

2005年4月26日に京都市を襲った 冷気と突風について

宗 和 孝 幸¹
藤 井 健²
東 邦 昭³

要 旨

2005年4月26日正午過ぎに、京都地方気象台では、10分間に7.8°C、20分間に9.3°Cの気温降下と最大瞬間風速20.7 ms⁻¹の突風が観測された。この現象について、種々の気象観測資料を用いて解析を行った結果、日本海側から南下してきた帯状降水セル群の先端付近で発達した積乱雲からの冷気外出流によるガストフロントの通過によるものであることが分かった。理論式に従うと、この冷気の厚さは6.8×10² mであり、これから求めた冷気の移動速度は55 km h⁻¹であった。この値は、レーダーエコーにより求めた降水セルの移動速度50 km h⁻¹にほぼ等しい。

キーワード：気温降下，突風，冷気外出流，ガストフロント

1. はじめに

2005年4月26日正午過ぎに、京都市では急激な気温降下と突風が起こった。このさい、京都地方気象台では、10分間に7.8°C、20分間に9.3°Cの気温降下と最大瞬間風速20.7 ms⁻¹の突風が観測された。この最大瞬間風速は、同気象台の統計期間1915～2004年における4月としての極値20.2 ms⁻¹（1974年4月21日）を更新した（京都地方気象台，2005）。気象庁現業レーダーの画

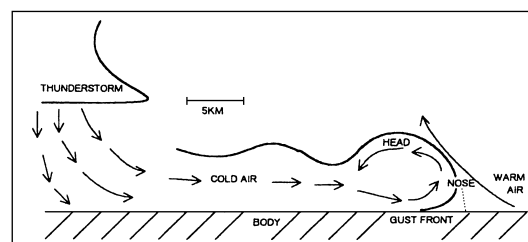


図1 ガストフロントの概念図，葦澤・大野（1996）より引用。

¹ 京都産業大学理学部（現所属：飯田女子高等学校）

² 京都産業大学理学部

³ 神戸大学大学院自然科学研究科

像によると、この現象は、スコールラインとも称される帯状の降水セル群の南下に伴って発現したもので、その先端付近にはエコー強度の強い降水セルが存在していた。したがって、京都市における突風と気温降下は、帯状降水セル群内の発達した積乱雲からのガストフロント（突風前線）によるものであると考えられる。ガストフロントは、図1に示すように、発達した積乱雲からの冷気外出流の先端で発生する現象である。本稿では、このガストフロントの通過時における気象状況について、各種気象資料を用いて解析した結果に基づいて、いくつかの考察を試みる。

2. 京都市および周辺地域の気象変化

2.1 京都市の気象状況

京都市における2005年4月26日の気象状況について、京都地方気象台における気象要素（毎正時）の時間変化を図2に示す。この図に基づき、激しい気象現象発現前の1200JSTまで、発現中の1200～

表1 2005年4月26日の京都市における気象要素変化の特徴、気象観測データは『気象庁月報CD-ROM（平成17年4月）』による。

気象要素	発現前 0000～1200JST	発現中 1200～1300JST	発現後 1300～2400JST
気温	早朝0500JSTに15.2℃であったが、日の出とともに上昇し始め、1200JSTには23.0℃にまで上昇した。	図には示していないが、1207JSTには24.7℃(この日の最高気温)にまで達した。その後、1300JSTには13.6℃と1時間足らずの間に11.1℃も降下した。	1700JSTには20.6℃にまで上昇し、以後、降下していった。
海面気圧	0700JSTの1009.7 hPaから徐々に降下し始め、1200JSTには1006.9 hPaにまで下がった。	1300JSTには1009.9 hPaと1時間に3.0 hPa上昇した。なお、図には示していないが、1202JSTに日最低海面気圧1006.7 hPaが観測された。	1800JSTまでは1 hPa程度降下、以後は上昇していった。
相対湿度	0700JSTに74%であったのが、気温の上昇とともに、降下し始め、1200JSTには34%にまで下った。	1300JSTには70%に上昇した。	1800JSTまでは降下していき、30%に達した。以後、上昇していった。
日照時間	0900～1200JSTは0.8～1.0時間であり、ほとんど晴れていた。	0.1時間であり、ほとんど日が照っていなかった。	1300～1500JSTは0.6時間、1500～1700JSTは1.0時間であった。
降水量	なし。	3.5 mmの降雨があった。	1400JST以降なし。
風向	S～SWであった。	SSWからNNWに変わった。	Nを中心に変動した。
風速	0800JSTまでは、平均風速が1 ms ⁻¹ 程度であったが、0900JSTから強くなり始めた。	図には示していないが、1214JSTに最大瞬間風速20.7 ms ⁻¹ (風向NW)が観測された。	平均風速は4 ms ⁻¹ 前後であった。

1300JST, 発現後の 1300JST 以降に分けて気象変化の状況を要約して表 1 に示す。

2.2 京都市周辺の気温降下

アメダス地点における 10 分間隔の観測資料に基づき、園部、京都、京田辺および奈良における気温の時間変化を図 3 に示す。

これら 4 地点における気温は、0900JST に 17～19℃であったのが、徐々に上昇していき、1130JST には 20～24℃にまで達した。ところが、園部では 1140JST から、京都では 1210JST から、京田辺で

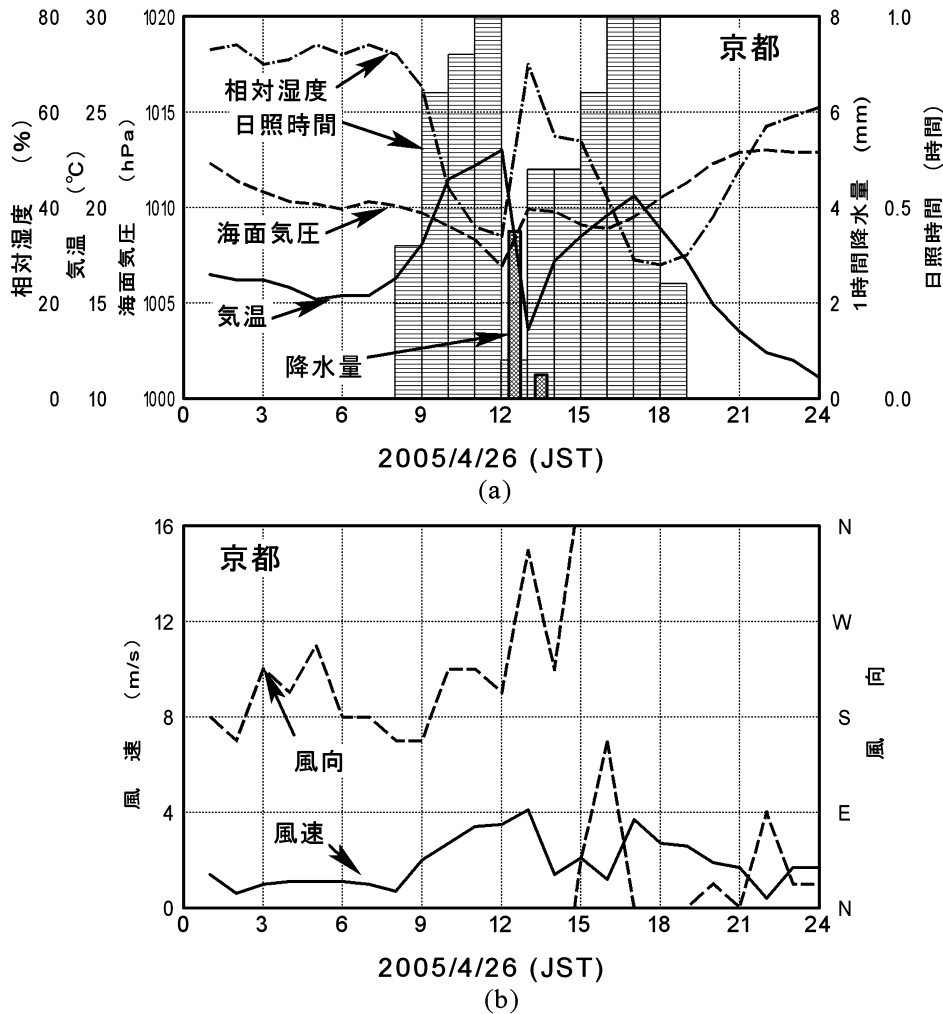


図2 これら 4 地点における気象要素の時間変化 (2005 年 4 月 26 日), (a) 海面気圧, 気温, 相対湿度, 1 時間降水量, 日照時間, (b) 風向, 風速。気象観測データは『気象庁月報 CD-ROM (平成 17 年 4 月)』による。

は1240JSTから、奈良では1300JSTから急速に気温が下がっていき、20分間に、それぞれの地点で、7.5°C、9.3°C、7.3°C、9.5°Cの気温降下が起こった。このような気温降下は1時間程度で終わり、その後は、1時間に3～4°Cの割合で気温が上昇していった。従来の調査（葦崎・大野，1996）では、ガストフロント通過後、気温が降下したままであるといわれているが、この点は異なっており、本事例における通過後の気温上昇は、図2の日照時間から明らかなように、日射があったためである。

3. 気温降下量の分布

図4には、20分間気温降下量最大値の分布（負は気温降下を意味する）を示す。気温降下は、京都府南部から奈良県北部、滋賀県南部、三重県中部にかけての一带が顕著であり、最大は奈良の-9.5°C、次いで京都の-9.3°Cである。

図5には、20分間気温降下最大値発現時刻の分布を示す。等時刻線は、西南西から東北東に向かって伸びており、30 km h⁻¹程度の速さで南下している。なお、Fujita (1991)によると、ガストフロントは数10 kmから数100 kmのスケールと数10分から数時間の寿命をもつ。したがって、今回のガストフロントは、複数の発達した積乱雲に伴うものではあるが、最大規模であったようである。

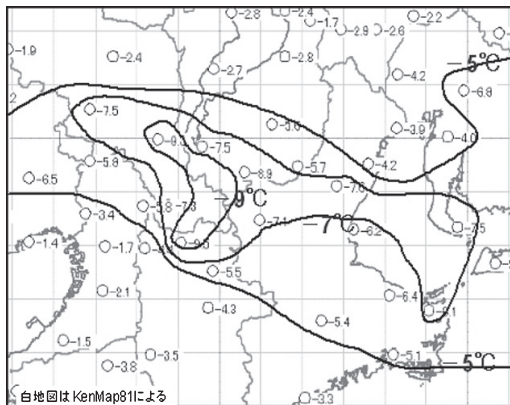


図4 20分間気温降下量最大値の分布（負は降下）。気温データは『気象庁月報 CD-ROM（平成17年4月）』より引用し、白地図は Ken Map Ver. 8（国土地理院承認平14 総複第149号）を使用した。

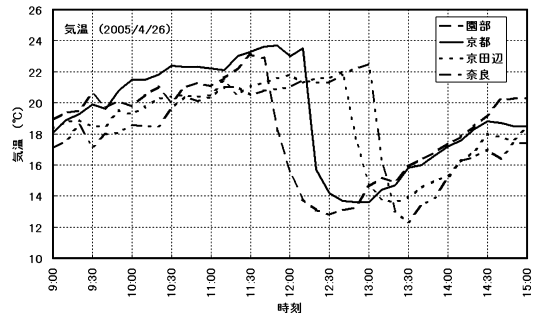


図3 京都市および周辺における気温の時間変化。破線は園部、実線は京都、点線は京田辺、2点鎖線は奈良である。『気象庁月報 CD-ROM（平成17年4月）』収録のアメダス10分値データにより作成。

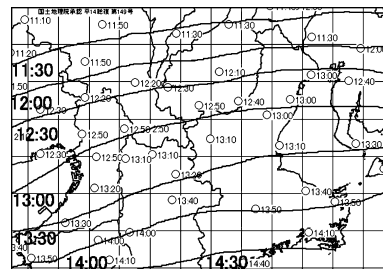


図5 20分間気温降下量最大値発現時刻の分布。気温データは『気象庁月報 CD-ROM（平成17年4月）』より引用し、白地図は Ken Map Ver. 8を使用した。

4. 風の分布

京都市およびその周辺地域で記録された最大瞬間風速を表2に示す。また、気象官署において観測された最大瞬間風速の分布を図6に示す。これによ

表2 京都市およびその周辺の気象官署で記録された最大瞬間風速、『気象庁月報 CD-ROM(平成17年4月)』による。

地点名	風速 (ms^{-1})	風向 (16方位)	起時 (JST)
京都	20.7	NW	1214
奈良	13.0	NNE	1317
彦根	23.2	WNW	1231
大阪	14.7	SSW	1203
神戸	16.4	W	1306
上野	22.7	NNW	1307

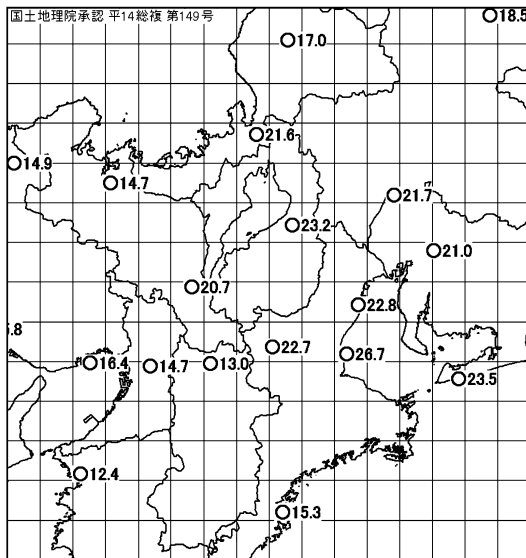
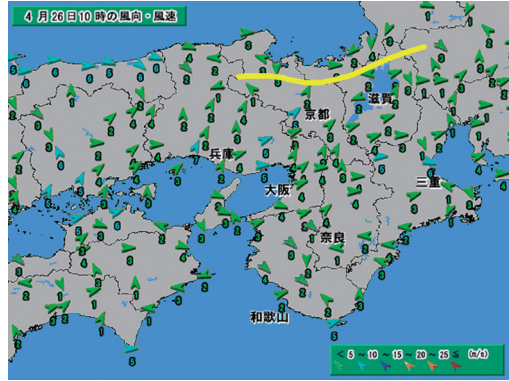
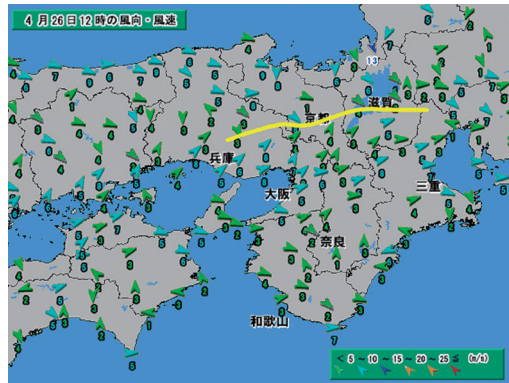


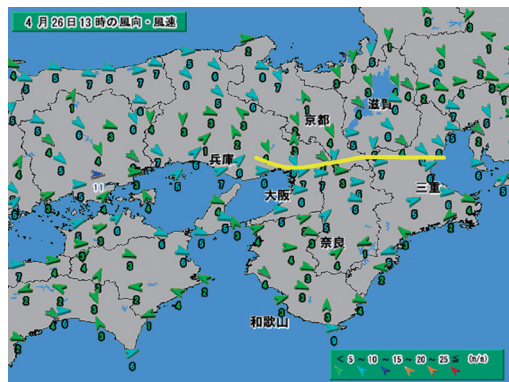
図6 最大瞬間風速 (ms^{-1}) の分布。データは『気象庁月報 CD-ROM(平成17年4月)』より引用し、地図は Ken Map Ver. 8 を使用した。



(a)



(b)



(c)

図7 風向と風速 (ms^{-1}) の分布、黄色の線は風の収束線、(a) 1000JST, (b) 1200JST, (c) 1300JST, 気象庁 HP より引用したアメダス地点の風の分布図に収束線を追加。

ると、京都府よりも滋賀県、三重県、愛知県の方が強い風が観測されており、最大値は津の 25.7 ms^{-1} である。

次に、10分間平均の風向と風速の分布を図7に示す。1000JSTには近畿地方北部に収束線があり、ほぼ東西に延びている。これは、次第に南下し、1200JSTには京都市北方を通過、1300JSTには近畿地方中部に達している。

5. 降水セル群の移動

レーダーエコー強度の分布を図8に示す。帯状に配列した降水セル群は、1100JSTに兵庫県中部から京都府北部を通り、滋賀県北部にかけて東西に延びている。これは、南下とともに幅が広がり、

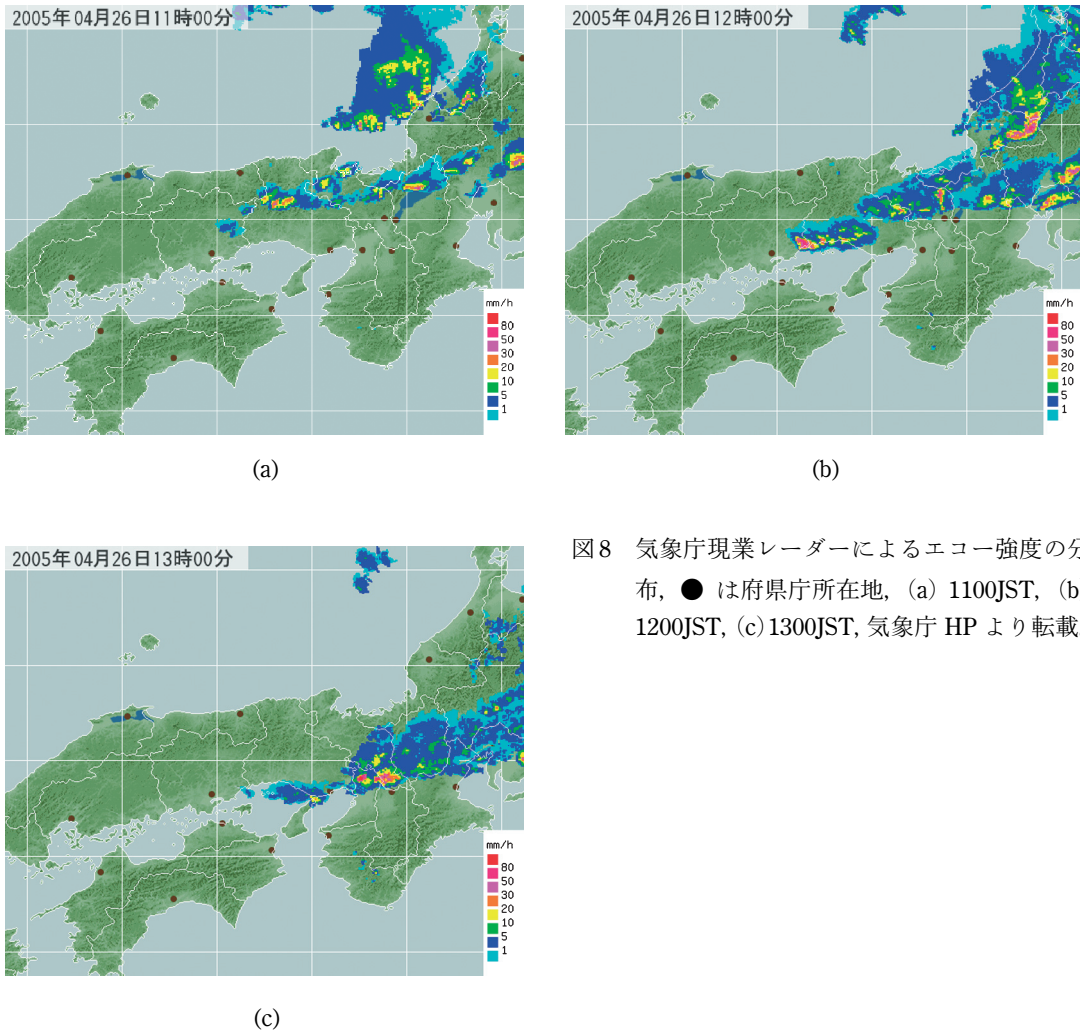


図8 気象庁現業レーダーによるエコー強度の分布, ●は府県庁所在地, (a) 1100JST, (b) 1200JST, (c) 1300JST, 気象庁 HP より転載。

1200JSTには、その南端付近に強いエコーが存在している。このうちの 하나가、京都市のすぐ北に存在している。1300JSTになると、さらに南下し、奈良市のすぐ北に強いエコーが存在している。

1200JSTのエコー強度分布図において、京都市のすぐ北に存在していた降雨強度 $10 \sim 20 \text{ mm h}^{-1}$ の降水セルが、1210～1230JSTに京都市で突風と急激な気温降下をもたらしたと考えられる。

この降水セルの動きを詳しく調べるために、京都市付近のエコー強度分布図を10分おきに図9に示す。1200JSTには、京都府園部町（現在、南丹市）付近に幅5 km、長さ20 km程度の東西に延びる強いエコーセルBが存在している。1210JSTには、このセルが、発達しながら東南東に移動し、京都市に近づいている。そして、1220JSTには、その先端が京都市に達している。さらに、1230JSTには、その東にあった強い巨大なセルAに併合された。1200～1230JSTにおけるこのセルの移動速度は約 50 km h^{-1} である。この値については、「7.考察」において、理論式により求めた値と比較する。一方、1210JSTに、このセルの西にあったセルCは発達し、1310JSTころに奈良市に達し、20分間に 9.5°C の気温降下を引き起こしている。また、各降水セルは、南下する带状降水セル群の中を東南東の方向に向かって移動している。

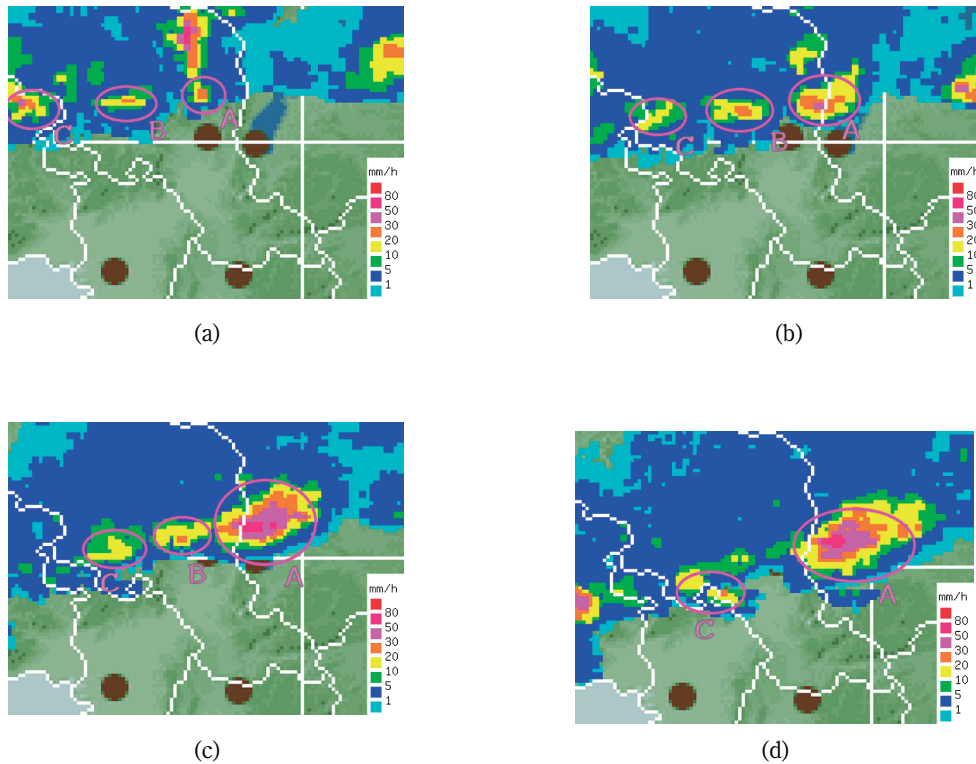


図9 京都市に気温降下と突風を引き起こした降水セルの移動。●は府県庁所在地，(a)1200JST，(b)1210JST，(c)1220JST，(d)1230JST，気象庁HPより引用した図に加筆。

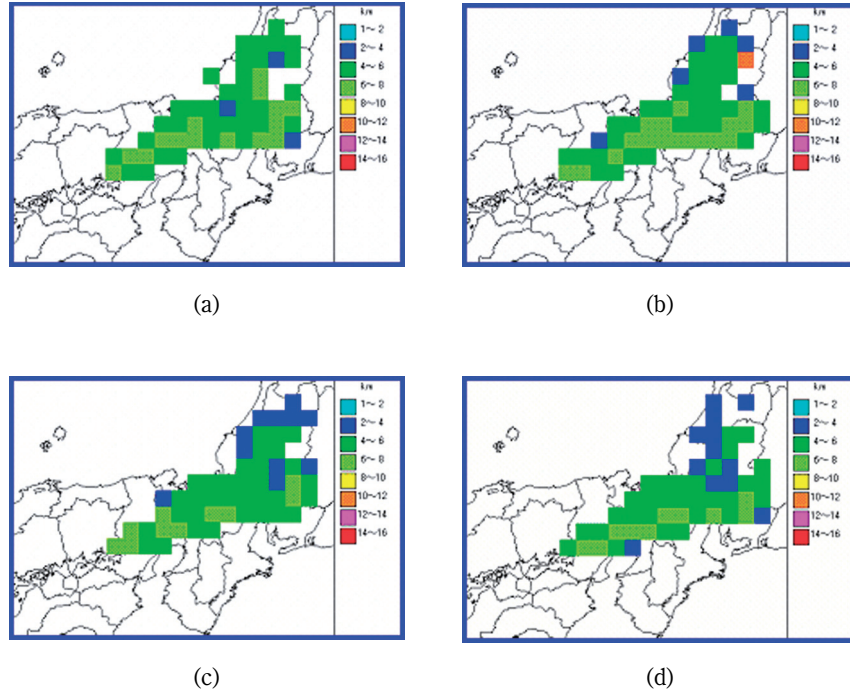


図10 降水セルのエコー高度の分布，(a) 2005年4月26日1200JST，(b) 1210JST，
(c) 1220JST，(d)1230JST，『気象庁レーダー資料』による。

なお、京都地方気象台における地上気象観測の記事（『気象庁月報 CD-ROM, 2005年4月』）によると、1205JSTに北東40 km以上離れたところで電光があり、1218JSTに北東5～10 kmで雷鳴があったが、これは図8のセルAによるものであろう。また、1222JSTに北10～20 kmで落雷があったが、これはセルBによるものであると考えられる。

次に、気象庁現業用レーダーによるエコー高度の分布を図10に示す。この図によると、1210～1220JSTには、京都市付近に高さ6～8 kmの対流雲が存在しており、ガストフロントを発生させた積乱雲に相当する。

6. 総観場の状況

ガストフロント発生当時の総観場の状況は、次のようであった。

図11に示した衛星可視画像によると、北陸沿岸の北方に渦状の雲域が存在している。これは、前日の午前中国大陸にあった雲域が東進しながら組織化したものである。この雲域から近畿地方に延びる細い雲の帯が見られ、これがレーダー画像上の带状降水セル群に相当する。

次に、潮岬における気温と露点温度の分布を図12 (a)，相対湿度の鉛直分布を図12 (b) に示す。

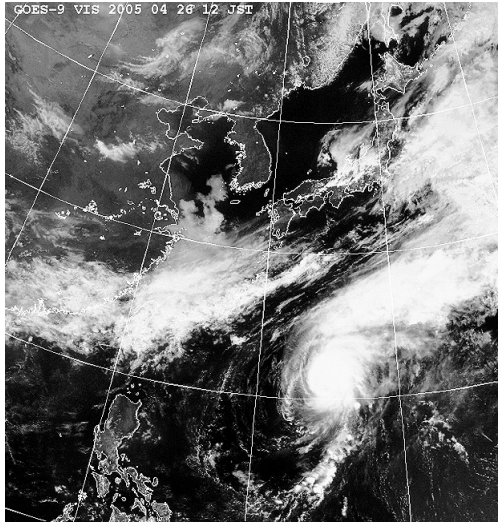


図11 衛星可視画像(2005年4月26日1200JST),
(財)日本気象協会 HP より引用。

700 hPa から 500 hPa 近くにかけての対流圏中部において、相対湿度 10% 以下の非常に乾燥した空気が存在しており、一方、800 hPa より下層では、相対湿度が 80% 以上の湿った空気が存在している。これは、典型的な対流不安定の成層状態にあったことを示している。また、890 ~ 880 hPa あたり逆転層が存在することから、700 ~ 500 hPa あたりの乾燥した空気は沈降にともなう断熱圧縮の結果によるものと考えられる。

このときの総観場の状況を説明するために、地上天気図を図 13 に、500 hPa 等圧面天気図を図 14 に、700 hPa 等圧面天気図を図 15 に、850 hPa 等圧面天気図を図 16 に示す。まず、地上天気図によると、南岸を通過した低気圧は、関東地方南東海上にあり、その後面に当たっている。500 hPa 等圧面天気図によると、上空で気圧の谷が接近しており、それに伴って、 -24°C という、この時期にしては、気温が非常に低い寒気が北陸沿岸まで南下してきている。

また、九州、朝鮮半島南端、中国大陸東岸にかけて、湿数（気温と露点温度の差）が 30°C 以上の非常に乾燥した空気が存在している。

700 hPa 等圧面天気図によると、気圧の谷が接近しており、湿数が 30°C 以上の非常に乾燥した空気が潮岬から朝鮮半島南部、中国大陸東岸にかけて存在している。また、850 hPa 等圧面天気図によると、中国大陸東岸には湿数が 30°C 以上の非常に乾燥した空気が存在している。一方、紀伊半島付近には湿数が 3°C 以下の湿った空気が存在している。

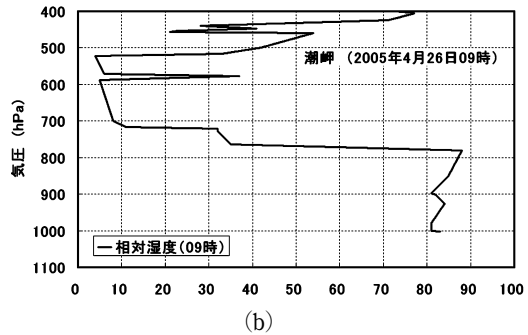
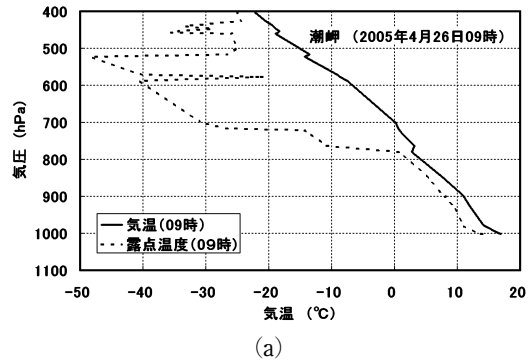


図 12 潮岬における (a) 気温と露点温度、(b) 相対湿度の鉛直プロファイル(2005年4月26日0900JST)、観測データは Univ. of Wyoming の HP から引用。

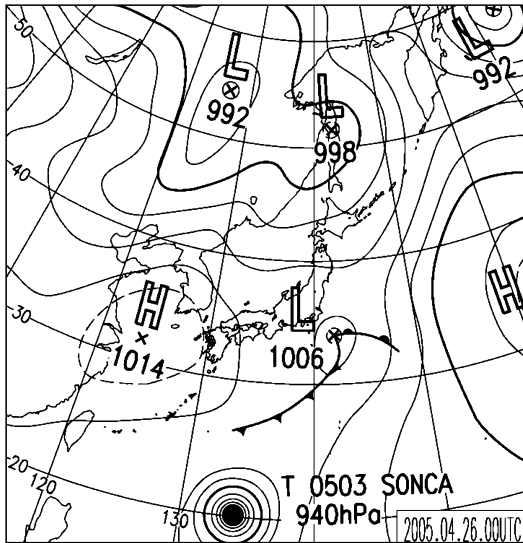


図13 地上天気図 (2005年4月26日0900JST),
日本気象学会 HP より引用。

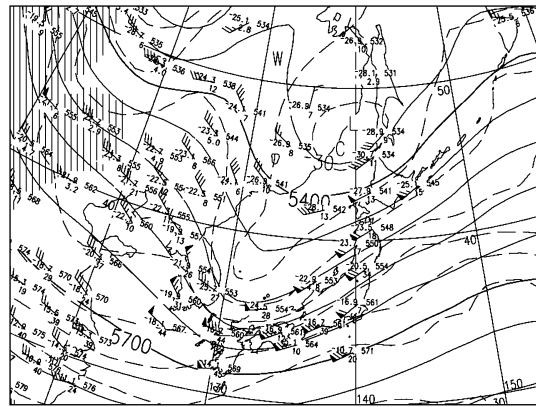


図14 500 hPa 等圧面天気図 (2005年4月26日
0900JST), 実線は500 hPa 面高度, 破線は
等温線。『気象庁天気図平成17年4月 CD-
ROM』より引用。

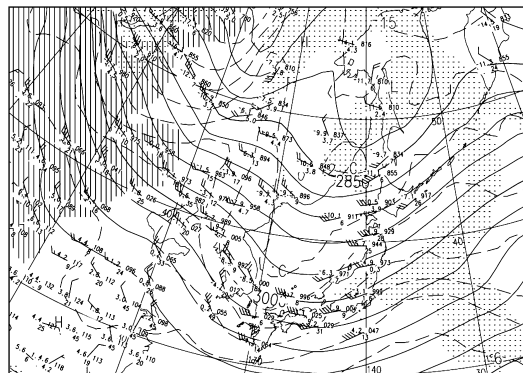


図15 700 hPa 等圧面天気図 (2005年4月26日
0900JST), 実線は700 hPa 面高度, 破線は等
温線。『気象庁天気図平成17年4月 CD-
ROM』より引用。

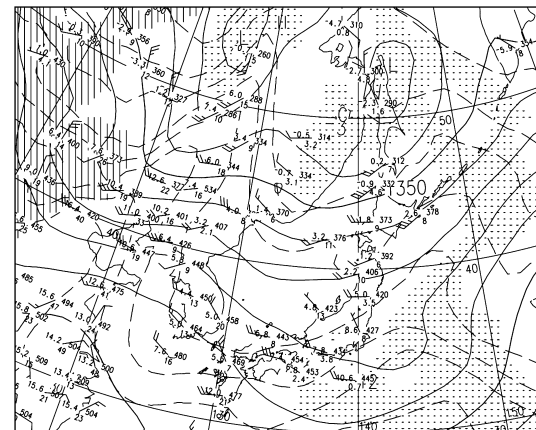


図16 850 hPa 等圧面天気図 (2005年4月26日
0900JST), 実線は850 hPa 面高度, 破線は
等温線。『気象庁天気図平成17年4月 CD-
ROM』より引用。

これらをまとめると、次のようである。上空には寒気が存在し、地上では、低気圧の後面に当たっていた。ここには、渦状の循環があり、その後面の低気圧性循環により、強い寒気が南下してきた。一方、暖域の対流圏中部に存在している乾燥空気は、中国大陸から広がってきたものであり、激しい対流活動を引き起こす一因となったと考えられる。

7. 考 察

今回のガストフロントのいくつかのポイントについて過去の研究と比較し、考察を試みた。

(1) ガストフロントの特徴

Wakimoto (1982) によると、ガストフロントには①気圧の上昇、②風向の変化、③突風、④気温低下、⑤降雨という5つの特性がある。今回のガストフロントは、①～④の特性を備えていたが、降雨はわずかであった。

(2) 鉛直安定度

500 hPa 面では、気温が -24°C というこの時期にして気温が低い寒気が侵入していた。一方、地上では、午前中に強い日射により気温が上昇し、地上と 500 hPa 面の間の気温差が 40°C 以上になった。地上から高度 5 km あたりまでの大気層において、平均すると $8^{\circ}\text{C km}^{-1}$ 程度の大きい気温減率が、強い対流の一因となっていた。

(3) 冷気の厚さと移動速度

京都の現地気圧は、毎正時の観測値によると、1100JST の 1002.9 hPa が 1200JST に 1001.6 hPa に下がったが、1300JST には 1004.4 hPa と前面の到達前よりも 2.8 hPa 上昇している。

この気圧上昇が密度の大きい冷気によるものと考え、静力学の式と状態方程式を用いて冷気の厚さを求めた。すなわち、冷気の気圧を p_1 、密度を ρ_1 、暖気の気圧を p_2 、密度を ρ_2 、冷気の厚さを h とすると、 h の値は次の式から求められる。

$$h = \frac{p_1 - p_2}{(\rho_1 - \rho_2)g} \quad (1)$$

この式で、 g は重力の加速度である。1200JST の値を暖気、1300JST の値を冷気とすると、 $\rho_1 = 1.22 \text{ kg m}^{-3}$ 、 $\rho_2 = 1.18 \text{ kg m}^{-3}$ である。気圧差 $p_1 - p_2 = 2.8 \text{ hPa}$ 、 $\rho_1 - \rho_2 = 0.04 \text{ kg m}^{-3}$ 、 $g = 9.8 \text{ m s}^{-2}$ とすると、 h は $6.8 \times 10^2 \text{ m}$ となる。

この h の値を用いると、冷気の移動速度 C を求めることができる。小倉 (1997) によると、 C は、

$$C = Fr_1 \sqrt{gh(\rho_1 - \rho_2) / \rho_2} \quad (2)$$

と表される。この式で、 Fr_1 は無次元の比例定数で、内部フルード数と呼ばれる。 Fr_1 の理論値は $\sqrt{2}$ であるが、実測値はこれより小さく 1.0 前後である。そこで、ここでは、 Fr_1 の値を 1.0 として C の値を求めると、 55 km h^{-1} となる。これは、レーダーエコーにより求めた降水セルの移動速度 50 km h^{-1} にほぼ等しい。

(4) ガストフロント前方のよどみ点

ガストフロントの前方では、暖気が収束してよどみ点ができ、ガストフロント到達前に気圧が上昇

すと言われている(小倉, 1997; 大野, 2001)。しかし, 1時間おきのデータでは, 確認できなかった。

8. 今後の課題

2005年4月26日に京都市を中心として急激な気温降下を引き起こしたガストフロントについて, 気象庁各種観測データを用いて, その特徴を調べた。このガストフロントの成因や詳細な構造を明らかにするには, 次のような課題が今後に残されている。

- (1) 日本海に存在したリング状雲域の構造と役割を調べる。
- (2) 気象庁メソ客観解析資料により, 当時の大気の立体的構造を調べる。
- (3) 類似した事例を解析する。

最後に, 本研究の一部は, 京都産業大学総合学術研究所から助成(研究代表者勝矢淳雄教授)を受けた。また, 本研究において, 各気象要素の解析のために気象庁の各種の気象観測資料を使用し, 解析結果の図示のための白地図として KenMap Ver. 8 を用いた。さらに, 2006年2月21日に本研究の一部を日本気象学会関西支部2005年度第3回例会(宗和ほか, 2006)で発表したさい, 参加者から有益な助言をいただいた。これらに対して, 感謝の意を表したい。

参考文献

- Fujita, T. T., 1981: Tornadoes and downbursts in the context of generalized planetary scales. *J. Atmos. Sci.*, Vol. 38, pp. 1511–1534.
- KenMap ホームページ, <http://www5b.biglobe.ne.jp/~t-kamada/CBuilder/kenmap.htm>
- 気象庁ホームページ, <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>
- 京都地方気象台, 2005: 京都府の気象(平成17年4月), 20 pp.
- 日本気象学会ホームページ, <http://wwwsoc.nii.ac.jp/msj/>
- 日本気象協会ホームページ, <http://www.jwa.or.jp/>
- 菲澤 浩・大野久雄, 1996: 気温低下にもとづくガストフロント警告システム, 天気, 43巻, pp. 546–552.
- 小倉義光, 1997: メソ気象の基礎知識, 東京大学出版会, 215 pp.
- 大野久雄, 2001: 雷雨とメソ気象, 東京堂出版, 309 pp.
- 宗和孝幸・藤井 健・東 邦昭, 2006: 2005年4月26日に京都市を通過したガストフロントについて, 日本気象学会関西支部2005年度第3回例会講演要旨集, pp. 17–20.
- University of Wyoming ホームページ, <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>
- Wakimoto, R. M., 1982: The life cycle of thunderstorm gust fronts as viewed with Doppler radar and rawinsonde data, *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 110, pp. 1060–1083.