

1. 気候変動予測研究領域（アジア太平洋地域における気候変動予測研究）

（1） 目標

<研究の背景と意義>

最近の気候システムの変動が自然の揺らぎによるものか、地球規模の人類活動への応答かどうかはまだ明らかではない。しかしこうした変動を監視し、予測する科学と技術を高度化して、その成果に基づいて国家から個人レベルまでの広範な対策を早期に講じていくことが、人類の永続的な発展にとって欠かせなくなってきたのは明らかである。本研究領域はこうした社会のニーズを背景として、モデル研究を高度化し、基礎科学の立場から特にアジア・太平洋域の気候変動のメカニズムの解明とその予測の向上に資することをめざしている。

<研究の目標>

アジア・太平洋域（インド洋、極および亜極海域を含む）を中心として気候変動及び大気海洋中に生起する関連現象の実態を解明し、これを予測する高度なシステムの構築に資することを目標とする。さまざまな自由度の大気・海洋モデルを用いた実験とデータ解析を主な手法として、基礎となる過程の理解を深めることに主眼を置く。本研究領域では超多自由度のモデル研究が中心となるが、予測可能性の理解を深化させるような比較的小自由度の力学系モデルを用いた理論研究も推進する。研究テーマは現象の時間スケールから大きく以下の

（2） 1） a 及び b の二つに分かれているが、いずれも再解析データ、長期観測データ、衛星データ、古環境データなどの解析、高解像度の大気、海洋モデル、結合モデルの構築と結果の解析、様々な自由度のモデルを用いた影響評価実験などを行うことにより基礎となる過程の理解を深める。

（2） 研究課題と研究手法

1) 研究課題

a. 季節変動を含む短期気候変動の解析と発生機構の解明エル・ニーニョ／南

方振動（ENSO）や対流圏の準2年振動等に代表される短期気候変動、モンスーンに代表される著しい季節変動、関連するアリューシャン低気圧等の大気変動、黒潮、インドネシア通過流、ウルトウキ・ジェット等の太平洋やインド洋の海流変動について、その発生機構の解明と予測に貢献する。これらの諸現象間の相互関係についても明らかにする。

b. 10年—数10年スケールの気候変動の解析と発生機構の解明北太平洋気候の1976年のレジーム・シフト、南極周極波動、太平洋やインド洋の子午面循環の変動のような10年—数10年スケールに及ぶ大気海洋現象を解析し、その発生機構の解明に貢献する。海洋のサブダクション過程やストームトラック、季節内変動の変調等、時空間スケールの異なる諸現象との相互関係についても明らかにする。

2) 研究手法

a. モデル研究グループ

a-1. 大気・結合系モデルサブグループ

本研究グループは大気大循環モデルおよび大気海洋結合大循環モデルを用いて変動予測に貢献するが、その準備として当面は以下のテーマに取り組む。太平洋域の十年規模変動に伴う大気循環偏差の励起機構を解明する上で、応答が速く非線形性の強い大気循環が中高緯度海洋から蒙る影響の評価は、数値モデルによるアンサンブル実験に頼らざるを得ない。そこで、太平洋で実際に観測された海洋水面（SST）や海氷偏差を高解像度の大気大循環モデル（AGCM—T42以上）に与え応答実験を行なう。また、将来の大循環モデル結合（GCM）実験への布石として、海洋混合層モデルを駆動させ、結合実験への準備を進める一方、モデルの線形化等に基づくモデル出力の力学的診断手法についても、解析研究グループと協力して整備を進める。

a-2. 海洋モデルサブグループ

a-2-1. 中緯度海洋変動機構の研究

北太平洋の中緯度循環系、特に黒潮／黒潮続流域の海洋変動機構を理解するため、北太平洋循環モデルを構築する。このモデルを気候値の季節変動外力および経年変化する外力により駆動して得られた結果と、解析研究グループにより行われる漂流ブイからのデータを含む観測データの解析結果を総合することにより、黒潮および亜熱帯循環系の季節・経年変動の基礎となる過程を理解する。とくに低緯度の気候変動との関連を明らかにする。また、このモデルの結果を境界条件とする超高解像の領域モデルを構築し、日本沿岸の黒潮変動等の短期予測の可能性について検討する。さらに、10年から数10年スケールの北太平洋循環系の変動機構の解明に取り組む。また、一連の変動実験の結果を踏まえ、モデルの混合層のパラメトリゼーションなどの改良をはかる。

a-2-2. 低緯度海洋変動機構の研究

太平洋・インド洋の熱帯域で見られる様々な季節内振動、季節・経年変動の発生機構と、これらの相互の関連を理解するために、インドネシア多島海域の極めて複雑な地形を解像する太平洋－インド洋海洋循環モデルを構築する。このモデルを年平均気候値、気候値の季節変動外力および経年変化する外力により駆動し、その結果と解析研究グループの観測データの解析結果を総合的に用いて、インドネシア通過流、インド洋の海洋循環系の変動とモンスーンとの関連や西部熱帯太平洋域の熱帯－亜熱帯循環系の変動とエルニーニョ／南方振動との関連などについて調べる。また、一連の変動実験の結果を踏まえ、モデルの改良をはかる。これらの研究を通じ、太平洋－インド洋の熱帯域海洋循環の変動機構の基礎となる過程を理解し、その予測に貢献する。

b. 解析研究グループ（サブグループ分けは暫定試案、検討中）

b-1. 大気変動サブグループ

大気循環客観解析データ、並びにモデリンググループの GCM 実験出力データを解析し、アリューシャン低気圧やシベリア高気圧など下層循環の変動と上層の循環異常（テレコネクション・パターン）との関連やその励起機構、それに関わるストームトラックや季節内変動の役割などについて理解を深める。また、十年規模変動など大気循環の長周期変動に現われる強い季節依存性や、長周期

変動に伴う季節進行や季節内変動の変調についても解析を進める。また、研究対象を南太平洋やインド洋域にも次第に拡張し、南極周極波動やダブルジェット形成なども視野に入れる。さらに、データの力学的診断手法についても、モデリンググループと協力して整備を進める。

b-2. 海洋・結合系サブグループ

太平洋・インド洋域の大気海洋系の十年規模変動の実態を把握し、その変動機構の解明に向けて、変動に与える個々のプロセスの理解を深める。特に、結合現象にとって重要な大気・海洋間の熱・運動量フラックス変動、及びそれに与える SST や海上気象要素の地域・季節依存性を詳しく把握するため、時空間解像度を通常より高めた海面フラックス・データセットを船舶観測値を基に構築し解析を行なう。また、海洋上層の温度データについても可能な範囲で高い解像度を得るよう整備を進め、大気海洋系の長周期変動に伴い海洋混合層内で形成された温度偏差が、水温躍層内へどう広がり分布してゆくか等の知見を深める。

c. 予測可能性研究グループ

本研究グループは予測可能性の問題に対する本質的な理解を深めるための基礎的研究を行う。また、次世代モデルの開発にも貢献する。初期フェーズでは、地球科学の分野では最初の試みとして熱力学的安定度を示すエントロピーの増加率を、力学モデルの中で計算し、解の分岐や選択を支配する物理機構を定量的に研究する。得られた結果をモデルに組み込み、予測可能性を高めた大循環モデルの構築を将来的な目標とする。観測やその解析から明らかになりつつある気候のレジーム・シフトやサブダクション過程、数十年変動、そして短期・長期の古気候変動が、新しいモデルによってより精度よく予測できるかどうかを検討し、熱力学の視点から地球の気候変動とその発生機構の解明を目指す。

(3) 他の研究計画との関係と協力

本研究計画の課題はその内容に於いて世界気候研究計画 (WCRP) の気候変動

と予測可能性研究（CLIVAR）のなかで特に季節一年々の時間スケールでの全球の変動と予測の可能性研究（CLIVAR-GOALS）と10－100の変動から見た予測可能性研究（CLIVAR-DecCen）に大きく貢献するものである。部分的には国際地球圏－生物圏研究計画（IGBP）の古環境研究計画（PAGES）にも関係する。また観測やデータニーズへの提言は地球海洋観測システム（GOOS）や地球気候観測システム（GCOS）にも貢献する。関連する現場観測や衛星観測を含む内外の研究計画との研究協力に加えて、アジア、オーストラリア、米国、ヨーロッパ連合、ロシアなど、諸外国のモデル研究グループとの連携強化も予定している。近い将来に超高解像の地球変動シミュレーションを可能にする高度計算技術の進展に大気海洋モデルソフトウェアの観点から貢献すべく、内外の研究拠点との交流を推進する。

2 水循環予測研究領域（アジア地域における水循環予測研究）

（1）目標

アジア諸国の水資源は夏・冬のモンスーンの降水に大きく依存している。同時に、大陸スケールでの水循環は、エネルギー過程を通じて、モンスーン気候の変動にフィードバックされており、その物理過程の理解は、水循環変動の機構解明にも重要である。特に、アジア・太平洋域の ENSO・モンスーンシステムに、大陸域での水循環過程がどのように関与しているかは、アジアモンスーンと地球気候システムの変動の理解と予測にとっても、重要な研究課題である。さらに、温室効果ガスの増加が、アジアの気候・水循環変動に、どのように影響していくかは、この地域における現在の緊急の課題でもあるが、関連する水循環諸過程の理解が非常に遅れているために、その予測には極めて大きな不確定性が存在している。

この研究領域では、上記のような問題意識にもとづき、アジア・ユーラシア大陸での降水・水循環変動の季節変化と経年変動の予測を目指して、日本が主導的に進める国際共同研究計画であるアジア・モンスーン観測研究計画（GAME）に参加して、広域大気・水圏系の水循環諸過程のプロセス解明と、これらプロセス解明に基づくモデリング、およびこれらの研究に必要なデータセット構築を行う。

（2）研究課題と研究手法

a. 広域水循環過程の解明

全球再解析客観解析データおよび GCM を用いたモンスーンアジア地域および ENSO・モンスーンシステムにおけるエネルギー・水循環過程の季節変化と経年変動の実態解明と、その変動機構に係わる過程を、特に雲・降水過程と陸面・生物圏過程および大気・海洋・陸面相互作用の役割に焦点を当てて研究する。さらに、南シナ海モンスーン実験計画（GAME/SCSMEX）集中観測によるデータのアーカイブを行うとともに、この観測で得られたデータを用いた 4 次元同化客観解析を、数値予報の関係機関と協力して行う。これらのデータは、アジアモンスーン地域における降水・水資源の季節予測研究のための基礎データと

なり、かつての FGGE データのように、日本（アジア）が発信する初めての地球気候・水循環研究用水文気象データとしても高く評価されると期待される。また、オイラー的な水循環、輸送の解明のみならず、ラグランジュ的な水循環過程を、酸素・水素同位体をトレーサーとして、水蒸気源や水の再循環過程の実態解明を行うとともに、GCM及び4次元同化客観解析データによる広域循環過程の解明もめざす。以下の研究課題 b、c とも連携して国際的な研究の枠組みではアジアモンスーン地域におけるエネルギー水循環過程・アジアモンスーンが地球規模の変動に与える影響の解明研究（GEWEX/GAME）と CLIVAR/GOALS のインターフェイスとしての研究をめざす。この研究の一部は、IPRC においても行う。

b. 陸面水循環過程の解明

地球上で最大のユーラシア大陸上の大気・陸面相互作用は、地球気候システムの季節変化と年々変動において、重要な役割を果たしていると考えられる。この研究では、現在特にそのエネルギー・水循環過程の実態と変動機構が未解明な積雪・永久凍土など寒冷圏での過程と、タイガ・熱帯降雨林などの生物圏での過程に関する、詳細なプロセス解明とモデリングを、集中的に行う。大陸・地域スケールの河川流域を対象に、1次元、2次元での降水・蒸発散・流出過程を解明し、モデリングを行う。

b-1. 生物圏水循環過程の解明

モンスーンアジア地域における寒帯林、草原と熱帯林を比較しつつ、大陸スケールの森林・草原などの生物圏が光合成活動などの生理・生態学的調節を通して、大気・地表面間のエネルギー・水循環過程、および水資源調節に果たす役割を、現地での観測・モニタリング、衛星データ解析とモデリングで解明する。特に、現在の気候条件下に特有なタイガ林、モンゴル草原、温帯・冷温帯林、熱帯林を対象に、現地調査とモニタリングによって、エネルギー・水循環および CO₂ ガスフラックスを季節変化から年々変動のレベルで実態解明を行うとともに、これらのプロセスのモデリングを行う。

b-2. 寒冷圏水循環過程の解明

本研究グループは、気候変化に敏感に応答すると考えられる雪氷の存在するシ

ベリア、チベット、北米北部などの積雪・凍土域と環北極・ユーラシア中央部の氷河域寒冷圏陸域を対象とし、これらの陸域における水循環要素の長期間（50年程度）にわたる点・広域データの収集と変動解析および一次元、流域単位での陸域水循環モデルの構築を通して寒冷圏水循環の特性と変動性の理解とその予測に貢献することを目標とする。

データについては、まず第一に各国の気象・水文機関で取得した一次データ、過去の実験流域で実施された観測データを収集する。第二に衛星から広域データを導出するとともに、また陸面情報をデータセット化する。それらを基に水・エネルギー循環の特性とその変動についての解析を行う。第三として、モデル検証に必要な十分な要素を現在と将来について国際共同研究、外国の研究機関と協力しながら取得する。陸域水循環モデルについては、気候変動下での応答特性を長期的に再現できるモデルの作成を、GCMへの導入を念頭に置いて、開発する。

c. 雲・降水過程の解明

水循環の重要な部分である降水は、時間空間的に集中して起こり、この規模・頻度が大規模な大気環境・循環と相互作用して変化する。一方、雲群による熱・水・運動量の鉛直輸送、大気エアロゾルの変化に伴う雲の放射特性など、空の物理的性質は、気候システムの変動に寄与する重要な因子である。この研究では、水循環予測の基礎となるメソスケール以下の細かい降水予測へ向けて、これらの雲・降水に関する物理過程を、雲解像メソ大気モデルと雲スケール微物理モデルの開発、構築、国内外の研究機関との共同による航空機、レーダ等の総合的観測の結果を用いたデータセットの構築などにより解明する。

本研究計画（第1期10年計画）は、主に、

c-1) 亜熱帯前線帯の水循環の変動の実態とメソスケール雲システムの役割の研究

c-2) 雲解像メソスケール大気モデルによる降水のプロセス解明と予測法の研究

c-3) 雲スケール微物理モデルの構築とエアロゾルが雲過程（特に、放射過程）に及ぼす影響の研究

を行ない、さらに雲システムが大気環境に及ぼす効果をモデル化すると共に、

メソスケール対流雲システムによる降水、特に豪雨、豪雪の微格子量的モデル予測を発展させる。これらの課題の研究は、熱帯域の雲システムなどとの比較も行いながら、主に東シナ海、日本海などを含む東アジアの雲システムを対象として実施される。

大気水循環に関連する雲・降水過程を理解し、更にそれらの効果を正しく表現する降水予測モデルを発展させるために、雲解像モデルを中心とする様々な空間、時間分解能の数値モデルの構築とネスティングを行なうと共に、プロセス解明、モデル入力と検証のための良質の観測データセットを構築する。データセットの構築では、4次元データ同化の手法も積極的に開発、活用する。これらの研究は、大気水循環の重要な構成要素であるメソスケールの雲システムを主な対象として実施される。

(3) 他の研究計画との関係と協力

本研究計画は GAME に参加して進めるとともに、さらに、関連する国際共同研究プログラムである WCRP/全エネルギー・水サイクル実験 (GEWEX) 傘下の GHP, GRP, GCSS, GVap や, CLIVAR/GOALS, 北極気候システム研究 (ACSYS) や、IGBP 傘下の BAHC, GCTE/TEMA などとのインターフェイスとなる研究も進める。

3. 地球温暖化予測研究領域

(1) 目標

<研究の背景と意義>

産業の発展に伴い、石油をはじめとする化石燃料の消費が近年急激に増加している。これとともに二酸化炭素等の温室効果気体の大気中濃度が増加し、地球の平均気温が上昇する地球温暖化が懸念されている。地球温暖化によって海面水位の上昇、生態系の変化などが引き起こされ、食糧生産や港湾設備をはじめとする社会基盤に計り知れない影響が及ぶおそれがある。地球温暖化に伴う環境変化の科学的評価が、政策立案に必要不可欠になってきたのは、この為である。

<研究の目標>

地球温暖化の物理的及び化学的機構を理解し、その定量的予測を目標として研究を行う。この領域は、温暖化、炭素循環及び古気候の三グループから成っている。温暖化グループは、大気中の二酸化炭素濃度の増加の結果として起こる気候の変動を理解して、気候モデルを使って、その予測を試みる。炭素循環グループは、炭素循環の機構を研究し、大気中の二酸化炭素濃度変化の予測を試みる。古気候グループでは、古気候変動のシミュレーションを行い、その物理的及び化学的機構を解明する。過去に起こった大きな気候変動のシミュレーションを通じて、モデルをテストするのもこのグループの課題である。この領域の研究には、大気大循環モデル、海洋大循環モデル、及び大気・海洋結合モデル等が必要不可欠である。モデルによる数値実験の経験に基づいて、その長所、短所をつきとめ、モデルを改善するのも、この領域の重要な課題である。

(2) 研究課題と研究手法

a. 温暖化（温暖化に伴う気候変動の予測に関する研究）グループ

a-1. 高分解能気候モデルの開発に関する基礎研究

既存の気候モデルをベースとして、温暖化予測の精度・信頼度を向上させるために、高分解能の気候モデルの開発と物理過程の改良に関する各種感度実験を行う。

a-2. 温暖化が気候の自然変動に及ぼす影響に関する研究

色々な温室効果ガスの濃度を仮定し、普通の解像度（メッシュサイズ～300km）の大気海洋結合モデルの長期積分（1500～2000年）を行い、温暖化が、気候の **Interannual, Decadal** 及び **Multi Decadal Oscillations** に及ぼす影響を究明する。

a-3. 温暖化が熱帯低気圧・温帯低気圧等の大気擾乱に及ぼす影響に関する研究

温暖化に伴う大気の温度場及び循環場の変化が、熱帯低気圧、温帯低気圧梅雨前線等の大気擾乱の振る舞いや、局地的な降水分布等に及ぼす影響を、非常に高分解能（メッシュサイズ～100km以下）の大気大循環モデルを使って調べる。この実験では、2)で実施する普通の分解能の大気海洋結合モデルで得られた、温暖化時の海面水温分布を境界条件として使用する。とくに、地形や地表面状態等が局地気候変化に及ぼす影響について詳しく調べる。

b. 炭素循環グループ

大気中の二酸化炭素濃度の定量的予測という目標を達成するために、次の3つの研究課題を定める。

b-1. 人為的影響がない海洋循環と生物活動によって自然の二酸化炭素バランスが平衡している状態に、人為起源二酸化炭素が摂動的に加わった場合の海洋による吸収と海洋中の濃度分布を調べ、人為起源二酸化炭素の海洋による吸収量がどのように決まっているかを理解する。

b-2. 人為的影響がない海洋循環と生物活動によって自然の二酸化炭素バランスが平衡している状態に、海洋循環や生物活動を仮想的に変化させた場合にバランスがどのように変化するかを調べ、自然の二酸化炭素バランスがどのよ

うに決まっているかを理解する。

b-3. 地球温暖化や最終氷期の際などの海洋循環や生物活動が大きく変動した場合などの具体的な状況について調べ、物質循環への影響を評価する。

b-1については、人為起源二酸化炭素やフロンなどは生物活動の影響を考慮せずに計算できるため、海洋大循環モデルに受動的トレーサーとして組み込むことにより、調べることが出来る。また、b-2については、自然の二酸化炭素バランスは、海洋大循環モデルに簡単な生物過程を組み込んだ海洋炭素循環モデルを用いて、調べることが出来る。それらの課題のもとで、人為起源物質であるフロンや核実験起源の放射性同位体炭素、人為起源二酸化炭素のシミュレーションを行い、その計算結果と米国における大型海洋研究 (GEOSECS)・遷移トレーサによる海洋の研究 (TTO)・海洋大循環実験 (WOCE) などで得られた観測との比較を行う。そのことにより、モデルの有効性の検証を行う。尚、世界海洋フラックス研究 JGOFS のもとの OCMIP に参加し、OCMIP によって定められた境界条件のもとでの様々な計算は、b-1 および b-2 に含まれる。b-3 については、地球温暖化予測研究領域の他の2つのグループと協力して、大気海洋結合モデルを用い海洋循環がどのように変化するかを調べ、それから得られた流れ場を利用して、海洋炭素循環モデルに用いて調べることが出来る。

c. 古気候グループ

過去の気候変動について検討することは、将来の地球温暖化などの気候変動の予測や、気候システムのより一般的な振る舞いについて洞察を得る上で重要である。この研究課題では、大循環モデル(GCM: 大気海洋結合モデル、大気大循環モデルなど)を用いて、古気候及びその変動のシミュレーションを行い、その物理的及び化学的機構を解明する。過去に起こった大きな気候変動をシミュレートすることにより、同時に、温暖化研究に使うモデルの性能を評価する。この研究課題は以下のように3つの課題に分けられる。

c-1. 現在と大きく異なる過去の大気海洋状態を再現してモデルの気候感度を評価する。白亜紀 (約1億年前)、最終氷期 (約2万年前)、最適温暖期 (約

6千年前)及び現在、の気候のシミュレーションを行い、与えられた地球軌道要素や二酸化炭素量のもとで大気・海洋・氷床などの各サブシステムの状態はどのように維持されていたかを各時代をスナップショット的に調べる。大気大循環モデルを段階的に海洋混合層モデルや海洋大循環モデルと結合させて実験を行う。

c-2. 大気海洋変動に対して南極や北半球の大氷床がどのように応答するか調べ、氷床の維持および変動を理解する。過去から将来にかけての氷床の質量収支と流動を計算し、将来の海面変動への寄与を予測する。3次元氷床モデルや高分解能大気大循環モデルを用いた実験を行う。

c-3. 第四紀の大きな気候変動を説明する天文学理論の評価を行う。地球の太陽をめぐる軌道の変化が何故このような大きな氷床体積や気候の変動をもたらしたかを比較的簡単な大気・海洋・氷床・炭素循環結合モデルを使って調べる。

このようなシミュレーションを可能にするためには比較的簡便なGCMの開発、大気・海洋・氷床のモデルの結合の方法の開発、そして、複数の階層の実験を繰り返すことが必要である。大循環モデルの開発及び、基礎的プロセス研究は東大気候システム研究センター(CCSR)側で主に行い、これと緊密な連携をとってゆく。なお、WCRP/WGNEとIGBP/PAGESのもとのPMIPに現在参加しており、PMIPによって定められた境界条件のもとで行う様々な計算と古気候データや他機関のモデル結合との比較によるモデルの評価は第一の課題に含まれる。c-3はc-1およびc-2の課題の成果をふまえておこなうものであり、地球温暖化予測研究領域の他の2つのグループと協力して行う。

(3) 他の研究計画との関係と協力

この研究領域は、他の研究機関の研究グループと緊密に協力し、温暖化の機構解明及びその予測を行う。グループ別の協力関係は次の通りである。

a. 温暖化グループ

気象研究所、及び防災科学技術研究所と協力して高分解能を持つ気候モデルを開発し、温暖化に伴う局所的気候変化、異常気象等の予測を行う。

b. 炭素循環グループ

東京大学気候システム研究センターと協力して、温暖化に伴う海の変動、大気中の炭酸ガス濃度の予測を試みる。

c. 古気候グループ

東京大学気候システム研究センターと協力して、第四紀の大陸氷床の消長の機構を解明し、南極及びグリーンランド氷床の将来予測を試みる。

4. 大気組成変動予測研究領域（アジア・太平洋地域における大気組成変動予測研究）

（1）目標

<研究の背景と意義>

アジアにおける人口増加に伴う経済発展と食糧増産は、温室効果気体や大気汚染物質の放出を増加させ、地球環境および地域環境に大きな負荷を与えつつある。この傾向は今後 21 世紀に引き継がれることが予測され、アジアに起因する大気組成変動が、地球環境対策の重大な関心事になると同時に、この地域自身の持続的発展にとって極めて重要な問題となっている。本研究領域はこうした国際的社会的ニーズを背景として、モデル研究を高度化し観測データとの対比を通じて、アジア・太平洋域の大気組成変動メカニズムの解明とその予測精度の向上に資することを目標とする。

<研究の目標>

アジア・太平洋域（ユーラシア大陸中央部、北極域を含む）を中心として、気候変動や大気環境汚染に関わる大気微量成分の輸送、変質、沈着の物理的・化学的プロセスを明らかにし、この地域の化学天気図を描くと共に、気候変動フィードバックを含めて将来の大気組成変動を予測するモデルの構築を行い、高度な将来予測を行うことを目標とする。ここで化学天気図とは、様々な大気微量成分の地域的分布の日変動、季節変動、経年変動を地図上に表現するマップを意味するものである。この目標のため、本研究領域ではリージョナルスケール化学輸送モデル、全球三次元化学輸送モデル、大気大循環・化学結合モデルを始めとする大気化学モデルの構築、観測データセットの取得・解析、データベース構築を行うことによって、大気組成変動の基礎となるプロセスの解明を行う。

（2）研究課題と研究手法

1) 研究課題

a. 東アジア・西太平洋域における輸送・化学変質過程

a-1 対流圏オゾン

北東アジア・東南アジアを包括する東アジアにおける人間活動が、対流圏オゾンの収支に及ぼす影響を定量化することは、地表オゾンの増加による生態系影響、上部対流圏オゾンの増加による地球温暖化影響を評価する上で極めて重要である。これまでの研究から北東アジアについては、その地域規模でのオゾン濃度を支配する因子として、地域的な光化学生成と長距離輸送が最も重要なことが分かってきているが、オゾン収支の定量化に関しての研究はまだ著に着的なところである。この地域のオゾン収支を定量化し、その長期的なトレンドを予測するためにはオゾン前駆体及びオゾン自体の大気境界層-自由対流圏物質交換過程、長距離輸送に伴うオゾンの光化学的生成・消失過程の定量化が必要であり、そのための観測データの取得とそれに基づくモデル解析が必要である。一方、熱帯・低緯度帯の東南アジアにおけるオゾン収支については、中高緯度帯・北東アジアとは異なって、長距離輸送よりも対流圏内の鉛直混合過程が極めて重要であることが示唆されているが、オゾン前駆体物質濃度の測定やオゾン生成収率の定量的な解析はまだほとんど行われていない。この地域のオゾン収支を定量化するには、対流圏内鉛直混合過程の解明、乾季・雨季における前駆物質濃度の観測データの取得とそれに基づくモデル解析が必要である。

a-2 エアロゾル

東アジアにおける人間活動の影響はこの地域及び西太平洋域における人為起源エアロゾルの増加をもたらし、それによる負の放射強制力の評価がこの地域の地球温暖化／気候変動予測にとって極めて重要なファクターであることが分かってきた。また、この地域における硫酸・硝酸エアロゾルの生成は大気酸性化・酸性物質沈着による生態影響の観点からも重要である。北東アジアにおいては化石燃料中に含まれる硫黄分に起因する硫酸エアロゾルと、人為起源・自然起源炭化水素に起因する有機エアロゾル、ディーゼル自動車排気ガスや石炭燃焼に由来する煤・元素状炭素、さらに北東アジア沙漠地域に由来する粉塵ダストからなるエアロゾルの成分比率が季節的な特性を持ち、それによって放射影響が大きく異なることが知られている。したがって、この地域におけるエアロゾルの放射影響・環境影響の評価のためには、それらの物理的・化学的発生プロ

セスと大気境界層-自由対流圏拡散過程を含む長距離輸送に関するモデル化と検証のための観測データの取得が必要である。一方、熱帯・低緯度帯の東南アジアにおいては、経済活動の発展に伴う人為起源エアロゾル、熱帯林等の生物起源炭化水素に起因する有機エアロゾル、森林火災などの生物体燃焼に伴う元素状炭素がエアロゾルの主な成分と推定される。それらの比率はこの地域特有の特性を持つものと思われるが、この地域における観測データの取得は北部オーストラリアを含めて著についたばかりである。今後特に、乾季におけるエアロゾルおよびその前駆体物質の観測データの取得と、エアロゾル生成・輸送のモデル化、対流圏内鉛直混合過程のモデル解析が必要である。

b. 大陸間長距離輸送メカニズム

これまでの研究からオゾン、エアロゾルおよびその前駆体物質など数日から2週間程度の大气寿命を持つ大气成分の全球分布は、大陸規模での分布特性を持つことが明らかとなっている。しかるに一酸化炭素や冬季における対流圏オゾンなど数週間程度の大气寿命を持つ大气成分ではその全球分布や長期変動を解析するためには、例えばヨーロッパ大陸からアジア大陸へ、アジア大陸から北米大陸へ、北米大陸からヨーロッパ大陸へといった大陸間長距離輸送過程を理解することが必要となる。このような物質輸送過程は南半球においても、アフリカ・オセアニア間、オセアニア・南米大陸間、南米大陸・アフリカ大陸間の大陸間長距離輸送が考えられる。しかるにこれまで、大陸間長距離輸送に関してはまだほとんど研究が進んでいない。本研究においては、大陸間長距離輸送過程のうちで、特に東アジアにおける大气組成変動の解析にあたって最も重要な、ヨーロッパから東アジアへのトランス・ユーラシア長距離輸送に重点を置き研究を進める。ヨーロッパはこれまでのところ面積当たりの人間活動の最も盛んな地域であり、地球規模での大气組成変化に対する人為的な寄与が最も大きいものと思われる。一方北東アジア、東南アジアは今後21世紀半ばにかけて、人口の増加と経済活動の活発化によって最も顕著な大气組成変動が予測される地域であり、それによる地球環境への影響が注目されている。東アジアにおける大气組成変動の解析にあたっては、その風上側であるヨーロッパからのアウトフローの影響を評価・解析することが極めて重要である。そこで本研究では全球モデルによるヨーロッパ・アウトフローのトランス・ユーラシア

長距離輸送、北極域への輸送の解析を行い、その東アジアへの影響評価を行うと共に、中央アジアにおける今後の大気組成成分観測へのガイドラインを提供する。

c. 温室効果気体等の変動と循環

地球温暖化／気候変動予測にあたってはその前提として、人間活動によって大気中に放出された温室効果気体等が、大気中にどれだけ蓄積されるかを正確に予測することが非常に重要である。地球大気中の温室効果気体の変動は、一般に陸上及び海洋の生物圏が放出源・吸収源として重要な働きをしているのが大きな特徴である。従って大気中の時間的・空間的変動過程を明らかにし、人間活動による温室効果気体の濃度変動予測を行うためには、生物圏を含む放出源・吸収源の強度の変動とその要因を明らかにすることが必要である。この目的のため最近では、二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素、一酸化炭素などの炭素・酸素・窒素の同位体組成の測定が数多くなされている。一般に、異なったリザーバー間での気体交換過程では同位体分別が起こることが知られており、同位体組成の時間的・空間的変動を観測することによって、種々の放出源、吸収源の定量的な寄与が明らかにされることが期待される。本研究では、地上観測基地、航空機、船舶などを利用して広域にわたって観測された温室効果気体等の同位体組成の時間的・空間的変動に関する観測データを収集し、全球三次元モデルなどを用いて解析することにより、それらの地球規模での変動と循環のメカニズムを明らかにする。

2) 研究手法

a. 全球三次元化学輸送モデル

大気大循環モデル(GCM)から得られる気流場、または実測に基づく気流場を用いた全球三次元大気輸送モデルに、大気化学反応モデルおよび大気組成変動物質の自然・人為発生源モデルを組み込みんだ全球三次元化学輸送モデルを作成する。さらに将来的には、これらのモデルで予測される放射活性物質の濃度変動を GCM の放射モデルと直結し、大気組成変動による放射場の変動を通じた

全球気流場へフィードバックを解析し、化学-気候相互作用の解析の可能なモデルを構築する。これらのモデルを用いて、本研究での個別の研究課題に取り組む。

b. リージョナルスケール三次元化学輸送モデル

東アジア・西太平洋地域を中心とするリージョナルスケールでの三次元化学輸送モデルを作成する。リージョナルスケールでのモデルでは、大気境界層-自由対流圏拡散過程、雨季・乾季における大気鉛直混合過程、降水過程などを、全球モデルに比べてよりきめ細かく取り入れたモデルを構築する。このモデルを用いて特に、東アジア・西太平洋域における反応性大気微量成分の化学輸送・変質過程の解析を詳しく行う。

c. 観測データセット整備およびデータ解析

大気組成変動予測にあたっては、ルーチンの観測データの利用は限られているので、研究レベルでの地上観測基地、航空機、船舶などを用いた集中観測データの取得、本研究課題の遂行に必要な大気化学観測データの集積、アルカイブを行う。また、モデルの入力として不可欠な、大気組成変動成分およびその前駆体物質の発生源インベントリーのデータベースの整備、およびインベントリーの構築の一部を行う。さらに、モデル研究と相補的に観測データの解析を進め、本研究課題の下での大気化学プロセスの解明をめざす。

(2) 他の研究計画との関係と協力

本研究領域の研究課題と最も関連の深い国際研究プロジェクトは地球圏-生物圏国際協同研究計画(IGBP/ICSU)のコアプロジェクトである国際地球大気化学協同研究(IGAC)である。IGACの下では多くのActivityレベルの国際協同研究がなされているが、その中でも特に「東アジア/北太平洋地域研究(APARE)」、「地球統合化モデル研究(GIM)」は本研究課題と最も密接に関連しており今後緊密な協力を行う予定である。さらに現在IGACの新しいActivityとして提案されている「大陸間輸送と化学変換(ITCT)」、「全球対流圏オゾンプロジェクト

(GTOP)」も本研究と非常に関連が深く、今後の協力を行う予定である。国内プロジェクトとしては、現在戦略的基礎研究(CREST)の下で進行中の「東アジアにおける酸性物質およびオゾンの生成・沈着に関する観測とその環境影響」は本研究の課題 a. のテーマの下でのモデル研究に必要な観測データを提供できる可能性が高く、両者の密接な協力が求められる。

5. 生態系変動予測研究領域（アジア・太平洋地域における生態系変動予測）

（1） 目標

＜研究の背景と意義＞

我々人類を取り巻く気候システムは、地球表層の水循環に伴う熱・エネルギーの循環と炭素をはじめとする物質の循環によって支配されている。生物は水循環と炭素循環の双方に関与するために、気候システムを理解するためには水と炭素の循環に関する物理的的局面に加えて生物・化学的な局面の理解が不可欠である。

陸域・海洋の生態系は、地球の炭素循環・水循環に重要な役割を果たしているため、大気組成や気候システムといった物理的環境の変化は、陸域生態系に直接・間接の影響を及ぼすだけでなく、生態系の変容が地球の物理的な気候システムにフィードバックすることにもなる。したがって、陸域・海洋の生態系の変化を予測することは、われわれ人類が急速な気候変化に対処し、対策を立てていくうえで重要な課題である。特に陸域生態系はわれわれ人類が生活し、生産活動を営む場であり、地球環境の変化により今後陸域生態系がどのように変化していくかは、それ自体われわれの大きな関心事でもある。

＜研究の目標＞

地球規模での気候・環境変動に係わる生態系の構造と機能の解明およびそのモデル化を目標とする。特に、気候・環境の変動が生態系にどのような影響を及ぼすか、また、生態系の変化が気候・環境にどのような影響を及ぼすか、を明らかにする。具体的には、アジア・太平洋地域を対象として、陸域においては幅広い気候帯での生物種の分布や生物現存量、一次生産量など生態系の基本的なパラメータの現状を把握し、さらに、生態系の動態機構、また、生態系—大気系における物質の循環機構や要素間相互作用等の機構を解明し、そのモデル化を行う。また、海洋においては海洋の物質循環に大きな役割を果たしている海洋表層の生物群集の構造と機能の数年から数十年スケールでの変動と海洋表層の物理的環境場の変動を、既存の海洋データ及び衛星データの複合的な解析からモデル化する。

（2） 研究課題と研究手法

a. 生態系－大気系の相互作用に関する研究

陸域生態系の動態と環境変化に対する生態系応答を予測するために、最終的には下記の2つのサブ課題を統合して、地球規模の生態系－大気系結合モデルの構築を目指す。陸域生態系は温度勾配や、乾湿度勾配に沿って、特有な生理・生態・形態構造を持って分布している。これらの生態系は地域の大気の影響を受けながら時々刻々と光合成、呼吸、成長などの生命活動を行うと同時に、蒸散活動で大量の水と潜熱とを大気に輸送している。本研究では、二酸化炭素、水、熱収支を基本として、高分解能で生物情報を最大限に取り入れた陸域生態系動態モデルを開発する。

a-1. 地球規模の陸域物質循環生態系モデルの研究

陸域生態系は大気との間で活発に物質やエネルギーの交換を行っているが、その中でも中心の炭素に重点を置いた高解像度の生態系モデルを作り、陸域生態系がそれぞれの地域の気候に応答しながら炭素をどのくらい貯留しているかを評価する。次に、衛星リモートセンシングで得られたNDVIの時系列データ、Fluxnetで実測されたCO₂フラックスデータ、大気中の炭素13などの同位体データを用いて、モデルの予測精度の検証を行う。さらには、衛星から得られる地球規模の森林火災データを生態系モデルに入力して、森林火災が地球規模の炭素循環にどのような影響を及ぼしているかを評価する。

a-2. 三次元大気輸送モデルを中心とした大気－陸域相互モデルの研究

大気は特有の三次元構造を持って時々刻々大規模な運動を行っているが、大気に含まれる各種成分は陸域及び海洋との交換過程でもたらされたものである。そこで大気二酸化炭素に焦点を当てて、日変化、季節変化など短時間に交換速度が大きく変化する陸域生態系の特性を生かして、地域別・季節別の炭素の吸収(sink)と放出(source)の強度の分布を三次元輸送モデルに基づいて評価する。

b. 生態系アーキテクチャの動態に関する研究

気候・環境の変動等に伴う生態系の変化と、フィードバックを明かにする目的で、陸域生態系の100年スケールでの長期変化を予測する地球植生動態モ

デル (DGVM : Dynamic Global Vegetation Model) の構築を目指す。生態系アーキテクチャ (3次元構造) は植物の生長により形成される一方で、生物過程を制御している。本研究では、生態系アーキテクチャの形成・制御機能モデルから、空間スケールにそってスケールアップするアプローチにより広域植生動態モデルを構築する。本研究課題では異なる空間スケールを結び付けるため、以下の2つのサブ課題にそって研究を進める。

b-1. 葉群モジュールモデル

陸域生態系の有機物生産の主役は、植物の葉群アーキテクチャである。有機物生産の環境変化に対する応答を記述するためには、葉群アーキテクチャの動態をモデル化する作業が必要である。このアーキテクチャを構成するユニットはシュート (葉をつけた枝) である。個々のシュートの生理過程は、アーキテクチャが規定する環境資源によって律速される。このシュートと環境間のフィードバック制御は、陸域生態系が安定的に維持される主因となっている。本研究では、植物を、シュートを単位モジュールとした繰り返し構造としてとらえ、シュート集団動態の機能モデルを提案し、植物の葉や枝レベルでの生理過程の環境応答が、個体レベルに積算されて発現するプロセスをシミュレートする (モジュールモデル)。これによって、従来の植物個体ベースの遷移モデルによる生態系変化シミュレーションに必要な、個体レベルでの環境応答のパラメータ化が可能になる。

b-2. 森林動態モデル

森林生態系は、陸域における巨大な炭素ストックであり、現在、大気二酸化炭素の吸収速度を増加しつつあると予測されている。ここでは、東アジア各地の緯度傾度に沿って設定されている森林調査区における樹木の継続センサデータを利用し、b-1 によるモジュールモデルに基づいて、各森林タイプごとの炭素収支とその変化を予測する林分 (数ヘクタール) スケールの個体ベースおよび頻度分布ベースのシミュレータを提案する。さらに、この林分シミュレータを基礎に、地球上の環境傾度とその変化を組み込んだ、東アジアの熱帯から亜寒帯にいたる緯度傾度にそった森林帯動態の地理分布動態モデルを完成させる。温暖化に伴い、森林帯境界の移動はきわめて長いタイムラグを持つことが簡単なモデルによって示唆されているが、このモデルによって、タイムラグを

定量的に予測することができる。この地理分布動態モデルと、c グループによる東アジアの陸域生態系パラメータのモデル化とを結合させることによって、具体的な DGVM が提出される。

c. 生態系地理分布の動態に関する研究

植生、土壌等の生態系パラメータの空間分布およびその変動を評価すると共に、これらの空間分布変動と気温、降雨量など他の環境要因との関連を解析する。本研究では、衛星からのリモートセンシング等により東アジアの地表面被覆状況を観測することが大きな課題となる。衛星観測データを基に、植生分布、地表面温度分布、植物現存量などの生態系パラメータの空間分布を評価し、上記の2研究課題の基盤データを作成する。さらに、これらパラメータの変動が気温、降雨量などの地域的な環境要因にどのような影響を及ぼしているか、その機構を明らかにする。

本研究課題では以下の2つのサブ課題を中心に研究を進める。

c-1. 衛星観測による広域植生分布の変動評価に関する研究

植生、土壌の分布は陸域生態系に関するパラメータの中で最も基本的なものの一つであり、生態系の変動予測モデルを構築する上で基盤的なデータとなる。地域レベルから全球レベルまで広域の地表面被覆分布の観測には衛星からのリモートセンシングの活用が不可欠であり、本サブ課題では、衛星からのデータを基に、地域から地球まで様々なレベルでの土地被覆分布の時系列データセットを作成する。また、これらの衛星データを基に、植物現存量、純一次生産量などの変動を調べる。地域レベルでは、数メートルの分解能を有する高空間分解能データセットを構築し、大陸、全球レベルでは 1km 程度の分解能を有する NOAA/AVHRR、EOS/MODIS、ADEOS-II/GLI などの広域高頻度観測データセットを利用する。さらに、これら観測範囲、分解能の異なるセンサからのデータを利用して、地域レベルの狭い範囲の情報を大陸、地球レベルまでの広域に拡張するスケールアップモデルを開発する。

c-2. 土地被覆変化が環境に与える影響の解析に関する研究

土地被覆の変動が気温、降水量、二酸化炭素収支等の地域環境パラメータにどのような影響を与えるか、その機構を、実測データに基づいた解析と GCM に

よる予測の両面から解明する。実測データに基づく方法では、土地被覆変化の激しい地域において変化した地域と変化していない地域での環境パラメータを比較し、その関係性を評価する。GCMによる方法では、土地被覆の変化に基づいてGCMを駆動し、気温、二酸化炭素濃度等を予測、実測値との比較を行う。

d. 海洋生物過程変動に関する研究

海洋生態系の中で、特に海洋の物質循環過程に大きな役割を果たしている海洋表層の生物群集（植物プランクトンー動物プランクトンー多様性魚類）の構造と機能の変動モデルを構築することを目指す。数年から数十年スケールでの海洋生態系の変動と、海洋表層の物理的な環境の変動の関連を過去の歴史的なデータの解析と、現在実施中の各種国際プロジェクトで得られた時系列データ及び各種人工衛星データの解析から明らかにする。

本研究課題では以下の2つのサブ課題を中心に研究を進める。

d-1. 海洋生物過程の長期変動に関する研究

陸上における生態系地理分布に対応して、海洋でも生態系の異なりによって海域を区分することが出来る。海洋の近表層に浮遊する植物プランクトンを出発点とする海洋生態系の地理的分布は、物理的な海水の流動の影響を強く受けるので、海域区分は従来、主として水温・塩分などの物理パラメータで認識されてきた。しかし、様々なスケールでの物質循環モデルを駆動させる場合、物理環境だけでは不十分で、そこに生息する生物群集の構造と機能がモデル内でのパラメータを決定しなければならない。また、プランクトンを基本とする海洋の生態系は陸上の生態系に比べはるかに短い時間変動をもっており、その時間スケールは短いものでは日周変化から長いものでは氷期・間氷期変動まで確認されている。このような特徴を持った海洋生態系の変動をモデルで駆動させ、またアウトプットを検証する場合には、モデルのスケールに対応するデータベースが必要となる。さらに、モデル化に関しては、必要とされる時間的・空間的な解像度で、生態系の構造と機能の実像を損ねることなく単純化する必要があるが、その枠組みを決めていく上でも過去に取得されたデータの収集、整理、解析が不可欠である。

そこで本サブ課題では、栄養塩、透明度、クロロフィル現存量、基礎生産、動物プランクトン現存量、漁獲データなどの海洋表層生物群集に関する、各研

究機関に散在する既存のデータを収集することから始め、フォーマティング、グリッド化などの作業を経て、様々なスケールでの物質循環モデルを駆動する初期値を与え、かつモデルアウトプットの検証にも用いることを可能にする。更に、加工したデータの解析から、空間スケールに関してはモデルの駆動を想定した有効なスケール（海域区分）の抽出、時間スケールに関しては、空間スケールに対応させた形で季節変動およびより長期の変動を抽出する。最終的には、これらの時空間変動をもたらすフォーシングをモデルの駆動と並行して解析するとともに、生態系変動が物質循環変動や気候変動に及ぼすフォーシングを解析する。

d-2. 衛星データを用いた海洋生物過程変動に関する研究

海洋は空間的に広大である上に、船舶を利用する必要があるために、広範囲で頻繁なデータを収集することが困難であった。しかし最近20年間で、人工衛星を用いることによって、海洋に関してもさまざまなパラメータを観測することが可能になってきている。特に海色衛星データは、現在海洋生物に関する唯一の衛星データであるが、基礎生産という食物網と物質循環の中で基本的な役割を果たしている植物プランクトンの活動に関する情報を得ることが可能である。従って海色衛星データを、他の衛星や船舶等のデータ、さらに生態系モデルと組み合わせることによって、生態系や物質循環に関する様々の情報を時空間的に展開することが可能になる。

海色衛星データは1978年から1986年に実験的にとられたCZCSのデータの後、途切れていたが、1996年8月にADEOSに搭載されたOCTSが8ヶ月稼動し、その停止後もアメリカのSeaWiFSによってすでに3年間分のデータが蓄積されている。さらに今後もADEOS-IIにGLIが搭載されるなど、少なくとも10年以上のスケールでデータの継続性が保証されている。しかし、一方でこれらの複数のセンサー間でのデータの互換性はまだ十分検討されておらず、海洋生態系変動を把握するためには、今後現場データを含めて検討していく必要がある。そこで本サブ課題では、複数の海色衛星データ間でのデータの互換性を確保しながら、基礎生産などの物質循環に密接に関係する生態系の機能に関する情報の時空間的変動を抽出し、他の衛星データなどを利用してそのメカニズムを解析する。さらに最終的には生態系モデルへデータ同化を行うことによって、海洋生態系変動の機構の解明と、その物質循環の中での役割の評価を行う。

(3) 他の研究計画との関係と協力

本研究領域は、IGBP (GCTE、GAIM、LUCC、JGOFS、LOICZ、GLOBEC) および GTOS、GOOS 等の国際プロジェクトと密接な関係を有する。既に、上記の研究課題 (a—d) は、IGBP のプロジェクトと連携関係にあり、例えば、a は IGBP/GAIM、b は IGBP/GCTE、c は IGBP/LUCC、d は IGBP/JGOFS、IGBP/GLOBEC とすでに連携関係にある。今後、さらに GTOS、GOOS とも協力を進める予定である。また、本研究では衛星データを有効に活用する必要があることから、CEOS-IGOS との協力も今後検討する必要がある。さらに、生態系による温暖化ガスの吸収・放出の評価に関しては、現在計画されている国際的な Flux Network 等との協力を行う予定である。

(4) 年次計画 (別ファイルを参照)

6. モデル統合化領域

(1) 目標

他の領域での個別過程についての研究成果を活用し、大気・海洋・陸地面を結合した気候モデルをつくる。2001年に完成予定の地球シミュレータ（実効数 T / FLOPS）を念頭に置き、その時代の最も進んだ気候モデル（水平解像度 10Km 程度）を作る。

(2) 研究課題と研究手法

水平解像度 10km オーダーに相応しい力学フレームの検討をはじめ、放射、雲、陸面水文過程など個別過程についての詳しい知識を基に、全地球モデルに組み込むのに適した新しいスキームを開発し、既存のモデルに組み込んで、その効果を調べる研究（感度実験）や既存のモデルを用いた全地球にかかわる個別現象（例えば熱帯大気季節内振動、南極周辺海洋の沈み込み等）の機構の数値実験による分析などを行う。

(3) 他の研究計画との関係と協力

次世代モデル開発に関しては、並列計算のための計算技術の開発は地球シミュレータ開発グループによってなされ、当領域はモデルの物理的側面を担当する。

7. 国際太平洋研究センター（IPRC—日本側コア部分）における研究計画

IPRC における研究は、別途 IPRC 全体のサイエンスプランが策定され、この中で他の研究と連携を図りつつ、地球フロンティア研究を進めていくことになるので、以下の計画は IPRC の進捗により適宜変更を受ける場合がある。

（1）目標

国際太平洋研究センターはアジア・太平洋域に現れる地球規模の環境変動のシグナルについて理解を深め、その予測のための科学に貢献すべく日米両国が協力して設置するものである。

ここでは、全体として

- 1) アジア・太平洋の気候変動予測研究、
- 2) 水循環予測研究、
- 3) 地球規模の温暖化現象と地域気候変動との関係

の研究をデータ解析とモデル実験を中心に推進する。日本側は当面は2)、3)を考慮しつつも 1)の研究に力点を置く予定である。

（2）研究課題及び研究手法

<研究課題>

a. アジア・モンスーンと ENSO を結ぶ大気・海洋過程の研究

モンスーンと ENSO を関連させる大気・海洋過程、なかでも熱帯対流圏加熱域の季節内スケールから10年スケールでの東西移動とアジア・モンスーンの関係、熱帯の海水温と海洋の子午面循環及び大気のハドレー循環の関係、海洋の低、中緯度循環の相互作用が熱輸送及び淡水輸送に果たす役割などについて明らかにする。

b. 北太平洋気候システムの長期変動をもたらす大気・海洋過程の解明

北太平洋気候システムの10年—数10年スケールの変動を明らかにし、その機構の解明と予報可能性の研究を行う。熱帯域の短期気候変動の長期変動との関係を明らかにすると共に、これと独立な黒潮続流／亜寒帯フロントの変動と

大気のスームトラックの変動の相互作用の仮説を検証するために、黒潮及び続流の流量、熱流量の変動機構、北部北太平洋における熱および淡水海面フラックスの変動過程、海洋および大気鉛直および水平乱流混合と表、中層水塊や気団の形成と変質過程などを集中的に研究する。加えて中層水塊の形成が炭素循環に果たす役割についても明らかにする。

c. アジアやインドの縁辺海、多島海がアジア・太平洋気候システムに及ぼす役割の解明

人口稠密なアジアでは特に沿岸域にその活動が集中しており、地域的な気候変動予測には社会の強い要請がある。さらに各海域はそれ自体としても特有の大気・海洋・陸面相互作用を生み、集中観測等による大気海洋データの解析と高解像の領域モデルを用いた実験研究の活性化は水循環過程を含む気候モデル全体の物理過程の改良を促すことにもなる。活発な潮汐混合が表層水温に及ぼす役割、親潮、黒潮、ミンダナオ海流、吉田／ウィルトウキ・ジェットなど外洋の海流変動と縁辺海内の変動の関係、インドネシア通過流が太平洋、インド洋間の熱、淡水輸送に果たす役割なども明らかにする。大気・海洋データと高解像領域モデルの統合システムを構築して、水資源管理や海況変動予測へも貢献する。

<研究手法>

a. 海洋変動研究グループ

北太平洋10年規模気候変動では海洋における変動が重要な役割を持っているものと考えられている。その熱帯域短期気候変動の長期変動との関係を明らかにすると共にこれと独立な黒潮続流／亜寒帯フロントの変動と大気のスームトラックの変動の相互作用の仮説を検証するために、黒潮及び続流の流量、熱流量の変動機構、北部北太平洋における熱および淡水海面フラックスの変動過程、海洋の鉛直および水平乱流混合と表・中層水塊や気団の形成と変質過程などを集中的に研究する。

a-1. 海洋力学過程サブグループ

大気海洋結合系では、熱及び淡水（塩分）は海表面において交換される。したがって、海表面水温・塩分がいかんにして決まるか、そのメカニズムはいかなる

ものか、など素過程を解明することが重要である。これは、表・中層水塊および成層構造形成と、気団の形成に関わる課題でもある。ここでは、比較的単純な海洋モデルや混合層モデルと、海域実験によるデータを主に用いて海洋表・中層過程の理解を進める。手法としては赤道域、黒潮続流域における表面ブイ（トライトンブイ）、音響トモグラフィー、船舶観測、流速計測、衛星等の観測データを用いて海洋表層循環の3次元過程を明らかにすることにより、水温・塩分構造形成のメカニズムの解明を目指す。特に混合層過程、鉛直混合過程、中規模渦による水平混合過程等に関する理解を進めるとともに、パラメトリゼーションの高度化を行うことにより、現実的な海洋モデル、気候モデルの改良に資する。

a-2. 海洋モデルサブグループ

このサブグループでは高解像度の太平洋領域ネスティングモデルを開発する。具体的には北太平洋全域を1/4度程度で解像度する“粗いモデル”をベースとして、黒潮続流域や北赤道海流の分岐、縁辺海など特徴的な海域において1/20度から1/28度程度と非常に解像度を高くした“細かいモデル”を併用したネスティングモデルを開発する。これにより北太平洋における子午面循環およびそれに伴う熱塩輸送機構、特に黒潮、黒潮続流の流量および熱流量の変動機構、水塊の形成・変質過程とその広域的な影響、亜熱帯・亜寒帯循環間、熱帯・亜熱帯循環間、縁辺海と太平洋の間における水塊輸送・変質過程、について理解を進める。同時にアジアの縁辺海、多島海がアジア・太平洋気候システムに及ぼす役割の解明を進める。

a-3. モデルーデータ統合（再解析）サブグループ

a-1, a-2 のサブグループでは物理プロセス志向の研究を行うが、このグループではモデルを観測データによって拘束すること（データ同化）により両者を統合し、より現実的なシミュレーションを行う。具体的な手法としては、衛星による高度計データおよび散乱計データ(風)、大気データ、研究船およびボランティア船によって取られた水温・塩分データ、音響トモグラフィー、表面ブイデータを用いてデータ同化を行い、過去の海洋現象を再現するとともに、実験的海洋変動予測を行う。また、統合されたデータを解析することにより、北太平洋の南北熱塩輸送量および鉛直輸送・拡散量、海表面における水塊形成の定

量的な評価を目指す。

b. 大気海洋システム研究グループ

80年代からエルニーニョに代表されるような数年スケールの気候変動が盛んに研究されてきた。この時間スケールにおいては熱帯、特に太平洋赤道域が中心的な役割をなし、その影響が大気のテレコネクションによって世界各地に広がるというシナリオが確立された。しかし、十年、数10年スケールの変動については、それを引き起こす原動力はまだ分かっていない。現在、ENSOの長期変動、大気・海洋の子午面循環（熱帯・亜熱帯循環）の相互作用、これと独立な黒潮続流／亜寒帯フロントの変動と大気のス tormトラックの変動との相互作用等様々な仮説が提案されているが、それらの検討、検証がなされる必要がある。中高緯度の大気海洋システムは強い非線形性を持っており、そのようなシステムの特性を探り出すには大気海洋界面境界過程などの適切な物理過程を解像する大気海洋結合大循環モデルが必須である。このような新しいモデルを用いて長期積分を含めた様々な実験を行い、結合システムの振る舞いを把握する。また、太平洋と大西洋における十年規模気候変動の相違を明らかにすることにより、グローバルな観点から大気海洋結合のメカニズム解明を目指す。さらに、このような実験を基に、現象の本質をとらえる比較的簡単なモデルも作成し、現象への理解を深めて新たなGCM実験の指針とする。

c. 水循環研究グループ

大気・海洋データと高解像領域モデルの統合システムを構築し、水資源管理や海況変動予測に貢献する。このグループの研究の詳細は米国側の研究グループと緊密な討議に基づいて決定する。

(3) 他の研究計画との連携

本研究計画の課題 a, b はその内容に於いて WCRP/CLIVAR のサブ・プログラムである CLIVAR-GOALS と CLIVAR-DecCen にそれぞれ直接的に貢献するものである。水循環に関連する部分は同じく WCRP の傘下の全世界エネルギー・水サイクル実験(GEWEX)のサブ・プログラムであるアジアモンスーン・水循環観測計画 (GAME) に貢献する。縁辺海の研究計画は東アジア縁辺海循環研究

計画（CREAMS）、北東アジア地域海洋観測システム（NEAR-GOOS）、南シナ海モンスーン実験計画（SCSMEX）など関係している。また全体として全地球海洋観測システム（GOOS）や全地球気候観測システム（GCOS）の構築にも貢献することが期待される。

8. 北極圏研究センター（IARC－日本側コア部分）における研究計画

IARC における研究は、別途 IARC 全体のサイエンスプランが策定され、この中で他の研究と連携を図りつつ、地球フロンティア研究を進めていくことになるので、以下の計画は IARC の進捗により変更を受けるものである。

（1）目標

＜研究の背景と意義＞

北極の気候システムは、季節周期から 10 年あるいはそれ以上の周期まで様々な時間スケールを持って変動しており、その大きさは全地球規模の気候変動をしのいでいる。また地球の温暖化が進んでいると考えられているが、これを予測するモデルにおいても北極域の温暖化は顕著である。雪氷があるという北極域の特徴は、明らかに地球変動において重要な役割を担っており、その変動は地球変動へフィードバックすることが考えられる。それゆえに北極域の気候システムを理解・解明することは地球変動予測のために不可欠である。一方、生態系は気候変動に対応して変化・順応していき、ひいては人間活動にも影響をあたえる。生態系の変化は、炭素循環の例に見られるように、気候にフィードバックを与える。

＜研究の目標＞

全球気候変動における北極域の役割を明らかにすると同時に、温暖化などの地球変動が起こる過程で北極域に顕著にあらわれる影響を予測する。また全球気候変動へのフィードバックの可能性を明らかにする。この大目標をなし遂げるためには、海洋・海氷・大気という結合システムの物理化学的挙動を理解することが必須である。また海洋および陸域生態系の気候変動に対する応答、さらには生態系が気候変動に影響を与える可能性までも予測することを目標にする。多様な国際的北極研究への貢献を果たしていくと同時に、共同研究を通じて IARC の研究を充実させていく。北極研究に携わる若手研究者を育成することも主な目標のひとつである。

（2）研究課題と研究手法

a. 海洋・海氷・大気結合システム

北極の気候システムは様々な時間スケールを持って変動しているおり、いずれの場合も海洋と海氷、あるいはそれに大気も含めた結合系として現象を理解・解明する必要がある。特に雪氷は極域に特徴的であり、その挙動の解明は全球気候変動を予測するのに不可欠である。例えば海氷と積雪は太陽放射を反射するので、正のアルベドフィードバックを気候変動にもたらす。それと同時に海氷は海表面を覆い、大気海洋間の熱輸送をさまたげる。特に北極周辺で形成される深層水は全海洋の大部分をしめており、北極域の気候変動に非常に敏感であることがわかっている。

a-1. 海洋・海氷システム

海洋の冷却に伴い対流が起こるが、結氷が進む場合はブラインが排出され、高緯度海域の特徴を示す高密度水が形成される。大陸棚上で結氷が起こると、陸棚斜面に沿って高密度水が沈降するであろう。この高密度水を源とする北極海中層水の持つ強い成層は深層からの熱輸送を遮断し、北極海をおおう広大な海氷を保持する。グリーンランド海で形成される深層水は、大気による冷却によって形成されるが、一方北極海から流出する海氷を含む低塩分水によって、その形成を妨げられる。近年の観測によれば、深層水形成量は減少している。もう一点驚くべき変動として、北大西洋水の北極海中層への流入増加があげられる。中層水の昇温は海氷融解と表層水の低塩化につながり、北極海と大西洋の密度差を増し海水交換を促すので、正のフィードバックを通じてさらなる北極の温暖化を招く可能性がある。

これまでの努力によって海氷・海洋結合系のモデルが構築されてきたが、さらに信頼できる予測を行うためにはいくつかの鍵となる物理過程をパラメータ化しなければならない。高密度水形成とその拡散、海氷力学熱力学が特に重要な過程であり、これらを集中して研究することによって初期の成果をあげていく。パラメータ化の成果を海氷・海洋結合モデルにとり入れ、信頼できる北極海モデル構築に貢献していく。

a-2. 大気・放射平衡

大気を通しての熱輸送には雲が重要な役割を果たしている。北極域の低層雲は長波放射を妨げるが、その形成には海洋からの水蒸気輸送が必要である。水蒸

気は海洋と亜極域から輸送されるので、鉛直・水平輸送過程を明らかにする必要がある。夏期には太陽放射によって海水は融解し、表面にはメルト・ポンドが広がる。また陸域の積雪は消滅し、永久凍土の表面も融解する。このように積雪と海水は大気・雲とも相互作用をし、放射過程を支配している。

さまざまな時間スケールを持つ気候変動を記述するために、日々の気象観測、海洋観測船による観測、衛星リモートセンシングなど、多様なデータを収集・解析していく必要がある。放射モデルの検証と同時に、大気力学モデルおよび海水モデルとの結合モデルを構築し、データとの比較を行っていく。

a - 3. 大気海洋結合システム

北極大気は亜寒帯大気と混合することによって、熱と水蒸気を取り込む。この輸送を促進するのは大気循環（ジェットストリーム）の蛇行である。熱源と陸地形の経度方向の変化によって蛇行がつけられることは知られている。バレンツ海などの高緯度海域では海水分布が大きく変動し、熱源分布・強度は経年変動する。また大気循環の変動によって海水が変動するというフィードバックも存在する。しかしながら大気循環と海水分布の相互作用を解明するには至っていない。

このように複雑な北極域気候システムを解明するには、データの収集と解析によって現象を記述し、理論モデルによる解釈と数値モデルによる予測を行う。大気モデルと海水・海洋結合モデルの検証を行った後に大気・海洋結合系のモデルを構築する。また新しい手法であるデータ同化を用いて、客観的にモデルの妥当性を検証することも必要である。氷床と海底コアの解析結果を集積し、過去10万年の気候変動を記述することを試みる。この情報は大気・海洋モデルを検証するのにも有効である。

b. 生物化学過程と生態系

生物化学過程は物理過程によって規定されるのみではなく、炭素循環の例にも見られるように、気候変動に能動的な作用を及ぼす。高緯度域に特に重要となる過程は海水に付着する植物プランクトンの作用である。その成長は効率的に海洋中の二酸化炭素を除去し、大気境界層中の硫黄化合物の分布も左右する。このようにして、生物化学過程は炭素循環、エアロゾル形成など、気候変動にかかわる大気微量要素の挙動を規定している可能性が高い。一方温暖化とオゾ

ン減少の結果として北極域成層圏は低温化している。このふたつの現象の間に正のフィードバックが働くことが予想される。

北極陸域は氷河、永久凍土、寒冷域森林に覆われており、その分布は気候変動に伴って変動する。温暖化によって永久凍土が融けてくると生態系への影響、大気との熱バランスと水循環の変化など自然現象ばかりでなく、社会経済活動にまで深刻な影響が現われる。森林火災は生態系の変化をうながし、また大気微量成分にも影響を与える。

生物化学過程の解明には現場観測が欠かせないが、苛酷な自然条件のもとでは衛星リモートセンシングがますます重要な手段となっている。現段階ではこの分野の研究は大気海洋システムに影響を及ぼす現象に焦点をあて、それを大気海洋モデルに組み込む研究を行っていく。

(3) 他の研究計画との連携

現在進行中の大気放射測定プログラム (ARM) と北極海の表面熱収支研究計画 (SHEBA) において行われている大気中放射バランス、海水熱力学の研究成果およびそこで収集されるデータは、IARC における研究に有力な手掛かりを与えるであろう。GEWEX では大気中の水蒸気輸送に加えて、陸面と大気との相互作用が重要な課題である。IARC で北米北極域における大気陸面過程の研究を行う場合は、GEWEX と連携することが有効である。リード実験計画 (LEADDEX) は海水の間に開いた海面を通しての熱輸送に注目しているもので、プロセス研究としての価値が高く IARC 研究の先達となっている。計画立案中である ACSYS と SHEBA では、海洋物理過程に重点をおいた観測とモデリングも行われることになっている。IARC での重要課題である高密度水形成の解明、海水分布の予測などのプロセス研究について、緊密な連携を保って研究を遂行していくべきである。これらの個別プロジェクトの成果は、CLIVAR に集約されることによって全球気候変動予測に可能性を与える。

ベーリング海の生態系と社会経済 (BESIS) はベーリング海とその周辺に焦点をあてているプロジェクトであるが、社会経済まで多くの分野を包括しており、IARC の研究協力体制を構築していくうえで、よい手本とすべきである。古気候復元をめざす古気候復元 (PALE) との連携も探っていく。

地球フロンティアが IARC に参加していくにあたって研究領域を選定していく必要があるが、研究コミュニティが小さいという北極研究の特殊性があるの

で、フロンティア研究に含まれる研究分野との関連性を評価しつつ、多様な北極研究を支援していく。