

地衡風解説の誤りとその是正について*

高橋 正 吾**

1. まえがき

ペッターセンの気象学入門¹⁾で地衡風について誤った解説があり、日本でもこれを引用²⁾したものがあ

る。またコリオリ力の影響した現象として、円形低気圧に空気がらせん状に流れ込むことを取り上げているのは良いとしても、その解説に誤りのある物理学の教科書³⁾や読本⁴⁾があるので、これらの誤った解説が改版の機会に是正されること望み本文を記した。

2. ペッターセンの気象学入門の場合

上記入門書ではつぎのように解説している。

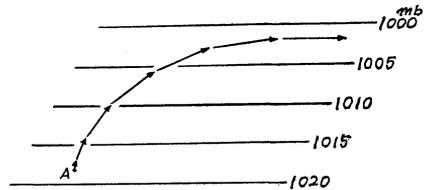
第1図のように、一定の気圧場（等間隔で平行な等圧線場）で、静止の状態から動き出した空気塊の運動は、低圧側に次第に速度を増してゆくが、その速度に比例した偏向力が運動に直角に右に働くから右曲りが進行し等圧線に沿った流れになり、気圧傾度力と偏向力が釣り合うようになる。これが地衡風である。

ところで、上記の解説は一見もっともらしいが、これを裏付ける理論も観測事実もない。そこでこの解説の適否を見るために、上記解説に採用されている力学要素だけで運動式を構成しその解を求めて見るとつぎのようになり、上記の解説が間違っていることが明らかになる。

単位質量の空気塊に着眼し、その運動式を求めれば

$$\left. \begin{aligned} \frac{du}{dt} &= G_x + fv = -fv_g + fv \\ \frac{dv}{dt} &= G_y - fu = fu_g - fu \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

ここで u, v は速度の各成分、 G_x, G_y は気圧傾度力の各成分、 u_g, v_g は地衡風の各成分、 f はコリオリ因子 ($2\Omega \sin \varphi$) で G_x, G_y および f は何れも一定とする。また $G_x = -fv_g, G_y = fu_g$ は地衡風を定義したもので、気圧傾度力と偏向力が釣り合い、等圧線に沿った風である。



第1図 Petterssen による解説

If a parcel of air at A starts from rest, it will first be accelerated across the isobar and then be deflected by the Coriolis force so that it tends to move along the isobars (Northern Hemisphere).

さて (1) 式は u, v についての連立一階微分方程式で、これより u, v についての解を求めて見る。後者に虚数単位 i を乗じ和をとって

$$\frac{d}{dt}(u+iv) = if(u_g+iv_g) - if(u+iv)$$

いま $w = u+iv, w_g = u_g+iv_g$ とすれば

$$\frac{dw}{dt} + ifw = ifw_g \dots\dots\dots (2)$$

これを解いて (右辺を0とした解を求め、つぎに $w = w_g$ の特解を加えれば手取り早い)

$$w = Ce^{-ift} + w_g \dots\dots\dots (3)$$

C は常数 (複素数を含む) で、初期条件で決まる。いま $t=0$ で任意の風速 u_0, v_0 が与えられたものとし、 $w_0 = u_0 + iv_0$ のように表わせば

$C = w_0 - w_g$ となり (3) 式は

$$w = (w_0 - w_g)(\cos ft - i \sin ft) + w_g$$

実数部、虚数部に分けてそれぞれの等式を求めれば

$$\left. \begin{aligned} u &= (u_0 - u_g)\cos ft + (v_0 - v_g)\sin ft + u_g \\ v &= (v_0 - v_g)\cos ft - (u_0 - u_g)\sin ft + v_g \end{aligned} \right\} \dots\dots (4)$$

つぎに、上式を t で積分 ($t=0$ で原点) すれば運動してゆく空気塊の経路が求まる。すなわち

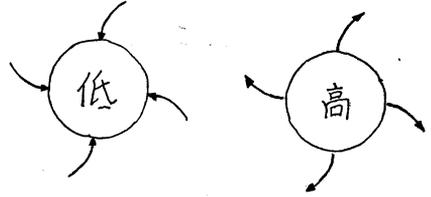
* Comments on the introductory explanation of geostrophic wind.

** S. Takahashi

—1975年11月18日受領—

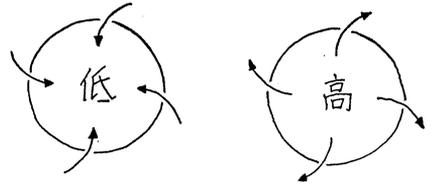
—1976年2月23日受理—

$$\left. \begin{aligned} x &= \frac{u_0 - u_g}{f} \sin ft - \frac{v_0 - v_g}{f} \cos ft \\ &+ u_g t + \frac{v_0 - v_g}{f} \\ y &= \frac{v_0 - v_g}{f} \sin ft + \frac{u_0 - u_g}{f} \cos ft \\ &+ v_g t - \frac{u_0 - u_g}{f} \end{aligned} \right\} \dots\dots(5)$$



第2図 堀・大野による解説

本来なら低気圧の中心に向かって一直線にやってくるはずの気流は右へそれながら中心に向かってまきこまれる。



第3図 福田・宮島による解説

台風の中心に向かって吹きこもうとする気流はコリオリ力によって南半球では右にそれながら中心に近づき結局反時計まわりのウズをつくって中心をまわる (筆者注：南半球は北半球の誤り)

容易に説明できる⁵⁾。

摩擦力として、風向きと反対方向にそして風速に比例した力が働くものとすれば運動式は

$$\left. \begin{aligned} \frac{du}{dt} &= G_x + fv - ku = -fv_g + fv - ku \\ \frac{dv}{dt} &= G_y - fu - kv = fu_g - fu - kv \end{aligned} \right\} \dots(7)$$

ここで k は摩擦係数で正の値。上記の式は u, v についての連立一階微分方程式であるから前節と同じ要領で解が得られる。その結果を示せばつぎのようになる。

$$\frac{dw}{dt} + (if+k)w = ifw_g \dots\dots(8)$$

$$w = ce^{-(if+k)t} + \frac{if}{if+k} w_g \dots\dots(9)$$

C は初期条件で定まる常数、右辺第2項がいわゆるグールドベルグ・モーン⁶⁾の式といわれる風で、気圧傾度力、偏向力、摩擦力の釣合ったもので幾何学的表示の方が判り易い。

なお(9)式の特徴は、初期条件がどうあろうと時間経過とともに右辺第1項は0に近づき、最終的には第2項の摩擦風になる^{5,6)}。

また最初から初速として摩擦風を与えれば(9)式の

ペッターセンによる解説では、空気塊は静止の状態から動き出すから $u_0=0, v_0=0$ 、また x 軸を等圧線に沿ってとってあるから $v_g=0$ の場合に相当する。この場合の運動する空気塊の経路は

$$\left. \begin{aligned} x &= -\frac{u_g}{f} \sin ft + u_g t = \frac{u_g}{f} (ft - \sin ft) \\ y &= -\frac{u_g}{f} \cos ft + \frac{u_g}{f} = \frac{u_g}{f} (1 - \cos ft) \end{aligned} \right\} \dots\dots(6)$$

これはサイクロイドである。つまり静止から動き出した空気塊は第1図のようににはならない。よってペッターセンによる解説図は誤りということになる。

それでは(1)の運動式を踏まえて、地衡風を正しく解説するにはどうすればよいか。それは、初速に地衡風を与えればよい。すなわち(4)式で $u_0=u_g, v_0=v_g$ とすれば u, v は時間に関係なく $u=u_g, v=v_g$ となる。このことは(1)の運動式そのものからもいい得ることで、要するに気圧傾度力と偏向力が釣合っていること、そのままの風(地衡風)が継続する。従って、この平衡状態を記述すれば、それが賢明でかつ間違いのない解説ということになる。

3. 堀・大野の物理学総論および朝永の物理学読本の場合

上記の物理学総論上巻³⁾および物理学読本(第2版⁴⁾)では、円形気圧場に流入あるいは流出するらせん状の気流は、気圧傾度力と偏向力によるものとして説明している(第2図、第3図)が、これらには何れも難点がある。

無難な解説は、前節に述べたように平衡状態すなわち、この場合は気圧傾度力、偏向力および遠心力の三つの釣合った傾度風の解説に止めればよい。らせん状の気流を論ずるには、(1)の運動式に摩擦力を導入し、気圧傾度力と偏向力および摩擦力の三つの力の釣合った風(グルトベルグ・モーン⁶⁾の式、1876)が必要である。この風は等圧線を一定の角度で横切って低圧側に吹くから、円形等圧線場では指数らせん状の気流になることが

Cは0になり、そのままの風となるから、平衡状態を記述することがこの場合もやはり賢明な解説ということになる。

文献

1) Petterssen, 1958: Introduction to Meteorology, 好学社, 152.

- 2) 斎藤鍊一, 1968: 気象の教室, 東京堂出版, 137.
- 3) 堀 健夫, 大野陽朗, 1970: 物理学総論上巻, 学術図書出版社, 107.
- 4) 朝永振一郎編, 1970: 物理学読本, みすず書房, 30 (この項は福田・宮島).
- 5) 筆者, 1971: 気象学100年の進歩, 気象研究ノート 106 (日本気象学会), 61~64.
- 6) 筆者, 1967: 地衡風卓越の原理, 天気, 14, 69.

第18期 第14回常任理事会議事録

日時 昭和51年2月23日(月) 14.00~16.30

場所 気象庁東京管区気象台会議室

出席者 磯野, 小平, 浅井, 朝倉, 大井, 奥田, 神山, 河村, 高橋, 二宮, 野本, 丸山, 各常任理事

報告

〈庶務〉

「天気」および「大会予稿集」の広告掲載に関し、株式会社科学技術社と2月10日契約書を取り交わした。

〈地物研連〉

日本学術会議第10期地球物理学研究連絡委員会委員(測地, 地震, 地球電磁気, 気象, 陸水, 海洋, 火山の7分科会)の初会合が2月18日日本学術会議において行われ, 全体の委員長に磯野謙治理事長が選ばれ, 気象分科会委員長には, 岸保勘三郎会員が選ばれた。

磯野理事長から気象学会と気象分科会とが連絡を密にするとの発言があった。

〈気象集誌〉

ページチャージの改訂は, 54巻2号の分から実施する。

議題

1. 学会賞, 藤原賞の受賞候補者推薦について

1月29日気象庁海洋気象部会議室で推薦委員会を開き各候補者を選定した。候補者は次のとおりであるが選定規定により全理事の書面審査により決定する。

学会賞 廣田 勇 (京都大学助教授)

学会賞 近藤 純正 (東北大学助教授)

藤原賞 和田 英夫 (函館海洋気象台長)

学会賞が2名推薦されているが, 付帯決議として次回からは, 必ず1件を推薦することを確認。

2. 学会賞, 藤原賞の受賞者選定基準について

岡田賞, 藤原賞は, 受賞内容が同じであるため, 岡田賞を受賞したものには藤原賞は出さない。

また, 学会賞, 藤原賞は, 同一人物に出せることを申

し合わせた。

3. 奨励金

奨励金の受賞者に気象庁以外のものが入りやすくなるよう委員会で配慮する。また, 金額は15万円(1件5万円)として学会財政に余裕が生じたら1件7万円に上げるよう考慮する。

4. 昭和51年度予算(案)について

担当理事から昭和51年度予算(案)について説明があった。大要は次のとおり。

(1) 会費は順調に, はいってきているので前納率95%として収入を見込んだ。

(2) 会員については, 不況を反映してか団体で減少しているのが目立っている。

(3) 広告代1,690,000円の収入増を見込んだ。

(4) 支出では, 郵便料の値上げにより郵便料2.5倍, 郵送料60%アップとして計上した。

(5) 事務費は, 10%アップを見込んだ。

(6) 学会賞, 藤原賞の賞金は, 物価高の折柄1件7万円として計上する。

5. 構造物の耐風性に関する第4回シンポジウムの運営委員の推薦について

次の2名を推薦することを了承。

竹内 清秀 会員

根本 茂 //

6. 総会の提出議題について

学会賞, 藤原賞の賞金の増額について。

7. その他

(1) 夏季大会の運営について

講演企画委員会がタッチするが, 独立した機関でやるようにする。

(2) 昭和51年度秋季大会におけるシンポジウム(地形と豪雨)について

開催地である中部支部からの申し出を了承。

承認事項, 黒田雄紀ほか13名の入会を承認。