

## 冬型気圧配置における大気境界層内の渦動粘性係数

九大総理工 学生会員○福田和代 片岡 治

九大総理工 正会員 松永信博

1.はじめに 大気層は地表面から高度約100mまでの接地層、高度約100mから1000mまでのエクマン層、それより上空の自由大気に分けられる。定常かつ水平方向に流れが一樣で、渦動粘性係数と地衡風速は高度に依らず一定と仮定すると、エクマン層における風速のホドグラフは北半球で高度とともに時計回りに変化するいわゆるエクマンらせんを描く。しかし、エクマン層で観測された風速のホドグラフが常に理想的な仮定の下でのエクマンらせんを描くとは限らない。その理由としては、実際の大気では渦動粘性係数が鉛直方向に一定ではないこと、水平方向の温度差によって鉛直方向に地衡風が変化すること、そして温度成層が存在することなどが挙げられる。Bradford and Branko<sup>2)</sup>は、渦動粘性係数と水平方向の気圧傾度を高度とともに変化したモデルの解が観測値をよく再現できることを示した。

西高東低の冬型気圧配置においては、風向・風速が安定しており、大気境界層における渦動粘性係数を調べるのに適した気象状況である。また、圧力勾配とコリオリ力がバランスした地衡風の評価も比較的簡単である。しかしながら、このような気象条件においてさえ大気境界層内の渦動粘性係数の鉛直分布はそれほど明らかにされていない。そこで、レーウィンゾンデを用いた福岡管区気象台の高層気象観測データから、福岡の冬型気圧配置における高度6kmまでの渦動粘性係数の鉛直分布を調べた。

2.風速分布の特性 本研究では、レーウィンゾンデによる高層気象観測データを用いて高度6kmまでの渦動粘性係数に関する解析を行った。解析に用いられたデータは冬型の気圧配置が形成された1996年12月1日9時における風向・風速の鉛直分布である。図-1(a), (b)は高度 $h_3$ と $h_3$ における風速の絶対値 $G(h_3)$ を用いて無次元化された風速の東西成分 $\alpha$ および南北成分 $\gamma$ の鉛直分布である。ここで、西風を $\alpha > 0$ 、南風を $\gamma > 0$ とする。観測値から $h_3=6000\text{m}$ 、 $G(h_3)=60.0\text{m/s}$ が用いられた。図-1(a), (b)から、 $z < 0.5$ の層は地表面摩擦の影響を強く受け、地表面近傍では大きな速度勾配が形成されている。 $z > 0.6$ の層では、風速は $z$ とともに直線的に増加し、水平温度勾配による温度風が存在していたと推測される。また、これら2つの層の間には速度分布を連続させる遷移層が存在することがわかる。

3.渦動粘性係数に関する解析 現象が定常で水平方向に流れは一樣と仮定すると、 $h_3$ と $G(h_3)$ を用いて無次元化された大気層を支配する運動方程式は以下ようになる。

$$\begin{cases} \alpha \tilde{v} + \frac{\partial}{\partial \tilde{z}} \left( \tilde{K}_x \frac{\partial \tilde{u}}{\partial \tilde{z}} \right) = \alpha \tilde{v}_g \\ -\alpha \tilde{u} + \frac{\partial}{\partial \tilde{z}} \left( \tilde{K}_y \frac{\partial \tilde{v}}{\partial \tilde{z}} \right) = -\alpha \tilde{u}_g \end{cases} \quad (1)$$

$$\alpha = fh_3/G(h_3)$$

$$\text{B.C.} \begin{cases} \tilde{K}_x = \tilde{K}_y = 0.0 & \text{at } \tilde{z} = 0 \\ \partial \tilde{K}_x / \partial \tilde{z} = \partial \tilde{K}_y / \partial \tilde{z} = 0.0 & \text{at } \tilde{z} = 1 \end{cases}$$

ここで、 $\tilde{u}$ および $\tilde{v}$ は風速の東西および南北成分、 $\tilde{u}_g$ および $\tilde{v}_g$ は地衡風の東西および南北成分、 $f$ はコリオリパラメータ、 $\tilde{z}$ は高度、 $\tilde{K}_x$ および $\tilde{K}_y$ はそれぞれ渦動粘性係数の東西および南北成分である。ここで、 $\sim$ は無次元量であることを示す。図-1で示されるように、 $\tilde{z} > 0.6$ における風速分布は直線的に増加しており、このことは自由大気層内において、水平温度勾配が高さ方向に一樣であることを示唆している。従って温度風を考慮した地衡風分布は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} \tilde{u}_g(\tilde{z}) &= \tilde{u}_{g0} + (\tilde{u}_g(1) - \tilde{u}_{g0})\tilde{z} \\ \tilde{v}_g(\tilde{z}) &= \tilde{v}_{g0} + (\tilde{v}_g(1) - \tilde{v}_{g0})\tilde{z} \end{aligned}$$

ここで、 $\tilde{u}_g(1)$ および $\tilde{v}_g(1)$ は $\tilde{z}=1.0$ における地衡風速の東西および南北成分である。 $\tilde{z}=1.0$ における風速を地衡風速とみなし、その層の風速分布を地表面まで直線的に外挿することによって地表面での地衡風速 $\tilde{u}_{g0}$ と $\tilde{v}_{g0}$ を求めた。観測値に基づいて求められた無次元パラメータとして $\alpha_{g0}=0.2$ 、 $\gamma_{g0}=-0.55$ 、 $\alpha(1)=1.067$ 、 $\gamma_g(1)=0.024$ を与えた。また、 $f=8.00 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ を用いた。風速分布 $\alpha$ と $\gamma$ は $0 \leq z < 0.5$ 、 $0.5 \leq z \leq 0.6$ および $0.6 < z \leq 1$ の3層において $z$ の対数関数として与えられた。各層の境界においては、 $\tilde{K}_x$ および $\tilde{K}_y$ は上層と下層でそれぞれ等しい値をもち、フラックス $\tilde{K}_y \frac{\partial \tilde{v}}{\partial \tilde{z}}$ と $\tilde{K}_x \frac{\partial \tilde{u}}{\partial \tilde{z}}$ がそれぞれ上層と下層で等しい値をもつような条件を与えて、式(1)を $\tilde{K}_x$ と $\tilde{K}_y$ について解いた。

図-2(a), (b)に得られた $\tilde{K}_x$ および $\tilde{K}_y$ の鉛直分布を示す。 $\tilde{K}_x$ は地表面付近では $z=0.225$ まで増加し最大値をとったあと $z=0.5$ まで減少している。また、 $z > 0.6$ において $\tilde{K}_x$ はほぼ一樣な分布となる。 $\tilde{K}_y$ も同様に、 $z=0.325$ まで増加し最大値をとったあと $z=0.5$ まで減少している。また、

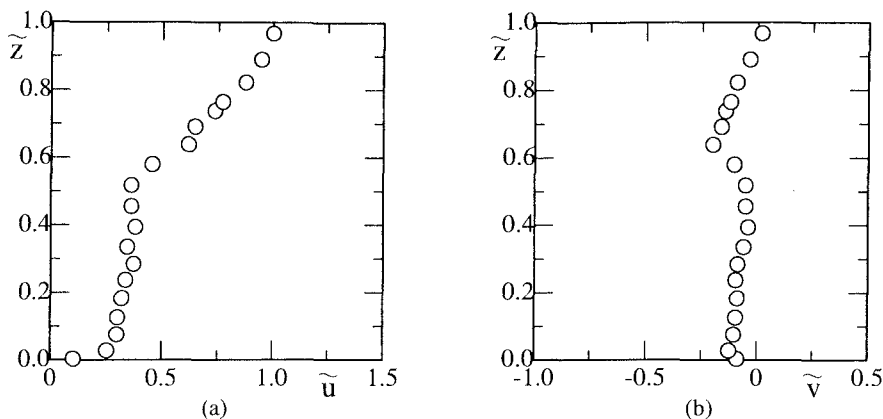


図-1 風速の鉛直分布 (a)  $\tilde{u}$  の分布 (b)  $\tilde{v}$  の分布

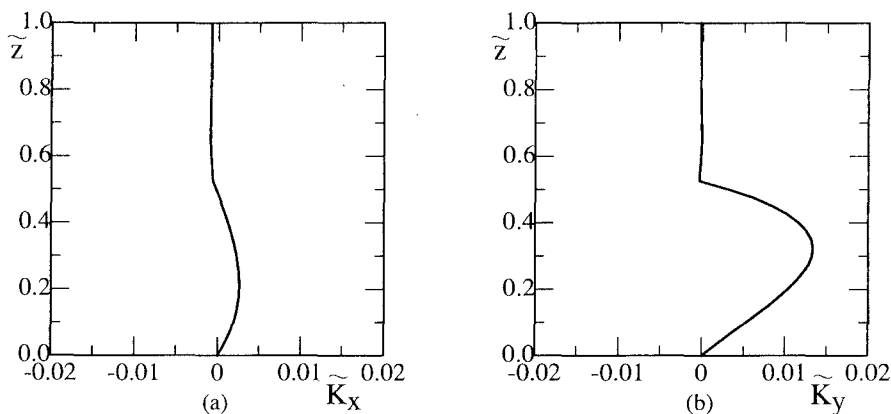


図-2 渦動粘性係数の鉛直分布 (a)  $\tilde{K}_x$  の分布 (b)  $\tilde{K}_y$  の分布

$z > 0.6$  において  $K_y$  はほぼ 0 となる。  $z > 0.6$  の層では、地衡風バランスが成立していると考えられるので、  $K_x$  と  $K_y$  はほぼ 0 になると推測されるが、解析結果は  $K_x < 0$  となっている。これは地衡風速の与え方が  $K_y$  に強く影響を及ぼしたためと考えられる。次に、得られた渦動粘性係数の解析結果と一般的に用いられる渦動粘性係数との値を比較する。接地層においては、風速分布の対数則に基づいて水平方向の渦動粘性係数  $K$  の鉛直分布を表す式として式(2)のような直線分布がよく用いられる。

$$\tilde{K} = \kappa \tilde{u}_* \tilde{z} \quad (2)$$

ここで、  $\kappa$  はカルマン定数、  $\tilde{u}_*$  は  $G(h_3)$  で無次元化された摩擦速度である。レーウイン観測と同時に春日市で行われたドップラーソーダ観測によって得られた風速分布から求められた摩擦速度  $u_* = 1.4 \text{ m/s}$  を用いると、  $\tilde{z} = 0.02$  において  $\tilde{K} = 1.86 \times 10^{-4}$  という値が得られる。図-2(a), (b) から  $\tilde{z} = 0.02$  における渦動粘性係数の値はそれぞれ  $\tilde{K}_x(0.02) = 5.0 \times 10^{-4}$ 、  $\tilde{K}_y(0.02) = 1.0 \times 10^{-3}$  であることがわかる。  $\tilde{K}_x(0.02)$  の値は接地層内における渦動粘性係数の値は式(2)から見積もられる

$K$  と同じオーダーであるが、  $K_y$  は  $K$  よりもオーダーが大きい。この理由として、  $\tilde{u}_{g0} = 0$  を与えると  $\tilde{K}_y(0.02) < 0$  となり、  $\tilde{u}_{g0} > 0.2$  を与えると  $\tilde{K}_y(0.02) > 0$  となることから、地表面付近の  $\tilde{K}_y$  の値が  $\tilde{u}_{g0}$  の影響を大きく受けていることが考えられる。

今後は、地上天気図より地表面における地衡風速  $\tilde{u}_{g0}$  と  $\tilde{v}_{g0}$  を読みとり、地上気象観測の気温のデータを基に水平方向の温度勾配を求めることによって、より正確な地衡風の鉛直分布を与えることが必要であると考えられる。

#### 参考文献

- 1) 例えば、竹内清秀・近藤純正：大気科学講座 1 地表に近い大気，東京大学出版会，pp.42-44, 1994.
- 2) Bradford W. B. and Branko G.: The baroclinic, variable eddy viscosity Ekman layer, Boundary-Layer Meteorology, Vol.87, pp.363-380, 1998.
- 3) 松永信博，福田和代，片岡治：冬型気圧配置における風速の鉛直分布，水工学論文集，第43巻，1999。（投稿中）