

2. 「乾燥貫入とそれが温帯低気圧の前線，雲，降水の構造に及ぼす効果」についてのコメント

藤 吉 康 志*

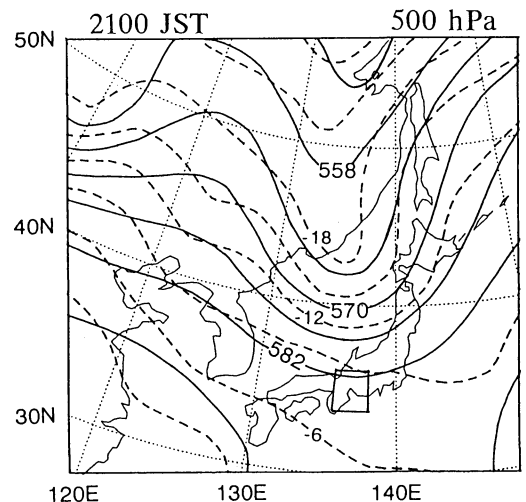
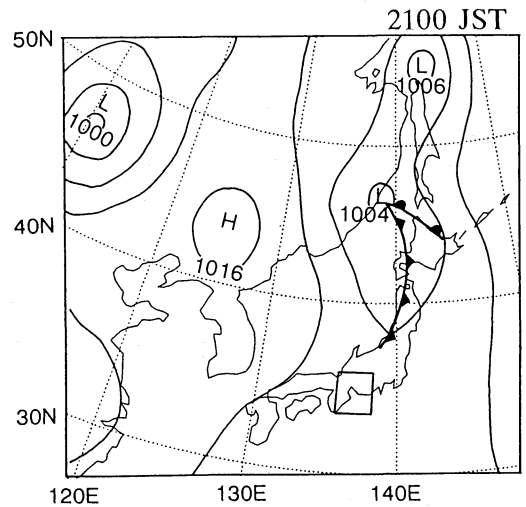
1. はじめに

ここでは、「乾燥貫入が雲，降水の構造に及ぼす効果」についてコメントを行う。より具体的には、「乾燥空気は寒冷前線後方から一様に侵入してくるのか，もしそうでなければどのような微細構造をもつのか，そしてその流れが寒冷前線に沿って発達する積乱雲とどのような相互作用を行うのか」，という点について我々の最近の研究結果 (Geng *et al.*, 1997) を基にコメントを行う。

我々が考察を行った寒冷前線後方からの流れは，いわゆる「中層の rear inflow」であり，乾燥して温位も低い。この流れがメソスケールに組織化された対流システム (MCSs) の下降流の強化と維持に重要な役割を果たしていることは，これまでの研究で良く知られている。しかしながら，これまでの研究は，既に組織化された気流系について議論したものがほとんどであり，その流れが MCS 中でどのように形成され発達していくのかについて調べた研究は少ない。さらに，寒冷前線に沿って形成されるメソβスケールの MCS を構成する積乱雲のうち極く一部が長寿命で大きく発達し，それは雲同士の相互作用によるという興味ある報告がこれまでになされている (例えば Takeda and Imai, 1976 ; Simpson, 1980)。

2. 観測されたメソβスケールの MCS の概要

MCS の観測は，1994年9月8日16時から18時半まで，名古屋大学と長島町に設置された2台の X バンドドップラーレーダーによって行われた。8日21時の天気図を見ると (第1図)，地上では寒冷前線が不明瞭であるが，500 hPa では南東方向に移動している深い気

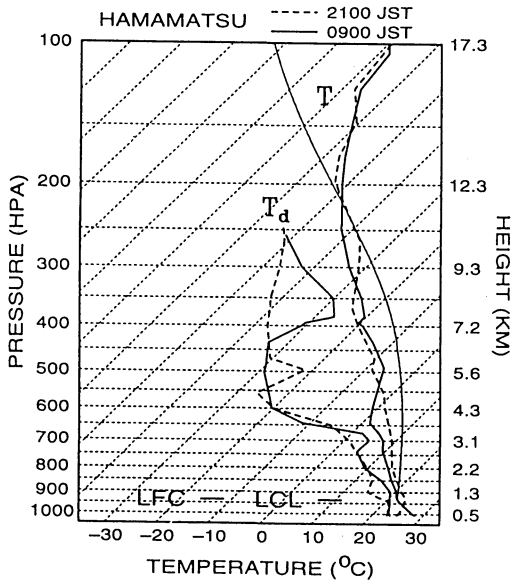


第1図 1994年9月8日21時の，地上 (上) と500 hPa 高度面 (下) の天気図。図中四角で囲まれた領域が，2台のドップラーレーダーによる観測範囲である。

* 北海道大学低温科学研究所。

—1998年5月15日受領—

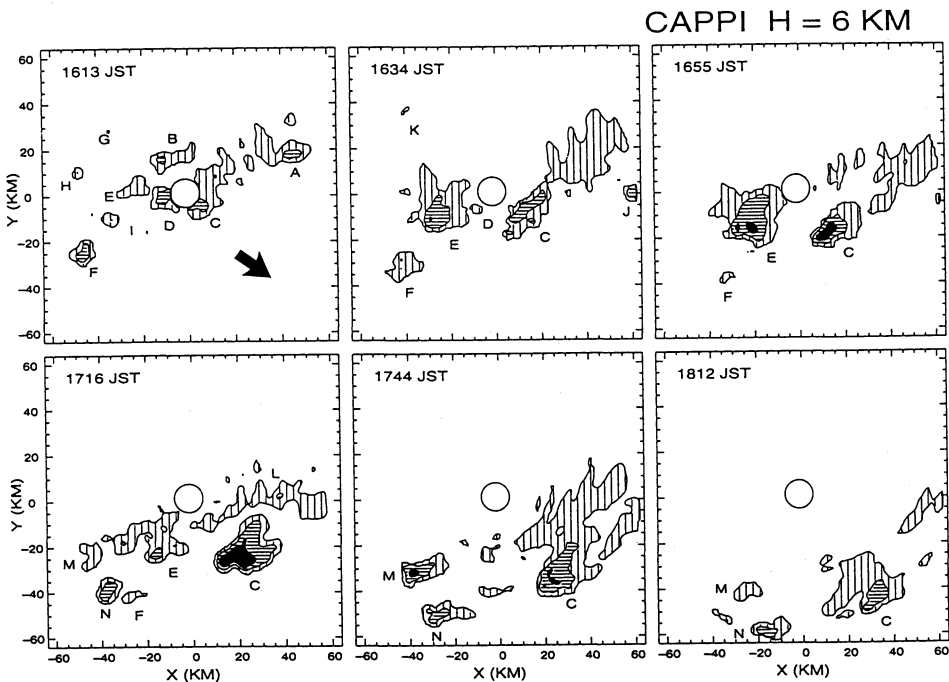
—1998年11月12日受理—



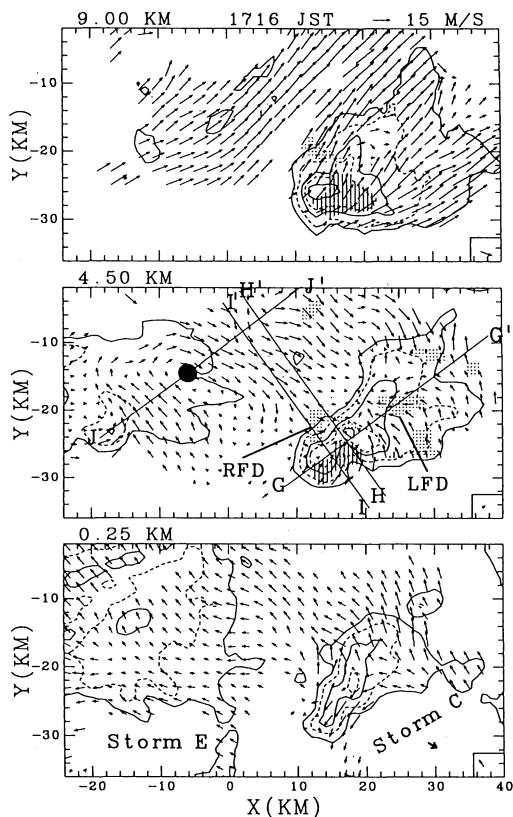
第2図 ゾンデによる気温・露点温度の鉛直分布 (浜松). 1994年9月8日9時(太い実線)と21時(破線). 細い実線は, 地表から空気が断熱的に上昇した時の気温変化 (9時のデータ). LCLは持ち上げ凝結高度, LFCは自由対流高度.

庄の谷が観測点上空を通過中であることが分かる. 第2図は, 浜松における9時と21時の気温と露点温度の鉛直分布である. いづれも, 高度3.1 km以下では湿度が高いが, 4.3 kmから7.2 kmの高度範囲では極めて乾燥し, CAPEは 1782 kJ kg^{-1} でやや大きめであった. 15時の潮岬上空の風の鉛直分布を見ると (図は省略), 地上から7 kmまでは風の鉛直シアアの向きはほとんど変わらず, MCSはこの周囲の風に対して右方向に動いていた.

第3図に, レーダーエコー強度の水平分布 (高度6 km)の時間変化を示した. メソ β スケールのMCSの中に, 観測時間中AからMまでラベル付けられた14個の積乱雲が順次現れた. その中でStorm Cのみが3 km以上の高度で40 dBZよりも強いエコー強度を示し, エコー頂高度も圏界面を突破した. Storm C内の最大上昇流は, 16時55分と17時16分の間に25から 45 m s^{-1} まで急激に増加し, その後急速に弱まった. また興味深いことに, 16時55分まではStorm Cはそのすぐ近くに存在するStorm Eとほぼ同期して発達し, マルチセル型の構造をしていたが, Storm Eが衰退を始めた



第3図 メソ β スケールのMCSが示した, レーダーエコーの水平分布の時間変化(高度6 km). 太い矢印はシステムの進行方向を示し, 図の中心の丸はレーダーサイト (名古屋大学)を示している. 縦線で影を付けた領域はレーダー反射強度が10 dBZ以上, 横線は20 dBZ以上, 黒く塗りつぶされた領域は30 dBZ以上を意味する.

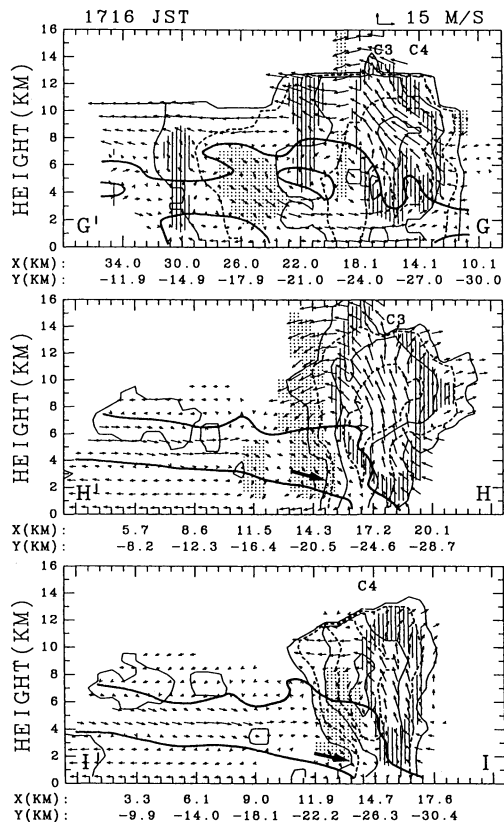


第4図 17時16分のStorm CとStorm E周辺のシステム相対風とレーダーエコーの水平分布(上段は高度9 km, 中段は4.5 km, 下段は0.25 km)。高度4.5 kmのStorm E内の黒丸は、高気圧性の中層渦の中心位置を示す。

16時55分以降爆発的に発達した。以下では紙数の都合上、急激に発達した時のStorm Cのレーダーエコー及び気流系の3次元構造と中層のrear inflowの役割、及びStorm CとStorm Eの相互作用について述べる。

3. Storm Cのエコー及び気流系の3次元構造

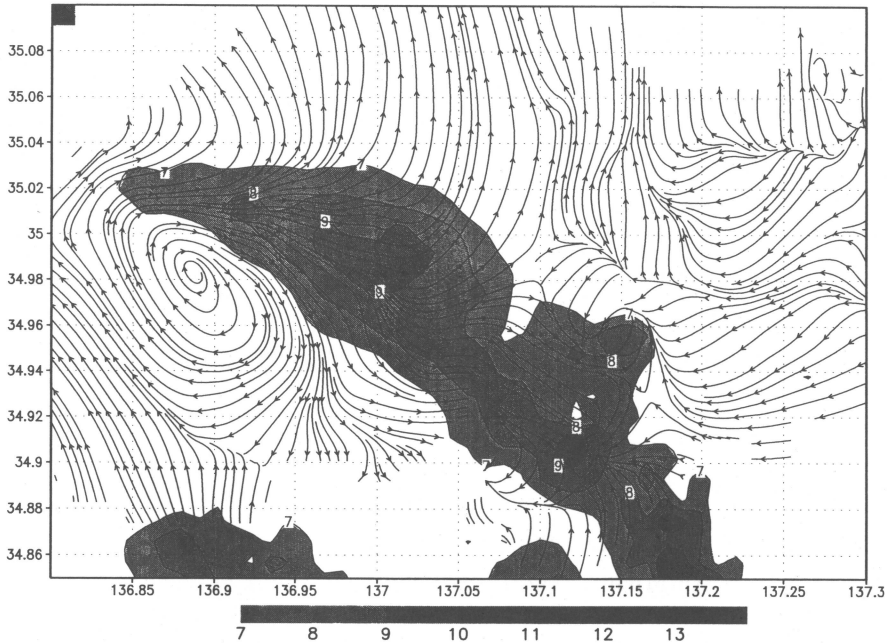
Storm Cが最盛期であった17時16分での、システム相対風とレーダーエコー強度の水平分布を第4図に示した。Storm CとStorm Eの間には、高度0.25 kmではStorm CからStorm Eに向かう南東風が吹いている。高度4.5 kmを見ると、衰退期のStorm E内には中層渦が存在している。Storm Cに後方から流入する北西風は、この中層渦の北東側で加速され、このジェット状の北西風がStorm Cに入り込んだ場所には、強い



第5図 17時16分のStorm Cの鉛直断面図(上段は第4図のG-G'に沿った断面, 中段はH-H'に沿った断面, 下段はI-I'に沿った断面)。上昇流の速さが $4 \sim 12 \text{ m s}^{-1}$ の領域を縦線で、下降流の速さが $4 \sim 10 \text{ m s}^{-1}$ の領域を点線で影付けた。中段と下段の図で、セルC3とC4のエコーの後方下層では、雨滴の蒸発が起こっていることを示すエコーの凹みが見られる(太矢印)。同じく中段と下段の図中の太い実線は、中層rear inflowが存在している領域を示す。

下降流の中心(RFD)が存在している($X=13 \text{ km}$, $Y=-22 \text{ km}$)。RFDの前方に存在する上昇領域は、前の時間(図は省略)と比べて面積が広がっている。同じく高度9 kmにおいても、上昇領域及びエコー面積共に、前の時間と比べて広がっている。

第5図は、17時16分でのStorm Cの鉛直構造を示したものである。Storm Cの進行方向に直交する鉛直面内(G-G')に見られる最も顕著な特徴は、上昇流の風下(図の左側)に存在する下降流(LFD)とRFDとが合流した強いアウトフローの存在である(図の右側地



第6図 17時16分の高度2.5 kmでの相対風の流線と、16時48分から17時51分まで時間平均した同じ高度の絶対風速の水平分布。横軸は経度、縦軸は緯度を示し、渦の中心(北緯34.98度、東経136.9度付近)は第4図の黒丸の位置とほぼ一致する。図を見やすくするために、絶対風速で7 m s⁻¹以上の領域のみを示してある。

表付近)。Storm Cの進行方向に平行な鉛直面内(H-H', I-I')を見ると、セルC3とC4共にエコー及び上昇流の軸は傾かずにほぼ鉛直に立ち、特にセルC3内の上昇流はStorm Cで最大で、高度8 kmで45 m s⁻¹にも達していた。rear inflowはセルC3及びC4の両方に中層から侵入し、セルの内部で急激に下降している。この中層のrear inflowは、衰退したStorm Eが残した上空エコーの下を10 ms⁻¹以上の速さで、あたかも中層ジェットのように流れている。このような流れは、その規模こそ大きく異なるもののBrowning and Golding(1995)が発達した低気圧内で見出した、「乾燥貫入」に良く似ている。第6図は、17時16分の高度2.5 kmでのシステム相対風の流線と、16時から18時30分まで時間平均した絶対風速の水平分布である。図には、Storm E中の高気圧性の中層渦の北東部で中層のrear inflowが加速されている様子が明瞭に示されている。

ゾンデから得られた環境場の下層風と、Storm Cからのアウトフローのそれぞれの鉛直シア(地上から3 kmまで)の時間変化を調べると(図は省略)、Storm Cがマルチセル型の雷雲として発達を続けていた16時

55分以前は、環境場の方がアウトフローのシアに比べて数倍大きかった。一方、Storm Cが最盛期に達する直前(17時09分)には、両方のシアがほぼ同じ値となり、急速に衰退を始めた17時16分以降は環境場に比べてアウトフローのシアの方が数倍大きくなっていった。このようなシアの変化とStorm Cの発達過程との対応は、環境場とアウトフローのシアによる水平渦度のバランスが積乱雲の成長に重要であるというRotunno *et al.* (1988)の理論と矛盾しない。

4. まとめ

ここでは、衰退中の積乱雲(Storm E)内に形成された中層渦が、寒冷前線後方から侵入してきた中層のrear inflowを強化・局在化し、それによってメソβスケールのMCSを構成する別の積乱雲(Storm C)の急激な発達と衰退をもたらした観測例について紹介した。このように、中層後方からの乾燥空気は決して一様にMCS内に侵入せず、その流れはMCS内の積乱雲によって大きく影響を受け、さらに、局在化された流れによって特定の場所で特定の積乱雲のみが急激に

発達する。今後、寒冷前線上に発生する MCS 内の積乱雲の振る舞いを明らかにするためには、下降流に伴うアウトフローと共に、乾燥貫入の流れに果たす中層渦の役割も明らかにしていく必要がある。

参 考 文 献

Browning, K. A., and B. W. Golding, 1995: Mesoscale aspects of a dry intrusion within a vigorous cyclone, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **121**, 463-493.
Geng, B., Y. Fujiyoshi, and T. Takeda, 1997: Evolution of a multicell thunderstorm in association with midlevel rear inflow enhanced by a midlevel vortex

in an adjacent thunderstorm, *J. Meteor. Soc. Japan*, **75**, 619-637.

Rotunno, R., J. B. Klemp, and M. L. Weisman, 1988: A theory for strong, long-lived squall lines, *J. Atmos. Sci.*, **45**, 463-485.

Simpson, J., 1980: Downdrafts as linkages in dynamic cumulus seeding effects, *J. Appl. Meteor.*, **19**, 477-487.

Takeda, T. and H. Imai, 1976: On the behavior of long-lasting cellular echoes, *J. Meteor. Soc. Japan*, **54**, 399-406.

Comment on "Dry Intrusions and the Mesoscale Frontal, Cloud and Precipitation Structure of Extratropical Cyclones"

Yasushi Fujiyoshi

Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, Nishi 8, Kita 19, Kita-ku, Sapporo, Hokkaido 060-0819, Japan.

(Received 15 May 1998; Accepted 12 November 1998)

104:105 (温帯低気圧; 乾燥貫入; 前線)

3. 温帯低気圧システム中を下降してくる乾燥空気 について

高 藪 出*

まず、日本付近の温帯低気圧でも乾燥貫入が見られることを示そう。第1図は、1995年6月から運用され

ているGMS-5の水蒸気センサーの画像(1995年9月4日)である(Meteorological Satellite Center, 1995)。同日の天気図を見ると、147°E, 50°N付近に温帯低気圧が認められるが、そこから南方に伸びる寒冷前線に沿って暗い(水蒸気の少ない)領域が広がっている事が分かる。これが乾燥貫入と考えられる。

* 気象研究所環境応用気象研究部。

—1998年5月15日受領—

—1998年11月12日受理—