

風のいろいろ

廣 田 勇*

1. 風の文化

本誌の新しい企画として「気象のABC」を連載することになりました。「気象学の入門講義」という堅苦しい気持ちからは離れて、まずは気楽に楽しく読んで下さい。自然科学としての気象学のことは最後のほうに少しだけ触れます。

人類の長い歴史のなかで、日々の生活の基盤である衣食住には、周囲にある自然の物事、たとえば動植物を育む太陽や水や空気存在がきわめて大切なものとして意識されてきました。やがてそれは、さまざまな言葉や概念を媒介として人類の「文化」を生み出すことに繋がってきました。ここでは、その実例のひとつとして「風」について考えることから始めましょう。

皆さんは「風」という言葉を聞いてまずどんな事柄をこころに思い浮かべるでしょうか。文科系の学生さんなら、「アテネの風の塔」に記されているギリシャ神話の風の名前を思い出すことでしょう。次いで、ボッティチェリの名画「ヴィーナスの誕生」に描かれている花びらを吹き散らして春を運ぶ西風ゼヒュロスの姿を想起するかも知れません。気象学以前の歴史のエピソードとしては、中世の大航海時代にコロンブスが低緯度に吹く東よりの風（いわゆる熱帯貿易風）をサンタマリア号の帆にはらんで大西洋を西に進み、新大陸を発見したことはあまりにも有名です。

一方、文学がお好きな方ならば、万葉集や王朝和歌のなかの風を詠んだ名歌の数々を立ちどころに口ずさむことができるはず。もちろん西洋にもたとえばロッセティの「風を見た人」のように人口に膾炙している名詩がたくさんあります。シエクスピアならさし

ずめ「テンペスト」でしょうか。ポピュラー音楽にも、アメリカ映画「華麗なる賭け」の主題歌「風のささやき」のような心の琴線に触れる名曲がいろいろあります。

日本語のなかで風に因んだ慣用句といえば、「どういう風の吹きまわしか」とか「風の便り」などなど、これはもう中学生でも十くらいはすぐに言えるでしょう。さらに、風土・風景・風刺・風格・風貌など、吹く風とは直接にはつながらないように見える言葉でも、その根底にはやはり実際に吹く風と関係があるようです。

このように、「風」という物事（現象）は人々の生活や文化と様々な形で非常に深いかかわりを持っています。そしてこのようなもの見方は「気象」そのものを考える上でもきわめて大切なことなのです。

2. 風のはたらき

日々のテレビの天気予報（気象情報）番組では、まず日本付近の天気図（気圧配置）から始まり、晴雨寒暖の次に風向風速が示されます。今日は西高東低の気圧配置が強まり冷たい北風が吹く、あるいは本州南岸の前線に向かって南から暖かく湿った風が吹き込む、といった説明の類です。台風接近時の暴風警報や漁業・農業・土木工事などの屋外作業に対する注意報は別としても、日々のお天気における風の情報を伝える意味（価値）は何でしょうか。雨や低温の予報に合わせて少し厚着をし傘を持って外出する、という実用的なご利益のほかに、春のそよ風に満開の桜が散るとか木枯らし1号で木々の落ち葉が舞うというような「風物詩」もありますが、それらとはまた少し違った風の意味がありそうです。

そもそも風とは、そのときの気圧分布によって「結

* Isamu HIROTA, 京都大学名誉教授。

© 2011 日本気象学会

果的に決まる」だけのものではありません。風の吹き方によって今後の天気状況そのものが変わる、という「風のはたらき」は忘れてはならない大切な気象の見かた捉え方です。たとえば冬の季節風が卓越するとき、衛星写真に見られる日本海の筋状の雲が北西の風に流されてきて北陸地方に大雪をもたらす、といった事例を考えれば、「風のはたらき」の意味はすぐに納得できるでしょう。衛星観測などという最新技術の無かった昔から、人々は上空を見わたし、雲の形や流れ方の様子から明日の天気の推移を予測する「観天望気」をしてきたではありませんか。

もっと素朴な風の見かたもあります。子供のころ、風の測り方として、口に咥えて湿らせた人差し指を頭上に立てると、そのヒヤッとした感覚から風向と気温が直感的にわかる「観測法」を教わった経験は誰でもお持ちでしょう。ゴルフの選手がショットに先立ち、コースの芝をすこし千切って頭上に撒き風向きと強さの見当をつけている場面もときどき見かけます。

このような単純素朴な風の見かたのなかに、気象にとって大切な事柄が潜んでいることに気が付きます。

ひとつには、上空の雲の動きやゴルフ選手の芝の飛び散りかたからわかるように、風は「モノを運ぶ」ということ。もうひとつは、湿らせた指に風が当たって冷たく感じられることから、風は「水の蒸発作用」をもたらすこと。風の吹く日はペランダの洗濯物が良く乾くというのも全く同じことです。

これらを総合してもう少し堅苦しく言えば、風の運ぶ「モノ」とは、雲（水蒸気・水滴）に限らず、火山灰や黄砂のような微粒子、さらにオゾンやメタンのような大気組成物質のほかに、大気運動のカギとなる重要な物理量である「運動量」や「渦度」のような眼には見えないモノがあります。同様に、地面海面からの水の蒸発とは、風による「熱エネルギーの輸送」のことです。これこそが大気現象（気象）のなかで果たす「風のはたらき」に他なりません。

3. 風のなりたち

中学校の理科の授業のつもりで、まず生徒たちに「風って何だと思うか？」と質問してみましょう。気のきいた賢い子供なら即座に、「風とは空気が動いていることですよ」と答えるでしょう。立派です。正解です。ところがその次の質問はちょっと難しい。「風が空気の動きなら、それを動かしている力は何だろう？」

高校の初等物理に出て来る運動方程式や「質量×加速度＝力」の公式を「丸暗記」している方は、今はそれらを一切忘れ、中学生に戻ったつもりで自然現象に対する好奇心のみを頼りにして素朴に自分の頭で考えてみて下さい。

空気は石ころや野球のボールなどのように手で持って重さを感じる事の出来る物とは一見違うけれども、気体であってもモノ（質量をもった物質）であることには変わりありません。ボールは手から放すと下に向かって落ちます。この運動は地球の引力（重力）によるものです。同様に、川の流れも、水というモノが山上の水源から海岸に向かって（高所から低所へ）引力を受けて運動している現象であることは、敢えて滝の話など持ち出さなくてもすぐに理解して貰えるでしょう。

しかし空気の動きとしての風はボールの落下や川の流れとはかなり違います。むしろ、地球の引力が働いているはずなのに、空気が上から下に落ちて来る、という現象を実感することは普段あり得ません（ダウンバーストなどという野暮な話をここでは持ち出さないで下さい）。そこで、押しくらマンジュウ遊びを通して「圧力」という言葉（考え方）を知っている子供は、「空気を横に押しして風を作り出すのは気圧だ。気圧の高いほうから低いほうへ圧力が働くからだ」と答えるかもしれません。立派な答だと褒めてやりたいところですが、完全な正解とは言えません。（この「誤解」のひとつの理由は、同じ「力」という言葉を使っているにも、重力（引力）と気圧の圧力とではその意味が違うからですが、今そのことに深入りするのはやめます。）

もうひとつの大きな問題は、一口に風と言っても、つむじ風や竜巻のような「小さな風」と天気予報に出て来る日本列島の気圧分布に対応した「大きな風」があることです。海岸近くで吹く海陸風はその中間の大きさ。モンスーンなどの季節風のようなさらに大きい風もあります。したがって、空気を動かして風を作り出している「力」も風のサイズによっていろいろ違っていることとなります。しかしそれらを網羅的に順番に並べてひとつひとつ説明することは本文の目的ではありません。そのことはもう少し先に本格的に気象学を勉強するときになってからで十分です。ひとことだけ追加するなら、同じ気象学でも「メソ気象」「総観気象」「大気大循環」などとテキストの章立てがされていることから、風にもいろいろなサイズの風がある

ことを直観的に受け取って下されば結構です。

4. 風の吹きかた

上にのべたいろいろな風のうち、ここでは日本列島の大きさの天気図に対応した風の吹きかたに限って話を進めます。圧力に押されて気圧の高いほうから低いほうへ向かって風が吹くのなら、西高東低で等圧線がタテ縞模様するとき、風は等圧線を直角に横切って西から東に吹くはずですが、実際はむしろ等圧線にほぼ平行に近い北風です。テレビの解説によく出て来る「等圧線の混み具合」というのは、確かに東西の気圧差が大きいとき横に押す「圧力」も大きいので風も強いわけですが、それだけでは風向の説明にはなりません。

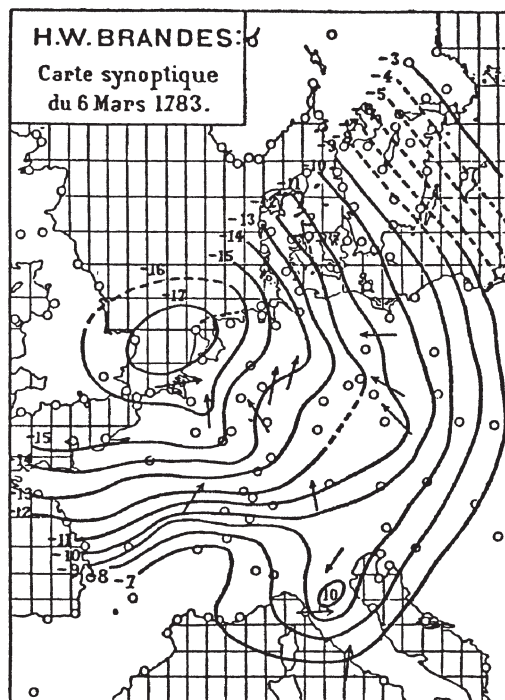
ここでもうひとつの大切な力である「コリオリの力」が登場します。初等的な教科書で「コリオリの効果」とは、風の吹きかた以前の問題として、「回転(自転)している地球上で運動する物体には(北半球の場合)その速さに比例した直角右向きの力が働く」と説明されています。運動の向きを変えようとする力ですから「転向力」とも呼ばれます。このことは19世紀のはじめころ、長距離の大砲射撃に関連してフランスの工学者ギュスタヴ・コリオリによって定式化され、その後、有名な「フーコーの振り子」で実証されました。この力の原理を初等物理の数式で示すことは簡単ですが、その意味の実体的な理解は決して易しいものではありません。同様に、多くの解説書でコリオリの力は「見かけの力」であると述べられていますが、同じ「力」でもたとえば万有引力は文字通り実体的な「力」ですがそれとどう違うのか、正しい説明を示したものは決して多くありません。

もうひとつ、いまでも時折見かける「怪しげな説明」は、天気図規模の風の吹きかたについて、「まず気圧の高いほうから低いほうに押されて動き始めた風が転向力を受けて徐々に右に曲げられ、やがて等圧線に平行に吹くようになる」というものです。この説明がなぜインチキかと言え、もしそうなら等圧線に沿って吹いている風にも依然として右向きの転向力が働いているはずですから、風はさらに高気圧のほうに曲げられてゆくことになってしまいます。つまり、等圧線に沿って吹く風を「気圧が原因で風はその結果だ」と安直に考えるのは誤りで、気圧差による力(正しくは俗語の「圧力」ではなく「気圧傾度力)とコリオリの転向力が釣り合った「平衡状態」として理解されるべきことです。この点はいずれ是非もう一

度、文末の参考文献として挙げた教科書・解説書をしっかり読んでみて下さい。きっと「目から鱗が落ちるような」納得に至るはずです。

地球の回転の効果によって決まるこのような風は「地衡風」と呼ばれます。「衡」の意味は上に述べた二つの力の平衡を表していますが、原語(英語)ではジオストロフィック、つまり地球と回転のことですから正確には「地転風」と訳すべきでした。

地上に住んでいる人間が経験的に知ってきた実際の地衡風の吹き方は、1857年に出された「ボイス・パロットの法則」すなわち「北半球では風を背に受けて立つと低気圧の中心は左手前方にある」のとおり、風は完全に等圧線に平行ではなくすこしズレています。これは地表面付近の摩擦の効果によるものと説明されます。しかし、歴史的に面白いのは、ボイス・パロットより40年近く前の有名なブランデスの天気図(1820年)を詳しく見れば、地上風はヨーロッパ大陸を覆う低気圧の中心に向かって斜めに吹き込んでいることがちゃんと読み取れます(第1図)。



第1図 世界で最初に描かれたブランデスの天気図。1783年のデータをもとに1820年に発表。等圧線を斜めに横切って吹く地上風向(矢印)に注意のこと。

余談のついでに話をひろげるなら、このように周囲から低気圧に吹き込む風は中心付近に集まり行く先がなくなるので上向きに押し上げられ、その上昇流は気圧の低下に伴って冷やされ水蒸気が凝結し雲を作り雨を降らせること、つまり誰でも知っている「低気圧は悪天」というカラクリはこのようなことなのです。運動方程式・連続方程式・収斂発散・強制上昇・断熱冷却・凝結過程、等々の厳密な議論をきちんと学ぶには、このような直観的理解の後で気象学教科書を読んで下されば結構です。

5. 上空の風

山麓と山頂のような地形の違いに限らず、平坦な場所でも風の吹き方は高さによって異なる場合がしばしばあります。気象台の気球観測やウィンドプロファイラー観測などの専門的で定量的な手段に頼らなくても、上空の風の吹き方を知るには地上に立って雲の動きを見るだけでかなりのことがわかります。

いま、地上では西風が卓越しているとき、上空を見上げると雲が北に向かって流れていたとしましょう。地上が西風なら地上気圧の等圧線は横縞です。東西の差はありません。いっぽう、上空が南風なら、その高度での気圧分布は西側が低いはずで、その東西気圧差は東西の温度差があるからです。中学校で教わるボイル・シャルルの法則から、気圧の高いほう（東側）が高温、逆に低圧の西側が低温ということがすぐわかります。（ついでに言えば、このような地上で西風、上空で南風のときは、その西風に乗って西側の低温の空気が流れてくるので、明日は気温が下がるだろうという観天望気ができます）。

このように気温に水平の温度差があるとき、それに伴う気圧差に応じて高度別に風向が変化する状況のことを「温度風」と言います。この用語は誤解を招きやすいので注意して下さい。温度風とは、風の高度変化のことであって、ある高さで測ったその場の風そのものを「これは温度風だ」というものではありません。あくまでも、気温・気圧の空間分布に対応する地衡風の3次元構造を述べているものです。

これらのことを理解すると、上空まで含めた大規模な風の場の様子が非常によく見通せます。中緯度の対流圏上部には、季節を問わずジェット気流（俗にいう偏西風帯）が卓越していることは既にご存知でしょう。地上風は移動性高低気圧の動きによって気圧・気温とともに日々に変化しますが、上層に恒常的な偏西

風が吹いているのは、対流圏中上層部で低緯度が高温、高緯度が低温という気温の南北差（したがって気圧の南北差）による温度風だからです。

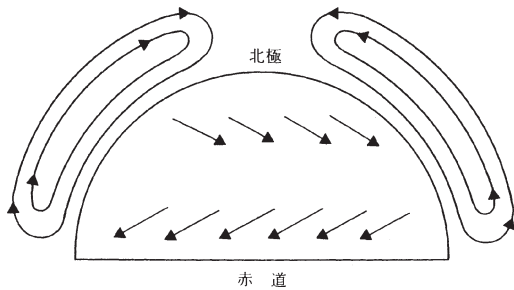
6. 地球をめぐる風

ここまでの話をもう一度整理してみると、日本列島サイズ以上の大規模な風の吹き方は、地球の自転と気圧差の効果を受けた地衡風であり、その気圧分布は気温分布と密接に繋がっていることです。その目で、地球全体の風の間を考えてみましょう。かりにジェット気流の速さを毎秒数十mとして、中緯度に沿って地球をひと回りするのに10日あまりかかりますから、時間としてもそのくらいの長さで考えます。

現実の地球表面には大陸と海洋があり、さらに大陸上には様々な大きさの山岳があって風の吹き方に影響を及ぼしているように思えますが、簡単のため、いまは地球を一様な回転球体と考えます。さらに、太陽系を公転している地球の自転軸が少し傾いていることによる太陽放射熱の受け止めかたの変化（つまり季節）も考慮外とします。自転周期（1日24時間）は短いので、昼と夜の区別もいりません。このように物事を単純化して考えることによって現象の本質を抽出できるのが自然科学の命です。

地球が受け取る太陽の放射熱は、当然のことながら赤道域で最大、極域で最小ですから、赤道と極の間に温度差が生じます。赤道付近で暖められた大気は上昇し逆に極域で冷やされた大気は下降します。ここまでは、下から加熱されたナベの中の対流現象と同じです。上昇した暖気は上層を極向きに動き、下降した寒気は下層を赤道向きに動きます。この地球規模の大きな対流（子午面循環）と地球の自転の効果を組み合わせると、かりに赤道上で静止（東西風速ゼロ）していたとしても地球それ自身の回転による地面の速さは緯度が増すにつれて遅くなるから、赤道から中高緯度まで動いてきた空気塊は地球の自転を追い越して東向きの運動（つまり地面から見れば西風）となります。逆に中高緯度から赤道に向かって移動した空気塊は自転速度に遅れを取って西向き（東風）となります。初等物理の言葉で言えば、ここでの基本原理はニュートン力学における慣性の法則（運動量保存則：それを回転地球上に当てはめた場合、角運動量保存則）です。

このようなニュートン力学に基づいた考察から地球上の大きな風の流れを世界で最初に考えたのがイギリスの法律家ジョージ・ハドレーでした。1735年のこと



第2図 ハドレー（1735）が考えた大循環の模式図。閉じた流線は子午線面循環を、矢印は地上風を表す。南半球は赤道をはさんで対称。

です。第2図はハドレーの論じた風を模式的に描いたものです。これにより、大航海時代の船乗りたちによって経験的に知られていた赤道貿易風帯と中緯度偏西風帯が地球規模大気の力学として確立されたわけです。

ハドレー以後の約300年間には、地球規模の観測の充実と相まって、海陸分布の効果、水蒸気の効果（端的には雲の分布）等々の詳細かつ具体的な議論の進展があり現代の大循環論が構築されてきています。それもいずれはまた本格的な気象学教科書で勉強していた

だくとして、この節で述べた最も基本的なものの見方は、ハドレーの模式図に描かれているような風と気温の分布が平均状態として恒常的に存在している以上、そこには運動量と熱エネルギーを輸送してバランス（平衡状態）をもたらすものとしての「風のはたらき」があるということです。これこそが、今回の解説で「風」を取り上げたことの真意でした。

次回の私の解説では、この「風のはたらき」の意味をさらに推し進めて考える過程として、「波のいろいろ」の題で風のなかに見られる波について考えることにします。

参考文献

風のことをもっと詳しく勉強したい方に、下記の教科書・解説書をお勧めします。教科書のなかには、事実や術語を知識としてのみ記述し「思想性」に欠けているものが多々見られますが、単なる知識の寄せ集めだけでは学ぶ意味が全くありません。

廣田 勇，1992：グローバル気象学。東京大学出版会，148 pp.

廣田 勇，1999：気象の遠近法。気象ブックス No.1，成山堂書店，186 pp.

小倉義光，1999：一般気象学（第2版）。東京大学出版会，320 pp.