

メソ気象学を学ぶには

松本 誠一*

1. まえがき

メソ気象学の入門講座を書くことをお引受けして、いざ構想を立てる段になって非常に当惑するものがあった。何よりも教科書らしきものかがないのである。一方現業面の切実な要求から出発したメソ解析に関する調査報告は数多くなされておられ、またメソスケールの擾乱が極めて明瞭な形で存在することを認めさせた立派な研究も少なくない。しかしほとんどの研究が個々の珍しい現象の解析に終わっていて、これらを総合してメソ気象学を体系づける段階にはまだ至っていないといえることができる。現象の存在に着目し、本格的に調べられるようになって以来まだ20年に満たず、また現象の性質上多くの困難性が内包され、おまけに関心を持った学者層が薄かったことなどが重なって、気象学の他の分野の著しい進歩に比べ立ち遅れているのは、やむを得ない面もあったであろう。

近年、メソ気象学に対する関心は次第に高まってきているようである。実用的な面からいえば、集中豪雨・雪、トルネードなどのような烈しい現象はすべてメソスケールの特長を持ち社会生活に大きな影響を持っている。また文明の進歩と共に次々に新しい要求が生れてきているので、より完全な理解が要求されるのは当然の成りゆきであろう。一方理論的な面からいえば、大規模の気象学の発展途上においてこれを故意に無視して進まなければならない点もあった。しかし一応の目標に到達した現在、さらに深い理解を得るために新しくメソ気象現象を注目する傾向がおこっている。また未知の分野という新鮮味が、気象衛星・レーダーなどの新しい観測技術の長足の進歩に伴われてクローズアップしてくると思われる。

このようなわけで、他の分野の入門講座とはかなり調子の違った解説書とならざるを得ない点があるのを予めお断わりしておきたい。文献を多くかかせることをやめて、読者自らが考えねばならない問題点を提供しようと

思っている。

2. 擾乱のスケールと作用要因について

まずメソスケールとは、いろいろな気象現象の中でどのような位置づけをすべきかという問題から始めるのが順序であろう。大気中にあるいろいろな擾乱を、そのスケールによって分類する試みは、既に多くの気象学者によって提案されている。現在では次のようにまとめてもよいであろう。通常天気図上に現われる総観規模の現象があることは衆知の通りであってその大きさは1,000kmしない10,000kmのオーダーである。一方積雲対流活動があることも明白であってその大きさは1kmないし10kmのオーダーである。これら両者については、力学的理論的な裏付けも十分に行なわれている。メソ現象は、meso という言が意味する通りにこの両者の中間に位置し、大きさは100kmのオーダーのものを指す。

大規模 総観スケール 1,000km~10,000km

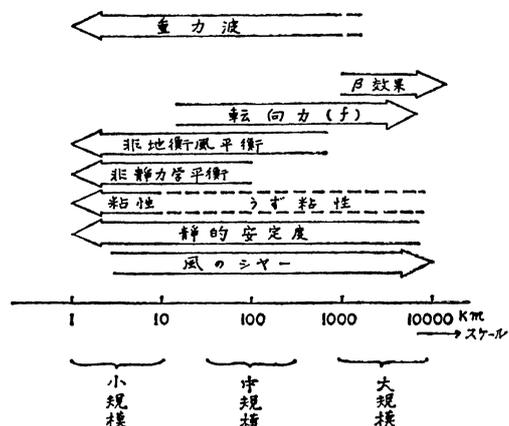
中規模 メソスケール 100km

小規模 対流スケール 1km~10km

とくに発達した積乱雲細胞もしくは積雲の集合体としてとらえられる雷雨現象などは、メソスケールとして取り扱われている。また小規模現象としては、対流活動よりもさらに小さい乱流のスケールもあるわけである。

現象のスケールと力学的特性についての考察は、小倉：『最近の気象力学 (I) (1966)』に述べられている。大学院の講義を書き直されたものであるから程度は高く、初心者にはやや難解とも思われるが、考え方の筋道はたどれるであろう。高橋：『総観気象学 (1969)』にも冒頭にかんがりのページ数をさいて考察を進めている。ただし中規模擾乱について特に強調されているわけではないので、筆者がかつて提出した模型図を掲げておこう。この図は幾つかの重要な力学的要因が、特に支配的であると考えられる範囲に矢印をつけた。複雑な内容をもっているもので、図に表わされる程単純ではないけれども、メソスケールの領域では、大規模・小規模の現象に関しては許される単純化がここでは許されず、ほとんど総ての力学的要因が関与することを強調しておきたい。このことが観

* 気象研究所予報研究部



測網の不備とあいまって、問題を著しく困難なものとしているのである。

大規模な現象に関しては、準地衡風の平衡が成立しているということが既に十分に理解されていると思われる。このことが実は気象学を特長づける大きな柱となっているといっても差支ない。擾乱の構造に関するこれ迄に蓄積された知識を、規模の小さい現象にあてはめて類推しようとする大きな誤りをおかすことになる点に注意を喚起しておきたい。特に中・小規模擾乱では、大規模擾乱に対してノイズとして消去されてきた重力波がむしろ主役をなしていると考えて差支ない。したがって重力波に関する勉強を、古典的な流体力学の教科書、または水力学の教科書によって深めておく必要がある。論文もしくは解説に現われた取り扱いとしては、Tepper (1950), Sasaki (1959), 岸保 (1960, 気象研究ノート11巻2号) を一例としてあげておく。

また最近対流に関する研究が活発となっているが、大規模の運動場との相互関係を明らかにすることが重要な課題となっていることはご承知の通りである。中規模現象は、そのほとんどが積雲のグループとしてとらえられることから理解できる通り、直接の相互関係はむしろ中規模の運動場との間に存在するといっても過言ではないように思われる。したがって対流に関する文献または解説書、入門講座などにも十分注意を払うべきである。

3. 解析法に関して

前節に述べたように、中規模現象は大規模現象とは本質的な違いがあるので、従来慣習的に行なってきた解析法をそのまま適用しては重大な誤を冒すことがしばしばあるので、解析法に関して一言ふれておく必要がある

う。

まずその名の通りに規模が違っているために、われわれが入手できる資料では著しく不足している場合がほとんどである。この難点を救済するために、各地点の自記記録は時間的に連続な資料を提供していることを十二分に活用したのが Fujita (1955) であった。システムが移動していることを何らかの方法で確認することができれば固定した地点における時間的な変化をある程度空間的な変化とみなしてもよい。この手法はタイムセクションとしていろいろの分野で広く活用されている考え方と同一のものである。ただしこの手法を導入するに当たって、むやみに拡大解釈をしてはならない。システムの移動を別の資料から確認することが第一、そしてそのシステムが定常性を保っているときのみなされる時間の範囲内（1時間の程度にとどめておくのがよい）で時間と空間のおき換えを試みるのが大切である。この方法をむやみに拡張して適用すると、お互いに独立ではない資料によって誤った結果を導きだす結果となりがねないので注意が必要がある。

次に中規模現象の特長として、たとえば気圧の変動量などは極めて微小であり、かつ変動の周期は数時間に満たない短かいものである。また寿命も数時間の程度である。このことを十分頭に入れて解析を施さないと、実は別のシステムなのに同じものと混同することが起きかねない。たとえば現業で資料が入手しやすいという理由で3時間の気圧偏差値を使い解析がよく行なわれている。この方法は簡便でありしかも微小の変動量を取り出すという利点もあるけれども、3時間の時間間隔で差をとって時間微分とみなしうるのは、周期が少くとも6時間程度より長いシステムに対してのみ許されると考えねばならない。この一例でも分るように、微差を微分とみなしうる限界、あるいは時系列（自記紙の記録）から特定の周期性のものをとり出す操作つまり周期分析法などに関する知識を身につけておく必要がある。後者については調和解析・周期解析・スペクトル解析などいろいろあって、それぞれの論文の中できちんとくわしく述べられているものはあるが、系統的にまとめてわかりやすく解説したものはあまり見当たらない。身近にある応用数学の教科書、時系列に関する統計学の教科書などで勉強していただきたい。高橋：気象統計 (1956) および鈴木：気象統計学 (1968) に豊富な具体例により解明が加えられている。

規模が小さく寿命が短かいという特性のために、観測

資料の不足がしばしば致命的な欠陥となることがある。メソ解析でよい仕事になった例を調べてみると、資料がうまく集められたかどうかによって成否がかなりの程度左右されているようにも見える。このようなわけで新しい観測方法が強力な武器となることも多いので、この方面にも関心を持つ必要がある。とくにレーダーは、メソスケールに見合った領域を同時にとらえることができるという意味で重要な役割を果すものである。いうまでもなくレーダーでとらえられるのは雨粒の分布であり、しかも一つの円錐面上での状況である。また電波の減衰・反射など観測技術上のいろいろな問題がある。そのような点に関してはレーダーに関する総合報告、観測指針等を参照していただきたい。気象研究ノート、90号および気象庁技術報告66号（北陸豪雪調査報告）にはレーダー観測を主体としたメソ解析の例が盛りこまれている。

現在のところレーダー観測では個々の対流雲の詳細な解析が多いように思われるが、対流雲のグループとしてとらえられる中規模擾乱系の解析も最近では盛んに行なわれるようになってきている。この場合には対流セルの移動を短時間（10分内外）追跡して系内の細かい風速分布の推定が行なわれ力学的な解析の補助手段として有効に活用されることがある（Ushijima (1959), 山中 (1963), Miyazawa (1967) など参照）。

最近ではATSの技術が著しく進歩して、その解像力がメソスケールの現象の解析に十分に耐えられるようになったばかりでなく、短い時間間隔（10分程度）の写真がえられるようになった。写真上で積雲その他の雲の形を判別してその移動を追跡し、大気中層と上層の風を推定する方法が広く活用される傾向にある。一般にはまだその資料が使えぬ状態にはなっておらず、また研究が進行中で手に入りやすい文献があげられないが、十分に関心を払っておくべきであろう。

4. いろいろなメソ気象現象

藤田哲也氏の分類によれば（Atlas, D. et al., 1963中のレビュー）、メソ低気圧・孤立対流系・スコール系に分け、メソ低気圧はさらにメソ低圧部・メソサイクロンおよびトルネードサイクロンに分類している。

それぞれについての論文は数多いが、上記の総合報告はアメリカの気象学会で力学を含む第一線の権威者で総合討論のうえままとめられた総合報告であって、必読の価値がある。これより少し前に日本気象学会でも気象研究ノート11巻2号（1960）にメソ気象学特集を出している。また Selected Meteorological Papers No. 11

（1961）に8篇の論文が収められている。よく引用される個々の論文としては、Tepper, M. (1950) —スコールライン—, Fujita, T. (1950) —雷雨—, Fujita, T. (1955) —スコールライン—, Syono et al. (1959) —諫早豪雨—, 大沢・尾崎 (1960) —諫早豪雨—などを代表例としてあげておこう。

孤立対流系として雷雨が最も目立った烈しい現象であるが、Byers, H.R. (1959) の総合報告（Compendium of Meteorology）が手に入りやすくかつよく引用される。その後 Newton, C.W. (1967) : Severe Convective Storms という労作が出ている。この分野はとくにレーダー気象と結びついて盛んな議論が行なわれており、最近では Proceedings on the Sixth Conference on Severe Local Storms, Chicago (1969) : Thunderstorms and thunderstorm phenomena などでのその後の傾向がうかがえるものと思う。なお多少角度が違いが中山章 (1968) : 総観的立場から見た雲は航空気象の立場ばかりでなく、天気そのものの解釈に新しい見方を導入しようとする試みがなされている。恐らく対流現象に関する総合報告がなされると思うので、詳細はこれにゆずるが、凝結を伴う対流という意味で積雲対流に関する総合報告浅井 (1968) は新しい挑戦である。また雲力学への出発点として雲粒の存在を考慮に入れた数値実験 Takeda, T. (1965) は注目に値するであろう。

わが国におけるメソ気象現象としては、何といても北陸豪雪、集中豪雨が最大の話題であろう。前者に関しては、気象庁技術報告66号（1968）：北陸豪雪調査報告にこれ迄の研究の集大成があり、後者に関しては上に掲げた論文のほかにも数多くの事例解析があり、とくに研究時報、京都大学防災研究所年報その他各地方の研究會誌に多く掲載されている。このほか各地の特有な現象が気象研究ノート14巻1号（1963）：日本の天気、(6) 各地の天気、同16巻2号その他に総合報告されている。

アメリカで最も顕著なメソ気象現象はトルネードである。これに対応する日本のたつ巻は一般に規模が小さくてメソ解析の対象になり難いが島田 (1967) が総合的に取り扱っている。一方たつ巻とは異なるがレーダーの映像面には小型のうず巻状もしくはかぎ状のエコーがしばしば現われることが、最近多くの著者により指摘されるようになった。例えば諫早豪雨の際の Arakawa, H. (1967) の例、北陸の豪雪に関連する Miyazawa, S. (1967) の例は印刷された論文としての代表的な例である。

最後に前線についてふれておきたい。ノルウェー学派によって提唱された極前線論は今日でもまだその生命を保ち、天気図解析の基本になっていることは周知の通りである。これは元来大規模現象の中における不連続現象として取り扱われてきたが、最近大規模現象に関する大気モデルが完成の域に近づくと共に、力学的な面から再びとりあげられ、さらに詳細な議論が試みられるようになった。1966年頃から **J. Atmos. Sci.** を中心に理論的な論文が多数現われている。これよりさき、前線の微細構造を多数の例につき飛行機などで観測した **Sawyer, J.S. (1955)** の論文その他によってそのメソスケールの特長が注目されるようになり、わが国でも **中山 (1968)** の総合報告に多くの具体例が述べられている。

Eliassen, A. (1964) は中間規模 (intermediate scale) の運動場の特性として前線および低気圧をとらえ、暫新たな力学的な考え方を提出し、上述の盛んな議論の発端を作った。おそらく将来はメソスケールの現象として見直す段階も遠からずやってくるものと思われる。

最近出版された **高橋：総観気象学 (1969)** は豊富な知識と経験に基づくユニークな教科書であるが、この中の中・小規模現象の一章をもうけかなりくわしく説明が加えられている。

教科書、総合報告

浅井富雄, 1968: 積雲対流に関する理論的研究, 天気, **15**, 227-236.

Atlas, D. et al., 1963: Severe Local Storms, Meteorological Monographs, Vol. 5 No. 27, Boston, Amer. Meteor. Soc. pp. 247.

Byers, H.R., 1959: Thunderstorms, Compendium of Meteorology, Boston, Amer. Meteor. Soc., 681-693. [66号pp. 115.]

気象庁, 1968: 北陸豪雪調査報告, 気象庁技術報告, 中山 章, 1968: 総観の立場から見た雲, 気象研究ノート, 96号, pp. 115.

Newton, C.W., 1967: Severe Convective Storms, Advances in Geophysics, 257-308.

日本気象学会, 1960: メソ気象学特集, 気象研究ノート, 11巻2号, 75-179.

日本気象学会編, 1961: Selected Meteorological Papers No. 11.

日本気象学会, 1963: 特集——日本の天気, (6)各地の天気, 気象研究ノート, 14巻1号, 1-126.

日本気象学会, 1967: 気象レーダ特集号, 気象研究ノート, 90号, pp. 243.

小倉義光, 1966: 最近の気象力学, 気象研究ノート, 17巻1号, 1-61.

島田守家, 1967: 1955~1964年における日本のたつ

巻, 研究時報, 19巻1号1-22.

鈴木栄一, 1968: 気象統計学, 地人書館, 314頁.

高橋浩一郎, 1956: 気象統計, 地人書館, 106頁.

高橋浩一郎, 1969: 総観気象学, 岩波書店, 385頁.

論文

Arakawa, H., 1967: A hook-shaped echo accompanied by a mesocyclone associated with the catastrophic rainstorm of 25 July 1957 in Kyushu, Japan. *J. Appl. Meteor.* **6**, 439-441.

Eliassen, A., 1964: Motions of intermediate scale, *Advances in Earth Science*, M.I.T. Press, 111-135.

Fujita, T., 1950: Microanalytical study of thundernose, *Geophys. May* **22**, 78-88.

Fujita, T., 1955: Results of detailed synoptic studies of squall lines, *Tellus*, **4**, 405-436.

Miyazawa, S., 1967: On vortical mesoscale disturbances observed during the period of heavy snow or rain in the Hokuriku district, *J. Met. Soc. Japan*, **45**, 166-176.

大沢網一郎・尾崎康一, 1960: 雨量分布図より観た降雨細胞について, 気象集誌, **38**, 135-147.

Proceedings on the Sixth Conference on Severe Local Storms, Chicago, 1969: Thunderstorms and thunderstorm phenomena, Boston, Amer. Meteor. Soc. pp. 280.

Sasaki, Y., 1959: A numerical experiment for squall-line formation, *J. Meteor.*, **16**, 337-353.

Sawyer, J.S., 1955: The free atmosphere in the vicinity of fronts, *Geophys. Mem. No. 96*, pp. 24.

Syono, S., K. Miyakoda, S. Manabe, T. Matsuno, T. Murakami and O. Okuta, 1959: Broad-scale and small-scale analyses of a situation of heavy precipitation over Japan in the last period of "Baiu" season, 1967, *J. Meteor. Soc. Japan*, **37**, 128-135.

Takeda, T., 1965: The downdraft in convective shower-cloud under the vertical wind shear and its significance for the maintenance of convective system, *J. Met. Soc. Japan*, **43**, 302-309.

Tepper, M., 1950: A proposed mechanism of squall lines: The pressure jump line, *J. Meteor.* **7**, 21-29.

Tepper, M., 1959: Mesometeorology—the link between macroscale atmospheric motions and local weather, *Bull. Amer. Meteor. Soc.* **40**, 56-72.

Ushijima, T., 1959: Medium-scale waves in the atmosphere, *J. Met. Soc. Japan*, **37**, 96-103.

山中陸男, 1963: 大雨エコーの盛衰, 西部管区気象研究会誌第24号, 66-71.

渡辺和夫, 1961: メソ気象解析, 気象庁研修所通信教育部テキスト, 補講第12分冊, pp. 31.