

コリオリの力の初心者向き解説に当たっての問題点*

高橋正吾**

1. まえがき

コリオリの力 (Coriolis force) を初心者向けに解説することは、筆者も職務柄いろいろと工夫したり、また市販教科書にある解説の是非なども検討し教育方法論的立場から、気象学会例会 (気象教育) で講演したこともあります。このような関係もあって、前記寺田氏の解説に関連して一筆書くことになりました。何かの御参考になれば幸いです。

2. “緯度圏列車” のたとえ

前述の寺田氏による“緯度圏列車”のたとえによる解説方法は、既に1940年大谷東平氏によって岩波新書“暴風雨”に全くの平文で大変判り易く書かれて居ります (同書33~36頁)。ただし寺田氏の場合は緯度圏に平行した等圧線の気圧場を与えていますが、この点が大谷氏の場合と違っていません。コリオリの力が現われてくることを説明するのには、別に気圧傾度力即ち気圧場は必要としないのですから、現象の本質を理解させるにはむしろ気圧場は与えないほうがよいのではないのでしょうか。

ところで大谷、寺田両氏の解説では何れも「……このことは緯度圏に沿っての運動即ち東、西風についても同様で、従ってどの方向の風についても常に、北半球では風速に直角に右へ見かけ上の力 (加速度) が働く。この力をコリオリの力という……」とう形にまとめられています。このようなまとめ方は、数式や図なども用いないで、かつ制限ある紙面内で初心向に解説しようとする場合は止むを得ないことでしょう。しかし読者は、経度に沿って運動する南、北風については“緯度圏列車”のモデルから容易に理解できて、緯度圏に沿って運動する東、西風についてはどのようなモデル列車を考えればよいのかが判りませんから類推に行きづまりを感じることを思っています。

3. “緯度圏円錐キャップ” のモデル

前述の行きづまりを解決するため、いま任意の緯度圏

から上半分 (北側) を頭の部分に見立て、下半分 (南側) を顔の部分に見たて、頭に丁度ピッタリするトンガリ帽 (円錐キャップ) をかぶせます。つぎにこれを外し、切りひらいて得られる扇形紙面の半径、扇形部縁辺の円弧の長さ、扇形部分の角度などは初心者でも計算できる (地球の半径を R , 自転の角速度を ω , 緯度 φ とすれば扇形の半径は $R \cot \varphi$, 円弧の長さは $2\pi R \cos \varphi$, 角度は $2\pi \sin \varphi$)。そして緯度 φ の地点は、この扇形部で考えれば、一昼夜の間に扇形の縁辺部を廻わることになって、北の方向も東の方向も即ち座標軸が $\omega \sin \varphi$ の角速度で廻っていること、また前述の“緯度圏列車”が何に相当しているのかも理解できます。結局のところ“緯度圏列車”のモデルは“廻転する円板上で中心に向かってほうり出されたボール”に移行します。

4. 結語

(イ) 大部分の教科書では“廻転する円板の中心からほうり出されたボールの運動”のモデルを用いていますが、読者はこれを理解しても、この円板上の任意点からほうり出された場合を理解することは難しいものと思われれます。とにかく廻転座標に立脚した解説は案外手間がかかります。しかも最終的には不完全に終わります (実際の運動は地球表面に沿ったもので、平面上の運動でないため)。

(ロ) 以上のことを考えますと、数式の使用をどれだけ少なくして済むかという問題は残りますが、桜庭・小笠原氏共著の気象学通論 (1959年、いづみ書房、121~123頁) のように、地軸を中心とした廻転によって生ずる遠心力の水平成分より $\frac{dv}{dt} = -fu$ が得られ、絶対角運動量の保存則より $\frac{du}{dt} = fv$ が得られるという解説の方が完全で、結局はこの方が賢明な解説方法ではないかと思えます。

(注) 筆者の目を通した範囲では上記の解説を用いているのは同書だけで、筆者はこの解説を大いに普及させたいと考えています。なお同書は再版されていないため入手が困難のようですから、読者の便を考え同書による解説をつぎに追記しておきます。

* Elementary Comments on “Coriolis Force”

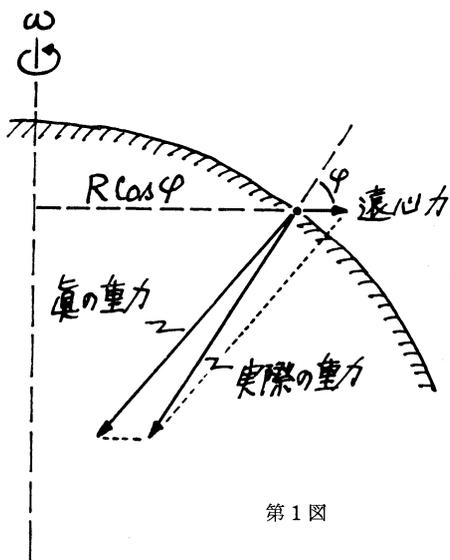
** S. Takahashi 気象大学校

—1967年12月7日受理—

(追記)

(イ) まず地球上に静止している単位質量の粒子(空気塊, 水塊など)を考えよう. この粒子は地球に対しては運動していないが, 地球と一緒に一定の速度 $\omega R \cos \varphi$ で廻転しているから, 地軸に直角な方向すなわち空間に向って遠心力 $\omega^2 R \cos \varphi$ が働く. しかしこの粒子は空間に飛び出さない. これは遠心力と真の重力の合力が, その場所の重力場を形成し平衡状態にあるからである.

(ロ) いま地球上に沿って運動する粒子を考え, その速度の緯度圏成分を u (西風を正), 経線成分を v (南風を正) とにわけて, それぞれを論ずることにする.



第1図

(ハ) さて地球上で静止して地球と一緒に廻転している粒子には $\omega^2 R \cos \varphi$ の遠心力が生ずるが, これは重力に加算され問題はない. いま西風成分 u があることによって遠心力はどのように変わってくるかというと, 絶対速度は $\omega R \cos \varphi + u$ となるから遠心力は

$$\frac{(\omega R \cos \varphi + u)^2}{R \cos \varphi} = \omega^2 R \cos \varphi + 2\omega u + \frac{u^2}{R \cos \varphi}$$

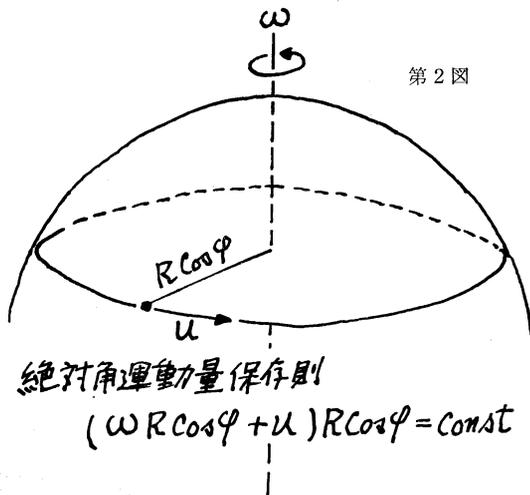
となつて, u があるため上式右辺の第2, 第3項分だけ増加してくる. 第1項は静止のときのもので重力に加算されているので問題がない. 問題は u によって新たに生じた分であるが, これの鉛直成分はやはり重力に加算されるので問題はない. 問題になるのが水平成分で, 南方に向うこの分力(第1図)によって粒子は南方に加速されると考えればよい. これを式で示せばつぎのようになる.

1968年1月

$$\left(2\omega u + \frac{u^2}{R \cos \varphi}\right) \sin \varphi = -\frac{dv}{dt}$$

$$\text{或は } \frac{dv}{dt} = -fu - \frac{u^2}{R \cot \varphi} \doteq -fu$$

ここで $f=2\omega \sin \varphi$ でコリオリ係数, 第2項は地球の曲率によるものだが極付近を除けば一桁以上小さいので省略できる.



第2図

(ニ) 地球上で粒子が静止していても, この粒子は地球と一緒に廻転しているから $\omega R^2 \cos^2 \varphi$ の角運動量を保有している. そしてこの粒子が廻転半径の小さい高緯度側に移れば, 廻転速度が大になって西風が現われてくる. これは絶対角運動量保存によるものである. いま西風成分があれば, このときの絶対速度は $\omega R \cos \varphi + u$ であるから絶対角運動量は(第2図)

$$(\omega R \cos \varphi + u) R \cos \varphi = \omega R^2 \cos^2 \varphi + u R \cos \varphi$$

となる. そしてこの値は絶対角運動量保存の法則によって一定である. したがって粒子が北或は南側に移行し緯度が変わつても一定であるから, 廻転半径の変化に応じ絶対速度が変わり, u の値も変わってくる. これらの変化すなわち増減関係は上式を時間で微分すれば求まる. 時間で微分するということは

$$v = \frac{Rd\varphi}{dt} \text{ 或は } v\Delta t = R\Delta\varphi$$

で微小距離だけ南北に変位させてみることであるから, このことを考慮に入れて上式を t で微分し0とおけばよい. したがって

$$-2\omega R^2 \cos \varphi \sin \varphi \frac{d\varphi}{dt} + \frac{du}{dt} R \cos \varphi$$

$$-u R \sin \varphi \frac{d\varphi}{dt} = 0$$

整理すると

$$\frac{du}{dt} = fv + \frac{uv}{R \cot \varphi} \approx fv$$

ここで $f = 2\omega \sin \varphi$ でコリオリ係数、第2項は地球の曲率によるものだが極付近を除けば一桁以上小さいので省略できる。

(ホ) 以上のようにコリオリの偏向力は厳密には

$$\frac{du}{dt} = \left(f + \frac{u}{R \cot \varphi} \right) v$$

$$\frac{dv}{dt} = - \left(f + \frac{u}{R \cot \varphi} \right) u$$

となるが、地球曲率による項は極付近を除けば一般には省略できるので

$$\frac{du}{dt} = fv, \quad \frac{dv}{dt} = -fu$$

となり、速度 V に対し北半球では直角に右へ fv の加速度が働くことになる。

参考：コリオリの力についてのコメントが下記の文献にも出ています。

Lesie, F. R., 1967: Comments on "Coriolis forces", Bull. Amer. Meteor. Soc. **48**, 103~104.
Baker, D. G., 1967: Further comments on "Coriolis forces", Bull. Amer. Meteor. Soc. **48**, 458.

(天気編集委員会)

理 事 会 便 り

第 14 期 第 15 回 常任理事会

日 時：12月6日、15時～20時

場 所：気象庁予報部長室

出席者：斎藤，間野，中野，倉石。（以上評議員）高橋
監事：島山，朝倉，小平，北岡，桜庭，岸保，
根本，須田。（以上理事）

議 頭

1. レーダの用語について

さきの理事会の決議に基き、小平理事が調べた結果が報告された。すなわち、「文部省学術用語集電気工学編では、レーダとなっている。これは10数年前電気工学の学術用語を制定するときに決められたものである。

これによれば、トランジスタ，コンデンサ，フィルタなどとなっている。

通信学会，電気学会もレーダに統一されている。気象学用語辞典ではレーダーで，気象学会では二通りのものが用いられている。」

以上の状況に基きレーダに統一の件が審議されたが，さらに物理学会など関係学会の実状を調べてから決定することになった。

2. GARP 報告書の価格について

前回，山本理事から提案された上記報告書につい

て，実費として1部100円で希望する会員に配布することになった。

3. 選挙管理委員長の委嘱

気象庁海上気象課長の河村会員に委嘱することになった。

4. 事務局の強化について

印刷物の販売などで収入を殖やせる可能性があるため，この収入の範囲で，事務局に事務職員1名増強したい旨提案があり，可決された。なお給与などの細部は理事長と庶務担当理事に一任することとなった。

5. 事務局員に対する謝礼について

増加一方の事務を薄給にもかかわらず，よく整理し遂行された中島事務局員に今迄（約2年間）の超勤手当を出したい旨提案，7万円支給することに決定。

6. 学生会員の会費問題について

臨時総会で，今後の問題として早急に検討することになった上記の事項については，学生から具体的な意見を聞き，さらに地方理事などの意見も集め，3月頃全国理事会を開いて総会に出すかどうか審議するという段取りを決めた。