

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

瀧本 浩史

(一財)電力中央研究所

2023年2月2日

【委託先】

(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

# 事業概要

## 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・最終目標

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、気象調査に係る**期間・コストを1/2以下に低減**させる。

あわせて、気象モデルにより得られる空間的な気象場の情報を活用した、**新たな大気拡散予測手法**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

## 環境影響評価(大気)

### 現地気象調査

気象調査(地上・高層)に多大な費用と、約1年間の調査期間

アセス期間短縮化・コスト削減  
→研究開発項目①

### 硫化水素拡散予測

- CFDモデルによる高精度予測
- 長時間平均濃度の予測には簡易モデルが使用可能
- 24時間値\*の予測については未検証

### 白煙予測

- ガウス分布に基づく予測(3分値相当)
- 地形影響は考慮せず

### 着氷予測

- ガウス分布に基づく予測(24時間値相当)
- モデルに改良の余地あり
- 地形影響は考慮せず

※24時間値  
WHOの健康影響に対する硫化水素濃度の指針値(0.15mg/m<sup>3</sup>、24時間平均値)との比較が可能な濃度。

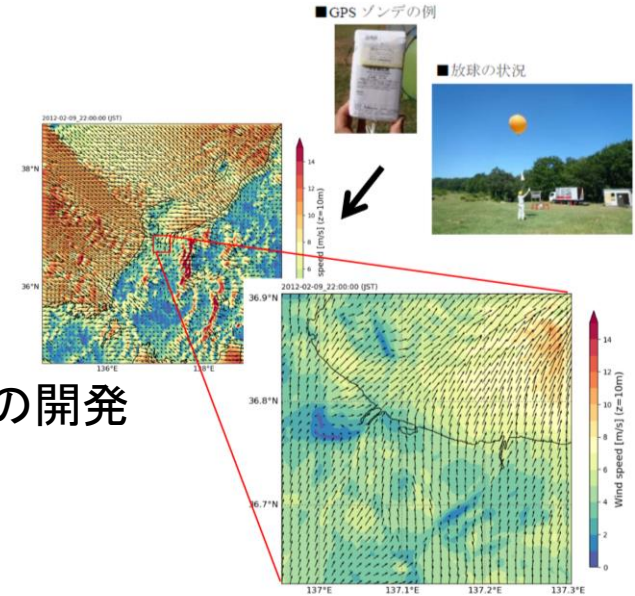
アセス手法の高度化  
→研究開発項目②

発電所  
事業計画

# 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

- 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

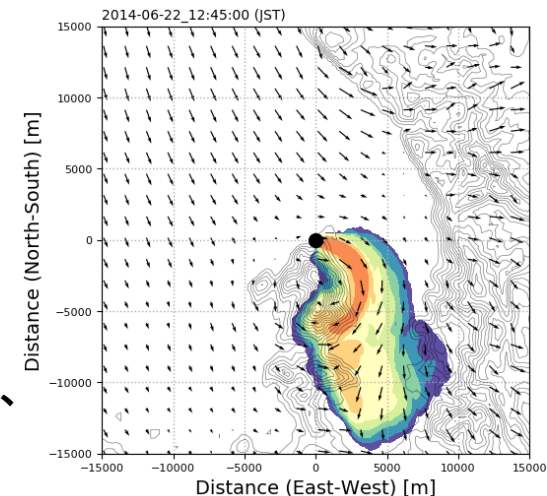


## 研究開発項目② 新たな大気拡散予測手法の研究開発

- 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

現地気象調査を気象モデルにより代替

気象場の空間的・時間的変化、  
地形影響を考慮した予測



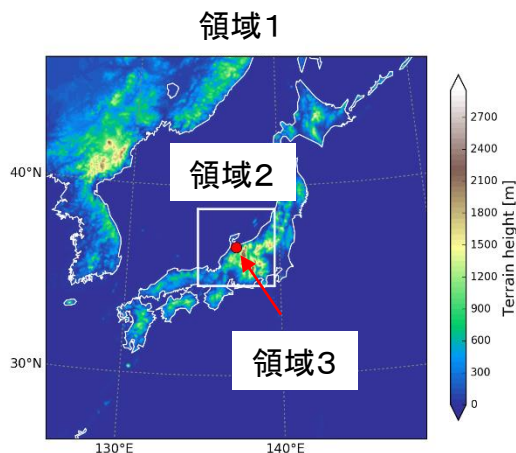
# 研究成果 ①-1 気象モデルの妥当性確認と最適化

## 既存アセスデータの収集

気象調査代替手法の検証用データとして、既存のアセスデータ(5地点)を収集。

## 気象モデルによる再現計算

既存のアセスデータを対象として、気象モデルによる再現計算を実施(2021年度・2022年度に各2地点)。



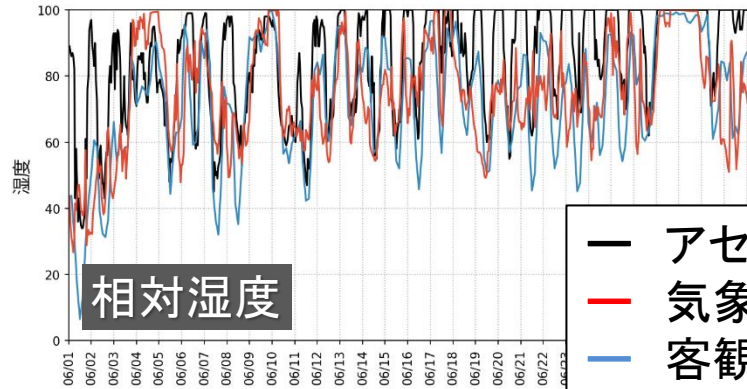
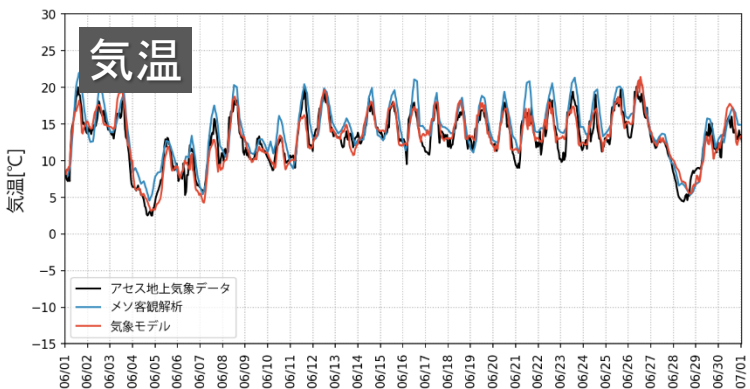
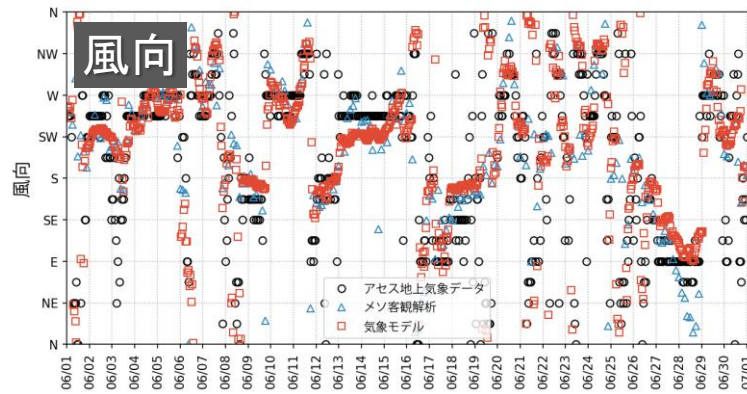
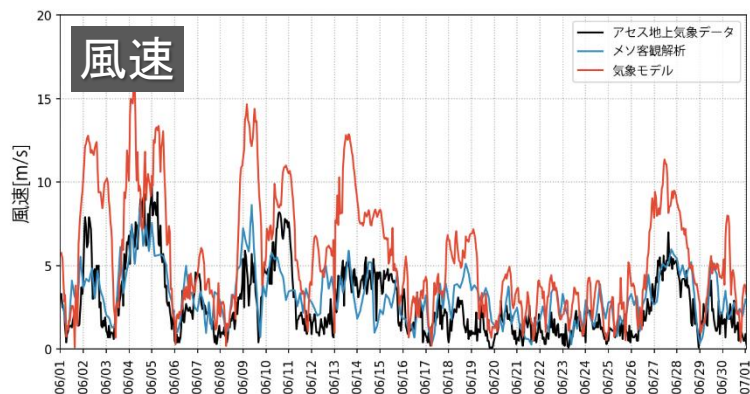
計算領域のイメージ

## 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、各領域に対して4.5km, 1.5km, **0.3km**
- 初期・境界条件には、気象庁の**メソ客観解析データ**を使用(5km格子、3時間毎)。

# 研究成果 ①-1 気象モデルの妥当性確認と最適化

## 地上気象

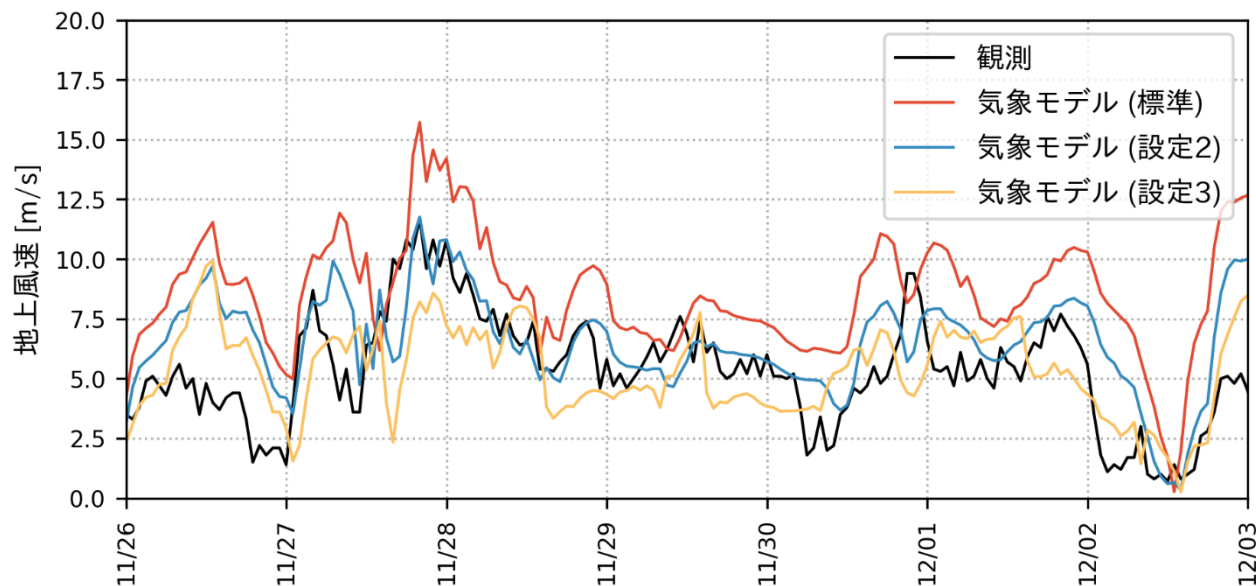


気象モデル、客観解析ともに、観測の変動を捉えられているものの、気象モデルの地上風速は過大評価の傾向。



# 研究成果 ①-1 気象モデルの妥当性確認と最適化

## 気象モデルの最適化



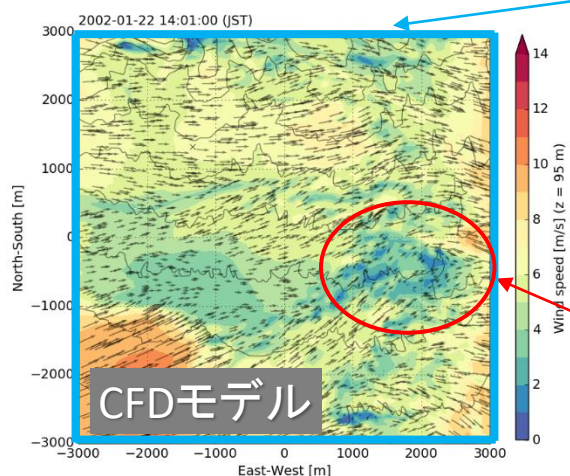
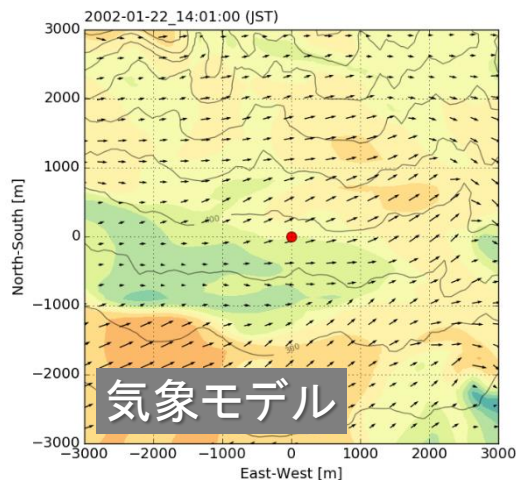
気象モデルの設定を変更し、感度解析を実施。

- 地表面スキームの変更により、地上風速の**過大評価が緩和**(設定2)。
- さらに、格子サイズ以下の地形の凹凸による効果を考慮することで、**地上風速が低減**(設定3)。

→ 今後、他地点でも感度解析を実施し、最適なモデル設定を決定。

# 研究成果 ①-2 力学的ダウンスケーリング手法の開発

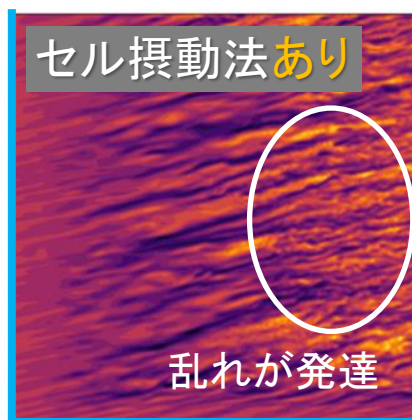
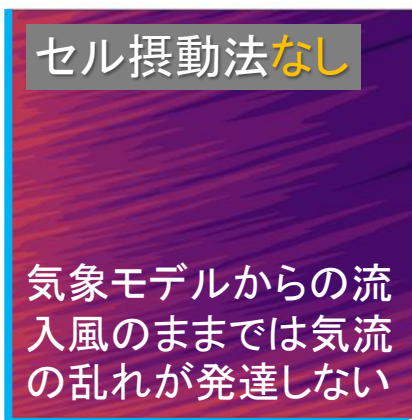
## 気象モデルからCFDモデルへ(高解像度化)



気象モデルからの入力条件

気象モデルには見られない局所的な低風速域

## セル摂動法の実装



- セル摂動法と呼ばれる手法をCFDモデルに実装し、気象モデルからの流入風に気流の乱れを付与。
- 今後、観測値による妥当性確認を実施する。





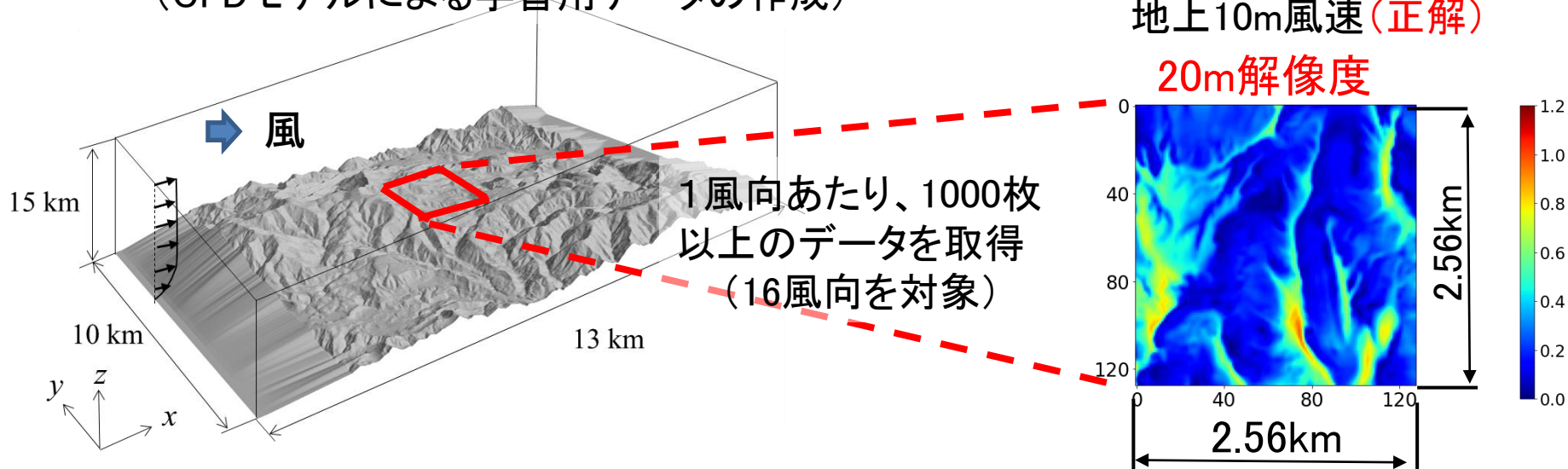
# 研究成果 ①-3 データ解析による複雑地形上の地上風速予測手法の開発

気象モデルから得られる気流場・気象場や地形の情報から、局所的な地上風速の観測値を再現できるモデルを開発し、低コストで、発電所位置の地上風速を予測する。

➡ (有力な方法) AI(機械学習)によるデータ解析

機械学習による複雑地形上の局所的な風速の予測可能性を予備検討

複雑地形を対象とした高解像度数値シミュレーション  
(CFDモデルによる学習用データの作成)



7割を訓練用データとし、3割を検証用データ

風速/上空風

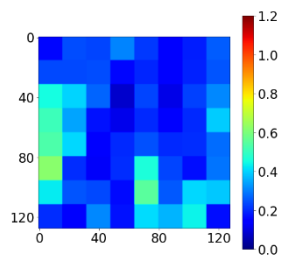
# 研究成果 ①-3 データ解析による複雑地形上の地上風速予測手法の開発

## 検証例

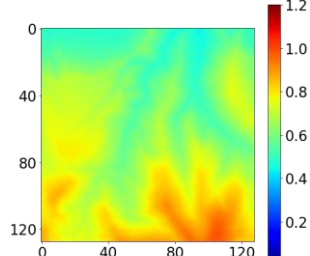
入力値

仮想気象モデル風速

標高



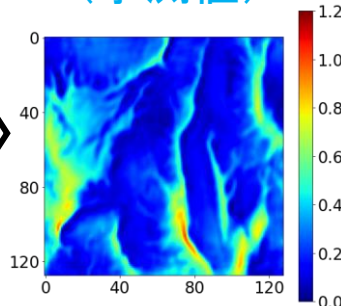
320m解像度



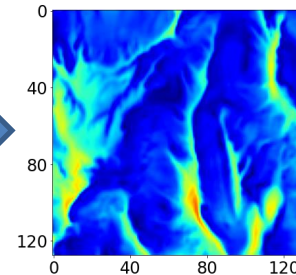
20m解像度

機械学習  
モデル  
(訓練済)

地上10m風速  
(予測値)



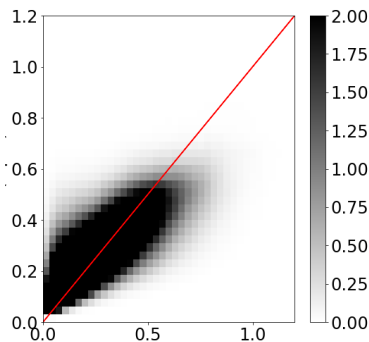
地上10m風速  
(正解: CFD)



誤差評価

機械学習なし

仮想気象モデル  
風速

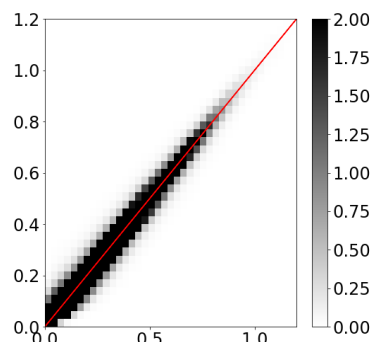


風速(正解)

RMSE  $12.22 \times 10^{-2}$

機械学習適用

機械学習予測値



風速(正解)

$3.17 \times 10^{-2}$

複雑地形上の風速を対象とした予備検討により、機械学習による局所的な風速予測の可能性を示した。

今後、気象モデル出力と観測値を使用した実用的な予測手法を構築し、妥当性を確認する。

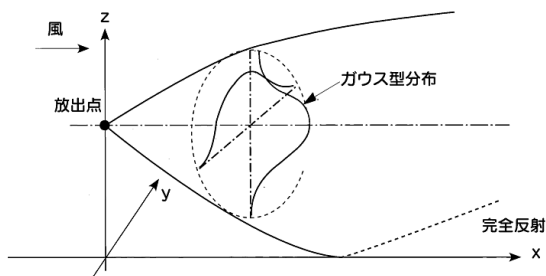
# 研究成果 ②-1 3次元気象場に基づく拡散予測手法の開発

## ベースモデルの候補

※米国環境保護庁推奨(代替)モデル

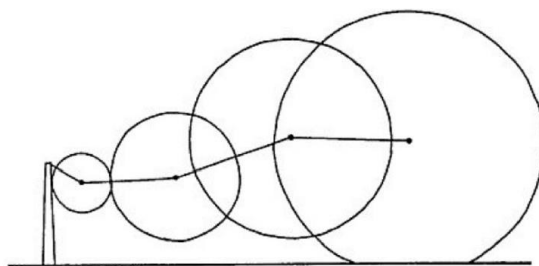
	AERMOD※	CALPUFF※	詳細予測数値モデル
モデルのタイプ	プルームモデル	パフモデル	CFDモデル
気象場	水平一様	非一様な空間分布を考慮可	3次元気流場をモデル内で計算
計算時間	短い	中程度 (年間計算も可)	長い (年間計算は不可)
地形影響	簡易的に考慮可	考慮可 (流線・拡散幅)	精度良く考慮可
建物影響	簡易的に考慮可	簡易的に考慮可	精度良く考慮可

プルームモデル



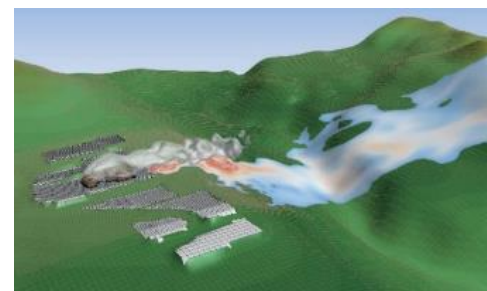
[https://atomica.jaea.go.jp/data/detail/dat\\_detail\\_06-03-05-02.html](https://atomica.jaea.go.jp/data/detail/dat_detail_06-03-05-02.html)

パフモデル



茅野(1990)

CFDモデル



# 研究成果 ②-1 3次元気象場に基づく拡散予測手法の開発

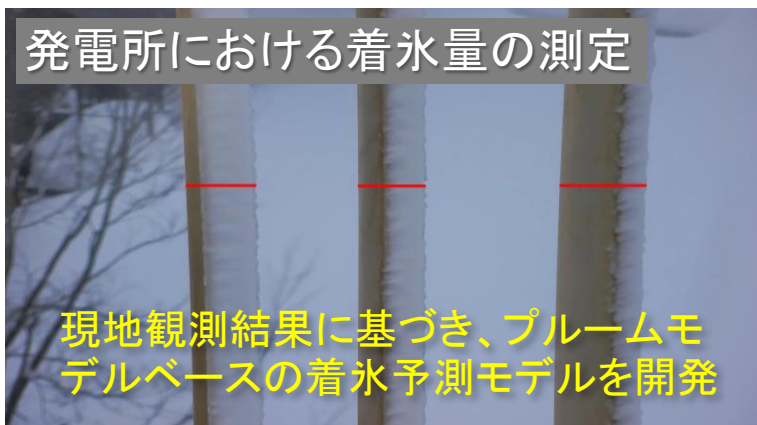
## ベースモデルの候補

- 硫化水素濃度の予測範囲(数十m～数km)を考慮すると、**地形や建屋の影響を精度良く再現できるCFDモデル**が適当。
- ただし、長時間平均であれば、地物による機械的な乱れの影響よりも、**長周期の風向変動・風速変動の影響**が大きくなると予想される。
- **パフモデル**は、現実的な計算コストで長時間の拡散予測が可能であり、複雑地形で重要となる気流場の空間的な非一様性も考慮可能。
- 当面は、**パフモデル**、および、**CFDモデル**を中心に、予測手法の確立を進める。最終的には、拡散実験による検証結果や、アセスへの適用性等を考慮して採用するモデルを決定。

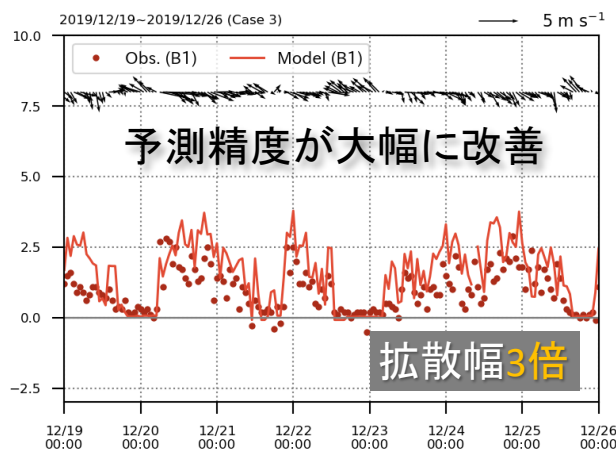
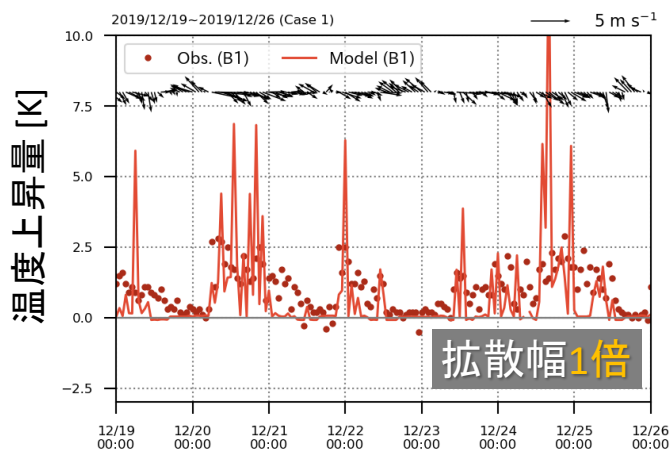
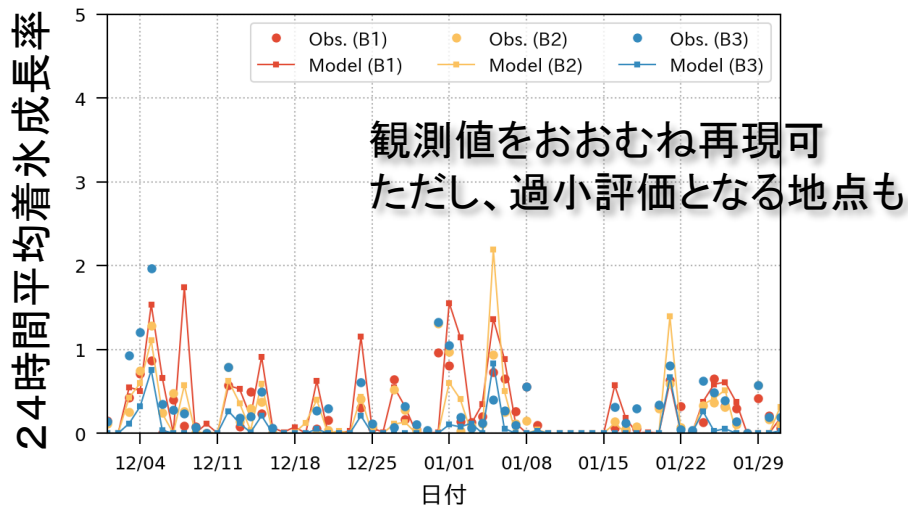
# 研究成果 ②-2 着氷予測手法の高度化

## 前フェーズの概要

### 発電所における着氷量の測定



## 着氷予測モデルの検証



→拡散幅の最適化により、予測精度が向上する可能性。

ただし、地点により最適な拡散幅は異なる。

乱れの強い山間部では、拡散幅が大きくなる(平地の2~10倍程度)



# 研究成果 ②-2 着氷予測手法の高度化

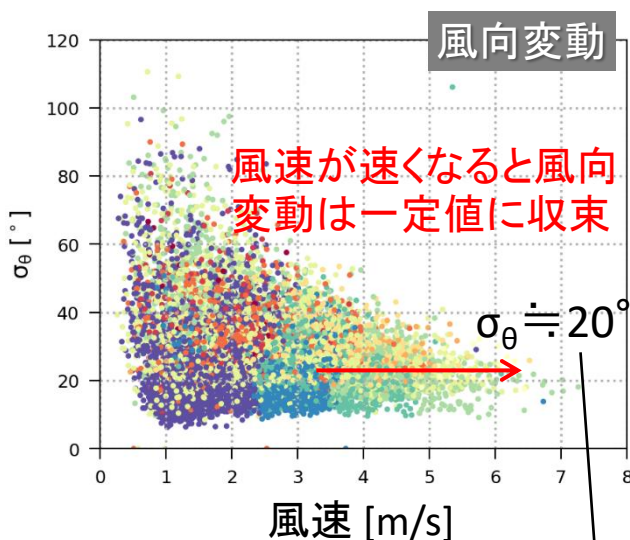
## 拡散幅の最適化

拡散幅は、**風向変動**や**鉛直風速変動**の大きさに比例

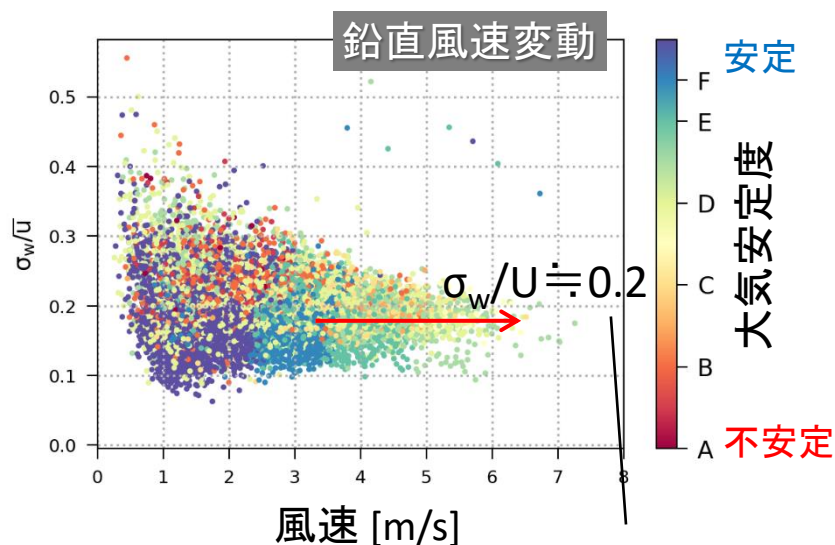
→風向・鉛直風速の変動を**超音波風速計**により実測

3次元超音波風速計

写真: デルタオーム社



平地の**4~5倍**程度の水平方向拡散幅に相当



平地の**3倍**程度の鉛直方向拡散幅に相当

- 今後、風向・鉛直風速変動の実測値をモデルに反映できる仕組みを実装し、観測値により妥当性確認を行う。

## まとめ・今後の予定

- 各研究開発項目は、当初の計画通りに進捗。
- 気象モデルによる現地気象調査代替手法の開発については、1年間の気象再現計算を実施し、検証用データと比較することで、現状の再現精度を定量的に評価した。気象モデルは地上風速を過大評価する傾向があるが、高度が高くなるほど、風速・風向を精度良く再現できることが明らかとなった。
- 複雑地形上の気流場を精度よく再現するための、力学的ダウンスケーリング手法、および、機械学習によるデータ解析手法については、ベースとなる予測手法を構築した。今後、実測値との比較等により、妥当性確認を行う。
- 3次元気象場に基づく大気拡散予測手法については、既存の拡散モデルの調査結果を基に、ベースとなるモデルの候補を決定。今後予測手法を確立し、テスト計算・妥当性確認を進める。
- 着氷予測手法については、気流乱れの実測を含む現地着氷観測を実施し、検証用データを取得した。今後、最適な拡散幅を考慮した予測機能を実装し、検証を行う。