様式 C-19

科学研究費補助金研究成果報告書

平成 21 年 3 月 31 日現在

研究種目：若手研究(B)
研究期間：2006～2008
課題番号：１８７４０２９０
研究課題名（和文）　20 世紀および地球温暖化時のモンスーン熱水循環変動の解明

研究課題名（英文）　Projected change of monsoon circulation in a warmer climate and 20th century

研究代表者
植田　宏昭（UEDA HIROAKI）
筑波大学・大学院生命環境科学研究科・講師
研究者番号：７０３４４８６９

研究成果の概要：
大気－海洋混合層結合モデルによる瞬間的 CO_2 倍増実験より、 全球降水量変動における CO_2 倍増の直接効果を地表面・大気熱収支の観点から評価した。温室効果ガスである CO_2 の増加により、 大気よりも熱容量の大きい地表面が加熱される一方、 水蒸気と CO_2 のオーバーラップ効果は正味地表面放射の変化を抑制するため、それを補うように蒸発による潜熱フラックスが減少する。 この結果、 CO_2 倍増の直接効果として、 降水量の減少が引き起こされる。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合　計
２００６年度	1,300,000	0	1,300,000
２００７年度	1,100,000	0	1,100,000
２００８年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
総　計	3,600,000	360,000	3,960,000

研究分野：気候学・気象学
科研費の分科・細目：地球惑星科学・気象・海洋物理・陸水学
キーワード：モンスーン、温暖化

１．研究開始当初の背景

日本を含む広域アジアの気候状態の実態把握と変動機構の解明は、洪水や干魃などに代表される気象災害の低減のみならず、人口の稠密なアジアモンスーン域での食料供給の観点からも社会的に重要な課題である。近未来である 21 世紀後半には地球温暖化によって地球気候システムが大きく変化することが予想されており（IPCC [Intergovernmental Panel on Climate Change]第三次評価報告書, 2001)、我々の生活に密接に関係する熱・水循環システムの変容の詳細を明らかにする必要がある。とりわけ経済・社会状況が不安定なアジア地域は、気候変動に対して脆弱であるため、モンスーンシステムに対する気候変動の影響の解明

は、緊急に取り組むべき科学的課題である。

２．研究の目的

GEWEX(Global Energy and Water Cycle Experiment: 全球エネルギー・水循環研究計画)傘下の国際共同研究計画 GAME(GEWEX Asian Monsoon Experiment)を通して、アジアモンスーンは様々な地域と時間スケールに分散した非断熱（潜熱・顕熱）加熱の総和として成立している、という描像が明らかになってきた。また、異なる時間・空間スケール間における相互作用の一端も見え始め、後続研究が待たれている。さらに 2006-7 年に発行予定の IPCC の第四次評価報告書を目的とした、主要各国の大気海洋結合モデルによる地球温暖化実験結果もほぼ出揃い、21 世紀の水循環予測の解析が急務となっている。

そこで本課題では、現在気候におけるモンスーンの成立プロセスについて、主に季節変化と経年変動に焦点を当て、非断熱加熱(潜熱･顕熱･放射)の定量的把握を行い、モンスーンの変動を支配する熱･水循環の物理プロセスの解明を目指す。さらに、地球温暖化数値実験データを利用し、広域アジアにおける水資源の予測と気候システムの変動に関する調査を行い、広く内外に成果を公開することを目的とする。

３．研究の方法

夏季アジアモンスーンの成立過程を詳細に調査するため、集中観測が行われた 1998 年の気象・水文観測データを利用し、陸面での非断熱加熱のデータマイニングを行う。具体的には GAME 再解析データを用いて非断熱加熱量を特定し、各スーパーサイトで得られた地上観測、高層観測との検証を行う。また海洋上は熱帯降雨観測衛星(TRMM)から潜熱プロファイルを求めるアルゴリズムを開発する。気象庁気象研究所の全球大気海洋結合モデル (MRI-CGCM) を用いて数値実験を行う。平成 17 年 10 月現在、MRI-CGCM は筑波大学に移植されており、平成 18 年度当初には 50 年分の積分が終了する予定である。このコントロールランに加え、陸面の効果や海面水温などの境界値問題を考察するため、各種仮想実験を行う。さらに、熱・水循環変動の変調例として 2004 年の極東アジアの異常気象を取り上げ、大気海洋陸面相互作用の視点から前兆現象の特定を行う。具体的には、各種客観解析、人工衛星（海面水温[SST]、対流活動[OLR])、数値実験を組み合わせて研究を実施する。上記の現在気候の解析で得られた知見を生かし、地球温暖化時の気候変化予測の研究を行う。IPCC 地球温暖化実験プロジェクトから提供される主要各国の数値シミュレーションの結果を集約し、気象解析用にデータをアーカイブし、アジアモンスーンの熱・水循環変動の研究に資する。Kitoh (1996)によれば、地球温暖化時には夏のモンスーン循環は弱くなるものの、降水量は増えることが指摘されている。この矛盾した関係について、熱・水収支などの評価を行うとともに、熱帯東西循環の変調との関係を調査する。また関連するトピックとして、温暖化時のエルニーニョシステムの変化などについても、複数モデルの出力結果を用いて調査する。

４．研究成果

平成 20 年度では、モンスーン地域での気候変動について、地球温暖化を含む長期変動スケールの研究を行った。IPCC によるマルチモデルアンサンブルデータ、客観解析データ、衛星リモートセンシングデータ、大気海洋結合モデルなどを組み合わせて包括的な研究を実施した。個別の成果は下記の通りである：

（１）大気海洋結合大循環モデルを用いて、

モンスーンの段階的な季節進行における海洋と陸面の寄与について、正と負のフィードバックの定量化を行った。夏のアジアモンスーンは、5月中旬のFirst Transition、６月中旬のインドモンスーンオンセットおよびITCZの成熟、7月中旬のConvection jumpの３回の急激な季節変化によって特徴付けられる。これらの変化における、SST効果、放射/陸面効果を算出したところ、５月中旬のオンセット（南シナ、インドシナ半島など）は、広域の温度コントラストの反転が主要素であることを反映し、SSTの効果は相対的に小さいことが実験的に明らかになった。一方、６月中旬のSSTは対流活動の活発化に対し負のフィードバック効果として働いている。西太平洋上の対流ジャンプにおけるSSTの寄与は低く、対流活動を抑制するプロセスがあることを示唆している。論文の後半は、この対流抑制プロセスを引き起こす下降流の成因について、線形傾圧モデルを用いて、ITCZによる熱源応答との関係を実験的に示すとともに、TRMM-PRHデータやAIRSなどの人工衛星データから、対流活動の前兆現象とされる対流圏中部の背の浅い対流による湿潤化の様子を明らかにした。

（２）大気－海洋混合層結合モデルによる瞬間的CO_2倍増実験より、全球降水量変動におけるCO_2倍増の直接効果を地表面・大気熱収支の観点から評価した。 瞬間的に倍増したCO_2は蒸発と降水の両方を減少させる。温室効果ガスであるCO_2の増加により、大気よりも熱容量の大きい地表面が加熱される一方、水蒸気とCO_2のオーバーラップ効果は正味地表面放射の変化を抑制するため、 それを補うように蒸発による潜熱フラックスが減少する。 この結果、 CO_2倍増の直接効果として、 降水量の減少が引き起こされる。この全球降水量の減少は、 対流圏エネルギーバランスにおける、 大気放射冷却の減少と凝結による大気加熱の減少のバランスとしても捉えることができる。 これらの熱収支の変化はモデルによらない強固な変化として表れる。

（３）熱帯太平洋上で発生するエルニーニョ・南方振動 （El Niño and Southern Oscillation; ENSO）は、大気の橋を介して熱帯域の降水変動へ大きく影響を及ぼす。観測結果では正位相（エルニーニョ）から負位相（ラニーニャ）への遷移は急速に進むのに対し、その逆の遷移は多くのイベントで停滞する傾向があることが知られている。逆位相でかつ同様の振幅・空間分布をした海面水温偏差を大気大循環モデルに与えて診断を行ったところ、海面水温に対する大気場の非線形的な応答に伴って、対流・表層風偏差の空間分布は冬に大きく異なることがわかった。さらに、この表層風偏差を簡易海洋モデルに与えてＥＮＳＯの発達を比較したところ、正位相ではＳＳＴに対する大気の応答が逆位相への急速な遷移を促すのに対し、負位相では大気の風の場がラニーニャからエルニーニョへの遷移を妨げるように働いていた。これらのことより、強いエルニーニョの年の次にはラニーニャが来るが、強いラニーニャの次の年には再度ラニーニャが来るというメカニズムが大気海洋結合システムに元々内在しているメカニズムであるということが明らかになった。

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）

① Ueda, H., M. Ohba and S.-P. Xie, Inportant factors for the development of the Asian-Northwest Pacific summer monsoon Journal of climate, 査読有、22, 2009, 649-669.

② Ohba, M. and H. Ueda, Role of nonlinear atmospheric response to SST on the asymmetric transition process of ENSO, 査読有、22, 2009, 177-192.

③ Inoue, T. and H. Ueda, Evaluation for the seasonal evolution of the summer monsoon over the Asian-western Pacific sector in the WCRP CMIP3 multi-model experiments, 査読有、Journal of Meteorological Society of Japan、86, 2009（印刷中）.

〔学会発表〕(計4件)

① 井上知栄・植田宏昭、CMIP3 マルチ気候モデルにおける夏季アジアモンスーン季節進行の再現性比較、日本気象学会 2008 年度秋季大会、2008 年 11 月 21 日、仙台

② 釜江陽一・植田宏昭、CO2 倍増による全球降水抑制効果、日本気象学会 2008 年度秋季大会、2008 年 11 月 19 日、仙台

③ 磯崎勉・植田宏昭、プレモンスーン期の大気・地表面加熱におけるエアロゾルの寄与、日本気象学会 2008 年度秋季大会、2008 年 11 月 19 日、仙台

④ 冨永晶子・植田宏昭、地球温暖化に伴う西部北太平洋モンスーンと梅雨明けの変化、日本気象学会 2008 年度秋季大会、2008 年 11 月 21 日、仙台

６．研究組織

(1)研究代表者

植田　宏昭（UEDA HIROAKI）

筑波大学・大学院生命環境科学研究科・講師

研究者番号：７０３４４８６９

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし