

都市内河川の暑熱緩和効果に関する研究

—大阪東横堀川を対象として—

建築環境工学分野 川本真史

1. はじめに

現在、地球温暖化や都市部に見られるヒートアイランド現象などの気温上昇による暑熱環境の悪化は生活レベルで無視できないものとなっている。本研究は大阪市内を流れる東横堀川（幅約30m）の暑熱緩和効果の把握を目的として、温熱環境実測、ならびに街路通行者の温冷感調査、CFD解析を行った。論文の構成を図-1に示す。

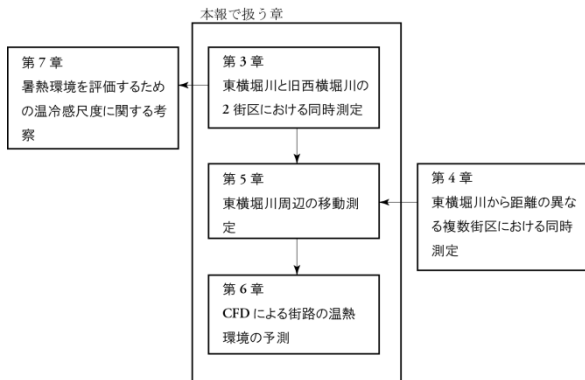


図1 修士論文の構成

2. 定点測定および主観申告による川の効果の分析

2.1 調査概要

測定対象街区（図2）は、付近に東横堀川のある街区（道修町1丁目）「東街区」、付近に堀川のない街区（京町堀1丁目）「西街区」、東横堀河岸公園内の川に面した「公園」である。実測位置は、東街区は東横堀川の一筋西の南側における街路の東側（以下東1）と西側（以下東2）、西街区は埋め立てられた旧西横堀川に面した西側の街路の東側（以下西1）と西側（以下西2）、東横堀河岸公園の東1の建物の裏側の計5点とし、温湿度、グローブ温度、風向・風速、日射量を測定した。東街区では川の水温および道路面（3分割）、建物壁面（各方位）の表面温度を非接触で測定した。天空率は東1が20.7%、西1が23.0%で、ほぼ同じになるように位置を設定した（公園は49.7%）。測定は2006年7月～2007年1月の計6日、9:00～17:00に実施した。また東・西街区で同時に、

表2 各測定日の気温平均値、最大値、最小値

測定街区	測定点	日付																	
		2006/7/26			2006/8/8			2006/8/30			2006/9/21			2006/10/17			2007/1/25		
		max.	min.	ave.	max.	min.	ave.	max.	min.	ave.	max.	min.	ave.	max.	min.	ave.	max.	min.	ave.
東街区	東側	36.0	29.6	33.2	34.9	29.4	32.5	31.5	26.5	29.5	30.7	23.1	27.6	27.0	19.6	24.3	12.4	6.6	9.8
	西側	34.9	29.2	32.9	33.7	29.4	32.3	31.1	26.4	29.3	29.3	23.0	27.2	26.4	19.3	24.4	10.7	6.7	9.4
西街区	東側	37.2	29.6	33.8	35.7	30.7	33.3	31.7	27.5	30.1	30.9	23.5	28.1	28.5	19.9	25.0	-	-	-
	西側	36.0	31.7	34.7	35.5	31.0	33.6	31.9	27.6	30.2	29.9	23.5	28.0	26.4	19.9	24.6	11.3	6.7	9.7
公園		35.1	29.7	33.3	38.9	30.0	32.5	31.2	26.4	29.4	30.5	23.5	27.6	26.3	19.8	24.4	11.3	6.5	9.5

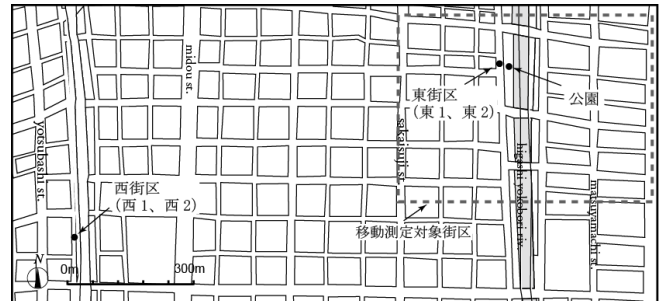


図2 調査対象街区

表1 温冷感申告カテゴリー

カテゴリー	3	2	1	0	-1	-2	-3
温冷感1 (ASHRAE尺度)	暑い	暖かい	少し暖かい	どちらでもない	少し涼しい	涼しい	寒い
温冷感2 (夏季・中間期)	非常に暑い	暑い	少し暑い	どちらでもない	少し涼しい	涼しい	非常に涼しい
温冷感2 (冬季)	非常に暖かい	暖かい	少し暖かい	どちらでもない	少し寒い	寒い	非常に寒い

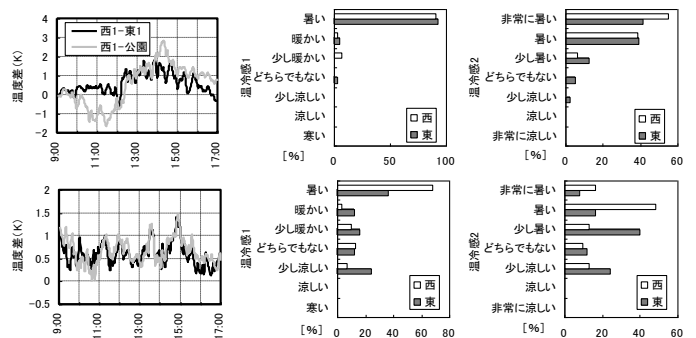


図3 気温差および温冷感申告
上段:7月26日、下:8月30日

通行者を対象に熱的主観申告調査を実施した。温冷感尺度にはASHRAE標準尺度（温冷感1）と、その季節の感覚に近いと思われるカテゴリーで表した独自の尺度（温冷感2）も用いた（表1）。

2.2 定点測定および主観申告結果

表2に各測定日の気温の平均値、最大値、最小値を示す。東・西街区で気温平均値の比較では、夏季・中間期において西1が東1より0.5K～0.8K高い。街路西側では西2は東2より0.2K～1.8K高い。なお、風速の平均値は8月8日を除いて、東1が西1より0.2m/s～0.3m/s大きかった。図3に7月26日、8月30日の気温差の経時変動（西1-東1、西1-公園）、および温冷感1、2の申告頻度を示す。7月26日の気温は測定中殆ど西1が東1より高い。主観申

告では温冷感 1 では殆ど差がないものの、温冷感 2 では西のほうが「非常に暑い」が高い。8月30日の気温は測定中常に、西1が東1、公園より高い。8月30日の主観申告では、西のほうが温冷感1で「暑い」が高く、温冷感2では統計的に有意に「暑い」が高い。なお快適感で統計的に有意差があった8月8日では、東のほうが「快適」の頻度が高かった。

以上より、温熱環境実測値と熱的主観申告調査のいずれから、堀川がある東街区のほうが、堀川のない街区より夏季の熱環境がよいと言える。

3. 堀川周辺の移動測定による分析

3.1 調査概要

定点観測とは別に、東横堀川の大手橋、平野橋、高麗橋を渡る3街路で東西約600mの範囲(図4)で徒歩による移動測定を行った。交差点で経路を分割し、大手橋を渡る東西方向街路(以下大手橋)は区画O1~O6、平野橋を渡る街路(以下平野橋)はH1~H6、高麗橋を渡る街路(以下高麗橋)はK1~K6とした(O4、H4、K4が堀川の上)。大手橋のO1~O3区画は橋の1つ南の街路とした。測定は2008年8月~9月の3日、12:00~15:30に実施した。温湿度、グローブ温度、日射量、風向風速の測定機器一式を載せた台車が各街路を東西方向に数回往復する。各日に1時間の測定を15分の休憩を挟み3回行う。風速計は指向性で進行方向に向けた。風向は図4の*印(oa~oc、ha~hc、ka~kc)にて、ほぐした絹糸で測定した。気温は大阪アメダスデータ10分値を60分間移動平均に換算して基準とし、各時間帯の中央の時刻(12:30、13:45、15:00)で時刻補正した。

3.2 街路の特性

大手橋のO1区画の北側に50階の超高層建物がある。平野橋は他の2街路に比べ突出して高い建物はなく、H4区画を除く全ての区画に街路樹があり、H1~H6区画の地盤の高低差が他の2街路に比べ大きい。高麗橋はK1区画に超高層建物(建設中54階)がありK1~K3区画で日影になることが多く、K5~K6区画に街路樹がある。

3.3 観測日の気象概要

図5に測定日の大阪のアメダスの気象要素を示す。8月12日は晴天日で、観測時間中、気温が32℃以上で、西風が強い。同27日は曇一時雨、観測時間中、気温は28℃~29℃、日射量は100W/m²~300W/m²、風向風速は3~4m/s、北東~東北東である。9月10日は晴れ時々曇、観測時間中、気温は30℃前後で推移するが、日射量、風向はばらつきが大きい。風速は2m/s未満と比較的小さい。

3.4 移動観測結果

図6に時間帯別の気温、風速の区画平均値を示す。本研究では時間帯別の区画平均値によって考察する。

(a) 8月12日



図4 移動測定対象街区

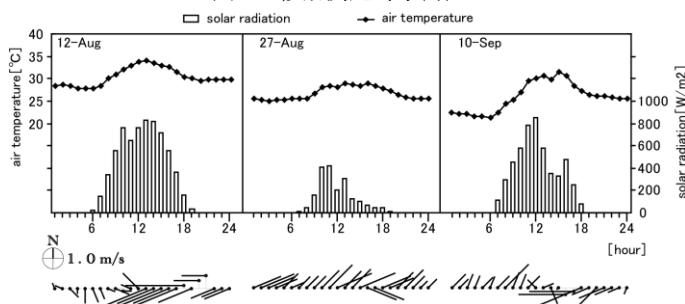


図5 大阪の気象概要

大手橋(図6左)の12:30は堀川を有するO4区画の気温が0.5K程度低い。また、堀川より東側の区画の気温が西側より低い。oa~oc点の風向は西であった。平野橋(図6中央)について、気温は全ての時間帯で堀川の西側より東側が低く、12:30、15:00はH5区画が最も低い。なお、堀川を有するH4区画はその1つ西側のH3区画より低い。風速はH2区画が比較的大きい。これはH2区画北側の高層建物の影響と考えられる。なお、H4区画の風速は比較的小さい。高麗橋(図6右)について、気温は全ての時間帯で東の区画ほど高い傾向があり、最大で1Kの差がある。ただし、K4区画、またはK5区画ではその傾向とは別に約0.3K気温が低い。風速は堀川の西側が東側より1~2m/s大きい。これはK1区画南側の超高層建物の影響と考えられる。ka点の風向は東であった。

以上より、8月12日は堀川の暑熱緩和効果が橋上、および橋の東側でみられる。図5のようにこの日の大阪のアメダスでは、西よりで5m/s程度の強い風が観測されており、西風により堀川の河川効果が東へ移動していると推測される。また、高麗橋のK1区画のように超高層建物のある街区では風速が大きく、気温が低い傾向がみられる。

(b) 8月27日

日射量は200W/m²で区画間での差はあまりなかった。大手橋(図6左)について、気温は全ての時間帯で東の区画ほど高い傾向がある。なかでも13:45、15:00では堀川を有するO4区画で0.1~0.2K気温が低い。風速はO1

区画が他区画と比べて極めて大きい。
 oa 点の風向は堀川に対して風上である東であった。平野橋 (図 6 中央) について、気温は全ての時間帯で堀川を有する H4 区画が低い傾向であり、H4 区画では他区画に比べて最大 0.35K 低い。風速は 0m/s に近く、区画間に大きな差はない。高麗橋 (図 6 右) について、気温は全ての時間帯で西側の 4 つの区画 (K1~K4) が東側の 2 区画に比べて低い傾向がある。風速は K1 区画が比較的大きいが、同日の大手橋や 8 月 12 日の高麗橋ほどには突出していない。そのため、K1 区画での気温低下が小さいと考えられる。

以上より、8 月 27 日は堀川付近の街区での気温低下は、顕著ではないが確認される。この日の大阪のアメダスでは北東よりの風が観測されており、8 月 12 日のように河川効果が東に移動する傾向は見られない。K1 区画では東向きの大きな風速が観測されるが、8 月 12 日ほど K1 区画の気温低下に影響しない。ただし、H1 区画の気温は堀川を有する K4 区画と同等程度に抑えられている。

(c)9 月 10 日

大手橋 (図 6 左) について、気温は 12:30、および 15:00 では O4 区画での気温低下が見られる。一方、13:45 は O1 区画の気温が他区画に比べて約 0.5K 高く、その他は区画のあいだで殆ど差がない。風速は O1 区画が他区画に比べて大きい。平野橋 (図 6 中央) について、気温は全ての時間帯で堀川付近の区画で気温低下がみられる。ただし、15:00 では H4 区画の 1 つ西側の H3 区画が最も気温が低い。風速は 12:30 の H5 区画が比較的大きい。高麗橋 (図 6 右) について、気温は全ての時間帯で近い傾向であり、堀川を有する K4 区画で 0.1~0.3K の気温低下が見られる。風速は全体的に小さく、K4 区画では特に小さい。

以上より、9 月 10 日は橋上で 0.1~0.5K 程度の河川効果が確認される。風速は堀川付近では他の区画に比べて低い傾向である。

(d)移動測定のまとめ

測定日、測定街路により大きさに大小があるが、全測定日で共通して、堀川を有する区画で気温が低い傾向がみられる。高層建築物がある区画では、風速が大きく、気温が低い傾向が見られる。大阪のアメダスで西風である日には、堀川の効果は堀川上より東に移動する傾向がみられる。

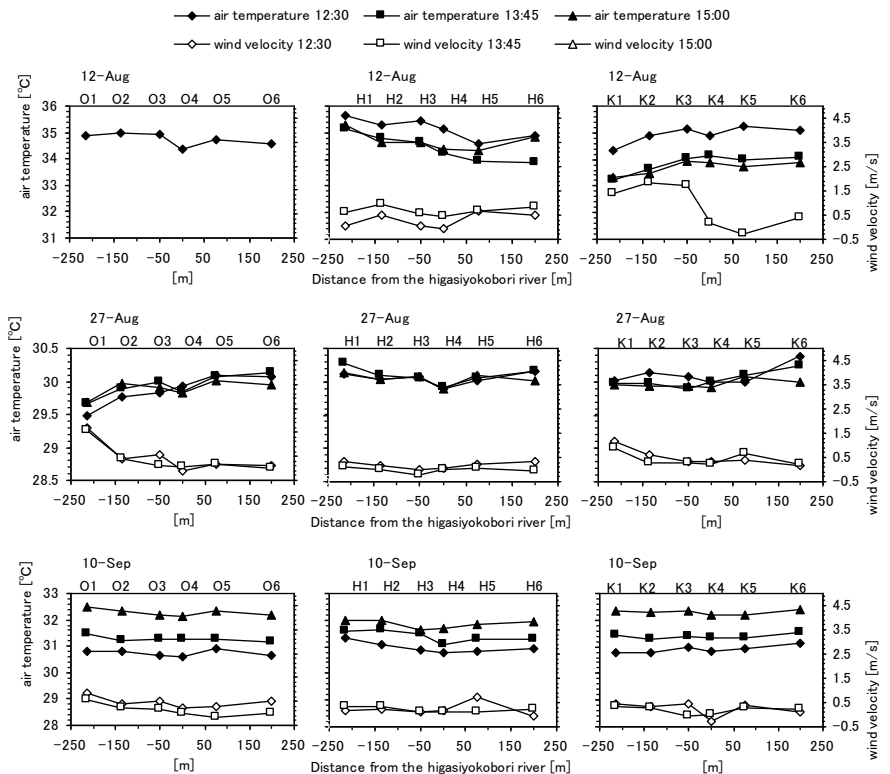


図 6 気温・風速の区画別平均値 (左:大手橋、中:平野橋、右:高麗橋)

4. CDFシミュレーションによる予測

4.1 シミュレーションの概要

本研究では 3 次元乱流モデル(標準 $k-\epsilon$ 方程式モデル)を用いた CFD 解析モデルを用いる。計算対象街区は 3.で述べた移動測定街区周辺とし、表面温度設定値は測定値を用いた定常の CFD 解析を行う。計算では実際の街区を直交座標表系にモデル化したものを用いた。計算対象日時は 2006 年 7 月 26 日の 14:00 とした。2008 年の移動測定では表面温度測定を行っていないため、8 月 12 日の温熱環境が比較的近いことから、7 月 26 日を対象とした。図 7 に比較のため、2006 年 7 月 26 日および 2008 年 8 月 12 日の大阪の気象概要を示す。このシミュレーションモデルを「基本モデル」とする。

4.2 境界条件

流入境界条件は計算対象街区が十分長く続くと仮定して前計算を行い算出した。前計算は計算対象街区周辺の一般的な街区を東西に 10 個つなげて実行し、風速の鉛直分布が変化しなくなった地点の分布を本計算の流入境界条件とした。また、前計算の流入境界条件として気温 $T(z)$ 、風速 $V(z)$ 、乱流エネルギー $\kappa(z)$ の

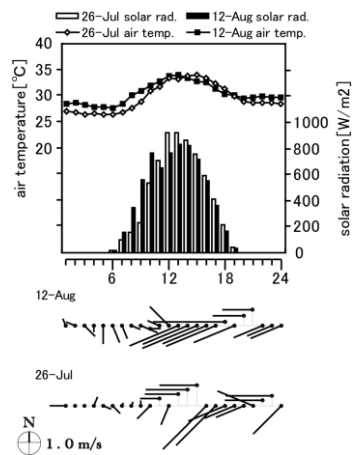


図 7 計算対象日の気象概要 (8 月 12 日)

鉛直分布はそれぞれ、気温減率、べき乗則、建築荷重指針によった。乱流消失率は前計算、本計算ともに流入境界で乱れの生成と消失がほぼ釣り合っていると仮定し計算した。壁面、地表面における応力境界条件には対数則を用い、解析領域上端及び側面の応力境界条件には free-slip 条件を適用した。壁面、地表面、高速道路高架、橋脚、水面の熱移動境界条件は、表面温度指定境界条件とする。表面熱伝達率を $23.3\text{W/m}^2\text{C}$ で一定とし、解析領域上端は測定値を補正して用いた。

4.3 基本モデルと定点測定値との比較

基本モデルの精度検証のため、計算対象日時（2006年7月26日）の東1、公園、地上85m点の気温および風速を比較する（図8）。気温は3点ともに計算値が測定値より高く、風速は測定値が計算値より高い。東1では計算値が約4K高く定量的には精度が低い、定性的には表現できている。

4.4 基本モデルと移動測定実測値との比較

基本モデルの計算値と、移動測定（2008年8月12日）の測定値の区画別平均値を比較する。

大手橋について（図9左）、測定値と計算値とで堀川を有するO4区画で気温低下が見られる。しかし、実測では東ほど気温が低いが、計算値は東ほど気温が高い。堀川を有するO4区画の隣接する区画との気温差、計算値は2.0K程度であるが、測定値は0.5K程度で計算値より差が小さい。計算値のO1区画、O2区画の気温が低いのは、O1区画の超高層建物による吹き降ろし風が、O2区画まで大きな影響を与えているためと思われる。平野橋について（図9中央）、実測値では気温は東ほど低いが、計算値は堀川を有するH4区画の気温が最も低く、河川効果が東に移動する傾向は見られない。河川効果の大きさは、実測値は約1Kであるが、計算値は2Kである。なお、計算値ではH2区画で気温低下が見られる。計算値においてH1区画がH2区画より風速が大きいかかわらず、気温ではH2区画のほうが低いのは、気流の影響に加えて地表面温度が影響しているためと思われる。高麗橋について（図9右）、計算値では堀川を有するK4区画で気温が低く、また、K1区画でも気温が低い。一方、実測値ではK4区画での気温低下はわずかに見られ、河川効果はK4区画のひとつ東側であるK5区画であられる場合があり、計算値の傾向とは異なる。また、実測値は東ほど気温が高い傾向であり、西側のK1区画、K2区画は気温が低い。これはK1、K2区画は風速が影響していると考えられるが、計算値では気流の影響はK1区画のみであり、K2区画には及んでいない。

以上のように実測値および計算値で堀川を有する区画での気温低下は確認できるが、計算値のほうが大きく現れた。また、実測に見られた河川効果が堀川に対して東で現れる現象は、基本モデルでは再現できなかった。実測

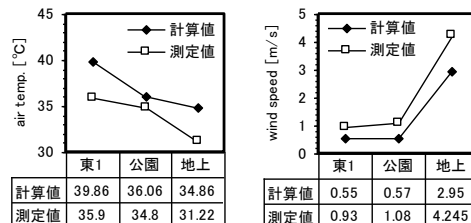


図8 測定値と計算値の比較

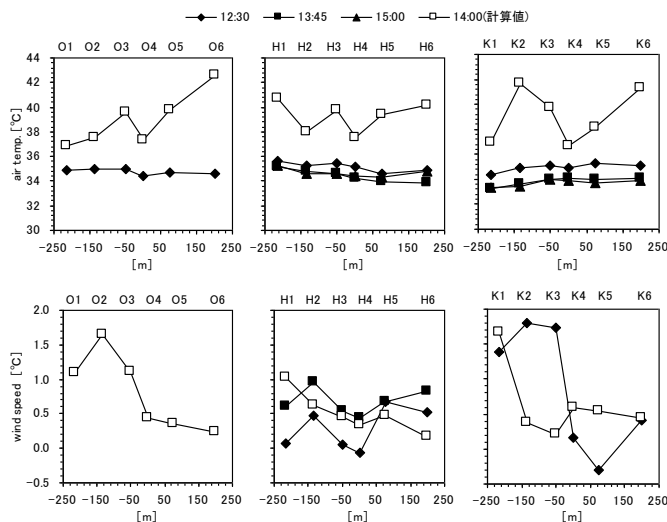


図9 移動測定と基本モデルの気温・風速

値および計算値で風速の大きな区画では気温が低くなる傾向があり、計算値では高層建物による吹き降ろし風など街区形状が熱環境に与える影響が顕著に見られた。

5. まとめ

東横堀川の暑熱緩和効果の把握を目的として、夏季日中における温熱環境実測、主観申告調査、CFD解析を行った。以下に、結果を示す。

- 1) 付近に堀川のある街路とない街路では、ある街区のほうが物理的および心理的に熱環境がよいことが定量的に確認できた。
- 2) 堀川を渡る3街路の実測により、測定日により、大きさには大小があるが、全測定日で共通して、堀川を有する区画で気温が低い傾向がみられる。
- 3) CFDシミュレーションは、定性的には実測値の傾向と一致した。堀川を有する区画での気温低下や街路に面する高層建物が熱環境に与える影響が再現できた。

以上より、大阪市を流れる東横堀川が周辺街区に対して暑熱緩和効果を持つことが示されたと考えられる。

参考文献

- 1) 片山忠久、石井昭夫ら、海岸都市における河川の暑熱緩和効果に関する調査研究、日本建築学会計画系論文報告集、第418号、pp.1-9、1990年
- 2) 真島一博、吉田治典ら、形態の異なる街路空間における夏季の温熱環境改善予測、日本建築学会近畿支部報告集、2006年

討 議 等

◆討議 [西岡真稔先生]

堀川の暑熱緩和の原因について

◆回答：堀川の存否以外の条件を可能な限り同一にすることで、堀川の存否を河川効果の原因とした。

◆討議 [西岡真稔先生]

CFD シミュレーションの位置づけについて

◆回答：本来の位置づけは、表面温度を用いた計算により測定値を再現し、そのモデルをもとに街区形状を変更して堀川の効果を確認することであったが、本報では定量的な再現ができていないため、堀川の効果を定量的に確認するまでに至っていない。

◆討議 [中尾正喜先生]

定点測定での海風の影響を考慮に入れた場合の考察について

◆回答：西風観測日、非観測日にかかわらず堀川付近の街区がより夏季の熱環境がよかった。夏季の海風が湾岸に近いほど、気温低下に影響を与えることを考慮すれば、西風観測日では本報での結果以上に堀川の河川効果があると考える。