

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 3 日現在

機関番号：82706

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25800268

研究課題名(和文) 熱帯降水システムに伴う海上気象要素変動の気候学的特性とその影響の解明

研究課題名(英文) Climatological features and influence of fluctuation in surface meteorological variables caused by tropical precipitation systems

研究代表者

横井 覚 (YOKOI, Satoru)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・大気海洋相互作用研究分野・主任研究員

研究者番号：40431902

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：熱帯降水システム起源の海上気象要素変動の特性について観測データ解析を行い、摂動の大きさと降水活動度の間に有意な相関があること、摂動の大きさはマッデン・ジュリアン振動(MJO)の対流最活発期に最大となる一方で、摂動の結果としての海面潜熱フラックスは最活発期に先行して最大をとることを明らかにした。また、鉛直積算湿潤静的エネルギー収支解析を通して、潜熱フラックス変動はMJOを不安定化させる一方でその位相進行を遅らせる働きをすることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Data analyses on statistical features of fluctuation in surface meteorological variables caused by tropical precipitation systems reveal that variance of the fluctuation has positive and statistically-significant correlation with precipitation activity, and that the variance reaches its maximum during convectively active phase of Madden-Julian oscillation (MJO), while surface latent heat flux, which results from the fluctuation, reaches its maximum prior to the convectively active phase. Furthermore, the budget analysis of column-integrated moist static energy reveals that the surface latent heat flux variability destabilizes MJO while it tends to slow down phase progression of MJO.

研究分野：気象学

キーワード：降水システム 冷気外出流 海面潜熱フラックス マッデン・ジュリアン振動

## 1. 研究開始当初の背景

熱帯における降水システムは地表面付近に冷気外出流をもたらし、地表付近の水平風や気温、湿度に顕著な摂動を生じさせる。海上では、この摂動により海から大気への潜熱（水蒸気）フラックス供給量を変化させる。従って、冷気外出流の強さや摂動の統計特性を解明することは、気候システムのなかでの降水システムの集団的役割の解明につながると期待される。一方で、冷気外出流は比較的小さな時間スケールを持つうえ、人工衛星などで観測することが困難であるため、その統計特性を把握するためには研究船などを用いた海上気象要素と降水の現場観測の蓄積が重要である。

他方、潜熱フラックスは大気循環場と相互作用することにより、熱帯における様々な大規模大気擾乱の特性に影響を与え、その影響も地域によって大きく異なると考えられる。これまで、熱帯西太平洋では大規模な国際集中観測プロジェクト等により影響についての知見が蓄積されているが、熱帯インド洋やインドネシア海大陸では近年まで大規模かつ包括的な観測プロジェクトが少なかった。

## 2. 研究の目的

これまで直接観測が少なく実態の解明が急がれていた熱帯インド洋および海大陸において、降水システムに伴う海上気象要素と海面熱フラックスの変動と、そういった変動が大規模大気擾乱に及ぼす影響について観測データ解析を通して明らかにする。具体的には次の3点を明らかにする。

(1) 熱帯中部インド洋における、降水システムに伴う海上気象要素摂動について、特に降水システムの強さと摂動の大きさの関係について、船舶による定点観測データの解析を通して明らかにする。

(2) 熱帯中部インド洋における海上気象要素摂動の特性が、熱帯における代表的な大規模大気擾乱であるマッデン・ジュリアン振動 (MJO; Madden and Julian 1994) に伴いどのように変調するのかについて、インド洋熱帯海洋係留ブイ観測網 (RAMA; McPhaden et al. 2009) の観測データの統計解析により明らかにする。

(3) MJO の特性把握が特に遅れている海大陸東部を対象に、海面熱フラックス変動が MJO に及ぼす影響について、MJO の熱力学特性研究にしばしば用いられている鉛直積算湿潤静的エネルギー (CMSE) 収支解析を通して明らかにする。なお、海面熱フラックスは CMSE 収支に対して外部強制項としてはたらく。

## 3. 研究の方法

上記の3つの目的に対し、それぞれ次の方

法で研究を実施する。

(1) 熱帯インド洋における国際集中観測プロジェクト CINDY2011/DYNAMO (Yoneyama et al. 2013) の一環として国立研究開発法人海洋研究開発機構の海洋地球研究船「みらい」が南緯 8 度東経 80.5 度で実施した定点観測データを解析する。解析期間は 2011 年 10 月 31 日から 11 月 28 日までの 29 日間である。研究船周辺の降水活動は研究船搭載の C バンド気象レーダ観測データを元に指標化する。具体的には、研究船から半径  $r$  [km] 以内の領域で高さ 2km における反射強度が 15dBz の割合 [Cov( $r$ )] を降水指標とする。降水活動に伴う大気境界層の冷気外出流事例を気温データから同定し、気温や風速の変化と降水指標との相関解析を行う。

(2) RAMA ブイ網の中で最も長期的に良質なデータが得られている南緯 1.5 度東経 90 度のブイによる観測データを解析する。解析期間は 2001-2012 年の 11-3 月 (うち、54% の期間でデータが存在) で、海上風、気温、比湿、気圧、海水温の 1 時間平均値を用いる。日移動平均値からの偏差を降水システムに伴う摂動成分と見做し、Wheeler and Hendon (2004) が定義した MJO インデックスに基づいて 8 つの MJO 位相ごとに変動成分の標準偏差を計算することで、MJO に伴う変調を解析する。また、海面潜熱フラックスは COARE3.0 アルゴリズム (Fairall et al. 2003) を用いて計算する。

(3) CINDY2011/DYNAMO の一環で収集された海大陸東部での現業高層観測データ及び人工衛星プロダクトを用い、2011 年 10 月から 2012 年 3 月の期間を対象に CMSE 収支解析を行う。CMSE 収支式の各項のうち、CMSE 時間変化項および移流項は 7 点の高層観測データ (気温、相対湿度、水平風) から算出し、海面熱フラックスは OAF flux データ (Yu et al. 2008)、鉛直積算放射量は CERES データ (Wielicki et al. 1996) を用いる。CMSE 偏差およびその時間変化項とその他の CMSE 収支項との間の回帰解析を行うことで、それぞれ MJO の不安定化と位相進行に及ぼす各項の寄与を定量化する。

## 4. 研究成果

(1) 研究対象期間中、冷気外出流を 35 事例同定した。各事例において冷気外出流の強さを表現する指標を海上気温や海上風速データから複数考案し Cov(10km) と比較したところ、最低気温 ( $T_{min}$ ) と風速変化量 ( $U_{diff}$ ) が有意な相関を持つことが判明した。すなわち、研究船にて観測した海上気象要素から見積もった冷気外出流の強さは、研究船周辺の降水活動の強さとある程度の相関関係があることを意味する。また、 $r$  を 10km から 50km の範囲で変えて行った相関解析により、 $r$  が

小さいほど  $Cov(r)$  と  $T_{min}$  や  $U_{diff}$  の相関が高いことが明らかとなった (図 1)。

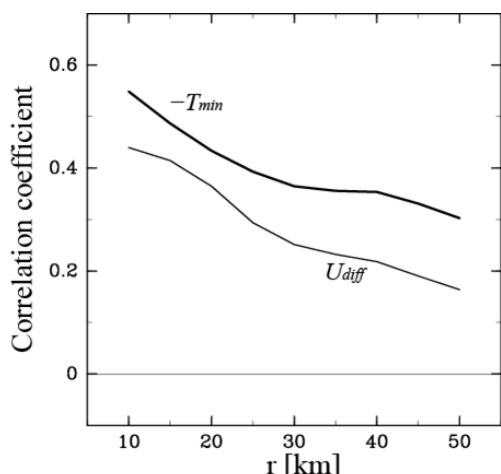


図 1: 降水指標  $Cov(r)$  と  $T_{min}$ ,  $U_{diff}$  の相関係数の半径  $r$  依存性。  $T_{min}$ ,  $U_{diff}$  とともに、 $r=10\text{km}$  での相関係数は有意水準 99% で統計的に有意である。 Yokoi et al. (2014) の Figure 8 に修正を加えた。

(2) MJO に伴う降水活動の強さと風速, 気温, 湿度摂動の大きさの間に高い相関関係が見られることが明らかになった。すなわち, 中部インド洋で MJO に伴う降水が活発な位相 2-3 では大きく, 不活発な位相 6-7 には標準偏差が小さいことがわかった (図 2)。

一方で潜熱フラックス摂動は, MJO の降水最活発期に先行する位相 8-1 で最も大きいことがわかった。これは, 最活発期には強い西風により風速摂動の影響が軽減されるからである。ただし, 西風が強いほど南北風成分の摂動が東西風成分に比べて大きな標準偏差を持つことにより, 風速摂動が等方的な場合と比べて風速の増分が 20-30% 大きく, 最活発期の風速摂動の影響の弱화가軽減されていることも明らかとなった。

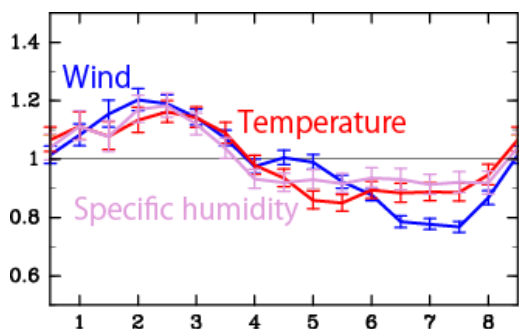


図 2: MJO の各位相で平均した, (青) 海上風, (赤) 海上気温, (桃) 比湿の日周期以下の成分の標準偏差。 平均値により規格化してある。 MJO の位相 2-3 は中部インド洋における降水最活発期, 位相 6-7 は最不活発期である。

(3) CMSE 収支式を構成する項のうち, CMSE 偏差に対する回帰係数が正(負)のものは MJO

の不安定化に貢献(を阻害)する影響を持つことを意味する。海面潜熱フラックスは鉛直積算放射フラックスと共に MJO を不安定化させる役割を担っていることが明らかとなった (図 3a)。一方で, CMSE 時間変化に対する回帰係数が正(負)のものは MJO の位相進行及び東進に貢献(を阻害)する影響を持つことを意味する。海面潜熱フラックスは位相進行を阻害する役割を担っていることが図 3b よりわかる。図 3a, 3b とも, 海面潜熱フラックスの回帰係数は他の項と比べて小さく, MJO の拳動に重要な役割を果たしていると結論づけることができる。

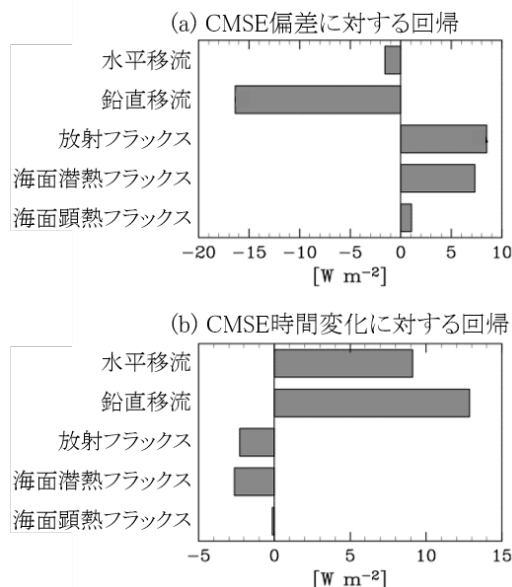


図 3: CMSE 収支式を構成する各項の, (a) CMSE 偏差及び (b) CMSE 時間変化に対する回帰係数。 Yokoi and Sobel (2015) の Figure 10 に加筆修正を施した。

#### <引用文献>

Fairall, C. W., E. F. Bradley, J. E. Hare, A. A. Grachev, and J. B. Edson, 2003: Bulk parameterization of air-sea fluxes: Updates and verification for the COARE algorithm. *Journal of Climate*, 16, 571-591.

Madden, R. A., and P. R. Julian, 1994: Observations of the 40-50-day tropical oscillation - A review. *Monthly Weather Review*, 122, 814-837.

McPhaden, M. J., and co-authors, 2009: RAMA - The Research Moored Array for African-Asian-Australian Monsoon Analysis and Prediction. *Bulletin of American Meteorological Society*, 90, 459-480.

Wheeler, M. C., and H. H. Hendon, 2004: An all-season real-time multivariate MJO index: Development of an index for monitoring and prediction. *Monthly Weather Review*, 132, 1917-1932.

Wielicki, B. A., and co-authors, 1996: Clouds and the Earth's Radiant Energy System (CERES): An earth observing system experiment. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77, 853-868.

Yokoi, S., M. Katsumata, and K. Yoneyama, 2014: Variability in surface meteorology and air-sea fluxes due to cumulus convective systems observed during CINDY/DYNAMO. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 119, 2064-2078.

Yokoi, S., and Adam H. Sobel, 2015: Intraseasonal variability and seasonal march of the moist static energy budget over the eastern Maritime Continent during CINDY2011/DYNAMO. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 93A, 81-100.

Yoneyama, K., C. Zhang, and C. N. Long, 2013: Tracking pulses of the Madden-Julian oscillation. *Bulletin of American Meteorological Society*, 94, 1871-1891.

Yu, L, X. Jin, and R. A. Weller, 2008: Multidecade global flux datasets from the objectively analyzed air-sea fluxes (OAFflux) project: Latent and sensible heat fluxes, ocean evaporation, and related surface meteorological variables. OAFflux Project Technical Report OA-2008-01. Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole, MA, 64pp.

#### 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)

Yokoi, S., and A. H. Sobel, 2015: Intraseasonal Variability and Seasonal March of the Moist Static Energy Budget over the Eastern Maritime Continent during CINDY2011/DYNAMO. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, Vol. 93A, pp. 81-100, DOI:10.2151/jmsj.2015-041, 査読有.

Yokoi, S., 2015: Multireanalysis comparison of variability in column water vapor and its analysis increment associated with Madden-Julian oscillation. *Journal of Climate*, Vol. 28, No. 2, pp. 793-808. DOI:10.1175/JCLI-D-14-00465.1, 査読有.

Yokoi, S., M. Katsumata, and K. Yoneyama, 2014: Variability in surface meteorology and air-sea fluxes due to cumulus convective systems observed during CINDY/DYNAMO. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, Vol. 119, No. 5, pp. 2064-2078. DOI:10.1002/2013JD020621, 査読有.

〔学会発表〕(計12件)

Yokoi, S.: Variability in moist static energy budget associated with the Madden-Julian Oscillation over the eastern Maritime Continent during CINDY2011/DYNAMO extended observing period, *AGU 2015 Fall Meeting*, 15 December 2015, San Francisco (U.S.A.).

Yokoi, S.: Multi-reanalysis comparison of variability in analysis increment of column water vapor associated with Madden-Julian oscillation. *AOGS 2015*, 6 August 2015, Singapore (Singapore).

Yokoi, S., and A. H. Sobel: Seasonal march and intraseasonal variability of the moist static energy budget over the eastern Maritime Continent during CINDY2011/DYNAMO. *AOGS 2015*, 4 August, 2015, Singapore (Singapore)

Yokoi, S., and A. H. Sobel: Intraseasonal variability of the moist static energy budget over the eastern Maritime Continent during CINDY2011/DYNAMO field campaign. *26th IUGG General Assembly*, 25 June 2015, Prague (Czech)

Yokoi, S.: Multi-reanalysis comparison of variability in analysis increment of column water vapor associated with Madden-Julian oscillation. *2014 AGU Fall Meeting*, 19 December 2014, San Francisco (U.S.A.)

Yokoi, S.: Water vapor tendency associated with MJO represented in global reanalysis products. *AMS 31st Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology*, 2 April 2014, San Diego (U.S.A.)

Yokoi, S.: Precipitable water vapor budget associated with MJO represented in newly-released JRA-55 reanalysis data. *2013 AGU Fall Meeting*, 11 December 2013, San Francisco (U.S.A.)

横井 覚, 清木 亜矢子, 堀井 孝憲  
「CINDY2011 集中観測で得られた地上気  
象要素及び海面フラックス変動」日本地  
球惑星科学連合 2013 年大会, 2013 年 5  
月 24 日, 幕張メッセ (千葉県幕張市)

〔その他〕

アウトリーチ活動:(国)海洋研究開発機  
構横浜研究所公開セミナーにて「マッデ  
ン・ジュリアン振動の解明を目指して」  
と題し講演 (横井 覚, 2015 年 6 月 20  
日)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

横井 覚 (YOKOI, Satoru)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・大気

海洋相互作用研究分野・主任研究員

研究者番号: 40431902