

天気解析における観測値の問題

沢 田 竜 吉*

天気解析の重点の一つはますます広範囲のものに指向されており、すでにはほぼ北半球全般をおおう程度の天気図が基本的に重要な役割を演じている。その理由の一つは天気変化の大勢を支配する機構が半球全体にわたる大規模なものである点であろう（例えば須田・朝倉，1955を見よ）。

天気図はまた高層にもその範囲がのびている。かつて700mb面または3km面の天気図が演じた役割はすでに500mb面天気図にその席をゆずっており、さらに最近の航空気象では300mbおよび100mb面天気図の解析が浮かび上がってきた。その上さらに50mb、25mbおよび10mb面天気図が要求されつつある現状である。

このようにして広域にわたり、しかも高々度にのびる天気解析が現在当面する問題は次の三つの課題である：

1. 観測網の空白、
2. 観測値の精度、
3. 低緯度では地衡風の概念が成り立たないこと。

これらはいずれも本質的に困難な問題であって、その解決は一朝一夕というわけにはゆくまい。したがってこれらの困難を根本的に解決することのほか、これらをどのようにして避けるかを工夫することが現在の一つの指導方針であるといえよう。

総観解析のもう一つの重点は、いま述べたような広範囲にわたる大規模な現象の解析と平行して、現象の精密な分析に向けられている。前線や雷雲の内部構造などがその対象であり、これはいままでのべた総観解析で扱う現象より一けたも二けたも小さな規模のものであるから、特に細かい観測網（レーダーを含めて）が必要となる。

以下、これら解析の当面する問題の二三を概観しよう。なお今回は低緯度の力学的問題についてはふれないことにする。

Differential Analysis

観測値の数の点でも、その精度から考えて見ても、最も正確な解析ができるのは地表面天気図である。したがって解析の基本をなすのもこの天気図である。地表面天気図はごくわずかの誤差で1000mbの等圧面に簡単に置き換えられる（沢田，1955，P.89）から、1000mbの等圧面天気図を基本と考えてもよい。

次に例えば500mbの等圧面天気図をつくる一つの正攻法はこの1000mb面を底面とし500mb面を上面とする層の厚さの分布図を描き、これを1000mb面の高度分布に加え合わせて作る、いわゆる differential analysis である。

この解析に必要な観測値は：

1. ラジオ・ゾンデによる両等圧面の高度差（又は平均気温）の実測値
2. 500mb および 850mb における風のベクトル差（いわゆる wind shear 又は温度風）。

しかしこれらはいずれも陸上観測所の値ばかりで、海上ではわずかの定点観測船によるもののみで、大部分の海上は空白となる。このような空白域について現在とられている方法は次のようなものである。

1. 下層（特に海面）の観測より500mb面の高度を推定する（例えば Plumley, Bryson and Bookston, 1945; Smith, 1955）。
2. 地表面天気図と1000~500mb高度差分布の型の関係に関するモデルをあらかじめ確立しておき、高層の観測値のない地域では地表面天気図に着目して

* 気象庁予報部予報課

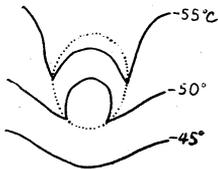
このモデルにあうように 500mb 面を推定する (例えば Air Weather Service, 1954, pp. 10~18)。

このうち(1)は気温の減率が下層の観測だけで十分正確に仮定しようという考えにもとづいている。この方法で逐次 300mb, 200mb, 100mb 面の等圧面が積み上げるようにできる理くつで、その根本思想は、

- 1 下層の天気図ほど精度がよく、
- 2 観測値のすくない上層の天気図にこの下層の精度を反映させるということである。

Singularity の現象

前線やトロポポーズなどは、それらを境にして大気の熱的な構造が不連続的に変わるという意味で特別なシンギュラリティをなすとみるべきで、このようなものの近くでは“下層から上層を推定する”ことは一般にできない。1000mb 面から 500mb 面へ向かう過程では前線が、また 300mb 面から 200mb 面へ向かう過程ではトロポポーズがこの意味で一つの大きな障害となる。このような困難を避ける方法は今のところモデルの利用であろう (Kochanski, 1950), 正確を期するためには結局は前線面の地形図を作製する (Crocken, Godson and Penner, 1947) こと、およびトロポポーズの地形図を作製する (Kochanski, 1950) ことが前提条件で、これらの面を境として大気を切りはなして解析をすることが必要である。



300mb 面における等温線 (実線) とトロポポーズ (点線)。円型の点線内部は成層圏で、外部が対流圏である。

図は 300mb 面上における 5°C 毎の等温線で、点線はトロポポーズの切り口を表わしている (Kochanski, 1950)。このような場合は対流圏の谷や発達した低気圧の上空にみられる型で、成層圏がこの円型の内部で 300mb

より下層に沈んでいることを示している。この外側はもちろん対流圏内である。トロポポーズは気温減率の不連続面であるから、この図に見られるように等圧面上の等温線についてもトロポポーズが一つのシンギュラリティを形成することになるのである。

このような場合に 300mb 面を土台にして 200mb 等圧面の天気図を作製するには、このシンギュラリティ近くで三つの全く違った熱的な構造の気層があることに注意しなくてはならない：

- 1, 300~200mb 間の気層が成層圏である部分。図では点線 (トロポポーズ) で囲まれた円型の内部。
- 2, 300~200mb の間にトロポポーズが存在する部分。図では点線の外側の環状部分であるが、200mb 面におけるトロポポーズの切り口がわからない限り、この環状部分の範囲は決定できない。

- 3, 200b まで完全に対流圏内である域。図では点線の外側の、しかも(2)項でのべた環状部分のさらに外側の全域。

200mb 面までの観測値が十分密に与えられている場合は問題はないが、300mb より上空の観測が悪い場合にはこれを外挿で推定することとなる。このような場合に(1)の成層圏部分は先ず問題はない。成層圏内であるからほぼ等温と仮定すれば図の温度分布から直ちに 300~200mb 面の高度差が計算でき、その誤差も大したものではないからである。また(3)の対流圏部分についても大体において一定の気温減率を仮定して推算することも大過なくできそうである。

問題は(2)の空域で、一部が対流圏、一部が成層圏という組み合わせの気層の所では、トロポポーズの高度がはっきりわからない限りは推算は一般に不可能であろう。

これは一例にすぎないが、一般に前線、トロポポーズ・ジェット気流などのシンギュラリティの存在が観測網の空白域における重大な解析の誤りの原因であることは明白である。

観測網

低気圧などの現象がもれなく観測網にかかるようにするには観測所の密度をどのくらいにすべきか。これを幾何学および統計的な立場から考えて、高橋(浩) (1943) は 100km 平方に 1 カ所という値を出している。IMO の決議 (IMO, 1947) では 100~150km 間隔という数字になっている。特殊な地区をのぞけば陸上の観測網はほぼこれらに近い密度を有しているといつてよからう。次に海洋に関しては次の三つの海域が考えられる：

1. 航路=かなり多数の船舶が往復するので、地表面天気図解析にほぼ満足な観測値が得られる。
2. 漁区=漁船が出漁する地区で、東支那海方面がこの一例である。
3. 空白=定点観測船、飛行機観測などによる以外に方法がない海域。

具体的に言えば日本海および黄海などはほとんど完全な空白に近い状態で、解析に当ってしばしば困難な問題のもととなる。黄海ないし東支那海から日本海を経て北日本に進む低気圧の構造についての知識は今日なお甚だ不満足な状態にあるが、その一つの原因はこれらの地域が空白である点に求めることができよう。

高層の観測値となれば前述の(1)も(2)も無力で、ただ島や定点観測船による観測と、飛行機によるものがあるだけで海洋上の空白は一段と大きくなり、致命的なものとなる。

観測網の問題は幾何学的あるいは統計的な面からだけではなく、大気運動の動力学的な立場からも検討されなくてはならない。いわゆる数値予報の立場は大気運動の中から天気変化の大勢に無関係な小規模の現象をふるい落とし、残った大規模の現象に対しては比較的簡単な理

論式が成り立つことに着目して理論的予報法の成功の糸口を作ったものであるが、この目的のために必要な高層観測網の目安は次のようなものである (Eliassen, 1953) :

1. 観測値が正確であると仮定すれば,
 - A. ラジオ・ゾンデ観測所は 300km 毎に 1 カ所,
 - B. ラジオ・ゾンデおよび風の観測所は 500km 毎に 1 カ所.
2. 観測値は誤差をふくむから実際には上記の値より密な観測網を要する.

数値予報はその物理的な基礎と、内容の客観性から見て気圧配置の予報に決定的な役割を演ずるものと考えて良く、現在の解析作業の相当部分がこの線に沿って大きく変ってゆくはずである。その目標は明らかに客観的解析の完成にある。しかしその前面に大きく立ちちはばかるものの一つは観測網の空白であろう (Newton, 1954)。

この空白をうずめるためには、常識的ではあるが次のようなことが考えられる。

1. 一般船舶の海面観測値から上層定圧面高度を推定する方法を確立すること。
 2. 定点観測船の高層観測値の時間変化の徹底的な利用法を考案すること。
- もちろん、これらは客観的解析以前の問題である。観測網の問題は世界的な課題である。

Spilhaus (1951) はこの国際的解決のための方針を次のように示している。

1. 熱帯および極地に自動観測所を発達させる、
2. 熱帯における陸上観測網を完成する、
3. 必要な島などに観測所ないし自動観測所を設ける、
4. 浮標に観測所を設けたものを使う方法を発達させる。

なお、仮りに観測網に関する問題が何等かの方法によって解決したとしても、常に残る大問題は観測値そのものの質であろう。天気図に記入された観測値の内容は次のようなものから成り立つと考えられる (沢田, 1955, pp. 3, 14) :

1. 天気変化の大勢を支配する機構に属する値 (代表値) ,
2. 天気変化の大勢に関係のない小規模の乱れに属する値,
3. 測定器械の誤差,
4. 測定方法の含む誤差,
5. (船舶の) 位置の誤差,
6. 通信途中の誤り,
7. 記入の際の誤り,

第5項は低気圧中心域に近い悪天中では船がかなり流されるにもかかわらず船自身が位置の正確な測定ができない場合に生ずるものであるが、ローランによる位置の測定の普及によって解消しよう。なお船舶の位置の誤りは

第6項および第7項にも現われる。緯度・経度の10度違いは常に起こる問題で、また西経と東経との誤りも比較的多い。このような誤りは経験を積んだ解析者により主観的に訂正ないしは取り除くことができるが、自動的・客観化された場合はこのような操作は困難であり、したがって重大な誤りの原因とも成りかねないであろう。工場における生産の品質管理のようなチェックが可能であるかどうか。これは大変重要な課題ではないだろうか。

総観解析の高度の限界

前に述べた differential analysis によって 1000mb の等圧面から出発して逐次上層の定圧面天気図を作っていたとき、誤差はどの程度のもとなるであろうか。この誤差は主として次の二つの原因にもとづく :

1. ラジオ・ゾンデの観測誤差 (沢田, 1955, pp. 4-6 を見よ),
2. 観測所の間隔がかなり大きいときは等圧面の等高線間隔にかなり主観がはいってくること——特にジェット気流のシンギュラリティ近くではこの問題は重大。

英国における調査 (Sutcliffe & Sawyer, 1953) によると、ラジオ・ゾンデの観測誤差にもとづくものは 500mb 面より上空で高さと共に急激に増大し、このようにして作った 100mb 面の等高線は使用に堪えなくなるようで、differential analysis による方法は精々 300mb 面天気図までであることを示している。これは一つにはすでにシンギュラリティの所でのべた通り、トロポポーズの存在が大きくひびく結果でもあるが、ラジオ・ゾンデ自身の精度の問題が決定的な要素であろう。このような状態であるから、100mb よりもっと上空の、50mb, 25mb 面の等高線を描くことは一段と高度の技術—具体的には 100mb における気温を使って外挿する (Kochanski & Wasko, 1953 ; この内容紹介は荒川, 1956) ——を要する問題である。

ラジオ・ゾンデの誤差の要因のうち、輻射とおくれはかなり困難な問題のようである。筆者はこの方面のことに暗いのでよくはわからないが、これらを守る一つの方法は音速を利用することであろうかと思う (Barret & Suomi, 1949)。ゾンデに音の発振装置と音速測定装置をつけて飛ばすわけである。

もっとも高々度における低圧が音速の公式に及ぼす影響の問題が若干はあるかも知れない。

小規模の現象

天気変化の大勢には無関係であるとして無視され、観測網からもれてしまう小規模の現象も、果たしてそれらが本当に天下の大勢に無関係であるかどうかという点はさておき、局地の天気と重大な要素をなすものが多い。例えば不安定線の如きは航空事故の一大原因でもあり、総観気象の重要な対象である。不安定線の構造を明確につかまえるためには平均 2 マイル間隔の精密な自動観測

所網を置いたというアメリカの例 (Williams, 1948) から見ても、また不安定線の理論的結果 (Tepper, 1950) から見ても、この種の現象を適確につかまえることは常設のあるいは観測所網では不可能に近く、どうしても臨時に細かい網を張って調べる必要がある。雷の問題、雨の問題などこの種の課題は意外に多い。

む す び

観測所の設立は種々の要請にもとづくもので、単に解析上の見地からだけでないことはもちろんであるが、気圧の場の変化に関する極めて実際的な理論が登場して、解析の問題が新たな段階に達したとみられる今日、個々の観測所の役割は観測値の精度と共に新しい理論的な立場から検討する必要がある。この意味から Newton (1954) の勧告に従って次の検討を実験して見ることは意義深い。データを人為的に少しずつ変えたものにつき解析し、これを用いて予想天気図を高速計算機を用いて作成して実際と比較し、

1. どの場所の観測所が必要であるか、
2. 観測値の精度はどの程度のものを要するかなどを具体的に示すことができる。

次に観測網の空白をおぎなうものは現象のモデルであるが、モデルの確立のためには逆に観測網が十分密でなければならないから、結局は臨時観測の形でゆくか、永年の統計を利用する以外はないであろう。日本周辺の解析作業にとって必要なモデルは数々ある：

東支那海に発生する低気圧と、それにとまなうフロント・ゼネシス、本邦東方海上に現われるブロッキング高気圧、日本海の気象全般などなど。

筆者はこの問題を特に組織的に調べ上げたわけではないから、本文もまたまとまりのないものとなった。したがって発表するに値しない内容とは思いますが、編集者への約束を果たす必要もあるのでここに出していただくことにした。(1956年7月2日)

引用文献

- Air Weather Service, 1954 : Forecasting upper-level winds, part two : Differential analysis in the troposphere. Air Weather Service Manual 105-50/2. 35pp.
- 荒川秀俊, 1956 : 約 30km までの上層の風と気温 日本航空学会誌 4, pp. 7-15.
- Barret, E. W. & Suomi, V. E., 1949 : Preliminary report on temperature measurement by sonic means. Journ. Met., 6, pp. 273-276.
- Crocker, A. M., Godson, W. L., and Penner, C. M., 1947 : Frontal contour chart. Journ. Met., 4, pp. 95-99.
- Eliassen, A., 1953 : On the demands upon the aerological network from the view-point of numerical forecasting (abstract). Geophysica, 4, p. 144.
- International Meteorological Organization, 1948 : List of Resolutions. Conference of Directors, Washington, D. C., Sept. 22-Oct. 11, 1947.
- Kochanski, A., 1950 : The construction of 300-200 and 100 mb maps of the northern hemisphere. Dept. of Met., University of California, Los Angeles.
- Kochanski, A. & Wasko, P. E., 1953 : Analysis and wind flow at the 50-and 25-mb levels. Air Weather Service Technical Report 105-96, および同題 Bull. Amer. Met. Soc., 37, pp. 61-69, 1956.
- Newton, C. W., 1954 : Analysis and data problems in relation to numerical prediction. Bull. Amer. Met., 35, pp. 287-294.
- Plumley, W. J., Bryson, R. A. and Bookston, J. W., 1945 : Isobaric contour extrapolation scale. Journ. Met., 2, pp. 50-51 and p. 76.
- 沢田竜吉, 1955 : 天気図解析の基礎, 予報研究ノート, 6, pp. 145-256.
- Smith, F. R., 1955 : 700mb and 500mb extrapolation scale. (原稿)
- Spilhaus, A. F., 1951 : World weather network. Comp. of Met., pp. 705-710.
- 須田建, 朝倉正, 1955 : 北半球天気図による 1954 年梅雨期の解析 気象集誌, 33 pp. 233-244.
- Sutcliffe, R. C. and Sawyer, J. S., 1953 : Forecasting winds up to the 100-mb level by the contour-chart technique. Proc. Toronto. Met. Conf. pp. 155-159.
- 高橋浩一郎, 1943 : 気象観測の計画に就いて, 気象集誌, 21, pp. 377-385.
- Tepper, M., 1950 : A proposed mechanism of squall lines the pressure jump line. Journ. Met., 7, pp. 21-29.
- Williams, D. T., 1948 : A surface micro-study of squall-line thunderstorms. Mon. Wea. Rev., 76, pp. 239-246.
- “Proceedings of the Conference on the Scientific Basis of Weather Modification Studies” の頒布について**
- 前号 (VOL. 3, NO. 10) において島山気象研究所長が紹介した “Proceedings of the Conference on the Scientific Basis of Weather Modification Studies” (人工降雨国際会議の論文集) は人工降雨研究連絡会によって複製の上予約者に頒布されましたが、残部が僅少 (10部) あります。希望者には実費 (送料共 200 円, A 4, 上質紙 100頁) 頒布しますから下記宛前金によって御申込み下さい。
- 東京都杉並区馬橋 4 の 4 9 9
気象研究所内
人工降雨研究連絡会