

赤道と熱帯

廣 田 勇*

1. 赤道はなぜ赤い

今回は熱帯気象学 (Tropical Meteorology) について語ります。その背景として、まずは地球を取り巻く最も長い緯度線である赤道の話から始めましょう。

赤道は英語で Equator です。その原義は単純に南北両極から「等距離」にある場所という幾何学的表現に過ぎません。それがどうして「赤い道」という色の付いた訳語になったのか、というのが最初の疑問です。今でも小中学校で使われる世界地図の赤道は赤い色の線で描かれていますので、殆どの人はそれが当然と思い込んでいるのですが、よく考えてみると不思議です。

「赤道」という漢語はすでに西暦1世紀ころの「漢書」巻26「天文志」に出てくるそうです。天球上に太陽の軌道を描くとき赤い線が使われたことによりますが、なぜそれが赤なのか、おそらく陰陽五行説と関係があると考えられています。言葉の発端が天球上のことなので直ぐには地球上の緯度0°の線に繋がりません。一方、赤色は赤熱などの言葉から高温のイメージですがそれだけでは赤道イコール高温ということにはなりません。太陽もまた日章旗では赤ですが、本来、太陽の色そのものが赤だというわけでもありません。

つまり、地球の赤道と Equator は、現在では同じものを指すにしても、その出自はかなり異なった概念だと言えます。したがって本稿では赤道を球面幾何学としての Equator の意味で使うこととします。

2. 赤道は南のほうにあるのか

次に考えることは、赤道の位置と距離感に対する歴

史的な認識の問題です。これは本稿の最後(第6節)で指摘する現代気象学の体系構築に関係する重要な事柄です。

戦後生まれの若い世代の方々はおそらくご存知ないでしょうが、昭和10年代の大東亜共栄圏の中で「南洋、南方」という言葉がよく使われていました。当時の「南洋」の意味するところは、現在の言葉でいえばインドネシア多島海など赤道太平洋海域のことです。要するに、日本から見て南のほうにある海洋だから「南洋」なのです。

面白いことに、20世紀初頭に英国の Gilbert Walker 卿によって示されたウォーカー循環(太平洋赤道域の東西循環)は同じ発想から後に Southern Oscillation(南方振動)と呼ばれるようになりました。この場合も南方とは英国から見た南のほうの地域という意味です。現在なら日本の南と言えばオーストラリアや南極大陸までも含むはずですが、当時の北半球中心の視点からは赤道域が地球の限界だったのでしょう。いや、歴史上の話に限らず、現代でも「南」という言葉にはかなり特殊な響きが残っています。(詩歌の世界で使われる「南国、南風」などを想起して下さい)。このような地球上の方向感覚と距離感はあるがせに出来ない問題なのです。

裏返して言えば、オーストラリアやアルゼンチンなどの南半球の国々に赤道域を指す「北洋、北方」という言葉があったかどうか興味があります。(古い外国文献に詳しい方がおられたらご教示下さい)。

3. 熱帯は本当に熱いのか

さて次は熱帯という言葉です。日常語では熱帯と赤道領域は殆ど同一に使われています。しかしこれも本来の言葉に立ち返ってみると、かなり異なった意味合

* Isamu HIROTA, 京都大学名誉教授。

© 2012 日本気象学会

いがあることに気が付きます。それで、肝心の気象学の話に入る前にもう少し語源の議論に付き合って下さい。

「熱帯」は英語の Tropics (Tropical) に対応した漢語ですが、暴論覚悟でいえば誤訳です。漢語では「熱い」を気温が高い場合にも使います。これに対し日本語ではお湯の温度が高いときは「熱い」ですが気温が高いときは「暑い」ですから、日本語なら熱帯を暑帯というべきだと言った人もいるそうです。しかし、Tropics の本来の意味は「熱い、暑い」のどちらにも全く関係ありません。

『気象のことは科学のこころ』(廣田 2007) でも述べたように、英語の Tropic (語源はギリシャ語) とは、回転・変化を意味し、地球上で見た太陽の直下点が南北緯度23.5°を境に向きを変えることから、南北回帰線に挟まれた帯状の低緯度領域を Tropics と呼びます。地上気温で見ると偶々その領域の気候学的温度が高いために「熱」の漢字が当てられたに過ぎません。あえて誤訳と言ったのはその意味でした。

これを読んで、いや、現実の地球大気の温度は赤道域で確かに高いではないか、だから赤道域を熱帯と呼んで何故いけないのか、と反論される読者もおられるでしょう。同様に、寝苦しい真夏の夜を指す「熱帯夜」などという奇妙な俗語を正式な気象学用語だと思込んでいる人がいるかもしれません。(研究者でさ

え国際学会の講演で Tropical night という「インチキ和製英語」を使った人がいました)。

そこで、第1図に長期間平均の気温の緯度高度断面図を示します。1月の平均ですから、図の右側(北半球)が冬、左側(南半球)が夏です。

これを見ると、地表面から高度10km 付近までの対流圏では、夏冬に関係なく、確かに赤道域が高温で両極域が低温というなだらかな温度分布になっています。小学校の地理で教わる熱帯・温帯・寒帯という気候の区分はウソではありません。その意味では日常生活用語で「熱帯」が「南のほうのトロピカルフルーツの産地」として使われるのは結構です。

ところが、この図の高度20km 付近の成層圏に目を転ざると、なんと赤道域の最低気温は約200K (マイナス70°C) で同じ高度の夏冬両極より非常に低くなっていることがわかります。もはや熱帯という言葉は使えません。(この温度分布の大循環論に基づく解釈は『グローバル気象学』(廣田 1992) を参照して下さい)。

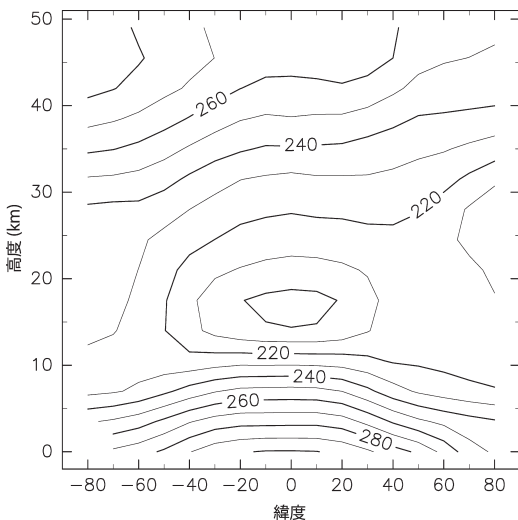
要するに、赤道域イコール熱帯(高温域)という見方は、地球全体で見たとき、あくまでも大気下層の対流圏でのみ通用する「限られた視点からのものの見方」だということです。これは嘗て北半球中緯度に住む人間が「南方=赤道地域」という捉え方しか出来なかったことと同罪だと言ったらお叱りを受けるでしょうか。このあたりの事情は、『気象の遠近法』(廣田 1999) のなかで「グローバル」という言葉の真意に触れて解説してあります。

それゆえ、次節以下で気象学の議論を行うに当たっては赤道と熱帯とを峻別して話を進めることにしましょう。

4. 熱帯気象学の構成

随分と長い前置きでしたが、いよいよ気象学の話に入ります。もちろん私は熱帯気象学を専門に研究してきたわけではありませんから、個々の現象の詳細なメカニズムに立ち入った講義調の話ではありません。

大学で気象学を学び始めるレベルの入門的教科書を何冊か開いて目次の章立てを概観してみると面白いことに気が付きます。多くの場合、その構成はまず、地球と太陽の関係、熱バランス、気温分布、大規模風系、季節変化、各種大気擾乱、降雨特性、等々の解説が行われています。そして終わりのほうには、数値モデリング、気候変動、地球温暖化、オゾンホールなど



第1図 1月における帯状平均気温の緯度高度分布 (CIRA86による)。単位は絶対温度 K。

がトピックス的に扱われています。

そのような章立て（事項の選択）のなかで、熱帯に関係するトピックス（キーワード）を拾い出してみると、台風（ハリケーン）を筆頭に、モンスーン、ITCZ（熱帯収束帯）、エルニーニョなどがあり、その大まかな形態は「ひまわり」のような衛星雲画像によって示されています。もう少し専門的な用語では、先に述べた南方振動のほかに、クラウド・クラスターとかMJO（マデン・ジュリアン振動）などもあります。

これらの熱帯域固有の現象は、その殆どが海洋（南洋！）の高い海水温に直結した活発な積雲対流活動に起因しています。大気安定度・収斂発散・蒸発・凝結・降水などの詳細な積雲対流のメカニズムを知らなくても、たとえばハワイやグアムでスコールを体験したりオーストラリア直行便の飛行機の窓から雄大なカナトコ雲を見たりしたことのある人なら、熱帯域における積雲が中緯度低気圧に伴う中層雲とは全く異なる作用を大規模大気循環場にもたらしていることを直観的に理解できるでしょう。

しかしながら、このような熱帯気象の「個性的な様相」すなわち中緯度気象とは異なる「独自性」に関する議論は、上述のキーワードを題目にした解説書はいくつかあるにせよ、基本的には旧来の気象学の枠組みの中でのひとつの章、言ってみれば気象学体系の部分集合として扱われています。

5. 赤道の気象学

この節で扱うのは球面幾何学としてのEquatorに直結した話です。

前節で述べた熱帯気象の本質が高い海水温に起因する積雲対流であったことと対照的に、ここでは水蒸気が直接には関与しない地球流体力学としての赤道大気

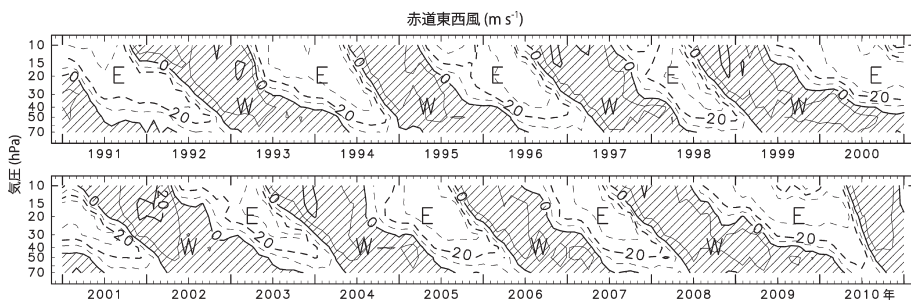
力学を考えます。

「気象のABC」のNo.1, 4, 7（廣田 2011a, b, c）で述べた風・波・渦の話の基本は、地衡風に象徴されるコリオリ効果でした。日々の天気と結びつく中緯度偏西風も移動性高低気圧もコリオリ効果を抜きには語れません。

回転（自転）する球体としての地球上で大気運動に働くコリオリ力の係数は $f = 2\Omega \sin\theta$ です。緯度 30° と 60° とでは1.8倍ほど違いますが中緯度ではまず同じ程度の大きさと言って構いません。ところが緯度 5° では緯度 45° の僅か $1/10$ 、赤道（緯度 0° ）では $f = 0$ です。もはや地衡風の考え方は成り立ちません。（赤道直下のシンガポールの「新聞天気図」には地上気圧分布は示されていません。風と気温湿度と晴雨だけです）。

このような条件下（領域）では、風は一体どのような原理に支配されて吹いているのでしょうか。そのヒントは、コリオリ係数 f は赤道でゼロだが（ $\sin\theta$ の式からわかるように） f の緯度変化は存在する、ということです。「渦のいろいろ」（廣田 2011c）で「 f は化ける」ことの例として f の緯度変化（ β 効果）に起因するロスビー波の話をしたことを思い出して下さい。 f は赤道域でも化けて独自の運動を生み出すのです。

対流圏下層のいわゆる熱帯貿易風（偏東風）は昔からよく知られていましたが、成層圏まで含めた赤道域の大規模風系の知識は20世紀なかばまで極めて乏しいものでした。1961年のリードらによる「赤道成層圏東西風準2年周期振動：QBO」の発見は赤道大気力学の研究に大きなインパクトを与える出来事でした（その歴史的エピソードは、たとえば廣田（1983）を参照）。第2図にはQBOの最近の20年間の様子を示します。



第2図 シンガポール（ 1°N ）における月平均東西風の時間高度断面図。単位は m/sec 、陰影を施した部分は西風。

このQBO現象の特徴として、ひとつには約27ヶ月（2年強）という周期の奇妙さ、そしてさらに、旧来の大気大循環論での角運動量保存則に即した低緯度東風に見え矛盾する西風の存在が挙げられます。高度50 kmより上層ではさらに平均東西風の半年周期現象(SAO)というこれまた不思議で面白い風系変動もありますがここでは深入りしません(廣田 1999)。

さて、本来東風であるべき赤道になぜ西風が卓越できるのか。そのためには何らかの波動による西風運動量の輸送を考えなければなりません。この発想に基づいて1960年代には赤道成層圏の様々な観測データ解析が行なわれました。その詳細は教科書にゆずりますが、ヤナイ-マルヤマ波(ロスビー重力波; 周期4-5日の西進波)、ウオーレス-カウスキー波(ケルヴィン波; 周期十数日の東進波)の2種類の赤道に固有の波動が発見されました。さらにその後の研究では大気重力波による運動量輸送もQBOにとって不可欠であることが明らかになっています。ごく大まかに言うなら、これらの波動の上方伝播特性は背景場(平均東西風)に規定されますから、伝播する波動の持つ運動量が場に引き渡され東西風の変化をもたらすことによって長周期振動が生み出されるわけです。ここではこれ以上の詳細に立ち入ることはしませんが、この「波動-平均流相互作用」は気象力学の重要な物理概念ですから、いつか本格的なテキストで勉強されることを期待します。

この節の要点をまとめると、上記の各種波動の大気下層における励起は熱帯の特性である積雲対流活動に起因するものであるにせよ、その波動力学の本質は赤道($f=0$)という球面上の特別な場所で生じる独特の世界を構成していることにあります。QBOはまさにその代表例なのです。ここに図示はしませんが、QBOの振幅の緯度分布を見れば実に見事に赤道対称であることがわかります。これもまた赤道大気力学が球面幾何学に強く規定されている何よりの証明です。

6. 新しい気象学の構築は可能か

第4節の「熱帯気象学」と第5節の「赤道気象学」とをつき合わせて考えてみると、そこには従来無かった新しい気象学を構築する可能性が見えてきます。

そもそも気象学の歴史を振り返ってみると、古くはギリシャ時代のアリストテレスに始まり、近代に入ってからデカルト、ニュートン、ハレー、ハドレー等々を経て20世紀の現代気象学が形作られてきまし

た。現在の常識とも言える総観気象学・気象力学の骨格は20世紀初頭のノルウェー学派による前線波動論、それを引き継いだ20世紀中葉の傾圧不安定理論(低気圧発達論)、ヒマラヤ・ロッキーによる地形性強制ロスビー波の生成伝播論等々、すべて「北半球中高緯度現象の気象学」だったことに気が付きます。コリオリ効果についてみれば、20世紀後半の数値予報の世界から生まれた「準地衡風方程式系」はまさにその象徴的な理論体系です。

これは気象学に限った話ではありません。近代社会の文化文明の殆どが北半球の先進国中心に成り立ってきたことは、その是非を問う以前の問題として厳然たる歴史的事実なのです。本稿の冒頭で述べた「南方」の話をもう一度思い起して下さい。

ここで発想の転換を試みましょう。よく言われるように歴史に「もし」はないとしても、もし近代科学を生み出した先進国が赤道地帯中心にあったならば、一般社会における天気予報の要請も含めて、気象学の構成は現在のそれと全く違ったものであったと考えられます。少なくとも「初めに地衡風ありき」ではなかったはずで

いや、「もし」の話ではなく、現在でも「北半球気象学」とは異なった立場からの「赤道域の現象から出発した気象学体系の再構築」が可能かもしれません。それは現在の気象学の部分集合や付録的トピックスではない新体系になり得ることでしょう。

もちろん、そのような新体系構築は口で言うだけの簡単なことではありません。既定のプロジェクトに追われて作業をしているだけのような「忙しい人」には望み得べくもありません。あるいは天才の出現を待たなければならないことなのかもしれません。しかし学問の発展とは本来そのようなパラダイム転換によってもたらされるものなのです。

今回、既成の気象キーワード解説とは全く違った立場から赤道と熱帯の話を取り上げた真意はそこにありました。読者各自の立場でこのようなことをゆっくりと考えていただければ本望です。

謝 辞

赤道と熱帯の語源に関しては、青山学院女子短期大学の八耳俊文教授(科学史)から貴重なご教示をいただきました。図の作成に当たっては京都大学の内藤陽子氏のお手をわずらわせました。ここに記して厚くお礼申し上げます。

参 考 文 献

- 廣田 勇, 1983:地球をめぐる風. 中公新書, 206pp.
- 廣田 勇, 1992:グローバル気象学. 東京大学出版会, 148pp.
- 廣田 勇, 1999:気象の遠近法. 成山堂書店, 186pp.
- 廣田 勇, 2007:気象のことば 科学のこころ. 成山堂書店, 190pp.
- 廣田 勇, 2011a:風のいろいろ. 天気, 58, 447-451.
- 廣田 勇, 2011b:波のいろいろ. 天気, 58, 743-746.
- 廣田 勇, 2011c:渦のいろいろ. 天気, 58, 999-1003.
-