

林修吾（気象研究所）

1. はじめに

2014年6月24日14時半頃に東京都調布市・三鷹市付近において、激しい降雹および落雷が観測された。防災科研による調査（出世，2015）や新聞報道等によると、直径3cm以上の雹が地表に落下し、場所によっては深さ30cm以上の雹が降り積もった（ただし直接降った分以外に、地表を流れてきた分も含まれている）。この激しい降雹をもたらした積乱雲について、レーダ観測によるその構造の解析および数値モデルによる再現実験を行い、降雹をもたらされた原因および数値モデルによる再現性を調査した。

2. データと解析方法

用いた観測データは、国交省MPレーダ（おもに新横浜）、気象庁のレーダアメダス解析雨量、ゾンデ、アメダス、LIDENデータを使用した。MPレーダは5分ごとにボリュームスキャンしており、その偏波パラメータデータを使用した。

モデルによる再現実験には気象庁非静力学モデル（NHM, Saito et al. 2006）を用いた。初期条件は2014年6月24日12JSTの気象庁メソ解析（水平解像度5km）とし、境界条件は同じくメソ解析を3時間毎に与えた。モデルの水平解像度は500m、鉛直は高度21kmまでに60層、予報時間は6時間、雲物理は氷2-moment、積雲パラメタリゼーションはなし、とした。

3. 観測された積乱雲

2014年6月24日の関東地方は梅雨前線のすぐ北側に位置しており、上空には寒気を伴った気圧の谷があり、大気の状態は不安定であった（東京管区气象台，2014）。ただしアメダスによると日照はあまりなく地上の最高気温は25℃前後で、日射による不安定の強化はなかった。降水発生前の関東南部は駿河湾からの南風と鹿島灘からの東風で弱い収束域となっていた（図略）09JSTのつくばの高層観測によると0℃高度は3.5km、-10℃高度は5.5kmであった。

降雹をもたらした積乱雲は、13:30JSTに高度

2km面に最初のレーダエコーが出現し、約60分後の14:30～15:00JSTに地上で激しい降雹をもたらした。図1の赤丸にこの時間帯を含む13JST～16JSTのレーダアメダス解析雨量の3時間積算雨量を示す。図中の赤丸で囲んだ領域が、調布市・三鷹市付近で降雹をもたらした積乱雲による降水域である。3時間で約80mmの降水があったと推定される。同時刻の関東南部ではこの降雹をもたらした積乱雲以外にも複数の発達した積乱雲が存在しており、積乱雲が発生しやすい状況だったことがわかる。

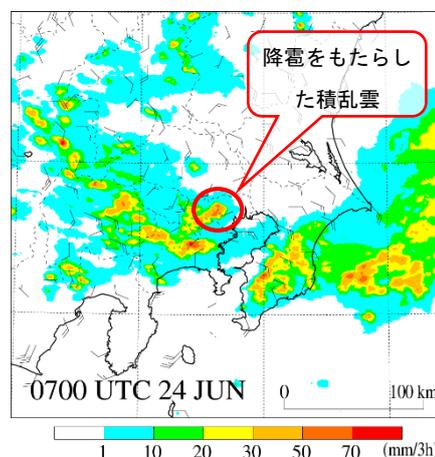


図1. 2014年6月24日の13JST～16JSTのレーダアメダス解析雨量による3時間積算降水量

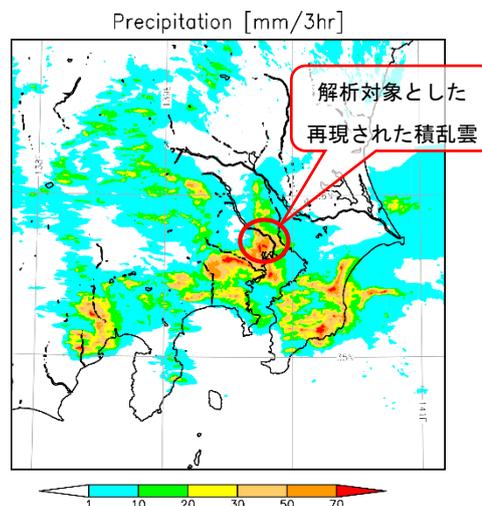


図2. NHMにより再現された図1と同時刻の3時間積算降水量

図 3 には MP レーダによる偏波パラメータ Kdp より算出したあられ領域の体積 (Doviak and Zrnic 2006) の高度時間変化を示した。1345JST 頃から高度 5~6km 付近 (約-10°C 高度) に大きなあられ体積が見られ、1400JST 頃には高度 4~7km に広がり、1420JST 頃から下方へ伸びていく様子が見られた。このあられ領域の下降はおそらく地上の降雹に対応していると考えられる。また上空のあられ体積が拡大してから 10~15 分後 (1415JST 頃) から雷活動が活発化し、1430JST 頃には激しい雷活動がもたらされた (図略)。これは一般的な雷発生メカニズム (あられ生成から電荷蓄積がはじまり、大量の雹の生成にともない活発な雷活動がもたらされる) と整合的である。

4. モデルによる再現実験

図 2 に NHM により再現された 13JST~16JST の 3 時間積算降水量を示す。図 1 の解析雨量と比べると降水量のピークが大きく、降水範囲もやや広い。時系列で積乱雲の生成・発達を確認したところ、残念ながら降雹をもたらした積乱雲と厳密に一致する積乱雲は再現できていなかった。ここでは、再現された中で観測された積乱雲の最も近傍で発達した積乱雲 (図 2 で赤丸で囲んだ領域) を解析対象とした。この積乱雲は東京都のやや北側で発生し、ゆっくり南下しつつ東京都の東部で最も発達した。

図 4 には、図 3 同様にモデルの Graupel 体積 (高度別に $3\text{g}/\text{m}^3$ 以上の領域を積算) の高度時間変化を示した。図 3 と直接比較出来る物理量ではないが、図 3 同様に 1345JST 頃から高度 6km 付近であられ体積が増加し、その後鉛直方向に広がりながら増加していく傾向が見られた。しかし、鉛直方向への広がり観測より小さく、 0°C 高度下方への進展は全く見られなかった。これはモデル内の霰は、地表にまで達するような巨大な雹を表現することが難しいため、この再現実験では降雹を直接表現することは出来なかった。

図 5 には積乱雲内で高度別に上昇流が $10\text{m}/\text{s}$ を超える領域を積算したものを示す。あられ体積と異なり高度 10km 付近まで上昇流域は広がっており、観測のあられ分布と似ている。前述の通り降雹の直接の表現は難しいが、上昇流域が再現されていれば、観測と比較を行うことで降雹につながる情報を提供できる可能性がある。

GRAUPEEL volume from Kdp 2014/06/24 13:30-15:30 JST

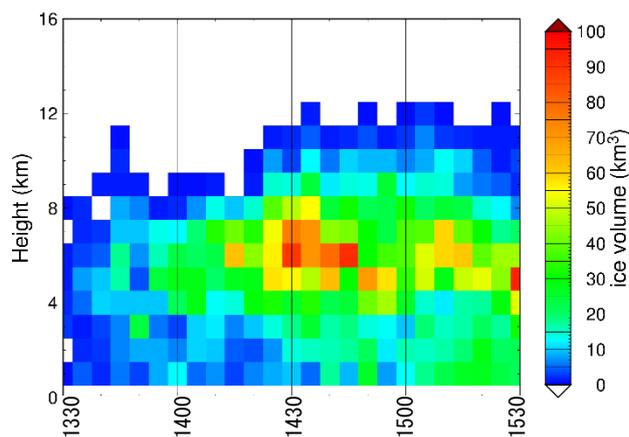


図 3. MP レーダ観測による対象積乱雲内の 1330~1530JST のあられ体積 (Kdp から判定した霰グリッドを高度別に積算) の高度時間変

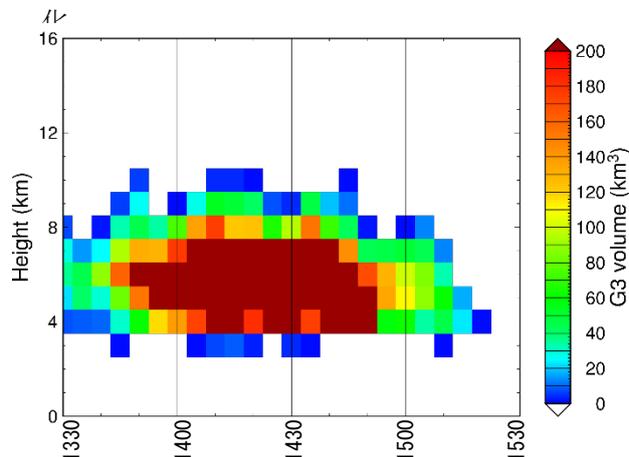


図 4. NHM による対象積乱雲内の 1330~1530JST のあられ体積 (高度別に Q_g が $3\text{g}/\text{m}^3$ 以上の領域を積算) の高度時間変化

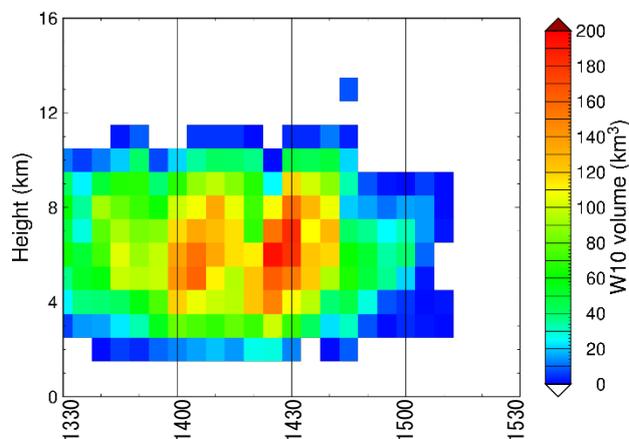


図 5. NHM による対象積乱雲内の 1330~1530JST の上昇流体積 (高度別に W が $10\text{m}/\text{s}$ 以上の領域を積算) の高度時間変化