

## 海陸風の季節的特性\*

藤部文昭\*\*

### 要旨

一般風が弱い場合の海陸風の季節的特性を明らかにするため、本州中央部とりわけ関東地方を対象として、広域的な海陸風と東京湾沿岸の小規模な海陸風について解析を行なった。その結果、広域的な海陸風の形態は、季節風に似た準定常的な成分の存在のため、季節によって大きく異なることが見出された。しかし、日変化する成分は、関東地方に関する限り、季節変化が小さいことが示された。一方、東京湾の海陸風の形態は、ほとんど季節によらないことが見出された。なお、資料としては、主として気象庁および南関東の各自治体のルーチン観測資料を用いた。

### 1. はじめに

海陸風の季節的特性を扱った研究はいくつかある。それらの多くは、海風の発生頻度や最大風速などの点で、冬に海風が吹きにくいことを示している。このような季節変化の一因としては、総観規模の気象条件の季節変化が考えられる。しかし、それ以外の要因として、海陸間の表面温度差や日射量の季節変化を挙げている報告も少なくない。例としては、冬の宮崎で、海から陸へ向かう一般風の下でも海風の出現が稀であることを指摘し、その理由として海面水温が終日表面温度よりも高いことを挙げた黒木(1973)の研究がある。関東地方についても、河村(1973)が、総観規模の気圧傾度が小さい日の風系に関する報告の中で、冬に海風が内陸深く侵入することは珍しく、海岸から10~15km ぐらいの距離の所に海風前線が形成され、それよりも内陸は1日中陸風が卓越することが多いと述べている。海陸風は、本来、日変化を伴う風系であるが、上の2つの報告は、日変化しないいわば準定常的な成分の重要性を示唆している。一方、河村(1977)は、関東地方で冬に海陸風の交代が起こる日は少なくなく、そのような日の海陸風の形態には暖候期と比べて大きな差がないという内容の報告を行なっている。この報告は、日変化現象としての海陸風が年

間を通じて存在しうることをうかがわせる。そして、河村の2つの報告を比較すると、総観規模の気圧傾度の小さいことと海陸風の交代の起こる条件とが必ずしも一致せず、調査方法が異なると海陸風の現象の見え方に大きな違いの生じることが推察される。

今回の研究では、本州中央部とりわけ関東地方における海陸風の季節的特性を調べた。ここで言う海陸風の中には、山谷風が含まれる。関東地方で海陸風と呼ばれる風系の中には、沿岸地域に存在する小規模な風系と、関東地方全体をおおう広域的な風系との2種類があり、両者の間には、鉛直スケールや風の日変化の位相などいくつかの点で性質の違いがある(藤部・浅井, 1979)。今回も、2種類の風系を別々に扱った。解析に当たっては、上で述べたいくつかの研究結果から得られる示唆にしたがって、海陸風を日変化する成分と、しない成分に分け、双方の季節的特性を調べることにし、準定常的な海陸風の性状と風の日変化の形態の季節変化を明らかにすることを主な目的とした。

### 2. 資料と解析方法

今回用いられた資料を第1表に示す。

#### 2.1. 各風系の指標

風は、原則として東西成分と南北成分とに分けてベクトル的に扱い、西風と南風を正に取った。

関東地方における広域的な海陸風は、関東地方全体をほぼ一様におおうので、関東平野の海拔100m 未満にあ

\* Seasonal characteristics of land and sea breezes.

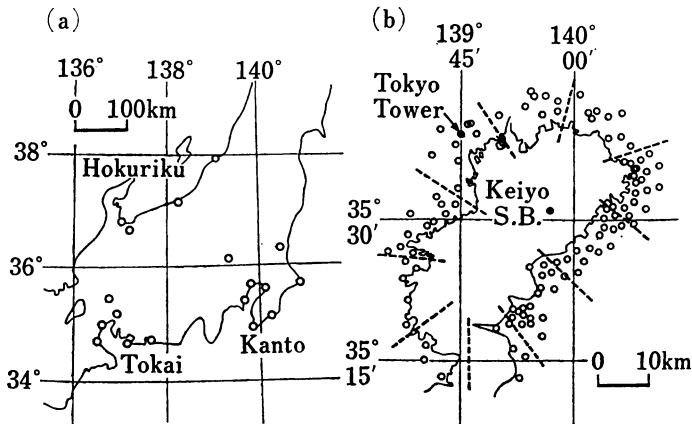
\*\* Fumiaki Fujibe, 東京大学海洋研究所.

——1981年2月18日受領——

——1981年4月23日受理——

第1表 資料の一覧表. MTは磁気テープ, SKは南関東大気環境調査のこと.

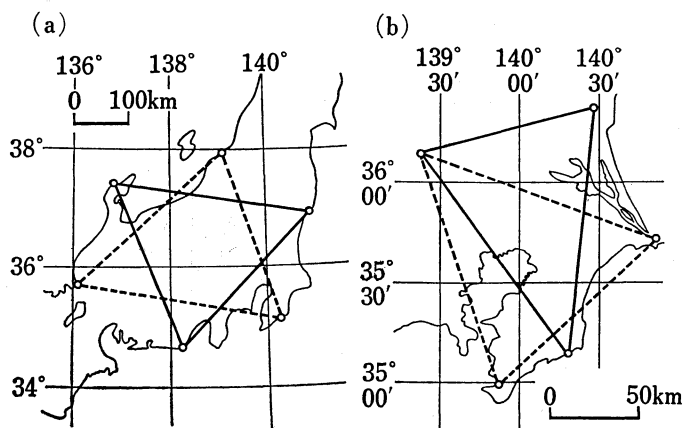
地点・種類	要素	期間(年,月)	時間間隔(時間)	備考
東日本の気象官署	各地上気象要素	1971~78	3または6	気象庁MT(統計課)
東京・神奈川・千葉 公害測定局	地上風	1976.4~78.3	1	国立公害研究所MT(環境情報部)
館野・輪島 高層観測資料	上層風	1971~78	6	
東京タワー (高さ250m)	風	1973~75	3	SK地上気象資料MT (東京管区気象台調査課)
		1976.4~78.3	1	国立公害研究所MT
京葉シーバース (東京湾上)	地上風	1973~76	3	SK地上気象資料MT
		1977~78	1	
SK特別観測資料	上層気温	1974. 11. 25~26 1975. 8. 2~3	3	「SK特別観測資料」(気象庁, 1975)



第1図 地点分布図. (a)広域的な海陸風の解析に用いられた気象官署(白丸). (b)東京タワー・京葉シーバース(黒丸)および東京湾の海陸風の解析に用いられた公害測定局(白丸).

る8つの気象官署の地上風の平均を指標にした。また、日本海側にも関東地方の広域的な海陸風と同じような鉛直構造を持つ風系の存在が示唆されており、東海地方でも関東地方と同様の2種類の風系の存在をうかがわせる観測結果(竹内ほか, 1978)が得られているので、北陸地方と東海地方についても、新潟・富山県内の平野部および

濃尾平野にある4つおよび6つの気象官署の地上風の平均を用いて関東地方と同様の解析を行なった。第1図aに地点の分布を示す。このほか、必要に応じて、第1表に示す種々の資料を用いた。このうち、海面気圧の資料は、海面更正の影響を小さくするため、海拔100m未満の地点のものだけを用いた。また、館野と輪島の



第2図 (a)  $G$  および (b)  $g$  の計算に用いられた各2つ (実線と破線) の3角形.

については、特異点の資料と、1000 mb 面の資料とを、Akima (1970) の方法により、地上から気圧差 25 mb 毎に 400 mb までの16点の風に内挿して用いた。

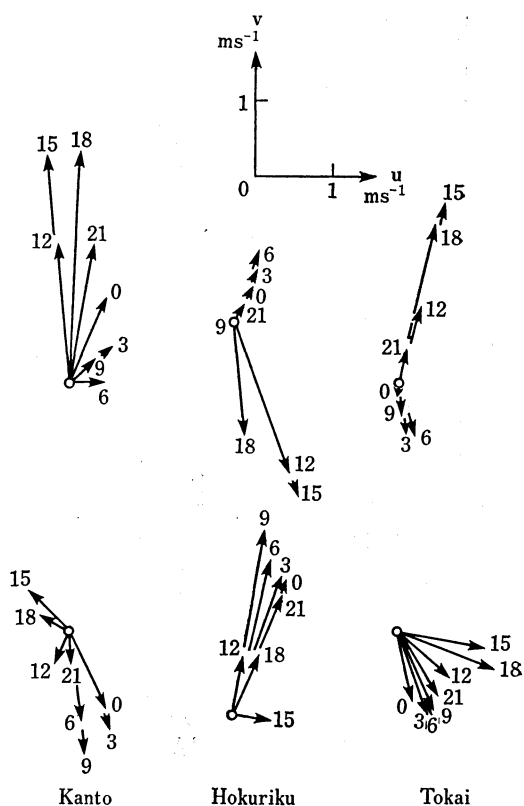
小規模の海陸風としては、資料の豊富な東京湾沿岸の海陸風を対象にした。指標には、湾の周囲にある105個の大気汚染常時監視測定局(以下「公害測定局」と言う)における地上風の資料から求めた湾上の水平発散と渦度の鉛直成分(以下それぞれ「発散」「渦度」と言う)を用いた。第1図bに地点の分布を示す。計算を行なう際には、第1図bに示す破線によって湾の周囲をあらかじめ10個の地域に分割しておき、各地域内の平均風を使って発散と渦度を求めた。なお、発散・渦度はそれぞれ海岸線に直角(外向き)および平行(反時計方向)な方向の風に対応し、値を風速に換算すると、 $10^{-5} s^{-1}$  あたり約  $0.1 ms^{-1}$  になる。

2.2. 時間変化の解析

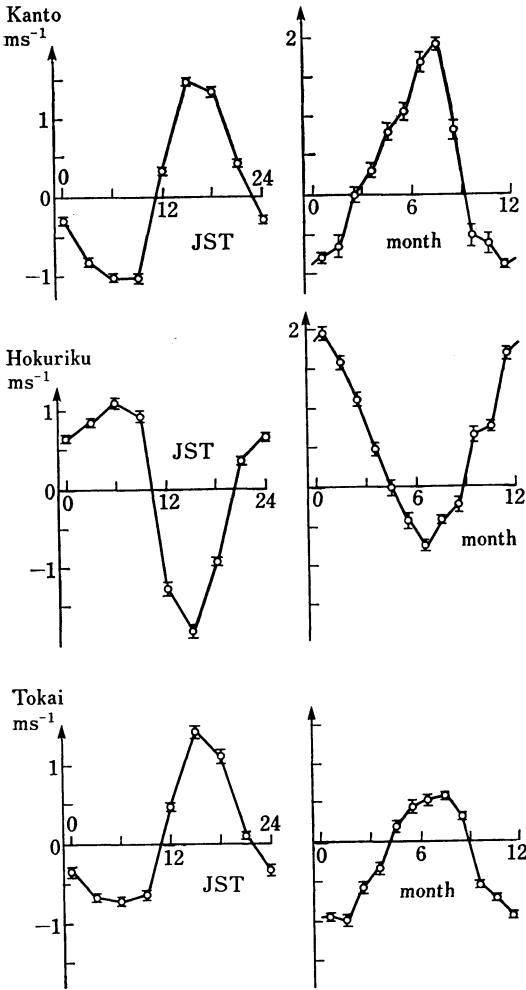
季節変化を調べる際には、時間の原点を冬至に取り、冬至から冬至までを12等分したものを1カ月とした。冬至を中心とする4カ月間を冬、冬の前後の2カ月間を春・秋、残る4カ月間を夏とした。

各気象要素は、必要に応じて、各時刻を中心とする24時間の平均とそれからの偏差とに分けた。前者を日平均成分、後者を日変化成分と言う。以下の文中で、日平均という言葉は、すべて上の意味で用いられている。また、日変化や年変化の振幅・位相と言うのは、1日周期成分や1年周期成分の振幅・位相のことである。位相は、対象とする要素が最大値を取る時を表わしている。

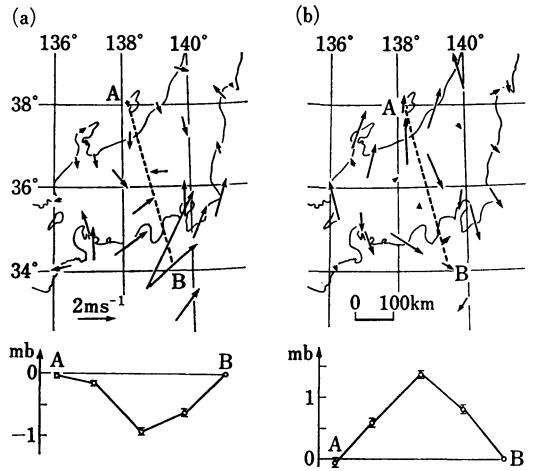
2.3. 気象条件



第3図 夏(上)と冬(下)の地上風の時間変化のホドグラフ。風は、矢印の根本(白丸)から先端へ向かって吹く。数字は時刻(JST)。日平均成分と日変化成分の両方を含む。晴で  $G$  が  $5 ms^{-1}$  未満である場合を対象にした(第4図も同じ)。



第4図 地上風の南北成分の日変化(左, 日変化成分の時刻別の平均)と季節変化(右, 日平均成分の月別の平均)。縦棒は、平均値に対する標準偏差の範囲を表わす(以下同様)。



第5図 (a) 7月と (b) 1月の(上) 地上風の水平分布と(下) A B線上の海面気圧分布。いずれも日平均成分。海面気圧は、地点B(三宅島)の気圧からの偏差を用いた。東京と高田がともに晴で、 $G$ が $5\text{ ms}^{-1}$ 未満である場合を対象にした(第7図も同じ)。

対応する地衡風の日平均値を用いた。地衡風は3角形を形成する3つの気象官署の海面気圧を使って求めることができるが、今回は、第2図に実線と破線で示される2つの3角形について求めた地衡風の平均を用いた。

### 3. 結果

この章では、断わらない限り、晴の場合を扱う。

#### 3.1. 広域的な海陸風

第3図は、 $G$ が $5\text{ ms}^{-1}$ 未満である場合について、地上風の時間変化のホドグラフを示したものである。ホドグラフの形は、夏と冬とで大きく異なる。夏は、海風が卓越し、陸風は吹きにくい。冬は逆である。これは、前にふれた海陸風の準定常的な成分、すなわち日平均成分の存在を示している。以下、日平均成分と日変化成分それぞれの季節的特性を別々に見ていく。海陸風の風向はほぼ南北方向なので、風を扱う場合は南北成分に重点を置く。

##### 3.1.1. 日平均成分

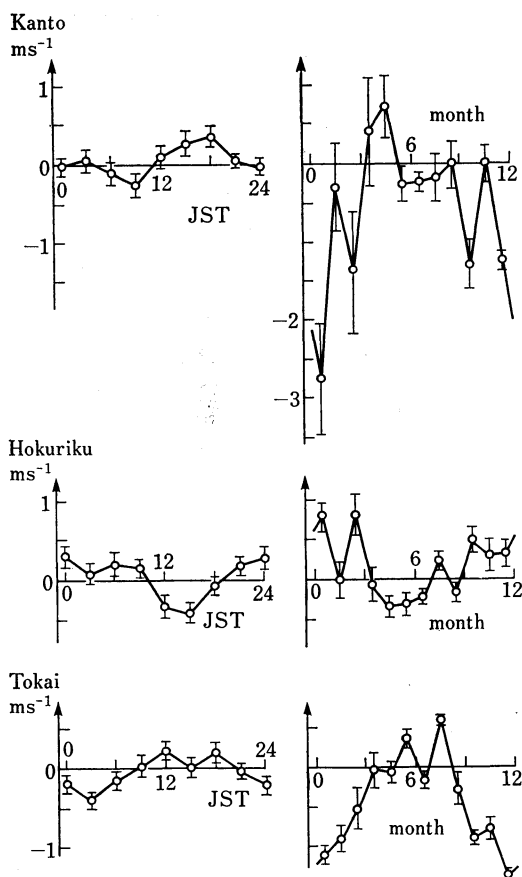
この節では、断わらない限り、 $G$ が $5\text{ ms}^{-1}$ 未満である場合を対象とし、日平均成分を扱う。

まず、地上風について見ると、第4図(右)に示すように、日平均成分は1年を周期としてほぼサイン関数型の変化をする。年変化の振幅は、日変化の振幅(左)と同程度すなわち $1\sim 1.5\text{ ms}^{-1}$ であり、夏至の頃に海風が

海陸風に影響すると思われる気象条件として、天気と一般風を考えた。

天気は、関東・北陸・東海各地方についてそれぞれ東京・高田・名古屋における雲量と現在天気の観測資料を用いた。各時刻を中心とする24時間に降水が観測されず、その間の平均雲量が5未満である場合を晴とした。降水が50%以上の頻度で観測され、平均雲量が9.5以上である場合を雨とした。

一般風としては、総観規模の一般風 $G$ と関東平野内の一般風 $g$ の2つを考えた。いずれも、地上の気圧傾度で

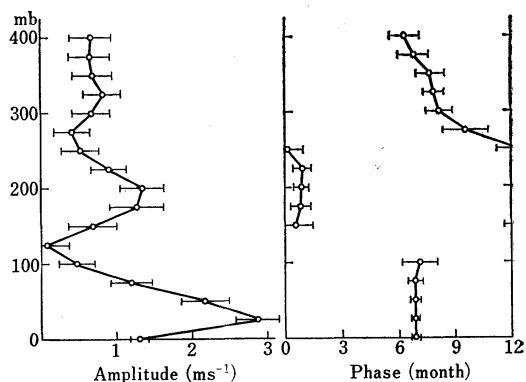


第6図 第4図と同じ。ただし、雨で $G$ が $5\text{ ms}^{-1}$ 未満である場合を対象にした。

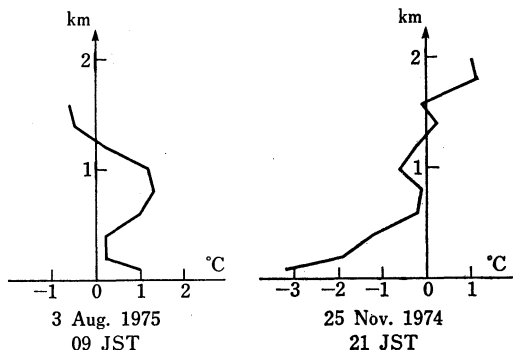
最大になる。図には示さないが、上空(東京タワー)や海上(京葉シーバース)では、日変化と年変化の振幅はいずれも $2\sim 3\text{ ms}^{-1}$ である。第5図は、7月と1月の地上風と海面気圧の分布図である。7月は、海から陸へ向かう $1\sim 2\text{ ms}^{-1}$ の風が存在し、内陸部の気圧は沿岸部よりも約 $1\text{ mb}$ 低い。1月は逆である。沿岸部と内陸部の間の気圧傾度は、地衡風速にして $6\sim 7\text{ ms}^{-1}$ である。

雨の場合は、第6図に示すように、晴の場合に比べて日変化も年変化も振幅が小さい。しかし、晴の場合に対する振幅の比率は、日変化が20%前後であるのに対して年変化は30~90%であり、後者の方が減少の程度が小さい。図には示さないが、気圧についても同様である。

次に、上層風の特徴を見るため、館野と輪島の上層風の南北成分の差の年変化を第7図に示す。差を用いたのは、上層の一般風の年変化の影響を小さくするためであ

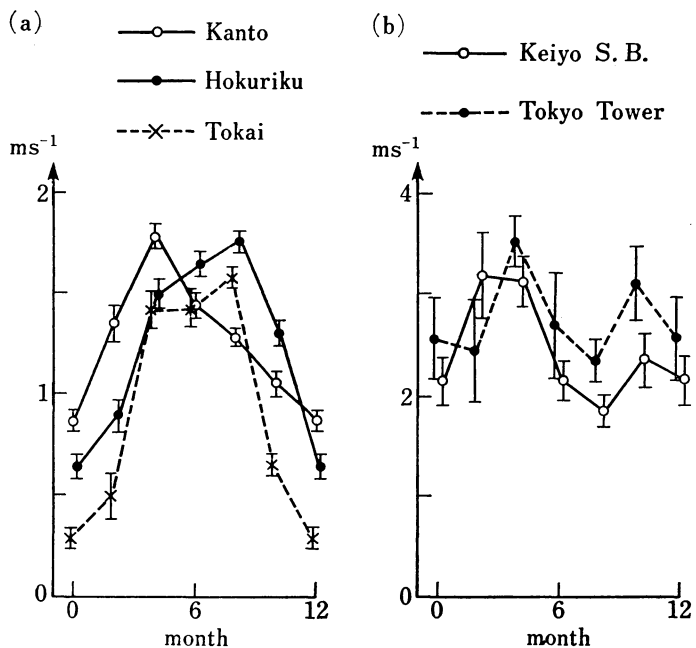


第7図 館野と輪島の上層風の南北成分の差(館野から輪島を引く)の年変化。高さは、地上との気圧差で表わした。



第8図 関東地方の内陸部と沿岸部の日平均気温差(内陸部から沿岸部を引く)の鉛直分布。高さは海拔。資料としては、沿岸部については鹿島の気温を、内陸部については(左)小金井と熊谷の平均気温および(右)小金井と上福岡の平均気温を用いた。 $G$ は、 $2\text{ ms}^{-1}$ の西風(左)および $2\text{ ms}^{-1}$ の東南東風(右)。日平均の意味については2.2節参照。

る。地上から気圧差 $100\text{ mb}$ 以下の層には、地上と同位相の、すなわち夏至の頃に海風が最大になる年変化が見られる。一方、 $150\sim 250\text{ mb}$ の層には、地上とほぼ逆位相の年変化が見られる。このような鉛直構造は、藤部・浅井(1979)で示された日変化の鉛直構造と同じである。このことは、日変化と年変化とが同一の風系に伴うことを示していると思われる。第8図は、南関東大気環境調査特別観測の期間中で $G$ が小さかった時の気温の鉛直分布図である。8月の場合には、地上から高さ約 $1\text{ km}$



第9図 風の南北成分の日変化の振幅の季節変化。晴で $G$ が $5 \text{ ms}^{-1}$ 未満である場合を対象にした。

にかけて、内陸部の方が沿岸部よりも気温が高い。11月は逆である。このような気温分布は、第7図に示された上層風の鉛直構造と矛盾しない。

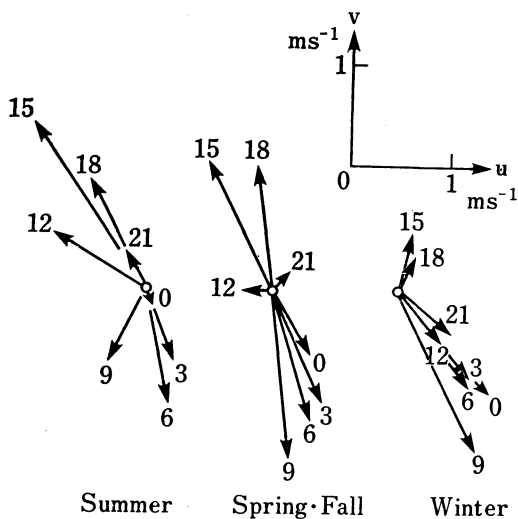
3. 1. 2. 日変化成分

第9図は、風の南北成分について、日変化の振幅の季節変化を示したものである。地上(a)では、日変化の振幅は夏に大きく冬に小さい。しかし、関東地方の場合、上空や海上(b)ではこの傾向は明らかでない。したがって、地上の日変化の振幅が冬に小さいのは、関東地方に限って言えば、必ずしも海陸風系自体が弱いためではなく、むしろ地上付近の乱流混合の性質のため、夜間の陸風が地上では夏の昼間の海風ほど強く吹かないことによると思われる。北陸・東海地方についてはなお検討を要する。

日変化の位相については、季節変化はほとんど認められなかった。

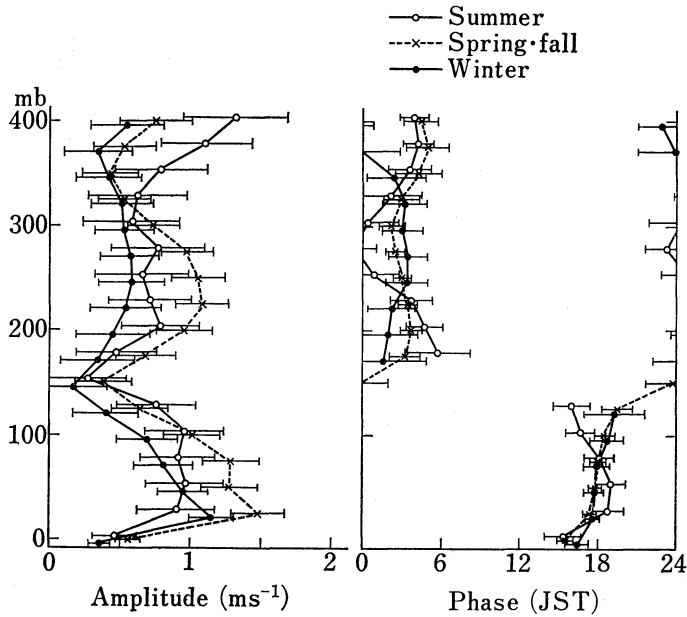
3. 1. 3.  $g$  が小さい場合の海陸風

$g$  が小さいことは、関東平野内の気圧傾度の日平均値が小さいことを意味する。以下に示すのは、 $g$  が $5 \text{ ms}^{-1}$ 未満である場合についての結果である。第10図は、関東地方の地上風の時間変化のホドグラフである。第3図と

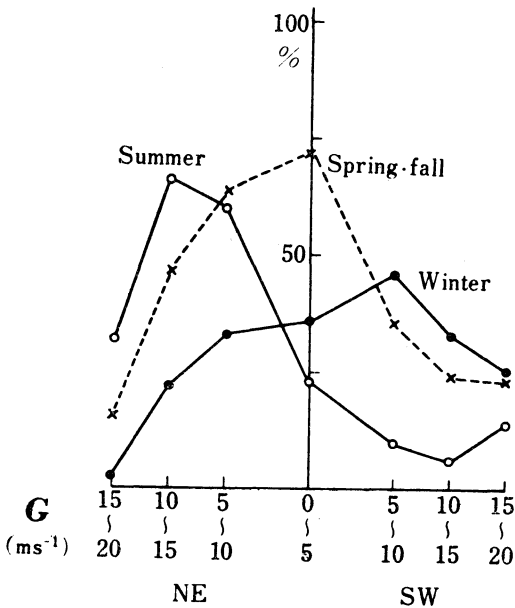


第10図 関東地方における各季節の地上風の時間変化のホドグラフ。様式などは第3図と同じ。晴で $g$ が $5 \text{ ms}^{-1}$ 未満である場合を対象にした(第11図も同じ)。

比べて季節による海陸風の形態の違いは小さく、どの季節にも海風と陸風の交代が現われる。しかし、なお、夏



第11図 館野における各季節の上層風の南北成分の日変化。



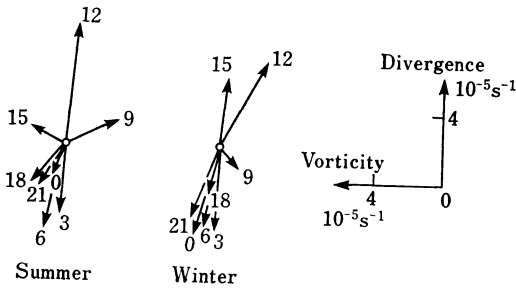
第12図  $g$  が  $5 \text{ ms}^{-1}$  未満になる頻度を季節別・ $G$  の段階別に示したもの。ただし、晴で、 $G$  が  $5 \text{ ms}^{-1}$  未満あるいは  $G$  の風向が北東（真北と真東の間）または南西である場合のみを対象にした。

は海風が、冬は陸風が強い。これは、 $g$  が  $5 \text{ ms}^{-1}$  未満と言っても、夏は  $g$  が南西である場合が、冬は北東である場合が高い割合で含まれているので、季節によって  $g$  の平均値が異なるためである。条件を強めて  $g$  が  $3 \text{ ms}^{-1}$  未満である場合について同様の解析を行なえば、夏と冬の差はさらに小さくなる。第11図は、館野における上層風の南北成分の日変化を示したものである。日変化の鉛直構造は各季節とも大体同じである。これらの結果から、 $g$  が小さい場合には年間を通じてほぼ同じ形態の海陸風が現われることがわかる。

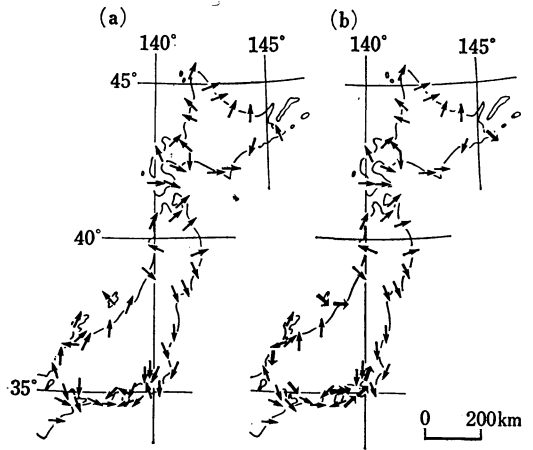
$g$  が  $5 \text{ ms}^{-1}$  未満である状態が現われる頻度は、第12図に示すように、夏は  $G$  の風向が北東である場合に高く、冬は南西である場合に高い。これは、それぞれの場合に、海陸風の日平均成分に伴う気圧傾度を総観規模の気圧傾度が打ち消すためであろう。

### 3.2. 東京湾の海陸風

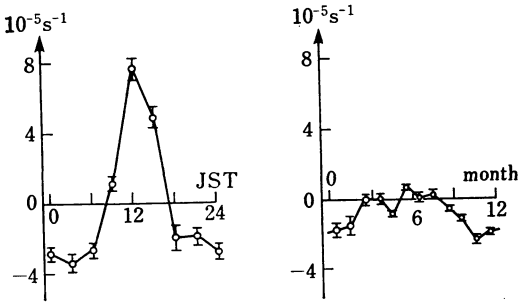
広域的な海陸風が関東地方全体の現象であるのに対し、東京湾の海陸風は関東地方の中の限られた地域に起こる現象である。したがって、東京湾の海陸風に対する一般風としては、 $G$  よりも  $g$  の方が適当であると考えられる。以下に示すのは、 $g$  が  $5 \text{ ms}^{-1}$  未満である場合についての結果である。ただし、一般風として  $G$  を用いて



第13図 東京湾上の発散と渦度の時間変化を表わした hodograph. 様式などは第3図と同じ. 晴で  $g$  が  $5 \text{ ms}^{-1}$  未満である場合を対象にした (第14図も同じ).



第15図 年最多風向. 16 方位. 風向の出現頻度を (a) 単純に, (b) 風速に比例した重みをかけて集計し, 最も頻度の高い風向を図示した. (b) の太矢印は, (a) と比べて風向が  $45^\circ$  以上異なることを示す. 天気・一般風に関係なくすべての場合を対象にした.



第14図 東京湾上の発散の日変化と季節変化. 様式などは第4図と同じ.

も, 結果に大きな違いは生じない.

第13図は, 夏と冬の発散と渦度の時間変化を hodograph で示したものである. hodograph の形は夏も冬もあまり変わらない. このことは, 日平均成分も日変化成分も季節変化が小さいことを意味している. 日平均成分の季節変化は, 第14図 (右) に示されている. 広域的な海陸風の場合と同様, 夏至の頃に海風 (発散) が最大になる年変化が存在するが, その振幅は日変化 (第14図左) の振幅の  $1/4$  程度に過ぎないことがわかる.

4. 考察

緯度が高くなるにつれて, 昼夜の長さの非対称が増すのに伴い, 夏と冬には海と陸あるいは平地と山地の間に準定常的な温度差ができ, 海陸風が季節風の性質を持つようになるという指摘は, これまでにもなされてきた. 今回取り上げた年変化を伴う準定常的な海陸風についても, 定性的には上のような見方をすることができる. しかし, より具体的な機構に立ち入ることは, 今のところ

むずかしい. ただ, 雨の場合に日変化がほとんどなくなるのに対して年変化が晴の場合の半分程度の振幅を持つという結果は, 準定常的な成分が日変化成分よりも長い時間スケールの加熱・冷却に基づくことを示唆している. また, 東京湾の海陸風において準定常的な成分が小さいのは, 湾の水温の年変化が大きいが理由の1つであると考えられる.

今回の結果は, 海風と陸風の非対称性の問題とも関連がある. 数値実験や夏の観測の結果では, 一般に海風の方が陸風よりも強い. しかし, 今回の結果によると, 海陸風の形態は季節によって変わり, 年間を通じて見れば, 必ずしも海風が卓越するとは言えない. 特に, 東京湾の海陸風の場合には, 第14図 (右) に示されるように, 発散の日平均値は, 夏はほぼ0, 冬は負の値になり, 年平均では約  $7 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$  の収束が現われる. この値は, 10%の水準で有意である. これに対応して, 湾のまわりの年平均風は, 風速  $0.1 \text{ ms}^{-1}$  程度の陸風になる. 平均風が陸風になるのは, 陸風の方が吹く時間が長いためであり, 最大風速は, 第14図から推察されるようにほぼ年間を通じて海風の方が大きい. これら東京湾に見られる特徴のうち, 夏に関する部分は, Ontario 湖における夏季6カ月間の調査結果 (Chen, 1977) と一致する. また, 第15図に示すように, 年最多風向は東日本の大半の



地点で陸風寄りであり (a), この傾向は風速に比例した重みをかけて集計を行なってもほとんど変わらない (b). これらのことから, 年間を通して見た場合に陸風が卓越する傾向は, かなり一般的に存在する可能性があると言える. しかし, 明確な結論を出すには, なお調査を進める必要がある. Mak・Walsh (1976) は, 海陸風の非対称性の問題を理論的に調べ, 海風を強める要因の1つとして大気安定度の日変化を挙げているが, 現実の海陸風には, 山の効果など理論に含まれないいくつかの要素が影響していると思われる.

### 5. まとめ

広域的な海陸風においては, 夏に下層で海から陸へ, 冬に陸から海へ向かう準定常的な風が存在する. その強さは, 日変化の振幅と同程度すなわち地上で  $1\sim 1.5\text{ ms}^{-1}$ , 上空や海上で  $2\sim 3\text{ ms}^{-1}$  である. 風に対応して, 内陸部と沿岸部の間には, 高さ  $1\text{ km}$  以下の下層の気温に差が認められ, 約  $1\text{ mb}$  の地上気圧差が存在する. この風の存在により, 海陸風の形態は季節によって大きく異なる. しかし, 日変化する成分は, 関東地方に関する限り, 季節による差が小さい. このため, 準定常的な風を打ち消すような総観規模の風が存在する場合には, 各季節ともほぼ同じ形態の海陸風が現われる.

東京湾の海陸風においては, 準定常的な成分は小さく, 海陸風の形態はほとんど季節によらない.

海風と陸風の非対称性という点から東京湾の海陸風を見ると, 最大風速は海風の方が大きい, 吹く時間は陸風の方が長く, 年間の平均風は陸風寄りになる. この結果の解釈や一般性については, さらに調査を行なう必要がある.

### 謝辞

この研究を行なう過程で, 東京大学海洋研究所の浅井富雄教授から多くの指導と援助を頂いた. 公害測定局の資料の使用に当たっては, 東京都・神奈川県・千葉県・横浜市・川崎市の担当部局から許可を頂くとともに, 国立公害研究所の方々とりわけ松本幸雄・植田洋匡・光本茂記の各氏のお世話になった. 気象庁の資料は気象庁統計課・東京管区気象台調査課から, 京葉シーバースの資料は千葉県公害研究所の菊地立・岡部真一の両氏から頂いた. これらの方々に厚く御礼を申し上げる.

### 文献

- Akima, H., 1970: A new method of interpolation and smooth curve fitting based on local procedures, *J. Assoc. Computing Machinery*, 17, 589-602.
- Chen, W.Y., 1977: Analysis of vorticity and divergence fields and other meteorological parameters over Lake Ontario during IFYGL, *Mon. Wea. Rev.*, 105, 1298-1309.
- 藤部文昭, 浅井富雄, 1979: 関東地方における局地風に関する研究, 第1部: 日変化を伴う風系の構造, *天気*, 26, 595-604 (*天気*, 28, 202に訂正有).
- 河村 武, 1973: 関東南部の局地風について, *天気*, 20, 74.
- , 1977: 海陸風の気候, 南関東大気環境調査報告書 I, 気象庁, 46-52.
- 黒木義秋, 1973: 背の低い低気圧について, *天気*, 20, 295-299.
- Mak, M.K. and J.E. Walsh, 1976: On the relative intensities of sea and land breezes, *J. Atmos. Sci.*, 33, 242-251.
- 竹内清秀ほか, 1978: 光化学大気汚染予測システム設定調査報告書(昭和52年度環境庁委託調査), 数理計画, 74-101.