

AMeDAS データの統計解析による夏季の海陸風の特徴

堤, 純一郎
日本学術振興会特別研究員

片山, 忠久
九州大学大学院総合理工学研究科熱エネルギーシステム工学専攻

北山, 広樹
九州大学大学院総合理工学研究科熱エネルギーシステム工学専攻

石井, 昭夫
九州芸術工科大学芸術工学部環境設計学科

他

<https://doi.org/10.15017/17700>

出版情報 : 九州大学大学院総合理工学報告. 9 (2), pp.239-246, 1988-01-01. 九州大学大学院総合理工学研究科
バージョン :
権利関係 :

AMeDAS データの統計解析による夏季の海陸風の特徴

堤 純一郎*・片山 忠久**・北山 広樹***
石井 昭夫****・西田 勝*****

(昭和62年9月30日受理)

Characteristics of the Sea-land Breeze in the Summer by Statistical Analyses of the AMeDAS Data

Jun-ichiro TSUTSUMI, Tadahisa KATAYAMA, Hiroki KITAYAMA
Akio ISHII, Masaru NISHIDA

Characteristics of the natural wind have to be grasped to utilize it as natural energy. The sea-land breeze is thought to be a suitable energy source, because its speed and direction are relatively stable. 12 major cities distributed in the whole country are selected, and the AMeDAS data of 5 years, from 1980 to 1984, in these cities are used for analyses.

The summer season is selected by the 7 days moving average of daily mean air temperature in each year. The axis of the sea-land breeze is decided from a wind rose which is drawn using all the data in this season, considering the direction of the nearest seashore in each city. The sea-land breeze component of a wind vector is defined as a component of which direction is equal to that of the axis of the sea-land breeze. Sea and land breeze hours are decided from the diurnal fluctuation of the sea-land breeze component averaged at each time. The sea-land breeze is a thermal convection of which heat source is solar radiation. The relation between the sea-land breeze component and the diurnal duration of sunshine is examined.

1. はじめに

ヒートアイランドということばで代表される都市の熱環境は、夏季の蒸暑な気候において特に顕著にその悪化した面を表わす。これによる外気温の上昇は、居住空間の熱環境の悪化、冷房熱負荷の増大、そしてより大量のエネルギー消費という悪循環につながる。都市熱環境を改善するためには、このような悪循環および都市のスケールから考えて自然エネルギーをパッシブに利用することが適当であると考えられる。そのひとつの方向として、市街地における自然風による通風が考えられる。Emonds¹⁾は、市街地の大気汚染対策としての通風の効果について論じているが、汚染物質の風による輸送、拡散と熱のそれを類似の現象と考えれば、熱環境に対する効果も十分に期待できる。

一般に自然の風は時間的に激しく変化することや、

* 日本学術振興会特別研究員

** 熱エネルギーシステム工学専攻

*** 同 修士課程

**** 九州芸術工科大学芸術工学部環境設計学科

***** 九州産業大学工学部建築学科

空間的に強い局地性を持つことなどから、自然エネルギー源として安定しているとは言えない。しかし、海陸風に代表される熱対流に基づく局地循環は、比較的安定した風向、風速を持つと考えられる²⁾³⁾。また、このような風には、地表付近において気温の上昇を緩和する効果があることが知られており⁴⁾⁵⁾、これによる直接的な夏季の都市熱循環の改善も期待できる。日本の多くの大都市が海岸に近いところで発達していることを考慮すれば、海陸風は都市熱環境を緩和するための有効な自然エネルギー源と考えられる。

気象学的な面からの海陸風を対象とした研究は多いが⁶⁾⁷⁾⁸⁾⁹⁾、これらは主として海陸風が出現しているという条件の下で、その空気力学的あるいは地理学的な特性を解明することが目的となっている。これらの研究において、解析対象期間や海陸風出現の判断条件は、研究者により独自に設定されている。しかし、夏季の都市熱環境改善という観点から風を利用するためには、夏季期間の選択を含めて、自然風の海陸風的な特性を一般性のある方法により明らかにする必要がある。本研究はその基礎的な段階として、一般性のある方法に

より選択された夏季期間の風のデータからの海陸風の成分の抽出, およびその成分と海陸風の熱源である日射との関係について明らかにするものである。

2. 解析資料

解析には AMeDAS データを用いる。具体的には, 1980年から1984年までの5年間の磁気テープから, 全国12都市の観測点における風向, 風速, 日照時間, 気温の毎時データを取り出して解析する。解析の対象として選択した都市は, 緯度の高い方から, 札幌, 秋田,

仙台, 新潟, 東京, 名古屋, 静岡, 大阪, 広島, 福岡, 高知, 鹿児島である。これらの都市は, 全国的な分布状態, 人口などを考慮して決めたものである。これらの都市は太平洋側6都市, 日本海側4都市, 瀬戸内海沿岸2都市で, 札幌を除きほぼ海岸に近いところに位置している。

3. 解析対象期間の選択

解析の対象とする期間は, 本研究の目的から考えて夏季の蒸暑気候の期間である。この期間は通常月別に

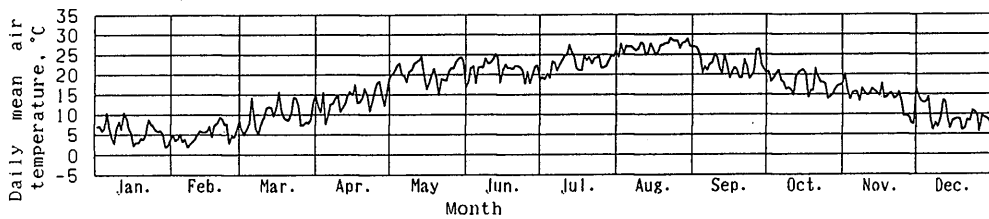


Fig. 1 Annual fluctuation of daily mean air temperature (1982, Tokyo)

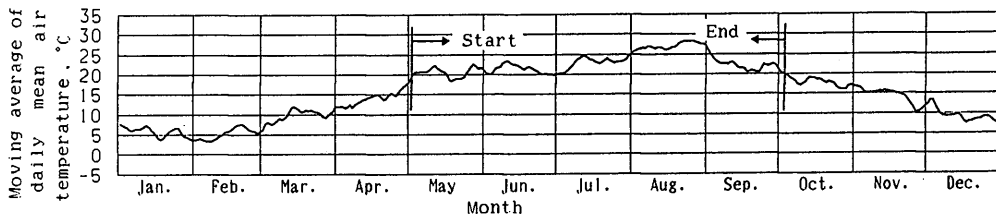


Fig. 2 Annual fluctuation of 7 days moving average of daily mean air temperature (1982, Tokyo)

Table 1 Periods for the analyses in the selected cities

Year	1980	1981	1982	1983	1984
City	Period start~end. month/day (the number of days)				
Sapporo	6/ 4~ 8/12(70)	7/11~ 8/29(50)	7/ 5~ 9/ 2(60)	7/26~ 9/ 7(44)	6/14~ 9/ 1(80)
Akita	5/30~ 9/15(109)	6/29~ 9/ 2(66)	6/19~ 9/ 5(79)	6/30~ 9/14(77)	6/ 5~ 9/ 8(96)
Sendai	6/ 4~ 9/17(106)	7/ 6~ 9/14(71)	7/ 7~ 9/25(81)	7/16~ 9/14(61)	6/17~ 9/18(94)
Niigata	5/29~ 9/20(115)	6/25~ 9/25(93)	5/27~ 9/28(125)	6/17~ 9/25(101)	6/ 3~ 9/24(114)
Tokyo	5/22~10/11(143)	6/ 5~ 9/30(118)	5/ 2~10/ 2(154)	5/10~10/ 8(152)	5/29~10/ 4(129)
Nagoya	5/22~ 9/22(124)	6/ 5~ 9/29(117)	5/ 8~ 9/29(145)	5/21~10/ 4(137)	5/10~10/ 4(148)
Shizuoka	5/23~10/18(149)	6/ 6~10/ 1(118)	5/10~10/ 1(145)	5/10~10/13(157)	5/29~10/ 4(129)
Osaka	5/20~10/18(152)	5/24~10/ 5(135)	5/ 8~10/12(158)	4/26~10/ 8(166)	5/ 9~10/ 4(149)
Hiroshima	5/23~10/11(142)	6/ 6~ 9/27(114)	5/10~ 9/24(138)	5/21~10/ 2(135)	5/28~10/ 2(128)
Fukuoka	5/22~10/14(146)	5/ 8~10/ 7(153)	5/ 7~10/12(159)	5/20~10/15(149)	5/28~10/ 4(130)
Kochi	5/12~10/18(160)	5/26~10/ 6(134)	5/ 9~10/ 6(151)	5/20~10/14(148)	5/11~10/ 4(147)
Kagoshima	5/13~10/19(160)	5/26~10/21(149)	4/27~10/19(176)	4/25~10/21(180)	5/10~11/ 9(184)

選択されていることが多いが、実際には都市によりまたは年度により異なるはずである。そこで、本研究では日平均気温を基準として都市別、年度別に解析対象期間を選択する。

日平均気温は1日の気温データ24個を単純平均して求める。日平均気温の1年間の変動状態を、1982年の東京を例として Fig. 1 に示す。1ヵ月間に4回程度の大きな振幅を持つ顕著な変動が見られるが、この変動が解析対象期間の選択を困難なものとしている。そこで、この変動を平滑化するため、この周期を7日間と考え、7日間の移動平均をとる。Fig. 1 に示したデータの7日間移動平均をとった1年間の変動状態を Fig. 2 に示す。この図では細かい振動が消えて1年間全体の変化がわかりやすくなっている。この移動平均化した年間の日平均気温の変動が初めて 20℃ を越える日から、最後に 20℃ よりも下がる日の前日までの期間を夏季、すなわち解析対象期間とする。期間を選択する際の基準として 20℃ を用いることには特別の理由はないが、夏季として適当に高温であり、区切りのいい数字として採用したものである。

以上のように日平均気温 20℃ を基準として、各解析対象都市について、各年度毎に対象期間を設定する。設定された解析対象期間を Table 1 にまとめて示す。この表において、高緯度に位置する都市ほど解析対象期間が短くなることが明確に示されている。また、同一の都市においても年度による解析対象期間の変化が大きい。以後の統計解析はすべて Table 1 に示された期間について行う。

4. 海陸風の主軸と海陸風成分

各解析対象都市において設定された解析対象期間の

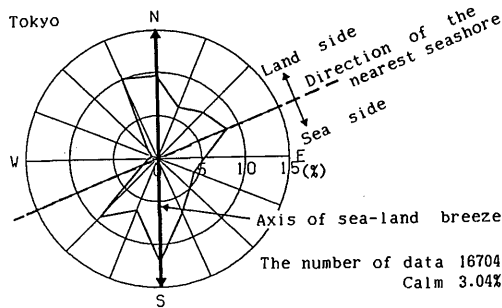


Fig. 3 Wind rose in the period for the analyses with the axis of the sea-land breeze

全風向データを用いて風配図を描く。また、各都市に最も近い海岸線の方向を地図から求める。この風配図と海岸線の方向を合せて考えることにより海陸風の主軸を決定する。一般に陸上で観測した場合の陸風は海風よりも風速が極めて小さく、その風向も不安定になりやすいと言われているので、ここでは海陸風の主軸として海風の主風向だけを考えることとする。

東京を例として、最寄りの海岸線の方向を含めて、解析対象期間の風配を Fig. 3 に示す。東京の場合は最も近い海が東京湾であり、その海岸線は湾曲している上にほとんどが人工海岸であるため、海岸線の方向を明確に求めることは困難である。その他の都市についても同様の傾向を持つことが多いが、ここでは海側と陸側の方向を判定することが目的であるので、測定点に最も近い海岸の大きなスケールでのおよその接線方向を海岸線の方向と考える。

Fig. 3 において、海岸線とほぼ直交する方向に明確な卓越風向が現われている。この卓越風向が海陸風現象の多くを含むものと考え、海側の卓越風向を海陸風の主軸とする。その他の都市においても同様に海陸風の主軸を決定する。

風は大きさと方向を持つベクトル量である。風ベクトルの海陸風に対する関係を表す方法として、Fig. 4 に示すように海陸風の主軸方向の風ベクトルの成分を考える。この風ベクトルの成分を海陸風成分と呼ぶ。Fig. 4 に示すとおり、海風側を正、陸風側を負として表す。

一般に風ベクトルは海陸風の成分と一般風の成分が合成されて決まるものであるが、非線形運動であるため単純なベクトル合成にはならない。従って、海陸風成分が風ベクトルにおける海陸風の成分だけを表すわ

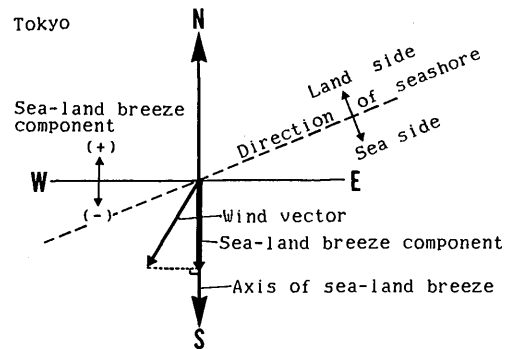


Fig. 4 Sea-land breeze component

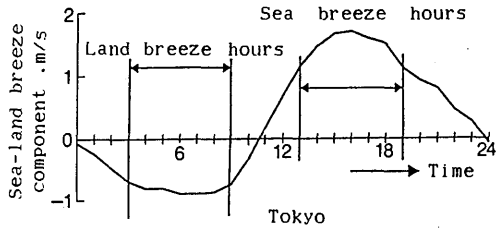


Fig. 5 Diurnal fluctuation of the sea-land breeze component averaged at each time

けではないが、ここではこれを海陸風の軸方向の強さを表す指標として用いることとする。

5. 海風および陸風時間帯

海陸風成分の毎時の値を、各時刻別に解析対象の全期間について平均化して、海陸風成分の平均的な日変化の状態を得る。東京を例として海陸風成分の平均的な日変化を Fig. 5 に示す。図の横軸は時刻であるが、0時には24時の値を用いている。海陸風成分の一日を通しての滑らかな変化、および海風が陸風に比べて強いという一般的な傾向が Fig. 5 に明確に現われている。海陸風成分が大きな正值となる13時から19時までを海風が最も発達する時間帯と考えて海風時間帯とする。同様に海陸風成分が大きな負値となる3時から9時までを陸風時間帯とする。

札幌を除くその他の都市においても、東京と同様の明確な海陸風成分の日変化が見られ、東京と同様に海風および陸風時間帯を決めることができる。札幌の場合には、すべての時刻において海陸風成分の平均値が負値となる。これは、札幌が最も高緯度であり、比較

的内陸に位置するため海風が弱くなることと、夏季の一般風の風向が陸風側であることが原因と考えられる。しかし、日変化のパターンは東京のそれに近いので、全体的に陸風側にシフトしていると考え、これを補正することにより海風および陸風時間帯を決めている。

以上のように決定された海風および陸風時間帯をまとめて Table 2 に示す。これらの時間帯は以後の解析のために、海風および陸風時間帯が同じ長さとなり、海陸風の交替時付近を適当な間隔で除くことを条件として決定したものであり、これらの時間帯以外は海風または陸風が吹かないということではない。すべての解析対象都市において、海風時間帯は昼間から夕方にかけて、陸風時間帯は深夜から朝方にかけてとなっている。

Table 2 Sea and land breeze hours in the selected cities

City	Sea breeze hours (the number of data)	Land breeze hours (the number of data)
Sapporo	14:00~20:00 (7)	2:00~8:00 (7)
Akita	12:00~18:00 (7)	1:00~7:00 (7)
Sendai	12:00~17:00 (6)	1:00~6:00 (6)
Niigata	14:00~19:00 (6)	2:00~7:00 (6)
Tokyo	13:00~19:00 (7)	3:00~9:00 (7)
Nagoya	15:00~20:00 (6)	3:00~8:00 (6)
Shizuoka	12:00~17:00 (6)	24:00~5:00 (6)
Osaka	13:00~18:00 (6)	3:00~8:00 (6)
Hiroshima	12:00~18:00 (7)	1:00~7:00 (7)
Fukuoka	12:00~18:00 (7)	24:00~6:00 (7)
Kochi	11:00~17:00 (7)	24:00~6:00 (7)
Kagoshima	10:00~15:00 (6)	1:00~6:00 (6)

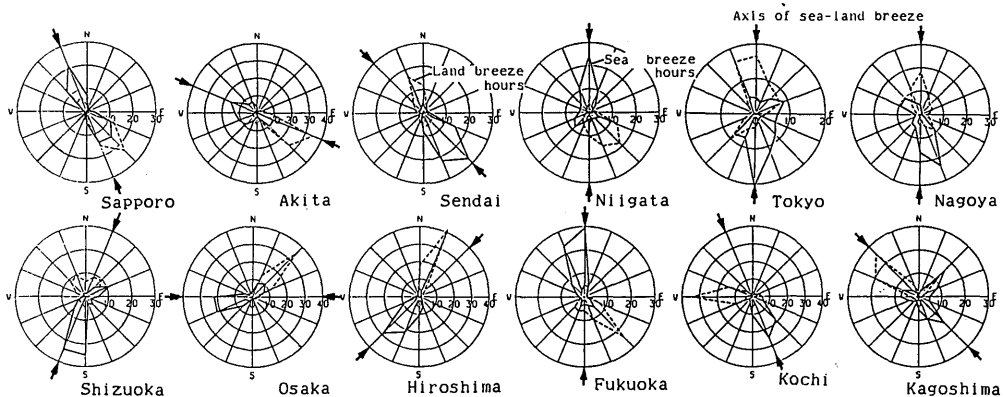


Fig. 6 Wind roses of sea and land breeze hours

海風および陸風時間帯に分類された風向、風速データの頻度分布を求め、風向については風配図として Fig. 6 に、風速については風速頻度分布図として Fig. 7 に示す。これらの図中の実線が海風時間帯、破線が陸風時間帯の状態を表す。

Fig. 6 において札幌以外の都市では、海風および陸

風時間帯とも明確な卓越風向を示し、またそれぞれの時間帯の風配が重なる部分は小さい。札幌の海風時間帯の風配は、海風方向と陸風方向に同程度の頻度が見られる。多くの都市において海風時間帯の卓越風向と海陸風の主軸が一致しているが、静岡や大阪のように海風時間帯の風向が海陸風の主軸とそれに隣り合うも

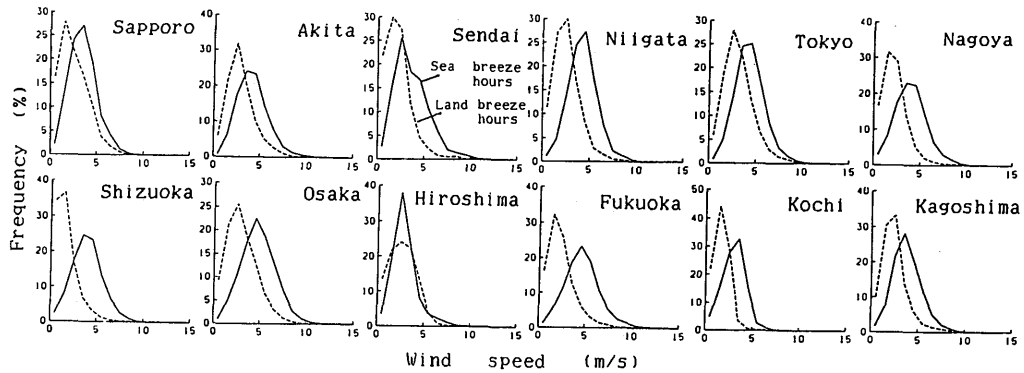


Fig. 7 Wind speed frequency distributions of sea and land breeze hours

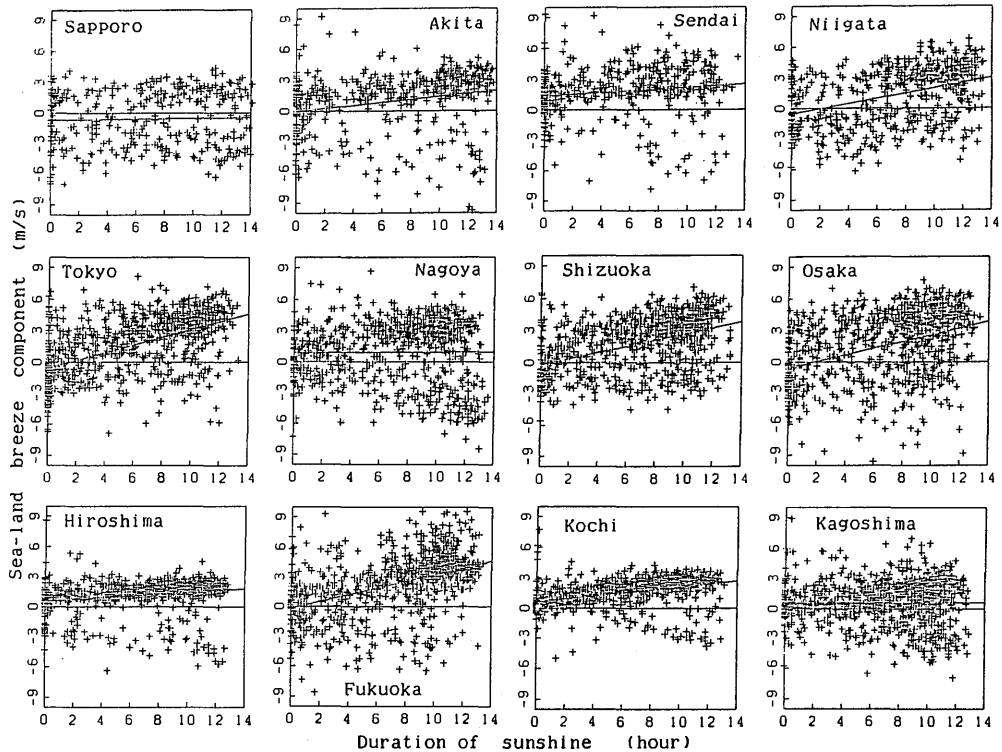


Fig. 8 Correlations between the sea-land breeze component and duration of sunshine in sea breeze hours

うひとつの方向に同程度卓越している例や、鹿児島のように海陸風の主軸とそれに直交するもうひとつの方向に卓越風向が現われている例も見られる。鹿児島の場合には桜島の影響があるものと考えられる。一方、陸風時間帯においては、その卓越風向が海陸風の主軸と一致していることは少ない。陸風時間帯の卓越風向が海陸風の主軸から16方位で表して1~2方位ずれていることが多く、高知のように3方位ずれている例や、静岡のように明確な卓越風向が現われていない例も見られる。

Fig. 7 において、すべての風速頻度は、明確なひとつのピークを持つ分布となっている。全解析対象都市において、海風時間帯の風速は陸風時間帯の風速よりも全体的に大きな値となっている。これは海陸風の一般的な性質である。広島については海風および陸風時間帯における最頻値が一致している。

6. 海陸風と日照時間との関係

海陸風成分の毎時値の海風および陸風時間帯におけ

る一日毎の平均をとり、それらを平均海風成分および平均陸風成分と呼ぶ。海陸風現象が出現しているときは平均海風成分は正、平均陸風成分は負の値となる。

海陸風は日射を熱源とする熱対流現象であるので、海陸風の発達程度は日射量に関連するものと考えられる。AMeDAS データには日射量のデータがないので、代わりに日照時間を用いてこれらの関係を調べる。平均海風成分および平均陸風成分と日積算日照時間との関係を Fig. 8 および Fig. 9 に示す。

平均海風成分は札幌、名古屋および鹿児島を除いてほぼ全体に正の値を持ち、日積算日照時間と正の相関を示している。札幌の場合は平均海風成分のデータが全体にばらついて、日積算日照時間と全く関係がないように見えるが、名古屋および鹿児島の場合には日積算日照時間が長くなると、平均海風成分が正の部分と負の部分に分れる傾向が見られる。その他の都市においてもデータのばらつきは大きい。広島および高知では比較的良好とまとまっている。

平均陸風成分は全体に負の値を持ち、日積算日照時

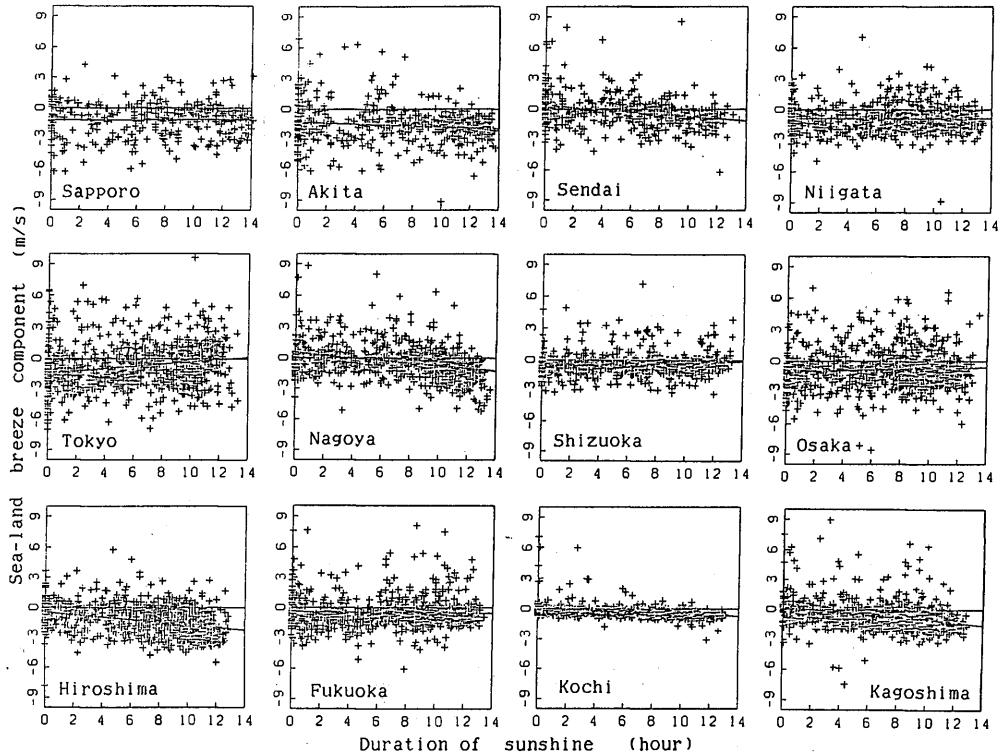


Fig. 9 Correlations between the sea-land breeze component and duration of sunshine in land breeze hours

間と負の相関を持つことが期待されるが、そのような傾向は、広島、高知および鹿児島に見られる。その他の都市においても、平均陸風成分が負となるデータは多いが、正となるデータも比較的多く、また仙台および名古屋でわずかに負の相関がみられるだけである。

一般に平均陸風成分は平均海風成分よりも日積算日照時間との相関が悪く、大きくばらついているデータは明らかに海陸風現象ではないと考えられる。

さらにこれらの関係をわかりやすく示すため、基準の日積算日照時間による平均海風成分、平均陸風成分、海風および陸風時間帯における風速の平均値の変化を Fig. 10 に示す。横軸は日積算日照時間の基準値で、日積算日照時間がこの値以上となる日のデータについて、縦軸のそれぞれの値を平均化することを意味する。以後、これを基準日照時間と呼ぶ。縦軸の海風および陸風時間帯における風速の平均値は、一日毎の各時間

帯における風速の単純平均をとったものである。以後、それぞれ海風平均風速および陸風平均風速と呼ぶ。平均海風成分および平均陸風成分は各データの符号をそのままに扱い、海風平均風速および陸風平均風速は正值として図示している。

札幌の場合には、平均海風成分がすべて負値となり、また4種類の値とも基準日照時間との明確な関係が見られない。基準日照時間が10時間を越える場合には多くの都市で平均海風成分が小さくなる傾向が見られ、特に名古屋では負値になってしまうが、これは Fig. 8 からわかるように、日積算日照時間が大きくなると、平均海風成分のばらつきも大きくなり、またデータ数が減少するのでそのばらつきの影響をうけやすくなるためと考えられる。しかし、基準日照時間が10時間以下のところでは、仙台、名古屋および鹿児島を除き、基準日照時間の増加とともに平均海風成分も増加する

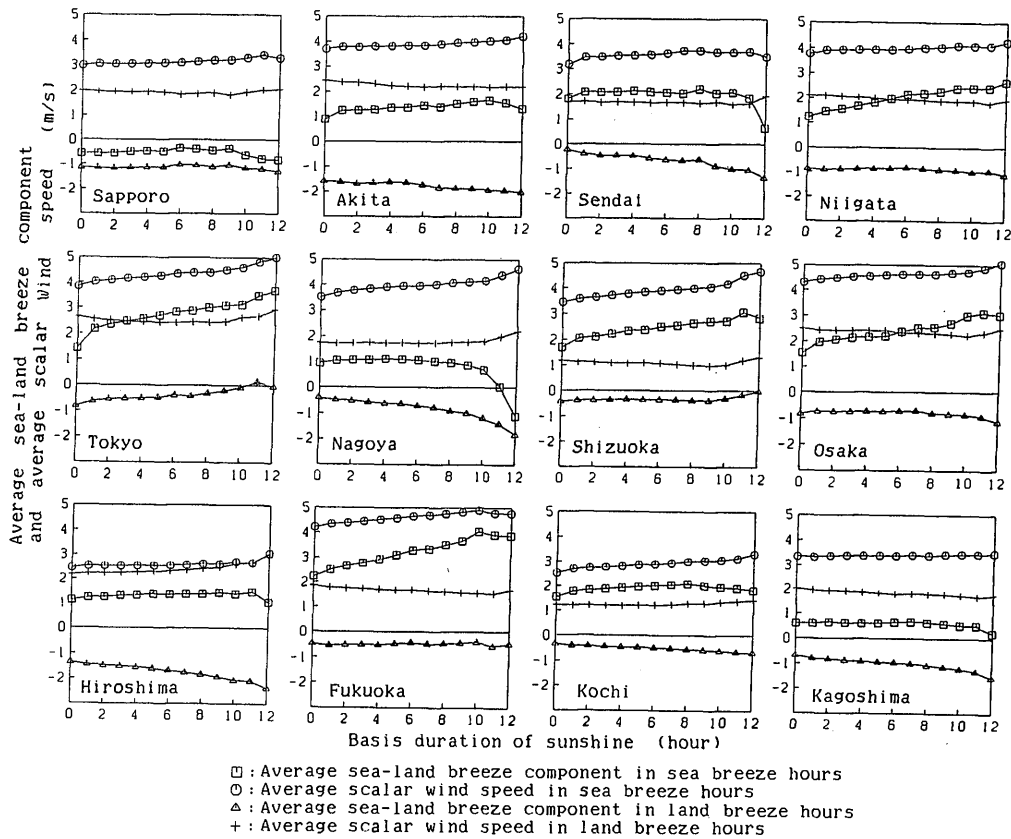


Fig. 10 Changes of the average sea-land breeze components and the average scalar wind speeds in sea and land breeze hours by the basis duration of sunshine

傾向が見られる。平均陸風成分は東京、静岡で基準日照時間が大きい場合に0に近づいているが、その他の都市ではすべて負値となり、基準日照時間の増加によりその絶対値が増加、またはほぼ一定となる。東京、静岡では海風寄りの風向を持つ一般風が強いためと考えられる。すべての都市において海風平均風速は陸風平均風速よりも大きな値を持ち、基準日照時間の増加とともに大きくなる傾向が見られるが、陸風平均風速は横ばいかまたは減少する例も見られる。

森²⁾はスカラー平均風速に対するベクトル平均風速の比を風向の定常度と定義しているが、この考え方を応用して、海風平均風速または陸風平均風速に対する平均海風成分または平均陸風成分の比を海風および陸風の安定性を表す指標と考えることができる。これを **Fig. 10** より考察すると、新潟、東京、静岡、大阪および福岡では基準日照時間の増加とともに、海風の安定性が増しているが、その他の都市ではほぼ一定であり、名古屋のように減少する例も見られる。陸風については、前述の理由から東京および静岡で基準日照時間の増加により、その安定性が減少するが、その他の都市ではほぼ一定となる。

7. ま と め

夏季の海陸風的な要素を AMeDAS データから抽出し、その要素と日照時間との関係について考察してきたが、主な内容を以下にまとめる。

- (1) 日平均外気温を用いて、各都市、年度毎に夏季の期間を選択している。
- (2) 全風向データを用いた風配図より海陸風の主軸を決定し、風ベクトルのその方向の成分を海陸風成分と定義する。
- (3) 海陸風成分の日変化から海風および陸風時間帯を決定している。
- (4) 海風および陸風時間帯における海陸風成分の平均値と日積算日照時間との関係を調べ、札幌では海陸風現象が起こりにくいこと、海風は陸風よりも日照時間の影響を受けやすいことなどを明らかにしている。

本論文の内容の多くが、大量の気象データを機械的に統計処理することにより、海陸風的な要素を定量的に表す方法についての提案である。これらの方法をより一般化するため、今後一日毎の風の日変化との比較による検討や、より多くの観測点やより長い期間のデータによる検討が必要である。

参 考 文 献

- 1) H. Emonds: Impacts on Urban Population from Climate and Immissions Caused by Buildings, Int'l Conf. on Tall Buildings and Urban Habitat, Pre. Rep., Vol. II, pp. 77~85, 1977. 12
- 2) 森 征洋: 日本における平均風向と風向の定常度について, 天気, Vol. 30, No. 4, pp. 39~45, 1983. 4
- 3) 堤純一郎, 片山忠久, 西田 勝, 石井昭夫: 海岸都市における風の変動特性に関する統計解析—風と都市・建築環境(1), 日本風工学会誌, No. 24, pp. 3~4, 1985. 6
- 4) 浅井富雄: 海陸風, 別冊サイエンス18, pp. 87~93, 1977. 11
- 5) 堤純一郎, 片山忠久, 石井昭夫, 西田 勝: 福岡市における海陸風, 第8回風工学シンポジウム論文集, pp. 123~128, 1984. 12
- 6) 江口恒夫: 大阪市の海陸風について—地上風データの統計解析, 天気, Vol. 24, No. 12, pp. 23~30, 1977. 12
- 7) 藤部文昭: 海陸風の季節的特性, 天気, Vol. 28, No. 6, pp. 27~35, 1981. 6
- 8) 楠田 信, 阿部信男: 大分市の夏季の海陸風, 天気, Vol. 29, No.1, pp. 81~86, 1982. 1
- 9) 伊藤久徳, 川添俊弘: 和歌山県における海陸風, 天気, Vol. 30, No. 3, pp. 151~159, 1983. 3