松山周辺における海陸風の特性

深　石　一　夫*・辻　田　英　樹**

I　序

松山市は，瀬戸内海西部の伊予灘南東部に面し，松山平野海岸地域では，海陸風がよく発達する。瀬戸内海気候に属す松山平野は地形の影響で一般風が弱く，しかも周辺が山地・陸地に囲まれているので，晴天日数が多く海陸風の発達には好条件な位置にあるといえよう。古くから「瀬戸の夕凪」といわれ，盛夏期には海風が止み陸風が吹く前の夕刻の無風時の暑さは耐えがたく，体感気温での暑さは実際の気温以上の蒸し暑さとして知られている。また日中の海風は，体感温度の低下に効果があり，海風の分布は夏の住環境の重要な要素である。

また松山平野には臨海沿岸地域に重工業の工場が分布し，汚染大気の内陸への輸送過程が海風と関係しているので，都市大気環境の面からも注目されている。

海陸風の発達に好条件である瀬戸内海では，海陸風の研究は早くから数多く行われている（吉野　1978）。最近の調査研究をあげても広島（宮田　1982），岡山（佐橋　1978），大分（阿部・楠田　1982，楠田・阿部　1982），和歌山（伊藤・川添　1983），大阪（江口　1977），瀬戸内海（宮田　1976），愛媛（根山　1979）など多方面から多くの研究が発表されている。日本における海陸風の総合的な報告（井野・根山　1972），シンポジウムの報告（根山　1973）など数多くの海陸風に関する調査報告・研究がなされている。

松山における海陸風の調査には，北村（1990）のものがある。観測例が少ないもののパイボールをつかった海陸風の垂直構造を明らかにしようとした松山での最初の試みである（深石　1992）。1989年10月6日の調査では，地上の海風の厚さは200 m程度で，上層のバックカレントの下限は500 m，上限は明確ではないが1,200 m程度であることが推定された。

この小論では，松山における海陸風の気候学的特性を探るために，松山地方気象台・同松山空港出張所の観測資料に加え，松山市大気環境測定局・同移動車観測の資料も利用し，平均的な海陸風の分布や日変化の様態，気圧配置型や大気汚染との関連などを明らかにすることを目的とする。

II　資料と解析方法

1　松山市域の概要

松山平野は瀬戸内海西部の伊予灘に面し，その南限は四国山地の石鎚断層崖，北部は高縄山塊で区切られ，ほぼ西流する重信川と石手川の沖積平野からなる。松山市域は平野の北部の石手川流域にあり，主要市街地は海岸から約5 km内陸にある城山を中心に広がっている。なお市域北部は斉灘に北面している。海岸線は人工改変により，多少凹凸はあるもののほぼ南北方向に，北部では東西方向になっている。松山地方気象台の風の観測資料を要約すると，第1表のようになる。暖候期に注目すると，03時の夜間には東風が20—27

第1表　松山における月別・時刻別最多風向頻度（%）

	03h		09h		15h		21h	
1月	WNN	16	WNW	23	WNW	25	WNW	17
2月	ESE	16	SE	16	WNW	22	WNW	14
3月	E	16	WNW	14	WNW	19	E	16
4月	E	19	WNW	18	WSW	18	E	22
5月	E	20	WNW	23	WNW	19	E	25
6月	E	21	WNW	25	W	22	E	29
7月	E	27	WNW	20	W	21	E	27
8月	E	27	WNW	18	W	21	E	32
9月	E	25	WNW	12	WNW	18	E	21
10月	ESE	26	SE	16	NW	16	ESE	26
11月	ESE	19	SE	17	WNW	18	ESE	22
12月	SE	20	SE	23	WNW	21	SE	19
全年	ESE	18	WNW	17	WNW	19	E	20

気象庁（1991）日本気候表（その1）より作成

*愛媛大学法文学部
**カトーレック

%, 15時の日中には西風が20 %に達し，いずれも第1位を占め，海陸風循環がかなり高い頻度で卓越している事実がわかる。なお冬の西よりの風の高い出現頻度は，北西季節風による。

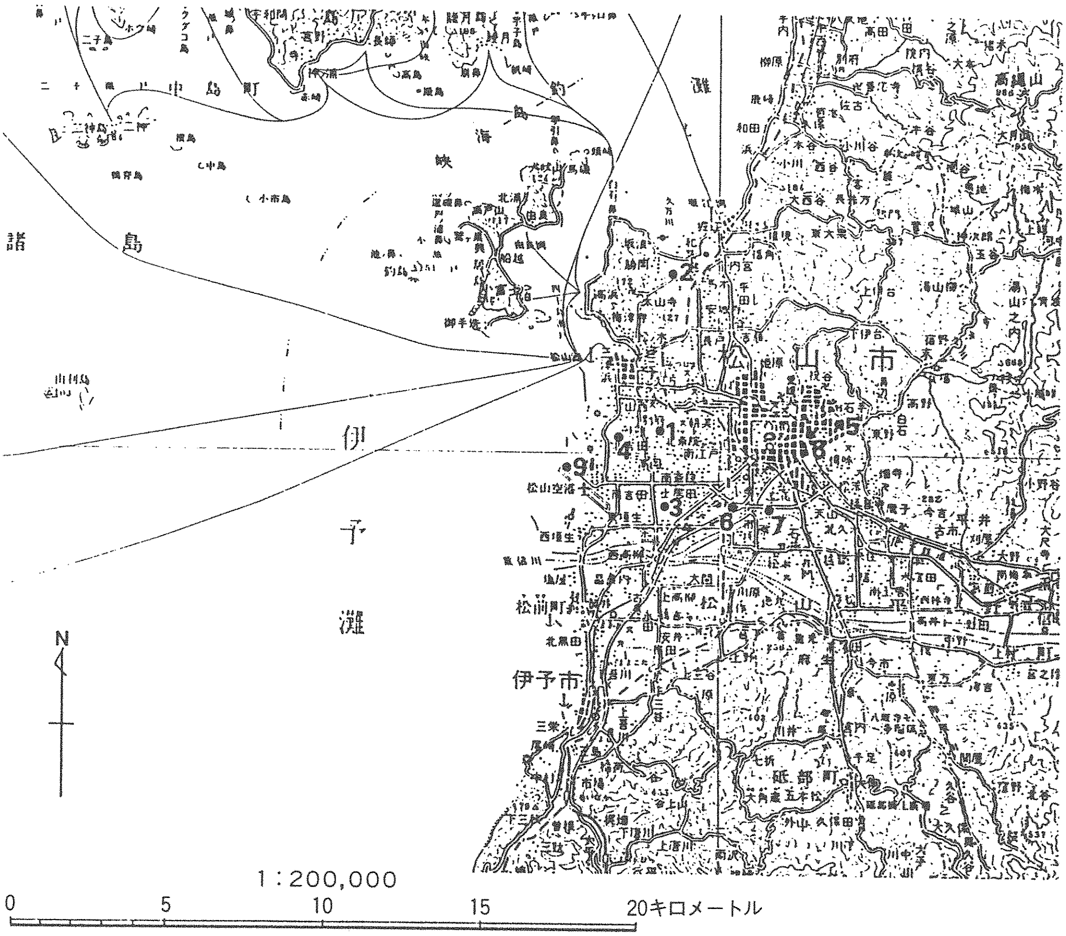
2　観 測 地 点

観測地点の分布を第1図に示す。観測地点1から7までは，松山市環境管理課の大気汚染測定局で，毎時の風向・風速，二酸化イオウ濃度の測定値を利用した。観測地点8は松山地方気象台で，後述する海陸風日の選定に際し，この地点の観測日原薄を用い，日照時間・降水量・風向風速・雲量・天気変化などを利用した。観測地点9は毎時の風向風速を利用した松山地方気象台空港出張所である。

大気汚染測定局の設置場所の選定は，臨海地域にある重化学工業の工場から排出される大気汚染物質の広がりを知る目的でなされているので，海陸風調査にたいして適切な資料を提供できる場所に観測地点が設置されているとは限らない。大気汚染測定局のうち和気を除けば，松山空港周辺の東洋レーヨンや帝人による大気汚染の測定を目的としている。しかし観測地点ごとの資料の吟味は，ここではしないことにする。

3　海陸風の吹送日の選定

海風・陸風の吹く原因は，水陸の熱的および物理的特性の差異にある。水体と陸地の表面は熱収支・放射収支が異なり，同一の総観条件にたいし接地層の気温が両者で差異が生じ，結果として気圧差ができ，その



第1図　研究対象地域及び観測地点
1. 味生測定局　2. 和気測定局　3. 富久測定局
4. 弁天山測定局　5. 上市一丁目　6. 土居田町
7. 朝生田町　8. 松山地方気象台
9. 松山地方気象台空港出張所

際吹く風が海陸風である。つまり，日中には海面が低温で高圧部，陸上が高温で低圧部となるので，海上から陸地に向けて吹く風である海風が吹き，夜間には反対に陸風が吹く。したがって接地層の気温差が大きくなればなるほど海陸風の吹送には好条件であり，天気の状態でいえば，晴天で一般風が弱い気象条件の時である。

このような気象条件が調査地域に海陸風が卓越する日を選定するために，まず刊行されている毎日9時の地上天気図で選別することが考えられる。総観条件から推定される気圧配置型（吉野・甲斐　1977）は，移動性高気圧型と南高北低型（または夏型）であるが，ここではこれらの気圧配置型にとらわれないで，気圧傾度が小さく晴天が卓越する天気図を選別した。気圧配置型分類は1990年についてはなされていないので，分類法に従って西日本に気圧の谷や前線の影響がない気圧配置日を選定した。さらに大気の不安定や対流性の悪天などの局地的擾乱を除くため，松山地方気象台の観測日原簿により，日降水量のある場合，日照時間が8時間以下の場合，日平均風速ば3.5 m/sec以上の場合を除いた。

このような基準をもとに松山地域での海陸風吹送日を，1990年暖候期（4月1日から10月31日）から選別した。結果は4月9日間，5月8日間，6月10日間，7月19日間，8月13日間，9月6日間，10月5日間の合計70日間で，全体の32.7％にあたる。これらの海陸風吹送日について以下の解析を試みる。

4　解析方法

各観測地点の海陸風の日変化の実態を知るために，上述の方法で選別された70日間の毎時の風をベクトル合成し，ホドグラフを作成する。ホドグラフによりこの地域における海陸風の概観がえられ，ある程度の地域性が掴める。次に海陸風の平均的な状態と日変化を知るために，観測地点の風配図を時間毎に作成する。さらに海風の継続時間を読みとることにより，海風の吹きだし時刻，陸風の吹きだし時刻がわかり，この資料を時刻別に整理すると海陸風の吹送開始・終了の時刻別頻度が明らかになる。

次に海風は一般的には海岸から吹きだし，次第に内陸に侵入するが，海岸からの距離に対して海風の侵入がどの程度遅れるかを検討する。さらに一般風との対応を見るために，海陸風吹送日についての総観条件について検討する。つまり夏型・移動性高気圧型などの気圧配置型の差異により，海陸風の実況がどのように変化するかをみる。最後に二酸化イオウ濃度の時間的変化と海陸風との対応を各地点毎にみる。

III　解析結果と若干の考察

1　ホドグラフ

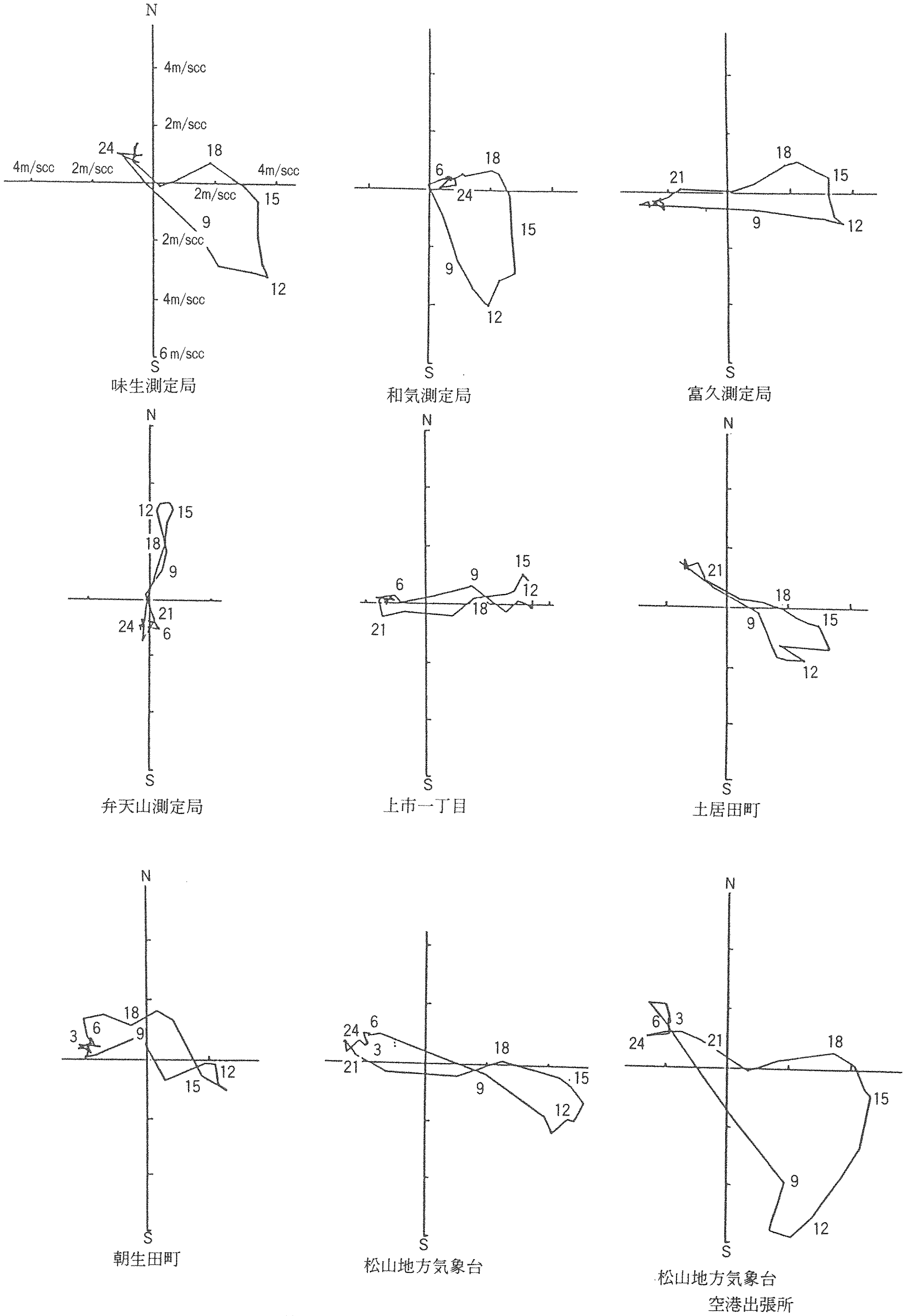
観測地点の平均的な海陸風の日変化を見るためにホドグラフを作成した。ホドグラフはさきに述べた海陸風日の70日間について，各時刻別に風のベクトル平均を求め，平均的な海陸風の日変化を明らかにした（第2図）。宮田（1976）によれば，瀬戸内海域の四国側では反時計回りの風向日変化が卓越するという。しかし全国的にみれば，局地的影響があり，必ずしもこのような一般法則は当てはまらない事例もある。

第2図に示すように，松山市内のほとんどの観測地点で海陸風は反時計回りの日変化をしている。弁天山測定点は，観測地点の地形の影響，上市一丁目・松山地方気象台は，都市気候の影響で海風吹送時の最盛期には反時計回りの風向変化が乱れている。しかし海岸に近く平坦地にある松山空港では，きれいな反時計回りの海風日変化をしている。その他，味生・和気・富久の各測定局でも反時計回りの日変化が読み取れる。陸風についてみると，一般に風速が小さく風向の日変化が読み取れない。弁天山・和気測定局では，周辺山地からの斜面下降風の影響と推定される風がホドグラフに表れ，陸風の風向とは異なる別の傾向が現れている。

2　海陸風の風配図

平均的な海陸風の風向変化の頻度を見るために，各観測地点の風配図を作成し，このうち6時間毎の分布図を第3図に示す。3時の風の分布は明らかに陸風の循環を示し，陸地側から伊予灘に向けての風が卓越している。しかし観測地点の局地性のために，和気・弁天山・富久などでは，風が乱ればらつきが大きい。また朝生田では石手川の影響がみられる。

海風に交代した9時・15時の風配図を見ると，和気では北よりの風と経ケ森の谷風，空港では風向の変動が大きいが，他の地点ではおおむね海上からの海風となっている。しかし，弁天山では南よりの風向頻度が高く地形の影響を受けているものと推定される。海風の最盛期である15時の風の分布でもそれ以前と変わらないが，和気では経ケ森を越えてきた西よりの海風の頻度が高くなる。18時の風の分布は海よりの風では



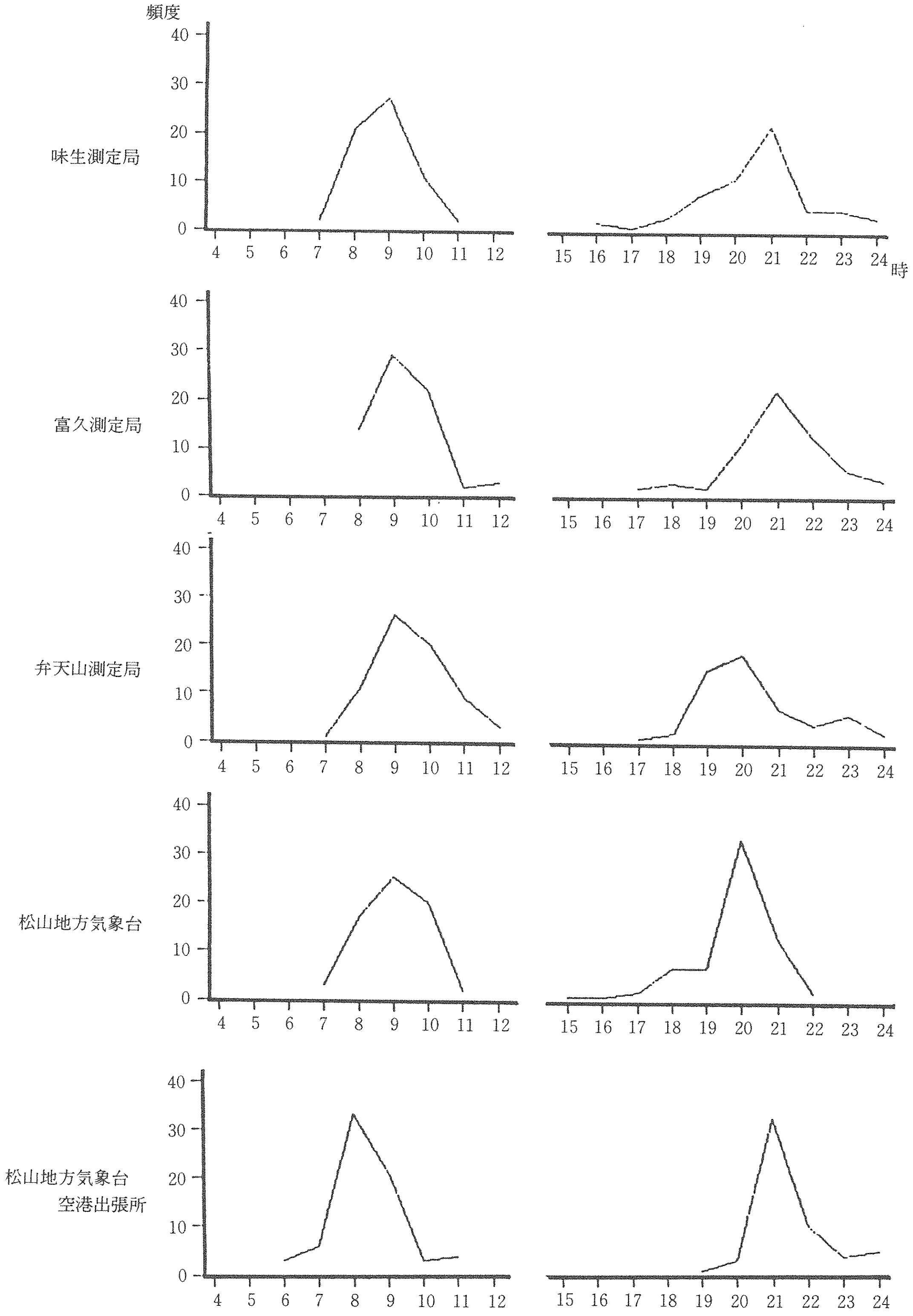
第２図　海陸風卓越日の平均ホドグラフ
（図中の数字は時間を表す）

第 3 図　海陸風卓越日の風配図

あるが，風向のばらつきが大きく，朝生田や上市では陸風が吹き始めている。21 時ではほとんどの地点で陸風分布になっているが，和気のみは西より風が卓越し，経ケ森からの斜面下降風と推定される風が吹く。

3　海陸風の吹送時間

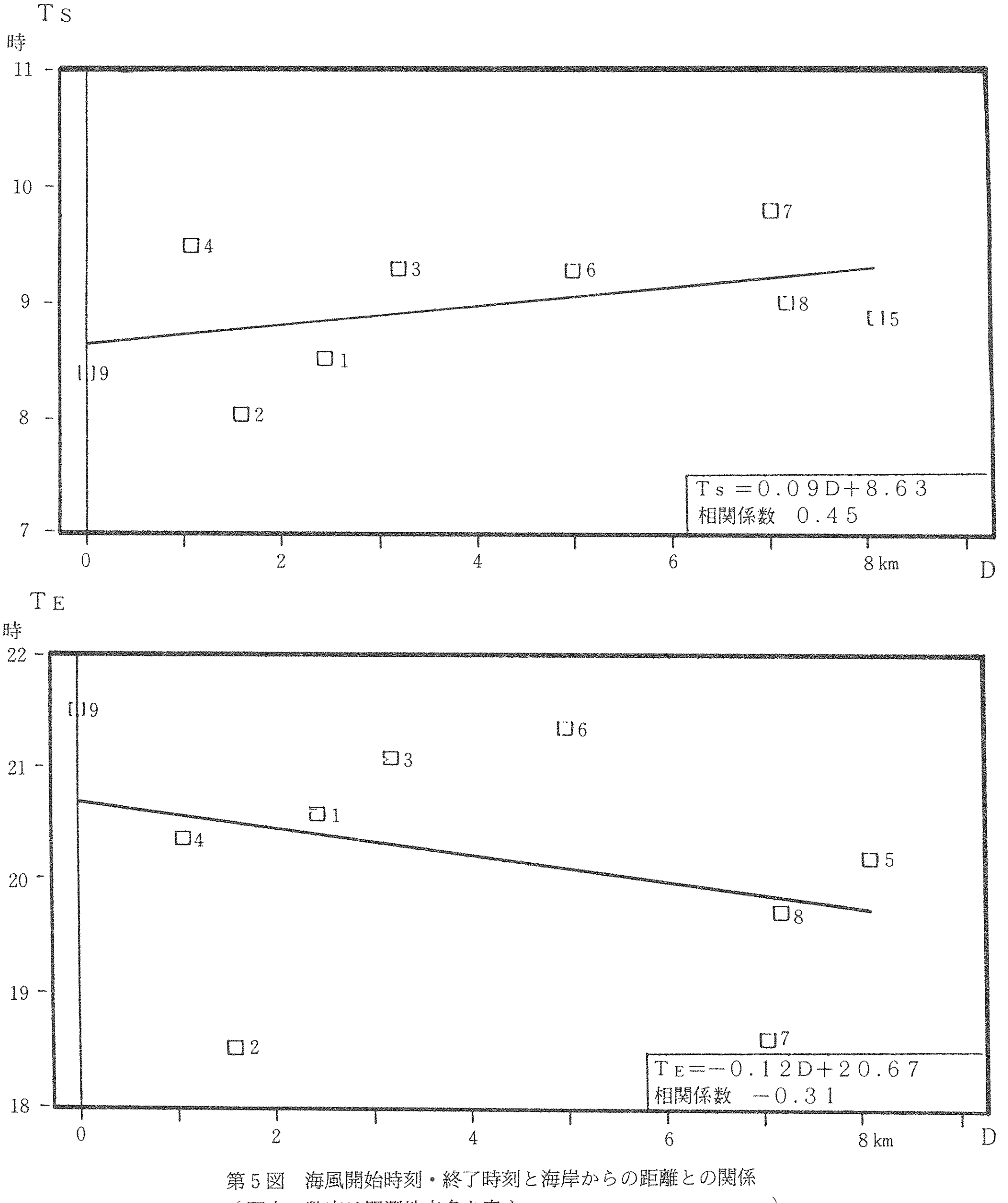
海風の吹送時間を求めるために，各観測地点の陸側の風向から海側の風向に変化した時刻を海風吹き始めの時刻とし，反対の風向変化時刻を海風終了時刻とし毎時の頻度を求めた。結果の一部を第 4 図に示す。海風の吹送開始時刻は海風前線を伴い，接地層の大気が収束するので，大気汚染が前線上でピークになる。また海風終息時刻は瀬戸の夕凪の開始時刻である。



第4図　海陸風の侵入・後退の時刻別頻度図

第3図で見たように，海風は海岸近くから侵入し始め，次第に内陸に向かう。第4図の頻度分布図からもこの状態が読み取れる。最多の頻度を見ても空港では8時，気象台では9時，朝生田では10時である。これに対し海風の吹送終了時刻は変動が大きく，全体としては海岸で遅いが明確な傾向はでてこない。

海岸からの距離（横軸：km）と海風開始時刻の関係を見たのが第5図である。直線回帰式は最小自乗法により求め，相関係数は吹きだし時で0.45，終了時で－0.31である。図から明らかなように，海風の吹きだし時刻は海岸では早く，終了時は反対で内陸で早く海岸で遅い。弁天山・和気・上市などで回帰直線からの乖離が大きく，相関係数が低い原因は地形の影響や都市気候の影響であろう。平均的にみれば，松山では海岸



第5図 海風開始時刻・終了時刻と海岸からの距離との関係
（図中の数字は観測地点名を表す
1. 味生 2. 和気 3. 富久 4. 弁天山 5. 上市
6. 土居田 7. 朝生田 8. 気象台 9. 空港）

地帯での海風は，8時30分頃吹き始め内陸に向かっておよそ毎時10 kmの速度で海風が侵入することが明らかになった。海風の終了時刻は，吹き始めの場合よりばらつきが大きく相関係数が低いのは，よりスケールの小さい地表面の影響を受け易い現象であるためと推定される。平均的にみると海岸から8 kmの内陸で，海風は19時30分頃吹き止み，海岸では21時頃になり夕凪となる。

4　海陸風吹送日の気圧配置型

前述の海陸風吹送日の気圧配置型について述べる。海陸風卓越日は，晴天で一般風が弱い日であることから気圧配置型でいえば，高気圧系の天気図型が想定される。

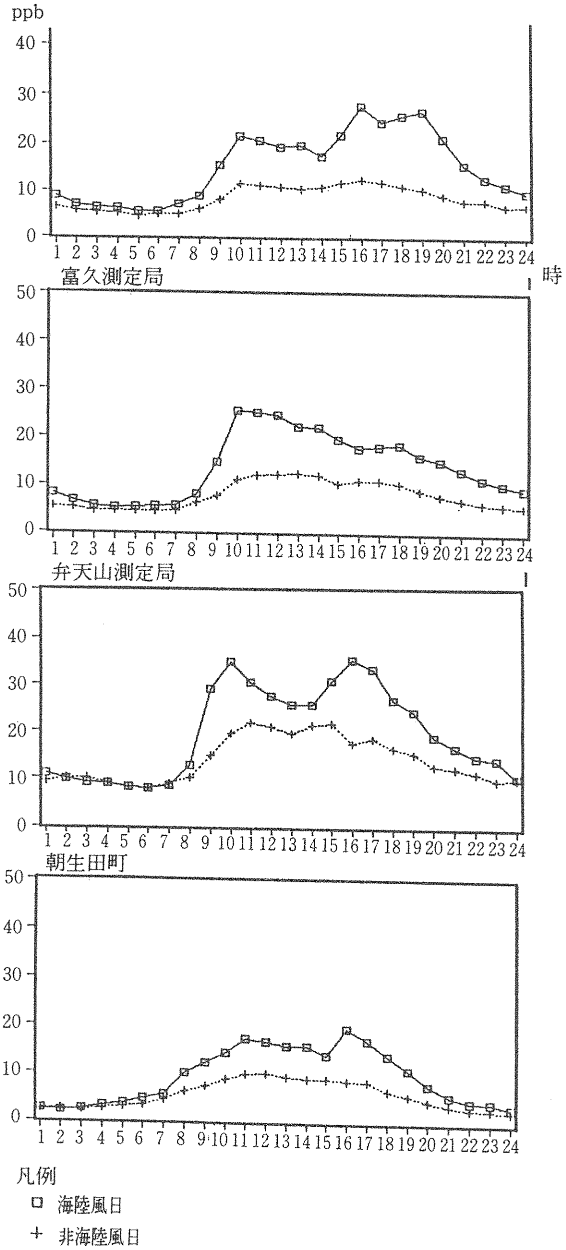
海陸風卓越日，70日間についての気圧配置型を吉野（1987）の分類基準によって区分すると，次のようになる。移動性高気圧が日本列島の北部を東進する北偏移動性高気圧型が10例で，晩春・梅雨・秋に多い。移動性高気圧が日本列島上を東進する中央移動性高気圧型が15例で，やはり晩春・初夏・梅雨・秋に多い。移動性高気圧が日本列島南岸を東進する南偏移動性高気圧型が3例で，初夏に現れる。最も多いのは南高北低の夏型で35例で，全体の50％を占める。その他混合型，あるいは分類不能型が7例ある。

海陸風の振る舞いは，一般風の影響を受けやすく，愛媛県でも調査研究が行われている（根山　1974）。水陸の熱的および物理的特性の差異によって生ずる海陸風は，わずかな気圧傾度によって起こるよわい一般風の影響を受ける。北偏移動性高気圧型の気圧配置の場合，高気圧の前面にあると，東よりの一般風，後面にあれば西よりの一般風であるので，松山のような海陸分布の地域では，複雑な影響を受ける。ここでは最も出現頻度の高い夏型の場合について見てみたい。

夏型気圧配置が出現する盛夏期は，大気中の水蒸気が多く高温で，相対的に夜間の時間が短いので，夜間の放射冷却が弱く，その結果として陸上の高圧部が弱く，陸風は一般には弱い。夏型気圧配置下の陸風の風速の極大は，陸風の吹き止む1－2時間前で，それまでは静穏が多い。南高北低の気圧配置が示すように，このときの一般風の風向は，西よりの風で海風の風向と一致する。前述のように海風の吹き出しは，9時前後に始まるが，いったん海風が吹き始めると，海風の侵入は急速で海風前線の停滞はほとんどない場合が多い。一方海風から陸風への交代は，一般風に逆らう陸風の吹き出しが遅れ，夕凪の時間が長くなる。瀬戸内海地域の夕凪の暑さの原因は，こうした総観規模での影響もあるものと推定される。松山の場合，この他に都市気候の影響も考慮されねばならない。

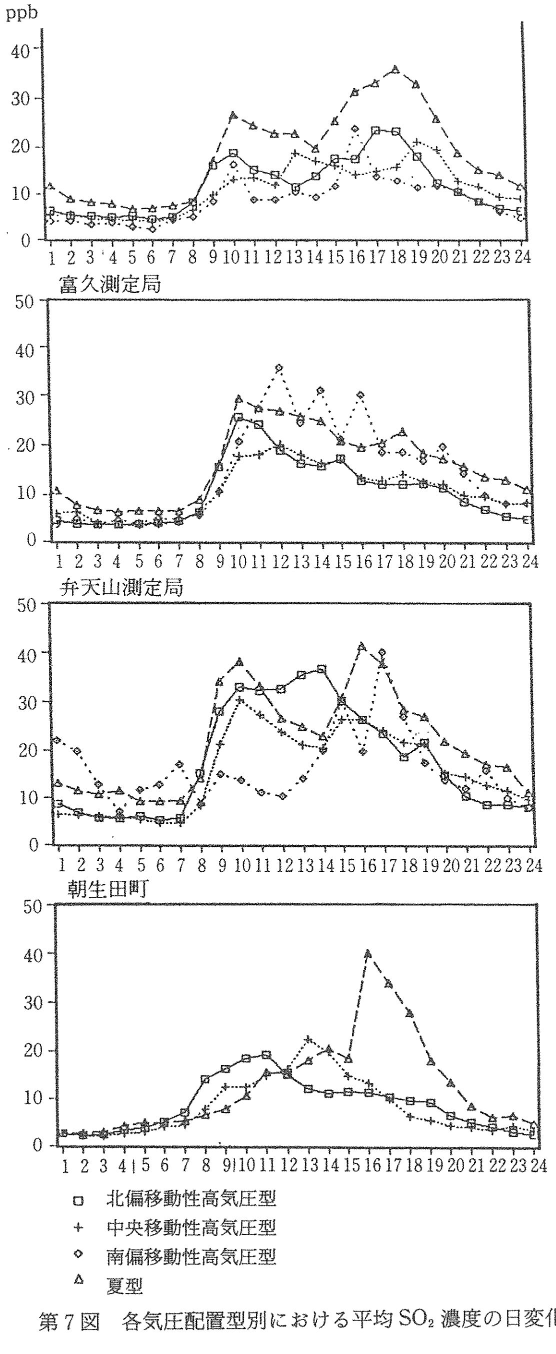
5　気圧配置型と大気汚染

海岸地帯の大気汚染は海陸風の循環と深い関わりを持つことは，以前から指摘されている（河村　1990）。第6図には，海陸風日とそれ以外の日について二酸化イオウの濃度を毎時ごとに示した。汚染源から遠く離



第6図　平均SO_2濃度の日変化

れている和気では，日変化が小さく両者の変動の差異がすくない。しかし図から明らかなように，富久・土居田では海風前線が通過したと推定される10時に汚染のピークが現れ，海風が弱まり，陸風に交代する夕方に再び汚染濃度が第二の極大をなしている。これに対し，味生・上市・朝生田では二つのピークを持つが，後者の夕方の方が高い汚染濃度を持っている。さらに



第7図　各気圧配置型別における平均SO_2濃度の日変化

弁天山では二つのピークの時間的間隔が小さく，変動幅が大きい。また汚染大気の濃度も観測地点の中で最も高く，30—40 ppb に達し，海陸風が卓越しない日についても他地点と比較して高濃度である。この現象の原因は，日中の汚染大気が局地的な循環で蓄積し，高濃度になったものと推定される。汚染源・付近の地物の影響・海岸からの距離などが，これら三タイプの汚染日変化を示しているのであろう。

次に汚染濃度と気圧配置型の関係を見てみる（第7図）。予想されるように，夏型気圧配置の際に最も汚染濃度が高くなっているが，地域的な差異も大きい。ここでも弁天山測定局で汚染濃度が最も高く，特異な変動を示している。夕刻のピークは他地点では18—20時であるのに対し，弁天山ではいずれの気圧配置型の場合も15—17時に出現し，特に北偏移動性高気圧型の時には9—15時にかけて高いピークを維持している。味生・朝生田では夕方のピークが午前中のそれに比較し大きくでているが，これは海風が弱まり汚染大気が接地層に蓄積されやすい大気成層が維持されたためと考えられる。

南偏移動性高気圧型の場合の汚染大気の時間変化は，複雑な形をとっているが，高気圧の位置により風が変化するためと考えられる。瀬戸内気候は風が弱く大気汚染には弱い大気環境といえるが，一般に言われているように，海風前線の進行と共に起こる午前中の汚染ピークよりむしろ夕方の凪の時刻の汚染ピークの方が大きいのは注目されて良い。

Ⅳ　要　　約

松山市域の海陸風の実態を知るために，松山地方気象台・同空港出張所・松山市大気汚染測定局（5—8地点）の風の観測記録を利用し，1990年4—10月の暖候期について解析した。この期間の毎日の天気図，松山地方気象台の風・日日照時間・日降水量・日雲量などの観測資料を用いて典型的な海陸風日を選定した。その結果，北偏移動性高気圧型10日，中央移動性高気圧型15日，南偏移動性高気圧型3日，南高北低夏型35日，混合型7日の合計70日の海陸風吹送日を選んだ。以下この海風日について述べる。

1　海風の風速は，海岸に近い空港では6 m/sec，その他の内陸では2—4 m/sec で，午後2時頃もっとも強くなる。陸風は2 m/sec で風速の時間的変化は少ない。風向の変化は，全体として反時計回り変化で

あるが，上市，気象台では，陸風変化が時計回り変化になる。

2 海陸風循環に都市気候，山谷風の循環が加わった風の変化と推定される現象が和気・上市などに認められる。しかし市域全般でみれば，海陸風循環が卓越し，海風は海岸から内陸に進入する。

3 海風の吹送開始時刻は，平均的に見れば8時30分頃に海岸で始まり，時速10 km程度の速度で内陸に侵入する。海風吹送終了時刻は19—21時であるが，地域的に変動が大きく，一般には夕凪の時間の方が朝凪の時間より長い。特に盛夏期の夏型気圧配置の際に長い。

4 海陸風と気圧配置型との関係を見ると，北偏移動性高気圧型の場合東より，他の移動性高気圧型の場合南より，夏型の場合南よりの一般風の影響を受けている。また風向の日変化も気圧配置型により時計回り，反時計回りに分類できる。

5 海陸風日とその他の日との二酸化イオウ濃度を比較すると，海陸風日の方が50—100％も高く，地域差も大きい。測定地点の濃度の分布から，汚染源とりわけ都市市街地の分布と密接な関係がある。また汚染のピークは気圧配置型・測定地点によって異なるが，夕刻に現れることが多い。

この論文は平成4年度愛媛大学法文学部で深石が指導した辻田の卒業論文「松山市域の海陸風と大気汚染に関する気候学的研究」を骨子としている。

この小論を平成六年三月に退官される愛媛大学法文学部教授横山昭市教授に捧げたい。深石は愛媛大学着任以来15年余にわたり，横山教授に公私共大変お世話になった。横山教授には学生の指導法，地理学の研究法，野外調査の方法とそのまとめ方などの学問研究領域に留まらず，学会の動向，内外の人間関係，年をとってからの健康法など広い分野にわたり懇切丁寧な御指導を頂いた。辻田は卒業論文作成に当たって，横山教授から適切な助言を数多く頂いた。ここに記して横山教授に謝意を表したい。

参考文献

阿部信男・楠田　信（1982）：大分市における夏季の海陸風と二酸化硫黄濃度分布の関係　天気　29　1　87-90

伊藤久徳・川添俊弘（1983）：和歌山県における海陸風　天気　30　3　151-159

井野秀雄・根山芳晴（1872）：海陸風の研究　天気　19　6　299-310

江口恒夫（1977）：大阪市の海陸風——地上風データの統計解析——天気　24　12　739-746

河村　武（1987）：「大気環境論」朝倉書店

岸田和博（1974）：広島における海陸風循環の経月特性天気　21　11　579-586

北村幸紀（1989）：松山における局地風循環　愛媛大学農学部平成元年度卒業論文　未発表

楠田　学・阿部信男（1982）：大分県の海陸風　天気　29　1　81-86

佐橋　謙（1978）：岡山周辺の海陸風について　天気　25　5　357-363

波田正二（1971）：四日市の海風と大気汚染　天気　18　1　355-363

根山芳晴（1973）：「瀬戸内海の海陸風に関するシンポジウム」報告　天気　20　2　63-79

根山芳晴（1979）：愛媛県沿岸の海陸風　天気　26　3　155-159

深石一夫（1974）：釧路とその周辺地域における夏の風の分布について　地理学評論　47　12　733—747

深石一夫・登日伸治（1981）：松山市街地周辺の都市温度について　社会科学研究　3　28-37

深石一夫（1984）：気温の日変化に海風が及ぼす影響についての小気候調査　愛媛の地理　11　100-105

深石一夫（1992）：「愛媛の気候——ふるさとの大気環境をさぐる」愛媛県文化振興財団

宮田賢二（1976）：瀬戸内海沿岸付近における海陸風　天気　23　4　206

宮田賢二（1982）：「広島県の海陸風」溪水社

吉野正敏（1978）：「気候学」大明堂

吉野正敏・甲斐啓子（1977）：気圧配置型ごよみの気候学　地理学評論　50　11　635-651