

都市内中小河川によるヒートアイランド緩和効果に関する研究

金 敏植*

Heat-island mitigation effects of a small river flowing through the urban area
Minsik Kim

1. 序論

急激な都市化に伴い地表面被覆の変化・人工排熱の増加といった要因によりヒートアイランド現象が深刻化している。この対策として河川の活用や風の道確保が挙げられている。海風を都市の奥深くまで導き、ヒートアイランドを分担する「風の道」としての効果が広島や名古屋などで確認され、東京においても隅田川を対象とした実測結果¹⁾が報告されている。東京都心部ではここ数年、日本橋川などで大規模な調査が実施され、目黒川では河道が「風の道」を形成しているものの、その風は河口から連続的に遡上した気塊ではなく、河岸の高層建物が上空の冷気を取り込んでいる効果が重要であることが指摘されている²⁾。しかし、現状ではまだ河川の規模や地理的条件などを踏まえ、具体的な計画手法へ展開するために必要な十分な知見が得られているとは言い難い。本研究では、都市内を流れる中小河川を対象に、河川の地理的条件、護岸の形態および水深等に注目し、河川の冷熱環境形成機能の把握を試みた。特に、河川の涼しさは水面の冷却作用による

のか、あるいはオープンスペースとしての風通しの良さに起因するのかを明らかにすることを目的に、条件の異なる二つの中小河川を対象に実測を行った。

2. 実測概要

本実測は、沿岸部に位置し海風とほぼ平行で水深の深い墨田区の大横川(錦糸町駅の南西に位置し、川幅 23m で海岸からの距離は 5.6km である)とやや内陸に位置し、屈曲した流路をもち、水深の浅い新宿区の神田川(高田馬場駅北西方向から西新宿に至る中流部で距離約 4km、川幅は 13.5m である)を対象に長期測定と集中測定に分け実施された。(図 1 左上)長期測定の期間は、大横川が 2007 年 7 月 20 日から 9 月 4 日、神田川が 2008 年 8 月の 1 日から 27 日で集中測定の期間は、大横川が 2007 年 8 月の 18 日から 21 日、神田川が 2008 年 8 月の 13 日から 15 日である。長期測定では、上空の気象(一般気象)を把握するため、それぞれの河川の周辺建物屋上で気温、風向・風速、日射量を 1 分間隔で測定した。また水深約 10cm に水温計(図 1 の✦印、大横川 1 地

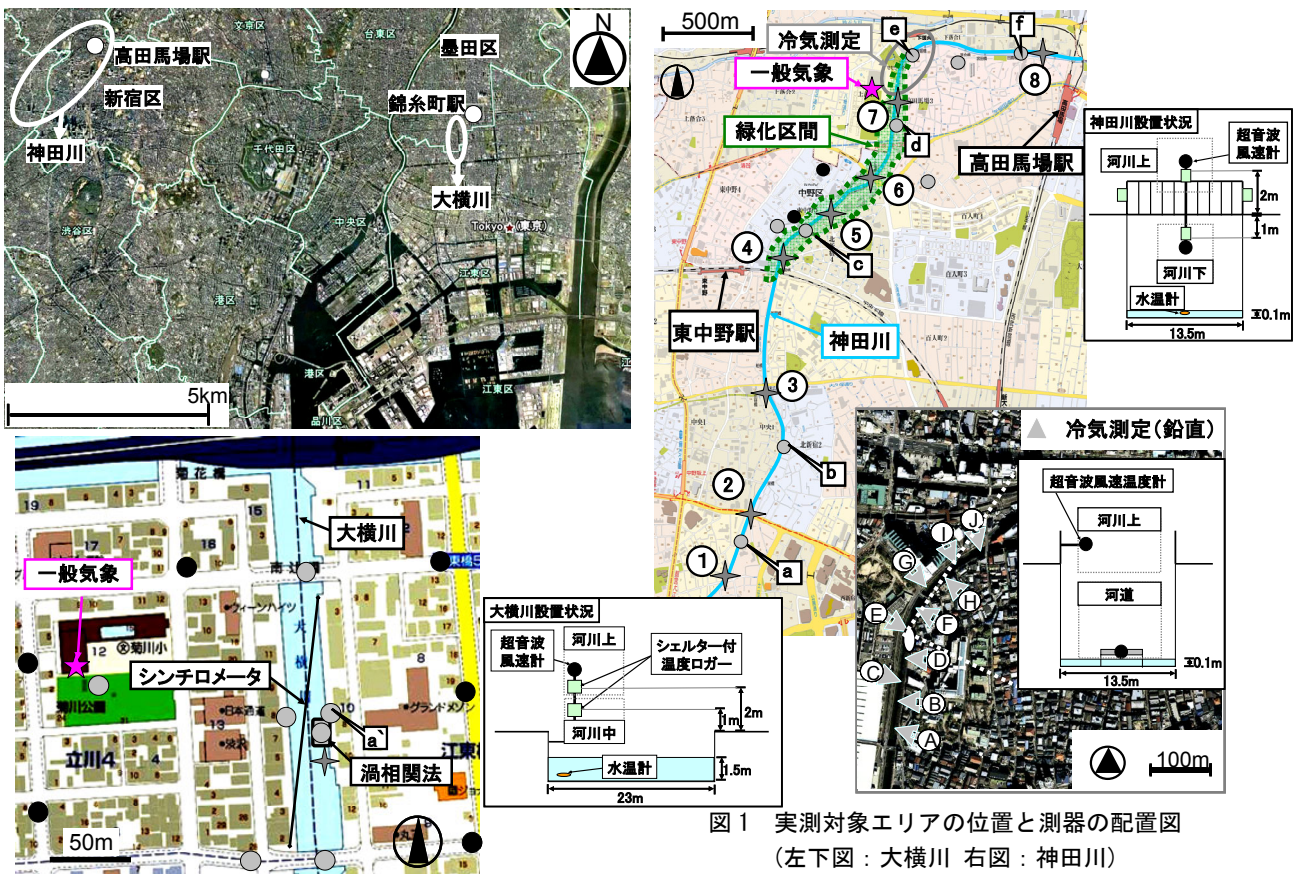


図 1 実測対象エリアの位置と測器の配置図
(左下図：大横川 右下図：神田川)

点、神田川 8 地点)を設置し、河川上を含め周辺市街地で自然通風シェルタに装着した温度ロガーより 2 分間隔で測定を行った(図 1 の丸、大横川 16 地点、神田川は 85 地点)。さらに、風向・風速は超音波風速計により、大横川では左岸に 1 地点、神田川では河道に沿った 6 地点の橋の上と下に設置し 10 秒間隔でデータを取り、風の連続性を検討した(図 1 の a、a~f)。集中測定については、水体による冷却効果を調べるため、大横川の場合、左岸手摺から水面上へ足場を組み、岸から約 2m の位置で放射収支、オープンパスアナライザーと超音波風速温度計による渦相関法、河道を斜めに横切るパス(距離 160m)でソリション法による顕熱測定を実施した。

神田川の場合は、河川の冷気の動きに着目し、河道内に足場を組み、水面から約 0.5m の位置と左岸の手摺に超音波風速温度計を設置した。また、河道内の 10 地点に通風シェルタに装着した温度ロガー(水面からの高さ 0.5m、1m、2m)を設置し、5 秒間隔で測定を行った。

3. 気温低下量の比較

それぞれの河川において、実測期間のうち、一般気象の日最高気温が 30℃以上で降水がなかった晴天日・計 3 日について解析した。図 2 はその 3 日間の風配図で、新木場は SSW 風が 60%で、東京は S 風が 30%である。周辺市街地の(図 1 黒丸)平均値を市街地平均気温と定義し、水温・河川の気温(図 1 の a、d)・上空気温・新木場・東京(アメダス)との温度差、および風速の日変化を考察した(図 3)。

大横川の場合は、日中水温は 4℃低温であるが、早朝と夜間には気温を上回る。河川中は終日周辺市街地とより低温で、日中は 2℃弱の気温差である。

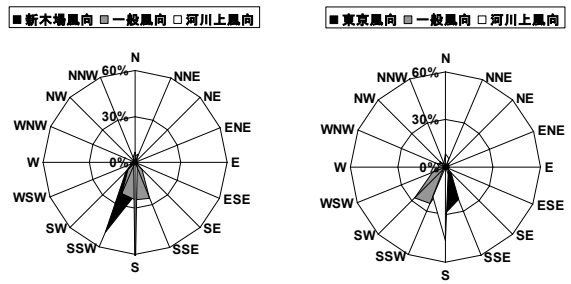


図 2 風配図(左:大横川 右:神田川)

また、河川上は上空の気温に比べ、日中は低温であるものの早朝と夜間には市街地気温と同じ気温分布をしている。海岸に近い新木場との気温差は午後から夜間に大きくなり、日の出頃にはほとんど温度差がなくなる。この変化は風速の変化とよく対応している。水路上の気温低下量は、午前中は海岸との気温差にほぼ等しいが、午後から夜間にかけては小さくなり、夜間の水路上は海岸部の様な涼しさは得られなくなる。一方、神田川の場合には終日水温が低く、日中は 6℃を越える温度差である。神田川の上空風速は東京の風速に比べ、やや小さい風速である。しかし、河川上と河川下の風速は上空の風速に比べ弱い風速で、市街地との気温差をみると、河川下は終日低温で日中約 1.5℃の気温差である。また、河川上は日中、上空の気温より高く、河川下のような涼しさはみられない。図 4 は、河川上の気温低下量と水温との関係を検討した結果で、大横川の場合、河川上の気温低下は概ね水温との温度差に比例しているが、神田川の場合にはそういう関係はみられない。両方とも風速による違いは明確ではない。

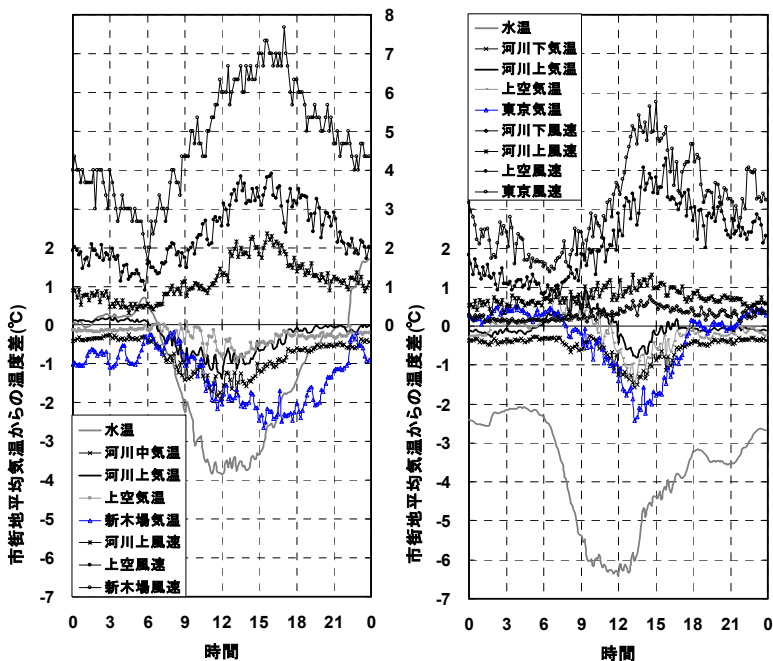


図 3 市街地気温に対する温度差と風速の日変化(晴天日平均)

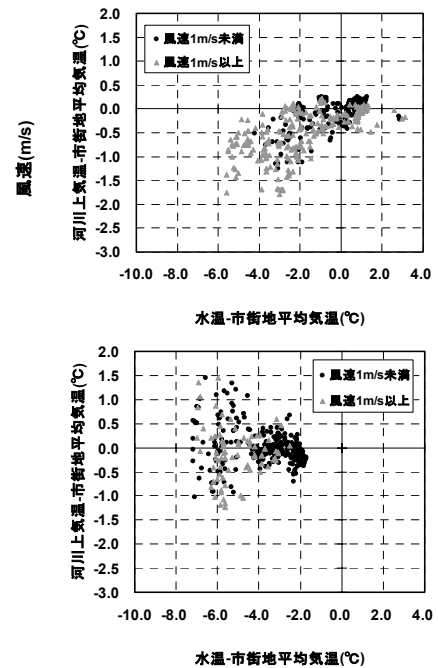


図 4 河川上の気温低下量と水温との関係(上:大横川 下:神田川)

4. 熱収支(大横川)

バルク法による潜熱・顕熱フラックスを算出し、各種方法による測定値と比較検討した。バルク係数は、近藤の有限水面での算定式³⁾において、吹走距離50m、平均風速2m/s、風速測定高度を3.7mとして風速の対数分布を仮定した場合の0.002を使用した。図7は、渦相関法とバルク法による潜熱フラックスを比較したもので、両者はかなり良い一致を示している。渦相関法から算出した水蒸気の輸送速度(右軸はレイ数 $Le=1$ を仮定した場合の熱伝達率)も、風速と良い対応関係を示しており(図8)、輸送速度を風速で無次元化したバルク係数 CE も上記で算定した0.002と一致している(図9)。

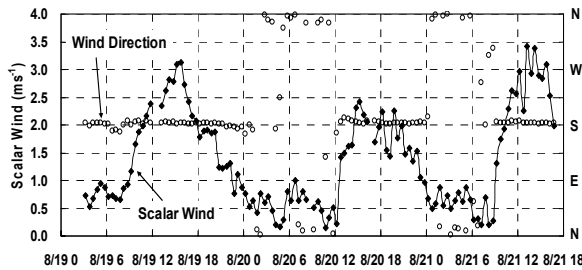


図5 水路上の風向風速の変化

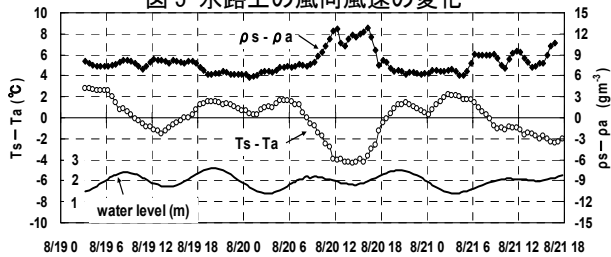


図6 水面と水路上の温度差と絶対湿度差および水位の変化

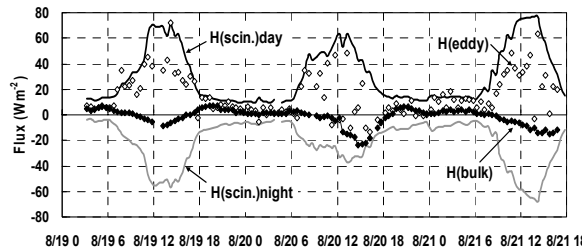
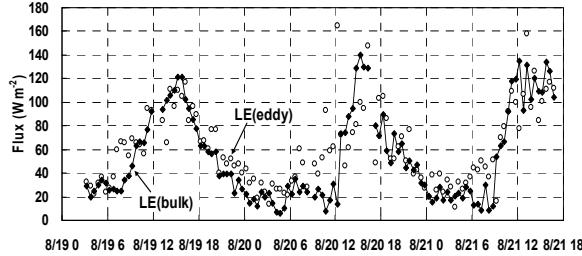


図10 渦相関法・バルク法・シンプレーション法による顕熱フラックス

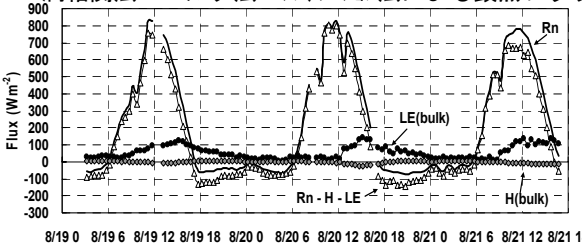


図11 水路面上における熱収支の評価結果

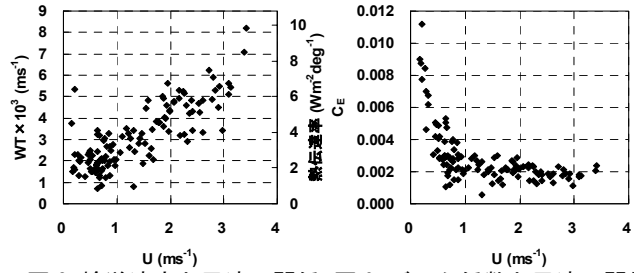


図8 輸送速度と風速の関係 図9 バルク係数と風速の関係

一方、顕熱フラックスについては、渦相関法・シンプレーション法による実測値は、バルク法の値と大きく異なっている(図10)。潜熱フラックスとこのような差異が生じた理由は、熱と水蒸気のソースの違い、それに伴う境界層の違いが影響していると思われる。熱に関しては測定位置が水面フラックスを評価するには適切でなかったと考えられる。図11は、バルク法による潜熱・顕熱フラックスを採用し、残差として水体への蓄熱量を評価した熱収支の結果である。隅田川¹⁾の場合と同様、乱流フラックスは小さく、日射の大半が水体への貯熱に配分されている。水体が水路上の空気を冷却する「負の顕熱フラックス」は無視できるほど小さい。

5. 河川緑化による水温の変化(神田川)

図12は晴天時、流路に沿った水温分布を示している。また、測定区間内で緑化がされていた部分を点線で表示している。河川周辺が緑化されていない区間では水温が高くなるが、緑化されている部分では低くなる傾向があった。時間別に見ると朝方は水温の変化はない。日中の時間帯では最高1°Cぐらい上がって、緑の区間になると下がっている。しかし、午後になると緑の区間では水温が上

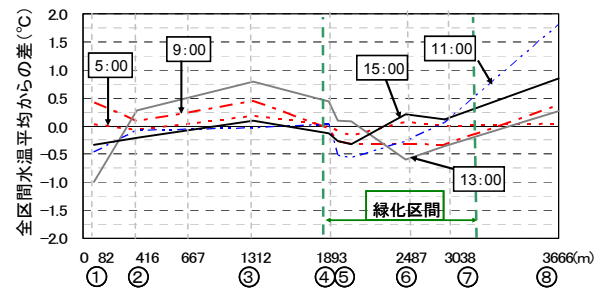


図12 流路に沿った水温変化

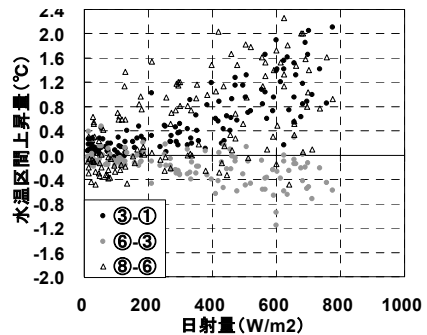


図13 日射による水温変化

がっていた。緑化区間と緑化されていない区間での水温変化が著しい。そこで、日射量と水温上昇量をそれぞれの区間でみることにした。図13は実測区間を緑化区間を含め3区間に分けたものである。各区間の距離は約1200mで、実測ときの流速は0.67 m/sで流れていた。同じ水体を解析するため、それぞれ前の地点より30分後のデータを使い解析した。③-①、⑧-⑥は緑化されていない区間(図1の神田川)の水温差を表したもので、⑥-③は緑化区間の水温差を表したものである。緑化されていない区間では日射が上昇するにつれて水温が上がっていた。しかし、緑化区間では日射が上昇しても他区間に比べ、水温が下がっている傾向があった。水深の浅い神田川の水温は、日射が水温変化に影響していると考えられる。河川周辺を緑化し、日射を遮蔽することで水温を低く保つことが出来る。

6. 河道内冷気の動き(神田川)

図14は水面から街路までの気温鉛直分布を表したもので、(図1の神田川、丸で囲った部分)朝方と夜では上下分布がなく気温が一樣であるが、日中になるにつれて河道内と橋上での温度差が付き、河道内が低温になる。しかし、その範囲も水面から2m程度の小さな範囲でしかないので、気温を下げる効果は期待できない。図15は10分平均値したもので、

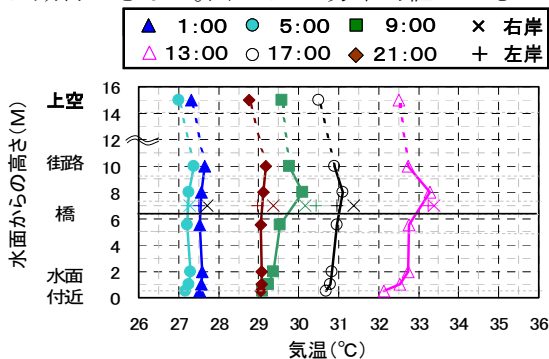


図14 鉛直気温分布

河川上と河道内では終日1°Cの気温差がある。また、風速は、上空の風速が時間変化をすることに対し、河川上と河道内では1m/s以下の弱い風が吹いている。この10分平均値の比較だと、河川上と河道内の気温差があり、河道内は河川上と違う空気が流れていると明確に把握できるが、河道内の冷気の動きについては把握できなかったため、より短い時間スケールで解析を行った。図16は、1秒平均値したもので、夜間には河川上の気温はあまり変化がないことに対し、河道内では瞬間的に1°Cも気温が下がる変化がみられる。さらに、丸で囲った部分をみると、その瞬間的な冷気の動きは弱風で北風から南風になるときにみられる。日中、河川上では市街地からの暖気が流入し1°C以上上がる傾向がみられた。以上のように、1秒の短いスケールでみると、河道内の冷気は、河川上の気温変化とはあまり対応してない。このことから、河道内と河川上は成分の違う風が流れていると考えられる。

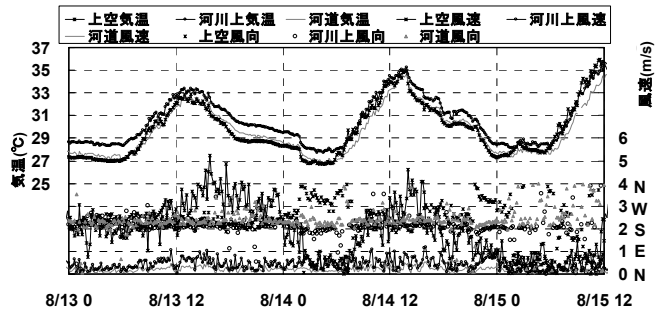


図15 河川内の冷氣確認(10分平均値)

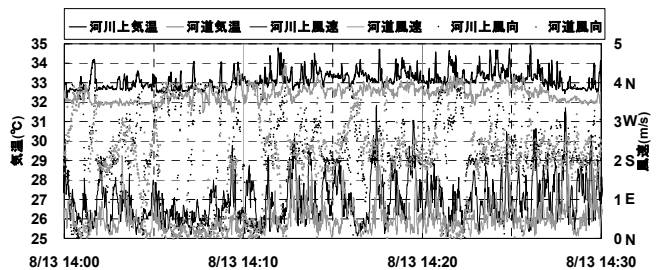
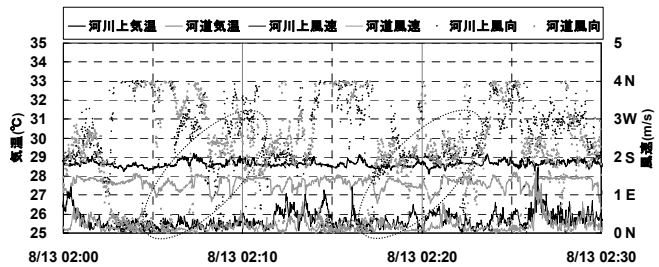


図16 河川内の冷氣確認(1秒平均値)

7. 結論

水深の深い大横川は、水体の大きな蓄熱のため、夜は水温が気温より高い。しかしながら、河川上の気温は、昼間最大1.5°Cの温度差があった。水面の熱収支については、水体が河川上の空気を冷却する負の顕熱フラックスは小さく、水面の冷却効果は小さくなかった。水深の浅い神田川では、水温は終日気温より低い。河道に沿って風は吹いているが、河道内の風速は弱く、冷気も水面付近に存在するだけであったため風の道とは言い切れない。神田川のような水深の浅い河川の水温は日中、日射の影響をうけるため、緑化された区間を通過すると低くなる傾向が確認された。河道が深く掘りこまれた神田川では、夜間は水面近くに冷気が滞留するが、日中は市街地からの暖気が河道内に活発に流入する。冷気は河道の屈曲部などの特定な場所で流出するのではなく、河道の至る所でランダムに市街地に拡散していると思われる。

<謝辞>

本研究は、環境省の委託による「都市内水路等によるヒートアイランド抑制効果検討」(文献4)の一環として行ったものである。実測に際しては、防衛大学・菅原広史氏に多大な協力をいただいた。ここに記して、感謝の意を表します。

<文献>

- 1) 成田健一ほか：日本建築学会計画系論文集 545 71-78 2001
- 2) 成田健一・鍵屋浩司：日本建築学会大会梗概集 D-1 507-508 2006
- 3) 近藤純正：「水環境の気象学」朝倉書店 1994
- 4) 平成19年度都市内水路等によるヒートアイランド抑制効果検討業務報告書 平成19年3月 社団法人 環境情報科学センター

審査員(主査) 教授 成田 健一
 審査員(副査) 教授 川村 清志
 審査員(副査) 教授 伊藤 庸一