

# 強風災害をもたらした下降流突風の事例解析\*

小元 敬 男\*\*

## 要 旨

1981年6月29日九州の筑紫平野南部の広い範囲に被災形態が竜巻被害によく似た強風災害が発生した。現地調査による詳細な被害分布と、九州内多数地点の気象自記記録の解析から、この災害の直接的原因はスコールラインに伴う下降流突風(ダウンバースト)内に集中的に多数発生した、強いマイクロバーストによるものであることが分かった。

当日は、九州北部を東西に横切る梅雨前線をほぼ北限とし、気圧変動、気温急下降、および突風を伴う南北に延びたスコールラインが時速約70 kmの速い速度で九州を横断した。九州のかなり広い範囲で最大瞬間風速20 m/s前後の突風が観測された。なお、被害発生地域で記録された値はその周辺域の値より大きいわけではなかった。被害発生地域における気圧計は小高気圧の通過を示す変化を記録したが、竜巻低気圧の存在を示唆する変化は全く見られなかった。本事例のようなタイプの災害をもたらす強風の実態を明らかにするに際して、地上被害の分布と地物の破壊・変形状態の詳細な分析が重要であることを指摘した。

## 1. はじめに

積乱雲に伴う下降気流が地表面付近で発散する現象は、離着陸時の航空機にとって極めて危険な状況を作り出し、多数の人命にもかかわる事故の原因にもなることから、気象研究者はもとより(Fujita and Byers, 1977; Fujita and Caracena, 1977; McCarthy and Serafin, 1984)、航空関係者の間でも注目されている(Trosian, 1984)。地上でこの現象は突風として観測される。この突風あるいは下降気流は、陣風(光田ほか, 1983; 小倉, 1984)、ダウンバースト(内田, 1979; 藤田, 1985; 文字・小元, 1985)、マイクロバースト(藤田, 1985; 中山・伊関, 1985)、下降噴流(藤田, 1985)その他下降突風、下降流突風など、和文の文献だけでも数種類の用語が用いられており、英語にも何種類もの言葉が見出される(downrush, Fawbush and Miller, 1954; downburst, Fujita and Byers, 1977; Fujita, 1981; Fujita and Wakimoto, 1981; Wakimoto, 1985; macroburst, Fujita, 1985; microburst, Fujita, 1981; McCarthy and Serafin, 1983; burst swath Fujita, 1981; Fujita and Wakimoto, 1981; thunderstorm

gust, Petterssen, 1956, など)。これらは必ずしも同じ現象を指しているわけでないが、用語の混乱は否定できない。最近では、ダウンバーストの中で水平的拡がり4 km以下のをマイクロバーストと呼ぶFujita (1985)の分類が一般的になりつつある。これまで、用語が混乱していた大きな理由は、この種の現象が実態を観測によって捉えることが容易でなく、また、理論的にも解明の難しい性質を備えているため、つまり、現象の実態が充分理解されていなかったことによると言えよう。

本論文では顕著な強風災害をもたらした下降流突風の一事例の解析結果を示す。注目の現象は1981年6月29日北九州に発生したもので、テレビや新聞では竜巻によるものと報道された。当時、筆者は文部省自然災害特別研究計画研究「竜巻など瞬発性気象災害の実態と対策に関する研究」(代表者光田寧)の分担者の一人として、実態に関する課題を担当しており、すぐに関係者4名\*1と共に現地に赴き、2班に分れて被害調査を行った。その結果、この災害は広範囲に多数発生した極めて局所的な突風によるものであることが分かった(小元・光田, 1983, 小元ら, 1983)。また、この突風は積乱雲に伴う下降気流によるものであると考えられ、そして個々の被

\* A case study of a damaging downburst.

\*\* Yukio Omoto, 大阪府立大学農学部

——1987年5月8日受領——

——1987年8月10日受理——

\*1 文字信貴・林 泰一, 谷池義人(以上京都大学防災研究所), 白土博通(京都大学工学部)。

害域の水平的拡がり4 km 以下であることから、この災害は集団的に発生したマイクロバーストによるものであると判断した。

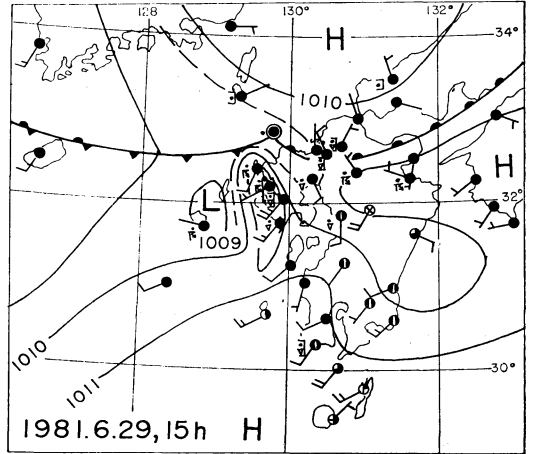
最近には日本に発生したダウンバーストあるいはマイクロバーストの事例の報告が見られるようになったが(中山・伊関, 1985; 航空機事故調査委員会, 1985), 当時はこの種の災害に関して海外の事例はいくつか報告されていたが(Fujita, 1981; Fujita and Wakimoto, 1981; など), 国内例についてはほとんどなかったため、以後、1年半余りついでして気象資料を収集し詳細な解析を試みた。計画的観測網のデータを用いているわけではなく、観測点の分布と資料の精度上、解析結果はかなり主観的なものになっている。最近米国ではドプラーレーダーによるマイクロバーストの観測によって、その内部構造が明らかにされつつある(Fujita, 1981; Elmore et al, 1986)。しかし、現在、日本ではそのような観測は実施出来ないし、たとえ気象官署以外の気象観測記録をできるだけ収集したとしても、それらだけでは、このような小スケールの現象の実態を裏付けるにははただ不十分である。本研究では、被害の実態も気象現象の解明に役立つ重要な参考資料として利用した。

以上のように、通常の方法とは異なった気象解析の結果であるが、国内に発生するこの種の現象の事例研究においては避けられないことと思う。結果が災害を伴う下降流突風の実態の解明に若干なりとも役立つことを願って以下に報告する。

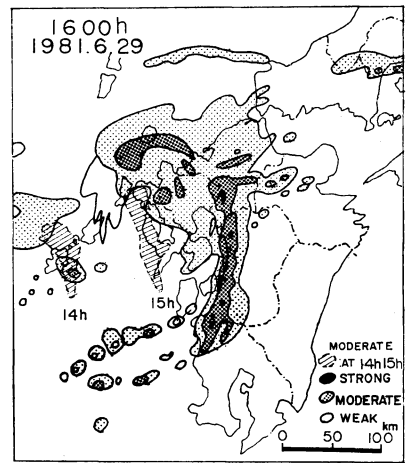
2. 事例の概要

2.1 気象状況

問題の突風災害は1981年6月29日九州北・中部を横断した突風前線(以下にガストフロント\*2と記す)の通過に際して起こった。このガストフロントは、梅雨前線にはほぼ直角に延びた線状積乱雲群に伴ったものである。この対流系は(以下にスコールライン\*2と記す)五島列島の西方東シナ海に発生、時速70~80 km という非常な速さで東進(後出、第3図)、九州を横断して四国中部で消滅した。第1図は当日15時の局地天気図を示す。丁度この頃、長崎・大村地区で瞬間最大20~30 m/s の突



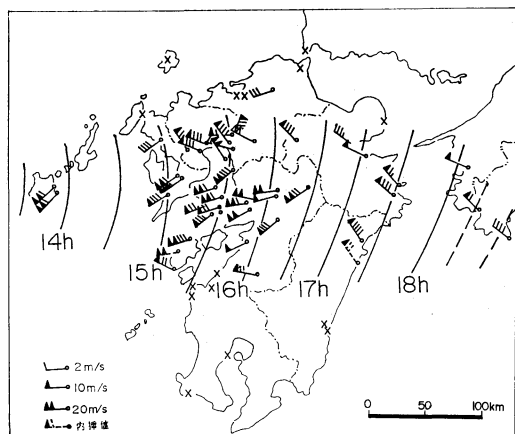
第1図 1981年6月29日15時の九州付近の局地天気図。



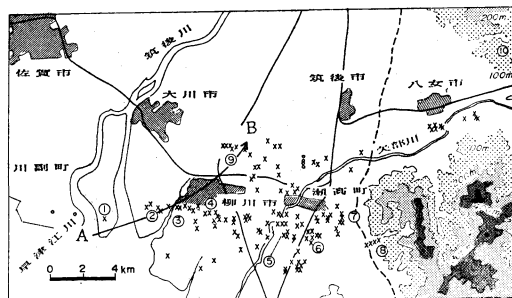
第2図 福岡レーダースケッチの合成図。

風が観測された。第2図は16時の福岡レーダースケッチ図を示す。スコールライン通過に際して、鹿児島県を除く九州各地で気温の急下降、ところによってはかなりの強雨も伴う突風が観測された。そしてスコールラインの北端が通過した筑紫平野南部では広範囲にわたって竜巻被害と間違われるような風害が発生した。被害発生地点から1 km 以内というかなり接近した場所での記録を含めて、この地域における風速計が記録した最大瞬間風速が20 m/s 前後に過ぎなかったことは、大きな破壊力を持った強風が極めて局所的なものであったことを裏付けている。第3図にガストフロントの毎時の位置と、その

\*2 ガストフロントならびにスコールラインの定義に関しても、研究者の間に多少の相違が見られる。前者に対しては突風前線というよりはむしろ風向急変線的な解釈をしている例があり、後者は突風前線、帯状雷雨域、線状積乱雲群のいずれかを表すのに用いられている。



第3図 ガストフロントの移動状況および最大瞬間風速および風向。



第4図 筑紫平野南部およびその周辺における被害発生地点の分布。×家屋・温室など建物の被害発生場所。○は電柱・樹木など建物以外の被害のみの発生場所。

通過に際して観測された各地点における最大瞬間風速及びその風向を示す。

注目のスコールラインは当時北九州北部を東西に横切っていた梅雨前線にほぼ直角に延びており、系が発達するに従って、補償流による影響か、その周辺では梅雨前線に伴う降雨域が次第に消滅する現象が見られた。一方、15時の「ひまわり」の雲写真では注目のスコールラインに明らかに対応するような特徴は見出せなかった。当日9時の Showalter 不安定指数は、前線の北側の福岡では  $+4^{\circ}\text{C}$  で安定、南側の鹿児島では  $-1^{\circ}\text{C}$  でかなり不安定な大気状態を示していた。

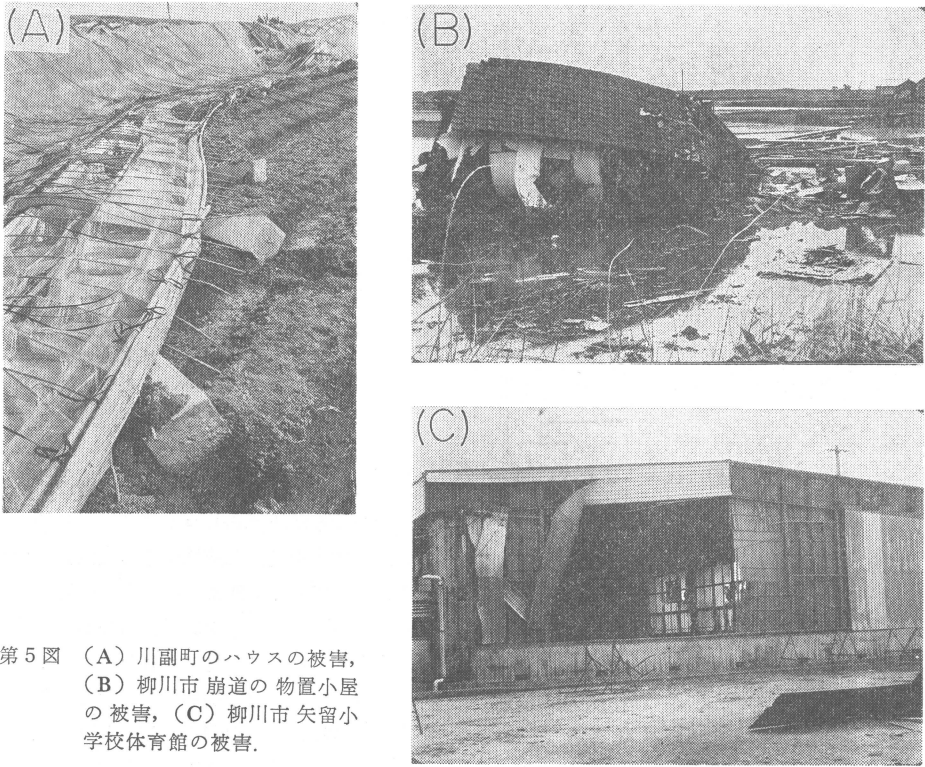
### 2.2 被害状況

このスコールラインに伴う突風被害は筑後川河口付近から福岡県南部の筑紫平野南部のやや広い範囲、大分県日田市および熊本県益城郡嘉島町の3地域に発生した。これらの内、日田市の被害は長さ約1km、幅約150mの「く」の字に折れ曲がった帯状地域に発生、目撃者のいないこと、ならびに幅がやや広すぎることなどから断定は避けられたが竜巻によるものとされた。また、嘉島町の被害は重さ25トンの倉庫一棟が根本から30m吹き飛ばされたもので、常識では考えられない強い風力による被害のため、これも竜巻被害と報じられた。以下では、主に筑紫平野南部における災害について述べる。

第4図は筑紫平野における被害発生地点の分布である。この突風により最初に大きな被害を受けたのは筑後川河口付近の佐賀県川副町大託間の連棟ビニールハウス群であった(図中①地点)。第5図(写真A)にその被害写真を掲げた。これらはビニールハウスの中では強固

な部類に属しているのであるが、鋼製の口型支柱やパイプが鉛のように曲げられコンクリート基礎が引き抜かれていた。被害を受けた連棟は全て最西端が押し潰されたようになっており、西寄りのかかなりの強風が吹きつけたことを示唆している。なお、異常強風の痕跡はこの被害地点の西約3kmにも見出された。ここでは道端の草が押し潰されたり引き千切られたりしていた。なお、ここからハウス被害地点の間では電柱が数本傾いているのが見られたが、今回の突風によるものかどうかは確認できなかった。

突風被害は飛石状に発生しており、上記の次の被害地点はそこから東約2.5km離れた柳川市崩土地区(第4図②地点)であった。主な被害は屋根の破損とかテレビアンテナの倒壊であるが、大きな物置小屋がコンクリート床を残して約10m程移動、一部が田圃に落ち込んでいたことから(第5図B)、局所的にはかなりの強風が吹いたことは確かである。その他、電柱やイグサの被害状況からこの地域の強風もほぼ西寄りと推定された。次の被害発生地点は柳川市矢留小学校とその周辺である(第4図③地点)、同小学校では校舎の窓硝子が多数割れるなどの被害を受けた。なかでも、体育館では窓の破壊により中にいた児童等29人が降り注ぐガラス破片によって負傷した。また、その北面の壁が倒壊した(第5図写真C)。外圧が急に低下するために建物の壁が外側に倒れることが竜巻の被害形態の一つとして知られており、竜巻が体育館を直撃したと報じられたのは当然であろう。しかし、当時、体育館内に居合わせた人達の話では、西に面した窓のガラスが割れ、ガラスの細片と共に強風が吹き込み、壁が外側に倒れたとのことである。つまり、内側から壁を外に押し倒したと見る方が自然であ



第5図 (A) 川副町のハウスの被害、  
(B) 柳川市崩道の物置小屋  
の被害、(C) 柳川市矢留小  
学校体育館の被害。

る。関係者の中には、先ず東側のドアから風が吹き込み、その後で西側の窓ガラスが割れたという人もいた。しかし、同校周辺で東寄りの強風によると考えられる被害は見られなかった。従って、たとえ風が渦を巻いていたとしても、建物の配置から生じたごく局所的なものであったと考えられる。一方、西窓の窓枠が内側に折れ曲がっており、ガラスの割れたのは近くの住宅の屋根瓦が何か硬い物が飛んできて当たったという可能性が高い。割れた窓ガラスの内1枚は、風圧で割れたという考えも出されているが(小元ら, 1983), 被害発生の主因は西寄りの突風と見て間違いないであろう。なお、この窓の破損あるいは国旗掲揚ポールの折損など同校の被害状況から工学的に推定された最大風速は地上5mで約40 m/sであった(小元ら, 1983)。

一つの帯状の強風被害域がここからはほぼ真東へ約4 km 延びているが、被害発生域の幅もこの付近から急に広がっている(第4図)。本図には、竜巻を目撃したという人達の証言に基づいて当時発表された経路(曲線AB)が示されているが、被害分布から見て妥当とは考えられない。柳川市蒲地(第4図⑥地点)で竜巻を見

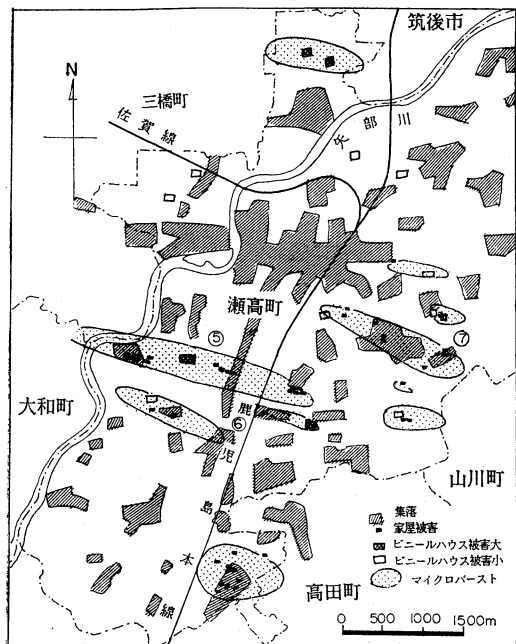
たという一人が調査班に示したスケッチは、Fujita (1981) がマクロバーストの写真として示したものに良く似ていた(小元ら, 1983)。

上記矢留小学校から東方の被害発生域は長さ約15 km, 最大幅約8 km に達し、個々の発生地点数もかなりの数に上るので、以下に主な点を簡条書で述べる。

1) 被害発生地点は不規則に分散しているようにも見えるが、長さ4~5 km のほぼ東西に延びる線状に連なっているものと(第4図)、長さ数100 m から2 km 弱の帯状あるいは楕円状区域に起こったものとに大別することができる(第6図)。

2) 地点⑥ではレンガ煙突の倒壊や庭木の倒木と周辺の建物の屋根の破損が主な被害であった。突風の発生時たまたまこの付近を通過していた乗用車の運転者によると、「(強雨で視界が10 m 以下になり)車を止めたが、強風でゆすぶられて4輪(チューブレス)とも空気が抜けた」と常識では考えられない事が起こったことを指摘している。なお、この人は「竜巻らしいものは見えなかった」とも述べている(小元ら, 1983)。

3) 地点⑦では、大きな連棟ハウスの中央部が押し潰



第6図 福岡県瀬高町の被害分布。

されるように凹んでおり、被害状況は、激しい下降気流軸のまさに中心が偶然この大型連棟のほぼ真中に吹きつけたと考えられる。

4) 上記ハウスの東側の水田の被害状況も強烈な吹き下ろしの風によると思われるものであった。すなわち、多数のイネの葉が弧を描いて曲がり、先端が土に突き刺さっていた。しかし、この場合は、ドーム状のハウス端からの強烈な吹き下ろしが、奇妙な被害形態を作ったと見る方が正しいであろう。

5) 被害の発生域は筑紫平野の東縁に接する丘陵で終わっており(第4図⑧)におけるハウス、物置、倒木、負傷者1名等の被害、及び⑩における牛舎、ハウスの被害)、被害を発生させるような突風の終焉に顕著な地形の影響があったことは明らかである。なお、⑧地点での被災箇所は小さな谷の口から谷の南斜面にそって、上流へ3~400mほど遡った所まで断続的に延びていた。

次に、被害地点④、⑤、及び⑥における地物の被害状況から推定した最大風速を示す。

場所	推定風速	推定根拠
地点④	約 32 m/s	プレハブ物置小屋の転倒
地点⑤	約 42 m/s	コンクリート電柱の倒壊
地点⑥	約 33 m/s	煙突の倒壊

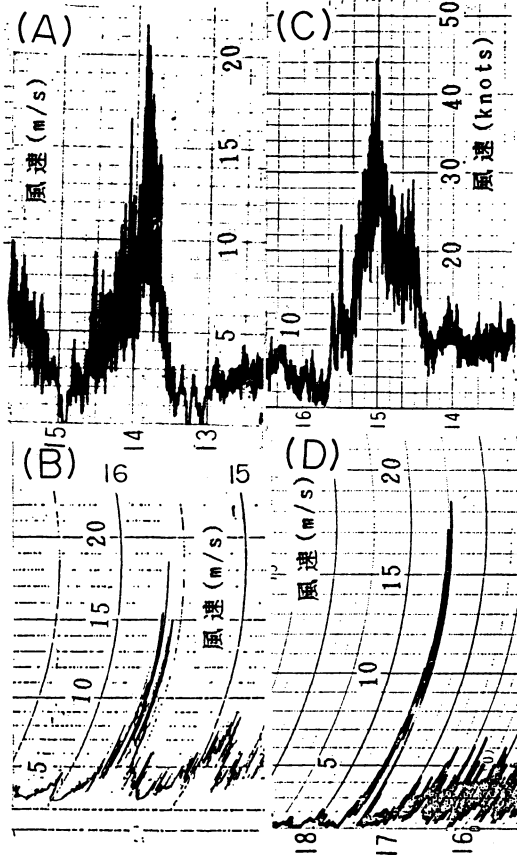
上記の風速の推定は被害対象物の位置における値である。例えば、プレハブ物置小屋の転倒については地面から1mの推定風速であり、気象官署の風速計の高さよりかなり地面に近い所の値であることに留意しなければならない。

第6図は瀬高町が作成した家屋被害分布図をもとに、Fujita, 1981; Fujita and Wakimoto, 1981 のマイクロバーストのモデルを念頭において解析した同町の異常強風域の分布である。これらの論文ではマイクロバースト域内に更に小スケールの幾つかの強風被害域の存在を示しており、そのそれぞれをバーストスオス (burst swath) と名付けている。本図における幅数 100 m 長さ数 100 m ~ 2 km の楕円で囲んだ被害域は両者のどちらに属させるべきか判断に苦しむところである。この種の災害の実態の把握に上空からの写真データが極めて重要であることは疑いない。

### 3. 観測された最大風速

突風を伴った対流系は、13時頃五島列島の西方海上、梅雨前線の南側の暖域内に発生した。福岡レーダースケッチ図から、このシステムが五島列島を通過した頃には長さが約 50 km のスコールラインに成長していた。その通過に際して、福江空港出張所で13時40分に 22.6 m/s、その北約 3 km にある福江測候所では13時55分に 22.3 m/s の最大瞬間風速を観測した(第7図A)。注目のガストフロントはこの付近を通過した頃ほぼ南北に延びており、両観測所の位置関係からするとほぼ同時刻に起こってよい筈の突風に伴う最大瞬間風速の起時に15分もの差を生じたのは、ガストフロントの二重構造を示唆している。なお、柳川消防署の記録にも明瞭にこの二重構造が示されている(第7図B)。しかし、柳川消防署の西北西約 2.5 km にある建設省の観測所の記録(最大瞬間風速 20.9 m/s)には上記のような二重構造を示唆する変化はまったく見られない。数分程度の風速変動の原因の解明は今後に残された興味ある問題の一つである。

福江測候所で突風が観測されてから約1時間後に大村湾周辺の各気象官署ではほぼ同時刻に突風が観測された。すなわち、長崎海洋气象台で15時00分に 18.2 m/s、長崎空港出張所で15時01分に 22.8 m/s (第7図C)、佐世保測候所では15時03分に 9.4 m/s である。なお、大村消防本部の風速自記紙も15時に推定最大瞬間 32 m/s を記録した。しかし、同本部にはこの突風のため管轄地域に被



第7図 各地の風速の自記記録。

(A) 福江測候所, (B) 柳川市消防署, (C) 長崎空港出張所, (D) 延岡測候所。

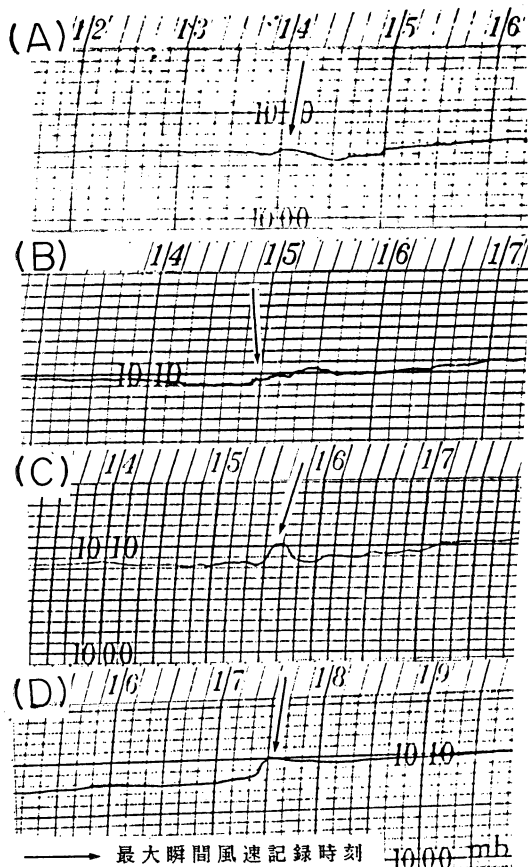
害が発生したという報告はなかったとのことである。島原半島の各所で20 m/s前後の最大瞬間風速が観測されている。

有明海周辺地域には佐賀地方気象台以外にも風速の自記記録を持っている観測地点が数箇所あり、被害発生地点のかなり近くにおける風速の自記記録が得られた。ところが、第4図の被害地点①及び②の間、両地点から3.5 kmと比較的近いところにある観測所で記録された最大瞬間風速は20.9 m/s、また被害地点④から僅か700 mしか離れていない柳川消防署における最大瞬間風速も18.2 m/sに過ぎなかった。これに対して、被害発生域の南端の南約15 kmの大牟田三池港では25.0 m/s、天草島苓北町では26.7 m/sが記録された。また、島原半島の数地点で20 m/s以上の最大瞬間風速が記録されてい

る(第3図)。筑紫平野南部の被害発生域内で記録された風速は上記の値に比べて決して大きくなく、むしろ小さ目ですらあった。その理由の一つは、同地域の各観測所の風速計の高さが比較的低かったためといえる。ダウンバーストでは風速の極大が比較的低層にあらわれることが指摘されており(Fujita and Wakimoto, 1981)、周辺の地物の影響も考えられるので、風速計の地上高による風速補正は非常に難しい。ともあれ、被害発生場所から1 km以内の地点で記録された最大瞬間風速が20メートル以下ということは、この災害発生時において風速分布に著しい局所的変化が存在していたことを示唆するものである。今回、被害状況から推定されたこの極端な風速差は、市街地におけるビル風のような地物の影響で説明できる場所だけでなく、田園地域に散在するハウスの被害分布にもみられた。これらを総合して、本災害が、水平スケールの小さな下降流突風つまりマイクロバーストによるものであると考えて差し支えないであろう。なお、これらのマイクロバーストを伴ったガストフロントの移動速度70~80 km/hr(第3図参照、換算すると約20 m/s)は上記最大瞬間風速とほぼ等しいが、これは偶然の一致と見るべきであろう。なお、当日は九州上空の偏西風はあまり強くなく、それにもかかわらずに突風線がこの速さで移動したことも非常に興味があるが、今回はその原因は究明しなかった。

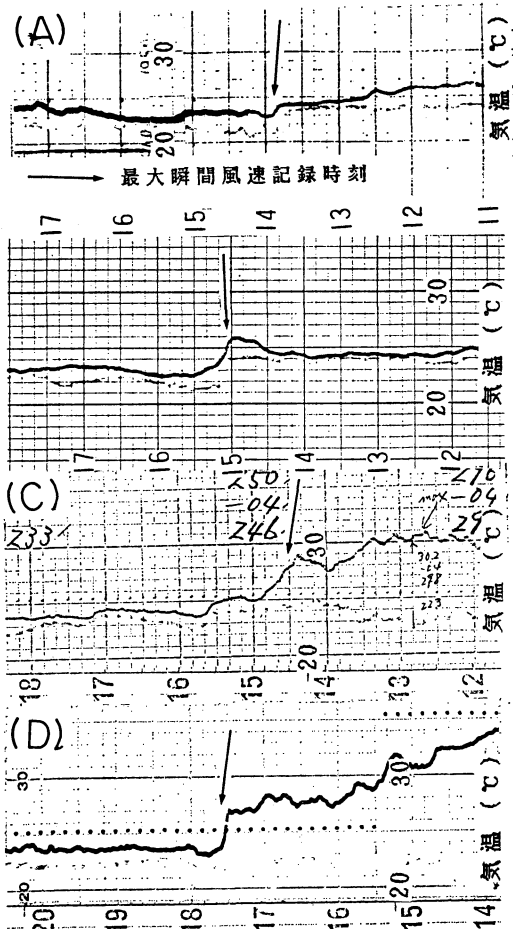
#### 4. 下降流突風を伴ったスコールラインのメソスケール構造

この突風が南北に延びる積乱雲群の前面で起こったことは確かであるが、突風の観測時における各種気象記録を詳細に調べると、その構造は決して単純なものではない。第8図及び第9図にそれぞれ突風を観測した気象官署の気圧及び気温の自記記録を示す。まず、気圧について述べると、ガストフロントの特徴の一つにしばしば挙げられている気圧の急昇(pressure jump)が所によっては明瞭でなかった。とくに初期のガストフロントが通過した福江では、最大瞬間風速が22.3 m/sで、第7図に記録を示した4地点の中で最も大きい。突風発生時の気圧上昇は最も小さい。長崎通過の際の気圧上昇量も極めて小さい。佐賀地方気象台の記録には明瞭な小高気圧の通過が記録されているが、突風は比較的弱い(10.7 m/s)。なお、週巻自記気圧計のデータなので掲げなかったが、筑紫平野南部の各所で佐賀と同じような気圧変化が記録されている。先に述べたように、竜巻災害に似た



第8図 突風を観測した気象官署の気圧変化。

(A) 福江測候所, (B) 長崎空港出張所, (C) 佐賀地方気象台, (D) 延岡測候所。



第9図 突風を観測した気象官署の気温変化。

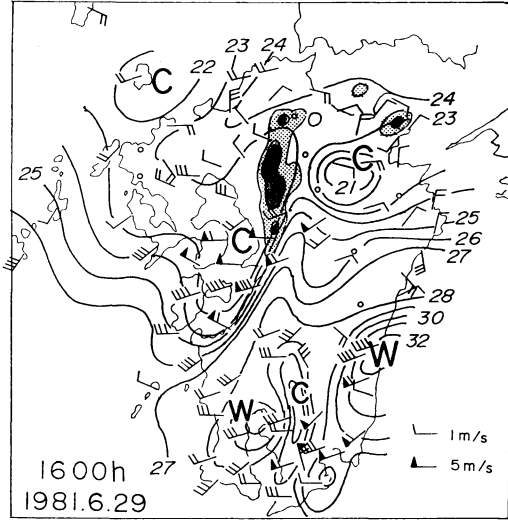
(A) 福江測候所, (B) 長崎空港出張所, (C) 佐賀地方気象台, (D) 延岡測候所。

被害は熊本市外（熊本地方気象台の南東約10km）と日田市内（日田測候所の南東約3km）にも発生している。両気象官署の気圧記録には明瞭な気圧急昇が記録されているが、メソサイクロンの通過を示す変化はやはり見られない。竜巻低気圧の半径が数kmであることを考慮すると、熊本の場合は何ともいえないが、日田では若しそれが存在したら記録される筈である。従って、両風害も竜巻による可能性は小さいといえよう。一方、福江測候所の記録は弱いメソ低気圧（または気圧の谷）の通過を示唆しているが、竜巻低気圧の記録というには変化量が小さ過ぎるし、又、この地域からの風害の報告はない。その他の気象官署の記録にも竜巻低気圧の存在を示唆する変化は全く見出されない。

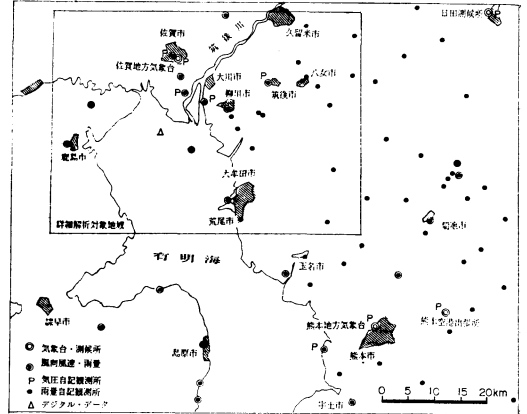
次に、気温についてであるが（第9図）、多数地点で

突風の観測されたとはほぼ同時に気温が急下降した。しかし、気温の降下量と最大風速の関係も明瞭とはいえない。例えば、福江の気温の降下量は小さく、下がり方も比較的ゆるやかである。また、スコールラインの南端が通過した熊本県南部や鹿児島県北部では顕著な気温の急下降は観測されたが、突風は記録されなかった所が数箇所あった（第10図）。

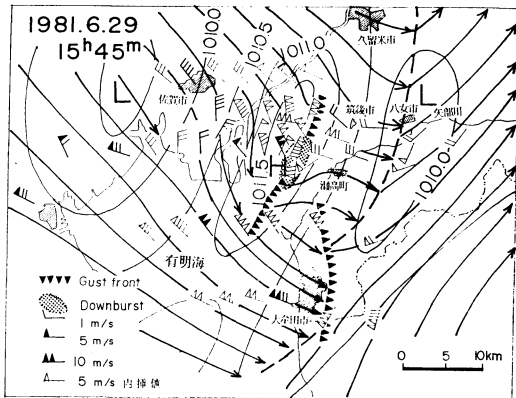
筑紫平野南部には気象官署以外にも自記気圧の記録を取っている観測所が数箇所あり（第11図）、週巻の記録であるとか設置条件が統一されていないなど精度上問題はあがあるが、各自記記録について、系の移動速度を考慮した時間—空間変換を行って、15時45分の筑紫・佐賀両平



第10図 アメダスに基づく1981年6月29日16時における九州の局地気象図（観測地点の風向・風速，等温線，エコー強度分布）。



第11図 詳細解析対象地域とその周辺の気象観測所の分布。



第12図 1981年6月29日15時45分におけるマイクロバーストによる被害発生地域周辺の局地天気図。

野とその周辺域の詳細な局地天気図を作成した（第12図）。本図は、柳川市の矢留小学校が突風に襲われた数分後の状況を示している。図には、風についてのみ自記記録から推定した変換値を記入してある。注目すべき特徴として、ダウンバースト域（マイクロバーストが集団的に発生したと見做される領域）が約25×10 kmの小高気圧の前面に位置していることである。この小高気圧については、佐賀地方気象台ほか筑紫・佐賀両平野における5か所の自記気圧記録が、第8図Cに掲げたような変

化を記録していたことからその存在は確かと見做した。この小高気圧の前方と後方には小スケールの低気圧が存在した。いずれも低圧部と呼ぶ方が適切なような弱いものである。前方の小低気圧を通り北北東から南南西に延びる気圧の谷があり、これを境に東側は南西、西側では北西の気流域になっていたが、谷の通過の際の風向の変化は不連続的といえるほどではなかった。

なお、この図で柳川付近に小さなスケールの擾乱の存在を示唆する流線の湾曲があるが、すでに述べたように、同地域内での観測所の気圧自記紙にも竜巻低気圧を示唆する変化は全く記録されていなかった。問題のスコールラインは、前述の速さで九州を横断した。延岡など宮崎県北部でも顕著な突風が観測された（第7図D）。しかし、九州を離れてから急速に衰え、四国では宇和島・清水・足摺岬の各測候所で弱いながらこのシステムの通過による突風が観測されたが、これら以東の気象官署の記録からの検出は困難であった。

5. あとがき

以上、1981年6月29日午後筑紫平野南部に発生した風害は、場所によっては竜巻被害と間違われる様相を呈していたが、被害発生地点の分布や気圧変化などから、スコールラインに伴うダウンバースト域に群発したマイクロバーストによるものと考えられる。このマイクロバーストの実態、とくに被害発生との関連で重要な風速については、被害状況より推定するしかなかった。一方、推定された地上風速が40 m/s前後の場所から数100 mないし3.5 kmしか離れていない場所に設置されていた



風速計の最大瞬間風速が20 m/s 前後に過ぎなかったことは、風速計によるマイクロバーストの実測記録を得ることが極めて重要であると同時に、それが至難であることを示している。なお、25 m/s を超える最大瞬間風速を記録した観測所もあったが、それらの周辺地域で風害が発生した形跡がなかったことも、突風災害の直接的原因となった風速の推定が極めて難しいことを示唆している。今回のマイクロバーストは発達した積乱雲に伴っていたものであるが、なんのへんてつもない雲からもマイクロバーストは起こるといふ報告もある (McCarthy and Serafin, 1984)。ただ、後者の場合のマイクロバーストは離着陸時の航空機にとっては危険であっても、地物に対してまで著しい破壊力を及ぼすほどの強風を伴うものではなかった。

ところで、風速計の地上高が観測所によって異なることは、注目の突風の構造とか、それによってもたらされる被害の推定に、著しい障害になっている。しかし、今回の調査結果は、最大風速の実測値と被害程度から推定された風速の間に存在する大きな差が、風速計の高さの差だけに起因するものだけではないことを示唆している。もちろん、風速計の設置されている周辺の建物あるいは樹木が風向・風速に複雑な影響を与えている。そして、それが災害をもたらした風の実態の把握の障害になっていることも事実である。しかし、それだけでも、今回の被害分布から推定された、これまでほとんど確かめられたことのない、大きな水平シアの存在を説明できない。以上が今回の風害をもたらした強風をマイクロバーストとほぼ断定した理由である。

この種の災害の解明のため、水平的拡がり数が100 m ないし数 km の範囲における風速の分布の実態の観測研究が必要なのは明らかである。最近米国ではドブラーレーダーによるマイクロバーストの3次元構造の観測に成功しており (Elmore *et al.*, 1986)、この現象の解明は急速に進展するものと考えられる。ただ、上記報告における風速はあまり大きな値でない。今回のようなマイクロバースト被害の発生地域でそのような観測が行われているチャンスは極めて少ないであろう。精度の点でまだかなり問題があるように思われるが、マイクロバーストの研究において、被害状況からの風速の推定は極めて重要である。最後に今回は利用できなかったが、上空からの2次元的な被害データの収集・解析がこの種の現象の解明に必須と称して差し支えないほど重要であることも指摘しておきたい。

1987年10月

## 謝 辞

本論文は文部省自然災害特別研究「竜巻など瞬発性気象災害の実態と対策に関する研究」(課題番号, 00502017; 研究代表者 光田 寧)の本報告書と資料編に報告したものに最近の情報も若干加えて書き直したものである。本研究を行うに際して、京都大学防災研究所光田寧教授に大変お世話になった。また、被害調査及び被害状況からの風速の推定に関して同研究所の文字信貴助教授、林泰一助手、谷池義人助手、京都大学工学部松本勝助教授、白土博通助手の成果を利用した。記して厚くお礼申し上げたい。本研究には膨大な各種気象自記記録あるいはレーダーデータが用いられているが、これらの収集に際して福岡管区気象台をはじめ九州各地の気象官署、建設省九州地方建設局および同管内の各工事事務所、その他農林水産省関係機関、関係各県、市町村役場、消防署、公団や民間会社など、気象観測を行っている多数の機関の協力を得た。紙面の都合で資料を提供して下さった個々の役所・機関名を省略せざるを得ないが、御好意に心から謝意を表します。最後に、本研究との関連で現在、文部省自然災害特別研究計画研究「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」(課題番号 60020042)が進められていることも記しておきたい。

## 引用文献

- Elmore, K.L., J. McCarthy, W. Frost and H.P. Chang, 1986: A high resolution spatial and temporal multiple Doppler analysis of a microburst and its application to aircraft flight simulation, *J. Climate Appl. Meteor.*, 25, 1398-1425.
- Fawbush, E.R. and R.C. Miller, 1954: A basis for forecasting peak wind gust in non-frontal thunderstorms, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 35, 14-19.
- Fujita, T.T. 1981: Tornadoes and downburst in the context of generalized planetary scale, *J. Atmos. Sci.*, 38, 1511-1534.
- Fujita, T.T. 1985: The Downburst (Microburst and Macroburst), SMRP Paper, 210, Univ. Chicago, 120 pp.
- 藤田, T. セオドル, 1985: ダウンバースト(下降噴流), 日本航空機操縦士協会, 106.
- Fujita, T.T. and H.R. Byers, 1977: Spearhead-echo and downburst in the crash of an airliner, *Mon. Wea. Rev.* 105, 129-146.
- Fujita, T.T. and F. Caracena, 1977: An analysis of three weather related aircraft accidents,

- Bull. Amer. Meteor. Soc., 58, 1164-1181.
- Fujita, T.T. and R.M. Wakimoto, 1981: Five scale of airflow associated with a series of downbursts on 16 July 1980, Mon. Wea. Rev., 109, 1438-1456.
- 航空機事故調査委員会, 1985: 日本アジア航空株式会社所属ダグラス式 DC-8-62型 JA 8031 那覇空港, 昭和59年4月19日, 44.
- McCarthy, J. and R. Serafin, 1984: Microburst, Weatherwise, 37, 120-127.
- 光田 寧編, 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, 文部省科学研究費研究成果報告書, 本報告(124頁), 資料編(106頁), 以下に科研報告書と略記.
- 文字信貴・小元敬男, 1985: ダウンバーストとその被害, 日本風工学会誌, No. 23, 37-51.
- 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.
- 小倉義光, 1984: 一般気象学, 東京大学出版会, 314頁.
- 小元敬男・光田 寧, 1983: 積乱雲中の下降流に伴う突風(陣風), 光田 寧編, 科研報告書, 本報告, 28-38.
- 小元敬男・文字信貴・林 泰一・谷池義人, 白土博通, 1983: 1981年6月29日九州における突風とそれによる被害について, 光田 寧編, 科研報告書, 資料編, 37-60.
- Petterssen, S., 1956: Weather analysis and Forecasting, Vol. II, 166-168, McGraw-Hill Book Co., NY.
- Trosian, A., 1984: ウインドシアア, パイロットの視点, 国際航空安全セミナーテキスト, 21.
- 内田英治, 1979: たつ巻研究の諸断面, 天気, 26, 659-681.
- Wakimoto, R.M. 1985: Forecasting dry microburst activity over the High Plains, Mon. Wea. Rev. 113, 1131-1143.

## 気象研究ノート 第158号

——酸性雨——(1987年9月)

大喜多敏一 池田 有光 藤田 慎一  
原 宏 岡田 菊夫 村野健太郎  
太田 幸雄 北田 敏廣 和田 秀徳  
戸塚 績

### 目次

1. 酸性雨の歴史
  2. 世界各地の酸性雨の現状
    - 2-1 欧州における現状
    - 2-2 北米の現状
    - 2-3 わが国の現状
  3. 大気中における  $SO_2$ ,  $NO_x$  の変換
  4. 大気中の酸性物質
    - 4-1 硫酸・硫酸塩を含む大気エアロゾル粒子
    - 4-2 硝酸・硝酸塩
  5. 汚染物の沈着機構
    - 5-1 雲, 霧への取り込み
    - 5-2 湿性沈着: 雲物理過程と降水への物質の取り込み機構
    - 5-3 乾性沈着
  6. 長距離輸送モデル
  7. 酸性雨の生態系への影響
    - 7-1 酸性雨と土壌
    - 7-2 植物および森林生態系に対する酸性雨の影響
- 配布価格**
- 通常会員 2,050円 定期購読会員 1,500円  
団体会員 2,620円 会員外 2,950円