

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月 5日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010 ~ 2012

課題番号：22340137

研究課題名（和文）

ヒマラヤ・アッサム・バングラデシュ地域に豪雨をもたらす準2週間周期変動の解明

研究課題名（英文）

A study on quasi-biweekly oscillation around Himalaya, Assam and Bangladesh regions

研究代表者

安成 哲三 (YASUNARI TETSUZO)

名古屋大学・地球水循環研究センター・特任教授

研究者番号：80115956

研究成果の概要（和文）：

バングラデシュの長期地点降水量データの解析より、準2週間周期(QBW)は1980年以降に特に卓越するようになったことが分かった。高精度降水量データと客観解析データより、ヒマラヤ-アッサム-バングラデシュ(以後、対象領域)の降水のQBWは、陸上のアジアモンスーン域で最も活発で、特にバングラデシュ周辺のメガラヤ高原とミャンマー北西岸で振幅が大きいことがわかった。降水のQBW活発期(不活発期)には、対象領域周辺の大気下層で西～南西風(東～南東風)が卓越する。この東西風変動は波長約6000Km程度の西進する赤道ロスビー波によってもたらされる。QBW活発期の降水には顕著な日変化が見られた。領域大気モデルの解析から、これは900hPa周辺の下層ジェット気流の日変化が原因であり、この気流が標高約1500mのメガラヤを乗り越える際に自由対流高度まで持ち上げられ、強い対流雲を形成し降雨を増大させることが分かった。一方、不活発期は下層ジェットが弱く、地形によって大気が自由対流高度まで持ち上げられないため、対流雲が発達しない。これらの解析より、対象領域に降水のQBWをもたらす大気擾乱は数千Kmの広がりを持つにも関わらず、対象領域の地形的な特徴に強く依存した、遙かに小さなスケールで顕著となっていることが明らかになった。本研究により、南アジアでも特に雨の多いヒマラヤ-アッサム-バングラデシュ領域において最も卓越する降水変動であるQBWの変動機構を解析とモデルの両方で明らかにすることができた。

研究成果の概要（英文）：

This study elucidated a process of distinct rainfall fluctuation related to quasi-biweekly Oscillation (QBW) over Himalaya-Assam-Bangladesh (HAB) region, where one of the heaviest rainfall is observed in the world, by means of data analysis and a numerical simulation. QBW in rainfall became a dominant mode of intraseasonal oscillation since 1980s around Bangladesh. QBW in rainfall over HAB region is most active, especially in Meghalaya plateau and the western coast of Myanmar, in land areas of Asian monsoon. In active (break) phase of rainfall in QBW in the HAB region, a low-level westerly/southwesterly (easterly/southeasterly) is dominated there. The large zonal wind fluctuation is induced by westward propagating $n=1$ equatorial Rossby wave with a wave length of ~ 6000 km. Rainfall in active phase of QBW often shows a remarkable diurnal variation around the Meghalaya plateau. The variation is caused by diurnal variation of low-level jet around 900 hPa. The strong low-level flow transports abundant moisture to the southern slope of the Meghalaya Plateau during the active period, which triggers forced lifting and brings orographic rainfall. However, low-level wind during the inactive period is too weak to induce orographic rainfall. Thus, the distinct QBW in HAB region is strongly enhanced locally (~ 500 Km) by the topographical features although atmospheric circulation causing the ISO has horizontal scale of ~ 6000 Km.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	5,500,000	1,650,000	7,150,000
2011年度	4,600,000	1,380,000	5,980,000
2012年度	4,200,000	1,260,000	5,460,000
総計	14,300,000	4,290,000	18,590,000

研究分野：気候・気候学

科研費の分科・細目：気象・海洋物理・陸水学

キーワード：アジアモンスーン、降水、季節内変動、準2週間周期変動

1. 研究開始当初の背景

南アジアのアッサム・ヒマラヤ山脈沿い、バングラデシュ、ミャンマー西岸にかけての地域は、モンスーン季を中心とする降雨により、年降水量は1万ミリを超えるところもあり、世界の最多雨地域として知られている。この大量の降雨量は、これまで、ベンガル湾からの湿った気流がアッサム丘陵やヒマラヤ、アラカン山脈などの急峻な山岳地域で強制上昇することにより、もたらされると考えられてきた。しかし、最近の現地観測の日降水量などにもとづく研究 (Murata et al. (2008)、初塚(2008)) では、これらの地域での雨季の降水量変動は、非常に顕著な準2週間周期の季節内変動 (Quasi-biweekly Oscillation: QBW) を示し、大量の降水量のほとんどが、この QBW に伴う雲・降水活動の活発期に集中してもたらされていることが示されている。しかも、バングラデシュ地域での降水量変動に伴う大気循環場の解析からは、大量の降水が必ずしもベンガル湾からの湿潤なモンスーン気流の地形による強制上昇の効果だけでもたらされているのではないことが示唆されている。この QBW は、よく知られた 30-60 日周期変動 (Yasunari, 1979, 1981, etc.) と共に、1970 年代から夏季アジアモンスーンの季節内変動モードのひとつとして理解されてきたが、30-60 日周期変動が海洋上も含む南アジアモンスーンの広域で卓越しているのに対し、この QBW はインド北部のモンスーン・トラフの振動に深く関係しており (Murakami, 1976, Yasunari, 1976, Krishnamurti and Ardanuy, 1980)、特に降水量や対流活動については、チベット高原からバングラデシュ地域およびインドシナ半島内陸部で顕著であることが、最近の研究から示唆されている (Fujinami and Yasunari, 2004, 2009; Yokoi et al., 2007 など)。QBW の力学については、対流活動と何らかのかたちで結合した熱帯太平洋起源の赤道ロスビー波であるとする考え (Annamalai and Slingo, 2001; Chatterjee and Goswami, 2004) が提出されているが、南アジアではイ

ンド北部からヒマラヤ・チベット高原沿いに選択的に卓越していることから、高原の地形も関与した中緯度の偏西風波動との相互作用あるいは結合による振動の可能性 (Fujinami and Yasunari, 2009) も示唆されているが、まだ確定した機構は明らかになっていない。特にこの QBW が南アジアのこれらの地域にどのような仕組みで大量降水をもたらすかは、ほとんど未解明のままである。降水分布もヒマラヤ南麓やミャンマー西岸沖合にその極大があることから、湿潤なモンスーン気流に対する山岳地形の直接的な強制上昇よりもむしろ、西進するロスビー波の特徴を持つ熱帯の大規模な波動が、中緯度の偏西風波動やチベット高原・アッサム・アラカン山脈などの山岳地形や南アジアの海陸分布との力学的相互作用により変形し、100 km ~ 1000 km スケールの渦や擾乱を副次的に形成することが重要であることが、循環場の予備的解析などで示唆されているが、詳細な機構解明はまだなされていない。

2. 研究の目的

ヒマラヤ・アッサムからベンガル湾沿岸部の世界でも類を見ない多降水量分布がどのような大気循環と降水機構でもたらされているかを明らかにすることを第一の目的とする。そのためには、最近の観測的研究で明らかになった降水量の QBW の機構も同時に明らかにする必要がある。この降水量の QBW 的変動は、ほぼ毎年顕著に現れており、この QBW の空間的特徴も含め、降水量の年々変動との関連も明らかにすることも目的に含まれる。その上で、降水量の QBW をもたらす大気循環、水蒸気輸送・収束場の変動を、アジアモンスーン・西太平洋地域全域スケールで明らかにする。また、より詳細な降水量データと気象レーダデータが利用可能なアッサム・バングラデシュ地域に関しては、QBW に伴う降水システムの詳細な時空間構造の診断的解析と力学的解析を行い、大規模な大気循環・水蒸気場との関連を明らかにする。観測データにもとづく解析に加え、全

球雲解像大気モデル(NICAM)と、いくつかの雲解像の地域大気モデルを用いて、これらの地域の多降水量分布と QBW の変動機構の再現を試み、観測データに基づく診断的・力学的解析結果と比較しつつ、多降水量分布とそれを担う QBW 変動の機構の解明をめざす。さらに、「地球温暖化」やエアロゾル増加などの人為的起源による気候変化がこの豪雨地域にどう現れつつあるか、あるいは今後どう現れうるかについても、IPCC-AR4 および AR5 関連のモンスーン循環変化の結果を境界条件として RCM での「擬似地球温暖化実験 (Pseudo-Global Warming Experiment)」を行い、「地球温暖化」に伴うこの地域の豪雨の変化傾向についても、より定量的な考察を行う。

3. 研究の方法

1)最近作成された高精度の日降水量・時間降水量格子点データを用いて、南アジア北東部の豪雨地帯の季節変化と季節内変動の時空間変動を過去数十年について年ごとに解析する。特に QBW 成分に着目した時空間変動パターンを抽出する。

2)降水量の QBW 成分に対応した広域の大気循環・水蒸気フラックス変動などの特徴を、JRA 再解析データなどにより統計的・診断的に明らかにし、その力学的機構を考察する。また、年々の違いと類似性についても解析を行う。最近数年については、TRMM-PR データやバングラデシュ気象レーダデータを用いた QBW に伴う降水擾乱の 3 次元の力学的診断解析も行う。

3)NICAM および RCM により、1)、2)で明らかになった典型的な QBW の降水量と大気循環変動の機構を、特に山岳地形や海陸分布と循環場の相互作用に着目した数値実験を行って調べる。

4. 研究成果

(1) バングラデシュ周辺は、アジアモンスーン域でも特に降水量の準 2 週間周期変動 (QBW) が卓越し、30~60 日周期帯の変動が小さい地域である。この地域で降水量に準 2 週間周期変動が卓越する機構を降水量データに APHRODITE 及び TRMM-PR、大気循環場のデータに JRA25 再解析データを用いて解析した。バングラデシュ周辺はチベット・ヒマラヤ山塊の南側に東西に延びる溝状の低地、ガンジス平原が広がり、その東端に位置する (図 1)。下層 (925hPa) では、この低地に沿って、準 2 週間周期の東西風変動が卓越する。降水量の多い活発期にはメガラヤやミャンマー西岸に西~南西の水蒸気フラックスが卓越し、同領域で多量の降水が生じている。一方、不活発期にはガンジス平原に沿って東~南東の水蒸気フラックスが卓越し、ガンジス平原一

帯で降水量が減少する。この東西風変動とバングラデシュ周辺のメガラヤ高原、ミャンマー西岸及びチッタゴン丘陵帯等の地形と作用することにより、地形性降雨の変動が顕著となる。このため降水量として非常に顕著な準 2 週間周期がもたらされる (図 2)。

これらのバングラデシュ周辺の東西風変動は西部北太平洋から西進する擾乱によってもたらされる。この擾乱は位相速度 (赤道で西進約 5m/s) や東西波長 (約 6000Km) 及び擾乱の水平構造から n=1 赤道ロスビー波であると考えられる (図 3)。この赤道ロスビー波の北端部分が準 2 週間周期でバングラデシュ~北部インドを通過するため、これらの領域で同周期帯の東西風変動が大きくなる。さらに、東西に分布する溝状のガンジス平原の存在により、東西風変動をさらに顕在化させている可能性がある。このように、夏期アジアモンスーンによる広域循環場の特徴と、南アジアのバングラデシュ周辺の地分布及び夏期の赤道波の通過する緯度 (これ自体をアジアモンスーンの平均的循環場の構造が規定) が同領域の循環場及び雲・降水変動に準 2 週間周期変動を顕在化させるのに好都合であると考えられる。

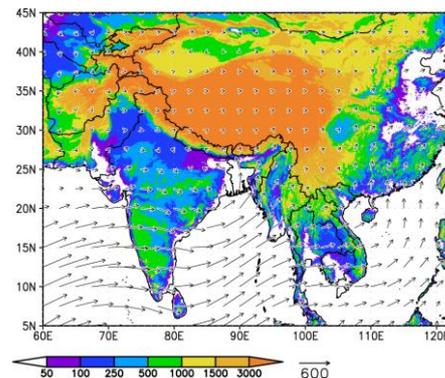


図 1:南アジア周辺の地形図と鉛直積分した水蒸気フラックスの気候値(1979-2007 年の平均。値は 6~8 月の平均値)

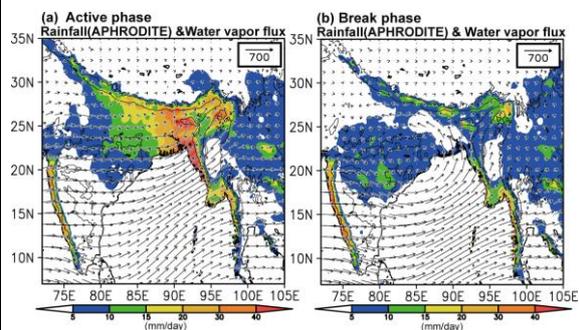


図 2:バングラデシュ周辺における降水の準 2 週間周期の (a)活発期及び (b)不活発期の降水量分布 (APHRODITE)と鉛直積分した水蒸気フラックスの合成図。

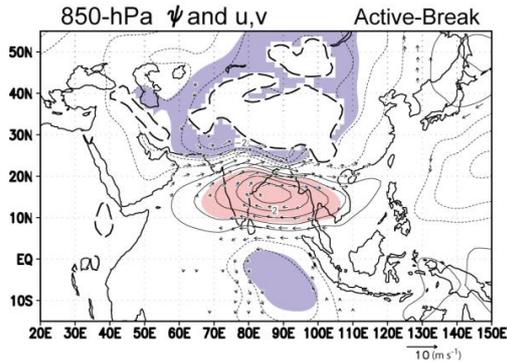


図 3: バングラデシュ周辺における準 2 週間周期の降水活発期と不活発期の 850hPa の流線関数と水平風の差の合成図。ハッチは差が 99% で有意な領域

(2) ガラヤ丘陵周辺における QBW 活発時の多雨メカニズムについて、特に季節内振動と日周期という 2 つの異なる時間周期に着目して調べた。衛星観測を用いた先行研究により、この地域の雨季の雲活動は日周期が卓越することが分かっている (Ohsawa et al. 2001)。しかし、季節内振動と日変化の関係、およびそれに関わるメソスケール循環とメガラヤ丘陵の地形効果については未だ不明な点が多い。そこで本研究では、観測データの解析およびメソ気象モデルによる実験を通じて、季節内振動の活発期における降水のメカニズムを調べた。解析対象とする 2004 年夏季の季節内変動の活発期・不活発期を特定するために、TRMM 3B42 および APHRODITE による領域平均降水量 (90-92E, 24-26N) に対して 7-25 日のバンドパスフィルターを施し、両データで降水量変動が $\pm 1\sigma$ を超えた場合をそれぞれ活発期 (7 月 5-9 日, 7 月 17-20 日)・不活発期 (7 月 11-15 日) と定義した (図 4)。実験は、上述の期間に対して WRF v3.2.1 による数値実験を行い活発期の降水とメソスケール循環の関係を調べた。実験はメガラヤ周辺を 18km, 3.6km の 2 重ネスティングで行い、初期値と境界値には 6 時間間隔の NCEP2 再解析データ、日平均値の OISST を使用した。

2004 年 7 月の季節内振動活発期には不活発期に比べて下層で南西風が卓越していた。数値実験の結果 (図 5) をみると、活発期の降水はメガラヤの南斜面に集中していることから、メガラヤ丘陵に向かう南西風が地形による強制上昇を受けていることが確認できる。数値実験で得られた下層風の日平均からの偏差は正午～日没前にかけて北東風偏差、日没後～午前中にかけては南～南西風偏差となる明瞭な日変化を示すことが分かった。これはダッカにおけるゾンデ観測 (Terao et al. 2006; Murata et al. 2008) とも整合的であるが、本研究によりヒンダスタン高原の広い領域で卓越する下層風の日変化傾向であることが分かった。また、活発・不活発期で比

較を行うと、この下層風の日変化は両期間ともにみられる特徴であることが分かった。図 2 は数値実験による水平風の鉛直断面図である。斜面へ向かう下層風が強まる日没後の時間帯に、山岳の風上斜面で鉛直対流が発達し降水が強まることが確認できる。温度の鉛直プロファイルは活発期と不活発期で明瞭な違いは見られなかったことから、下層風速の違いが降水の時間変動において重要な役割を果たしていることが示唆された。

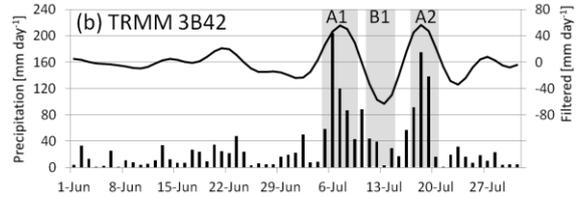


図 4: TRMM 3B42 によるメガラヤ周辺の領域平均降水量 (2004 年)。棒は日降水量 (左軸)、実線はフィルター後の値 (右軸)。陰部は、活発期・不活発期を表す。

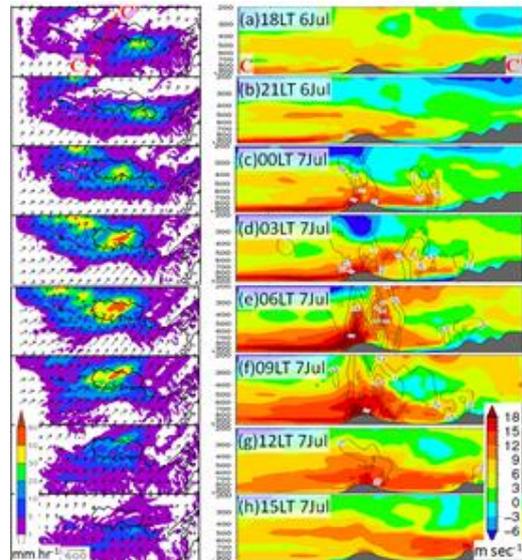


図 5: 数値実験による 7 月 6-7 日の降水量分布と 900hPa 面の水蒸気フラックス (左図, 90-94E, 24.5-26N) メガラヤ周辺における雲水量 (コンター) および水平風速 (シェード) の水平・鉛直断面図 (右図)。図の中央がメガラヤ丘陵。

(3) バングラデシュ気象局の全気象官署の日降水量を平均して、バングラデシュの日平均降水量 (All Bangladesh Daily Rainfall, ABDR) とした。期間は 1950 年から 2011 年である。この ABDR を、年ごとに、夏季モンスーン期を含む 5 月 21 日から 10 月 10 日の 143 日間の期間について、Maximum Entropy Method (MEM) によって、スペクトル解析した結果を図 1 に示す、スペクトル密度は、各年の標準偏差で規格化した。縦軸は年 (1950-2011 年)、横軸が周期 (3-70 [日]) である。スペクトル密度のピークの周期は年ごと

に変化する。1960 年前後は 25-40 日周期の変動が卓越するのに対し、1980 年以降は 10-20 日の周期が卓越し、とくに 2000-2006 年は 10-20 日にピークが卓越している (図 6)。

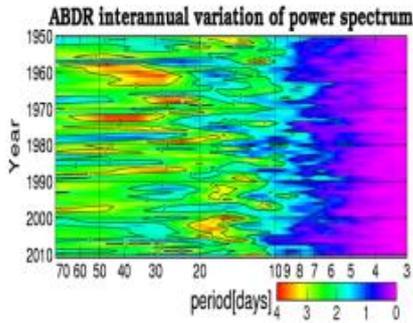


図 6 バングラデシュの降水量のスペクトル密度の年々変化 (1950-2011 年)

(5) 全球非静力学モデル NICAM による格子間隔 7km メッシュの夏季の数値実験データを解析し、南アジアの降水変動について調べた。インド洋上に数十日周期程度の周期性をもつ季節内変動と、その内部構造としての準 2 週間程度の降水変動が認められた。図 7 は 2006 年夏季のインド洋(東経 60-90 度)における降水の気候値からのずれの緯度・時間変化である(Kinter et al. 2013)。観測値(熱帯降雨衛星 TRMM)、NICAM、ヨーロッパ中期予報センターのモデル IFS との結果を比べた。NICAM の結果は 7 月中旬に赤道から 20N に北進する正偏差が観測と同様に再現されたが、IFS では顕著な北進パターンは見られない。一方、平均的な降水の空間分布については、インド洋赤道付近で降水が過剰である。このため準 2 週間程度の降水変動をインド付近にもたらしめている擾乱は、現実と異なるメカニズムで生じている可能性がある。これに

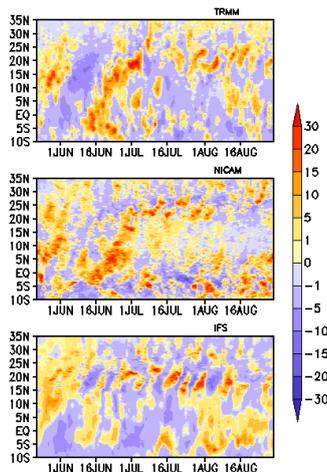


図 7 : 2006 年夏季のインド洋(東経 60-90 度)における降水の気候値からのずれの緯度・時間変化。(a)熱帯降雨衛星 TRMM、(b)NICAM、(c)ヨーロッパ中期予報センターのモデル IFS。

対し、2004 年 5 月の 1 ヶ月初期値アンサンブル実験では、東南アジア付近を西向きに進む擾乱とそれに伴う降水変動が再現された。NICAM ではインド洋上の季節内変動や西進擾乱を再現するポテンシャルはあるものの、これらの特性は気候値の再現性に依存していることが分かった。

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 16 件)

- ① Fujinami, H., D.Hatsuzuka, T.Yasunari, T. Hayashi, T. Terao, F.Murata, M. Kuguchi, Y. Yamane, J. Matsumoto, Md. N. Islam and A. Habib, 2011:Characteristic intraseasonal oscillation of rainfall and its effects of interannual variability over Bangladesh during boreal summer, *Int. J. Climatol.*, 31, 1192-1204. (査読有り)
- ② Murata, F., T. Terao, M. Kiguchi, Y. Yamane, K. Takahashi, T. Hayashi, A. Habib, Shameem H. Bhuiyan, S. Ahmed Choudhury, 2011, Daytime Thermodynamic and Airflow Structures over Northeast Bangladesh during the Pre-Monsoon Season: A Case Study on 25 April 2010, *J. Meteorol. Soc. Japan*, 89A, 167-179. (査読有り)
- ③ Satoh M., K. Oouchi, T. Nasuno, H. Taniguchi, Y. Yamada, H. Tomita, C. Kodama, J. Kinter, D. Achuthavarier, J. Manganello, B. Cash, T. Jung, T. Palmer, N. Wedi, 2012, The Intra-Seasonal Oscillation and its control of tropical cyclones simulated by high-resolution global atmospheric models, *Climate Dynamics*, 39, 2185-2206. (査読有り)
- ④ Kajikawa, Y. T. Yasunari, S. Yoshida, H. Fujinami, 2012, Advanced Asian summer monsoon onset in recent decades, *Geophys. Res. Lett.*, 39, doi:10.1029/2011GL050540. (査読あり)
- ⑤ Sato, T., 2013, Mechanism of orographic precipitation around the Meghalaya Plateau associated with intraseasonal oscillation and diurnal cycle, *Mon. Wea. Rev.*, DOI: 10.1175/MWR-D-12-00321.1, in press. (査読有り)

[学会発表] (計 25 件)

- ① Hayashi, T., Rainfall observation with highly temporal and spatial density in

the northeastern region of Indian subcontinent, 7th Annual meeting of AOGS, 2010年7月, Hyderabad, India.

- ② Yasunari, T., Revisit to the quasi-biweekly period oscillation (QBW) in precipitation in the Bangladesh-Himalaya-Tibet region and its role in the whole Asian summer monsoon system, American Meteorological Society 2011 annual meeting, January 27th 2011, Washington, USA.
- ③ Yasunari, T., Revisit to the quasi-biweekly period oscillation (QBW) in precipitation in the Bangladesh-Himalaya-Tibet region and its role in the whole Asian summer monsoon system, International conference on opportunities and challenges in monsoon prediction in changing climate (OCHAMP), February 21-25, 2012, Pune, India (invited talk).
- ④ Komori, Y. and T. Satomura, The precipitation peak off the western coast of Indochina Peninsula, 2012年11月28日~30日, Sendai, Japan.
- ⑤ Sato, M., Cloud evaluation using satellite simulators and cloud changes for global nonhydrostatic simulations with NICAM, American Geophysical Union General Assembly 2012, 2012年12月7日, San Francisco, USA.

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○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
安成 哲三 (YASUNARI TETSUZO)
名古屋大学地球水循環研究センター・特任教授
研究者番号：80115956
(2) 研究分担者
佐藤 正樹 (SATO MASAKI)
東京大学大気海洋研究所・教授
研究者番号：00255142
林 泰一 (HAYASHI TAIICHI)
京都大学防災研究所・准教授
研究者番号：10111981
佐藤 友徳 (SATO TOMONORI)
北海道大学地球環境科学研究科・准教授
研究者番号：10512270
里村 雄彦 (SATOMURA TAKEHIKO)
京都大学大学院理学研究科・教授
研究者番号：20273435
藤波 初木 (FUJINAMI HATSUKI)
名古屋大学地球水循環研究センター・助教

- (3) 連携研究者
村田 文絵 (MURATA FUMIE)
高知大学理学部・助教
研究者番号：60339326
福富 慶樹 (FUKUTOMI YOSHIKI)
独立行政法人海洋研究開発機構地球環境変動領域・主任研究員
研究者番号：30392963
高橋 洋 (Takahashi Hiroshi)
首都大学東京都市環境科学研究科・助教
研究者番号：50397478