等 地 衡 風 速 線 と 其 應 用*

矢 木 秀 雄

§ 1. 本文の目的は ageostrophic wind⁽¹⁾ と地衡風との關係を論じ、物理的天氣豫報への基礎とするにある。

§ 2. ageostrophic wind 摩擦を考へに入れない大氣の運動方程式

$$\left. \begin{aligned} \frac{du}{dt} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + lv \\ \frac{dv}{dt} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} - lu \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

から ρ 及 l の水平方向の變化を小さいとすると容易に次の式が得られる。

$$\left. \begin{aligned} u &= -\frac{1}{\rho l} \frac{\partial p}{\partial y} - \frac{1}{l} \left\{ \frac{1}{\rho l} \frac{\partial^2 p}{\partial t \partial x} + u \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\rho l} \frac{\partial p}{\partial x} \right) + v \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\rho l} \frac{\partial p}{\partial y} \right) + w \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\rho l} \frac{\partial p}{\partial x} \right) \right\} - \frac{1}{l^2} \frac{d^2 u}{dt^2} \\ v &= \frac{1}{\rho l} \frac{\partial p}{\partial x} - \frac{1}{l} \left\{ \frac{1}{\rho l} \frac{\partial^2 p}{\partial t \partial y} + u \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{\rho l} \frac{\partial p}{\partial x} \right) + v \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{\rho l} \frac{\partial p}{\partial y} \right) + w \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{\rho l} \frac{\partial p}{\partial x} \right) \right\} - \frac{1}{l^2} \frac{d^2 v}{dt^2} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

今速度變化が遅く、水平方向の加速度のみを考へると (2) は

$$\left. \begin{aligned} u &= u_g - \frac{1}{l} \left(\frac{1}{\rho l} \frac{\partial \dot{p}}{\partial x} + u \frac{\partial v_g}{\partial x} - v \frac{\partial u_g}{\partial x} \right) \\ v &= v_g - \frac{1}{l} \left(\frac{1}{\rho l} \frac{\partial \dot{p}}{\partial y} + u \frac{\partial v_g}{\partial y} - v \frac{\partial u_g}{\partial y} \right) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

茲に u_g 及 v_g は地衡風速の x 及 y 方向の成分を表はし、 $\dot{p}$ は $\partial p / \partial t$ を示す。

此の式は w が小さい時は可なりよい近似式である。上式より u, v を求めると、

$$\left. \begin{aligned} u &= \frac{\left(u_g - \frac{1}{\rho l^2} \frac{\partial \dot{p}}{\partial x} \right) \left(1 - \frac{1}{l} \frac{\partial u_g}{\partial y} \right) + \frac{1}{l} \frac{\partial u_g}{\partial x} \left(v_g - \frac{1}{\rho l^2} \frac{\partial \dot{p}}{\partial y} \right)}{\left(1 + \frac{1}{l} \frac{\partial v_g}{\partial x} \right) \left(1 - \frac{1}{l} \frac{\partial u_g}{\partial y} \right) + \frac{1}{l^2} \frac{\partial v_g}{\partial y} \frac{\partial u_g}{\partial x}} \\ v &= \frac{\left(v_g - \frac{1}{\rho l^2} \frac{\partial \dot{p}}{\partial y} \right) \left(1 + \frac{1}{l} \frac{\partial v_g}{\partial x} \right) + \frac{1}{l} \frac{\partial u_g}{\partial x} \left(u_g - \frac{1}{\rho l^2} \frac{\partial \dot{p}}{\partial x} \right)}{\left(1 + \frac{1}{l} \frac{\partial v_g}{\partial x} \right) \left(1 - \frac{1}{l} \frac{\partial u_g}{\partial y} \right) + \frac{1}{l^2} \frac{\partial v_g}{\partial y} \frac{\partial u_g}{\partial x}} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

小さい項の積を省略すると、

* H. Yagi: Isogeostrophics and their Applications.

(1) ageostrophic wind に関する研究は多いが、實用化されたものはない。

(2) 岡田博士、氣象學礎石の記號を用ふ。

$$\left. \begin{aligned} u &= \left\{ \left(u_g - \frac{1}{\rho l^2} \frac{\partial \dot{p}}{\partial x} \right) \left(1 - \frac{1}{l} \frac{\partial u_g}{\partial y} \right) + \frac{1}{l} \frac{\partial u_g}{\partial x} \left(v_g - \frac{1}{\rho l^2} \frac{\partial \dot{p}}{\partial y} \right) \right\} \left(1 - \frac{1}{l} \frac{\partial v_g}{\partial x} + \frac{1}{l} \frac{\partial u_g}{\partial y} \right) \\ v &= \left\{ \left(v_g - \frac{1}{\rho l^2} \frac{\partial \dot{p}}{\partial y} \right) \left(1 + \frac{1}{l} \frac{\partial v_g}{\partial x} \right) + \frac{1}{l} \frac{\partial u_g}{\partial x} \left(u_g - \frac{1}{\rho l^2} \frac{\partial \dot{p}}{\partial x} \right) \right\} \left(1 - \frac{1}{l} \frac{\partial v_g}{\partial x} + \frac{1}{l} \frac{\partial u_g}{\partial y} \right) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

氣壓變化が無視出来るときは,

$$\left. \begin{aligned} u &= \left(u_g - \frac{1}{2l} \frac{\partial q^2}{\partial y} \right) \left(1 - \frac{1}{l} \frac{\partial v_g}{\partial x} + \frac{1}{l} \frac{\partial u_g}{\partial y} \right) \\ v &= \left(v_g + \frac{1}{2l} \frac{\partial q^2}{\partial x} \right) \left(1 - \frac{1}{l} \frac{\partial v_g}{\partial x} + \frac{1}{l} \frac{\partial u_g}{\partial y} \right) \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

茲に q は地衡風速を示す. 更に地衡風速傾度が緩であると非常に簡単になる. 即ち

$$\left. \begin{aligned} u &= u_g - \frac{1}{2l} \frac{\partial q^2}{\partial y} \\ v &= v_g + \frac{1}{2l} \frac{\partial q^2}{\partial x} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

之等の式から ageostrophic wind velocity が求められる. 一般には (5) 式を用ふるのであるが, 計算が相當厄介であるから地方的に利用するのがよい. 全般的には多少正確度は落ちるが, (7) を Isallobars と併用するのが便利である. (7) 式から ageostrophic wind は等地衡風速線に平行に高い方を右に見て吹き, その速度は q^2 の傾度に比例することが分る.

§3. 天氣の目安 連續の方程式

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (3.1)$$

を z_1 から z_2 まで積分すると

$$(\rho w g)_{z_1}^{z_2} = \left(\frac{\partial p}{\partial t} \right)_{z_1}^{z_2} - g \int_{z_1}^{z_2} \left(\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} \right) dz \quad (3.2)$$

右邊第 1 項は第 2 項に比較して小さいから省略し, ρ の水平傾度も無視すると (3.2) 式は結局

$$\begin{aligned} \bar{w} &\doteq - \overline{\left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right)} (z_2 - z_1) \\ &\doteq - \overline{\left(\frac{\partial u'}{\partial x} + \frac{\partial v'}{\partial y} \right)} (z_2 - z_1) \end{aligned} \quad (3.3)$$

茲に u' 及 v' は ageostrophic wind の x, y 成分を示し, 又 $\bar{w}$ 及 $\overline{\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y}}$ は z_2 と z_1 の間の層の平均値を意味する. (3.3) 式に依つて發散量が天氣のよい目安になることが知れる.

§2 の結果から氣壓變化が小さければ等地衡風速線の發散する所や谷にあたる所では上昇氣流があり, (3.3) 式に依り $\bar{w}$ が計算され, それに依つて降水量も大體計算出来る. 唯注意を要するのは以上の結果は瞬間の値であるから, たとへ收斂があつても, その時刻前に晴れてゐれば急には雲が

出来ない。即ち前の天氣に關係するのである。此の事は本文の方法が數時間後の天氣豫報をも含んでゐる事を示すものである。

§4. 作業上の注意 此の方法が全く等壓線に依存してゐる以上、地上の等壓線と等溫線は出来るだけ材料に忠實に畫くことは勿論、推算等壓線を畫く場合にも、實測の有無に關せず、緯度、經度 2 度毎位に氣壓を推算する必要がある。推算等壓線は從來割合等閑視され、定性的議論以外には用ひられなかつたのであるが、上層 2 千程度迄の場合には定量的な問題にも使へるものと思ふ。

§5. 應用例 今回は氣壓變化が無視される場合を示し、一般の場合は次に譲ることにする。

例 (1) 昭和 16 年 7 月 4 日 12 時の天氣圖 (第 1 圖) をとる。著者の天氣豫報が外れた日である。第 2 圖は地衡風速分布を示す。圖を見ると岩手縣から秋田沖にかけて水平氣流の收斂あり、此の收斂域の西にある發散域の到着には 6 時間位はかかるものと考へられる。又圖から收斂量を計算すると地上で 1.3×10^{-5} となり、岩手山の雲高觀測より收斂層の厚さを約 2 千と假定すれば平均 0.7×10^{-5} となり、(2.3) 式より $\bar{w}$ として 1.4 cm/sec となり、2 mm/6 hours の降水量に相當し、12 時以前には曇であつたから全部が雨になつたと考へてよい。此の日の觀測に依ると雨は 13 時に降り出し、18 時には殆んど歇み、その間 4 耗の降水があつた。之れと推算値と比較すると此の方法が可なり使へることが分る。

例 (2) 昭和 16 年 7 月上旬梅雨としては多過ぎる雨が連日北九州に降り、最も多かつたのは 7 月 8 日の 12 時から 18 時の間で、北九州で 30 耗内外、山陰道で 20 耗位の降雨があつた。第 3 圖は 7 月 8 日 18 時の地上、1 千、2 千の等壓線と、それから計算した等 q^2 線を示す。此の日は曇天又は雨天の所が多かつたので推算等壓線には甚だ都合がよい。地上の天氣圖を見ると風の不連續線は判然としませんが、氣溫分布から見て、此の雨が不連續面に依る雨であることは想像出来る。然しそれのみでは説明出来ない。所が等 q^2 線を見ると、北九州と中國地方では顯著な收斂があるのが分る。又支那東海にても等 q^2 線の發散、收斂が天氣とよい關聯を持つてゐるのが知れる。

今各層の等 q^2 線から前例と同様北九州の降水量を推算すると 3.6 mm/hour となり、實測の 6 mm/hour と可なりよく合ふ。

第 1 圖 昭和 16 年 7 月 4 日
12 時天氣圖

第 2 圖 等 q^2 線

第 3 圖 地上, 1 料及 2 料に於ける等壓線と等 Q^2 線 (昭和 16 年 7 月 8 日 18 時)

第 1 例, 第 2 例共に推算値が實測値より少なく出てゐるが, 之は濕つた空氣が上昇する結果大氣が不安定になることを考へてゐないからであつて, 降雨を論ずるには先づ力學的に, 後に熱力學的な考察を要するのである. 従つて本文の方法に熱的效果を加へれば, 海上に於ける降雨量が推算出来るから, 東北地方の様に日本海 of 材料を必要とする所では等地衡風速線は特に重要である.

本例の様に不連続線に依る豪雨の多くは不連続面自身に依る收斂以外の水平氣流の收斂が上層にある時に起るものと思はれるが之れに就いては更に調査を要する.

§ 6. 結 語 本文では等地衡風速線なるものを考へ, 之れに依つて, 梅雨期の様に一般に氣壓變化も地衡風速傾度も緩なる場合には, 簡単に收斂, 發散が見出せることを示したのであるが, 一般的な場合にも此の地衡風の場に依る加速度の項が, 氣壓偏差の場によるものと共に最も重要なものである以上, 等地衡風速線は天氣豫報技術上 Isallobars と同等に取り扱はるべきであつて, 或る場合にはそれ以上に効果的なものである.

天氣豫報に理論氣象學の結果を取り入れることは吾々天氣豫報技術者の急務であり, 本文はその基礎となるものの一部分であるが, 著者は更に一般的な方法に就いて研究し, 色々な問題に應用して行きたいと思つてゐる.

本文を草するに當つては先輩盛岡測候所長中田良雄氏の激勵に負ふ所大である. 茲に記して謝意を表す.

(昭和 16 年 8 月 盛岡測候所にて)

毛髪湿度計のヒステレシス現象について*

井 上 直 一**

緒 言

氣溫の廣い範圍に亘つて使用出来る湿度計, 特に低溫に於て使用可能な湿度計の考案が目下要望されてゐる. 從來零度以下の場合には, 他に適當な品がないといふ理由で毛髪湿度計がよく使はれてゐるが, その誤差は可成り大きいのである. 毛髪湿度計を低濕で使用した後は若干の伸びが残り, 飽和濕度中に相當時間放置しなければ恢復しないといふ事が既に古くから知られてゐる.⁽¹⁾ 低溫に於ける毛髪湿度計の誤差は主としてこの現象に關係するものではなからうかと考へ, それが起る範圍及び程度を調べて見た.

* N. Inoue: On the Hysteresis Phenomena of the Hair Hygrometer. (中谷宇吉郎氏紹介)

** 北海道帝國大學理學部物理學教室.

(1) E. Griffiths, Proc. Phys. Soc. London 34 (1921), special number "A discussion on hygrometry" p. 30.