

## 1995年8月10日に関東平野で発生した雷雨に伴う ボウエコー, ガストフロントおよびダウンバースト\*

大野久雄<sup>\*1</sup>・楠 研一<sup>\*2</sup>・鈴木 修<sup>\*3</sup>

### 1. はじめに

1995年8月10日午後, 関東平野北部を中心に激しい雷雨が発生した。気象研究所ではドップラーレーダー(在, つくば市)を用いてこの雷雨を観測し, ボウエコー, ガストフロントおよびダウンバーストについて, それらの発生前から最盛期を経て消滅に至るまでを含むデータセットを得た。また, 気象研究所を通過したガストフロントや同研究所付近で発生したダウンバーストについては, 屋上に設置したビデオカメラで映像に納めた。

これらの現象はいずれも地上の激しい突風と関係するため, 航空機の安全運航上重要なものである。しかしながら, 観測事例の不足から日本における当該現象の挙動には不明な点が多い。ここでは, 詳細な解析の報告に先立ち, 上記3現象につき典型的な画像と挙動の1部を速報する。

### 2. ドップラーレーダー観測

ドップラーレーダー観測は大気下層のメソスケール現象とその消長に力点を置くため4仰角(0.2°, 1.0°, 3.8°, 5.9°)で3分毎のPPIスキャンとした。2つのパルス繰り返し周波数(1120 Hzと896 Hz)をビーム幅毎に切り替えて観測することで, ドップラー速度の

測定可能最大速度を±64 m/sに拡大した(Suzuki *et al.*, 1993)。折り返し補正は, 楠ほか(1996)が開発した「複合アルゴリズム」を用いて自動処理し, ほぼ完璧に行われた。

### 3. ボウエコー

ボウエコーは弓状または三日月状の降水エコーで, 発見者のFujita(1978)が命名した。このエコーの水平スケールは数10 kmから数100 kmまで様々である。ボウエコーはダウンバーストの発生時にしばしば形成されるなど, 突風災害に関係する現象であるため, 以前から関心を呼んできた。スコールラインに伴うボウエコーについては, 90年代に数値シミュレーション等をおしてメカニズムの解明が進められている(例えば, Weisman, 1993)。

今回のボウエコーはスコールラインに伴うもので, 12時45分ころから弓状パターンの形成が始まり, 13時09分を中心に約20分間, 高度6 km付近を中心に明瞭に形成された(第1図)。同エコーの水平スケールは約40 kmである。今後, ドップラーデータを用いて気流構造をさぐり, 弓状パターン形成過程を明らかにしてゆきたい。また, 同エコーシステムの通過の際, 茨城県大子町では突風のため130本の木が倒れたが, これがダウンバーストによるものか否かはドップラー速度場を解析して明らかにしたい。

### 4. 晴天域のガストフロント

雷雨から周囲に広がる寒気先端はしばしば突風をともしることからガストフロントと呼ばれる。ガストフロントはしばしば雷雨に数10 km先行して晴天域に広がっていく(Wakimoto, 1982)。

晴天下におけるレーダー電波の反射体は大気中を浮遊する小昆虫が大気の屈折率のゆらぎである。これからの反射は-5~5 dBZ程度と弱いことが多い。こ

\* Bow-echo, gust front, and downburst in the 10 August 1995 thunderstorm over the Kanto Plain.

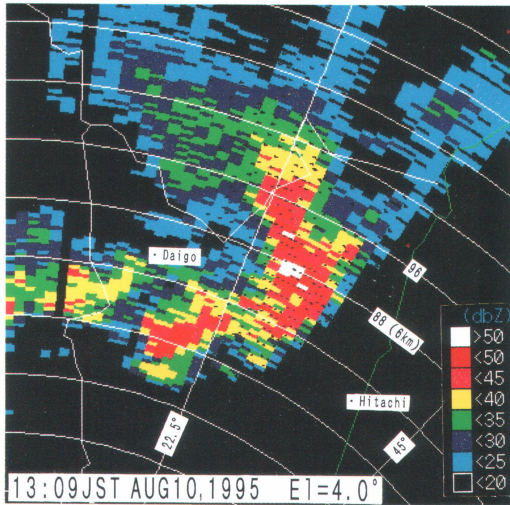
\*<sup>1</sup> Hisao Ohno, 気象研究所気象衛星・観測システム研究部。

\*<sup>2</sup> Kenichi Kusunoki, 気象研究所気象衛星・観測システム研究部。

\*<sup>3</sup> Osamu Suzuki, 気象研究所気象衛星・観測システム研究部。

—1995年9月12日受領—

—1995年12月15日受理—



第1図 仰角4.0°のPPI走査で見た1995年8月10日13時09分の降水強度場。茨城県大子町の東、日立市の北西にある降水強度の強い弓状部分がボウエコー。降水強度のスケールはdBZ単位で、画面右下にある。距離のマーカーは8km毎。ボウエコーの中心位置はレーダーから88km地点で、ここでのビーム高度は6km。

のため晴天下を進むガストフロントはレーダーで捕らえにくく、空港にてその襲来を予測することは難しい。また、ガストフロントがもたらす収束域は雷雨の発生を促す要因となるため、晴天域でのガストフロントの挙動は新たな雷雨の発生を予測する上でも重要である (Wilson and Schreiber, 1986)。

現業レーダーで晴天域のガストフロントを捕らえられるようになったのは、米国ではNEXRAD以後である (Wilson *et al.*, 1994)。わが国では晴天下を進むガストフロントをレーダーで捕らえた例は少ない。

幸いなことに今回は、雷雨を離れて晴天下を進むガストフロントをその発生から消滅までドップラーレーダーでとらえることができた。今回捕らえたガストフロントの1例が第2図で、GFと記した帯である。レーダーから西に10kmの地点に矢印があるが、この付近のドップラー速度は+14m/sで同ガストフロントの最大風がここにある。同ガストフロントの通過に際し成田空港は、5°Cの気温降下を伴う最大瞬間風速18m/sの突風に見舞われている。

今後は立体構造とその消長や新たな雷雨の発生との関連を解析することにより、晴天域を進むガストフロントの特徴について米国の事例と比較してみたい。

### 5. ダウンバースト1

ダウンバーストは「地上付近で破壊的な風の吹き出しを起こす強い下降気流のこと (Fujita, 1981)」で、航空機事故の原因ともなる危険な現象である。日本では1981~1994年の間に少なくとも25件のダウンバースト事例があり、合計75個のダウンバーストが発生していることが最近明らかになった (大野他, 1996)。しかしながら、米国と違って本格的なダウンバースト研究プロジェクトのない日本では、ダウンバーストの実態に関しては不明点が多い。実態の解明に向け、個々のダウンバースト事例に関し、観測・調査資料をもとに解析を急ぎ、結果を蓄積する必要がある。

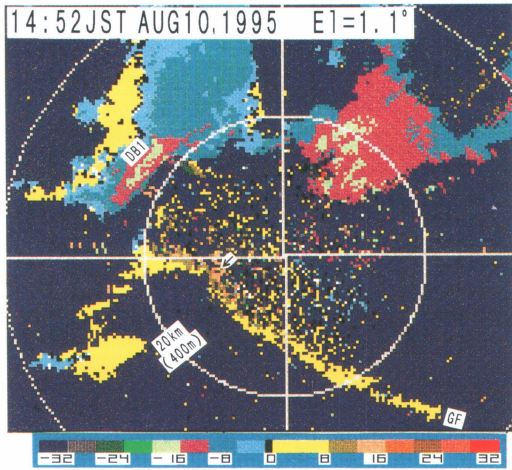
第2図には、北西象限にダウンバーストが見える。DB1と記した点を挟み、近づくドップラー速度(−値)の領域と遠ざかるドップラー速度(+値)の領域が存在する。−域の極大値は12m/s、+域の極大値は2m/sで、2つの極大値はビーム方向に4km離れて並んでおり、両極大値の間が発散域である。米国で用いられている定義 (Wilson *et al.*, 1984) に従えば、これはマイクロバースト\*1(小型のダウンバースト)の範疇に入る。DB1点でのビーム高度はおおよそ500mである。また、DB1点上の高度おおよそ2kmではドップラー速度に収束域が見られる (図略)。

### 6. ダウンバースト2

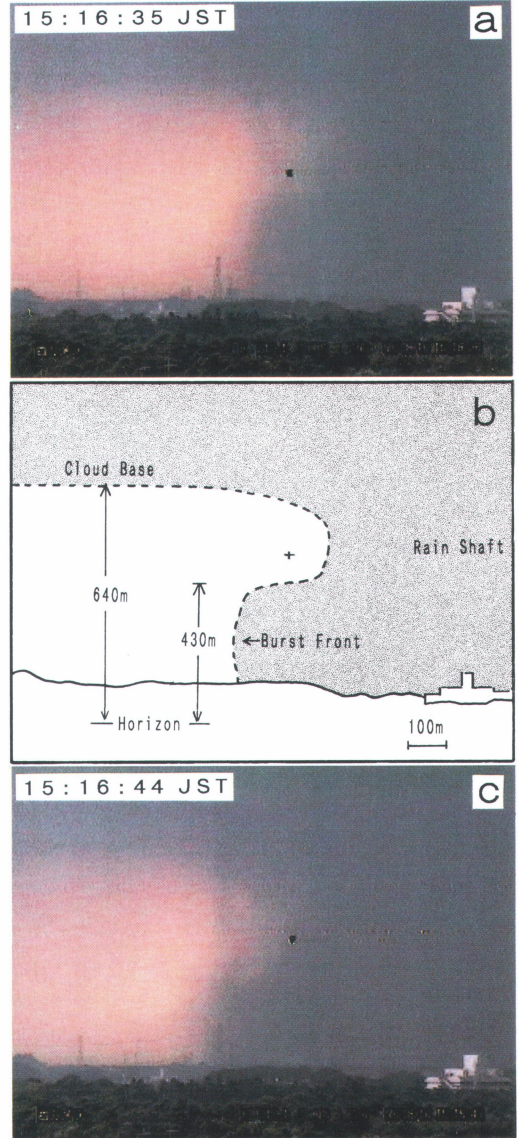
15時17分ころ気象研究所の西南西12km付近で豪雨の中でダウンバーストが発生した。近づくドップラー速度の極大値は10m/s、遠ざかる極大値は2m/sで、2つの極大値はビーム方向に4km離れて並んでいた (図略)。これもマイクロバーストの範疇に入る。

第3図は気象研究所屋上からこれを撮影したビデオ映像である。雲底高度は640mである。画面右が降水シャフトで、ここにダウンバーストが存在する。画面左に進むのがダウンバーストから吹き出す風で、その先端をバーストフロントと言う (Fujita, 1981)。バーストフロントの伝搬速度は、第3図aとcの位置の差

\*1 Wilson *et al.* (1984) は、ドップラーレーダー観測でマイクロバーストを定量的に取り扱うため、『レーダービームの方向に見て発散場があるとき、その発散場をはきんで「近づくドップラー速度」が最大になる地点「遠ざかるドップラー速度」が最大になる地点の間隔が4km以下、2つの最大値の差が10m/s以上』をマイクロバーストと定義した。



第2図 仰角1.1°のPPI走査で見た1995年8月10日14時52分のドップラー速度場。-がレーダーに近づく速度を、+がレーダーから遠ざかる速度を表す。ドップラー速度 (m/s) のスケールは画面下にある。距離のマーカは 20 km 毎。20 km 地点でのビーム高度は 400 m。「GF」はガストフロントを、「DB1」はダウンバースト 1 を意味する。矢印付近に最大風速 (14 m/s) が現れている。



第3図 気象研究所屋上のビデオカメラで撮影した1995年8月10日の雷雨。(a)15時16分35秒撮影、中心部の黒い点はカメラの中心で、方位角245.4°、仰角2.5°。雷雨までの水平距離は12 km (降水強度場から別途算出した)。(b)上記映像の解説図。詳細は本文で。(c)15時16分44秒の映像。

から約 15 m/s と計算された。また、吹き出しの深さは 430 m である (第3図 b)。ちなみに、米国での統計調査によれば、マイクロバーストの場合、吹き出しの深さは 300 m 程度~1200 m 程度である (Hjelmfelt, 1988)。

今後、ビデオ映像とドップラーレーダーのデータと併せ解析することにより、同ダウンバーストの消長や微細構造を明らかにする予定である。

### 7. まとめ

1995年8月10日の雷雨に伴うボウエコー、ガストフロントおよびダウンバーストについて、ドップラーレーダー及びビデオカメラを用いた観測を実施した。今回速報したのは次の4点である。

- (1) ボウエコーは、水平スケールが約 40 km、弓状パターンの形成に要した時間が約20分、中心高度が約 6 km であった。同エコーシステムの下で地上には突風が発生した。
- (2) 雷雨を離れて晴天域を進んだガストフロントは、全長約 60 km、ドップラーレーダーで見た最大風速は 14 m/s であった。
- (3) 「ダウンバースト 1」は、水平スケールが約 4

km、ドップラー速度の極大値の差は約 14 m/s であった。地上の発散域に対応して、上空 2 km 付近は収束域が存在した。

- (4) 「ダウンバースト 2」についてビデオカメラは、吹き出しの厚さやバーストフロントの伝搬速度を捕らえることに成功した。

今後は, ドップラーレーダー及びビデオカメラのデータをもとに3次元構造とその変化を解析し, ボウエコー, ガストフロントおよびダウンバーストの発生・発達・消滅に至る過程とその挙動を明らかにしたり, 米国における解析結果と比較するなどして, それぞれの現象に関する理解を深めてゆきたい。

#### 参 考 文 献

- Fujita, T. T., 1978 : Manual of downburst identification for project NIMROD, SMRP, No. 156, The University of Chicago, 104 pp.
- Fujita, T. T., 1981 : Tornadoes and downbursts in the context of generalized planetary scales, *J. Atmos. Sci.*, **38**, 1511-1534.
- Hjelmfelt, M. R., 1988 : Structure and life cycle of microbursts outflows observed in Colorado, *J. Appl. Meteor.*, **27**, 900-927.
- 楠 研一, 鈴木 修, 大野久雄, 1996 : Dual PRF データを用いたドップラー速度折り返し補正のための「複合アルゴリズム」, 天気 (投稿中).
- 大野久雄, 鈴木 修, 楠 研一, 1996 : 日本におけるダウンバーストの発生の実態, 天気**43**, 19-30.
- Suzuki, O., K. Kusunoki, and H. Ohno, 1993 : On the error rates associated with the Doppler velocity extension and PRF ratio selection under the strong horizontal wind shear, Preprints, 26th International Conf. on Radar Meteor., Norman, 221-222.
- Wakimoto, R. M., 1982 : The life cycle of thunderstorm gustfront as viewed with Doppler radar and rawinsonde data, *Mon. Wea. Rev.*, **110**, 1060-1082.
- Weisman, M. L., 1993 : The Genesis of severe, long-lived bow echoes, *J. Atmos. Sci.*, **50**, 645-669.
- Wilson, J. W., R. D. Roberts, C. Kessinger and J. McCarthy, 1984 : Microburst wind structure and evaluation of Doppler radar for airport wind shear detection, *J. Climate and Appl. Meteor.*, **23**, 898-915.
- Wilson, J. W., and W. E. Schreiber, 1986 : Initiation of convective storms at radar-observed boundary-layer convergence lines, *Mon. Wea. Rev.*, **114**, 2516-2536.
- Wilson, J. W., T. M. Weckwerth, J. Vivekanadan, R. M. Wakimoto, and R. W. Russell, 1994 : Boundary layer clear-air radar echoes : Origin of echoes and accuracy of derived winds, *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **11**, 1184-1206.