

現象の観測と認識

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、気象観測に基づく研究によって調べられています。このようにして得られた個別の知見を集積し一般化された知識により多くの大気現象について私たちは共通のイメージや定義を伴った認識を持つに至りました。これは、自然科学における一般的な理解・認識の方法です。

しかし、入門書や、初級講義等では、「大気現象の認識」はほとんど語られていません。分化された知識を学ぶだけではなく、どのようにして現象を認識しているのかについて改めて考えてみたいと思います。このような非実務的な事柄は、ほとんど議論されず、正しい気象の学習を妨げているように思われるからです。

2. 視認と認識

過去には、私たちは本能的な感覚（五感）で、物事存在や変化を感知してきました。まず視覚による認識について考えます。

私たちは、暗夜ならば星を見て、天空にある星の存在を認知できます。昼には強い太陽光・散乱光に妨げられて星を目視できませんが、星が消失したわけではありません。金子みすず氏の詩にあるように「昼のお星は目に見えぬ 見えないけれど あるんだよ」なのです。

では、「見えれば あるんだよ」は正しいでしょうか？ 月は肉眼で視認できますが、それは月表面で反

射される太陽光の視認です。他の観測・研究によって質量・距離などが測定されて初めて月の存在が確認されたのです。

視認した「虹」や「蜃気楼」は存在しているのでしょうか。虹の場合では、存在しているのは降水粒子（水滴）で、視認されているのは光学的な「分光現象」です。蜃気楼の場合では、存在しているのは特異の密度差を持つ気層で、視認されているのは光学的な「屈折現象」です。すなわち、「虹が観測（視認）された」、「蜃気楼が観測（視認）された」と表現しますが、「虹が存在した」、「蜃気楼が存在した」とは表現できません。

人の視力には限界があります。ガリレオは望遠鏡を使用し、肉眼を超えた観測により、天文学史に残る発見に成功しました。また、人の肉眼で感知できる電磁波は特定の波長帯（周波数帯；可視域）に限られています。このように可視光で認識される事象は限られています。

3. 可視化と疑似画像

人類は、視覚では直接に感知されない事象を、視覚に依存しない測定方法によって認識の範囲を広げしてきました。現在では、様々な波長の電磁波（紫外線、赤外線、マイクロ波）を使用した測定により、多くの事象が知られています。このような電磁波や音波（超音波）を利用した離れた地点からの測定・観測を「リモートセンシング」と呼んでいます。

これらの波長帯の電磁波は視認できないので、その観測値の分布図・画像を作成して観察することになります。これが「可視化」です。

気象衛星の赤外画像では、赤外放射量の少ない部分（黒体温度の低温部分）を強い輝度（白色）に、赤外

* Kozo NINOMIYA (無所属).
Email: knino@cd.wakwak.com
© 2013 日本気象学会

放射の多い部分（黒体温度の高温部分）を弱い輝度（暗色）に表示しています（疑似画像表示）。この疑似赤外画像表示は、「反射光の強い部分（雲域）を白色に、弱い部分を暗色に表示する可視画像」と直感的に対比するのに便利です。

赤外放射観測で得られる海面水温・陸面温度の分布図では、高温域を暖色に、低温域を寒色で示す疑似画像表示が一般に用いられています。

気象レーダ観測では降水粒子からの散乱強度分布図、あるいは散乱強度から換算した降水強度分布図を疑似画像（白黒の階調やカラー表示）で表示しています。

疑似画像表示は現象の観察・認識のために便利なので広く使われています。あまりにも慣れ親しんでいるので、その表示の本来の意味を忘れがちです。疑似画像を示す時にも、観察する時にも、それがどのような測定方法・表示方法を取っているのかを明確に認識しておかなければなりません。

最近では、観測の疑似画像と対比するために、数値モデルの出力データを疑似画像化することが行われています。モデルで得られた赤外放射データから、赤外雲画像と同形式な疑似画像を表示する、あるいは、モデルで得られた降水粒子の密度データから、レーダ散乱強度画像と同形式の疑似画像を表示するなどが、その例です。

4. さまざまな表示と認識

科学では、五感で感知される事象を可能な限り客観的・定量的（数值的）に測定し記録し観察することが求められます。

力、圧力、温度、水蒸気量、風速等は、五感では定量的に表現できないので、まず視認可能な測定法を考察・開発しなければなりません。基礎課程で学ぶように、基本となるのは、質量、長さ、時間などの次元・単位の設定です。この単位系と物理法則に基づく実験・計測で必要な物理量が測定できます。

基礎課程の実験で学習するように、重力（重力加速度）は振り子の長さや振動周期の測定により計測されます。温度は、物体の熱膨張の測定により計測されます。気圧は、水銀柱（水銀気圧計）の高さ、あるいは、中空の金属容器（空盒気圧計）の体積から計測されます。風速は、風速計の回転速度から換算されます。水蒸気圧は、乾球温度と乾球・湿球温度計の温度差から求められます。水蒸気混合比、比湿、露点、相

対湿度は水蒸気圧から計算されます。（現在では実際の観測では、上記以外の測定方法も使用されています。）

このようにして得られた観測値は観察に適した図に表示されます（可視化される）。気圧、気温、水蒸気量、風速などは、特定地点における時系列データ、特定地点における時間—高度分布図、特定経度における緯度—時間分布図、あるいは特定高度（または特定気圧面）における2次元的分布図（つまり天気図）等の形式に図示されます。さらに得られた基本的な気象変数から、多くの物理量（過度、発散、鉛直流、温位、相当温位、安定度など）も算出され、図化されます。

このようにして作成された気象変数（要素）の分布図と、3節で述べたりリモートセンシングの「疑似画像」を観察して気象を調べることになります。現在では、天気図も画像も公開され容易に見ることができるので、その基礎となった観測やデータ処理のことを忘れがちですが、時には観測にまで遡って考えることも大切です。

さて、天気図や疑似画像上で観察される事象、例えば、低気圧、高気圧、上昇流域、下降流域、雲域、晴天域、強風域、強風軸（ジェットストリーム軸）をどのように表現するのが妥当でしょうか。低気圧が「存在した」、「位置した」、「見られた」、「解析された」のいずれが適当な表現でしょうか。虹ならば、「存在した」と言わずに、「見られた」と表現するべきでしょう。このような「一見ツマラない議論」をするのは、事象の認識と表現は表裏一体で、決して些末な問題ではないからです。

5. 観測事実とはなにか

自然科学では観測事実が重視されます。では観測事実とは何でしょうか。

写真を例として考えます。偽造写真・合成写真でないかぎり、写真は事実・真実を写していると思われています。しかし、広角レンズや望遠レンズを使えば、広がりや奥行きを異なった様相に示すことができます。フィルターをかけ、露出を変え、アングルを変えれば、同じ被写体を異なる姿に撮影できます。しかも、写真で撮影できる事象は特定の波長域に限定されています。すなわち、それぞれの写真画像は事実の特定部分を表していますが、事実のすべてを示すわけではありません。

次に、気象機関が行う気象観測について幾つかの例

を挙げて考えます。大気下層の状態は、陸上と海上では大きく異なりますが、世界的にも海洋上の高層観測点は殆どありません。したがって、高層観測データや、それから得られた平均値は、陸上の状況のみを示しています。

世界の高層観測はWMOの規定により00および12時（世界協定時：UTC）に行われています。地域によっては、強い日射の時間帯に観測を行います。日本の高層観測は日本時の09および21時ですから、大気成層が最も不安定になる午後と、最も安定になる深夜や未明の状況を観測していません。

日本では地上風速を各正時前10分間平均風速によって表しますが、世界では2分、あるいは1分間平均値を用いる国もあります。平均時間が異なれば、平均値は同一ではありません。

日降水量の日界は現在では00-24時（日本時間）で定義されていますが、以前には09-09時の日界も併用されていました（府県気象月報などで）。年平均に関しては差異を生じませんが、日最大値の極値の統計には大きな差異がでる可能性があります。なぜなら、日本の豪雨は0時を挟んだ深夜に発現することが多いので、09-09時の日界がより多くの降水量の極値を捕捉する確率が高いからです。（日界を定めず、任意の24時間についての最大24時間降水量を定義することも行われています。この定義だと、日界に関係なく最大24時間降水量を把握できます。）

日平均値も、6時間間隔のデータ（1日4回観測）、4時間間隔のデータ（1日6回観測）、3時間間隔のデータ（1日8回観測）、あるいは1時間間隔のデータ（1日24回観測）による平均値で求めたかによって異なります。日平均値から計算される月平均値、年平均値も、当然異なります。

気象レーダの電磁波の波長もさまざまです。気象庁では~5.5 cm波を使用していますが、米国（NOAA）では、~10 cm波を使用しています。レーダで探知できる粒子の大きさは使用する電磁波の波長によって異なります。ミリ波レーダでは、10 cm波では探知されない、微小の粒子が探知されます。偏波レーダでは降水粒子の形状も探知されます。

気象衛星観測では、可視光域のほか幾つかの波長帯の赤外放射チャネルを使用しています。波長帯が異なれば、探知（観測）される対象も異なります。

研究観測の場合には、目的のために特定の地域と期間が選択され、より多くの種類の観測機器が使用され

ます。例えば、ルーチン観測とは異なる波長域のレーダも使用されます。観測の時刻、処理、出力形式もさまざまです。

繰り返しますが、それぞれの観測は事実（気象）の特定部分の状況を表していますが、事実のすべてを表しているわけではありません。特定の観測手法では探知できない事象があります。

6. 観測データの取捨選択

気象解析は観測データに基づいて行われます。前述したように、それぞれの観測は事実の特定部分を表し事実のすべてを示すわけではありません。したがって、解析（調査）の目的に合わせて、データの取捨選択がなされても不自然ではありません。

1950年ころ、シカゴ大学のPalmen教授、Riehl教授等の研究グループが大規模循環系について多くの解析（当時は、研究の多くは主観解析によってなされていきました）を行い、多くの論文を著していました。気象学史的に貴重な当時の解析図は、Palmen and Newton (1969), Riehl (1954) 等に掲載されています。

これらの解析を手本にしてアジア地域で解析を試みても、テキストの様な解析図ができないことがありました。広大な北米大陸上では精度が均一な高層観測データが得られているのに対して、20世紀中頃のアジアではまだ観測精度にバラつきがあったこともその原因の一つだったと思われます。さらに、データの取捨選択が不十分だったためだと思います。

前記の方々どちらかに（記憶が不確かです）ついて次の伝説を聞いたことがあります；「教授は、自分の概念モデルに合わないデータを棄て去って（除いて）解析した。」伝説はいつも誇張されて伝えられるものですが、私はデータの取捨選択の重要性を伝える教訓として受け止めています。個々のデータのすべてが本質的な事実を示すとは限らないから、目的や概念モデルを考慮してデータを取捨選択することは解析の重要な一部分であるはずで

現在の客観解析でも、客観的・統計的な基準に基づいて、不連続・不整合のデータを排除（リジェクト）しています。四次元同化解析でも、データの不整合的な影響は除去されています。

7. 不連続・不整合のデータに注目する立場

6節の議論とは相反するようには見えますが、不連続

・不整合が見られるデータに注目することも大切です。

激しい対流性の擾乱が発現した場合、地上天気図に記入された観測データに不連続・不整合が見られることがあります。このデータを排除するのか、それともそれに注目して、自記記録（自記紙記録）に遡って不連続・不整合の実態を調べるかは、解析者の意図と能力によります。1950年ころ、シカゴ大学でメソスケール気象学を発展させた Fujita 教授は後者の立場から、シビアストームのメソスケール解析に成功しました。気象学史的に貴重な解析図の例は Fujita (1955, 1958) などに掲載されています。この論文にも伝説があります；「他の人には、あの解析はできない」。しかし、観測網が充実した後年、メソスケール解析の正当性が確認されています。私はこの伝説を「多様な観測データから現象の本質を読み取るには、着想、細心の観察と概念モデルを構築する能力が必要だ」の教訓として受け止めています。

現在では、特異な小スケール現象に注目したい場合には、地上観測自記記録、あるいはレーダ、ウィンドプロファイラーデータ等の高分解能観測データで何が起きていたかを確かめるのが定石となっています。

8. 観測による認識における洞察力・創造力

ここまで、現象の認識は観測（手段）によって左右されることに注意しなければならないと述べました。この「観測の限定的な意義」を読まれた方々が、観測の意義について、懐疑的な誤解をされないように、次の科学史的事実を追加します。

現在、基礎的な書物・講義で紹介される重要な大気現象に関わる事実の多くは、十分な観測データが得ら

れない時代において発見されています。

北欧の気象学者のグループが提出した「ポーラーフロントと温帯低気圧の概念モデル」は、高層観測が展開される以前に、地上観測・山岳気象観測に基づいて得られたものです。

偏西風帯の波動、ジェット流、大気大循環、季節風循環、準地衡風の渦度方程式、南方振動等々も気象衛星や再解析データが実現される以前（1950年代前後）に見出されています。

限られた観測データから現在でもほぼ通用する知識を導出された偉大な先人の方々は、「注意深い観察」と「物理的な論理思考」に支えられた洞察力・創造力によって「限定的な観測データ」から、正しい事実認識を導き出されたのです。

現在は多様な観測データが利用できますが、まだ探知されていない事実も残されています。「すべてを包含しているとは限らない観測データ」から全体像的な事実を知るためには、データを注意深く観察・考察し、「物理的な論理思考」に支えられた洞察力・創造力によって正しい事実認識を導き出すことが必要です。

参 考 文 献

- Fujita, T., 1955: Results of detailed synoptic studies of squall lines. *Tellus*, 7, 405-436.
 Fujita, T., 1958: Mesoanalysis of the Illinois tornadoes of 9 April 1953. *J. Meteor.*, 15, 288-296.
 Palmén, E. and C.W. Newton, 1969: *Atmospheric Circulation Systems*. Academic Press, 603pp.
 Riehl, H., 1954: *Tropical Meteorology*. McGraw-Hill, 392pp.