

日本におけるダウンバーストの発生の実態*

大野久雄*¹・鈴木 修*²・楠 研一*³

要 旨

「1981年6月から1994年9月までの13年間に日本全国で25件のダウンバースト事例と総数75のダウンバーストが発生したこと」を確認し、一覧表の形でデータベースを作成した。発生したダウンバーストの統計的特性を同データベースに基づいて調べた結果、ダウンバーストの発生の実態として、(1)すべてがウエット・ダウンバーストであること、(2)ダウンバーストは、北海道から沖縄まで広く発生していること、(3)ダウンバーストは6月から9月に多く、中でも7月に集中していること、(4)発生時間帯は11時から21時で、15時と18時に発生頻度の極大があること、(5)同一事例中でダウンバーストが複数発生するのが一般的であること、(6)ダウンバーストからの吹き出しが地上付近にもたらす突風の風速は69 m/s以下で、最大風速時における吹き出しの水平スケールは10 km以下であること、(7)降雹を伴わないダウンバーストの場合、突風の強さと水平スケールは様々であるが、降雹を伴ったダウンバーストの場合、突風は激しくその水平スケールは小さいこと、(8)日本でもダウンバーストは相当数発生していると考えたこと、がわかった。

1. はじめに

ダウンバーストは、積雲または積乱雲の下で地上付近に破壊的な風の吹き出しを起こす強い下降気流である。吹き出し(下降気流が地面に到達後、周囲に吹き出していくことを、以後「吹き出し」と表現する)は突風をもたらす。その風速は70 m/sに達することがある(Fujita, 1981, 1985)。吹き出しの水平スケールは数km程度以下と小さいことが多く、寿命は10分以下と短いことが多い。吹き出しの水平スケールが4 km以下の小型のダウンバーストをマイクロバーストと呼ぶ(Fujita, 1981)。

その後 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、Fujita (1981) の定義を若干ゆるめ、次のように再定義した。「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」が最大になる地点と「遠ざかるドップラー速度」が最大になる地点の間隔が4 km以下で、2つの最大値の差が10 m/s以上をマイクロバーストとする」。米国では、マイクロバーストについてはこの定義を用いている。

米国ではマイクロバーストにより1974～1985年の間に少なくとも11件の民間航空機事故があり、500人以上の死傷者をだした(Proctor, 1988)。これらの航空機事故の発生をきっかけにして米国では、マイクロバーストに力点を置いたダウンバースト研究プロジェクトがドップラーレーダーを核に用いて複数実施され、発生状況や発生機構などを含むダウンバーストの実態説明が進んだ。

日本ではダウンバースト*¹が原因の航空機墜落事故は無いが、機体の一部破損事故(航空事故調査委員会, 1985)と離着陸時の機体の異常降下(中山・青山, 1990)の2件がダウンバーストによるものと解析されてい

* Climatology of downburst occurrence in Japan.

¹ Hisao Ohno, 気象研究所気象衛星・観測システム研究部。² Osamu Suzuki, 気象研究所気象衛星・観測システム研究部。³ Kenichi Kusunoki, 気象研究所気象衛星・観測システム研究部。

—1995年8月17日受領—

—1995年11月2日受理—

る。また、家屋・電柱・大木の倒壊、車両の横転、農業被害などの突風災害はすでに多数発生しており、2名の死者も出ている（例えば、小元・光田，1983；梶川，1988；Kobayashi and Kikuchi，1989；Ohno *et al.*，1991，1993，1994；岩下，1992；梶川ほか，1992，1993）。1994年9月8日、埼玉県美里町で中学校の窓ガラスを割り、生徒ら73人を負傷させた突風の原因もダウンバーストであった。

このような被害がでているにもかかわらず日本では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は実施されていない。このため、個々のダウンバーストについては事例解析が断片的に積み重ねられつつあるものの、ダウンバーストの発生の実態を把握するにはいたっていない。

そこで我々は、1981年6月から1994年7月までの13年間に日本で発生したダウンバーストにつき4つの手法—①突風被害の調査、②気象台等の自記記録の解析、③ドップラーレーダーによる観測、④現在までに入手した文献（ダウンバーストが発生したことを示した論文で現在までに我々が入手したもの）の引用—で発生状況を統計的に調べ、日本のダウンバーストの実態を把握することにした。現在のところダウンバーストの発生状況の統計的研究は、わずかに Ohno *et al.* (1994) の予備調査があるにすぎない。

本論文の第2章ではダウンバーストの発生を認定する作業基準を定義し、第3章ではその基準にそった認定例を3つの調査手法について紹介する。第4章では発生が確認されたダウンバーストにつき、発生日・場所・発生数・吹き出しの速度・水平スケール・降雨と降電の有無を一覧表の形でデータベースにする。第5章ではそれをもとに統計的特徴の抽出を試みる。

2. ダウンバーストの発生を認定する基準

Wilson *et al.* (1984) の定義はマイクロバーストに限定したもので、しかもドップラーレーダーを用いることを前提としたものである。また、Fujita (1981) の定義もダウンバーストを定量的に扱うには必ずしも適していない。

今回の調査は、マイクロバーストに限定せずダウン

バーストを広く対象にするものである。このため両者の定義を踏まえ、作業上の認定基準を下記の(1)または(2)が満たされたときとした。「現在までに入手した文献」を引用してダウンバーストの発生を確認する際も下記の基準と矛盾しないことを原則とした。

- (1)「積雲または積乱雲下で、地面または地面付近に風の吹き出しがあり、吹き出しによる突風の最大風速が 10 m/s を超え、最大風速時の吹き出しの水平スケールが 15 km 以内であること」が被害調査結果や自記記録の中に認められたとき。
- (2)積雲または積乱雲下の風の吹き出しをドップラーレーダーで見たとき、発散場をはきんで「近づくドップラー速度」が最大になる地点と「遠ざかるドップラー速度」が最大になる地点の間隔が 15 km 以下で、2つの最大値の差 (ΔV_d と呼ぶ) が 10 m/s 以上のとき。

本論文では作業上、「吹き出しの水平スケール」の定義を、①被害調査の場合は被害域のサイズ、②自記記録を用いる場合は最大風速が記録された時刻における吹き出し領域のサイズ、③ドップラーレーダー観測の場合は、 ΔV_d が最大になったときの「近づくドップラー速度が最大になる地点と遠ざかるドップラー速度が最大になる地点間の間隔」とした。「15 km」はあくまでも作業基準であるが、この作業基準が結果として妥当であることは5.5節で明らかになる。

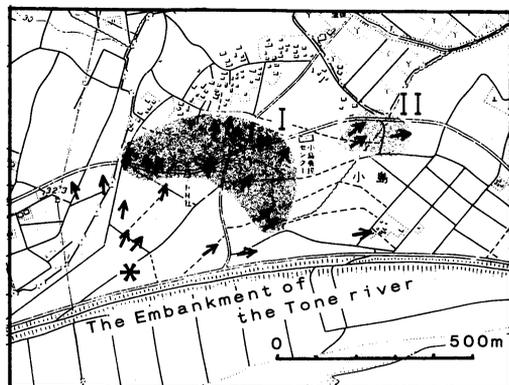
吹き出しがもたらせた突風の風速を被害調査から見積もるには、Fujita スケール (以後、F スケールと呼ぶ) を用いる。F0~F5 で表される同スケールは本来、竜巻被害から竜巻の風速を見積もるのに用いるが、ダウンバーストの場合にも広く使われている。以下は藤田 (1973) の抜粋で、F3 までを記した。

F0 : 17~32 m/s (約15秒間の平均風速)、煙突やテレビのアンテナがこわれる。小枝が折れ、また根の浅い木が傾くことがある。非住家がこわれるかもしれない。

F1 : 33~49 m/s (約10秒間の平均風速)、屋根瓦が飛び、ガラス窓は割れる。またビニールハウスの被害甚大。根の浅い木は倒れ、強い木の幹が折れたりする。走っている自動車が横風を受けると、道から吹き落とされる。

F2 : 50~69 m/s (約7秒間の平均風速)、住家の屋根がはぎとられ、弱い非住家は倒壊する。大木が折れたり、またねじ切られる。自動車が吹きとばされ、また汽車が脱線することがある。

*1 対象をことさらマイクロバーストに限定する必要がない時には、用語として「ダウンバースト」を使用する。



第1図 1990年7月19日16時10分頃埼玉県妻沼町で発生したダウンバースト被害の調査結果。図中の矢印は樹木の倒れた方向や屋根の一部などが飛ばされた方向で、突風の吹いた方向を示す。2つの影域（I, II）では家屋や大木が倒壊するなど被害が甚大であった。*印は領域Iに被害をもたらせた吹き出しの発散中心。

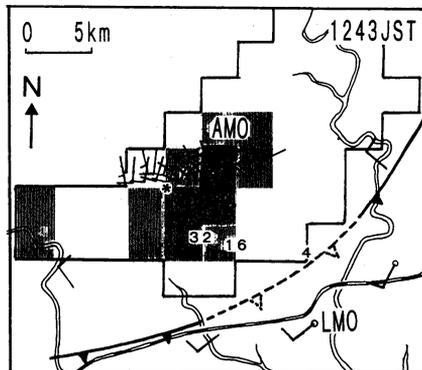
F 3 : 70~92 m/s(約5秒間の平均風速), 壁が押し倒され, 住家が倒壊する。非住家はバラバラになって飛散し, 鉄骨づくりでもつぶれる。汽車は転覆し, 自動車が持ち上げられて飛ばされる。森林の大木でも, 大半折れるか倒れるかし, また引き抜かれることもある。ミステリーがおり始める。

3. ダウンバーストの認定例

この章では, 突風被害調査, 气象台等の自記記録の解析, およびドップラーレーダー観測にもとづくダウンバーストの認定例を紹介する。

3.1 突風被害調査にもとづくもの

1990年7月19日16時10分頃(時刻はすべて日本時間), 埼玉県妻沼町で雷雨(Thunderstorm)の中, 降雹を伴う激しい突風が吹き, 家屋や樹木の倒壊をもたらせた。第1図は被害調査の結果である。図中の矢印は樹木の倒れた方向, 屋根の一部などが飛ばされた方向で, 突風の吹いた方向を示している。図の影域(I, II)は家屋や大木が倒壊するなど, 被害が甚大な領域である。領域Iには, *印地点から北東方向に吹き出す風パターンが見える。領域Iの水平スケールは約500mで, 領域内の被害状況から見積もった突風の最大風速はF1~F2であった。このように領域Iの被害状況は当該基準(1)を満たしたためダウンバーストが発生したとした(Ohno and Suzuki, 1991)。領域IIはサイズが約100mとさらに小さい。領域Iほど明瞭で



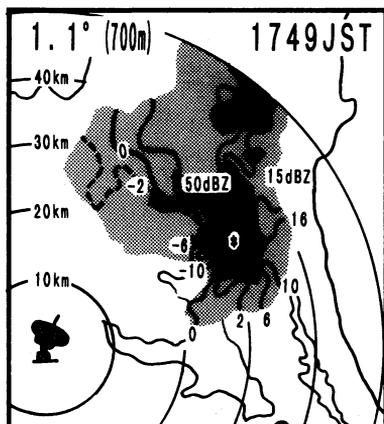
第2図 岡山空港を中心とした1991年6月27日12時43分(JSTは日本時間の意味)の風の場とレーダー降水エコーの重ね合わせ。岡山空港(AMO)と岡山地方气象台(LMO)の風は1分間平均値, 他は数分間平均値(矢羽1本が5m/s。レーダー降水強度は2.5km×2.5kmの平均値で, 実線内が4mm/h以上, 影域が16mm/h以上, 濃い影域が32mm/h以上。AMOの南西にある*印は局所的な吹き出しの中心位置。寒冷前線の記号を用いて引かれた線はガストフロントの位置を示す(点線はその位置が明瞭でない部分)。(Ohno et al., 1994より)。

はないが, ここでも吹き出しのパターンが見られる。したがって, これもダウンバーストである。

ここで問題なのは「被害状況からダウンバーストの発生個数を数える際の任意性」である。この事例では領域IとIIを1つのダウンバースト内の微細構造の反映とみることもできる。実際ダウンバーストにはしばしば多重構造が見られることがすでに報告されている(Fujita, 1981; Fujita and Wakimoto, 1981)。この論文では、「独立した1つの発散性の被害域をもって独立した1つのダウンバーストが発生したとする立場」で統一する。

3.2 气象台等の自記記録の解析にもとづくもの

岡山空港で1991年6月27日12時43分, 激しい雷雨の中, 西南西14m/sの突風が発生した。この時刻の風の場とレーダー降水エコーを重ね合わせたのが第2図である。岡山空港(AMO)付近の風の場は, 同空港の2台の風向風速計の記録から1分間平均風をもとめ, レーダーエコーの移動方向に時間・空間変換したものである。その他の風データは, 岡山地方气象台(LMO)



第3図 茨城県霞ヶ浦北方の雷雲を観測した際のドップラーPPI画像(1990年7月19日17時49分)。アンテナの仰角は 1.1° 。影をつけた領域が降水強度 15 dBZ (約 1 mm/h)、濃い影をつけた領域が 50 dBZ (約 50 mm/h) を超える領域。影域内の実線/破線はドップラー速度の等値線で、実線がレーダーから遠ざかる速度、破線がレーダーに近づく速度 (m/s)。

と自治体が観測したものである。同図は、ガストフロントの後面の*印付近に局所的な吹き出しがあることを示している。西南西 14 m/s の突風はこの吹き出しがもたらせたもので、吹き出しの水平スケールは約 7 km と見積もれる。発散性の風の場合は、その地点上に下降気流が存在することと同値である。この事例もこのように認定基準(1)を満たした。この事例の詳細な解析は Ohno *et al.* (1994) を参照されたい。

3.3 ドップラーレーダー観測にもとづくもの

1990年7月19日17時49分、茨城県霞ヶ浦北方の雷雲を気象研究所のドップラーレーダーで観測したのが第3図である。中心から 30 km 地点でのドップラーレーダーのビームの高度はおよそ 700 m である。豪雨内で*印を挟んで、水平スケールが約 10 km の、風の発散域が形成されている。この場合、近づくドップラー速度の最大値が 10 m/s、遠ざかるドップラー速度の最大値が 16 m/s、両最大値間の距離が 10 km であった。これは2章の認定基準(2)にあてはまる。

4. データベース

1981年6月から1994年9月までの13年間につき、これまで25件のダウンバースト事例と総数で75個のダウンバーストの発生を確認し、データベースとして第1表にまとめた。見やすくするため第1表では、1つおきの事例に影をつけてある。ここで「ダウンバースト事例」とは、「同一地方(ここでは関東地方程度の広さをさす) 同一日に出現したダウンバーストの全体」をさすものとする(6章「考察」を参照)。25事例・75個のうち、前章で示したような解析を経て2章の認定基準に照らし筆者らが発生を確認したダウンバーストは10事例・35個であった。また、現在までに入手した文献から引用したものは17事例・40個(重複が2事例ある)であった。引用したものについては、第1表の「参考文献」欄に出典を示した。参考文献から、ダウンバーストの発生数、吹き出しの速度、Fスケール、水平スケール、降雹の有無など、第1表に必要なパラメータを読み取るに際しては、原著者に確認するなどして、誤った解釈をしないように心掛けた。しかし、解釈に誤りがあればすべて我々の責任である。

第1表の項目で、「自記記録」は自記紙に記録された最大瞬間風速を、「 V_{max} 」はドップラー速度の最大値を、「 ΔV_d 」は近づくドップラー速度と遠ざかるドップラー速度の差である。また、「吹き出しの速度」は吹き出しがもたらす突風の最大風速のことで、Fスケールおよびその他(「その他」の意味は第1表の欄外に記載)から見積もられた値、自記記録の最大瞬間風速、 V_{max} のうちの最大値を採用した。「降水」は、雨と雹にわけ、○印は「有り」を×印は「無しまたは確認できなかった」ことを示す。「データ源」はダウンバーストが発生したことを認定するのに利用したデータである。

ところで、ダウンバーストからの吹き出しがある方向に偏っている場合、ドップラー速度は「吹き出しの風速」に「吹き出しの方向とレーダービームの方向とがなす角度の余弦」を乗じた値になる。したがって、ドップラーレーダーが1台の場合、被害調査から吹き出しの風向を別途確認したうえで、ビーム方向となす角度の余弦で除して補正することで吹き出しの速度が推定できる。事例19の2～5行目の記録(いずれも水戸市のダウンバースト)についてはこの補正を実施した。「吹き出しの速度」欄の値はこの補正值とFスケール値の大きい方を採用した。

なお、事例9(中山・青山, 1990)と事例11(Shirooka and Uyeda, 1991)は突風の風速を求めるのが困難な

第1表 1981年6月から1994年9月までの13年間につき、発生を確認した25件のダウンバースト事例と総数で75個のダウンバースト。

事例	年月日時刻 (JST)	場所	発生数	吹き出しの速度	Fスケール及びその他	自記記録 max (m/s)	Vd (m/s)	ΔVd (m/s)	水平スケール	降水		データ源	参考文献
										雨	雹		
1	81.06.29. 1500頃	福岡県津久井町	8	F1-F2	F1-F2	-	-	-	500m-2km	○	×	被	小元・光田(1983) 小元(1987)
		福岡県八女市	1	F1-F2	F1-F2	-	-	-	200m	○	×	被	
		福岡県柳川市	4	F1-F2	F1-F2	-	-	-	300m	○	×	被	
2	83.07.23. 0630	富山空港	1	33m/s	-	33	-	-	4km以下	○	×	自	中山・伊関(1985)
3	84.04.19. 1224頃	那覇空港	1	12m/s	-	12	-	-	4km以下	○	×	自,フ	航空事故調査委員会(1985)
4	85.08.06. 1400頃	秋田県南村	1	30m/s	30	-	-	-	3km	○	○	被	梶川(1988)
5	86.09.23. 2125頃	北海道北村	3	F1-F2	F1-F2	-	-	-	3km	○	○	被	Kobayashi & Kikuchi(1989)
6	87.07.09. 1550頃	秋田県仙北町	3	F1	F1	-	-	-	500m-1km	○	○	被	梶川・薄木(1992)
7	87.07.25. 1525 1529 1533	羽田空港	1	29m/s	-	29	-	-	1km程度	○	○	自	小元(1989) 加藤(1991) 岩下(1992)
羽田空港		1	F1	F1	-	-	-	1km程度	○	○	自		
羽田空港		1	28m/s	-	28	-	-	-	1km程度	○	○	自	
8	87.07.31. 1510 1530	東京都心	2	11m/s	-	11	-	-	6km程度	○	×	自,フ	Tabata et al.(1991)
羽田空港		1	23m/s	-	23	-	-	-	7km	○	×	自,フ	
9	88.06.10. 1114	鹿児島空港	1	8m/s	-	8	-	-	1km	○	×	自,フ	中山・青山(1990)
10	88.08.24. 1427 1435	伊丹空港	1	15m/s	-	15	-	-	5km	○	×	自	岩下(1995)
伊丹空港		1	18m/s	-	18	-	-	-	5km	○	×	自	
11	88.09.22. 1340	千歳空港付近	1	-	-	-	-	-	2km	○	○	フ	Shirooka & Uyeda (1991)
12	89.05.15. 1540頃	秋田県雄和町	2	F1-F2	F1-F2	-	-	-	2km	○	○	被	梶川ら(1993)
13	89.07.19. 1410頃 1745	埼玉県狭町	2	F1-F2	F1-F2	-	-	-	500-200m	○	○	被	Ohno & Suzuki (1991) 大野・鈴木(1991)
茨城県小川町		1	35m/s	-	35	16	26	-	10km	○	×	自,フ	
14	90.12.10. 1815	羽田空港	1	23m/s	-	23	-	-	4km	○	×	自	Fujita(1992)
15	91.06.27. 1241 1320 1329 1330 1450	岡山空港	1	14m/s	-	14	-	-	7km	○	×	自	光田・林(1991) Ohno et al.(1994)
岡山空港		1	14m/s	-	14	-	-	-	10km	○	×	自	
岡山市中心		1	26m/s	-	26	-	-	-	10km	○	×	自	
岡山市北東部		1	F2	F2	-	-	-	-	700m	○	×	自	
16	92.05.08. 1910	神戸市	1	21m/s	-	21	-	-	-	○	×	自	Ohno et al.(1994)
高知空港		1	26m/s	-	26	-	-	-	-	○	×	自	
17	92.07.11. 0345	名古屋空港	1	15m/s	-	15	-	-	-	○	×	自	松村(1992)
18	92.08.07. 1435	福島県磐岩村	2	F1-F2	F1-F2	-	-	-	500m	○	○	被	小森(1993) Ohno et al.(1993)
19	92.09.04. 1830頃 1847 1851 1856 1901 1921 2026	栃木県壬子町	1	F1	F1	-	-	-	3km	○	○	被	
水戸市		1	59m/s	F1	-	20	-	-	2km	○	○	被	
水戸市		1	F2	F2	-	16	-	-	3km	○	○	被	
水戸市		1	59m/s	F1	-	20	-	-	4km	○	○	被	
水戸市		1	47m/s	F1	23	16	-	-	2km	○	○	被	
鹿島灘		1	17m/s	-	-	17	31	-	4km	○	○	自,フ	
水戸市		1	20m/s	-	20	-	-	-	6km	○	×	自	
20		94.07.03. 1842 1918	栃木県小山市	1	10m/s	-	-	10	12	5km	○	○	下
栃木県古川市	1		8m/s	-	-	8	14	3km	○	○	下		
21	94.07.08. 1649 1652 1703 1756 1821 1756 1800 1656	茨城県下館市	1	8m/s	-	-	8	12	5km	○	○	下	
茨城県下妻市		1	10m/s	-	-	10	18	3km	○	○	下		
茨城県八郷町		1	8m/s	-	-	8	14	3km	○	○	下		
茨城県谷和原		1	8m/s	-	-	8	10	2km	○	○	下		
千葉県野田市		1	8m/s	-	-	8	10	3km	○	○	下		
茨城県岩井市		1	16m/s	-	-	16	26	4km	○	○	下		
つくば市		1	16m/s	-	-	16	28	5km	○	×	下		
宇都宮市南方		1	8m/s	-	-	8	12	5km	○	○	下		
22	94.07.17. 1444 1456 1615 1618 1829	栃木県今市市	1	14m/s	-	-	14	24	2km	○	○	下	
栃木県藤原町		1	10m/s	-	-	10	12	5km	○	○	下		
栃木県壬生町		1	8m/s	-	-	8	14	2km	○	○	下		
宇都宮市付近		1	12m/s	-	-	12	16	6km	○	○	下		
水戸市付近		1	12m/s	-	-	12	16	7km	○	○	下		
23	94.07.17. 1805 1828	名古屋空港	1	30m/s	-	30	-	-	2km	○	×	自	山内ら(1995) 高山ら(1995)
名古屋空港		1	30m/s	-	30	-	-	-	3km	○	×	自	
24	94.08.10. 1530頃	北海道陸別町	2	F1	F1	-	-	-	2km	○	○	被	
25	94.09.08. 1420 1430頃	埼玉県児玉町	1	F1	F0	10	-	-	8km	○	○	被	
埼玉県美里町		1	F1-F2	F1-F2	-	-	-	-	100m程度	○	○	被	

【Fスケール及びその他欄】 F0: 17-32m/s、F1: 33-49m/s、F2: 50-69m/s、F3: 70-92m/s。

事例4の数値は、Faubush and Miller (1954) に基づき気温降下から見積もられた風速値。

【データ源欄】 被:被害調査、自:自記記録、下:ドップラーレーダー、フ:フライトレコーダー。

【降水欄】 ○印は「有り」を、×印は「無し」を、-印は「未確認」を意味する。

事例であった。また、事例15の神戸、事例16（松村，1992），事例17では水平スケールの見積もりがまだ正確にはなされていない。しかしいずれの場合も、レーダーエコーの特徴や自記記録上の気温・露点・気圧の変化、降水強度の推移から見て本論文の認定基準と矛盾しないので第1表に取り入れた。

これから示す第4図～第9図はこの表を基に作成したものである。

5. ダウンバーストの発生状況

5.1 ダウンバーストの種類

ダウンバーストは2つの対照的な気象条件の下で実現することが知られている (Caracena *et al.*, 1990).

1つは「大気下層が乾燥し、中層が湿潤な場合」で、米国中西部の半乾燥地帯でよく見られる。この場合、積雲から降った雨は地上に達する前に蒸発してしまい、降水はほとんど記録されない。この場合のダウンバーストをドライ・ダウンバーストと呼ぶ。もう1つは「大気下層が湿潤でその上が乾燥している場合」である。この場合のダウンバーストは活発な積乱雲下で豪雨とともに生じるのが一般的である。これをウェット・ダウンバーストと呼ぶ。米国南部ではこれが多い。

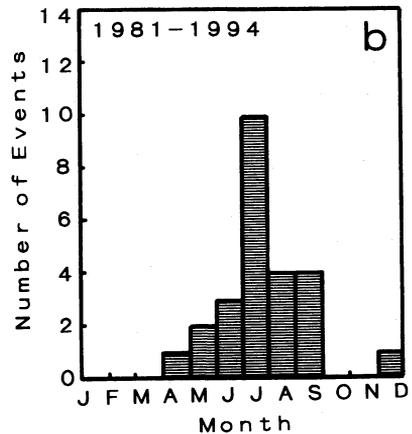
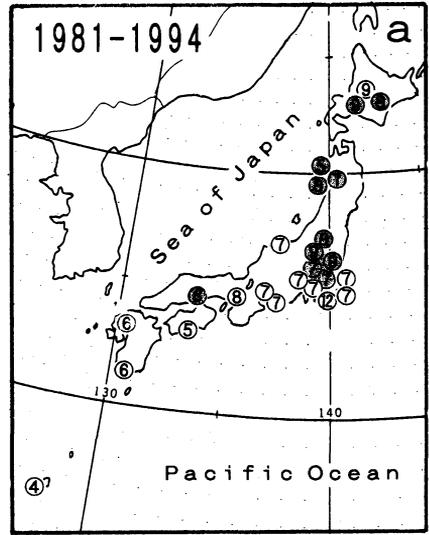
第1表の降水欄に見られるように、今回確認した25件/75個のダウンバーストはすべてが降水とともに発生するウェット・ダウンバーストであった。大気下層の湿っている日本では、これは妥当な結果である。

5.2 地理的ならびに月別の発生件数分布

25件のダウンバースト事例の地理的および月別の発生分布を第4図a, bに示す。第4図aでは1つの数字が1件の事例、影をつけた丸が降電を伴ったダウンバースト事例である。第4図bはダウンバースト事例の月別発生頻度である。この2つの図から次の4点が指摘できる。

- (1) 北海道から沖縄まで広く発生している。
- (2) 時期は、6月から9月に多く、7月に集中(42%)している。
- (3) 発生地域は、月とともに北上する傾向がある(この傾向がもつ意味については、総観場と比較するなどして別途論文で明らかにしたい)。
- (4) 関東地方以北のダウンバーストは降電を伴うことが多い。

ところで、関東地方はダウンバーストの発生が他の地域に比べてとりわけ多い。これは、近年筆者らが同地方においてドップラーレーダーを用いてダウンバーストの観測を続けているためであろう。



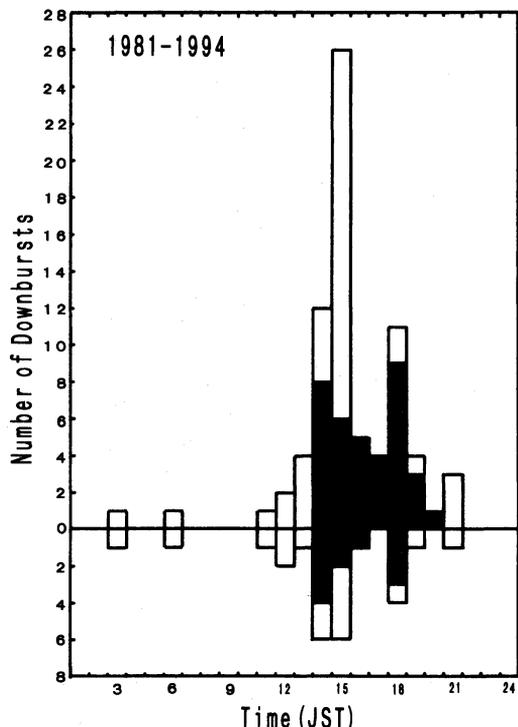
第4図 ダウンバースト事例(25件)の地理的ならびに月別の発生分布。(a)地理的分布。丸1つが1件の事例、影をつけた丸は降電を伴った事例。数字は発生した月を表す。影をつけた丸は降電をともなった事例。(b)月別発生件数の分布。

トの観測を続けているためであろう。

5.3 発生時間帯

第5図は1日のうちで発生しやすい時間帯を調べたものである。上に延びる棒グラフは75個のダウンバーストについて、下に延びる棒グラフは25事例のそれぞれについて発生した最初のダウンバーストについて示したものである。影をつけた部分は関東甲信地方で発生したダウンバーストである。

ダウンバーストは11時～21時にかけて発生し、

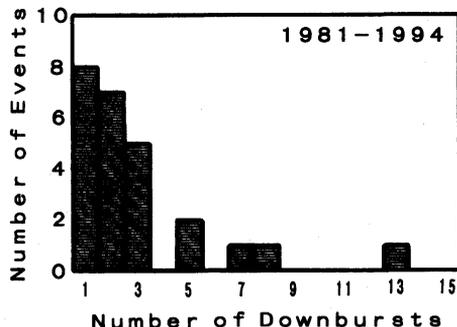


第5図 ダウンバーストの時間帯別の発生個数分布。上に延びる棒グラフは75個のダウンバーストについての分布。下に延びる棒グラフは25事例のそれぞれで最初に発生したダウンバーストについて示したものである。各棒で影をつけた部分は関東甲信地方で発生したダウンバースト。

14～15時に発生頻度が最大になる。この日変化は、地面加熱がすすんで下層大気の安定度が減じることがダウンバーストの発生に寄与する要因の1つであることを示唆していると思う。

上に延びる棒グラフで興味深いのは発生頻度のピークが2つ存在することである。14～15時が最大のピークで、18時が次のピークである。日本全体で見ても、関東甲信地方でも同様である。下に延びる棒グラフが示すように、各事例で最初に発生したダウンバーストについても同様なことが言えるため、統計上のばらつきとは考えにくい。今後、雷雲活動の推移や成層状態の変化を調べるなどしてこの理由を明らかにしたい。

なお、米国でも同様の発見がなされている。すなわち、JAWS計画(1982年5～8月、於コロラド)では14時と19時に、またMIST計画(1986年6～7月、於アラバマ)では12時と15時にピークがあった。14時お



第6図 それぞれの事例中で発生が確認されたダウンバーストの個数分布(例えば、13個のダウンバーストが発生した事例が1件、8個のダウンバーストが発生した事例が1件という事実がわかる)。

よび15時のピークについては、Wakimoto(1985)およびAtkins and Wakimoto(1991)が、地上気温が極大になることで説明している。しかし、他のピークが出現する理由に対する明確な説明はなされていない。

5.4 多発性

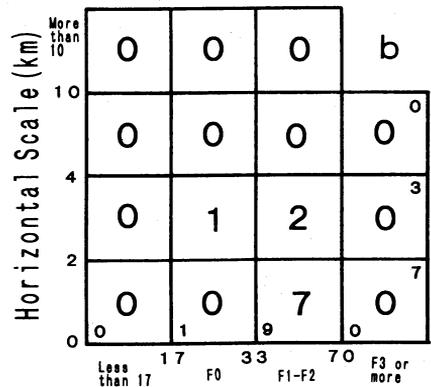
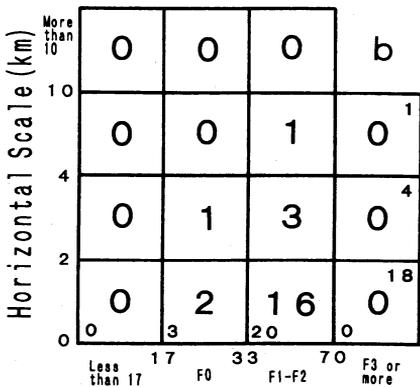
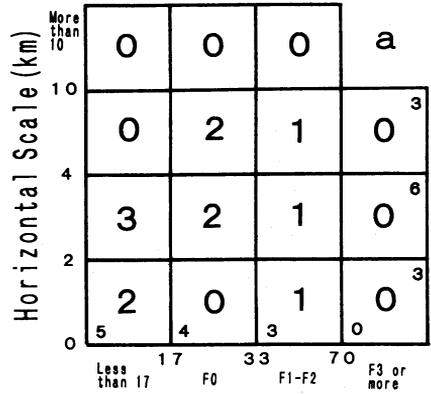
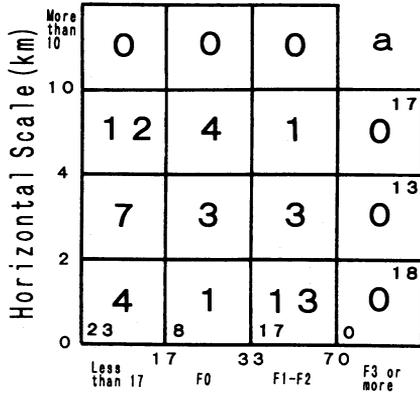
同一事例中で発生が確認されたダウンバースト数を示すのが第6図である。約70%の事例で複数のダウンバーストが発生していることがわかる。うち、5件については5個以上の発生が、1件については13個の発生が確認されている。同一事例内でダウンバーストは多発する傾向にあることがわかる。

この傾向はすでに米国でも指摘されている。例えばMIST計画では、60日間のうち4日間は1日5個以上、最も活発な日には1日で25個を記録した(Atkins and Wakimoto, 1991)。

「多発」のしかたは2つに分かれる。第1は「1つのダウンバーストに多数のマイクロバーストが組み込まれている場合」(Fujita and Wakimoto, 1981)である。事例1・5・8・13・18・24がこれに当てはまる。第2は「1つまたは複数の対流システムが移動しながら異なる時刻と場所に次々にダウンバーストを発生させる場合」である。事例15・21・22がその典型である。両方の「多発性」を併せもつ事例もある。1992年9月4日に水戸市で発生したダウンバースト(事例19)がそれである(詳細は別途報告したい)。

5.5 吹き出しがもたらす突風の強さと吹き出しの水平スケール

75個のダウンバーストのうち、「吹き出しがもたらす突風の強さ」と「吹き出しの水平スケール」の両方を



Outflow Speed (m/s)

第7図 75個のダウンバーストのうち、「吹き出しがもたらす突風の強さ」と「吹き出しの水平スケール」の両方を見積もることができた71個についての両者の関係。横軸は「吹き出しがもたらす突風の強さ」でFスケールで区切った。縦軸は「吹き出しの水平スケール」。各々の箱の数字はダウンバーストの個数。最下行の各箱の左下に小さく記した数字は列毎のダウンバースト数の合計、最右列の各箱に記したのは行毎の合計。(a) 降電を伴わない場合、(b) 降電を伴った場合。

Outflow Speed (m/s)

第8図 25件の事例のうち「吹き出しがもたらす突風の強さ」と「吹き出しの水平スケール」の両方を見積もることができた22件に関し、各事例において最も強いダウンバーストについての両者の関係。他の説明は第7図と同じ。

見積もることができた71個について、第7図に両者の関係を示す。横軸はFスケールで区切った。各々の箱の数字はダウンバーストの発生個数である。水平スケールが10 kmを超えるダウンバーストが無いことが分かる。すなわち、作業上の認定基準とした「水平スケール15 km以内」に矛盾していない。

降電を伴わない場合の発生頻度第7図aは、吹き出

しの強いものから弱いものまで、また水平スケールの大きいものから小さいものまで広く分布する。また、発生頻度の極大は、風速がF0未満で水平スケールが4~10 kmの箱と、風速がF1~F2で水平スケールが2 km以下の箱とにある。一方、降電を伴う場合の発生個数第7図bは、風速がF1~F2で水平スケールが2 km以下の箱で顕著な極大となる。両者を比べて言える次の2点である。①降電を伴ったダウンバーストがもたらす突風は激しく、その水平スケールは小さい。②降電を伴わないダウンバーストの場合、突風の強さと水平スケールは様々である。

第8図には、25件のそれぞれの事例で最も強い突風をもたらせたダウンバーストについてのみ、「突風の強

さ」と「吹き出しの水平スケール」の関係を示した。降雹を伴う事例(第8図a)は伴わない事例(同b)に比べ、突風は激しくその水平スケールは小さいことが明瞭である。

米国での数多くの数値シミュレーションが示すように、比較的安定な大気環境の中で下降気流を加速するには雹が最も効果的である(例えば、Proctor, 1989; Srivastava, 1987; Straka and Anderson, 1993)。このため、降雹を伴うダウンバーストからの吹き出しは降雹を伴わない時に比べ強くなることは妥当である。降雹を伴ったダウンバーストがもたらす突風の水平スケールが降雹を伴わないものに比べ統計的に小さいことも筆者は妥当と思う。雨域より雹域が小さいのは経験的にも正しいし、レーダーで見ても雹域(55 dBZ以上の領域、Aydin *et al.*, 1986)は豪雨域のごく一部だからである。2重偏波レーダーを用いた Wakimoto and Bringi (1988)も、小領域の雹の下で強いダウンバーストが発生したことを報告している。

6. 考察

(1) ドップラーレーダーが覆う領域が極めて狭い日本においてダウンバーストの発生状況を全国規模で把握するため今回は、被害調査・自記記録・ドップラーレーダー観測データなどを広く収集し複合利用した。

しかし被害調査では激しいダウンバーストしか特定できないことは言うまでもない。また、地上の風向風速計の展開密度はダウンバーストがもたらす吹き出しの水平スケールに比べ粗いことが普通だから、たまたま記録された突風の値が「そのダウンバーストからの吹き出しがもたらせた最大値」である保証はない。また、ドップラーレーダーのビームの方向とダウンバーストの主風向が異なる場合、ドップラー速度は吹き出しの速度より小さい値になる。このような不確定要素はあるものの本論文では、統計的特性をとおり、これまでは知られていなかったダウンバーストの発生の実態を浮かび上がらせることができた。

(2) 第4図aでは、ダウンバースト事例が関東平野が突出して多く、次に秋田や北海道に多い。これはその地方でダウンバースト調査が多く行われてきたことの反映だと筆者は思う。したがって、事例の分布には偏りがあることに注意していただきたい。冬の日本海沿岸に降雪雲がもたらす局所的な強風などを含め、ダウンバーストの発生に関する実態調査が全国的に実施され、統計内容が充実することを筆者は願う次第である。

(3) 本論文では同一事例と見なす領域を「関東地方程度の広さ」とした。これが妥当かは意見の異なるところであろう。「ダウンバーストが日本のどこかで発生した日」をもって「事例」と定義する方法から、「個々の対流セルから発生したダウンバースト」をもって「事例」と定義する方法まで様々あるからである。今回はダウンバーストの状況を気候学的に論じることを目的とするため、「同一の大気環境と見なせる領域で発生した個々のダウンバーストは同一事例に含める」との方針をとった。「同一観測時刻の大気成層でも、仙台や館野、浜松、潮岬では異なるのが普通である」という総観的知識を我々は持っている。この総観的知識にもとづいて「関東地方程度」を同一事例として扱う際の広さの目安とした。

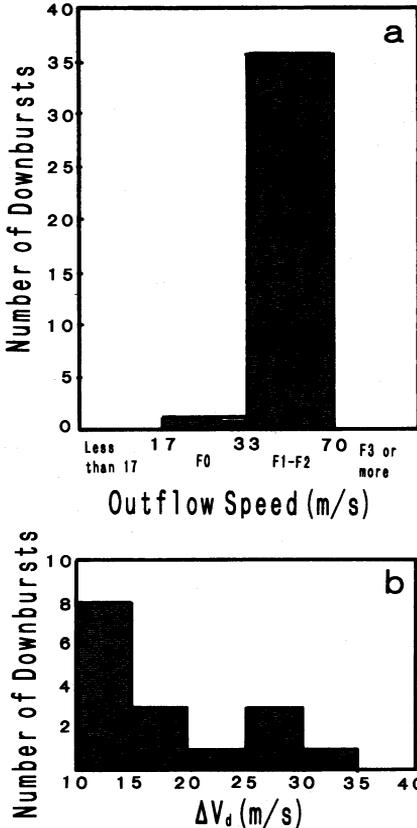
(4) 1970年代後半から80年代にかけて米国で実施された多数のダウンバースト研究プロジェクトの結果、それまでは珍しいと思われてきたダウンバーストは、雷雨日の60~70%に発生する、ごく当たり前の現象であることが明らかになった(Proctor, 1988)。日本においても、以下に述べるようにダウンバーストは決して珍しい現象ではないと考えられる。

これまでに確認された75個のダウンバーストのうち、被害調査をもとに特定した37個についてそれらの強度分布を示したのが第9図aである。1個を除いてすべてがF1~F2のダウンバーストである。

一方第9図bは、ドップラーレーダーで観測した ΔV_d とダウンバーストの個数との関係を示したものである。 ΔV_d が小さくなるにつれてダウンバーストの個数はほぼ指数関数的に増加している。ドップラーレーダーと密に展開した風向風速計網とでとらえたダウンバーストについての米国の統計(Fujita, 1985)によると、 ΔV_d とダウンバーストの個数の分布はやはり指数関数的で、第9図bに近い。したがって、第9図aの分布は、「日本の現状では被害の出ないダウンバーストは見過ごされがちなためF0以下のダウンバーストの確認数が少なくなっている」と解釈できる。すなわち、「実際には今回確認できた数の何倍ものダウンバーストが日本でも発生していると考えるのが妥当である」と推定できる。

7. 結論

1981年6月から1994年9月までの13年間に日本で発生したダウンバーストにつき、「突風被害の調査」、「気象台等の自記記録の解析」、「ドップラーレーダーによ



第9図 ダウンバーストの吹き出しがもたらせた突風の強度分布。(a)被害調査をもとに特定した37個のダウンバーストについて。(b)ドップラーレーダーで ΔV_d が観測できた16個のダウンバーストについて。ここで ΔV_d は、発散場をはさんで「近づくドップラー速度」の最大値と「遠ざかるドップラー速度」の最大値との差。

る観測」ならびに「現在までに入手した文献」をもとに、25件、総数75のダウンバーストが発生したことを確認した。それらについて、一覧表の形でデータベースを作成した。このデータベースにもとづいて、発生したダウンバーストを統計的特性を調べた結果、日本におけるダウンバーストの発生の実態として以下のことがわかった。

- (1)すべてが雷雨下のウェットダウンバーストである。
- (2)発生地域は、北海道から沖縄まで広く分布している。
- (3)ダウンバーストは6月から9月、特に7月に集中し

て発生する。

- (4)発生時間帯は11時から21時で、第1の極大が15時に、第2の極大が18時に存在する。
- (5)米国同様、同一事例中でダウンバーストが複数発生するのが一般的である。
- (6)ダウンバーストからの吹き出しがもたらす突風の風速はF2以下で、吹き出しの水平スケールは10km以下である。
- (7)突風の強さと吹き出しの水平スケールとの関係は降雹の有無で異なる。すなわち、降雹がない場合、突風の強さはF0以下からF2まで広く分布し、水平スケールも10kmから2km以下と広く分布する。一方、降雹がある場合、突風の強さはF1~F2と強く、水平スケールも2km以下と小さい。
- (8)今回までに確認できた75のダウンバーストは「氷山の一角」にすぎず実際は相当数発生していると考えられる。

謝 辞

岩下晴彦・梶川正弘・小林文明・松村 哲・中山 章・新野 宏・小元敬敏・城岡竜一・山内博行(以上、引用文献の著者)の皆様(敬称略)からは有益な助言を、菊地勝弘(北海道大学)・佐々木嘉和(オクラホマ大学)・真木雅之(防災科学技術研究所)の皆様(敬称略)からは励ましや議論を、また福島県館岩村・埼玉県美里町の皆様およびの愛敬一幸氏(NHK 仙台放送局)には被害調査への協力をいただきました。高層気象台・宇都宮地方気象台・名古屋航空測候所からは自己記録の提供を受けました。ここに感謝いたします。また、埼玉県妻沼町・茨城県小川町・岡山市・水戸市で発生したダウンバーストをかつて調査した際には各方面の皆様大変お世話になりました。改めて感謝いたします。

参 考 文 献

Aydin, K., T.A. Seliga and V. Balagi, 1986 : Remote sensing of hail with a dual linear polarization radar, J. Appl. Meteor., 25, 1475-1484.
 Atkins, N.T., and R.M. Wakimoto, 1991 : Wet microburst activity over the southern United States : Implication for forecasting, Wea. Forecasting, 6, 470-482.
 Caracena, F., R.L. Holl and C.A. Doswell III, 1990 : Microbursts A Handbook for Visual Identification, US Government Printing Office, 35 pp.

- Faubush, E.R., and R.C. Miller, 1954: A basis for forecasting peak wind gusts in non-frontal thunderstorms, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **35**, 14-19.
- Fujita, T.T., 1981: Tornadoes and downbursts in the context of generalized planetary scales, *J. Atmos. Sci.*, **38**, 1511-1534.
- Fujita, T.T., 1985: The Downburst, SMRP 210, The University of Chicago, 112 pp.
- Fujita, T.T., 1992: Mystery of Severe Storms, The University of Chicago, 297 pp.
- Fujita, T.T. and R.W. Wakimoto, 1981: Five scales of airflow associated with a series of downbursts on 16 July 1980, *Mon. Wea. Rev.*, **109**, 1438-1456.
- 藤田哲也, 1973: たつまき一渦の驚異一, 上, 科学ブックス20, 共立出版, 228 pp.
- 岩下晴彦, 1992: 羽田で発生したダウンバースト (1987年7月25日), *天気*, **39**, 279-290.
- 岩下晴彦, 1995: 1988年8月24日伊丹付近で発生した2つのダウンバースト, *天気*, **42**, 833-842.
- 梶川正弘, 1988: 1985年8月6日秋田県南部の降ひょうとダウンバーストによる災害, *自然科学*, **7**, 37-48.
- 梶川正弘, 薄木征三, 1992: 1987年7月9日秋田県仙北町のマイクロバーストによる災害, *東北地域災害科学研究*, **28**, 55-58.
- 梶川正弘, 薄木征三, 武藤哲男, 1993: 1989年5月15日秋田県協和町のマイクロバーストによる災害, *秋田大学教育学部研究紀要 (自然災害科学)*, **44**, 45-51.
- 加藤敏彦, 1991: 「1987年7月25日雷雨に伴う強風とレーダーエコーについて, 熱雷に関する地域特性の調査. 平成3年3月, 東京管区気象台, 解説資料第18号」の3. 2. 1節.
- 河原恭一, 1995: つくば域で発生したダウンバーストについて, *高層気象台集報*第55号, 19-22.
- 航空事故調査委員会, 1985: 航空機事故調査報告書, 日本アジア航空所属, DC-8-62型, 那覇空港昭和59年4月19日.
- Kobayashi, F. and K. Kikuchi, 1989: A microburst phenomenon in Kita Village, Hokkaido on September 23 1986, *J. Meteor. Soc. Japan*, **67**, 925-936.
- 小森恒彦, 1993: 平成4年9月4日の真岡市, 益子町の突風と降ひょうについて, 平成5年度東京管区地方気象研究会誌, 41-42.
- 楠 研一, 大野久雄, 鈴木 修, 上清直隆, つくば域降雨観測実験グループ, 1994: 「つくば域降雨観測実験」つくばダウンバースト1994年9月8日 I, 1994年秋季大会講演予稿集, 日本気象学会, C313.
- 松村 哲 (高知地方気象台), 1992: Private Communication.
- 光田 寧, 林 泰一, 1991: 1991年6月27日, 岡山市で発生したダウンバーストに伴う陣風(突風), *日本風工学会誌*, **49**, 35-39.
- 中山 章, 伊関次男, 1985: 1983年7月27日に富山空港で発生した microburst, *天気*, **32**, 329-332.
- 中山 章, 青山雅典, 1990: 離陸滑走中に遭遇したマイクロバーストの解析, *天気*, **37**, 421-429.
- Ohno, H., and O. Suzuki, 1991: Microburst? hazardous divergent wind in Kanto Plain summer afternoon 1990, Preprints, 4th International Conf. on Aviation Weather Systems, Paris, 167-168.
- Ohno, H., O. Suzuki, K. Kusunoki, H. Nirasawa and K. Nakai, 1993: A severe downburst in Mito City on 4 September 1992, Preprints, 26th International Conf. on Radar Meteor., Norman, 221-222.
- Ohno, H., O. Suzuki, H. Nirasawa, M. Yoshizaki, N. Hasegawa, Y. Tanaka, Y. Muramatsu and Y. Ogura, 1994: Okayama downburst on 27 June 1991: Downburst identifications and environmental conditions, *J. Meteor. Soc. Japan*, **72**, 197-222.
- 大野久雄, 鈴木 修, 1991: 関東平野霞ヶ浦北方で発生したダウンバースト, 1991年日本気象学会春季大会講演予稿集, A113.
- 小元敬男・光田 寧, 1983: 「竜巻など瞬発性気象災害の実態とその対策に関する研究, 昭和57年度科学研究費補助金(自然災害特別研究)研究成果報告書, 124 pp, 研究代表者, 光田 寧」の2.4節.
- 小元敬男, 1987: 強風災害をもたらした下降流突風の事例解析, *天気*, **34**, 633-642.
- 小元敬男, 竹内利雄, 仲野 貢, 1989: 降ひょうとダウンバーストの実態, 「降ひょうと下降流突風(ダウンバースト)による災害に関する研究, 文部省科学研究費, 自然災害特別研究成果, No.A-63-4, 169 pp, 研究代表者, 小元敬男」の2.2節.
- Proctor, F.H., 1988: Numerical simulation of an isolated microburst, Part I: Sensitivity experiments, *J. Atmos. Sci.*, **45**, 3137-3160.
- Proctor, F.H., 1989: Numerical simulation of an isolated microburst, Part II: Sensitivity Experiments, *J. Atmos. Sci.*, **46**, 2143-2165.
- Shirooka R., and H. Uyeda, 1991: Doppler radar observation of tornado and microburst around Chitose Airport, Preprints, 25th International Conf. on Radar Meteor., Paris, J73-J76.
- Srivastava, R.C., 1987: A model of intense downdraft driven by the melting and evaporation of precipitation, *J. Atmos. Sci.*, **44**, 1752-1773.
- Straka, J.M., and J.R. Anderson, 1993: Numerical simulation of microburst-producing storms: Some results from storms observed during COHMEX, *J.*

- Atmos. Sci., 50, 1329-1348.
- 高山 大, 新野 宏, 渡辺真二, 菅谷重平, つくば域降雨観測実験グループ, 1995: 埼玉県北西部で発生したダウンバースト, 1995年日本気象学会春季大会講演予稿集, C210.
- Tabata, A., K. Akaeda, M. Ishihara and H. Sakakibara, 1991: Structure of downbursts associated with heavy rainfall observed in Tokyo, Preprints, 25th International Conf. on Radar Meteor., Paris, J77-J80.
- Wakimoto., R.M., 1985: Forecasting dry microburst activity over the High Plains, Mon. Wea. Rev., 113, 1131-1143.
- Wakimoto., R.M., and V.N. Bringi, 1988: Dual-polarization observations of microbursts associated with intense convection: The 20 July storm during the MIST project, Mon. Wea. Rev., 116, 1521-1539.
- 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.
- 山内博行, 太田誠一, 田中文夫, 中村 保, 大山哲男, 佐々木健次, 菅原 博, 日置 茂, 1995: 平成6年8月10日に陸別で発生した突風の災害報告及び事例解析, 札幌管区気象台技術時報, 125, 18-26.

1996年度堀内基金奨励賞候補者の推薦募集

記

日本気象学会の堀内基金奨励賞は、気象学の境界・周辺及び未開拓の分野における調査・研究・著述等により気象学及び気象技術の向上に寄与しているものに贈られる賞です。これまでに過去8回の顕彰が行なわれ、1996年度はその9回目に当たります。

堀内基金奨励賞候補者推薦委員会は同賞受賞者選定規定に基づき、候補者を理事長に報告します。

つきましてはこの規定の趣旨に沿う最も適切な候補者を選定するための参考資料として、下記のとおりひろく会員からの推薦を募りますので御協力をお願い申し上げます。用紙はなるべくA4判横書きを希望します。

日本気象学会堀内基金奨励賞候補者推薦委員会
田中 浩 (担当理事), 秋元 肇, 及川武久,
住 明正, 原田 朗

1. 推薦期限

1996年4月30日(火)

2. 宛先

〒100 東京都千代田区大手町1-3-4

気象庁内 日本気象学会

堀内基金奨励賞候補者推薦委員会

3. 推薦書記入事項

(a) 候補者所属氏名

(b) 推薦する業績

(c) 推薦理由 (主たる論文リストを含む)

(d) 推薦者所属氏名印