

都市内大規模河川（ソウル市清溪川）の 復元による大気環境改善

一ノ瀬 俊明¹・原田 一平²・片岡 久美³・李 龍太⁴

¹正会員 独立行政法人国立環境研究所主任研究員 社会環境システム研究領域
(〒 305-8506 茨城県つくば市小野川16-2)

E-mail:toshiaki@nies.go.jp

²千葉大学研究員 (非) 環境リモートセンシング研究センター
(〒 263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町1-33)

E-mail:ipppei@restaff.chiba-u.jp

³独立行政法人国立環境研究所流動研究員 社会環境システム研究領域
(〒 305-8506 茨城県つくば市小野川16-2)

E-mail:kataoka.kumi@nies.go.jp

⁴独立行政法人国立環境研究所共同研究員 社会環境システム研究領域
(〒 305-8506 茨城県つくば市小野川16-2)

都心の大規模河川空間復元がもたらす暑熱現象緩和効果の定量化を目的として、著者らは韓国・ソウル市における清溪川復元事業の前後にわたる暑熱環境の総合的なモニタリングを進めてきた。年々の変動が暑熱現象緩和効果の検証を困難にしているものの、現在までに復元区間周辺で観測された顕熱フラックスや気温（百葉箱で観測）に復元の影響が検出されている。体感温熱指標や大気汚染については現在も検証中である。また、清溪川が周囲を冷却するメカニズムを探るため、超音波風向風速計などによる高密度の観測を行った結果、清溪川の冷却効果は河道から南北とも80m程度までは明瞭に見られることが示唆された。清溪川復元による大気環境改善効果が実証されることとなれば、都市開発の世界的なパラダイム転換につながることも予想される。

Key Words : heat island, river, mitigation, atmospheric environment, restoration

1. はじめに

一般に都市内を流れる河川は、周辺の都市構造物にくらべて表面温度が低く、かつ粗度が小さいことから、河川が気温分布や風通しに影響を及ぼしているものと考えられる。例えば菅・河原（1993）が観測した多摩川での結果によれば、日中の河道内低水路部の気温は周辺市街地にくらべて1.2～0.8℃低く、高水数でも0.8～0.4℃低い。武若ら（1993）は観測により、河川の冷却効果の影響範囲は周辺150m程度であろうとしている。村川ら（1990）は、河川水面の幅が広いほど河川の冷却効果が大きく、河川と直交する街路幅、および河川周辺の建物密集度にも影響され、さらに風向・風速によっても左右されることを明らかにしている。こうした冷却効果は日中に顕著

である（武若ら、1993）。

かつて清溪川（チョンゲチョン）は、ソウル市中心部を東西に流れ、漢江（ハンガン）に合流する延長約11kmの都市内河川であった。洪水対策として大規模な改修工事の行われた李氏朝鮮の時代から天然の都市下水路としての性格を有していたが、20世紀初頭のソウルへの人口集中は、清溪川周辺地域を代表的な人口密集地域へと変え、河川周辺地域の衛生問題を深刻化させた。この問題に対処するべく行われた1950年代後半に始まる本格的な覆蓋道路化（暗渠化）工事を受け、沿道の市街化と交通量の増加が進行し、1970年代初頭には約6kmの清溪高架道路（4車線）も完成した。

その後ソウル市政府は、この高架道路を数kmに渡って撤去し、従前の都市内河川（清溪川）を復活させる事

業を決定した(図-1)。2003年7月1日に着工したこの清溪川復元工事では、側道(一方通行で各2~4車線)を残し、高架道路を撤去するところから始まった。また、その次に直下の暗渠を開削し、最終的には緑豊かな親水空間を創出するというものであった。中央の高架部分を含めた清溪川路(チョンゲチョンノ)の幅は全体で約50m前後である。初年度は撤去が中心となり、次年度は河道の掘削へと進んだ。

日本をはじめ世界の様々な都市で、都市環境の再生について大きな関心が集まっており、市街地に自然度の高いビオトープを再生するミティゲーションによる手法が注目されているが、都市内におけるこのような大規模な清流の復活は世界にも例がない。この事業の環境改善効果としては、交通量の減少による大気浄化はもとより、河川周辺の夏季における暑熱の緩和(気温上昇の抑制)効果にも注目が集まっている。今回のような大規模なミティゲーションについては先行事例がなく、数値計算で仮想的には評価されえたものの、実地(大気汚染やヒートアイランドの深刻化している現実の大都市内)でその効果を検証できる機会は世界で初めてといえる。

都心の大規模河川空間復元がもたらす暑熱現象緩和効果の定量化を目的として、著者らは韓国・ソウル市における清溪川復元事業の前後にわたる暑熱環境の総合的なモニタリング(図-2)を進めてきた(一ノ瀬ら, 2004; Ichinose, 2005など)。以下、当該復元工事施工初年度(2003年)から最終年度(2005年)に至る8月中旬集中観測の結果を中心に報告する。

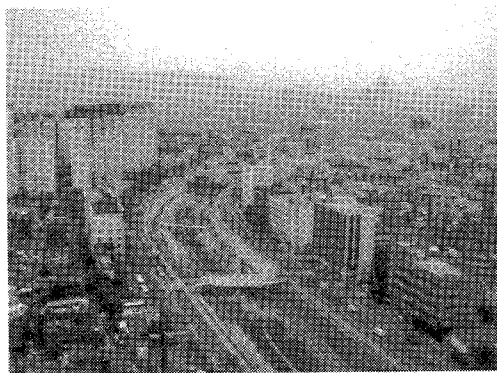
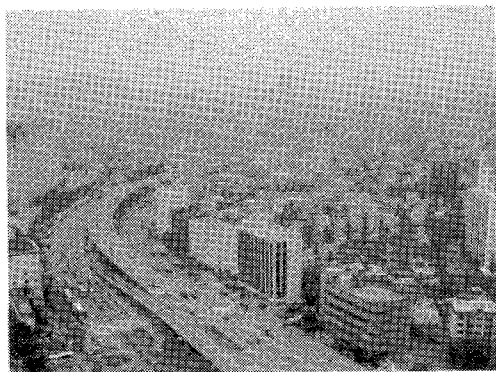
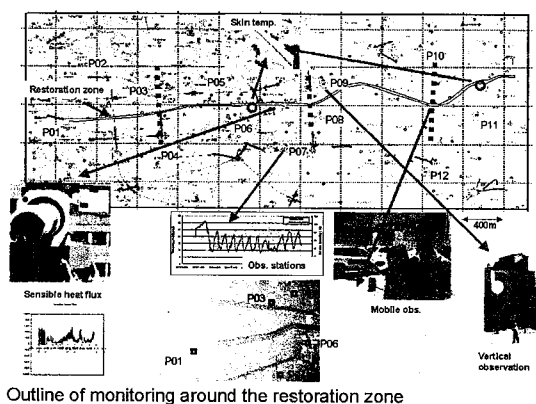


図-1 清溪川復元前後における
城東(ソンドン)区庁屋上からの景観
(大気・熱環境モニタリングプロジェクトメンバーによる
撮影, 順に2003年6月, 2003年8月, 2004年7月,
2005年8月)



Outline of monitoring around the restoration zone

図-2 清溪川周辺におけるモニタリングの概要 (2003年時点)

2. 体感温熱指標

当該3年間の8月中旬において、復元河道近傍および河道より150m以内の5地点(河道を南北に横断する道路の西端の歩道上)における、集中的な移動・定点観測による体感温熱指標 SET^* の観測(温・湿度、風速、天空放射、地物表面温度)を行った(図-3)。施工中期(高架道路はすべて撤去され、河道が掘削されて土壌が露出している状態)の2004年は比較的高温、施工最終年度(河道の復元が完了し、わずかに水が流れる状態)の2005年は比較的低温の条件となった。暑熱が問題となる典型日と考えられる日のデータを比較した結果、2003年に対し2004年はバックグラウンドデータとしての気象庁(江南;ガンナム)における気温が、着目時間帯(11時~14時)で5~7°C高温であったのに対し、河道周辺3地点(図-2のP01, P03, P04)では3~4°C高温、 SET^* ではほぼ同じレベルの値になっていた。しかし2005年は一転して涼しい夏となったものの、湿度が高かったため SET^* は微増という結果になり、当該3年間だけのデータでは復元による暑熱現象緩和効果の確認に至らなかった。2006年には一転して2004年のような高温条件が出現した場合の観測事例が得られ、現在解析中である。

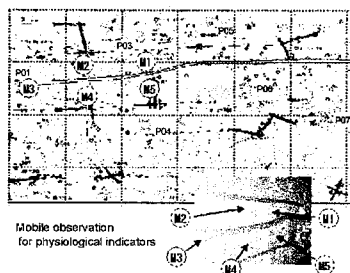


図-3 体感温熱指標の観測点

3. 気温

韓国気象研究所(KIM, Yeon-Heeら)および首都大学東京(三上岳彦ら)、東北公益文科大学(白迎玖)との共同研究において、高架道路撤去区間周辺の12地点(主に小学校の校庭などの百葉箱を活用)に簡易気象観測ステーション(気温、湿度)を設置し、撤去工事に伴う高架道路閉鎖直前の2003年6月中旬より10~15分間隔のデータ取得を行ってきた。当該3年間の7月~9月における曇量3未満、日降水量1mm以下の日(夏季典型日)について気温の比較を行った。復元河道から約200m離れた地点(P03:ウンジン)と河道近傍(P01:ハンファ)との差は施工の進捗につれて拡大していった(図-4)。とりわけ夜間に差が拡大している。現在、水量が増加し安定した2006年夏のデータを取得・解析中である。

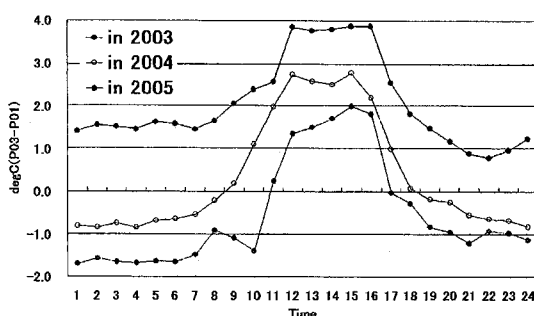


図-4 施工初年度から最終年度にかけての変化

(夏季典型日における復元河道近傍P01(河道から南へ約15m)と北へ約200m離れた地点P03の気温差:全データの平均値)

4. 顕熱フラックス

韓国・釜慶(ブギョン)大学校(KWON, Byeong-Hyeok)および韓国・啓明(ケイミュン)大学校(KIM, Hae-Dong)との共同研究により、シンチロメーター(清溪川路をはさむ約75mのパスを東大門(トンデムン)付近建物屋上に確保)による上向き顕熱フラックスの観測を行っている。観測日における13時~15時のデータを比較すると、2003年は正味放射収支が400~600W/m²に対し顕熱フラックスが300~500W/m²、2005年は前者が200~400W/m²に対し後者が100~150W/m²となり、河道復元の効果が両者の比率の変化に現れている(図-5)。現在2006年8月12日~13日(2003年の事例のような快晴日)のデータとの比較を行っている。

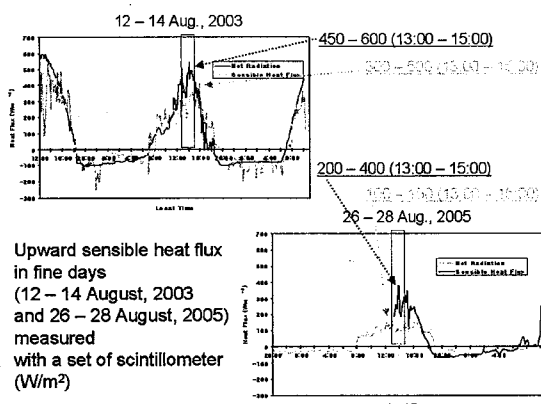


図-5 東大門付近の新平和（シンピョンファ）市場屋上における正味放射収支と顕熱フラックスの日変化（2003年8月12日～14日および2005年8月26日～28日の比較：単位は W/m^2 ）

5. 大気汚染

大気質に関しては、近隣の住民から「ほこりがずいぶん減ったのを実感している」との声を数多く聞かされたものの、ソウル市政府が復元河道近傍（清溪4街）で2001年より常時観測している大気汚染物質濃度（PMやCOなど）には、復元工事による顕著な影響は確認できなかった（図-6）。工事期間中新たに生じた慢性的な渋滞（ただし後述するように路線数や交通量は大幅に減少した）や、工事により表土が露出した期間が継続したことなども影響したためと思われる。よって今後の変化が注目される。

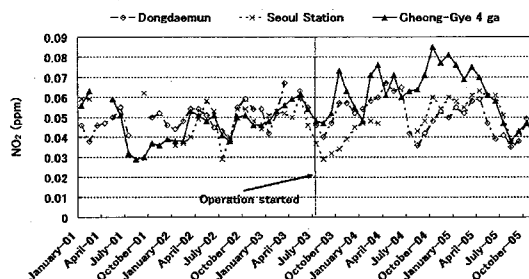


図-6 2001年1月～2005年10月における復元区間周辺でのNO₂濃度月平均値（凡例左より、東大門運動場、ソウル駅、清溪4街）

6. 清溪川が周囲を冷却するメカニズム

ソウル市はこの事業をあくまで都市再開発と位置づけしており、沿線では超高層マンションの建設も進んでいる。従前、高架道路がなくなることによる周辺道路の渋滞深

刻化が懸念されたものの、交通渋滞の主要原因はこの地域を横切って漢江の橋に向かう南北交通であり、幸いにも、今日この事業が大きな渋滞問題を招いたとの結論には至っていない。ソウル市政府によれば、かつて高架道路（対面4車線前後）には1日12万台、下部の一般道路には1日6万台（片側4車線ずつ）が走行していた。これが現在では2万台（片側2車線ずつ）に減少している。清溪川復元事業はその形状から、自然空間の復元という視点では成功とはいいいがたいとの評もあるが、膨大な大気汚染負荷と人工排熱源がなくなり、水面と緑地に置き換わったという意味では、その大気・熱環境改善効果は小さくないはずである。

ここで、復元河道上と河川の影響が及ばない地点とを比較しての議論には、工学的な意義が小さいことに留意すべきである。河道上の気温が低いことは先行研究の蓄積を見るまでもなく自明のことであり、その冷却効果が一定離れた地点にも及ぶことこそが、河川復元事業の暑熱現象緩和効果を議論する上で重要と考えられる。

2005年8月13日に行われた超音波風向風速計による風の移動観測では、河道に直交する街路へ南北両方に同時に吹き出す事例も確認されており、この時河道上では西風が卓越していた（図-7）。

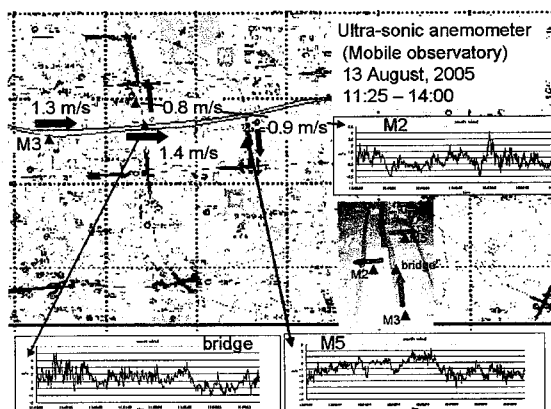


図-7 復元河道上を吹送する風が直交する南北道路へ進入する様子（2005年8月13日日中の観測事例：風速は平均値）

黄海より約30km内陸に位置するソウル市内には、暖候季を中心に黄海より海風が進入しており、この場合西風成分が卓越する。また、観測対象地付近の復元河道の走向はほぼ東西である。成田ら（2004）などの先行研究によれば、都市内の緑地や水体からその周辺へ冷気が供給される場合、一定以上の面積を有するものであることが必要であると考えられるが、河道の幅がわずか50m前後の清溪川では、例えば南北風が卓越する場合、地表面付近の空気が緑地面や水面と接触する時間は短く、その冷却効果が河道から離れた場所にまで及ぶことを期待するのは困難と考えられる。よって、卓越風向が河道に沿ったものである時に

こそ、河道からの周辺地域への冷気の供給が期待できるのではないかと、この仮説をたてた。これは成田 (1992) の風洞実験による知見 (成田・清田, 2000) とも整合的である。CFD2000 による数値シミュレーションからは、復元河道上を吹送する冷気が渦を巻きながら、河道に直交する街路へ南北同時に進入する様子が計算されている (図-8)。

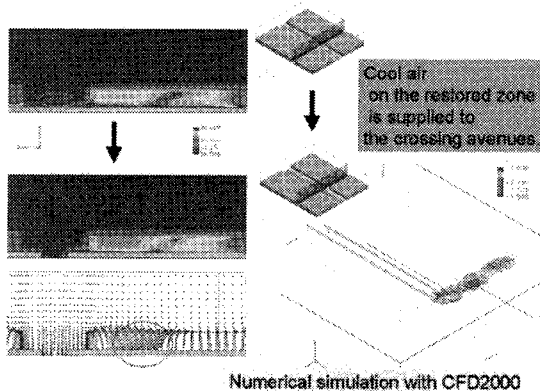


図-8 復元河道上を吹送する気塊が直交する南北道路へ進入する様子 (CFD2000 による数値シミュレーション)

以上の仮説を実証すべく、2006 年 8 月 6 日～13 日に超音波風向風速計による観測を行った (図-9)。観測期間中は連日晴天に恵まれ、復元河道上では午後から夕刻にかけて連日海風と思しき西風が卓越した (図-10)。

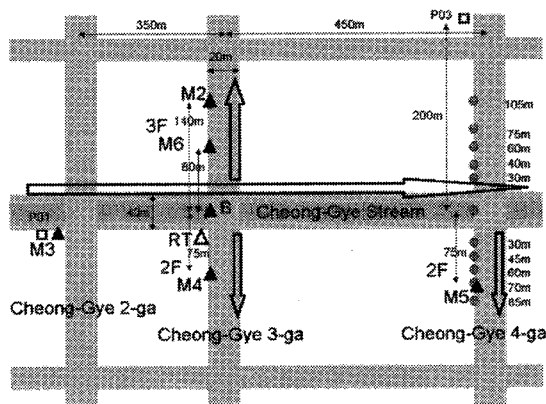
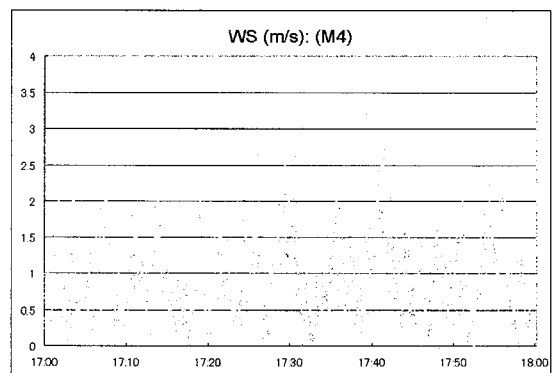
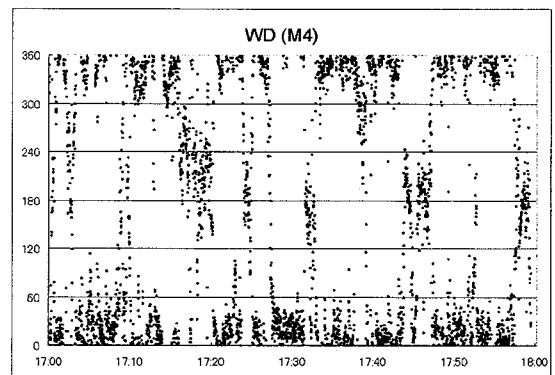
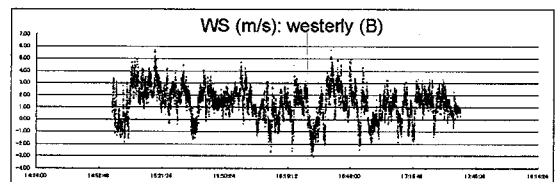


図-9 清溪川の冷気供給能力を評価するための観測 (2006 年 8 月 6 日～13 日)

▲: 超音波風向風速計 (地上 2～2.5m) + 温湿度センサーなど (地上) △: 同 (屋上: 8F) □・○: 温湿度センサー

8 月 13 日夕刻の事例では、河道上の B 地点 (橋の上) で西風が強まると同期して、北側の M6 地点 (建物は平均 3 階程度) と南側の M4 地点 (同 2 階程度) ではそれぞれ南風、北風が強まり、とりわけ M4 地点ではそれと同期して気温が 1℃程度低下している。このような現象は、

M2 地点 (ソウルシネマ前: 最も屋外人口密度が高い) では比較的不明瞭であり、清溪川路より 1 本北の東西道路 (鐘路;ジョンノ) からと思われる北風も時折観測された。同時期に実施されたシャボン玉による移動観測の結果と照らし合わせると、清溪川の影響は南北とも河道より 80 m 程度までは比較的明瞭であり、約 140m 離れたソウルシネマのあたりが反対から吹き込む風系との干渉地帯となっているものと考察される。現在これらのデータを用い、さらなる詳細な解析を進めている。



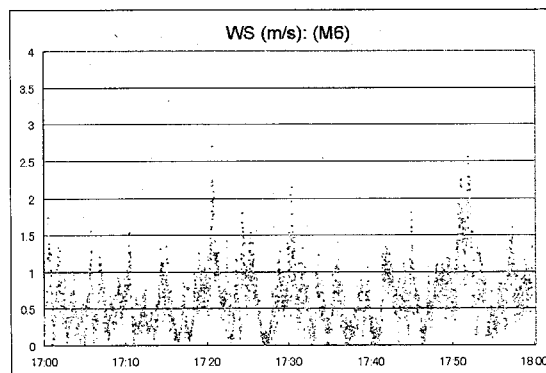
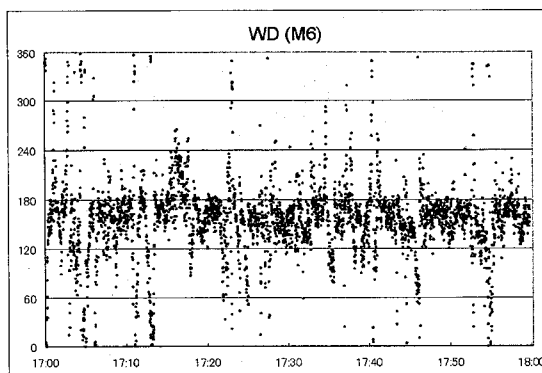
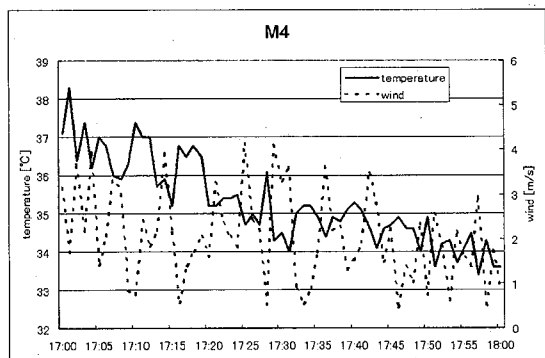


図-10 各観測地点における風向・風速・気温の変動
(2006年8月13日午後の事例)

7. 結論

都心の大規模河川空間復元がもたらす暑熱現象緩和効果の定量化を目的として、著者らは韓国・ソウル市における清溪川復元事業の前後にわたる暑熱環境の総合的なモニタリングを進めてきた。年々の変動が暑熱現象緩和効果の検証を困難にしているものの、現在までに復元区間周辺で観測された顕熱フラックスや気温（百葉箱

で観測）に復元の影響が検出されている。体感温熱指標や大気汚染については現在も検証中である。また、清溪川が周囲を冷却するメカニズムを探るため、超音波風向風速計などによる高密度の観測を行った結果、清溪川の冷却効果は河道から南北とも80m程度までは明瞭に見られることが示唆された。

河川自身の復元事業は2005年9月末に終了したが、今後は魅力的な商業用地として価値の高まった河道周辺地域の再開発が順調に進んでいくものと思われる。清溪川復元による大気環境改善効果が実証されることとなれば、都市開発の世界的なパラダイム転換につながることも予想され、このような大気・熱環境のモニタリングは今後も地道に継続していくことが必要である。

謝辞：本研究は、2003年度～2004年度は主として日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究A（一般）「建物・街区・都市・地域の各規模にまたがる熱環境解析とアジアの巨大都市への適用」（代表・花木啓祐）により、2005年度以降は同基盤研究B（海外）「都市内大規模河川（ソウル市清溪川）の復元による暑熱現象改善効果の実証」（代表・一ノ瀬俊明）により行われた。KIM, Yeon-Hee 博士ほか韓国気象研究所のメンバー、首都大学東京・三上岳彦教授、東北公益文科大学・白迎玖博士、ソウル特別市、株式会社環境パイオ、釜慶大学校、啓明大学校の皆様ほか、2003年以降本モニタリングプロジェクトを推進してきたすべての共同研究者の皆様に感謝いたします。また、清溪川周辺の多くの住民・企業の皆様から、ソウル市における研究活動への手厚いサポートをいただきましたことに感謝いたします。さらに、観測やデータ解析をお手伝いいただいた筑波大学大学院の安永紳也さん・金真朱（キム・ジンジュ）さん、株式会社タム地域環境研究所の岡田信行さん、千葉大学大学院の白木洋平さんをはじめとする研究室スタッフの皆様々に感謝いたします。

引用文献

- Ichinose, T. (2005): Mitigation of thermal stress by a large restoration of inner-city river (Cheong-Gye Stream in Seoul, South Korea), *IAUC Newsletter*, 9, 7-8
- 一ノ瀬俊明・白迎玖・嚴香姫・三上岳彦 (2004)：都市内大規模河川（ソウル市清溪川）の復元による暑熱現象改善効果の実証，地球環境シンポジウム講演論文集，12，349-354
- 菅和利・河原能久 (1993)：都市河川・運河が周辺市街地の熱環境に及ぼす効果，水工学論文集，37，195-200
- 武若聡・池田駿介・平山孝浩・萱場祐一・財津智亮 (1993)：都市内河川による大気冷却効果 - 都市内河川内外の夏の熱環境および気象観測 - 土木学会論文集，479 (II-25)，11-20

- 成田健一 (1992) : 都市内河川の微気象的影響範囲に及ぼす周辺建物配列の影響に関する風洞実験, 日本建築学会計画系論文報告集, 442, 27-35
- 成田健一・清田誠良 (2000) : 都市環境のクリマアトラス, ぎょうせい, 83-91
- 成田健一・三上岳彦・菅原広史・本條毅・木村圭司・桑田直也 (2004) : 新宿御苑におけるクールアイランドと冷気のにじみ出し現象, 地理学評論, 77, 403-420
- 村川三郎・関根毅・成田健一・西名大作・千田勝也 (1990) : 都市内河川が周辺の温熱環境に及ぼす効果に関する研究 (続報), 日本建築学会計画系論文報告集, 415, 9-19

MITIGATION ON ATMOSPHERIC ENVIRONMENT BY A LARGE RESTORATION OF INNER-CITY RIVER (CHEONG-GYE STREAM IN SEOUL)

Toshiaki ICHINOSE, Ippei HARADA, Kumi KATAOKA and Lyong-Tae LEE

The principal objective of this research is to clarify the mitigation effect of heat island and air pollution in Seoul city after the restoration of the Cheong-Gye Stream which has been one of the main double-decked roads. The authors have started a total monitoring on thermal environment around the restoration zone in June 2003 (before the restoration process). Though inter-annual climatological fluctuation made it difficult, the authors found some such effects in data of sensible heat flux and temperatures measured in shelters settled around the restoration zone. Based on observation with ultra-sonic anemometers, cool air mass on the restored zone is probable to reach around 80 m from the Cheong-Gye Stream for both of southward and northward. If the mitigation effect of thermal stress and air pollution by the restoration is verified, a global paradigm shift of urban development will be expected.