

大阪市の海陸風について*

—地上風データの統計解析—

江 口 恒 夫**

要旨

海陸風の一般的な性質を把握することを目的とし、毎時の地上風資料を使用し、統計解析を行なった。解析は、大阪市を対象とし、夏季7カ月の資料から、海風出現日を56日間選択して行なった。海風前線の侵入速度、海陸風の風速特性および各々の関係について考察した。

1. はじめに

我国は、都市や工場が臨海部に集中しているため、海陸風循環は、単に海岸地方に特徴的な風系という以上に、大気汚染物質の移流・拡散に関連して重要である。海陸風については、これまでに多くの研究がなされ、現象については中山(1975)、理論については浅井・吉門(1973)、菊地(1975)の総合報告がある。また、我国における海陸風研究の最近の動向は、シンポジウムの報告(山元他, 1976; 根山他, 1973)にまとめられている。特に、瀬戸内海地方の海陸風については詳しい調査研究がなされており、「天気」に掲載された論文だけでも、井野・根山(1972, 1973)、山本(1974)、岸田(1974)、根山(1974)、国保・根山(1975)等をあげることができる。

しかし、これらの研究を通じて感じる事は、観測結果と理論的なモデルが、必ずしも有機的に結びついていない、という点である。その理由を考えると、理論モデルが割合単純な状況を設定して扱うのに対し、観測結果から純粋な海陸風循環を抽出するのが難しい点があげられると思う。我国は、一般に海岸地形が入り組んでおり、背後に山地が接近している所が多く、着目する地域によってその土地特有の地形が海陸風に影響を与えると考えられる。また、天気の変化に伴って、一般場の風が長期間持続する事が少ない。

モデルと観測結果とのギャップを埋める一つの方法は、特定の地域に着目した現実に近い数値モデルを開発する事であろう。Pielke(1974)、斉藤(1975)、高野(1976)、長野他(1977)は、その線に沿った研究の例

と見ることができる。しかし、これと平行して、観測結果からなるべく一般的な海陸風の性質を抽出する努力も重要であろう。そのためには(1)できるだけ地形が単純な場所に着目し、(2)観測時に吹いていた一般風の効果を除くため、特定の観測結果ではなく、海陸風の平均的な性質を扱う事が望ましい。この研究は、その一つの試みとして、大阪市の海陸風の性質を統計的に調べたものである。

第1図に大阪平野の地形を示すが、概念的には、西方に海を配し、残りの三方を山地に囲まれており、2次元的な海陸風循環が卓越することが期待される。事実、久保(1972)の事例解析によると、海風はほぼ西風であり、海風前線(地上風の風向が逆転する位置と定義する)が海岸線にはほぼ平行に侵入していく様子をはっきり分かる。この意味で、大阪は、(1)の条件を比較的満足し、かつ、市内には環境汚染監視のための地上風観測網が完備しているので、統計的性質を調べるのに適していると考えられる。しかし、地上のデータしかないので、海陸風の立体構造について解析することはできない。ここでは、主に、

(1) 海風前線の侵入速度と海風の風速

(2) 海風と陸風の風速の違い

について考察してみたい。

2. 解析方法

2.1 資料および海風出現日の選択

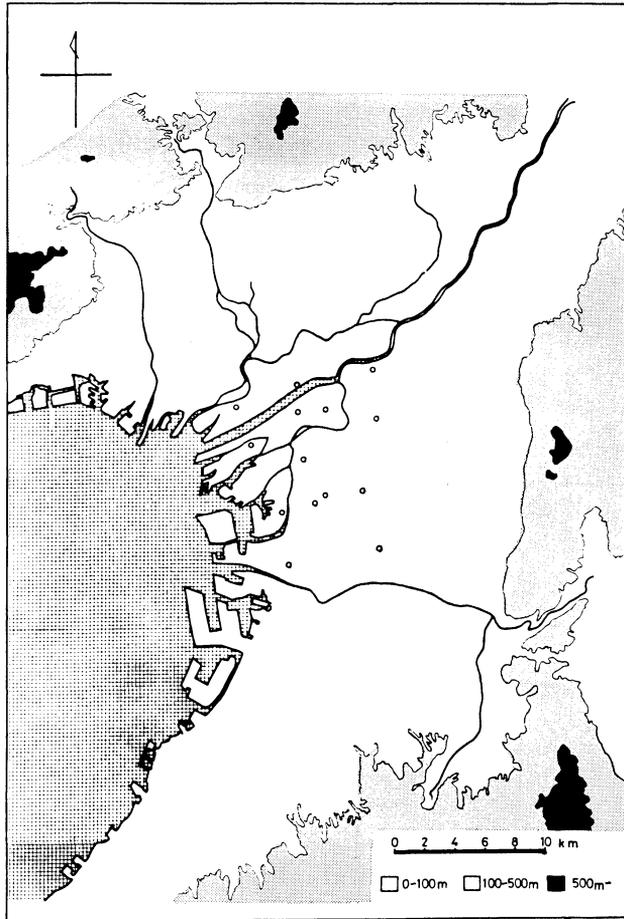
解析対象期間は、1974年7月～9月および1975年6月～9月で、使用した資料は、大阪市環境汚染監視地点(14地点)における地上風の毎時資料である。この14地点の分布は第1図に白抜きの丸印で示した。風速資料は毎時20分から30分までの平均値であるが、解析の便宜上、たとえば、8時20分から30分の平均値は8時の値として扱った。風向は16方位である。つまり、地上風資料

* Properties of sea breezes at Osaka city.

** T. Eguchi, 株式会社ケー・シー・エス.

—1977年9月5日受領—

—1977年10月31日受理—



第1図 対象地域概要図(大阪平野)。地盤高を3段階(0~100m, 100~500m, 500m~)に区分して示した。丸印は、対象とした地上風観測点(14地点)を示す。

は、時間については±1時間、風向については16分の1方位の分解能を有することになる。

上記の期間、毎日、海陸風が出現したわけではないので、次の手順に従って海陸風の卓越した日を選択した。

(1) 午前9時の地上天気図を参照し、付近に低気圧や前線等が存在せず、気圧傾度力が弱く、海陸風循環が卓越しやすい日を選択する。

(2) 各地点の風向風速資料を参照し、海風の出現が認められる日を再選択する。

このようにして決定した解析対象日は56日間で、全解析対象期間(214日)の26%に当たる。各解析対象日とその日の海風の主風向を第1表に示す。表の空欄日は対象外の日で、○×印については後で述べる。

2.2 海風の侵入時刻と侵入距離の定義

久保(1972)の事例解析にも見られるように、海風が侵入すると風向がほぼ逆転するため、風向データから海風の侵入時刻が明確に読み取れる。しかし、データは毎時(の20分から30分の平均値)の値しかないので、風向が逆転した直後の時刻をもって、各地点毎に海風侵入時刻を定めた。したがって、個々の侵入時刻は、決定した時刻直前の1時間の不確定性を持つが、データの数が多ければ、平均して30分前を期待する事ができるであろう。ところが、毎時のデータは、実は、その時刻の20分から30分の平均値であるから、海風侵入時刻の平均値は、結果的に、計算した値に近似すると予想される。

第1表に示した主風向は、全体の様子を見て、主観的に定めたものである。14地点の風向がすべて同じであれば問題ないが、実際は、同日の海風であっても風向が異

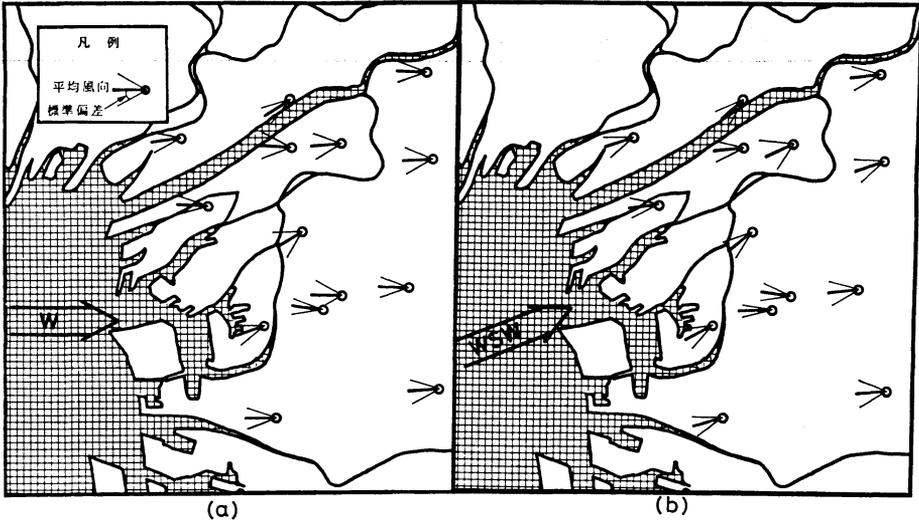
第1表 解析対象日およびその日の海風の主風向。空欄は海風が出現しなかった日を示す。
○×印は海風前線の侵入状況を示すものである(3.1参照)。

日	年 月	1974			1975			
		JUL	AUG	SEP	JUN	JUL	AUG	SEP
1			W ○		W ○		WSW○	W ×
2			W ○		W ○		W ○	W ○
3			WSW○		W ○		W ×	W ×
4			WSW○	W ×	WSW○		W ○	
5							W ×	
6								
7								
8					WSW×		WSW×	
9			W ×					
10								
11			W ○	W ×				
12			WSW○					
13			WSW×	W ○	W ○		W ×	
14			W ×		W ○		W ×	
15								W ×
16					WSW○			
17					W ○			
18						WSW○		
19								
20			WSW○			W ○		
21		WSW○						
22		WSW×	WSW×					
23			W ○					
24							W ○	
25							WSW×	
26		W ○					WSW×	W ○
27		WSW×			WSW○	W ○	W ×	
28						WSW×	WSW○	
29						W ○	W ×	
30						WSW○		
31		W ○				W ×		
合計		5	12	3	10	7	14	5

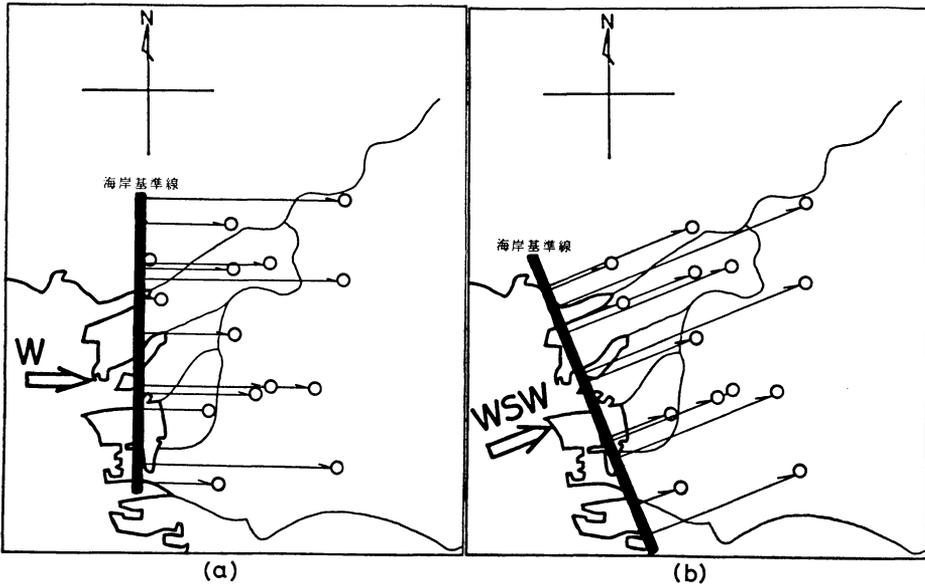
なっている。このようにして決めた主風向が、各地点毎にどの程度の風向のばらつきを含むかを第2図に示した。この図は、海風通過直後の風向を、主風向がWの日とWSWの日でそれぞれ平均したものであるが、主風向がWの日(第2図(a))も、WSWの日(第2図(b))も、大阪市の南部は、北部に比べてW寄りになる傾向がある。主風向の違いは、おもに北部の風向に現われている。風向のばらつき(図の矢印の開き角が標準偏差を示

している)も、南部に比べて北部の方が大きい。主風向がWの日とWSWの日で、全体の風向にそれほど、明確な違いが認められないが、WとWSW自身の差も小さいので、主風向をWとWSWに区分してもしなくても、似た結果が得られると思われる。しかし、この解析では区別して扱った。

海風の侵入速度を求めるためには、各観測地点の海岸線からの距離が必要である。そこで、海岸付近に、第3



第2図 海風の風向の出現傾向図、(a)は主風向がW、(b)は主風向が WSW の場合を示している。各地点毎に全解析日の平均風向と、標準偏差を表示してある。



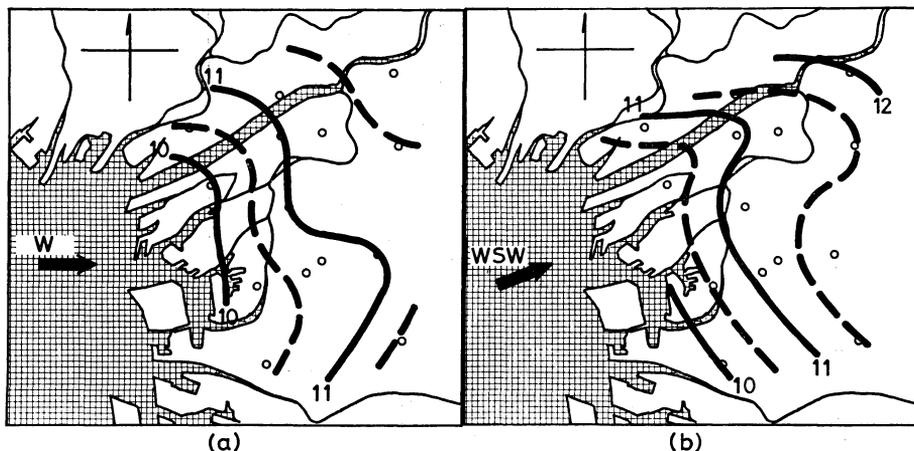
第3図 海風の侵入距離の定義。主風向に対し直角に海岸線の基準線を設定し、それからの垂直距離を侵入距離と定義した。(a)は主風向がW、(b)は主風向が WSW の場合。

図に示すような主風向に直交する基準線を設定し、その線からの距離をもって、海風の侵入距離と定義する。実際の海岸線には凹凸があるため、基準線の位置には多少の任意性がある。しかし、海風の侵入速度の計算には、各観測地点の相対距離のみが重要なので、基準線の位置は適当に定めた。

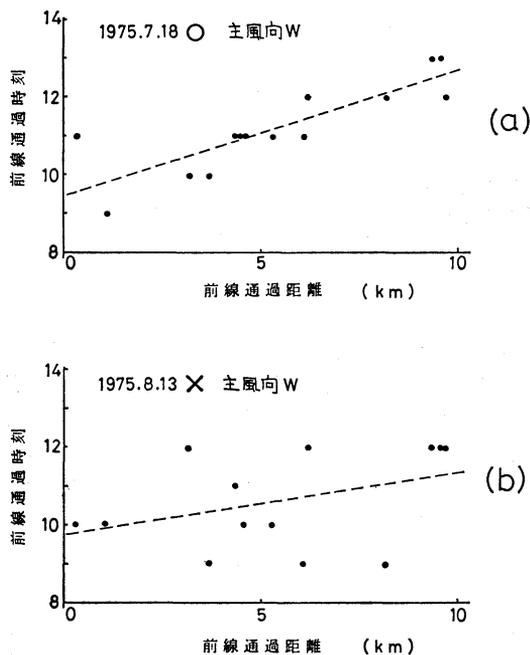
3. 解析結果

3.1 海風前線の侵入速度について

各地点の海風侵入時刻を主風向 (W と WSW) 別に平均して、海風前線の侵入時刻を求めた。その結果を第4図に示す。久保 (1972) は、臨海部で海風が吹き始めるのは、日の出後3時間位で、この時刻は高気圧の位置と



第4図 海風侵入時刻の平面分布図。全解析日の平均海風侵入時刻をプロットし等値線を記入した。図中の数値は時刻を表わす。(a)は主風向がW, (b)は主風向がWSWの場合。



第5図 海風前線の侵入特性。横軸に前線の通過距離、縦軸に前線の通過時刻をプロットした図で、破線は回帰直線を示す。(a)は海風の侵入が明確な例(回帰直線によくのっている)であり、(b)は明確でない例(回帰直線に対してバラツキが大きい)である。(a)は第1表の○の例、(b)は第1表の×の例。

れない、と述べているが、第4図の結果によると、海風が吹き始めるのは、平均して10時頃である。久保(1972)の解析結果よりも平均的に遅いが、昭和44年9月21日の場合とよく似ている。主風向がWの場合も、WSWの場合も、淀川流域および市の南部の方が中心部より侵入速度が速い傾向がうかがわれる。

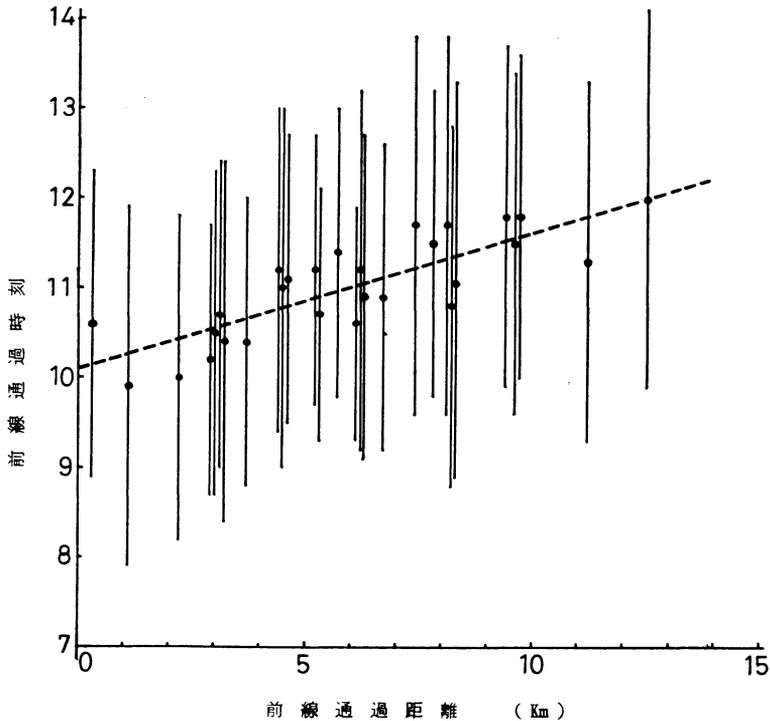
平均的な侵入速度を求めるため、各地点の海風の侵入時刻と前節で定義した海風の侵入距離との関係をプロットしてみた。第5図にその例を示すが、第5図(a)のように、データが一直線上に集中する場合と、第5図(b)のように、非常にばらつく場合がある事が分かった。第1表の○と×は、それぞれ、規則的な場合と不規則的な場合とを示している。この差が、いかなる理由で生じるのかが興味ある所であるが、現在のところ不明である。

このようなグラフを、全解析日で平均したものが第6図である。黒丸は、各地点における全解析日の侵入時刻の平均値で、縦線は標準偏差を示している。なお、この図には、海風の主風向がWの場合とWSWの場合を同時にプロットしたため、地点数が28個になっている(風向によって、同じ地点でも海岸線からの距離が異なるから)。図中の破線は各地点の平均値を最小二乗法で直線近似したもので、この傾きから平均的な海風前線の侵入速度は、1.8m/sである事が分かる。

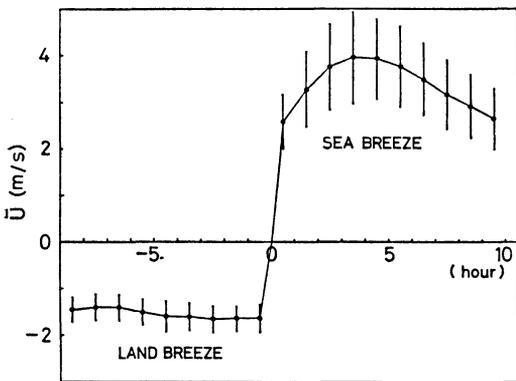
3.2 海陸風の風速について

海陸風に伴う風速の平均的な時間変化の様子を調べるために、各地点、各解析日の海風侵入時刻を基準にして、その前後約10時間の風速を全地点、全解析日で平均

か 850mb 面の風系とか前夜の天気などにあまり左右さ



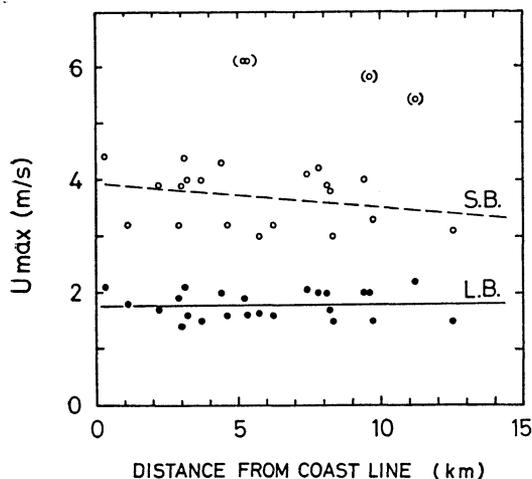
第6図 海風前線の侵入速度。各地点毎に、全解析日の前線通過時刻の平均値および標準偏差を表示した。黒丸が平均値で縦線が標準偏差である。破線は平均値の回帰直線を示す。海風の主風向をWとWSWに分けて解析したため、両風向（合計28点）のものを同時にプロットしてある。



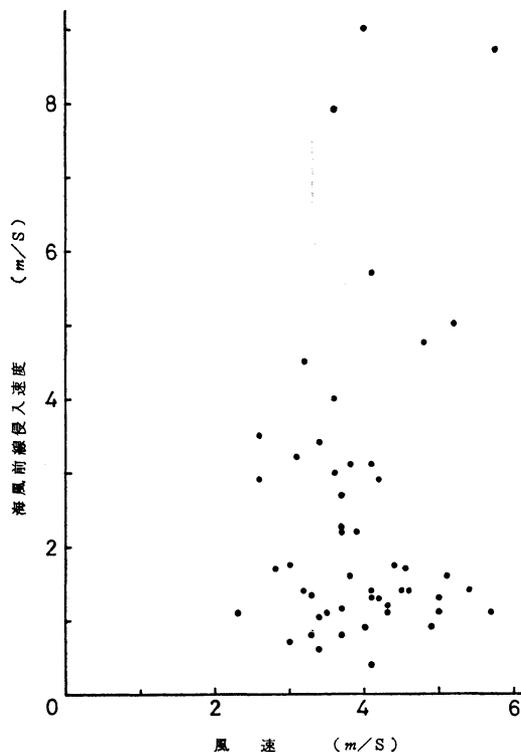
第7図 海陸風の時間変化図。全地点、全解析日の平均風速の時間変化を表示した。黒丸が平均値で、縦線は標準偏差を示す。縦軸には海陸風の風速をとり、海風をプラス、陸風をマイナスで表示した。横軸は、陸風から海風に転換した時刻を0とし、その前後の時刻を表示した。

してみた。その結果を第7図に示す。毎時のデータしかないで、真の侵入時刻は不明確である。便宜上、前節で定義した海風侵入時刻の30分前に風向の交代が生じたと仮定して、同図を作成した。縦軸は、風速ベクトルの大きさで、正の値は海風、負の値は陸風を表わす。縦線は標準偏差を示す。陸風は、海風と交代する直前まではほぼ一定で、1.5 m/s 程度である。これに対し、海風は、侵入して急に2 m/s まで増し、その後、次第に増加して、4 時間後に最大値 (4 m/s) に至る。その後はゆっくり減少し、10時間後に再び2 m/s まで落ちる。風速の標準偏差を海風と陸風で比較すると、海風の方が陸風より3倍ほど大きくなっている。

第8図に、海風陸風の最大風速が、各々の侵入距離によってどのように分布しているかを示した。白丸が海風、黒丸が陸風を示し、破線および実線は、各々の回帰直線を示す。白丸のうちカッコを付記したものは、特異値と判断し、回帰直線の算出から除外した。海風は、海岸部において風速の最大値が現われ、内陸へ侵入するに



第8図 海陸風(最大風速)の距離減衰図。各地点毎に、海陸風の風速の最大値の平均値(全解析日について)を算出し、海岸線からの距離との関係をプロットした。黒丸は陸風、白丸は海風を示す。実線および破線は、各々の回帰直線を示す。主風向がWの場合とWSWの場合を同時にプロットしてある。カッコ内の白丸は、特異値と考え、回帰直線算出の対象から除外した。



第9図 海風前線の侵入速度と海風の風速との関係。解析日(50日間)の海風前線侵入速度と海風風速との関係をプロットした。海風の風速は各地点(14地点)の最大値の平均値で代表させた。

従って、わずかながら減少する傾向を示している。また、陸風は、海岸線からの距離に関係なくほぼ一様で、風速は海風の約半分である(陸風の回帰直線の傾きはわずかではあるが内陸の方が海岸部よりも大きな風速を示している。しかし、データが少ないので有意なものとは判断する事はできないであろう)。

3.3 前線の侵入速度と海風の風速

海風前線の侵入速度が、海風自身の風速と関係するのではないかと考え、各解析日の侵入速度と海風の最大値(14地点の平均)との関係を第9図にプロットしてみた。すでに示したように、平均的には、海風自身の風速の方が、海風前線の侵入速度よりも大きい。しかし、第9図によると、海風前線の侵入速度は、海風自身の風速に比べて大きな変動を示し、海風の風速よりも侵入速度の方が速い場合もある事が分かる。また、両者の速度の間には明確な相関は認められない。

4. 解析結果の検討

この解析では、海風の出現日を主観的な方法で選択した。北林(1976)は、客観的方法と主観的方法による選択の違いを考察しているが、それによると、「両者の一致はおおむね良好であるが、目視判定では風向を重視し

ているため、弱い海風をも出現と判定し易く、そのため、目視判定による出現日数より計算機判定によるものの方が5割ほど少なくなっている」。同論文では、兵庫県播磨地域について、1974年の海陸風の統計解析を行なっているのだから、今回の大阪地域と比較してみよう。播磨地域による海風出現日は、客観的方法によると、7月は16日間、8月は13日間、9月は14日間である。第1表と比較すると、この研究で選択した日数の方がいずれも少ない。これは、地域差という事もあるが、この解析を用いた海風出現日の基準が厳しい事を示していると考えてよいであろう。

この研究の一つの動機は、海風侵入速度がいかなるメカニズムで決定されるか、その原因を考える基礎資料を得る事であった。平均的には、第6図に示されたごとく、1.8 m/sで内陸に侵入するのであるが、第9図に示されたごとく、海風自身の速度に比べて、非常に大きく

変動 (1 m/s 以下から 8 m/s 以上まで) する点が興味深い。北林 (1976) は、播磨および鹿島地方の統計解析に基づき、海風の侵入は谷間や川沿いで早く、山地で遅くなる傾向があると述べている。同様の傾向は、第 4 図にも見られるが、このような空間的な変化に比べて、日による侵入速度の違いは、はるかに大きいように思われる。この原因を、一般風が日によって変化する事に、関連させるのは無理であろう。なぜなら、もしそうであれば、海風自身の風速にも大きな変動が現われてしかるべきだからである。侵入速度のばらつく原因は、第 5 図に示された、侵入時刻の不規則性と関連があるように思われる。そこで、侵入時刻の規則性を支配している条件を調べる事が、海風侵入のメカニズムを考える上で重要であると思われるのであるが、この解析では、その原因をつきとめるまでに至らなかった。単に問題点を指摘するにとどめる。

海風と陸風の性質の違いは、第 7 図、第 8 図によく示されていると思う。陸風がほぼ定常状態で吹いている中に、風速 2 m/s の (したがって侵入速度とほぼ等しい) 海風が侵入してくると考えられる。海風前線は、ほぼ 2 時間で大阪市を通過する。しかし、その後も海風は風速を増し、吹き始めてから 4 時間後に最大風速に達する。海岸からの距離による最大風速の分布は、第 8 図の回帰直線によると、わずかながら、海風は内陸方向に減少、陸風は増加の傾向を示しているが、データのばらつきが大きいから、共にほぼ一定と考えてよいであろう。なお、久保 (1972) によると、陸風前線は内陸から海岸方向へ進行するようである。

観測に基づく海陸風の研究は、着目した地域に特有な性質が強調されやすい傾向があるが、この研究は、なるべく海陸風の一般的な性質を抽出することを目的とした。そのため、大阪市の地形効果の細部まで考察せずに、海風の方向を全体的に W か WSW として扱った。これは、相当強引な仮定のように思われるが、結果から判断すると、平均的な海風の性質がよく表現されたと思う。大阪시는、比較的、海陸風循環の性質が単純であることから、さらに詳しいデータ解析を行ない、海陸風の一般的な性質を調べる事が望まれよう。

謝辞

本研究を行なうにあたって、終始、全面的に御指導いただいた、東京大学海洋研究所の木村竜治助教授に対し、深く感謝いたします。また、貴重な資料を提供していただいた、大阪市環境汚染監視センターの山根和夫氏、貴重な御意見をいただいた、東京学芸大学の島貫陸助教授、および、国立公衆衛生院 (現 北海道大学) の大喜多敏一郎長に対し、謝意を表します。

文 献

- 浅井富雄, 吉門 洋, 1973: 海陸風に関する理論モデルとその問題点, 天気, 20, 119-129.
- 井野英雄, 根山芳晴, 1972: 海陸風の研究, 天気, 19, 299-310.
- , ———, 1973: 広島湾の海陸風について, 天気, 20, 547-555.
- 菊地幸雄, 1975: 海陸風循環の数値シミュレーション, 気研ノート, 125, 21-49.
- 岸田和博, 1974: 広島における海陸風循環の経月特性, 天気, 21, 579-586.
- 北林興二, 1976: 海陸風の統計的解析, 公害, 11, 80-98.
- 久保朋弘, 1972: 大阪府下における海陸風の地上解析例, 瀬戸内海と海陸風, 54-81.
- 国保政行, 根山芳晴, 1975: 海陸風に対する一般風の効果について, 天気, 22, 565-567.
- 長野美文, 菊地幸雄, 荒川正一, 白崎航一, 1977: 南関東海陸風の数値シミュレーション, 予稿集, 31, No. 116.
- 中山 章, 1975: 海陸風の現象の概要と問題点, 気研ノート, 125, 1-19.
- 根山芳晴他, 1973: 「瀬戸内海と海陸風に関するシンポジウム」報告, 天気, 20, 63-79.
- 根山芳晴, 1974: 海陸風と山谷風との相互作用について, 天気, 21, 587-589.
- Pielke, R.A., 1974: A three-dimensional numerical model of the sea breeze over south Florida, Mon. Wea. Rev., 102, 115-139.
- 斉藤直輔, 1975: 関東地方の海陸風の数値実験, 予稿集, 28, No. 272.
- 高野憲治, 1976: 大気局地循環の数値シミュレーション, 予稿集, 29, No.236, 237.
- 山本和三, 1974: 広島付近における海陸風の地域特性, 天気, 21, 575-578.
- 山元竜三郎他, 1976: 昭和50年秋季大会シンポジウム「海陸風」の報告, 天気, 23, 205-212.