

雷モデルの開発

金子 大志^{1,*} 坪木 和久¹・榊原 篤志²

(1:名大・地球水循環研究センター 2:中電シーティーアイ)

1. はじめに

雷の発生に重要な雷雲内電荷分布は積乱雲の発生・発達過程に強く依存する。雷の発生をコンピュータシミュレーションで再現・研究するには、雷を発生させる積乱雲を再現し、積乱雲内の電荷分布を計算し、さらにその電荷分布にもとづく発雷の計算が必要である。本研究では雷の予測を目指して、雲解像モデル CReSS(Cloud Resolving Storm Simulator)をベースとして、雷雲内の電荷の時間・空間分布と発雷を計算する雷モデルを開発した。

また理想実験において発雷機構のパラメータ感度実験を行い、発生する落雷極性割合の適合性について検討した。

2. 雷モデル

本研究では電荷分布の計算と、発雷機構の計算については林、他(2003)と同様に、それぞれ Takahashi(1978)の着氷電荷分離機構と、MacGorman et al.(2001)の雷パラメタリゼーションを用いる。また電荷分布の再現では、着氷電荷分離機構によって発生した電荷は粒子に帯電しているものとして、帯電粒子の運動と雲物理による変化に従って運動・変化するものとして取り扱っている。

着氷電荷分離機構では大粒子と小粒子の衝突・分離が起こった際に電荷が両粒子に逆符号で与えられる。単位時間あたり大粒子に発生する電荷密度 RE (Riming Electrification) は、以下の式のようになる。

$$RE \cdot Q_x = \alpha \pi E_{sep} \left(\frac{D_x + D_y}{2} \right)^2 |U_x - U_y| N_x N_y q$$

ここで、 α は小粒子の直径と両粒子の相対落下速度に依存する係数、 E_{sep} は衝突分離係数、 D は粒子直径、 x は大粒子、 y は小粒子、 U は落下速度、 N は粒子の数密度、そして q は帯電係数を示す。小粒子には逆符号の RE が帯電する。

雷パラメタリゼーションでは設定可能なパラメータは、 E_{init} 、 dE_{init} 、 E_{stop} 、 z_{cg} 、 f_p 、 q_{chan} 、 q_{neut} (表1参照)があり、計算領域中最大の電界が E_{init} に達すると放電開始と判定され、 $E_{init}-dE_{init}$ 以上の電界領域からランダムに放電開始点が選択される。放電路は開始点から電界ベクトルの方向に沿った方向とその逆方向へ進展し、 E_{stop} を下回ると停止する。停止した放電路の先端のどちらかの高度が落雷判定高度 z_{cg} よりも低ければ落雷と判定される。また、形成された線状の放電路に隣接する電荷領域の内、 $|q_{chan}|$ を上回る電荷密度を持つ領域にも放電路がその領域を満たすように進展するとしており、最終的に形成された放電路上の電荷を $|q_{neut}|$ 以上の電荷について f_p の割合だけもとあった電荷から減らして中和としている。

3. 実験の設定

一般に夏季の落雷ではその9割を負極性落雷(大地と短絡する雲内電荷領域において中和する正味電荷量が負である落雷)が占める。感度実験では夏季の積乱雲の発生を想定した環境場を用いて、雷パラメタリゼーションで使用しているパラメータについて落雷の極性割合に関する感度実験を行った。

格子数 $(x,z)=104 \times 100$ 、水平解像度 500m、鉛直解像度 200m、積分時間 120分とし、水平風を地上 0m/s から高度 20km で 10m/s になるように線形に増加させている。また初期場は夏季の積乱雲を想定し、水平一様な気圧、温位、相対湿度の鉛直プロファイルを使用している。初期擾乱として温位偏差を下層に置いた。

理想実験における雷モデルの再現例を図1に示す。

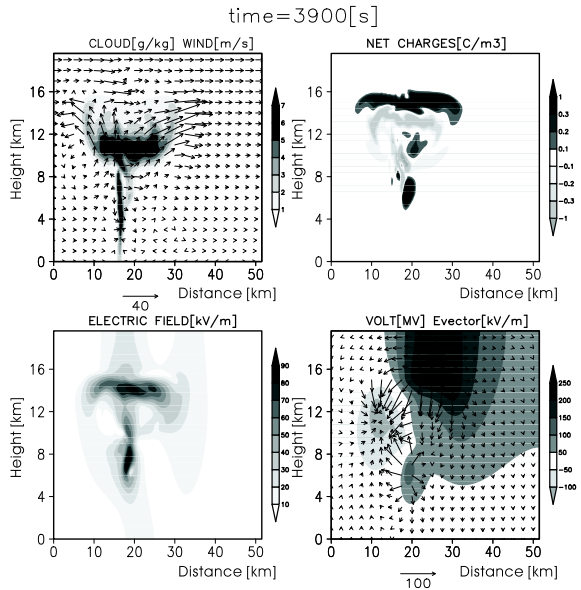


図1 理想実験開始から 3900 秒後の鉛直断面図。左上：水・氷粒子の混合比の総和と気流場(矢印)、右上：正味電荷密度、左下：電界強度、右下：電位と電界ベクトル(矢印)

以下に雷パラメタリゼーションの設定を示す。

記号	E_{init}	dE_{init}	E_{stop}	z_{cg}	q_{chan}	q_{neut}	f_p
意味	放電開始電位	開始点選択余裕	電界追跡進展停止閾値	落雷判定高度	電荷領域に進展可能な閾値	中和不可電荷密度	中和割合
標準実験	150kV/m	15kV/m	15kV/m	0.1km	0.5C/m3	0.5C/m3	0.3
(1)	300	30					
(2)	450	45					
(3)	600	60					
(4)			30				
(5)				1			
(6)					0.05	0.05	
(7)					0.0001	0.0001	
(8)							1
(9)						0	
(10)						0	1

表1 感度実験パラメータ設定

4. 結果とまとめ

標準実験では発生する落雷の極性は正極性落雷の方が負極性落雷よりも多くなってしまふ。また、 q_{neut} だけ残った電荷領域中の電荷分布が E_{init} を上回る電界強度を作ることがある。このことから中和量を多くするか、もしくは E_{init} を大きくすることが必要であることが示唆された。感度実験で発生した雷の数を表2にまとめる。

設定	雲放電 [回]	落雷 [回]		合計 [回]
		正極性	負極性	
標準実験	200	43	24	267
(1)	71	13	38	122
(2)	70	0	2	72
(3)	53	0	0	53
(4)	248	34	19	301
(5)	198	48	21	267
(6)	217	0	7	224
(7)	191	0	3	194
(8)	77	25	31	133
(9)	214	38	19	271
(10)	117	0	14	131

表2 放電回数

感度実験では特に上記の E_{init} もしくは q_{neut} 、 q_{chan} を改良することによって負極性落雷の方が正極性落雷よりも多く発生し、発生する落雷極性割合に関して負極性落雷の再現性が改善されることがわかった。