

## 気象観測の諸問題

藤 本 文 彦\*

## § 1 前 が き

地球上の大気の環流のような大規模なものから、煙突の煙の拡がりのような小規模なものに至るまで、大気の現象を支配する法則を知り、それを人間の生活に役立てようとするれば、まず現象を観測しそれをはっきり把握することが必要である。これはいつになっても変わらないことであろう。職階制で観測員の地位がどんなに低く格付けされようとも、その働きなしには気象に関することは何一つできない。気象学史を見ると、学問の進歩は観測技術の進歩や、観測網・通信網の拡充と不可分のものであることがわかる。それで気象学の進歩と人間生活への利用度を高めるために、現在の気象観測で改善すべき点やあらたに考慮すべきことがいろいろある。

気象に関することは、国際的性格をもっていることが多い。天気予報や航空に必要な資料は、自から広範囲にわたって集めねばならないが、気象要素は測定の方法や測器によって違った値を示すことがある。各国で使用している測器の性能や単位がまちまちであったり観測法が著しく異なっているようでは、観測値も異なってくるであろう。低気圧が、国境を越えたときに示度が変わったり、変形するようなことも起りかねない。それでは困るので、気象事業に関しては国際的に統一することがのぞましい。

そのため1878年にIMOが設立されたが不統一のまま残されていることが少なくない。戦後IMOがWMOに発展したのは、気象の国際性がますます大きくなったためであろう。1953年のWMOの測器観測法委員会(CIMO)で観測網のこと、測器の性能精度、観測法の規準化(standardization)利用者のためを考えて観測業務を拡張することなどが討議され、各国でそれらについて研究するよう勧告された。

国際的に規準化することは、もっとも合理的と思われる基礎の上に立ったものでなければならぬ。たとえば、風速の平均時間を10分にきめるとすれば、それが5分または20分にくらべて合理的であると主張する根拠が

欲しいのである。国際的規準化ということは、第1歩から、なかなかうるさい問題につき当たったわけである。それで気象観測の種々の問題について述べて参考にしたいと思う。

## § 2 観測網と観測回数

10数年前には、赤道の成層圏と極の成層圏が分かれていることも、jet stream も知られていなかった。観測網の拡充と共に、気象学が書交えられた例はいくちもある、将来も観測網が拡げられ、新しい試みがなされるごとに、われわれの知見がひろくなることは変りないであろう。それでは大気現象をつかむのに、どの位の観測網をもち、どの程度の時間間隔で観測することが必要であろうか。これに適格な回答を与えることは難しい。

非常に細かい観測網が、重要な未知の現象を見出す手掛を与えることもある。地震の方にはそのような例がある。わが国の地震観測所は現在110であるが、世界中の総数は約600位である。如何に地震国とはいえ、地球全体に対する割合を見れば、不釣合にこの狭い国のnetが細かすぎる。しかし、この稠密な観測網から、和達博士の深発地震の発見や本多博士の発震機構の研究など、地震学史上に特記されるべき重大な仕事が行なわれた。もし観測網がこの半分程度であったら上の研究は、困難であったろう。気象と地震では観測すべき要素とその性質が異なるので同一には論じられないが、気象現象についてのわれわれの知識も、観測をもととする限りは、そのような可能性を全く否定することはできない。

しかし、研究の現段階では、あてもない漠然としたくわだてや試みから、大きな仕事が生れてくる時代ではなさそうに思われる。事業も計画も、はっきりした合理的な方針のもとに立てられるべきであろう。

現在のわが国の観測網を倍にし、30分おきに定時観測をするというようなことは、全般的な天気予報を出す限りでは、必要ではないであろう。しかし雷雨とか地形的じょう乱とか、局地の天気に重大な影響のある現象をつかもうとするには、相当細かいnetと観測のintervalを短くする必要がある。WMOの勧告では、地上は100~150kmおき、高層観測は300kmを超えないこと

\* 気象庁観測部測候課

になっているが、レーダーなどの出現を一応考えないで、もっとも望ましいほどの位のものか、予報関係の方の御意見を伺いたいものである。観測網で大きな問題となるのは、その細かさよりもその著しい不均一さである。地球上の大きな部分を占める海や砂漠、無人地帯に観測所のないことは、現象を解明する上の致命的障害である。学問や技術の進歩のためには何等かの手段によって観測網を拡げることが必要であろうが、それに要する経費、そこで観測にあたる人の生活問題などを考えれば、当分の間実現はむずかしい。

観測網と観測回数は、現象をつかむという点から言えば、全く独立なものではなく、関連のあることである。

WMOでは、観測網のあらい所では観測回数をふやすことによって補うよう勧告しているが、穴を回数によってどの程度埋めうるかは問題である。たとえば、砂漠の真中や孤島の観測所に前線が近づく場合、1日1回くらいの観測通報では、天気図上で見逃すこともあるが、毎時観測をすればとらえる機会も多いのは明らかである。前線の存在や位置を知るだけならそれでも間に合うが、その動き、発達衰弱を知る手掛は一点の観測では不十分であろう。さらに産業上の必要からある土地の気候を知る必要があるときを考えて見よう。気候学的な観点から問題になるのはその土地の平均風向・最多風向・平均風速・最大風速・平均気温・最高最低気温・雨量などである。その場合、最寄の観測所の資料からそれらを推定するのは、困難なことが多い。一つの観測値がどのくらいの範囲を代表すると考えて良いかは、要素の性質にもよるし、使用目的によっても差がある。

気象要素の代表性の問題は地形との関係もあって複雑である。気候学上からはある地域の気候をもれなく記するに足る観測所があるが、わが国では測候所の他に(区内)観測所があって、一応その目的を果している。それでも正確な資料がどうしても必要ならば、特別に観測するより仕方がない。とくに降水量をとりあげてみると、水の利用とか洪水予報に重要であるが、いままでの観測網では実状がつかめていないので、無線ロボット雨量計を山岳地帯にいたり、snow surveyなどを行っている。応用気候という立場からみると、殆んどの場合、特別に観測することが必要であろう。気象のデーターをある目的に応用する例として、原子力工場の煙の拡散について考へてみる。これには年間を通じての風向頻度・平均風速・wind shear・気温の垂直分布・土地のあらさのパラメーターなどが必要である。ふつうの観測で扱われていないものももちろんであるが、付近の資料のみでは間に合わないことになるであろう。少くともある期間、現地で観測して周囲の要素との相関をしらべる必要がある。微気象的なものを、あらい観測網のデーターから知ろうとするのは無理である。気象庁・気象台の役目が、災害の防止とともに国民経済に寄与することにあるとす

れば、多目的の観測に応じられるような移動観測班を考えたり、現存する資料をいろいろの目的に使えるような調査機関をもうけ、気象の利用について助言もできるようなにはしてはどうだろうか。

### § 3 観測の精度のこと

大気のはんどすべての要素は、充分感度の良い測器を用いれば刻々にゆらぎを示す。また時間を固定すれば場所ごとに異った値を示す。

それは大気の流れ構造のためであることは、よく知られている。気圧を1/1000mm,あるいは気温を1/100°Cの精度で、おくれなしに記録するような高性能の測器があれば、刻々の細かい微動を記録する。そのような精巧なものを維持するには、相当の注意と熱練を要するのであるが、それだけの労力をはらっても、そのデーターはかならずしも有効には使えないように思う。気象観測の精度は、使用者の要求に応じたものであるべきで、それ以上のことをするのは労力と経費の無駄である。必要な精度はどれだけかということは、これまた一概に言えないが、気象官署に関する限りは、通報のため、気候調査のためということで、自からきまってくる。その場合必要なのは、刻々の変動の平均量であることが多い。百葉箱の乾球は刻々のゆらぎのある平均を示すと考えられるが、気圧計や乾湿球湿度計も同じと考えてよいであろう。これはどの程度の精度が必要なのか。

地上気象観測通報式では、気圧はmbの10分位、気温は度の1位を報ずることになっていて、天気図解析はこの程度の精度をもとにしていると思われる。mbの10分位、度の1位が予報の精度にどのくらい影響するものか、観測する者の側では知りたいのである。なるべく細かく読んでおけば、必要な桁だけ適宜とることができるという意見もあるかもしれない。しかし、観測する側では、例えばmbの10分位がどのように使われるのか、はっきりしないのでは気持が悪い。もしそれが重要なものであれば、その値が測器の特性や、観測技術の上から合理的であるかどうか、見かけの精度にすぎないのではないかを考えて見なければならぬ。それで気象観測で扱われている主な要素について、問題となることをあげてゆく。

a) 気圧 水銀気圧計のsystematicな誤差は注意深く組立て、calibrateし、保守すれば0.1mb以下になるが、条件の悪いときには、0.1mbをはかるかに越えることがある。観測時前に温度が激しく変化するときには、付着温度計と水銀の温度に差を生じることがあるし、部屋の空気が層をなして気圧計に沿って著しい温度勾配があるときも誤差の原因になる。また風の吸出し効果として知られる現象は、かなり著しい影響がある。これによる誤差は10m/s近く吹くと、すぐ0.1mbくらいの誤差になる。強風の場合には読取不能にすらなる。

Station型や船舶用気圧計ではより重大な他の誤差が

入ってくる。これらの結果を総合すると、陸上でも 0.2 ~ 0.3mb の誤差はあり得るものとしなければならない。

気圧の10分位が極めて重大なものであれば、気圧計室について考慮するか室内に扇風機を置いて空気をかきまぜることもしなければならないであろう。さらに海面更正にもなる誤差を考えると、うるさいことになる。

とくに高い所にある測候所では数百メートルもの土や岩を掘下げて、仮想気柱を考えるのは意味の無いことで mb の10分位は問題外である。海面更正は主として天気図のためと思われるが、それには 500m, 1,000m というようにある高度に更正するか、等圧面高度を算出するのが合理的ではないか。現在の観測法では、100分位まで読取ることになっているが、100分くらいはそう神経質になる必要はないと注意してある。いまの観測法は、測器の構造上読み得るところまで読めという方針のようで、それも1つの方法である。しかし、気象観測の精度は、大気の流れ構造と使用測器の性能に制約されるある限度があるはずで、それを越えて読んでも、細かい観測をしたようになるだけで、余り意味がないのみか場合によっては誤解をうむことになるのではなからうか。

**b) 気温** ある地域の代表値としての気温を測る場合、空間的平均温度が時間平均温度に等しいと\*という仮定を暗黙裡にみとめているわけであるが、これは問題である。

現在温度計は度の10分位を読んでいるが、これはある測候所の百葉箱内で測った温度という以上の意味はない。10mも離れたところで測ったら度の10分位は違っているかも知れない。以前からこの種の比較観測がなされているが、陽が照って大気の流れの激しい時は50ftくらいはなれた2点で 0.5°C ~ 2°C くらいのゆらぎがあるとのことである。ゆらぎの少ない時には少しはなれたところでもかなりの温度差がありうるということが知られている。はなはだしい例であろうが、風のない晴れた夜、半マイルにもならぬ2点で 27°F の差が測られたこともある。必要なものがある地域を代表する温度であるとすれば、温度の10分位は無意味である。\*\*最高気温・最低気温の新記録という点で、新聞種になる場合があるだけかも知れない。

**c) 湿度** これも同じようなことがいえる。湿度は蒸気圧が一定でも温度のゆらぎによって見掛のゆらぎを生じる。また乾球と湿球の示度のおくれのちがいは無視できない。これらによって起りうる誤差は2%くらいにはなるようである。冬季湿球が凍る場合は、取扱の不備によって、もっと大きな不確かさを生じる。現在の観測

\* 百葉箱の温度計はゆらぎの平均値をあらわすと考える。

\*\* 乾球と湿球の差から蒸気圧を算出するのでいずれにせよ10分位は読まねばならぬがそれは別である。

では百分率の1位まで出しているが低温では1位の値はあてにならない。夏の高温時ではほぼ正しいと考えられる。

**d) 降水量** 降水量の観測は貯水器にたまった水を雨量ますに移してミリの100分くらいまで読むことになっている。

なるほど雨量計の口径と雨量ますの口径の比から何倍かに拡大されるわけだから読取はできる。しかし雨量計の構造と風のおよぼす大きな影響を考えれば、100分くらいどころか10分くらいも余り意味のないものである。

**e) 風** 大気の流れ構造のため地上の風向・風速は細かな変動を示す。それで synoptics も気候学もある時間の平均風向・平均風速を用いる。それでは (i) この平均時間としてどれだけのものを採るのが合理的か (ii) 風が変動する場合、測器によって得られる平均値にどれだけの誤差がでるか、ということが問題になる。気象観測法では10分の平均をとることになっているが、これは全く便宜的なものではっきりした理論的根拠はない。

秒の程度で変動する風の平均風速を問題にする立場からいえば、数分の程度で変動する風は平均風速になってしまう。しかしその程度の変動も、time scale を小さくして時間単位でながめれば、明らかに乱れとなる。

天気図解析や気候学で、平均流をどの程度と考えたらいいであろうか、これも関係者の御意見をきかしていただきたい。第2の問題はいろいろ調べられたところでは、風杯式風速計では大きくすぎる傾向がある。それで風杯の半円型を円錐型に改めることなどを行っている。10%程度の誤差はふつうのことと考えられるし、風の息の大きい時には、それ以上にもなるらしい。観測値は付近の土地を代表するものでなければならないが、風速は一般に高さとともに増加するし、風速計を据付けてある場所の地形や付近の障害物に著しく影響される。

周囲がビルでかこまれているような大都市の中央の測候所で測った値がその付近の土地の風であると言えないのは明らかである。従って風速の比較をする必要のあるときは、気圧の海面更正のごとく測候所特有の更正式をつくって更正値についてなされるべきであろう。

種々の影響を考えると風速計による値も風力階級の1階級以上の精度はないかも知れない。天気図ではコード化されたものを使うからさしつかえはないであろうが、気候表などに出ている細かい値は風速計がその値を示したというだけのものであろう。

**f) 蒸発** 蒸発の観測は以前直径20cmのものを使っていたが120cmの大型のものに切り換えられてゆくことになっている。これは小型のものは日射の影響で過大の値を示すからであるという。しかし蒸発量も水のじょん環のような大規模なものから、水田などからの蒸発のような比較的小規模なものまで、対象がいろいろあり、どのような蒸発計がよいか一概に言えない。水田や土壌か

らの蒸発などはかえって小型の方が実際に近いかも知れない。

g) 目視観測 雲、空の状態、視程などは目視観測による。空の状態はあらゆる気象要素の総合的具現であるので、予報者にとって、特に局地予報に利用価値が大きいと思うが比較的新しい試みなので不完全な点が多く雲の研究などと平行して、今後改善するところが多い。天気解析の担当者協力によって、より良く利用しようようにすべきである。視程が問題となるのは、主に交通機関、特に飛行機である。現行の最短視程が良いかどうかについてはいろいろ意見もあり、visibility index を採用してはどうかとも言われている。

#### § 4 観測今後の問題

気象観測で問題とする要素について、どれだけの精度を必要とするか、現在どれだけの精度まで責任をもてるか、どこまで精度をあげることができるか、それをどのように使い得るか、ということをはっきりさせる必要がある、それにより観測も生きてくる。現存の測器で読取可能な所まで機械的に読んで、意味のある値であるかのように見せかけるのは、観測者の科学的態度ではない。観測には、対象とすべき現象の規模に応じて、適当な測器を用いるべきで、1つの測器で同じ観測法をあらゆるものに適用しようとするのは無理である。今まで重要なものでありながら、比較的粗末に扱われているものに輻射の観測がある。大気現象の根源をたずねれば、太陽からの energy と地球の放出する energy である。大規模

な大気の環流から局地的な気候に至るまで、輻射の資料なしに論ずるのは全くの片手落である。地球観測年でこの点を補う計画があるようであるが、当然普通の気象観測に取り入れるべきである。

移流してくる気団の変質をしらべるためには、海面の温度分布や水面付近の状態などの観測も必要ではなからうか。一般の利用者の要望に応じるための観測の拡充となると、問題は大きくなり簡単には言えないが、気象観測も時代と共に進化してゆくべきであろう。

飛行機の往来がはげしくなれば、その便宜を計ることも当然であるし、原水爆実験が盛んに行われるときは放射能の測定も必要であろう。ただし気象に関するあらゆる data に気象官署が関係すべきか否かはいろいろ議論もある。

以上気象観測について私見をまじえながら問題をのべた。筆者個人の考えであり、独断や誤解も多いことと思う。その点御批判、御教示をいただければ幸である。なお精度に関する部分は Middelton の論文から多く引用していること、WMO に関することでは、測候課の鈴木・山口両氏が筆者の誤を正して下さいたことを付記しておく。

#### 参考文献

- 1) Middelton, 1948. : Present day accuracy of meteorological instruments. Q. J. R. M. S. 72.
- 2) 佐貫亦男 : 地上気象器械.
- 3) 高橋浩一郎 : 気象統計

### 有効ポテンシャル・エネルギー (Available Potential Energy) とは

太陽からくる輻射量と逆に地球から大気にてゆく逆輻射量との差が極と赤道とは違うために、ポテンシャル・エネルギーに南北傾度が生じ、このエネルギーが運動エネルギーを供給している。そしてどのようなみちすじを通してこのようなエネルギー変換が行なわれているかは大気大循環のエネルギー論の中心題目になっている。たとえば Phillips によると熱によってポテンシャルエネルギーが生じ、ポテンシャル・エネルギーの一部は乱流のポテンシャル・エネルギーになって乱流の運動エネルギーを補給し、またこれが一般流の運動エネルギーを補っている。しかし、ここにもう一つ考えねばならない問題が含まれている。すなわち、ポテンシャル・エネルギーの全部が運動エネルギーに変換しうるのであろうか。直観的に考えても気柱のポテンシャル・エネルギーが零になることはあり得ないし、どこかに運動エネルギーに変換しうるポテンシャル・エネルギーの量に限界がありそうである。そこで考えつかれた量が Lorenz のいう有効ポテンシャル・エネルギー (Available Potential Energy マルグレスは有効運動エネルギーと名付けた) である。大気の密度層が水平的に一樣だと運動は起らないし、運動エネルギーに変換しうるポテンシャル・エネ

ルギーも零である。したがって、一樣に温められるとポテンシャル・エネルギーは増加するが、運動エネルギーに変換できるポテンシャル・エネルギーはやはり零である。しかし密度層が水平に一樣でない運動エネルギーに変換しうるポテンシャル・エネルギーが生ずる。これを有効ポテンシャル・エネルギーという。すなわち、大気の有効ポテンシャル・エネルギーとは全大気のポテンシャル・エネルギーから、その大気をかりに水平に密度が一樣な層の大気になるように空気を再配分したときに生ずるポテンシャル・エネルギーを差し引いたエネルギーのことである。したがって密度分布が空間平均値に対して変動が大きくなるほど有効ポテンシャル・エネルギーは大きくなる。ポテンシャル・エネルギーのうち有効ポテンシャル・エネルギーになりうる量は1%以下で運動エネルギーと有効ポテンシャル・エネルギーとの比は約10%である。もし、断熱なら有効ポテンシャル・エネルギーと運動エネルギーとの和は一定で運動エネルギーが増すと有効ポテンシャル・エネルギーは減少する。しかし実際の大気について計算すると、両者は同時に増加、減少しているが、これは実際の大気は断熱でないことを物語っている。(朝倉正)