定点観測に基づく名古屋市堀川を遡上する海風と風の道としての効果 に関する研究

SEA BREEZES BLEW UP ALONG THE HORIKAWA CANAL IN NAGOYA BASED ON THE FIELD OBSERVATIONS AT FIXED POINTS AND ITS APPLICATION TO WIND BLOW TRAIL DESIGN

橋本 剛*, 堀越 哲美**

Tsuyoshi HASHIMOTO and Tetsumi HORIKOSHI

The objective of this study is to clarify the effect of the sea breeze blowing over the Horikawa Canal on the urban climate in Nagoya. In summer of 2004, climatic conditions were observed at 10 fixed points along the canal. On July 23 and 26, the sea breeze was observed along the Horikawa Canal up to 9 km from the sea. Two kinds of blowing-up sea breeze were observed. On July 23, it takes about 4 or 5 hours that sea breeze blew up along the canal to the north area of the city. At that time, it takes about 1 hour that the sea breeze blew up to the north area of the city in the sky. On July 26, it takes about 2 hours that the sea breeze blew up along the canal to the center of the city. At that time, it takes about 3 hours that the sea breeze blew up to the north area of the city in the sky. Each breeze affects the different effect of the sea breeze on the heat island in Nagoya.

Keywords : Sea breeze, Canal, Heat island, Wind direction, Wind velocity, Air temperature

海風, 運河, ヒートアイランド, 風向, 風速, 気温

1. はじめに

近年、都市におけるヒートアイランドの緩和策として、海風が相対的に冷涼な海上の空気を市街地へともたらすことによる都市の暑熱環境を緩和する効果や、都市内に形成された連続的なオープン空間である河川の「風の道」としての働きが着目されており、社会的関心も高まってきている。そして、都市内河川を対象とした気候観測調査がこれまでに東京¹⁾、名古屋^{2) 3) 4) 5)}、福岡⁶⁾、広島^{7) 8) 9)}^{10) 11) 12)}などの諸都市で行われ、河川の熱的効果や「風の道」としての働きについて検証されてきている。一般に、気候観測調査では同時多点観測を行うのが理想的であると考えられるが、海風遡上のような広域的な気候環境の把握を目的とする実測調査では、測定機器や測定者の数と観測点数との関係により自動車や徒歩等による移動観測を行っている場合が多い。一方、堤ら¹³⁾や清田ら¹⁴⁾による報告等が示すように、気象台や AMeDAS 等、公共的な観測所による観測データの活用は、都市上空における海風遡上の実態把握を行う上で有効であると考えられる。

本研究では、先行研究によって海風遡上の影響が認められている河川の中から名古屋市中心部を流れる運河である堀川に着目した。前述のような現状を踏まえ、生活域である地上付近において運河を遡上する海風の実態をより詳細に把握することを目的として、夏季に連続的な同時多点観測を行った。また、堀川に近接して設けられ

た公共的な観測所（名古屋市の大気汚染常時監視測定局）のデータから、堀川流域の上空における海風遡上の実態を調査した。そして、地上付近の海風遡上と上空における海風遡上との関係が都市気候形成に及ぼす影響、すなわち、海風による相対的に冷涼な海上の空気の都心部への移流が都市の気温分布形成に及ぼす影響について検討した。

2. 研究の概要

本研究では、研究対象として名古屋市堀川を選定した。堀川を遡上する海風のより詳細な実態把握のために堀川沿いでの定点観測を行うとともに、堀川流域の上空における海風遡上も併せて捉えるために名古屋市の管理する大気汚染常時監視測定局のデータを用いて解析を行った。

2.1 堀川沿いにおける定点観測の概要

堀川沿いにおける定点観測の観測日時及び観測日の天候を表1に示す。観測は2004年の7月に4日間行った。観測対象地域及び観測点を図1に示す。観測対象河川は名古屋市中心部を流域の一部とする堀川とした。堀川沿いに10か所の定点を設け、9時から19時まで15分間隔で観測を行った。観測点は、基本的には橋上の河川中央下流側とした。ただし、観測点1及び3については、突堤状の河川に張り出した空間に観測点を設けた。全観測点において、ア

* 筑波大学大学院人間総合科学研究科 講師・博士(工学)

** 名古屋工業大学大学院工学研究科 教授・工博

Assis. Prof., Graduate School of Comprehensive Human Sciences, Univ. of Tsukuba, Dr. Eng.
Prof., Graduate School of Engineering, Nagoya Institute of Technology, Dr. Eng.

スマン通風乾湿計を三脚にて地上高さ約 90cm に固定して気温及び湿度を、ピラム式風向風速計を三脚にて地上高さ約 120cm に固定して風向及び風速を観測した。風向及び風速については、3 分間の主風向及び平均風速を観測した。観測点 1 及び 3 において、日射計を用いて全日日射量を観測した。観測点 1、3、4、6、7、9 及び 10 において、放射温度計を用いて水表面温度及び地表面温度を観測した。ただし、7 月 23 日の観測では、観測点 8 及び 9 の 2 点を 1 組の観測者が 30 分ごとに移動して観測を行った。すなわち、毎時 0 分と 45 分には観測点 8 で、毎時 15 分と 30 分には観測点 9 で観測を行った。また、7 月 23 日の観測では観測点 9 における水表面温度及び地表面温度の観測を行っていない。

7 月 23 日及び 26 日には太平洋高気圧が東海地方を広く覆っていた。7 月 28 日には名古屋市付近は太平洋高気圧に覆われていたが、台風 10 号が八丈島の南東海上をゆっくりとした速さで西進していた。7 月 30 日には台風 10 号が東海地域の南海上においてゆっくりとした速さで西進し、台風の北端が名古屋市付近を掠めた。

2.2 公共的な観測所における観測データの解析

図 1 に示した観測点 A 及び B が解析対象の観測所である。これらは名古屋市の管理する大気汚染常時監視測定局であり、風向及び風速を 1 時間毎に観測している。風向及び風速の観測は、観測点 A では 2002 年 3 月から、観測点 B では 2003 年 3 月から行っている。海風が最も発達すると考えられる夏季として各年の梅雨明けから 8 月 31 日までを調査対象期間とし、2003 年から 2006 年の 4 年間の観測結果について解析を行った。本研究では以下の (1) ～ (4) の条件を全て満たす風向及び風速の変化が観測された日を標準的な海風発達日として仮定し、観測点 A 及び B における海風吹走開始時

表 1 観測日時及び観測日の天候

観測日	観測時間	天候
2004 年 7 月 23 日	9:00 ～ 19:00	晴れ
2004 年 7 月 26 日	9:00 ～ 19:00	曇り
2004 年 7 月 28 日	9:00 ～ 19:00	晴れのち曇り
2004 年 7 月 30 日	9:00 ～ 19:00	曇り一時雨

図 1 観測対象地域及び観測点

図 2 全観測日における風向・風速の観測結果

刻を求めた。

[本研究で仮定した標準的な海風発達日の風向・風速条件]

- (1) 風向が南より（南西、南南西、南、南南東、南東）かつ風速 1 m/s 以上の風を海風の可能性がある海よりの風とする。
- (2) 条件（1）の風が9時～18時に観測点A及びBでともに観測され始め、その後3時間以上連続して観測される。
- (3) 条件（1）の風が観測され始めるのは海に近い観測点Aの方が早い、または観測点AとBで同じ観測時刻である。
- (4) 台風、低気圧等、明らかに海風循環の形成以外の気象的要因が影響している場合は除外する。

3. 堀川沿いにおける定点観測の結果

全観測日における全観測点での風向風速の観測結果を図2に示す。7月23日及び26日には、南よりの風の発達が日中から夕方にかけて観測された。7月28日及び30日には夕方16時頃以降に南から南東よりの風が観測された。全観測日における観測点1での気温の観測結果を図3に示す。7月23日及び26日には、日中における気温上昇が抑えられている。この両日は、日中に強い南風の発達が観測された。一例として、7月23日の各観測点における気温及び日射量の観測結果を図4及び図5に示す。12時頃から17時頃の気温変動をみると、観測点1、2、3では12時以降に気温が低下しており、15時以降に再び上昇した。観測点4、5、6では12時以降の気温上昇が抑えられており、観測点5では気温変動がみられるものの、12時頃から17時頃まではほぼ一定の気温で推移した。このような昼間の気温上昇が抑えられ南よりの風が発達する現象は、7月26日も同様であった。また、観測点5及び7は他の観測点に比べ相対的に気温が高くなることが多かった。

7月23日の各観測点における水表面温度の観測結果を図6に示す。水表面温度は観測時間を通して24～32℃の間で推移した。観測点1の全観測時間及び観測点7の14時以降を除き、各観測点での水表面温度は変動が大きかった。

4. 堀川沿いにおける定点観測結果の考察

7月23日及び26日の日中には、河口から上流にわたり強い南よりの風の発達が認められる（図2）。これは海風の発達を示すものであると考えられる。そして、海風が発達した両日には日中における気温上昇が抑えられており、観測点1、2、3では12時以降に気温低下の始まることが認められる（図3・図4・図5）。これは、海風による都市の暑熱環境を緩和する効果が気温変動に顕著に現れているものと考えられる。そして、その効果は河口に近い観測点においてより強く現れることが示された。

次に、地上付近における海風遡上の様子をより視覚的に把握することを試みる。日中における典型的な海風の発達が認められた7月23日及び26日について、風向が南より（南西、南南西、南、南南東、南東）の観測結果から、風速2 m/s以上及び風速1 m/s以上2 m/s未満のものを抽出し、それぞれ「●」と「○」の記号で示した結果を表2に示す。表2から、7月23日には9時30分頃に海風が堀川を遡上し始め、14時頃に最も上流の観測点10にまで海風が遡上したものと推察される。一方、7月26日には10時頃から海風が堀川を遡上し始め、11時45分頃に観測点8まで海風が遡上し、そ

図3 全観測日における観測点1での気温の観測結果

図4 7月23日の気温の観測結果（観測点1～5）

図5 7月23日の気温の観測結果（観測点6～10）

図6 7月23日の水表面温度の観測結果

の後 14 時 45 分頃に観測点 9 まで海風が遡上したものと推察される。このように、両日の運河沿いにおける海風遡上の様子には、遡上距離や遡上に要する時間に明確な違いが認められる。この両日の観測点 A 及び B における上空風の風向及び風速の観測結果を図 7 及び図 8 に示す。7 月 23 日（図 7）には、河口付近（観測点 A）、名古屋市北部（観測点 B）ともに 10 時より海風が観測された。一方、7 月 26 日（図 8）には、河口付近（観測点 A）で 9 時に海風が観測され始め、その 3 時間後の 12 時に名古屋市北部（観測点 B）でも海風が観測され始めた。すなわち、今回の観測では、1）市街地上空では河口付近（観測点 A）で海風が観測された後 1 時間以内に名古屋市北部（観測点 B）でも海風が観測され、地上付近では河口付近（観測点 1）で海風が観測された後約 4～5 時間かけて名古屋市北部（観測点 10）まで海風が遡上する場合〔ケース 1：7 月 23 日〕と、2）市街地上空では河口付近（観測点 A）で海風が観測された約 3 時間後に名古屋市北部（観測点 B）でも海風が観測され、地上付近では河口付近（観測点 1）で海風が観測された後約 2 時間程度で名古屋市都心部（観測点 8）まで遡上する場合〔ケース 2：7 月 26 日〕、という 2 つの海風遡上パターンが認められた。この 2 つのパターンは、向井ら³⁾ による中川運河での観測でもみられている。また、海風がすでに到達したと考えられる時間帯でも海風が明確に観測されていない場合も認められる。これは、堀川の川幅が中流から上流にかけての市街地中心部では約 17～20m と比較的狭く、建物の建て込み具合も変化するためであると考えられる。観測点 5 及び 7 ではそれより上流の観測点よりも風速が弱くなることが多い。両観測点での気温が高い（図 4・図 5）ことと併せて考えると、これは、観測点 7 が名古屋市都心部（伏見）に、観測点 5 が名古屋市副都心部（金山）に位置するため、周辺の都市としての集積度の高さによる環境への影響が気温上昇や風速低下として現れているものと考えられる。集積度の低減や蒸散効果を考慮し、オープン空間を設ける、沿道の緑化をする等、河川周辺を「風の道」として整備することにより、名古屋市都心部へ海風を導くことができる可能性の高いことが示唆された。

7 月 23 日及び 26 日における、観測点 1 からの距離と気温の関係を図 9 及び図 10 にそれぞれ示す。7 月 23 日（ケース 1：図 9）では、海風が上流まで遡上した直後と考えられる 14 時やその 2 時間後の 16 時には海風による暑熱環境を緩和する効果が現れ、海からの距離が遠くなるほど気温が上昇する傾向が認められる。これに

表 2 風向及び風速の観測結果の場合分け（7 月 23 日・26 日）

2004 年 7 月 23 日											2004 年 7 月 26 日										
観測時刻	観測点										観測時刻	観測点									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
9:00	○			○			○		-		9:00	●									
9:15	○		○					-			9:15	○									
9:30	●			●				-			9:30	○								○	
9:45	●	○					○	-	-		9:45	○									
10:00		○	○						-		10:00	○									
10:15		●		○				-			10:15	○	○								
10:30	●	○	○			○		-			10:30		●		○		○				
10:45	●	●				○		○	-		10:45	●	○				○			○	
11:00		●	○	○				○	-		11:00	●	●	○	○		○				
11:15	●	●	○	●		○		-			11:15	●	●	○	●						
11:30	●	●	○	○		○		-			11:30	●	●	○	○	○	○			○	
11:45	●	●		○	○	●		-			11:45	○	●		○		●		○		
12:00	●	●	○						-		12:00	●	●	○	○	○	○	○	●		
12:15	●	●	○	●		○	○	-			12:15	●	●	○	○		○		●	○	
12:30	●	●	○	●	○	○		-			12:30	●	●	○	○	○	○		○	○	
12:45	●	●	○	○	○		○	○	-		12:45	●	●	○	●	○			○		
13:00	●	●	○	●	○			●	-		13:00	○	●	○	○			○	○		
13:15	●	●		●	○	○		-			13:15	●	●	○	●	○	○		●		
13:30	●	●	○	●		●	○	-			13:30	●	●	○	●	○					
13:45	●	●	○	○	○	○	○	●	-		13:45	●	●	○	○	○	●	○	○		
14:00	●	●	○	●		●		●	-	○	14:00	●	●	○	●	○	○		○		
14:15	●	●	●	●		●	○	-	○		14:15	●	●	○	○	○		○	○		
14:30	●	●	●	○	○	●	○	-	○	○	14:30	●	●	○	●		○		○		
14:45	●	●	●	●		○	○	-			14:45	●	●	○	●		○		●	○	
15:00	●	●	○	●	○	○		●	-		15:00	●	●		●		●		○		
15:15	●	●	○	●		○		-			15:15	●	●		○	○	●		●	○	
15:30	●	●	○	○		●	○	-	○	○	15:30	○	●	○	●	○	○		○	○	
15:45	●	●	○	●	○	●	●	-	○		15:45	●	●	○	○	○	○	○	○	○	
16:00	●	●	○	○	○	○	○	○	-		16:00	●	●	○	○		○		●		
16:15	●	●	○		○	○	○	-	○	○	16:15	●	●	○	○	○	●	○	○		
16:30	●	●	○	○	○	●		-	○		16:30	●	●	○	●	○	●	○	●	○	
16:45	●	●	○	●		●	○	●	-		16:45	●	●	●	●	●	●	○	○	●	
17:00	●	●	○	○		○		●	-		17:00	●	●	○	○	○	●	○	○		
17:15	●	●		○	○	○		-			17:15	●	●	●	●	○	●	○	●	○	
17:30	●	●	○	●	○	○		-	○		17:30	●	●	○	●	○	●	○	●	○	
17:45	○	●	○	●		●	○	○	-		17:45	●	●	○	●	○	●	○	○	○	
18:00	●	●	○	○	○	○	○	○	-		18:00	●	●	○	●	○	○	○	○	○	
18:15	●	●	○	●	○	○	○	-			18:15	●	●	○	●	○	●	○	●	○	
18:30	●	●	○	○	○	●	●	-	○		18:30	●	●	○	○	○	●	○	●	○	
18:45	○	○	●	○	○	○	○	●	-		18:45	●	●	○	●	○	○	○	○		
19:00	●	●	○	●	○	○	○	●	-		19:00	●	●	●	●	○	●		○	○	

●：風向が南よりで風速 2 m/s 以上 ○：風向が南よりで風速 1 m/s 以上 2 m/s 未満 -：欠測

対し 7 月 26 日（ケース 2：図 10）の気温分布をみると、海風が遡上途中であると考えられる 11 時や海風が都心部まで到達した直後と考えられる 12 時には、観測点 8 までは海風による暑熱環境を緩和する効果が現れ気温がほぼ一定となっており、海風が十分に到達していない観測点 9 が高温となっている。そして、海風が都心部まで到達した後に約 2 時間経過したと考えられる 15 時には、観測点 9 での気温低下が伺える。海風が最も発達したと考えられる時間帯（7 月 23 日の 14 時～16 時、7 月 26 日の 12 時～14 時）と日中に海風が吹走しなかった時間帯（7 月 28・30 日の 13 時～15 時）における、観測点 1 を基準とした気温差の平均値の分布を図 11 に示す。観測対象地域内の気温差は、7 月 23 日（ケース 1）では平均

図7 上空風の観測結果（7月23日）

図8 上空風の観測結果（7月26日）

図9 観測点1からの距離と気温の関係（7月23日）

図10 観測点1からの距離と気温の関係（7月26日）

図11 観測点1からの距離と、観測点1を基準とした時の気温差の平均値との関係

図12 上空における海風吹走開始時刻

で最大約4℃程度であるのに対し、7月26日（ケース2）では平均で最大約2℃程度である。海風遡上パターンの違いにより河川沿いに形成される気温分布への影響が異なると考えられる。一方、海風が吹走しなかった時には平均で最大約1.5℃程度の気温差が認められる。これはヒートアイランドの出現を示すものであると考えられる。

また、水表面温度は一部を除いて変動が激しかった（図6）。これは、堀川は河口から13.6km上流付近までが潮位の影響を受ける感潮区域¹⁵⁾となっていることに加え、堀川沿いに点在する下水処理場から放流される処理水や、最上流部における庄内川からの導水の影響もあると推察される。

5. 上空における海風遡上パターン

2.2で示した条件に基づき、2003年から2006年の夏季（本研究では、梅雨明けから8月31日までを対象期間とした）における本研究で仮定した標準的な海風発達日を抽出した。標準的な海風発達日として、4年で計57日が抽出された。河口付近の上空（観測点A）と名古屋市北部の上空（観測点B）における海風吹走開始時刻の関係を図12に示す。河口付近の上空（観測点A）に対する名古屋市北部の上空（観測点B）での海風吹走開始時刻の時間遅れの出現頻度を図13に示す。これらの結果から、名古屋市堀川流域の上空における海風遡上のパターンとしては、10時から13時に河口付近で海風が観測され始め、その後約2時間以内に名古屋市北部でも海風が観測され始める場合〔ケースA：短時間遡上型〕が多いことが明らかになった。しかし、出現頻度は比較的小さいものの、河口付近で海風が観測され始めてから3時間以上後に名古屋市北部でも海風が観測され始める場合〔ケースB：長時間遡上型〕もみられる。堀川沿いの定点観測において日中の海風発達が認められた7月23日及び26日の海風遡上パターンについて考えると、23日がケースAの短時間遡上型、26日がケースBの長時間遡上型に該当する観測事例といえる。

6. 結論

生活域である地上付近において運河を遡上する海風のより詳細な実態把握を目的として、2004年の夏季に名古屋市の堀川流域を対象とした気温、風向、風速等の定点観測を行った。また、堀川流域における上空の海風遡上と地上付近の海風遡上との関係が都市気候形成に及ぼす影響を明らかにするため、名古屋市の大気汚染常時監視測定局における観測データの解析を行った。その結果、堀川沿いにおける10か所での定点観測と上空風の風向及び風速の経時変動から、今回の観測では、1) 上空では河口付近で海風が観測され始めてから比較的短時間（1時間以内）の内に名古屋市北部でも海風が観測され始め、地上付近では海風が比較的長時間（4～5時間）をかけて遡上し、地上付近では堀川上流まで海風が到達する、2) 上空では河口付近で海風が観測され始めてから比較的長時間（約3時間）が経った後に名古屋市北部でも海風が観測され始め、地上付近では海風が比較的短時間（約2時間）で遡上し、地上付近での海風遡上距離が比較的短い、という2つの海風遡上パターンが認められた。そして、それぞれのパターンによって運河沿いに形成される気温分布が異なることを明らかにした。また、堀川流域上空におけ

図13 上空における海風吹走開始時刻の時間遅れ

る海風遡上のパターンとしては、10時から13時に河口付近で海風が観測され始め、その後約2時間以内に名古屋市北部でも海風が観測され始める場合が比較的多くみられることを示した。一方、都市の集積度が高い場所では相対的に気温が高く、風速が低下する傾向もみられた。そのような地域の建築・都市デザインを「風の道」に配慮したものへと改善することにより、名古屋市都心部における海風の「風の道」が確保できるものと期待できる。

参考文献

- 1) 成田健一, 植村明子, 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 隅田川における熱収支と周辺環境の検討, 日本建築学会計画系論文集, 第545号, pp.71-78, 2001.7
- 2) 橋本剛, 船橋恭子, 堀越哲美: 海風の運河遡上による都市暑熱環境の緩和効果 -名古屋市の堀川及び新堀川における事例-, 日本建築学会計画系論文集, 第545号, pp.65-70, 2001.7
- 3) 向井愛, 堀越哲美: 名古屋市中川運河における海風遡上が体感気候に及ぼす影響, 日本建築学会計画系論文集, 第553号, pp.37-41, 2002.3
- 4) 橋本剛, 堀越哲美: 名古屋市近郊に位置する庄内川及び新川の河川の「風の道」としての働き, 日本建築学会環境系論文集, 第571号, pp.55-62, 2003.9
- 5) 橋本剛, 堀越哲美: 庄内川及び新川を吹走する伊吹おろしが名古屋市の都市気候形成に及ぼす影響, 日本建築学会環境系論文集, 第592号, pp.51-58, 2005.6
- 6) 片山忠久, 石井昭夫, 西田勝, 林徹夫, 堤純一郎, 塩月義隆, 山田広樹, 高山和宏, 大黒雅之: 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集, 第418号, pp.1-9, 1990.12
- 7) 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集, 第393号, pp.25-34, 1988.11
- 8) 村川三郎, 関根毅, 成田健一, 西名大作, 千田勝也: 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) 水平および鉛直的影響範囲の検討, 日本建築学会計画系論文集, 第415号, pp.25-34, 1990.9
- 9) 福岡義隆, 高橋日出夫, 開発一郎: 都市気候環境の創造における水と緑の役割, 日本気象学会雑誌, 第29巻・第2号, pp.101-106, 1992.8
- 10) 清田忠志, 谷口明, 清田誠良, 中村安弘: 都市域におけるヒートアイランド現象の緩和方策に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, 第602号, pp.69-75, 2006.4

- 11) 清田忠志, 谷口明, 清田誠良, 中村安弘: 都市域におけるヒートアイランド現象の緩和方策に関する研究 その2 広島市の夏季の都市気温と土地被覆との関係に対する重回帰分析, 日本建築学会環境系論文集, 第 614 号, pp.57-63, 2007.4
- 12) 谷口明, 清田誠良, 清田忠志: 沿岸都市における海風が有する都市域の高温化現象の緩和効果に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, 第 625 号, pp.379-384, 2008.3
- 13) 堤純一郎, 片山忠久, 石井昭夫, 西田勝, 北山広樹: 夏季の海陸風を対象とする気象データの統計解析, 日本建築学会計画系論文報告集, 第 389 号, pp.28-36, 1988.7
- 14) 清田忠志, 清田誠良: 夏季の広島市広域圏における海陸風が気温に及ぼす影響に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, 第 587 号, pp.45-51, 2005.1
- 15) 名古屋市緑政土木局堀川総合整備室: 堀川のあらまし, 2000

(2008年4月24日原稿受理, 2008年9月3日採用決定)