

東京湾岸の冬季の海風*

土田 誠**・吉門 洋***

要 旨

主にアメダスデータを用いて、2年分の冬季6か月間の東京湾の海風の実態を調べた。海風は冬型気圧配置の変動の間隙をぬうように出現し、出現時間帯や持続時間はばらつきが大きい。東京の大都市域が接する北西岸では、海岸近傍の地点で海風風向 E~SSW が昼間に出現して3時間以上継続することを中心とする判定条件により、180日のうち41日が海風日として抽出された。

海岸近傍の平均海風時間帯は13時まえから6.6時間、最大風速は15時に南東風向で 2.9 ms^{-1} であった。しかし、都心部より内陸側で湾岸から18 kmの地点では、海風風向が2時間以上現れるのが23日と少なく風速も小さい。東岸の千葉では、海風風向を S~W として同様の判定をすると海風日は32日となり、西岸より少ない。

このような海風を発生させる温度場は次の二つの要因で形成される。①この季節の海水温は $8 \sim 10^\circ\text{C}$ で陸上の日最高気温 11°C 前後と同レベルだが、夜間に湾上をおおう陸風が午前中海上気温を海水温より低温に保つ。②東京の大都市域がヒートアイランドとなって郊外より高温を維持し、海陸の気温差を強化している。都心部の内陸側における海風出現頻度の急減や、都市規模が小さい東岸で西岸より頻度が低いこともヒートアイランドによって説明できる。

1. はじめに

わが国では海陸風は非常に身近な現象であり、海陸風のからんだ気象データが入手しやすい事情もあって、多くの研究が行われてきた。海陸風の基本的なメカニズムは比較的単純と言ってよいが、地域ごとの地形特性や地表面・海面の熱特性の影響を受けた出現形態はさまざまであり、それらの構造が逐一研究対象となり得る。また、構造自体に格別の特徴はなくても、大気汚染対策などの具体的な目的を達成する過程で海陸風構造の解明が付随する場合も多い。

ここで冬季の海風を取り上げた目的は、構造自体への関心と大気汚染との関連の両方にまたがっている。すなわち、それが夏季のものに比べて注目されず、従来ほとんど解明されていないながら、出現率は案外に大きく、しかも夏季とは異なる規模・構造を持つと推定される。加えて、夏季の光化学オキシダントに代表

される大気汚染の広域輸送と対照的に、冬季の弱風条件下で重大な問題となっている窒素酸化物 (NOx) や浮遊粒子状物質 (SPM) の高濃度汚染に海風の局地的な風が影響を与えている実例が見いだされている (吉門ほか, 1993)。本研究の対象地域が東京湾沿岸域である理由もそこにある。ただし、ここでは気象学的な構造に論点をしぼり、大気汚染に関する解析には深く立ち入らないことにする。

夏季とあわせて冬季の海風の出現率を求めた例は少なくない。出現の判定にはこれといった代表的な方法がなく、文献によりさまざまではあるが、概して冬季の出現率は小さい。それは海面温度や陸上大気の加熱冷却量の季節変化に支配されると考えられる。南関東における海陸風の出現日数を3か月ずつ四季別に求めた河村 (1977) の結果では、東京湾西岸では夏季に30日から40日であるのに対して、冬季には15日から20日程度であった。ただし、海風の構造の詳細は十分描かれていない。

河村 (1973) は、冬季の海風前線が湾岸から10~15 km 程度の距離に形成され、それより内陸では一日中陸風が卓越することが多い、と記している。一方、鈴木・河村 (1989) の調査では、弱いながらも夏季の大

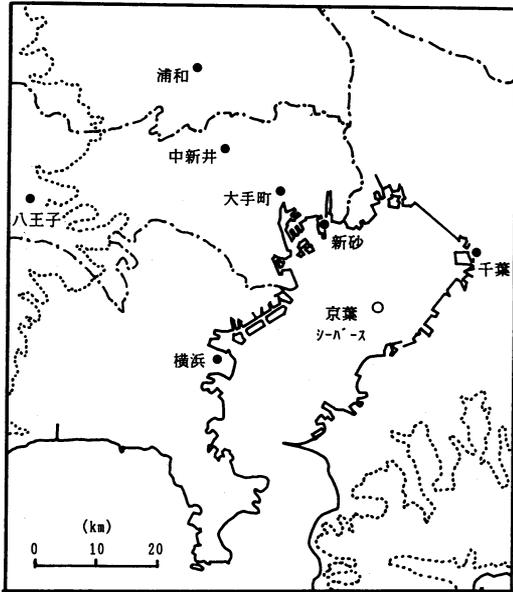
* The winter sea breeze in the Tokyo Bay Area.

** Makoto Tsuchida, 東京電力㈱.

*** Hiroshi Yoshikado, 資源環境技術総合研究所.

—1994年8月15日受領—

—1995年1月12日受理—



第1図 調査地域とアメダス観測点(●)および京葉シーバース(○)。破線は100m等高線、鎖線は都県境を表わす。

規模海風に似た地上風系のパターンが、1月でも15時には25%程度出現していた。いずれにしても東京湾岸の冬季の海風がある程度の重要性をもつことを示しているが、その具体的な構造はわからない。

小川(1974)は、冬季には相模湾の海水温が陸上気温よりはるかに高いにもかかわらず、相模平野の海陸風出現が冬季3か月で21回というように高頻度であることについて考察した。結論としては、西方の山地の影響でできる低気圧性うずの移動が海陸風状の風向変化を起こすと指摘した。Onishi and Bando(1988)は同じ現象を数値モデルで検討し、基本場に西寄りの地衡風を与えると成層状態の日変化に伴って午後の短時間だけ陸向きの風が得られた。しかし、地形や総観場が単純化されたもので、定量的に十分な説明とはならなかった。

東京湾の冬季の海水温も、相模湾ほどではないが、陸上の平均気温より高く(下山, 1977)、海風の吹くメカニズムに興味を持たれる。海風系がある程度発達すれば東京湾と相模平野の海風が一体になることはあるが、両者が最初から小川の指摘したような低気圧性うず組織されているわけではない。また南東風向で吹き込む東京付近の海風を Onishi and Bando(1988)のように西寄り地衡風で説明するのはそもそも無理であ

る。従って、相模平野の海風に関する議論は参考にはなっても、そのまま延長できるような関係にはない。

ここでは東京湾岸の冬季の海風の出現状況と構造を統計的に調べ、そのメカニズムを考察する。特に注目するのは東京湾北西岸から東京の大都市域、さらに北西郊外に向かって吹く海風であるが、比較のため東岸の出現状況についても調べる。

2. 解析方法の概要と使用データ

調査対象期間を1989年12月～1990年2月、1990年12月～1991年2月の計6か月、180日とした。まず、これらの日から、気圧傾度と日照条件によって、海風の出現に好適と見なせる好天静穏日を選び出した。さらに、好天静穏日のうちで海風に相当する風向が一定の時間帯に一定時間以上現れた日を海風出現日とし(以下、略して海風日と呼ぶ)、残りの好天静穏日(非海風日)と区別して気象状況を解析した。判定条件の詳細は後述する。

好天静穏日を抽出するにあたって、気圧傾度の評価には10地点の気象官署のSDPデータを用い、藤部(1981)と同様の方法で地衡風速を求めた。日照条件の評価には東京アメダス局(以下では大手町と記す)のデータを用いた。その他、第1図に示す各地点のアメダス風向風速・気温データ毎時値を用いた。また、東京都の大気環境測定局の風向風速データ毎時値も一部で利用した。毎時値とは毎正時前10分間の平均値である。

なお、東京湾上の気温として、京葉シーバースの測定記録紙から読み取った値を一部で用いたが、読み取り精度は $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 程度である。

3. 冬季の海風出現状況

3.1 東京周辺の風向頻度

最初に、東京湾沿岸域の冬季の風系の概要を知るために、湾岸部からやや内陸部にかけての数地点について、冬季6か月全期間の時刻別風向出現率を調べた。このような統計は夏季の大気汚染に関連して行われている(例えば菊地, 1977)が、冬季に注目した解析例は少ない。

湾岸に近い新砂では(第2図a)。夜間はNW, NEが大部分を占めるが、朝10時以後はSEの比率が増え、15時に最大の35%程度に達し、その後は深夜にかけて漸減し、早朝のような比率に戻る。午後にはSWにも20%余までの増加が認められるが、SEに比べると日

変化の小さい風系であることがうかがえる。従って、日変化する局地風としての海風は主に SE に含まれていると考えられ、その出現回数は冬季3か月で30日余ということになる。ただしそれは海岸近傍に対する見積りの上限であり、実際には海風とは言えない強風やごく短時間の風向の振れなども含む可能性がある。一方、NW と NE のうち、10時ごろから SE と交替する減少部分は、海風と交替する陸風である、というおおまかな推定ができよう。図は省くが、横浜でも新砂と類似の結果が得られた。

湾岸から少し内陸に入ると状況は大きく変わる。約8 km 入った大手町(第2図b)では SE が増加し始めるのは11時であり、しかも増加は頭打ち傾向で、16時に16%に達するのみで深夜にかけての漸減に移る。これは海岸近傍に比べて海風の進入が激減することを予想させる。SW の頻度は新砂よりもやや多いだけだが、SE を上回る。

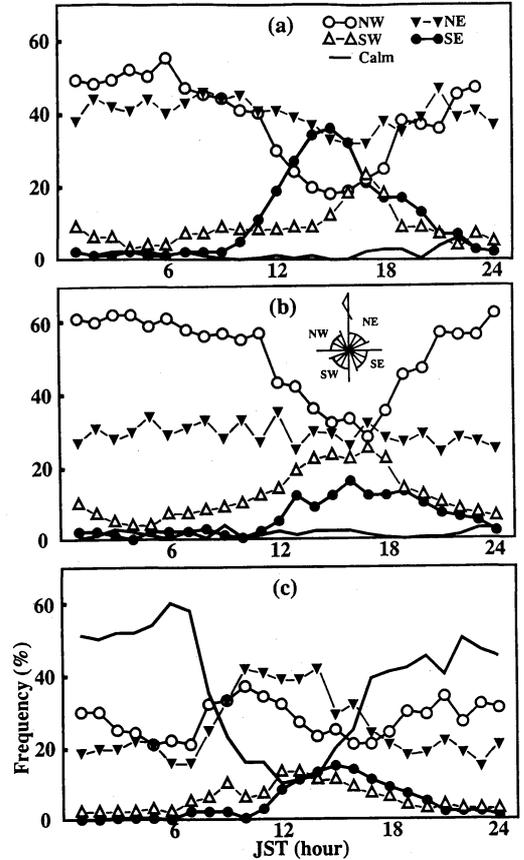
さらに、湾岸から18 km で東京都心部の内陸側に位置する中新井(第2図c)では、SE の頻度は大手町に似ているが時刻の減少がやや早い。それよりも極端な特徴は、夜明けごろまでと夕刻からの夜間の無風状態が50%近いことであり、そのため、NW や NE もむしろ昼間の方が多い。夜間無風の高頻度は多少とも測定地点の特殊性を含む可能性はあるものの、湾岸から33 km の浦和でも30%を超え、それが夜明け以後10%程度まで減少してNWが増加する。夜間は無風に移っている部分も、接地逆転層より上では季節風と陸風を含む北寄りの風が続いている場合が多いとみられる。

以上を海風の主風向と言える SE に関して再度まとめると、海岸近傍では最高35%だが、都心部より内陸では15%程度に減って、無風の割合が増している。この結果は河村(1973)が記したように海風前線は湾岸から10~15 km で停滞するケースが多いことをうかがわせる。鈴木・河村(1989)の結果に現れた大規模海風に似た風系パターンは、中部日本全体の15時の一時的パターンとしてはともかく、東京湾岸で吹く海風が大規模海風に発達することを必ずしも意味しないようである。これに関連する考察を4.1節c)で行う。

3.2 海風日の抽出

a) 好天静穏日の判定

さらに具体的な海風の挙動を調べるため、一日ごとの風向変動も考慮して海風日の選択を行った。まず、一般場の気圧傾度が大きく、あるいは天候が悪くて、熱的原因による局地風としての海風が典型的な形で出



第2図 風向出現率の時間変化。(a)新砂、(b)大手町、(c)中新井。風向はN~ENEをNE系統などとまとめた。

現する可能性のない日を除外することにした。気圧傾度の判定は藤部(1981)の方法に従い、総観規模および関東平野内の気圧傾度に相当する地衡風をそれぞれGとgとして用いた。Gは小名浜、輪島、御前崎、新潟、敦賀、勝浦の海面更正気圧から、gは同じく水戸、前橋、勝浦、館山、銚子から計算される。

本研究のように関東平野内、それも主として東京湾岸の海風を扱う場合、これに影響する要素としてGよりもgが適当であろうことは藤部(1981)も記している。しかし、gが小さくて海風が出現したとしても、そのときGが非常に大きければ通常とは異なる何らかの影響を受けている恐れは否定できない。そこで、gは 7.5 ms^{-1} 、Gは 15 ms^{-1} を基準とし、9時と15時の両方の時刻にともにこれらの値を超える日については、通常海風は吹き得ないと見なし、除外した。

次に天候であるが、海風は日射により陸地面が暖め

られることに起因する現象であるから、日出後の積算日射量がある値以上であることを判定基準とするのは妥当と考えられる。特定の地域・季節の範囲であれば、全日射量とアメダス日照率はよく対応することが確かめられている(馬淵・佐藤, 1991; 吉門, 1991)ので、ここではアメダスデータを用いる。地点は大手町とし、9時から15時までの6時間の平均日照率が0.5未満の日を除外した。

こうして残ったのは180日のうち86日で、これらを海風出現の期待できる好天静穏日とする。

b) 海風日の判定

好天静穏日に海風が出現したかどうかの判定は、観測された地上風の変動状況を見て行った。もちろん、どのような変動形態を海風と判定するかは客観的には決まらず、目的に応じて変わり得る。本研究の対象は冬季の海風であり、夏季の強い海風と同じ基準ではその典型パターンは拾い出せない。若干の試行錯誤のすえ、以下のような条件を設定した。

- ①東京湾西岸で、ある程度広範囲に海風が出現する日に注目するため、新砂、横浜の両地点とも以下のすべてを満たす日を海風日とする。なお、海風風向とは E~SSW の南東寄りの風を指すものとする。
- ②7時まで(7時の記録を含む、以下同様)に海風風向が3時間以上出現しないこと。ただし、3時間とは毎時1個の記録で3回の意味である。
- ③8時~18時の間に海風風向への変化があり、以後3時間以上継続すること。
- ④23時以後は海風風向が出現せず、風速が 6 ms^{-1} 以下であること。

以上により好天静穏日86日を判定したところ、海風日は41日であった。すなわち、冬季の海風日は総日数180日の20%余りとなり、序節で述べた河村(1977)の数字とほぼ一致する。月別の日数は、12月が16、1月が11、2月が14であり、概して均等な出現頻度となっている。

判定において、新砂と横浜の結果は非常によく対応したので、仮に①で新砂のみとしても結果はそれほど変わらない。また、②はほとんど問題なく満たされる。海風日以外の45日は一括して非海風日と呼ぶが、その半分程度には、昼間の数時間にわたり海風風向が出現している。海風日との区別は3時間継続せず途切れがちである場合のほか、上記判定条件の④による場合が多い。この条件がどういう意味を持つのか、次節で検

討する。

3.3 海風日の気象状況

海風日は好天静穏日のうちから選んだので、気圧傾度が小さいことは既に3.2節a)で確かめられている。しかし、それが具体的にどれほどの大きさで、どのような日変化をし、また、非海風日とどう違うのか、それを明らかにするため関東平野内の気圧傾度の指標である g を第3図に示した。

大きな傾向としては、いずれの場合も地衡風向が朝は NE、午後には SW に逆転し、夜には NE に戻る、という性質が見られ、絶対値も概ね 10 ms^{-1} 以下に保たれている。

海風日と非海風日の分布を比べると、かなりの部分が同じ領域の中に入っており、区別は明確ではないが、全体として非海風日の方がばらつきが大きい。特に、21時にはそれが顕著になり、実は20%ほどが図の範囲外にある。このことから推定されるように、非海風日には、好天静穏日とはいってもそれは日中に限られ、夕方から夜にかけては総観場の影響が強まるケースがかなり含まれている。そのような場合、たとえ海風らしい風向変化があっても、海風日とするにはやや異質と考えた方がよい。前節の判定条件④がこれらを海風日から除外する役割を果たしている。

また、総観天気図で見ると、好天静穏日には海風日と非海風日を問わず、弱い冬型気圧配置の日が多く含まれていた。このことは館野高層データの900 hPa面の風に比較的強い WNW が多いことにも表れている(海風日のみ第4図)。弱い冬型の状況が刻々と時間変化する中で、海風が出現するかしないかの条件の差異は非常に微妙であると言わざるを得ない。

4. 海風日の局地気象

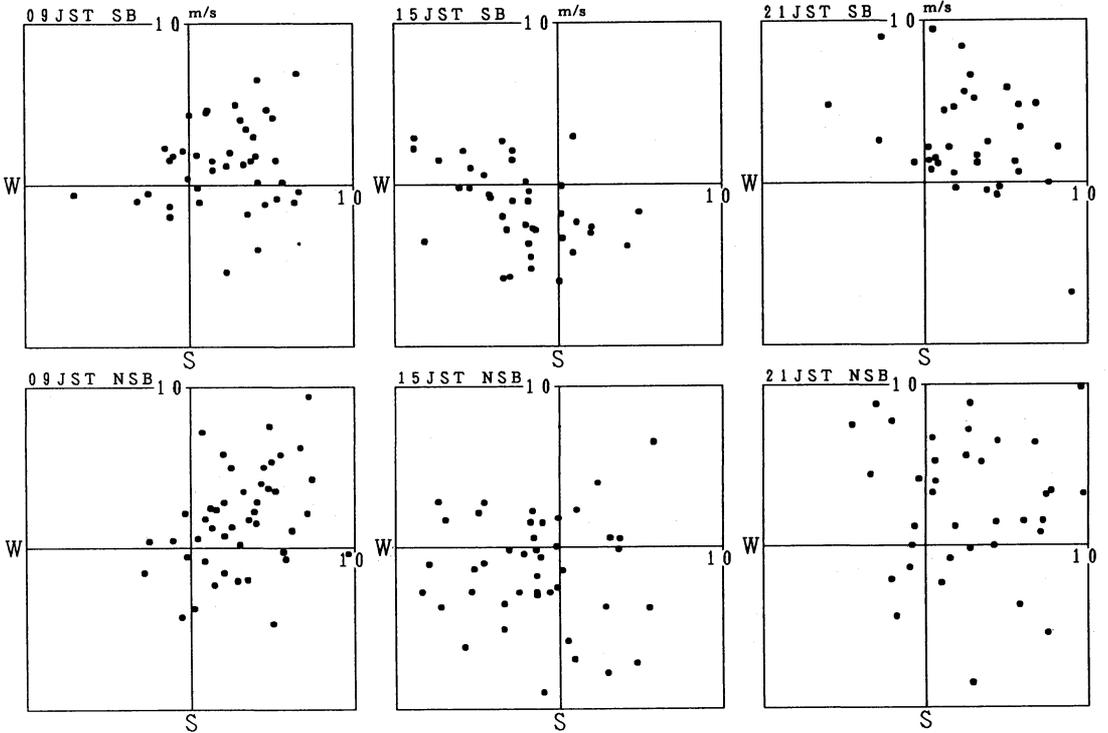
4.1 海風の出現形態

東京の大都市域から内陸へと海風が進入する過程に注目しながら、具体的な出現形態を検討する。

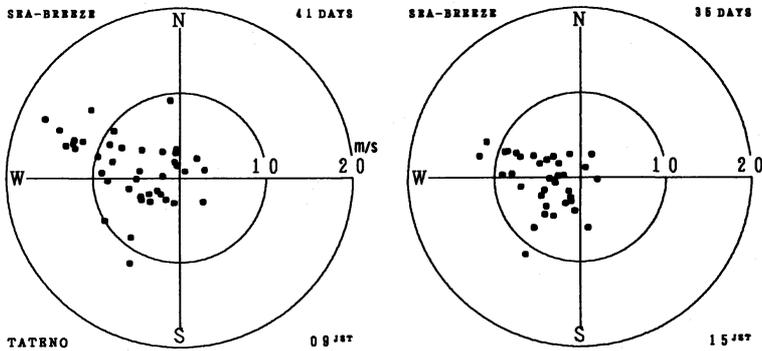
a) 風の日変化パターン

主な地点の海風日の平均ホドグラフを第5図に示す。新砂では12時から18時にかけて南寄りの海風が認められ、風速は最も大きい15時で 2.9 ms^{-1} である。大手町での海風は13時から18時で、16時の 1.6 ms^{-1} が最大風速である。

しかし、都心より内陸側の中新井(図省略)や、さらに郊外の浦和になると、海風日にも南風成分はほとんど認められず、風向の変化も小さい。これらの地域



第3図 関東地方の5地点の海面更正気圧から算定(本文参照)した地衝風 g の分布。海風日(上段)と非海風日(下段)のそれぞれ左から右へ、9、15、21時。各ポイントから中心までが風ベクトルの向きと強さを示す。

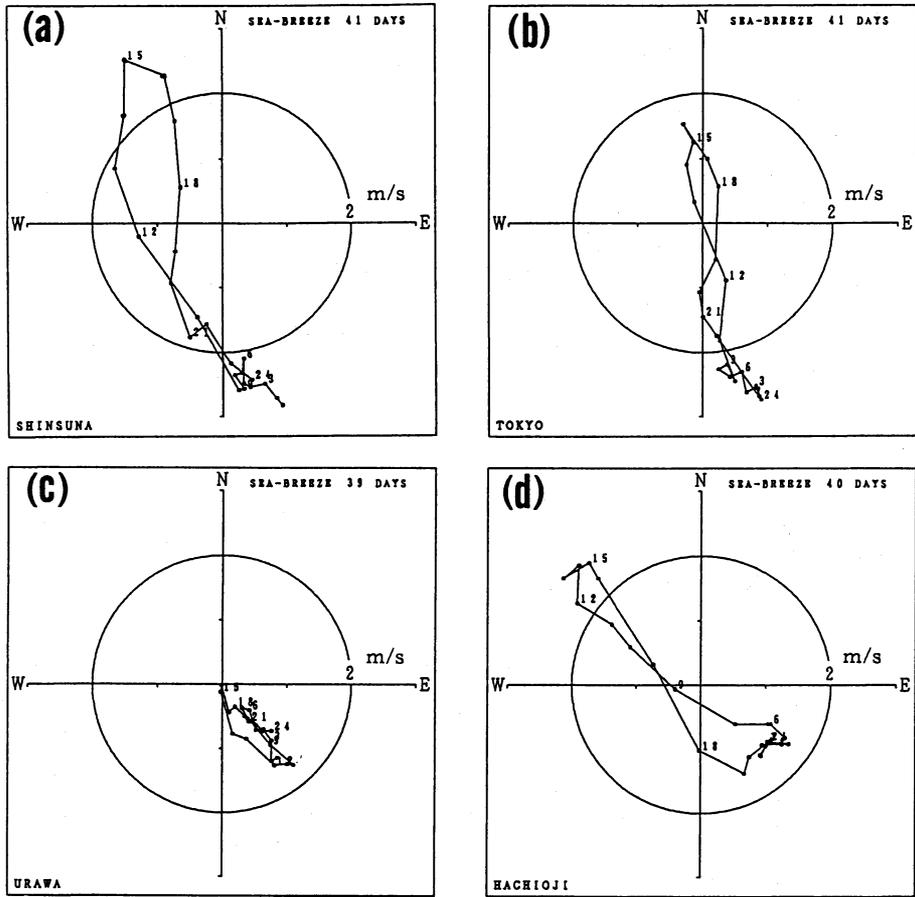


第4図 海風日9時(左)と15時(右)の館野900 hPa面の風。各ポイントから中心までが風ベクトルの向きと強さを示す。右上は欠測日を除いた平均母数であり、第5、7、9図においても同じ。

には、海風日でも海風が到達しない日もあり、また、到達しても短時間であったり断続的である場合が多いため、平均するとこのような結果になる。ところが、湾岸から西方へ約40 kmの八王子など山沿いの地点では明瞭な風向変化が見られ、海風日には山谷風が発達していることがうかがえる。

b) 海風の出現時間帯

湾岸から東京郊外までの海風進入状況をもっと詳しく見るため、新砂、中新井、浦和での海風の開始、終了の時間帯を調べた。ここで、終了とは最後に海風風向が記録された時刻の次の時刻である。新砂の海風判定条件は3.2節b)で述べたが、それより内陸に位置す



第5図 海風日の地上風の日変化。(a)新砂, (b)大手町, (c)浦和, (d)八王子。
原点からホドグラフ上の点までが各時刻の平均風速ベクトルを示す。

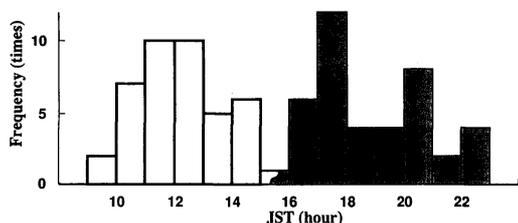
第1表 海風日の平均海風時間帯(地点の後の数字は日数)。

地点	湾岸距離 (km)	A. 開始 (時)	B. 終了 (時)	継続時間 (B-A)
新砂(41)	1	12.8	19.4	6.6
中新井(34)	18	13.6	17.6	4.0
浦和(28)	33	14.3	17.4	3.1

る中新井と浦和に関しての海風は以下のように定義した。8時～21時の間に海風風向への変化があること。ただし、新砂より早く開始してもよいが、新砂での開始以前に終了したり一時非海風風向に戻った場合は海風とは認めない(一時無風は可)。また、新砂での終了以後、非海風風向が一時的にでも出現しておれば(一時無風は可)、その後出現した海風風向は海風とは認めない。

各地点の平均結果は第1表のようになった。また、新砂については頻度分布も第6図に示した。新砂では海風日41日平均の海風開始は12時から13時、終了は19時から20時の間(ただし頻度が高いのは18時、次いで21時、と分散している)で、海風時間帯は平均6.6時間であった。ここで、時間帯と呼ぶのは、たとえ中断していてもそれを含めた、開始と終了の間隔である。海風判定条件③により最短は3時間であるが、最長は11時間まで、幅広く分布し、最多は7時間で9回あった。第6図からも推定されるように、海風日のうちで海風の出現率が最も大きいのは15時～16時であり、冬季全日のSE風系の出現傾向(第2図a)と一致する。

海風日のうち中新井で海風が現れたのは34日、浦和では28日と、湾岸からの距離とともに減る。しかもこれらは1時間のみ出現日を多く含んでおり、2時間



第6図 新砂における海風開始(左, 太線)および終了(右, 陰影)時刻の頻度分布。

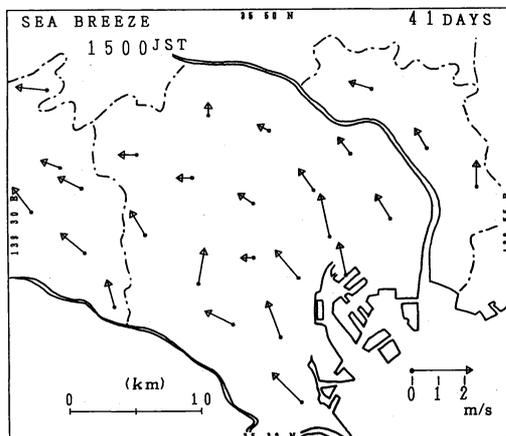
以上の出現日ではそれぞれ23日, 16日と激減する。また, 海風時間帯は中新井で平均4.0時間, 浦和で平均3.1時間であったが, 特に浦和では2時間以上の出現日でも途切れ途切れの場合が多く, 実際に3時間以上継続したのは6日しかなかった。

浦和で海風が3時間以上継続した6日のみを取ると, 各地点の海風時間帯は新砂で9.2時間, 中新井で6.5時間, 浦和で4.3時間となり, 湾岸で長時間吹いた日は内陸でも持続する傾向がみられる。しかし, 新砂での持続時間に対して浦和では半分以下になる点は変りがない。

海風域が内陸へ広がる速度を考えるなら, 第1表の海風開始の時間差から単純計算するのは適切でない。中新井で海風が現れた34日のみの平均では, 新砂の開始は12.4時となり, 中新井までの速度は 14 kmh^{-1} である。浦和まではもう少し速くなる。 hodographに見られた海風風速(第5図における最大値 $2.9 \text{ ms}^{-1} = 10.4 \text{ kmh}^{-1}$)や後述の海陸温度差から考えると, これは非常に大きな値である。もし陸上の気温や気圧が一樣で海風が海陸間の温度差に起因するなら, 海風は重力流的な性格をもち, 前線を伴って内陸へ流れ込み, この前線の進行速度が風速を超えることはない(Simpson, 1994)。従って, 東京都心域を通過する海風は内陸域の不一樣な気温分布の影響を受けていると考えられる。この点は以下でさらに検討する。

c) 最盛時の風の分布

新砂で最も海風の出現率の大きい15時について, 東京都内の平均風分布を求めてみた(第7図)。全体的には, 海風が湾岸から北西方向に進入している状況が見られる。しかし, 区部のうち北西寄りの地域が目立った弱風域になっている。これは, 15時にはこの地域に海風が達していない場合が多く, また, 達した場合でも非常に弱いことを反映している。それに対して, さ



第7図 海風日の15時の平均地上風分布。大気汚染常時監視局のデータを用いた。鎖線で囲まれた中央部が東京区部。

らに内陸にあたる西方の郊外ではかえって南東ないし東の風が明瞭であり, 第5図dに見られたように, 八王子などの山沿いにかけてその傾向は強まる。

第7図は15時の平均状況であるのに対し, 吉門・兼保(1994)は時間変化も含めて事例解析を行ったが, 状況は同じである。

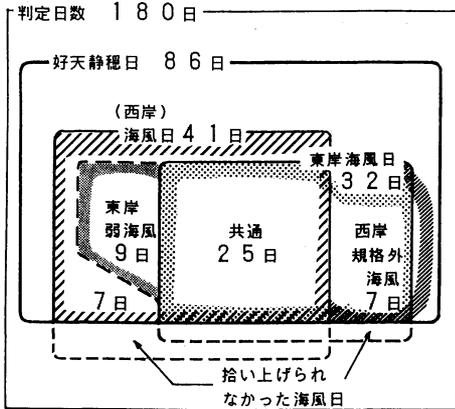
これらの結果から, ①東京の都市域に吹き込む冬季の海風は, 都心部より内陸まで吹き込むことは抑制される傾向があるが, ②内陸の郊外から山沿いにかけては谷風のような内陸局地風系が発達しやすく, ③両者がよく発達した場合には境界が不明瞭となり, 急激に海風域が拡大するよう見えるものと推定される。

なお, 詳細は省くが, ②の内陸風系が①の傾向のため東京湾海風とは結合しにくい半面, 南から進入する相模湾海風とは結合しやすいように見える。ただ, これも③と同様の状況で, 結合の結果さらに大きな風系として発達するわけではない。

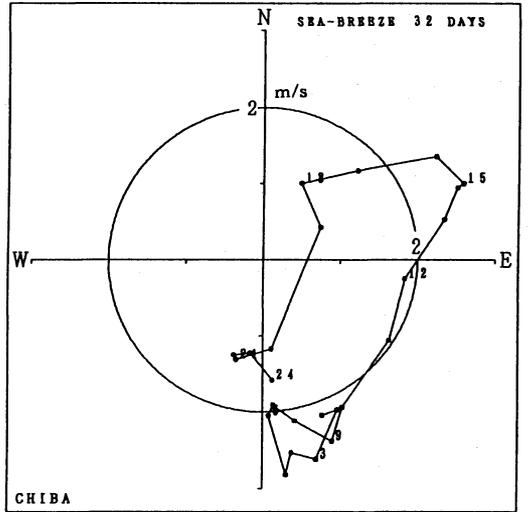
4.2 東京湾東岸の状況

東京湾北西岸に接する東京大都市域周辺の海風日の海風形態を見てきたが, 海風日は千葉など東岸でも共通であろうか。それを確認するため, 3.2節b)の判定条件を東岸にも適用し, 北西岸の結果と比較してみた。ただし, 判定条件の①は次のように変更した。「千葉について, 海風風向とはS~Wの南西寄りの風を指すものとし, ②~④のすべてを満たす日を東岸海風日とする。」なお, 混乱を避けるため, 東岸海風日の概念は本節(4.2)以外では用いない。

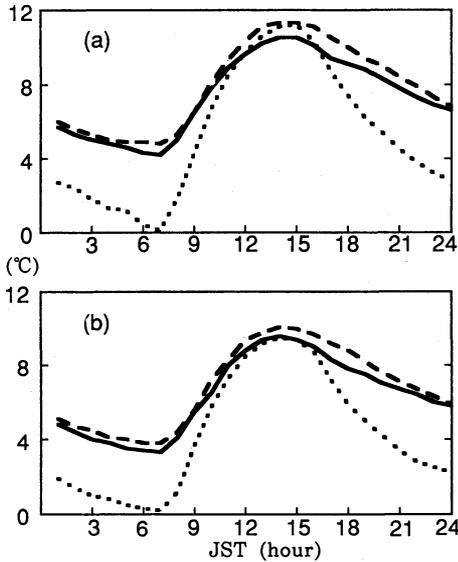
好天静穏日86日を判定した結果(第8図), 東岸海風



第8図 東京湾西岸を基準とした海風日と東岸海風日の冬季180日間出現状況。



第9図 東岸海風日の千葉の地上風の日変化. 表現法は第5図と同じ。



第10図 海風日 (a) と非海風日 (b) の気温の日変化. 実線: 新砂, 破線: 大手町, 点線: 浦和。

日は32日で、内25日が前出の海風日と共通であった。海風日41日のうち東岸海風日ではない16日についても、判定条件③の3時間には満たないものの、海風風向が出現した日が9日あった。また、海風日でなくて東岸海風日だった場合は、すべて西岸でも海風風向は出現しており、判定条件④の制限以上に海風風向が続いた場合も目立った。従って、海風日と東岸海風日は概して一致しており、海風出現に好適な気象条件は西岸と東岸でほぼ共通していると見られる。しかし、東

岸よりは西岸の方が出現しやすい傾向もまた明らかである。

東岸海風日32日の千葉の平均 hodograph を第9図に示す。従来知られているとおり、東岸では風向が反時計まわりに変化するが、海風成分の最大は15時の西南西 2.75 ms^{-1} で、ほぼ新砂の値に匹敵する。

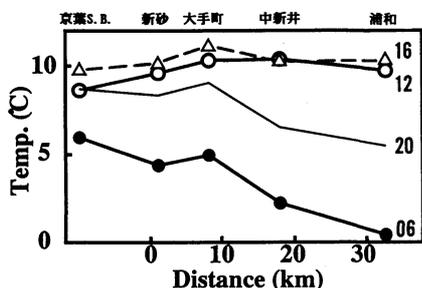
4.3 気温分布

海風日の平均気温変動を非海風日との比較で第10図に示す。海風日の15時ごろを中心に、新砂の気温が明らかに大手町や浦和を下回る。これは、低温の海風が新砂に最も大きく影響する結果であろう。浦和の最高気温は非海風日には大手町より低い、海風日には同等にまで上昇しており、好天静穏日のうちでも内陸気温がより高い日に海風が出現しやすいことを物語っている。

同じデータに海上と中新井の気温を加えて水平方向の気温分布を示したのが第11図である。これで見ると、低温域から高温域に向かって吹く性質を持つ海風の、この地域における出現傾向が理解しやすい。

まず、6時には内陸の気温は 0°C に近く、湾岸に近い都市部でヒートアイランド効果による昇温が見られる。海上では約 6°C で、この季節の東京湾北部の水温が $8\sim 10^\circ\text{C}$ と言われる (下山, 1977) のに比べると低い、これは夜間に陸上から流れ出した陸風の影響と言えよう。

その後、海上気温は16時前後にかけて海水温と同等



第11図 海風日の水平気温分布。横軸は東京湾岸から浦和方面への距離。左端は海上(京葉シーバース)の気温。右端の数字は時刻。

にまで上昇するが、湾岸の都市部のヒートアイランドがそれを上回る高温域を形成し、海風を吹かせる気温勾配が20時ごろまで保たれる。海風最盛期の海陸の気温差はせいぜい 2°C であり、都心部のヒートアイランドを除いて見れば 1°C をわずかに超えるのみである。夏季の海風発達日における代表的な気温は海上で $26\sim 27^{\circ}\text{C}$ (下山, 1977)、陸上で $30\sim 35^{\circ}\text{C}$ といった差があるのに比べ、冬季の気温差 2°C は小さく、この上、もしヒートアイランドが無ければ海風の出現率はかなり低くなる可能性がある。

海風日といえども、内陸部の浦和の気温が新砂を上回っているのはせいぜい16時までである。それ以後は内陸側の気温が急激に降下し、海風よりも陸風を吹かせる気温勾配がまさっていく。しかし、都心部の気温は高めに維持されるため、海岸線をはさんだ温度対比は夜になっても顕著でない。

5. まとめ

本研究では海風日の選択に先立って、中部日本規模と関東平野規模の二つの気圧傾度により静穏でない日を除外したが、この条件によって静穏日がきわめて的確に選択できたとは言えない。さらに、好天静穏日から海風日を選択した条件についても同様である。つまり、非静穏日にも、静穏日のうちの非海風日にも、海風らしい特徴を持った風系はかなり出現していた。逆に、海風日にもやや海風らしくない場合が含まれている。

的確な選択条件を設定しにくいのは以下のような事情による。第一に、冬季は総観規模の気圧分布が安定せず、冬型気圧配置にしても強弱が時間単位で変動する。その変動の間隙をぬうように局地風が出現する。

しかも冬季の海風を吹かせる熱的条件は夏季に比べきわめて弱い。従って、海風域も狭く、局所的に出現することが多い。そのような海風の出現を支配する要素としての気圧傾度は、関東平野規模で見積ってさえ広過ぎるようである。

しかしながら、やはり気圧傾度が小さくなくては、海風は出現したとしても特異性を含むであろうから、何らかの指標による選択は欠かせない。冬季には、むしろ強い海風は総観規模の影響による場合が多い。このような事情を考慮して最終的に設定した選択条件は概して妥当なものであり、選択された41日によって冬季の平均的な海風の実態が示されたものと考えている。

東京湾の冬季の海風の構造について、以下のようなことが明らかになった。

- 1) 冬季の東京湾北部の海水温が $8\sim 10^{\circ}\text{C}$ とみなされるのに対して、内陸部の浦和の日最高気温は海風日平均で 11.2°C に過ぎず、 10°C 以上の気温の持続時間も13時以後4時間と短い。
- 2) しかし、夜間に吹き出した冷たい陸風により、海上の気温は正午ごろまで海水温より低くなっている。
- 3) 一方、沿岸部に位置する都市のヒートアイランドにより、都心部では 10°C 以上の気温が12時以後7時間も持続し、海陸の気温差を維持・強化している。
- 4) このような熱的構造に伴い、海岸近傍では41日平均で13時まえから6.6時間にわたり海風が吹く。
- 5) 都心部から内陸側に向けて気温が降下する傾向は日中も持続する。これを反映して、都心の内陸側の中新井では海風進入は34日、海風時間帯は4.0時間、さらに郊外の浦和では同じく28日で3.1時間と減少する。
- 6) 都市部の内陸側の郊外から西側の山沿いにかけての地域では谷風のような内陸局地風系が発達しやすく、海風域がこれとつながると急激に拡大したように見える。
- 7) 東京湾東岸の千葉でも概ね西岸と同じ日に海風が出現する傾向があるが、東京の大都市域に接する西岸に比べると出現日数は少なく、約4分の3である。

以上の解析結果で特に注目されるのは、①東京湾の冬季の海風に関しては、序論でふれた相模湾海風のように特殊なメカニズムを追究しなくても、比較的単純

な熱的構造で説明でき、②その熱的構造の形成には都市ヒートアイランドがかなりの役割を果たしており、そのために海風は東京都心部に向っては出現しやすいが、都心部からさらに内陸への進入は妨げられる傾向がある、ということである。

東京の大都市域を通過する海風は夏季にもヒートアイランドの影響を受けた特異な立体構造をもつことが示されており(吉門, 1990), 都市を考慮した関東の3次元数値モデルは第7図に似た弱風域のある風分布を与える(Kimura and Takahashi, 1991のFig. 8). ただし、夏季には15時ごろ以降に内陸の熱的低気圧の影響も加わった大規模海風としてさらに発達するのに対して、冬季には15時ごろ以降は海風を吹かせる熱的構造が急速に解消に向かう。

前述のように冬季の海風の出現形態にはかなりの幅があるため、より詳細な事例研究に立ち入るとしても、一、二の例だけではあまり意味がないが、吉門・兼保(1994)の結果は本論文の示す平均海風パターンと大差ない。海風の鉛直構造の一例としては吉門ほか(1993)の図4-26が見られ、それは浦和で厚さ400m前後で4時間継続しているから、冬季としてはかなり発達した海風である。さらに内陸(熊谷)でも同じ時間帯に局地風的な下層風が出現している点も注目される。海風と並行して現れる内陸局地風系のかかわりについては前述したとおりである。

内陸局地風、つまり山谷風などの熱的構造は夏と冬で基本的に変わず、海風を吹かせる海陸温度が相模湾のように夏冬で逆転するのは異なっている。東京湾海風が冬でも内陸風系とつながって拡大するのに見えるのと同様、相模湾の冬季の海風発達においても山地がより近接しているだけに谷風の役割が大きいと推測される。

関東南部では初冬季の高濃度大気汚染が深刻な状況にあり、その発生条件は海風の発生条件とかなりの共通点がある。従って、冬季の海風が大気汚染に与える影響にも興味深いものがある。吉門(1994)はその一側面を描いている。しかし、本報では大気汚染との関係については省いた。

謝辞

この論文は著者土田の筑波大学修士論文の一部を基礎とし、さらに検討を加えたものである。在学中お世話いただいた河村武名誉教授、および多くの有益な討論をいただいた小林守、安成哲三、鈴木力英の各先生方

に感謝の意を表します。また、大気環境データを使用させていただいた東京都の関係部局、およびアメダス等の気象データ提供に関わる気象庁および日本気象協会のサービスに感謝します。

参考文献

- 藤部文昭, 1981: 海陸風の季節的特性, 天気, 28, 367-375.
- 河村 武, 1973: 関東南部の局地風について, 天気, 20, 74.
- 河村 武, 1977: 海陸風の気候, 南関東大気環境調査報告書I, 気象庁, 46-52.
- 菊地 立, 1977: 市原地域におけるオキシダント高濃度発生日の地上風系日変化—局地風系と大気汚染(第3報), 千葉県公害研究所研究報告, 7, 27-38.
- Kimura, F., and S. Takahashi, 1991: The effects of land-use and anthropogenic heating on the surface temperature in the Tokyo metropolitan area: A numerical experiment, Atmospheric Environment, 25B, 155-164.
- 馬淵和雄, 佐藤信夫, 1991: 回転式日照計観測値からの1時間積算全日射量の推定, 天気, 38, 57-63.
- 小川賢一郎, 1974: 冬季の相模平野の海陸風現象について, 日本気象学会1974年春季大会予稿集, 25.
- Onishi, G., and S. Bando, 1988: Winter land and sea breezes in the Sagami Plain; 2. Three-dimensional model, J. Met. Soc. Japan, 66, 55-63.
- 下山紀夫, 1977: 海面温度, 南関東大気環境調査報告書I, 気象庁, 90-92.
- Simpson, J. E., 1994: Sea breeze and local wind, Cambridge University Press, 234 pp.
- 鈴木力英, 河村 武, 1989: 中部日本における地上の気流パターンの季節性およびその総観規模の気圧場との関係, 地理学評論, 62, 375-388.
- 吉門 洋, 1990: 海岸の都市が海風と汚染質拡散に与える影響の数値実験, 天気, 37, 681-688.
- 吉門 洋, 1991: アメダス日照データと毎時全日射量の関係, 公害, 26, 1-8.
- 吉門 洋, 1994: 初冬季に高濃度大気汚染をもたらす関東平野のよども構造, 大気汚染学会誌, 29, 351-358.
- 吉門 洋, 兼保直樹, 1994: 初冬季高濃度大気汚染に影響する海風の構造(東京の事例研究), 日本気象学会1994年秋季大会予稿集, 301.
- 吉門 洋, 水野建樹, 近藤裕昭, 北林興二, 下形茂雄, 山本 晋, 1993: 大都市域上空における汚染物質輸送の観測的研究, 資源環境技術総合研究所報告, No. 6, 79-87.