# 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#

## 渡来 靖\* 中川清隆\* 福岡義隆\*

キーワード:2007年8月猛暑、領域気象モデル、日最高気温起時、フェーン、ギャップ風

### 1. はじめに

2007年8月は全国的に平年より高温となり、東日本や西日本を中心に月平均気温の平年差が+1 以上となった地域が多く見られた。この高温の一因として、赤道東部太平洋域の海面水温が平年より顕著に低くなるラニーニャ現象が発生し、それに伴うテレコネクションによって太平洋高気圧が強められたことが指摘されている。

2007年8月の1ヶ月のなかでも、中旬の15~16日は関 東地方や東海地方を中心に猛暑となった。関東平野中央 部の内陸域では、15日14時40分に群馬県館林で日最高気 温40.2 を記録し、16日14時42分には埼玉県熊谷にて国 内最高記録となる日最高気温40.9 を記録した。この2 日間の猛暑の一因として、高温な月平均場に影響を与え ているラニーニャ現象が関係していると考えられるが、 それだけでは日スケールの局所的な高温現象をすべて説 明することは出来ない。他に関東平野のローカルな高温 に影響を与える現象としては、山谷風や海陸風などの局 地循環、山越え気流によるフェーン現象、都市のヒート アイランド現象などが考えられる。これらの要素がどの ような割合で寄与し関東平野の高温をもたらしているの かは興味深い。しかし、関東平野スケールの昇温現象の メカニズムを知るためには、AMeDAS 等の観測データ 網だけではデータ分解能が不十分である。

そこで本研究では、関東平野中央内陸部で猛暑となった2007年8月15~16日の期間を対象として領域気象モデルによる再現計算を行い、猛暑をもたらした要因を明らかにすることを目的とする。

# 2. 手 法

本研究で用いた領域気象モデルは、 NCAR (National Center for Atmospheric Research; 米国大

気研究センター) を中心に開発されている WRF (Weather Research and Forecasting) モデルの Version 2.2である (Skamarock et al. 2005)。本研究 においては、現実場の再現計算を行った実験 (以下、 Ctrl と呼ぶ)と、関東平野の北西に横たわる越後山脈 ~ 関東山地の一部の地形を改変した実験 (Wall) の 2 通りの実験を、WRF モデルを用いて行った。図1に、 本研究で設定したモデル計算領域を示す。計算領域は、 まず関東平野や中部山岳域を含む東西390km x 南北 390km の範囲を取り、これを第1領域 (以下、nest 1 と呼ぶ) とした (図 1 (a))。 nest 1 の水平格子間隔は 3km とした。さらに、関東平野内部の詳細を見るため に、関東平野全体を含む東西199km×南北199km、水平 格子間隔 1 km の第 2 領域 (nest 2) を取り (図 1 (b))、 2段階のネスティング計算を行った。鉛直層数は nest 1、2ともに37層とした。積分時間ステップは nest 1 が18秒、nest 2が6秒とした。計算条件に関しては表 1にまとめられている。計算は2007年8月13日21時(日 本時間)を初期値として96時間行い、研究対象日である 8月15、16日のみについて結果を解析した。

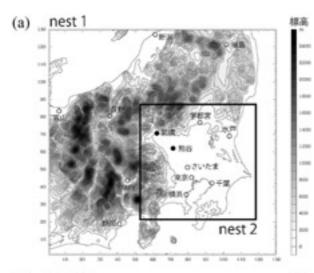
今回の計算で設定した主な物理過程・力学過程を表 2 にまとめた。積雲対流パラメタリゼーションは使用せず、雲物理過程は水蒸気、雲水、雨、雲氷、雪、あられの 6 種を考慮した Lin et al. (1983) スキームを採用した。地表面モデルには、土壌を 4 層に分けて地中の熱・水分輸送を計算する Noah モデル (Chen and Dudhia 2001) を用いた。土地利用が市街地の領域に関しては、都市構造物の凹凸による効果をある程度考慮した都市キャノピーモデル (Kusaka and Kimura 2004) を用いた。

モデル計算に与える気温・風・湿度等の初期値・境界値には、気象庁が提供している MSM (Meso-Scale Model) データの 0 時間予報値を用いた。MSM データの水平解像度は経度0.125度、緯度0.1度 (地表面要素は

<sup>\*</sup> 立正大学地球環境科学部

<sup>#</sup> 平成20年度立正大学大学院地球環境科学研究科オープンリサーチセンター業績

経度0.0625度、緯度0.05度)であり、鉛直16層 (1000 - 100hPa)である。ただし、地温と土壌水分の初期値・境界値については、NCEP (National Center for Environmental Prediction;米国環境予測センター)提供のFNL (Final Analysis)データを用いた。FNLデータの水平解像度は1度である。下部境界として与えた標高データは、USGS (U.S. Geological Survey;米国地質調査所)提供のGTOPO30データを用いた (解像度30秒)。



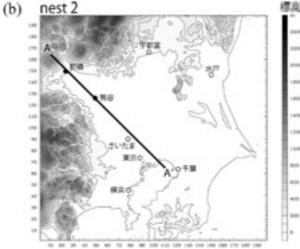


図 1 モデル計算領域 (Ctrl)。(a)は nest 1の領域で太 枠は nest 2の領域を示す。(b)は nest 2の領域で あり、測線 A - A ' は断面図 (図 3 、 4 、 9) を 取ったラインを表す。図中の等値線はモデルに与 えた地形を示す

表1 モデル計算条件

	nest 1	nest 2
水平格子数	130 × 130	199 × 199
鉛直層数	37層	37層
水平解像度	3 km	1 km
時間積分間隔	18秒	6秒

また、土地利用については国土地理院提供の国土数値情報データの土地利用メッシュを WRF モデル用に変換して用いた。土地利用データの解像度は経度4.5秒、緯度3秒である。

#### 3. 結果

#### 3.1 現実場の再現性

WRF モデルによる再現計算 (Ctrl) の再現性を調べるため、気象台における地上観測値との比較を行った。

表 2 今回のモデル計算で用いた主な物理過程・力学過程

	祝と ラ回のこうか	可异C用VIC工品物连通性 7J于通性
積雲対流パラメタリ 使用せず ゼーション		使用せず
	雲微物理過程	Lin et al. (1983)
	短波放射	Dudhia (1989)
	長波放射	RRTM (Rapid Radiative Transfer Model); Mlawer et al. (1997)
	地表面モデル	Noah Land-Surface Model; Chen and Dudhia (2001)
	大気境界層	Mellor-Yamada-Janjic; Janjic (2002)
	都市キャノピーモデル	Kusaka and Kimura (2004)
	時間積分	3次 Runge-Kutta
	水平移流	5 次風上差分
	鉛直移流	3 次風上差分

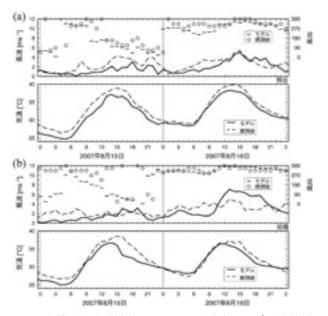


図 2 (a)熊谷と(b)前橋における、観測値とモデル計算結果 (Ctrl) の比較。それぞれ上段は地上の風速(観測:破線、モデル:実線) と風向(観測:白丸、モデル:横棒)、下段は地上気温(観測:破線、モデル:実線)を示す。モデル計算結果はnest 2の計算結果のうち、観測点に最も近いモデル格子点の値を用いた

図2は、(a)熊谷と(b)前橋における風向・風速 (上段) と 気温 (下段) の観測値とモデルによる結果の比較を示し ている。比較したモデルの結果は、各観測点に最も近い 格子点のデータとした。両地点の地上風向を見ると、8 月15日は6~12時は北西寄りの風、午後は東寄りの風が 卓越しており、一方16日は一日を通して北西寄りの風と なっている様子が認められる。このように地上風向に関 するモデルによる結果の再現性は非常に良く、特に16日 の北西風はきれいに再現されていると言える。地上風速 は、両日とも15時頃極大をむかえる日変化をしており、 そのような大きな変化は概ね再現されているが、期間全 体を通してモデルによる結果がやや低めとなる傾向にあ る。ただし、前橋における16日午後の北西風に関しては、 モデルによる結果が観測のおよそ1.5~2倍高めの値と なっている。地上気温を見ると、日変化の大きな特徴は 再現されていると言えるが、全体的にモデルによる結果 が低めの傾向にある。特に日中の最高気温出現時頃に両 者の差が大きく、およそ1.5~2 となっている。また、 前橋においては両日とも、モデルによる結果の方が観測 値よりも、最高気温出現時刻が1~2時間程度早くなっ ている。

細かい点では観測値とモデルによる結果とが合わない部分もあり、モデルを改善すべき点は残されている。特に、地上風速や地上気温が対象期間を通して観測値より低めであることは今後改善を要する点である。しかし、これらを踏まえた上でも、対象期間全体の大きな傾向はよく再現されているので、次にモデルによる結果をもとに8月15日、16日の気象場の特徴を調べることとする。

# 3.2 地上付近の気象場

図3は8月15日における測線A - A'(図1参照)に沿った鉛直断面を示す。9時の時点では関東平野の地上付近で風が非常に弱い。また、地表から高度300m付近までの温位がほぼ一定となっており、混合層が形成されている様子がわかる。混合層は時間とともに成長し、15時にはおよそ1~1.5km程度の厚さとなっている。A - A'断面における15日日中の地上風は全般的に南東風成分が卓越しているが、大きく見ると内陸域では谷風循環が、また海上や海岸域では海風循環が見られ、両循環とも時間とともに強まっている。海風は強まると同時に内陸へと徐々に侵入し、12時には東京付近にあった海風前線が15時にはさいたま付近、18時には熊谷付近に到達している。また海風は冷気を伴っており、海風の侵入によって地上気温が下がっている様子が認められる。一方、海

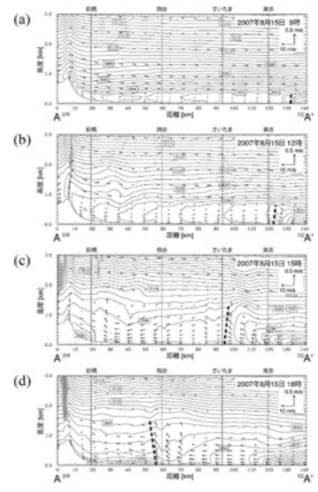


図3 測線A - A'に沿った鉛直断面(8月15日; Ctrl)。 nest 2の計算結果。等値線は温位(0.5K間隔)、 矢印は風(鉛直風を強調して表示)、灰色域は雲 域を示す。太破線は海風前線面のおよその位置で ある

風が侵入していない内陸域では谷風循環となっており、 その循環は山麓域を中心に15時頃最も強まっている。また、15時に前橋より山地寄りでは、地上付近に寒気が見られ、それに対応して谷風循環とは別の循環が見られる。 地上の寒気は、山地斜面を下降する風によって南東側に 運ばれ、18時には熊谷付近に達している。18時の熊谷付近では、この寒気移流と海風とがぶつかり、強い上昇気流が認められる。

図4は、8月15日における地上付近の温位と水平風の分布を示している。9時の分布図を見ると、関東平野は北西部を中心に地上風が非常に弱いことがわかる。時間の経過とともに、山麓域から徐々に谷風が強まり、一方で日本海側ではやや強い北西風が吹いているため、越後山脈などの山岳域では収束域となっている。さらに山岳斜面による強制上昇によって山岳域では雲が発生しており、一部では降水域も見られる。地上気温は日中、時間

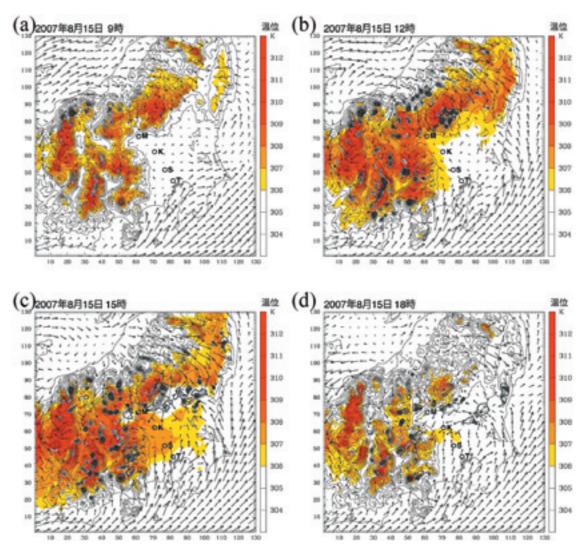


図4 8月15日のモデル計算結果の平面図 (Ctrl)。nest 1の計算結果。カラーはモデル最下層 (地上高およそ30m) の温位、矢印はモデル最下層の水平風、灰色域は雲域、太実線は前1時間降水量が1mm以上の領域を示す。図中の「M」「K」「S」「T」はそれぞれ前橋、熊谷、さいたま、東京の位置を表す

とともに上昇し、15時には関東平野を広く高温域が覆うが、海風の侵入などが無く、比較的地上風の弱い地域では気温が高い傾向が見られる。また、降水域では地上気温が低く地上風が発散しており、降水に伴う冷気外出流が見られる。15時は前橋の東西にまとまった降水域がみられることから、図3(c)、(d)で見られた地上付近の寒気は降水に伴う冷気外出流と思われる。18時になると、熊谷は相模湾からの海風と降水域からの冷気外出流の収束域にあたり、収束域に対応して平野内で最も地上気温が高くなっている。

8月16日における測線 A - A 'に沿った鉛直断面を示したものが図 5 である。高度1.5km 以上では、日中を通して強い北西風成分が卓越している。地表付近を見ると、この強風に引きずられるように北西山岳域から北西

風成分が強まり、強風域は徐々に平野に向けて広がっている様子がわかる。12時の温位分布を見ると、地上からおよそ1kmが等温位層となっており、混合層の形成が確認できる。一方、前橋付近の最下層には低温位の空気が見られ、これが地上付近の強い北西風成分に流されるように平野へ侵入している。東京湾からの海風は成長しつつ内陸へと侵入し、12時には海風前線が東京を越えており15日よりも侵入速度が速い。ところが15時になると、東京とさいたまの中間付近で山越えの北西風成分とぶつかりあって、18時になっても北西風成分の影響でそれ以上内陸へと侵入できずとどまっている様子が見られる。両風系がぶつかる海風前線付近では非常に強い上昇気流が形成されている。

図6は、8月16日における地上付近の温位と水平風を

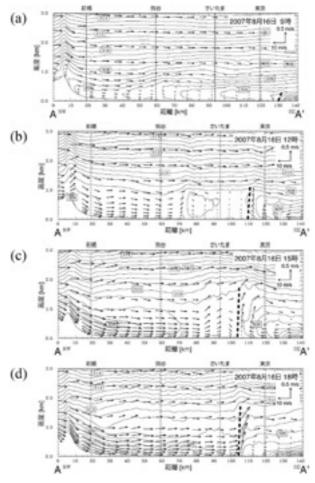


図5 図3と同様。ただし、8月16日の計算結果 (Ctrl)

示す。9時においては、関東平野北西内陸域は南西寄り の地上風が吹いている。一方、日本海から越後山脈に向 かって吹き込む強い西~北西風が日本海側や福島地域で 卓越している。この北西寄りの風は時間とともに越後山 脈を越え、関東平野に侵入してきている。北西風が越後 山脈を通り抜ける際、日光付近の標高が高い地域を迂回 するように、魚野川 - 利根川の谷や只見川の谷で風速が 強まっている。谷間を迂回する風が卓越するためか、越 後山脈の風上側斜面で形成された雲は15日に比べてずっ と少なく、1日を通じて降水は起こっていない。12時と 15時の分布に注目すると、日本海側からの北西風が徐々 に関東平野北西部へと侵入している様子が見られるとと もに、12時に日光付近の山岳域上空にあった高温位の空 気が、魚野川 - 利根川の谷を抜けてきた強い北~北西風 に流されるように南へと伸び、15時には熊谷やさいたま 上空に達しているように見える。さらにその背後には、 魚野川 - 利根川の谷を越えてきたいわゆるギャップ風に 伴う、やや低温位の空気が侵入している。図5で見られ た地表付近の低温位空気はこのギャップ風によるものと 考えられる。

#### 3.3 日最高気温起時の分布

図3や図5で見られたように、記録的猛暑となった2007年8月15、16日の日中には、地表付近の混合層が良く発達し、また雲のほとんど見られない晴天であったことから、昇温には局所的な日射が大いに影響していることが示唆される。局所的な日射による昇温は、理論的には日最高気温起時を日射の最大(南中)時刻の約3時間後にもたらす(中川ほか2008)が、移流などの影響によって日最高気温起時は変化するものと考えられる。そこで、対象日である2007年8月15、16日の計算結果をもとに、日最高気温起時の空間的特徴を調べた。

図7は、(a)2007年8月15日と(b)16日のモデル計算結果 における日最高気温起時の空間分布を示す。両日とも大 まかな特徴は類似しており、日最高気温起時が14時以降 となる地域が関東平野北西内陸域を中心に広く平野内陸 部に広がっている。日最高気温が最も高い地域は、両日 ともさいたま付近を中心に存在するが、この地域は日最 高気温起時が14時以降の地域に含まれている。日最高気 温起時が遅い地域は局所的な日射による昇温の影響が大 きいと考えられるので、本研究での対象日における猛暑 の一因として日射の影響が大きかったことが示唆される。 一方、九十九里浜や相模湾岸などの海岸域では日最高気 温起時が13時以前と早く、しかも海岸に近いほど早くな る傾向が見られる。図7に示された14時の地上風を見て もわかるように、これらの地域は14時までの早い時間帯 で海風の侵入を受けている。このことから、海風による 冷気移流が日射による昇温と重なり気温上昇を妨げる結 果、日最高気温起時が早まることが示唆される。

16日の分布 (図 7 (b)) を見ると、熊谷や前橋付近の関東平野北西最奥部で日最高気温起時が12~14時と、15日 (図 7 (a)) より早くなっていることがわかる。14時の地上風を見ると、この地域は日本海側から越後山脈を越えてきた北西寄りの風の支配下にある。図 5 や図 6 の結果から、魚野川 - 利根川の谷を吹き抜けたギャップ風とそれに伴う比較的低温な空気の移流が示されており、この地域ではこの冷気移流が日最高気温起時を早めていると考えられる。

#### 3. 4 ギャップ風の影響

前述のように、2007年8月16日の関東平野は、日中は 日本海側から越後山脈を越えてきた北西寄りの風に支配 されており、当日の高温がフェーン現象の影響を受けて

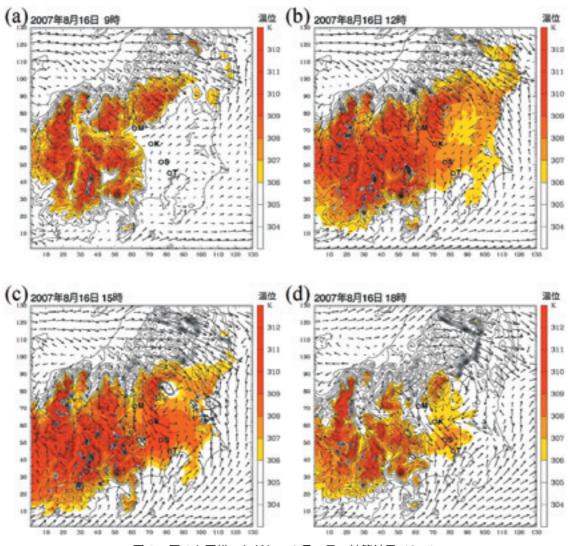
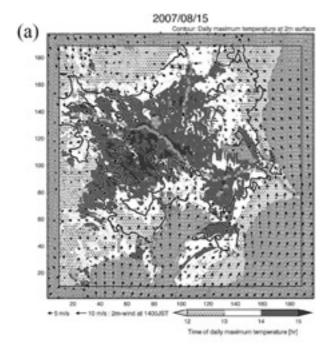


図 6 図 4 と同様。ただし、 8 月16日の計算結果 (Ctrl)

いることを示唆している。さらに、魚野川 - 利根川の谷を抜けるギャップ風が、特に前橋・熊谷周辺の地上気温場に強い影響をもたらしたものと考えられる。このギャップ風の影響をさらに詳しく調べるために、Wall 実験を行った。図8は、Wall 実験における計算領域とモデルに与えた地形を表す。越後山脈から関東山地北部にかけて、標高2000mの人工的な山脈を重ね合わせることで魚野川 - 利根川の谷や碓氷峠を埋めた地形をモデルに与えて計算を行った。その他の計算条件に関しては、Wall 実験は Ctrl 実験と全く同じである。

図9はWall 実験における結果、図10はWall 実験の結果をCtrl 実験の結果からの差で表したものであり、ともに8月16日の測線A-A'に沿った鉛直断面である。Wall 実験の結果によると、9時や12時の時点では山岳風上斜面でも北西寄りの斜面下降風とはなっておらず、むしろ弱いながら斜面上昇風となっている。地上風はA-

A '断面で見る限り Ctrl 実験の結果と全く逆であり、 そのために Wall 実験の結果から Ctrl 実験の結果を引 いた差の図 (図10(a)、(b)) では大きな南東風偏差となっ ている。温位場は Wall 実験の結果の前橋 - 熊谷付近の 地上1km 以下で Ctrl 実験の結果に比べて低くなって おり、それに伴ってこの地域の地上気温は最大で Wall 実験の結果のほうが約1.5K低くなっている。15時にな ると、分布の様子は大きく変化する。風上斜面では下降 風成分を持って斜面に沿って吹き降りる強い北西風成分 が見られる。この風は地上付近では、15時には前橋と熊 谷の中間地点、18時には熊谷まで吹き込んでいるが、い ずれも Ctrl 実験の結果で見られた北西風成分の地域よ り南東側への広がりは小さいため、熊谷 - さいたま地域 の地上付近には大きな南東風偏差が見られる。前橋付近 の温位は、特に地上約0.5km の層で Wall 実験の結果の 方が1K以上高くなっており、9時や12時の傾向とは



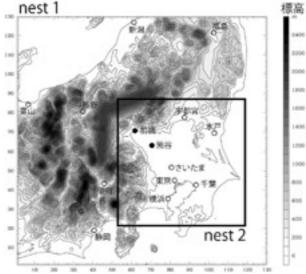


図8 モデル計算領域 (Wall)。図は nest 1の領域であり、図中の太枠は nest 2の領域を示す。等値線はモデルに与えた地形を示す

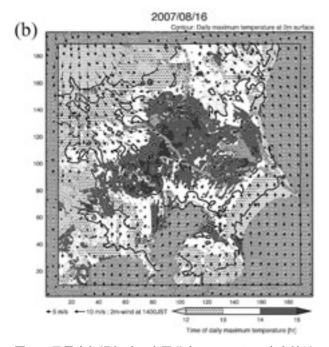


図7 日最高気温起時の水平分布 (ハッチ)。太実線は 日最高気温 (2 間隔)、矢印は14時における地 上風である。モデルの計算結果 (Ctrl; nest 2)。 (a)は8月15日、(b)は8月16日の計算結果

逆である。この高温位偏差域は15時には熊谷の北西まで、18時にはさいたまの北西までと徐々に南東方向へ延びており、その分布は図5で見られたギャップ風に伴う冷気の範囲とほぼ一致する。強い南東風偏差の南東端に当たるさいたまと東京の中間付近では地上付近の温位偏差が負であり、これはWall実験の結果において山脈側からの北西風成分の南東側への侵入が弱いため、海風がより

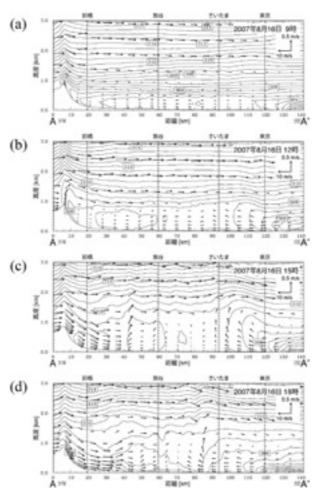


図9 図5と同様。ただし、Wall 実験の計算結果

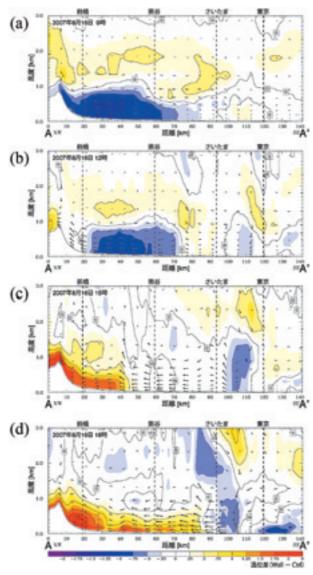


図10 8月16日のモデル計算結果における、測線A - A 'に沿った鉛直断面 (nest 2)。 Wall 実験の結果から Ctrl 実験の結果を差し引いた値で示す。等値線は温位差 (0.5K 間隔) で、黄~赤で正値、青~紫で負値を表す。矢印は風の差 (鉛直風を強調して表示) である

内陸まで侵入していることを示している。

#### 4. 考察

本研究で対象事例とした2007年8月15日と16日は、両日とも関東平野中央内陸域で記録的な猛暑となったが、領域気象モデルによる再現計算の結果から、猛暑の要因に関する両日に共通した特徴がいくつか見られた。まず、関東平野中央内陸域の大部分で朝から日最高気温起時に至る間、雲のほとんどない晴天であったことが挙げられる。それに伴い、図3や図5の鉛直断面で見られたように地表付近の混合層がよく発達していた。これらのこと

から、両日とも十分な太陽放射の入射があり、地表面か ら上空への顕熱輸送によって地上付近の大気がよく暖め られていたことが示唆される。さらに、断面図で見られ たように、海風やギャップ風のような冷気移流の影響が 日最高気温起時までに及ばない地域でより高温となって いる傾向がある。冷気移流の影響を受ける海岸域などの 地域では、冷気の侵入とともに気温上昇が頭打ちとなり、 その時刻が結果的に日最高気温となっていると考えられ る。そのような傾向は、図7の日最高気温起時の分布に も明瞭に現れている。その一方、日最高気温が高い関東 平野中央内陸域では、日最高気温起時が海岸域などと比 べてずっと遅く現れ、14時以降となっており、中川ほか (2008) で示されている局所的な日射による昇温に伴う 日最高気温の出現時刻に近い。このことは、冷気移流の 影響がない関東平野中央内陸域において、局所的な日射 がこの地域の高温に大いに影響していたことを裏付けて

16日日中の関東平野は、日本海側からの北西寄りの風に大きく影響されており、この特徴は15日とは異なる。この北西風は、越後山脈を越えた後に風下斜面側で下降風成分を持ち関東平野の地表付近に吹き込んでおり、その風は時間とともに強まりつつ南東方向に広がっている。この風に伴って山頂付近の高温位の空気が関東平野内陸部の地表付近に下降しており、フェーン現象が起こっていると考えられる。フェーン現象には、風上側斜面に降水を伴う熱力学的フェーン (Ficker 1910) の2種類が存在するが、16日のフェーン現象は図6で見られるように風上側の降水を伴っていないため、力学的フェーンであったと考えられる。

16日の地上付近の気温場において、魚野川 - 利根川の谷を抜けるギャップ風の影響は、当日のフェーン現象のメカニズムを理解する上で非常に興味深い。越後山脈の谷を埋めた Wall 実験の結果との比較から、8月16日にギャップ風が関東平野内陸域に与えた影響は午前と午後で異なっていた。午前中には、Wall 実験の結果の方が風下斜面側の前橋 - 熊谷地域を中心に最大で約1.5Kの降温という結果になった。Wall 実験の結果では、この時間帯のこの地域では弱いながら谷風循環が見られており、地表付近は主に日射により暖められていることが示唆される。一方、Ctrl 実験の結果ではすでにフェーン現象と思われる斜面下降風が吹いている。これらのことから、午前中は山脈の谷間を抜けるギャップ風がフェーン現象を起こしていたと考えられる。アルプス山脈の

フェーン現象に関して研究した Z ängl et al. (2004) は、谷に沿ったギャップ風として振る舞うフェーンを「浅いフェーン (shallow foehn)」、山越え気流として振る舞うものを「深いフェーン (deep foehn)」と呼んだが、午前中に見られたフェーンは浅いフェーンにあたると考えられる。 Z ängl et al. (2004) によれば、浅いフェーンの場合、下流側で発散するためその補償流として下降風が起こり高温位の空気を引き下げるため、昇温が著しいとしている。 Wall - Ctrl の偏差場 (図10(a)、(b))を見ると、地表付近の低温位偏差の厚さが山岳の標高程度と厚く、このことは上記のような浅いフェーンのメカニズムが働いている結果である可能性がある。

一方、16日15時になると、Wall 実験の結果でもよう やく斜面下降風が見られる。このことは、この日に深い フェーンが起こるようになったのが、12時から15時の間 になってからであることを示唆している。また、前橋付 近の地上付近は午前中とは逆に、ギャップ風が吹かない 方が高温となっている。Ctrl における地上付近の水平 分布(図6)を見ると、魚野川 - 利根川の谷を抜ける ギャップ風が午後になると冷気移流を伴っていることは 明らかである。午前中のようにギャップ風が比較的弱い 時には、ギャップ風の風下での下降流による昇温降下が 大きい。またギャップ風が強くなると、峠の標高程度に ある相対的に低温位の空気がギャップ風とともに流れ込 む効果が強まり、結果としてギャップ風の吹き込む地域 で地上気温を下げたことが考えられる。8月16日の事例 では、北西風が時間とともに徐々に強まっていったこと が、午前と午後で異なったギャップ風の効果を生み出す ことになったことが示唆される。

# 5. まとめ

本研究では、2007年8月15日から16日にかけて関東平野中央部で起こった猛暑の要因を明らかにするため、領域気象モデルWRFを用いた再現計算(Ctrl)を行った。WRFモデルによる計算は2段階のネスティングを行い、2段目の水平解像度を1kmとした高解像度シミュレーションを試みた。モデル計算値の再現性については、16日日中の前橋で北西風が強すぎるなど現実場との差も見られるが、大まかには良く再現されていると言える。

15日、16日が関東平野中央部で高温となった共通の要因としては、天気が良く太陽放射の入射を十分に受けていたため、地表面からの顕熱輸送により地上付近の大気が強く加熱されていたことが挙げられる。海岸域では海

風が、16日の前橋付近ではギャップ風が冷気移流を伴うために気温上昇が頭打ちになり、その結果日最高気温は比較的低く、その起時は早い。一方、両日とも関東平野で特に高温となった中央内陸域では、それらの冷気移流の影響が日最高気温の出現までには及ばずに高温となったと思われる。そのため、中央内陸域の日最高気温起時は、中川ほか(2008)で示された日射による昇温時の理論値に非常に近いものとなっている。

16日の関東平野は、日射の影響に加えて、北西風に伴うフェーン現象の影響を強く受けていたことが示唆される。またこの日のフェーン現象は、風上斜面側に降水が見られないため、力学的フェーンであったと考えられる。北西風が時間とともに強まる傾向にあったため、午前と午後でフェーン現象に伴う関東平野の気象場の影響が異なっていたと思われる。午前は、魚野川 - 利根川の谷を抜けるギャップ風の影響により山岳風下で下降風を引き起こす、浅いフェーンの状態にあり、関東平野の前橋 - 熊谷地域を中心に最大約1.5K の昇温をもたらしていると考えられる。午後になると、越後山脈のピークを越える山越え気流による深いフェーンが吹く状況となる一方、魚野川 - 利根川の谷を抜けるギャップ風が強まり、ギャップ風が吹き込む地域では冷気移流により地上付近で気温が低下した。

本研究のモデル実験から、2007年8月15日~16日の関 東平野中央部における高温は、日射による大気加熱の影 響が強いこと、また16日に関してはフェーン現象による 昇温効果が大きく影響していたことが示された。その他 に、関東平野には大小さまざまな都市域が存在し、その 影響による地上気温の変化も無視できないものと考えら れる。本研究では、Kusaka and Kimura (2004) の都 市キャノピーモデルを導入して、都市構造物の凹凸によ る放射・熱環境の変化等をある程度考慮したが、モデル に与えた土地利用が都市域であれば同じ建蔽率・容積率 となるようなデータであるため、都市の効果を十分再現 できていないものと考えられる。今後は、都市内の建蔽 率・容積率分布を含んだ土地利用データを準備して、そ れらをモデルに与えた実験を行い、より現実に近い都市 の効果を考慮に入れたシミュレーションを行う必要があ る。

#### 謝辞

本研究は、「文部科学省学術研究高度化推進事業 / 立正大学 地球環境科学研究科オープンリサーチセンター (ORC) 整備 事業」による補助を受けております。また東京工業大学の神田 学准教授には、土地利用データを快くご提供頂きました。ここに感謝の意を表します。

#### 参考文献

- Chen, F. and J. Dudhia, 2001: Coupling an advanced landsurface/hydrology model with the Penn State/NCAR MM5 modeling system. Part I: Model description and implementation. *Mon. Wea. Rev.*, 129, 569-585.
- Dudhia, J., 1989: Numerical study of convection observed during the winter monsoon experiment using a mesoscale two-dimensional model. *J. Atmos. Sci.*, 46, 3077-3107.
- Ficker, H. v., 1910: Innsbrucker Föhnstudien IV. Weitere Beiträge zur Dynamik des Föhns. *Denkschr. Kaiserl. Akad. d. Wiss., math.-natwiss. Kl.*, 85, 114-173.
- Hann, J., 1866: Zur Frage über den Ursprung des Föhn.

  Zeitschrift der österreichischen Gesellschaft für Meteorologie, 1, 257-263.
- Janjic, Z. I., 2002: Nonsingular implementation of the Mellor-Yamada Level 2.5 scheme in the NCEP meso model. NCEP Office Note, 437, 61pp.

Kusaka, H. and F. Kimura, 2004: Coupling a single-layer

- urban canopy model with a simple atmospheric model: Impact on urban heat island simulation for an idealized case. *J. Meteor. Soc. Japan*, 82, 67-80.
- Lin, Y.-L., R. D. Farley and H. D. Orville, 1983: Bulk parameterization of the snow field in a cloud model. *J. Clim. Appl. Meteor.*, 22, 1065-1092.
- Mlawer, E. J., S. J. Taubman, P. D. Brown, M. J. Iacono and S. A. Clough, 1997: Radiative transfer for inhomogeneous atmosphere: RRTM, a validated correlated-k model for the long-wave. J. Geophys. Res., 102 (D14), 16663-16682.
- 中川清隆・渡来靖・細矢明日佳,2008:移流を伴わない平坦地 における日射と気温の日変化位相差の形成メカニズムに関す る一考察.日本地理学会発表要旨集,74,p.40.
- Skamarock, W. C., J. B. Klemp, J. Dudhia, D. O. Gill, D. M. Barker, W. Wang and J. G. Powers, 2005: A description of the Advanced Research WRF version 2. NCAR Technical Note, 468+STR, 88p.
- Zängl, G., B. Chimani and C. Häberli, 2004: Numerical simulations of the foehn in the Rhine Valley on 24 October 1999 (MAP IOP 10). *Monthly Weather Review*, 132, 368-389.

# Numerical Experiments of the Intense Heat over the Central Kanto Plain in August 2007 Using the Regional Meteorological Model

WATARAI Yasushi\*, NAKAGAWA Kiyotaka\*, FUKUOKA Yoshitaka\*

\*Faculty of Geo-environmental Science, Rissho University

#### Abstract:

The numerical experiments with the WRF model are performed in this study, in order to examine factors of intense heat over the Central Kanto Plain from 15 to 16 August 2007. It is shown that a factor of intense heat is the heating of local atmosphere by the sufficient solar radiation. The Central Kanto Plain, located far from sea or mountains, is not affected by cold advection up to the time of daily maximum temperature. It results raising the daily maximum temperature and delaying the time of it. It is found that the intense heat in 16 August is also contributed by the foehn with the northwesterly wind. The influence of the foehn in the Central Kanto Plain changed with time. In the morning, it is suggested that the downward wind by the divergence at the front of the gap wind through the Uono-river/Tone-river gap causes the rising of surface temperature. On the other hand, the northwesterly wind gradually intensified in the afternoon, and the surface temperature in the gap-wind area fell due to the cold advection.

Keywords: intense heat in August 2007, regional meteorological model, time of daily maximum temperature, foehn, gap wind