

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 6 月 10 日現在

機関番号：32687

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2012

課題番号：21700861

研究課題名（和文） 熊谷地域における夏季高温形成要因の定量的評価に関する研究

研究課題名（英文） Study on the quantitative estimation for factors of intense heat in summer around Kumagaya region

研究代表者

渡来 靖（WATARAI YASUSHI）

立正大学・地球環境科学部環境システム学科・講師

研究者番号：70396604

研究成果の概要（和文）：熊谷地域における夏季の高温メカニズムを明らかにし、高温要因それぞれの寄与率を評価するために、領域気象モデル WRF を用いた数値シミュレーションを実施した。高解像度土地利用データを作成し、熊谷市街地で発生するヒートアイランドを再現出来るような高解像度シミュレーションを試みた。

研究成果の概要（英文）：To elucidate the mechanism of intense heat in summer around Kumagaya region and estimate the contribution of each factor of the heat, numerical simulations by WRF were performed. The high-resolution numerical simulation, which is enabled to handle the heat island over Kumagaya city area, was attempted using the original high-resolution land use data.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2010 年度	300,000	90,000	390,000
2011 年度	500,000	150,000	650,000
2012 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
総計	2,700,000	810,000	3,510,000

研究分野：地理学

科研費の分科・細目：地理学

キーワード：気象学・大気現象・猛暑・フェーン現象

1. 研究開始当初の背景

近年、日本の様々な地域で夏季の気温上昇傾向が指摘され、猛暑日数数の増加や熱中症患者数の増加などがしばしば問題視されるようになってきた。地球温暖化や都市域の拡大によるヒートアイランドの強化などとの関連性の指摘もある。埼玉県熊谷市は、2007年8月16日にそれまでの日本最高気温記録を塗り替える40.9℃を記録するなど、日本のなかでも夏季に高温日が出現しやすい地域として知られる。熊谷市は関東平野の北西内陸域に位置し、北は帝釈・足尾山地、北西は

越後山脈、西～南西は関東山地と三方を山に囲まれた地形で山谷風やフェーンの影響を受けやすく、また海岸線から70 km程度離れており海陸風の影響を受けにくいといった特徴があり、それらの地形的な要因が熊谷における高温に多大な影響を及ぼしていると考えられる。また、熊谷市街地における人工構造物や人工排熱等の影響によるヒートアイランドや、東京大都市圏の北西端に位置するため東京のヒートアイランドによる影響も考えられる。しかし、これら様々に考えられる猛暑要因がそれぞれどの程度重なり合

って猛暑が発生しているのかについて、それぞれの要因の寄与率を定量的に明らかにした研究は無い。猛暑のメカニズムとそれぞれの要因の寄与率を明らかにする事により、今後ますます増加傾向にあるとされる日本の夏季の猛暑を予測・対策する事や、熱中症対策などにも有益な情報となると期待される。

前述のように、熊谷地域における猛暑は複合的な要因のもとで発生する事が多いと考えられるが、それらの要因を切り分け、それらの寄与率を見積もるためには観測データのみでは難しい。その際、強力な研究手段となるのは数値気象モデルの活用である。数値気象モデルによって現実大気の状態を忠実に再現出来れば、地形の効果や都市の効果などを境界条件の調整によって意図的に改変し、それによるシミュレーション結果と現実大気の再現結果と比較によりそれらの感度を調べるような数値実験が可能となり、高温要因の寄与率を評価する事が可能である。

大気現象に対する理解の深まりやコンピュータ技術の急速な発展に伴い、最近では数百m~数kmの空間スケールの大気現象でも再現可能な領域気象モデルが、スーパーコンピューターのような高度かつ高価な計算資源が無くても比較的手頃に扱えるようになった。しかし、ヒートアイランドのような局所的な現象を忠実に再現するためには、都市内部の複雑な地表面過程を再現出来る都市キャノピーモデルを導入・開発する必要があり、さらなる研究・開発の蓄積が必要である。

2. 研究の目的

本研究では、主に夏季に熊谷地域で発生する猛暑事例に着目し、高温の発生に寄与した様々な要因についてそれぞれの寄与率を求め、そして複数事例の解析によって見られる熊谷地域における猛暑要因の特徴を明らかにする事を目的とする。猛暑要因の寄与率を見積もる手段としては領域気象モデルを用いたシミュレーションデータを活用し、また現実大気の再現性向上や寄与率評価の精度向上のためにモデルに与える下部境界値の高解像度化や都市モデルの改良を実施する。

3. 研究の方法

本研究では、熊谷地域が高温となった事例についての領域気象モデルによる数値シミュレーションを主として行い、高温発生のメカニズムや複数の要因それぞれの寄与について調査した。用いたモデルは、WRF (Weather Research and Forecasting) モデルであり、主にメソ気象の分野でこのモデルを用いた多くの研究の蓄積がある。

高温要因の寄与率を調査する際、熊谷市街地のような小都市による影響を推定するた

めには都市の内部を十分解像できる水平解像度数十~数百mの高解像度シミュレーションが必要となる。そのため、高解像度計算に十分対応出来る高解像度の下部境界データ(特に土地利用データ)を準備し、そのデータを用いて複雑な都市の地表面過程をできるだけ忠実に再現出来る都市キャノピーモデルを導入する。

4. 研究成果

2007年8月16日は、熊谷でそれまでの日本の日最高気温記録を更新する40.9℃を記録した猛暑事例である。本研究ではWRFモデルによる数値シミュレーションによって猛暑の要因について調べた。その結果、日中の晴天により放射による地表面加熱が活発であった事、日中のあいだ越後山脈を越えるフェーンが吹いていた事、東京湾からの海風の侵入はフェーンに伴う北西風との収束もあり日最高気温を迎える15時頃でもさいたま市付近までで熊谷には到達しなかった事などが猛暑の要因として挙げられた。これらの結果は同じ事例を扱った他者の研究ともほぼ共通する見解である。

2007年8月16日のフェーンについて詳細に調べたところ、日本海側の地上付近を出発した空気は越後山脈を越える際に魚野川-利根川ギャップのような谷筋を選択的に吹き抜ける傾向が見られ、すなわち地上付近ではギャップ風が吹いている事が示された(図1)。一方、上空1500m付近の空気は越後山脈を越えた風下側で急激に下降し、熊谷地域に吹き込んで見えるように見える(図2、3)。これらのことから、地上付近のギャップ風がギャップ出口の関東平野北西山麓域で発散し、それが上空の空気を引き下ろすためにより上空の高温気塊が熊谷地域の地上付近に運ばれ、高温の一因になった可能性がある。このようなフェーンは「浅いフェーン」と呼ばれ、スイスアルプスのフェーン研究において近年指摘されているが、関東平野のフェーンについてギャップ風の存在とその寄与を指摘した研究はこれまでになく、本研究の大きな成果の1つと言える。

ギャップ風による関東平野での昇温の寄与を調べるため、WRFモデルに与える標高データを改変して越後山脈から関東山地にかけての谷筋を埋めたものを与えたシミュレーション(Wallと呼ぶ)と、再現計算(Ctrlと呼ぶ)との比較を行った(図4)。その結果、ギャップ風が地上付近に直接吹き込む前橋付近においては、ギャップ風の影響で約2℃の気温低下がもたらされている一方、熊谷付近においてはギャップ風が吹いているCtrlの方がWallに比べて下降気流がやや強められ、Ctrlの方0.5℃程度高温となった。この結果は、浅いフェーンの際は風下側の昇温が

強まるとしたアルプスフェーンの研究成果と矛盾せず、また熊谷地域の猛暑要因としてギャップ風の影響が無視出来ない事を示唆する。

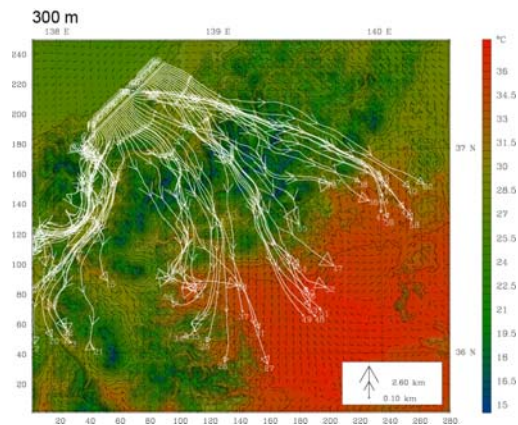


図1 2007年8月16日15時の地上気温（カラー）と地上風（矢印）の分布（モデルシミュレーションの結果）。白太線は、16日9時に日本海側の高度300mをスタートした前方流跡線の結果を示す。

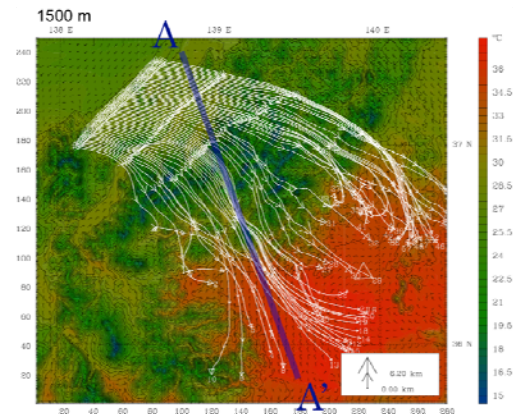


図2 図1と同様。ただし白太線は、16日9時に日本海側の高度1500mをスタートした前方流跡線の結果を示す。測線A-A'は図3の断面を取ったラインを示す。

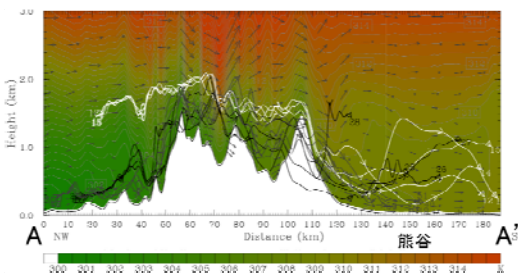


図3 測線A-A'に沿った鉛直断面図（モデルシミュレーションの結果）。カラー、矢印はそれぞれ2007年8月16日15時の温位と風。黒太線、白太線はそれぞれ16日9時に日本海側の高度300m、1500mをスタートした前方流跡線の結果。

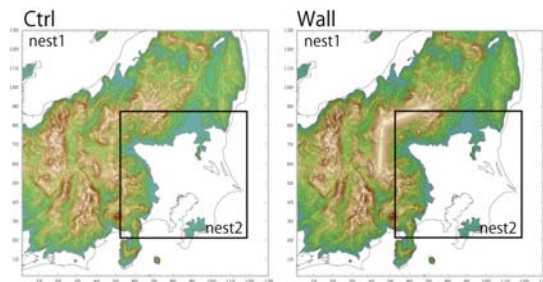


図4 Ctrl（左図）およびWall（右図）における、領域気象モデルに与えた標高データの比較。

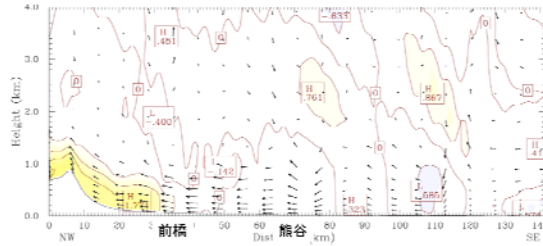


図5 2007年8月16日14時における、温位（等値線）および風（矢印）のWallからCtrlを引いた差の鉛直断面図。

熊谷市街地のヒートアイランドが高温に寄与しているかを調べるためには都市を解像できる高解像度シミュレーションが必要であるが、そのための高解像度な土地利用データを作成した（図6）。土地利用データベースは、10mメッシュで作成し、メッシュ内の土地利用（都市、水田、森林等）の占有率（メッシュ全体の面積のうち何%を占めるか）で表した。都市域については、建物の建ぺい率や容積率も求めた。

WRFモデルへは、上記のように作成された土地利用データベースを100mメッシュに変換し、メッシュごとに最大面積を占めた土地利用がそのメッシュの土地利用であるとしてモデルに与え、水平解像度100mの高解像度シミュレーションを実施した。その結果、2007年8月16日の例では、最高気温出現時に市街地南側の荒川堤外地と比べて市街地中心部は約1.0~1.5°C高温であることが示された（図7上）。国土数値情報による土地利用データを与えたシミュレーション結果と比べると荒川堤外地での気温に最大4°Cの差があり、国土数値情報を用いたシミュレーションでは荒川付近の気温を低く計算する事が分かる（図7下）。荒川堤外地から熊谷市街地側の堤内地にかけて地上気象観測を実施した結果では、晴天日の日中は市街地のほうが荒川堤外地に比べて1~2°C程度高温となる結果が得られており、新しいデータベースを用いた計算がより改善されていることを示唆している。

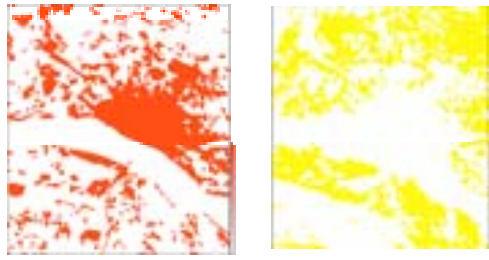


図 6 熊谷市街地周辺における高分解能土地利用データの例。左図は都市、右図は水田の占有率を示す。

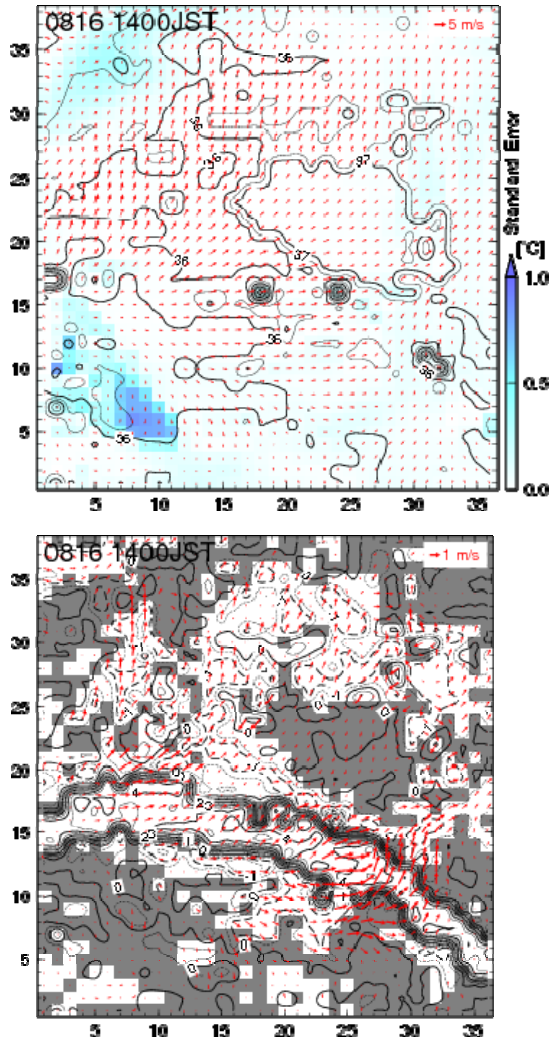


図 7 上図は 2007 年 8 月 16 日 14 時における熊谷市街地周辺における地上気温（等値線）と地上風（矢印）の高解像度シミュレーション結果であり、本研究で作成された高解像度土地利用データをモデルに与えたもの。下段は上段の結果と、国土数値情報の土地利用データを用いた結果との差。

当初は、メッシュ内に複数の土地利用が存在する事を考慮出来るように WRF モデルを改良し、またより現実的な扱いの出来る都市キ

ャノピーモデルの導入を目指していたが、それについて成果を挙げるには至らなかった。今後も継続していく。

夏季猛暑の事例だけでなく、冬季の昇温事例についても調査した。2009 年 2 月 20 日は朝方関東平野に降雨・降雪をもたらした後、南岸低気圧の東進に伴い急速に天気が回復し日中気温が上昇したが、熊谷を含む関東平野北西部のみ急速に昇温が起こった事例である。WRF モデルによるシミュレーションによってその要因を調べたところ、関東山地を越えて西～南西より吹き込むフェーンがその主な原因である事を示唆した（図 8）。雲微物理過程や積雲対流パラメタリゼーションをオフにしたいわゆる雲なしモデルでのシミュレーションにおいても類似した気温分布が再現出来る事から、このときのフェーンは山の風上斜面に降水を伴わないドライフェーンが主である事が示唆された（図 9）。前述した通り、熊谷は三方山に囲まれた地形でフェーンが発生しやすく、季節にかかわらず周辺地域に比べて高温となりやすい地域であることが言える。

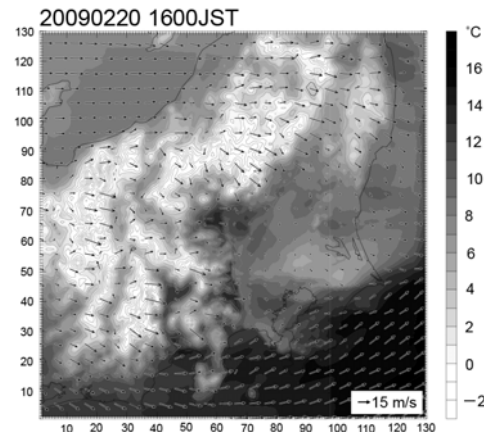


図 8 2009 年 2 月 20 日 16 時における地上気温（陰影）および地上風（矢印）のシミュレーション結果。

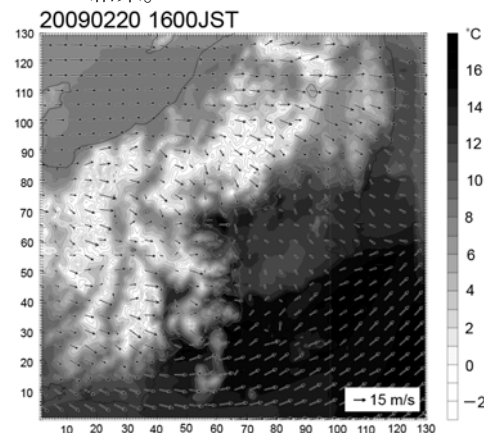


図 9 図 8 と同様だが、雲なしモデルでのシミュレーション結果。

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)

- ① 渡来靖、重田祥範、中川清隆、関東平野北西部の猛暑における地峡風の影響、日本地理学会 2013 年春季学術大会シンポジウム発表論文集 (関東平野北西部猛暑の発生メカニズム)、査読無、2013、25-28
- ② 渡来靖、中川清隆、福岡義隆、2009 年 2 月 20 日における関東平野北西部での急激な昇温に関する数値シミュレーション、地学雑誌、査読有、120、2011、296-308
- ③ 渡来靖、鈴木需、熊谷市荒川大橋付近における堤外地の熱環境とその左岸堤内地への影響、地球環境研究、査読無、13、2011、1-9

[学会発表] (計5件)

- ① 渡来靖、重田祥範、中川清隆、関東平野北西部の猛暑における地峡風の影響、日本地理学会、20130330、立正大学熊谷キャンパス (埼玉県)
- ② 渡来靖、冬季関東北西部のおろし風と熊谷の気象、第 58 回風に関するシンポジウム、20130309、日本大学文理学部 (東京都)
- ③ 渡来靖、2009 年 2 月 20 日に関東平野内陸域で見られた急激な気温上昇現象の事例解析、日本気象学会、20091125、アクロス福岡 (福岡県)
- ④ 渡来靖、2009 年 2 月 20 日に関東平野内陸域で見られた急激な気温上昇現象の事例解析、日本地理学会、20091025、琉球大学 (沖縄県)
- ⑤ 渡来靖、細密土地利用データの作成とそれを利用した熊谷市街地ヒートアイランドの数値シミュレーションの試み、日本気象学会、20090529、つくば国際会議場 (茨城県)

[図書] (計1件)

- ① 福岡義隆、中川清隆編著、成田健一、後藤真太郎、高橋日出男、榊原保志、松本太、渡来靖、白木洋平共著、成山堂書店、内陸都市はなぜ暑いか 日本一高温の熊谷から、2010、49-66

6. 研究組織

(1) 研究代表者

渡来 靖 (WATARAI YASUSHI)

立正大学・地球環境科学部環境システム学科・講師

研究者番号：70396604

(2) 研究分担者
なし

(3) 連携研究者
なし