

2023年度成果報告会

契約件名 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

発表日：2023年1月31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 (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:04-7182-1181

1. 背景・目的

地熱発電所の環境影響評価では、**通年の気象調査**（地上気象、高層気象）が実施されるが、発電所の規模に比して、多大な費用を要している。

本事業では、現地における気象調査を、**数値気象モデル**を用いたシミュレーション手法に置き換えることで、気象調査に係る期間・コストを低減させることを目的とする。

2. 実施期間

開始 : 2021年6月

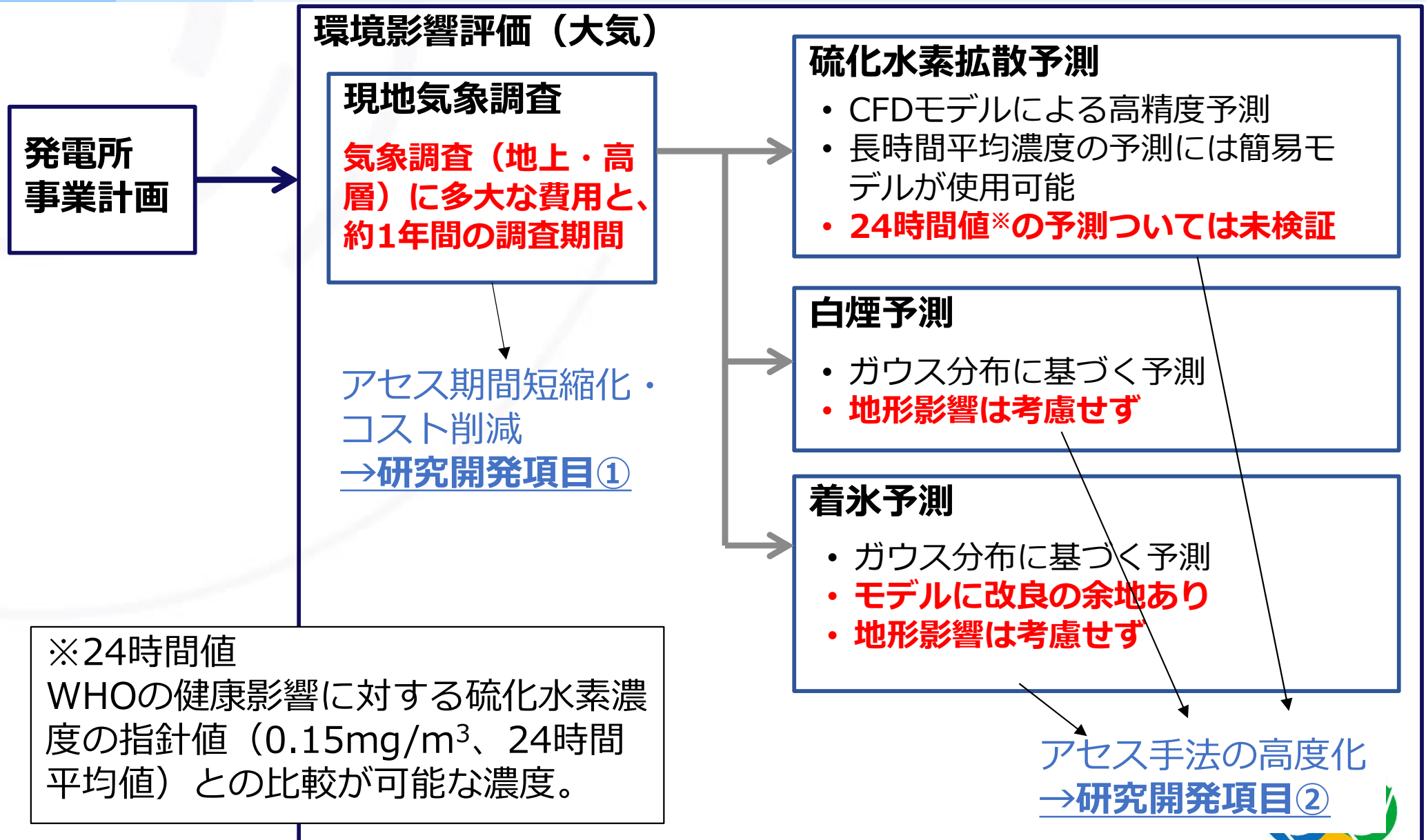
終了（予定） : 2026年3月

3. 実施内容・目標（最終）

既往の環境影響評価における調査データ等を用いて、気象モデルの妥当性確認を実施する。また、気象モデルの改善、および、数値流体力学（CFD）モデルや機械学習の活用により、現地気象調査を代替する手法を確立する。これにより、気象調査にかかる**期間・コストを1/2以下に低減**させる。

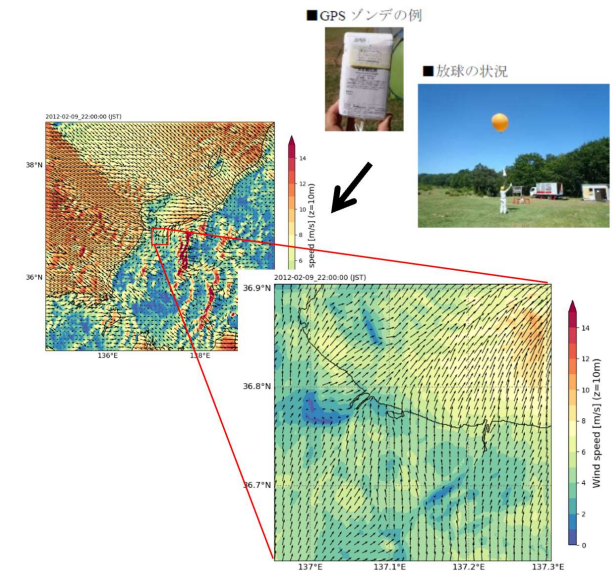
あわせて、気象モデルから得られる空間的な気象場の情報を活用した、**大気拡散予測手法**を開発し、24時間値の予測を可能とするなど、**アセス手法の高度化**を図る。

地熱アセス（大気）の現状と課題



研究開発項目① 気象調査代替手法の研究開発

- ①-1 気象モデルの妥当性確認と最適化
- ①-2 力学的ダウンスケーリング手法の開発
- 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
- ①-4 拡散予測への適用性確認

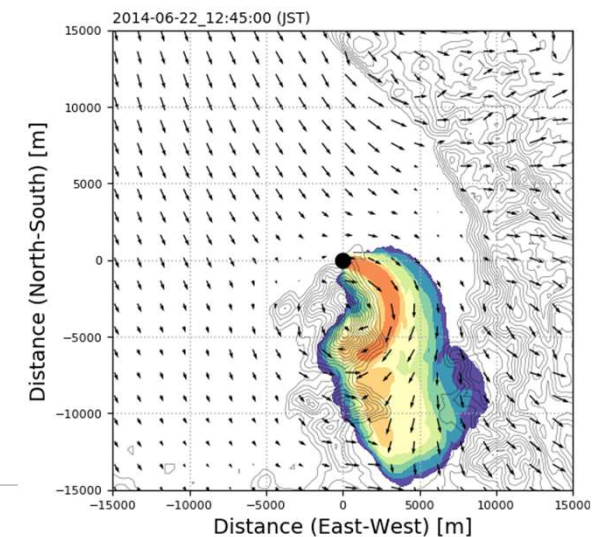


現地気象調査を気象モデルにより代替

研究開発項目② 新たな大気拡散予測手法の研究開発

- ②-1 3次元気象場に基づく拡散予測手法の開発
- ②-2 着氷予測手法の高度化

気象場の空間的・時間的変化、地形影響を考慮した予測

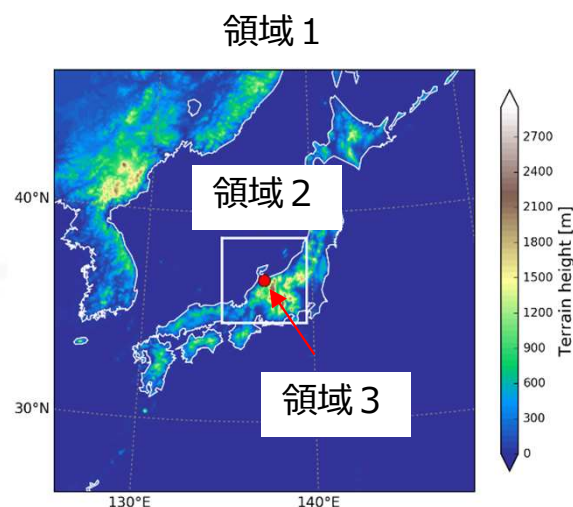


(1) 気象モデルによる再現計算

- 既存のアセスデータを対象に、気象モデルによる**1年間**の再現計算を実施。
- 2021年度のA地点とB地点に加えて、2022年度はC地点、D地点の2地点を対象とした計算を実施し、計**4地点**の再現計算が完了。

(2) 観測との比較およびモデルの最適化

- アセスデータとの比較により、気象モデルの特徴を整理し、課題を抽出。
- 気象モデルの最適な設定を検討し、気象モデルの精度向上を図った。



計算領域のイメージ

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、領域1~3に対して4.5km, 1.5km, **0.3km**

気象モデルの再現精度

地形的特徴の異なる4地点を対象として、気象モデルによる再現精度を定量化。

地上風速の再現精度

	A地点	B地点	C地点	D地点
相関係数	0.75	0.58	0.65	0.63
バイアス※	0.60	0.64	0.27	0.52

地上気温の再現精度

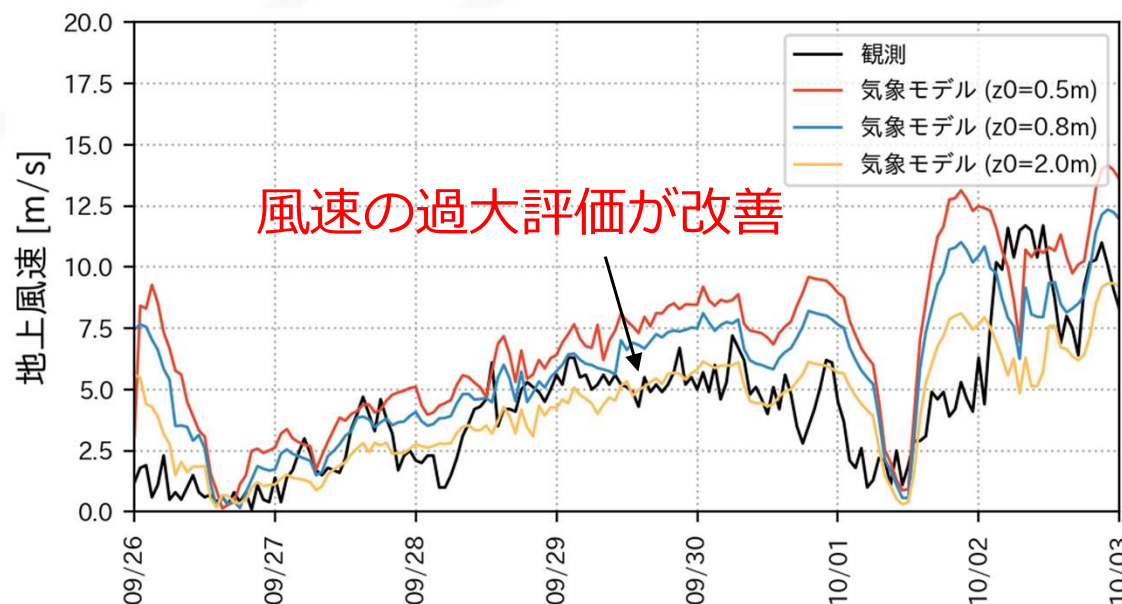
	A地点	B地点	C地点	D地点
相関係数	0.99	0.99	0.98	0.97
バイアス※	-0.08	-0.05	-0.02	-0.02

- 全地点において、気象モデルが地上風速を過大評価する傾向。
- 地上気温は高精度に再現可能であることを確認。
- 冷却塔排気の拡散予測に重要となる地上50mの風向出現頻度は、地上10mよりも良好に再現できることを確認。

※バイアスは、フラクショナルバイアスFB（実測と予測の平均値の差を、両者の平均値により無次元化したもの）で表示。バイアスが正のとき、モデルが過大評価であることを示す。

気象モデルの最適化

運動量粗度の最適化による地上風速の変化



運動量粗度 z_0 の設定と再現性指標

z_0 [m]	相関係数	バイアス
0.5*	0.70	0.57
0.8*	0.71	0.35
2.0	0.72	0.03

※気象モデルWRFにおける森林エリアの z_0 のデフォルト値は0.5 or 0.8 m。

- 地表粗度の空気力学的抵抗の大きさを表す**運動量粗度 z_0** をに対する感度解析を実施。
- 実態に合わせて、森林に対する z_0 を2.0mに設定することで、地上風速の**バイアスはほぼ0**になることを確認。

UAVを活用した乱流計測

- 拡散予測には、**気流の乱れ（乱流）**の情報が重要となる。気象モデルでも乱流エネルギーなどの乱れの情報を出力することができるが、**山間部での再現精度**はよく分かっていない。
- 山間部における乱流計測のため、UAVを活用した測定手法を開発。

超音波
風速計

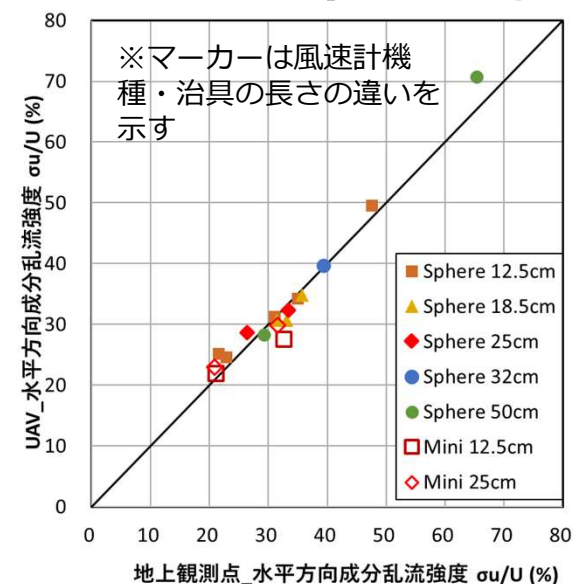


UAVに小型の3次元超音波風速計を取り付け、取り付け治具の長さや風速計機種への依存性を確認。

固定風速計との比較により、計測された乱流強度の妥当性を確認。

UAVへの風速計の取付け

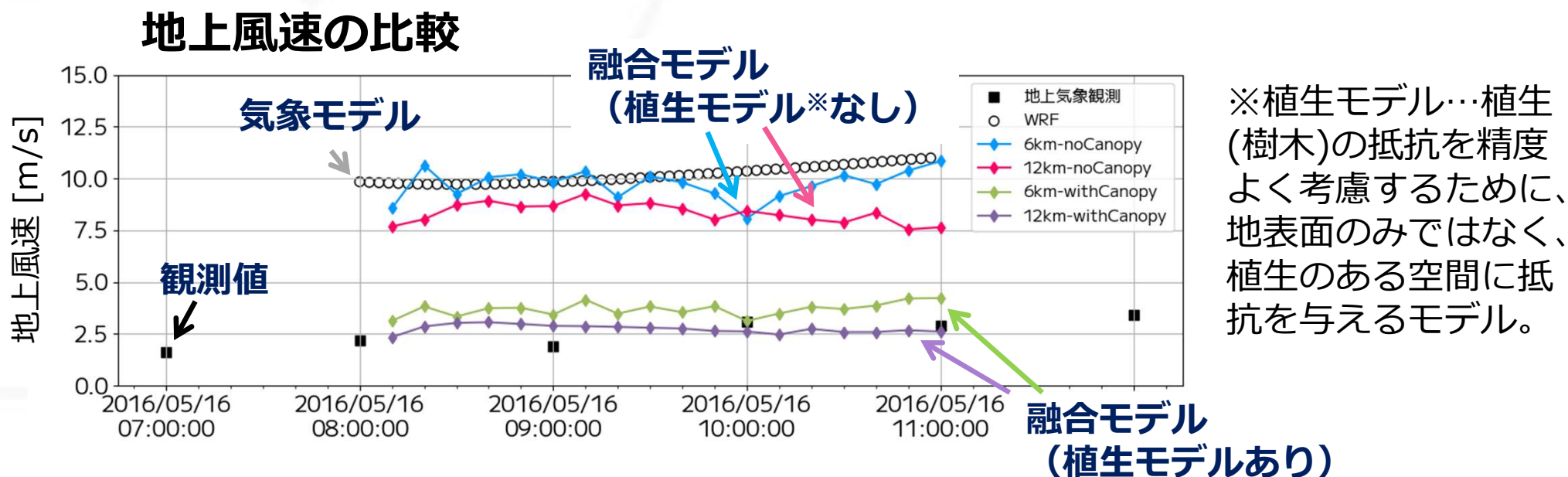
固定風速計との比較



- 2023年度に発電所において、UAVによる乱流計測を実施。

融合モデルの開発と観測値との比較

気象モデルのみでは、複雑地形に起因する局所的な気流分布を再現することは困難と想定されることから、**気象モデルと数値流体力学（CFD）モデルを結合したダウンスケーリング手法（融合モデル）**を開発中。

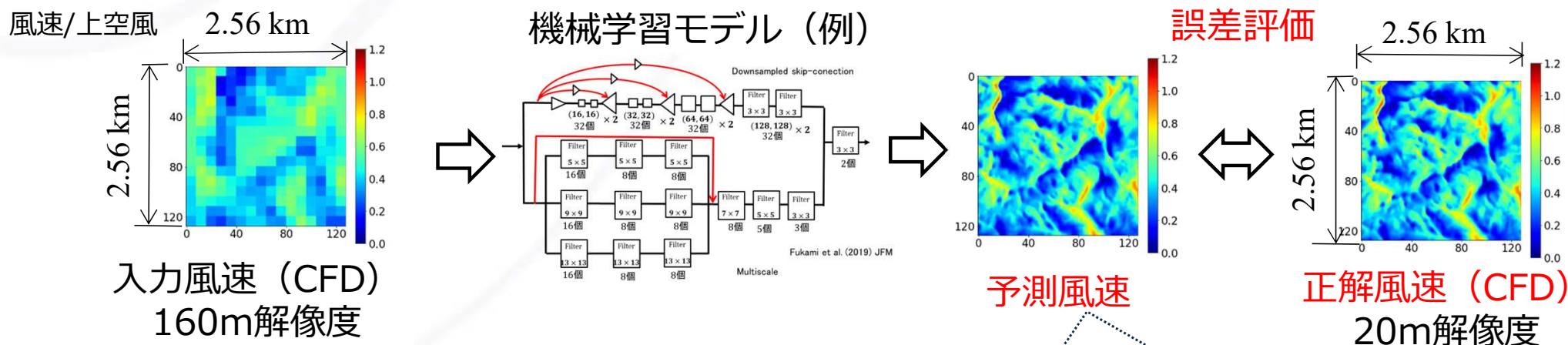


- 植生モデルを実装した融合モデルにより地上風速の過大評価傾向が大幅に改善。
- 今後、他地点においても検証を実施する予定。

研究成果 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

機械学習手法の適用可能性検討

予備検討として、気象モデル相当の風速（低解像度のCFDデータ）を入力値とし、機械学習モデルによる局所的な詳細な風速（高解像度のCFDデータ）を再現



正解風速との二乗平均平方根誤差

	学習地点	他地点*2
機械学習モデル無*1	14.4×10^{-2}	12.8×10^{-2}
機械学習モデル有	1.63×10^{-2}	8.04×10^{-2}

*1 機械学習モデルを適用せず、入力風速と正解風速との比較
*2 他地点のデータは機械学習モデルの構築に未使用

機械学習モデルにより地上10mの詳細風速を良好に再現することを確認

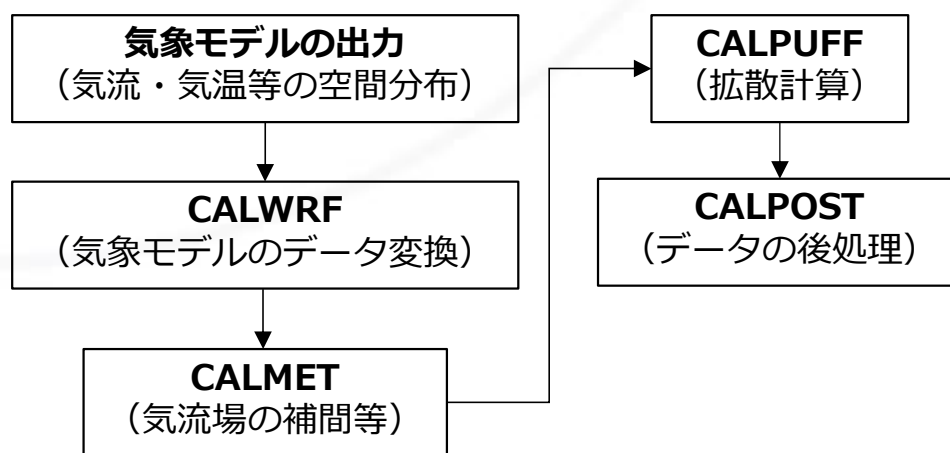
機械学習モデルにより予測精度が向上

大気拡散予測モデルの整備

※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。

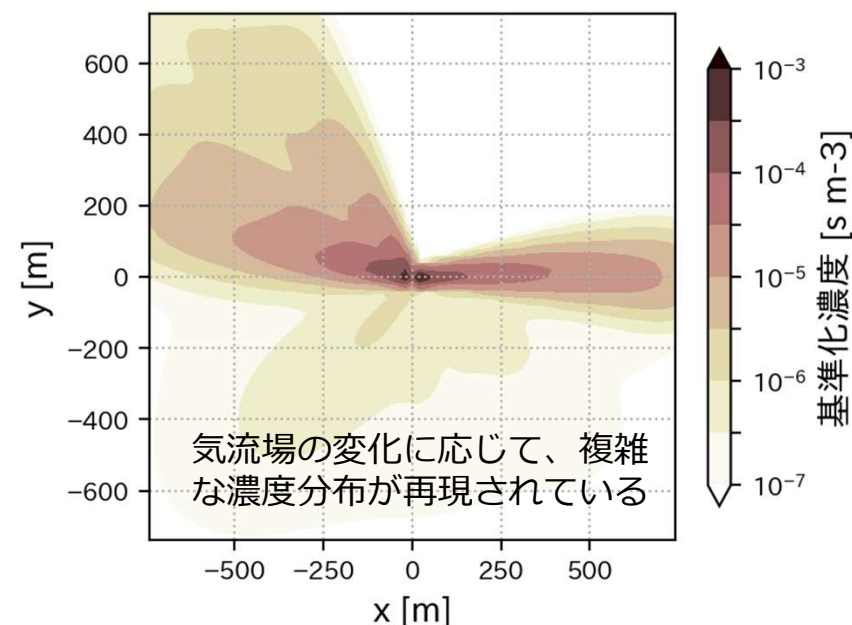
- 気象モデルの出力を活用した大気拡散予測モデルとして、**パフモデル**※、および、**CFDモデル**に基づく拡散予測モデルの整備・開発を実施。
- パフモデルについては、海外の地熱アセスで実績のある「CALPUFF※」の実行環境を構築し、気象モデルからの出力を利用した**24時間値**の試計算を実施した。

CALPUFF※の計算フロー



※CALPUFF：米国環境保護庁（EPA）が推奨するAlternative modelの1つ。地熱アセスの硫化水素拡散予測に対する検証事例はない。

24時間平均値の計算結果の例



検証用データ取得のための現地観測

- 大気拡散予測モデル、および、気象モデルの検証用データを取得するため、地熱発電所における現地観測を実施。
- **長期の連続測定**により、様々な気象条件における検証用データを取得した。

観測概要

実施期間：5カ月間の連続測定
測定項目：硫化水素濃度（20地点）
地上気象（風向・風速、気温、
相対湿度、日射、放射収支量）
上層風（ドップラーライダー、UAV）



硫化水素濃度の測定状況

- 硫化水素濃度計は、発電所冷却塔から**半径500m**の範囲に**20地点**を設置。気象条件によっては、冷却塔の風下位置において、有意な濃度が検出された。
- 今後、大気拡散予測モデル、気象モデルの検証に用いる。

発電所における着氷観測

- 2021年度に引き続き、着氷予測モデルの検証用データ取得のため、発電所における着氷観測を実施。
- 2021年度の観測をベースとして、着氷量の直接測定（凍結検知センサの設置）や、着氷観測位置での風速測定を追加で実施した。

風速・風向変動を考慮した拡散予測

- 山間部においては、適切な排気の**拡がり幅**の設定が重要となる。
- 風速・風向の変動強度**の実測値から、拡がり幅を推定する方法をモデルに実装し、その有効性を確認した。

凍結検知センサによる測定

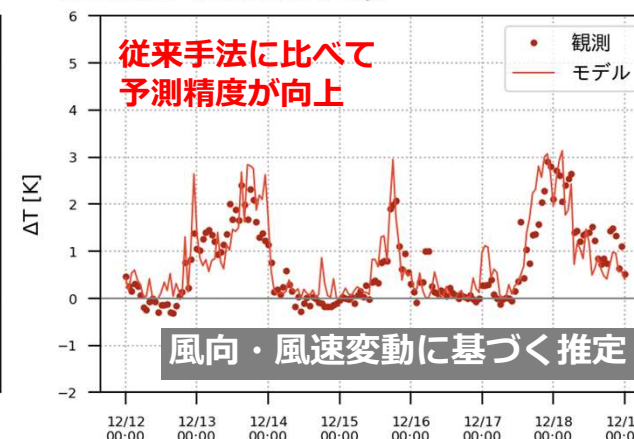


冷却塔排気による温度上昇量の予測結果

2021/12/12~2021/12/19 (3sigY3sigZ)



2021/12/12~2021/12/19 (Perry)



研究開発項目① 気象調査代替手法の研究開発

- 気象モデルによる山間部の風速再現性に、地表面の粗度パラメータが重要であることを確認。山間部の粗度パラメータは樹高等に依存するため、樹高分布を考慮した設定が必要となる。
- 山間部での複雑な気流場を考慮するため、高解像度数値流体シミュレーション（CFD）、あるいは、機械学習による補完方法を検討中。CFD手法については、計算コストの低減が課題となる。

研究開発項目② 新たな大気拡散予測手法の研究開発

- 地熱発電所において、拡散予測モデル検証のための観測を実施中。硫化水素濃度については、冷却塔以外の発生源によるバックグラウンド濃度の影響が無視できない場合があり、適切な前処理の実施が課題となる。

- 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・構築がおおむね完了。
- 今後、両手法の実用化に向けて、モデルの改良を進めるとともに、妥当性確認を早期に実施する。