

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 8 日現在

機関番号：82626

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2014～2016

課題番号：26702006

研究課題名(和文) 都市域の猛暑の発生に及ぼす風上地面状態の影響評価

研究課題名(英文) Impact of the windward the ground condition on the high temperature events in urban areas

研究代表者

高根 雄也 (Takane, Yuya)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・環境管理研究部門・研究員

研究者番号：80711952

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 18,100,000円

研究成果の概要(和文)：日本で最も暑い街として知られている多治見の高温に及ぼす風上側の地面状態の影響を調査した。多治見が高温の日には、西寄りの山越え気流が頻繁に卓越していることを予め確認後、この風が高温に寄与するメカニズムに関する仮説：風上地面からの非断熱加熱を伴うフェーンを検証した。その結果、本仮説を実証する結果を得た。すなわち、風上側の地面状態が風下側の高温に大きな影響を及ぼしていることを確認した。また、気流が都市域を通過する時や、日射が大きいかつ土壌が乾燥している日に、風上地面状態の影響が特に大きくなることが分かった。以上の結果は、風上の土地利用の改変が今後風下都市の熱環境に影響を及ぼすことを示唆している。

研究成果の概要(英文)：In this study, we verified the hypothesis that a foehn-like wind contributes to high temperatures at the end of the leeward area. According to the hypothesis, the foehn-like wind has the features of the sum of a traditional foehn effect with adiabatic heating, plus dry-diabatic heating from the ground surface along the fetch of the wind. Field experiments conducted at seven observational points on Nobi Plain, Japan, where a mesoscale westerly wind blew, revealed that the westerly wind clearly had the features of a traditional foehn effect in the western part of the Nobi Plain. In addition, the wind was further heated by dry-diabatic heating from the ground surface along the fetch of the wind. These results proved that the hypothesis is correct, and indicated that ground conditions and the land use and land cover (LULC) in the windward area were strongly related to air temperature at the end of the leeward area, where an extremely high temperature was observed.

研究分野：気候学・気象学

キーワード：猛暑 局地風 都市 気候 多治見市

1. 研究開始当初の背景

(1) 都市域で発生する猛暑に及ぼす地表面状態の影響

近年、日本の三大都市圏の夏季の気温が特に上昇している。都市域で発生する猛暑は地球温暖化やヒートアイランドと深く関連しており、さらに健康被害や電力需要に関わるため、近年特に注目されている。こうした背景のもと、猛暑の実態とメカニズムが特に日本で調査されてきた。

日本の首都圏では、日最高気温の極値を更新するほどの猛暑がしばしば発生し、これらの特徴が調査されている。研究代表者は、2007年8月16日に発生した40.9℃の猛暑の実態とメカニズムを調べた。その結果、首都圏では当日、これまでに指摘されていない新たなタイプ（地面からの加熱を伴うタイプ）の山越え気流（従来のフェーン（ドライフェーン、II型のフェーン）の効果（断熱加熱）に加えて、気流が地表面付近を吹走する際に地表面からの加熱（非断熱加熱）を受け、気流がさらに高温化し、この気流が多治見に侵入することにより高温がもたらされるというメカニズム）が発生しており、これが、猛暑の支配的な要因であったことが数値実験の結果、示唆された。この結果は、気流が吹走する風上側（山岳域や平野）の地面状態（地面温度や土壌水分量等）が風下側の猛暑の発生に大きく寄与していることを示している。

このように、猛暑には風上側を含む数十kmスケールでの地面状態が重要であることが数値実験の結果示唆されてきた。しかしながら、国内にはこれを裏付けるための地面状態の観測データが乏しいため、この結果は検証されてこなかった。また、国内に適切な土壌データが存在しないため、猛暑のメカニズム解明のため数値実験を行う際には、米国環境予測センター（NCEP）が作成した水平解像度1°（日本付近では約110km）の粗い土壌データを、数値気象モデルの下部境界条件として使用するのが現状であった。NCEPのデータを使用した猛暑の再現実験では、日最高気温を過小評価する傾向があることが分かっている。現地での観測は、猛暑に対する地面状態の重要性を検証するために必須であるとともに、空間解像度の高く正確な土壌データを数値気象モデルの下部境界条件として提供することにもつながるため重要である。

(2) 名古屋都市圏の猛暑

名古屋都市圏は、他の都市圏に比べて猛暑の発生頻度が高い地域である。名古屋都市圏内陸域では、首都圏に比べて夏季にフェーンをもたらす西～北西の風が吹きやすいことが知られている。名古屋都市圏で最も高温となる多治見市は、名古屋都市圏の北東の内陸部にあり（図1）これは多治見市が内陸域を覆う西～北西の風の風下末端に位置するこ

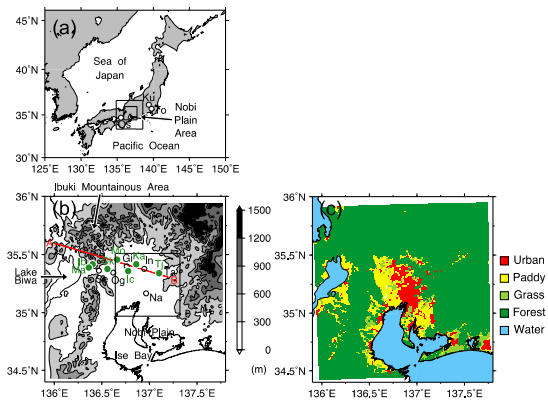


図1 対象地域の(b)地形と(c)土地利用分布 (Takane et al. 2017)

とを示している。名古屋都市圏内陸域で西～北西の風が吹いた場合、この風が多治見市周辺まで到達するまでの距離（吹走距離）が長くなるため、吹走中に気流が地面の影響を受ける時間も長くなる。したがって、名古屋都市圏では、上述の地面からの加熱を伴うタイプの山越え気流が卓越しやすいと考えられる。

2. 研究の目的

以上の背景を受け本課題では、名古屋都市圏を対象に、地面状態の観測を行い、このデータを用いて猛暑に及ぼす風上側を含む数十kmスケールでの地面状態の影響を検証する。具体的には、地面からの加熱を伴うタイプの山越え気流の存在を、現地観測および数値シミュレーションにより確認（検証）する。

本課題を気候・気象研究のための地面状態観測促進の契機にすることにより、猛暑の実態把握・予測・再現精度向上、さらには、その結果を用いた猛暑の影響評価研究に貢献することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 猛暑発生日の風と土壌水分量、気温、日射量の特徴の把握

西～北西風の風上側の複数地点で土壌水分量と気温、日射量を測定する。この観測値を用いて、西～北西風が卓越した日と、かつ猛暑が発生した日と、発生しなかった日の観測値を比べることにより、猛暑発生日における観測値の特徴を明らかにする。

具体的には、以下のような現地観測を実施した。濃尾平野における北西寄りの風に伴う気象変化を捉えるため、平野の内外の計7地点において地上気象観測を実施した。場所選定の方針として、伊吹山の南の関ヶ原付近の谷間から濃尾平野に侵入する西寄りの風を捉えるルート：滋賀県米原市→岐阜県大垣市→愛知県一宮市→岐阜県多治見市（以下、西風ルート）（図2）と、伊吹山の北側から吹き下りる北西寄りの風を捉えるルート：岐阜県

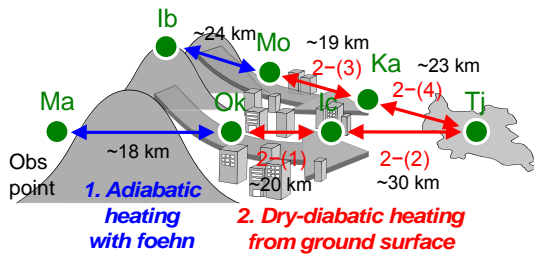


図 2 現地観測の概念図。Ib:伊吹山、Mo:本巣、Ka:各務原、Tj:多治見、Ma:米原、Ok:大垣、Ic:一宮 (Takane et al. 2017)

本巣市→各務原市→多治見市 (以下、北西風ルート) (図 2) に沿う地点を選定した。いずれも、条件を統一するために、周りに建物や樹木が存在しない休耕田を選定した。伊吹山は、伊吹山地の山頂の気象を測定するために選定した。設置地点の標高は 1,340 m であり、この高度は伊吹山地の山頂に近い高度である。使用した観測測器は、総合気象観測装置 (WXT520)、日射計 (PCM-01NB-L10)、土壌水分計 (WD-3-L5、ThetaProbe ML3-L5) である。

(2) 猛暑の再現精度の把握と地面状態の影響評価

先行研究で行われてきた一般的な計算設定 (数値気象モデルの下部境界条件として NCEP の土壌データを使用) のもとで領域気象モデル WRF (Weather Research and Forecasting) を使用し、名古屋都市圏の猛暑の再現を試みる (以降、通常実験と呼ぶ)。その結果を上記(1)の現地観測データ、さらには既存の観測データ (気象庁の AMeDAS データ) と比較することにより、通常実験による猛暑の再現精度を明らかにする。その後、(1)の土壌水分量データを下部境界条件に取り入れた実験 (以降、この設定を同化実験と呼ぶ) を行い、通常実験の結果と比較するとともに、同化実験で計算された日最高気温等の物理量が、通常実験の物理量に比べて、観測値に合うかどうかを検証する。同化実験の方が通常実験に比べて観測値に合うことが示されれば、(1)の観測の有用性が明らかになる。また、WRF モデルを用いて、観測値に基づく地面状態の感度実験を行なうことにより、猛暑へ及ぼす地面状態の影響が定量的に明らかになる。

4. 研究成果

(1) 現地観測

西風ルート及び北西風ルートにおける観測結果から、どちらのルートにおいてもドライフェーンの発生を示す結果が得られた。具体的には、西風ルートでは、風下地上である大垣の温位・風速が、西寄りの風に伴い風上地上の米原の値に比べて高い・大きかった (図 3a)。また、北西風ルートでは、北西風

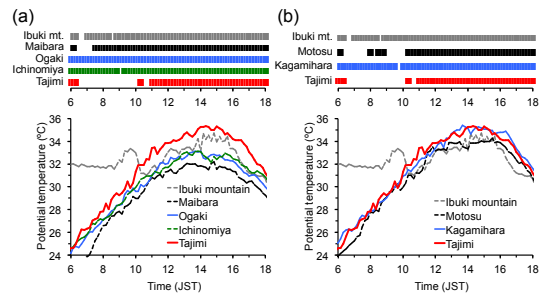


図 3 (a)西風ルートと(b)北西風ルートにおける温位と風の時間変化 (観測結果) (Takane et al. 2017)

の風下地上である本巣の温位・風速が、風上山頂である伊吹山の値とほぼ同等であった (図 3b)。これらの特徴は、フェーンの典型的特徴であるとともに、北西から西寄りの風の非卓越時には現れていない特徴である。地表面からの非断熱加熱の効果については、風下の地点ほど温位が高くなる結果が得られた (図 3)。そして、その風下と風上の温位差がフェッチの代表的土地利用・被覆からの顕熱供給 (すなわち、地表面からの非断熱加熱) で概ね説明可能であることが簡易混合層モデルによる簡易的な推定の結果、確認された。地表面からの非断熱加熱の存在をより明瞭に結論付けるため、以下で述べる数値シミュレーションによっても検証した。

(2) 数値シミュレーション

上記(1)で測定した土壌水分量を元に新たに作成した土壌水分量データを、数値モデルの下部境界条件として用いて数値シミュレーションを行ったところ (上述の同化実験)、先行研究で行われてきた一般的な計算設定の下で行った計算結果 (上述の通常実験) に比べて、気温等の再現精度が向上した。

この向上後の同化実験の計算設定を高温の標準実験 (CTRL) とし、多治見の風上側の地面状態が、多治見の気温に及ぼす影響を調査するため、風上地域のみ CTRL の土壌水分量の初期値を減らす (ボーエン比を変化させる) 感度実験 (SMOIS) を行ない、両者の結果を比較した (図 4a, b)。その結果、多治見において早朝から 11 時以前までにおける SMOIS の地上気温は CTRL とほぼ一致しているが、モデルにおいて多治見で北西から西寄りの風が吹き始めた 11 時以降では、両者に明らかな気温差が生じた (図 4c)。この結果は、風上側の地表面から非断熱加熱を受けた西寄りの風の侵入に伴い、風下末端である多治見が昇温していることを明瞭に示している。

地表面からの非断熱加熱の効果を、過去の観測データの統計解析によっても考察した結果、風上側の顕熱フラックスが卓越しやすい条件での日 (入力日射が大きく、かつ土壌が乾燥し、かつ濃尾平野で西寄りの風が卓越する日) ほど、多治見が高温になることが統

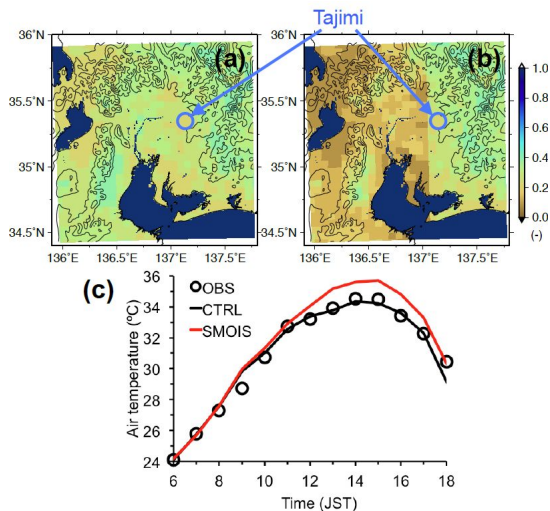


図4 土壌水分量の水平分布 (a: CTRL、b: SMOIS) と多治見における地上気温の時間変化 (Takane et al. 2017)

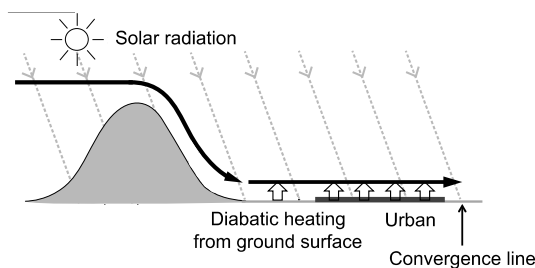


図5 地表面からの非断熱加熱を伴う特殊なタイプのフェーン の概念図 (Takane et al. 2017)

計的にも示された。

以上より、現地観測と数値シミュレーション、さらには統計解析というそれぞれ異なる手法から、いずれも地表面からの非断熱加熱を伴う特殊なタイプのフェーン の存在を支持する整合的な結果が得られた。本タイプのフェーン の概念図を図5に示す。本研究の結果は、現状において風上側を含む数十 km スケールでの地面状態が風下の気温に影響を及ぼしていることを明瞭に示しているとともに、今後風上側の土地利用・被覆が改変されるとその影響が風下側の熱環境に明瞭に影響す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3件)

Takane, Y., H. Kondo, H. Kusaka, J. Katagi, O. Nagafuchi, K. Nakazawa, N. Kaneyasu, and Y. Miyakami, 2017: Foehn-like wind with a traditional foehn effect plus dry diabatic heating from the ground surface contribute to high temperatures at the end of a leeward area. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 査読有, in

press.

DOI: <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-16-0257.1>

Takane, Y., Y. Kikegawa, M. Hara, T. Ihara, Y. Ohashi, S. A. Adachi, H. Kondo, K. Yamaguchi, and N. Kaneyasu, 2017: A climatological validation of urban air temperature and electricity demand simulated by a regional climate model coupled with an urban canopy model and a building energy model in an Asian mega city. *International Journal of Climatology*, 査読有, in press. DOI: 10.1002/joc.5056

Takane, Y., H. Kusaka, H. Kondo, M. Okada, M. Takaki, S. Abe, S. Tanaka, K. Miyamoto, Y. Fuji, and T. Nagai, 2017: Factors causing climatologically high temperature in a hot city in Japan: a multiscale analysis of Tajimi. *International Journal of Climatology*, 査読有, 37, 1456–1473. DOI: 10.1002/joc.4790

[学会発表](計4件)

高根雄也、近藤裕昭、日下博幸、片木仁、永淵修、中澤暦、兼保直樹、宮上佳弘、岐阜県多治見市に高温をもたらす地表面加熱を伴うフェーン .2016年日本地理学会秋季学術大会、2016年10月1日、東北大学川内北キャンパス(宮城県仙台市)

高根雄也、日下博幸、近藤裕昭、岡田牧、阿部紫織、高木美彩、宮本賢二、富士友紀乃、永井徹、岐阜県多治見市周辺における猛暑のメカニズム解明に向けた観測調査 .日本地球惑星科学連合 2015年大会、2015年5月25日、幕張メッセ(千葉県千葉市)

高根雄也、日下博幸、近藤裕昭、岡田牧、阿部紫織、高木美彩、宮本賢二、富士友紀乃、永井徹、岐阜県多治見市周辺における猛暑の気候学的特徴 .2014年日本地理学会秋季学術大会、2014年9月20日、富山大学(富山県富山市)

高根雄也、日下博幸、近藤裕昭、岡田牧、高木美彩、阿部紫織、宮本賢二、富士友紀乃、永井徹、岐阜県多治見市周辺における猛暑の気候学的特徴 .日本ヒートアイランド学会第9回全国大会、2014年7月26日、佐賀大学本庄キャンパス(佐賀県佐賀市)

6. 研究組織

(1)研究代表者

高根 雄也 (TAKANE, Yuya)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・環境管理研究部門・研究員

研究者番号: 80711952