

平成 30 年 6 月 13 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26287113

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

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

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) 12,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、衛星データシミュレータに代表される数値気象モデル性能評価の方法論として、プロセス指向の衛星データ解析手法を新規開発することを目的とする。CloudSat・Aqua・TRMM衛星など先進的な地球観測衛星を横断的に活用することにより、降水効率や積雲質量フラックスなど従来衛星観測から推定することが困難とされてきた気象学パラメータを推定することに成功した。本成果は、気候モデル積雲パラメタリゼーションの評価などに新たな可能性を拓く観測資料を与えるものである。

研究成果の概要(英文)：This study is aimed at developing novel process-oriented methods based on satellite data, as represented by satellite data simulators, in order to evaluate numerical weather models. The meteorological parameters such as the precipitation efficiency and cumulus mass flux, known traditionally to be difficult to estimate from satellite observations, are successfully retrieved from a combined use of cutting-edge Earth-observing satellites including CloudSat, Aqua, and TRMM. The findings would open a new pathway for the observational assessment of, for example, cumulus parameterizations implemented in climate models.

研究分野：気象学 気候学

キーワード：熱帯湿潤対流 衛星観測

1. 研究開始当初の背景

地球観測衛星に搭載される観測装置技術は日進月歩の発展を遂げている。例えば、熱帯降雨観測衛星 (TRMM) 搭載降水レーダならびに CloudSat 衛星搭載雲レーダなど雲や降水の内部構造を走査するセンサや、Aqua 衛星搭載赤外サウンダ (AIRS) など気温・湿度分布を高い鉛直分解能で計測する装置などに代表される。これらの技術的進歩が大気の3次元構造を衛星から子細に描出することを可能にした結果、衛星観測から雲物理過程や積雲力学などさまざまな物理過程 (プロセス) を導出する道が拓かれた。その応用研究の一つとして、衛星データシミュレータを始めプロセス指向の数値モデル検証の方法論の模索が始まった。

2. 研究の目的

本研究は、先進的な地球観測衛星を駆使し、降水効率や積雲フラックスなど衛星観測からは推定が従来難しかった気象パラメータを推定する解析手法を新規開発し、気候モデルが実装する積雲パラメタリゼーションなど数値モデルのプロセス指向検証に有用な観測資料を提供することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) まず降水効率を算出する解析にあたり、孤立積雲レジームと組織化システムレジームを各々定義した上で、それぞれについて統計的時系列上にコンポジットした衛星観測データをもちいる。さらに大規模場平均水蒸気収支を制約条件として、自由対流圏水蒸気収束、雲底水蒸気上昇流、自由対流圏降水効率 (FTPE) を導出する。本研究手法の詳細は Masunaga (2014) に述べる。

(2) 次に、衛星観測データから積雲質量フラックス推定する解析手法をについて述べる。まず CloudSat および MODIS 衛星データを用いて雲頂における雲塊の浮力を推定し

ておき (Luo et al., *Geophys. Res. Lett.*, **37**, L09804, doi:10.1029/2010GL042904, 2010) 雲内の鉛直速度鉛直分布を構築する。雲内の速度構造を衛星から直接知ることは現在の衛星観測技術では困難だが、本研究ではあらかじめ簡便な鉛直次元積雲モデルをもとにさまざまな雲内鉛直速度を構築し、その中から衛星観測による雲頂浮力と整合する解をベイズ推定の原理に従い選び出す方法をとった (Masunaga and Luo, 2016)。

4. 研究成果

(1) 組織化された対流システムが発達する際は、FTPE と雲底水蒸気上昇流がそろって強化され、それに伴い降水は主として自由対流圏収束を水蒸気源として増大する (図 1a)。一方孤立積雲レジームでは、自由対流圏の水蒸気は終始弱い発散を示し FTPE はほとんど変化しない (図 1b)。

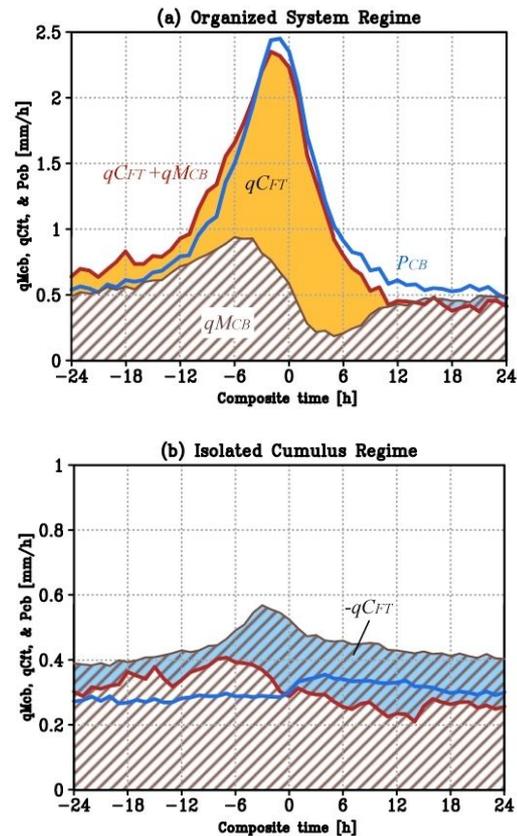


図1 水蒸気収支パラメータのコンポジット時系列。(a)組織化システムおよび (b)孤立積雲レジーム。

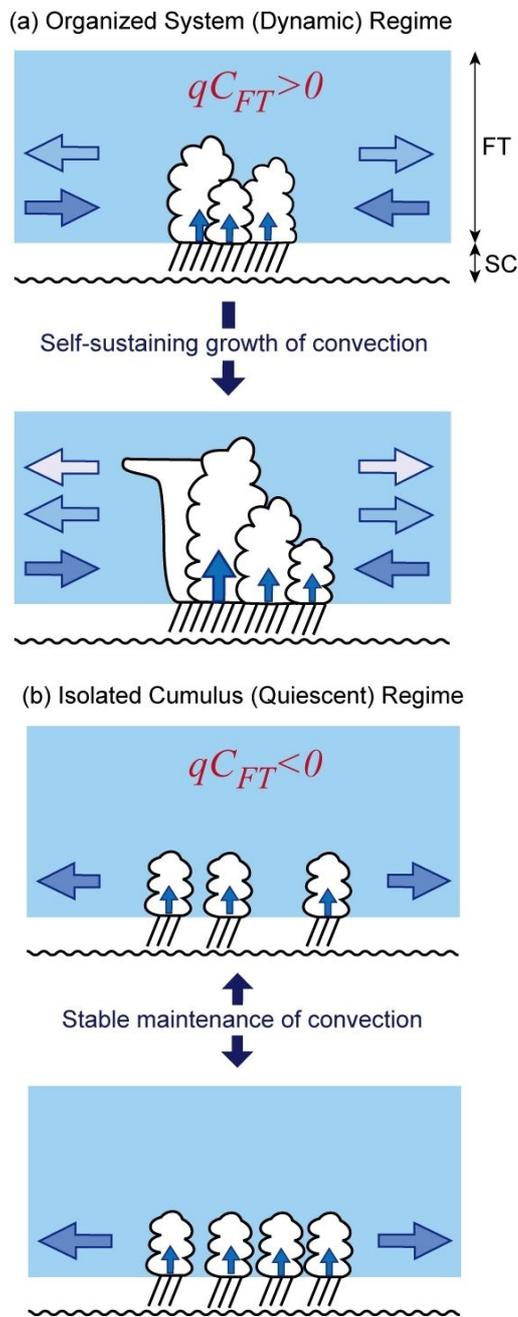


図 2 本研究が示唆する仮説の図説 (詳細は本文を参照)。

図 2 は二つの対流レジーム間で大きく異なる自由対流圏水蒸気収束の役割を图示したものである。図 2a は成長期にある組織化システムレジームを示しており、大規模力学場の特徴は第一傾圧モードをおおむね反映している。自由対流圏水蒸気収束と FTPE の間に密接な関連があることは、大規模力学場と湿潤対流に明確な協調関係があることを示唆する。水蒸気収束と湿潤静的エネルギー

(MSE) 収束にもとづく熱力学的な考察をもとに、組織化システムレジームは対流と大規模上昇流の自律的成長を促す機構を内包しており、その結果として動的フェーズがもたらされることが示唆される。孤立積雲レジーム(図 2b)では、浅い上昇流モードが終始卓越するため自由対流圏水蒸気が一貫して弱い発散を示すと理解できる。孤立積雲レジームは自発的な成長を伴わず安定的に維持されると推測され、このことが静的フェーズの持続性を説明すると考えられる。

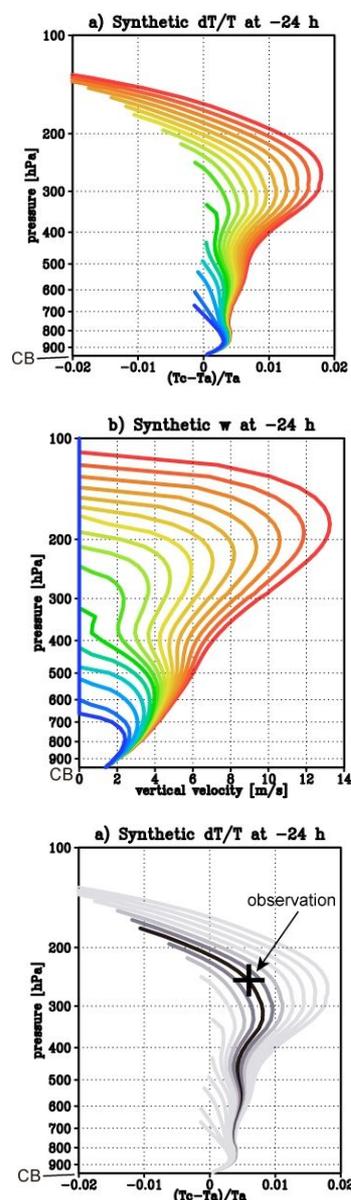


図 3 積雲の浮力(上)および鉛直速度(中)の鉛直分布。下はリトリーバル概念図。

(2) 図3は、鉛直一次元積雲モデルにより計算された浮力(衛星観測値と比較する便宜上雲内と環境場の気温差を用いて表現している)および鉛直速度の鉛直分布を示している。この一連の鉛直プロファイルを衛星観測から得られる雲頂高度および雲頂浮力と比較し、その一致の度合いをもとに観測と整合的な鉛直分布を推定する。

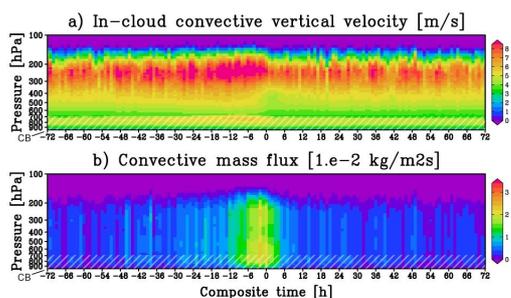


図4 衛星観測から推定された積雲内鉛直速度(上)および積雲質量フラックス(下)の時間変化。時刻0は対流システムの活動最大時を示す。

これらの観測値を、激しい降水システムの出現前後の時間軸上に投影することにより、降水発達に伴う大気質量フラックスの動態が明らかになる。図4にその一例を示す。積雲の鉛直速度そのものはほぼ一貫して Top Heavy な構造を示すが、積雲質量フラックス(鉛直速度に積雲雲量と大気密度を掛けた量)は激しい降水システムの活動最大時(時間軸上の0に相当する)の前後で急激な増大を示している。すなわち、個々の積雲の鉛直構造は対流発達過程の位相にあまり依存しないが、積雲群の空間的な広がりの変動が積雲質量フラックスの変調において支配的な要因であることを示唆している。この解析結果は現時点では暫定的な初期成果であるが、今後解析手法の精緻化を試み、最終的には熱帯対流力学のさらなる理解および全球気候モデルの積雲パラメタリゼーション評価にあたりユニークな観測資料を与えると期待される。

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6件)

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.*, 査読有, **45**, 1177-1184, doi:10.1002/2017GL076440

Nuijens, L., K. Emanuel, H. Masunaga, and T. S. L'Ecuyer, 2017: Implications of warm rain in shallow cumulus and congestus clouds for large-scale circulations *Surv. Geophys.*, 査読有, **38**, 1257-1282, doi:10.1007/s10712-017-9429-z

Holloway, C. E., A. A. Wing, S. Bony, C. Muller, H. Masunaga, T. S. L'Ecuyer, D. D. Turner, and P. Zuidema, 2017: Observing convective aggregation *Surv. Geophys.*, 査読有, 1199-1236, doi:10.1007/s10712-017-9419-1

Masunaga, H. and Y. Sumi, 2017: A toy model of tropical convection with a moisture storage closure *J. Adv. Model. Earth Syst.*, 査読有, **9**, doi:10.1002/2016MS000855

Masunaga, H., and Z. J. Luo, 2016: Convective and large-scale mass flux profiles over tropical oceans determined from synergistic analysis of a suite of satellite observations *J. Geophys. Res. Atmos.*, 査読有, **121**, doi:10.1002/2016JD024753

Masunaga, H., 2014: Free-tropospheric moisture convergence and tropical convective regimes *Geophys. Res. Lett.*, 査読有, **41**, 8611-8618, DOI:10.1002/2014GL062301

[学会発表](計6件)

Masunaga, H. and Y. Sumi: The moisture and MSE budget of developing tropical convection: Vertical modes and free-tropospheric moisture convergence, *American Geophysical Union Fall Meeting*, San Francisco, CA, USA, (2016年12月)

増永浩彦, 2016: The effects of inefficient congestus precipitation on tropical convective dynamics, *熱帯気象研究会*, 京都府宇治市, 2016年9月

Masunaga, H. and Z. J. Luo: Large-scale and Convective-scale Updraft Profiles from Satellite Observations (招待講演), "Tropical and Midlatitude Convective Systems and Their Roles in Weather and Climate", American Geophysical Union Fall Meeting, 米国カリフォルニア州サンフランシスコ (2015年12月).

Masunaga, H., Free-tropospheric Moisture Convergence and Tropical Convective Regimes (招待講演), *The Climate Symposium 2014*, ドイツ Darmstadt (2014年10月).

Masunaga, H., Satellite Data Simulators and Their Applications to Cloud Model Evaluation (招待講演), *The 8th Workshop on Satellite Data Application for Global Environmental Monitoring*, 韓国ソウル (2014年10月)

Masunaga, H., The Evolution of Tropical Convective Systems Inferred from Satellite Measurements of Convective Updraft and Surrounding Downdraft (招待講演), *Asia Oceania Geosciences Society 2014 Conference*, 札幌市, 2014年7月

〔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

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

(2) 研究分担者

篠田 太郎 (SHINODA, Taro)
名古屋大学宇宙地球環境研究所 准教授
研究者番号：50335022

(3) 連携研究者

()

研究者番号：

(4) 研究協力者

()