

京橋川の風の道としての影響評価

杉村 剛^{1*}・高取 千佳²・石川 幹子²・高橋 桂子¹

¹ (独) 海洋研究開発機構 地球シミュレータセンター (〒236-0001 神奈川県横浜市金沢区昭和町 3173-25)

² 東京大学工学系研究科都市工学専攻 (〒113-8654 東京都文京区本郷 7-3-1)

* E-mail: sugi@jamstec.go.jp

都市における河川の風の道としての影響を評価するため、京橋川を対象とした高解像度三次元非定常計算を実施した。京橋川は、1959年に埋め立てられ、現在は存在していないが、自然環境との共生を目的とし、京橋川を再生させるプロジェクトが現実的な施策として考えられている。この施策に基づき、京橋川の有無による影響を調べることで、京橋川が周辺の風環境へ及ぼす影響を評価した。この結果、東からの海風に対して、水平への涼風の移流効果はほとんど見られず、建物による熱境界層が急激に発達することにより風が遮られることが分かった。また、京橋川が存在することにより、河川上空の縦渦の位置が北側に移動し、鉛直対流による上空からの涼風の取り込み効果が促進されることも分かった。

Key Words : wind environment, wind path, fully compressible, non-hydrostatic, LES

1. はじめに

都市における夏季の熱環境の改善は、電力消費量の削減や地球温暖化問題を考えるうえで重要な問題である。都市の熱環境を改善する対策手法として、「風の道」を作ることにより都市の熱境界層の発達を局所的に抑え、比較的低温な海風を都市の内陸まで運ぶ方法が以前から提案されている。風の道は、市街地に比べ粗度が小さく、また人工排熱もない、周囲に比べて低温な緑地や河川のようなオープンスペースによって作られる¹⁾。このようなオープンスペースを風が吹き抜けることにより市街地の奥まで涼風を運ぶことが可能となる。

しかし、実際の温度低下のメカニズムはそれほど単純ではなく、「海風を水平に運ぶ移流効果」^{2,4)}、「低温な河川や緑地自体による冷却効果」^{5,6)}、「上空の涼風の取り込み効果」^{7,9)}が組み合わさって風の道を作り出している。また、実際の市街地では、オープンスペースの幅や風向との角度、海岸からの距離、周囲の建物配置、といった外的な要因によって効果が大きく変化する^{10,11)}。例えば、川幅 200m 以上の大河川の場合には、海岸から水平に涼風を運ぶ移流効果が卓越することで風の道を形成するが、川幅 50m 以下の中小規模河川の場合、水平移流効果よりも上空からの取り込み効果により、風の道を作り出すことが知られている。また、高層の建物の背後

は比較的低圧となるため、上空の涼風を取り込む効果を増大させるといわれている⁷⁾。このように、風の道の形成の仕組みは対象ごとに異なるため、それぞれの都市における土地利用特性を把握し、その効果を評価する必要がある。

本研究で対象とする京橋川は1959年に埋め立てられたが、近年、自然環境との共生を目的として、京橋川とその河岸を再生させるプロジェクトが現実的な都市施策として考案されている。この施策に基づき京橋川を再生させた場合の風況場について超高解像度の非定常数値計算を実施し、京橋川が風の道として生活空間へ及ぼす影響を評価する。

2. 計算条件および解析方法

(1) 対象日時・場所

東京都中央区にある京橋地区 (図 1 参照) を対象とし、2005 年 8 月 5 日の 15 時 00 分から一時間の計算を実施した。この日時における初期データは、東風が卓越している典型的な気象条件となっており、海から陸へと向かう海陸風が顕著に現れている。初期データ、および側面境界データには、気象業務支援センターから配布されているMSMデータを用いた。

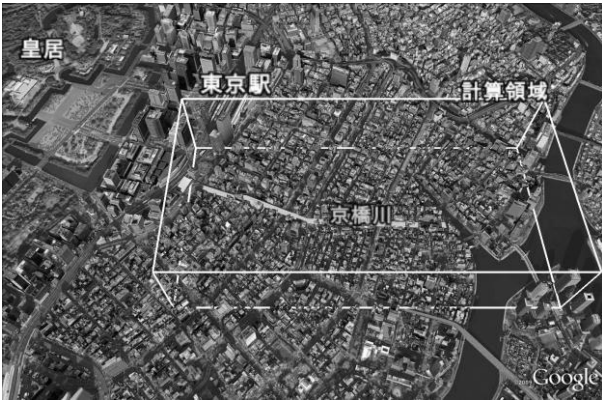


図-1 対象地域。図中の白線で囲まれた領域が計算領域。また、中央で東西に描かれている白色の部分が京橋川の位置である。

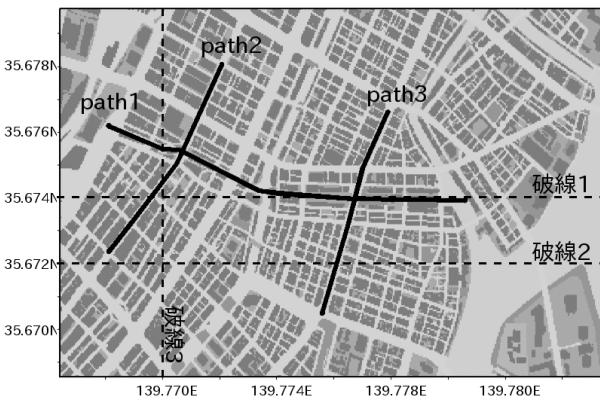


図-2 現況ケースにおける土地利用インデックスデータ

本計算では、河川の有無による影響を評価するため、建物高さ、土地利用インデックス、および排熱データに対して、それぞれ以下の2種類のデータを用いて計算を行い、計算結果を比較する。

1. 現況ケース

現在の状況を反映したデータを使用した計算であり、河川は埋め立てられた状態である。

建物、および排熱データは平成18年度のGISデータに、平成20年度の航空写真を基にした建物を加えた。また、平成23年度現在開発中の高層建物群に関しては、中央区都市計画審議会にパースや階高が提出されているものについては再現を行った。これは、河川を再生させるプロジェクトの完了時には開発が完了していると考えられ、さらに、河川の影響を抽出するためには、河川の有無に関係しない建物群は統一すべきと考えたためである。

2. 最終ケース

河川を再生した後の状況を反映したデータを使用

した計算である。河川の幅は、約25mである。また、河川の周囲15m~20mに緑地を設けた。さらに、河川の水温は20度に固定した。

計算には、(独)海洋研究開発機構において開発した完全圧縮・非静力学大気海洋シミュレーションコードMSSG (MultiScale Simulator for the Geoenvironment) の大気コンポーネントを用い、5m×5m×5mの解像度、424×250×82の格子数を使用して計算を行った。

(2) 解析方法

解析には、計算開始10分~1時間の50分間の平均値を用いた。計算開始から10分間は初期データの影響が強いため、解析には用いていない。本研究では、河川の影響を調べることを目的とするため、図2に示すように、河川に沿った軌跡(path1)と河川に直交し内陸側の道路に沿った軌跡(path2)、河川に直交し河口側の道路に沿った軌跡(path3)のそれぞれにおける鉛直断面について詳細に調べた。

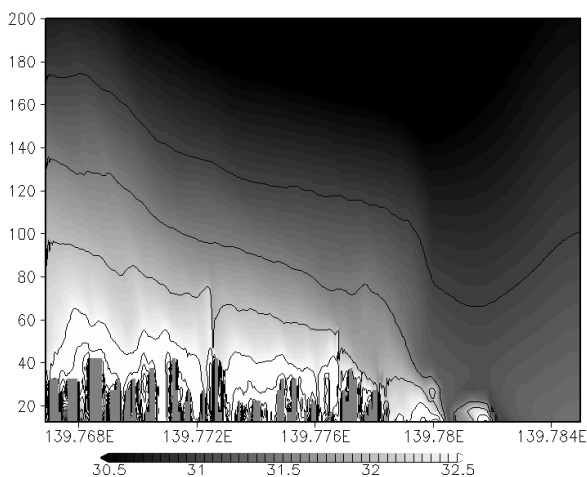
3. 解析結果

(1) 熱境界層

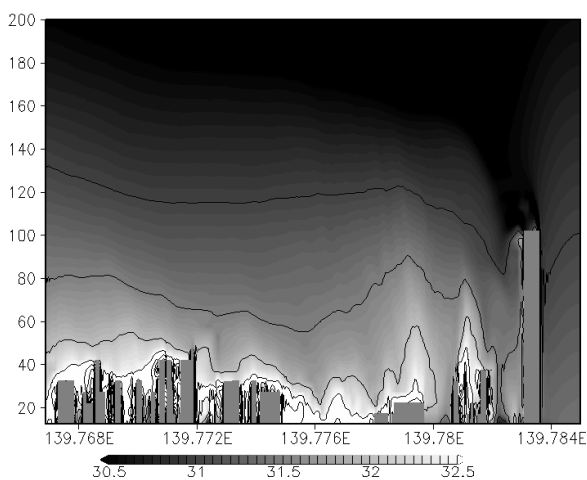
初めに対象とした地域における熱境界層の発達の特徴を調べた。図2の各破線に沿った鉛直断面図を図3に示す。破線1に沿った断面図である図3(a)を見ると、東側の海上では熱境界層は発達せず、ほぼ一定の温度(約30°C)の鉛直構造となっている。経度139.782度の辺りから西側では、下部で温められることにより境界層が発達し、計算領域の西の端において、32°C以上の領域が100mの高さまで発達していることがわかる。

図3(b)は破線2の断面図であり、東側に高層の建物が存在している。これにより、東側の流入口に近い部分で急激に境界層が発達している。また、西側では、境界層の厚さは薄く、32°C以上の領域が高度50m程度までしか発達していない。

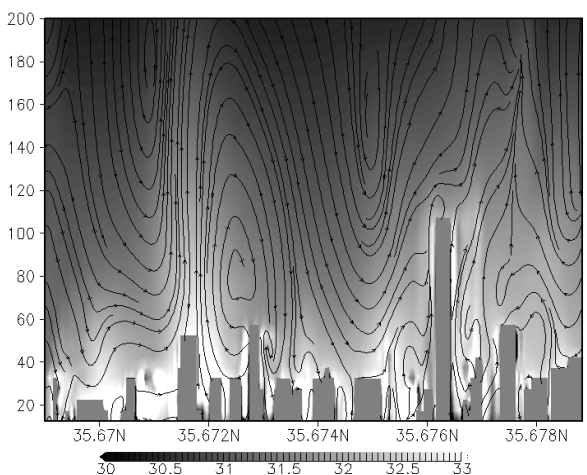
破線3に沿った断面図である図3(c)は、南北の鉛直断面であり、温度分布と流線を図示している。この図から、流入風に沿った方向にいくつか縦渦が存在していることがわかる。この縦渦に伴う上昇流が強い部分では上層まで高温の領域が広がり、下降流が強い部分では上層の比較的低温な大気が下層まで運ばれている。このため、地表近傍の温度分布が、高度50m~150mに回転の中心がある縦渦の位置や構造に強く依存していることがわかる。



(a) 緯度 35.672 度 (破線 1) における鉛直断面



(b) 緯度 35.674 度 (破線 2) における鉛直断面



(c) 経度 136.770 度 (破線 3) における鉛直断面

図-3 (a)破線 1, (b)破線 2, および(c)破線 3 における温度の鉛直断面。(c)には流線も表示している。

(2) 温度分布, および鉛直速度分布

図4, および図5にpath1~path3における温度分布, お

よび鉛直速度分布を示す。

path1における河川の有無による影響を調べると、東の領域と西の領域で異なった結果を示していることが分かる。温度分布 (図4(a)) を見ると、東側では、 $z=12.5\text{m}$ における建物近傍 (欠損値近傍) を除いて、河川の有無による差はほとんどない。建物近傍の差は、建物の有無による排熱が直接温度に与えている影響が見えていと考えられ、流体効果による影響ではない。これに対し、西側では、 $z=12.5\text{m}$ で 1°C 以上、 $z=52.5\text{m}$ でも 0.5°C 以上の差が表れている個所がある。鉛直速度の図5(a)からも、東側と西側で異なった傾向が見える。東側では河川の有無による鉛直速度の差は小さく、最大で 0.2m/s 程度であるが、西側では 1m/s 以上の速度差が表れている場所がある。

path2における温度分布の図4(b)から、河川がある場合には、河川上空 (図の灰色の領域) で、 $0.5^\circ\text{C}\sim 1.5^\circ\text{C}$ 温度が低くなっていることが見える。この影響は、河川から横方向へと約 20m (2×10^4 度) の広がりを持っている。

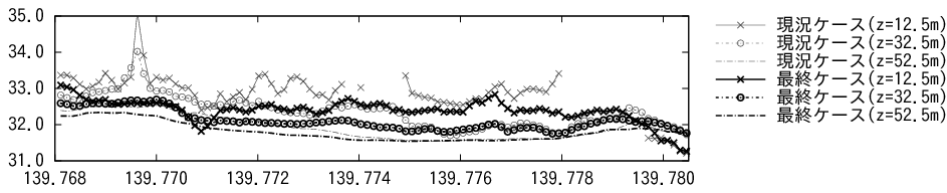
path2における鉛直速度 (図5(b)) は、河川がない場合には、河川上部において約 0.5m/s の上昇流が存在するが、河川がある場合には、上昇流は存在せず $0\text{m/s}\sim 0.2\text{m/s}$ の下降流となっている。

図4(c)はpath3における温度分布である。ここでは、地表近傍の $z=12.5\text{m}$ において、河川が存在する場合に約 0.5°C の温度低下がみられるが、上空の温度低下は確認できない。鉛直速度 (図5(c)) は、高度に関わらず河川の有無による変化はほとんど見られなかった。

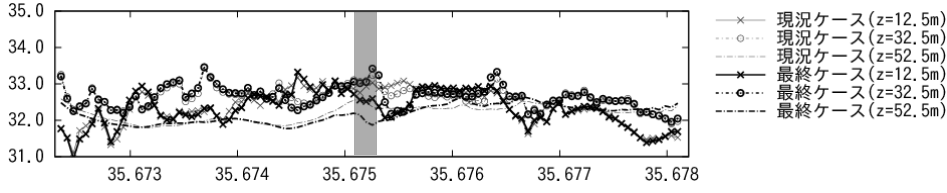
以上の結果をまとめると、温度と鉛直速度には河川の有無により以下の影響が表れるといえる。

- (a) 東側では、下層 ($z=12.5\text{m}$) における建物の影響は見えるが、温度、鉛直速度ともに河川の有無による影響はほとんど表れなかった。
- (b) 西側では、河川ができることで全体的に温度が下がり、 $z=12.5\text{m}$ で $0.2\sim 1.5^\circ\text{C}$ 、 $z=32.5\text{m}$ で $0.2\sim 1.0^\circ\text{C}$ 、 $z=52.5\text{m}$ で $0.1\sim 0.5^\circ\text{C}$ 程度温度が下がっている。
- (c) 西側における鉛直速度は、河川が存在することにより全体的に小さくなっており、現況で強い上昇流が存在した場所において、上昇流がなくなったり、下降流が発生したりしている。

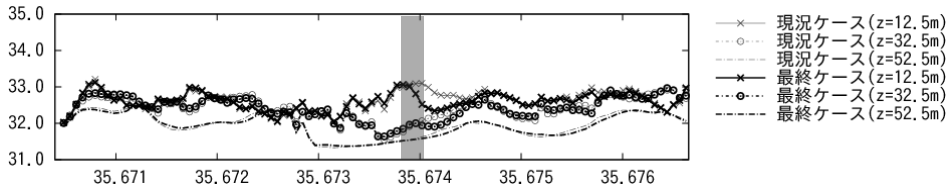
このような東側と西側の結果の大きな違いは、図3(b)に示した境界層の厚みが原因ではないかと考えられる。すなわち、東側では、高層建物の背後で境界層が急激に発達しているため、元来海側からの流入風が遮断され、風速自体が小さい。このため、河川によるオープンスペースが作られてもそこへ風が流れ込まず、鉛直対流が促進されていない。上空で温度が変化していないのはこのためだと考えられる。なお、地表面近傍の温度変化には



(a) path1

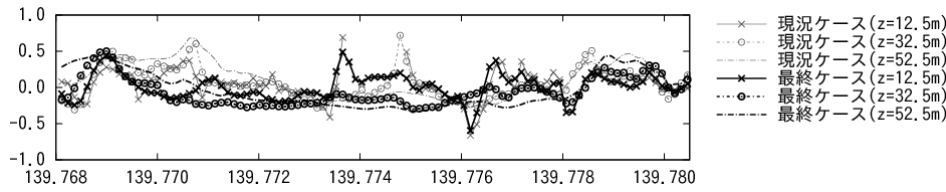


(b) path2

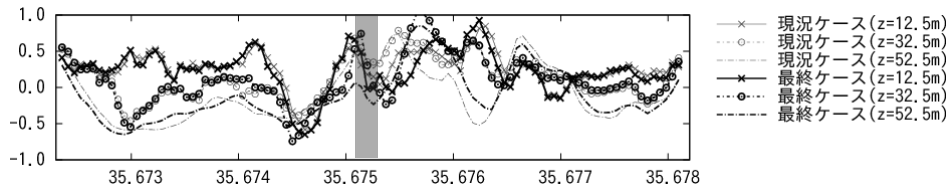


(c) path3

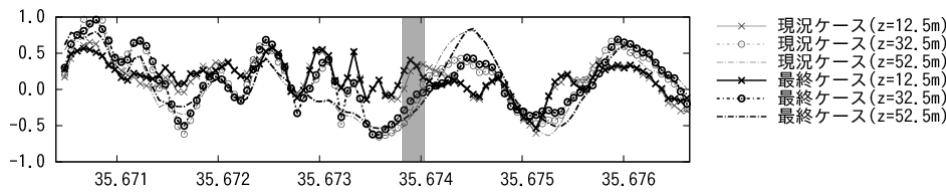
図-4 (a)path1, (b)path2, および(c)path3 における温度分布. 高度は 12.5m, 32.5m, 52.5m の3通りを示している. path2 と path3 は, それぞれ北緯 35.6752 度, および北緯 35.6740 度で河川と交わる(図中の灰色部分).



(a) path1



(b) path2



(c) path3

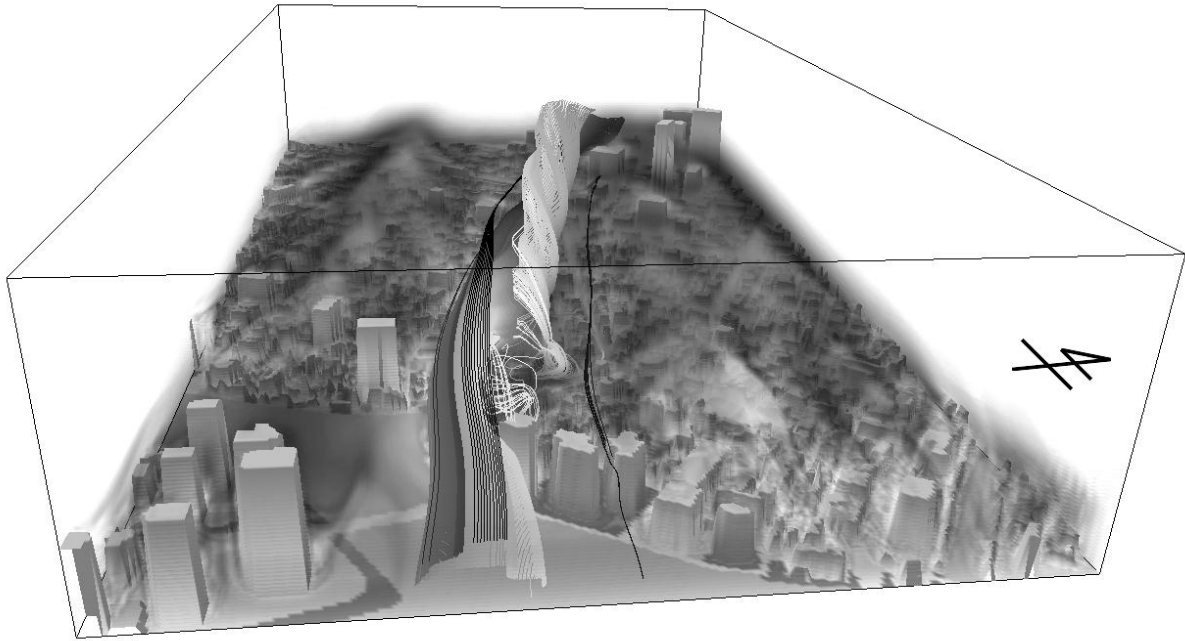
図-5 (a)path1, (b)path2, および(c)path3 における鉛直速度分布. 高度は 12.5m, 32.5m, 52.5m の3通りを示している. path2 と path3 は, それぞれ北緯 35.6752 度, および北緯 35.6740 度で河川と交わる(図中の灰色部分).

建物からの排熱が大きく寄与しているため, この鉛直対流による温度低下効果とは全く性質が異なっている.

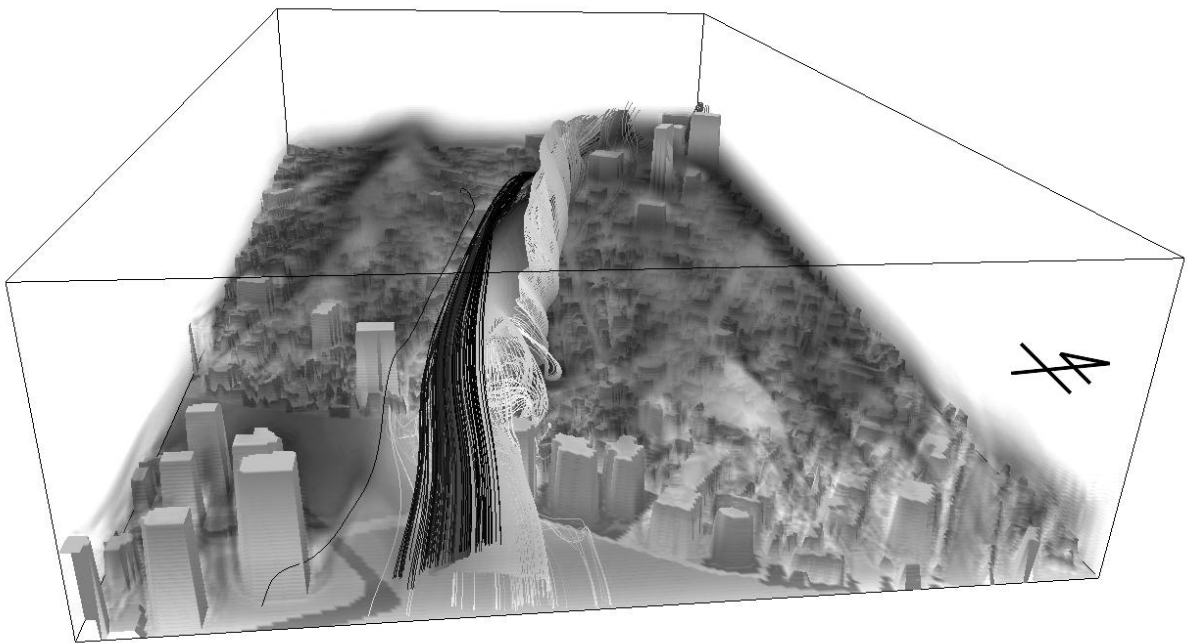
図3(b)を見ると, 西側では境界層が薄い. このため, 鉛直対流が促進されやすく, また, 上空の比較的冷たい

空気を下層に運びやすい構造となっていると考えられる.

図5(b)で鉛直対流の位置を比較すると, 河川ができることにより, 河川上の上昇・下降流の位置が北側に10mほど移動している. これは, 元々存在していた図3(c)に見



(a) 現況ケース



(b) 最終ケース

図-6 現況ケース，および最終ケースにおける3次元温度分布と流線図．温度は白が約33°C以上，黒が31°C，30°C以下が透明となっている．流線は，河川上空30mの高さを通過する流線を表示しており，東側（海側）から西側（陸側）にかけて白から黒にグラデーションをして色分けしている．最終ケースは，現況ケースに比べ手前側の流線の色が黒く，より西側の河川上空に風を運んでいることがわかる．

られるような縦渦構造が北側にずれたことにより，上昇・下降流の位置が移動したためではないかと考えられる．

(3) 縦渦の3次元的な構造

前節の考察により，建物の上空50m～150mの位置に存在する縦渦が，河川上の温度低下に大きな影響を与えている可能性が考えられる．ここではさらに，縦渦の3

次元的な構造を調べる。

図6は、現況ケース、および最終ケースにおける3次元温度分布と流線を示している。流線は、河川の上空30mの位置を通過する流線を追跡している。また、流線の色は、河川の東側（海側）の上空を通過する流線を白色、西側（陸側）の上空を通過する流線を黒色とし、グラデーションにより色分けしている。

流線の構造を見ると、どちらのケースにおいても、河川上空で左巻きの縦渦が存在することが分かる。この縦渦は、河川の東側に位置する高層建物を起源として発生しており、50m～100mの高さがある。この縦渦により、上空100mの空気と地表面近傍の空気を交換するプロセスが存在していると思われる。

現況ケースと最終ケースを比較すると、現況ケースに比べて最終ケースは、計算領域の東端を通過する流線の色が比較的黒いことが分かる。すなわち、現況ケースの場合、河川東端の上空の空気は西端までは運ばれていないのに対し、最終ケースでは、東端の上空の空気を河川の西端まで運ばれていることが分かる。また、縦渦の形状を比べると、西側において、縦渦の位置が異なっている。すなわち、現況ケースに比べて、最終ケースは、縦渦が北側に移動しており、西端での位置の差は50mほどである。これにより、上昇・下降流の位置だけではなく、縦渦の位置も北側に移動していることが確認できた。

以上の比較により、河川の有無が、より大きなスケールの現象である縦渦の位置に影響を与えていることが分かった。縦渦の位置が北側に移動することにより、河川上の下降流が強まり、上空の比較的低温な空気が下層に運ばれたと考えられる。

4. まとめ

京橋川が風の道として生活空間へ及ぼす影響を、高解像度の非定常計算を実施することにより評価した。その結果、以下のことが分かった。

- (a) 京橋川上の熱境界層は、海側（東側）において急激に発達する。また、陸側（西側）では、比較的境界層厚さが薄い。
- (b) 海側（東側）において、河川の有無による温度、および鉛直風速への影響はとても小さい。
- (c) 陸側（西側）では、河川があることにより、温度が地表面近傍で1.5°C、上空約50mで0.5°C程低くなる。また、上昇流が弱まり、下降流が強まる。
- (d) 河川があることにより、河川上空に存在する縦渦の位置が北側に約50m移動し、それに伴う上昇・下降流の位置も北側に移動する。

以上から、京橋川の陸側（西側）でのみ鉛直対流による「上空の涼風の取り込み効果」が確認できた。また、河口付近における熱境界層の発達により、「海風を水平に運ぶ移流効果」はほとんど存在しないことも分かった。

今回の解析では、夏場の特定の日時を指定したため、東風の流入条件のみを対象として解析を行った。このため、河川の東側の高層建物の影響を強く受け、東側における風の道効果はほとんど見えなかった。しかし、この結果は流入風の方角に強く依存しているため、初期条件、および境界条件を変えることにより、異なった結果が得られると考えられる。今後、他の条件に対しても解析を実施し、京橋川の有無による風環境への影響をより詳細に調べる予定である。

参考文献

- 1) 成田健一：風の道と都市気候形成, 日本風工学会, Vol.31, No.2, pp.109-114, 2006.
- 2) 久保田徹, 三浦昌生, 富永禎秀, 持田灯：実在する270m平方の住宅地における地域的な風通しに関する風洞実験, 日本建築学会計画系論文集, Vol.529, pp.109-106, 2000.
- 3) 義江龍一郎, 田中英之, 白澤多一, 小林剛：高層密集市街地における建物群の形態が歩行者レベルの風速・気温分布に与える影響, 日本建築学会環境系論文集, Vol.627, pp.661-667, 2008.
- 4) 竹林英樹, 森山正和, 三宅弘祥：気候資源としての風の利用を目的とした街路形態と街路空間の風通しの関係の分析, 日本建築学会環境系論文集, Vol.635, pp.77-82, 2009.
- 5) 成田健一, 菅原広史：都市内緑地の冷気のにじみ出し現象, 地学雑誌, Vol.120, No.2, pp.411-425, 2011.
- 6) 本條毅, 菅原広史, 三上岳彦, 成田健一, 桑田直也：新宿御苑のクールアイランド効果の実測, 環境情報科学論文集, Vol.14, pp.193-198, 2000.
- 7) 成田健一, 鍵屋浩司：臨海都市における中小河川の風の道効果, 日本建築学会環境系論文集, No.653, 637-644, 2010.
- 8) 持田灯, 石田泰之：風の道, 天気, Vol.56, pp.571-572, 2009.
- 9) 成田健一：建物高さ変化による密集街区の風通しの改善に関する風洞実験, 日本建築学会技術報告集, Vol.32, pp.211-214, 2010.
- 10) 成田健一, 上村明子, 三坂育正：都市気候に及ぼす河川水の熱的影響に関する実測研究, 日本建築学会計画系論文集, Vol.545, pp.71-78, 2001.
- 11) 村川三郎, 関根毅, 成田健一, 西名大作：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, 日本建築学会計画系論文報告集, Vol.393, pp.25-34, 1988.