

## 論文「大陸沿岸の地形の影響を受けた日本海上の ‘带状収束雲’と‘Cu-Cb ライン」についてのノート\*

松浦 知徳\*\*・山形 俊男\*\*\*

1986年9月の天気に掲載された八木らの論文はCu-Cb ラインの形成に対して大陸沿岸の山岳地帯(長白山脈・威鏡山脈)の影響が重要な要因となることを示唆している。そこで、回転成層流体中における障害物まわりの流れという観点から1978年2月2日、1980年2月6日の観測に対して一考察を加えてみる。ここで、特に議論するのは、「上部安定成層で押えられた下層の強い寒気が、朝鮮北部の山岳帯の北と南に迂回する。迂回した流れが、それぞれ海上でCuラインを作る。特に北側を回る流れは山岳帯の後面で大きく向きを変えて南下し、山岳帯を越えた流れとの間で強いCu-Cbラインを作る。その後Cbラインは南側を迂回した流れと合流して更に発達を続ける。」(八木ら、1986)という点についてである。

最初に、(1) 回転成層流体中の障害物まわりの非粘性流れの観点から考察し、つぎに(2) 回転流体中の障害物まわりの粘性流れについて考察する。

(1) 3次元物体上の回転成層流体中の非粘性流れについて

1978年2月2日と1980年2月6日における流れの場の代表的物理量を列記する。風の代表速さは $U=15\text{ms}^{-1}$ 、コリオリパラメータ $f_0=10^{-4}\text{s}^{-1}$ 、山岳の水平スケール $L=500\text{km}$ 、その高さ $h_m=1,500\text{m}$ 、プラントバイサラ振動

数 $N=2\times 10^{-2}\text{s}^{-1}$ とする。また、この現象では850~700 mb (~2,500 m)での逆転層が重要であることが指摘されており、これは上部での固体壁\*1の役割を果たしているときとみなされる。したがって、現象が起こる流体層の厚さ $H=2,500\text{m}$ と仮定する。

以上の条件の基に回転成層流体中で重要となるパラメータを見積もってみる。ロスビー数 $R_0(=U/f_0L)\sim 0.3$ 、回転フルード数 $Fr(=NH/f_0L)\sim 1$ 、大気の高さに対する山の高さの比 $h_*(=h_m/H)\sim 0.6$ となる。したがって、 $R_0$ と $Fr$ の評価から、ここでは回転と成層の両方の影響が重要となる現象とみなされる。

つぎに、回転成層流体中における障害物を通過する流れにおいて、流れの様子が障害物によってどのように影響されるのかを議論する。密度一様な回転流体中のテラー柱の生成に関連して、物体上に閉じた流線ができるかどうかの指標としてHide (1961)は $\varepsilon(=h_*/R_0)$ を導入した。そして、 $\varepsilon$ がO(1)の臨界値を越え、その値が大きくなるにしたがい閉じた流線ができることを示唆した。ここでは、 $\varepsilon\sim 2$ となり、閉じた流線が障害物上にできるパラメータ範囲にある。また成層流体において、運動エネルギーと物体をのり越えるためのポテンシャルエネルギーの比から $Nh_m < U$ のとき、流れは物体をのり越えることが可能となる。ここでは、 $Nh_m/U=2$ となり、風上で流れがブロックされ迂回することが予想される。従って、いずれの考えでも、障害物を迂回する流れが生じることになる。

Huppert & Bryan (1976)は、成層した海洋での非定常な流れの海山の影響について数値的に調べた。その結果は流れの遅い場合、海山に高気圧性渦が形成され、さらにその背後に低気圧性渦が形成され互いに相互作用して、全体として時計まわりに回転することを示した。基本場を合わせた流れのベクトル図は、下流に向かって左側が強く迂回し、八木 *et al.* (1986)の図10とよく似た

\* Note on paper, "Convergent band cloud and 'Cu-Cb line' over Japan Sea affected by topographic features in the coast of the Asian continent."

\*\* Tomonori Matsuura, 茨城大学工学部。

\*\*\* Toshio Yamagata, 九州大学応用力学研究所。

——1986年12月1日 受領——

——1987年2月23日 受理——

\*1 実際は自由境界面だが、鉛直方向の運動がこの境界で阻止されるという意味でこのことばを使っている。

流れのパターンを示している。それに対し、流れの速い場合には、物体背後にできた低気圧性渦が下流へ吹き流されていくことを示した。

回転成層流体中の物体を越える流量と迂回する流量の関係を研究することは非常に重要と考えられる。

## (2) 回転流体中の円柱まわりの粘性流について

(1) で述べたように、八木ら (1986) の大陸山岳上の流れは山岳上に閉じた流線ができることが予想され、逆転層が存在することを考え合わせると 2 次元的な円柱まわりの流れを想定できる。そこで、回転系の円柱まわりの粘性流 (Matsuura & Yamagata, 1985) の観点から考察してみる。まず大気鉛直混合係数  $A_v \sim 10^{-5} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$  (Pedlosky, 1979), 水平混合係数  $A_h \sim 2 \times 10^{-7} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$  (Tsushiyu, 1969; Karman 渦列からの評価) と仮定する。この値より、エクマン粘性の強さ  $\alpha$ , レイノルズ数  $Re$  を見積ると,  $\alpha (=E_k^{1/2}/R_0 \cdot \delta) \sim 60$  ( $E_k = 2 A_v / f_0 H^2 \sim 3.2 \times 10^{-2}$ ,  $\delta = 2 H/L \sim 10^{-2}$ ),  $Re (=UL/A_h) \sim 3.8 \times 10^3$  となる。この値から判断すると  $Re \sim 3.8 \times 10^3$  と大きく、非回転系の実験では、伴流は乱流となるはずである。しかし、 $\alpha$  が大きく、エクマン粘性の効果が大きいと、流れの物体からの剝離は非回転の場合に比べて抑制される (Matsuura & Yamagata, 1985)。したがって、 $Re \sim 3.8 \times 10^3$  のような大きな値でも剝離渦が発生しない可能性がある。

図11(a) (八木ら, 1986) の渦度分布において山岳背後に付着渦がみられる。それは下流に向かって左側に負の渦度、右側に正の渦度分布を示している。この結果は (1) で述べたものによるのか、または水平粘性によって山岳の側面で形成された渦度の移流に伴う双子渦の生成かのどちらかであろうと推測される。後者の場合を想定したとき、負の渦の占める面積が大きいのは非線形エクマン粘性の効果が働いているものと考えるとつじつまが合う。この非線形エクマン粘性は渦位方程式において  $\zeta \frac{\partial w}{\partial z}$  (ここで  $\zeta$  は渦度) の形をとる。したがって、下流に向かって山岳の左側ではエクマン粘性による渦度の減衰を緩和するように作用し、逆に右側ではエクマン粘性による渦度の減衰を強化するように作用する (参照: Matsuura & Yamagata, 1985, 図13)。八木ら (1986)

の図3, 4の  $M_1, M_2$  点は流れの剝離によって、その背後で圧力の上昇が起き、その付近に強い上昇流ができ、そのため雲が形成されている可能性がある。3次元物体におけるエクマン粘性、水平粘性が入った物体まわりの流れはまだ研究されておらず、大気における低気圧の形成、海洋における中規模渦の形成の問題としても非常に興味深い問題である。さらにスケールの大きな惑星ベータ効果が重要となる円柱まわりの粘性流に対しては、Matsuura & Yamagata (1986) が数値的に調べたものがある。

最後に、八木ら (1986) は大陸の山岳を通過する流れが、遠く離れた北陸・山陰地方の大雪の重要な要因となっていることを指摘したが、熱力学過程 (CISK 等) を含む回転成層流体中の物体まわりの流れがこのように人間生活に、深くかかわっているという点で、この方面の研究の重要性を改めて感じている。

## 文 献

- Hide, R., 1961: Origin of Jupiter's Great Red Spot. *Nature*, **190**, 895-896.
- Huppert, H.E. and K. Bryan, 1976: Topographically generated eddies, *Deep-Sea Res.*, **23**, 665-679.
- Matsuura, T. and T. Yamagata, 1985: A numerical study of a viscous flow past a circular cylinder on an f-plane. *J. Meteorol. Soc. Jap.*, **63**, 151-167.
- , 1986: A numerical study of a viscous flow past a circular cylinder on a  $\beta$ -plane, *Geophys. Astrophys. Fluid Dynamics*, **37**, 129-164.
- Pedlosky, J., 1979: *Geophysical Fluid Dynamics*, Springer-Verlag, New York.
- Tsushiyu, K., 1969: The Clouds with the Shape of Karman Vortex Street in the Wake of Cheju Island, Korea, *J. Meteorol. Soc. Jap.*, **47**, 457-465.
- 八木正允・村松照男・内山徳栄・黒川信彦, 1986: 大陸沿岸の地形の影響を受けた日本海上の“带状収束雲”と“Cu-Cb ライン”, *天気*, **33**, 453-465.