

## 6. コメント 1

松野 太郎\*

21世紀の気象学, すなわちこれからの気象学と言うテーマでコメントするわけですが, そういうときに私が大抵やることは, 過去を振り返るということです. まず, 気象学とは何かという議論を振り返ると, 第2次大戦の前頃に, 岡田武松氏が「気象学=大気物理学」であると述べられています. 現に, そのころ大気物理学という教科書もありました. もっとも, そのころは非常にナイーブにその言葉を使っていたのですが, 1950年代に数値予報が始まり, 物理法則に基づく科学としての性格を持って来るにつれて, 今度は厳密な物理学に基づく大気の科学を大気物理学と呼ぶような考え方が生じてきました. そして, 60年代にはアメリカでは, 例えば, 気象学会では, “Department of Meteorology” が “Department of Atmospheric Science” になり, Journal of the Meteorology が Journal of the Atmospheric Science” というようになるなどの変化がありました. 日本でも, 次第に大気物理学という言葉が使われるようになり, 実現こそしませんでした, 大気物理学研究所創設構想があったり東大において大気物理学講座の増設などが申請されたりなどしました. このように, 50~60年代には, 数値予報に象徴されるように, それまでのいわゆる経験とか一般知識によらない物理学としての気象学という時期があったわけです.

1960年代の終わりから世界で最初の国際的な大気観測計画である GARP (Global Atmospheric Research Program) が始まり, 1978年に FGGE (First GARP Global Experiment) が終わるわけですが, この頃から流れに大きな変革が2つ現れます.

1つは本企画の中でもご講演のあった大気化学の台頭です. この分野は正確には50年代, 60年代からあったわけですが, それが大気汚染の問題を機に, 大気組成に関する研究として盛んになってきました. 1972年には NO<sub>x</sub> の気候影響に関する問題を取り上げた CIAP (Climate Impacts Assessment Program) が開始され, 1974年には CFC によるオゾン層破壊に関するローランドの研究発表が行われるなど, これまでの

物理学としての気象学とは異なる大気化学の大発展があったわけですが.

もう1つの変革は, 1979年に GARP から WCRP (World Climate Research Program) に変わったことにも表れているように, 長期的な大気状態, すなわち “気象” ではなく, “気候” が注目されるようになってきたことです.

1975年には, GARP Publication に, “気候システム” という概念図が掲載されたことにも象徴されますように (第1図), 単に大気だけではなく海洋, それから陸水, 雪氷, そういうもの全体のお互い相互作用をするシステム (気候システム) があり, 気象学はその中の1つの部分の役割に関する学問と位置づけられるようになってきたことです.

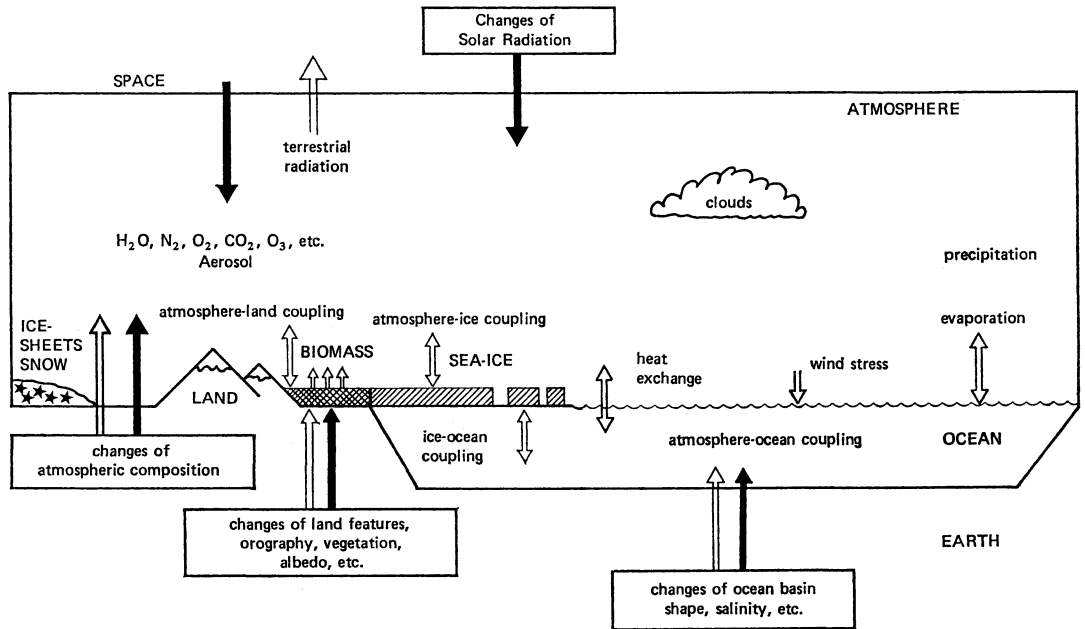
以上がこれまでの気象学の話ですが, では, これからはどうなっていくのでしょうかと言うことになります. が, その前に, 1つ考えておきたいのは, 他の地球科学分野との違いです. 気象学は地球科学の中の一分野と認識されているのですが, 固体地球物理学とか超高層大気物理学, あるいは惑星物理学と比べて違うところは, 非常に身近で観測しやすく, 日常経験に基づいた知識が蓄積されている点です. これに対して, 固体地球, 超高層, 磁気圏といったところでは, 非常に高度な観測技術を必要とし, そこの現象の解釈にも物理学の基礎が絶対に必要となる一方で, 日常生活とは, あまり大きな繋がりを持たないと言えます. こうした点で気象学は, 物理学の中の1つと認識された時期もあったものの, 他の地球科学分野とは大きく異なる特徴があることを認識しておく必要があるということです.

これからの方向性としては, 複雑な気候システムの中での気象学としての位置づけがあると述べましたが, では, その中でどのように物理学としての気象学をやっていくか, ということになります. その重要な1つの方向性として, 個々のプロセスをきちんと扱うことを重視していくことがあげられます. 特に, 特定のプロセスが決定的に重要となる現象があると考えられます.

例えば, 今我々は地球フロンティアで非常に高解像度のグローバルモデルを開発しようとしています. そ

\* 地球フロンティア研究システム.

© 2002 日本気象学会



第1図 GARP Publication に掲載された“気候システム”の概念図 (WMO, 1975 : GARP Publication Series No. 16, pp. 14より).

の中では、今のところメソスケールのシステムはパラメタライズされて取り込まれています。しかし、メソスケールの力学は考えず、グリッドスケールでの安定性と収支をもとに上昇気流による空気と水蒸気輸送の効果だけがパラメタライズされたような形では、例えば温暖化したときに台風がどうなるか、と言ったような問いかけに対し、ハッキリとした答えが出せません。

もう1つ例をあげると、温暖化したときに雲の反射率が大きくなるか小さくなるかと言った IPCC の最初の報告で明らかにされた難問があります。ところが、ほとんど進展のないまま、今は人工起源エアロゾル増加の問題としてエアロゾルの量的な効果で議論されていますけれども、本当はエアロゾル量や凝結核が一定であっても温暖化によって雲がどう変わるかを調べる必要があります。その場合、雲の中での上昇流速が大きい小さいかによって、どこまでのエアロゾルが雲核として活性化されるかが変わるわけです。つまり、領域内の水蒸気やマスフラックス、すなわち上昇流域の面積と速度の積ではなくて、上昇流速そのものが必要になるということです。そういうことまで考えると、雲をパラメタライズしない、より原理的な第一原理に近いところから物事を考えていかないと、そういった問題には答えられないということです。そういう意味で個々のプロセスの厳密化ということが明らか

に重要なものの1つであるということが出来ます。

一方、当然のことですがシステムとしての振る舞いを考えると、現在のモデルでもいろんな複雑なやりとりがあるものですから個々のプロセスが必ずしもそんなに厳密でなくても、非常におもしろい様々な現象がわかるというような事が当然あり、多くの人が既にそのようなモデルなどを使い、研究成果をあげているわけです。

これからの気象学を考える上で、もう1つ重要なことは、社会での役割ということです。これについては既に非常に多くの人々が感じていることとは思いますが、温暖化を中心とした地球環境問題への対応です。多分非常に近い未来に、温暖化を実際に止めるというわけにはいかないですから、必ずある程度は温暖化は起きるわけで、当然、環境が地球規模で変化することになるわけです。それに対して常に定常的に監視して予測していくことが重要となります。現に宇宙開発事業団が Global Change Observation Mission という15年くらいの長期間にわたる環境の定常監視ということを目標として計画を進めています。いわば気象庁が気象を監視し予報するように、地球環境を監視し予測するのです。ここで重要な点が、気象学的に得られた知見を政治にフィードバックし、それを通して気候に影響を及ぼす人間活動、ひいては気候に与える影響をコン

トロールできるという点です。

この点から考えると、メソスケールの気象現象は、例え同じ監視・予報が行われたとしても、現象そのものに影響を及ぼす因子を制御することが実現するかどうか難しいと考えられます。むしろ、先ほどの新野先生のご講演の中で述べられていたように、いろいろな観測網ができて常時観測し、それを皆に伝えるシステムを積極的に整備して、防災という視点から気象学が貢献できるようにすることが望ましいのではないかと考えます。

もち論、中小規模の気象を人工的に制御できないか、という長年の問題も21世紀の気象学の重要な目標だと思います。個人的見解を述べますと、集中豪雨が起るような潜在不安定な状態がある時、人工的なトリガーによって都合の良い場所で雨を降らせることができないうか研究する必要があると思います。都市の水害を防ぎ、貯水池の水量を増やせば一石二鳥というわけで、これは温暖化により降雨が不安定になると予測される21世紀の大きな問題ではないかと思っています。

201 (大気化学)

## 7. コメント 2

秋元 肇\*

最近、21世紀の学問を考えるということがあちらこちらで行われているのではないかと思われませんが、気象学の21世紀を考える上で、参考になることも多いかと思しますので、私自身の出身でもある化学の分野において昨年開かれた、「21世紀の化学のグランドデザインを考える」と言うシンポジウムの内容を最初にご紹介します。

今日のシンポジウムの若い方の話を伺っていると、化学より気象学の方が、20世紀の学問から21世紀の学問に脱皮するのが比較的うまくいくのではないかという印象を持ちました。脱皮に脱皮を重ねることによりうまくソフトランディング出来そうに思われました。それに比べて化学の方はもっと深刻な状況です。それは、化学の世界では20世紀において、物理化学、有機化学、無機化学などの各分野において、これこそ純粋な化学だという非常にがっちりとしたものがあつたからです。

物理化学では量子力学をベースとした分子化学（モレキュラーサイエンス）、有機化学では、有機合成化学という具合に、これこそが化学の神髄であるという部分がありました。その上で、その周辺に生物化学、生命化学、材料科学、宇宙科学、地球化学、大気化学、海洋科学、環境化学が配置されていた訳ですが（第1図）、こういうものはすべて純粋化学のアプリケーションに過ぎないという見方がずつとなされてきました。

ところが今21世紀になってみると、どうも今まで20世紀にやってきた化学の核になると思われていた部分はもう終わりではないかということが、非常な実感として多くの人に感じられるようになってきました。そういう意味で化学の中には今、学問的閉塞感とか、若い人の未来喪失感とか、極端な事を言うともそういう気分がかなり漂っているように思われます。

それを抜け出すにはどうしたらいいかを討論しようということで、21世紀の化学のグランドデザインを考えるというシンポジウムが開催された訳です。その中で、これからの化学は材料化学や物質化学の基礎としての“メゾスコピックの化学”（メゾとは気象学で言うメソで、マイクロとマクロの中間という意味）、自己組織化、生命・生物の化学、それから物質循環化学（環境化学、大気・海洋化学）、こういったものがむしろ化学の中心を担うことになるのではないかということが話題となりました。それらと伝統的な化学とが一緒にせめぎあう中で21世紀の化学ができていくのではないかというような議論がなされ、討論が行われました。

そして、それらをまとめて1つの“システム科学”と呼ぶべきではないか、という視点が出てきています。“システム”という言葉は、気象学の分野では例えば気候システムというように、これまで普通に使われてきているのですが、化学の分野では、この“システム”というのは非常に新しい概念です。

では、このシステムとは何かということですが、システムとはいくつかの要素からなり、その間に相互作用とフィードバックが存在する世界です。その対象と

\* 地球フロンティア研究システム。

© 2002 日本気象学会