

わが国の気候変動研究計画 (WCRP)*

2. 気候診断について**

世界気候小委員会 気候診断グループ

1. 気候診断とは何か、その目指すところ

世界気候計画 (WCP) またそのなかの気候研究計画 (WCRP) では様々な研究がなされる。

気候診断の担当する研究は、文字どおり気候を診断することで、気候の時間的な変化、空間的な変化を正確に定量的に記述することである。こうして得られる情報は、気候情報として社会に還元され、人間社会が気候およびその変動にどのように対応すればよいかという判断に際し、重要な基礎を提供する。同時に、これら気候情報は長期予報や気候予報にも不可欠である。

また、気候診断に関連する研究を遂行するための潜在的な能力は、わが国の気象学・気候学および関連する分野に広く存在する。したがって、これら研究者を糾合することにより、これから述べる研究計画の実施は可能であり、世界気候小委員会の気候研究計画のなかで、投資-効果効率の最も高い分野であるといえよう。

以下に気候診断の重要な柱について説明する。

1.1. 長期間の天候経過の診断

まず、長期間の天候経過の診断というもの、気候診断の第1の柱としてとりあげられるべきであろう。すなわち、個々の気象現象の解析にはじまり、その長期間にわたる経過をとらえながら、同時にその全球的なスケールでの位置づけを行なわなければならない。見方を変えれば、大気大循環に対し個々の気象現象がどのように出現し、空間的分布を示すか、および大気大循環の変動に対応して、それらがどのように変動するかを知ることである。

この過程で統計的および総観的という2つの異なったアプローチがとられることになるのは、今までの気候の研究を見てもすでに明らかである。ただし、非常に古典

的な統計的アプローチでは平均値算出にとどまることが往々にしてあったが、ここで考えている気候診断では、分散や共分散など基本的変動量をはじめとして、気候系の擾乱の研究に役立つより高次の統計量も含まれることを敢えて注記しておく。またデータ解析に際しては、その結果を示す場合、誤差の確認を行なうこと、定量的結果には信頼度を確保することが必要である。なお総観的アプローチにおいても、技術上の問題として、平面の解析図を鉛直的・時間的に整合させるに際して、時空間4次元の客観解析の導入が広くなされることになるであろう。以上は長期間の天候経過の診断だけの問題ではなく、これから述べる異常天候・気候形成過程の診断においても同様に考慮されなければならないことであるが、ここに記しておく。

長期間の天候経過の診断を行なう場合、取扱いに容易な時間的・空間的スケールで現象（あるいはデータ）を切り出し（時間的・空間的なフィルターをかける、最も単純な場合は平均をとる）、切り出されたものについて変動を調べたり、切り出したものの構造を調べることがよくなされる。この場合、前者が統計的、後者が総観的アプローチをとることが多いという現実はある。特に後者には、次に述べる異常天候に診断的にアプローチする場合、たとえばブロッキング高気圧の突然の発生やその維持のメカニズムを知ろうとする場合なされるべき研究が含まれる。

このほか古気候の復元という問題も、広い意味で長期間の天候経過の診断ということになるが、観測時代以前の資料を用いるという点から生ずる問題が上述の諸問題に加わることになる。

1.2. 異常天候の診断

ブロッキング高気圧の発生にともなって大気大循環が極端なゆらぎを呈すると、各種気象要素の平年値からの偏差が異常に大きくなることが多い、ということはよく

* World Climate Research Programme in Japan.

** Climatic Diagnostics, (執筆) 朝倉正 (気象庁企画課), 田宮兵衛 (気象研究所予報研究部).

知られた事実であるが、ブロッキング高気圧ばかりでなく、その他の様々な大気大循環を乱すような現象にもなってあらわれる異常天候の解析は、気候診断のもう1つの重要な柱である。

前項の長期間の天候経過の診断においては、平常およびそれに近い状態を想定して議論がなされるので、異常天候も当然対象にはいってはいないが、それに投入される仕事量は平常状態に比べ特に多くはなり得ない。ところが、気候診断をはじめとする世界気候計画(WCP)における議論は、気候が変動しつつあるかもしれないこと、気候の変動に対し現在の社会経済体制が脆弱化している可能性があるという前提に立って開始されたものである。そして気候の変動とは、異常天候の積み重ねを経て起こるものと考えられている。たとえば、100年間に気温が 1°C 上昇する気候変動があるとすると、それは毎年 0.01°C づつ平均気温が上昇するという経過をたどるといよりも、 1°C という値を越えるような年平均値の上下、すなわち異常天候が増大し、それを繰り返しながらある年の直前の10年間の平均値を算出したら、110~101年前の平均値より 1°C 高くなっていたという形で認識されるものと考えたほうがもっともらしい。

上の話は全くの想像にすぎないが、何年かかるか、あるいは続くかわからない気候変動が我々の世代の問題となり得るのは、気候変動に伴って異常天候の発生頻度が増すであろうことが予想されるためである。現実のデータからも、最近異常天候が頻発しているらしいことはうかがえる。ただし、これが気候変動といえる程度にまで発展するかどうかはまだわからない。いずれにせよ、異常天候の診断が気候診断の重要な柱になるべきことは御了解いただけるものと思う。

ここで、それなら我々の世代の問題として異常天候だけ研究すればよいではないかという意見もあり得よう。

たしかに、異常天候の定義が気候学的に現象のメカニズムも含めてできているのなら、それは正しい。しかし現実には、気候の正常状態がどうであるかということ、さらには気候とは何かということすら、研究者によって考え方が異なっているので、異常天候だけ取り上げて研究できる状態ではない。仮に現時点でこれを行なうと、現時点の人類の社会・経済的状況に対して何らかの災害を及ぼしたものだけが取り上げられ、そのカタログを作成することになる。このカタログはそれなりに意味を持つことは明らかであるが、大気物理学的な意味でのカタログ各項目の位置づけをはっきりさせることができれば、よ

り有効なものになるであろう。その上、気候学的には正常な現象が災害を及ぼすことは今日の社会においては正常な状態であるので、取り上げられた異常天候に偏りができるはずである。たとえば、1981年の夏から秋にかけて関東地方に台風の被害が出たが、一般市民にとって異常天候と考えたくなるであろうこの現象も、気候学的な台風経路から見れば正常で、ここ20年ぐらい関東地方に台風らしい台風の来襲が少なかったことを異常と考えるべきであろう。

1.3. 気候形成過程の診断

以上2つの柱から、気候とその変動というものに対する科学的共通理解ができ上っていく過程で、その気候がそのような状態であることの理由を知りたくなることも当然である。すなわち、気候形成過程の診断という第3の柱をたて得る。WCRPに対応する我国の研究計画には、気候形成過程の研究ということで主として観測を行なうグループが発足しているが、それと気候診断との関係を以下に述べる。

気候形成過程の研究において明らかになった事実およびそれに基づいて建てられた仮説の検討は、現実大気中でそれまでに把握されていた現象との対比から始まらなければならない。また気候形成過程に対する新たな問題提起は、厳密な解析から要求されることが最も多い。すなわち、気候形成過程に関する観測結果の解析が気候診断の重要な部分をなすこと、気候診断の他の項(長期間の天候経過の診断、異常天候の診断)を前提に気候形成過程の正当な位置づけをなし得ることが指摘できる。特に注目すべき気候形成過程については、それについての情報を得るべく、平常状態の解析より精密な診断が必要となることは確実である。ここにおいて、今日はじめて利用可能となったデータ、すなわち FGGE データや衛星放射データを利用することができる。これらを用いた解析は、今までにない結果を生み出すことが予想され、気候診断のなかで大きな成果が期待される部分である。

1.4. 人間活動の影響の診断

最後に、人間活動の影響の診断という柱がある。来たるべき気候変動、あるいは最近気候の変動性が増した理由に、人間活動の影響をあげることがある。これが真実か否かはまだ人類の判断できる段階ではないが、これに対して人間は自分自身の活動をコントロールできるという前提に立てば、モニターを行なう必要は明らかである。モニターとは、解析すなわち診断にはじまる。

2. WCAP, WCIP, WCDP との関係

気候が人間におよぼす様々な影響に関する問題は、WCP においては WCRP とならぶ WCAP (気候応用計画)、WCIP (気候影響調査計画) で取り扱われることになっている。この両者に対する我国の研究計画は、学会会議のいずれかの部分が担当することになるようであるが、それらの研究のための基礎となる大気現象等に関する情報は、WCRP に対応している本委員会の責任で準備することを要請される可能性はあり得る。そうなれば、気候診断で得られた知見がそれにあたる。

気候データ計画 (WCDP) に対して、気候診断の立場からなされる要望についてここに記しておく。気候診断で先に述べてきたようなことを追求していく場合、十分なデータがあることが前提である。というより、それが無ければ何事もはじまらない。そこで必要なデータを気候データと名づけるか否かはとにかく、1.1. 節に書いたような解析を完全に行なうならば、気象に関するあらゆるデータが必要になる。我国における WCDP に対応する計画は未だ発足していないので、これに替わるものとして、本委員会中にデータの問題を取り扱うグループが設置されている。これについては、次章でやや立ち入って関係を述べる。

3. 気候データベース、気候モデリングとの関係

ここでは、世界気候小委員会の研究計画のなかで、気候診断と特に関連の深い気候データベースと気候モデリングとの関係についてやや詳しく述べる。

3.1. 気候データベース

気候データの収集・管理および利用体制の整備は、気候研究全体の円滑な遂行の大きな前提であるが、なかでも気候診断の諸研究項目の実施には重大な影響もっている。

気候データベースが包括すべき内容をどこまでにするかというのは、データベースの性格を決定するので重要な問題である。しかし、気候の定義についてすべての研究者の共通認識ができ上がっていないということもあり、これについて速断はできない。この場合、大気に関するデータを中心として、これにかかわる海洋等のすべての自然的データ、および気候と関連するであろうあらゆる社会・経済的データを気候データベースの対象と考え、それらの中で現実の問題として重要度が高く採集可能のものから、管理・利用体制を確立していくことが必要となる。なお、気候に関係すると考えられるあらゆるデー

タが、すべて気候データであるべきであるという考え方もあることを記しておく必要はあろう。

現実的に作成し得るものに限ったとしても、その完成は容易ではないだろう。しかし、気候研究計画の実施されている間に、ある特定の種類のデータでもよいから、単なるデータの集積だけではなく、検索・利用など含めたシステムをつくり上げることは必要である。これは将来のわが国の気候・気象データの管理・収集体制の模範となるものでなくてはならない。

こういう意味で、たとえばすべての気象データを収集するというのではなく、半月平均値ないしは月平均値というような形のデータの集取から始めるということも考えられる。これはわが国における現在までの気象・気候データの集積・管理状態に即したものであるとも言える。

3.2. 気候モデリング

第1章で気候診断の内容・目的について羅列的に述べたが、これらすべてを満たす形での問題解決は容易ではない。

これを果たし得る可能性が最も高い、現在考えられるアプローチは、気候モデルによる実験的研究である。

気候モデルがある時点ででき上るということは、その時点の人類が気候というものに思い懐くあらゆる現象を再現できるということであり、そのために必要なすべての情報が組み入れられているはずである。この観点から気候診断を見なおすと、次のようになる。朝倉(1981)の挿図も参照されたい。あらゆる現象といっても、最も基本となるのは長期間にわたる天候特性であり、これは大気大循環の振舞を通して長期間の天候を物理的に理解する方向での解析によって得られるものである。また人間社会への影響という意味で重要な異常天候は、大循環の極端なゆらぎに由来することはすでに述べたが、さらにそれをもたらしている原因も含めての解析をなすことにより、モデル化に役立つ情報を提供することになる。他方、いかなるアプローチをもってしても、診断的立場からの解析のみで因果論的に明確な関係を剔出することは困難なことが多く、この意味でモデルによる研究と相まって、事態の究明がより促進されるであろうことは言うまでもない。

ここまで述べると、異常天候の原因というものが、気候モデルをつくるに際して必要な情報のある部分を占めていることがわかるが、先に述べた必要な情報のなかには、その以前に平常状態における気候を形成する主要な

因子(太陽活動, 日射量, 雲量, 雪氷, 海水温, 等々)の気候との関係を含まなければならない。これらの微妙な変化が, 異常天候, さらに気候の変化・変動をもたらすのかもしれない。これらは地球大気に対する境界条件であり, ここにおける診断とは, 境界条件が大気大循環にいかなる影響を与え得るかを明らかにしていくことになる。大気が境界条件に対してもつ sensitivity や response time に関する情報はモデルが再現すべき最も重要な問題の1つであるが, それらについて診断的に有効な情報を見出せるにこしたことはない。

最後に, 同じ境界条件ではあるが, 人間活動に起因するとされているもの, たとえば CO₂, 土地改造, dust の放出等々と気候の関係の解析も必要である。これらは, 自然の境界条件よりも影響の度合は小さいかもしれないが, 人類が自分自身の活動をコントロールできるとすれば, 何らかの対応が可能であるという意味で特に注目する必要はあろう。

なお, 境界条件に関しては, 気候形成過程の研究においても同時に研究が行なわれ, そこでの特別観測等から得られた結果と気候診断から得られた結果の統一的解釈がなければ, 直にモデルに組み入れるという段階には至らない。

また, 気候モデルと気候診断の両者が関与する例として, 次のような問題は重要である。仮に CO₂ による気候変動(この場合温暖化)の真实性が確かになってくると, CO₂ のコントロール, すなわち化石燃料消費の規制という問題を考慮せざるを得ないこともあろう。この場合, 人間の社会・経済活動に対する影響が大きいこと, それに従って大気物理学的には不毛な議論すら必要となるかもしれない。しかしながら, 気候モデルをこの問題に応用することが要請されるに違いないことは, 今日の社会の気候・気象現象の認識を考えれば予想される。この場合, モデルがモデルとして完成していなくても, 診断と組み合わせた半経験的モデルというような形の対処もあり得よう。

4. 気候診断の研究計画

これから示す研究項目は, 朝倉(1981)により提案されたものと全く同じである。すなわち, 我国において望まれる研究項目, 実行可能な研究項目を第1章にのべた順序で列記し, 若干の説明を加えたものである。

なお, 今回は最後に表の形で, それぞれの研究項目について関連する研究機関等の名称をまとめて示すことにす

る。この表は以前に行なわれたアンケート等も参考にして作成したものである。しかしながら, もとより暫定的な性格が強く, 気候診断の研究が実際に発足するまでに十分な検討・調整を行なう必要がある。この検討に際しては,

- a) 研究者相互の間で, 問題認識についての討論が不十分である現状を克服すべく意志の疎通を計ること,
- b) モデリング, 観測, 南極, 資料など世界気候小委員会の他の分野と診断研究の間で, 具体的問題についての討論を行なうこと,

等々の問題も先に述べてきた諸点とともに取り上げられなければならない。

また気候診断グループは現在形成途上にあり, 表に掲げられている「関連する研究者の所属する研究機関等」には現在把握されているものを中心に示した。すなわち, ここに示したものでだけ閉じたものではない。したがって参加を希望する研究者は是非, 気候診断グループ世話人(〒305 茨城県筑波郡谷田部町長峰 1-1, 気象研究所予報研究部, 野本真一もしくは田宮兵衛)まで連絡されたい。

A. 長期間の天候経過の診断

(1) 観測時代の気候変動の解析的研究

19世紀以後の100年間に関して, 北半球の気圧, 気温, 降水分布を解析し, 地上気温分布の変化が気圧, 降水分布の変化とどのように関連しているかを調べる。

また, 最近の数十年間の気候変動を北半球 500 mb 環流の場から解析し, 地域相互の関連について研究する。

南半球および全球についても, 資料の許す限り同様の研究を行なう。

(2) 気候変動機構の実態の統計的解析

主に高層天気図を用い, 大規模なパターンの推移, プロッキング活動などに着目して, 気候変動の実態を解析する。

(3) 熱帯擾乱の気候学的研究

気候形成に重要な役割を果たしている熱帯地方の気象擾乱の役割について, 気候学的に研究する。

(4) 古気候の復元

気候システムの長期間の変動性を明らかにするためには, 観測時代の記録だけでなく, 歴史時代の資料が必要である。また, 将来, 気候モデルによる予測パターンから天候を推定する基礎資料として用いられるので, 古気候の復元は気候研究計画に含まれている。日本として考えられる研究項目はつぎの通りである。

気候診断研究項目と関連する研究者の所属する研究機関等 (順不同).

A. 長期間の天候経過の診断

(1) 観測時代の気候変動の解析的研究

(2) 気候変動機構の実態の統計的解析

(3) 熱帯じょう乱の気候学的研究

(4) 古気候の復元

B. 異常天候の診断

(1) 異常天候と大気大循環の変動の解析

(2) 異常天候と海洋, 雪氷分布との関係

(3) 火山爆発, 太陽活動と異常天候

C. 気候形成過程に関する診断

(1) FGGE データなどによる大循環のエネルギー解析

(2) 広域の雪氷分布の変化と気候変動の研究

(3) 雲量, 日射量の変化と気候変動の研究

(4) CO₂, dust など人間活動の気候変動に及ぼす影響の研究

(5) 海洋と気候変動の研究

(ア) Ocean Monitoring

(イ) 海洋表層, 海上大気状態量の変動解析

a) 日本海の熱収支解析と海面水温変動の解析

b) 北太平洋の熱収支解析と海面水温変動の解析

c) 海洋表層混合層の熱構造の変動の解析

d) 潮汐に起因する長周期海洋変動とその気候変動への影響

研究者の所属機関

気研・予報, 気研・応用, 筑波大・地球, 広島大・総合科学, お茶大・文教育, 青学大・経営, 北大・環境, 東大・理(地理), 都立大・理(地理), 金沢大・教育, 愛知教育大・教育, 京大・理, 大阪府大・農, 千葉大・農・教育, 東北大・理(地理), 横国大・教育, 東学大・教育, 法政大・文, 拓大・商, 山形大・教養, その他

京大・理, 愛知学院大・教養, その他

京大・東南アジアセンター, 気研・予報, 筑波大・地球

筑波大・地球, 三重大・教育, 東大・理(地理), 京大・防災研, 都立大・理(地理), 日大・文理, 東北大・理(地理), 愛媛大・法文, 広島大・総合科学, 山梨大・教育, 横国大・教育, 足利工大

気研・予報, 京大・防災研, その他

京大・理, 気研・予報, その他

気研・台風, 気研・予報, 東北大・理(地理), 筑波大・地球

気研・海洋, 北大・水産, 弘前大・理, 東北大・理, 東大・理, 東大・海洋研, 東京水産大, 東海大・海洋, 鹿児島大・水産, その他

古記録による日本各地の古気候の復元.

古環境による復元.

氷河・周氷河現象にもとづく山岳地帯における古気候の復元.

B. 異常天候の診断

近年, 社会からの要望が強いの, 天候の極端な variability の予測である. これは数十日~数か月の長期

予報で, 気候予測の当面の目標になろう. 数十日以上 の時間スケールを持ち, 極端な偏りを示す天候を異常天候とよび, つぎのような研究項目がある.

(1) 異常天候と大気大循環の変動の解析

(2) 異常天候と海洋, 雪氷分布との関係

(3) 火山爆発, 太陽活動と異常天候

C. 気候形成過程の診断

(1) FGGE データなどによる大循環のエネルギー解析

大気大循環の3次元力学解析を行なう。特に経年変化に着目して、気候変化に関連したエネルギー過程の経年変化を明らかにする。その結果をスペクトル気候モデルにおけるパラメタリゼーションに役立てる。

(2) 広域の雪氷分布の変化と気候変動の研究

広域の雪氷分布が気候変化とどのように関連しているかを調べ、雪氷分布の気候変化に対する feed back, sensitivity について研究する。

(3) 雲量、日射量の変化と気候変動の研究

資料の制約は大きいですが、衛星資料の活用が期待され、気候変動の本質をつく研究である。

(4) CO₂, dust など人間活動の気候変動に及ぼす影響の研究

自然に起因する変動とどう分離するのがむずかしいが、将来重要な問題になろう。

(5) 海洋と気候変動の研究

気候形成過程のなかで、とくに重視されているのは海洋と大気のかかわり合いである。しかし、海洋の観測資料は大気にくらべると、時間的にも空間的にも不十分であり、海洋の観測体制の整備、拡充は研究を進める上に必須の条件である。

(ア) Ocean Monitoring

海洋が大気に及ぼす影響を評価し研究に役立てるため

には、大気-海洋間の熱交換量を少なくとも数年間にわたり連続観測する必要がある。当面は、北太平洋域における季節躍層以浅の海洋水温・海流構造を、定期的かつ連続的にモニターする必要性が大きい。これを実行するためには、現業官庁を中心とした関係機関の協力、および現在ユネスコの政府間海洋学委員会 (IOC) と世界気象機関 (WMO) の両者で行なわれている全世界海洋情報サービス (IGOSS) 計画の推進が絶対不可欠であり、特別の配慮が必要となろう。

(イ) 海洋表層・海上大気状態量の変動解析

すでに収集されている海洋・気象観測資料および今後の観測で得られる資料を解析し、海洋表層の変動の実態を理解し、大気・海洋相互作用にかかわる気候変動の研究に寄与する。当面、考えられる課題はつぎの通りである。

- a) 日本海の熱収支解析と海面水温変動の解析
- b) 北太平洋の熱収支解析と海面水温変動の解析
- c) 海洋表層混合層の熱構造の変動の解析
- d) 潮汐に起因する長周期海洋変動とその気候変動への影響

文 献

朝倉 正, 1981: 異常天候と気候診断, 天気, 28, 550-553.