

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18540432
 研究課題名（和文） 夏季モンスーンのオンセットの変動機構と予測可能性に関する研究
 研究課題名（英文） Mechanisms of the onset of the summer monsoon and its potential predictability
 研究代表者
 川村 隆一（KAWAMURA RYUICHI）
 富山大学・大学院理工学研究部・教授
 研究者番号：30303209

研究成果の概要：

大気海洋結合モデルならびに衛星リモートセンシングデータ等の観測データを併用して、夏季モンスーンのオンセット変動機構の重要な鍵となる大気海洋相互作用及び大気陸面相互作用のプロセスを調査した。標高改変実験からは亜熱帯前線帯の維持のメカニズム、植生改変実験からは降水量の集中化と大気海洋相互作用の重要性が新たに見出された。また、オンセット現象と雷活動との相互関係、夏季東アジアモンスーン降雨帯の強化をもたらす台風の遠隔強制やモンスーン間のテレコネクションのプロセスも明らかになった。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,600,000	0	1,600,000
2007年度	700,000	210,000	910,000
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,100,000	450,000	3,550,000

研究分野：気象学・気候力学

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／エルニーニョ／大気陸面相互作用／大気海洋相互作用

1. 研究開始当初の背景

熱帯モンスーン地域は大規模気象災害からみても自然災害を被る頻度が非常に高い地理的な位置にある。しかもインド・東南アジア地域などでは狭い国土に人口が集中しており、集中豪雨による洪水災害や少雨による渇水・旱魃などの気象災害に対して非常に脆弱な地域でもある。大規模気象災害が一旦生ずると、人的被害のみならず農業生産などの社会経済的損失も計り知れないものがある。それゆえ、気象災害の軽減のために、モンスーンの季節予報（月別総降水量やモンス

ーン開始時期など）の精度向上や災害の予測可能性についての研究がモンスーン地域の国々から強く要請されている。

しかしながら、現在の気候モデルによる季節予報は実用面において多くの課題が山積している。観測の気候値を再現することは必ずしも困難ではないが、雨季の開始（オンセット）時期や降水量の年々変動を再現することは非常に難しい。再現が困難である大きな理由の一つは地域ごとのモンスーンの変動機構が依然として解明されていないことにある。例を挙げると、北にチベット

大規模山岳が位置するインドモンスーンとインドネシア多島海域に面するオーストラリアモンスーンとは、変動機構の重要なプロセスである。大気-陸面相互作用や大気-海洋相互作用の相対的な役割が異なることが予想される。また、大気-海洋相互作用においても、モンスーン変動に対する熱帯インド洋と熱帯太平洋の相対的な役割が異なると考えられる。もし変動機構が理解されていれば、その変動機構が大循環モデルにおいてどの程度再現されているかどうかを様々な側面から定性的・定量的に評価することで、改善すべきモデルの物理過程等を絞り込むことが可能となり、ひいては予報の精度向上に資することが期待される。

また、中緯度モンスーン地域においても、冷夏や猛暑、大雨や少雨のような異常気象をもたらすモンスーン循環の変動機構の解明と予測可能性は重要な問題である。熱帯および中緯度モンスーン間の相互作用も解明すべき問題として残されている。

2. 研究の目的

研究目的達成のために、以下の具体的な到達目標を設定する。

(1) 日本版大気再解析データ (JRA-25) や衛星リモートセンシングデータ (熱帯降雨観測衛星等) を用いて、各モンスーン地域 (インド・東南アジア・オーストラリア・南米) の雨季のオンセットの実態を調査し、地域的特徴の違いを明確にする。

(2) 大気海洋結合モデル等を用いて、オンセットの変動機構の重要なプロセスと考えられる、大気-陸面相互作用並びに大気-海洋相互作用の二種類の相互作用の役割を評価し、オンセットの地域的差異をもたらす要因を解明する。

(3) 熱帯および中緯度地域の夏季モンスーンの変動機構ならびにモンスーン間のテレコネクションのメカニズムを明らかにし、変動の予測可能性について考察する。

3. 研究の方法

オンセット機構に果たす役割として大気-海洋相互作用のプロセスだけではなく、大気-陸面相互作用のプロセスについても調査する。具体的には、チベット高原やアンデス山脈などの大規模山岳の標高を改変させた数値実験やインドシナ半島の植生分布を改変させた数値実験を実施し、モデル上で各地域のモンスーンのオンセット現象が陸面改変によりどのように変わりうるのかを評価する。

衛星リモートセンシングデータ (熱帯降雨観測衛星等) や大気再解析データの解析と大循環モデルの数値実験の手法から、大気-陸面相互作用並びに大気-海洋相互作用の二種類の相互作用の相対的役割を評価するこ

とで、地域ごとのモンスーンのオンセットの変動機構を明らかにする。

また、中緯度地域の夏季モンスーンの代表として、東アジアモンスーンに注目し、その循環に遠隔的に影響を及ぼすインドモンスーン、西太平洋モンスーンの熱源変動についても評価する。

4. 研究成果

(1) オンセット現象と雷活動

熱帯降雨観測衛星に搭載された雷観測装置のデータを用いて、夏季インド・東南アジアモンスーンのオンセット前後の雷活動を調査した。バングラデシュなどの陸上地域では、顕熱加熱が主導的な役割を果たすプレオンセット循環が卓越している時に、雷活動が活発化し、下層の相当温位差で定義された対流不安定指標の大小と良い対応が見出された。ベンガル湾や南シナ海などの海上では、むしろ潜熱加熱が主導的なオンセット循環が卓越する時期と対応して、雷活動が活発化する傾向にある。また、雷活動の地域性を詳しく調べたところ、地域によってはプレオンセット期の雷活動とオンセット後のモンスーン前半期の降水量と良い対応関係があることがわかった。今後事例数を増やして更に詳細な解析が必要である。

(2) 標高改変のインパクト

大循環モデルにおいて山岳標高改変実験を実施し、南米大陸の大規模山岳が南米モンスーンや南大西洋収束帯 (SACZ) の形成等にどのような役割を果たしているのかを調査した。その結果、大規模山岳の存在は、モンスーンの降雨帯を高緯度側へシフトさせ、その移動に伴い対流圏下層ではアンデス山脈からブラジル高原南方にかけて広範囲にわたる低気圧性循環を生じさせる。一方で、対流圏上層ではアンデス山脈上で高気圧性循環、その東の南大西洋上で低気圧性循環、高気圧性循環の形成にも関与している。南大西洋上の順圧構造をもつ高気圧偏差とモンスーン域下層の低気圧偏差の共存が、下層の水蒸気収束を通して SACZ の形成に寄与していると考えられる。アンデス山脈の存在が、周辺の積雲対流活動を活発化させることで対流圏上層に新たな熱源を生み出し、定在ロスビー波の伝播により、高気圧偏差が定常的に誘引された可能性があげられる。

(3) 植生改変のインパクト

高解像度 (T213) 大気海洋結合モデルを用いたインドシナ半島の植生改変実験 (樹林→麦畑) を行った結果、インドシナ半島では東部で降水量増加、西部で減少する東西非対称の分布がみられる。地表面気温の高温化に伴い地表面気圧も低下し、ベンガル湾からインドシナ半島にかけてモンスーン西風が強ま

る一方、南シナ海上では海陰間で、東西気圧傾度が大きくなり南風成分が強化される。両者による下層の水蒸気収束と森林伐採による地表面粗度の減少が降水量の東西非対称偏差の一因であると考えられる。海上風速の変化は SST にも変化を及ぼし、ベンガル湾南部と南シナ海の沿岸域で SST の低下が生じている。ベンガル湾南部からマレー半島にかけては主に蒸発冷却、南シナ海沿岸域は主に沿岸湧昇の活発化が SST の低下に寄与している。海面からの蒸発量増加に伴う水蒸気輸送により、半島東部での水蒸気収束をさらに促進していると考えられる。

(4) SST 効果と放射/陸面効果

大気海洋結合モデルを用いて、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ものである。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。

(5) 台風の遠隔強制による東アジアモンスーン降雨帯の強化

夏季東アジアモンスーンの変動特性とそのメカニズムについても解析を行った。台風熱源が遠隔伝播パターンを励起することで、日本東方において高気圧が発達し、台風に伴う低圧部との間で東西気圧傾度が強化される。その結果として、低緯度域からの暖湿気流が促進され、太平洋沿岸地域で大雨が生じやすくなる。台風が日本から遠く離れた海域にあっても、台風が南からの水蒸気供給を促すことで、梅雨前線や秋雨前線を活発化させるという説明を天気解説としてよく聞くが、南からの水蒸気供給という現象に、実は台風が遠隔伝播パターンの励起を通して日本東方の高気圧を遠隔的に強化するという重要なプロセスが隠されていることが明らかに

なった。

(6) モンスーン間のテレコネクション

夏季東アジアモンスーンのオンセットと変動に関連するテレコネクションパターンを調査した結果、2種類の EJ パターン (EJ タイプ 1 と EJ タイプ 2) のうち、オホーツク海高気圧の変動を良く説明する正の EJ タイプ 2 (EJ2+) と負の PJ (PJ) が複合すると、東アジア地域の対流圏中層の高度場に顕著な三極構造 (オホーツク海とフィリピン北方の北西太平洋に正偏差、日本に負偏差) が出現する。EJ2+ と PJ のテレコネクションの複合効果は、東アジア北東部において単独のテレコネクションよりも大きな地上気温の低下をもたらしており、夏季東アジアモンスーン循環に実質的な影響を与えていることが見出された。また、LF 成分のテレコネクションの複合によって、日本周辺海域において明瞭な海面水温の低下が生じている。LF-EJ2+パターンと LF-PJパターンは共に 1980 年以降、頻繁に出現する傾向があり、結果として、LF 成分でのテレコネクションの複合事例が過去 20 年間で増加した可能性がある。特に日本における、降水量増加に伴う極端な冷夏 (例えば、1993 年、2003 年) はしばしばそのような LF 成分の複合によって生じている。

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 13 件)

- ①Sakai, K., and R. Kawamura (2009): Remote response of the East Asian winter monsoon to tropical forcing related to El Nino-Southern Oscillation. *J. Geophys. Res.*, **114**, D06105, doi:10.1029/2008JD010824. 査読有
- ②Ueda, H., M. Ohba and S.-P. Xie (2009): Important factors for the development of the Asian-Northwest Pacific summer monsoon. *J. Climate*, **22**, 649-669. 査読有
- ③Ohba, M. and H. Ueda (2009): Role of nonlinear atmospheric response to SST on the asymmetric transition process of ENSO. *J. Climate*, **22**, 177-192. 査読有
- ④Hatsushika, H., R. Kawamura, K. Kawasaki, M. Kido, T. Kondo, Y. Tsuchihara, T. Mizoguchi, T. Yamazaki, T. Oritani, and T. Nakamura, and (2009): Change in surface air temperature, humidity, and precipitation over Toyama prefecture due to global warming. *Journal of Ecotechnology Research*, **14**, 189-194. 査読有
- ⑤川村隆一 (2008): 大気海洋相互作用からみた気候変動. 地学雑誌, **117**, 1063-1076. 査読有
- ⑥Ogasawara, T., and R. Kawamura (2008):

Effects of combined teleconnection patterns on the East Asian summer monsoon circulation: Remote forcing from low- and high-latitude regions. *J. Meteor. Soc. Japan*, **86**, 491-504. 査読有

- ⑦櫻井溪太・川村隆一 (2008): 日本における竜巻発生の環境場と予測可能性. *天気*, **55**, 7-22. 査読有
- ⑧大橋喜隆・川村隆一 (2007): 夏季の北陸地方のフェーン発現日における地上風系とGPS可降水量の日変化特性. *天気*, **54**, 541-554. 査読有
- ⑨Yamada, K., and R. Kawamura (2007): Dynamical link between typhoon activity and the PJ teleconnection pattern from early summer to autumn as revealed by the JRA-25 reanalysis. *Sci. Online Lett. Atmos.*, **3**, 65-68. 査読有
- ⑩川村隆一 (2007): モンスーン循環の形成とその変動プロセス - 大気海洋相互作用と大気陸面相互作用から謎を解く -. *天気*, **54**, 199-202. 査読有
- ⑪Ogasawara, T., and R. Kawamura (2007): Combined effects of teleconnection patterns on anomalous summer weather in Japan. *J. Meteor. Soc. Japan*, **85**, 11-24. 査読有
- ⑫川村隆一・小笠原拓也 (2007): 平成 18 年豪雪をもたらしたラージスケールの大気循環場の特異性 - 過去の豪雪年との比較 -. *雪氷*, **69**, 21-29. 査読有
- ⑬Kawamura, R., and T. Ogasawara (2006): On the role of typhoons in generating PJ teleconnection patterns over the western North Pacific in late summer. *Sci. Online Lett. Atmos.*, **2**, 37-40. 査読有

[学会発表] (計 10 件)

- ①Kawamura, R., and K. Sakai (2008): Remote response of the East Asian winter monsoon to tropical forcing related to El Nino-Southern Oscillation, Asia Oceania Geosciences Society 5th annual meeting, Busan, Korea.
- ②Kawamura, R., and T. Ogasawara (2007): Combined effects of teleconnection patterns on the East Asian summer monsoon variability, The third China-Korea-Japan joint conference on Meteorology, Beijing, China.
- ③Kawamura, R., and T. Ogasawara (2007): Combined effects of teleconnection patterns on the East Asian summer monsoon variability, Asia Oceania Geosciences Society 4th annual meeting, Bangkok, Thailand.
- ④櫻井溪太・川村隆一 (2007): 日本で発生する竜巻などのシビアストームの予測可能性. 日本気象学会 2007 年春季大会講演予稿集, P144.
- ⑤小笠原拓也・川村隆一 (2007): 日本の夏季

天候に影響を与える遠隔伝播パターンの複合について. 日本気象学会 2007 年春季大会講演予稿集, P238.

- ⑥日置智仁・川村隆一 (2007): 台風の遠隔強制による豪雨発生の可能性について. 日本気象学会 2007 年春季大会講演予稿集, P438.
- ⑦花田淳司・川村隆一・鬼頭昭雄・荒川 理 (2006): 南米大陸の標高変化がもたらすモンスーン及び南大西洋収束帯の変化. 日本気象学会 2006 年秋季大会講演予稿集, P368.
- ⑧大橋喜隆・川村隆一 (2006): 夏季の北陸地方のフェーン現象発現時におけるGPS可降水量変動. 日本気象学会 2006 年秋季大会講演予稿集, P185.
- ⑨相原 史・川村隆一・松浦知徳・飯塚 聡 (2006): インドシナ半島の植生変化がもたらすアジアモンスーン循環の変化. 日本気象学会 2006 年春季大会講演予稿集, P140.
- ⑩山田晃平・川村隆一 (2006): JRA-25 再解析による台風の遠隔強制の評価. 日本気象学会 2006 年春季大会講演予稿集, B455.

[図書] (計 3 件)

- ①川村隆一 (2009): 第 2 章 北東アジアの気象と気候. 「自然と経済から見つめる北東アジアの環境」, 富山大学出版会, 311pp., 分担執筆.
- ②川村隆一・小笠原拓也・吉池聡樹 (2007): 第 9 章 平成 18 年豪雪と冬季東アジアモンスーン変動. 「2005/06 年 日本の寒冬・豪雪」気象研究ノート (日本気象学会), 分担執筆.
- ③Matsuura, T., and R. Kawamura (2007): Water-related disasters, climate variability and change: Results of tropical storms in East Asia. Research Signpost, 170pp., Co-editors.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

川村 隆一 (KAWAMURA RYUICHI)
富山大学・大学院理工学研究部・教授
研究者番号: 30303209

(2) 連携研究者

松浦 知徳 (MATSUURA TOMONORI)
富山大学・大学院理工学研究部・教授
研究者番号: 10414400

飯塚 聡 (IIZUKA SATOSHI)
独立行政法人防災科学技術研究所・水・土砂防災研究部・研究員
研究者番号: 40414403

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