

2005年9月4日に東京都で短時間強雨をもたらした 線状エコーのドップラーレーダーを用いた解析

立 石 貴 広*・上木原 聡**

1. はじめに

2005年9月4日午後から5日未明にかけて、関東地方南部で激しい雷雨となった。特にエコーが線状化した最盛期には東京都練馬区石神井で21:30~22:30の1時間で107 mm を記録し、浸水や道路冠水等の被害をもたらした。この線状エコーについて、一般レーダーに加え、短い時間間隔で動径風が得られる羽田・成田空港の航空気象ドップラーレーダーを利用し、エコー内の対流セルの移動・発達や気流構造を解析した。

なお、雷雲の調査は航空機の安全運航に関わりがあり、航空気象業務に資するものといえる。

2. 総観場

2005年9月4日21時(日本時間、以下同じ)の地上天気図を第1図に示す。関東付近では、北陸地方の秋雨前線に向かって台風第14号および太平洋高気圧の縁辺流から暖かく湿った空気が合流する場となっている。9月4日21時の館野におけるSSIは0.8°Cで、対流の発達しやすい環境であった。

3. 解析

3.1 ステージ分け

9月4日15:00~5日02:00までの高度2 km 面の関東合成レーダーによるエコー強度分布を、時系列に並べたものを第2図に示す。第2図から大雨をもたらした一連の対流雲の発生・発達・衰弱までの過程を以下のようにステージ分けした。

* Takahiro TATEISHI, 東京管区気象台(現・気象庁予報部予報課航空交通気象センター)。

** Satoshi KAMIKIHARA, 東京管区気象台(現・成田航空地方気象台)。

© 2008 日本気象学会

①発生期(15:00~16:00)

15時頃、相模湾からの南南東風と東京湾からの東風が収束している東京多摩西部で複数の対流雲が発生した。

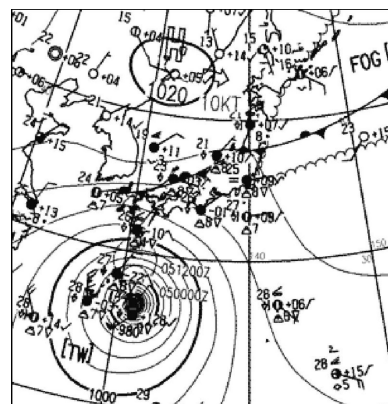
②発達期1(16:00~18:00)

多摩西部で発生した複数の対流雲が次第に併合してまとまりをみせながら発達し、18時頃にエコーの南端が先細ったテーパリング状となった。エコーはほとんど位置を変えず停滞していた。

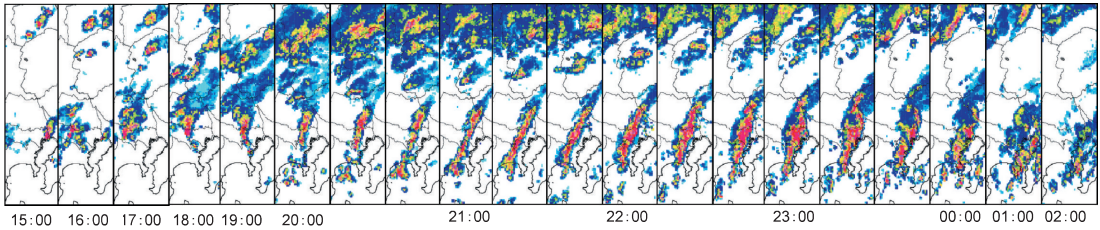
③発達期2(18:00~20:40)

18:00頃~19:20頃にかけて、エコー南端付近でエコーが次々と発生し合流することで徐々に南に延びはじめ、南北に延びる線状エコーを形成していった。19:20頃~20:20頃にかけて相模湾付近で複数の対流雲が湧き出すように発生し、20:40頃に線状エコーと合流し、全長約150 km、幅約20 kmの線状エコーとなった。

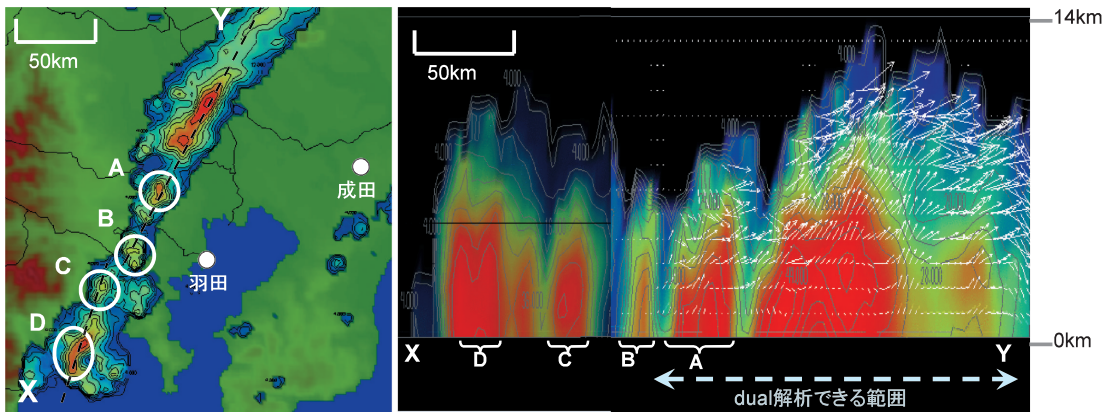
この線状エコーは18:00~20:40にかけて徐々に時



第1図 2005年9月4日21時の地上天気図。



第2図 9月4日15:00～5日02:00までのレーダーエコー時系列図。関東合成レーダーによる。最盛期および最盛期の前後1時間は20分間隔で、その他は1時間間隔で表示。



第3図 20:40のエコー強度分布図(左図、羽田ドップラーレーダーのCAPPI(高度5500m))、および線状エコーに沿って黒い破線XYで切った鉛直断面でのエコー強度および鉛直流分布図(右図、羽田・成田ドップラーレーダーのデュアル解析)。地形データはUSGSのGTOPO30を使用した。左図の○で囲ったセルABCDは右図のABCDと対応している。

計回りに回転して、南南西から北北東への走向へと変化した。

④最盛期(20:40～23:00)

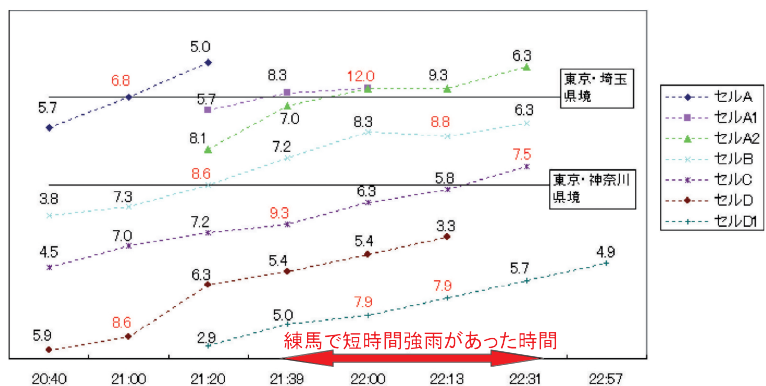
20:40～23:00にかけて線状エコーはほとんど形を変えることなく同じ位置に停滞していた。

また、幅を40kmまで徐々に広げながら強雨エリアを広げていった。

⑤衰弱期(23:00～)

23時以降、急速に線状の組織が崩れていき5日5時頃にエコーは消滅した。

次項では、ドップラーレーダーのデータがより多く得ら



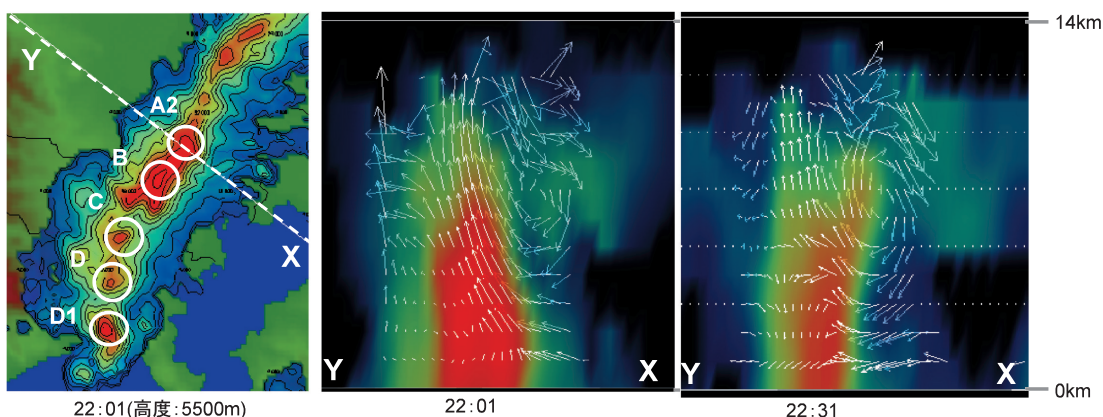
第4図 線状エコーに沿った方向を軸として並べた各セルの位置の時系列図。数字はエコー頂高度(km)で32dBZを閾値とした。赤数字は各セルの最高エコー頂高度。横軸は時間、縦軸はセルがある位置。

れる最盛期を中心に線状エコーの気流構造の特徴を見ていく。

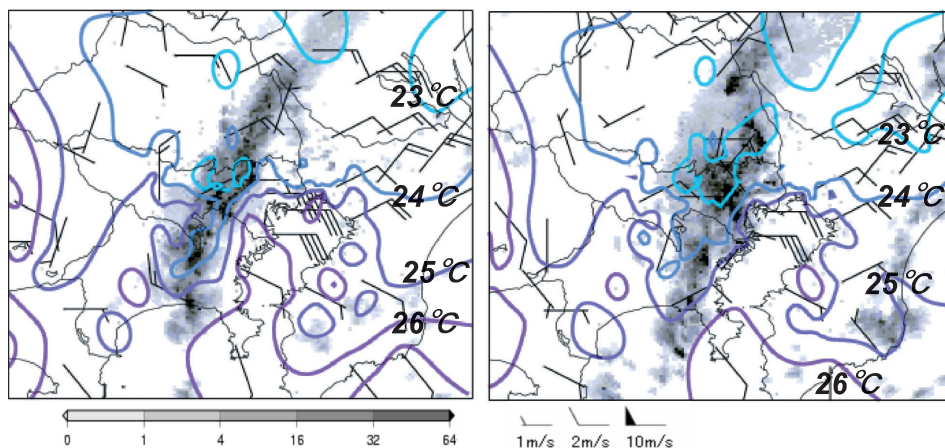
3.2 最盛期 (20:40~23:00) における線状エコーの構造

20:40の線状エコーに沿った鉛直断面でのエコー強度および鉛直流分布を第3図に示す。これは羽田・成田空港のドップラーレーダーデータによるものである。20:40の段階で4つの対流セルが見える。以後、この4つのセルをセルA、セルB、セルC、セルDと呼ぶことにする。セルAの北側にも巨大なセルの塊が見えるが、一つ一つのセルが判別できず、また急

速に衰弱していったことから解析の対象としなかった。鉛直流分布を見ると、強い降水域の南西側や上部に上昇流が見え、強い降水域の北東側で下降流が見える。最盛期の間、ほとんど線状エコーの位置は変わらず、セルも一直線に並んでいることから、線状エコーに沿った方向を軸として各セルの位置を時系列に並べたものを第4図に示す。なお「セルA1」のようにアルファベットの後に数字がふってあるセルは、そのアルファベットのセルから分離したという意味である。第4図から途中で新たにセルが発生したり併合したりしながら移動していく様子が見える。なお、第4図に



第5図 22:01のエコー強度分布図(左図、羽田ドップラーレーダーのCAPPI(高度5500m)), およびセルA2を線状エコーに直交する方向に白い破線XYで切った鉛直断面でのエコー強度および鉛直流分布図(中図22:01, 右図22:31)。



第6図 地上のレーダーエコー(関東合成レーダー)、気温および風分布(左:22:00, 右:23:00)。等値線は高度補正した気温で1°C毎に表示。気温はアメダスと部外データを、風はアメダスを使用。

第1表 各セルの移動方向・移動速度および各セル上空700 hPaの風向風速。セル A2, セル B は22時以降停滞したため22時までのデータを使用。

	栃木県のセル	セル A	セル A2	セル B	セル C	セル D	セル D1
移動速度	8.2 m/s	6.0 m/s	(7.6 m/s)	(4.6 m/s)	4.7 m/s	5.3 m/s	4.3 m/s
移動方向	NNE						
700 hPa 風速	7.7～10.3 m/s	5.1～7.7 m/s					
700 hPa 風向	S～SSW						

示したセルは鉛直断面図からはっきりと確認できたものだけを抽出した。

3.2.1 セルの移動方向・速度

各セルについて移動速度・移動方向および毎時風解析から700 hPaの風向・風速を求めてまとめたものを第1表に示す。比較のため線状エコーの外の栃木県にあるセルについても示してある。線状エコー内のセルも栃木県のセルも、おおむね700 hPaの流れに沿って移動していたことが分かる。しかし、22:00を過ぎると東京都・埼玉県境にある2つのセル（セル A2, セル B）は、セルが確認できなくなる22:30までの間、ほぼ同じ場所に停滞していた。また、練馬区石神井で1時間降水量117 mmが観測された時間（21:30~22:30）とセル B が停滞していた時間（21:50頃~22:30頃）がほぼ同じ時間帯であることから、セルの一時的な停滞が豪雨の一要因になった可能性が考えられる。

3.2.2 セルのエコー頂高度

セルの発達の際標としてエコー頂高度を利用すると、第4図からおおむね各セルとも最盛期を中心とした山型という一般的な形をしている。特にセル A1と A2が併合した22:00はエコー頂高度が12 kmと突出しており、20分前と比較しても約4 kmも高くなっている。このことは、セルが併合すると発達するという過去の知見とも整合している。

また、セル B は21:40過ぎから、セル C は22:10過ぎからいずれも練馬付近で再び発達している。ちょうどこの時間帯は練馬で短時間強雨となった時間帯（21:40~23:00）であり、練馬付近で何らかの状況の変化があったと思われるが、dual 解析では良く分からなかった。

第3図右のセル A の北側にある巨大なセルは他のセルと違い、エコー頂高度が時間の経過とともに低くなっていった（図は省略）。

次項では一つのセルに着目し、そのセルの最盛期・衰弱期ではどのような気流構造をしていたのかをみて

いく。着目するセルは最盛期と衰弱期が dual 解析でできる領域にあるセル A2とした。なお、発生期に関してはエコーが弱く、ドップラーレーダーで気流構造がよく見えなかったので解析の対象とはしない。

3.3 セル A2の最盛期と衰弱期の気流構造の違い

3.3.1 セル A2の最盛期（22:01）の構造

22:01および22:31におけるセル A2を線状エコーに直交する方向で切った時のエコー強度および風の鉛直断面図を第5図に、地上の気温や風の分布図を第6図に示す。

東京湾からの高温の東風〜東南東風がエコー下の冷氣プールをはい上がるように流入し、激しい上昇流が発生している様子が見える。また、高度6000 m付近まで降水帯の側面から暖かく湿った気流が供給されている様子も見える。上昇流は最大で高度10 km付近で10 m/s程度であった。他のセルの上昇流が最大でも6 m/s程度であったことを考えると非常に大きい値である。

なお、このような構造は東西の気温傾度が強くなった21:20頃から23:00頃にかけて、dual で見える範囲のセル（東京都・神奈川県境以北のセル）全てで確認できた。

3.3.2 セル A2の衰弱期（22:31）の構造

第5図右の下層を見てみると、下降流気味にセル A2に流入しており、ほとんど上昇流が見られない。高度3 km付近から上昇流が見られるが非常に弱く、最大で高度8 km付近で4 m/s程度であった。地上データを見ると、東京都・埼玉県境より北では鹿島灘からの冷たい東北東風が吹いている寒気移流場となっており、東京湾からの暖かい東風が入っていない。このため、上昇流を発生させる要因がなくなってしまうセルが衰弱したことが考えられる。このことは、第3図右のセル A の北側にある巨大なセルのエコー頂高度が時間の経過とともに低くなっていったことやセル A が東京都・埼玉県境を越えて以降衰弱していったという事実とも合致する。

4. まとめ

東京都練馬区などに豪雨をもたらした線状エコーについて、最盛期を中心に地上データ、ドップラーレー

ダーおよび dual で解析したところ以下のことが分かった。

- ①線状エコーの中に複数のセルが確認でき、それらが発生・併合・消滅しながら700 hPa の風に流されて移動していった。
- ②セルが併合すると、エコー頂高度が併合する20分前と比較して約4 km も高くなった。
- ③一部のセルは一時的に停滞し、このことが練馬の豪雨につながった可能性がある。
- ④線状エコーが形をほとんど変えることなく発達し続けたのは、エコー下の冷氣プールに東京湾から相対的に暖かい東風が入り続けたことにより持続的に空気塊が上昇させられたためであった。

ただ、東京都・埼玉県境以北のセルは東京湾からの相対的に暖かい東～東南東風の流入はなく、鹿島灘から相対的に冷たい東北東風が入っていたため上昇流を発生させる要因がなくなり衰弱していった。

謝 辞

空港気象ドップラーレーダーの解析には田中恵信氏・鈴木 修氏により気象研究所で開発された「Draft」を使用しました。また、気象研究所の藤部文昭室長、瀬古 弘主任研究官および地球環境・海洋部海洋気象課の市川 寿調査官にはご指導と多くの有益な意見をいただきました。この場を借りてお礼申し上げます。