

日本の首都圏で日最高気温 40.9 °C を記録した極端な猛暑の形成メカニズム

FORMATION MECHANISMS OF THE EXTREME HIGH SURFACE TEMPERATURE OF 40.9 °C OBSERVED IN THE TOKYO METROPOLITAN AREA

○ 高根 雄也^{*1}, 日下 博幸^{*2}

○ Yuya TAKANE^{*1} and Hiroyuki KUSAKA^{*2}

^{*1} 筑波大学大学院生命環境科学研究科 Graduate school of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba

^{*2} 筑波大学計算科学研究センター Center for Computational Sciences, University of Tsukuba

Corresponding author: Yuya TAKANE, s1030239@u.tsukuba.ac.jp

The record-breaking daily maximum high surface air temperature in Japan of 40.9 °C was observed on 16 August 2007 at Kumagaya, located northern part of the Tokyo metropolitan area. There are unknown aspects with formation mechanisms of the extreme high surface air temperature phenomenon. In this study, we investigate the formation mechanisms of the phenomenon using observational data and the Weather Research and Forecasting (WRF) model. Several analyses have been performed by WRF model: the heat budget analysis on atmospheric column, backward trajectory analysis, energy budget analysis along trajectory, forward tracer analysis, and sensitivity experiment of soil moisture in the Chubu mountain area.

1. はじめに

2007 年 8 月 16 日 1442 (JST) に、首都圏の北端に位置する埼玉県熊谷市で日最高気温 40.9 °C が観測された。この記録は日本の日最高気温の記録を 74 年ぶりに更新するものであった。この極端な猛暑の形成メカニズムを明らかにするために、これまでいくつかの先行研究が行われてきた (気象庁, 2008⁽¹⁾; 桜井ほか, 2009⁽²⁾; 篠原ほか, 2009⁽³⁾; 渡来ほか, 2009 a⁽⁴⁾; 2009 b⁽⁵⁾)。しかしながら、この極端な猛暑の形成メカニズムの理解は未だに不十分である。そこで本研究では、この極端な猛暑の形成メカニズムを、観測値と WRF モデルを用いて検討した。

2. 猛暑発生日の気象場の特徴

16 日における気象場の特徴をまとめると次のようになる。

(1) 熊谷において前 7 日間晴天日が持続していた。(2) つくばにおける高度 400-1,500 m の層内の気温は 0900 (JST) の時点で非常に高温となっていた。(3) 関東の上空 850 hPa 面以下と関東平野内陸域の地上では一日を通して北～北西の風が観測されていた。1500 (JST) 頃、地上の北～北西の風と南よりの風との局地前線はさいたま付近に位置していた (図 1 a)。(4) 1500 (JST) における地上の高温域は、おおむね局地前線の北側に分布していた (図 1 b)。(5) 熊谷では充分な日照があった。以上の特徴が猛暑の形成に寄与しているものと推察される。

3. 数値実験

数値実験には、領域気象モデル Advance Research Weather Research and Forecasting (WRF) モデル⁽⁶⁾を使用する。本研究では、関東平野を中心に領域を設定し、水平格子間隔は 2 km で計算を行う。初期値と境界値には、気象庁 MANAL (大気)、NCEP-FNL (土壌) と RTG-SST 値 (海面温度) を、土地利用分布には、国土数値情報を使用する。初期時刻は、2007 年 8 月 1 日 0000 (UTC) とする。再現実験の結果、WRF モデルは観測値をおおむね良好に再現できていた。

熊谷における混合層発達を要因を、直下の地表面からの顕熱加熱の寄与分 (Q_H) と、それ以外の方向からの顕熱輸送の寄与分 (Q_{CONV}) とに分離し定量的に議論するため、大気カラムにおける顕熱エネルギー収支の計算を行った。その結果、16 日 0500 (JST) から 1500 (JST) までの混合層の発達に対して、 Q_H が 5 割、 Q_{CONV} が残りの 5 割分寄与していることが分かった。上記 (3) から判断し、 Q_{CONV} の一因として、北～北西の風に伴う顕熱の輸送が考えられる。

北～北西の風に伴う顕熱の輸送メカニズム (風下側の昇温メカニズム) を調べるため、後方流跡線解析と流跡線に沿ったエネルギー収支解析を行った。パーセルは 1500 (JST) に熊谷周

辺の 200 の格子それぞれに 1 つ、地上 2 m の高度から放出し、当日 0500 (JST) まで 10 分ごとに追跡する。パーセルの移動はグリッドスケールの輸送のみによって行われる。流跡線に沿ったエネルギー収支解析は Ishizaki and Takayabu (2009) ⁽⁷⁾ の方法になった。

後方流跡線解析の結果、1500 (JST) に熊谷の地上に到達するパーセルはおもに 2 つの経路を通っていることが分かった。1 つ目の経路 (Course High) において、1500 (JST) に熊谷の地上に到達するパーセルは、おもに太平洋上の高度 2,200 m 付近から高田の上空を通過し中部山岳域を越えつつ地表面付近まで高度を下げていた (図省略)。この経路においてパーセルが持つドライスタティックエナジー (DSE) は保存されていた。すなわち、Course High においてパーセルはほぼ断熱過程であった。この結果は、Course High による風下側の昇温に対して力学的フェーンのメカニズムが寄与していることを示している。この結果は先行研究^{(2),(3),(4),(5)}の指摘と矛盾しない。DES を温度に変換すると、1500 (JST) では約 36 °C となる。この値は WRF モデルで計算された地上の日最高気温約 38 °C よりも低い。

図 2 は 2 つ目の経路 (Course Low) を示している。1500 (JST) に熊谷の地上に到達するパーセルは、富山湾付近から東進し高田上空を通り、その後進路を南に変え、前橋付近を通過している。図 3 (a) は Course Low に沿ったエネルギー収支の結果である。パーセルの経路を示すジオポテンシャル (gz) は 0500 (JST) から 0830 (JST) まで自由大気上の高度 1,000 m 前後 (Course High の同時帯の高度 2,200 m 付近に比べて低高度) にあり、0830 (JST) 頃に境界層内に取り込まれている。パーセルはその後、山岳地表面付近を吹走しながら徐々に高度を下げて熊谷へ達している。顕熱エネルギー (cpT) は、1000 (JST) 頃からの gz の降下に伴い上昇している。gz と cpT の和であるドライスタティックエナジー (DSE) は、パーセルが自由大気上にある 0500 (JST) から 0830 (JST) の間は一定であるが、パーセルが境界層内に侵入し、山岳地表面に近づいたところ (1000-1100 JST) から徐々に増加している。結果として、DSE は 0500 (JST) から 1500 (JST) の間に約 5,000 (J/kg) 増加している。この結果は、cpT の増加が Course High のように、gz の降下 (断熱加熱) のみでは説明ができず、非断熱加熱を受けていることを示している。潜熱エネルギー (Lq) の挙動から、cpT の増加には水蒸気の凝結による非断熱加熱は含まれていないと考えられる。パーセルが境界層内に侵入し、山岳地表面に近づいた 1000 (JST) 頃から 1500 (JST) の約 5 時間における顕熱フラックス (図 3 b) を見ると、日射により加熱された山岳地表面から H が大気へと供給されおり、その時間積分値も大きくなっていることが分かる。以上の結果から、cpT の増加には、

gz の降下だけではなく、H による約 5 時間にわたる非断熱加熱が影響しているものと推察される。その結果、DSE が上昇したものと考えられる。1500 (JST) のパーセルの気温は、0500 (JST) の気温から約 5.7 °C 上昇し、約 38.0 °C となっている。これは Case High の 36.3 °C に比べて大きな値であり、WRF モデルで計算された地上の日最高気温約 38 °C と等しい。

本事例の日中に卓越した山越え気流に伴う風下側の昇温タイプは、先行研究で強調されている断熱加熱タイプ (Course High) だけではなく、気流が吹走した地表面からの非断熱加熱を伴うタイプ (Course Low) もまた存在したことが分かる。同時に、風下に位置する熊谷の昇温に対しては、後者の方の影響が大きいたことが分かった。

その後、後方流跡線解析により示された Course Low に対して、拡散過程 (サブグリッドスケール) を考慮したフォワードのトレーサー実験と、中部山岳域の土壌水分減少実験を行った。その結果、気流が吹走した地表面からの非断熱加熱を伴う風下側の昇温タイプの存在 (卓越) が裏付けられた。さらに、この影響範囲は関東平野の内陸の広範囲に及んでいることが分かった (図省略)。

4. 結論

本事例の熊谷周辺における極端な猛暑は以下のメカニズムの重ね合わせによって発生したものと考察される。すなわち、

- (1) 連日の晴天
- (2) 猛暑を引き起こし得る程高い 850 hPa 面の高温 (ただし、記録を更新する程高温ではない)
- (3) 猛暑を引き起こし得る程多い日照 (ただし、記録を更新する程ではない)
- (4) 中部山岳域方向からの顕熱の輸送 (力学的フェーンと気流が吹走した地表面からの非断熱加熱を伴う山越え気流による風下側の昇温タイプ)
- (5) さいたま付近に形成されていた局地前線による東京湾からの海風の侵入の阻害、である

謝辞

本研究は、環境省の地球環境研究推進費 (S-5-3) の支援により実施された。産業技術総合研究所の近藤裕昭博士、気象庁気象研究所の藤部文昭博士、海洋研究開発機構の木村富士男博士には貴重なコメントを頂きました。数値シミュレーションには T2K-Tsukuba system を使用しました。

参考文献

- (1) 気象庁, ヒートアイランド監視報告 (平成 19 年冬・夏・関東・近畿地方), (2008), 26 pp.
- (2) 桜井美菜子, 篠原善行, 眞下国寛, 須永次雄, 関東地方で日最高気温が 40 °C を超えた 2007 年夏の高温その 1-2007 年 8 月 15 日と 16 日の事例解析, 天気, 56 (2009), pp. 248-253
- (3) 篠原善行, 眞下国寛, 桜井美菜子, 須永次雄, 関東地方で日最高気温が 40 °C を超えた 2007 年夏の高温その 2-JMANHM による日最高気温の再現実験と高温要因の考察, 天気, 56 (2009), pp. 543-548.
- (4) 渡来靖, 中川清隆, 福岡義隆, 領域気象モデルを用いた関東平野中央部における 2007 年 8 月 15-16 日の猛暑の数値シミュレーション, 日本生気象学会雑誌, 46 (2009a), pp. 35-41.
- (5) 渡来靖, 中川清隆, 福岡義隆, 領域気象モデルを用いた関東地方中央部における 2007 年 8 月猛暑の数値実験, 地球環境研究, 11 (2009), pp. 71-80.
- (6) Skamarock, W. C., Klemp, J. B., Dudhia, J., Gill, D. O., Barker, D. M., Wang, W., and Powers, J. G., A description of the advanced

research WRF version 2, NCAR/TN-468+STR(2005), pp.1-88.

- (7) Ishizaki, N., and I. Takayabu, On the warming events over Toyama Plain by using NHRCM, SOLA, 5 (2009), pp. 129-132.

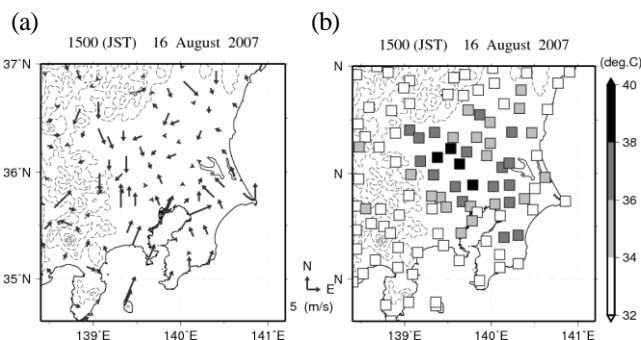


Figure 1 Observed (a) wind fields and (b) surface air temperature at 1500 (JST) on 16 August 2007.

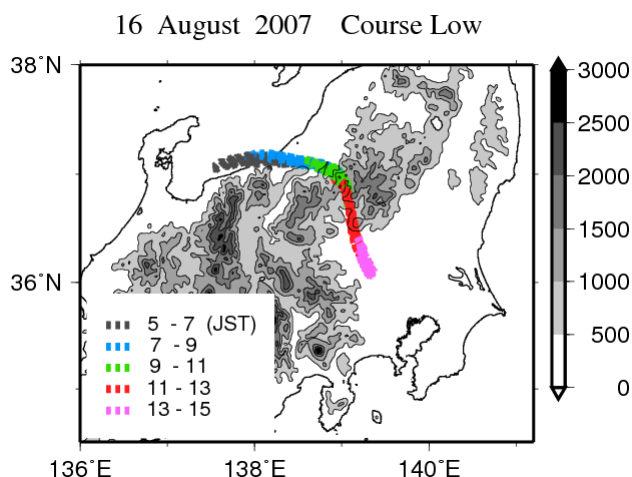


Figure 2 Backward trajectory of a number of parcels released from Kumagaya (2 m above ground surface) for Course Low.

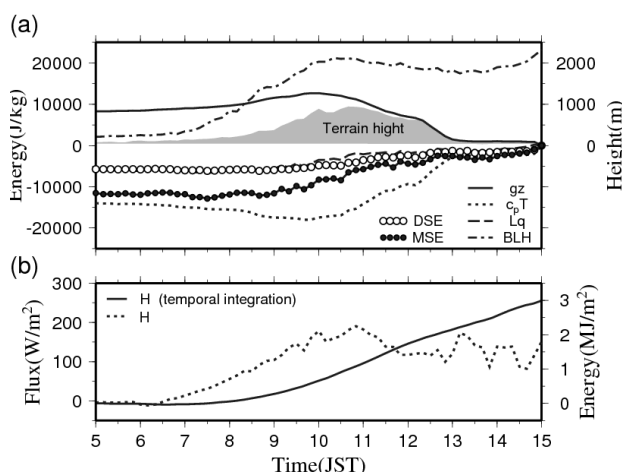


Figure 3 (a) The mean energy variation and (b) sensible heat flux from ground surface along the backward trajectory for Course Low.