

## 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 5 月 28 日現在

機関番号：32643

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2012

課題番号：22300316

研究課題名（和文）高密度観測と気象モデルに基づく首都圏夏期気温・降水量分布の動態解明

研究課題名（英文）Spatial and temporal analysis of the summer temperature/precipitation in Tokyo metropolitan area using high-density observation and numerical simulation

## 研究代表者

三上 岳彦 (MIKAMI TAKEHIKO)

帝京大学・文学部・教授

研究者番号：10114662

研究成果の概要（和文）：東京首都圏 200 カ所の高密度気温観測データと気象庁 AMeDAS の風観測データを用いて、夏季気温分布の時空間変動および要因解明を試みた。夏季の海風卓越日と強い南風日について気温偏差分布の日変化のデータ解析および夏季典型日（夏型）を対象とした気温と風の再現実験（WRF モデル）から、関東平野内陸部での高温域に及ぼす風の効果が明らかになった。また、WRF モデルによる都市型集中豪雨の数値シミュレーションを行った結果、都市の存在が首都圏に降雨をもたらす可能性が示唆された。

研究成果の概要（英文）：An attempt was made to clarify temporal and spatial variations in summer temperature anomalies and their causing factors in Tokyo metropolis using our original 200 high density meteorological observations and JMA-AMeDAS wind observations. The results show the effect of wind system, which is characterized by summer sea-breeze and strong southerly wind, on the high temperature area over the inland Kanto plain as a result of data analysis and numerical simulation. Also WRF simulation suggest a possibility of urban induced rainfall.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	9,400,000	2,820,000	12,220,000
2011年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2012年度	2,400,000	720,000	3,120,000
総計	14,200,000	4,260,000	18,460,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：地理学・地理学

キーワード：ヒートアイランド、東京首都圏、WRF モデル

## 1. 研究開始当初の背景

近年、夏期になると東京を初めとする大都市では、人工排熱の増加や地表面人工化等の人為的要因による高温化（ヒートアイランド）が顕著に認められるようになり、地球温暖化問題と並ぶ都市環境問題として関心が高まっている。さらに、夏期の午後

に都市部を中心に局所的な短時間強雨（都市型豪雨）が発生する頻度が高まる可能性が指摘されており、ヒートアイランドとの関連が注目されている。その実態を明らかにするためには、できるだけ多数地点の観測データに基づく詳細な気温・降水量分布図の作成が不可欠である。

しかし、気温を常時測定している既存の気象観測地点は、基本的に気象庁の管轄する気象官署（気象台、測候所）と AMeDAS（地域気象観測システム）のみで、首都圏スケールで見ると平均 20km 間隔という粗い観測点密度で設置されているため、ヒートアイランドや都市型豪雨の詳細な時空間構造を解明するには全く不十分である。

そこで、2002 年度から 3 年間にわたり、首都大学東京（当時は東京都立大学）と東京都環境科学研究所が共同で東京 23 区内に 100 地点（区立小学校の百葉箱を利用）の気温データロガーを設置して継続観測を、また 20 地点の建物屋上部に風向風速計を取り付け、大規模な風系の観測も同時に行った。その結果、都区内におけるヒートアイランドの分布パターンが早朝と日中午後では明瞭に異なること、そして気温分布パターンの差異は、夏季日中後に東京湾や相模湾から進入する冷涼な海風の風向や風速と密接な関連のあることがわかった。その後、首都圏の都市気候関係研究者の協力によって、新たな高密度気象観測システム（広域 METROS）を立ち上げるための研究グループが結集され、東京と周辺県を含む約 200 地点に気温測定用ロガーを設置し、10 分間隔で自動記録したデータを 3 ヶ月ごとに無線回収する方式で 2006 年 8 月より観測を開始した。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、首都圏 200 地点で気温観測を、さらに 50 地点で降水量の観測を実施し、夏季気温分布の時空間変動とその要因を解明するとともに、都市型豪雨発生域との関連を観測データと数値シミュレーションの両面から明らかにすることである。

特に首都圏では、夏季日中にヒートアイ

ランドに伴う高温域が北関東方向に拡大する傾向が認められるが、その要因として海風の侵入が及ぼす効果を高密度観測データと数値シミュレーションから客観的・定量的に解明することが主たる目的である。

## 3. 研究の方法

本研究では、まず夏季の首都圏における気温分布を詳細に把握するために、約 200 カ所の気温観測システム（広域 METROS）を構築し、気候統計学解析とメソ気象モデル（WRF）による現況再現シミュレーションの両面からヒートアイランドの時空間変動（動態）を明らかにし、ヒートアイランドが降水量分布に及ぼす影響に関して考察する。

とくに、夏季の高温域が出現しやすい埼玉県に注目し、海風前線の進入や収束場との関連についてデータ解析を行う。蓄積された気温と降水量データを用いた統計解析の結果に WRF モデルを連携させて、夏季気温・降水量分布の動態を明らかにする。

## 4. 研究成果

### (1) 夏季日中における首都圏の気温分布に与える海風の影響

広域 METROS による 200 カ所の気温観測データと気象庁 AMeDAS による首都圏の風観測データを用いて、首都圏ヒートアイランドの時空間変動と風系に関する気候統計解析を行った。その結果、以下のことが明らかになった。

一般に夏季の気温分布は海風の吹き方に大きく影響を受ける。朝のうちは、典型的なヒートアイランドが見られるため東京都心の周辺部で気温が高いが、時間の経過とともに沿岸部から海風が侵入し始める。沿岸部に位置する都心では気温の上昇が内陸

に比べて抑制されるため、次第に高温の中心が内陸部へ移動する。12時には練馬からさいたま市南部の地域に高温の中心があり(図1 a)、14時には川越付近(図1 b)、16時以降は熊谷より北西の地域に移っている(図1 c/d)。12時および14時の高温の中心では風が弱くなっている。この高温の中心は、海風前線のすぐ前面に位置している。これは、海風前線のすぐ前面では風が弱いいため、気温が高くなりやすいことに対応していると考えられるが、16時の海風前線の前面では、必ずしも風が弱くない

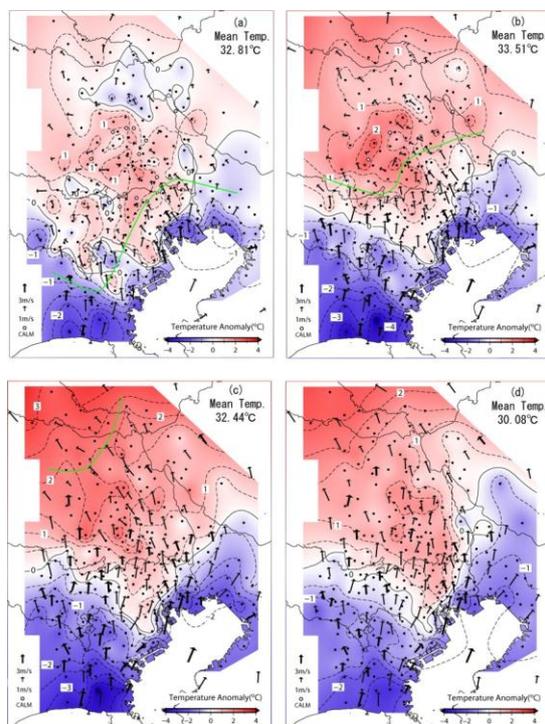


図1 海風前線日における気温偏差(全地点平均からの差)と風の合成平均分布図。(a)12時、(b)14時、(c)16時、(d)18時。

め別の原因で高温になっている可能性がある。またこの海風前線のすぐ前面のうち、東京都心の風下で特に気温が高くなっており、高温の中心は常に都心の風下に位置していた。最高気温は、川越付近で一番高く、ついで熊谷より北西の地域で高い。

次に、強い南風日における気温と風の分

布について考察した(図2)。

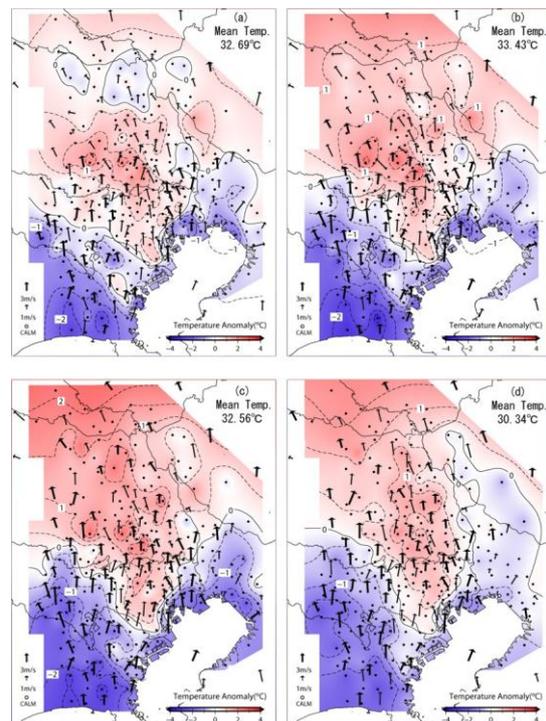


図2 強い南風日における気温偏差(図1と同じ表記)と風の合成平均分布図。(a)12時、(b)14時、(c)16時、(d)18時。

強い南風日は、12時の段階で内陸までやや強い南風の吹く地域が広がっている。風の大まかな分布は12時から18時まで変化はない。高温域の中心は常に埼玉県南部にある。これは海風前線日とは異なる特徴である。また、相模湾からの風と東京湾からの風が収束しているところは海風前線日同様に周囲に比べて高温になっている。海から移流する冷気は、沿岸部から内陸にかけて海風前線日に比べて進入速度が大きいいため、沿岸と内陸における気温が低下し始める時間の差および気温の差は小さくなっている。

海風前線日と強い南風日の気温と風の差の分布を見ると、沿岸部では海風前線日の方が南風が強く、内陸部では強い南風日の方が強くなっている(図省略)。この両者の境はほぼ海風前線に対応すると考えられ、

実際にこの境で気温差の正負が逆転している。海風前線日の気温は強南風に比べて沿岸部では気温が低く、内陸部では気温が高くなっている。とくに、この境界のすぐ北側で気温差が大きくなっており、海風前線の前面において気温が高くなりやすい傾向があることがわかる。また、時間の経過とともにこの境界は北上しているが、16時以降は海風前線の位置とはずれている。つまり海風前線日には関東平野の内陸部では海風前線通過後も強南風日より気温が高いことがわかる。これまでの解析により、海風前線日には14時頃に埼玉県中央部、16時以降に埼玉県北部から群馬県南部の地域で気温が特に高くなっていた。また、海風前線日と強い南風日の両方で、東京都心の風下で「くさび形」の高温域が形成されていた。このような都心部から北関東に延びる「くさび形」の高温域が観測から明らかにされたのは、本研究が初めてである。

「くさび形」の高温域は東京都心の風下に形成されており、しかも高温域形成時には海からの風が収束していた。この地域は都心の風下に広がっていることから都心の熱の移流も考えられるが、海風前線日において16時までの1時間気温低下量が小さい地域が都心から埼玉県までの広い地域に広がっていることから、移流よりも都心を通じた海からの冷気が加熱されて、内陸まで海からの冷たい空気が到達していないことが主な原因であると考えられる。一方で、この高温域の東側では相模湾からの風、西側では東京湾からの風が内陸まで海からの冷気を運んでいるため、気温の低下量が大きくなっていたと考えられる。

(2) 夏季典型日（夏型）を対象とした気温と風の再現実験

最先端のメソ気象モデルとして注目されている WRF モデルを用いて、関東平野の気温と風の再現実験を行った。ここでは、夏季典型日である 2002 年 7 月 31 日を対象とした再現実験の結果の一部を紹介する。図 3 に、2002 年 7 月 31 日 15 時の関東地方の地上気温の分布を示す。左が観測値で、左が WRF モデルによる再現実験の結果を示している。WRF モデルは、沿岸部で気温が低く、熊谷な関東平野の北西部で高温となる様子を良く再現できている。さらに、地上風系に関しても、WRF モデルは再現性がよいことが確認できた（図略）。

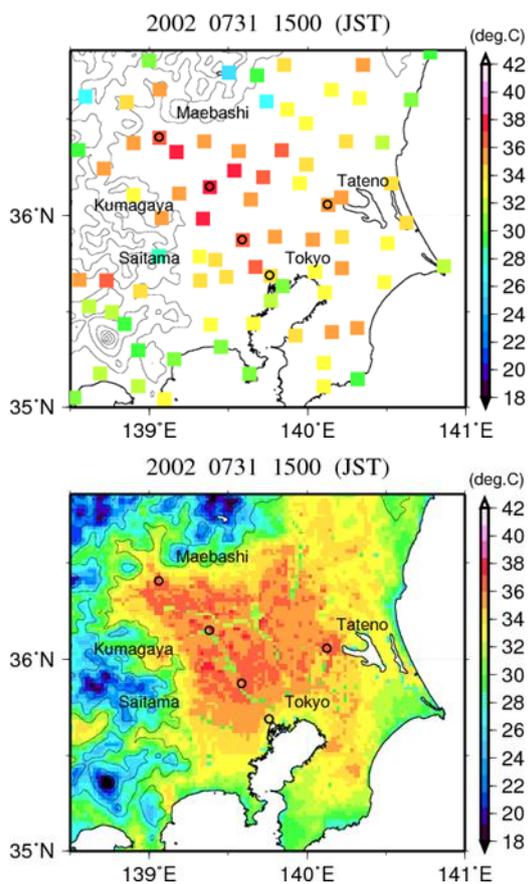


図 3 2002 年 7 月 31 日 15 時の地上気温の分布。左図が再現実験の結果、右図が気象庁アメダス観測値。

(3) 都市型集中豪雨の数値シミュレーション

WRF モデルを用いて、都市型集中豪雨の数値シミュレーションを行った。単一事例に対する都市型豪雨の現状再現シミュレーションは、不確実性が大きく議論が難しいため、本研究では、夏季の対流性降水発生日の平均的な大気状態を想定した理想化実験を行った。さらに、降水に対する都市の影響を評価するため、都市を草地に変えた「都市なし実験」、現実の土地利用と同じ「都市あり実験」、都市の効果を強くした「強い都市実験」を行い、これらの実験結果を比較した。

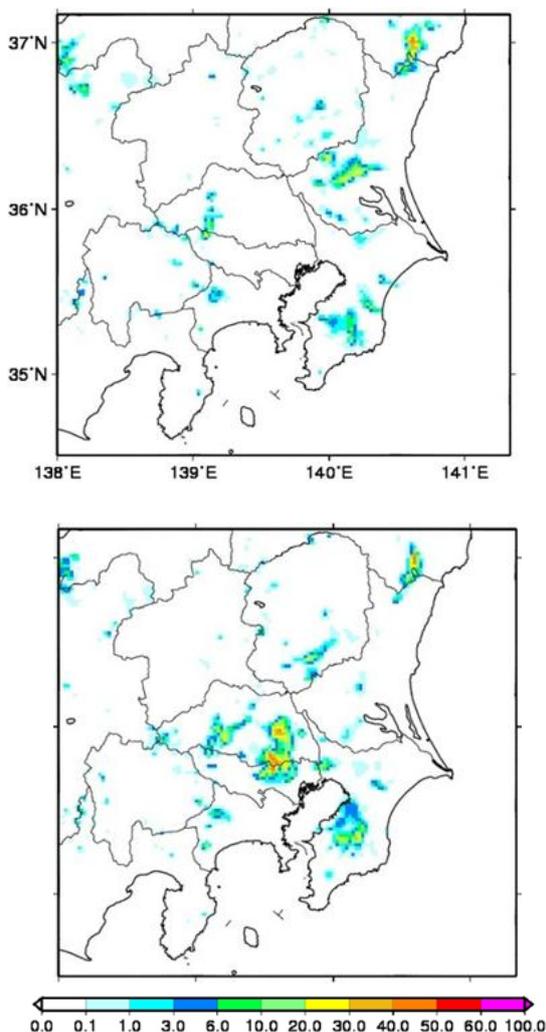


図 4 都市なし実験（上）と都市あり実験（下）で計算された 18 時の 1 時間降水量

図 4 に、都市なし実験と都市あり実験で計算された、18 時の 1 時間降水量の分布を

示す。都市あり実験では、夕方ごろ首都圏に降雨が発生したのに対し、都市なし実験では、首都圏に降雨が発生しなかった。さらに、強い都市実験では、都市あり実験に比べて降雨発生時刻が早まるなどの違いが見られた（図省略）。これらの結果は、都市の存在が首都圏に降雨をもたらしている可能性を示唆している。

#### 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 40 件）

- 1) Zaiki M, Grossman M, Mikami T., 2012. Document-based reconstruction of past climate in Japan. *PAGES news* 20(2): 82-83. 査読有
- 2) Kusaka,H., F.Chen, M.Tewari, D.Gill, M, G.Duda, W.Wang, Y.Miya, 2012.Numerical simulation of urban heat island effect by the WRF model with 4-km grid increment: An inter-comparison study between the urban canopy model and slab model. *J.Meteor.Soc.Japan*, 90B,33-46.査読有
- 3) Kusaka,H., M.Hara, Y.Takane, 2012. Urban climate projection by the WRF model at 3-km horizontal grid increment: Dynamical downscaling and predicting heat stress in 2007's August for Tokyo, Osaka, and Nagoya metropolises. *J.Meteor.Soc.Japan*, 90B,47-64.査読有
- 4) 瀬戸芳一・横山仁・安藤晴夫・廣井慧・藤原孝行・高橋日出男, 2012.高密度地上気象モニタリング網を用いた東京都区部における短時間強雨事例の解析. 東京都環境科学研究所年報 2012,184-185.査読無
- 5) 赤坂郁美・安藤晴夫・横山 仁・大久保さゆり・高橋一之・泉 岳樹・三上岳彦, 2011. 東京における高密度気象観測システム, 地学雑誌, 120, 309-316. 査読有
- 6) 三上岳彦・大和広明・広域 METROS 研究会, 2011. 広域 METROS による首都圏高密度気温観測とその気候学的意義, 地学雑誌, 120, 317-324. 査読有
- 7) 大和広明・三上岳彦・高橋日出男, 2011. 夏季日中における首都圏のヒートアイランド現象に海風が与える影響, 地学雑誌, 120, 325-340. 査読有
- 8) 菅原広史・田中博春・成田健一・中野智子・三上岳彦, 2011. 都市内緑地におけるクールアイランドの鉛直構造, 地

- 学雑誌, Vol.120, 426-432. 査読有
- 9) K. Takahashi, T. Mikami and H. Takahashi, 2011. Influence of the urban heat island phenomenon in Tokyo on the local wind system at nighttime in summer, *Journal of Geography*, 120, 341-358. 査読有
  - 10) 日下博幸, 2011. 領域気象モデル WRF の都市気候研究への応用と課題. *地学雑誌*, 120, 285-295. 査読有
  - 11) De Rose, R., Oguchi, T., Morishima, W. and Collado M., 2011. Land cover change on Mt Pinatubo, the Philippines, monitored using ASTER VNIR. *Int. Jour. of Remote Sensing*, 査読有  
DOI:10.1080/01431161.2011.554452.
  - 12) 高橋一之・高橋日出男・三上岳彦・横山 仁・安藤晴夫・赤坂郁美, 2011. 静力学平衡を仮定して補正したデータによる東京都心部の気圧低下の検出. *天気*, 58, 131-141. 査読有
  - 13) Takane, Y., Kusaka, H., 2011. Formation mechanism of the extreme surface air temperature of 40.9 C observed in the Tokyo metropolitan area: Considerations of dynamic foehn and foehn-like wind. *J. Appl. Meteor. Clim.*, 50(9), 1827-1841. 査読有
  - 14) R. Nagata and T. Mikami, 2010. Response of the summer atmospheric circulation over East Asia to SST variability in the tropical Pacific. *International Journal of Climatology*, 30, 813-826. 査読有
  - 15) 横山 仁・三上岳彦, 2010: 大気環境の健康影響と植物影響 - 第2講 都市における緑地の気候緩和効果. *大気環境学会誌*, 45, A32-A38. 査読有
  - 16) 大久保さゆり・高橋日出男, 2010. 常時監視データによる国内のSPM濃度の長期および年々変動の解析. *大気環境学会誌*, 45(2), 96-106. 査読有
  - 17) 日下博幸・羽入拓朗・縄田恵子, 2010. GPS 可降水量に着目した局地豪雨の事例解析—2000年7月4日に東京で観測された事例—. *地理学評論*, 83, 479-492. 査読有
  - 18) 秋本祐子・日下博幸, 2010. 入力データおよび地表面パラメータの変化に対する領域気象モデル WRF の感度実験—夏季晴天日の関東平野を対象として—. *地理学評論*, 83, 324-340. 査読有

[学会発表] (計 60 件)

- 1) 三上岳彦, 2012: 都市ヒートアイランド研究の最新動向 - 東京の真夏の気温に関する都市気候学的考察 - 第 51 回 日本生気象学会大会, 松本. 2012年11月9日

- 2) 三上岳彦・大和広明・森島 濟・赤坂郁美, 2012: 2011年夏季節電による東京都心部ヒートアイランド緩和効果のデータ解析. 日本気象学会 2012年度春季大会, 筑波. 2012年5月27日
- 3) 大和広明・高橋日出男・三上岳彦, 2012: 夏季日中における首都圏のヒートアイランドの実態と形成要因, 2012年日本地理学会春季学術大会, 東京. 2012年3月29日
- 4) T. Mikami, 2010: Climatic changes due to the rapid urbanization in Tokyo metropolis - Urban Heat Islands in Mega-Cities -, Japan Geoscience Union Meeting 2010 (日本地球惑星科学連合 2010年大会), 東京. 2010年5月23日

[図書] (計 5 件)

- 1) 三上岳彦, 2013: ヒートアイランド現象と森のクールアイランド効果. (濱尾章二・松浦啓一編: 国立博物館叢書 14『大都会に息づく照葉樹林の森』分担執筆: 第4章, 124-135(157p.), 東海大学出版.
- 2) 三上岳彦, 2012: 東京のヒートアイランド. (甲斐憲次編著: 『二つの温暖化—地球温暖化とヒートアイランド—』分担執筆: 第Ⅲ部第3章, 162-178 (298p.), 成山堂書店.
- 3) 三上岳彦, 2012: ヒートアイランド. (杉浦芳夫編著: 『地域環境の地理学』分担執筆: 第1章, 1-11 (208p.), 朝倉書店.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

三上 岳彦 ( MIKAMI TAKEHIKO )  
帝京大学・文学部・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 濟 ( 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・生命環境科学研究科・准教授  
研究者番号: 10371478