

NEDO再生可能エネルギー分野成果報告会2025 プログラムNo.2-3

地熱発電導入拡大研究開発/環境保全対策技術開発/

気象調査代替手法および 新たな大気拡散予測手法の研究開発

発表：2025年07月17日

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

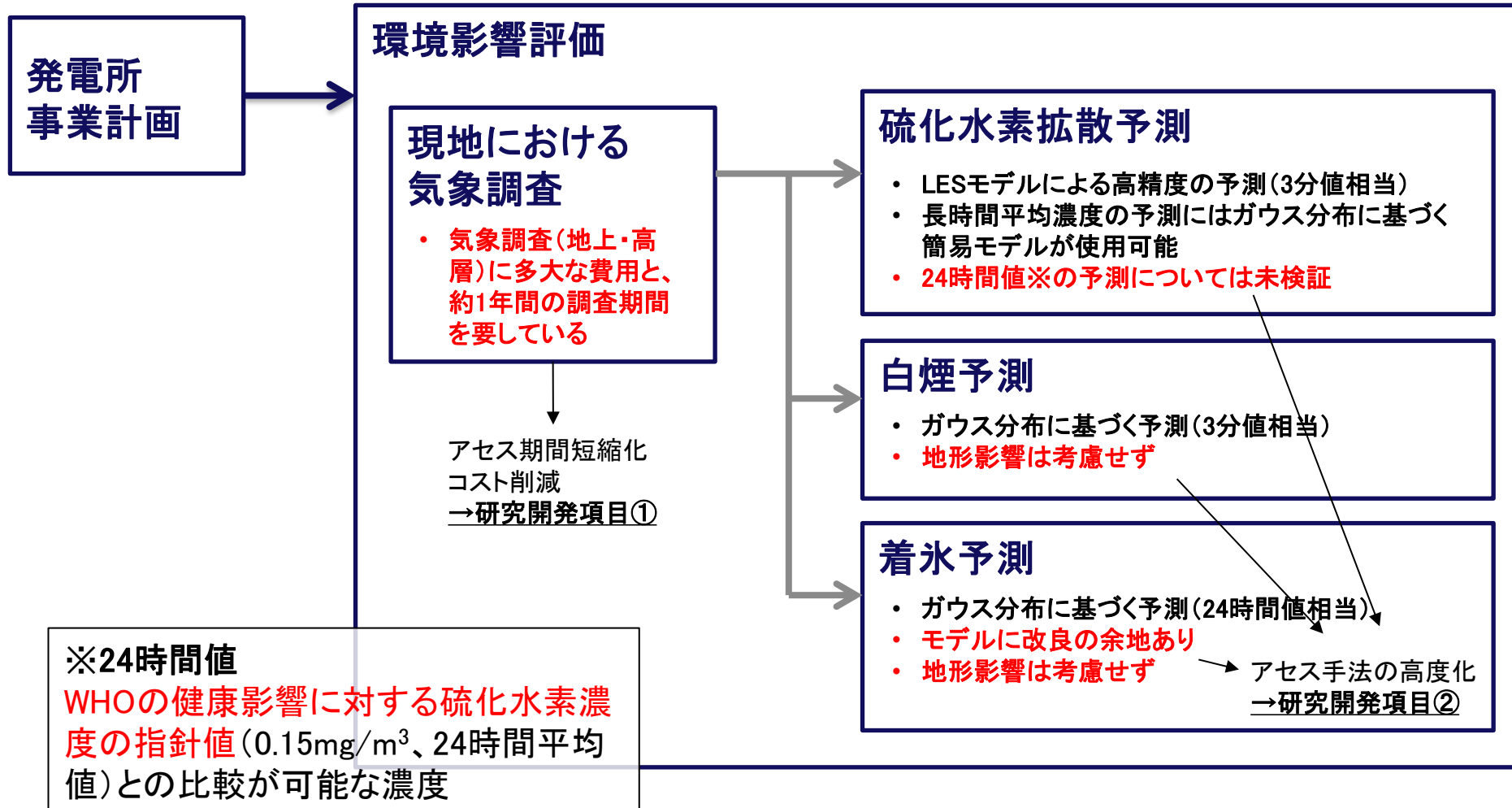
発表者名 瀧本 浩史

*団体名（企業・大学名など）（一財）電力中央研究所、(学)近畿大学

問い合わせ先（一財）電力中央研究所 瀧本

E-mail: h-taki@criepi.denken.or.jp TEL: 04-7182-1182

地熱アセス(大気)の現状と課題



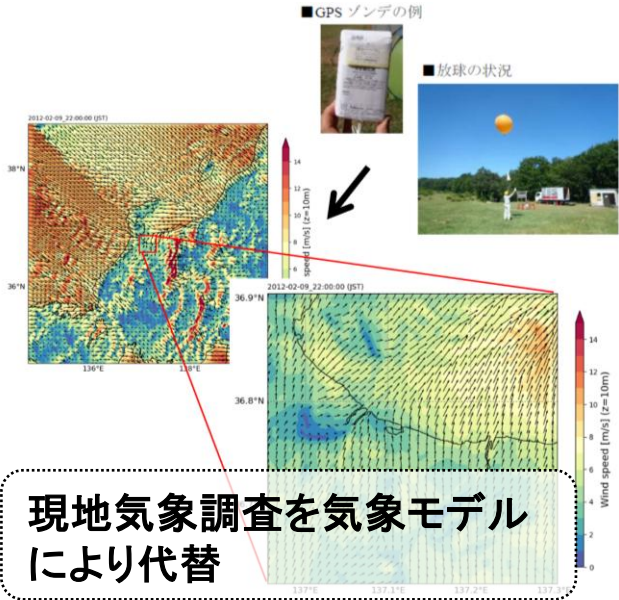
研究開発項目

研究開発項目① 気象調査代替手法の研究開発

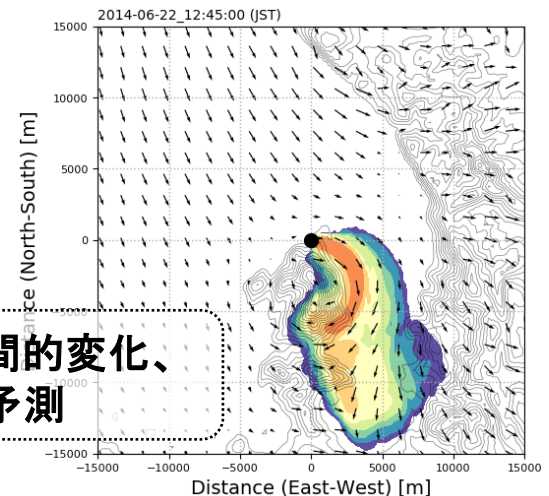
- 地熱発電所の環境影響評価で実施される現地気象調査(地上・高層)を**気象モデルにより代替**
- 気象調査に係る**期間を半分以下**に短縮するとともに、**コストを1/2～1/3に低減**させる。

研究開発項目② 新たな大気拡散予測手法の研究開発

- 気象モデルの出力を活用して、**気象場の空間的・時間的变化**、および、地形影響を考慮した拡散予測手法を開発
- **24時間値の予測**を可能にするなど、アセス手法の高度化を図る。



気象場の空間的・時間的变化、
地形影響を考慮した予測



気象調査代替手法のイメージ

現状

地上気象調査(1年間)

風速、風向、気温、相対湿度、日射量、放射収支量

高層気象調査(1週間×4季節)

風速、風向、気温

代替

将来

気象モデルの実行(1年間)

風速、風向、気温、相対湿度、日射量、放射収支量、高層の風速・風向・気温

CFDモデルによるダウンスケーリング

風向・風速の高精度化

機械学習による地上風速・風向の補正

風向・風速の高精度化

環境影響評価書の作成

調査結果の整理

硫化水素拡散予測

(年間平均風速、年間最大風速、夏季最大気温、冬季最低気温、最多風向、風向出現頻度)

白煙予測(景観)

(対象期間の平均風速、気温、相対湿度)

着氷予測(樹木影響)

(冬季の風速・風向・気温・相対湿度・大気安定度の時系列データ)

山間部の複雑な気流場を気象モデルのみで精度良く再現するのは困難

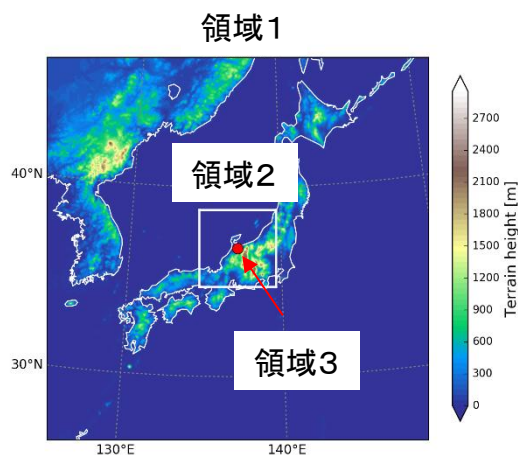
①-1 気象モデルの妥当性確認と最適化

既往のアセスで得られた気象調査結果を対象として、気象モデルによる再現計算を実施(A～Dの4地点)。

→2024年度は追加で現地観測(E地点)との比較を実施。

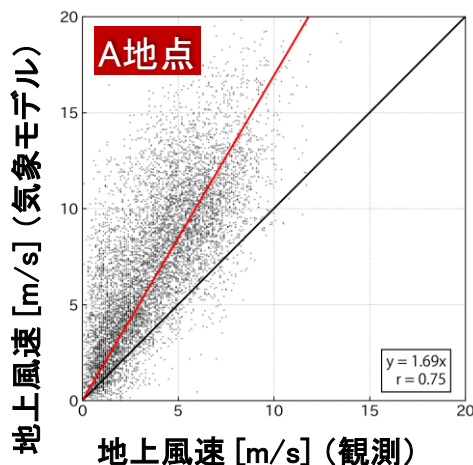
気象モデルの主な計算条件

- 気象モデルとして**WRF** (Weather Research and Forecast)を使用
- 水平格子サイズは、各領域に対して4.5 km, 1.5 km, **0.3 km**
- 初期・境界条件には、気象庁のメソ客観解析※データを使用(5 km格子、3時間毎)。
- 標高データは50 mメッシュの数値地図、土地利用は100 mメッシュの国土数値情報を使用



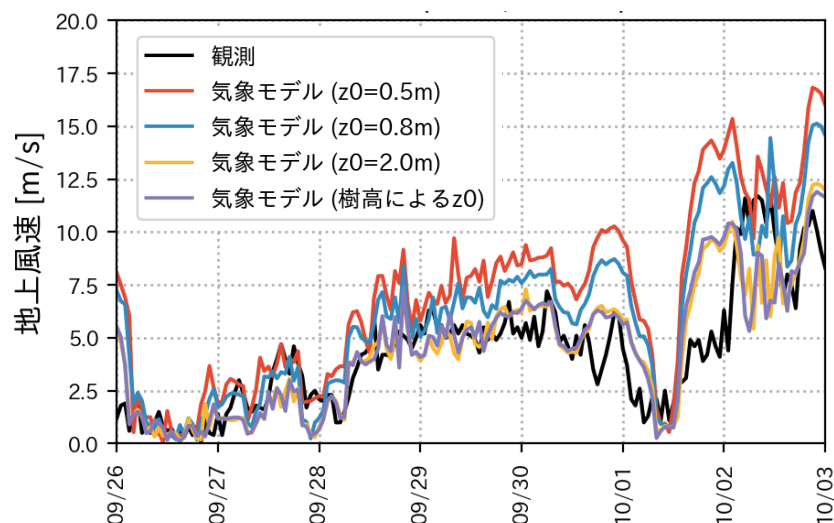
計算領域のイメージ

①-1 気象モデルの妥当性確認と最適化

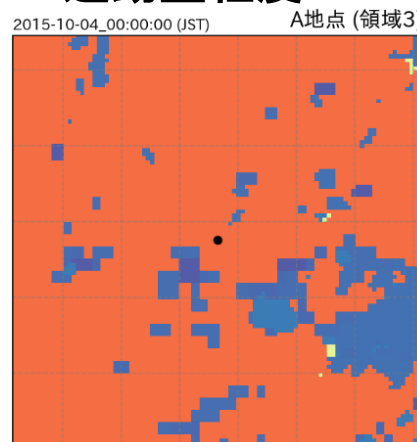


プロジェクト当初は地上風速を**過大評価**する傾向。
地表面の空気力学的な抵抗を表す**運動量粗度**
(z_0)を**最適化**することにより、再現精度が大幅に
向上。

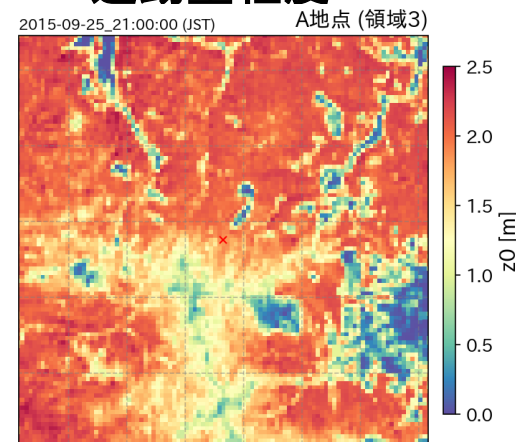
地上風速の比較(観測vs気象モデル)



土地利用による 運動量粗度



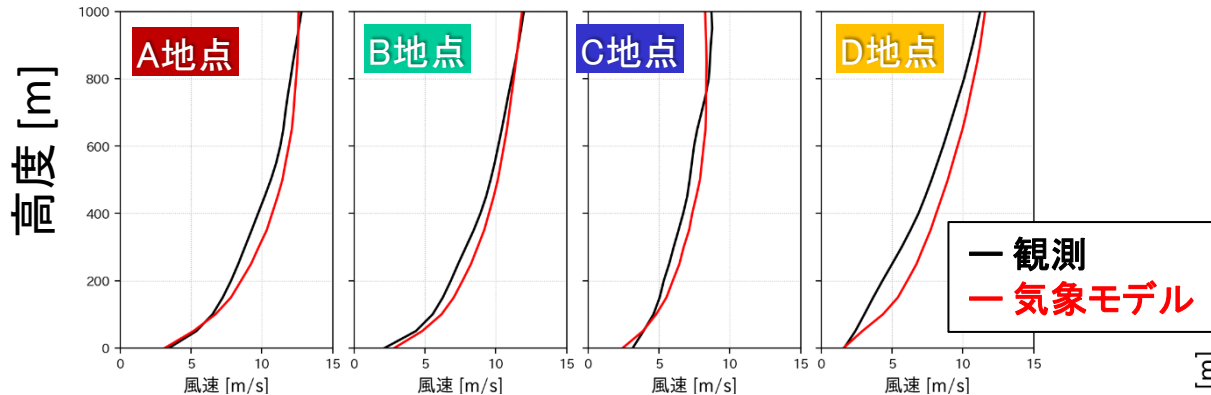
樹高に応じた 運動量粗度



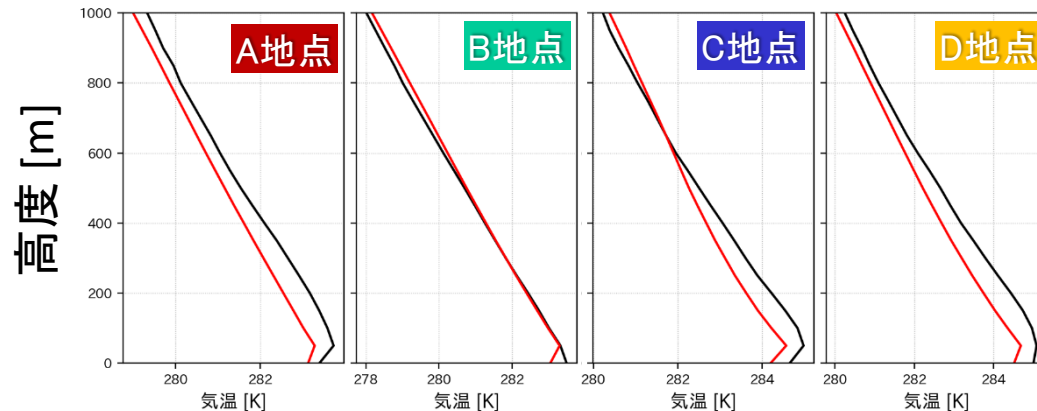
樹高に応じた運動量粗度を設定する機能を
モデルに追加。

①-1 気象モデルの妥当性確認と最適化

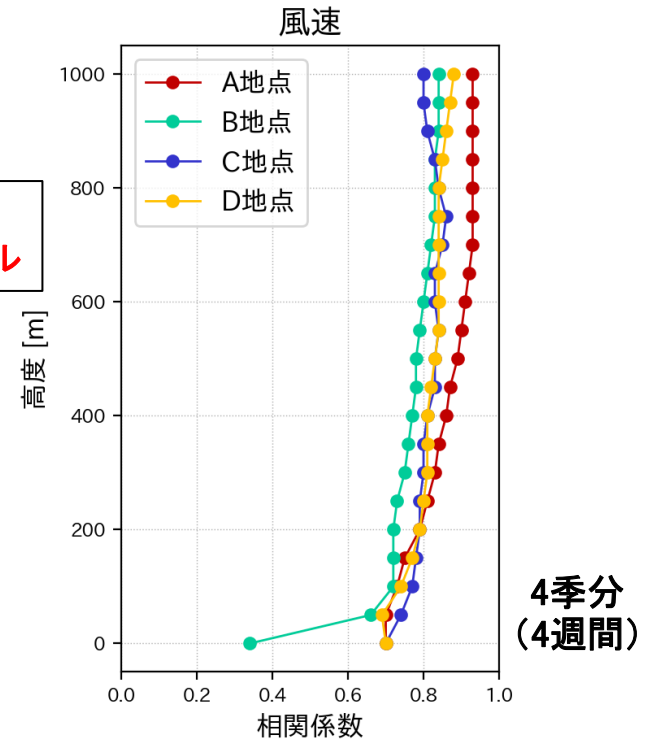
4季平均風速プロファイル



4季平均気温プロファイル



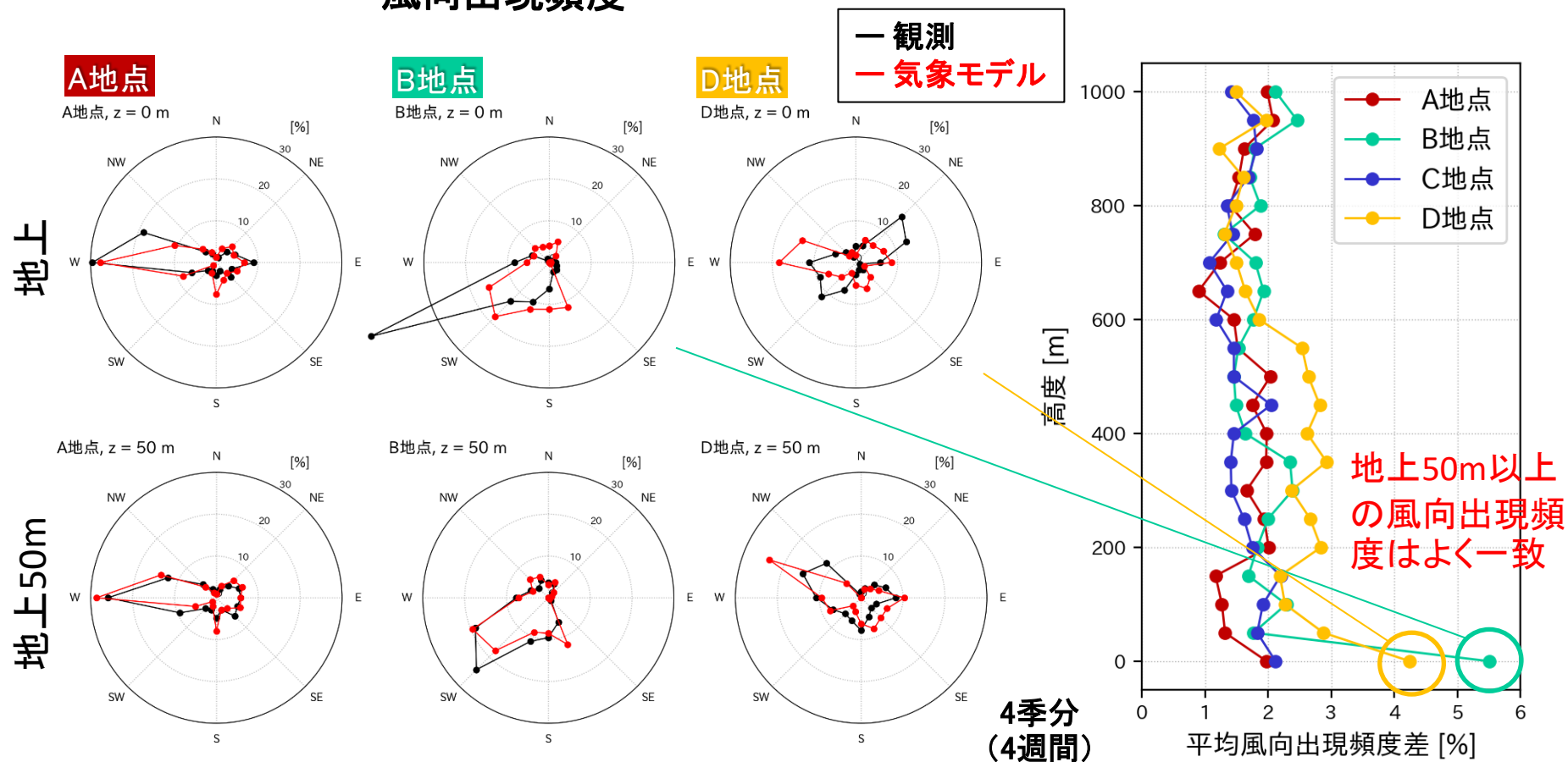
高層気象調査で計測する風速や気温の鉛直分布は実用的な精度でよく一致。



風速相関係数は上空に行くほど高くなる。
→上空の風を良好に再現。

①-1 気象モデルの妥当性確認と最適化

風向出現頻度



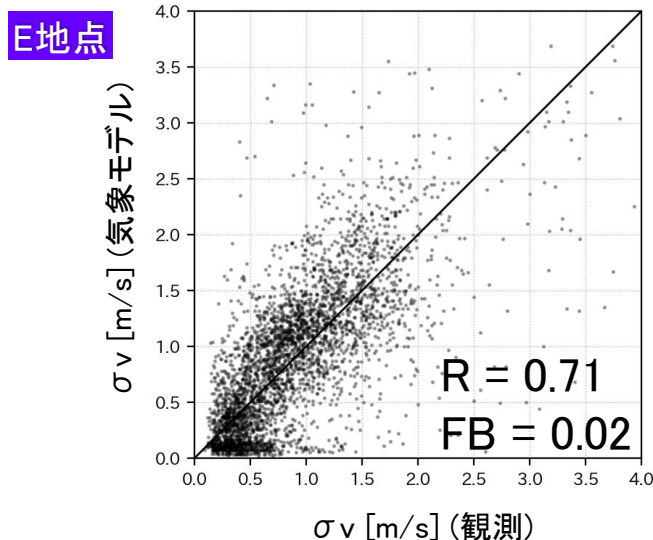
高層気象調査の風向出現頻度については、地上付近で観測値と気象モデルの乖離が見られる地点もあるものの、**地上50m以上では良好に再現可能**。

→ 拡散予測を実施する上では、少し高い高度の代表的な風向が重要か？

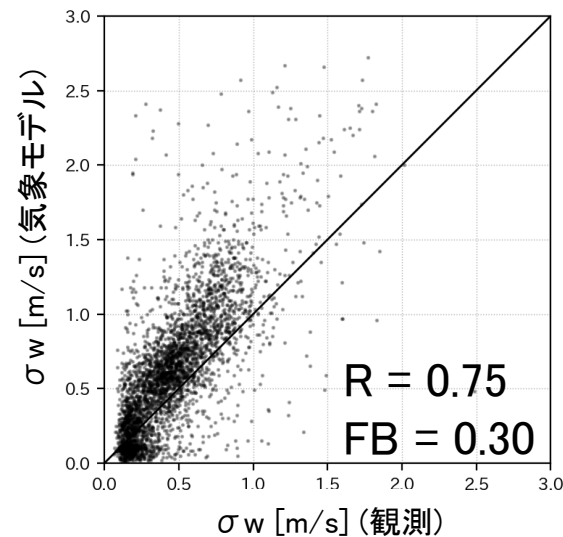
①-1 気象モデルの妥当性確認と最適化

気象モデルで出力される摩擦速度や対流速度スケール、モニン・オブコフ長などの変数を用いて、拡散予測で重要となる**気流乱れの強さ(風向・風速変動)**を推定。

主流直交風速(v)の変動



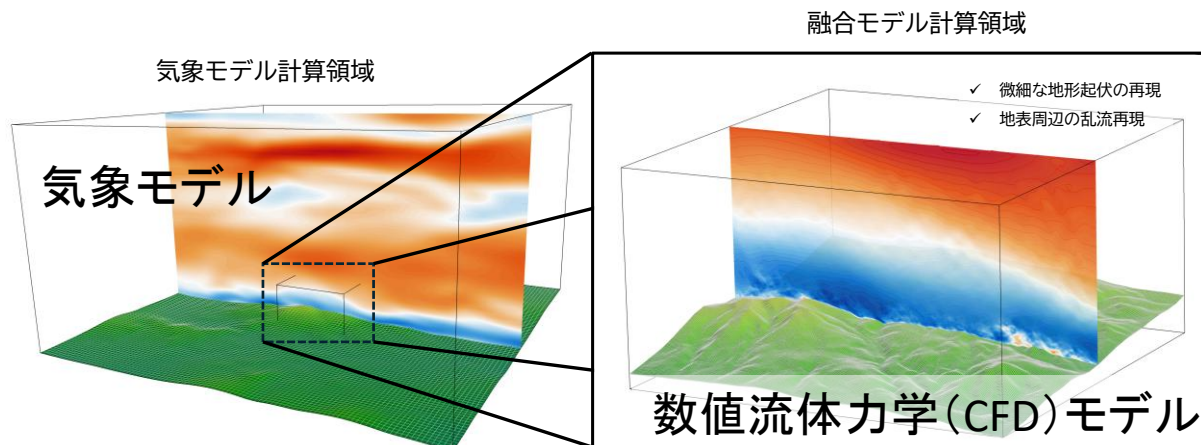
鉛直風速(w)の変動



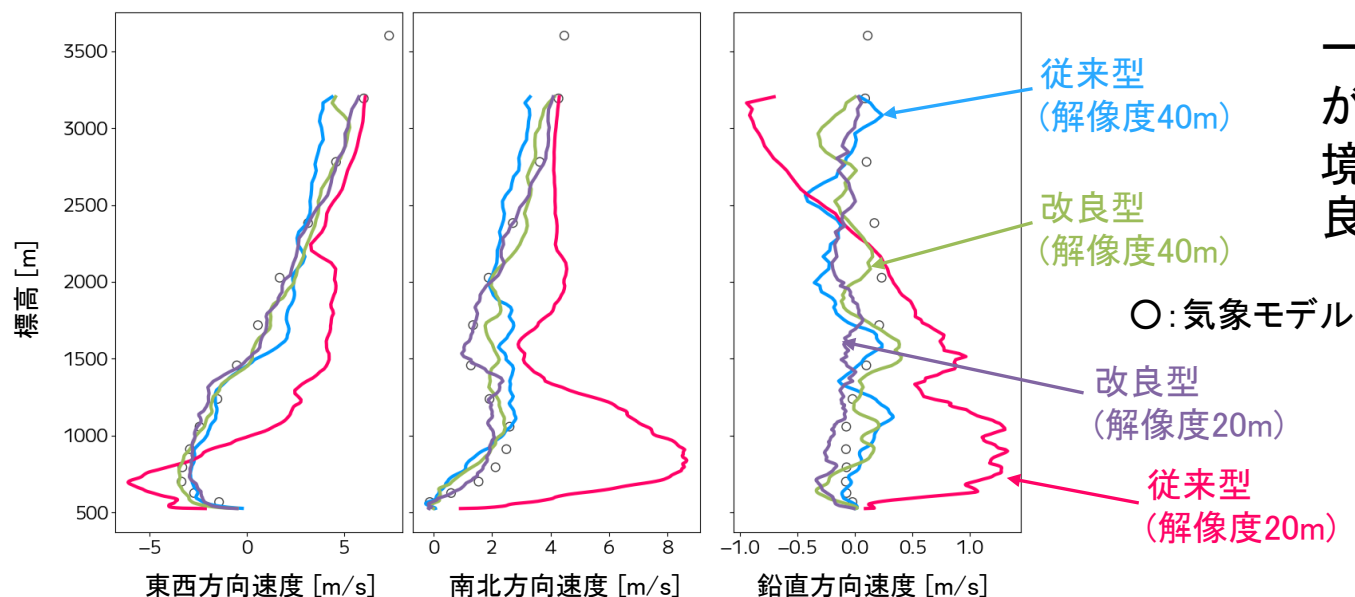
気象モデルから推定される**風速変動は、観測値※と高い相関**を持つことを確認。拡散予測への適用性が高いと考えられる。

①-2 力学的ダウンスケーリング手法の開発

力学的ダウンスケーリング(融合モデル)のイメージ



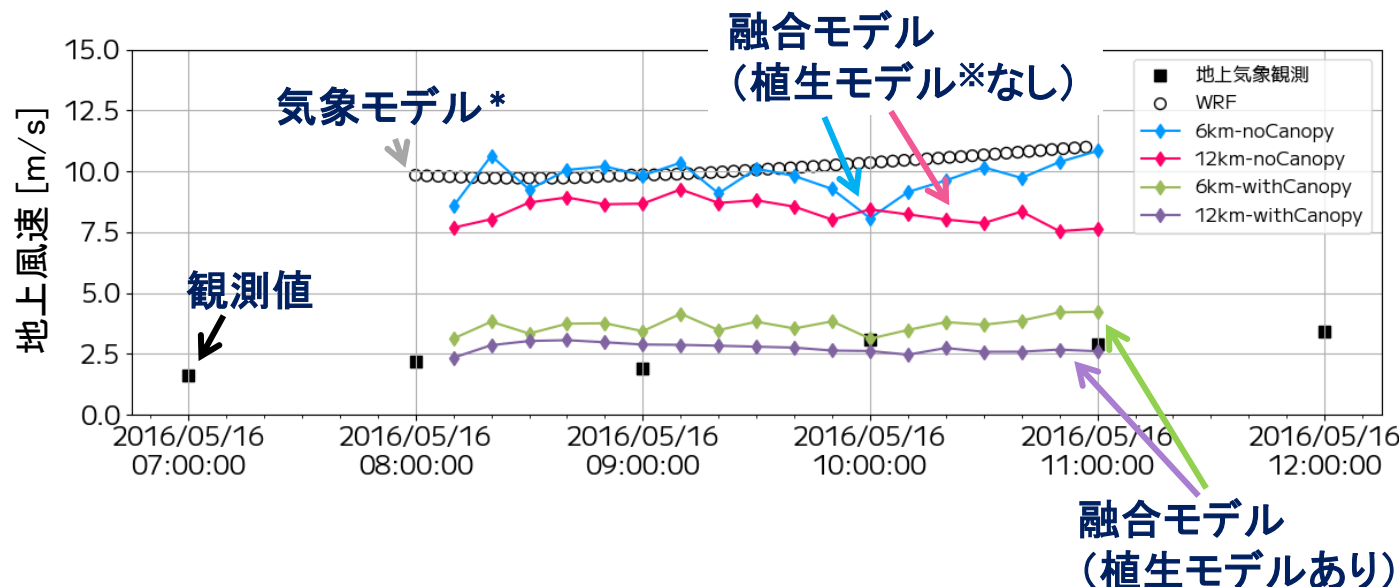
気象モデルの出力を利用して、さらに高解像度の計算格子による再現計算を実施。



一部の条件で計算結果が不自然になっていたが、境界条件設定方法の改良により改善。

①-2 力学的ダウンスケーリング手法の開発

地上風速の比較(2023年度成果)



* 気象モデルはプロジェクト初期の結果(地上風速を過大評価)

※植生モデル…植生(樹木)の抵抗を精度よく考慮するために、地表面のみではなく、植生のある空間に抵抗を与えるモデル。

融合モデルの位置づけ

プロジェクト当初は、気象モデルの精度不足を補う手法として融合モデルを活用することを検討。

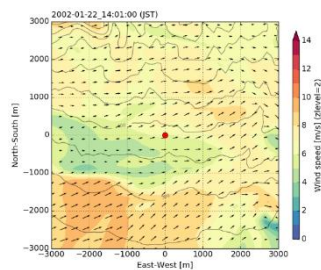
その後、**気象モデル単体の再現精度が大幅に向上したため**、融合モデルを用いるメリットは減少(計算コストとの兼ね合い)。

ただし、**複雑地形上における精緻な気流分布の把握**という点では依然として有効。スポット的な計算により**現地の気流特性を事前に確認する**などの利用方法が考えられる。

①-3 データ解析による複雑地形上の 地上風速予測手法の開発

気象モデルの風速および風向を機械学習により高精度化

- 気象モデルで得られた風速・風向を入力データとし、1か月間の観測値を教師データとして、機械学習モデルを構築
- 学習期間以外の風速・風向を再現する

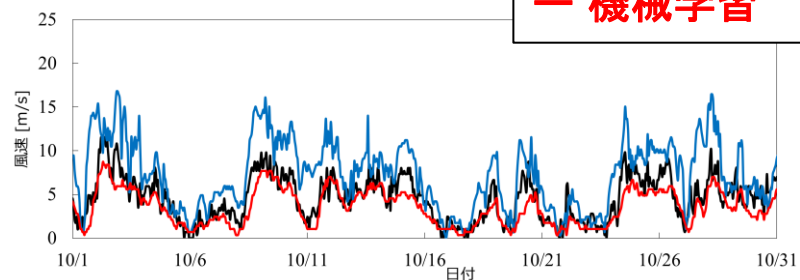


風速場
(気象モデル)

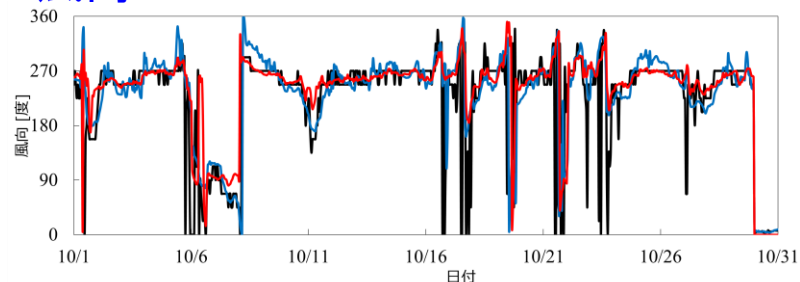
機械学習モデル

学習月: 9月

風速



風向

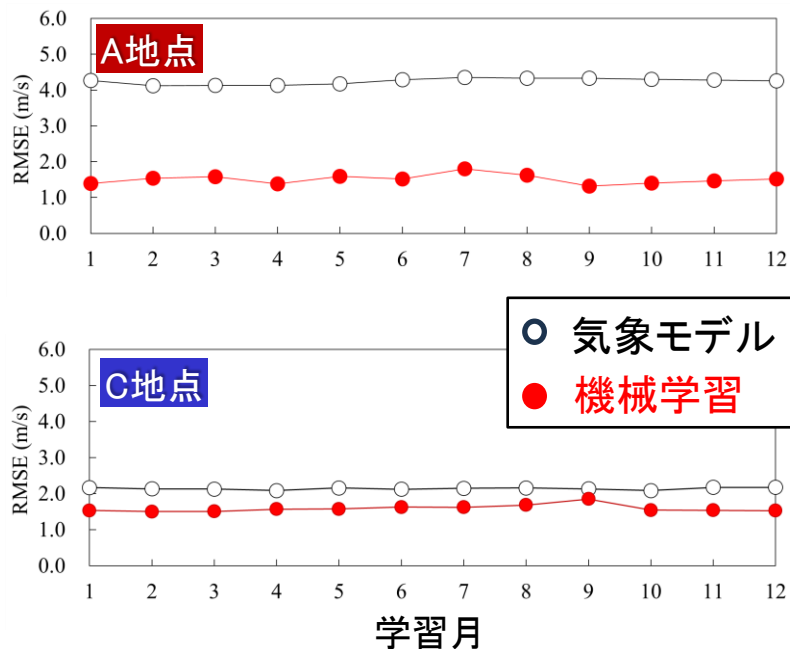


学習に使用していない10月

①-3 データ解析による複雑地形上の 地上風速予測手法の開発

学習月への依存性

二乗平均平方根誤差(風速)

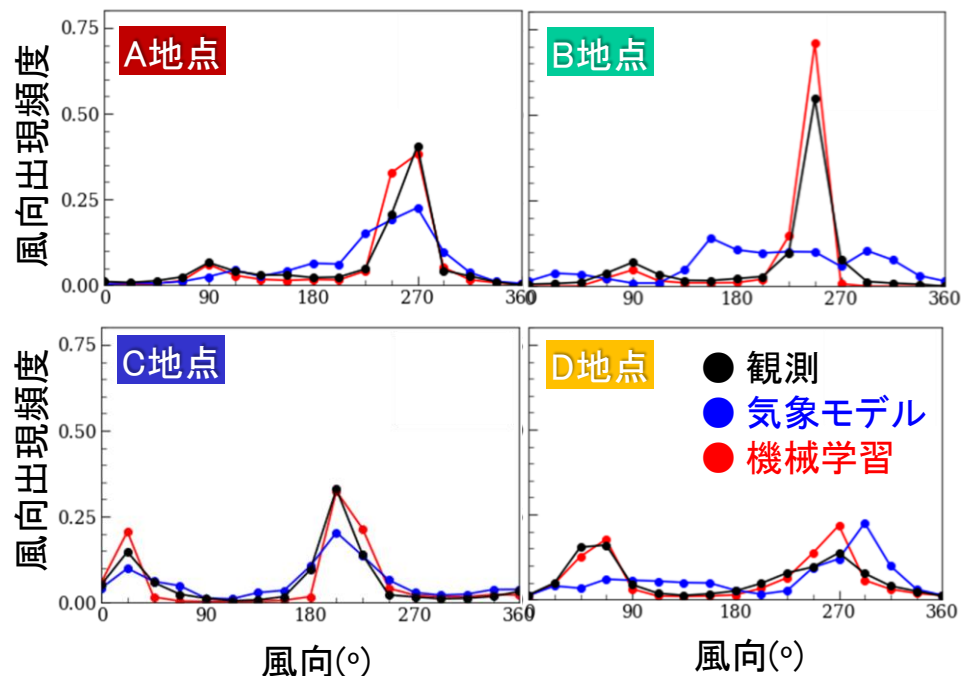


気象モデルの再現精度によらず、機械学習モデルにより、**風速の誤差は低減**。

学習月(観測月)への依存性は小さい。

ただし、他地点で学習したモデルの適用は困難(現時点では1ヶ月程度の観測が必要)。

風向出現頻度の比較



気象モデルから得られた風向は卓越風向を適切に再現できない場合がある。

機械学習モデルから得られた風向は、**いずれの地点においても卓越風向の頻度を適切に再現**

現地調査と気象調査代替手法の比較

	現地調査	気象調査代替手法
コスト	数千万円	現地調査の1/2~1/3
所要期間	1年間	数週間※~3ヶ月
地点代表性	山間部では、拡散予測に使用する地上風速・風向が測定位置に依存しやすい	計算格子のサイズに応じた空間平均的な値となるが、必ずしも正確に予測できるわけではない
説明性	実測値であり、説明性が高い	計算ベースであり、丁寧な説明が必要
拡散予測への適用性	実測値等との比較により、今後検討	今後検討。ただし、3次元的な気象場を考慮できるメリットがある

※ 1ヶ月ごとの計算を複数月分、並列計算する場合

現時点で、気象調査代替手法には、コスト面や期間での大きなメリットがある。今後、両手法に基づく拡散予測と現地観測(拡散)との比較等により、代替手法に要求される予測精度を確認するとともに、24時間値の拡散予測手法と合わせて気象調査代替手法の優位性についても検討する。

また、要求される説明性(発電所周辺に住居があるなど)に応じた、調査手法の使い分け等をガイドラインとしてとりまとめる。

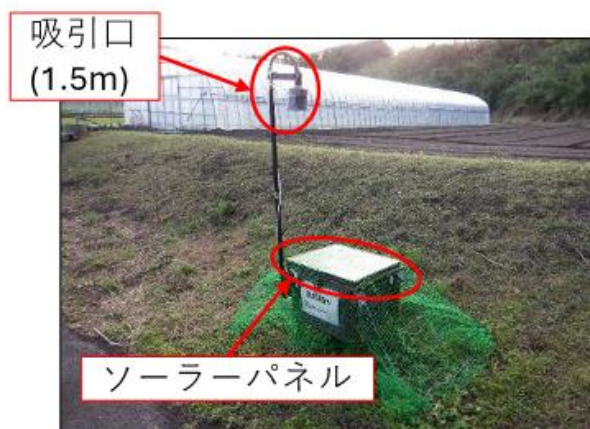
②-1 3次元気流場に基づく拡散予測手法の開発

モデル検証用データ取得のための現地観測

気象調査代替手法、および、大気拡散予測手法の検証用データ取得のため、2024年度は**単純地形**に立地する地熱発電所にて**2か月間**の連続観測を実施（2023年度は**山間地**の地熱発電所にて**5ヵ月間**の連続観測を実施）

測定項目

- 硫化水素濃度（**21地点**、別プロ測器）、
- 地上気象（風向・風速、気温、相対湿度、日射量、放射収支量）
- 上層風（ドップラーライダー、UAV）



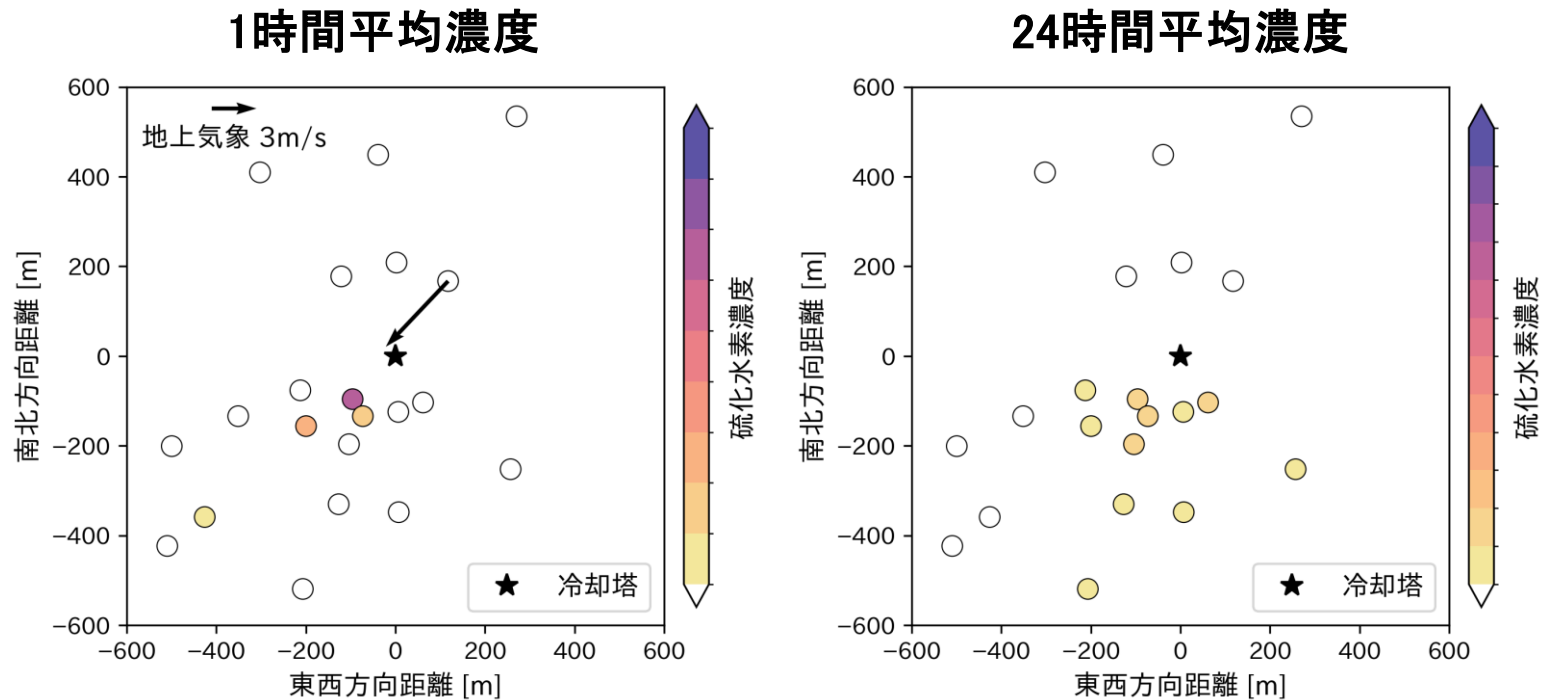
硫化水素濃度測定点の様子

気象観測の様子



②-1 3次元気流場に基づく拡散予測手法の開発

硫化水素濃度測定結果の例



24時間値は1時間値よりも均一に広く分布

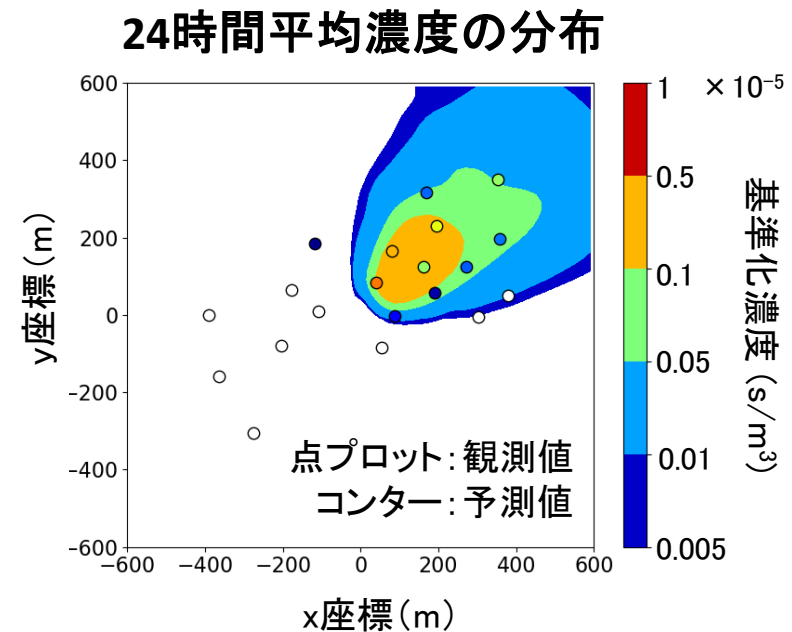
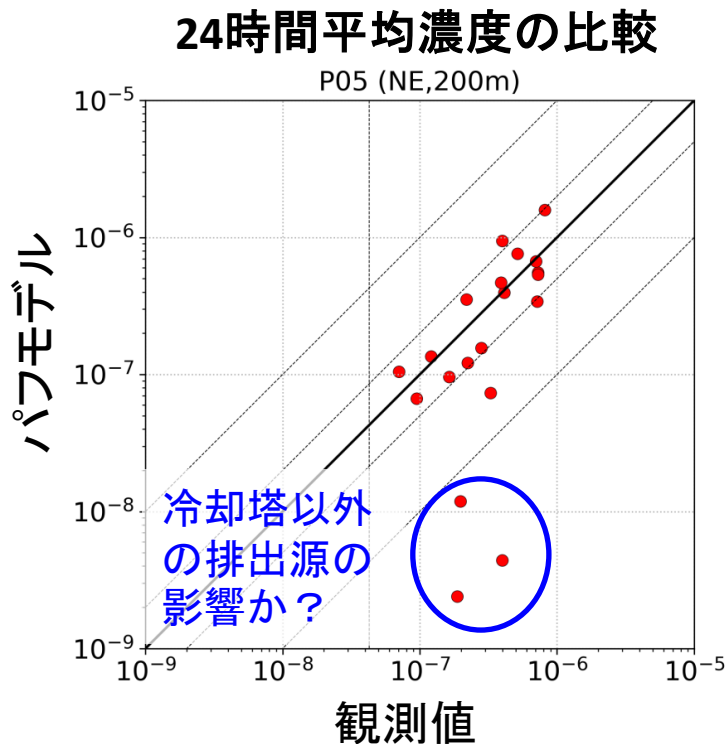
➤ 数値モデル検証用の有用なデータを取得することができた。

②-1 3次元気流場に基づく拡散予測手法の開発

大気拡散予測モデルの妥当性確認

※パフモデル: 気流場の空間的な非一様性、非定常性を考慮できる拡散予測手法の1つ。

- 2023年度までに、気象モデルの出力を利用した大気拡散予測モデルとして、**パフモデル(CALPUFF)※**に基づく拡散予測モデルの整備・開発を実施。
- 2024年度は、2023年度の現地観測を対象に、気象モデルからの出力を利用した**24時間値**の予測を実施した。



パフモデルによる予測結果は、観測値とよく一致することを確認。

まとめ

- 各実施項目は、当初の計画通り順調に進捗。
- 気象調査代替手法、および、新たな大気拡散予測手法については、ベースとなるモデルの整備・検証がおおむね完了。
- 今後、必要に応じて各モデルの改良を実施するとともに、拡散予測への適用を含む気象調査代替手法の妥当性確認・評価を行う。また、実用化に向けたガイドラインの作成を行う。