

現象の解析と認識

二 宮 洸 三*

1. はじめに

大気の状態と大気中に発現する様々な現象は気象観測によって記録されます。そのデータを解析することによって、総合的な理解を深めてきました。かつては天気図や断面図等を作成し定性的な解析を行っていましたが、現在では計算機や解析ソフトウェアを使用

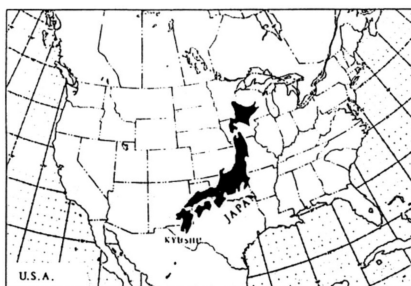
した高度な定量的解析が行われています。また数値実験を行って解析的研究と比較する研究も進められています。このように解析的研究は高度に進歩し、専門的な学習がされています。

しかし、専門的な分化が進んだため、そもそも解析によって何をどのように認識するのかという議論は深まっていません。このため、偏った現象認識がされることもあります。しばしば見られる誤解に注目して、「気象解析における現象の認識」を考えます。

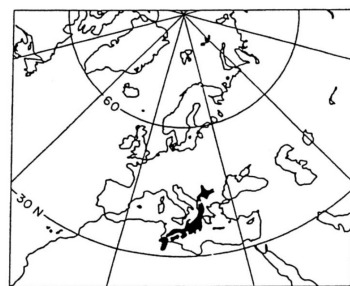
2. 現象のスケール

大気現象を調べる際には、その現象のスケールを考えなければなりません。なぜなら、スケールによって、その現象の物理的特質が異なり、適合するデータや解析方法を選ぶ必要があるからです。

多くのテキストは現象の空間的・時間的スケールに基づくスケール分類表を掲げています。一般的には、



第1図 北米大陸と日本の比較。



第2図 欧州大陸と日本の比較。

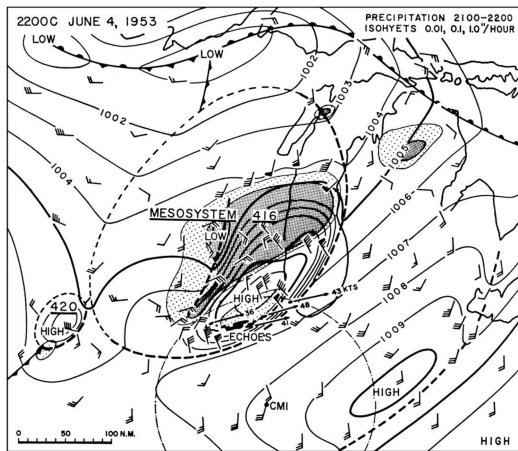
大スケールは5000~3000 kmの現象を、中(メソ)スケールは2000~100 kmの現象を、小スケールは、それ以下の現象を指します。また、大スケール現象のうち、温帯低気圧・前線系や偏西風帯のトラフ・リッジ等を総観スケールと呼ぶこともあります。

このような大気現象のスケール分類は概念的で分類に迷う場合があり、誤解されることがあります。テキストや論文に掲載されている解析図の多くは、北米大陸上の解析図、次いで欧州大陸上およびアジアの解析図です。これらの大陸スケールと日本列島のスケールが大きく異なることを忘れてはなりません。第1図および第2図は、北米と欧州の地図に日本の地図を重ね合わせた地図です。このように比較すると、海外の現象と日本の現象についてのスケール概念の違いが具体的に理解できます。日本で総観規模と認識される現象のかなりのケースは海外の概念では中スケール現象に相当します。日本で中スケールと認識される現象のかなりのケースは小スケール現象に相当します。実態的スケールの差を意識せずに、海外の解析結果を日本の現象解釈にあてはめることや、海外で有効であった解析方法(スケールによって有効性が異なります)をそ

* Kozo NINOMIYA (無所属).

knino@cd.wakwak.com

© 2013 日本気象学会



第3図 1953年6月4日米国イリノイ州で発生した雷雨に伴うメソ高気圧 (Fujita and Brown 1958).

のまま適用することは合理的ではありません。

ついでに、日本列島の緯度的位置に注目します。大気の状態、循環系の状態は緯度によって大きく異なります。したがって、異なる緯度帯の現象についての知見が他の緯度帯にそのまま適合できるとは限りません。テキストや文献を読むときには上記の注意が大切です。論語の「学んで思はざるはすなわち罔(くら)し」の格言が思い出されます。

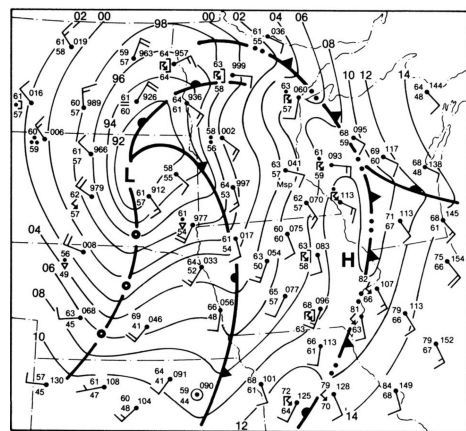
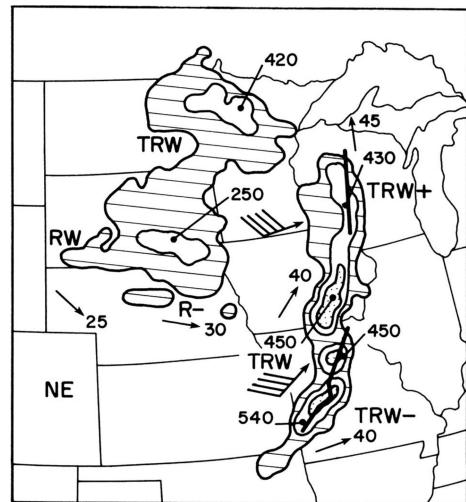
次に、実際の現象について実例を示します。第3図は米国中西部のスコールラインとメソ高気圧(対流域の降水粒子からの蒸発により形成された冷たい高気圧)の解析図です。メソ高気圧が~200 kmの広がりを見せています。このような巨大な雷雲(群)とメソ高気圧は日本では観測されません。

第4図は、1979年6月20日に米国上で解析されたスコールラインの地上天気図とレーダ合成図です。スコールラインの長さは、数百 km に及んでいます。日本ではこのように長大なスコールラインは観測されません。そもそもこのような現象があっても、狭い日本列島上では、その全体像は認識できないでしょう。

このような現象のスケールと日本のスケールとの差異に注意しなければなりません。もちろん共通した性質も見られます。

3. 天気図のスケールと現象の認識

日常生活では、様々な縮尺の地図を利用します。世界の全体像を見たい時には、世界地図や地球儀が便利



第4図 1979年6月20日米国で観測されたスコールラインの解析図。上図: 05:35 UTCのレーダエコー合成図。下図: 06:00 UTCの地上天気図 (Maddox 1980)。

ですが、詳細は読み取れません。日本の全体を眺める時には、日本全土の地図が便利です。各府県の様子を見るには、府県を拡大した地図が必要です。さらに、ドライブや、街歩きするときには、道路・交差点、駅・バス停留所や主要な建物を示す街路図が必要です。

気象解析の場合でも解析目的に適した縮尺の天気図が使われます。同時にその縮尺図上で意味を持つ概念(概念記号)が定義されます。そこで定義された概念(概念記号)は異なる縮尺図上の解析に通用するとは限りません。

上記の議論を具体的に示しましょう。第5図は米国中西部の雷雨(サンダーストーム)を伴った寒冷前線

をスケールダウンして示した概念図です。この図で使われているスケールの分類用語は独特ですが、気にしないでください。上段の図は総観スケール高気圧の南東縁に伸びる寒冷前線を示しています。激しいストームは寒冷前線の一部に局在しており、そこにはメソ高気圧とその南縁のガストフロントが見られます（2段目の図）。さらにガストフロントを拡大して観察すると、その一部にダウンバーストが見られます（3段目の図）。それをさらに拡大して調べると、ダウンバースト内に微細構造が見られます（4段目の図）。総観スケールの寒冷前線の概念記号は1段目と2段目の図だけに適用するものです。

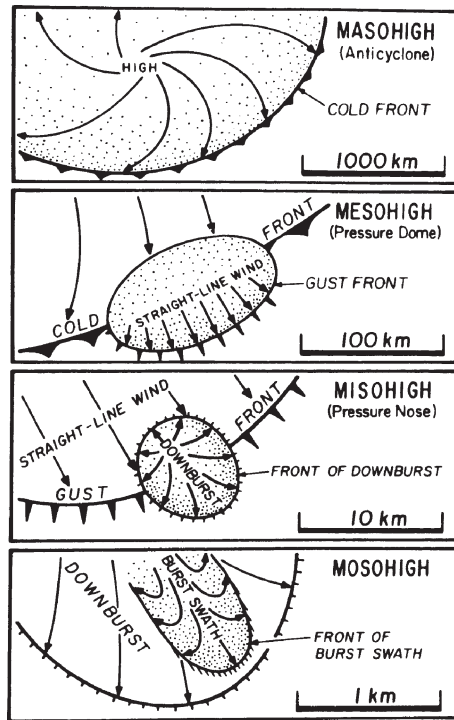
第6図は梅雨前線帯を逐次拡大して観察した概念図

です。A)は総観規模で捉えた梅雨前線の概念図です。太平洋亜熱帯高気圧の北縁に強い水蒸気傾度（温度傾度は強くない）を持つ梅雨前線帯が総観規模低気圧から南西に伸びています。拡大したB)では前線帯内に発現している中規模の雲クラスターが見られます。C)で雲クラスターを拡大してみると、さらに小さい積雲の集団が認識されます。D)でみると積雲の集団内の個々の積雲・積乱雲が観察されます。

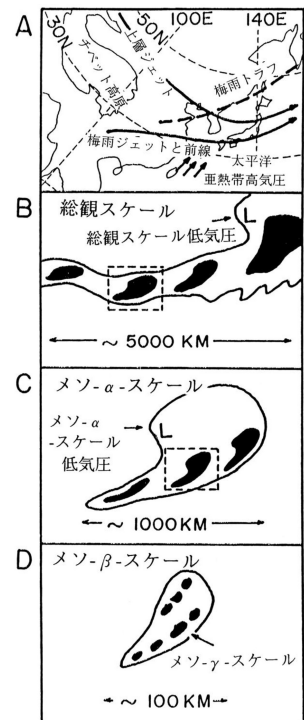
北半球天気図やアジア天気図では、総観解析で定義されている「前線記号」は実体的な意味を持ちます。しかし、~100 km 四方の局地天気図上でどこに「アジア天気図で定義された総観スケールの寒冷前線」があるかなどの議論は意味がありません。

4. 多種スケール現象の意味

第5図、第6図に示した状況をどのように解釈すべきでしょうか。循環系の「微細構造」として理解することもできます。さらに微細構造が階層的であることを強調して「多（マルチ）スケールの階層構造」とし



第5図 寒冷前線，ガストフロント，ダウンバースト，の多重スケール構造の概念モデル (Fujita 1981)。



第6図 梅雨前線帯降雨システムの多重スケール構造の概念モデル (Ninomiya and Akiyama 1992)。

て理解することもできます。

形成プロセスについては、まず大スケールの循環系が作る環境場のなかで少し小さいスケールの循環系が形成され、その循環の持つ場の中でさらに小さい循環系が形成され、その結果として現実にもみられる「多スケールの階層構造」が形成されると考える立場があります。この考えでは、大スケールの循環系が「親循環系」として支配的な影響を持つこととなります。

一方、小スケール循環系の作用が大スケール循環系の形成維持に必要だと考え、多種スケール循環系の相互作用が重要だとする考えもあります。

どちらの考えが妥当かは、観測データだけでは決まらないように思います。そこで、気候モデルの再現実験によって考えてみます。低分解能モデルでも、月平均でみた降水極大ゾーンとしての「梅雨前線の降水ゾーン」は再現されますが、観測が示す微細構造は再現されていません。モデルの分解能をあげ、非静力学モデルを使えば、より現実に近い微細構造が再現され、平均場においても現実に近い降水量や時間の変動

が再現されます。このことは、「多種スケール循環系の相互作用」が、重要なことを示しています。

衛星雲画像を見ると、例示した概念図と異なり、幾つかのスケールの循環系が独立して（従属的ではなく）共存している事例にも気づきます。環境場の違いによって、選択的に異なる種類の循環系が発現しているのでしょう。このような性格の「多種スケール構造」にも注目する必要があります。

5. 時間的变化

第5図、第6図の概念図は、ある時刻における「スナップショット」的な概念図です。現象（循環系）は時間とともに変化します。第5図、第6図の概念図には現象の時間的变化が描かれていません。

時間的变化の起こる期間（発達から消滅までの期間）、あるいは周期的現象では周期によって現象の「時間的スケール」を定義します。一般的に空間スケールが大きい現象は長い時間スケールを持ちます。

現象の時間的变化の各段階（ステージ）における現象の特徴を示す概念モデルも時間変化を理解するために有効です。たとえば、温帯低気圧の時間変化の概念モデル、積雲対流（単一の積雲、シングルセル）の時間変化の概念モデルは、どのテキストにも記載されているので、ご覧になってください。

6. 定義と用語

自然科学では、「定義」が重要視されます。認識を共有するためには、定義が必要だからです。特に数学では定義がなければ議論が進みません。物理学・化学でも定義が重要です。

けれども、定義が不明確であることや、変化することもあります。数年前、惑星科学の分野では、「冥王星」の分類が「惑星」から「準惑星」に変わりました。冥王星に類似した天体が発見され、他の惑星との差異が明らかになったからです。

社会生活を円滑に進めるためにも多くの定義がなされています。法規では多くの定義が記されていますが、時には不明確で裁判等で争われています。

気象学の場合でも、定義は重要ですが、数学におけるほどに厳密に定義できないことがあり、実際的には、概念的・定性的な定義も少なくありません（気象用語辞典の類をご覧ください）。

災害等に関する気象情報に関しては、気象学的な定義だけではなく、社会的・法規的立場からの定義も使

用されています。さらに、気象関連のニュースなどでの社会的・日常用語として慣用されている用語もあります。これらの事情のため、気象用語の定義は、スッキリしない問題を内蔵しています。

日本（気象庁）では、風速17 m/s以上の熱帯低気圧を「台風」と定義しています。しかし、低気圧の全域で、風速の観測が行われているとは限りません。実際には、限られた観測点における風のデータに加え、雲画像上の特徴や、気圧傾度等から総合的に判断します。ですから、風速16.5 m/sだったらどうするのか、何日何時に台風になったか、などは無意味な質問です。

なお、WMO（世界気象機関）で定義している「typhoon」は日本の「強い台風」に相当しています。このような国際的定義（用語）と国内的定義（用語）の差は他の国でも見られます。災害に関する情報の出し方、表現には各地域の慣習があり、国際的定義・名称が必ずしも実情に合わないからです。

熱帯低気圧の呼称は地域により異なります。国際的な取り決めでは、180度以西では台風、以東ではハリケーンと呼びます。では、丁度180度ならどうするかと質問されるかもしれません。しかし、これも意味のない質問です。洋上で台風の位置を ~km の精度で決定できないからです。大切なのは付近を航海する船舶、飛行する航空機に役立つ情報を届けることです。

台風が北に進み中緯度帯に入ると温帯低気圧に変化します。すなわち、前線を伴い、軸対称の形態が変化し中心の暖気核や「台風の目」が不鮮明になり（あるいは消失し）温帯低気圧的な構造に変化します。TVのニュース等で、「台風が温帯低気圧に変わった」と報じられます。しかし、台風から変化した低気圧が、さらに温帯低気圧として発達し、強雨や豪雨をもたらすことがあるので、温帯低気圧になったからと安心してはいけません。それなのに、台風の呼称がないと、注意を怠る人が少なくありません。台風が温帯低気圧に変化したかは、数時間の時間的経過を観察して判断されることです。したがって何時に変化した等と言うべきものではありません。その伝達も上記の気象情報の立場から慎重になされるべきです。

隣接する国で台風の温帯低気圧化の時期に差異があると混乱するから、判定の規準を設けるなどの提案がWMOの専門委員会等で議論されています。しかし、そもそも温帯低気圧化の判定にはある程度の幅があります。また、災害に対する意識も国により差がありま

す。気象学的には、判定基準を議論することは有意義ですが、変化過程はケースによってもさまざまですから画一的に決める社会的意義があるでしょうか。「一部の学者」のアカデミズムの弊害を感じます。

ニュース等で、「梅雨入り」、「梅雨明け」が報じられます。低気圧の通過に伴い天候が変化して季節の替り目を感じることもあります。そもそも季節変化は最小限～5日のタイムスパン、～100 km以上の広がりで見えなければなりません。何日に何県・市で季節が替わったなどの表現はありません（ただし、インドモンスーンの開始は明瞭だと言う人もいます）。社会・歴史の学習で、産業革命がどの町で何年に始まったかなどの議論が無意味なのと同じです。

気象の学習では気象学用語としての定義と社会的慣用語、文学的用語（俳諧歳時記的な）とを区別して理解することが大切です。

7. 進んだ解析方法について

多くの文献では進んだ定量解析の結果が記されています。その詳細を議論する意図はありませんが、日ごろ気になる事柄を述べさせていただきます。

7.1 フィルター操作

観測それ自体、限られた認識手段で事象を調べています。その意味でデータも特定のフィルターを通して得られたものです。

解析では、原データの時系列に、フィルター操作を施して、研究の対象とする現象を抽出することが行われます。なぜなら、元の時系列データには、幾つかの変動成分が含まれていて、そのままでは対象とする現象の時間的変動を客観的に示せないからです。実例として、地上気温の時系列データを考えます。毎時間（1時間間隔）のデータでは最も卓越する変動は「年変化」と「日変化」です（1時間以下の短時間変動は1時間データを選んだことにより自動的に除去されています）。

日平均値を調べれば、日変化は消去され年変化のみが現れます。この場合は、日平均と言うフィルター操作により、日変化成分が除去されたことになります。

もし、総観スケールの気温変化（低気圧・高気圧の通過に伴う気温変化）だけを抽出したければ、原データから、日変化や年変化をフィルター操作で除去しなければなりません。

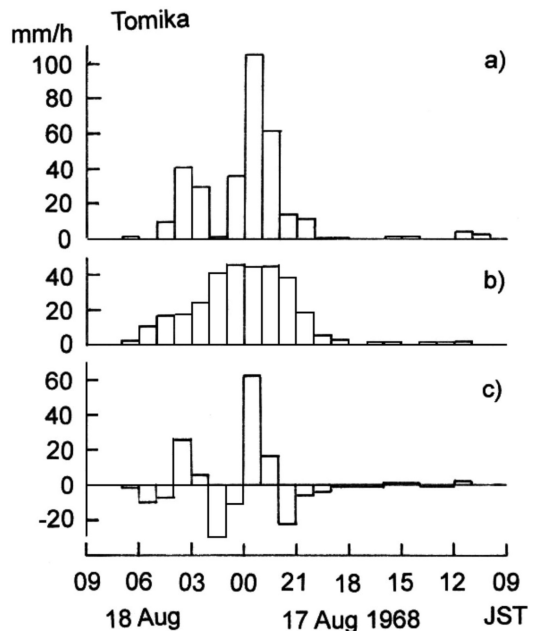
同様な操作を、気圧、等圧面高度・気温、風速、渦度、鉛直流に施せば、地上気温の総観スケールの変動

に対応する変動が抽出され、変動の全体像が把握されるでしょう。フィルター操作はこのような目的に有効です。それぞれの目的に合わせた様々なフィルター（演算方法）が作られています。フィルター操作は重要な解析手法として多くの解析に使用されています。

しかし、注意すべき事柄もあります。第7図aは、1968年8月17-18日の「飛騨川豪雨」で大きな降水量を記録した岐阜県富加における時系列データです。幾つかの降水の極大がみられます。

これに5項移動平均操作（最も単純なフィルター操作）を施すと、第7図bで示した変動が得られます。この図は、個々の降水ピークを包括した、中スケールの変動を示すと考えられます。つぎに、原データの値と移動平均の差（移動平均からの偏差値）を求めると、第7図cの変動が見られます。このような操作で、基本場（この場合では移動平均）と変動成分（偏差値）が分離されました。

この図では、正偏差値は大きな降水のピークに対応する実体的現象です。負偏差値は降水の極小に対応することもあります。21時の負の偏差値は降水の極小



第7図 a)1968年8月17～18日の岐阜県富加における1時間降水量時系列データ。b) 同上の5項移動平均。c) 5項移動平均からの毎時データの偏差値。横軸（時間軸）では、右から左に時間が経過するように示している。

に対応していません。それ以後の大きな極大によって計算上現れた負のピークです。負の偏差値は、定義の如く、基本値からの負の偏差値です。負の偏差値を見て、「負の降水を持つ実体的システム」だと考えてよいでしょうか。

有効な解析方法を使った時には、その結果の持つ実体的意味を理解することが大切です。

7.2 主成分分析

主成分分析 (EOF 解析, 経験的直交関数解析) は変動場の相関関係を調べるのに有効な解析方法です。

たとえば、降水量の時系列データと気温の時系列データが幾つかの観測点で与えられている時、降水量の時空間変動に最も深い関係を持つ気温の時空間変動を「第1成分」として抽出します。つぎに「第1成分」を除いて、次に関係の深い「第2成分」を抽出します。以下これを繰り返して、「第3成分」およびそれ以下の成分を抽出していきます。この解析により、降水の時空間変動に関わりのある気温の時空間変動を分析できます。もちろん、同様な解析は、風速や水蒸気の時空間変動についても行われます。

しかし、単純に「第1成分が支配的に重要」などと表現されると、違和感をもちます。なぜならば、解析結果は解析の領域に強く依存しているからです。解析領域を変えると、それに対応して、各成分の寄与率が変化します。つまり、計算は客観的ですが、どの領域を取るかの点において任意性があり主観的です。どのような観点から調べるかで、適切な領域や変数がえられます。その選択は解析者の意図に依存します。つまり、考えなしに領域をきめ、計算して、寄与率を見れば、それで良いと言うことではありません。

7.3 ω 方程式の Q ベクトル表現

準地衡風近似を仮定したとき、ある時刻におけるデータだけから (時間変化の観測値を使用しないで) どのようにして鉛直流を求めるかという問題があります。このためには、渦度方程式と断熱の式を使います。風速、渦度は地衡風近似を使い、温度は層厚温度を使えば、これらの方程式は等圧面高度だけで表現さ

れます。これらの式から等圧面高度の時間変化の項を消去すれば鉛直流を求める ω 方程式が得られます。

この式は、準地衡風モデルで鉛直流を求めるために使用され、また、温帯低気圧に伴う鉛直循環を説明 (理解) するためにも使用されます。

この式は少し複雑で、そのままの形では、天気図解析で直感的に利用 (理解) しにくい問題がありました。この式の一部分をさらに温度風の式 (温度風は地衡風の鉛直シアアース) で書き換えると、天気図解析で直感的に理解しやすい「 Q ベクトル表現」が得られます。この式の右辺が「フロントゲネシス」の式と同じ内容を含む点でも、理解しやすい表現です。

このため、かなり以前から、「 Q ベクトル表現」を用いた報告が見られています。日本でも「 Q ベクトル表現」を用いた報告があります。

「 Q ベクトル表現」は、上記した長所 (天気図解析に応用でき、フロントゲネシスとも関連つけられる) があります。しかし、その力学的内容は ω 方程式と同等で、新しい力学的概念を持つものではありません。元来準地衡風近似を仮定して導かれた式ですから、中小スケール現象の鉛直循環の議論には有効とは限りません。どのような解析方法も、その成立の前提条件と適合範囲を確認して使用しなければなりません。

参考文献

- Fujita, T. T., 1981: Tornadoes and downbursts in the context of generalized planetary scales. *J. Atmos. Sci.*, **38**, 1511–1534.
- Fujita, T. and H. A. Brown, 1958: A study of mesosystems and their radar echoes. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **39**, 538–554.
- Maddox, R. A., 1980: Mesoscale convective complexes. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **61**, 1374–1387.
- Ninomiya, K. and T. Akiyama, 1992: Multi-scale features of Baiu, the summer monsoon over Japan and the East Asia. *J. Meteor. Soc. Japan*, **70**, 467–495.