

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*

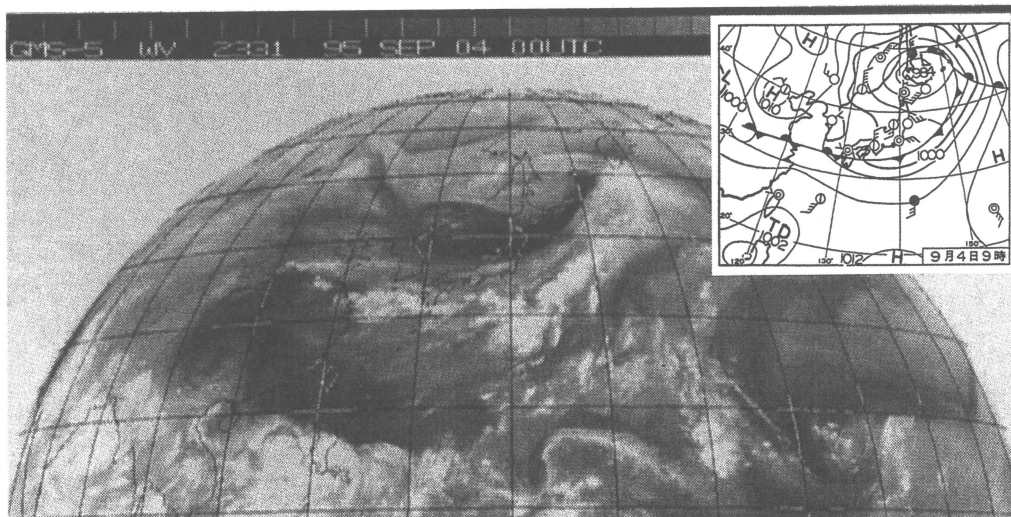
まず、日本付近の温帯低気圧でも乾燥貫入が見られることを示そう。第1図は、1995年6月から運用され

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。

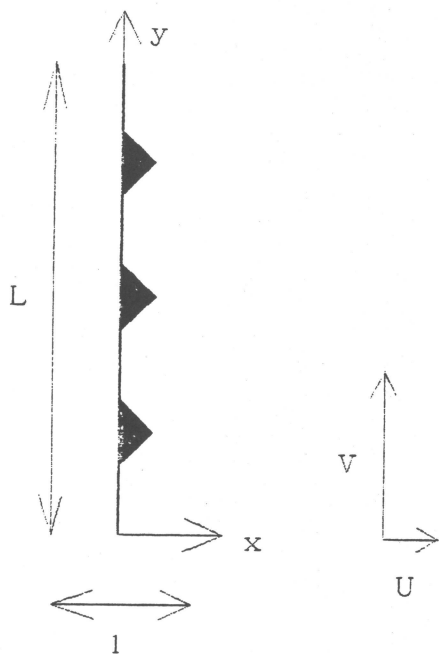
* 気象研究所環境応用気象研究部。

—1998年5月15日受領—

—1998年11月12日受理—

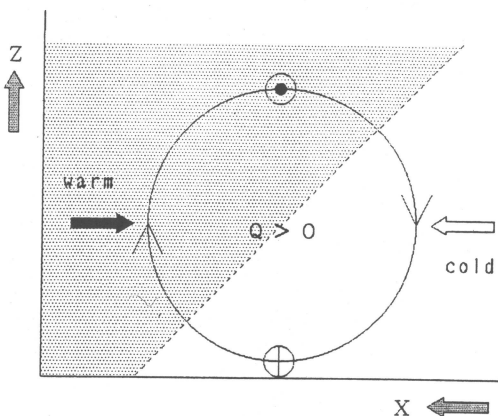


第1図 GMS-5号による水蒸気画像 (1995年9月4日00 UTC) (Meteorological Satellite Center, 1995). 右上の天気図は同日の地上天気図 (天気図日記 (気象・1995年11月号, 日本気象協会) より引用).



第2図 フロントゲネシスモデルの座標.

さて、天気図と水蒸気画像をよく見比べてみると、乾燥空気は寒冷前線の西方に降りてきていることが分かるが、これは、前線形成理論を適用すると説明できる (Simmons and Hoskins, 1979). 前線に対して第2図のように座標系を考え、 $x-z$ 面内での非地衡風



第3図 前線形成場での前線を横切る流れの模式図.

次循環を、流線関数 ψ' を用いて表すと、 $w' = \partial\psi'/\partial x$ 、 $u' = -\partial\psi'/\partial y$ となる. コリオリ因子を f 、プラント・バイサラ振動数を N 、温度場を θ 、地衡風を U 、 V と置くと、 ω 方程式から次の式のセットを得る.

$$N^2 \frac{\partial^2 \psi'}{\partial x^2} + f^2 \frac{\partial^2 \psi'}{\partial z^2} = 2Q \quad (1)$$

$$Q = -g/\theta \left(\frac{\partial U}{\partial x} \cdot \frac{\partial \theta}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} \cdot \frac{\partial \theta}{\partial y} \right) \quad (2)$$

前線に沿った合流場では、地衡風成分の式 (2) の右

辺から $Q > 0$ となる。式 (1) はポアソン方程式の形をしており Q と ψ' の符号は逆転するので、 $Q > 0$ となる対流圏では直接循環 ($\psi' < 0$) が生じることになる (第3図参照)。

(1)式を見ると、循環の鉛直方向への広がりには N に反比例する事が分かる。 N の大きさは対流圏で成層圏より1桁小さいので、たとえ Q の絶対値と水平スケールが同じであっても、2次循環の鉛直スケールは対流圏の方が大きくなる。このため、前線形成過程を通じて下部成層圏の乾燥した空気はこの循環で対流圏に深く侵入出来るのである。

以上の説明は、実際に数値実験で確かめることが出来る。第4図は筆者らが Keyser and Pecnick (1985) に倣って作成した2次元数値モデルを動かした結果である(高菦ほか, 1991)。一般に中緯度大気では対流圏界面付近にジェットを中心があり、温度風バランスから図の左右の温度勾配は対流圏と成層圏で逆符号になるため、同じ合流場の中にある時、対流圏では $Q > 0$ でも成層圏では $Q < 0$ となり逆方向の循環が生じているのが見える。ところが N の値の差から循環の広がり異なり、対流圏中心の循環が成層圏まで洩れ出ていることが分かる。これに依って、下部成層圏の空気は対流圏中層まで侵入している。

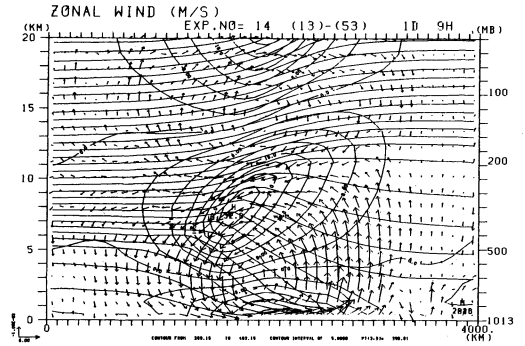
ここではモデル実験の結果しか示さないが、この過程は中緯度において成層圏と対流圏の空気の混合過程として重要であると考えられる (Andrews *et al.*, 1987)。

最後に、このような乾燥貫入は、単に前線形成の結果ではなく、温帯低気圧形成の原因としても考えられる事を示して置く。Takayabu (1991a, b) は upper vortex (そこでは圏界面が下がっている) が低気圧の形成に果たす役割を理想化された数値実験で示した。この中で、地上での低気圧発達に先立ちジェット軸の北方においた上空の渦が上層の前線形成による循環でジェット下端(地上の傾圧帯の中心)に伸びてくることが示されている(第5図)。これはこの実験での低気圧発達のメカニズムで重要な役割を果たしている。

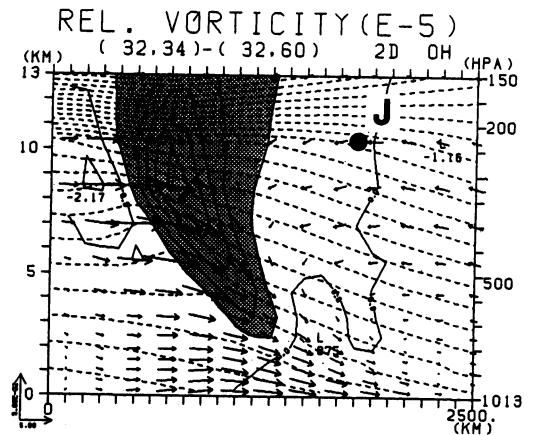
以上、乾燥貫入が日本付近の温帯低気圧でも見られることを示した。また、乾燥貫入の成因と、乾燥貫入が低気圧形成に果たしている役割に付いて、モデル実験の立場からコメントした。

参考文献

Andrews, D. G., J. R. Holton and C. B. Leovy, 1987 :



第4図 2次元非線形モデルによる前線形成。等値線は前線に沿った水平風速 (4 ms^{-1} 毎) と温位 (5 K 毎)。矢線は前線を横切る流れ (高菦ほか, 1991)。



第5図 カップリング発達をした温帯低気圧でのジェットストリーク入り口域での南北鉛直断面図。等値線は温位 (5 K 毎) と相対渦度 ($1 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 毎)。陰をつけた部分は相対渦度が $2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 以上の領域。矢線は断面に沿った方向の気流を描いている。Jは西風ジェットを中心を示す (Takayabu, 1991b)。

Middle Atmospheric Dynamics, Academic Press, 489pp.

Meteorological Satellite Center, 1995 : Monthly Report of Meteorological Satellite Center, September 1995, Meteorological Satellite Center.

Simmons, A. J. and B. J. Hoskins, 1979 : Baroclinic instability and frontogenesis. Seminar 1979, Dynamical meteorology and numerical weather prediction. European Center for Medium Range Weather Forecasters, 1, 34-174.

Takayabu, I, 1991a : A study on an efficient mechanism of the development of extratropical cyclones, Ph. D. Thesis, The Univ. of Tokyo, 194pp.

Takayabu, I, 1991b : "Coupling development" : An efficient mechanism for the development of

extratropical cyclones, J. Meteor. Soc. Japan. 69, 609-628.

高藪 出, 山中大学, 深尾昌一郎, 1991 : 二次元フロントゲネシスモデルにみられるジェット上下の鉛直流逆転, 日本気象学会1991年春季大会予稿集, A164.

Comments on Dry Air Subsides in the Extratropical Cyclone System

Izuru Takayabu*

* *Atmospheric Environment and Applied Meteorology Research Department,
Meteorological Research Institute, 1-1 Nagamine, Tsukuba, Ibaraki 305-0052, Japan.*

(Received 15 May 1998 ; Accepted 12 November 1998)

注 記

[天気] 編集委員会

以上の解説は、英語で行われた日本気象学会1997年度春季大会特別招待講演「雲過程と陸面過程—21世紀への展望—」でのブラウニング氏の講演およびそれに対する藤吉, 高藪両会員のコメントを, 藤吉, 高藪両会員が訳したものです。この特別招待講演ではこの他に, ロバート・ディキンソン氏の講演およびそれに対する小池俊雄, 佐藤信夫両会員のコメントも行われました。なお, この解説の掲載にあたっては, 大会実行委員会のご尽力を得ました。