

# 大規模現象解析の立場からみた

## これからの気象観測\*

栗原 宜夫\*\*

### 1. まえがき

大気大循環の機構を気象資料の解析を通じて解明しようとする立場から、以下簡単に、今後の気象観測のあり方という問題の一端にふれてみようと思う。(これは2月8日に行われた学会月例会の際に話した要旨に若干書き加えたものである。)

大規模解析のテーマとしては、運動量、水蒸気、各種エネルギーの大気内の分布を調べ、高低気圧程度の擾乱によってこれらの収支変動がいかに行われているかということを取り上げなければならぬと考えられる。この場合、何と云っても海域での海上、高層の気象資料を充実させることが強く要請される。また、エネルギー論からいうと、対流圏内での各種エネルギー間の変換、大気と地球あるいは海洋間のエネルギー交換、対流圏と成層圏間のエネルギー交換、大規模擾乱と中小規模擾乱との間のエネルギーのやりとりなどが、解析の焦点となってくる。

以上の観点にたって気象観測の現状と将来を眺めようというわけであるが、その為には、現在、観測と測器の発展の方向がどうなりつつあるかを概観的に捉えておくことも必要である。そこで、第4節では、こゝ1~2年の間に発表された外国(主として米国)の報告とか論文からそれらの傾向を探ることにし、それが上述の問題とどう関係していくかを逐次述べることにする。

### 2. 普通観測と特別観測

気象観測は、その性格からみて普通観測と特別観測に分けて考えることができる。

普通観測は、常置された観測網において定められた時刻毎に行なう観測で、その用途は一般的である。すなわち、得られた観測資料を解析することによって、予報

(シノプティックな状態の把握、力学的予報のための初期値の提供)、統計(気候学的)、研究(主に大規模な範囲にわたる数値解析)に利用することができる。

これに対して、特別観測は、特別の目的を持ってなされ、特定の時期の大気状態を調べたり、特別の現象の維持や発達を解析するのに利用される。いずれは現象の予報につながり、普通観測にとり入れられる日が来るかもしれないが、今のところは直接に予報とは関連しないという点で、前述の普通観測とはやゝ異った性格を持っている。メソ現象を調べるための観測などがこれに当たるものと考えられる。

第1節に述べたような諸テーマを取り扱うには、普通観測が充実することと同時に、目的を明確にしたある種の特別観測を企て、それを実施することが今後一層重要になってくるのではないだろうか。

### 3. 観測網と観測頻度

普通観測にしても特別観測にしても、現象の解析という立場からみると、観測網の設定に当っては、大気擾乱のスケール、その分布と伝播、エネルギー源の場所などを考慮するのが望ましい<sup>12)</sup>(実際の観測網はこのような気象学上の要望の他に、気象利用者の要求も加味して決められるであろう)。なお、観測計画は三次元的に立てられるべきで、垂直方向には地上または海上気象観測と高層観測、水平方向にはこれらの観測網と水平方向(等高度面)観測によって資料の密度が決る。

観測頻度の問題は、大気擾乱の移動速度と観測網の密度、大気の状態の時間変動の様子および利用者の要求などから決ってくると思われる。

なお、観測網が粗い場合には、ある程度時間平均をしたような資料を用いて解析を行なってもよいが、密な観測網においては時間応答の速やかな観測をするように注意しなければならない。

### 4. 観測と測器の問題

気象観測全般についての最近の傾向は、観測の客観

\* Consideration of Meteorological Measurements from the Standpoint of Analyzing Large-scale Phenomena.

\*\* Yoshio Kurihara, 気象研究所予報研究部  
—1963年2月28日受理—

化、あるいは機械化、観測結果の自動的処理の工夫であると思う。観測値の自動的処理については、有意な資料が除去される危険性があるがこれは利用者の方でも十分に注意する必要がある。

では、次に現在開発されつつある測器や観測方法を整理しながら、大規模現象の解析との関連を考えてみよう。

#### (a) 地上観測

地上気象観測において、風、気温、湿度の多層観測が問題になりつつあることは、われわれの関心を惹くことだからである。すなわち、このような要素の多層観測(地上約100m迄の範囲、場合によっては約300m迄)によって顕熱の輸送、蒸発に関する解析が進み、大気と地殻間のエネルギー交換に関する研究に大きな貢献をすることが期待される。実用的にも、融雪、植物の生長、霧・露・霜の生成の問題など関係する分野は極めて広いであろう。

観測と観測値の処理については、例えば、米国イリノイ州のアルゴン国立研究所では、その自動化に成功している<sup>2)</sup>。そこでは、風速、風向、気温、露点温度、放射量、降水量、地表・地中温度など全部で29要素(多層観測、2・10・60分平均値または積算値も含めて)の観測が行なわれている。自動的に観測されたこれらの値は、直接にまたはアナログ量をデジタル化する変換器を通して、記録器につながる。このようにして記録された値は、アウトプット予定表に従って、定められた時刻毎に紙テープにパンチされ、またテレタイプに流される。紙テープ上の値は更にIBMカードに移されて保存されるという仕組みになっている。

なお、雨量観測、特にその分布を知るためにレーダーを利用することは非常に有用ではないかと思われる。レーダーを用いて推定したある地点の雨量と、雨量計で測った雨量との差はおおむね数パーセントであるという例も報告されている<sup>3)</sup>。

#### (b) 間接観測

間接観測というのは、測定地点に測器をおかないで気象状態を測ろうとするやり方で、前述のレーダーによる雨量観測とか、航空機や人工衛星から地表の温度を測る方法などがこれに含まれる。そのほか、現在開発されつつあるものに次のようなものがある<sup>3)</sup>。

放射計……地上においた放射計によって雲底温度などが測定できる。

光レーザー(optical laser)……光学的ドップラーレーダーとも云うべきもので、地上から送り出した光波の

反射波長と強度から上層の気温と湿度の状態を知ることができる。大気が安定な成層をしている時には、たとえば地上2km位までの気温の分布状況などがわかる。

EMAC(electromagnetic acoustic probe)……レーダー波と同時に音波を大気中に送り出すと、その粗密波がレーダー波の反射体となる。そこで反射されたレーダー波のドップラー測定から高層の風と気温の状態が、また反射強度から湿度の状態が分る。音波の波長をレーダー波の波長の半分にすると最も効率の良い測定ができる。もしも波長75cmのレーダーと880サイクルの音源を用いれば、約13kmの高さまで観測できるから、対流圏内の状態を短時間で測ることを期待できる。

ドップラーレーダー……ドップラーレーダーによる風の観測は、レーウィンゾンデの観測精度に比べても劣らない位進歩しつつある。また、ドップラーレーダーを利用して、雨滴の落下速度を測ったり、ある仮定のもとに雨滴の粒度分布を求めたり、ある条件下では雲内の上昇気流の速度を測ったりすることができる。

間接観測には以上述べたような色々な用途が考えられるが、気象解析の立場からみると観測点における風・気温・湿度などの垂直分布が略同時的に測れる点が、大きな利点の一つであろう。ラジオゾンデ観測などのように高度が増すにつれて観測時刻が遅れ、また観測位置がずれていくということは、特に連続方程式を利用して大気の垂直速度を計算する上で大きな難点になっている。間接観測測器の進歩が待たれる所以である。

#### (c) ラジオゾンデ観測

高層観測において海域上の資料が足りないことは、以前と変らないが、到達高度の方は除々に改善されて、第1表に示すような状態となっている。これは1961年1月の北半球上の総計21950回のラジオゾンデ及びレーウィンゾンデの観測結果をマイヤースがまとめたものである。これによれば、北米大陸、ソ連、ヨーロッパ、アフリカでは全観測の80%以上は100mbに到達しており、アラスカ、米国、中米では60%以上は25mbにも及んでいる。なおソ連では50mbに到達するのが僅か6%という結果になっている。

測器の方についてもGMD-2方式の観測システムは従来のGMD-1方式に比べて、高層で精度の良い風と気圧の資料を与えると云われている<sup>4)</sup>。GMD-2方式では、ゾンデからは気温と湿度の値のみを送信し、レーダーで追跡したバルーン的位置(高度角、方位角、直距離)を加味して風と等圧面高度(静力学の式による)を計算する。

第1表 1961年1月のラジオゾンデおよびレーウィンゾンデの100, 50, 25, 10, 5mb 高度到達率(%)

	等 圧 面					観測総回数
	100	50	25	10	5mb	
ヨーロッパ(除ソ連)	81	46	13	3	1	2667
ソ連	85	6	2	*	*	4976
アジア(除ソ連・中共)	75	49	25	4	*	1275
中共	71	20	3	1	*	3131
アフリカ	81	50	21	10	1	580
アラスカ	95	88	74	18	2	980
米国	93	85	68	11	*	4376
カナダ	94	77	34	4	*	1945
中米(含メキシコ・カリブ海)	87	75	62	21	3	791
太平洋諸島	79	66	57	13	2	694
船舶	52	21	12	3	*	555

(\* は 0.5% 以下)

高層観測は更に大型気球と異種のゾンデによって 20 km 以上 50km 位迄に観測範囲を広げること考えられているが、現状でも大陸上の対流圏内の諸現象や対流圏と成層圏間のエネルギー交換の数値解析が一応可能な段階に達しつつあると考えてよいだろう。問題はやはり海洋上の資料をどうして得るかということで、これについては (f) の水平観測の項にゆずることとする。

## (d) ロケットゾンデ

ロケットゾンデは測器をロケットで高さ数 10km に打ち揚げ、そこから測器を降下させて気象観測を行なうというものである。現在まではロケットゾンデによって得られた超高層の気温、密度、風などの資料は、主として、この部分を飛行するミサイル等を製作する上での基礎的なものとして、あるいは発射時の気象状態を知るのに使われている。しかし、発射回数が増え、粗いながらも観測網が整えられるにつれて、高さ 30km 位から上の中間圏(または中部・上部成層圏と呼ぶ人もあり、下部成層圏と電離圏の間を占める)の気象状態について、例えば大規模な擾乱が存在し、それが下向に伝播するらしいことが推定されるようになってきた。将来は中間圏と成層圏、中国圏と電離圏の間のエネルギーやりとりの解析が必要になり、その為の観測が行なわれるようになるかもしれない。ここでは、アメリカにおけるロケットゾンデ観測の現状<sup>5)</sup>について簡単に述べておく。

米国では気象局を始め各種機関が協力して気象ロケット観測網を整え、1959年10月から活動を始めた。現在では地点はアラスカと北太平洋を含めて 11 地点となり、1962年7月迄の総観測回数は1200近くになった。このう

ち気温を測定したのは 268 回で、大部分は風のみを観測である。

ロケットには Arcas と呼ばれるものと、Loki と呼ばれるものがある<sup>6)7)</sup>。Arcas を例にとると全長 2.3m、重さ 35kg 程度で、発射してから頭部の測器部分が切り離される迄に約 80 秒かゝり 60km 程度に到達する。ここで、例えば第 1 パラシュートが開き 0.1 mb/sec 速度で降下する。ある高さに達すると第 2 パラシュートが開いて 1 mb/sec の降下となる<sup>8)</sup>。このパラシュートの航跡を地上からレーダーで追跡して風の状態を観測する。風の観測にはこのほかに、直径 1m 程度の球体 (ROBIN と称されている) や、空中にばらまかれた chaff と呼ばれる針状の電波反射体の動きを追跡するやり方もある。これらについて行われた比較観測の結果<sup>5)</sup>をみると、chaff の場合は落下速度が遅いことと chaff の拡散のために観測値の変動が大きいが、概して高さ 70km 迄はどの方法の観測値も利用できるものとみて差支えない。

## (e) 人工衛星

人工衛星による気象観測は、大規模解析を行なう上に有用な資料を今後ますます提供するものと思われる。

人工衛星が気象観測において果す役割<sup>9)</sup>の一つに、普通の地上観測の補足ということがある。すなわち地球表面の温度分布、大気中の水蒸気やオゾン量分布の観測を行なっている。

次に、人工衛星による観測には、放射関係(太陽からの入射量、地球からの放射量など)と雲の観測(広域にわたる分布状況や、雲頂高度の観測)がある。大気大循環の研究においてこれらが重要なことは言うまでもないことであるが、定量的な解析がようやく可能になってきたと云えよう。

第 3 に、人工衛星による気象情報の中継ということがある。将来は、海洋上あるいは僻地に設けられる自動気象観測所からの情報は人工衛星を経て伝えられるであろう。また、等高度気球による観測値の中継と気球の位置の観測に人工衛星を利用することが企画されつつある。これについては次節でも述べる。

現在迄に打ち上げられた TIROS などの気象衛星は赤道面に対してその軌道が 48 度あるいは 58 度傾いていた。これに対して今年打ち上げ予定の Nimbus 衛星は、殆ど極を通る軌道となる筈で、全地球を蔽う観測をするものと期待される。

## (f) 等高度観測

等高度を飛ばす気球を利用したトランゾンデ観測<sup>10)</sup>は

海洋上の風と気温の資料を得る為に行われ、一時は太平洋横断の気球が1ヶ月に15個位飛ばされていた。この観測は、風の非地衡風成分を推定したり大気循環の様子を直接調べたりすることにも利用された。

しかしながら、大型の気球をどんどん飛ばすことは、ジェット機の飛行の障害になるということで、1959年4月迄で従来のやり方の水平観測は中止された。そして、その後は気球や測器の大きさと重さを極力減らすことに努力が集中され、気球について言えば直径約2mのプラスチック製の球体(半球状のものを合せて作る)が作れるようになった<sup>11)</sup>。また観測結果は人工衛星を中継して地上で受けるように企てられている。先に述べたように、近いうちにニッパス衛星が2箇所ち上げられる予定であるが、この衛星は、南北各半球上の300個ずつの気球の位置を追跡する能力を有しており、1日に総計3000個の上層風の値が得られる見込みである<sup>10)</sup>。このことは、海上の資料の不足に悩んでいる解析者にとっては期待するところ多大である。

##### 5. 観測の組織

前の節では、主として測器の面から、今後大規模解析を行なうに必要な資料を豊富に入手できる見通しは決して暗くないことを述べた。しかし、気象観測のなかには、世界的な規模で観測を行なって資料を蓄積すべきものと、必ずしもそうする必要はなくある特定の目的を持って特別観測を行なえばよいものがある。これについては既に第2節でもふれておいたが、前者(普通観測)はルーチン業務として実施されるべきで、観測要素や観測方法は、WMOなどによって世界的に統一すべきである。現在でもルーチン観測の大部分については、WMOが基準をきめているのであるが、単位系にしても、未だにC-G-S系に統一されないでフィート、華氏等を使用している国があって解析上甚だ不便を感じている状態である。測器の統一の可否の検討あるいはその実行ということも将来いつかは問題になるであろうが、とりあえず観測に使用する単位系、観測要素、観測方法について最低限の統一が行われることを希望したい。

次に、特別観測についてであるが、大規模現象の理解のためにも、また中規模解析のためにも、将来その重要

性はますます増加するであろうと思われる。筆者の考えでは、特別観測は特殊測器をもつ特別観測班を組織して行なうべきで、ルーチン業務と重複させて行なったのでは機動性に富んだ活動に困難であろう。そして、特別観測班は研究者や測器技術者と密接に協力して仕事を進めるべきであることはいうまでもないが、その組織をつくるに当っては気象庁だけでなく大学や他の機関も含めて考えるべきで、問題によっては国家間あるいは国際的なつながりも要求されるものと考えられる。

(1963年2月記)

##### 参考文献

- 1) Showalter, A.K., 1962: Surface Weather Measurements. Bull. Amer. Met. Soc., **43**, 454~456.
- 2) Moses, H. and F.C. Kulhanek, 1962: Argonne Automatic Meteorological Data Processing System. Journ. Appl. Met., **1**, 69~89.
- 3) Atlas, D., 1962: Indirect Probing Techniques. Bull. Amer. Met. Soc., **43**, 457~466.
- 4) Myers, R.F., 1952: Vertical Soundings of the Atmosphere. *ibid.* **43**, 464~464.
- 5) Webb, W.L., Christensen, W.I., Varner, E.P. and J.F. Spurling, 1962: Inter-Range Instrumentation Group Participation in the Meteorological Rocket Network. *ibid.* **43**, 640~649.
- 6) Webb, W.L., Hubert, W.E., Miller, R.L. and J.F. Spurling, 1961: The First Meteorological Rocket Network. *ibid.* **42**, 482~494.
- 7) Keegan, T.J., 1961: Meteorological Rocket-sonde Equipment and Techniques, *ibid.* **42**, 715~721.
- 8) Baynton, H.W., 1961: AN AMQ-15 Rocket-sonde Tests at White Sands Proving Ground. *ibid.* **42**, 34~41.
- 9) Johnson, D.S., 1962: Meteorological Measurements from Satellites. *ibid.* **43**, 481~484.
- 10) Mastenbrook, H.J., 1962: Horizontal Soundings of the Atmosphere. *ibid.* **43**, 475~480.
- 11) New Weather Balloon Developments, 1962: *ibid.* **43**, 160.
- 12) Kurihara, Y. 1962: A Note on the Numerical Analyses of Momentum and Energy Budgets. Pap. Met. and Geophys., **13**, 131~144.