

中国・四国地方を通過した寒冷前線に伴うガストフロントについて —1997年8月5日の事例解析—

渡邊匡央¹⁾・森 征洋²⁾・西村敬一³⁾

An Analysis of Gust Front Associated with a Cold Front Passing over the Chugoku and Shikoku Districts on 5 August 1997

Masahiro WATANABE, Yukihiro MORI and Keiichi NISHIMURA

Abstract

A gust front associated with a cold front on 5 August 1997 has been investigated. The cold front moved to the south from the Japan Sea to the Pacific Ocean and passed over the Chugoku and Shikoku districts. Due to the passage of the front, peak gusts were observed at several meteorological observatories, for example in Okayama, Takamatsu and Tokushima. When the cold front was passing over the Chugoku district, the cold air following the front intensified its coldness due to descending cold air supplied by a cluster of cumulonimbus. Its head of cold air mass caused a wind gust and this moved in the manner of a front from Okayama to Takamatsu at 20 m/s.

-
- 1) 気象庁 (香川大学大学院教育学研究科理科教育専修2003年3月修了)
 - 2) 香川大学教育学部地学教室
 - 3) 岡山理科大学総合情報学部

1. はじめに

寒冷前線はスコールラインを伴うことがあり、その通過にあたっては驟雨や突風をもたらす。スコールラインに伴う突風は線状に連なり、ガストフロント (gust front: 突風前線) と呼ばれる。寒冷前線は下層の冷気が進行する現象であり、山岳地域を通過するときには地形の影響を受ける。寒冷前線が中部山岳や関東北・西部山系を通過する際の振る舞いについては、加藤 (1991a, b), 小倉ほか (1991) によって調べている。中国・四国地方を通過したスコールラインの振る舞いについては、この地域を東進した寒冷前線に関する研究が西谷ほか (1998) で行われている。ここでは、この地域を日本海から南進して太平洋に移動した1997年8月5日の寒冷前線について調べた。この寒冷前線は中国・四国地方を通過する際に各地で突風が観測され、前線に向かって南から湿った空気が流れ込むことにより大阪府下で大雨が観測された。この大雨により冠水被害が発生したので、大雨災害をもたらした寒冷前線として記録されている (大阪管区气象台)。ここでは大雨については扱わず、この前線に伴うガストフロントについて気温と風の場合から解析を行った結果について報告する。

2. 総観場の気象概況と観測された気象要素の特徴

図1に1997年8月5日09時と6日09時の地上天気図および5日09時の天気図の拡大図を示す。5日09時には北海道の東の日本海に発達中の温帯低気圧があつて、その中心から寒冷前線が延び、日本海を通過して朝鮮半島の先端付近にある低気圧に達し、そこから停滞前線が長江下流域まで延びている。このときの高層大気の状態についてみると、300hPa等圧面高度のジェット気流が日本海沿岸にあつてゆっくり南下していた。500hPa等圧面高度には北海道から近畿地方北部にかけて明瞭なトラフが見られ、トラフ前面は暖気、後面は寒気で渦管は西に傾いており、擾乱は北東進しながら発達した。一方、沖縄の南方海上には台風9711号があつて北に進んでおり、この台風からの暖湿気流が朝鮮半島付近の低気圧に向かって流れ込んでいる。前線は図2に示すように日本海から中国・四国地方を横断して太平洋へと移動し、停滞した。この地域の気象庁の地域気象観測網 (AMeDAS) の観測地点を図3に示す。以下の解析では、これらの地点およびこれらの地点に含まれている気象観測官署における観測データを使用した。前線の移動方向に沿う鳥取地方气象台、岡山地方气象台、高松地方气象台、徳島地方气象台における気象要素の時間変化を図4に示す。この図には風速、風向、気圧、気温、露点温度の8月5日の自記記録より寒冷前線が通過したと思われる時刻を含む時間帯を抜き出して示してある。それぞれの地点における気象要素の時間変化の特徴について見てみる。

鳥取では寒冷前線が通過したと思われる9時40分ころに、気温と露点温度が少し低下しているので、前線はこのころ通過したものと考えられる。風速は9時ころから増加し始め、前線の通過後、平均風速は5m/s程度となった。風速の変動は大きく、瞬間風速は10m/s以上となる場合が12時過ぎまで時々生じている。

岡山では、12時00分に気温と露点温度が急激に減少を始め、気温は3℃、露点温度は2℃減少した。これと同時に風速は直前の無風状態から、急激に増加し始め、5分間ほどで24.2m/sに達し、その後の5分間に急激に減少し、7m/s前後の風速となった。風向は突風が吹く前は北よりで

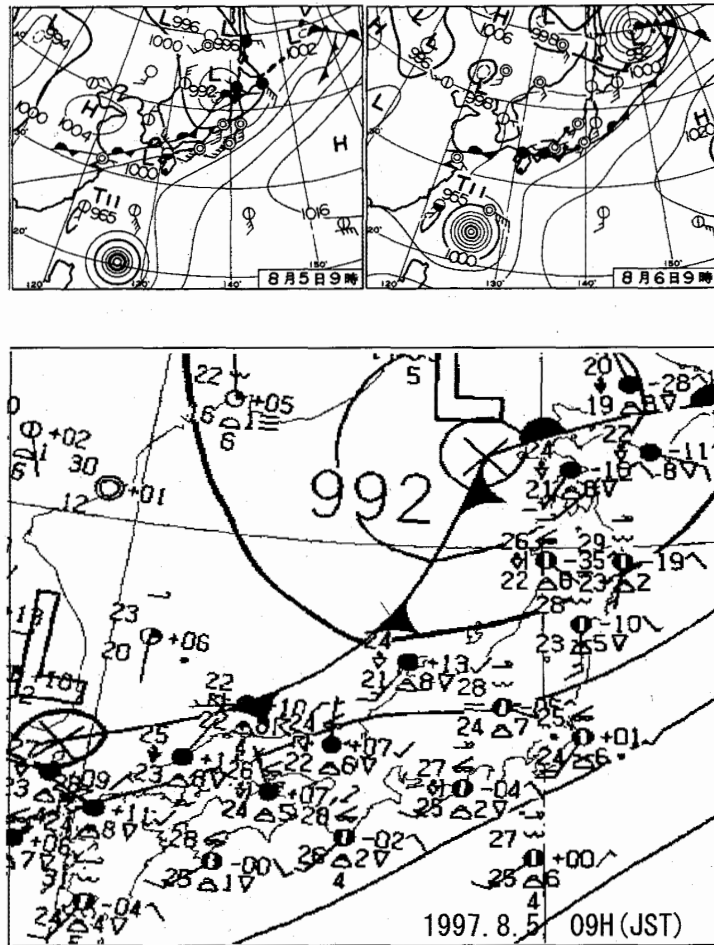


図1 1997年8月5日と6日の09時の地上天気図および日本本土付近の地上天気図。上段の天気図は「気象1997年10月号（日本気象協会）」の天気図日記より抜粋。下段は「アジア地上解析天気図1997年8月5日09時」（気象庁提供）より抜粋。

あったが、突風の風向は西北西で、その後、反時計回りに回転し、西と南の間で変動した。気圧は11時55分から急に上昇し始め、12時過ぎにピークとなり2.5hPa増加した。その後、小さな変動はあるが、急上昇する前に比べて1～2hPa高い状態が2時間程度継続した。気圧は14時ころに一時降下し、凹みを生じたが、再び上昇した。この気圧の凹みは、スコーラインに伴って見られるwake lowによるものと思われる（Johnson and Hamilton, 1998）。降雨強度は気温が急に減少を始める30分前くらいから増加し始め、12時10分ころにピークとなりその後急に減少した。

高松では気温と露点温度が12時32分に急に下降し始め、両者とも約3℃低下した。気圧は気温の急上昇が始まるまでは緩やかに上昇していたが、気温の急降下が始まる10分くらい前から上昇が急となり、それまでに比べて気圧が2～3hPa高い状態が2時間程度継続した。その後、気圧は急降下したが、再び緩やかに上昇した。風速は気温・露点温度の降下が始まると同時に急激に

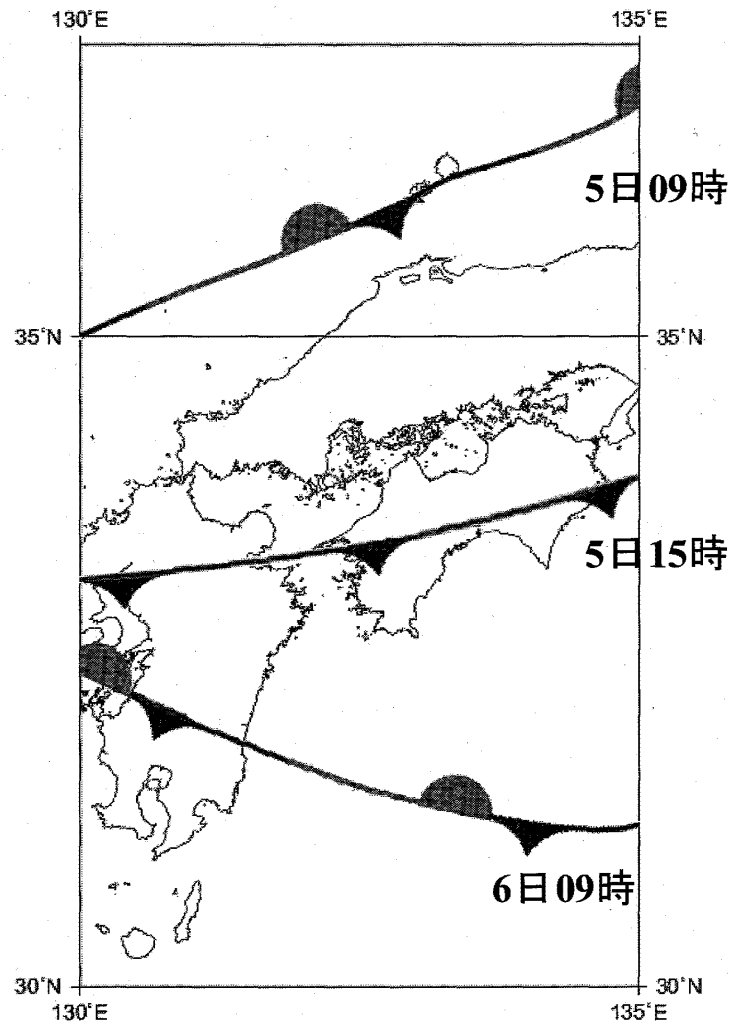


図2 前線の移動 (1997年8月5日09時～8月6日09時)。

増加しはじめ、2 m/s前後の風速から5分間に最大瞬間風速は19.9m/sに達した。突風が吹く前後で風向は北から北北西～北西に変化した。降雨強度は気温の急な減少が始まる20分くらいから増加を始め、13時ころにピークとなり、その後減少し、14時15分ころに別のピークを示した。2つのピークはスコールラインに伴って見られる現象である (Johnson and Hamilton, 1998)。ただし、後のピークは岡山では見られなかった。

徳島では気温と露点温度の急激な低下が13時30分ころに見られ、風速も3 m/s前後から突然増加し、最大瞬間風速は13.1m/sに達した。このように前線の通過に伴って生じたと考えられる突風が各地で観測された。

ガストフロントはミニ寒冷前線のように進行し、その通過時に地表では突風が吹き、気温が急降下する。また、通過少し前から気圧が上昇することが知られている (小倉, 1998)。岡山、高松で見られた気温の急降下と気圧変化の特徴はスコールラインに伴うガストフロントの特徴と一致している。

中国・四国地方を通過した寒冷前線に伴うガストフロントについて

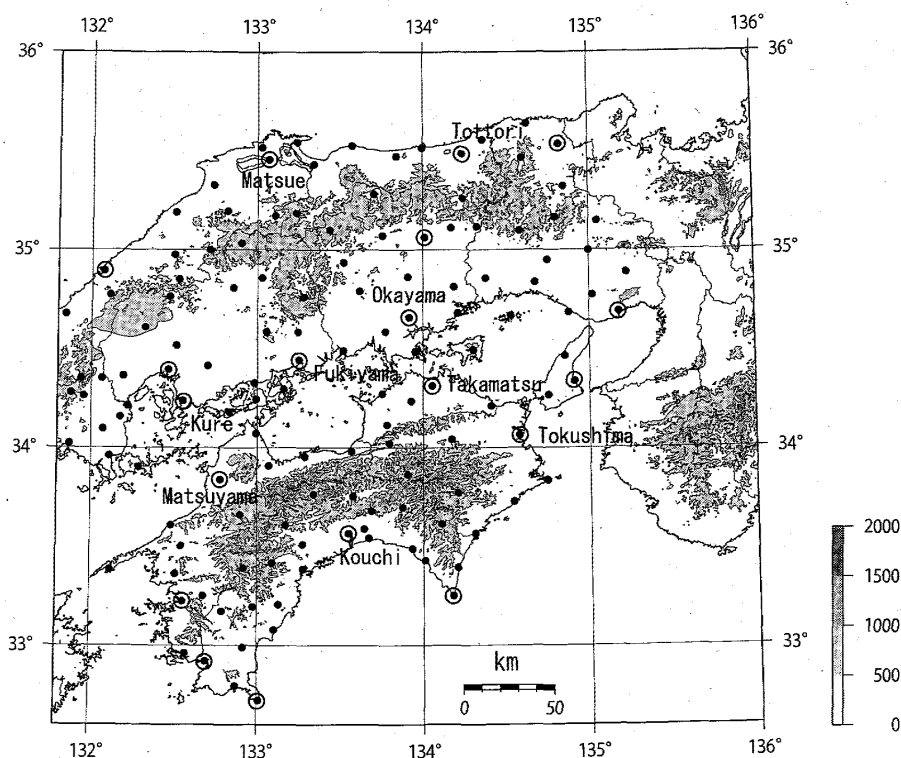


図3 中国地方・四国地方の地域気象観測網（AMeDAS）の観測地点。
二重丸は気象台または測候所。

ここで示した地点以外についてみると、山陰側の松江では、寒冷前線が通過したと思われる9時30分ころに気圧の小さなピークが見られ、風向の変化が見られたが、気温・露点温度の急変は見られず、また突風も見られなかった。瀬戸内海に面した広島県の呉では11時25分に気温の急降下が見られ、瞬間風速14.4m/sの突風も見られたが、風向は南南西で、寒冷前線の進行方向とは逆方向であった。また、露点温度の変化は見られず、気圧の変化は緩やかであった。福山では岡山と同様の変化が11時50分に見られた。松山では11時40分に気温の急降下し、風向の急変が見られたが、風速のピークはそれより34分遅れて見られた。気温の急降下に伴って、露点温度は逆に急上昇した。高知では15時40分に気温と露点温度が急降下し、風向が急変して瞬間風速に7m/sのピークが見られた。

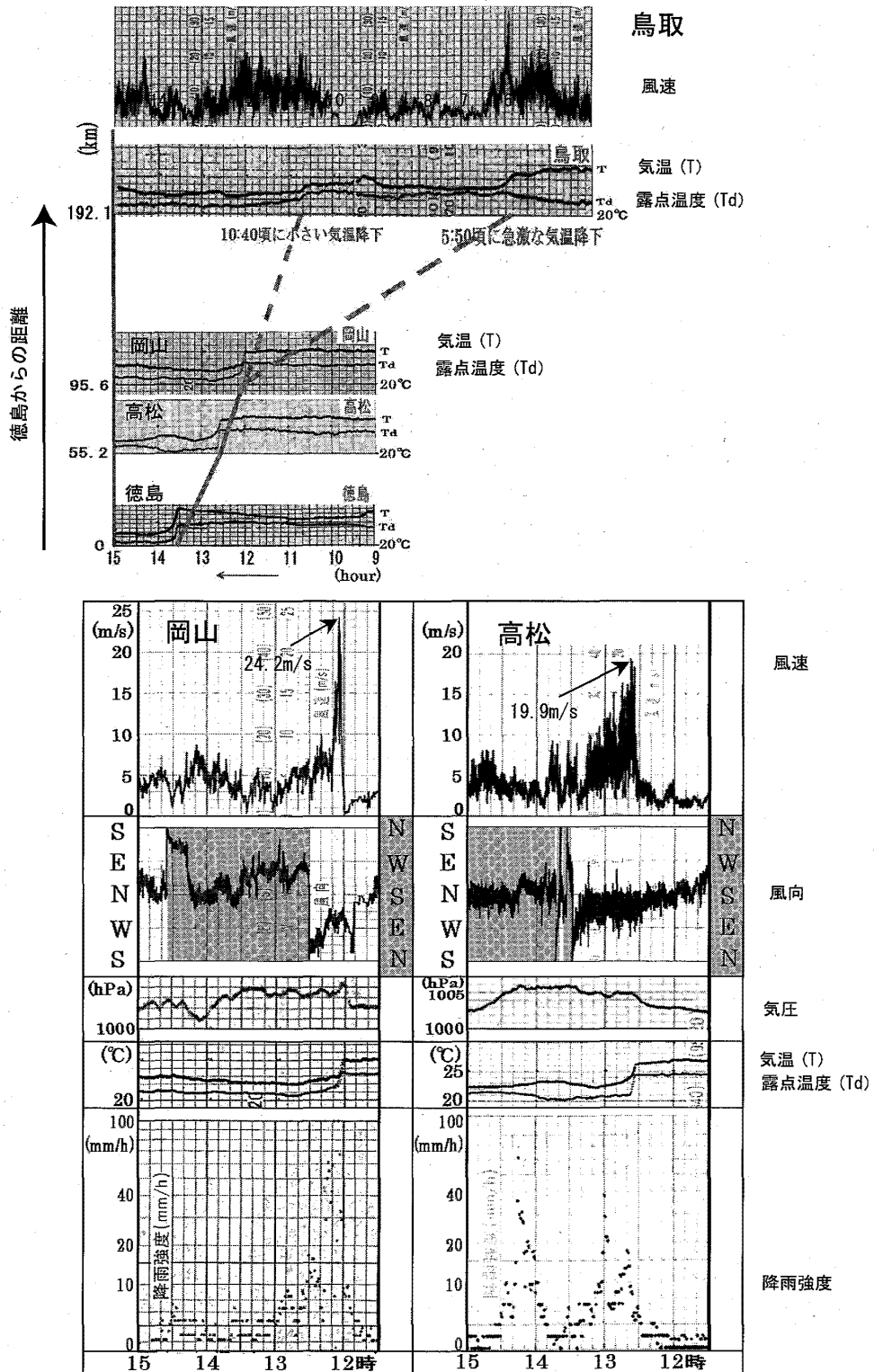


図4 鳥取地方気象台，岡山地方気象台，高松地方気象台，徳島地方気象台における1997年8月5日の気象要素の時間変化。鳥取 (04:00-15:00)：風速，気温，露点温度。岡山・高松・徳島 (09:00-15:00)：気温，露点温度。岡山・高松 (11:30-15:00)：風速，風向（陰影部分は右側のスケール），気圧，気温，露点温度，降水強度。

3. 寒冷前線付近の風と気温の分布

12時のレーダー・アメダス解析雨量を図5に示す。山陽地方には、寒冷前線に伴う東西に延びる帯状の強雨域が見られる。とくに広島県北部には東西に80kmほどの広がりをもつ降水強度40mm/h以上のエコー域が見られ、その中に降水強度95mm/hのエコー域が含まれていた。同時刻の気象衛星による赤外画像（図6）によると、その周辺は雲頂高度が非常に高くなっており、発達した積乱雲群があったと考えられる。このときの局地天気図とレーダーエコー分布を図7に示

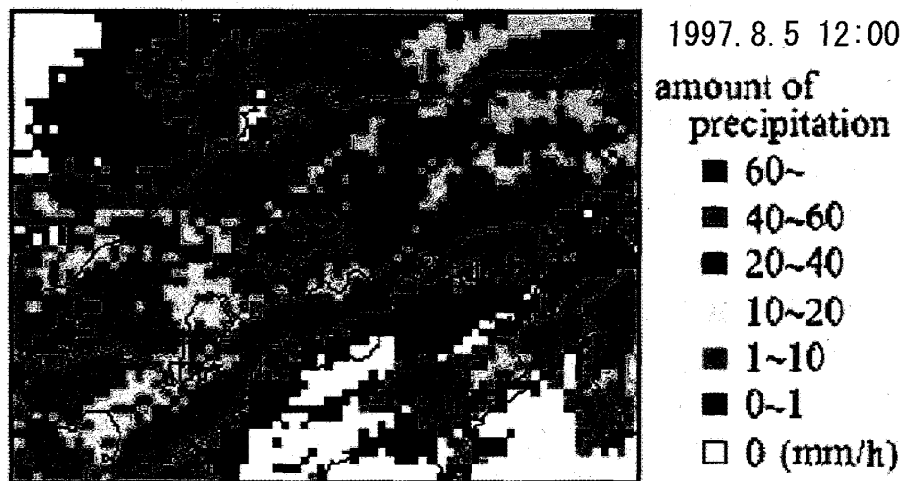


図5 レーダー・アメダス解析雨量分布図（1997年8月5日12時）。

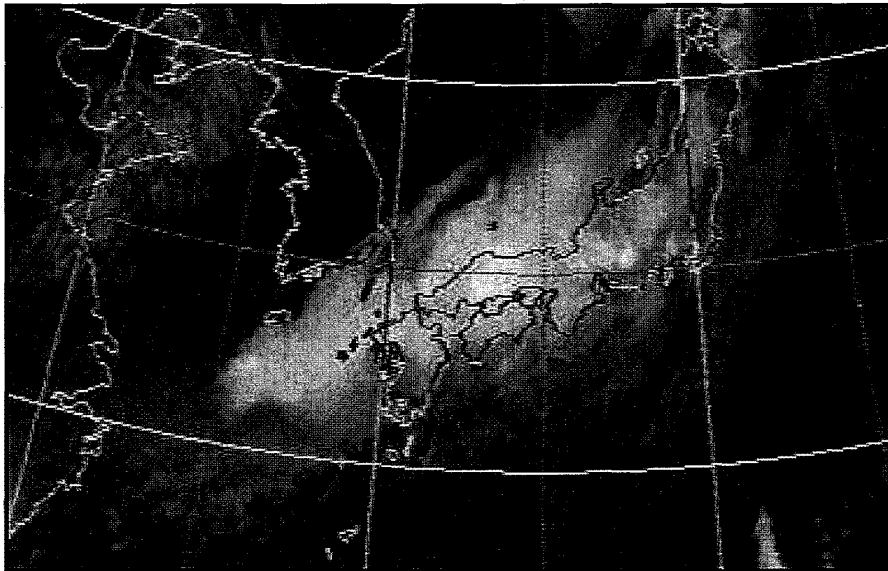


図6 気象衛星「ひまわり」日本付近赤外画像（1997年8月5日12時）。
高知大学気象情報頁提供データを使用。

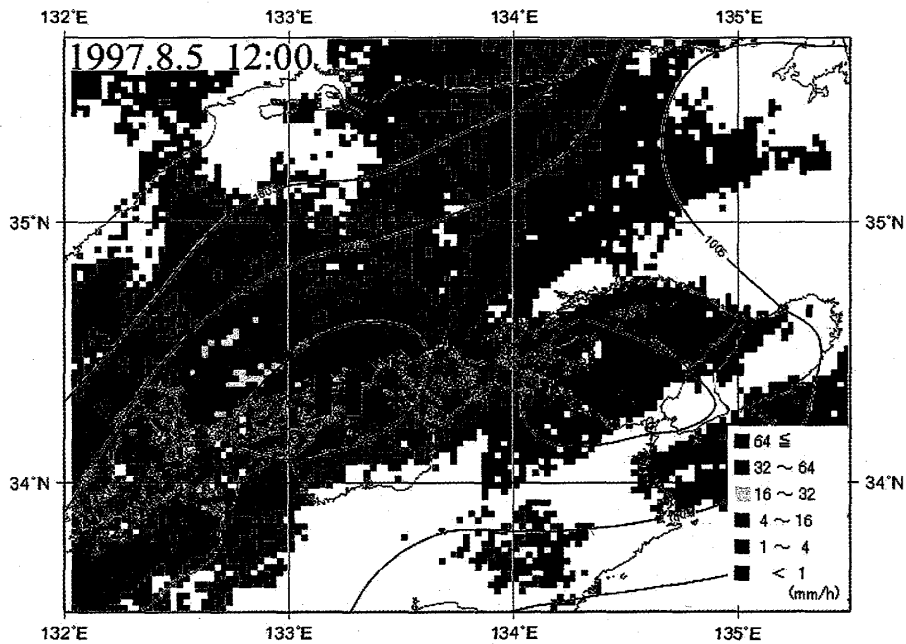


図7 局地天気図とレーダーエコー分布 (1997年8月5日12時)。
高松地方気象台提供データを使用。

す。強雨域の少し南側に中心をもつメソ高気圧が形成されており、一方、その東側の香川県東部から淡路島にかけてメソ低気圧が形成されていた。

ガストフロントが通過する際には、風速と気温が急激に変化するので、AMeDASの風・気温の10分値データを用いて、風・気温の分布およびそれらの10分間変化量の分布を調べた。8月5日11時から12時30分までの30分ごとに、それぞれの時刻における次の量の分布を求めた。

- (a) アメダス風データを用いた客観解析による風ベクトル分布と収束発散分布
- (b) 風速と気温の10分間の変化量の分布
- (c) アメダス地点の風ベクトルと相当温位分布
- (d) レーダーエコー分布

このうち、8月5日12時00分と12時30分の場合を図8(a), (b)に示す。12時00分には、寒冷前線は広島県の南岸から岡山県の南部を通り、西南西から東北東に延びている(図8a)。この寒冷前線の位置は気温変化の大きなところと対応しており、また、収束場と発散場の間をほぼ通っている。寒冷前線は、10分間の気温と風の変化の大きいところと広島県の南部では一致しているが、岡山県ではずれが大きくなり、134°の経度線に沿って北に延びている。これはレーダーエコーに見られるアーチ状の降雨帯と一致し、スコールラインと考えられる。冷氣プールが広島・岡山・鳥取・島根の県境が集まる付近を中心として形成されており、そこから冷氣が岡山県中部や広島県西部に広がっていることが相当温位22°の等値線の広がりから推測される。岡山県中部に広がる冷氣の先端がスコールラインと一致している。これより前の時刻における同様な解析か

中国・四国地方を通過した寒冷前線に伴うガストフロントについて

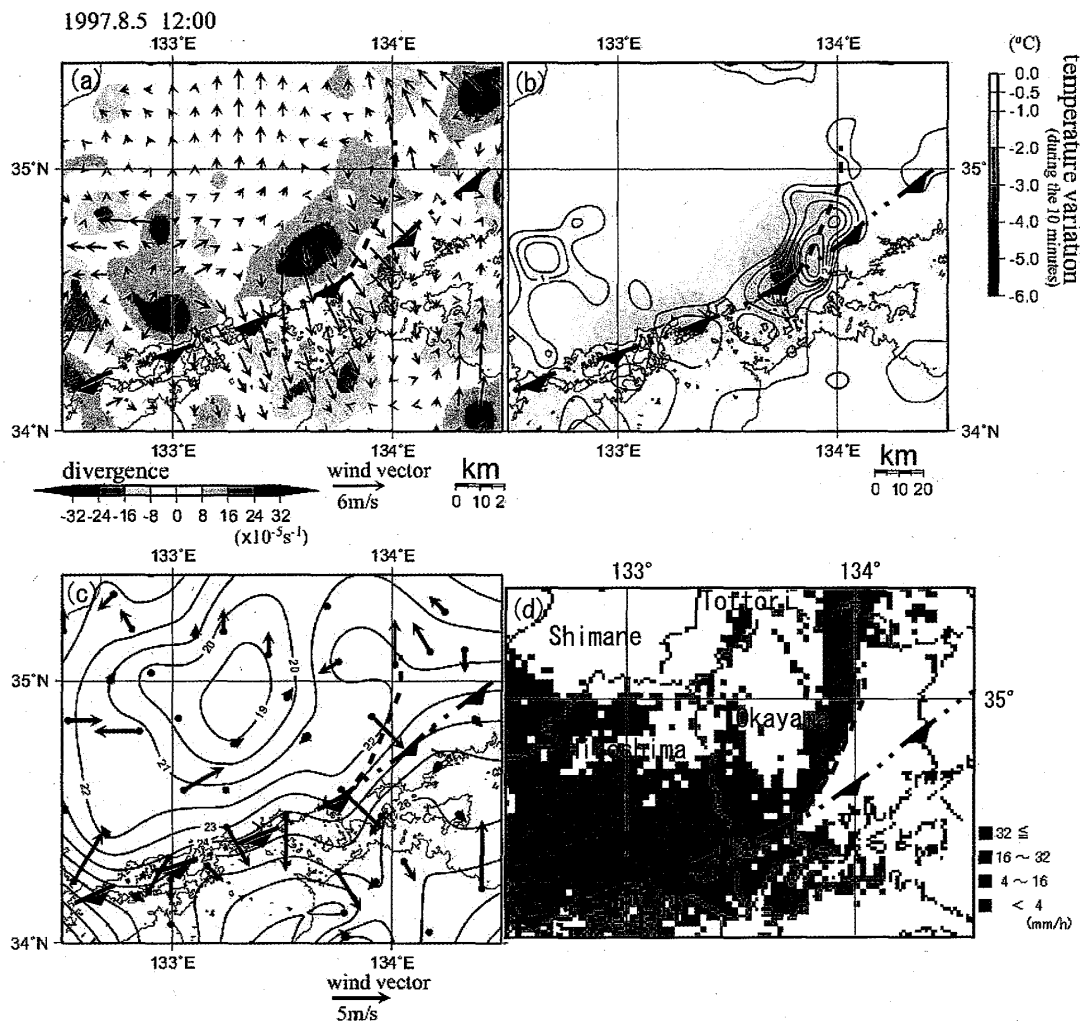


図8a 風と気温の場とその変化 (1997.8.5, 11:30-13:00)。

- (a) 客観解析による風分布と収束・発散。収束・発散場は暖色域を発散場、寒色域を収束場として表す。矢印は風ベクトル。
- (b) 10分間の風速と温度の変化量。等値線は等風速変化量線 (0.5m/s以上)。気温変化量のカラースケールは降温域 (-0.5°C 以下) を示す。
- (c) 風ベクトル分布。
- (d) レーダーエコー分布。

ら、このスコールラインは、岡山県北西部で11時30分にははっきりと認められるようになり、南東に進行した。12時30分にはスコールラインはさらに南東に進み、12時00分の場合と同じように、収束発散場や気温・風速の急変域と対応している。このスコールラインはガストフロントとしての特性を持ち、この進行に伴って岡山、高松、徳島などで突風が吹いた。冷氣プールの位置は12時00分の場合とほとんど変化しないが、冷氣は南東方向に進んでいる。図8aから、スコールラインは、寒冷前線から枝分かれするように延びており、寒冷前線とは必ずしも一致しない。

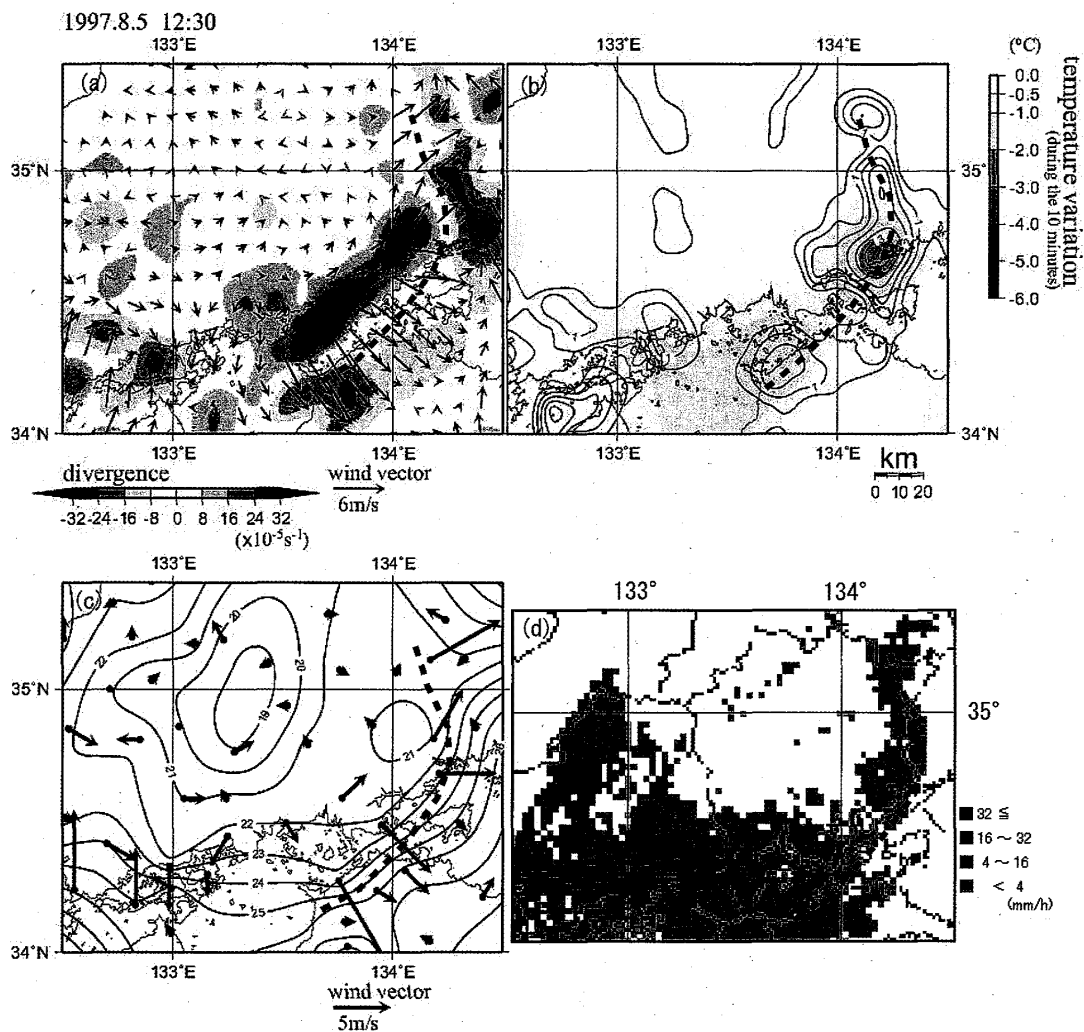


图 8 b

寒冷前線に伴う寒気の吹き出しには、「総観スケールの寒冷前線の背後に寒気の吹き出し」があり、その中に「雷雲からの寒気の吹き出し」があり、さらにその中に「ダウンバーストからの吹き出し」があるというように、入れ子形の多重スケールの構造を持つことが知られている (Fujita, 1981; 大野, 2001, pp.20-26)。この事例もこのような特徴を備えている。

4. ガストフロントの移動速度

大気中において、重力流 (gravity current) の性質を持つ流れはさまざまな場面で出現する。例えば、寒冷前線の先端部や、最盛期あるいは衰弱期にある積乱雲からの冷氣外流出 (cold outflow) などがそうである。重力流の移動速度 u は、無摩擦、静力学平衡の条件の下では

$$u = Fr \left(\frac{\Delta p}{\rho} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

で表される（小倉，1997）。ここで， Fr はFroude数， Δp は軽い流体と重い流体の気圧差，軽い流体の密度を ρ としている。

岡山，高松，徳島では気圧の自記記録にガストフロンに伴う明瞭な気圧の跳ね上がり（pressure jump）が認められるので，これらの地点における ΔP を求めることができる。気温と気圧の観測値より密度 ρ を求めることができるので，Froude数の値を知ることができれば重力流としての移動速度を求めることができる。しかしながら，この付近には高層観測データがないので，Froude数を直接求めることができない。そこで，Froude数としてBenjamin（1968）の理論値 $\sqrt{2}$ を仮定して移動速度を求めると表1のようになる。岡山，高松，徳島はガストフロントの進行方向にほぼ並んでいるので，その移動速度を求めると，岡山－高松間では19.8m/s（78km/h），高松－徳島間では17.4m/s（63km/s）となり，理論的な予測値とほぼ一致する。ただし，ここではFroude数として理論値を用いているが，実測されたFroude数の値の例としては，0.7から1になることが多いとされている（小倉，1997；大野，2001，p.185）。また，牧田（1997）による1.25（寒冷前線）という値もあるが，いずれも理論値より小さい値となる。実際のFroude数が理論値より小さいならば移動速度の予測値は表1の値より小さくなる。

表1 重力流の移動速度

地点	Δp (Pa)	ρ (kg m ⁻³)	Fr (理論値)	移動速度 (ms ⁻¹)
岡山	230	1.17	$\sqrt{2}$	19.8
高松	200	1.17	$\sqrt{2}$	18.6
徳島	250	1.16	$\sqrt{2}$	20.7

5. まとめ

1997年8月5日に日本海から南下し，中国地方，四国地方を通過した寒冷前線に伴うスコールライン（ガストフロント）について解析を行った。ガストフロントとしての特徴は寒冷前線が鳥取を通過する際には認められなかったが，岡山，高松，徳島でははっきりと認められた。このことは寒冷前線が中国地方を通過中に，発達した積乱雲群によって供給された冷気によって寒冷前線の冷気が強められたことを示している。

スコールラインは，寒冷前線から枝分かれするように延びており，寒冷前線とは必ずしも一致しなかった。寒冷前線に伴う寒気の吹き出しには入れ子形の多重スケールの構造を持つことが知られているが，ここで見られたスコールラインもそのような特徴を備えていた。

寒冷前線に伴うスコールライン（ガストフロント）は，収束発散場および気温と風速の解析から岡山県北部で発生し，香川県を通過して徳島県でも確認されている。冷気は重力流として2時間以上にわたって，200km以上移動したことが確認されている。岡山－高松間の移動速度は20m/s（78km/h）であった。

参考文献

- Benjamin, T.B., 1968: Gravity currents and related phenomena. *Journal of Fluid Mechanics*, 31, 209-247.
- Fujita, T.T., 1981: Tornadoes and downbursts in the context of generalized planetary scale, *Journal of the Atmospheric Sciences*, 38, 1511-1534.
- Johnson, R. H., and P. J. Hamilton, 1998: The relationship of surface pressure features to the precipitation and airflow structures to the precipitation and airflow structure of and intense midlatitude squall line, *Monthly Weather Review*, 116, 1444-1471.
- 加藤政勝, 1991a: 山岳と前線, *気象*, 35, 4, 30-34.
- , 1991b: 山岳と前線 (その2), *気象*, 35, 6, 12-16.
- 西谷幹生・井上 卓・佐藤泰行・田端 明・佐伯亮介・谷口和亮・雛川博文・西川哲也, 1998: 近畿地方に強い突風をもたらしたスコールラインの構造, *神戸海洋気象台彙報*, 第217号, 1-15.
- 牧田広道, 1997: 寒冷前線降雨帯の微細構造, *日本気象学会関西支部 第81号*, 39-42.
- 小倉義光・永田 雅・田端 明, 1991: 関東北・西部山系を越える寒冷前線の変容: 事例解析, *天気*, 38, 635-644.
- , 1997: メソ気象の基礎理論, 東京大学出版会, 215pp.
- , 1998: ガストフロント, *気象科学事典*, 東京書籍, p.97.
- 大野久雄, 2001: 雷雲とメソ気象, 東京堂出版, 20-26.