

都市部における中小河川周辺の熱環境 ～目黒川を事例として～

大野修平*, 加藤拓磨†, 山田 正†

Thermal Environment in the Vicinity of Small-and-Medium-Sized River in Urban Area

Shuhei OHNO*, Takuma KATO†, Tadashi YAMADA†

abstract

In order to investigate the mitigating effect of river on the thermal environment and clarify thermal environment of urban area, the authors performed observations in areas focusing on the Meguro River which is 10 to 30 m wide and formed rectangular cross-section beam. Around the river were dense various constructions. Authors observed air temperature, relative humidity, wind direction, wind velocity and solar radiation from 18th July to 31st August 2007. From the results of field observation, following results are obtained; 1) The temperature along the river shows the lowest among all of the observed points, except the heat source is close to the river, the temperature is not always the lowest. 2) Cross sectional observation lines show that the temperature along the street and along the river is about 2°C maximum. This difference has no relation with the wind direction or wind velocity in 44m altitude.

1 はじめに

近年、都市部ではヒートアイランド現象の影響により熱帯夜の増加や熱中症患者の増加、大量の空調機器使用による電力需要の切迫等、気温上昇に伴う弊害が顕著となっている [1], [2]. ヒートアイランド現象の深刻化は人間活動が原因で起きており、例えばアスファルトやコンクリートで被覆された地表面は日射により加熱されやすく、日中は気温が高くなり夜間は気温の低下が抑えられてしまう。また都市の多様な産業活動、社会活動に伴う人工排熱も気温を上昇させる効果があるとされている [3]. ヒートアイランド現象の緩和対策として、人工排熱の低減や屋上緑化の促進、保水性舗装や高反射率塗料の普及といった地表面被覆や都市形態の改善、「打ち水大作戦」など市民レベルによる取り組みや、都市内の水面や緑地などのクールスポットを利用した熱環境の改善など様々な対策が行われている [4], [5], [6]. その中で都市河川が持つ大気冷却効果に着目した気象観測は数多く報告されている。武若ら [7] は東京都荒川において気象観測を実施し、河川による大気冷却効果は最大で堤防から 150 m 先の地点まで及び、低下量は大気が河川上で交換した熱量と相関があることを示している。山田ら [8] は埼玉県栗橋において気象観測を行い、市街地中心部の気温と近接する利根川の気温を比較し、最高気温で利根川上の気温のほうが 2.5 [°C] 低いことを示している。川又ら [9] は鶴見川周辺部で行った気象観測から鶴見川の日中における気温低減効果は、河道内では 1~3 [°C] あることを示している。加藤ら [10] は荒川周辺において気象観測を行い、周辺の土地利用の違いによる熱環境緩和効果を定量的に評価しており、建蔽

*中央大学大学院理工学研究科 東京都文京区春日 1-13-27

†中央大学理工学部 東京都文京区春日 1-13-27

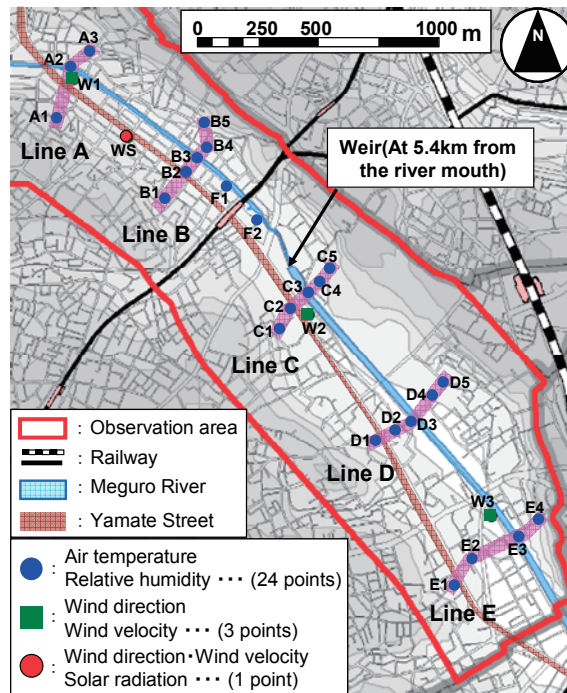


Fig. 1 Positioning of meteorological observation equipment along the river 4 to 7 km from the river mouth

率が低い地域ほど河川付近との気温差が小さくなることを示している。しかし、これらの研究成果のほとんどは川幅の広い河川を対象にしているもので、中小河川を対象にした観測の例は少ない。都市部を流れる河川のほとんどは中小河川であり、その冷源としての影響範囲等を明らかにする事はヒートアイランドの緩和対策を講じる上で重要だと考えられる。よって本研究では都市部を流れる川幅が10~30[m]程度の矩形断面を有する都市河川を対象に、河川が周辺に及ぼす熱環境緩和効果を定量的に評価する事を目的として気象観測を行った。

2 観測概要

2.1 観測対象地域

著者らは都市部における中小河川の持つ大気冷却効果を定量的に評価するために、東京都世田谷区、目黒区および品川区を流れ、東京湾に注ぐ目黒川を対象に気象観測を行った。目黒川周辺を観測対象地域に選定したのは、周囲に商業ビル、住宅、商店街、道路、鉄道などが密集しており、都市部において典型的ともいえる都市構造をしているためである。目黒川は世田谷区の武蔵野台地を水源とし、流路延長7.82[km]、流域面積45.8[km²]の2級河川の本川である。河川形状はコンクリート三面張りの矩形断面で、水面は地上から5~8[m]低い場所にある。川幅は河口から5.4kmを境に上流側は10~15[m]、下流側は25~30[m]となっており、境界部には上流に潮位の影響が及ばないように高さ約1[m]の堰がある(Fig.1)。周辺の土地利用は河川右岸側に河川と平行に交通量の多い片側2車線の自動車道路(山手通り)が50~300[m]離れた位置にあり、河口から5.5km地点に河川と山手通の直行方向に交通量の多い片側2車線の自動車道路(駒沢通り)がある。山手通り沿いと駒沢通り沿いの両側には5階建て以上のビル・マンション等が立ち並んでおり、それら大通りから1本脇道、裏道に入った場所のほとんどは3階建て以下の住宅が立ち並ぶ住宅地となっている。河口から5.7[km]地点に河川と直交して鉄道の高架橋があり、山手通りと直交する地点に駅がある。河川沿いは、河口から5.7[km]より上流は兩岸に樹木が河道内に覆いかぶさるように繁茂しており、下流は3~5[m]間隔に樹木が立ち並んでいる。観測サイト全体に建物が密集しているため、オープンスペースは道路と河川上以外にはほとんどなく、全体的に風通しが悪い土地利用をしていると考えられる。大通りや駅があることから交通量が多く都市化が進んでいるこの地域では、車やエアコンの室外機から出る排熱などによる“熱源”と、河川や河川沿いの樹木群などから

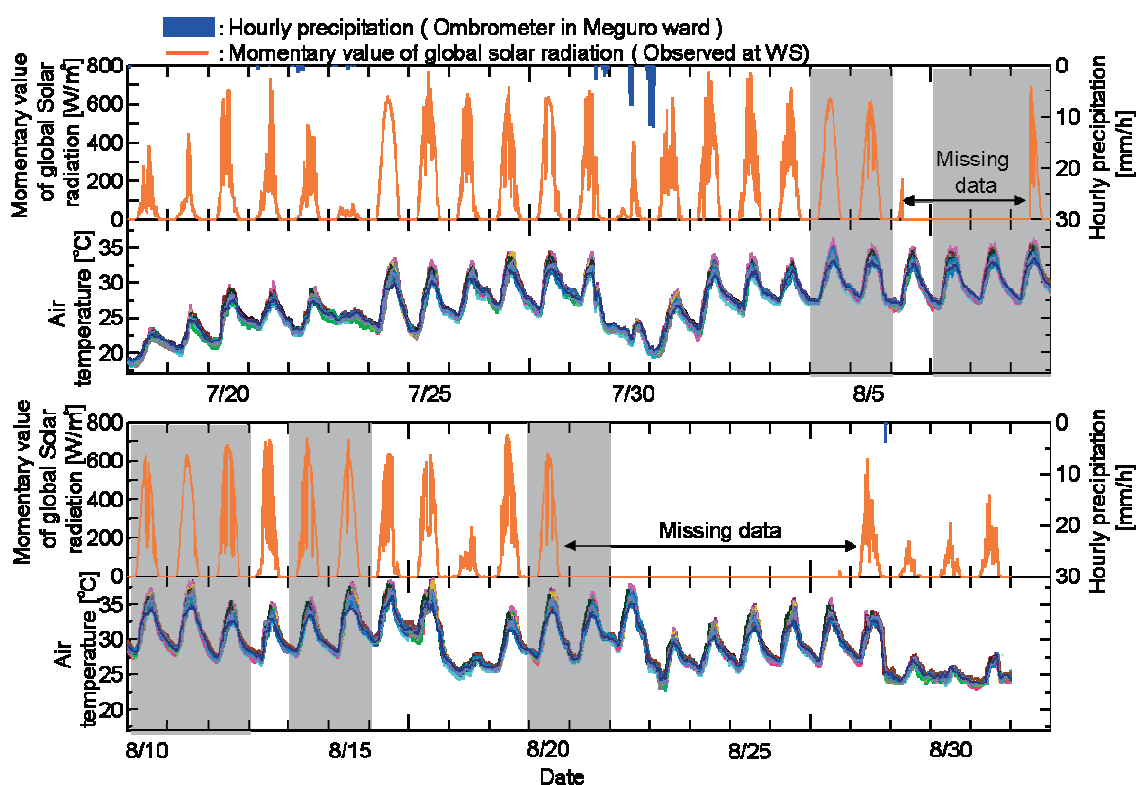


Fig. 2 Time series of air temperature, solar radiation, hourly precipitation during observation term

の“冷源”が入り混じり、気温は時空間的に大きく変動すると思われる。また、一般的に都市河川は河川水面や植生、樹木があること、オープンスペースであること等による大気冷却効果が予想される。観測対象である目黒川の特徴は兩岸に樹木が植えられている点である。本観測において河川水面があることによる大気冷却効果を見ること、つまり樹木の効果を差し引いた場合の河川の効果を見ることは困難である。よって本稿で述べる河川の大気冷却効果は植生や樹木等の影響を含めた効果である。実際に都市部の中小河川は兩岸に樹木や植生がある場合が多く、樹木を含めた河川の効果を明らかにすることは現状において重要だといえる。

2.2 観測項目

Fig.1 に目黒川周辺における気象観測機材の配置図を示す。観測は目黒川の河口から 4 [km]～7 [km] の河川を中心とした約 3 [km²] の範囲である。観測は 2007 年 7 月 18 日～8 月 31 日までの 45 日間連続で行った。観測項目は気温、相対湿度、風向、風速、日射量である。気温、相対湿度の計測は ONSET 社製の HOBO(H8Pro) を用いた。計測原理は気温が白金抵抗式、相対湿度が静電容量式である。温湿度計は日射の影響を受けないように自然通風式のラディエーションシールドに入れて使用した。温度分解能は 0.02 [°C] であり公称精度は ±0.2 [°C] である。各温湿度計間の機械誤差は気象庁検定を受けた温湿度計を真値として検定を行い、誤差を小さくするように補正を行った。温湿度計の設置箇所は、河川沿いとその周辺の気温を河川からの距離に応じて比較できるように、河川を中心に横断方向に観測ラインを 5 測線 (ライン A～ライン E)、縦断方向に 2 測線 (河川沿い、山手通り沿い) 設けてライン上に温湿度計を設置した (Fig.1)。温湿度計は地上から 2.5 m の高さになるよう、街路灯や建物の鉄柵などに設置し 1 分間隔で計測を行った。風向風速の計測は YOUNG 社製のプロペラ式風向・風速計 (CYG-5103LM 型) を使用した。測定範囲は 0～50 [m/s]、起動風速は 1 [m/s]、公称精度は風速が ±0.3 [m/s]、風向が ±0.3° である。風の観測は河川の大気冷却効果を評価するためには地上近傍で計測を行うのが適切である。しかし都市部において地上で風を計測する場合、車や建物の配置などの局所的な影響が強く、場所を少し移動しただけでその傾向は大きく異なりエリアでの代表性を示すことが難しい。

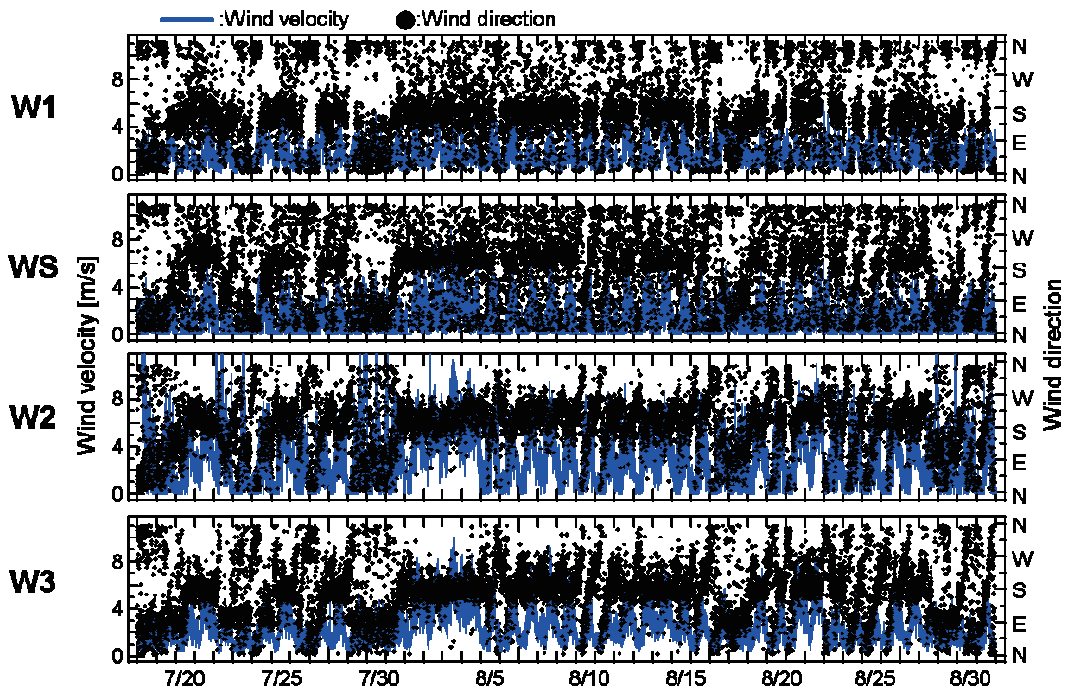


Fig. 3 Time series of wind velocity, wind direction during observation term

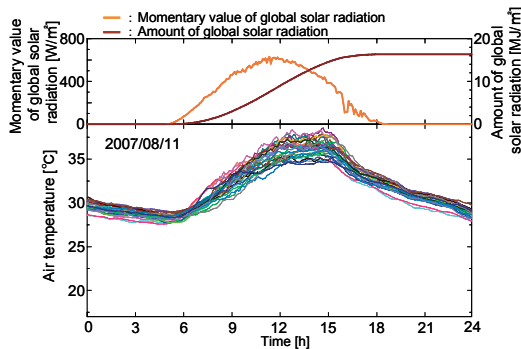


Fig. 4 Time series of air temperature and Momentary value of global solar radiation, Amount of global solar radiation on Aug.11 2007

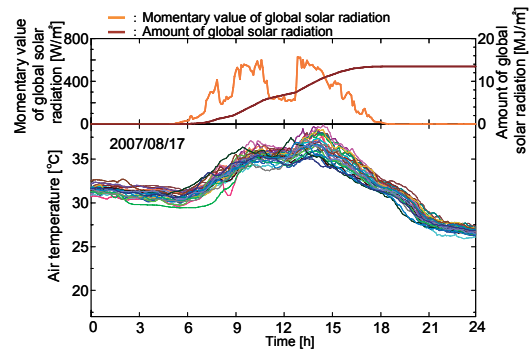


Fig. 5 Time series of air temperature and Momentary value of global solar radiation, Amount of global solar radiation on Aug.17 2007

地上部とその上空の風は異なる場合があると考えられるが、上空の風がその周辺のエリアの代表値をある程度示しているとして河川に対して縦断方向の4地点(W1, WS, W2, W3)において地上から28~44[m]のビルの屋上に機材を設置し1分間の平均値を計測した。日射は日射計(英弘精機社製, ソーラーエース M62)をビルの屋上(WS)に設置し5分間隔で瞬間値を計測した。日射計のデータの妥当性は観測期間中のデータを用いて、北東方向に約7.5 km離れた気象庁大手町観測所における日射量と比較し、ほぼ同じ傾向を示したことで妥当性を確認した。

3 観測結果

3.1 気象概況と解析対象日の選定

Fig.2に観測実施日における全24地点の気温, WS地点の全天日射量の瞬間値, 目黒区内の地上雨量計で計測した時間降水量の時系列, Fig.3に観測実施日における上空の風向風速の時系列を示す。全45日の観測期間

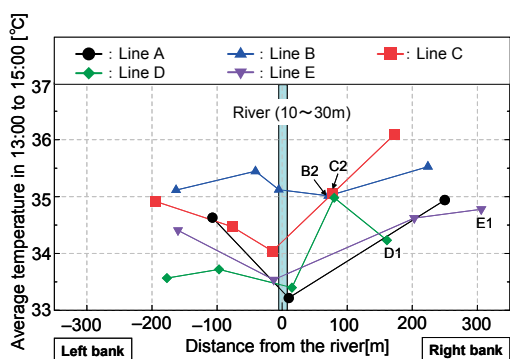


Fig. 6 Relationship between the distance from the river and the average temperature of 12 days measured from 13:00 to 15:00

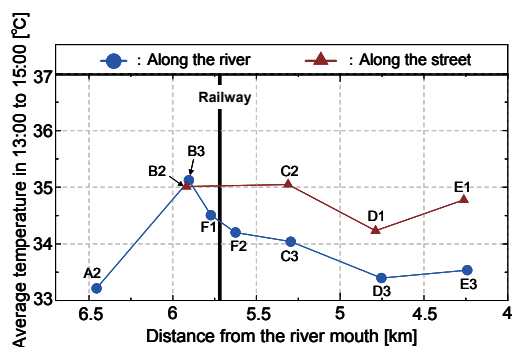


Fig. 7 Vertical distribution of average temperature of 12 days measured from 13:00 to 15:00 along the river and the street

で降水を計測した日は8日間あり、猛暑日(日最高気温が 35°C 以上の日)は20日間(8月4日~8月17日までの14日間連続を含む)、真夏日(日最高気温が 30°C 以上、 35°C 未満の日)は14日間であった。この年は例年比べて気温が高い日が多かった。風向風速は観測期間中において南~西方向の風が多く、東京湾からの海風が卓越していると考えられる。またそのときの風速は、他の方向の風が卓越していた日に比べて大きい傾向がある。

解析対象日の選定は、(1)全観測地点中の1地点以上の日最高気温が 35°C 以上、(2)日降水量が 0 [mm] 、(3)日射が一日を通して比較的安定している日(欠測している場合は気象庁大手町観測所の日射量を用いた)、を満たす12日間を解析対象日とした(Fig.2の灰色で示す日)。(3)の条件は気温に影響する気象因子の一つである日射量が統一でき、また一日を通して日射量が安定している日の方がそうでない日に比べて気温が上昇しやすいからである。解析対象日の選定の一例として、解析対象日とした日の全観測地点の気温と日射量の瞬間値、日射量の積算値の時系列をFig.4に(1)、(2)の条件は満たしているが日射が1日を通して安定していないとして解析対象日から除外した日の全観測地点の気温と日射量の瞬間値、日射量の積算値の時系列の時系列をFig.5を示す。Fig.5に示す日は11時から13時頃までの間日射量が急激に低くなり、それに対応して気温も低くなっている。このように気温と日射量の時系列を比較してFig.4のように山なりの形状の日は解析対象日に、Fig.5のように山なりではない日を解析対象日から除外した。また、Fig.4において夜間と昼間の観測機器間の気温差を比較すると明らかに昼間の気温差が大きい事がわかる。著者らは気温差の大きい日中において河川の熱環境緩和効果が最も顕著に現れると考えて、12時~15時のデータを解析の対象とした。

3.2 河川からの距離と気温の関係

Fig.6に各ラインにおける解析対象日12日間の13時~15時までの平均気温と河川からの距離の関係を示す(図中の観測地点名の記入があるポイントは山手通り沿いの観測地点)。ラインA、C、D、E上においては河川沿いの気温がライン上の他の観測地点の気温に比べて低い事がわかる。ラインC、Eにおいては河川からの距離に応じて気温が高くなる傾向があり、河川が周囲に対して冷源になっていると考えられる。しかし、ラインBにおいては気温の傾向が異なり、河川沿いとライン上の他の地点の気温差がほとんど変わらずB2地点は河川沿いよりも気温が低い。またラインごとの河川沿いの気温を比較するとラインBは他のラインに比べて約 $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ 高い。このことからラインBにおいては河川の冷却効果が他のラインに比べて小さいかもしくは冷却効果がないという事がいえる。ラインBは駅のすぐ上流部であり、河川と山手通りとの距離が 50 [m] とかなり近い位置にあることから山手通りの熱源が河川付近の冷気と入り混じっていることが考えられる。

3.3 河川縦断方向の気温分布

次に河川沿いと山手通り沿いの縦断方向の気温を比較する。両者は観測サイト内ではほぼ平行に位置された観

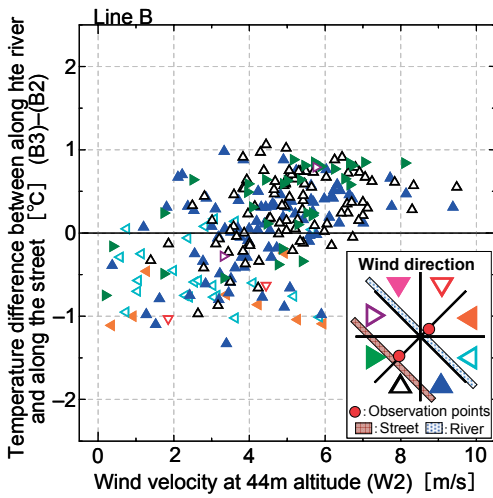


Fig. 8 Relationship among temperature difference (Along the river - Along the street), wind direction, wind velocity from 12:00 to 15:00 on Line B

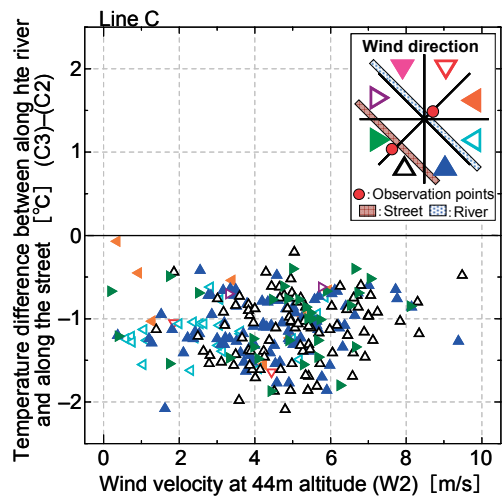


Fig. 9 Relationship among temperature difference (Along the river - Along the street), wind direction, wind velocity from 12:00 to 15:00 on Line C

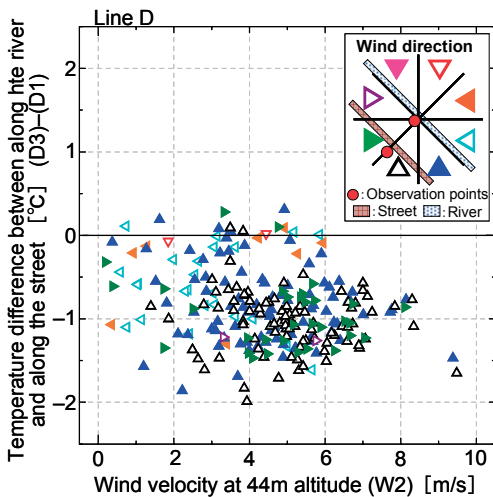


Fig. 10 Relationship among temperature difference (Along the river - Along the street), wind direction, wind velocity from 12:00 to 15:00 on Line D

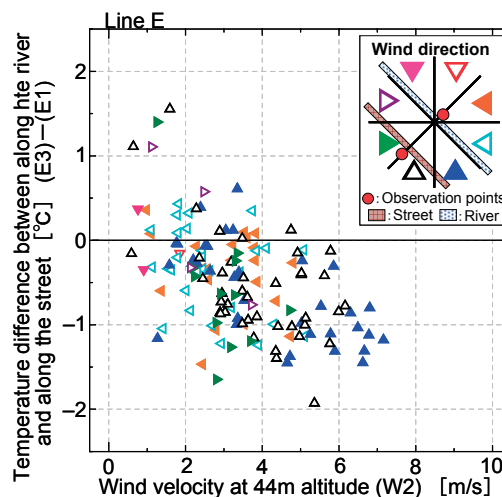


Fig. 11 Relationship among temperature difference (Along the river - Along the street), wind direction, wind velocity from 12:00 to 15:00 on Line E

測サイト内で数少ないオープンスペースである。Fig.7に解析対象日における河川縦断方向の河川沿いと自動車通り沿いの12日間の13時~15時までの平均気温の縦断分布図を示す。山手通り沿いの気温は縦断方向の気温差が約0.7[°C]と河川沿いの気温分布と比べるとほぼ一定である。一方、河川沿いの気温は縦断方向の気温差が約1.8[°C]であり、下流から上流に向かうにつれてB3地点まで徐々に気温が上昇し、A2地点で下流側のD3、E3地点とほぼ同じ気温に下がっているのがわかる。同じライン上の河川沿いと山手通り沿いの気温差を比較するとC、D、E地点では河川沿いの気温が山手通り沿いの気温に比べて約1[°C]低く、B地点では河川沿いと山手通り沿いの気温はほぼ同じである。ラインBとラインCを比較すると河川から山手通りの距離はほぼ同じであるのに対して気温差は大きく異なることから、熱源と考えられる山手通りから河川までの距離は河川沿いの気温に影響せず、その場の日射量や風等が原因で河川沿いの気温が上流方向に向かうにつれて高くなっていることが考えられる。また河川沿いのA2地点の気温が下流部のD3、E3とほぼ同じなのはライ

ン B に比べて駅から遠いことで人口排熱が少ない等の理由が考えられるが本観測からではその原因の特定はできなかった。

3.4 河川沿いと山手通り沿いの気温差と風向風速の関係

Fig.8～Fig.11 にライン B～E における河川沿いと山手通り沿いの気温差と上空 W2 地点の風向風速の関係を示す。ライン E は観測機材の設置認可の関係により 8 月 9 日からのデータのみを用いた。Fig.3 に示す風向風速の時系列を比較すると各観測地点で上空の風速の絶対値は変化するが、風向の傾向は同じことからラインごとの傾向を比較するために、観測サイトの中心付近にある W2 地点のみの風向風速を用いた。データは解析対象日の 12 時～15 時における 10 分平均値を用いた。Fig.9, Fig.10 に示すようにライン C, D は風向風速に関係なく河川沿いの気温が山手通り沿いに比べて低く、その気温差は風向風速によらず最大で 2 [°C] あることがわかる。Fig.11 に示すようにライン E は風速が 5 [m] 以下のときは山手通り沿いの気温に比べて河川沿いの気温が高くなる場合があるが、解析対象日全体ではライン C, D と同様に山手通り沿いに比べて河川沿いの気温が低い傾向が見てとれる。一方、Fig.8 に示すようにライン B は全体の傾向をみると河川沿いよりも山手通り沿いの気温が低い場合が多く、他のラインと傾向が異なる事がわかる。風向と気温差の関係を見てみると河川から山手通り方向の風（北～南東方向）が吹いているときは山手通り沿いに比べて河川沿いの気温が低く、山手通りから河川方向の風（南東～西）が吹いているときは河川沿いに比べて山手通り沿いの気温が低い傾向がある。これはライン B において上空の風向が地上の気温に関係することを示している。しかし実際には地上とその上空の風の傾向がまったく異なる場合が考えられるため、本観測からライン B 周辺が他のラインと比べて異なる傾向を示す原因の特定はできない。今後はライン B 周辺で地上の風速や局所的な日射量、地表面温度等と気温の関係を詳細にみる観測を行う予定である。

4 まとめ

都市化の影響が気温に大きく関係していると思われる地域において、川幅 10～30 [m] 程度の都市中小河川が周囲の熱環境に及ぼす影響を定量的に評価するために、東京都の都市部を流れる目黒川を対象に気象観測を行った。本観測で得られた知見を以下に示す。

- (1) 都市部において中小河川沿いの気温は周辺の気温に比べて最大で約 2 [°C] 低く、河川沿いがクールスポットとなっている事を示した。これは河川沿いの樹木を含めた河川の効果であると考えられる。
- (2) 河川横断方向の観測ライン C, D, E 上において河川沿いと山手通り沿いの気温を比較するとほとんどの場合で河川沿いの気温が低く、その気温差は上空の風向風速によらず最大で約 2 [°C] あることを示した。
- (3) ライン B は河川沿いの気温が他のラインの河川沿いの地点に比べて高く、またライン B 上の河川沿いの気温と河川沿い以外の地点の気温を比較しても河川沿いの気温が高い。ライン B においては上空の風が河川から山手通り方向に吹く場合のみ河川沿いの気温が山手通りに比べて低くなることを示した。

本稿では河川水面と河川沿いの樹木それぞれが持つ大気冷却効果、地上風と気温の関係、ライン B の河川沿いが他のライン河川沿いの気温と比べて高い理由等の解明には至らなかった。これは都市部において川幅 10～30 m 程度の河川が周囲に及ぼす効果は風や日射量、人口排熱等の影響で打ち消される程度の小さいものであると考えられる。それらの要素が複雑に関係するため本観測のように観測機材を 50 m 程度の間隔で設置しただけでは捉えることができなかつたと推察される。今後は他のラインと比べて気温が高いライン B 周辺の河川により近いエリアにおいて詳細な観測を行うことでこれらの現象の解明を行う予定である。

謝辞：本論文は中央大学理工学研究所の研究補助を受けた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- [1] 気象庁：ヒートアイランド監視報告（平成 17 年夏季－関東地方）, <http://www.data.kishou.go.jp/climate/>

- cpdinfo/himr/2005/himr2005.pdf, 2006.
- [2] 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), <http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/himr/2007/himr2007.pdf>, 2008.
 - [3] 気象庁：ヒートアイランド監視報告(平成18年夏季－関東・近畿地方), <http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/himr/2006/himr2006.pdf>, 2007.
 - [4] 峰岸順一, 小林一雄, 近江淳一, 阿部忠行：保水性舗装の路面温度低減機能に関する検討, 東京都土木技術研究所年報, 平成14年度版, pp.53-64, 2002.
 - [5] 木内豪, 吉中保, 深江典之：遮熱性舗装による都市熱環境改善効果に関する考察, 第25回日本道路会議, 09059, 2003.
 - [6] 加藤拓磨, 手計太一, 土屋修一, 山田正：打ち水による熱環境緩和作用, 水工学論文集, 第52巻, pp.277-282, 2008.
 - [7] 武若聡, 池田駿介, 平山孝浩, 萱場祐一, 財津知亨：都市内河川による大気冷却効果～都市内河川内外の夏期の熱環境および気象観測～, 土木学会論文集, 第479巻, II-25号, pp.11-20, 1993.
 - [8] 山田裕之：埼玉県栗橋市における都市気温分布と緑地の夏季の気温低減効果について, 造園雑誌, No.56, Vol.56, pp.331-336
 - [9] 川又孝太郎, 河原能久, 菅和利, 玉井信行：鶴見川周辺部ならび多摩川河川敷における熱環境の調査研究, 水工学論文集, 第37巻, pp.189-194, 1993.
 - [10] 加藤拓磨, 小田村康幸, 山田正：河川からの風が都市の熱環境に与える緩和効果, 水工学論文集, 第53巻, pp.295-300, 2009.
 - [11] 加藤拓磨, 手計太一, 山田正, 日野幹雄：都市内緑地とその周辺における気温と湿度の鉛直・水平構造特性, 水工学論文集, 第50巻, pp.505-510, 2006.
 - [12] 手計太一, 志村光一, 山田正, 日野幹雄：都市内緑地における葉温の挙動と微気候因子との関係に関する研究, 水工学論文集, 第45巻, pp.265-270, 2001.