

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 2 日現在

機関番号：13901

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26610150

研究課題名(和文)多衛星データ複合解析に基づく熱帯大気循環場の全球観測：「見えない風」を見る

研究課題名(英文)Global observations of tropical atmospheric circulation with a suite of satellite instruments in search of "invisible wind"

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) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、衛星観測から推定される気温・湿度等に基づき対流圏大気の大規模上昇流を導出するアルゴリズムを新規開発し、熱帯大気大循環の駆動機構に関わる広範な課題解決に資するデータセットの構築を目的とする。高精度赤外サウンダやレーダなど複数の地球観測衛星データを横断的に解析し、大気熱収支解析に立脚する物理的考察に基づく大気鉛直流導出手法を完成させた。既存の地上観測から求められる大規模上昇流速の推定値と整合的であることを確認したとともに、大気循環の駆動要因として積雲質量フラックスが寄与する程度を定量化する方法論の検討を行い、今後のさらなる研究展開につながる成果を得た。

研究成果の概要(英文)：In this work, an algorithm to derive large-scale mean tropospheric updraft using satellite measurements such as temperature and humidity soundings in order to construct a dataset for use by a range of future studies of the tropical atmospheric circulation. A variety of satellites carrying hyperspectral infrared sounders and radars are analyzed to evaluate the atmospheric vertical motion on the basis of thermodynamic budget analysis. The estimations are confirmed to be consistent with the existing ground measurements of vertical velocity. In addition, a methodology was tested to quantify the contribution of cumulus mass flux to the driving mechanism of atmospheric circulation, which has opened a new pathway for future investigations.

研究分野：気象学・気候学

キーワード：熱帯気象学 衛星リモートセンシング

### 1. 研究開始当初の背景

熱帯大気大循環の駆動機構において雲対流が中心的な役割を果たすことは広く知られている。循環場がもたらす水蒸気収束が降水システムの発生・発達を促すと同時に、積乱雲内部で解放される水蒸気凝結潜熱は大循環の駆動に欠かせない熱源の鉛直分布を決定する。しかし、雲対流と大気大循環の相互作用を説明する理論的枠組は未だ完成しておらず、その不確実性が将来気候の予測精度向上や熱帯低気圧発生機構の解明など、大気科学上の重要課題解決を阻む一因となっていた。

最大の壁の一つは、理論的仮説を定量的に検証するために必要な観測データの収集が、原理的に難しいことである。熱帯域の大半は海洋や熱帯雨林が支配し、現業気象観測網の目が届かない。一方、継続的な広域観測を得意とする衛星地球観測は、現在の技術では大気大循環の要である大規模上昇流や下降流の鉛直分布を直接計測する手段を持たない。大規模鉛直流の広域・継続的データセットの構築にむけて、現行の技術的制約を超える突破口が求められていた。

### 2. 研究の目的

衛星観測から推定される気温・湿度等に基づき対流圏大気の大規模上昇流を導出するアルゴリズムを新規開発し、熱帯大気大循環の駆動機構に関わる広範な課題解決に資するデータセットの構築を目的とする。同時に、データ解析手法の妥当性を評価するため地上観測データとの比較検証も実施する。

### 3. 研究の方法

Aqua 衛星搭載超高波長分解能赤外サウンダ AIRS およびマイクロ波放射計 AMSR-E、QuikSCAT 衛星搭載マイクロ波散乱計 SeaWinds を主に用い、その全センサが稼働していた 2002 年～2009 年を解析対象期間とする。以下の手続きにより大規模鉛直流を導出する。(1) 気温・湿度鉛直プロファイル、地表面降水量等の水収支・熱収支パラメータ衛星推定値から、収支方程式を拘束条件として自由対流圏の水蒸気収束と乾燥静的エネルギー (DSE) 収束場を導出する。(2) マイクロ波散乱計から雲下層内の水平収束場を直接計算し、質量保存則を介して雲底における上昇流速を決定する。(3) 鉛直流速の鉛直分布を 3 つの基底関数で展開し、その係数を観測的に求めた水蒸気収束場、DSE 収束場 および雲底上昇流速 が各々規定する 3 条件式を連立させて解く。これら 3 つの条件から解が一意に決定されるよう、熱帯の大気力学場を (a) 第一傾圧モード (b) 第二傾圧モード (c) 浅いモードの 3 基底関数の和で表現されると仮定する。

この 3 モードは熱帯で典型的にみられる様々な雲タイプの潜熱加熱パターンに対応しており、それぞれ (a) 積乱雲 (b) 雄大積雲 (係数が正の時) または層状性降水 (係数が負の時) (c) 浅い積雲の発達と深く関わっている。この基底関数の選択は、対流と結合した赤道波の理論でしばしば用いられるものである。

雲対流活動に呼応して振幅が変動する (すなわち係数が時間の関数である) これら 3 モードと別に、(d) 固定背景場を表現する定数項を導入する。これは、雲対流不在 (第一・第二傾圧モード係数がゼロ) 時に水蒸気収束場、DSE 収束場 および雲底上昇流速の 3 条件を満たす解のうち、もっとも背景場に相応しい (正確には放射冷却と釣り合う沈降流速に最も近い) 解を Lagrange 未定係数法であらかじめ求めておく。浅い積雲は晴天時も熱帯海洋上に広く見られることから、浅いモードは時間変化するモードの一つであると同時に背景場の一部を構成すると考える。本解析手法開発にあたり行った初期成果を精査した結果、このようにして得られた鉛直流速の解が、雲対流が徐々に深化していく過程では第二 (正) モードが、対流最活発期では第一モードが卓越し、対流活動の減衰と共に第二 (負) モードが支配的となることが確認された。

### 4. 研究成果

衛星観測は全球にわたる広域・長期観測データの収集において優れる一方、リモートセンシングの原理的な問題としてアルゴリズムに内在する数々の仮定や不確実性に結果が強く依存する恐れがある。従って、衛星観測から推定された大気物理量は、地上観測実験など独立の手段で得られた実測値と比較し、推定値の信頼性を評価する必要がある。

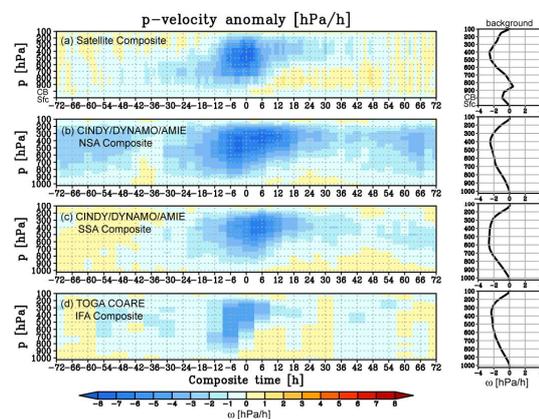


図 1: 衛星観測から推定された大規模場平均鉛直速度 (上) と CINDY11/DYNAMO/AMIE 観測値 (中段 2 つ) および TOGA COARE 観測値 (下) の比較。平均場 (右) からの偏差 (青が上昇流、黄色が下降流域を表す)。

#### 4.1 地上観測実験との比較検証

そのため、本研究ではまず CINDY2011 (Intraseasonal variability in the Year of 2011), DYNAMO (Dynamics of the Madden-Julian Oscillation), AMIE (Atmospheric Radiation Measurements Madden-Julian Oscillation Investigation Experiment) による合同観測網および TOGA COARE (Tropical Ocean Global Atmosphere Coupled Ocean Atmosphere Response Experiment) より得られた地上観測データとの比較から、衛星観測に基づく水蒸気・熱収支解析手法を評価した(図1)。衛星データ解析はおおむね、地上観測網から推定された大規模場平均鉛直・水蒸気収束・MSE(湿潤静的エネルギー)収束の統計的なふるまいを定量的に再現していることが見出された。一方個々の対流事例ごとに見ると、一般に系統的な時間進化経路をたどらず、コンポジット空間内で水蒸気・MSE収束の統計平均値の周りに広く分散していた。次に静止衛星赤外観測を用いて、対流事例を「発達」「位置ずれ」「通過」の三群に分類し、対流の力学を代表していない不適切なサンプルの選り分けを試みる。三群いずれにおいても、定性的な時間進化の特徴は同じであったが変動の振幅に差が見られ、発達群で最も振幅が大きく通過群でもっとも弱いことを見出した。ただし、総観場から強い影響を受けない事例を抽出し、かつMSE収束から水平移流の寄与を除去した場合、事例間の分散は大幅に減少することを確認した。

#### 4.2 衛星観測を用いた積雲/大規模場平均質量フラックスの推定手法の開発

大気の質量鉛直フラックスは気象学において重要な変数であるが、実際に計測することは難しい。本研究では、衛星観測データから積雲質量フラックスと大規模場平均質量フラックスをそれぞれ推定する新たな解析手法を考案した。積雲質量フラックスは、まず簡便な鉛直次元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から導かれる雲頂浮力に整合する解を選び出す方法をとった。一方、大規模場平均質量フラックスは、前項で述べた手法に基づき衛星観測大気熱力学場から別に求めることができる。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った。積雲質量フラックスは、対流活動のピーク以前(孤立した積乱雲のみが散在する段階)では、大規模場平均質量フラックスと一致する(図2)。すなわち、積雲が大気の大規模循環場の駆動源として考えることができる。一方、

対流システムの活動がピークを迎える前後では、積雲質量フラックスだけでは大規模場力学を説明できない残差が存在することがわかる(図2)。この残差質量フラックスは、700hPa-300hPaの対流圏中層では強い上昇流を示すが、700hPa以下の下層では一貫して下降流である。この二極構造は、この残差流が(積雲質量フラックスには定義上含まれていなかった)層状性降水に伴う質量フラックスと解釈できることを示唆する。本研究は、衛星観測データのみから大気鉛直の起源を同定した初めての試みである。

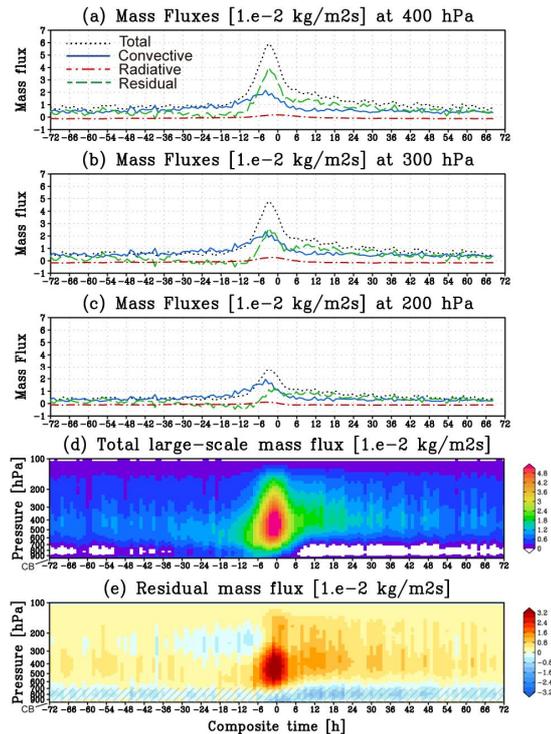


図2:(上3つ)400 hPa, 300 hPa, 200 hPaの各層における積雲質量フラックス、大規模場平均フラックス、放射冷却で駆動される沈降流フラックス、および残差フラックスの時間変化。(下2つ)大規模場平均フラックスと残差流フラックス鉛直分布の時間変化。

この解析結果は、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3件)

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.*, **121**, doi:10.1002/2016JD024753.

Masunaga, H., 2015: Assessment of a Satellite-based Atmospheric Budget Analysis Method with CINDY2011/DYNAMO/AMIE and TOGA COARE Sounding Array Data. *J. Meteor. Soc. Japan*, (Special issue on the Coordinated International Field Campaign on the Madden-Julian Oscillation), 21-40, doi:10.2151/jmsj.2015-032

Masunaga, H. and T. S. L'Ecuyer, 2014: A mechanism of tropical convection inferred from observed variability in the moist static energy budget. *J. Atmos. Sci.*, **71**, 3747-3766.

〔学会発表〕(計7件)

Masunaga, H.: Strategy to exploit satellite observations for evaluating large-scale and convective-scale updraft profiles. *気候システムセミナー*, 東京大学大気海洋研究所, 千葉県柏市, 2016年11月

Masunaga, H. and Z. J. Luo: Large-scale and Convective-scale Mass Fluxes Determined from a Combined Analysis of Satellite Observations. *32nd Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology*, San Juan, PR, USA, Apr. 2016

Masunaga, H.: Pushing the limits of satellite observations for further understanding of tropical convective dynamics. *ISSI Workshop on Shallow Clouds, Water Vapour and Climate Sensitivity*, Bern, Switzerland, Feb. 2016

H. Masunaga and Z. J. Luo: Large-scale and Convective-scale Updraft Profiles from Satellite Observations, "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). (招待講演)

Masunaga, H. and Z. J. Luo: Large-scale and Convective-scale Updraft Profiles from a Suite of Satellite Observations *Seminar at Dept. of Atmospheric and Oceanic Sciences, University of Wisconsin-Madison*, Madison, WI, USA, Oct. 2015

Masunaga, H. and Z. J. Luo: Large-scale

and Convective-scale Updraft Profiles from a Suite of Satellite Observations *Seminar at Dept. of Earth & Atmospheric Sciences, City College of New York*, New York City, NY, USA, Oct. 2015

Masunaga, H.: Satellite Observations of Large-scale Vertical Motion over the Indian Ocean *Asia Oceania Geosciences Society 2014 Conference*, 札幌市, 2014年7月 (招待講演)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

本研究は学術的な問題意識に立脚する自然科学研究である性格上、本項は該当しない。

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  
なし

(3) 連携研究者  
なし

(4) 研究協力者  
なし