

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 8 日現在

機関番号：32634

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K16283

研究課題名(和文) 東南アジア・東アジアの気候と熱帯大気 - 海洋相互作用の100年スケールの連関解明

研究課題名(英文) Relationship between climate of the East and Southeast Asia and the air-sea interaction over the tropics in centennial scale

研究代表者

赤坂 郁美 (Akasaka, Ikumi)

専修大学・文学部・准教授

研究者番号：40574140

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：フィリピンにおける1868 - 2012年の降水量の季節進行を調査し、その長期変動特性を100年スケールで明らかにした。19世紀後半以降の雨季入り・雨季明け時期は数十年周期で変動しているものの、1990年代以降、降水の季節進行異常が頻繁にみられるようになっていた。1990年代以降のエルニーニョ・南方振動(ENSO)の発生に関連して、西部北太平洋域における亜熱帯高気圧西縁部の張り出しや、夏季アジアモンスーンの強弱が変化し、フィリピンにおける降水の季節進行に長期的な変化を引き起こしていることが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：To clarify climate changes in the Southeast Asia and its relation to the air-sea interaction in the tropics in centennial scale, this study investigated the onset and withdrawal of the rainy season at Manila for the period 1868-2012 and the seasonal march patterns of rainfall in the Philippines for the period 1951-2012, and showed their long-term variability for the first time. While the interdecadal variability was observed in the onset and withdrawal of the rainy season since the late 19th century, the abnormalities in the seasonal march patterns of rainfall were frequently showed since the 1990s. This is because the recent ENSO (El Nino-Southern Oscillation) greatly influenced the strengths in the subtropical high around the Philippines during March-April and the Asian summer monsoon around the western North Pacific. It is suggested that their changes induced the long-term changes in the seasonal march of rainfall in the Philippines in centennial scale.

研究分野：気候学

キーワード：降水量 季節変化 長期変動 フィリピン 大気 - 海洋相互作用

## 1. 研究開始当初の背景

### (1) 研究背景

南アジア・東南アジアモンスーン地域の気候は、モンスーンによる降水の季節変化によって特徴づけられており、モンスーンの年々変動は農作収量の変動や自然災害の発生と密接に結びついている。そのため、モンスーンによる降水変動やその将来予測に関する多くの研究が行われている。しかし、アジアモンスーン地域の中でも、フィリピンを含む東南アジア島嶼域は、衛星観測により海洋上の対流活動や海面水温等の解析が可能になるまでは、気候の詳細な特徴が分からない「気候上の空白域」とされていた。衛星観測による研究が可能になった1970年代後半以降は、東南アジア島嶼域周辺では海洋性モンスーンが卓越し、その発達が東アジアの気候にも関係していることが明らかとなる一方で(たとえばMurakami and Matsumoto, 1994; Wang and LinHo, 2002)、東南アジアの気候の年々変動との関係についてはデータ期間の不足もあり十分に調査されていなかった。

そこで研究代表者は、海洋性モンスーンの影響が大きいフィリピンを対象地域として、雨季入りとモンスーン入りとの関係と、その年々変動に関する解析をこれまで行ってきた。その結果、フィリピンの雨季入りには、モンスーン入りの遅速だけでなく、亜熱帯高気圧西縁部のシフトや、エルニーニョ現象をはじめとする熱帯域の大気-海洋相互作用の変化と密接に関係していることが明らかとなった。また1961~2000年でみると、1970年代後半以降、雨季入りが遅くなる傾向にあることがわかった(Akasaka, 2010)。これが長期的な気候の変化であるのか、周期的な変動の一部であるのかを解明するためには、より長期の気象観測データが必要であるが、他の東南アジア地域と同様に、フィリピン気象庁(PAGASA)により整備された気象観測データの利用可能期間は、20世紀後半以降に限られており、50年以上の長期変化を行うことが困難な状況にあった(赤坂, 2014)。

### (2) 研究の動機

2000年代に入り、研究代表者を含む日本の気象学・気候学の研究者により、アジア地域における気象観測資料のデータレスキュー・プロジェクト(紙媒体等で残る気象観測資料を収集・電子化し、利用可能にするプロジェクト)が進んだ(赤坂, 2014)。フィリピンに関しても、研究代表者らにより各国に散逸していた19世紀後半~20世紀前半の気象観測資料の収集が進み、降水の季節変化の100年変動を新たに解明できる状況が整ってきた。

そこで、これらのデータと近年の日降水量データを用いて、1911~2008年におけるフィリピンの雨季入り時期に関する予察的解析を行った。その結果、100年スケールでみて、1970年代後半以降、雨季入りの年々変動が大

きくなっていることが分かった。しかし、フィリピンの雨季入りの年々変動を左右する熱帯域の大気-海洋相互作用においても、20世紀後半以降に変調がみられるのか、また、なぜ20世紀後半以降の雨季入り変動に変化が見られるのかは不明であった。そこで、本研究課題において、近年利用可能となった19世紀後半以降のフィリピン気象観測資料と、既存の地上気圧および海面水温等の長期グリッドデータを併用し、100年スケールで降水の季節変化と熱帯の大気-海洋相互作用との連関を解明することとした。

### <引用文献>

- ① 赤坂郁美. フィリピンにおける19世紀後半から20世紀前半にかけての気象観測記録. 専修大学人文科学研究月報 273:1-15. 2014.
- ② Akasaka, I. Interannual variability in seasonal march of rainfall in the Philippines. *International Journal of Climatology* 30: 1301-1314. 2010.
- ③ Murakami, T. and Matsumoto, J. Summer monsoon over the Asian continent and western North Pacific. *Journal of the Meteorological Society of Japan* 72: 719-745. 1994.
- ④ Wang, B. and LinHo. Rainy season of the Asian-Pacific summer monsoon. *Journal of Climate* 15: 386-398. 2002.

## 2. 研究の目的

1. で述べた研究背景および研究の動機に基づき、以下2つの研究目的をたてて、研究を実施した。

(1) 19世紀後半以降のフィリピンにおける降水量の季節変化を100年スケールで解析し、熱帯域の大気-海洋相互作用との連関を明らかにする。また熱帯域の大気-海洋相互作用の長期変動が日本の夏季の気候にもたらす影響についても明らかにする。

(2) 最近30年のフィリピンにおける降水の季節変化の変調に焦点をあて、降水の季節変化パターンと熱帯域の大気-海洋変動との連関を解明する。

## 3. 研究の方法

2. で述べた研究目的を達するために、以下の研究手法・データによる解析を行った。研究目的別に述べる。

(1) 19世紀後半以降のフィリピンにおける降水量の季節変化を解析するために、まずはフィリピンで最も長期にデータを得られるマニラを対象とした。データレスキューで得られたデータとPAGASAによる日降水量データを使用し、1868~2012年の雨季入り・明け時期を決定した。ただし、1940年代にはま

ったデータの欠測がある。雨季入り（明け）の決定には半月（5日）降水量データを使用し、4月以降の半月降水量が25mm以上（以下）となった最初（最後）の半月を雨季入り（雨季明け）とした（図1）。半月降水量25mmは、およそ平均半月降水量に対応する値である。

次に、雨季入り・明けの長期変動と熱帯域の大気-海洋相互作用との関係を明らかにするために、HadSL2 および HadSLP2r データ (Allan and Ansell, 2016) から熱帯域における1~12月の月別の海面気圧 (SLP) と南方振動指数データ等を使用し、相関解析を行った。

熱帯域の大気-海洋相互作用と東アジアの気候の長期変動との関係については、主に日本の6-8月の気候との関係に着目し、日本の気象官署26地点における1897年以降の気温と降水量の月別値を使用した。西部北太平洋域のSLPおよび海面水温変動との相関解析やコンポジット解析を行った。

20世紀に入ると、欠測の少ない、より長期の日降水量データがフィリピンの複数地点で使用可能となるため、1910~1940年（30地点）と1951~2012年（35地点）の半月降水量データそれぞれにEmpirical Orthogonal Function (EOF) 解析を行い、降水の季節進行の地域特性と雨季入りの長期変動を解析した。

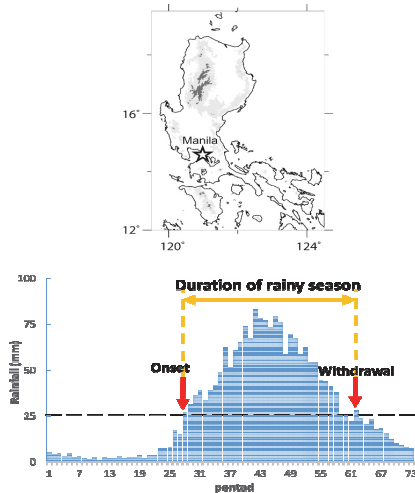


図1. マニラにおける半月降水量の季節変化 (1868~2012年平均). 上図の星印はマニラの位置を、下図の破線は半月降水量25mmを示す。

(2) 最近30年のフィリピンにおける降水量の季節変化の変調をとらえるために、PAGASAにより提供された1951~2012年の30地点の日降水量データを、半月降水量に編集して使用した。EOF解析により降水の季節進行に卓越するパターンを明らかにし、クラスター分析 (ユークリッド距離、Ward法) により、それらのパターンを分類した。

また、降水の季節変化パターンの出現傾向と、熱帯域の大気-海洋相互作用との関係を明らかにするために、大気の下層循環場デー

タとして、NCEP/NCAR再解析データ (Kalnay *et al.* 1996) から850hPa面のジオポテンシャル高度と風系の日平均値を半月平均に編集して使用した。海面水温変動や大気-海洋相互作用に関する指数との関係を調査するために、NOAAのERSST (Huang *et al.* 2014; Liu *et al.* 2014) の月別値から算出された、ENSO (エルニーニョ・南方振動指数) 指数 (Ocean Niño Index) も使用し、これらとの関係を相関解析やコンポジット解析から調査した。

#### 4. 研究成果

2. で示した研究目的別に、得られた主な結果を述べる。

(1) 本研究では、マニラの雨季入り・明け時期の変動を100年スケールで初めて示すことができた (図2)。

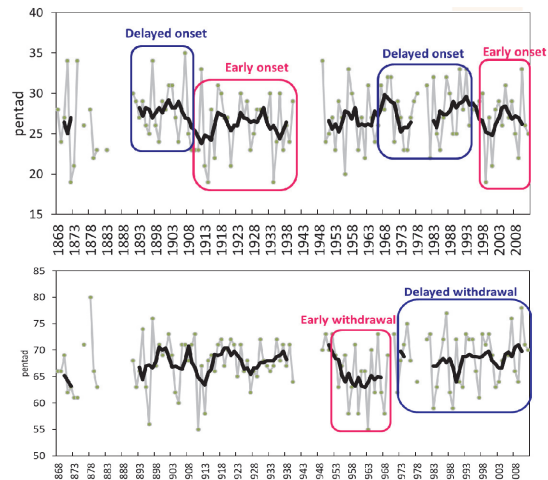


図2. マニラにおける雨季入り・明けの変動 (1868~2012年). 縦軸は半月である. 雨季明けは翌年の1月の場合もあるため、下図の縦軸は通しの半月番号で示した. 太線は5年移動平均を、プロットのない年はデータが得られなかった年を意味する。

雨季入りの変動を100年スケールでみると、20世紀後半にそれ以前と比較して雨季入りが遅くなる傾向がみられる一方、1990年代末~2000年代には雨季入りが早まる傾向もみられる。1890年代後半~1910年頃にも雨季入りが遅くなる年代がみられるものの、20世紀後半にはその傾向が長く持続し、年々変動も大きくなっている。雨季明けには、1950~1960年代にそれ以前よりも早まる傾向がみられ、1970年代後半以降にはそれ以前と比較して年々変動が大きくなっている。5年移動平均をみると雨季入り・明け共に数十年周期で変動しているものの、20世紀後半以降には、それ以前にはみられなかった変動特性がみられることがわかった。

1868~2012年のマニラの雨季入りにみられた経年変化の特徴は、1910~1940年と1951~2012年のフィリピン西岸域を中心とする雨季入り変動にもみられた。加えて、フィリ

ピン西岸域 8 地点の降水量から、1903~2013 年の夏季モンスーン開始時期（オンセット）を示した Kubota *et al.* (2017) においても、本研究と同様の結果が示されている。そのためマニラの雨季入り変動は、フィリピン西岸域の雨季入り変動特性として捉えることができると考える。

雨季入りの年々変動要因として、Kubota *et al.* (2017) はオンセット時期の台風活動がその一因であることを示したが、その他に亜熱帯高気圧西縁部の張り出しや、夏のモンスーンの強弱も関連していることが Akasaka (2010) の研究から分かっている。そこで、雨季入り・明けの長期変動と熱帯域の下層大気場との関係を明らかにするために、月別 SLP との相関解析を行った。

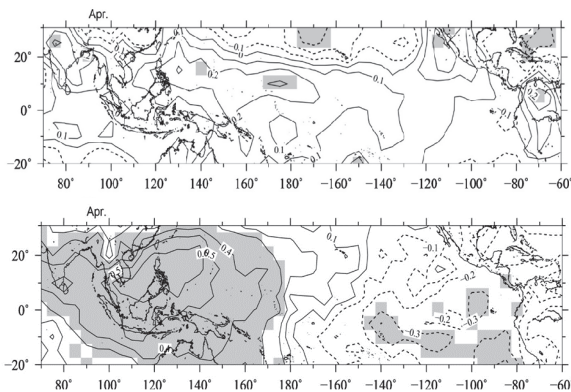


図 3. 雨季入りと 4 月平均 SLP との相関分布  
上図が 1868~1940 年、下図が 1949~2012 年。灰色は 95%有意水準（両側検定）で有意な相関を示す領域。

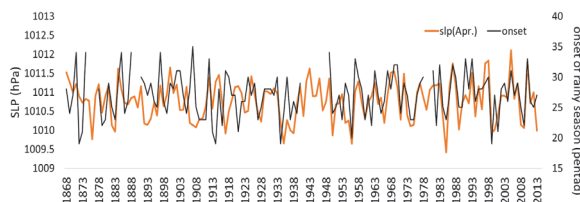


図 4. フィリピン周辺（北緯 5-20 度，東経 120-125 度）における 4 月の SLP と雨季入りの変動（1868~2012 年）

結果として、20 世紀後半以降には、インドシナ半島周辺からフィリピンの東の海上にかけての 3~5 月の SLP 変動と雨季入りとの間に 95%有意水準で有意な正相関がみられ、とくに 4 月のフィリピン周辺の SLP との間で顕著な正相関がみられた（図 3）。雨季が始まる前の 4 月のフィリピン周辺における SLP との有意な相関は、亜熱帯高気圧西縁部の張り出しとの対応を意味すると考えられる。加えて、(2)でも述べるように 20 世紀後半の雨季入り変動には ENSO との関連もみられ、雨季入りが遅い（早い）年には、エルニーニョ（ラニーニャ）現象の発生がみられた。

一方で、1940 年以前には、SLP と有意な相

関を示すエリアはフィリピン周辺にはみられず、ENSO の指標との相関もみられなかった（図 3 上）。図 4 から 1940 年以前は 4 月の SLP と雨季入りの経年変化との間に相関関係がみられないことがわかる。雨季入りとフィリピン周辺の SLP、ENSO との関係が、1940 年以前には不明瞭である要因の解明については、今後の研究課題としたい。

雨季明けと月平均 SLP との間には有意な相関はみられなかったものの、1970 年代以降に、フィリピン周辺の 10-12 月 SLP に長期的な変化傾向がみられたため、このことが雨季明けの年々変動の変化に関連している可能性がある。

また 19 世紀末以降の熱帯域の大気-海洋相互作用と日本の夏の気候との関係を解析した結果、とくに 7 月のフィリピン北東の海面水温変動が、太平洋高気圧の南北変動を介して、日本の夏季の気温に影響を与えていることが分かった。P-J (Pacific-Japan) パターンの長期変動との関係が示唆されるが、これについてはさらなる解析が必要である。

(2) 20 世紀後半のフィリピンにおける降水の季節進行パターンを解析した結果、最も卓越する時空間パターンとして、夏の雨季の降水変動に関するパターン（第一 EOF モード）を得た。さらにそのパターンを分類したところ、6 つに分類することが出来た。それらの出現傾向を調べた結果、とくに 1990 年代以降に、ノーマルパターンとは大きく異なる 3 つのパターンが頻出するようになっており、降水の季節変化特性が長期的に変化していることが初めて明らかとなった（図 5）。

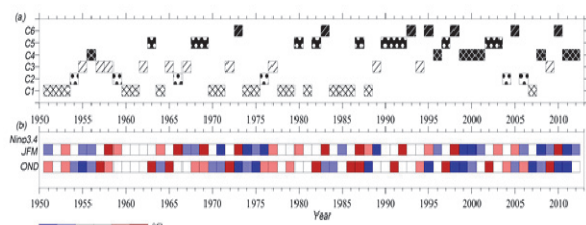


図 5. 1951~2012 年の降水の季節変化パターン (a) と ONI (エルニーニョ監視海域 (Niño3.4) で平均した 3 か月平均の海面水温偏差) (b). (a) は各クラスター (C1~C6) の出現年を示す。Akasaka *et al.* (2018) Fig. 5 より。

3 つのパターンには、① 乾季が不明瞭で、かつ降水のピーク時期が長引く（湿潤型）、② 乾季が明瞭で、かつ雨季明けが早く、雨季の期間が短くなる（乾燥型）、③ 乾季が明瞭で、かつ雨季入り・雨季明け共に遅くなる（季節変化変調型）といった特徴がそれぞれみられた。これらの特徴は、夏のモンスーンの風上側に位置するルソン島西岸域周辺で顕著にみられた。これまでの先行研究では、雨季入り・モンスーン入りの変動のみを示す

ものがほとんどであったが、本研究では雨季入り・明け、降水のピーク時期・期間を含む降水の季節進行パターン全体の変動を新たに示すことができた。

次に、これらの降水の季節変化異常ともいえるパターンと熱帯域大気の下層循環場との関係を解析した結果、乾季の時期の乾湿は、2-3月の亜熱帯高気圧西縁部の強さと位置に左右されていることがわかった(図6)。

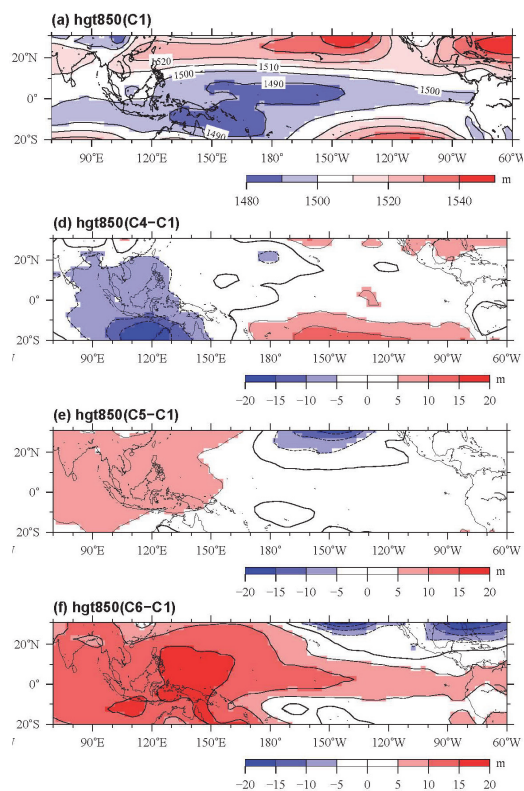


図6. C4~C6のパターンが出現した年における7-18半旬(1月末-3月末)平均の850hPa面ジオポテンシャル高度偏差分布. C1(ノーマルパターン)の年との差で示した. a)はC1の年の平均的なジオポテンシャル高度分布を, (d)はC4, (e)はC5, (f)はC6とC1との偏差分布を示す. Akasaka *et al.* (2018) Fig. S11より(a), (d)-(f)を抜粋.

また雨季入りの遅速は、風(南西モンスーン)の東西成分における西風の開始時期と、雨季明けの遅速は風(北東モンスーン)の南北成分における北風の開始時期と密接に関係していることが分かった。さらに、雨季における降水ピーク時の雨量や降水ピーク期間の違いには、南西モンスーンの強さが直接影響していることも明らかとなった。

また3パターンはENSOが発生している年に出現する傾向にあることがわかった(図5)。乾季が明瞭な年には、前年の10-12月もしくはその年の1-3月にエルニーニョ現象が発生している場合が多く、乾季が明瞭で雨季入り・明け共に遅くなる年には、前年の10-12月からその年の1-3月にかけてエルニーニョが持続して発生している傾向にあった。また

乾季が不明瞭で降水のピークが長引く多雨型の年には、前年の10-12月からその年の1-3月にかけてラニーニャが持続している場合がほとんどであった。

このように、フィリピンにおける降水の季節変化パターンの長期変動は、ENSOの影響を大きく受けており、多雨型や季節変化変調型の出現は、1990年代以降のENSOの発生と関連していると考えられる。また、これらの変動と対応するように、日本の夏の天候を左右する6-8月の太平洋高気圧西縁部も西偏するようになり、20世紀後半はその位置の年々変動が大きくなっていった。しかし、なぜ1990年代以降に降水の季節変化異常が頻発するようになったのかは不明である。その要因が、Chowdary *et al.* (2012)が示したようなENSO自身の長期的な変動によるのか、Vecchi *et al.* (2006)が示したような熱帯域の大気循環の長期的な変化によるものであるのかを、今後明らかにしたい。

本研究から、フィリピンにおける降水の季節変化の100年スケールでの変動は、西部北太平洋域における大気の下層循環場や熱帯の大気-海洋相互作用の長期変化を反映したものであることが明らかとなった。そのため、長期的な気象データが不足する東南アジア島嶼域の気候特性とその変動要因を今後さらに調査するさいに、本研究の成果が有用であると考えられる。

#### <引用文献>

- ① Chowdary J. S. *et al.* Interdecadal variations in ENSO teleconnection to the Indo-western Pacific for 1870-2007. *Journal of Climate* 25:1722-1744. 2012.
- ② Kubota, H. *et al.* Tropical cyclone influence on the long-term variability of Philippine summer monsoon onset. *Progress in Earth and Planetary Science* 4. DOI: 10.1186/s40645-017-0138-5. 2017.
- ③ Vecchi G. A. *et al.* Weakening of tropical Pacific atmospheric circulation due to anthropogenic forcing. *Nature* 441:73-76. 2006.

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計2件)

- ① Akasaka, I., Kubota, H., Matsumoto, J., Cayan E. O., Guzman R. G., Hilario F. D. Seasonal march patterns of the summer rainy season in the Philippines and their long-term variability since the late twentieth century, *Progress in Earth and Planetary Science*, 査読有, 5, 2018. DOI: 10.1186/s40645-018-0178-5
- ② 赤坂郁美, 財城真寿美. 1881~1882年のマニラにおける気候特性に関する予備的

解析. 専修自然科学紀要、査読無、48 巻、2017、19—26

[学会発表] (計 1 1 件)

- ① 赤坂郁美、財城真寿美、松本 淳. 19 世紀後半のマニラにおける風向の日変化特性. 日本地理学会 2018 年春季学術大会 (東京学芸大学)、2018 年 3 月
- ② Akasaka, I., Zaiki, M., Kubota, H., Matsumoto, J. Seasonal march of rainfall at Manila for the late 19th century - the early 20th century. Asia Oceania Geosciences Society (AOGS) 14th Annual Meeting (シンガポール), 2017 年 8 月
- ③ Akasaka, I., Zaiki, M., Kubota, H., Matsumoto, J. Characteristics on the seasonal march of rainfall at Manila for the late 19th century - the early 20th century. Japan Geoscience Union (JpGU)-American Geophysical Union (AGU) Joint Meeting 2017 (幕張メッセ), 2017 年 5 月
- ④ 赤坂郁美、財城真寿美、久保田尚之、松本 淳. 19 世紀後半～20 世紀前半のマニラにおける降水の季節変化特性. 日本地理学会 2017 年春季学術大会 (筑波大学), 2017 年 3 月
- ⑤ 赤坂郁美、久保田尚之、松本 淳、Cayanan E.O., Hilario F.D. 20 世紀後半以降のフィリピンにおける降水季節変化パターンの長期変化. 日本地理学会 2016 年春季学術大会 (早稲田大学)、2016 年 3 月
- ⑥ Akasaka, I., Kubota, H., Matsumoto, J., Cayanan E.O., Hilario F.D. Long-term changes in seasonal change pattern of rainfall in the Philippines since the late 20th century. The international Science Conference on MAHASRI (首都大学東京), 2016 年 3 月
- ⑦ Akasaka, I., Kubota, H., Matsumoto, J., Cayanan E.O., Hilario F.D. Long-term variability in seasonal march of rainfall at Manila since the late of the 19th century reconstructed by data rescue. The 15th Annual Meeting and 12th European Conference of Applications of Meteorology (ECAM) (ブルガリア), 2015 年 9 月

[図書] (計 1 件)

専修大学人文科学研究所編、専修大学出版局、災害 その記憶と記録. 2018. 総ページ数 253 (分担執筆: 赤坂郁美. マニラにおける 19 世紀後半の台風時の気象変化と強雨

降水特性の長期変化. 59-77)

6. 研究組織

研究代表者

赤坂 郁美 (AKASAKA, Ikumi)

専修大学・文学部・准教授

研究者番号: 40574140