

### 気象雷モデル

気象モデル (力学コア) + 雷コンポーネント

(Nishizawa et al. 2015)  
(Sato et al. 2015)

**雷モデル**  
(Sato et al. 2019)

**出力:**

- 電荷密度の3次元分布
- 電場の3次元分布
- 電位の3次元分布
- 雷頻度の3次元分布

予報変数	スキームなど
電荷分離機構	雲を構成する水物質が持つ各グリッドの電荷密度
中和 (放電)	着氷電荷分離機構(Takahashi 1978)
ポアソンソルバー	中和スキーム (MacGorman et al., 2001, Fierro et al. 2013)
雲物理モデル	Bi-CGSTAB (van der Vorst, 1992)(対象ガウス・ザイデル前処理)
	2-Moment バルク法 (Seiki and Nakajima 2014)

### 気象雷モデルの詳細(Sato et al. 2019, 2022)

### 観測との比較を通じた精密な検証 (Tomioka et al. in revision)

#### 実験設定

MANL (気象場)  
(天気予報のための計算値に基づく解析値)

力学的ダウンスケーリング (Nesting)

水平解像度: 1km  
計算時間: 24~33 時間  
対象領域: 日本付近

- Gridあたりの放電頻度相当量(FOD)
- 経験的な発雷頻度計算 (McCaul et al. 2009)

比較

観測された放電頻度 (LIDEN, Ishii et al. 2014)

#### 結果 気象雷モデルと観測の雷の分布

事例 1: (夏季雷・頻度大)  
Case 1, Observation

事例 2: (夏季雷・頻度小)  
Case 2, Observation

事例 3: (冬の低気圧による雷)  
Case 3, Observation

事例 4: (雷のない降雪事例)  
Case 4, Observation

事例 5: (北陸の冬季雷)  
Case 5, Observation

事例 1: (夏季雷・頻度大)  
Case 1, BLM with SN14

事例 2: (夏季雷・頻度小)  
Case 2, BLM with SN14

事例 3: (冬の低気圧による雷)  
Case 3, BLM with SN14

事例 4: (雷のない降雪事例)  
Case 4, BLM with SN14

事例 5: (北陸の冬季雷)  
Case 5, BLM with SN14

気象雷モデルのスコア (経験的な従来手法のスコア)

評価指標	事例 1	事例 2	事例 3	事例 4	事例 5
RMSE[回]	117 (868)	23 (660)	3.9 (95)	0.1 (0.2)	13(135)
時間相関	0.29 (0.22)	0.22 (0.29)	0.94 (0.8)	- (-)	0.79 (0.84)
Equitable Tread Score	0.36 (0.35)	0.02 (0.02)	0.04 (0.05)	-	0.1 (0.09)

**ポイント:**

- 気象雷モデルは従来手法に比べ雷頻度をよく再現する (RMSEが小さい)
- 気象雷モデルの雷発生位置の再現性や時間変化の再現性は従来手法と同等 (ETS、時間相関が従来手法と同程度)

### 気象雷モデルの大気化学モデルへの応用・雷起源の窒素酸化物を考慮した数値実験 (Sato et al. 2023)

気象雷モデル (Sato et al. (2019))

**出力:**  
雷頻度の3次元分布

大気化学モデル (Kajino et al. 2021)

雷起源NOxを直接計算

大気質計算の精度向上

Calculation Domain1

Calculation Domain2

Calculation Domain3 and Mt. Fuji (a)

結果 (富士山でのNOxの時系列) [赤: モデル、青: 観測]

気象雷モデルによる雷と雷起源NOxを考慮しない場合

気象雷モデルによる雷と雷起源NOxを考慮した場合

雷起源NOxのピークが再現できた

**ポイント:**

気象雷モデルによって計算された雷分布の情報を、大気化学モデルにインプットした計算を行うことで、従来は再現できなかった雷起源NOxの観測結果を再現できるようになった

### 結論

- 雷モデルを結合した気象雷モデル(SCALE)の防災・環境情報の創出を目指して、気象雷モデルの詳細な評価を行った
- 気象雷モデルは、経験的に雷頻度を見積もる従来の方法よりも、雷頻度の再現性という観点から優れていることが明らかになった
- 気象雷モデルの結果を大気化学モデルに入力することで雷起源の窒素酸化物を直接計算できるようになり、富士山山頂で観測されたNOyの時間変化を再現できるようになった