



## 地球環境観測用マイクロ波センサ搭載無人航空機と小型衛星の開発 ～ シリーズ CEReS の研究活動 (ヨサファット研究室) ～

平成19年度より国内外の教育研究機関及び人工衛星の研究開発の関連企業と連携して、世界初かつ大学発の次世代地球観測用の円偏波合成開口レーダ搭載小型衛星 ( $\mu$ SAT CP-SAR) の検討会を行い、小型衛星によって地表層における様々な情報を精密かつ高精度に観測できる、世界初かつ「良いセンサ」技術による  $\mu$ SAT CP-SAR 開発を提案し、現在開発を進めています。小型衛星の基本設計も終わり、地上局の設置に着手するなど開発も大詰めを迎えている段階です。

小型衛星は図1に示すように電離層の現象とグローバル地殻変動の関係把握するために、掩蔽 GPS (GNSS-RO) 及び電子密度・温度測定器 (EDTP) 搭載の GAIA-I (50kg 級、外形寸法 500 x 500 x 500mm) および、円偏波合成開口レーダ (CP-SAR) 搭載の GAIA-II (100kg 級) で構成されます。さらにセンサの地上実証実験のため、無人航空機 (UAV) JX シリーズの開発 (図2) も行っています。このマイクロ波センサ、小型衛星、UAV、の開発事業を通じ、若手研究者の人材育成を行うことで、国内外の関連研究機関の研究者が地球環境に関する研究進展に大きく貢献しうると期待しています。

**地球環境観測用マイクロ波センサ搭載無人航空機と小型衛星の開発**

概要: 千葉大学環境リモートセンシング研究センターが図1に示すように電離層の現象とグローバル地殻変動の関係把握するために、掩蔽GPS (GNSS-RO) 及び電子密度・温度測定器 (EDTP) 搭載のGAIA-I小型衛星 (50kg級、外形寸法500 x 500 x 500mm) と、円偏波合成開口レーダ (CP-SAR) 搭載のGAIA-II小型衛星 (100kg級) を開発している。また、様々なセンサの地上実証実験のために、無人航空機 (UAV) JXシリーズ (図2) の開発も行っている。このマイクロ波センサ、UAV、小型衛星の開発事業を通して、若手研究者の人材育成を行い、国内外の関連研究機関の研究者に地球環境に関する研究の進展に大きく貢献できると期待する。

図1. 当研究室の小型衛星の運用概念

図2. 当研究室の無人航空機 (JXシリーズ)

図3. GPS-ROセンサ搭載GAIA-Iの概念

GAIA-I小型衛星は、搭載したGNSS-ROセンサを用いて軌道上の観測衛星である米国のGPS (19,300km)、EUのGalileo (24,000km)、ロシアのGLONASS (19,100km)、日本のGPS (準天頂衛星、35,786km)、EUのCOSMOS (GPSと同等衛星、8,063km) の信号を受信し、その信号を応用し、地上で掩蔽地理を克服し、地球の重力場、大気中の中性大気密度分布、電離層 (60~600km) の電子密度、大気中の湿度と湿度の垂直構造情報等の技術実証を行う (図3)。特に、GPS衛星送信電波のGNSS衛星の信号を使用して、掩蔽地理をするのは世界初の試みである。また、電子密度・温度測定器 (EDTP) のアンテナアレイ計測計を用いて、電離層の電子密度、電子温度を測定する。このアンテナアレイ計測計を用いた電子密度プロファイル (EDP) を電子密度プロファイル (EDP) の開発をし、現在当センターがEDPとEDTPを一体化した電子密度・電子温度プロファイル (EDTP) を開発している (図4を参照)。

図4. 電子密度・温度測定器 (EDTP) 搭載実験

図5. 円偏波合成開口レーダ (CP-SAR) と地上実験

GAIA-II小型衛星は千葉大学独自に開発したL、C、S、Xバンド円偏波合成開口レーダ (CP-SAR、図5) センサを搭載する小型衛星 (特許2014-21490) である。小型衛星に合成開口レーダ (CP-SAR) センサを搭載するために、センサの小型化、軽量化などのマイクロ波センサ技術を開発している。また、円偏波合成開口レーダ (DinSAR)、恒久的な観測点を用いた円偏波合成開口レーダ (PS-InSAR) などの技術も開発している。このCP-SAR搭載小型衛星によって、グローバル地殻変動をマッピングする。

連絡先:  
 〒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  
 ヨサファット研究室 ユー・スリ・スマンティョウ 教授  
 Tel. +81 (0) 43 290 3840 / Fax +81 (0) 43 290 3857  
 E-mail: [jstul@crs.ac.chiba-u.jp](mailto:jstul@crs.ac.chiba-u.jp)  
 Website: <http://www2.cr.chiba-u.jp/jmrs/>

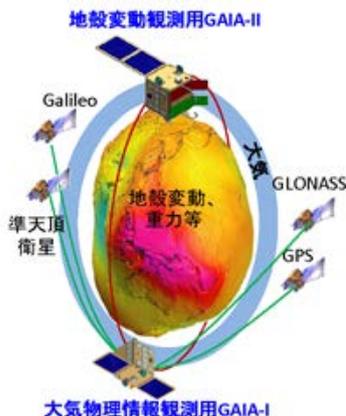


図1. 当研究室の小型衛星の運用概念



図2. 当研究室の無人航空機 (JX シリーズ)

GAIA-I は、搭載した GNSS-RO センサを用いて軌道上の他衛星である米国の GPS (19,300km)、EU の Galileo (24,000km)、ロシアの GLONASS (19,100km)、日本の QZS (準天頂衛星、35,786km)、EU の O3B (Ka バンド通信衛星、8,063km) の信号を受信し、その信号を活用し、地上で掩蔽処理を施すことにより、地球の重力場、上層大気の中性大気密度分布、電離層 (60~600km) の電子密度、大気温度・湿度の垂直プロファイルに関する情報を得ることが可能となります (図 3)。特に、O3B 衛星の信号を活用による、掩蔽処理は世界初の挑戦です。さらに、電子密度・温度測定器 (EDTP) のラングミュア静電探針を用いて、電離層の電子密度、電子温度を測定するために、電子密度プローブ (EDP) と電子温度プローブ (ETP) を一体化した電子密度・電子温度プローブ (EDTP) の開発を進めています (図 4)。電離層におけるグローバル電子密度と温度を観測して、掩蔽 GPS センサと掩蔽 O3B を連携させることで、グローバル地殻変動と巨大地震の前兆の関係を調査することが可能になり、また、このセンサによって、地球表層における気象現象の研究にも活用でき、気象予報の向上につながると期待しています。GAIA-I 衛星バスは次の軌道上技術実証を計画している GAIA-II にそのまま使用可能となるよう開発を進めています。

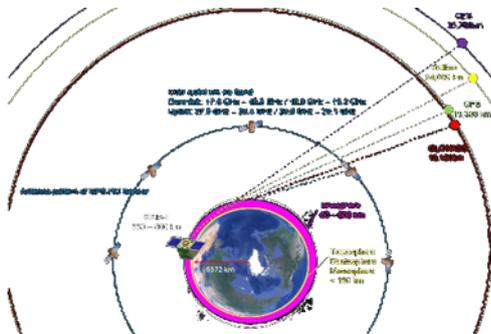


図 3. GPS-RO センサ搭載 GAIA-I の概念

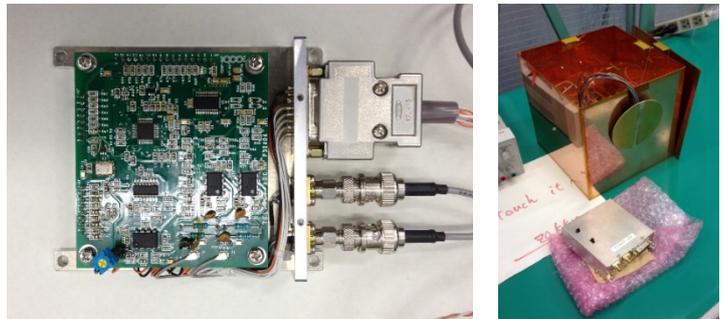


図 4. 電子密度・温度測定器 (EDTP) 搭載実験

GAIA-II は千葉大学独自に開発した L、C、S、X バンド円偏波合成開口レーダ (CP-SAR、図 5) センサを搭載する小型衛星 (特願 2014-214905) です。この小型衛星に合成開口レーダ (CP-SAR) センサを搭載するために、センサの小型化、軽量化などにチャレンジし、様々な技術を開発しています。また、微分干渉合成開口レーダ (DInSAR)、恒久的な散乱点を用いた干渉合成開口レーダ (PS-InSAR) などの技術も開発しており、この CP-SAR 搭載小型衛星によってグローバル地殻変動のマッピングが可能になります。

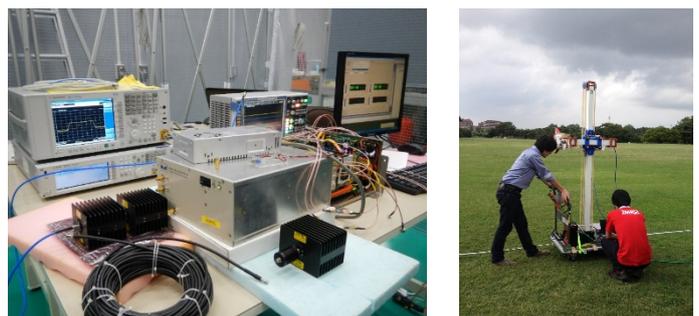


図 5. 円偏波合成開口レーダ (CP-SAR) と地上実験

来年度以降、打ち上げ準備となる各種地上試験を経て、平成 28 年度には GAIA-I の打ち上げと通常運用を行う予定です。この小型衛星の実現により、将来のわが国と世界の災害軽減に結び付き、安心・安全の社会に貢献するものと期待しています。

(ヨサファット)

## ◆ 森林バイオマスセミナー・トレーニングコース参加報告 ◆ ～森林分野地上検証活用研究会（CEReS 共同利用研究会より）～

平成 25 年度より開始した森林分野地上検証活用研究会も 2 年目を迎え、2014 年 10 月 14 日～16 日に、「第 5 回 森林バイオマスセミナー、トレーニングコース」が北海道大学北方生物圏フィールド科学センター森林域ステーション雨竜研究林にて開催されました。複数の大学・研究機関から 23 名の参加がありました。14 日は集合日にあてられ、台風による交通機関への影響が心配されましたが、皆さん予定通り現地へ集合することができました。15 日の午前は、北大の吉田先生（雨竜研究林）・中路先生（苫小牧研究林）・高木先生（天塩研究林）等による各研究林の概要説明・本セミナーの趣旨説明・研究紹介等が行われました。15 日の午後は、小林さん（JAMSTEC）と秋津さん（筑波大）を講師として、QGIS と IKONOS のデータを用いて全員で衛星リモートセンシング解析トレーニングに取り組みました。16 日は朝から屋内で LAI（葉面積指数）の計測法や原理の説明を受けたあと、現地観測に向かいました。現場は GCOM-C1/SGLI 地上検証サイトの一つである泥川保存林で、実際に GCOM-C の地上検証を行う予定の 500m x 500m の範囲内で 2～4 人の班に分かれて、LAI-2000 を用いた LAI 観測を行いました。観測終了後に、日本最大の湛水面積を持つ朱鞠内湖（しゅまりないこ）の湖畔で昼食をいただきました。屋内に戻ってからは、先ほど取得してきた LAI の観測データを用いて各自 LAI を算出し、班毎の結果報告および結果の考察を行いました。泥川保存林の林床は、高さが 1.5m～2m 程の笹が一面に茂っており、GCOM-C の地上検証を行うための予備実験として観測を行い、観測方法や観測結果を地上側の研究者と衛星側の研究者の間で検討され、有意義なものになったと考えます。次回の第 6 回は、平成 26 年度共同利用研究会の前日に、千葉大学 CEReS で開催が予定されています。今回、千葉大学からは CEReS 研究室所属を含め 5 名の学生が参加しましたので、参加レポートを紹介します。



図 1 泥川流域観測地（岡本さん提供）



図 2 セミナー二日目現地観測の様子（関根さん提供）

（本多・梶原研究室：谷川）



#### ■ 園芸学部 4年 宮脇 侑子

私は卒業研究で LAI-2200 を使用しており、LAI 測定の理解を深めたいと思い今回のセミナーに参加した。参加前から期待していた通り、LAI 測定の技術について知識を蓄え、経験を積めたことはもちろん、様々な分野の研究者に出会えたことはさらに大きな収穫である。

データの測定方法を考察する、データの解析手法を作る、解析手法を選びデータの意味を考える、と森林データに対してこんなにも多様な関わり方があるということを私は今まで意識してこなかった。今回のセミナーで出会った方の中には、所属や研究テーマを聞くだけでは自分と縁遠い分野の研究者に思える方も多くいた。しかし、セミナーの活動や空き時間での交流を通して、同じセミナーに興味を持って集まってきた人々は、森林へのアプローチの仕方こそ異なるものの、どこか関連のある研究をしていて、互いを互いの研究によって支え合える仲間なのだということに気づかされた。近くて遠い分野の研究者が集まり交流をすることは、研究生活において貴重な機会であるとともに、より良い研究をするために効果的で重要なことであると学んだ。この経験を積ませて下さった、環境リモートセンシング研究センターの皆様に変感謝している。

#### ■ 園芸学部 4年 遠藤 雅貴

今回の森林バイオマスセミナー・トレーニングコースへの参加が初めての参加でした。リモートセンシングや GIS は以前から興味のある分野でしたが、実際に学ぶ機会がなかなかありませんでした。リモートセンシングや GIS についての講義では、初めて聞く言葉も多々ありましたが、先生方の丁寧な解説によって理解することができました。LAI-2000 での葉面積指数の計測や QGIS での衛星・GIS データ解析を実際に現地に出て行えたことも貴重な経験となりました。また、様々な分野の先生方や他大学の学生方との交流することでリモートセンシングや GIS について学ぶだけでなく、私自身の研究にとってもよい刺激となる大変有意義な時間を過ごすことができました。

#### ■ 園芸学部 4年 蝦名 益仁

私は北海道雨龍研究林で開催されたバイオマスセミナー+トレーニングコースに参加させていただきました。今回このセミナー+トレーニングコースに参加させていただいた動機は自分自身、卒論として「地上レーザーを用いた熱帯林におけるバイオマス測定」ということをテーマに行っており、それと関連して衛星データの活用などに興味を持ち、衛星データに触れるいい機会と思い参加させていただきました。

実際のセミナー+トレーニングコースでは、初めて衛星データの処理をさせていただいて、衛星データの処理の難しさを体験することができました。また、衛星データの活用での様々な可能性も感じられることができ、今後の研究でも衛星データを使えていけたらなと感じました。また、LAI 測定のトレーニングでは、普段から接している LAI という指標ですが、改めて勉強することで LAI に対する理解が深められたと思います。また、北海道雨龍研究林という環境でのセミナー+トレーニングコースも私にとって良い経験となりました。北海道の大スケールでの自然を見て、感じられることは貴重な経験となりました。加えて、幅広い専門分野の先生方、学生と寝食を共にして語り合いながら日々を過ごせたことは、自分の研究を見つめなおし、研究に新たな幅を与えてくれる良い機会となりました。

最後に、このような機会を与えていただいた CEReS の方々とバイオマスセミナー+トレーニングコースに参加された皆さんに感謝致します。

#### ■ 工学部 4年 岡本 芽生

今回のセミナーには千葉大学園芸学部のような他学科生、北海道大学や筑波大学のような他大生とい

う様々な場所から自分と同じ大学生が集まり、セミナープログラム以外の場でもそれぞれの研究内容について話をしたり、今後のことについて話したりと、学業的に多くの刺激を受けることができた。また、LAI や GIS のようなリモートセンシングの知識の一部について集中的かつ丁寧に講義をしていただくことで、専門分野に関する知識をいっそう深め、大変有意義な時間を過ごすことができた。

このような機会を提供して下さった諸大学の先生方、その他ご指導くださった講師の方々、援助をして下さった千葉大学の方々に感謝したい。

#### ■ 工学部 4年 関根 拓郎

今回自分が参加した理由としては、卒業研究のテーマに関する内容と当セミナーの内容が近かったためでした。開催を取り仕切られた北海道大学の柴田先生が、セミナー初日に「自分の研究分野だけでなく、その他の分野がどのようになっているのか知るきっかけに」と仰っていましたが、セミナー終了後にその事を痛感する結果となりました。先生方の研究紹介で特に印象に残ったのは、観測サイトの設置に関わる話でした。自分は研究でコンピュータ上でやる事ばかりを考えていましたが、今回話を聞いて現地観測の重要性を感じました。観測データを処理する際にそのデータの誤差等を考える場合、現地観測がどのように行われているかを理解していなければいけません。その点を含め、今回のセミナーで現地観測とデータ処理の一連の流れを行ったことは非常に良いと思いました。

今回二日間のセミナーと通して様々な事を学びました。自分以外の参加者の方々も、多くの人が分野以外の事を学べた今回のセミナーに対して、良かったと感想を持っていたように感じます。自分に関しても、研究内容以外の事を学ぶ事により多くの発見を得る事が出来ました。現地観測とそのデータ処理を行うこのようなセミナーは非常に重要であり、今後も継続して行われる事を願います。

## ◆◆ 広野町で UAV を使った空間線量率測定を実施 ◆◆

10月29日～31日の日程で福島県双葉郡広野町の山林を対象とした UAV (ラジコン電動マルチコプターを使用) による航空測量と空間線量率の測定を行いました。広野町は東電福島第一原発事故後、一時緊急時避難準備区域に指定されましたが、指定解除後も放射能に対する不安は残り、人口も回復していません。宅地などの除染はほぼ終了しましたが、宅地に隣接する山林は除染が行われていないため、山林周辺の放射線量の傾向把握のために UAV による測定を行いました。



UAV による放射線量測定 (福島民友より)

調査ではまず航空測量によりオルソ空中写真と DSM(Digital Surface Model)を作成し、土地被覆現状の把握と、飛行ルートの設定を行います。その後、空間線量率計を搭載して樹冠上をオートパイロットにより飛行し、山林域の測定を行いました。同時に、歩行による空間線量率サーベイも行い、相互に補完しながら山林域を含めた広域の詳細な空間線量率マップを作成しているところです。この測定結果は広野町が設置している除染検証委員会の検証に活かす予定ですが、近接リモートセンシングのツールとして UAV の利用が効率的であることを示すことができました。

(近藤)

## 第 6 回インドネシア・日本共同科学シンポジウムおよび

### 第 22 回 CEReS 国際シンポジウム開催

～The 6<sup>th</sup> Indonesia-Japan Scientific Symposium [IJSS2014] at Gadjah Mada Univ.～

2014 年 10 月 29 日～30 日の 2 日に向け、インドネシアのジョグジャカルタ（Yogyakarta; 英語表記で Jogjakarta）のガジヤマダ大学（Gadjah Mada）にて表記の国際シンポジウムが開催されました。初日の午前はオープニングセレモニーとなり、当センターの建石センター長が welcome スピーチをされました。初日午後には、IJSS の特別セッションとして第 22 回 CEReS 国際シンポジウムが開催され、22 回目で初の海外開催となりました。シンポジウムのトップバッターとして、インドネシア気象局（BMKG）長官である Andi Eka Skya 博士による講演があり、その後いくつかキャンセルがありましたが、計 13 件のエントリがあり、活発な議論がなされました。途中停電となるハプニングがありましたが、シンポジウムとしては盛況で 84 名の参加がありました（写真 1）。

2 日目には IJSS 中のリモセンに関連するセッションを聴きに行きましたが、意外とインドネシアの関連大学の学部生の発表が多く、研究としてのレベルはさておき、学部生からこのような国際シンポジウムで英語で発表することに対する心意気を感じました。ジョグジャカルタは観光地でもあることから、海外渡航中にありがちな妙な緊張感・緊迫感を感じることもなく、大変快適でした（行きと帰りの国際線・国内線乗り継ぎが非常にタイトだったことには閉口しましたが...）。IJSS2014 および CEReS 国際シンポジウムのホストをして頂いた実行委員会のメンバーおよび運営スタッフに感謝致します。

（文責：樋口）



写真 1 第 22 回 CEReS 国際シンポジウム終了後の集合写真



写真 2 第 6 回 IJSS2014 での集合写真