

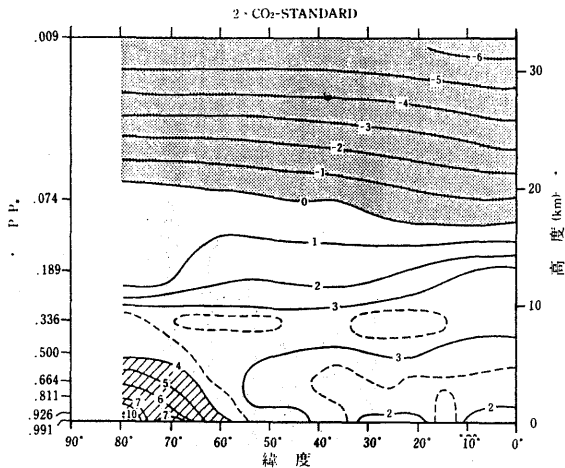


図5 CO₂濃度が2倍になった時の気温変化の緯度・高度分布。対流圏は全体に昇温するが、特に高緯度の対流圏下部で顕著な昇温がみられる。
(Manabe, S. and R.F. Wetherald: 1975, J. Atm. Sci., 37, 3-15)

るところで一様に起こるのではなく、図5に示すように、極地方では10℃以上の平均気温の上昇が起こるものと考えられている。そのために、極氷の融解による海面上昇など多くの影響が出てくることが懸念されている。特に、ロス海やウェッデル海の棚氷の不安定的流出とそれに続く西南極氷床の融解に伴って、海面が5～8 mも急速に上昇する危険が心配されている。また、気温上昇に伴う世界の降水分布の変化により、現在の穀倉地帯が乾燥化するなど、農業生産にも重大な影響がおよぶものと心配されている。

世界の総人口は、1983年現在、約45億人であるが、西暦2000年には60億人を突破することは確実な趨勢にある。このような著しい人口増加に対して、食糧生産の増加は世界全体としてはほぼ追従し得るものと考えられている。しかし、人口増加率が著しく高いと予想される発展途上国では、農業生産技術が低く、土地の荒廃が進行することも懸念される上、食糧を輸入する経済的余裕も乏しい。それ故、ひとたび異常天候に見舞われると、従来にも増して深刻な飢饉が起こり、世界的救援活動にも拘らず悲惨な状況になることが懸念される。すでに述べたように、先進国においても、異常天候によって社会機能がまひし、エネルギー需給がひっ迫し、農業生産が打撃を受けるなど社会的・経済的に大きい被害を蒙るケースがしばしば発生している。気候変動が人間社会におよぼす影響は、社会構造の複雑化に伴ってますます深刻なものとなってくるであろう。

以上のような背景のもとに、近年、世界の気候の変動は人類の生活にとって極めて重要な要素であるとの認識が高まり、国家あるいは国際政策の決定に際しても気候変動とその影響を十分に考慮すべきであるとする見解が国際的に高まってきた。

世界気象機関（WMO）は、1979年2月にジュネーブにおいて世界気候会議を開催した。この会議は、国連の専門機関である国連教育科学文化機関（Unesco）、食糧農業機関（FAO）、世界保健機関（WHO）、国連環境計画（UNEP）、および国際学術連合会議（ICSU）と国際応用システム解析研究所（IIASA）の協力のもとに開催され、約400名におよぶ各分野の専門家が参加して、世界気候とその影響について多くの方面からの詳細な討議がなされた。WMOは、上記会議の成果をふまえて、同年5月の総会において世界気候計画（WCP）の実施を決議している。

世界気候計画（WCP）の主な目的は、(1)気候変動の実態と機構に関する知識を深めると共に、気候変動に対する人間活動の影響を明らかにすること、および(2)気候変動の影響を受け易い経済・環境・社会活動に関する政策の立案に際して、気候変動による政策の蹉跌をできるだけ軽減するよう行政を援助することである。この目的を達成するため、WCPは次の四計画から構成されている。すなわち(1)気候データ計画（WCDP）、(2)気候利用計画（WCAP）、(3)気候影響調査計画（WCIP）および(4)気候変動研究計画（WCRP）である。

世界気候計画（WCP）は、人間生活の多くの側面に関係する学際的な計画であり、その実施に当っては当然多くの国連専門機関や国際学術連合の参加が必要となる。気候データ計画（WCDP）と気候利用計画（WCAP）の両計画はWMOが組織・調整に当るが、気候影響調査計画（WCIP）についてはUNEPとWMOが共同して組織・調整に当り、ICSUの中の環境問題科学委員会（Scientific Committee on Problems of the Environment, SCOPE）がこれに協力することになっている。

気候変動研究計画（WCRP）については、1979年11月にICSUとWMOの間に協定が結ばれ、相互に協力してその実施に当ることになった。

§ 3 気候変動研究計画提唱の経過

ICSUとWMOは、過去十数年の間、大気大循環の機構を解明して天気予報の精度向上を図るために、協力して地球大気開発計画（Global Atmospheric Research Programme, GARP）を推進してきた。GARPの一環としてわが国が提案し、国際協力のもとに実施した気団変質観測計画（Air Mass Transformation Experiment, AMTEX）も、多大の成果を挙げた。GARP

の総決算ともいうべき第1回 GARP 全球実験計画 (First GARP Global Experiment, FGGE) が1978年12月から1979年11月までの一年間にわたって実施され、磁気テープ千数百巻にのぼるかつてない高密度かつ詳細な観測資料が得られた。FGGE データの解析により、大気大循環の短期変動の機構解明が進み、1～2週間の天気予報の精度が飛躍的に向上することが期待されている。

GARP に関する ICSU と WMO の合同組織委員会 (GARP Joint Organizing Committee, JOC) は、大気大循環のより長期的変動、すなわち世界気候の変動の研究についても、かねてから討議を重ねてきた。そして、GARP の第二期計画として気候変動の機構解明のための研究計画を推進する必要があることに合意し、計画立案の作業を進めた。このような時に、世界気候に関するより広範な関心から世界気候計画 (WCP) が立案される運びとなり、JOC の取り上げた研究計画は気候変動研究計画 (WCRP) として WCP に包含されることになった。WCRP の推進については、GARP と同様に ICSU と WMO が協力して当ることが合意され、1979年11月に両機関の間で協定が結ばれている。ICSU と WMO は、WCRP 推進のための合同科学委員会 (WCRP Joint Scientific Committee, JSC) を、GARP の JOC に代って設けることとし、1980年の始めに発足させた。わが国からは、合同科学委員会発足当初は岸保勘三郎(東大・理)が、現在は浅井富雄(東大・海洋研)がメンバーとしてその活動に参画している。なお、ICSU と WMO は、WCRP の実施期間が1980年代から1990年代にかけての長期にわたることを予想し、四年毎に両者間の協定の見直しを行なう方針を立てている。

以上の動きに呼応して、ICSU の南極研究科学委員会 (Scientific Committee on Antarctic Research, SCAR) は、1980年10月同委員会内に「南極気候研究専門家グループ」(Group of Specialists on Antarctic Climate Research)を組織し、南極域でなされる研究観測計画の立案に当らせている。また、ICSU の海洋研究科学委員会 (Scientific Committee on Oceanic Research, SCOR) は、1979年3月 Unesco の政府間海洋学委員会 (Intergovernmental Oceanographic Commission, IOC) との合同組織である「気候変化と海洋に関する委員会」(Committee on Climatic Changes and the Ocean, CCCO)を発足させたほか、同委員会内に一連の作業委員会を設けて、研究計画の立案に当たっている。

このような背景のもとに、ICSU の会長 Jager は、1979年7月9日付の文書により、また、ICSU の事務総長 Kendrew と WMO の事務総長 Wiin-Nielsen は1980年2月11日付の文書により、さらに ICSU 執行部の Malone は1980年6月6日付の文書により、日本学術会議の伏見康治会長(当時)に対して、財政的寄与を含めて WCRP へのわが国の積極的参加を要請している。

わが国においては、WCRP 計画の立案のために、1978年10月に日本学術会議地球物理学研究連絡委員会内に世界気候小委員会（委員長 山元龍三郎）が設けられた。世界気候小委員会は、巻末に掲げたように、関連学問分野の専門家44名から成り、数多くの委員会を開いてわが国の研究計画を討議してきた。一方、これまで GARP の国内計画を立案・推進すると共に、その国際的窓口であった日本学術会議国際協力事業特別委員会 GARP 分科会が、第12期より WCRP 分科会（委員長 山元龍三郎）に改組され、WCRP の窓口としての役割を果たすことになった。WCRP 分科会は巻末に示す8名の委員から成り、JSC および世界気候小委員会と密接に連絡をとりながら、わが国の WCRP 計画の立案を進めてきた。

一方、わが国の気象庁は1981年4月に気候変動対策室を新設し、また1979年11月より「気候問題懇談会」を定期的に開催して、広く WCP の推進に関するわが国の方針を検討すると共に、WCRP の推進についても検討を重ね、1982年4月気候研究基本計画を策定し、また JSC が WCRP の一環として提唱した国際衛星雲気候計画（International Satellite Cloud Climatology Project, ISCCP）への参加を決定している。

§ 4 気候変動研究計画の目標

ICSU と WMO の合同科学委員会（WCRP/JSC）は、WCRP で採り上げる気候変動を数週間から数十年の時間スケールのものに限定し、それについて具体的な三つの研究目標を定めた。

4.1 WCRP で取り上げる気候変動の時間・空間スケール

一般に、天気が瞬間的な大気状態を意味するのに対し、気候は時間平均などの天気の統計的性質を指している。気候の形成に関わっているものは総称して気候系と呼ばれ、図6に示すように大気、海洋、雪氷圏、地表面および生物圏から成り立っている。

気候変動の時間・空間スケールは極めて多岐にわたっている。これら異なる時間・空間スケールの変動は、それぞれ異なった物理機構に支配されているものと考えられるので、WCRP 計画の立案に当たっては、研究の対象とすべき気候変動の時間・空間スケールを明確にしておく必要がある。

WCRP が主な対象とする現象の時間スケールは、数週間ないし数十年である。数十年という

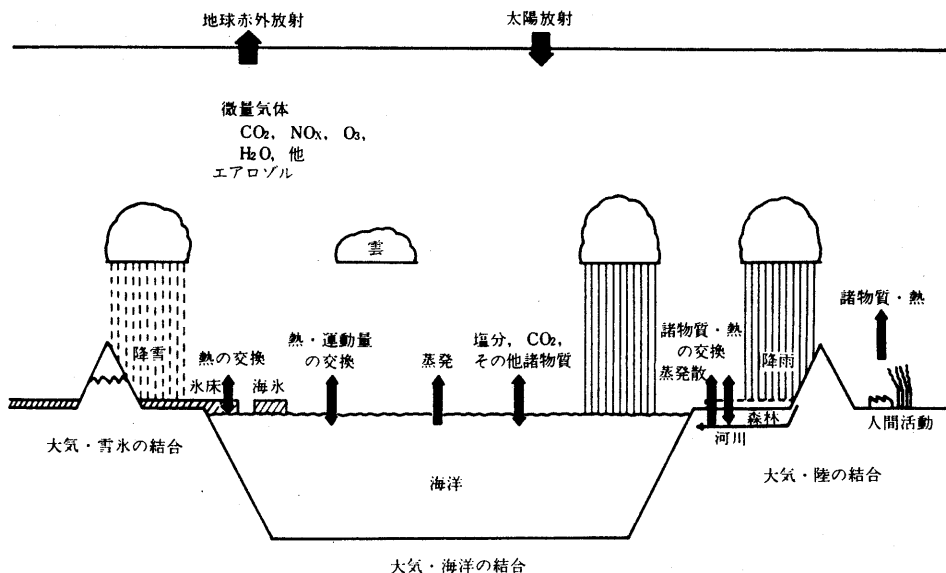


図6 気候系の各要素と相互作用

上限は、既存のデータ期間、数値モデルの有効な適用期間および政策立案者の主な関心と大体一致している。海洋の深層は100年またはそれ以上の時間スケールで変化するが、上層海洋は1ヶ月ないし数十年の時間スケールで変化しているので、WCRPにおいては上層海洋に関心が集中される。上の時間スケールに対応して、WCRPにおいて主に対象とする現象の空間スケールは、地域的(約1,000km)ないし全地球的規模である。このように大規模な現象に限定することは、気候の数値シミュレーションを行なう際の技術的制約や異常天候の発現のスケールと対応している。より小規模な現象も、大規模な気候に重要な役割を演じていると考えられるので、それらに関する理解を深め、その効果を気候の数値モデルに包含するためにどのようにパラメタライズするかも、WCRPの重要な課題の一つである。

4.2 WCRPの目標

WCRPの対象とする数週間から数十年の時間スケールの気候変動の中には、時間スケールも物理機構も明瞭に異なる三種類の変動が含まれている。合同科学委員会(JSC)は、これら三種類の変動の夫々の解明を目指して、具体的な三つの目標を掲げた。

目標1：長期予報の物理的基礎の確立

従来、個々の天気現象の予報の限界は約2週間と考えられてきた。この限界を越えると、大気の流れ自身に含まれている非線形効果のためにノイズが増幅して、物理的に意味のある情報

がかくされてしまうという考え方である。ところが、現実の大気の振舞いには、より長い持続性を持つゆっくりした変動が重畳していることが知られている。この変動は、大気の大規模な運動と関連しており、時間スケールも1ヶ月あるいはそれ以上の長いものである。このような天気を持続性は、中緯度で観測されるブロッキング現象のような持続的な循環状態の存在によるものと考えられている。したがって、そのような持続的な大気の流れを予測することができるならば、2週間の子報限界を越えた長期的天候状態の予測が可能となるであろう。

WCRPの第一の目標は、大気を持続的な流れをもたらす力学的・熱力学的機構を解明することによって、1~2ヶ月先までの長期子報の物理的基礎を確立することである。この目標の達成のためには、まず、山岳などの地形が気流におよぼす効果、および広域的な雲の状態とそれによる放射収支を数値モデルにより正しく導入することが必要となる。ちなみに日本付近での広域の雲量は、図7に見られるように、約1ヶ月の周期で大きな変動を示すことが最近見出されており、長期子報の成功のためにはその効果の適切な導入が必要と考えられる。地形の効果については、現在も進められている数値モデル改善のための多くの試みに加えて、GARPの一環として実施されたアルプス実験計画(Alpine Experiment, ALPEX)をはじめとする山岳と大気の相互作用に関する特別観測計画が有効であろう。また、雲とその放射効果のより正確な導入のためには、気象衛星データによる雲の分布に関する統計的研究を早急に進める必要がある。この観点からWCRPの一環として国際衛星雲気候計画(International Satellite Cloud Climatology Project, ISCCP)が実施される運びになっている。ISCCPにおいては、図8に示すように、わが国の静止気象衛星「ひまわり」(Geostationary Meteorological Satellite, GMS)のデータを含む各国の静止衛星および軌道衛星のデータが全地球的に集められ、長期間にわたる全地球上の雲の分布の詳細が明らかにされる予定である。

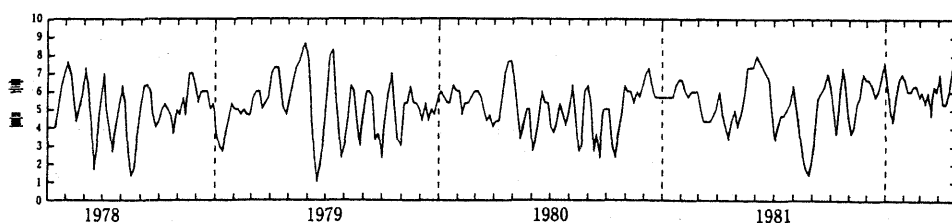


図7 30N, 150Eの地点における雲量(15日移動平均)の変動。静止気象衛星「ひまわり」の赤外データから得られたもので、春から秋にかけて周期約30日の顕著な変動がみられる。(名大水圏研提供)

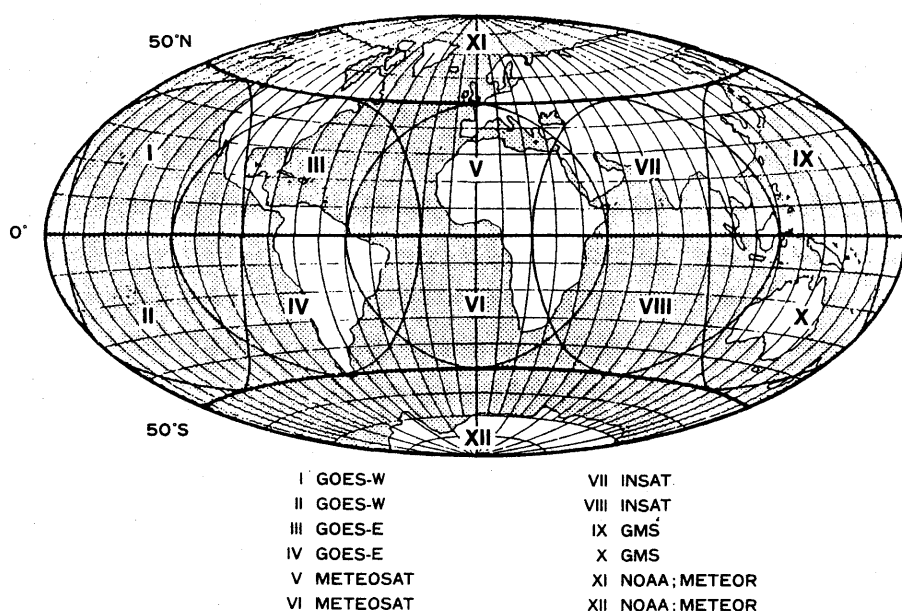


図8 国際衛星雲気候計画 (ISCCP) における各衛星の観測領域

長期予報を成功させるためには、上に加えて、長い持続性を持つ海面水温の異常を正確に与える必要がある。このためには、海面水温の正確な観測が必要なことは勿論であるが、海面水温の反映としての雲の分布の異常を調べることも、その代替手段もしくは補助手段となる可能性がある。目標1のためには、さらに、地表面・海面から大気への放射、運動量、顕熱、水蒸気などの輸送量の見積りをより正確なものにするほか、成層圏の循環が地球規模のじょう乱に与える影響についてもより正確な知見が必要となる。

目標1のための強化研究期間は、1980年代の約5ケ年と見込まれる。

目標2：大気大循環の年々変動の解明

1960年代末から1970年代はじめにかけてのサヘル地方の大旱ばつや、1970年代後半の北米東部の厳冬の例にみられるように、大気大循環は1～数年の時間スケールで絶えず変動している。わが国においても、年毎に厳冬・暖冬の差があり、また冷夏や空梅雨などの天候の変動があつて、季節予報の対象となっているが、その変動の機構には不明の点が多く、予報上の大きな問題となっている。このように大気大循環の年々変動を引き起こす原因としては、太陽活動の変化、海水温の異常、雪氷面積の変動、火山噴火に伴う成層圏エアロゾルの消長などの多くの可能性が示唆されているが、変動の物理機構を理解するには至っていないというのが現状である。

ところが、最近に至って、中・高緯度における世界的規模の気候変動や赤道地域の気候が熱帯海洋の年々変動と密接に関連していることを示す観測事実が多く知られるようになり、年々変動の機構の解明に一つの突破口が開かれてきた。

熱帯大気中の遠く離れた地点間で見られる気象の相関は Walker によって最初に注目され、気団の大規模輸送と関連して生じていることが示された。この現象は南方振動 (Southern Oscillation) と呼ばれており、北オーストラリアの高い気圧と南アメリカの太平洋沿岸の低い気圧の出現、あるいはその逆位相の出現によって明瞭に認められる。各位相は数ヶ月から1～2年持続する。図9に示すように、このような気圧異常が熱帯太平洋の海面水温や平均水位の変化と関係していることが最近明らかになり、熱帯大気の東西循環に伴う風系の変動によって駆動される海洋の力学現象が、その長い記憶時間のために大気異常を長期間持続させるものであると考えられるようになった。このような大気・海洋の結合現象は、太平洋からアフリカ大陸東岸に至る全インド洋にまで及んでおり、モンスーンの年々変動に影響していることも知られている。図10は、最近約100年間のインドにおける夏の降水量の年々変動の解析結果であるが、夏季の雨量が異常に少ない年と熱帯太平洋東部の海面水温が異常に高い年 (エルニーニ

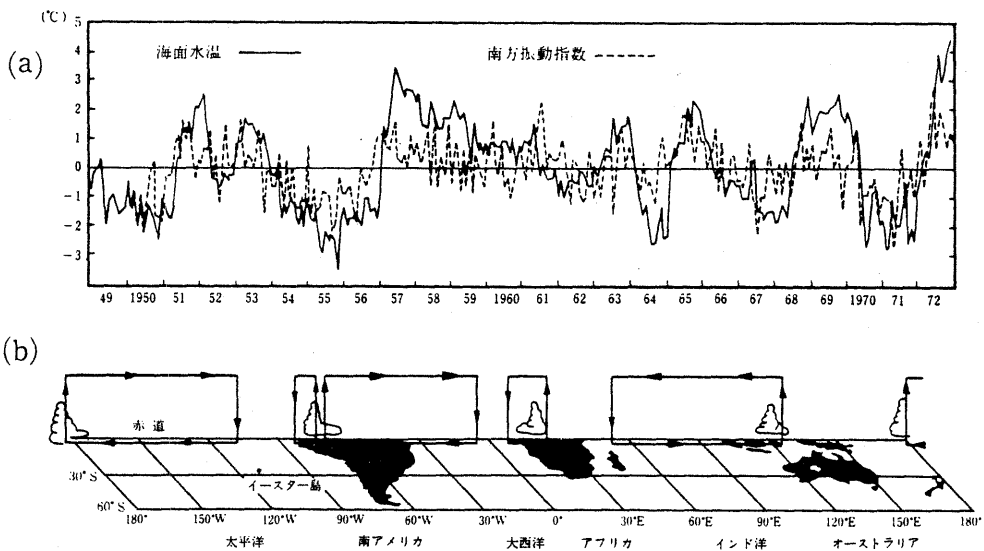


図9 (a) 熱帯太平洋の表面水温異常(実線)と南方振動指数(破線)の対応
(b) 東西循環の概念図
(Newell, R.E. and L.S. Chiu:1980, in Climatic Variations and Variability: Facts and Theories, D. Reidel Publishing Company)

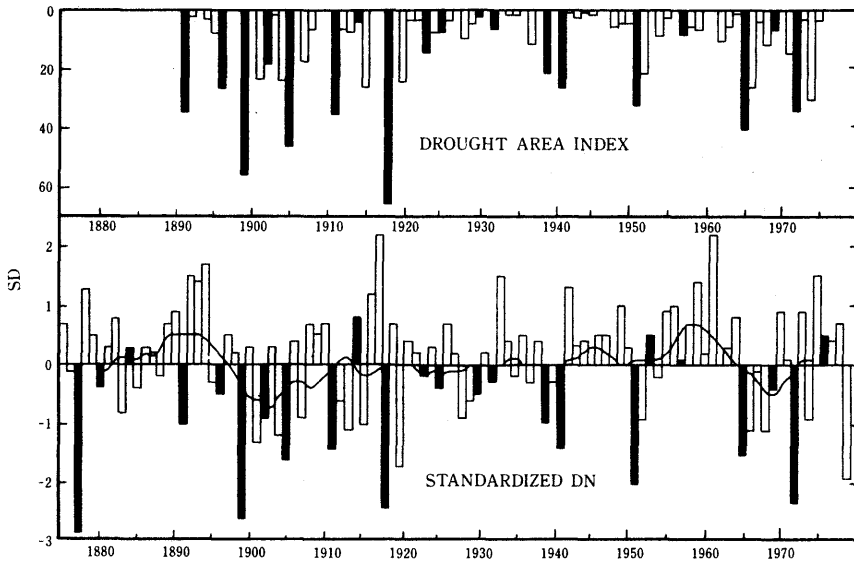


図10 インドにおける早ばつ面積指数(上)と夏季の降水量異常指数(下)。黒で示した年はエルニーニョ発生年を示す。(Rasmusson, E.M. and T.H. Carpenter:1983, JSC-IV/Doc. 8)

ョ発生年)とよく一致している様子が見られる。熱帯太平洋でも、その西部の高水温がブラジル北東部の早ばつと関連し、また大西洋の水温が中国の早ばつと関連するなど、同様の現象が数多く見出されてきた。さらに、熱帯海洋の水温異常と中緯度の気候、特に冬半球における中緯度気候、との間の長期的な相関あるいは遠隔的な相関(テレコネクション)の存在が知られ、その実態が明らかにされてきた。図11は、このようなテレコネクションの典型例を模式図で示し、また、図12に日本付近に影響を与えるテレコネクションの一例が示されている。

大気・海洋の相互作用が熱帯域で特に重要であることは、理論的考察からも支持される。赤道付近では地球自転の転向力(コリオリ力)が直接働かなくなるため、熱帯海洋は大気循環の季節変動に対応して比較的速い力学的・熱力学的応答を示し、そのために大気と海洋の間に強い結合効果の生ずることが予想される。これは高緯度の海洋の遅い応答が、大気の大規模運動と全地球的な海洋との間の結合効果を弱めていることと対照的である。実際、コリオリ力の減少のために、赤道付近に限定された大規模な海洋の東西振動が存在している。これに関連する海洋現象は特に熱帯太平洋で見られ、その最も顕著な例がエルニーニョ(El Niño)と呼ばれる特異な現象である。図13に示すように、エルニーニョ出現時には、南アメリカ西岸沖に強い正の海面水温異常が発達し、数ヶ月かかって熱帯太平洋中部に広がって1~1.5年の長期間にわたって

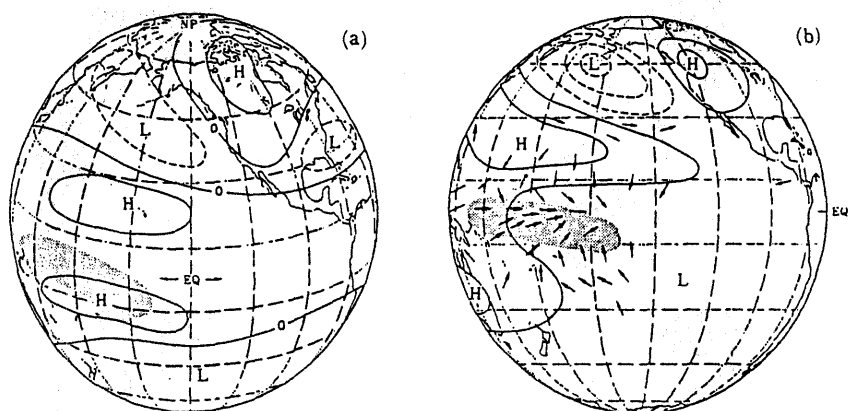


図11 熱帯太平洋に高水温が現われた場合の冬季の典型的なテレコネクションの例を示す模式図。(a)は対流圏上層の高度場、(b)は地上気圧を示し、影を付した部分は強い降水域を示す。(Shukla, J. and J.M. Wallace:1983, JSC-IV/Doc. 8)

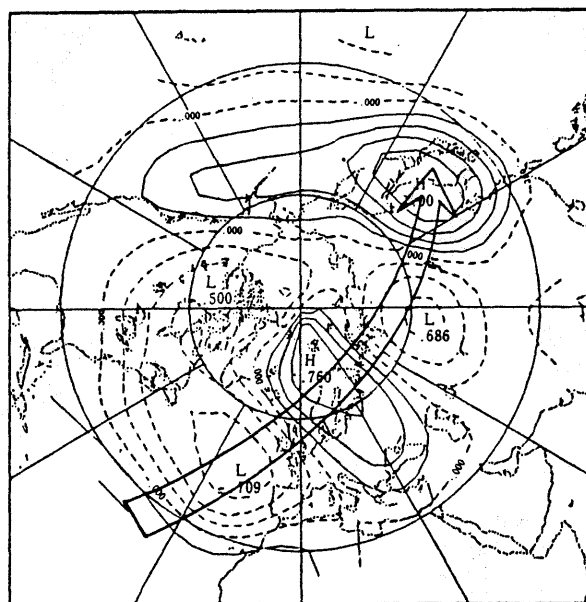


図12 日本付近に影響を与えるテレコネクション。700mbの高度異常の相関分布で1969年12月から1979年2月までの冬の30ヶ月について得られたものである。大西洋・ヨーロッパ方面からの定常ロスビー波の伝播が推定される。(Gambo, K., and K. Kudo:1983, J. Meteor. Soc. Japan, 61, 36-50)

持続される。このように、熱帯海洋はその速い応答によって大気大循環の変動の影響を強く受けるが、一方、熱帯大気は、海面からの水蒸気の供給や活発な対流活動による潜熱放出のため

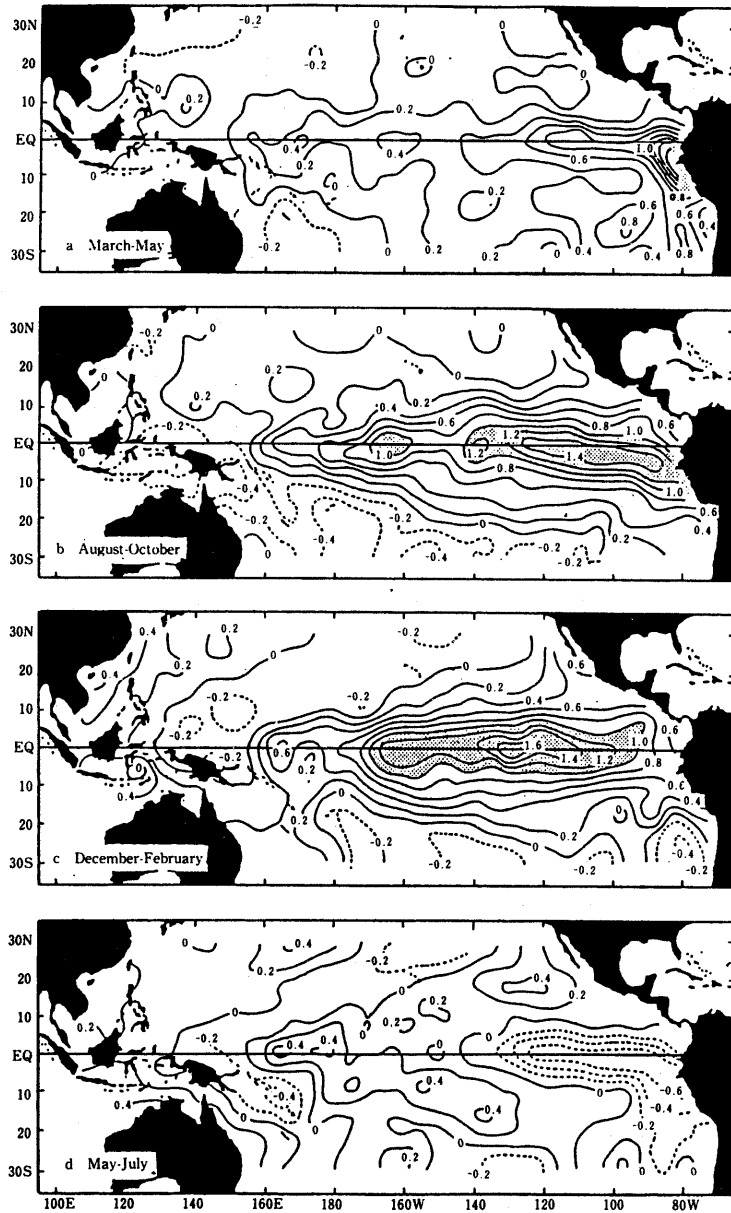


図13 平均的なエルニーニョの発生から消滅までの海面水温異常の経過。a. 3～5月, b. 8～10月, c. 12～2月, d. 5～7月 (S.G.H. Philander: 1983, Nature, vol 30224 March, 295-301)

に、海面水温の変動には極めて敏感に応答し、その影響は全大気に波及する。

これらの理論的考察や経験的知識から、数ヶ月ないし数年の時間スケールの気候変動の解明

のためには、全地球大気と熱帯海洋の相互作用の研究が特に重要であることがわかる。

全地球大気の循環と熱帯海洋の大規模波状運動の相互作用をより定量的に理解するために、熱帯海洋・全地球大気研究計画 (Tropical Ocean and Global Atmosphere Programme, TOGA) が計画されている。IOC と SCOR の合同組織である「気候変動と海洋に関する委員会」(CCCCO) は、WCRP 合同科学委員会と合同して TOGA 計画の具体化を進めている。

以上のほか、赤道成層圏の東西風が約 2 年の周期で交代する現象があり、準 2 年振動の名で呼ばれているが、その影響も中・高緯度におよんで大気大循環の年々変動の原因となっていることが経験的に知られている。これに関する物理機構の解明も目標 2 のねらいである。

大気大循環の年々変動の研究に必要な大気モデルの改良点の多くは、目標 1 で述べた長期予報に必要なモデルの改良点と同じである。加えて、大気大循環の変動が海洋循環の変動を引き起す過程である風の応力の評価の改良が必要となる。さらに、北極・南極域における海水域の拉がりやその変動のシミュレーションや、海水が高緯度の気と海洋の相互作用におよぼす効果など、海水過程をモデル化することも必要となろう。

目標 2 の達成のために、TOGA 計画のほか、モンスーン気候計画 (Monsoon Climate Experiment) などの一連の研究計画が提唱されている。この目標のための研究期間は、1980 年代中葉から 1990 年代中葉にかけての約 10 年間である。

目標 3：長期気候変動の機構と気候に対する人間活動の影響の解明

図 1 に示すように、地球全体の平均気温は、年々変動に加えて数十年の時間スケールをもってゆっくり変化している。また、図 2、図 3 からもうかがえるように、大振幅の年々変動やその結果としての異常天候の発生頻度も数十年の時間スケールで変化している。さらに長い時間スケールでみれば、16 世紀から 19 世紀いっぱいにかけて全世界的に寒冷な気候が続き、「小氷期」として知られている。

このような長い時間スケールでの気候変動が生ずる機構はまだ明らかではないが、大枠としては、大気・海洋・陸水・雪氷の結合した気候システムの内蔵する自動的な変化と、この系を外から支配する因子である太陽活動による日射の変化、火山爆発の頻発による日射の遮へい、二酸化炭素 (CO_2) 等の大気組成の変化に起因するエネルギー収支の変化などによるものと考えられている。

近年における産業活動の急速な発展は、地球規模において大気汚染をひき起こしつつあるが、中でも CO_2 の急速な増加 (図 4) は気候システムがかつて経験したことのない急激な変化であ

り、数十年の期間にはほぼ2倍になることが予測されている。このようなCO₂の増加によって地球上の気候がどのように変化するかを推定することは、社会的にも極めて重要で緊急を要する研究課題である。早くからこの問題の研究が行われてきた米国では、1979年および1982年に科学アカデミーが研究成果のまとめを行なっているが、それによると21世紀中葉と予想されるCO₂ 倍増の時期において地球全体の平均気温は2～3℃上昇し、高緯度特に極地方ではさらに大幅な気温上昇が起こると予想されている（研究成果の一例が図5に示してある）。このような平均的な気温上昇にともない、世界各地の気候は局地的にさらに大きく変化するものと思われる。実際、大気大循環モデルにより、中緯度域大陸上の気候が乾燥化すると予測した研究例もある。しかし、このような予測を行なうためには、現行の数値モデルは未だ不十分であり、現段階では局地的気候変化が大きいであろうという以上のことはわからない。

このほか、人間活動の影響としてエアロゾルの増加による日射の遮へい、メタン（CH₄）、一酸化二窒素（N₂O）、フロンガス（CFM）などの微量気体の増加がCO₂と同じように温室効果の増大をもたらすことなどが考えられている。

目標3の研究では、CO₂増加をはじめ人間活動の気候に及ぼす影響をより大きな確度で推定することを目標の一つとして、数十年の時間スケールでの気候変動の物理機構の解明を目指す。このためには、気候システムに含まれている諸物理過程をひとつひとつ正確に把握し、それらを取り入れた数値モデルを作らなければならない。現在の大循環モデルでは必ずしも内部機構として取り入れられていないCO₂増加環境下での雲量、雲頂高度の変化などによる雲のフィードバック機構、雪氷面積、海水の変化を通してのフィードバック、土壤水分の変化など地表条件との相互作用などについての理解を進めなければならない。また、CO₂増加の影響が現われる以前に、地球全体にわたる雲の分布、雪氷分布、土壤水分分布の現状を観測によって把握しておくことも重要である。このためには従来の気候観測を継続・強化すると共に、CO₂濃度などの新規の気候要素についても息の長い観測を実施する必要がある。

気候システムの数十年の時間スケールの振舞いに関しての不確実要因の最大のものは海洋である。最近の人工衛星観測に基づく地球表面の熱収支解析によると、大気によるものとほぼ等量のエネルギーが海洋によって南北に輸送されているものと推定されるが、その検証はまだなされていない。CO₂増加によって地表気温が上昇する際、海洋表層混合層の緩衝作用によって気温上昇がおくることが予想されているが、その効果を取り扱うには混合層の諸過程についての知識を必要とする。さらに、中層水、深層水の循環とエネルギー交換過程を理解することは、長周期での海洋の応答を知る上で必須である。このような観点から世界海洋循環計画（World

Ocean Circulation Experiment, WOCE) が検討されている。

全地球的な海洋観測のためには、遠隔探査衛星などの時間のかかる観測技術の進歩が必要となるので、WOCE の強化観測期間は1980年代末から1990年代に設定されることが予想される。このため目標3の研究は1990年代後半まで続くであろう。

§ 5 わが国の気候変動研究計画

WCRP 分科会と世界気候小委員会は、必要に応じて委員会以外からの参加を求めて、WCRP の諸課題について多くの作業委員会を設けて討議を重ねてきた。また、日本気象学会、日本海洋学会などの諸学会、および文部省科学研究費環境科学特別研究「気候変動と人間活動」検討班と共催で、関連する一連のシンポジウムを開催した。すなわち、気候における雲の役割に関するシンポジウム(1979年8月24日)、気候における地表面・雪氷圏の役割に関するシンポジウム(1979年11月19日)、気候の診断と問題点に関するシンポジウム(1980年12月8日)、気候変動研究計画に関するシンポジウム(1981年2月9日)等々である。

この間、国際的には、合同科学委員会が中心となってWCRPを指向した一連の国際研究集会が開催された。1980年12月中国広州での「アジア・西太平洋の気候に関する国際会議」、1981年9月スイス・ベルン市での「大気中のCO₂の増加とその影響に関する国際会議」などに、わが国からも研究者が参加した。また、WCRP分科会は、合同科学委員会とCCCOとが組織した「海洋観測の時系列に関する国際会議」を1981年5月に東京で、また「WCRPにおける大規模海洋実験に関する国際会議」を1982年5月に東京で開催し、気候変動に対する海洋の役割についての討議を深めた。

世界気候小委員会とWCRP分科会は、以上のような作業委員会やシンポジウムでの討議をふまえて、わが国の研究計画の立案を進めた。WCRPの全体の研究期間は10年を越える長期のものとなることが予想されるが、そのような長期間にわたる詳細な研究計画を立案することは困難であるので、1986年からはじまる8年間を第1期および第2期の各4年に分けて、当面の研究計画を立案した。研究計画の立案に当っては、わが国のおかれている地理的位置や各分野での研究実績を考慮したほか、関連の研究分野において、国際協力研究計画としてGARPが実施され、また中層大気国際協同観測計画(Middle Atmosphere Programme, MAP)が進行中であることを考慮し、これらの研究プロジェクトの成果を十分に反映し得るよう配慮する

と共に、気象庁気候研究基本計画との整合にも留意した。特に、WCRP 分科会は、国際的な研究計画との整合およびその中でわが国の果すべき役割について慎重に審議し、計画案の最終調整を行なった。

わが国の気候変動研究計画の研究課題を以下に列記する。

5.1 WCRP 目標 1 に関する研究

(1) 異常天候をもたらす大循環の構造

過去の観測データを用いて厳冬、冷夏、空梅雨等平常と著しく異なる持続的天候状態が出現した時の大気大循環の特色を調べ、そのような大気の流れを維持している機構を波動伝播、熱収支、渦度収支等の解析を通して明らかにする。

(2) 大気大循環モデルの開発

1～2ヶ月の長期間にわたって大気の流れと温度分布を支配している各種の物理過程を包含した大気の数値モデルを開発する。実際の初期値から出発した実験を行なって観測と比較し、各物理過程の取り扱い方の精度向上を図る。

(3) 長期予報可能性の研究

大気大循環モデルを用いて大気自身の持つ変動性と海水温異常などの外的強制に対する大気の応答とを調べ、どのような条件の下でどの程度の予報が可能であるかを実験する。また、簡単な数値モデルを用いて、非線形システムとしての大気循環の予報可能性についても検討を行なう。

(4) ブロッキング・テレコネクションの力学

大規模力学過程を中心とした数値モデルを用い、定常ロスビー波の伝播、その有限振幅効果、大規模山岳の効果等、予測されるメカニズムを抽出した数値実験を行なってブロッキングやテレコネクションの機構を解明する。その結果に基づいて現実的大気大循環モデルを用いた実験も行なう。

(5) 成層圏循環とその影響

数値モデルを用いて、対流圏から成層圏にかけてのプラネタリー波の振舞いを調べ、成層圏の循環やその変動が対流圏にどのように影響するかを予測する。同様のことをデータ解析によっても調べ、検証する。

(6) 広域の雲の分布と放射特性

人工衛星データを用いて極東域を中心に広域の雲の分布と放射特性およびそれらの変動特

性を調べ、また雲の分布をもとに降水分布の推定を試みる。他方、人工衛星データから雲の放射特性およびその他の諸特性を推定するなど、上記研究の基礎資料を得るため、衛星観測と平行して航空機その他の手段によって、雲の放射特性および雲の種類、雲頂高度、雲量、雲水量など雲の状態と諸物理特性を観測する。

5.2 WCRP 目標 2 に関する研究

(1) モンスーン等熱帯大循環の年々変動とその日本への影響

インドのモンスーン、太平洋の東西循環等熱帯域の大循環の構造を通常気象データおよび人工衛星による雲観測データを用いて解析し、これら循環系がエルニーニョ、南方振動と関連してどのように変動しているかを明らかにする。定量的解析によって循環系の維持機構を解明し、年々変動の原因を探る。このような解析によって熱帯循環系の変動が梅雨などの日本の気候の年々変動にどのような影響を与えているかを明らかにする。

(2) 準 2 年振動の中・高緯度への影響

赤道成層圏にみられる東西風の準 2 年振動に応じて中・高緯度の気候循環がどのように変動しているかを、長年のデータを解析して調べる。プラネタリー波の変調等、予測されるメカニズムについての理論的研究・数値実験もあわせて行なう。

(3) 海洋の年々変動と大気との相互作用

長年の海洋観測データを用いて、西部太平洋の海水温とその鉛直分布の年々変動に関する基礎データを作る。それを解析して、太平洋全域にわたる低緯度海流系の変動との関連および大気との相互作用の観点から変動機構を明らかにする。

(4) 異常天候の諸要因についての統計的研究

大陸上の雪水面積や海水の消長など、異常天候の原因となる可能性のある要素について可能な限り長年の資料を集め、異常天候の発生機構を調査するための基礎データを作る。

(5) 海洋大循環数値モデルの開発

海洋の温度・塩分・運動を支配する方程式系に基づいて、海洋の動的振舞いをシミュレートする数値モデルを作る。低緯度の海域に特有の大規模運動に焦点を合わせた簡略化モデルも別に作り、エルニーニョの数値実験などに用いる。

(6) 大気・海洋結合モデルの開発

大気大循環モデルと海洋大循環モデルを基礎に両者の相互作用をとり入れた結合モデルを開発する。物理諸過程をなるべく忠実にとり入れた現実的モデルばかりでなく、大気・海洋相互作用に特定の機構を想定した簡略化モデルも作る。

(7) エル・ニーニョ、南方振動の数値実験

現実的な大気・海洋結合モデルを長時間積分して数年周期の南方振動が発生するかどうかを実験する。予めメカニズムを想定した簡略化モデルによっても実験を行ない、エル・ニーニョ、南方振動の発生機構を解明する。

(8) 大気循環年々変動の力学モデル

現実的な大気・海洋結合モデルの長時間積分を実行し、その結果を解析して、モデルのもつ年々変動の特性を調べ、実際の大気の日々変動との対応を明らかにする。別に、山岳分布や海陸分布等の、いくつかの過程だけを抽出した簡略化モデルによって同様の実験を行ない、年々変動の要因を明らかにする。モンスーン、梅雨、冬期のブロッキング等日本の天候に重要な役割を持つ流れの場の成因と変動機構に特に着目する。

(9) 海洋年々変動のモニタリング

西太平洋を中心とした海洋の温度、塩分等々の要素を長期間にわたって観測し、海洋の年々変動の実態を明らかにする。TOGA 計画の具体化に応じ、可能な範囲で観測を拡充し、国際協同観測の一端を担う。

(10) 南極大気状態の日々変動

南極域大気の日々要素を長期間にわたって観測し、その年々変動の実態を明らかにする。過去のデータも合わせて解析し、南方振動との関連を明らかにする。

5.3 WCRP 目標 3 に関する研究

(1) 観測時代の気候変動の解析

可能な限り長い期間の気象データを収集し、数年～100年の時間スケールでの気候変化の実態を明らかにする。モンスーンの強弱や亜熱帯高圧帯の位置というような広域にわたる循環系の変動にも着目する。

(2) 古気候の復元

歴史時代の資料を用いて過去の気候状態を多くの地点について推定する。数十年以上の長い時間スケールでの気候変化の解明が主要目標であるが、同時になるべく時間分解能をあげ、目標2の課題である年々変動が過去においてもみられるのかも調べる。

(3) 火山爆発、太陽活動、雪氷分布と気候変動の関連

観測時代の気象データを用い、太陽活動その他の気候変化の原因として古くから示唆されている要因との関係を統計的に検討する。

(4) 大気・海洋・陸水・雪氷結合モデルの開発

長期間にわたる気候システムの変動で重要となる雪氷分布や陸水のとり扱いを改善した大気大循環モデルを開発し、気候敏感度実験に用いる。

(5) 数値モデルによる CO₂、エアロゾル、火山爆発、太陽活動等に対する敏感度実験

(4)で開発したモデルを用い、気候を決定する外的因子が変化したときの気候システムの応答を推定する。特に CO₂ 増加の影響評価に重点をおく。

(6) エアロゾル、微量気体の経年変化と放射特性

エアロゾルおよび二酸化炭素をはじめとする各種微量気体等の、大気の放射収支に影響する要素の長期観測を行ない、その空間分布、発生域と消滅域の分布および経年変化を求める。また、それらの物質が放射収支に及ぼす素過程を室内実験等で調べ、大気温度への影響の理論的推算も行なう。

(7) 地表・大気間交換過程の観測とパラメタリゼーション

大気境界層を通じて地表面から大気に輸送される熱、水蒸気、運動量の観測を行ない、その結果を解析して、輸送過程を数値モデルにとり入れるためのパラメタリゼーションを考察する。

(8) 海洋表層混合層の観測

黒潮を含む本州南方海域において、海洋混合層変動のモニタリングおよび集中総合観測を行ない、表層混合層変動過程をパラメタリゼーションするとともにそのモデルを作る。目標 1、2 にも関連する。

(9) 海洋による熱輸送の観測

黒潮流域において海洋内部の温度、流速等の断面分布を観測し、海流によって南北に輸送される熱量を評価する。

(10) 海氷と大気の相互作用

南極海域において海氷に関する諸量及び気象要素の観測を行ない、海氷の消長が大気状態によって如何に支配されているか、逆に、海氷の存在が大気にどう影響するのかを明らかにする。

(11) 氷床変動の観測

南極大陸上の氷床の変化と動きを長期にわたって観測し、氷床変動の実態と、その物理機構を明らかにする。

(12) 氷床コア分析による気候変動の研究

南極氷床中から採取したコアに含まれる種々の気体成分や微粒子の量と同位体比の分析を行ない、過去数千年の気候変動を明らかにする。

研究項目	主な参加機関	期
A. 目標 1 に関する研究	1. 異常天候をもたらす大循環の構造 2. 大気大循環モデルの開発 3. 長期予報可能性の研究 4. ブロッキング・テレコネクションの力学 5. 成層圏循環とその影響 6. 広域の雲の分布と放射特性	東北大理, 東大理, 京大理・防災研, 和歌山大教育, 気象庁, 気象研 京大理, 気象庁, 気象研 気象庁, 気象研 東大理, 京大理, 九大理, 気象庁, 気象研 東大理, 京大理, 九大理 北大理・低温研, 北海道教育大, 東北大理, 東大理・海洋研, 名大水圏研, 京大防災研, 九大農, 気象庁, 気象研, 防災センター
B. 目標 2 に関する研究	1. モンスーン等熱帯大循環の年々変動とその日本への影響 2. 準二年振動の中高緯度への影響 3. 海洋の年々変動と大気との相互作用 4. 異常天候の諸要因についての統計的研究 5. 海洋大循環数値モデルの開発 6. 大気・海洋結合モデルの開発 7. エルニーニョ, 南方振動の数値実験 8. 大気循環年々変動の力学モデル 9. 海洋年々変動のモニタリング 10. 南極大気状態の年々変動	東大理, 筑波大地球, 気象庁, 気象研 京大理, 気象庁, 気象研 北大水産, 弘前大理, 東北大理, 筑波大地球, 東大海洋研, 東京水産大, 鹿児島大工・水産, 気象庁, 気象研 千葉大工, 気象庁, 気象研 東大理, 筑波大生物, 京大理・教養, 気象研 気象研 東大理, 気象研 東大理, 京大理, 気象研, 名大水圏研 気象庁, 水路部 極地研, 気象庁
C. 目標 3 に関する研究	1. 観測時代の気候変動の解析	北大環境, 東北大理, 筑波大地球, 千葉大理, 東学大教育, お茶大文教, 岐阜大教, 京大防災研, 気象庁, 気象研

2. 古気候の復元	筑波大地球, 東大理, お茶大文 教, 横浜国大教, 山梨大教, 三 重大教, 広島大総合, 愛媛大法 文, 気象庁, 気象研	I, II
3. 火山爆発, 太陽活動, 雪水 分布と気候変動との関連	筑波大地球, 名大水圏研, 京大 理, 気象庁, 気象研	I, II
4. 大気・海洋・陸水・雪氷結 合モデルの開発	気象研	II
5. 数値モデルによるCO ₂ , エ アロゾル, 火山爆発, 太陽活 動に対する敏感度実験	気象研	II
6. エアロゾル・微量気体の経 年変化と放射特性	北大工, 東北大理, 東大理・海 洋研, 名大水圏研・空電研, 九 大理, 気象研, 農技研, 北海道 ・東北・北陸・九州農試	I, II
7. 地表・大気間交換過程の観 測とパラメタリゼーション	北大低温研, 東北大理, 筑波大 地球・水理実験センター, 京大 防災研, 岡山大学・農生研, 林 試, 北海道農試, 東北農試, 北 陸農試, 九州農試, 公資研, 農 技研, 気象研	II
8. 海洋表層混合層の観測	北大理, 東北大理, 東大理・海 洋研, 東水産大水産, 東海大海 洋, 九大応力研, 鹿児島大工・ 水産, 気象研, 水路部	I
9. 海洋による熱輸送の観測	筑波大生物, 京大理, 九大応力 研, 気象研	II
10. 海水・大気の相互作用	極地研	I
11. 氷床変動の観測	極地研	II
12. 氷床コア分析による気候変 動の研究	極地研	II