数値モデルによる分極誘導および融解が雷雲内の電荷に与える影響評価

吉田友紀（北大理）・佐藤陽祐（北大理院）

1. はじめに

雷雲内の電荷分離は着氷電荷分離機構[1]による説明が有力であるとされている。しかし実内実験をはじめとした先行研究では他にも複数の電荷分離機構が提唱されており、このうち分極誘導[2]と融解電荷分離[3][4][5][6]が重要である可能性が指摘されている。

分極誘導は、電場がある環境下でドライグロース状態の霰と雲粒が衝突することによって電荷分離する過程であり、その影響については先行研究間で異なる見解が述べられている[7][8]。融解電荷分離については先行研究ではその影響を認めている[9]ものの、融解時の電荷分離量が研究間で異なっている。以上からこれらの過程が雷雲内の電荷構造に与える影響に関する統一的理解は得られていない。

本研究で用いる気象雷モデル Scalable Computing for Advanced Library and Environment (SCALE) [10][11][12]では、これまでこれらの過程は考慮されていなかったため、本研究ではこれらの過程を考慮した実験を行いその影響に関する考察を行った。

気象雷モデル SCALE は観測との比較を通して検証が実施されているが、一部の事例では観測される雷頻度を過小評価することが報告されている[13]。この要因の一つとして着氷電荷分離機構以外の電荷分離過程が考慮されていなかった可能性が考えられる。

そこで、本研究では、夏季積乱雲を対象とした理想実験によりこれらの電荷分離過程が雷雲内の電荷構造に与える影響を評価した。

2. 利用したモデルと実験設定

利用した数値モデルは理化学研究所を中心に開発されている SCALE の version 5.4.3 である。SCALE には電荷分離課程として着氷電荷分離のみが考慮されているが[12]、本研究では分極誘導[7][8]と融解電荷分離[9]を新たに実装して実験を行った。

実験は 1994 年 9 月 8 日埼玉県美里町で雷とダウンバーストが発生した事例を対象とした理想実験とした。同日の観測プロファイルに基づいて作成した水平一様の初期場に、計算ドメインの中央に暖気塊を置いて対流を発生させ、60 分間積分を行い、積乱雲一つが発生して消滅するまでの数値実験を行った [14]。水平解像度は 500m、鉛直層数は 100 層で、モデルトップは 24.2 km（層厚は 10 m～1568 m：下層ほど細かい）とした。側面境界は周期境界条件、下部境界は free slip とし、高度 18 km 以上ではレイリーダンピングを適用した。

3. 結果と考察

図 1 に電荷密度の空間分布を示す。(a)の着氷電荷分離機構のみを考慮した場合に比べて、(b)の分極誘導を考慮した場合では、霰が正に帯電することにより、(a)に比べて対流域下層の正電荷が強化されている。また(c)の融解電荷分離を考慮した場合では、0°C 等温線以下の正電荷が部分的に強化されている。以上のように、電荷分布の大局的構造は同様であるものの、下層を中心に部分的な影響が認められる。したがって、これらの電荷分離過程の導入により上記の過小評価が改善される可能性がある。

4. 今後の課題

本研究では理想実験によって夏季の対流雲における電荷構造を対象とした。今後は融解電荷分離や分極誘導の効果が大きくなる可能性がある冬季北陸における現実事例を対象として数値実験を行い、融解電荷分離や分極誘導の影響を評価する。

参考文献

[1] Takahashi 1978, doi:10.1175/1520-0469(1978)035%3C1536:REAACG%3E2.0.CO;2

[2] Shewchuk and Iribarne 1974, doi:10.1175/1520-0469(1974)031%3C0777:EAWDAO%3E2.0.CO;2

[3] Carte 1961, doi:10.1088/0370-1328/77/3/327

[4] Kikuchi 1965, doi:10.2151/jmsj1965.43.6_351

[5] Drake 1968, doi:10.1002/qj.49709440007

[6] Takahashi 1969, doi:10.1175/1520-0469(1969)026%3C1253:epolwo%3E2.0.co;2

[7] Zieler et al. 1991, doi:10.1029/91JD01246

[8] Mansell et al. 2005, doi:10.1029/2004JD005287

[9] Xu et al. 2020, doi:10.1029/2020GL090840

[10] Nishizawa et al. 2015, doi:10.5194/gmd-8-3393-2015

[11] Sato et al. 2015, doi:10.1186/s40645-015-0053-6

[12] Sato et al. 2019, doi:10.1186/s40645-019-0309-7

[13] Tomioka et al. 2023, doi:10.1186/s40645-023-00592-w

[14] Guo et al. 1999, https://www.kurims.kyoto-u.ac.jp/~kyodo/kokyuroku/contents/pdf/1115-14.pdf

謝辞：本研究は JSPS 科研費 24H00257 の助成を受けて実施されています

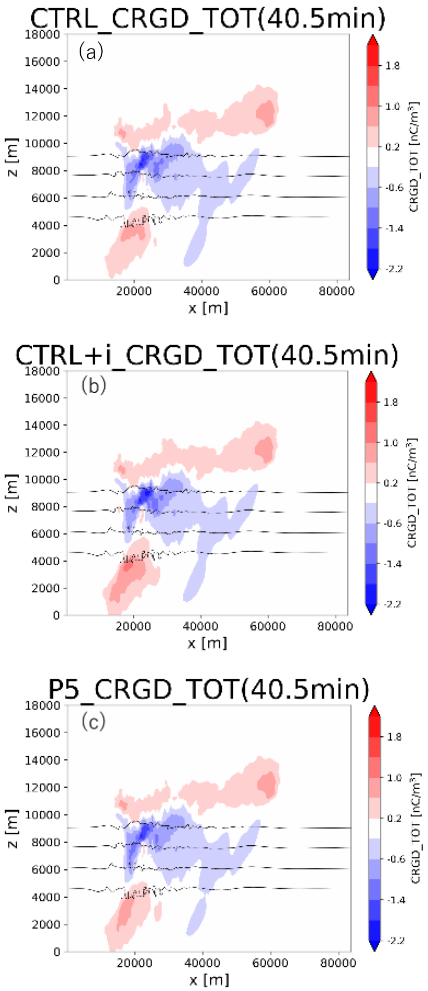

図 1:計算開始から 40.5 分後の電荷密度の x-z 断面。(a)は着氷電荷分離機構のみ、(b)は分極誘導を考慮した場合、(c)は融解電荷分離を考慮した場合の結果を示す。