

1. 気候変動予測研究領域

(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および大気海洋中に生起する関連現象の実体を解明し、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 および 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) 研究課題と研究実施計画

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）、インド洋の双極構造変動（IOD）や対流圏の準2年振動など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のメカニズムの解明を目指し、これらを予測するための基礎的研究を進める。特にこれらの短期気候変動に深く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、ウィルトゥキ・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大気のスームトラック、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。

c. 地球シミュレーターでの高解像度気候変動シミュレーション

地球シミュレーター上で走る、高解像度大気・海洋モデルの本研究領域の研究課題に合わせた環境セッティングを行い、他グループと連携し気候のインパクトスタディや重要事象の予測可能性研究を行う。またこの様な研究に必要なモデルの改良や莫大なデータ処理に伴う未知の計算科学的課題に地球シミュレーターセンターと共同して取り組む。

2) 研究実施計画

上記の研究課題について、モデリング、データ解析による診断の両面で研究を進める。同時に理論的な予報可能性という観点からも研究を行う。

便宜上、以下のようにグループ、サブグループに分けてそれぞれの実施計画を記す。ただし、各グループ、サブグループは相互に密接に協力しながら研究を進めていく。

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ことをめざし、以下のテーマに取り組む。

解析研究グループとの協力の下、北太平洋独自の10年規模気候変動の解明を目指し、中緯度海洋の変動が大気の様々な規模の擾乱に及ぼし得る影響について、高解像度AFESや領域モデルを用いた数値実験を通じて評価する。また、近年の冬季アジアモンスーンの弱化のメカニズムを解明すべく、AFESを用いた数値実験を行なう他、将来の温暖化した気候における極東の冬季天候予測への知見を得るため、弱化した冬季モンスーン下におけるスームの構造や地形性降雨雪の特徴を領域モデルにて調査する。

さらに、地球シミュレーター上で用いられる超高解像度大気大循環モデルの構築と改良に協力し、大気中の異なる時空間スケールの現象間の関連に関する研究を進める。また近い将来開発される地球シミュレーター用結合モデルの開発にも協力する。

また、大気海洋結合系としての短期気候変動の詳細を理解するため、大気海洋結合大

循環モデルを用いた再現実験を行う。異なる結合大循環モデルの相互比較等から短期気候変動の発生機構を解明し、その予測実験を試みる。

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、黒潮域において超高解像度の領域入れ子モデルを観測された海表面フラックスにより駆動するシミュレーション実験を行う。また、海洋の観測データを本モデルに同化させるための手法を改良すると共に、日本沿岸域での黒潮変動等の短期予測の向上に貢献する。沿岸域の海洋変動と黒潮との関連にも焦点を当て、海洋生態系等を取り入れた総合的モデルへの方向性を検討する。

北太平洋域モデルを用いた結果や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素過程を理解する。特にエル・ニーニョ／南方振動（ENSO）に代表される低緯度の気候変動との関連を明らかにすると共に、北太平洋循環系に見られる 10 年から数 10 年スケールの変動気候の解明に取り組む。

一連のモデル実験の結果を踏まえ、海洋モデルの各種パラメタリゼーション等の改良をはかる。

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－インド洋海洋大循環モデルを用いる。特にインド洋の双極構造変動（IOD）、インド洋の海洋循環とモンスーンとの関連、インド洋の海洋変動と太平洋の変動との関連などについて詳しく調べる。

また、地球シミュレータ上で用いられる超高解像度海洋大循環モデルの構築と改良に協力し、海洋中の異なる時空間スケールの現象間の関連に関する研究を押し進めると共に、一連のモデル実験の結果を踏まえ、各種パラメタリゼーション等の改良をはかる。

これらの研究を通じ、太平洋－インド洋の低緯度海洋循環変動の重要な過程を明らかにし、大気海洋結合モデルを用いた短期機構変動予測の向上に貢献する。

b. 解析研究グループ

b-1. 大気変動解析研究サブグループ

大気循環客観解析データ、並びに地球シミュレータ用モデル（AFES）を含む大気モデルや結合モデル、更には領域気候モデルの出力データを解析し、北太平洋・極東域に夏冬

の天候異常をもたらす大気循環変動のメカニズムの解明を目指す。中緯度の大気循環変動には局所的な大気海洋相互作用と共に、熱帯や上流側からの遠隔影響も重要であり、アリューシャン・アイスランド低気圧シーソーのような他地域へ及ぼす遠隔影響も含め、グローバルな視点で取り組む。また、地域的な天候変動の予測可能性を視野に入れて、惑星・総観・メソの各スケール間相互作用に着目しつつ研究をすすめる。

b-2. 結合系変動解析研究サブグループ

これまでに作成した時空高分解能の海面水温・熱フラックス観測データセットと衛星観測による雲・放射データ、並びに高解像度の海洋モデルや結合モデルの出力データを駆使し、北太平洋・極東域の10年規模変動に伴う夏冬の大規模な大気海洋相互作用の実態とメカニズムの把握に努める。亜熱帯・亜寒帯の各循環系とそれらの境界域、及び縁辺海を中心に研究を進める。大気変動がこれら各海域の変動に与える影響のみならず、海洋の変動が大気の様々な規模の擾乱に及ぼし得る影響についても、高解像度AFESや領域モデルを用いた数値実験を通じて評価する。

c. 予測可能性研究グループ

c-1. 高解像度モデルによる予測可能性実験サブグループ

領域内グループまたは領域横断的なチームで、高解像度大気・海洋モデルの基本的パフォーマンスの検証を行う。具体的には、大気モデル(AFES)の気候値及び季節変動等のチェック、また海洋モデル(MOM3)に対しては熱、運動量、トレーサー等の輸送量の検証を基に、本格的な変動予測の実験の準備をする。この様な基礎的研究の後、他グループ及び地球シミュレータとの連携のもと、高解像度結合モデルランによる気候のインパクトスタディおよび研究対象事象の予測可能性実験等を行う。また同時に、その様な研究に必要なモデルの開発/改良も必要に応じて行う。高解像度結合モデルの開発には、必然的に高解像度海洋モデルのスピンアップが先行する。当研究領域の当面の課題は表層から中層にかけての比較的時間スケールの短い気候変動ではあるが、シミュレータの高速性能を最大限に利用し、表層から深層に及ぶ時間スケールの長い変動も視野に入れ、特に渦解像と細かな地形影響という視点から長期スピンアップランの解析も可能な限り行う。

c-2. 熱力学に関する基礎研究サブグループ

高解像度計算による細かなシミュレーション研究を補うものとしての気候の骨格を形成する力学、熱力学過程に関する基本的理解や新たな研究手法開拓のための基本研究を進める。

(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お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 年スケール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推進していく。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対して、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も推し進める。

2. 水循環予測研究領域

(1) 目標

<研究の背景と意義 >

アジア・ユーラシア大陸を中心とするモンスーン気候帯には、日本を含めた世界の6割強の人口が集中しており、アジアモンスーンとそれに伴う水循環の変動の実態の解明とその機構を明らかにし、予測のためのモデリング研究を進めることは、水災害水資源問題の解決に向けても、非常に重要かつ緊急である。また、グローバルな気候に大きな影響を与えている ENSO (エル・ニーニョ/南方振動) の発現や終息にも、アジアモンスーンの変動が能動的な役割を果たしており、その視点からのモンスーン変動の機構を解明することは重要である。特に、アジアの各地域・流域での水災害・水資源予測に重要な水循環過程の解明には、高精度・高解像のモデルによる研究が不可欠であり、そのためのモデル開発を行うことも必要である。

<研究の目標 >

アジアモンスーンの季節変化と経年変動には、ユーラシア大陸での陸面と西太平洋暖水プールでの、地表面・大気境界層・雲降水システムを通じた水循環とエネルギーフローのフィードバック過程が非常に重要である。これらのミクロスケールから大陸スケールまでの過程が複合して現れた大気・海洋・陸面相互作用がこの地域のモンスーン気候の変動を引き起こしているが、その実態は、まだ多くのことが未解明である。本領域では、これらの過程と変動の実態解明を、GAME や CEOP/CAMP、地球観測フロンティアなどで得られた衛星と地上からの高品質、高精度データの利用して行うとともに、メソスケールから地域(流域)スケール、さらに全球スケールでの水循環の変動機構と予測をめざしたモデリングを行う。本領域はこれらの研究活動を通して、国際的な水循環研究の計画である GEWEX/GAME (第2期) へも重要な役割を果たすことになる。

(2) 研究課題と研究実施計画

1) 研究課題

第1期後半5カ年の研究課題として下記3分野12項目を掲げ、領域内各グループおよび他領域との連携の下で研究を推進する。

a. 広域水循環過程

- a-1. 全球・大陸スケールのエネルギー・水循環変動の研究
- a-2. 積雪・土壌水分と気候・水循環の相互作用に関する研究
- a-3. 広域植生と気候・水循環の相互作用に関する研究

b. 陸面水循環過程

- b-1. 多様な陸面過程のモデリングと検証
- b-2. アジア大陸における陸面過程が地域の気候に及ぼす影響の研究
- b-3. 大気大循環モデルによる陸面過程と大気の相互作用の研究
- b-4. 雲分解領域気候モデルによるアジア・モンスーンの解明

c. 雲・降水過程

- c-1. 雲スケール微物理モデルの構築
- c-2. メソスケール対流解像モデルの構築
- c-3. メソスケール雲システムが組織化されるメカニズム解明
- c-4. 雲の放射特性のパラメーター化
- c-5. 雲・降水過程グループと他領域との連携

2) 研究実施計画

a. 広域水循環過程

全球・大陸スケールから大規模流域スケールの大気・水圏系あるいは気候システムにおけるエネルギー・水循環の分布と変動の実態とその変動に関与するフィードバック過程を明らかにし、併せて、気候モデルにおけるエネルギー・水循環過程の改良に資する研究を行う。特に寒冷域から熱帯にわたるアジア地域あるいはアジアモンスーンの水循環変動の実態とその機構解明を、主として（衛星データを含む）データ解析から明らかにする。また、陸面水循環過程、雲降水過程グループと協力して、GCM や領域気候モデルの結果との比較・検証を行い、過程の実態解明とモデルの改良へも貢献する。

a-1. 全球・大陸スケールのエネルギー・水循環変動の研究

全球・大陸スケールおよび大規模流域スケールでのエネルギー収支と水循環過程を、

季節内変動、季節変化から経年変動の時間スケールで実態を定量的に理解し、その変動機構を解明する。海洋上では、海面水温・表面フラックスを通じた、陸面上では積雪・土壌水分・植生などを通じたフィードバック過程（a-2, a-3 参照）が大気・地表面系のエネルギー・水循環変動に与える影響の定量的評価を行い、モデリングへも貢献する。これらの研究を通して、アジアモンスーン/ENSO の相互作用や温室効果ガス増加に伴うエネルギー・水循環過程の変動の理解もめざす。国際的には、GEWEX 傘下の WEBS (Water and Energy Balance Study) の一翼を担う研究となる。

a-2. 積雪・土壌水分と気候・水循環の相互作用に関する研究

大陸スケールでの積雪・土壌水分の時空間変動を、陸面同化(LDA)の手法等を通して客観的に把握し、大気・地表面系のエネルギー・水循環と気候変動における積雪・土壌水分変動の役割を定量的に評価する。特にユーラシア大陸寒冷圏における積雪・土壌水分変動が、アジアモンスーンや高緯度での気候変動および大陸河川の流量変動に与える影響を中心に研究をすすめる。同時に、陸面水循環過程グループ

（研究課題 b-1 参照）と協力・連携して、全球的に土壌水分変動を評価する国際的なプロジェクトである GSWP(Global Soil Wetness Project)や積雪モデル改良をめざす SnowMIP (Snow Model Intercomparison Project)に参加し、陸面過程モデル改良・開発に資する研究も行う。

a-3. 広域植生と気候・水循環の相互作用に関する研究

大陸スケールの植生は、気候の反映あるいは応答の結果としてだけではなく、アルベド、地表面粗度、蒸発散などを通して、気候・水循環を大きく規定していると考えられる。この研究では、広域植生と気候・水循環がどのような相互作用を行っているかを、衛星からの植生指数(NDVI)や植生マップと全球客観解析データや航空機・地上からの気象データなどを用いて、解明することをめざす。特に、GAME・観測フロンティアなどの観測を通して得られたタイガや草原のフェノロジーやエネルギーフラックスデータも活用して、NDVI などの広域データを、気候・水循環過程におけるより定量的な物理量への変換を試み、広域での生物圏・気候・水循環の相互作用の解明を行う。これらの観測・解析的研究を通して、気候モデルにおける生物圏過程のモデリング改良に資することもめざす。

b. 陸面水循環過程

積雪、融雪、凍土、植生、河川流出、および山岳影響など多様な陸面過程のモデリングを行い、GCM や領域気候モデルの改良に資するとともに、これらの陸面過程が大気循環や降水活動に与える影響を研究する。

ｂ－１．多様な陸面過程のモデリングと検証

大気大循環モデルや領域気候モデルを開発・改良することを目的に、積雪、融雪、凍土、植生、河川流出などの多様な陸面過程のそれぞれについてモデリングを行い、観測データをもとに検証を行う。これらの成果を統合して大気陸面過程モデル MATSIRO を改良する。さらに MATSIRO あるいは単独の素過程モデルを大気大循環モデルまたは領域気候モデルに組み入れて、陸面過程の大気循環や降水に及ぼす感度解析を行う。このため、素過程の1次元モデル・2次元モデルなど開発と現地観測データとの比較、リモートセンシングによる検証データの取得、さらには気候区分の異なる地域での素過程モデルの検証を進めるとともに、MATSIRO と世界の主要な大気陸面モデルとの比較検討を系統的に実施するため、国際プロジェクトである土壤水分プロジェクト(GSWP)および SnowMIP を推進する。

ｂ－２．アジア大陸における陸面過程が地域の気候に及ぼす影響の研究

アジア大陸における陸面過程が梅雨前線などアジア域の気候に与える影響を領域気候モデルにより研究する。陸面過程としては土壤水分や積雪・凍土・植生など熱収支に関係するプロセスだけでなく、海陸分布や山岳など循環場や降水システムに関係するプロセスも研究の対象とする。また、陸面過程と海面温度の変動との関わり合いについても調査する。アジア域における融雪期前後の季節進行や梅雨前線をはじめとするモンスーン循環と分布および水蒸気循環に着目し、地域の気候システムの挙動とメカニズムを解明する。これによりモンスーンをはじめとするアジア域の気候変動を解明・予測する手がかりを得る。

ｂ－３．大気大循環モデルによる陸面過程と大気の相互作用の研究

大気大循環モデルに詳細な陸面過程モデルを組み込み、積雪、凍土、植生が全球規模の気候変動に与える影響を調べる。これにより陸面過程と気候変動や炭素循環との関係解明を目指す。この研究はフロンティアの他の領域で実施されている大気大循環モデルによる気候変動の研究と密接に連携して行うが、本グループは陸面過程のモデリングの開発・改良および積雪などの変動が陸面過程が大気循環に与える影響の解明を担当する。

ｂ－４．雲分解領域気候モデルによるアジア・モンスーンの解明

アジアモンスーンの解明のため、GCM あるいは領域モデルによるシミュレーションが行われているが、数値モデルの信頼性を高めるためには、まだ多くの解決すべき問題が残されている。数値モデルの誤差要因には様々なものがあるが、中でも積雲対

流および雲と放射のパラメタリゼーションの精度に限界があることが大きな要因になっている。

積雲対流のパラメタリゼーションの改良に関する研究は多いが、海洋上の降水と地形の影響を強く受けている降水を同じ積雲対流のパラメタリゼーションで表現することには原理的に無理があり、パラメタリゼーションの改良だけで解決することは困難であると見られる。このため、高分解能・非静力学平衡の数値モデルを利用し、降水をもたらす対流システムと地形を含む地表面との相互作用を直接的に表現し、さらに気候モデルとしての改良を施すことにより、対流パラメタリゼーションを使わない領域気候モデルの構築を行う。このためには膨大な計算量が必要ではあるが、地球シミュレーターを利用すれば不可能ではない。

詳細な地形影響を明らかに受けていると考えられるヒマラヤ沿いの強い降水帯と海洋大陸の降水域の2つを取り上げ、アジアモンスーン規模の領域で長期積分を行い、これらによる降水の再現精度を向上させるとともに、それによるモンスーンの季節進行や年々変動の再現性向上への有効性を調べる。検証のためには現地観測データやTRMMなどの高分解能の衛星データ解析が必要であり、観測フロンティアとの連携を密にする。

c. 雲・降水過程

降水は、極めて短時間に狭い領域に集中する。そこで、気候変動に伴う水循環変動を定量的に予測するためには、領域モデル及び大気大循環モデルの中で、雲の発生・発達およびメソスケールの雲システムへの組織化の過程を適切に表現する必要がある。そこで、大規模スケールのモデルで陽に扱うには小さ過ぎるが、その気候へのインパクトが無視できない雲システムのパラメータ化を、物理過程の理解に基づいて改良することを研究課題としている。すなわち、積雲スケールからメソスケールの雲システム、また、霧や晴天積雲などの下層雲から上層の巻雲まで、そして降水・降雪雲から非降水雲にまで適用可能な、雲のモデル化及び雲物理過程・微物理過程のパラメータ化、雲が大気放射に及ぼす効果のパラメータ化を行う。

c-1. 雲スケール微物理モデルの構築

現今のほとんどのモデルは、雲粒・氷晶の発生から雨・雪の形成までのプロセスを、極めて簡略化して計算を行っている。しかし、これでは地球温暖化や大気環境の変化（特に、エアロゾルの質と量）に伴って起こるであろう雲や降水の変化を十分な精度で予測することはできない。そこで、より実際に近く、かつ高速な計算が可能な

雲物理過程のパラメタリゼーションスキームの開発を行う。そのためには、雲凝結核から雲粒が生成され、それらが互いに併合して雨滴にまで成長する過程を、パラメタリゼーション無しで計算すること、もうひとつは、生成された雲粒が氷晶に付着する過程と氷晶同士の併合過程をパラメタリゼーション無しで計算する必要がある。前者に関しては、ほぼ計算スキームが完成し、既存のパラメタリゼーションとの相違を調べている。後者については、氷晶同士の併合過程を、モンテカルロ法を用いて再現するモデルがほぼ完成した。既存のパラメタリゼーションとの相違については、これからの作業である。次のステップは、氷晶の成長と雲粒付着過程のシミュレーションである。これも、モンテカルロ法を用いて行う予定である。この手法は、膨大な計算量を必要とするため、地球シミュレーターでこそ可能な仕事となるであろう。最終的には、エアロゾルから雲粒・氷晶を経て、雹、霰、雪片、融解、そして雨滴の生成過程をきちんと計算し、その計算に基づいて、モデルの水平スケールに応じたパラメタリゼーションを提案する。

c-2. メソスケール対流解像モデルの構築

水平格子間隔 5~20km を用いてメソスケールに組織化した対流を解像するモデル（メソスケール対流解像モデル）は、今後の気候研究や多くの気象現象の解明・予測にとって重要であるという立場、及び、将来の地球シミュレーターのグローバルモデルに組み込まれるべき大気モデルであるという立場から、このモデルを改善することを重要な課題として取り組んでいる。このモデルを改善するためには、積雲対流解像モデル（水平格子間隔が1 km以下）との相互比較が重要である。そこで、国内外の研究機関と共同でモデルの相互比較とパラメタリゼーションの改良を行っている（GCS S）。境界層に発達する晴天積雲や霧などの下層雲から、中層雲、積乱雲（群）、クラウドクラスター、上層巻雲までを対象とする。

c-3. メソスケール雲システムが組織化されるメカニズム解明

長期の水循環予測にとっては、上記ようなメソ対流解像モデルが必要不可欠であるが、降水システムそのものの物理的理解無しでは、単なるテクニックで終わる危険性があり、より普遍的なモデルを提唱することはできない。また、短時間の細かい降水予測も不可能である。そのために、衛星、航空機、船舶、レーダー等を用いた総合的観測データを基に、現有のモデルを実際に適用したときのモデルの振舞い・性能の評価と、また、これらのモデルを用いたメカニズムの解明も行う必要がある。解析対象としては、GAME 期間中の梅雨前線と降水システム（クラウドクラスター）、日本海の冬の寒気吹き出し時に発生したメソ擾乱、地球観測フロンティアが行った J-SAWCE の事例、そして、観測フロンティアが今後行う予定の観測事例（パラオ、イ

インドネシア、北極層雲)などを考えている。更に、メソスケールの雲解像モデルを用いた数値シミュレーションの今後の研究進展方向を考えると、これからますます多様な物理量をグローバルに作成する4次元同化手法が重要となるので、この手法を用いたデータセットの作成にも取り組む。

更に、CLOUDSAT や EarthCARE に搭載が予定されている、ミリ波雲レーダーを用いたフィールドキャンペーンデータも積極的に利用して、雲の水平及び鉛直方向の出現特性の再現にも取り組む。

c-4. 雲の放射特性のパラメーター化

雲が気候に及ぼす効果で最も重要な因子は、雲の放射特性であり、それを決定する雲粒や雲水量は、その基となる雲凝結核と上昇速度でほぼ決定され、そのモデル化は、既に雲・降水グループでほぼ完成している。ただし、現今の放射スキームは、2次元平行平板雲モデルにしか適用できないため、次の問題として、3次元のないいわゆる積雲タイプの雲の(形も考慮した)放射特性である。これについては、雲内の光の散乱をモンテカルロ法で計算する手法が有効であると考えられる。このような、雲の形を考慮した光の散乱モデルは、森林中への光の透過(従って、森林の生長)を考える際にも、極めて役立つと思われる。

c-5. 雲・降水過程グループと他領域との連携

平衡気候モデル実験を行う際には、雲の放射特性と、雲の多層構造が重要であり、早急に、雲の微物理過程のパラメーター化を完成させる。また、本研究領域の陸域グループはもとより、生態系変動領域、IARC とともに、境界層内で発生する積雲が重要となることから、研究交流を密にして、両領域が必要とするモデルを提供する。更に、大気組成変動グループとは、雲内における大気質の変化過程をモデル化してもらい、それを、我々のモデルに組み込むことを考えている。更に、現在試作中の化学天気予報モデル(エアロゾルや化学反応も組み込んだ気体成分の上下、及び水平輸送)の中に、雲の役割を適切に組み込むことも、重要なテーマのひとつとなるであろう。

(3) 他の研究計画との関係と協力

本研究領域の研究は、世界気候計画(WCRP)の副計画である全球エネルギー・水循環研究計画(GEWEX)にさまざまなかたちで対応し、貢献する研究と位置付けられる。特に GHP (GEWEX Hydrometeorology Panel) 傘下の大陸スケール実験計画のひとつであるアジアモンスーンエネルギー・水循環研究観測計画(GAME)の国内的・国際的な中核的な研究システムとして、本領域は貢献するものである。GAME は観測の主たるフェーズが終わり、データ解析とモデリングを中心とする第2期(GAME Phase-II)が開始されたが、本領域はこの GAME 第2期の研究の中心的な部分として活動する予定である。また、GEWEX 傘下の全球土壌水分研究プロジェクト(GSWP)や積雪モデル比較実験(SnowMIP)、全球熱・水収支比較研究プロジェクト(WEBS)、全球雲降水システム研究計画 (GCSS)では、日本からの代表として参画するのみならず、国際的な活動の中心のひとつとして貢献している。さらに、WCRP/CEOS が 2002-2005 年に全球的に展開する CEOP でのモデル研究にもアジア地域の代表グループのひとつとして、協力する予定である。

3. 地球温暖化予測研究領域

(1) 目標

<研究の背景と意義>

石油・石炭など化石燃料の消費に伴う二酸化炭素の排出をはじめ、人間活動による温室効果ガスの増加が地球全体の温度を上昇させ、同時に各地の気候の変化をもたらすおそれのある事は、今では広く認められている。望ましくない変化を防ぐため、温室効果ガスの排出を抑制する国際条約「京都議定書」が1997年に作られ、2002年中に発効するとみられる。

地球温暖化問題は、今や行動のフェーズに移っているが、そのための科学的基礎にはまだまだ多くの問題が残されている。象徴的に、地球平均気温上昇の予測の幅が1990年の第1回IPCC報告以来、ほとんど変わっていない。また、全世界の海洋を結ぶコンベアベルトが温暖化の進行によって著しく弱まるとの当初の予測に対しても疑問が出されるなど、社会的に重要な問題についての科学的知見はまだ不完全である。さらに、ある程度の温暖化と気候の変化は不可避である事が認識されるにつれ、水資源や森林の管理の観点から起こり得る気候の変化、極端な気象の発現状況の変化などについての詳しい予測が求められるようになり、地球温暖化予測の重要性は益々高まって来ている。

<研究の目標>

- 1) 開発中の高解像度大気・海洋・陸面結合モデルを作り上げ、それを用いて地球シミュレーター上で地球温暖化予測実験を行う。特に海洋モデルの高解像度化によって中規模渦を直接表現し、現在論点となっている問題に、より確かな答えを出す。また、大気モデルの高解像度化によって地域的気候の変化や比較的小さなスケールの現象の変化に関して、確度の高い予測を行う。

また、これまでの研究を引き継ぎ発展させて、温暖化に伴う水蒸気と雲の放射影響によるフィードバックを定量的に明らかにする。また高解像度モデルによる温暖化実験のデータを解析して台風、梅雨など社会的に重要な現象の変化を明らかにする。
- 2) 全地球海洋物質循環モデルの改良を進め、同時に数値実験を行って、
 - 2-1) 海洋による人為起源二酸化炭素の吸収量
 - 2-2) 地球温暖化に伴う海洋生態系の変動
 - 2-3) 最終氷期における海洋物質循環の状態を明らかにする。
- 3) 中解像度大気・海洋結合モデルの長期積分による数値実験を行い、
 - 3-1) 地球軌道要素の変化に対する気候の応答を明らかにし、氷期・間氷期サイクルのメカニズムを解明する。
 - 3-2) CO₂濃度、南北両極の氷床の広がりに関して中世代の条件下で数値実験を

行い、気候の復元を試みるとともに温暖気候の形成・維持のメカニズムを明らかにする。

(2) 研究課題および研究実施計画

1) 研究課題および研究実施計画

a. 地球温暖化実験と温暖化メカニズムの解明

高解像度の気候モデルを用いて地球温暖化の実験を行い、これまで困難だった地域的気候の変化や、台風のように比較的小規模な現象について温暖化の進行による変化を明らかにする。海洋循環に関しても高解像度化によって現在論点となっている問題により確かな答を出す。

また、温暖化予測の不確定要因となっているフィードバックのプロセスを分析し、温度上昇の拡大あるいは縮小のメカニズムを明らかにする。また、温暖化に伴う個々の諸現象の変化を把握する。

<研究実施計画>

現在進行中のモデル統合化領域との協力および東京大学気候システム研究センター、国立環境研究所との協力による高解像度大気・海洋・陸面結合モデルの開発を進める。中間段階として大気 T106 スペクトルモデル、海洋 $1/6^{\circ} \times 1/4^{\circ}$ のモデルを作り温暖化実験を行う。その後目標とする大気 T213、海洋 $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$ に解像度を上げ、温暖化実験を行う。一方、現在行っている雲の放射強制力の季節変化の研究を発展させるとともに、高解像度モデルについても今までの方法を適用して雲・放射フィードバックを明らかにする。既存のモデルおよび開発中の高解像度大気・陸面モデルに温暖化実験によって得られた海面水温を与えて実験を行い、台風、温帯低気圧のような天気システムが温暖化によってどう変化するかを明らかにする。また種々の感度実験によって変化の要因をつきとめる。

b. 全地球海洋物質循環モデルによる CO₂ 吸収の解明

人為的に放出された CO₂ の一部が海洋に吸収されて行くプロセスを明らかにするため、複数の全地球海洋物質循環モデルで実験を行い、生物・地球化学プロセスの違いによる CO₂ 吸収の相違、海洋中規模渦の輸送が CO₂ 吸収に及ぼす影響など CO₂ 吸収に関して個別プロセスの役割を明らかにする。

<研究実施計画>

海洋大循環と物質循環を同時に解くモデルで中程度の解像度 ($1^{\circ} \times 1^{\circ}$) のものを開発し、次期 OCMIP に参加する。一方、有機炭素の担い手であるプランクトンを珪酸塩の殻を作るもの（珪藻）と炭酸塩の殻を作るもの（円石藻）に分け、その他の生物やさらに微生物による分解過程も含めた生態系モデルを作り、海洋生態系が炭素、窒素等の物質循環に担う役割を陽に取り入れる。これによって温暖化等の環境変化が生物活動の変化を通して炭素循環にフィードバックするプロ

セスを明らかにする。ほかに、高解像度 ($0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$) の渦解像モデルでまずトレーサー実験を行い、物質輸送における中規模渦の役割を定量的に明らかにする。必要性和計算量の見積りに立って渦解像の海洋生態系・物質循環モデルを作る。また中解像度の生態系・物質循環モデルで氷期・間氷期の違いを明らかにする。

c. 古環境の数値モデリング

南極やグリーンランドの氷床コアをはじめ陸上、海底の堆積物の分析から古環境の復元が進んでいる。太陽放射以外の外的条件が現在と余り変わらない最後の氷期・間氷期サイクルに伴う環境変動を主な対象とし、物理気候モデル、ついで氷床変動を含むモデル、さらに生態系・物質循環を含む地球システムモデルによって地球の軌道要素の変動に起因する日射分布の変動によって生じる気候・環境の変動のシミュレーションを試みる。

他方、現在とは条件が大きく異なる中生代後半の温暖気候のメカニズムを CO_2 濃度、氷床の有無などの条件を変えた実験を行って明らかにする。

<研究実施計画>

まず、これまで行ってきた大気大循環モデルによる最終氷期 (LGM) と完新世気候最適期 (Climatic optimum) の気候復元を大気・海洋結合モデルによる実験に拡げ、海洋循環と海面温度の変動までを与えられた日射条件に対する気候システムの応答として説明できるかどうか調べる。一方、氷床の形成・変動のメカニズムを調べるため、既に関連した氷床モデルを大気・海洋混合層モデルに導入し、実験を行う。中生代温暖気候の発現・維持の機構を解明するため、既存の中解像度大気・海洋結合モデルで CO_2 濃度を 3～4 倍に変化させ、また南極、グリーンランドの氷床の高反射率を除去した実験を行い結果を解析する。

地球システムモデルに関する研究は、今後、領域横断の結合モデルプロジェクトの中で行ってゆく予定。

(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および北海道大学大学院地球環境科学研究科と協力して、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、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

(1) 目標

<研究の背景と意義>

アジアにおける人口増加と経済発展、食糧増産に伴う温室効果ガスや大気汚染物質の放出量の増加は、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 21 世紀前半にも引き継がれることが予想され、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であると同時に、この地域自身の持続的発展にとってきわめて重大な問題となっている。こうした国際的な社会ニーズを背景として、化学輸送モデルを高度化することにより、アジア太平洋地域の大気組成変動に起因する気候変動への影響、および地域スケールでの大気汚染のメカニズムを明らかにし、それらの予測精度の向上に資することが本領域に強く求められている。

<研究の目標>

アジア・太平洋地域（ユーラシア大陸を含む）を中心として、気候変動や大気質変動に関わる大気微量成分の放出、輸送、変質、沈着の物理的・化学的プロセスを明らかにし、全球における化学天気図を描くことにより、この地域の大気組成変動と地球規模での大気組成変動との関連を明らかにする。この目標を達成するために必要なプロセス研究として、大陸間長距離輸送過程、対流圏光化学反応過程、エアロゾルの粒径別の組成変動過程などをモデル化する。また二酸化炭素、メタンなどの温室効果ガスの濃度変動、炭素・酸素の同位体比の変動などの測定データを用いて全球三次元モデルによる解析を行い、生物圏を含むそれらの放出源・吸収源の強度とその変動要因を明らかにする。またアジア・太平洋地域のオゾン、エアロゾルなどによる大気質変動の将来予測を行い、地域スケールでの大気質変動(大気汚染)と気候変動との関連を明らかにし、気候変動フィードバックを含めてより高度な大気組成変動の将来予測を行うことを目標とする。

(2) 研究課題と研究実施計画

1) 研究課題

第1期後半5カ年の研究課題として下記 a～f の6項目を掲げ、領域内各グループおよび他領域との連携の下で研究を推進する。

- a. 大陸間長距離輸送・化学変質メカニズム
- b. 大気質変動と気候変動の相関に関する研究
- c. 東アジアにおける大気質変動に関する研究
- d. 温室効果ガスの変動要因と収支
- e. 対流圏オゾンの変動と光化学理論の確立
- f. アジアにおける温室効果ガスおよびオゾン・エアロゾル前駆体物質の放出量推定

2) 研究実施計画

a. 大陸間長距離輸送・化学変質メカニズム

オゾン、一酸化炭素、エアロゾルなど数日から1ヶ月以上の大気寿命を持つ大気微量成分の濃度や季節変動、トレンドなどは、その地域における地域的な大気汚染物質の放出量のみならず、大陸間長距離輸送によっても大きく支配されている。従ってこれら温暖化関連物質の全球分布やトレンドを議論するにあたっては、例えばヨーロッパからアジアへ、アジアから北米へ、北米からヨーロッパ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である。特にアジアにおける大気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・解析するため、ヨーロッパからアジアへのトランス・ユーラシア長距離輸送過程を明らかににすることが極めて重要である。さらに、21世紀のアジアにおける大気汚染物質の増加による地球変動への寄与の評価に当たっては、ヨーロッパ、北米からの放出がベースとなり、これにアジアからの放出が上乘せされているという視点が重要であり、その解析のためにも大陸間長距離輸送の研究は重要である。

そこで本研究では、全球化学輸送モデリンググループが中心となり、ヨーロッパからのアウトフローの影響をモデルを用いて解析すると共に、ユーラシア大陸中央部における観測データの取得を待ってそれらのデータ解析を行う。特に大気組成成分の全球分布や短期的・長期的変動解析の精度を上げるため、UCI/FRSGC 全球三次元化学輸送モデルの解像度を上げ、これを用いたオゾンや他の反応性ガスの化学輸送過程の解析を行う。一方、CCSR/NIES AGCM をベースとした全球三次元化学輸送モデル(CHASER) に硫黄系その他のエアロゾルを組み込み、反応性大気汚染物質と共に全球でのエアロゾルの生成、輸送、沈着過程の解析を行う。また、衛星データ、分光カラムデータなどを用いCO, NO₂ などの大陸間長距離輸送の解析を行う。

b. 大気質変動と気候変動の相関に関する研究

IPCC(気候変動に関する政府間パネル)の第三次報告書によれば、地球温暖化・気候変動

の予測に当っては、二酸化炭素(CO₂)と同時にオゾンやエアロゾルなどの非二酸化炭素(non-CO₂)の放射影響の評価が重要であることが指摘されている。これら non-CO₂ 地球温暖化関連物質の多くはいわゆる大気汚染物質であり、今後特にアジアにおける大気汚染対策と地球温暖化対策との連携を進める上での基礎研究として本研究に着手する。CO₂ のような長寿命温室効果ガスは全球ほぼ一様に分布するが、これら反応性短寿命大気成分はその濃度分布の広がり本質的に地域スケールであることから、地域的に偏った正または負の放射影響を与え、気候変動に対し独自の影響を与えることが予想される。

c. 東アジアにおける大気質変動に関する研究

東アジアにおける大気質変動は地球規模での大気組成変動に大きな寄与をするばかりでなく、我が国の大気環境に重大な影響を与える。特に中国においては今後とも経済発展に伴う人為起源汚染物質の放出量の増加が予測されており、その環境影響を正確に予測することは、地球規模での気候変動、大気質変動の両面から極めて重要である。本研究においては地域スケール化学輸送モデリンググループが中心となり、一部全球化学輸送モデリンググループが加わって、主に東アジアにおける大気質変動を詳しく解析する。この目的のため特に次のプロセスについてモデル研究を発展させる。

地表から放出される人為起源・自然起源大気汚染物質の長距離輸送・化学変質過程のモデル解析においては、境界層内に放出された物質がいつまで境界層内にとどまり、どのようなプロセスで自由対流圏に垂直輸送されるかを明らかにすることが非常に重要である。本研究においては地域スケール化学輸送モデルを用いて大気境界層・自由対流圏物質交換過程を解析する手法の開発し、アジア域について定量的な解析を行う。また航空機などの観測データを用いてモデルを検証し、モデルの改良、精度の向上を図る。

一方、大気エアロゾルに対するモデルでは、これまで硫酸塩、有機エアロゾル、元素状炭素(スス)、海塩粒子、土壌粒子を別個の粒子として扱ってきたことが多かったが、実際の大気中では一つの粒子中にこれらの成分が混じり合った内部混合粒子がほとんどであることが知られている。エアロゾルの直接・間接放射影響の評価に当たっては、個々の粒子がどのような組成を持っているかが極めて重要である。本研究では発生源近傍においては個別成分粒子として生成した外部混合エアロゾルが、大気中の輸送に伴ってどのように内部混合エアロゾルに変換するかを粒径別モデルを用いて研究する。また海塩粒子や硫酸エアロゾル表面での不均一化学反応を考慮したモデルにより、海塩からの無機ハロゲンの放出が対流圏オゾンに及ぼす影響などを解析する。

また、MOPITT, GOME などの衛星データ、分光カラムデータなどを用い東アジアにおける CO, NO₂ などの分布と長距離輸送の解析を行う。

d. 温室効果ガスの変動要因と収支

地球大気中の温室効果ガスの変動は一般に、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。従って大気中の温室効果ガスの時間的・空間的変動過程を明らかにし、人間活動による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必要があるが、これらリザーバー間のガス交換過程では一般に同位体分別が起こることが知られている。本研究ではこのことを利用して二酸化炭素、メタン、一酸化炭素などについて、地上観測ステーション、航空機、船舶などを利用して得られたそれらの濃度および炭素、酸素同位体組成の観測データを収集し、全球三次元モデルを用いて解析することにより、地球規模での変動と循環のメカニズムを明らかにする。

本研究ではまず世界各地で得られている二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素などの温室効果気体の濃度およびそれらの同位体組成のデータをもとに、統一した全球データセットを作成する。次に陸上生態系モデルや光化学モデルと結合を図った三次元大気輸送モデルあるいは全球循環モデルを用いてフォーワード法およびインバース法による解析を行い、大気中における諸気体の時間・空間変動の定量的解釈、リザーバー間の交換過程のメカニズムの解明、放出源・吸収源強度の時間・空間変動の推定を行う。また、大気輸送モデルとインバース法の高度化を図り、地域スケールでのより確かな放出源・吸収源強度の推定を行うとともに、循環解明にとって適切な地球規模での観測網の構築を提案し、将来実施が計画されている人工衛星を用いた温室効果気体の鉛直分布や気柱量の全球観測の高精度化に寄与する。

e. 対流圏オゾンの変動と光化学理論の確立

対流圏光化学反応過程については、OH/HO₂ ラジカルを連鎖キャリアとするラジカル連鎖機構が確立されているが、最近のこれらラジカルの実測からは、必ずしも既知の反応機構に基づくモデル計算では実測値を再現できない場合が多いことが明らかになっている。対流圏光化学理論は対流圏オゾンの生成・消滅のモデル化の基礎になるものでありその不確定性をなくすことが、対流圏オゾンの将来予測などにも重要な影響を与える。本研究ではOH/HO₂ ラジカルを含む集中観測を行い、結果のモデル解析から対流圏光化学理論の検証を行う。特にIOなどハロゲンラジカルの関わりについて、それらの観測データをもとに仮説の検証を行う。また全球三次元化学輸送モデルCHASERに海塩粒子モデルを組み込み、ハロゲン化学を含む対流圏化学の総合的解析を行う。

一方、対流圏オゾンの変動とトレンドは地域スケールでの窒素酸化物、揮発性有機化合物の放出量変動のみならず、大陸間長距離輸送を通じて、他の大陸でのそれら前駆対物質の放出量変動の影響を受けることが予想される。本研究ではアジア、ヨーロッパ、北米などにおけるオゾンゾンデ、地表観測データの解析から、北半球における対流圏オ

ゾンの変動要因とトレンドを明らかにする。

f. アジアにおける温室効果ガスおよびオゾン・エアロゾル前駆体物質の放出量推定

アジアにおける大気質変動と気候変動の相関についての将来予測を行うためには、二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素などの温室効果ガス、および窒素酸化物、二酸化硫黄、一酸化炭素、揮発性有機化合物、元素状炭素などのオゾン・エアロゾル前駆体物質の現在の放出量の推定、並びに放出量の将来予測を行う必要がある。このような作業はエミッション・インベントリーと呼ばれるが、本研究では社会経済的な視点を取り入れて、アジアにおける今後 20 年間の国別（中国、インドについては省別、州別）のエミッションインベントリーを行い、これを全球三次元モデル、地域スケールモデルに利用可能な形にするため緯度・経度 0.5 度メッシュのグリッドデータを作成する。得られたインベントリーデータは広く公開し、地球フロンティア内のみならず世界の研究者に活用されるように努める。

f. アジアにおける温室効果ガスおよびオゾン・エアロゾル前駆体物質の放出量推定

大気組成データ解析グループ

グループリーダー：秋元 肇

サブグループリーダー：大原利眞

研究員（専業）：顔 暁元、山地一代

(3) 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プロジェクトは地球圏-生物圏国祭共同研究 (IGBP) のコアプロジェクトである国際地球大気化学共同研究 (IGAC) である。IGAC の下には多くの Activity レベルの国際共同研究がなされているが、その中でも特に「大陸間輸送と化学変換(ITCT)」は 2000 年 3 月にその第 1 回の計画ワークショップを地球フロンティアの当領域が主催して開催するなど非常に関連が深い。この Activity の中のサブプログラムであるトランス・ユーラシア研究は当領域が観測フロンティアと協力して担うことが期待されている。また国際プロジェクトとして提案されている Asian Brown Cloud(ABC) とは当領域のエアロゾル研究と関わりが出てくるものと思われる。

また IGBP/GAIM プロジェクトの一環である二酸化炭素等輸送モデル比較研究計画 TRANSCOM に参加し、炭素収支のモデル比較を行う。

国内プロジェクトとしては現在戦略的基礎研究(CREST)で 1999 年より 5 年計画で行われている「化学的摂動法による大気反応機構の解明」(代表：梶井克純東大助教授)、2002

年4月より5年計画で行われる総合地球環境学研究所・特別共同研究「大気中の物質循環に及ぼす人間活動の影響の解明」(代表：早坂忠裕総合地球環境学研究所教授)などが関わりが深く、データを共有するなどの協力関係が望まれる。

5. 生態系変動予測研究領域

(1) 目標

<研究の背景と意義>

当領域の長期的な研究目標は、生態系の有する機能が温暖化などの地球規模での環境・気候変動にどのような影響を与えているのか、逆に、地球規模での環境・気候変動が生態系にどのような影響を与えるのか、その機構を解明し、モデル化することである。

これまで局所的、地域的な課題と考えられていた生態系の構造や機能が、大陸規模や地球規模での気候・環境の変動と密接に結びついていることが明らかとなってきた。しかしながら、その実態は必ずしも明確にはならず、例えば、温暖化が生態系に将来どのような影響を及ぼすのか、また、生態系が温暖化にどのような役割を果たしているのか、その機構は明らかとなっていない。

今後、地球規模での気候や環境の変動を予測するためには、大気・海洋・陸面のプロセスを統合したモデルの開発が不可欠であり、このためには、これまで遅れていた陸域・海域における生態系の機能を解明・モデル化し、全地球規模での統合モデルへ組み込むことが急がれる。

<研究の目標>

今後5年の目標として、

- ① 大気・海洋・陸面結合モデルへの生態系モデルの導入
- ② 気候変動が生態系に及ぼす影響のモデル化
- ③ 衛星リモートセンシングによる生態系変動の検出

の3点を挙げる。

第1の目標では、生態系・大気の相互作用モデルとして Sim-CYCLE を取り上げ、モデルの改良を行うほか、大気・海洋・陸面統合化モデルへの組み込みについて検討する。このために、生態系のパラメタリゼーションの単純化、観測プログラムによる基礎データの収集を図る。特に、地球温暖化に焦点を合わせたモデル化に焦点を絞る。

主に、下記のaグループが担当する。

第2の目標では、機構・環境の変化に生態系がどのように追随するかを、そのアーキテクチャ構造に着目して、個体レベルから群集レベルまで100年のスパンでモデル化する。特に、温暖化による生物多様性の変化、種の分布の変化を競争機構を含めてモデル化する。陸域では、主に、下記のbグループが、海域ではdグループが担当する。

第3の目標では、地球変動研究において欠落している様々な陸域、海域生態系パラメータの空間分布とその変動を計測し、モデル化するための衛星観測手法を確立する。特に、温暖化に関連する生態系パラメータである光合成量、NPP、積雪等の空間分布データを作成し、変化の検出を目指す。主に、下記のcおよびdグループが担当する。なお、衛星リモートセンシングは、他の領域においても研究へのニーズが高いため、本領域を中心として、他の領域と分野横断的な研究を推進するための“衛星リモートセンシング”タスクフォースを作る。グループcが主幹事として対応する。

(2) 研究課題と研究実施計画

1) 研究課題

a. 陸域生態系・大気結合モデル研究

陸域生態系と大気との相互作用を、特に炭素収支に重点を置いて解明することを目標に掲げる。大気 CO₂ (あるいは CH₄ など他の温室効果気体) に関するフラックスにおいて、陸域生態系-大気間交換は最も量的に重要な構成要素である。従って、将来の地球温暖化が陸域炭素収支に与える影響を介して、気候変動に作用する正・負のフィードバックを明確化することは非常に重要である。現行のモデルは物質循環において窒素循環との相互作用や、土壌炭素の簡便な扱いに問題が認識されているので、その改良を進め、同時に各種の数値実験と測定データに基づく検証を行い、妥当性の高いモデル研究を目指す。

b. 生態系アーキテクチャモデル研究

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らかにする目的で、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をとり、異なる空間スケールを結び付ける2つのサブ課題を設定する。

- (A) 葉群モジュールモデル：植物を、シュート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出し、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。
- (B) 森林動態モデル：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スデータを利用し、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出する。

c. 生態系地理分布モデル研究

陸域炭素循環など地球的規模の生態系過程のモデリングとモニタリングには生態系の特性や環境条件などの空間的分布と時間的变化についての情報を必要とする。生態系地理分布モデルグループは、人工衛星からの広域観測データに着目し、主に大陸レベルから地球レベルの空間スケールを対象として、地球観測衛星からのデータを処理・解析し、モデリングに結び付けていくことでこの要求に答えていこうとするものである。今後五年の中期目標は、地球生態系変動とその気候変動への関係の理解を高めることと、生態系変動予測領域内の各グループと共同するとともに、地球フロンティア研究システムの他領域におけるモデル制作活動に貢献すること

である。特に、これまでに作成された衛星データセットに基づく大陸レベル、地域レベルの植生分布図、NPP 等の陸域生態系関連データセットを整備する。これらのデータと上記のモデル Sim-CYCLE の結合を試みる。また、温暖化の指標として高緯度帯における積雪の変動を取り上げ、衛星データをもとにその変動を調べる。

d . 海洋生物過程モデル研究

研究対象海域において、これまでに収集された基礎生産、プランクトン現存量、漁獲データなど歴史的な海洋データセットを整備し、同時に同海域の衛星画像データセットを整備する。まず、衛星データをもとに、海洋における二酸化炭素分圧 ($p\text{CO}_2$) の分布およびその変動を計測し評価する手法の開発、検証を行う。また、収集された歴史的資料をもとに、海洋における長期的な生物生産の変動を解析する。特に、これまで研究が少なかった西部北太平洋、日本海を対象として、環境変動と生態系応答の関係を解明する。

2) 研究実施計画

a. 陸域生態系・大気結合モデル研究

従来開発を行ってきた陸上生態系の炭素循環モデル (Sim-CYCLCE) を核として、多様な時間・空間スケールでの数値実験を行う。モデル改良は、生態系窒素循環の導入を最優先で実施し、全球中分解能モデル (0.5 度メッシュ) を用いて陸上生態系の亜酸化窒素 (N_2O) 収支のインベントリーを作成する。生態系の水・熱収支、土壌炭素動態、分配スキーム、C3/C4 植物の地理分布も見直しを行う。やモデルの検証は、リモートセンシングによる生物季節 (開葉・落葉) に関する広域的検証と、フラックスネットデータを用いた純生態系生産の局所的検証を実施する。全球モデルは最終的に 5 分メッシュ (約 9km) まで高分解能化されるが、最初は東アジア地域のみを対象に数値計算を行う。全球の低分解モデルでは土地利用変化を考慮した長時間積分を行い、数十年以上の時間スケールで人間活動が炭素循環に与える影響のモデル化を行う。

b. 生態系アーキテクチャモデル研究

b-1. PipeTree の完成

地上部シュート (枝葉モジュール) に基づく 3D 環境・植物系動態モデルである。いくつかの樹種個体群で、生理パラメータに基づく定量的な植生発達過程をモデル化する。実質的な共同研究者の竹中明夫 (NIES) の SymTree と連携をとってすすめる。生理過程のサブモデルの組み込みは、彦坂幸毅 (東北大) と共同でおこない、近年の生理生態学的実験から得られた高温順化や光合成の植物種間差といった結果を反映させて、モジュールの生理反応に基づいて、環境変化に対する個体・個体群レベルの応答関数を得る。これにより以下のモデルへ関数系・パラ

メータを提供する。

b-2. CanopySimulator の完成

樹木個体ベースの森林3D構造シミュレータを、永久調査区のセンサデータの解析に利用し、構成樹種個体群の3D構造依存パラメータを推定する。天気による散光・直達光成分分布や変化のもとで、林冠の三次元構造が二酸化炭素吸収速度をおおきく左右することが予測されており、この解像度のシミュレーションは重要である。3D微環境再現のアルゴリズムは、1のPipeTreeのそれをスケールアップする。日本の冷温帯落葉樹林（苫小牧）・亜高山帯林（知床）、熱帯雨林（カリマンタン）等を対象に、生長・死亡・加入のモデル化を行い、動態シミュレーションを実施する。

b-3. SPLmodel の完成

広域スケール（東アジアの緯度経度レベル）を対象とした長期動態モデリングのために、森林植生動態を流体近似した、樹木サイズ(S)・林分パッチ齢(P)・地理座標(L)を組み込んだモデルをもちい、この地域の環境傾度に沿って展開されている森林観測データを利用したパラメータによって、植生帯動態の長期予測を完成させる。同時に、2のCanopySimulatorによる動態解析と比較評価をおこなう。

b-4. モデル間の比較評価

同じ対象森林生態系について、モデルの予測挙動を比較検討し、違いの原因を明らかにする。比較対象はCanopySimulator、SPLmodelと、生態系大気結合モデルグループのSymCycle、そして、Biome-BCGなどの生態系モデルである。このミッションは、生態系大気結合モデルグループと連携して進める。

b-5. 観測データとのカップリング

リモートセンシングの時系列データとの照合を、基本的にCanopySimulatorのスケール（IKONOS等高解像度商業衛星データやLIDARデータ）と、SPLmodelのスケール（Landsat, SPOT等衛星データ対応）で行う。永久調査区の継続的な観測データが揃っている、苫小牧研究林、知床亜高山帯林、小川学術参考林、屋久島照葉樹林、中央カリマンタン低地林をモデルケースとして解析する。こうしたデータのカップリングによって、広流域規模の現存量・純一次生産速度の分布動態をシミュレートする。この部分は生態系地理分布モデルグループと連携して進める。

b-6. 土地利用モザイクの評価

変動環境下における生物学的・遺伝学的多様性のダイナミクスを考慮し、人為的な土地利用や森林火災等による森林分断化の、生態系機能（現存量・純一次生産速度）分布および生物多様性保全に及ぼす影響の評価を、CanopySimulatorとSPLmodelを用いて行う。この部分も、生態系地理分布モデルグループとの連携を重視する。

c. 生態系地理分布モデル研究

c-1. 全球的植生変動と気候変動関連解析のための衛星データ解析

陸域植生の空間的・時間的変動とその環境変化への関係についての情報は生態系変動、気候変化の指標として、またフィードバック効果の予測とモデリングの基礎として必要なものである。生態系地理分布モデルグループは生態系炭素貯蔵と NPP の指標として地球的 NDVI(植被度)の経年変動を量化し、図表化し、モニターしていく。上記の変化の環境条件(雪被覆、温度)への依存を分析し、モニターする。まず、AVHRR センサーからの NDVI データと既存の衛星からの雪被覆データを利用する。研究後半では NDVI や新 MODIS や GLI センサーからの関連する植生、雪被覆データを利用する。

c-2. 炭素循環モニタリングのために光合成有効放射の地球的モニタリング

光合成有効放射(PAR 400-700 nm)の地表における信頼できる見積もりが陸域 NPP と炭素循環のモデリングをサポートするのに必要とされる。2002年度には生態系地理分布モデルグループは、PAR の全球モニタリングのための衛星観測方法開発のための新研究に着手する。PAR の大気減衰を考慮に入れたオゾン全量分光計(TOMS)からの紫外線反射やエアロゾル吸収のデータを手法として採用する。地上センサからの PAR データでもって検証する。

c-3. 改良型 Sim-CYCLE による全球 NPP の衛星観測

現在の Sim-CYCLE は平衡過程における予測モデルであり、気候変動のシナリオ下において陸域炭素交換を予測するために作られている。生態系地理分布モデルグループは地表被覆状況の観測から得られた現在の陸域炭素交換をモニターするときの効果を上げるために Sim-CYCLE を改良していく。方法としては鍵となるモデル変数(例、LAI)を特定化または条件付けする衛星データを利用する。まずは MODIS データを使用するが、利用可能となった時点で GLI を使用する。これには東京大学生産技術研究所と生態系変動予測領域生態系大気結合モデルグループと協力していく。

c-4. 陸域大気海洋結合モデル炭素循環モデリングへの貢献

(クロスカッティングプロジェクト)

生態系地理分布モデルは地球フロンティア研究システムの全球的炭素循環モデルのクロスカッティングプロジェクトへ貢献していく。このプロジェクトの詳細は今のところ領域レベルであるが、生態系地理分布モデルグループが土地被覆、植生の全球的衛星観測によるモデルパラメタライゼーションや検証をサポートしていくことが期待されている。

d. 海洋生物過程モデル研究

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な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ヶ月稼働し、その停止後もアメリカのSeaWiFSによってすでに4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

陸域生態系大気結合モデル研究（進行中および可能な計画）

地球フロンティア 大気組成変動予測研究領域

→陸域生態系 CO₂ 収支と大気 CO₂ 濃度変動のカップリング

地球フロンティア 大気組成変動予測研究領域

→炭素-窒素循環モデルによる陸域 N₂O 収支インベントリーの作成

地球フロンティア モデル統合化研究領域

→陸面過程モデル (MATSIRIO) への炭素循環過程の導入

地球フロンティア 国際北極圏研究センター (IARC)

→アラスカ北方林を対象とした火災後の炭素収支の測定とモデル化

北海道大学 農学部

→シベリア北方林を対象とした火災後の炭素収支の測定とモデル化

京都大学 理学部&防災研究所

→大気輸送拡散モデルと陸域 CO₂ 収支モデルのカップリング

気象研究所

→陸面過程モデル (BAIM) との相互比較

産業総合技術研究所

→FLUXNET データを用いたモデル検証

生態系地理分布モデル研究

以下のグループとの研究協力が企画、また期待される。（これら以外の研究協力も後日確立される予定あり。）

東京大学生産技術研究所、安岡研究室

University of Montana , School of forestry , Steven W.Running 教授

NASA Goddard Space Flight Center , Biospheric Sciences Branch , GIMMS Group

NASDA 地球観測研究センター

東京大学気候システム研究センター、中島研究室

6. モデル統合化領域

(1) 目標

<研究の背景と意義>

地球フロンティア研究システムは、エルニーニョ、地球温暖化のような様々な地球変動の予測を可能にすることを目的として研究を行っている。最終目的である予測を行う方法は、大気モデルを用いた数値天気予報のように、対象とする変動現象の生起する領域の数値モデルを作り、そのモデルを用いて数値実験（コンピューターシミュレーション）を行うことによって将来の状態をコンピューターの中に作り出す、というものである。

エルニーニョ現象にしても、地球温暖化にしても、地球変動は多くの物理的・化学的・生物的变化のプロセスの連鎖として起こっているものであるから、それを再現するモデルは個別プロセスの絡み合いを正しく表現したシステムのモデルでなければならない。地球フロンティアの各研究領域では、地球変動予測モデルのいわば部品となる個別プロセスについての研究や、サブシステムの変動と言える地域的現象のメカニズムの解明とモデル化を目的とした研究が進められている。このような研究を最終目的に結びつけるには、その成果を取り入れて地球規模の数値モデルにまとめ上げる必要がある。

各個別プロセスをより多くより詳しく（厳密に）取り入れた高度の地球変動予測モデルを作るには、大量の計算機資源を必要とする。そのため、地球シミュレータ計画が姉妹プロジェクトとして推進され、2002年3月に予定通り運用を開始した。この現在世界最高の計算能力を持つ地球シミュレータをフルに活用して高度の地球変動予測モデルを開発することが求められている。

<研究の目標>

モデル統合化研究領域のミッションは、地球シミュレータの活用を念頭において、各領域での成果を生かした高度のプロセスを含んだ高解像度の気候モデル、その他のモデルを開発する事である。また、気候モデルによる気候変動の予測に必要なデータ、特にその海洋部分のデータに関して、近年進歩の著しい地球規模観測システムで取得しデータを活用するのに必要なデータ同化システムの開発を進めることも重要なミッションである。

モデル統合化領域は、実質的には1999年度より活動を開始したが、その際地球シミュレータに向けたモデル開発の目標を次のように定めた。

- (i) 水平解像度 T213（メッシュ 60km 相当）、鉛直 50 層程度のスペクトル大気モデル、水平解像度 $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$ 、鉛直 50 層程度の海洋モデル、および両者を結合したモデル。海洋モデルは、メソスケール渦を直接表現し、そのトレーサー輸送（G-M 輸送）を自動的に取り入れることを目指し、大気モデルは、地域的気候や台風・梅雨のような比較的小さな現象を再現する事を目指す。結合モデルの主用途の一つは地球温暖化予測実験である。
- (ii) 水平格子間隔 5km 以下の非静力学全球大気モデルの開発およびそれに匹敵するような新しい海洋モデルの開発。大気モデルは、地球シミュレータをフルに活用する事によりメソスケール対流システムを直接計算し、現在の最大の困難であるそのパラメタリゼーションを回避する。これにより台風、集中豪雨など日本やアジアにとって重要な現象のシミュレーションをより確かにすることができる。

- (iii) 大気・海洋・陸面の主として物理過程から成る現在の「気候モデル」をもとに、大気化学過程、海洋の生物地球化学過程、陸域の生態系と気候の相互作用などを取り入れた地球環境の「統合モデル」の開発。

以上は1999年に掲げた目標であるが、後半5年においても引続きこれら为目标に研究を進めて行く。

海洋データ同化に関しては、高度な最適化手法である随伴法やアンサンブル・カルマン法を用いて観測データと大循環モデルシミュレーションを統合する最先端の4次元データ同化システムを構築することによって、水塊分析ならびにその変動予測を可能とする次世代モデルの基盤を確立することを目標とする。これによって高品質の気候変動再解析プロダクトを創出し、他領域のプロセス研究に供するとともに、気候変動の解明に不可欠な熱・水4次元分配構造の過去・現在を正確に評価し、変動の構造を明らかにする。その際、4次元データ同化の優れた利点であるモデルと観測データを用いた逆解析によって、変動のオリジンとその経路を明確にする。

(2) 研究課題と研究実施計画

1) 研究課題と研究実施計画

a. 大気・海洋結合モデルの開発

a-1. 高解像度結合モデルの開発と温暖化実験

既存の力学フレームを用いた大気海洋結合気候モデルを大気・海洋共に高分解能化し、地球シミュレータ上で地球温暖化実験を行う。高分解能温暖化実験の科学的目標は、1) 海洋中規模渦を解像するモデルを用いて熱塩循環をはじめとする海洋循環の変化を調べること、2) 梅雨前線など地域的な気候の変化を調べること、および3) エルニーニョなど大気海洋結合系の自然変動の変化を調べること、などである。これによって、地球温暖化の将来予測の不確実性の低減に資する。

<実施計画>

モデル統合化研究領域の他、地球温暖化研究領域、水循環研究領域の研究者から成る領域横断の「温暖化実験チーム」を作り、さらにフロンティア外の東京大学・気候システム研究センター、国立環境研究所とも共同して高解像度化を中心とするモデルの開発を行い、それを用いて地球温暖化実験を実施する。

このために、まず高分解能結合モデルの構築、検証、改良、および高速化の作業を行う。モデルは、東大気候システム研究センターと国立環境研究所の共同で開発されたCCSR/NIESモデルをベースとする。大気は力学フレームとしてスペクトル法を用いており、T213 (~0.5° 格子相当) までの高分解能化の実績がある。海洋は自由表面の格子スキームを用いており、全球の海洋大循環では1° 格子、領域を限れば1/6° 格子程度までの高分解能化の実績がある。第一段階として、大気 T106 (~1.0° 格子相当)・海洋 1/4° (経度)×1/6° (緯度)格子のモデルを構築し、使用する。これと並行してモデルの高速化を行い、最終的な解像度は海洋 0.1° 格子・大気 T213 を目標とする。

高分解能結合モデルの構築作業は、大気・海洋モデルそれぞれの高分解能での動作確認と必要な修正の他に、高分解能の海氷モデル・陸面過程モデル・河川モデルの導入などを含む。高速化作業は、並列化効率の向上、地球シミュレータへのコード最適化などを含む。また、 0.1° 格子の海洋モデルでは、北極域で格子が集中して計算の時間刻みが極端に短くなる問題を回避するために、モデルの両極が陸上に配置されるように回転した座標を用いる。

こうして構築された高分解能モデルを用いた温暖化実験としては、第一に単純な二酸化炭素漸増実験を行い、過去の研究との比較を行うとともにモデルの温暖化時の振舞いを確認する。次に、エアロゾルの変化などを含んだ IPCC シナリオ実験を行う。それぞれの、いくつかの異なる初期値を用いたアンサンブル実験を行う。これらの実験の結果から、モデルで再現された温暖化時の気候変化を記述し、メカニズムの検討を行う。

a-2. シミュレーション結果の解析・検証

これまで気候モデルの開発に当たっては、ほとんどの場合気候値すなわち1ヶ月とか1季節にわたる平均状態に着目してモデル性能をチェックして来た。これから開発しようとする大気モデルは T106、T213 といった現在天気予報に用いられているものと同等の解像度を持ち、日々の天気現象、例えば冬に太平洋側に雪ともたらず「南岸低気圧」のようなものも表現し得る。またそのような現象が温暖化によってどう変わるかまでを調べることによってはじめて実用的な温暖化予測ができる。そこでシミュレーションの結果をこのような日々の天気現象がどのように再現されているかという観点で解析し検証する。

<実施計画>

現在既に T106 のモデルが完成しているので、季節平均 SST を与えて、5～10年間の積分を実行し、日本、アジア地域の日々の気象の現われ方を調べる。また、モデル開発の進行に合わせ、T213、大気・海洋結合モデルの結果も同様に解析し検証を行う。

b. 次世代大気・海洋モデルの開発

次世代大気モデルとして地球シミュレータの性能を最大限に生かした高分解能の大気大循環モデルを開発する。開発するモデルは、非静力学方程式系を力学フレームとした全球をほぼ一様に覆う分解能 5-30km の格子モデルである。平成 13 年度までに完成した正 20 面体格子系による 3 次元全球モデルの力学フレームを基に様々な物理過程モデルを組み込み、現実の気候状態の再現計算を可能にする。

海洋の中規模渦は熱循環、水循環等に重要な役割をはたしている。この渦の効果を基礎方程式に従って、計算し、全球の海洋大循環をシミュレーションすることによって、気候変動のメカニズムの解明が大いに前進すると考えられている。このため高分解能、高計算効率の海洋大循環モデルが必要になる。

<実施計画>

b-1. 3次元全球大気モデルの開発

3次元全球モデルの開発は、まず力学コアとしての性能評価の後、物理過程モデル

を組み込み、さらに現実的な気候状態の再現実験を行う。はじめに、3次元全球モデルの力学スキームの検討を継続する。力学コアの大枠は定まったが、さらに様々なテストによって信頼性を高める必要がある。続いて、力学コアモデルに順次、雲物理、放射、乱流、地表面過程のモデルの組み込みを行う。物理過程モデルを組み込んだ3次元全球モデルによって、様々なテスト実験を行う。以上の作業が終了した後、現実的な気候状態の再現実験を行う。

b-2. 領域非静力学モデルによる新しい力学スキーム・物理過程スキームの検討・開発
次世代大気大循環モデルのサブセットとして、昨年度までに領域非静力学モデルを開発した。このような領域モデルを用いて、次世代モデルに採用すべき力学スキームや物理過程スキームの検討を行う。移流スキーム、山岳の取り扱い、時間発展方法、数値拡散などがある。物理過程については、既存の雲物理過程、放射過程、乱流、地表面過程の性能テストとこれら物理過程の水平5-30km格子の分解能での応用に適切なパラメタリゼーションが必要になる。

b-3. 次世代海洋大循環モデル開発

まず、格子系、差分スキーム等の検討、評価、研究を行い、高分解能、高計算効率を可能にする海洋大循環力学コアを開発する。この力学コアは順次、単純なものから、より現実に近い複雑な気候問題で評価する。また地球シミュレータでのパフォーマンスのチェック及びチューニングの作業を行いながら開発する。

次に、この力学コアを実装した海洋大循環モデルを開発する。この海洋大循環モデルは現実の気候状態の再現実験を通して評価していく。また計算効率は地球シミュレータでチューニングを行いながら評価する。同時に、この海洋大循環モデルで必要になる、大規模データの入出力、画像出力等のためのソフトウェア群を大気大循環サブグループと共同して開発していく。

c. 海洋データ同化システムの開発とそれを用いた再解析および予測実験

本課題は次の二つのサブ課題を含んでいる。

c-1. 水循環海洋の気候変動と構造形成の解明

現在までに4次元変分法により全球季節変動気候値の再解析データを作成し、熱量の南北輸送過程などを明らかにしてきた。今後は、年々から十年スケールの気候変動を、特に太平洋の熱帯と中高緯度領域を対象として明らかにする。

また、太平洋の亜熱帯域に広く存在する亜熱帯モード水や亜寒帯域の中冷・中暖水等の亜表層水塊、および北太平洋中層水に代表される中層水塊との形成と変質過程の解明に取り組む。

c-2. 短中期の変動予測

予測シミュレーションには精度のよい初期値化データを非線形大循環モデルに適用する必要がある。また、予測は確率的に評価することが気象分野では主流となっている。そのため新たなデータ同化手法が必要である。これにより、主にエルニーニョに代表される熱帯変動の予測実験を行い、予測可能性をふまえた短中期の気候変動予測モデルの構築に取り組む。

＜実施計画＞

c-1. 4次元変分法と再解析データによる海洋構造と変動機構の研究

海洋における観測データは断片的で4次元構造解析を行うには不十分である。そのためモデルと観測データの両者を有効に適用する必要がある。まず、力学的合理性を持ったデータを構築するために、高精度の海洋大循環(MOM3)4次元変分法同化モデルを高解像度化することにより、特に熱帯から中高緯度にかけて渦分解再解析データを作成し、熱・水循環の基本構造（特に南北輸送量）とその変動を評価する。個々のエル・ニーニョを特徴づける要因の解析も併せて行う。

また、4次元変分法は感度解析に応用可能である。従来有力な解析手法がなかった海洋構造の解析にこの感度解析適用する。

c-2. アンサンブル・フィルターと変動予測の研究

データ同化により力学的合理性を持った初期値化データを構築することができ、これにより信頼性の高い予測が期待できる。そのために次の二つのアプローチを採る。まず、確率論に基づくデータ同化手法(フィルター、スムーザ)の導入を行う。大循環モデルは非線形であり、この課題を克服するためにアンサンブル法を適用した手法を開発し、期待値のみでなく高精度な確率分布の解析を目指す。これにより、確率予測を可能とする。このモデル研究は超多自由度の問題となるので、地球シミュレータセンターと共同して効率的な超並列アルゴリズム化をはかり、地球シミュレータを中心とする超並列コンピュータを活用して実用化する。

(3) 他の研究計画との関係

地球温暖化実験は、世界各国の研究機関で行われており、その結果は「気候変動に関する政府間パネル(IPCC)」によって5年毎にまとめられている。高解像度結合モデルによる実験(a-1)は IPCC への貢献を目指して東京大学気候システム研究センターおよび国立環境研究所と協力して進めることとしている。次世代大気・海洋モデル開発のうち大気モデル(b-1)は、国内の同様の目的を持った自主的共同研究プログラム、「非静力 2000」(代表者：岩崎俊樹東北大教授)に参加している。

海洋データ同化システムの開発(c)は、全地球海洋の nowcast, forecast に関する国際共同プロジェクトである GODAE のなかで特に Climate コンポーネントの研究に大きく貢献するものである。それとともに、世界気候計画(WCRP)の気候変動と予測可能性研究(CLIVAR)、ならびに全球海洋観測システム(GOOS)や地球気候観測システム(GCOS)にも貢献するものである。また、関連する現場観測や衛星観測を含む国内外との協力、とりわけ文部科学省が推進する日米、日英のデータ同化並びに気候変動関連研究の連携強化につながるものである。

7. 国際太平洋研究センター (IPRC) における研究計画

(1) 目標

国際太平洋研究センターは、国際的また先端的研究環境のもと、地球規模変動の影響を含むアジア太平洋地域の気候変動の性質を理解することにより、予測可能性を向上させることを目標としている。

国際太平洋研究センターにおける主研究テーマは、

- a. 太平洋・インド洋の気候変動
- b. 太平洋西岸海域の変動
- c. アジア・オーストラリアモンスーン
- d. 地球規模変動のアジア・太平洋域への影響

である。

(2) 研究課題と研究実施計画

1) 研究課題

上の各テーマにおける今後5年間の研究目的とその具体的な課題は以下に記す設問に要約される。

a. 太平洋・インド洋の気候変動

目的：太平洋とインド洋における経年及至数十年スケールの気候変動を解明する。

- (i) 北太平洋中緯度における十数年変動を決定する大気と海洋の物理過程は何か。
- (ii) 大気は中緯度の海面水温に如何に応答するのか。
- (iii) 太平洋の熱帯・亜熱帯・亜寒帯間における熱量と塩分の交換はどの道筋を通るのか。
- (iv) ENSO/十数年変動の特性を決めるメカニズムは何か。
- (v) 熱帯における温度躍層はどう維持されるのか。亜熱帯からの外力が熱帯の海面温度や温度躍層の変動に寄与するのか。
- (vi) インド洋の海面温度の特性と変動を支配する要因は何か。

b. 太平洋西岸海域の変動

目的：地形が複雑で強い流れの存在する太平洋西岸海域の変動がアジア・太平洋地

域の気候に与える影響を研究する。

- (i) 黒潮続流・親潮フロント域の変動の原因となる力学的熱力学的要因は何か。
- (ii) 北太平洋の水塊形成と循環を支配する過程は何か。
- (iii) 西岸強化流の変動はどのように決まるのか。
- (iv) この海域の海流が亜寒帯・亜熱帯・熱帯循環の相互作用にどのような役割を果たすのか。
- (v) 東アジア縁辺海と太平洋循環、インド洋循環はどう相互作用するか。
- (vi) インドネシア通過流の強度・鉛直構造・水塊特性を決めるのは何か。
- (vii) 西太平洋海域での大気・海洋相互作用の特長は何か。アジア太平洋の気候にどの程度の影響を与えるのか。

c. アジア・オーストラリアモンスーン

目的：アジア・オーストラリアモンスーン系及び水循環の季節内及至十数年変動とその予測可能性を支配する物理過程を解明する。

- (i) アジヤモンスーンの特徴が何故特定な地域における急激な変動で決まるのか。
- (ii) モンスーンの活動期と休止期の反復を生じさせる原因は何か。
- (iii) 季節内振動 (IOS) はモンスーンの活動と如何に関係しているのか。
- (iv) インド洋の赤道海域が南半球の夏季 IOS 内の源であるように見えるのは何故か。
- (v) 夏季 IOS が西太平洋では北西に伝播するのに対しインド洋では北向きに伝播するのは何故か。
- (vi) IOS と経年変動を結ぶものは何か。
- (vii) モンスーンの季節内変動は予測可能か。
- (viii) 陸域・大気の相互作用、海洋・大気の相互作用はアジア・オーストラリア水循環を規定するのにどのような役割を担っているのか。
- (ix) 水循環はモンスーンの活動期と休止期にどのような効果を与えているのか。
- (x) アジア・オーストラリアモンスーンの気候変動が担う主要な役割は何か。
- (xi) 陸域・海洋・大気の相互作用によるアジア・オーストラリアモンスーンに固有の経年変動 - 十数年変動モードは存在するか。
- (xii) モンスーンの経年 - 十数年変動はどういうメカニズムで生じるのか。
- (xiii) 上記の変動に太平洋やインド洋の遠隔地からの影響はあるか。もしあればモンスーンに強く関係しているのはどの海域か。逆にモンスーンの変動は遠い海域に影響を与えるのか。
- (xiv) モンスーン変動は全地球の気候変動の予測可能性にどのように影響するか。

d. 地球規模変動のアジア・太平洋域への影響

目的：全地球規模で生じる環境変動とアジア・太平洋地域の気候との関係を解明する。

- (i) アジア・オーストラリアモンスーンの平均状態とその変動は全地球の気候システムにどう依存しているのか。
- (ii) アジア・太平洋の気候は大気中の CO₂、エアゾル、陸域などによってどのような影響を受けるのか。

2) プロジェクト

それぞれの研究課題はいくつかの具体的なプロジェクトに分かれており、I で挙げた設問を解決するべく研究を推進する。プロジェクトの項目は以下のとおりである。また、個々のプロジェクトのスケジュールを表に示す。

Theme 1：太平洋・インド洋循環、低緯度/中緯度における大気・海洋相互作用、太平洋十年規模変動、太平洋・インド洋結合システム力学。

Theme 2：黒潮親潮システム、低緯度西岸境界流、縁辺海とインドネシア通過流。

Theme 3：モンスーン力学、モンスーンの経年変動、全球モデル、高解像度局所モデル。

Theme 4：気候フィードバックへの評価、火山の気候に対する影響、西太平洋域の台風に対する地球温暖化の影響。

3) 研究手法

気候変動研究は一般に (1) 診断解析 (2) モデリング (3) 短期間の集中的なプロセス研究 (4) 長期間の観測 (5) 予測などが必要で、これらを総合的に発展させることが望ましい。しかしながら、IPRC においては当面 (1) と (2) に重点を置き、主に (3)、(4)、(5) を遂行している他の研究所と密接な協力関係を結びお互いに研究目標を達成することとする。

a. 診断解析研究

この研究の目標は

- (i) アジア・オーストラリアモンスーンが更に十分に記述出来るようにする。
- (ii) 気候変動の基本モデルを識別することにある。この研究が成功するか否かは必要なデータセットが容易に入手できるかどうかによる。そのために IPRC は「アジア・太平洋気候データセンター」を設置・運営する。

b. モデリング

IPRC におけるモデリングにおいては

- (i) アジア・太平洋の気候変動を生じさせている過程を識別する。
- (ii) 上記変動のどの部分が予測可能かを決定する。

ことが総合的な目標である。これを達成するにはモデル研究は以下の各項を実行することが必要となる。

- (a) 海洋及び大気の大循環とその変動を現実的にシミュレートすることが可能なモデルの開発。
- (b) 結合モデルの開発。
- (c) 数値プロセス実験の設計と施行。
- (d) 他の研究所との共同研究による既存のモデルの活用。

このようなモデル研究には様々な型のモデルが要求される。例えば

- ・ 大循環モデルの検証と仮説の発展を目標として中規模で簡単な海洋モデル、大気モデル、結合モデル。
- ・ 特定海域に適した高解像度海洋モデル。
- ・ 熱塩循環、水塊形成などがアジア・太平洋の気候に及ぼす影響を検証するための海洋大循環モデル。
- ・ 特定の海面水温分布を外力として動かす大気循環モデル。
- ・ 大気大循環モデルに埋め込む高解像地域局所モデル。
- ・ 表層過程の役割を研究するための全球的結合モデルと海域限定の海洋大循環モデル。
- ・ 陸域・大気・海洋の相互作用などを研究するための陸や氷も含んだ結合全球モデル。

IPRC では上記モデルの多くを可能な限り利用する計画であるが、人的資源とコンピュータの不足から当面は全てを保持することは出来ないので他の研究所との協力研究によりその目的を遂行する。

5) アジア・太平洋気候データ研究センター

IPRC における研究活動は気候関係のデータを大量に利用する。このデータセンターの目的は、インターネットなど先端技術を用いてデータベースを構築するとともに、それを研究者に簡便な形で供給できるようにすることにある。また、大量のデータを用いた研究を行うことにより、データの品質向上をはかることも目的のひとつである。このセンターは IPRC 研究者のみならず国内外の研究者へも役立つことが期待される。

a. データの種類

- 衛星データ（熱放射、降雨量、雲量、各層の温度・湿度、海面の風応力、海面変度、海色など）
- 気象データ（風力・風向、気圧、気温、湿度など）
- 海洋データ（水温、塩分、流向・流速、混合層、変動値など）
- 水循環データ（雨量、積雪慮、氷量、土壌温度・湿度、地表蒸発量、アルベド、河川流量など）
- 個々のプログラムからのデータ（例えば GEWEX や CLIVAR で集められたデータセット）
- 再解析データ（NCEP, ECMWF 他で作られたデータセット）
- 古気候学データ（堆積物、サンゴ、樹木年輪などからの資料）

b. 体制

当センターを構成する人員は主にデータマネージャー、プログラマーとなる。研究者はフロンティア研究者も含めすでに IPRC に存在するが、センター専任のデータマネージャー、プログラマーは今後雇用する予定である。またセンターの活動には専用のコンピュータやデータサーバーなどの施設が不可欠であるので、今後整備する計画である。

チームリーダー： Peter Hacker

研究員等： 三寺史夫、早稲田卓爾、Ron Merril, Guan Yuan, Yongsheng Zhang, Tangdong Qu, Nikolai Maximenko, Max Yaremchuk

c. プロジェクトおよび業務

具体的には次の 4 つのプロジェクトからなる：(i)インターネットを活用した分散環境データサーバーの開発、(ii)データベース管理および品質管理、(iii)大量データを用いた研究、(iv)国際的協同研究の推進。個々のプロジェクトのスケジュールを表に示す。

8. 国際北極圏研究センター（IARC－日本側部分）における研究計画

（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ている。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・予測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）研究課題と研究実施計画

中間評価の提言を受け、IARC フロンティアの見直しを実施していくため池田プログラムディレクターの後任は当面松野システム長が事務取扱としてプログラムディレクター代行を務め、池田プログラムディレクターはアドバイザーとして参加する。

1) 研究課題

第1期後半5カ年の研究課題として下記a～cの3項目を掲げ、領域内外の各組織間の連携の下で研究を推進する。

a. 海洋・海氷・大気結合システム

a-1. 海氷・海洋モデル改良・検証

a-2. 北極低層雲の温暖化における役割評価

a-3. 超10年スケール気候変化変動メカニズム解明・予測

b. 北極圏物理化学生物モデル構築・利用

c. クロスカッティング・プログラム：環北極海モデル構築

2) 研究実施計画

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おり、いずれの場合も大気、海洋と海氷に陸面過程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、大気条件と強い相互作用をしている。大気中の鉛直熱水輸送には雲が重要な役割を果たしており、水平輸送にとっては大気総観規模擾乱が重要である。近年は極渦が強化しており、その力学・熱力学的影響が海氷減少の一因であるとも言われている。

一方、大気場には海面と陸面の条件が大きな影響をあたえている。すなわち海氷分布の変動が極渦を強化している可能性もある。さらに海面からの熱水フラックスが雲を増加させ、雲の増加は温暖化を促進するという相互作用も考えられる。北極圏のもうひとつの特徴である北大西洋深層水は全球気候変動に重大な影響を持ち、その形成は北極域の気候変動、特に海氷と低塩分水の流出に敏感である。近年の観測事実として、深層水形成量は減少しており、さらに温かい北大西洋水の北極海中層への流入は増加している。この変化が北極の温暖化と関係しているかどうか究明する方針である。また太平洋と大西洋では数十年スケールの変動が起きており、亜寒帯域との相互作用は究明すべき課題である。

a-1. 海氷・海洋モデル改良・検証

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水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。北極域との相互作用をする亜寒帯海洋のうち、太平洋は大気との相互作用に重要となる海洋上層がいまだ適切にモデル化されていない。

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分布過程、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。太平洋亜寒帯域のモデルは冬期混合層再現に課題を残しており、このモデルの向上もめざす。さらには北極海亜寒帯域結合モデルまでをIARCの担当とする。

観測フロンティアによる太平洋水・海氷融解水分析、海洋混合層過程観測、およびNABOS (Nansen Amudsen Basin Observation System) に参加して行う大西洋水流入観測の成果を、モデル検証、モデル中のパラメータ改良に利用していく。

a-2. 北極低層雲の温暖化における役割評価

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。北極域の低層雲は冬季に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。水蒸気は海洋とともに亜極域からも輸送されるので、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氷は融解し、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。低層雲は太陽放射をさまたげ、冬季と逆に寒冷化する効果をもつ。このように積雪と海氷は大気・雲ともフィードバック作用をし、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、大気力学モデルの挙動、力学過程が雲分布にあたえる影響、およびその海氷へのフィードバックを

数値モデルで調べ、予測可能性を探る。水循環領域も含む観測フロンティアによって収集・解析される日々の気象観測、海洋観測船による観測、衛星リモートセンシングなど、多様なデータを利用して、モデル検証とパラメータ化改良を進めていく。

a-3. 超10年スケール気候変化変動メカニズム解明・予測

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）の蛇行と総観規模の現象である。熱源と陸地形の影響によって蛇行と擾乱がつくられる。シベリア陸棚、バレンツ海、ベーリング海、オホーツク海などの高緯度海域では海氷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氷が変動するというフィードバックも存在する。近年注目されている北極振動が大気内部モードでありながら、10年周期変動する原因を海氷分布にもとめることも可能である。しかしながら大気循環と海氷分布の相互作用を解明・予測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・予測するには、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。大気モデルと海氷・海洋結合モデルの検証を行った後に、モデル統合化領域と協力のもと、大気・海洋結合系のモデルを構築する。大気モデル、海氷海洋モデルを海陸表面データで駆動する実験および観測との比較も遂行する。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計画する。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. 北極圏物理化学生物モデル構築・利用

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氷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極渦の強化という要素が加わって、正のフィードバックが働くことが予想される。

北極域の環境変動においては、大気海氷海洋の物理的力学的挙動だけではなく、生物化学的要素が重要な働きをしている。特に北極域における変動が複雑系である全球地球システムに与える影響に注目して、研究を進めることが肝要である。

このような例としては、海洋中の炭素循環、陸面と大気の相互作用による温暖化気体放出吸収、海面から放出される生物起源 DMS などの微量気体があげられる。

主な研究課題としては、北極域環境変動における、生物化学的要素の役割を明かにするとともに、それと物理的要素の相互作用を含んだモデルを構築・検証したうえで、全球温暖化モデルに統合する。このような目的を達成するために行う観測フロンティア研究として、みらいなどの観測船を利用した現場サンプルの収集、および他の航海もふくめて収集されたサンプルの分析をおこなう。また生物化学物質は環境変動の指標としても用いられる。特に淡水フラックスとして重要な成分である太平洋水が、北極海に流入し拡散していく過程を解明するために、化学トレーサーを観測する。それに留まらず、氷床、海底堆積物、湖底堆積物の分析から得られた過去の変動は、物理モデルの検証のための貴重な材料である。

c. クロスカッティング・プログラム：環北極海モデル構築

北極海はシベリア、北米大陸によって囲まれており、ここから流出する淡水は塩分躍層と海水を保持する役割を果たしている。さらに陸域生態系に由来する有機物の流入は、海水トレーサーとして利用できるし、北極海生態系に重要な影響を与えている。いっぽう陸域生態系が温暖化進行とともに変化し、凍土融解、積雪分布と河川流量の変化、および大気への温暖化気体放出量増加を引き起こす可能性も指摘されている。

これらの統合的モデル研究は、モデル統合化領域の推進する「フロンティア全球モデル」構築プロジェクトに協力することによって進める計画であるが、それだけではなく、水循環領域が推進しているシベリア水循環モデルと連携することが必要条件である。IARC がこのクロスカッティング・プログラムのコーディネイトをする。同分野の観測研究は観測フロンティアにおいて連携作業を進めることとなっている。

(3) 他の研究計画との連携

JAMSTEC の海洋現場観測、NASDA の衛星観測と連携することは、有効に成果をあげるためには必須である。研究計画立案、実行、センター運営などについて、緊密な連絡をとりながら研究を進める。

ARM と SHEBA において行われた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たデータは、IARC における研究に有力な手掛かりを与えている。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。LEADDEX は海氷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。遂行中である SBI では、海洋生物化学過程に重点をおいた観測とモデリングも行われている。IARC での重要課題である生物化学過程と物理過程の相互作用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。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。

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、参考とする。古気候復元をめざす PALE との連携も探っていく。

NSF プログラムで計画されている北極気候モデル計画 CAMP とナンセン海盆観測計画 NABOS には、フロンティア研究者も参加していく。

地球フロンティアが IARC で研究を進め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。