

福山、笠岡周辺の夏の海陸風について

中 島 暢太郎・田 中 正 昭

ON THE LAND AND SEA BREEZE IN THE MIDDLE PART OF THE SETO INLAND SEA

By *Chotaro NAKAJIMA* and *Masaaki TANAKA*

Synopsis

In chapter 2, we make the review about the study of the land and sea breeze in the Seto Inland Sea by the other authors. In the next chapter we report the results of our observation and analysis made in July 1976 and 1977. In the case of 1976, observations of the vertical wind distribution every 1.5 hour intervals were carried out at 4 stations around Fukuyama, Kasaoka area and in the case of 1977, 9 stations along the northern coast of the Seto Inland Sea. The Seto Inland Sea has much complicated orographic conditions, and large and small scale meteorological phenomena are related each other in this area. We mainly discuss about the propagation of the phase of the wind change in the vertical direction. We also discuss about the variation of the land and sea breeze from location to location. The study of the interaction between N-S and W-E component of the wind system in this area is the most important problem in future.

1. ま え が き

われわれはここ数年間いろいろなかたちで瀬戸内海の気象の研究にとりこんできた。1972年から3年間は文部省科学研究費の自然災害特別研究の中で計画研究として飯田汲事代表の下に「沿岸地帯の開発に伴う自然災害の予測の研究¹⁾」を行ない、われわれは「瀬戸内海沿岸の気候環境とその変化」と「沿岸における気塊の形成」という二つのテーマを分担した。この計画研究開始にあたって中島²⁾は今までの瀬戸内海の気象についての研究を総括した結果、後者の瀬戸内海における水塊と気塊の形成という問題を「開発すべき重要研究課題」と考えた。すなわち、瀬戸内海は海水にとっても大気にとっても多少なりとも閉された域内において外界とは性質を異にした点があり、それが瀬戸内海の海洋や気象の特性を論ずる上にきわめて重要であることに注目して水塊・気塊の形成のメカニズムを研究した。この際に瀬戸内海はいくつかの灘に分割されていて、ひうち灘がもっとも内奥の閉された地域であることを考え、この地域を重点的研究対象とした。主として協同研究者の宮田が中心となってひうち灘の周囲に6個の観測点を設けて測風気球観測を行ないこの海域から周辺への海陸風による空気の入出収支を計算した。また海面を通じての大気と海洋の間の熱のやりとりを通年的に知るため1972年の10月から73年の10月まで1年間にわたってひうち灘の中央部の魚島で熱収支観測を行なった。³⁾

近年瀬戸内海沿岸の産業立地が進むにつれて、広域大気汚染の防止対策としても瀬戸内海の気象特に海陸風のメカニズムの解明が重要となってきたが、近藤次郎を代表とする文部省科学研究費による特定研究「環境汚染制御」の中の「大気拡散プロセスの解析とモデル化」⁴⁾研究班の一員として、瀬戸内海を一つのモデル地域として観測と解析を進めてきた。さらに行政と公害のかかわりの一つの課題として1974年から2年間にわたって広島県と岡山県の境界にある福山、笠岡地域の硫黄酸化物の総量規制のためのシミュレーション・モデルの作成に中島が参加した。⁵⁾この調査ではこの地域の海陸風の三次元構造を統計的に調査し、大

気安定度や汚染源分布の調査に基いて硫酸化物の濃度分布のシミュレーションが行なわれた。

1976年度には文部省科学研究費の特定研究の一つとして「広域大気汚染の研究」(代表者, 中島)⁶⁾、1977年度にはそれにつづくものとして「環境計測とシミュレーションに関する研究」(代表者, 西村正太郎)の一分担課題として「大気環境汚染の計測とシミュレーション」(分担代表者, 中島)⁷⁾を行なった。これらの研究は100キロメートル程度の水平スケールを持った地域の大気汚染現象を数時間程度の時間スケールでシミュレートして、最終的には大気汚染制御の手法を見出そうという目的で行われた。このようなスケールにおいては多数の発生源データを総合的に統計処理することも必要であり、拡散現象だけでなく、一般流も時間や空間の関数として扱う必要がある。そのためには一般流の変動の原因となる海陸風や山谷風などの局地風とその日変化を如何にシミュレーションの中に組み入れるかが重要な課題となる。さらに汚染物質が保存量と考えられなくなり、地表面での沈着、雨水による洗滌、気体から液体への相変化、光化学反応による物質変化などを考慮に入れる必要がある。この2年間の研究成果の中から主として海陸風に関する観測と解析の成果をここに紹介することにする。

このようにわれわれは1972年以来、瀬戸内海のひうち灘、特にその中国側の沿岸の海陸風について調査を、ある時は純気象学的立場から、ある時は大気と海洋の相互作用の立場から、またある時は大気汚染問題の解明という立場から行ってきた。次章でまず瀬戸内海の家陸風について他の研究者達が行ってきた調査結果の概要を述べ、海陸風研究の問題点を論じた後、第3章でわれわれの観測結果について述べる。

2. 瀬戸内海の家陸風の調査史

瀬戸内海は面積17,000km²で、大小3000の島々があり海岸線が複雑であり、内海およびその沿岸は日本で最も災害が少なく風光明媚な自然の広大な公園としての評価を誇ってきた。しかし今では沿岸地域の工場立地が急速に進められた結果、水質汚濁と大気汚染で死滅寸前の公園といわれるまでにになった。瀬戸内海地方は、北は1000m級の中国山脈によって、南は2000m級の四国山脈によって日本海や太平洋と隔離されていてその中央部では年降水量が周辺部より30~40%少ない。このような内陸性気候の特色を持っているため戦前は塩田が発達していた。海岸平野は中国側の方が四国側よりも数倍広いが、これらの海岸平野では内陸気候の特性を持つ一方瀬戸内海の沿岸気候の特性もあわせて持っている海陸風の影響が大きい。その交替時刻の夕風、朝風は体感気候上きわめて不快である。瀬戸内海中央部の平均水深が約20mと非常に浅いこと及び外海との海水交流が少ないために冬季は海水温が外海に比べて約10°Cも低下する。このため冬季の瀬戸内海上の下層大気も低温でメソ高気圧が発達しやすく、また春先に南風によって湿った温かい空気が流入すると濃霧を発生する。夏季には海水温は外海と同じぐらいになる。夏は沿岸地域に晴天が多く平野部やそれに続く山腹で著しい昇温があるため昼の海風が著しく発達する。

瀬戸内海は古来海上交通の盛んな所であったので漁民や海運関係者によって内海上の風系はよく調べられていて地域ごとに局地風に固有な名詞が用いられていた。しかし、瀬戸内海上の風系が科学的に研究されるようになってきたのは神戸海洋気象台が中心となって観測船や沿岸の気象官署のデータが解析されて以来といえよう。その他塩田の上の微気象観測や島々のみかん畑の農業気象学的調査が行なわれ、さらに最近になると本四連絡橋の建設に併う気象調査や濃霧予報のための調査が行なわれるようになり、最近は大気汚染防止のための気象観測所が多数設置されるようになってかなりのデータが集積されるようになった。

神戸海洋気象台では1967年にそれまでの研究成果をまとめた報告書⁸⁾を刊行した。その中に各月の瀬戸内海沿岸の気象官署における風配図が示されているが、Fig. 1に7月の分を転載した。これを見ると、瀬戸内海中部ではWSWの成分が卓越しており、豊後水道や紀伊水道に沿ってはS成分が卓越していることがわかる。これは地形の影響で風の吹きやすい道すじがあることを示している。それと同時に瀬戸内海中部では海風による南北方向への発散成分のあることもみられる。この報告書では瀬戸内海各地での風の観測例や海陸の温度差から海陸風を説明しようとする試みが記されていて、その後の研究者の研究の出発点を提供した。このように主として神戸海洋気象台の人達を中心として海風のひろがりや上空の補償流などを調べるための

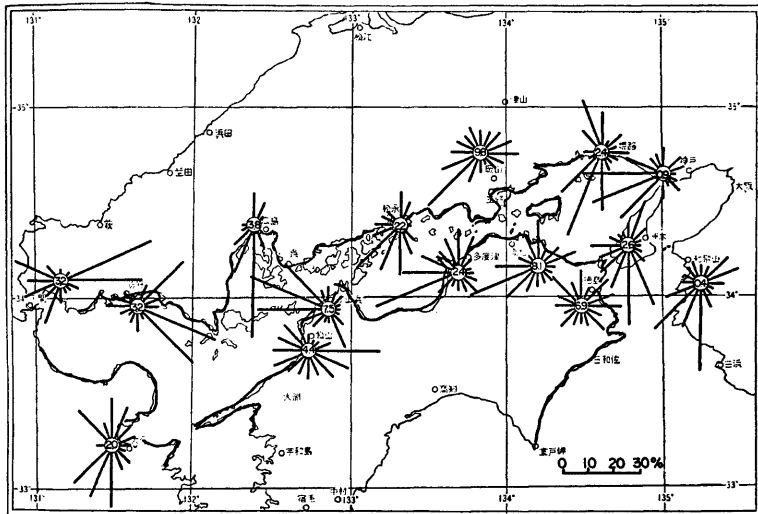


Fig. 1. Wind Roses at the stations around the Seto Inland Sea in July made by Kobe Marine Observatory.⁹⁾ The numbers written in the circles are the percentages of calm cases.

集中観測が何度もなされたが、中国側から四国側に至るまでの一つの海域全体のメソスケールの規模での海陸風観測がはじめてなされたのは1971年7月の宮田らの観測⁹⁾からである。これはひうち灘の中央部1点と周囲6地点での90分間隔の1昼夜連続観測であり、今までわからなかった色々の興味深い事実がわかった。個々の地点の解析ではそれほどはっきりわからないが、ひうち灘全体での風の発散、収速を計算してみると、高度2kmぐらいまでの間に3層があることが明らかとなった。すなわち下層500~600mまでの層では海陸風の日変化による収束、発散がはっきり現われ、その上1500mぐらいまではその反対符号の収束・発散が見られる一方、瀬戸内海全体の東西に長い地形の影響が目立つ。この例ではこの中層で中国側では西風が四国側では東風成分が抽出された。1500m以上は自由大気の気圧配置の影響が著しいことがわかった。また昔からその存在が知られているように海風から陸風にかわる夜間の風の時刻に瀬戸内海中央部の下層500mに著しい西風が見出された。

この頃、大阪管区気象台でも瀬戸内海沿岸の気象官署が協力して瀬戸内海の高陸風の特別調査が実施され、さきの神戸海洋気象台の報告書に新しい知見が多く加えられた。それらの成果は総合報告書¹⁰⁾だけでなくいくつかの論文^{11), 12)}や日本気象学会関西支部会員をはじめ全国の海陸風の研究者の討論会の報告書^{13), 14)}として発刊された。この特別調査には多くの研究者が動員されたために、瀬戸内海の高陸風の地域差や発生頻度さらには内陸への侵入状況などについて詳しい情報が得られた。しかし一方では情報が増加するにつれて問題が複雑化して行く傾向もみられる。たとえば、海陸風と山谷風は理論的には区別することができて瀬戸内海のような複雑な地形では常に共存していて純粋な海陸風というのは存在し得ないのではないかとさえ考えられるようになってきた。また一般風と地形と海陸風の三者の相互作用も複雑なものがあり、広島の大田川沿いや近畿地方の淀川沿いに海風が深く侵入するのは一般風との相互の強め合いがなければならぬであろうと考えられるようになり、海風の影響範囲を簡単に論ずることは困難になってきた。

宮田¹⁵⁾は1973年8月と1975年7月に瀬戸内海沿岸から中国地方の中部へかけて南北100kmに近い測線を張って測風気球観測を行ない、ところによっては海風は35kmも内陸へ侵入し、暖気陸地部への侵入を伴

なっているが、陸風は海岸近くに限られていることを示した。また海陸風と共存する海岸線に平行な成分の分離解析を行ない、そのような成分が海岸から 20km ぐらい北に行くくと下層で逆転している事例を見出して、南北成分と東西成分の相互作用の研究の重要性を指摘した。吉門¹⁵⁾は数値シミュレーションの立場から海陸風のスケールを論じ、海陸風は周期 1 日と限られた現象であるから、その意味でスケールは自動的に定められる筈であると論じた。

北林¹⁷⁾は岡山県水島地域の 1972 年と 73 年の 2 年間の観測資料からこの地域の海陸風の特性を統計的に調査した。海岸の資料ではこの地域の南風成分の強化は西風成分の増大と相関があることを示した。また夏季に海陸風が出現するためには気温日較差が 10~12°C 以上でなければならないことを統計的に示した。また関東地方の鹿島地区との比較を行ない、水島地区では鹿島地区の 2 倍の海陸風の出現頻度があると述べている。また水島や播磨地域では風の日変化の時計まわりの性質がはっきりしていないが海岸線の地形の単純な鹿島地区では時計まわりの風向変化がはっきりしていると述べている。

佐橋¹⁸⁾は岡山周辺の海陸風には 2 種類あると主張している。A 型の特色は海風が SW であり、ひうち灘による海風と考えやすく、上層の back current が不明瞭で一般風の影響が大きいとされている。A 型が起りやすい場合は高気圧の中心がこの地域からみて南また西方にあり、850~500mb の上層風が back current と反対に近い向きの場合であるとしている。B 型の特色は海風が SE であり、播磨灘による海風と考えやすく、上層の back current が明瞭で一般風の影響は小さいとされている。B 型の起りやすい場合として高気圧の中心が北または東方にあり、850~500mb の上層風が back current を生じやすい方向であるとしている。結論として彼は B 型が岡山における純粋な海陸風であり、A 型は一般風により著しく変形されたものであるとしている。なお、岡山での海風を平均すると SSW になるが、これは統計的に生じた風向であり、実際には SW か SE が起って SSW は実在しない海風の風向であると述べている。

宮田¹⁹⁾は海陸風研究の将来の方向について、海陸風のシミュレーションの手法が地形の効果までいられるようになってきた現状でもなお、海陸風が中規模じょう乱に発達し得る条件は何かという基本的な物理過程が未だ充分検討されつくされていないということをいくつか証拠を示して述べている。

3. 福山、笠岡地域を中心とした瀬戸内海北岸の海陸風

まえがきにも述べたようにわれわれはここ数年間、瀬戸内海中部のひうち灘の北部特に福山、笠岡地域を中心として海陸風の観測を行なうと共に既存の資料の整理、解析を行ってきた。Fig. 2 はわれわれが広島、岡山県と協力して作成した 1974 年の福山、笠岡地域の昼夜別の風配図⁵⁾である。笠岡湾の奥にある茂平や笠岡と福山市役所では、海岸線が東西であるとして考え得る海陸風の交替が比較的是っきりと示されているが、いく分内陸に入った中国農業試験場や大津野小学校ではそれが不明瞭であり、西側に山岳地をひかえている向ヶ丘中学校では海岸線が南北であるとして考え得る海陸風と山谷風が現われている。小規模な地形によって北西方向が笠戸湾となっている寺間では、小規模地形と大規模地形との効果が複合して複雑な風系となっている。

これらの基礎資料の解析が終った段階でわれわれは 1976 年と 77 年の 2 年にわたって同じ 7 月 22 日から 23 日にかけて海陸風の三次元観測を行なった。1976 年の場合はこの地域で鞆、寺間、福山市役所および海岸線から 10km ほど北方に位置する神辺町の 4 地点で測風気球観測を行なった。Photo. 1 は寺間から西方 5km ほどにある日本鋼管の最高 200m の煙突群により出る煙が、夜半頃までは海風によってなびき、早朝には陸風によって逆方向に流されている様子を示している。海風によるものは 7 月 23 日 1 時 35 分の、また陸風によるものは同日 4 時 30 分の写真である。なおこの煙は南北成分以外に東分を持っていてこの画面の手前から後方へも流れている。この煙が海風から陸風の影響に変化した時刻は 23 日 3 時 30 分頃であった。

Fig. 3 は寺間、鞆、福山市役所、神辺町での 7 月 22 日 10 時 30 分から 23 日 13 時 30 分までの 90 分間隔、高度 50m ごとの地上 2000m までの風速分布を示し、矢羽根 1 本は風速 1m/sec に対応している。Fig. 4 の上段には 1976 年 7 月の 21, 22, 23 日 21 時の 850mb 天気図が示されているが、太平洋高気圧の中心は日本の東

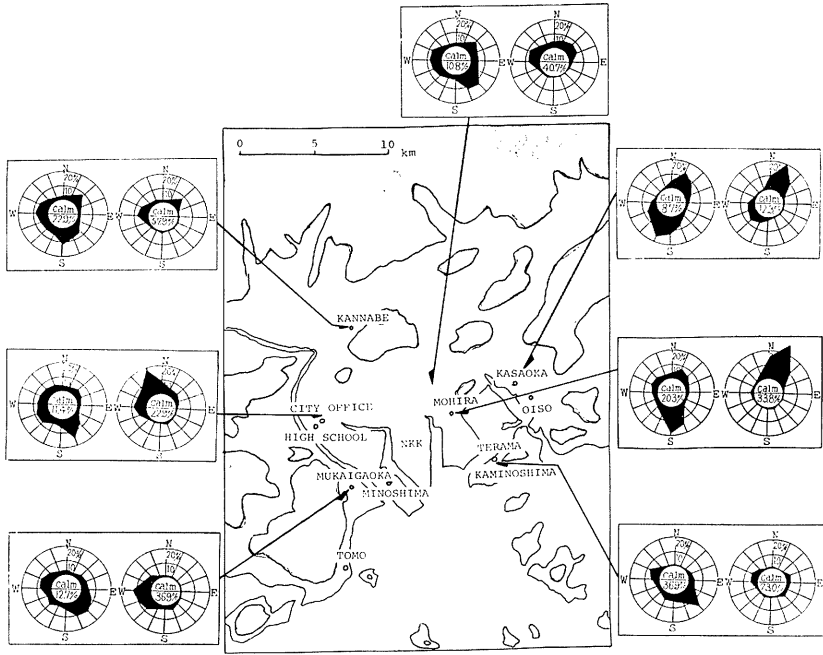


Fig. 2. Wind Roses in the day (left) and night times (right) at the stations around Fukuyama and Kasaoaka in 1974. Shaded area in the map is above 100 m height.

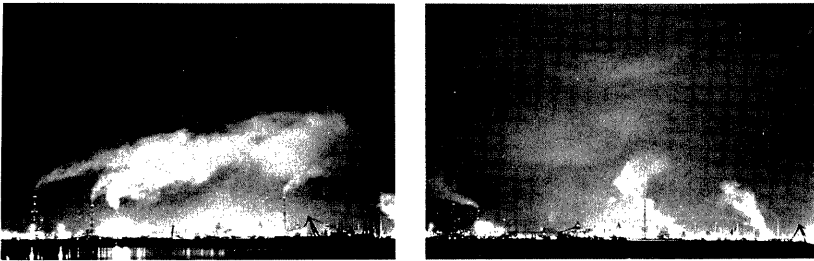


Photo. 1. Views of the smoke from 200 m chimney of Japan Steel Pipe Factory seen from Terama 5 km west of the factory. Right: 0135 LST, Left: 0430 LST, 23 July 1977.

方海上にあり、西日本付近の高気圧の東西軸は最初太平洋岸沿いにあったが台風7611号の北上とともにこの東西軸は北上した。このため瀬戸内海上空の850mbの風向はSWからSを経てSEへと変化していった。このことはFig. 3の2000m付近の風向の変化にも4地点ともはっきりと現われている。23日の昼頃にはこの台風の影響による東よりの風は地表から2000mの全層に及ぶようになり海陸風を一般風から分離して考えることは困難となってしまった。

瀬戸内海の中部を広い眼で見ると海岸線は大体東西に走っているので、理解しやすいようにFig. 3に示

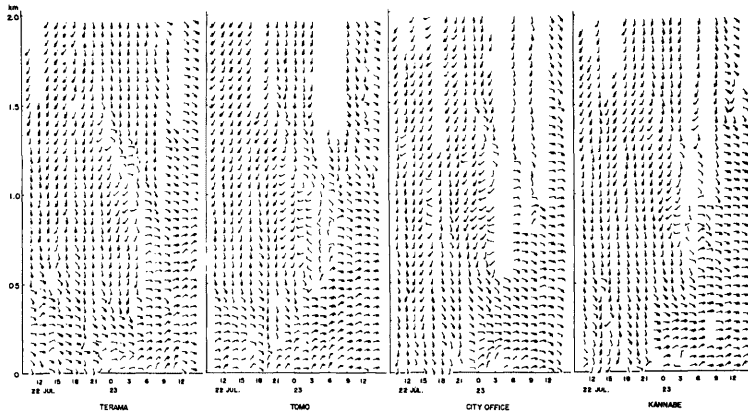


Fig. 3. Time-height cross sections of the wind distribution from 22 to 23 July, 1976. One arrow indicates 1 m/sec.

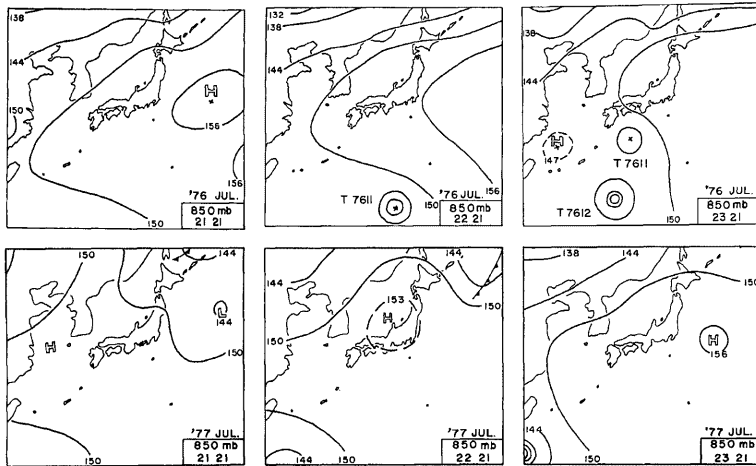


Fig. 4. 850 mb weather maps at 2100 LST on 21, 22 and 23 July in 1976 and 1977.

された風を南北成分と東西成分にわけて示したのが Fig. 5 と Fig. 6 である。前者は南北成分で影をつけてあるのが広い意味での陸風成分に相当する N 成分域である。後者は東西成分で影を施した部分は瀬戸内海に沿う W 成分である。Fig. 5 をみると、福山市役所、神辺町、寺間ではいずれも 22 日の昼から 22 時頃まで S 風成分がつづいているが頼では部分的に海岸線が南北方向で西側に山があるため海風はむしろ下層では東よりの風と考えられることもあり Fig. 5 でははっきりしない。寺間では年平均値の Fig. 2 の場合とは異なって部分的な地形よりはむしろ大きな地形に支配される海風が吹いている。測風気球による観測では最下

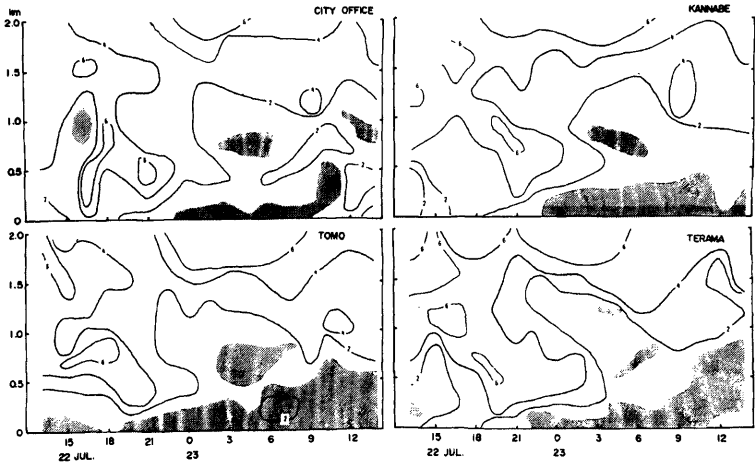


Fig. 5. Time-height cross sections of the S-E wind component m/sec at 4 stations. Shaded area indicates northerly wind.

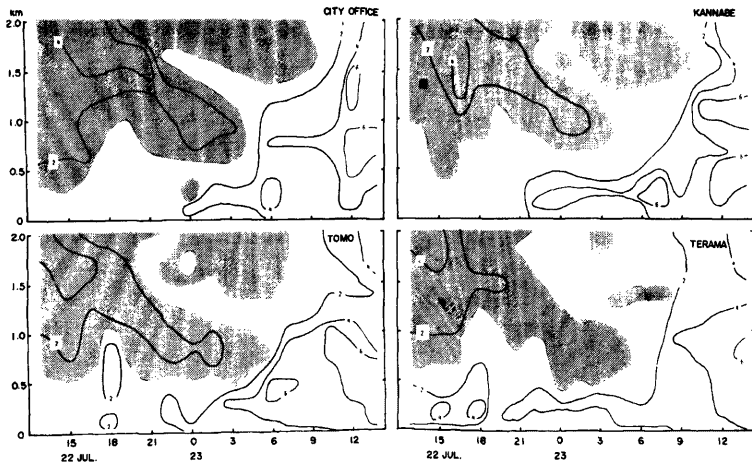


Fig. 6. Time-height cross sections of the W-E wind component at 4 stations. Shaded area indicates westerly wind.

層 50m の平均値が地表風としてこれらの図に示されているが地上観測局ではもっと微地形の影響が大きくでていることが周辺の観測値に現われている。陸風に相当すると考えられる Fig. 5 の N 成分は 4 地点とも下層 200~500m に見られ、福山市役所や寺間に比べて内陸部の神辺町ではやや厚み大きいのが N 成分が著しいのは面白い。気圧配置からみられるように上層では南風が吹いているが、風速分布をみると、南

風の強さは下層へ行くにつれて一旦弱まるが、500~1000m で特に夕方頃強まっており、地面近くで再び弱まっている。これだけの資料からすれば、大気下層の大規模の海風層はその頂部で風速の極大を持っているようにも見られ、あるいは下層の地形が複雑なためとも考えられる。芦田川に沿い比較的南風の入りやすい福山市役所では比較的下層まで風が強い。つきに W-E 成分に注目して Fig. 6 をみることにする。2000m 高度では既に述べたように、気圧配置の変化のため22日は弱い W 成分、23日はかなり強い E 成分に変化している、このことは Fig. 6 にもよく現われている。下層に注目すると、既に述べたように23日には上層の強い風にひきづられて下層にまでかなり強い東風が出ていることは容易に理解できるとしても、上層が広範囲の弱い西風成分を持っていた22日に500m 以下の層がいつでも東風成分を持っていることはきわめて興味深い。東西に長い瀬戸内海で上層に弱い西風があれば下層500m ぐらにはその反対流が生じるのではないかとも考えられる資料である。宮田⁹⁾¹⁵⁾も瀬戸内海の高陸風を考えるときに南北流だけでなく東西流に注目すべきことを論じているがこれから解明されるべき興味深い課題である。以上述べたような現象よりさらに規模の小さい面白い現象が Fig. 3 に見られる。すなわち寺間の風速分布をみると22日の夜から23日の朝にかけて300~2000m の層でほとんど一様に南よりの風が吹いているが、22日の22時頃に高度1500m ぐらには発生して23日8時頃には1000m 付近まで下降する厚さ100m ぐらいの著しい不連続層がみられる。シャープさがやややうすれているが、同じ現象が他の3地点でもみられる。この不連続層の中では風は大体 SE であり、その下には SW~SSW の層がそれより厚く存在している。このことは E-W 成分を示す Fig. 6 にも左上から右へ延びる W 成分のベルトとその上の E 成分のベルトとしてはっきり現われている。これは上述のように台風が南から接近したために上層から E 成分が次第に下方へ伝わって行く一つの過程とも解されるし、あるいはもっと小規模の擾乱によるものとも解されるが今後この種の現象が他の場合に出現するまでははっきり理由を述べることは困難である。

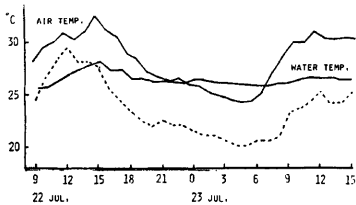


Fig. 7. Changes of the sea surface temperature and surface and upper (300 m) air temperatures at Terama.

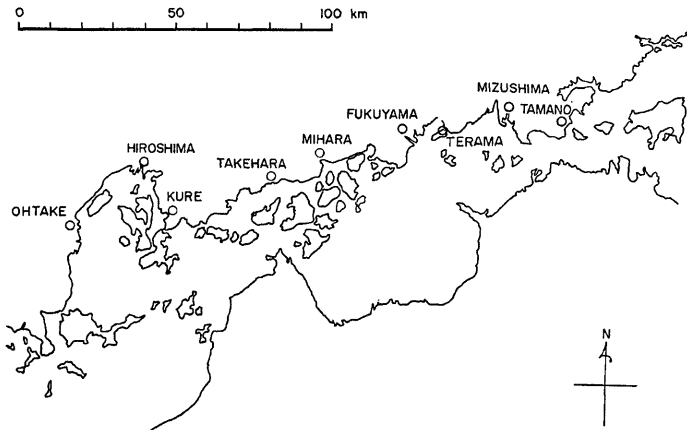


Fig. 8. Location of the stations used in this study in 1977.

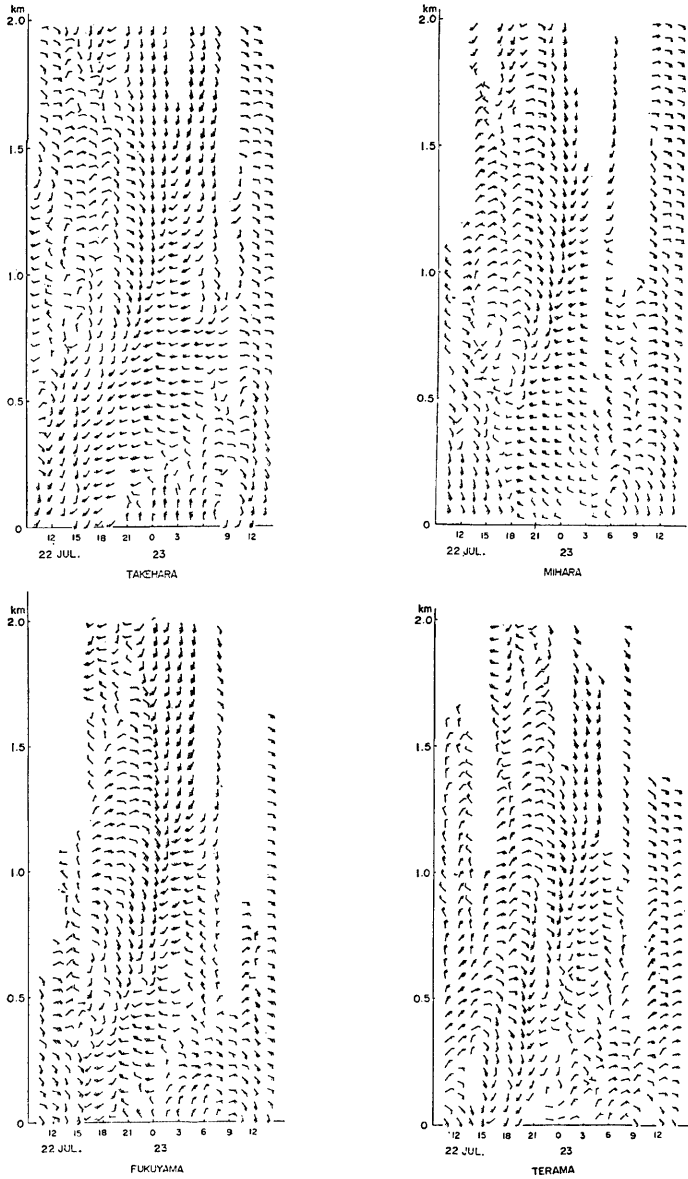


Fig. 9.

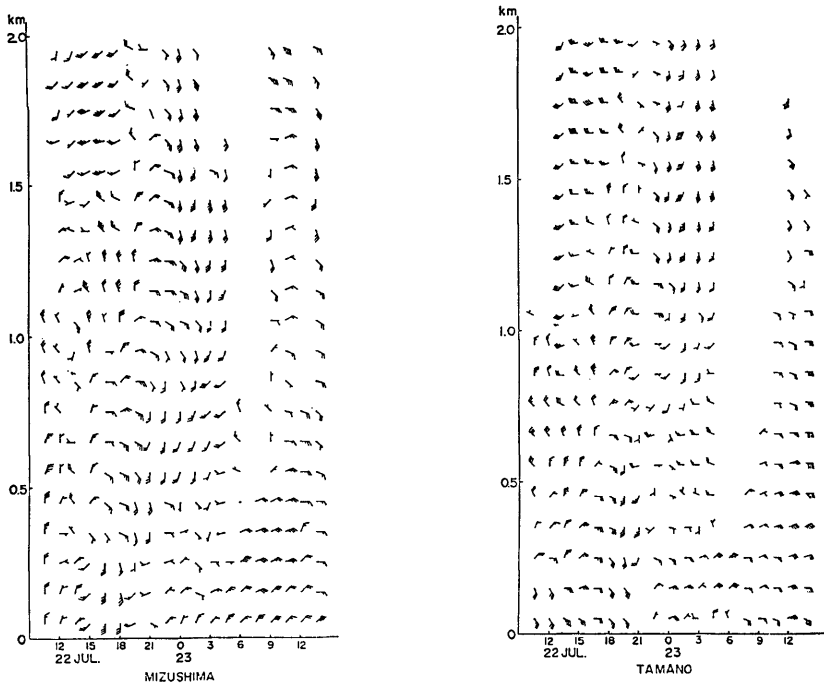


Fig. 9. Time-height cross sections of the wind distribution from 22 to 23 July, 1977.

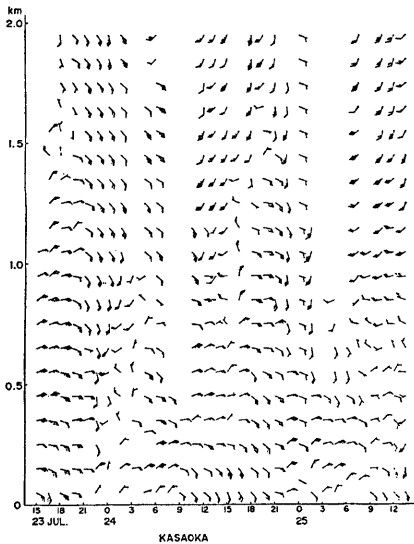


Fig. 10. Same as Fig. 9 but for 23 to 25 July 1977.

Fig. 7 は海陸風の原因である水陸の表面温度差を知るために測定した寺間での気温、水温および寺間東方の神島塚の山頂 (300m) (点線) の気温である。海水の表面温度には著しい日変化がないが気温は日中かなり高くなり日較差が 10°C 近くに達した。水温が気温より高いのは22時頃から6時頃までの間であって1日の約1/3にすぎない。

この1976年の観測で福山、笠岡地域の海陸風について上述のようにいくつかの興味ある結果が得られたがそれが果してこの地域特有のものであるのかあるいは瀬戸内海の中国側沿岸共通のものなのかということを知るため1977年には前年と全く同じ7月22日、23日、Fig. 8 に示すような西から大竹、広島、呉、竹原、三原、福山、寺間、水島および玉野の9地点で同時測風気球観測を行ない、寺間では低層ゾンデによる上空の気温観測も行った。大竹、広島、呉の3地点では日中だけであったが他の6地点では90分毎の一昼夜連続観測を行ない、寺間ではさらにつづけて合計3昼夜の連続観測を行なった。またこの頃には環境庁の全

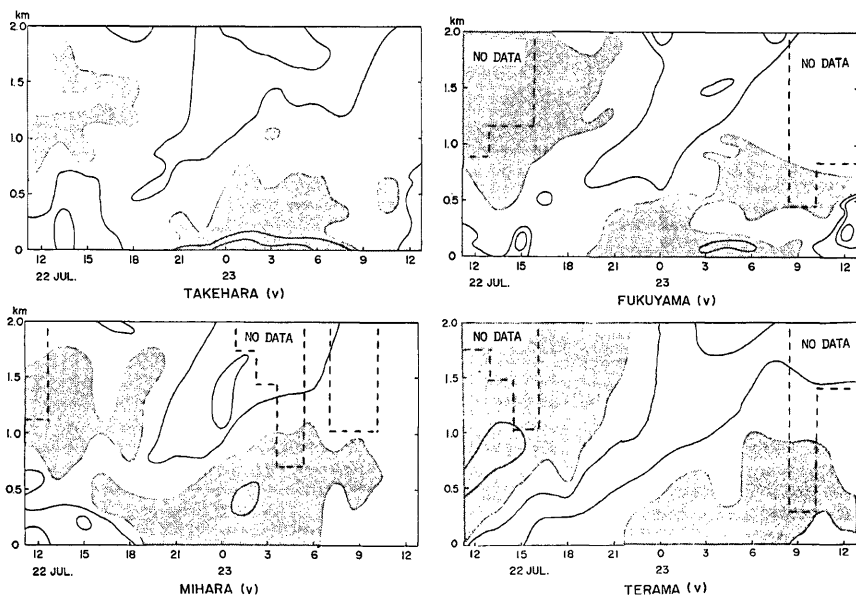


Fig. 11. Same as Fig. 4 but for the cases in 1977.

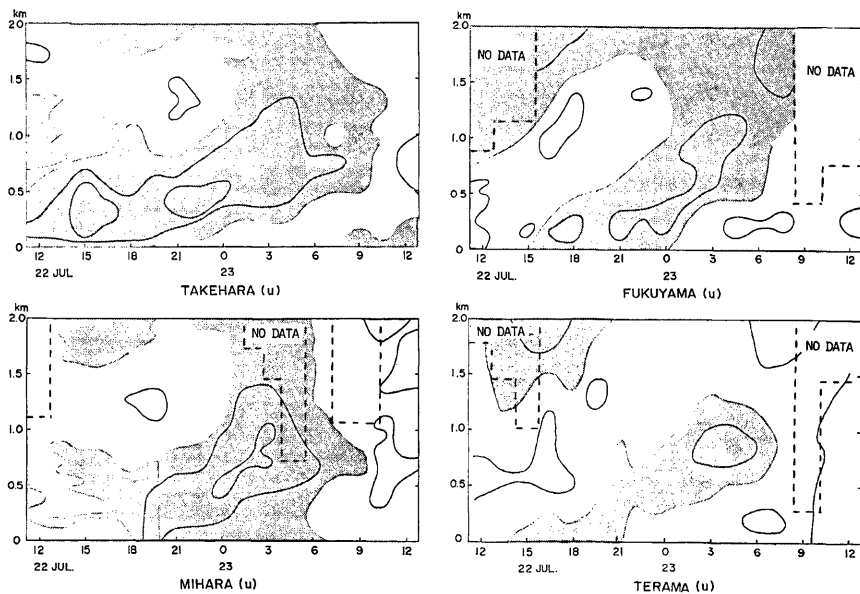


Fig. 12. Same as Fig. 5 but for the cases in 1977.

国的な低層ゾンデ観測が毎日朝 8 時に行なわれこの付近でも広島と高松で行なわれた。Fig. 9 には一昼夜連続観測のなされた 6 地点の風の記録が示されている。また Fig. 10 には寺間で笠岡市役所が行なった追加観測の結果が示されている。さらに竹原、三原、福山、寺間の 4 地点については前年の場合と同様 V 成分(南北成分)と U 成分(東西成分)を計算して Fig. 11 と Fig. 12 に示した。また場所によって海風と陸風がどのように異なるかを示すため Fig. 13 には 7 月 22 日 15 時の、また Fig. 14 には 23 日 06 時の各地の 1000m までの風を 100m 毎に示した。

Fig. 4 には 1976 年と 1977 年の 7 月 21 日～23 日の毎日 21 時の 850mb 天気図が併列して示されているが、1977 年の方が西日本は高気圧の中心部におおわれていて風が弱いことが特色であり、1976 年の場合ほど 1000～2000m の風が一樣でなく、また 850mb 天気図からみて規則的な風向の変化傾向がみられない。Fig. 9 に示された上層の風はこのように一般的には前年より弱いが 22 日の日中にはいく分 SW に近くそれが S を経て 23 日の日中には SE になって行く変化傾向は前年と似たところがある。ただ 22 日夜は SW から S に変る間にかなり複雑な変化が混っているのがみられる。このように上層の風が弱くて不規則なのに対して下層の海陸風はかなりはっきりした日変化を示している。たとえば寺間の例で Fig. 11 と Fig. 9 を対比させながら

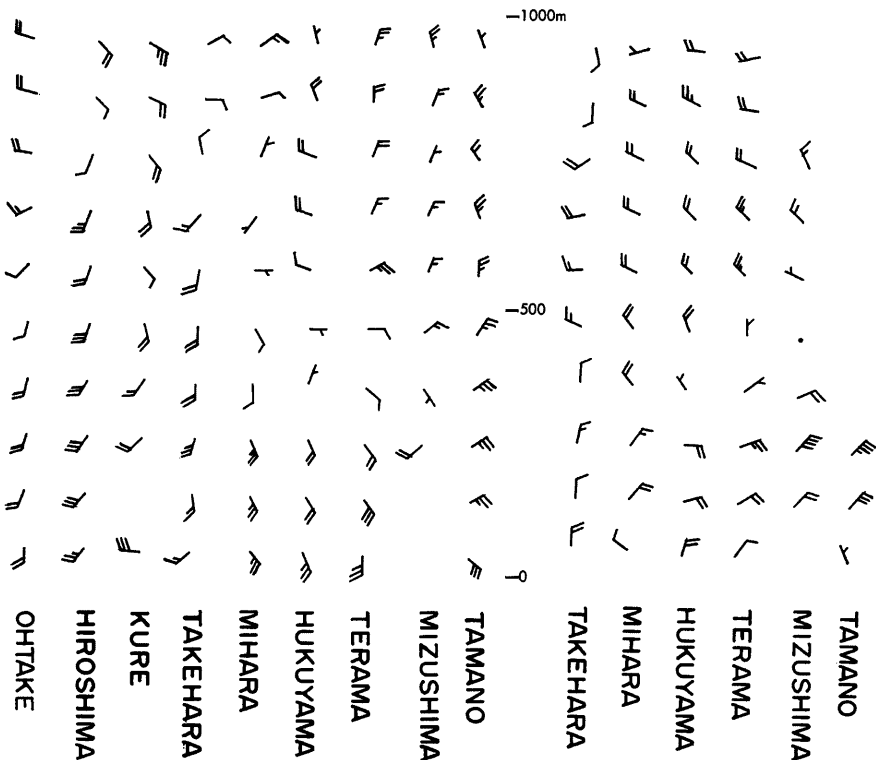


Fig. 13. Wind distributions from surface to 1000 m at 9 stations along the southern coast of Chugoku District at 1500 LST, 22 July 1977.

Fig. 14. Wind distributions from surface to 1000 m at 6 stations at 0600 LST, 23 July 1977.

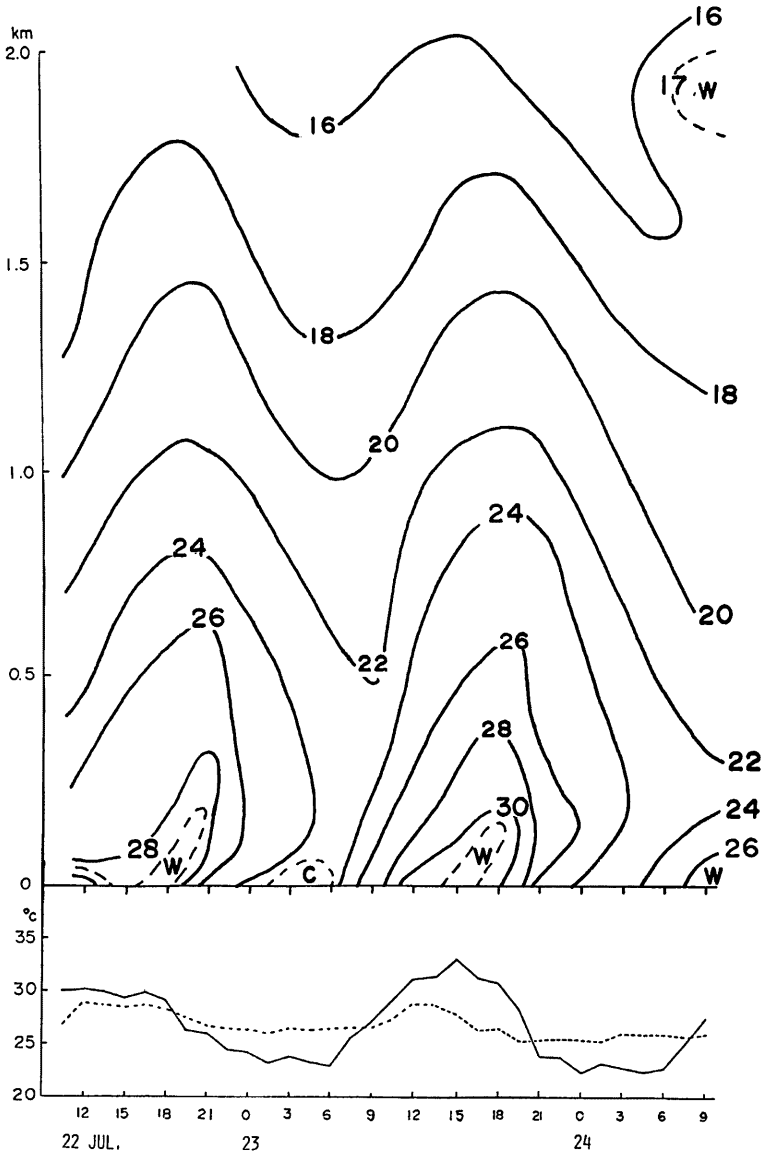


Fig. 15. Time-height cross section of the temperature distribution and the changes of the air (solid line) and sea surface (broken line) temperature at Terama for 22 to 23 July 1977.

見て行くと、海風は1976年の場合に較べて早く12時から15時頃に最盛となり、この南分の極値発生時刻は上空へ行くにつれて遅れ1000m付近では夜半になっている。陸風を示す北風成分はそれほど著しくはないがやはり上空になる程極値発生時刻が遅れて行く傾向がみられる。このように1976年の場合には上空の風向変化が次第に下層へ遅れながら伝わって行くような傾向がみられたのに、1977年の場合には上空の風は弱く逆に下層の海風が遅れながら上方に伝わって行く傾向が見られ非常に対照的である。1976年の場合は地表風はほとんどの地点で東風成分のみであったが1977年の場合は竹原、福山、寺間では午后に地上の西風成分が出現してこれも時間と共に上空へ伝わっているように思われる。しかし、東端の玉野では地表付近に西風は現われていないし、風の変化の上空への伝播の形跡もあまりみられない。Fig. 10の寺間での23日から25日の変化をみると南風成分を考えるかぎりでは地表近くの海陸風の日変化は比較的規則正しく現われているが、下層の西風成分はこの間一度も出現しておらず、この点が22日から23日にかけてとは異なるし、また地表近くの風の変化が上方へ伝わるような傾向もそれ程みられない。

次に Fig. 13 と Fig. 14 から海陸風の地域差をみてみる。22日15時の図では海風は各地点とも現われているが海風層の厚さは地点によってかなり異なり、海風の風向も海岸線や後背地の地形によって異なっている。広島は豊後水道から広島湾を通して太田川流域へと南北に風が通り抜けやすいところであり Fig. 1 にも見られるように南分の発達が通年的に著しいがこの例でも海風層の厚さが大である。大竹と呉とは広島湾の東西両側にあり、下層では東西に発散する成分がみられるが、500m以上の層では東西方向に収束しながら北へ向って流れている。

23日06時の場合は各地とも陸風が見られるが、Fig. 12とあわせてみると約400m以下では全般に東風成分を持った陸風になっており、それより上では西風成分が強まりながらも陸風成分が延びている。この400m付近の不連続層は先に述べたように夕方から夜間に地表付近で発生した西風域が時間とともに上空へ伝播していった部分との境界にあたる。

Fig. 15 は1977年7月22日10時30分より24日9時までの寺間における低層ゾンデによる地表から2000mま

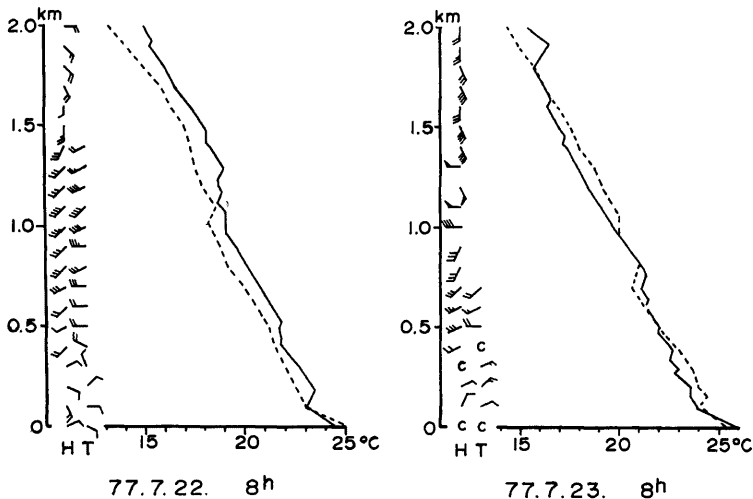


Fig. 16. Vertical distributions of the air temperature and wind at Hiroshima (H, broken line) and Takamatsu (T, solid line) at 0800 LST, 22 July 1977.

での気温観測結果と時間における地表気温（実線）および海水表面温度（点線）の変化曲線である。地表気温は22日に較べて23日の方が 2°C ほど高いがその傾向は下層500mぐらいに限られている。海水温の日較差は 2°C ぐらいであるが地表気温の方は $8\sim 10^{\circ}\text{C}$ に達している。海水表面温度の方が気温より高いのは22日19時頃から23日9時頃までの約14時間と23日21時頃から24日8時頃までの約11時間であって、日中気温の高い日の方が短かいがFig. 7の例の約8時間に比べて今回の方が長時間である。23日早朝には地表近くに気温逆転が現われているが、24日早朝はそれほどはっきりとはしていない。最高気温の発生時刻は地表にくらべて高度300m付近では3～4時間の遅れが見られる。それより上は位相の遅れはないが高度500m付近で $4\sim 5^{\circ}\text{C}$ 、高度1500m付近で $2\sim 3^{\circ}\text{C}$ の気温日較差がみられる。

Fig. 16はその頃環境庁が行っていた全国一斉の低層ゾンデおよび測風気球観測のうち7月22日および23日8時の広島（H）と高松（T）の観測結果²⁰⁾である。この例では広島の高気圧（点線）は高松の高気圧（実線）にくらべて22日8時には約 1°C 低く、逆に23日8時には広島の方がいくぶん高目である。なお21日の8時では高度1000mぐらいで高松の方が約 2.5°C も低かった。これだけでは結論的なことはいえないが将来瀬戸内海中央部と沿岸および内陸部でこのような観測が連続的に実施されると先に問題にしていた東西成分の出現の原因がよりはっきりしてくるであろう。

4. あとがき

既に述べたように瀬戸内海は海陸風の著しいところであり、それが公害などの日常生活にも密接な関係を持っているが、一方複雑な地形を持っているために多くの観測がなされてきたけれどもますます難かしい事実が多く出て来たともいえる。ここでは気圧配置に伴う自由大気の流れとその変化、東西に長い瀬戸内海の地形に伴う東西方向の卓越風、瀬戸内海全体あるいは大きな灘ごとの比較的規模の大きい地形に伴う海陸風そしてさらに小さい島々や湾や岬による海陸風の変形が混り合っている。また、海陸風と山谷風の相互作用も重要である。海水表面温度の方は比較的単純であるが、陸地の表面温度は海岸平野のそれだけでなく山腹の加熱も重要な役割を果しているのかという問題があり、運動学的には平面上に水面と陸地が並んでいるのではなく矩形の箱の中央部に水面があると考えると海風の先端は鉛直の固定壁で限られているとも考えられる。これらの条件は海陸風だけでなく東西に帯状のメソ高低気圧を生じこれが東西風成分を生ずるとも考えられる。われわれの観測はこの地域の高気圧観測が一地点、一日一回ぐらいの観測では不十分で四次元解析が必要であることを示し、また風の変化の鉛直方向への位相伝播についていくつかの知見を加えたが、今後は理論的なシミュレーションと観測の照合によってさらに解明して行きたいと考えている。

この種の観測には多くの人々の協力が必要である。2回の観測に広島女子大学の宮田助教授と女子学生の皆様に協力して頂いた。広島県・岡山県・福山市・笠岡市の公害関係の職員にも観測を手伝って頂きまた平常観測の資料を提供して頂いた。1977年度には大竹・広島・呉・竹原・三原・水島・玉野の観測について地元の公害関係官署の方々の広い協力を得た。数値モデルや汚染源資料の解析にあたっては気象研究所の森口実氏、数理計画KK、の皆様にお世話になった。排煙の写真撮影はインターバル映像K.K.の増井康隆氏に協力いただいた。また1977年の観測には、われわれの研究室の井上治郎助手、大学院生武岡英隆氏（現愛媛大工助手）、中野八江嬢にも参加していただいた。これらの方々に厚く御礼を申し上げるとともに今後も広い協力のもとに海陸風の解明に努力して頂くようお願いしたい。

参 考 文 献

- 1) 飯田汲事：沿岸地帯の開発に伴う自然災害の予測の研究，文部省科学研究費自然災害特別研究研究成果 No. A-50-7, 1975, pp. 103.
- 2) 中島暢太郎：瀬戸内海の気象，海洋科学，1972, pp. 23-28.
- 3) 田中正昭・中島暢太郎：ひうち灘の海面における熱収支，京都大学防災研究所年報，第18号 B, 1975, pp. 589-595.

- 4) 近藤次郎：大気汚染—現象の解析とモデル化—，コロナ社，pp. 361.
- 5) 広島県・岡山県：福山・笠岡地域硫黄酸化物汚染調査報告書，1976，pp. 56.
- 6) 中島暢太郎・田中正昭・平岡正勝・池田有光：広域大気汚染の解析，文部省科学研究費，環境汚染の検知と制御報告書 (IV)，1977，pp. 291-301.
- 7) 中島暢太郎・田中正昭：広域大気汚染の解析と制御—瀬戸内海をモデルケースとして—，文部省科学研究費，環境汚染の検知と制御報告書 (IV)，1978，pp. 308-311.
- 8) 海洋気象学会：瀬戸内海の気象と海象，海の気象特集号，13，1967，pp. 360.
- 9) 宮田賢二・岡本雅典：瀬戸内海の高陸風に関する研究 (1)，広島女子大学紀要，1972，pp. 71-88.
- 10) 大阪管区気象台：瀬戸内海の高陸風，大阪管区気象台特別調査報告第 2 号，1972，pp. 186.
- 11) 井野英雄・根山芳晴：広島湾の高陸風について (その 1)—高陸風の循環特性—，天気第 20 巻 10 号，1973，pp. 547-555.
- 12) 根山芳晴：高陸風と山谷風の相互作用について，天気第 21 巻 11 号，1974，pp. 587-589.
- 13) 日本気象学会関西支部：高陸風，高陸風と大気汚染，月例会ノート，第 14 巻 1，2 合併号，1973，pp. 111.
- 14) 日本気象学会関西支部：高陸風と大気汚染，月例会ノート，第 15 巻 第 1 号，1974，pp. 50.
- 15) 宮田賢二：内陸部の局地風の研究，広島女子大学家政学部紀要，第 12 号，1977，pp. 39-55.
- 16) 吉門 洋：高陸風現象の水平スケールに関する考察，公害，第 11 巻 第 5 号，1976，pp. 99-111.
- 17) 北村興二：高陸風の統計的解析，公害，第 11 巻 第 5 号，1976，pp. 80-98.
- 18) 佐橋 謙：岡山周辺の高陸風について，天気第 25 巻 第 5 号，1978，pp. 357-363.
- 19) 宮田賢二：高陸風に伴う諸問題，海洋科学，第 9 巻，1977，pp. 18-25.
- 20) 日本気象協会：昭和 52 年度環境庁委託業務結果報告書 (光化学緊急時対策のための観測調査)，1977，pp. 235.