

大分市の夏季の海陸風*

楠田 信・阿部 信男**

要 旨

1973年から1977年までの夏季1カ月の毎正時の地上風観測資料を使用して、大分市の海陸風を解析した。解析に当っては、解析対象日として海陸風が発達しやすく、気象条件の揃った日を選ぶように留意した。

その結果、精度よく平均的海陸風を求めることができた。さらに、陸風の発生時刻、陸風前線の形状及びその移動方向、そして地上風の水平発散量の分布から、海陸風系に及ぼす山谷風の影響について考察した。

1. はじめに

海陸風の解析は、主として観測上の制約から短期間の気象資料にもとづくものが多く、解析日の気象条件の違いや複雑な地形の影響を受けて、その結果は多様である。浅井・吉門(1973)の報告に述べられているように、それらの結果と単純なモデルから得られた理論結果を比較し、検討を加えることはむずかしい。ところが、近年環境汚染監視の一環として各都市に気象観測網が整備され、容易に長期間の資料を利用できるようになった。江口(1977)は、そのような資料を使用して、大分市における一般的海陸風を精度よく抽出した。

一方、環境汚染監視網の観測点は、設置目的からその配置が人口密集地に偏在し、しかもほとんど地上に限られているという欠点もある。

しかし、問題点があるにしても現状では、各都市の気象観測網から得られる長期間の資料を統計処理して、海陸風の一般的特性を把握し、理論との対応点を見つけることが望ましいと考えられる。

以上の観点にたつて、筆者等は5年間の気象資料から大分市における夏季の平均的海陸風を求め、これを解析した。

2. 資 料

本解析に使用した資料は、第1図に示した24ヶ所の地点における毎正時の地上風観測データと地面と海水(海面下50cm)の温度の測定データである。陸上気温は、気象台で測定されたものを使用した。資料の期間は、1973年から1977年までの夏季1ヶ月(7月15日～8月14日)である。海陸風は、気圧配置が安定した静穏で晴れた日に発達することが知られている。それで、予め解析期間中の気象状態を調べて、静穏で気象条件の揃った日を選び出した。第2図は、解析期間中の大分市の全天日射量、気温日較差、日平均風速のヒストグラムである。この結果は、気象台の地上観測日原簿から求められたものであるが、別の資料(大分県, 1973)によると、1941年から1970年までの30年間における大分市の7月と8月の気温日較差と風速の日平均値は、 8.2°C と 2.2 m/s である。更に、1961年から1971年までの11年間の8月の全天日射量の平均値は、 $400\text{ cal/cm}^2 \cdot \text{day}$ である(日本太陽エネルギー学会, 1975)。これらの値と第2図に示した各量の平均値が、ほぼ一致していることから、今回解析した期間中の気象状態は、夏季における平均的なものであったと判断できる。

3. 選択条件と解析対象日

静穏で気象条件の揃った解析対象日を選ぶために、次の5条件を設定した。

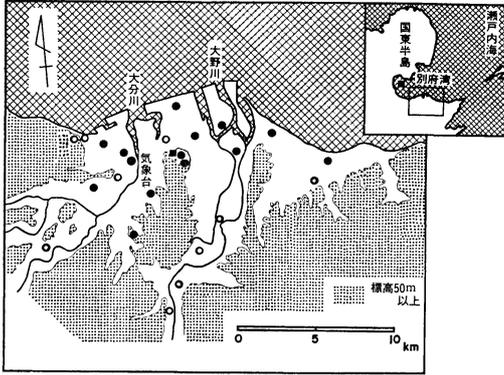
(1) 全天日射量が $350\text{ cal/cm}^2 \cdot \text{day}$ 以上、(2) 気温日較差が 7°C 以上、(3) 日平均風速が 3.5 m/s (風力2以下)、(4) 日降水量が 0 mm 、(5) 0時に陸風、12時に海風である。(1)～(3)の条件は、解析対象日数が

* The Land and Sea Breeze in Oita City in Summer.

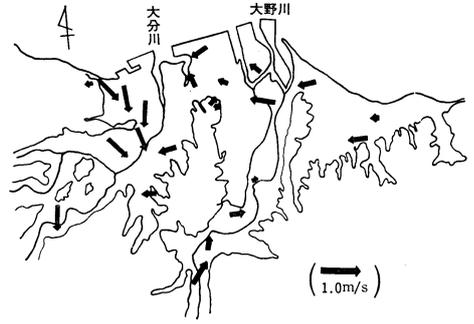
** Makoto Kusuda and Nobuo Abe, 大分工業高等専門学校.

——1980年11月20日受領——

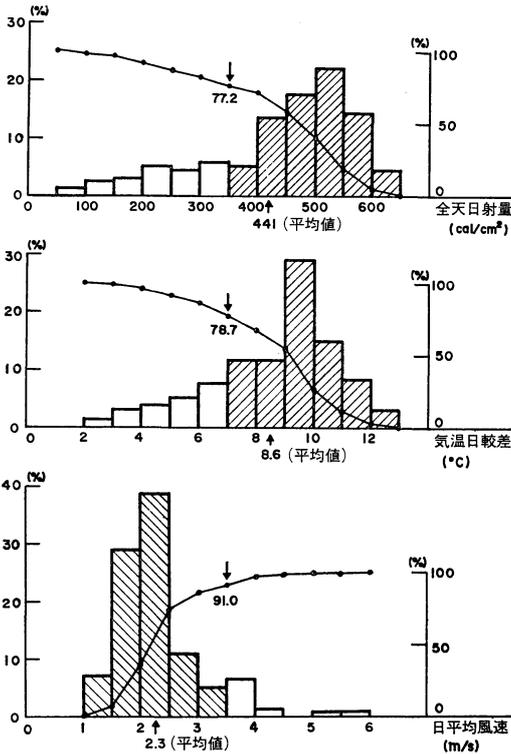
——1981年11月18日受理——



第1図 大分市の地形図。丸印は地上風の観測点で(白抜きの丸印は資料が5カ年分に満たないもの)、四角印は温度の測定点を示す。



第3図 大分市の平均風ベクトルの分布図。矢印は平均風ベクトルを表わす。観測点は矢印の基に位置する。右下の矢印は風速の単位を示す。



第2図 大分市の全天日射量、気温日較差、日平均風速のヒストグラム。斜線の部分は選択条件(第1表参照)を満たす該当日、折線は累計日数をパーセントで示したもの。

極端に減らないように、第2図に示された各平均値より緩めの値に設定した。以上の5条件を全て満たす該当日を気象台の地上観測日原簿から選び出した結果を第1表

第1表 選択条件および解析対象日

| 選 択 条 件 | 各条件を満たす日数の全日数に対する割合 (%) | 解析期間中の平均値 |
|--------------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| (1) 全天日射量 350 cal/cm ² 以上 | 77.2 | 441 cal/cm ² |
| (2) 気温日較差 7℃以上 | 78.7 | 8.6℃ |
| (3) 日平均風速 3.5 m/s以下 | 91.0 | 2.3 m/s |
| (4) 日降水量 0mm | 70.3 | |
| (5) 0時陸風および12時海風 | 58.7 | |
| 上記5条件を全て満たす日 | 44.5 | |

各年の解析対象日数

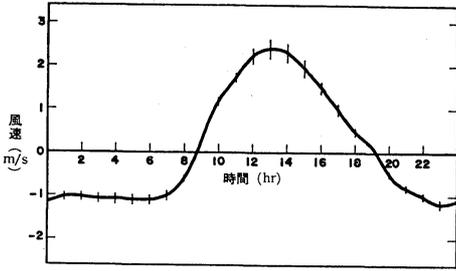
| | 1973 | 1974 | 1975 | 1976 | 1977 | 計 |
|------------------|------|------|------|------|------|----|
| (1)~(4)の条件を満たす日数 | 18 | 21 | 17 | 18 | 24 | 98 |
| (1)~(5)の条件を満たす日数 | 16 | 18 | 7 | 6 | 22 | 69 |

に示す。1975年と1976年については、快晴にもかかわらず一般風の影響で終日南風が卓越して海風の発達を抑えられたため、海風出現日が少なく、この2ヶ年の解析対象日数が全体に占める割合は20%以下である。

4. 大分市の平均的海陸風の特徴

4.1. 平均風の地域分布

平均風ベクトルの分布を第3図に示す。この図から、卓越する風向によって大分市を次の3地域に分けることができる。まず、瀬戸内海方向からの吹き込みと考えられる東風が卓越する東部海岸地域と、北風が卓越する大分川とその周辺地域、そして南風が卓越する大野川上流地域である。大野川上流地域で南風が卓越することを除け



第4図 大分市の平均的海陸風の時間変化図，海風を縦軸正側，陸風を負側に示し，細い実線は各時刻の確率誤差を表わす。

ば，この平均風分布は，後で示す海風最盛時の風系に極めて似ている。その理由として，他地域における海陸風特性と同様に大分市の海陸風も海風が陸風より強いことが挙げられる。更に，この平均風は，69日間のデータから算出されたものであるから，特殊な気象状態の下に見られる風向成分は，かなり除かれたものと考えられる。従って，第3図に示された平均風系は，海風時の風系の特徴が示されたものと推察できる。

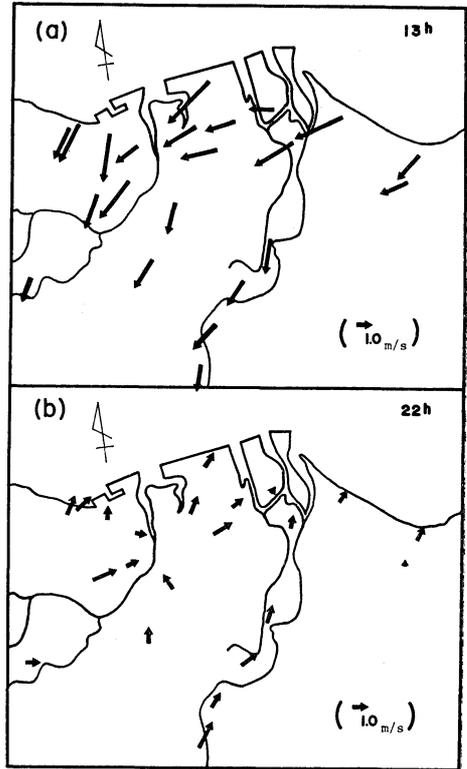
4.2. 平均的海陸風とその分布

まず，大分市の海陸風の特徴を把握するために，全観測点のデータを時間別に集計し平均した結果を第4図に示す。いずれの時刻においても，確率誤差が風速に比べてかなり小さく，平均的海陸風が精度よく求められている。更に，確率誤差の大きさは，その時刻の風速に比例していることがわかる。風の時刻は，8時半と19時である。陸風は，夕風直後を除きほぼ一定の風速である。海風は朝風の時刻から4時間半後の13時に最大風速に達し，その大きさは陸風の約2.5倍である。以上の平均的海陸風に関する特徴は，江口(1977)が解析した大阪市のものと同様一致する。

第5図は，海風時と陸風時から代表的なものをそれぞれ一例ずつ選んで示した海陸風の分布である。海風時に大分川以東の海岸地域で東風が卓越し，大分川以西とその周辺地域及び大野川上流地域において北風が顕著である。その結果，海風は北東から南西へ向けて市内を斜めに吹き抜けている。更に昼夜を問わず，両河川に沿う風が顕著であることから，海陸風系に及ぼす河川の影響の大きいことがわかる。

5. 山谷風の影響についての考察

前章に示した海陸風系に，河川に沿う風及び山地から

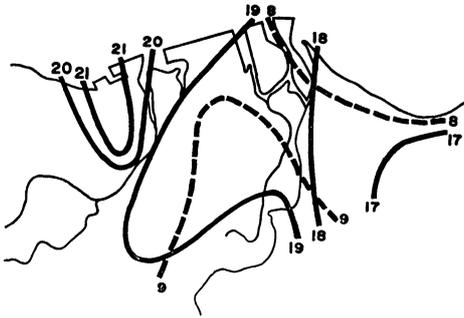


第5図 海陸風ベクトルの分布図，(a)は13時，(b)は22時のものを示す。書き方は第3図と同じである。

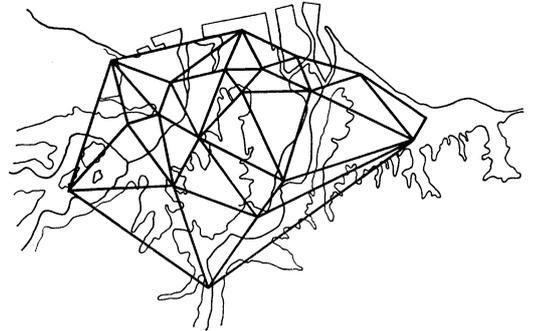
河川への風の収束が顕著に認められる。このことは，海陸風を変形させる要因の存在を示唆するものと言える。大分市の地形からみて，その要因として山谷風の存在が挙げられよう。以下，そのことについて検証する。

5.1. 陸風発生時刻について

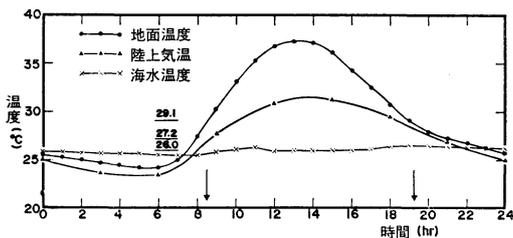
海風前線と陸風前線の移動図を第6図に示す。ただしここで言う前線は，単に平均量として現われた風の収束線を意味し，午前に出現するものを海風前線，午後のを陸風前線と呼ぶ。この図から，陸風から海風への移行がわずか1時間であるのに対し，海風から陸風へは4時間を要するということがわかる。一方，ここに示した海陸風は，長期間のデータを平均して求められたものであるから，もし海陸風以外の要因が作用していなければ，海岸線がほぼ東西に直線的に伸びた地形の大分市に出現する前線の形状は，海岸線に平行で，その移動方向は，海岸線に垂直になることが予想される。ところが，その予想に反して，陸風前線が海岸線に対しかかなりの角度を



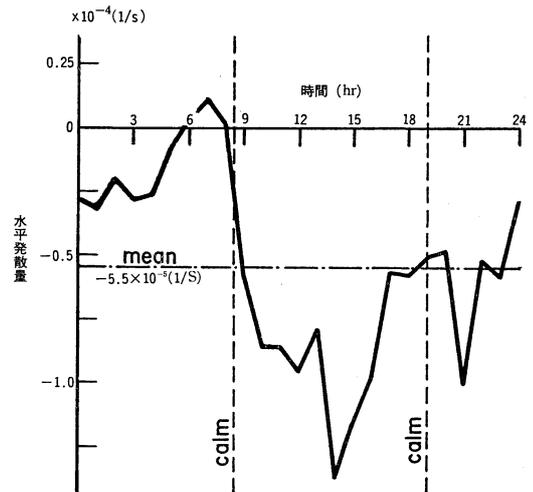
第6図 前線の移動図。破線は海風前線、実線は陸風前線を表わし、数字は前線の出現時刻を示す。



第8図 三角形区分図。



第7図 温度の時間変化図。下線を引いた数字は、上から順に地面、陸上大気、海水の平均温度である。矢印は大分市の平均的な風の時刻を指す。



第9図 平均的水平発散量の時間変化図。解析対象全域で平均したものである。

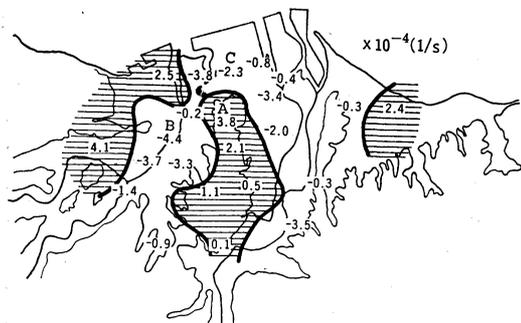
成して、海岸沿いに東から西へゆっくり移動している。この陸風前線の形状とその移動方向は、風の弱い陸風時に、海陸風を変形させる山谷風の影響などを示すものと言えよう。

さらに、19時（平均的夕風時刻）以前に、陸風が東部地区に出現することと海陸の表面温度との関係について検討する。第7図は、地面と海水の温度と陸上気温（各測定点は第1図参照）の日変化である。海水より地面の温度が高くなる時刻は、朝風の出現時刻より1時間半早く、両者のずれは、現象的には矛盾しない。しかし、夕風は、地面温度が海水よりまだ高い時刻に出現し、その時間のずれは約3時間にもなる。海陸風以外の要因を考慮するにしても、この時間差は、あまりにも大きすぎるように思える。その原因としては、地面温度の測定場所の保温効果が大きく、測定代表点として適当でなかったことが考えられる。そこで、改めて海陸の気温差と陸風発生時刻の関係を調べてみる。別府湾上の気温の観測資料を入手することができないが、広島湾での観測結果（藤木、1973）に示されるように、海陸風出現日の気温は、昼は海上が低く、夜間は海上が高くなり、海上と陸

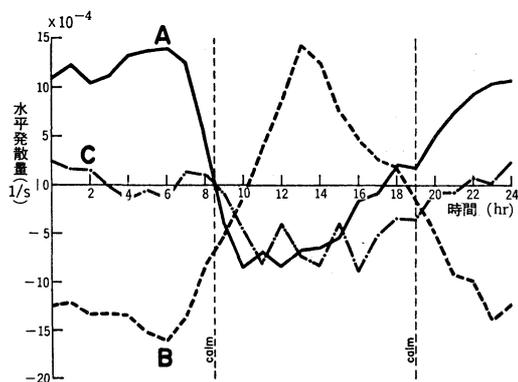
上の気温が等しくなる時刻は、夕風時刻にほぼ等しいと推定される。従って、東部地区の陸風発生時刻は、海陸の表面温度との関係程でないにしても、海上と陸上の気温が等しくなる時刻より早いと判断することができる。このように陸風の発生時刻が早くなる原因は、Asai and Mitsumoto (1978) の研究で明かにされた、表面温度が日変化する斜面の影響によるものと考えられる。

5.2. 地上風の水平発散量の分布

風の水平発散量の計算に使用した三角形区分図を、第8図に示す。極端に接近した観測点のうち解析日数の少ない方は、この三角網から除かれている。第9図は、大分市の平均水平発散量の日変化を示し、市内における日平均収束は、 $5.5 \times 10^{-5} s^{-1}$ である。この収束は、第3図で示した平均風が、沿岸部では海風が強く海から陸へ、内陸部では山谷風などの影響で山地から平地へ向かって



第10図 水平発散量の日平均値の分布図。白地の部分は収束域，影の部分は発散域である。

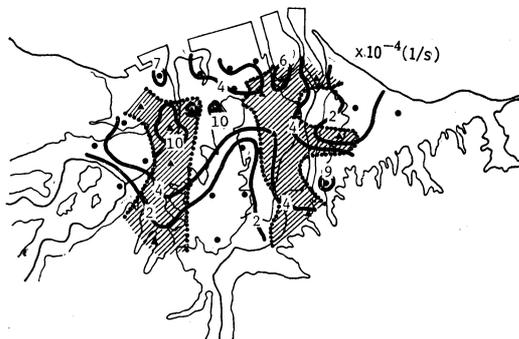
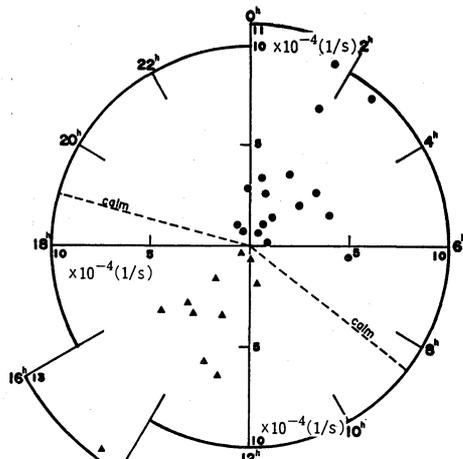


第11図 代表地点での水平発散量の時間変化図。

いることに対応する。なお、水平発散量の日平均値からの偏差の日変化は、風を境に、昼間が収束、夜間が発散である。

次に、水平発散量の日平均値の地域分布を第10図に示す。概ね、山地が発散域（影の部分）、海岸部と河川流域の平地が収束域（白地部分）になり、収束域が発散域より広範な部分を占める。この結果と第9図に示された日平均として市内が収束になることが対応する。

山地（A）、河川流域（B）、海岸部（C）から選んだ代表点での水平発散量の日変化を第11図に示す。各点の位置は、第10図に示してある。C点の夜間における変化が複雑なことを除けば、各点とも風の前後での発散量の変化がはっきりしている。即ち、昼間にA、C両点が収束、B点が発散であり、夜間には、それぞれが逆になる。更に、海岸から数 km 内陸側に位置するA、B両点の変化は、終日逆位相になる。昼間については、海風の勢力が強いため速断することはできないが、両点の夜間における発散（或いは収束）が大きいことから判断し



第12図 水平発散量の一成分のハーモニック・ダイヤルと地上分布図。下图中、実線は振幅の等値線、点線は朝風の時刻に相当する位相線である。昼間に発散量が最大になる地域を斜線で、夜間の地域を白地で示す。

て、この結果は、山地と平地の間に発生する山谷風の影響によるものと考えられる。次に、各地点の水平発散量の日変化を調和解析して、一日成分を求めた結果を第12図に示す。上図は、円周上が24時間の時計になったハーモニック・ダイヤルで、振幅と位相を、それぞれ半径方向と角度で表わしてある。各点の位置する時間は、発散量の1日成分が最大になる時刻に一致する。2本の破線は、風の時刻線であり、この線を境にして、斜め右上が陸風時間帯、斜め左下が海風時間帯である。昼間が収束になる地点のものを丸印、発散になるものを三角印で区別して示している。両者が別々にかかなり狭い時間帯に集中していることから、各地点の発散（或いは収束）が最大になる時刻のずれは、2乃至3時間であることがわかる。下図は、上図に示したものを、やはり丸印・三角

印の区別をつけて地図上に示したものである。この図の最も顕著な特徴は、昼間（夜間）に、河川流域が発散（収束）域に、そして海岸部と山地が収束（発散）域にはっきり区別されていることと、海岸部を除いた地域の位相分布のパターンが、海岸線に垂直になることである。従って、前節でも述べたように、この第12図からも、大分市の海陸風に及ぼす山谷風の影響の大きいことが推察される。

6. むすび

長期間の気象資料を使用して、統計的に海陸風を解析した結果、平均的海陸風を精度よく求めることができた（第4図）。この大分市の平均的海陸風の特性と大阪市（江口, 1977）のものとは、よく一致する。

大分市の海陸風の特徴の1つは、東部地区の陸風が、海上と陸上の気温が等しくなると推定される時刻（ほぼ夕風時刻に等しい）より早く出現することである（第6図, 第7図）。この現象を、海陸風だけで説明することはできないので、Asai and Mitsumoto (1978) が示した表面温度が日変化する斜面の影響が現われたものと考えられる。

更に、陸風前線の形状と移動方向（第6図）、或いは第12図に示した水平発散量の1日成分の位相分布のパターンが、海岸線に垂直で、しかも発散と収束の地域が、

河川流域と山地に一致することから、大分市の海陸風系に及ぼす山谷風の影響が、かなり大きいと判断される。

ところで、本解析では解析対象領域が市内に限られ、周辺山地の気象資料がないなどのため、山谷風のスケールを定量的に推定することはできなかった。大分市の地形に似て、気象資料の豊富に揃った地域において、海陸風と山谷風のスケールに着目した解析を行えば、更に興味ある結果が期待されよう。

終りに、資料を快く提供していただいた大分地方気象台、大分県公害衛生センター、大分市公害対策課、新日本製鉄株式会社大分製鉄所の方々に対し深く感謝する。

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, 109-129.
- Asai, T. and S. Mitsumoto, 1978: Effects of an inclined land surface on the land and sea breeze circulation: A numerical experiment, J. Met. Soc. Japan, 56, 559-570.
- 江口恒夫, 1977: 大阪市の海陸風について, 天気, 24, 739-746.
- 藤木明光, 1973: 海面付近の微気象—広島湾の海陸風—, 天気, 20, 557-564.
- 日本太陽エネルギー学会, 1975: 太陽エネルギー読本, オーム社, 21.
- 大分県, 1973: 大分県の気候誌.