

## ランダムフォレストを用いた雷放電VLF/LF帯電磁パルス同定の試み

太田悠一朗<sup>1)</sup>, 三浦健伸<sup>2)</sup>, 吉野千恵<sup>3)</sup>, 服部克巳<sup>3,4,5)</sup>, 今住則之<sup>6)</sup>

1. 千葉大学大学院融合理工学府 2. 千葉大学理学部地球科学科 3. 千葉大学大学院理学研究院

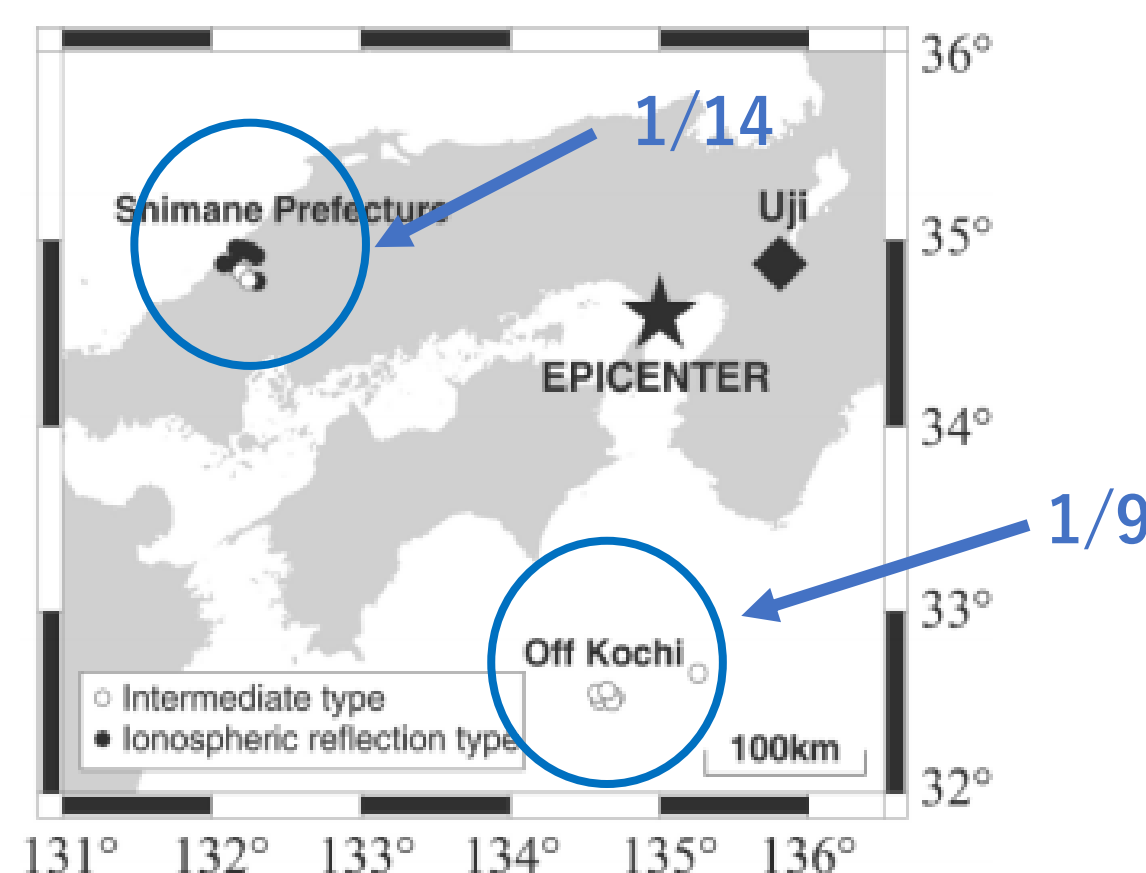
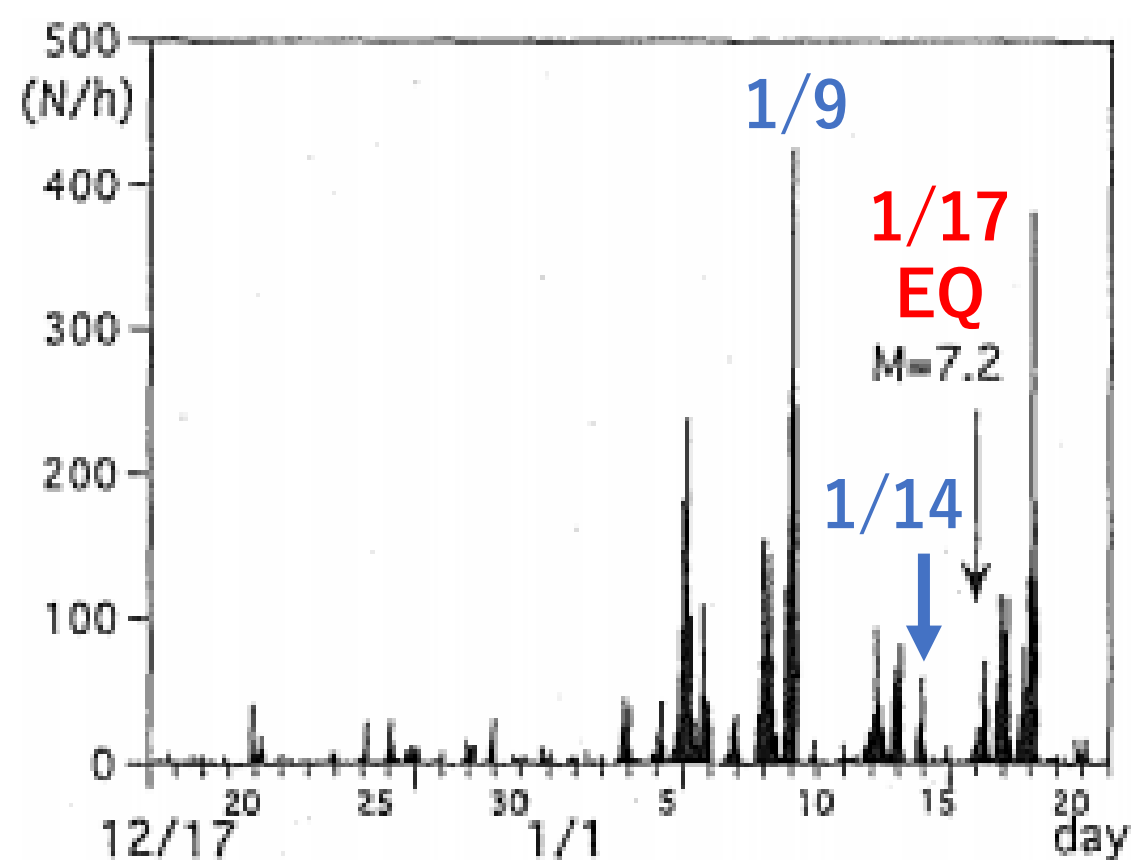
4. 千葉大学環境リモートセンシング研究センター 5. 千葉大学災害治療学研究所 6. 日本技術士会千葉県支部

### 1. 研究背景

#### VLF/LF放射に関連する地震前兆現象

• 1995/1/17の兵庫県南部地震 (M7.2, 深さ20 km)の発生数日前から, 宇治観測点でのLFパルス数が増加(Yamada and Oike, 1996)

• VLF/LF放射は雷放電によっても発生



兵庫県南部地震 (M7.2, 深さ20 km)前後における宇治観測点でのLFパルス数変動 (After Yamada and Oike, 1996)

1/9と1/14の雷発生位置 (After Izutsu, 2007)

課題  
「雷放電電磁パルス」と「地震に関連している信号」の弁別

最終的に検出したい信号である地震に関連している信号の特徴は不明

• 雷放電電磁パルスを同定・除外  
• 残ったデータを精査

### 2. 研究目的

- 地震に関連するVLF/LF信号同定においてノイズとなる雷放電パルスの同定および除外を適切に行うシステムの構築
- システムの精度や有効性を評価

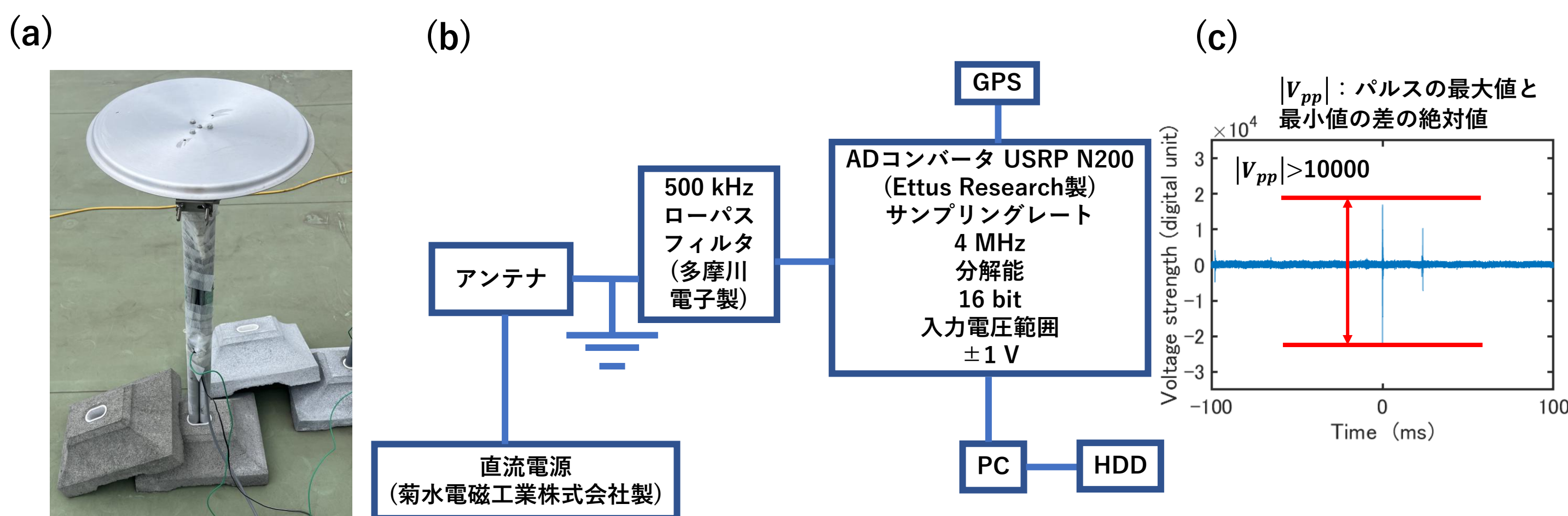
• 2つのアプローチを実施

① 機械学習の適用 (4~9節参照)  
• 特徴が既知の雷放電素過程を同定・除外

② VLF/LF帯広帯域干渉計の開発 (10節参照)  
• 複数の観測点で得られたデータを用いて電磁放射源位置推定  
• 雷放電パルスを時空間的に除外

本発表では, ①のアプローチにおいて構築したランダムフォレスト (機械学習モデルの一種) を中心に報告

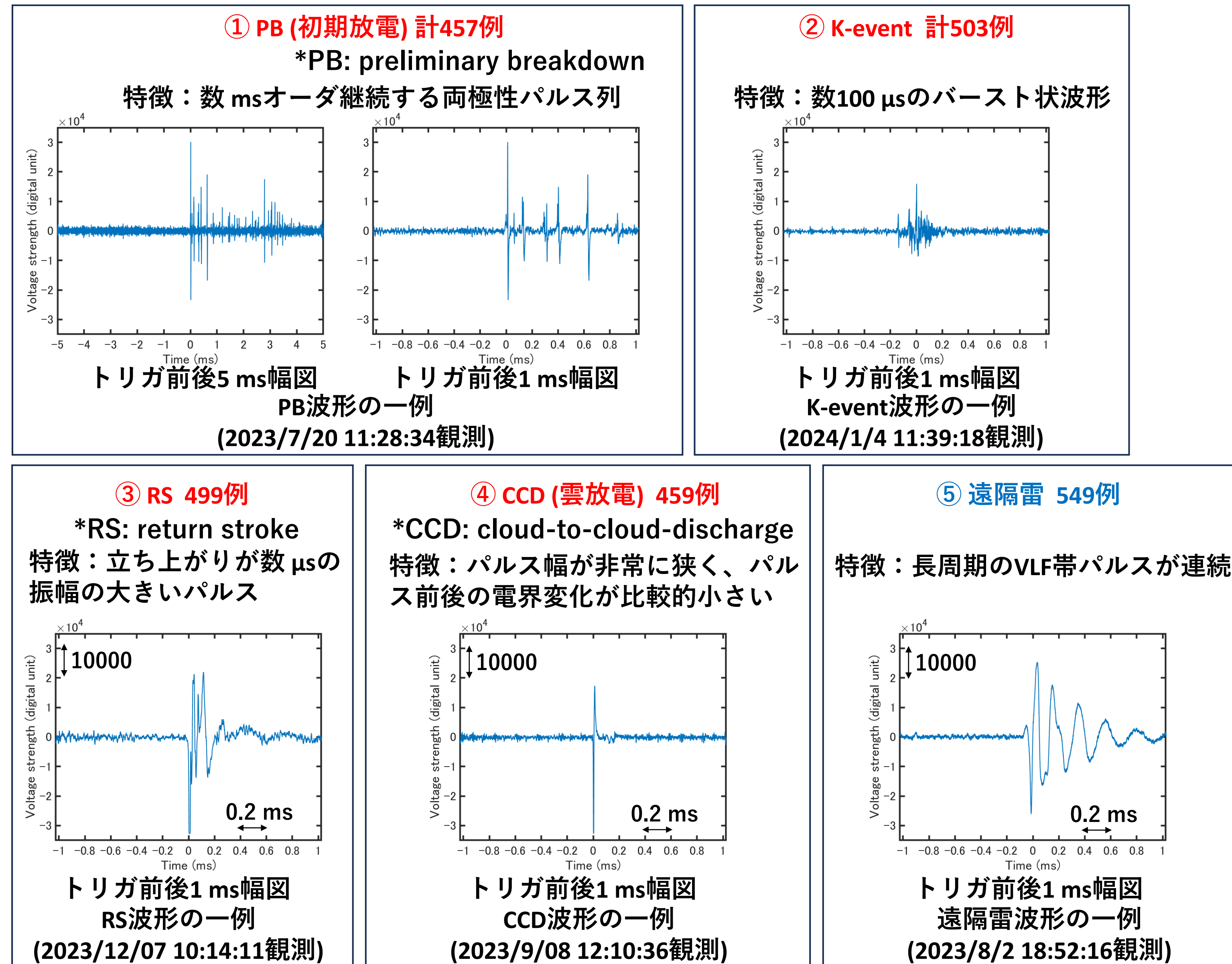
### 3. アンテナシステム概要



(a) 容量性円形平板アンテナ. アルミ製の鍋蓋を再利用して製作. 観測周波数範囲は5.3~500 kHz (VLFとLFが観測可能). (b) アンテナシステムのブロック図.  
(c) 記録される波形の例. 閾値を超えたパルスの前後約100 msを記録する.

### 4. ランダムフォレスト学習データ

使用データ: 2023年, 2024年の観測データから, 目視での精査によって判定した5種類の雷放電素過程の波形 (近接雷放電過程の波形4種類①~④ + 遠隔雷放電波形⑤) データ2467例



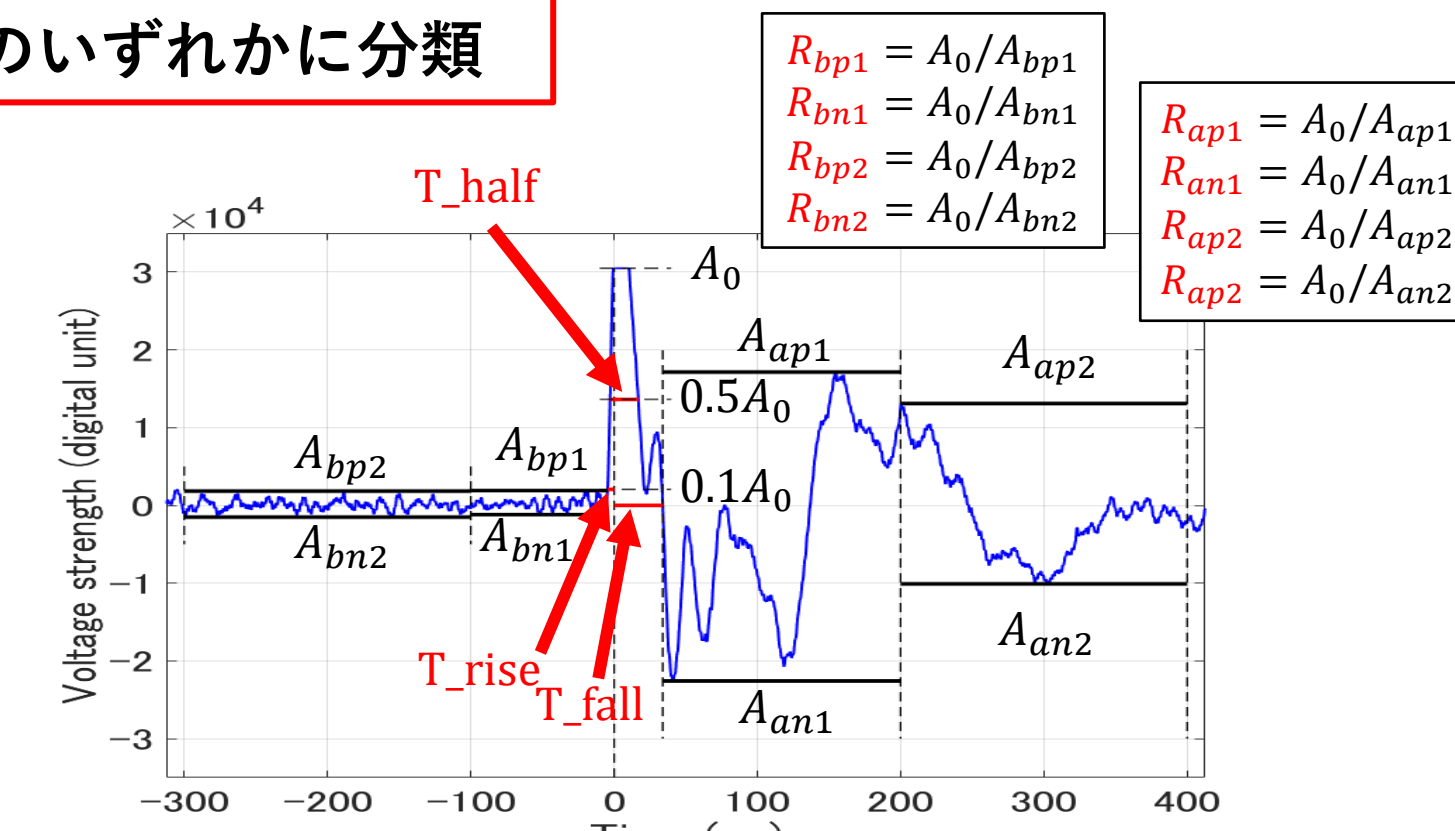
### 5. ランダムフォレスト学習方法

- 決定木は100本
- 30個の特徴量パラメータから, 5種類の雷放電素過程のいずれかに分類

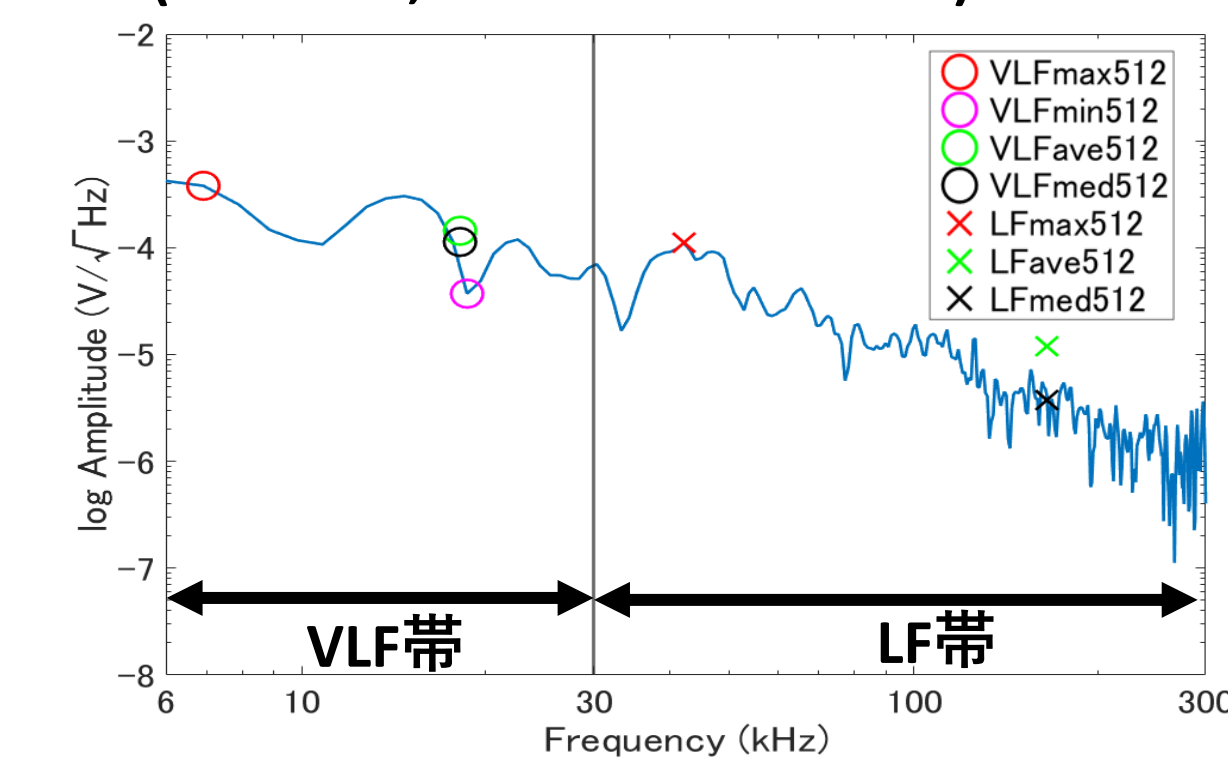
[特徴量パラメータ一覧]

No.6-16はWu et al., 2023のパラメータ

No.	パラメータ	単位	概要
1	N_bp_5000		トリガ前後5msの両極性パルス数
2	N_bp_500		トリガ前後0.5msの両極性パルス数
3	R_bp		N_bp_500/N_bp_5000 (両極性パルス数の比)
4	T_bp_ave	ms	両極性パルスのピーク間隔の平均値
5	T_bp_med	ms	両極性パルスのピーク間隔の中央値
6	T_rise	μs	パルスの10%-peak立ち上がり (下り) 時間 (図a参照)
7	T_half	μs	パルス幅 (図a参照)
8	T_fall	μs	パルスのpeak-0%時間 (図a参照)
9	R_ap1		振幅比 (図a参照)
10	R_an1		振幅比 (図a参照)
11	R_ap2		振幅比 (図a参照)
12	R_an2		振幅比 (図a参照)
13	R_bp1		振幅比 (図a参照)
14	R_bn1		振幅比 (図a参照)
15	R_bp2		振幅比 (図a参照)
16	R_bn2		振幅比 (図a参照)
17	VLFmax4096	V/√Hz	トリガ前後4096 μsのパワースペクトル密度におけるVLF帯での最大値
18	VLFmin4096	V/√Hz	トリガ前後4096 μsのパワースペクトル密度におけるVLF帯での最小値
19	VLFave4096	V/√Hz	トリガ前後4096 μsのパワースペクトル密度におけるVLF帯での平均値
20	VLFmed4096	V/√Hz	トリガ前後4096 μsのパワースペクトル密度におけるVLF帯での中央値
21	LFmax4096	V/√Hz	トリガ前後4096 μsのパワースペクトル密度におけるLF帯での最大値
22	LFave4096	V/√Hz	トリガ前後4096 μsのパワースペクトル密度におけるLF帯での平均値
23	LFmed4096	V/√Hz	トリガ前後4096 μsのパワースペクトル密度におけるLF帯での中央値
24	VLFmax512	V/√Hz	図b参照
25	VLFmin512	V/√Hz	図b参照
26	VLFave512	V/√Hz	図b参照
27	VLFmed512	V/√Hz	図b参照
28	LFmax512	V/√Hz	図b参照
29	LFave512	V/√Hz	図b参照
30	LFmed512	V/√Hz	図b参照

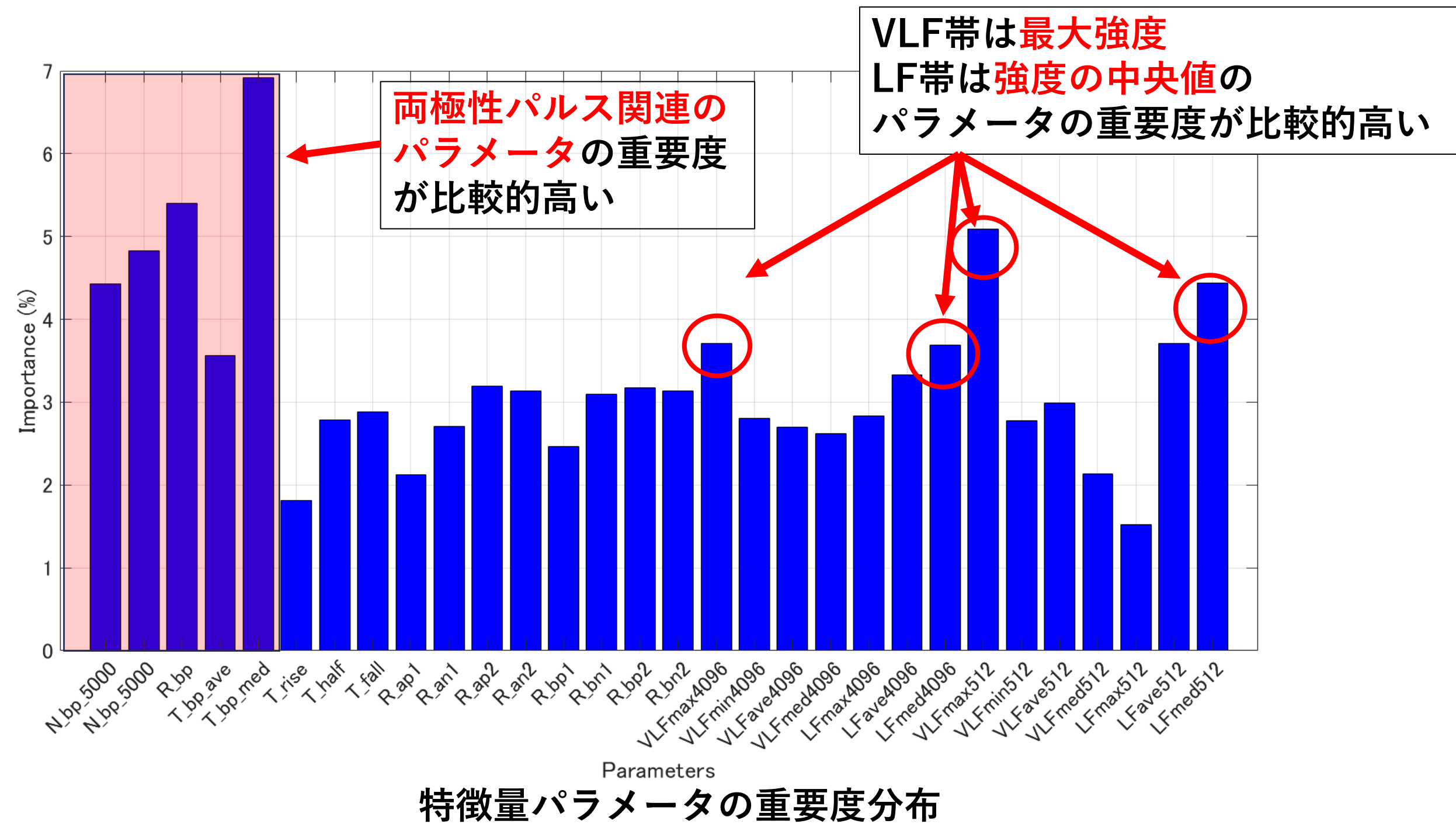
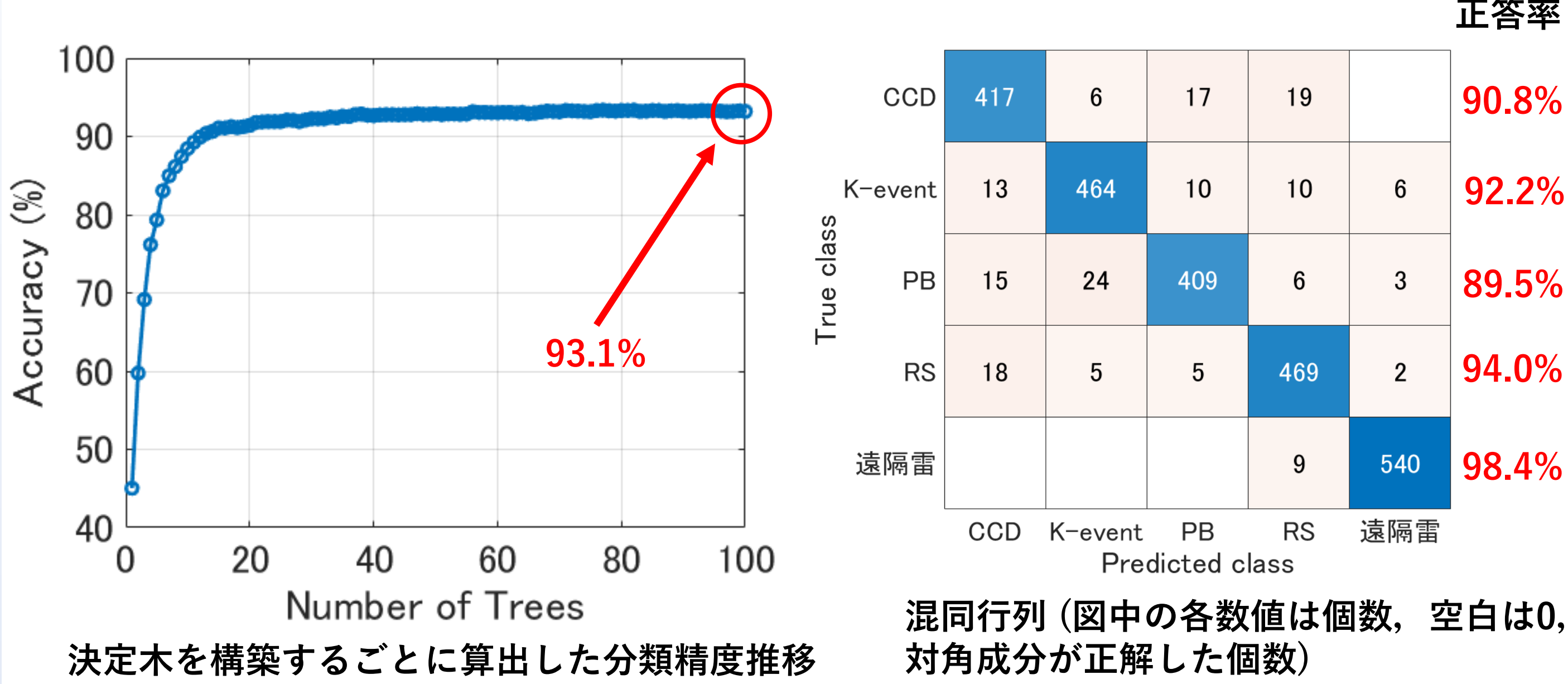


図a. 特徴量パラメータ説明図 (No.6-16) (Wu et al., 2023のパラメータ)



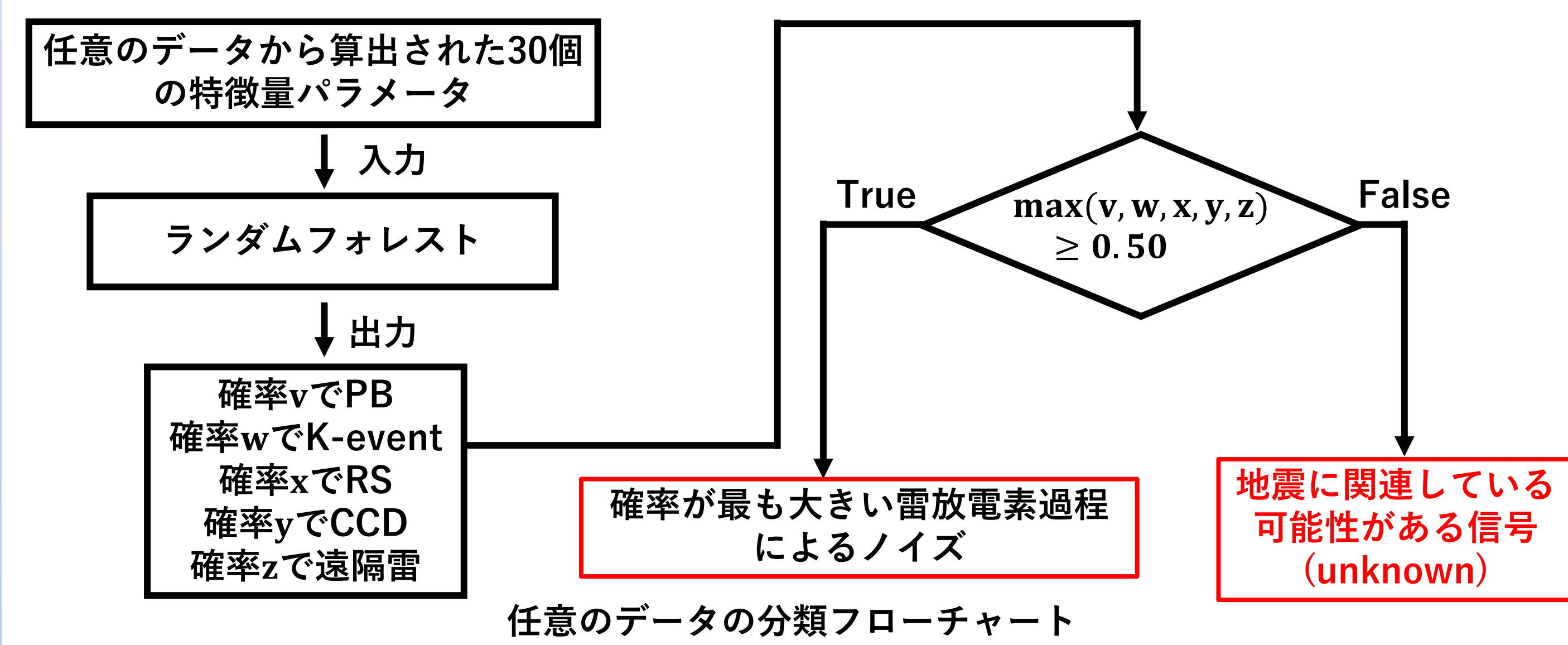
図b. 特徴量パラメータ説明図 (No.24-30) トリガ前後512 μsのパワースペクトル密度

## 6. ランダムフォレスト学習結果

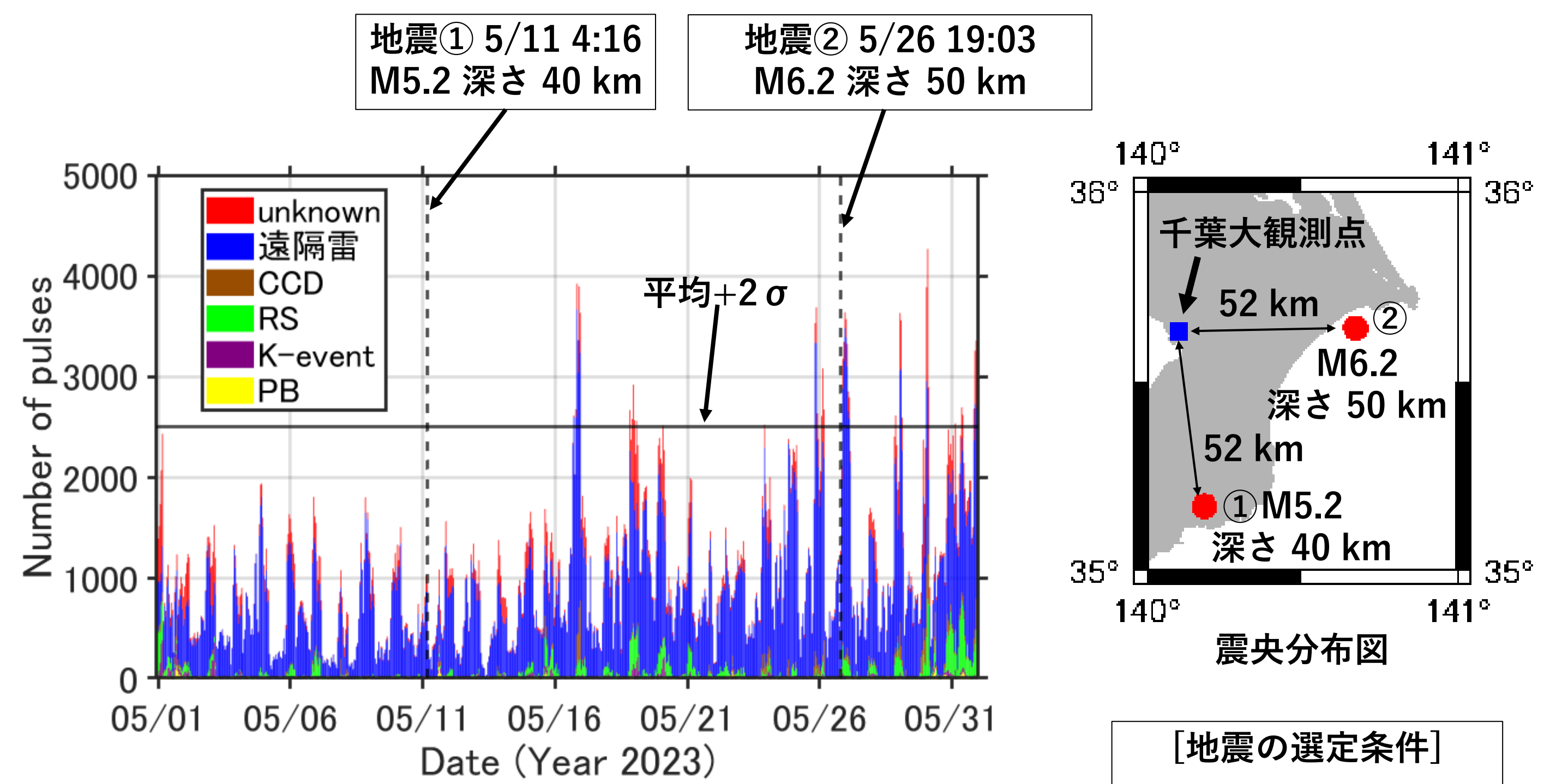


## 7. 2023年5月のパルス数変動調査

- 2023年5月の観測データ763782個に、構築したランダムフォレストを適用
- ランダムフォレストが出力する雷放電素過程への各分類確率の最大値が0.50未満のものを地震に関連している可能性がある信号 (unknown) に分類
- 分類結果を考慮した1時間当たりのパルス数変動を調査し、ランダムフォレストの有用性を評価



## 8. 2023年5月のパルス数変動調査結果



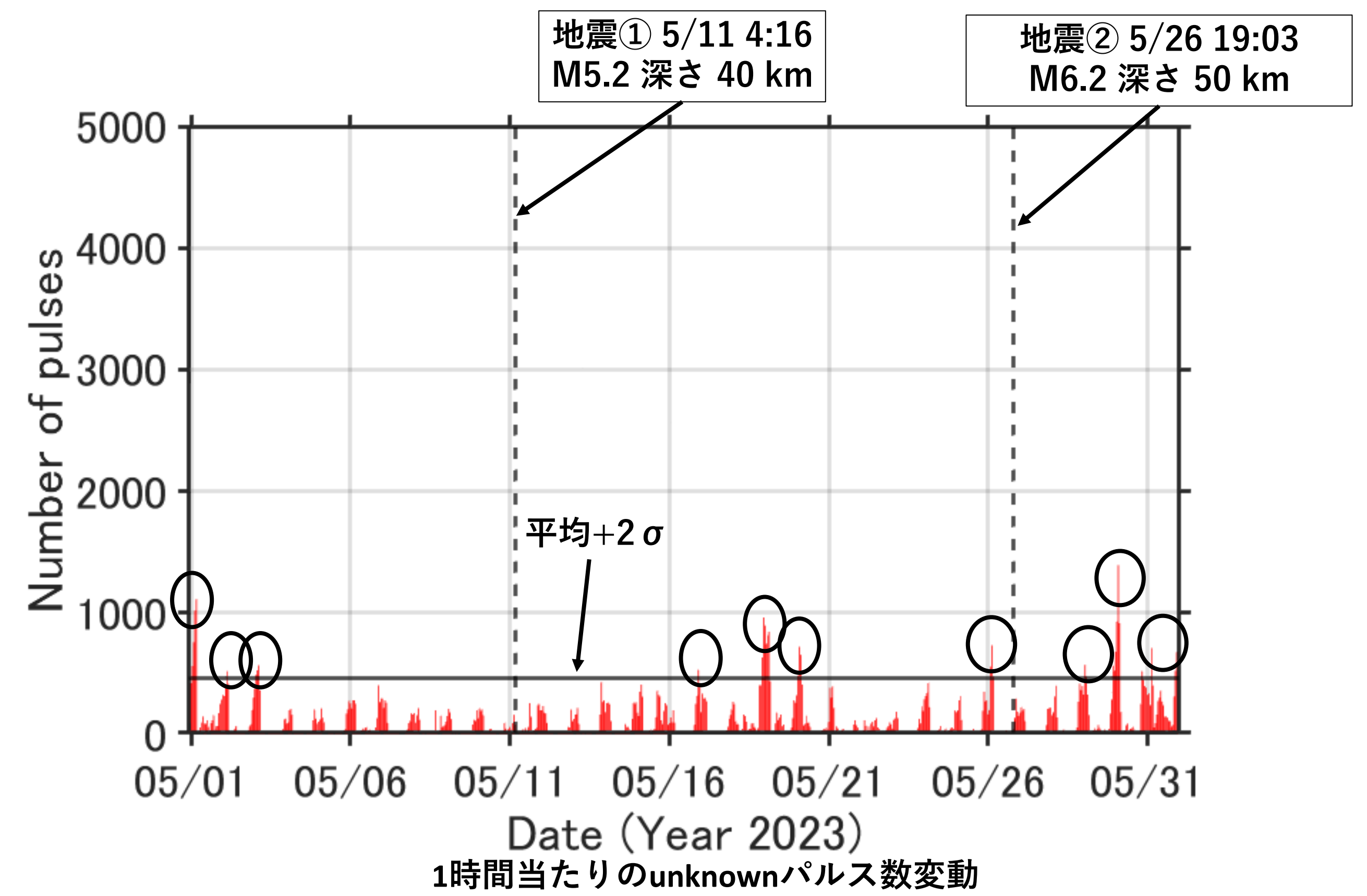
ランダムフォレストによる分類結果を積み上げ式で表した1時間当たりのパルス数変動

図中の黒線は1時間当たりのパルス数の平均+2σ

①, ②は解析期間内において、右の条件を満たした地震の発生時間 (右図参照)

- ほとんどのパルスが雷放電素過程のパルス
- 特に遠隔雷パルスが多数

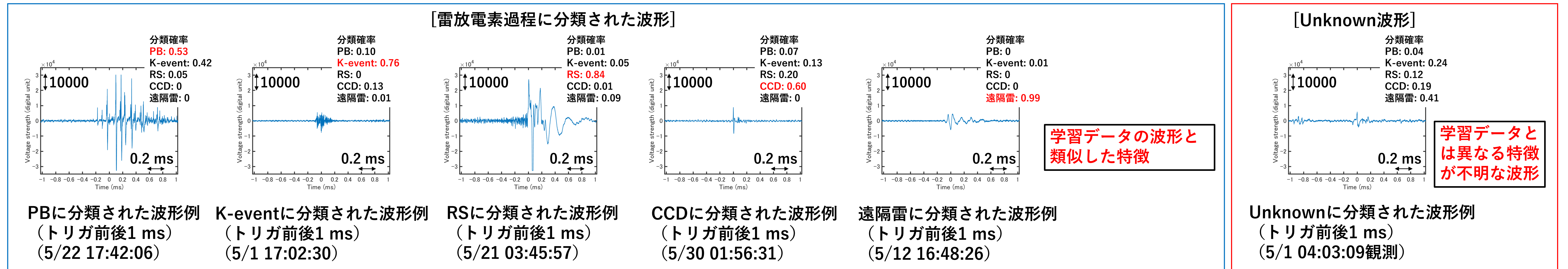
- [地震の選定条件]
- $E_s = \frac{10^{1.5M+4.8}}{r^2} \geq 10^8$
  - M: マグニチュード
  - r: 震源距離 [km]
  - 震央距離100 km以内



- 地震発生前後いずれにおいても平均+2σを超えるパルス数増加がみられ、地震との明確な関連性はみられない
- 一方、本ランダムフォレストの適用によって、データ数が763782個から87687個まで減少 (約88%のパルスが雷放電由来のパルスとして除外)
- 時間的コストの大幅な削減に貢献

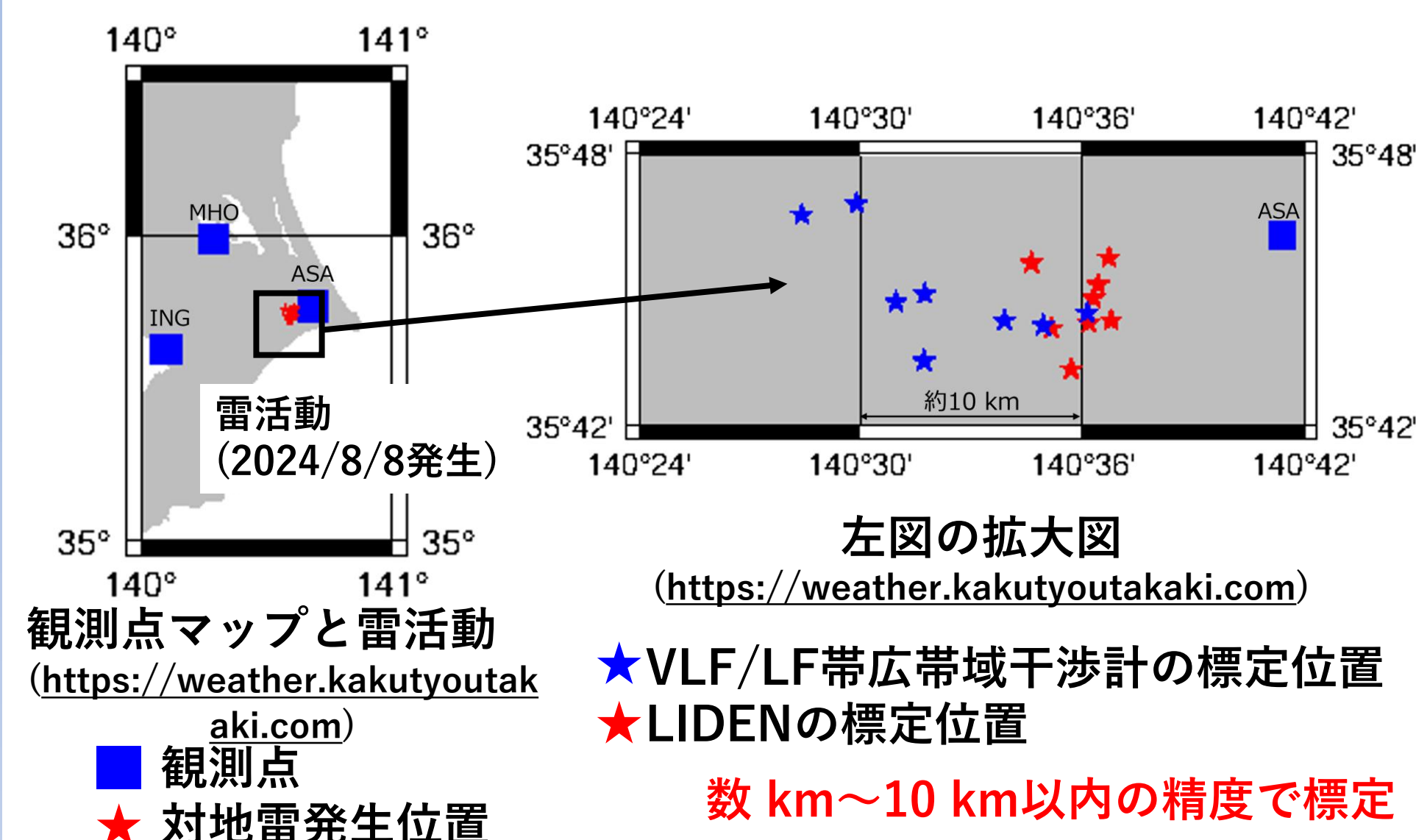
## 9. ランダムフォレストの出力結果例

- 2023年5月のデータに対するランダムフォレストの分類結果を精査



## 10. VLF/LF帯広帯域干渉計

- 干渉計ネットワーク内部の雷活動を標定
- 気象庁LIDENの標定位置と比較



## 11. 結論・今後の課題

### [結論]

- 地震に関連するVLF/LF信号同定においてノイズとなる雷放電パルスの同定および除外を適切に行うシステムの構築およびシステムの精度や有効性評価を目的とし、機械学習と干渉計の2つのアプローチを実施

- ランダムフォレストの学習精度は93.1%, 各ラベルごとの正答率は約90%あるいはそれ以上
- 実データに適用し、約88%のパルスを特徴が既知である雷放電素過程のパルスとして同定・除外
- 雷放電素過程に分類された波形とUnknown波形の精査をしたところ、分類結果も妥当
- 構築したランダムフォレストは、特徴が既知の雷放電ノイズとの弁別にも有効なシステム
- VLF/LF帯広帯域干渉計は、干渉計内部において数 km ~ 10 km 程度の誤差で標定可能
- 本研究で構築した2つのシステムは、地震に関連するVLF/LF信号の今後の調査に大きく貢献

### [課題]

- 解析期間延長, 各波形のさらなる精査, ランダムフォレスト改良, 干渉計外部での標定精度調査

## 参考文献

- Yamada and Oike, J.Phys.Earth, 44, 405-412, 1996
- Izutsu., Terr. Atmos. Ocean. Sci., 18(5), 923-950, 2007
- Wu et al., JGR Atmospheres, 128, e2023JD038715, 2023.

## 謝辞

観測システムの作成にご協力いただいた神戸市立工業高等専門学校の中村佳敏准教授, 近畿大学の森本健志教授に深く感謝致します。雷活動のデータは, LIDEN (https://weather.kakutyoutakaki.com) から, 地震データは気象庁カタログからご提供頂きました。ここに感謝の意を表します。また本研究の一部は, 地震・火山噴火予知協議会の「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) (課題番号: CBA\_01 研究代表者: 服部克巳)」, 一般財団法人WNI気象文化創造センター「第7回および第8回気象文化大賞」の助成金を使用しました。関係各位に厚く御礼申し上げます。

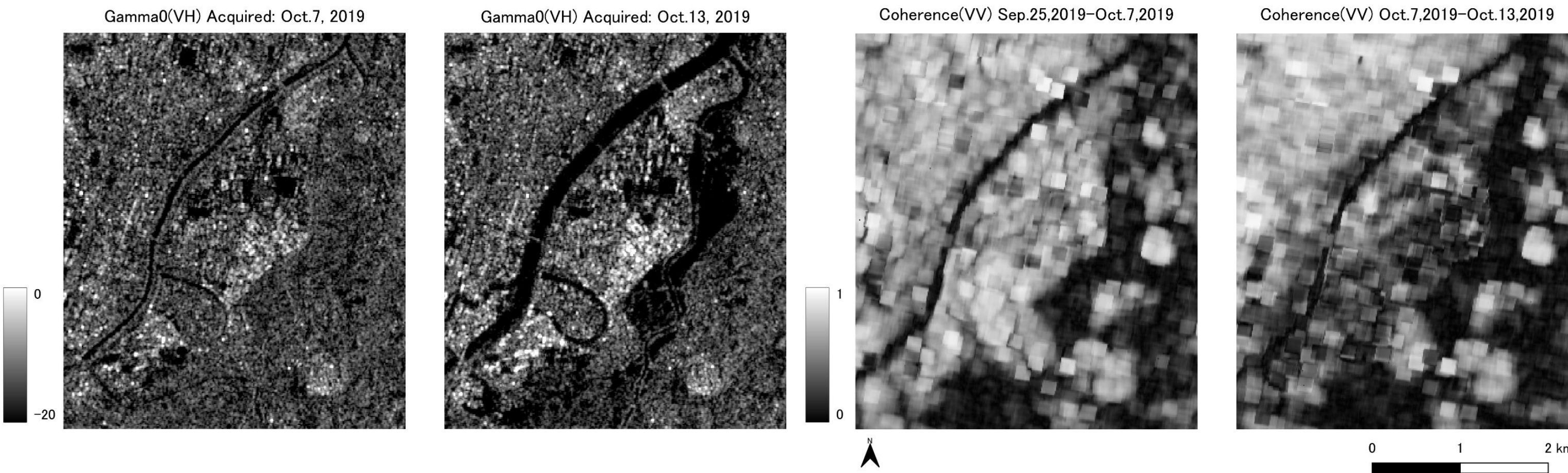
# 機械学習モデルを用いたCバンドSAR衛星データに基づく浸水域の抽出

吉田圭佑\*・中山大地・松山 洋（都立大）

## はじめに

本研究では、Sentinel-1(ESAが運用するCバンドSAR衛星)のデータから得られた後方散乱強度とコヒーレンスを用いてピクセルベースの浸水域抽出モデルの作成を試みた。その中で以下の課題を考慮した。

- ① 後方散乱強度では建物域の浸水を検出できない  
→本研究では干渉処理によって得られるコヒーレンスも併せて用いる。



- ② 機械学習モデルによる推定にはモデルやデータに起因する不確かさが含まれる  
→本研究では、与えられたデータに基づく浸水している事後確率を出力するモデルを作成し、考察する。

## 手法と使用データ

- 対象：令和元年東日本台風で浸水が発生した3事例
1. 阿武隈川流域
  2. 那珂川流域
  3. 荒川水系（都幾川・越辺川）流域

### 使用データ

- ① 3 時期のSentinel-1データ（VV・VH偏波）

事例	取得日時(JST)	取得衛星	Bperp(m)	衛星進行方向
阿武隈川流域	2019/9/24 5:42 [災害前1]	Sentinel-1A		
	2019/10/6 5:42 [災害前2]	Sentinel-1A	-53.93m	Descending
	2019/10/13 5:42 [災害後]	Sentinel-1B	12.82m	
	2019/9/1 17:33 [災害前1]	Sentinel-1B		
那珂川流域	2019/9/13 17:33 [災害前2]	Sentinel-1B	-60.61m	Ascending
	2019/10/13 17:34 [災害後]	Sentinel-1A	86.81m	
荒川水系流域	2019/9/24 5:43 [災害前1]	Sentinel-1A		
	2019/10/6 5:43 [災害前2]	Sentinel-1A	-51.72m	Descending
	2019/10/13 5:43 [災害後]	Sentinel-1B	1.46m	

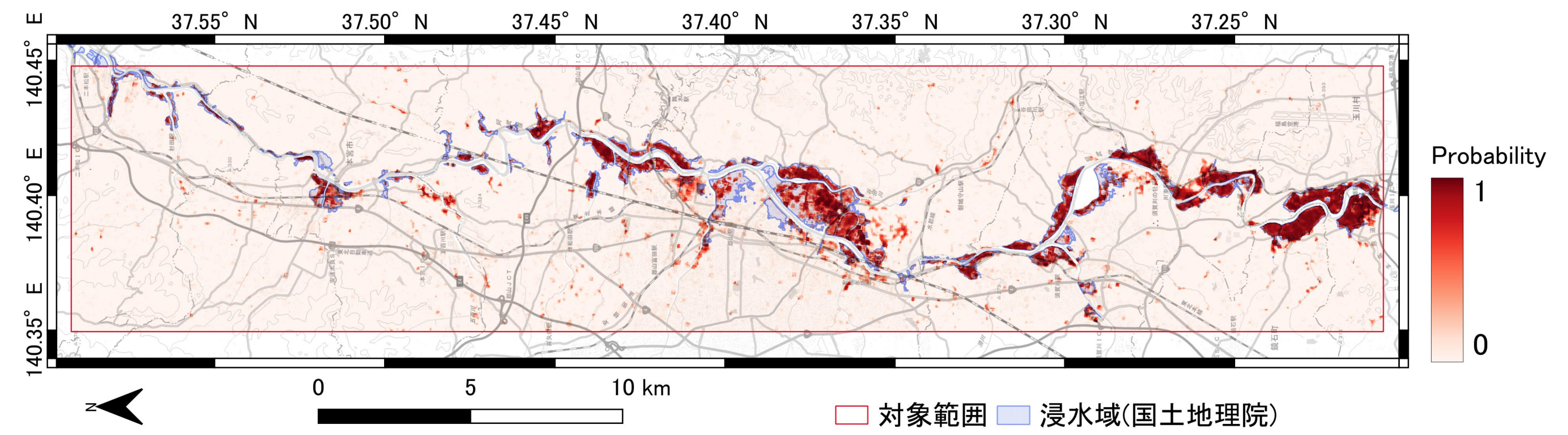
後方散乱強度はGamma0を使用、コヒーレンスは44×11のウィンドウサイズで計算した。これらはSNAPにて処理した。

- ② 浸水域データ（国土地理院）

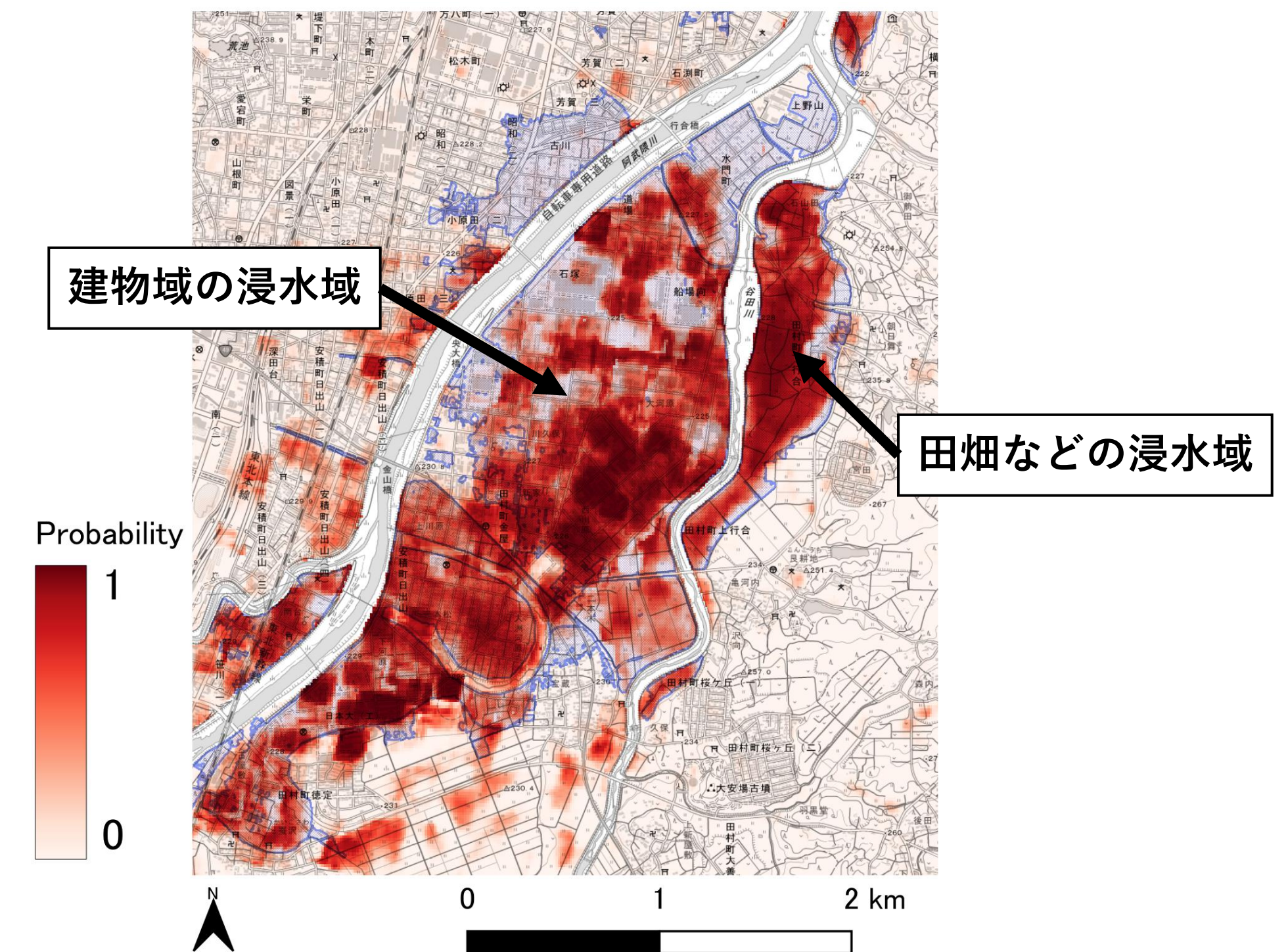
### 研究手法

- ① ニューラルネットワークモデル（中間層2層・出力関数：標準シグモイド関数）を阿武隈川流域の事例からランダムに10%抽出したトレーニングデータで学習し、それらを評価する。
- ② 浸水域における後方散乱強度とコヒーレンスの災害前後の変化量の特徴について考察。

## 結果



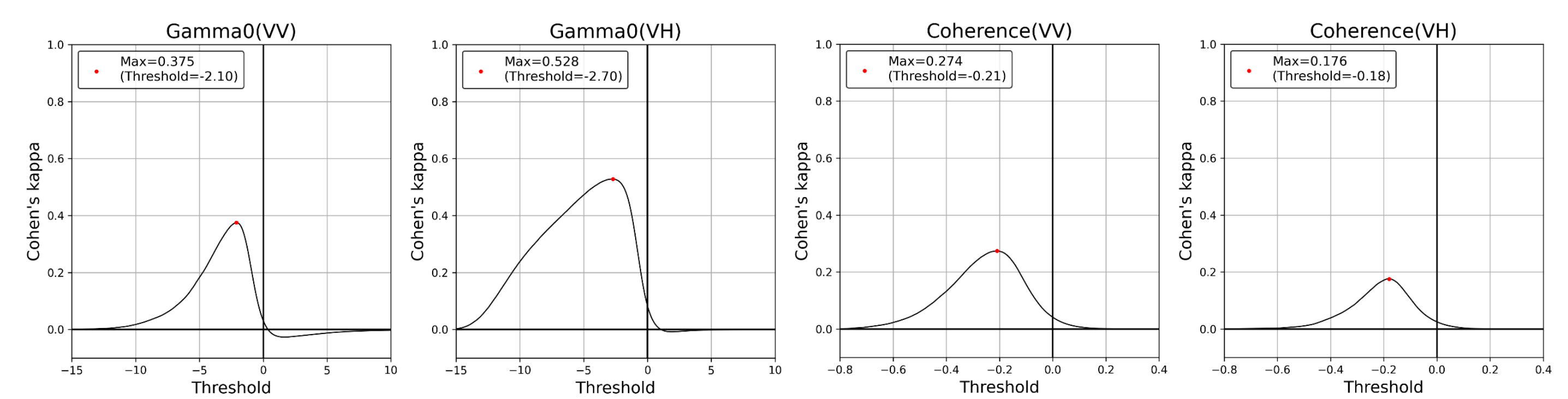
阿武隈川流域（対象範囲全域）の結果



阿武隈川流域の建物域において発生した浸水域もおおむね検出することができている。

### 浸水域抽出性能（カッパ係数）の最大値

阿武隈川流域(テストデータ)： 0.669 (閾値：35.8%)  
那珂川流域： 0.621 (閾値：25.9%)  
荒川水系流域： 0.485 (閾値：57.0%)



### 災害発生前後の変化量の浸水域判別性能（阿武隈川流域の事例）

3 事例とも浸水域における後方散乱強度の低下ではVH偏波、建物域におけるコヒーレンスの低下、後方散乱強度の上昇ではVV偏波のほうが浸水域の判別性能が高いことが確認された。

## 結論

- 阿武隈川流域の事例におけるテストデータ、那珂川流域の事例、荒川水系流域の事例にそれぞれ適用した結果、どの事例においても高い精度が確認された。
- 一方、荒川水系流域の事例では比較的3事例の中では精度が低かった。  
→国土地理院の推定結果と一致しなかった領域があったこと、コヒーレンスに起因するノイズによる誤検出があったことが原因か。
- 建物のない領域における浸水域検出ではVH偏波、建物域における浸水域検出ではVV偏波が寄与することが定量的に明らかとなった。

# GOSAT2熱赤外スペクトルからのイソプレンカラム量導出手法の検討



長浜智生<sup>1)</sup>、齋藤尚子<sup>2)</sup>、<sup>1)</sup>名古屋大学宇宙地球環境研究所、<sup>2)</sup>千葉大学環境リモートセンシングセンター

## 1. 赤外分光法によるイソプレン観測

- ・イソプレン (C<sub>5</sub>H<sub>8</sub>) とは？
  - > 不飽和炭化水素の揮発性有機化合物 (VOCs) で、大気中では全VOCの1/3を占める
  - > 主に植物から発生し、全球の放出量は約600 Tg/年
  - > 対流圏における寿命は約1時間
  - > 酸化によりエアロゾルや大気汚染物質を生成。NO<sub>x</sub>濃度が高い領域では、対流圏オゾンの生成に寄与

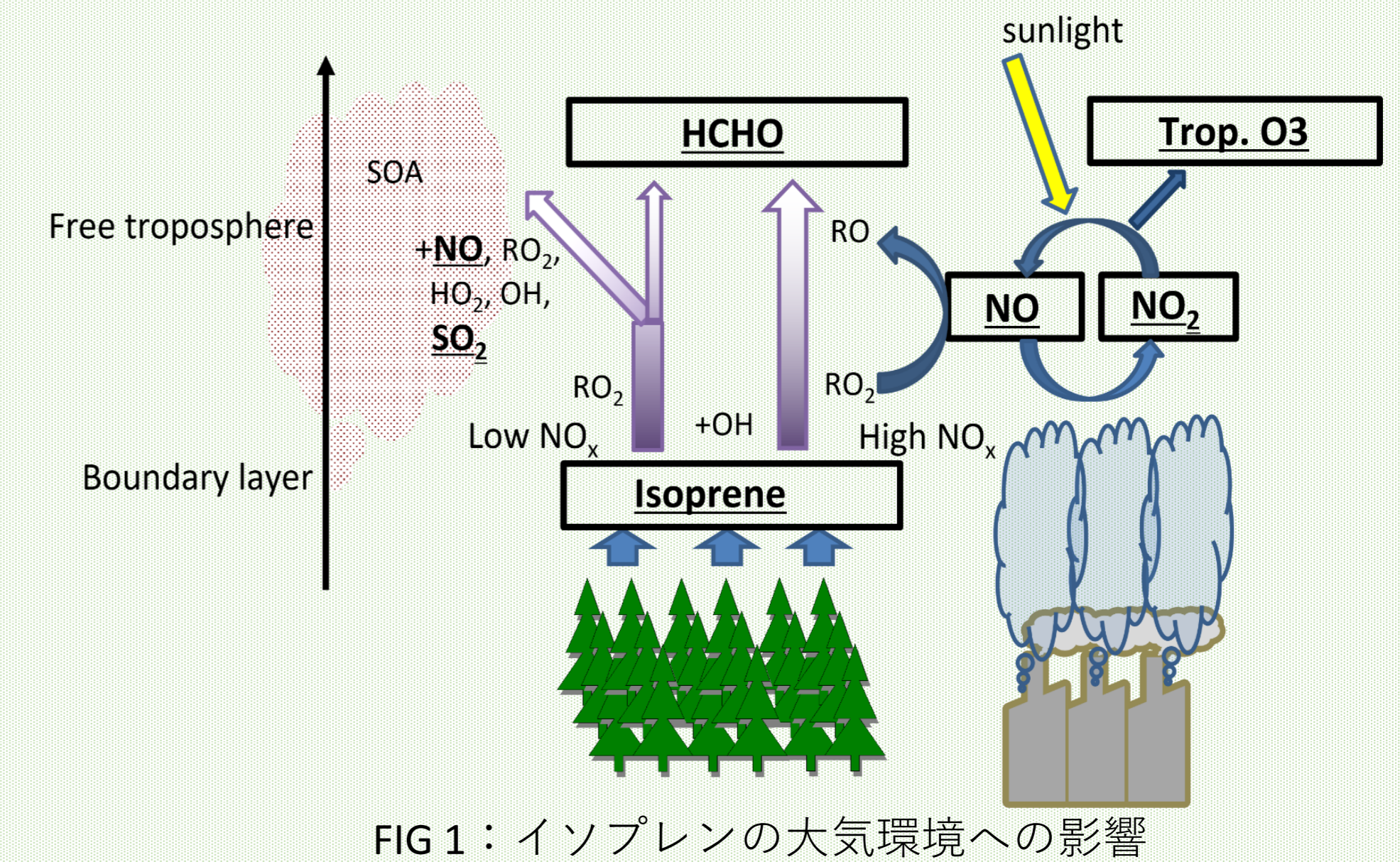


FIG 1: イソプレンの大気環境への影響

- ・陸別FTIRによるイソプレンカラム量の時間変動観測
  - > 高分解能太陽光吸収スペクトル観測データ (900 cm<sup>-1</sup>付近) からイソプレンカラム量を解析
    - ・観測された対流圏カラム量は、(0.8-1.7) × 10<sup>15</sup> mols cm<sup>-2</sup>
    - ・変動幅 (σ) の5倍以上のカラム量急増現象あり
    - ・春 (4-5月) と夏 (7-8月) にピークを持つ
    - ・大きな日変動を検出。対流圏カラム量の変動範囲は (0.5-3.0) × 10<sup>15</sup> cm<sup>-2</sup> で、日射の増加とともにカラム量が増大

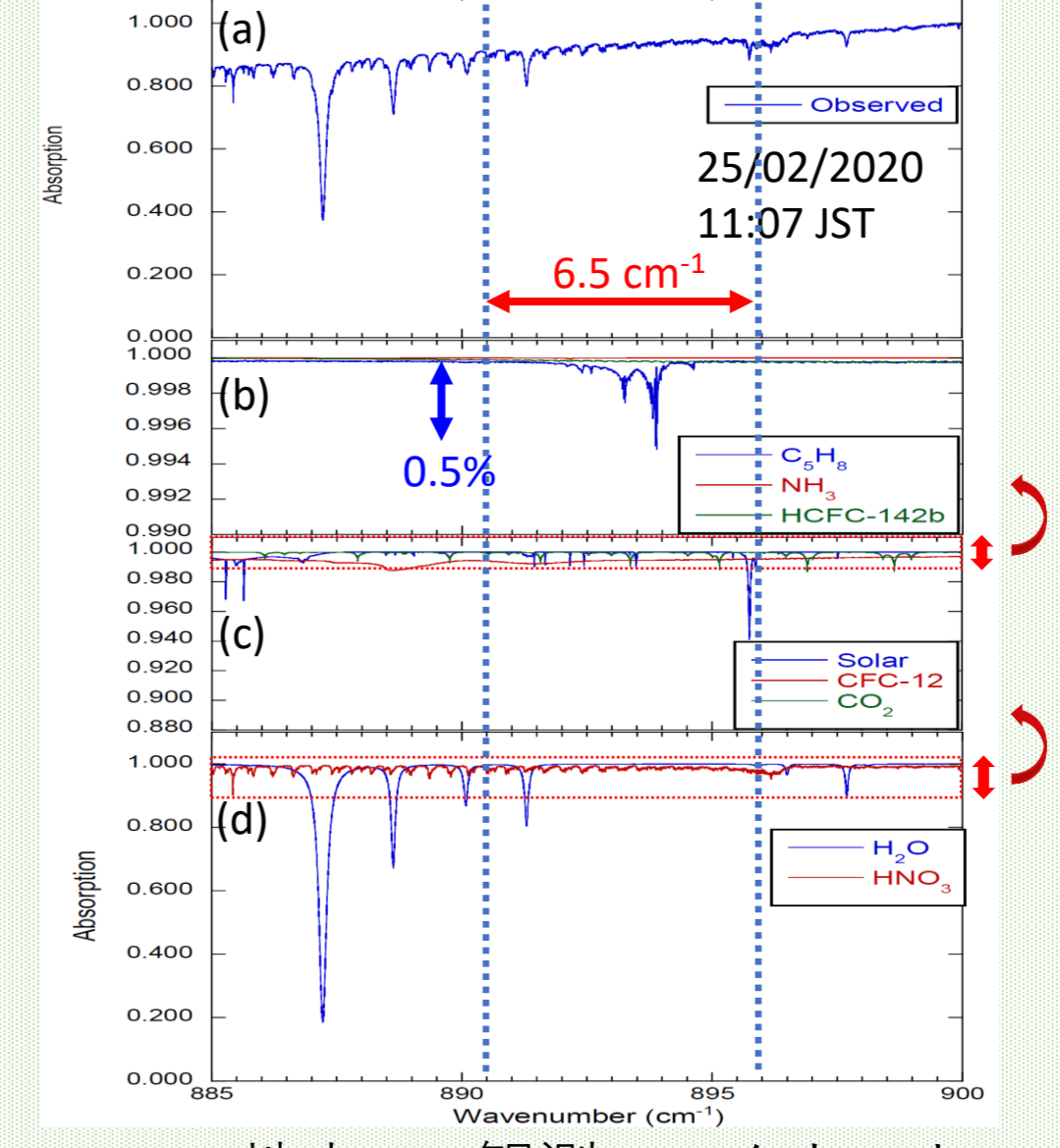


FIG 2: 地上FTIR観測スペクトルとフォワードモデル計算

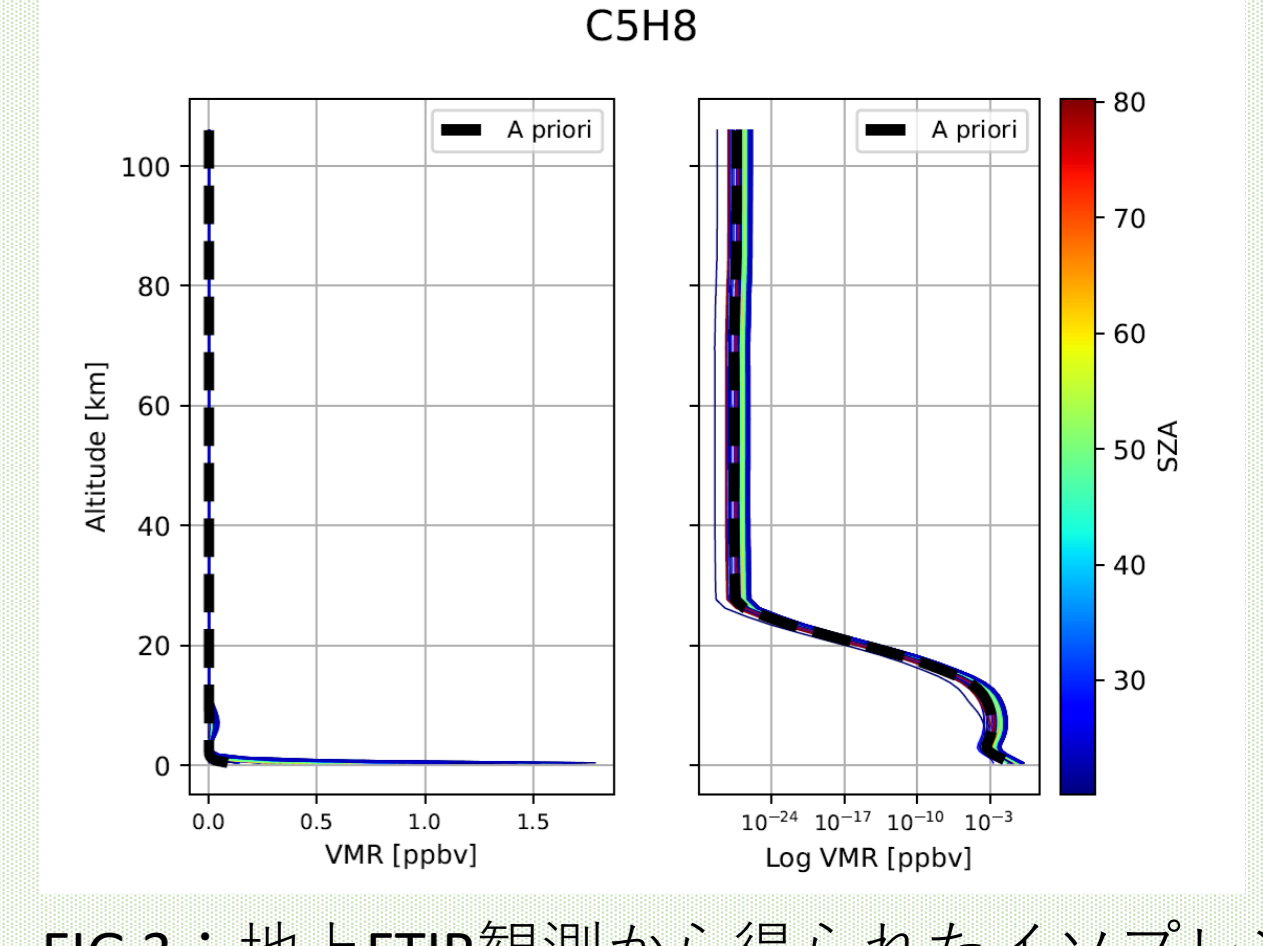


FIG 3: 地上FTIR観測から得られたイソプレン高度分布と初期推定値 (破線)

- ・HCHOカラム量とよく似た長期変動を示すが、時間的にはイソプレンはやや遅れて変化する。またイソプレン急増現象時のHCHO増加は小さい
- ・大気汚染物質であるオゾン、メタノール、ギ酸の対流圏カラム量は、イソプレンとは大きく異なる日変動を示す

### ☆イソプレンと大気汚染物質の時間的・空間的関係を解明したい

=> (日変動から長期変動まで) + (全球的分布) を明らかにする

↓  
衛星観測によりイソプレンの全球分布と時間変動把握を目指す

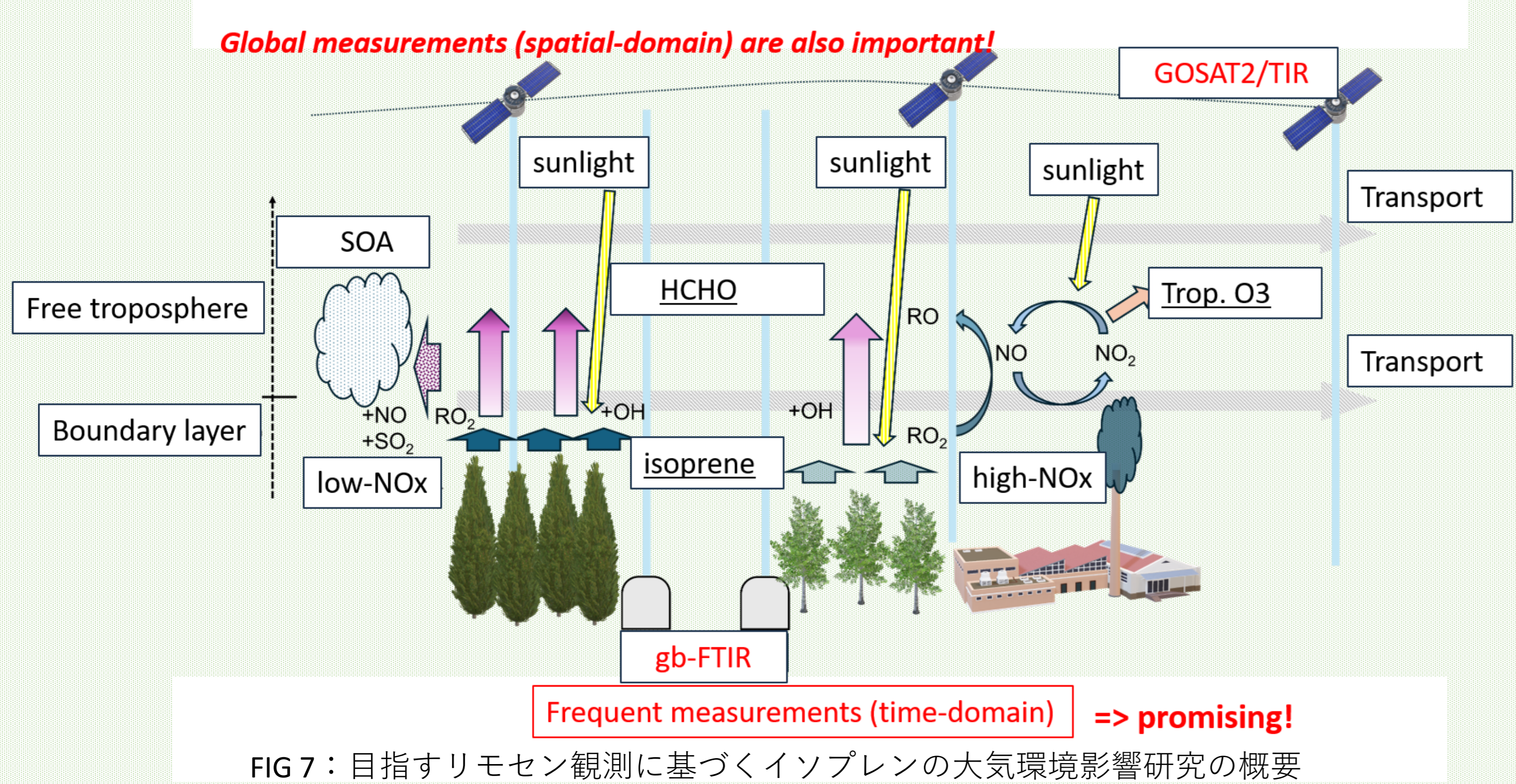


FIG 7: 目指すリモセン観測に基づくイソプレンの大気環境影響研究の概要

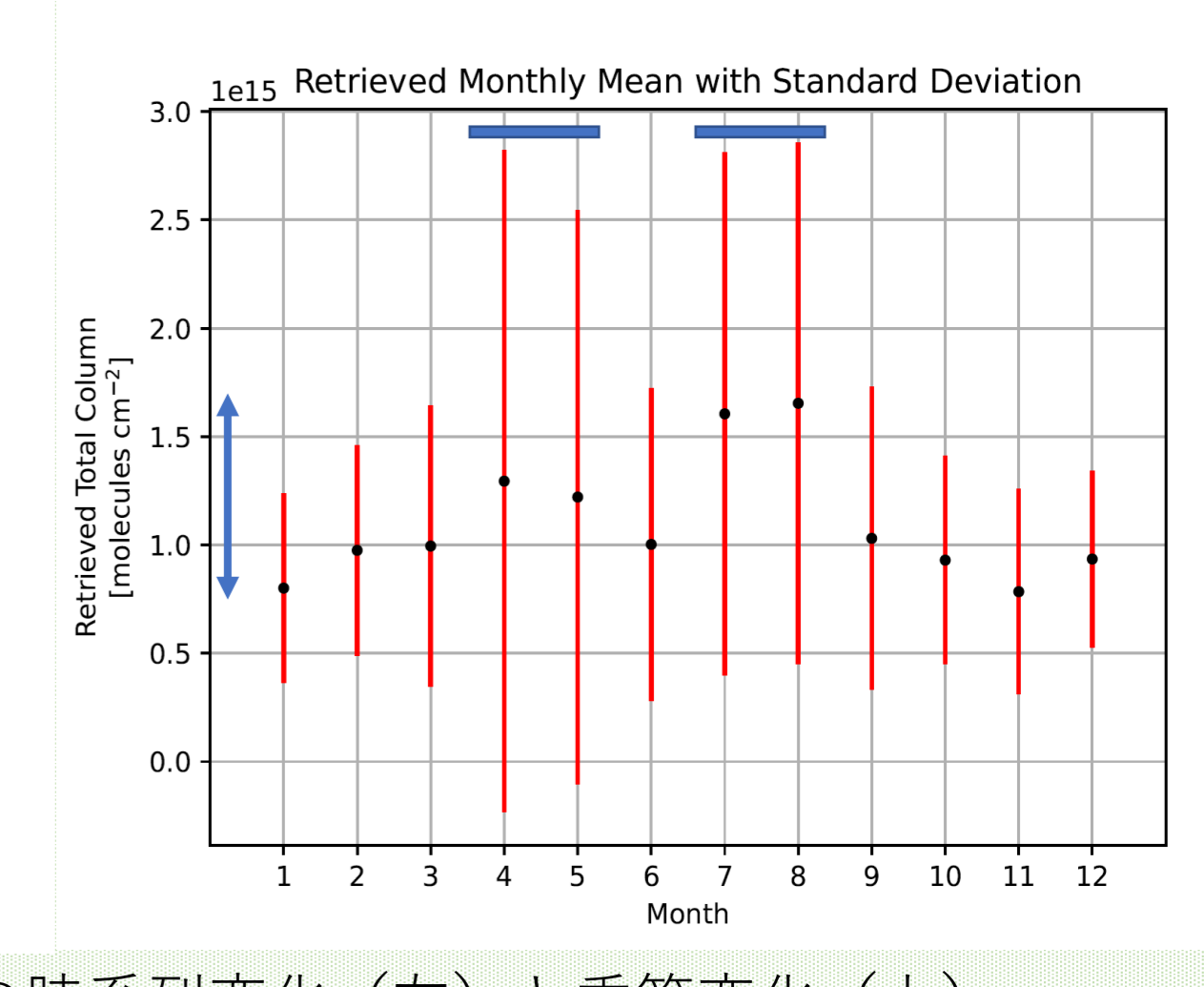
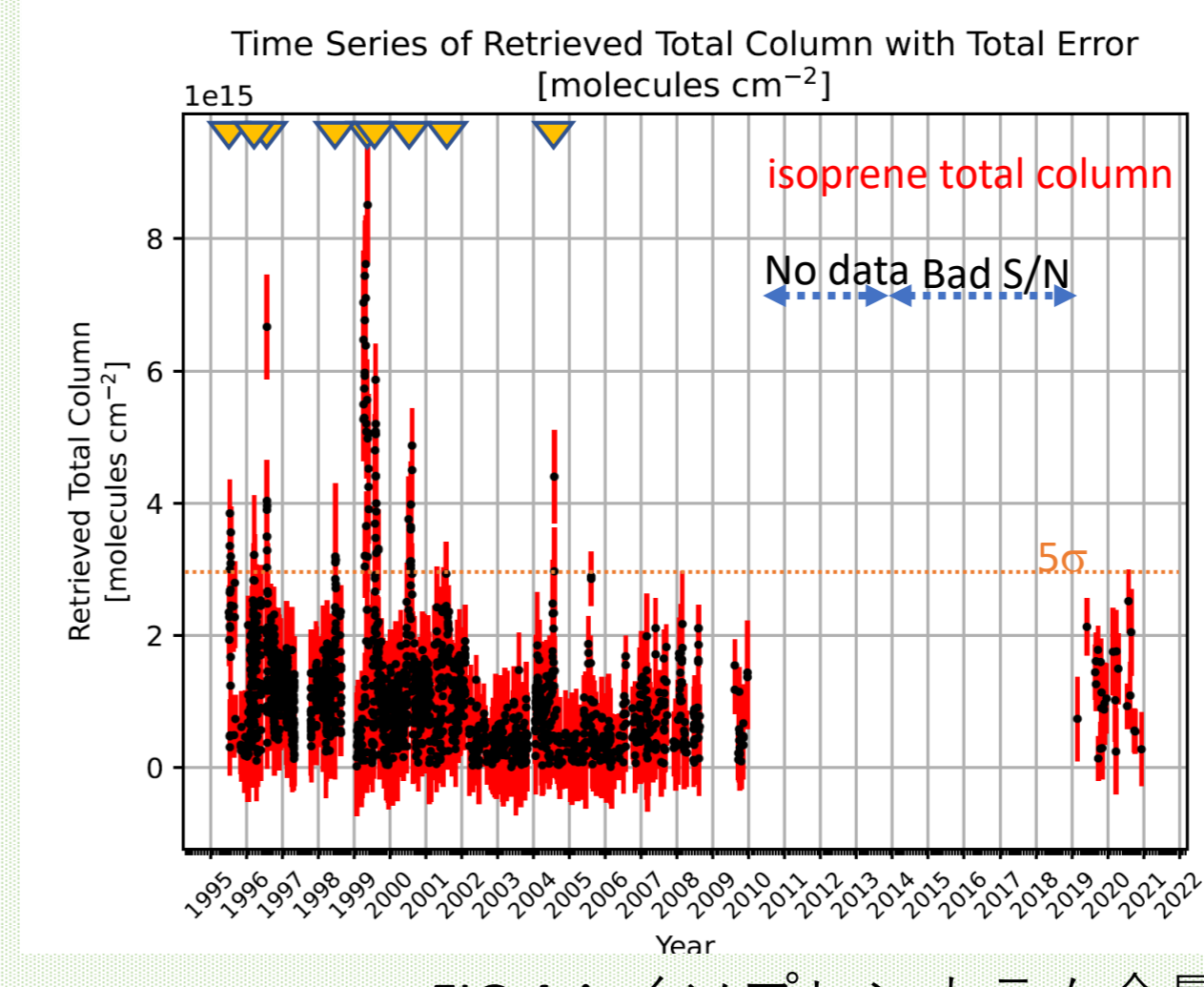


FIG 4: イソプレンカラム全量の時系列変化 (左) と季節変化 (上)

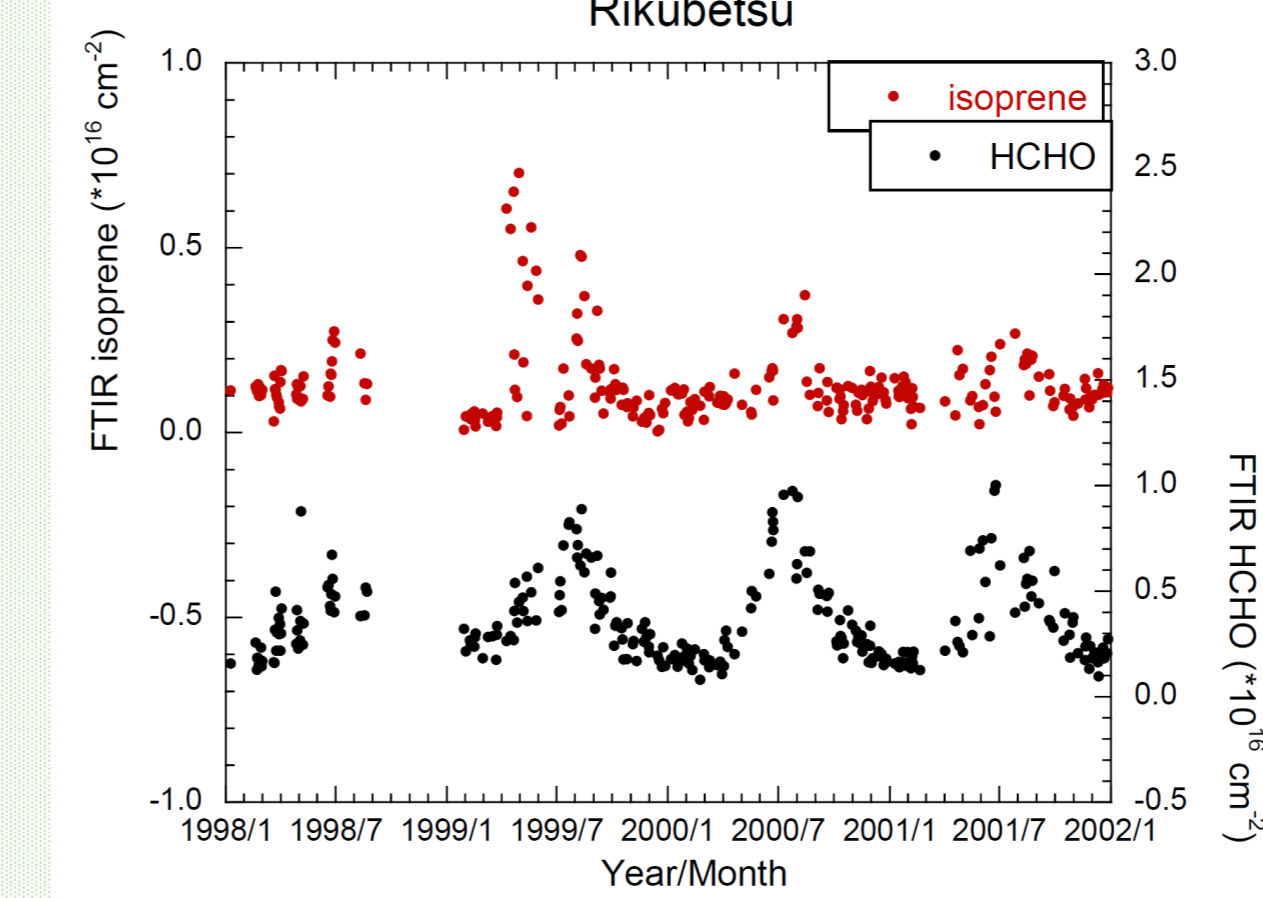


FIG 5: イソプレンとHCHOのカラム全量の時間変動

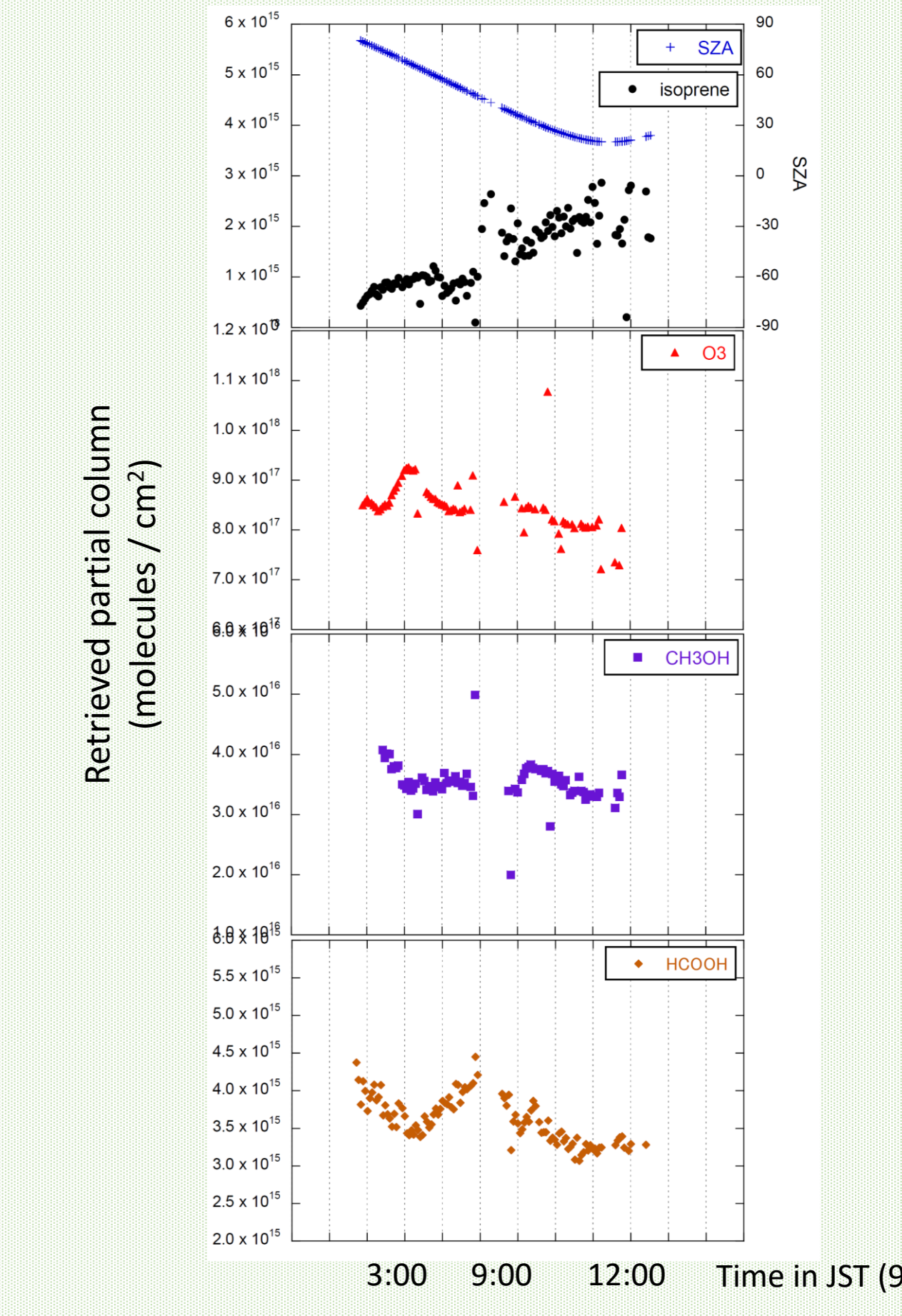


FIG 6: 観測されたイソプレン対流圏カラム量の日変動 (黒点) とオゾン、メタノール、ギ酸の対流圏カラム量の日変動 (赤点、紫点、オレンジ点)

## 2. GOSAT2熱赤外分光観測データの活用検討状況

目的  
全球でのイソプレンの動態を解明するために、GOSATシリーズ衛星搭載熱赤外スペクトルデータからイソプレンカラム量を導出する手法を検討し、確立する。

方法と進展状況  
> GOSATシリーズTIRデータのうち波数900 cm<sup>-1</sup>付近のイソプレン吸収スペクトルを用い、放射伝達式を使った逆問題 (リトリーバル) 法を適用してイソプレンカラム量を推定する。

- ・今年度の達成状況と今後
  - ・LBLRTMによる上向き放射伝達スペクトルとJacobian行列の計算環境を作成 => 今後、装置関数を加えて観測スペクトルシミュレーションを実行
  - ・GOSAT2/TIR LIBデータ (version 220.221) のダウンロードと雲indexに基づいたデータスクリーニングの試行 => 2023年以降のデータも取得する。また、S/N比に基づいたデータスクリーニングを検討
  - ・WACCMによる60年間シミュレーション出力から波数900 cm<sup>-1</sup>帯に関連する分子の全球での気候値の作成 => 現在は2010年における気候値を作成。5年ごとの1度×1度の気候値を作成し、初期推定値とする

> 得られたイソプレンカラム量と名古屋大学の地上FTIR観測で得られたカラム量とを相互比較し、観測精度を検証して解析手法を確立し、全球でのイソプレンの動態把握に資するデータを取得

- ・今年度の達成状況と今後
  - ・地上FTIRにより夏期および冬期に日変動観測を実施。夏期についてはFIG. 6を参照 => 今後、検証データとして活用予定。引き続き、季節ごとに日変動観測を実施する

## 3. まとめ

- ・GOSAT2熱赤外分光観測データの活用検討を進め、イソプレンカラム量計算に必要な放射伝達計算ソフト、初期推定値のための全球での微量分子分布の気候値データベースの作成を行った。
- ・解析データの検証で必要となる地上FTIRデータによる観測、特に日変動の観測を行い、夏期においてイソプレンと大気汚染物質の日変動を検出した。

# 大気汚染常時監視局NO<sub>2</sub>測定値と衛星カラムNO<sub>2</sub>との比較解析

早崎 将光\*, 入江仁士, 樋口篤志 (1: 日本自動車研究所, 2: 千葉大CEReS)

## 1. はじめに

人工衛星リモートセンシングによる大気汚染物質計測は、広範囲の大気汚染物質濃度(大気カラム量)を同時観測できるが、都市内部の空間的な不均一さは、排出源の多様さ・衛星リモセンの空間解像度の制約などから捉えることが難しい。一方、日本国内には1000局以上の大気汚染物質の地上観測局が全国展開され、主要な大気汚染物質濃度を毎時測定しているが、常監局は都市域に偏在しており、広域的な濃度動態に加えて測定局近傍から排出される汚染物質の影響を受けやすい。本研究では、衛星リモセンデータからの地上濃度推計とその応用的な利用を目的として、まずは衛星リモセンデータと地上測定値との関連性を調査し、大気カラムNO<sub>2</sub>からの地上NO<sub>2</sub>濃度の簡易的な推計を試みた。

## 2. 使用データ

- ◆地上NO<sub>2</sub>濃度 (大気汚染常時監視局 (常監局) 測定値)
  - 愛称「そらまめ君」、環境省大気汚染物質広域監視システム Atmospheric Environmental Regional Observation System (AEROS)
  - 時間間隔: 1時間 NO<sub>2</sub> [ppb]
- ◆大気カラム NO<sub>2</sub> [molec/cm<sup>2</sup>]
  - Sentinel 5P/TROPOMI (Level-2), 2019 - 2023, アジア域
  - cloud fraction (CF) < 0.2, QA > 0.5 のみ利用

参考: 0.25° 格子平均 大気カラムNO<sub>2</sub>

- ◆カラム濃度: 都市部で高濃度
- ◆利用可能日数割合: 日本海側で小さく、太平洋側で大きい
  - 日本海側で小さい理由は、冬季の降雪・降雨時の曇天割合が大きいため

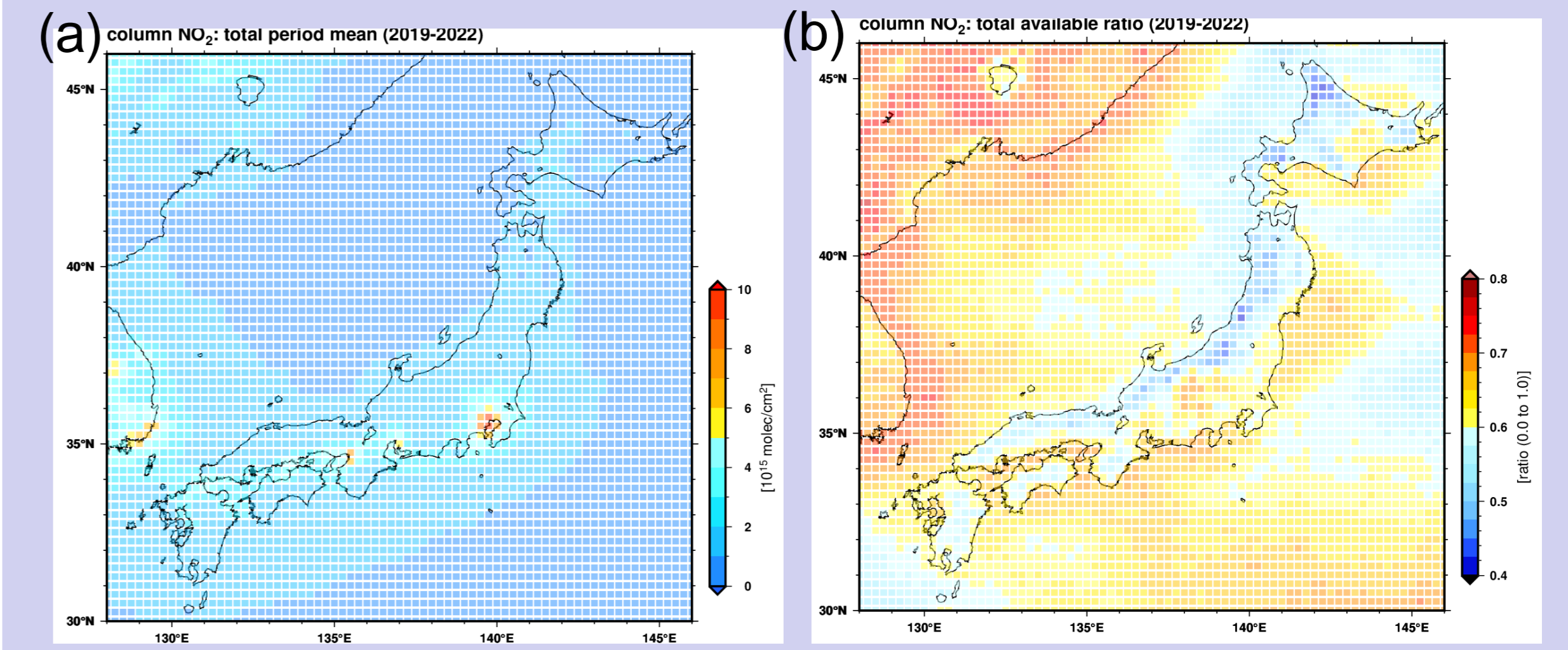


図1: (a) 大気カラムNO<sub>2</sub> 濃度 (2019-2022年平均) と (b) 日別利用可能日数割合

## 3. 品質管理 (QC)・格子点化

### 大気カラムNO<sub>2</sub> 格子点化

0.25° x 0.25° 格子内の利用可能なカラムNO<sub>2</sub> データを単純平均 (日別値)

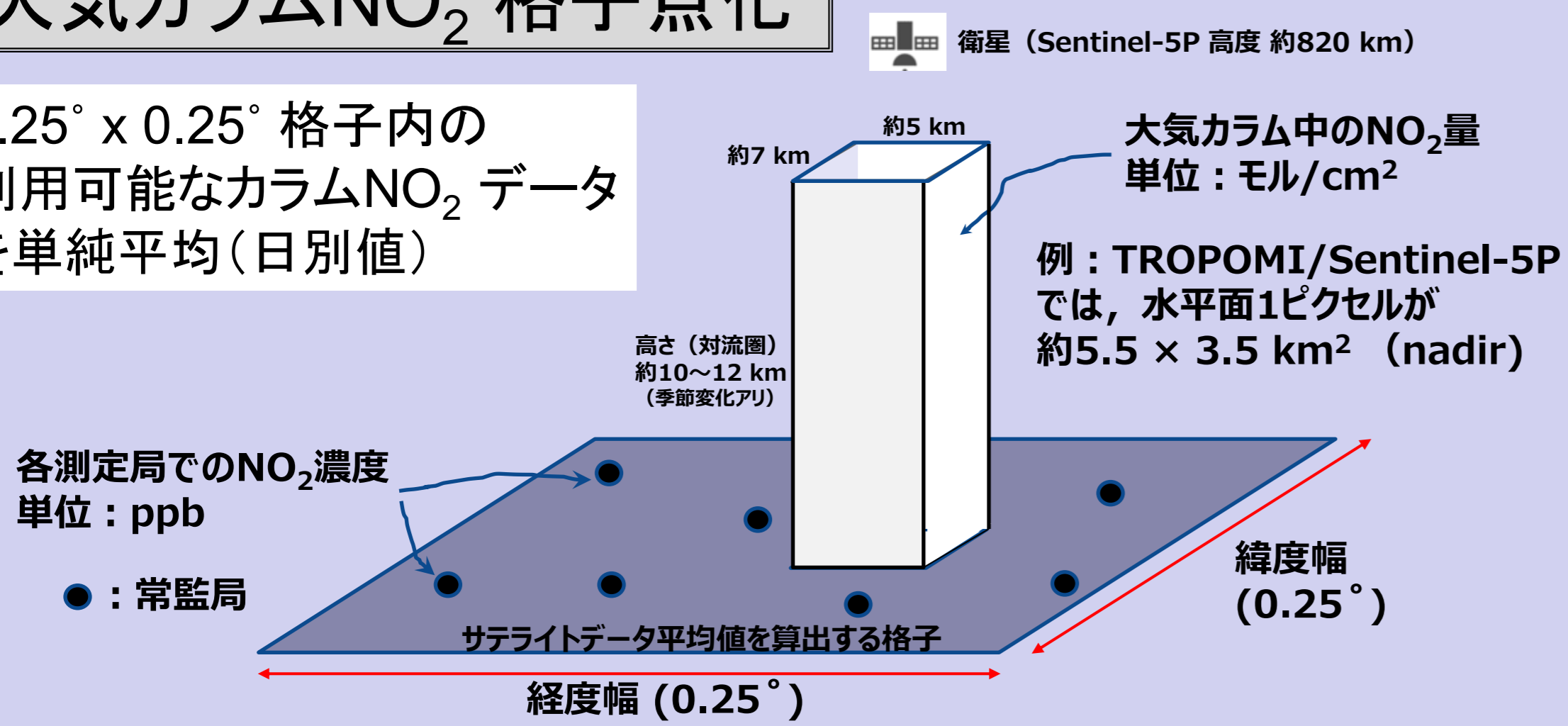


図2: 大気カラムNO<sub>2</sub> 濃度の格子平均 (概念図)

### 地上 NO<sub>2</sub> 格子点化

地上NO<sub>2</sub> 濃度の品質管理: 近隣測定局の濃度から大きく逸脱する測定局・測定値を除外 (昨年度報告) を適用。適用後のAEROS 観測値 (衛星通過時刻に合わせ、14時の測定値を選択) を利用。

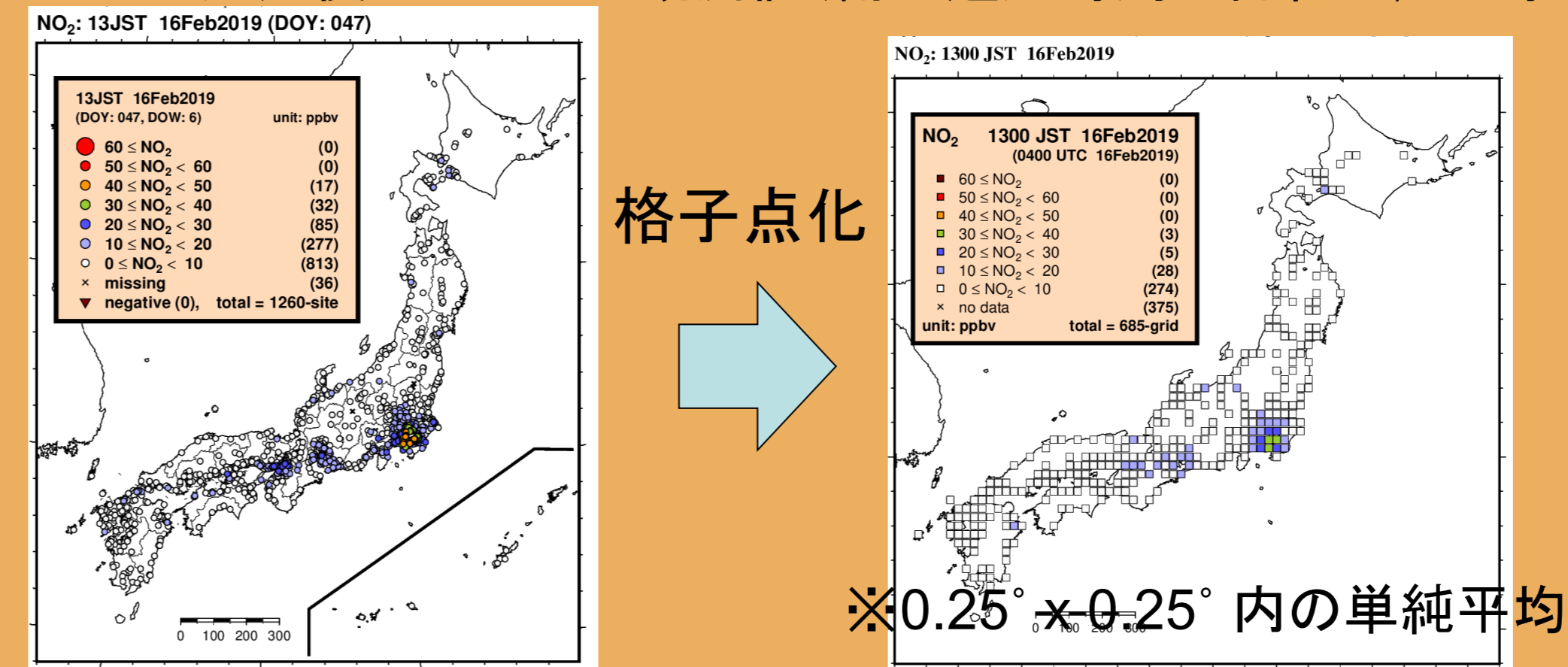


図3: 格子平均の例。

- ◆地上NO<sub>2</sub>・衛星の大気カラムNO<sub>2</sub>の解像度を揃える (0.25° x 0.25°)
  - 【地上NO<sub>2</sub>】格子内に5局以上利用可能: 63格子 (日本全体の約1割)
  - 【カラムNO<sub>2</sub>】格子内の平均ピクセル数: 13~20 ピクセル程度
- ◆日別の地上NO<sub>2</sub>・大気カラムNO<sub>2</sub>の散布図を作成, 大気カラムNO<sub>2</sub>による簡易的な推計方法として, 最小二乗法による回帰直線を作成
  - 地上NO<sub>2</sub> = a × (大気カラムNO<sub>2</sub>) + b
  - 主に回帰直線の傾き (a) について検討

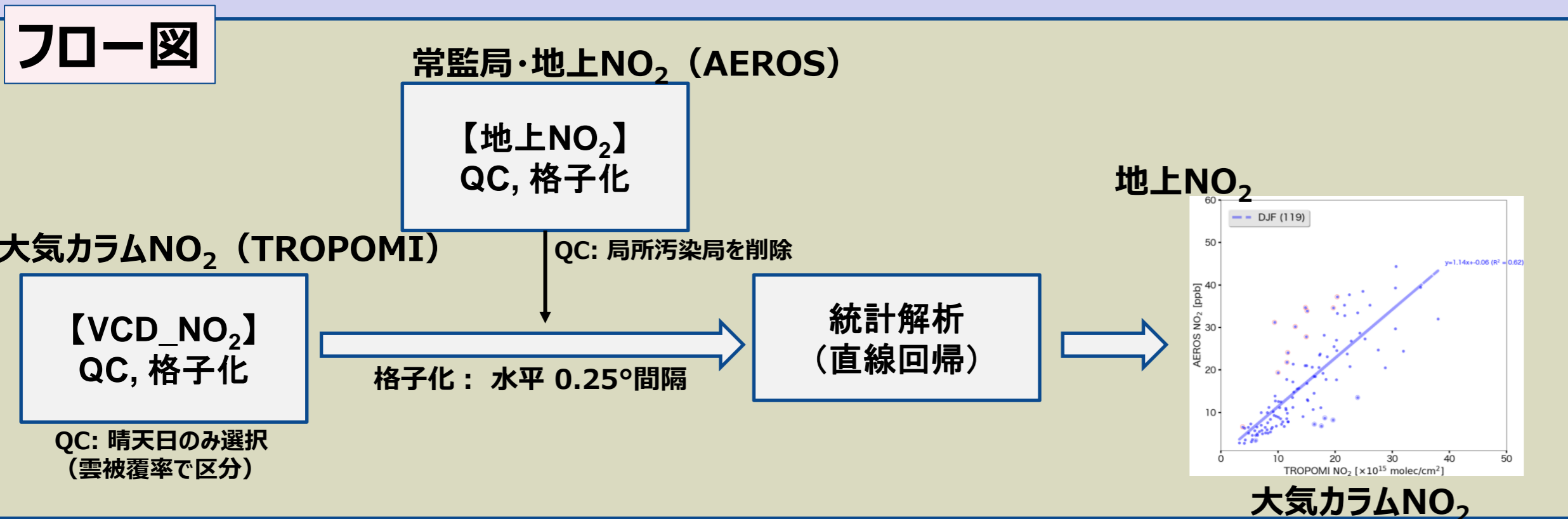


図4: 地上NO<sub>2</sub>・大気カラムNO<sub>2</sub> 濃度の解析フロー

## 4. 結果

- ◆日別のカラム NO<sub>2</sub> と地上 NO<sub>2</sub> 濃度 (14JST) の対応関係について, 都市域格子 (常監局5局以上, 全63格子) で回帰直線を算出, 比較検証
  - 図5: 地点ごとの回帰直線
  - 図6: 通年・季節ごとに分割した回帰直線の傾きを集計

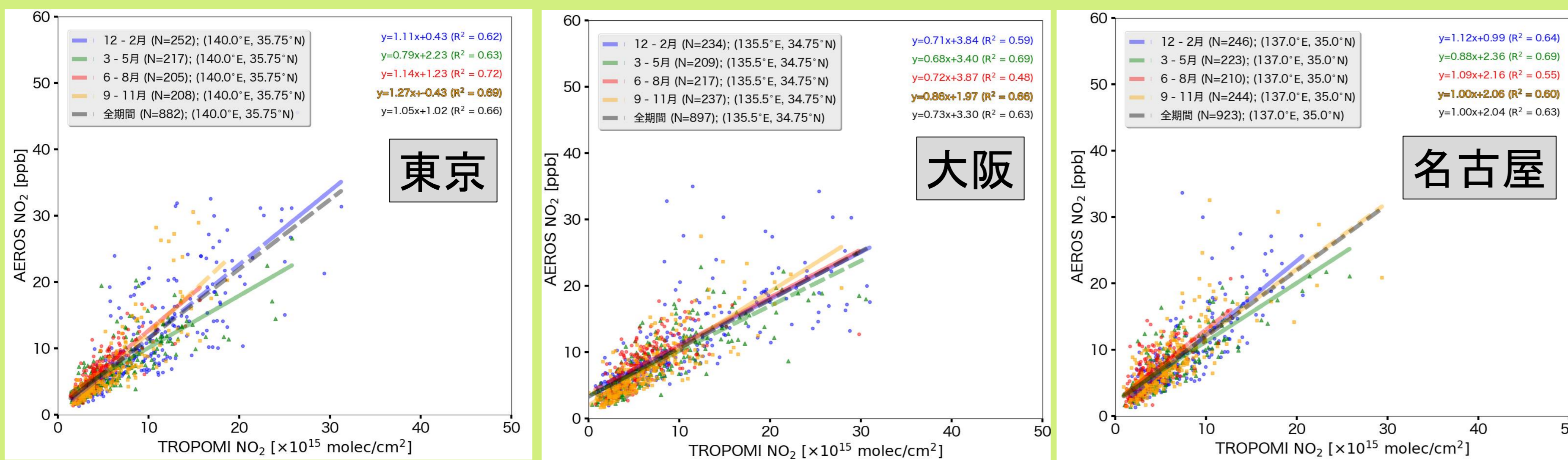


図5: 日別の大気カラムNO<sub>2</sub> 濃度とAEROS 地上 NO<sub>2</sub> 濃度との散布図と回帰直線。

- ◆図5: 地上NO<sub>2</sub> と衛星によるカラム NO<sub>2</sub> は良い相関関係にある
  - 相関係数 0.6~0.7 程度
  - 地域分布の特徴などは見だしにくい (解析可能な格子数が少なく, 地域性の議論が困難)

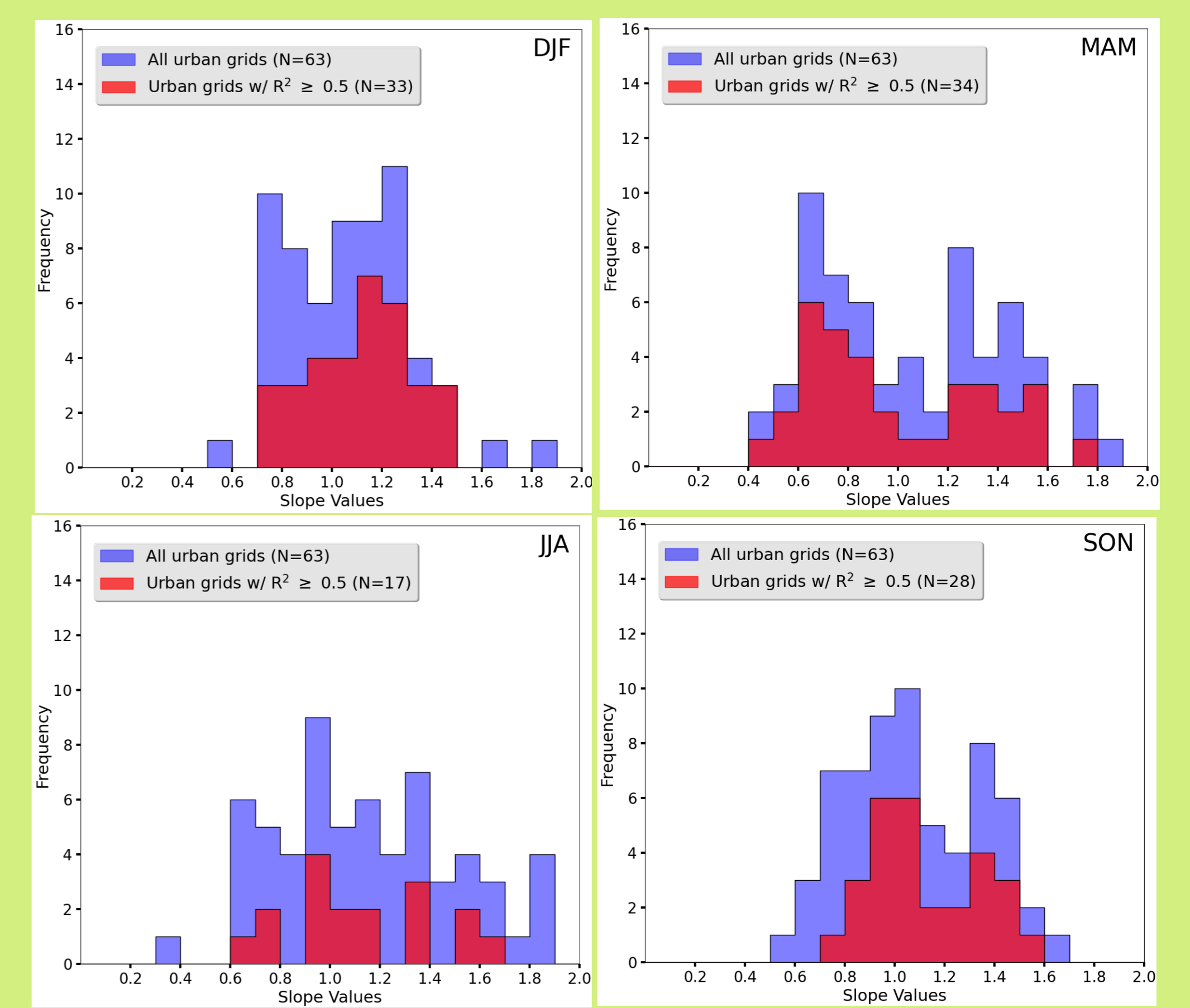


図6: 季節ごとの回帰直線の傾きのヒストグラム。

- ◆季節により, 格子ごとの傾きにバラツキの大小あり
  - 冬はバラツキが小さく, 春・夏はバラツキが大きい
  - 夏・秋は傾きの頻度ピークが二山型
  - 夏季は決定係数の大きい格子が最小 (直線回帰による推計精度は低い)

## 5. まとめ

- ◆衛星リモセン・地上観測の比較に適した地上観測データ (格子点値) を作成
  - CEReSサーバにて自動計算・日々更新
- ◆大気カラムNO<sub>2</sub>からの地上NO<sub>2</sub>濃度の換算式 (推計式) を作成
  - 都市域局の回帰式を見る限り, 通年・全国で同じ回帰式は適用困難
  - 季節性 (例: 春・秋の二山型の傾き頻度分布, 夏の直線回帰の精度低下) の考慮は必要かもしれない
- ◆今後, 大気モデル・排出イベントリデータ, 地上リモセン計測 (MAX-DOAS) 等も併用し, 衛星リモセンデータからの地上濃度推計を心みたい

# 地上光学観測による奈良盆地におけるエアロゾルの研究

\*小林香穂、廣瀬ゆらら、田中伶奈、菊池咲也花、横谷愛美李、久慈誠（奈良女子大学）

## 1. 背景と目的

エアロゾルは大気環境に影響を与える要因の一つである。近年、アジア域では急速な経済発展に伴う大気汚染が深刻化しており、エアロゾルによる大気環境への影響が懸念されている。その為、エアロゾルの動態を把握すること、特に人間が活動している大気下層のエアロゾルの動態を把握することは重要である。そこで、本研究では空気サンプリング、目視、並びにリモートセンシングデータを用いて奈良盆地におけるエアロゾルの特徴を調べた。

## 2. 観測データ

本研究では、Optical Particle Counter (OPC)、微小粒子状物質 (Particulate Matter 2.5 : PM2.5)、視程、並びにサンフォトメータ (MICROTOPS : MT) 観測データを使用した。各観測地点を図1に示す。

【OPC】光散乱によってエアロゾルの粒子数濃度を粒径毎に測定する。観測粒径は、2013年8月から2014年9月までは  $0.3 \mu\text{m}$  以上、 $0.5 \mu\text{m}$  以上、 $0.7 \mu\text{m}$  以上、 $1.0 \mu\text{m}$  以上、 $2.0 \mu\text{m}$  以上、 $5.0 \mu\text{m}$  以上 (RION KR-12A)、2014年10月以降は  $0.3 \mu\text{m}$  以上、 $0.5 \mu\text{m}$  以上、 $1.0 \mu\text{m}$  以上、 $2.0 \mu\text{m}$  以上、 $5.0 \mu\text{m}$  以上 (RION KC-52) である。観測場所は奈良女子大学、観測時刻は 14:00 JST である。観測期間は2013年9月から現在も継続中である。尚、本研究の解析には粒子数濃度  $140,000 \text{ 個 L}^{-1}$  以下の非降水日のデータのみを使用した。また、同時計測損失補正<sup>[1]</sup>を行った。

【PM2.5】PM2.5とは、大気中に浮遊している粒径  $2.5 \mu\text{m}$  以下の粒子のことである。観測場所は西部大気汚染測定局 (奈良市青和小学校構内) である。観測は1時間毎に行われており、OPC観測時刻に合わせて14時の1時間値を使用した。観測期間は2012年4月から現在も継続中である。尚、このデータは奈良市役所から提供を受けた。

【視程】視程とは、地表面付近の大気の混濁具合を見通しの距離で表したものである。本研究では、気象庁ホームページで公開されている奈良地方気象台での視程観測データを使用した。観測は2020年2月2日までは目視で、9:00、15:00、21:00 JSTの1日3回行われていたため、OPCの観測時刻に最も近い15:00 JSTのデータを使用した。2020年2月3日以降は観測が自動化され、1時間毎に行われるようになったため、OPCの観測時刻と合わせて14:00 JSTのデータを使用している。

【MT】太陽直達光の波長別の測定から、エアロゾル量に相当する光学的厚さ (Aerosol Optical Thickness : AOT) を測定することができる (Solar Light MICROTOPS II)。観測波長は 380、440、675、870、936 nm である。観測場所は奈良女子大学、観測時刻は14:00 JST である。観測期間は2014年2月から現在も継続中である。

尚、OPCとMICROTOPSの比較については快晴時のデータのみを使用した。

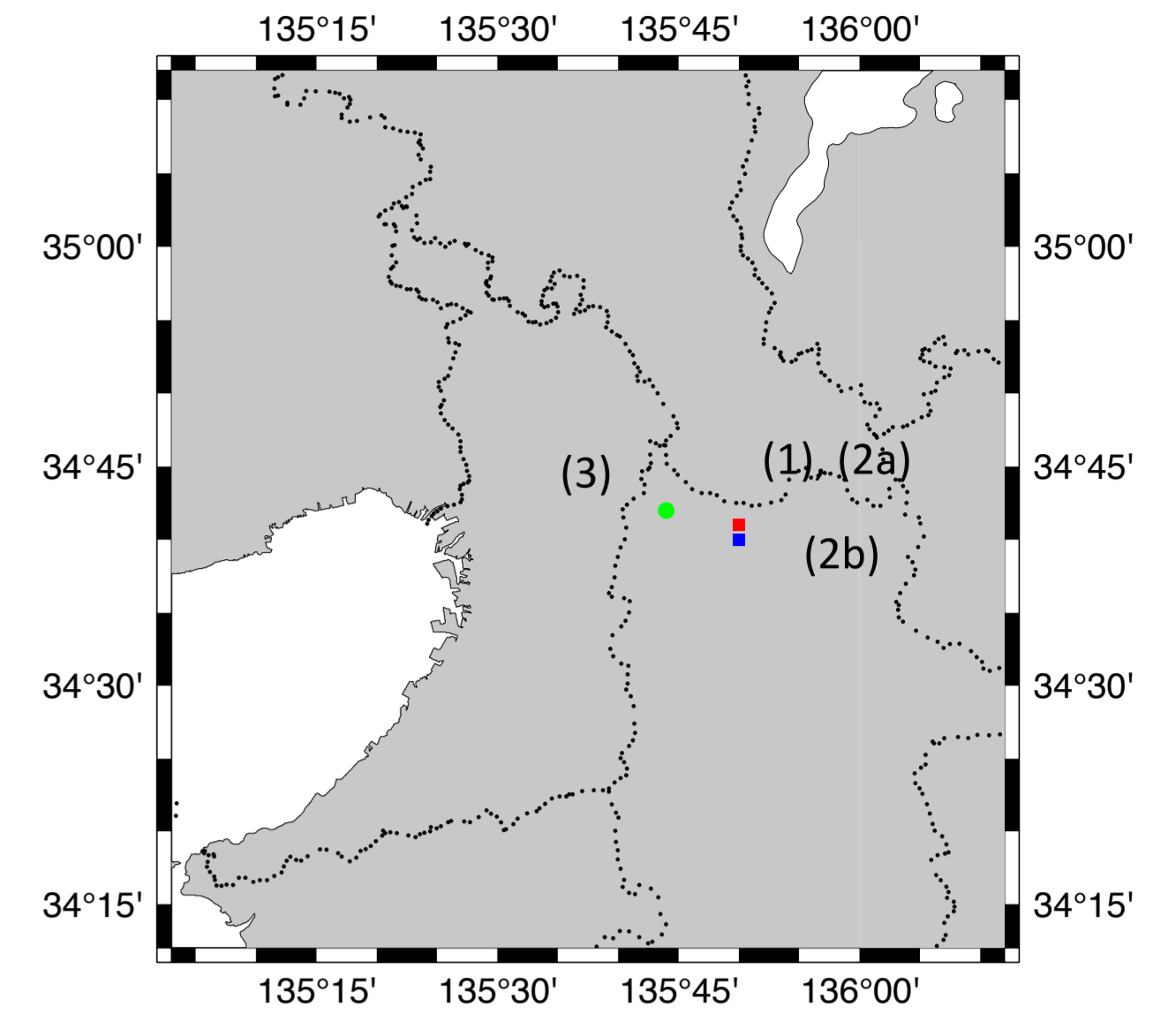


図1: 観測地点。  
(1) 奈良女子大学、  
(2a) (旧) 奈良地方気象台  
(~2017年3月8日)、  
(2b) (新) 奈良地方気象台  
(2017年3月9日~)、  
(3) 西部大気汚染測定局。  
奈良女子大学からの直線距離は  
(旧) 奈良地方気象台が約730 m、  
(新) 奈良地方気象台が約1.5 km、  
西部大気汚染測定局が約7.5 km である。

## 3. 解析結果

粒子数濃度 (OPC) と (1) 質量濃度 (PM2.5)、(2) 視程、(3) 光学的厚さ (MT) をそれぞれ比較した結果について以下に示す。

### 【(1) 粒子数濃度 ( $0.3 \sim 2.0 \mu\text{m}$ ) vs 質量濃度 (PM2.5)】

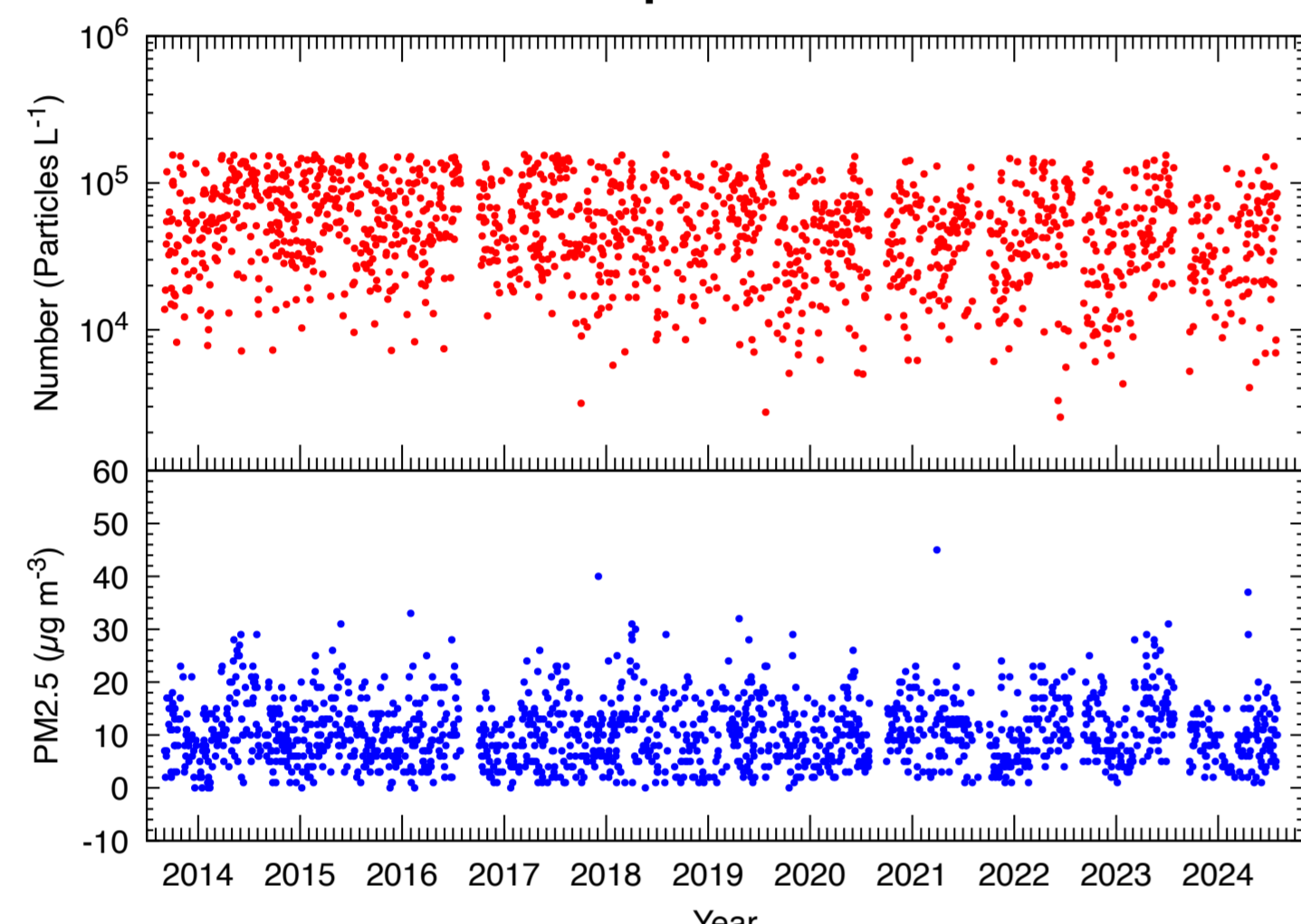


図2: 粒子数濃度 ( $0.3 \sim 2.0 \mu\text{m}$ ) と質量濃度 (PM2.5) の時系列 (2013年9月1日から2024年8月31日)。上縦軸は粒子数濃度 (Particles/L)、下縦軸は質量濃度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )、横軸は年を表す。赤は粒子数濃度、青は質量濃度である。

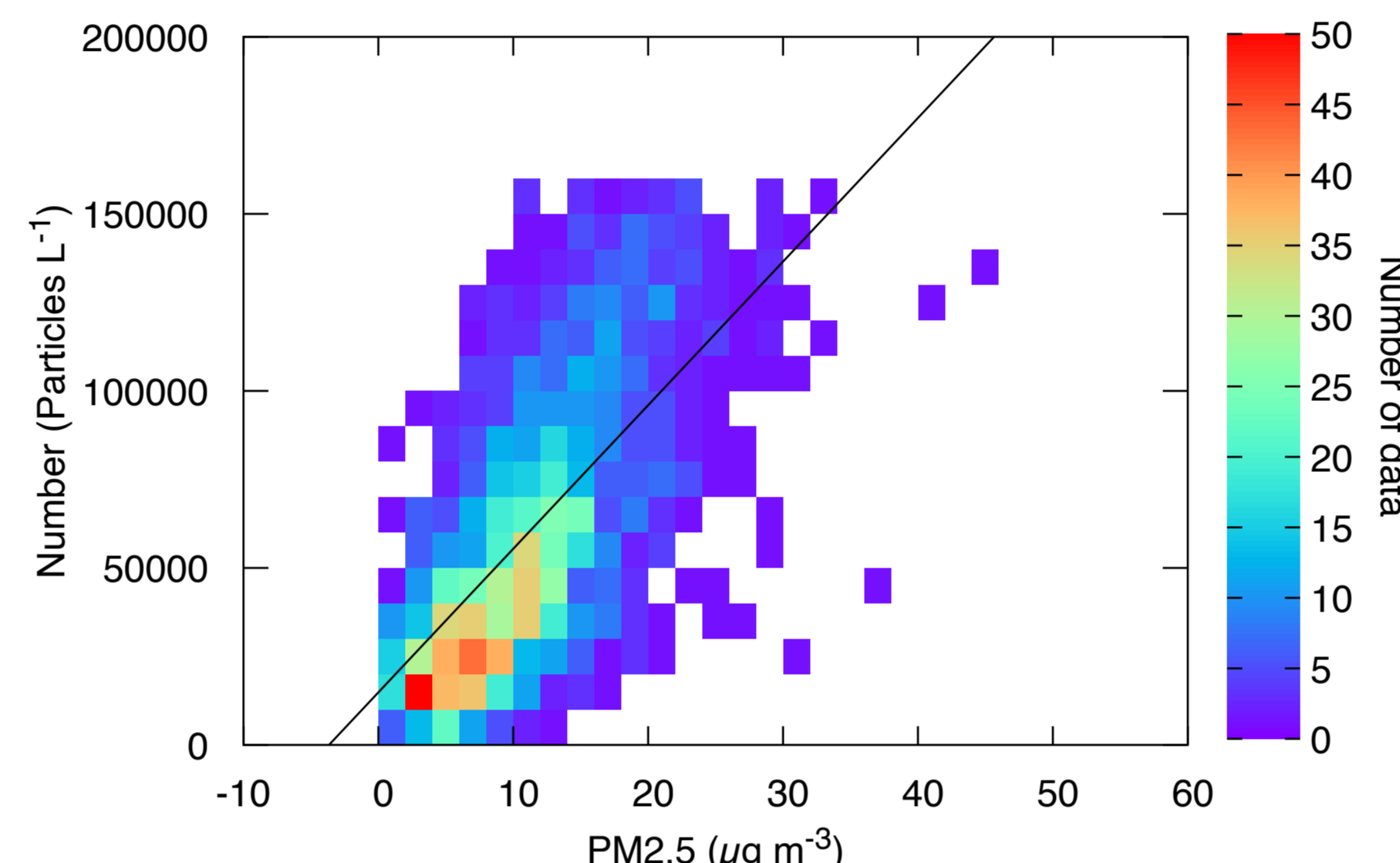


図3: 粒子数濃度 ( $0.3 \sim 2.0 \mu\text{m}$ ) と質量濃度 (PM2.5) の分布。縦軸は粒子数濃度 (Particles/L)、横軸は質量濃度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )、カラーバーはデータ数を表す。

奈良女子大学のOPCは1地点観測であるため、西部大気汚染測定局で観測されているPM2.5質量濃度と比較することで、OPCが奈良盆地のエアロゾルの変動を捉えているか検証を行った。PM2.5との比較のため、OPCの粒径区分は  $0.3 \sim 2.0 \mu\text{m}$  とした。これは  $0.3 \mu\text{m}$  以上の粒子数濃度から  $2.0 \mu\text{m}$  以上のそれを差し引いて求めた。

図2に粒子数濃度 ( $0.3 \sim 2.0 \mu\text{m}$ ) と質量濃度 (PM2.5) の時系列を示す。粒子数濃度と質量濃度は概ね同様の変動をしていることが分かる。

両者の関係をより明確にするため、相関を求めた (図3)。その結果、相関係数は 0.67 となり、正の相関を示した。これより、OPCは奈良盆地のエアロゾルの変動を概ね捉えていると考えられる。

### 【(2) 粒径区分毎の粒子数濃度 vs 視程】

対流圏における視程は主としてエアロゾルによる太陽放射の散乱で決まる<sup>[2]</sup>ため、エアロゾルの粒子数濃度が視程に与える影響について調べた。

図4に粒子数濃度と視程の月平均の時系列を示す。まず、視程の観測を自動で行うようになった2020年2月3日以降、視程はほとんど 20 km となっていた。目視により視程の観測を行っていた2020年2月より前の期間では、 $0.3 \sim 0.5 \mu\text{m}$  (×)、 $0.5 \sim 1.0 \mu\text{m}$  (+)、 $1.0 \sim 2.0 \mu\text{m}$  (□) の小粒子の粒子数濃度は視程 (●) と概ね同様の変動をしていることが分かる。一方で、 $2.0 \sim 5.0 \mu\text{m}$  (▽)、 $5.0 \mu\text{m}$  以上 (◇) の大粒子の粒子数濃度は視程 (●) と同様の変動は見られない。

両者の関係をより明確にするため、相関を調べた。その結果、目視による視程の観測期間での相関係数は  $0.3 \sim 0.5 \mu\text{m}$  で -0.54、 $0.5 \sim 1.0 \mu\text{m}$  で -0.55、 $1.0 \sim 2.0 \mu\text{m}$  で -0.43、 $2.0 \sim 5.0 \mu\text{m}$  で -0.32、 $5.0 \mu\text{m}$  以上で -0.21 となり、全粒径区分で負の相関が見られ、粒径が小さいと相関が強いことがわかった。これにより、視程は大粒子よりも小粒子の影響を受け、小粒子が卓越すると視程はより悪化すると考えられる。

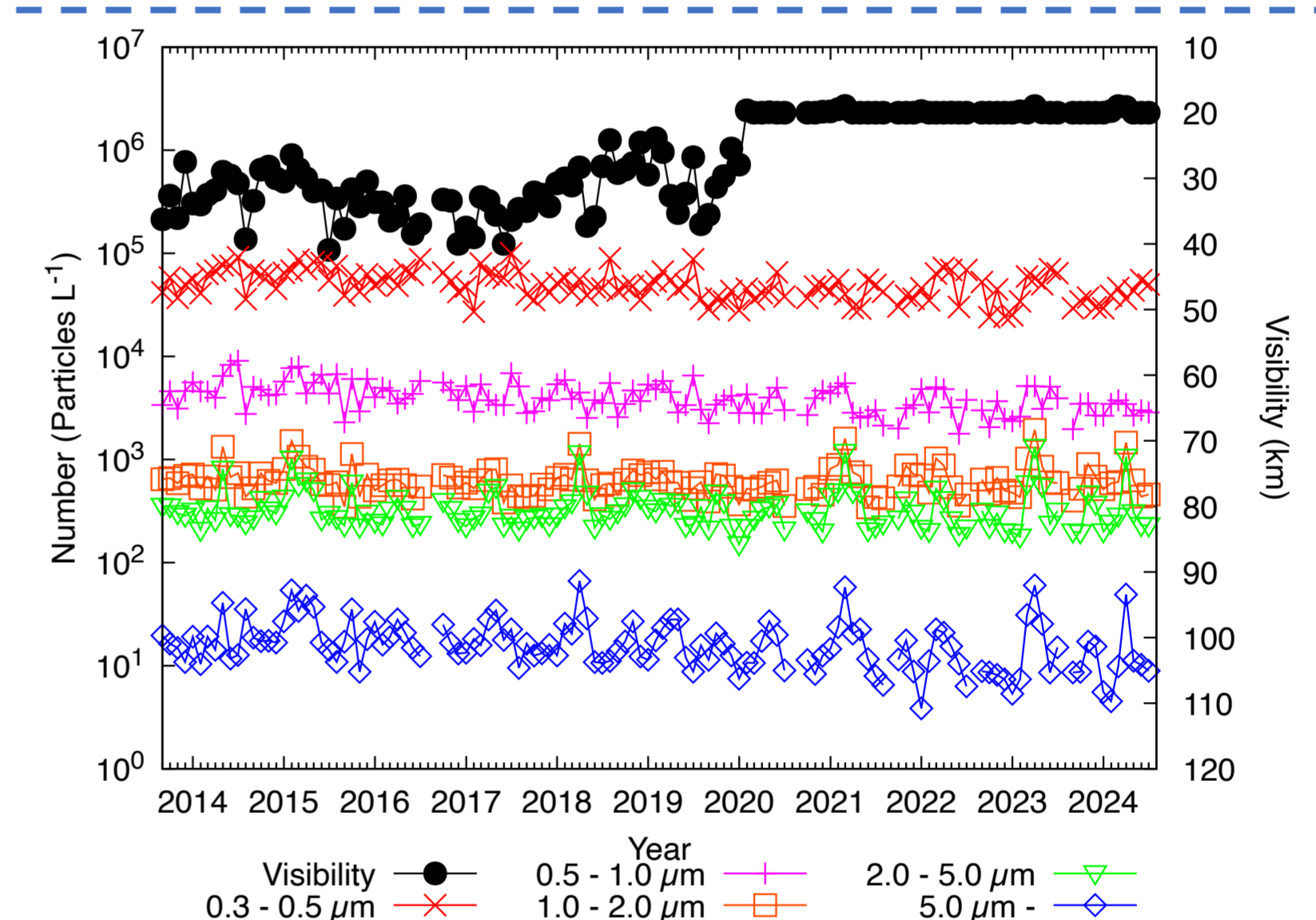


図4: 粒子数濃度と視程の月平均値の時系列 (2013年9月から2024年8月)。左縦軸は粒子数濃度 (Particles/L)、右縦軸は視程 (km)、横軸は年を表す。赤は  $0.3 \sim 0.5 \mu\text{m}$ 、桃は  $0.5 \sim 1.0 \mu\text{m}$ 、橙は  $1.0 \sim 2.0 \mu\text{m}$ 、緑は  $2.0 \sim 5.0 \mu\text{m}$ 、青は  $5.0 \mu\text{m}$  以上の粒子数濃度、黒は視程である。

### 【(3) 光学的厚さ (440、870 nm) vs 粒子数濃度 ( $0.3 \mu\text{m}$ 以上)】

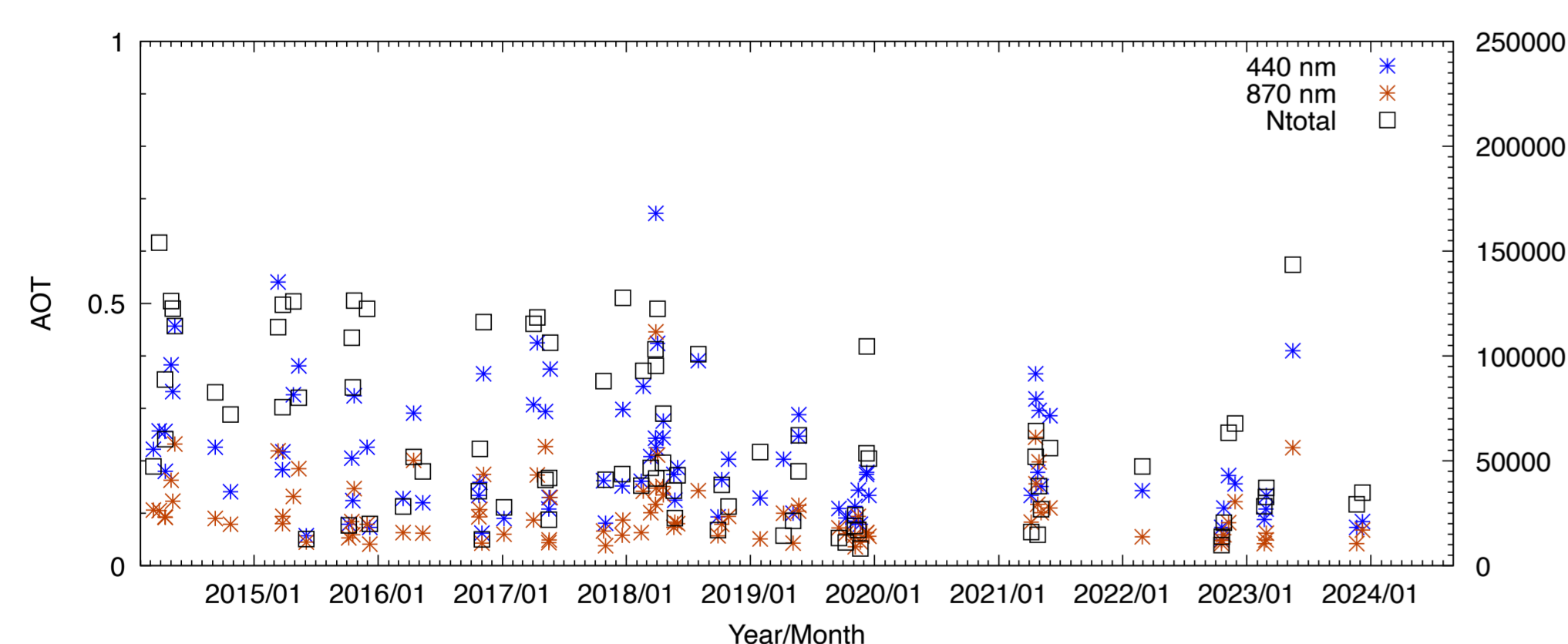


図5: 光学的厚さと粒子数濃度 ( $0.3 \mu\text{m}$  以上) の時系列 (2014年2月から2024年8月)。左縦軸は光学的厚さ、右縦軸は粒子数濃度 (Particles/L)、横軸は年/月を表す。青は波長 440 nm、橙は波長 870 nm における光学的厚さ、黒は粒子数濃度である。

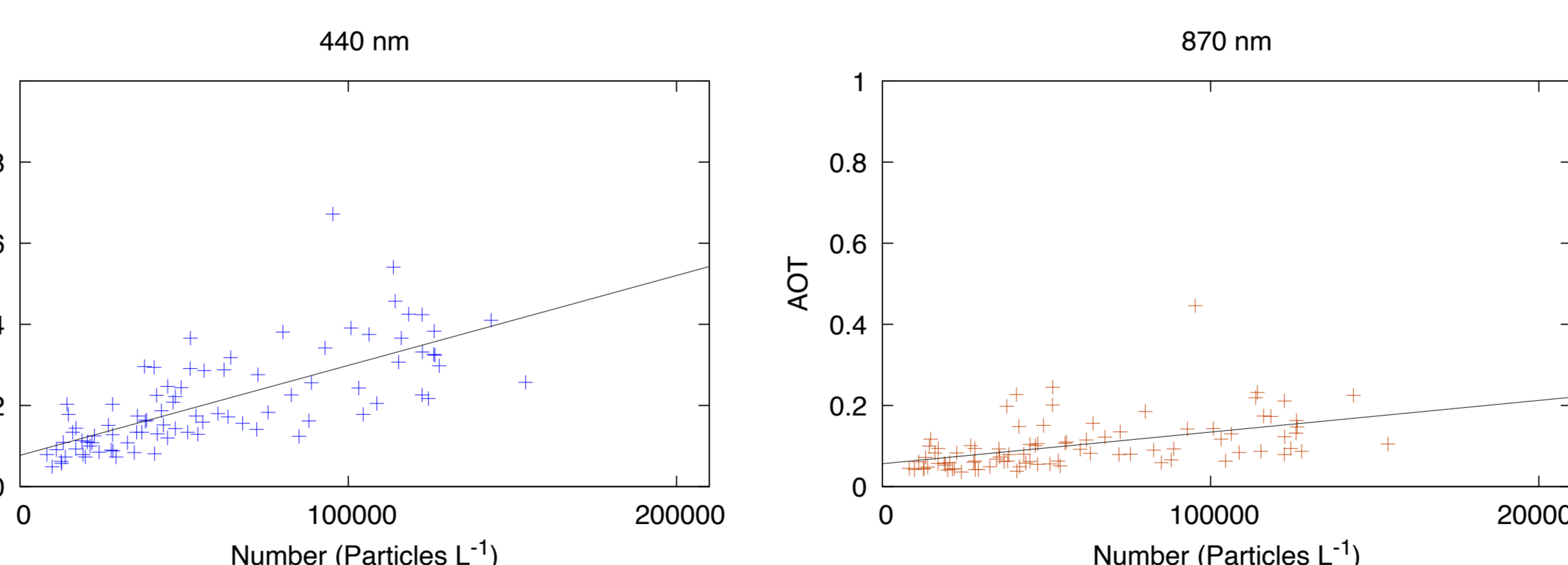


図6: 光学的厚さと粒子数濃度 ( $0.3 \mu\text{m}$  以上) の相関。縦軸は光学的厚さ、横軸は粒子数濃度 (Particles/L) を表す。(左) 波長 440 nm、(右) 波長 870 nm。

図5にエアロゾルの光学的厚さ (440、870 nm) と粒子数濃度 ( $0.3 \mu\text{m}$  以上) の時系列を示す。粒子数濃度が増加すると光学的厚さは増加し、一方で粒子数濃度が減少すると光学的厚さは減少することが分かる。

両者の関係をより明確にするため、相関を調べた (図6)。その結果、相関係数は 440 nm (870 nm) で 0.72 (0.48) となり、正の相関を示した。これより、大気下層の粒子数濃度と大気全層のエアロゾル量は概ね同様の変動をしていると考えられる。

## 4. まとめと今後の課題

空気サンプリング、視程、並びにリモートセンシングデータを用いて、奈良盆地におけるエアロゾルの特徴を調べた。

まず、OPCとPM2.5の比較より、奈良女子大学で観測しているOPCは奈良盆地のエアロゾルを概ね捉えられていると考えられる。次にOPCと視程の比較より、視程悪化には特に小粒子の増加が大きく影響していることがわかった。さらにOPCとMTの比較より、大気下層の粒子数濃度と大気全層のエアロゾル量は概ね同様の変動をしていることがわかった。

今後はOPCで得られる粒子数濃度と他の気象要素の関係について調べる予定である。

## 謝辞

視程観測データは気象庁より、PM2.5観測データは奈良市役所より提供を受けました。御礼申し上げます。

また、OPC/MTの観測にご協力頂いた皆様に感謝いたします。

## 参考文献

- [1] 矢吹 正教: 8. 粒径分布 2: 光散乱粒子計数法, エアロゾル研究, 33 (2), 108-118, 2018
- [2] D.J.ジェイコブ (著), 近藤 豊 (訳), 大気化学入門, 東京大学出版, 2010.

# Thermal monitoring of seismically active areas using geostationary satellite observations

GENZANO NICOLA<sup>1,\*</sup>, BRUMANA R.<sup>1</sup>, HATTORI K.<sup>2,3</sup>, HIGUCHI A.<sup>3</sup>, TRAMUTOLI V.<sup>4,5</sup>

<sup>1</sup> Department of Architecture, Built Environment and Construction Engineering, Politecnico di Milano, Via Ponzio 31, 20133 Milano, Italy

<sup>2</sup> Graduate School of Science, Chiba University, Yayoi 1-33, Inage, Chiba, 263-8522, Japan

<sup>3</sup> Center for Environmental Remote Sensing, Chiba University, Yayoi 1-33, Inage, Chiba, 263-8522, Japan

<sup>4</sup> Department of Engineering, University of Basilicata, Via dell' Ateneo Lucano, 10, 85100 Potenza, Italy

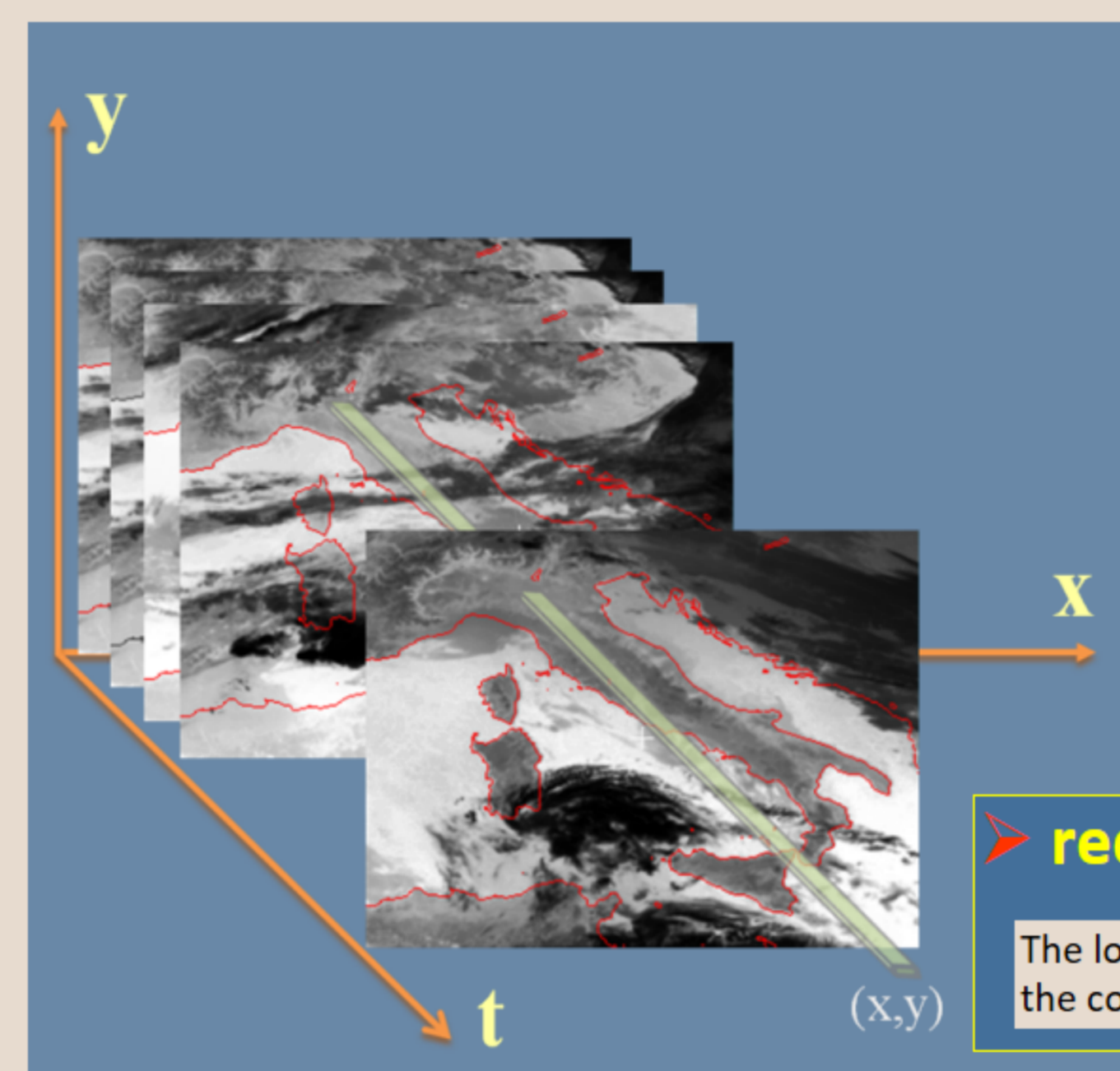
<sup>5</sup> Space Technologies and Application Centre (STAC), 85100 Potenza (Italy)

\* Contact author: [nicola.genzano@polimi.it](mailto:nicola.genzano@polimi.it)

## 1. SEISMIC THERMAL ANOMALIES IDENTIFICATION BY RST APPROACH

Analyses carried out so far using the **Robust Satellite Technique** (RST; Tramutoli 1998, 2007) performed – in different continents and seismic regimes – on ultra-decennial time series of **Thermal InfraRed** (TIR) satellite images have allowed us to identify anomalies (in the spatial/temporal domain) possibly associated to the occurrence of seismic events. RST is a change detection method that, using the so-called RETIRA index, considers a change in the TIR signal as “anomalous” (and therefore potentially connected to ongoing seismic activity) when it differs significantly from its “normal” behavior. Here, we discuss the results achieved by using geostationary observations to identify RST-based **Significant Sequences of TIR Anomalies** in different seismically active areas.

### TIR Anomaly Monitoring by RST (Robust Satellite Technique) and RETIRA index



**RETIRA** (Robust Estimator of TIR Anomalies) INDEX

$$\otimes_{\Delta T}(x, y, t) \equiv \frac{\Delta T(x, y, t) - \mu_{\Delta T}(x, y)}{\sigma_{\Delta T}(x, y)}$$

reducing site effects

Signal time-average  $\mu_{\Delta T}(x, y)$  and standard deviation  $\sigma_{\Delta T}(x, y)$  are computed at the pixel level in similar observational conditions (same month of the year, same time slot, etc.)

reducing year-to-year variability and seasonal-drift effects

The local signal excess  $\Delta T(x, y, t) = T(x, y, t) - \langle T \rangle$  (compared with the spatial average on the scene) is the considered signal instead of its absolute local value  $T(x, y, t)$

space-time persistence required (Tramutoli et al., 2005)

Known spurious effects discarded (Filizzola et al., 2004; Aliano et al., 2008; Genzano et al., 2009, 2015; Eleftheriou et al., 2016)

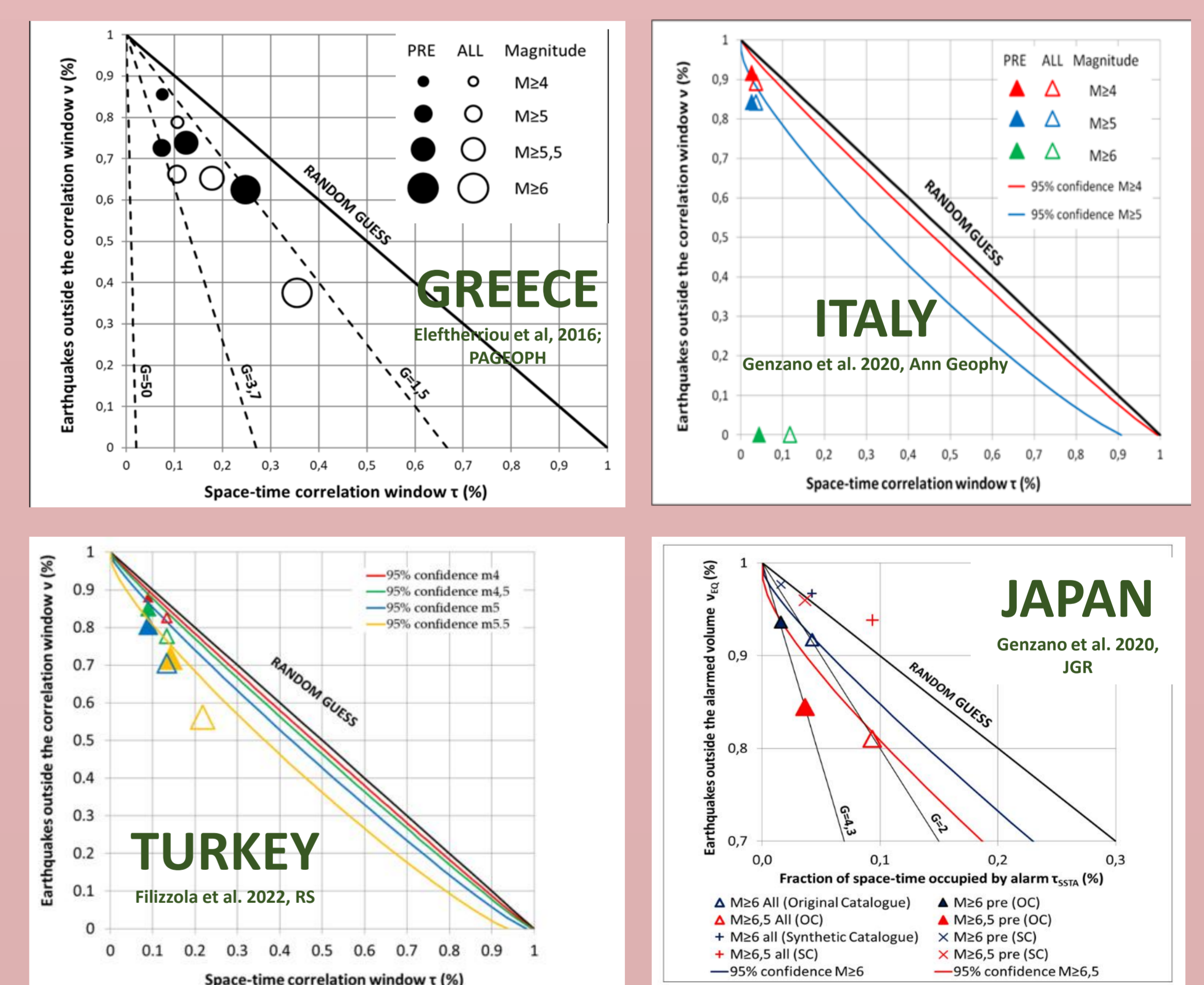
## 2. LONG TERM TIME-SERIES ANALYSES

Results until now achieved can be summarized as follows:

- Significant Sequences of TIR Anomalies (SSTAs; Eleftheriou et al., 2016) are quite rare (less than 0,05% of the total investigated space-time volumes).
- SSTAs, under well-defined correlation rules, exhibit (for earthquakes with magnitude greater than 4) a **false positive rate of less than 26%**, oscillating from 7% (Greece) up to 40% (Italy) strongly depending on the considered region, therefore, more than 74% of all identified anomalies occur in the pre-fixed space-time window.
- Molchan error diagram analyses gave a clear indication that a **non-casual correlation** exist between RST-based SSTAs and earthquake occurrence time and location.

Test Area	Study Period	Satellite system	Number of SSTAs	SSTAs in a possible connection with M>4 EQs	False Positives
Taiwan (Genzano et al. 2015)	September 1995 -2002 (21:00 LT)	GMS-5	18	18	100% 0 0%
Greece ( $\otimes > 4$ ) (Eleftheriou et al. 2016)	May 2004 – December 2013 (02:00 LT)	MSG	62	58	93% 4 7%
Italy ( $\otimes > 3,5$ ) $3 \times 3$ (Genzano et al. 2020)	June 2004 – December 2014 (01:00 LT)	MSG	28	17	60,7% 11 39,3%
Japan $3 \times 3$ ( $\otimes > 3,5$ ) (*M>6) (Genzano et al. 2021)	June 2005 – December 2015 (00:30 LT)	MTSAT 1R/2	29	18*	62,1% 11 37,9%
Turkey $3 \times 3$ ( $\otimes > 4$ ) (Filizzola et al. 2022)	May 2004 – October 2015 (02:00 LT)	MSG	155	115	74% 40 26%
S-W US - California	June-July-August 2006 – 2011 (00:00 LT)	GOES	17	11	65% 6 35%
Indonesia ( $\otimes > 4$ ) (*M>6)	July to October 2015 – 2018 (00:30 LT)	HIMAWARI 8/9	26	12*	46% 14 54%
<b>TOTAL</b>	<b>67 YEARS</b>		<b>335</b>	<b>249</b>	<b>74,3% 86 25,7%</b>

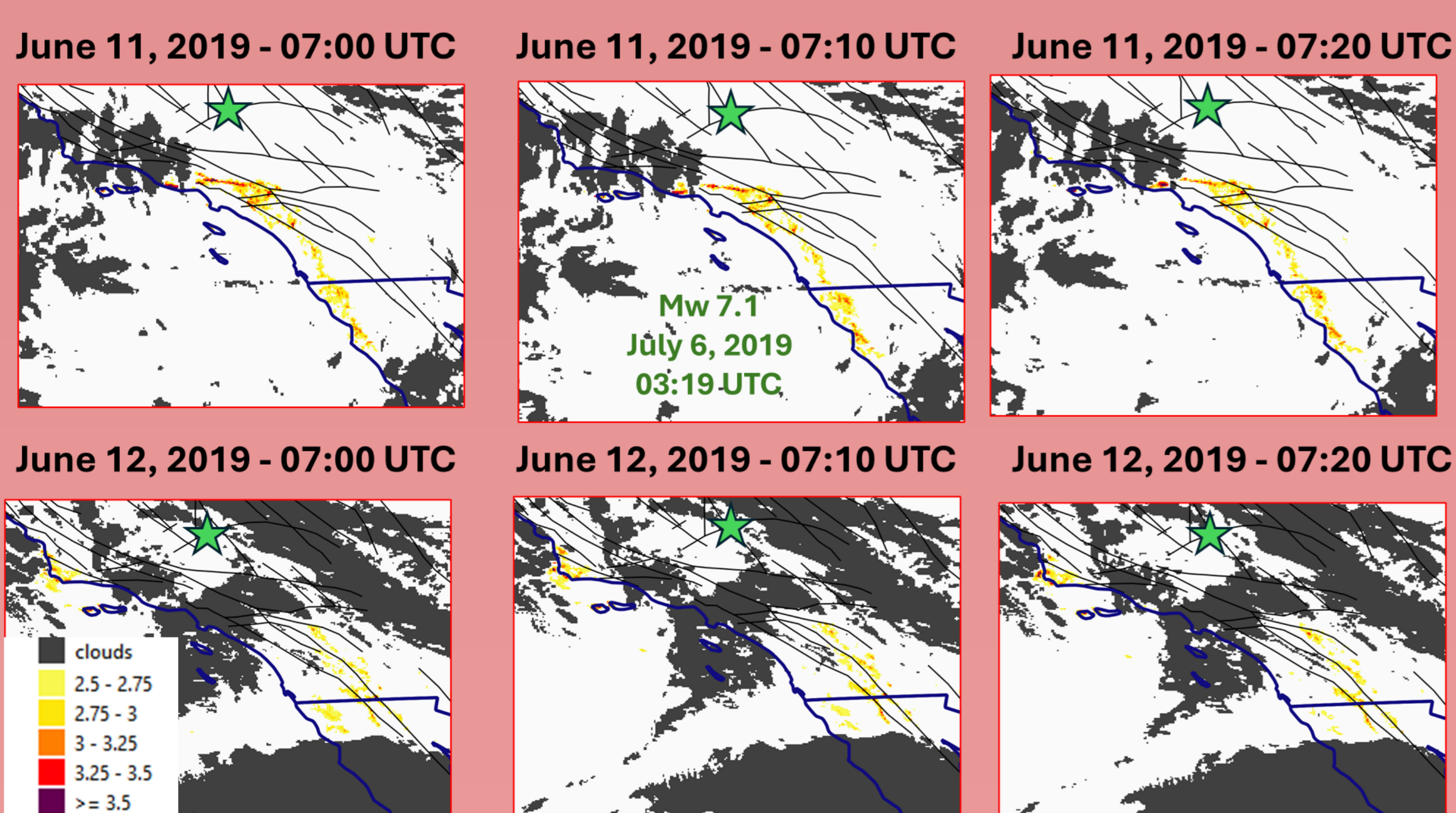
### SENSITIVITY ANALYSIS (MOLCHAN DIAGRAM)



$$v(M) = \frac{\text{number of EQs with magnitude } \geq M \text{ outside the correlation window (missed)}}{\text{total number of EQs with magnitude } \geq M \text{ occurred within the whole space } \times \text{ time volume}}$$

$$\tau(M) = \frac{\text{alerted space } \times \text{ volume for EQs with magnitude } \geq M}{\text{whole investigated space } \times \text{ time volume}}$$

## 3. EXPLOIT NEW GENERATION GEOSTATIONARY SATELLITE SENSORS



The new generation GEO satellites, such as Himawari 8-9/AHI, **GOES-R/ABI**, and MTG/FCI, acquiring data every 10 minutes with a spatial resolution of 2 km in the thermal infrared channels can contribute to more precise thermal monitoring of the seismically active areas.

Long-term RST-based analysis of TIR data acquired by GOES-R/ABI over **California (SW-US)** from 2019 until 2022 is in progress with the aim to study the “nocturnal heating” effect possibly related to seismic activities.

Preliminary results on the nighttime (from 21:00 until 03:00) TIR images confirm that TIR anomalies possibly related to seismic events are persistent in the short-term near tectonic lineaments.

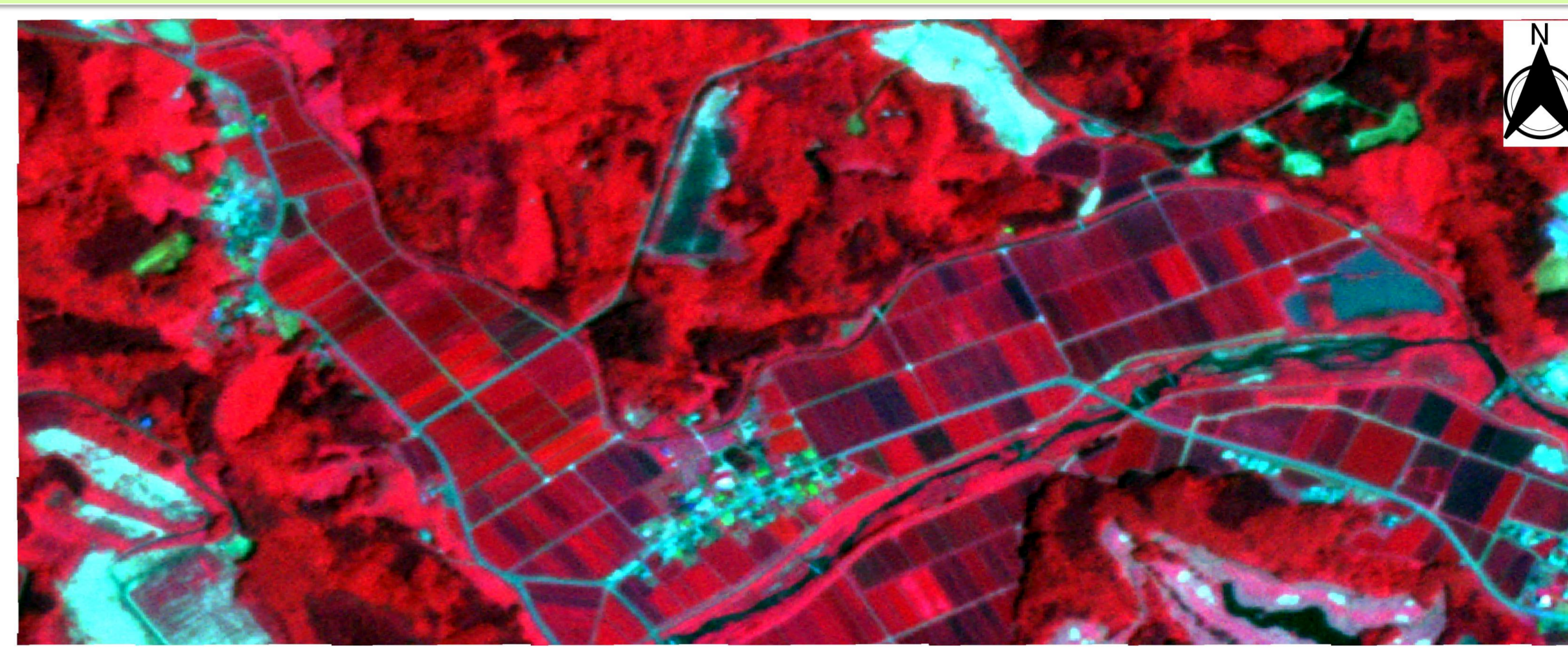


# 衛星およびドローン画像を用いた効率的な水稲圃場管理のための生育ムラの差異の評価

○牧 雅康<sup>1)</sup>、本郷千春<sup>2)</sup>  
1) 福島大学食農学類、2) 千葉大学CEReS

## 背景と目的

圃場の大規模化により、農作業の効率化のために圃場の生育モニタリングへのドローンの導入が全国各地で進んでいる。しかし、大規模圃場を複数管理する農業法人では、ドローンを利用しても生育モニタリングに時間を要する。



本研究で対象とする法人が所有する圃場

ドローンを複数機を用いた同時観測手法や、ドローンと衛星を併用した手法の開発が求められている。

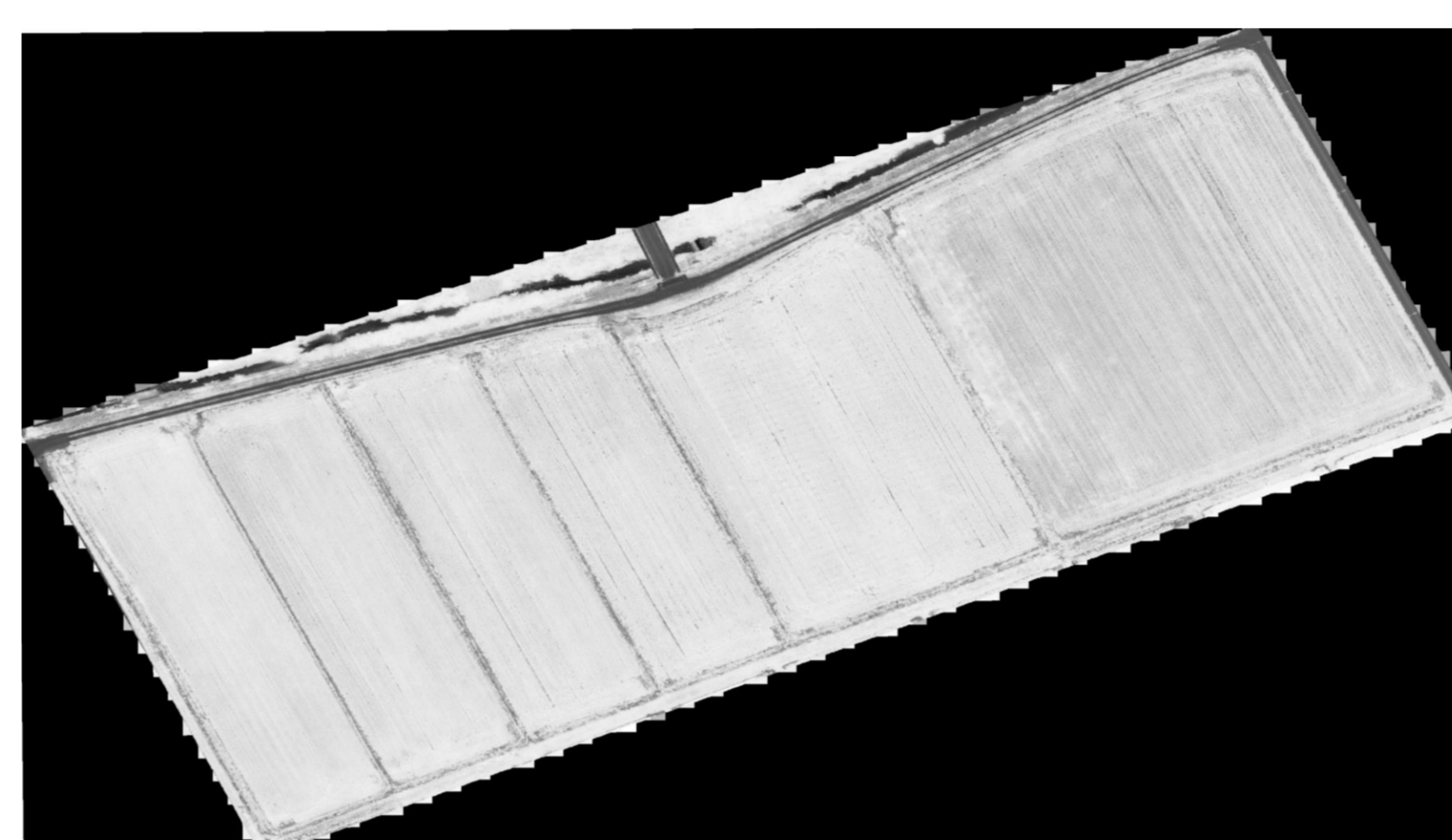
## 今年度の目的

- 同一圃場を撮影したドローン画像と衛星画像の生育ムラの差異を比較して、併用するための知見を得る
- ドローン画像を用いて衛星画像の超解像処理を試験的に行う

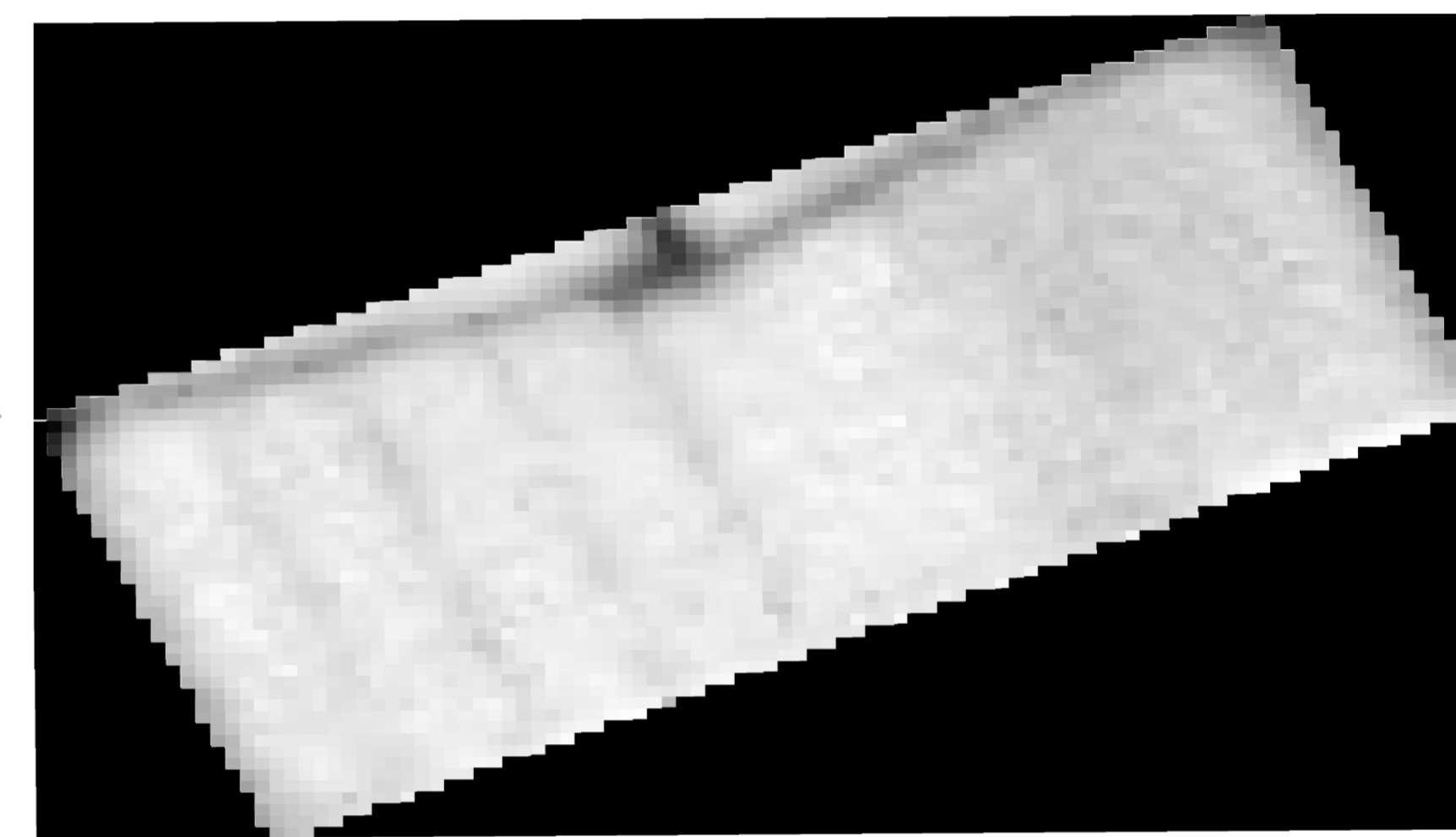
## 研究方法

### 使用したドローン・衛星データ

- ◆ ドローン：Phantom 4 MULTISPECTRAL (DJI社)
- ◆ 衛星：SuperDove (Planet社)
- ◆ ドローン空撮および衛星観測日：2023年7月28日
- ◆ 空間解像度：3.0m (SD)、0.02m (P4M)



P4M画像から作成したNDVI画像



SuperDove画像から作成したNDVI画像

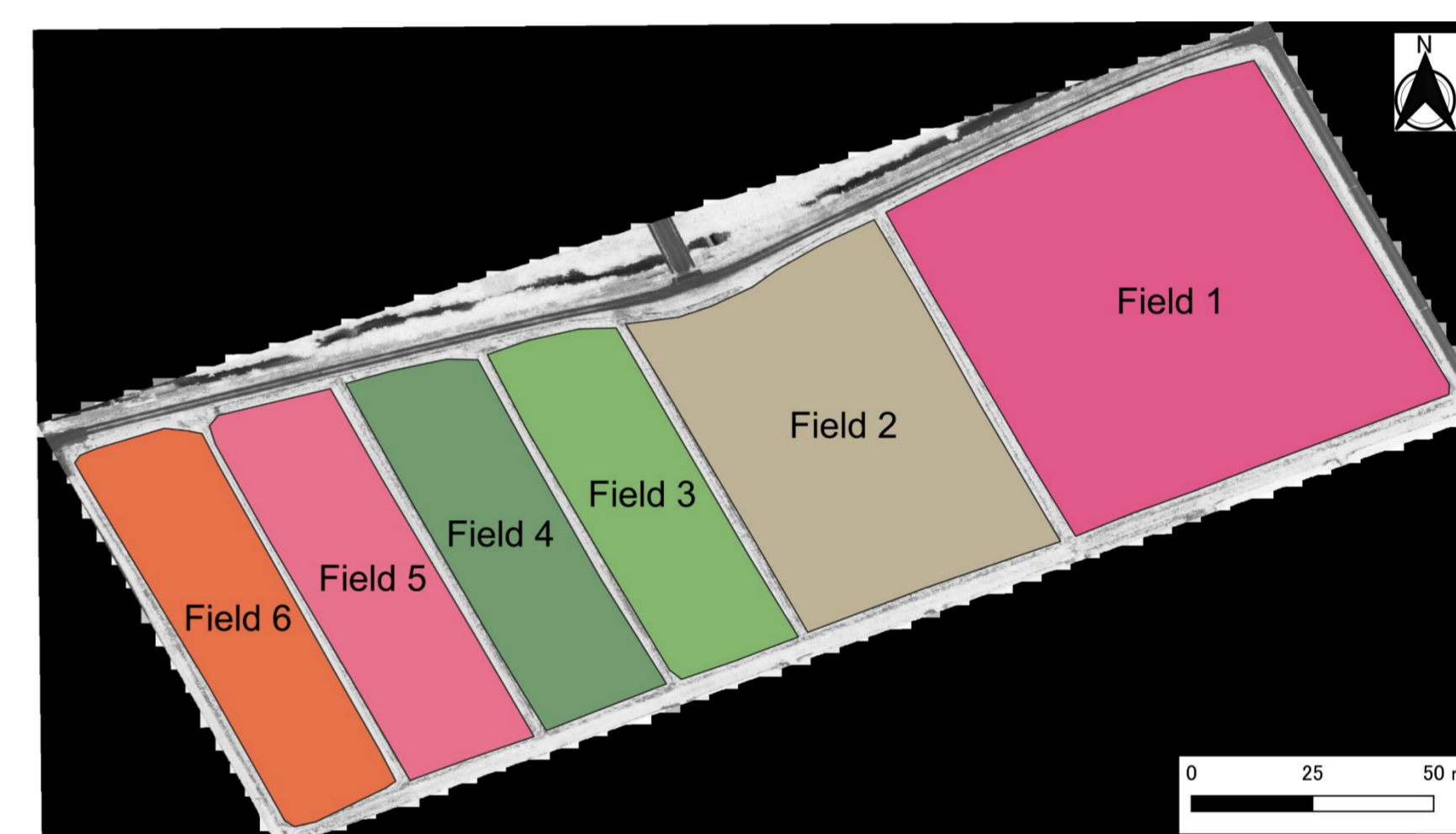
### 解析手順

1. ドローン・衛星データからNDVI画像を作成する
2. 圃場ごとにNDVIの標準化を行い、ドローン画像と衛星画像の各圃場内の生育のばらつきの差異を評価する
3. ドローン画像を用いて超解像処理 (SwinIRで3m解像度から75cm解像度) のためのモデル学習を行い、衛星画像に適用する

\* 現地の一部の圃場でドローン空撮を行って、その画像を用いた超解像処理モデルを地域全体を含む衛星画像に展開することを想定して、少ない枚数で学習したモデルが有効か確認するために実施



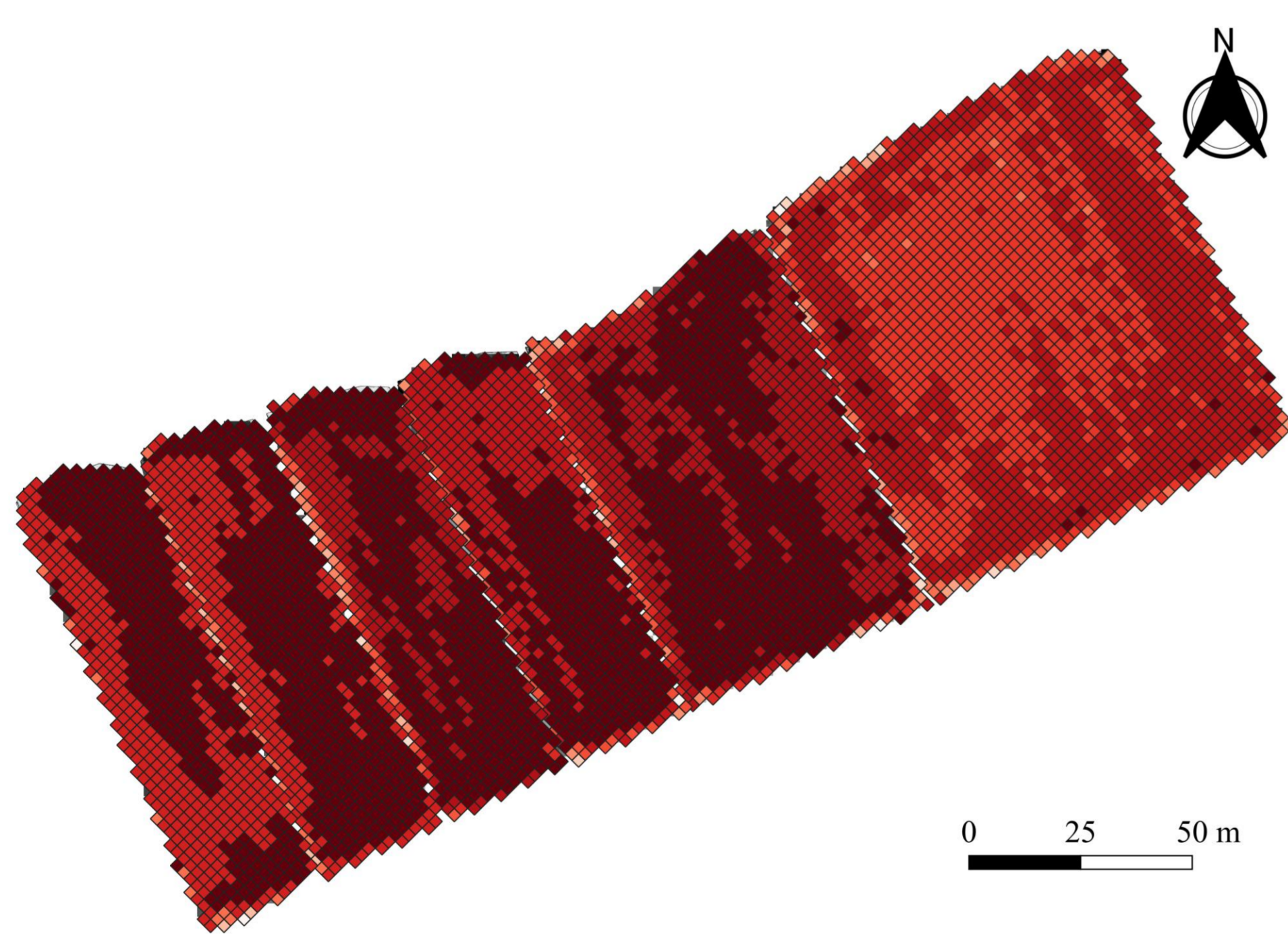
撮影当日の現地の様子



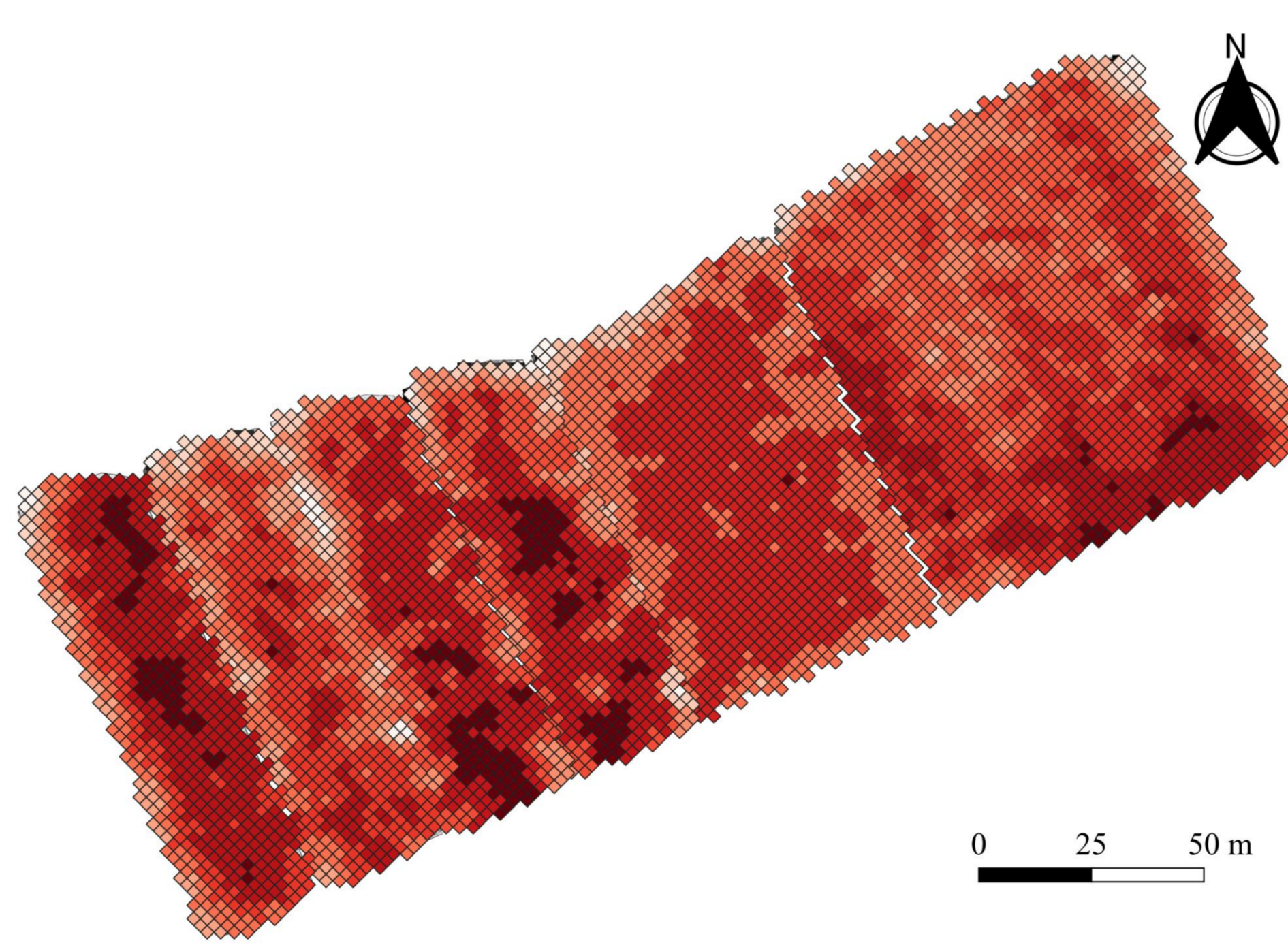
対象圃場の配置図

## 結果および考察

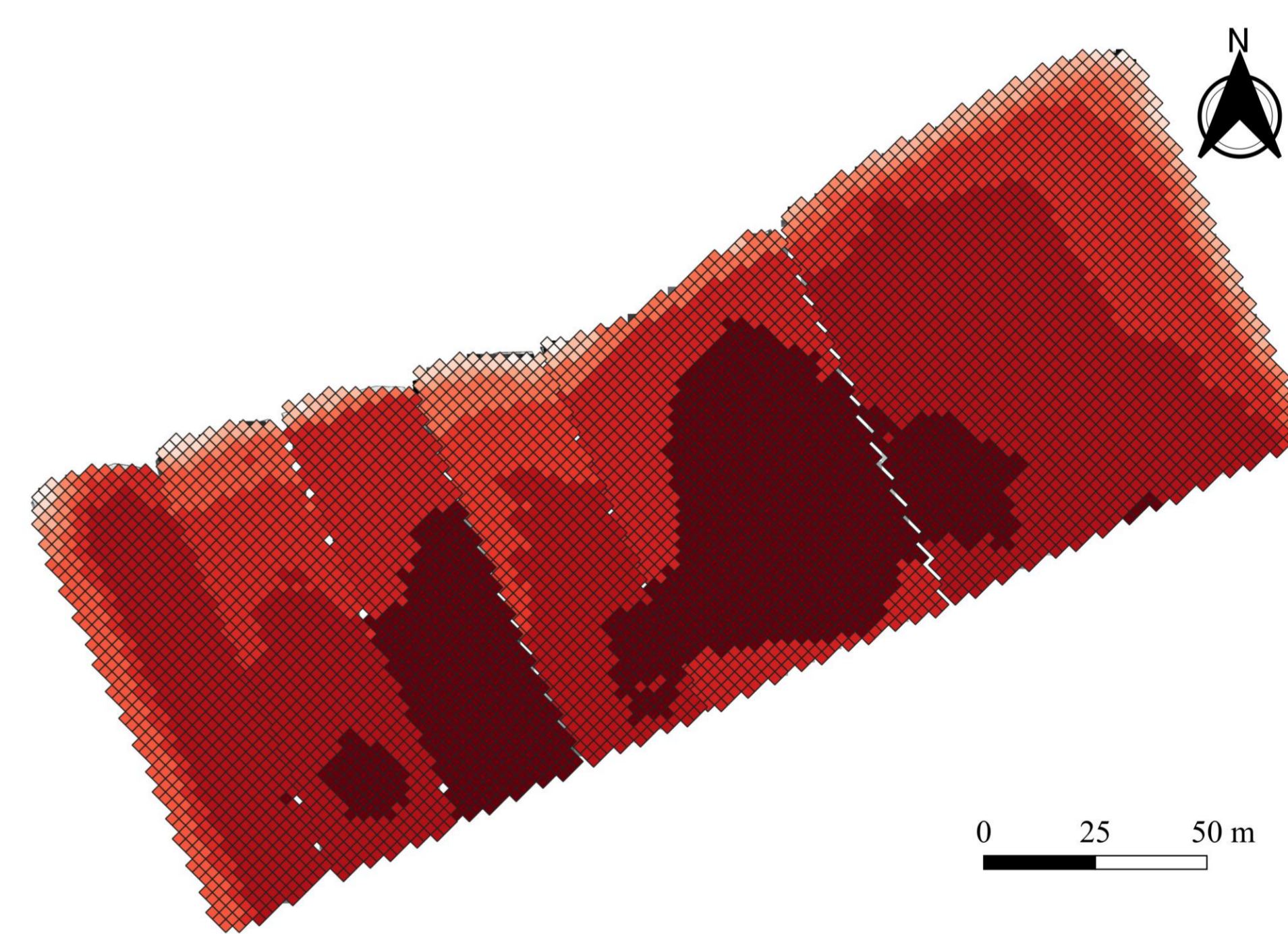
### 圃場内の生育のばらつきの比較



P4M画像による生育のばらつきの推定結果



SuperDove画像による生育のばらつきの推定結果



超解像処理後のSuperDove画像による生育のばらつきの推定結果

\* 生育のばらつき：各圃場内の最もNDVI値が高い場所（濃い赤）に対する相対的な生育量の差異

各圃場の平均NDVI値

	ドローン(P4M)	衛星(SuperDove)
Field 1	0.86	0.86
Field 2	0.89	0.89
Field 3	0.88	0.89
Field 4	0.88	0.89
Field 5	0.88	0.89
Field 6	0.89	0.88

- 圃場単位のNDVIの平均値は、P4MとSuperDoveで大きな差はなかった
- 圃場内の生育のばらつきは、P4MとSuperDoveで大きく異なった
- SuperDoveと同期空撮した狭い範囲のP4M画像を用いた超解像処理は、品質を低下させた

- SuperDove程度の解像度であれば、圃場間の生育のばらつきの把握は可能
- SuperDoveによる圃場内の生育のばらつきの把握は難しい
- 少量の教師データを用いた超解像処理は、現時点では難しいが、今後検討する余地はある



# P-10 静止気象衛星データによるバイオマス燃焼検出のための地上参照データ整備手法の検討



杉本脩<sup>1)</sup>, 島崎彦人<sup>1)</sup>, 山本雄平<sup>2)</sup>, 市井和仁<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> 木更津工業高等専門学校

<sup>2)</sup> 千葉大学環境リモートセンシング研究センター



## 1. はじめに

全球の年間総炭素排出量41.6 Pg<sup>[1]</sup>のうち、植生バイオマス燃焼に由来したものは1.7~3.0 Pgと推定されている<sup>[2][3]</sup>。しかし、農地や草原を管理するため、あるいは、農業残渣を焼却処分するために世界中で発生している小規模な燃焼については、それがいつ、どこで発生したのかという実態が十分に把握されていない。



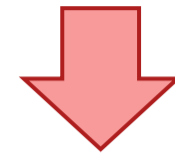
図1. 阿蘇地域の野焼きの様子

### 小規模な燃焼の課題

- 居住地近くで発生した場合には、燃焼由来の大気汚染物質が人々に健康被害をもたらす<sup>[4]</sup>
- 時間的にも短時間で終了する小規模な植生バイオマス燃焼を検出することは困難である<sup>[2][3]</sup>

### 目的

- 空間分解能と時間分解能に優れたPlanetScope画像と機械学習手法を用いて、小規模な植生バイオマス燃焼がいつ、どこで発生したのかを記録した地上参照データを効率的に整備する手法について検討する。



信頼性の高い地上参照データが整備されれば

より広範囲を一括観測可能な静止気象衛星「ひまわり」の衛星観測データと機械学習手法を組み合わせると、小規模な植生バイオマス燃焼を**全球規模**で効率的に把握可能な手法開発に貢献できる

## 2. 方法

### 使用するデータ

- ◆ 熊本県阿蘇郡小国町を含む矩形領域（図2）を解析対象とし、野焼きが行われる2月下旬から3月末のPlanetScope衛星画像（2023年・2024年）を取得した。
- ◆ 地上参照データとして、2時期の画像を比較し、野焼きの有無をポリゴンで示した。

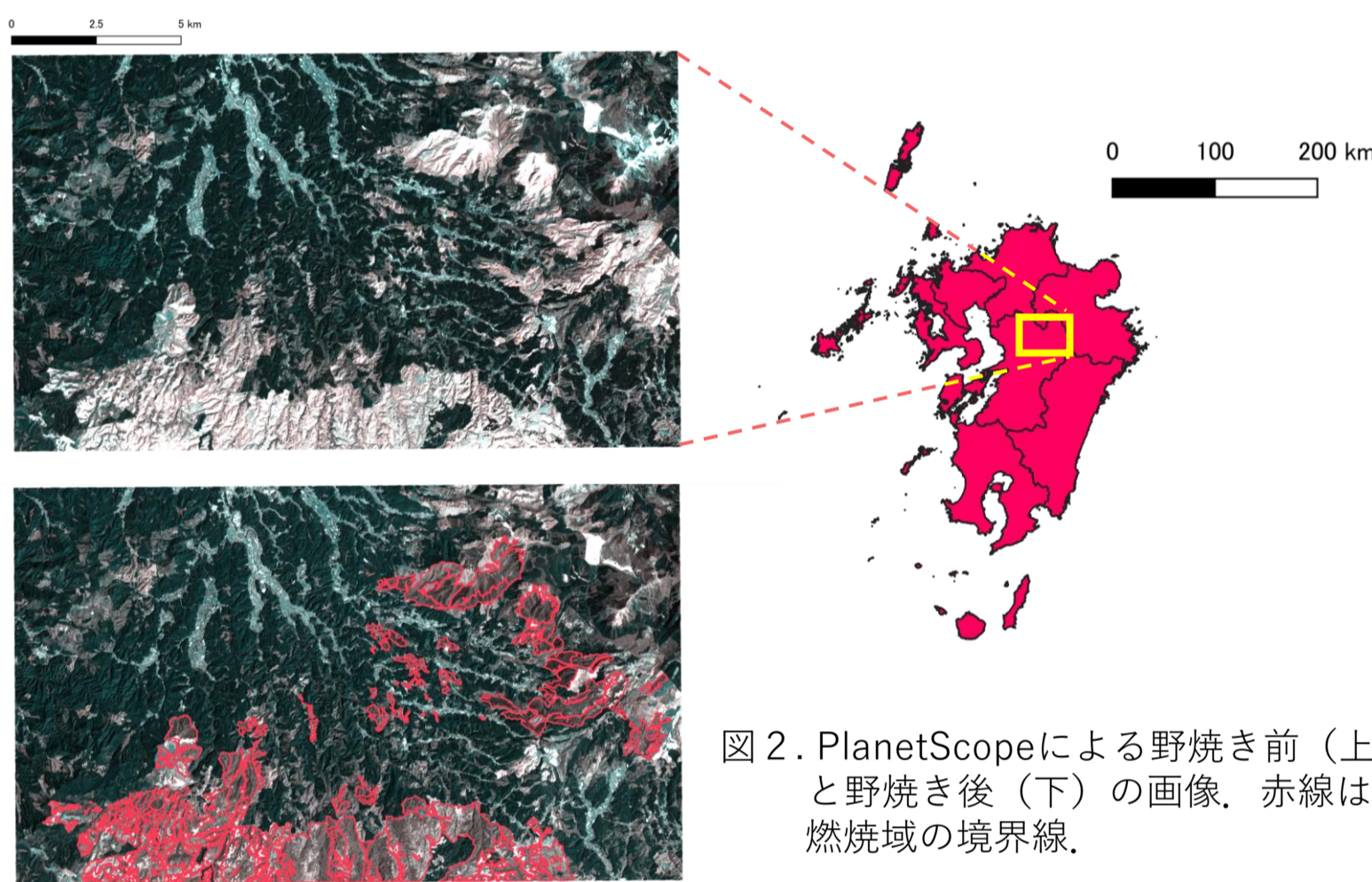


図2. PlanetScopeによる野焼き前（上）と野焼き後（下）の画像。赤線は燃焼域の境界線。

### 説明変数

- ◆ PlanetScopeの観測波長帯のうち、Sentinel-2と同じ観測波長帯をもつバンド1, 2, 4, 6, 7, 8の6つのバンド（図3）を用いた。
- ◆ 野焼きによって空間分散が低下する（図4）ことから、近傍1, 2, 3ピクセルの空間分散も取り入れた。

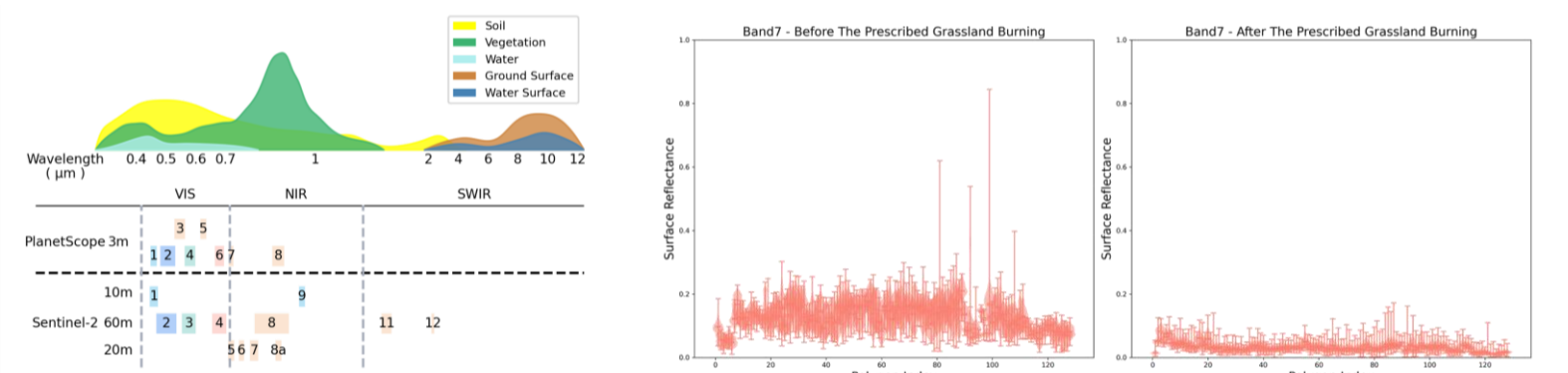
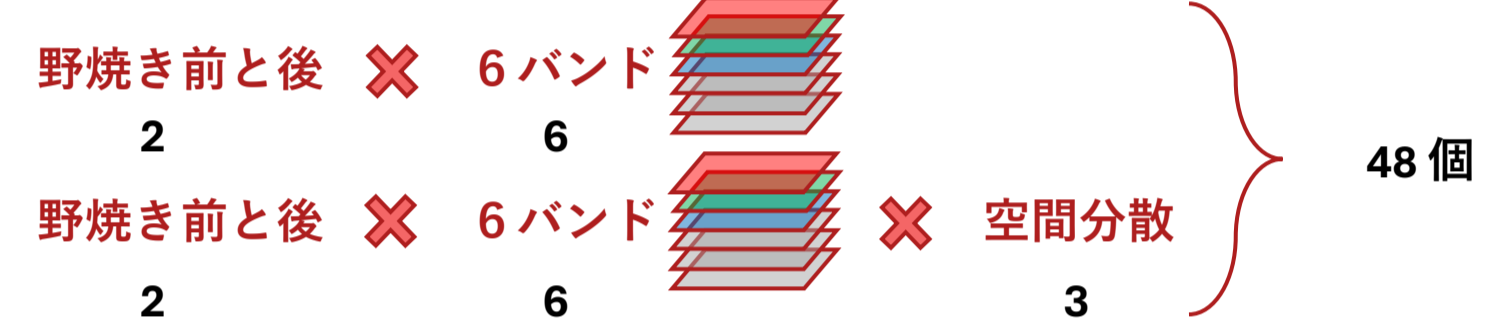


図3. PlanetScopeとSentinel-2の電磁波特性

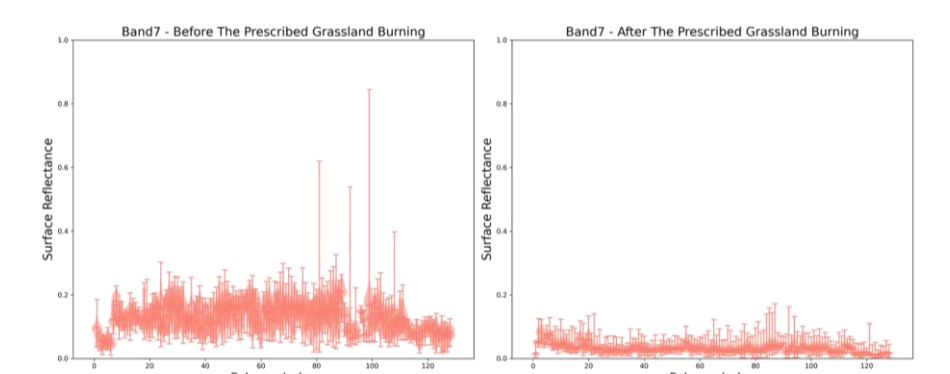


図4. 野焼きが行われることによる、各ポリゴン内の地表面反射率の変化（band 7）

### 精度評価

Random Forestによる予測モデルの性能を評価するため、10分割交差検証を10回繰り返し、性能評価指標を算出した。

## 3. 結果・考察

### 交差検証

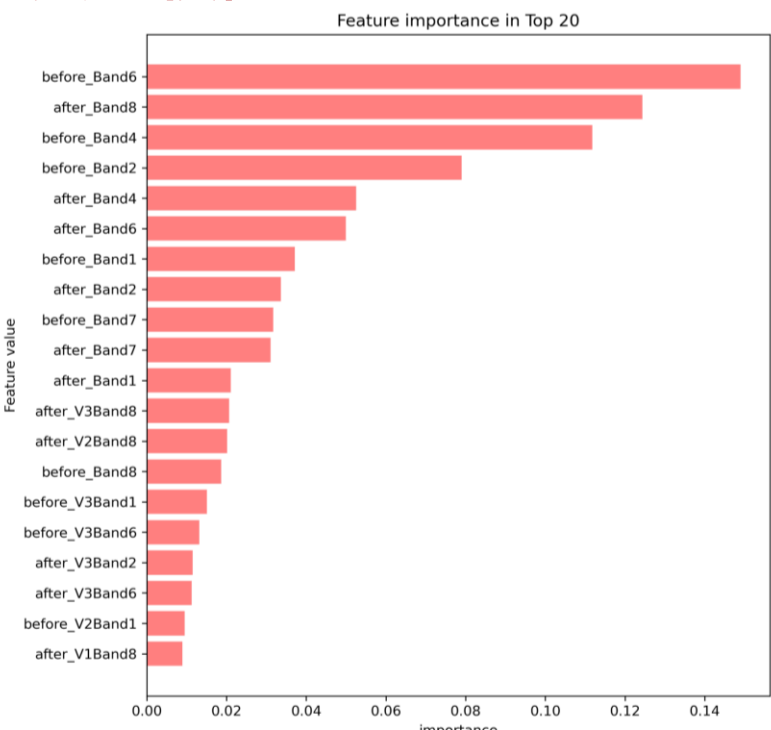


図5. 重要特徴量の上位20

Actual value	Predicted value	
	Positive	Negative
Positive	TP 2741	FN 141
Negative	FP 141	TN 2837

Accuracy: 0.953  
Kappa: 0.906  
Precision: 0.953  
Recall: 0.950

95% 信頼区間  
 $0.903 \leq \text{Kappa} \leq 0.908$

### 重要度の上位

- 野焼き前のRGBバンド
- 野焼き後の8バンド（NIR）

PlanetScopeの波長帯	
Band1	Coastal Blue
Band2	Blue
Band4	Green
Band6	Red
Band7	Red-Edge
Band8	NIR

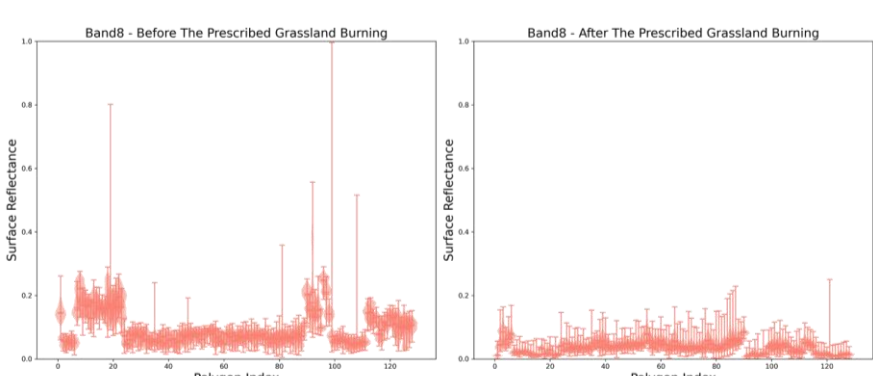


図6. 野焼きが行われることによる、各ポリゴン内の地表面反射率の変化（band 8）

NIRバンドが野焼きされることにより、空間分散や地表面反射率が顕著に低下する傾向（図6）にあることから重要視されると考えられる。

### モデルの予測

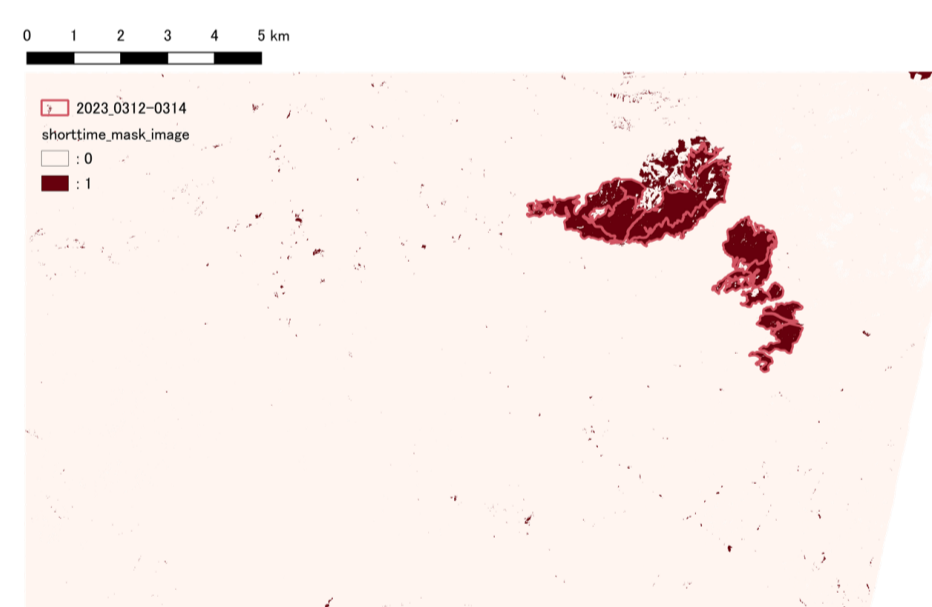


図7. 2023年の3月12日と3月14日の画像で予測した結果。実線は ground truth。

Accuracy: 0.99  
Kappa: 0.85  
Precision: 0.80  
Recall: 0.92

二時期の間隔が開くと

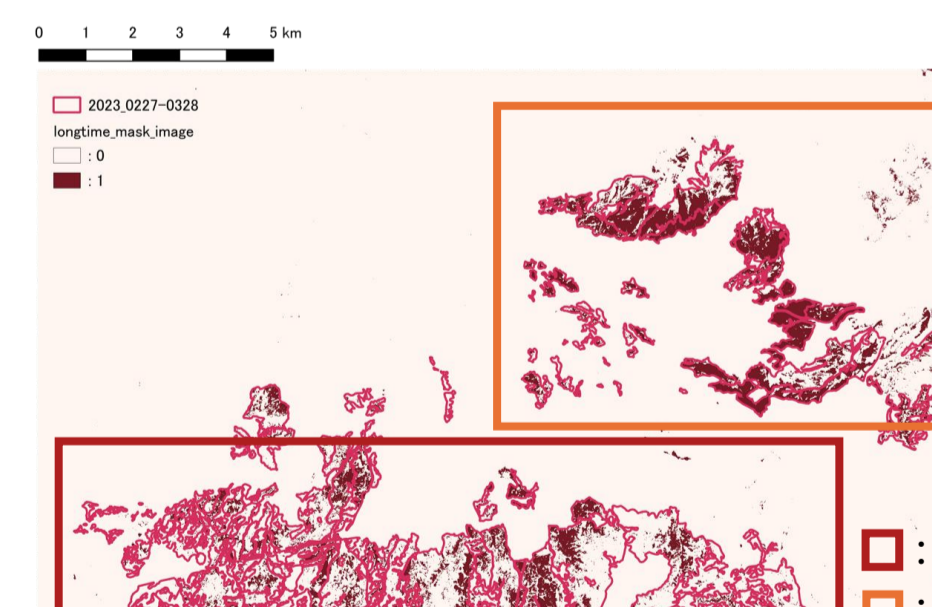


図8. 2023年の2月27日と3月28日の画像で予測した結果。実線は ground truth。

Accuracy: 0.90  
Kappa: 0.47  
Precision: 0.89  
Recall: 0.36

3月28日に近い の地域と3週間ほど前の の地域を比較すると では検出漏れが目立つ。

野焼きしてから時間が経つと検出漏れが増える傾向

## 4. まとめ

- 10分割交差検証を10回繰り返してRandom Forest による予測モデルを構築したところ95.3%の精度が得られた。
- 野焼き前のRGBバンドと野焼き後のNIRバンドが重要視される傾向がみられた。
- 現在のモデルは野焼き直後のデータであれば高い精度を示すが、野焼きが行われてから時間が経つと検出漏れが増える傾向にある。
- 今後は計算コストはかかってしまうが、より高精度を期待できる深層学習を用いた手法でも同様に小規模な植生バイオマス燃焼がいつ、どこで発生したのかを記録した地上参照データを効率的に整備する手法の開発を目指す。
- 信頼性の高い地上参照データが整備されれば、より広範囲を一括観測可能な静止気象衛星「ひまわり」の観測データを用いて、小規模な植生バイオマス燃焼を**全球規模**で効率的に把握する手法の開発を目指す。

[1] Global Carbon Project. (2024). *Briefing on key messages: Global Carbon Budget 2024*. Earth System Science Data. <https://globalcarbonbudget.org/> (参照2025-01-09)

[2] van der Werf, G. R., Randerson, J. T., Giglio, L., van Leeuwen, T. T., Chen, Y., Rogers, B. M., Mu, M., van Marle, M. J. E., Morton, D. C., Collatz, G. J., Yokelson, R. J., & Kasibhatla, P. S. (2017). Global fire emissions estimates during 1997–2016. *Earth System Science Data*, 9(697–720).

[3] Randerson, J. T., Chen, Y., van der Werf, G. R., Rogers, B. M., & Morton, D. C. (2012). Global burned area and biomass burning emissions from small fires. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 117(G4).

[4] McCarty, J. L., Korontzi, S., Justice, C. O., & Loboda, T. (2009). The spatial and temporal distribution of crop residue burning in the contiguous United States. *Science of the Total Environment*, 407(21), 5701–5712.

# 高精細多層地表・地下情報を用いた森林域の活動的斜面変動把握に向けて

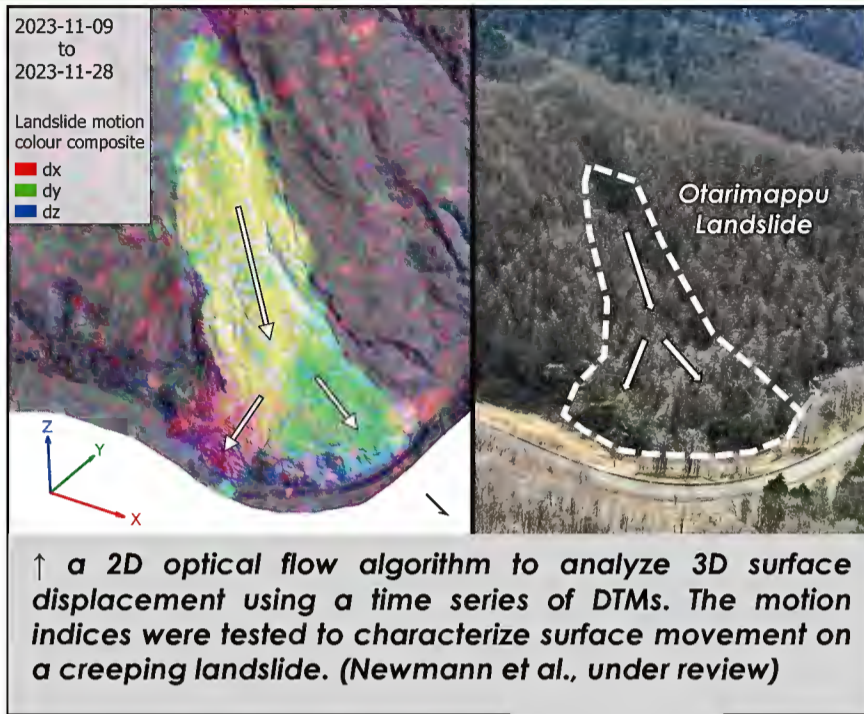
早川裕式・Daniel Newman・笠井美青・桂 真也（北海道大学）・加藤 顕（千葉大学）

森林に覆われた活動的な斜面の変動を、従来の点的な観測だけでなく、面的・立体的な空中・地上観測を用いて把握し、樹木と土塊の地生態学的な相互作用を明らかにする。地球環境科学研究所が有する最先端の表層環境計測技術と、農学研究所が有する地下観測技術および地すべりのメカニズム・対策に関する知見とを結集し、変動斜面における地表と地下の詳細を立体的に明らかにする。

## 森林・斜面管理対策の効率化

### 地形-水文-植生の相互作用解明

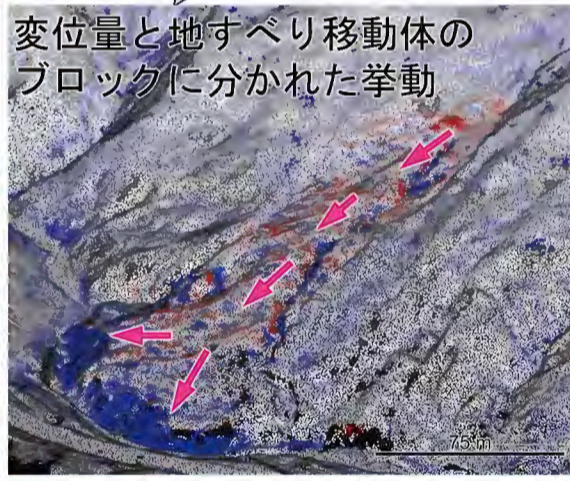
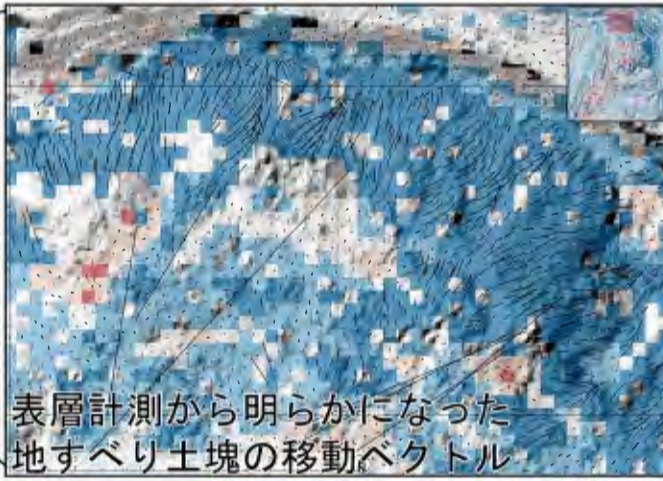
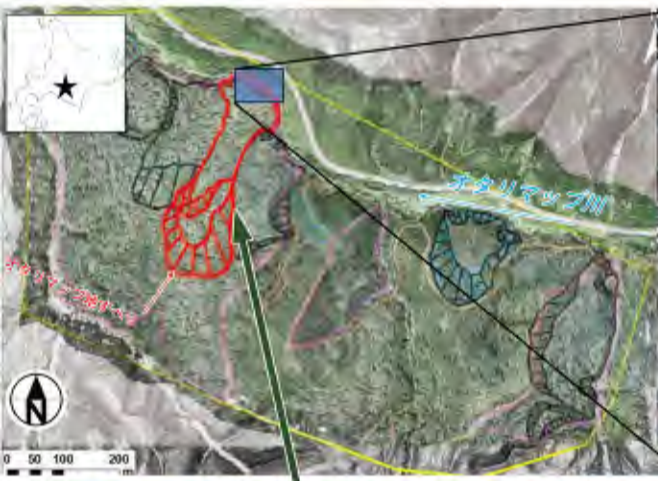
地表・地下観測の融合



### 調査対象地

オタリマップ地すべり  
(北海道平取町)

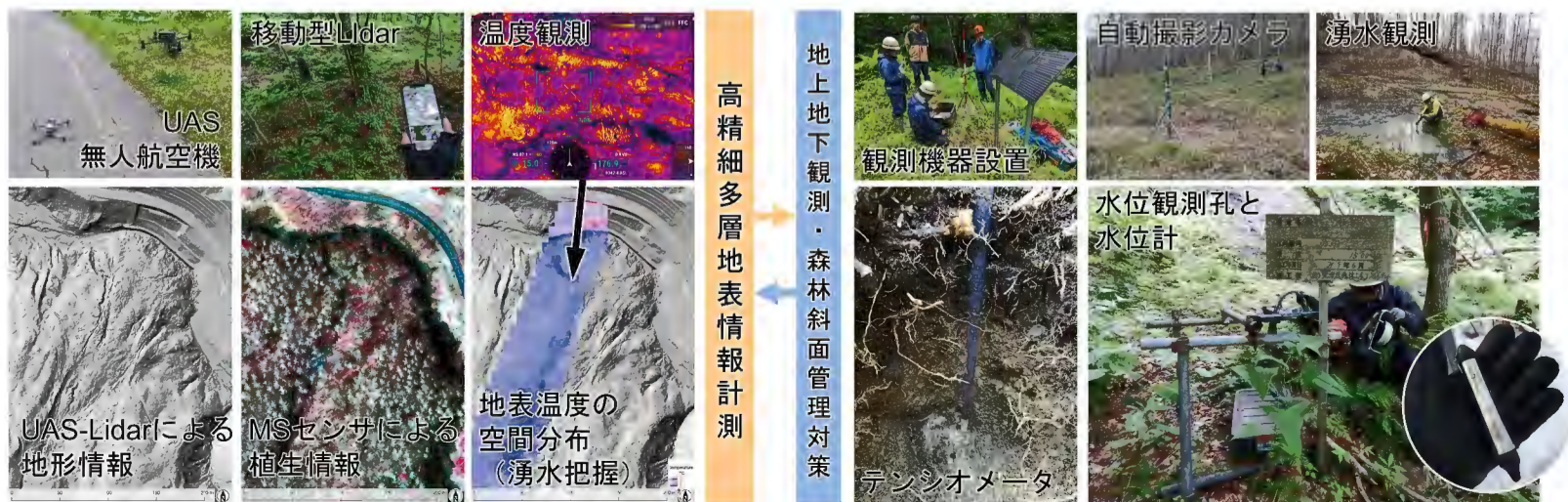
森林域における活動的な変動斜面の典型例。年移動量は1 mを超え、時に1ヶ月で数 mも移動することがある。樹木の傾倒・幹割れ・根切れのほか、湧水や湿地も多数あり、複数のブロックに分かれた移動を示す。



### 調査方法

高精細地表情報計測+樹木・地下水観測

無人航空機や移動型センサを用いた地表や樹木形状の観測と、観測孔を用いた地下水位や土壌水分の観測をより高密度・高頻度に行う。検証としてGNSS（全球測位システム）測量や自動撮影カメラでの定点観測も実施し、総合的な解析により地形-水文-植生の相互作用を解明する。



# iPad LiDARを用いた壁面緑化の葉面積推定手法の開発

Leaf area estimation for green faserd using iPad LiDAR scanner

山田誠太郎\*1・下野涼介\*2・加藤顕\*1

\*1千葉大学大学院 園芸学研究院

\*2千葉大学 園芸学部

## 背景・研究対象地

- ・ヒートアイランド現象の緩和や生物多様性の向上、二酸化炭素固定のため壁面緑化が都市部で盛んに行われている
- ・多様な機能の検証ために壁面緑化の葉面積推定が必要とされるが人為では労力がかかる
- ・廉価で導入がしやすいiPad ProのLiDAR計測アプリを使った葉面積推定手法を開発した

場所：茨城県つくば市戸田建設（株）筑波技術研究所グリーンオフィス棟（右図）

供試材料：建物の外壁である東面の7つの壁面緑化用ユニット（大きさ-縦約3m・横約1m）

測定スケジュール：2024年5月から11月まで毎月7ユニットについてデータを取得

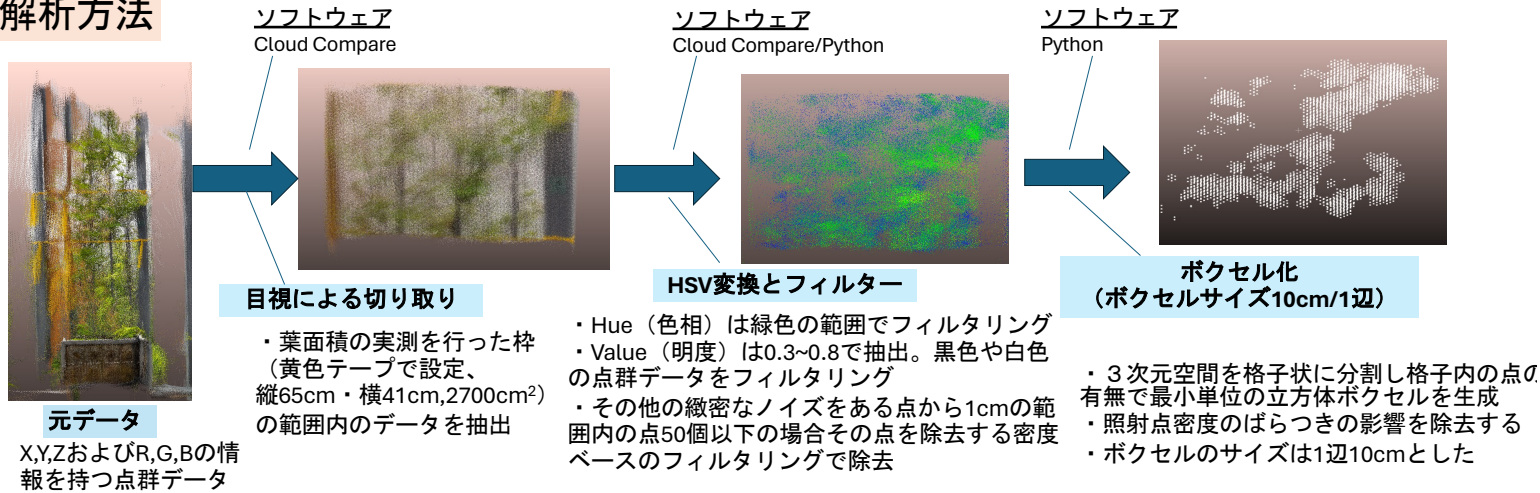
器材：iPad Pro(第5世代,OS Ver16.2)のLiDARスキャンアプリSite Scape(V1.7.16)（点密度:High）を使用

樹種：常緑種テイカカズラ,スイカズラ,落葉種にはヤマブドウ,ヤマフジ,ノブドウ

**実測葉面積の測定**：ユニットごとに約2700cm<sup>2</sup>の枠を設定しその範囲内の葉を毎月採取。採取した葉から樹種ごとに30枚をスキャナーにかけ1枚平均の葉面積を計算、これと枚数を乗算し、全ての樹種を足し合わせることで実測値（実測葉面積）とした



## 解析方法

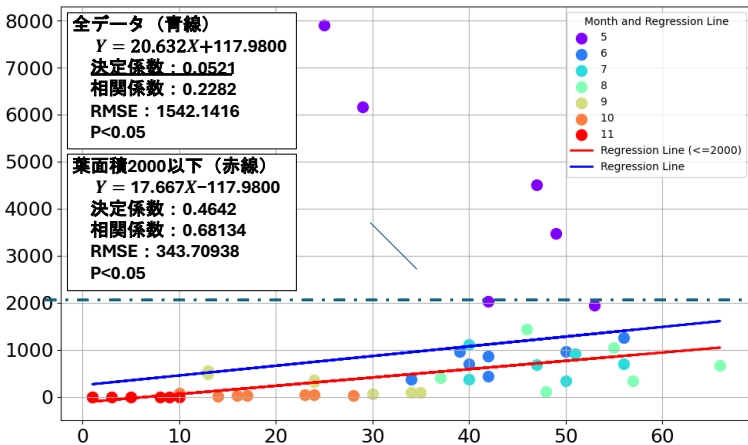


## 結果 【ボクセル数と実測葉面積の単回帰分析】

（青線：全てのデータで回帰・赤線：2000cm<sup>2</sup>以下で回帰）

↓縦軸：実測葉面積 (cm<sup>2</sup>)

サンプル数：46



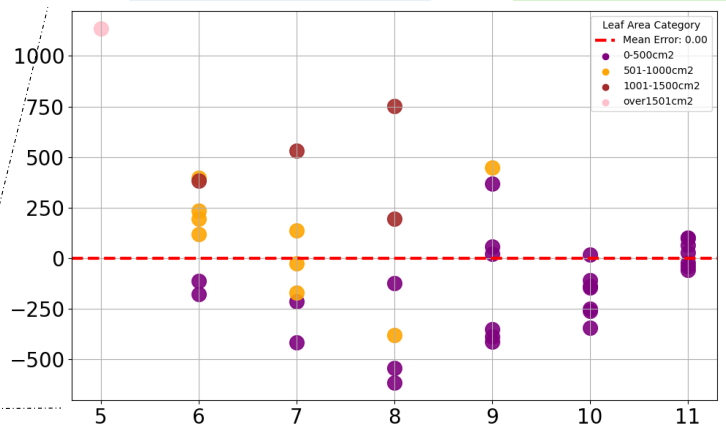
→横軸：ボクセル数

## 【月ごとの葉面積2000cm<sup>2</sup>以下の残差プロット】

（赤線：誤差0cm<sup>2</sup>）

↓縦軸：実測値と推定値の残差 (cm<sup>2</sup>)

サンプル数：41



→横軸：計測を実施した月(5月~11月)

## 考察

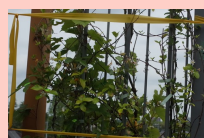
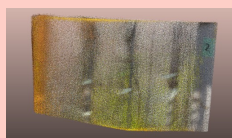
・実測葉面積2000cm<sup>2</sup>以下のデータにおいて高い正の相関( $r=0.68$ )と決定係数( $R^2=0.46$ )を得ることができた

・精度の程度を表す二乗平均平方根誤差 (RMSE)は実測葉面積が2000cm<sup>2</sup>以下であれば約340cm<sup>2</sup>であり、面積あたりの葉面積を表す葉面積指数 (LAI) など葉群の概略値の推定に応用が見込める

・葉面積2000cm<sup>2</sup>以下のデータにおける残差の分析をしたところ月ごとに残差の大きさが変化する傾向があったこれより測定時の天気（光条件や風）などの外的な誤差要因の可能性が考えられる

・レーザー計測と同時に撮影した写真から、高い実測葉面積を持つ壁面緑化植物の計測時に情報の欠損が見られ、(Piotr et al 2022)や(Lorenzo et al 2022)の研究と類似して、数cm単位の複雑な起伏の計測が難しいことを示唆

ボクセル数：26  
→推定葉面積：325cm<sup>2</sup>



実測葉面積：7896cm<sup>2</sup>

# Sentinel-1およびPlanetScopeによる薄氷域観測

## Thin sea ice area observation using Sentinel-1 and PlanetScope

○若林 裕之\*1・北野谷 太郎\*2・大山 勝徳\*2・長 幸平\*3

Hiroyuki Wakabayashi \*1, Taro Kitanoya \*2, Katsunori Oyama \*2, Kohei Cho \*3

\*1:東北学院大学, \*2:日本大学工学部, \*3:東海大学

Email : hwaka@mail.tohoku-gakuin.ac.jp

### 研究背景

- 海水は、高いアルベドで太陽光を反射し、大気-海洋間の熱交換を遮断する役割を担っている。
- 薄氷域の熱放射量は比較的大きいため、海氷域における薄氷域の割合を把握することは、地球温暖化をモニタリングする上で非常に重要である。
- 高分解能リモートセンシングデータを使用して薄氷域を広範囲かつ高精度に検出できれば、気候モデルの精度向上につながると考えられる。

### 研究目的および報告概要

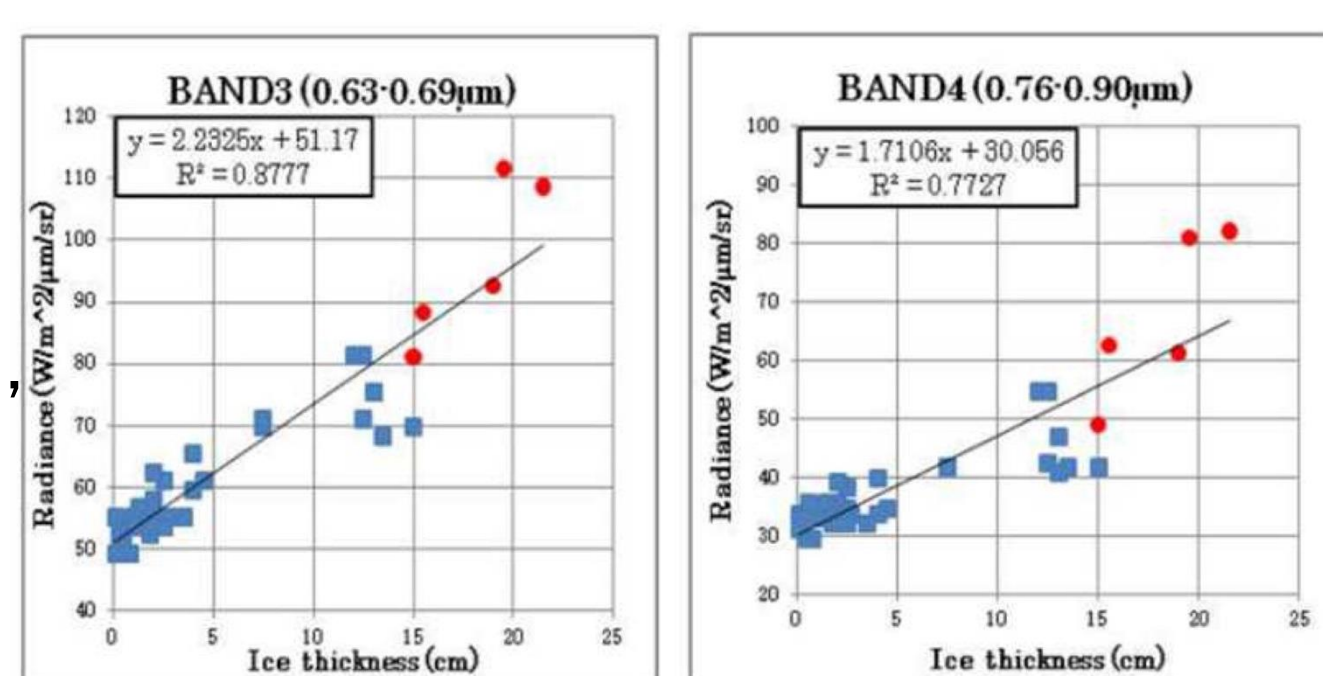
- 高分解能リモートセンシングデータを使用して広範囲の薄氷域を検出することを目的とする。
- 本報告では、2024年2月下旬に行った北海道野付湾における海氷観測実験について、その実験概要と以下のデータ解析結果を示す。
  - Sentinel-1 C-band SARデータ
  - PlanetScope 光学センサデータ
  - 薄氷域現地観測データ

### 高分解能リモートセンシングデータによる薄氷観測の可能性

### 衛星観測データ

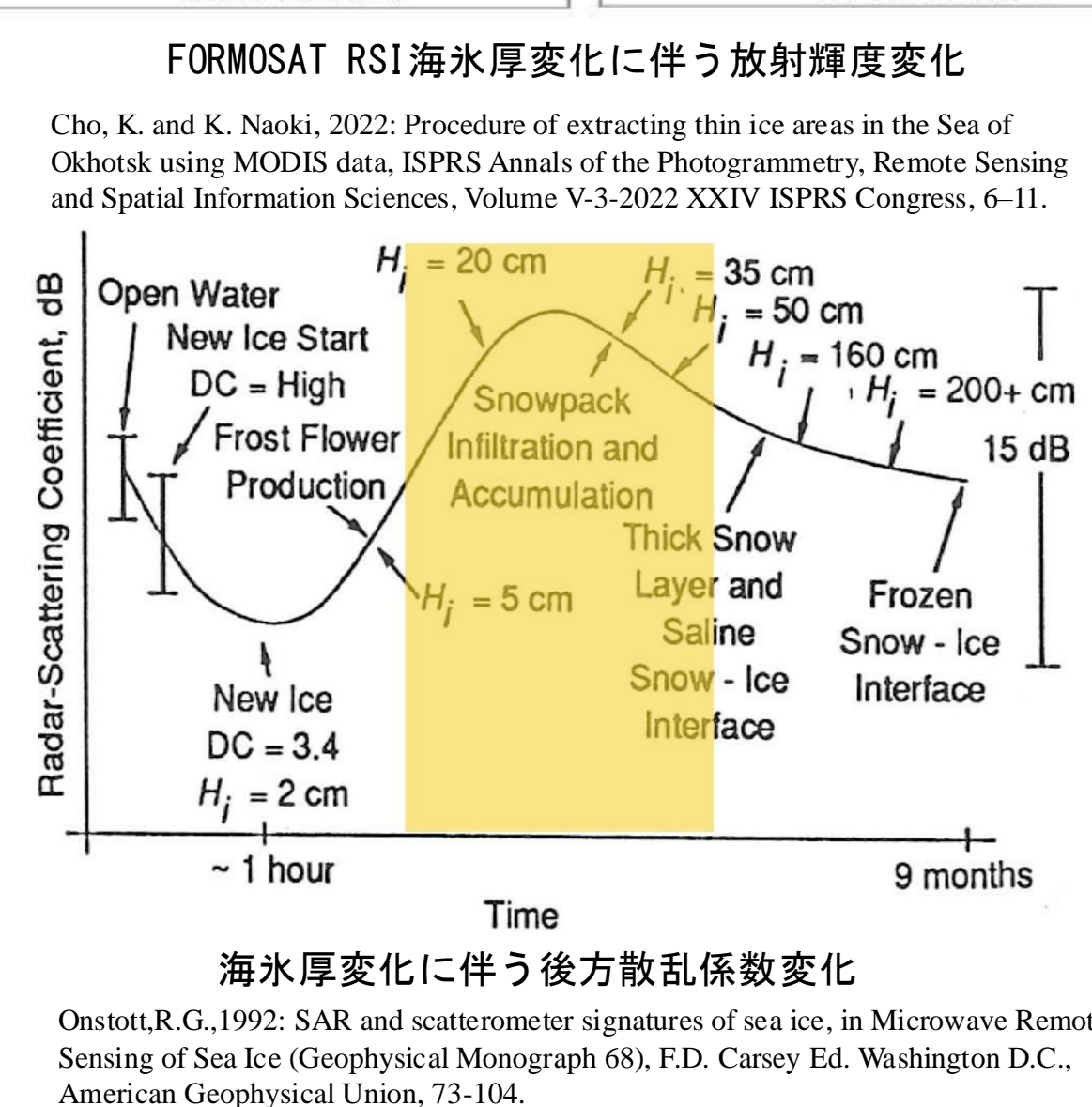
#### 光学センサデータ

- 氷厚20cm以下の裸氷域では可視近赤外の反射率と氷厚の間に高い正の相関がある。
- 高空間分解能光学センサデータを使用して現地観測データと照合することによって、薄氷域の可視近赤外反射特性を把握する。



#### 合成開口レーダ (SAR) データ

- 海水面が凍結し始めると、表面が滑らかな薄氷が発生した後、氷厚が数cm程度まで後方散乱係数が減少する。
- 氷厚が数cmから20cm程度まで成長するに伴い、後方散乱係数はフロストフラワーの発生やラフティング等で表面粗度が大きくなるため後方散乱係数が上昇する。
- 海氷が20cm以上に成長するとブライン排出により海水の塩分濃度が低下するため、後方散乱係数が小さくなる傾向となる。



#### PlanetScope光学センサデータ諸元

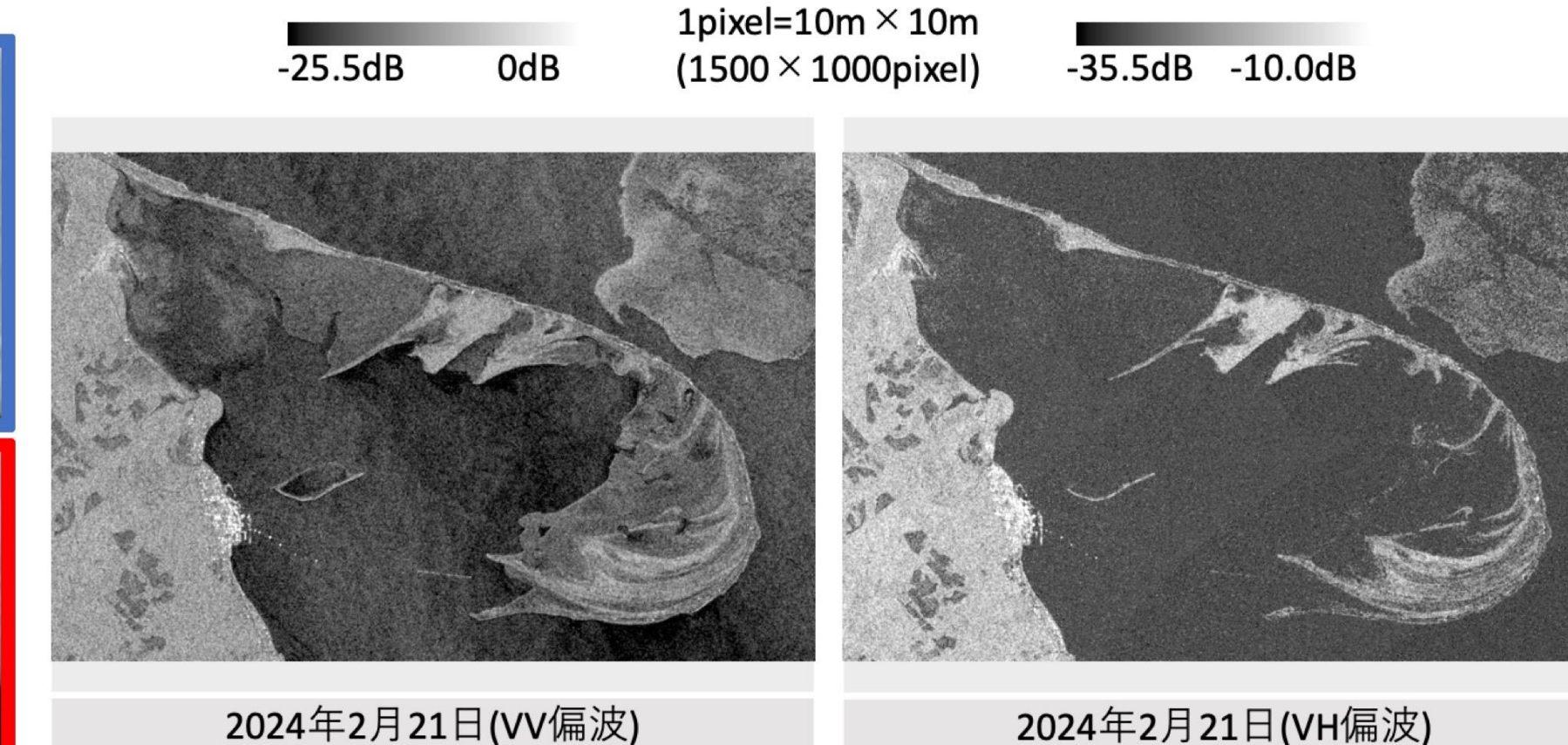
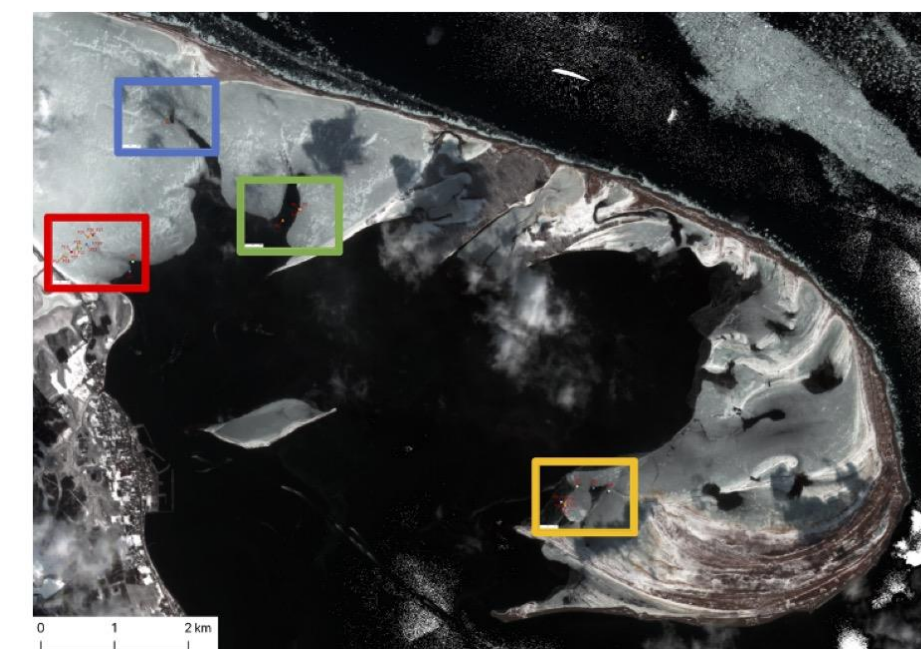
Satellite(Sensor)	PlanetScope(SuperDove)
B1 (Coastal Blue)	431 - 452 nm
B2 (Blue)	465 - 515 nm
B3 (Green I)	513 - 549 nm
B4 (Green II)	547 - 583 nm
B5 (Yellow)	600 - 620 nm
B6 (Red)	650 - 680nm
B7 (Red Edge)	697 - 713 nm
B8 (NIR)	845 - 885 nm
Spatial Resolution	3.7 m
Frame size	32.5 km x 19.6 km
Observation date and time	Feb.22,2024 10:12 JST Feb.23,2024 9:22 JST

#### Sentinel-1 SARデータ諸元

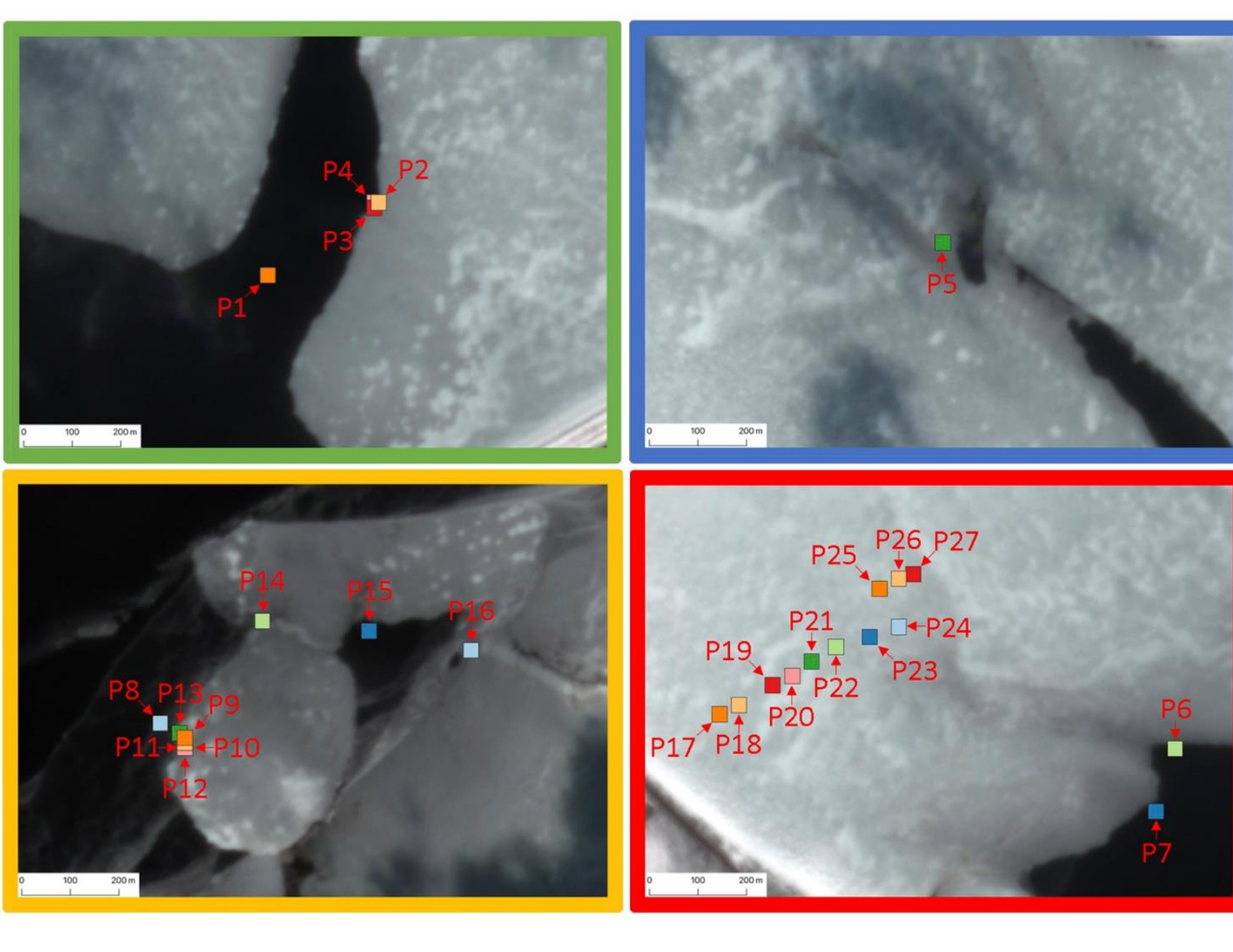
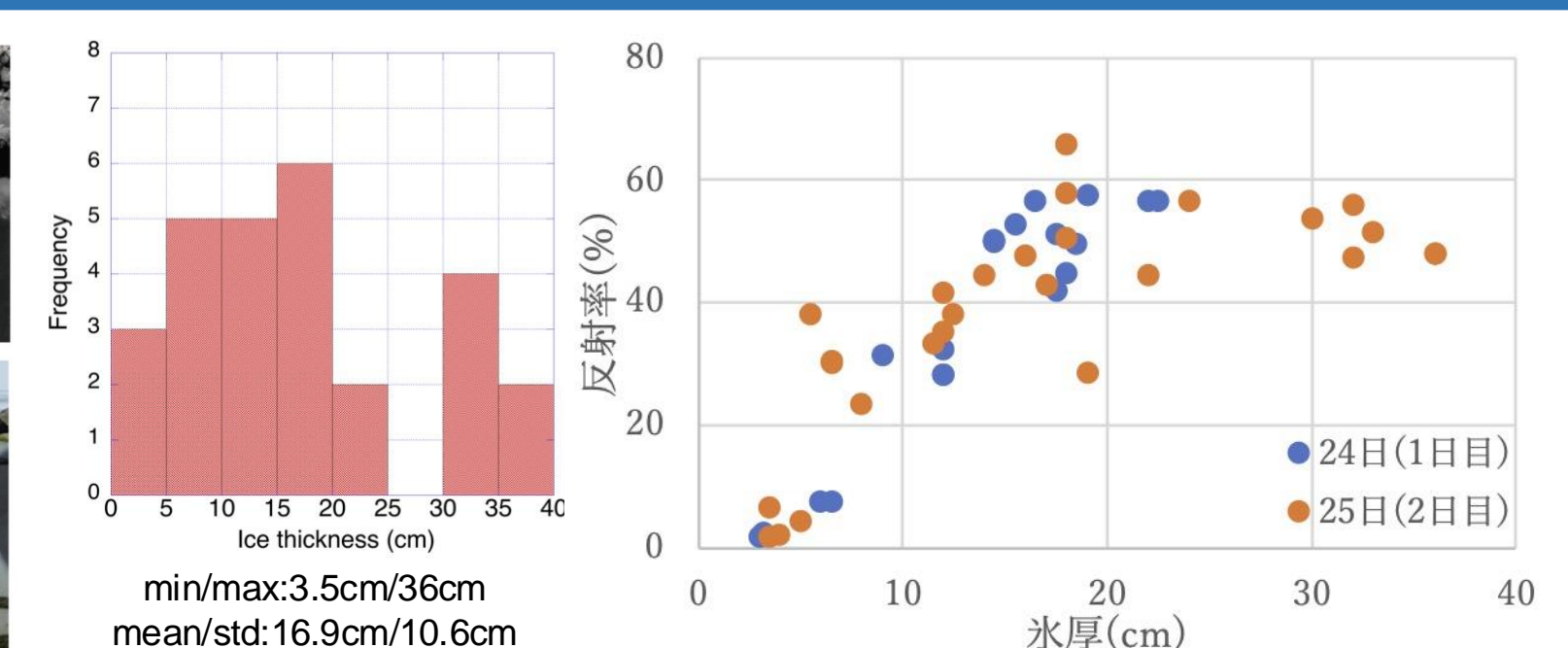
Satellite(Sensor)	Sentinel-1B IW mode
Observation mode	5.405 GHz(5.6 cm)
Center frequency (wave length)	251.8 km
Ground range coverage	29.1 - 46.0 deg.
Incidence angle	3
Number of sub-swath	20.3 - 20.5 m x 22.5-22.6 m
Spatial resolution (range x azimuth)	5 x 1
Number of looks (range x azimuth)	10m x 10m
Pixel spacing (range x azimuth)	-22 dB
Noise Equivalent Sigma-0 (NESZ)	VV+VH
Polarization	Feb.21,2024 05:24 JST
Observation date & time	

#### Backscattering analysis procedure

- Download Ground Range Detected (GRD) data from Open Access Hub.
- Apply accurate orbit data.
- Calibrate SAR (DN) data to get gamma-naught.
- Transform onto UTM coordinates with foreshortening correction (Range-Doppler Terrain Correction). Zone : 54, Pixel spacing : 10.0m.
- Data extract at sampling points (3 by 3)



### 現地観測データ



Sentinel-2/MSI画像にプロットした観測船の航跡等 (2024年2月25日)

現地氷厚観測結果

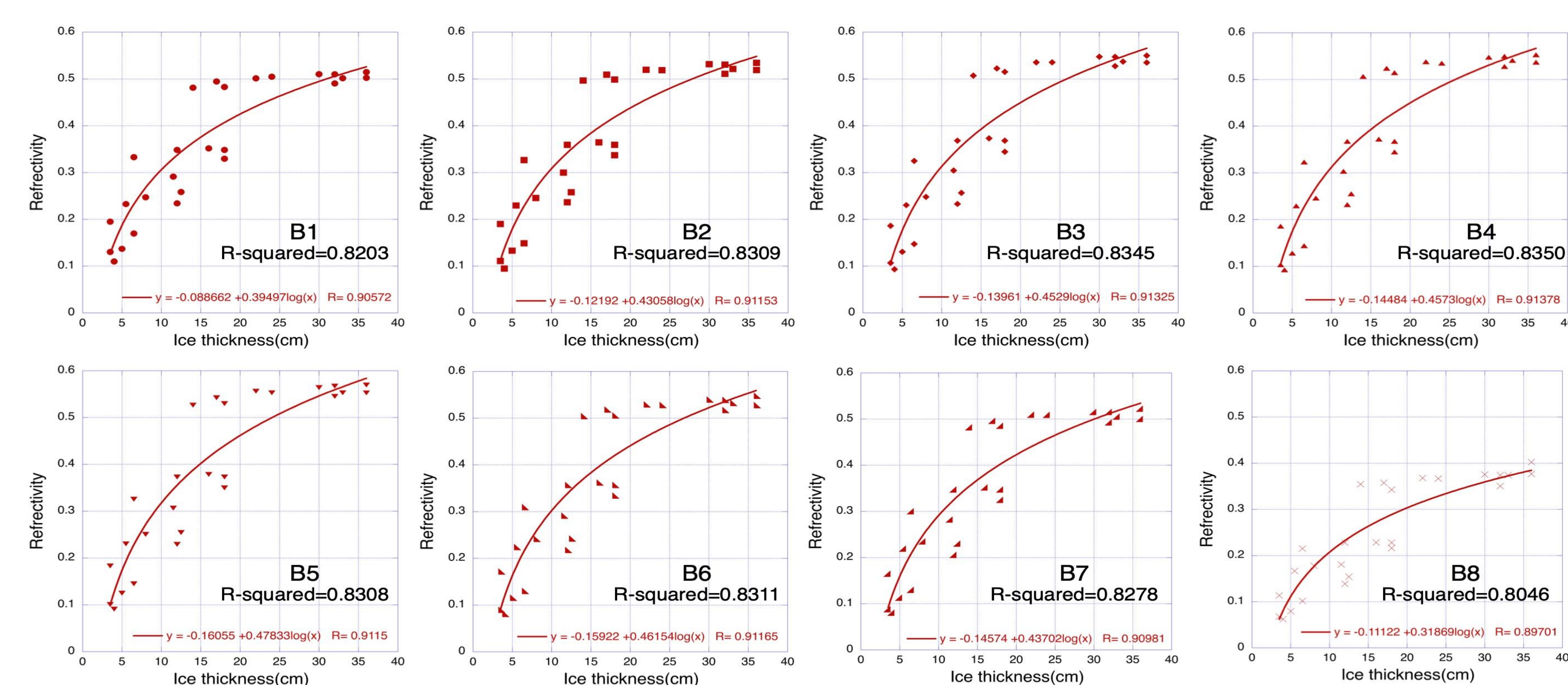
現地反射率計測結果

PlanetScope光学センサ画像上の現地観測地点

前処理終了後のSentinel-1 SARデータ

### 解析結果

#### PlanetScope



PlanetScope各バンドの氷厚に伴う反射率変化

PlanetScope重回帰分析結果 (8バンド)

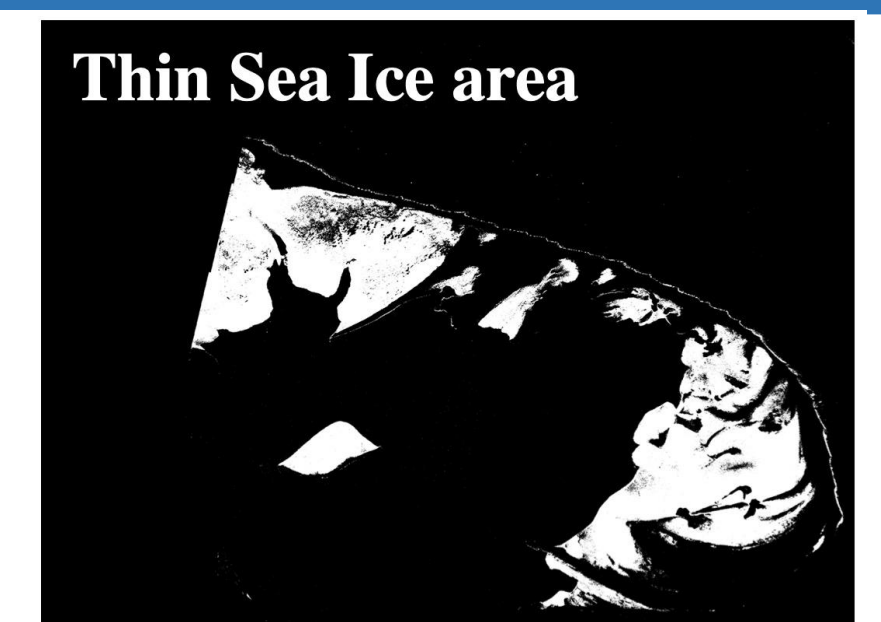
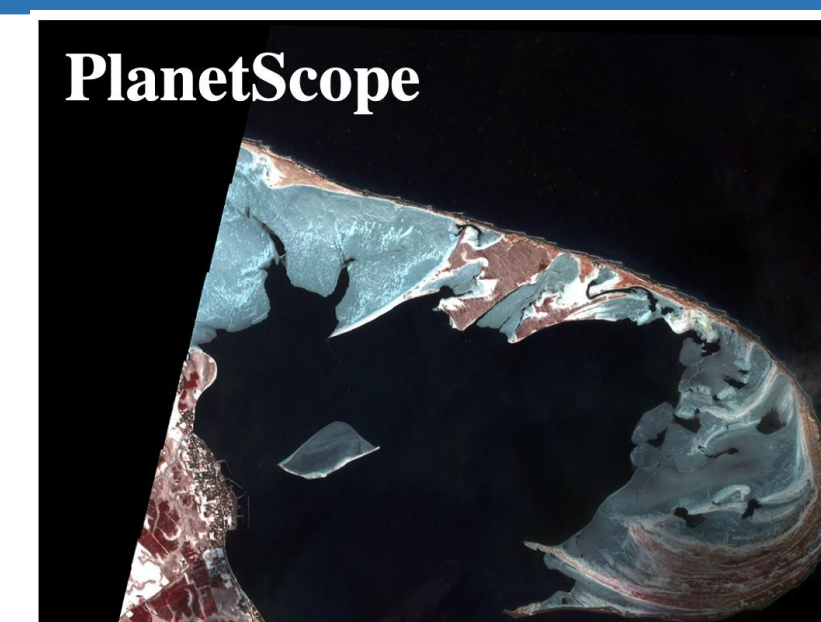
	coef	std err	t	P> t	[0.025	0.975]
B1	-4.4364	3.481	-1.274	0.219	-11.750	2.877
B2	-13.8472	7.495	-1.848	0.081	-29.593	1.899
B3	23.9856	12.961	1.851	0.081	-3.245	51.216
B4	21.1622	10.060	2.104	0.050	0.027	42.297
B5	-12.9159	6.022	-2.145	0.046	-25.568	-0.264
B6	-7.0913	9.690	-0.732	0.474	-27.450	13.267
B7	-9.1862	4.476	-2.052	0.055	-18.590	0.218
B8	3.2094	1.284	2.500	0.022	0.512	5.907
R-squared:		0.937		Adj. R-squared: 0.908		

8bands : B3>B4>B2>B5>B7>B6>B1>B8 (偏回帰係数)

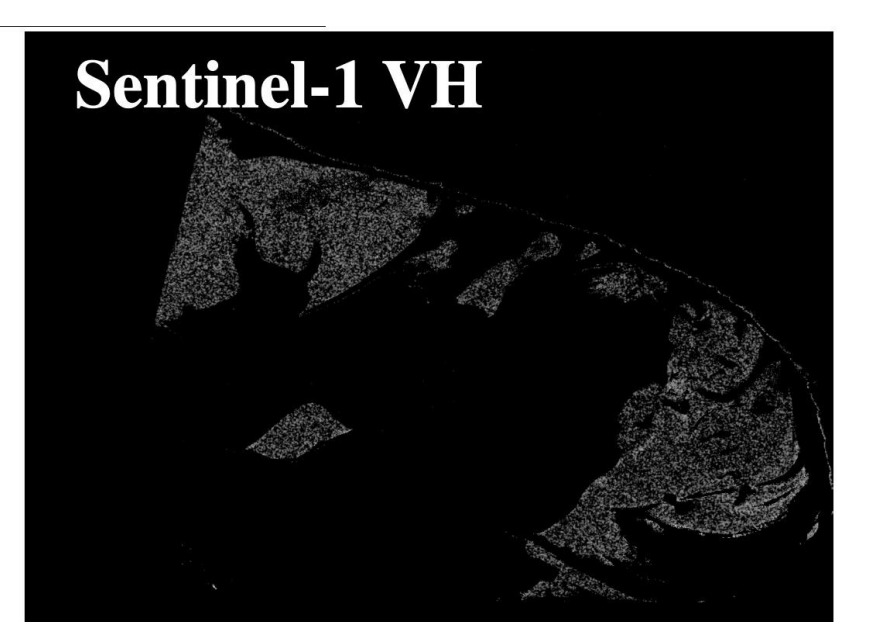
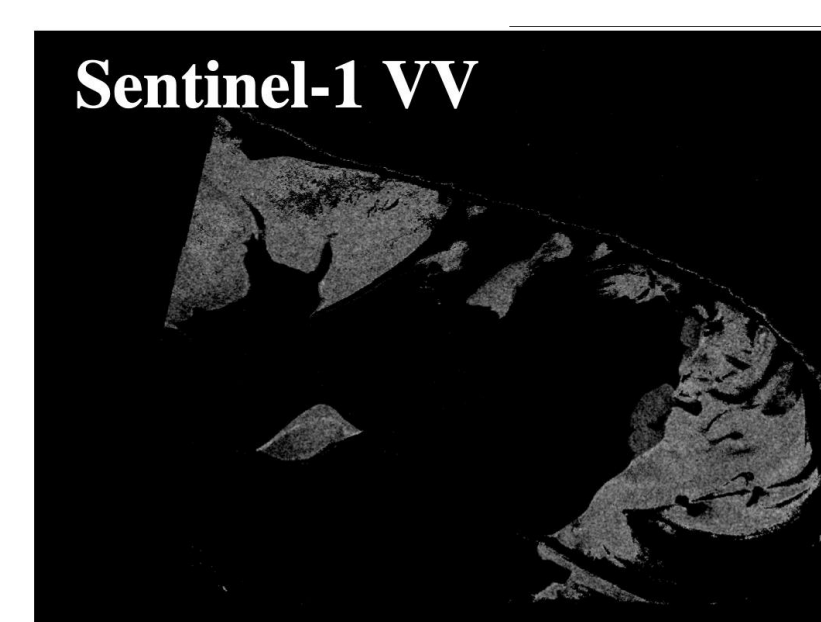
PlanetScope重回帰分析結果 (6バンド)

	coef	std err	t	P> t	[0.025	0.975]
B2	-21.1413	4.552	-4.644	0.000	-30.637	-11.645
B3	21.7321	12.626	1.721	0.101	-4.604	48.069
B4	24.7475	8.775	2.820	0.011	6.444	43.051
B5	-15.2268	5.662	-2.689	0.014	-27.037	-3.416
B7	-11.3055	2.528	-4.472	0.000	-16.579	-6.032
B8	2.0697	0.724	2.857	0.010	0.558	3.581
R-squared:		0.932		Adj. R-squared: 0.911		

6bands : B4>B3>B2>B5>B7>B8 (偏回帰係数)

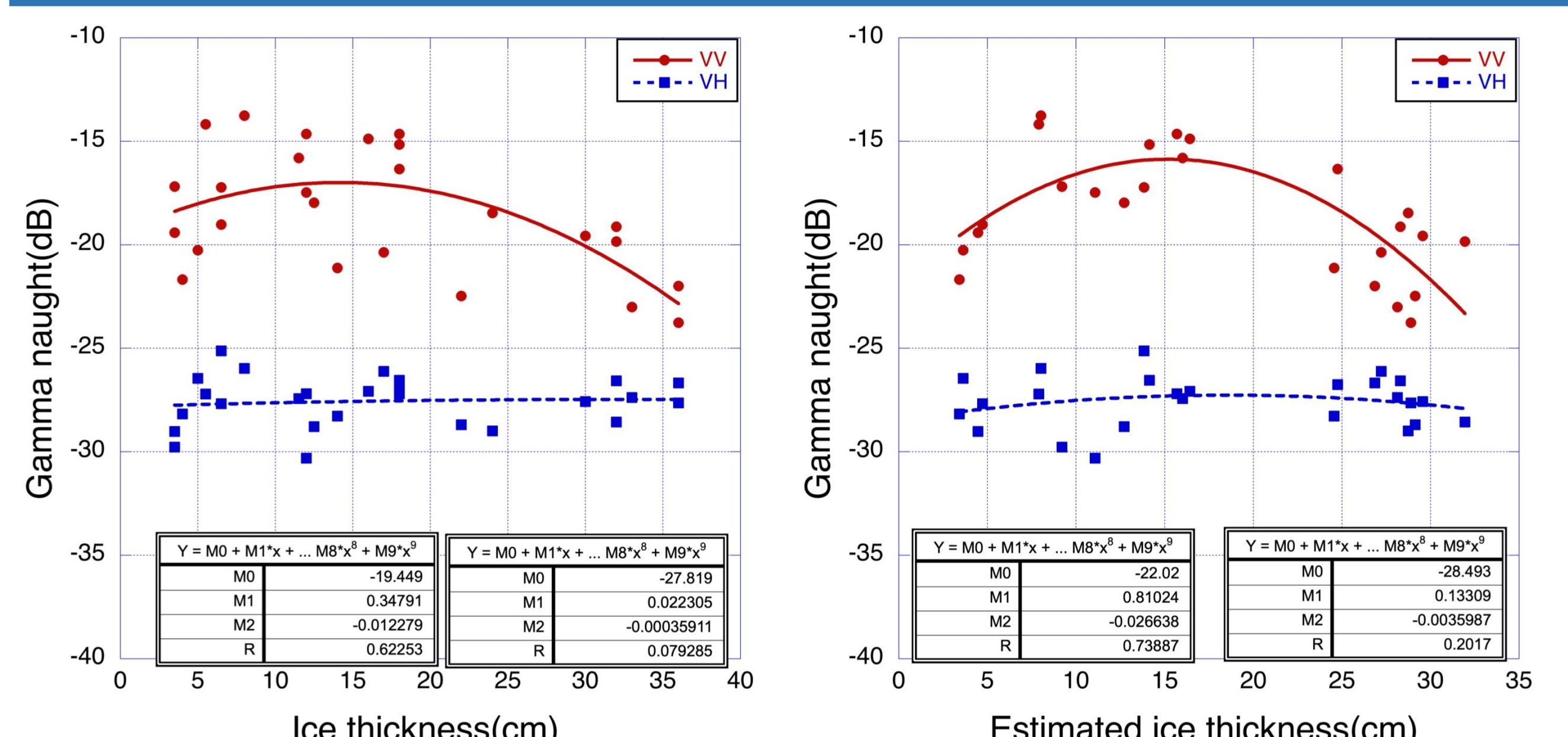


MODIS用に開発された薄氷検出アルゴリズムをPlanetScopeに適用した結果



薄氷検出結果でマスクしたSentinel-1画像

#### Sentinel-1



現地観測氷厚 (Feb.24,2024) と後方散乱係数との関係

PlanetScope推定氷厚 (Feb.23,2024) と後方散乱係数との関係

### まとめ

2024年2月下旬に行った北海道野付湾における海氷観測実験について、現地観測および衛星観測データの解析を実施し、PlanetScopeおよびSentinel-1 SARデータの薄氷域における特性を評価した。主要な結果を以下に示す。

- PlanetScope単バンド解析の結果、最も氷厚と相関が高いバンドはB4 (Green II) であった。
- PlanetScope複数バンドの重回帰分析によって氷厚推定精度を評価した結果、偏回帰係数が高いバンドはB3 (Green I) とB4 (Green II) であった。但し、現地観測データを見ると、海氷の反射率は厚さ20cm以上で飽和しており、光学センサで20cm以上の海氷厚を推定することは極めて難しいと考えられる。
- Sentinel-1 SARの薄氷域における後方散乱特性は既往研究と同様の結果を示した。

### 謝辞

- 本研究は、JAXAのGCOM-W衛星検証プログラムの一環として実施された。
- 千葉大学環境リモートセンシング研究センター共同利用研究の支援を受けた。
- 使用した人工衛星データはPlanet社およびESAから提供された。



# Determination of excess and deficient amount of paddy irrigation water for efficient irrigation system operation

Ogunardi Sigit<sup>1</sup>・森貴之<sup>2</sup>・本郷千春<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Regional Office of Food Crops Service West Java Province

<sup>2</sup>千葉大学融合理工学府

<sup>3</sup>環境リモートセンシング研究センター



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

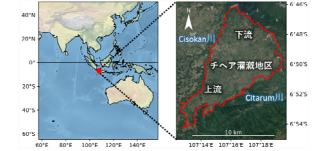
## 1 研究背景・目的

### 対象地域の現状

- 灌漑システムの合理化による適切な水管理体系の構築において、水収支の時空間分布を把握することは重要
- 河川から灌漑用水を取水しており、上流から下流へ配水しているため下流域で干ばつによる被害が確認
- 毎年作付け状況が変化する営農管理を反映した水利用に対する水不足の定量的な評価には至っていない

### 対象地域

インドネシア 西ジャワ州  
チヘア灌漑地区 約8,000ha  
・ 稲作：乾期（4～10月）に1～2回  
・ 約14万圃場の区画ポリゴンが完備

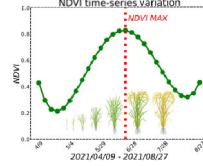


### 研究目的

- ✓ 作付状況の変化に伴う水稻の栽培に必要な水量の算出
- ✓ 灌漑水の過不足量の把握による水不足発生要因の考察

## 2 研究概要

### 出穂期推定



### 栽培必要水量

生育段階	栽培期間 (days)	栽培必要水量 (L/sec./ha)
代掻き期	10	1.5
苗床	20	0.4
移植期	35	0.75
幼穂分化期	20	0.9
出穂期	20	1.0
成熟期	20	0.9
収穫期	15	0

(西ジャワ州農政局)

Sentinel-2 MSI (2021-2023)

灌漑取水水量データ (2021-2023)

灌漑取水水量

前処理

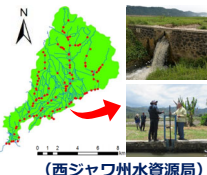
時系列NDVIデータ

出穂日推定

生育段階分類

栽培必要水量

灌漑水の過不足量の把握



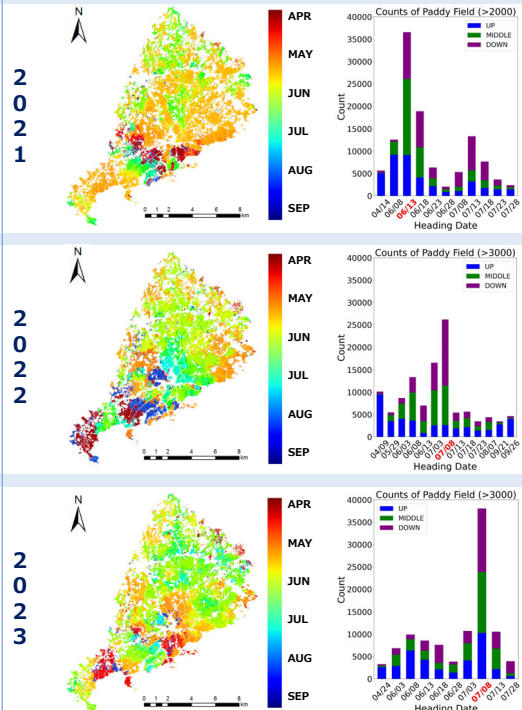
(西ジャワ州水資源局)

灌漑ブロック

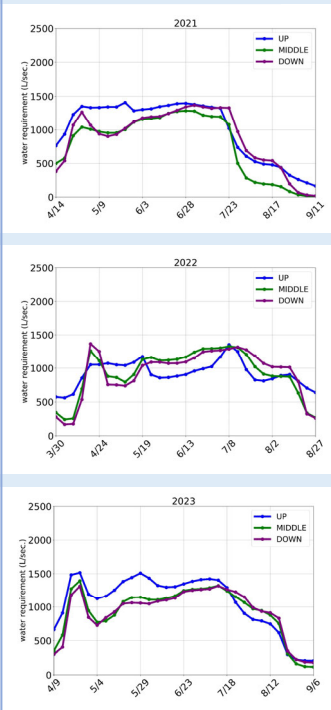


## 3 結果

### 出穂日の推定



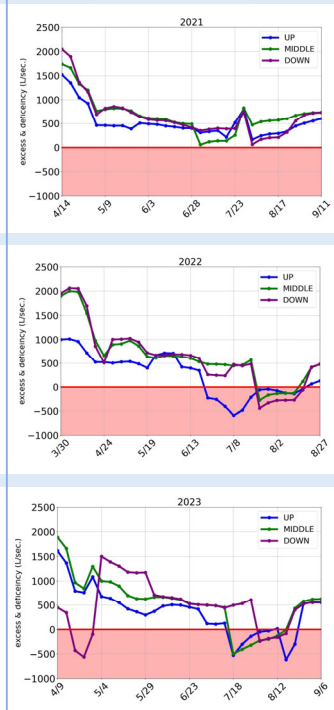
### 栽培必要水量



### 灌漑取水水量

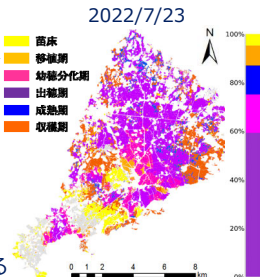


### 過不足量



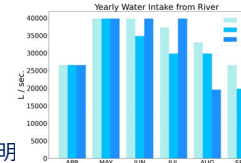
### 灌漑水の過不足量の把握

- 2021年：全ての流域で水不足の発生無し
  - 2021/8/3は様々な生育ステージが確認でき、灌漑水の需要が圃場間で異なることにより隣接する圃場間で灌漑水が相殺した可能性
  - 集水域内の圃場単位で把握する必要あり
- 2022年と2023年は水不足が発生
  - 2022/7/23を例に、必要水量が高い出穂前後の生育ステージの圃場は流域全体の面積に対して約80%を占める
  - 2023/7/23も出穂期の圃場が約80%を占める



### 水不足はなぜ発生したのか？

- ✓ 流域内の生育ステージと河川からの取水水量が影響している可能性
- 営農管理による影響
  - 例年より移植時期が遅れることにより栽培に必要な水量の増加
  - 時期と灌漑取水水量が急激に減少する時期が重なることによると推察
- 流域内の生育段階の一致
  - 出穂期等の多くの水量を必要とする生育時期に集中していると灌漑水の需要が増加
- 河川からの取水水量の減少
  - 上流域に位置するチタルム川からの取水水量減少がチヘア灌漑地区の灌漑取水水量にも影響
  - 上流域の灌漑取水水量だけ減少した要因は不明



## 4 課題と対応策

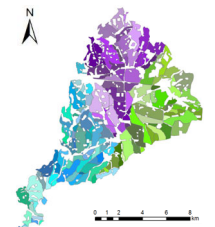
- 上流域にはダム等の貯水施設がないため降水量の減少が水不足を誘発
  - 雨水や流出水を溜めるため池を作り、水不足時に農地へ導水
  - 農業用水として取水した灌漑水を排水せず、農業排水を農業用水として循環・再利用
- 灌漑システムの老朽化・営農管理の変化への対応
  - 土や石で側壁を作り、流出水を補捉
  - 頭首工を利用して流域全体に過不足なく水配分を最適化することによる効率的な配水計画策定が必要

現地の頭首工



## 5 今後の展望

- ✓ 灌漑水路網の詳細化により灌漑分岐点から取水する集水域を圃場単位で特定し、水不足発生圃場を把握
- ✓ 農家の灌漑用水に対する需要や営農に関する考えに対応した配水過程のモデル化により灌漑管理体系改善後の過不足量の定量化
  - 水資源局への水管理体系の改善の意思決定を支援
- ✓ 水不足発生に対応する持続可能な農業活動のための適応戦略モデルに貢献



# ZYBO Z7-20を用いたFPGAベースのリアルタイム画像処理システム基盤



CHIBA UNIVERSITY

大塚祐生  
難波一輝  
Josaphat Tetuko Sri Sumantyo  
千葉大学大学院融合理工学府数学情報科学専攻情報科学コース

## 背景

### CP-SAR搭載UAVを用いた実験

- ・地球の観測を時間、天候に影響されずに行える円偏波合成開口レーダ(CP-SAR)
- ・無人飛行機(UAV)に搭載しての前実験
- ・多くのデータをリアルタイムに処理するため、並列処理が得意なFPGAを利用



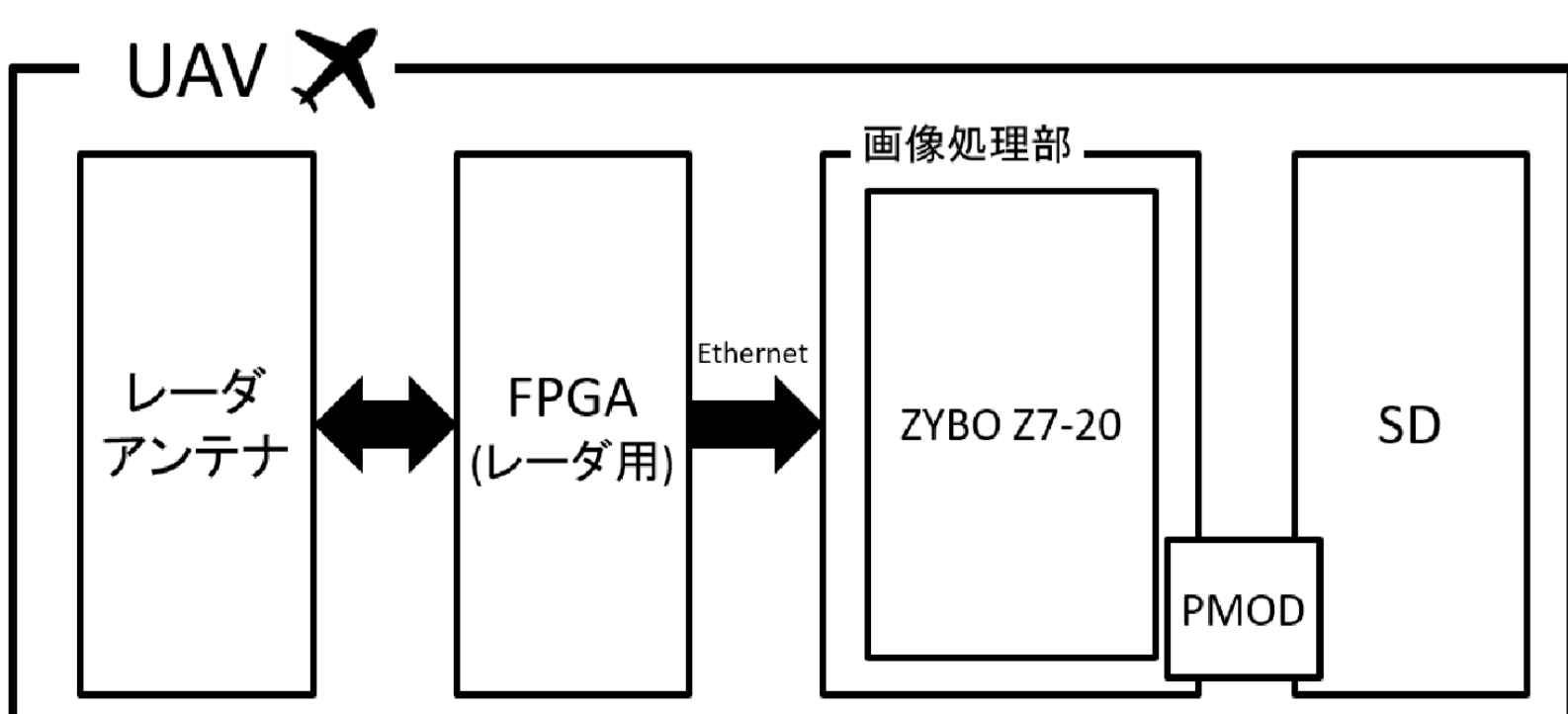
## 事前知識

### SAR画像処理

- ・画像は様々なノイズがあり不鮮明なことからリアルタイム画像処理が必要
- ・ZYNQ(FPGA + CPU)に実装
- ・PetalinuxツールでOS開発
- ・Range Doppler Algorithmで処理

## 画像処理システム

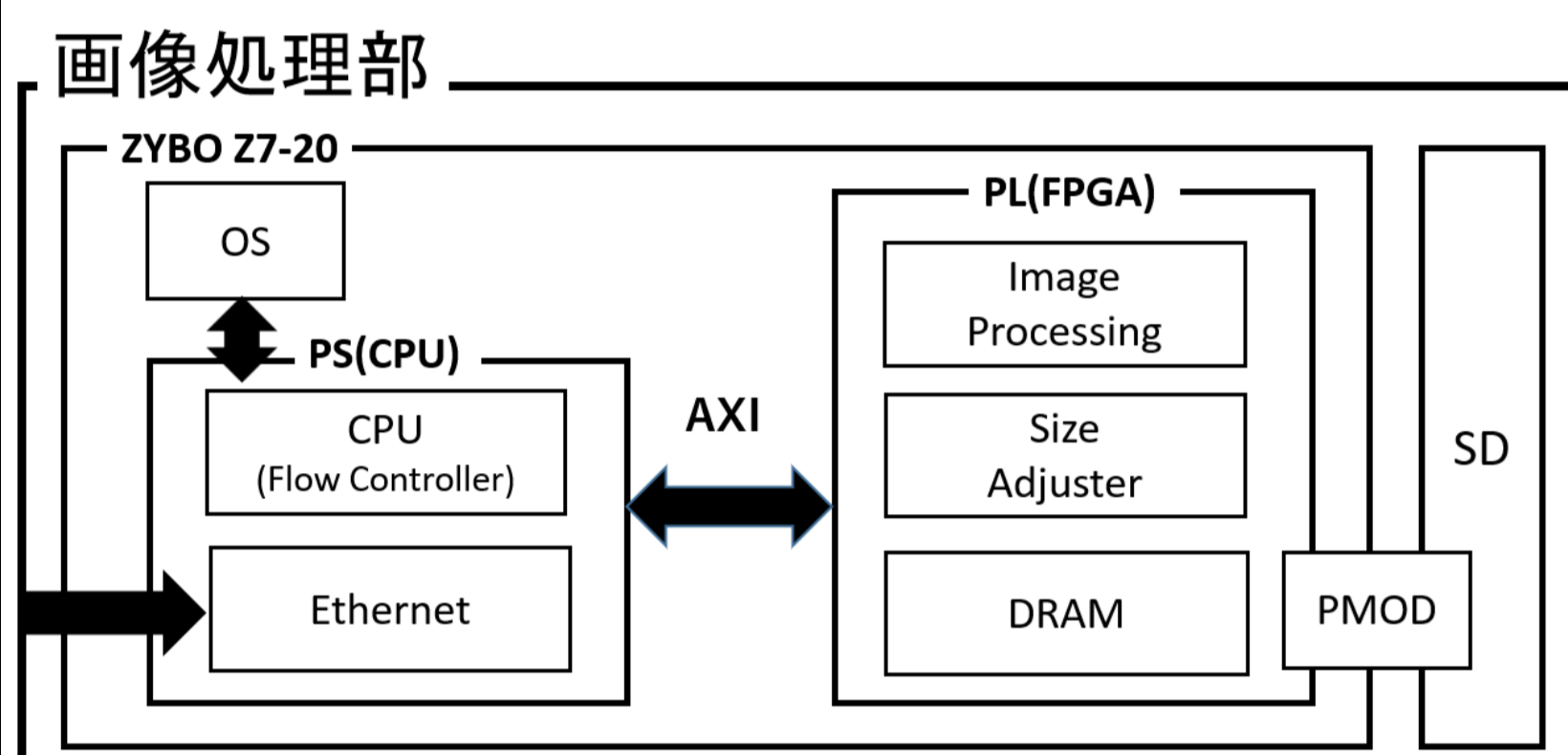
### 画像処理システムの構成



## 画像処理部

### 画像処理部の構成

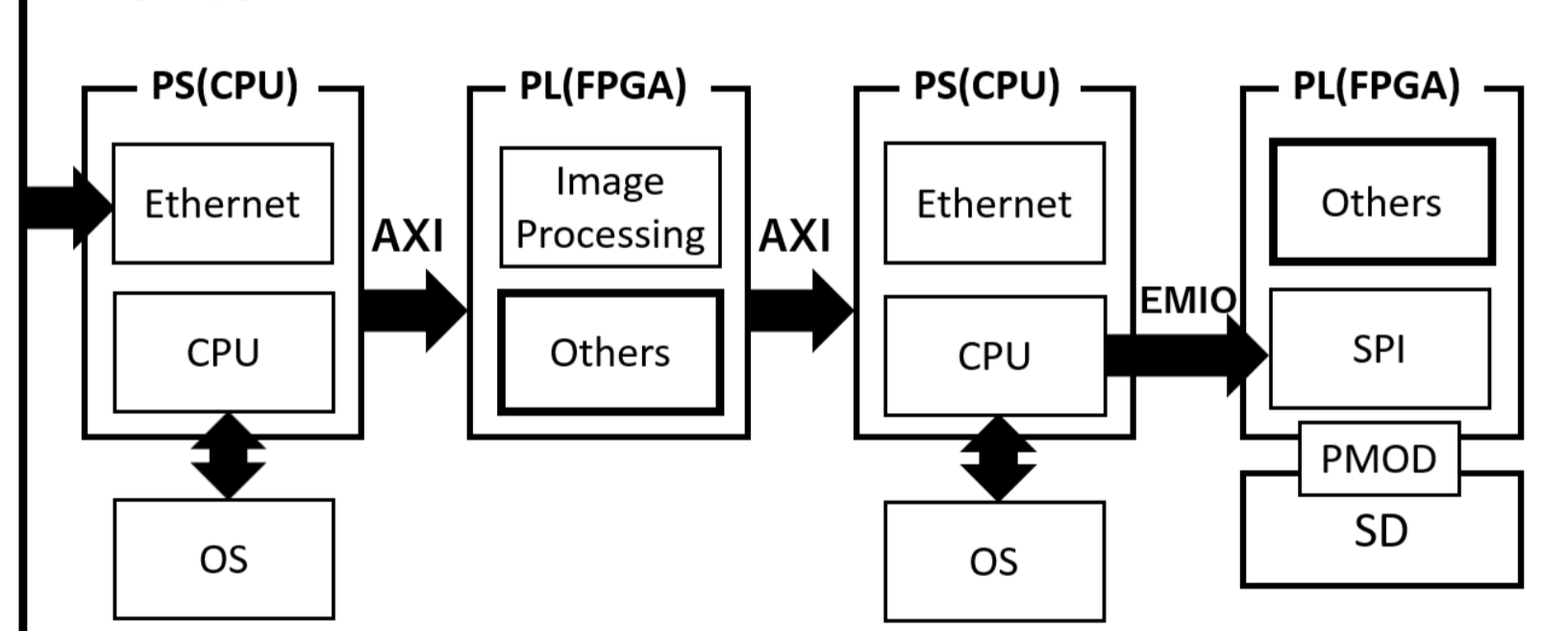
- ・主に制御を行うPS部(CPU) + OS
- 画像処理を担うPL部(FPGA)から構成



### 画像処理プロセス

- ・PS→PL→PS→PLという順で細分化
- ・細分化することで保守性改善  
OS搭載によるBOOT機能追加(実用性)
- ・従来研究に比べ面積70%,重量93%削減
- ・通信機能の完成・SPI通信の回路作成

### 画像保存プロセス



## まとめ・今後

- ・PS→PLで画像保存テスト
- ・画像処理部の作成
- ・完成後、ソフトウェアを搭載し更なる性能向上、UAVを用いた飛行実験

# ポスター発表 プログラム P-18

## 複数バンドの衛星観測データを用いた 風景画像の生成と評価

山田 美羽(香川高専), 宮崎 貴大

### 研究の目的と概要

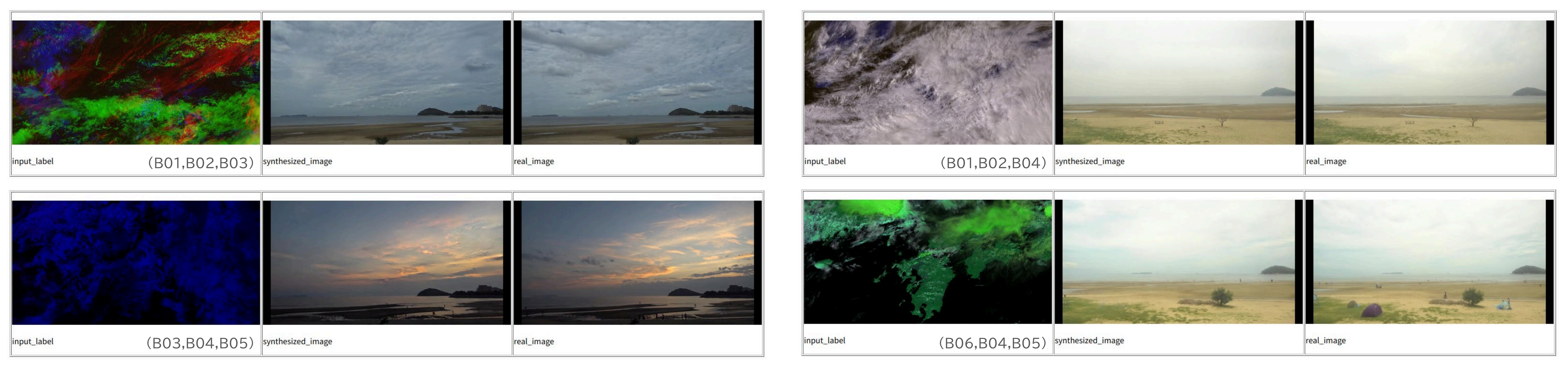


### pix2pixを用いた学習とその結果



〈使用データ〉  
 ・ 2022/05/19~2023/01/19の約9ヶ月間のデータ → 2023/02/13~2023/02/15の3日間のデータをテストに利用  
 ・ 2023/11/17~2024/11/10の約1年間のデータ → 2024/11/19~2024/12/20の1ヵ月のデータをテストに利用

### 結果



### 生成した画像の評価


#### 類似度

- 機械学習などを用いる
- バンドの組み合わせごとに比較を行う。




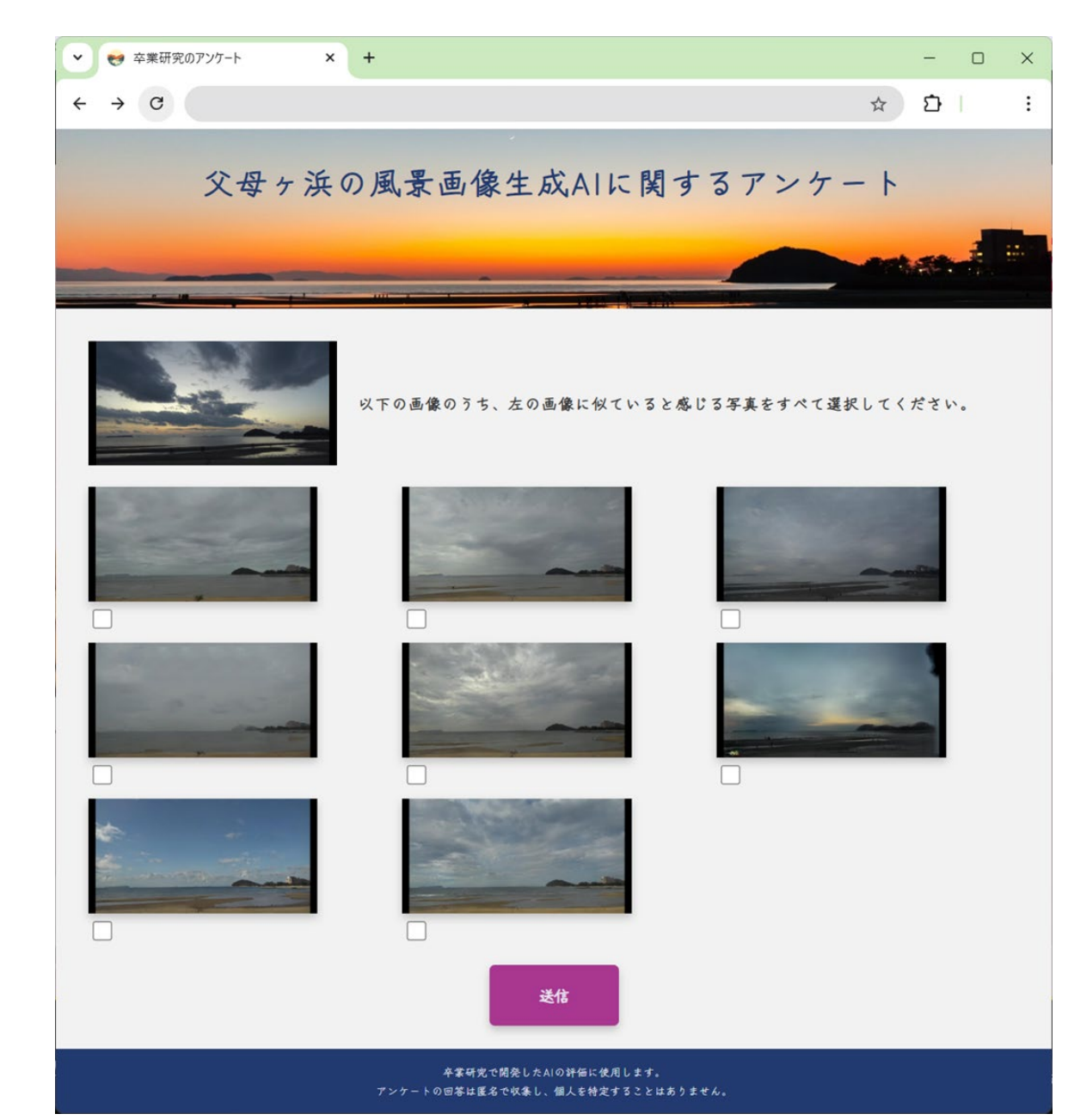
#### アンケート

- 人による評価を行う
- 人が似ていると感じる類似度の範囲を調べる。

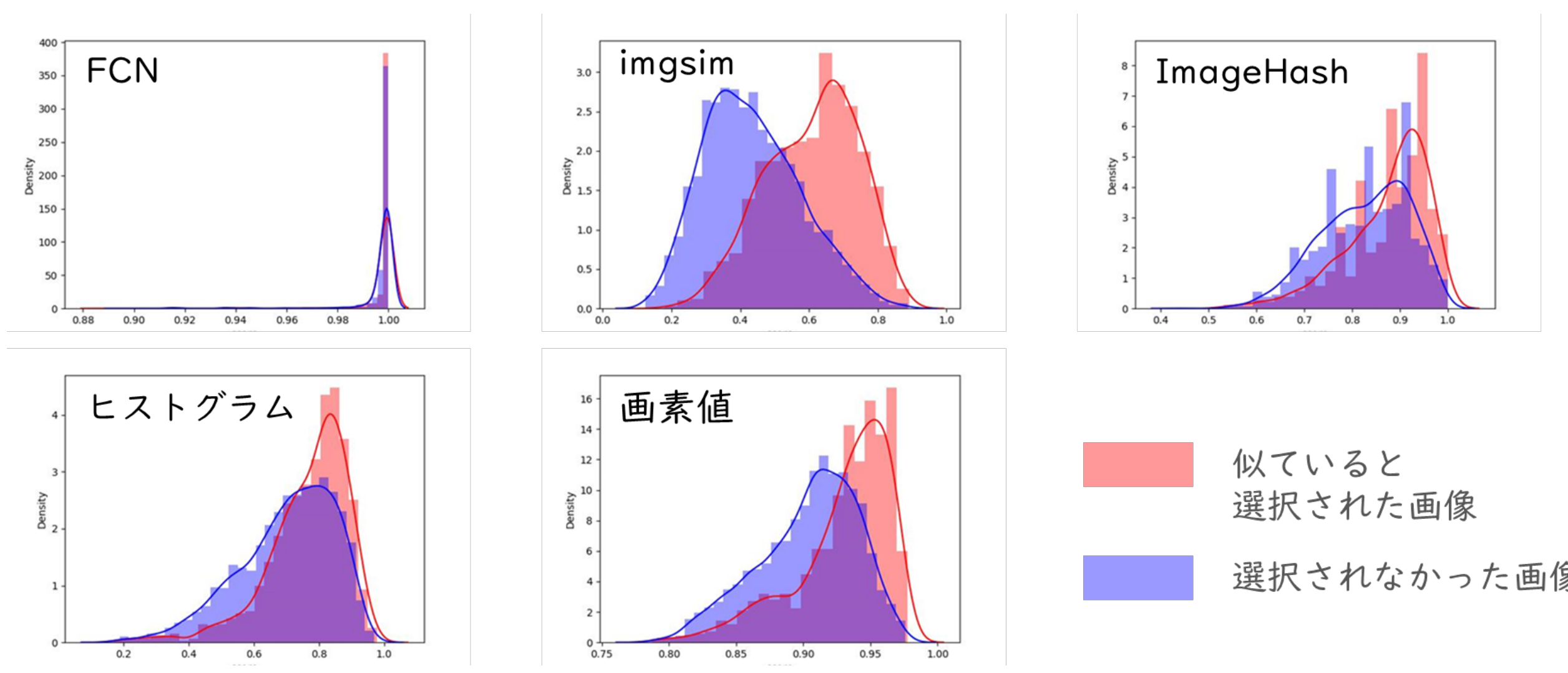


アンケートの画面→

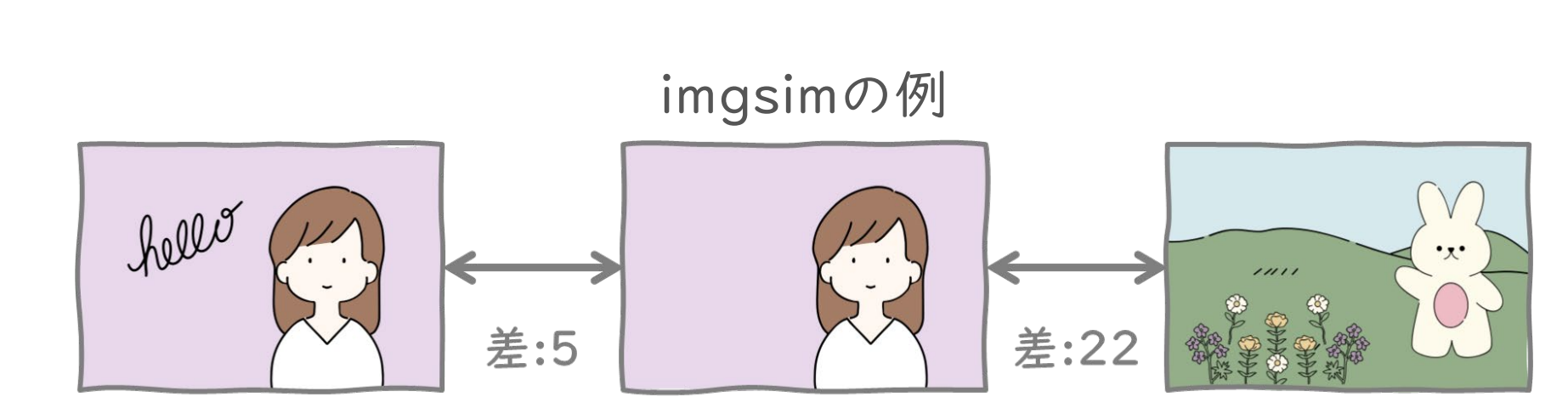
- 対象：情報工学科の4, 5年生と所属するプロコンチームの1~5年生
- 参加人数：57人
- 有効回答数：491 (基本は1人10回の回答)

### 【アンケートの結果】



- imgsimsでは選択された画像とされなかった画像に差が生じた。
- imgsims: Pythonのライブラリ。特徴ベクトル間の類似度の差を計算 (今回は30を最大値として正規化)
- KMeansクラスタリングを利用して境界値を算出 = 0.49795...



imgsimsで類似度が0.5以上  
→ 人が似ていると感じる

# 衛星Lidarフットプリントの位置補正手法の開発



堤田成政

埼玉大学



衛星Lidarは、離散的なフットプリントによる観測で全球規模での森林構造と地表面標高の計測を可能にする重要な観測アプローチである。なかでもNASAのミッションの一つであるGlobal Ecosystem Dynamics Investigation (GEDI)は約25 m径のフットプリントで観測を行うが、数十メートル程度の位置誤差が含まれており、高精度な地上検証データとの比較において課題となっている。本研究では、日光地域のGEDIデータを対象に、線形補正と時系列データ分類手法であるDynamic Time Warping (DTW) を応用した遺伝的アルゴリズムによる位置補正手法を開発した。その結果、従来の線形補正では平均絶対誤差 (MAE) が40.2 mから39.3 mへの限定的な改善に留まったのに対し、DTWを用いた位置補正では23.6 mまで改善された。特に起伏のある地形において顕著な効果が確認され、本手法の有効性が実証された。この手法はSatellite LiDAR Point Adjustment (salpa) R packageとして公開予定である。

## METHODS

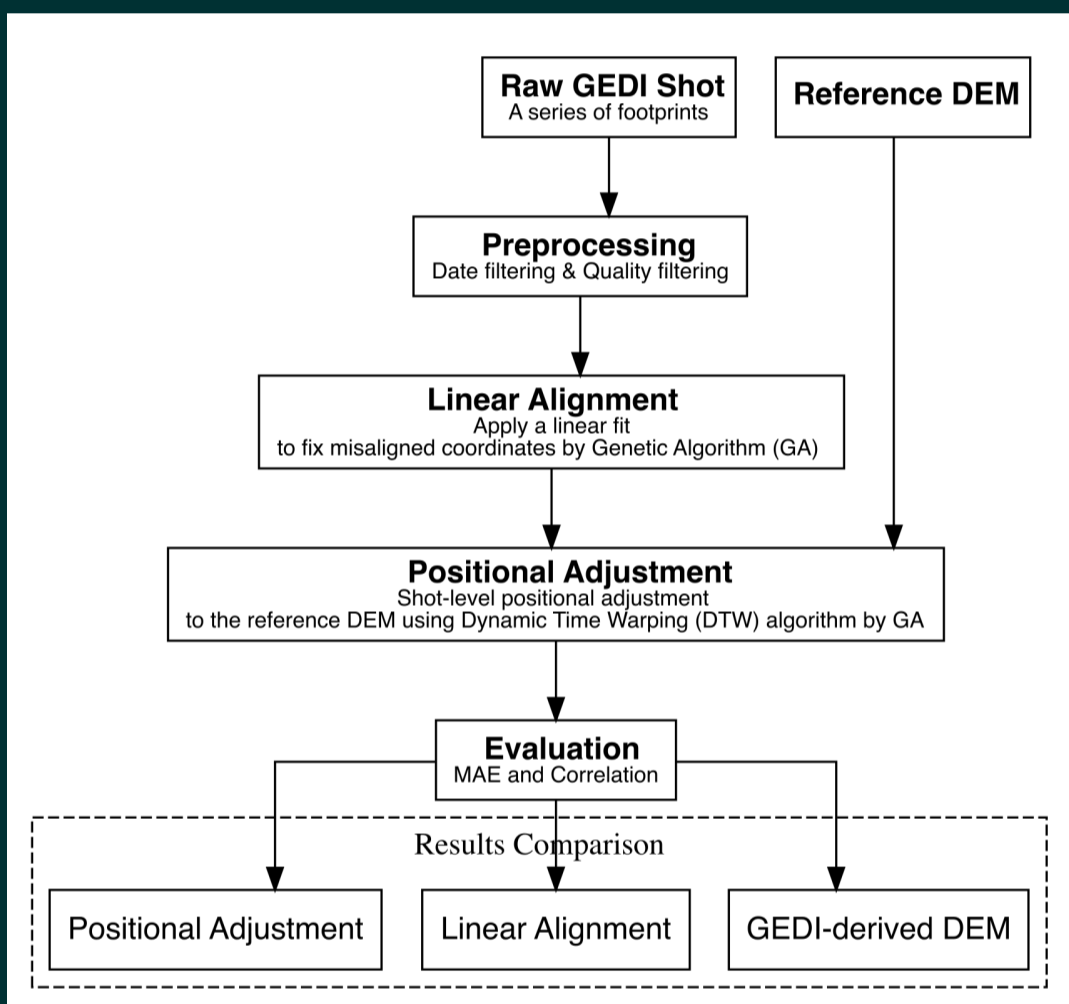


Fig. 1. Flowchart.

## EXPERIMENTS

日光市山間部

GEDI L2A: 2166711002 (OOOOBBRRG)

O: Orbit number, B: Beam number, RR: Reserved, G: sub-orbit granule number

栃木県数値標高モデル(0.5m)を参照データとした

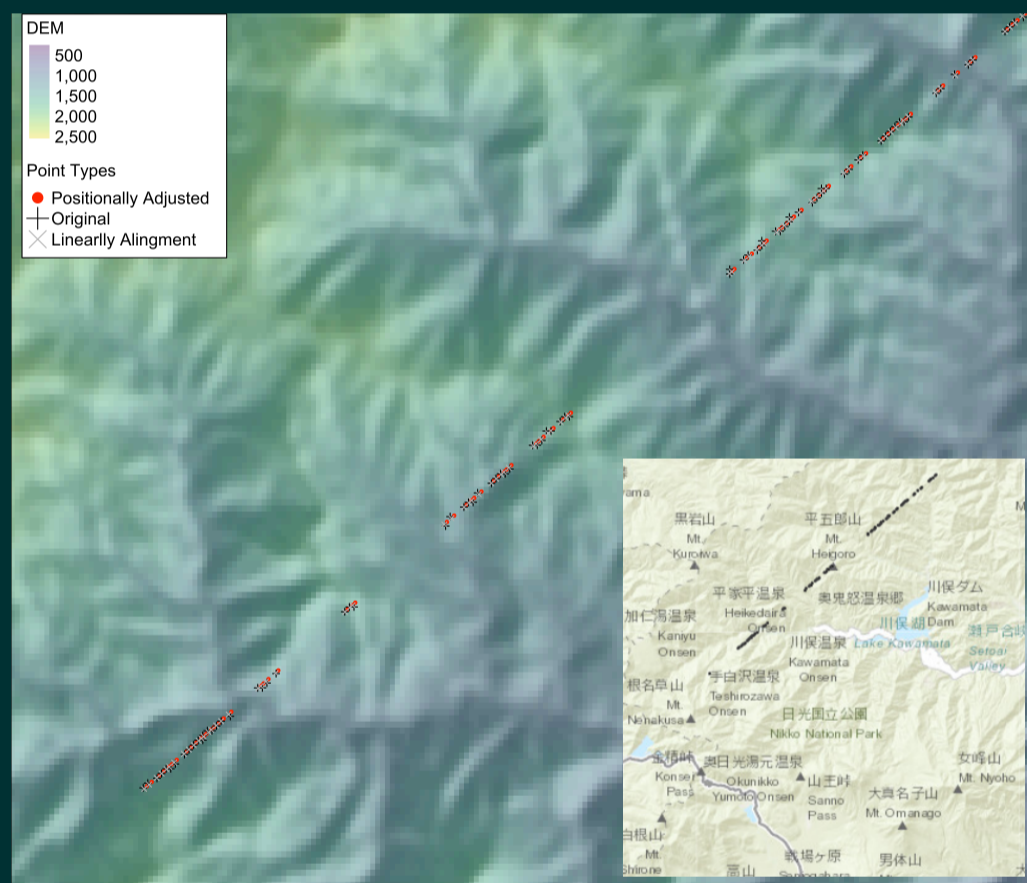


Fig. 2. Study area and alignment of GEDI shots.

## RESULTS

Positional Adjustmentでは水平方向に+29.24 m, 垂直方向に+28.86 m移動することで、最適な位置補正が行われた。

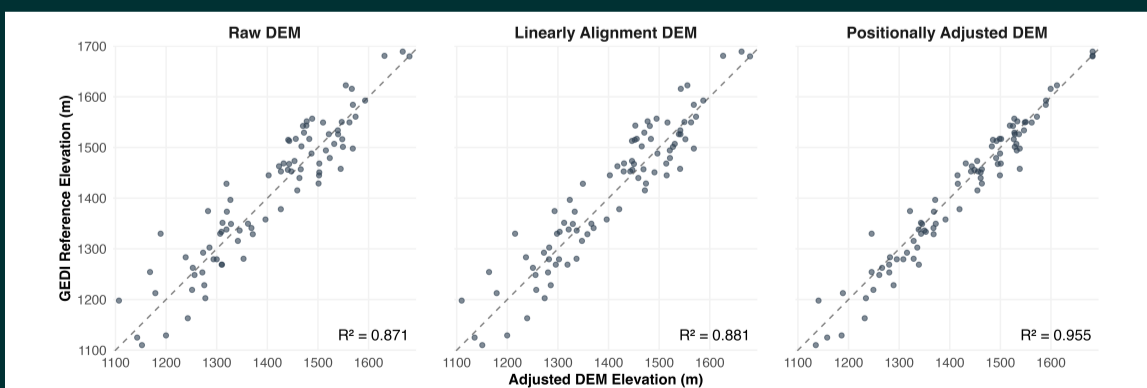


Fig. 3. Scatter plots of raw and adjusted DEM against the reference DEM.

Table 1. Mean absolute Error of raw and adjusted DEM against the reference DEM.

	RAW GEDI	Linear Adjustment	Positional Adjustment
MAE (m)	40.2	39.3	<b>23.6</b>

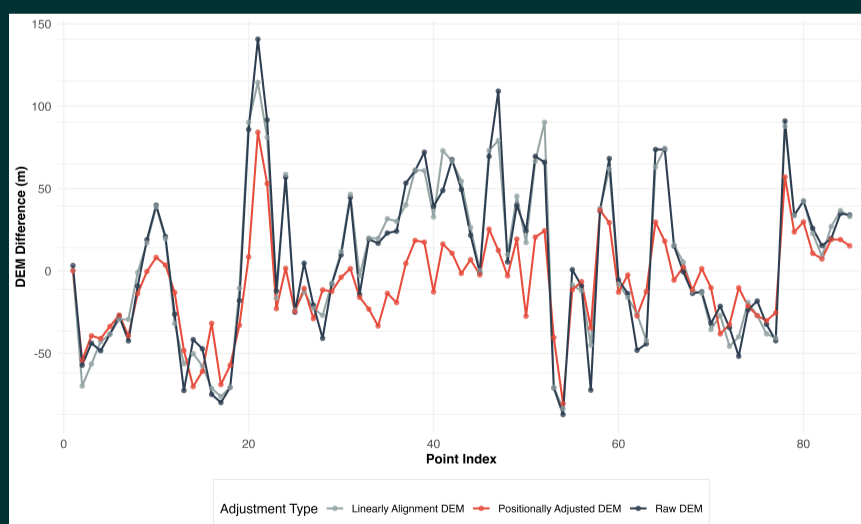


Fig. 4. Differences of DEM trajectories from raw and adjusted DEM to GEDI-derived DEM.

## ACKNOWLEDGEMENTS

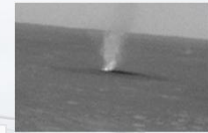
本研究は科研費B 23K23639および千葉大学CEReS共同利用研究CJ23-11,CJ24-11の助成を受けた。



## 目的

火星でのダスト巻き上げには、大域的な風以外にも大小のつむじ風などの寄与量大きいという指摘がある。その測定のために火星の真空中でも使用できる小型で低電力のLIDARを開発している。

火星用に開発している小型LIDARの性能テストを行った。  
 ・屋外で太陽光下でどれくらい測れるかをテストする。  
 ・巻き上げ過程の気象観測を行い、風速と巻き上げ量の関係を調べる。



火星のダストデビル（つむじ風）  
NASAのspirit ロボーターで撮影されたもの



実験場所：京都府立堀川高校の嵯峨野グラウンド

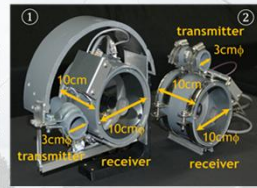
## 10cm<sup>3</sup> Mini-lidar

Parameters of the transmitter and the receiver.

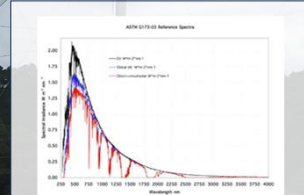
Transmitter		Cassegrain Receiver	
Light Source	NIIV-LED HCSU0348 (Nichia Corp.)	Barrel	5 cm
Wavelength	385 nm	F.O.V.	3 mrad
Pulse Width	10 ns	Primary Mirror Aperture	10 cm $\phi$
Pulsed Power	0.75 W	Primary Mirror Focal Length	72.25 mm
Pulse-Repetition Frequency	500 kHz	Secondary Mirror Diameter	2.5 cm $\phi$
Beam Divergence	70 mrad	Secondary Mirror Focal Length	25 mm
Beam Size	3 cm $\phi$	Sensor	PMT Hamamatsu R6350

Peak Power: 0.75W = 7.5nJ/10ns  
Average Power: < 5mW

+ High Speed & High Resolution Photon Counter  
(Original)

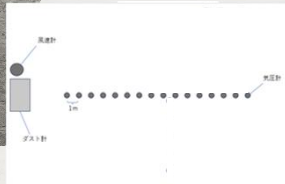


Two versions of the compact LED lidar for near-range ground experiment:  
 ① version 1, and ② version 2.  
 They were setup in a biaxial configuration with angle adjuster.

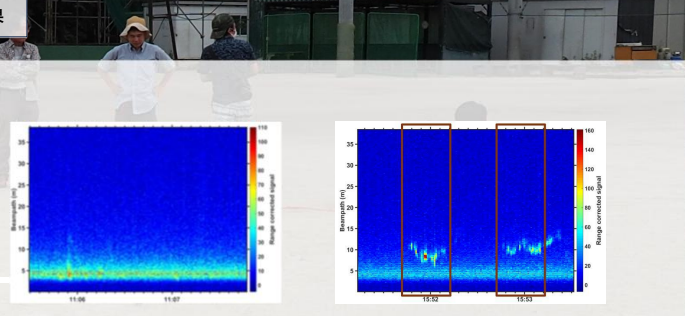


太陽光スペクトル(NREL) :  
赤線が地表面照度が火星圏外  
385nmはUVA領域で5%ほどに減衰 (O<sub>2</sub>による)

## 結果



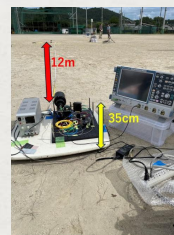
測器の配置関係：フィールドの南西端から北東に向かいライダーで測定、ほぼ視線に沿うように福岡大と岡山大の気圧計を並べた。今回はライダーは通常のダストを計測する物に加えて、ドップラーライダーも初のフィールド試験を行った。



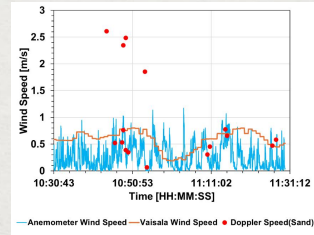
左：砂が巻き上げられていない場合。右：8.5mの地点に砂を撒いた場合。きちんと位置が測れていることが確認できる。左側の場合でも、11:05:50あたりに風により巻き上げられたダストが観測されていることが確認できる。定量的な観測するには、背景場の平滑化など処理が必要と考えられる。

## まとめ

- ・地球では、日中でも計測できた。もう少し短波長であれば火星でも、測定できる。385nmの波長の場合、1桁程度太陽光が強いと思われるのでこのままで測定できるかについては感度の検証が必要。
- ・つむじ風は観測できなかった。
- ・学校のグラウンドは起こりやすいと考えたが、自然に起こるのを待つのはあまりよくないかもしれない。
- ・来年度に向けて、人工的な渦生成をする仕組みを考えるのがよいと思われる。
- ・ダストの測定についてはほぼ完成してきたと考えられる。
- ・データを処理し、本発表におけるバックグラウンドの量およびその時空間変動を評価する必要がある。



新しくドップラーライダーを開発してフィールドテストを行った。散乱光のドップラーシフトを測定することで風速を計測することが可能。



青い線が測定点近傍の風速計の示した風速。オレンジの点がドップラーライダーで得られた風速であるが概ね、よい一致を示している。10:50頃に大きく外れた値があるが、これは近くでわざと砂を舞いあげており空気と馴染む前の粒子の速度を測定したものと考えられる。そのようなシチュエーションを再現した室内実験で同様の信号が得られることは確認済み。

## 謝辞

この実験は京都市立堀川高校の嵯峨野グラウンドを利用して行いました。フィールドを利用させていただいた堀川高校には厚くお礼申し上げます。また、実験には、多くの研究者が参加してくださいました。学生さんはデータ取り、解析にご協力してくれました。最後にお名前をあげさせていただきます（敬称略）。ありがとうございます。  
 千葉大：大久保(D3)、志田(M2)、伊藤(教員)、石井さん(M1)、原くん(B4)  
 岡山大：福葉(B3)、村井(B4)  
 高知工大：山本真行(教授)、西川(助教)、平塚(D3)、山本耕大(D1)、濱島(M2)  
 福岡大：高島久洋(教授)、原圭一(助教)、新竹(B4)、神出(B3)

乙部直人\*1, 椎名達男\*2, 千秋博紀\*3, はしもとじょーじ\*4, 岩山隆寛\*1, 飯澤功\*5

\*1 福岡大学理学部 \*2 千葉大学大学院工学研究科

\*3 千葉工業大学惑星探査研究センター

\*4 岡山大学大学院自然科学研究科 \*5 京都市立堀川高校



# P-21 火星気象センサ開発に向けたフィールド試験

# イオノゾンデを用いた短期地震予測の最適パラメータの検討

笹沼千夏<sup>1</sup>, 三石隼也<sup>1</sup>, 服部克巳<sup>2,3,4</sup>, 吉野千恵<sup>2</sup>, 劉正彦<sup>5</sup>

1. 千葉大学理学部地球科学科、2. 千葉大学大学院理学研究院、  
3. 千葉大学環境リモートセンシング研究センター、4. 千葉大学災害治療学研究所、5. 台湾国立中央大学



**1. 概要** 地震活動は人間社会に大きな影響を及ぼしてきた。短期予測技術が実現すれば、その被害の軽減が期待されるが未だ達成していない。しかし、近年地震活動に先行した電離圏異常が報告されている。本研究では地震に対する電離圏異常の有意相関の調査と前兆性の評価を行い、電離圏観測による短期地震予測の可能性を調査した。

## 2. 研究背景・目的

- 1995年兵庫県南部地震 (M7.3) 家屋の倒壊や火災によって都市機能が麻痺、復旧に数年以上かかる大規模被害
- 2011年東北地方太平洋沖地震 (Mw9.0) 地震とそれに伴う津波により死者・行方不明者が2万人を超える 福島第一原子力発電所事故の発生



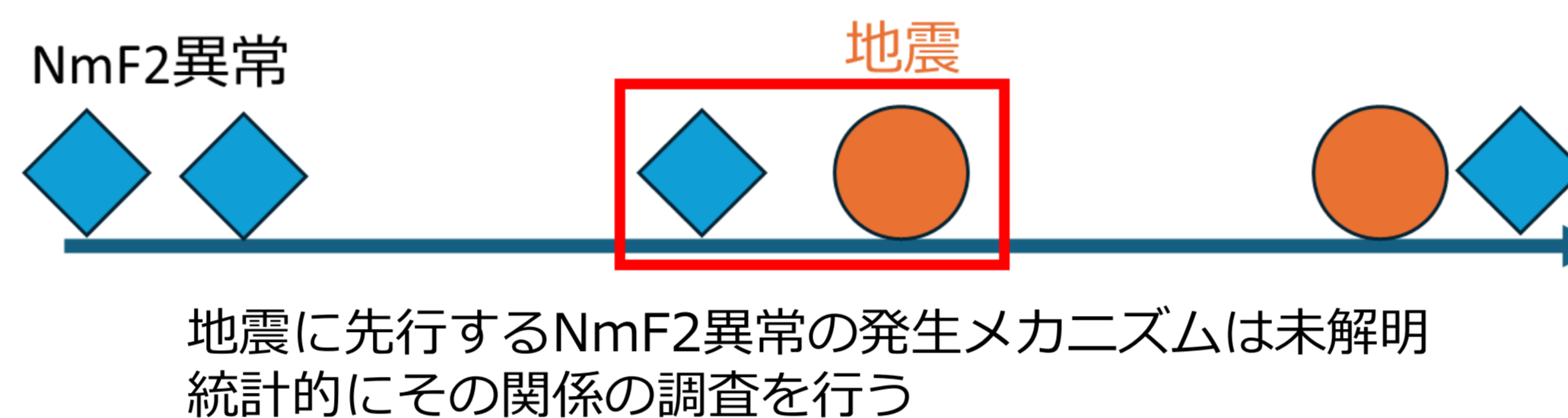
左図 1995年兵庫県南部地震によって倒壊した阪神高速道路 (1995年1月17日撮影)  
右図 2011年東北地方太平洋沖地震で発生した津波の様子

<https://weathernews.jp/s/topics/202001/150185/>

[https://www.bousai.go.jp/kohou/kouhoubousai/h23/63/special\\_01.html](https://www.bousai.go.jp/kohou/kouhoubousai/h23/63/special_01.html)

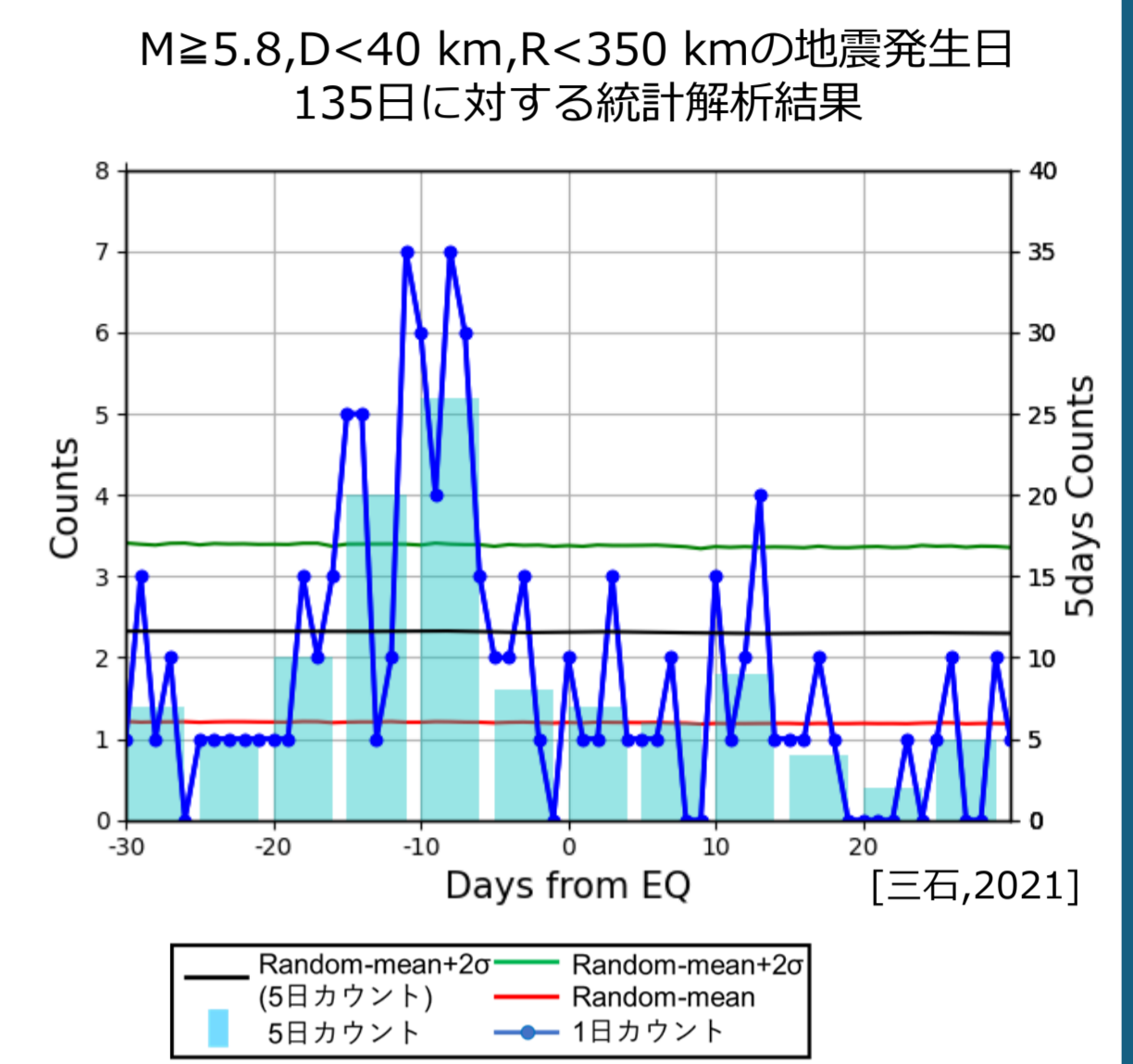
被害軽減のために**短期地震予測**が重要

**短期予測**とは地震の発生が近づくと発生しやすくなる現象 (前兆現象) をとらえることによる予測 月・週・日のオーダーで予測を行う



今まで報告された地震に先行した電離圏異常

- 1958-2017年の国分寺イオノゾンデデータにおける統計解析では地震 (M5.8以上、深さ40 km以下、観測点からの震央距離350 km以内) の6-10日前に有意なNmF2増加の異常が発生 [三石,2020]
- 1999/9/21のChi-Chi地震 (M7.3、深さ8 km) の発生約1,3,4日前にNmF2減少の異常が発生 [Liu et al.,2004]
- 令和6年能登半島地震 (M7.6) の約30日以上前にTEC (電離圏総電子数) の異常が報告されている [Liu et al., IWEP8]



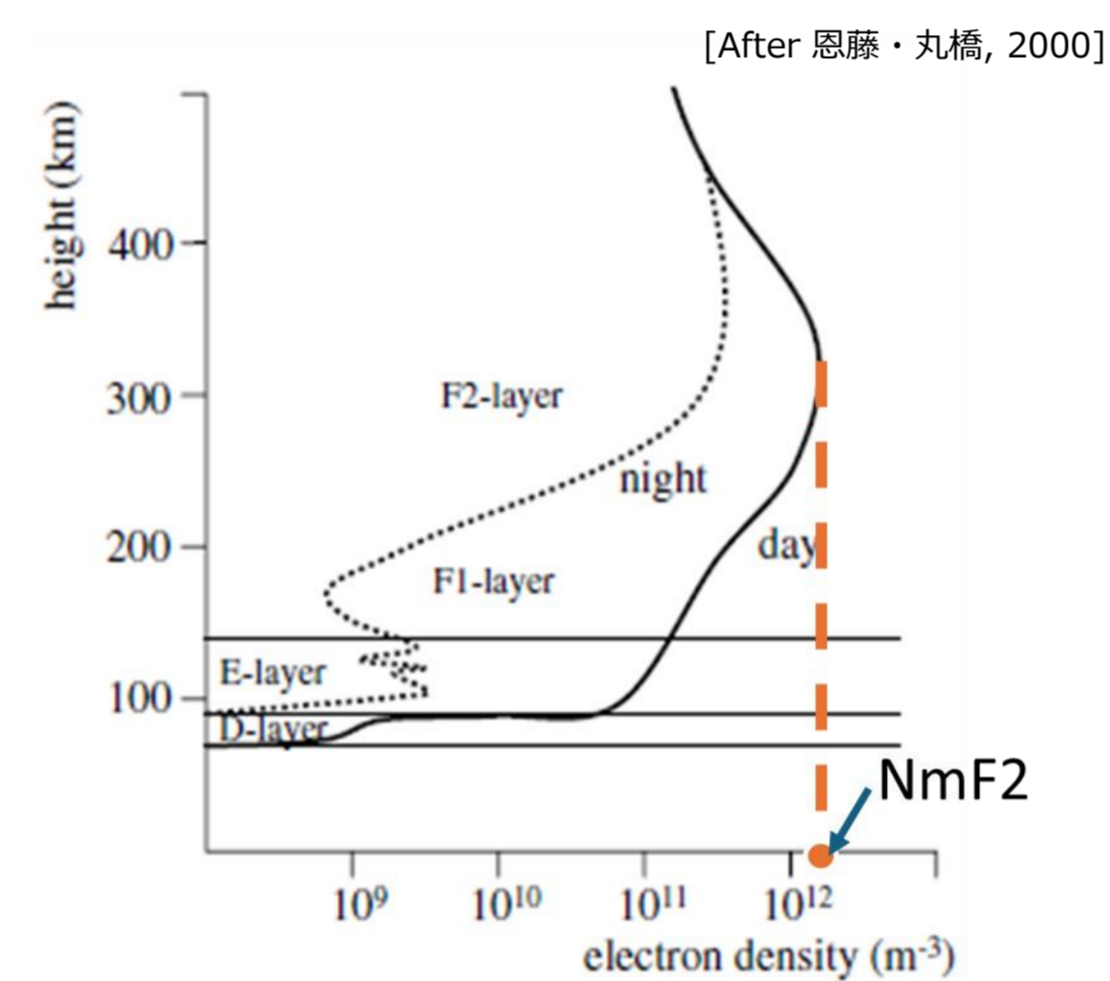
NmF2異常が地震の前兆現象である可能性

- NmF2異常と地震の**有意相関**の調査
- NmF2異常が**前兆的**となる地震の条件やNmF2異常の閾値を調査
- 短期地震予測に**最も有効な**パラメータの検討

NmF2異常による短期地震予測の可能性を調査

## 4. 電離圏

- 太陽からの極端紫外線によって電離した高度80-1000 kmの領域
- 電子密度は昼に増加し、夜に減少するという日変動を示す
- 高度300 kmに電子密度のピークが存在する
- ピーク密度を電離圏最大電子密度NmF2という

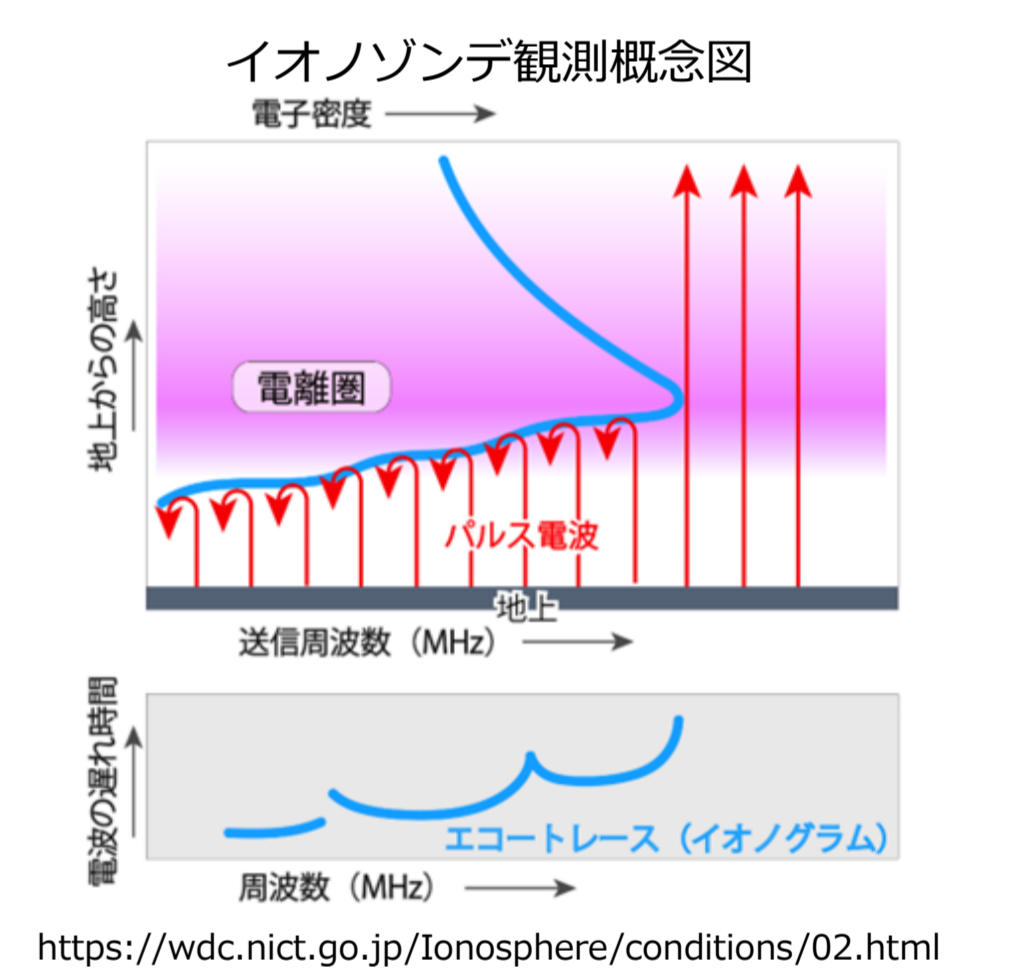


## 5. イオノゾンデ

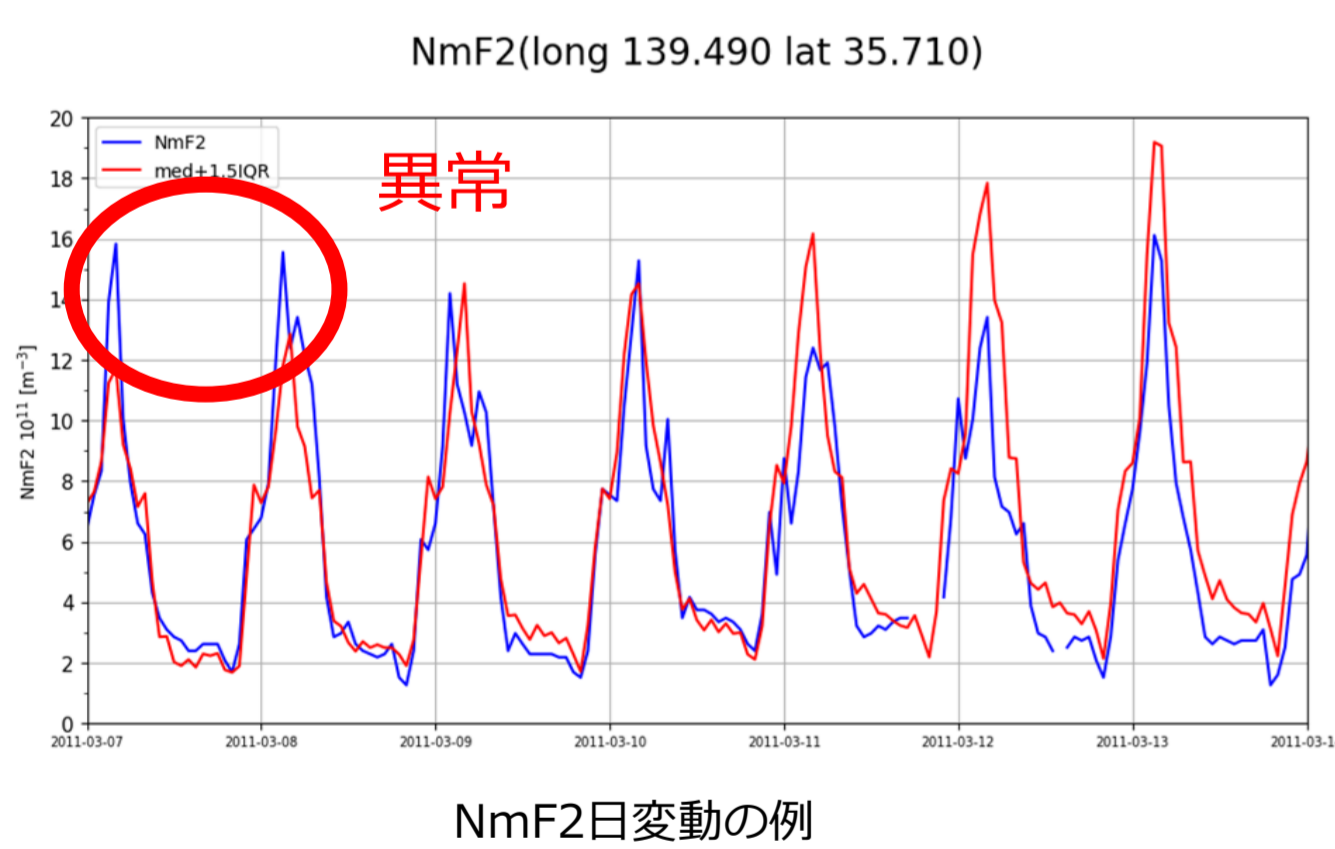
- 電離圏の観測に用いられる観測装置
- 短波帯の電波を上空に向かって送信し、反射を観測するレーダの一種
- 反射の高度、強度、周波数によって電離圏の各パラメータの値が算出できる
- 情報通信研究機構が運用するイオノゾンデは国内4か所 (稚内、国分寺、山川、沖縄)

NmF2はイオノゾンデで観測されるF2層臨界周波数foF2から導出

$$NmF2 [m^{-3}] = 1.24 \times 10^{10} \times (foF2 [MHz])^2 \quad foF2 : F2層臨界周波数$$



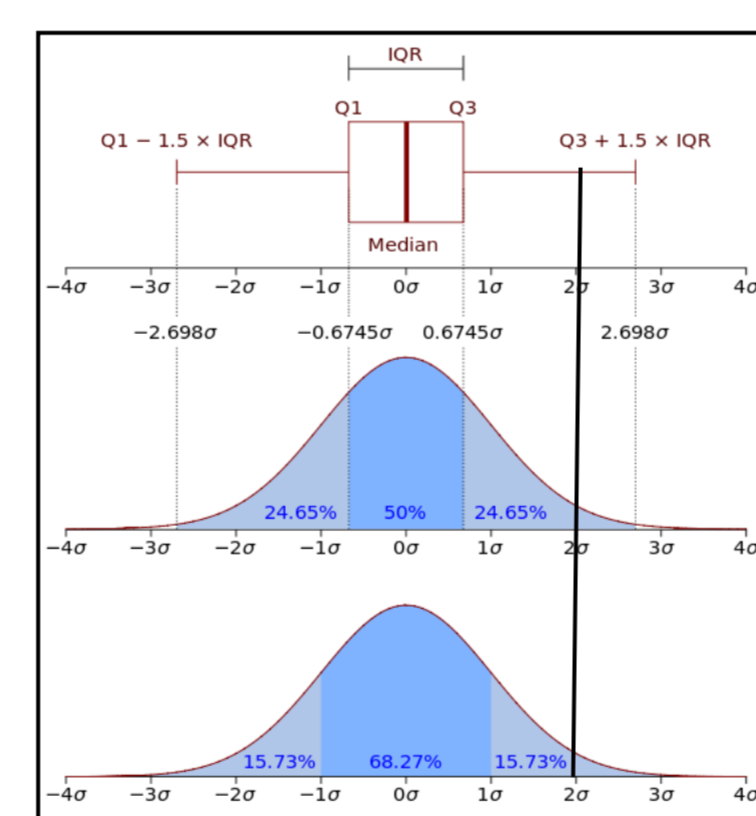
## 6. NmF2異常の定義



NmF2の**日変動**を除去するため、前15日間同時刻のNmF2中央値、四分位範囲 (IQR) を用いる

NmF2が中央値+1.5IQRを超えたときを**NmF2異常**と定義する

正規分布と中央値と四分位範囲の関係



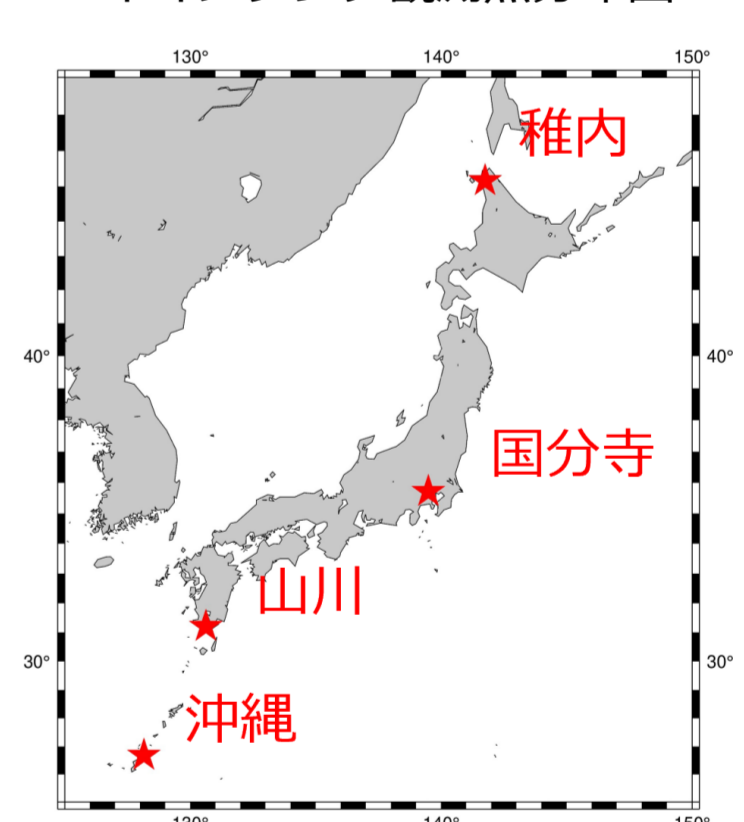
## 7. データ

- イオノゾンデデータ 情報通信研究機構 (NICT) 運用の国分寺観測点
- 地震データ 気象庁地震カタログ

解析期間：1958年1月1日-2024年9月30日

約67年間

イオノゾンデ観測点分布図



## 8. Superposed Epoch Analysis (SEA)

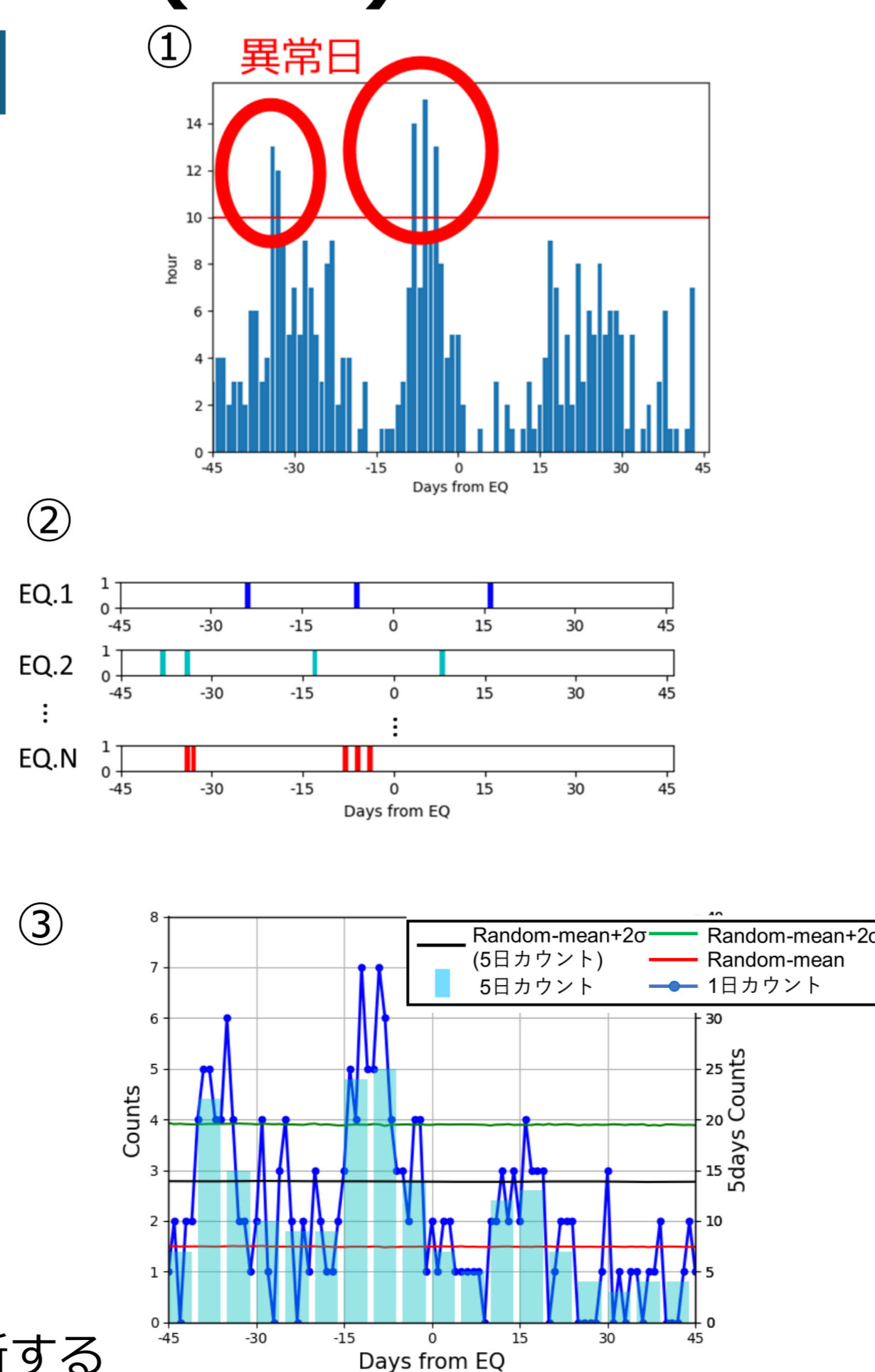
地震に先行するNmF2異常の統計解析 (有意相関)

①1日当たりのNmF2異常発生時間を調査し、10時間を超えた日を異常日とする。

②地震発生日前後45日間において異常日の有無を調査し、足し合わせる。

③地震発生日数と同じ回数のSEAをランダムに100,000回行い、平均と標準偏差を算出する。平均値+2σを閾値とする。

閾値を超えた場合、**有意にNmF2異常が発生した**と判断する



## 9. Molchan's Error Diagram (MED) 解析

地震に対するNmF2異常の前兆性の評価

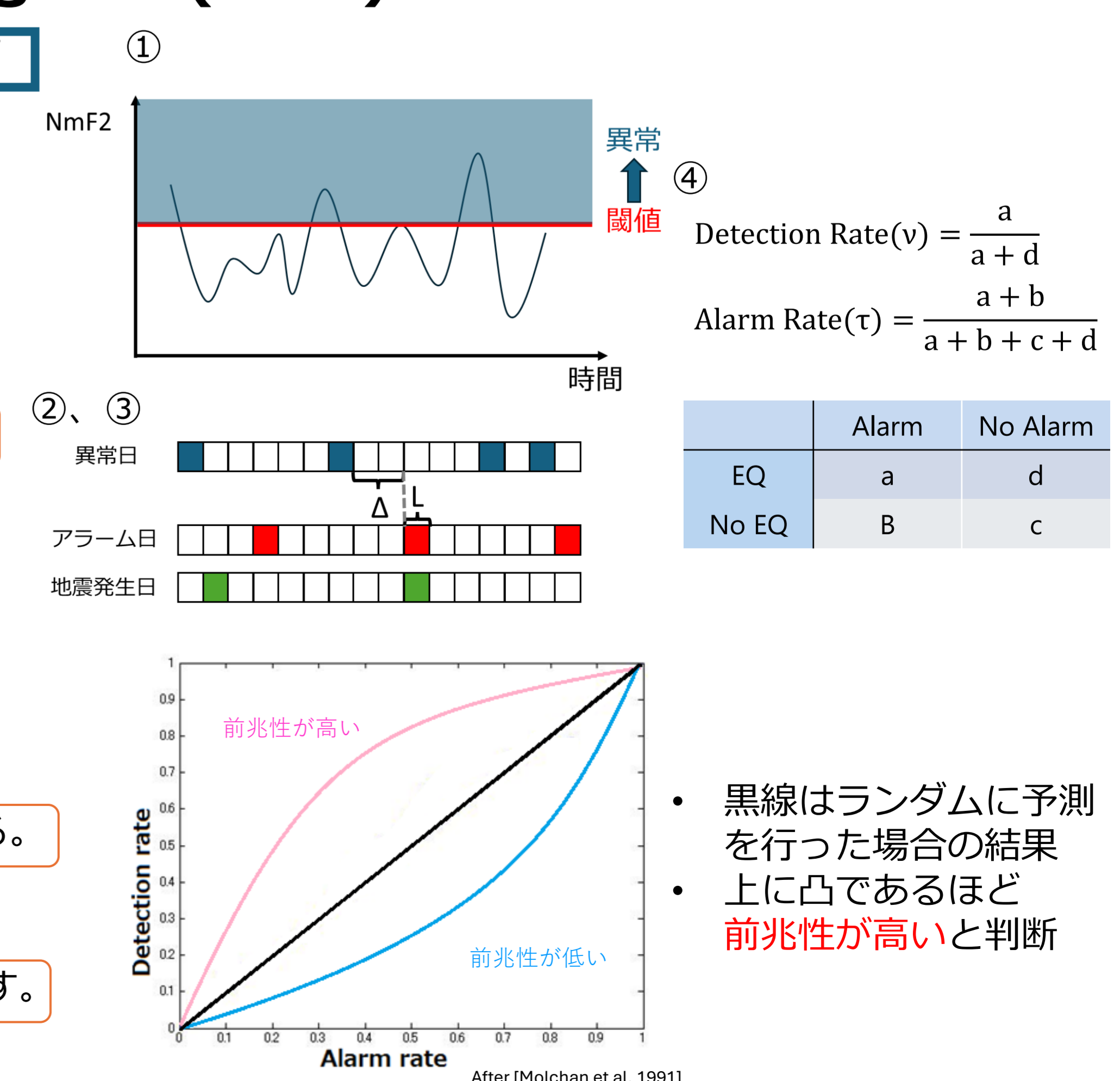
①NmF2のデータを昇順 (降順) に並べ、異常の判定の閾値とする。

②閾値を10時間超える日を異常日とする。

③異常日からΔ日後のL日間を地震が起こるとする予測日とする

④Alarm RateとDetection Rateを計算する。

⑤閾値を変化させて②~④の手順を繰り返す。

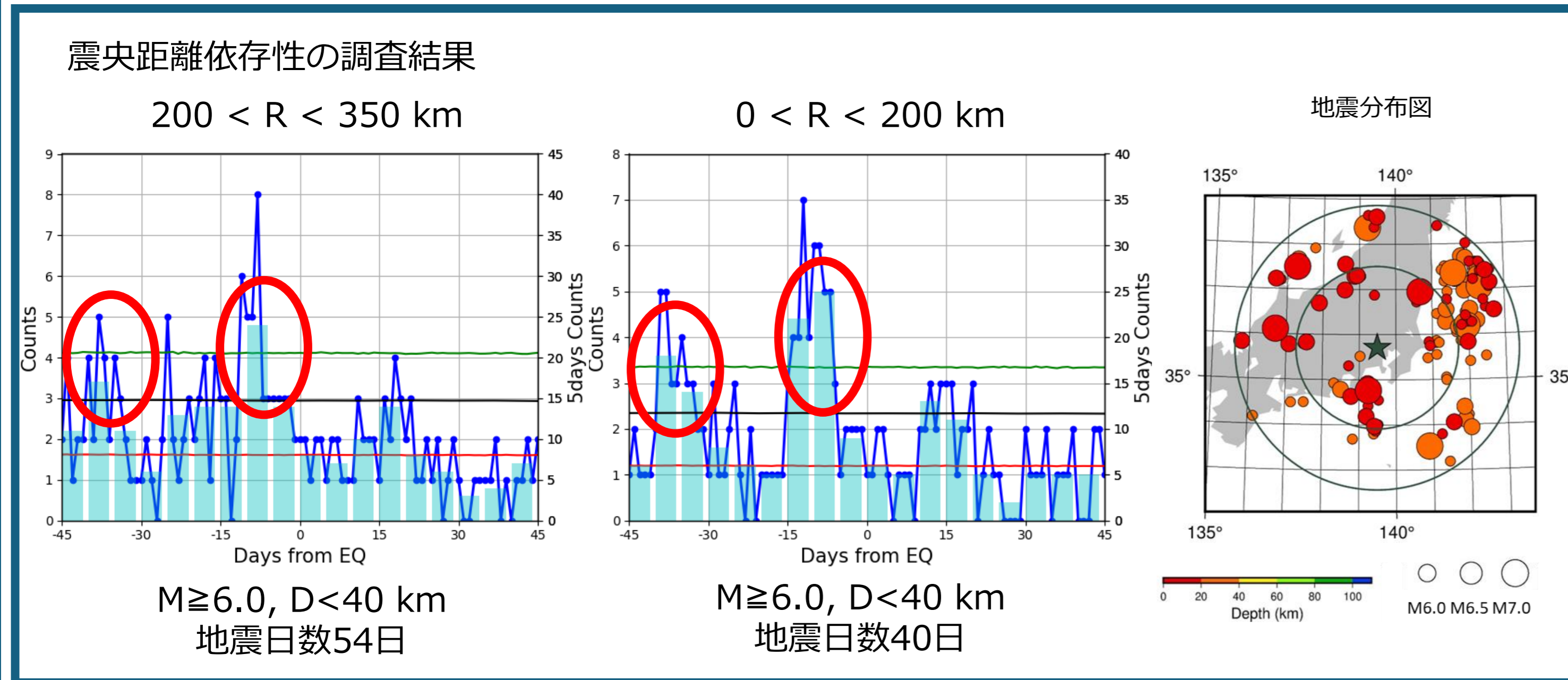


- 黒線はランダムに予測を行った場合の結果
- 上に凸であるほど**前兆性が高い**と判断

# 10. Superposed Epoch Analysis (SEA)

地震に先行するNmF2異常の統計解析（有意相関）調査結果

対象とする地震の条件（震央距離、震源の深さ、マグニチュード）を変化させて調査



- 地震の6-10, 36-40日前に有意なNmF2異常が顕著に発生する
- NmF2異常は震央距離、マグニチュード、震源の深さに対し依存性を示した

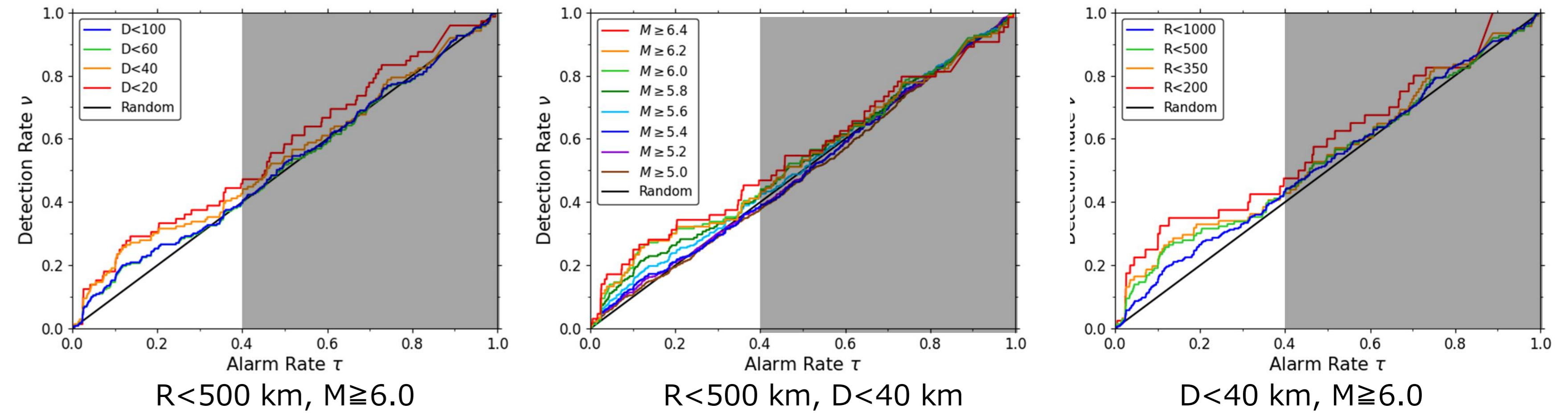
観測点に近く、規模の大きい地震ほどNmF2異常が発生する  
地震との因果関係が示唆される結果

# 11. Molchan's Error Diagram (MED) 解析

地震に対するNmF2異常の前兆性の評価

地震の閾値（震央距離、震源の深さ、マグニチュード）を変化させて調査

Δ=5, L=5 (6-10日前の異常に対応)



- 震源の深さが浅い
- マグニチュードが大きい
- 震央距離が近い

前兆性が高い  
地震との因果関係が示唆される結果

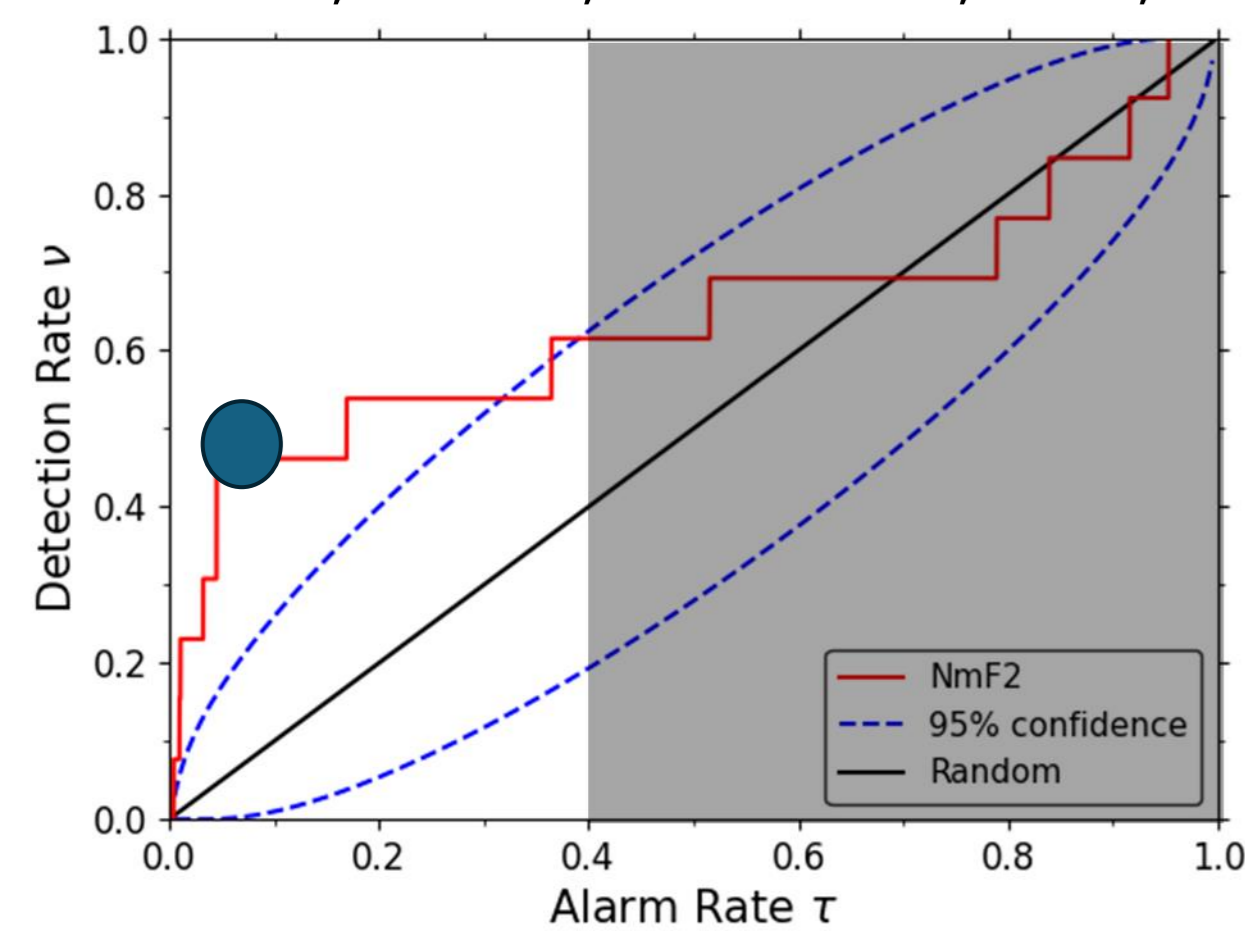
浅く、近く、マグニチュードの大きい地震に対して最適なΔとLの取り方を調査  
Alarm Rateに対しDetection Rateが高いもの（より左上に凸なもの）を探す

短期地震予測が目的のため、  
予測を出す期間を少なく取りたい  
Alarm rate < 0.4の区間に注目

# 12. 最適パラメータ

最も前兆性が高くなる短期地震予測のパラメータ

D < 20 km, M ≥ 6.4, R < 200 km, Δ=7, L=2



評価方法	Alarm Rate	Detection Rate
S	0.113	0.462
PG	9.240	0.050
PGc	2.709	0.050

中央値+1.58IQRに  
対応する点

最適パラメータ  
震源の深さ20km未満、震央距離200 km未満  
マグニチュード6.4以上の地震に対し  
NmF2異常の8,9日後に予測  
NmF2異常の閾値は中央値+1.58IQR

最適パラメータで予測を行った場合

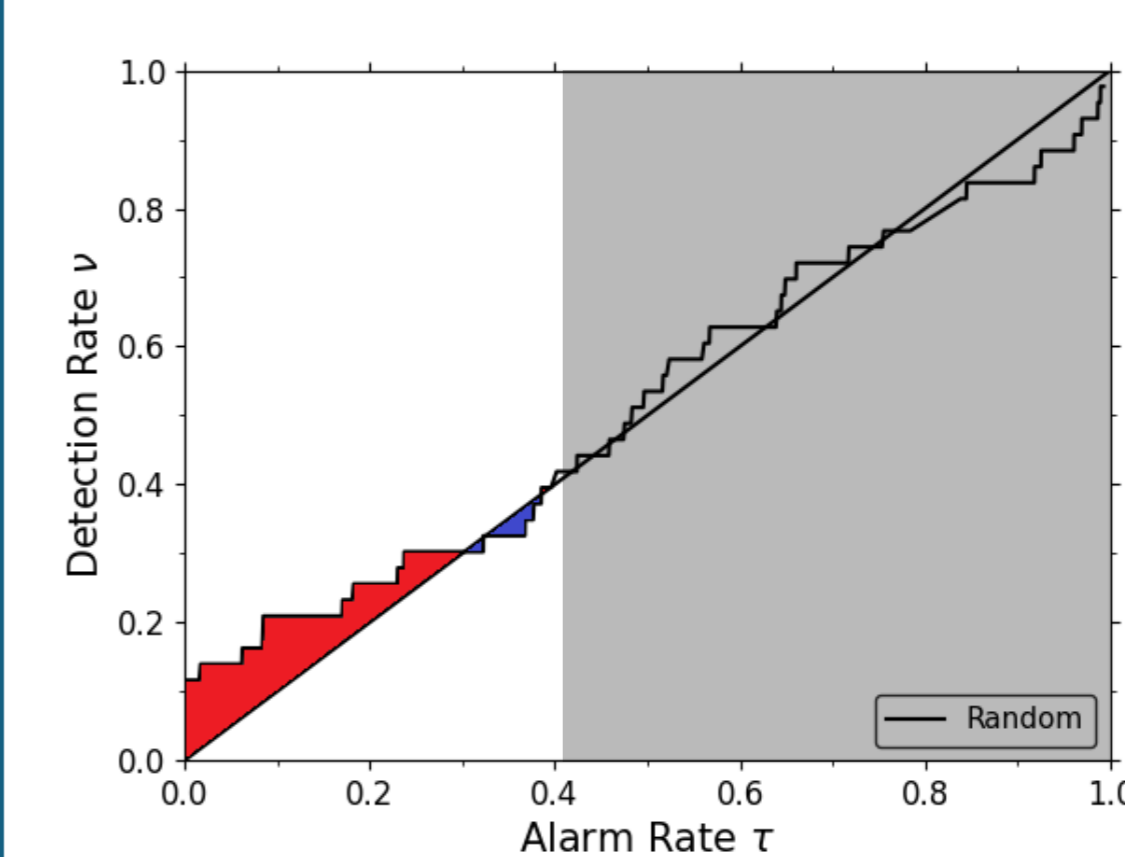
日数	アラーム	
	あり	なし
地震	6	7
なし	1101	23256

日数	NmF2異常	
	あり	なし
地震	6	7
なし	603	23754

対象地震の46%を検知  
異常の1%が地震を検知

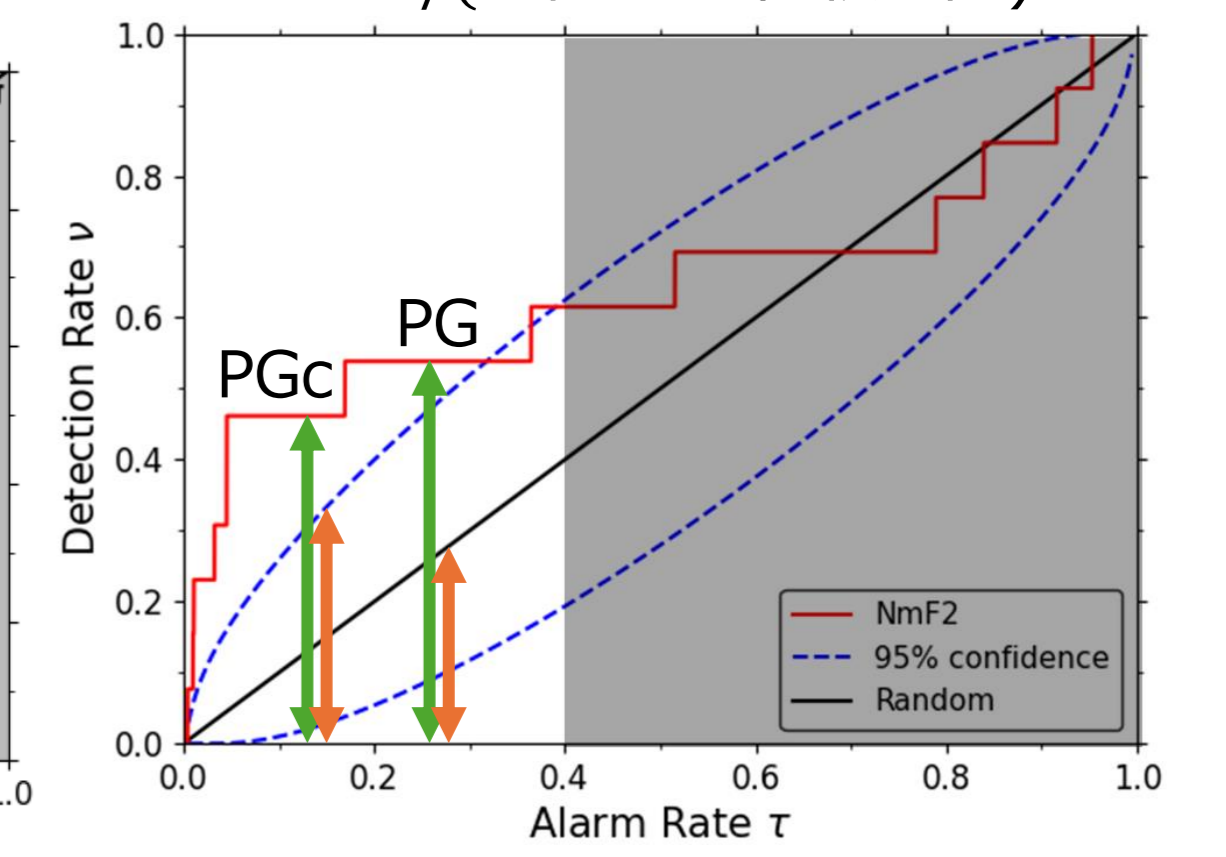
定量的評価方法：面積S, 利得PGとPGc

S = (赤の面積) - (青の面積)



上に凸であるほど前兆性が高い

PG = v/τ  
PGc = v/(上側95%信頼区間)



# 13. まとめ

- イオノゾンドのデータを用いて地震とNmF2異常の有意相関の調査とNmF2異常の地震に対する前兆性の評価を行った。
- 地震と有意相関のあるNmF2異常が地震発生の6-10, 36-40日前に発生することがわかった。
- NmF2異常は震源の深さ、震央距離、マグニチュードにおいて依存性が見られた。
- 対象とする地震が浅いほど、距離が近いほど、マグニチュードが大きいほど前兆性が高い結果が得られた。
- 地震との因果関係が示唆される結果が得られた。

# 14. 今後の展望

- 電離圏のほかのパラメータを用いた調査や地震のタイプの違いに着目した調査を行う。
- 今回の最適パラメータでは異常が発生しても地震が起きず、空振りとなる確率が高いため、実際に用いるには他の前兆現象を用いた予測方法と掛け合わせることで空振りを減らす必要がある。
- 地磁気擾乱の影響など、既知の電離圏の変動の除去を行い、前兆性の再評価をする必要がある。
- 電離圏異常の発生メカニズム解明に向けた研究を行う。

# 15. 参考文献

- [1] Liu et al., 2004a, JGR 15(3), 371-383
- [2] 三石, 2021, 日本大気電気学会第99回研究発表会
- [3] Molchan et al., 1992, JGR 97(B4), 4823-4838
- [4] Han et al., 2017, GJI 208, 482-490

# 16. 謝辞

本研究では国立研究開発法人情報通信研究機構（NICT）のイオノゾンド各種読取値のデータ、および気象庁の地震カタログ、およびUnited States Geological Survey (USGS) Earthquake Catalogを使用した。  
本研究の一部は、地震・火山噴火予知協議会の「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)(課題番号：CBA\_01 研究代表者：服部克巳)」を使用した。深く感謝申し上げます。

地球惑星大気環境を観測するための  
衛星リモートセンシングに関する研究  
—火星の砂嵐中に  
検出されたダストブルーム—

野口克行、遠香萌（奈良女子大学）  
入江仁士（千葉大学）

# Introduction | リージョナルダストストーム

## ◆ リージョナルダストストーム

境界層上部の気温分布から3種類に分類 [Kass et al., 2016]

A storm : Ls 205-240 ~ 235-270°

B storm : Ls 245-260 ~ 285-295°

C storm : Ls 305-320 ~ 305-335°

B stormは65°S以南に限定される

Table 1. Generalized Storm Parameters<sup>a</sup>

	A Storm	B Storm	C Storm
Starting L <sub>s</sub>	205° - 240°	245° - 260°	305° - 320°
Rise time	4° - 12°	5° - 20°	0° - 10°
Duration	15° - 40°	30° - 45°	3° - 15°
Ending L <sub>s</sub>	235° - 270°	285° - 295°	305° - 335°
Peak temperature	210 K - 230 K	210 K - 225 K	200 K - 225 K
Northern response	Yes	None	Sometimes

<sup>a</sup>Ranges are rounded and enlarged to reflect limited sample.

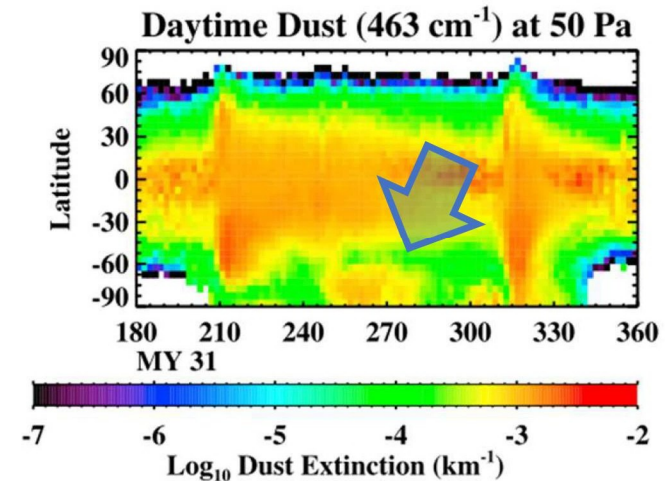


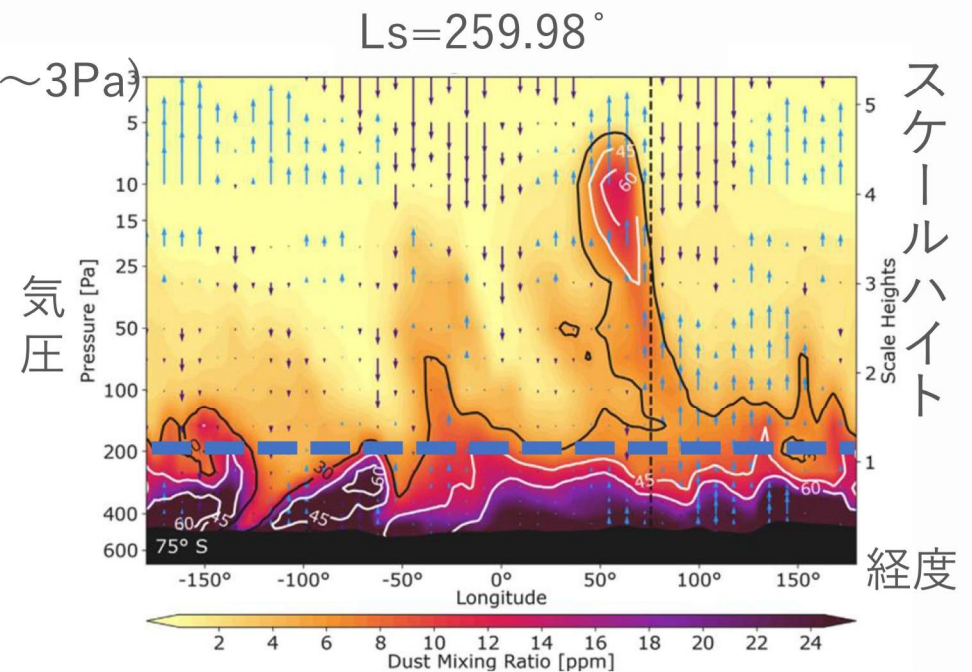
Figure 2. Daytime zonal mean dust structure in MY 31 at 50 Pa (~ 25 km) based on MCS retrieved dust profiles. The colors show the log<sub>10</sub> of dust extinction per kilometer at 463 cm<sup>-1</sup> (22 μm).

Kass et al. 2016, Tab.1 RDSの特徴 Fig. 2 ダスト緯度分布の季節変化(昼側帯状平均MCSデータ)

# Introduction | B stormの数値シミュレーション

## ◆ Batterson et al. 2023

- B storm期間中に発生するダストプルームを再現  
(NASA Ames Mars Global Climate Model)
- B storm期間中に南極上空で発生するダストプルームにより、  
ダストが下層の混合層を超えて中層大気まで巻き上げられていることが分かった
- シミュレーションの時期・場所：  
B storm期間中(Ls=254.09-277.47°)  
70°S以南、東半球(25-125°E)
- 下層の混合層は、1スケールハイト程度
- ダストプルームの特徴(規模・高度)  
経度幅25-50°・3-4スケールハイト(~10Pa)  
最大時は、経度幅50-100°・5スケールハイト(~3Pa)



# Introduction | 本研究の目的

- B storm中に、数値シミュレーションで予測されたようなダストプルームが本当に存在するのか？
- 極軌道衛星の特徴を生かし、比較的短時間でサンプリング可能な極域上空におけるダストプルームの時空間構造を、MRO探査機搭載MCSセンサーデータを用いて調べる

# Data | MRO-MCS

## ◆ 探査機MRO (Mars Reconnaissance Orbiter)

- 2005年8月打ち上げ(米NASA)
- 2006年に観測開始
- 太陽同期極軌道(LT3・15時に観測)で  
大気の外縁を観測
- 軌道周期：112分12秒
- 軌道間の間隔（経度方向）：27°

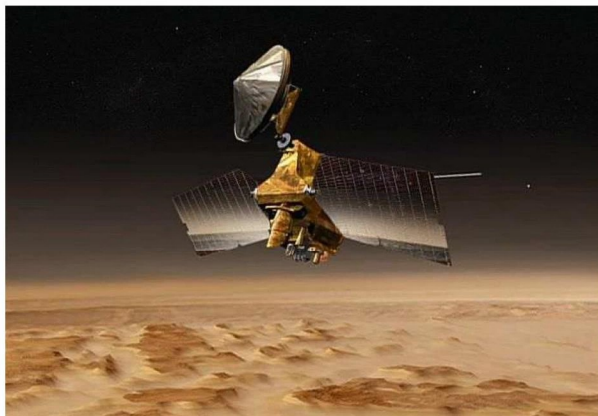
## ◆ 熱赤外放射計MCS (Mars Climate Sounder)

- 観測波長帯：  
可視光1チャンネル・赤外線8チャンネル
- 放射輝度プロファイルから、  
気温、ダスト・水氷雲消散係数を導出
- 鉛直分解能：約5km、  
地表付近～約80kmまで観測

本研究ではB storm期間中のデータを使用

Ls : 250-290°

緯度 : 30-90°S



NASA/JPL



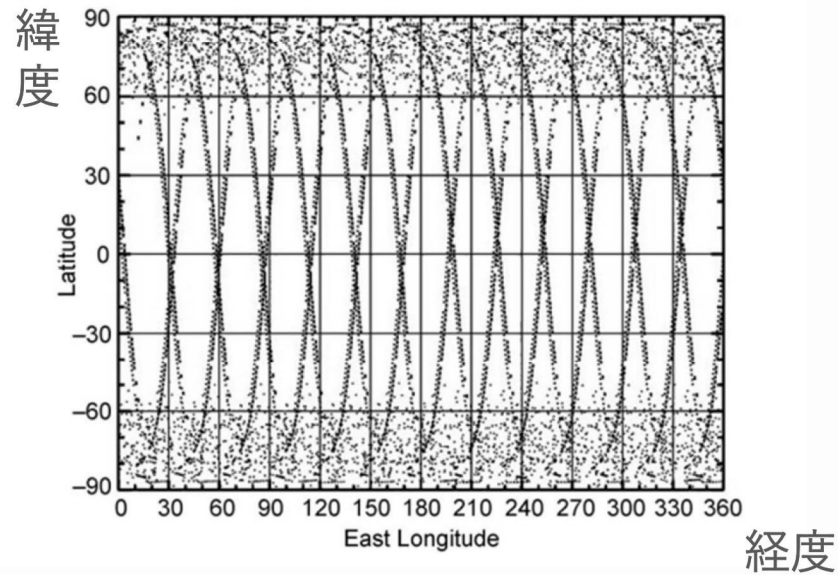
McCleese et al. 2007



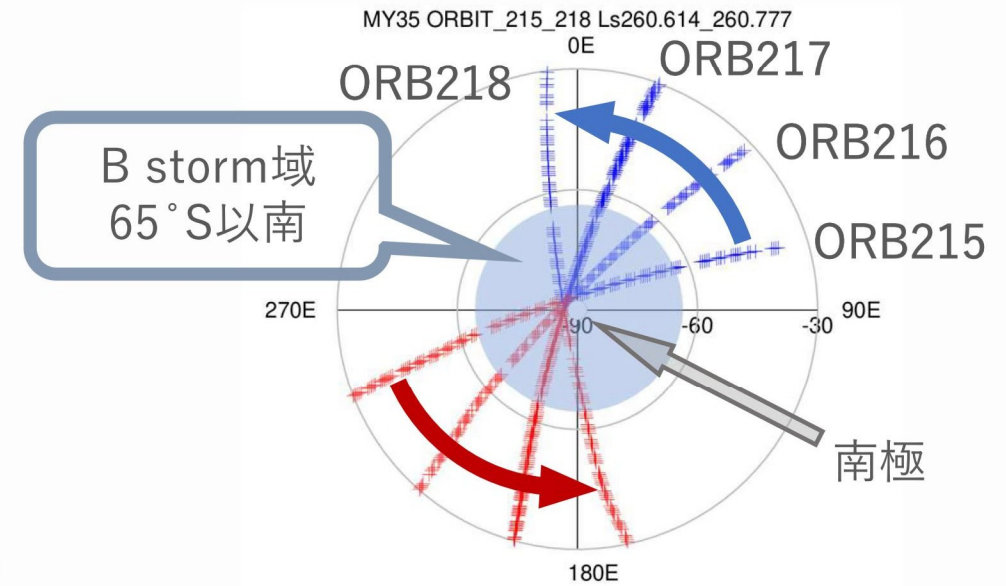
# Data | MRO-MCS

## ◆ MRO-MCSによる観測

- 軌道周期：112分12秒、軌道間の間隔（経度方向）：27°



McCleese et al. 2007 Fig.10  
24時間のMCS観測地点(メルカトル図)



南極を中心とした  
MCSの観測地点例(in-track)

# Result | ダストプルームの特徴 (モデルとの比較)

## ◆ モデル(Batterson et al. 2023)

	通常	最大
経度幅(75° S)	25-50°	50-100°
経度方向の大きさ	~380-770km	~770-1500km
気圧高度	10Pa	3Pa

## ◆ MRO-MCSデータ

	MY35 ORB_216
緯度幅	20-30°
緯度方向の大きさ	~1000-1800km
気圧高度	3Pa

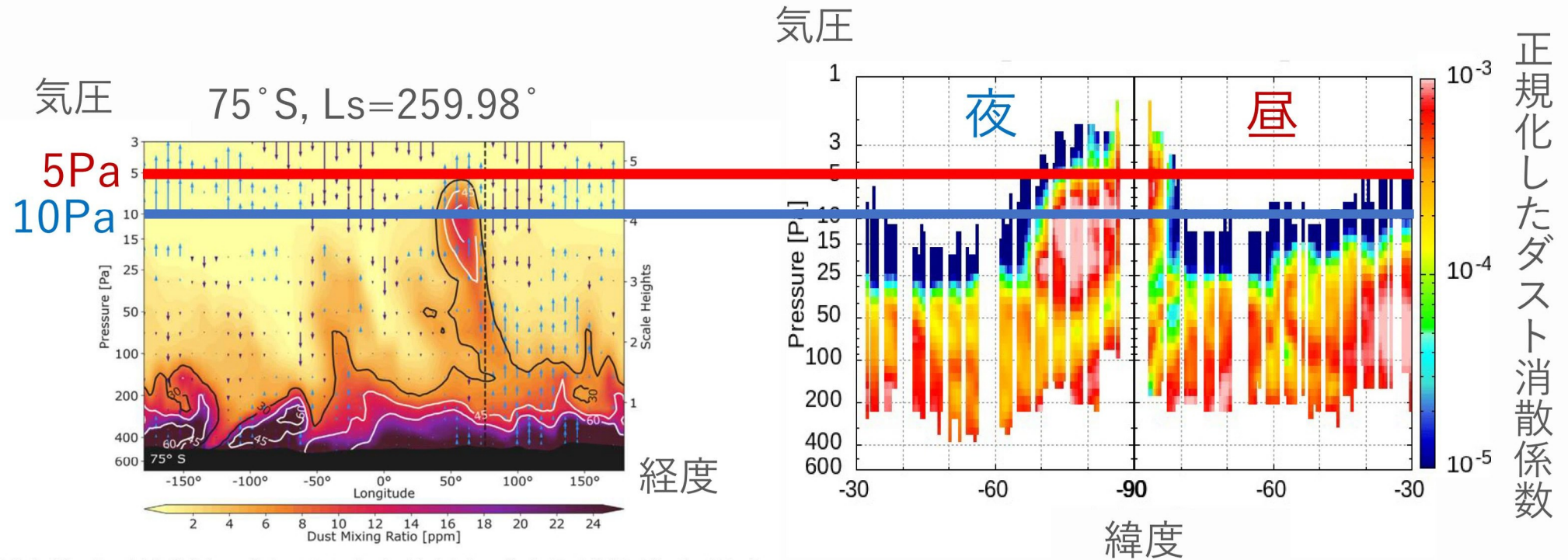


Fig. 6. Simulated dust mixing ratio (color-filled), shortwave heating rate (contoured), and vertical velocity (arrows, blue for rising air, black for sinking air) at 75° S and L<sub>s</sub> = 259.98°. The vertical dashed line indicates the subsolar position. (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article.)

# Result | ダストの緯度気圧分布 (軌道毎) MY35

## ◆ MY35

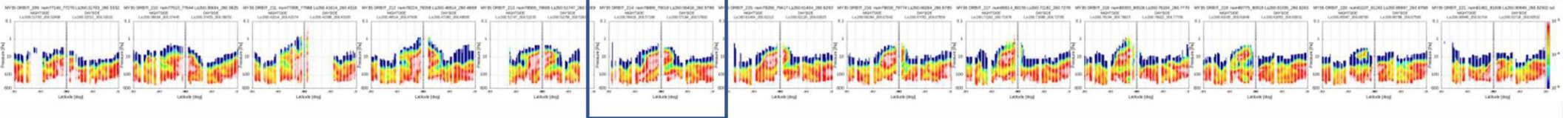
Ls=260.3-260.9 (UTC : 2020/08/17\_222750.594-2020/08/18\_213020.289) ~23h

LAT : 30-90S

### 軌道(南極中心) 30-90S



### ダスト(正規化)緯度気圧分布

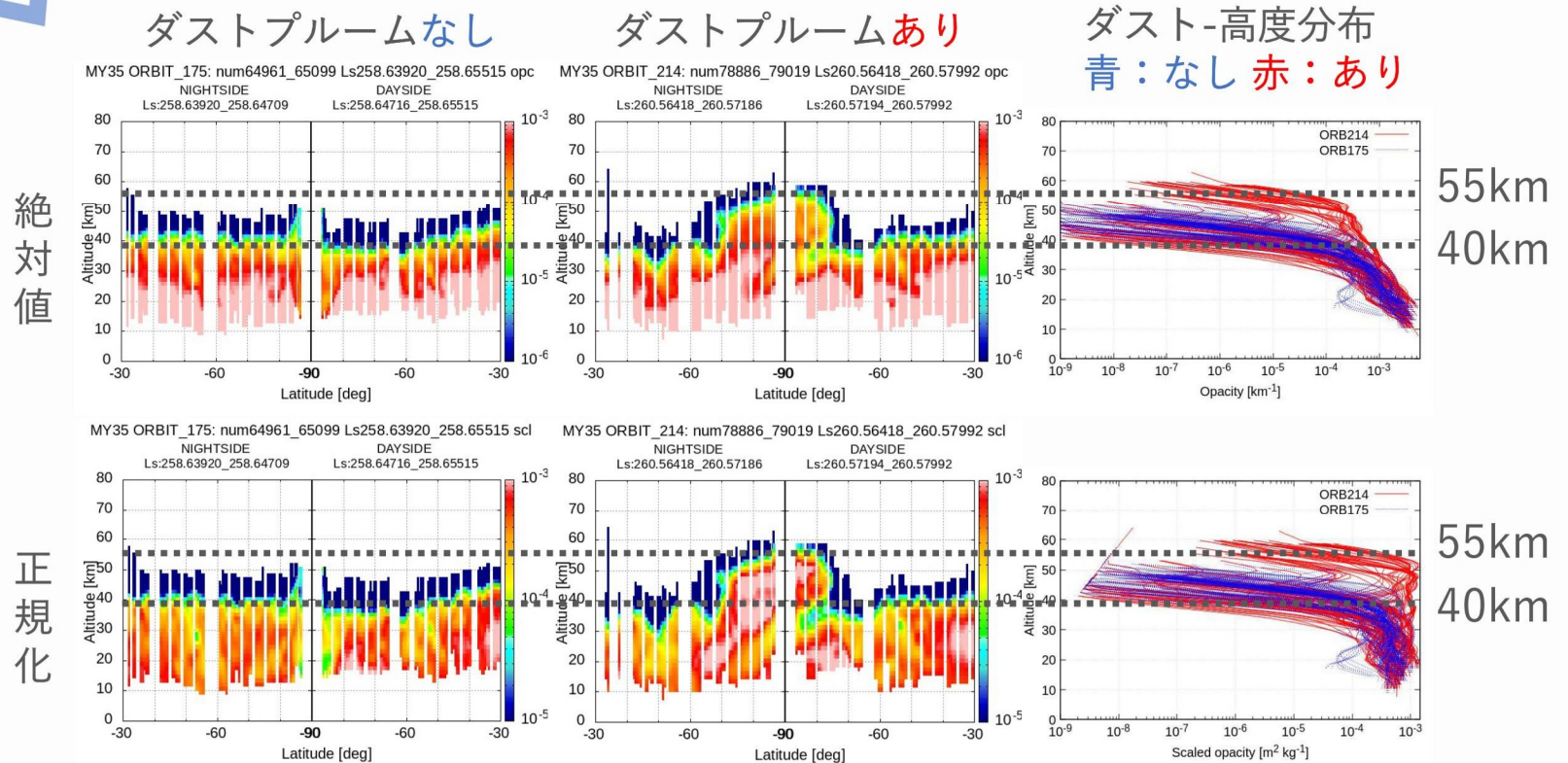


- 連続した軌道において、極付近でダストプルームが見られる  
軌道周期は約2hであり、別のプルームを捉えているのか、ひとつのプルームを捉えているのかについては後述
- 正規化した値では、ダストプルーム内部の方が下部よりも大きい場合が見られる

# Discussion | 連続した軌道で捉えているダストプルームについて

- ◆ MY35 ORB175 (Ls=258) , ORB214 (Ls260)  
LAT : 30-90S
- ◆ 緯度高度分布・ダスト高度分布から、ダストプルーム上端高度と境界層の厚さを推定

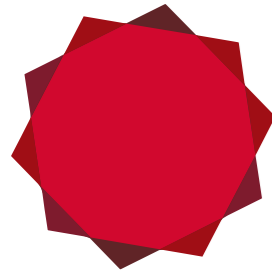
- ダストプルーム上端高度 : 約55km
- 境界層の厚さ : 約40km



# まとめ

- MRO-MCSデータより、**B storm**期間中に発生する**ダストプルーム**を観測的に捉えた。
- 特にMY35、Ls260付近でダストプルームが確認された。他の火星年においても、同様のプルームが見られた。
- MRO-MCSデータから確認されたダストプルームの発生頻度は1MYあたり数例であった。
- 観測されたダストプルームの特徴（規模・高度）は**数値モデル(Batterson et al. (2023))**と整合的。

ただし、Batterson et al. (2023)では特定の緯度(75°S)における経度方向の特徴を示していたのに対し、本研究では緯度方向の特徴を捉えている(MROが太陽同期極軌道で南北方向に軌道をとるため)ことに留意。



P-29

# 深層学習を用いた高精度林冠高マップの作成

○澤田義人<sup>1,2</sup>・三橋 怜<sup>2,3</sup>・加藤 顕<sup>1</sup>

1. 千葉大学大学院園芸学研究院
2. 宇宙航空研究開発機構研究開発部門MOLIプロジェクト
3. 千葉大学大学院環境リモートセンシング研究センター



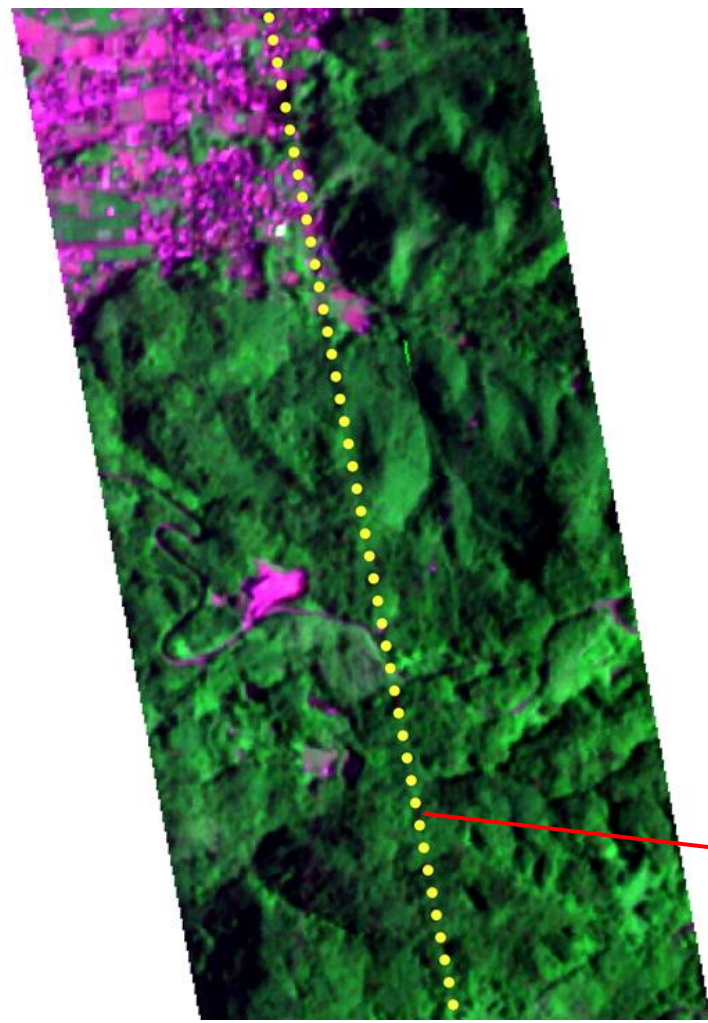
## 要 旨

本研究では、GEDI L2Aプロダクト林冠高 (rh\_095) とPlanetScope衛星画像の融合によりwall-to-wall林冠高マップを作成した。誤差の大きなGEDI L2林冠高の影響を防ぐために早期停止手法を導入した。対象地域 (伊豆) における樹高推定誤差はRMSEで4.94mであった。本研究で開発した自動早期停止機能によって推定誤差はRMSEで1.7m以上大幅に減少した。

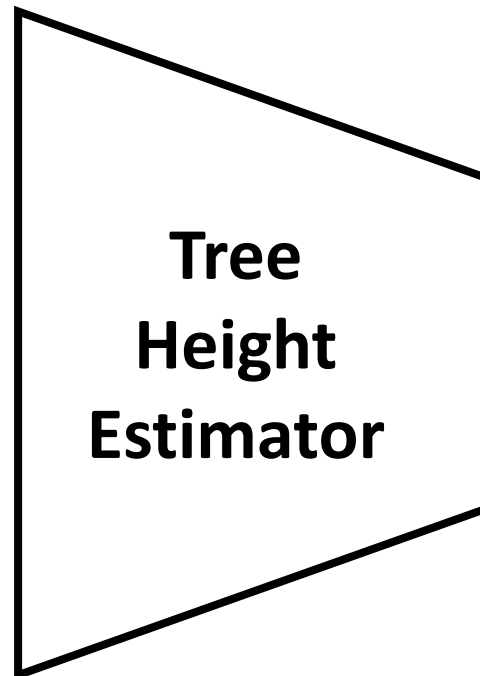
この研究で使用されたトレーニングデータの25%には大きな高さの誤差が含まれていたが、この早期停止方法により、これらの誤差のある教師データの事前スクリーニングを省略できる。さらに、データスクリーニングを省略したことにより外部参照データも必要ない。本研究の手法では、学習を終了するタイミングも自動的に決定される。

この方法により、高精度のグローバル樹高マップを作成するために必要な時間と計算リソースを大幅に節約できる。

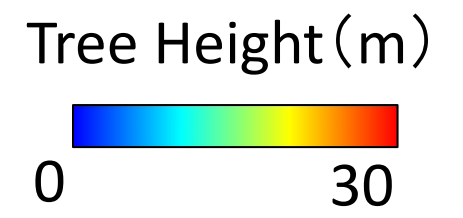
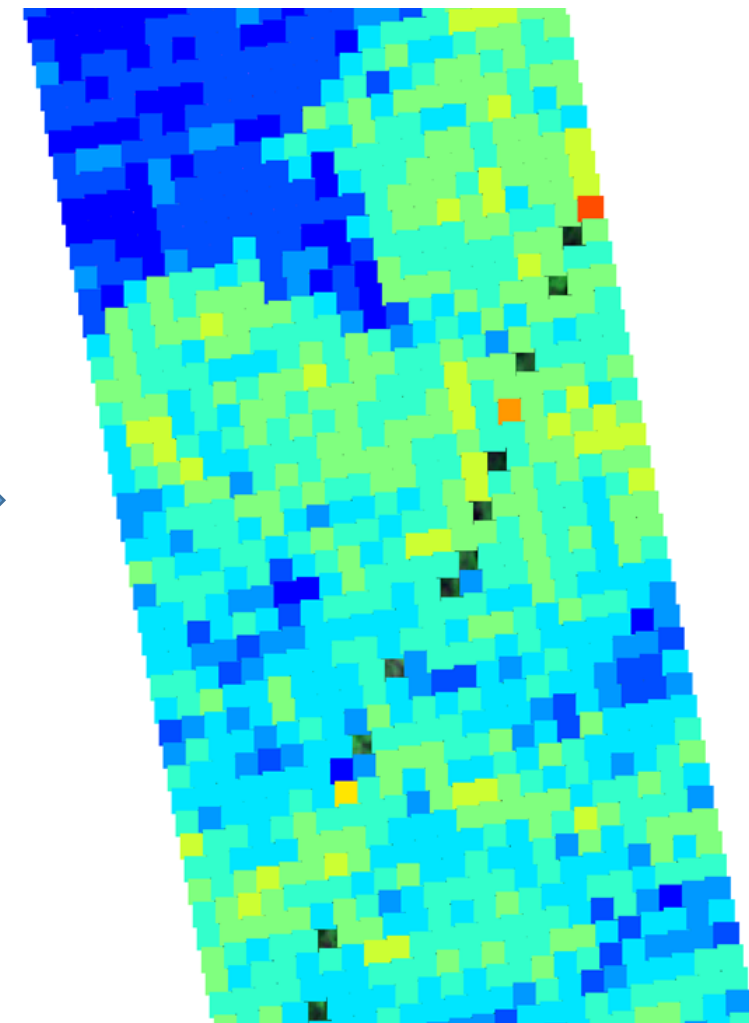
MOLI Imager  
(3bands, 5m GSD)



③ To estimate tree height from MOLI imager



MOLI Tree Height map  
(50m GSD)



Yellow dots:  
MOLI LIDAR footprints

① To make training datasets

images	RH95 (m)
	22.51
	5.98
	27.83
⋮	⋮

② Training Process

# 深層学習による樹高マップ作製 (模式図)



# 樹高マップの精度の改善

## 【目的】

→ 波形シミュレーションの樹高をデータ融合させた精度にできるだけ近づける

## 【方針】

1. 誤差の大きなトレーニングデータを無視できるような損失関数の利用
2. 早期停止 (early stopping) の採用と自動化
3. 樹高推定では信頼できると考えられる波形シミュレーションの値を真値として解析

## 【結果】

- 適切な早期停止のエポック数をトレーニングデータだけから決定できる指標を開発できた
- 波形シミュレーションの樹高をデータ融合させた精度とほぼ同程度の誤差を実現

樹高マップ精度の誤差

entry	automatic early stopping	loss function	RH95	epochs	MAE(m)	RMSE (m)	$\Delta$ RMSE (m)
1		L2		200	4.94	6.28	1.71
2	no	welsch loss(c=6)		200	4.73	6.31	1.11
3		welsch loss(c=3)	GEDI L2A	200	4.43	5.95	1.38
4		L2		10	4.45	5.74	1.17
5	yes	welsch loss(c=6)		14	<b>3.66</b>	<b>4.94</b>	<b>0.37</b>
6		welsch loss(c=3)		28	3.79	5.20	0.63
参考	no	L2	simulation	200	<b>3.29</b>	<b>4.57</b>	

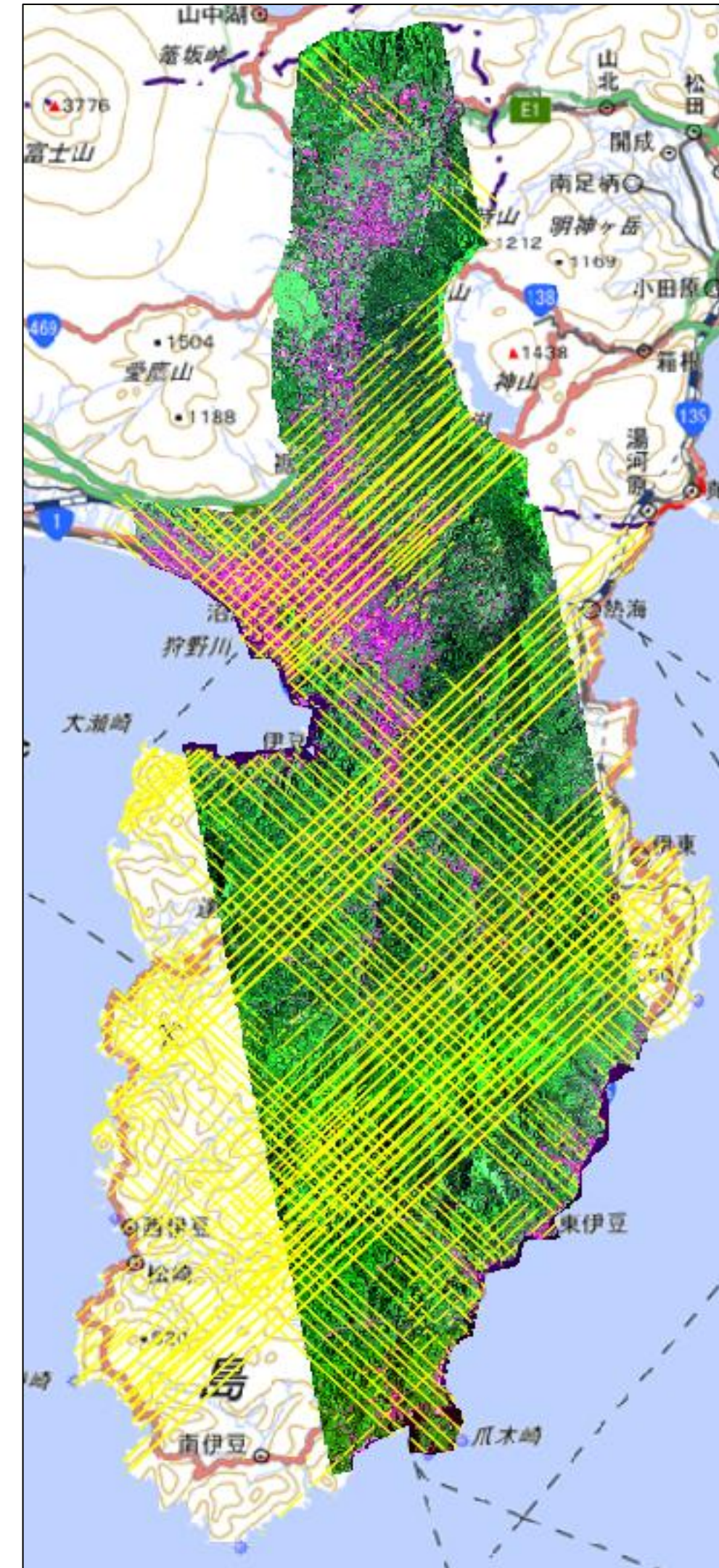
# GEDI観測のマップ化

- GEDI観測点の樹高(RH95)をplanetscope画像の50mグリッドにマップ化
- RH95の値は以下の2つ
  1. 点群データによる波形シミュレーション
  2. GEDI L2Aのrh\_095
- 各グリッド点(約52万点)の波形シミュレーションから計算したRH95と比較
- 学習に使えるデータは約45000点

面的拡張精度の誤差

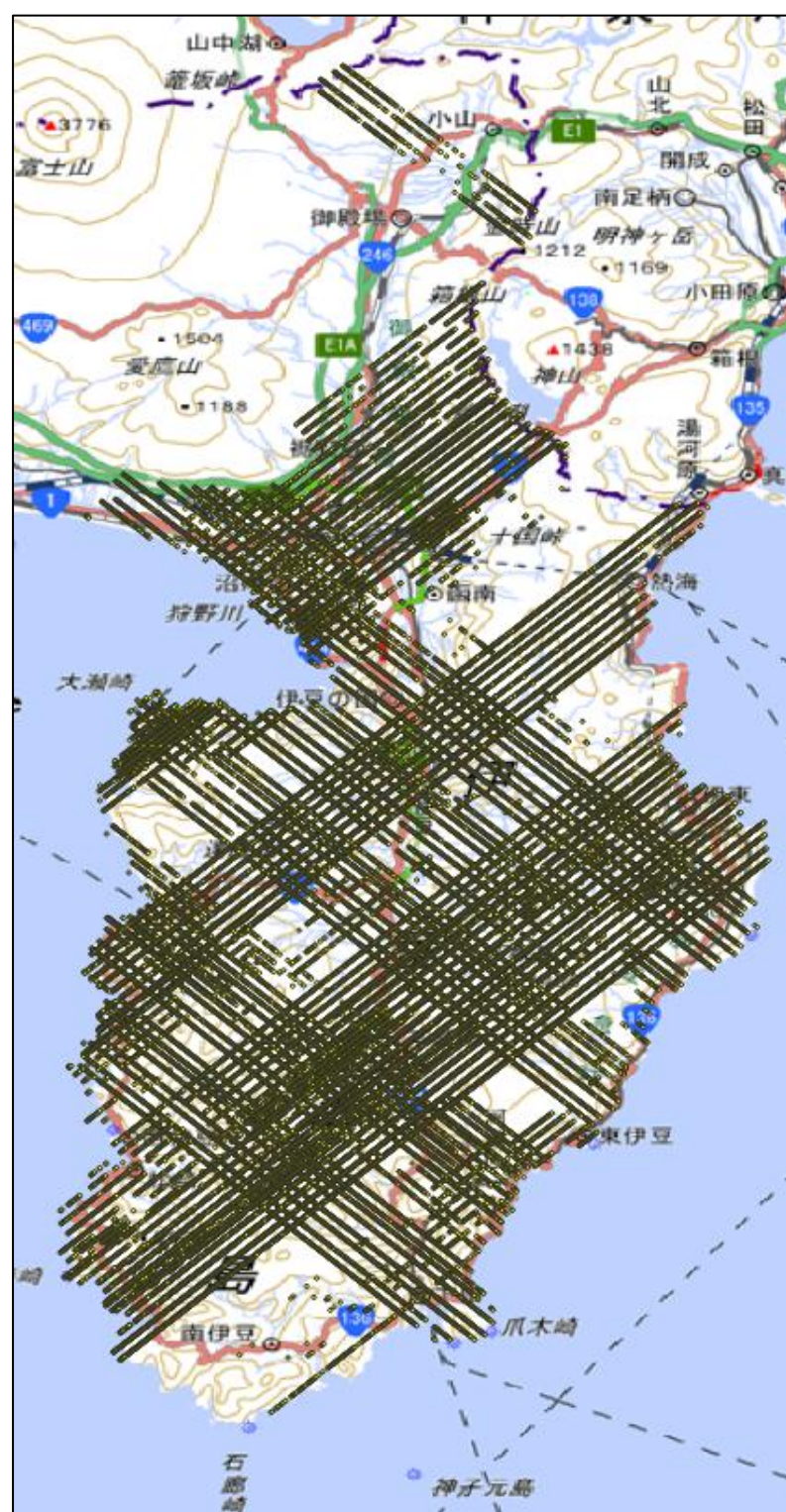
method	bias(m)	MAE(m)	RMSE(m)
1	-0.01	3.29	4.57
2	-2.51	4.68	6.28

- GEDI L2A rh\_095マップの精度(2)が低いのは、トレーニングデータに誤りを多く含むため  
(理由と原因は以下のスライド)

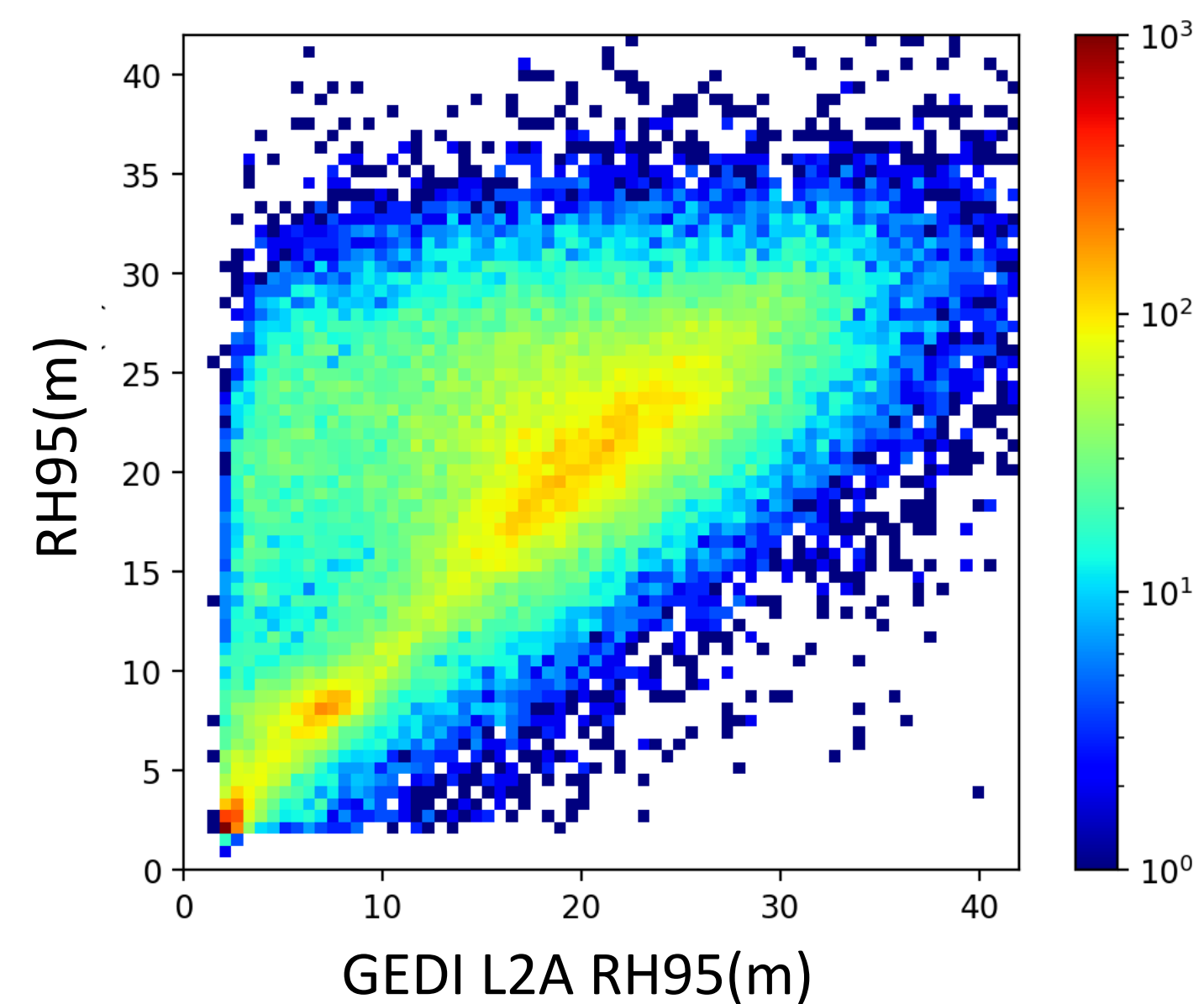
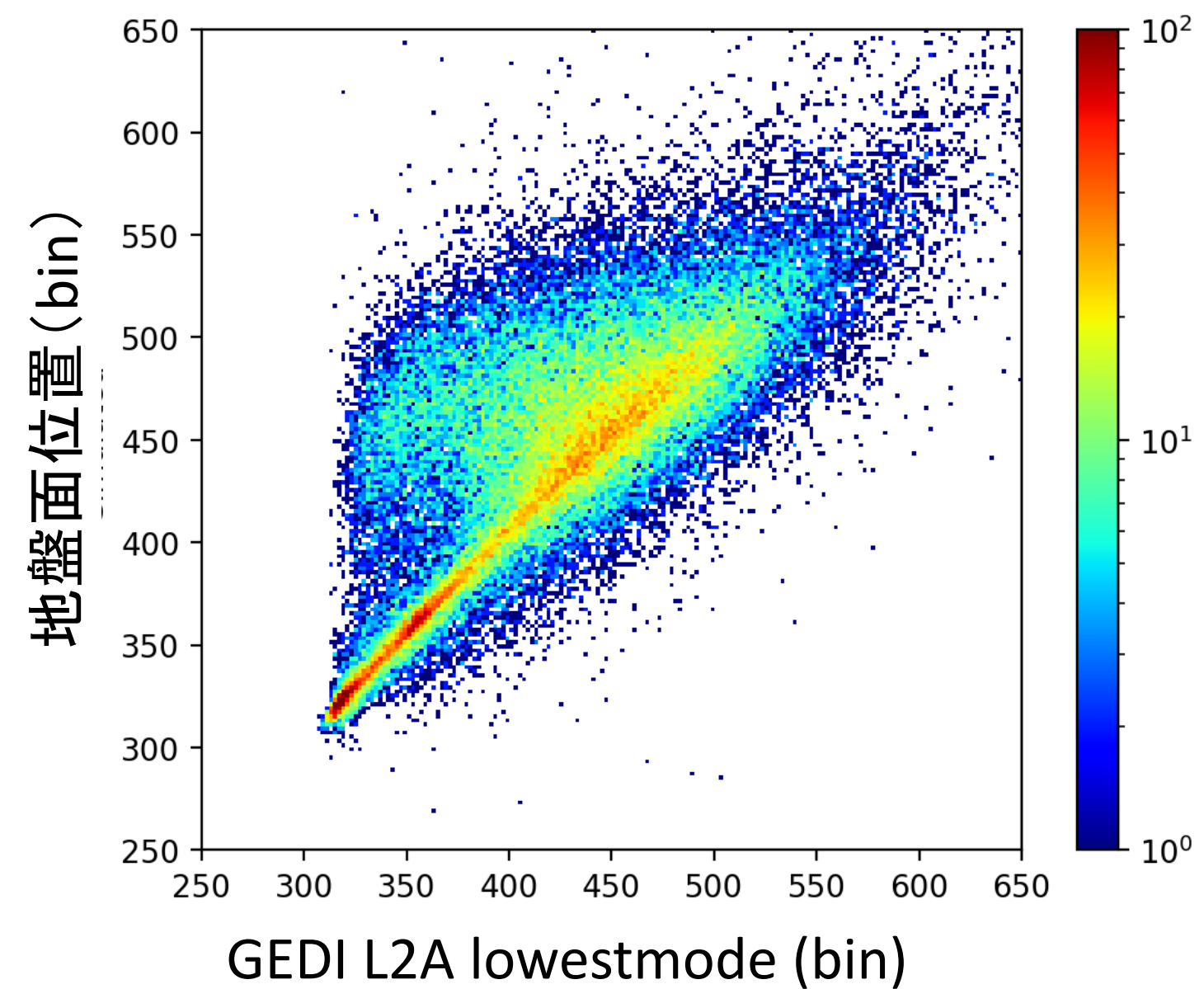


# 伊豆のGEDIフットプリント

- 2019年～2021年
- 69731点 (L2A以上の処理)
- MOLI波形シミュレーション結果と比較
  - 地盤面位置、樹高 (RH95) で大きな誤差

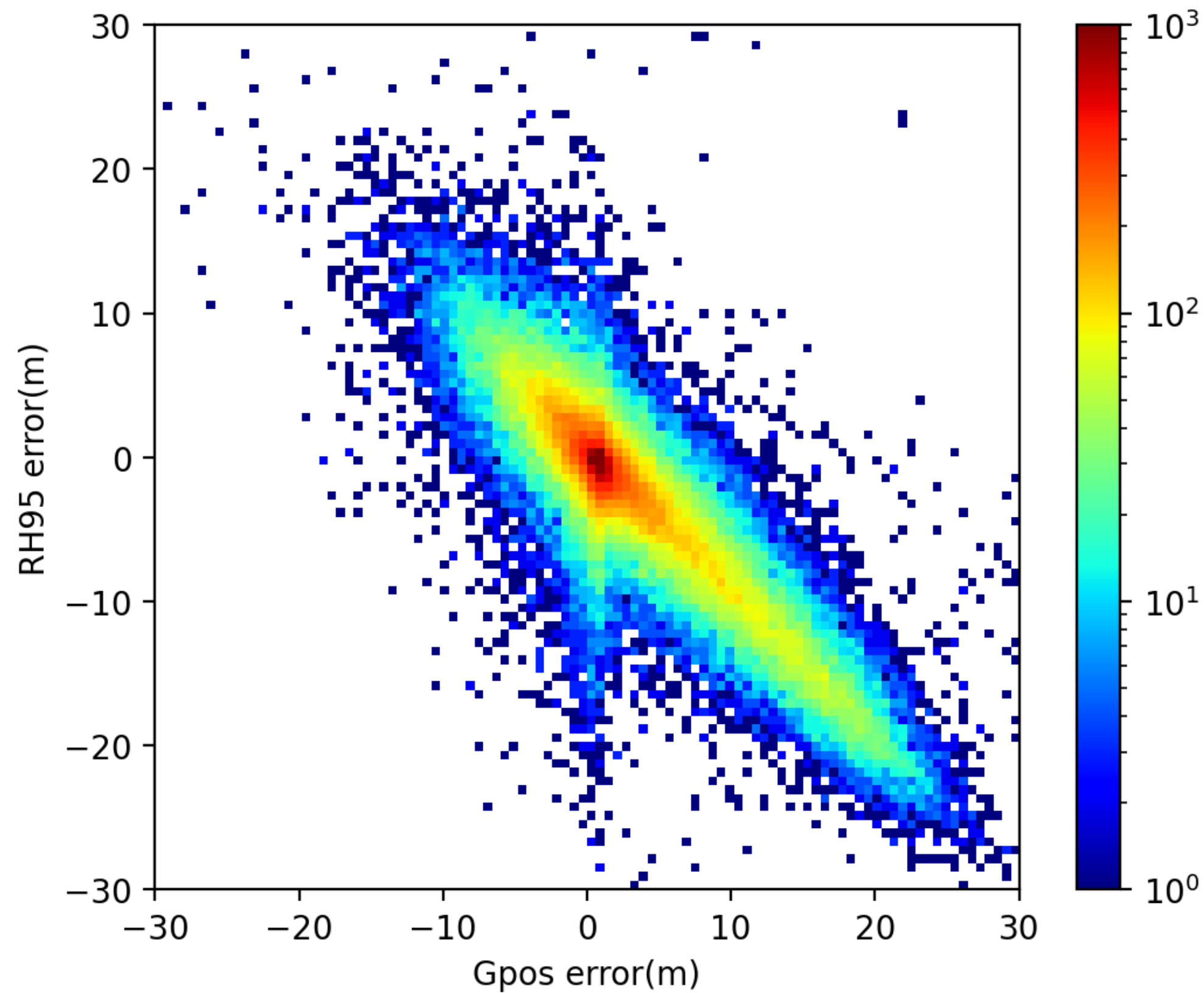


GEDI観測点の空間分布



# 伊豆のGEDI観測の誤差

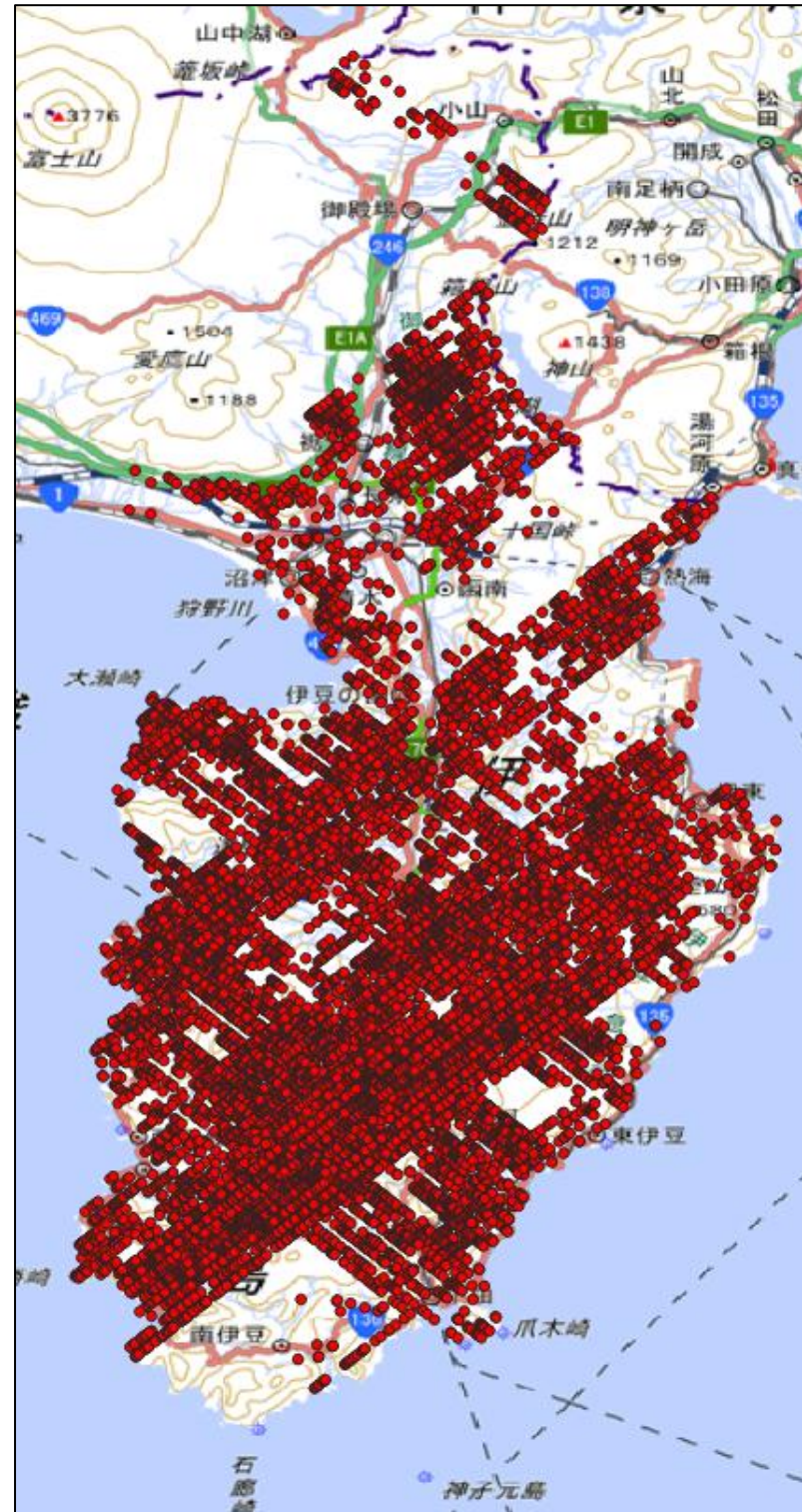
- 樹高(RH95)推定誤差と地盤面推定誤差はほぼ1:1 (傾き:-1)  
→ 樹高(RH95)推定誤差は地盤面推定誤差に起因



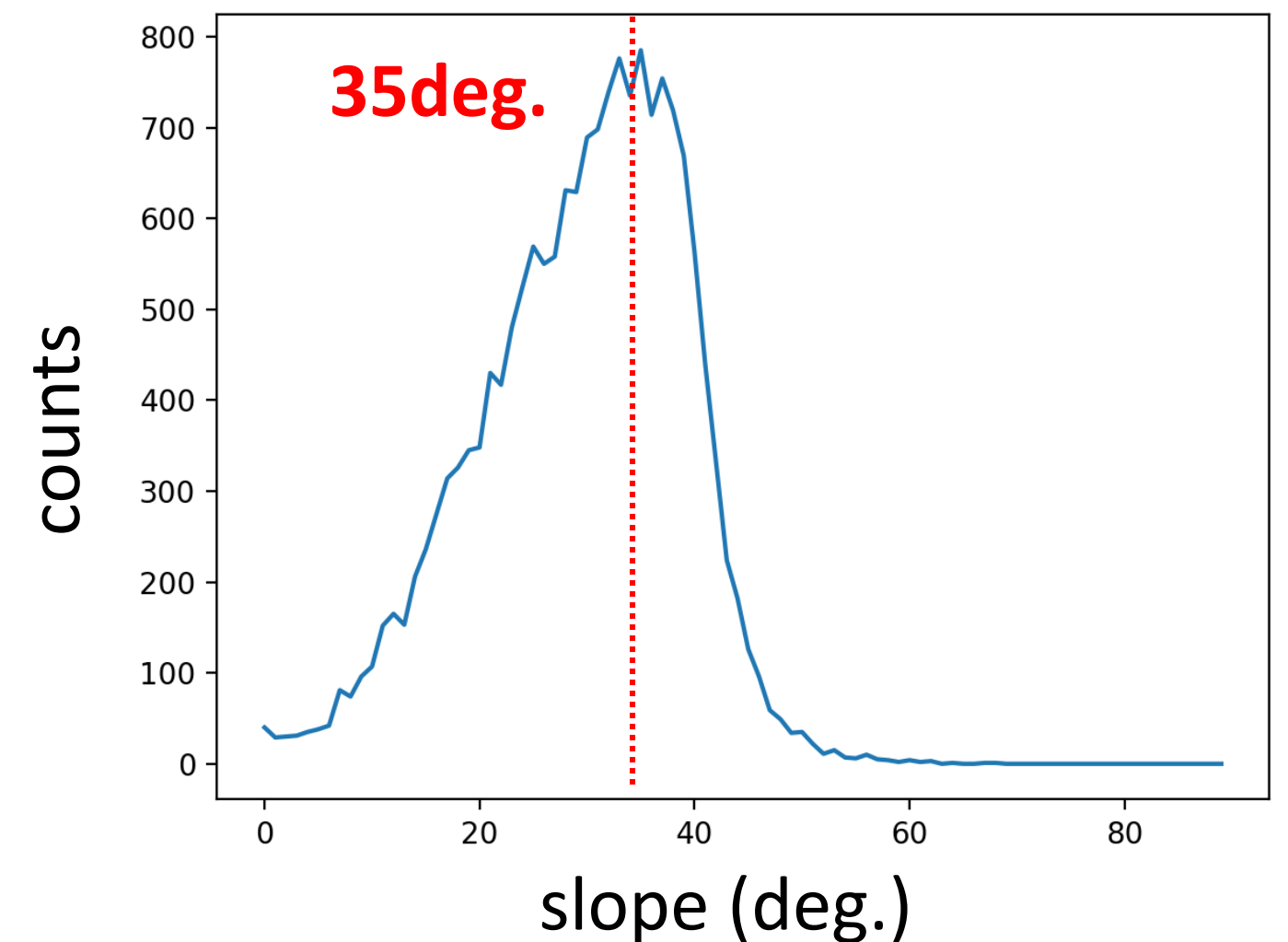
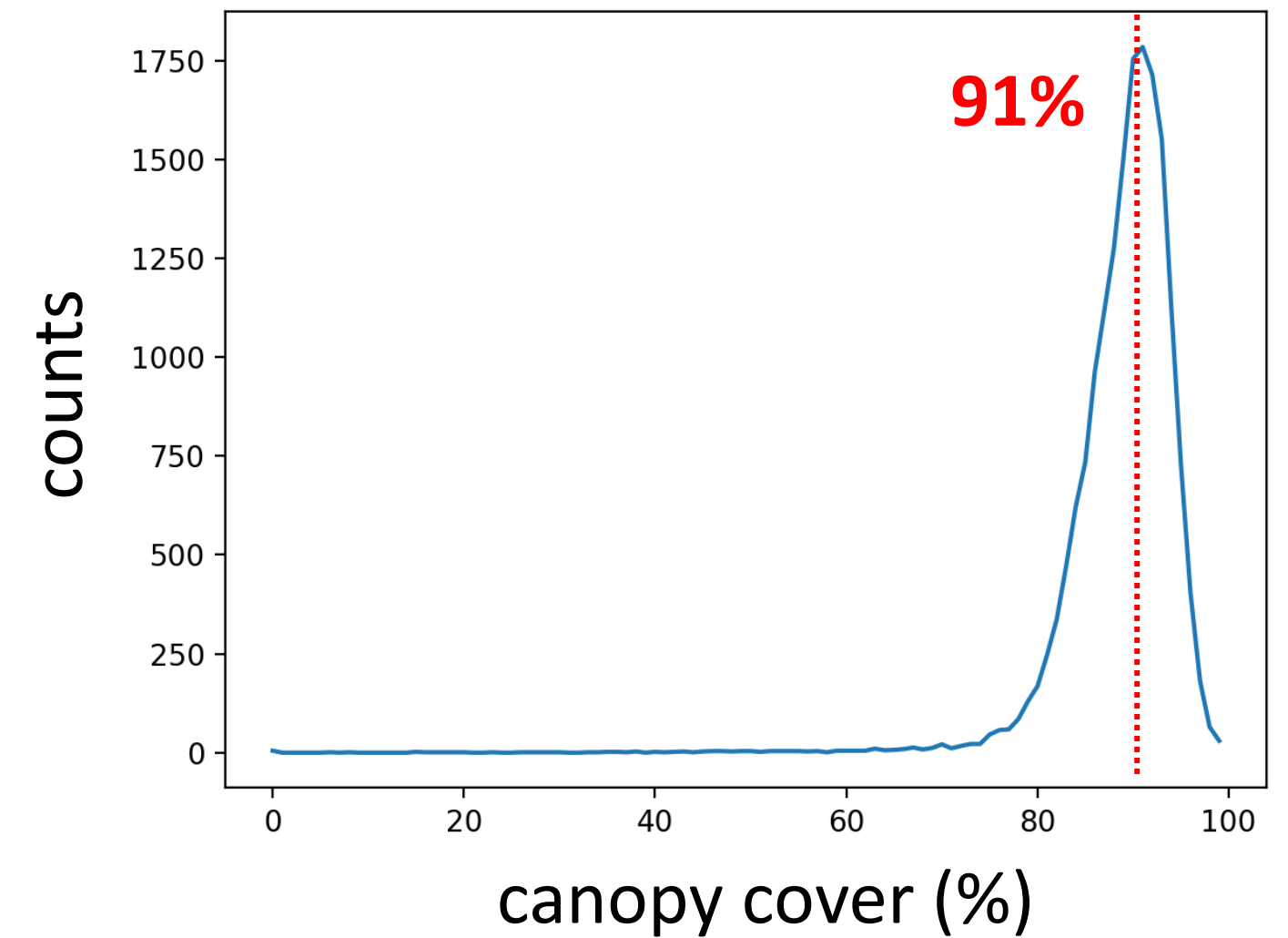
GEDI L2Aプロダクトの地盤高誤差

# 地盤高(樹高)誤差の大きなフットプリント

- MOLI波形シミュレーションの地盤面位置と50bin(約7.5m)以上の差があるフットプリント
- 17423点(全体の**25.0%**)
- 森林被覆率が大きい(最頻値**91%**)
- 急傾斜地(最頻値**35度**)

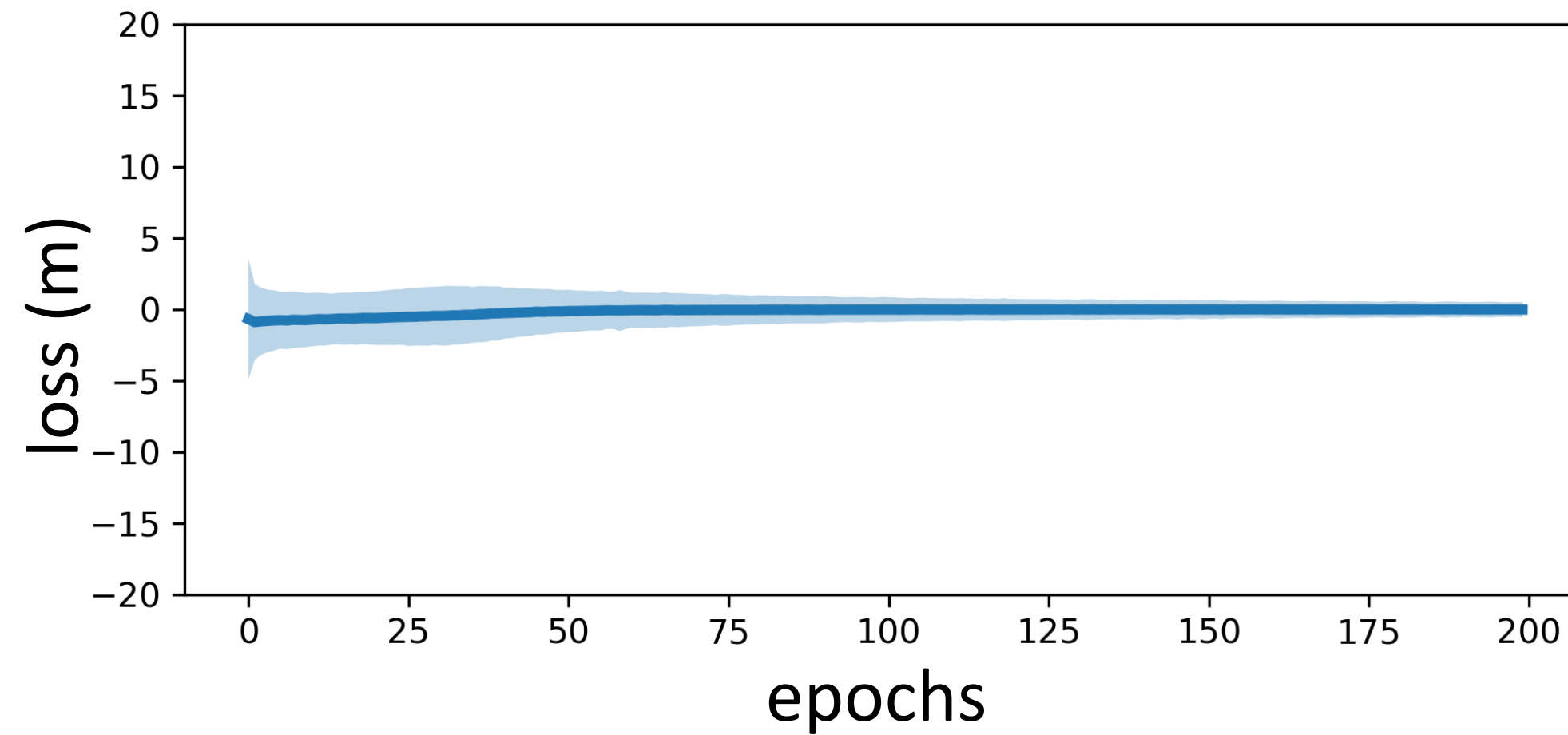


誤差の大きいフットプリントの空間分布

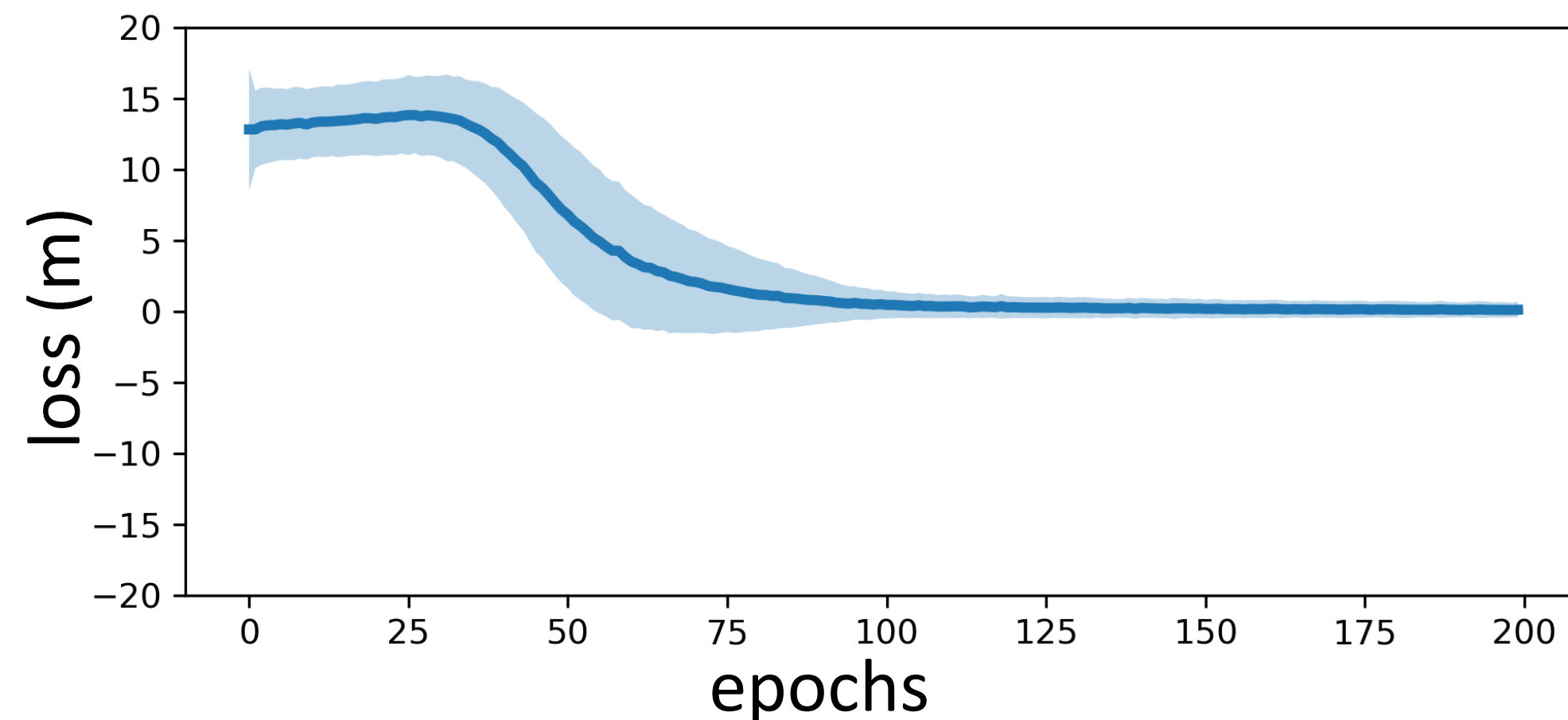


# ミスラベル問題

- 先行研究の知見から以下を仮定した:
  - 誤りのないトレーニングデータの損失関数(推定誤差)は早期に低下



- 誤りを含むトレーニングデータの損失関数(推定誤差)は遅れて低下



# 推定誤差の時間変動(変動量 $L_{i,j}$ の分布と $D_j$ )

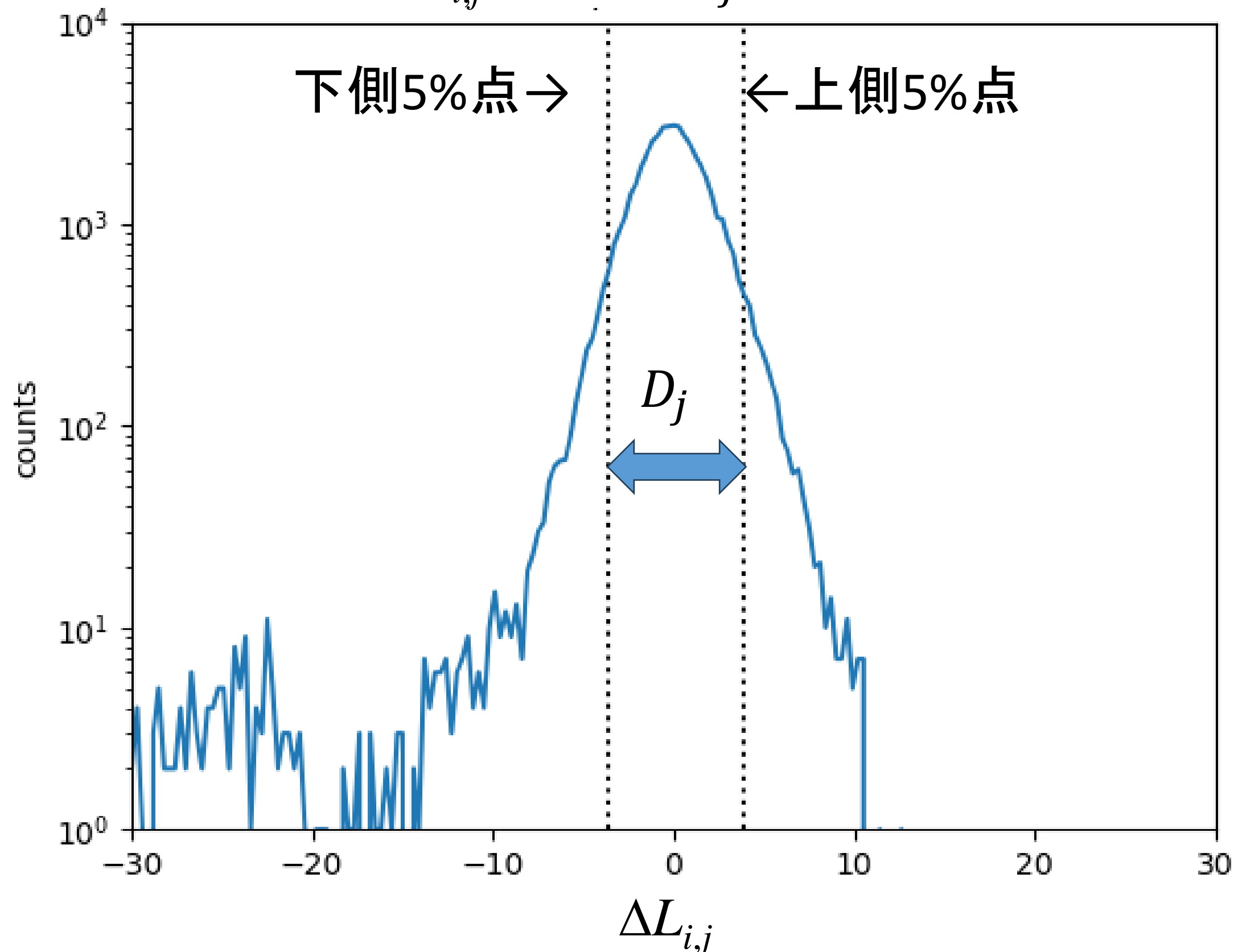
## 1. $\Delta L_{i,j}$ の定義

$$\Delta L_{i,j} = \Delta h_{i,j} - \Delta h_{i,j-1}$$

$\Delta h$ は推定誤差、 $i$ はデータのインデックス、 $j$ は学習のエポック数である。

## 2. エポック毎に $\Delta L_{i,j}$ の分布に対する上下5%のパーセンタイル値の差を求めて $D_j$ とする

$\Delta L_{i,j}$ の分布と $D_j$ 計算例

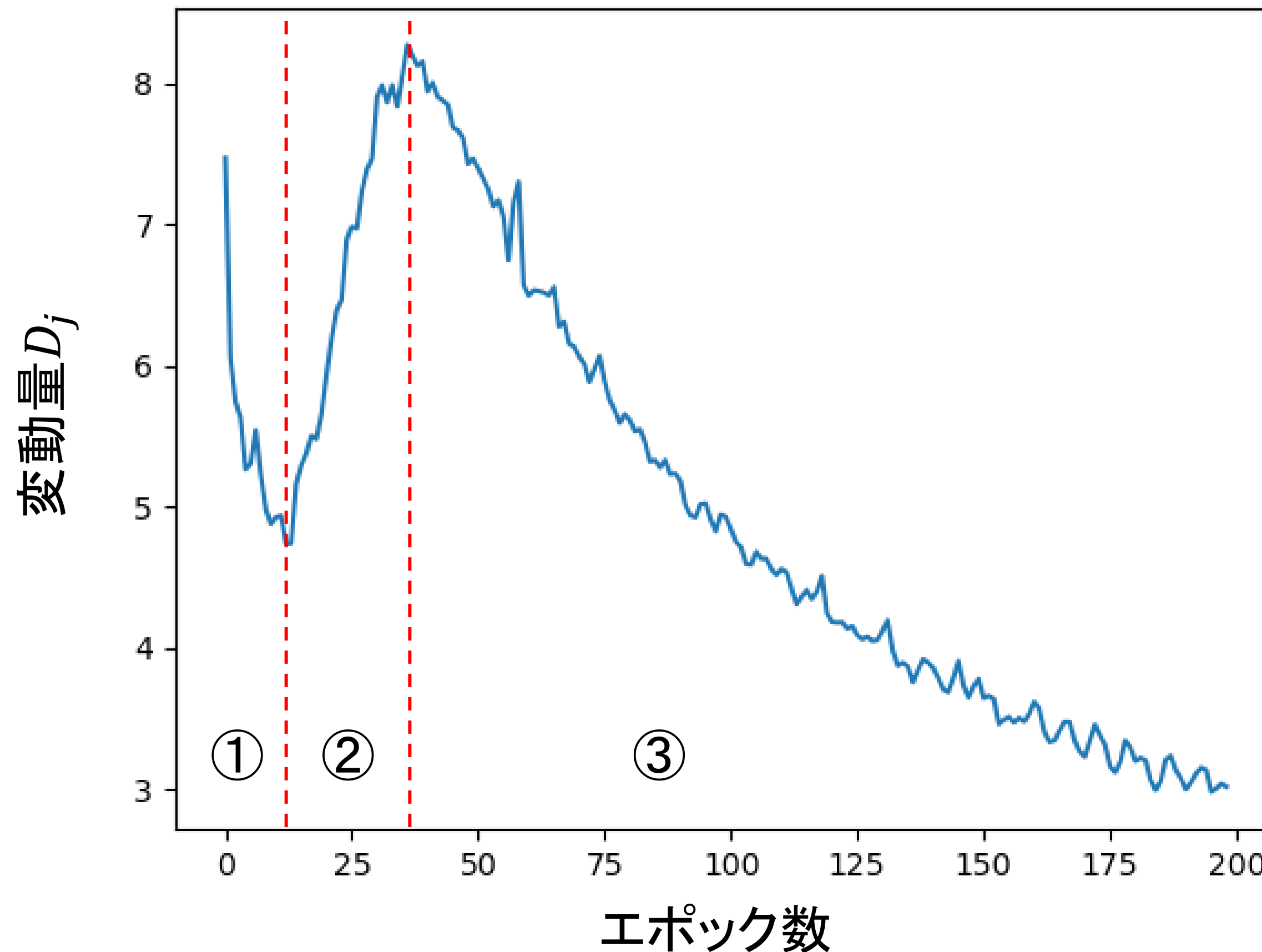


loss: Welsch(c=6)  
j = 1

$D_j$ の値が小さい場合に「学習できた」と判断した

# 学習フェーズ(変動量 $D_j$ )

loss: Welsch(c=6)

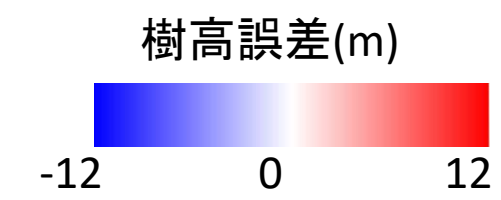


- ① 学習器が全体の傾向を学習している段階
- ② 誤りのあるトレーニングデータの学習を進めるためにパラメータ調整する段階
- ③ 過学習が進みつつある段階

最初の最小値となったエポックで学習を停止させる



# RH95面的拡張誤差の分布

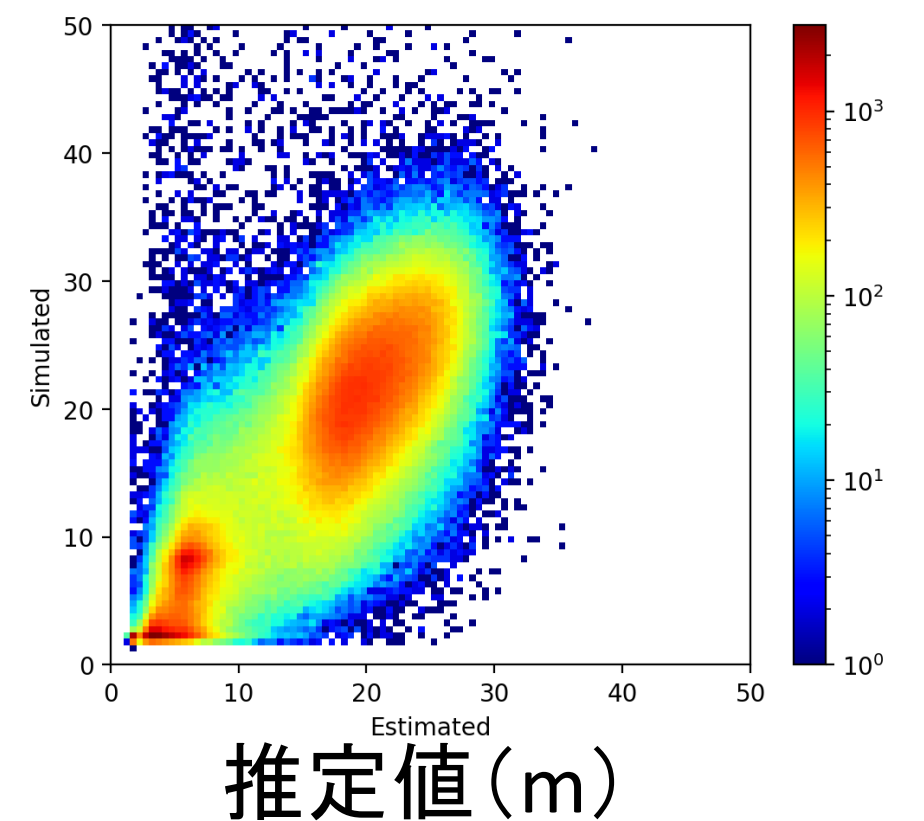
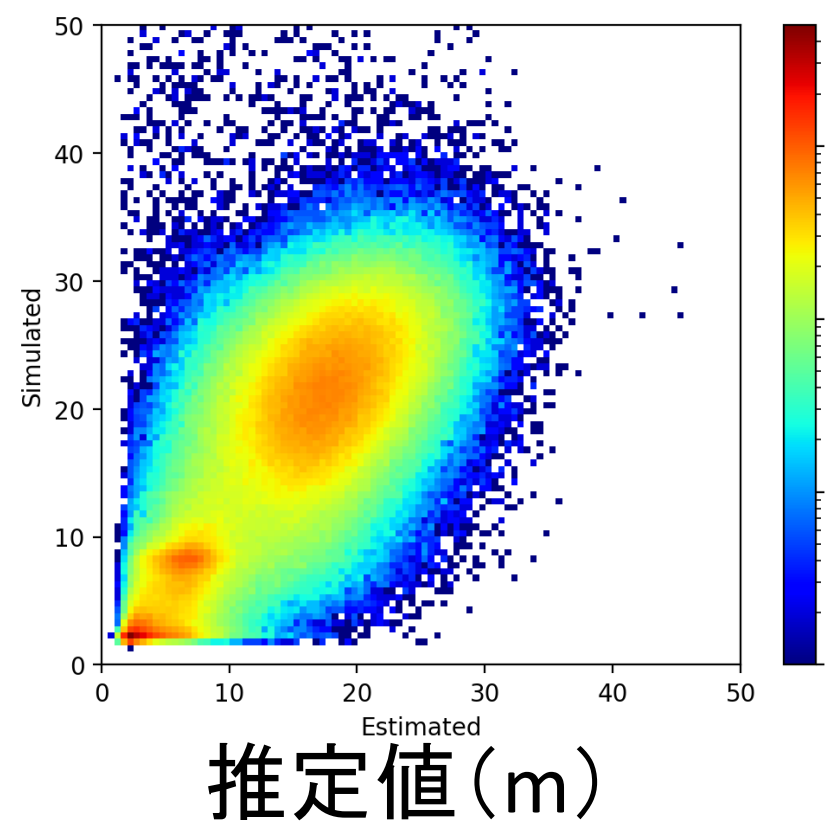
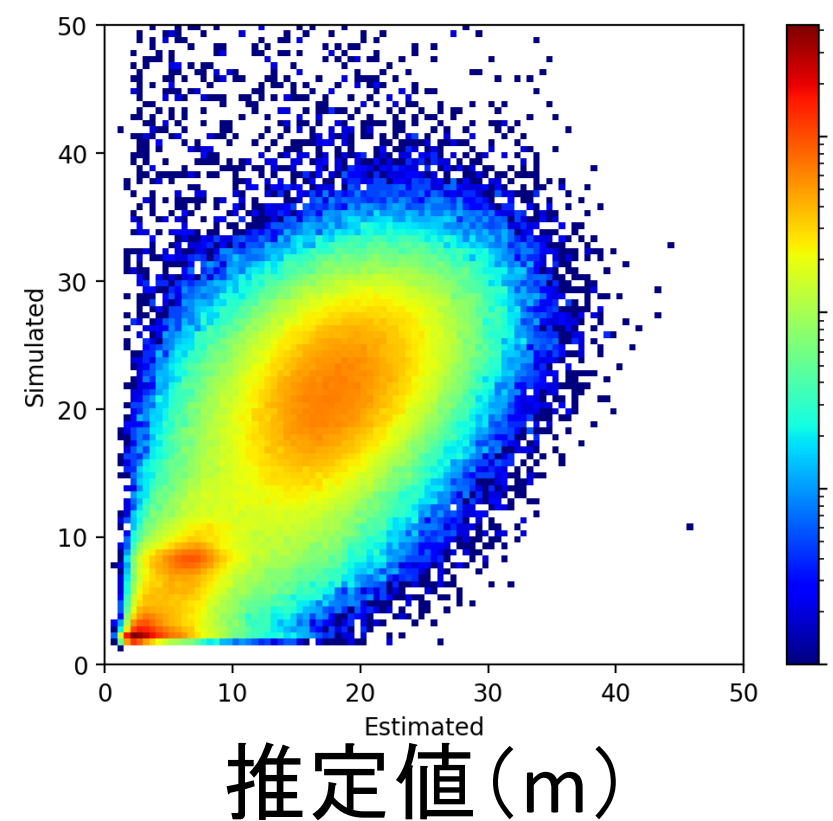
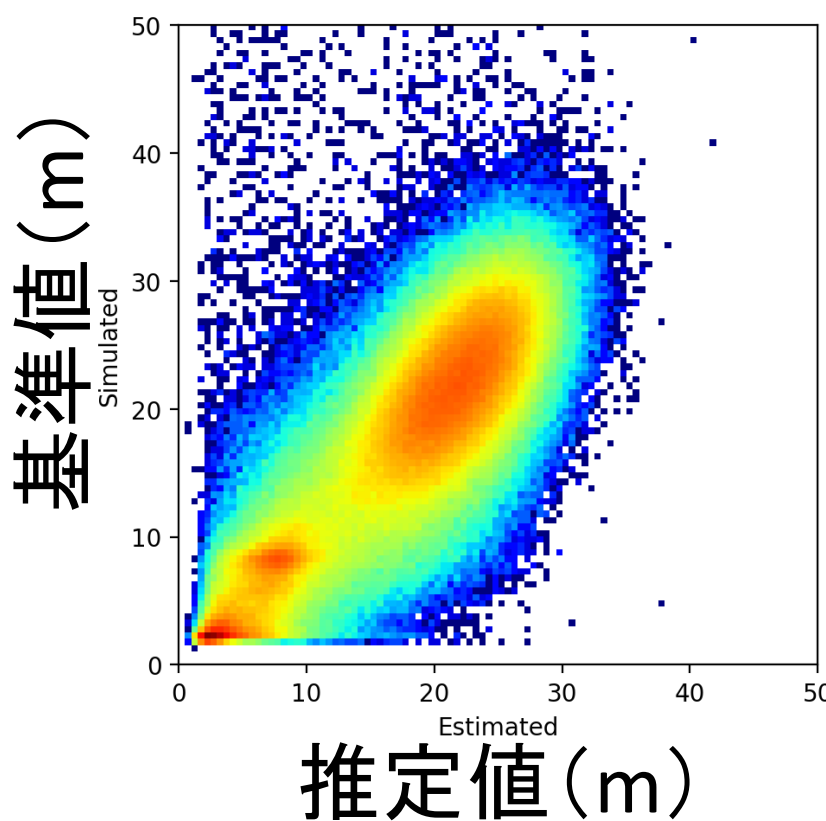
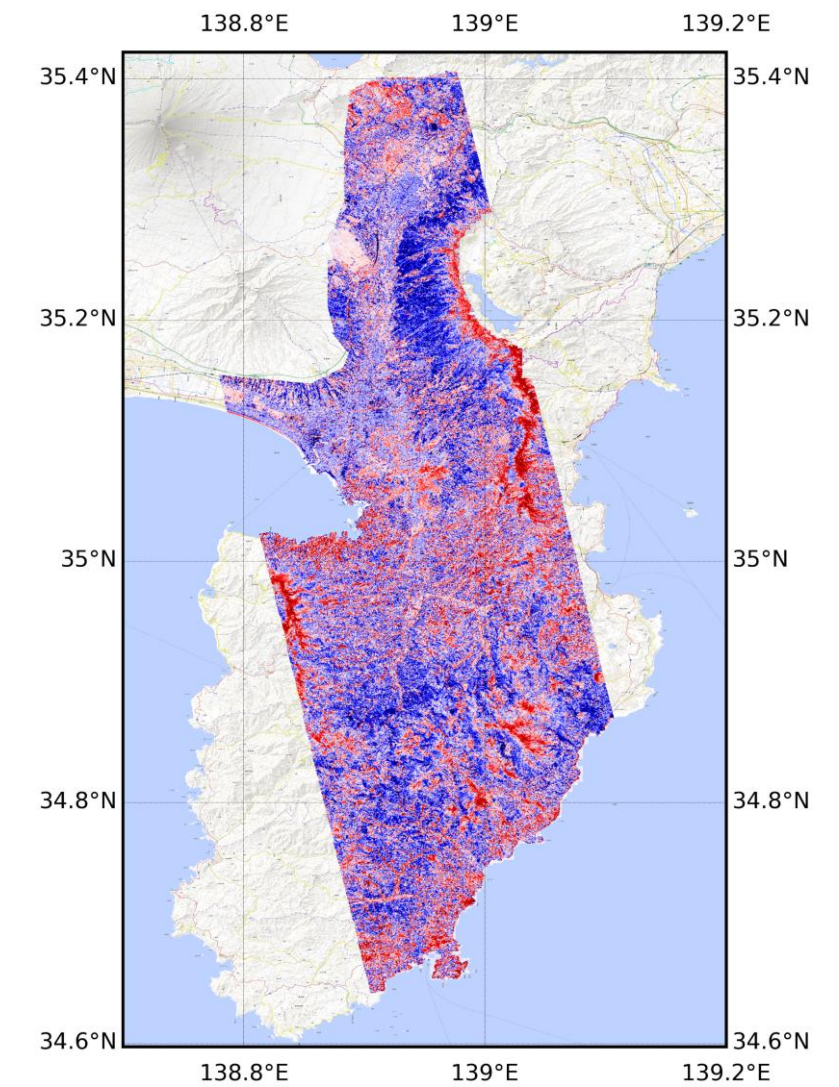
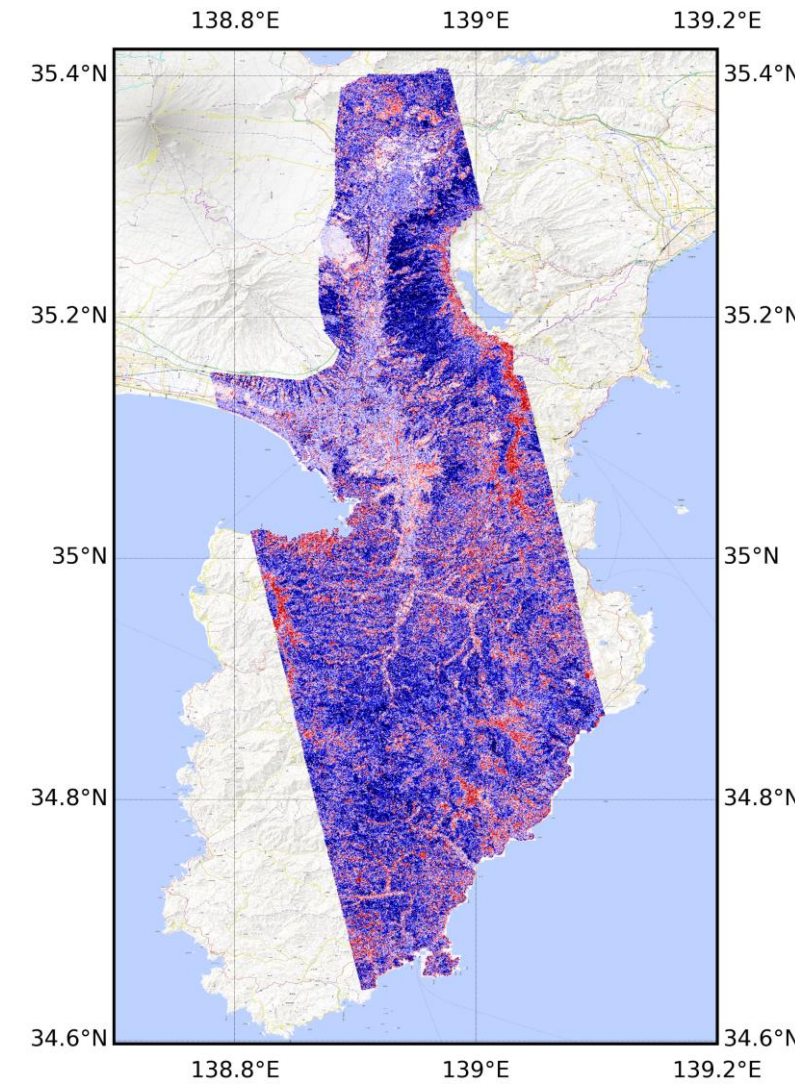
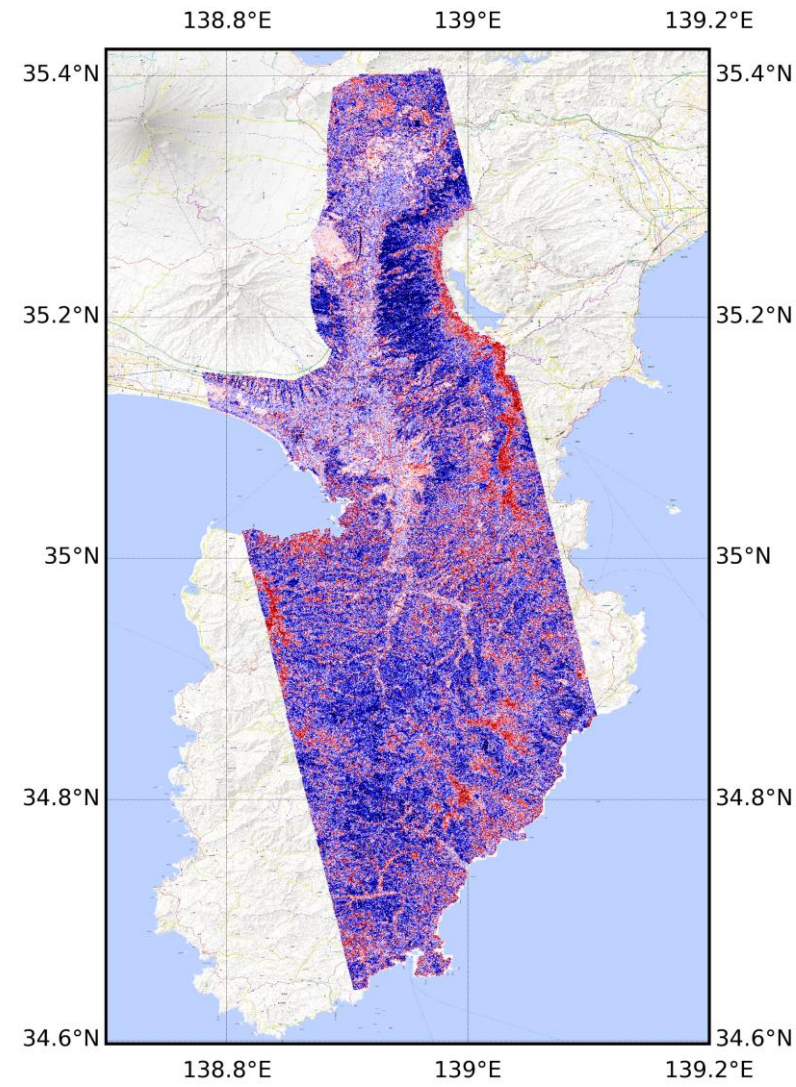
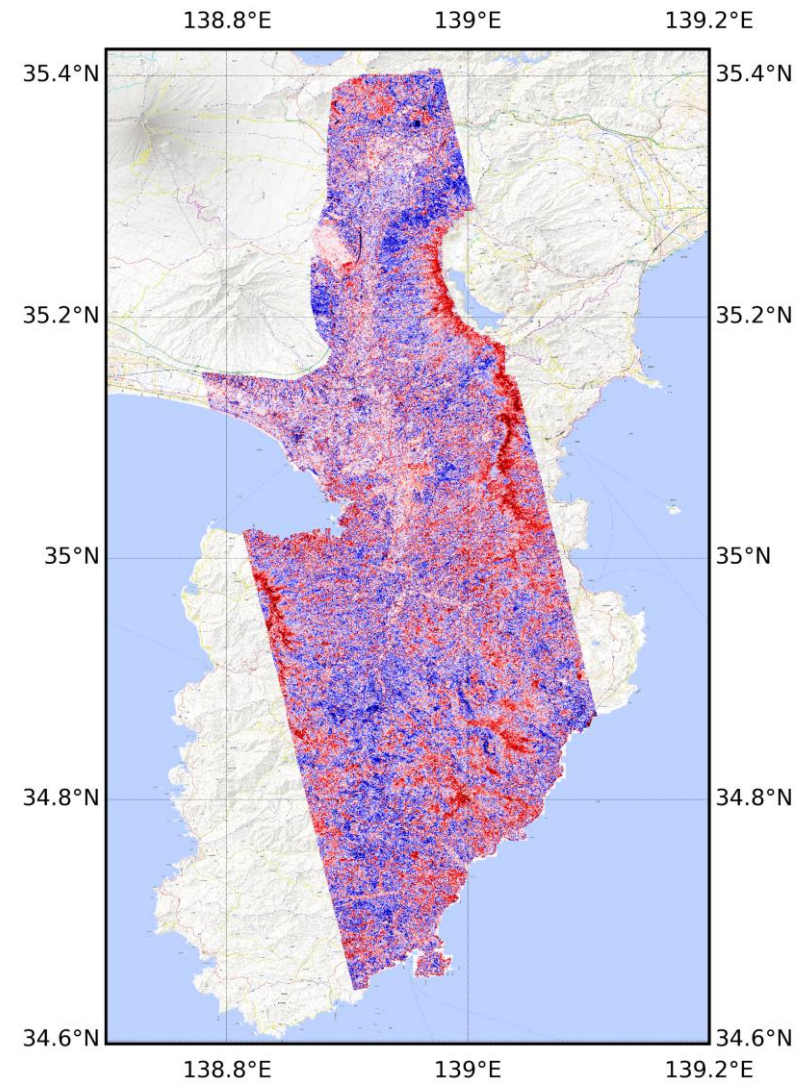


シミュレーションのみ  
(L2 loss)

GEDI L2A  
(L2 loss)

GEDI L2A  
(Welsch loss)

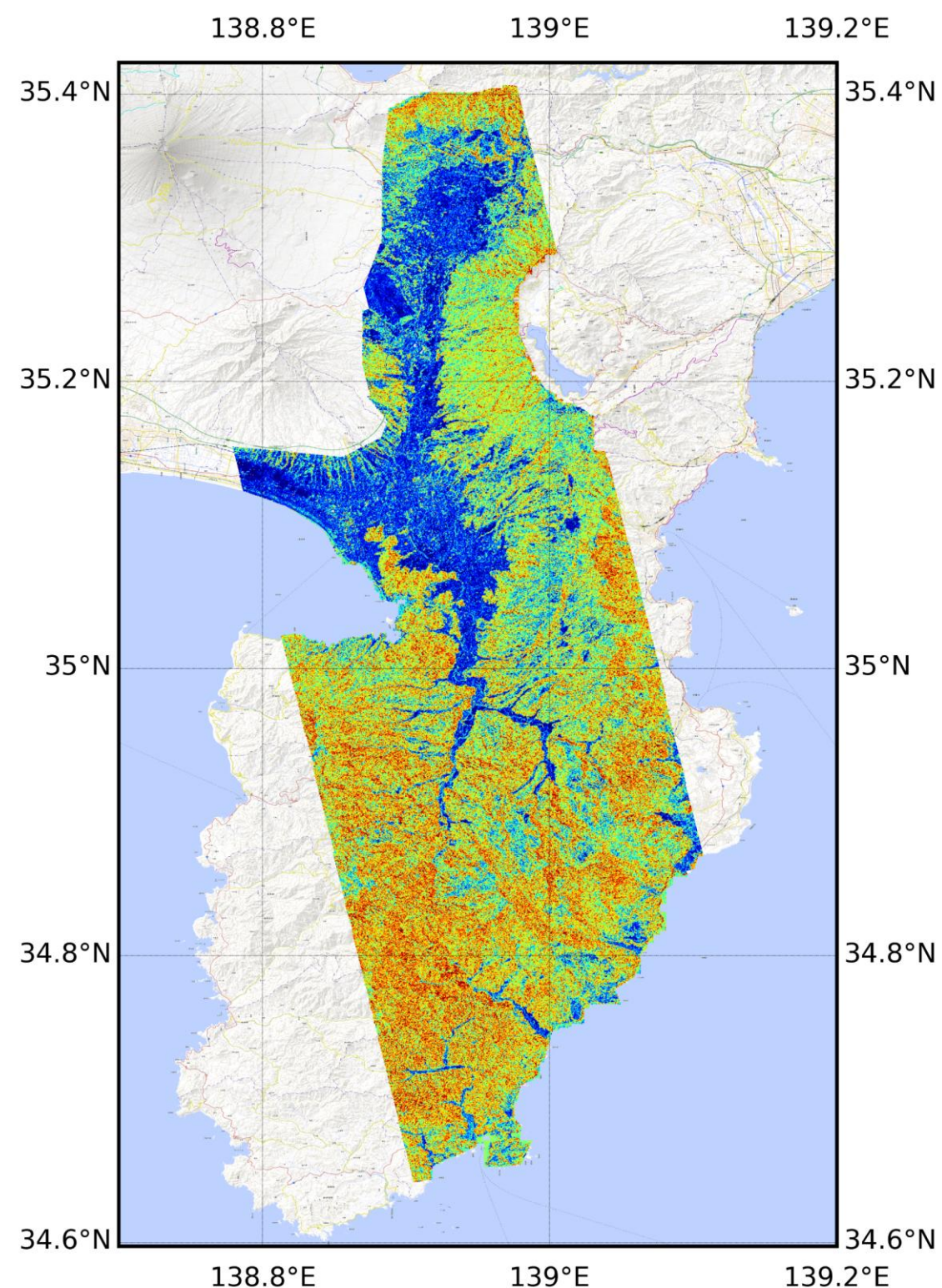
GEDI L2A  
(Welsch loss,  
Early stopping)



- トレーニングデータ数の少ないRH95の10~20mで誤差が大きい傾向がある

## Aleatoric error

教師データ  
そのもののばらつきに起因

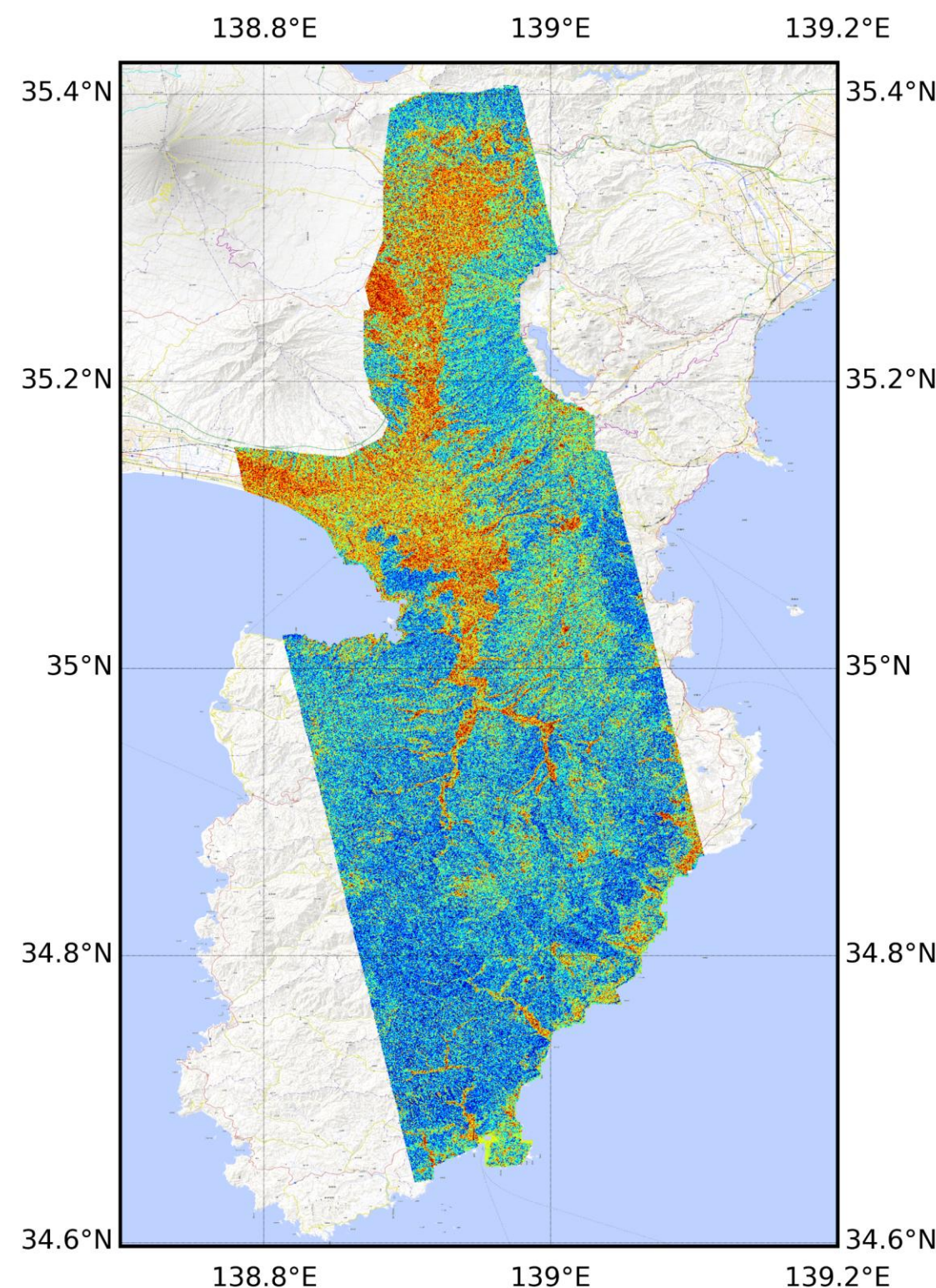


aleatoric  
error



## Epistemic error

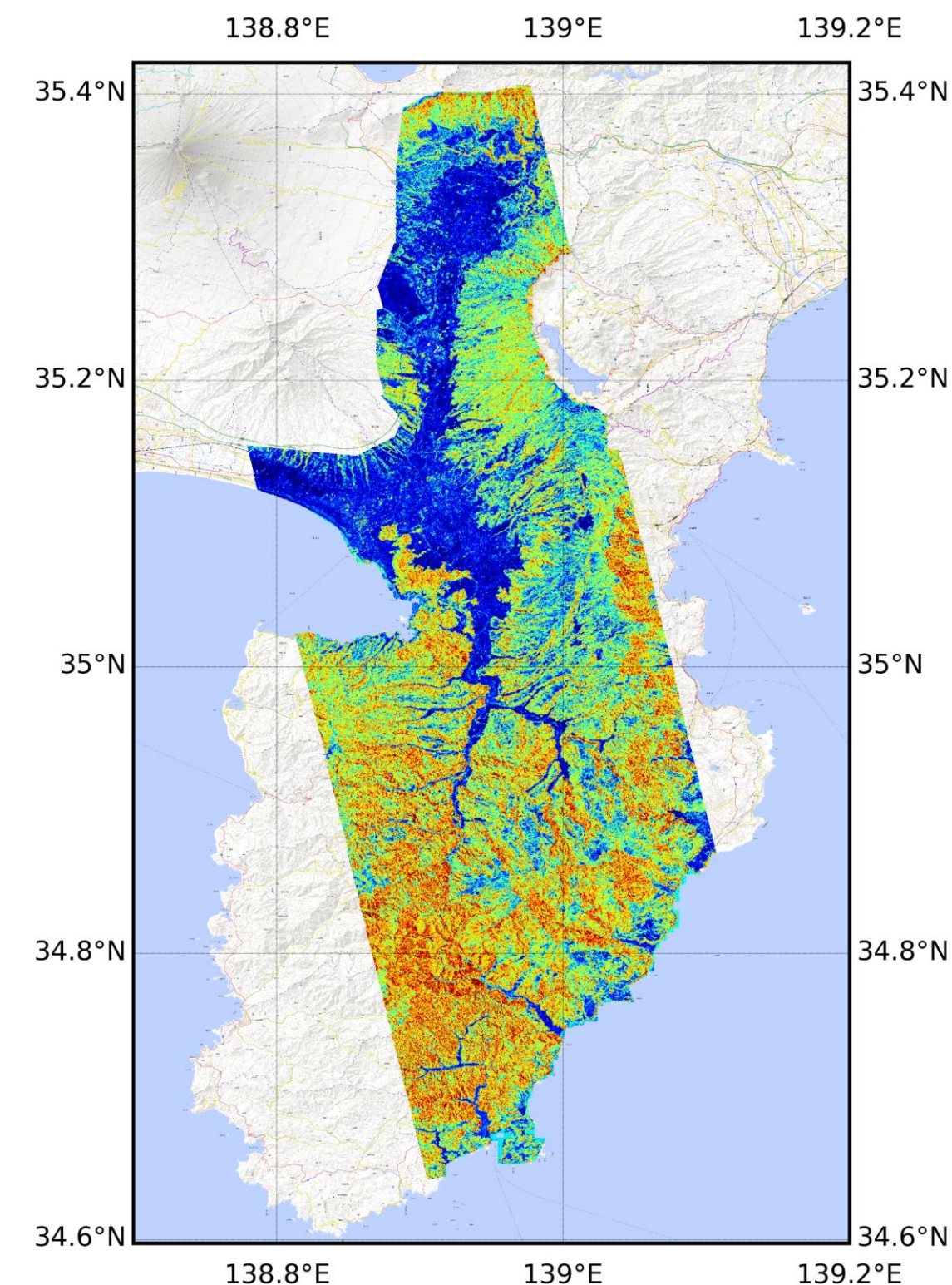
教師データの不足に起因



epistemic  
error



## virtual count



$v$   
(virtual count)



- 非森林域（都市など） → 見たことのないデータだが教師データのばらつきが小さい
  - 森林域 → 見たことのあるデータだが教師データのばらつきが大きい
- 森林域は自信をもって間違えている

## 謝辞

本研究の一部は本研究の一部は外部資金(JSPS科研費 23K23657, JAXA EORA3 JX-PSPC-565577)の助成を受けた.

# 福岡都市圏における大気汚染物質の動態： 地上からのホルムアルデヒド (HCHO) リモートセンシング観測



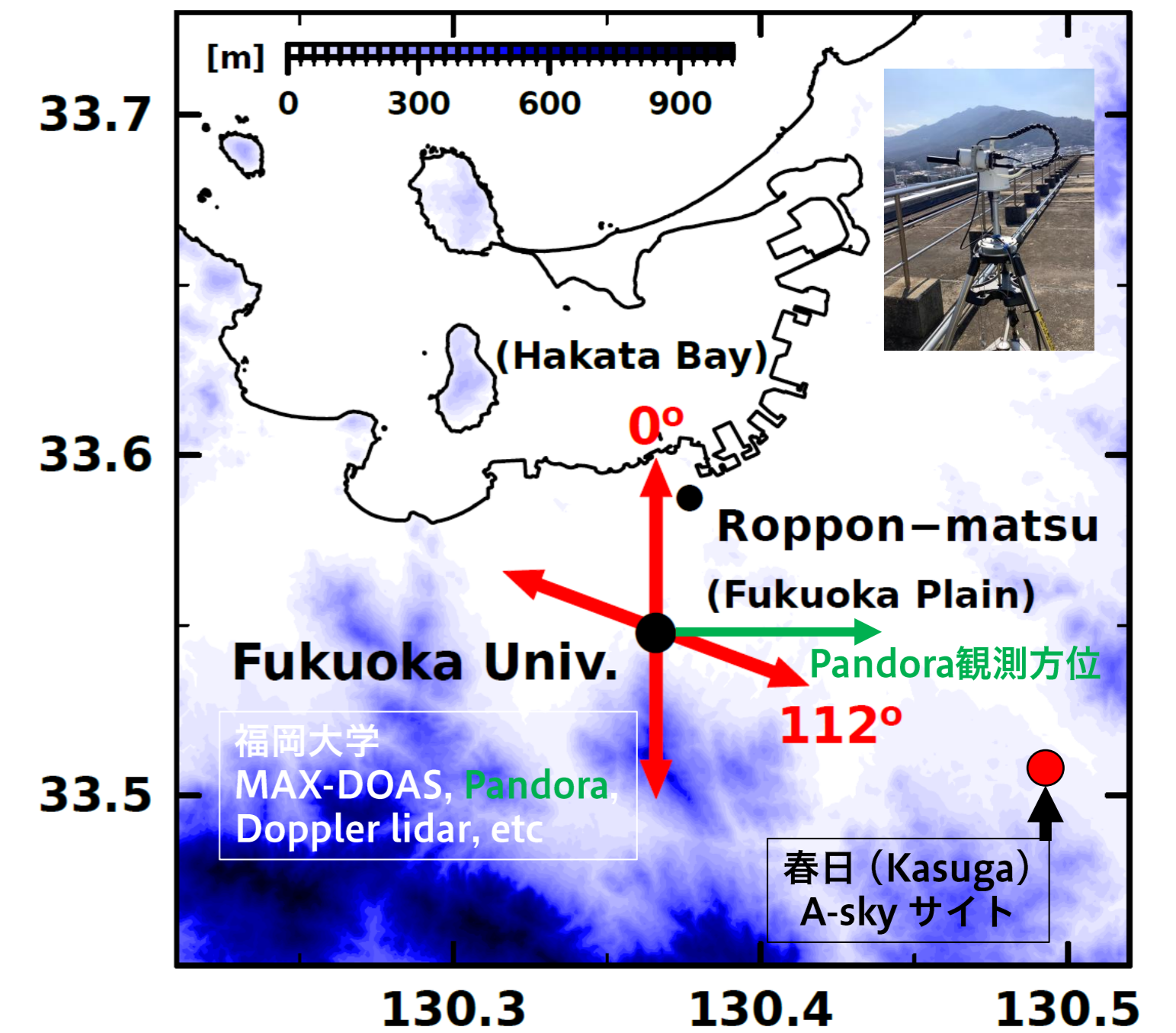
SciGlob社Omar Abuhassan氏  
(2024年11月福岡大学にて)

高島久洋\* (福岡大学理学部), 百合優花 (福岡大学理学部), 乙部直人 (福岡大学理学部),  
入江仁士 (千葉大学), 藤縄環 (国立環境研究所)

## ◎ はじめに

大気汚染物質の発生・光化学反応化学過程が複雑な都市域での大気汚染物質の動態 (時空間変動) を明らかにすることは、大気環境、大気中の光化学反応過程を理解する上で重要である。これまで都市圏における大気汚染物質の動態を明らかにするため、太陽散乱光を利用した地上からの分光観測、ならびに分光観測手法の高度化を行ってきた。大気汚染物質 (微量成分) の分布は、輸送・拡散など物理的側面と、化学的側面 (光化学反応過程) があり、本発表では後者に焦点をあて、太陽光を利用したPandora装置の観測により福岡都市圏におけるホルムアルデヒド (HCHO) の動態についての解析結果を発表する。

ホルムアルデヒド (HCHO) はオゾン生成に関する光化学反応で中間生成物質であるとともに、それらの光化学反応が進む過程で新粒子が生成 (SOA) されることから、大気化学反応過程ならびに地球の放射収支を考える上で重要である (e.g., Stavrou et al., 2009)。HCHOの起源は、地球規模ではメタンの酸化・バイオマス燃焼があげられるが、都市域では人為起源と自然起源 (植物) の揮発性有機化合物 (NMVOCs) も重要であり、光化学反応による酸化・分解により生成されると考えられている。本研究では福岡都市大気中の光化学反応過程を理解するため、HCHOの時空間変動・変動要因を明らかにすることを目的とした。



## ◎ ホルムアルデヒド (HCHO) のリモートセンシング観測

Pandora は太陽直達光・散乱光の分光観測から大気中の微量ガス成分観測 (カラム量、鉛直分布、地表濃度) を行う装置で、はNASA/GSFCで開発され、NASA・ESAのサポートのもと発展し、Pandonia Global Network (PGN) として世界的な観測網を展開している (現在世界170地点以上で観測を実施。詳細はPGNサイト: <https://www.pandonia-global-network.org>)。日本ではJAXAとJMSTECで観測を開始し、2021年からは国立環境研がGOSAT-GWの検証等を目的とし日本の多地点で観測網を構築した (福岡はその1地点)。

Pandoraは太陽直達光観測と低仰角差分吸収 (MAX-DOASモード) 観測を合わせて大気微量成分を観測しており、本研究では2022年~2024年の地表データ (HCHOならびにNO<sub>2</sub>) を解析した (福岡大学には2021年11月に設置)。なお福岡での低仰角観測時の観測方位は東方向である (右上図)。なおPandoraの観測データはPGNサイトからダウンロード可能である。HCHO地表濃度データ (数密度) の誤差 (エラー) は季節依存性があり、10% (夏)~30% (冬)であった。また解析には福岡管区気象台で観測している気象データ (全天日射量・降水・気温など) をもちいた。

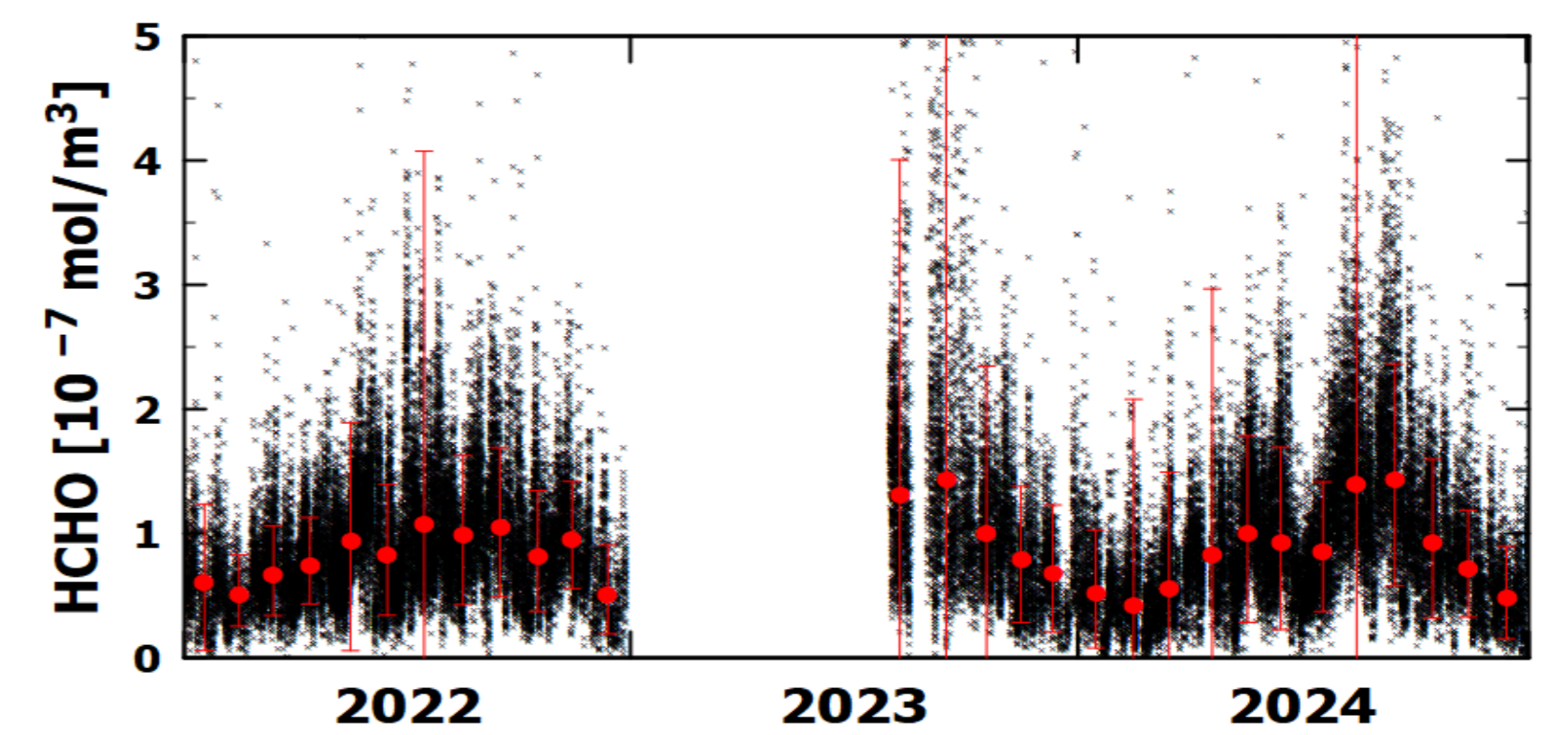


図1. Pandoraにより観測した福岡における地表ホルムアルデヒド数密度の時系列 (2022年~2024年。赤丸は月中央値)。

## ◎ 結果・考察

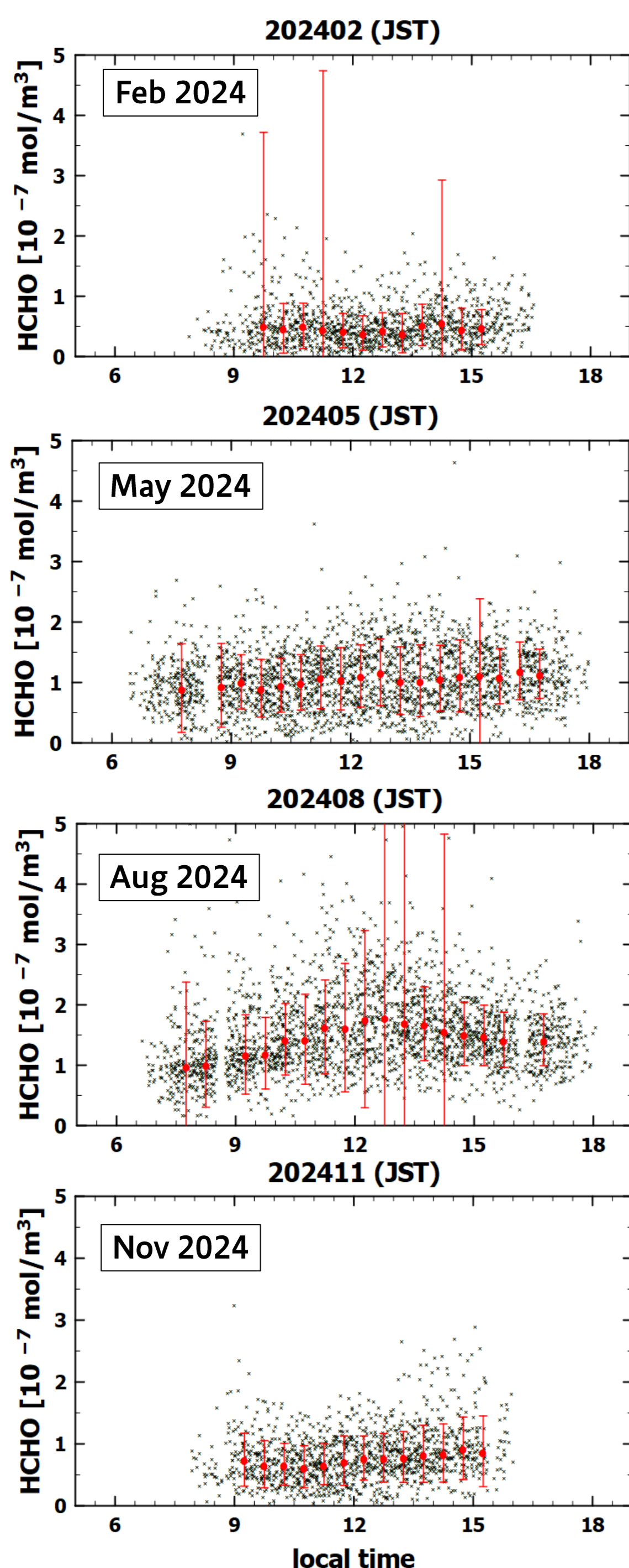


図2. Pandoraにより観測した福岡における地表ホルムアルデヒド数密度の日変動 (2024年2月, 5月, 8月, 11月)。

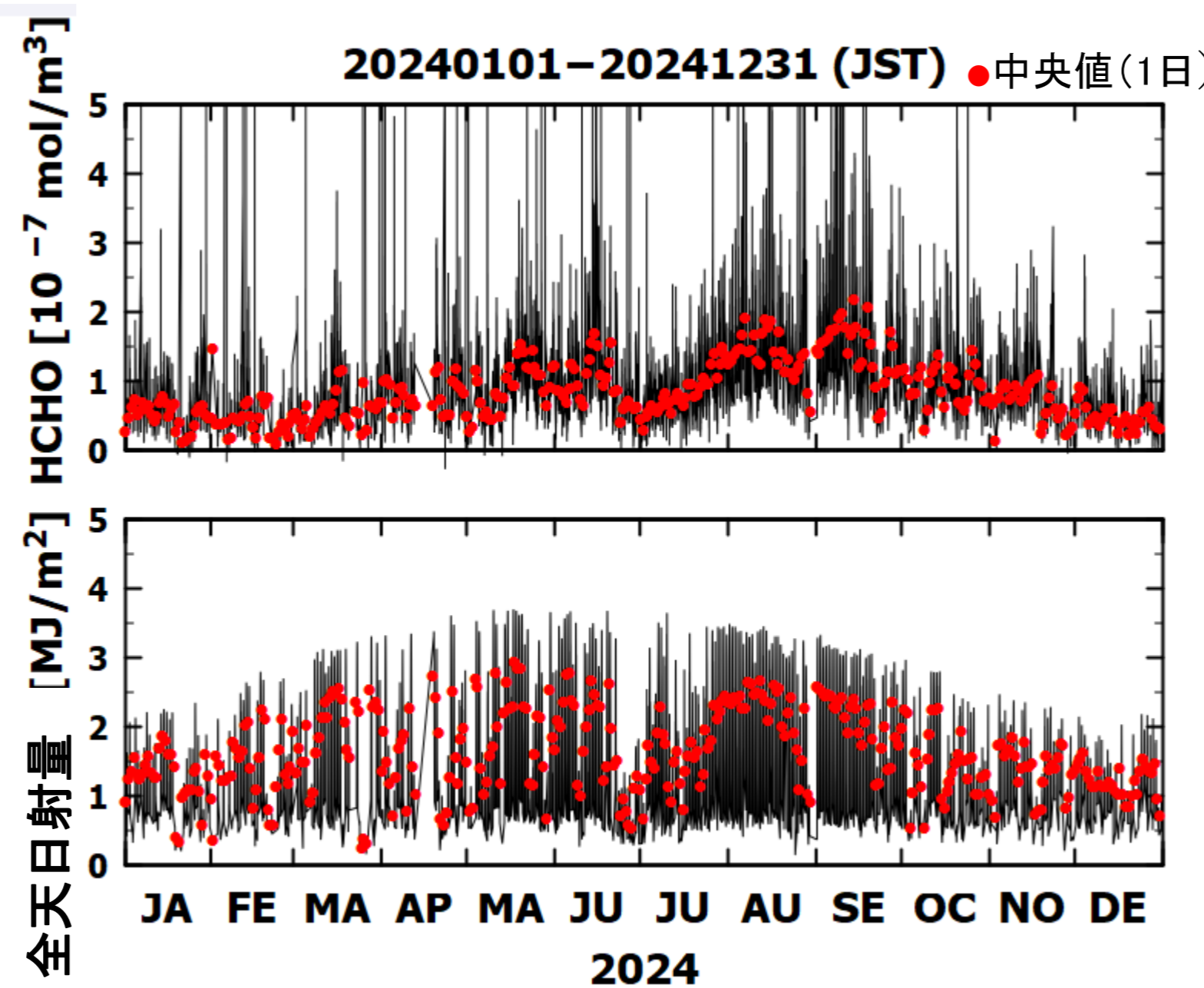


図3. 地表ホルムアルデヒド (上) と全天日射量 (下) の時系列 (2024年)。

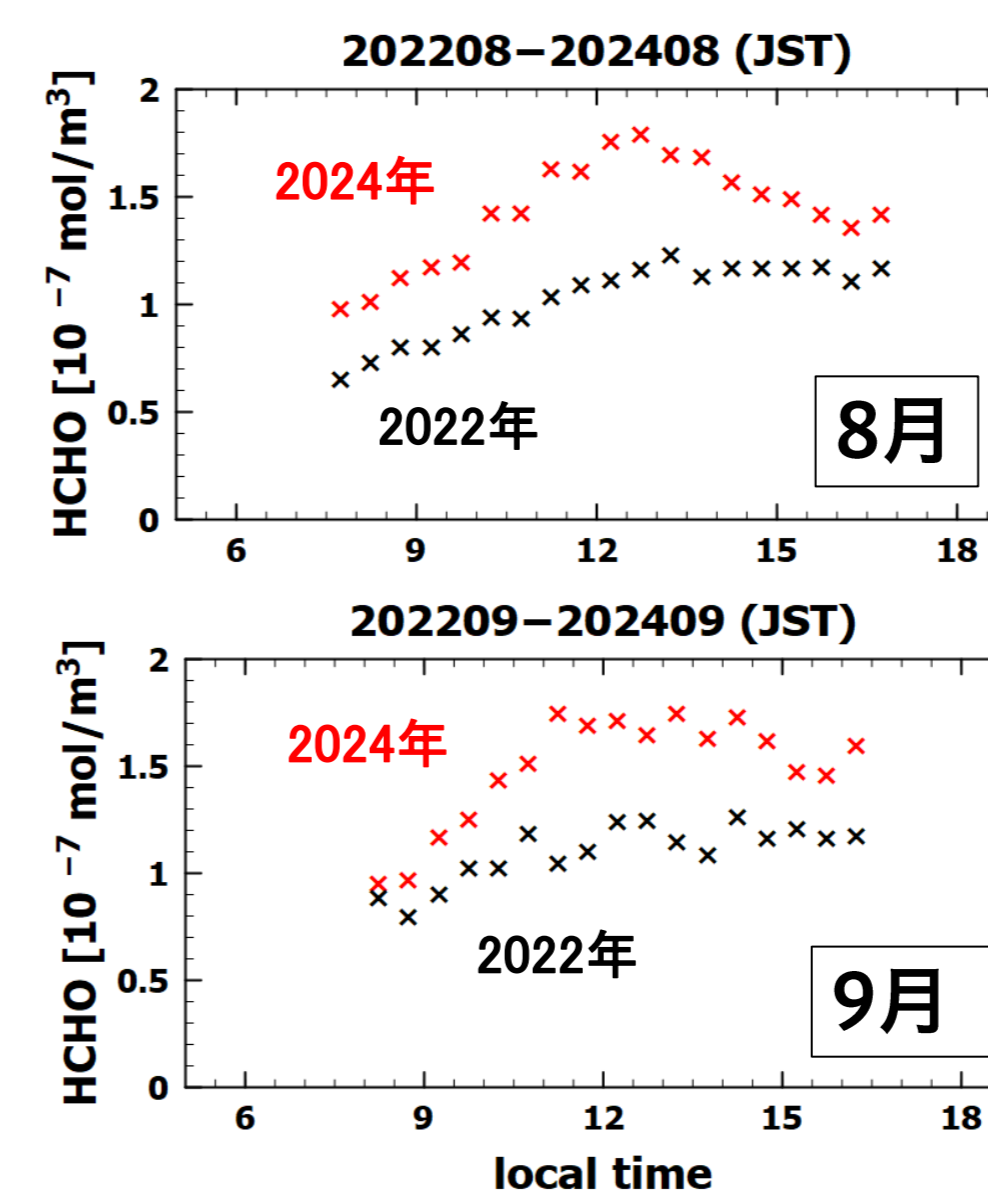


図4. 地表ホルムアルデヒド濃度の日変動 (中央値。上図8月、下図9月、黒色2022年、赤色2024年)。

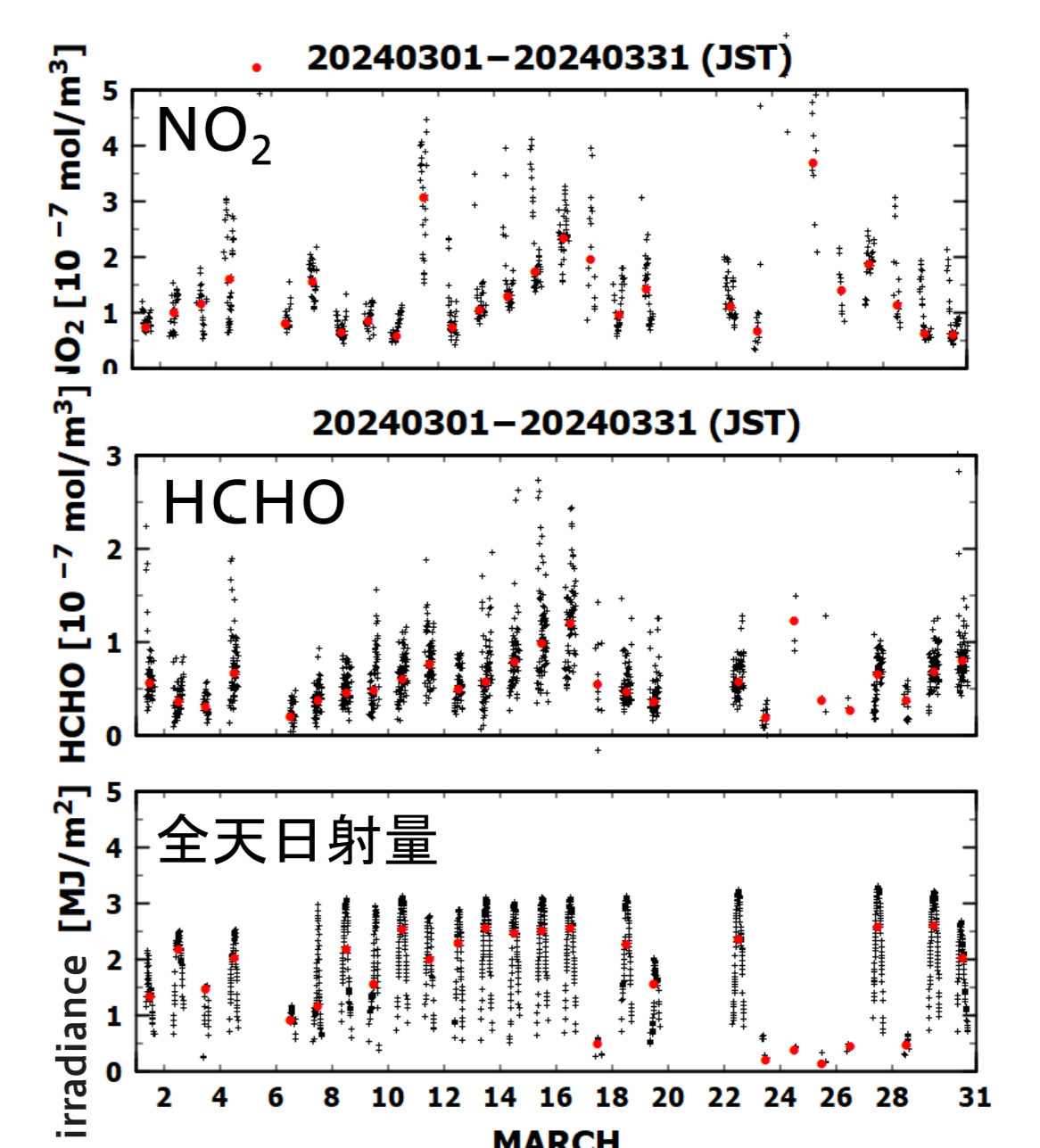


図6. 2024年3月の二酸化窒素 (NO<sub>2</sub>)、ホルムアルデヒド (HCHO)、全天日射量の時系列。

冬季極小、夏季極大の1年周期の変動が卓越。変動性も夏季が高く (図1)、日変動の振幅も夏季大きい (図2)。全天日射量とHCHOが正相関 (図3, 4)。

夏季2024年は2022年と比べて濃度が高く、日射量も多い (図3, 4)。また2024年は日中の極大が明瞭 (図5, 2022年は単調増加)。2024年は、日射と関連して気温も高かったことから、植物起源VOCsの発生量が多いこともHCHO増大要因の一つの可能性。

日射量が多いがHCHO濃度が低い事例は春季に観測。2024年3月の事例のように (図6)、日射が多いが低HCHOの場合、二酸化窒素・オゾンも低濃度で (HCHOとNO<sub>2</sub>・O<sub>3</sub>は正相関)、人為起源VOCsも春季は重要 (大気が清浄な状況下でHCHO濃度は上昇しない)。

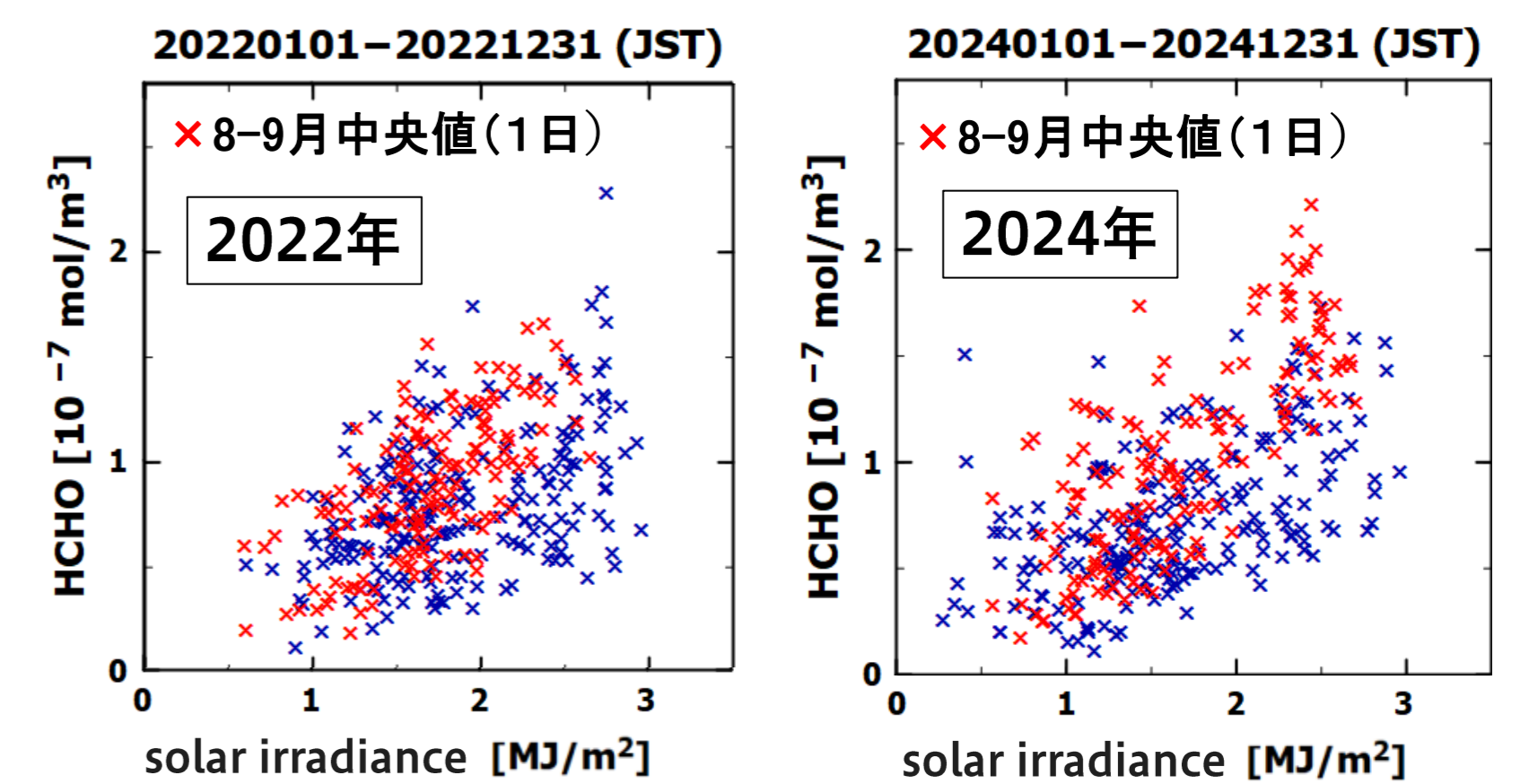


図5. 全天日射量とホルムアルデヒド数密度の散布図 (左2022年, 右2024年。赤は8-9月について示す)。

## ◎ まとめ・展望

Pandoraにより福岡都市圏の地表付近のホルムアルデヒド (HCHO) 濃度について、季節変動・日変動・経年変動について調べた。夏季と春季で増大の要因が異なることが示唆された。

MAX-DOAS 観測データ (福岡大学ならびに春日 (A-sky) サイト) との鉛直分布比較  
衛星データ (TROPOMI, GEMS) との比較、MAX-DOAS 鉛直分布導出方法の高度化検討  
地表VOCデータ (NMHC等) の解析 (起源推定)、光化学反応過程の検討

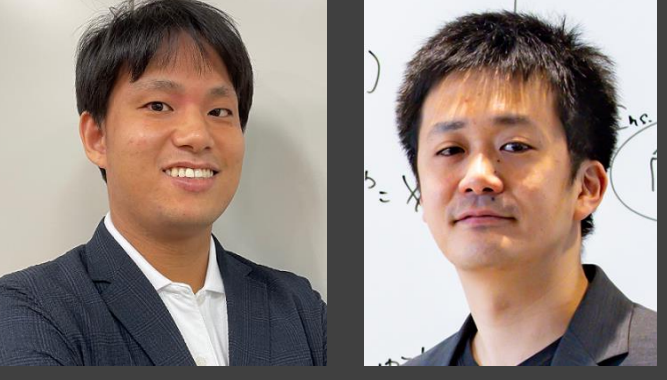
## ◎ 謝辞

福岡のPandora観測データは PGNサイトの地表L2データを、気象観測データ (福岡管区気象台における気温、全天日射量、降水量等) は気象庁提供のデータをもちいた。図の作成には地球流体電脳ライブラリをもちいた。

# 陸面データ同化システムの開発とAMSR2土壌水分観測の同化



塩尻 大也, 小槻 峻司  
千葉大学環境リモートセンシング研究センター  
(shiojiri.daiya@chiba-u.jp)



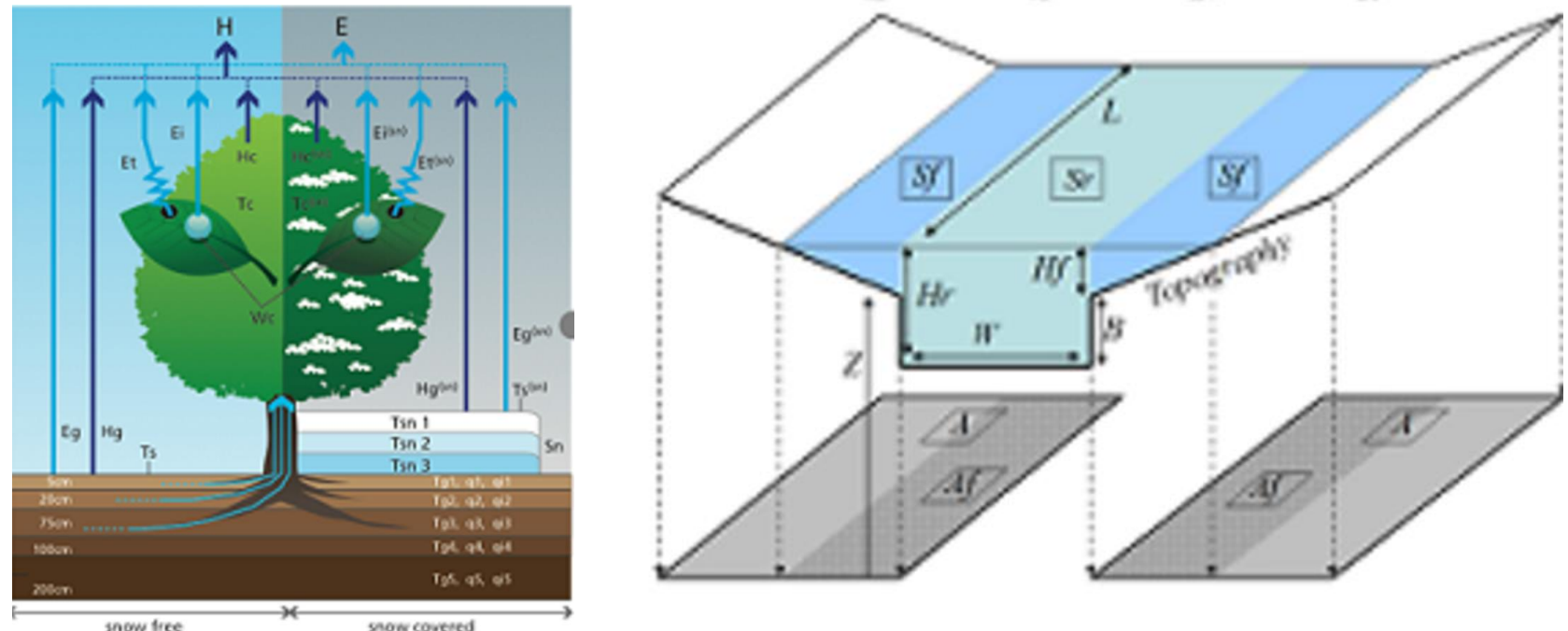
## 概要

- 衛星観測 + モデル で両者のいいとこどりがしたい! → 陸面データ同化システム ILS-LETKF の開発
- AMSR2 の土壌水分同化をフラックス観測サイトで実験 → CDFマッチング (バイアス軽減) で成功・精度向上!

## 陸モデルとは

陸上の水動態・炭素循環等を解析するモデルの総称

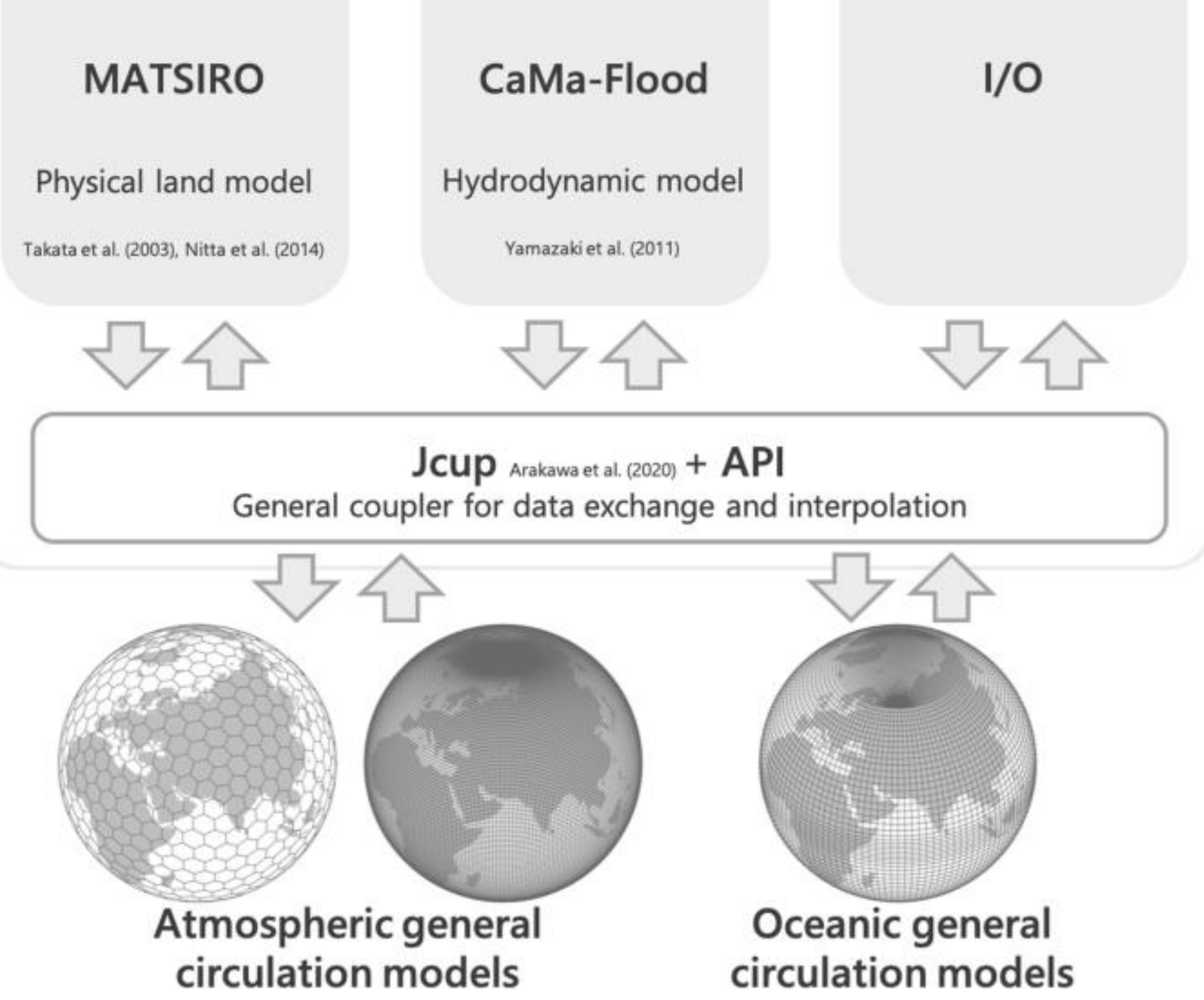
例えば...



陸面過程 河川・氾濫  
さまざまなモデルを統合

## Integrated Land Simulator (ILS)

Nitta et al. (2020)



## 陸モデル vs. 衛星観測

陸域モニタリング手法の Pros. & Cons.

- 陸モデル**
  - 様々な状態変数を推定可能
  - △ しばしば実際の状態から乖離
  - △ 一般的に膨大なパラメータ
  - △ 経験式に基づくことによるバイアス
- 衛星**
  - 実際の状態を反映
  - △ 基本的に地表面のみが観測可能
  - △ 観測域・観測時間の制限
  - △ 状態変数の直接観測でない
- データ同化なら互いの利点を融合可能**

## 陸面アンサンブルデータ同化

衛星観測

データ同化

モデルと観測の融合

様々な状態変数を、実際の状態に即した形で推定

アンサンブル計算で 予報誤差共分散を近似 → 平均と各メンバーの差

$$P_t^b \approx \frac{\delta X_t^b (\delta X_t^b)^T}{m-1}$$

データ同化で求められた解析値を初期値に

予報値と観測値の重み付け平均

より真値に近い(はずの)解析値を得る

解析誤差共分散 → 小次の予報で誤差共分散が十分に拡大しない可能性 → インフレーション

全アンサンブルに同一降水

異なる初期条件

ほとんど同じ結果 (飽和)

アンサンブル振動が縮退

$P_t^b \approx 0$

→ 予報値をほぼ100%信頼

アンサンブルごとに異なる降水

異なる初期条件

アンサンブル振動が生まれる = 誤差共分散のインフレーション

## 実験設定

- ILS-LETKF の実行には、全球データのみを使用
- FLUXNET2015 の土壌水分分量観測データを正解として精度検証

対象サイト: AU-Stp

アンサンブル数: 20  
観測誤差: 15 %

気象強制力に与える摂動

	Prec	SWdn	LWdn
Std. dev.	0.5	0.5	50 W/m <sup>2</sup>
Inflation	Multi	Multi	Addit

Reichle et al. (2007)

## 実験結果

AMSR2 観測値を直接同化した際の時系列

Soil Water Content (SWC) at Layer 1

- モデル: ILS-LETKF, AMSR2, FLUXNET2015
- 観測: AMSR2, FLUXNET2015

- モデルと観測の間に大きなバイアス
- 少雨期間に同化されない (バイアスが軽減されない)
- 少雨期間に降水があっても、むしろ土壌水分が減少

バイアスの影響をCDFマッチングで軽減

CDF Matching of AMSR2 SWC with Open-loop Simulation

CDFマッチング

変換後

元々の AMSR2

vs. FLUXNET (reference)	相関係数	RMSE
AMSR2	0.777	0.0340
同化なし	0.767	0.0421
ILS-LETKF	<b>0.787</b>	<b>0.0353</b>

改善 改善

AMSR2 + CDFマッチング → 精度向上

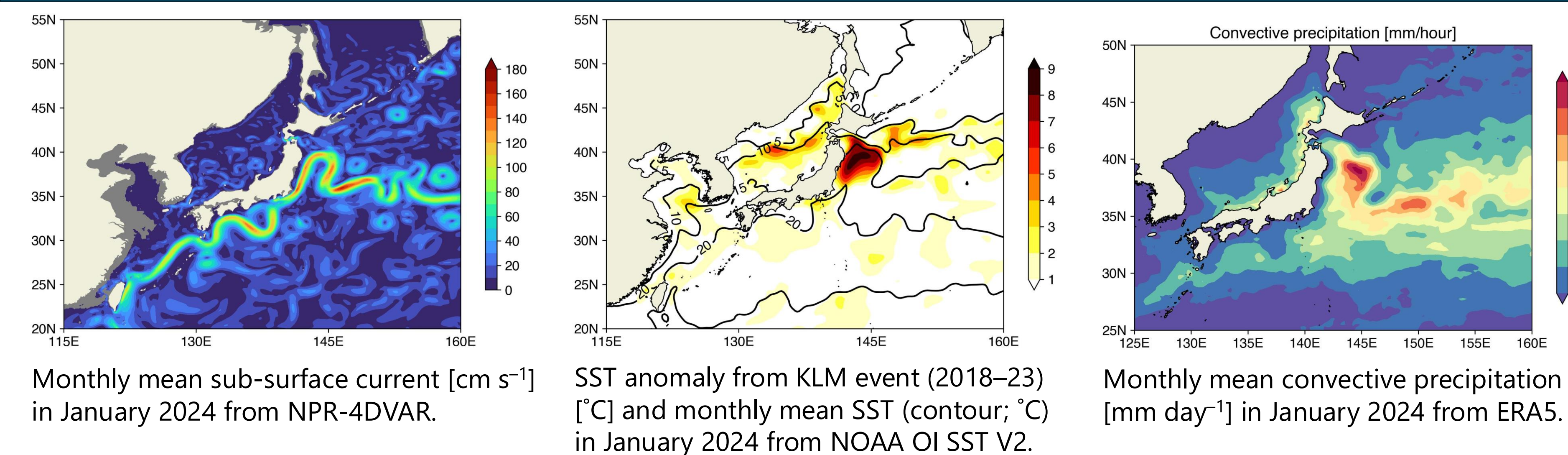
# 黒潮続流の異常北偏が冬季の海上大気に及ぼす影響に関する数値実験

青野憲史 (千葉大CEReS), 杉本周作 (東北大院理), 岡崎淳史 (千葉大IAAR)

## Conclusions

- **Marine heatwave over the Sanriku coast due to meander of the Kuroshio Extension accelerated westerlies via momentum vertical mixing.**
- **Wind convergence at leeward of the marine heatwave intensified precipitation, indicating impacts to free atmosphere.**
- Vertical structures of vertical wind and temperature showed an anomaly of counterclockwise circulation which might reach middle troposphere.
- This Kuroshio Extension meander event also induced synoptic scale responses through upper troposphere circulation although background mechanisms were not revealed.

## Introduction



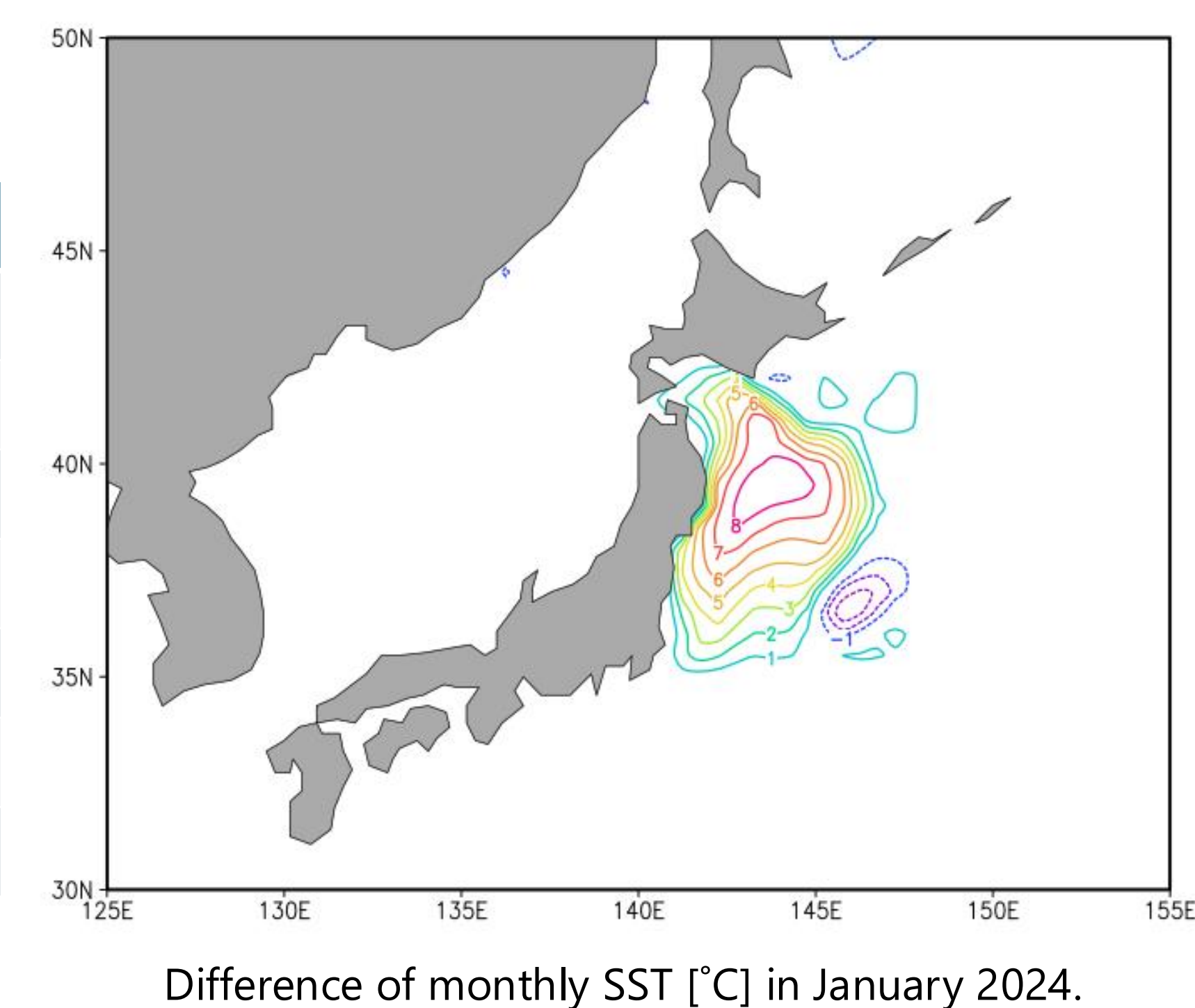
- **Kuroshio Extension (KE)** has **meandered** northward since spring 2023 and reached off coast of the Iwate and Aomori prefectures (i.e., the Sanriku coast).
  - Sea surface temperature (SST) anomaly from the Kuroshio large meander (KLM) event (2018–2023) exceeded  $8^{\circ}\text{C}$  in January 2024.
  - ✓ **Marine heatwave (MHW)**
- Convective precipitation along the Kuroshio
  - Strong convective precipitation around the Sanriku coast ( $\sim 9 \text{ mm day}^{-1}$ )
- This MHW will release a large amount of heat because of cold-dry north-westerlies from the Eurasian continent.
  - **Potential to drive large-scale circulation**

**Objective:** To investigate atmospheric responses due to MHW over the Sanriku coast in January 2024.

## Methods

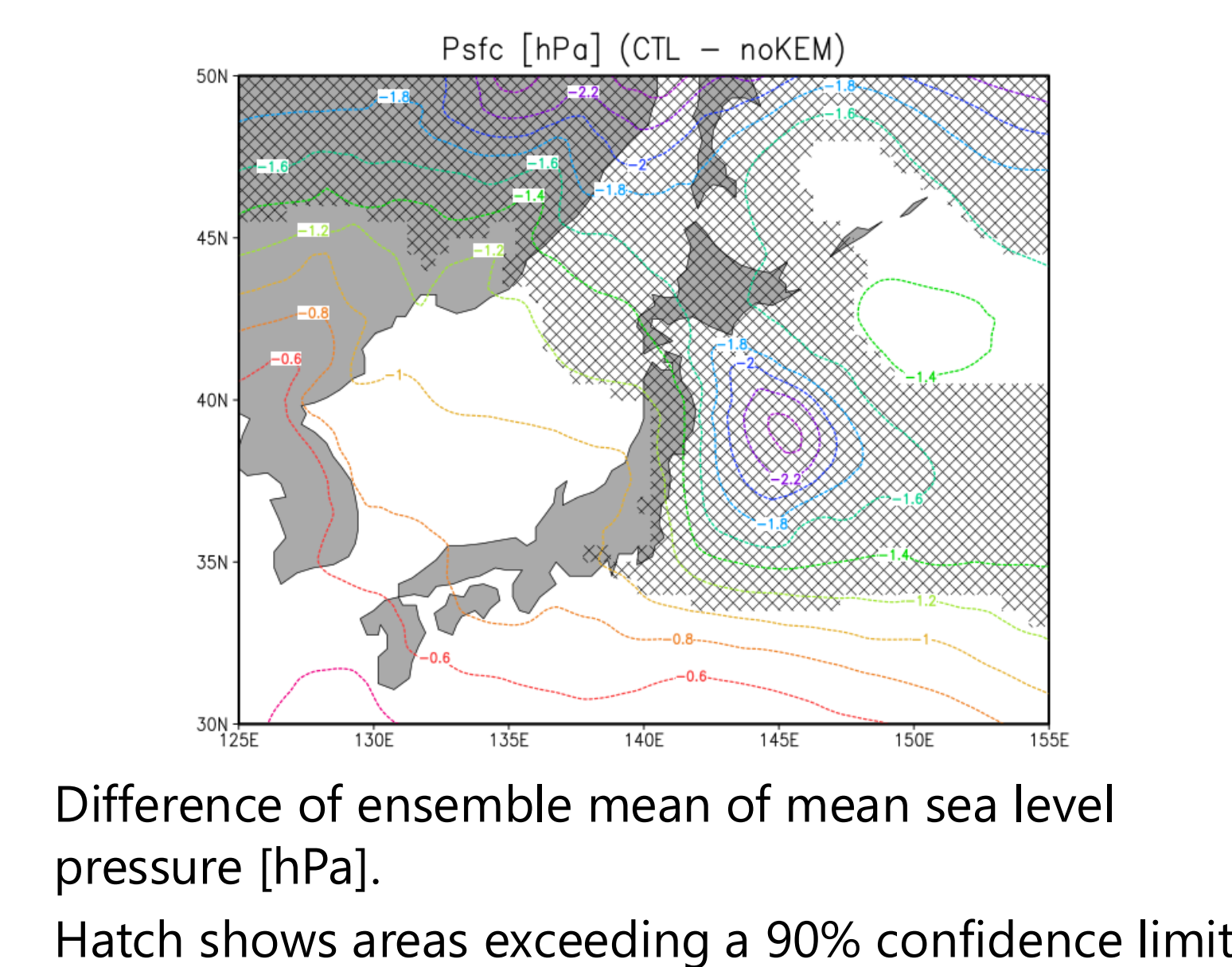
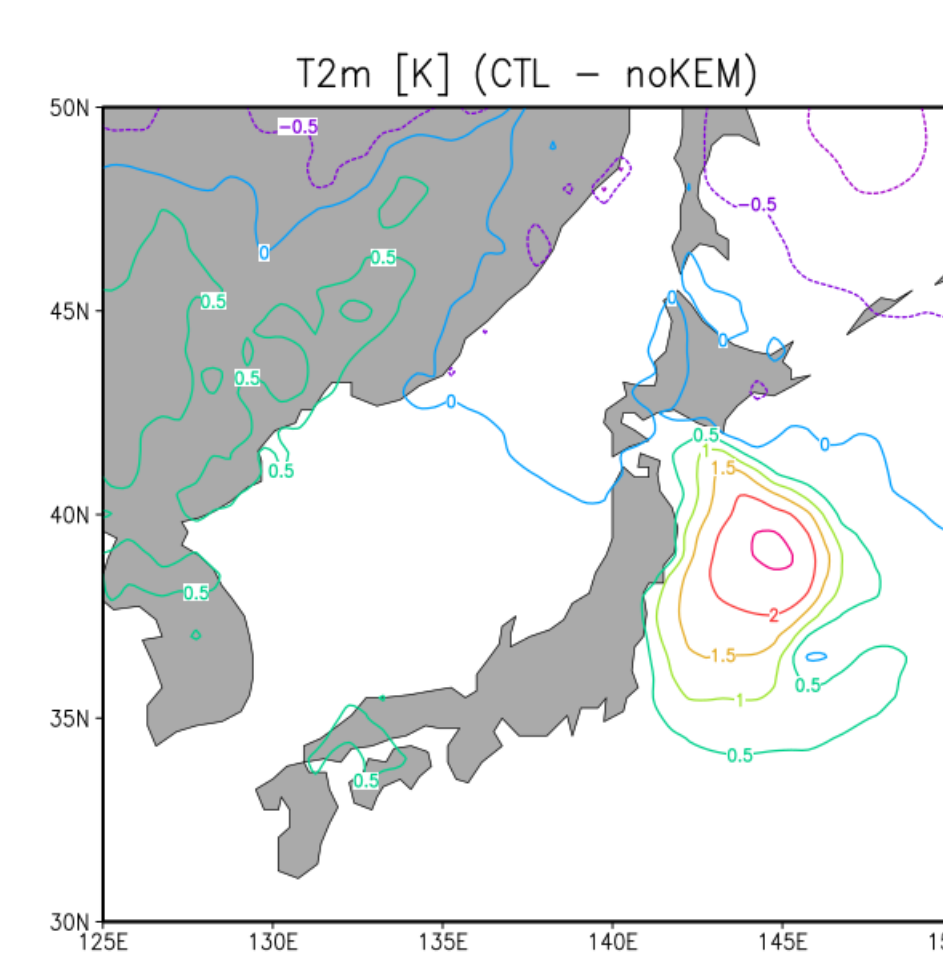
- **Model:** WRF (ver. 4.5)
  - Integration period (UTC): 0000 on December 22 in 2023 -> 1800 on January 31 in 2024
  - Numerical domain:  $3.5^{\circ}\text{S}$ – $79.5^{\circ}\text{N}$
  - **Periodic condition at x-boundary**
- **Input data**
  - Atmosphere: ERA5 reanalysis, 6-hourly, **10 member** ( $1.25^{\circ}$ )
  - SST & Sea ice: OI SST V2, daily ( $0.25^{\circ}$ )
  - ✓ **CTL** run
- **Experimental design:** Sensitivity experiments of MHW on atmospheric responses
  1. Take SST difference between 2024 and KLM event (2018–2023) in January.
  2. Remove anomalies within the Sanriku coast ( $38.5$ – $40.5^{\circ}\text{N}$ ,  $140.1$ – $146^{\circ}\text{E}$ ).
  3. Smooth anomalies by a 1-2-1 filter for 100 times
  - Hereafter, referred as the **noKEM** run

Model configuration	
List	Setting
Horizontal grid spacing	$0.5^{\circ}$
Model top	10 hPa
Cloud microphysics	Purdue Lin
Cumulus scheme	KF
Planetary boundary layer	MYNN2.5
Radiation	RRTMG
Surface layer	unified Noah

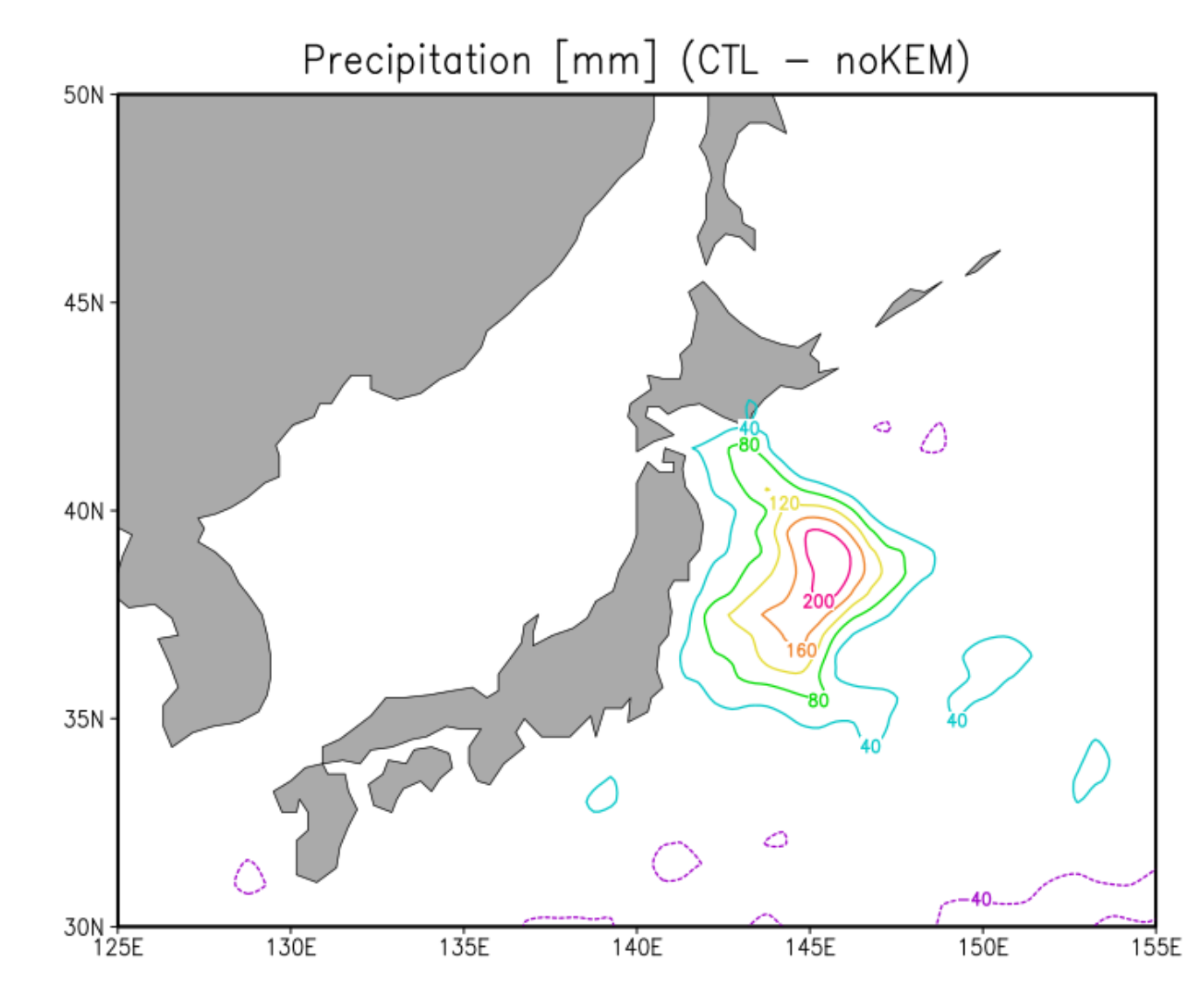
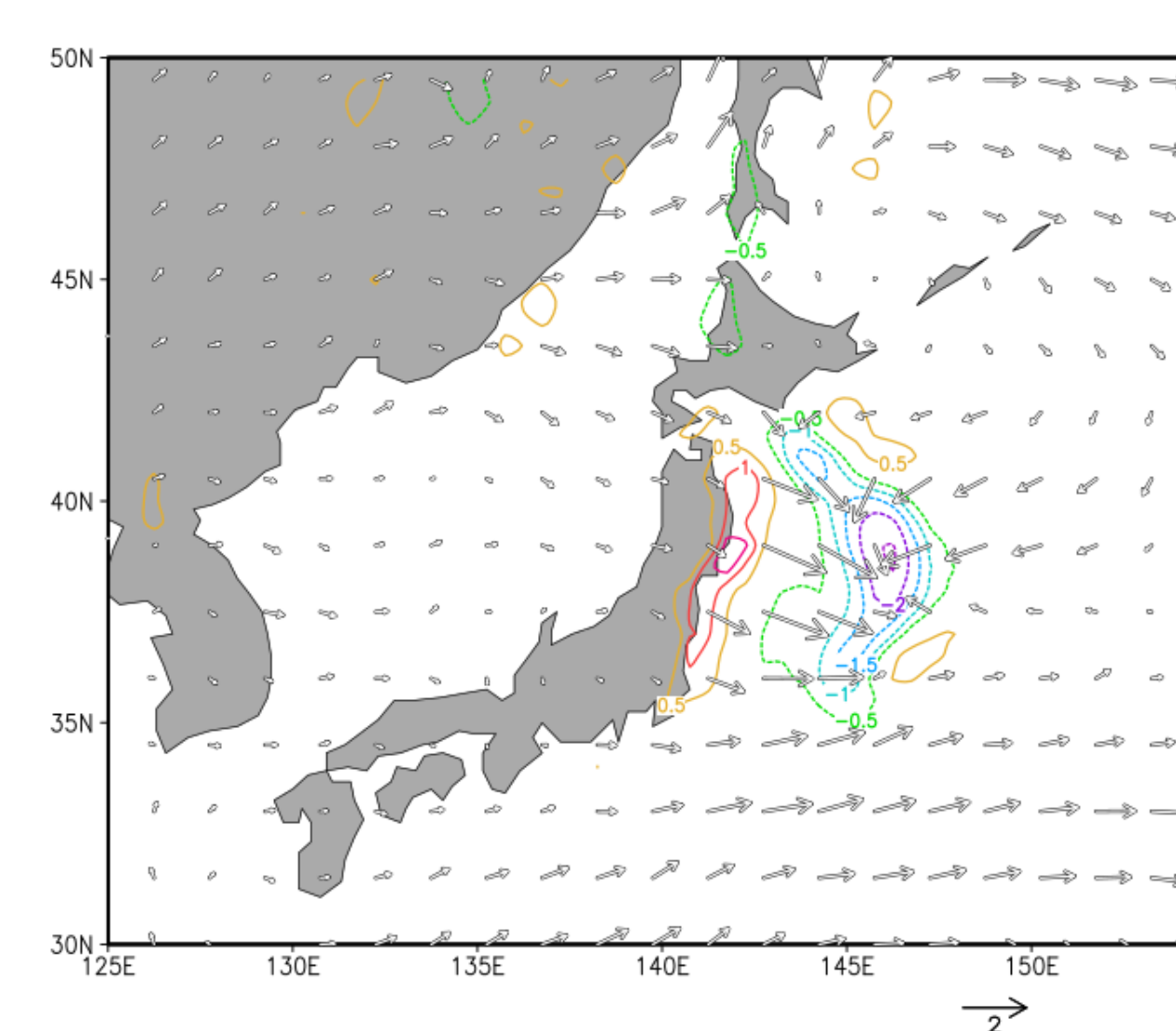


## Results

- **Regional scale responses**
  - MHW warmed atmosphere above the Sanriku coast ( $>2.5 \text{ K}$ ) and induced negative pressure anomalies ( $<-3 \text{ hPa}$ ).
  - MHW intensified surface westerlies (divergence at windward of the MHW).
    - **Vertical mixing of momentum** over the MHW
  - Wind anomalies converged leeward of the MHW.
    - MHW increased precipitation ( $200 \text{ mm month}^{-1}$ ) at  $\sim 146^{\circ}\text{E}$ .
    - **MHW over the Sanriku coast can affect free atmosphere.**



- **Vertical structure**
  - Vertical wind reached below 400 hPa level ( $\sim 146^{\circ}\text{E}$ ).
    - Correspond to the large precipitation anomaly
  - Downdraft at windward of the MHW
    - Anomaly of counterclockwise circulation



- Vertical warm temperature anomaly from 1000 to 600 hPa

### ■ Synoptic scale responses

- MHW also changed upper troposphere.
  - ✓ Waves were propagated from Europe (?)

