

# 1. 研究計画の概要

## 1. 研究の趣旨

地球温暖化を含む気候変化に対して、大きな影響を及ぼすプロセスの一つに雲のプロセスがある。全球モデル・気候モデルでは雲に関する不確定性の低減が気候予測の高精度化に不可欠である。また、雲の物理プロセスは台風や集中豪雨などの極端現象において中心的役割を担うもので、自然災害の高精度量的評価に重要である。そこでこの研究計画では雲の物理プロセスの解明とその高精度なモデル化により雲解像モデルの高度化を行う。さらにそれを用いて全球モデルの高精度化に貢献する。特に社会に大きなインパクトを与える台風について、その雲解像モデリングにより、台風に伴う豪雨や強風について量的精度を検証する。さらに全球モデルの再現する台風について雲解像モデルとの比較・検証を行う。

## 2. 研究目的

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 CReSS (Cloud Resolving Storm Simulator) の開発を 1998 年以來行っている。このモデルは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。本研究課題は、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。

### 3. 年次計画

#### 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。

#### 計画の概要

	雲解像モデル改良	パラメータ改良	非斉一モデル結合	比較検証実験
H19年度 (2007)	<ul style="list-style-type: none"> <li>●雲物理の2モーメント化(雲水・雨水)</li> <li>●セミラグ法導入</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●広領域予報実験、パラメータ抽出</li> <li>●衛星による検証</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●雲解像モデルの重並列化</li> <li>●双方向通信の方法の検討</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●観測された台風の実験と検証(衛星・地上による検証)</li> </ul>
H20年度 (2008)	<ul style="list-style-type: none"> <li>●1次氷晶改良、2次氷晶導入</li> <li>●セミラグ法のパラメータ調整</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●高解像度の予報実験、パラメータ抽出</li> <li>●衛星による検証</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●雲解像モデルのGCMとの1格子点結合</li> <li>●領域結合の試行と予備的な実験</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●観測された台風と現在気候の台風の実験(衛星・地上による検証)</li> </ul>
H21年度 (2009)	<ul style="list-style-type: none"> <li>●雲のカテゴリーの導入と豪雨や降雹へのインパクト検証</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●予報実験継続</li> <li>●パラメータの解像度依存性検討</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●1格子点結合による長期積分</li> <li>●領域結合による東アジア域の実験</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●現在気候と温暖化気候の台風の実験</li> </ul>
H22年度 (2010)	<ul style="list-style-type: none"> <li>●雲物理の検証実験</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●GCMの雲表現パラメータ改良</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●1格子点結合の実験の継続と検証</li> <li>●領域結合による熱帯の実験</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●現在気候と温暖化気候の台風の実験(台風発生に重点)</li> </ul>
H23年度 (2011)	<ul style="list-style-type: none"> <li>●雲物理の検証実験</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●GCMの雲表現改良のインパクト検証</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●1格子点結合によるGCM改善の検証</li> <li>●任意領域の領域結合による実験</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●現在気候と温暖化気候の台風発生と熱帯の雲の高解像度実験</li> </ul>

#### 4. 平成 19 年度研究計画

- **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等の特性と、それ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。

- **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。

## 5. 平成19年度研究実施体制

研究実施機関：名古屋大学、北海道大学（分担者の移動により東京大学に変更）、東京工業大学、海洋研究開発機構

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・准教授）

研究分担者：増永浩彦（名古屋大学・地球水循環研究センター・准教授）

：篠田太郎（名古屋大学・地球水循環研究センター・助教）

：青木尊之（東京工業大学・学術国際情報センター・教授）

：渡部雅浩（北海道大学・地球環境科学院・准教授。現在東京大学・気候システム研究センター・准教授）

：榎本 剛（海洋研究開発機構・地球シミュレータセンター・研究員）

研究員：吉岡真由美（名古屋大学・地球水循環研究センター・研究員）

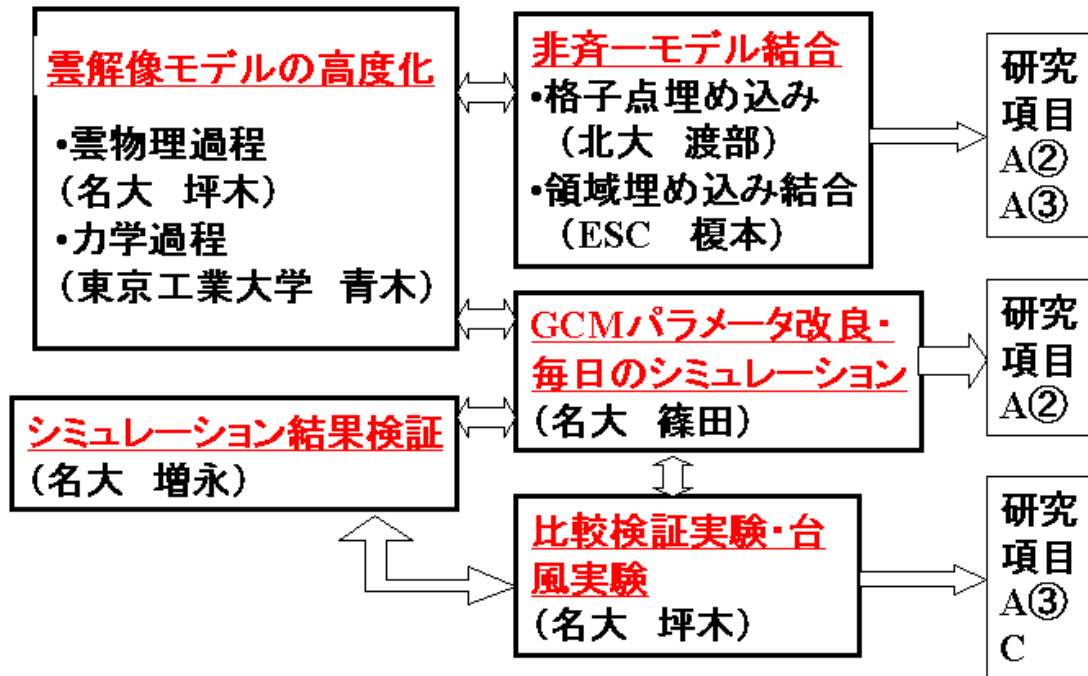
研究協力者：大東忠保（名古屋大学・地球水循環研究センター・助教）

：加藤雅也（名古屋大学・地球水循環研究センター・研究員）

：佐野哲也（名古屋大学・地球水循環研究センター・研究員）

：野村光春（名古屋大学・地球水循環研究センター・大学院博士後期課程）

## 研究の役割分担と研究課題A②およびA③への貢献



観測で得られた雲・降水データのモデル改良への活用

## 6. 全体会合等

(1) 研究調整委員会：平成 19 年 5 月 24 日

(2) 研究運営委員会：

a. 委員構成：

研究統括：松野太郎（地球環境フロンティア研究センター・特任研究員）

：西岡秀三（国立環境研究所・参与）

外部委員：藤吉康志（北海道大学・低温科学研究所・教授）

：中北英一（京都大学・防災研究所・教授）

：佐藤正樹（東京大学・気候システム研究センター・准教授）

：上田 博（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）

内部委員：坪木和久（名古屋大学・地球水循環研究センター・准教授）

：増永浩彦（名古屋大学・地球水循環研究センター・准教授）

：篠田太郎（名古屋大学・地球水循環研究センター・助教）

- : 青木尊之（東京工業大学・学術国際情報センター・教授）
- : 渡部雅浩（北海道大学・地球環境科学院・准教授。現在東京大学・気候システム研究センター・准教授）
- : 榎本 剛（海洋研究開発機構・地球シミュレータセンター・研究員）
- : 吉岡真由美（名古屋大学・地球水循環研究センター・研究員）

b. 委員会実施日時・場所

第1回研究運営委員会：平成19年12月25日，地球シミュレータセンター

第2回研究運営委員会：平成20年1月18日，国立オリンピック  
記念青少年総合センター

第3回研究運営委員会：平成20年3月24日，地球シミュレータセンター

(3) 成果報告会：

平成19年度研究成果報告会：平成20年1月18日，国立オリンピック記念青少年総合センター

## 7. 広報関係

(1) チーム略称等について

チーム略称：チーム雲解像

チーム英文名：cloud modeling

一般向けHP用チーム名：雲解像モデリング

(2) HP用チーム紹介（日本語研究概要）

地球温暖化を含む気候変化に対して、大きな影響を及ぼすプロセスの一つに雲のプロセスがある。全球モデル・気候モデルでは雲に関する不確定性の低減が気候予測の高精度化に不可欠である。また、雲の物理プロセスは台風や集中豪雨などの極端現象において中心的役割を担うもので、自然災害の高精度量的評価に重要である。そこでこのチームでは雲解像モデルを用いて、雲の物理プロセスの解明とそのモデル化を行う。具体的には次の4つの項目を中心に研究・開発を行う。(1) 雲解像モデルの雲物理プロセスを詳細に検討しモデルの高度化を行う。これにより雲の形成をはじめとして、豪雨や降雹などの激しい現象などの高精度な計算をめざす。(2) 雲を直接解像する実験を多数行い、衛星観測と組み合わせ

せて雲パラメータのデータを整備する。特に雲形成による大気加熱などについて、統計的データセットを構築する。(3) 全球モデルの計算において、特に雲の計算が必要なところに雲解像モデルを組み込み、全球 - 雲解像結合モデルの計算を行う。雲のプロセスを直接計算することで、全球モデルの計算の高精度化をめざす。(4) 社会に大きなインパクトを与える台風について、現在気候と温暖化気候の全球モデル出力を用いて雲解像実験を行い、台風に伴う豪雨や強風について量的精度を検証する。さらに全球モデルの再現する台風について雲解像モデルとの比較・検証を行う。

### (3) HP 用チーム紹介 (英語研究概要)

#### Cloud Modeling and Typhoon Research

Cloud physics is one of the key processes in modeling studies of climate change, especially for global warming. Improvement of cloud processes is necessary for accurate simulations by global models. Cloud processes are also core processes in simulations of high-impact weather systems such as heavy rainfalls and typhoons. The cloud modeling team will focus on addressing four objectives. First, the cloud microphysics of the "Cloud Resolving Storm Simulator (CReSS)" model will be improved. The dynamic part of the CReSS model will also be improved for accurate and high-speed calculation. Second, the cloud parameters of global models will be examined using the CReSS model. Satellite observations are used for verification of the cloud modeling. Third, the CReSS model will be coupled with global models interactively for accurate modeling of convective regions. In particular, convective clouds in the tropical region and typhoons will be studied using the models. Fourth, the CReSS model will be used for typhoon research. This aims to contribute to verifications of typhoon simulations made by global models, and to accurate and quantitative evaluations of typhoon impacts on human society under the present and warming climates.