

令和 元年 6 月 12 日現在

機関番号：13901
 研究種目：国際共同研究加速基金（国際共同研究強化）
 研究期間：2016～2018
 課題番号：15KK0157
 研究課題名（和文）衛星データシミュレータを用いた雲解像モデル検証手法の開拓（国際共同研究強化）

 研究課題名（英文）Exploring methods to evaluate cloud-resolving models using satellite data simulators(Fostering Joint International Research)

 研究代表者
 増永 浩彦（Masunaga, Hirohiko）

 名古屋大学・宇宙地球環境研究所・准教授

 研究者番号：00444422
 交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 10,300,000円
 渡航期間： 6ヶ月

研究成果の概要（和文）：地球大気の成り立ちにおいて放射と対流の相互作用が重要な役割を果たすことは知られているが、個々の対流雲システムの発達過程に根差したメカニズム解明には至っていない。本研究では、衛星データ解析をもとに熱帯対流のライフサイクルに伴う放射対流相互作用の実態に迫る。解析の結果、湿潤な大気環境下では深い対流の活発化に1-2日も先行して巻雲の雲量が増大し始め、大幅な長波（熱赤外）放射の抑制をもたらしていた。この結果を熱力学収支に基づく簡単な概念モデルを検討したところ、先行発生する巻雲による放射効果に対流圏下層の上昇流と協働することで、観測された通り2日程度の時間スケールで対流活発化が促されることを見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

熱帯は世界有数の多雨地域であるが、熱帯降水雲の発生発達メカニズムには未解明の点も多い。本研究は、熱帯における雨雲強化メカニズムのひとつとして、巻雲がもたらす温室効果が大気下層の湿潤化を促し激しい降水に至る可能性を衛星データ解析と簡単な理論的考察から示した。雲の温室効果と雲対流の相互作用は以前から研究されていたが、上記のプロセスが1-2日程度の短い時間で進行することを指摘した研究は他に類を見ず、新規性の高い発見である。地球温暖化予測などに使われる気候モデルでこのような短時間の放射・対流相互作用が再現されるのか、ひいては将来気候予測の信頼性にどの程度影響が及ぼすのか、今後の解明が待たれる。

研究成果の概要（英文）：Radiative-convective interactions, although known to be a critical physical element of the Earth's atmosphere, are not understood in the context of the development of individual convective systems. This work seeks evidence for convective-radiative interactions in satellite measurements, with focus on the variability over the life cycle of tropical convection. Cirrus cloud cover begins to increase, accompanied by a notable reduction of LW cooling, in moist atmospheres even 1-2 days before deep convection is invigorated. A possible mechanism to support this observational implication is discussed using a simple conceptual model. The model suggests that the preceding cirrus clouds could radiatively promote the moistening with the aid of the congestus-mode (or a vertical mode with a lower-tropospheric updraft) dynamics within a short period of time (about 2 days) as observed.

研究分野：気象学・気候学

キーワード：熱帯気象学 衛星地球観測

1. 研究開始当初の背景

温帯低気圧に代表されるように降水をもたらす総観規模の力学機構を大気が内在する中高緯度帯と異なり、熱帯の雨をもたらすメカニズムは複雑で統一的な理解が容易ではない。熱帯低気圧を別にすれば、熱帯降水システムの発生発達機構に総観大気力学の文脈で説明を与えることは現在でも難しい。中でもマッデンジュリアン振動 (MJO) は、数十年にわたり莫大な量の研究が行われながらその駆動伝播メカニズム理解に未だ最終的なコンセンサスが得られていない熱帯大気擾乱の好例といえる。熱帯が世界有数の多雨地域であることを鑑みると、熱帯降水システムのメカニズム理解の深化は喫緊の課題である。

熱帯降水システムの発生発達過程を大規模大気場 (気温・湿度・風景など) と結びつけて表現する理論体系の構築は、熱帯気象学の根本問題に答える学術的な意義は言うまでもなく、気候モデルに実装される積雲パラメタリゼーションの改良にも貢献が期待される急務である。研究代表者 (増永) は、自身のフィールドである衛星観測データ解析の立場から、気候モデルを軸に熱帯の雲と降水を研究する専門家との共同研究を模索していたところ、当該分野における世界的権威の一人であるフランス気象学研究所 (LMD) の Sandrine Bony 博士と出会い、研究上の関心事を深く共有していることを確認するに至った。そこで国際共同加速基金の支援のもと、Bony 博士と共同研究を実施するため通算 6 ヶ月の LMD (パリ) 研究滞在に至った。

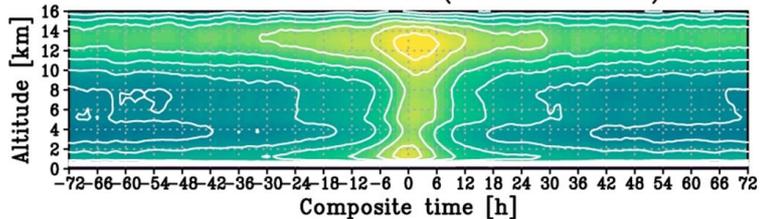
2. 研究の目的

本研究は、衛星データ解析および概念理論モデルを用いて熱帯湿潤対流の発達メカニズムを調査し、数値気象モデルや気候モデルの性能評価に資する観測的知見を提供することを目的とする。研究代表者自身による既存の衛星データ解析手法を発展させ、熱帯降雨観測衛星 (TRMM) 衛星および CloudSat 衛星や CALIPSO 衛星などに搭載された先進的な観測装置を活用し、降水強化に伴う雲鉛直構造や気温・湿度プロファイルの変動を捉え、とくに高層雲 (巻雲) の放射効果に着目した対流発達の実態を明らかにする。

3. 研究の方法

CloudSat 衛星や CALIPSO 衛星は A-Train 衛星群を構成し、地方時一時半に上空を通過する太陽同期衛星である。一方、TRMM 衛星は観測地方時が刻一刻と変化する太陽非同期衛星である。研究代表者は先行研究 (Masunaga, *J. Atmos. Sci.*, **69**, 150-167, 2012) でこの軌道特性の違いを逆に利用し、TRMM 衛星が降水雲を検出した時刻をゼロ点として、両衛星の観測時差をもとに A-Train 衛星観測データを時間軸上に投影し、数時間から数日スケールのコンポジット時系列を作成する手法を考案した。本研究でもこの解析手法を踏襲し、雲の鉛直構造が降水発達の前後で示す時間進化を明らかにした。右図はその一例で、湿潤な (鉛直積算水蒸気量 CWV が 50mm 以上) 熱帯大気下で CloudSat・CALIPSO 衛星が捉えた雲量高度分布のコンポジット時系列を示したものである。

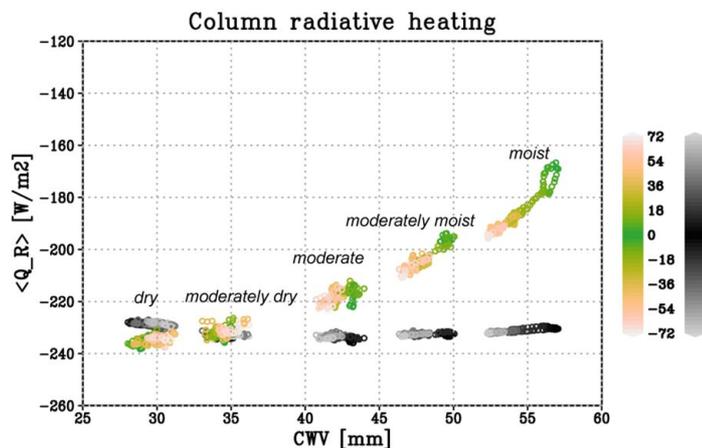
上層に広がる熱帯の巻雲と降水前後で急激に発達・減衰する深い対流雲を如実に捉えている。



4. 研究成果

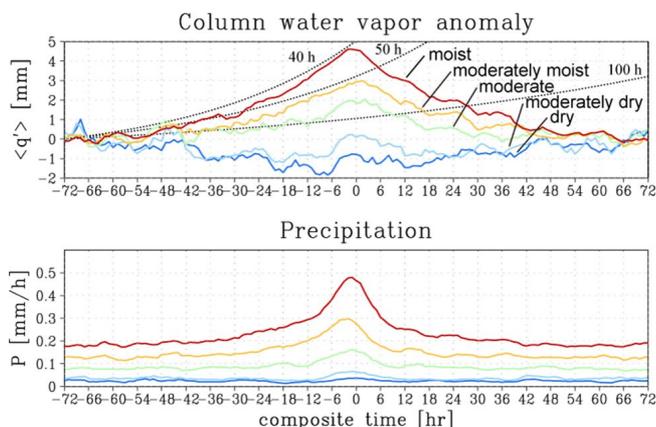
本研究は、前節で示した熱帯雲の時間進化を支配する物理的要因を探るに当たり、とくに巻雲の放射効果に着目した解析を行った。上図によれば、高度 13km 付近に広がる巻雲は深い対流からのデトレインメントが顕著となる降水発達後 (0 - 24h 程度) だけでなく、降水発生に先立つ 24 時間前から徐々に雲量が増加していることがわかる。対流に先行する巻雲がもたらす温室効果が対流発達メカニズムそのものに何らかの物理作用を及ぼし得るか検証する手がかりとして、コンポジット時系列の軌跡を CWV と鉛直積算放射加熱率の 2 次元平面上に投影した (右図)。各々の軌跡は大気の水蒸気環境の異なる 5 種類のコンポジット時系列について全天放射加熱率 (色階調) および晴天放射加熱率 (モノクロ階調) をプロットしたもので

Descending (1:30am)



ある（本図では長波放射に注目する目的で午前 1:30 軌道のデータのみ使用している）。ここで放射加熱率データは CloudSat-CALIPSO 複合衛星プロダクトから取得した。全天放射加熱率は湿潤環境下ほど顕著に増大（すなわち冷却率が減少）する一方、晴天放射加熱率の CWV 依存性は弱い。全天放射加熱と晴天放射加熱の差は雲放射効果に相当することに留意すると、湿潤大気では巻雲による温室効果が強い様子がわかる。対象的に、もっとも乾燥した大気では全天加熱率が晴天加熱率をわずかながら下回る（すなわち雲放射効果は負の値を示す）。これは、乾燥大気では巻雲はほとんど発達せず、下層雲による長波冷却がもっぱら寄与していることに対応する。

巻雲による温室効果が深い対流雲の発達を促す可能性を検証するため、簡便な物理概念モデルを構築した。これは、研究代表者による先行研究 (Masunaga and Sumi, *J. Adv. Model. Earth Syst.*, **9**, doi:10.1002/2016MS000855, 2017) で提案されたモデルを簡略化したものであり、第一傾圧モードと第二傾圧モードの二鉛直モードを用いて熱帯大気の熱力学進化を近似的に表現することを意図したものである。この概念モデルでは、巻雲がもたらす放射加熱強制に対して大気中の上昇流が引き起こす湿潤化の時間スケールが解析的に導出される。理論モデルによれば、現実的なパラメータ設定に対し、放射加熱率と第二傾圧モード（下層の上昇流を伴ういわゆる浅い積雲モード）との協働により 2 日程度の時間スケールで湿潤化が起こることが期待される。



衛星データから明らかになされる水蒸気量 (CWV) 変化を右上図に示す。湿潤環境下（暖色系の曲線）では降水ピーク（右下図）に先立つ数日間で湿潤化傾向が見られ、水蒸気量の成長率は理論が予測する時間スケールである約 2 日と整合的であることが確認された。本研究で得られた知見は、熱帯大気の巻雲が深い対流の結果のみならず対流の発達を促す要因としても機能することを指摘した点で前例のないものである。研究成果の主要部は原著論文（次項）として発表された。

5. 主な発表論文等 (研究代表者は下線)

[雑誌論文](計 3 件)

Masunaga, H. and S. Bony, 2018: Radiative invigoration of tropical convection by preceding cirrus clouds. *J. Atmos. Sci.*, **75**, 1327-1342, doi:10.1175/JAS-D-17-0355.1 (査読有)

Mapes, B. E., E.-S. Chung, W. M. Hannah, H. Masunaga, A. J. Wimmers, and C. S. Velden, 2018: The meandering margin of the meteorological moist Tropics. *Geophys. Res. Lett.*, **45**, 1177-1184, doi:10.1002/2017GL076440 (査読有)

Kadoya, T. and H. Masunaga, 2018: New observational metrics of convective self-aggregation: Methodology and a case study. *J. Meteor. Soc. Japan*, **96**, 535-548, doi:10.2151/jmsj.2018-054 (査読有)

[学会発表](計 12 件)

H. Masunaga: "A Mechanism for the Maintenance of Sharp Tropical Margins." (Poster) American Geophysical Union Fall Meeting, ワシントン DC, 米国, 2018 年 12 月

H. Masunaga: "Roles of Convection in the Maintenance of Tropical Margins" 2018 UTCC PROES Workshop, , パリ, フランス, 2018 年 10 月

H. Masunaga: "A Mechanism for the Maintenance of Sharp Tropical Margins." Séminaire, Département de Géosciences - École normale supérieure, パリ, フランス, 2018 年 10 月

増永 浩彦: "A mechanism for the maintenance of sharp tropical margins" 熱帯気象研究会, 愛知県名古屋市, 2018 年 9 月

増永 浩彦: "Radiative Invigoration of Tropical Convection by Preceding Cirrus Clouds" 第 5 回マッデン・ジュリアン振動(MJO)研究会, 富山県富山市, 2018 年 8 月 (招待講演)

H. Masunaga: "Radiative Invigoration of Tropical Convection by Preceding Cirrus Clouds." 33rd Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology, フロリダ州ポ

ンテヴェドラビーチ, 米国, 2018年4月

H. Masunaga: "Radiative Invigoration of Tropical Convection by Preceding Cirrus Clouds" 熱帯気象研究会, 福岡県福岡市, 2018年3月

H. Masunaga: "Radiative Regulation of Tropical Convection by Preceding Cirrus Clouds." (Poster) American Geophysical Union Fall Meeting, ルイジアナ州ニューオリンズ, 米国, 2017年12月

H. Masunaga: "Radiative Regulation of Tropical Convection by Preceding Cirrus Clouds" *ATS/CIRA Colloquium, Colorado State University*, コロラド州フォートコリンズ, 米国, 2017年10月

H. Masunaga: "Radiative Regulation of Tropical Convection by Preceding Cirrus Clouds." *LMD Seminar, Université de Pierre et Marie Curie*, パリ, フランス, 2017年9月

H. Masunaga: "Radiative regulation of tropical convection as implied from satellite observations.", *Future of Cumulus Parametrization Workshop*, オランダ, デルフト, 2017年7月 (招待講演)

H. Masunaga: "A simple model of tropical convection with a moisture storage closure." *Meteorology Departmental Seminar, University of Reading*, レディング, 英国, 2017年5月

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://precip.hyarc.nagoya-u.ac.jp/index-j.html>

6. 研究組織

研究協力者

〔主たる渡航先の主たる海外共同研究者〕

研究協力者氏名: サンドリーヌ ボニー

ローマ字氏名: Sandrine Bony

所属研究機関名: フランス気象力学研究所 (LMD)

部局名:

職名: 主任研究員 (Directrice de Recherche)

〔その他の研究協力者〕

研究協力者氏名:

ローマ字氏名:

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。