

平成 22 年 4 月 1 日現在

研究種目：若手研究（スタートアップ）

研究期間：2008 ～ 2009

課題番号：20840013

研究課題名（和文） 全球雲解像モデルによる降水日変化の研究

研究課題名（英文）

Diurnal cycle of precipitation simulated in global cloud resolving model

研究代表者

佐藤 友徳 (Tomonori Sato)

北海道大学・大学院地球環境科学研究院・特任助教

研究者番号：10512270

研究成果の概要（和文）：全球雲解像モデル NICAM による熱帯地域の降水日変化について TRMM による衛星観測データと比較を行った。その結果、従来の全球モデルに比べて日変化の位相や振幅が大幅に改善されることが示された。また、日変化の解像度依存性やメソスケール循環との関係について新たな知見が得られた。

研究成果の概要（英文）：Diurnal cycle of precipitation over tropics is investigated using a global cloud resolving model (NICAM). The NICAM well captured phase and amplitude of the diurnal cycle as it was observed by TRMM satellite. The simulation further provides other findings, such as resolution dependency of the diurnal cycle and relationship to the mesoscale circulations.

交付決定額

(金額単位：円)

|         | 直接経費      | 間接経費    | 合計        |
|---------|-----------|---------|-----------|
| 2008 年度 | 1,320,000 | 396,000 | 1,716,000 |
| 2009 年度 | 1,200,000 | 360,000 | 1,560,000 |
| 年度      |           |         |           |
| 年度      |           |         |           |
| 年度      |           |         |           |
| 総計      | 2,520,000 | 756,000 | 3,276,000 |

研究分野：気象学・気候学

科研費の分科・細目：数物系科学・気象・海洋物理・陸水学

キーワード：雲解像モデル、日変化、熱帯、コールドプール、熱帯降雨観測衛星

## 1. 研究開始当初の背景

低緯度域における活発な対流活動は、全球規模の大気運動のエネルギー源であり、気候システムにおいて極めて重要な役割を果たしている。熱帯地域では強い太陽放射に伴い降水や対流活動が明瞭な日周期性を持っていることが知られている。そのうちの一部

はスコールとして一般的にも馴染みの深い気象現象である。1997年に日米の共同で熱帯降雨観測衛星(TRMM)が打ち上げられて以降、降水を宇宙から直接観測することが可能となり、観測データの蓄積と共に熱帯域の降水日変化の理解は飛躍的に進んだ。このような熱帯地域における降水の日周期性は、観測

事実としての現象の理解という面では非常に大きな進歩があったものの、それを駆動するメカニズムやモデルによる再現にはまだ幾つかの課題が残っている。例えば、地球温暖化などの予測に用いられる GCM は、日周期で発達・衰退するような降水系を積雲対流パラメタリゼーションという手法で扱うため、一般的に陸上降水が極大となる時刻が観測に比べて早めに現れることが指摘されている(Dai, 2006)。対流活動の日変化位相が観測と一致しないということは、雲と放射の相互作用により、地表面で受け取る太陽放射のエネルギー量がモデルで再現できないということの意味しており、気温などの物理量にモデル誤差を生じる原因となりうる。さらに熱帯で生じたバイアスは中高緯度の気候にも影響するという研究(Neale and Slingo, 2003)もあり、地球規模の気候を再現する上で、熱帯地域の降水日変化はカギとなる現象であるとも言える。このような問題は、国際的な研究プロジェクトにおいても主要なテーマの一つとして位置づけられている(Sperber and Yasunari, 2006)。降水の日変化を全球モデルで精度よく再現するためには、次の 3 つの手法が考えられる。(1)積雲対流パラメタリゼーションを用いる従来型 GCM の水平格子間隔を 20-30km 程度まで小さくする。(2)水平格子の粗い GCM の格子内に、理想化した 2 次元の雲解像モデルを埋め込み、積雲対流パラメタリゼーションの代わりに用いる(スーパーパラメタリゼーション)。(3)地球全体を数 km メッシュに分割し、積雲対流パラメタリゼーションを用いずに計算を行う。本研究は(3)の方法に従う。(1)はすでに国内の研究機関で実施され成果を挙げているが、積雲対流パラメタリゼーションに伴う誤差は除去されない。(2)はアメリカを中心に開発が行われており、これから日変化の研究が行われようとしているが、格子サイズ以下の現象を扱えないため、日変化の伝播プロセスなどを正しく再現できない可能性がある。

## 2. 研究の目的

本研究では、新たに開発された全球雲解像モデルを用いて、熱帯地域の降水日変化について熱帯降雨観測衛星と比較を行い、メカニズムの解明を行うとともに、気候モデルにおける再現性の向上に向けた提案を行う。

## 3. 研究の方法

地球シミュレータによって計算された、全球雲解像モデル NICAM の実験結果を解析するとともに、TRMM による観測データを使用した調和解析によって、観測・モデル両面から熱

帯地域の日変化を詳細に調べる。また、降水と関連する諸物理量についても同時に解析を行い、観測データとの比較を行う。大気モデルの空間解像度の違いによる日変化の再現性の違いを評価するために、NICAM の格子間隔は 3.5km, 7km, 14km の 3 種類とし、それぞれについて解析を行う。ただし、計算資源の関係から実験期間が若干異なるため、詳細な空間パターンについては、7km メッシュの結果を中心に解析を行う。TRMM の観測データは 3B42 を主に使用するが、より厳密に降水量を把握するために、3G68 も使用し、降雨レーダのみによる観測結果とも比較を行った。ただし、3G68 の場合は観測頻度が必然的に少なくなるため、長期間の平均値を用いて解析を行うことになる。

## 4. 研究成果

調和解析によって熱帯全域を対象とした陸上・海上のそれぞれについて降水の日周期の位相と振幅を求め、TRMM による観測データ(3B42, 3G68)と比較を行った。

降水が最大となる時刻は、NICAM で非常によく再現されている(図 1)。ただし、幾つかの内陸地域(例えばアマゾン川流域)では、モデルによる降水のピーク時刻は 3B42 と比較すると概ね良好であるが、降雨レーダのみによる 3G68 と比較するとモデルの降水は 3 時間ほどピーク時刻が遅いことが分かった。このことは、同じ降水プロダクトでも、ピーク時刻に大きな違いがあることを示しており、衛星アルゴリズムの改善の必要性を示唆している。モデルによる結果を精査すると、可降水量のピークが降水のピークに先行して現れ、雲頂温度のピークは降水に遅れて現れることが明瞭である。従って、3B42 の降水プロダクトは雲頂温度に過敏であることが示唆される。

熱帯全体を対象とした統計解析の結果、3.5km 格子間隔の実験では、陸上にみられる午後早い時間の極大を良く再現しているのに対し、格子間隔が粗くなるにつれて、日周期の位相が遅れ、振幅も過大になることを示した(図 2)。従って、7km メッシュ実験に比べて 3.5km メッシュの実験ではより 3G68 で表現された降水ピーク時刻に近づいている。このような、水平格子間隔と対流発達時間の関係は、メソスケールモデルを用いた数時間～1 日程度の実験では示されていたことであるが、1 ヶ月という長期間かつ熱帯全域にわたって示されたのは本研究が初めてであり、熱帯地域における日変化の振る舞いと、その再現性の特徴を極めて明確に示すことができた。さらに、このような解像度の違いによる日周期の遅れは、外洋では見られず、陸上

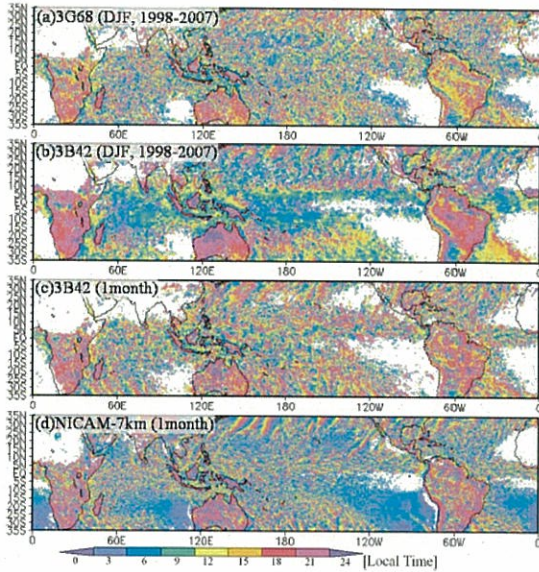


図 1：熱帯降雨観測衛星による観測データと雲解像モデルによる日変化位相の比較。(a) 3G68, 期間は 1998 年～2007 年の 12, 1, 2 月, (b) 3B42, 期間は 1998 年～2007 年の 12, 1, 2 月, (c) 3B42, 期間は 2006 年 12 月中旬から 2007 年 1 月上旬。(d) NICAM (7km メッシュ実験), 期間は (c) と同じ。色はそれぞれのグリッドで降水が極大となる現地時刻を表している。

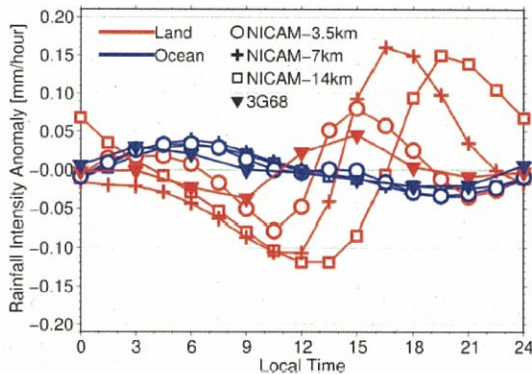


図 2：熱帯におけるエリア平均した降水の日変化。青線は海上のグリッド、赤線は陸上のグリッドを表す。三角印は 3G68 による観測データを、それ以外は NICAM による異なる水平格子間隔でのシミュレーションの結果を表す。

と海上で日変化のメカニズムが大きく異なることを示している。陸上の降水は日中の境界層の発達を通じて促進されるため、低解像度の実験では、境界層の表現が十分でなく、それによって降水ピーク時刻に違いが現れるものと考えられる。すなわち、低解像度の実験では、グリッドスケール全体での不安定を形成するために多くの時間を要し、高解像

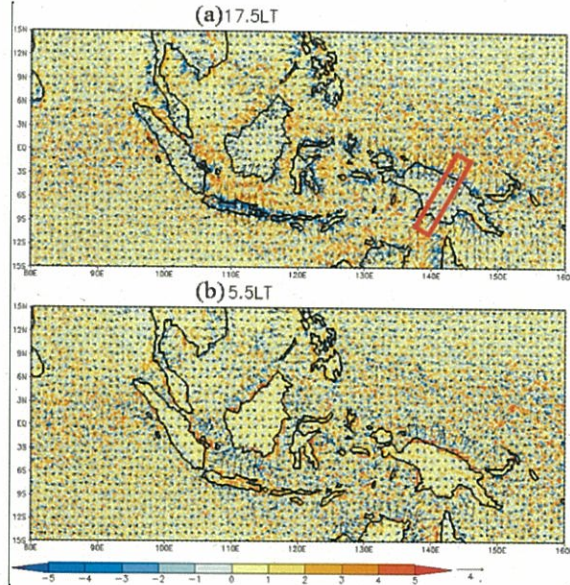


図 3：全球雲解像モデルによる下層風(ベクトル)と発散(カラー)。(a) 17.5 時, (b) 5.5 時。青色は収束を、赤色は発散を表す。

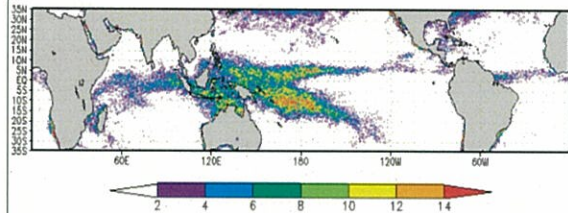


図 4：気温偏差から推定した熱帯域のコールドプール発生頻度。

度の実験では、比較的早い時間にグリッドスケールの不安定が生じる。このことは、降水発生の日時差を生じるだけでなく、降水の強度にも関係する。多くの時間をかけて形成された粗い格子での不安定は、ひとたび対流が発生すると過大な降水をもたらす傾向がある。逆に比較的小さなエネルギーで形成された不安定の結果、格子間隔の小さな実験で生じた降水は同じ面積で比較すれば相対的に降水が弱いことになる。

一方、海上での日変化に寄与している降水システムは、マッデン-ジュリアン振動のように大きな空間スケールを持っており、今回調べた 3.5km～14km というレンジにおいては感受性が低いものとする。その結果、海上の日変化位相はモデル格子間隔の影響が小さくなる。

本課題では、日変化についての物理的な特

徴を調べるため、アマゾンおよび海洋大陸において詳細な解析を行った。海洋大陸では、夕方に海風が極大となり、海上から島々へ向かう風が卓越する(図3)。その結果、下層風は海岸線の陸側で収束、海側で発散というパターンが明瞭に現れる。このようなパターンも観測データからは直接計ることが困難であるため、メソスケール循環を表現できる雲解像モデルを使う利点の一つである。反対に、朝方には陸風および内陸の湿潤対流によって生じたアウトフローによって、陸から海へ向かう循環が卓越する。その結果、内陸は弱い発散場、沿岸は明瞭な収束場となる。特にマラッカ海峡のように周囲を島で囲まれた地域は、強い収束場となる。このような大気下層の海陸風循環と湿潤対流に伴うメソスケール循環は、この地域における降水の日変化の特徴と非常によく整合している。すなわち、夕刻には収束場である陸上の海岸線付近、朝方に収束場となる沿岸および収束の強まるマラッカ海峡で、降水の日変化がピークを迎える。逆にこれらの時間帯に発散場となる場所では降水が極小を迎えていることが確認できる。ただし、朝方の陸から海へ向かう風の収束は海岸線からせいぜい数100kmまでしか形成されず、図2で示した海上全体を平均した特徴を説明しているとは考えにくい。従って、海上の降水の多くは雲と放射のバランスや大気温の日変化などに起因すると考えることができる。また、後に述べるコールドプールの発生も沿岸域の降水の日変化に深く関係していることが分かった。

本研究では気温の時間変化を利用して冷氣塊の形成を検出し、熱帯域のコールドプール形成場所と頻度を示すことに成功した(図4)。コールドプールは熱帯対流系の維持に重要な役割を果たしていると考えられているが、観測から広域的な分布を得ることは非常に難しく未だ詳細の把握には至っていない。全球雲解像モデルによる解析の結果は、ITCZやSPCZなど対流の活発な領域でコールドプールの発生頻度が高いことを示している。また海洋大陸周辺では、毎日ある特定の時刻にコールドプールが陸上から沿岸へ進出し、降水の日変化をもたらす要因となっていることを明瞭に示すことに成功した。

以上、本課題によって達成された熱帯地域の日変化に関する研究結果は、全球雲解像モデルを用いた研究としては世界で初めての結果であり、本課題により熱帯地域の日変化の詳細な振る舞いや、モデルの特徴に関して示唆に富む結果を得ることができた。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

Sato, T., H. Miura, M. Satoh, Y. N. Takayabu, and Y. Wang, 2009: Diurnal cycle of precipitation in the tropics simulated in a global cloud-resolving model. *J. Climate*, 22, 4809-4826.

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.

[学会発表] (計4件)

Sato, T., H. Miura, M. Satoh, Y. N. Takayabu, 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, DaNang, Vietnam

Sato, T., H. Miura, M. Satoh, Y. N. Takayabu, 2008: Diurnal cycle of precipitation in a global cloud-resolving model. AGU 2008 Fall Meeting, San Francisco

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

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.

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

出願年月日：

国内外の別：

○取得状況（計 0 件）

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年月日：

国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

佐藤 友徳（北海道大学大学院地球環境科学  
学研究院）

研究者番号：10512270

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：