

冬期、日本の南海上に発生する層積雲について

荒井 浄*

1. まえがき

日本近海では、北西の季節風が吹き始めると、いわゆる「筋状の雲」が発生する。この線状の雲列は風下側に、オープン・セル状（中心に下降流、周辺で上昇し雲の壁を作っている。O型やU型が多い）、次に口絵写真4のようなクロズド・セル状（中心で上昇流、周辺で下降流）と、空間的に変化するのが普通である。また同じ地域で、線状の積雲列から層積雲に、時間的に変化する場合もある。本文では後者の事例から、クロズド・セルの総観的発生条件を考察した。

2. 線状積雲から層積雲への変化

口絵写真1～4は、線状の積雲列が扁平な層積雲に変化する過程を示す。はじめ季節風の走向に沿っていた雲は、しだいにその幅を広げ、ついに線状構造を失った口絵写真4の状態に達する。赤外面像と可視画像ではセンサの分解能が異なるので、雲の大きさを同一精度で測定することはできないが、4枚の写真を総合的にみれば、やはり積雲が扁平化して行く過程が認められよう。

次に変移過程の総観的状态について述べる。ここで「混合層」を海面高度から気温逆転層下面までの層と定義しよう。第1表に父島における混合層の上面と下面の

状態を示した。線状、層状の期間を通じて気温逆転層の高度はだいたい800mb、混合層の上面と下面の気温はそれぞれ、7°C、22°Cに保たれていた。エマグラム(図省略)によれば、混合層は条件付不安定、逆転層の上はきわめて乾燥した安定成層であった。

第1～4図は口絵写真1～4に対応する850mb天気図である。混合層上面の状態と考えるとよいであろう。雲が線状の期間は、風はだいたい等温線に直角に吹いている。すなわち水平風Vの軸をNW-SE方向にとると、水平顕熱流束 $\rho_H VT$ は正になっている。雲の扁平化が進むにつれ、風はしだいに等温線に平行となり、さらに、 $\rho_H VT$ は負に転じている。高気圧が移動して来たこともあって、風速が弱まっている。寒気移流から暖気移流への変移、弱風化という特徴は、経験的には他の例でも言えそうである。

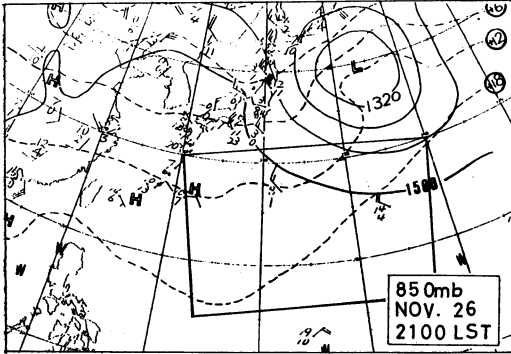
ここで定性的に混合層上面における顕熱の収支を考察してみよう。850mb面で、全期間ほとんど総観規模の温度パターンが変わらないのに対して、風、特に風向が変化していることから、期間の後半(層状期)は混合層の暖化が考えられるが、温度が時間的に変らないことを考えあわせると何か冷却機構が存在することになる。

混合層下面の大気は、常に海面に接しているので同温

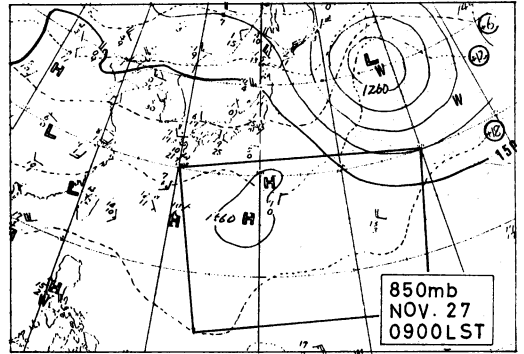
第1表 父島における混合層の気象要素、海面高度の気温、逆転層下面の気温、気圧高度、混合層の水蒸気量の代表値として、900mbの露点温度を載せた。混合層はマクロ的にあまり変化のないことを示す。

地点	日/時 (LST)	逆転層下面の 気圧高度 (mb)	逆転層下面の 気温 (°C)	海面高度の 気温 (°C)	900 mb の露点 温度 (°C)
父島 27° 05'N 142° 11'E	Nov. 26/0900	819	7.6	22.3	9.6
	Nov. 27/0900	849	7.6	21.9	10.7
	Nov. 28/0900	749	5.8	21.9	9.8

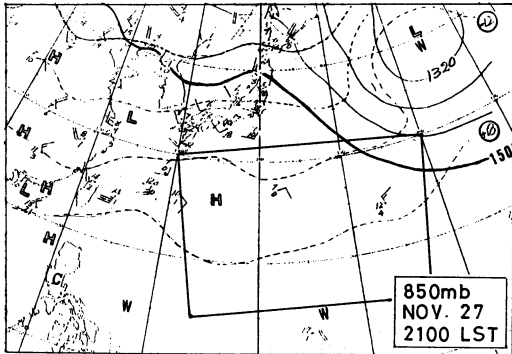
* Kiyoshi Arai, 気象衛星センター解析課.



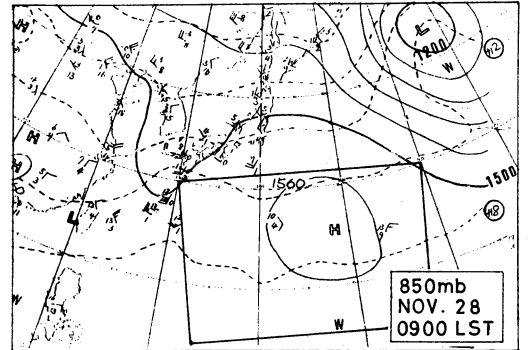
第1図 850 mb 天気図。口絵写真1に対応する。実線は等高線 (m)。点線は等温線 (°C)。長い矢羽根は8~12ノット, 短い矢羽根は3~7ノットを表わす。図中の四辺形は口絵写真の範囲を示す。



第2図 850 mb 天気図。口絵写真2に対応する。その他第1図に同じ。



第3図 850 mb 天気図。口絵写真3に対応する。その他第1図に同じ。



第4図 850 mb 天気図。口絵写真4に対応する。その他第1図に同じ。

に保たれていたのであろう。

以上のことから、大気の状態は次のように推定される。

(1) 混合層の深さは約 2 km で、その上面、下面は一定の温度に保たれていた。したがって鉛直うず拡散係数は、ほぼ全期間にわたって一定であった。

(2) 全期間、混合層は条件付不安定、逆転層の上は安定で下降流が存在していた。

(3) 混合層の水平顕熱流束は、線状期は、 $\nabla_H VT > 0$ 、層状期は $\nabla_H VT < 0$ と考えられる。それぞれの期間について $\nabla_H VT$ にバランスさせる機構が存在する。

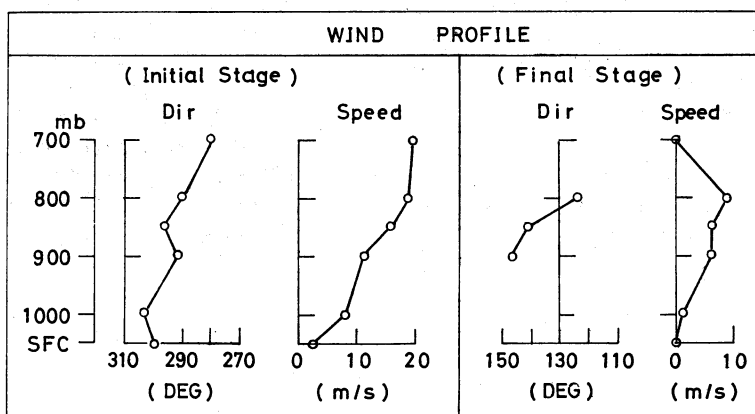
(4) 混合層に含まれる水蒸気量は全期間ほぼ同量であった (第1表参照)。

3. 偏平度に作用する因子

1960年代、気象衛星の画像が入手されて以来、人びとの注目を集めた現象のひとつに、対流細胞の直径と深さの縦横比が室内実験のそれより一桁大きいことであった。実験室では流体の種類によらず、この比は1:1から3:1ぐらいであるのに対して、衛星画像は30:1から70:1の雲が存在することを示した。対流の縦横比について2つの仮説が提出されている。

Priestly (1962) は「運動量の水平うず拡散係数が鉛直うず拡散係数より大きいとき、クローズド・セルが発生する」という。

もうひとつは下面からの熱流束が偏平度に作用するというものである。Sasaki (1970) は、うず拡散係数の非等方性は陸上でも存在するはずであるのにセル状パター



第5図 父島(47971)における風の鉛直分布図。

図の左は1980年11月26日09時。

図の右は1980年11月28日09時。

ンの雲は主として海上に発生するので、混合層下面の境界条件が重要であるとして、海面からの熱流束を導入してセルが扁平になることを数値実験で示した。

Rosmond (1973)はこの考えを発展させて、CISK機構を導入した数値実験を行った。彼は総観規模に対する方程式系を扱っているため、積雲の効果を次のようにパラメータ化して取り入れている。すなわち、積雲対流のため潜熱による加熱は、

- (1) 雲とまわりの空気温度差、
- (2) 積雲規模の鉛直速度による水蒸気流束、

に比例するとして計算を行い、対流の大きさ、成長率が大气中の現象に近づくことを示した。

一方 Priestly (1962)の提出した考えを Sheu (1980)らが発展させている。彼らは扁平度を制御する因子として、

- (1) 運動量のうず拡散係数の非等方性、
- (2) 水分(潜熱の解放)、
- (3) large-scaleの鉛直運動、

をあげて、水分を少なくして行くことと線形理論で得られた結果や室内実験の比に近づくことを示した。

以上のように、顕熱流束、潜熱の解放による加熱が重要な因子らしいのだが、ポーエン比(顕熱流束と潜熱流束の比)を仮定して、天気図、エマグラムなどから水蒸気流束を推定したとしても、混合層に流入した水蒸気の凝結率、すなわち潜熱による加熱率は全くデータ欠如のため見積ることができない。

ところが第5図に示すように、線状期、層状期は風速

分布に明確な特徴がある。第5図に父島の鉛直風速分布(風向、風速)を示した。線状期(26日/09時)は鉛直シアが顕著であるのに対して、層状期(28日/09時)はシアは弱く、いわゆる「一般流」が実質的に零に近い状態である。

父島の高層観測資料および850 mb天気図から、本文で扱った現象は次のように言えよう。

- (1) 線状の積雲列は、熱対流に鉛直シアが加わった現象である。
- (2) ここで扱った層積雲は、
 - (a) 流体(混合層)の厚さは一定である。
 - (b) 流体(混合層)の上下の境界における温度は、水平的にも時間的にもほぼ一様であった、
 という点で、むしろ湿潤大气におけるベナード・レーリ型(上面冷却、下面加熱の)対流に近いと言える。

4. あとがき

セル状の雲はデータの無い海域に発生することが多い。また仮りにデータ取得可能地域に発生したとしても、現在気象庁で行なわれているルーチン観測はこの現象の規模に時間的にも空間的にも適合していない。空気は圧縮流体であり、大气は密度成層をしているので大气中の対流現象は条件が特殊になるが、対流に対する理解を深めるために、適当な密度で、適当な要素の観測が望まれる。

本文で示したように、クローズド・セルは総観規模の現象に支配されている。したがって、われわれは間接的

にその発生を予測することができる。特別観測が行なわれれば、本文で議論しなかったオープン・セルも隣接して発生することが多いので、セル状の雲についてより総合的な資料が取得されよう。

文献

Priestly, C. H. B., 1962: The width-height ratio of large convection cells, *Tellus*, 14, 123-124.

Rosmond, T. E., 1973: Mesoscale Cellular Convection, *J. of the Atm. Sci.*, 30, 1392-1409.

Sasaki, Y., 1970: Influences of Thermal Boundary layer on Atmospheric Cellular Convection, *J. of the Met. Soc. of Japan*, 48, 492-501.

Sheu Pi-Jaw, E. M. Agee and J. J. Tribbia, 1980: A Numerical Study of Physical Processes Affecting Convective Cellular Geometry, *J. of the Met. Soc. of Japan*, 58, 489-499.

(666 頁より続く)

そして Charney が中心となってまとめあげ、アメリカの学士院からのレポートとして出版されたのが “The feasibility of a global observation and analysis experiment” (1966) であった。これは気象界では Charney の “福音書” とよばれ、国際学術会議 (ICSU) と世界気象機関 (WMO) の協力事業として GARP が生れた。政府間機関である WMO と、非政府機関である ICSU が共同事業を行ったのは、これが始めてであって、その実現には彼のカリスマ的存在が大きな役割を占めていたことは間違いないであろう。

私が東大海洋研究所に移る前の 6 カ年あまりと、再び 1975 年のサバティカルの 1 カ年を彼と共に過したのも、彼とそれを取りまく雰囲気にかかれたからであった。飲むのが好きで、女が好きで、絵画も好きだった。

私が壁にかける絵画を買わねばといえ、すぐボストンの画廊を紹介してくれた。彼の誕生日に彼のワイフが油絵をプレゼントしたほどだった。もっともその絵はものすごくアブストラクトで、絵のどっちを上にしてかけるべきかワイフと 2 人で大議論になってしまったけれど、彼ほど、どこへでも気ばらず堂々と自然にふるまえた人を知らない。その反面学生相手でも、その話が彼の学問的好奇心を満足する限りは、何か他のことで妨害されるまで何時間でも話し耽っていた。それがただただ好きなのである。その代り話が trivial なことになると、いかにも退屈そうな顔をして、やがて低く口笛をハミングしだすので退散せざるを得ないのであった。その彼もすでにいない。淋しい限りである。

(小倉義光)