

グローバルモンスーンと ENSO - 内在する双方向のフィードバック - Global monsoon and ENSO -Inherent interactive feedback-

植田 宏昭^{1*}
UEDA, Hiroaki^{1*}

¹ 筑波大・生命環境系

¹Life and Environmental Sciences, Univ. Tsukuba

大気海洋相互作用に関わる研究の進展は目覚ましく、太平洋に生起するエル・ニーニョ現象の力学をはじめとし、インド洋ダイポールモード現象、海洋性モンスーンの発見などに代表される地域間の相互作用についての理解も急速に深まっている。「大気海洋相互作用」という専門用語には、暗に複数のプロセスを内包していることを意味していることもあり、気候システムの複雑さを表現する時の常套的な文言として多用される傾向にある。本講演では今一度「相互作用」という意味について、グローバルモンスーンを基軸として整理を行った上で、そのシステム内に内在する未解明のプロセスの抽出を試みる。

太陽入射量の緯度による季節的な配分の多寡は、大陸と海洋間の温度コントラストを駆動源とするアジアモンスーンを生み出す。一方、アジアに近接する海洋では、モンスーンの影響を強く受けた特異な大気海洋システムの存在が明らかになってきた。1990年代前半には西太平洋モンスーンの季節的な発現が各種のデータで確認され (Murakami and Matsumoto 1994; JMSJ)、90年代の後半になるとインド洋でもエル・ニーニョに類似したダイポールモードと名付けられた年々変動現象が発見されている (Saji et al. 1999; Webster et al. 1999; Nature)。これらの現象はアジア・太平洋・インド洋域にまたがり、その変動過程において個々の地域特有のモンスーンが必ず介在することから、近年ではグローバルモンスーンという視点から論じる機会が増えている (Wang et al. 2009)。グローバルモンスーンの変動を規定する物理プロセスの中で、大気海洋相互作用が重要であることは論を待たないが、研究の歴史を紐解くと、必ずしも双方向の相互作用を論じていない場合が多い (Wang et al. 2005; GRL)。本講演では、これまであまり論じられてこなかった大気から海洋へのフィードバックに焦点を当て、PCS 実験 (フィードバック定量化スキーム; Ueda et al. 2009; JC)、Double ITCZ 問題、WWW メカニズム (インド洋・西太平洋連結過程) などを紹介する。さらに、顕著な季節変動を呈するモンスーン域内で生じる様々なスケールの変動として、熱帯インド洋の全域昇温 (通称インド洋のコンデンサー効果; Xie et al. 2009; JC) やその影響などについて、ENSO の非対称性に関して生じた顕著な気候変動 (3年連続のアフガン旱魃、平成 18 年豪雪、タイの 2011 年洪水、平成 23/24 年の日本海側の多雪/寒冬) を取り上げながら紹介する予定である。

キーワード: グローバルモンスーン, 大気海洋相互作用, インド洋ダイポール

Keywords: global monsoon, air-sea interaction, Indian Ocean dipole mode

A new perspective on the weak relationship between ENSO and Atlantic Ninos A new perspective on the weak relationship between ENSO and Atlantic Ninos

Ingo Richter^{1*}, Swadhin Behera¹, Yukio Masumoto¹, Toshio Yamagata²

RICHTER, Ingo^{1*}, BEHERA, Swadhin¹, MASUMOTO, Yukio¹, YAMAGATA, Toshio²

¹Research Institute for Global Change, JAMSTEC, ²Department of Earth and Planetary Science, Tokyo University

¹Research Institute for Global Change, JAMSTEC, ²Department of Earth and Planetary Science, Tokyo University

While it has long been documented that ENSO has a strong influence on the northern tropical Atlantic, there appears to be no clear link with equatorial Atlantic variability. Thus the correlation between Pacific Ninos and equatorial Atlantic warm events (also called Atlantic Ninos) is rather weak, about -0.1 when ENSO leads by two seasons. Several attempts have been made to explain this weak relationship but a comprehensive understanding remains elusive. This is partly due to the small number of well-documented events, and partly to the poor representation of tropical Atlantic climate in general circulation models (GCMs). The present study re-examines the problem using satellite-era reanalyses and observations as well as GCMs with comparatively realistic representations of tropical Atlantic climate. We find that in both observations and GCMs the influence of tropical Pacific SST on equatorial Atlantic surface winds is strongly seasonal, with pronounced impacts limited to boreal spring. During this season negative Pacific SST anomalies induce equatorial surface westerlies in the tropical Atlantic. In GCMs these equatorial westerlies lead to a deepening of the thermocline, which is typically followed by an Atlantic Nino one season later. Thus the correlation between tropical Pacific SSTs and Atlantic Ninos is about -0.5 when the Pacific leads by two seasons. In observations and reanalyses, on the other hand, the relation between equatorial Atlantic winds and Atlantic Ninos is much weaker. Thus, in both models and observations ENSO induces similar wind patterns over the western equatorial Atlantic in MAM. In observations, however, this wind stress forcing is only one of the factors controlling the evolution of equatorial SSTs. Other factors controlling equatorial Atlantic SSTs will be discussed.

キーワード: ENSO, Atlantic Nino, correlation, surface wind

Keywords: ENSO, Atlantic Nino, correlation, surface wind

PJパターンの内部モード性と ENSO

The Pacific-Japan teleconnection pattern as an atmospheric internal mode and influence of ENSO

小坂 優^{1*}, 謝 尚平¹, LAU Ngar-Cheung², VECCHI, Gabriel A.²

KOSAKA, Yu^{1*}, XIE Shang-Ping¹, LAU Ngar-Cheung², VECCHI, Gabriel A.²

¹ ハワイ大学国際太平洋研究センター, ² 地球流体力学研究所

¹IPRC, University of Hawaii, ²GFDL, NOAA

Pacific-Japan (PJ) パターンは夏季東アジアの気候変動に寄与する主要な遠隔影響パターンの一つである。PJ パターンは北西太平洋における降水および対流圏下層循環の南北ダイポールで特徴付けられる。PJ パターンは前冬に極大を迎えるエルニーニョ・南方振動 (ENSO) と有意な相関を持つことが知られている一方で、近年の研究から PJ パターンが大気の内変動モードであることが示唆されている。

この可能性を検討するために、米国地球流体力学研究所で開発された大気海洋結合モデル (CM) およびその大気部分 (AM) を用いた実験を行った。CM では赤道東太平洋における海面水温偏差を観測された偏差に緩和し、モデルに現実的な ENSO を再現させる。またこの実験で得られたアンサンブル平均海面水温を、AM の境界条件として全てのアンサンブルメンバーに与える。これらの実験において、アンサンブル平均の変動は ENSO に伴うものを表し、アンサンブルメンバー間のばらつきは CM では ENSO とは独立な変動を、AM では大気の内変動を表す。

月々の偏差に対する経験直交関数解析から、CM においてアンサンブル平均からもアンサンブル間の分散からも PJ パターンが抽出され、PJ パターンが ENSO なしでも存在することが確認される。また AM のアンサンブル間の分散においても PJ パターンは卓越変動として存在し、PJ パターンが大気の内変動モードであることが示される。アンサンブル平均に見られる PJ パターンは発達期および衰退期の両方の ENSO と有意に相関し、ENSO は PJ パターンに伴う分散のおよそ 40% を説明する。ENSO のこのように大きな強制は、1970 年代の気候レジームシフト後の ENSO の強まりとともに PJ パターンが強化されたことと整合する。

キーワード: 夏季北西太平洋, 大循環モデル, 変動モード

Keywords: the summer western North Pacific, GCM, mode of variability

熱帯太平洋における海面水位変動と変化 Variability and change in sea level in the tropical Pacific

安田 珠幾^{1*}

YASUDA, Tamaki^{1*}

¹ 気象研究所

¹Meteorological Research Institute

過去 100 年の観測データと大気海洋結合モデルによる将来気候予測は、全球平均海面水位が上昇し続けていることを示し、人為起源の気候変化との関連が議論されている。全球平均海面水位上昇に加えて、地域的な海面水位上昇は、島嶼国や海に面した国にとって重要な社会問題である。さらに、地域的な海面水位変動は数年から数十年の時間規模を持つ。このような地域的な海面水位変動は、気候変動と密接に関連している。熱帯太平洋では、1950 年代から 1990 年代にかけて海面水位偏差の東西勾配が正（東部>西部）の長期変化傾向を示し、その後、1990 年代後半には負に転じた。北太平洋の亜熱帯セルは、1900 年代後半まで弱まり続けたが、1990 年代終わりから強化している。これらの変化は、熱帯太平洋の貿易風の弱体化から強化への変化に対応している。このような変化傾向は、1970 年代半ば及び 2000 年頃を境に位相が変化した太平洋十年規模変動と整合的である。しかしながら、この十年から数十年規模の変動メカニズムはまだ明らかになっていない。また、近年の新しい種類のエルニーニョ/南方振動（ENSO）（中央太平洋 ENSO/ENSO Modoki）の増加は、赤道太平洋の海面水位の十年規模変動にも影響を与えている。20 世紀にはウォーカー循環の弱体化する長期変化傾向があった。このことは、海面水位偏差の東西勾配が正（東部>西部）の長期変化傾向があることを意味する。したがって、赤道太平洋東部（西部）では、地域的な水位上昇を加速（減速）するように働く。また 1990 年代以降に観測された海面水位上昇率の負の東西勾配（西部>東部）は、20 世紀の長期トレンドとは逆位相であり、これには熱帯太平洋における海面水位の数十年規模変動が大きく影響していると考えられる。さらに、気候モデルによる地球温暖化に伴う将来予測では、ウォーカー循環の弱体化トレンドが続くことを示している。本講演では、このような熱帯太平洋の海面水位変動と変化について、観測データ及び現在及び将来気候に関するモデル実験を用いて気候変動及び変化との関連性を議論する。

キーワード: 海面水位, 熱帯太平洋, ENSO, 太平洋十年規模振動, 地球温暖化

Keywords: sea level, tropical Pacific, ENSO, Pacific Decadal Oscillation, global warming

熱帯太平洋およびインド洋上の Walker 循環弱化に伴う気候変化パターン Regional patterns of tropical Indo-Pacific climate change linked to the Walker circulation slowdown

時長 宏樹^{1*}, 謝尚平¹, Axel Timmermann¹, Shayne McGregor², 尾形友道¹, Yuko M. Okumura⁴, Clara Deser⁴, 久保田尚之³
TOKINAGA, Hiroki^{1*}, XIE, Shang-Ping¹, TIMMERMANN, Axel¹, MCGREGOR, Shayne², OGATA, Tomomichi¹, OKUMURA, Yuko M.⁴, DESER, Clara⁴, KUBOTA, Hisayuki³

¹ ハワイ大学国際太平洋研究センター, ²University of New South Wales, ³ 海洋研究開発機構, ⁴National Center for Atmospheric Research

¹International Pacific Research Center, University of Hawaii, ²University of New South Wales, ³Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ⁴National Center for Atmospheric Research

Regional patterns of tropical Indo-Pacific climate change are investigated over the last six decades based on a synthesis of in situ observations and ocean model simulations, with a focus on physical consistency among sea surface temperature (SST), cloud, sea level pressure (SLP), surface wind, and subsurface ocean temperature. A newly developed bias-corrected surface wind dataset displays westerly trends over the western tropical Pacific and easterly trends over the tropical Indian Ocean, indicative of a slowdown of the Walker circulation. This pattern of wind change is consistent with that of observed SLP change showing positive trends over the Maritime Continent and negative trends over the central equatorial Pacific. Suppressed moisture convergence over the Maritime Continent is largely due to surface wind changes, contributing to observed decreases in marine cloudiness and land precipitation there. Furthermore, observed ocean mixed layer temperatures indicate a reduction in zonal contrast in the tropical Indo-Pacific characterized by larger warming in the tropical eastern Pacific and western Indian Ocean than in the tropical western Pacific and eastern Indian Ocean. Similar changes are successfully simulated by an ocean general circulation model forced with the bias-corrected wind stress. Whereas results from major SST reconstructions show no significant change in zonal gradient in the tropical Indo-Pacific, both bucket-sampled SSTs and nighttime marine air temperatures show a weakening of the zonal gradient consistent with the subsurface temperature changes. All these findings from independent observations provide robust evidence for ocean-atmosphere coupling associated with the reduction in the Walker circulation over the last six decades.

Keywords: climate change, Walker circulation, air-sea interaction, tropical Indo-Pacific

冬季北太平洋亜熱帯高気圧強度の10年規模変動 Changes in intensity of the wintertime North Pacific Subtropical High on quasi-decadal timescale

杉本 周作^{1*}, 花輪 公雄¹

SUGIMOTO, Shusaku^{1*}, HANAWA, Kimio¹

¹ 東北大学大学院理学研究科

¹ Graduate School of Science, Tohoku University

Temporal variations of the North Pacific Subtropical High (NPSH) intensity, which is defined by the sea level pressure averaged within a region of 120°145W, 20°40N, during 60 winters from December 1950/February 1951 to December 2009/February 2010 are investigated using the National Centers Environmental Prediction/National Center Atmosphere Research (NCEP/NCAR) reanalysis dataset. The months from December to February correspond to the period having peak winter conditions in the atmosphere field. The NPSH shows a dominant quasi-decadal (about 10 years) intensity variation and has an equivalent barotropic structure in the vertical direction through the troposphere. The tripole pressure system associated with quasi-stationary Rossby wave packet propagation is found over the wide regions from the NPSH to the Gulf of Mexico: in the strengthening phases of the NPSH, the pressure weakens over the central Canada and strengthens over the Gulf of Mexico. The spatial structure has a resemblance with the Tropical Northern Hemisphere (TNH) teleconnection pattern detected by the Barnston and Livezey (1987, Monthly Weather Review): actually, the NPSH intensity has a significant correlation ($R = 0.54$) with an index of TNH defined by a rotated empirical orthogonal function (REOF) analysis for the geopotential height at 700hPa field. Changes in the wind associated with the NPSH-related teleconnection pattern impart large impacts on the surface air temperature and precipitable water fields over the America: the associated northerly wind brings cold/dry air onto the western American region and the southerly wind brings the warm/wet maritime air onto the eastern part of the American.

The statistical analyses such as a composite analysis and a correlation analysis show significant relationships between the NPSH and sea surface temperature (SST); a zonal dipole SST structure is found in the tropical ocean: positive SST anomalies are distributed in the western part of tropical ocean and negative anomalies are in the eastern part of tropical ocean in the strengthening phases of the NPSH. The SST pattern is similar to that related to the El Niño/Southern Oscillation (ENSO): actually, the NPSH intensity has a significant correlation ($R = 0.54$) with the Niño-3.4 index defined as SST averaged of 120°170W, 5S-5N. A composite analysis shows that, in the La Niña events, a Hadley cell characterized by an upward flow in the northern tropical Pacific around 150W, 15N and a downward flow in the subtropical Pacific region around 140W, 30N is formed locally and resultant causes a strengthening of the NPSH. It can be pointed out that the NPSH intensity and the NPSH-related teleconnection pattern, i.e., TNH pattern, are induced mainly by the quasi-decadal time scale ENSO found in the recent analysis (Hasegawa and Hanawa 2006, Journal of Oceanography).

キーワード: 北太平洋高気圧, TNH テレコネクションパターン, 10年規模変動, ENSO

Keywords: North Pacific Subtropical High, TNH teleconnection pattern, quasi-decadal timescale, ENSO

西太平洋暖水域の海洋表層にみられる季節内変動の特徴と台風との関係 Intraseasonal variability of ocean surface in the western Pacific warm pool and its connection with typhoon activity

山田 広幸^{1*}

YAMADA, Hiroyuki^{1*}

¹ 海洋研究開発機構

¹JAMSTEC

西太平洋暖水域では大規模な雲活動が季節内(30-90日)の時間スケールで変動することが知られており、活発期には台風の発生頻度が増加することが指摘されている。台風は海面からの熱供給によって強化され、台風の通過後には海洋混合層の顕著な冷却がしばしば観測されるが、その通過以前の変動を含む海洋表層の変動特性はまだ十分に理解されていない。本研究では衛星観測データや高頻度中層フロートのデータを用いて、海洋表層における90日以下の時間スケールの変動特性を調べ、台風活動との関連性を議論する。

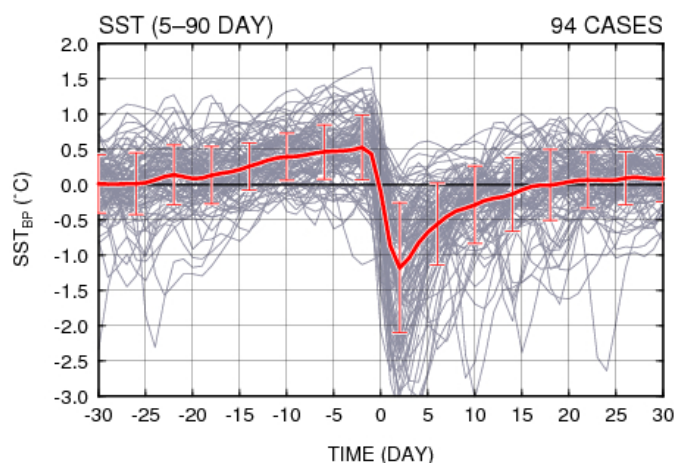
過去23年間の衛星観測データを用いて海面水温の周期特性を調べたところ、90日以下の短周期において卓越する時間スケールは存在せず、5-90日の周期帯で同程度のスペクトル強度を持つホワイトノイズに近い不規則性がみられた。これは様々な時間スケールの変動が混在した結果であり、年によって60日や30日の変動が顕著になる場合があった。このような季節内以下の変動は、それより長い半年~年変動の1/3から同程度の強度を持っていた。

短時間の変動を詳しく調べたところ、大きな振幅を持つ変動の多くは台風活動の大きい期間にみられた。5-90日のバンドパスフィルターを用いて海面水温の季節内変動シグナルを抽出し、台風の通過前後における海面水温の変動特性を事例毎に調べたところ、台風通過前のゆるやかな増加と、通過直後の急激な降下を伴う20-60日程度の変動が多くの事例において認められた(図参照)。台風通過前の昇温に着目し、ベストトラックデータを用いて台風経路との関連を調べたところ、昇温の顕著な領域とその後の台風経路が一致する事例が数多く見られ、台風に先行した海洋表層のプレコンディショニングが起きていることがわかった。1日1回の鉛直観測を行う高頻度中層フロートのデータを用いて台風通過に伴う鉛直構造の変動を調べたところ、このような昇温・冷却は厚さ約50mの海洋混合層全体で起きていることがわかった。

以上の結果は、西太平洋暖水域の海洋混合層には台風の活動と関係した、特定の周期帯を持たない不規則な短周期変動が卓越することを示す。

キーワード: 大気海洋相互作用, 台風, 熱帯気象

Keywords: air-sea interaction, tropical cyclone, tropical meteorology



熱帯太平洋における MJO と ENSO の相互作用

The interaction between the Madden-Julian Oscillation and ENSO in the tropical Pacific

清木 亜矢子^{1*}

SEIKI, Ayako^{1*}

¹ 海洋研究開発機構

¹JAMSTEC

熱帯域において支配的な大気擾乱であるマッデン・ジュリアン振動 (MJO) は、赤道域を 30~90 日で一周する東進擾乱であり、インド洋から西部太平洋にかけての暖水域上では大規模な対流活動を伴う。また、MJO 対流に伴って赤道域に総観規模の強い西風が吹くことがあり、西風バースト (WWB) と呼ばれている。WWB は風応力を通じて海洋にケルビン波を励起し、エルニーニョの発達を促進・維持することが指摘されてきた。

本研究では、異なる ENSO 位相下における MJO の振る舞いやその海洋応答について比較した結果を紹介する。エルニーニョ発達期では、MJO 対流が西部・中部太平洋へ到達した際、赤道付近の擾乱が発達しやすく WWB が頻発し、強い downwelling 海洋ケルビン波が励起される傾向がみられた。一方で、その他の ENSO 位相下では、たとえ大規模な MJO 対流が太平洋へ到達しても赤道付近の風強制や海洋応答は弱いことがわかった。このように、MJO 対流から WWB が発生しやすい環境は、ENSO と関連した基本場の影響を受けていることがわかり、MJO と ENSO は相互に影響しあっていることが推測される。

キーワード: MJO, ENSO, 西風バースト

Keywords: MJO, ENSO, westerly wind bursts

ビスマルク海における沿岸湧昇とエルニーニョ・イベントの関係に着目した観測研究およびモデル研究

Observational and model studies on relationship between coastal upwelling in the Bismarck Sea and El Nino events

長谷川 拓也^{1*}, 安藤 健太郎¹, 水野 恵介¹, Roger Lukas², 田口 文明³, 佐々木 英治³, Jing-Jia Luo⁴, 美山 透¹, 清木 亜矢子¹

HASEGAWA, Takuya^{1*}, ANDO, Kentaro¹, Keisuke Mizuno¹, Roger Lukas², Bunemi Taguchi³, Hideharu Sasaki³, Jing-Jia Luo⁴, MIYAMA, Toru¹, Ayako Seiki¹

¹ 海洋研究開発機構/地球環境変動領域, ² ハワイ州立大学マノア校, ³ 海洋研究開発機構/地球シミュレータセンター, ⁴ 海洋研究開発機構/地球環境変動領域 (現・オーストラリア気象局)

¹JAMSTEC-RIGC, ²University of Hawaii-Manoa, ³JAMSTEC-ESC, ⁴JAMSTEC-RIGC, now at Bureau of Meteorology/Australian Government

西部赤道太平洋のニューギニア島の東側に存在するビスマルク海において、海洋の水温や流速場および大気変動に関して解析を行った。本研究では、観測データに加えて高解像度海洋大循環モデルや高解像度大気海洋結合大循環モデルを用いた。

2001年12月から2002年1月において、パプアニューギニア北岸に沿って、沿岸湧昇の存在が観測データから確認された。さらに、この沿岸湧昇に関係する冷水域が、時間とともに北東方向に拡大する様子が見られた。同時期には、強い北西風が岸に沿って発生していた。この北西風は沖向きのエクマン輸送を生じさせることが期待され、沿岸湧昇の発生に好ましい大気場である。

また、高解像度海洋大循環モデルによる過去再現実験出力を用いて、この時期の流速場の解析を行った。その結果、パプアニューギニア沖の沿岸湧昇海域から赤道に向かう北東向きの流れの場が海洋表層(約30m以浅)で見られた。この北東向きの流れは、赤道域の南側に沿岸湧昇に関係する冷水を輸送に寄与することが示唆された。さらに、パプアニューギニア沖に発生した沿岸湧昇に関係する北東向きの冷水の輸送が、ビスマルク海における複雑な沿岸流に関係することが示唆された。このようなビスマルク海における冷水輸送およびその結果として生ずる海洋表層の冷却は、2002/03年に発生したエルニーニョの直前に生じている。

さらに、パプアニューギニア沖沿岸湧昇に関係する冷水の北東方向の拡大によって、西部赤道太平洋に海面水温の正の東西勾配が生ずる様子が観測データから確認された。この時期は、海上風の西風成分が西部赤道太平洋において強かった。このような西部赤道太平洋における正の海面水温東西勾配と強い西風の関係は過去の理論研究やモデル研究の結果と整合する。また、この西風が強化された時期から暖水プールの東進が始まり、続いて2002/03年のエルニーニョが発生する様子が観測された。

加えて、高解像度大気海洋結合大循環モデルの200年間のシミュレーション出力を解析した結果、観測された沿岸湧昇時の水温パターンとよく似た水温パターンがビスマルク海に見られた。この水温パターンに関係する海面冷却の約半数は、エルニーニョ・イベントの開始前に発生していた。

本研究の結果から沿岸湧昇のような小規模な海洋現象が大気や海洋の変化を通じて、大規模現象であるエルニーニョ発生に寄与する可能性が示唆される。

キーワード: 沿岸湧昇, エルニーニョ, 西部熱帯太平洋, 大気海洋相互作用, 季節内スケール・経年スケール変動

Keywords: coastal upwelling, El Nino event, tropical western Pacific, air-sea interaction, intraseasonal-to-interannual scale