

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

渡 来 靖* 鈴 木 需*

キーワード：荒川堤外地、熊谷市街地、気象観測、熱環境、海風

1. はじめに

熊谷市は埼玉県北部に位置する都市である。中心市街地は市域の中央部に位置し、東西約5 km、南北約3 kmにわたり、人口集中地区 (DID) 人口は110,901人 (2005年10月現在) である。熊谷は日本の都市の中でも古くから都市気候研究の対象とされてきた場所であり、河村 (1964a, b) ではヒートアイランドの存在が指摘されている。最近でも中川ほか (2008) によれば、熊谷市街地において郊外との気温差2~3のヒートアイランドがしばしば観測されている。加えて、熊谷の位置する関東平野北西内陸域は日本でも有数の猛暑発生域として知られ、2007年8月16日には日最高気温の日本歴代最高記録40.9を記録したことで話題となった。この2007年8月猛暑の要因については多くの研究がなされ (例えば、桜井ほか, 2009; 渡来ほか, 2009a, b など)、晴天日の持続やフェーン現象の寄与などが挙げられている。

近年、都市の熱環境緩和を目的として、大通りや河川を「風の道」として利用し、都市周辺から冷気を効果的に取り入れるための調査研究が数多くなされている。「風の道」は元来ドイツの内陸都市において、周辺部の山地からの山風を市街地に取り入れ大気汚染を緩和するために考えられたものであるが、日本では主に、沿岸部に多く存在する大都市において海風を市街地に取り入れて熱環境を緩和することに主眼が置かれ、東京 (成田ほか, 2001)、名古屋 (橋本・堀越, 2008)、広島 (福岡ほか1992; 清田ほか, 2006, 2007) などの諸都市を対象に調査研究がなされている。

熊谷市街地の南側には、ほぼ西から東へと流下する荒川が接している。荒川は埼玉県奥秩父の関東山地を水源とし埼玉県と東京都を流れ東京湾に注ぐ一級河川であり、かつての「荒れ川」の名残で広い川幅を有している。熊谷市内でも荒川の堤外地の幅はおよそ1 kmにもなり、

その一部は公園や畑地などに利用されている。この市街地に隣接する広い堤外地は河川水面や草地などの影響でクールスポットとなっている可能性があり、それによる熊谷市街地の熱環境緩和効果が期待できるかもしれない。また、荒川が「風の道」としての機能を有している可能性もある。そこで本研究は、熊谷市街地に隣接する荒川堤外地の二次元的 (南北 - 鉛直方向) な詳しい観測を行って堤外地内の気温分布を把握するとともに、熊谷市街地の気温への影響についても調べることを目的とする。

2. 観測手法

本研究では、埼玉県熊谷市の中心市街地南側に接する荒川河川区域を調査対象とした (図1)。国道407号線が熊谷市街地を通り荒川河川区域をほぼ南北に横切ってお

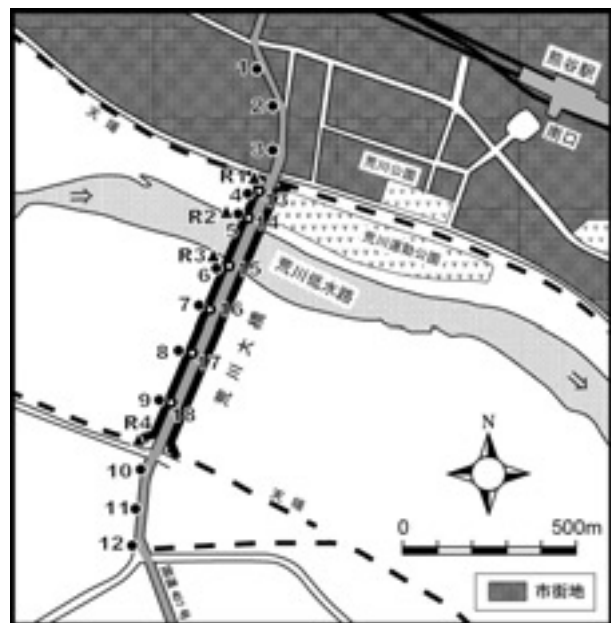


図1 観測地点地図。1~18は気温観測点で、黒丸は地上観測点、白丸は橋面高度での観測点を示す。R1~R4は風向・風速観測点を示す

* 立正大学地球環境科学部

り、荒川河川区域には全長846mの荒川大橋が架かっている。この国道407号線に沿って測線を設定した。

地上気温観測点は12点設けた。ここで、北側の市街地内から南に向かって順に地点1、地点2、……の様名付ける。これらのうち、北側の3地点(地点1~3)は荒川左岸堤内地の熊谷市街地に位置しており、地点1、2、3の位置は荒川の左岸堤防よりそれぞれ約300、200、100mの距離とした。一方、南側3地点(地点10~12)は荒川右岸堤内地に位置し、地点10、11、12は右岸堤防からそれぞれ約100、200、300mの距離に設置した。地点4~9は荒川堤外地内に位置しており、荒川低水路の左岸側に2地点(地点4、5)、右岸側に4地点(地点6~9)を、およそ等間隔となるように設置した。地上気温の測定高度は、地上高1.5mとした。さらに、荒川堤外地内の気温の鉛直構造を把握するため、欄干に温度計をくくりつける形で荒川大橋の橋面高度にも温度計を設置した。設置場所は、堤外地内の地上気温観測点(地点4~9)のほぼ真上となるように設定し、北側から順に地点13、14、……、18とした。気温観測に用いた温度センサーはすべて「おんどとり Jr.」RTR-53(ティアンドデイ社製)であり、自作の自然通風シェルターにより感部を覆った。

地上気温と同時に、地上風の測定も行った。観測場所は計4地点で、左岸堤防天端(地点R1)、荒川左岸(R2)、荒川右岸(R3)、右岸堤防天端(R4)とした。地上風観測には、牧野応用測器研究所製の小型ウェザーステーションRR30を用い、設置高度は地上気温と同様、地上高1.5mとした。観測した4点のうち、地点R3のデータは不良が多かったため、本研究では地点R1、R2、R4の3地点の地上風データを用いた。

本研究は都市や堤外地の熱環境を調査するため、高温日の多い盛夏期の2010年8月より観測開始を予定したが、トラブル等もあり8月中の観測は成功しなかった。そこで、継続した観測の出来た2010年9月14日から10月13日までの30日間のうち、ほぼ欠測の無いデータが揃った2010年9月14日から10月10日までの27日間を研究対象期間とした。しかし、2010年9、10月は平年より暖かく、熊谷において対象期間中に夏日が13日、真夏日が5日観測されており(熊谷地方気象台観測データより)、熱環境緩和効果の調査には十分適していると考えられる。

3. 晴天日および曇天・降水日における荒川河川区域の平均的な熱環境

約1ヶ月の観測期間における荒川河川区域の平均的な熱環境を捉えるため、時刻ごとの合成図を作成した。地表面付近の気温は放射により大きく影響されるので、晴天日と曇天・降水日に分けて解析することとする。これらの分類のため、観測地域から北におよそ2kmの距離に位置する熊谷地方気象台の地上観測データを利用した。まず、日照時間の日積算値が6時間以上であり、且つ降水が観測されなかった日を抽出し、これを「晴天日」と定義した。観測期間においては、9月17日、18日、21日、10月2日、6日の計5日が晴天日となった。一方、日照時間の日積算値が0時間と観測された日を典型的な曇天・降水日であるとし、「日照ゼロ日」と定義した。観測期間においては、9月16日、23日、24日、27日、30日、10月4日、9日の計7日が日照ゼロ日となった。晴天日と日照ゼロ日における、熊谷地方気象台での主な地上気象観測値および熊谷キャンパス内気象観測露場における正味放射量の観測値をそれぞれ表1、表2にまとめた。日中(6~18時)と夜間(0~6時、18~24時)における

表1 晴天日における熊谷地方気象台の主な気象データ。ただし、正味放射量は立正大学熊谷キャンパス内気象観測露場の観測値である。日中は6~18時、夜間は0~6時と18~24時を示す

年/月/日	日平均気温	日最高気温	日最低気温	日降水量	日照時間	正味放射量[MJ/m ²]	
	[]	[]	[]			[mm]	[h]
2010/09/17	22.8	29.6	16.5	--	8.4	16.17	-1.53
2010/09/18	24.7	30.8	20.1	--	8.4	16.32	-1.27
2010/09/21	27.3	34.0	21.2	--	9.0	14.42	-1.38
2010/10/02	20.7	25.9	16.8	--	6.7	11.92	-1.19
2010/10/06	21.5	26.5	17.7	--	8.2	12.07	-1.38
平均	23.4	29.4	18.5	--	8.1	14.18	-1.35

表2 日照ゼロ日における熊谷地方気象台の主な気象データ。ただし、正味放射量は立正大学熊谷キャンパス内気象観測露場の観測値である。日中は6~18時、夜間は0~6時と18~24時を示す

年/月/日	日平均気温	日最高気温	日最低気温	日降水量	日照時間	正味放射量[MJ/m ²]	
	[]	[]	[]			[mm]	[h]
2010/09/16	19.6	20.5	18.4	61.0	0.0	0.74	-0.84
2010/09/23	17.8	21.2	16.0	42.5	0.0	0.30	-0.56
2010/09/24	17.7	19.8	16.1	0.0	0.0	3.12	-1.10
2010/09/27	15.8	16.7	14.9	39.5	0.0	1.88	-0.39
2010/09/30	18.7	20.4	17.5	8.5	0.0	1.37	-0.43
2010/10/04	19.3	20.8	17.4	0.0	0.0	2.30	-0.45
2010/10/09	16.8	18.1	16.1	31.0	0.0	0.42	-0.59
平均	18.0	19.6	16.6	26.1	0.0	1.45	-0.62

正味放射量の積算値は、晴天日平均がそれぞれ14.18 MJ/m²、-1.35 MJ/m²であり、日照ゼロ日平均がそれぞれ1.45 MJ/m²、-0.62 MJ/m²である。これらから、晴天日と日照ゼロ日における正味放射量の日中 - 夜間差はそれぞれ15.53 MJ/m²、2.07 MJ/m²となる。晴天日と日照ゼロ日における気温日較差の平均はそれぞれ10.9、3.0 であり、放射収支の違いによる気温日変化の差異が明確である。日照ゼロ日に抽出された7日中4日は、日降水量30mm 以上のかかなりまとまった降水日である。

図2は、晴天日における荒川河川区域周辺の南北 - 鉛直断面の合成図を示す。地形断面は、国土交通省国土地理院によって提供されている基盤地図情報の5mメッシュ(標高)データを用いて作成した。気温は、荒川左岸堤内地の熊谷市街地内に位置する地点1の気温からの偏差として表している。気温分布を見ると、堤外地内は市街地内より低温となっている時間帯が大半を占めており、終日相対的に冷涼な空気が存在していることが示される。時間帯別に見ると、相対的な冷気は夜間に明瞭であり、日中はそれが不明瞭となるか、場所によっては市街地よりも暖かくなっている。夜間の堤外地内は接地逆転となっており、その強さは堤外地内で最も南に位置する地点9付近で最も強く、一方荒川低水路に近い地点5、6付近で弱い傾向がある。また、逆転の強さは日没直後の18時頃最も強く、深夜はやや弱まる傾向も見られる。日中になると逆転は時間とともに解消され、堤外地内でも場所によって市街地より高温となる。荒川右岸の地点7、8付近を中心に気温が上昇し、15時には市街地より約1高温となっている。一方、荒川低水路に近い地点5や堤外地南端の地点9では、市街地よりも若干冷たい空気が15時においても維持されている。橋面高度における日中の気温に着目すると、堤外地の中央付近で最も気温が低く、外側に向かって気温が上昇する傾向が見られており、河川区域規模の循環によって形成された可能性がある。あるいは、河道に沿う移流のような、本研究の解析からは現れない要因が影響しているかもしれない。地上風を見ると、おおむね未明～早朝を中心に北西風、午後～夕方を中心に南東風という日変化を示している。その傾向は荒川左岸の地点R1、R2と右岸の地点R4で共通しており、河川区域規模よりも大きな場による流れに大きく影響されていることを示唆している。

日中の堤外地内では、特に地表付近で気温の局所性が見られた。観測点の地表面状態と照らし合わせると、夜間に強い逆転が見られた地点9の周辺は草丈1～2mの

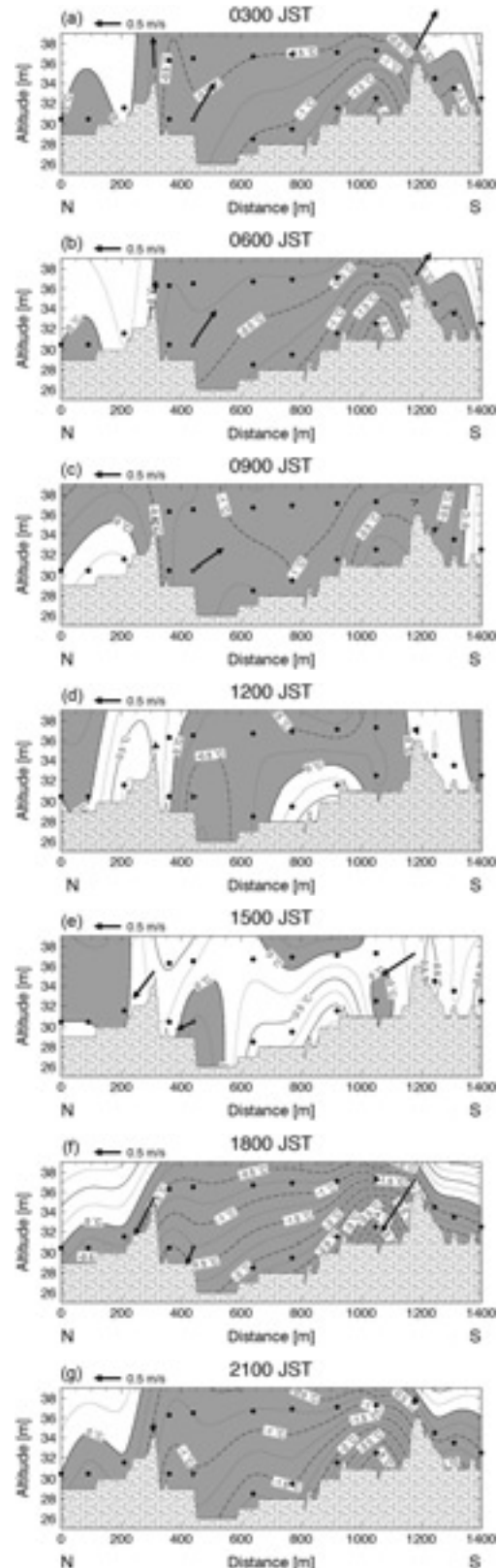


図2 晴天日における荒川河川敷の南北 - 鉛直断面。(a) 3時、(b) 6時、(c) 9時、(d) 12時、(e) 15時、(f) 18時、(g) 21時における合成図。横軸は地点1からの距離、縦軸は標高である。等値線は気温で、地点1の気温からの偏差を示す(等値線の間隔は0.25、負値の領域は灰色)。矢印は風であり、風向は左右方向が南北風(左向きが南風)、上下方向が東西風(上向きが西風)成分を示す。黒丸は気温観測点を表す

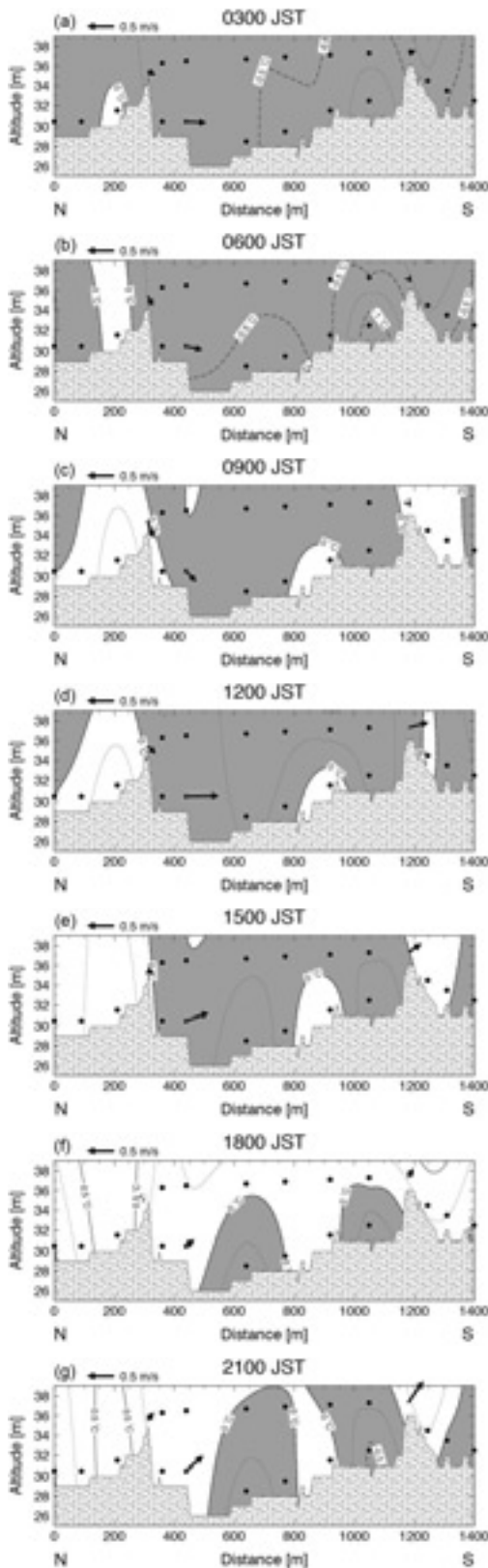


図3 日照ゼロ日における荒川河川敷の南北 - 鉛直断面。(a)3時、(b)6時、(c)9時、(d)12時、(e)15時、(f)18時、(g)21時における合成図。横軸は地点1からの距離、縦軸は標高である。等値線は気温で、地点1の気温からの偏差を示す(等値線の間隔は0.25、負値の領域は灰色)。矢印は風であり、風向は左右方向が南北風(左向きが南風)、上下方向が東西風(上向きが西風)成分を示す。黒丸は気温観測点を表す

草が広がっていた。地点9では、草による蒸散の効果や日射の遮蔽などが熱環境に影響を与えていると考えられ、それが地点9での特徴的な気温変化の一因となったかもしれない。日中の気温上昇が大きい地点7、8の地表面は砂礫面で、まばらに短い草が生えているような状況であり、日射を十分に受けられたことと大気への顕熱輸送が大きかったことが示唆される。日中も比較的冷涼であった地点5は荒川水面にほど近く、また日中の風も南寄りであったため、河川の影響を大きく受けていたと考えられる。

図3は、日照ゼロ日における断面図を示している。全体の傾向としては、晴天日と同様に終日堤外地内に相対的に冷涼な空気が存在しているとも読み取れる。しかし、市街地との気温差が-0.5以下となるような場所・時間は夜半の21~6時を除いてほとんど見られず、終日堤外地と市街地との気温差は不明瞭であるというのがよりの確と思われる。このことから、晴天日における堤外地の相対的に冷涼な環境は放射の状況に大いに影響されていることが示唆される。

4. 晴天日日中における堤外地気塊の左岸堤内市街地への影響

前節では、晴天日において荒川堤外地内に相対的に冷涼な空気が存在することが示されたが、本節ではそれが周辺部、特に左岸堤内地の熊谷市街地にどのような影響を与えているのかを探るために、晴天日事例におけるより詳細な解析を行う。ここでの解析対象日は、2010年9月21日とする。この日は観測期間中で最も長い日照時間(9.0時間)を記録し、日最高気温が34.0を記録した典型的な晴天日であった。

9月21日の地上天気図を図4に示す。この日は南には沖縄付近に中心を持つ高気圧がゆっくり西南西進し、北には樺太沖に中心を持つ低気圧があって寒冷前線が北海道を通過していた。日本付近は弱いながら南高北低型の気圧配置で、関東地方はその影響で晴れて暑い日となったと思われる。21時になると(図4c)、沖縄付近の高気圧と華北地域に中心を持つ高気圧に挟まれた気圧の谷が発達し、日本海から華中に延びる停滞前線と同前線上の日本海に小低気圧が発生したが、関東地方はまだその影響を受けていない。

図5は、21日12時~14時における荒川河川区域周辺の鉛直断面である。12時の断面図(図5a)を見ると、堤外地内では橋面高度の気温は左岸堤内地の地点3に比べて2~3低温となっており、堤外地内に相対的に低温

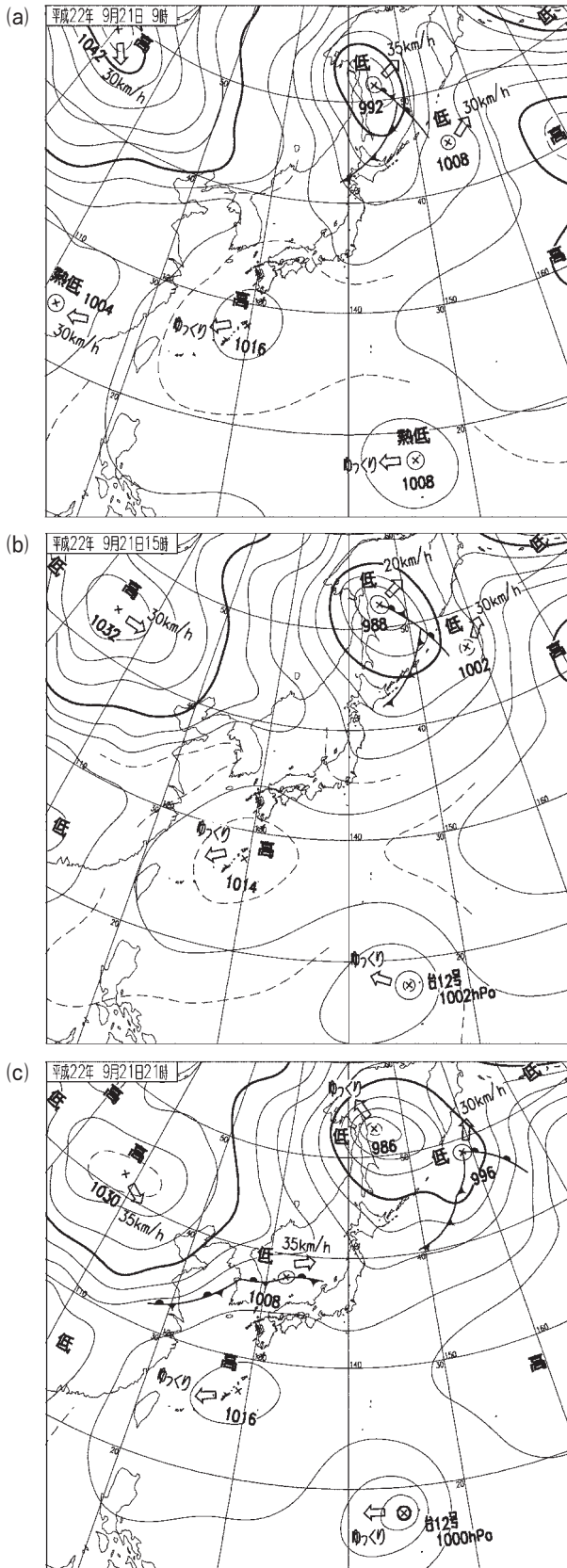


図4 2010年9月21日(a)9時、(b)15時、(c)21時における地上天気図(気象庁提供)

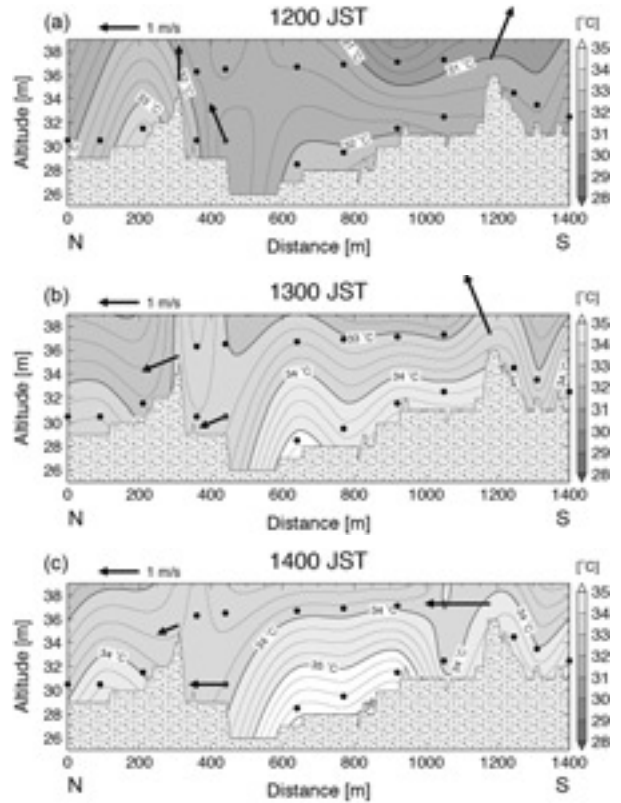


図5 2010年9月21日(a)12時、(b)13時、(c)14時における荒川河川敷の南北-鉛直断面図。横軸は地点1からの距離、縦軸は標高である。等値線は気温(0.25 間隔)を示す。矢印は風であり、風向は左右方向が南北風(左向きが南風)、上下方向が東西風(上向きが西風)成分を示す

な空気が存在する。また、堤外地内でも荒川左岸では地上付近でも比較的低温となっており、荒川水面の影響が示唆される。12時の風はほぼ西風であり、河川区域を横切る成分の風がほとんど見られないが、13時(図5b)、14時(図5c)になると風向が南風になり、堤外地から熊谷市街地へと吹き込む風が卓越している。13時や14時の断面図を見ると、この風向の変化に伴って低温域が北側へシフトし、相対的な冷気が左岸堤内地の熊谷市街地側に流れ込んでいるようにも見える。

図6は、21日の11時~16時の左岸堤内地の市街地内にある3地点(地点1、2、3)の気温(10分平均値)と、左岸堤防天端に設置した地点R1の風の時系列を示す。地点R1の風向は12時40分までは西寄りであったが、12時50分~13時10分といった南寄りへと変化した。その後また西寄りの風となったが、14時に再び南寄りの風となった。気温変化と比較すると、風向が西寄りから南寄りへと変化した時間帯とほぼ一致して、気温が比較的大きく下がっているように見える。またその変化は、左岸堤内地の中で堤外地に最も近い地点3で最も顕著である。

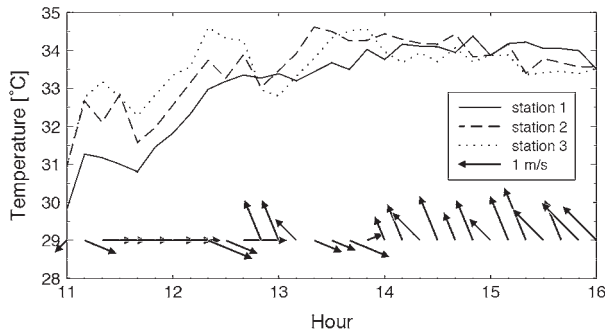


図6 2010年9月21日11時~16時における、荒川河川敷北側の気温・風の時系列。実線は地点1、破線は地点2、点線は地点3の気温(10分平均値)を示す。矢印は地点R1における風であり、風向は左右方向が東西風(左向きが西風)、上下方向が南北風(上向きが南風)成分を示す

さらに詳細に調べるため、気温の1分瞬間値の時系列を示したものが図7である。12時50分頃の風向変化の時の気温時系列(図7a)に注目すると、地点3の気温は12時37分から49分の12分間で2.2℃低下した。地点2では12時40分から46分の6分間で1.5℃低下し、地点1では12時45分から48分の3分間で0.8℃低下した。このように、気温低下現象は堤外地に近い地点3から順に開始しており、また堤外地に近いほど気温低下量も大きいという特徴が見られた。さらに、気温が最も低下した地点3においてさえ気温低下量はたかだか2.2℃に過ぎず、これは12時において地点3より約2~3℃低温な堤外地内の相対的冷気との温度差にほぼ見合う。従って、12時40分~50分頃に見られた左岸堤内地での気温低下は、風向の南寄りへの変化に伴って堤外地内の相対的冷気が移流したためと結論づけられる。同様の特徴は14時頃の風向変化の際にも見られており(図7b)、地点3では13時48分から52分の4分間で1.6℃、地点2では13時51分から53分の2分間で1.1℃、地点1では13時54分から55分の1分間で0.4℃の低下を示した。これについても、堤外地からの相対的な冷気の流入によるものと考えられる。

21日に吹いた南風の成因を調べるため、関東地方のAMeDAS地上観測値を用いてより大規模な場の状態を解析した(図8)。地上気温は12時~15時を通して関東平野のほぼ全域で30℃を超える高温となっており、特に埼玉県東部~群馬県南部に高温域の中心が見られる。12時から13時頃は、熊谷を含む関東平野北西部は全般的に風が弱い。一方、東京付近では東京湾からの海風が吹き込んでいる様子がわかる。13時の時点では海風前線は東京都と埼玉県の県境付近にあると見られ、熊谷に海風が吹き込んでいたとは考えにくい。12時50分頃にいったん

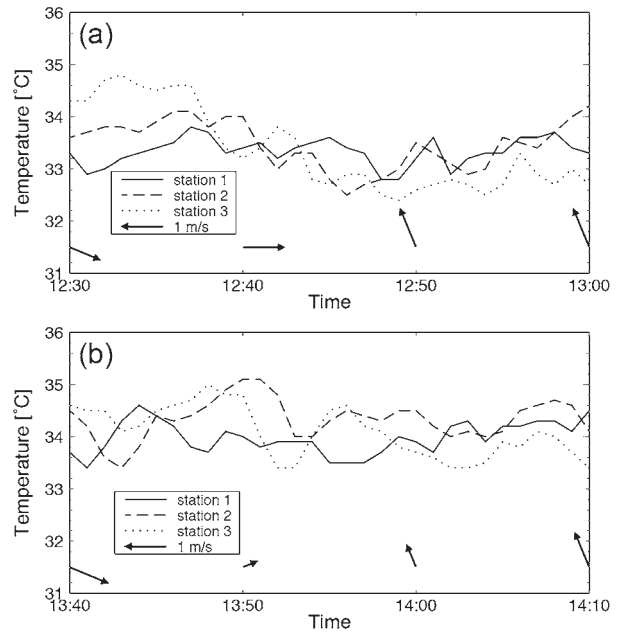


図7 2010年9月21日(a)12時30分~13時、(b)13時40分~14時10分における、荒川河川敷北側の気温・風の時系列。実線は地点1、破線は地点2、点線は地点3の気温(1分瞬間値)を示す。矢印は地点R1における風であり、風向は左右方向が東西風(左向きが西風)、上下方向が南北風(上向きが南風)成分を示す

吹いた南寄りの風の成因については、河川区域規模で形成された流れの影響やヒートアイランドの影響とも考えられるが、本研究の結果からはこれ以上の議論はできない。AMeDASの地上風系からは、14時には海風がほぼ熊谷付近まで達し、15時には完全に海風に伴う南風領域となっていると読み取れる。図6の観測結果からも、14時から吹き始めた南風はそれ以降しばらく風向が安定しており、従って14時からの南風は海風によるものと考えられる。

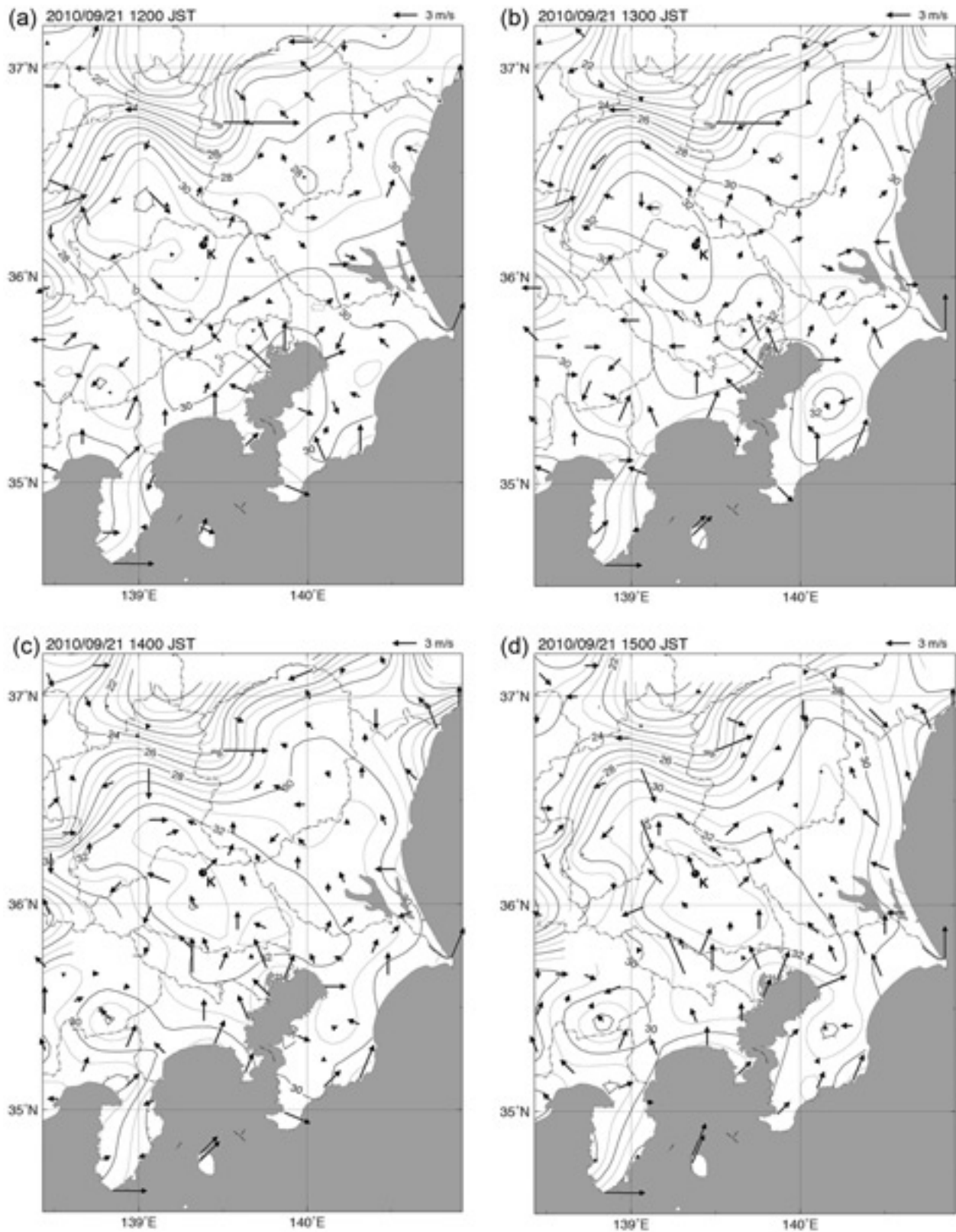


図8 関東地方における、2010年9月21日(a)12時、(b)13時、(c)14時、(d)15時の AMeDAS 地上気温 (等値線) と地上風 (矢印)。等値線の間隔は1 である。図中の地点Kは熊谷を示す

5. まとめ

本研究では、埼玉県熊谷市街地に隣接する荒川堤外地内部の熱環境と、それが左岸堤内地の熊谷市街地にどのような影響を及ぼすかを調べるために、荒川河川区域をほぼ南北に横切る荒川大橋に沿った測線ととり気温・風の観測を行った。気温観測点として、河川区域内外に地上気温観測点12地点と、荒川大橋の橋面高度に6地点の計18地点を設け、地上風観測点として4点を設置して、2010年9月14日から10月13日の30日間、観測を実施した。

観測の結果、荒川堤外地内は熊谷市街地に比べて、ほぼ終日相対的に冷涼な空気が存在していることがわかった。その傾向は晴天日においてより明瞭である。晴天日夜間においては、堤外地内には全域に接地逆転が形成されており、その強度は荒川右岸でより強かった。晴天日日中は、特に荒川右岸の砂礫地表面の場所を中心に地上気温が市街地より高くなる所もあったが、橋面高度の気温分布では堤外地の中央付近で最も気温が低く、外側に向かって気温が上昇する傾向が見られており、河川区域規模の現象により堤外地内に相対的な冷気が形成されていることを示唆した。

典型的な晴天日事例である2010年9月21日の観測結果から、堤外地内に存在する相対的な冷気は、南風の侵入により左岸堤内地に位置する熊谷市街地の気温を低下させていることが示された。21日12時50分頃の南風吹送時には、堤外地に近い地点3で2.2の気温低下をもたらした。また、堤外地内の相対的冷気移流による気温低下は、少なくとも左岸堤防より約300mの距離にある地点1まで見られた。冷気が最大でどのくらいまで市街地に侵入するかは、さらに市街地内に多数の観測点を設けて調査する必要がある。また、冷気の侵入をもたらした南風の成因としては、21日の事例では海風の侵入である可能性が指摘された。しかし、河川区域規模の流れやヒートアイランドの影響などの可能性もあり、更なる研究が必要である。

謝辞

荒川河川区域での気象観測にあたり測器設置許可を頂きました。

た、国土交通省荒川上流河川事務所、埼玉県熊谷県土整備事務所、熊谷市役所公園緑地課の皆様には深く感謝致します。また、測器のパトロールに協力下さった埼玉県警察熊谷警察署管内熊谷駅前交番の皆様にも御礼申し上げます。なお本研究の一部は、立正大学学術研究調査事業(石橋湛山記念基金)研究助成の補助を受けております。

参考文献

- 河村 武, 1964a: 熊谷市における気温分布の解析. 地理学評論, 37, 243 - 254.
- 河村 武, 1964b: 熊谷市の都市温度の成因に関する二, 三の考察. 地理学評論, 37, 560 - 565.
- 清田忠志・谷口 明・清田誠良・中村安弘, 2006: 都市域におけるヒートアイランド現象の緩和方策に関する研究. 日本建築学会環境系論文集, 第602号, 69 - 75.
- 清田忠志・谷口 明・清田誠良・中村安弘, 2007: 都市域におけるヒートアイランド現象の緩和方策に関する研究 その2 広島市の夏季の都市気温と土地被覆との関係に対する重回帰分析. 日本建築学会環境系論文集, 第614号, 57 - 63.
- 桜井美菜子・篠原善行・眞下国寛・須永次雄, 2009: 関東地方で日最高気温が40 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, 248 - 253.
- 中川清隆・石塚仁志・榊原保志, 2008: 2007年夏季における埼玉県熊谷市街地内外に立地するビル屋上気温と地上気温の短時間間隔連続観測. 2008年度春季大会講演予稿集. 日本気象学会, p.317.
- 成田健一・植村明子・三坂育正, 2001: 都市気候に及ぼす河川水の熱的影響に関する実測研究 隅田川における熱収支と周辺環境の検討. 日本建築学会計画系論文集, 第545号, 71 - 78.
- 橋本 剛・堀越哲美, 2008: 定点観測に基づく名古屋市堀川を遡上する海風と風の道としての効果に関する研究. 日本建築学会環境系論文集, 73, 1443 - 1449.
- 福岡義隆・高橋日出男・開発一郎, 1992: 都市気候環境の創造における水と緑の役割. 日本生気象学会雑誌, 29, 101 - 106.
- 渡来 靖・中川清隆・福岡義隆, 2009a: 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, 35 - 41.
- 渡来 靖・中川清隆・福岡義隆, 2009b: 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, 71 - 80.

Thermal Environment over Riverside Land and its Influence on the Leftward Protected Lowland along the Arakawa Bridge in Kumagaya City

WATARAI Yasushi*, SUZUKI Motomu*

*Faculty of Geo-environmental Science, Rissho University

Abstract:

In order to investigate the thermal environment over the riverside land of Arakawa and its influence on the neighboring Kumagaya urban area, we observed the surface air temperature and wind along the Arakawa Bridge, from September 14 to October 13, 2010. Composite analysis of the observed data showed that cool air existed over the riverside land all day long. The development of the cool air over the riverside land was greater in fine days than in sunshineless days. Case study in the fine day suggested that the cool air over the riverside land brought the temperature lapse to the Kumagaya urban area when the southerly wind blew.

Keywords: riverside land of Arakawa, urban area of Kumagaya, meteorological observation, thermal environment, sea breeze