

I. 研究計画および平成14年度の経過概要

I-1 研究目的と意義

本研究の目的は地球環境全体の変化、すなわち気候・大気・海洋の組成、陸・海の生態系が相互に影響を与えつつ一体となって変化して行くのをシミュレートできる地球環境（地球システム）の統合モデルを開発する事およびそれを用いて炭素循環のフィードバックを含んだ地球温暖化予測を行う事である。

これまでの地球温暖化予測では、温暖化の原因である大気中二酸化炭素(CO₂)濃度の将来について、人間活動による CO₂ 放出シナリオをもとに簡略化したモデルを用いて、海洋と陸域生態系（植生・土壌）への吸収量を見積もって大気 CO₂ 濃度の将来予測を先ず行い、その結果を気候モデルに導入して温暖化と気候変化のシミュレーションを行って来た。しかしこれでは十分とは言えない。CO₂ 増加は温暖化・気候変化を引き起こすが、逆に気候変化は大気中 CO₂ 濃度に影響を与えるのにそのフィードバック効果が入り入れられていなかったからである。温暖化によって土壌有機物の分解が進んで大気中に CO₂ やメタン(CH₄)の濃度が増加する、即ち正のフィードバックが作用する可能性があるので、これを無視するのは危険である。

気候モデルに炭素循環プロセスを組み込んでそのフィードバック効果を取り入れたモデルで予測を行わねばならない。また、温暖化・気候変化は生態系の変化を引き起こすと考えられているが、それも CO₂ や CH₄ の濃度に影響する。さらに、もう一つの温室効果ガスである対流圏オゾンも温暖化・気候変化の影響を受ける。そこで、大気・海洋・陸域生態系にまたがる炭素循環や大気組成変化のプロセスを気候モデルに取り入れ、(炭素循環・大気組成・気候統合モデルを作り)、それらのフィードバックを含めて温暖化予測実験を行う必要がある。

I-2 研究計画の概要

大気・海洋・陸地面の、主に物理的状态を扱う「物理気候モデル」として東大気候センターと国立環境研で開発された既存の CCSR/NIES モデルを用い、それを基礎として、地球フロンティア研究システムの各研究領域で研究されている、大気・海洋の化学組成変化、陸域生態系と大気物質交換などの諸過程をそれぞれに取り入れた部分統合モデルを3年目を目安に作り、その上で全体を結合した、「地球システム統合モデル」を研究期間内に完成させる。その過程で3～4年目までに、大気・海洋・陸域生態系にまたがる全球炭素循環モデルを作り、それと気候モデルを結合させたモデルを用いて温暖化と炭素循環とのフィードバック効果を含んだ温暖化予測実験を行う。温暖化と大気組成や陸域生態系の相互作用に関して、さらに温暖化そのものについても未解明のプロセスが多いので共生プ

プロジェクトの第3課題のもとに行われる野外観測やプロセス研究によって必要なパラメータを求め、逆にモデルの結果から精度向上に必要なプロセス研究を依頼し、モデルの確度向上を図る。

I-3 平成14年度の経過

地球フロンティアには地球環境にかかわる多分野の研究者がいるが、発足当初の計画では当面各分野での個別プロセスの研究に重点を置くこととし、本研究のような分野横断・統合型のプロジェクトは考えていなかった。そこで、それぞれの専門を持ちながら統合モデル開発に携わる研究者を新しく集めてモデル作りの中核チームを作ることにした。8月に研究者の公募を行い、5名の参加を決めた。そのうち3名は12月迄に着任し活動を開始した。残り2名は平成15年度より参加の予定である。統合モデルを作るには広範囲の専門家が集まって基本的知識を共有しモデル全体のデザインを作ることが必要である。平成14年度はプロジェクト発足初年度なので、主にサブ課題を単位として専門分野ごとに研究の現状のレビューとそれぞれのモデル開発工程の提案と討論を行う勉強会を7回にわたりおこなった。これらの会合での議論をもとに各サブグループの活動を以下IIに説明する。

II. 各サブグループの活動内容

II-1 炭素循環モデル、炭素循環・気候結合モデルサブグループ

II-1a 陸域炭素循環モデル

陸域生物圏は、光合成によって大気中の二酸化炭素を吸収し、植生の呼吸や土壌有機物の分解等の作用により、大気に再び二酸化炭素を戻している。陸域植生の炭素収支は、温度や水分量、大気二酸化炭素濃度等によって、大きく変動することが予想される。このため、二酸化炭素に代表される温室効果ガス排出による地球環境変動により、陸域植生の変化、さらに、気候に影響を及ぼすことが考えられる。

陸域生物圏の物質やエネルギーの循環については、「生物地球化学サイクル」、「生物物理学サイクル」、「生物地理学」の3つのコンポーネントに分割できる(図1)。「生物地球化学サイクル」は、光合成によって植生が二酸化炭素を取り込み、呼吸によって放出、さらに、土壌有機物の分解等を通して、物質の交換を行うサイクルである。「生物物理学サイクル」は、植生の太陽光吸収、降水等による植生の水収支等を扱う部分であり、「生物地理学」においては、気候等の変動による植生分布の変化を表す。本稿では、「生物地球化学サイクル」「生物物理学サイクル」に絞って話を進め、「生物地理学」アプローチについては、

後述する (II-1c)。

本年度は、統合モデルにおける陸域炭素循環モデル部分の検討を行った。現存するモデルとしては、生物地球化学サイクルを記述する「Sim-CYCLE」(図 2)、生物物理学サイクルを記述する「MATSIRO」(図 3)がある。Sim-CYCLE は主に炭素・水の動態を記述し、月単位・日単位に動作するモデルである。一方、MATSIRO は、大気大循環モデルの陸面過程モデルとして作成され、水やエネルギー等の循環を記述するモデルである。MATSIRO は既に大気大循環モデルに結合されているが、植生の葉量は外部パラメータで与え、炭素循環は記述されていない。これをモデル内部で生成させるために、Sim-CYCLE のような生物地球化学サイクルを記述するモデルを組み込むことが必要である。

今後は、まず初めに、Sim-CYCLE と MATSIRO の結合を行い、陸域炭素循環に関する部分結合モデルの構築を行う。MATSIRO は Sim-CYCLE で予報された葉面積指数等の植生量を用い、Sim-CYCLE は MATSIRO で予報された水循環を用いるなどの相互のインタフェースを構築し、モデル結合を行う。作成されたモデルを用いて、過去の気候データ条件下におけるオフライン試験を行う。また、共生第三課題で得られる予定の様々なフィールドデータやリモートセンシングデータ等の測定結果、最新の知見の導入などを通して、モデルのパラメタリゼーションの改良も行う。また、SRES シナリオ条件下等の将来の気候シナリオ条件下での植生炭素収支の変動予測を行い、オフラインにおける植生炭素収支の変動予測を行う。さらに、構築した陸域炭素循環の部分結合モデルと大気大循環モデルの結合を行い、SRES シナリオ条件下における温暖化予測実験を行う。一方で、生態系変動予測モデルと陸域炭素循環モデルの結合を行い、将来の気候変動において、植生分布の変動までも予測する陸域生態系モデルの構築を目指す予定である。

IV. Sim-CYCLE

V. MATSIRO

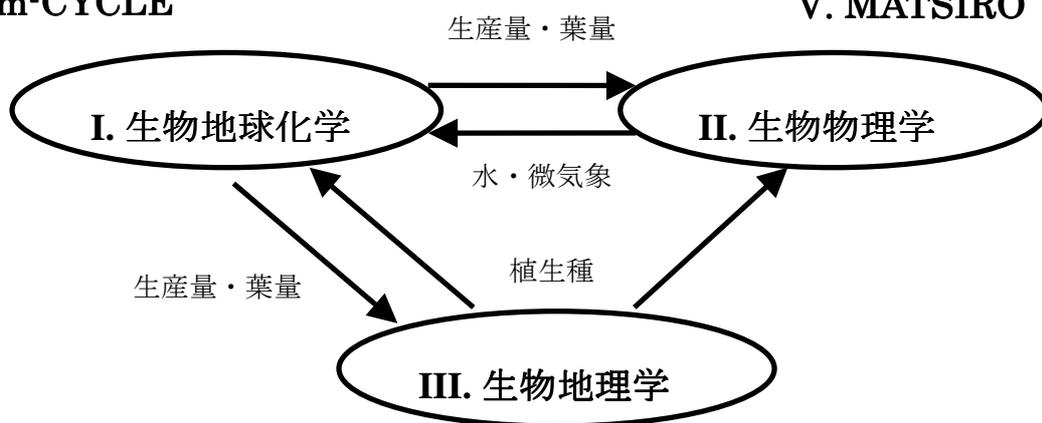


図 1: 陸域生物圏における物質・エネルギー循環の概略

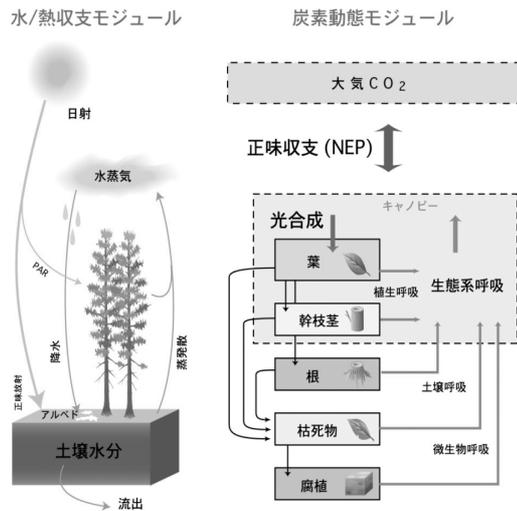


図 2: 陸域植生炭素循環モデル (Sim-CYCLE)の概要

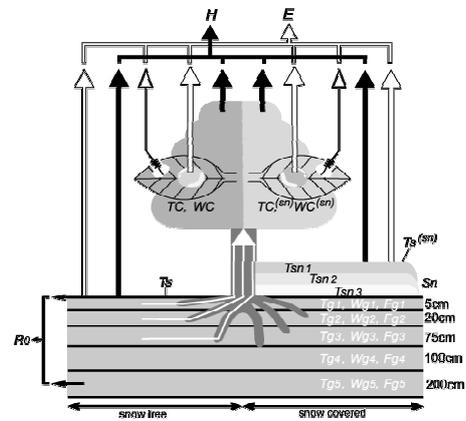


図 3: 陸面水・エネルギー循環モデル (MATSIRO)の概要

II-1b 海洋炭素循環モデル

海洋中の全炭酸鉛直分布は表層付近で濃度が低くなる特徴的な分布をしている。二酸化炭素の大気海洋交換にとって大きな意味を持つこうした分布は生物ポンプ・アルカリポンプ・物理ポンプといった過程によって決定されており、中でも表層生態系における有機物の形成とそれに続く沈降に起因する生物ポンプが最も重要な寄与をなしている。その生物ポンプの効率は、海洋混合層の深さやエクマン湧昇、大気による鉄分の輸送など様々な物理過程から影響を受けている。したがって人為起源二酸化炭素に起因する気候変動が生物ポンプを変化させ、さらに海洋の二酸化炭素吸収に正または負のフィードバックをもたらす可能性は十分にある。

ハドレーセンター (英) や IPSL(仏)が行った陸域-大気-海洋結合炭素循環モデルの結果によれば、気候変動が海洋の二酸化炭素吸収に与える影響は小さいとされる。しかしながら、大気中の二酸化炭素濃度分布に基づいたインバージョン計算や大気中の窒素/酸素比の観測から算出した海洋二酸化炭素吸収の変動によれば、現在の海洋炭素循環モデルは気候変動に対する感度が鈍いことが示唆されている。大気中二酸化炭素濃度の予測のためには、引き続き海洋炭素循環モデルを改善していくことが必要であろう。

統合モデル海洋炭素循環コンポーネントに組み込む生態系モデルとしては、植物プランクトン、硝酸、動物プランクトン、デトライタスを変数とする4コンパートメント表層生態系モデルを考えている(図4)。

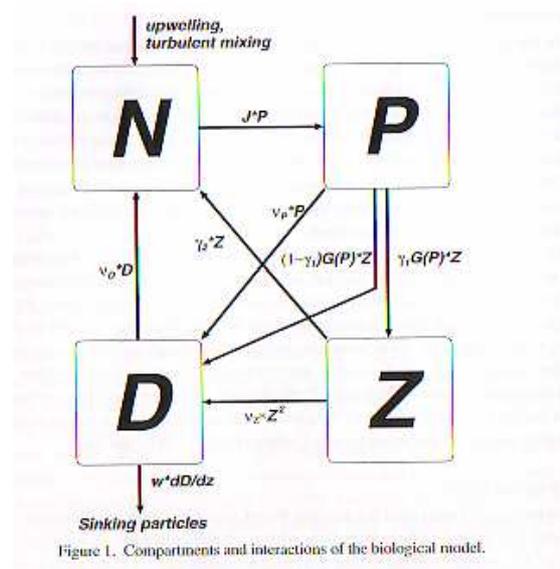


図 4: 採用する海洋生態系モデルの概念図。N は硝酸、P は植物プランクトン、Z は動物プランクトン、D はデトライタスをそれぞれ表す。

こうしたモデルのほかにも、多くの研究者によって現実の生態系の構造をより忠実に再現するような複雑な構造をもったモデルも開発されているが、最終的に開発すべき統合モデルは海洋生態系モデルのほかにも多くの構成要素を含みしかもそれぞれにおけるパラメータの不確実性も大きい。こうした状況において、現在の段階であまり複雑な構造をもつ海洋生態系モデルを導入することは得策でないと判断し、上記の4コンパートメントモデルを採用することにした。このモデルの大循環モデルへの組み込みを早急に行い、さらに陸域炭素循環モデルを組み込んだ結合モデルを用いて二酸化炭素漸増実験を3年目までに行う予定である。

3年目以降は、この結合モデルを用いた実験及び結果の解析を行う一方、鉄の大気輸送の効果も考慮した最先端のモデルを構築していくことを考えている。鉄の効果を取り入れた海洋生態系モデルは既にいくつか開発されてきており、それらを参考に我々のモデルを作り変えていくのは十分可能であると考えられる。また鉄分の大気輸送に関しては、研究実施者の一人が開発したダスト輸送モデルが大気大循環モデルにすぐ組み入れられる形で既に存在する。これらを組み合わせることで大気による鉄分輸送が生物ポンプに与える影響を陽に取り扱えるようになり、氷期-間氷期サイクルや地球温暖化に関して提案されている鉄を介したフィードバック機構に関しより具体的な議論ができるようになると期待される。

II-1c 陸域生態系変動モデル —環境変動に伴う植生帯変動予測に向けて—

地球温暖化は、現在の植生帯分布に大きな変動を与える可能性があるが、実際にそのような変化が生じた場合、固定炭素量の変化、地域の水収支の増減、太陽光反射率への影響を通して、気候条件にフィードバック的な影響を与えると考えられる。従って、数百年～千年オーダーでの地球環境予測を行うためには、植生帯変動の予測が欠かせない。これまで多くの多くの植生動態モデルが構築されてきたが、それらは既存の植生による定着阻害や種子分散過程を仮定しておらず、植生変化の生じる速度については言及できなかった。

既存植生による定着阻害や種子分散距離を仮定した場合、森林帯間の境界移動は数百年スケールでは生じないと理論的に推定されている。しかし、既存植生による定着阻害の働きにくい環境、例えばツンドラ、ステップ、サバナと森林帯との境界は、短期間に大きな変化が生じる可能性がある。特にタイガーツンドラ境界には、木本がまばらに生える移行帯が幅数百 km に渡って存在する為、森林拡大の際の種子供給制限が少なく、従って他のバイオーム境界に比べ速やかな植生変化が生じうる。また、寒帯林は地球の全森林面積の 1/3 を占めており、この地域の植生変化は全球レベルの気候変動予測の精度に大きな影響を与えうる。そこで植生帯変動予測研究の第一ステップとして、寒帯林の分布変化をモデル化したい。

寒帯林の分布変化を予測する上で鍵となるのが、種子散布と未生の定着の 2 過程である。このうち種子散布過程では、種子の形態によって散布範囲が大きく規定される。寒帯林を構成する樹種の種子形態を比較すると、カンバやポプラなどの落葉広葉樹の方が、マツやトウヒなどの針葉樹と比べて、より遠くまで種子が拡散されると考えられる。つまり、広葉樹林と接するツンドラ地帯は、針葉樹林と接するツンドラ地帯と比べて、より早く森林化する可能性がある。しかしながら、寒帯林を構成する樹種間で、種子散布距離を直接的に定量・比較した研究は存在しない。そこで、森林火災跡地の植生回復データと、その近傍の森林の樹種構成データから、各樹種の種子散布距離を推定する事を計画している。

寒帯林の定着過程に関しても情報は不足しているが、特に移行帯においては一般的に、齢構成の頻度分布が典型的な L 字型カーブとならないことから、実生の定着（または種子生産）は環境条件の整った年のみ生じていると考えられている。そこで、このような地域レベルでの気象条件と定着の可否との関係について、各地の林分の齢構成と長期気象データとの対応によって推定、モデル化していきたい。但し、僅か 1 キロメートル程度離れた林分間で齢構成が大きく異なる事例が報告されており、定着の可否には微地理的なヘテロ性も強く影響する。そのようなヘテロ性を生じさせる因子として最も大きな影響を持つのは、地表面の organic matter（コケなど）の蓄積量である。これら地表面物質は山火事によって取り除かれるため、リッター・地衣類の加入速度と分解速度、及び山火事頻度のサブモデルから、そのような木本の定着確率に地表面状態が与える影響を取り込む事が出来るかもしれない。

寒帯林分布変化のモデル構築は、従来の植生動態モデルに幾つかの変更を行う作業となる。主要な変更点は、現在の植生分布から種子が拡散していく過程を含める点である。また、これまでの植生動態モデルでは簡略に扱われてきた定着過程を詳細にモデル化する。これらの作業により、従来の植生動態モデルで扱う事の出来なかった植生変化の速度に言及することを試みる。

II 大気微量気体・エアロゾル・雲・気候相互作用モデルサブグループ

II-2a 温暖化・大気組成変化相互作用モデル

大気中のオゾンは、力学的な意味と環境学的な意味で重要な役割を担っている。また、オゾン以外にも水蒸気や OH ラジカル、NO_x や一酸化炭素といった化学物質はそれ自体が地球温暖化や地球環境問題に重要であるだけでなく、硫酸エアロゾルやメタンなどといった他の温暖化気体にも多大な影響を与えうる。このため、大気化学との相互作用を考慮したモデルを用いて温暖化予測実験を行うことは、予報の精緻化や定量化、また温暖化プロセスの理解の上で重要であると考えられる。

東大気候センター、環境研および地球フロンティア研究システムでは、光化学反応過程と陽に結合した大気大循環モデルを開発し、成層圏オゾンホール将来予測実験 (Nagashima et al., 2002)、ピナツボ火山噴火影響評価 (滝川, 2000)、ENSO の対流圏オゾンへの影響評価 (Sudo et al., 2001) などの研究をこれまでにやってきた。今回の共生プロジェクトにおいては、このうち対流圏光化学モデルを詳細に組み込んだモデル (CHASER) を元に成層圏・対流圏の光化学過程と結合した大気大循環モデルへと拡張し、地球シミュレータを用いていくつかのエミッションシナリオに基づく高解像度 time slice simulation を行う。この時点での着目点は対流圏ではおもに気候変動による OH ラジカルの変化と、それがメタンの光化学的寿命に与える影響である。成層圏では同じく気候変動による成層圏水蒸気量の変動と極域成層圏雲およびその表面上での不均一反応によって活性化されるオゾン破壊効果の相互作用である。あわせて気候変動によって積雲対流活動が変動するため、その際に起きる雷 NO_x 生成量の変動についても評価したいと考えている。

次に、東大気候センター・九大応力研で開発された対流圏エアロゾルモデル SPRINTERS に成層圏エアロゾルを組み込み、CHASER と結合したエアロゾル-化学-気候モデルを用い、化学過程のエアロゾルへの影響評価を行う。対流圏エアロゾルのうち、硫酸エアロゾルは化学過程に大きな影響を受けている。これは、地表から放出された二酸化硫黄などの前駆気体が、気相および液相でのオゾン、過酸化水素、OH ラジカルとの反応によって硫酸エアロゾルとなるためである。また二酸化硫黄の人為起源エミッションは今後のアジア域、とくに中国の経済発展によって放出量が大きく変動すると考えられており、その気候への影響評価を詳細に検討することは今後の温暖化研究において非常に重要である。

これらの部分統合モデルを用いた各プロセス間の相互作用を評価したうえで、最終的な統合モデルの構築に取り掛かる。先に述べたような相互作用のほかには、陸域生態系モデルからの非メタン炭化水素の放出、また逆に大気化学モデルから予報される酸性雨、オゾン量による生態系への影響などを評価することが考えられる。また海洋上で雲凝結核として硫酸エアロゾルが重要であるといわれているが、その生成源としての DMS の海洋から大気への放出量を海洋生態系モデル内で予測することも将来的には検討したいと考えている。

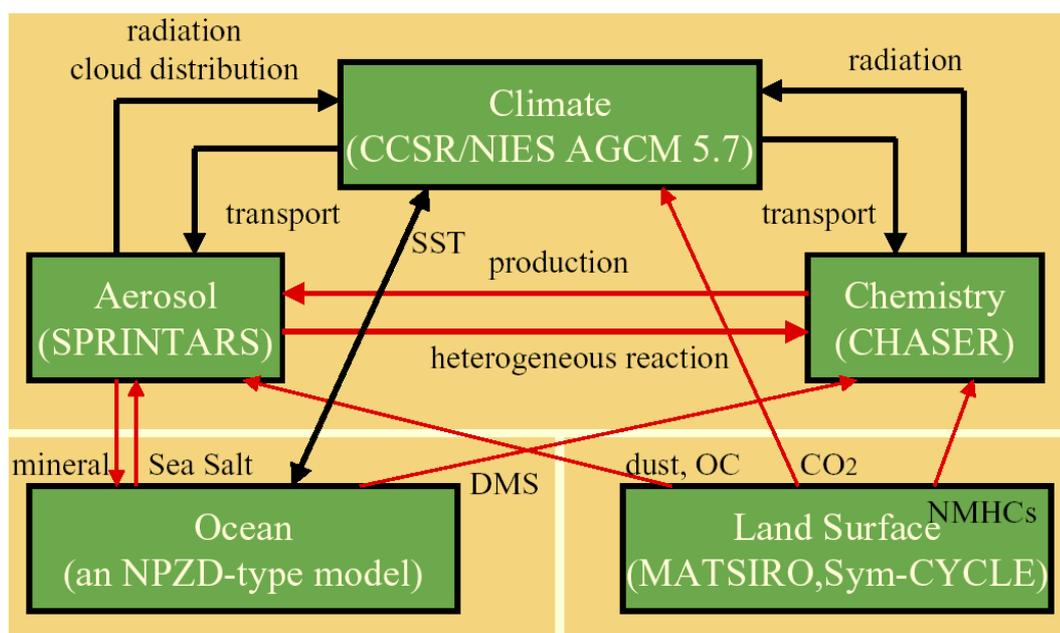


図 5: 温暖化・大気組成変化相互作用モデル概念図。黒矢印は現時点で統合化がなされているもの、赤矢印は今後統合化を予定しているものをそれぞれ示す。

II-2b 温暖化—雲・エアロゾル・放射フィードバック精密評価

IPCC2001 のレポートにもあるように、対流圏エアロゾルの間接放射強制力の見積もりはいまだに不確定性の大きい問題であり、その主な要因はエアロゾルと雲の関係が不確定であることによる。エアロゾルの中で雲粒の凝結核 (Cloud Condensation Nuclei : CCN) として働くものの粒径分布や化学組成と雲の中の上昇流速度によって雲粒の粒径分布が決まり、雲の反射率や光学的厚さなどの光学特性や雨の降り易さなどの降水効率が変わり、ひいては気候変動予測の中では放射収支や水循環にきてくる。これらの因果関係を明らかにするためには詳細雲モデルによる数値実験が不可欠である。この共生プロジェクトでは大気大循環モデル (GCM) でエアロゾルが雲の光学特性に及ぼす影響を評価するためのパラメタリゼーションを開発する。

現状の GCM の例をあげると、まず CCSR/NIES の場合は放射計算に用いる雲粒の有効半径を雲粒数密度から計算し、その雲粒数密度はエアロゾル数密度から算出するようになっている。ここで使われる式はエアロゾルが少ない時はエアロゾル数密度に比例して、多くなると一定値に近づくという事を表す式で、おおまかな傾向はあっているが、CCN とならないものも全部含めたエアロゾルの数の関数であるということと、上昇流が考慮されていないことが問題といえる。また、Max Plank Institute の ECHAM GCM の場合は、雲粒数密度はエアロゾル数密度と雲内上昇流速の関数になっている。雲内上昇流速はグリッド内平均上昇流速から求める。格子の中での雲の割合、雲内の上昇流速の求め方が課題である。

一方、フロンティアでは、GCM よりずっと細かい詳細雲モデルを開発し、数値実験によって雲の光学的性質や雲粒数密度を予測するパラメタリゼーションを開発している。いろいろな条件での数値実験の結果を統合して、CCN の過飽和度スペクトルと雲底での上昇流速の関数として雲の中の過飽和度の最大値を予測する式を開発した。また雲内の最大過飽和度で活性化することのできる CCN の数と雲底での上昇流速の関数として雲粒数密度を予測する式を開発した。さらに予測した雲粒数密度と雲の鉛直積算雲水量から雲の光学的厚さを予測する式も開発した。同様に、雲内各層の雲粒の有効半径を雲粒数密度と雲底からの高度の関数で表すことも可能である。また、精度は落ちるが、CCN スペクトルから直接、雲粒数密度を予測する方法も開発した。これを用い、衛星観測などから独立に得られた雲の光学的厚さと鉛直積算雲水量から雲粒数密度を予測して、雲底での上昇流速とあわせて CCN 数密度を逆算する事が可能である。この方法はエアロゾルではなく CCN の情報を全球的に長期的に観測するのに非常に有効である。

研究方針としては、GCM に組み込むための、エアロゾル (CCN) の気候への影響を評価できるパラメタリゼーションを開発するために、まず、すでに現時点で GCM で用いられているパラメタリゼーションを検討し、ここで開発した詳細雲モデルによる数値実験の成果と合わせて、より良いパラメタリゼーションを開発していく。この際には GCM の予報変数からどのようにしてサブグリッドスケールの雲を表すか、即ちグリッド内の雲の占める割合、雲内上昇流速、雲の鉛直積算雲水量の算出などが問題になるが、この点に関しては他のグループと連携して解決していく。

今年度は CCSR/NIES GCM と ECHAM GCM の検討にとりかかり、その問題点の洗い出しと、それらを使った計算結果の検討をした。問題点としては、グリッド内の雲の割合の算出方法、雲内の上昇流速の算出方法、雲水量から雨水量への変換時定数のパラメータの計算式などがあがっている。そして方針として、以下のことが合意された。

- エアロゾルの影響は CCN と上昇流速のセットで扱う。
- エアロゾルの情報は CCN の情報に焼き直す (始めは $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, NaCl などできるところから)

- 上昇流速の導出は当初は現状の ECHAM-GCM に従い、必要なら改良する。
- 雲粒数密度の診断式をまず作る。これを発生項として雲粒数密度を予報変数とする事をめざす。タイムステップの長さによっては診断式で十分なこともあり得る。
- 雲氷量を必要があればカテゴリー分けする（重力落下速度が大きく異なるので）。層の厚さに依っては不要かもしれない。

III 寒冷圏モデリングサブグループ

地球上南北両極には陸上に氷床、海上に海氷があり、それらの生成変動は地球規模の気候変動と直結している。このため、温暖化に伴い氷床や海氷が敏感に反応して融解したり、さらに広範囲の気候や海面変動に影響を及ぼすことが懸念されている。そこで、このグループでは、最終的には地球シミュレータ上で稼動する大気／海洋／海氷／氷床結合モデルを構築し、地球温暖化や海面変動の予測実験を行なう。まず、部分モデルの改良をしながら様々な感度実験を通じて不確定要素の把握につとめる。さらに、結合されたモデルを用いて現在や過去の再現実験を行ないながら、予測実験の精度を高めることをめざす。

氷床の質量は、降雪や融解と再凍結といった大気との相互作用のほか、内部の氷の流動変形や底滑りなど氷床の力学過程により決まっている。温暖化に影響されると、氷床は融解するばかりでなく、降雪の増加や氷の変形による負のフィードバック（氷床の全体としての質量損失を押さえるメカニズム）を受けたり、逆に面積や高度の低下による気温と融解への正のフィードバックを受けたりする。また融け水の増加、氷温度の変化、流動や底滑りの変化は、氷床変動に正ないし負のフィードバックをもたらす。そこで氷床変動の予測には、降水量や気温や放射などを計算する気候モデルと、融解量を計算する表面質量収支モデルと、氷床の流動と底滑りや形を予測する氷床力学モデルで構成される必要がある。今年度までに部分モデルの製作は一通り行なったので、今後は、各部分の改良を行ったり、地球シミュレータ用に氷床モデルプログラムを並列化最適化したり、カップラーの開発を行なって気候モデルと氷床力学モデルの結合の特性を調べる。また、2万年前の最終氷期以降に関して、海洋底堆積物や地形のデータによる過去の気候や氷床変動／海水準の復元がかなり高精度で行なわれるようになってきたので、これを再現する数値実験を試みることを通してモデルの検証をおこなっていく。

海氷についてはより精度高く面積や厚さや密接度等の分布を求めることが必要である。すでに大気／海洋モデルと結合した形で海氷モデルが開発されているので、今後は海氷部分モデルの高精度化とともに、結合系としてのふるまいの把握のための感度実験調査と観測データによる検証を行なう。とくに、海氷は、厚さによって、大気／海洋間の熱交換の効率や塩分除去過程が格段に異なってくるので、海氷熱力学部分の精密化を検討することを予定している。共生3の観測研究とも密接に連絡をとりあってより現実的で本質的

な過程のとりこみを行なう。

IV 気候物理コアモデル改良サブグループ

最終的な統合モデルの基礎となる全球大気モデルの開発を長期的な目標とするとともに、各サブグループ(部分統合モデル)のニーズに合わせた大気モデルの開発・提供を目的とする。

共生第一課題の大気モデルを基礎とし、中層大気(成層圏・中間圏)を含むように拡張し、特に上部対流圏-下部成層圏の力学場・温度場と水蒸気分布に関して改良を行う。現在の共生第一課題のモデルには、同領域に顕著な低温・水蒸気過多バイアスが存在する。この解決は、対流圏界面付近の雲や水蒸気量が無視できない放射強制力をもつこと、冬季-春季の高緯度下部成層圏の水蒸気量がオゾン層破壊の原因となる極成層圏雲の発生に重要であることから、重要な課題である。

この件に関しては、放射過程の計算精度や鉛直波長の短い大気内部重力波の表現が重要であると考えられるため、モデルの鉛直解像度を100 m~1500 mの間で、いくつか変えて実験を行い、それに対して、シミュレートされる重力波や温度場・水蒸気分布の応答を調べる必要がある。現在、モデル・トップ 80 km で、水平・鉛直解像度の異なる 20 セットほどの実験を地球シミュレーター上で行っている。

初期成果の一例として、水平解像度は T21(格子間隔 550 km 程度)と粗いながらも、鉛直解像度を、従来中層大気大循環モデルで用いられてきた 1500 m 程度から、200 m まで細かくしたときの、温度場の再現性の様子を図 6 に示す。これらの図の数値は、シミュレーションの結果から、観測データの値を引いたものであり、値が小さくなるほどシミュレーションの結果が良好であることを表す。

この結果から、鉛直解像度を高くすることによって、下部成層圏から対流圏界面付近(50-300 hPa)の低温バイアス(観測に比較して温度が低い)が改善されていくことが分かる。水平解像度の増加とともに、鉛直解像度の増加には大きな計算機資源を必要とするため、これらの実験は地球シミュレーターを用いて初めて可能となるものである。

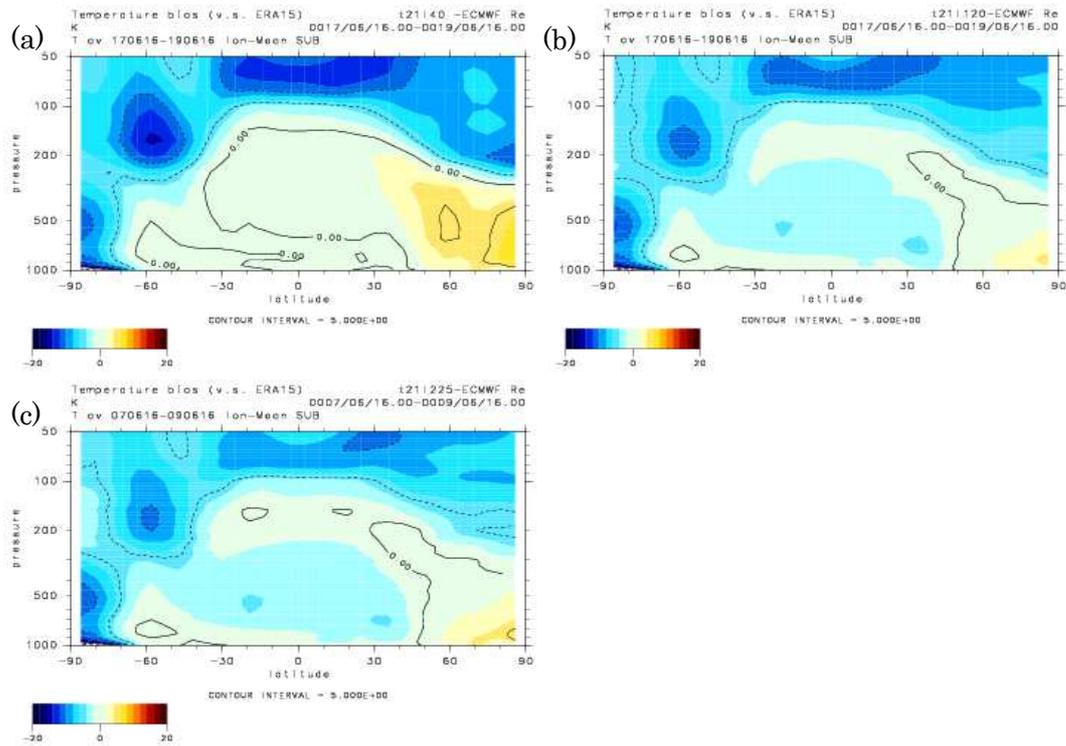


図 6: 6 月の東西平均温度バイアス:(a)鉛直解像度 1500 m、(b)同 500 m、(c)同 200 m。
(単位:°C)

今後は共生第一課題と協力してモデルの改良を行いながら、統合モデルとして適切な水平・鉛直解像度を見定めていく予定である。またサブグリッドスケールの重力波の散逸過程である、数値粘性(乱流拡散)の取り扱いに関しては、共生第三課題とも協力していきたい。なお、大気モデルの鉛直座標系を、従来の σ 座標系から、 σ -P ハイブリッド座標系に更新する作業も並行しており、これによって対流圏界面付近の力学場の再現性が向上することが期待される。