

冬季日本海の地衡風と大気境界層についての研究

(株)大隆設計 ○ 正員 佐名木哲二
 長岡技術科学大学 工学部 正員 犬飼 直之
 長岡技術科学大学 工学部 正員 早川 典生

1. 研究目的: 本研究は大気境界層理論を用いて冬季日本海での大気から海上への風の変化を求め、能登半島沖の軸倉島での海上風の観測結果と地上天気図より求めた地衡風により比較検討を行った。

2. 地衡風計算: 大気は風が地上摩擦の影響を受けるか否かにより、大気境界層と自由大気層に大別できる。自由大気中の地衡風は地表面へ近づくにつれて地上摩擦の影響を受け、減衰し風向を変えて海上風となる。図-1 に概念を示す。まず、自由大気中の地衡風を求める。地衡風は次式より求めることができる。

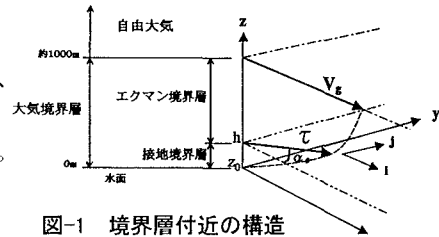


図-1 境界層付近の構造

$$u_g = -\frac{1}{f\rho} \frac{\partial P}{\partial y}, \quad v_g = \frac{1}{f\rho} \frac{\partial P}{\partial x} \quad (u: \text{東西風速}, v: \text{南北風速}, P: \text{気圧差}, f: \text{コリオリ力}) \quad (1)$$

(1)式を使用し、1997年2月1日～28日の6時間毎の地上天気図より能登半島沖の地衡風を計算し、図-2 に能登半島沖の地衡風の計算結果と海上風の観測結果の時系列を示す。観測結果は郵政省より提供を受けた。図より、計算と観測の変化の傾向はよく一致しており、地上天気図より風速を求めることが可能である。次に地衡風の計算結果と海上風の観測結果との偏角を求めた。図-3 に結果を示す。図より海上風は地衡風よりも進行方向左方向に約29° 傾くことが分かった。

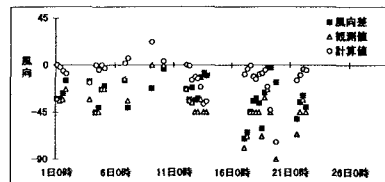
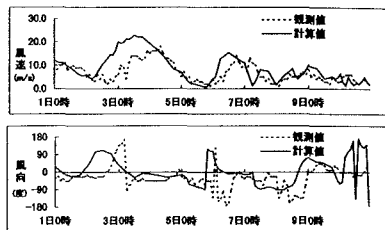


図-2 地衡風(計算)と海上風(観測)の時間変化、図-3 地衡風(計算)と海上風(観測)の風向差

3. 大気境界層理論: 地衡風と海上風の偏角を求めるために Haltiner⁽¹⁾らの大気境界層理論を用いて検討をおこなった。図-1 より、大気中で海面を原点とし、座標系を図のように定義すると、Ekman 層内の水平方向のせん断ベクトル τ は、

$$\bar{\tau} = \rho (K_x \frac{\partial u}{\partial z} \bar{i} + K_y \frac{\partial v}{\partial z} \bar{j}) \quad (K_x, K_y: \text{渦動粘性係数}, \rho: \text{空気の密度}) \quad (2)$$

で表わされる。ここで K_x, K_y, ρ を一定とし、地衡風成分を除いた風速 W を $W = (u + iv) - (u_g + iv_g)$ (u, v : 全体の風速、 u_g, v_g : 地衡風速) と表すと、(2)式は $K \frac{\partial^2 W}{\partial z^2} - i f W = 0$

となる。更に、地衡風を一定 ($u_g=0, v_g=V_g$) とし、境界層高さ h での風速 W_h を用いると、

$$W = W_h e^{-(1+i)B(z-h)}, \quad [B = (f/2K)^{1/2}] \quad (3)$$

となる。ここでは Ekman 層の底面の応力は海面の応力と等しくなり、風のせん断力と平行になるので $\partial(u+iv)/\partial z = \partial W/\partial z$ となり、(3)式は次の様に示することができる。

$$\left(\frac{\partial W}{\partial z}\right)_h = -W_h B(1+i) = W_h B\sqrt{2}e^{-3i\pi/4} \quad (4)$$

図-4 に高さ h における風と地衡風の関係を示す。

これらの風の偏角を α_s とすると、図-4 より次の関係が選られる。

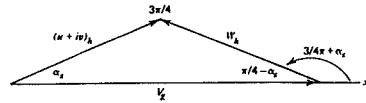


図-4 地衡風と海上風の関係

$$\frac{[W_h]}{\sin \alpha_s} = \frac{V_g}{1/\sqrt{2}} = \frac{|u+iv|}{\sin(\pi/4 - \alpha_s)} \quad (5) \quad |u+iv|_h = \sqrt{2}V_g \sin(\pi/4 - \alpha_s) = V_g(\cos \alpha_s - \sin \alpha_s) \quad (6)$$

図-4 と(5)式より $W_h = \sqrt{2}V_g \sin \alpha_s e^{i[(3\pi/4) - \alpha_s]}$ (7) となる。(3),(7)式より Ekman 層内では

$$u+iv = V_g + \sqrt{2}V_g \sin \alpha_s e^{-B(z-h)} e^{i[(3\pi/4) - \alpha_s - B(z-h)]}, \quad z \geq h \quad (8)$$

となる。また、接地境界層内では対数則を仮定すると

$$u+iv = \frac{u_*}{\kappa} \ln \frac{z}{z_0} e^{ia}, \quad z \leq h \quad (\kappa: \text{カルマン定数}) \quad (9)$$

式(8)と(9)は $z=h$ で等しくなるので、 $(u_*/\kappa) \ln(h/z_0) = V_g(\cos \alpha_s - \sin \alpha_s)$ (10)

となり、Ekman 層内の高さ h における渦動粘性係数 K は $K = \kappa u_* h$ と表せるので、結局(4)式、(5)式より次式を得る。

$$\sqrt{2\kappa u_* h} V_g \sin \alpha_s = \tau/\rho = u_*^2 \quad (11)$$

風向差 α_s は(10)式と(11)式より計算でき、 V_g は(1)より求めることができる。風速がゼロとなる高さ z_0 は Charnock(1955)の経験式 $gz_0 = \alpha u_*^2$ ($\alpha=0.014$)より求めることができる。

4. 計算結果：地衡風の風速を一定とし、北緯 38° で境界層高さ h を変化させ α_s 、 z_0 、 u_* を求めた結果を図-5 に示す。次に $h=50\text{m}$ とし、風速と緯度を変化させた結果を図-6 に示す。

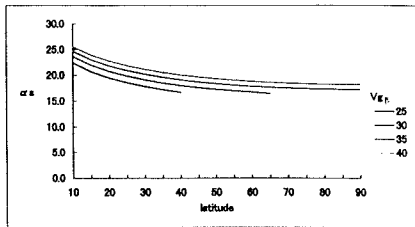


図-5 風向差と境界層高さ、風速の関係

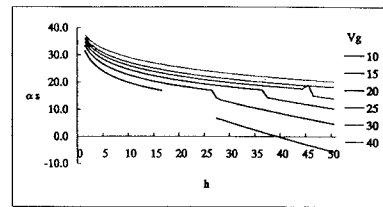


図-6 緯度と風向差の関係

5. まとめ：能登半島沖では、地衡風と海上風の偏角は約 29° であった。大気境界層理論によると北緯 38° 付近では偏角は $20\sim 30^\circ$ であった。中緯度付近では偏角は $17\sim 22^\circ$ である。観測結果と計算結果より偏角 25° の境界層高さはおよそ $10\sim 20\text{m}$ である。

参考文献：

(1) George.J.Haltiner, R.T.Williams; Numerical Prediction and Dynamic Meteorology-second edition, 1979