戦略的創造研究推進事業　CREST
研究領域「マルチスケール・マルチフィジックス現象の統合シミュレーション」
研究課題「全球雲解像大気モデルの熱帯気象予測への実利用化に関する研究」

研究終了報告書

研究期間　平成17年10月～平成23年3月

研究代表者：佐藤正樹
（独）海洋研究開発機構
（地球環境変動領域 次世代モデル研究プログラム
全球雲解像モデリング研究チーム、チームリーダー）

§1 研究実施の概要

本研究では、「全球雲解像モデル」NICAMを熱帯気象予測に実利用化するための問題点を明らかにし、その課題の解決を目的とする。特に、熱帯・モンスーン域の積雲が活発な領域の気象予測の妥当性を調べる。そのために、全球雲解像モデル実験を行い、シミュレーション結果の検証のために観測データとの比較を行う。熱帯気象予測の観点からは、マッデン・ジュリアン振動(MJO)等の季節内変動と台風の発生過程の予測は、従来のモデルにおける弱い点であり、全球雲解像モデルによる再現精度の向上が大いに期待されるところであった。

本研究では、地球シミュレータを駆使し、季節内変動と台風の事例実験をターゲットとした全球雲解像モデル実験を実施した。その結果、MJOに伴う大規模熱帯擾乱のマルチスケール構造を世界で初めてシミュレートすることができ、MJOを起源とした熱帯低気圧（台風）の発生を2週間以前に予測可能であることを示した。また、甚大な被害をもたらした熱帯低気圧Nargis（ミャンマー、2008年5月）のFengshen(フィリピン、2008年6月)の再現実験を行い、季節内変動と熱帯低気圧の予測可能性について研究を進めた。

最初に取り組んだMJOの再現実験は、北半球冬季の2006年12月に発生した事例である。MJOに伴う巨大雲集団の組織化、マルチスケール構造、東進伝播について、観測結果とよく一致する結果が得られた。従来の大気大循環モデルでMJOを現実的に再現することが難しかったため、本研究の結果は大きなインパクトをもたらした。特に、MJOに伴って雲集団の西側に発生した複数の熱帯低気圧をよく再現することができた。数値計算を開始後2週間後に発生した熱帯低気圧について、発生時期、進路とも、観測結果に非常に近い結果が得られ、全球雲解像モデルの高い可能性を示すものとして注目を集めた。

続いて、北半球夏季の季節内変動・台風の発生事例に取り組んだ。特に、ミャンマーに甚大な被害をもたらした2008年4-5月のサイクロンNargisの再現実験を行ったところ、インド洋上を北進する組織化した対流の季節内変動とそこから発生したNargisとの関係をよく再現することに成功した。

全球雲解像モデリングと現地観測との連携の観点から、インド洋でMJOの発生についての集中観測(MISMO)が行われた2006年11月の事例に取り組んだ。その結果、観測で得られた水蒸気分布の変化を数値シミュレーションでもよく再現することができ、このことがMJOの発生をコントロールしていることを示すことができた。この実験の成功により、大気海洋の現地観測と全球雲解像モデリングの連携を推進することとなり、準リアルタイム熱帯気象予測システムを構築した。2010年5-6月に行われたPALAU2010観測へNICAM予測結果の配信を実施し、飛行機観測等の現場観測へ貢献した。

季節内変動と台風の発生は強く関係しており、これらの再現性が高い全球雲解像モデルによる台風シミュレーションの信頼性を高めることとなった。将来予想される温暖化に伴う台風の変化についても、全球雲解像モデルにより信頼のおける予測結果を得ることができよう。

事例実験を推進するほか、全球雲解像モデルの改良、開発にも継続的に取り組んだ。格子系に関して、stretch 格子モデルや新格子モデルの開発を行い、領域ダウンスケーリングへの利便性を高めた。雲微物理スキーム等の物理過程スキームなどの改良を進め、人工衛星データ等による検証を行った。また、次世代スーパーコンピュータに向けた計算パフォーマンスの向上を進めた。

§2. 研究構想

（1）当初の研究構想

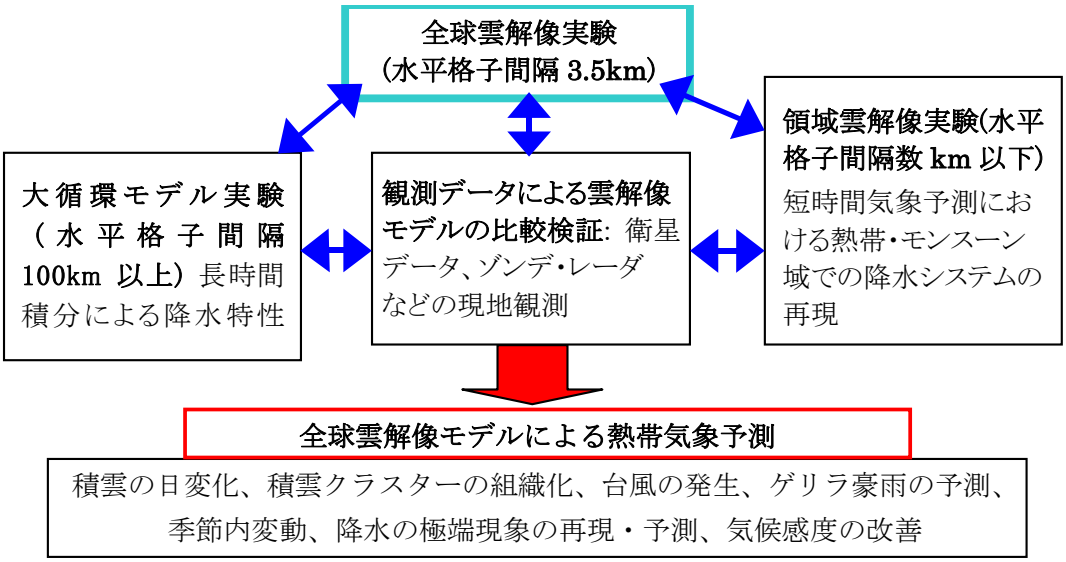
本研究は、全球雲解像モデルによる実験、領域雲解像モデルによる実験、大気大循環モデルによる実験、観測データとシミュレーション結果の比較検証からなる（図6）。全球雲解像モデルの精度向上のためには、本来、地球全体のあらゆる場所での降水システムに対して、短時間から長時間までの変動の検証を行う必要がある。本研究では、降水システムの中でも特に、大気運動の駆動エネルギー源として重要な熱帯・アジアモンスーン域に着目し、この領域での降水システムの数値予測の向上を重点的な目標とする。このために領域気候モデルによる実験を併用し、シミュレーション結果と観測データとの比較を通じてモデルの精度向上をめざす。また、粗い分解能の従

来型全球大気大循環モデルとの比較を通じて、熱帯降水システムの統計的特性の再現精度の改善をめざす。

具体的には、数値予測の精度評価・検証を行うために、数時間から数日の降水システムの気象予測にまずとりくむ。これまで手つかずであった雲解像モデルによる海陸分布に伴う降水システムの日変化、数日程度の積雲クラスターの運動・組織化、台風の発生、ゲリラ的な集中豪雨などの短期的な数値シミュレーションを行い、予測技術を開拓する。これらの結果のもとに、より長期の季節内変動、降水の極端現象、積雲クラスターの階層構造の再現、雲の被覆率、アルベドなどに関して従来のパラメタリゼーションに由来する不確定性をなくすことを通じて、気候予測モデルとしての確度向上をめざす。

全球雲解像モデルは、近似を含まない非静力学方程式系を力学コアとしているが、水平格子スケールが数kmであるため、乱流や混合層などのサブグリッドスケールの現象に関しては現象に即したモデリングが必要である。この意味で、全球雲解像モデルは物理的な原理のみから組み立てるものではなく、実際の大気現象との比較が必要である。計算科学的な文脈での数値精度評価は力学コアについては考えることができるが、物理過程が含まれた雲解像モデルでは現実との整合性が結果の妥当性の評価基準になる。その点で観測研究との連携を重視する。高解像度・高品質な衛星データの利用が特に重要である。本研究では、全球雲解像シミュレーションデータの利用促進の観点から、海外の衛星解析グループの研究者を招聘して、共同研究を行うことも予定している。

本研究では、熱帯における地上観測が豊富な事例を選んだ事例実験を全球雲解像モデル、領域雲解像モデル、大気大循環モデルを用いて行い、シミュレーションデータ、地上データ、衛星データの比較評価を行う。この際、観測情報を援用することで、実際に観測された積雲およびその組織化を現実的にシミュレートすることが課題となる。その結果を通じてモデルの物理過程、数値スキームの改良を行う。また、数 km 解像度をもつ衛星データ(TRMM や MTSAT など)を利用した全球雲解像モデル予測システムを開発し、予測実験をルーチン化することをめざす。このためには、適切な初期値の選定・作成、数値モデルによる予測実験、シミュレーション結果の妥当性の評価方法の構築とそれを通じたモデルの改善というプロセスが必要となる。本研究ではこのような予報システムのプロトタイプの構築をめざす。



研究計画の概念図

具体的な研究計画は次のとおりである。

全球雲解像実験:全球雲解像モデルによる実験は、本研究課題の中心的位置を占める。地球シミュレータを用いて全球雲解像実験を行う。熱帯における降水システムの日から季節内変動までの再現精度を高め、気象予測への実利用化の可能性を検討する。現実的な海陸分布条件で、水平格子 3.5km の実験を行う。1ケースの実験には、数日から週程度の積分時間が必要である。3.5km メッシュ実験では 10 ケース程度行い、より低解像度で数ヶ月積分の実験を実施する。

領域雲解像実験:熱帯の降水システムを数値的に再現するためには、物理過程モデルの依存性や事例実験など多くのケーススタディを行う必要がある。これらを全球雲解像実験で行うのはコンピュータ資源の上から現実的でない。そこで対象領域を熱帯・モンスーン域に限定した領域雲解像実験を行う。全球モデルよりも細かい分解能で、混合層過程など物理過程の適切性について詳細に調べる。境界条件の設定など領域モデル特有の課題があるが、全球モデルの結果の利用、比較によってこの課題を克服する。

大循環モデル実験:従来型大気大循環モデルを用い、全球雲解像モデルと同等な条件のもとで季節変化までを含んだ長時間実験を行い、解像度依存の観点から結果の比較を行う。特に、熱帯の季節内変動の再現を目標に比較実験を行い、熱帯の降水システムの統計的特性、雲や水蒸気などの気候値の改善を重視する。

シミュレーション結果と観測データとの比較解析:雲解像シミュレーションの結果の妥当性を検証するために、特に熱帯・モンスーン域の観測データと比較する。TRMM、MTSAT などの衛星観測、海洋大陸近辺における現地のレーダ、ゾンデ観測など豊富なデータを利用する。特に海洋大陸近辺での日変化から積雲クラスターの組織化の再現性が課題である。さらに、2010 年以降に予定されている全球降雨観測計画衛星(GPM)の高度利用を視野におく。

(2)新たに追加・修正など変更した研究構想

地球変動予測モデル＝アプリケーションパッケージ(統一日本モデル)

気候・気象モデリングのコミュニティーでは、より正確な気候・気象現象を予測するために、大気モデルと海洋モデルとの高解像結合モデリング、地球システムモデルとしての統合化を進めている。現実に利用可能な計算資源のもとでは、高解像度で複雑なモデルほど可能な積分時間が短くなり、具体的な目的に応じて解像度と積分時間の組み合わせが決められる。当該 CREST では、現有資源のもとで全球雲解像モデルと海洋モデルとのフル結合モデルによる実験を行ったとしても投資に見合った結果は得られないとの判断から、超高解像の全球大気モデルにターゲットをしぼった研究を進めてきた。特に、物理過程の改善、熱帯擾乱の再現性・予測可能性の向上に焦点をあてている。本グループでは、将来を見越して海洋等の他グループとの連携は進めており、大気海洋結合モデルの開発の準備を進めている。今後の次世代スーパーコンピュータや他の研究プロジェクトの枠組みで、汎用カプラーの開発と超高解像度大気海洋結合モデリングをめざしている。

準リアルタイム予測実験

当初計画より、NICAM による予測システムの構築を予定していた。MISMO 観測の事例を通して、全球雲解像モデリングと現地観測との連携が進んだため、一歩進んで、準リアルタイムに NICAM による熱帯気象予測を実施し、その結果を観測現場(観測船)に配信するシステムを構築した。この結果は、観測現場に有効に利用され、飛行機観測のターゲットの選定、フライトスケジュールの決定に大きく貢献した。

衛星リモートセンシングデータによる大気モデルの検証

この5年間に衛星リモートセンシングデータによる大気モデルの検証方法が急速に進展した。既存の MTSAT(ひまわり)等の静止気象衛星の他、熱帯降雨衛星(TRMM)、CloudSat/CALIPSO 等の多様な衛星データの利用が可能になっている。特に、数値モデルの出力値から衛星センサーのシグナルを計算する「衛星シミュレータ」を用いた雲降水システムの高度な検証手法が使われるようになってきた。なお、全球降雨観測計画衛星(GPM)や EarthCARE(Clouds, Aerosols, Radiation

and Energy)衛星の打ち上げは 2013 年以降に延期されたため、本研究課題期間中にデータは利用できないが、これらの衛星に搭載されるセンサーシグナルとの比較を可能にするための準備を行った。

§3 研究実施体制

(1) 雲解像モデリング・データ解析グループ

①研究参加者

氏名	所属	役職(身分)	参加時期
佐藤　正樹	独立行政法人海洋研究開発機構 地球環境変動領域　次世代モデル研究プログラム	チームリーダー	H17.10～23.3
富田　浩文	同上	主任研究員	H17.10～23.3
那須野　智江	同上	研究員	H17.10～23.3
伊賀　晋一	同上	特任研究員	H17.10～23.3
三浦　裕亮	同上	招聘特任研究員	H17.10～23.3
野田　暁	同上	特任研究員	H18.4～23.3
谷口　博	同上	ポスドク研究員	H20.4～22.10
山田　洋平	同上	研究技術専任スタッフ	H20.4～22.12
吉兼 隆生	同上	研究員	H17.10～23.3
原 政之	同上	研究推進スタッフ	H17.10～23.3
福富　慶樹	同上	研究員	H17.10～23.3
高橋　洋	同上	ポスドク研究員	H20.4～23.3
對馬　洋子	同上	研究員	H17.10～21.4
鈴木　恒明	同上	研究員	H17.10～22.9
森　修一	同上	チームリーダー	H17.10～23.3
山中　大学	同上	特任研究員	H17.10～23.3
伍 培明	同上	サブリーダー	H17.10～23.3
荻野　慎也	同上	研究員	H17.10～23.3

②研究項目

a. 総括
b. 全球雲解像モデリング
c. 領域雲解像モデリング
d. 大気大循環モデリング
e. データ解析

(2)大気大循環モデリング・データ解析グループ

①研究参加者

氏名	所属	役職(身分)	参加時期
中島 映至	東京大学大気海洋研究所	教授	H17.10～23.3
高薮 縁	同上	教授	H17.10～23.3
佐藤 正樹	同上	准教授	H17.10～23.3
柳瀬 亘	同上	特任助教	H18.4～21.4
横山 千恵	同上	博士課程3年	H18.4～22.3
宮川 知己	同上	博士課程3年	H21.4～22.3
清木 達也	同上	特任研究員	H18.4～22.10
荒金 匠	同上	博士課程 2 年	H21.4～23.3
Woosub Roh	同上	博士課程 2 年	H21.4～23.3
佐藤 陽介	同上	博士課程1年	H21.4～22.3
井上 豊志郎	同上	研究機関研究員	H19.4～23.3
柳瀬 亘	同上	助教	H21.4～23.3
佐藤 友徳	北海道大学地球環境科学研究院	特任助教	H21.4～23.3
田中 博	筑波大学計算科学センター	教授	H19.4～23.3
中澤 哲夫	気象庁気象研究所台風研究部第二研究室	室長	H19.4～22.10
筆保 弘徳	横浜国立大学教育人間科学部	准教授	H22.4～23.3

②研究項目

- 大気大循環モデリング
- データ解析

(3)データ解析グループ

①研究参加者

氏名	所属	役職(身分)	参加時期
中澤 哲夫	気象庁気象研究所台風研究部第二研究室	室長	H17.10～22.10

②研究項目

- データ解析

§４ 研究実施内容及び成果

４．１ 全球雲解像モデルを用いた熱帯気象現象の再現実験 （海洋研究開発機構 雲解像モデリング・データ解析グループ）

(1) 研究実施内容及び成果

A.全球雲解像モデルを用いたマッデン・ジュリアン振動の再現実験

① はじめに

マッデン・ジュリアン振動(MJO)は、熱帯において組織化した雲群が東西スケール数千キロの大規模な集合体となり、平均約 5 m/s の速度でインド洋から太平洋上へとゆっくり移動する現象である。組織化した雲群は局地的に強い降水を伴い、熱帯における豪雨災害の原因となる。また、全球規模の大気循環の変化を伴い、熱帯低気圧やモンスーン活動、エルニーニョ現象など、世界の気象・気候にも多大な影響を及ぼすことが明らかになっている。このようなことから、熱帯域のみならず世界的な季節予報の精度向上のため、MJO の適切な予報が期待されている。しかし、従来の大気モデル（大気海洋結合モデル含む）では MJO を十分に再現することが難しかった。

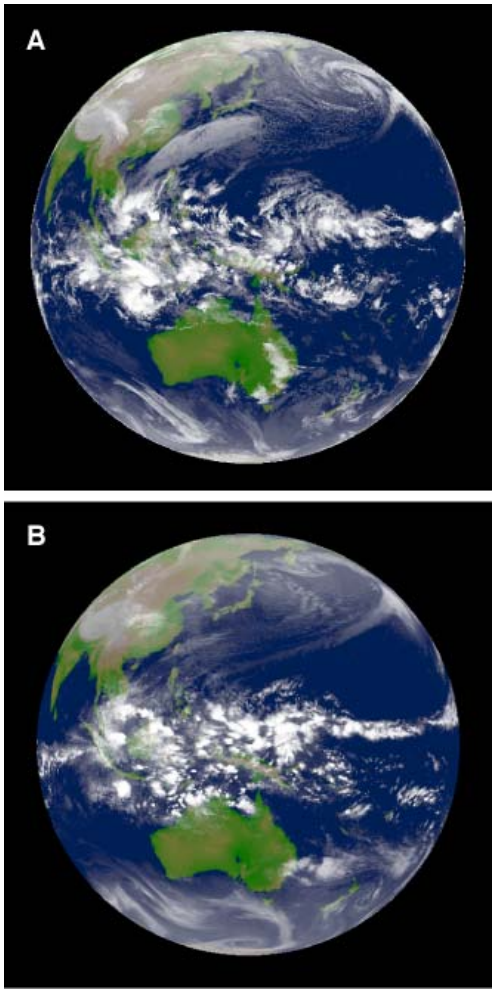


図 1: (A) 気象衛星 MTSAT-1R から作成した雲画像と(B)3.5 km 実験で計算された雲画像。2006 年 12 月 31 日 00:00UTC。

気候計算などに一般的に使用される大気モデルでは、水平解像度の不足から積雲対流を直接計算することができず、その統計的な熱と水蒸気の再分配の効果を表現するために積雲パラメタリゼーションが用いられている。しかしながら、積雲パラメタリゼーションは、個々の積雲や組織化した雲システムの表現に不確実性が多く、MJO の再現が難しい主因と考えられてきた。

そのような中、2002 年の地球シミュレータの稼働により、熱帯の積雲を直接計算した長期（現状では数カ月程度）の全球計算が可能になり、海洋研究開発機構地球環境フロンティア研究センター（当時）と東京大学気候システム研究センター（当時）が共同で開発した全球雲解像モデル NICAM(Satoh et al. 2008, JCP)を用いて、世界で最初の全球雲解像水惑星実験が行われた(Tomita et al. 2005, GRL)。この実験の成功により、全球雲解像モデルを用いることで、熱帯における現実的な雲システムのシミュレーションが可能ではないかとの期待が高まった。

このような流れを受けて、2006 年には西太平洋で発生した台風を対象として、現実的な海陸分布の下での全球雲解像実験を行った(Miura et al. 2007a, GRL)。その後、NICAM における積雲対流の表現の改良を経て、2007 年に世界初の全球雲解像モデルを用いた MJO の再現実験に挑戦することとなった。MJO の再現には主に3つの課題があるが、計算資源の問題もあり、i) 遅い東進と ii) 発生プロセスをターゲットとして 2 ケースのシミュレーションを行った。iii) 40-60 日周期は将来的な課題である。2つのケースを、それぞれ Miura et al. (2007b, Science)と Miura et al. (2009, GRL)として論文にまとめた。

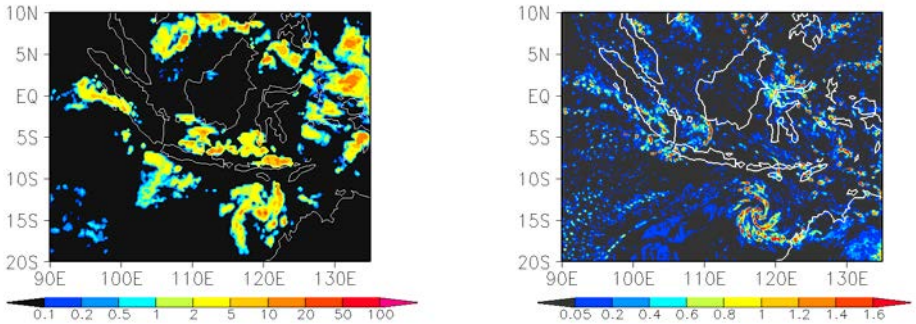


図 2: 2007 年 1 月 2 日 00:00UTC における(左)観測された熱帯低気圧(推定降水量[mm/hr])と(右)7 km 格子で計算された熱帯低気圧(雲水総量[km/m^2])。

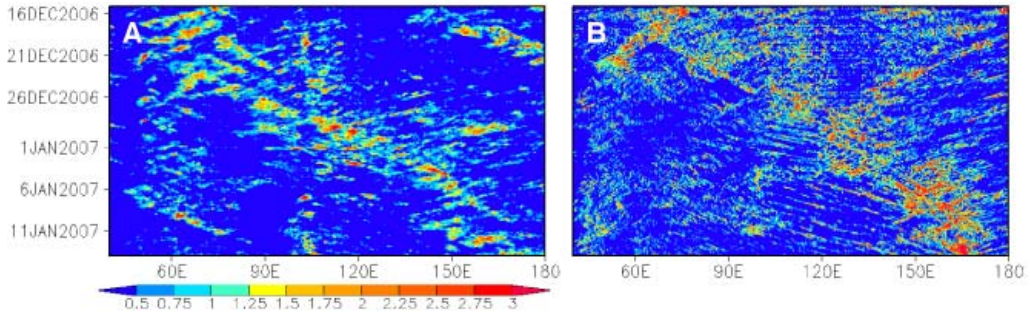


図 3: 南緯 10 度-北緯 5 度で平均した降水量[mm/hr]の経度・時間断面(ホフメラー)図。(A) TRMM 3B42 データと(B)7 km 格子実験。

② 実験設定

本研究では、2006 年 12 月から 2007 年 1 月かけて起こった顕著な MJO イベントについて、遅い東進を対象にした再現実験を行い、また、2006 年 11 月に起こった MJO イベントについて、その発生過程を対象にした再現実験を行った。2006 年 11 月のケースは、同時期に海洋研究開発機構がインド洋上で観測キャンペーン MISMO を行っており、観測データとの直接比較が可能であった。いずれの実験でも全球雲解像モデル NICAM を用い、地球シミュレータを利用して計算した。2006 年 12 月のケースは、最高解像度である水平格子間隔約 3.5 km の 2006 年 12 月 25 日を初期値とした 7 日積分、水平格子間隔約 7 km と約 14 km の 2006 年 12 月 15 日を初期値とした 30 日積分で構成される。また、ここでは示さないが MJO の東進メカニズムを探るため、14 km 格子を用いた複数の感度実験も行った。一方、2006 年 11 月のケースは、計算資源の都合から 3.5 km 格子の実験は行わず、7 km 格子と 14 km 格子の 2006 年 11 月 1 日を初期値とした 30 日実験、および、14 km 格子の感度実験から構成される。

③ 結果

図 1 は 2006 年 12 月のケースについて、12 月 31 日おける衛星から観測された現実の雲と 3.5 km 格子で再現された雲を比較したものである。東南アジア域をすっぽりと覆う大規模な雲システムを現実的に再現できていることが分かる。また、7 km 格子の実験では、シミュレーション開始から 2 週間以上経過した 1 月初旬に、スマトラ島の南に現実と対応するような熱帯低気圧の形成がみられた(図 2)。この熱帯低気圧の形成プロセスについては Fudeyasu et al. (2010, MWR)にまとめられている。7 km 格子と 14 km 格子の実験を詳しく解析すると、図 3 に示すように、降水活発域がゆっくりと東進する様子が見られた。インド洋から東南アジア域、東南アジア域から中部太平洋域への降水活発域の移動のタイミングは、1、2 日のずれはあるものの、おおむね現実と対応していた。降水だけでなく、MJO の特徴の1つである下層の強い西風域についても現実的な東進が見られ(図 4)、モデルで再現された MJO が、現実的な大気循環を伴っていることも分かった。

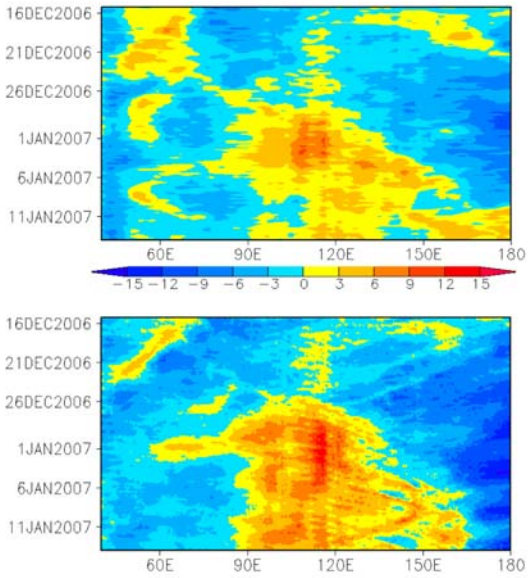


図 4: 南緯 10 度−北緯 5 度で平均した高度 975hPa の東西風の経度・時間断面図。(上)NECP 解析データと(下)7 km 格子実験。

2006 年 11 月の MJO 発生シミュレーションの雲(7 km 格子)と、対応する衛星観測からの雲を図 5 に示す。実験の初期(11 月 1 日と 8 日)にはインド洋域は全般的に晴れ渡っているが、11 月 17 日には MJO イベントの発生に伴い、インドの南端を始点として南西側に広がるような雲が発生しており、この特徴は全球雲解像モデルのシミュレーションでも捉えられている。MISMO キャンペーンで観測された水蒸気の時間変化とモデルで再現された水蒸気の時間変化を比較すると(図 6)、インド洋上の MJO 発生域において、5 日から 7 日の強い乾燥化、9 日前後の一時的な湿潤化、MJO 発生に 4 日ほど先立つ 13 日以降の湿潤化等、約 20 日間にわたり観測で見られた特徴がよく再現されていることが分かる。

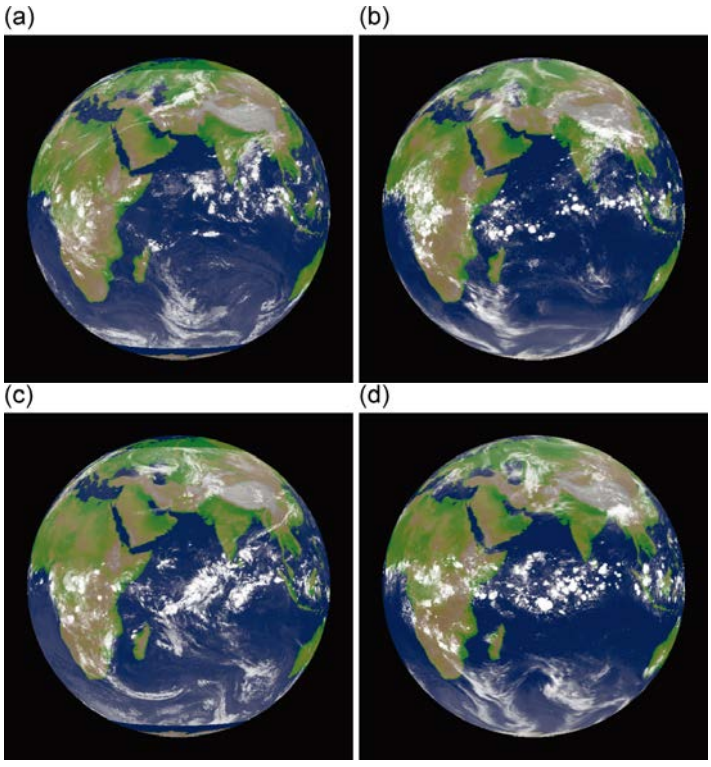


図 5(a, c)NCEP データから作成した雲イメージと(b, d) 7 km 格子実験の雲イメージ。(a, b) 2006 年 11 月 8 日 00:00UTC と(c, d) 2006 年 11 月 17 日 00:00UTC。

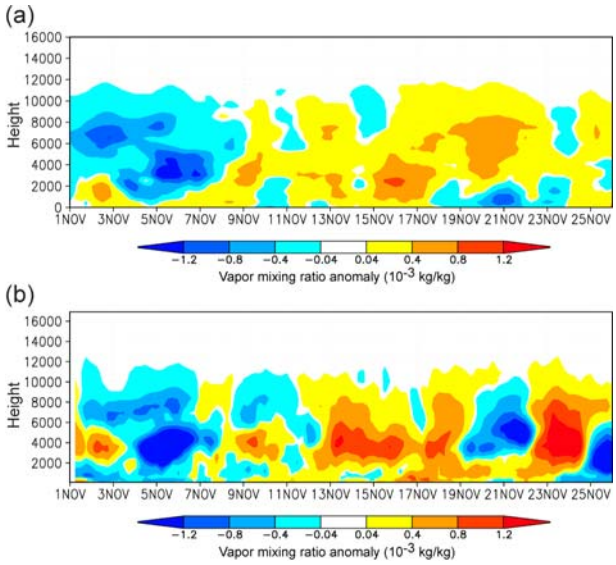


図 6: (a) MISMO で観測された水蒸気のアノマリーと (b) 7 km 格子実験で計算された水蒸気アノマリー。7 km 格子実験については南緯 1 度−北緯 3 度、東経 73 度−東経 80 度の領域の平均値。

④ まとめ

本研究で示されたように、全球雲解像モデルは、熱帯の積雲対流を直接計算することで、MJO の再現性を著しく向上させる可能性がある。特に、熱帯低気圧を含む MJO 内部の雲システムの再現は、全球雲解像モデルの高い水平解像度があって初めて可能となったものである。本研究成果は大気モデルの高解像度化の利点を明確に示したことで、世界的な大気モデル開発の潮流にも大きな影響を及ぼしている。また、実験データは、熱帯気象の解析(Sato et al. 2008, JClim 等)や衛星観測との比較(Masunaga et al. 2008, JGR; Inoue et al. 2010, JGR 等)に幅広く利用されている。

しかしながら、MJO の再現性に関しては課題も残る。本研究が再現に成功したのは特徴的な 2 ケースのみであり、実験ケースを増やすなど、さらなる検証が必要である。また、MJO 再現の課題の1つである 40−60 日周期については、計算資源の制約から、未だ検証できていない。今後、さらなる計算速度の向上が見込まれ、水平格子間隔 3.5 km や 7 km の長期実験が可能となると期待されることから、将来的に取り組む価値の高い研究であると考えられる。

B. 熱帯低気圧の発生過程とモンスーンオンセット、熱帯域季節内振動のシミュレーション

本研究では、全球雲解像モデル NICAM の熱帯気象予測への実利用化を目指して、熱帯域季節内振動(以下、MJO)の予測可能性評価を実施した。従来型の大気大循環モデルの弱点である雲降水システムの日周期からモンスーンオンセットや MJO といった季節内周期の時間スケール変動の予測可能性を全球雲解像モデルによっていかに向上させるかが課題である。モンスーンオンセットや MJO 通過に伴い生成される対流／循環偏差は、初期渦の生成を介して熱帯低気圧(サイクロン／台風)の発生に関与する可能性が従来から指摘されている。サイクロン／台風の発生予測は、災害の早期警戒だけでなく日本を含む中高緯度域の大気循環場の予測にも大きな影響を与えるため、その予測可能性を正しく評価することは重要である。そのため、モンスーンオンセットや MJO の予測可能性が熱帯低気圧発生の予測可能性に与える影響を調査することは喫緊の課題である。

2008 年 4 月 28 日にベンガル湾で発生したサイクロン Nargis は、ミャンマーに上陸後、甚大な被害をもたらしたことで知られている。Kikuchi et al.(2009)では、観測データの詳細な解析から、Nargis が発生した過程について調査を行っている。Kikuchi et al.(2009)によるシナリオでは、MJO

の対流活発域の通過に伴う西風バーストによる擾乱がサイクロンの初期渦として北進し、サイクロン生成に関与した可能性が指摘されている。このシナリオが成り立つとすれば、数値モデルによるMJO の再現性、MJO に伴うベンガル湾域の西風強風イベント(西風バースト)やそれによる初期渦生成の再現性、そしてモンスーンオンセットに伴う西風域の北進の再現性の向上は、ベンガル湾域でのサイクロン発生の予測可能性の向上に寄与すると考えられる。そこで我々は、雲の微物理過程を直接計算する全球非静力学モデル NICAM を用いたアンサンブル実験を行い、(1) ベンガル湾の西風域の北進、(2) MJO 通過に伴う西風バーストによる初期渦生成、の再現性がサイクロン Nargis の発生に及ぼす影響について調査を行った。以下ではこれらの結果を報告する。

アンサンブル実験の手法には、LAF 法(Hoffman and Kalnay, 1983)を用いる。この手法は、実験の初期時刻を一定時間毎にずらし、最後の初期時刻ではじめた実験を摂動なしコントロール実験、それ以前の初期時刻ではじめた実験を摂動入り実験、とみなす簡易アンサンブル手法として知られている方法である。初期摂動を生成する予備計算が不必要であるという点で、この手法は限られた計算機資源を有効に活用するための手段の1つである。この手法に基づき、実験はそれぞれ異なる初期日(4/10,23, 24, 25, 26, 27, 28)の 00:00 UTC から開始し、それぞれ摂動無しの 30 日積分を実施した。大気場の初期値には、気象庁 GPV/GSM データを用いる。境界条件には、weekly Reynolds SST を時間内挿して与える。水平解像度は 14km、鉛直 40 層とした。計算には初期値の同化や、観測値からのずれを補正するようなナッジング等の手法は用いない。また、対流パラメタリゼーションは使用せず、雲物理過程(水蒸気、雲水、雲氷、雨、雪、霰、の相変化)は直接計算した。

実験の結果、4/10、28 を除くその他の初期日での計算では、いずれもベンガル湾でサイクロンが発生することがわかった。サイクロンの発生日は最大で 4 日程度のばらつきがあるものの、おおよそ Nargis 発生日の前後 2 日以内で発生する。発生したサイクロンは、海面水温が 27 度以上の領域で発生し(図は示さない)、全て東よりの進路を取りながらミャンマーに上陸したことから、モデル内のサイクロンは概ね Nargis を再現したものと捉えて良いだろう(図 1)。図 2(a)が示しているように、Nargis 発生前に MJO の振幅が大きくなっており、MJO に伴う対流活発域がベンガル湾域を通過後にNargis が発生したことがわかった。アンサンブルメンバー間のMJO の振幅の再現性(図 2a)は良くないが、MJO の減衰に伴う振幅の減少傾向は良く再現されており、サイクロン発生前後のMJO の位相も観測と良く一致していた(図は示さない)。MJO が通過するのに伴い、ベンガル湾で西風バーストが発生し、その後サイクロンが発生するというシナリオは、モデル内でも良く再現されていた(図 2b)。また、サイクロン Nargis は西風域とそれに伴う対流活発域の北進現象が見られる期間中に発生していることがわかった(図 3a, b)。モデルによる計算でも、サイクロンの発生した全てのメンバーで、サイクロン発生のおおよそ 1 週間前からベンガル湾における西風域の北進とそれに伴う対流活発域の北進(図 3e, f, g, h)が再現されており、モデル内でもこれらの西風域の北進にともなってサイクロンが発生していることが分かった(図 2c)。西風域の北進が始まるタイミング(4/27 前後)で、鉛直シアーが急激に小さくなり、サイクロンの発生に好都合な環境もモデル内で良く再現されていた(図 2d)。さらに、西風バーストに伴って赤道を挟んで南北に形成された双子の擾乱のうち、北側の擾乱がサイクロンに成長する過程(図 4a, b, c, d)をモデル内でも確認することが出来た(図 4e, f, g, h)。ところが、西風域の北進をうまく再現できないメンバー(4/10 初期値、図 3c, d)では、MJO の再現性、西風バーストの再現性や鉛直シアーの減少の再現性が良くとも、ベンガル湾でのサイクロン発生は見られなかった。このことは、モンスーンオンセット(ベンガル湾での西風域の北進のオンセット)の再現性が、サイクロン Nargis の発生の予測に重要であったことを示唆している。今後は、摂動を入れた実験や他の事例との比較検討により、これらの結果の予測可能性をより定量的に調査することも必要である。MJO に伴う対流活発域の場所(MJO の位相)とサイクロン／台風の発生位置との関係性については、観測が比較的盛んに行われている東西太平洋域や大西洋域で従来から指摘されてきた。本研究は、(1)これらの関係性、すなわち、MJO に伴う対流活発域の通過に伴ってサイクロンが発生しやすいという仮説がインド洋域でも適用可能であること、(2)台風発生の予測可能性の向上には、積雲の対流活動を伴う季節内の時間スケール変動をより精確に再現する必要性があり、そのためのツールとして全球雲解像モデルが有効であること、を示唆している。

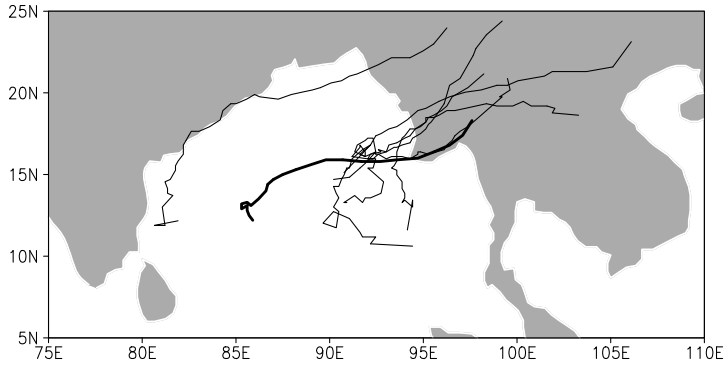


図 1. サイクロン Nargis のベストトラック(太線)とモデル内で発生したサイクロンのトラック(細線).

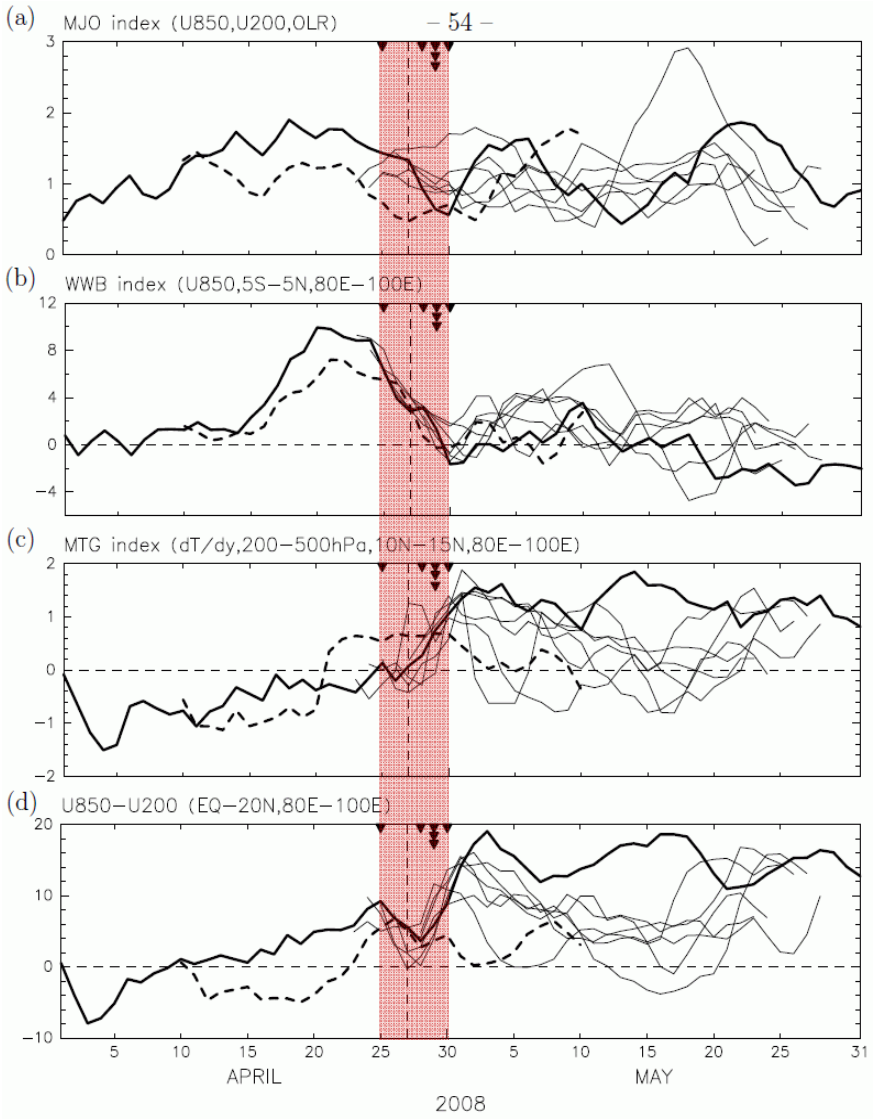


図 2. サイクロン発生に関与する擾乱／環境場の再現性の指標. 太線, 太点線, 細線は, それぞれ観測値, モデル実験(4/10 初期値, 他の初期値)結果により得られた指標. 赤色の陰影は、モデル内でサイクロンが発生した期間を示している。(a) 熱帯域季節内振動の振幅の指標, (b) 西風バースト(赤道域で発生する突発的な強い西風)の指標, (c) ベンガル湾モンスーンオンセットの指標, (d) 風の鉛直シアーの指標(小さいほどサイクロン発生に都合が良い), を示している.

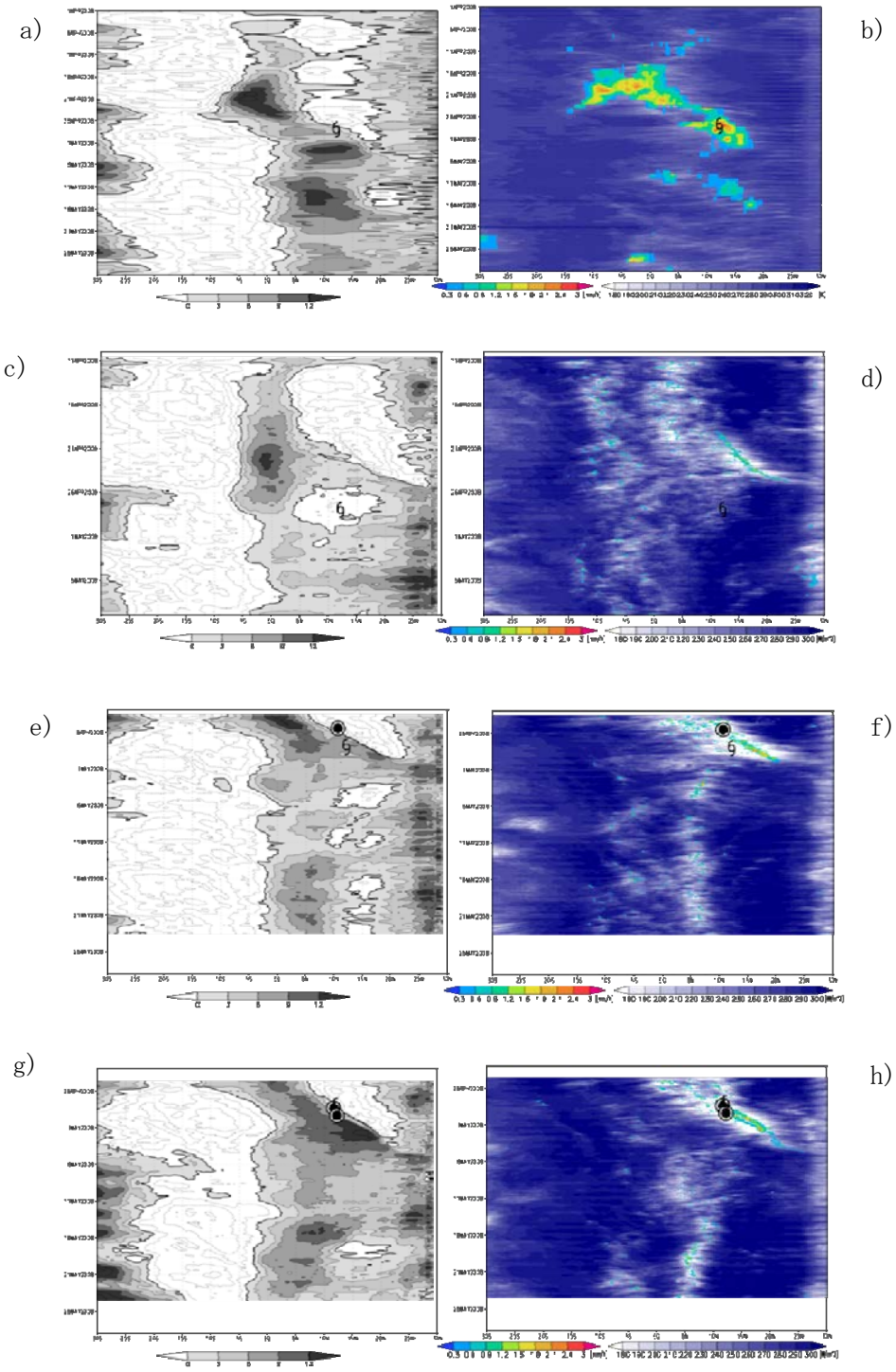


図 3. 80◦E{100◦E の領域で東西平均した 850 hPa 東西風(m/s，左図) と放射輝度温度[K](もしくは，OLR [W/m2])と降水量[mm/h] (右図) の時間発展. (a) JMA/JCDAS の 850 hPa 東西風, (b) NCEP/CPC 4 km Global IR datasets の放射輝度温度と JAXA/EORC GSMaP の全球降水マップより作成した降水量の図. (c)-(d), (e)-(f), (g)-(h) はそれぞれ，4/10，4/23，4/24 (いずれも 00:00UTC) を初期値とする実験結果. 図中の台風記号は，サイクロン Nargis の発生した場所と時間を示す. (c)-(h) の◎の記号は，モデル中で発生したサイクロンの場所と時間を示す.

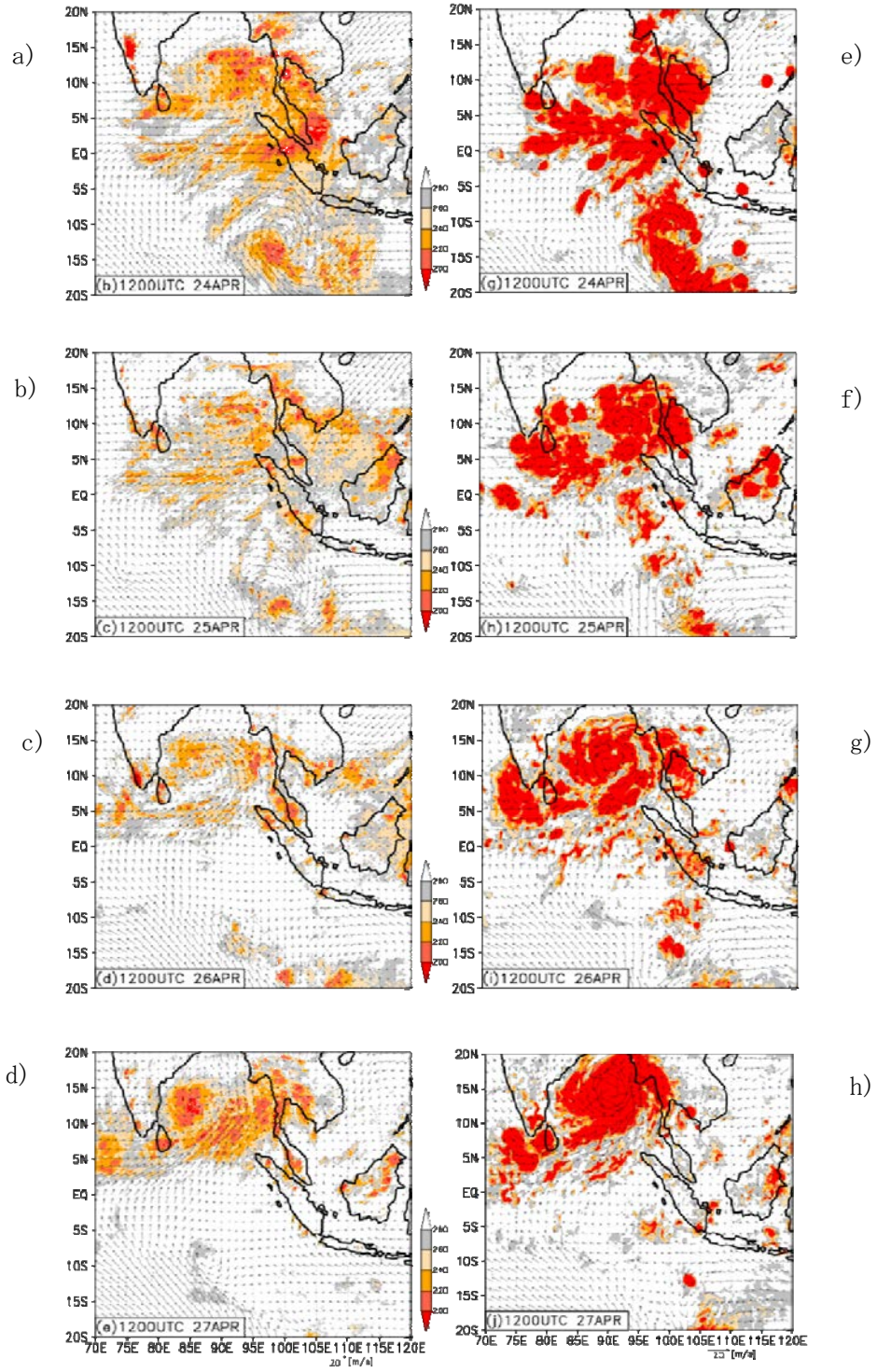


図 4. 海抜 10m の地表面風(ベクトル, m/s) と OLR [W/m2](もしくは, 放射輝度温度[K]) の水平分布(陰影) の時間発展. (a)-(d) は, JMA/JCDAS (地表面風) と NCEP/CPC 4 km Global IR datasets により得られた図, (e)-(h) は, 4/23 00UTC を初期値とする実験結果の地表面風と OLR の図である. 上段から, それぞれ 4/24 12:00UTC, 4/25 12:00UTC, 4/26 12:00UTC, 4/27 12:00UTC の図を示す.

C.領域集中格子を用いた全球雲解像モデルによる準リアルタイム予報実験

本課題では、全球雲解像モデル NICAM の熱帯気象予測への実利用化の試みとして、これまでに熱帯海洋上の集中観測(MISMO, PALAU2008)を対象とする全球雲解像実験を実施し、観測データとシミュレーションデータを統合的に用いることによって初めて得られる知見を示してきた(Miura et al. 2009; Katsumata et al. 2010)。また、観測の対象となる熱帯域の日周期から季節内周期までの現象(MJO、台風、モンスーンオンセット、等)の予報に加えて、現場観測データの雲解像モデルへのフィードバックによるモデルの精緻化を目指している。台風やサイクロンの発生、モンスーンオンセットといった現象の発生を予報結果からあらかじめ推測し、観測現場に気象予報データを提供して現場での観測計画の決定に利用することが出来れば、定点観測だけでは捉えることが困難な現象を航空機や船舶等を利用して動的に観測を行うことも可能となる。同様の試みは各国で実施されているが、熱帯域の季節内周期変動(MJO やモンスーンオンセット)の活動域をカバーする広領域の気象予報を全球雲解像モデルで実施し、現場観測と連携する試みは世界でも例が無い。ここでは、2010 年 5-6 月にかけて熱帯西部太平洋域において行われた集中観測 PALAU2010(独立行政法人海洋研究開発機構が実施)を対象として、2010 年度に実施した世界初の「全球雲解像モデル(領域集中格子を用いた領域版 NICAM)を用いた準リアルタイム予報システム」の構築の概要と、PALAU2010 で実施された船舶・地上・航空機観測と同期して実施した準リアルタイム予報実験の結果を報告する。

実験には、領域版の全球雲解像モデル NICAM を用いる。PALAU2010 の集中観測期間中の複数の観測地点のほぼ中心となる東経 136 度、北緯 8 度を中心とし、半径約 4500km(緯度経度幅は約 45 度)の円内部がおおよそ 14km の解像度、中心地点の裏側が 56km となるような領域集中格子を作成し使用した。鉛直方向は 40 層である。大気場初期値(風速 3 成分、気温、相対湿度、雲水、ジオポテンシャルハイト)と地表面初期値(地表面ジオポテンシャルハイト、地表気温、氷密度、積雪量、土壌水分)、海表面初期値(海面水温、海氷密接度、積雪量)には、計算開始日の日本時間 19 時ごろに提供される NCEP/FNL データ(ds083.2 データ;http://dss.ucar.edu/ datasets/ ds083.2/)を用いた。これらのデータは、UNIX の cron システムにより、インターネット回線を通じてシェルスクリプトにより自動的にダウンロードされる。初期値取得後、全てのデータはモデル格子上の値に変換する。大気場の境界条件となる海面水温(SST)はスラブ海洋を用いて直接計算し、後述する計算時間よりも長い緩和時間(10 日)で初期値の SST にナッジングするようにした。その他の計算には、初期値の同化や観測値からのずれを補正するようなナッジング等の手法は用いない。また、対流パラメタリゼーションは使用せず、雲物理過程(水蒸気、雲水、雲氷、雨、雪、霰、の相変化)は直接計算した (NSW6 scheme; Tomita 2008)。地表面過程(土壌水分)の計算には MATSIRO (Takata et al. 2003)を、地表面フラックスの計算には Louis (1979)のスキームを、放射計算には MSTRANX (Sekiguchi and Nakajima 2008)を、境界層の乱流過程の計算には Mellor and Yamada level-2 (Mellor and Yamada 1974; 1982)を使用した。初期値作成後、クラスタマシン(図 5、CPU は 1 ノードに Intel Xeon(L5520) 2.26Ghz (4 コア)を 2 基搭載(8 コア)、ノード間は InfiniBand で計 32 ノードまで接続、1 ノードあたりのメモリは12GB である) 上でシェルスクリプトにより自動的に予報計算を開始する。計算の時間間隔は 30 秒、予報時間は 7 日間、1 初期値あたり 7 日予報に要する実計算時間は、おおよそ 1.7 日である。モデル出力は、以下の物理量、東西風、南北風、鉛直風、気温、気圧、密度、水蒸気、非断熱加熱(以上、各鉛直層、3 時間毎のスナップショット出力)、雲氷積算量、雲水積算量、蒸発量、外向き長波放射量、2m 水蒸気量、降水量、地表面気圧、2m 気温、地表面気温、地表面降水量、10m 東西風、10m 南北風、可降水量(以上、単層データ、1 時間平均値)、に限定した。予報計算終了後、計算されたデータはモデル格子系から作図・データ解析用の格子系に変換され、同様にシェルスクリプトを介して作図・解析を行う。各初期日に 6 時間間隔で予報結果を web サーバ上にパスワードつきの限定で公開すると共に、観測チームの現場には 1 日毎の予報結果をメール配信した。現在の計算機の仕様では、初期値データ取得からポスト処理計算終了後、予報結果を配信完了するまでに 2 日弱かかるため、予報計算は月・水・金のみの週 3 回の実施とした。

集中観測開始前の 2010 年 4 月 23 日より予報計算を開始し、集中観測終了後の 6 月 30 日まで計算を実施した結果、全26初期値計算を実施することが出来た。計算期間の後半まで熱帯の西

(a)　　(b)

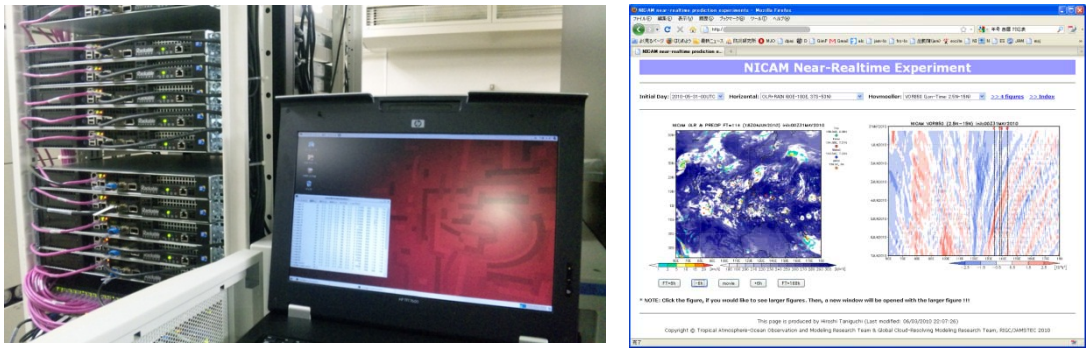


図 5. (a) 準リアルタイム予報計算に使用したクラスタマシン, (b) 準リアルタイム予報計算結果を格納・配信するための web ページ。

部太平洋域観測地点（東経 136 度、北緯 6 度）周辺では東風が卓越していたが、計算期間後半の 6 月下旬から次第に西風が卓越するようになりモンスーンオンセットを迎えた（図6）。西部太平洋のモンスーン指標（Wang and Fan, 1999；Wang et al. 2001）はこのモンスーンオンセットを捕らえており、NICAM による 7 日予報結果は観測を非常によく再現できていることがわかる（図7）。東風シアーが卓越する状況では初期渦の生成が妨げられるので、観測期間後半までは台風にまで成長するような初期渦の生成は観測では見られなかった（図 8）。ところが、NICAM ではしばしば日付変更付近まで西風領域が拡大することがあり、これに伴いしばしば西進する初期渦が予報されるという結果になった（図9）。6 月後半になると、西風領域が中央太平洋付近まで頻繁に拡大するようになる。これに伴い、西風シアーの見られる領域で頻繁に西進する渦が予報された。図 10 は、観測期間後半で予報された西進する初期渦の一例である。この予報結果を基に航空機観測を実施した結果、組織化した大規模な渦を実際に確認し（図は示さない）、渦周辺の集中観測を実施することが出来た。この初期渦は台風にまで成長しなかったものの、今回の航空機観測により得られたデータの詳細な解析により、その成因や台風にまで成長しなかった原因を探るための手がかりが得られる可能性がある。予報が成功した事例として、観測とモデルの相互比較を今後も一層進めていく予定である。

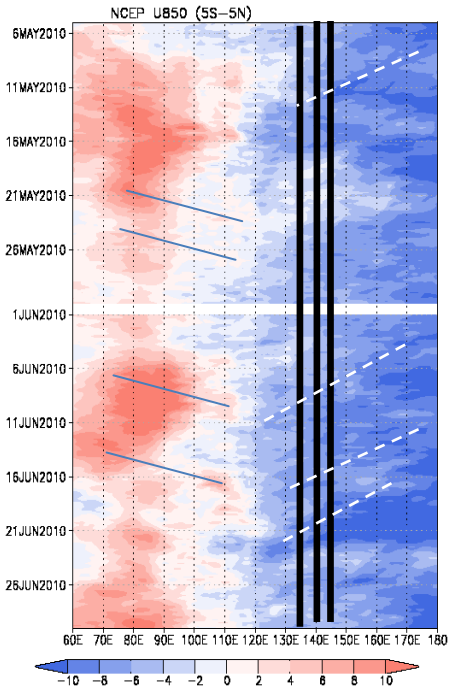


図 6. 2010 年 5 月から 6 月下旬までの NCEP／FNL データによる 850-hPa 東西風の 5N－5S 平均値の経度－時間断面図（ホフメラ図）。黒の実線は、集中観測地点の場所（経度）を、青、白色の実線はそれぞれ東進波動、西進波動の伝播の様子を表している。

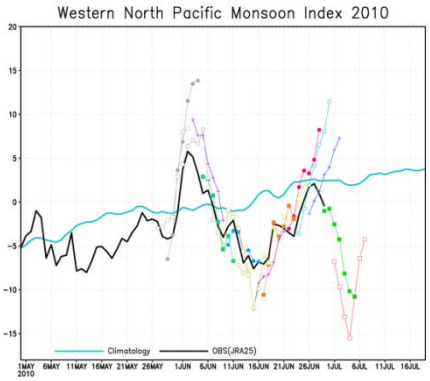


図7. 2010 年 5 月から 6 月下旬までの西部太平洋モンスーン指標。青と黒の太実線はそれぞれ、気候値、観測値（JCDAS）による指標である。細実線は NICAM による 7 日予報データから計算した指標である。

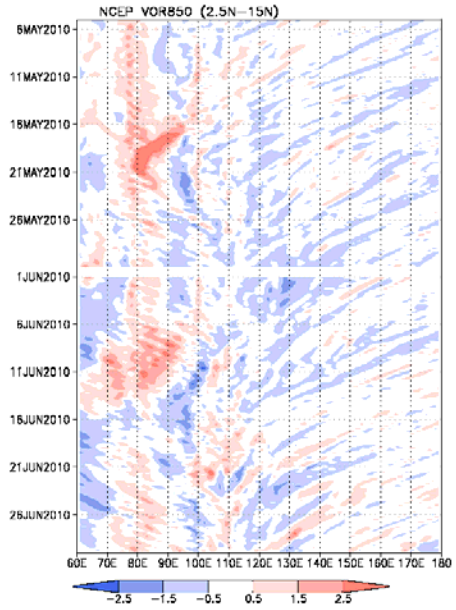
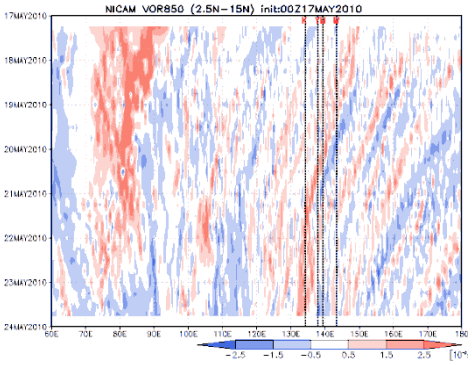


図 8. 2010 年 5 月から 6 月下旬までの NCEP／FNL データによる 850-hPa 面渦度の 2.5N－15N 平均値の経度－時間断面図（ホフメラ図）。赤・青の陰影はそれぞれ正、負の渦度を表している。

(a



(b

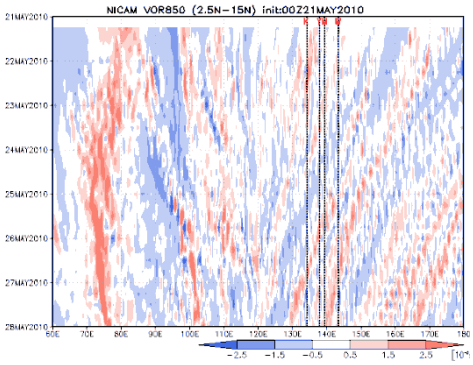


図 9. 予報データから計算した水平渦度成分のホフメラ図。(a) 2010 年 5 月 17 日を初期値、(b)2010 年 5 月 21 日を初期値、とする結果である。赤・青の陰影はそれぞれ正、負の渦度を表している。

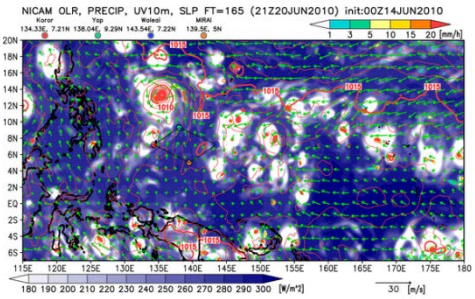


図 10. 2010 年 6 月 14 日を初期値とする予報実験の 165 時間後の予報結果。コンターは海面気圧、ベクトルは 10m 風速、カラーの陰影は降水量（mm/h）を示す。

D. 全球雲解像モデルを用いた台風 Fengshen の発生過程のシミュレーション

熱帯域で起こる台風の発生過程は様々な大気擾乱の影響を強く受けており、発生の予測は難しい。観測データを用いた最近の研究は、台風の発生過程における熱帯季節内変動やモンスーンなどの重要性を指摘しており(Kikuchi et al. 2010)、それらの関係を正確に理解することは台風発生の予測精度の向上の鍵といえる。本課題では全球雲解像数値モデルを用いた事例研究を重ね、台風の発生と大規模擾乱の関係の解明に取り組んできた(Fudeyasu et al. 2010a, b; Taniguchi et al. 2010; Yanase et al. 2010; 2009 年度報告書)。台風の発生・発達メカニズムにおいてとりわけ重要な多重スケール相互作用は、水平格子間隔の十分に細かい(数キロメートル)計算を行って調べる必要がある(Fudeyasu et al. 2010a, b)。そこで今年度は最高解像度(3.5 km 格子)を用いた台風の発生過程のシミュレーションを実施し、計算結果の解析を行った。

対象とした事例は、昨年度に引き続き、2008 年 6 月にフィリピン沖でフェリーの沈没事故を引き起こした台風 Fengshen である。この事例は非常に進路予報の難しかったことで知られており、進路予測の精度向上に関する研究を行う上でも適している。また、集中観測 PALAU2008 において発生過程の観測に成功しており、観測データとシミュレーションデータを併用した研究が可能である。Fengshen の発生・発達は国際観測プロジェクト Year of Tropical Convection(YOTC)期間(2008/5/1-2010/4/30)にも該当しており、計算初期値作成や結果の検証は特別高解像度の YOTC 客観解析データを用いて行った。3.5 km 格子を用いた10 日間のシミュレーション(台風発生4日前の 2008/06/15 00UTC 初期値)では、初期渦が急速に強まる過程の雲や降水分布の特徴がよく再現されており (図 1)、客観解析データを用いて発生前後の状況を調べた結果、Fengshen の初期渦の発生・発達は(1)熱帯季節内変動や西太平洋モンスーンの開始に伴う赤道域での西風強化による大規模な水平渦度場の生成や(2)赤道波の通過に伴う風速や水蒸気場の変動の中で起きていたことが分かった。

昨年度は水平格子間隔7kmの領域集中格子モデルを用いたシミュレーションを行い(2009年度報告書)、台風の進路予報において境界層スキームに関するインパクトが大きいことが分かった。そこで今年度は格子間隔14kmの全球モデルを用いて境界層スキームに関する感度計算も行った。その結果、両方のモデルに共通して、乱流混合を強くすると、多くの現業モデルにみられた進路が北に逸れる誤差が軽減されることが分かった(図 2)。誤差が小さかった計算と大きかった計算を比較すると、前者では活発な乱流鉛直混合により境界層内の水蒸気が対流圏下層に運ばれるため、雲の分布がより現実に近かった(図 3)。また、3.5km格子を用いた計算では境界層の乱流混合を大きくしなくても雲の分布の非対称性が再現され(図 1c, d)進路の誤差も少なかった(図 2b)。モデルの高解像度化による台風の雲の水平分布の再現性向上は進路予報の誤差軽減にも有効であることが示唆される。今後さらに事例研究を積み重ね、実用化の観点から高解像度化の有効性を定量的に評価する必要がある。

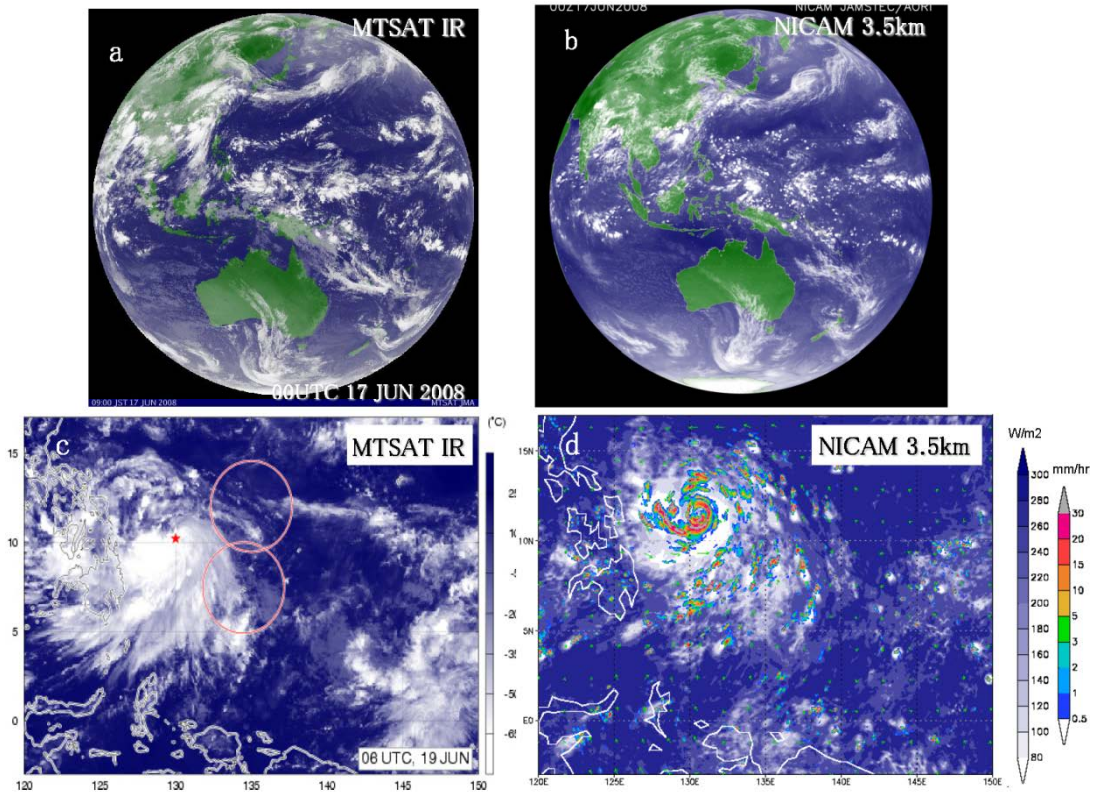


図 1 台風 Fengshen の衛星画像と全球 3.5km格子 NICAM による計算結果。台風発生2日前(2008/6/17 00UTC)の(a)衛星赤外画像(MTSAT-IR) (b)シミュレートされた外向き長波放射の全球分布。台風発生直後(2008/6/19 06UTC)の(c)衛星赤外画像(MTSAT-IR) (d)シミュレートされた外向き長波放射および地表降水(色で示す)の拡大図。

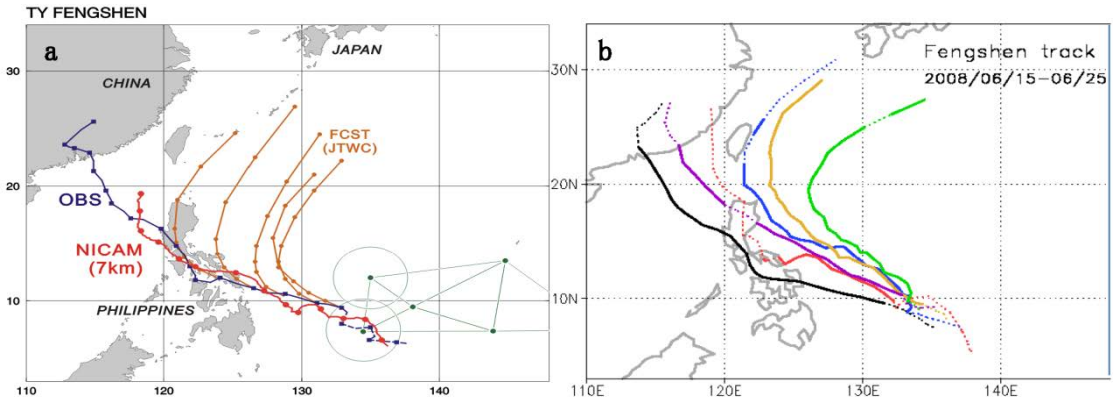


図 2 台風 Fengshen の進路 (a) 観測(黒)、Joint Typhoon Warning Center(JTWC)による予報および水平格子間隔 7km の領域集中格子版 NICAM(強乱流混合)による計算結果(赤) (b) 観測(黒)、全球 3.5km格子 NICAM(紫)、全球 14km 格子 NICAM(強乱流混合:赤、標準の乱流混合:青、黄、緑)による計算結果。(a)に PALAU2008 の観測網を示す。

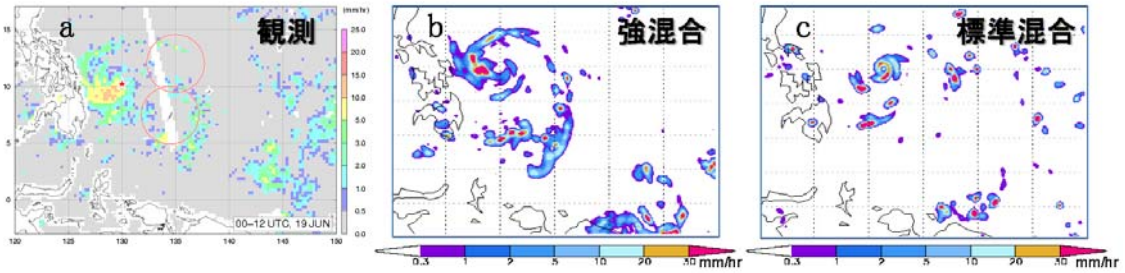


図 3　発生直後(2008/6/19)の Fengshen の日平均降水分布。(a)観測。全球 14kmNICAM による感度計算結果。(b)強い乱流混合 (c) 標準の乱流混合

(2) 研究成果の今後期待される効果

全球雲解像モデル NICAM により、MJO に代表される季節内振動や熱帯低気圧の発生がよく再現できることが示された。これらは、従来の大気大循環モデルによるシミュレーションでは、再現性がよくなかったため、数値天気予報や将来の気候予測の大きな不確定の原因となっていた。本研究の結果は、全球雲解像モデルが今後、気象・気候研究や業務に重要な役割を果たすことを示唆するものである。計算資源の制約から、本研究ではいくつかの事例実験に留まざるを得なかったが、各季節の代表的な事例を網羅することができ、ある程度の一般的な結論を得ることができたと考える。今後次世代スーパーコンピュータ等を利用し、さらに長時間あるいは多くのケースの実験を行うことで、より一般的な知見へと高めることができるだろう。本研究の結果を受けて、NICAM の気象・気候研究への実利用へ向けた取り組みがスタートしている。週を超えた延長予報等の気象予測に使う可能性について、気象庁との連携に検討を開始している。将来の気候変化予測に関しても、数か月程度の短期間のシミュレーションではあるが気候的な変動について議論をはじめており、従来の気候モデルと連携した地球変動予測モデル・アプリケーションパッケージ(統一日本モデル)として整備する構想がスタートしている。

3．2　全球雲解像モデルの数値スキームの改良・計算パフォーマンスの向上(海洋研究開発機構 雲解像モデリング・データ解析グループ)

(1)研究実施内容及び成果

A. **熱帯または局所領域で細かいストレッチ型三角格子**

① はじめに

CREST 本研究課題の NICAM に関連する一連の研究では、これまで全球準一様な解像度の格子を用いてシミュレーションを行ってきた。全球一様である利点として、どの領域でも計算精度が一様であること、また数値粘性やパラメタリゼーションといったサブグリッドスケールの現象の扱いが容易であることが挙げられる。しかし一方で、精度の高い大気大循環シミュレーションを行う上で全球一様な解像度を与えることは必ずしも効率的であるとは限らない。同じ計算資源量を使う場合でも、例えば活発な積雲対流によって大気大循環を駆動している熱帯地域を特に高解像度にした方が高精度な結果が得られる可能性がある。

また、非一様な全球格子は局所的な現象を対象とするような研究、例えば領域気象予報や、また近年流行っているダウンスケーリング手法を用いたローカルな気候研究などに役に立つ可能性がある。従来はこういった研究には、矩形の領域モデルをネスティングする手法が用いられてきたが、領域モデルの境界部分で波の反射によるノイズが生じるという問題がある。そのようなこともあって、ここ数年は、新たに局所的に細かくした様々なタイプの全球格子が提唱されている。しかし、それらは効率のいい並列計算にあまり向かない非構造格子であったり、高解像度領域の周辺で解像度のギャップがあるようなアダプティブ格子であったりする。

そこで本研究では構造格子でありかつ解像度が連続に変化するようなストレッチ型非一様格子の提唱を行った(Iga 2010，投稿中)。具体的には、NICAM がベースとしている正二十面体のトポ

ロジーを変えることにより、以下に述べるような様々な非一様な三角格子を NICAM 上で開発し、浅水方程式系でテストを行った。

③　格子

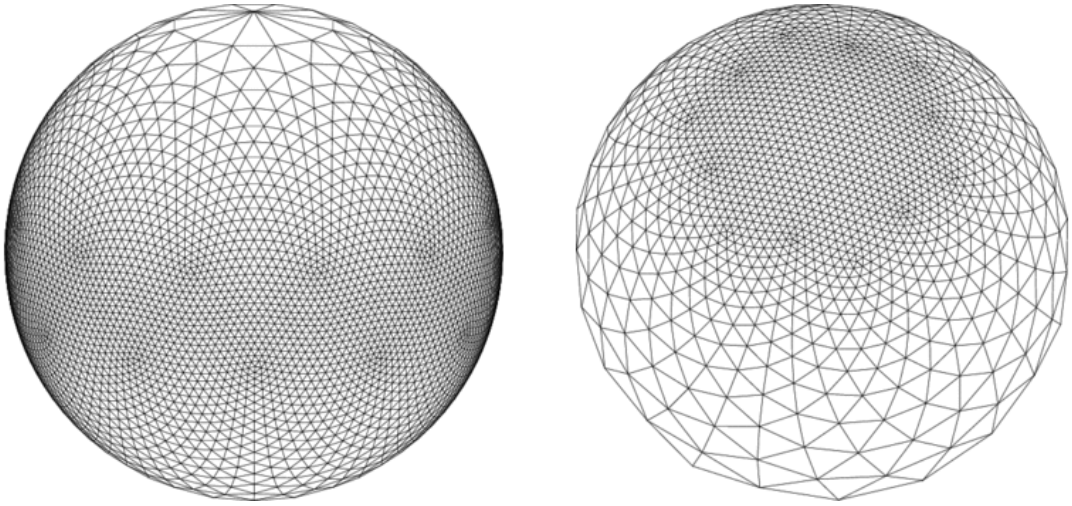


図 1（左）13S－13N の領域でほぼ一様に細かい MLCP 格子。
（右）着目領域でほぼ一様に細かい PSP 領域格子。

図1に2つの格子の例を示す。図1左は熱帯で細かいMLCP格子である。この例では13S－13Nの熱帯の高解像度域ではほぼ一様な解像度なっている。図 1 右は局所領域で細かい PSP 領域格子である。この例では、図上部の高解像度域内ではほぼ一様な解像度になっている。Tomita (2008) でも同様に NICAM のストレッチ格子を提唱しているが、高解像度域で解像度が一様でないという違いがある。

なお本研究で提唱した格子はコンフォーマルマッピングの手法を用いているので、局所的な等方性がほぼ成り立っていて、ほぼ正三角形に近い格子で構成される。

④　浅水方程式系でのテスト

Williamson et al. (1992) のテストケースを行った。ここではテストケース1の結果を示す。図 2 はその RMSE 誤差で、左は熱帯で細かい MLCP 格子（図 1 左)の3解像度 とNICAM の準一様格子を比較したケースである。このケースは MLCP や NICAM 如何に関わらず、赤道での解像度（δ min)と誤差はほぼ対応している。右は局所領域で細かい PSP 領域格子(図 1 右)とNICAM のストレッチ格子を比較した場合である。この場合も誤差は全球平均的な解像度にほぼ対応する結果が得られている。NICAM(δ min=27km)と、PSP 領域格子（δ min＝25km）は、最小格子間隔はほぼ等しいが、全球では PSP 格子の方が2倍の格子点数があるために、PSP 格子の方が精度がよくなっている。

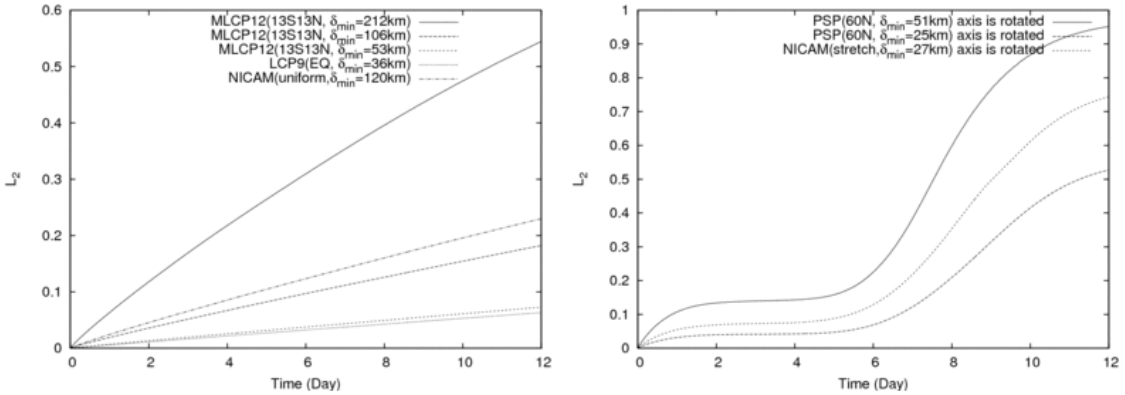


図2 トレーサー量のRMSE誤差の時間発展。(左)。MLCPが熱帯で細かい格子(図1左)に対応し、δmin は赤道での格子間隔を表す。LCP は本報告書では示さない別な格子。(右)PSP は局所領域で細かい格子(図 1 右)に対応する。δmin は最も細かい部分の格子間隔を表す。

今後はNICAMの3次元モデルへ実装する予定である。解像度が非一様な場合のパラメタリゼーションの扱いなど課題も残されているが、最終的には現実の気象モデルとして実用化することが目標である。もし実用化が実現すれば、より効率のよいシミュレーションができるという点で今後の熱帯気象予測や台風の発生過程の予測研究に更に役に立つと考えられる。

B. 全球雲解像モデル NICAM の計算パフォーマンス

近年のスーパーコンピュータはベクトル型計算機ではなくスカラー型計算機が主流となっており、TOP500(http://www.top500.org/)においても汎用 CPU である AMD 社の Opteron や Intel 社の Xeon を用いたスカラー型プロセッサーを使用した大型計算機がその多くを占めている。スカラー型の大型計算機は膨大な数のプロセッサーを搭載しているため理論性能値は大きくなるが、実際にアプリケーションを動かした場合にはメモリアクセスやプロセス間の通信等の影響があるため、最適化を施さなければ計算パフォーマンスを引き出すことができない場合がある。一方で非静力学正20面体大気モデルNICAMはベクトル型計算機である海洋研究開発機構/地球シミュレータセンターの地球シミュレータ(旧システム、ES)上で開発・改良が進められてきたためベクトル型計算機向けの最適化が施されている。NICAM をベクトル型計算機向けの最適化を施すことによって、ES では演算時間を 35%減少することに成功している。理論性能に対する実効性能の比率を示すピーク性能比率は 45%に達している。

NICAM は 2012 年に稼働予定の理化学研究所の次世代スパコン『京』のターゲットアプリケーションの1つに選定されている。現状の NICAM はベクトル型計算機向けの最適化が施されているため、スカラー型計算機である『京』での計算パフォーマンス向上のためにはスカラー型計算機に向けた最適化は必要不可欠となる。

そこで今回は次世代スパコン『京』上での NICAM の運用を想定し、スカラー型の大型計算機である筑波大学計算科学研究センターの T2K－Tsukuba(T2K－Tsukuba)を用いて、最適化前の状態で NICAM のスカラー型計算機上での計算性能を測定した。さらに同じ数値実験設定を用いてES上でもNICAMの計算性能を測定して、スカラー型計算機とベクトル型計算機上でのNICAMのパフォーマンスを比較した。

テストケースは120ステップの計算をしており、半径約16km・格子間隔約7kmの小惑星を想定している。全格子点数は(10×(27)2＋2)×54 で格子点数を固定してコアの数を 40、160、640、2560 と変化させてスケーラビリティを測定した。

NICAMの計算時間は大まかに演算・通信・ファイルの読み書きの3つにわけることができる。図1には ES(赤点線)と T2K－Tsukuba(青点線)での演算と通信を合計した時間を示している。同じコア数を使用した場合には T2K－Tsukuba よりも ES の方が時間は短い様子が分かる。T2K－Tsukubaのコア数がESの16倍以上の時にはT2K－Tsukubaの方が時間が短くなる場合がある。しかしT2K

－Tsukuba の 2560 コアは ES の 160 コアよりも遅い。

図 1 には ES(赤実線)と T2K－Tsukuba(青実線)のスケーラビリティも示している。ただし 40 コアを用いた時の時間で規格化している。コア数を 40 から 160、640、2560 と増加させているので、理想的には時間は 4 分の 1 ずつ減少し、理論線(黒実線)に沿って時間は減少するはずである。しかし ES の場合はコア数が 640 以上の時に理論線から大きく外れてしまう様子がわかる。これはコア当たりの問題規模が小さくなってしまったため ES のベクトル長を活かすことができなくなってしまったことが理由の1つとして考えられる。一方で T2K－Tsukuba の場合は 640 コアまでは概ね理論線に沿って計算時間が減少している様子が見て取れるが、2560 コアを用いた場合には理論線からのずれが大きくなっていることが分かる。

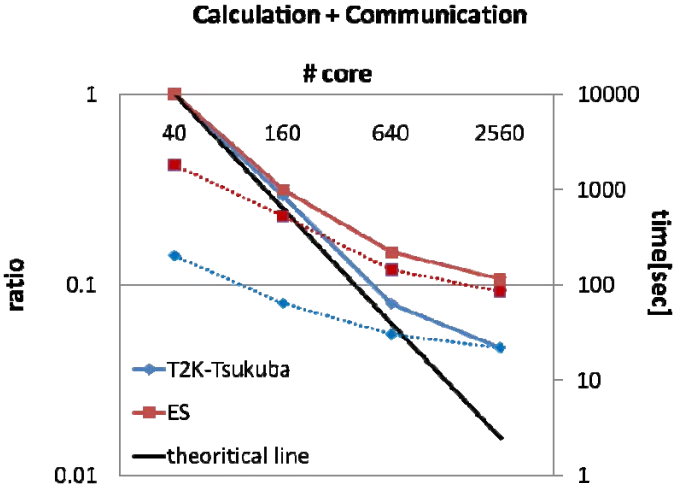


図 1: T2K－Tsukuba(青実線)と ES(赤実線)は 40 コアを用いた時の演算時間を基準とした時の計算時間の減少率を示す。黒線は理想的な時間減少率を示す。それぞれの色に対応した点線は演算と通信を合計した時間を示す.

次に T2K－Tsukuba における演算に対する通信の割合と通信の時間を図 2 に示した。コア数が増えるにつれて比率が増加している様子がわかる。また通信時間は 640 コアまではコア数の増加に依存して減少しているが 2560 コアの時には 640 コアの時よりも 25%ほど通信の時間が増加している様子が分かる。コア当たりの問題規模が小さくなったので演算量や通信の量は減少するが通信のレイテンシーは変わらないことと、コア数つまりCPUの数が増加したためにCPU間通信の物理的な距離が大きくなったために通信時間が大きくなることが考えられる。2560 コアを使用した場合には、時間が増えてしまっていることから CPU 間通信の距離が問題となってしまっている可能性がある。

現状ではベクトル型計算機の方がコアの単体性能はスカラー型計算機に勝る。またスカラー計算機向けの最適化においてはキャッシュの有効利用は必要不可欠である。スカラー型計算機でベクトル型計算機以上の計算パフォーマンスを引き出すためには、使用するコア数を多くしてコア当たりの問題規模を小さくすることが必要となる。しかし前述のようにコア当たりの問題規模を小さくしてしまうと通信時間が計算時間に対して顕著になってしまう。以上のことから次世代スパコン『京』で高い計算パフォーマンスを出すためには、通信のトポロジーを考慮の上で通信量と問題規模のバランスを取った上でキャッシュを有効に利用できるような最適化が必要であることが示唆される。

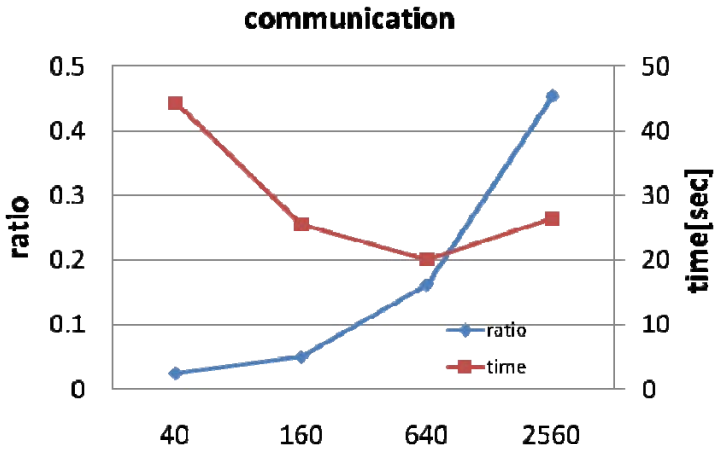


図 2: T2K－Tsukuba における計算時間に対する通信時間の比率(青線)と通信時間(赤線)のコア数への依存性を示す。

(2) 研究成果の今後期待される効果

NICAM は並列計算に適したプログラム構造をもち、大規模超並列計算に適している。今まで、地球シミュレーターに代表されるベクトルマシン向けに最適化してきたが、次世代スパコン等スカラーマシン向けのプログラムの改変を進めてきた。その結果、ある程度計算パフォーマンスを確保する見込みがたち、次世代スパコン「京」でも良好な計算性能を示すものと考えられる。今後のペタ級、ポストペタ級、ヘクサスケールのコンピューティングにむけたプロジェクトが開始している。日・米・英が共同でアメリカのスーパーコンピュータ Athena, Kraken を利用した Athena プロジェクトがスタートしており、NICAM による大規模計算が実施された。次世代スーパーコンピュータ戦略拠点分野 3 防災・減災に資する地球変動予測に参加している。また多国間国際研究協力事業(G8 Research Councils Initiative)「地球規模課題のためのエクサスケール・コンピューティングを目標とした応用ソフトによる学際的プログラム」にも日・独・仏・英・米の正 20 面体モデリングの研究グループが連携して共同提案を行っている(ICOMEX)。NICAM はさまざまな計算アーキテクチャ上で使われる高解像度大気モデルの標準モデルと位置付けられているといえる。

3．3 全球雲解像モデル NICAM の実験データの解析・物理過程の改良(東京大学 大気大循環モデリング・データ解析グループ)

(1)研究実施内容及び成果

A. 台風 Durian(2006)の発生・急発達に影響した熱帯波動

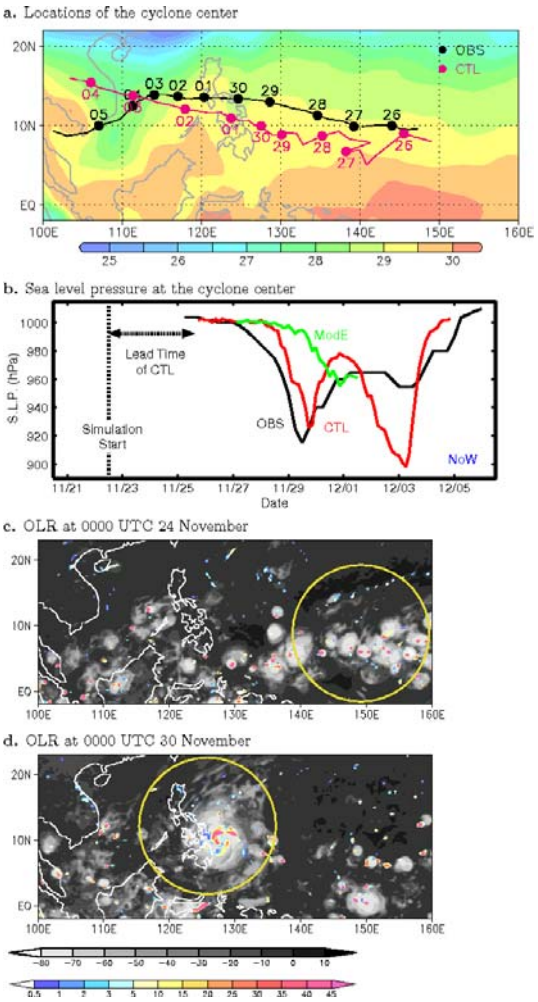
台風の基本的な発達のメカニズムは、台風自身の渦と組織化した積雲対流の加熱との正フィードバック機構であることが、理論的な研究で指摘されている。しかしながら現実の大気では理論で指摘されるような純粋なメカニズムだけではなく、他の擾乱や地形の影響などの様々な外的要因が台風に影響を及ぼす。特に赤道付近を東西に伝播する様々な熱帯波動は、台風の最初の渦が発生するきっかけの1つとされている。このような熱帯波動は非常に長距離を伝播するため、北太平洋西部で発生する台風に対して熱帯波動が及ぼす影響を数値シミュレーションで調べるためには、インド洋や大西洋などの海域も広くカバーしたモデル領域を与える必要がある。本研究では全球雲解像モデル NICAM を利用することで、遠方から伝播してくる熱帯波動が 2006 年に発生・急発達した台風 Durian に及ぼした影響を調べた。Durian は北太平洋を西に進んだため日本には接近しなかったが、フィリピンを通過した際に大雨によるマヨン山の土砂災害を引き起こした社会的影響の大きい現象であった。

本研究では NICAM を水平格子間隔 14km で用い、積雲対流のパラメタリゼーションを使わずに、雲微物理過程によって雲降水システムを陽に表現するシミュレーションを行った。モデル上端は高度 38km とし、鉛直方向には 40 層のモデル面を設けて、下層ほど解像度が細かくなるように与えた。

東京の Regional Specialized Meteorological Center (RSMC)のベストトラックの解析によると、 2006 年 11 月 25 日 0600UTC から熱帯性の擾乱が現れ、11 月 26 日 1200UTC に風速 17.5ms^{-1} 以上の台風強度を持つ Durian が発生した。本研究では Durian の発生の 4 日前に相当する 11 月 22 日 1200UTC を初期値として 14 日間の時間積分を行い、Durian の発生と発達のシミュレーションを試みた。初期場には気象庁の全球客観解析データを利用した(実験 CTL)。海面温度は NOAA の週ごとの解析データを、時間方向に線形内挿して与えた。

図 1 は実験 CTL での台風 Durian の再現性を示している。NICAM は台風 Durian になる前の擾乱が 11 月 25 日頃に現れ始め、台風となった Durian が 11 月 29 日頃に急発達し、さらに、北太平洋上を西進してフィリピンを通過する様子を良く再現している(図 1a, 1b)。しかし、積分時間が長くなるにつれて Durian の強度は現実からはずれて行った。本研究では、再現性が良かった 11 月 30 日以前に焦点を当て、Durian の発生と急発達のメカニズムを調べた。この期間は、雲分布の様子も衛星観測との対応が良く、Durian 発生前の 11 月 24 日には 100～200km の雲降水システムの集団が存在し(図 1c)、11 月 30 には台風へと組織化した数百 km の雲がフィリピンを通過する特徴(図 1d)を再現していた。

次に実験 CTL での Durian の構造の変化を見てみる。熱帯性の擾乱が現れた 11 月 25 日以降の台風中心部の渦度場と発散場の鉛直分布の時系列を図 2 に示す。弱い熱帯性の擾乱が現れてから台風が発生・発達する 11 月 25 日～11 月 29 日まで、対流圏下層では渦度が大きくなっていき(図 1a)、また、高度 1km 以下の海面付近ではエクマン層内の収束場も同時に強くなっている。これは理論的な台風の発達メカニズムと整合的な構造である。しかしながら、台風が急発達した 11 月 29 日 0000UTC 頃の構造を見ると、対流圏下層の渦度が急速に深い構造を持ち、また、収束場も高度 4～5km 付近まで深い構造を持っている。収束場は 29 日以降には再び高度 1km 以下の構造に戻っているため、11 月 29 日 0000UTC 付近で、通常の台風の発達メカニズムとは異なるプロセスが働いたと考えられる。



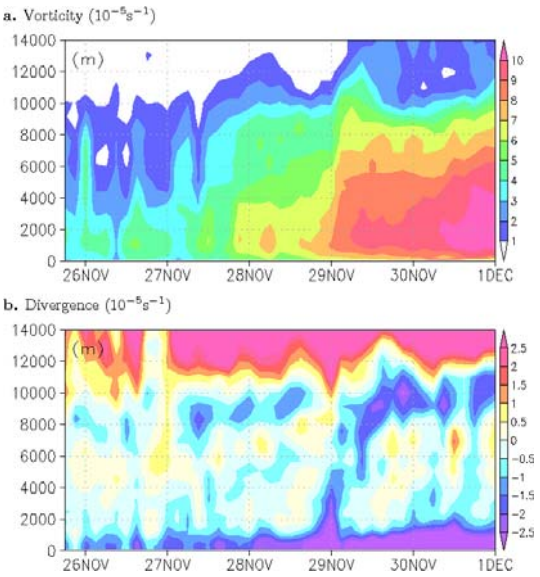


図 2 実験 CTL での Durian の鉛直構造の時間変化.(a) 渦度(単位は$10^{-5}s^{-1}$). (b) 発散(単位は $10^{-5}s^{-1}$). 物理量は台風の中心付近の 6°×6° の領域で平均した値.

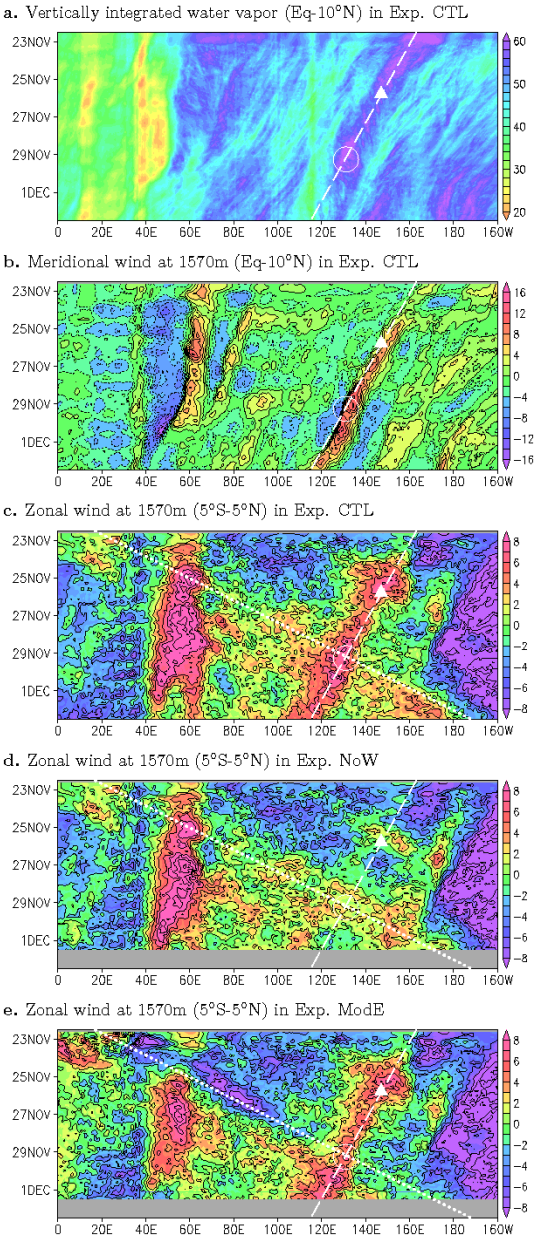
図 1 実験 CTL で再現された Durian の様子. (a) 台風中心の位置. 観測を黒線、実験 CTL を赤線で示す. 2 桁の数値は 11 月 26 日から 12 月 5 日までの日を表す(時刻は 0000UTC).シェードは 11 月 22 日 1200UTC の海面水温. (b) Durian の中心気圧(hPa). 観測を黒線,実験 CTL を赤線,実験 ModE を緑線で示す. (c),(d) 実験 CTL の 11 月 24 日 0000UTC と 30 日 0000UTC とにおける外向き長波放射(グレーシェード)と降水量(mm/hr; カラーシェード). Durian に関係する雲システムを黄色い丸で囲んでいる。

Durian の発生と急発達に対して、赤道付近を東西に伝播する熱帯波動が外力として影響していたかどうかを調べるため、経度-時間ダイアグラムを図 3 に示す。赤道の北側 0o-10oN で平均した可降水量(鉛直積算した水蒸気の量)を見ると、計算初期の 11 月 22 日の 160oE 付近にある水蒸気が多いシグナルが、時間とともに西へと進み(図 3a の波線)、それが台風 Durian の発生へと至り(図 3a の白い三角)、そのまま西に進んでいることがわかる。対流圏下層の南北風の場でも、北風・南風のペアとして低気圧性の循環を伴うシグナルが同じように西進していることが見られる。このシグナルは高湿度と低気圧性循環を伴い 5-8ms-1 で西進するという性質を持つことから、偏東風波動と呼ばれる熱帯波動に分類されると考えられる。台風が発生する前の 11 月 24 日 0000UTC に見られた雲降水システムの集団(図 1c)も、この偏東風波動に伴う現象である。一方で、赤道を中心とする 5oS-5oN で平均した対流圏下層の東西風の場を見ると、計算初期の 11 月 22 日の 20oE 付近に見られるシグナルが東へと伝播している(図 3c の点線)。このシグナルの構造はやや不明瞭であるが、シグナルとともに東へ移動する系で時間平均をとったコンポジットの構造を見ると(図 4)、

対流圏下層では擾乱の西側に西風と高気圧性偏差、東側に東風と低気圧性偏差を示し（図 4a）、その中間では対流圏全層にわたる上昇流を伴っていた（図 4b）。この構造と 15ms-1 で東進するという特徴から、このシグナルは対流結合したケルビン波という熱帯波動に分類されると考えられる。興味深い点は、この東進波動が西進する台風 Durian と交差する 11 月 29 日頃に Durian の急発達が起きていることである。このことから東進波動は Durian の急発達の原因であったことが示唆される。急発達のメカニズムとしては、東進波動の上昇流（図 4b）の下層にある強い収束が、11 月 29 日ころの Durian の鉛直構造に見られた深い収束を引き起こし（図 2b）、引き伸ばし効果により渦が強化された考えられる。

熱帯の西進波動と東進波動が台風 Durian の発生や急発達に、本当に影響しているかを調べるために2つの感度実験を行った。感度実験では初期場で熱帯波動が存在している領域周辺の水蒸気量を変化させることで、熱帯波動の構造を変化させている。実験 NoW では 160oE 付近に存在していた西進波動を初期場から除くことに成功した（図 3d; 波線に沿ったシグナルが殆ど見られない）。この結果、Durian の発生は起きなかったので、西進擾乱は確かに Durian の発生に影響していたことがわかる。一方で実験 ModE では 20oE 付近に存在していた東進擾乱を初期場で変形した（図 3e; 点線に沿ったシグナルが実験 CTL の位相と比べて遅れている）。この結果、Durian の急発達は遅れたため（図 1b の緑線）、東進擾乱は確かに Durian の急発達に影響していたと言える。

本研究では、熱帯域を東西に伝播する複数の熱帯波動が、台風 Durian の発生や急発達に影響していたことを感度実験により示した。このことは熱帯波動の長距離の伝播を表現できる全球雲解像モデルが台風のライフサイクルを予報するのに適していることを示している。一方で、領域解像モデルで台風のライフサイクルを現実的に予報するには、熱帯波動の伝播する範囲を考慮したモデル領域と予報時間の設定が適切であると考えられる。今後は、他の事例でも複数の熱帯波動が台風のライフサイクルに影響しているかどうかを調べ、台風予報の精度向上に関する知見を増やしていくことが重要である。



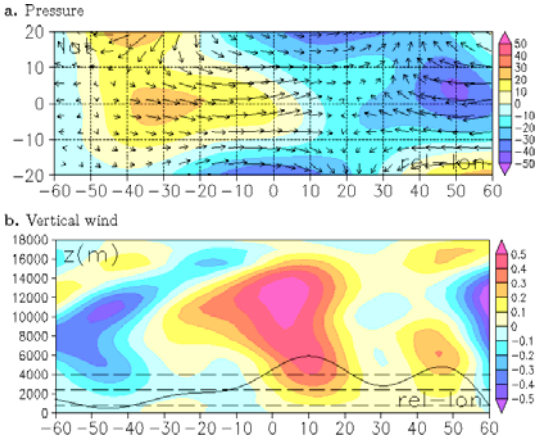


図 4 実験 CTL での東進波動の構造．図 3c の点線に沿って経度をずらしながら時間方向に平均をしたコンポジット図．東西方向に 2-10 波数の空間フィルタをかけている．(a) 高度 1570m における気圧(単位は Pa; カラーシェード)と水平風(矢印)の水平分布．(b) 緯度 5°S-5°N で平均した鉛直流(cms^{-1};カラーシェード)の東西鉛直分布と降水量(黒い曲線; 波線は下から -1,0,1mm/day の値を示す)．横軸はコンポジットの中心経度(図 3c の点線)からの相対的な経度．

図 3 シミュレーションで再現された変数の経度-時間ダイアグラム．(a) 緯度 0°-10°N で平均した実験 CTL の可降水量(kgm^{-2})．(b) 緯度 0°-10°N で平均した実験 CTL の高度 1570m における南北風(ms^{-1})．(c,d,e) 緯度 5°S-5°N で平均した実験 CTL,実験 NoW,実験 ModE の高度 1570m における東西風(ms^{-1})． 白い三角は Durian が発生した経度と時刻(11 月 25 日 1800UTC)、白い丸は Durian が急発達した経度と時刻(11 月 29 日)．波線は西に進みながら Durian へと発達した熱帯波動，点線は東へ伝播した熱帯波動の位置を示す．

B. 全球雲解像モデルNICAMの物理過程の改良～モーメント法雲微物理モデルの開発と雲光学特性の表現の精緻化

NICAM で用いられてきた従来の雲微物理モデル(以下、NSW6)は雲の質量のみを予報する簡易的な手法であり、気象予報を始めとした短期的、または局地的な数値実験を目的として設計されている。そこで、NICAM を用いて長期的な全球雲解像実験を行う事を視野に入れ、本研究では雲の質量と個数を予報する 2 モーメント法雲微物理モデル(以下、NDW6)を開発し全球雲解像モデルNICAMに導入した。また、従来の雲微物理モデルでは気候学的な代表値を用いて雲光学特性を計算していた。本研究では、質量と個数から雲微物理過程に基づいて有効半径を計算し、雲光学特性を雲の成長に合わせて計算できるように改良した。これにより、従来不確定性が大きく問題視されていた雲の放射強制力が高精度に計算されるようになった。それと同時に、NDW6 では雲微物理モデルと雲の放射特性が整合的に計算される為に、衛星搭載型光学センサーによる観測結果との直接比較による雲の再現性の検証が行えるようになった。

はじめに全球実験の予備段階として、NDW6を用いて熱帯スコールラインを対象とした数値実験を行った。本実験では従来の雲微物理モデル NSW6 との比較を行い、NDW6 の熱帯での雲モデルの改善点を把握した。NDW6とNSW6を比較したところスコールライン全体での降水量は同程度に表現される事が分かった(図1)。しかしながら、降水域を対流性降水域と層状性降水域に分類して解析したところ、NDW6は全降水量に占める層状性の降水量の割合が30%程度であるという過去の観測結果と整合している一方で、NSW6 は層状性の降水量がほとんど確認されない事が分かった。降水強度別に降水の頻度分布を見てみると(図 2)、NSW6 で降水強度 60mm/hr を超えるような領域が多く、対流活発域での穏やかな雨の成長を表現出来ていない事がわかる。NDW6 は雨粒の個数を予報する事で、領域平均の降水量が同程度でも降水の強弱を適切に表現出来る事が分かった。NDW6の開発により、現状のNICAMの熱帯域での降水過剰バイアスを軽減する事が予期される。

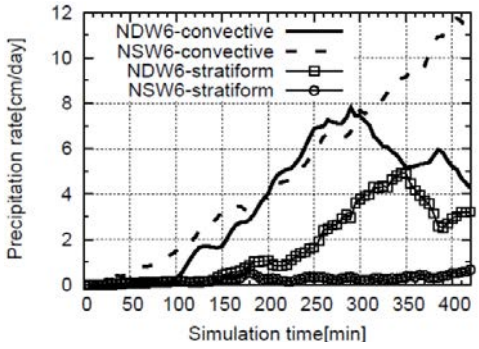


図 1.計算領域全体の平均降水量[cm/day]の時間発展図。

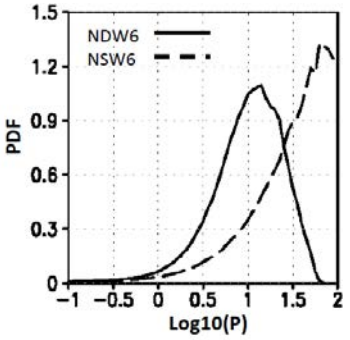


図 2.計算領域全体の降水強度[mm/hr]の頻度分布。横軸に降水強度を常用対数でとっている。

次に、NDW6 によって計算される雲放射強制力を評価する為に、ゾンデによる放射フラックスの直接観測が有る日本付近の梅雨期を対象とした数値実験を行った。ここでは特に氷の雲光学特性の表現に注目し、氷が球形であると仮定した場合と非球形であると仮定した場合での放射フラックスの差とその値の妥当性を議論した。過去の観測キャンペーンによってゾンデは 1995 年 6 月 8 日につくば直上に上げられ、圏界面付近まで上下方向の長波および短波放射フラックスを観測した。本実験では計算領域中心の解像度が 7km になるようなストレッチ格子を用い、局所的な高解像実験を行った。6 月 6 日を初期値とし、計算開始三日目には日本上空に梅雨前線が形成されている事が確認されている。NDW6 によって計算された氷雲光学的厚さと ISCCP-DX による衛星データプロダクトの氷雲光学的厚さを比較したところ NDW6 はよい再現性を示し、特に巻雲の光学的厚さの発生頻度がおよそ3あたりに集中している事を表現出来ている。ゾンデによる放射フラックスの直接観測とモデル結果を比較したところ(図 4)、氷粒子に球形を仮定した光学特性を用いた数

値実験(SR)では非球形を仮定した光学特性を用いた数値実験(CTL)に比べて短波の後方散乱が弱く、雲アルベドを非常に過小評価している。その一方で SR は前方散乱が強い為に地面に到達する短波放射フラックスを過大評価している。また、長波フラックスは雲以外の大気の影響を受け易い為に、CTL と SR の差は大きくない。これらの傾向は大気大循環モデルや衛星観測を用いた先行研究と一致している。ゾンデ観測と比較したところ CTL の方が SR よりも観測結果に近い値を示し、短波放射フラックスでは大気上端で約 86W/m2、地表面では約 52W/m2 程度の改善が見られ、長波フラックスでは大気上端で 5W/m2、地表面ではた 8W/m2 程度の改善が見られた。本実験の結果から、NDW6 は現実大気の雲光学特性を雲微物理に基づいて表現する事が確認出来、また、先行研究でも論じられているように雲光学特性における非球形性の考慮が放射収支を大幅に改善する事を示唆した。

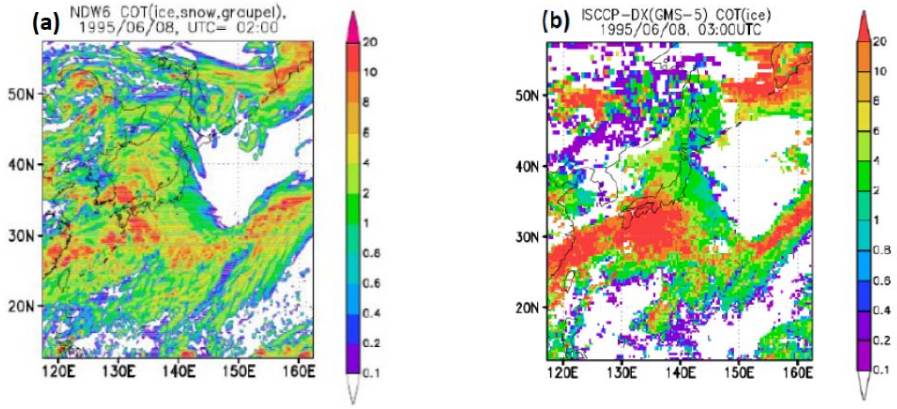


図 3.可視光の氷雲光学的厚さの水平分布。左図がモデル計算結果、右図が ISCCP-DX プロダクトによる衛星観測データ。

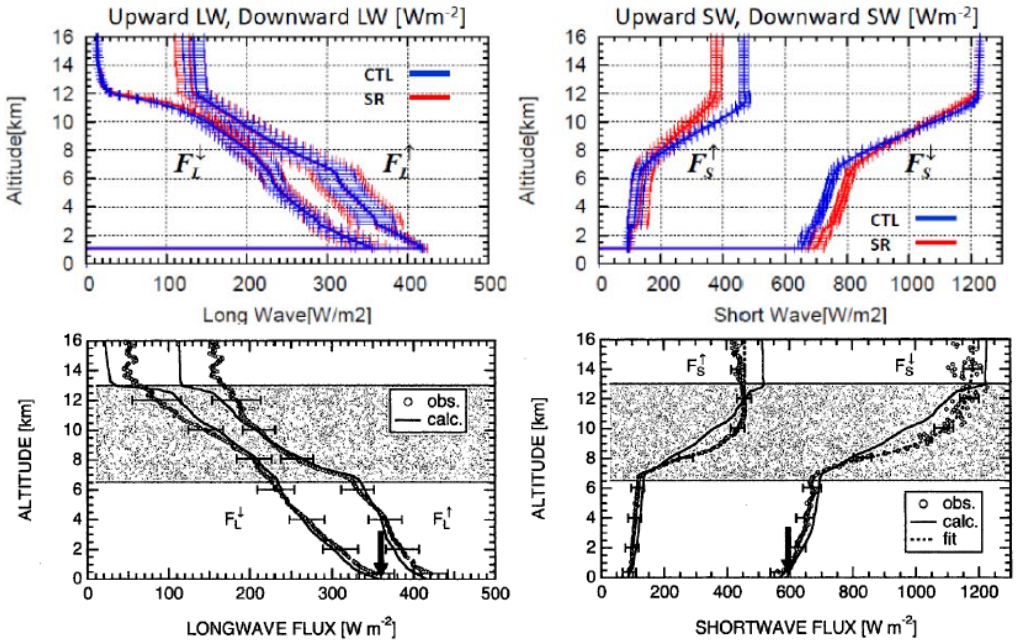


図 4.1995 年 6 月 8 日のつくば上空での放射フラックスの鉛直プロファイル[W/m2]。上図は NDW6 による計算結果、下図はゾンデによる観測データ。$F_L^{\downarrow}, F_L^{\uparrow}, F_S^{\downarrow}, F_S^{\uparrow}$ はそれぞれ下向き長波フラックス、上向き長波フラックス、下向き短波フラックス、上向き短波フラックスを表わしている。

本研究により、雲微物理に基づいて雲光学特性を表現できるようになり、衛星観測やゾンデ観測と良い一致を示す事が確認された。これは気候変動における大きな不確定性を生む雲放射強制力を正確に見積もる為に重要である。それに加え、光学特性が雲微物理に基づいて計算されているという観点から、CERES や MODIS 等の衛星搭載光学センサーによる雲微物理モデルのバリデーションを厳密に行えるようになった。従来の雲微物理モデルが気候学的な代表地を用いて雲光学特性を計算していた事に対して、本研究における NDW6 の開発は雲に関する不確定性軽減という点で大きな飛躍につながっている。また、NDW6 による降水強度の表現の改善は、湿潤対流系の雲力学の表現の改善にもつながる事が予期される。その他に社会的な観点からは集中豪雨等の災害予報にも応用の可能性が考えられる。

(2) 研究成果の今後期待される効果

stretch-NICAM を用いた台風の数値シミュレーションについて、さまざまな事例実験を行うことが可能になり、全球雲解像モデル実験の結果をさまざまな角度から補強することができるようになった。また、物理過程の開発・影響についても、高価な全球雲解像実験を行わなくとも、stretch-NICAM を用いてテストができるようになった。

東京大学グループでの研究は、地球シミュレータが直接使えない環境下でもNICAMの利用・開発が可能であることを実証するために重要であった。本研究を通じ、NICAM 開発共通プラットフォームを整備し(http://nicam.jp)、共同開発体制を構築した。また、さまざまな計算機で稼働が可能なように、低解像度の計算や、stretch-NICAM の利用などの整備を行った。NICAM で出力したデータに関しても、すでに世界各国を含めた多くの研究グループに提供している。これらの結果、物理過程スキームなどモジュールの開発を、さまざまな研究機関で行うことが可能になった。今後、NICAM のプログラム開発の協調体制が進展し、データ利用もさらに促進されるであろう。

3．4 現地・衛星観測データによる雲解像モデルの検証(気象研究所 データ解析グループ)

(1)研究実施内容及び成果

① 実施方法

各種地球観測衛星データを用いて、雲解像モデルの結果と比較し、その妥当性を検証し、それにより、モデルの改善に役立てることをめざした。とりわけ、季節内変動(MJO)の解析に重点を置いて調査を行った。

② 実施内容

TRMM 衛星や静止気象衛星のデータを用いて、雲解像モデルで表現されている MJO が、どの程度観測と比較して再現されているかを調査した。

③ 成果

3−1 2006 年 12 月の MJO の再現性

2006 年末から 2007 年初にかけて、インド洋から西太平洋にかけて顕著な MJO が東進した。この MJO は、東南アジアに洪水などの大きな被害をもたらしたことでも特筆すべき現象であった。

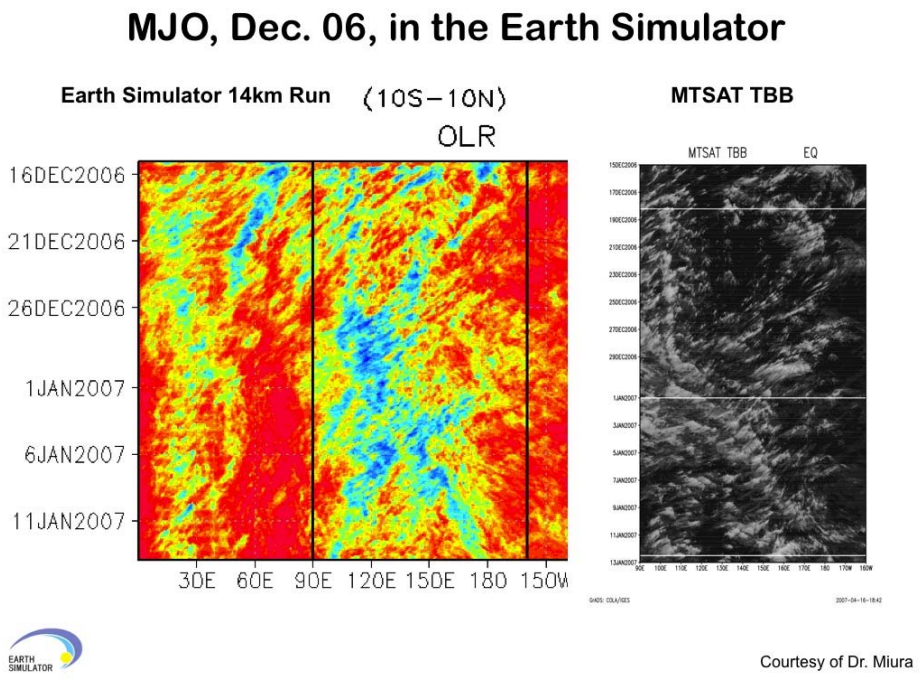


図 1　モデル OLR（左）と観測輝度温度（右）の比較。

図 1 は、雲解像モデルによる、赤道における、外向長波放射（OLR）（左）とそれに対応する静止気象衛星の赤外輝度温度（右）の時間ー経度断面図である。左図の縦実線は、右図の観測経度幅に対応している。この図から、以下のようなことがわかる。

i) 右図で見られる発達した大規模対流活動域がインド洋から西太平洋に東進している様子が、左図のモデルにもはっきり確認できることがわかる。
ii) 大規模対流活動域は、全体として東進しているが、西進する擾乱により主として構成されている。
iii) 興味深いのは、東進する擾乱によっても大規模対流活動域の東進が起きていることである。

上記の i)と ii)はこれまでの解析からわかっていたことであるが、この研究から、新しく iii)の擾乱を見つけることができた。

3−2　東進する擾乱の構造

図 2 左図は、図 1 右図と同じであるが、より拡大してわかりやすくし、右図は TRMM 3B42 の3時間降水量の図である。図中、太い矢印は西進擾乱を包含しながら東進する大規模対流活動域だが、CC1 から CC4 までが東進擾乱である。

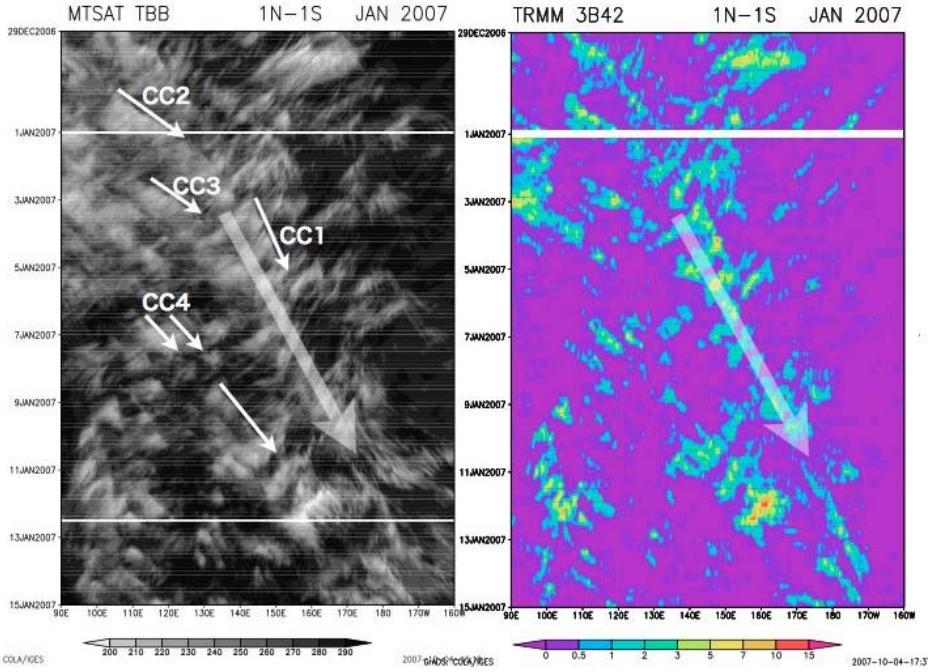


図 2　西進擾乱を伴いながら東進する大規模対流活動域（太い矢印）と東進擾乱（CC1-4）

このうち、CC1 について、北緯2度東経 147 度の ATLAS ブイによる観測の結果を、衛星から得られた海上風と比較しながら示す。

図 3 は、静止気象衛星の赤外画像（上図）とマイクロ波散乱計から得られた海上風（下図）である。擾乱の中心は1月４日 00 世界時に、北緯4度、東経 143 度付近に解析されているが、その南の赤道付近では、はっきりとした収束線が北西から南東にかけて解析されている。収束線の西では西風、東では東風が卓越している。

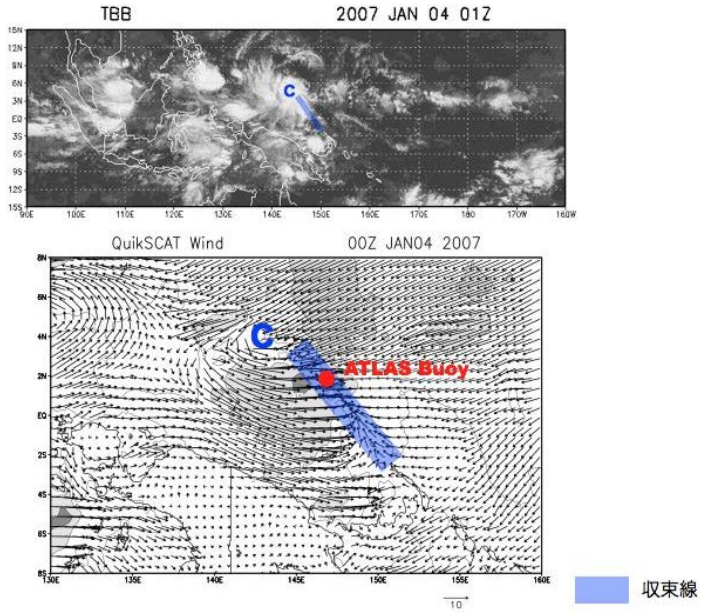


図 3　1月４日 00 世界時の赤外画像（上）と、海上風（下）。

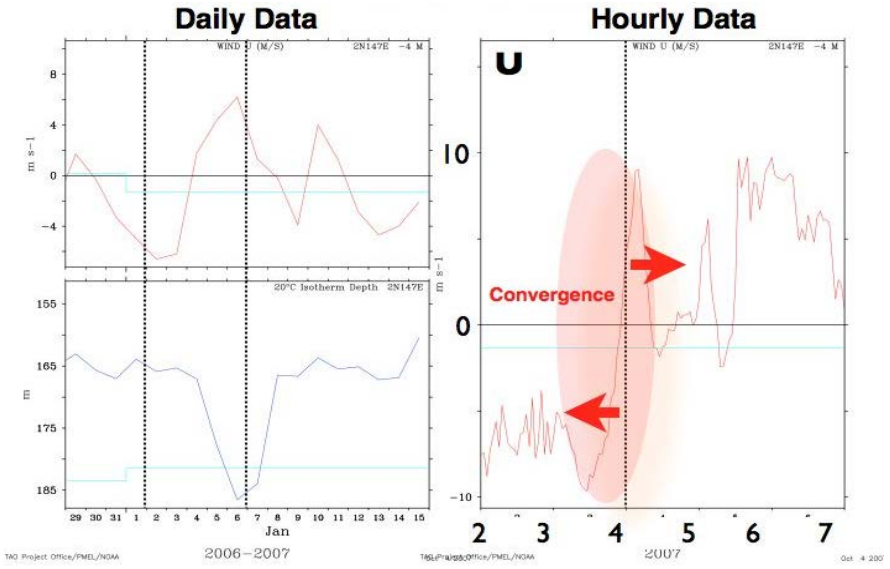


図 4　ATLAS ブイ(北緯2度、東経 147 度)による東西風の時間変化。

ATLAS ブイの東西風の時間変化を図 4 に示す。4日以前は東風、それ以後は西風が卓越し、ちょうど4日付近で急激に東風から西風への遷移が見られる。本来1点の観測からは、擾乱の進行方向を判断することはできないが、図 1 と比較して考えると、この擾乱が収束線とともに東進したと推定することができる。

④成果の位置づけ

雲解像モデルでは、大規模対流活動域の東進と、その内部構造としての西進擾乱を再現することに成功している。しかしながら、今回の解析結果によれば、大規模対流活動域は、西進擾乱に加えて、東進擾乱からも構成されていることが明らかになった。雲解像モデルでの東進擾乱の再現性についても調査が必要と考えられる。

⑤　類似研究との比較

西進擾乱についての解析は行われてきているものの、東進擾乱についての解析はまったく報告がなされていない。

(2)研究成果の今後期待される効果

①今後の展開

今回、ATLAS ブイから、その東進構造も明らかになってきているが、より長期間の解析から、東進擾乱の特性について調査が行われる必要がある。

②想定される波及効果

雲解像モデルにより、MJO の再現実験に成功したことは、今後の MJO の理解にとって重要な橋頭堡を築いたものと言える。しかしながら、MJO の内部構造については未解明な点が多く存在している。これまで西進擾乱により MJO が構成されているとした解析結果は多く存在している。実際、雲解像モデルでも西進擾乱は再現されている。今回新たに東進擾乱の存在が観測から確認されたことは、MJO の維持機構を理解する上でさらなる研究の方向性が見いだされたと考えることができる。

本研究を通じて、NICAM と人工衛星観測との連携研究が非常に進展した。従来、衛星観測データによる大気モデルの検証については、十分データを利用しているとはいいがたい状況であった。その理由の1つは、従来の大気大循環モデルの解像度が十分でなく、人工衛星観測との直接の

比較が困難であったためである。NICAM による全球雲解像実験の水平スケールは、静止気象衛星や TRMM などと同程度の数 km の水平解像度をもち、直接的な比較が可能になった。このようなデータは、衛星観測の研究者にとって非常に魅力的であり、さまざまな NICAM と衛星観測との連携研究が進展した。モデル出力値から衛星センサーのシグナル値を計算する「衛星シミュレータ」という手法が開発された。今後、打ち上げが予定されている GCOM-W/C、全球降水観測衛星 GPM、雲・エアロゾル・放射・エネルギー観測衛星 EarthCARE 等に向けて、NICAM を利用した研究がスタートしている。将来は、さらに衛星観測データを同化することにより、気象場だけでなく雲・降水などについて、km スケールの4次元時空間プロダクトを整備する方向へ進むだろう。このような数値モデル同化を介した衛星プロダクトは、L4(レベル4)と呼ばれ、今後大いに研究が進展すると予想される。

§5 成果発表等

(1)原著論文発表

【2006 年】

(国内(和文)誌 0 件、国際(欧文)誌 6 件)

1. Satoh, M., T. Nasuno, H. Miura, H. Tomita, S. Iga, Y. Takayabu, 2006: Precipitation statistics comparison between global cloud resolving simulation with NICAM and TRMM PR data. High Resolution Numerical Modelling of the Atmosphere and Ocean, edited by Wataru Ohfuchi and Kevin Hamilton. In press.
2. Miura, H., M. Satoh, H. Tomita, A. Noda, T. Nasuno, and S. Iga, 2006: A short-duration global cloud resolving simulation with a realistic land and sea distribution. Geophys. Res. Lett., Vol. 34, No. 2, L02804.10.1029/2006GL027448.
3. Tsuneaki Suzuki, Yukari N. Takayabu, and Seita Emori, 2006: Coupling mechanisms between equatorial waves and cumulus convection in an AGCM. Dyn. Atmos. Oceans, 42, 81-106.
4. Matsueda, M., M. Kyoda, and H.L. Tanaka 2006: Multi-center grand ensemble using three operational ensemble forecasts. SOLA, 2, 33-36.
5. Watarai, Y. and H.L. Tanaka 2006: Comparison among JRA-25, ERA-40 and NCEP/NCAR reanalysis datasets from the viewpoint of global energetics. SOLA, 3, 9-12.
6. Matsueda, M., M. Kyoda, H.L. Tanaka, and T. Tsuyuki 2006: Daily forecast skill of multi-center grand ensemble. SOLA, 3, 29-32.

【2007 年】

(国内(和文)誌 0 件、国際(欧文)誌 8 件)

1. *Miura, H., Satoh, M., Nasuno, T., Noda, A.T., Oouchi, K., 2007: A Madden-Julian Oscillation event realistically simulated by a global cloud-resolving model. Science, 318, 1763-1765.
   全球雲解像モデルを用いることで、従来の大循環モデルで再現の難しかったマッデン・ジュリアン振動をその内部構造まで詳細に再現し、全球雲解像モデルの有効性を示した。
2. Miura, H., M. Satoh, H. Tomita, A. Noda, T. Nasuno, and S. Iga, 2007: A short-duration global cloud resolving simulation with a realistic land and sea distribution. Geophys. Res. Lett., Vol. 34, No. 2, L02804.10.1029/2006GL027448.
3. Sato, T., H. Miura, and M. Satoh, 2007: Spring diurnal cycle of clouds over Tibetan Plateau: global cloud-resolving simulations and satellite observations. Geophysical Research Letters, 34, L18816, doi:10.1029/2007GL030782.
4. Nasuno, T., H. Tomita, S. Iga, H. Miura, and M. Satoh, 2007: Multiscale organization of convection simulated with explicit cloud processes on an aquaplanet. J. Atmos. Sci. 64, 1902-1921.
5. Wu, P., Hara, M., Fudeyasu, H., Yamanaka, M. D., Matsumoto, J., 2007: The impact of trans-equatorial monsoon flow on the formation of repeated torrential rains over Java

island, SOLA, 3, 93-96, doi:10.2151/sola.2007-024.

6. Iga, S., H. Tomita, Y. Tsushima, M. Satoh, 2007: Climatology of a nonhydrostatic global model with explicit cloud processes, Geophysical Research Letter, 34, L22814, doi:10.1029/2007GL031048.
7. Miura, H., 2007: A fourth-order centered finite volume scheme for regular hexagonal grids. Mon. Wea. Rev., 135, 4030-4037.
8. Miura, H., 2007: An upwind biased conservative advection scheme for spherical hexagonal-pentagonal grids. Mon. Wea. Rev., 135, 4038-4044.

【2008 年】

(国内(和文)誌 0 件、国際(欧文)誌 18 件)

1. Satoh, M., 2008: Numerical simulations of heavy rainfalls by a global cloud-resolving model. J. Disaster Research, 3, 33-38.
2. Satoh, M., T. Nasuno, H. Miura, H. Tomita, S. Iga, Y. Takayabu, 2008: Precipitation statistics comparison between global cloud resolving simulation with NICAM and TRMM PR data. High Resolution Numerical Modelling of the Atmosphere and Ocean, edited by Wataru Ohfuchi and Kevin Hamilton, 99-112, ISBN-13: 978-0387366715, 293pp.
3. Satoh, M., T. Matsuno,T., H. Tomita, H. Miura, T. Nasuno, S. Iga, 2008: Nonhydrostatic Icosahedral Atmospheric Model (NICAM) for global cloud resolving simulations. Journal of Computational Physics, the special issue on Predicting Weather, Climate and Extreme events, 227, 3486-3514, doi:10.1016/j.jcp.2007.02.006.
4. Nasuno, T., 2008: Equatorial mean zonal wind in a global nonhydrostatic aquaplanet experiment. J. Meteor. Soc. Japan, 68A, 219-236.
5. Mapes, B., S. Tulich, T. Nasuno, and M. Satoh, 2008: Predictability aspects of global aqua-planet simulations with explicit convection. J. Meteor. Soc. Japan, 68A, 175-185.
6. Sato, T., T. Yoshikane, M. Satoh, H. Miura, and H. Fujinami, 2008: Resolution dependency of the diurnal cycle of convective clouds over the Tibetan Plateau in a mesoscale model. J. Meteor. Soc. Japan, 86A, 17-31.
7. H. Tomita, 2008a: A stretched icosahedral grid by a new grid transformation. J.Meteorol.Soc.Japan, 86A, 107-119.
8. H. Tomita, 2008b: New micorphysics with five and six categories with diagnostic generation of cloud ice. J.Meteorol.Soc.Japan, 86A, 121-142.
9. ＊Fudeyasu, H., Wang, Y., Satoh, M., Nasuno, T., Miura, H., Yanase, W., 2008: The Global Cloud-Resolving Model NICAM Successfully Simulated the Lifecycles of Two Real Tropical Cyclones. Geophys. Research Lett., 35, L22808, doi:10.1029/2008GL036003.
   全球雲解像モデルを用いて熱帯低気圧(台風)の発生を、発生の2週間前の初期値を用いた実験によって示した。熱帯の巨大雲集団(マッデンジュリアン振動)から熱帯低気圧に伴うメソ対流雲までのマルチスケール現象をとらえることに成功し、American Geophysical Union 雑誌のハイライトとしてとりあげられた。
10. Suzuki, K., Nakajima, T., Satoh, M., Tomita, H., Takemura, T., Nakajima, T. Y., and Stephens, G. L., 2008: Global cloud-resolving simulation of aerosol effect on warm clouds. Geophys. Res. Letters, 35, L19817, doi:10.1029/2008GL035449.
11. Masunaga, H., Satoh, M., Miura, H., 2008: A Joint Satellite and Global CRM Analysis of an MJO event: Model Diagnosis. J. Geophys. Res., doi:10.1029/2008JD009986, 113, D17210.
12. Inoue,T., M. Satoh, H. Miura, B. Mapes, 2008: Characteristics of cloud size of deep convection simulated by a global cloud resolving model. J. Meteor. Soc. Japan, 86A, 1-16.
13. Tomita, H., Goto, K., Satoh, M., 2008: A new approach of atmospheric general circulation model - Global cloud resolving model NICAM and its computational performance -. SIAM J. Sci. Comput., 30, 2755-2776; DOI. 10.1137/070692273.
14. Nasuno,T., Tomita, H., Iga, S., Miura, H., Satoh, M., 2008: Convectively coupled

equatorial waves simulated by a global nonhydrostatic experiment on an aqua planet. J. Atmos. Sci., 65, 1246-1265.
15. Miura, H., M. Satoh, T. Nasuno, A.T. Noda, and K. Oouchi, 2008: Response to the comment by "K.R. Sperber, J.M. Slingo, D.E. Waliser, P.M. Inness, 2008: Coarse-Resolution Models Only Partly Cloudy" Science , 320 (5876), 613.
16. Patra, P. K. , R. M. Law, W. Peters, C. Rodenbeck, M. Takigawa, C. Aulagnier, I. Baker, D. J. Bergmann, P. Bousquet, J. Brandt, L. Bruhwiler, P. J. Cameron-Smith, J. H. Christensen, F. Delage, A. S. Denning, S. Fan, C. Geels, S. Houweling, R. Imasu, U. Karstens, S. R. Kawa, J. Kleist, M. C. Krol, S.-J. Lin, R. Lokupitiya, T. Maki, S. Maksyutov, Y. Niwa, R. Onishi, N. Parazoo, G. Pieterse, L. Rivier, M. Satoh, S. Serrar, S. Taguchi, R. Vautard, A. T. Vermeulen, Z. Zhu., 2008: TransCom model simulations of hourly atmospheric CO2: Analysis of synoptic-scale variations for the period 2002-2003. Global Biogeochem. Cycles, 22, GB4013, doi:10.1029/2007GB003081.
17. Wu, P., M. D. Yamanaka, J. Matsumoto, 2008: The formation of nocturnal rainfall offshore from convection over western Kalimantan (Borneo) Island, *J. Meteor. Soc. Japan*, **86A**, 187-203.
18. Wu, P., S. Mori, J.-I. Hamada, M. D. Yamanaka, J. Matsumoto, F. Kimura, 2008: Diurnal variation of rainfall and precipitable water over Siberut Island off the western coast of Sumatera Island, *SOLA*, **4**, 125-128, doi: 10.2151/sora.2008-32.

【2009 年】

(国内(和文)誌 0 件、国際(欧文)誌 25 件)

1. Inoue, T., D. Vila, K. Rajendran, A. Hamada, X. Wu, and L. Machado, 2009: Life cycle of deep convective systems over the eastern tropical Pacific observed by TRMM and GOES-W. J. Meteor. Soc. Japan, 87A, 381-391.
2. Ushio, T., K., Sasashige, T. Kubota, S. Shige, K. Okamoto, K. Aonashi, T. Inoue, N. Takahashi, T. Iguchi, M. Kachi, R. Oki, T. Morimoto, and Z. Kawasaki, 2009: A Kalman filter approach to the global satellite mapping of precipitation (GSMaP) from combined passive microwave and infrared radiometric data. J. Meteor. Soc. Japan, 87A, 135-151
3. Wu, P., M. Hara, J-I Hamada, M. D. Yamanaka and F. Kimura, 2009: Why a large amount of rain falls over the sea in the vicinity of western Sumatra Island during nighttime. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 48, 1345-1361
4. Satoh, M., Matsuda, Y., 2009: Statistics on high-cloud areas and their sensitivities to cloud microphysics using single-cloud experiments. J. Atmos. Sci., 66, 2659-2677, DOI: 10.1175/2009JAS2948.1.
5. ＊Sato, T., Miura, H., Satoh, M., Takayabu, Y. N., Wang, Y., 2009: Diurnal cycle of precipitation over the tropics simulated by a global cloud resolving model. J. Clim., 22, 4809-4826; DOI:10.1175/2009JCLI2890.1.
NICAM による全球雲解像実験の熱帯域の積雲対流の日変化の再現性を詳細に解析したもので、従来の大気大循環モデルに比べて NICAM の再現性が優れていることを示す。解像度依存性により高解像度の方が日周期の位相が観測に近くなることを示している。また、観測で得られたことのない積雲対流に伴うコールドプールの日変化についても明らかにした。
6. Nasuno, T., Miura, H., Satoh, M., Noda, A. T., Oouchi, K., 2009: Multi-scale organization of convection in a global numerical simulation of the December 2006 MJO event using explicit moist processes. J. Meteor. Soc. Japan, 87, 335-345, doi:10.2151/jmsj.87.335.
7. Miura, H., Satoh, M., Katsumata, M., 2009: Spontaneous onset of a Madden-Julian oscillation event in a cloud-system-resolving simulation. Geophys. Res. Lett., 36, L13802, doi:10.1029/2009GL039056.
8. Oouchi, K., Noda, A. T., Satoh, M., Wang, B., Xie, S.-P., Takahashi, H., Yasunari, T., 2009: Asian summer monsoon simulated by a global cloud-system resolving model: Diurnal to intra-seasonal variability. Geophys. Res. Lett., 36, L11815, doi:10.1029/2009GL038271.

9. Oouchi, K., Noda, A.T., Satoh, M., Miura, H., Tomita, H., Nasuno, T., Iga, S.-I. , 2009: A simulated preconditioning of typhoon genesis controlled by a boreal summer Madden-Julian Oscillation event in a global cloud-resolving mode. SOLA, 5, 065.068, doi:10.2151/sola.2009.017.
10. Liu, P., Satoh, M., Wang, B., Fudeyasu, H., Nasuno, T., Li, T., Miura, H., Taniguchi, H., Masunaga, H., Fu, X., Annamalai, H., 2009: An MJO Simulated by the NICAM at 14-km and 7-km Resolutions. Mon. Wea. Rev., 137, 3254-3268, DOI: 10.1175/2009MWR2965.1.
11. Watanabe, M., S. Emori, M. Satoh, H. Miura, 2009: A PDF-based hybrid prognostic cloud scheme for general circulation models. Clim. Dyn., 33, 795-816, doi:10.1007//s00382-008-0489-0.
12. Tomita, H., 2009: Analysis of Spurious Surface Temperature at the Atmosphere-Land Interface and a New Method to Solve the Surface Energy Balance Equation. J. Hydorometeor. 10. 833-844, doi: 10.1175/2008JHM1080.1.
13. Terasaki, K., H. L. Tanaka, Satoh, M., 2009: Characteristics of the Kinetic Energy Spectrum of NICAM. SOLA, 5, 180-183, doi:10.2151/sola.2009.046.
14. Collins, W. D., Satoh, M., 2009: Simulating Global Clouds, Past, Present, and Future. Chap 20 of "Heintzenberg, J., and R. J. Charlson, eds. 2009. Clouds in the Perturbed Climate System: Their Relationship to Energy Balance, Atmospheric Dynamics, and Precipitation." Struengmann Forum Report, vol. 2. Cambridge, MA: The MIT Press, pp.469-486. The Ernst Struengmann Forum, The MIT Press.
15. Quaas, J., S. Bony, W. D. Collins, L. Donner, A. Illingworth, A. Jones, U. Lohmann, M. Satoh, S. E. Schwartz, W.-K. Tao, and R. Wood, 2009: Current understanding and quantification of clouds in the changing climate system and strategies for reducing critical uncertainties. Chap 24 of "Heintzenberg, J., and R. J. Charlson, eds. 2009. Clouds in the Perturbed Climate System: Their Relationship to Energy Balance, Atmospheric Dynamics, and Precipitation." Struengmann Forum Report, vol. 2. Cambridge, MA: The MIT Press, pp.557-573. The Ernst Struengmann Forum, The MIT Press.
16. Mukai, M., and T. Nakajima, 2009: Potentiality of aerosols in changing the precipitation field in Asia. SOLA, 5, 97-100, doi:10.2151/sola.2009-025.
17. Nakajima, T.Y., H. Masunaga and T. Nakajima, 2009: Near-global scale retrieval of the optical and microphysical properties of clouds from Midori-II GLI and AMSR data. J. Remote Sens. Soc. Japan, 29, 29-39.
18. Kondo, K. and H. L. Tanaka 2009: Comparison of the extended Kalman filter and the ensemble Kalman filter using the barotropic general circulation model. J. Meteor. Soc. Japan, 87, 347-359, DOI:10.2151/jmsj.87.347.
19. Kondo, K. and H.L. Tanaka, 2009: Applying the local ensemble transform Kalman filter to the nonhydrostatic icosahedral atmospheric model (NICAM). SOLA, 5, 121-124, doi:10.2151/sola.2009-031.
20. Satoh, M., Inoue, T., and Miura, H., 2010: Evaluations of cloud properties of global and local cloud-system resolving models using CALIPSO/CloudSat simulators. J. Geophys. Res., , 115, D00H14, doi:10.1029/2009JD012247.
21. Yamaguchi, M., T. Iriguchi, T. Nakazawa and C.-C. Wu, 2009: An observing system experiment for Typhoon Conson (2004) using a singular vector method and DOTSTAR data. Mon. Wea. Rev., 137, 2801-2816, DOI: 10.1175/2009MWR2683.1.
22. Nakazawa, T. and K. Rajendran, 2009: Interannual variability of tropical rainfall characteristics and the impact of the altitude boost from TRMM PR 3A25 data. J. Meteor. Soc. Japan, 87A, 317-338, DOI:10.2151/jmsj.87A.317.
23. Nakazawa, T. and S. Hoshino, 2009: Intercomparison of Dvorak parameters in the tropical cyclone datasets over the western North Pacific. SOLA, 5, 33-36, doi:10.2151/sola.2009-009.
24. Sato, Y., T. Nakajima, K. Suzuki, and T. Iguchi, 2009: A Monte-Carlo size integration approximation for collision and coagulation growth processes of hydrometeors in a bin-type model. *J. Geophys. Res.*, 114, D09215, doi:10.1029/2008JD011247.

25. Wu, P., J.-I. Hamada, M. D. Yamanaka, J. Matsumoto, 2009: The Impact of Orographically-Induced Gravity Waves on the Diurnal Cycle of Rainfall over Southeast Kalimantan Island, *Atmos. Oceanic Sci. Lett.*, **2**, 35−39.

【2010 年】

（国内（和文）誌 0 件、国際（欧文）誌 14 件）

1. Suzuki, K., T. Nakajima, T.Y. Nakajima, and G.L. Stephens, 2010: Effect of the droplet activation process on microphysical properties of warm clouds. *Environ. Res. Lett.*, **5** (2010) 024012, doi:10.1088/1748-9326/5/2/024012.
2. Suzuki, K., T. Nakajima, T.Y. Nakajima, A.P. Khain, 2010: A study of microphysical mechanisms for correlation patterns between droplet radius and optical thickness of warm clouds with a spectral bin microphysics cloud model. *J. Atmos. Sci.*, **67**, 1126-1141.
3. Noda, A. T., K. Oouchi, M. Satoh, H. Tomita, S. Iga, and Y. Tsushima., 2010: Importance of the subgrid-scale turbulent moist process: Cloud distribution in global cloud-resolving simulations. Atmos. Res., 96, 208-217
4. Yamada, Y., K. Oouchi, M. Satoh, H. Tomita, and W. Yanase, 2010: Projection of changes in tropical cyclone activity and cloud height due to greenhouse warming: Global cloud-system-resolving approach, Geophyical Research Letter 37, doi:10.1029/2010GL042518.
5. Yanase, W., Satoh, M., Yamada, H., Yasunaga,K., Moteki, Q., 2010: Continual influences of tropical waves on the genesis and rapid intensification of Typhoon Durian (2006). Geophys. Res. Lett., VOL. 37, L08809. doi:10.1029/2010GL042516.
6. *Taniguchi, H., Yanase, W., Satoh, M. (2010), Ensemble simulation of cyclone Nargis by a Global Cloud-system-resolving Model -- modulation of cyclogenesis by the Madden-Julian Oscillation. J. Meteor. Soc., 88, 571-591. doi:10.2151/jmsj.2010-317.
7. Yanase, W., Taniguchi, H., Satoh, M., 2010: Environmental modulation and numerical predictability associated with the genesis of tropical cyclone Nargis (2008). J. Meteor. Soc., 88, 497-519. doi:10.2151/jmsj.2010-314.
8. Satoh, M., Inoue, T., and Miura, H., 2010: Evaluations of cloud properties of global and local cloud system resolving models using CALIPSO/CloudSat simulators. J. Geophys. Res., 115, D00H14, doi:10.1029/2009JD012247.
9. Inoue, T., Satoh, M., Hagihara, Y., Miura, H., and Schmetz, J. (2010), Comparison of high-level clouds represented in a global cloud system resolving model with CALIPSO/CloudSat and geostationary satellite observations. J. Geophys. Res., 115, D00H22, doi:10.1029/2009JD012371.
10. Kubokawa, H., Fujiwara, M., Nasuno, T., Satoh, M. (2010), Analysis of the tropical tropopause layer using the Nonhydrostatic ICosahedral Atmospheric Model (NICAM): 1. Aqua-planet experiments. J. Geophys. Res., 115, D08102, doi:10.1029/2009JD012686.
11. Sherwood,S.C., Ingram,W., Tsushima,Y., Satoh,M., Roberts,M. (2010), Relative humidity in a warmer climate. J. Geophys. Res., 115, D09104, doi:10.1029/2009JD012585.
12. Fudeyasu, H., Y. Wang, M. Satoh, T. Nasuno, H. Miura, and W. Yanase, 2010: Multiscale Interactions in the Lifecycle of a Tropical Cyclone Simulated in a Global Cloud-System-Resolving Model Part I: Large-scale and Storm-scale Evolutions. *Mon. Wea. Rev.*, 138, 4285-4304.
13. Fudeyasu, H., Y. Wang, M. Satoh, T. Nasuno, H. Miura, and W. Yanase, 2010: Multiscale Interactions in the Lifecycle of a Tropical Cyclone Simulated in a Global Cloud-System-Resolving Model Part II: Mesoscale and storm-scale Processes. *Mon. Wea. Rev.*, 138, 4305-4327.
14. Sohn, B. J., T. Nakajima, M. Satoh, and H.-S. Jang, 2010: Impact of different definitions of clear-sky flux on the determination of longwave cloud radiative forcing: NICAM simulation results. Atmos. Chem. Phys. Discuss., 10, 22093-22107.
15. Bessho, K., T. Nakazawa, S. Nishimura and K. Kato, 2010: Warm core structures in

organized cloud clusters developing or not developing into tropical storms observed by Advanced Microwave Sounding Unit. Mon. Wea. Rev., 138, 2624-2643.

2011 (0 times-Domestic, 2 times-International)

1. Fujita, M, Yoneyama, K., S. Mori, T. Nasuno, and M. Satoh, 2011: Diurnal convection peaks over the eastern Indian Ocean off Sumatra during different MJO phases. *J. Meteor. Soc. Japan*, 89A, 317-330.
2. Weissmann, M., F. Harnisch, C.-C. Wu, P.-H. Lin, Y. Ohta, K. Yamashita, Y.-H. Kim, E.-H. Jeon, T. Nakazawa, and S. Aberson, 2011: The influence of assimilating dropsonde data on typhoon track and mid-latitude forecasts. Mon. Wea. Rev., 139,908-920.

未発行論文(″accepted″、″in press″等)
受理済み、印刷中(国内(和文)誌 0 件、国際(欧文)誌 4 件)

1. Yasunaga, K., T. Nasuno, H. Miura, T. N. Takayabu, and M. Yoshizaki, 2009: Afternoon precipitation peak simulated in an Aqua-planet global cloud-resolving model (Aqua-planet-NICAM). *J. Meteor. Soc. Japan*, accepted.
2. Matsuno, T., Satoh, M., Tomita, H., Nasuno, T., Iga, S., Miura, H., Noda, A. T., Oouchi, K., Sato, T., Fudeyasu, H., Yanase, W., 2010: Cloud-cluster-resolving global atmosphere modeling - A challenge for the new age of tropical meteorology. The WMO 4th International Workshop on Monsoons (IWM-IV), Beijing in October 2008, Lecture Note, in press.
3. Nasuno, T. and M. Satoh, 2010: Statistical relation between maximum vertical velocity and surface precipitation of convective clouds in a global nonhydrostatic aquaplanet experiment. *J. Meteor. Soc. Japan*, accepted.
4. Iga, S., Tomita, H., Tsushima, Y., Satoh, M., 2010: Sensitivity of upper tropospheric ice clouds and their impacts on the Hadley circulation using a global cloud-system resolving model. J. Clim. accepeted.

(2)その他の著作物(総説、書籍など)

【2008 年】

1. 佐藤正樹, 富田浩文, 2008: 準一様格子を用いた全球雲解像大気モデルの開発とそれによる熱帯対流雲集団のシミュレーション―2007 年度日本気象学会賞受賞記念講演―. 天気, 55, 451-456.
2. 谷口 博, 三浦裕亮, 那須野智江, 大内和良, 野田 暁, 伊賀晋一, 富田浩文, 佐藤正樹, 2008: 全球非静力学モデルを用いた 2006 年 12 月実験における MJO 再現性評価, 研究会「長期予報と大気大循環」講演 Proceedings.
3. 野田暁, 中村晃三, 2008: 大気境界層雲の LES, 気象研究ノート, 219, 日本気象学会, 89-116.
4. 里村雄彦, 國井勝, 安永数明, 竹見哲也, 野田暁, 重尚一, 2008: 第 9 回非静力学モデルに関するワークショップの報告. 天気, 55, 33-37.

【2009 年】

1. Heintzenberg, J., and R. J. Charlson, eds. 2009. Clouds in the Perturbed Climate System: Their Relationship to Energy Balance, Atmospheric Dynamics, and Precipitation." Struengmann Forum Report, vol. 2. Cambridge, MA: The MIT Press, pp.469-486. The Ernst Struengmann Forum, The MIT Press. 共著.
2. Matsueda, M., M. Kyouda, Z. Toth, T. Miyoshi, H.L. Tanaka, and T. Tsuyuki, 2009: On the predictability of a blocking occurred on 15th December 2005 Third International Conf. of Thorpex. May 2009, Monteray California, USA.
3. 富田浩文、佐藤正樹 (2009)「全球雲解像モデル」、計算力学シミュレーションハンドブック ー超ペタスケールコンピューティングの描像ー、第 1 章、丸善、日本計算工学

会編、2009 年 12 月.

4. Wu, C.-C., J.-H. Chen, S. J. Majumdar, M. S. Peng, C. A. Reynolds, S. D. Aberson, R. Buizza, M. Yamaguchi, S.-G. Chen, T. Nakazawa and K.-H. Chou, 2009: Inter-comparison of targeted observation guidance for tropical cyclones in the North Western Pacific. ECMWF Technical Memorandum. No. 582. pp. 29.
5. 杉正人・中澤哲夫・柳瀬亘, 2009: 第1回インド洋熱帯低気圧と気候変動に関する国際会議出席報告、天気、日本気象学会, 56, 927-932.

【2010 年】

1. 佐藤正樹 (2010). 雲のシミュレーションの何が問題か――雲の階層構造シミュレーションと全球雲解析モデル. 科学, vol. 80, No. 9, 925-926. 特集号「雲 豊穣なる非線形科学の世界」
2. 佐藤正樹 (2010). 全球雲解像モデルによる気候変動予測. Japan Geoscience Letters, vol. 6, No. 3, 1-3
3. 佐藤正樹 (2010). 全球雲解像モデルによる気候研究～雲微物理過程と気候感度の観点から. 月刊海洋, 42, 305-314.
4. 田中博, 朴泰祐, 佐藤正樹 (2010). 大気大循環モデル力学コアの変遷について. ながれ, 29, 27-32.
5. 佐藤正樹 (2010). 全球雲解像モデルによる気候変動予測. 地学雑誌, 119 巻 3 号, 特集号「グローバル気候変動 Part3」
6. Yanase, W., H. Taniguchi and M. Satoh, 2010, Numerical simulation of the genesis of Cyclone Nargis using a global cloud-system resolving model, NICAM, Indian ocean tropical cyclones and climate change, Y. Cahrabi, Springer, 65-72.
7. 別所康太郎・中澤哲夫・川畑拓矢・釜堀弘隆ほか 11 名, 2010: 伊勢湾台風再現実験プロジェクト、天気、日本気象学会、57, 247-254.
8. 松枝未遠・中澤哲夫・別所康太郎・榎本剛・茂木耕作・山口宗彦・太田洋一郎, 2010: 第3回 THORPEX 国際科学シンポジウム参加報告、天気、日本気象学会、57, 315-323.

(3)国際学会発表及び主要な国内学会発表

【2005 年】

① 招待講演 (国内会議 1 件、国際会議 4 件)

招待講演国際

1. Satoh,M., Tomita,H., Nasuno,T., Iga,S., Miura,H., A multi-scale structure of tropical convection simulated with the 3.5km-mesh global cloud resolving model. Workshop on the Organization and Maintenance of Tropical Convection and the Madden Julian Oscillation, jointly organized by THORPEX, WCRP and the Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics (ICTP), Trieste, Italy, 13-17 March 2006.
2. Satoh,M., Tomita,H., Nasuno,T., Iga,S., Miura,H., A multi-scale structure of tropical convection simulated with the 3.5km-mesh global cloud resolving model. The 8th International Workshop on Next Generation Climate Models for Advanced High Performance Computing Facilities, Hilton, Albuquerque, USA, February 23-25, 2006.
3. M. Satoh, H. Tomita, T. Nasuno, S. Iga, and H. Miura, Global Cloud Resolving Simulations with the 3.5km-mesh Global Model and Comparison with Satellite Analysis. The 5th GPM International Planning Workshop in Tokyo(Shinagawa, Tokyo, Nov. 7-9, 2005).
4. M. Satoh, H. Tomita, T. Nasuno, S. Iga, and H. Miura, Global cloud resolving simulations using Nonhydrostatic Icosahedral Atmospheric Model. The German-Japan Workshop on Numerical Climate Modeling (Kashiwa, CCSR, Univ. of Tokyo: 31 Oct.-1 Nov. 2005).

招待講演国内

1. 對馬洋子:GCM，衛星データにおける雲・放射場 －GCM におけるパラメタリゼーションの問題点のより明確な把握へー，第 2 回沼口敦さん記念シンポジウム 「水循環境科学のアプローチ」2006 年 3 月，東京大学駒場リサーチキャンパス.

② 口頭発表 （国内会議 10 件、国際会議 5 件）

口頭発表国際

1. Takayabu, Y. N., and Ayako Seiki；Multi-scale interaction in the generation process of equatorial westerly wind burst. Workshop on the Organization and Maintenance of Tropical Convection and the Madden Julian Oscillation, jointly organized by THORPEX, WCRP and the Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics (ICTP), Trieste, Italy, 13-17 March 2006.
2. H. Tomita, H. Mura, T. Nasuno, S. Iga, M. Satoh, A Global Cloud-Resolving Simulation by the Icosahedral Non-Hydrostatic Model. Sixth International SRNWP-Workshop on Non-Hydrostatic Modelling (Bad Orb, Oct. 31-Nov. 2, 2005).
3. Nakazawa, T., 2005: TRMM status in Japan. The 5th GPM International Workshop.
4. Takayabu, Y. N., M. Hirose, S. Shige, T. Ushio, F. Furuzawa, K. Nakamura, and Y. Kodama； Characterizations of Tropical Precipitation with TRMM data. The 5th GPM International Planning Workshop in Tokyo, Tokyo, Japan, November 2005.
5. Takayabu, Y. N., Junichi Yokomori, and K. Yoneyama, Diagnostics of cumulus cloud detrainment and its interaction with atmospheric thermodynamic structures utilizing the upper-air observations over the tropical western Pacific Ocean and the GAME-T rawinsonde observations. ISAM5, 11-13 Oct, 2005, Yong-Pyong Korea.

口頭発表国内

1. 三浦裕亮,富田浩文,那須野智江,伊賀晋一,佐藤正樹，全球雲解像モデルを用いた温暖化想定実験. 2005 年度日本気象学会秋季大会(神戸; 2005.11.20-22).
2. 那須野智江,富田浩文,伊賀晋一，三浦裕亮,佐藤正樹，全球非静力学モデルを用いた水惑星数値実験－赤道波と結合した大規模雲システムの解析－, 2005 年度日本気象学会秋季大会(神戸; 2005.11.20-22).
3. 對馬洋子・江守正多・小倉知夫・木本昌秀: GCM の雲水量の 1xCO2 時および 2xCO2 時における分布のモデル間相互比較，2005 年度日本気象学会秋季大会(神戸; 2005.11.20-22).
4. 佐藤正樹，富田浩文，那須野智江，伊賀晋一，三浦裕亮，全球雲解像モデル NICAM の開発の現状と今後の計画. 第7回非静力学モデルに関するワークショップ(東京大学海洋研究所, 2005.10.5-6).
5. 那須野智江，佐藤正樹，富田浩文，伊賀晋一，三浦裕亮，全球非静力学モデルを用いた水惑星数値実験---熱帯の大規模雲システムの再現性，第7回非静力学モデルに関するワークショップ(東京大学海洋研究所, 2005.10.5-6).
6. 三浦裕亮，富田浩文，那須野智江，伊賀晋一，佐藤正樹，全球雲解像モデルを用いた水惑星条件での温暖化想定実験，第7回非静力学モデルに関するワークショップ(東京大学海洋研究所, 2005.10.5-6).
7. 中澤哲夫，2005: 日本に接近・上陸台風の多かった年と少なかった年での循環場の違いについて. 日本気象学会 2005 年度秋季大会講演予稿集, A355.
8. 初鹿宏壮・筒井純一・門倉真二・和田浩治・釜堀弘隆・中澤哲夫，2005: JRA-25 長期再解析データによる台風の移動と大規模場の関係. 日本気象学会 2005 年度秋季大会講演予稿集, A362.
9. 星野俊介・中澤哲夫, 2005: TRMM/TMI 輝度温度データを用いた台風の強度推定法. 日本気象学会 2005 年度秋季大会講演予稿集, A367.
10. 横山千恵、高薮 縁:TRMM 衛星データを用いた台風の降雨特性の解析、日本気象学会秋季大会，神戸，2005 年 11 月，p.484

③ ポスター発表　　（国内会議 1 件、国際会議 2 件）

ポスター国際

1. Nasuno, T., H. Tomita, S. Iga, H. Miura, and M. Satoh, 2006: Multi-scale organization of tropical convection simulated by a global nonhydrostatic model. Workshop on the Organization and Maintenance of Tropical Convection and the Madden Julian Oscillation, jointly organized by THORPEX, WCRP and the Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics (ICTP), Trieste, Italy, 13-17 March 2006.
2. Tsuneaki Suzuki, Yukari N. Takayabu, and Seita Emori, Mar. 2006: The effect of cumulus suppression scheme in the simulation of convectively-coupled equatorial waves in a GCM. Workshop on the Organization and Maintenance of Tropical Convection and the Madden Julian Oscillation, jointly organized by THORPEX, WCRP and the Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics (ICTP), Trieste, Italy, 13-17 March 2006.

ポスター国内

1. 別所康太郎・中澤哲夫・北畠尚子・楠　研一・星野俊介・鈴木教雄・穂積弘毅・牧, 2005: Baiu Hunter 2005 における無人機による気象観測、日本気象学会 2005 年度秋季大会講演予稿集, P170.

【2006 年】

① 招待講演　　（国内会議 1 件、国際会議 8 件）

招待講演国際

1. Masaki SATOH, Hirofumi TOMITA, Tomoe NASUNO, Shin-ichi IGA, Hiroaki MIURA, Akira Noda, Global cloud resolving simulations by NICAM, Joint workshop for Chinese-Japanese Young Modelers, Beijing, China, 28-29 Aug. 2006.
2. Masaki SATOH, Global cloud resolving simulations using the 3.5km-mesh Nonhydrostatic icosahedral atmospheric model (NICAM). Second session of the WCRP Modelling Panel (WMP), a joint WMP/WGNE session, NCAR, Boulder, CO, USA, 23-24 October 2006.
3. Masaki SATOH, Development and numerical results of a global cloud resolving model and its potential application to numerical weather forecasting of tropics. Geophysical Fluid Dynamics and Scalar Transport in the Tropics (13 Nov - 8 Dec 2006). IMS Auditorium, Institute for Mathematical Sciences, NUS, 3 Prince George's Park.
4. Miura, H., M. Satoh, H. Tomita, T. Nasuno, and S. Iga: A global cloud resolving simulation and its validation using satellite observations. 2006. Western Pacific Geophysics Meeting, 2006-07-24, Beijing, China.
5. H.Tomita, H.Miura, S.Iga, T.Nasuno, A.Noda, M.Satoh, Global cloud resolving simultations by NICAM. AGU Fall meeting, San Francisco, USA, 11 -15 Dec. 2006.
6. Tsushima, Y., Important data of cloud properties for assessing the response of GCM clouds in climate change simulations, GEWEX cloud climatology workshop, Madison, U.S., 6 July 2006.
7. Tsushima, Y., Toward understanding of cloud feedback in climate change, 21COE International Symposium on "Climate Change: Past and Future", Sendai, Japan, 6-10 November 2006.
8. Matsuno, T. and the NICAM team, "Two worlds" view on the general circulation of the atmosphere - from Phillips (1956) to NICAM (2006) and beyond. 87th annual meeting, American Meteorological Society, The Akio Arakawa Symposium, 16 Jan. 2007.

招待講演国内

1. 佐藤正樹，富田浩文，那須野智江，伊賀晋一，三浦裕亮，全球雲解像モデルによる気候研究，第二回「計算科学による新たな知の発見・統合・創出」シンポジウム，計算科学の戦略と次世代スーパーコンピュータ，つくば国際会議場（エポカルつくば），2006 年 4 月 4-5 日.

② 口頭発表　　（国内会議 11 件、国際会議 13 件）

口頭発表国際

1. Masaki SATOH, Hirofumi TOMITA, Tomoe NASUNO, Shin-ichi IGA, Hiroaki MIURA, Akira Noda, Wataru Yanase, Global cloud resolving simulations by NICAM. Kusatsu 2006 CREST/JST workshop: High-resolution & cloud modeling workshop, Kusatsu, Japan, Oct. 3-5, 2006.
2. Chung-Hsiung Sui and Masaki SATOH, Convective process in the Earth's climate system. University Allied Workshop 2006 on climate and environmental study for global sustainability, Howard Beach Resort Pacific Green Bay, Taipei, Taiwan, 17-20 July 2006.
3. Masaki SATOH, Hirofumi TOMITA, Tomoe NASUNO, Shin-ichi IGA, Hiroaki MIURA, Akira Noda, Design and testing of a global cloud-resolving model. CMMAP meeting 2006, Fort Collins Marriott, USA, 15-17 Aug. 2006.
4. Miura, H.: A global cloud resolving simulation using realistic land and sea distribution. First CMMAP Team Meeting, 2006-08-16, Fort Collins, USA.
5. Miura, H., M. Satoh, H. Tomita, A. Noda, T. Nasuno, and S. Iga: Preliminary results from a simulation of a MJO event in this winter. CMMAP Team Meeting, 2007-02-22, Kauai, Hawaii, USA.
6. H.Tomita, T.Nasuno, H.Miura, S.Iga, A.Noda, Y.Tsushima, M.Satoh, What can we find by the global cloud resolving model? AGU Fall meeting, , San Francisco, USA, 11 -15 Dec. 2006.
7. H.Tomita, H. Miura, T. Nasuno, S.Iga, and M.Satoh. Super-High resolution atmospheric simulations by the icosahedral grid model NICAM Non-Hydrostatic Model. The 2006 Workshop on the Solution of Partial Differential Equations on the Sphere , Montery, CA USA, 29 -29 Jun. 2006.
8. Nasuno, T., H. Tomita, S. Iga, H. Miura, A. T. Noda, and M. Satoh, 2006: Development of Nonhydrostatic ICosahedral Atmospheric Model (NICAM) --- a challenge to global cloud-resolving climate simulation. The third international SOWER meeting, Lake Shikotsu, 2006/7/18-20.
9. W. Yanase, S. Iga, T. Nasuno, H. Miura, H. Tomita and M. Satoh, Typhoon simulation by using a global cloud resolving model on Earth Simulator. 5th International Conference on Mesoscale Meteorology and Typhoon (Boulder, USA, 2007.10.31-11.3).
10. Tsushima,Y., Importance of the mixed-phase cloud distribution in the control climate for assessing the response of clouds to carbon dioxide increase - a multi-model study, The 12th Conference on Atmospheric Radiation/12th Conference on Cloud Physics, 10-14 July 2006.
11. Tsushima,Y., Importance of the cloud water distribution in the control climate for assessing the response of clouds to carbon dioxide increase, The second Asian Pacific Radiation Symposium, Kanazawa, Japan, 31 July-2 August 2006.
12. Tsushima,Y., S. Iga, H.Tomita, M.Satoh, Toward understanding of cloud feedback in global change with climate model, The international workshop on high resolution & cloud modeling, Kusatsu, Japan, 3-5 October 2006.
13. S.Iga, H. Miura, T. Nasuno, H. Tomita, M.Satoh First result of a global cloud resolving simulation with realistic topography (EGU, Vienna, 2006.4.3)

口頭発表国内

1. 佐藤正樹，那須野智江，三浦裕亮，富田浩文，伊賀晋一，高藪縁，全球雲解像モデル NICAM と衛星 TRMM PR データの降水特性比較，日本気象学会 2006 年春季大会, 2006 年 5 月 21−24 日.
2. 佐藤正樹，全球雲解像大気モデルの熱帯気象予測への実利用化に関する研究，JST−CREST「マルチスケール・マルチフィジックス現象の統合シミュレーション」研究領域平成 18 年公開シンポジウム，東洋大学, 2006 年 11 月 20−21 日.
3. 佐藤正樹，非静力正 20 面体大気モデル NICAM の開発の現状と全球雲解像実験，第 8 回非静力モデルに関するワークショップ，気象研究所, 2006 年 11 月 29−30 日.

4. 佐藤正樹，富田浩文，那須野智恵，伊賀晋一，三浦裕亮，野田暁，柳瀬亘，正 20 面体格子非静力学モデル NICAM による 3.5km メッシュ全球雲解像シミュレーション，第 20 回数値流体シンポジウム，名古屋大学, 2006 年 12 月 18-20 日．
5. 三浦裕亮・富田浩文・那須野智江・伊賀晋一・佐藤正樹: 現実的実験による全球雲解像モデルの検証．日本気象学会 2006 年度春季大会, 2006-05-23，つくば．
6. 三浦裕亮・佐藤正樹: 全球雲解像モデルによる現実気象場の再現実験．第 4 回「異常気象と長期変動」研究会, 2006-11-16，京都．
7. 三浦裕亮・富田浩文・野田暁・那須野智江・伊賀晋一・佐藤正樹:全球雲解像モデルを用いた現実気象場の再現実験．第8回非静力学モデルに関するワークショップ，2006-11-30，つくば．
8. 柳瀬亘，佐藤正樹，三浦裕亮，富田浩文，伊賀晋一，那須野智江，野田暁，全球雲解像モデル NICAM による台風シミュレーション．東京大学海洋研究所国際沿岸海洋研究センター研究集会: 台風の力学（大槌, 2006.9.12-13).
9. 柳瀬亘，佐藤正樹，三浦裕亮，富田浩文，伊賀晋一，那須野智江，野田暁，全球雲解像モデルによる台風研究．第 56 回理論応用力学講演会（東京, 2007.3.7-9).
10. 佐藤友徳，佐藤正樹，三浦裕亮，2007: NICAM によるチベット高原の対流の日変化について．第 2 回「アジアモンスーンにおける対流・降水の日変化過程の解明」ワークショップ(箱根, 2007.3.9-10).
11. S.Iga, H. Miura, T. Nasuno, H. Tomita, M.Satoh　NICAM による地形の入った条件下での全球雲解像実験　日本気象学会春期大会 2006 年 5 月

③ ポスター発表　　（国内会議 2 件、国際会議 11 件）

ポスター国際

1. Miura, H., M. Satoh, H. Tomita, T. Nasuno, S. Iga: A global cloud resolving simulation and sensitivity to horizontal resolution. 2006 Western Pacific Geophysics Meeting 2006-07-24, Beijing, China.
2. Miura, H.: Preliminary results from a global cloud-resolving simulation under realistic conditions. The international workshop on high resolution & cloud modeling: Fusion of satellite observations and high-resolution modeling, 2006-10-3 to 2006-10-5, Kusatsu, Japan.
3. Miura, H.: Preliminary results from a simulation of a MJO event in this winter. CMMAP Team Meeting, 2007-02-21, Kauai, Hawaii, USA.
4. Tsushima,Y., S.Iga, H.Tomita, M.Satoh, Cloud radiative effects in MIROC GCM & global cloud Resolving model NICAM in perpetual July simulations. WGNE/PCMDI Systematic Errors Workshop, 12-15 Februrary 2007.
5. W. Yanase, M. Satoh, H. Miura, H. Tomita, S. Iga, T. Nasuno and A. Noda, A tropical cyclone over western North Pacific simulated by a global cloud resolving model NICAM. The International Workshop on High-Resolution & Cloud Modeling. Fusion of Satellite Observations and High-Resolution Modeling (Kusatsu, Japan, 2006.10.3-5).
6. Nasuno, T., H. Tomita, S. Iga, H. Miura, A. T. Noda, and M. Satoh, 2006: An aquaplanet experiment with a global nonhydrostatic model --- analysis of large-scale convective systems coupled with equatorial waves ---. International workshop on high resolution and cloud modeling, Kusatsu, 2006/10/3-5.
7. Sato, T., M. Satoh, H. Miura, 2006: Diurnal variation of convective activity over the Tibetan Plateau simulated by NICAM. The international workshop on high resolution & cloud modeling: Fusion of satellite observations and high-resolution modeling (Kusatsu, 2006.10.3-5).
8. Yuya Matsuda, Masaki Satoh, Analysis of cloud and precipitation properties produced by the 3.5-km mesh global cloud resolving model. University Allied Workshop 2006 on climate and environmental study for global sustainability, Howard Beach Resort Pacific Green Bay, Taipei, Taiwan, 17-20 July 2006.
9. S.Iga, H. Miura, T. Nasuno, H. Tomita, M.Satoh　A climate sensitivity test for CFMIP

using a global cloud resolving model (EGU, Vienna, 2006.4.7).

10. S. Iga, T. Nasuno, H.Miura, H.Tomita, M.Satoh A Global cloud resolving simulations using the Earth Simulator - New era of atmospheric modeling (EGU, Vienna, 2006.4.3).
11. S.Iga, Y.Tsushima, H.Tomita, T. Nasuno, H.Miura, A.Noda, M.Satoh A climate sensitivity test for CFMIP using a global cloud resolving model. Kusatsu WS, 2006. 10.3-5.

ポスター国内

1. 那須野智江・富田浩文・伊賀晋一・三浦裕亮・野田暁・佐藤正樹, 2006: 非静力学全球モデルを用いた水惑星数値実験 --- 赤道波と結合した大規模雲システムの解析第2報---．日本気象学会 2006 年秋季大会，名古屋, 2006/10/25-27.
2. S.Iga, H. Tomita, T Nasuno, T Miura, A Noda, M Satoh, Y Tsushima NICAM による七月条件下での全球雲解像実験 日本気象学会秋季大会 2006,10.25.

【2007 年】

① 招待講演 （国内会議 4 件、国際会議 8 件）

招待講演国際

1. Tsushima, Y., S. Iga, H. Tomita, M. Satoh, 2007: Toward improvement of GCM's cloud feedback through the comparative analysis with global cloud resolving model NICAM, CFMIP - ENSEMBLES Workshop, April 11-13, Paris, France.
2. Tomita, H., T.Nasuno, H.Miura, S.Iga, A.Noda, Y.Tsushima, M.Satoh, Several global cloud resolving simulations by NICAM on the Earth Simulator. EGU general assembly 2007, Vienna, 15 -20 April, 2007.
3. H.Tomita, Computational techniques for super-high resolution atmospheric general circulation model on the massively parallel super-computer, High Performance Computing Asia 2007 conference, Seoul, 10th-12th Sep., 2007.
4. Nakazawa, T., 2007: Interaction of Tropical Cyclones with Monsoon Systems. Typhoon Committee Roving Seminar. Makati, Philippines. September 6-7, 2007.
5. * M. Satoh, Nasuno, T., H. Tomita, H. Miura, A. T. Noda, K. Oouchi, and S. Iga, 2007: Overview of NICAM simulations --- An Madden-Julian Oscillation event realistically simulated by a global cloud system resolving model. The 2nd high resolution modeling workshop, Reading, 2007/10/29-31.
6. * M. Satoh, 2007: A global cloud-resolving Atmospheric Model in Japan. Sloan workshop, Royal Society, London, UK, Nov. 1-2 2007.
7. * Masaki Satoh, 2007: Global cloud-resolving model development and its seamless applications to weather & climate researches. APCOM conference, Kyoto, 2-7 Dec., 2007.
8. M. Satoh and Nasuno, T., 2007: Statistics of clouds and precipitation in a global cloud-system resolving simulations. The 7th GPM international planning workshop in Tokyo, Tokyo, 2007/12/5-7.

招待講演国内

1. 富田浩文，全球雲解像大気モデル NICAM を用いた熱帯対流集団のシミュレーション，第三回「計算科学による新たな知の発見・統合・創出」シンポジウム ～PACS-CS システムと計算科学～/，筑波, 2007 年 9 月 3 日-4 日.
2. 佐藤正樹，井上豊志郎，三浦裕亮，富田浩文，那須野智江, Brain Mapes, 2007: 全球雲解像モデル NICAM と静止気象衛星観測の連携，日本気象学会秋季大会，札幌, 2007 年 10 月 16 日.
3. 那須野 智江・三浦 裕亮・佐藤 正樹・NICAM 開発グループ, 2007: 全球雲解像モデルを用いたマッデンジュリアン振動の再現実験，気象学会月例会「長期予報と大気大循環」, Tokyo, 2007/11/26.

4. 佐藤正樹，全球雲解像モデル NICAM，北海道大学第6回 HSS ワークショップ，2008 年 3 月 19 日．

② 口頭発表　　（国内会議 17 件、国際会議 20 件）

口頭発表国際

1. H.Tomita, S.Iga, Y.Tsushima, M.Satoh, 2007: The global cloud resolving NICAM: model introduction and cloud feedback test from the viewpoint of the radiation-convection equillibrium. CFMIP/ENSEMBLES Workshop on assessment of cloud and water vapour feedback processes in GCMs, Paris, 11th -13th April, 2007.
2. Iga, S, Y. Tsushima, H. Tomita, M. Satoh, 2007: A perpetual July experiment by NICAM: preliminary results from the global CRM. CFMIP - ENSEMBLES Workshop, April 11-13, Paris, France.
3. Nakazawa, T., M. Kyouda and M. Yamaguchi, 2007: Predictability of Typhoon Formation in JMA Ensemble Forecast Data. 21st Pacific Science Congress. June 17, 2007. Okinawa, Japan.
4. W. Yanase, M. Satoh, H. Miura, H. Tomita, T. Nasuno, S. Iga and A. Noda, 2007: Tropical Cyclones in Global Cloud-System-Resolving Simulation, University of Allied Workshop (Beijing, China, 2007.6.18-20).
5. Iga, S, Y. Tsushima, H. Tomita, M. Satoh, 2007: A perpetual July experiment by NICAM: preliminary results from the global CRM, International Union of Geodecy and Geophysics XXIV General Assembly, July 5, Perugia, Italy.
6. Tsushima, Y., S. Iga, H. Tomita, M. Satoh, 2007: A climate sensitivity test using a global cloud resolving model NICAM, International Union of Geodecy and Geophysics XXIV General Assembly, July 10, Perugia, Italy.
7. Nasuno, T., H. Tomita, S. Iga, H. Miura, A. T. Noda, and M. Satoh, 2007: Convectively coupled equatorial waves simulated by a global nonhydrostatic experiment on an aquaplanet. IUGG XXIV, Perugia, 2007/7/2-13.
8. Sato, T., H. Miura, M. Satoh, 2007: Diurnal convective activity over Tibetan plateau in the global cloud-resolving model, NICAM. XXIV IUGG General Assembly, Perugia (11 July 2007).
9. Nakazawa, T., 2007: Predictability of Tropical Cyclogenesis over the western Pacific in 2004. IUGG. July 12, 2007. Perugia, Italy.
10. Mapes, B., Nasuno, T., and M. Satoh, 2007: Difference growth in global simulations with explicit convection. 16th Conference on Atmospheric and Oceanic Fluid Dynamics, Santa Fe, New Mexico, 2007/6/25-29.
11. Mapes, B., Nasuno, T., and M. Satoh, 2007: Predictability aspects of tropical waves in an aquaplanet model with explicit convection. IUGG XXIV, Perugia, 2007/7/2-13.
12. Hiroaki Miura and Masaki Satoh: GCRM simulation of MJO. Third CMMAP Team Meeting, Fort Collins, Colorado, USA, 7-9 Aug. 2007.
13. Masaki Satoh, 2007: Progress of NICAM researches, Third CMMAP team meeting 2007, CSU, Fort Collins, USA, 7-9 Aug. 2007.
14. H. Tomita, M. Satoh, and NICAM working team Nonhydrostatic ICosahedral Atmospheric Model (NICAM): Its physical and computational performance in global cloud resolving simulations. The 2007 Workshop on the Solution of Partial Differential Equations on the Sphere, Exeter, U.K., 24th-27th Sep.
15. Masaki Satoh, 2007: A Madden-Julian Oscillation event realistically simulated by a global cloud-resolving model, Met Office, Exeter, UK, 28 Sep 2007.
16. W. Yanase, S. Iga, T. Nasuno, H. Miura, H. Tomita and M. Satoh, Typhoon simulation by using a global cloud resolving model on Earth Simulator. 5th International Conference on Mesoscale Meteorology and Typhoon (Boulder, USA, 2007.10.31-11.3).
17. Noda, A. T., M. Satoh, H. Tomita, T. Nasuno, H. Miura, and K. Oouchi, 2007: A preliminary study on boundary-layer clouds in a global 14km-mesh experiment by NICAM. Workshop on Shourt-range numerical weather prediction, November 5-7, 2007, Deutscher Wetterdienst, Bad Orb, Germany.
18. Masaki Satoh, 2007: Global cloud-resolving model development and its seamless

applications to weather & climate researches. The third China-Korea-Japan joint conference on meteorology, Beijing, China, 13-16 Nov. 2007.

19. H.Tomita, M. Satoh, and NICAM working team Nonhydrostatic ICosahedral Atmospheric Model (NICAM) /The KAKUSHIN Workshop 2007 ---Worksho of the inovative climate modeling /, Kyoto, 4-5 Dec.
20. Nakazawa, T., 2007: Eastward-moving Cloud Clusters in a MJO in January 2007. The 6th International Symposium on Asian Monsoon System. December 12, 2007. Fukuoka, Japan.

口頭発表国内

1. 那須野智江・佐藤正樹・富田浩文・伊賀晋一・三浦裕亮・野田暁, 2007:全球非静力学モデルを用いた水惑星数値実験における降水特性. 日本気象学会 2007 年春季大会, 東京, 2007/5/13-16.
2. 佐藤友徳, 三浦裕亮, 佐藤正樹, 2007: 全球雲解像モデル NICAM によるチベット高原上の対流活動の日変化 日本気象学会 2007 年春季大会, 東京 (2007 年 5 月 13 日).
3. 吉崎 正憲・那須野 智江, 2007: スーパークラウドクラスターの東進メカニズムについて(2). 日本気象学会 2007 年春季大会, 東京, 2007/5/13-16.
4. 佐藤友徳, 三浦裕亮, 佐藤正樹, 2007: 全球雲解像モデル NICAM によるチベット高原上の対流活動 日本地球惑星科学連合 2007 年大会, 千葉 (2007 年 5 月 22 日).
5. 佐藤正樹, NICAM 開発チーム, 2007: 非静力学正 20 面体大気モデル NICAM の開発の現状, 第 9 回非静力学モデルに関するワークショップ、2007 年 9 月 13 日、京都.
6. 三浦裕亮・那須野智江・野田暁・大内和良・佐藤正樹: 全球雲解像モデルを用いたマッデンジュリアン振動の再現実験、第 9 回非静力学モデルに関するワークショップ、2007 年 9 月 13 日、京都.
7. 柳瀬亘, 伊賀晋一, 佐藤正樹, 富田浩文, 2007: 水平解像度 14km の全球シミュレーションにおける熱帯低気圧の振舞い, 第 9 回非静力学モデルに関するワークショップ (京都, 2007.9.13-14).
8. 富田浩文, NICAM 開発チーム, 全球雲解像モデル NICAM における雲微物理過程の開発と検証. 第 9 回非静力学モデルに関するワークショップ, 京都, 9 月 13 日-14 日 2007.
9. 野田暁, NICAM 開発チーム, 2007: 全球非静力学モデル NICAM の境界層過程の改善. 第 9 回非静力学モデルに関するワークショップ講演予稿集, 2007 年 9 月 13 日-14 日, 京都府, 非静力数値モデル研究連絡会, 11-12.
10. 吉崎 正憲・那須野 智江, 2007: スーパークラウドクラスターの東進メカニズムについて(3). 日本気象学会 2007 年秋季大会, 札幌, 2007/10/14-16.
11. 安永 数明・三浦 裕亮・那須野 智江・吉崎 正憲, 2007: 全球非静力学モデル NICAM による水惑星数値実験で再現された降水の半日周期. 日本気象学会 2007 年秋季大会, 札幌, 2007/10/14-16.
12. 那須野智江・三浦裕亮・佐藤正樹・野田暁・大内和良, 2007:全球非静力学モデルを用いた Madden-Julian Oscillation 再現実験. 日本気象学会 2007 年秋季大会, 札幌, 2007/10/14-16.
13. 柳瀬亘, 伊賀晋一, 佐藤正樹, 富田浩文, 2007: 熱帯低気圧の全球高解像シミュレーション: 7 月気候値実験, 日本気象学会秋季大会 (札幌, 2007.10.14-16).
14. 中澤哲夫, 2007: 東進するスーパークラスターの構造. 日本気象学会 2007 年秋季大会予稿集 A303. 2007 年 10 月 16 日. 札幌.
15. 三井達也, 2007: エアロゾル輸送過程を取り入れた全球雲解像モデルによる熱帯大西洋上での雲の放射強制の見積もり, 日本気象学会秋季大会 (札幌, 2007.10.14-16).
16. 中澤哲夫, 2007: 2004 年の MJO と台風発生. 台風に伴う強風, 豪雨などの気象災害

の被害軽減に関する研究集会. 11 月 27 日. 京都.

17. 富田浩文, 正 20 面体大気大循環モデル NICAM における並列化手法, 第 21 回数値流体力学シンポジウム, 東京, 12 月 19 日−21 日 2007.

③ ポスター発表 （国内会議 2 件、国際会議 6 件）

ポスター国際

1. Hiroaki Miura: Influence of topography and zonal SST gradient on the MJO, Third CMMAP Team Meeting, 2007-08-08, Fort Collins, Colorado, USA.
2. W. Yanase, M. Satoh, H. Miura, H. Tomita, T. Nasuno, S. Iga, and A. Noda, 2007: Tropical cyclones formed in 30-day simulation by cloud-system-resolving global nonhydrostatic model (NICAM), International Union of Geophysics and Geodesy (Perugia, Itary, 2007.7.2-13).
3. Nakazawa, T., 2007: Eastward-moving Cloud Clusters in a MJO in January 2007. US CLIVAR MJO Workshop. November 7, 2007. Irvine, USA.
4. Hiroaki Miura, Masaki Satoh, 2007: A Madden-Julian Oscillati on Simulat ion Using a Global Cloud-Resolving Model, US CLIVAR MJO Workshop. November 7, 2007. Irvine, USA.
5. W. Yanase, M. Satoh, S. Iga and H. Tomita: Tropical Cyclone Formation in 30-day Simulation Using Cloud-System-Resolving Global Nonhydrostatic Model (NICAM), American Geophysical Union (San Francisco, USA, 2007.12.10-14)
6. Nakazawa, T., 2008: Eastward-moving cloud clusters in a super cloud cluster in January 2007. The Tropical Meteorology Special Symposium, Amer. Met. Soc. Annual Meeting. January 22, 2008. New Orleans, LA. USA.

ポスター国内

1. 柳瀬亘, 佐藤正樹, 三浦裕亮, 富田浩文, 伊賀晋一, 那須野智江, 野田暁, 2007: 水平解像度 14km の全球シミュレーションにおける熱帯低気圧の振舞い, 日本気象学会春季大会（東京, 2007.5.13−16).
2. 野田暁, NICAM 開発チーム, 2007: 全球非静力学モデル NICAM における境界層雲の検証と改良. 2007 年 10 月 14 日−16 日, 北海道, 日本気象学会秋季大会, 日本気象学会.

【2008 年】

① 招待講演 （国内会議 0 件、国際会議 7 件）

招待講演国際

1. *Satoh M., Tomita, H., Nasuno, T., Noda, A., Oouchi, K., Matsuno, T., Miura, H., Inoue, T., Sato, T., Yanase, W., Fudeyasu, H., Wang, Y., Mapes, B., Global cloud-resolving model simulations: Status and cloud microphysics issues. 4th PAN-GCSS meeting, Toulouse, France, 2-6 June 2008.
2. Tsushima, Y., S. Iga, H. Tomita, M. Satoh, Analysis of climate a sensitivity experiment using global cloud resolving model NICAM, GCSS Workshop, June 2-6, Toulouse, France, 2008.
3. *Satoh M., Tomita, H., Nasuno, T., Noda, A., Oouchi, K., Matsuno, T., Miura, H., Inoue, T., Sato, T., Yanase, W., Fudeyasu, H., Wang, Y., Mapes, B., Ongoing studies with the global cloud-resolving model, NICAM. World Modelling Summit for Climate Prediction, ECMWF, UK, 6 - 9 May 2008.
4. Satoh, M., Global Cloud resolving modeling. Workshop on The General Circulation in the Tropics and Subtropics, University of Mainz , Germany, 10-11 July 2008.
5. Satoh, M., Moist Hadley cells. Workshop on The General Circulation in the Tropics and Subtropics, University of Mainz , Germany, 10-11 July 2008.
6. Nasuno, T., M. Satoh, H. Miura, A. T. Noda, and K. Oouchi, 2008: Global cloud-resolving numerical experiments of the December 2006 MJO event. 2008 Western Pacific Geophysics Meeting, American Geophysical Union, Cairns,

2008/7/29-8/1.

7. *Satoh, M., Oouchi, K., Noda, A., Miura, H., Nasuno, T., Inoue, T., Sato, T., Status of NICAM for monsoon cloud/precipitation systems. The 2nd Pan-WCRP Monsoon Workshop (PWM-2). In conjunction with the WMO 4th International Workshop on Monsoons. CMA and IAP/CAS, Beijing, China, Oct. 23, 2008

② 口頭発表　　（国内会議 17 件、国際会議 19 件）

口頭発表国際

1. W. Yanase, M. Satoh, S. Iga and H. Tomita, Tropical cyclone formations in 30-day simulation using cloud-system-resolving global non-hydrostatic model (NICAM), 28th Conference on Hurricanse and Tropical Meteorology (Orlando, 2008.4.28-5.2).
2. Noda, A. T., K. Oouchi, M. Satoh, H. Tomita, T. Nasuno, S. Iga, and H. Miura, 2008: Development of a Global Cloud-Resolving model NICAM: Boudary-layer process and low-level cloud. 4th PAN-GCSS meeting on clouds, climate and models, Toulouse, France, 2-6 June, 2008.
3. Shin-ichi Iga, Hirofumi Tomita, Masaki Satoh, Koji Gotoh. Spurious waves associated with simulated cold fronts due to inconsistencies between horizontal and vertical resolutions. (AOGS2008, Busan, June 16-20).
4. H.Tomita, M. Satoh, and NICAM working team Current status of Nonhydrostatic icosahedral atmospheric model. AOGS 2008 meeting, Busan, 16-20 June 2008.
5. W. Yanase, Dynamics of tropical cyclone genesis simulated by a global cloud-system resolving model, NICAM JSPS 5th University of Allied Workshop on Climate and Environmental Studies for Global Sustainability (Makuhari, 2008.6.30-7.3)
6. Noda, A. T., M. Satoh, H. Tomita, T. Nasuno, S. Iga, and H. Miura, K. Oouchi, 2008: Characteristics of the boundary-layer clouds in a global 14 km-mesh experiment by NICAM. 15th International Conference on Clouds and Precipitation, Cancun, Mexico, 7-11 July, 2008.
7. Tsushima, Y., S. Iga, H. Tomita, M. Satoh, A climate sensitivity test using a global cloud resolving model NICAM, International Radiation Symposium, Aug 5, Foz du Iguazu, Brazil, 2008.
8. Kondo, K. and H.L. Tanaka, H.L., 2008: Influence of local ensemble transform Kalman filter with the NICAM on high latitudes. Proc. First International Symposium on the Arctic Research, Nov. 4-6, 2008, Miraikan, Tokyo, Japan. 226-229.
9. Satoh, M. K. Oouchi, A. Noda, H. Taniguchi, W. Yanase, H. Miura, T. Inoue, H. Tomita, T. Nasuno: Use of a global cloud-resolving model NICAM for MJO studies, MISMO Workshop, Yokohama, Japan, 2008/11/25-26.
10. Nasuno, T. and NICAM development group, 2008: Global cloud-resolving simulations of MJO events in November 2006-January 2007 --- multi-scale structure. MISMO workshop, Yokohama, 2008/11/25-26.
11. Nasuno, T. and NICAM development group, 2008: Multi-scale structure of an MJO event simulated by a global cloud-system resolving model. 3rd international workshop on high-resolution and cloud modeling --- tropical cyclone and climate, Honolulu, 2008/12/2-4.
12. W. Yanase and M. Satoh, Case studies of tropical cyclone genesis using a global high-resolution model, NICAM. Third International Workshop on High-Resolution and Cloud Modeling (Hawaii, 2008.12.2-4)
13. Nakazawa, T., Performance of JMA Weekly Ensemble Forecast for Nargis. Third International Workshop on High-Resolution and Cloud Modeling (Hawaii, 2008.12.2-4).
14. Fudeyasu, H. (IPRC/ハワイ大学): Multi-scale interactions on the lifecycle of tropical cyclone simulated by Global Cloud-System-Resolving Model NICAM, Third Workshop on High-resolution and Cloud Modeling-Tropical Cyclones and Climate, University of Hawaii at Manoa, Honolulu, Hawaii, USA, 12/2-4, 2008.
15. Taniguchi, H., H. Miura, T. Nasuno, K. Oouchi, A. T. Noda, S. Iga, H. Tomita and M. Satoh: Diagnostic evaluation of a Global Cloud-Resolving Model simulation of a

Madden-Julian Oscillation event (2008/12/19, AGU Fall Meeting, A52B-08, San Francisco, CA, USA).

16. W. Yanase, M. Satoh and H. Taniguchi, Numerical simulation of the genesis of Cyclone Nargis using a global cloud-system resolving model, NICAM. First International Conference on Indian Ocean Tropical Cyclones & Climate Change (Muscat, Oman, 2009.3.8-11).
17. Sato, T., H. Miura, M. Satoh, Y. N. Takayabu, and Y. Wang, 2009: Role of cold pool formation on the diurnal cycle of precipitation over the maritime continent. International MAHASRI/HyARC workshop on Asian monsoon and Water cycle. March 5-7, 2009, DaNang, Vietnam.
18. Tomita, H and NICAM team: Further development and improvement of NICAM toward the PETAFLOPS computing era, The 11th International specialist meeting on the next generation models on climate change and sustainability for advanced high performance computing facilities, OakRidge, 16-18 Mar 2009.
19. Tomita, H: Recent progress and activity of global cloud resolving simulation by NICAM, CMMAP 2009 team meeting, New York, Jan 6-8 2009.

口頭発表国内

1. 那須野 智江・三浦 裕亮・佐藤 正樹・野田 暁・大内 和良, 2008: 全球非静力学モデルを用いた 2006 年 12 月 MJO 再現実験 第2報 --- 対流の階層構造と熱帯波動擾乱の役割 ---. 日本気象学会 2008 年春季大会, 横浜, 2008/5/18-21.
2. 佐藤友徳, 三浦裕亮, 佐藤正樹, 高藪縁, 2008: 全球雲解像モデル NICAM による熱帯域の降水日変化と解像度依存性. 日本気象学会 2008 年春季大会, 横浜, 2008/5/18-21.
3. 安永 数明・三浦 裕亮・那須野 智江・米山 邦夫・佐藤 正樹・高藪 縁・吉崎 正憲, 2008: MISMO 期間中に観測された MJO の全球雲解像モデル NICAM による再現実験. 日本気象学会 2008 年春季大会, 横浜, 2008/5/18-21.
4. 柳瀬亘,佐藤正樹, 全球高解像モデル NICAM による台風 0621 号の発生シミュレーション, 日本気象学会春季大会 (横浜, 2008.5.18-21).
5. 田中博, 渡辺美南子, 佐藤正樹 2008: 気象庁 GPV データを初期値に用いた NICAM の予報精度について. 日本気象学会春季大会 (横浜, 2008.5.18-21).
6. 松田優也、佐藤正樹, 放射対流平衡問題における雲面積の雲物理依存性, 2008 年度日本気象学会春季大会, 横浜, 2008 年 5 月 18-21 日.
7. 野田暁, 大内和良, 佐藤正樹, 富田浩文, 那須野智江, 伊賀晋一, 三浦裕亮, 對馬洋子, 井上豊志郎, 2008: 全球非静力学モデル NICAM における下層雲の振舞い -2004 年 6 月～8 月のケース～, 日本気象学会春季大会, 2008 年 5 月 18 日-21 日, 神奈川, 55.
8. 谷口 博, 三浦裕亮, 那須野智江, 大内和良, 野田 暁, 伊賀晋一, 富田浩文, 佐藤正樹:全球非静力学モデルを用いた 2006 年 12 月実験における MJO 再現性評価 (2008/10/02, 研究会「長期予報と大気大循環」, 気象庁, 東京)
9. 那須野 智江, 2008: 全球非静力学水惑星数値実験における赤道平均東西風. 日本気象学会 2008 年秋季大会, 仙台, 2008/11/19-21.
10. 富田浩文, 大気ー陸面モデルでの地表面エネルギー収支の解法における問題とその解決策, 日本気象学会 2008 年秋季大会, 仙台, 2008 年 11 月 19-21 日
11. 谷口 博, 三浦裕亮, 那須野智江, 大内和良, 野田 暁, 伊賀晋一, 富田浩文, 佐藤正樹:全球非静力学モデルを用いた 2006 年 12 月実験における MJO 再現性評価 (2008/11/19, 秋季日本気象学会, 仙台国際センター, 仙台).
12. 柳瀬亘,谷口博,佐藤正樹, Nargis と過去のベンガル湾サイクロンの発生過程, 日本気象学会秋季大会 (仙台, 2008.11.19-21).
13. 富田浩文, 大気ー陸面インターフェースでのエネルギー収支方程式の解法について, 第 10 回非静力学モデルに関するワークショップ, 名古屋, 2008 年 11 月 27 日-28

日.

14. 柳瀬亘,佐藤正樹，全球非静力学モデル NICAM を利用した台風発生の再現シミュレーション，第 10 回非静力学モデルに関するワークショップ（名古屋, 2008.11.27-28).
15. 近藤圭一，田中博，佐藤正樹 2008: NICAM-LETKF を用いたデータ同化実験 日本気象学会秋季大会(名古屋, 2008.11.27-28).
16. 柳瀬亘,佐藤正樹,谷口博，全球非静力学モデル NICAM を利用したサイクロン Nargis の発生シミュレーション，平成 20 年度京都大学防災研究所台風研究会（京都，2008.12.17-18).
17. 山田洋平，富田浩文，佐藤正樹，超並列スカラー機での全球雲解像モデル NICAM の性能評価．第 22 回数値流体力学シンポジウム，国立オリンピック記念青少年総合センター 2008 年 12 月 17-19 日.

③ ポスター発表 （国内会議 2 件、国際会議 7 件）

ポスター国際

1. Sato. T., H. Miura, M. Satoh, Y. N. Takayabu, 2008: Diurnal cycle of rainfall simulated in one-month experiment by the global cloud-system resolving model. JSPS 5th University Allied Workshop on climate and environmental studies for global sustainability, Chiba (Makuhari, 2008.6.30-7.3).
2. Yasunaga, K. and T. Nasuno, T., 2008: Simulation of the MJO-convection onset observed during MISMO. 3rd international workshop on high-resolution and cloud modeling --- tropical cyclone and climate, Honolulu, 2008/12/2-4.
3. Yamada, Y. Oouchi, K., Tomita, H., Satoh, M., Possible change of tropical cyclone intensity and frequency under a greenhouse-warmed climate condition in the global cloud-resolving model,NICAM. Third International Workshop on High-Resolution and Cloud- Modeling Tropical Cyclones and Climate. Honolulu, Hawaii, 2008/12/2-4.
4. Sato, T., H. Miura, M. Satoh, Y. N. Takayabu, 2008: Diurnal cycle of precipitation in a global cloud-resolving model. AGU Fall Meeting, San Francisco. 2008.12.
5. Inoue, T., 2009: Cloud type classified by the split window and CALIOP. 16th Conference on satellite and oceanography, Phoenix, USA, 12-16 January 2009.
6. Inoue, T., 2008: An evaluation of IRIS hypothesis using GOES-W split window and TRMM PR and TMI. IRS2008, Foz do Iguacu, Brazil, 3-8 August 2008.
7. Inoue, T., 2008: Deep convection over the eastern tropical Pacific observed by split window. Global cloud-resolving model simulations: Status and cloud microphysics issues. 4th PAN-GCSS meeting, Toulouse, France, 2-6 June 2008.

ポスター国内

1. 井上 豊志郎:TRMM と GOES-W を用いた東部熱帯太平洋における深い対流雲とアンビルの特徴．日本気象学会春季大会，横浜, 2008 年 5 月 18-21 日.
2. 井上 豊志郎、濱田 篤、萩原 雄一朗:CALIOP による巻雲と Split Window,、日本気象学会秋季大会，仙台, 2008 年 11 月 19-21 日.

【2009 年】

① 招待講演 （国内会議 1 件、国際会議 13 件）

招待講演国際

1. M. Satoh (2009) Global cloud-resolving model development and evaluations of cloud properties using satellite. Fifth Japan-EU Workshop on Climate Change ResearchSTokyo, 6-7 July 2009.
2. ＊M. Satoh (2009) Overview of NICAM: global cloud-resolving simulations and development. Workshop on "High-Resolution Climate Modeling", August 10 - 14, 2009 Adriatico Guesthouse - Kastler Lecture Hall. The Abdus Salam International Center for Theoretical Physics, Trieste, Italy.
3. M. Satoh (2009) Status of global cloud-resolving simulations with NICAM. Asia

Science Seminar 2009, High-Impact Weather in Changing Climate October 5 - 10, 2009, International Conference Room, Seoul National University, Seoul, Korea.

4. M. Satoh, H. Fudeyasu, Y. Wang, H. Taniguchi, T. Nasuno, H. Miura, W. Yanase (2009) Tropical cyclone simulations with the Global Cloud-Resolving Model. International Workshop on Advancement of Typhoon Track Forecast Technique 30 Nov.-2 Dec. 2009, The Nippon Foundation Building, Tokyo, JAPAN.
5. H. Fudeyasu, Y. Wang, M. Satoh, T. Nasuno, H. Miura, W. Yanase (2009) Multiscale Interactions on the Lifecycle of a Tropical Cyclone Simulated in a Global Cloud-System-Resolving Model. 4th China-Korea-Japan Joint Conference, Nov. 8-10, 2009, Tsukuba, Japan.
6. Nakazawa, T., C.-C. Wu, M. Weissmann, S. Majumdar, C. Reynolds, J. Doyle, P. Harr, K. Bessho, T. Komori, Y. Ohta, K. Yamashita, S. C. Jones, H.-S. Lee, D. Richardson, M. Yamaguchi, F. Harnisch, and D. Parsons, 2009: THORPEX Pacific Asian Regional Campaign(T-PARC) A New Direction for Typhoon Research/Forecast. 3rd THORPEX International Science Symposium.
7. Nakazawa, T., J. Hawkins, and C. Velden, 2009: Satellite Digital Data and Products for Tropical Cyclone Studies. WMO Second International Workshop on Tropical Cyclone Landfall Processes.
8. Nakazawa, T., 2009: Impact of special observations for tropical cyclone track forecasts in T-PARC 2008. International Workshop on Advancement of Typhoon Track Forecast Technique.
9. Nakazawa, T., P. Harr, S. C. Jones, and D. Parsons, 2010: THORPEX Pacific Asian Regional Campaign and Tropical Cyclone Structure-08. Toward better understanding of typhoon life cycle. WMO Technical Conference“Environmental Prediction into the Next Decade: Weather, Climate, Water and the Air We Breathe”
10. Nakajima, T., 2009: Issues in understanding the aerosol-cloud-radiation interaction processes. *4th Japan-China-Korea Joint Conference on Meteorology*, Invited paper, 8-10 November 2009, Tsukuba, Japan.
11. Nakajima, T., 2009: Climate Effects of Aerosols: *A Link to Cloudiness and Precipitation. 2nd Integrated Land Ecosystem-Atmosphere Processes Study Science Conference*, GEWEX-iLEAP Session, Invited Plenary Lecture, 24-28 August 2009, Melbourne, Australia.
12. Nakajima, T., 2009: Lecture ' Mechanisms of the earth's climate change and the role of human activities', ICSU Re-gional Meeting, September 2009, Penang, Malaysia.
13. Nakajima, T., 2009: Lecture 'Overview of ABC', WMO Committee on Atmospheric Sciences XV, November 2009, Incheon, Korea.

招待講演国内

1. 富田浩文（2009）全球気象モデルにおける力学コアの計算アルゴリズム，分野横断型研究会「アルゴリズムによる計算科学の融合と発展」,筑波、2009 年 4 月 22、23 日.

② 口頭発表　　（国内会議 26 件、国際会議 26 件）

口頭発表国際

1. M. Satoh, T. Inoue, H. Miura (2009) Evaluation of cloud properties of the global cloud-resolving model using satellite simulators. EarthCARE First JADE meeting, Space EXPO, Noordwijk, Netherland, 22 Apr. 2009.
2. H. Tomita , Y. Niwa, and M.Satoh: Further improvement of NICAM dynamical core toward the PETAFLOPS computingThe 2009 Workshop on the Solution of Partial Differential Equations on the Sphere , SantaFe, 27-30 Apr. 2009.
3. Liu, P., M. Satoh, B. Wang, H. Fudeyasu, T. Nasuno, T. Li, H. Miura, H. Taniguchi, H. Masunaga, X. Fu, and H. Annamalai, 2009: An MJO Simulated by the NICAM at 14-km and 7-km Resolutions. The 9th annual IPRC symposium, Honolulu, 1-2 June 2009.
4. M. Satoh, T. Inoue, H. Miura (2009) Evaluation of cloud properties of the global/local

cloud-resolving models using the split window analysis and the CloudSat/Calipso simulators. The EarthCARE workshop 2009, Kyoto Royal Hotel & Spa, Kyoto, Japan, 12 June 2009.

5. Nasuno, T. and M. Satoh, 2009: Properties of precipitation and in-cloud vertical velocity in global cloud-system resolving simulations. The EarthCARE Workshop 2009, Kyoto, 10-12 June 2009.
6. M. Satoh, T., Inoue, H. Miura, (2009) Global cloud-resolving model development and evaluations of cloud properties using satellite. The University Allied Workshop on Climate and Environmental Changes, Seoul Royal Hotel, Seoul, Korea, 22-24 June 2009.
7. M. Satoh (2009) Contributions of Global cloud-resolving model simulations to YOTC. YOTC Implementation Workshop 13-15th July 2009 East West Centre, University of Hawaii.
8. H.Tomita and M. Satoh : The Impact of Rainfall Sedimentation Scheme on the Mesoscale Cloud System 8th International SRNWP Workshop on Nonhydrostatic Modelling, 26 - 28 October 2009, Bad Orb, Germany.
9. Yanase, W., H. Taniguchi, M. Satoh: Large-scale environmental field associated with tropical cyclogeneses over the Bay of Bengal. Fourth Japan-China-Korea Joint Conference on Meteorology, Tsukuba, Japan, 8-10 November 2009.
10. Arakane, S., M. Satoh and W. Yanase, Numerical study on the rapid development of the deep convection to the north of Typhoon Bebinca, the Fourth Japan-China-Korea Joint Conference on Meteorology, Tsukuba, Japan 8-10 November 2009.
11. H. L. Tanaka and S. Takahashi: Numerical simulation of arctic and tropical cyclones using NICAM installed at CCS, Fourth Japan-China-Korea Joint Conference on Meteorology, Tsukuba, Japan, 8-10 November 2009.
12. Nakazawa, T., 2009: High-Impact Weather Forecast and Global Rainfall Maps for Urban Flood Management. ESCAP Expert group meeting on innovative strategies towards flood resilient cities in Asia-Pacific.
13. Nakazawa, T., 2009: Role of Scatterometer Data in Tropical Meteorology. - MJO and Tropical Cyclone Studies- 2009 Scatterometry and Climate Meeting.
14. Nakazawa, T., 2009: Tropical Cyclones, MJO and YOTC. WCRP/WWRP -THORPEX YOTC Implementation Planning Meeting.
15. Nakazawa, T., 2009: Tropical Cyclone Observation with Aircraft, Present Status and Prospects. 14th Annual US-Japan Meteorological Technical Exchange Meeting.
16. Weissmann,M., F. Harnisch, S. Rahm, M. Wirth, P. Harr, T. Nakazawa, K. Bessho, S. Jones, D. Anwender, D. Parsons, H.-S. Lee, R. M.-Cowan, and C. Cardinali, Overview of T-PARC Falcon operations and ECMWF data denial experiments. 3rd THORPEX International Science Symposium.
17. Nakazawa, T., P. Harr, J. Moore, M. Weissmann, S. Majumdar et al. , 2009: THORPEX Pacific Asian Regional Campaign for typhoon targeting in 2008 over the western North Pacific. The Fourth Japan-China-Korea Joint Conference on Meteorology S05.
18. Bessho, K., T. Nakazawa, and M. Weissmann, 2009: Dropsonde operation of Falcon in T-PARC and the analyses of surrounding environment of tyhphoons. The Fourth Japan-China-Korea Joint Conference on Meteorology S05.
19. Yamashita, K., Y. Ohta, and T. Nakazawa, 2009: An observing system experiment of special observations of T-PARC for Sinlaku using the operational NWP system at JMA. The Fourth Japan-China-Korea Joint Conference on Meteorology S05.
20. Hoshino, S., and T. Nakazawa, 2009: Intercomparison of Dvorak parameters in the tropical cyclone datasets over the western North Pacific. The Fourth Japan-China-Korea Joint Conference on Meteorology S05.
21. Yamashita, K., Y. Ohta, and T. Nakazawa, 2009: Observing system experiments using the operational NWP system of JMA with T-PARC 2008 special observations targeted for Typhoon Sinlaku. International Workshop on Advancement of Typhoon Track Forecast Technique.
22. Ohta, Y., K. Yamashita, and T. Nakazawa, 2009: Observing system experiments using

the operational NWP system of JMA with T-PARC 2008 special observations targeted for Typhoon Jangmi. International Workshop on Advancement of Typhoon Track Forecast Technique.

23. Nakazawa, T., 2009: Introduction of the Northwestern Pacific Tropical Cyclone Ensemble Track Forecast Research Project. International Workshop on Advancement of Typhoon Track Forecast Technique.
24. Nakazawa, T., D. Parsons, and D. Burridge, 2010: North western Pacific Tropical Cyclone Ensemble Track Forecast Research Project. WMO 15th session of WMO/CAS.
25. Nakajima, T., 2009: An analysis of satellite remote sensing and simulation by several models for understanding the role of aerosol and clouds in the climate formation process. *19th UN/IAF Workshop on Integrated Space Technologies and Space-based Information for Analysis and Prediction of Climate Change*. 9-11 October 2009, Daejeon, Korea.
26. Hironori FUDEYASU, Yuqing WANG, Masaki SATOH(東大/JMASTEC), Tomoe NASUNO, Hiroaki MIURA, and Wataru YANASE: MULTISCALE INTERACTIONS ON THE LIFECYCLE OF TROPICAL CYCLONE SIMULATED BY GLOBAL CLOUD-SYSTEM-RESOLVING MODEL, Fourth Japan-China-Korea Joint Conference on Meteorology, Tsukuba, 9/11, 2009.

口頭発表国内

1. 佐藤正樹 (2009) 全球雲解像モデルによる気候研究 – 雲微物理過程と気候感度の観点から– 地球科学連合学会, 2009 年 5 月 20 日, 幕張.
2. 佐藤正樹 (2009) 全球雲解像モデルと雲・降水衛星観測との連携, 赤道周回衛星の提案. 日本気象学会春季大会, 2009 年 5 月 28 日.
3. 那須野 智江・佐藤 正樹, 2009: 全球非静力学水惑星数値実験における雲内鉛直流. 日本気象学会 2009 年春季大会, つくば, 2009/5/28–31.
4. 筆保 弘徳・Wang Yuqing・佐藤 正樹・那須野 智江・三浦 裕亮・柳瀬 亘, 2009: 全球非静力学モデルで再現された台風発生メカニズム. 日本気象学会 2009 年春季大会, つくば, 2009/5/28–31.
5. 荒金匠, 佐藤正樹, 柳瀬亘: 台風 0616 に生じた爆発的対流に関する数値的研究, 日本気象学会 2009 年春季大会 (筑波 2009.5).
6. 佐藤正樹, 井上豊志郎, 三浦裕亮 (2009) NICAM の雲特性について. 非静力学モデルワークショップ 2009, 弘前大学 2009 年 9 月 24–25 日.
7. 谷口 博・柳瀬 亘・佐藤正樹:全球非静力学モデルによるサイクロン Nargis のアンサンブルシミュレーション(2009/09/24, 第 11 回非静力学モデルに関するワークショップ, 弘前大学)
8. 佐藤正樹 (2009) 雲微物理・上層雲・ハドレー循環:全球雲解像モデルによる気候感度研究. 熱帯気象研究会 2009, 北海道大学 2009 年 9 月 29–30 日.
9. 谷口 博, 柳瀬 亘, 佐藤正樹:全球非静力学モデルによるサイクロン Nargis のアンサンブルシミュレーション(2009/11/25, 秋季日本気象学会, アクロス福岡)
10. 那須野 智江・三浦 裕亮・佐藤 正樹・野田 暁・大内 和良, 2009: 全球非静力学モデルを用いた 2006 年 12 月 MJO 再現実験 第3報 --- 雲内鉛直流の特性と対流の組織化における役割 ---. 日本気象学会 2009 年秋季大会, 福岡, 2009/11/25–27.
11. 久保川 比呂鎮・藤原 正智・那須野 智江・佐藤 正樹, 2009: 全球・非静力学モデル NICAM の 2006 年 12 月 MJO 実験データを用いた対流圏界面領域の解析(1). 日本気象学会 2009 年秋季大会, 福岡, 2009/11/25–27.
12. 山田洋平(JAMSTEC), 大内和良(JAMSTEC), 佐藤正樹(CCSR), 富田浩文(JAMSTEC), 柳瀬亘(海洋研):全球非静力学モデルを用いた熱帯低気圧の解析, 第 23 回数値流体力学シンポジウム、仙台、12 月 16 日– 18 日、2009 年.
13. 星野俊介、中澤哲夫、別所康太郎、小山亮、下地和希、2009: Rapid Scan による詳細大気追跡風データの台風解析への利用(序報)、日本気象学会 2009 年度春季大会

講演予稿集 A207.

14. 山下浩史、太田洋一郎、中澤哲夫、2009: 2008 年台風第 13 号の特別観測データを使用した気象庁全球モデルによるインパクト実験の評価(第1報)、日本気象学会2009年度春季大会講演予稿集 D401.
15. 太田洋一郎、山下浩史、中澤哲夫、2009: 2008 年台風第 15 号の特別観測データを使用した気象庁全球モデルによるインパクト実験の評価、日本気象学会 2009 年度春季大会講演予稿集 D402.
16. 川畑拓矢・國井勝・高野洋雄・別所康太郎・釜堀弘隆・中澤哲夫・本田有機・澤田謙、2009: 気象庁メソ解析を用いた伊勢湾台風と高潮の再予報 平成 21 年度京都大学防災研究所共同研究集会「台風研究会」
17. 釜堀弘隆・高橋清利・海老田綾貴・太田行哉・古林 慎哉・守谷昌己・別所康太郎・中澤哲夫、2009: 気象庁全球同化システムを用いた伊勢湾台風再解析 平成 21 年度京都大学防災研究所共同研究集会「台風研究会」
18. 中澤哲夫、松枝未遠、2009: 全球客観解析データの地上風の強風発生確率、日本気象学会 2009 年度秋季大会講演予稿集 B208.
19. 中澤哲夫、釜堀弘隆、別所康太郎、川畑拓矢、高野洋雄、新藤永樹、原昌弘、國井勝、高橋清利、海老田綾貴、太田行哉、古林慎哉、守谷昌己、2009: 伊勢湾台風再現実験 ー概要ー、日本気象学会 2009 年度秋季大会講演予稿集 C151.
20. 釜堀弘隆、高橋清利、海老田綾貴、太田行哉、古林慎哉、守谷昌己、別所康太郎、中澤哲夫、2009: 伊勢湾台風再現実験 ー気象庁全球同化システムを用いた伊勢湾台風再解析ー、日本気象学会 2009 年度秋季大会講演予稿集 C152.
21. 新藤永樹、原昌弘、國井勝、別所康太郎、中澤哲夫、2009: 伊勢湾台風再現実験 ー全球モデルによる進路予報ー、日本気象学会 2009 年度秋季大会講演予稿集 C153.
22. 川畑拓矢、國井勝、高野洋雄、別所康太郎、釜堀弘隆、中澤哲夫、本田有機、澤田謙、2009: 伊勢湾台風再現実験 ー気象庁メソ解析による再予報ー、日本気象学会 2009 年度秋季大会講演予稿集 C154.
23. 別所康太郎、中澤哲夫、Martin Weissmann、2009: T-PARC におけるドロップゾンデ観測と台風周辺環境の解析、日本気象学会 2009 年度秋季大会講演予稿集 C163.
24. 星野俊介、下地和希、小山亮、別所康太郎、中澤哲夫、2009: T-PARC で算出された大気追跡風データの精度検証、日本気象学会 2009 年度秋季大会講演予稿集 C164.
25. 山下浩史、太田洋一郎、中澤哲夫、2009: 2008 年台風第 13 号の特別観測データを使用した気象庁全球モデルによるインパクト実験の評価(第2報)、日本気象学会2009年度秋季大会講演予稿集 C165.
26. 太田洋一郎、山下浩史、中澤哲夫、2009: 2008 年台風第 15 号の特別観測データを使用した気象庁全球モデルによるインパクト実験の評価(第2報)日本気象学会 2009 年度秋季大会講演予稿集 C166.

③ ポスター発表 (国内会議 3 件、国際会議 13 件)

ポスター国際

1. Arakane, S., M. Satoh and W. Yanase, Numerical study on the rapid development of the deep convection to the north of Typhoon Bebinca, University Allied Workshop, Korea, 2009.6.
2. Kubokawa, H., M. Fujiwara, T. Nasuno, and M. Satoh, 2009: Analysis of the tropical tropopause laer using the Nonhydrostatic ICosahedral Atmospheric Model (NICAM). IGAC-SPARC Joint Workshop, Kyoto, 2009/10/25-26.
3. K. Mori and H. Tanaka: Weekly forecast experiments of NICAM; Using the global gaussian analysis data for vertical levels of eta of the JMA, Fourth Japan-China-Korea Joint Conference on Meteorology, Tsukuba, Japan, 8-10 November 2009
4. K. Kondo and H. L. Tanaka: Applying a local ensemble transform kalman filter to the

nonhydrostatic icosahedral atmospheric model (NICAM), Fourth Japan-China-Korea Joint Conference on Meteorology, Tsukuba, Japan, 8-10 November 2009

5. K. Kato, Y. Shimo and H. L. Tanaka: Numerical simulation of blocking using NICAM installed at CCS, Univeristy of Tsukuba, Fourth Japan-China-Korea Joint Conference on Meteorology, Tsukuba, Japan, 8-10 November 2009
6. S. Takahashi and H. Tanaka: Dynamics and statistics of arctic cyclones compared with tropical and extra-tropical cyclones, Fourth Japan-China-Korea Joint Conference on Meteorology, Tsukuba, Japan, 8-10 November 2009
7. F. Fujiwara and H. L. Tanaka: Interaction between the baroclinically unstable wave and the subtropical and polar-frontal jets, Fourth Japan-China-Korea Joint Conference on Meteorology, Tsukuba, Japan, 8-10 November 2009
8. S. Kato and H. L. Tanaka: Predictability of the arctic oscillation index using a barotropic general circulation model, Fourth Japan-China-Korea Joint Conference on Meteorology, Tsukuba, Japan, 8-10 November 2009
9. M. Ohashi and H. L. Tanaka: Data analysis of arctic oscillation simulated by global warming prediction models, Fourth Japan-China-Korea Joint Conference on Meteorology, Tsukuba, Japan, 8-10 November 2009
10. K. Terasaki and H. Tanaka: The differences in energy spectrum of NICAM by different horizontal resolutions, Fourth Japan-China-Korea Joint Conference on Meteorology, Tsukuba, Japan, 8-10 November 2009
11. Y. Shimo, T. Aizawa and H. Tanaka: Numerical simulation of tropical cyclones using NICAM installed at CCS, University of Tsukuba, Fourth Japan-China-Korea Joint Conference on Meteorology, Tsukuba, Japan, 8-10 November 2009
12. Bessho, K., T. Nakazawa, and M. Weissmann: Dropsonde operation of Falcon in T-PARC and the analysis of surrounding environment of typhoons. 3rd THORPEX International Science Symposium, 2009.
13. Yamashita, K., Y. Ohta, T. Komori, K. Sato, and T. Nakazawa: Observing system experiments using the operational NWP system of JMA with special observations targeted for Typhoon Sinlaku and Jangmi. 3rd THORPEX International Science Symposium. 2009.

ポスター国内

1. 柳瀬亘(東京大学・海洋研究所),山田広幸,佐藤正樹,野田暁: 台風 Fengshen(2008)の発生過程のシミュレーション. 日本気象学会春季大会, つくば, 2009 年 5 月 28 日-31 日
2. 宮川 知己・高藪 縁・那須野 智江・三浦 裕亮, 2009: NICAM の MJO(2006 年 12 月)事例におけるレインバンドの走行分布およびレインバンドに伴う運動量輸送の解析. 日本気象学会 2009 年春季大会, つくば, 2009/5/28-31.
3. 谷口 博・佐藤正樹・三浦裕亮・那須野智江・大内和良・野田 暁・伊賀晋一・富田浩文・山田洋平・柳瀬 亘: 全球雲解像大気モデルの熱帯気象予測への実利用化に関する研究(2009/11/12, JST-CREST「マルチスケール・マルチフィジックス現象の統合シミュレーション」研究領域 平成 21 年度シンポジウム, 東洋大学, 東京)

【2010 年】

① 招待講演 (国内会議 5 件、国際会議 13 件)

招待講演国際

1. Satoh, M. and Oouchi, K. (2011) Global cloud resolving modeling. THE MICHIO YANAI SYMPOSIUM, 91st AMS Annual Meeting, Seattle, WA, 23-27 January 2011.
2. Satoh, M. (2010) Climate study using a global cloud-resolving model. 7th Japanese-German Frontiers of Science Symposium, Potsdam, Nov. 11-14, 2010.
3. Satoh, M. (2010) Global cloud-resolving model development. 26th SESSION OF THE CAS/JSC WORKING GROUP ON NUMERICAL EXPERIMENTATION (WGNE-26), Tokyo, Japan, 18-22 October 2010.

4. Satoh, M. (2010). Evaluations of cloud properties of the global cloud-resolving simulations and cloud microphysics. The Third International Workshop on Next-Generation NWP Models : Bridging parameterization, explicit clouds and large eddies. Jeju Island, South Korea. 29 August - 1 September 2010.
5. Satoh, M. & T. Nasuno, K. Oouchi, H. Taniguchi, H. Tomita, S. Iga, A. T. Noda, Y. Yamada, C. Kodama, H. Miura, W. Yanase, H. Yamada, H. Fudeyasu (2010) Global nonhydorstatic model simulations of Typhoon 0806 Fengshen by NICAM. Western Pacific Geophysics Meeting June 22-25, 2010, Taipei, Taiwan.
6. Nakajima, T., 2010: Aerosol, Cloud, and Radiation. *Invited lecture, International Seminar on Climate System and Climate Change (ISCS)*, China Meteorological Administration, Beijing, 26-30 July 2010.
7. Nakajima, T., E. Oikawa, D. Goto, and K. Suzuki, 2010: A discussion on the aerosol direct and indirect forcings on the earth's climate system. Asian Pacific Radiation Symposium, Invited plenary talk, 27 August 2010, Seoul, Korea.
8. Nasuno, T., 2010: MJO simulations/hindcasts with NICAM. Monsoon Intraseasonal Variability Modelling Workshop 2010, Busan, Korea, 2010/6/15-18.
9. Tomita, H.(JAMSTEC) : Future activities of high performance computing in meteorology using the K-computer, 14th Workshop on the Use of High Performance Computing in Meteorology, Reading, 1-5 Nov. 2010
10. Tomita, H.(JAMSTEC): Non-hydrostatic modelling with NICAM, ECMWF Workshop on non-hydrostatic modelling , Reading, 8-10 Nov. 2010
11. Nakazawa, T. and M. Matsueda, 2010: Predictability of high-impact weathers using TIGGE ensemble data. Third THORPEX Asian Science Workshop, June 4, Jeju, South Korea
12. Miura, H., T. Inoue, and M. Satoh: A global cloud-system-resolving simulation and its validation by satellite data sets, Western Pacific Geophysical Meeting, Taipei, Taiwan, 2010-06-23
13. Miura, H.: Cloud-resolving modeling and its potential for climate study, Korea-Japan Joint Workshop on Climate System Modeling, Ansan, Korea, 2010-09-27.

招待講演国内

1. Satoh, M. & NICAM developing team (2010), NICAM によるアジアモンスーン域シミュレーション, アジアモンスーンサイエンス WS, JAMSTEC 東京事務所, Aug 19-20, 2010.
2. Satoh, M. 全球雲解像モデルによる気候研究 - 雲微物理過程と気候感度の観点から-. 第4回「地文台によるサイエンス」シンポジウム ～ 極限エネルギー宇宙物理から地球科学まで ～. 2010 年 1 月 25-26 日, 東京大学柏キャンパス, 宇宙線研究所.
3. 筆保弘徳(横浜国立大学): 台風研究最前線, 日本気象予報士会, 横浜, 10/16, 2010
4. 筆保弘徳(横浜国立大学): Multi-scale interactions on the lifecycle of tropical cyclone simulated by Global Cloud-System-Resolving Model, 米軍, 横須賀, 9/10, 2010.
5. ＊谷口 博 (RIGC/JAMSTEC), 柳瀬 亘 (AORI/U.TOKYO), 佐藤正樹 (AORI/U.TOKYO), 全球非静力学モデルによるサイクロン/台風発生の初期値アンサンブル実験, 春季日本気象学会, 東京/国立オリンピック記念青少年総合センター, 2010/05/23

② 口頭発表 （国内会議 8 件、国際会議 22 件）

口頭発表国際

1. Satoh, M. (2011) Overview of simulations and development of NICAM. The 13th International Specialist Meeting on the Next Generation Models of Climate Change and Sustainability for advanced high performance computing facilities. Hawaii, US, 28-30 March 2011.

2. Satoh, M. & NICAM developing team (2010) Recent progress of the Nonhydrostatic Icosahedral Atmospheric Model, NICAM. Western Pacific Geophysics Meeting June 22-25, 2010, Taipei, Taiwan.
3. Satoh, M. & NICAM developing team (2010), Analysis and sensitivity studies of the NICAM simulations: clouds and precipitation, tropical cyclones, and vertical momentum transport. Workshop on High-Resolution Global Modeling. FortCollins, COLORADO, USA. June 15-17, 2010.
4. Nakajima, T., 2010: The role of the satellite observation for climate change issues. *International Academy of Astronautics 50th Anniversary Celebration Symposium on Climate Change / Green Systems*, oral talk, 30 August 2010, Nagoya, Japan.
5. Nakajima, T., K. Suzuki, T. Y. Nakajima, M. Mukai, E. Oikawa, and D. Goto, 2010: A consideration on the relative strengths of aerosol direct and indirect forcings on the earth's climate system. Oral talk, Joint Session between the AMS 13th Conference on Cloud Physics and the 13th Conference on Atmospheric Radiation. 28 June-2 July 2010, Portland, USA.
6. Tatsuya Seiki, Masaki Satoh, and Teruyuki Nakajima, Sensitivity experiments of the optical properties of convective systems using a double moment cloud microphysics scheme, Workshop on High-Resolution Global Modeling, Fort Collins, Cololado, USA, 15-17 June
7. Tatsuya Seiki, Masaki Satoh, and Teruyuki Nakajima, Representation of the cloud optical properties of a convective system using a double moment cloud microphysics scheme, The 13th Conference on Atmospheric Radiation, Portland, Oregon, USA, 28 June – 2 July
8. Tatsuya Seiki, Representation of the cloud optical properties in a convective system by using a double moment cloud microphysics scheme, First International Workshop on Nonhydrostatic Numerical Models, Kyoto, Japan, 29 September – 1 October
9. Noda, A. T. (JAMSTEC), Recent progresses of the NICAM research, The eighth CMMAP team meeting, The Scripps Forum, San Diego, CA, U.S.A., 12-14 Jan 2010
10. Noda, A. T. (JAMSTEC), Turbulent mixing processes around the top of the boundary-layer stratocumulus cloud in large-eddy simulations, The first international workshop on nonhydrostatic modeling, Kyoto University, Kyoto, 30 Sep-1 Oct 2010
11. Shin-ichi Iga (JAMSTEC), Tropically or locally fine triangular grids on a sphere based on conformal projections, PDEs on the sphere, Potsdam, German, 2010.8.24-27
12. Hironori Fudeyasu, Yuqing Wang(IPRC/ハワイ大学), M. Satoh, T. Nasuno, H. Miura, and W. Yanase, Multiscale interactions in the formation of a Tropical Cyclone simulated in a global cloud-system-resolving model, 29th Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology, Tucson, AZ, 5/10-14, 2010.
13. Tomita, H.(JAMSTEC): Alteration of vertical grid in NICAM towards the super-high resolution simulations, The 2010 Workshop on the Solution of Partial Differential Equations on the Sphere, Potsdam, 24-27 Aug. 2010
14. Tomita, H.(JAMSTEC) : High resolution activities with NICAM : Overview, The 1st Athena project workshop, Reading, 7-8 June, 2010
15. Tomita, H.(JAMSTEC), Masaki Satoh, Tomoe Nasuno, Shin-ichi Iga, Akira T. Noda, Hiroshi Taniguchi, Hiroaki Miura, Kazuyoshi Oouchi, Chihiro Kodama, Yohei Yamada , Tatsuya Seiki: Overview of Recent Activities by NICAM Working Team, First International Workshop on Nonhydrostatic Numerical Models, Kyoto, 29 Sep.-1 Oct. 2010
16. Tomita, H. : Future research plans by NICAM using high performance computing, The 12th international specialist meeting on the next generation models on climate change and sustainability for advanced high performance computing facilities, Tsukuba, 24-26 March, 2010
17. Nakazawa, T., 2010: How does the global ensemble forecast data detect high-impact weather events? Second Winter T-PARC Workshop, May 7, Boulder, U. S. A.
18. Nakazawa, T., 2010: Lessons from T-PARC. Eighth GIFS TIGGE Working Group meeting, February 22, Geneva, Switzerland

19. Nakazawa, T., 2010: NW Pacific TC experiment. Eighth GIFS TIGGE Working Group meeting, February 22, Geneva, Switzerland
20. Miura, H.: Application of the spherical geodesic grid to a climate model, Workshop on High-Resolution Global Modeling, Fort Collins, USA, 2010-06-15
21. Miura, H., and M. Satoh: Global cloud-system-resolving simulations of an eastward propagation and a spontaneous onset of the Madden-Julian oscillation, Western Pacific Geophysical Meeting, Taipei, Taiwan, 2010-06-23
22. * Taniguchi, H. (JAMSTEC/RIGC), W. Yanase (AORI/U.TOKYO), and M. Satoh (AORI/U.TOKYO): Ensemble simulation of cyclone Nargis by a Global Cloud-system-resolving Model -- modulation of cyclogenesis by the Madden-Julian Oscillation, AMS 29th Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology, Tucson, Arizona, USA, 2010/05/11

口頭発表国内

1. 佐藤正樹，伊賀晋一，富田浩文，對馬洋子, 2010: NICAM で予想された温暖化に伴う上層雲の変化，日本気象学会 2010 年秋季大会 2010 年 10 月 28 日，京都テルサ.
2. 野田暁（JAMSTEC）全球雲解像実験による熱帯域降水の日変動特性，第 2 回熱帯気象研究会, 2010 年 9 月 21 日−22 日，香川大学，香川県
3. 那須野 智江・谷口 博・佐藤 正樹・山田 広幸・柳瀬 亘，2010: 全球非静力学モデルを用いた台風 0806 号(Fengshen)再現実験．日本気象学会 2010 年春季大会，東京, 2010/5/23−26.
4. 那須野 智江・谷口 博・佐藤 正樹・大内 和良・富田 浩文・伊賀 晋一・野田 暁・山田 洋平・小玉 知央・山田 広幸・柳瀬 亘，2010: 全球非静力学モデルを用いた台風 0806 号(Fengshen)再現実験 第2報．日本気象学会 2010 年秋季大会，京都, 2010/10/27−29.
5. 那須野 智江, 2010: 全球非静力学モデルにおける熱帯のメソ擾乱．メソ気象研究会，京都, 2010/10/26.
6. 筆保 弘徳・Wang Yuqing・佐藤 正樹・那須野 智江・三浦 裕亮・柳瀬 亘: 台風発生をもたらすシステムスケール発達プロセス．日本気象学会 2010 年秋季大会，京都, 2010/10/27−29.
7. 宮川 知己・高藪 縁・那須野 智江・三浦 裕亮・佐藤 正樹，2010: 全球雲解像モデル NICAM による 2006 年 MJO 事例再現実験における レインバンドに伴う運動量輸送効果．日本気象学会 2010 年春季大会，東京, 2010/10/23−26.
8. 伊賀晋一(1)・吉崎正憲(1)・佐藤正樹(1,2)・那須野智江(1)・富田浩文(1)・安永数明(1), 1)海洋研究開発機構，2)東大大気海洋研究所，NICAM 新コードを用いた全球水惑星実験，日本気象学会春季大会，東京, 2010.5.23−26

③ ポスター発表　　（国内会議 3 件、国際会議 2 件）

ポスター国際

1. Noda, A. T. (JAMSTEC), Application of COSP to global cloud-resolving simulations, International meeting on GEWEX Cloud Assessment, Max-Planck Gesellschaft, Berlin, Germany, 22-25 June 2010
2. Yanase, W. (Atmosphere Ocean Research Institute, The University of Tokyo), Seasonal and intraseasonal modulations of environmental field for tropical cyclogenesis over the Bay of Bengal, 29th Conference on Hurricanse and Tropical Meteorology (Tucson, 2010.5.10-5.14)

ポスター国内

1. 宮川 知己・高藪 縁・那須野 智江・三浦 裕亮・佐藤 正樹，2010: 全球雲解像モデル NICAM による 2006 年 MJO 事例再現実験における レインバンドに伴う運動量輸送効果 Part2: 輸送タイプ別の寄与．日本気象学会 2010 年秋季大会，京都，

2010/10/27-29.

2. 藤田 実季子・米山 邦夫・森 修一・那須野 智江・佐藤 正樹, 2010: 異なるMJOフェーズにおけるスマトラ島請願の対流活動日変化. 日本気象学会 2010 年秋季大会, 京都, 2010/10/27-29.
3. 伊賀 晋一 (海洋研究開発機構), 熱帯または局所領域で細かいストレッチ型全球三角格子, 日本気象学会春季大会, 東京, 2010.5.23-26

(4)知財出願

①国内出願 (0 件)

②海外出願 (0 件)

③その他の知的財産権

なし

(5)受賞・報道等

【2005 年】

①受賞

平成 17 年度日本流体力学会竜門賞:海洋研究開発機構 富田浩文研究員

②マスコミ(新聞・TV等)報道

中島映至、2006: 論点「異常気象の予測 精度向上へ多分野連携」、読売新聞、2006 年 2 月 1 日朝刊

③その他

解説記事 1 件:

- 佐藤正樹「全球雲解像モデル時代の気候研究」パリティ, 2006 年 1 月号, 21, 56-57.

【2006 年】

①受賞

平成 19 年度日本気象学会学会賞: 東京大学気候システム研究センター 佐藤正樹、海洋研究開発機構 富田浩文研究員. (通知 2007 年 3 月 12 日)

②マスコミ(新聞・TV等)報道

Science 2006.8.25 "Sharpening up models for a better view of the atmosphere" (Science, vol. 313, no. 5790, p.1040, doi:10.1126/science.313.5790.1040)

ラジオ日本「中本賢のヨコハマガサガサ探検隊」 2006.5.11, 9:00～11:30 うち、9:20-9:30 の「神奈川ワールド」のコーナー

読売新聞 2006.5.4 「雲の動き町単位で再現 温暖化予測精度アップ期待」

③その他

第 20 回数値流体力学シンポジウムにおいてセッション「環境・大気の流れ」のオーガナイザーをつとめる(2006 年 12 月 17-18 日、名古屋大学)

第56回理論応用力学講演会においてパネルディスカッション「台風の発生過程および数値シミュレーション」のモデレータをつとめる(2006 年 3 月 8 日、乃木坂、日本学術会議)。

【2007 年】

①受賞

日本気象学会賞: 佐藤正樹サブリーダー、富田浩文研究員 2007 年 5 月 14 日

「準一様格子を用いた全球雲解像大気モデルの開発とそれによる熱帯対流雲集団のシミュレーション」

猿橋賞: 高藪縁教授 2007 年 5 月 26 日

「熱帯における雲分布の力学に関する観測的研究」

②マスコミ(新聞・TV等)報道

・ 2007.12.14 時事通信

巨大積乱雲群の移動予測が可能に －季節予報精度向上に期待－ 海洋機構など
- 2007.12.14 日刊工業新聞 22 面
  雲の生成・消滅モデル構築 －熱帯の積乱雲を再現－ 海洋機構
- 2007.12.14 毎日新聞 朝刊 29 面
  熱帯の積乱雲群れ再現 －台風・エルニーニョと関係－ 海洋研究開発機構
- 2007.12.14 BERLINER ZEITUNG
  Genauere Wetterprognosen fur die Tropen
- 2007.12.14 赤旗新聞 14 面
  赤道域に発生する雲の動きを再現
- 2007.12.15 日本農業新聞 11 面
  雲の動きで気象予測 －海洋研と東大 大気海洋現象を再現－
- 2007.12.16 毎日新聞 朝刊 23 面
  巨大な雲集団活動状況を再現 －長期天気予報の精度向上へ－
- 2007.12.14 日本経済新聞 夕刊 20 面
  巨大積乱雲群の移動予測可能に －海洋機構・東大がモデル開発－
- 2007.12.17 日本海事新聞 5面
  熱帯の雲の動きを詳細に再現－週間・季節予報、精度向上へ－
- 2007.12.27 読売新聞 夕刊 2面
  赤道の雲の移動再現 －海洋機構など 台風・豪雪予報に朗報－
- 2008.1.1 科学新聞 7 面（JAMSTEC 特集）
  地球解明へ －未来を開く海洋研究－

【2008 年】

①受賞

＊三浦裕亮：日本気象学会「山本・正野論文賞」対象論文：Miura,H., Satoh, M., Nasuno, T., Noda, A.T., Oouchi, K. (2007) A Madden–Julian Oscillation event simulated by a global cloud–resolving model. Science, 318, 1763–1765.

＊AGU Journal Highlight: “The life cycles of two real tropical cyclones successfully predicted with a global model that resolves cloud systems”, 2008 年 12 月 9 日.

②マスコミ（新聞・TV等）報道

2008 年 5 月 12 日 読売新聞朝刊「温暖化予測のカギ 雲の動きをつかめ」

2008 年 5 月 14 日：Nature News ″They say they want a revolution″, 14 May 2008, Nature, doi:10.1038/453268a（写真が掲載）。

2009 年 1 月1日： 日本経済新聞朝刊「環境技術で温暖化阻止 気候の変動正確に予測」

2009 年 1 月 6 日 毎日新聞朝刊 「台風：発生・進路・降雨、2週間前に予測 海洋機構が成功」

2008 年 5 月 27 日： テレビ朝日ニュースステーション出演

2008 年 5 月 20 日： テレビ朝日スーパーJ チャンネル出演

③その他

気象集誌特別号の発行 Journal of the Meteorological Society of Japan, ″Special issue on the international workshop on high–resolution and cloud modeling, 2006″. Volume 86A, 2008, pp.236, editted by M.Satoh and B.Stevens (Co–Chief–editor).

（一般向け講演）

東京大学気候システム研究センター一般公開講座 2008「気候を決める千両役者 雲」にて講演。テーマ「雲と気候－スーパーコンピュータで謎を解く―」 2008 年 11 月 25 日。

那須野 智江, 2008: 次世代の全球モデルが再現する雲の形成と変化, 独立行政法人海洋研究開発機構「地球環境シリーズ」講演会 地球環境研究の最前線, 国連大学, 東京, 2008/8/4.

(CREST12 シンポジウムでパネルを出展)
佐藤 正樹, 2008: 全球雲解像数値シミュレーション, JST シンポジウム「CREST12 科学技術イノベーションを目指すCRESTの挑戦」, 国際フォーラム, 東京, 2008/5/27.

(アウトリーチ関連)
對馬洋子 「ー科学者に聞くー地球温暖化って何」中学校向け「総合的な学習の時間」の教材 DVD 作成。財団法人日本科学映像協会。

(セミナー)
Satoh, M., NICAM: Global cloud-resolving simulations, physics and numerical issues. DWD, Offenbach, Germany, 11 Aug. 2008.

Satoh, M, NICAM: Global cloud-resolving simulations, physics and numerical issues. Max Plank Institute for Meteorology, Hamburg, Germany, 17 Sep. 2008.

【2009 年】
①受賞
＊ 柳瀬亘: 2009 年度山本正野論文賞（日本気象学会による若手研究者対象の論文賞）
対象論文: Yanase, W and H. Niino (2007): Dependence of the polar low development on baroclinicity and physical processes: An idealized high-resolution numerical experiment, J. Atmos. Sci., 64, 3044-3067.

The Atmospheric Science Librarians International (ASLI) has awarded its "2009 ASLI Choice" to the following Strungmann Forum Report "for its quality, authoritativeness and comprehensive coverage of new and important aspects for cloud research": Clouds in the Perturbed Climate System: Their Relationship to Energy Balance, Atmospheric Dynamics, and Precipitation. 2009. Strungmann Forum Report, volume 2, edited by Jost Heintzenberg and Robert J. Charlson. Cambridge, MA: MIT Press. ISBN-10: 0-262-01287-1.

②マスコミ(新聞・TV等)報道
③その他
2009 年 8 月 21 日: テレビ朝日スーパーJ チャンネル出演。2009 年の台風の傾向について解説(佐藤正樹)

【2010 年】
①受賞
②マスコミ(新聞・TV等)報道
プレス発表2010年4月22日「雲の組織化を直接計算できる数値モデルを用いた温暖化想定実験で熱帯低気圧の変化予測に大きな一歩」
日経産業新聞 2010 年 4 月 23 日掲載
日経新聞夕刊 2010 年 4 月 23 日掲載
読売新聞夕刊 2010 年 4 月 28 日掲載
読売新聞 2010 年 9 月 12 日掲載

「台風に観測しやすいツボある？」(日本経済新聞 H22.10.10 朝刊)
③その他

Nature Research Highlight 2010 年 4 月 22 日に成果論文が紹介される。Yamada et al.(2010) “Projection of changes in tropical cyclone activity and cloud height due to greenhouse warming: Global cloud system resolving approach”, Geophys. Res. Lett., 37, L07709, doi:10.1029/2010GL042518.

(6)成果展開事例

①実用化に向けての展開

なし

② 社会還元的な展開活動

- 本研究成果をインターネット(URL; http://www.nicam.jp)で公開し、一般に情報提供している。
- 全球雲解像モデルによるシミュレーション結果が高校生の教科書へ掲載される。
- 発展途上国を含む諸外国(ケニア、インド、中国、アメリカの複数の研究者)に対し、得られた成果全球雲解像モデル実験結果を提供した。
- 全球雲解像モデルのソースコードを、国内外(アメリカ、中国等)の複数の研究者に提供して、共同での開発体制を構築している。特に、専門的な知識がない人でも利用可能にするための、tutorial パッケージの整備をおこなった。
- 熱帯気象予測に関して全球雲解像モデルが有効であることを、事例実験を通じて示すことができた。今後はより普遍的な結果を示すべく、より多数、長期の実験に取り組むことが必要である。この目的のために、全球雲解像モデル研究は、次世代スーパーコンピュータの防災・減災のための戦略拠点の中心的なテーマとして採択されている。この枠組みの中で、気象庁との連携を強化し、将来全球雲解像モデルを予報モデルとして利用可能性について調査を開始した。
- 全球雲解像モデルの有用性が示されたことにより、諸外国でも同様なモデルの開発計画がスタートした。特に、多国間国際研究協力事業(G8 Research Councils Initiative)「地球規模課題のためのエクサスケール・コンピューティングを目標とした応用ソフトによる学際的プログラム」にドイツ、イギリス、フランスと共同でプロジェクト ICOMEX を提案した(1次審査を通過し、最終審査の結果待ち:2010 年 10 月現在)。

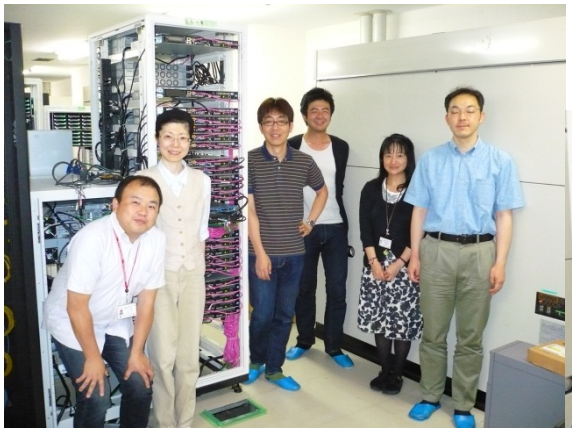
§6 研究期間中の主な活動 (ワークショップ・シンポジウム等)

年月日	名称	場所	参加人数	概要
2008 年 9 月 17 日	第3回 NICAM 共同研究集会	FRCGC, 新杉田	33 名	NICAM 共同研究集会
2008 年 11 月 21 日	日本気象学会秋季大会においてスペシャルセッション「ミャンマーサイクロン」	仙台	60 名	スペシャルセッション「ミャンマーサイクロン」のコンビーナーを務める。
2008 年 12 月 2 日 −12 月 4 日	The third Workshop on High-resolution and Cloud Modeling: Tropical Cyclone and Climate	Honolulu	50 名	左記ワークショップを主催
2008 年 12 月 5 日	JAMSTEC-IPRC meeting. IPRC, Hawaii, 「MJO(2006 年 12 月)とマレーシア豪雨に関する研究会」	Hawaii	20 名	左記研究会を主催
2009 年 1 月 9 日	第4回 NICAM 共同研究集会	FRCGC, 新杉田	30 名	NICAM 共同研究集会
2009 年 3 月 24 日	第5回 NICAM 共同研究集会	FRCGC, 新杉田	30 名	NICAM 共同研究集会

§7 結び

当初設定した研究の目標に対して、十分満足する達成度が得られたと考える。研究開始以前は、全球雲解像モデルが実際の熱帯気象予測に関して、どの程度のパフォーマンスを示すか未知数であったが、数値実験によってその有用性が十分に示すことができたと考える。特に、本研究を通じて、全球雲解像モデル NICAM を実際に使って研究することのできる若手研究者を育成してきた。今後の研究の展開において、本研究に関与した研究者がコアメンバーとなって寄与していくであろう。

全球雲解像モデルに関わる研究テーマは、多岐にわたるが、本研究では現実的に利用できる計算資源を考えて、具体的に到達可能な研究目標を設定した。この目標の設定は、妥当なものであったと考える。たとえば、専門的知識がない外部研究者から、全球大気海洋非静力モデルの開発を要求されるようなことがあったが、現有の計算資源のもとでは、それができたとしても具体的な成果を示すことは困難である。そこで、本研究では、具体的な成果がでる研究テーマへ、資源の集中に努めた。チームリーダーとしては、本 CREST だけでなく、さまざまな機会・プロジェクトを通じて、全球雲解像モデル研究を推進しており、本 CREST の研究とコーディネートすることが重要であると考えた。たとえば、長期の気候予測の可能性を探る研究は、平成 19 年度からスタートした 21 世紀気候変動革新プログラムにおいて、大気海洋結合モデリングについては、今後の次世代スパコンや新たに募集されている CREST において提案をしている。その中で、本 CREST は全球雲解像モデリング研究の中心に位置付けられ、本研究の成果によって、現在みられるような発展が得られたものであるといえる。

本、戦略的創造研究推進事業に関して、多くの分野が関係する研究領域であるため、シンポジウム、評価等、運営に苦労がみられた。特に、アドバイザーや評価委員に、専門的知識を有する人がごく一部に限られ、専門外の研究者の方から理解に苦しむような意見をいただくことがあった。全体として、専門的な立場の方から集約していただいた時々の評価コメントは十分納得できるものであったが、このような他分野にまたがる研究プロジェクトの運営が難しいものであることが実感できた。本 CREST を通じて、各研究チームだけでなく、アドバイザーや評価委員あるいは本領域運営全体についてもまた、周囲の人々に評価されていることがよく理解される。評価委員からの一方的な意見の通知だけでなく、チームと評価委員との意見の交換（返答）ができるような方法を試みることが必要であろう。

最終年度に実施した、NICAM による準 realtime forecasting システムを前に撮影したスナップショットを添付する。