

雷放電観測(LIDEN)を用いた気象雷モデルの検証

*佐藤陽祐(北大院理), 林修吾(気象研究所), 橋本明弘(気象研究所)

1. はじめに

雷は高度に電子化された現代社会において脅威であり, 人間生活に大きな影響を与える. また気候変動に伴い将来は雷の頻度は増加することが見込まれているなど(Romps et al. 2014), 雷に関する社会的な関心は高く, 主に観測によって雷に関する研究が進められている. 一方, 現代の気象学において重要な役割を果たしている数値モデルによる実験では, 一部の例外(Mansell et al. 2005; Hayashi 2006 など)を除いては雷は扱われていない. その一つの原因が雷を扱うことによって生じる膨大な計算コストである. そこで, 著者らは大型計算機で性能が出るように設計されたSCALE(Nishizawa et al. 2015; Sato et al. 2015)を雷が扱えるように拡張し(SCALE-LT), これまで理想実験による研究を進めてきた(Sato et al. 2019; Sato et al. 2020).

しかしながら雷観測データとの比較やそれを用いた同化研究を進めるにあたっては現実事例への拡張が必要である. そこで佐藤ら(2020)ではSCALE-LTを現実事例に拡張し, その検証を行った. 本研究では現実事例に拡張したSCALE-LTを用いて, 複数の事例を対象とした現実事例の計算を行い, 雷放電観測との比較を行うことで, SCALE-LTの検証を行った.

2. モデルの拡張と実験設定

本研究で用いた気象モデルは雷コンポーネントを加えたSCALE-LT(Sato et al. 2019)であり, このモデルを現実事例に拡張したものである(佐藤ら 2020). この雷コンポーネントは雲の水物質が持つ電荷密度を予報変数として計算する. 水物質の電荷分離は(Takahashi 1978)で提案された着氷電荷分離機構(あられと氷の衝突で電荷分離が発生)に基づき, あられと氷の衝突によって生じる電荷分離量はTakahashi(1978)のルックアップテーブルに基づいて決まる. 電場は電荷の3次元分布よりポアソン方程式を解くことで求め, 電場の絶対値がある閾値 E_{th} (本研究では110 kV/mに設定)を超えると(Fierro et al. 2013)のスキームに基づいて中和を計算する.

雲微物理モデルはダブルモーメントバルク法(Seiki and Nakajima 2014), 乱流モデルはMYNN(Nakanishi and

Niino 2006), 放射コードはMSTRN-X(Sekiguchi and Nakajima 2008)を用いた. 陸面モデルはバケツモデルを用い, 都市域では1層キャノピー都市モデル(Kusaka et al. 2001)を用いた.

対象とした事例は1:平成29年九州北部豪雨, 2:平成30年西日本豪雨, および3:平成30年2月の北海道である. 1~3の事例はそれぞれ, 雷が高頻度で観測された事例, 豪雨は観測されたものの雷の頻度が低かった事例, 雷が全く観測されなかった事例に対応し, SCALE-LTが観測された雷の傾向を再現できるか検証した. 初期・境界条件にはMANL(水平解像度5 km, 時間間隔は3時間)を用い, 水平解像度1kmで表1に示す期間の計算を行なった. それぞれの事例の計算領域を図1に示す.

雷放電の観測データはLIDENを用いた. SCALE-LTの放電モデル(Fierro et al. 2013)は計算された電場から放電開始点を決め, 放電開始点から半径 r_{ycl} の範囲で水物質の中和が起こるように計算を行う. この方法では, 雲放電・対地雷の識別や放電の極性を判別することができない. 一方, LIDENによる観測では雲放電・対地雷の識別, および放電の極性の識別が可能であり, モデルで計算された放電回数と, 観測された放電回数をそのまま比較することはできない. そこで, 本研究ではFierro et al. (2013)に基づき観測による放電頻度に対応する物理量: Flash Origin Density (FOD)をモデルの出力から計算し, LIDENで観測された雲放電と対地雷の合計と比較した.

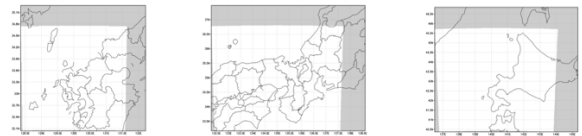


図1: (左) 事例1, (中央) 事例2, (右) 事例3の計算領域(灰色で塗られた部分は計算領域には含まれない)

表1: 対象とした事例の計算期間と放電頻度

	計算期間	放電頻度
事例1	2017/7/5 00UTC ~ 7/6 00UTC	多
事例2	2018/7/6 00UTC ~ 7/7 03 UTC	少
事例3	2018/2/12 00UTC ~ 2/13 03 UTC	なし

3. 結果と議論

図2はSCALE-LTで計算された事例1,2の計算期間全体でのFODの空間分布と、LIDENで観測された同期間の雷頻度である。

事例1では広範囲で雷が観測されている(図2右上)一方、事例2では雷は観測されているもののその頻度は事例1に比べ小さい(図2右下)。モデルで計算された雷頻度(FOD)を見ると、事例1より事例2の頻度が小さいという観測された放電頻度の特徴は再現されている。また事例3では観測、モデルともに雷は観測されていない(結果は非表示)。これらの結果より、SCALE-LTは事例1,2,3の積算した雷頻度の相対的な関係(表1の一番右の列)を再現できていることを示している。

しかしながら、事例1ではSCALE-LTで計算された雷のピークの位置が南にずれているとともに、雷が広範囲に計算されている。また事例2ではSCALE-LTで計算されたFODの空間パターンは観測の雷頻度の空間パターンをよく再現しているが、全体的に過大評価傾向である。この原因を探るため、事例1,2双方で観測された雲の場をよく再現していたJMANHM(橋本ら, 2019)の雲の場と比較した。

JMANHMとSCALE-LTの雲の場を比較すると、事例1ではJMANHMの結果に比べ、雲や強雨域が南にずれ、強雨域も広範囲に広がっていた。また、事例2ではSCALE-LTはJMANHMの結果される雲の水平分布はよく再現していたものの、JMANHMの結果に比べ雲頂高度が高く、深い対流が立っていることが明らかになった。この傾向は雷の計算と観測との違いと同様の傾向であり、SCALE-LTが計算した雲の場が観測と異なっていたために、雷の場も観測と異なる結果になったことが示唆された。

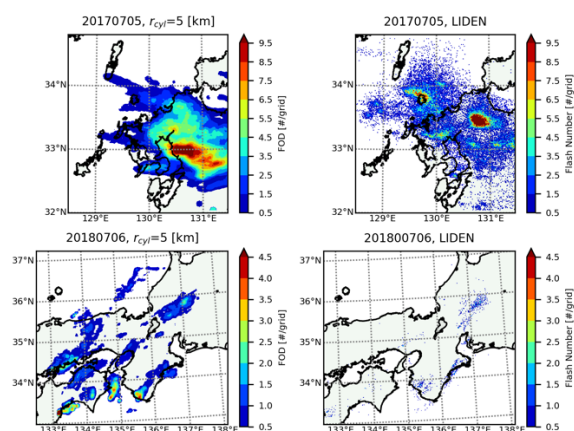


図1：計算期間全体で積算した(左)FODおよび(右)観測された雷頻度の水平分布。上、下はそれぞれ

れ事例1,2の結果を示す。

参考文献

- Fierro, A. O., E. R. Mansell, D. R. Macgorman, and C. L. Ziegler, 2013: *Mon. Wea. Rev.*, **141**, 2390–2415
- Hayashi, S., 2006: *SOLA*, **2**, 124–127
- 橋本明弘, 折笠成宏, 田尻拓也, 林修吾, 2019: 日本気象学会2019年秋季大会, P452
- Kusaka, H., H. Kondo, Y. Kikegawa, and F. Kimura, 2001: *Bound.-Layer Meteorol.*, **101**, 329–358
- Mansell, E. R., D. R. MacGorman, C. L. Ziegler, and J. M. Straka, 2005: *J. Geophys. Res.*, **110**, D12101, doi: 10.1029/2004JD005287
- Nakanishi, M., and H. Niino, 2006: *Bound.-Layer Meteorol.*, **119**, 397–407
- Nishizawa, S., H. Yashiro, Y. Sato, Y. Miyamoto, and H. Tomita, 2015: *Geosci. Model Dev.*, **8**, 3393–3419
- Romps, D. M., J. T. Seeley, D. Vollaro, and J. Molinari, 2014: *Science (80-.)*, **346**, 851–854
- Sato, Y., S. Nishizawa, H. Yashiro, Y. Miyamoto, Y. Kajikawa, and H. Tomita, 2015: *Prog. Earth Planet. Sci.*, **2**, 23, doi: 10.1186/s40645-015-0053-6
- Sato, Y. Miyamoto, and H. Tomita, 2019: *Prog. Earth Planet. Sci.*, **6**, 62, doi: 10.1186/s40645-019-0309-7
- 佐藤陽祐, 林修吾, 橋本明弘, 2020: 日本気象学会2020年度秋季大会, SP3-04+
- Seiki, T., and T. Nakajima, 2014: *J. Atmos. Sci.*, **71**, 833–853
- Sekiguchi, M., and T. Nakajima, 2008: *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transf.*, **109**, 2779–2793
- Takahashi, T., 1978: *J. Atmos. Sci.*, **35**, 1536–1548

謝辞

本研究は科研費基盤C(17K05659)、基盤B(20H04196)、北海道大学情報基盤センター次世代高性能計算機プログラム支援事業、寄付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)、三菱財団助成金(自然科学助成)の支援を受けて行われています。また本研究は、文部科学省「富岳」成果創出加速プログラム「防災・減災に資する新時代の大アンサンブル気象・大気環境予測」の一環として実施したもので、一部はスーパーコンピュータ「富岳」の資源提供を受け、実施しました。