

平均値と平年値

廣 田 勇*

1. 平均値とは

平均値という言葉やその求め方は小学校で教わるものと思っていましたが、どうやらそうでもないようです。今年のはじめ頃だったか、昨今の大学生の学力低下という社会ニュースのなかで、平均値に関して「中学校のひとクラスの身長を平均したところ163.5cmであった」という事実の意味する内容として、「163.5cm以上の者と以下の者が同数」と答えた大学生が相当数いたと聞いて驚きました。さらにそのニュースで「クラス全員が163.5cmだった場合を考えてみればその答えが誤りであることがわかります」とご丁寧にイラスト画まで添えて説明していたのには開いた口が塞がりませんでした。誤答した大学生は(正規分布を想定したとも思えないので)平均値と中央値の混同でしょうが、NHKのニュース担当者も偏差や分散といった統計の基礎知識が完全に欠如しています。大学受験のときは「偏差値」という言葉を常に聞いていたはずですが、おそらくその意味を全く理解していなかったのでしょう。

平均値は日常社会のなかでもいろいろ使われています。新聞記事に良く出てくる平均株価とか平均年齢などのほかに、野球で使われる防御率や打率も一種の平均値です。同様に、気象分野においても様々な平均値が使われています。日々の天気予報でおなじみの平均気温や平均風速などのほか、のちほど第5節で詳しく議論する平年値も平均値の仲間です。

2. 平均の求め方

平均値の計算方法には何種類かがあります。普通よ

く使われるのは算術平均(相加平均)、すなわち N 個の数値の和を個数 N で割ったもの。その一番単純な例が「足して2で割る」という考え方で、これは政治家がよく使います。このほか、幾何平均(相乗平均)や加重平均、調和平均などがあるのは統計学を少し勉強したことのある方ならご存知でしょう。幾何平均という言葉自体はやや分かり難いところもありますが、初等幾何で言えば辺の長さが A と B の長方形と同じ面積を持つ正方形の一辺の長さ \sqrt{AB} を意味します。一般には N 個の積の N 乗根のことですから、対数表現を用いた数値、たとえば液体の酸性度を表すペーハーや地震エネルギー表示のマグニチュードなどの大きさを平均するのは幾何平均と対等のことです。私がよく示す例は、 $\{1, 10, 100\}$ の算術平均が37だと言ってもあまり意味はありませんが、幾何平均が10だというのは対数表示を考えれば実体性があるでしょう。その意味では、最近の総てデジタル化された測器の最終アウトプットとして出てくる数字群を平均しようとするときには、計測原理に立ち返ってみて、測器の中で如何なる変換操作が行われているのかに留意せねばなりません。

しかし何より一番大切な問題は、ある数値群(データセット)から特定の計算方法でそれらの平均値を求めることの目的と意義です。如何なる目的のために平均値を求めるのか、あるいは得られた平均値からその先どのような考察・議論が行われるのか、それを度外視しては平均値を語る意味がありません。

3. 気象学における様々な平均値

実際の観測値に基づいて個々の現象の特性を議論する「気象解析・気象統計」においては様々な平均方法が用いられています。その一般論と実例は『大気大

* Isamu HIROTA, 京都大学名誉教授.

© 2012 日本気象学会

循環と気候』(廣田 1981)と『気象解析学』(廣田 1999)に詳しく述べてあります。ここではそれを簡単に復習しておきましょう。大切なのは技術ではなく思想ですから、以下では簡単のため平均として算術平均のみを扱います。

一般に如何なる気象量も空間と時間の函数です。したがって平均の取り方としては空間平均と時間平均があります。さらに、算術平均に話を限れば、「加算の交換定理」から両者を合算した時間空間平均も考えられます。

最初に空間平均の分かりやすい例として、ある日(ある時刻)の緯度線一周に沿った気圧や気温などの平均値を考えてみます。いわゆる帯状平均(zonal mean)です。これをその緯度上の1地点の値と比べてみれば当然異なります。その異なることの意味は同じ緯度線に沿って値の大きい場所と小さい場所があるからです。(冒頭で述べたクラス生徒の平均身長で言えば、背の高い子と低い子がいるのは極めて自然です。)そこから「偏差」(平均からのズレ)という概念が生まれます。ふだんテレビや新聞で見ている天気図(気圧分布図)とは要するに気圧なら気圧という気象量の「空間的偏差図」なのです。つまり、着目しているのは平均値(あるいは絶対値)ではなくズレなのです。そのズレ(偏差)の様相を東西方向に沿って眺めると正の偏差と負の偏差がランダムというよりむしろあるサイズを持ってほぼ規則的に並んでいることもわかります。「中緯度偏西風帯の高低気圧波動」という現在の総観気象学の常識は、ブランデスの天気図(1820)を嚆矢として、まさにこのようなものの見方から発展してきたものです。それをより定量的に表現するためのフーリエ解析(調和解析)で波長や振幅・位相を計算するのはその先の仕事です。

いま、一例として zonal mean からのズレに意味を持たせましたが、さらに大切なことは、平均状態における偏差の作用です。大循環論の基本のひとつに地球大気全体の熱バランスの問題があります。低緯度における加熱と高緯度における冷却がバランスするためには大気運動による極向きの熱輸送を考える必要があります。それを求めるのには夫々の緯度線における帯状平均の気温と南北流の積だけでは十分ではありません。ここでは敢えて数式は示しませんが、一般に「平均値の積」と「積の平均値」は一致しません。南北熱輸送量を正しく計算するためには帯状平均の気温と風の積ではなく、個々の地点における積の帯状平均が必要で

す。その違いこそ「平均からのズレ」として定義された波動の作用なのです。このあたりの事情は、「気象のABC」のNo.4(波のいろいろ:廣田 2011)で詳しく述べたので思い出して下さい。

全く同じことがいわゆる温暖化問題の基本のひとつとして地球表面気温で決まる赤外放射についても言えます。赤外放射はステファン・ボルツマンの法則で絶対温度の4乗に比例します。従って、地球全体の平均温度で計算した放射量と個々の場所での放射量を平均したものは一致しません。この事情は本誌の解説「玩具で遊ぼう:放射平衡模型の使い方」(廣田 1993)で詳しく述べました。熱輸送も赤外放射も変数の一次式(線形)ではなく積(非線形)が関与している問題ですから、上記解説ではこれを「非線形不等式」と勝手に名付けました。高校生向きの譬え話としては、「2次曲線上の2点を結ぶ線分の中点はその曲線に乗らない」ということです。線分の中点とはまさにデカルト座標上の算術平均にほかなりません。要するに、平均値に関わる議論をするときは常に線形か否かに留意することが肝要なのです。

4. 時間平均

空間平均の次は時間平均です。これも気象学ではいろいろな使い方をされています。

天気予報ではある地点での気温の1日平均、ひと月平均などのほかに、その地点での長年の値を平均した平年値がしばしば用いられます。一方、雨量(降水量)は平均値より積算値のほうが良く使われます。これは雨の降り方が気温の変化などに比べて非常にバラツキの大きい現象であることの反映でしょう。このことは次節で議論する「気象における平年値とは何か」を考える良いヒントです。

時間平均値の意味を理解するために、まず、「平均を取る時間(期間)の長さは何を根拠にして決めるのか」を考えてみましょう。気象学入門教科書の序章には大抵「大気現象の時間空間スケール」を表す模式図が載っています。積雲対流や雷雨なら数時間、自転に伴う夜昼の日変化は24時間、高低気圧の通過に要する時間は数日、季節変化の特徴は月単位、公転による年変化の12ヶ月、等々の固有の時間スケールで現象の特性が記述できます。したがって、どの現象を見ようとするかによって平均を考える時間の長さが決められることになります。

しかしながら、平年値を決める期間の長さ30年に関

しては、上に述べた「現象のスケールの模式図」には描かれていません。昨今、「気候変動」という言葉があちこちで安易に使われていますがどの時間スケールで見た話なのか厳しい注意が必要です。言い換えれば、天気予報のように高々数日の時間スケールでの天気変化を議論する場合には、比較の対象として平年値が適当であるかどうかが問題となります。予報関係者の中には最近そのことに気付いた人が多いようで、明日の予想気温を平年値と比べて高い低いと言っても無意味なので、むしろ今日より何度高いか低いかといった実感を伴う表現になってきたようです。日常生活で平年値を使うのが許されるのは、たとえば3月末の桜の季節に「今週はゴールデンウィークなみのポカポカ陽気になるでしょう」とか、梅雨時の「今年は空梅雨気味で7月の総雨量は平年を下回るでしょう」のような漠然とした予想表現のみです。

5. 平年値への疑問点

前節で述べたように平年値を取り扱うときにはいくつかの注意が必要です。

まず、平年値の定義「過去30年間の平均値」における30年という時間の長さは一体どこから来たものなのでしょうか。(WMOあたりが法令で決めたものなのでしょうか)。同じ疑問は、昨年の東日本大震災以後、大地震発生の予測に関して「○○地区で今後30年以内にM7以上の地震が起る確率は△△%」などというときの表現も同様です。地震予知について東大地震研究所のその道のプロに直接訊いたところ、「30年とは人間の一世代の長さのことで、プレート運動がその固有の時間スケールを持っているという意味ではありません」との明確な回答でした。

それと同様、気象の平年値も人間社会の一世代の長さに準拠するものであるなら、祖父が孫に向かって「昔の冬は今よりもっと寒かった」とか「戦後はよく早魃で苦労したものだ」などの体験話をする根拠なのでしょう。

しかしながら、様々な気象量の長期間（少なくとも

100年以上）の時系列について、たとえばスペクトル解析などを通して経年変動を調べたとしても、エルニーニョに対応した数年、太陽黒点周期に対応した11年などは見えるにせよ、30年前後の「固有周期」が存在するという統計結果は聞いたことがありません。

そもそも平年値とはどの程度の漠然としたものかを見るために、手許の理科年表（2000年版と最新版）で次のような表を作ってみました。まずは日本各地の気温に着目します。比較したのは「旧平年値」（1961-1990）と「新平年値」（1981-2010）です。1981から1990までは重なっていますから、ここでの新旧比較とは、1961-1980と1991-2010の各20年平均の違い、つまりは30年の時間差を見ていることになります。

平年値に対する留意事項としては、近藤純正氏の「気象のABC, No.11」の「地上気象観測」（近藤2012）にあるとおり、純粋な自然変動以外に、都市化、観測地点の周辺環境変化、測器・測定法の変更、等々の人為的影響が含まれています。とりあえずは都市化のあまりないと思われる数点を選び、冬と夏の代表として1月と7月の平年値（地上気温）を並べてみました（第1表）。数字の単位は°Cです。

小学生の算術なみに、この10個の数字の新旧差を「平均」してみると新しい平年値のほうが0.5度ほど高いことがわかります。社会学的通説(?)によれば、昨年の夏は猛暑だったとかその前の冬は厳冬だった、などということが何年も後まで人々に記憶されるのは平年値より2度以上違っていた場合だそうです。その意味では、第1表でみた30年で0.5度の差は記憶に残って語り継がれるほどの大きさとは到底言えません。ましてやこの表から「ほら地球が温暖化している証拠だ!」と鬼の首でも獲ったように叫ぶ人がいたなら頭を冷して下さい。先に述べた近藤氏の注意事項の検証は勿論のこと、これと同種の比較を文字通りグローバル規模で（両半球、熱帯・温帯・寒帯で）きちんと行ってみなければなりません。

温暖化の話はさておき、本論で強調したいことはむしろ別の側面です。

第1表

地点	根室		富山		彦根		潮岬		那覇	
	1月	7月	1月	7月	1月	7月	1月	7月	1月	7月
旧	-4.5	14.2	2.0	24.6	3.1	25.2	7.4	25.2	16.0	28.3
新	-3.7	14.2	2.7	24.9	3.7	25.6	8.0	25.5	17.0	28.9

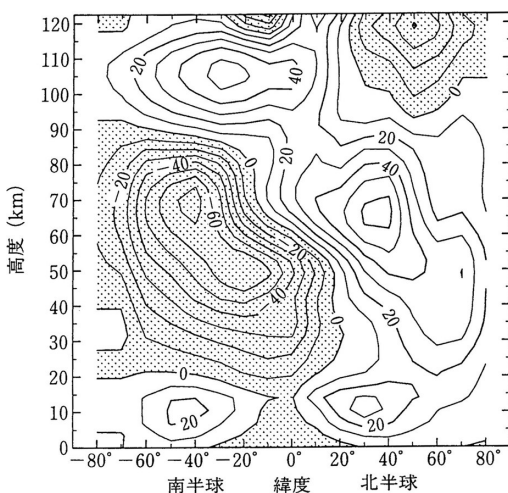
上の表と同じものを降水量について作ってみると、気温の場合のようにほぼ様な経年差は見えず、地点によって新旧差の数値の大きさがバラついていたり大小が逆転したりしています。第4節の最初のところで「降水はバラツキが大きいので日々の予報で使うのは不適當」と言ったのはその意味です。気温にしてさえも30年平均の平年値ではなく各月毎の平均の年々変化を見れば猛暑年・厳冬年のように年毎のバラツキが大きいことはすぐにわかるでしょう。

要するに、平年値を「毎年このような値を示すもの」と考えるのは大きな「幻想」なのです。この夏の7月平均気温が平年値と違うのは自然現象の当然の反映です。ましてや日々の気温を平年値と比較することが愚行に近いのは予報関係者が漸く気が付いたとおりのことなのです。

それならば理科年表に記載されている平年値は全く無意味なものなのでしょうか。本論の最後に長年の平均値の持つ意味についても一度真剣に考えてみることにします。

6. Climatology の意味と意義

大気力学では様々な波動擾乱の背景場として、また大循環論では地球規模の熱バランス・運動量バランスを考える基本として、気温および東西風の帯状平均を長期間平均した子午面断面図が用いられます。その一



第1図 1月における帯状平均東西風の緯度高度分布 (CIRA86). 陰影をつけた部分は東風. 単位は m/s.

例として第1図には多くのテキストでもお馴染みのCIRA86の平均東西風を示します。

このような平均図は通常“climatology”と呼ばれます。climateは通常「気候」と訳されていますが、climatologyはいわゆる「気候値」とは意味が違います。ケッペンの気候図などで使われる気候値は先に述べた平年値とほぼ同じ意味ですが、climatologyとは文字通り、数値そのものではなく「平均状態 (climate) を論ずる (logy) こと」です。

実例をひとつ挙げましょう。気象学の初等的教科書に今でもしばしば出てくる「対流圏の平均子午面循環」に見られる「3細胞：中緯度の逆循環」はきわめて誤解の多い問題で、講義している先生のご苦勞が偲ばれます。私は『グローバル気象学』（廣田 1992）のなかで、「この平均子午面循環は傾圧不安定波動の影を映した虚像である」と述べました。虚像という一見非科学的な言葉を用いたのは、実際の子午面運動は金太郎飴のようにどの子午面で切ってもすべて同じなのではなく、波動の存在のため東西方向に大きく異なっていて、それらを東西に帯状平均した結果として見えてくる「非実体的」なものだという意味です。オイラー平均・ラグランジュ平均などの専門用語（物理概念）が気象学の世界で使われるようになったのはまさにこのような議論 (logy) が発端だったのです。

CIRAの平均東西風について見れば、上部対流圏中緯度に夏冬問わず西風運動量（ジェット）が集中していること、成層圏中間圏では冬の西風・夏の東風のような対照的な運動量分布とそれに温度風バランスしている平均温度場の存在、さらに90km以上の熱圏では東西風が逆転していること、等々の興味深い現象特性・問題点が浮かび上がってきます。それに対する大規模力学・大循環論としての解釈・説明も上記のテキスト（廣田 1992）に様々な大気波動の作用の見地から詳しく述べてあります。

Climatologyの意義はもちろん力学に限ったことではありません。たとえば近年の種々の衛星観測から明らかにされたオゾンをはじめとする大気微量成分の全球分布・季節変化に関する平均的描像 (climatology) から化学過程・物質輸送過程の詳細な議論が進展したのも大気科学における好例のひとつです。

これで本論の主張点である「如何なる目的で平均を計算するのか、得られた平均値からその先どのような議論を発展させ得るのか、が重要である」という climatology の真意をご理解いただけたものと思いま

す。繰り返しますが、気象学にとって種々の平均値に象徴される観測事実の提示は研究のゴールではなくスタートなのです。『気象解析学』（廣田 1999）の最終章「ミネルヴァの梟」に書いた現象論への熱い想いをぜひ感じ取って下さい。

これで6回に亘って連載してきた私の「気象のABC」はひとまず終わりと致します。ご愛読有難うございました。

参 考 文 献

- 廣田 勇, 1981: 大気大循環と気候. 東京大学出版会, 124pp.
廣田 勇, 1992: グローバル気象学. 東京大学出版会, 148pp.
廣田 勇, 1993: 玩具で遊ぼう—放射平衡模型の使い方—. 天気, 40, 865-872.
廣田 勇, 1999: 気象解析学. 東京大学出版会, 175pp.
廣田 勇, 2011: 波のいろいろ. 天気, 58, 743-746.
近藤純正, 2012: 地上気象観測. 天気, 59, 165-170.