

平成19年度

「21世紀気候変動予測革新プログラム」応募申請書

研究テーマ A
(単独応募型)

研究課題名：
「雲解像モデルの高度化とその全球モデル高精度化への利用」

研究代表者

坪木和久
(名古屋大学 地球水循環研究センター)

(様式Y_A-1)

文部科学省 21世紀気候変動予測革新プログラム A 応募書

| | | | | | |
|--------------------------------------|-----------------------------------|---|-----------------------|---|--------------|
| 研究テーマ | A. モデルの高度化および将来予測 (のテーマ) | | | | |
| 研究課題名 | 雲解像モデルの高度化とその全球モデル高精度化への利用 | | | | |
| 研究代表者 | ふりがな氏名 | つぼき かずひさ 坪木 和久 | 生年月日 | 西暦 1962 年 7 月 19 日 (44 歳) 2007年4月1日現在の年齢 | |
| | 研究機関・所属部署名 | 名古屋大学・ 地球水循環研究センター | | 役職名 助教授 | |
| | ふりがな所在地 | あいちけん なごやし ふろうちょう 〒464-8601 愛知県 名古屋市 不老町 | | | |
| | TEL. | 052-789-3493 | FAX. | 052-789-3436 | |
| | E-mail: | tsuboki@rain.hyarc.nagoya-u.ac.jp | | | |
| | URL: | http://rain.hyarc.nagoya-u.ac.jp/~tsuboki/ | | | |
| エフォート(年間全研究時間を100%とした際の当該研究に割く時間配分率) | 35 | | % | | |
| 課題代表機関 | ふりがな研究機関名 | こくりつ だいがくほうじん なごやだいがく 国立大学法人 名古屋大学 | | 研究機関の代表者氏名 総長 平野眞一 | |
| | 事務連絡先 (当該担当者に審査結果等全ての連絡をいたします) | 担当者名 | 横井正男 | 役職名 | 掛長 |
| | | 所属部署名 | 環境学研究科・地球水循環研究センター庶務掛 | | |
| | | 〒464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町 | | | |
| | | TEL. | 052-789-3454 | FAX. | 052-789-3452 |
| E-mail: | | yokoi.masao@post.jimu.nagoya-u.ac.jp | | | |

A 研究計画

研究課題名 「雲解像モデルの高度化とその全球モデル高精度化への利用」
研究代表者名 「 坪木和久 」
課題代表機関名 「 国立大学法人 名古屋大学 」

1 . 研究概要

全球モデル・気候モデルでは、雲を直接解像することができない。雲を精度よくシミュレーションし、その特性を全球モデルに反映させるためには、1km～数 100m 解像度の雲解像モデルを利用することが必要である。名古屋大学では純国産の雲解像モデル CR eSS (Cloud Resolving Storm Simulator) の開発を 1998 年以來行っている。このモデルは振興調整費により一から開発をはじめ、実際の気象予測にも用いることができる段階まで達している。さらに地球シミュレータへの最適化が行われており、現在、より高度で多様な利用を目指して開発を進めている。ここで提案する研究課題は、この雲解像モデルをより高度化し、その利用により全球モデルの高精度化に寄与することを目的とする。具体的には、次の 4 項目の研究・開発を行う。

1. 雲解像モデルの改良と高度化を行う (雲解像モデル改良) 。
2. 雲解像モデルを用いたシミュレーション実験から得られるデータを利用して、全球モデルの雲と大気境界層についてのパラメータを改良する (パラメータ改良) 。
3. 非静力学雲解像モデルと静力学全球モデルを結合することによって、非静力学モデルと静力学モデルという“非斉一な”モデルの結合を行い、局所的に高精度な全球シミュレーションを行う(非斉一モデル結合)。この結果を主に衛星観測データにより雲・降水について検証する。
4. 全球モデルの結果を雲解像モデルと比較検証し、雲に関わる不確定性の問題点を明確化する。特に、温暖化に伴う変化が顕著に社会に影響を与える熱帯の対流雲と台風を中心に、現在気候と温暖化気候におけるモデル間の比較検証を行う(比較検証実験)。現在気候の実験では、特に雲・降水について衛星観測データによる検証を行う。

2 . 研究の達成目標

上記 4 項目のそれぞれについて、下記の各期間における具体的達成目標をまとめる。

研究開始 3 年後の達成目標：

この期間には、雲解像モデル改良、パラメータ改良のデータ作成、非斉一モデル結合の基本設計と実験的結合、および比較検証では台風シミュレーションを行う。具体的には以下の通りである。

1. 雲解像モデル改良 (雲物理過程) : 本研究課題で用いる雲解像モデルは、上記の雲解像モデル CReSS (Cloud Resolving Storm Simulator) である。このモデルの雲物理過程は“冷たい雨”のバルク法を用いており、雨、雲水、雲氷、雪、霰の混合比を予報変数としている。これについて次の改良を行う。
 - 降水の表現の精度を上げるため、数濃度を予報変数として加える (2 モーメント

化)。

- より激しい現象(豪雨、暴風、降雹など)の精度を上げるため、雹のカテゴリーの他に雹のカテゴリーを導入する。
 - 雲解像モデルの中で最も不確定性の大きい氷晶の生成について、1次氷晶生成の感度実験による改良と、2次氷晶生成過程の導入を行う。
2. **雲解像モデル改良(力学過程)**: 雲解像モデル CReSS の力学過程のうち、時間積分法を現状のリープフロッグからセミラグランジュ法に変更し、時間積分の高速化と高精度化を図る。これにより物理量の保存性をより高精度化する。
 3. **パラメータ改良**: 雲・降水による非断熱加熱や熱・水蒸気の鉛直混合過程の統計的データを得ることを目標に、雲解像モデルを用いて毎日の気象の予報実験を年間通して継続的に実施する。計算領域は東アジアと熱帯域に1領域ずつ設定し、1日1回30時間積分を毎日行う。さらに主に雲・降水について衛星観測によりモデルの結果の検証を行う。
 4. **非斉一モデル結合**: 地球大気の運動はほとんど静力学的で、非静力学的運動は活発な対流があるところに限定される。そこで「全球静力学-領域雲解像非斉一結合モデル」を全球かつ雲解像のモデルとして開発する。ここで「非斉一」とは、静力学モデルと非静力学圧縮系モデルを双方向通信で結合するという意味である。具体的な結合方法として2つのタイプを考える。
 - 全球モデルの1格子ごとに雲解像モデルを埋め込み、全球モデルのパラメタリゼーションに代わる計算を行う。
 - 全球モデルで熱帯などの対流が活発な領域について、双方向通信で雲解像モデルを埋め込む(双方向ネスティング)。これらについて結合方法の設計と、実験的な結合を行う。また、衛星観測を用いた検証の方法を確立する。
 5. **比較検証実験**: 全球気候モデルによる温暖化実験で、温暖化時に台風がどのようになるかについては、全球モデルによる結果は統一的なものではなく、また、その台風の強度についても不確定な点が多い。そこで、現在気候と温暖化気候における全球気候モデルの出力値をデータとして与え、雲解像モデルによる台風の高分像度予報実験を行い、全球モデルの結果と比較検証を行う。これにより気候モデルの台風シミュレーションについて検証と問題点を明らかにする。

研究開始5年後の達成目標:

先の3年間の成果を受けて、パラメータ改良、非斉一モデル結合による実験、および熱帯の対流雲と台風及び暖候期の東アジアの雲・降水システムの実験を現在気候と温暖化気候について行う。

1. **パラメータ改良**: 毎日の気象の予報実験を継続して行うとともに、最初の3年間の実験で得られたデータを用いて、非断熱加熱量と熱・水蒸気量の鉛直拡散についての、全球モデルの雲の表現に適切なパラメータを求める。
2. **非斉一モデル結合**: 全球モデル1格子ごとへの雲解像モデル埋め込み計算を行い、それによる全球モデルの改善を検討する。領域埋め込み計算では、熱帯域に帯状の領域を設定し、スーパークラスターや台風の発生についての実験を行う。この結果を衛星

観測データにより、雲・降水について、シミュレーション結果を検証する。

3. **比較検証実験**：台風について現在気候と温暖化気候における高解像度予報実験を行い、温暖化時における台風の変化についての気候モデルの結果を検証する。また、現在気候についての結果を衛星感想データにより検証する。

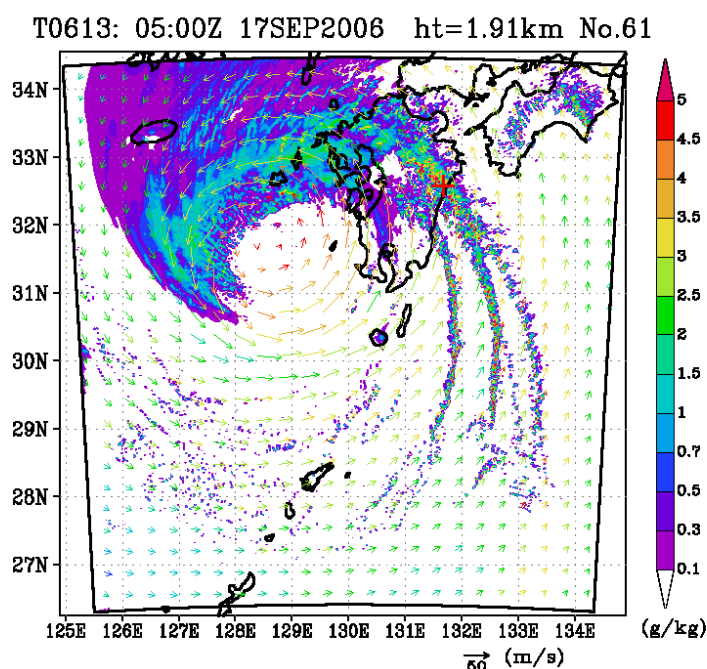
目標達成の可能性について：

本研究で用いる雲解像モデル CReSS は、現在 version2.2 を公開しており、実際の気象のシミュレーションを行えるほか、参考文献にあるような実績をすでに上げており、さらに現在も開発を続けているので、上記の目標はどの項目についても十分達成可能と考えている。その根拠となる事項を以下にあげる。

1. 雲解像モデル CReSS は、冷たい雨のバルク法を用いた予報実験が可能で、モデルとしての完成度が高い。また、1次氷晶生成については導入済みで、2次氷晶生成については、Hallett-Mossop のメカニズム (Hallett and Mossop, *Nature*, 1974) を検討している。また、2モーメント化については、雲氷、雪、霰についてすでに導入してある。
2. CReSS は地球シミュレータに対してFORTRAN90 言語による最適化をしてあり、その速度計測も実施してある。CReSS の地球シミュレータにおける実効性能は、ベクトル化率 99.4%、並列化率 99.985%で、この性能での最大利用可能ノード数は地球シミュレータの全ノード数である。計測では 128 ノードでの並列化効率が 86.5%、ピーク性能比約 33%であった。申請代表者はCReSSを過去3年にわたって地球シミュレータで利用した実績があり、これまで最大 128 ノードを利用し、台風をはじめとする様々な雲・降水システムの実験を行ってきた。また、名古屋大学や東京大学のスーパーコンピュータでもCReSS を利用している。
3. 名古屋大学では雲解像モデルCReSS を用いて、2004 年 12 月から継続的に毎日の気象の予報実験を行ってきた実績があり (結果はhttp://rain.hyarc.nagoya-u.ac.jp/CReSS/fcst_exp.html で公開している) 分担者の篠田はその出力値を用いた統計的解析を手がけている。

4. 力学過程の改良において、分担者の青木がセミラグランジュ法の導入をすでに始めており、理想実験では 3 ~ 4 倍の積分時間の短縮を示している。

5. 台風のシミュレーションについては、水平解像度 1km ~ 500m の実験を行った実績があり、さらに台風に伴う竜巻の実験を 75 m の解像度で行っている。右図は、2006 年の延岡の竜巻をもたらした台風 0613 号のシミュレーションを 500m 解像度で行ったもので、十字で示したところが延岡市の位置である。この表示ではわからないが、延岡市上空の降雨帯を構成する積乱雲ひとつ一つが解像されている。



6. 全球モデル 1 格子ごとへの雲解像モデルの埋め込み計算は、分担者の渡部がすでに始めており、それに向けての CReSS の改良を行っている。
7. CReSS を赤道に沿って帯状に地球を 1 周する領域を計算できるように改良しており、これを全球モデルと結合することを検討している。
8. 現在気候と温暖化気候の実験ができるように、東京大学気候システム研究センターの気候モデルの出力値を使用する許可をセンターの木本教授からすでに得ている。

これらの項目は上記の目標を達成する可能性を十分に示している。

3. 研究実施計画

研究 1 年目：

- **雲解像モデル改良**：雲物理過程の改良として、雨水と雲水について数濃度を予報する 2 モーメント化を行う。また力学過程の改良としてセミラグランジュ法の導入を行う。
- **パラメータ改良**：日本周辺において 1000km × 1000km 以上の領域を対象として、水平解像度 2km 程度での毎日の予報実験（広領域実験）を実施する。計算領域を GCM の格子スケールで分割し、部分領域における各種気象パラメータの平均値、雲物理量・鉛直流・加熱プロファイルの確率密度分布を出力し、これらの値の季節別、領域別の変化を検討することによって、確率密度分布を決定づける要素を明らかにする。また、毎日の予報実験の結果を対象として、衛星観測より得られる雲頂輝度温度、可降水量、三次元降水分布との比較を行い、精度の確認を行う。シミュレーション実験の精度が良い場合と、悪い場合の大気環境場の相違点を検討する。
- **非斉一モデル結合**：全球モデルの 1 格子点ごとに雲解像モデルを結合させるための、雲解像モデル及び全球モデルの改良を行う。領域結合については双方向通信の方法について検討する。
- **比較検証実験**：実際に観測された台風と、現在気候で全球モデルが再現した台風について、いくつかの事例を選び、雲解像モデルを用いて 1km ~ 500m 程度の解像度で実験を行い、全球モデルの結果と降水量や強度について比較検証する。

研究 2 年目：

- **雲解像モデル改良**：雲物理過程の改良について、1 次氷晶生成プロセスの感度実験と 2 次氷晶生成過程の導入を行う。力学過程の改良について、セミラグランジュ法についてパラメータ調整を行い、さらに高速化を図る。
- **パラメータ改良**：広領域実験を継続して実施する。日本周辺において、250km × 250km 程度の領域を対象として、水平解像度 0.5km 程度での毎日の予報実験（狭領域実験）を実施する。広領域実験の結果と同様に、各種気象パラメータに関する確率密度分布を算出し、境界層過程において確率密度分布を決定づける要素を明らかにする。
- **非斉一モデル結合**：全球モデル 1 格子点ごとに雲解像モデルを埋め込み、実験的にモデルを実行し、数日のシミュレーションで、パラメタリゼーションを用いた場合とどのように異なるのかを調べる。領域結合については、そのための雲解像モデルと全球モデルの改良を行う。
- **比較検証実験**：実際に観測された台風と、現在気候で全球モデルが再現した台風について、事例数を増やし比較検証を重ねる。

研究 3 年目：

- **雲解像モデル改良**：雲物理過程に雹のカテゴリーを導入し、豪雨や降雹などの激しい現象に対する感度実験を行う。

- **パラメータ改良**：広領域実験、狭領域実験は継続して実施する。同一 GCM 格子を対象として、両実験結果の比較を行い、水平格子解像度依存性の検討を行う。
- **非斉一モデル結合**：全球モデル 1 格子点ごとに雲解像モデルを埋め込んだ非斉一結合モデルで、1 ヶ月程度の長期積分を行い、対象領域の気候の再現性を検証する。領域埋め込み型の結合では、熱帯域、特にインド洋から西太平洋に計算領域を設定し、実験的に双方向通信の結合を行う。
- **比較検証実験**：現在気候と温暖化気候における全球モデルの台風を多数抽出し、それらについて、雲解像モデルを用いて 1km ~ 500m 程度の解像度で実験を行い、全球モデルの結果と降水量や強度について比較検証する。

研究 4 年目：

- **パラメータ改良**：毎日の気象の予報実験をより高解像度で継続して行うとともに、最初の 3 年間の実験で得られたデータを用いて、非断熱加熱量と熱・水蒸気拡散に関する、全球モデルの雲表現に適切なパラメータを求める。
- **非斉一モデル結合**：全球モデル 1 格子点ごとに雲解像モデルを結合した非斉一結合モデルで、1 ヶ月程度の長期積分を継続して行い、対象領域の気候の再現性を検証する。領域埋め込み型の結合では、熱帯域、特にインド洋から西太平洋に計算領域を設定し、熱帯のスーパークラスターやクラウドクラスターさらに熱帯低気圧が詳細にシミュレーションされることを示す。
- **比較検証実験**：現在気候の全球モデルにおける熱帯の台風の発生について、全球モデルの結果について雲解像モデルを用いて検証する。

研究 5 年目：

- **パラメータ改良**：毎日の気象の予報実験をより高解像度で継続して行うとともに、得られたパラメータを全球モデルに与えてそのインパクトを検証する。
- **非斉一モデル結合**：全球モデル 1 格子点ごとに雲解像モデルを結合した非斉一結合モデルで、1 ヶ月程度の長期積分の結果を、パラメタリゼーションの結果と比較し改善点を検証する。領域埋め込み型の結合では、任意の領域に双方向通信で埋め込みができるようにする。
- **比較検証実験**：現在気候と温暖化気候における台風や熱帯の対流雲群について数 100m 程度の高解像度の実験を行い、台風の変化について気候モデルの結果を検証する。

4. 研究成果

本研究課題で期待される成果を、上記 4 つの各項目についてまとめる。

雲解像モデル改良：

雲・降水システムの高度なシミュレーションを可能にするモデルが開発される。これにより積乱雲を主体とする豪雨や暴風をもたらす気象（台風やスーパーセル、竜巻を含む）の詳細な研究を行うことができる。このようなモデルは主に米国で開発されているが、東アジアの高湿潤気候に適切なものはない。国内には気象庁気象研究所が同様のモデルを開発しているが、天気予報に向けたもので、雲に特化したものはここで用いる CReSS が世界的にみても先端的である。この点は、雲に関する研究が CReSS を用いてカナダや韓国、台湾などで行われていることから示される。

CReSS は竜巻のシミュレーションも可能なほど高解像度のシミュレーションが可能である。このため対流セルを十分な解像度でシミュレーションすることができるようになる。

パラメータ改良：

雲を解像する高解像度の予報実験を毎日行うことで、雲・降水による非断熱加熱や、熱・水蒸気の鉛直拡散に関する統計的データを得ることができる。年間を通じて高解像度の実験を行うことで、統計的に十分精度のあるデータを得ることができる。雲解像モデルを用いて 2km 以下の解像度で長期にわたる予報実験からこれらのデータを取得し、全球モデルのパラメータ改良に用いた例はこれまでになく、ユニークなデータとなりうる。

非斉一モデル結合：

これまでの全球モデルの発展は非静力学化と高解像度化であった。これは大きな発展をもたらしたが、一方で新しい発想として、全球静力学モデル - 領域雲解像モデルの非斉一結合のモデルを提案する。大気の運動のほとんどは静力学的運動であることを考えること、このようなモデルはこれまでとは異なる意味でより地球大気の運動を近似するものであるといえる。これまでになかった非斉一結合モデルは、全球モデルを用いた研究に新しい発展をもたらすことが期待される。

比較検証実験：

温暖化に伴い台風の発生数や強度がどのように変化するのは、最も大きな問題のひとつであるにもかかわらず、全球モデルの結果にはばらつきがあり、不確定性を含む問題のひとつである。これは台風を駆動するものが積乱雲であり、その取り扱いに不確定性があることが原因の一つである。500m 以下の解像度で雲を直接解像する実験を行うことで、雲に関する不確定性を取り除くことができる。これを全球モデルの結果と比較することで、その結果の解釈や問題点を明らかにすることができる。このような高解像度で台風をシミュレーションすることは世界的にみてもほとんど行われていない。

また、全球モデルでは十分定量的に解析できなかった、温暖化時の台風に伴う降水量や風速の大きさを、雲解像モデルで定量的に評価することで、温暖化時の台風がどのような被害をもたらすのかを見積もることができる。これは課題Cにも貢献できるものである。

5 . 地球シミュレータ利用時間 (概算)

初年度

利用プログラム：CReSS (雲解像モデル;Cloud Resolving Storm Simulator)

問題サイズ：2000 × 2000 × 60 格子

利用メモリ量：200GB

最大利用ノード：256 ノード

ノード時間積：30,000 ノード時間

ディスク使用量：Data 領域 1 T B、M - Disk 領域 5 T B

予定している実験：台風などのシミュレーション実験

2年度

利用プログラム：CReSS (雲解像モデル;Cloud Resolving Storm Simulator)

問題サイズ：2000 × 2000 × 60 格子

利用メモリ量：200GB

最大利用ノード：256 ノード

ノード時間積：30,000 ノード時間

ディスク使用量：Data 領域 1 T B、M - Disk 領域 5 T B

予定している実験：台風などのシミュレーション実験

3年度

利用プログラム：CReSS (雲解像モデル;Cloud Resolving Storm Simulator)、及び全球モデル。

最大問題サイズ：2000 × 2000 × 60 格子

最大利用メモリ量：200GB

最大利用ノード：256 ノード

ノード時間積：40,000 ノード時間

ディスク使用量：Data 領域 1 T B、M - Disk 領域 5 T B
予定している実験：台風、熱帯の雲・降水システムなどのシミュレーション実験、
非斉一モデル結合実験。

4年度

利用プログラム：CReSS (雲解像モデル;Cloud Resolving Storm Simulator)、及び
全球モデル。

最大問題サイズ：2000 × 2000 × 60 格子

最大利用メモリ量：200GB

最大利用ノード：256 ノード

ノード時間積：40,000 ノード時間

ディスク使用量：Data 領域 1 T B、M - Disk 領域 5 T B

予定している実験：台風、熱帯の雲・降水システムなどのシミュレーション実験、
非斉一モデル結合実験

5年度

利用プログラム：CReSS (雲解像モデル;Cloud Resolving Storm Simulator)、及び
全球モデル。

最大問題サイズ：2000 × 2000 × 60 格子

最大利用メモリ量：200GB

最大利用ノード：256 ノード

ノード時間積：40,000 ノード時間

ディスク使用量：Data 領域 1 T B、M - Disk 領域 5 T B

予定している実験：台風、熱帯の雲・降水システムなどのシミュレーション実験、
非斉一モデル結合実験

6. 経費の見込額 (概算)

| | | |
|-----|----|-----|
| 初年度 | 17 | 百万円 |
| 2年度 | 17 | 百万円 |
| 3年度 | 16 | 百万円 |
| 4年度 | 15 | 百万円 |
| 5年度 | 14 | 百万円 |

総額 79 百万円

7. 研究運営委員会の構成について

- ・ 実施機関 (者) 以外に研究運営委員会に参画することが予定される者について。

| | |
|-------|-------------------------|
| 上田 博 | (名古屋大学 地球水循環研究センター長 教授) |
| 安成 哲三 | (名古屋大学 地球水循環研究センター 教授) |
| 中村 健治 | (名古屋大学 地球水循環研究センター 教授) |
| 中北 英一 | (京都大学 防災研究所 教授) |

8. 予測実験の高度化との関係について

本研究課題は、A の ~ のいずれかもしくは複数の予測実験に用いられるモデルの高度化にどのように貢献するのか、その具体的方法について。

本研究課題から得られる結果は、A と A の全球モデルの精度向上と A の領域モデルの精度向上に貢献することを目標としている。全球モデルによる予測実験の精度向上には、本研究課題の“パラメータ改良”と“非斉一モデル結合”及び“比較検証実験”の項目が貢献する。一方、領域モデルの精度向上には“雲解像モデル改良”、“非斉一モデル結合”及び“比較検証実験”の項目が貢献する。雲解像モデルの高度化はこれらの基本となるものである。具体的な方法は以下の通りである。

パラメータ改良では、本研究課題で得られたパラメータを、A または A の全球モデルのパラメータの基本データとできる。毎日の雲解像予報実験から得られる、非断熱加熱や熱・水蒸気の鉛直拡散に関するデータを全球モデルに与えて現在気候における感度実験を行うことができる。さらにその結果は衛星観測データと比較検証することができるようになる。

非斉一モデル結合で開発される全球モデル1格子ごとの埋め込み方式および領域埋め込み方式は、A または A の全球モデルに採用されて、全球モデルの機能とすることができる。これにより対流が活発で非静力学過程が本質的な領域については、雲解像モデルの機能を生かすことにより、全球モデルの結果が高精度化される。

比較検証実験については、熱帯の対流雲を主体とする雲群や台風について、A で用いられる全球モデルの結果を、1km~数100mの雲解像モデルを用いたシミュレーション結果と比較して検証し、全球モデルの主に雲・降水過程に関する結果の問題点を明らかにできるようになる。A の領域モデルの結果については、数100m解像度のシミュレーションの結果と比較し同様に問題点を明らかにできる。また、CReSSそのものが全球モデルにネスティングする高解像度領域モデルになることも可能である。

本研究課題で提案される先端要素モデルにより A の ~ で使用されるモデルのうち1つまたは複数の予測実験の精度が向上することをどのように示すのか、その具体的方法について。

全球モデルの予報実験の精度向上については、雲解像モデルを用いた毎日の予報実験から得られるパラメータを全球モデルに与えて、現在気候の再現性、特に雲に関する物理量の再現性の感度実験を行うことにより精度向上を示す。特に雲と降水については、衛星観測のデータとの比較により検証する。

非斉一モデル結合により、本研究で開発される雲解像モデルの全球モデルへの双方向通信の埋め込み法（全球モデルの1格子点ごとへの埋め込みと、領域への埋め込み）を行い、現在気候の再現と、台風などの顕著な現象の再現の実験を行う。この結果を衛星観測のデータや地上観測データを用いて検証し、精度向上を示す。また、雲解像モデル CReSS を用いて数100m解像度のシミュレーション実験を、台風などの現象について行い、その結果を利用して精度向上を示す。

A の領域モデルについては、台風や豪雨などの極端現象の事例について、雲解像モデル CReSS の数100m解像度のシミュレーション実験の結果を、対象の領域モデルの結果と比較検証を行うことで、その領域モデルの精度向上を示す。

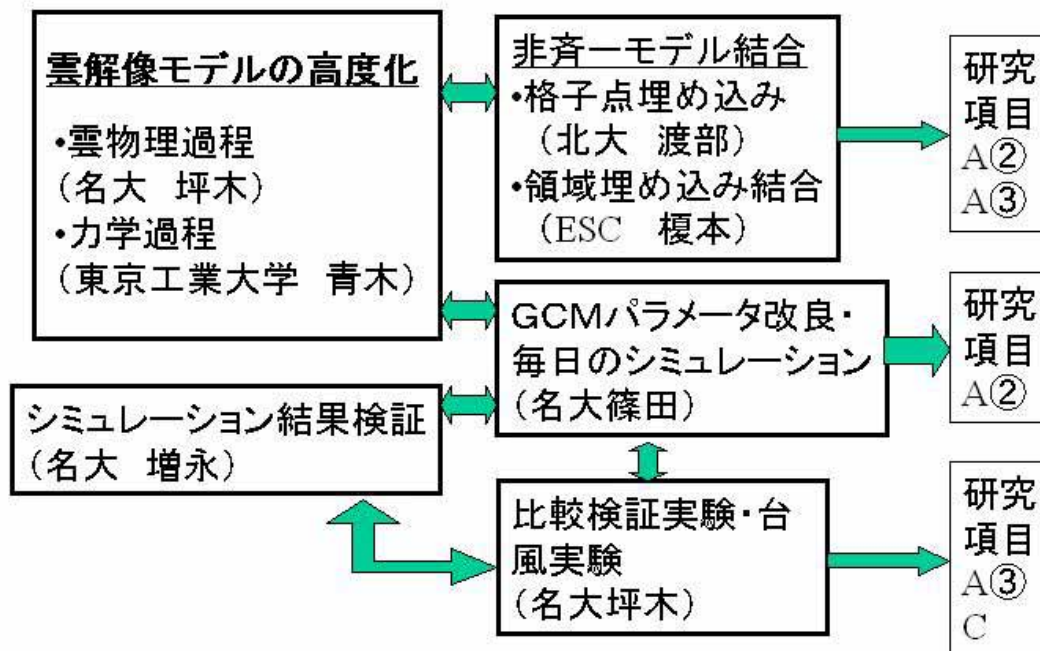
A 課題内の研究実施体制

研究課題名 「雲解像モデルの高度化とその全球モデル高精度化への利用」
研究代表者名 「 坪木和久 」
課題代表機関名 「 国立大学法人 名古屋大学 」

1. 研究実施体制

研究実施体制についてそれぞれの分担と連携および課題 A 及び C への貢献のしかたを下図にまとめた。雲解像モデル CReSS の高度化は、雲物理過程については名大(坪木)が、力学過程のセミラグランジュ法の導入については東京工業大学(青木)が行う。これを基にして、非斉一モデル結合と毎日のシミュレーションが行われる。非斉一モデル結合のうち、格子点埋め込み型の結合を北大(渡部)が、領域埋め込み結合を地球シミュレータセンター(ESC,榎本)が行い、その結果が課題 A ② と A ③ に貢献する。

毎日のシミュレーションによる GCM パラメータの改良は名大(篠田)が行い、その結果は課題 A ② に貢献する。また、現在気候・温暖化気候の全球モデルの検証を名大(坪木)が行い、これは課題 A ③ に貢献する。台風の実験結果についての一部は課題 C に貢献することが期待される。毎日の予報実験と、現在気候における比較検証実験については、衛星データを用いた検証を名大(増永)が行う。



図：研究実施体制と研究分担、及び研究項目 A ②、A ③ および C への貢献の概略図。

参画する各研究機関及び研究者の適正と実績についてまとめる。

名古屋大学地球水循環研究センター

本研究センターでは、地球表層における水循環システムを様々な時間・空間的なスケールが重層したシステムとして取り扱い、その構造と変動の機構解明を目指すため、局域的な水循環システムの素過程に関する多面的なプロセス観測研究と数値実験モデルの開発、及び広域的な水循環システムの変動に関する時系列データの解析研究と数値実験モデルの開発を行っている。

- **坪木和久 助教授**：気象学が専門。雲・降水システムについて観測と数値モデリングを主な手法として研究を進めている。1998年より、榊原篤志氏（財団法人 高度情報科学技術研究機構、現在中電 CTI）とともに雲解像モデル CReSS の開発を科学技術振興調整費「高精度の地球変動予測のための並列ソフトウェア開発に関わる研究」(研究代表者：東京大学気候システム研究センター住 明正 教授)の一環として行ってきた。
- **篠田太郎 助手**：気象学が専門。雲や大気境界層について観測と数値モデリングによる研究を行ってきた。最近では雲解像モデルから得られる GCM のパラメータについての研究や、下記の渡部氏とともに CReSS を CCSR/NIES/FRCGC AGCM に組込むプロジェクトを実施している。
- **増永浩彦 助教授**：雲降水気候学が専門。雲・降水システムが地球の気候場と関わりあう物理的メカニズムを理解することを目的として研究を行っている。その手法のひとつとして、衛星データ解析に用いる雲・降水推定アルゴリズムの開発も並行して行っている。

北海道大学地球環境科学研究院地球圏科学専攻

この専攻は、現在の地球環境について、その成り立ちの理解、並びに、地球環境問題を研究・解決する上で必要となる地球科学的基礎を与えることを目的としている。具体的には、様々な時間スケールを持つ地球環境の変化変動・気候変動の実態とその機構の解明、将来予測、および、それらを理解・解析する上で重要となる陸圏科学、物質循環、大気海洋科学、雪氷科学、惑星科学に関する研究・教育を行っている。

- **渡部雅浩 助教授**：（大気海洋物理学分野）大気物理学・気候学が専門。気候システム・主に大気と海洋の大規模な変動現象を研究テーマとする。簡単なものから GCM のような複雑なものまで様々な数値モデルを用いて年々～10年規模の気候変動の研究を行っている。現在、環境省推進費で、CReSS を CCSR/NIES/FRCGC AGCM に組込むプロジェクトを実施している。

東京工業大学・学術国際情報センター

このセンターは従来の総合情報処理センターと理工学国際交流センターが統合されて 2001 年に発足したものである。本センターは、最先端の情報技術を駆使して研究・教育の支援を行い、またその成果を国内外の研究機関、教育機関等に発信して交流・連携を深め、研究・教育の活性化、国際交流の発展に寄与することを主な目的としている。

- **青木尊之 教授**：計算流体力学、数値シミュレーション科学が専門。スーパーコンピュータを使い複雑現象の解析や予測を行っている。研究内容は理・工・医学の広い分野にわたり、可視化情報技術にも詳しい。最近では、気泡のシミュレーションが有名である。数値流体計算のセミラグランジュ法を独自に開発し、地球水循環研究センター共同研究でその CReSS への導入を行った。

独立行政法人海洋研究開発機構地球シミュレータセンター 大気・海洋シミュレーション研究グループ

本グループは既存の気候研究グループと連携をとりながら、地球シミュレータに特化した大気大循環、海洋大循環及びそれらの結合シミュレーションを行っている。

- **榎本剛 研究員**：地球シミュレータ用に開発された大気大循環モデル AFES (Atmospheric general circulation model For Earth Simulator) を用いて、数日から経年スケールの大気変動メカニズムや予測可能性に関するシミュレーション研究を行っている。最近では、梅雨前線やアジアモンスーンの変動とその予測可能性についての研究を行っている。

(様式YA - 5)

A 所要経費の見込額

研究課題名 「雲解像モデルの高度化とその全球モデル高精度化への利用」
研究代表者名 「坪木和久」
課題代表機関名 「国立大学法人 名古屋大学」

(単位：百万円)

| 経費の内容 | 年 度 | | | | | 総 額 |
|----------------------------|----------------|----------------|------|------|------|-----|
| | 19年度 | 20年度 | 21年度 | 22年度 | 23年度 | |
| (名古屋大学) | | | | | | |
| 設備備品費 (内容) (ハードディスク) | 1 (ハードディスク) | 1 (ハードディスク) | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 名古屋大学情報連携基盤センター計算機利用料 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 10 |
| 東京大学情報基盤センター計算機利用料 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 10 |
| 人件費 (PD1 人雇用) | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 30 |
| (並列プログラミング補助) | 3 | 3 | 3 | 2 | 1 | 12 |
| その他の経費 (国内旅費) | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 5 |
| 一般管理費(15%) | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 10 |
| 計 | 17 | 17 | 16 | 15 | 14 | 79 |

研究課題に係る所要経費について、文部科学省との間で直接委託契約を締結する研究機関、その研究機関との間で委託契約を締結する研究機関について、別添1を参考にして見込額を記述すること(予算費目毎ではなく、大まかな内訳で可)。

A 研究者データ

* 研究代表者及び参画する全てのサブテーマ研究実施責任者について作成すること。

| | | | |
|--|------------------------|--|---|
| ふりがな 氏名 | つぼき かずひさ 坪木 和久 | 生年月日 | 西暦 1962 年 7 月 19 日 (44 歳) * 2007 年 4 月 1 日現在の年齢 |
| 所属機関 | ふりがな 所在地 | 〒464 - 8601 あいちけん なごやし ふろうちょう 愛知県名古屋市不老町 052-789-3493 Fax. 052-789-3436 E-mail: tsuboki@rain.hyarc.nagoya-u.ac.jp URL : http://rain.hyarc.nagoya-u.ac.jp/~tsuboki/ | |
| | 機 関 名 所属部署 | 名古屋大学・ 地球水循環研究センター | 役 職 名 助教授 |
| 研究歴 | 最終学歴 | 平成 2 年 7 月 北海道大学大学院理学研究科博士課程単位取得退学 | |
| | 学位 | 平成 2 年 9 月 理学博士取得 (北海道大学) | |
| | 主な職歴 と 研究内容 | 平成 2 年 8 月 ~ 平成 9 年 3 月 東京大学海洋研究所 助手 : 中小規模大気現象の力学と数値シミュレーションについて研究。 平成 9 年 4 月 ~ 現在 名古屋大学 地球水循環研究センター助教授 : 雲・降水システムについての研究と雲解像大気モデルの開発。 平成 9 年 10 月 1 日 ~ 現在: (独)海洋研究開発機構 地球環境フロンティア研究センター 研究員 (兼業) : 雲解像大気モデルの開発。 平成 14 年 4 月 ~ 平成 16 年 3 月 京都大学防災研究所客員助教授 (併任) : 豪雨システムの数値シミュレーションについて研究。 | |
| 1 年間の全研究時間数 | | 平均 毎月 160 時間 × 12 ヶ月 | |
| 他制度での 助成等の 有無 (申請中 も含む) 各制度の 事業に割 り当てる 研究時間 割合 (%) (年間全仕事時間 を 100% とした 際の当該研究に割 く時間配分率) | 本事業 | 21 世紀気候変動予測革新プログラム ・見込み経費額 5 年間 79,000,000 円 | 35% |
| | 各府省の 競争的資金 | 科学研究費補助金、文部科学省、平成 18 年度から 20 年度、 H18:19,500, H19:9,600, H20: 5,700 千円 「台風に伴う豪雨の高精度量的予測と降水形成機構の解明」 この研究では主に沖縄地方における台風と梅雨の観測に重点が置 かれる。本事業にデータを提供することが可能である。 | 50% |
| | 独立行政法人 による競争的 資金 | | % |
| | その他公的 研究資金 | | % |
| | 経常的研究・教育 等 | | 15% |
| 研究成果等に関する情報 | | 論文リストを別紙にまた詳細情報はホームページに掲載。 | |

* 既に応募している競争的資金制度のみならず、現在、応募しようとしている競争的資金制度についても、幅広く記述すること。「応募中」、「申請中」の場合にはその旨を記述すること。

A 研究成果等に関する情報

1 . 論文・著書等
論文

坪木和久・榊原篤志, 2006:雲解像モデルを用いた台風に伴う局地豪雨の量的予測実験. *自然災害科学*, Vol.25, No.3, 351 - 373.

Tsuboki, K., 2006:High-resolution simulations of high-impact weather systems using the cloud-resolving model on the Earth Simulator. *High Resolution Numerical Modeling of the Atmosphere and Ocean*, Springer, New York, Wataru Ohfuchi and Kevin Hamilton (Eds), (accepted).

Maesaka, T., G. W. Kent Moore, Liu, A. Q., and K. Tsuboki, 2006: A simulation of a lake effect snowstorm with a cloud resolving numerical model. *Geophysical Research Letters*, Vol.33, L20813.

Shusse, Y. and K. Tsuboki, 2006:Dimension characteristics and precipitation efficiency of cumulonimbus clouds in the region far south from the Mei-yu front over eastern Asian continent. *Monthly Weather Review*, Vol.134, 1942 - 1953.

Liu, A. Q., G. W. K. Moore, K. Tsuboki and I. A. Renfrew, 2006: The effect of the sea-ice zone on the development of boundary layer roll clouds during cold air outbreaks. *Boundary-Layer Meteorology*, Vol.118, No.3, 557 - 581.

Wang, C. C., G. T. J. Chen, T. C. Chen and K. Tsuboki, 2005: A numerical study on the effects of Taiwan topography on a convective line during the Mei-yu season. *Monthly Weather Review*, Vol.133, 3217 - 3242.

Shusse, Y., K. Tsuboki, B. Geng, H. Minda, and T. Takeda, 2005:Structure and evolution of deeply developed convective cells in a long-lived cumulonimbus cloud under a weak vertical wind-shear condition. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, Vol.83, No.3, 351 - 371.

Ohigashi, T. and K. Tsuboki, 2005: Structure and maintenance process of stationary double snowbands along the coastal region. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, Vol.83, No.3, 331 - 349.

Hattori, M., K. Tsuboki and T. Takeda, 2005:Interannual variation of seasonal changes of precipitation and moisture transport in the western north Pacific. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, Vol.83, No.1, 107 - 127.

Iwabuchi, H. and K. Tsuboki, 2004: Camera visualization of cloud fields simulated by non-hydrostatic atmospheric models. *Journal of Visualization*, Vol.7, No.4, pp272.

Tsuboki, K. and T. Asai, 2004: The multi-scale structure and development mechanism of mesoscale cyclones over the Sea of Japan in winter. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, Vol.82, No.2, 597 - 621.

Liu, A. Q., G. W. K. Moore, K. Tsuboki and I. A. Renfrew, 2004:A high-resolution simulation of convective roll clouds during a cold-air outbreak. *Geophysical Research Letters*, Vol.31, L03101.

著書
学協会誌等

Tsuboki, K., 2005: High resolution modeling of multi-scale cloud and precipitation systems using a cloud-resolving model. *Annual report of the Earth Simulator Center, April 2004 - March 2005*, pp.79 - 84.

坪木和久, 2005: 雲解像モデルを用いた台風の高解像度シミュレーション -2004年の台風18号・23号について- *月刊海洋*, No.24, pp.186-193.

坪木和久, 2004: 雲解像モデルを用いた寒気流中の筋状雲の数値シミュレーション. *月刊海洋*, 号外 No.38, pp.135 - 139.

2．特許等（申請中のものについては内数として括弧内に記述）

| | | | |
|------|-------|------|-------|
| 国内特許 | 件（ 件） | 国外特許 | 件（ 件） |
|------|-------|------|-------|

該当なし。

3．受賞歴、表彰歴

- ・主要なものについて、年月日、受賞名等を記述して下さい。
（受賞者名：「件名」，受賞等年月日等の順）

1. 岩淵弘信・坪木和久：「平成 17 年度 可視化情報学会 映像賞(SGI賞)」，2005 年 7 月 25 日。
2. 佐藤静香，青木尊之，坪木和久，榊原篤志，小川 慧，今井陽介：「平成 18 年度 第 20 回数値流体力学シンポジウム，ベストCFDグラフィックス・アワード「最優秀賞」」，2006 年 12 月 19 日。

(様式YA - 7)

A 経理処理執行体制

研究課題名 「雲解像モデルの高度化とその全球モデル高精度化への利用」

研究代表者名 「坪木 和久」

課題代表機関名 「国立大学法人 名古屋大学」

* 主管研究実施機関との間で委託契約を締結する課題代表機関及び共同研究参画機関について作成すること。

以下の項目について記述して下さい。

(1) 機関名

国立大学法人 名古屋大学

(2) 経理処理執行責任者、契約事務担当者等、業務内容の分担と担当者(氏名、所属、役職等)を具体的に記述して下さい。

「経理処理執行責任者」

責任者名：山本明博(やまもとあきひろ)

所属組織・部署名：名古屋大学環境学研究科・地球水循環研究センター

役職名：事務長

事務連絡先：〒464 - 8601 愛知県名古屋市千種区不老町

.052 - 789 - 3451

Fax.052 - 788 - 3452

E-mail : yamamoto.akihiro@post.jimu.nagoya-u.ac.jp

「契約事務担当者」

担当者名：石川佳憲(いしかわよしのり)

所属組織・部署名：名古屋大学環境学研究科・地球水循環研究センター会計掛

役職名：会計掛長

事務連絡先：〒464 - 8601 愛知県名古屋市千種区不老町

.052 - 789 - 3456

Fax.052 - 788 - 3452

E-mail : ishikawa.yoshinori@post.jimu.nagoya-u.ac.jp

(様式YA - 8)

A 機関データ

研究課題名 「雲解像モデルの高度化とその全球モデル高精度化への利用」
研究代表者名 「坪木和久」
課題代表機関名 「国立大学法人 名古屋大学」

* 主管研究実施機関との間で委託契約を締結する課題代表機関及び共同研究参画機関について作成すること。

以下の項目について記入して下さい。何れの項目も概略で構いません。

(1) 機関名

国立大学法人 名古屋大学

(2) 在籍する研究者総数

うち、当該提案課題に参画する研究者数

| | |
|--------------------|--------|
| 研究者総数(人) | 1,819人 |
| 当該提案課題に参画する研究者数(人) | 3人 |

(3) 財務の状況

- ・ 予算額の推移(平成15~17年度の総決算額)
- ・ 外部資金(機関全体として公募型資金により獲得した研究開発に係る補助金、委託費等)の総額の推移(平成15~17年度の総決算額ベース)

| | 平成15年度 | 平成16年度 | 平成17年度 |
|---------------------|--------|--------|--------|
| 総決算額(億円) | 838 | 762 | 1,053 |
| 外部資金の獲得総額(決算ベース、億円) | 117 | 129 | 150 |