

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 6 日現在

機関番号：32643

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25242028

研究課題名(和文) 東京首都圏における夏季ヒートアイランドと熱的低気圧・局地的豪雨の発生要因解明

研究課題名(英文) Summer heat islands of Tokyo Metropolitan Area in connection with the occurrence of thermal lows and localized torrential rainfalls

研究代表者

三上 岳彦 (MIKAMI, Takehiko)

帝京大学・文学部・客員教授

研究者番号：10114662

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 32,600,000円

研究成果の概要(和文)：東京首都圏に設置した独自の気温・湿度観測網と気圧観測網のデータ等を用いて、夏季日中のヒートアイランドの時空間変動を明らかにするとともに、熱的低気圧の動態と局地的短時間強雨発生との関連およびその要因の解明を試みた。夏季の気温と気圧データに主成分分析を適用した結果、上位主成分に、海陸風循環、ヒートアイランド、北東気流に関連した空間分布が認められた。局地的短時間強雨の事例解析を行い、豪雨発生の前後で気圧の低下と上昇が起こり、海風起源の水蒸気量の増加が確認できた。領域気象モデル(WRF)による都市域での短時間強雨発生に関する数値実験を行い、都市域で夜間の降水が増えていることが明らかになった。

研究成果の概要(英文)：We made an attempt at clarifying the relationship between thermal lows and localized torrential rainfalls in Tokyo Metropolitan Area based on the high-density temperature and air pressure observation system which we developed since 2006. As a result of Principal Component Analysis for the summer temperature and pressure data matrices in Kanto region, typical spatial patterns which related to the sea-land breeze circulations, urban heat islands and north-easterlies were detected.

A case study on the localized torrential rainfall indicated that lowering and increasing trend of air pressures around heavy rainfall area occurred, where high temperatures and moist air penetration from sea-breeze were observed. Finally, "Weather Research & Forecasting (WRF)" model were applied to detect the urban effect due to heat islands. The results show increasing rainfall in urban area during the night in summer.

研究分野：気候学

キーワード：ヒートアイランド 東京 局地的豪雨 気温 観測

## 1. 研究開始当初の背景

近年、東京など大都市とその周辺では、夏季の午後に時間雨量 50mm から 100mm の局地的豪雨が発生し、洪水被害等をもたらす頻度が高まっている。その発生要因は十分に解明されておらず、正確な予報が困難なため、高精度のマルチバンド・レーダー等による雷雲の早期検出と発達動向予測に関する工学的研究に主眼が置かれている。一般に、都市の内陸部では夏季の午後に気温が上昇するため、熱的低気圧が発生し、そこに向かう湿潤な空気の収束により上昇流が強化され、積乱雲の発達によって局地的豪雨がもたらされる可能性が高い。しかし、気温・湿度や気圧、風等を常時観測している気象台、AMeDAS は 20km 四方に 1 カ所程度しかいないため、時々刻々変動する気温や気圧の詳細な分布を捉えることができない。都市部の局地的豪雨の発生メカニズムを解明するためには、その引き金となる高温域（ヒートアイランド）と、それによって生ずると考えられる熱的低気圧の時空間変動を、詳細な観測データの分析から解明することが重要な課題として挙げられる。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、東京首都圏に独自に設置した高密度の気象観測システム（広域 METROS : 気温 140 地点、気圧 50 地点）のデータ解析と領域気象モデル (WRF) による数値シミュレーションから、夏季のヒートアイランドと熱的低気圧、および都市部の局地的豪雨発生との関連要因を解明することである。具体的には、次の 3 項目を主たる目的として研究を実施した。

- (1) 東京首都圏における夏季の気温分布（ヒートアイランド）と気圧分布（熱的低気圧）の時空間変動とその要因解明。
- (2) 都内の局地的豪雨発生時における気温、気圧、水蒸気量の時空間変動に関する分析考察。
- (3) 領域気象モデル(WRF)による首都圏ヒートアイランドと局地的豪雨の数値実験。

## 3. 研究の方法

- (1) 夏季 3 ヶ月間の関東地方における気温場と気圧場に卓越する時空間変動パターンを明らかにする目的で、関東平野の広域に空間的に高密度に展開した気温（広域 METROS:119 地点と

気象官署・AMeDAS:74 地点）および気圧データ（45 地点）に主成分分析を適用し、上位主成分の地理的分布と時間変動から各成分の変動要因を考察した。

- (2) 2014 年～2016 年の研究期間中、東京首都圏で発生した典型的な局地的豪雨（2015 年 7 月 24 日）について、豪雨発生以前の各時刻における気温分布、気圧分布、水蒸気量分布とその動向について分析考察した。

- (3) 夏季に海岸都市付近で発生する対流性降水に対して、海と都市がどのような影響を及ぼしているのかを明らかにするために、領域気象モデル(WRF)による数値実験を行った。数値実験では、計算領域に都市と海を含む実験 (Case U)、海を含むが都市を含まない実験 (Case S)、海も都市も含まない実験 (Case G) を行った。

## 4. 研究成果

- (1) 関東地方で実施した高密度観測から得られた夏季の気温と気圧データに対して主成分分析を行い、これらの時空間変動にみられる特徴を明らかにした。気温場と気圧場それぞれの上位 3 主成分には、海陸風循環、ヒートアイランド現象、北東気流に関係した空間分布が認められ、相互の主成分間に有意な相関関係が存在することが明らかになった (図 1)。

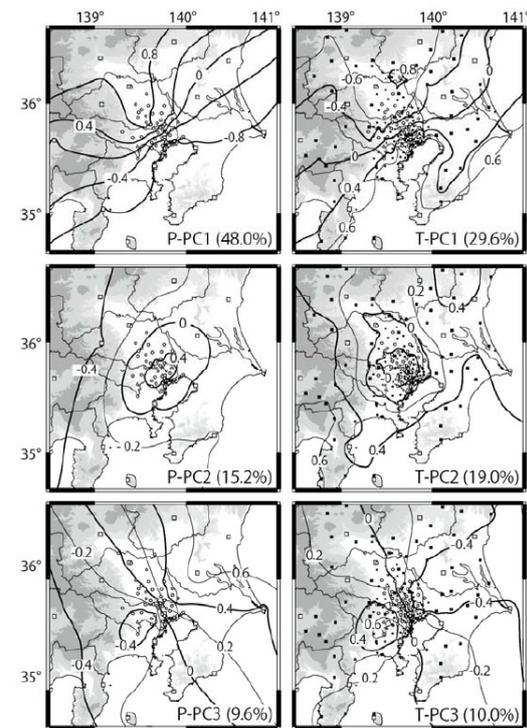


図 1 気温と気圧の主成分分析における因子負荷量分布。左列：気圧、右列：気温。

これらの気温と気圧の関係は、いずれも相対的に気温が高い(低い)地域で気圧が低い(高い)傾向を示す。晴天日の気温と気圧の分布には明瞭な日変化が認められ、日中には海風の発達に伴い、関東平野の内陸部で相対的に高温低圧となり、日没後から夜間にかけては、ヒートアイランド現象が顕在化して東京都心から北側郊外にかけての都市部で相対的な高温低圧傾向が認められた。これらの観測事実に基づいた解析から、晴天日の気温と気圧の主要な日変化パターンに、内陸部の高温低圧に伴う海風循環とヒートアイランド現象に伴う高温低圧が認められた。

(2)2015年7月24日の14:00-15:00に、東京南部の世田谷区を中心に時間雨量が約50mmの短時間強雨が発生した(図2)。そこで、この日の短時間強雨について、事例解析を行った。

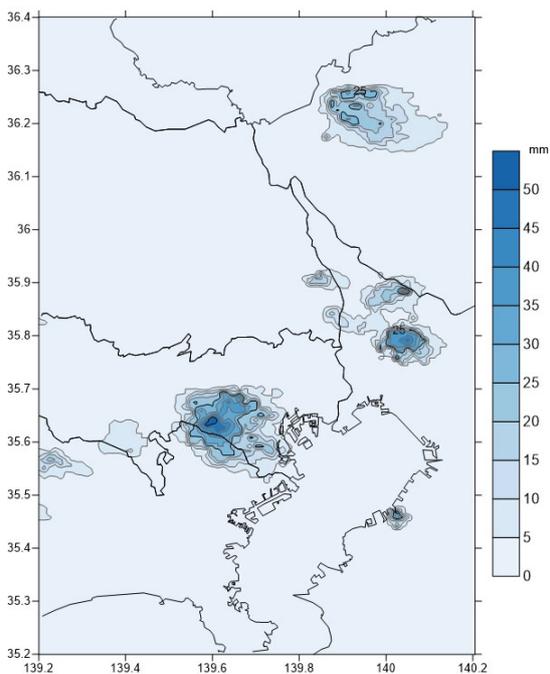


図2 AMeDAS 解析雨量データによる雨量分布 (2015年7月24日 14:00-15:00)

この日は、梅雨前線が東北地方南部に停滞しており、九州の南方には台風が接近中で本州中部は大気不安定であった。東京首都圏では11:00に、東京から埼玉にかけての広域で気温が上昇し、とくに練馬区付近では35°Cを超え、南部の世田谷付近でも32.5°C以上になっていた(図3)。一方、神奈川南部では相模湾からの冷涼な海風の進入で30°C以下のエリアが広がっている。

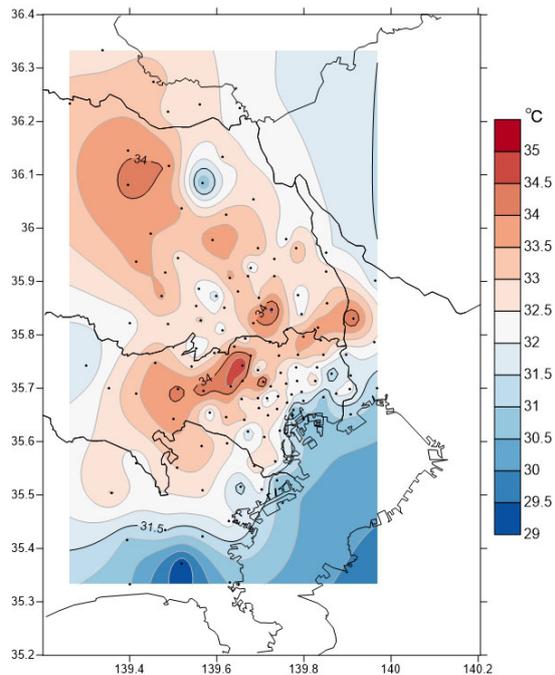


図3 広域METROSによる首都圏の気温分布 (2015年7月24日 11:00)

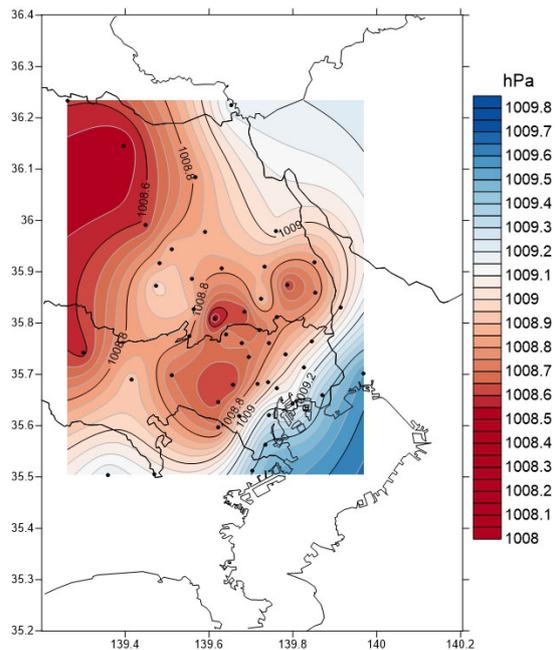


図4 広域METROSによる首都圏の海面気圧分布 (2015年7月24日 12:00)

都内の広域で32.5°C以上になった11:00の1時間後の12:00の海面気圧分布をみると、世田谷区を中心とする都区の西側で気圧が低下しており、明瞭な熱的低気圧の発生が確認できた。

さらに2時間後の14:00における水蒸気量分布をみると、豪雨の発生した世田谷区付近に極大域があり、その南側の神奈川県南部方面から水蒸気が流入していることがわかる。

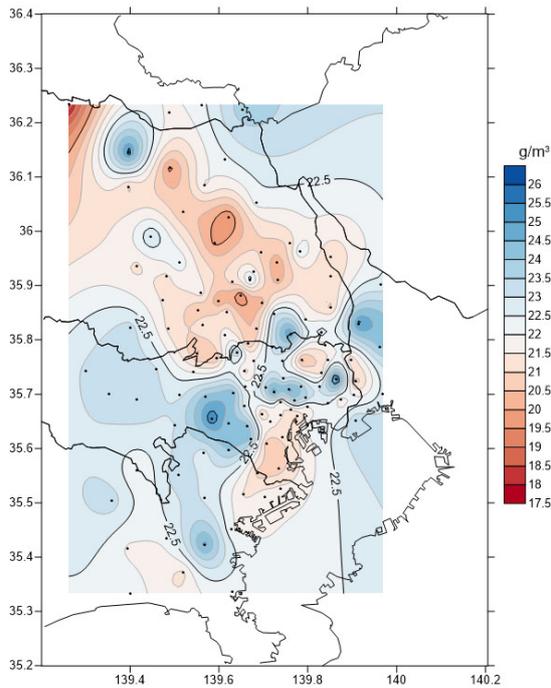


図5 広域METROSによる首都圏の水蒸気量分布(2015年7月24日 14:00)

この事例解析から、世田谷付近で増加傾向を示す短時間の局地的豪雨の要因として、降雨開始3時間前頃に高温域が形成されると、その約1時間後に熱的低気圧が発生し、さらに2時間後には、南からの海風進入による湿潤空気の流入で水蒸気量が急激に増加して豪雨となると考えられる。豪雨開始と同時に急激な気圧の上昇が起こるが、これは発達した積乱雲内部での強い下降流によるものと推察される。

今回は、1回のみの事例解析であったが、さらに事例を増やして合成平均解析(composite analysis)を行う必要がある。

(3) 領域気象モデル(WRF)による首都圏ヒートアイランドと局地的豪雨の数値実験を行った。モデルの水平格子間隔は1kmとした。鉛直格子間隔は最小で50m、最大で630mで、おおよそ下層から上層へ向かって格子間隔が大きくなるように設定した。鉛直層数は35層である。高度10kmからダンピングをかけている。側方境界条件は周期境界条件とした。

夏季に海岸都市付近で発生する対流性降水に対して、海と都市がどのような影響を及ぼしているのかを明らかにするために、数値実験を行った。数値実験では、計算領域に都市と海を含む実験(Case U)、海を含むが都市を含まない実

験(Case S)、海も都市も含まない実験(Case G)を行った。

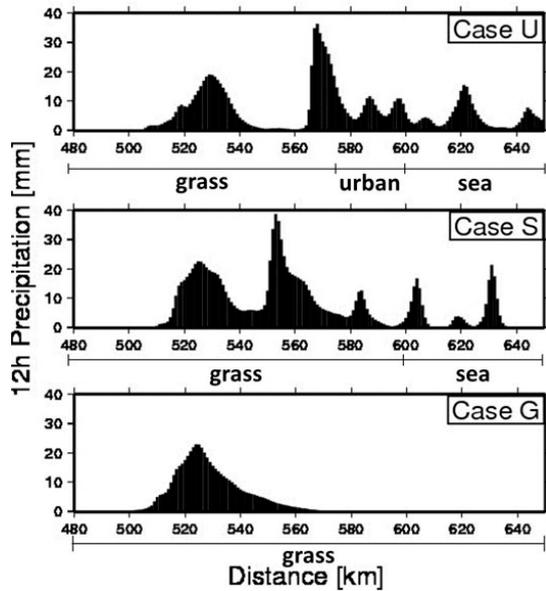


図6 WRFから得られた12時間降水量

図6は、各実験においてWRFから得られた12時間降水量である。海がない実験(Case G)では、降水は山岳域のみで発生しており、平野部ではほとんど見られない。一方で、海がある二つの実験(Case S, U)では、平野部にも降水が見られる。しかしながら、両者には大きな違いも認められる。都市がある場合はない場合に比べて、降水量のピークはより都市側(海側)に出現している。

数値実験の結果をまとめると、以下の通りである。

(a) 東京における夏季の短時間強雨は、東京の平野内陸部で降水頻度、降水量とも小さく、山岳域と東京23区北西部で多い。高橋(2011)で指摘されたこの傾向を過去10年間のレーダーデータと過去20年間の雨量計データという独立した、より長期間のデータセットを用いて確認することができた。

(b) 東京23区北西部の短時間強雨は、夜間に多く発生する。

(c) 内陸平野部で降水量が少なく、23区北西部で多い理由は、都市化に伴う顕熱フラックスの増加と地上気圧の低下によって海風前線の内陸部への侵入時刻が遅くなり、その結果として、都市域の内陸部で水蒸気量の収束が起こりやすくなるからだ結論づけられた。

## 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 18 件)

- ① Yamato, H., Mikami, T. and Takahashi, H., 2017: Impact of sea breeze penetration over urban areas on midsummer temperature distributions in the Tokyo Metropolitan area. *International Journal of Climatology*, online, DOI:10.1002/joc.5152 (査読あり)
- ② 高橋日出男, 2017: 都市表面の多様性と都市気候現象の空間スケール. *地理*, 62(2), 32-39. (査読なし)
- ③ 鈴木博人・中北英一・高橋日出男, 2017: 1 km メッシュ解析雨量の精度検証—関東甲信越地方と東北地方における解析—. *土木学会論文集 B1 (水工学)*, 73(4), I\_13-I\_18. (査読あり)
- ④ Nagata, R. and Mikami, T., 2016: Changes in the relationship between summer rainfall over Japan and the North Pacific subtropical high, 1901-2000. *International Journal of Climatology*, online, DOI: 10.1002/joc.4915 (査読あり)
- ⑤ 三上岳彦, 2016: 高密度観測から俯瞰する都市のヒートアイランド. *科学 (岩波書店)*, 86, 993-995. (査読なし)
- ⑥ 大和広明・赤坂郁美・森島 済・三上岳彦, 2016: 首都圏における広域 METROS による気圧観測とその精度検証. *日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要*, 51, 17-27. (査読なし)
- ⑦ H.Sugawara, S.Shimizu, H.Takahashi, S.Hagiwara, K.Narita, T.Mikami and T.Hirano, 2015: Thermal influence of a large green space on a hot urban environment, *Journal of Environmental Quality*, doi10.2134/jeq2015.01.0049. (査読あり)
- ⑧ 中島 虹・高橋 日出男, 2015: 関東平野南部における光化学オキシダント高濃度域と海風との関係. *大気環境学会誌*, 50, 92-99. (査読あり)
- ⑨ Konno, S., Izumi, T., and Takahashi H., 2015 : Relationship between Terra/ASTER land surface temperature and ground-observed air temperature, *Geographical Review of Japan Series B*, 88, 38-44. (査読あり)
- ⑩ 鈴木博人・高橋日出男・中北英一, 2015:

複数の機関の雨量計観測値を用いた大雨の空間スケールに関する解析. *自然災害科学*, 34 特別号, 61-76. (査読あり)

- ⑪ Kusaka, H., K. Nawata, A. Suzuki-Parker, Y. Takane, and N. Furuhashi, 2014: Mechanism of precipitation increase with urbanization in Tokyo as revealed by ensemble climate simulations. *J. Appl. Meteor. Clim.*, 53, 824-839. (査読あり)
- ⑫ 三上岳彦, 2013: 都市型集中豪雨はなぜ起きるのか?, *地方議会人*, 44-6, 22-25. (査読なし)

[学会発表] (計 36 件)

- ① 岡 暁子・高橋日出男・中島 虹・鈴木博人, 2017: 東京都とその周辺域における稠密な観測データを用いた夏季の強雨特性. 2017 年日本地理学会春季学術大会, 2017 年 3 月 28 日
- ② 鈴木博人・中北英一・高橋日出男, 2017: 1 km メッシュ解析雨量の精度検証—関東甲信越地方と東北地方における解析—. 第 61 回水工学講演会, 2017 年 3 月 15 日, 九州大学 (福岡県福岡市).
- ③ Mikami, T., Yamato, H. and Morishima, W., 2016: High density meteorological observation system (E-METROS) in Tokyo Metropolitan Area. 33<sup>rd</sup> International Geographical Congress, Beijing, China, 2016.8.25
- ④ 堤 雅晴・高橋日出男・大和広明. 横山 仁・三上岳彦, 2016: 稠密気象観測に基づく東京都区部を中心とした夏季夜間の気温分布. 日本地理学会秋季学術大会, 東北大学, 2016.10.1
- ⑤ 高橋日出男, 2016: 観測によって大都市東京における都市気候現象の何を捉えようとするのか? 2016 年日本地理学会秋季学術大会, 2016 年 10 月 1 日, 東北大学 (宮城県仙台市).
- ⑥ 高橋日出男・清水昭吾・大和広明・瀬戸芳一・横山 仁・三上岳彦, 2016: 稠密気象観測に基づく東京都区部を中心とした夜間の気温分布: 冬季における特徴, 日本地球惑星科学連合 2016 年大会 (招待講演), 2016 年 5 月 23 日, 幕張メッセ国際会議場 (千葉県千葉市).
- ⑦ 堤 雅晴・高橋日出男・大和広明・横山 仁・三上岳彦, 2016: 稠密気象観測に基づく東京都区部を中心とした夜間の気温分布: 夏季における特徴, 日本地球惑星科学連合

2016年大会, 2016年5月23日, 幕張メッセ国際会議場(千葉県千葉市).

- ⑧ 瀬戸芳一・高橋日出男・境田清隆・澤田康徳・三上岳彦・横山 仁, 2016: 光学式ディストロメータにより観測された東京都内における強雨時の雨滴粒径頻度分布, 日本地球惑星科学連合 2016年大会, 2016年5月23日, 幕張メッセ国際会議場(千葉県千葉市).
- ⑨ 高橋日出男・岡 暁子・中島 虹・鈴木博人, 2016: 夏季の東京周辺における局地的強雨発現頻度の日変化について, 2016年日本地理学会春季学術大会, 2016年3月21日, 早稲田大学(東京都).
- ⑩ 三上岳彦, 2016: 都市部のゲリラ豪雨と防災. 第20回「震災対策技術展」横浜 セミナー(招待講演), パシフィコ横浜, 2016.2.4
- ⑪ 大和広明・三上岳彦・森島済・赤坂郁美, 2015: 高密度観測により示される夏季首都圏の地上気温・気圧の時空間的特徴(その1) —観測気圧の補正方法と気圧分布の特徴. 日本地理学会秋期学術大会, 愛媛大学, 2015.9.18
- ⑫ 森島 済・大和広明・三上岳彦・赤坂郁美, 2015: 高密度観測により示される夏季首都圏の地上気温・気圧の時空間的特徴(その2) —気温と気圧場の関係. 日本地理学会秋期学術大会, 愛媛大学, 2015.9.18
- ⑬ 高橋日出男・中島 虹・小口淳平・瀬戸芳一・鈴木博人, 2015: 全国合成レーダーデータに基づく夏季の関東地方における強雨域の気候学的特徴, 2015年日本地理学会秋季学術大会, 2015年9月18-19日, 愛媛大学(松山市).
- ⑭ 瀬戸芳一・高橋日出男・境田清隆・澤田康徳・三上岳彦・横山 仁, 2015: 光学式ディストロメータにより観測された東京都内における雨滴粒径頻度分布, 2015年日本地理学会秋季学術大会, 2015年9月18-19日, 愛媛大学(松山市).
- ⑮ T. Honjo, K. Umeki, H. Yamato, T. Mikami, and C.S.B.Grimmond, 2015: Network optimization of urban heat island measurements -Effect of reduction of observation points-. 9th International Conference on Urban Climate, Toulouse, France, 2015.7.23
- ⑯ Nakajima, K. and Takahashi, H., 2015: The influence of consecutive sea and land breezes days on the accumulation of photochemical oxidants and nitrogen oxide, European Geosciences Union General Assembly 2015, 2015年4月13日, Vienna (Austria)
- ⑰ T. Mikami, H. Yamato, W. Morishima, I. Akasaka, 2014: Reduced urban heat island intensity in Tokyo induced by the energy savings in 2011 after the Fukushima nuke crisis.

International Geographical Union Regional Conference, Krakow, Poland. 2014.8.19

〔図書〕(計3件)

- ① 高橋日出男, 都市化に伴う気候環境の変化. 小池一之・山下脩二・岩田修二・漆原和子・小泉武栄・田瀬則雄・松倉公憲・松本 淳・山川修治編『自然地理学事典』, 朝倉書店, 2017年, 480(100-103).

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

三上 岳彦 (MIKAMI, Takehiko)  
帝京大学・文学部・客員教授  
研究者番号: 10114662

### (2) 研究分担者

高橋 日出男 (TAKAHASHI, Hideo)  
首都大学東京・都市環境科学研究科・教授  
研究者番号: 40202155

森島 済 (MORISHIMA, Wataru)  
日本大学・文理学部・教授  
研究者番号: 10239650

日下 博幸 (KUSAKA, Hiroyuki)  
筑波大学・計算科学研究センター・教授  
研究者番号: 10371478

赤坂 郁美 (AKASAKA, Ikumi)  
専修大学・文学部・准教授  
研究者番号: 40574140

平野 淳平 (HIRANO, Junpei)  
帝京大学・文学部・講師  
研究者番号: 80567503

### (3) 連携研究者

酒井 慎一 (SAKAI, Shin-ichi)  
東京大学・地震研究所・准教授  
研究者番号: 00251455

### (4) 研究協力者

大和 広明 (YAMATO, Hiroaki)