強化・存続する方向性が示されており、特にプログラム2における「ひまわり8号データの活用」を中核とする方針も適当である。強いて挙げるならば、プログラム3についても中核的な研究課題を設定した方が明確な方向性をもって研究を推進できる可能性もあるのではないかと考える。しかし、CEReSの人員及び予算規模は限られている。そうした中で着実に実施できる研究の方向性を定めて推進していくことも重要であると考えてるので、今後の参考として頂きたい。」と述べられている。

拠点活動としての共同研究のあり方については、「国内外との共同研究は十分に実施されていると評価する。限られたスタッフで国際的な共同研究も含め、着実に成果を挙げている。そうした中で特筆しておきたいのは、共同研究の件数も大事な指標ではあるが、CEReSの特性や役割に応じた研究内容の絞り込みと質の確保の重要性である。広範な共同研究を実施することも大事であるが、限られた人的資源で当該センターの役割に応じた成果を出していくためには、こうした視点も重要であると考えてる。さらに、様々な共同研究をつなぐような仕組みが構築されると面白いという意見も挙げられている。今後の参考として頂きたい。」との提言をいただいた。

拠点活動関係でのデータ公開のあり方については、「大量のデータをアーカイブして研究と教育用に公開し続けていることは、当該センターの機能や目的を達成しているだけでなく、一研究者としても敬意を表し、極めて高く評価する点である。特に、「ひまわり8号」による気象衛星データの提供についてはこれに対する期待も大きく、今後も積極的なデータ公開に期待する。例えば、ひまわり8号のデータに加えて、韓国の静止気象海洋衛星データを活用し提供するの也不错ではないだろうか。さらに、オリジナルデータを分析・加工した付加価値データの提供も実施されるようになると、利用者拡大につながると考える」という総括であった。同じく、国際活動については、「常時40人程度のアジアを中心とした留学生を受け入れており、それらの人材が母国の指導的人材になっているとのことで、国際活動についても着実に推進されていると評価できる。今後は、アジア以外の研究生を含む世界の留学生を受け入れられる体制の整備、現在進めているインドネシアLAPANとの連携体制の構築等、卒業生に対するアフターサービスの充実と

当該センターの研究機能拡充につながる卒業生ネットワークの構築等、大いに進め、今以上の充実を図っていただきたい。」との指摘がなされた。これと関連して、教育活動については「リモートセンシングコースへの一本化に向けた改組など、教育体制の整備充実に対する取り組みは十分に評価できる。今後は、当該コースの充実化に向けた取り組みに期待したい。また、学生数も学部生・大学院生共に十分に確保されているように見受けられるが、日本人学生の博士課程への進学率向上、アジアの国際的なハブ機関であることを位置付けるための留学生の受け入れ体制の充実、予算的に可能であるならば、若手研究者等を対象にしたセミナーの実施等にも期待したい。さらに、上記の国際活動にも通じるが、卒業生に対するアフターサービスの充実と卒業生ネットワークの構築には期待したい。」との提言があった。

社会との連携・広報活動についての評価は、「近年積極的な広報活動に努めようとしている点は評価できるが、さらなる充実を期待したい項目である。特に、CEReSは多大な成果を挙げているが、その成果が社会へ十分発信できていない点が残念である。ホームページを通しての一般の人への発信、ニュースレター等を通じての研究者への発信等、広報を含めた研究戦略を検討し、更なる研究活動の活性化に努めていただきたい。さらに、発信することによるリプライを通じて異分野との共同研究実施への発展といった研究分野の拡充も期待できる。」というものであった。

最後に、「CEReSの意義を高めるための提案」として、「センターの活動度を測る観点から国際誌などでの論文掲載数をカウントすることは有意義であるが、ともすれば研究者個人の短期的な見方を助長し、大きな構想での研究を阻害されることがあるので、慎重な取り扱いが必要である。十分な実績を活かすために国内外で著名な各賞にも応募し、受賞実績を増やして頂きたい。国際共同研究だけでなく、客員研究員制度などを活用して国際的な研究者を招聘することも検討して頂きたい。小型衛星搭載マイクロ波リモートセンシング分野のさらなる発展に期待したい。」との総括があった。

2.6.2.4 第7回自己点検・外部評価（2020）

令和2（2020）年に行われた第7回の外部評価は、山口 靖委員長（名古屋大学大学院環境学研究科教授）、Alinda FM Zain委員（Department of Landscape Architecture, Faculty of Agriculture, IPB University（ボゴール農業大学）教授、元在日本インドネシア大使館教育文化担当Affiliation）、竹内 渉委員（東京大学生産技術研究所教授）、早坂忠裕委員（東北大学大学院理学研究科 大気海洋変動観測研究センター教授）、林田佐智子委員（人間文化研究機構 総合地球環境学研究所教授）、および廣瀬 明委員（東京大学 大学院工学系研究科教授）という構成で実施された。下記に、各項目についての委員長総括を引用しておく。

【評価項目1】 前回の外部評価の指摘事項に対する対応

「限られた専任教員数でありながら、研究教育や共同利用機関としての活動を活発に行っており、全体として高く評価する。地球環境研究そのものをリードすべきという指摘に対しては、そうした研究分野に強みのある教員を新規採用するなど具体的な対応がなされた。

今後は、個人的な連携協力を基本とした共同研究から、大型外部プロジェクトへの参加をより組織的な連携での共同研究として位置付けることを検討していただきたい。

国際活動の活性化については、インドネシアとの交流を中心とした努力が伺われ、国際活動・共同研究を拡大することに成功している。卒業生などの国際的なネットワーク化のさらなる発展を期待したい。広報活動については、ニュースリリースを自前で開始するなど積極的な活動を推進してきている。

以上のように前回の外部評価で指摘された3点に関しては、適切に対応したと評価する。」

【評価項目2】（研究関係）外部資金獲得

外部資金については、環境省推進費、SATREPS、JAXAからの受託研究費など、かなりの金額を獲得しており、十分な努力をしていると評価する。

【評価項目3】（研究関係）研究成果

研究成果については、各研究分野で存在感を示している専任教員がいる一方、組織全体の平均値としては、それほど高い数値とはなっていない。今後、新規採用した教員を核として、地球環境科学に関する研究成果がさらに増加することが期待される。また、客員教員及び他部局の兼務教員の位置付けについて、明確にする必要があるのではないかな。

【評価項目4】（研究成果）第4期に向けての研究の方向性

3つのプログラムと6つの重点分野を体系的に整理したことにより、各研究テーマとその研究成果の位置付けが明確になった点は、評価する。この整理に基づき、CEReSで取り組むべき重点的な課題や、新しく取り組むべきことを検討していただきたい。

【評価項目5】（拠点活動関係）共同研究の在り方

これまで共同利用・共同研究を活発に行ってきた点は、高く評価する。今後は、共同利用・共同研究にメリハリを付け、重点課題を明確にして予算規模や成果報告などを差別化するなどの方策を検討する必要があるのではないかな。

【評価項目6】（拠点活動関係）データ公開の在り方

CEReS独自のユニークなデータプロダクトを提供している点は、高く評価する。ただ、データ提供を継続的に維持するには、人的・資金的な制約があると思われるため、JAXAなど外部機関との連携や役割分担を検討してはどうか。

【評価項目7】（拠点活動関係）国際活動

アジア・アフリカ諸国から多くの留学生を受け入れ、また活発に国際共同研究を行っている点を評価する。今後も、アジア地域での衛星リモートセンシング研究の中心的役割を果たすことを期待したい。

【評価項目8】（教育関係）教育活動

大学院融合理工学府地球環境科学専攻に「リモートセンシングコース」が発足したことにより、学生（大学院生）にとってリモートセンシングを学習し易い環境が整った。一定数の博士課程大学院生が毎年進学（入学）し、学位取得者も輩出している点も、高く評価する。今後は、組織的に大学院生を支援するための方策や環境整備を検討していただきたい。

【評価項目9】（その他）社会との連携・広報活動

積極的に広報活動や情報発信を行っている点を評価する。今後は、教員の負担を減らすため、CEReSとして広報の体制を作る、大学全体の広報活動との連携を図る、ネット配信を活用するなどの方策を検討してはどうか。

【CEReSの意義を高めるための提案】

限られた人数の共同利用・共同研究拠点ではあるが、全体的に活発な研究教育活動が行われている点を高く評価する。今後は、CEReSならではの研究とは何かを考え、重点課題を明確にすることが必要と思われる。また共同利用・共同研究拠点としての役割について、他機関との組織的な連携などを検討してはどうか。国際的には、卒業した留学生ネットワークを活用し、アジア地域での衛星リモートセンシング研究のハブとしての立場を維持していただきたい。

それぞれの指摘事項は今後のCEReSの運営にあたって重要な指針となっており、千葉大学全体や共同利用・共同研究拠点制度の全国的な動向も見据えながら最大限活用していくことが期待される。

第3章

研究

3.1 国立大学法人化以前の研究（1995～2004）

3.1.1 「3研究部門・開発運用部制」による研究

この期間は、センサ・大気放射研究部門（竹内、高村、久世）、地球環境情報解析研究部門（三輪、建石、本多）、データベース研究部門（新藤、近藤、唐、梶原）、およびデータベース開発運用部（安田、岡山、旭、石山、本郷、黄、池田）の体制で研究活動が行われた。1996年の第2回外部評価や毎年の運営委員会、センター内のメンバー間の議論を通じ、センタープロジェクトとして「リモートセンシングによるアジアの環境変動地域のモニタリング」を設定した。CEReSの研究は、このプロジェクトを中心として個々の研究グループが推進する研究と、このプロジェクトを共通テーマとし、外部研究機関と協力して推進する研究の2本立てで行われた。当時も、社会的、経済的に激変するアジア地域は、環境の面からも地球規模の相互作用を含めて、もっとも重要度が高い地域の一つとして注目されていた。植生環境を中核として、水圏や大気圏の変動を衛星・地上データの解析を通じて明らかにすることで学際的、分野横断的な研究を積極的に推進することを目指した研究活動が行われた。

とくに、1997（平成9）年度より科学技術振興事業団・戦略基礎研究の研究領域「地球変動のメカニズム」において、本多准教授を研究代表者とする研究課題「衛星観測による植物生産量推定手法の開発」が採択された。これは国レベルの戦略的基礎研究推進事業として研究テーマをトップダウン的に設定して行われた公募研究であり、CEReSでは本プロジェクトをセンター研究プロジェクトの中心課題（略称モンゴルプロジェクト）として位置づけ、支援を行った。

この研究では、草本植物を中心に反射率や輝度温度などの計測可能な物理量の評価から植物生産量など2次物理量の推定手法とその精度を明らかにすることができ、その後のリモートセンシング技術・手法の展開に大きな示唆を与えた。とくに、中・低解像度衛星センサによる草原バイオマス量推定において移動多点現地観測データ（図3.1）の有用性が高いこと、BRF（Bidirectional Reflectance Factor）モデルにより衛星データから草地植生の草丈算出が行えることを示した研究成果（山本、近田、梶原、本多ら、1997、2001）は、全球でのバイオマス推定に大きく貢献するものであった。本プロジェクトは5年の契約研究期間を終了し、その後公募された発展型研究「全球高精度植生バイオマス推定の実用化」へと継続された。

CEReS内の他グループからの関連する研究成果としては、AVHRRの植生指数に含まれる雲などのノイズを時間軸での移動窓処理で除去する手法の開発（朴、建石、松岡、1999）、中国華北平原での冬小麦地帯での連続観測から熱収支の日変化や季節変化を明らかにした研究（Shen, Kondoh, et al., 2002）、



図3.1 マンダルゴビ空港における植生の二方向性反射率特性（BRDF）の計測⁹

9 https://www.jst.go.jp/kisoken/crest/report/heisei13/pdf/pdf04/04_2/004.pdf

オアシスなど植生被覆が大きく変動する地域で適用可能なハイブリッド植生指数の提案と優位性 (Ishiyama, Kajiwara, et al., 1997)、インドネシアの森林火災の排煙についてGMS、AVHRRのデータにテクスチャ解析の手法により定量化を行った研究 (Asakuma, Kuze, Takeuchi, et al., 2002)、1992年1年間のAVHRRデータを用いてアジア全域の土地被覆を1km分解能でデータ化して提供した成果 (Wen and Tateishi, 2001)、近赤外域でのBRFから積雪層の雪粒径および不純物濃度を導出するアルゴリズムの開発と地上検証 (Tanikawa, Aoki, and Nishio, 2002)、地上実験からNDVIと植生被覆率の関係を求め、AVHRRデータからモンゴル全域の月ごとの植生被覆率を推定した研究 (Purevdorj, Tateishi, Ishiyama, and Honda, 1998) など、多様な視点からの研究成果が得られている¹⁰。

2003年3月発行の第3回自己点検・外部評価報告書では、各部門・グループでの成果を次のような研究テーマにまとめ、それぞれのテーマについて目的や成果、外部協力、研究費、今後の方針、論文や学会発表について報告している。

◆大気環境研究グループ

- ・衛星データの大気補正手法の改良とアジア各地のエアロゾル光学特性の研究 (竹内・久世・高村)
- ・衛星データプロダクト検証用大気データセットの作成と観測ネットワークの構築 (高村・竹内・久世)
- ・リモートセンシング用センサ基礎技術に関する研究 (久世・竹内・高村)

◆植生環境研究グループ

- ・アジアの土地被覆モニタリング (建石・石山・本多・黄)
- ・乾燥地の植生モニタリングに適した植生指数アルゴリズムの開発とその検証 (石山・建石・梶原)
- ・高波長分解能、高空間分解能データによる植生生理・生化学情報の検出 (本郷・本多・石山)
- ・北西太平洋における外洋波浪のモニタリング —大気-海洋CO₂ガス輸送素過程の解析— (杉森・浅井・千賀・浅沼)
- ・北西太平洋大気-海洋間CO₂ガス輸送FLUXのモニタリング —全球のCO₂ガスFLUXの機構と変動解明に向けて— (杉森・浅井・千賀・浅沼)

◆リモートセンシング基礎研究グループ

- ・自然環境を構成する要素のグランドトゥルースデータの取得・収集とデータベース化 (三輪・岡山)
- ・光の散乱とゆらぎにおけるリモートセンシング基礎研究 (岡山・三輪)

◆GIS/RS応用研究グループ

- ・乾燥・半乾燥地域における環境問題に関する研究 —中国の水文環境に関する研究— (新藤・近藤・唐)
- ・リモートセンシングによる植生・水文状態量、フラックスの推定 (近藤・樋口*)
- ・アラブ首長国連邦の水文学的研究 (新藤・唐・近藤)
- ・環境研究のための地理情報データベースの構築と運用 (近藤・新藤・唐・中山大地*)

*COE 研究員

◆データベース構築研究グループ

- ・衛星データ処理技術の高度化について (橋本・黄・本多・建石)
- ・観測データの表現・統合・融合方法についての研究 (黄・建石・橋本)

◆モンゴルプロジェクト研究

- ・衛星観測による植物生産量推定手法の開発 (プロジェクト総論) (本多・梶原・橋本・高村・黄・本郷)
- ・検証機材の開発 (本多・梶原)
- ・植物生産量推定モデル (本多・梶原・橋本・高村・黄・本郷)

10 CERES 外部評価報告書2003年3月

1995～2003年の間のCEReS関連論文として、現在までの引用回数が比較的多いものを表3.1にまとめた。引用回数は2024年8月のGoogle Scholarのデータによる。下線部がCEReSの専任教員である。

表3.1 引用回数が比較的多いCEReS関連論文（1995～2003）

• <u>Takamura, T.</u> , Sasano, Y., and Hayasaka, T. (1994). Tropospheric aerosol optical properties derived from lidar, sun photometer, and optical particle counter measurements. <i>Applied Optics</i> , 33(30), 7132-7140. (162 citations)
• <u>Kuze, H.</u> , Kinjo, H., Sakurada, Y., and <u>Takeuchi, N.</u> (1998). Field-of-view dependence of lidar signals by use of Newtonian and Cassegrainian telescopes. <i>Applied Optics</i> , 37(15), 3128-3132. (56 citations)
• Purevdorj, T. S., <u>Tateishi, R.</u> , <u>Ishiyama, T.</u> , and <u>Honda, Y.</u> (1998). Relationships between percent vegetation cover and vegetation indices. <i>International Journal of Remote Sensing</i> , 19(18), 3519-3535. (1036 citations)
• <u>Asai, T.</u> , Ke, S., and Kodama, Y. M. (1998). Diurnal variability of cloudiness over East Asia and the western Pacific Ocean as revealed by GMS during the warm season. <i>Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II</i> , 76(5), 675-684. (61 citations)
• Aoki, T., Aoki, T., Fukabori, M., Hachikubo, A., Tachibana, Y., and <u>Nishio, F.</u> (2000). Effects of snow physical parameters on spectral albedo and bidirectional reflectance of snow surface. <i>Journal of Geophysical Research: Atmospheres</i> , 105(D8), 10219-10236. (330 citations)
• Kunte, P. D., Wagle, B. G., and <u>Sugimori, Y.</u> (2001). Littoral transport studies along west coast of India—A review. <i>International Journal of Marine Science</i> , Vol.30(2) (50 citations)
• Ogi, M., Tachibana, Y., <u>Nishio, F.</u> , and Danchenkov, M. A. (2001). Does the fresh water supply from the Amur River flowing into the Sea of Okhotsk affect sea ice formation?. <i>Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II</i> , 79(1), 123-129. (98 citations)
• Chen, W., <u>Kuze, H.</u> , Uchiyama, A., Suzuki, Y., and <u>Takeuchi, N.</u> (2001). One-year observation of urban mixed layer characteristics at Tsukuba, Japan using a micro pulse lidar. <i>Atmospheric Environment</i> , 35(25), 4273-4280. (73 citations)
• Murayama, T., Masonis, S. J., Redemann, J., Anderson, T. L., Schmid, B., Livingston, J. M., Russell, P. B., Huebert, B., Howell, G., McNaughton, C. S., Clarke, A., Abo, M., Shimizu, A., Sugimoto, N., Yabuki, M., <u>Kuze, H.</u> , Fukagawa, S., Maxwell-Meiyer, K., Weber, R. J., Orsini, A., Blomquist, B., Bandy, A., and Thornton, D. (2003). An intercomparison of lidar-derived aerosol optical properties with airborne measurements near Tokyo during ACE-Asia. <i>Journal of Geophysical Research: Atmospheres</i> , 108(D23). (104 citations)
• Yoshii, Y., <u>Kuze, H.</u> , and <u>Takeuchi, N.</u> (2003). Long-path measurement of atmospheric NO ₂ with an obstruction flashlight and a charge-coupled-device spectrometer. <i>Applied Optics</i> , 42(21), 4362-4368. (50 citations)
• Nakajima, T., Sekiguchi, M., Takemura, T., Uno, I., Higurashi, A., Kim, D., Sohn, B. J., Oh S. N., Nakajima, T. Y., Ohta, S., Okada, I., <u>Takamura, T.</u> , and Kawamoto, K. (2003). Significance of direct and indirect radiative forcings of aerosols in the East China Sea region. <i>Journal of Geophysical Research: Atmospheres</i> , 108(D23). (186 citations)
• Kunte, P. D., Wagle, B. G., and <u>Sugimori, Y.</u> (2003). Sediment transport and depth variation study of the Gulf of Kutch using remote sensing. <i>International Journal of Remote Sensing</i> , 24(11), 2253-2263. (40 citations)

3.1.2 共同利用研究（1995～2003）

全国共同利用センターの重要な活動の一つとして共同利用研究がある。環境分野におけるリモートセンシングの活用と応用分野の拡大を目的として、毎年、全国の国立・公立・私立大学、国立・公立研究機関、およびこれらに準ずる国内外の研究者を対象として共同利用・研究会を公募し、その成果報告会としての研究会「CEReS環境リモートセンシングシンポジウム」を開催している。創立から法人化前（1995～2003年度）の共同利用の件数と参加人数の推移を表3.2に示す。また、共同利用を行った研究機関の種類内訳（1995～2007年度）の統計を表3.3に示す。

表3.2 共同利用の件数と参加人数の推移（1995～2003）

年度	H 7 1995	H 8 1996	H 9 1997	H10 1998	H11 1999	H12 2000	H13 2001	H14 2002	H15 2003	計
件数	19	44	66	50	53	33	33	30	35	363
人数	29	66	99	94	116	81	72	71	71	699

表3.3 共同利用を行った研究機関の種類内訳（1995～2007）

研究機関の種類	研究者所属機関数 平成7～19年度	割合 %
千葉大学部局	7	4
国公立大学	60	36
私立大学	28	17
工業高等専門学校	4	2
文科省系研究機関	9	6
それ以外の政府系研究機関	23	14
地方自治体関係研究機関	12	7
民間（研究）機関	15	9
外国大学	5	3
外国研究機関	4	2
合 計	167	100

TOPICS

モンゴルプロジェクトとその成果

平成9（1997）年から平成18（2006）年にかけて、本多嘉明准教授（当時助教授）を研究代表者としてJSTの下記の2つの研究課題を連続して実施した。

（Ⅰ）戦略的基礎研究推進事業 研究領域「地球変動のメカニズム」（CREST）における研究課題「衛星観測による植物生産量推定手法の開発」平成9～13（1997～2001）年度。

（Ⅱ）戦略的創造研究推進事業 研究領域「発展・継続研究」（SORST）における研究課題「全球高精度植生バイオマス推定の実用化 —衛星による多方向観測を利用した高精度バイオマス推定の実用化—」平成14～18（2002～2006）年度。

これらの研究課題は「リモートセンシングによるアジアにおける環境変動地域のモニタリング」をセンター全体のプロジェクトとして掲げていたCEReSの研究においてコアプロジェクトとして位置づけられていた。

研究課題（Ⅰ）では、ほぼ均一で平坦なマンダルゴビからウランバートルに至るモンゴル草原をおもな観測エリアとして設定し、以下の成果を得た。

（Ⅰ－１）モンゴル草原における大面積検証サイトの運用および検証データ収集手法の確立

大陸規模、あるいは全球を高頻度観測する人工衛星センサーは、必然的に地上解像度が数百mから1km程の中程度解像度センサー（AVHRR LAC、1km分解能など）となる。このような解像度のデータと直接比較し得る地上観測データの取得方法は確立されていなかった。本研究ではこれを可能とする観測機器を開発し、観測手法を確立した（図3.2）。観測はモンゴル国立リモートセンシングセンターの協力を得て実施した。この観測サイトはNASAの衛星地球観測プロジェクト（EOS）の公式検証サイトとして登録された。

（Ⅰ－２）モンゴル草原における高精度なバイオマス推定モデルの開発

上記の観測サイトにおいて、草本植物のバイオマスを人工衛星データから推定するアルゴリズムを確立した。また、草丈をパラメータとして用いると推定精度が向上することを実証し、衛星データから草丈を推定するアルゴリズムを構築した。さらに、世界で初めて種々の土地被覆における二方向性反射係数（BRDF）を地上実測する機材および手法を開発した。これらを用い、モンゴル草原サイトの異なる植生タイプについて数年にわたって二方向性反射データとバイオマス量を実測し、これらの間に密接な関係があることを明らかにした。この知見に基づき、植物の3次元構造を人工衛星から把握することで、バイオマス推定精度向上が可能であることを示した。また、既存の衛星データを解析し、衛星データから二方向性反射データを取得できることを示した。

（Ⅰ－３）二方向性反射データの観測機材の開発

二方向性反射データを利用することができれば、これまでの衛星観測よりも葉面積指数（LAI）や樹木の分布状況などのより詳しい植生情報が得られるという期待から、当時は二



図3.2 産業用ラジオコントロールヘリコプターに観測機材を搭載し、大面積のスペクトル観測を可能とする機材を開発した。右図の樹木エリアはおよそ横30 m×縦20 mである。

方向性反射データが盛んに研究されるようになった時期であった。しかし、世界的に見ても二方向性反射モデルの提案と実験室あるいは人工的な小領域の二方向性反射計測が精一杯であり、数十cm四方の対象しか観測できず、農地や草原の草本植生しか対象とできないような機材による観測結果が報告されるのみであった。また、通常の衛星観測の複数パスを利用した指数も提案されていなかった。すなわち、実際の植生を満足に実測することができなかったことが一番の問題点であった。本研究では、実際の植生と二方向性反射データを結び付け、森林や湿地帯なども観測対象とすることができ、かつ十分な観測視野面積を確保できる観測機材を開発した。

研究課題開始時期の1997年頃においては、野外で使用でき、移動体に取り付けられるような軽量かつポータブルの分光放射計はまだ存在しておらず、その開発から行った。また、非破壊で草地のバイオマスを計測するため、レーザースキャナとロボットアームを併用した野外使用できる3次元形状計測装置の開発など、この研究プロジェクトでは多くの野外観測機材を開発することから始める必要があった。

その後、2002年から実施した研究課題（Ⅱ）においては、研究課題（Ⅰ）で得た知見をもとに、観測対象として森林を含む陸域植生全体に広げ、モンゴルにとどまらず、日本国内、北米大陸、東南アジア、オーストラリア等において大面積の観測対象の二方向性反射データおよび植生群落の3次元形状データの収集を行った。その際、研究課題（Ⅰ）で開発した観測機材を、観測方向を制御しつつ観測対象の静止画、動画、分光反射率計測、レーザースキャナによる3次元計測を行えるように大幅に改良した。このプロジェクトを通じて収集された各種植生を対象とする膨大なデータから、植生の3次元構造を考慮したバイオマス推定アルゴリズムを開発した。アルゴリズム開発に付随して、限られた二方向性反射実測サンプルデータから任意の観測ジオメトリにおける見かけの反射率を取得できるシミュレータの開発も行った。その他、カゲ指数、水ストレス指数、LST推定手法の開発も行った。

研究課題（Ⅱ）で得られた知見は、2017年12月にJAXAにより打ち上げられたGCOM-C/SGLIセンサのプロダクトである地上バイオマス（AGB）、カゲ指数（SI）、地表面温度（LST）のアルゴリズムに反映されている。とくに、地上バイオマスプロダクトでは、この研究で取得した種々の森林の二方向性反射データの分析がアルゴリズムの基礎となっている。

（梶原康司、本多嘉明）

3.2 国立大学法人化から20周年までの研究（2004～2016）

3.2.1 「プロジェクト制」による研究推進（2004）

2004（平成16）年4月から国立大学が法人化され、大学運営においても明確な目的意識と自立的な行動が求められるようになり、これを具現化するものとして大学の中期目標・中期計画が位置づけられた。CEReSでも法人化と設立後10年時限の終了に向けてセンター内に「基本構想検討・推進委員会」を設けて所属教員全員の討議も踏まえ、次のような基本構想を得た¹¹。

- 1) 目標と方向性を明確にするため、研究を具体的なプロジェクトとして推進する
- 2) これに対応して、研究組織を分野制から領域制に変え、研究体制を弾力化する
- 3) 共同利用施設としての機能により外部との研究連携を強化する。衛星データのアーカイブをその中核として位置づける
- 4) これまで以上に研究成果の社会還元を果たすために地域貢献、社会貢献を推進する

こうした検討を経て、従来の3研究部門制を廃し、「リモートセンシング基盤研究領域」と「リモートセンシング複合研究領域」の2領域を設けた。センターとしての統一課題として「衛星データによる地球表層環境の時空間情報の統合化による環境変動の解明」を設定、そのアプローチとして以下の4つのプロジェクト（PJ）を推進することとした。

- PJ1 「衛星データによる地球表層環境変動の実態把握とその要因解析」
- PJ2 「衛星データによるユーラシア大陸の植生3次元構造の変遷を中心とする表層・植生・土地被覆変動の研究とデータ解析・処理手法、検証データ観測手法の研究」
- PJ3 「衛星データと地上観測ネットワークによる放射収支の評価と大気パラメータの長期変動」
- PJ4 「地域社会に役立つリモートセンシングの実現 ―多様な空間情報のシナジーによる社会基盤情報の発信―」

上述したように、2005年のヨサファット准教授の着任後、新たに

- PJ5 「円偏波合成開口レーダ搭載小型衛星の開発」

が加わり、また2008年10月からウェザーニューズ社の支援によって

- PJ6 「地球温暖化と気象・海洋情報の活用」（寄付研究部門）

が加わった（2011年3月に終了）。

3.2.2 「プログラム制」による研究推進（2010）

この間、2008（平成20）年に外部評価が行われ、そこで様々な観点からCEReSの研究のあり方についての討議が行われた。さらに、2009年には新たに開始されることとなった共同利用・共同研究拠点としての申請のために第2期の中期目標・中期計画期間（2010～2015年度）における研究体制についてセンター内で集中的な討議を行い、同時に同年12月に開催した第15回のCEReS国際シンポジウムにおいて第1期における都合6つのプロジェクト研究の総括と見直し

11 2008(平成20)年3月外部評価報告書 P74

を行った。引き続き、これらプロジェクトを継承・発展する新たなプログラム（PG）として

PG1 先端のリモートセンシング

PG2 情報統合

PG3 衛星利用高度化

の3つを策定し、2010年からは共同利用・共同研究を含むセンター全体の研究をこの新プログラムに基づいて実施した。主要な研究テーマと担当教員を以下にまとめた。

3プログラムによる研究推進体制（2015年度の自己点検・外部評価資料による）

【PG1 先端のリモートセンシングプログラム】

- ・円偏波合成開口レーダの環境応用／円偏波合成開口レーダ搭載航空機・小型衛星開発（ヨサファット教授）
- ・革新的なデータ取得を可能とする新しいリモートセンシング装置の開発と実証（久世宏明教授）
- ・衛星観測と地上観測を融合利用したグローバル大気環境研究（入江仁士准教授）
- ・次期地球観測衛星GCOM-Cの検証と植生データ解析のためのアルゴリズム開発（本多嘉明准教授・梶原康司講師）

【PG2 情報統合プログラム】

- ・ひまわり8号をはじめとする全球静止気象衛星データの整備、校正、高次解析（樋口篤志准教授）
- ・地理空間データ蓄積共有システムCEReS Gaiaのシステム構築と国際的運用（建石隆太郎教授）
- ・GOSAT衛星による全球の二酸化炭素とメタン濃度の導出と濃度データの検証・解析（齋藤尚子助教）
- ・国際地上大気観測ネットワークSKYNETによる多点観測（入江仁士准教授）
- ・気候診断系に関わるバーチャルラボラトリ（VL）の形成（4大学連携）（久世宏明教授、樋口篤志准教授ほか）

【PG3 衛星利用高度化プログラム】

- ・問題解決を目指した日本・アジア域における環境変動に関する研究（近藤昭彦教授、本郷千春准教授）
- ・災害からの復興、よりよい地域創りを目指した研究者とステークホルダーの協働（近藤昭彦教授）
- ・UAVによる近接リモートセンシング（近藤昭彦教授）
- ・食料安全保障のためのリモートセンシングとGISの活用、アジア域への展開（本郷千春准教授）

国立大学法人化（2004）から第2期中期目標・中期計画期間の終了（2015）までの期間に公刊されたCEReS関連論文のうち、引用回数が比較的多い論文を表3.4にまとめた。

表3.4 引用回数が比較的多いCEReS関連論文（2004～2015）

• Wakabayashi, H., Matsuoka, T., Nakamura, K., and Nishio, F. (2004). Polarimetric characteristics of sea ice in the Sea of Okhotsk observed by airborne L-band SAR. <i>IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing</i>, 42(11), 2412-2425. (132 citations)
• Kim, D. H., Sohn, B. J., Nakajima, T., Takamura, T., Takemura, T., Choi, B. C., and Yoon, S. C. (2004). Aerosol optical properties over East Asia determined from ground-based sky radiation measurements. <i>Journal of Geophysical Research: Atmospheres</i>, 109(D2). (265 citations)
• Kim, D. H., Sohn, B. J., Nakajima, T., and Takamura, T. (2005). Aerosol radiative forcing over east Asia determined from ground-based solar radiation measurements. <i>Journal of Geophysical Research: Atmospheres</i>, 110(D10). (123 citations)
• Susaki, J., Yasuoka, Y., Kajiwara, K., Honda, Y., and Hara, K. (2006). Validation of MODIS albedo products of paddy fields in Japan. <i>IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing</i>, 45(1), 206-217. (65 citations)
• Xiao, J., Shen, Y., Ge, J., Tateishi, R., Tang, C., Liang, Y., and Huang, Z. (2006). Evaluating urban expansion and land use change in Shijiazhuang, China, by using GIS and remote sensing. <i>Landscape and Urban Planning</i>, 75(1-2), 69-80. (970 citations)
• Nakajima, T., Yoon, S. C., Ramanathan, V., Shi, G. Y., Takemura, T., Higurashi, A., Takamura, T., Aoki, K., Sohn, B. J., Kim, S. W., Tsuruta, H., Sugimoto, N., Shimizu, A., Tanimoto H., Sawa, Y., Lin, N. H., Lee, C. T., Goto D., and Schutgens, N. (2007). Overview of the Atmospheric Brown Cloud East Asian Regional Experiment 2005 and a study of the aerosol direct radiative forcing in east Asia. <i>Journal of Geophysical Research: Atmospheres</i>, 112(D24). (292 citations)
• Shalaby, A. and Tateishi, R. (2007). Remote sensing and GIS for mapping and monitoring land cover and land-use changes in the Northwestern coastal zone of Egypt. <i>Applied Geography</i>, 27(1), 28-41. (1263 citations)
• Comiso, J. C. and Nishio, F. (2008). Trends in the sea ice cover using enhanced and compatible AMSR-E, SSM/I, and SMMR data. <i>Journal of Geophysical Research: Oceans</i>, 113(C2). (591 citations)
• Saitoh, N., Imasu, R., Ota, Y., and Niwa, Y. (2009). CO₂ retrieval algorithm for the thermal infrared spectra of the Greenhouse Gases Observing Satellite: Potential of retrieving CO₂ vertical profile from high-resolution FTS sensor. <i>Journal of Geophysical Research: Atmospheres</i>, 114(D17). (93 citations)
• Amini, J. and Sumantyo, J. T. S. (2009). Employing a method on SAR and optical images for forest biomass estimation. <i>IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing</i>, 47(12), 4020-4026. (76 citations)
• Letu, H., Hara, M., Yagi, H., Naoki, K., Tana, G., Nishio, F., and Okada, S. (2010). Estimating energy consumption from night-time DMPS/OLS imagery after correcting for saturation effects. <i>International journal of Remote Sensing</i>, 31(16), 4443-4458. (259 citations)
• Imaoka, K., Kachi, M., Fujii, H., Murakami, H., Hori, M., Ono, A., Igarashi, T., Nakagawa, K., Oki, T., Honda, Y., and Shimoda, H. (2010). Global Change Observation Mission (GCOM) for monitoring carbon, water cycles, and climate change. <i>Proceedings of the IEEE</i>, 98(5), 717-734. (289 citations)
• Takenaka, H., Nakajima, T. Y., Higurashi, A., Higuchi, A., Takamura, T., Pinker, R. T., and Nakajima, T. (2011). Estimation of solar radiation using a neural network based on radiative transfer. <i>Journal of Geophysical Research: Atmospheres</i>, 116(D8). (148 citations)
• Al-Hanbali, A., Alsaadeh, B., and Kondoh, A. (2011). Using GIS-based weighted linear combination analysis and remote sensing techniques to select optimum solid waste disposal sites within Mafraq City, Jordan. <i>Journal of Geographic Information System</i>, 3(04), 267. (152 citations)

- Tateishi, R., Uriyangqai, B., Al-Bilbisi, H., Ghar, M. A., Tsend-Ayush, J., Kobayashi, T., Kasimu, A., Hoan, N. T., Shalaby, A., Alsaadeh, B., Enkhzaya, T., Gegentana, and Sato, H. P. (2011). Production of global land cover data – GLCNMO. *International Journal of Digital Earth*, 4(1), 22-49. (214 citations)
- Nuarsa, I. W., Nishio, F., and Hongo, C. (2012). Rice yield estimation using Landsat ETM+ data and field observation. *Journal of Agricultural Science*, 4(3), 45. (91 citations)
- Alimuddin, I., Sumantyo, J. T. S., and Kuze, H. (2012). Assessment of pan-sharpening methods applied to image fusion of remotely sensed multi-band data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 18, 165-175. (122 citations)
- Nuarsa, I. W., Nishio, F., Hongo, C., and Mahardika, I. G. (2012). Using variance analysis of multitemporal MODIS images for rice field mapping in Bali Province, Indonesia. *International Journal of Remote Sensing*, 33(17), 5402-5417. (62 citations)
- Irie, H., Boersma, K. F., Kanaya, Y., Takashima, H., Pan, X., and Wang, Z. F. (2012). Quantitative bias estimates for tropospheric NO₂ columns retrieved from SCIAMACHY, OMI, and GOME-2 using a common standard for East Asia. *Atmospheric Measurement Techniques*, 5(10), 2403-2411. (112 citations)
- Johnson, B. A., Tateishi, R., and Hoan, N. T. (2013). A hybrid pansharpening approach and multiscale object-based image analysis for mapping diseased pine and oak trees. *International Journal of Remote Sensing*, 34(20), 6969-6982. (136 citations)
- Tateishi, R., Hoan, N. T., Kobayashi, T., Alsaadeh, B., Tana, G., and Phong, D. X. (2014). Production of global land cover data – GLCNMO2008. *Journal of Geography and Geology*, 6(3), 99-122. (180 citations)
- Ouma, Y. O., and Tateishi, R. (2014). Urban flood vulnerability and risk mapping using integrated multi-parametric AHP and GIS: methodological overview and case study assessment. *Water*, 6(6), 1515-1545. (677 citations)

3.2.3 共同利用研究（2004～2015）

共同利用研究は、プログラム研究、萌芽的な内容のものも含む一般研究、研究会、および2014年度から新たに開始した国際共同研究に分かれており、毎年、大気・海洋・雪氷・水循環・植生・土地被覆などの衛星データの解析や付随する地上観測研究等の幅広いテーマで40～50件の研究を実施した。また、共同利用研究発表会としてCEReS環境リモートセンシングシンポジウムを毎年2月中旬頃に開催した。2004～2015年度における共同利用の件数と参加人数の推移を表3.5にまとめた。

表3.5 共同利用の件数と参加人数の推移（2004～2015）

年度	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24	H25	H26	H27	計
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	
件数	36	36	43	45	48	47	44	47	44	49	57	57	553
人数	94	79	98	153	183	172	162	112	88	107	128	131	1,507

CEReSの地球温暖化寄付研究部門は、株式会社ウェザーニューズ社の寄付により2008（平成20）年10月に発足し、約3年間の研究活動を行った。千葉大学では医学部などでは寄付研究部門の実績があったが、自然科学系部局としては初めてであり、発足に至るまでに西尾文彦センター長を中心にCEReSの教員会議や運営協議会などで慎重な検討を重ねた。予定契約期間である平成23年3月までという限られた期間内に、リモートセンシングを活用した地球温暖化研究において学術的にも、また研究の社会貢献の面からも最大の成果を達成できるよう、運用面での規程などを整備した。その骨子は、寄付研究部門をセンターのプロジェクト6として新たに位置づけ、既存のプロジェクト1～5との研究上での交流を図り、CEReSの専任教員が寄付研究部門の教員と協力して研究を推進する点にあった。平成20年10月には石橋博良客員教授と長 康平教員（助教相当）が着任し、翌平成21年2月からは常松展充客員准教授も参加して全メンバーによる活動が開始された。

寄付研究部門では、地球温暖化の影響への対策・適応に関して、環境リモートセンシング研究センターと交通と気象との関連を中心とする研究に取り組んだ。同時に、産学連携の研究の場として、大学を拠点とした研究活動と社会における実利用との接点としての活動を行った。具体的には、次のような研究項目を立てて研究活動を展開した。

- (1) 北極海航路の開拓と開発研究
- (2) マイクロ波散乱計測による積雪および路面凍結モニタリング
- (3) リモートセンシングと数値モデルを利用した温暖化研究と社会的還元
- (4) 次世代円偏波合成開口レーダ搭載小型衛星の開発と温暖化・災害情報の提供方策
- (5) 空間情報による気象災害の素因解析とその知識ベース化
- (6) 衛星および地上計測による大気・気象パラメータの収集と気候変動研究への応用
- (7) 高精度全球気象衛星データの作成と活用方策

平成16年の国立大学法人化後、大学と企業との協力のあり方については様々な議論が行われ、また色々な形での努力が続けられた。この地球温暖化寄付研究部門においても、ほぼ毎月実施された連絡会と幹事会における議論やその他の協議の場を通じて、大学側からも企業側からも積極的な提案と調整が行われた。上記の各テーマの研究活動については、次に示す一連のシンポジウムにおいて研究成果の公開を行った。

2009年6月15日（月） CEReS 寄付研究部門公開シンポジウム 13：00～17：30

けやき会館3F ―地球温暖化現象の解明・対策・適応への挑戦―

2009年12月15日（火）～16日（水） 第15回CEReS国際シンポジウム

けやき会館3F

2010年6月9日（水）寄付研究部門公開シンポジウム 13：00～17：30

けやき会館3F ―地球温暖化現象の解明・対策・適応への挑戦―

2010年10月21日（木）～23日（土） 第16回CEReS国際シンポジウム

沖縄県名護市 The 16th CEReS International Symposium on Climate Change-Studies through Activities of SKYNET and Virtual Laboratory for Climate Diagnostics

2010年5月、本寄付研究部門の開設と運営にあたって中心的な役割を担った石橋客員教授が逝去された。ウェザーニューズ社の関係者を含めて石橋客員教授逝去後の寄付部門の運営について集中的な協議を行い、その結果、選考委員会の議を経て同年9月には後任として宮部二郎客員教授が就任することとなった。その後、年末にかけて各研究テーマの進展状況を確認、CEReSとウェザーニューズ社との共同研究のあり方について議論を行い、寄付研究部門は2011年3月末をもって予定通り終了すること、その後は、両者間での包括的な協定に基づき、継続が必要な研究テーマについて共同研究を行っていくことについて合意が得られた。なお、2011年3月18日には船橋埠頭の三代目南極観測船「しらせ」艦上において成果を振り返る寄付部門シンポジウムを予定していたが、3月11日に発生した東日本大震災による千葉県湾岸の液状化、計画停電の影響により中止のやむなきに至った。このシンポジウムで発表を予定していた各報告の内容については、「寄付研究部門報告書」(図3.3)としてとりまとめ、公表した。



図3.3 寄付研究部門報告書

3.3 20周年から現在までの研究 (2016～2024)

3.3.1 第3期に向けての大学改革

1990年代初頭のいわゆるバブル崩壊以降、30年間にわたって日本が経済的に停滞している中、大学を改革することにより技術革新を産むことが経済界から強く望まれるようになった。そのため、文部科学省は大学改革の動きを第2期中期目標・中期計画期間(2010～2015年度)に強め、大学改革に前向きな大学に予算を増やし、そうでない大学の予算は漸減させるという基本方針を策定した。この改革は、法人化以降に強化された学長のリーダーシップのもとに推進されるものであり、千葉大学でも大学の2015～2021年のビジョンと、それに基づく計画TOKUHISA PLAN(学長名:徳久剛史に因む)を決定した。この中の一つが“世界最高水準の研究分野の戦略的強化”である。すなわち、千葉大学で最も重点投資すべき研究分野を「戦略的重点研究強化プログラム」と称して6課題を選定し、CEReSから提案したリモートセンシングの研究分野「先端マイクロ波リモートセンシング拠点形成」もこの内の一つに選ばれた。

先端マイクロ波リモートセンシング拠点形成¹²

本研究プロジェクトでは、小型衛星群による大陸規模地殻変動と環境の観測を目的として、100 kg級の人工衛星の開発に取り組んでいます。この小型衛星には、我々が独自に開発した円偏波合成開口レーダ(CP-SAR)と呼ばれるセンサを搭載します。このセンサで用いるマ

12 <https://imo.chiba-u.jp/academic/program/index.html>

マイクロ波は、雲、霧、煙などを通過するため、曇天や夜間に関係なく観測できます。24時間全天候型のセンサであることが大きな利点です。

本事業では、CP-SARの性能を確認するために、CN235機に搭載した飛行実証実験により、世界初の円偏波画像の取得に成功しました。第2期中期目標期間内での実績は、世界に先駆け小型・軽量、且つ円偏波を送信できるCP-SARを開発したことです。本拠点では、令和3年度までにグローバル環境・災害観測用の小型衛星CP-SAR及び運用ネットワークを実現するため、国内外のSAR画像信号処理、応用等の関連研究者の人材交流を推進し、グローバル災害・環境監視に役立てていきます。

2015（平成27）年6月から8月にかけて、第2期中期目標・中期計画期間の共同利用・共同研究拠点の期末評価および第3期（2016～2021年度）への継続申請の審査が行われた。本センターは評価結果S, A, B, Cの中のAと評価され、第3期における拠点の継続も認可された。この期末評価を通じて明らかになった本センターの今後の改善点は次の通りである。

- ・この期末評価のために、本センターは衛星データのダウンロードファイル数の増加を共同利用の意義の説明に使っていたが、今後は共同利用により得られた研究成果の例示が説明に必要である。
- ・拠点の意義は、データの公開そのものではなく、データ公開あるいはセンター独自の手法などを通じた異なる分野の研究者のコーディネートによる新しい研究の推進とその成果である。第3期ではこの拠点の意義に応えられるように研究活動をさらに進める必要がある。

3.3.2 「研究部門制」による研究推進

2021年10月から従来の3プロジェクト制（先端的リモートセンシング、情報統合、利用高度化）を発展的に改組し、先端センシング部門、環境診断部門、環境予測部門、統合解析部門、および社会実装部門の5研究部門体制に移行した。

2024（令和6）年度における5研究部門の内容、主担当教員は下記のようになっている。

- ①**先端センシング部門**…センサ開発、観測システム開発、観測データからの情報抽出法の開発など、計測技術に関する先端的な研究を行う。（入江、ヨサファット、本多、梶原）
- ②**環境診断部門**…衛星観測、地上観測データベースを活用し、地球環境の変動とその要因を解明する研究を行う。（市井、齋藤、楊、山本）
- ③**環境予測部門**…様々なリモートセンシングデータに基づき数値シミュレーションやビッグデータ解析を活用した環境予測研究を行う。（服部、小槻、岡崎）
- ④**統合解析部門**…リモートセンシングデータを中心とした地球環境情報を統合的に解析し、地球環境理解のさらなる深化に資する。（樋口、濱田 篤*、金丸佳矢**）
- ⑤**社会実装部門**…様々なステークホルダーとの協働を通してリモートセンシング研究の成果を社会実装し課題解決を行う。（本郷、木村篤史*）

*客員准教授、**客員研究員

2016～2020年のCEReS全体の論文・著書等の研究業績や国内外学会での研究発表の状況を表3.6に、トムソンロイターのWeb of Scienceによる統計を表3.7にまとめた¹³。また、2016～2021年に公刊されたCEReS関連論文のうち、引用回数が比較的多いものを表3.8にまとめた。

表3.6 論文・著書等の研究業績や国内外学会での研究発表の状況（2016～2020）

年度	H28 2016	H29 2017	H30 2018	R 1 2019	R 2 2020	合計
研究者数	27	30	33	37	31	
著書	19	11	18	25	2	75
査読論文	70	81	115	105	79	450
解説その他	5	3	2	4	4	18
学会研究会発表	328	387	379	440	129	1,663
うち国際学会	142	193	179	225	75	814
うち国内学会	186	194	200	215	54	849

表3.7 トムソンロイターのWeb of Scienceによる統計（2016～2020）

年度	H28 2016	H29 2017	H30 2018	R 1 2019	R 2 2020	合計
WoS論文数	43	58	75	84	49	309
一人当たり	1.59	1.93	2.27	2.27	1.58	1.95
Top10%論文	2	7	13	13	4	39
Top 1 %論文	0	0	2	1	0	3
それ以外の論文	37	50	59	65	35	246
ESI対象外	4	1	3	6	10	24
国際共著	18	33	46	53	21	171
国際共著率	41.9%	56.9%	61.3%	63.1%	42.9%	55.3%

表3.8 引用回数が比較的多いCEReS関連論文（2016～2021）

- Luo, Q., Gao, S., Sobhy, M., Sumantyo, J. T. S., Li, J., Wei, G., Xu, J., and Wu, C. (2016). Dual circularly polarized equilateral triangular patch array. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 64(6), 2255-2262. (58 citations)
- Irie, H., Muto, T., Itahashi, S., Kurokawa, J. I., and Uno, I. (2016). Turnaround of tropospheric nitrogen dioxide pollution trends in China, Japan, and South Korea. SOLA, 12, 170-174. (57 citations)
- Sharma, R. C., Tateishi, R., Hara, K., Gharechelou, S., and Iizuka, K. (2016). Global mapping of urban built-up areas of year 2014 by combining MODIS multispectral data with VIIRS nighttime light data. International Journal of Digital Earth, 9(10), 1004-1020. (118 citations)
- Kausarian, H., Sri Sumantyo, J. T., Kuze, H., Aminuddin, J., and Waqar, M. M. (2017). Analysis of polarimetric decomposition, backscattering coefficient, and sample properties for identification and layer thickness estimation of silica sand distribution using L-band synthetic aperture radar. Canadian Journal of Remote Sensing, 43(2), 95-108. (88 citations)

13 第7回自己点検・外部評価資料 P17

-
- Cong, N., Shen, M., Piao, S., Chen, X., An, S., Yang, W., Fu, Y. H., Meng, F., and Wang, T. (2017). Little change in heat requirement for vegetation green-up on the Tibetan Plateau over the warming period of 1998–2012. *Agricultural and Forest Meteorology*, 232, 650-658. (55 citations)
 - Jung, M., Reichstein, M., Schwalm, C. R., Huntingford, C., Sitch, S., Ahlstrom, A., Arneth, A., Camps-Valls, G., Ciais, P., Friedlingstein, P., Gans, F., Ichii, K., Jain, A. K., Kato, E., Papale, D., Poulter, B., Raduly, B., Rodenbeck, C., Tramontana, G., Viovy, N., Wang, Y. P., Weber, U., Zaehle, S., and Zeng, N. (2017). Compensatory water effects link yearly global land CO₂ sink changes to temperature. *Nature*, 541(7638), 516-520. (606 citations)
 - Köhler, P., Guanter, L., Kobayashi, H., Walther, S., and Yang, W. (2018). Assessing the potential of sun-induced fluorescence and the canopy scattering coefficient to track large-scale vegetation dynamics in Amazon forests. *Remote Sensing of Environment*, 204, 769-785. (98 citations)
 - Razi, P., Sumantyo, J. T. S., Perissin, D., Kuze, H., Chua, M. Y., and Panggabean, G. F. (2018). 3D land mapping and land deformation monitoring using persistent scatterer interferometry (PSI) ALOS PALSAR: Validated by Geodetic GPS and UAV. *IEEE Access*, 6, 12395-12404. (50 citations)
 - Yang, W., Kobayashi, H., Wang, C., Shen, M., Chen, J., Matsushita, B., Tang, Y., Kim, Y., Bret-Harte, M. S., Zona, D., Oechel, W., and Kondoh, A. (2019). A semi-analytical snow-free vegetation index for improving estimation of plant phenology in tundra and grassland ecosystems. *Remote Sensing of Environment*, 228, 31-44. (48 citations)
 - Kotsuki, S., Kurosawa, K., and Miyoshi, T. (2019). On the properties of ensemble forecast sensitivity to observations. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 145(722), 1897-1914. (35 citations)
 - Diaz, S., Settele, J., Brondizio, E. S., Ngo, H. T., Agard, J., Arneth, A., Balvanera, P., Kate A. Brauman, K. A., Butchart, S. H. M., Chan, K. M. A., Garibaldi, L. A., Ichii, K., Liu, J., Subramanian, S. M., Midgley, G. F., Miloslavich, P., Molnar, Z., Obura, D., Pfaff, A., Polasky, S., Purvis, A., Razzaque, J., Reyers, B., Chowdhury, R. R., Shin, Y. J., Visseren-Hamakers, I., Willis, K. J., and Zayas, C. N. (2019). Pervasive human-driven decline of life on Earth points to the need for transformative change. *Science*, 366(6471), eaax3100. (1909 citations)
 - Jung, M., Koirala, S., Weber, U., Ichii, K., Gans, F., Camps-Valls, G., Papale, D., Schwalm, C., Tramontana, G., and Reichstein, M. (2019). The FLUXCOM ensemble of global land-atmosphere energy fluxes. *Scientific data*, 6(1), 74. (469 citations)
 - Xiao, J., Chevallier, F., Gomez, C., Guanter, L., Hicke, J. A., Huete, A. R., Ichii, K., Ni, W. J., Pang, Y., Rahman, A. F., Sun G. Q., Yuan, W. P., Zhang, L., and Zhang, X. (2019). Remote sensing of the terrestrial carbon cycle: A review of advances over 50 years. *Remote Sensing of Environment*, 233, 111383. (400 citations)
 - Miaogen, S., Jiang, N., Dailiang, P., Yuhan, R., Huang, Y., Wei, Y., Zhu, X., ..., Liang, E., and Yanhong, T. (2020). Can changes in autumn phenology facilitate earlier green-up date of northern vegetation?. *Agricultural and Forest Meteorology*, 291, 108077. (52 citations)
 - Kreher, K., Van Roozendaal, M., Hendrick, F., Apituley, A., Dimitropoulou, E., Frieß, U., ..., Hoque, S., Irie, H., Jin, J., ..., Zhang, C., and Zhao, X. (2020). Intercomparison of NO₂, O₄, O₃ and HCHO slant column measurements by MAX-DOAS and zenith-sky UV–visible spectrometers during CINDI-2. *Atmospheric Measurement Techniques*, 13(5), 2169-2208. (98 citations)
 - Kim, J., Jeong, U., Ahn, M. H., Kim, J. H., Park, R. J., Lee, H., ..., Ja-Ho Koo, J. H., Irie, H., Hayashida, S., ..., McElroy, C. T., and Choi, Y. (2020). New era of air quality monitoring from space: Geostationary Environment Monitoring Spectrometer (GEMS). *Bulletin of the American Meteorological Society*, 101(1), E1-E22. (220 citations)
 - Yamamoto, Y., Ichii, K., Higuchi, A., and Takenaka, H. (2020). Geolocation accuracy assessment of Himawari-8/AHI imagery for application to terrestrial monitoring. *Remote Sensing*, 12(9), 1372. (47 citations)
-

- Verhoelst, T., Compernelle, S., Pinardi, G., Lambert, J. C., Eskes, H. J., Eichmann, K. U., ..., Hansen, G. H., Irie H., Jepsen, N., ..., Gonzalez, M. T. and Zehner, C. (2021). Ground-based validation of the Copernicus Sentinel-5p TROPOMI NO₂ measurements with the NDACC ZSL-DOAS, MAX-DOAS and Pandonia global networks. *Atmospheric Measurement Techniques*, 14(1), 481-510. (235 citations)
- Chandra, N., Patra, P. K., Bisht, J. S., Ito, A., Umezawa, T., Saigusa, N., Morimoto, S., Aoki, S., Janssens-Masnhout, G., Fujita, R., Takigawa, M., Watanabe, S., Saitoh, N., and Canadell, J. G. (2021). Emissions from the oil and gas sectors, coal mining and ruminant farming drive methane growth over the past three decades. *Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II*, 99(2), 309-337. (54 citations)
- Portner, H. O., Scholes, R. J., Agard, J., Leemans, R., Archer, E., Bai, X., ..., Handa, C., Hickler T., Hoegh-Guldberg, O., Ichii, K., Ute, J., ..., Ning, W., and Ngo, H. (2021). IPBES-IPCC co-sponsored workshop report on biodiversity and climate change. (441 citations)

3.3.3 共同利用研究（2016～2024）

共同利用研究は、プログラム研究、萌芽的な内容のものも含む一般研究、研究会、国際共同研究、2019年度に新たに開始したプログラム研究・研究会（プログラム研究を強化させるための研究会）に分かれている。毎年、大気・海洋・雪氷・水循環・植生・土地被覆などの衛星データの解析や付随する地上観測研究等の幅広いテーマで40～50件の研究を実施している。共同利用研究発表会としてCEReS環境リモートセンシングシンポジウムを毎年2月中旬頃に開催している（図3.4；2021、2022年度は新型コロナ禍のため対面開催は中止し、オンラインで開催）。2016～2024年度における共同利用の件数と参加人数の推移を表3.9に、また共同利用研究者の所属機関別内訳を表3.10に示す。

表3.9 共同利用の件数と参加人数の推移（2016～2024）

年度	H28 2016	H29 2017	H30 2018	R 1 2019	R 2 2020	R 3 2021	R 4 2022	R 5 2023	R 6 2024	計
件数	56	49	51	57	55	61	61	62	66	518
人数	158	118	130	154	133	148	141	121	175	1,278

表3.10 共同利用研究者の所属機関別内訳（2016～2024）

年度	H28 2016	H29 2017	H30 2018	R 1 2019	R 2 2020	R 3 2021	R 4 2022	R 5 2023	R 6 2024
千葉大学（部局）	3	3	5	7	4	5	6	5	6
国公立大学	32	25	30	37	32	26	18	20	29
私立大学	13	10	17	11	9	6	5	6	9
大学共同利用機関法人	1	0	0	2	1	1	1	1	2
独法等公的研究機関	10	5	7	13	11	11	8	7	7
民間機関	11	10	7	6	4	3	5	6	7
外国機関	14	10	12	11	13	21	15	20	24
その他	2	2	0	4	4	4	4	4	5
計	86	65	78	91	78	77	62	69	89



図3. 4 2023年2月16日開催の第25回CEReS環境リモートセンシングシンポジウムの集合写真。
3年ぶりに対面開催が実現できた。

3. 4 国際シンポジウム

CEReSでは、発足以来、全国共同利用機関として研究レベルの向上を図るため国際化を積極的に推進し、表3.11に示すように毎年度、CEReS国際シンポジウムを開催して現在に至っている。「アジア域の環境変動のモニタリング」を主テーマとしているためアジア各国からの参加者が多いが、欧米からの参加者も得ている。開催場所は千葉大学のけやき会館や自然科学研究科の大会議室などが多いが、近年では千葉大学がインドネシア姉妹校7校と開催している国際会議IJSS（Indonesia Japan Joint Scientific Symposium）との共催でインドネシアのジャカルタやバリでの開催も行っている。

表3. 11 CEReS主催国際シンポジウムの年度別開催状況（1995～2020）

年度	開催日	回数	シンポジウム名称	開催場所	参加者
H 7 年度	1995年 8 月 29～31日	第 1 回	国際植生モニタリング The CEReS International Symposium on Vegetation Monitoring	千葉大学 けやき会館	160名
H 8 年度	1997年 1 月 29～31日	第 2 回	乾燥・半乾燥地域の環境問題におけ るリモートセンシングの役割 The CEReS International Symposium on the Role of Remote Sensing for the Environmental Issues in Arid and Semi-Arid Regions	千葉大学 大学院自然科学 研究科 大会議室	口頭発表 40件
H 9 年度	1997年11月 5～7日	第 3 回	アジアの水文環境 The CEReS International Symposium on Hydro-Environment in Asia	千葉大学 大学院自然科学 研究科 大会議室	口頭発表 48件

年度	開催日	回数	シンポジウム名称	開催場所	参加者
H 9 年度	1998年 1 月 21～23日	第 4 回	衛星データの大気補正とその地球環境への応用 The CEReS International Symposium on the Atmospheric Correction of Satellite Data and Its Application to Global Environment	千葉大学 けやき会館	90名
H10年度	1998年12月 10～11日	第 5 回	衛星観測による草原植生モニタリング The CEReS International Symposium on Global Change in East Asia – Vegetation Monitoring –	千葉大学 けやき会館	72名
H11年度	1999年12月 13～15日	第 6 回	海色リモートセンシングと炭素循環 The CEReS International Symposium on Ocean Color Remote Sensing and Carbon Flux	千葉大学 けやき会館	口頭発表 29件
H12年度	2001年 2 月 22～23日	第 7 回	大気のリモートセンシングと衛星データの検証 The CEReS International Symposium on Remote Sensing of Atmosphere and Validation of Sattelllte Data	千葉大学 けやき会館	63名
H14年度	2003年 3 月 10日	第 8 回	雪氷圏およびオホーツク海とその海水に関する国際リモートセンシングシンポジウム The CEReS International Symposium on Remote Sensing of Cryosphere, Okhotsk Sea and Sea Ice	千葉大学 けやき会館	46名
H15年度	2003年12月 16～17日	第 9 回	アジアにおける環境変動のモニタリング The CEReS IntemaIional Symposium on Remote Sensing – Monitoring of Environmental Change in Asia	千葉大学 けやき会館	91名
H16年度	2005年 2 月 17～18日	第10回	衛星および地上観測データによる放射収支と大気パラメータの研究 ―アジアにおける長期傾向の理解に向けて The CEReS International Symposium on Radiation Budget and Atmospheric Parameters Studied by Satellite and Ground Observarion Data – Toward the Understanding of Long Term Trend in Asia	千葉大学 けやき会館	109名
H17年度	2005年12月 13～14日	第11回	地球環境の理解のための衛星データの最大限活用 The CEReS International Symposium on Remote Sensing “Maximizatin of the Use of Satellite Data for Understanding the Earth Environment”	千葉大学 けやき会館	102名

年度	開催日	回数	シンポジウム名称	開催場所	参加者
H18年度	2007年1月 10日	第12回	次世代の衛星搭載センサを利用した 植生のバイオマス推定 The CEReS International Symposium and International Workshop on “Global Estimation of Biomass using the Next Generation Sensor”	東京大学生産 技術研究所 An 棟	13名
H19年度	2007年10月 29～30日	第13回	アジア地域における災害モニタリング と影響緩和 The CEReS International Symposium on Remote Sensing “Disaster Monitoring and Mitigation in Asia”	千葉大学 けやき会館	91名
H20年度	2008年11月 13～14日	第14回	気候変動をより理解するための大気 リモートセンシングおよび SKYNET ワークショップ The CEReS International Symposium and SKYNET Workshop on “Remote Sensing of the Atmosphere for Better Understanding of Climate Change”	千葉大学 けやき会館	84名
H21年度	2009年12月 15～16日	第15回	環境リモートセンシングの成果と新た な挑戦 The CEReS International Symposium on Remote Sensing “Achievement and New Challenge of Environmental Remote Sensing”	千葉大学 けやき会館	94名
H22年度	2010年10月 21～23日	第16回	SKYNET および 4 大学連携 VL の活 動を通じた気候変化研究 The CEReS International Symposium on Climate Change Studies through Activities of SKYNET and Virtual Laboratory for Climate Diagnostics	沖縄県名護市 ホテル ゆがふいん おきなわ	36名
H23年度	2012年3月 1日	第17回	マイクロ波リモートセンシングによる 環境診断 Microwave Remote Sensing for Environmental Diagnosis	千葉大学 けやき会館	60名
H24年度	2012年10月 24日	第18回	環境モニタリングと関連研究のアジア ネットワーク (IJSS) Asian Network for Environmental Monitoring and Related Studies	千葉大学 工学部10号棟 会議室	70名
H25年度	2013年7月 4～5日	第19回	国際スカイネットワークワークショップ International SKYNET Workshop 2013	千葉大学 人文社会系 研究棟	50名

年度	開催日	回数	シンポジウム名称	開催場所	参加者
H25年度	2013年8月 8～9日	第20回	第1回リモートセンシング用小型衛星 国際シンポジウム (SOMIRES2013) Symposium on Microsatellites for Remote Sensing (SOMIRES2013)	千葉大学 アカデミック リンクセンター	70名
H26年度	2014年8月 22日	第21回	第2回リモートセンシング用小型衛星 国際シンポジウム Symposium on Microsatellites for Remote Sensing (SOMIRES2014)	インドネシア バリ島	60名
H26年度	2014年10月 29日	第22回	CEReS 国際シンポジウム／第6回 インドネシア・日本共同科学シンポ ジウム (IJSS) The CEReS International Symposium／The 6th Indonesia Japan Joint Scientific Symposium 2018 (IJSS2018)	インドネシア ジョグジャカルタ	84名
H27年度	2015年12月 1～2日	第23回	CEReS20周年記念合同シンポジウム Symposium on Microsatellites for Remote Sensing (SOMIRES2015)	千葉大学 けやき会館	136名
H28年度	2016年11月 21～24日	第24回	CEReS 国際シンポジウム／IJSS、 第4回小型衛星合同シンポジウム The CEReS International Symposium／IJSS and Joint Symposium on Microsatellites for Remote Sensing (SOMIRES2016)	千葉大学 けやき会館 人文社会系 研究棟	211名
H29年度	2017年5月 26日	第25回	CEReS 国際シンポジウム／MOLI 国 際ワークショップ The CEReS International Symposium／International Workshop on Vegetation Lidar and Application from Space 2017	千葉大学 松韻会館	45名
H29年度	2017年11月 24日	第26回	CEReS 国際シンポジウム／合同 (第5 回小型衛星シンポジウム (SOMIRES 2017)、第2回先端マイクロ波リモート センシングシンポジウム) The CEReS International Symposium／The 5th Symposium on Microsatellites for Remote Sensing (SOMIRES2017), The 2nd Symposium on Innovative Microwave Remote Sensing	インドネシア ジャカルタ	20名

年度	開催日	回数	シンポジウム名称	開催場所	参加者
H30年度	2018年10月 9～11日	第27回	CEReS国際シンポジウム／第8回 インドネシア・日本共同科学シンポ ジウム (IJSS) The CEReS International Symposium／The 8th Indonesia Japan Joint Scientific Symposium 2018 (IJSS2018)	インドネシア ジャカルタ	100名
R01年度	2019年11月 14～15日	第28回	CEReS国際シンポジウム／第9回イ ンドネシア・日本共同科学シンポジウ ム (IJSS) The CEReS International Symposium／The 9th Indonesia Japan Joint Scientific Symposium 2019 (IJSS2019)	インドネシア バリ島	230名
R01年度	2020年1月 27日	第29回	CEReS国際シンポジウム／MOLI 国際ワークショップ The CEReS International Symposium／International Workshop on Vegetation Lidar and Application from Space 2020	千葉大学 松韻会館	43名

一例として、下に2016（平成28）年11月に開催した第24回CEReS国際シンポジウム／第4回小型衛星シンポジウム（SOMIRES 2016）を報じたCEReSニュースの記事と集合写真（図3.5）を引用しておく。

平成28年11月21日から24日にかけて、2年に1度の千葉大学とインドネシアの大学との共同科学シンポジウム（IJSS; Indonesia Japan Joint Scientific Symposium）が千葉大学で開催されました。このシンポジウムは両国の研究者や大学院生が交流を行う機会を提供する場でもあり、今回は当センターの3つのシンポジウムを同時開催しました。各シンポジウム合計で29のセッションが設けられ、情報通信やリモートセンシングを含むセンシング、地球科学、災害と減災、医学・薬学、教育、経済学、食料と水など幅広い分野にわたって160近い論文の発表がけやき会館と人文社会系総合研究棟で行われました。この様子は、CEReSニュースレター2016年11月号（No.132）でも紹介しています。プログラムおよびプロシーディングは、下記CEReSウェブサイトをご参照ください。

<http://www.cr.chiba-u.jp/Documents/symposiums/symp2016/Proceedings-CEReS-IntlSympo24-IJSS2016.pdf>



図3.5 2016年11月に千葉大学で開催した第24回 CEReS 国際シンポジウムの集合写真

TOPICS

気候診断系に関わるバーチャルラボラトリー（VL）の形成

昨今の異常気象と地球温暖化、地球シミュレータ稼働（2007年当時）等の新しい状況下で、温暖化に関する人工衛星リモートセンシングデータの収集・解析、およびその共同利用者への供給は研究者コミュニティへの貢献のみならず、社会への情報還元の意味からも非常に意義が大きい。こうした背景の中、2007年度より地球気候系の診断を行うため、我が国において気候・環境研究を推進している4研究センター（2007年当時）；東京大学気候システム研究センター（現：東京大学大気海洋研究所）、名古屋大学地球水循環研究センター（現：名古屋大学宇宙地球環境研究所）、東北大学大気海洋変動研究センター、およびCEReSが共同してバーチャルラボラトリー（VL）を形成し、各センターの特色と研究資産を生かした研究と教育を分担・連携して行うこととなった（図1）。VLとして気候診断に関わる重要な課題に取り組み、地球温暖化イニシアチブ、水循環イニシアチブ、地球観測統合システム（GEOSS）等の我が国における重要課題に貢献すること、また、連携形成によって学生や若手研究者の現場教育と育成のために、機関の枠を超えたセミナーや研究会・講習会を開き、我が国における当該分野の研究・教育レベルの向上に努めること、を目標に掲げてきた。なお、このVLの枠組みは日本初の共同利用研を束ねる連携であったことは特筆すべき点である。

VLの中のCEReSの役割（VL-CEReS）は人工衛星データ収集、特に世界の主要な静止気象衛星データの収集・処理・公開である。VL設立当初は 1.（少なくとも）近年10年の6基の静止気象衛星データのアーカイブ 2. グリッド化（緯度経度直行座標系への幾何補正）とセンサ校正アルゴリズムの開発（および適用） 3. 個々の衛星・（全球合成）データの公開サーバ群の立ち上げと運用（図2）、が活動の柱であり、CEReSでは計算機・データベース委員会の活動と一体となって対応にあたった。

過去データは(株)ビジョンテックを介してNOAA、EUMETSATにデータ要求を行い、LTOテープに収録されたlevel 1bデータを読み出した後、関連研究者からのアドバイスを受けグリッド生成用幾何補正プログラムを独自に作成し、グリッドデータ生成処理を実施した。リアルタイム分は株式会社ウェザーニューズ（WNI）との連携強化により、WNIがリアル

タイム取得するMTSAT、GOES-E、GOES-Wデータを提供して頂き、それらのデータを準リアルタイムで処理することでグリッド化を進めた。さらにVL開始に合わせ、中国静止気象衛星FY-2シリーズ受信装置を導入、同じく準リアルタイム処理を進めた。こうした積極的な活動により2010年度には過去10年以上の主要な静止気象衛星データの収集・処理・公開がほぼ完了し、当初の目的を達成した。

研究分担とシナジー効果の創出

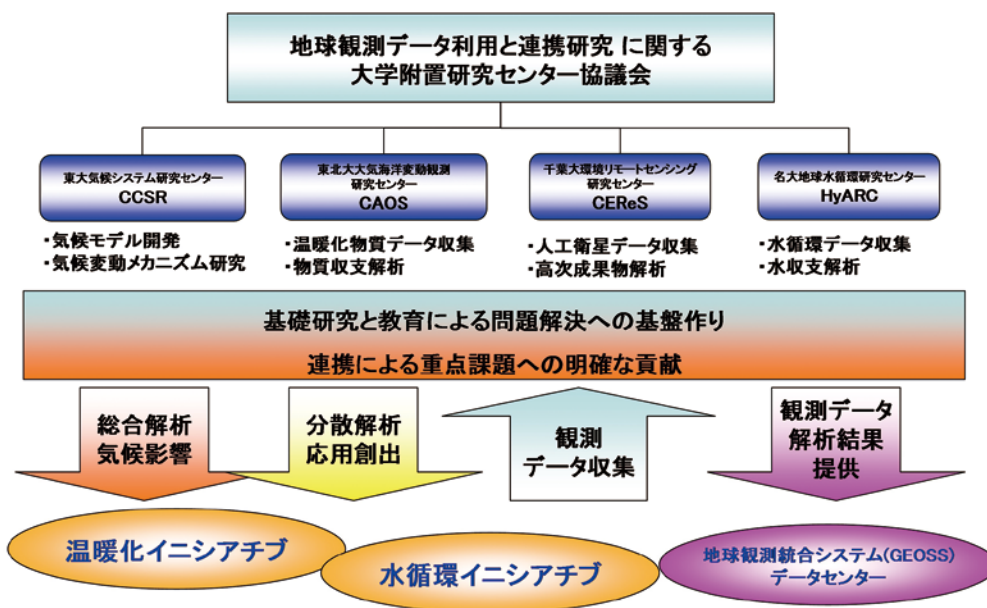


図1 VL開始時に作られた各研究センターの役割

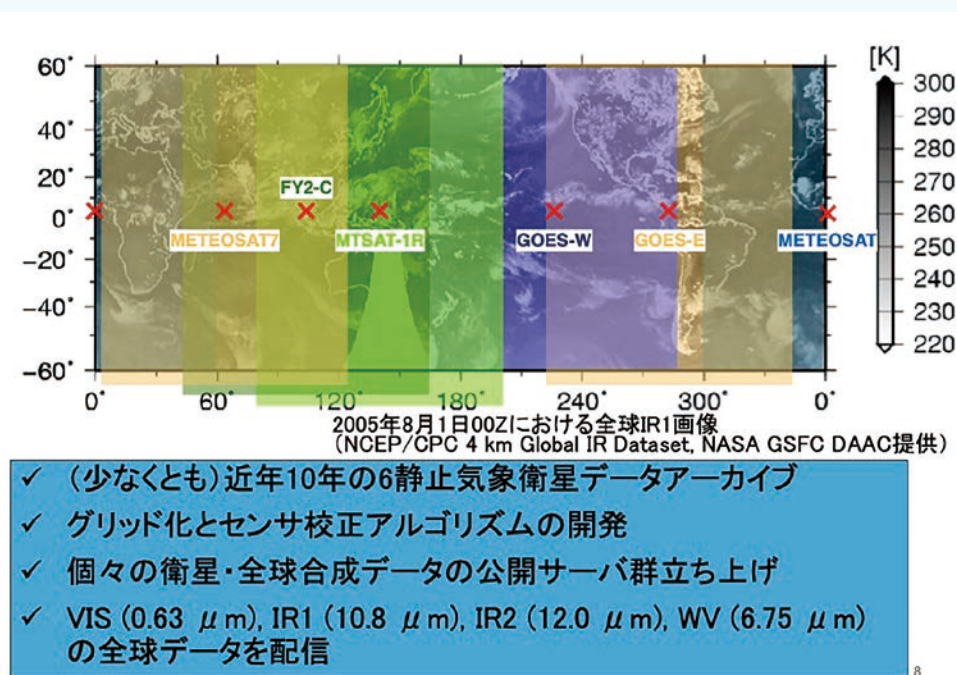


図2 VL-CEReSでの静止気象衛星データアーカイブ説明時に使ったスライド

VL-CEReSの長期静止気象衛星データアーカイブが気象庁でも評価され、同庁が所有する過去のひまわりデータ（GMS-1～GMS-5）が無償で提供された。提供されたひまわりデータもグリッド化を施し、ひまわり観測域では40年以上、他の観測域でも30年以上の静止気象衛星データを保有・公開するに至った（表1）。このような経緯があり、現在のひまわり8・9号データのCEReSからの研究目的での提供は、VLでの活動がベースとなっていると言ってよい。

表1 2024年3月末現在での静止気象衛星データ公開状況

Current GEO archive in CEReS										
	*1: 3hourly data only			ftp://hmwr127.cr.chiba-u.ac.jp/						
Asia 1 (HIMAWARI)	GMS1 ^{*1} 198103- 198406	GMS2 ^{*1} 198112- 198409	GMS3 ^{*1} 198409- 198912	GMS4 198912- 199506	GMS5 199506- 200305	GOES9 200305- 200507	MTSAT1R 200506- 201007	MTSAT2 201006- 201507	H-08 201507- 202212	H-09 202212- NOW
Asia 2 (FY2 Series)	ftp://fy.cr.chiba-u.ac.jp/					FY2-C 200605- 200809	FY2-D 200809- 201512	FY2-E 201512- 201901	FY2-G 201902- 202403	
Asia 3 (Meteosat -IODC)	ftp://meteosat.cr.chiba-u.ac.jp/ , but IP restricted server access due to EUMETSAT data policy.			MFG5 199804-200702			MFG7 200607- 201703	MSG1 201702- 202201	MSG2 202201- NOW	
EU-Africa (ODeg)		MFG4 198912- 199402	MFG5 199402- 199707	MFG6 199610- 200212	MFG7 199806- 200607	MSG1 200401- 200612	MSG2 200609- NOW	MSG3 201212- 201802	MSG4 201802- NOW	MTG1 Not Yet
America (GOES- EAST)	ftp://goes.cr.chiba-u.ac.jp/			GOES08 199409-200303		GOES12 200304-201004		GOES13 201004- 201801	GOES-R 201712- NOW	
Pacific (GOES- WEST)	ftp://goes.cr.chiba- u.ac.jp/		GOES07 -199509	GOES09 199507- 199807	GOES10 199807-200606		GOES11 200606- 201112	GOES15 201112- 201811	GOES-S 201812- 202301	GOES-T 202210- NOW

(as of 31 Mar., 2024)

Himawari 8/9 HS: ftp://hmwr829hs.cr.chiba-u.ac.jp/ (only restricted IP), gridded data: ftp://hmwr829gr.cr.chiba-u.jp/ (anyone can access)
GOES-R (3rd Gen. GOES-East: netCDF (FD, GLM only) ftp://goes3g-est.cr.chiba-u.ac.jp) (anyone can access)
GOES-S -T (3rd Gen. GOES-West: netCDF (FD, GLM only) ftp://goes3g-west.cr.chiba-u.ac.jp) (anyone can access)

こうしたデータ提供の他にも、CEReSの特色ある活動として放射国際観測ネットワーク SKYNETの維持・強化、CO₂衛星観測・モデリングに関する連携等を通じ、VL参加機関の連携が強化されている。

VLのもう一つの柱として教育活動があり、これまで講習会を毎年欠かさず実施している。4機関の持ち回りであることから各機関4年に一度の実施となり、実施機関にとって過度な負担にならず、マンネリにならない（毎回新しいトピックを入れる）仕組みと言える。CEReSがこれまで実施した講習会は以下の通りである。

- ・第2回VL講習会：2008年9月10日～12日。千葉大学、参加者37名
「衛星観測データ解析の基礎を学ぶ」高村教授、本多准教授の座学に加え、Linux上でMTSAT、MODIS、TRMMデータの簡単な解析を実施。詳しくはCEReS Newsletter No.34（2008年9月）を参照。
- ・第6回VL講習会：2012年9月18日～19日。千葉大学、参加者37名
「エアロゾルと大気補正」高村教授、久世教授、入江特任准教授の座学に加え、SKYNETデータを用いたエアロゾルパラメータの導出演習を実施。詳しくはCEReS Newsletter No.82（2012年9月）を参照。
- ・第10回VL講習会：2016年9月20日～21日。千葉大学、参加者53名

「日本の地球観測衛星を知ろう」日本が打ち上げた、または計画中のミッションについて JAXA および関係機関から研究者を招聘し講演。ひまわり 8 号データ解析を演習で実施。詳しくは CERE S Newsletter No.130 (2016 年 9 月) を参照。

- ・第14回 VL 講習会：2021 年 3 月 8 日～9 日。オンライン、参加者104名
「気候変動研究におけるリモートセンシングの役割」8 つのテーマのオンデマンド講義に加え、Python でのひまわり 8 号データ解析、Google Earth Engine を用いた陸面データセット解析演習（共にオンライン）を実施。詳しくは CERE S Newsletter No.184 (2021 年 3 月) を参照。
- ・第18回 VL 講習会：2025 年 3 月 3 日～4 日、千葉大学。機械学習等を演習内容にする予定。

こうした講習会に参加した若手が育ち、現在の気候変動研究や VL 活動に貢献する例も多く出てきている。VL 活動を支援する経費は開始当初は、毎年概算要求を行う必要のある特別経費であったが、その後一般経費化されたことで共同研究拠点間の連携らしい息の長い活動として継続することができている。気候変動研究は言うまでもなく今後も重要であり、引き続き安定かつ継続した支援が望まれる。

(樋口篤志)

第4章

教育と人材育成

4.1 国立大学法人化以前の教育（1995～2004）

CEReSの所属教員は、理学部・工学部および各大学院における教育を担当している。千葉大学沿革¹⁴によると、関連する大学院の組織は下記に示すように推移して現在に至っている。この変遷に応じ、CEReS所属の修士・博士課程大学院生の研究科・専攻名もそれぞれの入学年度にしたがって変わることになる。

- ・理学研究科 1975（昭和50）年4月－1996（平成8）年3月廃止
 - ・工学研究科 1965（昭和40）年4月－1996（平成8）年3月廃止
 - ・自然科学研究科 1988（昭和63）年4月
 - 修士 生命・地球科学専攻－1996（平成8）年4月改組
 - 知能情報科学専攻－1996（平成8）年4月改組
 - 像科学専攻－1996（平成8）年4月改組
 - 博士 情報システム科学専攻 1994（平成6）年4月増設
 - －情報科学専攻 1998（平成10）年4月改組
 - 人工システム科学専攻 1997（平成9）年4月増設
 - 環境科学専攻－人間・地球環境科学専攻 1998（平成10）年4月改組
 - －地球生命圏科学専攻 2004（平成16）年4月
 - 多様性科学専攻 1996（平成8）年4月増設
 - －多様性科学専攻 2004（平成16）年4月
-
- ・1988（昭和63）年4月 大学院自然科学研究科設置（独立研究科、後期3年博士課程）
（数理・物質科学専攻、生産科学専攻、環境科学専攻）
 - ・1994（平成6）年4月 大学院自然科学研究科情報システム科学専攻設置
（大学院自然科学研究科、数理・物質科学専攻を物質科学専攻に名称変更）
 - ・1996（平成8）年 大学院理学研究科（修士課程）が廃止され、大学院自然科学研究科に組み入れられた（入学定員を40名から113名に増やした）。
 - ・1996（平成8）年4月 大学院自然科学研究科を博士後期課程とし物質科学専攻、情報システム科学専攻、生物科学専攻、環境科学専攻に、新たに多様性科学専攻を設置
 - ・1997（平成9）年4月 大学院自然科学研究科博士後期課程の生産科学専攻を廃止し人工システム科学専攻、生命資源科学専攻を設置
 - ・1998（平成10）年4月 大学院自然科学研究科博士後期課程の物質科学専攻、情報システム科学専攻及び環境科学専攻を廃止し、物質高次科学専攻、情報科学専攻及び人間・地球科学専攻を設置
 - ・2007（平成19）年4月 融合科学研究科を設置、情報科学専攻 修士・博士は平成29年3月まで募集
 - ・2017（平成29）年 理学研究科、融合科学研究科、工学研究科が統合され、教育組織として大学院融合理工学府が、研究組織として大学院理学研究院、大学院工学研究院が設置された。

14 https://www.chiba-u.ac.jp/about/files/pdf/enkakuzu2018_1.pdf
https://www.h.chiba-u.jp/outline/history/historical_record/index.html

1995年度までは、CEReSの教員は大学院工学研究科と自然科学研究科に所属して学生の教育にあたった。1996年度以降は自然科学研究科が修士課程を含む形で発足し、修士課程は主に生命・地球科学専攻、像科学専攻、知能情報科学専攻において、また、博士課程は主に環境科学専攻（1998年に人間・地球環境科学専攻、2004年に地球生命圏科学専攻に名称変更）、多様性科学専攻、人工システム科学専攻において教育を担当した。表4.1に2003年度までの修士（博士前期）課程の修了者の年次変化を、また表4.2に博士（博士後期）課程の修了者名・専攻・学位をまとめた。

表4.1 修士（博士前期）課程修了者数 1995～2003年度

1995	修士 13	工学研究科 画像工学専攻	10
		情報工学専攻	2
		自然科学研究科 生産科学専攻	1
1996	修士 9	工学研究科 画像工学専攻	6
		情報工学専攻	3
1997	修士 16	自然科学研究科 像科学専攻	14
		情報科学専攻	2
1998	修士 8	自然科学研究科 像科学専攻	7
		自然科学研究科 認識情報科学専攻	1
1999	修士 17	自然科学研究科 像科学専攻	13
		知能情報科学専攻	4
2000	修士 13	自然科学研究科 像科学専攻	10
		電子機械科学専攻	1
		生命・地球科学専攻	2
2001	修士 11	自然科学研究科 像科学専攻	7
		知能情報科学専攻	2
		生命・地球科学専攻	2
2002	修士 13	自然科学研究科 像科学専攻	11
		知能情報科学専攻	2
2003	修士 10	自然科学研究科 像科学専攻	7
		生命・地球科学専攻	3

表4.2 博士（博士後期）課程修了者 1995～2003年度

1995年度 博士0名

1996年度 博士2名（竹内・久世研2名）

鈕 建国

博士（理学）

自然科学研究科 環境科学専攻 環境動態学講座

Optical absorption spectroscopy applicable for studying air pollution

麦野 明

博士（工学）

自然科学研究科 環境科学専攻 環境動態学講座

Er³⁺ ドープ光ファイバアンプ及びファイバ型ガスセルモジュールによる全光ファイバ型微量気体センサーに関する研究

1997年度 博士3名（竹内・久世研2名、建石研1名）

鳥海 良一 博士（工学）
自然科学研究科 人工システム科学専攻 論文博士
全固体素子化ライダーによる窒素酸化物の濃度分布
計測に関する研究

Tserenkhuu Purevdorj 博士（工学）
自然科学研究科 環境科学専攻
The estimate of percent vegetation cover using AVHRR
data –Application to Mongolian grassland

Li Xun 博士（工学）
自然科学研究科 人工システム科学専攻
Development of an algorithm for orientation of three line
scanner imagery

1998年度 博士4名（建石研2名、安田研2名）

松岡 真如 博士（工学）
自然科学研究科 環境科学専攻
全球規模の植生変動解析を目的とした時系列
AVHRR データの補正に関する研究

浅沼 市男 博士（工学）
自然科学研究科 情報科学専攻
植物プランクトン基礎生産力モデルの研究

温 成剛 博士（工学）
自然科学研究科 環境科学専攻
Land cover classification of the whole Asia using NOAA
AVHRR 1-km data

土井原 健 博士（工学）
自然科学研究科 情報科学専攻
コンクリート構造物のひびわれ測定のための画像処理

1999年度 博士9名（竹内・久世研5名、高村研1名、本多研1名、建石研1名、安田研1名）

増崎 宏 博士（工学）
自然科学研究科 環境科学専攻
半導体製造工程における高感度レーザー分光技術の
応用の研究

薛 雁群 博士（工学）
自然科学研究科 情報科学専攻
大気微量成分の光学吸収分光による遠隔測定法の研
究

Wahyu Widada 博士（工学）
自然科学研究科 人工システム科学専攻
レーザー光の大気中伝搬における多重散乱効果の基
礎研究

山本 浩万 博士（工学）
自然科学研究科 人工システム科学専攻
衛星データと現地観測データの併用による広域バイ
オマスマッピングに関する研究

Mohammad Sadly 博士（工学）
自然科学研究科 情報科学専攻
リモートセンシング画像分類におけるニューラル
ネットワークモデルの研究

Qiu Jinhuan 博士（工学）
自然科学研究科 人工システム科学専攻 論文博士
A study on remote sensing of atmospheric aerosol optical
properties

汝 剣飛 博士（工学）
自然科学研究科 人工システム科学専攻
Satellite remote sensing of significant aerosol events by
using a multi-channel retrieval algorithm

斉藤 和也 博士（工学）
自然科学研究科 多様性科学専攻 論文博士
合成開口レーダ（SAR）による干渉計測誤差の定量
評価に関する研究

Park Jong-Hyun 博士（工学）
自然科学研究科 環境科学専攻
Data fusion of high resolution satellite data with multi
sensor and multi resolution for better understanding of
urban environment

2000年度 博士9名（竹内・久世研 2名、竹内・近藤研 1名、高村研 1名、建石研 4名、近藤研 1名）

美濃村 満生 博士（工学）
自然科学研究科 人工システム科学専攻
可視・近赤外域における人工衛星データの大気補正に関する研究

Liu Qijing 博士（学術）
自然科学研究科 人工システム科学専攻
Monitoring of boreal vegetation by multisource data

朱 林 Zhu Lin 博士（工学）
自然科学研究科 環境科学専攻
Fusion of multisensor multitemporal satellite data for agricultural area mapping

Hussein Harahsheh 博士（学術）
自然科学研究科 人間・地球科学専攻
Development of environmental GIS data base and its application to desertification study in Middle East – A remote sensing and GIS application

Agung Budi Harto 博士（理学）
自然科学研究科 人間・地球環境科学専攻
Study on GIS-based comparative hydrology in Monsoon Asia

金城 秀樹 博士（工学）
自然科学研究科 人工システム科学専攻
多波長ミッド散乱ライダーデータの校正法に関する研究

李 善勲 博士（理学）
自然科学研究科 多様性科学専攻 論文博士
The consideration on the validity and physical meaning of parameters in sorptivity expression

朴 鍾杰 Park Jong-Geol 博士（工学）
自然科学研究科 環境科学専攻
時系列NOAA/AVHRRデータを用いたグローバル土地被覆変化抽出に関する研究

Ketut Wikantika 博士（学術）
自然科学研究科 人間・地球科学専攻
Spectral and textural aspects of multisensor and multitemporal satellite data for land use/land cover mapping in a tropical area

2001年度 博士4名（竹内・建石研 1名、矢萩・竹内・久世研 1名、古谷・本多研 1名、近藤研 1名）

Josaphat Tetuko Sri Sumantyo 博士（工学）
自然科学研究科 人工システム科学専攻
Tropical forest monitoring using synthetic aperture radar –Theories and applications –

近田 朝子 博士（学術）
自然科学研究科 人間・地球環境科学専攻
衛星多チャンネルセンサーを用いた陸域植生モニタリングに関する研究

朝隈 康司 博士（工学）
自然科学研究科 情報科学専攻
人工衛星を用いたエアロゾル検出方法に関する研究

Eleonora Runtunuwu 博士（理学）
自然科学研究科 人間・地球環境科学専攻
The impact analysis of global climate change and human activities on land cover and water

2002年度 博士7名（竹内・久世研 3名、杉森研 1名、建石研 2名、西尾・高村研 1名）

矢吹 正教 博士（理学）
自然科学研究科 人工システム科学専攻
対流圏エアロゾルの光学パラメータ導出アルゴリズムの開発に関する研究

呉 尚謙 博士（工学）
自然科学研究科 人工システム科学専攻 論文博士
近赤外半導体レーザによるガス中微量水分の高感度検出法

水野 一庸 博士（工学）
自然科学研究科 人工システム科学専攻
ファイバーリングレーザー共振器内分光法を用いた高感度ガスセンサに関する研究

鈴木 直弥 博士（工学）
自然科学研究科 情報科学専攻
破碎モデルにおける大気-海洋間CO₂輸送モデルの研究—風浪の発達における無次元粗度と波齢の関係の提案モデルによる—

Renchin Tsolmon 博士（学術）
自然科学研究科 人間・地球環境科学専攻
Methodology to estimate coverage and biomass of boreal forests using satellite data

佐藤 浩 博士（工学）
自然科学研究科 人間・地球環境科学専攻
グローバル土地被覆分類データの作成を目的とした分類項目の検討と分類手法に関する研究

中村 和樹 博士（理学）
自然科学研究科 多様性科学専攻
後方散乱入射角特性に基づく多入射角合成開口レーダによる薄い海水のラフネスと氷厚推定手法の研究

2003年度 博士6名（竹内・久世研 1名、杉森研 1名、建石研 2名、西尾研 2名）

由井 四海 博士（工学）
自然科学研究科 人工システム科学専攻
光学的手法による大気微量気体成分測定法の高感度化の研究

大澤 高浩 博士（工学）
自然科学研究科 情報科学専攻
人工衛星データを用いた海洋の3次元基礎生産量の推定モデルの研究

Hussam Al-Bilbisi 博士（学術）
自然科学研究科 人間・地球環境科学専攻
Spectral and textural aspects of Landsat-TM and ERS-1 SAR imagery for land use/land cover mapping in northeastern Jordan – Analysis, interpretations, and some applications –

Jose Edgardo Aban 博士（学術）
自然科学研究科 人間・地球環境科学専攻
Multitemporal change analysis of NOAA-AVHRR NDVI data and their relationship with various external and internal forcings using advanced spectral techniques

前野 英生 博士（工学）
自然科学研究科 多様性科学専攻
電波による南極氷床の内部構造に関する研究

原 政直 博士（工学）
自然科学研究科 多様性科学専攻 論文博士
MSP/OLS データの利用による地球規模の電力消費量とCO₂排出量の解析研究

1995～2003年度 修士修了者 110名、博士修了者 44名（うち外国籍24名） ■

4.2 国立大学法人化から20周年までの教育（2004～2016）

2007（平成19）年度から自然科学研究科が改組され、工学研究科・理学研究科・融合科学研究科の3研究科が設置された。CEReSの工学系教員は融合科学研究科に所属し、修士（博士前期）課程、博士（博士後期）課程とも、情報科学専攻で大学院生の教育に当たった。また、理学系の教員は理学研究科で地球生命圏科学における修士・博士課程を担当した。その後、2017（平成29）年には工学研究科、理学研究科、融合科学研究科が統合され、教育組織として大学院融合理工学府が創設され、研究組織として大学院理学院、大学院工学研究院が設置された。表4.3に2004～2015年度の修士（博士前期）課程および卒業研究修了者数を、表4.4に同期間の博士（博士後期）課程の修了者名・専攻・学位をまとめた。

2011年3月、CEReS（久世宏明センター長）と東邦大学大学院理学院（大島範子研究科長）の間に連携協力に関する協定が締結され、東邦大学がCEReSの研究者を客員教授または准教授として委嘱すること、必要に応じて東邦大学の大学院学生がCEReSで研究活動を行えることなどが定められた。

表4.3 修士（博士前期）課程および卒業研究修了者数 2004～2015年度

2004	修士 17	自然科学研究科 像科学専攻	14
		知能情報工学専攻	2
		生命地球科学専攻	1
2005	修士 4	自然科学研究科 像科学専攻	4
2006	修士 12	自然科学研究科 像科学専攻	9
		知能情報工学専攻	2
		人間・地球科学専攻	1
	学士 12	理学部 地球科学科	7
		工学部 情報画像工学科	5
2007	修士 8	自然科学研究科 像科学専攻	4
		生命・地球科学専攻	3
		人間・地球科学専攻	1
	学士 12	理学部 地球科学科	11
		工学部 情報画像工学科	1
2008	修士 17	理学研究科 地球生命圏科学専攻	12
		融合科学研究科 情報科学専攻	5
	学士 16	理学部 地球科学科	10
		工学部 情報画像工学科	6
2009	修士 11	理学研究科 地球生命圏科学専攻	10
		融合科学研究科 情報科学専攻	1
	学士 21	理学部 地球科学科	14
		工学部 情報画像工学科	7
2010	修士 21	理学研究科 地球生命圏科学専攻	12
		融合科学研究科 情報科学専攻	9
	学士 18	理学部 地球科学科	13
		工学部 情報画像工学科	5
2011	修士 13	理学研究科 地球生命圏科学専攻	11
		融合科学研究科 情報科学専攻	2
	学士 15	理学部 地球科学科	9
		工学部 情報画像工学科	6
2012	修士 13	理学研究科 地球生命圏科学専攻	8
		融合科学研究科 情報科学専攻	5
	学士 15	理学部 地球科学科	9
		工学部 情報画像工学科	6
2013	修士 11	理学研究科 地球生命圏科学専攻	6
		融合科学研究科 情報科学専攻	5
	学士 20	理学部 地球科学科	10
		工学部 情報画像工学科	10

2014	修士 9	理学研究科 地球生命圏科学専攻	4
		融合科学研究科 情報科学専攻	5
	学士 18	理学部 地球科学科	7
		工学部 情報画像工学科	11
2015	修士 17	理学研究科 地球生命圏科学専攻	9
		融合科学研究科 情報科学専攻	8
	学士 21	理学部 地球科学科	7
		工学部 情報画像学科	14

表4.4 博士（博士後期）課程修了者 2004～2015年度

2004年度 博士6名（建石研 2名、蜂谷・建石・杉森研 1名、近藤研 1名、竹内・久世研 2名）

Mohamed Aboel Ghar	博士（学術）	Javzandulam Tsend-Ayush	博士（学術）
自然科学研究科 人間・地球科学専攻 Agricultural land monitoring and crop yield prediction using remote sensing technique		自然科学研究科 人間・地球科学専攻 Monitoring vegetation degradation in arid and semi arid area of Mongolia	
李 星愛 Lee Sung Ae	博士（工学）	Mohammed Aslam Mohammad Abdul Khader	博士（理学）
自然科学研究科 情報科学専攻 Simulation of eco-dynamic model in Tokyo Bay and its comparison with satellite data		自然科学研究科 人間・地球科学専攻 GIS based modelling of water resources development using remotely sensed and hydrological data for India	
Nofel Lagrosas	博士（理学）	下田 昭郎	博士（理学）
自然科学研究科 人工システム科学専攻 Real-time observations of the atmospheric boundary layer using a continuously operated portable automated lidar (PAL)		自然科学研究科 人工システム科学専攻 論文博士 分光リモートセンシングにおける大気中物質濃度推定法の高度化に関する研究	

2005年度 博士7名（建石研 2名、近藤研 1名、西尾研 2名、竹内・久世研 2名）

Yashcn Ombado Ouma	博士（工学）	肖 捷願	博士（理学）
自然科学研究科 地球生命圏科学 Adaptive optimization of multiscale wavelet transform for satellite data analysis		自然科学研究科 人間・地球環境科学 Monitoring dust/sand storm and desertification using remote sensing and meteorological data	
原田 一平	博士（学術）	松下 拓樹	博士（理学）
自然科学研究科 人間・地球環境科学 地理情報システムを利用した東京圏における都市環境が地価決定に与える要因に関する研究		自然科学研究科 地球生命圏科学 日本における着氷性降水の気候学的特徴と地域性および発生予測手法に関する研究	
I Wayan Sandi Adnyana	博士（理学）	深川 俊介	博士（工学）
自然科学研究科 地球生命圏科学 論文博士 Study of monitoring land use changes and erosion in the highland of Bali, Indonesia		自然科学研究科 人工システム科学専攻 大気エアロゾル特性の長期変動計測とその高精度化に関する研究	
Dodi Sudiana	博士（工学）		
自然科学研究科 人工システム科学専攻 Early warning of forest fire and evaluation of Asia dust using remote sensing technique			

2006年度 博士6名（建石研 2名、近藤研 2名、西尾研 1名、久世研 1名）

Rokhmatuloh 博士（理学）
自然科学研究科 地球生命圏科学
Global percent tree cover mapping using regression tree method

Ahmad Al-Hanbali 博士（理学）
自然科学研究科 地球生命圏科学
Assessment of groundwater quantity and quality within the Dead Sea groundwater basin

直木 和弘 博士（理学）
自然科学研究科 地球生命圏科学
マイクロ波放射計による薄氷域における海水厚推定に関する研究 — 海水の厚さと輝度温度特性を用いた海水厚推定手法の開発

Adel Shalaby 博士（学術）
自然科学研究科 地球生命圏科学
Land suitability assessment for main crops in the northwestern coastal zone of Egypt using remote sensing and GIS

Dilnur Aji 博士（理学）
自然科学研究科 地球生命圏科学
GISとリモートセンシングを用いた新疆における水資源・人間活動・気候変動及びオアシス変化の解析

Gerry Bagtasa 博士（理学）
自然科学研究科 人工システム科学専攻
Application of portable automated lidar to the mass extinction efficiency of tropospheric aerosols and cloud classification in satellite images

2007年度 博士2名（建石研 1名、近藤研 1名）

Thomas Gathungu Ngigi 博士（学術）
自然科学研究科 地球生命圏科学
A proposal for solving under-determined models in linear spectral unmixing

白木 洋平 博士（理学）
自然科学研究科 地球生命圏科学
地理情報システム (GIS)・リモートセンシングを利用した広域都市構造の抽出と安全・快適に対する脆弱性に関する研究—東京都および埼玉県南部におけるヒートアイランド現象および降雨現象を中心として—

2008年度 博士6名（西尾研 2名、高村研 2名、建石研 2名）

天野 祐樹 博士（理学）
自然科学研究科 地球生命圏科学
衛星データを用いた南極白瀬氷河沿岸部の海水変動に関する研究

崔 羽 博士（理学）
自然科学研究科 多様性科学専攻
方向反射特性を含む地表面アルベドの推定とその応用に関する研究

Alimujiang Kasimu 博士（学術）
自然科学研究科 地球生命圏科学
Mapping and analysis of global urban areas using multi-source geospatial data

厚地 伸悟 博士（理学）
自然科学研究科 地球生命圏科学
オホーツク海における薄氷域の検出と海水密接度—AMSR-E 89 GHzを用いて—

竹中 栄晶 博士（理学）
自然科学研究科 多様性科学専攻
ニューラルネットワークによる衛星観測に基づく放射収支の推定手法に関する研究

Nehal M. A. Soliman 博士（学術）
自然科学研究科 地球生命圏科学
Mapping iron ore minerals in Egypt by remote sensing technique

2009年度 博士8名（西尾研 1名、建石研 1名、久世・ヨサファット研 2名、近藤研 4名）

胡斯勒図 Husi Letu 博士（理学）

自然科学研究科 地球生命圏科学
MSP/OLS衛星データを用いた電力消費量と発電所のCO₂排出量の推定

Luhur Bayuaji 博士（学術）

自然科学研究科 人工システム科学専攻
Application of differential interferometry synthetic aperture radar data to disaster monitoring

郭 榮珠 博士（学術）

理学研究科 地球生命圏科学専攻
GIS及びRS画像データによる水害の素因抽出と水害危険度評価に関する研究—韓国、洛東江流域を事例に—

川越 健 博士（学術）

理学研究科 地球生命圏科学専攻
層相および微視的構造を考慮した浸透水に対する更新統砂層の抵抗性に関する研究

Nguyen Thanh Hoan 博士（理学）

理学研究科 地球生命圏科学
Combination of optical and microwave data of ALOS for tropical forest mapping data

Merna Baharuddin 博士（工学）

融合科学研究科 情報科学専攻
Development of microstrip antennas for circularly polarized synthetic aperture radar

Vuthy Monyrath 博士（理学）

自然科学研究科 地球生命圏科学専攻
東京湾周辺における地下水流動系と地下熱環境に関する水文地質学的研究

斉藤 泰久 博士（理学）

理学研究科 地球生命圏科学専攻
針葉樹人工林の生育がもたらす森林の水源涵養機能への影響—針葉樹人工林と広葉樹林の1次谷流域の流量観測からみえるもの—

2010年度 博士2名（西尾研 1名、高村・本多研 1名）

伊東 明彦 博士（理学）

理学研究科 地球生命圏科学専攻
タクラマカン沙漠における塩類集積の実態把握と集積機構解明の研究

小野 祐作 博士（理学）

理学研究科 地球生命圏科学専攻
衛星による地球観測のための双方向反射率シミュレータに関する研究—開発・検証とその応用—

2011年度 博士9名（西尾研 1名、高村・久世研 1名、建石研 2名、久世研 2名、久世・ヨサファット研 1名、近藤研 1名、ヨサファット研 1名）

I Wayan Nuarsa 博士（学術）

理学研究科 地球生命圏科学専攻 JST論博
Rice field mapping and production estimation using remote sensing data in Bali Province, Indonesia

眞子 直弘 博士（理学）

理学研究科 地球生命圏科学専攻
太陽光スペクトルを利用した対流圏エアロゾル光学特性の測定・解析手法の開発

Bayan Abdelhaleem Mohammed Alsaaidh 博士（学術）

理学研究科 地球生命圏科学専攻
Mangrove forests mapping on regional and continental scale using remote sensing data

Tsevenge Enkhzaya 博士（学術）

自然科学研究科 地球生命圏科学専攻
MODIS データを用いた北アジアにおける農地フェノロジーの特徴分析とマッピング

栗山（増田） 健二 博士（工学）

融合科学研究科 情報科学専攻
人工光源と自然光を用いた実大気における大気微量成分の計測法の研究

亀山 俊平 博士（工学）

融合科学研究科 情報科学専攻 論文博士
風計測および二酸化炭素濃度計測用光ファイバ型ライダシステムの開発

Prilando Rizki Akbar 博士（工学）

融合科学研究科 情報科学専攻
Development of circularly polarized synthetic aperture radar system for unmanned aerial vehicle and small satellite

李 海蘭 博士（学術）

理学研究科 地球生命圏科学専攻
中国東北地方における農業的土地利用の変遷及び要因解析

Mohamad Ashry bin Jusoh 博士（学術）
マレーシア・プトラマレーシア大学大学院
Intercomparison between open ended coaxial sensor
and optical fibre technique for the determination of
permittivity and moisture content in Maize (Zea Mays)

2012年度 博士7名（樋口研 1名、久世・ヨサファット研 2名、久世研 1名、高村・本多研 1名、
建石研 1名、本郷研 1名）

飯島 雄 博士（理学）
理学研究科 地球生命圏科学専攻
異なる時空間スケールにおける可能蒸発量と陸面蒸
発散量の補完関係の検証

Laras Tursilowati 博士（学術）JSPS論博プログラム
融合科学研究科 情報科学専攻
Impact of land use and land cover changes on the
urban climate and environment studied with satellite
observation, GIS and weather research forecast model

Ram C. Sharma 博士（理学）
理学研究科 地球生命圏科学専攻
Modeling of forest canopy for estimation of biomass
using multi-angular remote sensing

I Wayan Gede Astawa Karang 博士（理学）
理学研究科 地球生命圏科学専攻
Study on the characteristics of the internal waves in the
Lombok Strait area using remote sensing data

Yohandri 博士（学術）早期修了
融合科学研究科 情報科学専攻
Development of circularly polarized microstrip antennas
for CP-SAR system installed on unmanned aerial vehicle

Yuhendra 博士（工学）
融合科学研究科 情報科学専攻
Comparison and assessment of image fusion methods
applied to high-resolution satellite imagery

格根塔娜 Gegen Tana 博士（理学）
理学研究科 地球生命圏科学専攻
Continental wetland and forest mapping using MODIS
data

2013年度 博士1名（建石研 1名）

小林 利行 博士（理学）
理学研究科 地球生命圏科学専攻
Global mapping of tree cover percentage using MODIS
data

2014年度 博士8名（建石研 3名、近藤研 4名、ヨサファット研 1名）

飯塚 浩太郎 博士（理学）
理学研究科 地球生命圏科学専攻
Integration of optical and microwave remote sensing data
for the estimation of CO₂ sequestration by the forests in
Japan

Mi Lan 博士（理学）
理学研究科 地球生命圏科学専攻
Forest and non-forest mapping with an object-based
classification approach using ALOS PALSAR 50 m
mosaic data

Saeid Ghare Chelou 博士（学術）
理学研究科 地球生命圏科学専攻
Soil moisture retrieval using synthetic aperture radar
(SAR) data

Xiaokaiti Aji 博士（学術）
理学研究科 地球生命圏科学専攻
新疆における食糧生産の人間活動及び自然条件との
関連性に関する研究

阿部 博昭 博士（理学）
 理学研究科 地球生命圏科学専攻
 Effects of exploitation of urban aquifers on subsurface temperature and water chemistry in the Nagaoka Plain, Japan

布和宝音 Buhe Baoyin 博士（理学）
 理学研究科 地球生命圏科学専攻
 衛星リモートセンシングによる中国内モンゴル自治区における植生変動とその要因解析 —農業的土地利用を含む2000年以降の植生変動を中心に—

崔 斐斐 博士（学術）
 理学研究科 地球生命圏科学専攻
 東アジアにおける黄沙の発生と地表面状態の関係について—内蒙古中部における事例検討—

Ratih Fitria Putri 博士（学術）
 融合科学研究科 情報科学専攻
 Monitoring and analysis of land subsidence and landslide hazard using differential interferometric synthetic aperture radar data observed with TerraSAR-X and ALOS PALSAR

2015年度 博士5名（建石研 3名、久世研 2名）

章 乃佳 博士（理学）
 理学研究科 地球生命圏科学専攻
 A study on improving the accuracy of continental land cover mapping

Fedri Ruluwedrata Rinawan 博士（学術）
 理学研究科 地球生命圏科学専攻
 A study on relationship of Dengue disease with environmental factors using satellite data —Analysis in Bandung City, Indonesia—

Tarulata Shapla 博士（学術）
 融合科学研究科 情報科学専攻
 Change assessment and phenological analysis of agroforestry and agricultural land use in Bangladesh based on satellite remote sensing

Gulijianati Abake 博士（学術）
 理学研究科 地球生命圏科学専攻
 Potential hazard map for snow disaster prevention using GIS and remote sensing techniques: a case study in north Xinjiang, China

齊藤 隼人 博士（工学）
 融合科学研究科 情報科学専攻
 可視域と近赤外域における長光路差分吸収分光法を用いた都市大気中微量成分の計測

2004～2015年度 修士修了者 153名、博士修了者 67名（うち外国籍45名）

2006～2015年度 学士修了者 168名 ■

TOPICS

大学院GP (Good Practice) 地球診断学

西尾文彦教授が実施責任者となって文部科学省の「魅力ある大学院教育イニシアティブ（大学院GP）」に申請、採択された「地球診断学創成プログラム—リモートセンシングから地球診断学博士の誕生まで—」は、2005-2007（平成17-19）年度に実施された。このプログラムは、若手研究者に新たに求められる資質、自立して研究活動を行うための能力を組織的かつ体系的に取得するための教育プログラムを重点的に支援し、大学院における研究者養成機能を強化することを目指して行われた。地球環境の変化、気象変化、地球表層の変化に関する情報の提供、さらに災害の発生や自然生態系の変動を予測できるような「地球の医者」としての「地球診断士」が求められている社会的背景のもと、衛星情報を活用して、地球表層の変化を

いち早く検知し、変動の要因を知り、現地における検証を実施し、かつ予測モデルを構築、災害発生の危険率を予見する能力を有した人材を育成することを目標として自然科学研究科（地球生命圏科学専攻）での大学院教育を実践した（図参照）。

地球全体から地域スケールまでの地球表層構造の知見を統合し、マクロな構造から遺伝子レベルに至る自然の階層構造を把握するため、このプログラムを「地殻変動学コース」、「保全遺伝・生態学コース」、「地球表層変動学コース」、「画像情報システムコース」の4コースから構成した。募集を経て留学生2名を含む11名の学生をプログラムに採用し、国内・海外（タイ、インドネシア、カンボジア、台湾、中国）での調査を実施した。画像情報コースでは、CEReSにおいて樋口准教授がPC-UNIXによる衛星画像のバッチ処理を含む演習を実施した。合同セミナーや特任教員による講義（気象学・海洋学）、公開講演会を行い、2006年には早期の学位授与を1名の学生に対して行うことができた。本プログラムはリモートセンシング、情報科学、地球生命科学、災害科学等を横断的に扱う理工学融合プログラムであり、衛星画像情報を基盤とした研究目標が明確であるため、総合的評価として博士後期課程学生を対象とした若手研究者育成の目標に向けた有効性が実証できた。

（久世宏明、本郷千春）

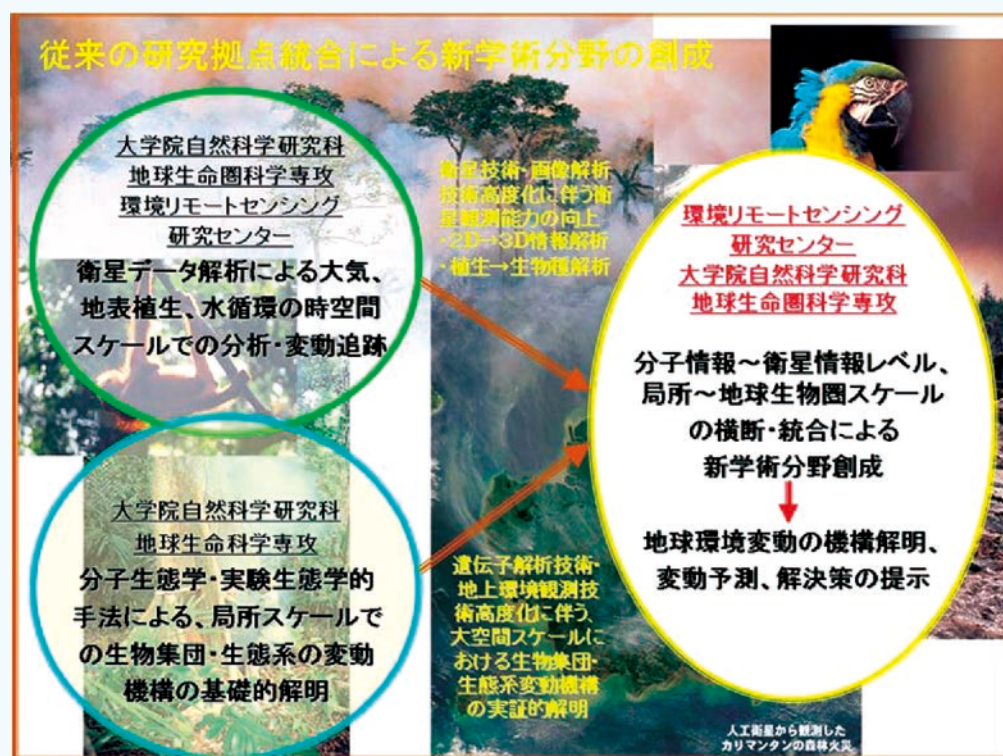


図 大学院GP「地球診断学創成プログラム」の説明図

4.3 20周年から現在までの教育・リモートセンシングコースの開設

2017年4月、千葉大学大学院はそれまでの工学研究科・理学研究科・融合科学研究科を統合して教育組織として融合理工学府を設置した。研究組織は工学研究院・理学院である。大学

院生の所属は融合理工学府であるが、教員は工学研究院・理学研究院のいずれかの所属になる。CEReSの教員は工学研究院に所属することになり、センター全体の事務は工学系で行うことになった。

融合理工学府は、数学情報科学専攻・地球環境科学専攻・先進理化学専攻・創成工学専攻・基幹工学専攻の5つの専攻から構成されている。特筆すべき事項として、このうちの地球環境科学専攻の中に地球科学コース・都市環境システムコースと並んでリモートセンシングコース（RSコース）が設置されたことが挙げられる。1995年度から2015年度までの20年を超える大学院教育において、CEReS教員が指導教員として修了した修士（博士前期）課程の合計は263名、博士（博士後期）課程の合計は111名（うち外国籍69名）に上っている。こうした実績と貢献により、「理学および工学分野において、両者を俯瞰し協奏を誘起できる幅広い学識と深い専門性、問題解決能力を有する高度専門人材あるいは先導的・指導的研究者を養成すること」を目的として設立された融合理工学府において、文字通り理学と工学を融合する領域としての「リモートセンシング科学」の大学院教育が全国に先駆けてスタートすることになった。以下に、リモートセンシングコースの背景、特徴、育成する人材像およびカリキュラムツリー（図4.1）を引用しておく¹⁵。

融合理工学府 リモートセンシングコース

1) コースの設置に関する背景、コースの概要、社会的ニーズ等

人間活動に起因する様々な環境変動が顕在化してきた現在、地球の自然システムと社会システムを総合的に理解し、変動に対応できる人材の育成が求められています。また、限られた資源を適切に管理できる人材も地球社会に必要です。リモートセンシングは、地球全体を俯瞰し、世界中の地域の地球表層環境を同一の方法によって科学的に調べる手段を提供します。現在では、衛星や航空機、そして地上からのリモートセンシングによって膨大なデータが取得可能です。このデータを適切な方法・手段によって解析し、情報を抽出することにより、安全・安心な社会の構築に役立てることができます。本コースでは、専門性に基づく知識を持ち、関連する幅広い分野との協働によりリモートセンシングを活用して地球と人類社会の未来を構築することができる人材の育成を目指します。

2) コースの教育プログラムの特徴

リモートセンシングは、人工衛星、飛行機、ドローン等のプラットフォームに搭載したセンサーや地上に設置した観測装置を用いて、離れた場所の状態を観測する技術です。本コースでは、リモートセンシングを陸域や植生、大気を対象とした環境観測に活用する技術と、その応用について教育研究を行います。そのために、幅広い学問分野の基盤となる計測技術や画像解析技術に重点を置いた教育を行います。観測や解析の対象は人と地球を包含する環境であるため、地球に関する基礎的知識、人間社会の重要な基盤となっている都市に関する基礎的知識も不可欠です。そこで、地球科学コースとの連携により、地球に係わる基礎的知識を学び、また、都市環境システムコースとの連携により、都市システムに関する基礎的知識

15 <https://www.se.chiba-u.jp/education/ees/ers.html>

を修得します。こうした教育プログラムを通じ、リモートセンシングを活用した総合的な環境解析を行うことができる人材の育成を目指します。

3) 養成する人材像、進路等

本コースでは、環境や資源に係わる問題の重要性が高まっている中で、人類の持続的発展のため、人類の生活基盤である地球に対する幅広い知識や、地球社会に働きかけることができる技能を身に付けた人材を養成します。

博士前期課程では、様々な環境課題に対してリモートセンシング技術を適用・応用する能力を持つ人材、すなわち、資源管理、災害、物質循環、気候変動の影響等の科学的評価に対する適切な技術を選定し、適用して課題解決に資することができる人材の育成を目指します。就職先としては、官公庁、コンサルタント・情報系企業、環境系メーカー、教職等を想定しています。博士課程では課題を自ら発見し、リモートセンシングを使って、その課題を解くことができると同時に、地球社会、地域社会の未来に対する提言ができる幅広い国際的視野を持った人材を養成します。主な就職先は大学や企業の研究部門、国レベルや自治体の研究機関等を想定しています。

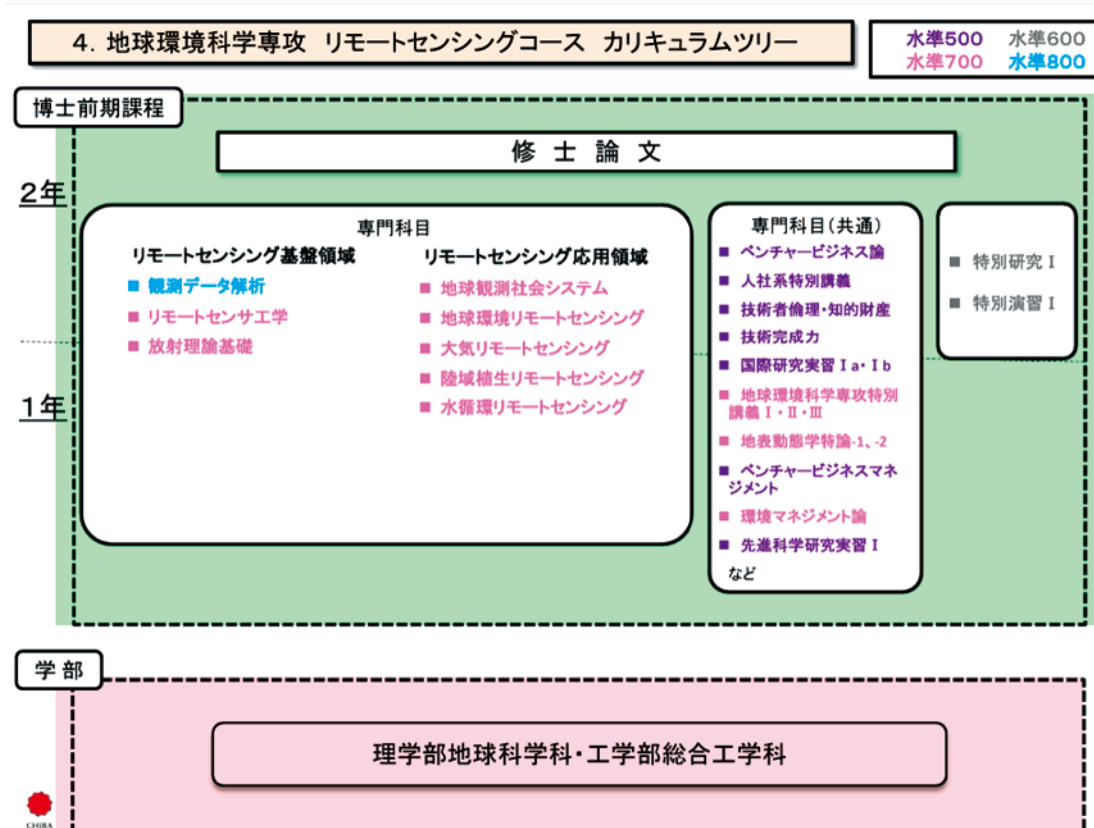


図4.1 大学院リモートセンシングコースのカリキュラムツリー

表4.5に2016～2023年度の修士（博士前期）課程および卒業研究修了者数を、表4.6に同期間の博士（博士後期）課程の修了者名・専攻・学位をまとめた。1995～2023年度における通算の修士修了者は374名、博士修了者は151名（うち外国籍は101名）に上っている。また、記録のある2006～2023年度の学士修了者は理学部・工学部を合わせて297名である。

表4.5 修士（博士前期）課程および卒業研究修了者数 2016～2023年度

2016	修士	13	理学研究科 地球生命圏科学専攻 地球科学コース	5
			融合科学研究科 情報科学専攻 知能情報コース	7
			インドネシア大学電気工学専攻（ダブルディグリープログラム）	1
	学士	16	理学部 地球科学科	6
			工学部 情報画像学科	10
2017	修士	11	理学研究科 地球生命圏科学専攻 地球科学コース	3
			融合理工学府 地球環境科学専攻 リモートセンシングコース	8
	学士	13	理学部 地球科学科	5
			工学部 情報画像学科	8
2018	修士	9	理学研究科 地球生命圏科学専攻 地球科学コース	1
			融合理工学府 地球環境科学専攻 リモートセンシングコース	8
	学士	24	理学部 地球科学科	11
			工学部 情報画像学科	4
			工学部 都市環境システム学科	9
2019	修士	8	融合理工学府 地球環境科学専攻 リモートセンシングコース	8
	学士	21	理学部 地球科学科	9
			工学部 情報画像学科	6
			工学部 都市環境システム学科	6
2020	修士	20	融合理工学府 地球環境科学専攻 リモートセンシングコース	20
	学士	14	理学部 地球科学科	8
			工学部 情報画像学科・都市環境システム学科	6
2021	修士	17	融合理工学府 地球環境科学専攻 リモートセンシングコース	17
	学士	13	理学部 地球科学科	7
			工学部 総合工学科 都市環境システムコース・情報工学コース	6
2022	修士	15	融合理工学府 地球環境科学専攻 リモートセンシングコース	15
	学士	14	理学部 地球科学科	7
			工学部 総合工学科 都市環境システムコース	7
2023	修士	18	融合理工学府 地球環境科学専攻 リモートセンシングコース	18
	学士	14	理学部 地球科学科	7
			工学部 総合工学科 都市環境システムコース・情報工学コース	7

表4.6 博士（博士後期）課程修了者 2016～2023年度

2016年度 博士7名（近藤研3名、ヨサファット研4名）

海熱提 阿力甫 Haireti Alif 博士（理学） 理学研究科 地球生命圏科学専攻 地球科学コース Delineation of debris-covered glaciers based on a combination of geomorphometric parameters and Landsat [TIR/(NIR/SWIR)] band ratio	白 秀蓮 博士（学術） 理学研究科 地球生命圏科学専攻 地球科学コース Analysis of desertification situation using remote sensing and GIS—A case study in Ongniud Banner, Horqin Sandy Land, Chiba-
Luong Viet Nguyen 博士（学術） 理学研究科 地球生命圏科学専攻 地球科学コース Mapping of tropical forest and biomass estimation using microwave and optical remote sensing	宮崎 貴大 博士（工学） 融合科学研究科 情報科学専攻 知能情報コース 小型衛星による電離層観測の衛星電位変動問題と解決手法の提案
Husnul Kausarian 博士（工学） 融合科学研究科 情報科学専攻 知能情報コース インドネシア・ルパ島北部沿岸におけるケイ砂分布の地質マッピングと全偏波合成開口レーダ解析	Mohd Zafri Bin Baharuddin 博士（工学） 融合科学研究科 情報科学専攻 知能情報コース 円偏波合成開口レーダの検討：電波無響室でのパッチアレイアンテナと散乱現象の実験
Bambang Setiadi 博士（工学） 融合科学研究科 情報科学専攻 知能情報コース モバイル異種計算を用いた無人航空機及び小型衛星プラットフォームのクイックルックと精密合成開口レーダ信号処理システムの開発	

2017年度 博士2名（近藤研1名、ヨサファット研1名）

Richa Bhattarai 博士（理学） 理学研究科 地球生命圏科学専攻 地球科学コース Land subsidence mapping and risk assessment in Kathmandu Valley, Nepal, using DInSAR and GIS techniques	Asif Awaludin 博士（工学） 融合科学研究科 情報科学専攻 知能情報コース Development of wideband circularly polarized antennas for remote sensing microsatellite
---	--

2018年度 博士11名（近藤研4名、久世研1名、入江研1名、ヨサファット研5名）

祖父江 侑紀 博士（学術） 理学研究科 地球生命圏科学専攻 地球科学コース モンゴルの草本植物における発芽フェノロジーとその後の成長パターンの変動およびその要因について	濱 侃 博士（理学） 理学研究科 地球生命圏科学専攻 地球科学コース UAVを用いた近接リモートセンシングに基づく水稻の生育・収量・タンパクの観測・推定に関する研究
Aysltan Maimaitiali 博士（学術） 理学研究科 地球生命圏科学専攻 地球科学コース Monitoring and analyzing land use/cover changes in an arid region based on multi-satellite data: the Kashgar region, northwest China	Eunice Nduati 博士（学術） 理学研究科 地球生命圏科学専攻 地球科学コース Mapping and monitoring complex peri-urban croplands using multi-sensor satellite imagery
Jamrud Aminuddin 博士（学術） 融合科学研究科 情報科学専攻 知能情報コース Study of near-surface aerosols by means of concurrent observations with satellite sensors and ground-based instruments	Hossain Mohammed Syedul Hoque 博士（学術） 融合科学研究科 情報科学専攻 知能情報コース First MAX-DOAS observations of atmospheric formaldehyde and glyoxal concentrations at southeast and south Asian sites

Farohaji Kurniawan 博士（工学）

融合科学研究科 情報科学専攻 知能情報コース
Development of slot antennas for circularly-polarized synthetic aperture radar sensor and its communication system

Pakhrur Razi 博士（学術）

融合科学研究科 情報科学専攻 知能情報コース
Analysis of land deformation using persistent scatterer interferometry and quasi persistent scatterer techniques

楊 熙仁 博士（学術）

融合科学研究科 情報科学専攻 知能情報コース
Design of wideband synthetic aperture radar system for satellite and phase error compensation algorithm for direct digital synthesizer chirp signal generator

Cahya Edi Santosa 博士（工学）

融合科学研究科 情報科学専攻 知能情報コース
Development and implementation of the broadband circularly polarized microstrip array antenna for C-band full polarimetric airborne CP-SAR

Good Fried Panggabean 博士（工学）

融合科学研究科 情報科学専攻 知能情報コース
Development of synthetic aperture radar image processor for airborne and microsatellite using programmable chip

2019年度 博士9名（ヨサファット研5名、近藤研1名、齋藤研1名、久世研2名）

Katia Nagamine Urata 博士（学術）

融合科学研究科 情報科学専攻 知能情報コース
Development of mesh parabolic antenna for microsatellite onboard circularly polarized synthetic aperture radar

紀 雅琪 博士（工学）

融合科学研究科 情報科学専攻 知能情報コース
Polarimetric synthetic aperture radar image processing and applications for earthquake/tsunami damage assessment

Peberlin Parulian Sitompul 博士（学術）

融合理工学府 地球環境科学専攻 RSコース
Development of wideband circularly polarized antennas onboard small satellite for ionospheric observation and communication

片岡 文恵 博士（理学）

融合理工学府 地球環境科学専攻 RSコース
Radiometric calibration and validation of GOSAT/TANSO-FTS thermal infrared spectra

Prane Mariel Basco Ong 博士（学術）

融合理工学府 地球環境科学専攻 RSコース
Lidar observations of near-surface environment—Optical properties of boundary layer aerosols and dynamics of dusts, sea surface waves, and a mist vortex

Agus Hendra Wahyudi 博士（工学）

融合科学研究科 情報科学専攻 知能情報コース
Development of wideband circularly polarized pyramidal horn antenna for microsatellite onboard synthetic aperture radar

Mohammad Nasucha 博士（工学）

融合理工学府 地球環境科学専攻 RSコース
Computational and experimental study on the scattering of circularly polarized electromagnetic waves

呉 喜芳 博士（学術）

融合理工学府 地球環境科学専攻 RSコース
Variation and causal factors of planting area and phenological events of winter wheat in the North China Plain

Babag Purbantoro 博士（学術）

融合理工学府 地球環境科学専攻 RSコース
Cloud type classification using split window algorithm: application to Himawari-8 satellite data in comparison with MODIS data

2020年度 博士4名（齋藤研・椎名研1名、ヨサファット研2名、樋口研1名）

Xiafukaiti Alifu 博士（学術）
融合理工学府 地球環境科学専攻 RS コース
レーザー光の散乱に基づく大気エアロゾルと高散乱媒質中光伝搬の特性解析

Mirza Muhammad Waqar 博士（学術）
融合理工学府 地球環境科学専攻 RS コース
Study on forest biomass estimation using polarimetric synthetic aperture radar

Joko Widodo 博士（学術）
融合理工学府 地球環境科学専攻 RS コース
Study on identification of peat fire risk area using polarimetric and interferometric synthetic aperture radar

岩下 久人 博士（工学）
融合理工学府 地球環境科学専攻 RS コース
地上稠密気象観測網を利用した中小規模大気現象の解明

2021年度 博士3名（椎名研・入江研1名、近藤研1名、入江研1名）

杉本 幸代 博士（理学）
融合理工学府 地球環境科学専攻 論文博士
ラマン効果を用いた局所水素ガス非接触計測手法に関する研究

Nguyen Cung Que Truong 博士（学術）
融合理工学府 地球環境科学専攻 RS コース
The effect of land use/land cover change on the flow regime in the upstream Dong Nai River Basin, Vietnam

桃井 裕広 博士（理学）
融合理工学府 地球環境科学専攻 RS コース
Development of the efficient calculation of polarized radiative transfer based on the correlated k-distribution method and forward peak truncation approximation

2022年度 博士2名（近藤研1名、楊研1名）

Ayihumaier Halipu 博士（学術）
融合理工学府 地球環境科学専攻 RS コース
Quantifying water consumption through the satellite estimation of land use/land cover and groundwater storage changes in a hyper-arid region of Egypt

Li Zhaoxin 博士（理学）
融合理工学府 地球環境科学専攻 RS コース
Satellite remote sensing of global phytoplankton primary production by integrating machine learning algorithm and photophysiological model

2023年度 博士2名（ヨサファット研2名）

Muhammad Arif Munandar 博士（学術）
融合理工学府 地球環境科学専攻 RS コース
Characterization of aviation turbulence distributions and Himawari 8 images over Java Island, Indonesia

柏原 久人 博士（工学）
融合理工学府 地球環境科学専攻 RS コース
全偏波UAV-SAR用Xバンド円偏波マイクロストリップアレーアンテナの開発

2016～2023年度 修士修了者111名、博士修了者40名（うち外国籍31名）

学士修了者 129名

1995～2023年度 修士修了者374名、博士修了者151名（うち外国籍101名）

2006～2023年度 学士修了者297名 ■

CEReS 修了生からの寄稿

松岡 真如

三重大学大学院 工学研究科 情報工学専攻・教授

千葉大学環境リモートセンシング研究センターの創立30周年にあたり、謹んでお祝いを申し上げます。

私は修士課程の1年生として、1993年に映像隔測研究センターに入りました。指導教員は建石隆太郎先生でした。研究室は研究棟の入口のすぐ上の部屋でした。修士論文では、Landsat TMを使って千葉県の土地被覆分類や変化検出を行いました。オープンリールテープからデータを読み込み、画像を表示させるにも幾つかの工程が必要で、何かと時間がかかりました。



環境リモートセンシング研究センターが創立された1995年に、私は博士課程に進学しました。今思えば、記念すべき年でした。ただ、当時は「新しい先生が増えて、カッコ良さそうな名前が変わったな～」という程度の印象でした。

博士課程では、当初、千葉県を対象とした研究に取り組みましたが、途中でテーマを変更し、NOAA/AVHRRの時系列データセットから土地被覆変化を抽出する手法について研究しました。観測幅の広いAVHRRのデータは二方向性反射の影響を強く受けています。そのため、BRDFモデルを状態空間モデルにし、カルマンフィルタを適用して補正を行いました。3年半かかりましたが、1998年の9月に博士の学位をいただくことができました。

当時から、CEReSには留学生がたくさんいました。ドルジュさんと本多嘉明先生・梶原康司先生のモンゴルの調査に同行したり、温さんと建石先生のカザフスタンの調査に同行したり、Parkさんと日本写真測量学会に参加したりしました。また、朱さん、朴さん、Ketutさんなどは今でも学会で時々お会いします。

博士課程を出た後は、科学技術振興事業団の技術員として、本多先生・梶原先生の研究室で1年半お世話になりました。そこでは、NOAA/AVHRRのGlobal Area Coverage (GAC)の生データからグローバルプロダクトを作成する研究に携わりました。2000年にCEReSを出た後は、宇宙開発事業団などを経て、現在は三重大学の工学研究科に在籍しています。CEReSを出ておよそ25年になりますが、その間もリモートセンシングの研究を行ってきました。特に処理レベルの低い衛星データを加工するようなテーマに惹かれます。CEReSで過ごした経験がそうさせているのかもしれません。

個人的に、これから10年間のCEReSに期待することは、衛星データの質の重要性の発信と、多様な目的に則した人材の育成です。現在、衛星データの種類や数が急速に増大し、本格的な実利用の時代に入っていると思います。実利用において正しい方向性を導き出すには、衛星データと、そこから抽出される情報の質が担保されている必要があります。衛星運用機関とユーザーとの間に位置しているCEReSには、リモートセンシングにおける質の重要性を、これまで以

上に発信していただきたいと思います。一方、リモートセンシングの利用先も多様化しています。例えば農業に利用するなら、農業の知識も必要になり、その知識が多いほどリモートセンシングが有効に活用されると思います。そのような、リモートセンシング+ α を有する人材が求められていると思います。データの持つ意味をきちんと理解し、目的に合わせて正しく使える人材を育成する機関として、CEReSは最適であると思います。

大学院生の時、半年ほど研究室に行かなかった時期がありました。引きこもっていた私を研究室に呼び戻してくれたのは、同じ研究室の留学生でした。また、建石先生は私を暖かく受入れてくださり、自由に研究させて下さいました。そのおかげで、現在もリモートセンシングに携わることができています。CEReSの先生方には今でも色々とお世話になっており、時々はCEReSにお邪魔しています。折りに触れて、自分が卒業した場所を訪れることができるのは幸せなことだと思います。その意味でも、CEReSの皆さまには感謝しております。

私が言うまでもありませんが、今後のリモートセンシングにおいて、CEReSが担う役割はさらに重要になり、かかる期待は大きくなると思います。そのような中で、日本、アジア、世界を代表する研究機関として、千葉大学環境リモートセンシング研究センターが益々発展されますことを祈念いたします。

山本 浩万

産業技術総合研究所 デジタルアーキテクチャ研究センター・上級主任研究員

この度はCEReS 30周年、誠におめでとうございます！CEReS 1期生として実に感慨深いものがあります。私は、学部時代は早稲田大学教育学部地学専修に在籍し、卒論では幌満かんらん岩体上の植生をLandsat-5 Thematic Mapper (TM) データを用いてマッピングする地植生リモートセンシングを研究テーマにしておりました。地学専修にリモートセンシングの選択科目はあったものの、ほぼ独学でした。当時、早稲田大にはリモートセンシング関係の研究室はなかったため、他大学の大学院に行く必要があり、先輩のご紹介で千葉大学映像隔測研究センターに何回もお邪魔したのが



きっかけだったと記憶しております。1995年より千葉大CEReS（修士課程：工学研究科画像工学専攻、博士課程：自然科学研究科人工システム科学専攻）に進学し、本多嘉明先生・梶原康司先生の研究室でNOAA AVHRRセンサデータを用いた広域草原バイオマス推定を研究テーマとして在籍することとなりました。毎年8月ごろにモンゴルに行ってコドラート内の草を刈って乾燥重量を計ったり、分光放射計で地表面反射率を測定したりしておりました（写真1）。

1999年に博士課程を修了し、1年間の千葉大でのJST研究員を終え、JAXA EORCで5年間招聘研究員として主に打ち上げ前・後のADEOS-II GLI陸圏校正検証作業やGCOM-C SGLIバンドや陸圏プロダクトの仕様策定などに関わってきました。その後、産業技術総合

研究所に入所し、主に ASTER や HISUI の代替校正実験（写真 2）やプロダクト検証の研究、Himawari-8/9 AHI エアロゾルプロダクトの検証や JAXA からの依頼で GOSAT 代替校正実験などにも関わっております。

こうして思い返すと、千葉大 CEReS で学んだことが、そっくりそのまま現在の職務となっていることがわかります。また、近年は共同利用研究で SKYNET や JSPS 研究拠点形成事業の GEOLAND-NET に関わったりもして、再び千葉大 CEReS に近づいた感もあります。現在、兼業として民間の株式会社 New Space Intelligence にも在籍しておりますが、修士時代のモンゴル草原観測時に大変お世話になったモンゴル人の先輩が同僚となっております。自分の専門を「衛星搭載型光学センサの校正検証」と申し上げておりますが、CEReS で身につけたことが生かされて、まさに CEReS は私の人生のほとんどを形成してくれた機関といって過言でないと感じております。今後も日本トップのリモートセンシング研究機関であり続けて頂きたい、先生方の今後益々のご活躍をお祈りいたします。



写真1 1998年モンゴル草原観測の集合写真



写真2 ASTER 代替校正実験中の筆者

Ketut Wikantika

Professor, Faculty of Earth Sciences and Technology, Institut Teknologi Bandung

Congratulations on the 30th anniversary of CEReS!

I am Ketut Wikantika, alumni of the Center for Environmental Remote Sensing (CEReS) at Chiba University. I graduated from this great institution in 2001 after completing my Ph.D. with a thesis about the spectral and textural aspects of multisensor and multitemporal satellite data for land use/land cover mapping in a tropical area. Since 2011, I have been a full professor in the Faculty of Earth Science and Technology, Institut Teknologi Bandung (ITB) and a member of the Geospatial Information Science and Technology (GIST) research group. I was previously selected as the Director of the Center for Remote Sensing (CRS) ITB and Head of GIST for 2005-2022 and 2012-2022, respectively.



The primary research focuses on the potential of using remote sensing data and technology for banana plant monitoring and fruit ripening. This activity is collaboration research with the

School of Life Sciences and Technology. Research on banana plant monitoring is interesting. This situation is not only about maximizing the linkage of remote sensing to the agricultural sector but also discusses its potential to enhance local-regional economic growth. Figure 1 shows the local evidence that banana plantations are becoming vulnerable to losing their yield capability after being predicted by an integrated UAV-derived NDVI, NDWI, MCARI, and soil pH using a random forest algorithm. This plantation is already affected by Fusarium wilt and Banana Blood Diseases. This situation describes the massive limitation for improving the agricultural industry. Then, remote sensing is successful in revealing this critical information.

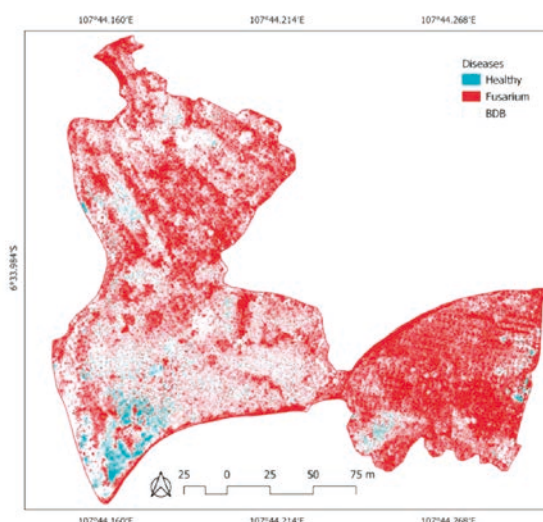


Fig. 1 Distribution of healthy banana trees and those affected by BBD and fusarium based on UAV-derived NDVI, NDWI, MCARI, and land PH values in the banana plantation, generated using a random forest algorithm (Wikantika et al., 2023).



Fig. 2 Ketut Wikantika with a Tongka Langit (*Musa troglodytarum*) banana fruit in Ambon, Maluku -Indonesia.

Indonesia is the center of biodiversity. In the banana sector, the Identification process is mandatory in order to collect species richness. One of the rare banana species, namely Tongka langit (*Musa troglodytarum*), has already been discovered in two places, including in the Galunggung mountain area, Tasikmalaya regency, and Ambon, Maluku (Figure 2). Integrating banana and remote sensing has successfully connected the science interdisciplinary, helped find the first banana smart village (BSV), and served benefits to the local community.

Again, congratulations on the 30th anniversary of CEReS. CEReS assists me in understanding the world and its environment better.

矢吹 正教

京都大学 生存圏研究所・特任准教授

千葉大学環境リモートセンシング研究センター（CEReS）の設立30周年、誠におめでとうございます。

私は、地上から光を用いて上空の大気状態を精緻に計測できるライダーに興味を持ち、

1998年から2003年まで、センサ研究分野の竹内・久世研究室の大学院生として過ごしました。当時のライダー観測や調整は、背景光が無視できる夜間に行っていました。夕方くらいに研究室メンバーがパラパラと集まってきて、装置を立ち上げた後に、夜空に向かう幻想的な緑色のレーザービームを、屋上から皆で眺めていた頃が懐かしく思い出されます。実践的なライダー技術だけでなく、研究会や輪講を通じた知識の習得など、学習面では人生の中で最も充実した毎日でした。また、私の初めての海外が、本多嘉明先生が主導された「地上・衛星同期観測から地上部バイオマスを求める研究」の一環として行われた、モンゴル草原での観測でした。広大な草原における長期キャンプの経験は、観測面だけでなく生活面や適応力を含め、その後の北極や南極、船上等のフィールド観測の礎になりました。

千葉大学を2003年に卒業した後は、情報・システム研究機構 国立極地研究所において極域でのライダー計測を中心とした大気観測に従事しました。2010年からは京都大学生存圏研究所にて社会に役立つ新しいライダー手法の開拓、例えば線状降水帯の予測精度向上のための水蒸気・気温ライダーや、都市大気環境を詳細にモニターする車載ライダーの開発を行っています。CEReSで培った知識や経験は、以降の研究活動に大いに生かされています。自由な発想のもと、様々なことに挑戦させていただいた竹内延夫先生、久世宏明先生をはじめ、CEReSの先生方、そして当時一緒に過ごした学生の皆様に感謝申し上げます。

喫緊の課題である気候・環境変動に対応する地球環境の監視だけでなく、災害情報収集や精密農業など、社会基盤の発展においてリモートセンシングの重要性は益々高まっています。リモートセンシング研究、そしてリモートセンシングを利用した環境研究やその教育の要として、CEReSが更なる発展を遂げられますよう祈念いたします。



著者近影：車載ライダー装置の調整



京大生存研 信楽MU観測所にて千葉大 CEReSのライダーを用いた共同観測を実施（2013年12月6日）

Renchin Tsolmon

Professor, The National University of Mongolia and head of the NUM-ITC-UNESCO Remote Sensing and Space Science laboratory

Happy 30th Anniversary, CEReS!

As an alumnus of CEReS I am honored to extend my heartfelt congratulations on this significant milestone. CEReS has played a pivotal role in fostering the remote sensing community in Mongolia, and I am proud to have been part of this esteemed institution. During my time at CEReS, I studied in Tateishi Laboratory from 2000 to 2003 while pursuing my Ph.D. Those years were transformative, as I not only gained invaluable academic knowledge but also formed lifelong friendships with peers from Japan and around the world.



After completing my Ph.D., I returned to Mongolia and established the first Remote Sensing and GIS Laboratory at the National University of Mongolia in 2003. This was a pioneering step for Mongolia, as remote sensing was a relatively unknown field at the time. My supervisor, Tateishi Sensei, provided immense support, sending books and teaching materials to help us get started. Since then, the laboratory has nurtured numerous talented students, including Ts. Enkhzaya S. Molormaa, M. Selenge, M. Zaya and, who later pursued their graduate studies or research at CEReS.



Under my leadership, the Remote Sensing Laboratory has achieved remarkable milestones, including participation in the joint Mongolia-Japan MJEED project. This collaboration enabled our students to gain expertise in developing small nano-satellites, which culminated in the creation of Mongolia's first satellite—a testament to the knowledge and skills acquired at CEReS. One of our key educational activities has been to promote Remote Sensing, Space Science, and Astronomy through outreach programs. CEReS has always been a home institution for me, and every visit to CEReS feels like returning to my academic family. In 2022, I had the privilege of working as a JSPS Research Fellow in Ichii Sensei's laboratory, where we initiated joint research on Carbon Cycle and GPP studies. This collaboration continues to involve students from our laboratory under the guidance of Prof. Ichii, ensuring that the connection between CEReS and our institution remains strong and enduring. Once

again, congratulations to CEReS on its 30th anniversary. I wish the institution continued success and growth in the years to come!

Yohandri

Professor, Physics Department, Vice-Rector for Human Resources and Innovation Affairs, Universitas Negeri Padang, West Sumatera, Indonesia

Congratulations to CEReS on its 30th anniversary! Over the past three decades, CEReS has been a beacon of excellence in environmental research and remote sensing. Its contributions to science, education, and sustainable development have had a lasting impact. Here's to continued success and groundbreaking achievements in the years ahead!

As an alumnus of CEReS, my academic journey began in 2010, when I joined the Josaphat Microwave Remote Sensing Laboratory (JMRS�). Under the mentorship of Prof. Hiroaki Kuze and Prof. Josaphat, I was exposed to various advanced techniques and theoretical concepts in microwave sensing, gaining practical skills and a solid foundation in remote sensing technology. During my time as a Ph.D. student, the laboratory was actively involved in several collaborative research projects, both domestic and international, which provided me with the opportunity to contribute to the development of innovative sensing systems and data analysis methods.



By September 2012, I completed my Ph.D. from Chiba University and joined the Center for Environmental and Remote Sensing (CEReS) as an Assistant Professor under the Center of Excellence program. I continued to work on several research projects under the JMRS�, focusing on the integration of microwave remote-sensing technologies into real-world applications. This research experience strengthened my expertise in sensor systems, data interpretation, and remote sensing methodologies. The experiences gained during this time laid the foundation for my future roles in academia and leadership.

In 2013, I returned to my home country and joined Universitas Negeri Padang, where I began contributing to the development of the university's academic programs and research initiatives. In 2014, I was appointed Secretary of the Physics Department, a role in which I helped coordinate the department's academic and administrative functions. This position allowed me to improve departmental operations and foster a stronger academic environment for both faculty and students. In 2019, I was promoted to Vice Dean for Academic Affairs in the Faculty of Mathematics and Natural Sciences. In this capacity, I worked closely with faculty members to enhance the quality of teaching, streamline academic processes, and support the professional development of both students and staff. My role involved managing curriculum development, student affairs, and promoting academic excellence within the faculty.

In 2020, I transitioned to a leadership role as the Head of the Institute for Research and Community

Service at Universitas Negeri Padang. Here, I led research initiatives, supervised collaborative projects, and focused on promoting community engagement and the practical application of research outcomes to address societal needs. This experience deepened my passion for innovation and its impact on society. I was appointed as a professor in the field of Instrumentation Physics in 2023. In this role, I am responsible for advancing research in the development and application of various instrumentation technologies, particularly those related to physical measurements and sensor systems. Most recently, in 2024, I was appointed Vice-Rector for Human Resources and Innovation Affairs. In this strategic role, I am responsible for overseeing the university's human resource policies, fostering innovation, and promoting research collaborations. I am committed to shaping a vibrant academic and research environment that nurtures talent, encourages innovation, and supports sustainable development at the university. My career path reflects my deep commitment to advancing education, research, and community engagement in higher education.

Laras Toersilowati

Senior Researcher, National Research and Innovation Agency (BRIN), Indonesia

Happy 30th anniversary CEReS Chiba University, may it be even more glorious, continue to develop and always be a reference for the world community, more successful, superior and competitive. I feel grateful and proud to have been part of CEReS 16 years ago, as a doctoral student under the guidance of Prof. Hiroaki Kuze (Kuze Lab.) and Prof. Josaphat Tetuko Sri Sumantyo, Ph.D. (JMRS).



Thanks and salute to the professors, lecturers, and administrators who together have succeeded in following the ever-expanding technological horizon, with continuous international communication, funding management, and professional expertise. A safe and comfortable learning environment on a beautiful campus when the cherry blossoms are in bloom, a sense of admiration for fellow students who respect and help each other.

Armed with the knowledge gained from CEReS, I continue to conduct remote sensing-based research in collaboration with researchers, lecturers and related institutions. The research conducted discusses climate change and the environment reviewed from various variables, namely: Land Surface Temperature (LST), NDVI, EVI, NDBI, NDWI, PM2.5, Environmental Critical Index (ECI), Temperature Humidity Index (THI), Surface Energy Balance (SEB), NO₂, O₃, PM10, etc.

The latest publications include “Using Artificial Neural Networks and Spectral Indices to Predict Water Availability in New Capital (IKN) and Its’ Surroundings” (<https://doi.org/10.1007/s12524-024-01889-z>) and “Monitoring and predicting development of built-up area in sub-urban areas: A case study of Sleman, Yogyakarta, Indonesia” (<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e34466>). Meanwhile, ongoing

research is about LST prediction from NDVI, using the deep learning Neural Network (NN) and Long Short Term Memory (LSTM) methods. NDVI and LST are estimated from LANDSAT. LST prediction at time $t + 1$ from sequential NDVI data from time 1 to t , with predictor data being sequential NDVI data. The results of the deep learning method performance test are a) NN with a RMSE value of 1.88, and b) LSTM with an RMSE value of 1.87. Figure 1 shows a comparison of the LST spatial map of DKI Jakarta: a) LST Estimation from the LANDSAT satellite, b) LST Prediction by the NN method, and c) LST Prediction by the LSTM method. This research is useful for the government as input to minimize the impact of climate change, especially reducing the high urban heat island, by controlling changes in land use from vegetation to non-vegetation. This study presents a very practical improvement, especially in the LST prediction method based on LANDSAT imagery.

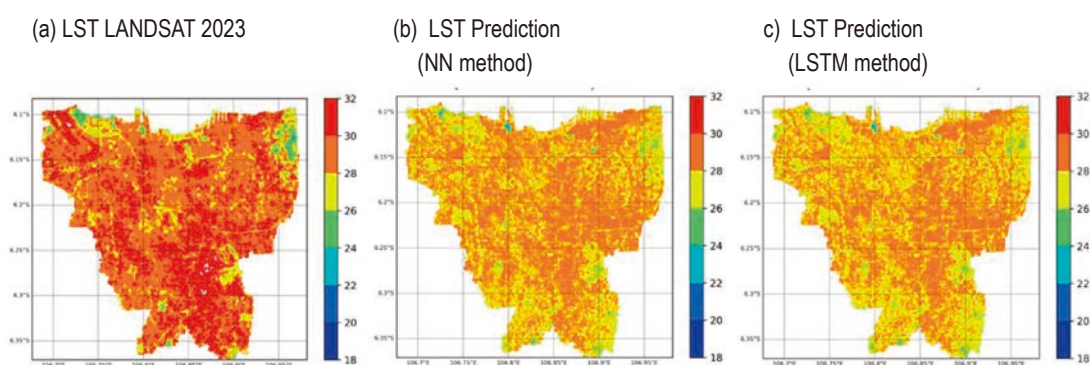


Fig. 1 Comparison of the LST spatial map of DKI Jakarta.

濱 侃

千葉大学園芸学研究院 先端園芸工学講座・助教

創立30周年おめでとうございます。このような原稿を書くのは人生初のことですので、どのように書いたら良いのかよくわかっておりませんが、在学時の思い出や近況などを皆様と共有できればと思います。

私は近藤研究室に修士の2年間と博士の3年間の計5年間在籍し、2018年度に理学研究科地球生命圏科学専攻の地球科学コースを修了、博士（理学）の学位を取得しました。研究室のメンバーは隣の建石先生の研究室も含めて留学生が多く、日本人の方が少数でした。近藤研究室は特に中国からの留学生が多く、普段の学生室では中国語が一番使われている言語だったかもしれません。パソコンで色々と作業をしながら、ずっと誰かと喋っていたのですが、一番喋ったのはアイスリタンさん（アイさん）だと思います。アイさんは非常に英語が堪能だったので、アイさんは英語で喋り、私は日本語か英語で喋るという感じでした。それでアイさんは日本語を上達させ、私は英語を上達させていました。研究としてはドローンが急速に普及し始めたタイミングで、そのドローンを使った水稻のモニタリングに関することを研究していました。この時にドローンの利用に関して色々と相談に乗っていく中で出来たネットワークが今でも私の研究を支えています。



筆者近影



図1 遠隔計測技術を基盤とした「見える農業」の説明図

学位取得後は、運よく日本学術振興会特別研究員PDに採用され、1年半ほど横浜国立大学で過ごしました。その後、これまた運よく千葉大学園芸学部で公募があり、現在の職（千葉大学大学院園芸学研究院 先端園芸工学講座 助教）に就いております。現在もドローンや画像解析などのリモートセンシングを駆使しております。対象は植物とその生育環境で「見えない」ものを先端のセンシング技術を基盤としたアプローチで「見える化」する技術の開発や、スマート農業に期待される高効率農業による諸問題の解決に留まらず、ストーリー性のある農業によるブランド化・高収益化、次世代の育種を可能とするための形質データの高効率取得に関する研究など、多種多様な未来の農業の現場に貢献することを目指して研究を行っています（図1）。また、植物の計測技術を応用し、生態系モニタリング、温暖化による植生移行帯の移動に関する研究も進めています。

第5章

広報

5.1 年報

CEReSが各年度において行った研究活動、共同利用、国際交流、教育活動、社会貢献、教育などさまざまな活動を記録し、自己点検評価の資料とするために、毎年度、年報を発行している。図5.1に年報第28巻（2022年度の活動報告）の表紙を示す。全体は202ページで、構成は下記のようにになっている。

- [1] プログラム研究活動
- [2] 共同利用研究
- [3] 研究成果の公表
- [4] 受賞・開発実績等
- [5] 国際交流
- [6] 教育活動
- [7] 社会教育活動・社会貢献
- [8] センターの行事
- [9] 主要研究設備
- [10] 当該年度の計算機データベース
主要業務
- [11] 当該年度CEReSニュースレター
ヘッドラインおよびニュースリリース
- [12] 組織・運営・人事・予算



図5.1 年報第28巻（2022年度の活動報告）表紙

1995年のCEReS発足年度からの年報pdfは、下記のウェブサイトで公開している。

<https://ceres.chiba-u.jp/category/annual/>

5.2 CEReSニュースレター

CEReSホームページ上で、毎月のセンターの活動をタイムリーに報告している。第1号は2005年12月号で、11月はじめの千葉大学祭期間におけるセンターの一般公開等について報じている（図5.2左）。同図右は、2024年7月号の1ページ目である。詳細は、下記のURLを参照。

<https://ceres.chiba-u.jp/category/newsletter/>

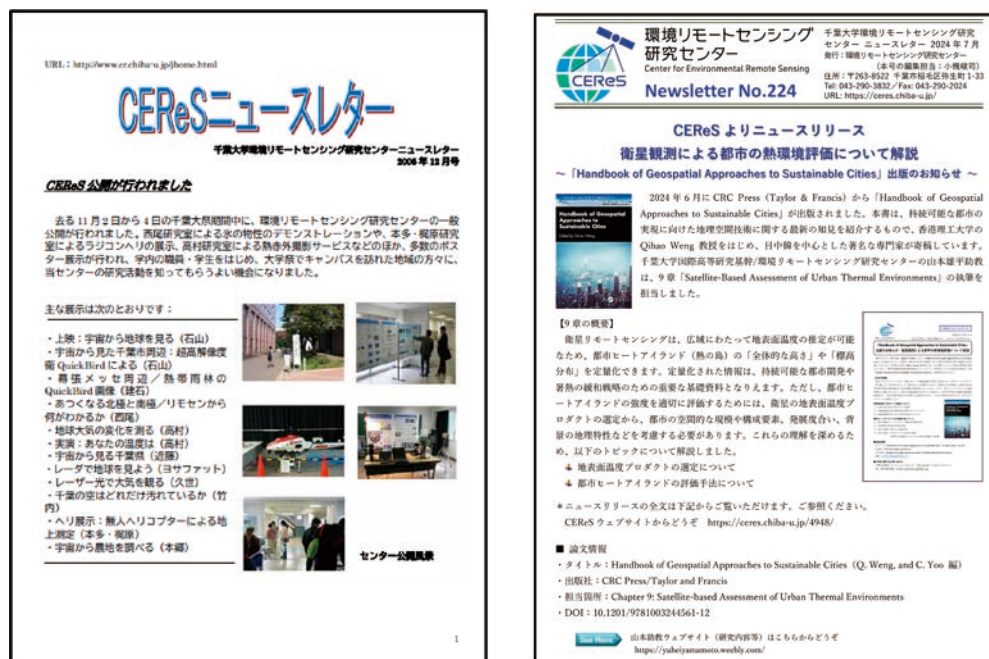


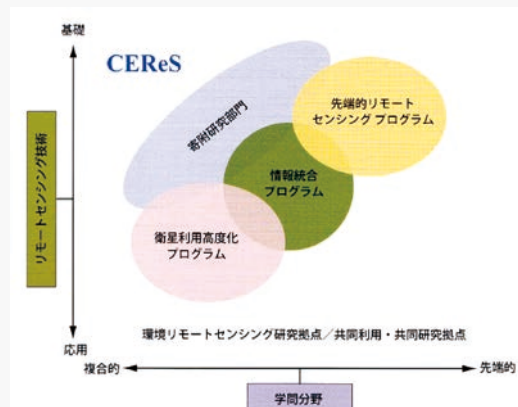
図5.2 CEReS ニュースレターの第1号（2005年12月号）と第224号（2024年7月号）の1ページ目

5.3 CEReSパンフレット

CEReSの研究教育等の活動を広く一般に紹介するため、新規の研究プログラムの策定等に合わせてCEReSパンフレットを作成している。一例として、2010（平成22）年からの第2期中期目標・中期計画期間に向けて4つのプログラムを紹介するために作成したパンフレットの表紙（図5.3左、右は最新の2024・2025年版）と、新プログラムの紹介を下記に引用しておく。

《環境リモートセンシング研究センターの研究プログラム》

平成22年4月からの共同利用・共同研究拠点の発足にともない、環境リモートセンシング研究センター（CEReS）では、より効率的なプロジェクト研究の推進をめざして新たに4つの研究プログラムを設けることと致しました。新プログラムは従来の6プロジェクトを包含し、発展させるものとなっており、今後6年間の第2期中期目標・中期計画期間において、この新プログラムに沿ってCEReSの研究活動を展開していくことになります。新プログラムは、先端的リモートセンシングプログラム、情報統合プログラム、衛星利用高度化プログラム、および寄附研究部門プログラムの4つから構成されており、これらの関係は、「学問分野軸」を横軸に、「リモートセンシング技術」を縦軸にとりて表示すると、おおよそ右図のようにまとめることが可能です。



こうしたプログラムの展開を通じて、CEReSは環境リモートセンシング分野における共同利用・共同研究を推進し、リモートセンシングの「総合情報拠点」として、関連コミュニティおよび広く社会に貢献して参ります。



図5.3 (左) 2010年からの新プログラムを紹介したパンフレットの表紙と
(右) 2024・2025年版パンフレットの表紙 <https://ceres.chiba-u.jp/4893/>

第6章

特色ある研究成果



世界最先端のリモートセンシング技術による 地球大気環境変動研究の推進

Advancing Research on Global Atmospheric Environmental Changes
Using State-of-the-Art Remote Sensing Technology

入江 仁士 教授
Irie Hitoshi, Professor

特色ある研究の概要

CEReSの大気リモートセンシング分野を牽引してこられた竹内名誉教授、高村名誉教授、久世名誉教授によって築き上げられたSKYNET（スカイネット）プロジェクトを、現在、入江が引き継ぎ主導している。そのうえで、令和3年度にA-SKY（エースカイ）という新たな国際観測網を立ち上げた。A-SKYは世界最大のメガシティに含まれる千葉大学大気環境観測スーパーサイトなどを有す。スカイラジオメーターと多軸差分吸収分光法（MAX-DOAS）の2種類の世界最先端の国産のリモートセンシング技術を組み合わせ、重要な多くの大気成分の濃度を導出し、そのデータを蓄積、衛星リモートセンシングも組み合わせ、ローカルだけでなくグローバルにも顕在化している様々な予測困難な現象に特に焦点を当て研究を進めている。得られた観測データは国際研究コミュニティに提供・公開しており、関連の知見も交えた議論を通じて、各種関連衛星観測プロジェクトに貢献している。こういった活動を通じて、地球大気環境変動研究を推進している。

The SKYNET project, established by CEReS professors emeriti Takeuchi, Takamura, and Kuze, who have led the field of atmospheric remote sensing, is now being inherited and spearheaded by Irie. Additionally, a new international observation network called A-SKY was launched in fiscal year 2021. This network includes the Chiba-U Atmospheric Environmental Observation Super Site, located in one of the world's largest megacities. Combining two cutting-edge remote sensing technologies – sky radiometers and Multi-Axis Differential Optical Absorption Spectroscopy (MAX-DOAS) – the A-SKY project derives concentrations of key atmospheric components. The accumulated data, integrated with satellite remote sensing, focus on addressing various unpredictable phenomena emerging not only locally but also globally. The observation data collected are shared and made available to the international research community, contributing to discussions enriched with related findings and supporting various satellite observation projects. Through these activities, the project advances research into global atmospheric environmental changes.

1 はじめに

IPCC第6次評価報告書が公表されて気候変動の原因は人間活動にあることが断言されたうえで、2023年7月に国連のアントニオ・グテーレス事務総長がこれまでの地球温暖化のレベルを超え、地球が「沸騰」している状況に突入していることを「地球沸騰化」と表現したことは記憶に新しい。地球沸騰化時代においては予測困難な現象（例えば、極端気象現象）がさらに多発することが懸念される。このような状況において、リモートセンシングの役割は一層重要となっている。

2 研究のねらい・上位目標

本研究では、気候危機への緩和および適応に向けた対策に不可欠な人間の行動変容をもたらす科学的知見（予測など）をアウトプットするために、以下3つに大別した位置づけにおいて、関連の地球大気環境変動研究に取り組んでいる。

- 1) 世界最先端レベルの質・量の地球大気環境観測データの取得、QA/QC、および高度解析
- 2) 地球科学プロセス（特に大気環境変動）の解明（真理の追求）
- 3) 最適なデータサイエンス技術の提案

地球大気環境変動研究において、リモートセンシング技術は地球規模で長期にわたって均質なデータをもたらす唯一の方法であり特に重要である。本研究では、独自の世界最先端のリモートセンシング技術・データなどを基盤に、国際観測網を主導して広く国内外の研究機関と国際共同研究を進めている。衛星リモートセンシングも組み合わせ、ローカルだけでなくグローバルにも顕在化している様々な予測困難な現象（例えば、人間活動に伴う大気汚染・大気環境変動、線状降水帯などの極端気象現象、森林火災、雷活動、火山活動、ティッピングエレメントの変動）に特に焦点を当て、地球大気環境変動研究を推進している。

3 研究の実施方法

SKYNET（スカイネット）（図1）は、気候変動予測に最大の不確実性をもたらすエアロゾルや雲を観測するスカイラジオメーター、および、そのユーザーの国際観測網である。高精度な紫外域光吸収エアロゾルの観測とオンサイトキャリブレーションによる連続観測に大きな特徴を有する。このプロジェクトを入江が引き継ぎ主導している。そのうえで、令和3年度に、GOSAT衛星シリーズに関わる環境研究総合推進費プロジェクトにおいて、A-SKY（エースカイ）（図1）という新たな国際地上リモートセンシング観測網を立ち上げた。

A-SKYは世界最大のメガシティに含まれる千葉大学大気環境観測スーパーサイト（図2）、越境汚染の最前線であり線状降水帯の上流域にも位置する福江島サイト、強いバイオマスバーニングの影響を受けるタイのピマイサイト、世界最大の汚染域であるインドのハルドワニサイトを有す点に特徴がある。地上設置型の2種類の国産のリモートセンシング技術（スカイラジオメーターとMAX-DOAS）を組み合わせ、両技術ともオンサイトキャリブレーション手法を確立させた。MAX-DOAS法については、世界に先駆けて8成分（エアロゾル消散係数（357 nm、476 nm）、

NO₂、HCHO、CHOCHO、H₂O、SO₂、O₃の濃度)の高度分布を同時に導出する新しいアルゴリズム(JM2)を開発し、衛星データやモデルの多成分検証のために役立つことを明確に示した。これらの開発の結果、短寿命気候強制因子として重要なブラックカーボンや二酸化窒素、対流圏オゾンなど、多くの大気成分を導出し、そのデータを蓄積、国際研究グループに公開している。国内の気候変動観測衛星しきさい(GCOM-C)のエアロゾル・雲データの検証データをJAXAなどの研究コミュニティに提供するだけでなく、欧米の大気化学衛星(OMI/Aura、GOME-2/MetOp-A&B&C、TROPOMI/S5P等)プロジェクトにおいて先導的な役割を果たしているベルギーの王立宇宙航空研究所(BIRA-IASB)やオランダのオランダ王立気象研究所(KNMI)にも国際観測網データを準リアルタイムで提供しており、関連の知見も交えた議論を通じて、国内外の各種関連衛星観測プロジェクトに貢献している。こういった実績を踏まえ、これまでよりも一層、地球表層環境変動に関わる社会的課題の解決に役立つ研究への発展を図っている。そのために、独自の国際観測網(SKYNET、A-SKY)に関連する人のネットワークやCEReSが共同利用・共同研究拠点であることを活用して、観測(地上観測だけでなく衛星観測も含む)とモデルを相補的に利用する枠組みを構築し、1)観測によるモデル内のプロセスの検証、2)観測によるモデルで計算した結果のオーバーオールな検証、3)データ同化といったアプローチの重点化を図っている。



図1 SKYNET および A-SKY 国際観測網の概要

Fig. 1 Overview of SKYNET and A-SKY observation networks.



図2 千葉大学大気環境観測スーパーサイトの概要

Fig. 2 verview of Chiba-U Atmospheric Environment Observation Supersite.

4 研究成果

A-SKY 観測網サイトにおいて、大気境界層内のエアロゾル消散係数、 NO_2 、 HCHO 、 CHOCHO 、 H_2O 、 SO_2 、 O_3 の濃度の長期連続データセット（千葉、つくば、春日サイトでは10年超）を構築した。迅速な短寿命気候強制因子（SLCFs）に関わるエミッション評価の観点でデータを解析したところ、2013年以降、オゾンの生成領域が NO_x -sensitive領域にシフトする傾向が見出された^[1]。また、機械学習等を組み合わせてCOVID-19の影響や地球沸騰化とオゾン感度レジーム解析の関連も議論した^[2]。これらの独自の地上分光計測をベースに得られた結果は、より一層の国内の大気汚染対策が必要であることを示した^[1]。そして、そういった対策の結果として都市域でもオゾン濃度の減少が見込まれ、特に NO_x の排出規制の強化に取り組む努力の継続を奨励した。

千葉大学大気環境観測スーパーサイトにおいては、南西風が卓越しているときに SO_2 が高濃度になる明瞭な傾向があり、サイト南西方向にある火力発電所や東京湾上の船舶の影響が強く示唆された（図3）。濃度変動要因をより詳細に調べるために機械学習を用いて2015年から2019年までのデータを用いて2020年以降の予測を行い、観測値との比較を行った。2020年以降は観測値が予測値を約2 ppbv下回ったことが分かり、東京湾岸の SO_2 濃度変動は2020年に開始された国際海事機関（IMO）による国際船舶燃料の硫黄含有量に関する新規制（IMO2020）を強く反映していることが分かった。

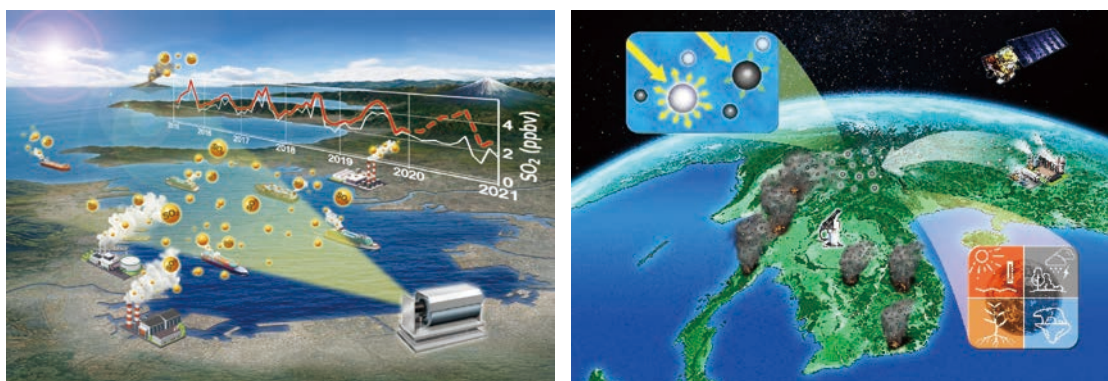


図3 千葉大学大気環境観測スーパーサイトおよびタイ・ピマイサイトにおける光吸収性エアロゾルやエアロゾル前駆気体の観測から得られた成果のイメージ。

Fig. 3 Illustrations of results obtained from observations of aerosols and their precursors at Chiba, Japan, and Phimai, Thailand.

地上観測からはまた、 CO_2 とともにBCや NO_2 を同時に観測することで、観測機器のドリフトの影響を最小に抑え、正確に CO_2 の濃度増大を見積もれることが分かった。この方法を用いることで、大都市での高精度な CO_2 濃度モニタリング、ひいては、大都市からの排出対策に貢献することを期待している。他、インドシナ半島に位置するタイ・ピマイサイトの観測からは、中国南部からの硫酸塩エアロゾルの輸送の環境影響が顕著であること、AODは減少トレンドを示しており、中国南部の二酸化硫黄エミッションの減少が起因していることが分かった（図3）^[3]。

気候変動に伴う越境大気汚染経路の長期変化を捉えるために、人為起源エアロゾルをトレーサーとみなす斬新な視点で長期のエアロゾル衛星観測データを解析した。中国からのエミッションの影響を相殺するためにAODデータを中国沿岸域のAODで規格化した新しいメトリクスを導出したところ、中国沿岸域から真東に運ばれる越境大気汚染経路の距離が短くなる長期傾向を見出した^[4]。これは気候変動の進行に伴い、越境大気汚染経路が北にわずかにシフトしたことで説明される（図4）。気候変動に伴う越境大気汚染経路の変動の検出可能性を高めるために、さらなる継続的な長期のエアロゾル衛星観測の重要性を喚起した。また、地上と衛星リモートセンシングを複合利用した雷起源窒素酸化物の検出方法を新たに開発し、今後の気候変動に伴う雷活動の活発化を物質の視点から監視する方法を提案した（図4）。さらには、大気環境に関わる気候変動観測衛星しきさい等のGCOMシリーズ、および、ひまわり8/9号の衛星プロダクト検証のための地上データ等を研究コミュニティへ提供した。また、公開前の最新のTROPOMI/Sentinel-5P、GOME-2A/MetOp-A、GOME-2B/MetOp-B、GOME-2C/MetOp-C、GEMS/GEO-KOMPSAT-2Bなどの海外の大気環境衛星データの検証のために、A-SKYおよびSKYNET国際観測網のサイト数の増加とともに、観測を継続し、データを関連の国際プロジェクトに提供した。

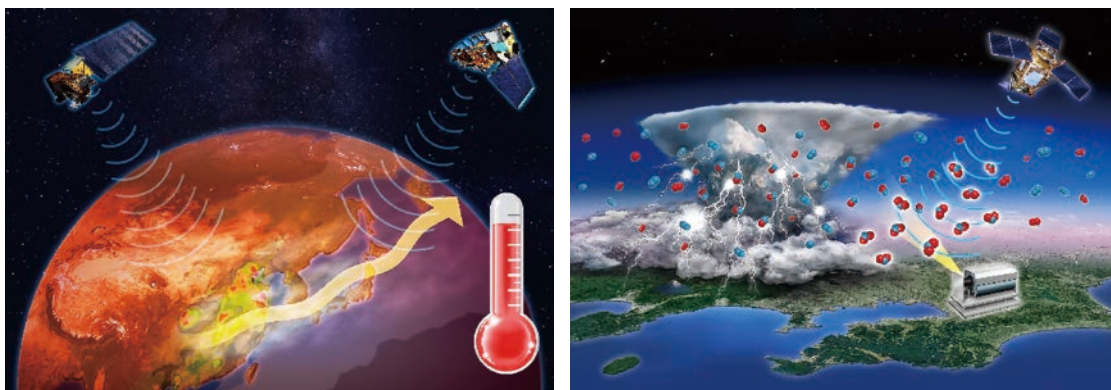


図4 (左) 気候変動に伴い越境大気汚染経路が北にわずかにシフトしたことを示すイメージ。(右) 地上と衛星リモートセンシングを複合利用した雷起源窒素酸化物の検出方法のイメージ。

Fig. 4 (Left) An illustration showing a slight northward shift in transboundary air pollution pathways due to climate change. (Right) An illustration of a detection method for lightning-generated nitrogen oxides using a combination of ground-based and satellite remote sensing.

5 研究プレゼンスの向上

MAX-DOAS法から導出された大気下層の水蒸気濃度の長期データを、大気的不安定性と水蒸気の水平不均一性の関係の観点で調査したところ、大気的不安定時に水蒸気の不均一性が増大し、日本上空に停滞前線がある場合に特に顕著であることを示唆する結果が得られている^[5]。このように、MAX-DOAS法は、従来の観測とは異なる重要な情報を提供し、データ同化技術の開発や早期警戒システムへの応用が期待される。また、世界最大のメガシティである東京メガシティの主要都市であり、東京首都圏の風下に位置する千葉大学大気環境観測スーパーサイトでは高精

度観測機器（例えば、4方向MAX-DOAS、ブラックカーボンモニターCOSMOS、LI-CORトレースガスアナライザー、PICARROガスアナライザー）が充実しており、水蒸気だけでなく他の大気中の化学物質（NO_x、SO_x、PM_{2.5}、BC、CO₂など）の観測も行っている。これらの様々な化学物質のデータが示す濃度変動と気象場との関わりを日々注視し、それらのあいだの関係の理解が線状降水帯予測の精度向上に役立つのではないかと考えている。化学物質の濃度変動は気象場と密接に関係するので、化学物質の濃度変動を手掛かりにデータ同化の精緻化を図れるのではないかと考えるに至っている。こういった大気化学からの斬新な視点（図5）から科学的知見を獲得して成果を上げ、線状降水帯をはじめとした多くの人命に関わる極端降水現象の予測技術の大幅な向上をもたらすなど、広範にわたった学術、科学技術あるいは社会などへの波及効果が期待される。

また、令和5年度には気象庁との共同研究を開始した。気象庁は線状降水帯の予測精度向上に取り組み、文部科学省・理化学研究所の協力を得て、スーパーコンピュータ「富岳」を活用した開発を進めている。その中で、観測データの活用も重要視し、大学や研究機関との連携を強化している。今年度は、気象衛星ひまわりの晴天放射輝度データについて、高解像度化の効果や地表面の影響等をJAXA地球観測衛星や千葉大学国際地上リモートセンシング観測網等の観測データを用いた研究を行っている。令和6年度にはEarthCAREが打ち上げられ、令和7年度にはGOSAT-GW衛星の打ち上げが予定されている。こういった衛星群のプロジェクトと国際観測網を両輪として、研究成果を相乗的に獲得し、研究プレゼンスを向上させていけたらと考えている。



図5 大気化学という新しい切り口から線状降水帯予測精度向上へ新展開をもたらすイメージ。

Fig. 5 An illustration bringing a new perspective on improving the prediction of extreme weather phenomena, such as linear precipitation zones, through the novel perspective of atmospheric chemistry.

6 引用文献

- [1] Irie, H., D. Yonekawa, A. Damiani, H. M. S. Hoque, K. Sudo, and S. Itahashi, Continuous multi-component MAX-DOAS observations for the planetary boundary layer ozone variation analysis at Chiba and Tsukuba, Japan from 2013 to 2019, *Progress in Earth and Planetary Science*, **8**, 31, <https://doi.org/10.1186/s40645-021-00424-9>, 2021.
- [2] Damiani, A., H. Irie, D. A. Belikov, S. Kaizuka, H. M. S. Hoque, and R. R. Cordero, Peculiar COVID-19 effects in the Greater Tokyo Area revealed by spatiotemporal variabilities of tropospheric gases and light-absorbing aerosols, *Atmos. Chem. Phys.*, **22**, 12705-12726, <https://doi.org/10.5194/acp-22-12705-2022>, 2022.
- [3] Ohno T., H. Irie, M. Momoi, and A. M. da Silva, Quantitative evaluation of mixed biomass burning and anthropogenic

-
- aerosols over the Indochina peninsula using MERRA-2 reanalysis products validated by sky radiometer and MAX-DOAS observations, *Progress in Earth and Planetary*, **9**, 61, <https://doi.org/10.1186/s40645-022-00520-4>, 2022.
- [4] Cai, Y., H. Irie, A. Damiani, S. Itahashi, T. Takemura, and P. Khatri, Detectability of the potential climate change effect on transboundary air pollution pathways in the downwind area of China, *Science of The Total Environment*, **939**, 173490, doi:10.1016/j.scitotenv.2024.173490, 2024.
- [5] Mizobuchi, S., H. Irie, and S. Shimizu, Long-Term Continuous Observations of Horizontal Inhomogeneity in Water Vapor Concentration in the Lower Atmosphere Using A-SKY/MAX-DOAS, *Progress in Earth and Planetary Science*, submitted, 2024.



マイクロ波リモートセンシングとその社会的な活用

— 地域と人にねざした AI 減災サスティナブル学学際ハブ拠点形成 —

Microwave RS and Its Social Applications

— Establishment of an Interdisciplinary Hub for AI Disaster Mitigation and Sustainability —

ヨサファット テトオコ スリ スマンティヨ 教授

Josaphat Tetuko Sri Sumantyo, Professor

特色ある研究の概要

リモートセンシング技術による災害と地球環境の研究の進展とともに、既存の観測方法の限界がしばしば問題となっている。本研究では、これまで十分な観測が困難であったターゲットについて、新たなリモートセンサとアルゴリズムを開発することによって新局面を積極的に切り拓いていく。とくに、マイクロ波リモートセンシング情報の統合と活用、次世代小型衛星センサをはじめ、成層圏プラットフォームシステムと航空機と無人航空機の搭載センサによる地殻変動と植生情報を含むグローバルな環境情報の取得などの活動を通じて、先端的リモートセンシングの創生と新たな環境情報の創出をめざす。

As the study of disasters and the global environment progresses using remote sensing technology, the limitations of existing observation methods are often an issue. In this research project, we will proactively break new ground by developing new remote sensors and algorithms for targets that have been difficult to observe adequately. In particular, we aim to create cutting-edge remote sensing and generate new environmental information through activities such as integrating and utilizing microwave remote sensing information, acquiring global environmental information including crustal movement and vegetation information using next-generation small satellite sensors, as well as sensors mounted on stratospheric platform systems, aircraft, and unmanned aerial vehicles.

1 はじめに

合成開口レーダ（SAR）は多目的センサで、全天候型であり、昼夜を通じた観測を可能とする。従来のSARセンサは直線偏波（HH、VV、HV、VH）で、とくに低周波であるLバンドは電離層におけるファラデー回転の現象に大きく影響されている。本研究ではグローバル環境・地

殻変動の観測のために、図1に示す円偏波合成開口レーダ（CP-SAR）搭載小型衛星を開発している。この小型衛星は質量150 kgで、全円偏波のCP-SARセンサを搭載し、左旋円偏波（LHCP）と右旋円偏波（RHCP）の送受信を行うことができる。図2に示すように、RHCPを送信して、RHCPとLHCPを同時に受信でき、また、LHCPを送信して、RHCPとLHCPを同時に受信できる。これら両方の組合せによって、全円偏波のCP-SARセンサを実現する。

2 研究のねらい・上位目標

図2に示したように、本研究では、安価、軽量、コンパクトな無人航空機^[1, 2]、航空機^[3-5]、成層圏プラットフォームシステム、小型衛星^[6, 7]搭載用のCP-SARセンサの実現を目標とする。このセンサは、プラットフォームの姿勢と電離層におけるファラデー回転による影響を軽減できる。CP-SARセンサは楕円偏波（左旋または右旋）を送信して、左旋と右旋偏波を同時に受信する。この両データを受信することによって、軸比画像、楕円率、チルト角など、様々な新画像を抽出できる。このセンサによって、高精度かつ低ノイズの画像を得ることが期待される。

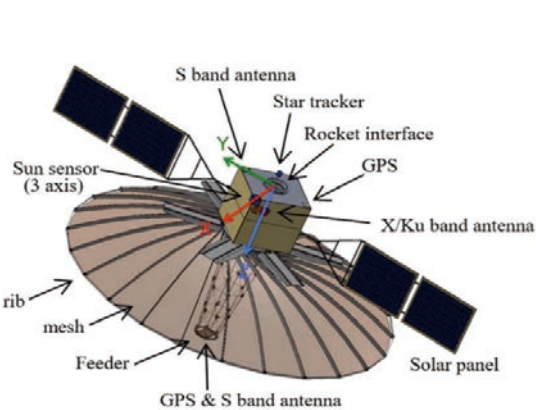


図1 CP-SAR搭載小型衛星

Fig. 1 CP-SAR onboard microsatellite.

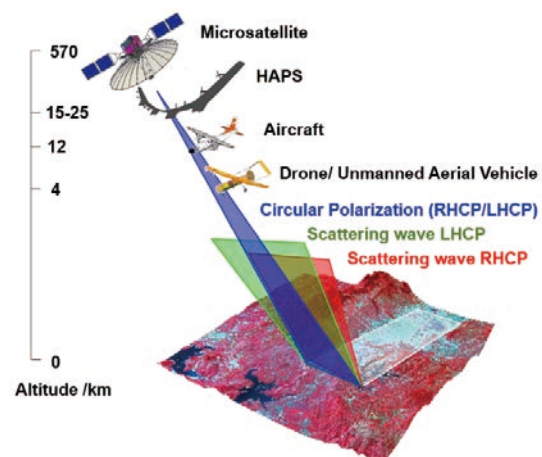


図2 CP-SARの動作メカニズム

Fig. 2 Mechanism of the CP-SAR.

さらに、本研究では、リモートセンシング、データ科学、防災学、気象学、地球物理学、災害医療学、社会科学の諸分野、現場である災害対策活動等の多分野横断連携を通じて、SAR衛星をはじめ、光学衛星等の衛星ビックデータと空間AIを中核とした、AI減災サステナブル学領域の開拓を目指す。この取組を通じて、災害予測・防災機能の強化やAI減災サステナブル学学際ハブの拠点構築を図る。本研究によって、科学的な災害予測、災害診断技術と社会科学的意思決定手法が融合し、従来にない有益で効果的な災害危機対応策や災害危機管理技術が体系的な学問として確立し、発災前の災害予測情報、災害進行時の実時間災害観測情報、発災後24時間以内の現況把握、発災後の復興支援情報を提供するプラットフォームの実現と災害救急医療への社会実証、デジタルツイン災害対応科学の創生による災害レジリエントな都市、街づくりの実現が期待される。

3 研究の実施方法

図3に無人航空機と航空機搭載用のCP-SARのシステムを示す。このシステムは飛行制御システム、計算機、姿勢制御（IMUとGPS）、送受信モジュール、DA・AD変換モジュール、電力・制御ユニットなどから構成されている。CP-SARセンサは、チャープパルス発生器、送受信モジュール、画像信号処理モジュールから構成されている。図4は円偏波のアンテナから構成されたCP-SARセンサのポイントターゲットの実験の様子である。図5に独自に開発したSAR用のアンテナと、これをCN235航空機に搭載した様子を示す。

2018年3月2日～18日にインドネシア・マカサル市内にて、CN235航空機に搭載した、CバンドCP-SARのフル偏波の飛行実証実験を行った。図6にCバンドCP-SARのフル偏波画像を示す。この飛行実験によって、当センターで開発したCP-SARが設計通りに運用できることが確認できた。

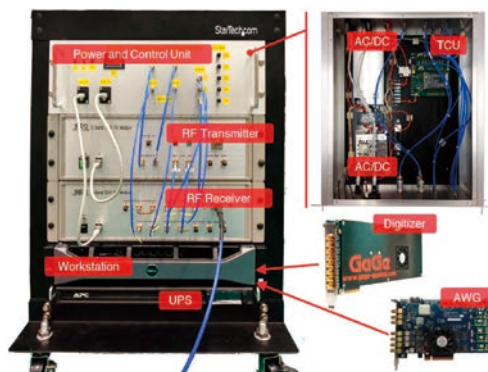


図3 CバンドCP-SARのシステム
Fig. 3 C band CP-SAR system.



図4 CP-SARセンサのポイントターゲットテスト
Fig. 4 Point target test of CP-SAR sensor.

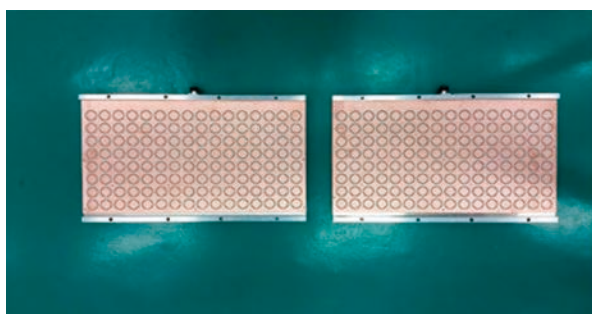


図5 CP-SARの送受信用のマイクロストリップアンテナとCN235航空機への搭載
Fig. 5 Microstrip array antenna for TX-RX of CP-SAR and installation on CN235 aircraft.

4 研究の成果

平成30年3月にCN235航空機に搭載したCバンド円偏波合成開口レーダ（CP-SAR）の飛行実証実験が成功し、生データを解析して、世界初のCP-SAR画像がフル偏波（LL、RL、LR、RR）で生成でき、その成果が文献^[3-5]に掲載された。2019年度に、このフル偏波による軸比をはじめ、楕円率などの新たな画像の生成にも成功し、土地被覆変化の観測に活用できた。

小型衛星搭載CP-SARセンサの金メッキメッシュアンテナの電波特性の性能評価を京都大学の電波無響室にて行い、CバンドとLバンドの周波数帯の放射パターン（利得）と軸比を確認して、シミュレーション通りの性能が達成されていることを示した^[6, 7]。また、無人航空機・航空機・小型衛星搭載用の新たなL、C、XバンドSARセンサ用の広帯域の円偏波ホーンアンテナの開発に成功した。合成開口レーダ（SAR）の画像解析と応用開発に関しては、DInSARとPS-InSARの手法による横浜市内の地盤沈下をはじめ、インドネシアの中部ボルネオ島とスマトラ島の泥炭地の観測に成功した^[8-10]。

5 共同研究・社会実証

国内研究ネットワークに関して、新潟大学と偏波合成開口レーダの理論・画像評価、京都大学および帝京大学と小型衛星搭載用のメッシュパラボラアンテナの性能評価、JAXAおよび一般財団法人リモート・センシング技術センター（RESTEC）とSAR画像の解析・応用開発とマイクロ波リモートセンシングの教育、国内民間会社と共同してSARシステム、レドーム用の新素材であるポリマテリアルの性能評価と成層圏プラットフォーム搭載検討・実証実験を行った。また、電子情報通信学会（IEICE）と連携して、マイクロ波リモートセンシング研究会を2019年11月に立ちあげ、第1回をバリ島で2019年11月に、第2回は2020年2月に千葉大学で開催した。今後、この研究会を毎年開催し、国内のマイクロ波リモートセンシングの研究活動の強化に貢献していく。



図6 CバンドCP-SARのフル偏波の画像（LL、RR、RL、LRモード）

Fig. 6 Full polarized images of C band CP-SAR (LL, RR, RL, and LR modes).

国際的な研究ネットワークに関して、英国・ケント大学およびインドネシア宇宙航空局（LAPAN）と連携して、円偏波アンテナの開発を行った。米国・パデュー大学とDInSAR・PS-InSARによる災害監視、インドネシア・インドネシア大学と飛行実証実験で取得した円偏波画像の解析と検証を行った。インドネシア・イスラムリアウ大学およびスマトラ島リアウ県と連携して、ALOS-2 PALSAR-2の画像による泥炭地の観測を行った。こうしたネットワークを強化するために、毎年電子情報通信学会（IEICE）SANE研と共催して、マイクロ波リモートセンシング研究会（SeMIREs）の国際会議を行い、研究成果の発表を行っている。2020年2月に宇宙科学研究所（ISAS JAXA）と共同して、インドネシア・ガジャマダ大学とウダヤナ大学で「冬の学校」を行い、地理学部と理学部の学生・大学院生（約400人）に宇宙分野と合成開口レーダのワークショップを1週間にわたって行った。また、当センターは国際会議IEEE APSAR 2021とAPSAR 2023をインドネシア・バリ島において主催し、また、IEICE ICSANE 2023をインドネシア・ソロにおいて開催した。IEICE ICSANE 2025は韓国・水原市で開催の予定である。

6 地域と人にねざしたAI減災サステナブル学学際ハブ拠点形成

令和元年房総半島台風（台風15号）は、関東地方に観測史上最大級の強度で上陸し、千葉県を中心に甚大な被害をもたらした。また、令和6年能登半島地震（M7.6）では、地震動や地形変化による建物や道路港湾等への被害も甚大であった。両ケースとも発災後の現地の状況の情報不足が災害医療活動や迅速な災害応急対策活動を阻害した。今後、同様な巨大台風や東南海地震、首都圏直下型地震等の襲来が懸念されている。図7と図8に示すように、当センターは令和6年度から学内部局、国内外の参画機関および協力機関と密接に連携して、AI減災サステナ



図7 本プログラムの構想

Fig. 7 Concept of the program.

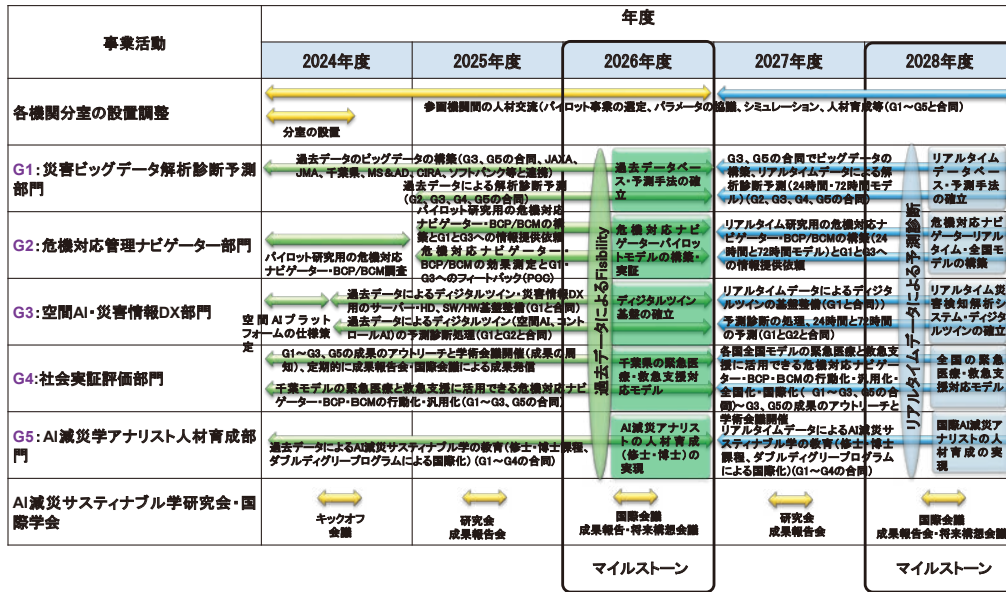


図8 本プログラムの活動内容とマイルストーン

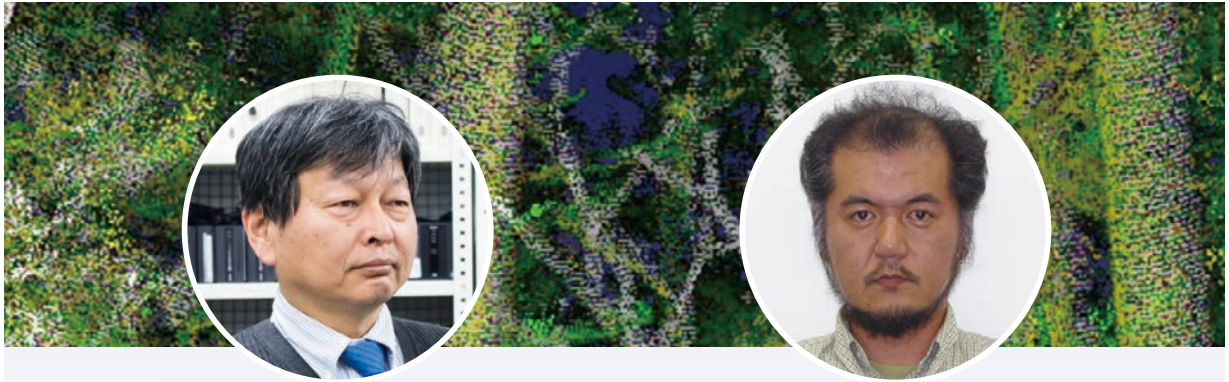
Fig. 8 Program activities and milestones.

ブル学学際ハブ拠点の構築を推進している。具体的には、千葉大学災害医療学研究所・DMAT、医学部附属病院、大学院理学研究院、大学院融合理工学府の参画機関と連携する。そして、分室を設置し、客員教員、客員研究員等の制度を用いて、名古屋工業大学高度防災工学センター、千葉県防災危機管理部、あいおいニッセイ同和損保、JAXA、気象庁 (JMA)、オリエンタルコンサルタンツグローバル (OCG)、イタリア宇宙局 (CIRA)、ソフトバンク等の協力機関と有機的な連携を進める。さらに、木更津工業高等専門学校、台湾・國立臺北大學、インドネシア・気象短期大学 (STMKG) 等の協力機関を一体化する形でAI減災サステナブル学教育研究を実施し、高度人材育成を推進する。このプログラムは、CEReSのリモートセンシング研究と国内外の共同利用機能を最大限に活用し、減災分野に新機軸を拓くものとして位置づけられる。

7 引用文献

- [1] Josaphat Tetuko Sri Sumantyo, Koo Voon Chet, Lim Tien Sze, Takafumi Kawai, Takuji Ebinuma, Yuta Izumi, Mohd Zafri Baharuddin, Steven Gao and Koichi Ito, "Development of circularly polarized synthetic aperture radar onboard UAV JX-1," International Journal of Remote Sensing, Special Issue Papers on Drones, UAVs, RPASs for Environmental Research, **38**, No.8-10, pp.2745-2756, 19 May 2017, DOI:10.1080/01431161.2016.1275057.
- [2] Kenzo Nonami, Muljowidodo Kartidjo, Kwang Joon Yoon, and Agus Budiyo Editors, Autonomous Control Systems and Vehicles: Intelligent Unmanned System UAV Books, Chapter 12. Josaphat Tetuko Sri Sumantyo, Circularly Polarized Synthetic Aperture Radar onboard Unmanned Aerial Vehicle, Series: Intelligent Systems, Control, and Automation: Science and Engineering, **65**, 2013, ISBN 978-4-431-54275-9.
- [3] Chua Ming Yam, Josaphat Tetuko Sri Sumantyo, Cahya Edi Santosa, Good Fried Panggabean, Franciscus D. Sri Sumantyo, Tomoro Watanabe, Ya Qi Ji, Peberlin Parulian Sitompul, Mohammad Nasucha, Farohaji Kurniawan, Babag Purbantoro, Asif Awaludin, Karna Sasmita, Eko Tjipto Rahardjo, Gunawan Wibisono, Retnadi H. Jatmiko, Sudaryatno, Taufik H. Purwanto, Barandi S. Widartono, and Muhammad Kamal, "The Maiden Flight of Hinotori-C: The First C Band Full Polarimetric Circularly Polarized Synthetic Aperture Radar in the World," IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, **34**, No.2, pp.24-35, February 2019.

- [4] Josaphat Tetuko Sri Sumantyo, Chua Ming Yam, Cahya Edi Santosa, Good Fried Panggabean, Tomoro Watanabe, Bambang Setiadi, Franciscus Dwi Sri Sumantyo, Kengo Tsushima, Karna Sasmita, Agus Mardiyanto, Edi Supartono, Eko Tjipto Rahardjo, Gunawan Wibisono, Muhammad Aris Marfai, Retnadi Heru Jatmiko, Sudaryatno, Taufik Hery Purwanto, Barandi Sapta Widartono, Muhammad Kamal, Daniel Perissin, Steven Gao, and Koichi Ito, "Airborne Circularly Polarized Synthetic Aperture Radar," *IEEE Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing (JSTARS)*, **14**, pp.1676-1692, January 2021, DOI:10.1109/JSTARS.2020.3045032.
- [5] Josaphat Tetuko Sri Sumantyo, Ming Yam Chua, Cahya Edi Santosa, and Yuta Izumi, *Circularly Polarized Synthetic Aperture Radar*, CRC Publisher, 25 April 2023. ISBN 9781032250038.
- [6] Katia Nagamine Urata, Josaphat Tetuko Sri Sumantyo, Cahya Edi Santosa, and Tor Viscor, "Development of an L-Band SAR Microsatellite Antenna for Earth Observation," *MDPI Aerospace*, **5**, No.4, 128, 17 December 2018, DOI:10.3390/aerospace5040128.
- [7] Katia Nagamine Urata, Josaphat Tetuko Sri Sumantyo, Cahya Edi Santosa, and Tor Viscor, "A Compact C-band SAR Microsatellite Antenna for Earth Observation," *Acta Astronautica*, **159**, pp.517-526, June 2019 (Elsevier), DOI:10.1016/j.actaastro.2019.01.030.
- [8] Katsunoshin Nishi, Masaaki Kawai, Bowo Eko Cahyono, Mirza Muhammad Waqar, Kaori Nishi, and Josaphat Tetuko Sri Sumantyo, "Consecutive DInSAR and well based on the law of material conservation between land surface pressure and groundwater to observe land subsidence," *Geocarto International*, **38**, No.1, pp.1-20, 28 December 2022. DOI: 10.1080/10106049.2022.2159069.
- [9] Josaphat Tetuko Sri Sumantyo, Daniele Perissin, Joko Widodo, Heri Andreas, Ketut Wikantika, Mohammad Rohmaneo Darminto, Akbar Kurniawan, Mokhamad Nur Cahyadi, and Teguh Hariyanto, "Estimation of Spouted Hot Mudflow Current using Continuity Equation and DInSAR," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing (TGRS)*, **60**, DOI:10.1109/TGRS.2021.3122812 Accepted: 20 October 2021.
- [10] Josaphat Tetuko Sri Sumantyo, Masanobu Shimada, Pierre Peter Mathieu, and Hasanuddin Zainal Abidin, "Long-term Consecutive DInSAR for Volume Change Estimation of Land Deformation," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **50**, No.1, pp.259-270, January 2012 (New Jersey: IEEE) ISSN 0196-2892, DOI:10.1109/TGRS.2011.2160455.



GCOM 衛星の検証と植生リモートセンシングの展開

Validation of GCOM Satellites and the Development of Vegetation Remote Sensing

本多 嘉明 准教授

Honda Yoshiaki, Associate Professor

梶原 康司 講師

Kajiwarara Koji, Lecturer

特色ある研究の概要

本研究の目的は炭素循環の解明の一助になる全球地上部バイオマス（AGB）の年変動を把握することになる。そのために高精度に全球AGB推定を可能にする二つの宇宙ミッション（GCOM-CとMOLI：宇宙ライダー）にその計画立案時から深く関わってきた。ミッション立ち上げの根拠やプロダクト推定アルゴリズム開発のため群落スケールの二方向性反射率や高密度点群を取得できる自律飛行大型ラジコンヘリを用いた観測機材も世界初めて開発した。GCOM-C運用開始4年以内に標準プロダクトの水準を満たす全球AGB推定に成功し、そのプロダクトが生産され続けている。今後、2027年にMOLIが軌道上に挙げられ、本研究で培われた高精度全球AGBデータが品質を確保しつつ長期間蓄積される予定である。このデータは地球統合モデルの発展に寄与することも期待されている。

The purpose of this research is to understand the annual variation of global aboveground biomass (AGB), which will help to elucidate the carbon cycle. To achieve this, we have been deeply involved in two space missions (GCOM-C and space lidar MOLI) that enable high-precision estimation of the global AGB since their planning stages. We also developed the world's first observation equipment using an autonomous large radio-controlled helicopter that can acquire vegetation colony scale bidirectional reflectance and high density point clouds to justify the launch of the mission and develop product estimation algorithms. Within four years of the start of GCOM-C operations, we succeeded in estimating the global AGB to meet the standard product standards, and the product is still being produced. In the future, MOLI will be launched into orbit in 2027, and the high-precision global AGB data cultivated in this research will be accumulated for a long period of time while ensuring quality. This data is also expected to contribute to the development of an integrated Earth model.

1 はじめに

炭素循環を理解する上で、陸域植生による炭素蓄積量をグローバルかつ時系列的に把握することは必要不可欠な要素である。1990年代後半から2000年代初頭において、衛星リモートセンシングによって取得できる植生指標を用いた陸域植生の量的把握は試みられていたが、全球を対象

とした場合に必然的に利用することになる中程度解像度衛星観測データの地上解像度スケールでの検証データを取得する方法は確立されていなかった。また、植物の3次元構造まで考慮した推定は世界的に例がなかった。

本研究では、まず、衛星センサ地上解像度に見合う大面積のTruth Dataの取得方法を確立し、取得データの代表性を確保しつつ地上バイオマス推定手法を行う手法を開発した。この過程で、地上バイオマス推定においては植生の3次元構造を考慮すればより高精度な推定が可能であり、そのためには植生の3次元構造に起因する二方向性反射特性を把握する必要があることを示した。とくに森林における地上バイオマス推定では二方向性反射特性を把握することは必須であり、地上バイオマスと二方向性反射特性の関連を調査するため、それまで例のない植物群落スケールで二方向性反射特性を計測する機材の開発からはじめ、多方向観測データを用いた森林のバイオマス推定手法を開発した。本研究によって得られた知見はGCOM-C/SGLIの開発に活かされ、かつ地上バイオマス(AGB: Above Ground Biomass)標準プロダクトとして結実している(図1)。また、全球のAGBプロダクトのさらなる精度向上を目指す上で障害となっている、地上検証データの偏在とリアルタイム性の欠如を克服するため、宇宙LiDARによるAGB計測データを活用する手法の開発も継続している。

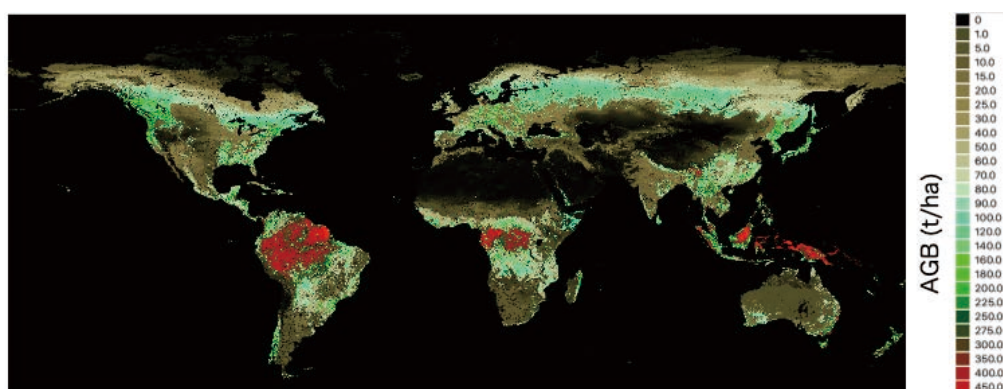


図1 GCOM-C SGLI 全球地上部バイオマスプロダクト (2019年)

Fig. 1 Global above-ground biomass (AGB) product derived from GCOM-C SGLI (2019).

2 研究のねらい・上位目標

GCOM-C衛星による高精度かつ長期時系列のグローバルな地上バイオマスデータを蓄積し、炭素循環解明へ寄与することが本研究のねらいである。

そのために、1) 地上バイオマス推定のための、地球観測衛星の地上解像度に見合う大面積代表性をもったGround Truth Dataの取得方法の開発、2) 植物の3次元構造に起因する二方向反射特性を利用した地上バイオマス推定アルゴリズムを構築し、地球観測衛星プロジェクトに反映した。さらに、3) 宇宙LiDAR観測データを併用したグローバルな地上バイオマス推定アルゴリズムの高精度化を目指した研究を継続中である。本研究で培われた高精度全球AGBデータは品質を確保しつつ長期間蓄積される予定である。このデータは地球統合モデルの発展に寄与することも期待されている。

3 研究の実施方法

3.1 大面積の Ground Truth Data 取得手法の開発

1997年から実施した戦略的基礎研究推進事業研究領域「地球変動のメカニズム」(CREST)における研究課題「衛星観測による植物生産量推定手法の開発」において、草地における大面積の Truth Data 取得方法を確立した^[1, 2]。

NOAA/AVHRR センサの地上解像度を十分にカバーする2 km × 2 kmの表面分光反射率を短時間に取得するシステムの開発(図2)、地表面反射率と植生被覆率を同時計測するシステムの開発(図3)、草本の3次元構造を計測するシステムの開発など、多数の計測システムを開発し、地表面分光反射率と植生被覆率および草本の地上バイオマスの関係を、大面積を対象として明らかにし、モンゴル全土の草原バイオマスを高精度に推定するアルゴリズムを開発した^[3]。図4にその結果の一部を示す。

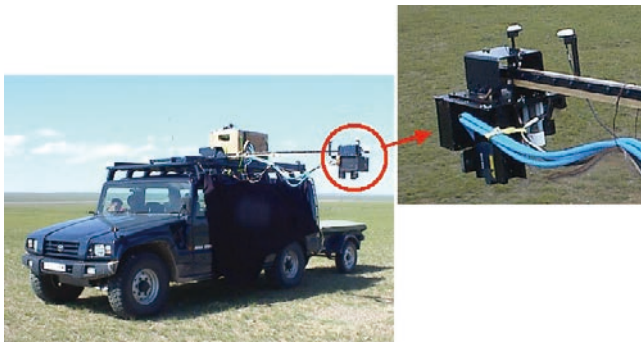


図2 移動式地表面分光反射率計測システム

Fig. 2 Mobile ground-based spectral reflectance measurement system.



図3 植生被覆率・地表面分光反射率同時計測システム

Fig. 3 Simultaneous measurement system for vegetation coverage and ground surface spectral reflectance.

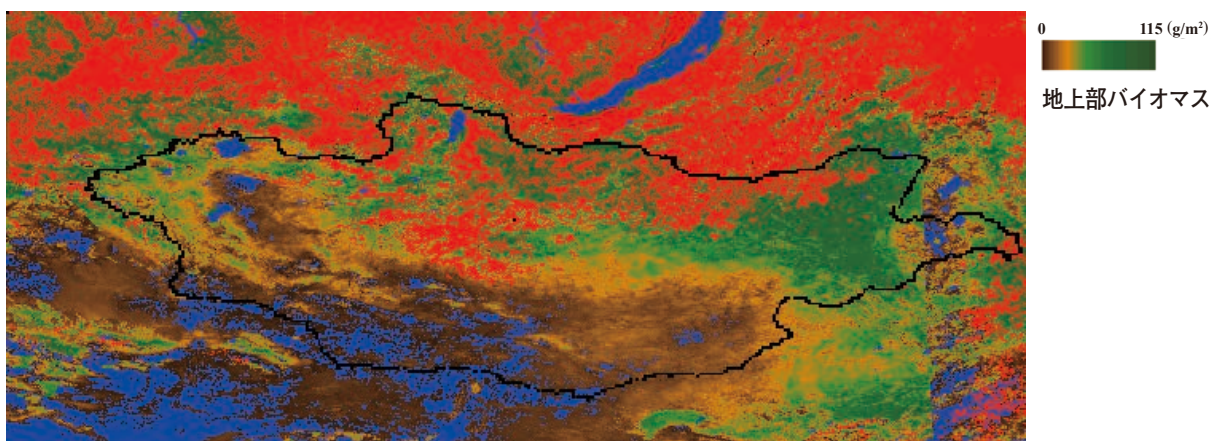


図4 1998年夏季のAVHRR LAC 8日間コンポジットデータから推定したモンゴル全土の草原バイオマス(青色は雲の影響が残る画素または水域、赤は森林域を示し、アルゴリズムの対象外)

Fig. 4 Grassland biomass across Mongolia estimated from the 8-day AVHRR LAC composite data in summer 1998 (blue indicates pixels or water bodies that remain affected by clouds, red indicates forest areas, not subject to the algorithm).

3.2 バイオマス推定アルゴリズムの構築：草原から森林へ

「衛星観測による植物生産量推定手法の開発」およびそれに引き続いて2002年より実施した戦略的創造研究推進事業研究領域「発展・継続研究」(SORST)における研究課題「全球高精度植生バイオマス推定の実用化—衛星による多方向観測を利用した高精度バイオマス推定の実用化—」およびJAXAのGCOMサイエンスチームにおける研究を通して、植物の3次元構造に起因する二方向反射特性を利用した地上バイオマス推定アルゴリズムの構築を行った。ここでは、前述の草原バイオマスから対象を森林に広げ、分光放射計、レーザースキャナ等を搭載可能な大型のラジオコントロールヘリコプターを用いて(図5)、空中から多方向のスペクトル計測および樹冠形状計測を様々な植生樹冠を対象に行い(図6)、典型的な樹種タイプごとに二方向性反射特性から地上バイオマスを推定可能であることを示した^[4-9]。その結果はGCOM-C/SGLIセンサ開発およびSGLIのAGBプロダクト生成に反映され(図7)、図1で示したような全球バイオマスプロダクトが現在も継続的に蓄積している^[10-12]。



図5 分光放射計、レーザースキャナ等の機材を同時搭載可能なラジオコントロールヘリコプターと基地局

Fig. 5 A radio-controlled helicopter and the base station. The helicopter can simultaneously carry equipment such as a spectroradiometer and laser scanner.

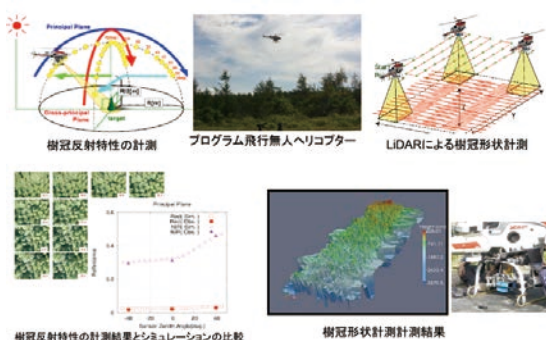


図6 ラジオコントロールヘリコプターを用いた観測の例

Fig. 6 Example of observation using a radio-controlled helicopter.

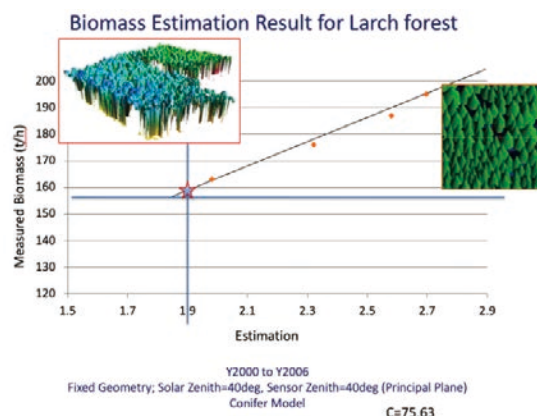


図7 樹冠の3次元構造を利用した森林地上バイオマス推定が可能であることを地上観測データによって示した例(カラマツ林)

Fig. 7 An example of using ground observation data to demonstrate the feasibility of estimating forest aboveground biomass using the three-dimensional structure of tree canopies (larch forest).

全球のAGBプロダクトのさらなる精度向上を目指す上で障害となっている、地上検証データの偏在とリアルタイム性の欠如を克服するため、宇宙LiDARによるAGB計測データを活用する手法の開発も継続している。現在のところ、NASAが運用したGEDIの観測データをもとに、宇宙LiDARデータから取得される観測スポットのAGB推定値を併用してSGLIによるAGBプロダクトの高精度化研究を継続的に実施している。ここで得られる手法はJAXAが計画している宇宙LiDAR MOLIの観測データを用いたAGB推定手法の開発に受け継がれる予定である。

4 研究の成果

本研究はその初期段階からGCOM-Cミッションへと繋がる、中程度解像度センサによる地上バイオマス推定を行ってきた。本研究で得られた知見は、GCOM-Cミッションの立ち上げに寄与し、開発されたアルゴリズムはGCOM-C/SGLIのAGB標準プロダクトに反映された。GCOM-C運用開始4年以内に標準プロダクトの水準を満たす全球AGB推定に成功した（図8）。

また、本研究で開発した、空中および地上からの樹冠の3次元情報の取得手法は、JAXAの宇宙LiDAR MOLIミッションの立ち上げに寄与し、宇宙LiDARとGCOM-C SGLIを併用したさらなる高精度AGBプロダクト生成アルゴリズム研究の根幹を支えるものとなっている。

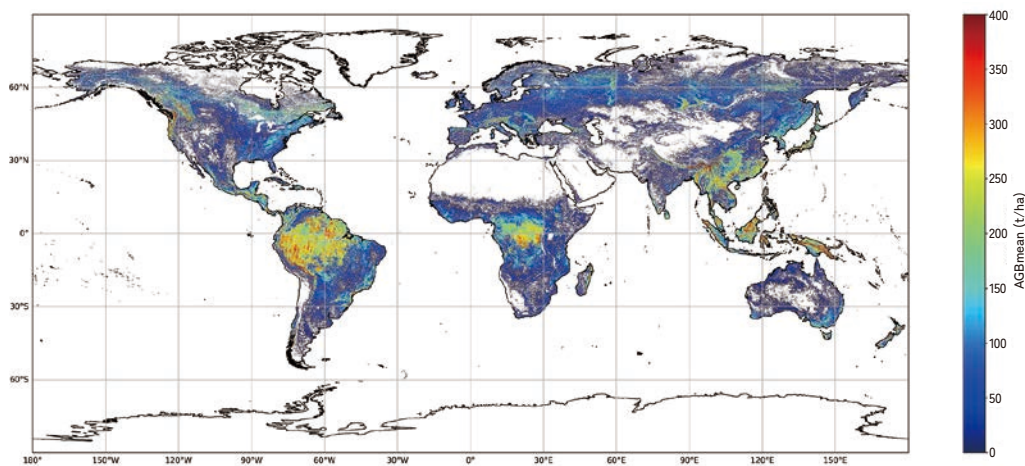


図8 宇宙LiDAR（GEDI）データを併用し、SGLIデータから推定した2020年のAGB。将来的にはJAXAのMOLIが観測したデータを用いたAGBプロダクトを生成する。

Fig. 8 AGB in 2020 estimated from SGLI data in conjunction with space LiDAR (GEDI) data. In the future, we will generate AGB products using data observed by JAXA's MOLI.

5 研究プレゼンスの向上

本研究における草原バイオマスに係る観測サイト展開では、モンゴル国立リモートセンシングセンターの協力を得て実施した。また、この観測サイトはNASAの衛星地球観測プロジェクト（EOS）の公式検証サイトとして登録された。

森林バイオマス観測・アルゴリズム構築への展開時には、GCOM-CプロジェクトにおけるサイエンスチームとしてJAXAとの共同研究を推進するとともに、JAXAの宇宙LiDARであるMOLIのミッションの立ち上げ時から、本研究で得られたデータ、知見を提供している。

6 引用文献

- [1] 山本浩万, 本多嘉明, 梶原康司, 岡野千春, 黄少博, 松岡真如, 衛星による草原バイオマス計測のための移動多点現地観測データ解析に関する研究, 写真測量とリモートセンシング, **36**, No.4, 1997, pp.38-49.
- [2] 本多嘉明, 梶原康司, 山本浩万, 岡野千春, 黄少博, 松岡真如, モンゴル草原における広域観測領域を代表する最小面積に関する研究, 真測量とリモートセンシング, **36**, No.5, 1997, pp.20-26.
- [3] 近田朝子, 山本浩万, 梶原康司, 本多嘉明, 衛星データを対象としたBRFモデルを用いた草地植生の草丈算出に関する研究, 写真測量とリモートセンシング, **406**, 2002.1.8.
- [4] 本多嘉明, 産業用無人ヘリコプターを用いた空中観測システム, 月刊『測量』8月号, 2002.8.10.
- [5] Asako KONDA, Koji KAJIWARA, Yoshiaki HONDA, A study on the algorithm of vegetation surface roughness index for global monitoring, ISPRS Commission VII WG International Workshop on Monitoring/Modeling Global Environmental Change, CD-ROM G5, pp.1-4, 2003.10.21-23.
- [6] Junichi Susaki, Keitarou Hara, Koji Kajiwara and Yoshiaki Honda, Robust Estimation of BRDF Model Parameters, Remote Sensing of Environment, **89**, pp.63-71, 2004.
- [7] Yoshiaki Honda, Hirokazu YAMAMOTO, Masahiro HORI, Hiroshi MURAKAMI, Nobuyuki KIKUCHI, Global environment change monitoring using the next generation satellite sensor, SGLI/GCOM-C, International Symposium on Remote Sensing 2005, International Convention Center Jeju, pp.11-13, 2005.10.12-2005.10.14.
- [8] Kazuyuki Honma, Koji Kajiwara, Yoshiaki Honda, Development of 3D Structure Measurement System using Laser Scanning data and Radio-Controlled Helicopter, The 26th Asian Conference on Remote Sensing (ACRS2005), Melia Hanoi Hotel, CD-ROM DTP1-4, 2005.11.7-2005.11.11.
- [9] Yusaku. Ono, Yoshiaki. Honda, Koji. Kajiwara, A study on 3D structure detection for forest trees using reflected spectrum information, ISRS2007, Pamada Plaza Jeju Hotel, pp.345-348, 2007.10.31-2007.11.2.
- [10] Kouiti HASEGAWA, Takeki IZUMI, Hiroshi MATSUYAMA, Koji KAJIWARA, Yoshiaki HONDA, Seasonal change of bidirectional reflectance distribution function in mature Japanese larch forests and their phenology at the foot of Mt. Yatsugatake, central Japan, Remote Sensing of Environment, 209, pp.524-539, 2018.5.
- [11] HONDA Yoshiaki, KAJIWARA Koji, STUDY ON ABOVE GROUND BIOMASS PRODUCTS FROM GCOM-C / SGLI, IGARSS2018, Feria Valencia Convention & Exhibition Centre, Valencia, Spain, July 22-27, 2018, TH4. R13.3.
- [12] Yoshiaki HONDA, Koji KAJIWARA, Ryota ISHIBASHI, Primary result on above ground biomass products from GCOM-C / SGLI, IGARSS2019, Pacifico Yokohama, Japan, July 28-August 2, 2019. TU1.R13.5.



地上観測・衛星観測・モデリングを統合した 陸域温室効果ガス収支のモニタリング

Monitoring Terrestrial Greenhouse Gas Budget
by Synthesizing Ground Observation, Remote Sensing and Modeling

市井 和仁 教授
Ichii Kazuhito, Professor

特色ある研究の概要

人為的な温室効果ガス排出に起因する地球温暖化問題は、様々な地球環境問題の中でも、最も重要な問題の一つである。陸域には様々な植生・土壌が分布し、温室効果ガスの吸収・排出源として、その吸収・排出量とその変動のメカニズムを知ることが重要である。我々のグループでは、国・大陸・グローバルなどの広い地域を対象にして、地上観測ネットワーク・衛星観測データ・数値モデリングなどの多種多様な手法をバランスよく用いることで、「統合的に」温室効果ガス吸収・排出のメカニズムについて解明しようとしている。特に地上観測ネットワークと衛星観測を用いた広域推定、衛星観測データと数値モデルを統合したモデル構築、ひまわり8/9号など静止気象衛星による陸域環境モニタリングに取り組んでいる。

Climate change caused by anthropogenic greenhouse gas emissions is one of the most important issues in global environmental studies. It is essential to understand the mechanisms of absorption and emission of greenhouse gases and their fluctuations, as land areas are distributed with various vegetation and soil, and they are sources of absorption and emission of greenhouse gases. Our group is trying to elucidate the mechanisms of greenhouse gas absorption and emission in an “integrated” manner by balancing a wide range of methods including ground observation networks, satellite observations, and numerical modeling. Our target areas are countries, continents, and the globe. In particular, we are working on upscaling using ground observation networks and satellite observations, model development that integrates satellite observation data and numerical models, and terrestrial environmental monitoring using geostationary meteorological satellites such as Himawari 8/9.

1 はじめに

気候変動や生物多様性の保全は、現代の地球環境問題における最重要課題の一つである。気候変動対策としては「パリ協定」、生物多様性保全の指針として「昆明・モントリオール目標」が

策定され、これらを基盤に全世界で取り組みが進められている。このような背景のもと、気候変動や生物多様性に関する人々の関心も高まりつつある。

植生や土壌を中心とする陸域環境は、気候変動や人為的な改変の影響を受けやすい一方で、地球環境の保全において重要な役割を担っている。陸域は、人為的なCO₂排出量の約30%を吸収するとされ、温室効果ガスの削減に大きく貢献できる可能性がある。しかし、森林伐採や森林火災のような事象によってCO₂の放出源ともなり得るため、その適切な管理が求められている。また、陸域環境は、熱帯から寒帯、湿潤から乾燥といった多様な表層環境を持つため、地域ごとに異なる特性を有する。加えて、将来の気候変動予測や異常気象の頻発といった変動要因も地域によって大きく異なることから、温室効果ガスの吸収・排出量の空間的な変動を正確に把握し、予測することは極めて困難である。このため、陸域環境の理解を深めることは、地球環境問題の解決に向けて不可欠である。

2 研究のねらい・上位目標

本研究では、陸域における温室効果ガス（主にCO₂）や水を中心とした物質循環・水循環の解明を通じて、気候変動や人為的環境改変を軽減するための基礎的研究資料を世界の研究者コミュニティに提供することを目指している。この成果は、大気－陸域間の温室効果ガス収支や植生変動のマッピングなど、気候変動対策や生物多様性の保全に貢献するための基盤データとして活用される。

従来、大気－陸域および大気－海洋間での温室効果ガスの吸収・排出量の推定においては、観測データの不足が大きな障壁となっていた（図1(a)）。しかし、近年の技術進展により地上観測や衛星観測が充実しつつあり、観測データを活用した温室効果ガス収支の精密な推定が可能となりつつある（図1(b)）。これにより、従来よりも高い空間解像度・時間解像度で、速報性を有する推定が期待されている。さまざまな観測データを駆使することで、データ駆動型の新しい推定手法を開拓し、観測データを最大限に活用した持続可能な地球環境の実現に貢献することを目指している。

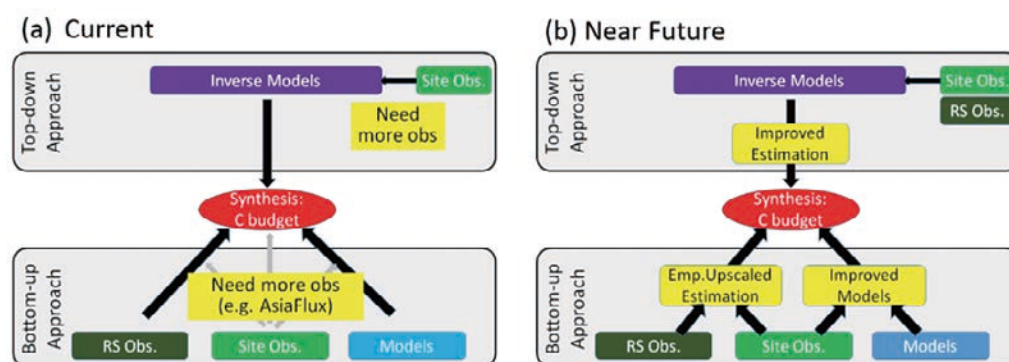


図1 研究全体フロー。陸域CO₂収支の把握研究を例とし、大気濃度からのアプローチ（Top-down approach）と陸面からのアプローチ（Bottom-up approach）における（a）現代の課題と（b）将来動向を示した^[1]。

Fig. 1 Overall research flow. Using the study of understanding the terrestrial CO₂ budget as an example, (a) contemporary issues and (b) future trends in the approaches by atmospheric concentration (Top-down approach) and by the land surface (Bottom-up approach) are shown^[1].

本研究の主なねらいは以下の通りである：

- (1) 観測データリッチ時代における陸域温室効果ガス吸収・排出量推定手法の開拓
充実した観測データを基盤に、新たなデータ駆動型推定手法を開発し、従来の推定方法を高度化する。
- (2) 高時間・高空間解像度の陸域モニタリングデータセットの構築
陸域環境の動態を詳細に把握するため、高解像度かつ長期的なモニタリングデータセットを整備する。
- (3) 陸域における環境変動ホットスポットの早期検出
環境変動が顕著な地域を特定することで、効果的な対策の迅速な立案を支援する。

3 研究の実施方法

陸域における温室効果ガスや熱・水の収支を推定するために、本研究室では、「使えるものは有効に利用」するアプローチをとっている（図1）。現状では、トップダウンアプローチ（大気濃度から大気－陸域収支を推定）、ボトムアップアプローチ（地点やプロセスなど個々を積み重ねることで収支を推定）を併用することが多い。ボトムアップアプローチとしては、地上観測・衛星観測・モデリングといった種々の手法を統合し、様々な手法間で一貫した推定を行うことができる。

本研究室での独自手法として、地上観測・衛星観測に機械学習を適用した広域大気－陸域CO₂交換量の推定がある（図2）^[2]。また、本センターでアーカイブを進めている静止気象衛星データの新たな活用として陸面モニタリングを推進している。静止気象衛星の特徴を活かした高い時間分解能の地表面データセットの構築（地表面反射率など）を国際共同研究で進めている（図3）。これらの新たなデータセットの活用により、従来よりも高い精度での現状把握・予測ができると期待している。

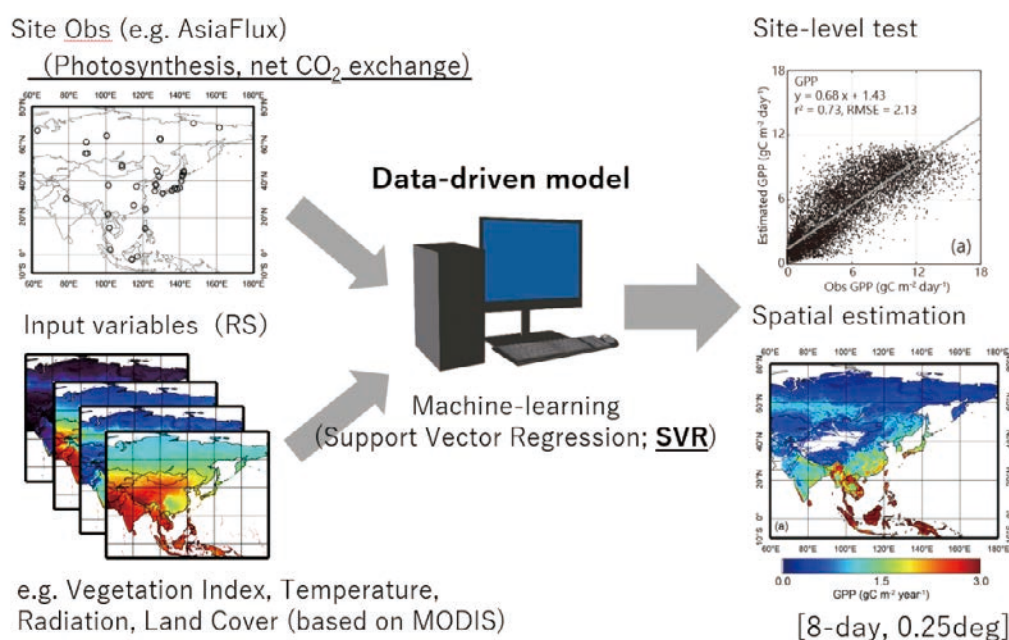


図2 地上観測・衛星観測・機械学習を利用した陸域CO₂吸収・排出量推定手法の概念図

Fig. 2 Conceptual diagram of a method for estimating terrestrial CO₂ absorption and emissions using ground-based observations, satellite observations, and machine learning.



図3 静止気象衛星による国際陸域観測研究ネットワーク概念図。プロジェクト Web: <https://ceres.chiba-u.jp/geoland/>

Fig. 3 Conceptual Diagram of International Land Observation Network by Geostationary Satellites. Project Web: <https://ceres.chiba-u.jp/geoland/>

4 研究成果

大気－陸域観測ネットワーク AsiaFluxなどの地上観測データと Terra衛星搭載MODIS センサの陸面プロダクトを利用し、機械学習の一つの手法であるサポートベクタ回帰を用いて、アジア域のCO₂フラックス（光合成量と純生態系生産量）の推定を行った。現在のところ 1 km～0.25°までの様々なスケールでの計算を行ってきており、一部のプロダクトは本グループのホームページ（<http://ichiilab.weebly.com>）より公開している。

複数の数値モデルの出力結果と大気インバースモデルの結果を統合利用し、1960-1999年と2000-2009年のCO₂収支を比較したところ、2000年代は1960-1999年の期間に比較して、グローバルスケールでは多くの地域でCO₂吸収となっていた（図4）^[3]。CO₂吸収となった地域の多くは人為的な土地利用変化からの回復過程にあり、植林など人為的な活動の影響が大きかった。

静止気象衛星による陸面モニタリングに関しては、まずは、大気上端反射率の観測データに対して、6Sコードをもとにした大気補正を行った^[4]。静止衛星データより推定した反射率の検証に際してはTerra衛星MISRセンサデータを用いた相互比較手法の構築を行った^[5]。これらの構築したデータは当研究室より外部公開しており、誰でも利用できるかたちになっている。

炭素収支量 注：炭素収支 = CO₂施肥効果 + 気候変動効果 + 土地利用変化によるCO₂排出 + 植生再成長

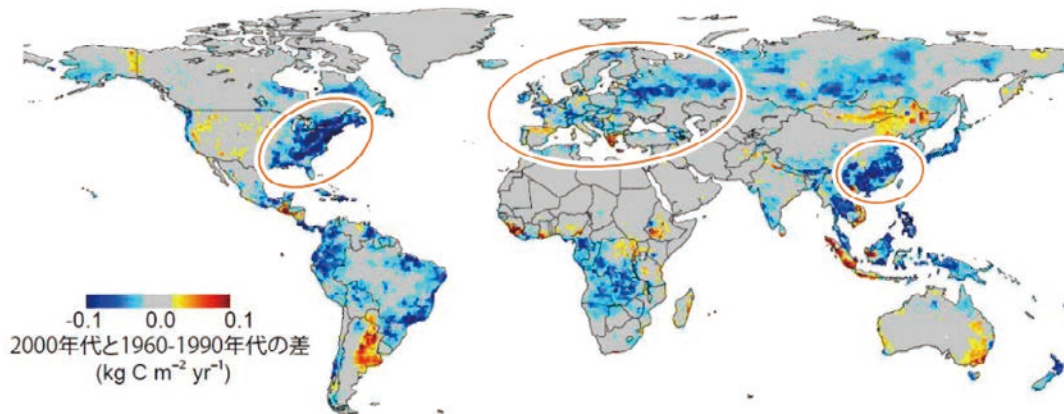


図4 2000年代と1960年代-1990年代における炭素収支の差の空間分布。負の値（青）は2000年代が1960年代-1990年代よりも強いCO₂吸収傾向であることを示す。結果は陸域生態系モデルによる推定。

Fig. 4 Spatial distribution of the difference in the carbon budget between the 2000s and the 1960s-1990s. Negative values (blue) indicate a stronger CO₂ sequestration trend in the 2000s than in the 1960s-1990s. Results are estimated from a terrestrial ecosystem model.

5 研究プレゼンスの向上

我々は、様々な国際共同研究・プロジェクトを通して、研究プレゼンスの向上を目指している。まず、地上観測データ、衛星観測データを活用した陸域炭素循環研究については、市井がJapanFlux観測ネットワークの委員長を2018-2024年にわたり務め、AsiaFlux観測ネットワークの委員長を2021-2027年の任期で務めている（任期は2027年3月に満了予定）。その中で、JapanFlux研究集会（2021年）や、AsiaFlux Online Conference 2021を開催するなど、コミュニティの育成に貢献している。AsiaFluxやJapanFluxの活動において、観測データの統合研究を推進し、機械学習によるアジア域陸域生態系によるCO₂吸収・排出量マッピングなどの研究を実施した。また、Future EarthやGlobal Carbon Projectに対しての貢献、IPBES（生物多様性及び生態系サービスに関する政府間科学政策プラットフォーム）評価報告書の統括執筆者としての参画などを通して、成果の発信に努めている。

静止気象衛星による陸面モニタリングに関しては、日本学術振興会研究拠点形成事業（a. 先端拠点形成型）「静止気象衛星観測網による超高時間分解能陸域環境変動モニタリング国際研究拠点」（2022-2026年度）の採択を契機に、米国・韓国・中国・オーストラリア・シンガポールなどの国々の研究者との国際共同研究体制を構築し、発展を続けているところである。また、本研究事業を通じた国際ワークショップの開催、国際学会における共同セッションの開催なども行っている（図5）。2024年度には複数の研究者・大学院生を海外拠点に1か月程度派遣するなど人的交流にも発展し、国際共同研究を加速させている。

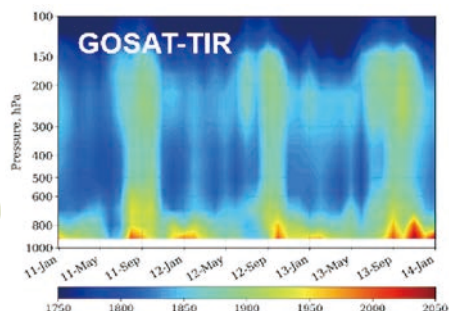
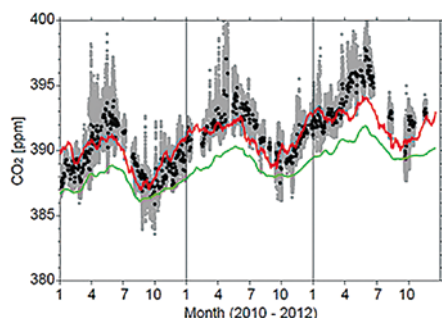


図5 静止気象衛星による陸域モニタリングに関する国際ワークショップをハワイ大学と共同で開催（2023年8月7-9日@ハワイ大学マノア校にて）。（左）案内チラシ（小菅生技術補佐員作成）、（右）集合写真。

Fig. 5 International Workshop on Land Monitoring by Geostationary Meteorological Satellite, held in collaboration with the University of Hawaii (August 7-9, 2023 at the University of Hawaii at Manoa). (Left) Information flyer (prepared by Technical Assistant Kosugo), (Right) Group photo.

6 引用文献

- [1] Ichii K., W. Ju, Cheng K.S., G. Zhou, S. Niu, Y.H. Lee, D.Y.F. Lai (2015) Synthesis and Assessments of Carbon and Water Budget: Current and Future Aspects. *AsiaFlux Newsletter*, **38**, 26-28.
- [2] Ichii K., M. Ueyama, M. Kondo et al. (2017) New data-driven estimation of terrestrial CO₂ fluxes in Asia using a standardized database of eddy covariance measurements, remote sensing data, and support vector regression. *Journal of Geophysical Research Biogeosciences*, **122**, 767-795, doi:10.1002/2016JG003640.
- [3] Kondo M., K. Ichii, P.K. Patra, B. Poulter, L. Calle, C. Koven, T.A.M. Pugh, E. Kato, A. Harper, S. Zaehle, A. Wiltshire (2018) Plant regrowth as a driver of recent enhancement of terrestrial CO₂ uptake. *Geophysical Research Letters*, **45**, <https://doi.org/10.1029/2018GL077633>.
- [4] Li W, K. Ichii, B. Zhang, Y. Yamamoto, W. Yang, T. Miura, H. Yoshioka, M. Matsuoka, K. Obata, R.C. Sharma, H. Yamamoto, H. Irie, P. Khatri, B. Liley, I. Morino, H. Takenaka, A. Higuchi (2025) Estimating land surface reflectance from a next-generation geostationary meteorological satellite, Himawari 8/9 AHI. *Journal of Meteorological Society of Japan*, **103**, 87-109, <http://doi.org/10.2151/jmsj.2025-005>.
- [5] Zhang B., K. Ichii, W. Li, Y. Yamamoto, W. Yang, R.C. Sharma, H. Yoshioka, K. Obata, M. Matsuoka, T. Miura (2025) Evaluation of Himawari-8 AHI land surface reflectance at mid-latitudes using LEO sensors with off-nadir observation. *Remote Sensing of Environment*, **316**, 114491, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2024.114491>.



GOSAT データによる温室効果ガスの全球プロファイル解析

Global Analysis of Greenhouse Gases Profiles from GOSAT Satellite

齋藤 尚子 准教授

Saitoh Naoko, Associate Professor

特色ある研究の概要

温室効果ガス（GHG）をはじめ、地球大気中の微量気体は、熱赤外波長域に固有の吸収線を持っている分子が多く、分子の吸収特性を利用して様々な大気微量気体の濃度を導出することができる。本研究では、温室効果ガス観測技術衛星GOSAT（Greenhouse gases Observing SATellite）およびその後継機GOSAT-2に搭載されているフーリエ分光計TANSO-FTS（Thermal And Near infrared Sensor for carbon Observation-Fourie Transport Spectrometer）およびTANSO-FTS-2の熱赤外（TIR）バンドの観測スペクトルから、二酸化炭素（CO₂）、メタン（CH₄）、一酸化二窒素（N₂O）の鉛直濃度分布（プロファイル）を導出するアルゴリズムを開発し、導出したGHG濃度を航空機等のデータと比較することで検証したうえで、GOSAT/GOSAT-2のGHGプロファイルデータを用いて、全球でGHGの発生源と大気輸送の特徴を解析した。

A lot of minor gases in the Earth's atmosphere, including greenhouse gases (GHG), have their own specific absorption lines in the thermal infrared wavelength region, and therefore, we can retrieve concentrations of these gases by utilizing their absorption characteristics. This study has developed an algorithm to retrieve vertical profiles of concentrations of carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄), and nitrous oxide (N₂O) from the thermal infrared (TIR) bands of TANSO-FTS (Thermal And Near infrared Sensor for carbon Observation-Fourie Transport Spectrometer) and TANSO-FTS-2 on board GOSAT (Greenhouse gases Observing SATellite) and its successor, GOSAT-2. We have validated GHG concentrations retrieved by the developed algorithm by comparing them with aircraft observations, and then analyzed GOSAT and GOSAT-2 GHG profiles to reveal characteristics of GHG sources and atmospheric transport processes globally.

1 はじめに

人為起源の温室効果ガス（GHG）の増加による地球温暖化は進行しており、地球温暖化に伴う極端気候・気象の現象も頻発している^[1]。地球温暖化の原因である主要な温室効果ガスは、二酸化炭素（CO₂）、メタン（CH₄）、一酸化二窒素（N₂O）であり、このうち大気中のCO₂とN₂Oの濃度につ

いてはほぼ単調に増加し続けている。一方、大気中の CH_4 は複雑な濃度の年増加率を示している^[2]。 CH_4 および N_2O は、 CO_2 に比べると大気中の濃度は低いですが、GWP（Global Warming Potential）が高く、その大気中の濃度や挙動を明らかにすることは重要である。GHG濃度の観測には高い精度が求められるため、地上のフラスコサンプリング等による観測が主であったが、全球・多地点でGHG濃度を把握する必要性の高まりを受けて、2009年に日本が世界に先駆けてGHGの観測を主目的とした人工衛星であるGOSATを打ち上げて以来^[3]、各国がGHG観測専用衛星の打ち上げを行っている。

2 研究のねらい・上位目標

パリ協定においては、合意した温暖化緩和目標を達成するために、各国には CO_2 、 CH_4 、 N_2O 等の長寿命GHGの排出インベントリの報告が義務付けられている。各国はグローバルストックテイク（GST）などの仕組みにより、温室効果ガス排出インベントリの報告をもとに温室効果ガス排出量と削減目標に向けた進捗状況の評価を受けることになる（GSTは5年ごと、初回は2023年末）。そのため、全球で主要なGHGである CO_2 、 CH_4 、 N_2O 排出量の正確な把握が不可欠である。GHG排出量の推定には、観測データを大気化学輸送モデルに与えて計算する「トップダウン推定法」があり、トップダウン推定ではGHGの排出源・排出量の時空間変動を全球で明らかにすることが可能である。トップダウン法によるGHGの収支推定には、全球で高精度なGHG濃度の観測データが必要となる。このため、近年では衛星観測によるGHG濃度のカラム量データがGHGの収支推定研究に大いに活用されている。しかしながら、特に CH_4 や N_2O は大気中の化学反応による消失プロセスがあり、大気中を長距離輸送される過程で濃度が大きく変動するため、緯度・経度・高度の3次元でGHG濃度の特徴を把握する必要がある。本研究により、全球で高精度にGHG濃度プロファイルを導出し、衛星データにもとづく全球3次元GHG濃度分布情報をフルに活用したトップダウン推定を行うことによって、GHGの収支推定のさらなる精緻化を図ることが目標である。

3 研究の実施方法

GOSAT/TANSO-FTSおよびGOSAT-2/TANSO-FTS-2のTIRバンドからGHG濃度のプロファイルを導出するアルゴリズムとして、ベイズ理論に基づく最大事後確率推定法^[4]を採用した。大気中の放射伝達を精密に計算するための大気層である「フルグリッド」と濃度導出を実施する大気層である「リトリーバルグリッド」を設定し、フルグリッドとリトリーバルグリッド間を線形写像で結合して濃度導出を行うことで、濃度導出の精度と高速化を実現した。開発したアルゴリズムでは、10 μm および15 μm の CO_2 の吸収帯を利用して、気温と CO_2 、水蒸気（ H_2O ）、オゾン（ O_3 ）の濃度を、7 μm および8 μm の CH_4 の吸収帯を利用して気温と CH_4 、 H_2O 、 N_2O の濃度を同時推定している^[5]。

導出されたGHG濃度のプロファイルは、精度の高い航空機観測等の直接観測データとの比較を通して検証した。このうち、 CO_2 プロファイルの検証については、CONTRAIL（Comprehensive Observation Network for TRace gases by AIrLiner）プロジェクトのCME（Continuous CO_2 Measuring Equipment）^[6]により、全球の各地の空港上空で航空機の上昇・下降時に観測された CO_2 プロファイルと比較を行った^[5, 7]。

4 研究成果

図1に、GOSAT/TANSO-FTSのTIRバンドから導出したCO₂プロファイルの上部対流圏の濃度（赤線）とCONTRAIL/CMEで観測されたCO₂濃度（黒線および灰線）を比較した結果を示す。航空機観測データに見られるCO₂濃度の緯度勾配が、モデルの計算結果（緑線）では十分に再現されていないが、TIRバンドのCO₂濃度は航空機観測データの濃度勾配とよい一致を示している。同様に、TIRバンドのCO₂プロファイルを緯度別、高度別に航空機観測データと比較した結果、上部対流圏では1 ppmv程度、下部・中部対流圏では1-1.5%程度の精度でCO₂濃度を導出できていることが確認できた^[5,7]。GOSAT/TANSO-FTSのTIRバンドのCH₄プロファイルについても、他衛星および地上FTS観測データと比較・検証した結果、概ね1%以内の導出精度であり、科学利用に十分なデータ質を有していることがわかった^[8,9,10]。図2に、羽田空港上空のGOSAT-2/TANSO-FTS-2のCO₂プロファイルとCMEで観測されたCO₂プロファイルを比較した結果を示す。各地の空港で比較・検証を行った結果、中高緯度では概ね0.5-1%程度の精度でCO₂濃度を導出できていることがわかった。

本研究ではさらに、リトリバルアルゴリズムの改良を重ねて、2009年打ち上げのGOSATから2018年打ち上げのGOSAT-2をシームレスにつなげて濃度の導出処理ができるようにし、日本の衛星シリーズによる高精度な全球GHGプロファイルの長期観測データを提供できることを目指している。

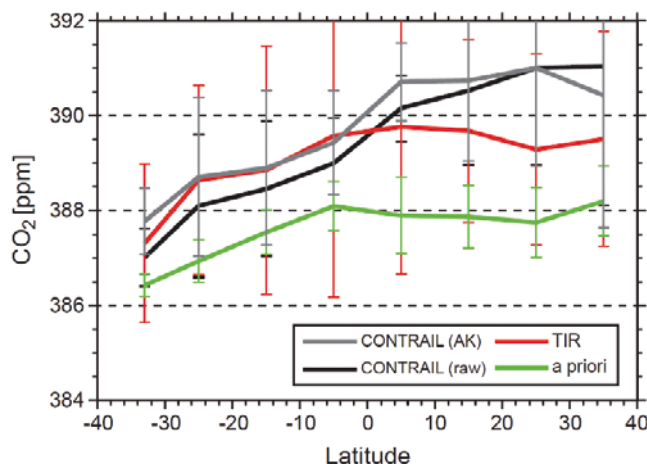


図1 TANSO-FTSとCMEの上部対流圏CO₂濃度の比較

Fig. 1 Comparison of CO₂ concentration in the upper troposphere between TANSO-FTS and CME. [Fig. 5, Saitoh et al., AMT, 2016]

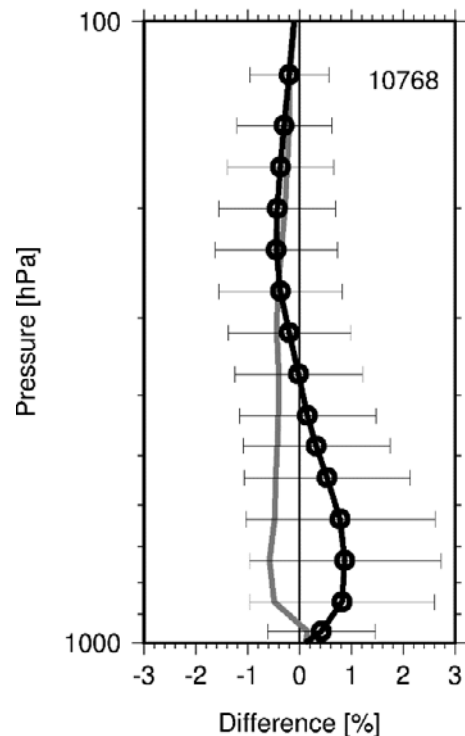


図2 TANSO-FTS-2とCMEのCO₂プロファイルの比較

Fig. 2 Comparison of CO₂ profile between TANSO-FTS-2 and CME.

5 研究プレゼンスの向上

GOSAT/TANSO-FTSのTIRバンドから導出したCH₄濃度データおよび大気輸送モデルのCH₄濃度データを用いて、大気中の物質の半球輸送のプロセスを解析した。図3に示すように、物質の半球輸送は350-150 hPaの上部対流圏で最も活発であること、熱帯南アメリカ、熱帯アフリカ、東南アジアでは北半球から南半球への半球輸送が一年を通して活発である一方、熱帯インド洋では南アジアの夏モンスーンにより半球輸送に大きな季節性があること、ならびに夏モンスーンにより、チベット高原ーインド上空の上部対流圏に輸送された高濃度CH₄の空気塊が熱帯アフリカ東部を通して南半球に輸送されていることを明らかにした^[11]。本研究により、大気中のCH₄が主要な発生源であるアジア域から広域かつ南半球へ輸送される詳細なプロセスが明らかになり、CH₄の大気中の動態の解析および発生源・消失源の推定において重要な知見がもたらされた。本成果については、2022年9月30日付で千葉大学・海洋研究開発機構が連名でプレスリリースを行っており、同年10月13日付の日刊工業新聞にて取り上げられた。

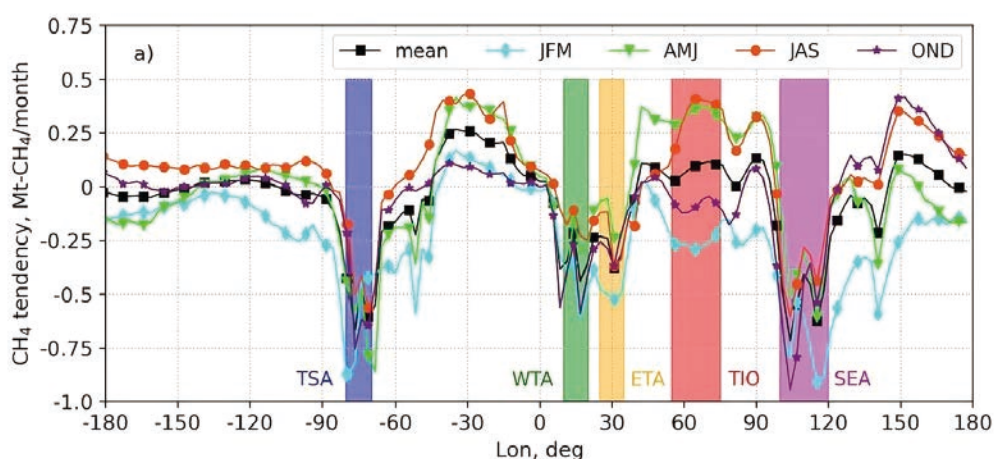


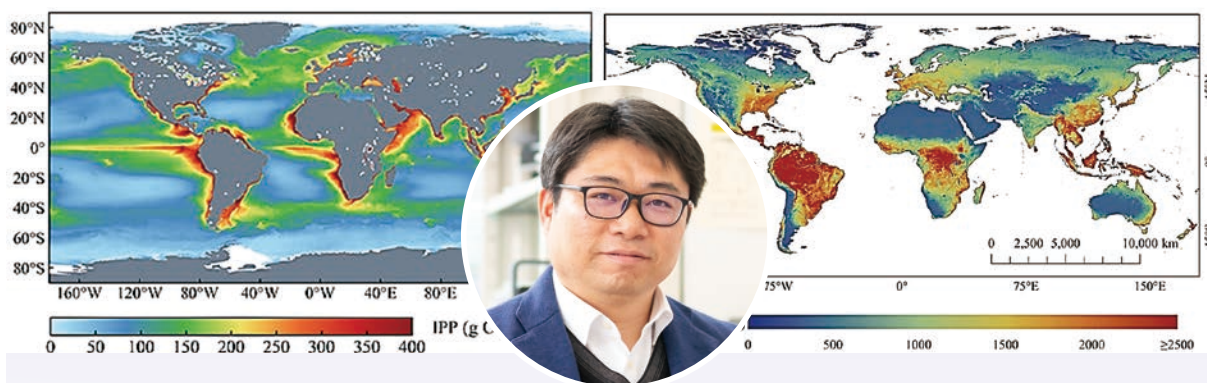
図3 季節毎に計算した熱帯（10° S-10° N）の上部対流圏における移流傾向（百万トン・メタン／月）。正、負はそれぞれ北半球向き、南半球向きの輸送を表す。黒線は年平均値。

Fig. 3 Seasonal advection of CH₄ (in Million-ton CH₄/month) calculated for the upper troposphere of the tropical region (10° S-10° N). Positive and negative values indicate the flow toward the north and south hemisphere, respectively. Black line shows the annual average. [Fig. 3a, Belikov et al., 2022]

また、GOSAT/TANSO-FTSのTIRバンドから導出したN₂O濃度データの解析から、おもに窒素肥料の施肥により南アジアで放出された高濃度N₂Oが、アジアモンスーンの高気圧性循環により、夏季に地中海の東岸に輸送されることが明らかになった^[12]。GOSAT/TANSO-FTSおよびGOSAT-2/TANSO-FTS-2によるN₂Oプロファイル観測の成果を踏まえて、国際研究グループと共同で新規衛星プロジェクトの提案を行っている^[13]。

6 参考文献

- [1] IPCC: Climate Change 2021: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the 6th Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, 2021.
- [2] WMO: WMO GREENHOUSE GAS BULLETIN, No. 19, 2023.
- [3] Yokota, T., Yoshida, Y., Eguchi, N., Ota, Y., Tanaka, T., Watanabe, H., and Maksyutov, S.: Global Concentrations of CO₂ and CH₄ Retrieved from GOSAT: First Preliminary Results, SOLA, **5**, 160-163, 2009.
- [4] Rodgers, C. D.: Inverse method for atmospheric sounding, World Scientific Publishing, 2000.
- [5] Saitoh, N., Kimoto, S., Sugimura, R., Imasu, R., Kawakami, S., Shiomi, K., Kuze, A., Machida, T., Sawa, Y., and Matsueda, H.: Algorithm update of GOSAT/TANSO-FTS TIR CO₂ product (Version 1) and validation of the UTLS CO₂ data using CONTRAIL measurements, Atmos. Meas. Tech., **9**, 2119-2134, doi:10.5194/amt-9-2119-2016, 2016.
- [6] Machida, T., Matsueda, H., Sawa, Y., Nakagawa, Y., Hirokani, K., Kondo, N., Goto, K., Nakazawa, T., Ishikawa, K., and Ogawa, T.: Worldwide measurements of atmospheric CO₂ and other trace gas species using commercial airlines, J. Atmos. Ocean Tech., **25**, 1744-1754, 2008.
- [7] Saitoh, N., Kimoto, S., Sugimura, R., Imasu, R., Shiomi, K., Kuze, A., Niwa, Y., Machida, T., Sawa, Y., and Matsueda, H.: Bias assessment of lower and middle tropospheric CO₂ concentrations of GOSAT/TANSO-FTS TIR Version 1 product, Atmos. Meas. Tech., **10**, 3877-3892, doi:10.5194/amt-10-3877-2017, 2017.
- [8] Holl, G., Walker, K. A., Conway, S., Saitoh, N., Boone, C. D., Strong, K., and Drummond, J. R.: Methane cross-validation between three Fourier transform spectrometers: SCISAT ACE-FTS, GOSAT TANSO-FTS, and ground-based FTS measurements in the Canadian high Arctic, Atmos. Meas. Tech., **9**, 1961-1980, doi:10.5194/amt-9-1961-2016, 2016.
- [9] Zou, M., Xiong, X., Saitoh, N., Warner, J., Zhang, Y., Chen, L., Weng, F. and Fan, M.: Satellite observation of atmospheric methane: intercomparison between AIRS and GOSAT TANSO-FTS retrievals, Atmos. Meas. Tech., **9**, 3567-3576, doi:10.5194/amt-9-3567-2016, 2016.
- [10] Olsen, K. S., Strong, K., Walker, K. A., Boone, C. D., Raspollini, P., Plieninger, J., Bader, W., Grutter, M., Hannigan, J. W., Hase, F., Jones, N., Mazière, M., Notholt, J., Schneider, M., Smale, D., Sussmann, R. and Saitoh, N.: Comparison of the GOSAT TANSO-FTS TIR CH₄ volume mixing ratio vertical profiles with those measured by ACE-FTS, ESA MIPAS, IMK-IAA MIPAS, and 16 NDACC stations, Atmos. Meas. Tech., **10**, 3697-3718, doi:10.5194/amt-10-3697-2017, 2017.
- [11] Belikov, D., Saitoh, N. and Patra, P. K.: An analysis of inter-hemispheric transport pathways based on 3-dimensional methane data by GOSAT observations and model simulations, J. Geophys. Res., **127**, 14, <https://doi.org/10.1029/2021JD035688>, 2022.
- [12] Kangah, Y., Ricaud, P., Attié, J-L., Saitoh, N., Hauglustaine, D., Wang, R., Amraoui, L. E., Zbinden, R. and Delon, C.: Summertime upper tropospheric nitrous oxide over the Mediterranean as a footprint of Asian emissions, J. Geophys. Res., **122**, 8, 4746-4759, 10.1002/2016JD026119, 2017.
- [13] Ricaud, P., Attie, J-L., Chahnel, R., Pasternak, F., Leonard, J., Pison, I., Pattey, E., Thompson, R. L., Zelinger, Z., Lelieveld, J., Sciare, J., Saitoh, N., Warner, J., Fortems-Cheiney, A., Reynal, H., Vidot, J., Booker, L., Berdeu, L., Saint-Pe, O., Patra, P. K., Dostal, M., Suchanek, J., Nevrlý, V. and Zwaftink, C. G.: The monitoring nitrous oxide sources (MIN₂OS) satellite project, Remote Sens. Env., **266**, 112688, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112688>, 2021.



陸域と水域を統合した衛星生態学の展開

Development of Satellite Ecology Integrating Terrestrial and Aquatic Ecosystems

楊 偉 助教

Yang Wei, Assistant Professor

特色ある研究の概要

本研究では、地球生物圏における水域と陸域に焦点を当て、それらの生態系機能情報を現地観測と衛星リモートセンシングで計測し、地球規模での様々な自然現象のメカニズムを解明し、モデル化する「衛星生態学」に取り組んでいる。具体的には、光合成が行われる植生域・水域を研究対象とし、衛星リモートセンシングによる様々な生物・物理パラメータの推定精度を向上させる新たなアルゴリズムを開発し、広域かつ長期的な衛星プロダクトを構築する。そして、構築した衛星プロダクトに基づき、光合成、炭素循環、生物多様性など生態系現象における時空間変動の特徴を解明したうえ、気候変動や人間活動のドライバーを因果関係統計解析によって求め、地球規模の生態系モデリングを実施する。このような研究によって、地球上の光合成量や炭素収支をより正確に把握できることが期待される。

We are dedicated to the research field of “satellite ecology”, focusing on integrating and comparisons analysis for terrestrial and aquatic ecosystems within the global biosphere. Our research employs field observations and satellite remote sensing to collect ecological function information for global ecosystems, with the objective of elucidating and modeling the mechanisms of a variety of natural phenomena on a global scale. To be more precise, our research focuses on vegetation and water regions where photosynthesis occurs, and new algorithms are developed to enhance the estimation accuracies of a variety of biogeophysical parameters through satellite remote sensing. Accordingly, we generate long-term global satellite products using the developed state-of-the-art algorithms and elucidate the characteristics of spatiotemporal variability in ecosystem phenomena, including photosynthesis, carbon cycling, and biodiversity. Subsequently, we will conduct global ecosystem modeling by identifying the drivers of climate change and human activity through methods such as causal statistical analysis. It is expected that this type of research will facilitate a more precise comprehension of photosynthesis and carbon budget on Earth.

1 はじめに

森林、草原、海洋などの生態系は、光合成により温室効果ガスであるCO₂を大気から吸収しており、グローバルな光合成量を正確に把握することは、地球規模の炭素循環と気候変化の理解・予測に不可欠である。リモートセンシングは、ローカルからグローバルスケールまで光合成の理解を進める上で極めて重要な役割を担ってきたが、依然としてかなりの不確実性が存在する。これらの不確実性は、生態系による推定モデルのメカニズムとパラメータに起因する部分もあり、複数のリモートセンシングプロダクト間の大きな不一致にも影響される。例えば、光合成量については、陸域生態系では総一次生産量（Gross Primary Production, GPP）、水域生態系では純一次生産量（Net Primary Production, NPP）の推定がそれぞれ独立して行われており、統合的な解析は容易ではない。その一方、多数の生物・物理パラメータの衛星プロダクトが作成されているが、それらの間で大きな不一致も指摘されている。さらに、一次生産量の既存衛星プロダクトは、全球の観測をシームレスに行うことが不可能であるため、湖沼や都市緑地などプロダクトに含まれていない要因が多く存在する。そこで、地球上の光合成量や炭素収支をより正確に把握するため、陸域・水域連環に基づく推定手法や生態系モデルの開発が必要になっている。

2 研究のねらい・上位目標

本研究室は、現地観測、衛星観測、生態系モデル、数理データサイエンスなどを活用し、地球規模での生態系生態学における理論・応用研究から社会実装まで取り組むことで、「衛星生態学」という学問をより一層発展させることを目指している。

特に最近では、超小型衛星群や静止気象衛星観測網など最先端の衛星観測技術に対するリモートセンシングの新しい理論・アルゴリズムを構築し、より高い計測精度で陸域・水域生態系機能情報を抽出することに力を入れている。そして、新たに得られた生態系機能情報、生態系モデル、数理データサイエンスなどを併用し、陸域・水域生態系における全球光合成、温室効果ガス排出、生物多様性など自然現象のメカニズムを解明し、モデル化することに取り組んでいる。

3 研究の実施方法

本研究の実施方法は、図1に示すように「衛星生態学」の3本柱で表される。まず、様々な現地調査、生態系観測ネットワーク、近接リモートセンシングなどを通じて、推定モデルの開発にグラウンドトゥルースを収集する（フィールド計測）。そして、3次元放射伝達モデル、線形・非線形最適化、機械学習／深層学習などの数理的手法を活用し、衛星リモートセンシングデータから様々な生物・物理パラメータの推定アルゴリズムを開発し、広域的かつ長期的な衛星プロダクトを構築する（衛星プロダクト作成）。最後に、陸域・水域における光合成、炭素循環、生物多様性など生態系現象における空間的・時間的変動と、気候変動や人間活動のドライバーを因果関係統計解析によって求め、地球規模の生態系モデリングを実施する（環境動態解析）。



図1 楊研究室で実施している「衛星生態学」の3本柱

Fig. 1 Three regimes of “satellite ecology”: field observations, creation of satellite products, and analysis of environmental changes.

4 研究成果

本研究室では、地球生物圏における水域と植生域に焦点を当て、現地観測と衛星観測を統合的・相互参照的に活用し、水域・植生域の生態系機能情報の計測方法の開発から生態モデリングに至るまでの研究成果を創出している（図2）。例えば、陸域生態系機能については、キャノピー放射伝達モデルにより葉面積指数^[1]、植生フェノロジー^[2]、林床植生指数^[3]、樹冠高^[4]、林分構

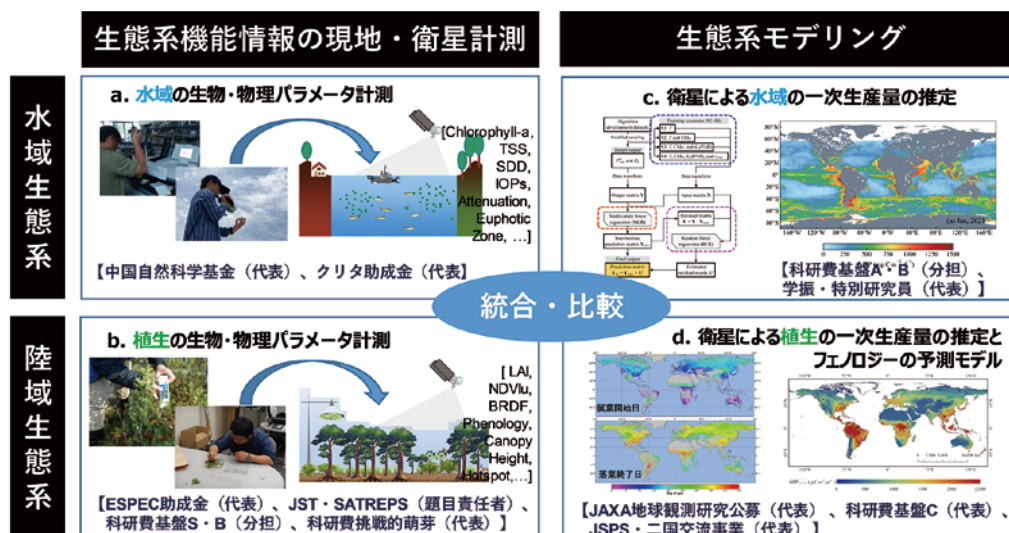


図2 これまでの研究の全体像：(a) 水域生態系と (b) 陸域生態系における生態系機能情報の現地・衛星計測および、(c) 水域生態系と (d) 陸域生態系における生態系モデリング

Fig. 2 Total framework of recent research: (a) measurement of biogeophysical parameters over water regions, (b) the same over vegetation regions, (c) satellite-based estimation of primary production over water regions, and (d) the same over vegetation regions with the phenology prediction model.

造^[5]に関する既存研究の推定精度を高めることに成功した。これらの研究成果はJAXAに採用され、新しい衛星プログラムであるGCOM-Cの葉面積指数プロダクトと全球植生フェロノジープロダクトとして構築・公開されている。加えて、全球規模での光合成モデルに重要な入力データが提供でき、GCOM-Cの全球植生一次生産量プロダクトの開発も進めている。

その一方、水域生態系においては、生物光学モデルに基づく衛星リモートセンシングによる水域の生物・物理パラメータである透明度^[6]、真光層（Euphotic Zone）^[7]、クロロフィル-a濃度^[8]、消散係数^[9,10]、固有光学特性^[11]の推定アルゴリズムを開発することができた。さらに、機械学習アルゴリズムに基づいてこれらの生物物理パラメータを統合し、藻類光合成量を推定する新しい光生理学モデルを開発できた^[12]。このモデルを用いて、1998年から2021年までの全球海洋一次生産量衛星プロダクトを構築した。このプロダクトによって、海洋生産量の経年変化の特徴を分析し、エルニーニョなど気候現象とその変化のメカニズムとの関連性を明らかにした。

上記のような研究成果に基づき、水域生態系と陸域生態系における光合成活動の統合的な解析が可能になったことで、既存研究と比較して、真にシームレスな地球規模の光合成モデルを実現することができた。その結果、地球全体の光合成量に占める陸域生態系の割合は1990年の約54%から2010年代には60%に増加したこと、海洋生態系の割合は46%から40%に減少したことを明らかにした（Yang et al., in preparation）。

最新の研究成果として、超小型衛星群画像PlanetScopeのグラフ最適化に基づく新しい整合アルゴリズムを紹介したい。このアルゴリズムは、Planet社で使用されている既存のアルゴリズム

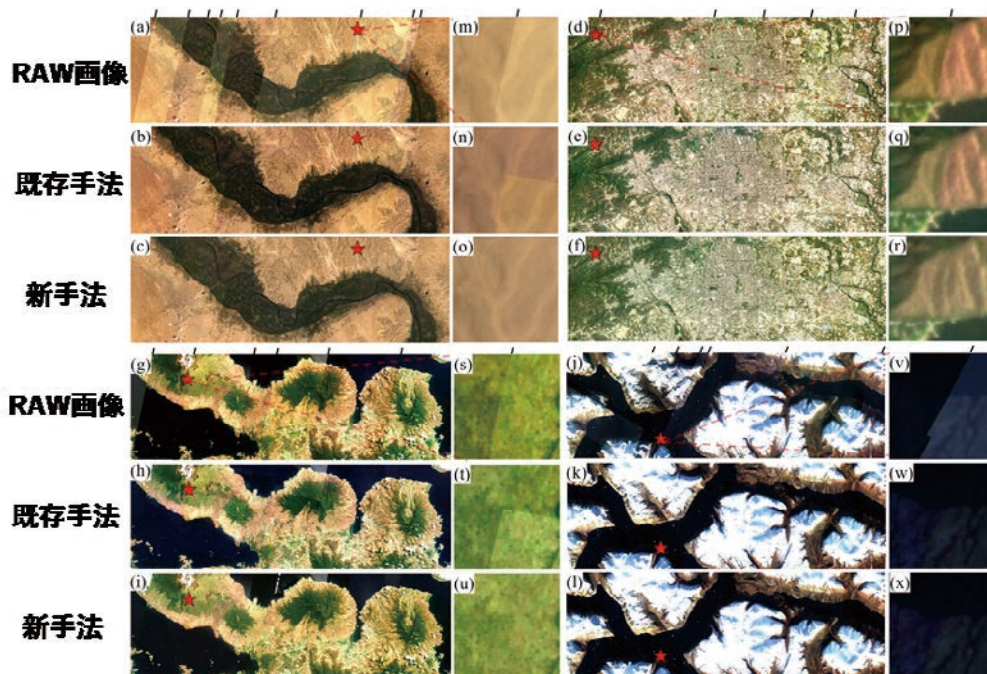


図3 PlanetScopeデータの整合化手法：（上）RAW画像、（中）既存手法、および（下）新手法で得られた画像の比較。新手法はグラフ最適化を活用して空間的变化がより滑らかなモザイク画像が作成できる。

Fig. 3 Comparison of the proposed and conventional methods for calibrating PlanetScope data. Raw images (top) and calibrated images with the conventional (middle) and proposed methods are compared.

より優れた画像整合 (Image Harmonization) 結果が示されており (図3)、今後、PlanetScope データの Ready-for-Analysis プロダクトの構築への活用が期待されている。

5 研究プレゼンスの向上

上述のように、これまでの研究成果はJAXAの最新の地球観測衛星であるGCOM-Cのデータ解析アルゴリズムや、世界的に活用が進んでいるPlanetScope画像の解析精度向上に貢献してきた。今後さらに研究プレゼンスを向上するためには、まず、最先端の高時空間分解能衛星観測 (例えば、静止気象衛星観測網、超小型衛星群) に基づいた陸域・水域生態系研究における既存のグローバルネットワークをさらに強化する。加えて、千葉大学のJ-PEAKS拠点および共同利用・共同研究拠点である環境リモートセンシング研究センターの研究枠組みをベースとした国際的研究活動を積極的に推進し、研究拠点としてのインパクトを国内外に拡大していきたい。特に、環境リモートセンシングの基礎理論に基づく国内外の優れた研究者を集めてWin-Winで活動する研究グループを形成し、衛星観測ビッグデータ研究分野における国際的・先導的な研究成果を継続的に創出していく。社会還元については、環境に関わる各学会や地域活動に積極的に参画し、研究者間での交流を活発に行うとともに、行政関係者や一般市民を含む様々なステークホルダーと具体的な環境問題についての意見交換を行う。同時に、Future EarthやSustainable Development Goals (SDGs) など超学際的な研究に対する関心を持ち、自分の専門知識で貢献できるように取り組む。

6 引用文献

- [1] Toshiyuki Kobayashi, Hideki Kobayashi, Wei Yang, Hiroshi Murakami, Yoshiaki Honda, Kenlo Nishida Nasahara, “The development of a global LAI and FAPAR product using GCOM-C/SGLI data”, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, **202**, 479-498, 2023 (The U.V. Helava Award Best Paper 2023 of International Society for Photogrammetry and Remote Sensing [ISPRS]).
- [2] Wei Yang, Hideki Kobayashi, Cong Wang, Miaogen Shen, Jin Chen, Bunkei Matsushita, Yanhong Tang, Yongwon Kim, M. Sydonia Bret-Harte, Donatella Zona, Walter Oechel, Akihiko Kondoh, “A semi-analytical snow-free vegetation index for improving estimation of plant phenology in tundra and grassland ecosystems”, *Remote Sensing of Environment*, **228**, 31-44, 2019.
- [3] Wei Yang, Hideki Kobayashi, Rikie Suzuki, Kenlo Nishida Nasahara, “A simple method for retrieving understory NDVI in sparse needleleaf forests in Alaska using MODIS BRDF data”, *Remote Sensing*, **6**, 11936-11955, 2014.
- [4] Wei Yang, Akihiko Kondoh, “Evaluation of the Simard et al. 2011 Global Canopy Height Map in Boreal Forests”, *Remote Sensing*, **12**, 1114, 2020.
- [5] Wei Yang, Hideki Kobayashi, Xuehong Chen, Kenlo Nishida Nasahara, Rikie Suzuki, Akihiko Kondoh, “Modeling three-dimensional forest structures to drive canopy radiative transfer simulations of bidirectional reflectance factor”, *International Journal of Digital Earth*, **11**(10), 981-1000, 2018.
- [6] Takehiko Fukushima, Bunkei Matsushita, Yoichi Oyama, Kazuya Yoshimura, Wei Yang, Meylin Terrel, Shimako Kawamura, Akito Takegahara, “Semi-analytical prediction of Secchi depth using remote sensing reflectance for lakes with a wide range of turbidity”, *Hydrobiologia*, **780**, 5-20, 2016.
- [7] Wei Yang, Bunkei Matsushita, Kazuya Yoshimura, Jin Chen, Takehiko Fukushima, “A modified semianalytical algorithm for remotely estimating euphotic zone depth in turbid inland waters”, *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, **8**, 1545-1554, 2015.
- [8] Wei Yang, Bunkei Matsushita, Jin Chen, Takehiko Fukushima, “Estimating constituent concentrations in case II waters

-
- from MERIS satellite data by semi-analytical model optimizing and look-up tables”, *Remote Sensing of Environment*, **115**, 1247-1259, 2011.
- [9] Wei Yang, Bunkei Matsushita, Jin Chen, Takehiko Fukushima, “A relaxed matrix inversion method for retrieving water constituent concentrations in case II waters: the case of Lake Kasumigaura, Japan”, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **49**, 3381-3392, 2011.
- [10] Wei Yang, Bunkei Matsushita, Jin Chen, Kazuya Yoshimura, Takehiko Fukushima, “Application of a semianalytical algorithm to remotely estimate diffuse attenuation coefficient in turbid inland waters”, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, **11**, 1046-1050, 2014.
- [11] Wei Yang, Bunkei Matsushita, Jin Chen, Kazuya Yoshimura, Takehiko Fukushima, “Retrieval of inherent optical properties for turbid inland waters from remote-sensing reflectance”, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **51**, 3761-3773, 2013.
- [12] Zhaoxin Li, Wei Yang, Buneki Matsushita, Akihiko Kondoh, “Remote estimation of phytoplankton primary production in clear to turbid waters by integrating a semi-analytical model with a machine learning algorithm”, *Remote Sensing of Environment*, **275**, 113027, 2022.



静止軌道衛星を活用した都市・植生の熱環境解析

Thermal Environmental Analysis in Urban and Vegetation Using Geostationary Satellite Data

山本 雄平 助教

Yamamoto Yuhei, Assistant Professor

特色ある研究の概要

静止軌道衛星の観測データから地表面温度、蒸発散量、光合成量などの陸面物理量を推定する方法を開発し、これらを用いて、都市および植生環境の課題解決に取り組んでいる。現在運用されている第三世代の静止軌道衛星は10分という高い時間分解能をもつ。この強みを陸面モニタリングに最大限活かすため、陸面物理量の推定においては、より短い時間スケールでも利用できるよう不確かさが小さい推定アルゴリズムの考案や、プロダクトの信頼性を高めるための多様な環境での検証活動を実施している。応用研究においては、従来の陸域リモートセンシングではアクセスが困難であった数時間から数日の環境変動に着目し、都市土地利用と温度上昇率との関係や、植物が局所的な高温乾燥環境で受けるストレスの検出、また熱波や寒波によるそれらへの影響などを明らかにする研究を実施している。

We develop estimation methods of terrestrial physical quantities such as land surface temperature, evapotranspiration, and gross primary production from geostationary satellite data, addressing challenges in urban and vegetation environments. The currently operational third-generation geostationary satellites, like Himawari-8/9, offer a high temporal resolution of 10 minutes. To fully utilize this advantage for terrestrial monitoring, we propose low-uncertainty estimation algorithms that can be applied to shorter time scales and conduct validation activities across diverse environmental conditions to enhance product reliability. In application studies, we focus on thermal environmental variations over timescales of a few hours to several days, which have been difficult to capture with conventional land remote sensing. Our work investigates the relationship between urban land use and temperature rise, detects plant stress under hot/arid conditions, and examines the impacts of heatwaves and cold spells.

1 はじめに

近年、気候変動に伴い、熱波や寒波などの異常気象が頻発化・激甚化しており、都市と植生環境は、熱中症被害の増加や農作物の高温・低温障害、森林火災、干ばつなど多岐にわたる課題に

直面している。これらに相まって、都市化の急速な拡大や植生の生育環境もめまぐるしく変動しており、陸域の熱・水・炭素循環はさらに複雑化している。このような現状をより正確に把握してモデリングし、将来予測へと繋げるためには、高時空間分解能で現象を捉える衛星リモートセンシングの役割がますます重要となっている。特に、静止軌道衛星の高頻度観測は、日変化や季節変動を含む動的な熱環境の理解に有効であり、都市と植生の熱環境評価における有力なツールとなり得る。

2 研究のねらい・上位目標

本研究では、都市と植生の熱環境をより詳細な時空間スケールで理解することを目的とし、これによって持続可能な都市環境の形成や極端高温リスクの軽減策、および異常気象イベントに対する植生の応答メカニズムの解明に貢献することを目指す。具体的には、以下の目標に取り組んでいる：

- A) 高精度な陸面物理量プロダクトの開発：第三世代の静止軌道衛星ひまわりのデータを活用し、従来よりも高精度な地表面温度や光合成量、蒸発散量などの推定手法を開発する。
- B) 熱環境変動の新たな検出手法の考案：開発した陸面物理量データを用いて、都市および植生域における熱環境の異常をより短い時間スケールで捉える新たな検出手法を構築する。
- C) 都市環境への応用：建物の高さや密度、緑地の配置などの街区構造が熱環境に与える影響を解析し、持続可能な都市環境設計および極端高温への緩和策に向けた知見を提供する。
- D) 植生環境への応用：異常気象イベント（熱波、干ばつ、寒波）に対する植生の応答特性を解析し、持続可能な植生管理や農業の気候適応策への貢献を目指す。

3 研究の実施方法

地表面温度の算出では（図1）、前処理として地表面放射率決定が必要となる。地表面は多様な要素で構成されており、その中には積雪域の変化、植生の季節変化、水田の湛水など、自然および人為的要因によって変動するものがある。本研究では、ひまわり8号で新たに追加された可視・近赤外バンドを活用することで、植生の検出（NDVI）、水域の検出（NDWI）、雪氷面の検出（NDSII）を可能とする点に着目した。これらの情報を用いて、植生の季節変化や水田の湛水、積雪による放射率の変化を考慮する手法を新たに考案し、従来手法に組み込んだ。さらに、植生キャノピー内の cavity effect を推定するモデルを都市用に拡張し、都市キャノピー内の cavity effect が地表面放射率に与える影響を評価した^[1]。また、ひまわり8号の赤外センサーは、熱赤外窓領域に3バンドの観測波長帯を有しており、従来型のセンサーよりも1バンド多い。この特徴を活かし、非線形3バンドアルゴリズムを考案して精度評価を行い、従来のアルゴリズムと比較して精度および入力データのエラーに対する堅牢性を検証した^[2]。その後、従来のアルゴリズムおよび非線形3バンドアルゴリズムを実観測に適用し、アジア・オセアニアの地上フラックス観測ネットワーク（AsiaFlux・OzFlux）のデータ、および国際宇宙ステーション（ISS）の地表面温度推定データを用いて精度評価を行った^[3]。

さらに、陸域観測の基礎情報として、ひまわり8号の観測位置情報の精度検証も実施した^[4]。

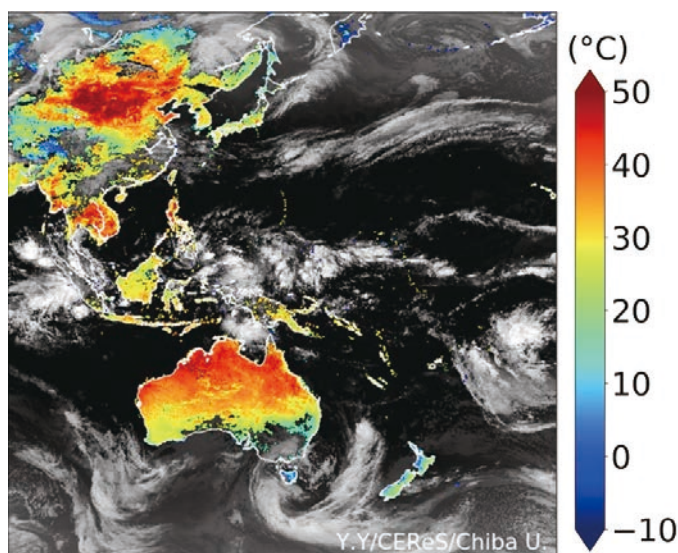


図1 ひまわりから推定された地表面温度

Fig. 1 Land surface temperature estimated from Himawari-8 image data.

加えて、本研究センターではひまわりの日射量データも提供されており、これと地表面温度データを組み合わせることで、光合成量や蒸発散量の推定を試みている。推定手法の構築にあたっては課題も多い。例えば、従来の衛星による植生の光合成量推定は、約1週間から1か月単位の時間スケールで行われており、光合成量推定モデルも短時間スケールにおける植生の環境応答は考慮されていなかった。そこで本研究では、日内スケールの光合成活動も表現可能な推定モデルを考案し、ひまわり8号から推定された地表面温度と日射量を入力変数として、光合成量の日内変動を推定する手法を開発した。

ひまわり8・9号の大きな特長は観測頻度の高さ（10分ごと）であり、晴天日には地表面温度の日変化の波形を詳細に捉えることができる。地表面温度の日変化波形は、都市域では土地利

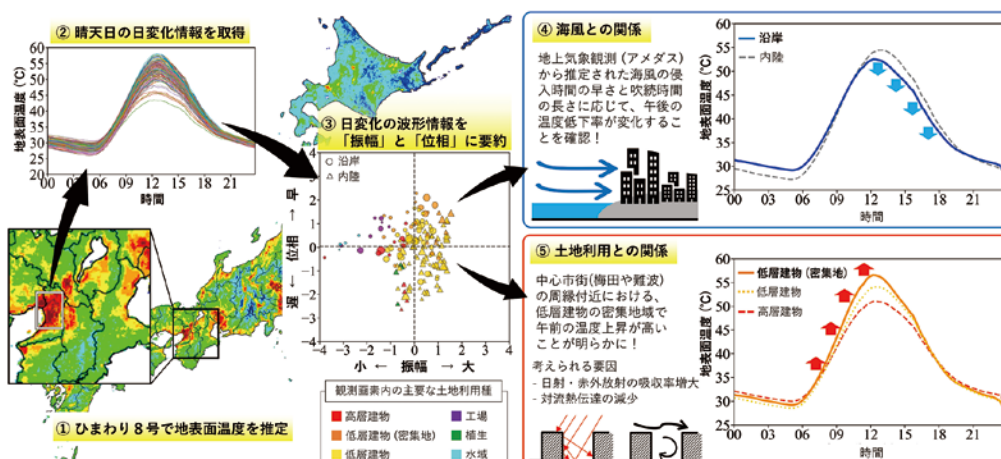


図2 地表面温度の日変化情報の抽出：都市環境への応用例

Fig. 2 Extraction of diurnal changes in land surface temperature: Application to urban environments considering the effects of sea breeze and land coverage.

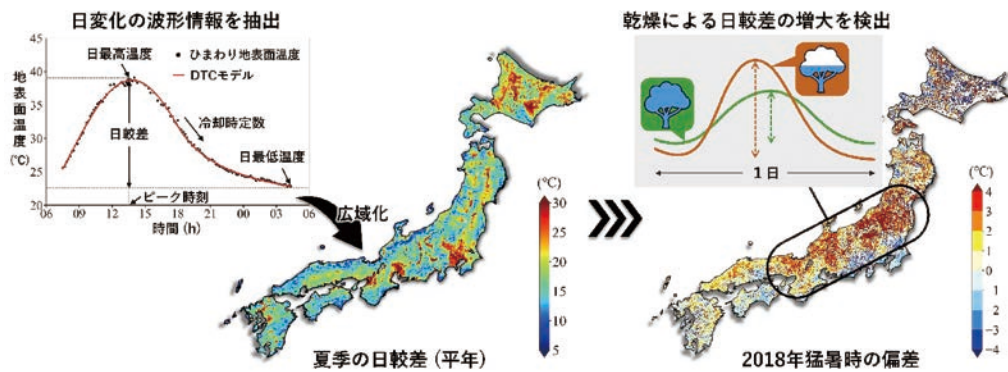


図3 地表面温度の日変化情報の抽出：植生環境への応用例

Fig. 3 Extraction of diurnal change information of land surface temperature: Application to vegetation environments, including examples where extreme heat affects vegetation drying.

用の熱特性を反映して変化し、植生域では水分量の変動に応じて変化すると考えられる。本研究では、これらの関係が実際の都市環境や植生環境の解析に応用可能であることを検討した。波形の抽出方法として、多変量解析を用いたモードの抽出（図2）^[5]や、DTC（日周温度サイクル）モデルという半経験モデルを適用することで、日最高温度・日較差・ピーク時刻・冷却時定数などの日変化情報を表すパラメータを抽出するアプローチを試みた（図3）^[6]。

4 研究成果

地表面放射率の推定において、本研究は都市キャノピー内の cavity effect が植生キャノピー内のものと同等、あるいはそれ以上であることを明らかにし、都市域における cavity effect の推定手法を新たに組み込んだ^[1]。さらに、雲のかかった画素を除外するための雲域検出法を作成し、ひまわり8・9号の視野内の地表面温度を実時間で算出する処理体系を完成させた^[2]。地表面温度の推定アルゴリズムについては、本研究で考案された非線形3バンドアルゴリズムが、推定誤差の大きさや温度依存性・湿度依存性・衛星天頂角依存性のいずれにおいても従来手法より優れていることを示した。また、入力データの誤差に対しても最も高い安定性を有することが確認された。実観測による検証では、観測角度が高いケースや高温湿潤な大気の場合など、推定精度が低下しやすい環境下においても、非線形3バンドアルゴリズムが最も高い精度を示した。例えば、中国内陸域や東南アジアの熱帯域、オーストラリア大陸の乾燥域において、日中の地表面温度を推定したところ、提案アルゴリズム（YAM）は他のアルゴリズムと比較して誤差を1.0℃以上低減できることが確認された（図4）。

真夏の晴天日における大阪の都市域を対象に、ひまわり8号データから地表面温度を高頻度に推定し、得られた日変化の波形を解析した。その結果、海風の到達時間や吹続時間、および建物の密集度が、日変化の波形の主要要素（振幅と位相）に影響を与えることを明らかにした。特に、低層建物が密集するエリアでは、中・高層建物の密集地や低層建物の非密集地とは異なり、午前中の温度上昇率が顕著に高いことを観測データから初めて明らかにした（図2）^[5]。

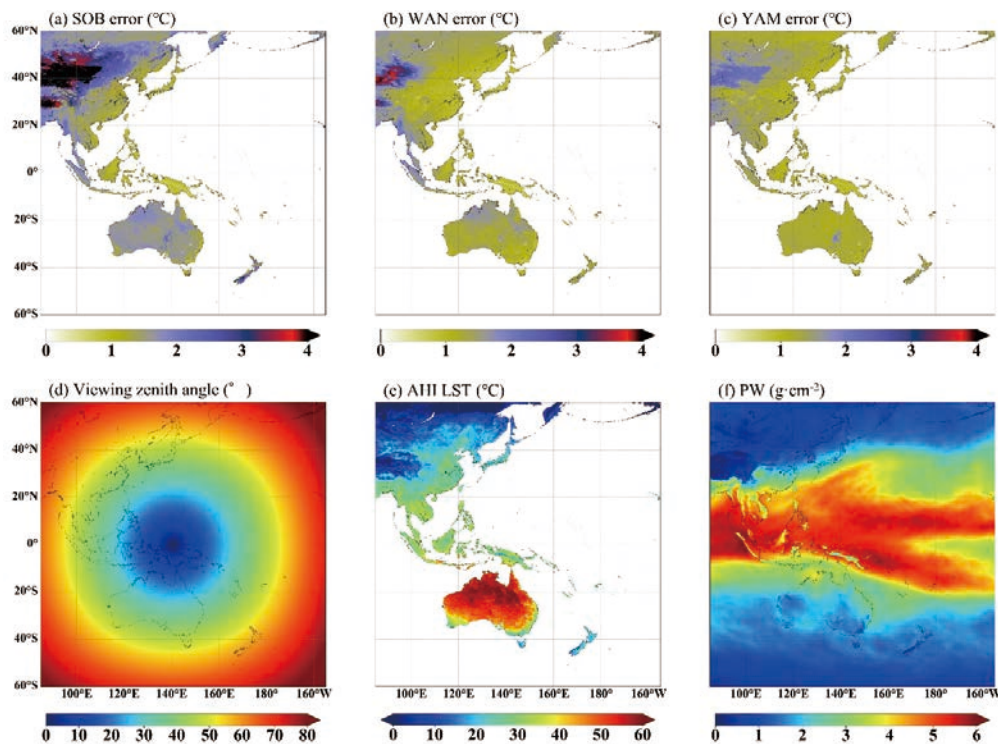


図4 2018年10月の日中における、3種のアプローチ (a: SOB、b: WAN、c: YAM) で推定された地表面温度の誤差分布と、d) 観測天頂角、e) 地表面温度、f) 可降水量分布。

Fig. 4 Error distribution of land surface temperature estimated by three algorithms (a: SOB, b: WAN, c: YAM) during the daytime in October 2018, d) observation zenith angle, e) land surface temperature, and f) precipitable water distribution.

2018年の夏に日本周辺で発生した猛暑を対象に、DTCモデルで抽出した日最高温度・日較差・ピーク時刻・冷却時定数などのパラメータのうち、どれが乾燥状態の検出に有用であるかを調査した。調査では、土壌水分量・潜熱量・光合成量・分光植生指標との関係に着目した。その結果、日最高温度や日最低温度、および日較差は安定的に推定できる一方で、ピーク時刻や冷却時定数は地形の斜面向きや観測角度の影響を受けやすく、複雑地形の多い日本での適用には困難があることが明らかになった。さらに、猛暑による日較差の増大は、土壌水分量や潜熱量の低下と対応し、分光植生指数が低下した地域では日最高温度の上昇が観測された。この結果から、日較差と日最高温度を活用することで、分光植生指数では判別が困難なレベルの乾燥シグナル、すなわち「大規模な枯渇や変色には至っていないが、乾燥化が進行している状態」を検出できることを示した (図3)^[6]。

5 研究プレゼンスの向上

本研究は、静止軌道衛星データの高度利用を通じて、都市と植生の熱環境を新しい視点から解析するものであり、その成果は科学研究、政策立案、社会実装の各領域において広範な波及効果をもたらす可能性がある。

科学的な側面では、都市域や植生域の熱環境を高時空間分解能で解析する手法の確立により、従来の衛星リモートセンシングでは見過ごされてきた現象やメカニズムの解明が期待される。例

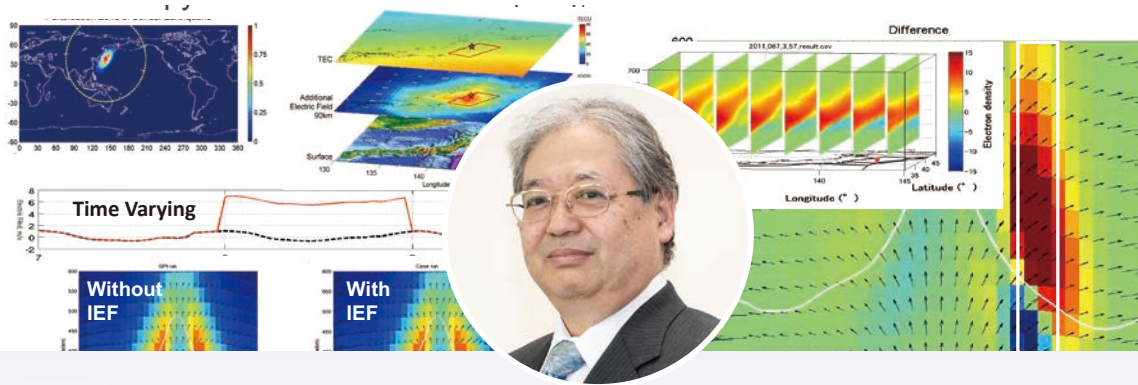
えば、都市部ではヒートアイランド現象の微細構造や建物配置の影響、植生域では乾燥ストレスの早期検出といった具体的な課題に対して、より正確で実用的な知見を提供できる。これにより、都市気候学や植生動態学の分野において、既存のモデルや理論を精緻化し、新たな研究フロンティアを切り拓くことが可能になる。

応用面では、得られたデータと手法を都市計画や環境モニタリング、農業管理に組み込むことで、実社会への貢献が期待される。都市部では、局地的な熱環境の把握を基に、エネルギー効率の良い都市デザインや極端高温リスクの軽減策を実現し、持続可能な都市環境の形成に寄与する。一方、農業分野では、光合成量や蒸発散量の高精度推定により、作物の収量予測や水資源管理の最適化が可能となる。また、乾燥ストレスを早期に検出する技術は、森林や草地の劣化予測や生態系保全への応用も期待される。

国際的には、東南アジアなどの過剰都市化が進む地域や、気候変動の影響が顕著な地域に対して、本研究で開発した技術や知見を移転・展開することで、地球規模の環境リスク評価や適応策の策定に貢献できる。さらに、国際的な学術コミュニティや政策プラットフォームにおける共同研究の機会を創出し、日本のリモートセンシング技術の先進性を示すことで、国際的な研究プレゼンスの向上が期待される。

6 引用文献

- [1] Yamamoto, Y., and H. Ishikawa, 2018: Thermal Land Surface Emissivity for Retrieving Land Surface Temperature from Himawari-8, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, **96B**, 43–58. DOI: 10.2151/jmsj.2018-004.
- [2] Yamamoto, Y., H. Ishikawa, Y. Oku, and Z. Hu, 2018: An Algorithm for Land Surface Temperature Retrieval Using Three Thermal Infrared Bands of Himawari-8, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, **96B**, 59–76. DOI: 10.2151/jmsj.2018-005.
- [3] Yamamoto, Y., K. Ichii, Y. Ryu, M. Kang, and S. Murayama, 2022: Uncertainty quantification in land surface temperature retrieved from Himawari-8/AHI data by operational algorithms, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, **191**, 171–187. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2022.07.008.
- [4] Yamamoto, Y., K. Ichii, A. Higuchi, and H. Takenaka, 2020: Geolocation Accuracy Assessment of Himawari-8/AHI Imagery for Application to Terrestrial Monitoring, *Remote Sensing*, **12**(9), 1372. DOI: 10.3390/rs12091372.
- [5] Yamamoto, Y., and H. Ishikawa, 2020: Influence of urban spatial configuration and sea breeze on land surface temperature on summer clear-sky days, *Urban Climate*, **31**, 100578. DOI: 10.1016/j.uclim.2019.100578.
- [6] Yamamoto, Y., K. Ichii, Y. Ryu, M. Kang, S. Murayama, S.-J. Kim, and J. R. Cleverly, 2023: Detection of vegetation drying signals using diurnal variation of land surface temperature: Application to the 2018 East Asia heatwave, *Remote Sensing of Environment*, **291**, 113572. DOI: 10.1016/j.rse.2023.113572.



衛星・地上 SensorWEB による巨大地震・津波の監視と予測 — 新世代地震情報システムの構築とそれを利用したレジリエントな社会の創成 —

Monitoring and Forecast of Large Earthquakes and Tsunamis
by Satellite- and Ground-Based SensorWEB
— Creation of a Next-Generation Early Warning Information System
for Effective Earthquake and Tsunami Crisis Response Navigators —

服部 克巳 教授
Hattori Katsumi, Professor

特色ある研究の概要

地震災害に強靱な社会システムを構築するために、衛星・地上リモートセンシングデータを駆使して、タイムリーかつ必要な品質・精度で地震・津波に関連する情報を受益者に提供する新世代地震情報システムを開発している。具体的には、①衛星・地上観測ビッグデータ（SensorWEB）による地震前兆情報の抽出と物理機構の解明、②地震前兆現象を用いた地震予測確率数理モデルの開発と応用、③電離圏変動を利用した緊急津波速報の開発を国際共同研究で実現し、受益者のニーズにあった地震・津波に関する事前情報を抽出する研究を行っている。究極的には、地震災害にレジリエントな社会創成に資する事前情報の表現や手段は、受益者（意思決定者）と協働して考える必要がある。

To build a social system resilient to earthquake disasters, we will develop a next-generation early warning information system for effective earthquake and tsunami crisis navigators in a timely manner and with the necessary quality and accuracy by making full use of satellite and ground remote sensing data (SensorWEB). Specifically, through international joint research, we will 1) extract information on earthquake precursors and elucidate their physical mechanisms using satellite and ground-based big data, 2) develop and apply a stochastic probability model of earthquake occurrence using earthquake precursor phenomena, and 3) develop an emergency tsunami warning system using ionospheric electron density variations. We are studying how to extract earthquake/tsunami related advance information that meets the needs of beneficiaries. And how to express and provide such information to beneficiaries (decision makers) in a way that encourages specific and appropriate actions and realizes a resilient society that ensures safety against disasters.

1 はじめに

本研究は衛星・地上観測データを用いた地震短期予測や地震活動監視についての研究であり、地震・津波による人的・経済的被害を軽減するためのイノベーション創出と社会実装（減災サステナブル学の創成）を目指している。従来のリモートセンシング技術と地球電磁気学、固体地球科学、電波物理学、超高層物理学、統計学、情報工学等を融合させ、さまざまな前兆現象を精度よく検出する手法を開発し、データ駆動型の地震短期予測・津波の実時間監視を国際共同研究にて推進している。

2008年四川地震（M8.0）、2011年東北地方太平洋沖地震（M9.0）、2016年熊本地震（M7.3）、2024年能登半島地震（M7.6）など毎年のように国内外で被害地震が発生しているが、長年の努力にもかかわらず、地震の予測は達成できていない。1995年の兵庫県南部地震（M7.3）以降、地震予測は不可能で建物の堅牢化が最重要課題であるという風潮になっている。地震による甚大な災害は、何千人もの命を奪い、大きな経済的損失を引き起こす。2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震では地震動、津波、原発事故等の複合災害として、インフラ・公衆衛生問題、株式市場の一時的な混乱等などの広範な問題を引き起こした。このことは地震災害の軽減には多様な学際的な取り組みが必要であることを示しており、なかでも、その予測（早期発見）が必要不可欠である。実際に国民が近い将来に実現してほしい科学技術の中で、地震予知は常に上位に挙げられている。予測・速報情報の精度が高く、かつ迅速であれば、想定される人的・物的被害は軽減される。例えば、2007年に実用化された緊急地震速報では、精度・リードタイムが十分であれば、半導体工場での想定被害数百億円が回避できることが実証されている。したがって、緊急地震速報に加えて、精度のよい地震予測情報や津波情報が活用できれば、経済的損失はさらに軽

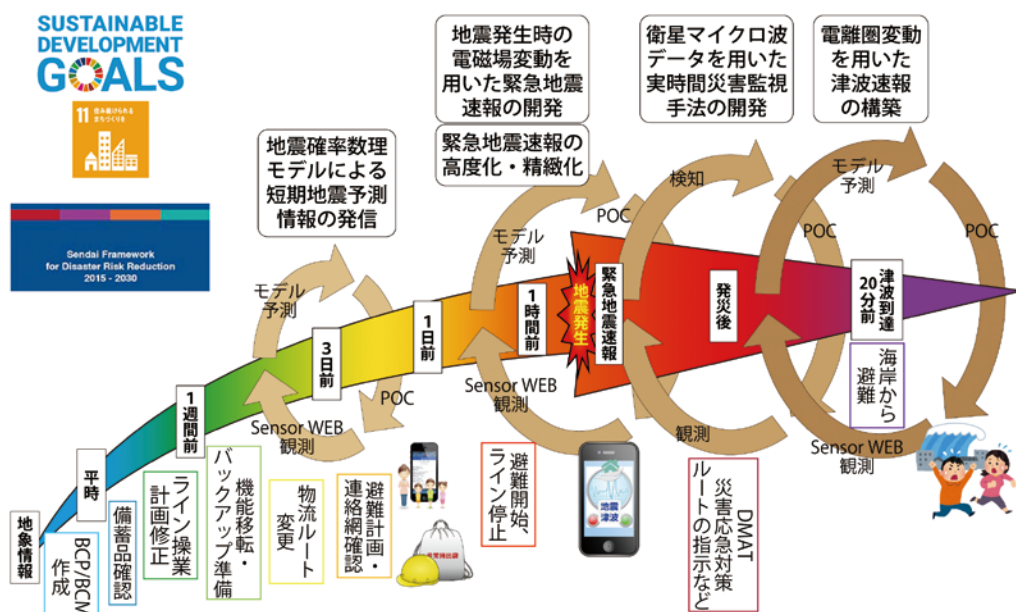


図1 新世代地震情報システムの概念図

Fig. 1 Conceptual diagram of the Next-Generation Early Warning Information System for Effective Earthquake and Tsunami Crisis Navigators.

減できると期待される。図1に新世代地震情報システムの概念図を示す。首都圏直下型地震や東南海地震（津波）では、数万人の犠牲者が想定されているが、信頼度の高い情報（緊急地震速報では数秒程度、予測情報では数日前からの早期警報）による避難、防災行動が期待される。また、データや情報を社会インフラシステムへと組込むことによって、原子力発電所や石油コンビナートの防災システム、自動運転（道路）制御システム、港湾・物流システム、工事管理システム等の高機能化・高度化を図り、生命や経済的損失を軽減することも期待される。さらには、対象者毎に必要な情報を抽出し、適切なBCP／事前BCP立案等のコンサルティングやアドバイスをを行うことにより、人命・資産・製造工場などの安全確保、復旧時間の短縮が全国規模で図られ、ひとりひとりに届く危機対応ナビゲータとなることが期待される。

2 研究のねらい・上位目標

地震津波に関する情報は、現状では、数十年単位の長期予測を除くと、緊急地震速報を含め地震発生後の情報しか存在しない。2024年8月の南海トラフ地震臨時情報は南海トラフ巨大地震想定震源域内のプレート境界にてM7クラスの地震が発生し、過去の経験から南海トラフ巨大地震が発生する確率が通常より高まったというもので、長期予測の手法と類似している。また、緊急地震速報は地震波のP波とS波の速度差を利用して、大きな揺れの到達時間を知らせるものなので、ある程度離れた場所で発生した大地震に対しては効力があるが、直下型地震ではP波とS波の到達時間差がほとんどなく、効果がない。一方、気象災害では、降雨量、風速等の情報は不確実性を伴いながらも事前に公開され、社会にその対応を促し、社会の側も予測の不確実性を考慮しつつ事前対応策が構築されている。そこで私たちは、衛星と地上で観測された様々なパラメータのビッグデータを解析することによって、地震の準備過程に発生する現象（前兆現象）を精確に捉えて理解し、究極的なゴールとして、前兆現象を用いた大地震の短期予測技術の開発と短期予測の実用化を目指す研究を行っている。台風や豪雨等の気象災害に対するレーダー情報や進路予想のように、巨大地震イベントに関する情報を事前に把握できれば、それに対応する準備や心構えも可能になる。つまり、マグニチュード7以上の巨大地震

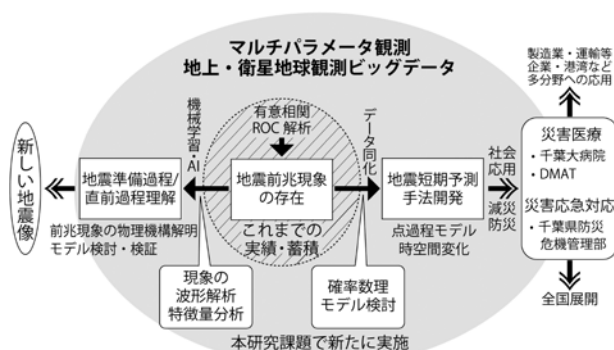


図2 衛星・地上 SensorWEB による巨大地震・津波の監視と予測の概要

Fig. 2 Overview of monitoring and forecasting of mega-earthquakes and tsunamis by satellite and ground-based SensorWEB.

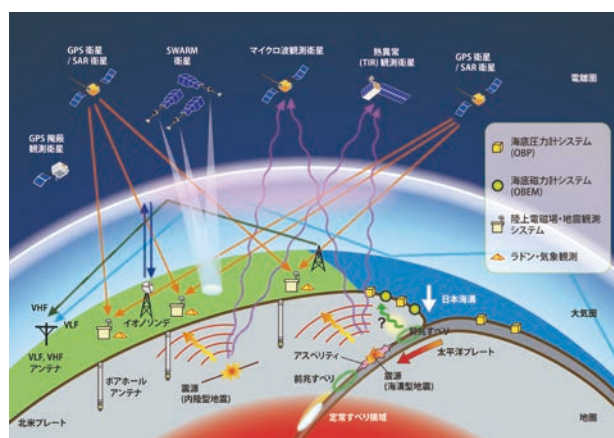


図3 衛星・地上観測ビッグデータ（SensorWEB）

Fig. 3 Satellite and ground-based big data observation (SensorWEB).

の1週間前、3日前、1日前、数時間前、1時間前、地震波到着直前、津波到着20分前の確度の高い地震・津波情報があれば、事前準備や被害軽減の行動により人命や経済的損失を劇的に抑制できると考えられる。地震災害に強靱な社会システムを構築するために、図1のようにタイムリーかつ必要な品質・精度で地震・津波に関連する情報を受益者に提供する新世代地震情報システムの開発に挑戦している。

3 研究の実施方法

具体的には、図2のように①衛星・地上観測ビッグデータ（SensorWEB）による地震前兆情報の抽出と物理機構の解明（図3参照）、②地震前兆現象を用いた地震予測確率数理モデルの開発と応用（図4参照）、③電離圏変動を利用した緊急津波速報の開発を国際共同研究で実現（図5参照）し、受益者のニーズにあった地震・津波に関する事前情報を抽出し、行動指針や事前準備立案の核心である最適な危機対応ナビゲータの構築を試みている。究極的には受益者と協働で、どのような表現、どのような手段で受益者（意思決定者）に提供すれば、具体的かつ適切な行動を促し、災害に対する安全を確保するレジリエントな社会を実現できるかをProof of Concept的に実証検証していく。

1995年の阪神大震災以降、地震の短期・直前予測は困難と言われてきている。しかし、近年、地震や火山活動などに関連する様々な電磁気学的な現象が報告されており、これらは従来の弾性

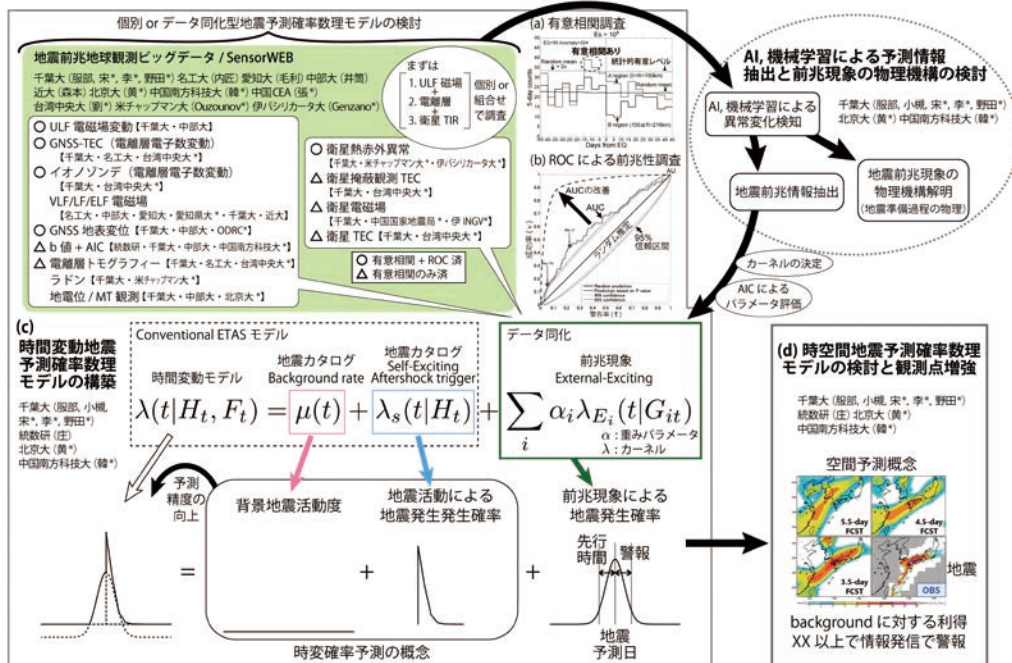


図4 確率数理モデルによる地震短期予測の概念図。統計的有意相関 (a) とROCによる前兆性 (b) が担保されたパラメータがETASに同化され本震予測 (c) を行う。時空間予測への拡張 (d) やBinary予測の改善 (b図のAUCの改善) も実施。前兆現象の詳細な分析等からその物理機構の解明にも迫る。

Fig. 4 Conceptual diagram of short-term earthquake forecast based on stochastic probability model. Parameters with both statistically significant correlations (a) and precursor properties (b) are assimilated into ETAS for main shock forecast (c). Extension to spatio-temporal forecast (d) and improvement of Binary forecast (improvement of AUC in figure b) are also implemented. Detailed analysis of precursor phenomena will also help to elucidate their physical mechanisms.

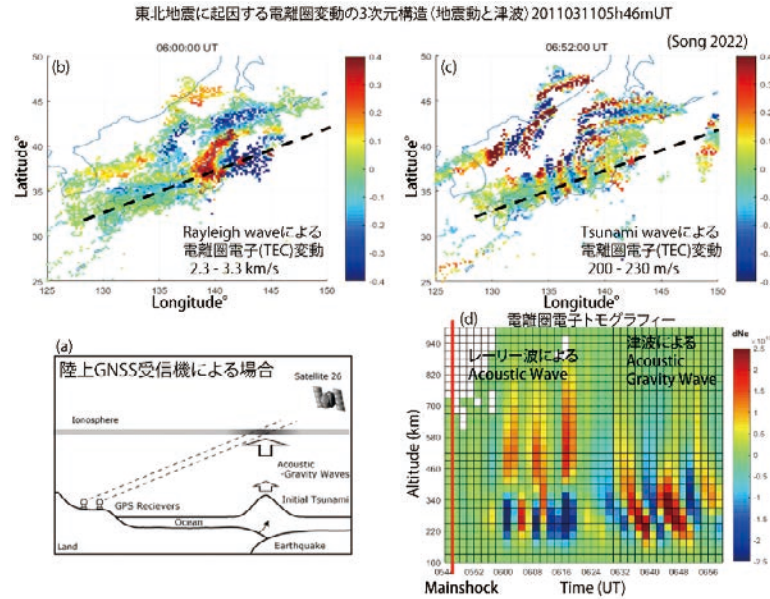


図5 GNSSによる津波検知の概念図。(a) 2011年東北地震時に検知された電離圏電子変動、(b) 地震表面波によって励起されたTEC変動、(c) 津波励起TEC変動、(d) 電離圏電子密度の3次元時間変動。

Fig. 5 Conceptual diagram of tsunami detection by GNSS. (a) Ionospheric electron density fluctuation detected during the 2011 Tohoku earthquake, (b) TEC fluctuation excited by earthquake surface waves, (c) Tsunami excited TEC fluctuation, (d) 3-D time variation of ionospheric electron density.

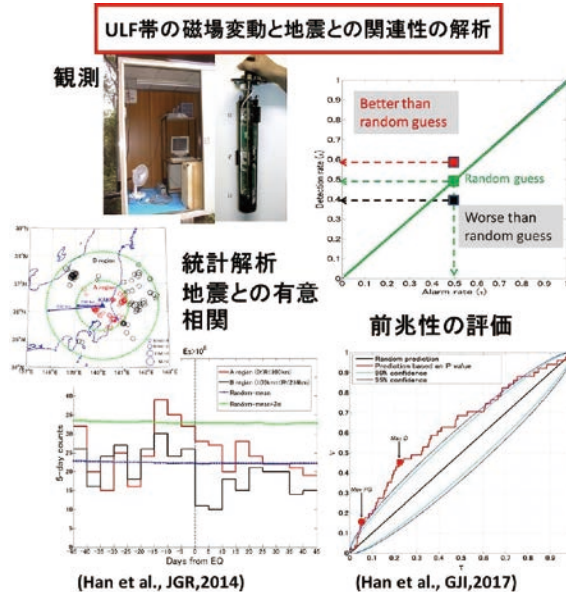


図6 ULF磁場の異常変動と地震との関係。(a) 磁場観測の例。(b) (c) 気象庁柿岡観測所 (KAK) の磁場変動と2000-2010年までの地震との相関を調査したところ、ある規模以上の地震の5-15日前に磁場異常が有意に出現し、地震の規模や震源距離依存性があることもわかった。(d) (e) 前兆性を調査したところ、有意な前兆性が確認された。

Fig. 6 Relationship between ULF magnetic anomaly variations and earthquakes. (a) An example of magnetic observation. (b)(c) The correlation between magnetic field variations at the Kakioka Observatory (KAK) of the JMA and earthquakes from 2000-2010 showed that magnetic anomalies significantly appeared 5-15 days before earthquakes above a certain magnitude and were also found to be dependent on earthquake magnitude and hypocenter distance. (d)(e) The investigation of precursor characteristics also confirmed significant precursor characteristics by ROC analysis.

学的なパラメータに加えて、地殻活動を予測するパラメータとして有効である可能性が極めて高い^[1]。房部グループでは2000年より南関東を中心に、地震前兆電磁気現象を利用した地震の短期予測手法の検討をULF帯（ここでは周波数1 Hz以下）の電磁気観測を中心に実施している^[2-8]。房総、伊豆、茨城柿岡地域について、2000～2010年の深夜のULF帯の磁場強度変動と地震発生との関係を統計解析したところ、観測点から100 km以内で発生したある程度大きな地震活動とULF帯磁場の鉛直成分の活動度に有意な相関があり、その相関の強さは地震活動の規模や距離に依存する傾向があることが分かった^[9-11]。また、

Receivers Operating Characteristics (ROC) 的解析である Molchan Error Diagram (MED) 解析から磁場異常は地震前兆的に発生する傾向を示した^[9, 12, 13]。つまり、地震前兆現象の存在が科学的に確認され（図6は柿岡の例）、前兆現象検知による確率的な地震短期予測の可能性が示された。一方でその発生機構は未解明であるが、2002年10月および2007年8月の房総slowslip等に関連して、図7に示す矩形電磁場変動が深夜に観測され、その波形の振幅や極性から地下に線電流源を仮定すると現象を理論的に説明でき、地下流体の流動による電流励起による電磁現象の発生を示唆している^[14]。電離層電子密度に関しても同様な結果を得ている（図8）^[16-19]。また、電離圏電子変動には地震発生時の地表面変動や津波に関連する変動も出現し、津波の早期検知が期待されている^[20, 21]。本プロジェクトの核心的な問いは、地震活動と前兆的電磁場変動に関して、「有意相関が成立するのか？」「相関がある場合、前兆的変動なのか？」「それを用いた地震短期予測が可能か？」「地震準備過程時に何が起きているのか？」である。これまでは個別の観測パラメータに対して上記の調査がなされてきた。本プロジェクトでは、図9のように統計的有意性やROC解析による前兆性の実証された複数の地震前兆パラメータを用いた、データ駆動型の確率数理モデルを構築し、短期地震予測の可能性を検証している。

地震発生過程（予測）に関して、現在世界で最も優れた確率数理モデルはETAS (Epidemic Type Aftershock Sequence) モデル^[24]である。ETASモデルは点過程モデルで、図4の式の左半分のように地震カタログを分析して、地震の背景レートと地震の自己励起による発生予測情報から地震（余震）発生確率の時間変化を予測する。本プロジェクトでは、ETASの点過程モデ

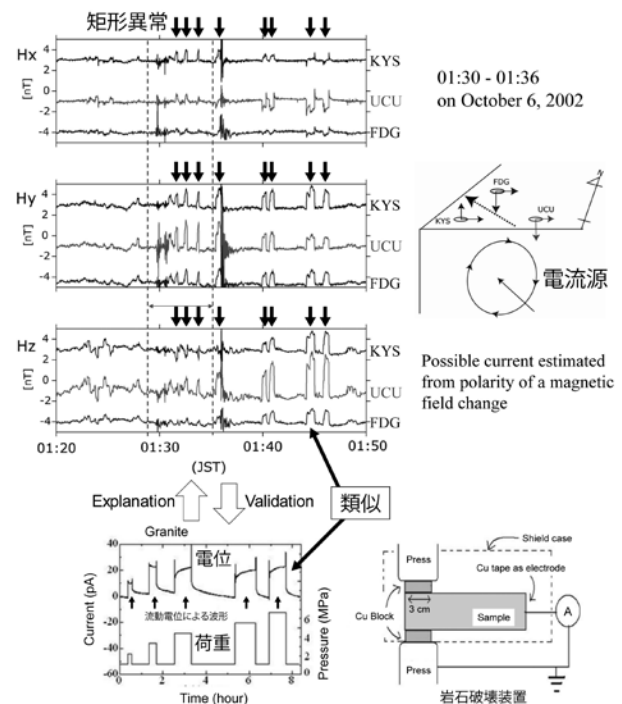


図7 南房総3観測点で観測された矩形磁場変動の例とその極性から推測される地下電流源 (Takahashi et al., 2007)^[14]と岩石破壊実験で観測された波形の比較検討。

Fig. 7 Examples of rectangular magnetic field variations observed at three stations in Minami-Boso and their polarity inferred from subsurface current sources (Takahashi et al., 2007)^[14] and waveforms observed in rock fracturing experiments^[15].

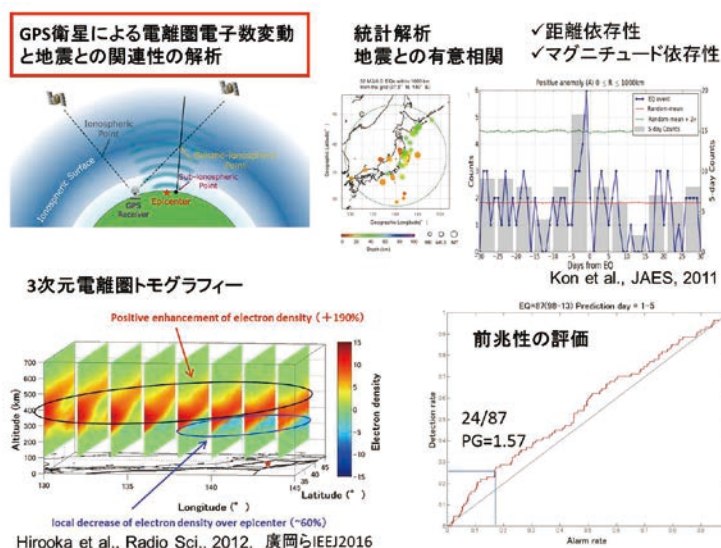


図8 電離圏電子数の異常変動と地震との関係。(a) GPS衛星による電離圏電子数観測の概念図。(b)(c) 本州上空の電離圏電子数の変動と2000-2010年までの地震との相関を調査したところ、M6以上の地震の1-5日前に10時間以上電子数が 2σ 以上増加する異常が有意に出現し、地震の規模や震源距離依存性があることもわかった。(d) 前兆性を調査したところ、有意な前兆性が確認された。(e) 2011年の東北地震(M9)についても同様な変動が確認され、その3次元電子密度分布を調査したところ、震央上空約2-300 kmの電子密度が減少し、その周囲や上空では増加していることがわかった^[20, 21]。これらの変動は、水平東向きの電場が付加的にかかることで説明可能である。

Fig. 8 Relationship between anomalous fluctuations in ionospheric electron counts and earthquakes. (a) Conceptual diagram of ionospheric electron count observation by GPS satellites. (b)(c) We investigated the correlation between the variation of ionospheric electron counts over Honshu and earthquakes from 2000 to 2010, and found that anomalies in which the electron counts increased by more than 2σ for more than 10 hours significantly appeared 1-5 days before earthquakes of M6 or greater, and that they were dependent on the magnitude and hypocentral distance of the earthquake. (d) We investigated the precursor nature of the earthquake and found precursor nature by ROC. (e) Similar variations were observed for the 2011 Tohoku earthquake (M9), and investigation of its 3D electron density distribution revealed a decrease in electron density at about 2-300 km above the epicenter and an increase around and above the epicenter^[20, 21]. These variations can be explained by an additional horizontal, eastward electric field.

ルの条件付き強度の加法性を利用して、地上または衛星観測された前兆異常による予測情報を外部励起部分として追加した包括的な地震予測モデルを構築する。各種前兆現象のカーネル関数は前兆現象の特徴に応じて個別に開発する。前兆現象として、地上観測データ(ULF電磁場、ELF/VLF/LF電磁場、GNSS電離圏電子数変動、イオノゾンデ電離圏電子変動、GNSS地表変位、地震活動度、ラドン濃度等)^[1-14, 16-19, 21-23, 25-27]、衛星観測データ(衛星熱赤外変動(HimawariやMODIS等)^[29, 30]、衛星電磁場^[31]、衛星高度電子数変動^[32])等を利用する。前兆パラメータは固定せず、研究の進展に応じて、追加や削除が可能なopenシステムであることが特徴で、地震活動との統計的有意性およびROC的解析による前兆性が追加の条件となる(図4、図9)。まずは、統計的有意性や前兆性が担保されているULF磁場変動、GNSS電離圏電子数変動、衛星熱赤外変動について高精度時変モデルを開発し、時空間へ拡張していく。ETASは、地震データが入力の地震発生予測数理モデルで、地震の大きさの分布は発生時間や発生場所から独立であるとされるGutenberg-Richter則(地震の発生頻度と規模の関係を表す法則)に従い、実際には完全ランダム性の分布である。本プロジェクトでは、1)地震時間と空間予測の精度向上と2)地

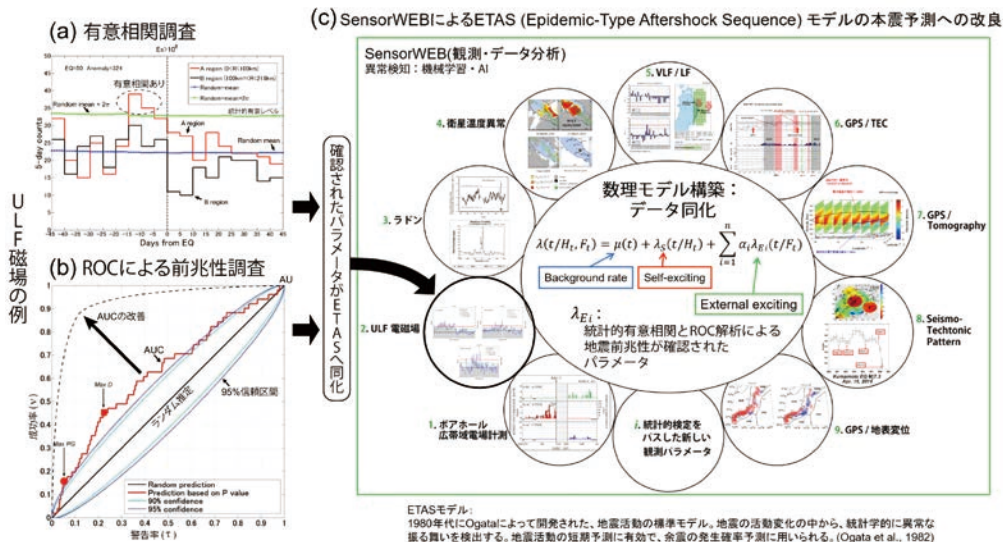


図9 巨大地震・津波の監視予測システムの構成例

Fig. 9 Example of a monitoring and forecasting system for a mega-earthquake and tsunami.

震の大きさの予測可能性（本震の予測）に挑戦している。この予測モデルには、時々刻々と得られる観測の取込み、モデルパラメータ、特に地震の大きさの確率分布のパラメータを更新していく機能が必要となる。そこで、多様な前兆現象をETASモデルに取込む際に、最先端のデータ同化技術^[33, 34]（アンサンブルカルマンフィルタなど、現業天気予報で成功を収めている高度なデータ同化手法）を地震予測に応用し、実時間のモデル更新・モデル高度化を実施^[33]し、Only One研究の開拓とそのプロダクトである予測結果を世界に先駆けて活用する。モデルに前兆現象を追加することで、従来のETASと比べて背景活動に対する予測確率の利得が向上し、地震の大きさの予測の改善と本震の予測可能性が期待される（図4）。構築した地震予測モデルのパラメータはAIC等で評価する。また、複数パラメータを用いた図4のAUCが左上方向を通過する曲線に改善する方法も実施（従来は個別のパラメータについて検討）している。予測情報の利用者によって、必要とされる地震予測の精度（例えば精度60%以上など）、求められる予測情報の発出のタイミング（1週間前、数日前、数時間前など）、また情報を受けたタイミングにより利用者の対応が異なること等がこれまでの聞き取り調査からわかっている。

4 研究の成果

服部は1997年に理化学研究所地震国際フロンティア研究に参加して以降、地震電磁気研究を展開している。南房総・伊豆を中心に地上観測網を構築、20年にわたってデータを蓄積、地震準備過程を電磁気学的に精確に把握、地震短期予測に資する研究を実施している。特に、観測データと地震活動の関係の事例・統計解析から、有意相関やROC的解析に基づく前兆性を示してきた^[2-13]。有意相関については、地震との距離依存性やマグニチュード依存性の存在や、データをシャッフルすると無相関となることなどから、観測点近傍の地震との因果関係を示唆する結果を得ている。また電離圏電子数変動や衛星温度異常と地震の関係の調査も実施し、同様に統計的有意性や前兆性を示す結果を得ており、世界をリードしている^[1, 18, 19, 31]。さらに、統計地

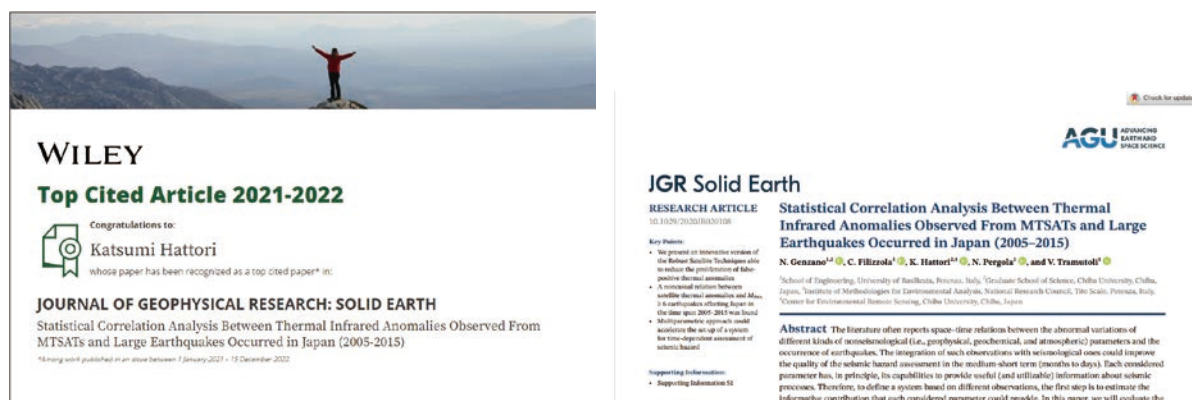


図10 2021-2022年のTop Cited Articleに選ばれたHimawari 6-7号データを用いたJGR論文

Fig. 10 JGR paper using Himawari 6-7 data selected as Top Cited Article for 2021-2022

震学的なデータ解析^[25, 26]や歪データの解析^[35]、地中からのラドン散逸量の解析^[28]などの地殻応力変動に関連する解析や、電離圏電子の3次元分布の可視化手法の開発^[36]など、前兆現象のメカニズム解明に向けた解析も実施している。また、2014年からコロナ期間を除き毎年国際ワークショップIWEP (International Workshop on Earthquake Preparation Process) を主催し、2024年度までに8回開催した。米国地球物理連合(世界最大の地球物理系学会)等の国際会議でも地震前兆・地震準備過程関連のセッションを企画運営し、世界を牽

引してきた。現在、文科省・地震火山噴火協議会の「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画(第3次)」の電磁気学手法による短期予測研究の代表も務めている。ULF磁場変動と電離圏電子数変動、衛星熱赤外変動と地震との関係においては、服部グループは、現在までに個別前兆現象のROC解析による最適予測シナリオ(地震の規模、発生場所、先行時間、警告期間等のパラメータ)を決定し、retrospectiveに予測精度を調査し、シナリオ選択の妥当性(予測の成功率や確率利得)を評価しつつあり、世界をリードする成果をあげている。現在では複数の前兆現象を用いた確率数理モデルを構築し、国内はもとより台湾、イタリア、米国、中国などと協力して本分野をさらに高度化・深化させることに挑戦している(台湾、イタリア、米国とは当センターの公募型国際共同研究にも採択)。これらの成果は2024年12月現在、WoSのToP10%論文11編で報告を行ってきた。そのうちのHimawari-6/7号のデータの統計解析により日本付近の規模の大きな地震とTIR異常の有意相関とROC的關係を報告したイタリアのグループとの共著のJournal of Geophysical Research論文(公募型国際共同研究でもある)は、2021-2022年のTop Cited Articleに選ばれた(図10)。また、私たちの研究成果は2018年7月にWileyより出版され

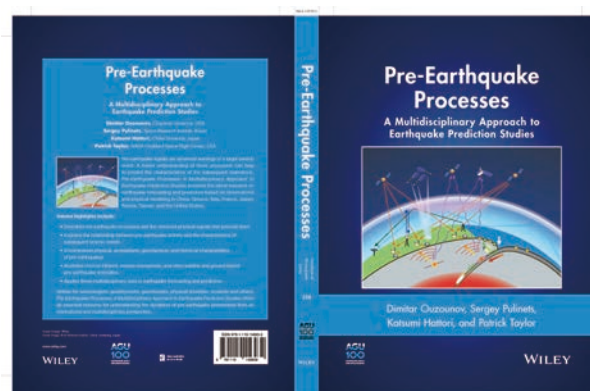


図11 American Geophysical Union monograph seriesとして2018年7月にWileyより出版された本。服部は著者・編者の1人。

Fig. 11 Book published by Wiley in July 2018 as part of the American Geophysical Union monograph series. Hattori is one of the authors and editors.

た米国地球物理連合の Geophysical Monograph Series 234として “*Pre-Earthquake Processes–A Multidisciplinary Approach to Earthquake Prediction Studies*” に書籍としてまとめられている（図 11）。以上のように本研究は、衛星リモートセンシングデータの地震災害軽減への応用研究であり、衛星データ利用の新展開といえる。また、本センターの共同研究（国際共同研究）によるリモセン関連コミュニティの拡大の好例になっており、リモセンデータを中核とした多分野融合とイノベーション創出の取り組みの一例である。

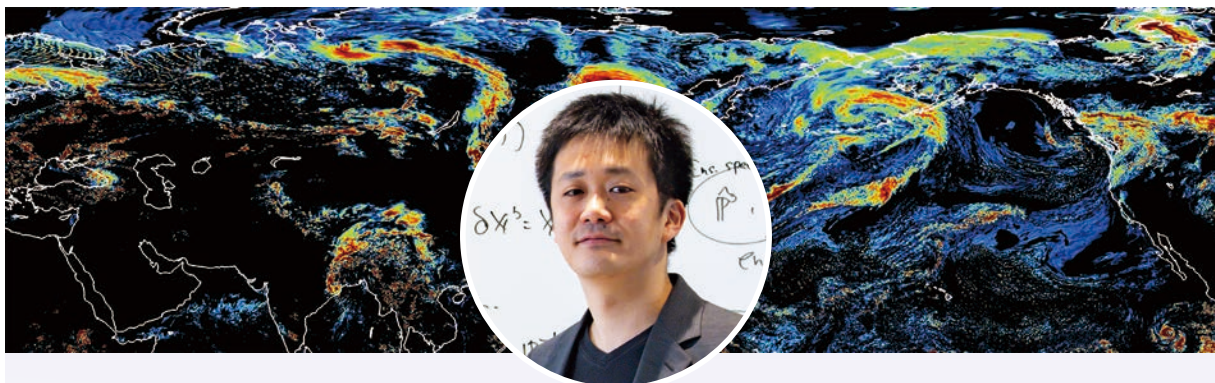
5 共同研究と今後の展開

衛星・地上観測ビッグデータの解析は国内外の共同研究で実施している。当センターの国際公募研究として、台湾・国立中央大学の劉正彦教授グループと電離圏電子数変動について、イタリア・バシリカータ大学の Tramutoli 教授・Genzano 博士グループと大気圏温度変動（Himawari 衛星データの活用）について、米国・チャップマン大学の Ouzounov 教授グループと地圏－大気圏－電離圏結合について研究を実施している。ほかにも中国・北京大学の黄清華教授、南方科技大学の韓鵬副教授、中国国家地震局の張学民博士などと確率数理モデルや衛星データ解析など連携して研究を実施している。国内では、統計数理研究所や理化学研究所と確率数理地震発生モデル構築の研究に着手している。予測の社会実装（危機管理ナビゲータの構築）に関しては、名古屋工業大学の高度防災工学センターとの連携を図っている。本プロジェクトの成果の一部はヨサファット教授の「地域と人にねざしたAI減災サステイナブル学学際ハブ拠点形成」プロジェクトにも利用される予定である。

6 引用文献

- [1] Ouzounov, D., Pulnits, S., Hattori, K., Taylor, P., *Pre-Earthquake Processes*, pp. 414, Wiley, July 2018.
- [2] Hattori, K. et al., *Phys. Chem. Earth.*, **29**, 481-494, 2004.
- [3] Harada, M., Hattori, K., Isezaki, N., *Phys. Chem. Earth*, **29**, 409-417, 2004.
- [4] Hattori, K., *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, **15**, 329-360, 2004.
- [5] Hattori, K., Serita, A., Yoshino, C., Hayakawa, M., Isezaki, N., *Phys. Chem. Earth*, **31**, 281-291, 2006.
- [6] Ismaguilov, V.S., Kopytenko, Y. A., Hattori, K., Hayakawa, M., *Geomagnetism and Aeronomy*, **46**, 403-410, 2006.
- [7] Telesca, L., Lapenna, V., Macchiato, M., and Hattori, K., *Earth and Planet. Sci. Lett.*, **268**, 219-224, 2008.
- [8] Saito, S., Kaida, D., Hattori, K., Febriani, F., Yoshino, C., *Natural Hazard and Earth System Sciences*, **11**, 1863-1874, 2011.
- [9] Hattori, K., and Han, P., *Pre-Earthquake Processes: A Multidisciplinary Approach to Earthquake Prediction Studies*, edited by Ouzounov et al., 229-240, Wiley, 2018.
- [10] Hattori, K., Han, P., Yoshino, C., Febriani, F., Yamaguchi, H., Chen, C.-H., *Surveys in Geophysics*, **34**, 293-316, 2013.
- [11] Han, P., Hattori, K., Hirokawa, M., Zhuang, J., Chen, C.-H., Febriani, F., Yamaguchi, H., Yoshino, C., Liu, J.-Y., Yoshida, S., *J. Geophys. Res., SPA*, **119**, 4998-5011, 2014.
- [12] Han, P., Hattori, K., Zhuang, J., Chen, C.-H., Liu, J.-Y., and Yoshida, S., *Geophysical Journal International*, **208**(1), 482-490, 2017.
- [13] Han, P., Zhuang, J., Hattori, K., Chen, C.-H., Febriani, F., Chen, H., Yoshino, C., Yoshida, S., *Entropy*, **22**, 859, 2020.
- [14] Takahashi, I., Hattori, K., Harada, M., Yoshino, C., Isezaki, N., *Annals Geophysics*, **50**, 123-135, 2007.
- [15] C. Yamanaka, H. Matsumoto, H. Asahara, *IEEE Transactions on Electrical and Electronic Engineering*, **A136**, 310-314, 2016.

- [16] Liu, J. Y., Chen, Y. I., C. H. Chen, Liu, C. Y., Chen, C. Y., Nishihashi, M., Li, J. Z., Xia, Y. Q., Oyama, K. I., Hattori, K., and Lin, C. H., *J. Geophys. Res., Space Phys.* **114**, 2009.
- [17] Liu, J. Y., Chen, Y. I., Chen, C. H., and Hattori, K., *J. Geophysical Research A: Space Physics*, **115**(9), art. no. A09312, 2010.
- [18] Kon, S., Nishihashi, M., Hattori, K., *J. Asian Earth Sciences*, **41**, 410-420, 2011.
- [19] Liu, J-Y., Hattori, K., Chen, Y-I., *Pre-Earthquake Processes: A Multidisciplinary Approach to Earthquake Prediction Studies*, edited by Ouzounov et al., 305-317, Wiley, 2018.
- [20] Liu, J-Y., Lin, C-Y., Tsai, Y-L., Liu, T-C., Hattori, K., Sun, Y-Y., Wu, T-R., *J. Earthquake and Tsunami*, **13**, 1941007, 2019.
- [21] Song, R, 千葉大学大学院融合理工学府博士論文, 2022.
- [22] Hirooka et al., *Radio Sciences*, 46, RS0F05, 2011, doi:10.1029/2011RS004760.
- [23] 廣岡伸治ら, 電気気学会論文誌基礎・材料・共通部門誌, 136, 265-271, 2016, doi:10.1541/ieeefms.136.265.
- [24] 尾形良, 地震, 50, 115-127, 1998.
- [25] Zhuang, J. et al., *Eur. Phys. J. Special Topics*, **230**, 409-424, 2021, doi:10.1140/epjst/e2020-000272-7.
- [26] Xie, W., Han, P., Hattori, K., *Entropy*, 21, **249**, 2019, doi:10.3390/e21030249.
- [27] Xie, W., Hattori, K., et al., *Entropy*, 24, **494**, 2022, doi:10.3390/e21030249.
- [28] 小島春奈ら, *J. Atmospheric Electricity*, **39**, 46-51, 2020, doi:10.154/jae39.46.
- [29] Genzano, N., et al., *J Geophys. Res. SE*, **126**, 2021, doi:10.1029/2020JB020108.
- [30] Ouzounov, D., et al., *Pre-Earthquake Processes: A Multidisciplinary Approach to Earthquake Prediction Studies*, edited by Ouzounov et al., 339-359, Wiley, 2018.
- [31] Hayakawa, M., Iutsu J., Schekotov, A., Yang, S-S., Solovieva, M, Budilova, E., *Geoscience*, **11**, 481, 2021.
- [32] Song, R., Hattori, K., Zhang, X., Saito, S., *J. Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, **205**, 2020. doi:10.1016/j.jastp.2020.105291.
- [33] Kotsuki et al., *J. Geophys. Res.*, **123**, 7375-7392, 2018, doi:10.1029/2017JD028092.
- [34] Kotsuki S. et al., *Wea. and Forecasting*, **34**, 701-714, 2019, doi:10.1175/WAF-D-18-0164.
- [35] Yu Z., et al., *Remote Sensing*, **13**, 515, 2021, doi:10.3390/rs13030515.
- [36] Song, R., et al., *Geophys. Res. SP*, **126**(6), e2020JA028561, 2021, doi:10.1029/2020JA028561.



気象制御への挑戦

Quest for the Weather-Controlled Society

小槻 峻司 教授

Kotsuki Shunji, Professor

特色ある研究の概要

地球温暖化の進行等により、台風や豪雨などによる極端風水害が激甚化・増加している。気象災害へのこれまでの取組は、構造物等による被害抑止や、災害発生前の準備や発生時の早期警報発出等による被害軽減等が主であった。しかし今後も激甚化・増加が想定される台風や豪雨に対して限界があり、これらに加え災害につながる気象現象自体の回避や軽減を可能とする制御技術の研究開発が必須である。このような背景のもと、内閣府ではムーンショット目標の1つに気象制御を掲げており、我々もその中で、「海上豪雨生成で実現する集中豪雨被害から解放される未来」という課題名でコア研究プロジェクトを推進している。プロジェクトでは、陸域の集中豪雨被害を緩和するために、上流の海上で事前に豪雨を起こして大気中の水蒸気量を大幅に減らす気象介入技術を開発している。大気を直接改変できる力には限界があるが、介入効果を最大化して豪雨を生成するための数理に基づく気象制御手法の確立を目指している。開発する技術の社会実装に向け、法制度や環境リスク評価などの社会科学研究も推進し、2050年までに社会が受容可能な気象制御技術の確立を目標に研究開発を進めている。ここでは、従来型の「気象予報」を超え、「気象制御」の実現に向けた挑戦的研究を紹介する。

In response to the increasing extreme-weather-induced disasters, the Japanese government has set a Moonshot goal to develop technologies to mitigate weather-induced disasters by artificial interventions. Our project aims to develop a weather control technology that mitigates heavy-rainfall-induced economic damages by artificially generating heavy rain over the upstream ocean. Given the limitations of directly altering the atmosphere, we explore a weather control method for intentional generation of heavy rains with optimization of manipulations. We will also promote social science research on legal issues and environmental risk assessments in order to accelerate the practical application of our results. By 2050, we aim to establish a weather control technology that society can accept. This section introduces research that goes beyond conventional “weather forecasting” and aims toward achieving “weather-controlled society”.

1 はじめに

地球温暖化の進行等により、台風や豪雨などによる極端風水害が激甚化・増加している。我が国では近年、海上からの水蒸気流入に起因する陸域の集中豪雨災害が多発し、線状降水帯などの激甚災害では、時に1兆円を超える被害が出ている。気象災害へのこれまでの取組は、構造物等による被害抑止や、災害発生前の準備や発生時の早期警報発出等による被害軽減等が主であった。しかし今後も激甚化・増加が想定される台風や豪雨に対して限界があり、これらに加え災害につながる気象現象自体の回避や軽減を可能とする制御技術の研究開発が必須である。この様な背景のもと、内閣府ではムーンショット目標の1つに気象制御を掲げ、「2050年までに、激甚化しつつある台風や豪雨を制御し極端風水害の脅威から解放された安全安心な社会を実現」することを目標に研究開発が進められている。我々もその中で、「海上豪雨生成で実現する集中豪雨被害から解放される未来」という課題名でコア研究プロジェクトを推進している。

我々のプロジェクトでは、陸域の集中豪雨を緩和するため、上流の海上で積乱雲群による豪雨を形成し、大気中の水蒸気量を陸域流入前に大幅に減らす技術の開発を目指している（図1）。豪雨を対象とした制御の困難さは、気象を直接改変できる力（介入力）に限界があることと、介入により降水量を低減できるか分からない不確実性にある。しかし限りある介入力でも、積乱雲を生起し、積乱雲が次の積乱雲を生む連鎖反応（組織化）を誘発できれば、豪雨を形成できる。また極めてシンプルな戦略であり、上流側の降水量を増やす程、下流側の降水量は高い確率で低減できる。

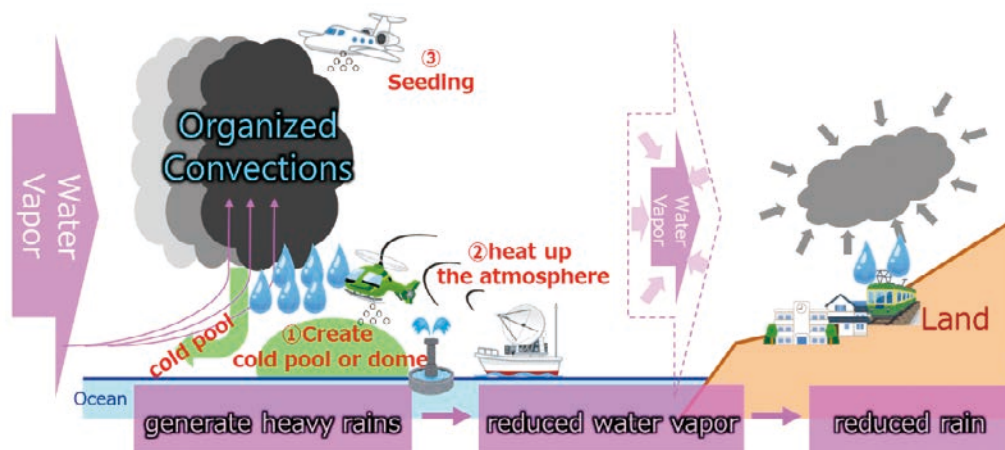


図1 海上豪雨生成による陸域豪雨緩和戦略の概念図

Fig. 1 A conceptual image of the strategy to mitigate heavy-rain-induced disasters.

2 研究のねらい・上位目標

気象制御では、現象の時空間スケールに対して、実現可能な介入力が小さいことが課題となる。そのため、何らかの大気の性質を利用して、直接実現可能な介入の効果を増幅させる必要がある。この点については、我々は気象現象の中に埋め込まれている「条件付き不安定」という仕組みを利用しようと考えている。条件付き不安定の大気では、空気が上昇して水蒸気が凝結し始めると、

潜熱が放出されて上昇が促進され不安定になる。集中豪雨をもたらす大気は、大気の下層に膨大な水蒸気を含んでおり、幸か不幸か条件付き不安定の性質が満たされている。そのため、人為的な介入により下層大気を持ち上げる事で、上流の海上において積乱雲を作り出すことも可能ではないかと考えている。また、積乱雲は周りの大気環境場に変化をもたらすため、積乱雲を介して介入よりも空間スケールの大きなシグナルを得ることが出来る。つまり、気象を直接改変する力には限界があるが、この「条件付き不安定」という性質を上手く活用できれば、介入効果を増幅させることが出来る。

以上は気象学的な観点からの戦略であるが、気象制御の実現には、さまざまなボトルネックを解消する必要がある。例えば、介入を最適化する数理・情報科学、集中豪雨の予測可能性・制御可能性を調査する気象学、気象介入を実現する工学、法的課題を解消する法学、責任ある研究開発を主導し社会合意形成を図る社会科学など、関連する問題の全てを解決する必要がある。プロジェクトでは、2024年11月現在、この5つの課題に対して10の研究開発項目を立て、25名の課題推進者を率いて研究開発を進めている（図2）。2050年の目標実現からバックキャストした目標として、現在は2027年までに下記の目標実現に向けて研究開発を進めている。

- ・介入効果を最大化する数理手法を開発して介入の位置等を最適化し、陸域の集中豪雨が緩和可能であることを計算機上で実証する。
- ・実現可能な介入手段候補を1つ以上確定し、付随する倫理的・法的・社会的課題が解決可能である見通しを示す。
- ・日本全国の水害被害推定モデルの開発を完了する。

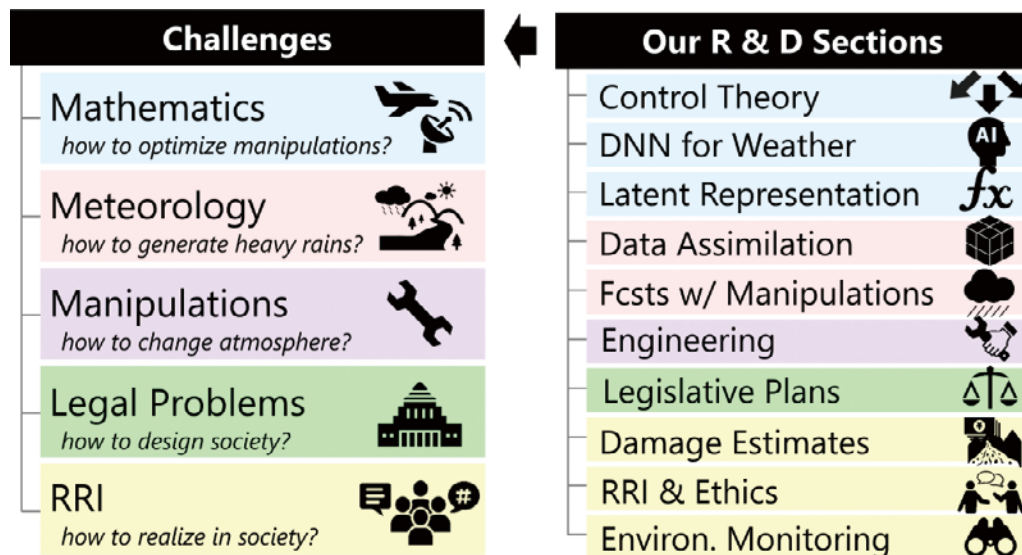


図2 ムーンショットプロジェクトにおける研究開発課題

Fig. 2 Research and development sections of our Moonshot project.

3 研究の実施方法

これまでの紹介はプロジェクトの全容であったが、以降はプロジェクトの中で、千葉大学・環境リモートセンシング研究センター・環境予測科学研究所が担っている「気象制御計算の計算量削減」の研究について紹介する。これまで天気予報では、データ同化に関する研究が進められ、過去の時刻からの数値予報モデルの予測値と観測を最適に結合し、より良い天気予報の実現が図られてきた。一方で気象制御では、「より良い未来に導くために、いまどのような介入をすべきか」という逆問題を解く必要がある。これまでの研究から、この逆問題はデータ同化と非常に親和性が高いことが分かっており^[1]、データ同化の発展として、非線形制御で最も一般的な手法であるモデル予測制御が実現できることも理解されてきた。

計算負荷の低い制御入力の実算手法の開発と、制御入力計算の高速化技術の開発は、共に本プロジェクトが実現を目指す、「海域での豪雨生成・陸域での降雨量低減による豪雨被害低減」を計算機上で実証し、また社会実装するために不可欠の技術となる。非線形力学系制御は、モデル予測制御が数理的・工学的に確立されているが、制御探索次元が高次元であるため、繰返し計算量の膨大さがボトルネックとなりうる。有効な制御探索次元の削減手法と、計算速度の高速化技術の開発は同時進行が求められる。気象制御の難しさは、「ある介入が望ましい変化をもたらすと想定できる接線系近似の範囲内」では、大きな気象変化を起こせない事にある。そこで、より長時間のアンサンブル予測を実施して望ましい気象場とそこに至るトラジェクトリを発見（予見）し、そのトラジェクトリに対してモデル予測制御をかける手法を考案している。低次元力学系モデルを用いた概念実証において、この手法が有効に働くことは示されており、現在は下記の研究について研究を進めている。

- ・望ましいトラジェクトリを発見するアンサンブル生成
- ・望ましいトラジェクトリを判断する手法の開発
- ・データ同化計算の高度化・高速化

4 研究成果

これまでに得られたプロジェクト成果の中で、インパクトの高い研究成果についていくつか紹介する。「望ましいトラジェクトリを発見するアンサンブル生成」では、近年急速に発達の進む、AI天気予報モデルを用いた大アンサンブル生成を進めている。2022年12月に Google DeepMind 社が AI 天気予報モデル GraphCast を発表して以来、2024年までの間に多くの AI 天気予報モデルが発表されてきた。その一方で、AI 天気予報モデルとデータ同化を組み合わせる研究は限定的である。我々は AI 天気予報モデルを用いたデータ同化システムの開発に着手しており、具体的には、Microsoft 社の ClimaX を AI 天気予報モデルとして活用し、局所アンサンブル変換カルマンフィルタ・LETKF を同化フィルタとして実装した^[2]。これは AI 天気予報モデルとデータ同化を組み合わせた研究としても世界で5例目、アンサンブルデータ同化に限っては世界初となる画期的な研究成果である（図3）^[2]。

また、「望ましいトラジェクトリを判断する手法の開発」としては、応用数理手法であるクラスタリングやランドスケープ解析を気象予報データに適用する研究を進めている^[3]。ランドス

ケーブ解析は1957年、C. H. Waddingtonにより生物学分野で開発された手法であり、細胞が分化する過程を、標高の高いところから低いところへ転がり落ちるボール（potential flow）に例えて potential flow によって表現するものである。ランドスケープ解析におけるボールを熱帯低気圧とみなし、その進路を変更させるというエネルギー効率の高い制御入力地点を、ランドスケープの鞍点として求めることにより、気象学分野への応用が可能だと考えてその手法を開発した。気象庁のメソアンサンブル予報モデル熱帯低気圧の軌道予報データを使用し、potential flow の獲得に成功している（図4）。これから、北上と東進の2つの主要な経路（あるいはアトラクタ）が発見され、この2つのアトラクタの間に分水嶺（赤い点線；Separatrix）の存在が確認され、分水嶺の始点に鞍点（ピンクの星）が発見された。この点は、気象制御入力を与えるのに適する地点である可能性を示すものである。

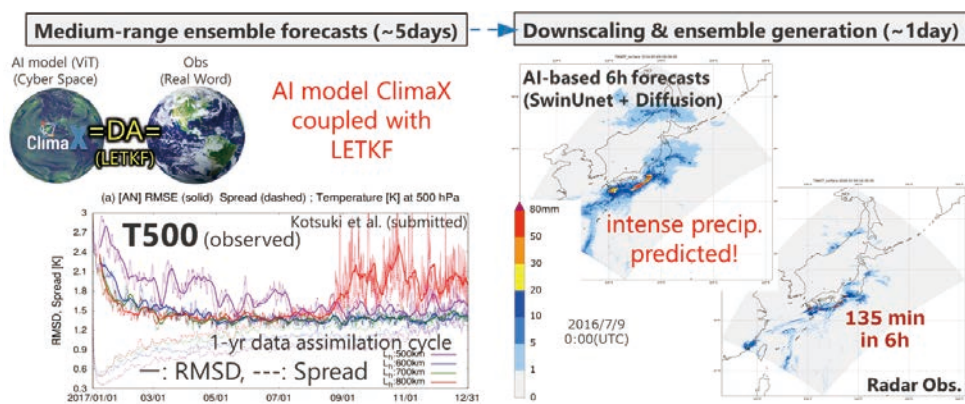


図3 深層学習に基づくAI天気予報モデルを用いた大アンサンブル生成

Fig. 3 Generations of large-ensemble weather predictions based on AI-based weather prediction models.

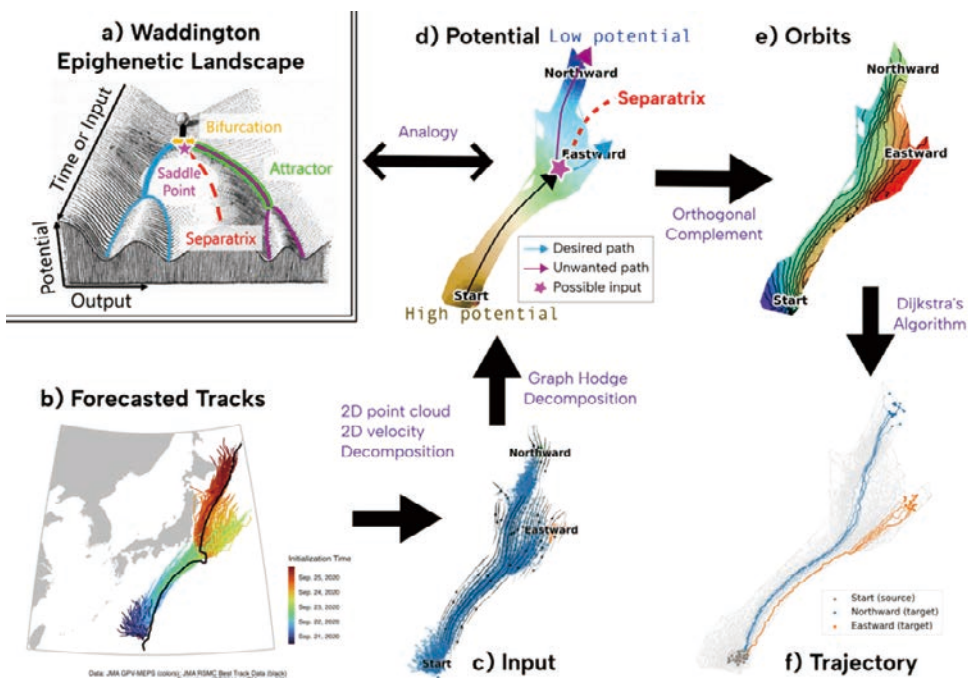


図4 2020年台風12号のアンサンブル予報データに対して実施したランドスケープ解析

Fig. 4 A landscape analysis based on ensemble prediction path data for Typhoon Dolphin in 2020.

5 研究プレゼンスの向上

歴史を振り返ると、データ同化は、アポロ計画におけるロケットの軌道制御に用いられた Kalman Filter に端を発する。このロケットの軌道制御では、(1) ロケットの位置の推定（データ同化）と、(2) 最適な操作の特定（制御）、の両方の問題を解こうとしていたが、時代と共に数値天気予報ではデータ同化が深く進展した。時代を経て天気予報で発展したデータ同化を基盤に、再度 (2) を実現しようと試みている。気象制御の実現は、現実世界と計算世界を双方向に繋ぐ、地球デジタルツインとしてみなすこともできる（図5）。従来の地球デジタルツインでは、観測世界を計算世界に入力して一般化同期させる一方向のみを扱っていたが、気象制御により地球科学における新たなパラダイムを切り開こうとしている。

我が国の気象災害は激化の一途をたどっており、その様な Big Issue に駆動されて、気象制御研究は進んでいる。この問題の解決は、地球科学者のみによる解決は不可能であり、気象学・防災学・計算科学・情報科学・数学・工学・法学・倫理学・社会学に跨る研究開発を、産・官・学の垣根を超えて推進している。社会的な関心も強く、新聞・テレビ・出版社などからも多くの報道をして頂いている。気象制御の実現を図り、科学的・社会的にインパクトある成果を挙げることで、その中心にある千葉大学・環境リモートセンシング研究センターの研究プレゼンスの向上に貢献していきたいと考えている。

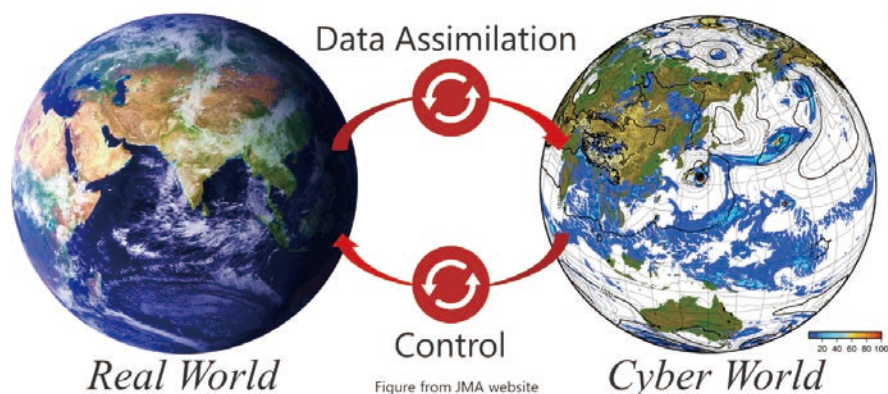
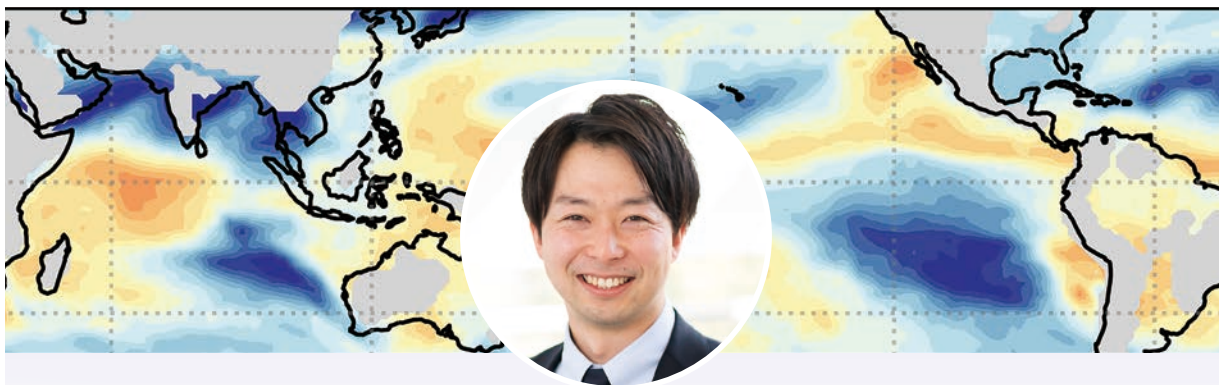


図5 現実世界と計算世界を双方向に繋ぐ地球デジタルツイン

Fig. 5 Weather control as the Earth digital twin.

6 引用文献

- [1] Kawasaki, F. and Kotsuki, S. (2024): Leading the Lorenz-63 system toward the prescribed regime by model predictive control coupled with data assimilation. *Nonlin. Processes Geophys.*, **31**, 319-333.
- [2] Kotsuki, S., Shiraishi, K. and Okazaki, A. (2024): Integrating Ensemble Kalman Filter with AI-based Weather Prediction Model ClimaX. *arXiv*.
- [3] Oettli, P. and Kotsuki, S. (2024): An Objective Detection of Separation Scenario in Tropical Cyclone Trajectories Based on Ensemble Weather Forecast Data. *J. Geophys. Res.*, **129**, e2024JD040830. doi: 10.1029/2024JD040830



水同位体によるシームレス気象・気候予測の発展

Revolutionize Seamless Weather-to-Climate Prediction with Stable Water Isotopes

岡崎 淳史 准教授

Okazaki Atsushi, Associate Professor

特色ある研究の概要

我々の研究室では日々の天気予報や気候予測の精度向上を目指した研究を行っている。この実現には、気象観測技術の高度化はもちろんのこと、正確な数値モデル、観測とシミュレーションを最適に融合するアルゴリズム、両者を比較可能にする観測シミュレータなど、多岐に渡る研究技術開発が必要となる。また優れた数値モデルを開発するには、対象とする現象を支配する素過程の理解が欠かせない。当研究室ではこれら全ての要素に対して、気象学・気候学や統計学、計算科学の知識と技術を駆使して取り組んでいる。

Our laboratory is researching to improve daily weather forecasts and climate prediction. In achieving this, it is essential to advance a diverse range of research and technological developments, such as precise numerical models, algorithms that optimally combine observations and simulation, and observation simulators that enable direct comparison, as well as advanced observation techniques. Additionally, developing excellent models necessitates understanding the fundamental processes governing the phenomena. We are tackling all the topics with the knowledge and techniques from meteorology, climatology, statistics, and computational science.

1 はじめに

地球温暖化の進行により各地の気温や海水面積の記録は更新され続けており、地球が“未知の領域”に突入したと専門家らは警鐘を鳴らす。これとともに台風や豪雨などによる風水害が頻発・激甚化しており、ソフト・ハード両面から対策を進めることが喫緊の課題となっている。極端風水害による被害軽減には、短い時間スケールでは天気予報の精度向上などのソフト対策が必須である。しかし、どれほど天気予報の予測精度が向上したところで社会が許容できるレベルを超えたハザードに見舞われれば被害は発生する。災害に対する脆弱性を小さくするには、ダム洪水調節容量の増設や堤防のかさ上げなどのハード対策が必要であるが、適切な対策を行うには信頼性の高い温暖化予測情報が求められる。その実現には気候システム及びそれを構成するサブシ

システムの理解を深める必要がある。

気候システムには、エルニーニョ・南方振動現象のように数年周期で変化するものもあれば、氷期－間氷期サイクルのように数万年という長い時間をかけて変化するものもある。このようにとても長い周期をも含む気候システムを理解するには、我々人類が有する測器観測だけでは到底足りず、地質学的知見をもとに紐解く必要がある。以上のように、極端風水害の被害軽減は理工学分野に関連するものだけでも非常に多くの分野に跨る課題である。

2 研究の狙い・上位目標

我々の研究室では、極端風水害のうち特に水害による被害軽減を目指して、以下のような研究を行っている。

- ・日々の天気予報などの短い時間スケールの予測精度向上
- ・温暖化予測などの長い時間スケールの予測精度向上及び影響評価
- ・気候システム及びそれを構成するサブシステム（主に大気・陸面）の理解深化

加えて、多くの水害が河川を通じて発生することから、近年では氾濫を含めた予測・影響評価にも取り組んでいる。また、災害につながる気象現象自体の回避や軽減を可能とする制御技術の研究開発にも取り組み始めたところである。以上のような多角的アプローチと多分野融合により、大雨や旱魃などによる気象災害ゼロの世界、水をめぐる争いから解放された世界の実現を目指している。

3 研究の実施方法

予測精度向上には、気象観測技術の高度化はもちろんのこと、正確な数値モデル、観測とシミュレーションを最適に融合するアルゴリズム、両者を比較可能にする観測シミュレータなど、多岐に渡る研究技術開発が必要である。当研究室ではこれら全ての要素に対して、気象学・気候学や数理科学、計算科学の知識と技術を駆使して取り組んでいる。

気候システム及びそのサブシステムにおける素過程の理解深化については、水同位体を利用した研究も行っている。水同位体は自然界に微量かつ安定的に存在する少しだけ重い水（e.g., HDO, H_2^{18}O ）である。重い水は普通の水（i.e., H_2^{16}O ）に比べて蒸発しにくく、凝結しやすいという特性を持つ。このため、水蒸気塊が相変化を起こすと両者の割合には偏りが生じる。この偏りの程度は、気温など周囲の環境に応じて変化する。このため、雨の中に含まれる重い同位体の割合を調べれば、どのような環境で相変化を経てきたのかが明らかにできる。この特徴を利用して、水同位体を用いた水循環や降水過程のメカニズム解明にも取り組んでいる。

4 研究成果

4.1 モデル開発と衛星観測との比較

温暖化予測における不確実性の大きな原因のひとつが雲・降水過程である。中でも下層雲は複雑な物理過程の微妙なバランスで形成・維持されており、気候モデルによる再現や予測が難しいため、温暖化予測の不確実性の主要因となっている。下層雲の形成には、浅い滞留が大きな役割

を果たすが、大気がどれほど鉛直方向にかき混ぜられたかを直接的に観測することは難しい。これに対して、我々は水同位体の振る舞いを導入した二つのモデル (MIROC5-iso^[1], MIROC6-iso^[2]) と衛星観測の比較から、水蒸気中の同位体情報を用いて大気のかき混ぜ効果が定量可能であることを見出した (図1)。このことは、水同位体情報によるモデルパラメタの拘束が可能であることを意味し、水蒸気同位体観測によって今後の予測高度化が一段と進むことが期待される。

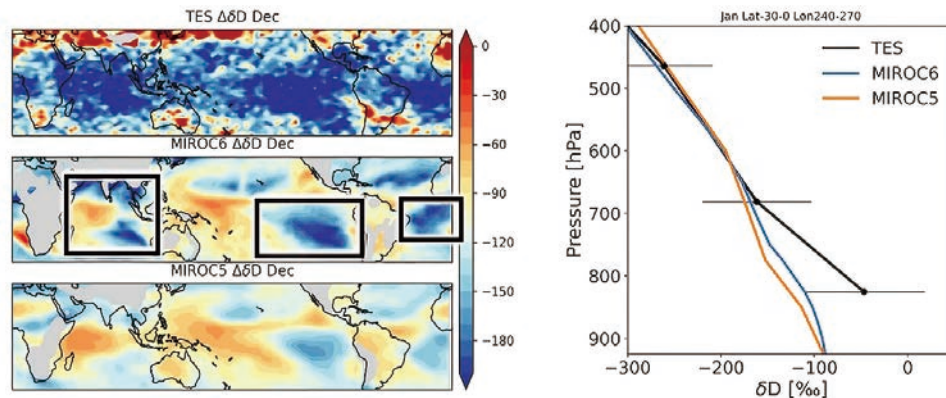


図1 水蒸気中の重水素同位体比 (‰) の二高度差の (左段上) 観測と (左段中・下) モデルの比較。黒枠で囲まれた領域では、(左段中) 鉛直かき混ぜ効果を考慮した場合が、(左段下) していない場合に比べて、より観測に近い様子が見てとれる。(右) は黒枠領域平均の水蒸気同位体比の鉛直分布。Averaging Kernel を適用していないためモデル・衛星のずれが大きいことに注意。

Fig. 1 Difference between 2-level HDO isotope ratio (‰) observed by (left upper) TES, (left middle) simulated by MIROC6-iso, and (left bottom) MIROC5-iso. Right panel shows the vertical profile of HDO.

4.2 古気候

測器観測がカバーする年代を超えて過去の気候がどのようなであったかを明らかにする古気候復元は、気候システムを理解する上で欠かすことができない。しかし、これまでの古気候復元研究は、我々が手にし得る情報を十分に活用しているとは言い難く、過去の気候変動の全容は未だ描き切れていない。我々の研究室では、天気予報分野において高度に発展するデータ同化のエッセンスを応用することで、これまでにない精度で過去千年の気候変動を復元することを目指した研究を行っている。

以下に動的復元により復元精度が向上した例を示す^[3]。これまでの気候復元は、気温などの気象要素と、過去の気候を記録する地質学の手がかりである気候プロキシの間に静的な関係を仮定していた。一方、この関係性は定常ではないことが過去の研究からも明らかになっている。しかし、気候プロキシのみから関係性の変化を全地点で得ることは困難であった。本研究では両者の関係性を気候モデルシミュレーションから取得し、これをデータ同化に用いることで気候復元精度が向上する可能性を示した (図2)。気候の予測可能性との関係性を調査したところ、予測可能性の長さが、気候プロキシが代表する時間より長い場合、動的手法の方が優れていることがわかった。また、予測可能時間が長ければ長いほど、動的手法の復元精度がより良くなることもわかった。これは動的手法が、気候の初期値依存性 (いわゆるメモリ) を利用しているためであ

る。動的手法の実現には計算コストの課題や複数サブシステムが複雑に結合するシステムへの応用という技術的困難を伴うが、今後の気候復元研究の道筋を示すことに成功し、価値のある研究であると自負している。

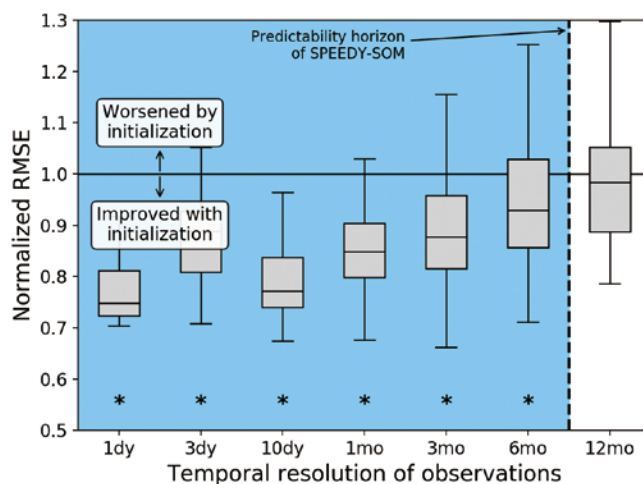


図2 簡易気候モデルSPEEDY-SOMを用いた同化する観測の時間解像度ごとの地表気温復元精度の比較。縦軸の値が1より小さければ静的手法より優れていることを示す。*は静的手法と動的手法の差が有意 ($p < 0.01$) であることを示す。

Fig. 2 Global mean RMSE of forecasts with assimilation of time-averaged data normalized by that of forecasts without DA. Normalized RMSE less than 1 indicates the skill of forecasts with DA is better than that without DA and vice versa. Asterisks (*) show that the RMSE of the forecast with DA is significantly different from that without DA at the significance level of 0.01.

4.3 衛星シミュレータ開発とインパクト・仕様・評価

日々の天気予報において衛星による気象観測は重要な働きをする。一般に衛星の打ち上げはコストが高いため、計画時からその衛星によってどのような観測が得られるのか、どのような影響がもたらされるのかを明らかにすることが重要である。我々の研究室では、衛星観測シミュレーションと、観測システムを模擬した観測システムシミュレーション実験 (OSSE) により、天気予報に貢献することを目指している。JAXAではTRMMやGPM主衛星後継機として、観測頻度が高い静止軌道降水観測 (GPR) が検討されているが、例としてこれについて行った研究を下に示す。

衛星シミュレーションからは、現実的な水平解像度である20 km解像度では、クラッターの影響を強く受けるため、大気下層3 kmの観測は困難であることが示された^[4]。一方で、台風を対象に行ったOSSEからは、GPR同化により台風の強度や台風に伴う降水量の予測精度が向上することが示された (図3)^[5]。特に、細かくビームを打ち込むオーバーサンプリング (青線) の有効性が示された。

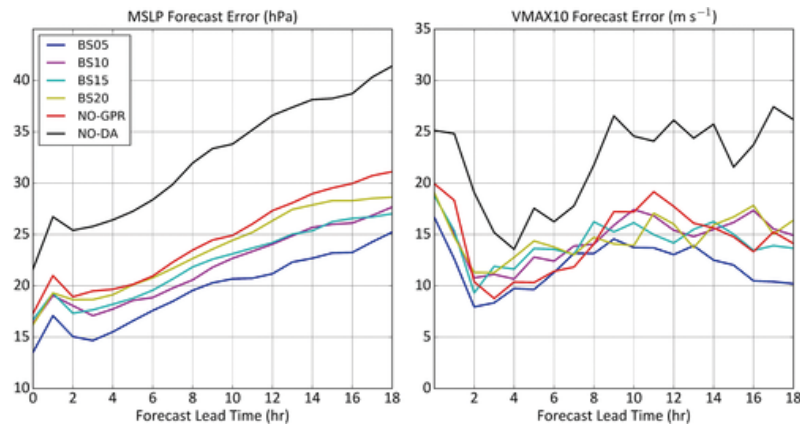


図3 (左) 台風中心気圧(hPa)、(右) 10 m最大風速 (m) の予測誤差。黒先はGPR同化なし、その他の線はGPR同化ありの場合を示す。色の違いはGPR水平解像度及びサンプリング幅を表す。

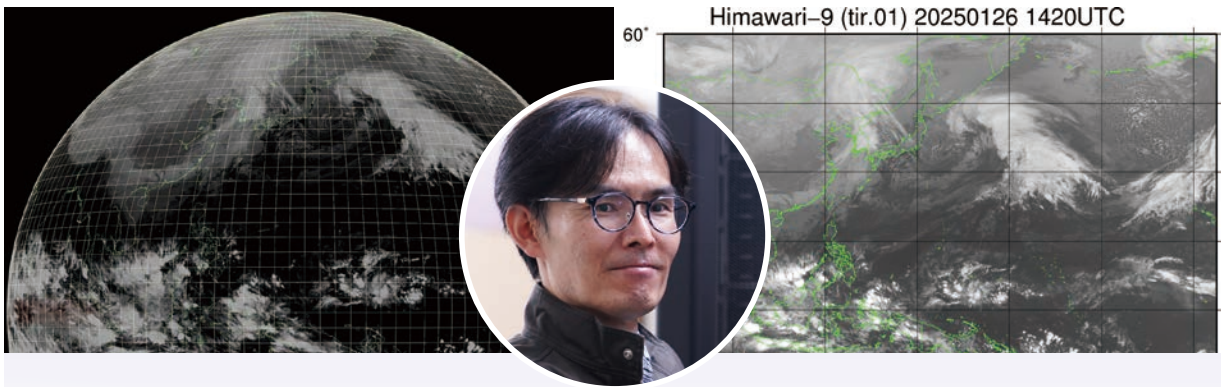
Fig. 3 Forecast errors at each lead time for minimum sea-level pressure (hPa) and maximum 10-m wind speed (m/s).

5 研究プレゼンスの向上

上述のように我々の研究は多岐に渡るが、その根幹をなすのは水同位体モデリングである。前者については、2024年に「第一回水同位体GCM研究会」を主催し、国内の研究を牽引している。また、国際的な同位体気候モデル相互比較プロジェクトである Stable Water Isotope Inter-comparison Group, Phase 3 (SWING3) をリードする立場にあり、国内・国際的に水同位体モデリング研究の発展に貢献している。近年の衛星観測による水蒸気同位体観測における進展を鑑み、今後は衛星観測と同位体気象・気候モデルの融合により同位体モデリング研究を一段上のステージに引き上げ、日々の天気予報から温暖化予測まで長短の予測精度向上に貢献するとともに、水同位体研究拠点形成による研究プレゼンス向上に努めたい。

6 引用文献

- [1] Okazaki, A., and Yoshimura, K. (2019). Global evaluation of proxy system models for stable water isotopes with realistic atmospheric forcing. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, **124**, 8972–8993.
- [2] Li, Y., Cauquoin, A., Okazaki, A., and Yoshimura, K. (2024). Development of the isotope version of the fully coupled climate model MIROC6-iso, *Journal of JSCE*, **12** (2).
- [3] Okazaki, A., Miyoshi, T., Yoshimura, K., Greybush, S. J., and Zhang, F. (2021). Revisiting online and offline data assimilation comparison for paleoclimate reconstruction: An idealized OSSE study. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, **126**, e2020JD034214.
- [4] Okazaki, A., Honda, T., Kotsuki, S., Yamaji, M., Kubota, T., Oki, R., Iguchi, T., and Miyoshi, T. (2019). Simulating precipitation radar observations from a geostationary satellite, *Atmos. Meas. Tech.*, **12**, 3985–3996.
- [5] Taylor, J., Okazaki, A., Honda, T., Kotsuki, S., Yamaji, M., Kubota, T., et al. (2021). Oversampling reflectivity observations from a geostationary precipitation radar satellite: Impact on typhoon forecasts within a perfect model OSSE framework. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, **13**, e2020MS002332.



ひまわり 8/9 号を代表とした第3世代静止気象衛星の 利活用に関する研究

Research on the Use of Third-generation Geostationary Meteorological Satellites,
Specifically Himawari 8/9 Satellites

樋口 篤志 教授

Higuchi Atsushi, Professor

特色ある研究の概要

時間変化の激しい現象をモニタリングするには静止気象衛星が最適である。2015年に正式運用を開始したひまわり 8 号は大幅な機能強化を果たし、第3世代静止気象衛星と呼ばれる。気象庁から提供されるひまわり8/9号を適切にアーカイブ、処理を行った上で研究コミュニティにデータ（幾何補正済 gridded data）を安定的に供給する。ひまわり8/9号データを用いた環境研究を推進した。リアルタイム性が高いため、可視化インパクトは高いことからリアルタイム処理・可視化に関わる研究・アウトリーチも展開した。

Geostationary meteorological satellites are particularly well-suited for monitoring rapidly changing phenomena. Himawari 8, which began operations in 2015, is a third-generation geostationary meteorological satellite with significantly enhanced capabilities. It provides a stable supply of geometrically corrected gridded data to the research community, thanks to the proper archiving and processing of data from the Himawari 8/9 satellites managed by the JMA. This gridded data has been instrumental in promoting environmental research. Our efforts in research and outreach related to real-time processing and visualization have also evolved due to the impactful nature of visualizing this high-frequency data.

1 はじめに

激しく変化する大気現象をタイムリーに監視するためには、常に同じ場所から観測するように見える静止軌道からの観測（静止気象衛星）が最適である。静止気象衛星に搭載された可視・赤外イメージャの観測範囲は地球表面の約1/3であり、全球をくまなく監視するためには少なくとも4基から5基の静止気象衛星による常時観測が必要となる（図1、およびVLコラムを参照）^[1]。

2015年7月に正式運用を開始したひまわり 8 号は、これまでのひまわり 7 号（MTSAT-2）と

比べ大幅な機能強化を果たし^[2]、第3世代静止気象衛星と呼ばれる^[3]。第3世代の静止気象衛星の登場は大気分野のみならず、地球環境モニタリングに関わる幅広い分野にブレークスルーをもたらす。一方、大量の観測データが常時供給されることから、ビックデータ処理の観点からも同じくブレークスルーが必要とされる。

2 研究のねらい・上位目標

そのため、第3世代静止気象衛星データの適切なハンドリング、利活用は重要である。VLでの実績を踏まえ、CEReSはその一翼を担うことが求められる。ここでは；

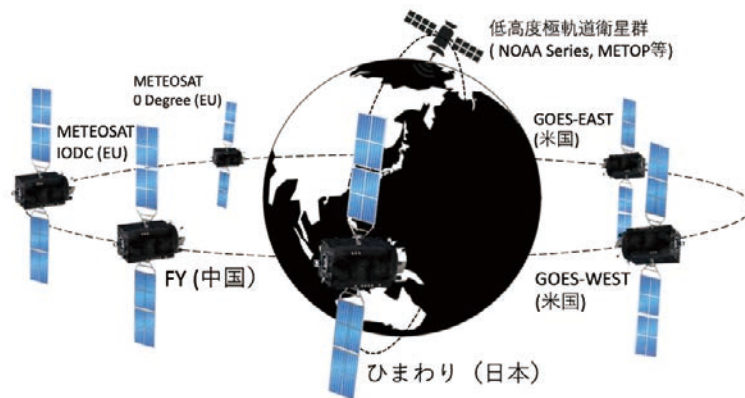


図1 世界の気象観測衛星群の模式図^[1]

Fig. 1 Illustration of meteorological satellites in the world^[1].

- ・気象庁から提供されるひまわり8/9号を適切にアーカイブ、処理を行った上で研究コミュニティにデータを安定的に供給する。
- ・ひまわり8/9号データを用いた環境研究を推進・牽引する。リアルタイム性が高いため、可視化インパクトは高いことからリアルタイム処理・可視化に関わる研究・アウトリーチも展開する。

3 研究の実施方法

実施にあたりデータ量の飛躍的な増加に対応する必要があるため、インフラ整備が必須となる。そのため、ひまわり8号正式運用前にサーバ室再構築を行なった(データベースのコラムを参照)。ストレージ・サーバ共に未経験の容量とアクセスのため、安定運用に向けた試行錯誤が2015年度に半年ほど続いた。その結果、気象庁が提供するデータのアーカイブおよびコミュニティへの提供が安定して行えるようになった。

4 研究成果

4.1 基盤データの提供

まず緯度経度直交座標系に変換したデータ (gridded data) の準リアルタイムでの処理・提供(図2)から始めた。MTSATと異なり、短期間で多くのデータが提供されることから高速処理、

特に並列処理は必須である。ここでは当時JAXA 特任研究員であった竹中博士が放射プロダクト用に開発した高速幾何補正プログラム^[4]を移植することで対応した。初期バージョンでは1シーンの処理計算が約40秒で終了し、10分に一度送られる全球データ (FD) に対し時間的余裕が十分に得られた。幾何補正精度検証も行い、プロダクトの精度担保の役割を担っている^[5]。同様の幾何補正アルゴリズムはNASA Ames研究センターでの幾何補正済データセット生成でも採用され^[6]、汎用性が高い。

4.2 高時間分解能を活かした解析

高頻度観測を活かした解析を実施した。防衛大学校の小林文明教授を中心に観測に基づく千葉・房総地域での雲・降水に関する総合解析を実施している。ひまわり8/9号の高い観測頻度により、雲の生成・発達等ライフステージの一部始終を観測できることから、日本域観測[JP]から得られた2.5分毎の雲の光学特性^[7]と降水セルの3次元観測が30秒で可能なフェーズドアレイ気象レーダ^[8]による同一対象の連続モニタリングが可能となった(図3)^[3]。X帯レーダで検出される(1stエコー、図3下の0分)前の段階から、ひまわりが雲の発達過程を捉えている。

機械学習の一つであるランダムフォレスト法を用いてひまわり8号赤外データにGPM/DPR降水データを学習させることにより、背の低い雨の推定に成功した(図4)^[9]。ひまわり8/9号で新たに追加された水蒸気バンドが乾燥空気の貫入に伴う特徴的な水蒸気の鉛直プロファイルを副次的に反映した可能性を示した。

第3世代静止気象衛星群は搭載センサの差異はあるものの、バンド数増加でMODIS等中解像度極軌道衛星で出来た地球環境モニタリングが可能となった。環境モニタリングを災害モニタリ

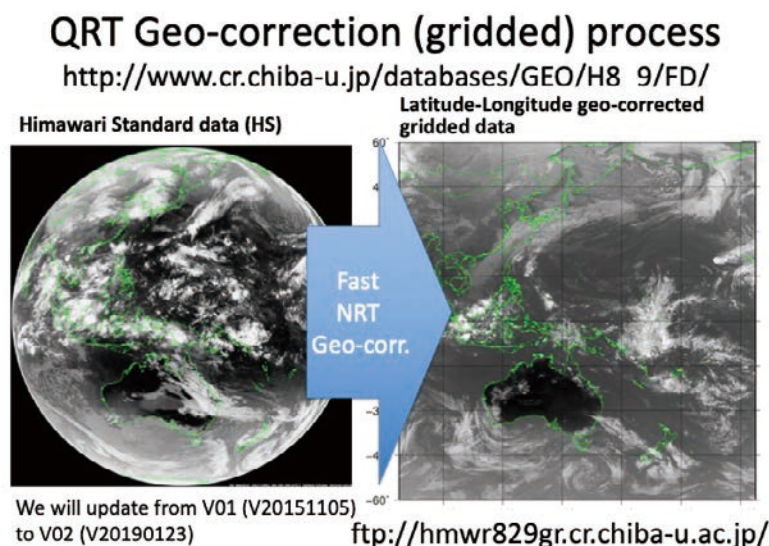


図2 全球観測データ(ひまわりスタンダード、HS)から準リアルタイムで緯度経度直交座標系に幾何補正するプログラムを開発^[4]・運用、および精度検証^[5]を行った。

Fig. 2 We developed a program that performs geometric correction from global observation data (Himawari Standard, HS) to a latitude/longitude orthogonal coordinate system in near real time^[4], operated it, and verified its accuracy^[5].

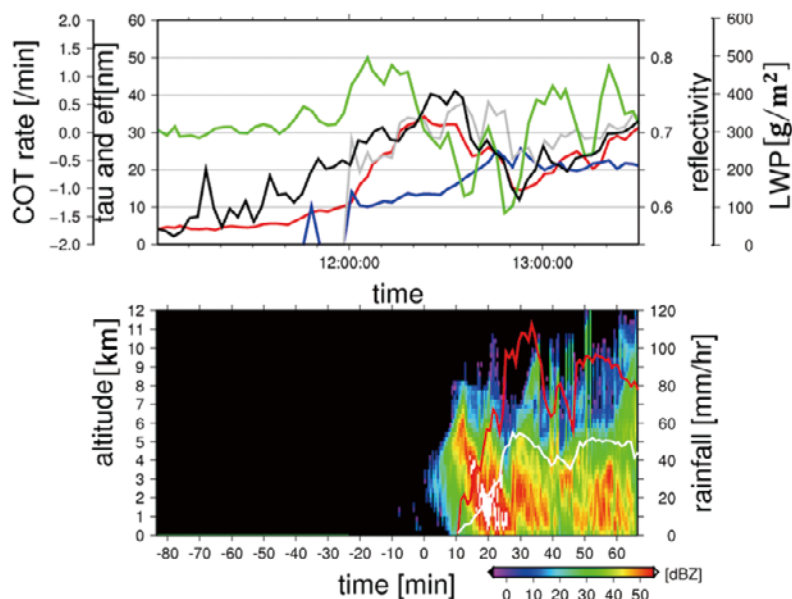


図3 2016年8月4日房総半島に発生した積雲～積乱雲を対象とした、上：ひまわり8号より観測・推定された雲の各種光学特性（可視反射率（黒）、光学の厚さ（赤）とその時間変化（緑）、雲粒の有効半径（青））。および下：PAWRのレーダ反射因子（カラー）、XRAIN地上最大降水強度（赤）、および平均降水強度（白）。

Fig. 3 Time series of Himawari-8 captured cloud optical properties from 11:03 to 13:33 Japan Standard Time (JST), 4 August 2016, at 34.4° N and 140.00° E, Boso Area, Japan (top panel). Himawari-8 AH band 3 (red) reflectivity (black line), effective radii of clouds (eff, unit nm, blue line), liquid water path (LWP, unit g m^{-2} , gray line), the optical depth of cloud (tau, unit dimensionless, red line) and its time evaluation (cloud optical thickness, same as the optical depth of cloud (COT) rate, unit min^{-1} , light green line) analyzed by the cloud microphysical properties algorithm (CAPCOM). Time-height section of Phased Array Weather Radar (PAWR) radar reflectivity (colored, in dBZ), area maximum rain rate (mm h^{-1} , red line), and area aggregated rain rate (mm h^{-1} , white line) observed by the eXtended RADar Information Network (XRAIN) (bottom panel). Plotted variable times are synchronized, and the X-axis in the bottom panel is normalized at the first echo detection by PAWR (12:34:49 JST).

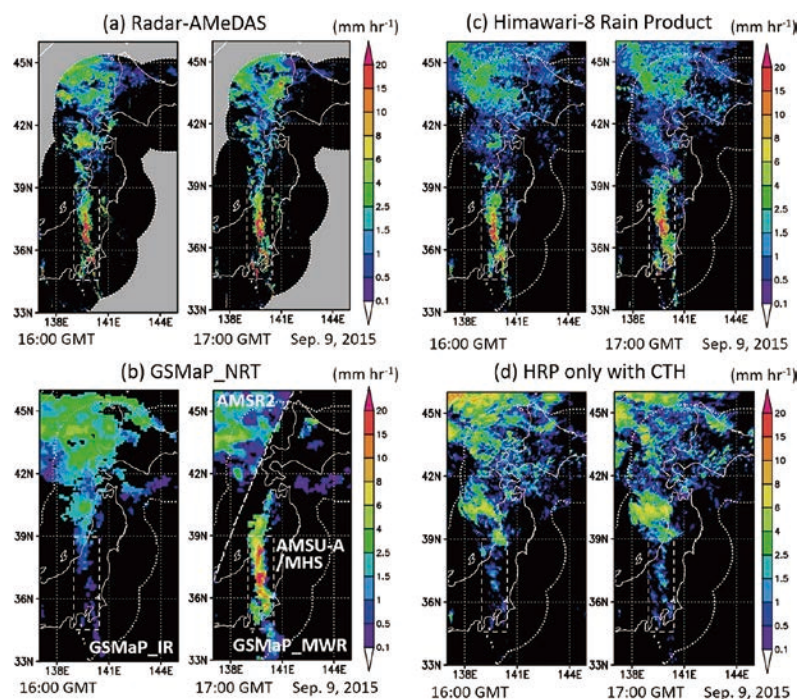


図4 2015年9月15日に発生した線状降水帯の例。(a) Radar-AMeDAS、(b) GSMapによる推定。左は静止気象衛星IRデータのみによる推定で、線状降水帯が再現されていない。(c) ひまわり8号データマルチバンドデータを機械学習させ推定した降水強度。線状降水帯が再現されている。(d) ひまわり8号10 μm 輝度温度のみで推定したもの。(b) 左と同様の結果となった^[9]。

Fig. 4 An example of a linear precipitation belt that occurred on September 15, 2015. Estimation by (a) Radar-AMeDAS and (b) GSMap. The image on the left is an estimate based only on geostationary meteorological satellite IR data, and linear precipitation bands are not reproduced. (c) Precipitation intensity estimated by machine learning from Himawari-8 multiband data. A linear precipitation belt is reproduced. (d) Estimated using Himawari-8 10 μm brightness temperature only. (b) Same result as left^[9].

ングと絡めたレビューをまとめた^[3]。例として、図5に国内で多くの浸水被害を出した2019年台風19号上陸前後のNatural Color RGBを示す。上陸後の画像では1.6 μm 水バンドの変化から冠水域で青みが強く見えており、災害モニタリングのポテンシャルを示している^[10]。さらに、雲で覆われる頻度の高いアマゾン熱帯雨林でのNDVIの明確な季節変化の抽出に成功する^[11]等、陸域モニタリングの成果が出つつある。詳しくは市井教授による記載を参照して頂きたい。

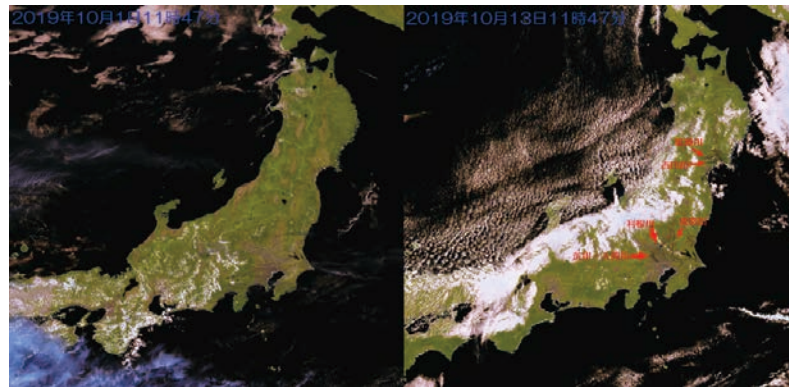


図5 (左) 2019年台風19号上陸前 (10/1) ひまわり8号 Natural Color RGB合成図、(右) 上陸後 (10/3) の合成図。左と比較して冠水域で青みが強く見える^[10]。

Fig. 5 (Left) Himawari-8 natural color RGB composite image before 2019 Typhoon No. 19 landfall (October 1), (Right) composite image after landfall (October 3). Compared to the left, the flooded area looks bluer^[10].

5 研究プレゼンスの向上

ひまわり8/9号のすごさを体感してもらうには、高い解像度かつ動画で見せることができる装置を人が多く集まる場所に設置し常時稼働させることが有効である。そのため、学長裁量経費により4Kディスプレイ6枚で8k x 6kの動画が再生できるPCを導入し、図書館オープンスペースに設置することで来訪者全てが体感できるようになった^[12]。スマートフォンで誰でもひまわり画像をインタラクティブに閲覧できるエコシステムの構築は情報通信技術 (ICT) の視点から重要である。情報通信機構 (NICT) は高速で可視化可能なシステムである「ひまわりリアルタイム Web」を構築し^[13, 14]、初期段階から CERE S は開発・運用に貢献している。

豊嶋特任研究員 (執筆時現在立正大学助教) の尽力により、ひまわり8号正式運用前からひまわりが捉えた特徴的な現象を YouTube 動画に上げており、この活動もひまわりと CERE S のさらなる認知に貢献した。その結果、多くのひまわり動画が NHK を中心としたテレビ放送で利用された。さらに2015年10月から翌年9月末までの1年間、毎日新聞全国版で毎週連載された「ひまわり EYE」の企画・監修を務めた^[15]。

次期ひまわり (ひまわり10号) は気象庁が仕様を策定・導入を行うが、導入前に有志による検討がなされ、参考意見という形にはなるが研究コミュニティが望むひまわりイメージの仕様について取りまとめ^[16]、一部は実際の仕様に反映された。ひまわり8/9号での協働を通じ、現業機関と研究コミュニティの距離は近くなったと実感している。

6 引用文献

- [1] 樋口篤志 (2022): 10-26 世界の気象衛星観測網, pp.548-549, 「リモートセンシング事典」日本リモートセンシング学会編, 752p, ISBN 978-4-621-30776-2.
- [2] Bessho, K., et al. (2016): An introduction to Himawari-8/9 – Japan’s new-generation geostationary meteorological satellites. *J. Meteor. Soc. Japan*, **94**, 151-183.
- [3] Higuchi, A. (2021): Toward more integrated utilizations of geostationary satellite data for disaster management and risk mitigation, *Remote Sens.*, **13**, 1553.
- [4] Takenaka, H., et al. (2020): Development of geolocation correction for geostationary satellite observation by phase only correlation method using visible channel, *Remote Sens.*, **12**, 2472.
- [5] Yamamoto, Y., et al. (2020): Geolocation accuracy assessment of Himawari-8/AHI imagery for application to terrestrial monitoring, *Remote Sens.*, **12**, 1372.
- [6] Wang, W., et al. (2020): An Introduction to the Geostationary-NASA Earth Exchange (GeoNEX) Products: 1. Top-of-Atmosphere reflectance and brightness temperature, *Remote Sens.*, **12**, 1267.
- [7] <https://amaterass.org/>
- [8] Morotomi, K., et al. (2020): Evolution of a tornado and debris ball associated with super Typhoon Hagibis 2019 observed by X-band Phased Array Weather Radar in Japan, *Geophys. Res. Lett.*, **47**, e2020GL091061.
- [9] Hirose, H., et al. (2019): High temporal rainfall estimations from Himawari-8 multiband observations using the random-forest machine-learning method, *J. Meteor. Soc. Japan*, **97**, 689-710.
- [10] 樋口篤志 (2025): 2-3-8 人工衛星観測による台風通過後の被害の把握, 「台風の事典」(印刷中).
- [11] Hashimoto, H., et al. (2021): New generation geostationary satellite observations support seasonality in greenness of the Amazon evergreen forests, *Nature Comm.*, **12**, 684.
- [12] マイナビニュース：ひまわり8号に関する千葉大CEReSの仕事, 4k×6ディスプレイ構築に関する情報(ユニットコム[パソコン工房]事例) <http://news.mynavi.jp/kikaku/2015/08/26/002/>
- [13] Murata, K.T., et al. (2018): A web-based real-time and full-resolution data visualization for Himawari-8 satellite sensed images, *Earth Sci. Inform.*, **11**, 217-237.
- [14] Pavarangkoon, P., et al. (2020): Development of international mirroring system for real-time web of meteorological satellite data, *Earth Sci. Inform.*, **13**, 1461-1476.
- [15] 樋口篤志 ほか (2018): 第1章 ひまわり8号が観測した地球の姿, pp. 1-9, 気象研究ノート 第238号「静止気象衛星ひまわり8号・9号とその利用」岡本幸三・別所康太郎・吉崎徳人・村田英彦編, 187p.
- [16] 樋口篤志 ほか (2021): 次期静止ミッション検討分科会における次期ひまわり搭載イメージャに関する検討, 日本リモートセンシング学会誌, **41**, 461-468.



先駆的な農業リモートセンシング技術で社会課題を解決に導く — 気候変動適応策としての農業保険の強化と持続的食料生産の実現 —

Pioneering Agricultural Remote Sensing Technology to Solve Social Problems
– Strengthening the Agricultural Insurance As a Climate Change Adaptation and Achieving Sustainable Food Production –

本郷 千春 准教授

Hongo Chiharu, Associate Professor

特色ある研究の概要

環境と食料を軸足として、地球環境・気候変動に関わる課題や社会ニーズに対してリモートセンシング技術と環境診断情報等を駆使したソリューションの創出を行い、その成果をステークホルダーに社会実装するまでを一連の過程として行うことにより、グローバルな食料安全保障と持続的社会インフラの構築に取り組んでいる。ここでは、農業保険の損害評価をより効率的に行う手法の構築と社会実装をインドネシアで実施した国際協力プロジェクトについて紹介する。

気候変動の適応策として期待される農業保険は食料安全保障のための重要な社会インフラとして運用されているが、運用後間もないインドネシアでは多くの課題があった。最大の課題は、農業保険の中核である損害評価の迅速化と評価結果の客観性にあった。プロジェクトでは水稻を対象とし、保険の対象である干ばつ害、病虫害、水害について、迅速で客観性の高い損害評価手法の構築と社会実装を行った。従来の損害評価は評価員が目視で行っていたが、プロジェクトではUAVや衛星データ等の空間情報を駆使した評価プロセスを創った。検証の結果、評価時間の短縮、労力削減、客観性が確認されて農業保険における損害評価手法としての有効性が示され、インドネシア農業省作物保護局から高い評価を得ることができた。

The basic standing of research is on creating solutions to address issues related to the global environment and climate change as well as the needs of society with a focus on the environment and food production, using remote sensing technology and environmental diagnostic information in the agro-ecosystems. The author has conducted a wide range of research and social implementation of the results to stakeholders, aiming at contributing to the realization of global food security, as the overall goal. To illustrate the above, the author introduces an international cooperative project in Indonesia to develop a more efficient damage assessment method for agricultural insurance and its social implementation.

Agricultural insurance, which is expected to be an adaptation to climate change, has been operated as an important social infrastructure for food security. However, there were many challenges in Indonesia shortly after its operation. The biggest challenges were speeding up damage assessment, the core of agricultural insurance, and the objectivity of the assessment results. The project targeted paddy rice and developed and socially implemented a rapid and highly objective damage assessment method for pest and disease, drought, and flood damage covered by insurance.

Conventional damage assessment was executed visually by pest observers as assessors. The project developed an assessment process that uses UAVs, satellite data, and other spatial information. As a result of the verification, the method was effective as a damage assessment method for agricultural insurance, reducing assessment time, labor, and objectivity, and was highly evaluated by the Crop Protection Agency of the Indonesian Ministry of Agriculture.

1 はじめに

地球規模の気候変動や自然災害は、世界の食料生産に大きな影響を及ぼすことが予想されている。気候変動に関する政府間パネル（IPCC）が発表した第6次評価報告書には、その主要なリスクのひとつに食料安全保障の脅威が挙げられている。報告書では、作物収量に対する気候変動の負の影響は確信度が高く、主に食料安全保障のうちの生産面に影響すること、気温上昇と降雨の変化による作物収量の損失、食料不足、食料価格の上昇を通して貧困層の生活に影響をもたらすと報告している。この食料安全保障の脆弱化と気候変動の影響は、経済成長を減速させ、経済社会上の不利益をもたらす。このような背景に対する国際的な動向として、農業保険制度の導入と普及があげられる。農業保険は、社会経済プロセスにおいて害を和らげ有益な機会を活かそうとするものであること、気候変動によって受ける収穫のダメージを軽減し農家が継続・持続的に農業生産をできるよう支援すること、食料安全保障の担保と気候変動やその影響に対する調整を促進する機能があることから、適応策として注目されている。

一方、ASEAN諸国は、人口の増加、耕作地の減少、気候変動の影響など、さまざまな問題に直面しており、インドネシアも例外ではない。コメが主食であるインドネシアの水稻生産量は世界第4位であるが、異常気象による作物被害・減収が続いている。この食料需給の逼迫した状況から、国家レベルでの農業保険の早期導入と普及の必要性の声が上がった。そして2013年に農民の保護とエンパワーメントに関する法律が制定され、2016年に農業保険制度が正式に運用開始された。しかし、運用後日が浅いインドネシアでは、農業保険の中核である損害評価の迅速化と評価結果の客観性に課題があり農業保険の普及を妨げる一因となっていた。

そこで、JST/JICA地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム（SATREPS）「食料安全保障を目指した気候変動適応策としての農業保険における損害評価手法の構築と社会実装」プロジェクト^[1,2]では水稻を対象とし、保険支払いの対象である干ばつ害、病虫害、水害について、迅速で客観性の高い損害評価手法の構築と社会実装を西ジャワ州で行うことを目指した。成果のうちここでは、病虫害の損害評価手法について述べる。

2 研究のねらい・上位目標

農業保険制度は複数のステップから構成される金融システムであるが、その中で損害評価は支払い保証額の算出に直結する重要なステップであり、より精密に評価し、可能な限り迅速であることが求められる。現在インドネシアで行われている損害評価方法は、約100～300水田圃場が含まれる末端の灌漑エリアから3圃場だけを選択し、その対角線上にある10株の稲の被害状況をペストオブザーバーと呼ばれる評価者が目視で評価する（図1）。合計30株の稲の評価結果をもとに、灌漑エリア全体の平均損害率を算出するため、保険加入者が納得できるような客観的な評価方法が求められている。

そこで、気候変動の適応策である農業保険のインドネシアにおける普及を通して国際的な規模での食料安全保障に貢献することを上位目標に設定し、UAVや衛星データ等の空間情報を駆使した効果的・効率的に遂行可能な評価プロセスを創り（図2）、現場のニーズを直接的に取込みつつ、損害評価員・関係者らと共同で現行手法を統合した新たな損害評価手法を構築し社会実装することを研究のねらいとした。

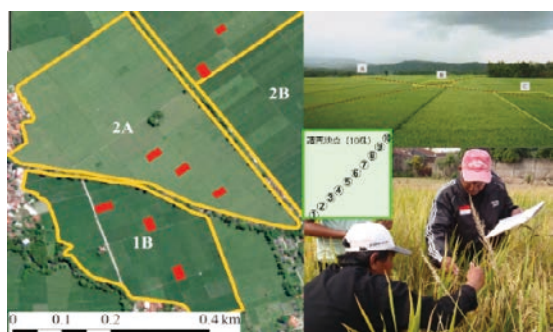


図1 現行評価手法の概略

Fig. 1 Outline of current assessment methodology method.

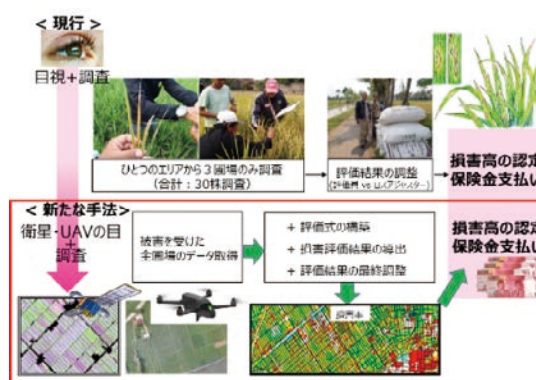


図2 新たな損害評価手法のコンセプト

Fig. 2 Concept of new damage assessment.

3 研究の実施方法

実証試験地をインドネシア・西ジャワ州チアンジュール県チヘア北東部のチヘア灌漑地区とし、ボゴール農科大学を相手国研究代表機関とし、社会実装のステークホルダーとして西ジャワ州政府農政局、比較対象として社会条件が異なるバリ州に立地するウダヤナ大学及び、バドゥン県農政事務所が参画して実施した。また、日本側は代表研究機関の千葉大学と、東京大学、東北大学、日本大学が共同研究機関として参画した。

対象地のチヘア灌漑地区は赤道直下に位置し、年間を通じて熱帯性気候で、4月から10月が乾季、11月から3月が雨季である。約8,000 haの広大な灌漑地域である対象地では、ある場所で発生したイネ白葉枯（BLB）病菌が灌漑水によって下流に運ばれ、地域全体に広がるため、毎年広い地域で大きな被害が発生している。また、圃場の形や大きさは一様ではなく、灌漑地域

ごとに作付け時期が異なるため、生育ステージの異なる圃場が混在しているのが特徴である。

対象地において、損害評価手法の構築・運用のための情報基盤の整備（病虫害に係る衛星、UAV、GIS、疫病実測調査データ等）、新たな損害評価手法の構築、現行手法と新たな損害評価手法の統合及び改良、評価手法の開発および運用に関するキャパシティ・ディベロップメント、新たな損害評価手法の社会実装に取組んだ。この社会実装活動を確実なものにするために、最初のステップとして損害評価の実務を行う州のレベルで新手法の有効性・有用性を実際の運用トライアルを通して州の関係者に認知してもらった。次のステップとして国レベルの中央政府に対して州主導でアプローチをし、国の認知と賛同を得るために新しい手法のテクニカルガイドライン作成後に実務に関する現場の考えと意向を伝え、上位目標達成に向けたプロジェクトの活動を推進した。

4 研究成果

従来の損害評価は評価員が目視で行っていたが、プロジェクトではUAVや衛星データ等の空間情報を駆使した評価プロセスを創り、現場のニーズを直接的に取込みつつ、損害評価員・関係者らと共同で現行手法を統合した新たな損害評価手法を構築した。

対象地では水稻の移植期間に幅があることや農業保険の開始が移植期からであることから、最初にSentinel-1マイクロ波データからスケジューラーを利用した移植日推定の自動化処理を適用した水稻の移植日を推定するアルゴリズムを構築した^[3]。このプロダクトから同時期の生育ステージの水田を対象として、BLB病の特徴である葉色や植生量の変化を利用して（図3）、衛星データやUAVデータからBLB被害率を算出する新たな損害評価手法を構築した^[4-8]（図4、図5）。

UAVによる空撮や疫病実測調査データの取得はステークホルダーと共に活動を行い、両者のニーズを調整し、相互に納得しながら進めつつ、最終的に損害評価の実務者である州政府ペストオブザーバーが自ら統合化手法を用いて評価が行えるように多くの実践的な実装トライアルを行った。これらの実装トライアルで得た結果を踏まえ、新たな手法についてテクニカルガイドラインの作成を行い、新手法を用いることで評価時間が平均60%以上短縮され、労力削減と客観性



図3 左：個葉のBLB病徴
右：圃場でのBLB発生の様子

Fig. 3 Left: BLB disease symptoms on individual leaves
Right: BLB outbreak in a field.

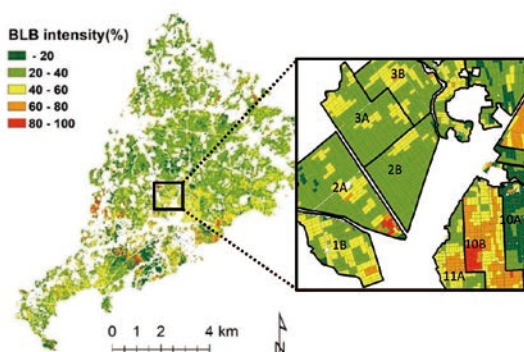


図4 衛星データを用いたBLB損害評価結果の事例

Fig. 4 BLB damage assessment results using satellite data.

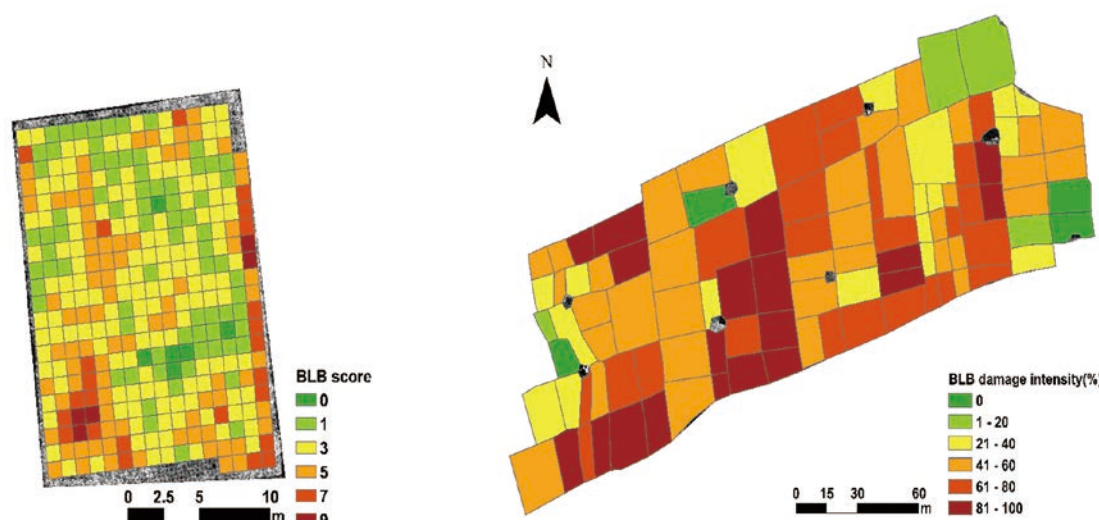


図5 UAVデータを用いたBLB損害評価結果の事例（左：10 mグリッドで評価したBLBスコア、右：BLBスコアから算出した圃場単位のBLB被害率）

Fig. 5 BLB damage assessment results using UAV data (Left: BLB score evaluated on a 10-meter grid, Right: BLB damage intensity of field calculated from BLB score).



図6 マスター・オブ・トレーナー育成の様子（左：プロジェクト開始当初UAV操作の指導を受ける評価員、中央：評価員だけでUAV空撮を実施、右：データ解析からBLB評価結果を導出する評価員）

Fig. 6 Master of Trainer Training (Left: Assessor receiving instruction on UAV operation at the beginning of the project; Center: Assessor conducting UAV shooting; Right: Assessor deriving BLB evaluation results from data analysis).

を確保した農業保険の新たな被害評価プロセスとして損害評価科学委員会全体会議の場で承認を得た。

また、プロジェクトでは技術移転を行う方法として、最初に将来新技術を広く教える立場に立つ人（トレーナー）に対してトレーニングを行い、マスター・オブ・トレーナーを育成した（図6）。その後は、このトレーナーが広く関係者に対してトレーニングを行っていくという方法であるが、SATREPSプロジェクト終了後も農業省主催の新評価手法の普及研修においてインドネシア国内の11州の損害評価員に対して技術移転を行うなど現在も現場で活躍しており、人的資源開発を伴った社会実装が実現した。以上のことから、プロジェクトにおいて農業保険という金融システムへの科学技術の導入を実現し、両国の活動を通して得られた成果は気候変動に対する新たな適応策に貢献するものである。インドネシアへの技術移転が将来的にASEAN 諸国の食料安全保障の強化につながるなどから、地球規模課題解決に資する重要性が高く、上位目標を達成出来た。

5 研究プレゼンスの向上

インドネシアの農業保険制度は国が制度の維持・改善を管掌し、州政府は損害に係る実務を管掌している。そのため、評価手法に関しては農業省作物保護局の認知と承認を得る必要がある。そこで構築した評価手法のテクニカルガイドラインを取り纏め、新たな評価手法の実際の運用に向けて中央省庁に働きかけた結果、農業省作物保護局長からプロジェクトで構築した手法の使用を支持する旨の書簡が西ジャワ州農政局長へ出状され、高い評価を得ることができた。さらに、フランス、スペイン、インドの農業保険会社・農業省などへのアウトリーチ活動を行うとともに、2022年9月には日本、インドネシア、フランスの3ヶ国ワークショップを開催し、当該州以外への活発な情報発信と国際的な認知を推進した。

6 グローバルな食料安全保障の実現を目指した更なる拡大

図7に示したように、リモートセンシング技術は農業生態系の過去、現在、未来の状況を把握・予測するための強力な技術であり、食料生産の場面だけでなく環境保全、農業災害、マーケティング、生産管理・社会インフラなどあらゆる場面での活用が可能である。そして、食料生産分野には多岐にわたる評価や査定を必要としている応用分野がある。評価や査定のためには様々な種類のデータが必要だが、応用する分野は違っていてもその評価・査定手法を構築・運用するために使用するデータの多くは重複している。そこで、圃場筆ポリゴンをデジタル農業のエンジンとし、食料生産に係る各種データを一元化して検証データ付きの食料生産情報データベースとすることで、各種データやツールを効率的、効果的に活用して手法の構築と運用が可能である。例えば干ばつ害を回避するためには灌漑水配水計画の策定が必須であるが、蓄積した空間情報をマルチユースすることで、策定に使用される水稻の栽培必要水量を5日間間隔で衛星データから算出

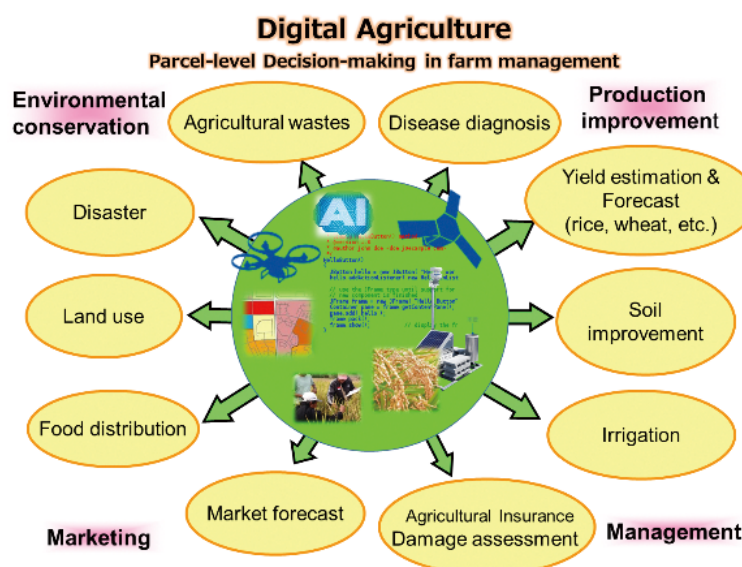


図7 食料安全保障分野でのリモートセンシングの多面的活用

Fig. 7 Multifaceted use of remote sensing in the field of food security.



図8 実証試験地の水稻栽培必要水量の算出結果

Fig. 8 Calculation results of the amount of water required for rice cultivation at the research site.

することが出来る（図8）。早期に必要な栽培水量の空間分布を把握することは干ばつに対する対策となり、作物の減収を回避するための管理につながる。対策を取ったにも関わらず被害を受けてしまった場合には、損害評価結果に基づいて保険を支払うことで農家を守ることが出来る。生産管理から社会インフラである農業保険までを包括して取り組むことが、持続的な食料生産を担保するために求められることである。

7 引用文献

- [1] https://www.jst.go.jp/global/hyouka/pdf/h2804_indonesia_terminal-evaluation-report.pdf.
- [2] https://www.jst.go.jp/global/public/pdf/jstnews_202205.pdf.
- [3] Naohiro Manago, Chiharu Hongo, Yuki Sofue, Gunardi Sigit, Budi Utoyo, Transplanting Date Estimation Using Sentinel-1 Satellite Data for Paddy Rice Damage Assessment in Indonesia, *Agriculture* **10**(12) 625, 2020, 10.3390/agriculture1012062.
- [4] Chiharu Hongo, Shun Isono, Gunardi Sigit, Eisaku Tamura, Efficient Damage Assessment of Rice Bacterial Leaf Blight Disease in Agricultural Insurance Using UAV Data, *Agronomy* **14**(6) 1328, 2024, 10.3390/agronomy14061328.
- [5] Chiharu Hongo, Yusuke Takahashi, Gunardi Sigit, Budi Utoyo, Eisaku Tamura, Advanced Damage Assessment Method for Bacterial Leaf Blight Disease in Rice by Integrating Remote Sensing Data for Agricultural Insurance, *Journal of Agricultural Science* **14**(4) 1, 2022, 10.5539/jas.v14n4p1.
- [6] Arif K. Wijayanto, Lilik B. Prasetyo, Sahid A. Hudjimartsu, Gunardi Sigit, Chiharu Hongo, Textural features for BLB disease damage assessment in paddy fields using drone data and machine learning: Enhancing disease detection accuracy, *Smart Agricultural Technology*, **8** 100498, 2024, <https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100498>.
- [7] Gusti Ngurah Alit, Susanta Wirya, Made Satya, Andrayuga, I Putu Sudiarta, Masahiro Shishido, Chiharu Hongo, The Existing Method to Assess the Disease Incidence of Bacteria Leaf Blight and Its Effect to Rice Yield to Support the Indonesian Agriculture Insurance, *Jurnal Sosial Ekonomi Pertanian*, **15**(3) 641-655, 2021.
- [8] Rani Yudarwati, Chiharu Hongo, Gunardi Sigit, Baba Barus, Budi Utoyo, Bacterial Leaf Blight Detection in Rice Crops Using Ground-Based Spectroradiometer Data and Multi-temporal Satellites Images, *Journal of Agricultural Science*, **12**(2) 38, 2020, 10.5539/jas.v12n2p38.

CEReS The 30th Anniversary

Synopsis in English

1. Overview

In April 1995, CEReS was established as a national joint-use facility certified by the Ministry of Education, based on the Remote Sensing and Image Research Center, an on-campus joint-use facility. The new center consisted of three research divisions: the Sensor and Atmospheric Radiation Research Division, the Global Environmental Information Analysis Research Division, and the Database Research Division, as well as a Database Development and Operation Department to support them. Each of these divisions promoted its own basic research, and also cooperated with each other to contribute to the development of “global environmental studies” using remote sensing, and to become a research base for remote sensing in Asia. Specifically, the center set a common goal of “monitoring environmental change in Asian regions through remote sensing,” and promoted the “Development of methods to estimate plant production through satellite observations” (commonly known as the Mongolia Project) as a core project across divisions.

In April 2004, national universities were incorporated, and each university was transformed from a national administrative institution established by the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT) into an independent legal entity, a “national university corporation.” In terms of operations, a six-year mid-term goal and mid-term plan period was set, the MEXT ministry approves the plans drawn up by the universities, and a committee evaluates the progress of these plans and reflects this in the allocation of funds to the universities. With the incorporation of national universities, CEReS, which had been a national joint-use research facility with a ten-year term since its launch in 1995, was relaunched as a “national joint-use research facility listed in the mid-term goal and mid-term plan” with one year left in its term.

In April 2004, CEReS terminated the traditional departmental system and implemented a new project-based, focused research promotion system. Since then, organizational personnel management has been carried out under the research area system (Remote Sensing Fundamentals Research Area, Remote Sensing Interdisciplinary Research Area, and Satellite Data Processing Office), but research promotion, including joint use, was performed based on the project system. The four initial projects (PJs) were “PJ1: Understanding the state of changes in the Earth’s surface environment using satellite data and analyzing the factors behind them”, “PJ2: Research into changes in the surface, vegetation and land cover, focusing on the transition of the three-dimensional structure of vegetation on the Eurasian continent”, “PJ3: Evaluation of radiation balance and long-term changes in atmospheric parameters using satellite data and ground observation networks”, and “PJ4: Realization of remote sensing useful for local communities - disseminating social information through the synergy of diverse spatial information”. Soon after, “PJ5:

Development of a small satellite equipped with a circularly polarized synthetic aperture radar” was added, and in October 2008, “PJ6: Global warming and the use of meteorological and oceanographic information” (research division endowed by Weathernews Inc.) was added until March 2011.

When national universities were incorporated, the explicit status of national joint-use facilities disappeared in the framework of laws and regulations. In terms of budgets, operating subsidies are allocated to individual universities and executed by each university. Therefore, a new institutional status was needed for a national joint-use system that would transcend the boundaries of universities and be run by the national research community. After several years of consideration, the MEXT ordinance was revised, and in 2008 the MEXT Minister established a new “Certification System for Joint-Use and Joint Research Centers” as a system that would cover national, public and private universities. CEReS applied to become an “Environmental Remote Sensing Research Center,” and this was approved, which means that the center will carry out activities during the second mid-term goal and mid-term plan period (2010-2016). As of June 2009, 70 centers/institutes of national universities had been certified, including Chiba University’s CEReS and Medical Mycology Research Center.

The second mid-term goal and mid-term plan period began in April 2010. Prior to this, in FY2009, the project research carried out during the first mid-term goal period was summarized and reviewed, and four programs were formulated as research programs to further develop and succeed these: “Creation of cutting-edge environmental information (advanced remote sensing),” “Comprehensive environmental information (information integration),” “Advanced satellite utilization,” and “Global warming and utilization of meteorological and oceanographic information (endowed research division).” These programs were launched concurrently with the second period. Moreover, in 2011, CEReS positioned itself as a “core research institute on remote sensing” and defined the following three items as its mission: 1) To conduct cutting-edge research on remote sensing, 2) To develop research on Earth’s surface environmental changes using remote sensing data, and 3) To conduct research to utilize remote sensing for the benefit of society.

In 2008, the Basic Space Law was enacted, which established the basic principles for space development and utilization and clarified the responsibilities of the nation. It also stipulated the creation of a Basic Space Plan and the establishment of a Space Development Strategy Headquarters, and stated in its articles that space should be used for peaceful purposes, and that the development and utilization of space should be used to improve the lives of the people and promote industry. On March 11, 2011, the Great East Japan Earthquake occurred, causing a major impact on the Tohoku region with the earthquake and tsunami, and causing an unprecedented accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant operated by Tokyo Electric Power Company, including core meltdowns at three nuclear reactors. In response to this nuclear accident, a group of researchers from CEReS and the Graduate School of Horticulture conducted a traveling survey of air dose rates using a car equipped with a gamma ray counter shortly after the disaster,

providing data for the return of residents and the restoration of agriculture and other livelihoods.

In 2015, the final year of the second mid-term goal and mid-term plan period, the MEXT carried out a final evaluation of 77 institutes/centers at national universities. CEReS, under the leadership of Director R. Tateishi, handled the evaluation, receiving an “A” rating and being selected to continue into the third period. On November 30, 2015, the “20th Anniversary Ceremony of the Center for Environmental Remote Sensing” was held at the main hall of Chiba University’s Keyaki Kaikan to commemorate the 20th anniversary of the center’s establishment.

The third mid-term goal and mid-term plan period began in April 2016. Dr. Y. Yasuoka, Professor emeritus at the University of Tokyo, was invited as a special professor and served as the center director until 2018, strengthening CEReS’s presence in the international programs, including Future Earth and SATREPS. In 2021, the end-of-term evaluation was carried out by the MEXT. In this evaluation, CEReS was led by Director K. Hattori, and in the results (national universities) published in October 2021, CEReS was rated “A-”. Issues pointed out included expanding the related community and creating innovation through interdisciplinary research. Despite these issues, the joint use and research center in the field of environmental remote sensing will be able to continue in the fourth term starting in 2022.

With the addition of new members from 2017 to 2019, the previous three-project system (Advanced Remote Sensing, Information Integration, and Advanced Utilization) was reorganized in October 2021 to form five research divisions: Advanced Sensing Division, Environmental Diagnosis Division, Environmental Prediction Division, Integrated Analysis Division, and Social Implementation Division. This has strengthened the traditional information integration-related research area and clarified the direction of promoting the “creation of global environmental diagnosis and global environmental prediction” through the synergy of satellite remote sensing data (Earth observation big data) and information science approaches. In addition, the system has been established to contribute to related top-leader-type projects of the Interdisciplinary Advanced Research Support Program of the Chiba University International Advanced Research Core.

CEReS Directors during 30 years

1995 - 1996 Shizuo Shindo (hydrology)
1997 Tomio Asai (meteorology)
1998 - 1999 Yoshizumi Yasuda (image processing)
2000 - 2003 Tamio Takamura (atmospheric radiation)
2004 - 2005 Nobuo Takeuchi (atmospheric sensing)
2006 - 2009 Fumihiko Nishio (glaciology)

2010 - 2013 Hiroaki Kuze (atmospheric optics)
2014 - 2015 Ryutaro Tateishi (land surface remote sensing)
2016 - 2017 Yoshifumi Yasuoka (remote sensing and GIS)
2018 - 2019 Hiroaki Kuze (atmospheric optics)
2020 - Katsumi Hattori (electromagnetic sensing)

2. Joint research and educational activities

In the 30 years from the founding of CEReS in 1995 to 2024, seven self-examinations and external evaluations have been carried out. Three of these (1996, 1999, 2003) were conducted before the incorporation of national universities, and the fourth and subsequent evaluations (2008, 2012, 2015, 2020) have been conducted after the incorporation. Over the past 30 years, these evaluations have allowed CEReS to review its organizational and management concepts and policies, which often tend to maintain the status quo, with the help of external experts in closely related fields.

The joint research is divided into program research, general research including exploratory research, study groups, and international joint research, which was newly started in 2014, and every year 40 to 50 research projects are carried out on a wide range of themes, such as analysis of satellite data on the atmosphere, ocean, snow and ice, water cycle, vegetation, land cover, etc., as well as associated ground observation research. In addition, the CEReS Environmental Remote Sensing Symposium is held every year around mid-February as an opportunity to present and exchange information among the collaborating researchers.

CEReS faculty members are responsible for teaching in the School of Science, School of Engineering, and each graduate school. Since 1996, the Graduate School of Science and Technology has been established, and they have mainly taught master's programs in the Department of Life and Earth Sciences, Department of Image Science, and Department of Intelligent Information Science, and doctoral programs in the Department of Environmental Science (renamed Department of Human and Earth Environmental Science in 1998, and Department of Earth and Biosphere Science in 2004), Department of Diversity Science, and Department of Artificial System Science. As of 2003, 110 students had completed the Master's program and 43 students had completed the Doctoral program (24 of whom were foreign nationals).

In 2007, the Graduate School of Science and Technology was reorganized to establish three new graduate schools: the Graduate School of Engineering, the Graduate School of Science, and the Graduate School of Integrated Science. CEReS engineering faculty belonged to the Graduate School of Integrated Science, and taught graduate students in the Department of Information Science for both the Master's (first half of the doctoral course) and Doctoral (second half of the doctoral course) courses. In addition, science faculty taught the Master's and Doctoral courses in Earth and Life Sphere Science at the Graduate School of

Science. Between 2004 and 2015, 153 students completed master's programs and 67 students completed doctoral programs (45 of whom were foreign nationals).

In April 2017, the Graduate School of Science, Graduate School of Engineering, and Graduate School of Integrated Science were integrated to form the Graduate School of Integrated Science and Engineering as an educational organization. The research organization is the Faculty of Engineering and the Faculty of Science. Graduate students belong to the Graduate School of Integrated Science and Engineering, but faculty members belong to either the Faculty of Engineering or the Faculty of Science. CEReS faculty members belong to the Faculty of Engineering, and the administrative work of the center as a whole is handled by the School of Engineering.

The Graduate School of Science and Engineering was established with the aim of “cultivating highly specialized human resources and pioneering and leading researchers with broad academic knowledge, deep expertise, and problem-solving abilities who can view both science and engineering fields from a bird's-eye view and encourage collaboration between both fields.” The graduate school consists of five divisions: Mathematics and Informatics, Earth and Environmental Sciences, Advanced Science and Engineering, Creative Engineering, and Fundamental Engineering. Of particular note is the establishment of an “Environmental Remote Sensing Course” in the Earth and Environmental Sciences Division, alongside the Earth Sciences Course and the Urban Environmental Systems Course. Over the more than 20 years of graduate education from 1995 to 2015, a total of 263 master's students and 111 doctoral students (69 of whom were foreign nationals) had completed their degree with CEReS faculty as their supervisor. Thanks to these achievements and contributions, CEReS was the first in the country to start graduate school education in “Environmental Remote Sensing,” a field that literally combines science and engineering.

From 1995 to 2023, a total of 374 students have completed master's degrees, and 151 students have completed doctoral degrees (101 of which are foreign nationals). From 2006 to 2023, for which records are available, a total of 297 students have completed bachelor's degrees, including those from the Faculty of Science and the Faculty of Engineering.

Since its inception, CEReS has actively promoted internationalization in order to improve the level of research as a national joint-use institute, and has held the CEReS International Symposium every year to this day. The main theme is “Monitoring Environmental Changes in Asia,” so that there are many participants from Asian countries, but there are also participants from Europe and the United States. The symposium is often held at Chiba University's Keyaki Hall or the large conference room of the Graduate School of Science and Technology, but in recent years it has also been held in Jakarta and Bali, Indonesia, in cooperation with IJJSS (Indonesia Japan Joint Scientific Symposium), an international conference organized by Chiba University and seven sister universities in Indonesia.

Main satellite data and products provided by CEReS

NOAA/AVHRR series: Data reception started on April 15, 1997, receiving equipment removed on March 13, 2017

GMS-5, MTSAT series: GMS-5 started antenna reception in 1997, MTSAT-1R started landline acquisition in June 2005

Himawari 8/9: Official operation started in July 2015, still ongoing to date

FY-2 (B/C/D/E/G) series: FY2-B has been received for several months since April 1998, and FY2-C has been received and released since the end of FY2007. Reception ended at the end of FY2023.

GOES-E, -W/Second generation series: Data provided by WNI has been processed and released, but real-time processing has ended due to the end of the second generation operation, and past data is being released through VL activities.

GOES-E, -W/Third generation series: GOES-R, GOES-S (collected and released as part of a collaborative research project with NASA Ames Research Center)

MODIS: Archive of data received by JAXA began in August 2004, but ended in March 2019. Global products have been archived since the start of Terra/Aqua.

附表 資料

A1 CEReSの事務支援体制

1995～1998	H7～H10	環境リモートセンシング研究センター事務室総務係
1999～2003	H11～H15	総務部 研究協力課 研究支援事務室 研究支援係
2004	H16	企画総務部 研究協力課 研究支援担当
2005～2006	H17～H18	企画総務部 研究協力課 センター支援係
2007～2008	H19～H20	学術国際部 研究協力課 センター支援グループ
2009～2010	H21～H22	学術国際部 研究推進課 センター支援グループ
2011～2017	H23～H29	工学系事務センター センター支援グループ
2018～2019.6月	H30～R1.6月	理工系事務部 企画・研究支援課 センター支援係
2019.7月～	R1.7月～	西千葉地区事務部 理工系総務課 センター支援係

A2 最近10年間の財務状況

(単位は千円：千円未満四捨五入のため合計は少し異なる)

年 度		2014 H26	2015 H27	2016 H28	2017 H29	2018 H30
運営費交付金		115,172	97,913	139,581	129,318	119,343
外部 資金	科学研究費 補助金	30,780	15,475	11,250	13,120	10,592
	受託研究費	85,691	76,087	55,892	140,928	176,669
	共同研究費	4,547	27,118	9,467	5,391	6,837
	受託事業	1,986	2,048	14,915	14,181	2,050
	奨学寄附金	19,624	11,903	14,479	18,559	22,415
	補助金等	87,670	21,189	98,756	5,762	0
	研究関連経費	12,953	13,736	10,040	13,771	14,026
	合 計	358,422	265,471	354,378	341,030	351,930
年 度		2019 R1	2020 R2	2021 R3	2022 R4	2023 R5
運営費交付金		107,812	95,558	114,111	108,855	103,331
外部 資金	科学研究費 補助金	35,808	36,406	43,750	95,654	89,930
	受託研究費	190,941	163,803	165,098	106,043	102,312
	共同研究費	12,404	12,802	14,135	13,540	15,497
	受託事業	2,897	635	1,200	16,149	24,259
	奨学寄附金	26,550	20,565	18,381	18,424	19,282
	補助金等	0	61	1,008	18,628	2,172
	研究関連経費	19,596	20,359	20,698	17,366	21,431
合 計		396,007	350,190	378,381	394,659	378,213

A3 国際交流協定（令和6年10月1日現在）

A3.1 大学間交流協定締結状況

地域名	国・地域名	大学・機関名	大学名（英語）	開始
アジア	インドネシア	IPB大学（ボゴール農科大学）	IPB University	2010/3/19
アジア	インドネシア	インドネシア大学	University of Indonesia	1997/12/29
アジア	インドネシア	インドネシア気象・気候・地球物理庁	Meteorology, Climatology and Geophysics Agency	2014/11/10
アジア	インドネシア	インドネシア地理空間情報庁	Geospatial Information Agency	2021/11/30
アジア	インドネシア	ウダヤナ大学	Udayana University	2007/7/20
アジア	インドネシア	セプルフノペンベル工科大学	Sepuluh Nopember Institute of Technology	2012/7/24
アジア	インドネシア	セベラスマレット大学	Sebelas Maret University	2017/11/2
アジア	インドネシア	ディポネゴロ大学	Diponegoro University	2012/8/3
アジア	インドネシア	ハサヌディン大学	Hasanuddin University	2007/9/12
アジア	インドネシア	パジャジャラン大学	Padjadjaran University	2011/1/28
アジア	インドネシア	バンカ・ベリトン大学	Banka Belitung University	2020/12/18
アジア	インドネシア	リアウ・イスラム大学	Islamic University of Riau	2016/11/21
アジア	韓国	亜洲大学校	Ajou University	2015/11/30
アジア	タイ	アジア工科大学院	Asian Institute of Technology	2012/8/31
アジア	中国	新疆師範大学	Xinjiang Normal University	2010/5/10
アジア	マレーシア	テナガナショナル大学	Universiti Tenaga Nasional	2016/9/7
アジア	マレーシア	マルチメディア大学	Multimedia University	2010/9/15
中南米	ペルー	ペルー国立工科大学	National University of Engineering	2011/1/18
アフリカ	エジプト	エジプト国立リモートセンシング宇宙科学機関	National Authority for Remote Sensing and Space Sciences	2017/12/3
アフリカ	ケニア	ジョモ・ケニヤッタ農工大学	Jomo Kenyatta University of Agriculture and Technology	2019/5/3

大学間交流協定（終了分）

地域名	国・地域名	大学名	大学名（英語）	開始 / 終了
北米	アメリカ	アリゾナ大学	University of Arizona	2005/5/19 ～2021/9/28

A3.2 部局間交流協定締結状況

地域	国・地域名	大学・機関名	部局名	大学名（英語）	部局名（英語）	開始
アジア	インドネシア	アミコム・ジョグジャカルタ大学	科学技術学部	University of AMIKOM Yogyakarta	Faculty of Science and Technology	2020/7/8
アジア	インドネシア	ウダヤナ大学		Udayana University	Center on Food Availability for Sustainable Improvement	2013/12/20
アジア	インドネシア	シアク県		Regency of Siak		2016/11/21
アジア	インドネシア	パダン州立大学	数学・自然科学部	State University of Padang	Faculty of Mathematics and Natural Science	2015/9/7
アジア	インドネシア	ブディルフル大学	環境研究センター	Budi Luhur University	Center for Environmental Studies	2015/12/2
アジア	インドネシア	ムラワルマン大学	数学・自然科学部	Mulawarman University	Faculty of Mathematics and Natural Science	2015/6/8
アジア	中国	中国科学院	合肥物質科学研究所	Chinese Academy of Sciences	Hefei Institute of Physical Sciences	1997/4/12
アジア	ベトナム	ベトナム森林大学		Vietnam National University of Forestry		2014/12/22

部局間交流協定（終了分）

地域	国・地域名	大学・機関名	部局名	大学名（英語）	部局名（英語）	開始／終了
アジア	インドネシア	インドネシア国技術評価応用庁				2012/8/18 ～2017/8/17
アジア	インドネシア	インドネシア国技術評価応用庁	天然資源インベントリー技術研究所			2000/7/25 ～2010/3/31
アジア	インドネシア	ウダヤナ大学	海洋リモートセンシング研究センター	University of Udayana	Center for Remote Sensing and Ocean Science (CReSOS)	2003/10/21 ～2011/3/31
アジア	インドネシア	バンドン工科大学	土木工学計画学部 国立総合測量地図庁			2001/7/30 ～2005/3/31
アジア	インドネシア	ムハマディア ゴロンタロ大学		Muhammadiyah Gorontalo University		2014/ 2/27 ～2019/2/26
アジア	中国	中国海洋大学	海洋遥感研究所	Ocean University of China	Ocean Remote Sensing Institute	2003/ 2/15 ～2010/3/31
アジア	中国	中国科学院	大気物理研究所	Chinese Academy of Sciences	Institute of Atmospheric Physics	1998/ 3/19 ～2018/3/18

地域	国・地域名	大学・機関名	部局名	大学名（英語）	部局名（英語）	開始／終了
アジア	中国	中国科学院	遥感応用 研究所	Chinese Academy of Sciences	Institute of Remote Sensing Applications	1998/ 7/29 ～2003/7/28
アジア	ベトナム	ベトナム海洋研究所		Vietnam Academy of Science and Technology	Institute of Oceanography	2012/ 6/27 ～2015/6/26
アジア	モンゴル	モンゴル科学技術大学	応用科学部 (物質科学部)	Mongolian University of Science and Technology	School of Applied Science	2002/11/4 ～2020/3/31
アジア	モンゴル	モンゴル国立大学	地球物理 研究センター	National University of Mongolia	Research Center for Geophysics	2004/11/8 ～2014/11/7
アジア	モンゴル	モンゴル国立リモート センシングセンター		National Remote Sensing Center of Mongolia		1996/2/14 ～2006/2/13
欧州	イタリア	イタリア学術会議－ 大気科学気候研究所 (ローマ)、国立環境 研究所（日本）		Institute of Atmospheric Sciences and Climate of the National Research Council	National Institute for Environmental Studies	2016/12/21 ～2019/12/20
欧州	カザフスタン	カザフスタン科学 アカデミー植物学研究所		Institute of Botany Kazakhstan Academy of Sciences		1996/8/22 ～2006/8/21
欧州	ロシア	ロシア科学アカデミー	国際森林 研究所	Russian Academy of Sciences	International Center Institute of Forestry	2000/12/25 ～2005/12/24
中近東	ヨルダン	ヨルダン大学	人間社会 科学部	University of Jordan	Faculty of Humanities and Social Science	2007/2/19 ～2012/2/18

編集後記

1995年4月に千葉大学附置で10年時限の全国共同利用施設として発足した環境リモートセンシング研究センター（CEReS）が、創立30周年を迎えることになった。筆者はCEReS創設時に他大学から千葉大学に移り、2020年に世界的にコロナ禍が始まった時期に定年を迎え、その後もグランドフェローなどの形でCEReSにお世話になって現在に至っている。新設された全国規模の共同研究センターがその歩みを開始し、当時の所属教員が熱心な議論を継続的に行って進むべき方向性を定め、国内外の共同利用やシンポジウム開催、そしてデータ提供を通じてこの分野の一つのハブとして機能できるようになるまでの一部始終を目の当たりにすることができたのは、ある意味で幸運なめぐりあわせであったように思われる。この間、日本や欧米諸国を中心に衛星リモートセンシングが質量ともに大きく発展し、ドローンによる近接リモートセンシングや機械学習AIを利用したデータ解析手法など、30年前には想像も難しかった手法の進展もあった。

本冊子は、CEReSの30年間の歩みをリモートセンシングに関する研究や教育の成果、国立大学を取り巻く状況、全国共同利用施設から共同利用・共同研究拠点への変遷などを含めて取りまとめたものであり、CEReSとしては（その前身のセンターを含めて）最初の周年記念誌となる。服部克巳センター長からこの30周年記念誌の編集を担当しないかというお話が筆者にあったのは2024年3月半ばのことであった。4月には筆者が委員長、服部克巳センター長と本郷千春准教授を委員とする30周年記念誌編集委員会を立ち上げ、年報、外部評価報告書、CEReSニュースやパンフレットなどの公刊資料を収集するとともに、5月には概要案を作成し、教員会議での承認を経て執筆作業を開始した。

平成から令和にかけてのこの30年間には世間全般の価値観も大きく変化し、現在の視点からするとあってしかるべき情報が不足する部分も見られたが、毎年の研究・教育の進展を記載した年報を軸として大学附置センターとしての諸活動に関する30年間のデータを冊子として取りまとめることができた。とくに、創立当初の状況については、工学部100周年記念誌の中で天然色工学研究施設や映像隔測研究センター関係事項の編纂をちょうど担当されていた竹内延夫元センター長・名誉教授からの情報も得ることができた。とくにトピックとしてとり上げた事項としては、創立から最初の約10年間に於いてセンターのコア課題であったモンゴルプロジェクト、外部資金により立ち上げた地球温暖化寄付研究部門、長年にわたって維持・発展の努力を行ってきたCEReSが提供する地球環境データ、国立大学附置の4センターの共同で長期にわたって継続している4大学連携VLの活動、そして地球診断学を標榜した西尾文彦教授による大学院GPがある。

現メンバーによる特色ある研究成果については、第6章にまとめて掲載した。リモートセンシングは理学と工学の境界分野であり、様々な環境パラメータの計測を通じて社会的な応用分野も多く存在している。CEReSの研究の進展状況を比較的まとまった形で概観して頂けるよい機会になれば幸いである。

記載内容の全般的な確認についてはセンター長秘書の田中直美氏に、表紙デザイン・本文レイアウト・写真・印刷会社との連絡調整については市井研究室技術補佐員の小菅生文音氏に、また、専任教員・運営委員会委員の名簿および巻末の附表については西千葉地区事務部理工系総務課のセンター支援係（リモセン事務室）の皆様それぞれにお世話になった。紙数の関係で限られた人数ではあったが、CEReSで博士の学位を取得して現在、リモートセンシングおよび関連分野で活躍している国内外の方々からは第4章末にある寄稿文を頂いた。ここに記して感謝を申し上げたい。

第2章に記載してあるが、創設期の専任教員の中にはすでに他界された方もあり、年月の重みを感じさせられる。国立大学附置の共同利用センターの活動は、もちろん千葉大学や文部科学省の支援があって初めて成り立つものであるが、同時に、30年にわたって協力を頂いた内外の多くのコミュニティの研究者、CEReSを巣立っていった学生各位、そして常勤・非常勤の研究者の方々の日々の努力が継続して30年間の成果につながっている。本冊子が、その公的な記録の一端として後世に役立つことを願い、編集後記の結びとしたい。

2025(令和7)年1月

千葉大学環境リモートセンシング研究センター創立30周年記念誌

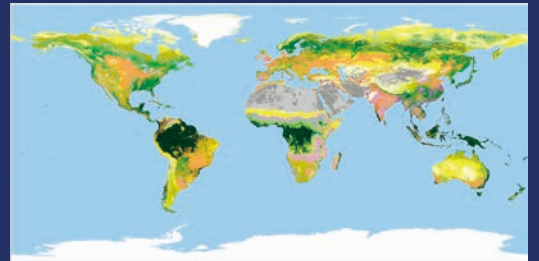
編集委員長 久世 宏明

千葉大学環境リモートセンシング研究センター（CEReS）
創立30周年記念誌

発行	2025（令和7）年3月25日
編集	CEReS 30周年記念誌編集委員会 〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町1-33 千葉大学 環境リモートセンシング研究センター 電話 043 (290) 3832 URL https://ceres.chiba-u.jp/
印刷・製本	株式会社 正文社 〒260-0001 千葉市中央区都町1-10-6 電話 043 (233) 2235 URL https://www.seibunsha21.co.jp/

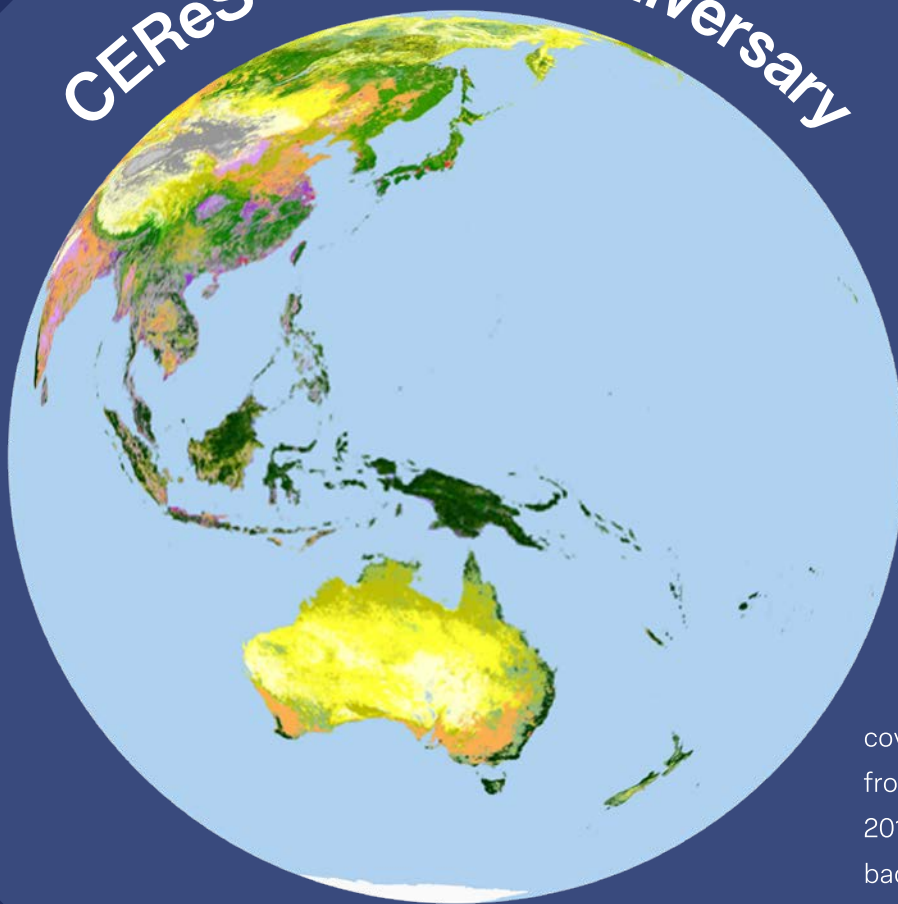
GLCNMO

of Global Mapping Project



- 01 Broadleaf evergreen forest
- 02 Broadleaf deciduous forest
- 03 Needleleaf evergreen forest
- 04 Needleleaf deciduous forest
- 05 Mixed forest
- 06 Tree open
- 07 Shrub
- 08 Herbaceous
- 09 Herbaceous with sparse tree / shrub
- 10 Sparse vegetation
- 11 Cropland
- 12 Paddy field
- 13 Cropland / other vegetation mosaic
- 14 Mangrove
- 15 Wetland
- 16 Bare Area, consolidated (gravel, rock)
- 17 Bare Area, unconsolidated (sand)
- 18 Urban
- 19 Snow / ice
- 20 Water bodies

CEReS the 30th Anniversary



環境リモートセンシング
研究センター
Center for Environmental Remote Sensing

cover images

front: Himawari-8

2017/05/19 12:00

back : 2003 年観測の

MODIS (1 km) データを

用いて作成された

グローバル土地被覆図