

# 「気候情報課」の展望と課題

気象庁 気候・海洋気象部気候情報課  
時 岡 達 志

気象庁は平成8年7月1日に組織変更を行った。その中で予報部長期予報課は無くなり、新たに気候・海洋気象部気候情報課が誕生した。新しい課は季節予報を更に発展させると共に、種々の気候に関する情報の提供を行い、社会や行政の要望に応えていくために作られた組織である。そこがどのようなことを具体的に目指しているのか、課としての展望と課題について簡単に紹介する。

## 1. 気候情報課の所掌

新しい課は次の5つを所掌する。

- ・気候の予報に関すること。
- ・前号に掲げる事務に関し必要な地象（地震及び火山現象を除く。）及び水象の予報に関すること。
- ・前二号に掲げる事務に関し必要な気象、地象及び水象の解析に関すること。
- ・気候に関する情報の収集及び発表に関すること。
- ・前号に掲げる事項に関する統計の作成及び調査並びに統計及び調査の成果の発表に関すること。

「予報」に関することで云えば、これまで長期予報であったのが気候の予報ということとなつた。これまでの長期予報のカバーする期間の上限について、必ずしも明快な共通認識がなかった。かといって、長期予報が数年先や数十年先の予報も含むということについては、現時点でなかなか合意が得られそうにもない。そこでそれを気候予報とすることにより、カバーする期間の上限を取り外し、季節予報を含み、それ以上の全ての時間スケールの大気変動についての予報を所掌することを明確にした。もちろん現時点で業務として予報を行うのは、1ヶ月、3ヶ月、暖・寒候期予報の季節予報である。それを越えるものについては、技術的背景が明確になり、業務環境が整い次第それを業務化することとなる。

「解析」に関しては引き続き所掌するが、気候に関する予報とそのために必要な地象、水象の予報に必要な解析ということになっている。

これまで長期予報課としては持っていた所掌として新たに付け加わったものは、「気候に関する情報の収集と発表」、「それに関する統計の作成及び調査」、そして「統計及び調査の成果の発表」、である。

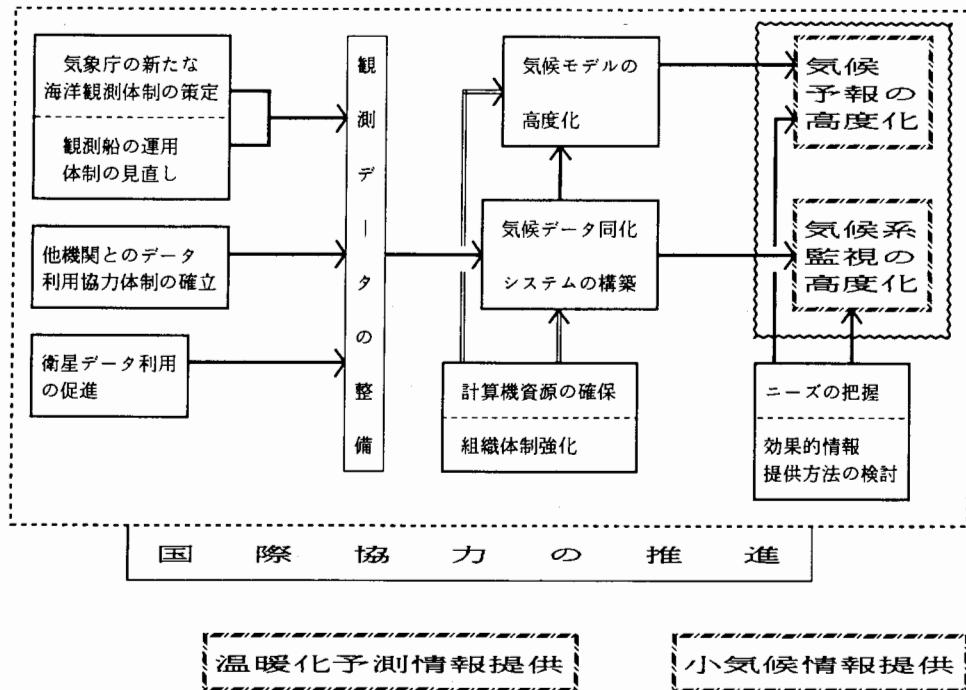


図1. 気候情報課の業務の模式図

## 2. 業務の展望

図1はこれから述べることを模式的にまとめたものである。図1を参考にしながら以下を読んでいただければよい。

### 2. 1 季節予報

社会へのアウトプットという観点でみると、気候情報課は気候に関する予報の提供と、気候に関する情報を提供していくことである。現在実施している1カ月、3カ月、暖・寒候期予報（季節予報）については、これらの精度の向上と、予報する項目の追加・改善をしていくことである。1カ月予報は今年3月より力学モデルによるアンサンブル手法に基づいた予報を開始した。現在までに約5カ月の経験を積み、非常に理想的な素晴らしい予報が出来たケースもある反面、今後の検討課題とすべき事項も出てきている。当面はこれらの検討を行い、モデルや結果の処理の改善を図り、予報成績の向上に努めたいと考えている。

3カ月予報や暖・寒候期予報に関しては統計的手法に基づいて行っており、この10月からは3カ月平均気温の予報に確率表現を導入する予定である。季節予報は本来確率予報であるべきで、これはそれに沿った改善である。しかし統計的手法に基づいてこれらの予報を行っている限り、データの制約などで予報成績の画期的向上というものが望めないのも事実である。これらの予報に関しては、近い将来、後で述べる大気・海洋結合大循環モデルによるアンサンブル手法に基づいた予報へ切り替えていく予定である。それが最も将来性のある精度向上への道である。それに向かったモデルの精度向上への努力は、全庁的な協力を得て行わねばならないことであるが、これを実現し、初期値を精度良く与えるための観測・解析体制を整えていかねばならない。これを実施する時点では、おそらく1カ月予報もこの結合モデルを用いて行うことになっていることは間違いないだろう。大気・海洋相互作用には色々な時間スケールのものがあるが、海洋表層部と大気下層との間の相互作用は、短いものでは1カ月内に生じている。1カ月の後半の予報精度を上げるうえで、結合モデルを導入することが有効な場合が必ずあると考えている。

## 2. 2 エルニーニョ現象の予報

現在新たな業務として予定しているものに、エルニーニョ現象の1年先までの予報がある。大気・海洋結合大循環モデルを用いて行うもので、平成10年度より開始することとしている。東太平洋赤道域の海面水温について予報するのであるが、大気側についても1年先まで計算しており、その中に含まれる有効な情報を調査し、3カ月予報や暖・寒候期予報への利用の検討も併せて実施したいと考えている。上でも述べたように、この予報の精度を向上させるためにはこれに用いる結合モデルの高度化をはかることと、気候予報の初期値を良くするための観測体制の確立及び気候データ解析システムの構築が必須である。

## 2. 3 海洋の観測

観測自体はこの課の仕事ではないが、そのユーザーとしてこれは重要な問題である。観測において特に必要とされているのが海洋内部の観測である。海洋内部では大気とは異なりリモートセンシングがなかなか有効に働かないので、現場での測定が必要である。気候予報のために役に立つ観測となると、係留ブイや中層フロートのようなものに頼るか、そうでなければ船からの観測に頼らざるを得ないのが現状である。船による観測は費用が嵩むため、効果的な観測網についての研究も必要であろう。気象庁としてもこのような時点に直面し、今後の効率的な海洋観測体制をどうすべきかについて、先を見据えた方針を打ち立てるべき時期にきている。

## 2. 4 気候解析システムの構築

モデル、観測に加えて気候データ解析システムを高度化しなければならない。従来の短期予報用の大気を中心とした解析システムでは不十分で、更に陸面、海面、海洋内部の解析を準リアルタイムで行えるようにしなければならない。衛星などから得られる気候情報を取り込むようにし、陸面、海面、とりわけ海洋内部を精度良く解析出来るように、現行のシステムを改良しなければならないだろう。

## 2. 5 溫暖化情報提供

気候情報課となって新たに取り込んだ業務に温暖化情報提供がある。いくつかの将来の経済発展シナリオに従って将来の気候変化を気候モデルを用いて計算し、色々な政策検討や、影響評価、教育啓蒙などに利用して貰えるように、利用しやすい媒体によるモデル結果の情報提供を行っている。このほかにも、内外の関連情報を収集、検討し、それらの提供も出来る範囲で行いたい考えである。更に先の計画としては、東アジア地域の気候変化を特に詳しくした情報提供を実施しなければならないと考えている。台風、梅雨の動向や、雨量、強雨頻度の変化などについて、シナリオごとに計算し、使いやすい情報として提供することである。

## 2. 6 小気候情報

もう一つ新たな業務に小気候がある。小気候は水平スケールにして数十mから数十km、鉛直スケールで数十cmから1km程度の気候である。地形や地表面の違いによって気候は小気候の対象とするスケールの中でかなり変化することは、注意深い人なら良く経験していることである。これに関する情報を提供していくと云うことで、現在業務の内容について詰めを行っているところである。当面、1km程度の解像度の解析をアメダスデータ、アジア狭領域のモデル結果、詳しい地表面データ、人工排熱データなどをもとに行い、生活、産業、行政などに役立つ情報を出したいと考えている。都市化に関するデータも当然扱うこととなる。

## 3. 今後の課題

「気候」の業務の特徴を理解するには、それを「天気予報」業務と対比させることがよからう。天気予報の場合、気象の現況をリアルタイムで把握し、必要な情報を流すと同時に、気象の予測を行い、必要な注警報などを伝えることである。これらの作業の中で重要なことは、時間的に出来るだけ速やかに行うことである。情報の使われ方は気象の現況、予報そのものが重要な情報として国民一般に用いられているし、防災に役立っている。電力供給のように天気予報を事業計画に役立てる場合や、天気に左右される商業活動／産業分野の人たちの利用もあるが、これとても天気そのものが重要な情報として用いられている。

一方気候予報の場合は、仮に予報を行うにしてもそのための気候システムの現況を把握するために割ける時間は大幅に伸びる。1ヶ月の予報の場合は1週間も待つことは出来ないが、3ヶ月以上の予報ではそれくらい待つことは特に問題ない。短期予報では時間的制約のもとで十分利用できなかつた衛星データから得られる気象情報や、船による観測データなどを、十分利用できる。この時間的制約の強さの違いが、天気予報との違いの一つである。

第2の違いは情報のユーザーの違いである。天気予報の場合は多くの人にとって生活に密着した情報として用いられている。しかし、気候の情報の利用者は個人というよりも行政機関や特定の産業分野の人たちである。一般の人も気候予報に関心は持つても、それを積極的に生活に利用しよう

# Gcosとは

気候は、大気・海洋・雪水・生態系等からなる複雑なシステムで、その理解のためにはこれらの地球全体にわたる観測が不可欠です。近年、データ処理・通信・人工衛星・センサー等の技術が飛躍的に向上し、世界各国は協力して定常的に気象の観測・海洋の観測・人工衛星による観測を行っています。全球気候観測システム（GCOS）は、気候系全体の総合的な観測システムで、現在行われている観測システムを継続・強化するとともに、近年の科学技術の進歩を背景に新たな観測手段を整備することを目指しています。このことにより、地球温暖化等の将来予測の不確実性を低減し、地球環境を守る適切な対策が立てられるようになります。

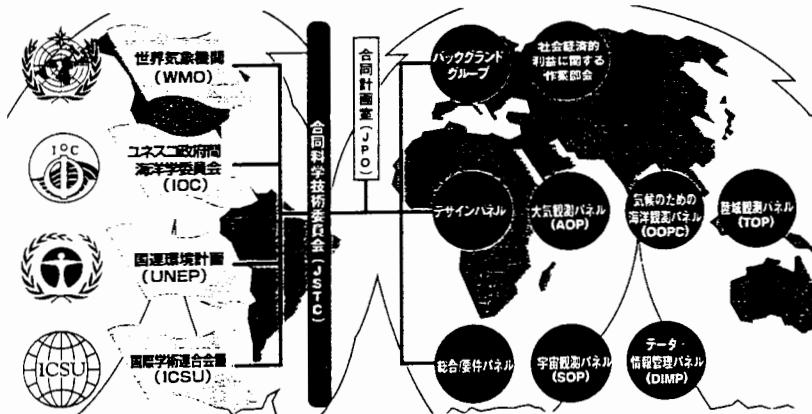


図2. 全球気候観測システム（GCOS）組織図

地球全体の気候を観測し、気候の予測、監視、研究等に役立てるシステムを構築しようとして図に示す4つの機関が協力して全球気候観測システム（GCOS）を立ち上げている。この他に、全球海洋観測システム（GOOS）、全球陸面観測システム（GTOS）も構築に向かって進んでいる。[GCOS国内検討委員会、1995：日本におけるGCOSより]

と考えている人は少ないであろう。我々はこのことを明確に意識して気候情報の提供形態などを考えていかねばならないだろう。情報を欲しているユーザーの実態をよく知って、極力ユーザーのニーズに応えた情報の提供も目指したい。

気候予報のためには大気のみの観測だけでは不十分であり、海洋や陸面、氷床や海水などの観測も必要となる。これらをまとめて気候システムと呼んでいる。天気予報についてはWMOに加盟している各国の気象機関の大気観測データをリアルタイムで交換することによって可能になっている。しかし気候システムの観測となると、各国においても気象機関のみでこれを行っているところはなく、軍とか科学技術、環境、海洋の分野や、学術団体なども行っている。従って気候システムの観測体制を整えるには、これらの機関の協力が重要となる。我が国の場合、宇宙開発事業団（N A S D A）や海洋科学技術センター（J A M S T E C）、大学、その他が関わっている。国際的にはWMOの枠を超えて全球気候観測システム（G C O S；図2を参照）を組織しており、2000年には最初のシステムを立ち上げることを目標に準備が進められている。気候予報にはこのように関係する多くの機関との協力体制を維持していくことが重要で、必要な観測の殆どを気象機関自らが担っている天気予報と異なっているところである。

G C O Sについて上で触れたが、これに限らず気候業務を行う上で国際協力は重要となる。限られた予算の中で精度の高い情報を提供するためには、関係する諸外国の機関との協力、連携が有効である。気候の場合は短期予報の場合のような厳しい時間的制約を受けないために、或る国で得た情報を他の国に伝え、そこでもその情報を有効に用いることが出来る。このような観点から、気候業務に関する国際協力を推進しようとするWMOの気候予測情報サービス（C L I P S）計画が立ち上がっている。我が国もこれに関して国力に応じた積極的な貢献を果たしていくべきである。国際的にはこれまで世界気候計画（W C P）が立ち上がっていたが、この枠組みであらゆる気候関連の計画やプロジェクトを調整していくことが困難となってきた。そこで気候に関連する国際機関を更に取り込んだ新たな調整の枠組みとして、気候アジェンダ（Climate Agenda）が発足している。この枠組みの本格的な活動はこれからであるが、我が国も気候の領域ではWMOの枠を超えた国際諸機関との連携をはかっていく必要がある。特に東アジア・太平洋地域に対する指導的役割を期待されていることを意識し、その期待に添うよう努力すべきであろう。

# 長期予報課から気候情報課へ

気象庁 気候・海洋気象部気候情報課

酒井 重典

## 1. はじめに

平成8年（1996）7月1日、気象庁組織の大幅な機構改革にあたって、長期予報課は気候情報課として生まれ変わった。気候情報課では、これまで長期予報課が扱ってきた業務に加えて、今後の気象庁の業務の柱ともなる気候に関するさらに幅広い業務を行うことになる。

わが国ではじめて1か月予報が発表されてから半世紀が過ぎた。この間には飛躍的な学問の進歩、大気大循環の理解の進展等があり、また大気および海洋など地球規模の観測データの整備がなされてきた。さらにコンピューターの発達に支えられて長期予報の分野も大きく発展してきた。一方、気象庁に対する社会からの要望も多様化してきた。

このような環境の変化に対応すべく、気象庁は組織の大幅な改革を行い、「長期予報課」を「気候情報課」へと発展させ、新しい社会の要望に対応できる体制をとることにした。新しい「気候情報課」という看板がかかり、これまで慣れ親しんできた「長期予報課」という名前が消えるに当たって、これまでの長期予報課時代の足跡を振り返ってみる。

## 2. 初代の長期予報課時代（創設から昭和24年11月まで）

明治末期から大正はじめにかけて、北日本では明治凶作群といわれるような冷害の頻発した時期があった。これがきっかけとなって、東北地方の夏の気温の予報を目指して、わが国の長期予報の研究が始まった。このように、わが国の長期予報は、北日本の農業を冷害から守り、被害を軽減することを目的として始まった。

明治凶作群の後、大正から昭和の初期にかけては比較的おだやかな天候の時代が続いた。このため、冷害防止を目指して始まった長期予報の研究は、一時下火になった。しかし、昭和6年（1931）から再び冷害が頻発するようになり、特に昭和9年（1934）、10年そして16年と凶作年が現れるようになって、あらためて長期予報の研究が盛んになった。冷害対策という点から特に東北地方を中心に活発な研究が行われたが、中央気象台においても組織的な動きがあった。つまり、週や旬あるいは月程度の期間を対象とした予報を目指して、昭和16年秋に長期予報研究室が発足し、そこではまず5日予報が試みられた。そして翌昭和17年（1942）6月には中央気象台の業務部予報課に長期予報掛が設置されたが、これが後の長期予報課の萌芽となった。

終戦間近の昭和20年（1945）2月、最初の長期予報課が創設された。

## 長期予報発表の開始

長期予報掛が生まれて 2か月後の昭和 17 年 8 月 5 日、はじめての 1 か月予報が発表された。これが、わが国で公式に発表された長期予報の第 1 号である。つづいて 9 月 5 日には 3 か月予報が発表され、さらに翌 18 年の 4 月には暖候期予報も発表された。1 か月予報を月に 2 回、3 か月予報を月に 1 回発表するというその後の長期予報の発表頻度は、この時の形が基本となって、1 か月予報が月 3 回が発表されるようになった平成 4 年（1992）まで続いてきた。

なお、長期予報研究の発祥の地と云われる東北地方においては、中央気象台で公式に発表するよりも 4 か月前の昭和 17 年 4 月に、東北地方の長期予報の発表を始めている。

公式の予報発表とはいっても、当時は第二次世界大戦中であった。予報は軍事機密であり、現在のように広く一般に報道されることとはなかった。軍関係や農林省などの関係方面だけに発表するというものであった。こうして始まった長期予報は、戦後も引き続き発表され、昭和 20 年 12 月 16 日には 1 か月予報が初めてラジオで放送されるようになった。そして翌 21 年 1 月からは 3 か月予報もラジオで放送されるようになり、広く一般の人が長期予報を利用することが出来るようになった。

## 長期予報発表の中止・長期予報課の廃止

戦後の混乱期にも発表が続けられていた長期予報であったが、昭和 24 年（1949）2 月、公式の発表が中止となった。はじめての発表から 7 年目のことである。3 か月予報は第 78 回、また 1 か月予報は第 158 回をもって、発表を中断することになった。その後は、正式の予報発表の形式ということではなく、長期予報の調査研究の成果として、天候の見通しを「天候予想調査報告」の形で刊行されることになった。

予報発表の中止に続いて、この年の 11 月には組織としての長期予報課も廃止となった。こうして初代の長期予報課は、昭和 20 年 2 月の誕生から僅か 4 年 9 か月という短期間で閉じられることになった。このような予報発表の中止や長期予報課の廃止などの主な理由は、この冬の長期予報を大きくはずしたことと云われている。昭和 24 年の冬は、それまで続けていた寒冬傾向が、暖冬傾向に大きくシフトする変わり目の年で、記録的な暖冬の年であった。後に、”気候のジャンプ”と云われるほどに、それまでの天候の傾向から大きく変わった年であり、この冬の予報が大きくはずれたことは、長期予報にとっては非常に不運なことであったと云える。この当時の予報手法は、主に周期外挿により予想天気図を作成するという方法であった。たしかに精度があまり良かったとは云えないかもしれないが、これほどの大きな天候傾向の変動を予報することは困難である。現在の技術でも予測出来るかどうか疑問である。

このように、長期予報の発表中止や長期予報課が廃止になったことなどの直接的な理由は、この年の寒候期予報がはずれたためと云われているが、必ずしもそれだけが理由ではなかったようである。当時の社会的、政治的情勢が大きな背景としてあった。この点について、朝倉は「マスコミの

批判がきっかけで、長期予報技術に対する反省が部内でも強まったことが一因に挙げられる。もう一つは、当時の日本政府は連合軍の支配下にあり、中央気象台もその例外でなかった。当時気象台を監督する連合軍のフィリィー中佐から指示が出され（通称フィリィーノート）、職員の大幅削減が行われていた最中に起こったことも重要である」と述べている。記録的な暖冬に対する予報が大きくはずれしたことにより、予報精度に対してマスコミ等からも強い批判を受け、また中央気象台の機構改革にあたって、長期予報課が廃止されたということになる。つまり、中央気象台の大幅な機構改革の波の中で、長期予報を発表することが技術的に時期早尚であるという判断の基に、発表の中止そして課の廃止となったことが分かる。

今回の大幅な機構改革にあたって、「長期予報課」から「気候情報課」へと生まれ変わったが、過去の歴史を見ても長期予報の分野は気象庁の機構改革とともに盛衰をくり返してきたということになる。今回の機構改革にあたっては、今後は長期予報だけを扱うのではなく、さらに業務の幅を広げて全ての気候の情報に関する分野へと飛躍する段階に入ったということである。

### 3. 長期予報課の廃止から長期予報管理官設置まで（昭和 24 年 11 月から 33 年 5 月）

予報精度が不十分であるということを主な理由として、予報の発表が中止となった。そこで、これを機会に長期予報の技術を根本から見直し、理論的な研究を基にした長期予報を再建しようという機運が生まれた。長期予報課が廃止されて以降の長期予報の研究は、気象研究所において基礎的な研究を中心に行われるようになり、予報研究部の竹平分室で行われることになった。それまでの季節予報の各手法を見直し、取捨選択した成果を「季節予報の研究」第 1～3 報として刊行し、また、この頃「季節予報概論」、「季節予報文献目録」なども刊行された。

戦後は、次第に気象資料が整備されてきた。昭和 27 年頃からは北半球の地上、高層の気象資料が収集できるようになり、長期予報の研究は大きく進歩した。たとえば、北半球の大気大循環の変動に着目した方法、天候と作用中心に関する研究、ブロッキングの研究など、その後の長期予報の基本的な考え方がこの頃発表された。

#### 長期予報発表の再開

昭和 24 年 2 月 25 日以降は正式の予報の発表は中止となり、天候の見通しを「天候予想調査報告」として刊行していたが、農林省や農業関係者などから公式の長期予報発表の再開についての要望が年々強まった。このような気運の高まりと同時に、季節予報法の見直しや基礎的な研究の進展、また資料の整備等も進んだことから、ようやく長期予報の発表が再開されるようになった。

昭和 28 年 2 月 25 日、再開第 1 号の予報として 1 箇月予報が発表された。この予報文には「季第 1 号」の番号が付けられ、以後今日まで季節予報文の通し番号として続いている。この再開第 1 号の「全般 1 か月予報文」を図 1 に示す。そして 3 月 7 日に「季第 2 号」として 3 箇月予報が発表さ

## 一箇月予報(季第1号)

昭和28年2月25日

毎つ1箇月前の天候について詳説した予想の結果は次のとおりです

### 全般予報

#### 1. 天気

3月上旬、变压配置は西日本の気压が高くなり、東洋ではやや低圧であります。東洋には、シベリアの寒気压が北進する、毎木は、太平洋海上に前線または低気圧が現われます。

3月中旬、北日本は平年並ですが、太平洋ではやや高い所があります。

3月下旬、北日本は平年並ですが、太平洋ではやや低い所があります。

3月上旬、变压配置は北日本は低く、低気圧は本州東方海上で形成され、冬型の気圧配置にはならない見込みです。なお、旬ごろ、東方面に寒気压が現われりかも知れません。

一例に南風の吹き回しかな天気は解説まで、本州では、一時的に東洋の所よりも高くなります。

3月下旬、北高気压の東進で北進する北洋の寒気は、太平洋海上に全く現れません。天気はぐぐぐく見込みです。

#### 2. 気温

3月上旬、平均ではやや高いですが、東洋ではやや低圧になります。

3月中旬、全般にやや低温の傾向があり、所により一時的な低圧が現れるかもしれません。なる、旬末には、北日本でのやや平年にものどる見込みです。

3月下旬、北進方面は変動が大きく、北進の強度はだいぶ弱まります。次に降水量は、上旬は不規則ですが、下旬では強さやや少ない所があるかも知れません。なお、甲子はや少しですが、下旬は多く、かなりの雨量が期待されます。

3月上旬、北進方面は変動が大きく、北進の強度はだいぶ弱まります。また、本州は高気圧に拘わられ、ときどき晴れますが、高気圧の影響がやや多いです。

3月中旬、北進方面は変動が大きく、北進の強度はだいぶ弱まります。また、本州は高気圧に拘わられ、ときどき晴れますが、高気圧の影響がやや多いです。

3月下旬、北進方面は変動が大きく、北進の強度はだいぶ弱まります。また、本州は高気圧に拘わられ、ときどき晴れますが、高気圧の影響がやや多いです。

3月上旬、北進方面は変動が大きく、北進の強度はだいぶ弱まります。また、本州は高気圧に拘わられ、ときどき晴れますが、高気圧の影響がやや多いです。

3月中旬、北進方面は変動が大きく、北進の強度はだいぶ弱まります。また、本州は高気圧に拘わられ、ときどき晴れますが、高気圧の影響がやや多いです。

3月下旬、北進方面は変動が大きく、北進の強度はだいぶ弱まります。また、本州は高気圧に拘わられ、ときどき晴れますが、高気圧の影響がやや多いです。

3月上旬、北進方面は変動が大きく、北進の強度はだいぶ弱まります。また、本州は高気圧に拘わられ、ときどき晴れますが、高気圧の影響がやや多いです。

## 二箇月月予報(季第2号)

昭和28年3月7日

向う3箇月間の天候について詳説した予想の結果は次のとおりです

### 全般予報

#### 1. 天気

1. 中旬 大陸高気圧はやや強く、低気圧は本州東方海上で活潑し、一時冬型の気圧配置にもなる見込みです。

2. 下旬、本州東海上に前線が停滞し、低気圧が現われます。

3. 中旬 大陸高気圧はおおむね弱く、太平洋ではやや高い所があります。

4. 下旬、本州東海上で活潑し、低気圧が現われます。

5. 中旬 大陸高気圧はやや強く、低気圧は本州東方海上で活潑し、冬型の気圧配置にはならない見込みです。

6. 下旬、本州東海上で活潑し、低気圧が現われます。

7. 中旬 大陸高気圧はやや強く、低気圧は本州東方海上で活潑し、冬型の気圧配置にはならない見込みです。

8. 下旬、本州東海上で活潑し、低気圧が現われます。

9. 中旬 大陸高気圧はやや強く、低気圧は本州東方海上で活潑し、冬型の気圧配置にはならない見込みです。

10. 下旬、本州東海上で活潑し、低気圧が現われます。

11. 中旬 大陸高気圧はやや強く、低気圧は本州東方海上で活潑し、冬型の気圧配置にはならない見込みです。

12. 下旬、本州東海上で活潑し、低気圧が現われます。

13. 中旬 大陸高気圧はやや強く、低気圧は本州東方海上で活潑し、冬型の気圧配置にはならない見込みです。

14. 下旬、本州東海上で活潑し、低気圧が現われます。

15. 中旬 大陸高気圧はやや強く、低気圧は本州東方海上で活潑し、冬型の気圧配置にはならない見込みです。

## 三箇月月予報(季第3号)

昭和28年3月7日

向う3箇月間の天候について詳説した予想の結果は次のとおりです

### 全般予報

#### 1. 天気

1. 中旬 大陸高気圧はやや強く、低気圧は本州東方海上で活潑し、一時冬型の気圧配置にもなる見込みです。

2. 下旬、本州東海上で活潑し、低気圧が現われます。

3. 中旬 大陸高気圧はやや強く、低気圧は本州東方海上で活潑し、冬型の気圧配置にはならない見込みです。

4. 下旬、本州東海上で活潑し、低気圧が現われます。

5. 中旬 大陸高気圧はやや強く、低気圧は本州東方海上で活潑し、冬型の気圧配置にはならない見込みです。

6. 下旬、本州東海上で活潑し、低気圧が現われます。

7. 中旬 大陸高気圧はやや強く、低気圧は本州東方海上で活潑し、冬型の気圧配置にはならない見込みです。

8. 下旬、本州東海上で活潑し、低気圧が現われます。

9. 中旬 大陸高気圧はやや強く、低気圧は本州東方海上で活潑し、冬型の気圧配置にはならない見込みです。

10. 下旬、本州東海上で活潑し、低気圧が現われます。

11. 中旬 大陸高気圧はやや強く、低気圧は本州東方海上で活潑し、冬型の気圧配置にはならない見込みです。

12. 下旬、本州東海上で活潑し、低気圧が現われます。

13. 中旬 大陸高気圧はやや強く、低気圧は本州東方海上で活潑し、冬型の気圧配置にはならない見込みです。

14. 下旬、本州東海上で活潑し、低気圧が現われます。

15. 中旬 大陸高気圧はやや強く、低気圧は本州東方海上で活潑し、冬型の気圧配置にはならない見込みです。

図1 再開時の1か月予報と3か月予報

れた。これ以降、1か月予報は毎月15日と25日に、3か月予報は毎月7日に発表されるようになった。

予報の発表が中止されていた期間、天候の見通しとして刊行されていた「天候予想調査報告」は、予報発表の再開とともにその役目を終え、昭和28年2月15日の第125号をもって廃刊となった。また、それまで「3か月予報資料」として刊行していた長期予報に関する資料集を、昭和36年4月に「季節予報資料」と改め、季節予報に関する各種の資料や予報手法等を掲載して刊行するようになった。これは、昭和62年に「気候系監視報告」として合本されるまで27年間刊行され続け、長期予報に関する基礎資料及び予報則等を掲載してきた。

長期予報業務は逐次改善・改良されていったが、特に予報の発表日等は、予報に用いる資料の整備状況にあわせて変更されていった。昭和31(1956)年には、1か月予報は毎月17日と27日に、3か月予報は毎月9日に発表されるようになった。

#### 4 長期予報管理官時代（昭和33年6月～49年4月）

予報発表の再開後、長期予報の業務体制は着々と整備されていき、昭和33年(1958)6月、長期予報を所掌する組織として長期予報管理官が設けられた。これはかつての長期予報課に相当するもので、初代の長期予報課が廃止されてから8年6か月ぶりに、長期予報の組織が復活したことになる。これを契機に新たな長期予報の時代が始まった。例えば、北半球規模での地上から上層までの資料の整備、予報作業の定型化、予報表現の客観化、予報発表日の変更等の業務の改善が精力的に進められた。

技術的な面からは、北半球全体にわたる高層資料が蓄積されていったことが大きい。これらの基礎的な資料は「季節予報資料」の中に掲載され、全国の気象官署で利用できるようになり、幅広く長期予報の研究に利用されるようになった。そして毎年1回、全国長期予報技術検討会を開催し、全国の長期予報担当者が研究成果を持ち寄って検討し、予報技術の向上に向けての努力が続けられた。

このようにして得られた研究成果は、長期予報の予報則として次々と現業に取り入れられていった。そして昭和45年(1970)には、それらの集大成としての「季節予報指針」上・下が刊行された。これは、現在でも大気大循環の理解や季節予報を行うにあたっての基礎的な知識を得るための、基本的な教科書といえ、長期予報に携わる者にとってはまさに座右の書である。

昭和34年(1959)4月には再度予報発表日の変更を行い、1か月予報は毎月10日と月末、3か月予報は毎月20日発表となった。また寒候期予報を従来の11月10日から10月20日に変更し、翌昭和35年には暖候期予報を従来の3月20日から3月10日に変更した。これらの発表日は、平成4年(1992)10月の1か月予報の月3回発表となるまで続いた。

## 5 長期予報課から気候情報課へ（昭和49年4月～平成8年7月）

初期の頃の長期予報の手法としては周期法が主流であった。しかし全球的な資料の整備が進んだ、長期予報管理官の時代から長期予報課へと移行する頃から、次第に北半球天気図を用いたシノプティックな予報法を導入するようになってきた。資料が整備されてきて、長期予報の分野にもやっと広範囲の天気図を基にして予報を行う時代がやってきたということになる。

長期予報が始まった頃の予報官は ”予報の可能性の有無の検討” と云うことよりも、”その時点で入手できる資料だけで何がなんでも予報しなければならない” と云う状況であった。入手できる資料には限りがあったが、その限られた資料から、将来の天候の変化の兆しを見つけだそうということで、いろいろな角度から調査研究が行われた。それらの中には、例えばセントポール（ベーリング海にある観測点）の気圧の変化から梅雨の入り明け、あるいは曇雨天ベースへの変化を見つける予報則や、マーカス島の成層圏の風の変化の特徴から梅雨の入り明けの時期を予測する方法、あるいはシベリアのエニセースクの冬の気圧の変動の特徴から北日本の夏の気温を予報する方法などである（季節予報指針、1か月予報指針）。これらの予報則は、現在ならば地上あるいは高層天気図を作成して、総観的な解析から理解することが出来るものもある。しかし、資料が不十分な時代には限りある資料の中からということで、かなり苦労して特定ポイントの気圧や風の変動の特徴と気象要素の変化の関係を見つけだして予報則としたということである。現在は、これらの予報則は直接の予想資料としては使っていないが、実況と循環場との対応を検討する際などに参考にしている。

さて、長期予報におけるシノプティックな予報法とは、予報要素と北半球全体の各格子点上の気圧との相関を計算して相関分布図を作成し、その分布図を基に解析をする方法である。このようにすると、天気予報における天気図のシノプティック解析と同じような考え方で天候と大気の循環場との関係などを解析できることから、この方法は ”相関シノプティックス” と名付けられ、その後の長期予報の方法の大きな柱となった。

この方法では、例えば日本が暖冬になる場合の相関分布、あるいはオホーツク海高気圧が発達して冷夏になる場合の相関分布等のように、特定の天候と循環場の関係の特徴を見つけることができる。そしてこれらの分布は、偏西風波動との関わりという面から理解されていた。これは今まで云うところのテレコネクションに相当していることが分かる。テレコネクションという用語は生まれていなかったが、長期予報関係者は相関シノプティックスの解釈の上から、当時すでにテレコネクションを認識していたということになる。

### 長期予報課の復活

昭和49年（1974）4月、組織は長期予報管理官から長期予報課に変わった。改めて長期予報課としての出発となつた。この時の課員は17名であった。その後業務の拡大をはかり、循環場の解析業

務の充実等が図られた。特に数か月先の天候の予測と関係の深い、熱帯域の大気や海の状況の解析に重点を置くことになり、昭和 61 年（1986）4 月に気候解析係を設置し、平成 8 年（1996）には長期予報課員は 20 名となっていた。

復活した長期予報課の業務の中で特に注目すべきは、予報の発表ばかりでなく、世界中の「異常天候の監視」の業務を充実させたことである。国内の天候の特徴としては、昭和 38 年のいわゆる “三八豪雪” の頃から、異常気象が現れやすくなってきた。また、世界の天候としては昭和 47 年（1972）には大規模なエルニーニョ現象が発生し、世界的に異常気象が多く現れた。そして、このような世界の異常天候が日本の社会や経済へ少なからぬ影響を与えることが分かつてき。そこで、世界の異常天候監視業務を充実させることになり、その成果を「異常天候監視報告」として昭和 49 年（1974）10 月以降刊行することにした。

このような環境の変化に対応して、昭和 62 年（1987）4 月には、上記の「異常天候監視報告」と昭和 36 年以来続いてきた「季節予報資料」とを統合して、「気候系監視報告」を発刊した。これは、日本の天候を理解し、長期の予測を行うには全球の大気や海洋あるいは雪氷に関する資料の充実が必要であるという認識を新たにしたためである。そしてこれには、世界の異常天候の監視の資料および全球の気候系に関する情報を豊富に盛り込むことになった。この「気候系監視報告」は WMO や主要各国の気象機関および内外の大学に提供して相互に交換して、高く評価されている。その内容の一部は WMO の天候監視報告にも引用されている。

それまでの「季節予報資料」は、その名前から分かるように季節予報を発表するための資料集ということが主な目的であった。従つていろいろな予報則による予報の結果や、予報作業のための各種資料が掲載されていた。しかし、気候系監視報告は予報資料集というよりは、大気や境界条件の監視結果を重点的に掲載するようになった。つまり、精度の良い予報をするためには、大気や境界条件の状態を正確に把握し、大気の変動についての理解を深めることが先決問題であるという認識が強まってきたからである。そこで、現在の「気候系監視報告」にはかつてのような重回帰式による予測結果などの、直接的な予測資料は掲載されてない。それに変わって、熱帯の対流活動、全球の海面水温、世界の天候分布などが特に強化されている。

昭和 28 年（1953）に発表を再開した長期予報は、昭和 54 年 11 月 10 日発表の 1 か月予報で「季第 1000 号」となった。この頃の 1 か月予報、3 か月予報および暖候期・寒候期予報文の例を図 2～3 に示す。そして、長期予報発表 50 周年記念の年となった平成 4 年（1992）12 月 18 日発表の 3 か月予報が「季第 1500 号」に達した。

4月の1か月予報  
全般予報

昭和55年3月31日  
気象庁予報部発表

天気は周期的に変化し、寒暖の変動が大きいでしょう。内陸地方でおそれがあるそれがあります。月平均気温は並、降水量は並ないやや少ない見込みです。

## (1) 天 気

4月上旬 天気は周期的に変わります。北日本では天気の荒れる日がありますり、はだ寒い日がある見込みです。北日本では天気の荒れる日がありますり、はだ寒い日があります。

4月中旬 高気圧におおわれて、暖かな晴れの日が多いでしょう。太平洋岸の地方では一時雲の多い日がある見込みです。

4月下旬、天気の変化は周期的になるでしょう。一時発達した低気圧の影響で風雨の多い日がある見込みです。

## (2) 要素別予報

要素	4月上旬	4月中旬	4月下旬
気 型	西日本 その他 沖縄	北日本 その他 やや高い	並
降水量	日本海側 その他	東日本 沖縄	日本 沖縄 その他 やや少ない

4・5・6月の3か月予報  
全般予報

昭和55年3月21日  
気象庁予報部発表

4月は寒暖の変化が大きく、おそれ(北日本)やおそれ(内陸地方)のおそれがあります。5月は晴天が多くなりましょう。两岸では天気のぐずつく期間がある見込みです。入梅はやや早い見込みですが、6月の雨量はやや少ないでしょう。

## 月別予報

4月 天気は周期的に変わります。2回ほど大陸から寒気が南下します。まだ寒い期間やおそれの繰り返す日があります。また半ばころは暖かな日が多い見込みです。平均気温は北日本で並みやや低く、その他は並、降水量は北日本で並みや多く、その他は平年並でしょう。

5月 半ばを中心に高気圧におおわれて晴れる日が多いですが、一時低気圧が発達し風雨の強い日があるでしょう。下旬には海岸で天気のぐずつく期間がある見込みです。仲間方面の入梅は平年(5月12日)並でしょう。平均気温は北日本で並、その他は並みやや高く、沖縄地方はや低い見込みです。降水量は北日本で並みや多く、その他は並みや少ないでしょう。

6月 上旬には梅雨前線が南進に接近し、入梅はやや早いでしょう。しかし前線はおもに東日本方面で活動し、その他の地方は晴天の日が多い見込みです。下旬には暴・雨天の日が多くなるでしょう。平均気温は中部日本以北では並みやや高く、西日本は並、沖縄地方はや低いでしょう。降水量は西日本で局地的に多い他は並みや少ない見込みです。

図2 「季第1000号」頃の1か月予報と3か月予報

# 全般暖候期予報

(季第1013号)

昭和55年3月10日  
気象庁予報部発表

今年の暖候期は変動が大きく、梅雨期は好天の時期と悪天の時期が割合はっきり現れました。盛夏期は暑い日が多くなりますが、北日本では時々寒気の影響をうける見込みです。

4月は寒暖の変化が大きく、内陸地方ではおそれのおりがあります。5月は高気圧におおわれて晴天の日が多くなります。後半には梅雨を中心に天気のぐずつく期間がある見込みです。

梅雨入りは、沖縄地方では平年並の外はやや早いでしょう。梅雨前線の活動は、前半やや弱い見込みですが、局地的に大雨の降るおそれがあります。後半はオホーツク海高気圧が壊れて低圧や日照不足など不穏な天候となる時期があり、梅雨明けは全般に平年並かやや遅いでしょう。梅雨期間の降水量は、平年並かやや少ない見込みですが、地震が大きく、西日本や日本海側ではや多くなるところがあります。

盛夏期(梅雨明け後)は暑い晴天の日が多いでしょう。しかし、日本海側を中心には寒気の影響をうけて不安定な天候となる時期があり、北日本では時々低圧になります。

初秋(9月)の天候はほぼ平年並に通過する見込みです。

台風の発生数はほぼ平年(28個)並で、影響する台風は、本土には3~4個、沖縄地方には7個くらいの見込みです。

四 近年少雨傾向が続いています。今年の暖候期は雨の降り方に地域差が大きいと予想されており、所によつては降水量が少なくなるおそれがあります。今後発表される3か月、1か月予報に注意してください。

# 全般寒候期予報(季第1036号)

気象庁予報部発表

昭和55年10月20日

この冬の寒さは平均するとはほぼ平年並の見込みですが、冷え込みのきじしい期間がちぢみです。初冬は季節風が進まって、北日本を中心し長い時期がありますが、寒さは長続きしないでしょう。年末ごろから1月にかけて寒さが強まり、日本海側の地方では大雪の降る期間があります。降水量・降雪量はほぼ平年並の見込みです。

おおよその経過は、11月は周期的に天気が変り、一時寒くなる見込みです。12月は季節風が進まつて寒くなる時期がありますが、寒さは長続きしないでしょう。

年末ごろから1月にかけては大陸の高気圧が発達して寒さが強まり、日本海側の地方では大雪の降るおそれがあります。

2月は次第に寒さが和らぎましょう。太平洋側の地方では、低気圧や前線の影響をうけて雪の降る日がある見込みです。

3月は全般に暖かくなりますが、西日本を中心の一時寒の振りがあります。

(注) 今年は日本の新しい令夏、ヨーロッパの冷夏、アメリカの熱波など、世界的な異常天候が現されました。9月から10月にかけて、北半球の気圧配置は大きく変わりつつあり、西半球では極地方に寒気が北上し、寒気は極東側の高緯度に潜伏して、例年とやや異なったようすを示しています。今後の経過によっては、この冬にも大きな影響を与える可能性がありますので、このあと発表される3か月予報や1か月予報に注意してください。

図3 「季第1000号」頃の暖候期予報と寒候期予報

## 5.1 長期予報業務に関する改善計画について

長期予報課発足以来、業務の節目にあたる昭和 54 年度、平成 2 年度、平成 6 年度には「長期予報業務に関する改善計画」を策定し、その後の業務を進めるにあたっての方針を示した。

まず、昭和 54 年度（1979）には、第 1 回目の「長期予報業務に関する改善計画」を策定し、その後の長期予報業務の進む方向が示された。この改善計画の一つとして 1 か月予報指針の作成も取り上げられていたが、これをうけて昭和 56 年（1981）3 月、「1 か月予報指針」を刊行した。先に暖候期および寒候期予報を中心とした「季節予報指針」を作成していたが、さらに 1 か月予報についての具体的な記述を行うという方針でこの指針が作成された。この 1 か月予報指針もその後の長期予報の貴重な教科書となっている。

第 1 回の「業務改善計画」が出来てから 10 年を経過した平成 2 年度（1990）には、再び「長期予報業務に関する改善計画」を検討することになった。この時は、第 1 回目の「業務改善計画」の実施状況を確認した上で、その後の業務の改善計画の方向を示すためであった。このように 2 度にわたる長期予報業務の改善計画の中で特に強調されたのは、”力学的方法による長期予報の開発” および ”予報に確度をつけること” であった。つまり、長期予報課における業務改善は、力学的方法による 1 か月予報の早期実施および確率表現による長期予報を実施することが大きな目標となっていた。

第 2 回目の「業務改善計画」策定の後、長期予報業務をとりまく内外の環境が急速に変化した。そこで平成 5 年度（1993）には新たな業務改善計画の検討が必要となり、予報業務委員会の下に「長期予報・気候監視業務検討部会」を設置して検討を行った。この検討部会には「COSMETS 更新後の長期予報及び気候監視業務のあり方」が付託され、1) 評価を可能とする予報技術開発、2) 長期予報及び気候監視技術の標準化などを中心に検討された。そして、ここでの検討の結果、「アンサンブル数値予報による 1 か月予報の毎週発表を早期に実現すること」や「3 か月予報、暖・寒候期予報への確率表現を早期に導入すること」などが具体的な目標として答申された。

この間、地方の長期予報業務の充実もはかられた。まず、昭和 52 年（1977）10 月には札幌と仙台の北日本の官署に長期予報専任の予報官が配置された。そして、昭和 58 年（1983）10 月には大阪・福岡・沖縄に長期予報専任の予報官が配置され、全ての管区と沖縄気象台には長期予報専任の予報官が配置されたことになった。その後は、全国の長期予報を担当する予報中枢に長期予報専任の予報官の配置を進めましたが、まず平成 4 年（1992）10 月に新潟に長期予報専任の予報官の配置された。そこでこれを契機に、これまで部外等から要望されていた 1 か月予報の月 3 回発表を開始することにした。というのは、1 か月予報は旬を単位に表現しているが、従来のように月に 1 回または 2 回の発表では、翌旬になると 1 か月先の予報が欠落していることになり、常にこう 1 か月（3 旬）の予報を利用することができないと云う状況になる。これを解決するために、1 か月予報の毎旬発表が求められていたというわけである。

そこで、長期予報専任の予報官が配置された官署から始めるとして、平成4年（1992）10月から関東、北陸以北の官署で1か月予報の月3回発表を開始した。この変更にタイミングを合わせて、寒候期予報の発表日を10月20日から10月9日（10日にしたいところだが、この日は祝日であるので）に繰り上げることに変更した。これら発表日の変更は昭和34年以来、33年ぶりということになる。つづいて、平成7年5月10日には名古屋に長期予報専任の予報官が配置されたことにより、大阪、福岡、沖縄でも1か月予報の月3回発表を開始し、さらに平成8年3月からは毎週発表に発展した（平成8年10月現在、毎週発表を実施していない官署は高松、広島、鹿児島である）。

## 5.2 長期予報への力学的手法による予報の導入

長期予報への力学的手法の導入は、まず平成2年（1990）3月、15日数値予報資料が導入されたことに始まる。従来、長期予報の道具としては、過去のデータを統計的に処理する手法に限られていた。しかし近年の急速な数値予報技術の向上やコンピューターの発達により、期間を15日まで延長した数値予報が可能となったのである。そこで平成2年（1990）3月以降1か月予報に15日数値予報の結果が導入されるようになった。この時点では、1か月予報のうち前半の部分については、数値予報を重視した予報に切り替えられたということになる。

さらにその後、数値予報を基にしたアンサンブル手法の開発が進み、全面的に数値予報に基づく1か月予報が可能となった。平成8年（1996）3月から1か月予報は、従来の統計的予測法から数値予報による方法に切り替えられた。こうして、数値予報に基づく長期予報の発表がようやく実現することになった。同時に向こう1か月の気温、降水量、日照時間の予報が確率で表示されるようになり、長期予報への確率表現の導入も始めて実施されることになった。この結果、”力学的方法に基づく長期予報”および”確率を付加した長期予報”という長期予報の長年の大きな目標が、まず1か月予報において実現した。

力学的な予報の第1号となった季第1661号の1か月予報文を図4に示す。この新しい予報文は、従来の予報文に比べると平文による天候経過の記述ではなく、要素別予報に重きを置いていることが分かる。つまり最近の”予測可能なものを、また定量的な評価が可能なものを予報の対象とする”という方針に沿った形となった。そして要素別予報を確率で表示している。図4～5には最新の3か月予報および暖・寒候期予報文の例を示してある。

## 全般 3か月予報

(予報期：3月 9 日から 4 月 8 日)

平成 8 年 3 月 8 日  
気象庁予報部発表<向こう 1か月の予報> 3月 9 日から 4 月 8 日  
向こう 1か月の平均気温、降水量、日照時間の予想される各種統計値は  
次の通りです。

【予報】

	低い	気温	高い	降水量	少ない	平年並	多い	平年並	日照時間
北日本	5.0	4.0	1.0	日本海側	3.0	4.0	3.0	4.0	3.0
東日本	5.0	4.0	1.0	太平洋側	3.0	4.0	3.0	4.0	3.0
西日本	3.0	5.0	2.0	日本海側	3.0	4.0	3.0	4.0	3.0
南西諸島	2.0	5.0	3.0	太平洋側	3.0	4.0	3.0	4.0	3.0
				南西諸島	3.0	4.0	3.0	4.0	3.0

〔解説〕

平均気温は北日本と東日本で低く、西日本と南西諸島で平年並となる可  
能性が大きいでしょう。  
降水量は平年並となる可能性が大きいでしょう。日照時間は北・東日本と日本海側で少なく、その他の地方は平年並となる可  
能性が大きいでしょう。

&lt;1 週目の予報&gt; 3月 9 日（土曜日）から 15 日（金曜日）

この期間の平均気温は平年並、降水量は低いでしょう。  
なお、この期間の天候については、毎日発表される週間天気予報を  
ご利用下さい。 (000-0)

&lt;2 週目の予報&gt; 3月 16 日（土曜日）から 22 日（金曜日）

この期間の平均気温は北日本と東日本で平年並、西日本と南西諸島で高  
いでしょう。 (000+0)

&lt;3 週目の予報&gt; 3月 23 日（土曜日）から 4 月 5 日（金曜日）

この期間の平均気温は北日本と東日本、西日本で近く、南西諸島で平年並  
でしょう。 (—0—0)

&lt;その後&gt;

次回の季節予報発表予定期

1 か月予報：毎週金曜日 16 時、次回は 3 月 15 日

3 か月予報：3 月 19 日（火曜日）14 時

確率予報：3 月 11 日（月曜日）14 時

※全般 3か月予報利用上の参考メモ

「全般 3か月予報」では、全国的な大きな傾向を述べています。それだけの地方の予報について  
は、「地方 3か月予報」を御利用下さい。気温・降水量は低い・平年並・高い（少ない・平年並・多い）の 3 段階で予報されます。  
確率の欄は、平年並の作成期間（1961～90 年）における各箇所の出現率が 3 对 4 となるように  
決めてあります。

## 図 4 アンサンブル予報による 1か月予報の第 1 号とその頃の 3か月予報

## 全般寒候期予報

(予報期間 11月から3月)

(季第166号)

全般暖候期予報  
(予報期間 4月から9月)平成7年10月9日  
気象庁予報部発表

冬(12~2月)平均の気温は平年並であります。冬の日本海側の降雪量は平年並の見込みです。

11月 天気は周期的に変わらであります。北・東日本の日本海側では雪りや雨または雪の日が多い見込みです。降水量は平年並であります。

12~2月 平年と同様に日本海側では雪または雨の日が多く、太平洋側では晴れの日が多いでしょう。

この期間の気温は平年並であります。日本海側の降雪量は平年並であります。

3月 気温は高いであります。

寒候期予報は、冬の天候を中心とし、1~3月のおよその天候を予報するものであります。この予報は今後発表される3か月予報や1か月予報で更新されますので、予報はできるだけ新しいものをお使いください。

今後の季節予報の発表予定期は、10月20日: 3か月予報、1か月予報。10月31日: 1か月予報。11月10日: 1か月予報。発表時間はいずれも14時です。

夏(6~8月)の平均気温は、北日本と東日本、西日本では平年並ですが、西日本では低い見込みです。梅雨の時期の降水量は平年並であります。

4~5月 この期間の平均気温と降水量は平年並であります。

6~9月 この期間は西日本を中心に気温の低い時期があろであります。夏(6~8月)の平均気温は北日本と東日本、西日本では平年並ですが、西日本では低い見込みです。梅雨の時期の降水量は平年並であります。

開花晴れの日が多い見込みですが、西日本では晝りや雨の日が続く時期もあるであります。

\* 「梅雨の時期の降水量」と表現しています。

気温と降水量はそれぞれ、低い・平年並・高い・少ない・平年並・多いといいう3階級で予報されます。降風の幅は、平年値の作成期間(1961~90年)における各階級の割合が3対4対3となるように決められています。

この予報は今後発表される3か月予報や1か月予報で更新されます。最新の予報を刊行してください。次回の3か月予報は3月13日の14時に発表します。1か月予報は毎週金曜日の16時に発表します。

## 参考資料 各地の旬降水量と旬日照時間の平年の経過

旬降水量 平年値(mm)	4月			5月			6月			7月			8月			9月		
	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	
那覇	49	52	63	85	96	124	93	136	60	47	84	59	113	87	49	32	87	
福岡	43	38	45	51	54	59	50	71	135	126	81	50	42	38	87	54	71	51
大阪	48	48	49	47	54	59	53	52	101	83	54	21	25	45	50	65	56	
東京	39	44	42	39	55	44	52	54	80	56	43	27	44	41	63	51	62	67
仙台	25	35	34	34	42	33	37	34	63	55	58	38	49	42	75	63	62	63

気温と降水量(降雪量)はそれぞれ、低い・平年並・高い・少ない・平年並・多いという3階級で予報されます。階級の幅は平年値の作成期間(1961~90年)における各階級の割合が3対4対3となるよう決めてあります。

晴れや雨など天気の日数、気温の高い日の日数などは、平年の日数と比較し、「平年より多い」、「平年より少ない」などと表現します。なお、單に「多い(少ない)」と表現する場合は、対象とする期間の2分の1より多い(少ない)ことを意味します。

寒候期予報は、冬の天候を中心とし、3か月の予報で更新されますので、予報はできるだけ新しいものをお使いください。

今後の季節予報の発表予定期は、10月20日: 3か月予報、1か月予報。10月31日: 1か月予報。11月10日: 1か月予報。発表時間はいずれも14時です。

旬日照時間 平年値(h)	4月			5月			6月			7月			8月			9月		
	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬													
那覇	44	49	50	51	50	47	53	79	61	90	88	79	70	82	75	74	59	
福岡	54	53	58	57	61	70	64	47	38	45	55	73	74	68	65	59	51	
大阪	56	53	63	62	62	75	63	50	39	48	54	81	72	68	68	58	51	
東京	53	53	56	59	57	66	53	40	30	31	37	70	61	55	44	36	31	
仙台	62	61	65	67	66	72	56	45	37	32	36	57	57	49	39	39	43	

図5 最新の暖候期予報と寒候期予報

## 予報文の変遷

図1から5まで、節目節目のところでの予報文の例を示して、その移り変わりを見ている。これを見ると、最近ほど予報文が簡単な表現になってきている。これは、最近の予報文作成の姿勢としては、”現在の技術を評価して科学的に予測可能な事柄だけを予報する。あるいは定量的な評価が可能な要素だけを予報する”という方針で進んでいるためである。このような見地から、かつては予報文として記述していた細かな天候経過等は、予測資料の根拠あるいは定量的な評価が出来ないので、現時点では予報文として記述していない。また、梅雨の予報、台風の予報等は予報のスキルを考慮し、予測のための明瞭なシグナルがある場合には予報することにしている。

### 5.3 3か月予報および暖・寒候期予報の改善

1か月予報については前項で述べたような改善が行われた。次の段階として、3か月予報および暖・寒候期予報に対しても同じような改善が求められている。しかし、3か月予報よりも長い期間の長期予報の道具としては、現在でも過去のデータを統計的に処理する手法を中心であり、早期に力学的手法の導入は望めない。ただし、長期予報が始まった当初は予報資料としてはほとんど地上のデータに限られていたが、現在ではかなり豊富な資料に恵まれている。例えば、大気については地上から対流圏・成層圏まで、そして海洋の資料としては全球の海面水温、あるいは陸面の雪氷のデータ、さらに世界中の詳細な天候分布などがある。また処理の方法も、コンピューターを使って大量のデータを高速で処理することが出来るようになり、少しづつではあるが、これらの資料を使った統計的手法でも精度の向上が見込まれる。

また、確率表現についても統計的手法によるの導入を目指して開発を進めてきた。平成2年度(1990)には3か月予報への確率付加の試行実験を行い、全国長期予報技術検討会において総合的な検討を行った。その後は、本府長期予報課において検討を続け、ようやく実施の見込みがたってきた。

わが国で長期予報の研究が始まつてから1世紀近くになろうとしている。そして最初の1か月予報が発表されてから半世紀を経過して、ようやく予測の精度も盛り込んだ3か月予報を発表するところにきた。それにしても力学的長期予報がようやくスタートしたと云うところで、予報文の内容などについても検討をくり返しているところである。これからは、利用者が喜んで使えるような形に改善していかなければならない。

## 6 おわりに

昭和49年(1974)、課員17名で再出発した長期予報課は平成8年(1996)7月1日、気候・海洋気象部の気候情報課として生まれ変わった。課員は32名となり、数の上からは1.5倍の規模の課に成長したことになる。

最初の 1 か月予報を発表から半世紀以上に亘って、長期予報の発表を続けてきたが、現在でも長期予報に対する部内部外からの注文や評価はきびしい。そのような環境の中で、最近は地球の温暖化をはじめ気候に関する情報の提供、あるいは気候の予測の発表などを強く求められるようになってきており、気象庁としてはこの方面的業務を強化することになった。そこで長期予報課は、これまでの季節予報を中心とした業務に、さらに気候に関連する業務も取り込んで、「気候情報課」の看板を掲げることになった。その核になったのが「長期予報課」であり、これまで半世紀に亘って積み上げてきた長期予報の実績である。長期予報業務の搖籃期に、苦労を重ねて長期予報を生み、育て、そしてこれまで手塩にかけて長期予報を可愛がってきて下さった先輩の皆様に心から感謝申し上げます。

新しい気候情報課では、当然のことながら 1 か月予報や 3 か月予報あるいは暖・寒候期予報の発表は、これまで通り続けていき、それに加えて全ての気候に関する情報を提供することになる。

なお、本稿をまとめるにあたっては、長期予報の大先輩の朝倉正、久保木光熙さん（現在、気象協会）には貴重なご助言を頂きました。誌面をかりて御礼申し上げます。

## 長期予報課略史

- 昭和 17. 6. 1 長期予報掛の設置（業務部予報課）  
8. 5 1か月予報を公式に発表  
9. 5 3か月予報を公式に発表  
18. 4 寒・暖候期予報を公式に発表  
20. 2. 9 長期予報課を設置（中田良雄課長）  
20. 12. 16 1か月予報のラジオ放送の開始  
24. 2. 5 3か月予報の発表中止（78回目）  
24. 2. 15 1か月予報の発表中止（158回目）  
24. 2. 25 天候予想調査報告第1号発行（長期予報のラジオ放送中止）  
24. 6. 1 土佐林忠夫課長就任  
24. 11. 1 長期予報課の廃止  
28. 2. 15 天候予想調査報告第125号で最終とする  
28. 2. 25 1か月予報の発表再開（「季第1号」とする）  
（発表日：1か月予報を毎月15、25日：3か月予報を毎月7日）  
31 予報発表日変更（1か月予報を毎月17、27日：3か月予報を毎月9日）  
33. 5. 24 長期予報管理官を設置（鯉沼寛一管理官取扱）  
33. 6. 1 高橋浩一郎管理官就任  
34. 4. 1 予報発表日変更（1か月予報を毎10、月末：3か月予報を毎20日）  
34. 10. 20 寒候期予報発表日を11月10日から10月20日に変更。  
35. 3. 10 暖候期予報発表日を3月20日から3月10日に変更。  
36. 4 「3か月予報資料」を「季節予報資料」に改称  
39. 3. 31 和田英夫管理官就任  
45 「季節予報指針上・下」刊行  
48. 4. 1 藤範晃雄管理官就任  
49. 4. 1 内田英治管理官就任  
49. 4. 11 長期予報課設置（内田英治課長：課員17名）  
49. 10 「異常天候監視報告」を発刊  
51. 4. 1 青田孝義課長就任  
52. 10. 1 札幌・仙台に長期予報専任の予報官配置  
53. 4. 1 片山昭課長就任  
54. 11. 10 「季第1000号」達成

55. 4. 1 菊池幸雄課長就任
56. 3 「1か月予報指針」刊行
57. 4. 1 渡辺正雄課長就任
58. 10. 1 大阪・福岡・沖縄に長期予報専任の予報官配置
59. 4. 1 朝倉正課長就任
60. 4. 1 多田利義課長就任
61. 4. 1 山岸米二郎課長就任
61. 10. 1 気候解説係を設置
62. 4. 1 嘉味田宗治課長就任
62. 4. 17 「気候系監視報告」を発刊  
(「季節予報資料」と「異常天候監視報告」を統合)
- 平成2. 3 15日数値予報の10日平均予想図の配信開始。
2. 4. 1 中山嵩課長就任
3. 4. 1 吉住禎夫課長就任(課員20名)
4. 10. 1 新潟に長期予報専任の予報官配置  
東京、新潟、仙台、札幌で1か月予報の月3回発表開始
4. 12. 18 「季第1500号」達成
6. 4. 1 異保夫課長就任
7. 4. 1 時岡達市志課長就任
7. 5. 10 名古屋に長期予報専任の予報官配置  
名古屋・大阪・福岡・沖縄の1か月予報の月3回発表開始
8. 3. 8 アンサンブル数値予報による1か月予報の開始  
毎週発表(高松、広島、鹿児島を除く)及び確率予報の開始
8. 7. 1 気候・海洋気象部へ移り「気候情報課」と改称

## 参考文献

- 予報部長期予報課、1980：戦前・前後の各予報中枢における長期予報業務、測候時報 47.7-8
- 気象庁、1975：気象百年史
- 気象庁、1970：季節予報指針
- 気象庁、1981：1か月予報指針
- 朝倉 正、1982：長期予報の展望、天気 29.9、891-904
- 朝倉 正、1992：長期予報の歴史と展望、気象、36.10、8-14

# 1993／94年夏のハドレー循環・モンスーン循環・ ウォーカー循環の強度について

筑波大学地球科学系

田中博

筑波大学自然学類

木村賢一

## 1. はじめに

近年の異常気象の中でも、1993年は1954年以来という冷夏であり、その翌年の1994年は日本の各地で最高気温を更新する異常猛暑であった（気象庁、1994；新田、1995）。この一連の異常気象の原因を探ることは長期予報との関連において極めて重要である。しかし、過去において数多く発生した異常気象の中で、その原因を誰の目にも明らかな形で解明した例は僅かしかない。多くの場合、エルニーニョ・ラニーニャの発生、エルチチヨンやピナトゥボ火山の爆発、あるいは太陽活動の長周期変動と結びつけるなどの試みがなされているが、物理的な因果関係が明確に説明できたケースはまれにしかない。1993年の冷夏・1994年の猛暑といった日本付近の大気の変動のふれ幅は極端なものであったにもかかわらず、火山噴火状況や海面水温の変動は平年並であり異常気象の原因を外的要因に求めることは困難なようである。一部の報道機関によると、これらの異常気象は中緯度偏西風ジェット気流の蛇行が原因であり、通常のジェット気流の位置から大きくそれたため異常気象が発生した、と報道されている。では、どうしてジェット気流が長期にわたって蛇行したのか。いまだにその原因はわかっていないのである。過去に生じたこのように明瞭な異常気象についてさえも、その原因が明らかにできない状況下で、将来の異常気象の予測（長期予報）が成功するものであろうか。長期予報を行なううえでも、過去に生じた異常気象の原因をさまざまの角度から研究することの意義は大きい。たとえそれが、大規模大気の乱流的自然変動によるものであり、外的要因が一切関与しないとしても、それを十分な証拠により実証できればよいと考える。

さて、日本の1993年の冷夏、その翌年の1994年の猛暑の原因を探るうえで、極めて重要な要素にアジアモンスーンの強度というものがある。ミクロな現象には必ずといっていいほどその裏でマクロな現象が影響している。新田（1995）や磯部（1995）によると1993年夏のモンスーン強度は弱く、1994年は強かった。そのことが大気循環場の変化、つまりジェット気流の蛇行をもたらし、日本周辺での1993年の冷夏、1994年の猛暑の原因になったという説がある。林（1994）は1993／94冬期には、エルニーニョ現象は完全に解消され、また3か月平均の上層雲量偏差が平年に比べて正偏差であったことなどにより、オーストラリア北部のモンスーン活動が平年より活発であったとしている。Yasunari（1990）はアジアモンスーンの強度が赤道付近のウォーカー循環とリンクし、そ

れが太平洋の海面水温を変動させることで、アジアモンスーンの強度に2年周期が発生するという理論を述べている。この理論が正しければ、翌1995年のモンスーンは弱く日本は冷夏となることが期待された。しかし、1995年は7月中旬までは冷夏ベースで進行したものの、その後一転して関東以西では1994年に匹敵する猛暑となった。

1994年夏の関東以西には、可降水量の極めて小さい乾燥した空気が上空を覆っていた（古野・1996）。同様に、1995年の猛暑の際にも、この年の6月から稼働を始めたひまわりの水蒸気画像には乾燥した空気が日本を覆っていたことが確かめられている。極めて乾燥した空気の原因としては、上空からの下降流の存在を考えるのが妥当であろう。つまり、対流圈上層に収束があり持続的な大規模大気の下降流が日本上空で生じたことが猛暑の原因であったと考えることもできる。かりに、この持続的な下降流が日本の猛暑の原因であったとすると、上層での収束はどのような理由で生じたかが次の問題となる。はたして、平年よりも強いといわれるアジアモンスーンが日本付近に持続的な下降流をもたらした結果、1994年の猛暑が発生したというのだろうか。

この問題に取り組むためには、はじめにモンスーン強度を定量的かつ客観的に定義し、その年々変動を調べる必要がある。これまでモンスーン強度の指標としてはインド降水量 (Parthasarathy et al., 1994) などが広く用いられるが、地域的な代表性に問題がある。熱循環の強いところでは、中心付近での降水量がその循環強度の指標となるが、乾燥地での熱循環強度は降水量には反映されない場合もある。大気中の水蒸気などに依存しないより直接的な循環強度の指標として対流圈中層での上昇流の強さや対流圈上層での収束・発散強度があげられる。広域上昇流の強さはそのまま対流圈上層の発散に反映し、その特徴は速度ポテンシャルの分布により表現される。収束・発散が上昇流や降水量分布と同程度のミクロな現象を強調するのに対し、その積分量である速度ポテンシャルはモンスーン強度やハドレー循環強度などのマクロな現象の特徴を表現するのに適している。

本研究では、モンスーン強度をウォーカー循環やハドレー循環の強度と比較し循環強度を定量的に評価するために、200hPa面における速度ポテンシャルを解析することにした。速度ポテンシャルを調べることで、その勾配から発散風を読みとることができ、収束・発散の情報、つまり循環強度を定量化することができる。日本付近での1994年の猛暑の一つの原因と考えられる広域下降流はモンスーン循環の強弱によるものではなく、ハドレー循環やウォーカー循環の強弱によるものとも考えられるので、これらを定量的かつ客観的に分離し、日本付近での異常気象とどのように関係していたのかを調べることは、異常気象の原因究明の一助となろう。

本研究の目的は、1993年の冷夏と1994年の猛暑の原因究明の一つの手がかりを探るために、モンスーン循環・ウォーカー循環・ハドレー循環といった大気大循環の主要な循環を客観的かつ定量的に分離しその強度を比較する方法を考案し、分離されたそれぞれの循環の強度を1993年と1994年について比較することである。

実際問題として、モンスーン循環・ウォーカー循環・ハドレー循環といったものは複雑に絡み合

っているため、それらを分離することははじめから無理であるとの考え方もあるが、本研究ではあえてそれを試みる。はじめに、本研究においてハドレー循環は軸対称循環であるとする。地球を水惑星大気にたとえてみると、地形がなく（つまりモンスーンはない）海面水温も軸対称の時に、放射収支の南北差により励起される熱対流がハドレー循環であると定義する。ただし、季節変化はある。つぎに、もし赤道付近の海面水温が軸対称でなく太平洋の東西で異なる温度になっていたとすると、この海面水温の定的な東西の温度差に起因して励起される東西循環をウォーカー循環とする。東西循環が定義であるから、これは軸対称循環からの偏差として定義する。最後に水惑星の上に大陸を考えることで、大陸と海洋の温度差に起因して一年周期で交代する風が励起されるのでこれをモンスーンと定義する。このように、3種類の循環を引き起こすDriving Forceは明らかに異なるので、成因の観点から整理すると明瞭な差があるが、現象としては互いに複雑に絡み合っていることは言うまでもない。本研究では、観測される大気中の発散場からこれら3種類の循環に対応する変動を主成分分析により経験的に抽出し、それらの定量的比較を試みた。

## 2. データと解析方法

本研究で用いたデータは米国気象局（NMC : National Meteorological Center）の全球格子点解析データの1992年9月1日から1994年8月31日までの0000Zと1200Zのデータに基づいて編集した月平均データである。用いた鉛直レベルは200hPaで、水平グリッド間隔は経度方向に5.0°緯度方向に2.5°の72×73地点である。

速度ポテンシャル $\chi$ は風速を $\mathbf{V} = (u, v)$ 、発散を $D$ とすると次式で定義される。

$$D = \nabla \cdot \mathbf{V} = \nabla^2 \chi \quad (1)$$

この定義では発散風 $\mathbf{V}_\chi = \nabla \chi$ が等ポテンシャル面に直交し、速度ポテンシャルの低い所から高い所へ吹く。すなわち、速度ポテンシャルの極小域で発散し、極大域で収束する。また発散風は、速度ポテンシャルの等値線の密な所ほど強く吹く。流線関数と渦度の関係にはマイナスは付けないので対称性の点ではこの定義のほうが美麗であり、流体力学や気象力学の教科書（例えば、栗原、1979）ではこの定義が用いられている。しかし、Lamb (1945) 以降、気象学や海洋学の一部では定義にマイナスを付ける場合がある (Krishnamurti, 1971; 気象庁気候系監視報告など)。本研究の解析では気象庁の慣例に従い速度ポテンシャルを次のように定義する。

$$D = \nabla \cdot \mathbf{V} = -\nabla^2 \chi \quad (2)$$

このように定義すると発散風 $\mathbf{V}_\chi = \nabla \chi$ は速度ポテンシャルの高い所から低い所に向かって吹く。

すなわち上層の大気は速度ポテンシャルの極大域で発散し極小域で収束する。

次に本研究の解析で行った EOF 解析について述べる。観測される速度ポテンシャル  $\chi$  の空間座標  $x$  における分布の時系列は次のような EOF 成分の一次結合式で示される。

$$\chi(t, x) = a_1(t)Z_1(x) + a_2(t)Z_2(x) + \dots + a_m(t)Z_m(x) \quad (3)$$

ここで、右辺は互いに無相関な主成分であり、 $Z_m$  が空間パターンを表し、 $a_m$  はその時間変化を表す。このようにおいた EOF 成分は、変数の  $m$  次の分散共分散行列（または相関行列）の固有値問題を解くことで求められる。

本研究のデータは、経度方向に  $0^\circ$  から  $360^\circ$ 、緯度方向に  $60^\circ S$  から  $60^\circ N$  までの 3528 地点における月平均の速度ポテンシャルの値 24 か月分である。これを 1992 年 9 月から 1993 年 8 月まで（以後この期間を期間 1 とする）と 1993 年 9 月から 1994 年 8 月まで（以後この期間を期間 2 とする）の 2 つの期間に分ける。一般に気象の分野では、時系列の地域的変動特性からある特定の成因による空間分布を抽出するために、地点を変数として EOF 解析をおこなう場合が多い。しかし、本解析では季節的に交代するのがモンスーンの本質的定義と考え、季節変動の特徴から循環場を分離するという新しい方法を導入した。そのため、時間軸を変数に設定してある。つまり、期間 1、2 のそれぞれ 12 か月、12 個の変数について空間積分を計算することで  $m=12$  次の分散共分散行列の固有値問題として EOF 解析を行った。固有ベクトル  $a_i(t)$ （因子負荷量）は互いに無相関の 12 か月の時系列となり、スコア  $Z_i(x)$  はデータの範囲における空間分布となる。結果のところで示されるように、第 1 主成分は近似的に年平均成分、第 2 主成分は季節変化成分を表し、この 2 成分で分散のほとんどが説明される。

はじめに述べたように、ハドレー循環を軸対称循環として定義したので、スコアを東西平均  $\bar{Z}_i$  とそれからの偏差  $Z'_i$  に分け、以下のように主成分を定義します。

$$\chi(t, x) = [a_1(t)\bar{Z}_1(x) + a_2(t)\bar{Z}_2(x)] + a_1(t)Z'_1(x) + a_2(t)Z'_2(x) + \varepsilon(t, x) \quad (4)$$

ここで、右辺第 1 項がハドレー循環、第 2 項がウォーカー循環、第 3 項がモンスーン循環であり、それぞれの項のノルムが循環の強さを与える。ノルムとして本研究では最大値と最小値の差を採用した。残念ながら、現象の直交展開から導かれるこの定義が最良であるという根拠はない。互いに入り組んで、決して直交していないものを無理矢理直交展開するのであるから、ひとつの循環の定義を優先すると他の循環がひずんでしまうという難点はある。しかし、季節的に交代する主成分として定義されるモンスーン循環がどのような循環場となるのかに本研究の主な興味がある。

## Velocity potential

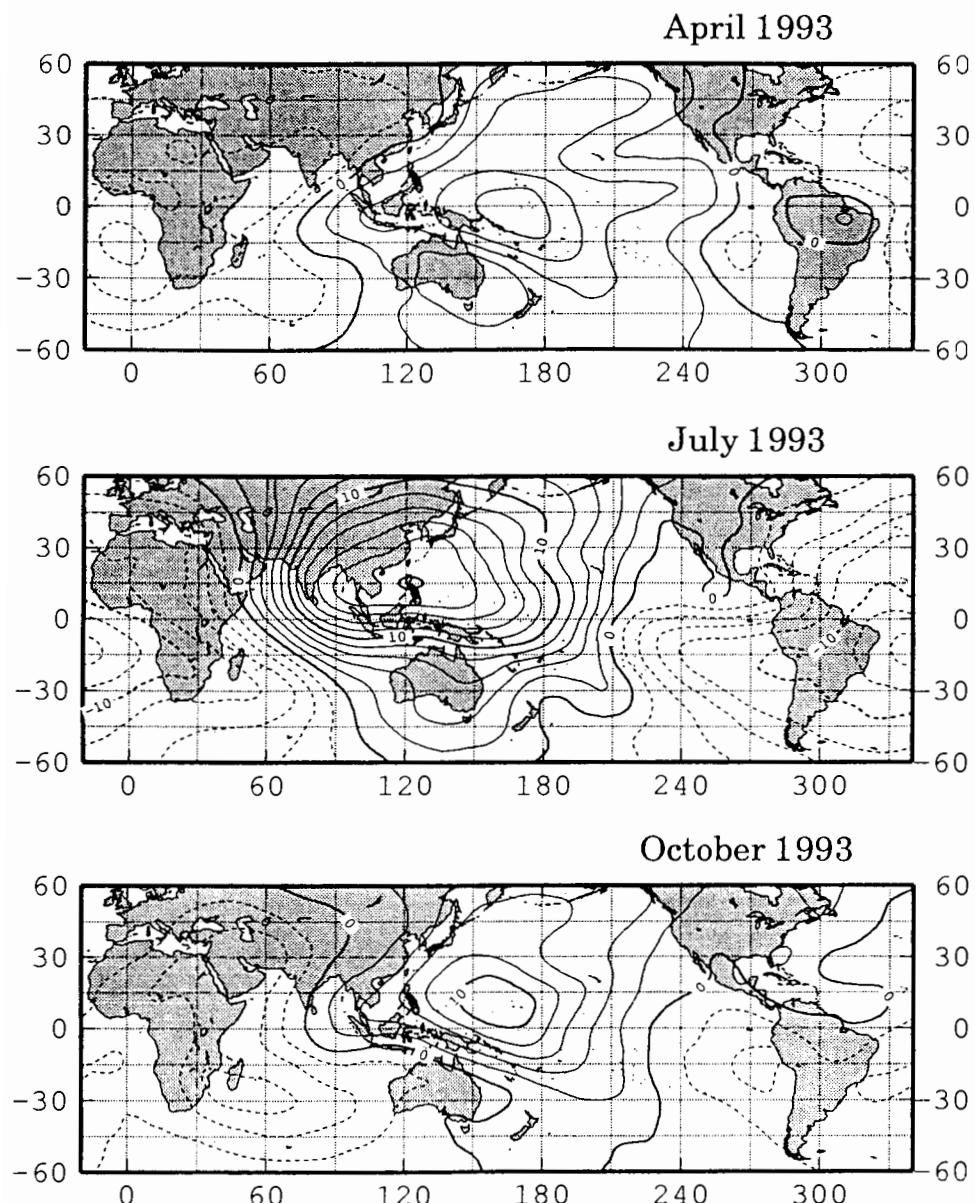
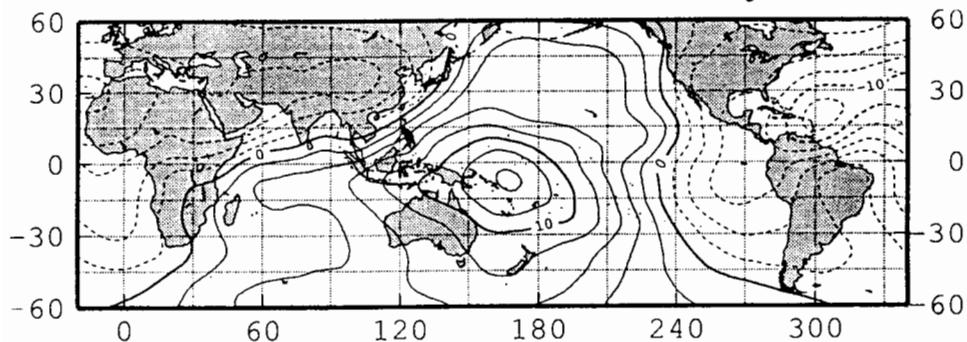


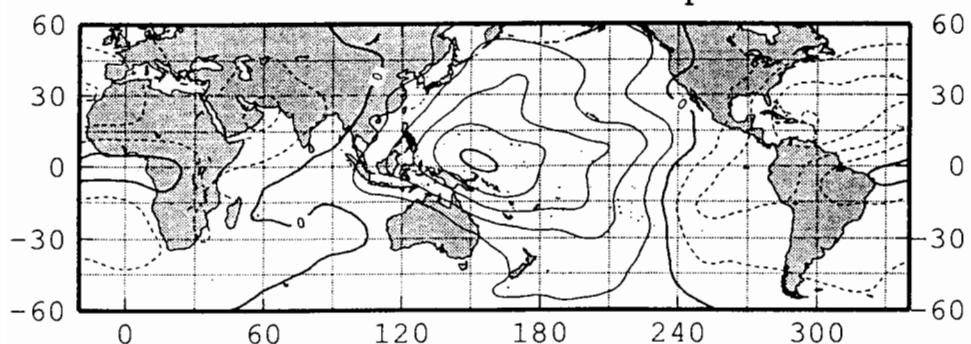
図1 200hPaにおける月平均速度ポテンシャルの季節変化  
単位は  $10^6 \text{ m}^2 \text{s}^{-1}$  である。期間は 1993 年 4 月から 1994 年 7 月まで。

## Velocity potential

January 1994



April 1994



July 1994

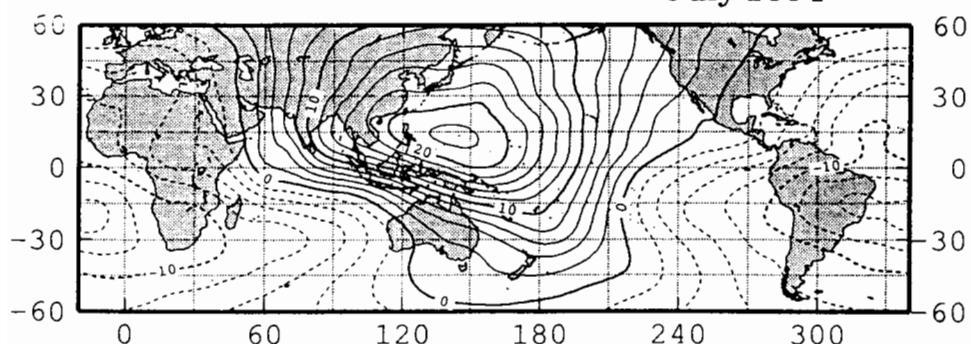


図1 200hPaにおける月平均速度ポテンシャルの季節変化（続き）

### 3. 速度ポテンシャルの季節変化

まずははじめに、1993年4月から1994年7月までの200hPa等圧面高度における月平均速度ポテンシャルの分布を図1に示す。1993年7月の最大値はフィリピン諸島上空にあり、ここが発散場の中心となって発散風が四方に分散し、南大西洋で収束している。全体的特徴としては波数1が卓越していることがあげられるが、なぜ波数1がこのように発達するのであろうか。これは海面水温の分布と密接に関係がある。7月はアジアモンスーンが活発な時であるが、下層で大陸に向かって吹き込む季節風が大陸の上空で発散するかというとそうではなく、チベット高原からかなり離れた海上に発散場の中心が存在する。大陸の上空に発散の中心がないので教科書によるモンスーンの説明と違うが、この理由は、モンスーン循環のほかにハドレー循環やウォーカー循環の混ざったものを見ているからであろう。

1994年1月の最大値は今度は赤道太平洋上空に見られる。冬の場合も波数1が卓越し、最低値は大西洋カリブ海付近に見られる。チベット高原にはマイナスの等値線がありここで発散風が収束し沈降していることが読みとれる。ユーラシア大陸の周辺で等値線が混み、モンスーンとしての海洋から大陸への大気上層の流れが見られる。

1994年7月の速度ポテンシャルの分布を1993年7月のものと比較すると、フィリピン付近で最大値、南大西洋で最低値が見られ、全体として波数1が卓越するという点では類似しているが、細かく比較すると違いが見られる。1994年の発散風の中心は1993年よりも東に $20^{\circ}$ ほどずれており、その値も10%ほど大きい。つまり、1994年の方が上層で強い発散を示しているのである。このような発散場の違いはモンスーン循環の強度の違いによるのか、あるいはウォーカー循環やハドレー循環の違いによるものかは分離してみないと分からない。速度ポテンシャルの分布からその答えを見いだすことは容易ではない。

### 4. 速度ポテンシャルの季節変動のEOF解析

#### 4. 1. 固有値と累積寄与率

そこで、次にこの速度ポテンシャルの分布の季節変動の特徴を主成分分析により直交成分に分解した結果をしめす。本研究では変動特性による分類に注目しているので、固有ベクトルは時間変化を与え、スコアが地理的分布を与えるように問題が設定してある。期間1と期間2について別々に固有値問題を解いて得られた固有値の値は、第1主成分の寄与率が70.4%、77.0%であり、第2主成分の寄与率が20.7%、18.9%、第3主成分が5.1%、1.9%となっている。つまり、第1主成分と第2主成分だけで累積寄与率は90%を優に越えていて第3主成分以下は無視できるほど小さくなっている。第1主成分の固有ベクトルを図2にそして第2主成分の固有ベクトルを図5に示す。第1主成分はかなり大きな季節変化を含んでいるが、符号が一貫してプラスであることから、近似的には年

## Eigenvector (EOF1)

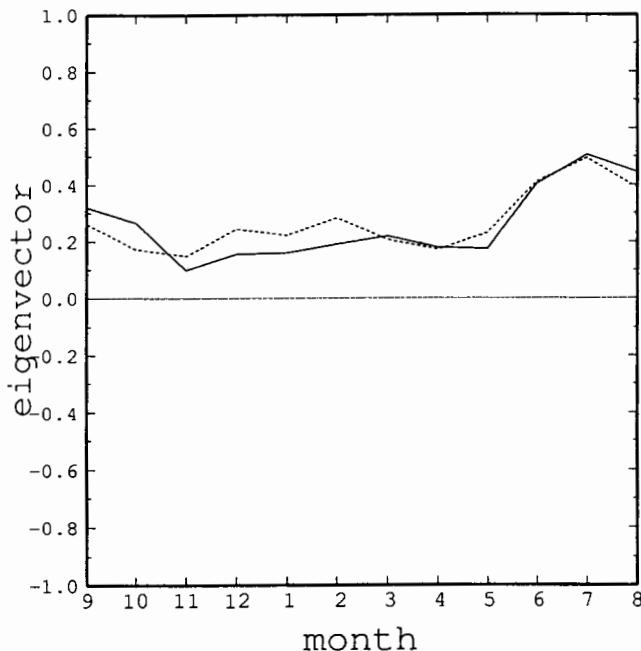


図2 EOF 第1主成分の固有ベクトル  
横軸は月を表し、実線が期間1、破線が期間2。

平均成分と考えられる。第2主成分は1年周期で符号を変える季節変化成分と解釈できる。年変化という点では第2主成分まで分散のほとんどが表現できてしまう。以下に第1主成分と第2主成分について詳しく説明する。

### 4. 2. 第1主成分：年平均成分

図2に12次の行列の固有値問題を解いて得られた第1主成分の固有ベクトルを示す。横軸は9月から翌年8月までの月を表す。実線が期間1、波線が期間2についての結果である。年間を通して符号が同じであり、6月から8月にかけて強くなるものの、発散場と収束場が交代する事のない年平均成分を抽出している。期間1と2で特にめだった差は見られず、ともにほぼ同様の値を示している。

図3に第1主成分のスコアとしての速度ポテンシャルおよび発散風の地理的分布を示す。期間1と期間2とでは大局的に見て同じ分布であり、これは図1の速度ポテンシャルの分布の年平均場に相当する。発散風速に年変化はあるものの、風向は不变であり、モンスーン成分は含まれないと考

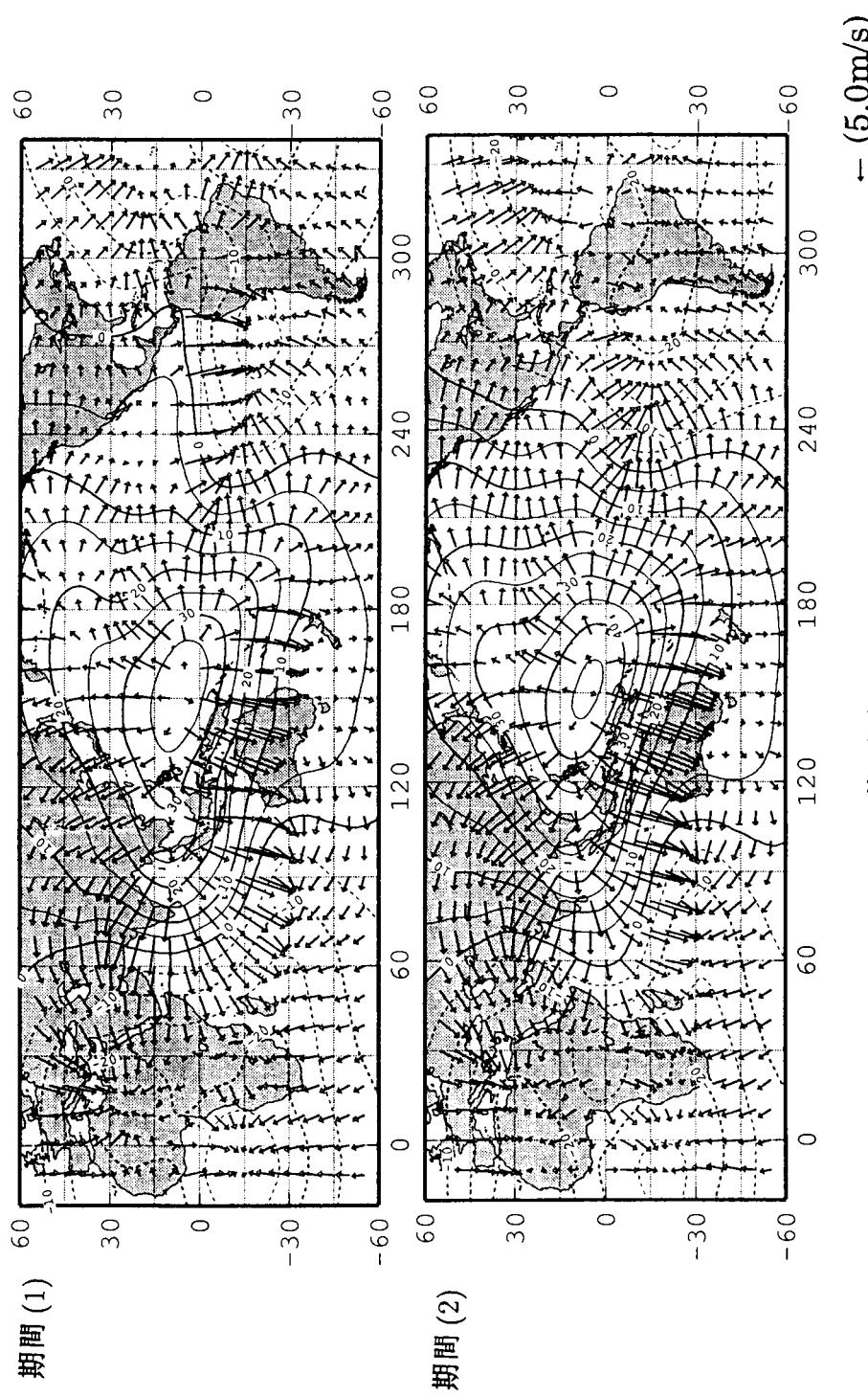


図3 EOF第1主成分のスコアと発散風  
図中の等値線はスコアとして得られた速度ポテンシャル、矢印が発散風を表す。上が期間1、下が期間2。

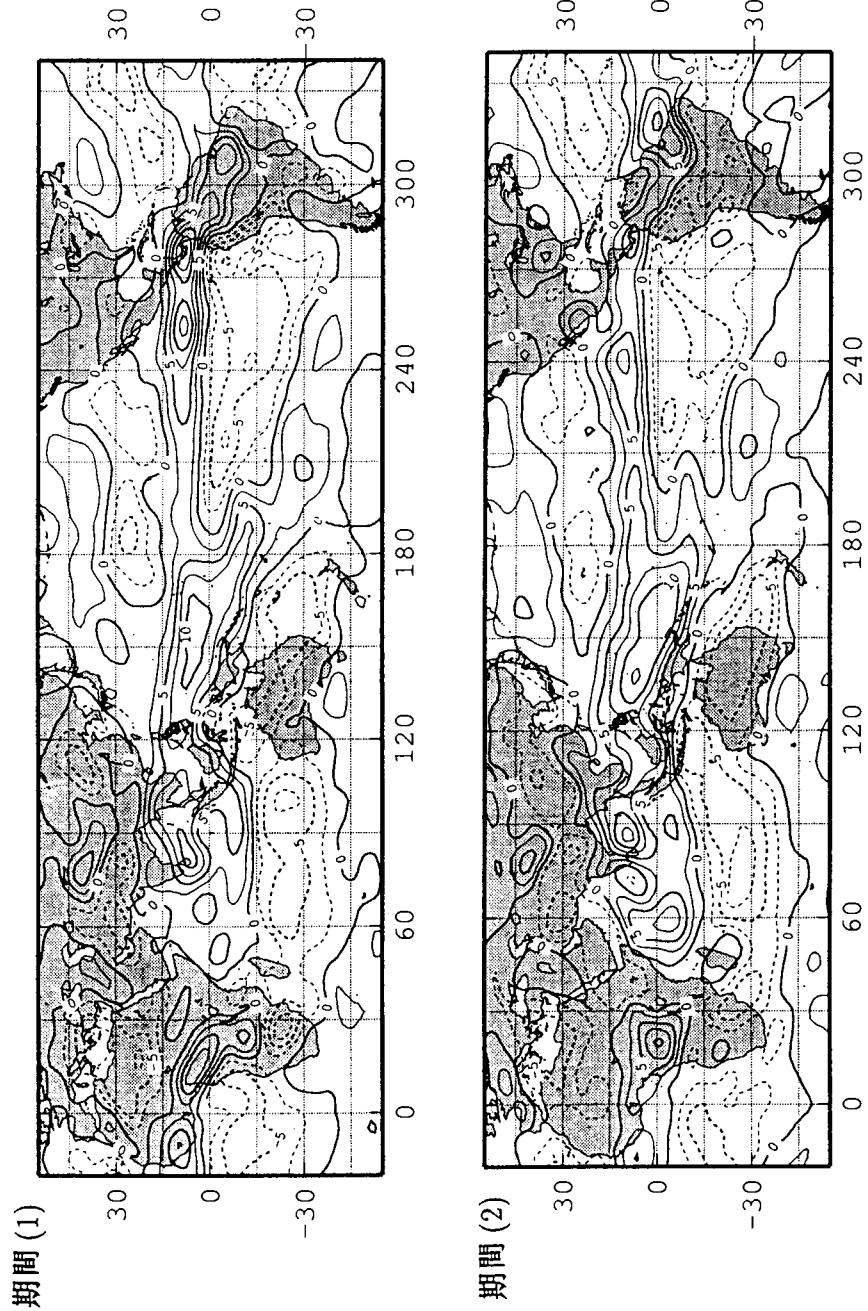


図4 EOF第1主成分の発散場  
図中の等值線の単位は $10^{-6} \text{ s}^{-1}$ 。上が期間1、下が期間2。

える。発散の中心はニューギニア島の北部にあり、発散風はここから南北に吹いているが、赤道太平洋上では東向き成分（西風発散風）が見られる。南北に発散する発散風はハドレー循環によるもので、熱帯収束帯に伴う赤道付近の上昇気流が対流圏の上層で南北に発散し  $30^{\circ}$  付近にまで分かれる発散風を見ていることになる。一方、ニューギニア付近の熱帯西部太平洋の暖水塊上で積雲が立ち登り、上昇気流が対流圏上層で発散し赤道に沿って流れペルー沖で沈降するこの循環はウォーカー循環に伴う発散風を見ていることになる。インド洋のもう一方のウォーカー循環はアフリカ西部のアビシニア高原付近で沈降していることが分かる。

図 4 には第 1 主成分の発散風から求められる収束・発散の地理的分布が示されている。赤道太平洋に沿って東西に延びる発散場は明らかにハドレー循環によるものである。強い帯状の発散場の南北両側に収束場が東西に延びていて、ハドレー循環が下降流となり中緯度高圧帯を形成する領域が見られる。この軸対称的な成分をハドレー循環とするとそこに重なる複雑な収束発散場が見えてくる。細かく見ると、ニューギニア付近の上昇流はハドレー循環とウォーカー循環が一体化したものであり、互いに強化しあっている。ところがウォーカー循環が下降流となるペルー沖ではハドレー循環の上昇流と相殺することになるが、赤道上は収束域となっておりウォーカー循環がハドレー循環に勝っていることが分かる。その結果ハドレー循環の上昇流は北緯  $10^{\circ}$  付近に押しやられたような分布になりその北に下降流域が見られる。インド付近を見ると発散域（つまり上昇流域）はより複雑であるが、南北の  $30^{\circ}$  付近に収束域（つまり下降流域）を形成しているのが読みとれる。中国から韓国にかけてこの下降流が見られるが、日本付近は太平洋での下降流域との間でちょうど収束域のくびれになっていることが分かる。期間 1 と 2 を比較すると、ニューギニア付近の発散は 1994 年の方が強く最大域がフィリピン付近まで延びていることがわかる。それに伴い中緯度高圧帯の収束は西に張り出し、この付近のハドレー循環が強かったことが読みとれる。

#### 4. 3. 第 2 主成分：季節変化成分

つぎに第 2 主成分の固有ベクトルを図 5 に示す。横軸は 9 月から翌年 8 月までの月を表す。実線が期間 1、破線が期間 2 についての結果である。固有ベクトルの値は 2 月に負の極大を示し 5 月には符号を変えて正に転じ 7 月と 8 月に最大となる。第 2 主成分は一年で正と負を一回ずつ繰り返す季節変化成分を抽出している。期間 1 と 2 で特にめだった差は見られず、ともにほぼ同一の季節変化を示しているが、期間 1 の 1992 年の夏から秋にかけての値が小さい傾向が見られる。

図 6 に対応するスコアとしての速度ポテンシャルおよび発散風の地理的分布を示す。期間 1 と期間 2 とでは大局的に見て同じ分布であり、これは図 1 の速度ポテンシャルの分布の年周期成分と考えて良い。つまり、発散風のパターンは夏と冬とでちょうど逆になる。7 月の発散の中心はチベット高原東部中国揚子江付近にあり、発散風はここから四方に吹き出している。言うまでもなく、これはモンスーン循環を抽出しているといえる。ただし、赤道付近には一貫した北風発散風が存在し、

## Eigenvector (EOF2)

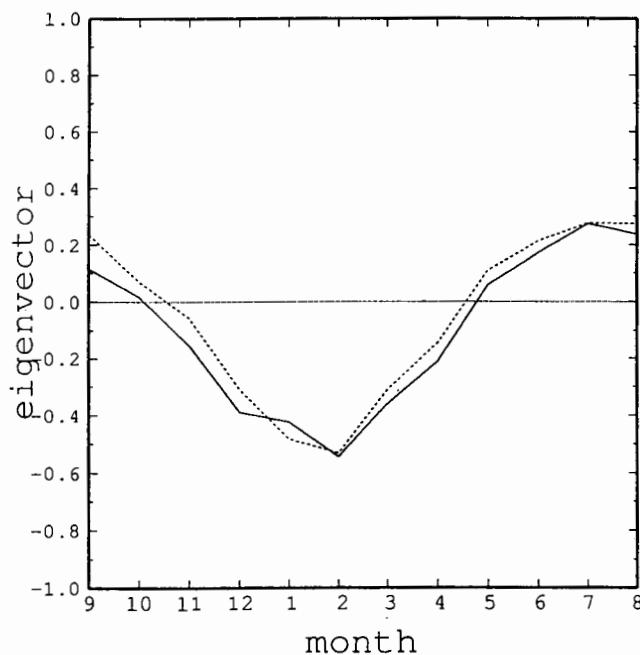


図5 EOF 第2主成分の固有ベクトル

横軸は月を表し、実線が期間1、破線が期間2

15°N付近で湧き出した上昇流が対流圏上層で赤道を横切り 15°S付近で沈降してゆくという特徴が見られるのは明らかにハドレー循環によるものである。軸対称のハドレー循環は7月には北半球にそして1月にはその逆の南半球に上昇流域を発達させ、しかも赤道上の対流セルを膨らませるという特徴がある。したがって、この第2主成分には軸対称のハドレー循環と大陸と海洋の熱的なコントラストで発達するモンスーン循環が混在していると考えられる。

図7には第2主成分の発散風から求められる収束・発散の地理的分布が示されている。北半球低緯度に発散領域が東西に延び、南半球低緯度に収束領域が東西に延びているのはハドレー循環によるものであろう。モンスーン循環に対応する北半球大陸上での発散と南半球大陸上での収束は認識できるが、大洋上での分布は単純なモンスーンとしての収束・発散場にはなっていない。中国から韓国にかけて発散場が見られるが、これはモンスーン循環とハドレー循環が重なったものとして解釈される。期間1と2とを比較すると、ニューギニア・ソロモン・フィジー諸島にかけての収束が期間1の特徴として指摘できる。また、ハワイ東部の東部太平洋の分布にも差が見られる。

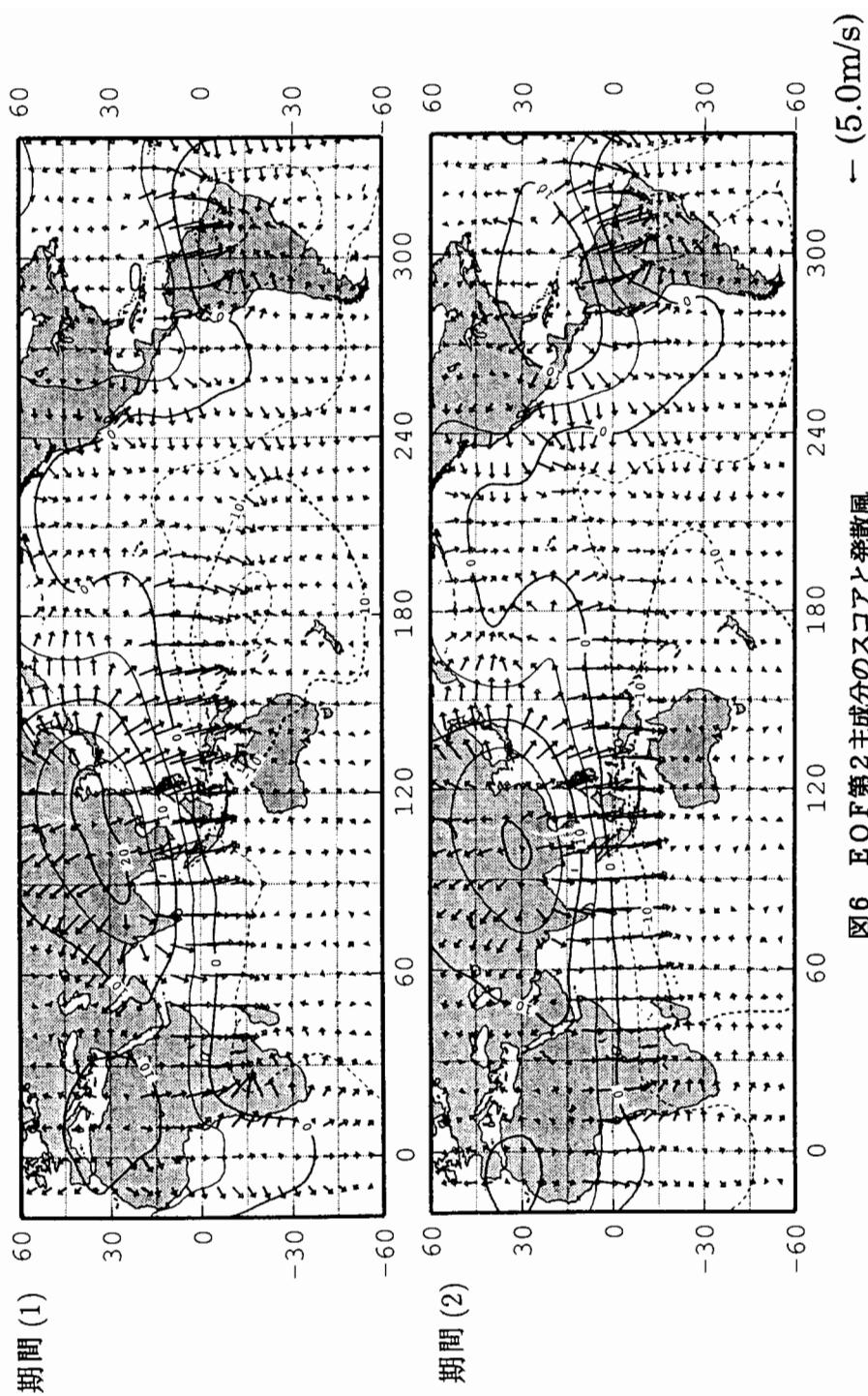


図6 EOF第2主成分のスコアと発散風  
図中の等値線はスコアとして得られた速度ポテンシャル、矢印が発散風を表す。上が期間1、下が期間2。

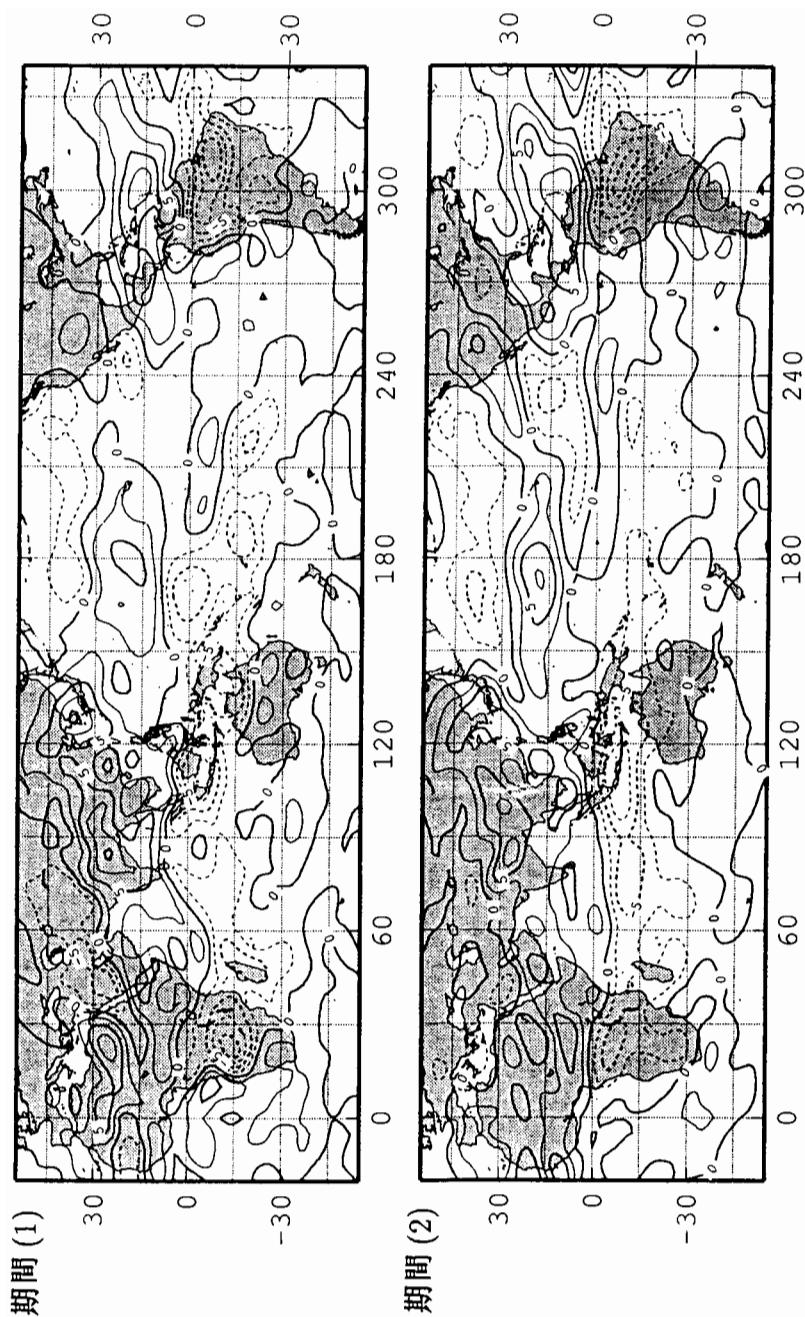


図7 EOF第2主成分の発散場  
図中の等値線の単位は  $10^{-6} \text{ s}^{-1}$ 。上が期間1、下が期間2。

## 5. ハドレー循環・ウォーカー循環・モンスーン循環

### 5. 1. ハドレー循環の抽出

以上の解析結果から、ハドレー循環は年平均をあらわす第1主成分にも季節変化をあらわす第2主成分にも含まれていることが示された。そこで、大胆な仮定ではあるがハドレー循環を両者の軸対称成分として抽出することを考える。図8 (a) (b) は各々図3, 6の東西平均の緯度分布である。はじめに年平均成分を表す図8 (a) は南半球で負、北半球で正となっており、対流圏上層で定的な北から南への発散風があることを示している。そして、そのようなグローバルなパターンに重な

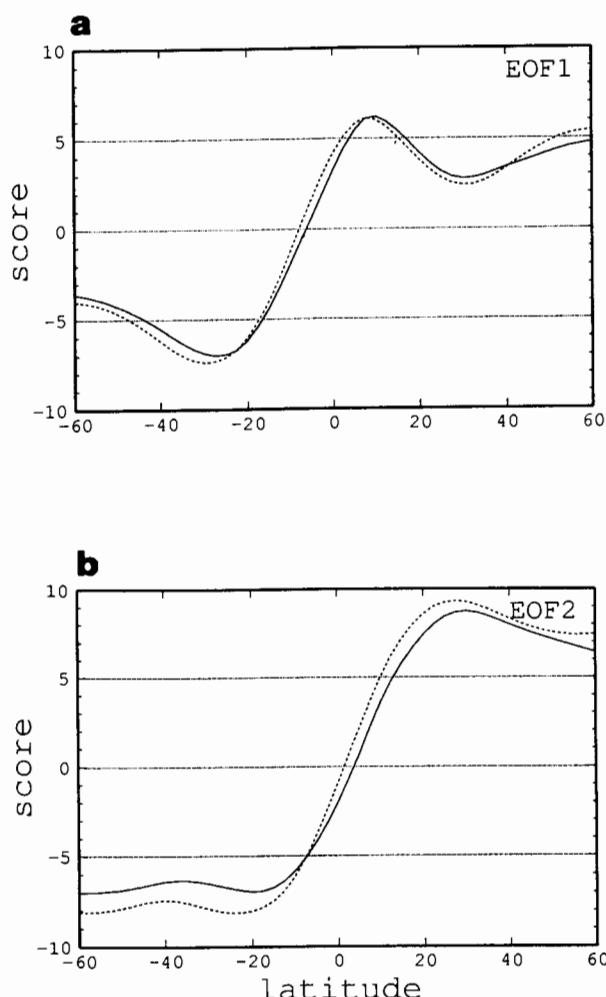


図8 EOF 第1主成分の東西平均 (a) と第2主成分の東西平均 (b) の子午面分布  
(a) は年平均、(b) は季節変化成分を表す。実線が期間1、破線が期間2。

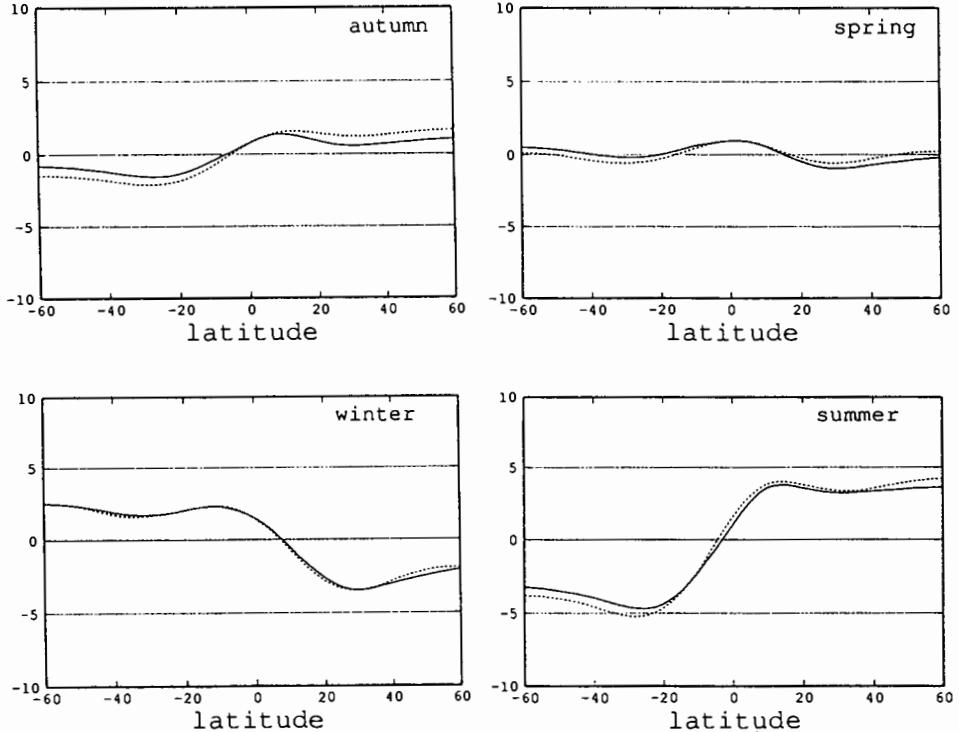


図9 図8 (a), (b)の子午面分布から計算されたハドレー循環の季節変化

実線が期間1、破線が期間2

って北緯 $10^{\circ}$ 付近に見られる速度ポテンシャルの最大がハドレー循環による発散風の湧き出しを表している。ここから発散風が北緯 $30^{\circ}$ 南緯 $20^{\circ}$ 付近に向かって吹いている。期間1と期間2の差はほとんど無視できる程度に小さい。つぎに、図8 (b) をみると南半球で負、北半球で正の単純な分布となっている。これは7月には北半球から南半球に向かい、逆に1月には南半球から北半球に向かう発散風を表している。これはまさにハドレー循環の季節変動と言えよう。その強さは7月の方が強く、それが図8 (a) のグローバルなパターンとして抽出されている。

図8の(a)と(b)からハドレー循環の季節変化を(4)式にしたがって再合成すると図9のようになる。北半球の夏季には北から南に向かう発散風が卓越し、逆に北半球の冬季には南から北に向かう発散風が卓越する。ハドレー循環といつても南北に対称の循環セルが形成されるのではなく、赤道上のセルが膨張するような特徴がこの結果から読みとれる。北半球の春季と秋季については半

球で3細胞の子午面循環の構造を示しているがその循環の強さは相対的に弱いものである。速度ポテンシャルに現れるハドレー循環の強度は(4)式から $9 \times 10^6 \text{ m}^2 \text{s}^{-1}$ のオーダーである。また、期間1と2との差はほとんど無視できるほど小さい。

## 5. 2. ウォーカー循環の抽出

図3にはハドレー循環とウォーカー循環が含まれていると前に述べたが、図8(a)の東西平均成分をハドレー循環として定義したので、その残りの東西非対称成分がウォーカー循環となる。図10にウォーカー循環として識別された速度ポテンシャルの分布を示す。結果として得られたパターンは赤道ニューギニア付近に発散の中心を持つ壮大な波数1のパターンであり、収束の中心は大西洋東部にある。

このような分布を誘導する主な原因は熱帯西部太平洋の暖水塊がもたらす活発な対流活動によるもので、SSTの分布と密接な関係がある。それでは何故にここで暖水塊が形成されるかといえば、それは大陸地形による境界条件と赤道貿易風の応力により励起される海洋の風成循環の結果である。このウォーカー循環の強度は $30 \times 10^6 \text{ m}^2 \text{s}^{-1}$ のオーダーであり、ハドレー循環よりも3倍も強いものであることが明らかになった。図中の速度ポテンシャルの最大値で比較すると、期間1と2は30および $40 \times 10^6 \text{ m}^2 \text{s}^{-1}$ であり、期間2の方が30%も強いことがわかる。

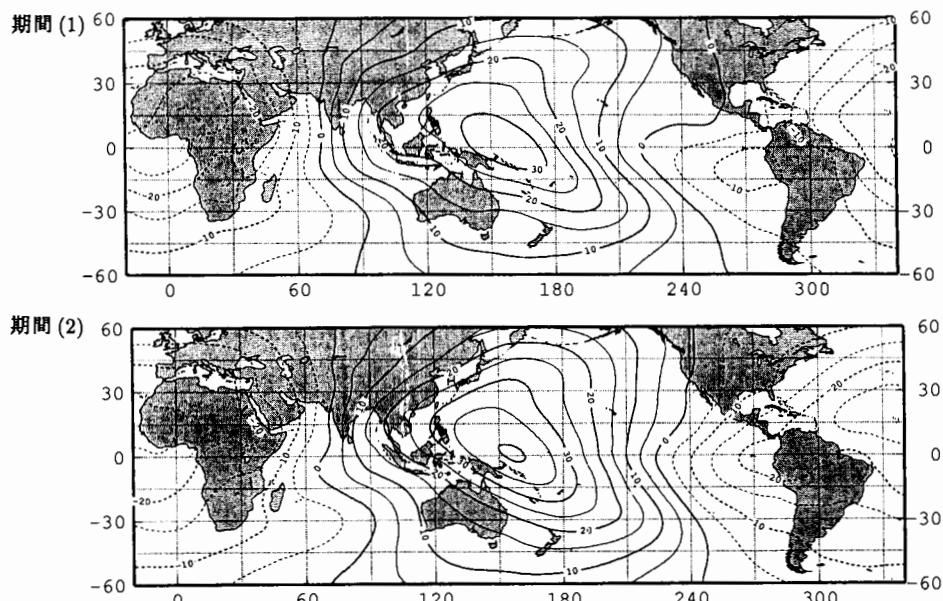


図10 図3から図8(a)を引いて得られたウォーカー循環

上が期間1、下が期間2。

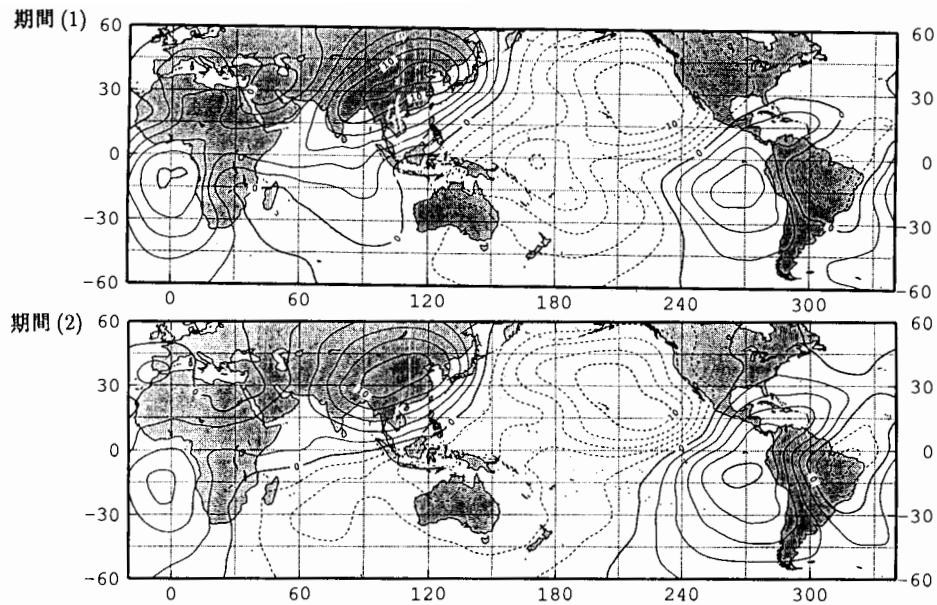


図11 図6から図8 (b)を引いて得られたモンスーン循環

上が期間1、下が期間2。

### 5. 3. モンスーン循環の抽出

最後にモンスーン循環の抽出について述べる。図6にはモンスーン循環とハドレー循環が含まれていると前に述べたが、図8 (b) の東西平均成分をハドレー循環として定義したので、その残りの東西非対称成分がモンスーン循環となる。図11にモンスーン循環として識別された速度ポテンシャルの分布を示す。結果として得られたパターンはインドから中国を経て韓国に至るユーラシア大陸上に発散の中心を持つモンスーンのイメージに沿うものである。循環強度は  $11 \times 10^6 \text{ m}^2 \text{s}^{-1}$  のオーダーであり、ハドレー循環よりは大きいものの、定量的にはウォーカー循環の強度のわずか3分の1に過ぎない。ユーラシア大陸で発散した空気は北太平洋西部に向かって流れそこで沈降する。北半球のモンスーンは盛んであるがそれと対称的に南半球では小さい。また、アメリカ大陸にもモンスーンは見られない。興味深い特徴として、南米のペルー沖のプラスとブラジルのマイナスがあげられる。これは1月と7月で東西風が逆になるというモンスーンである。同様な東西風モンスーンがアフリカ南部でも見られる。期間1と2とを比較すると期間2のユーラシアでの速度ポтенシャルの最大は期間1よりも20%ほど小さい、つまり1994年のモンスーンはむしろ弱かったという結果になる。もう一つの興味深い違いは期間1にはマーシャル諸島付近にあった収束の中心が期間2には  $60^\circ$

西のオーストラリア北部に移動していることがあげられる。この違いによりユーラシアから吹き出す発散風は、期間1ではマーシャル諸島に向かって吹くのに対し、期間2では東部太平洋およびオーストラリア北部に向かって吹くことになる。このように、モンスーンに伴う上昇流は確かに大陸にあるが、下降流の位置は年により大きく変化する。

#### 5. 4. 発散強度の定量的評価

ハドレー循環・ウォーカー循環・モンスーン循環についてその成因論的特徴に基づいてこれらを分類した結果、それぞれの循環の強さの定量的評価が可能となった。速度ポテンシャルの最大値と最小値の差は循環のマクロ的な強さを表す指標となりうる。そこで本研究では(4)式で抽出されたそれぞれの循環の最大値から最小値を引いたものを発散強度（循環強度）と定義した。図2および図5の最大値を0.5として、それを図10および図11に掛けて計算している点に注意されたい。ハドレー循環・ウォーカー循環・モンスーン循環とともに循環強度の比較を表-1に示す。解析結果によると、一番強い発散強度は、ウォーカー循環に伴う発散場で約 $30 \times 10^6 \text{m}^2\text{s}^{-1}$ である。次に強い発散場はモンスーンに伴う発散場で約 $11 \times 10^6 \text{m}^2\text{s}^{-1}$ であり、一番弱い発散場はハドレー循環に伴う発散場で約 $9 \times 10^6 \text{m}^2\text{s}^{-1}$ である。この結果、全球規模における発散場は、ウォーカー循環に伴う熱帯西部太平洋域からの発散場が大きな比重を占めているといえる。循環強度で期間1と2を比較すると、期間2のウォーカー循環は期間1よりも15%ほど強く、逆にモンスーン強度は10%程弱かったことがわかる。

表1 ハドレー循環・ウォーカー循環・モンスーン循環に伴う発散強度の定量的評価

表の値は速度ポテンシャルの最大値と最小値の差で、単位は $10^6 \text{m}^2\text{s}^{-1}$ である。

期間1：1992/9-1993/8、期間2：1993/9-1994/8

循環場	期間1	期間2	平均
ハドレー循環	8	9	9
ウォーカー循環	28	33	30
モンスーン循環	11	10	11

## 6. まとめと考察

本研究ではモンスーン循環・ウォーカー循環・ハドレー循環といった大気大循環の主要な循環を客観的かつ定量的に分離し、その強度を1993年と1994年について比較することで、1993年の冷夏・1994年の猛暑の研究の参考にした。1992年9月から1993年8月までと1993年9月から1994年8月までの2つの期間について、200hPa面における月平均速度ポテンシャルの季節変化に注目し、その変動の特徴をEOF解析により直交成分に展開した。そして、得られた第1主成分（年平均成分）と第2主成分（年周期成分）の、軸対称成分からハドレー循環を抽出し、その残りをウォーカー循環・モンスーン循環として抽出した。

このようにして定義された循環成分について解析を行った結果、次のような結論が得られた。

1. 軸対称ハドレー循環に伴う発散場は1月と7月に赤道上で強く、4月と10月には弱いことが確認された。年間を通しての循環強度は、最大でも $9 \times 10^6 \text{m}^2\text{s}^{-1}$ 程度であり、期間1と2の差は無視できるほど小さかった。

2. ウォーカー循環に伴う発散場は赤道ニューギニア付近に発散の中心を持つ壮大な波数1のパターンであり、収束の中心は大西洋東部にある。このような分布を誘導する主な原因是熱帯西部太平洋の暖水塊がもたらす活発な対流活動によるもので、海面水温の分布と密接な関係がある。このウォーカー循環の強度は $30 \times 10^6 \text{m}^2\text{s}^{-1}$ 程度であり、ハドレー循環よりも3倍強いものである。期間1と2の循環強度を比較すると、期間2の方が15%強いことがわかった。

3. モンスーン循環に伴う発散場の中心はアジア大陸上にあり、季節により交代する。モンスーン循環の強度は $11 \times 10^6 \text{m}^2\text{s}^{-1}$ 程度であり、ハドレー循環よりは大きいものの、定量的にはウォーカー循環の強度のわずか3分の1に過ぎないことが明らかになった。期間1と2の循環強度を比較すると、期間2の循環強度が10%程小さい。つまり1994年のモンスーンはむしろ弱かったという結果になる。

本研究では、モンスーン循環強度の定義が不明確であることが指摘される中で、季節的に交代することをモンスーン循環の定義として導入し、過去にあまり例のない時間軸に対するEOF解析により変動の特性からモンスーン循環を抽出してみた。新田（1995）や磯部（1995）によるこれまでの報告では、モンスーン循環は1993年が弱く1994年が強いとされているが、本研究の結果によると、それはむしろ逆で、1994年のモンスーンは弱く、1994年に強かったのはウォーカー循環であるという結果を得た。

ただし、前にも述べたように、これは定義の問題を含んでおり、互いに入り組んで決して直交していないものをむりやり EOF により直交展開した場合の比較であるから、ひとつの循環の定義を優先すると他の循環がひすんでしまうという難点はある。例えば、ウォーカー循環を東西循環に限定し、その南北成分はローカルなハドレー循環に押し込んで定義することも考えられる。また、風向はたとえ変化しなくとも風速の強弱をモンスーン循環として定義することも考えられる。定義のしかたで結論が変わっては困るのであるが、現象の成因に立ち返った定義が望ましいことは言うまでもない。

循環強度の定義にも問題があり、本研究では大陸スケールのマクロ的な特長を明らかにするために速度ポテンシャルを調べたが、そのため、上昇流や収束・発散といった局所的な現象が見えなくなり、循環強度の直感的な印象と定性的に異なる点も見られた。今後は、このような問題点を解消して、より客観的かつ定量的にこれらの循環強度の比較がなされることが望まれる。

### 謝辞

本研究では、筑波大学の安成哲三教授に貴重なコメントをいただいた。また、同大学院の木村和央さんには計算機の使用に関しあ世話になり、本田恭子さんには雑用を手伝って頂いた。ここに記して謝意を表する。

## 参考文献

古野朗子, 1996 : 1994 年夏の日本の異常高温について. 筑波大学環境科学修士論文, 49pp.

林久美, 1994 : 热帯の循環. 気象, 38, 13190-13192.

磯部英彦, 1995 : 1993 年と 1994 年の世界の天候、1994 年の日本の夏.

日本気象学会春季大会シンポジウム予稿集, 2-7

気象庁, 1994 : 異常気象レポート 94'. 近年における世界の異常気象と気候変動. 444pp.

栗原, 1979 : 大気力学入門. 岩波全書, 244pp

Krishnamurti,T.N.,1971 : Tropical east-west circulation during the northern summer,  
J.Atmos.Sci.,28,1342-1347.

Lamb,H.,1945 : Hydrodynamics,6th ed.Dover,N.Y.,1945pp.

新田勅, 1995 : 1994 年の日本の夏. 日本気象学会 1995 年春季大会シンポジウム予稿集, p-1.

Parthasarathy,B.,A.A.Munot, and D.R.Kothawale,1994 :  
All-india monthly and seasonal rainfall series:1871-1993. Theor.Appl.Climatol.,49,217-  
224.

Yasunari,T.,1990 : Impact of Indian monsoon on the coupled atmosphere/ocean system in the  
tropical Pacific. Meteor.Atmos.Phys.,44,29-41.