

# 気象雷モデルを用いた冬季雷の温暖化実験

川添 祥（電力中央研究所）・佐藤 陽祐（北大院理）

## 1. はじめに

配電・送電設備や風力発電の雷への対応には、高精度かつ長いリードタイムの予測が必要である。また、設備の老朽化や再生可能エネルギーの拡大への対応の為、近年では数十年先の雷も視野に入れる必要性が指摘されている。しかし、雷発生に重要であるとされる着氷電荷分離 (Takahashi 1978) や積乱雲内の電場計算には膨大な計算資源が必要であるため (Tomioka et al. 2023)、これまで雷の温暖化研究は積乱雲内の電氣的要素を考慮しない経験的な関係式、いわゆる「雷パラメタリゼーション」を主に使用してきた (e.g. Finney et al. 2018, Cummings et al. 2024)。

さらに、限られた先行研究の大半は、年平均や雷が活発化する夏季の事例に限定しており、冬季雷を対象にした将来予測は極めて少ない。しかし、冬季の落雷は夏季にくらべ時には 100 倍以上の電荷量に達するとされており、電力設備に大きな損傷をもたらす可能性がある。そこで本研究では、雷を直接扱う数値モデルを用いた数値実験によって、冬季雷の温暖化応答に関して解析を行った。

## 2. 実験設定

本研究では、Scalable Computing for Advanced Library and Environment (SCALE: Nishizawa et al. 2015, Sato et al. 2015) に雷モデル (Sato et al. 2019) を実装したものを利用した。初期値境界値には再解析データ ERA5 (Hersbach et al. 2020) を用い、8 km 格子の初期値・境界値データと 2 km 格子の領域ネスティング実験を北海道日本海側を中心に行った。鉛直解像度は 53 層 (~17 km まで)、

計算領域を図 1 に示す。

冬季雷の大半は日本海側で発生することから、冬型気圧配置となった 2022 年 12 月 1 日、12 月 4 日、12 月 18 日、2023 年 1 月 2 日の事例に対して、数値シミュレーションを行った。温暖化時に雷の解析には、上記の再現事例に将来の気温とジオポテンシャル高度の摂動を与える「疑似温暖手法」を用いた。この研究では、CMIP6 HighResMIP (Haarsma et al. 2016) に参加している気象庁気象研究所 全球大気モデル MRI-AGCM3.2S (Mizuta et al. 2012) の過去実験 (1995~2014 年) と 2031~2050 年及び 2081~2099 年差分を与え、計算を行った。世紀末まで高解像度 (25 km 格子) の気候データを公開しているのは、MRI-AGCM3.2S のみである。再現性の検証では、気象庁の雷監視システム LIDEN (Ishii et al. 2014) と比較した。

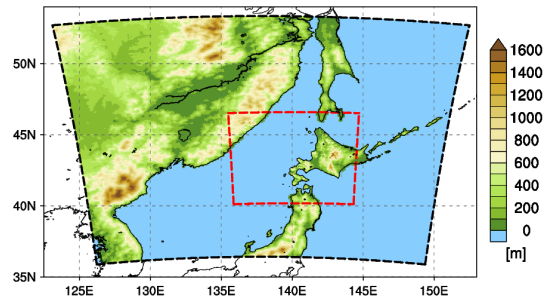


図 1: 計算領域。黒線は 8 km、赤線は 2 km 格子

## 3. 結果と考察

雷モデルで計算された発雷数は LIDEN を概ね再現できることを確認したものの、寒気に伴うモデルの筋状雲の位置により、観測された雷の位置をうまく再現できなかった事例もあった。

将来気候における雷の頻度は、12 月 4 日 (再現と将来実験の発雷数: 0) を除き、増加傾向を示していることが明らか

になった。特に明確な違いを示したのは図2で示す12月18日の事例であり、世紀末では約10倍の発雷数が予測されていることが分かった。この原因としては、現在気候再現実験では下層が極めて低温である為、霰が形成しづらい環境が支配していたが、温暖化により霰が形成しやすくなり、着氷電荷分離が起こりやすい環境になったことが考えられる。

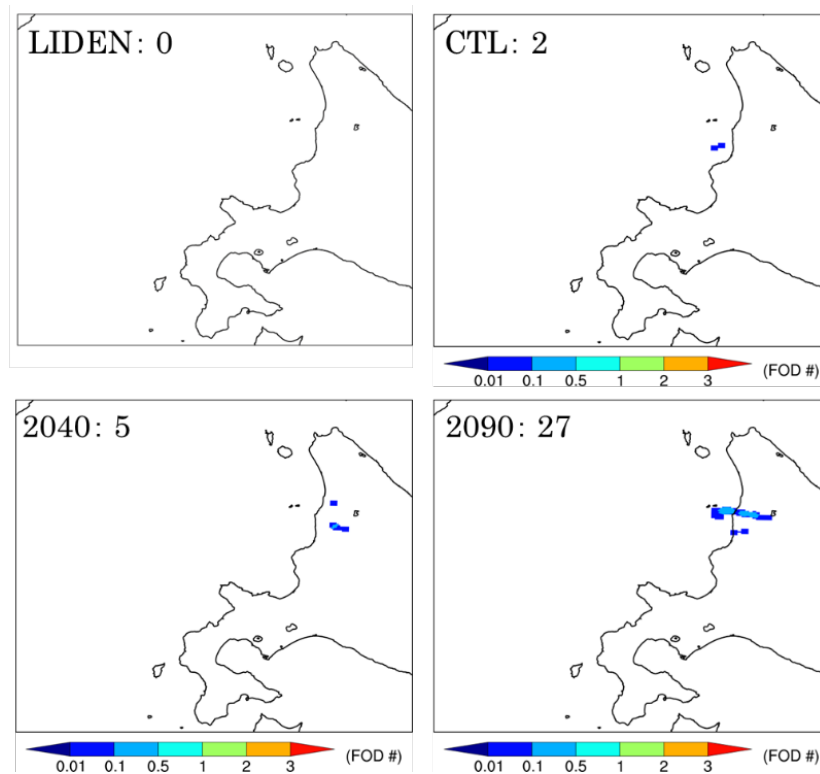
最後に、将来実験では降雪量の増加も示されていた。その為、電力設備への負担は今後さらに増えていく可能性が示された。

**謝辞：** 本研究は、JSPS 科研費(21H04196、24H00257)、寄附分野北海道気象予測技術分野(北海道気象予測技術センター)の支援を受けた。解析には北

海道大学情報基盤センターのスーパーコンピュータ及び東京大学のWisteria/BDEC-01スーパーコンピュータシステムを利用した。

#### 参考文献

- Cummings et al. 2024, *JGR Atmospheres*, **129**, e2023JD039492  
 Finney et al. 2018, *Nature Clim Change*, **8**, 210–213  
 Haarsma et al. 2016, *Geosci. Model Dev.*, **9**, 4185–4208  
 Hersbach et al. 2020, *QJR Meteorol Soc.*, **146**, 1999–2049  
 Ishii et al. 2014, *J. Atmospheric Electricity*, **3**, 79–86  
 Mizuta et al. 2012, *J. Meteor. Soc. Japan*, **90A**, 233–258



**図2：** LIDEN、再現実験 (CTL)、2031~2050年実験 (2040)、と 2081~2099年 (2090年) 実験の発雷頻度。数は発雷数 (モデルは Flash Origin Density (FOD)) を示す。