

海風前線マップの作成による都市河川の 風道効果の検証

VERIFICATION OF WIND CHANNEL EFFECT AROUND AN URBAN RIVER BY THE MAP OF SEA BREEZE FRONT LINE

福田忠弘¹・鹿島正彦²・鈴木譲¹・神田学³

Tadahiro FUKUDA, Masahiko KASIMA, Jo SUZUKI, Manabu KANDA

¹学生会員 東京工業大学大学院理工学研究科土木工学専攻 (〒152 東京都目黒区大岡山2-12-1)

²学生会員 東京工業大学工学部土木工学科 (〒152 東京都目黒区大岡山2-12-1)

³正会員 工博 東京工業大学助教授 工学部開発システム工学科 (〒152 東京都目黒区大岡山2-12-1)

A river has the effect of climate alleviation not only as a cool spot but also as a so called wind channel. Statistical analysis shows the penetration of sea breeze front over Kanto plane classified into two cases, East or South-wind, influenced of synoptic scale. In these two cases the characteristics of penetration of sea breeze front were investigated on three scales ①wide area(Kanto plane),②urban(Tokyo),③river(Ara river). Especially, as a result of meteorological field observation conducted along Ara river in detail in this summer, a typical urban river lead the sea breeze front to inland as a wind channel when South-wind matched with river flow. Around secondary scale, Tokyo, the penetration of sea breeze front are blocked over urban area because of heat island, then the front may be surrounding there.

Key Words : Wind channel effect, Sea breeze front, Heat island, Urban river, T-temp analysis

1. はじめに

近年, 人工廃熱の増加などによる都市のヒートアイランド現象が顕在化しつつあるが, 都市を流れる河川はクールスポットとしてだけではなく, 「風道」として河川周辺市街地の熱環境を緩和することが考えられる. 一般に, 海風の侵入はその地点の気温上昇を抑制することが知られている. ドイツなどでは河道などの「風道効果」を上手く利用して, 冷気流を効率的に内陸部まで誘導し, 都市の気候を緩和しようという計画がある. 著者らは特に, 地形的に風道になりやすい山岳域河川に着目し, それが盆地～都市間の熱・水蒸気・汚染物質輸送に大きな影響を与えていることを明らかにしている¹⁾が, 平野部の都市河川が本当に風道として作用しているのか, あるいは熱・水蒸気の輸送にどの程度影響を及ぼしているかといった点に関する定量的データは意外にも極めて少ない.

本研究は地形的影響を無視できる平野部の都市河川に着目し, 海風フロント通過時の気象特性を

利用して広域場・都市域・河川沿いの3スケールにおける海風前線マップを作成することで, 河川の風道効果を検証する. 同時にその影響を受ける汚染物質輸送特性や, それに影響を及ぼす気象特性等を明らかにするものである.

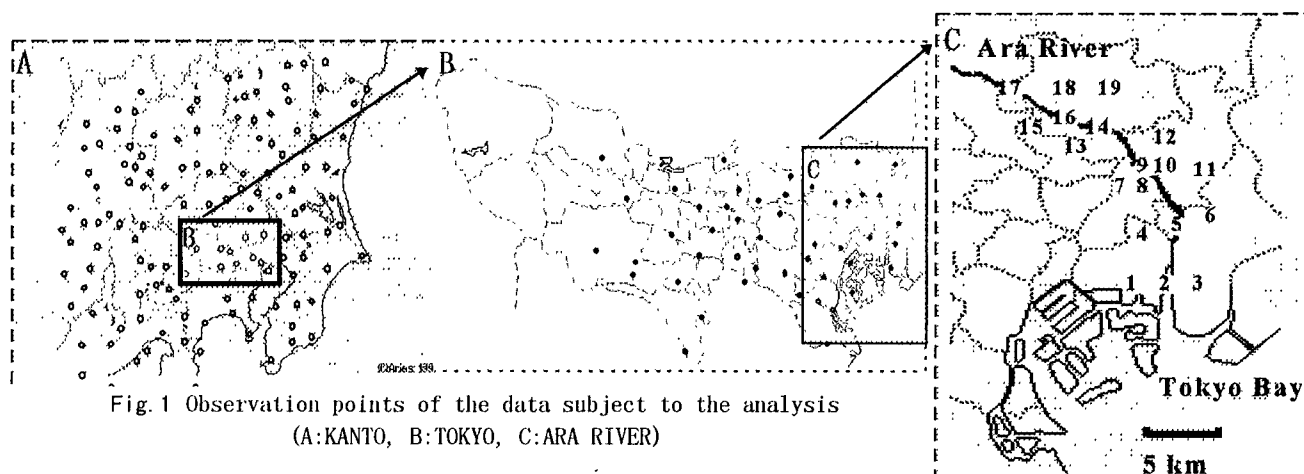
2. 解析方法

本研究で対象とした河川は東京都西部を流れる荒川である. 荒川下流部は河口付近の川幅が300m以上になり, 周辺は市街地化が進んだ代表的な大都市河川である.

海風のような局地循環風は, 地衡風変動などの広域総観場の現象から都市・盆地, あるいは本研究で着目する河川といった土木構造物スケールにおけるものまで様々な因子の影響を受け, その侵入挙動は複雑である. そのため, 河川に沿った海風の侵入挙動という局地性の非常に強い現象を解析するには, 広域場における海風の侵入挙動から順に解像度を上げて解析していくことが望ましい.

Table.1 Data table for T-temp analysis

	A : 広域場	B : 都市	C : 河川沿い
対象地域	関東平野	東京都	荒川下流
対象期間	1997年7, 8月	1997年7, 8月	1997年7月21日～8月21日
対象スケール	400×400km	80×30km	20km×1km
データ(温度)	AMeDAS	東京都大気汚染常時測定局	荒川沿い気象観測
データ(風)	気象官署 (40地点)	東京都大気汚染常時測定局	首都高速道路公団 (4地点)
観測地点数	167地点	48地点	19地点
時間解像度	1 時間	1 時間	2 分(風はチャート)

Fig.1 Observation points of the data subject to the analysis
(A:KANTO, B:TOKYO, C:ARA RIVER)

そこで、まず既存の気象測定局のデータを用いて総観場別に海風タイプを分類し、その分類毎にA:海陸分布や総観場等の気象・地形要素の影響を受ける関東平野スケールの広域場と、B:土地利用分布などの市街地特性の影響を強く受ける東京近郊の都市域スケールの海風フロントの侵入挙動を明らかにする。続いてC:既存の測定局の一時間データでは明確に解像することの難しい河川幅スケールの現象をとらえるため、夏季の一ヶ月間、都市河川沿い気象観測として河川とその周辺市街地に測器を集中させた高解像度の観測を行い、その結果から河川沿いの海風の侵入挙動を解析する。

(1)統計解析概要

a)総観場による海風の分類法

夏季に平野部で発達する海風は総観場の影響を強く受け、その侵入挙動に大きな違いがある²⁾。そこで解析を行う前に観測期間中の海風のパターンを分類しておく必要がある。海風の分類には、夏季晴天日における関東平野の各気象測定局 (Table. 1, Fig. 1) の6時から18時までの風のベクトル平均風を算出し、関東平野における各地点の日中の卓越風の分布から決定した。

b)T-temp解析について

一般に海風前線が通過すると気温、湿度、風向などの気象要素が急変することが知られている。そこで本研究では蒲生³⁾に倣い、例えばFig. 9, 10の矢印に示される日中の気温減衰、湿度増加等による不連続点を海風フロントが通過したものとし、各測定地点のフロント通過時刻 (T-temp) を算出した。この結果を利用してT-tempコンター図

を作成することで、任意の時間帯の海風前線の位置を知ることができるようになった。

(2)荒川沿い気象観測概要

都市河川沿いの海風の侵入挙動をとらえるため、以下に示す観測を行った。

a)荒川周辺多点連続観測

観測概要はTable. 1C, Fig. 1Cに示す通りである。

b)荒川河川敷き集中観測

観測期間は梅雨明け直後の1997年7月23, 24日の日中である。観測は荒川河川敷のFig. 1C-⑨地点で行った。現地の川幅は約250m、河川敷の幅は約100mで、河川の流下方向は北西から南東である。

地上では日射等の熱収支測定と風向風速・温湿度びオゾン濃度を10分間隔で測定した。鉛直方向には係留気球を8時から16時まで上空に固定し、11高度 (5, 10, 30, 50, 70, 100, 150, 200, 300, 400, 500 m) の温湿度を10秒間隔で連続測定した。

集中観測概要図をFig. 2に示す。

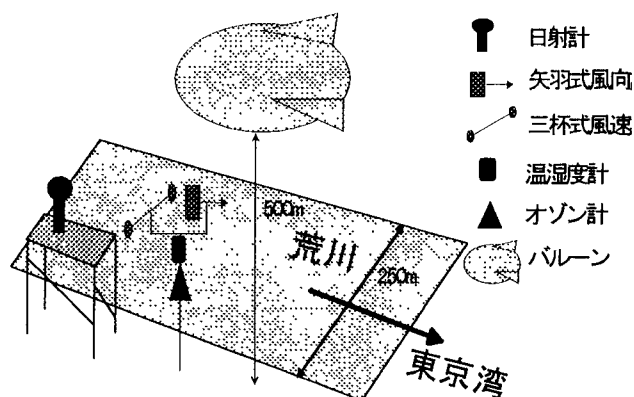


Fig. 2 the locations of instruments

3. 大局的な海風フロントの侵入挙動

(1) 解析対象日の関東平野の風系パターン

2. (1)aの総観場による海風分類の結果、Fig. 3に示すように集中観測日の1997年7月24日は東風卓越型に、またその対照的な風系として1997年8月2日は典型的な南風卓越型となった。以降この両日に着目して海風の侵入挙動を解析していくことにする。Fig. 4に各日の天気図を示す。7月24日は南西海上に台風が接近しており、その影響を受け太平洋岸で東よりの風に、一方、8月2日は南方海上に高気圧が大きく張り出し各地で南よりの風になっている。両日の風系が大きく異なる原因は総観気象場の違いであることは明らかであるが、気圧傾度は両日ともに小さい。

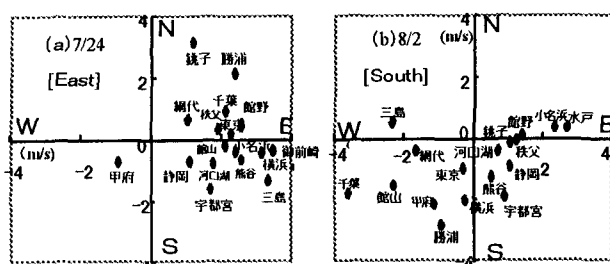


Fig. 3 Wind field type over Kanto plane
(a) 1997. 7. 24 [East], (b) 1997. 8. 2 [South]

そこで夏季晴天日として、(a) 東風卓越日の1997年7月24日と(b) 南風卓越日の8月2日の2つの風系パターンにおける、①広域場（関東平野）、②都市域（東京）、③河川沿い（荒川下流）（*次章で考察する）の各スケール毎にT-temp解析を行い、海風フロントの侵入挙動について考察をしていく。Fig. 5～7に各スケールのT-tempコンターと14時の風ベクトルを重ね合せた図を示す。

(2) 関東平野における海風の侵入挙動

1997年7月24日と8月2日の両日の関東平野におけるT-temp (Fig. 5) を比較すると、全体的に南風卓越日のほうが侵入時刻が早く、特に平野南部では1, 2時間程度早くなっている。

両日の大局的な海風フロントの侵入挙動を比較すると特に東京湾近郊で違いが示されている。南風卓越型の8月2日は、伊豆、房総半島、東京湾から海岸線に平行に海風が侵入するのに対し、7月24日は天気図やベクトル平均風に示されるように一般風の東風の影響を大きく受けるため東京湾風が弱く、T-tempが明確ではない。

また、両日に共通した特徴として霞ヶ浦のような巨大な内陸水域の周辺でT-tempが早い傾向がある。これは湖風の影響によるものと考えられる。湖風フロントも広域場における局地風の侵入挙動の特徴として総観場の影響を受け、東風日に卓越風向へ大きく侵入する様子が示されている。

(3) 都市における海風の侵入挙動

空間解像度の高い東京都の気象データを用いて、東京近郊における海風の侵入挙動を中心に解析する。荒川観測周辺域の海風フロント侵入時刻はFig. 6から、ほぼ7月24日—13:00～13:30、8月2日—11:30～12:00と決定できる。侵入時刻に大きな差があるのは、前項で解析したように総観場の影響によるものと考えられる。東京湾海風の特徴として、両日ともに湾中心から同心円状にT-tempが広がる。特に東風卓越型の7月24日は東京湾海風の向きが東向きになる東京南東部で侵入が早く、一方南風卓越型の8月2日は東京北東部で侵入が早い。また、特に都心部では両日ともT-temp線の間隔が密になり、フロントの侵入がブロックされている。これはヒートアイランド化した都市部では、熱対流が強く混合が激しいため、海風が侵入してもその影響が打ち消されやすいことが原因として考えられる。特に侵入時刻の早い南風日にその影響が強く、T-temp、風共に都心を迂回する形で侵入しているようである。荒川観測付近についてみると、7月24日は14時になっても北東の風が吹き込み、海風の侵入を抑える格好となる。一方、8月2日は先程考察した都心部の迂回とも考えられるT-tempの侵入が荒川沿いに一致しており、河川が風道として海風を引き込んでいることが期待される。その詳細は次章の荒川観測の結果と比較して考察を行うことにする。

4. 都市河川に沿った海風の侵入挙動

(1) 河川の風道効果

a) 東風卓越型の場合

東風卓越日の7月24日の河川沿いのT-temp図 (Fig. 7(a)) では、12時過ぎに河口からT-tempが侵入していく以外は、河川と周辺市街地に大きな差がない。これは、集中観測時の風のデータ (Fig. 8) に示されるような強い東風の影響を受け、大局場と同じく東京湾からその北に位置する荒川沿いへの海風フロントの侵入が抑えられたことが原因である。

その詳細を集中観測時の風変動図 (Fig. 8)、気温湿度図 (Fig. 9) から考察していく。東京湾海風と考えられる河川方向（南）よりの風と卓越風である東よりの風が交互に吹き出す様子が示されている。また、この風の変動と対応して、温湿度にはFig. 9に示される生データには、小さいながらも海風侵入時に特徴的な変動が多数生じており、小規模な海風フロントが繰り返し侵入を繰り返すことが考えられる。この地点のT-tempは、前章で考察してきた関東、東京スケールにおける海風の侵入挙動図 (Fig. 5, 6(a)) と、Fig. 9の実線で示される気温湿度の移動平均から13時30分と決定される。河川の風道効果は東京湾海風が侵入する河口部にわずかに示されているが、内陸部は東京スケールと同様

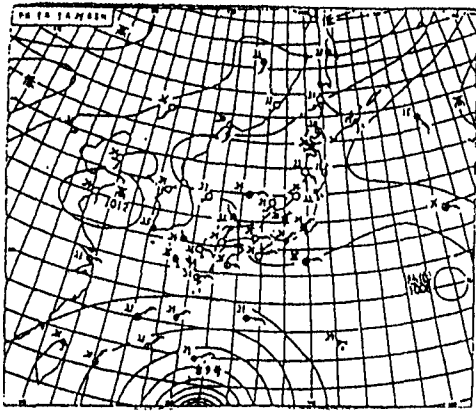


Fig. 4(a) 7/24 weather chart

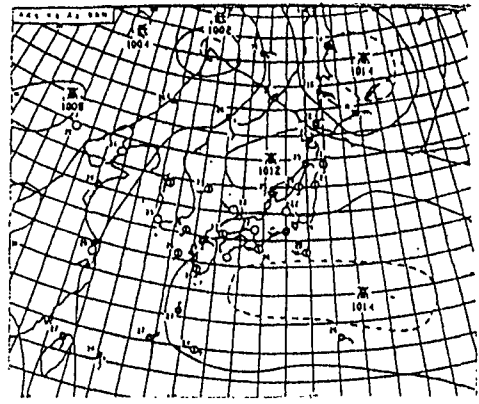


Fig. 4(b) 8/2 weather chart

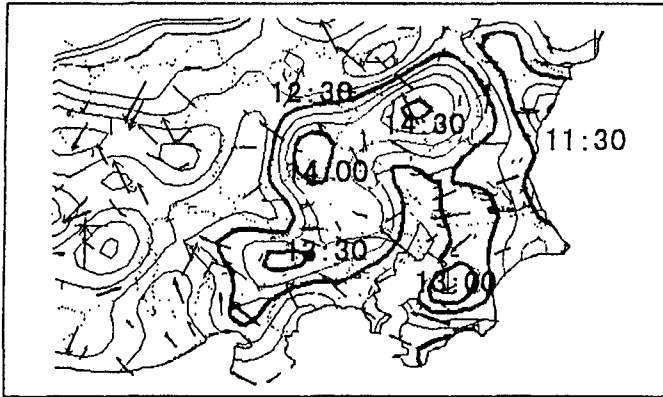


Fig. 5(a) 7/24 T-temp over Kanto area

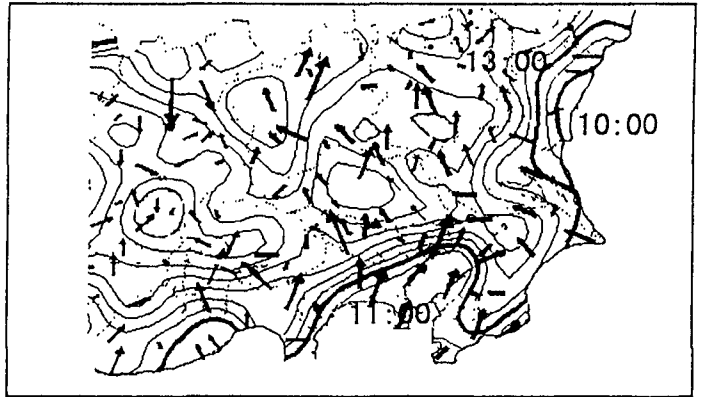


Fig. 5(b) 8/2 T-temp over Kanto area

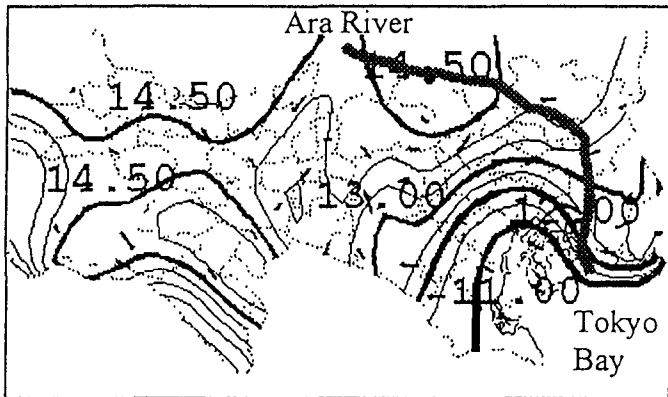


Fig. 6(a) 7/24 T-temp over Tokyo area

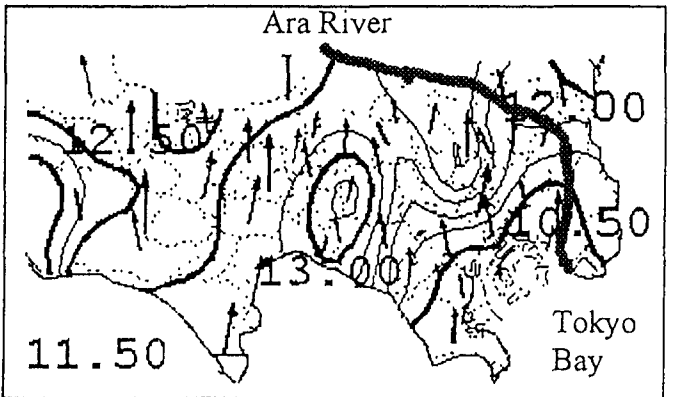


Fig. 6(b) 8/2 T-temp over Tokyo area

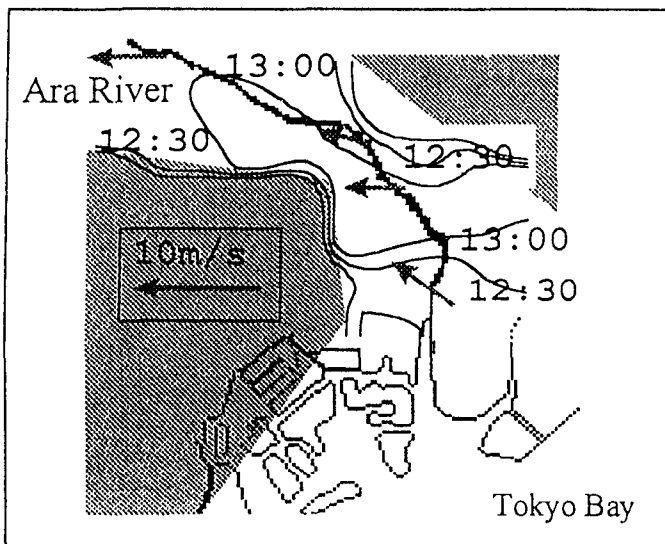


Fig. 7(a) 7/24 T-temp along Ara river

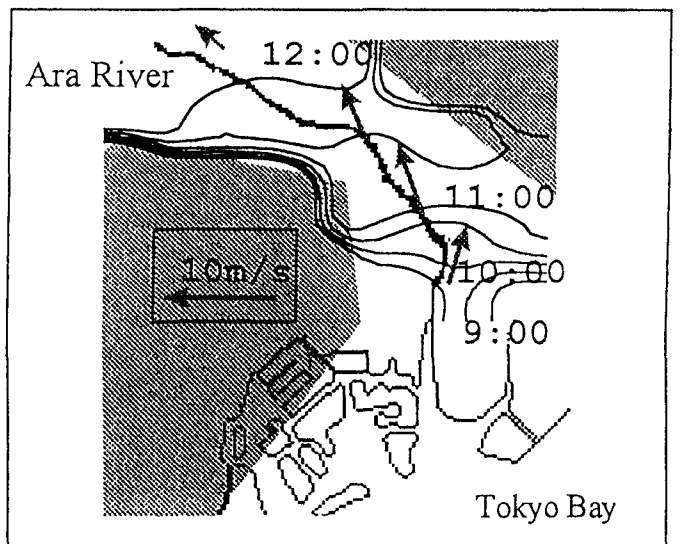


Fig. 7(b) 8/2 T-temp along Ara river

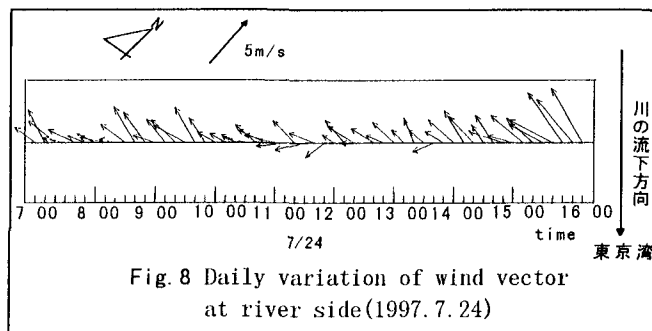


Fig. 8 Daily variation of wind vector at river side(1997.7.24)

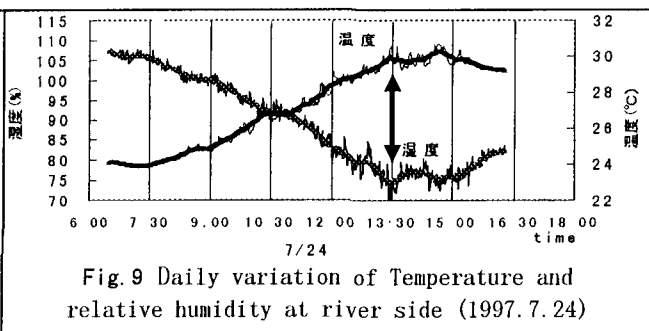


Fig. 9 Daily variation of Temperature and relative humidity at river side (1997.7.24)

に東からの一般風の影響により、13時頃に河川軸平行方向にほぼ一様にT-tempが進んで行くため、その効果は明確には現われていない。

b)南風卓越型の場合

南風卓越日の8月2日のT-temp図 (Fig. 7(b)) は河口から内陸へ時間を追ってフロントが侵入する様子が示され、7月24日と比べ侵入時間が全体的に早い。特に河川近傍では周辺市街地に比べフロントの侵入が早い傾向がある。(Fig. 10)に荒川周辺多点連続観測による7月24日と8月2日の河口周辺の気温湿度の日変化を示す。8月2日はT-tempが明確に現われ、海風の規模を示唆する温湿度の変動量に関しても7月24日と比較して大きい。これは東風卓越型の場合とは逆に総観場による南風の影響を受けて荒川沿いの海風が強まり、大規模なフロントが形成された結果と考えられる。

河川の風道効果について考察する。10時を過ぎると先の東京都のデータ (Fig. 6(b)) に示された荒川沿いの楔状に入り込んだT-tempと対応して、河川を風道としたT-tempの内陸への侵入が示されている。河川と周辺市街地の位相差は約10分である。このことから河川上では風道として海風フロントの侵入が促され、河川が海風を引き込む風道効果を明確に確認することができた。

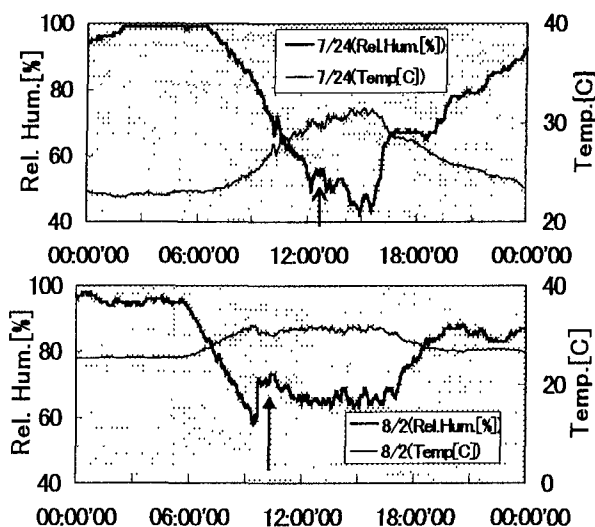


Fig. 10 Variation of Temperature at river mouth in 1997.7.24, 8.2

両風系の結果を比較すると河川は風道機能を有するが、河川軸方向と気圧傾度力方向のバランスによりその影響は大きく変化することが考えられる。また、市街地の影響の弱い河口付近は特に風道となりやすいことが明らかになった。

c)鉛直方向にみた海風前線の侵入挙動

河川鉛直方向のT-tempをFig. 11に、10時と14時の温位の鉛直プロファイルを図. 12に示す。T-temp図において下層数10m付近でフロントの侵入が早まる先走りが現われている。ここで、海風の厚さを海陸の地表面の違いによる内部境界層厚さとする、海岸から約10kmに位置する観測地点では高度200m程度となる。それに対応して14時の温位プロファイルに高度100~200mから上空に安定層が存在している。一方、地表面付近の大気は海風フロント侵入時の14時に強不安定となり、それによる圧力欠損あるいは強い拡散効果の影響を受け、かつ水面上の粗度が小さいことから海風フロントが侵入しやすく、逆にその上は河川の冷気境界層の影響を受け侵入が抑えられることにより、下層に先走りが現われたことが考えられる。

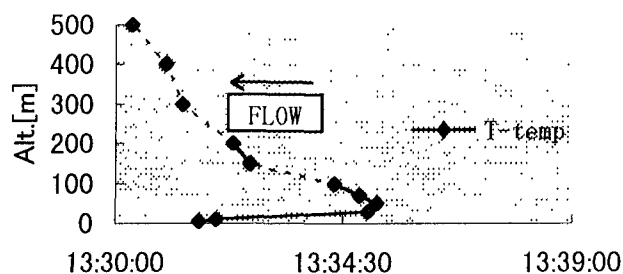


Fig. 11 Vertical profile of T-temp at river (1997.7.24)

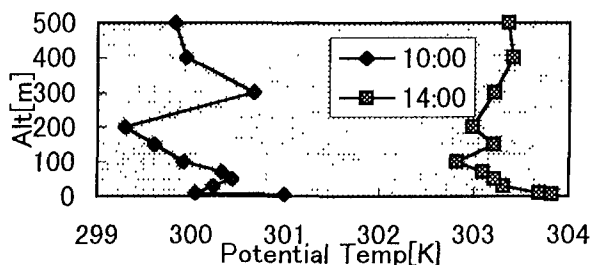


Fig. 12 Daily variation of vertical potential temperature profile (1997.7.24)

5. 汚染物質から見る海風前線の挙動

(1) 都市域におけるの O_x 挙動

これまでの章では熱環境により海風前線を追ってきたが、この章では汚染物質というスカラー量により海風前線を把握することを試みる。

解析には東京都の気象データの O_x を取り上げる。解析日は集中観測を行った7月24日である。Fig. 13に14:00における濃度コンター図を示す。

東風が卓越しているために、濃度は東部で低く、西部で高くなっていることが分かる。コンターラインが密で風向がばらついている東経139.6度地点を海風のフロントであると考えると、形状は異なるものの、Fig. 6のT-tempの14:00地点とほぼ対応している。これは、海岸域に工業や人口の密集する東京湾近郊では、汚染物質が海風前線により移流されるためと考えられる。また熱環境と異なり、スカラー量であるために海風だけでなく卓越風の影響を受けることは当然である。しかし、東風卓越日においても、T-tempは汚染物質の海風前線とある程度一致していることが確かめられた。

(2) 河川数におけるオゾンの挙動

Fig. 14に集中観測地の高度3.2mにおいて測定した O_x 濃度(1分間の連続データを10分平均)と周辺都市の代表として東京都環境保全局の葛飾で測定された O_x 濃度の日変化を示す。オゾンは大気中で複雑に反応する物質であるが、主に窒素酸化物と炭化水素の光化学反応により生成される。オゾンの濃度変化の一要因である日射量の日変化(1分間の連続データを10分平均)をFig. 15に示す。

Fig. 14より、早朝は都市の O_x 濃度が河川での O_x 濃度より高くなっているが、10時を境に河川の O_x 濃度の方が高くなる。早朝に、都市では弱不安定な大気、前日のオゾンの残留、窒素酸化物、炭化水素の排出源の存在などの理由からオゾンが蓄積し、河川よりも濃度が若干高くなっていると考えられる。それに対し、河川では大気が安定なため前日の残留オゾンは分解されており、また窒素酸化物、炭化水素の排出源は存在しないため、 O_x 濃度は低いと考えられる。また10時過ぎに生じる都市と河川での濃度の逆転現象は、日射の増加とともに都市で混合層が発達し、拡散が強まり、大気中のオゾンが安定な河川の冷気境界層に輸送濃縮されたことに起因していると考えられる。

海風の進入による濃度変化は明確に見ることはできない。しかし、海風の進入が原因と見られる現象が現れている。13:00以降に日射量が減少しているにも関わらず、オゾン濃度は一定値を示しているのである。通例であれば、日射量の減少はオゾン濃度の減少に直接つながるが、排出源のある川下から海風によりオゾンが輸送されているために一定値を示していると考えられる。また、周辺都市においてもその傾向が確かめられる。

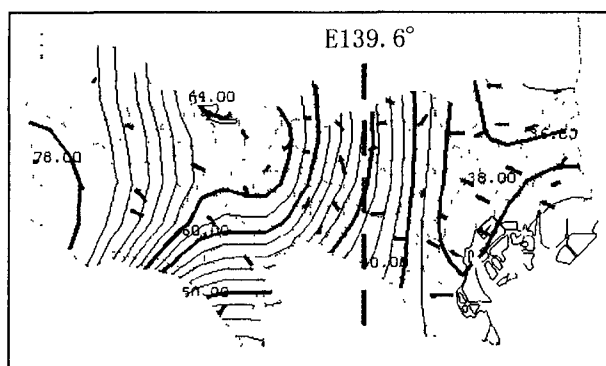


Fig. 13 Distribution of O_x at 1997. 7. 24. 14:00

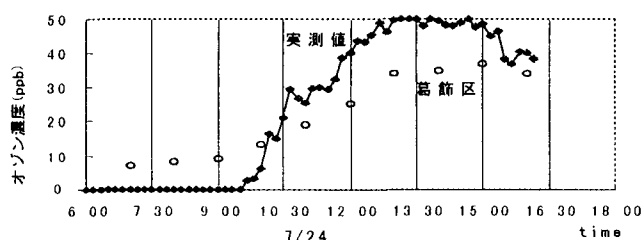


Fig. 14 Daily variation of O_x concentration

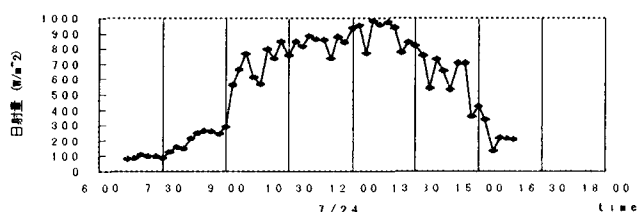


Fig. 15 Daily variation of solar radiation

6. おわりに

本研究では以下の結論が得られた。

- ・河川は風道として海風フロントを引き込み、その効果は河口付近に強く見られ総観場の影響方向と河川の流下方向が一致する時に強い。
- ・河川上空では海風侵入時に鉛直2,30mまで海風の先走りが現われ、粗度や拡散効果の違いが考えられる。
- ・河川周辺と河川で汚染物質の濃度変動に違いがあり、海風や河川の影響が考えられる。

謝辞：本研究では、気象庁のAMeDAS、東京都常時大気汚染測定局のデータを使用させて頂きました。観測では荒川下流域の小中学校13校に協力して頂きました。また、文部省科学研究費C09650561の助成を受けここに厚く謝意を表します。

参考文献

- 1) 神田学, 西村修ら : 河川に沿った海風の侵入挙動, 水工学論文集第40巻, pp243-248.
- 2) 神田学, 福田忠弘 : 夏期の地衡風変動に伴う相模川海風の周期性について, 日本気象学会1996年春季講演集, pp.116,69
- 3) 蒲生稔 : 海風前線一を読み取る方法の比較, 公害資源研究所報文, pp.31-39, 1991. (1997. 9. 30受付)