

# 気温低下にもとづくガストフロント警告支援システム\*

荏 澤 浩\*\*・大 野 久 雄\*\*\*

## 要 旨

離着陸時の航空機にとって危険なガストフロントを探知するためにパーソナルコンピュータを用いた「ガストフロント警告支援システム」を構築した。このシステムはアメダスデータから求めた気温低下にもとづいてガストフロントを探知する。

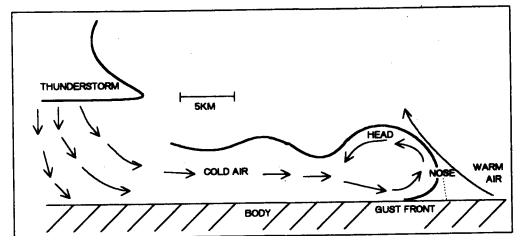
アメダスデータを利用するこのシステムは、数 10 km 以上の空間規模と数時間の寿命を持つガストフロントを探知対象とする。また、晴天下を伝播するガストフロントも探知対象となる。

予報担当者がガストフロントの監視強化および情報の発表などの契機を判断する際の支援システムとしてこのシステムを利用することができる。

## 1. はじめに

雷雨下の冷たい下降気流は地上に達すると周囲の暖かい空気を押しつけて広がってゆく。この雷雨からの冷気外流出の先端部はしばしば突風を伴うことからガストフロントと呼ばれる(第1図)。ガストフロントは地面付近に風の急変をもたらすので離着陸時の航空機にとって危険な現象である。

日本の空港はガストフロントの影響を大きく受けている。すなわち、新東京国際空港(成田)、東京国際空港(羽田)など、国内の9か所の空港にある気象官署から報告された、「1992年から1994年にかけての2年間で最大瞬間風速が 40 kt を越えかつ前後の平均風速よりおよそ 20 kt 以上の風速を記録した突風」40例(気象庁, 1994)について自記紙を調べた結果、半数の20



第1図 ガストフロントの概念モデル (Droegemeier and Wilhelmson (1987) の図をもとにした)。

例がガストフロントであった。

ガストフロントを探知する観測システムはドップラーレーダー及び複数の風向風速計を空港とその周辺に展開する低層ウインドシア警報システム(LLWAS: Low Level Windshear Alert System) (Nielsen and Starr, 1995) があるものの、日本の空港でドップラーレーダーが配備される空港は限られるし、LLWASはどの空港にも配備されていない。しかしながら、前で述べたように日本の空港はガストフロントの影響を大きく受けているので、ガストフロントを探知するシステムが必要である。地上観測ネットワークであるアメダスは観測点が全国展開されており、しかもそのデータは気象官署に毎時配信されてい

\* A supporting system for gust front warning by detecting temperature drop

\*\* Hiroshi Nirasawa, 気象研究所気象衛星・観測システム研究部(現: 気象庁気候・海洋気象部気候情報課)。

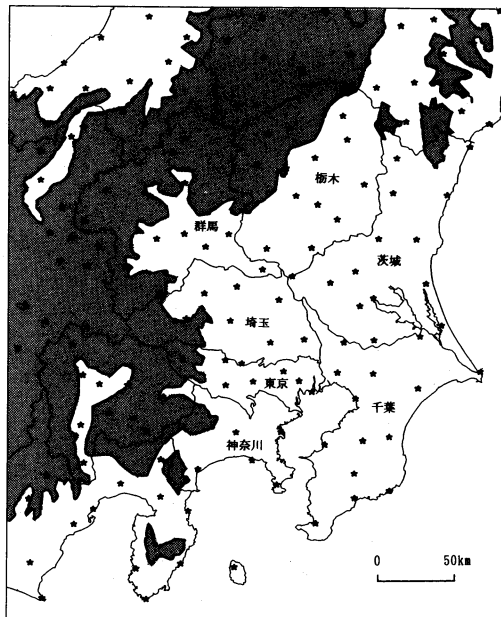
\*\*\* Hisao Ohno, 気象研究所気象衛星・観測システム研究部(現: 気象庁観測部観測課高層気象観測室)。

—1995年9月20日受領—

—1996年6月27日受理—

第1表 アメダスデータの分解能と探知可能なガストフロントの寿命と規模.

アメダスデータの種類	データの分解能		探知対象となるガストフロント	
	時間	距離	寿命	規模
10分値	10分	約 20 km	数10分以上	数 10 km 以上
1時間値	1時間	約 20 km	数時間	数 10 km 以上



第2図 関東地方を中心としたアメダス4要素観測点の分布と高度。★印の地点に4要素観測点が配置されている。影をつけた部分は、標高が500 m以上の地域である。

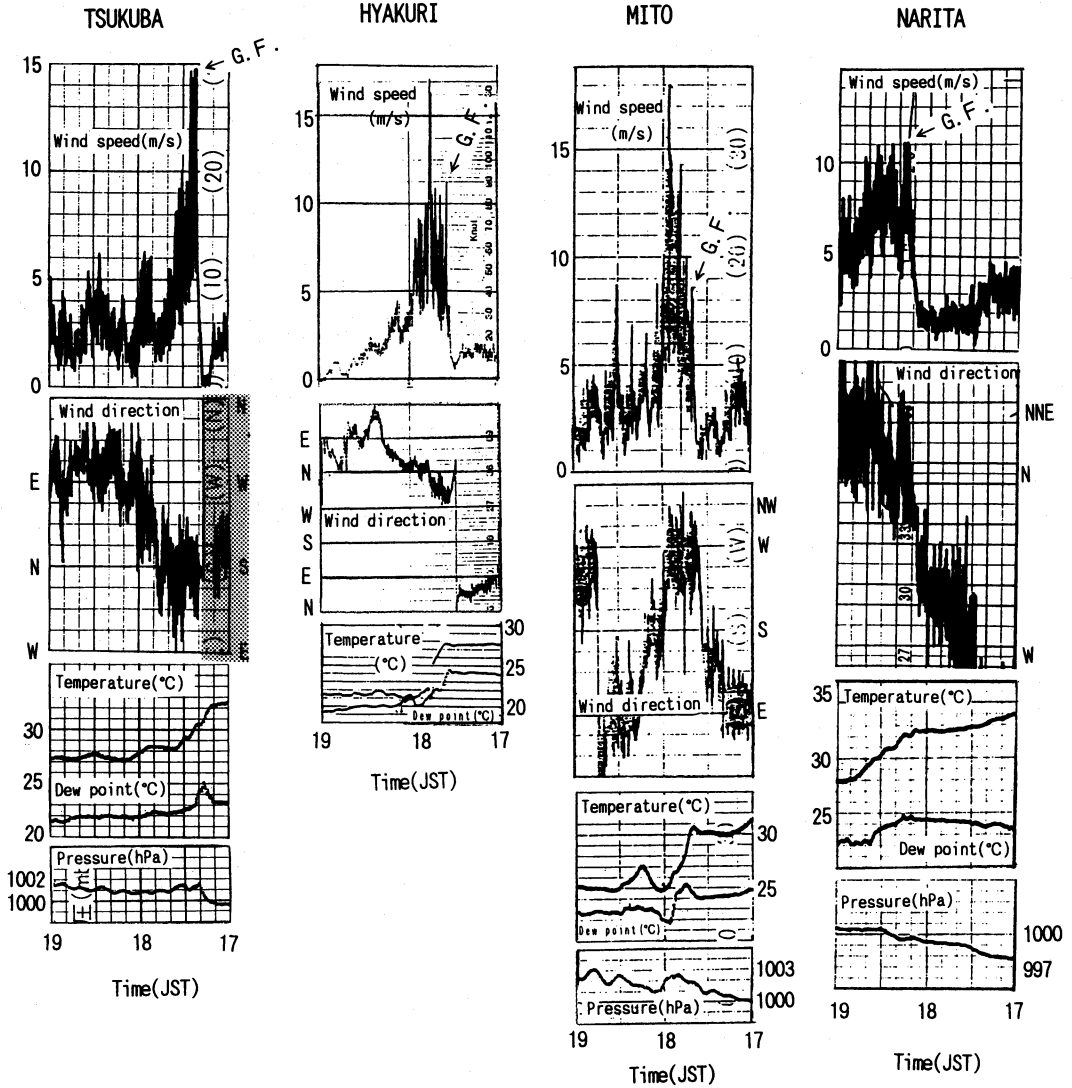
る。したがってアメダスの観測データを利用してガストフロント探知システムができれば、それは日本の多くの空港で利用できる可能性がある。そこで、我々はアメダスデータを用いたガストフロント探知システムの構築を試みた。

ガストフロントは数 10 km から数 100 km の規模と数 10 分から数時間の寿命を持つ (Fujita, 1981) が、アメダスデータを用いた時に探知可能なガストフロントの規模と寿命を検討する。アメダスの 4 要素観測点は約 20 km 四方に 1 点の割合で配置され (第 2 図、関東地方を中心としたアメダス 4 要素観測点分布)、風向・風速、気温、日照時間および雨量を観測している。観測値は 10 分毎に、風向・風速と気温の 10 分間平均値および日照時間と雨量の 10 分間積算値を得ている。本論文では、この 10 分ごとの観測値を「10 分値」と表現す

る。また、気象官署などに配信されるのは毎正時における風向・風速と気温それぞれの 10 分値および日照時間と雨量それぞれの 1 時間積算値である。これらを本論文では「1 時間値」と表現する。10 分値および 1 時間値それぞれで探知可能なガストフロントの寿命と規模を第 1 表に示す。本論文は通常利用できる 1 時間値を使ったガストフロントの探知を議論する。すなわち、アメダスデータを用いたガストフロント探知システムは数 10 km 以上の規模かつ数時間の寿命を持つガストフロントを探知対象とする。

探知対象とするガストフロントに対してアメダスの観測データの何に注目して探知を行えばよいであろうか。地上におけるガストフロント通過時の特徴は、(1) 気圧の上昇、(2) 風向の変化、(3) 風速の急増、(4) 気温の降下であるから (例えば、Charba 1974, Goff 1976, Wakimoto 1982 など)、アメダスで風の変化及び気温の変化を観測することが可能である。第 3 図の上から順に、実際にガストフロントが通過したときの地上の風速、風向、気温・露点、気圧の時間変化を示す。風速において「G.F.」と指し示したところがガストフロントである。ガストフロント通過時の風速及び風向の変化は数分以内の現象であり、アメダスデータの時間分解能では、この変化をとらえることは困難と思われる。一方気温は 20 分から 30 分かけて低下し、下がったあとも低い状態のままである。これまでの研究でも、ガストフロント通過時に地上の気温は 5 分から 30 分かけて低下するし、下がった後も低い状態が続くことが報告されている (Byers and Braham, 1949; Charba, 1974; Goff, 1976; Wakimoto, 1982 など)。このことからアメダスの 1 時間値でガストフロント通過による気温低下を捕らえることは可能と思われるので、気温低下にもとづいてガストフロントの探知を行う。

アメダスの 1 時間値を利用して気温低下にもとづいた探知システム、ドップラーレーダーおよび LLWAS のガストフロント探知能力を比較するため、第 2 表にそれぞれの探知原理および探知能力を示す。ドップラーレーダーは降水粒子の移動速度から風の収束域を



第3図 ガストフロント通過時の地上観測(1990年7月19日). 左からつくば, 百里, 水戸, 成田の地上観測. 各地点とも上から下に, 風速, 風向, 気温・露点, 気圧の順に並べた. ただし, 百里の気圧は除いた. 横軸は時刻 (JST) である.

第2表 各探知システムのガストフロント探知能力の比較. ○は可能, △は条件付きで可能であることを示す.

	探知原理	ガストフロント探知能力				
		降水時	晴天時	探知範囲	空間分解能	時間分解能
ドップラーレーダー	風の収束域	○	△	空港から 100 km	数 100 m	数分
LLWAS	複数の風向風速計によるウインドシア	○	○	空港周辺	1 km 程度	連続
アメダスを利用したシステム	前1時間の気温低下量	○	○	日本全域	約 20 km	1時間

求めることによってガストフロントを探知する。ドップラーレーダーは空港から半径およそ 100 km までの広範囲で時々刻々ガストフロントを監視できるという長所を持つが、晴天下では塵や昆虫などのターゲットが無いとガストフロントの探知は困難である。また、LLWAS は空港およびその周辺の地上に展開した複数の風向風速計相互のウィンドシアをモニターすることによりガストフロントを探知する。LLWAS は天候によらず、高い時間分解能でガストフロントを探知できるという長所を持っているが、探知範囲が風向風速計が展開されている区域、すなわち空港とその周辺に限られるので、空港から離れたところから襲来するガストフロントを前もって探知することができない。アメダスデータを利用した探知システムは、ドップラーレーダーや LLWAS よりは時間・空間分解能の点では劣るものの、ドップラーレーダーによる探知が困難な晴天下でも、LLWAS より広い範囲でガストフロントの探知が可能である点が長所である。

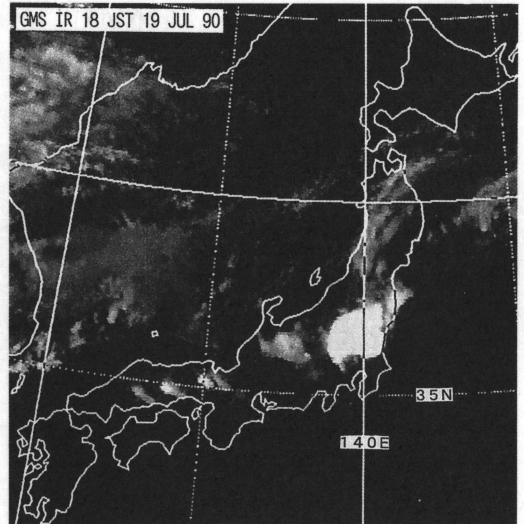
ドップラーレーダー及び LLWAS は風の観測からガストフロントを探知する。また、米国で開発が進められている、ガストフロント、ダウンバーストなどに対する警告支援システム (WDSS: Warning Decision Support System) はドップラーレーダーによる風観測を主体に地上観測データなどを補助的に使っている (Johnson, *et al.*, 1995)。これらに対して、「ガストフロント警告支援システム」は気温低下にもとづいてガストフロントを探知する点でユニークなシステムである。

## 2. このシステムによるガストフロントの探知

### 2.1 システムの概要

前章で述べたように、このシステムはガストフロント通過時の気温低下を捕らえることによりガストフロントを探知する。すなわち、アメダスデータから気温低下量をもとめ、それがあらかじめ設定したしきい値以上の領域をパーソナルコンピュータのディスプレイに表示する。あらかじめ設定したしきい値とは、ガストフロントが通過したとする気温低下量のことである。前章で述べた日本の空港におけるガストフロント 20 例の通過時は気温が 5°C 程度低下した場合がもっとも多い。ただし、用いるデータがアメダスの 1 時間値なので毎正時にまたがってガストフロントが通過する場合を考え、このシステムではしきい値を 3°C とする。

気温低下域は見やすさを考えて 10 km 間隔のメッ



第4図 1990年7月19日18時 (JST) の GMS 赤外画像。関東北部の白い部分は、発達した積乱雲である。

シュで表示する。このため、データ処理は、まずアメダスデータからメッシュ平均値を作り、それから気温差を求めたり、しきい値による判定などを行う。

表示は、雷雨からの冷氣外出流の強さや広がりを見断する目安とするために、気温低下量は 3°C、4°C 及び 5°C 以上の 3 段階表示とし、風は冷氣内の風を矢羽根で示す。

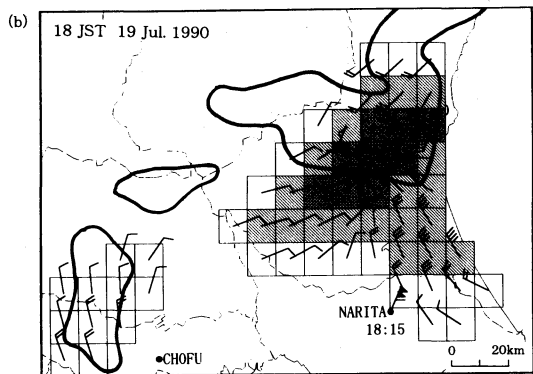
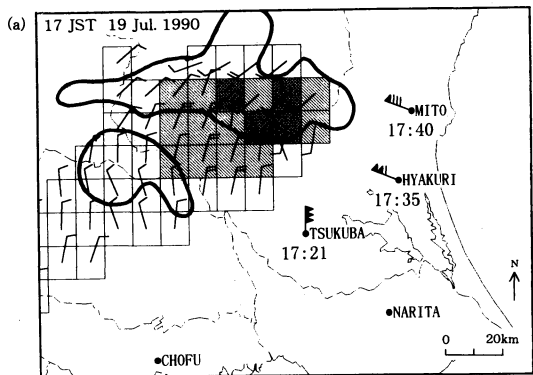
このシステムが使用する機器は、パーソナルコンピュータ及びモニター、プリンタなどの周辺装置である。

### 2.2 探知事例

数 10 km の空間規模で数時間の寿命を持ったガストフロントの事例を用いて、このシステムが探知対象とするガストフロントがアメダスの 1 時間値を用いた時にこのシステムでどのように表現されるかを以下に述べる。

#### (1) 1990年7月19日の事例

1990年7月19日夕刻、茨城県つくば市において、地上 100 m の高さで最大瞬間風速 20 m/s の突風をもたらしたガストフロントが観測された (Nirasawa *et al.*, 1991)。この日の夕刻は、つくばのみならず、同じ茨城県内の百里 (航空自衛隊百里基地) と水戸市、さらに千葉県成田市で突風が観測された。第 4 図は当日 18 時 (JST) の GMS 赤外画像である。関東北部の白い部分は発達した積乱雲によるものである。



第5図 ガストフロント警告支援システムによるプロダクトとレーダーエコー及びガストフロントの通過時刻と風向・風速 (1990年7月19日)。(a)は17時、(b)は18時の図である。

前1時間に気温が3°C低下した領域を□印、4°C低下した領域を影をつけた□印、5°C以上低下した領域を濃い影をつけた□印で表し、さらにそれらの領域の風向・風速を矢羽根で示した。実線で囲まれた領域は、前1時間に16 mm/hr以上の降雨強度を持つレーダーエコーが観測されたところである。地点名の下に数字と矢羽根は、ガストフロント通過時刻とそのときの瞬間の風向・風速である。矢羽根は、矢1本が1 m/sであり、旗1本が5 m/sである。

第3図の上から順に、ガストフロント通過時の各地の風速、風向、気温・露点及び気圧の時間変化を示す。風速において「G. F.」と指し示したところがガストフロントである。ガストフロントが到達した時刻は第3図から、つくばが17時21分、百里が17時35分、水戸が17時40分、そして成田が18時15分である。

第5図a及びbに、17時及び18時のこのシステムの処理結果を示す。雷雨が存在する領域を表すために、

当該時刻までの1時間に降雨強度に換算して16 mm/hr以上のレーダーエコーが存在した領域を太い実線で囲む。また、観測事実として当該時刻からの1時間にガストフロントが通過した地点の通過時刻とそのときの風向・風速を示す。なお、パーソナルコンピュータのディスプレイでは、気温低下量は階級毎に色を分けて表示するが、ここでは□印及び陰影で表す。

第5図aで示す17時における気温の低下域は雷雨から四方に広がっていることが風向からわかるので、気温低下域は雷雨からの冷気外出流と判断される。ゆえに、この気温低下域の進行方向の先端部をアメダスの1時間値で示すガストフロントと見なす。18時の結果である第5図bに示される気温の低下域も、雷雨から四方に広がっているため、その先端部はガストフロントと見なすことができる。

第5図aからbへのガストフロントの動きを見ると、17時に茨城県と栃木県の県境付近にあったものが、18時には千葉県と茨城県の県境付近まで南東進している。このことから、ガストフロントは17時から18時の間につくば、百里、水戸を通過したことがわかる。事実、第5図aに記したように17時21分から40分にかけて、つくば、百里、水戸をガストフロントが通過しており、第5図aからbへのガストフロントの移動は、第3図に示した観測事実と矛盾しない。さらに、18時の結果である第5図bでは、ガストフロントが成田の間近にあり、まもなく成田を通過することがわかる。事実、18時15分にガストフロントが成田を通過した。また、第5図bで示すガストフロントは、雷雨の数10 km南にあり、晴天下を伝播したことがわかる。すなわち、第5図bは、このシステムが晴天下においてもガストフロントを探知できることを示している。

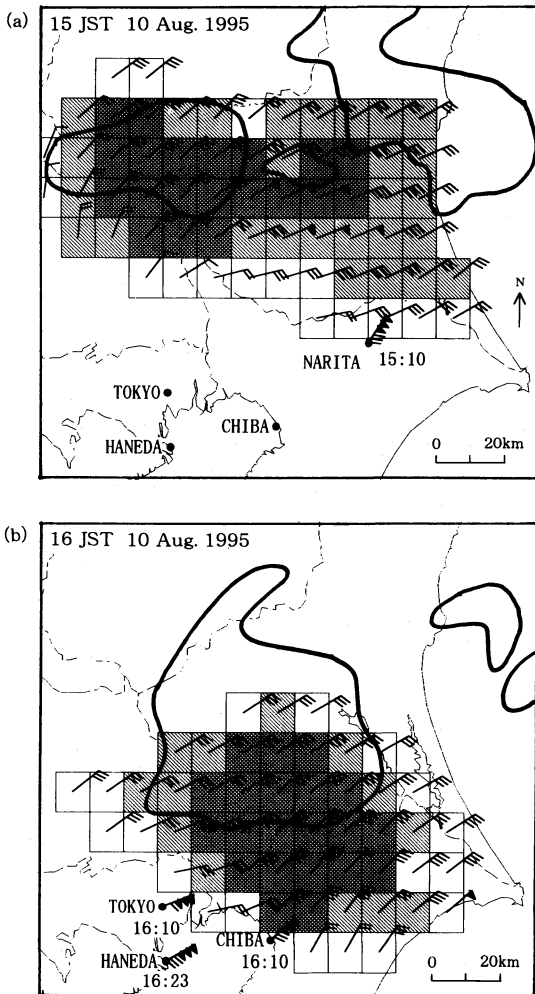
ちなみに、調布の北にある気温低下域は19時には消滅しており(図は省略)、調布はガストフロントが通過しなかったことがわかる。事実、調布でガストフロントは観測されなかった。

(2) 1995年8月10日の事例

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。成田、千葉、および羽田をガストフロントが通過し、それぞれ最大瞬間風速16~18 m/sの突風を観測した。

第6図a及びbは当日15時及び16時におけるこのシステムによる結果などを第5図と同じ方法で描いたものである。

15時の結果である第6図aおよび16時の結果である



第6図 ガストフロント警告支援システムによるプロダクトとレーダーエコー及びガストフロントの通過時刻と風向・風速 (1995年8月10日). (a)は15時, (b)は16時の図である. 図の書き方は, 第5図と同じ.

第6図bは, 気温低下域が雷雨下から南西に広がっていることを示している. さらに, 気温低下域の風は雷雨下から南西部すなわち低下域の進行方向に向かって収束していることがわかる. したがって, 第6図aおよびbで現れている気温低下域は雷雨からの冷氣外出流と判断され, よって, その進行方向の先端部をガストフロントと見なす. 第6図aからbへのガストフロントの動きから, ガストフロントが成田を通過したことがわかるが, 事実, 15時12分にガストフロントが成

田を通過した. また, 第6図bは, ガストフロントが千葉, 東京, 羽田の間近にあり, まもなくこれらの地点を通過することがわかる. 事実, 16時10分に千葉, 東京, さらに16時23分に羽田をガストフロントが通過した.

数10kmの空間規模と数時間の寿命を持つガストフロントをアメダスの1時間値を使ってこのシステムで示したところ, その位置や移動は観測事実と矛盾しないことがわかった. さらに, このシステムは晴天下のガストフロントを示すことができた.

### 3. システムの利用方法

このシステムは, ガストフロントを監視する予報担当者をどのように支援するのであろうか.

1990年7月19日の事例において, 仮に成田の予報担当者がガストフロントの監視をする場合を考える. 17時の結果(第5図a)からガストフロントが成田に来ることが予想されるので, 成田より先にガストフロントが通過すると予想される地点の風の挙動に注目する. そして, 各地のガストフロント通過時刻を知ることができれば, 第5図aとあわせて, 成田にガストフロントが到達するおおよその時刻が推定でき, 必要に応じて情報を出すこともできる. さらに第5図bから, ガストフロントが晴天下を伝播して成田の間近まで来たことを知り, 空港内の風の監視を強めるなど, 必要ならば即座に情報を出すための備えができる. 1995年8月10日の事例において羽田の担当者がガストフロントの監視をする場合も, 例えば第6図aから, 各地の風の挙動を監視するなどの対処をとることができる. また, いずれの場合も空港から離れたところから伝播するガストフロントであるが, このシステムを利用すれば前もって対処することができる.

このシステムは, 数10kmの解像度で1時間間隔ではあるが, ガストフロントの動きを示すので, ガストフロントの監視強化や情報の発表などの契機を予報担当者が判断する時の支援システムとして利用することができる. また, 天候によらず, 空港から離れたところから伝播するガストフロントに前もって対処することが可能となる.

### 4. 考察

第1章で述べたように, このシステムは晴天下でも, かつ空港から離れたところにあるガストフロントでも探知可能な点が優れている. 晴天下を伝播するガスト

フロントは第5図aで示すことができた。また、第4章で述べたように、このシステムを用いれば空港から離れたところにあるガストフロントにも前もって対処することができる。したがって、ドップラーレーダーや LLWAS の短所をこのシステムで補うことができる。すなわち、空港にドップラーレーダーや LLWAS を備えていても、このシステムをあわせて利用することによりガストフロントの監視を一層確実なものとすることができる。

ガストフロントを示すための気温低下量のしきい値を $3^{\circ}\text{C}$ に設定した理由は第2章で述べた。1990年7月19日と1995年8月10日の事例で $3^{\circ}\text{C}$ というしきい値からガストフロントを示すことができたので、設定値は妥当だったといえる。このことは第3図に示すガストフロント通過前後の気温の変化からもいえる。すなわち、 $1\sim 2$ 度の気温低下はさまざまな原因で起こるのでしきい値をそれより高くする必要があるし、また $5\sim 6^{\circ}\text{C}$ をしきい値にしたのでは気温低下が正時をまたいで起こっている地点のガストフロント通過を見逃す恐れがある。したがって、しきい値を $3^{\circ}\text{C}$ にすることは妥当であった。

アメダスの1時間値を用いた時には数10 kmの規模と数時間の寿命を持つガストフロントが探知対象となるが、これはアメダスの1時間値を用いるときの本システムの限界ともいえる。しかしながら、アメダスの10分値を利用すれば、数10分の寿命のガストフロントの監視を行えるのみならず、ガストフロントの監視がより円滑に行えるであろう。例えば、ガストフロントの移動速度を求め、それを時間外挿して到着時刻を推定することができる。本システムを一層有効に利用するためには、航空官署においてアメダスの10分値が利用可能となることが望まれる。

## 5. 結論

アメダスの1時間値を用いてガストフロントを探知する「ガストフロント警告支援システム」を構築した。

このシステムは数10 kmの規模と数時間の寿命を持つガストフロントを探知対象とし、ガストフロント通過時に気温低下が生じることにもとづいて前1時間の気温低下量からガストフロントを示すものである。

このシステムが探知対象とする数10 kmの規模と数時間の寿命をもったガストフロントの事例では、気温が $3^{\circ}\text{C}$ 以上低下した領域の先端部をガストフロントとみなしたところ、その位置および移動は、風向・風

速などの観測事実と矛盾しなかった。また、晴天下を伝播するガストフロントを示すことができた。

数10 kmの規模と数時間の寿命を持つガストフロントならば、このシステムにより数10 kmの解像度で1時間間隔であるが、その動きを示すことができるので、予報担当者がガストフロントの監視強化および情報の発表などの契機を判断する際の支援システムとして利用することができる。また、空港から離れたところから伝播してくるガストフロントにも前もって対処することができる。

## 謝 辞

気象研究所の古賀晴成予報研究部長（現：新東京航空地方気象台長）からは助言と励ましをいただきました。高層気象台、新東京航空地方気象台、水戸地方気象台及び航空自衛隊百里基地から自記紙の提供を受けました。また、「つくば域降雨観測実験」グループに提供された関東地方の各気象官署の自記紙を利用させていただきました。感謝いたします。

## 参 考 文 献

- Byers, H. R., and R. R. Braham, Jr., 1949: The Thunderstorm, U. S. Govt. Print. Off., 287pp.
- Charba, J., 1974: Application of gravity current model to analysis of squall-line gust front, Mon. Wea. Rev., 102, 140-156.
- Droegemeier, K. K. and R. B. Wilhelmson, 1987: Numerical simulation of thunderstorm outflow dynamics. Part I: Outflow sensitivity experiments and turbulence dynamics, J. Atmos. Sci., 44, 1180-1210.
- Fujita, T. T., 1981: Tornados and downbursts in the context of generalized planetary scales, J. Atmos. Sci., 38, 1511-1534.
- Goff, R. C., 1976: Vertical structure of thunderstorm outflows, Mon. Wea. Rev., 104, 1429-1440.
- Johnson, J. T., M. D. Eilts, D. Green, P. Heinselman, E. D. Mitchell, D. Rhue, P. Spencer, S. Sanger, G. Stumpf, K. W. Thomas and A. Witt, 1995: Operational testing of enhanced WSR-88D algorithms and display concepts in National Weather Service office, Preprints, 27th Conf. on Radar Meteor., October 1995, 170-172.
- 気象庁, 1994: 平成6年度空港気象レーダ観測技術検討会資料, 気象庁観測部, 1994年12月.
- Nilsen, J. D. and K. M. Starr, 1995: Low Level

Windshear Alert System (LLWAS) project status, 6th Conf. on Aviation Weather Systems, January 1995, 45-47.

Nirasawa, H., H. Ohno and O. Suzuki, 1991: A fine structure of gust front observed with sonic ane-

nometer, Preprints, 4th International Conf. on Aviation Weather Systems, June 1991, 278-280.

Wakimoto, R. M., 1982: The life cycle of thunderstorm gust fronts as viewed with Doppler radar and rawinsonde data, Mon. Wea. Rev., 110, 1060-1082.

## 支部だより

### 福岡で地球環境問題に関するシンポジウム

日本気象学会九州支部は、「地球環境問題」に関するシンポジウムを福岡管区気象台と共催(後援:福岡県,福岡市,(財)気象業務支援センター,(財)日本気象協会福岡本部)で下記のとおり開催します。

#### 記

テーマ:「地球環境—過去・現在・未来—」

—その学際的理解を目指して—

日時:平成8年10月15日(火)13時~17時30分

場所:アクロス福岡 7階 大会議室 (200名収容)  
福岡市中央区天神1-1-18

対象:一般~高校生

参加費:無料

講師および題目

「地球史から見た大気の世界」

森山 茂 (日本大学生産工学部教授)

「モデルから見た地球環境の変遷」

住 明正 (東京大学気候システム研究センター長)

「オゾンホールと大気の循環」

廣岡俊彦 (九州大学理学部助教授)

「食糧生産と地球環境」

内嶋善兵衛 (宮崎公立大学教授)

「経済発展と地球環境保全」

宇沢弘文 (東京大学名誉教授, 日本学士院会員)

「地球温暖化に関する科学的知見と国際的動向」

時岡達志 (気象庁気候・海洋気象部気候情報課長)

申込締切:平成8年9月25日(火)(先着200名)

問い合わせ先:

〒810 福岡市中央区大塚1-2-36

福岡管区気象台技術部調査課内

日本気象学会九州支部事務局

TEL 092-725-3614

FAX 092-761-1726

●聴講希望の方は、往復はがきに下記事項を記入してお申し込みください。

- 1 住所・氏名・年齢
- 2 職業
- 3 電話番号

申込先:問い合わせ先と同じ。