

肱川河口における風の日変化特性について*

—強い“陸風”の例—

森 征 洋**・鎌 田 章 司***

要 旨

“肱川あらし”と呼ばれる特異な現象が発生する愛媛県肱川河口付近の風の日変化の平均的特性について調べた。河口付近にある長浜の風の日変化は瀬戸内海沿岸の平野部とは大きく異なった特徴を示し、日中に比べて夜間から早朝に風速が強くなり、陸風が顕著に発達する。長浜では総観場の気圧傾度が小さく、天気が良い場合に、夜間、風速が 10 m/s を越えるような強い陸風が発生することがある。この長浜の夜間の強風は、対比を行った沿岸平野部では見られないもので、特異な地形で生ずる強風の典型例を示している。

1. はじめに

愛媛県の肱川河口付近(第1図)では“肱川あらし”と呼ばれる局地風が見られる。肱川あらしは肱川の下流域で、夜間から早朝に川に沿って河口に向かって吹く強風で、しばしば霧を伴う。肱川あらしが吹いているときの霧の流れの様子を写したカラー写真が解説付きで「天気」に掲載されている(中田, 1992)。

肱川あらしについての気象学的な研究は井上(1959)、西本(1978)、中田(1982)によって行われている。これらの研究によると肱川あらしとは、晴れた穏やかな日の夜間、大洲盆地で発生した冷気が肱川に沿って流れ、下流のV字地形によって加速されて、海上へ発散する強風のことであり、風速は河口で、10 m/s 前後にもなり、ときには、15 m/s を越えるような場合もある。最近では谷治ら(1992)により肱川あらしの立体構造が調べられている。

この研究は、肱川河口付近の風の特性を、盆地や平地の風との対比で明らかにすることを目的としている。肱川河口付近の風の平均的な日変化特性について

は、森(1991)に示したが、この結果も含め、夜間から翌朝にかけて吹く強い陸風の特性について気象条件との関係などを検討した。

2. 解析地点および資料

肱川は、第1図に示すように、大洲盆地を通り、北西方向に約 8 km ほど直線的に流れ伊予灘に注いでいる。肱川が流れる谷は大洲盆地と海とを隔てている山地の唯一の切れ間となっている。谷の幅は河口近くの数 km の間で特に狭くなっている。海岸線は北東—南西方向に延びており、山地が海岸線近くまで迫っている。肱川あらしの吹く範囲は、肱川沿いに白滝から長浜、さらに海上 4~5 km まで達すると言われている(井上, 1959)。実際、西本(1978)は肱川あらしの際に、河口から 1 km 離れた海上で河口の長浜と同じ 10 m/s を越える強風を観測している。

この地域には、気象庁の地域気象観測網(AMeDAS)の観測地点が肱川河口付近(長浜)と大洲盆地の中(大洲)の2箇所に設置されている(第1図)。長浜のAMeDAS観測所は川岸から少し離れた所にあるため、必ずしも河口中央部の風を代表しない。肱川あらしによる強風は河口の中央部で最も強くなる。谷治ら(1992)によると、肱川あらしが吹いているとき、長浜のAMeDASの風速は肱川に架かる長浜大橋中央部で測定された風速の53%~65%にしかすぎなかった。しかしながらAMeDASの地点については長期の観測データが利用できるため、上に述べた限界を持っている

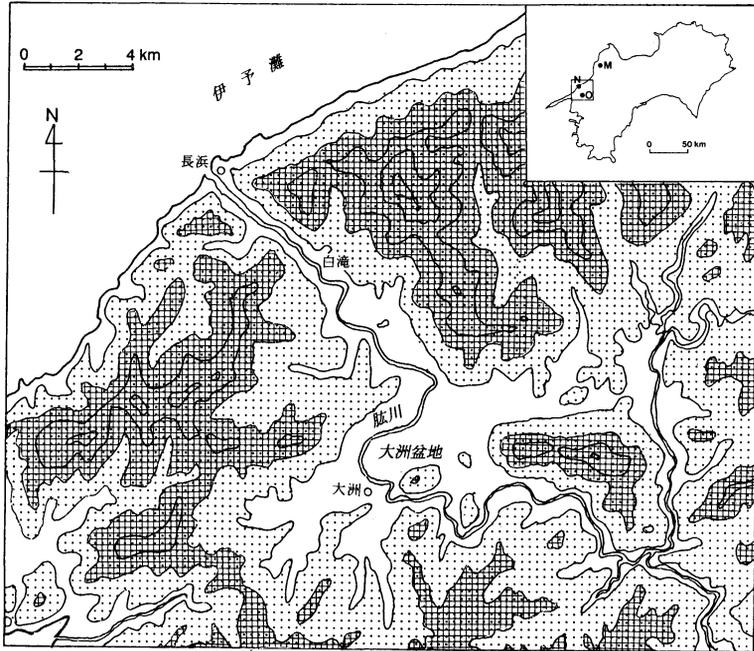
* Characteristics of diurnal variation of wind at the mouth of the Hiji River—An example of developed 'land breeze'—.

** Yukihiko Mori, 香川大学教育学部地学教室.

*** Shoji Kamada, 国分寺北部小学校.

——1992年4月15日受領——

——1993年10月5日受理——



第1図 肱川流域の地形図。等高線は100 mごとに描かれており、点域は海拔100 m以上。○印はAMeDAS観測地点。右上の地図のM, N, Oはそれぞれ松山、長浜、大洲の位置を示す。

ることをふまえた上で、河口における風の平均的特性について調べるために長浜のAMeDASのデータを用いた。また河口付近の風の特徴を、上流の盆地の中の風との対比により明らかにするため、大洲のAMeDASのデータも用いた。

この解析ではこの2地点および松山地方気象台の観測データを用いた。松山地方気象台は長浜の北東約36 km離れたところにあるが、平野部にある気象庁の地上気象観測地点として長浜に最も近い位置にあるので、比較のために用いた。また、長浜では天気や雲量などの観測は行われていないので、天気の状態などのデータが必要な場合にはこの地点のデータを用いた。解析には気象庁の1978年から1980年までの3年間のAMeDASおよび地上気象観測日表時・日別値の磁気テープ資料を用いた。

3. 風の日変化特性

3.1 解析方法

肱川河口の長浜における風の日変化の平均的特徴を調べるために3年間(1978~1980)の全データを用いて、スカラー風速および風速の東西成分、南北成分の1時間ごとの特別平均値を月別に求めた。風の日変化

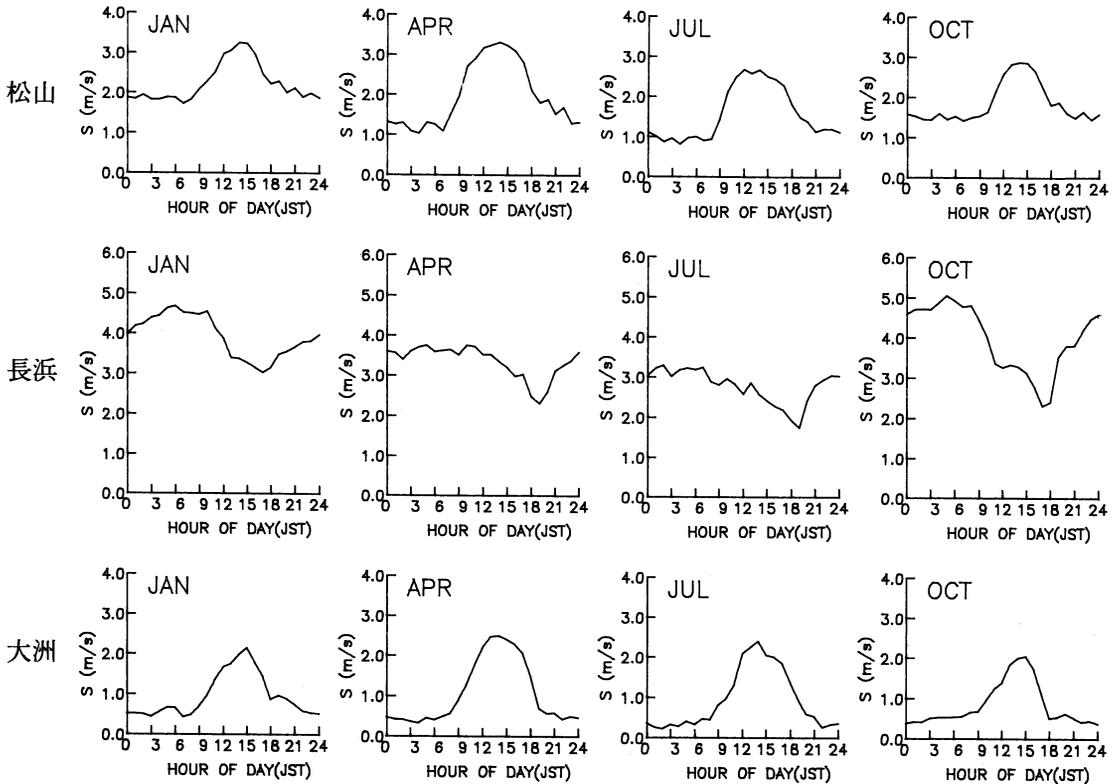
成分以外の変動は時刻に関してランダムな性質を持っていると考えられるので、特別平均値に時刻による変動があれば、それは風の日変化の平均的特性を表していると考えられる(森, 1982)。比較のため、大洲および松山の風についても同じ解析を行った。

3.2 スカラー風速の日変化

第2図に3地点の1月、4月、7月、10月のスカラー風速の特別平均値の日変化を示す。これらの月は四季の代表として選んだ。松山ではスカラー風速はどの季節も夜間小さく、日中大きくなるというタイプの日変化を示す。このような風の日変化は、沿岸部や平野部で一般的に見られる特徴である。風速の変動幅は春が最も大きい。大洲でもスカラー風速は松山と同様な日変化を示す。一方、長浜では、スカラー風速はどの季節も松山や大洲とはまったく異なって、日中よりも夜間から早朝に大きく、その後次第に弱まり、18時前後に最小となり、その後、急に大きくなる。風速の変動幅は秋、次いで冬が大きく、春、夏は小さい。

3.3 ベクトル風速の日変化

次に、これらの地点について、ベクトル的な風の平均の日変化を調べる。特別ベクトル平均風は、風速の東西成分、南北成分それぞれについて特別平均値を求



第2図 松山、長浜、大洲における1月、4月、7月、10月のスカラー風速の特別平均値 (1978-80年)。

め、それらをベクトル合成することによって得られる。第3図にスカラー風速の場合と同様、1月、4月、7月、10月の特別平均ベクトルを示す。松山の場合、ホドグラフは東西方向に変化している。この地点の近くの海岸線は北北東—南南西に延びているので、ホドグラフの変化の方向は海岸線にほぼ直角になっている。ベクトル平均風は、日中はどの季節も海から陸に向かう方向を示す。一方、夜間は冬季以外は陸から海に向かう方向を示す。

大洲ではベクトル平均風はどの季節も日中の15時ころに西から北西の風向で最大となり、夜間は小さくなる。

長浜では、川筋に沿う北北西—南南東の方向にホドグラフは変化する。この地点で海陸風を考える場合、南南東の風は陸から海に向かって吹くので陸風であるが、谷間を流れてくるので、単なる陸風ではなく、山風の性質を持つと考えられる。したがって、この風向の風は平野部での陸風とは異なるが、ここでは陸から海に向かう風という意味で“陸風”と呼ぶことにする。どの季節においても海風、陸風ともはっきりと見られ

る。特に、夜間の陸風は松山に比べて著しく大きい。

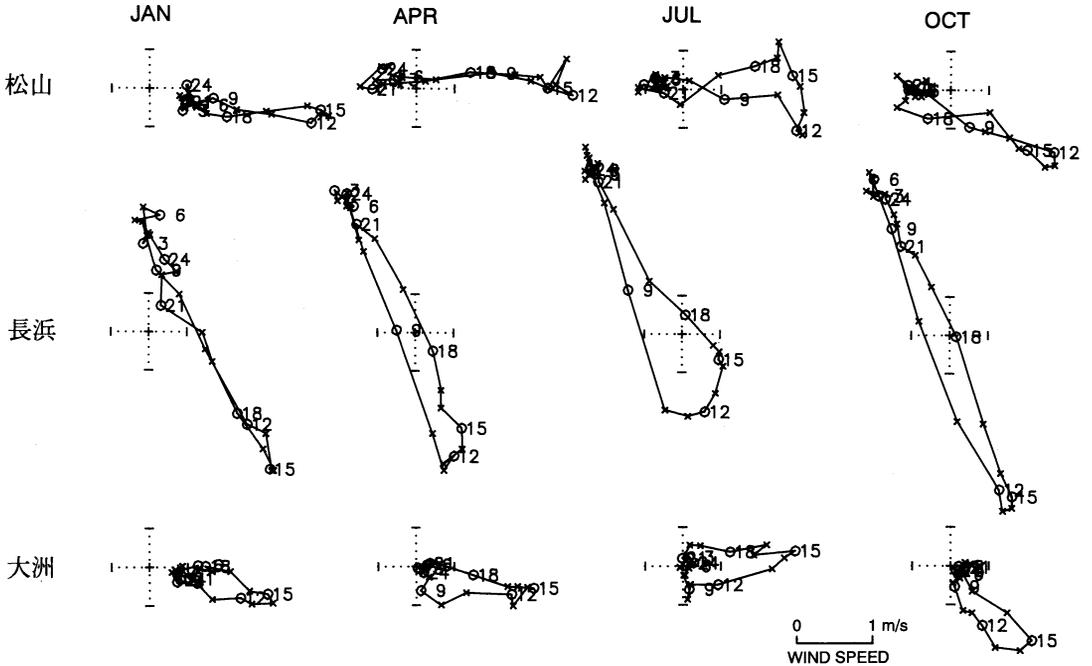
3.4 長浜の風の日変化の特徴

このように長浜における風の平均的日変化は、スカラー風速についてみると夜間から早朝に大きくなり、日中は減少し続け、夕方、極小になるという特徴を持ち、ベクトル風速についてみると日中は海風、夜間は陸風となるが、特に陸風が顕著に発達するという特徴を持つ。

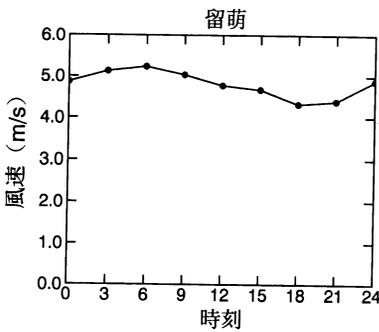
森 (1982) による日本の全気象官署の風についての調査結果では、スカラー風速がこのような日変化を示す地点は山岳の風を別にすればきわめて珍しく、留萌地方気象台の風のみであった。この地点は留萌川の河口付近にあり、長浜と似た位置にある。留萌における3時間ごとのデータを用いて求めたスカラー風速の特別平均値を第4図に示す(森, 1982, 第9図)。スカラー風速は長浜と同じように夜間および早朝に大きく、日中は減少し続ける。

4. 陸風の発達と気象条件との関係

一般に瀬戸内海沿岸の平野では、陸風に比べて海風



第3図 松山, 長浜, 大洲における代表月の各1時間ごとの時別平均ベクトル (1978-80年). 原点をベクトルの始点とする. ベクトルの終点は03時より3時間ごとの場合は○印, その他の時刻の場合は×印で示した.



第4図 留萌におけるスカラー風速の時別平均値(全年). 詳しくは森(1982)の第9図参照.

の方が強く発達する(森, 1983). それに対して長浜では海風より陸風が顕著に発達する. 先にも述べたようにこの地点の陸風は山風の性質も持っている. 山風は, 天気の良い日に, 夜間, 山の斜面が放射冷却によって冷え, その結果斜面に接する空気が冷やされることによって発生する. したがって, 陸風の発生し易い日は山風の発生し易い日でもある.

長浜における陸風の発達が全体的な気象条件とどの

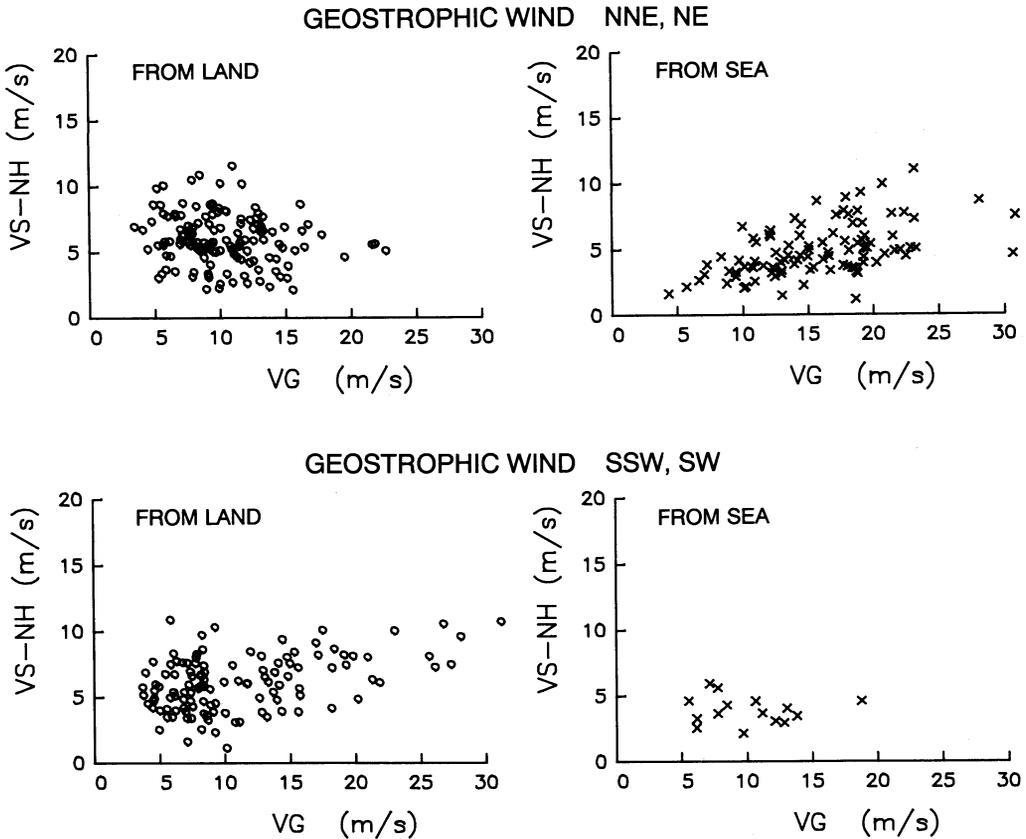
ような関係にあるかについて調べる. 海陸風の発達には一般風と天気とが関係する. 以下の解析では, 陸風が発生し易い天気の日を選び出す場合には, 松山地方気象台の地上気象観測データを用い, 次の2つの条件を満たす日を選んだ.

- 1) 全日および翌朝6時まで降水現象がない
- 2) 夜間(18時から6時)の平均雲量が5以下

4.1 地衡風との関係

陸風の発達と一般風との関係を調べるためには, 長期間の一般風のデータが必要となる. しかしながら, この地域には, そのような一般風のデータはないので, ここでは海面気圧場より算出される地表地衡風(以下では単に地衡風という)を用いて陸風の発達を間接的に調べることにする. 地衡風を求めるためには気圧傾度を知る必要がある. ここでは, 海面気圧場を2次曲面で近似し, この曲面より気圧傾度を求める. 2次曲面の式の係数は, 西日本の地上気象観測官署における海面気圧データを用いて最小2乗法で決定した(森, 1985). 解析には, 1日4回(03時, 09時, 15時, 21時)の海面更正された気圧データを用いた.

このようにして求めた地衡風を用いて, 長浜における陸風の発達の条件を調べる. 陸風の発達の指標とし



第5図 21時から09時における長浜での最大風速 (VS-NH) と地衡風速 (VG) との対応 (1978-80年). 上段は地衡風の風向が北北東または北東, 下段は南南西または南西. 長浜での風が陸から海に向かって吹く場合は左図 (○印), 海から陸に向かって吹く場合は右図 (×印). AMeDAS の風速のデータは整数 (単位m/s) で表されているので, プロットする場合, データ点が重なってしまう場合もある. そのため人為的に 0-1 m/s の範囲のランダムな値をつけ加えて表示した.

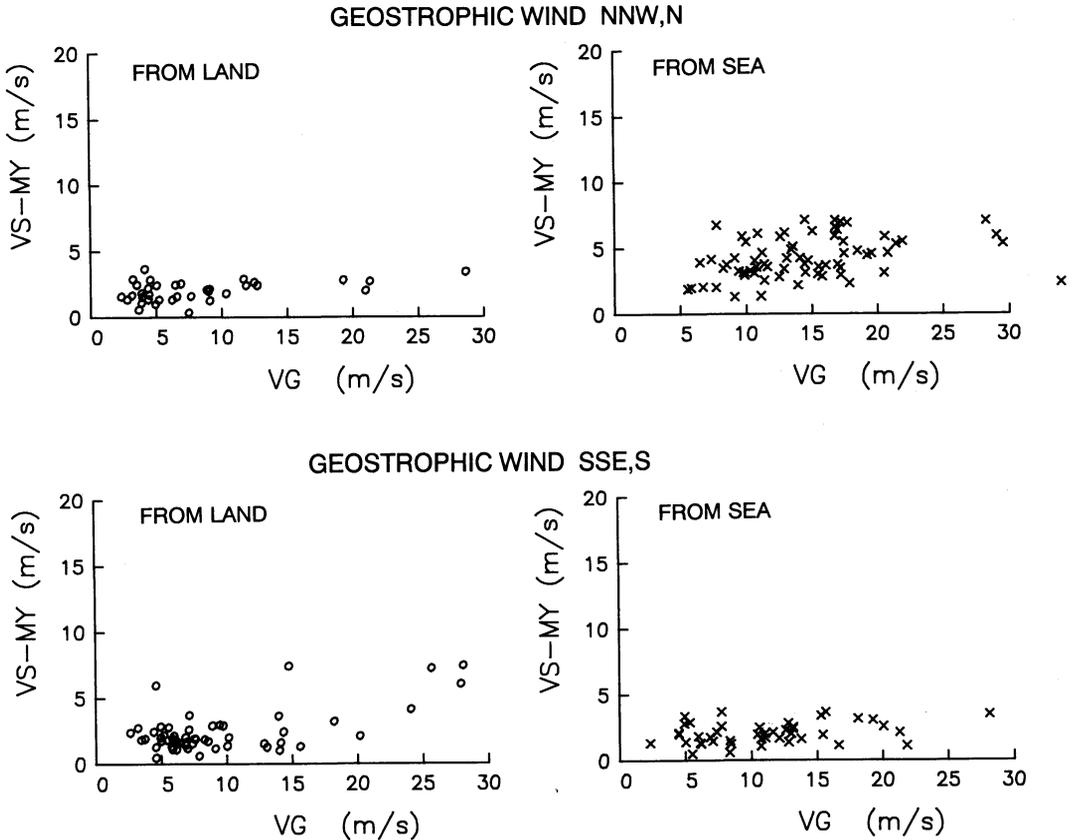
て, 夜21時から翌朝09時までの時間における1時間ごとの風速 (10分間平均) の最大値を用いた. 地衡風は21時または03時のどちらか風速の大きい方を用いた.

3年間の全データを用いて, まず季節や天気を考慮せずに, 地衡風と長浜の風との関係を調べた. その際, 地衡風の風向別に両者の関係を調べることにしたが, 地衡風の風向の度数分布は一様でないので, 陸風の発達との関係を調べるのに適した風向で, かつ出現度数の比較的多い風向の場合を取り上げた.

地衡風の風向が北北東または北東の場合の地衡風と長浜の風速の最大値との関係を第5図 (上) に示す. この地衡風の風向は陸風の発達を妨げる方向に気圧傾度力が働く場合に相当する. この図では長浜での風向が陸風の場合と海風の場合とに分けて示した. 陸風,

海風の判定はこの付近の海岸線の方を基準にして, 海側からの風をすべて海風, 陸側からの風をすべて陸風とした. 長浜で陸風になるか海風になるかは地衡風の風速に大きく関係している. 地衡風の風速が 15 m/s より小さいときは長浜の風は陸風の場合が多いが, 地衡風の風速が大きくなると長浜の風は海風の場合が多くなる. 長浜の風が陸風になる場合, 地衡風の風速が小さいときに, 長浜の風速が 10 m/s を越えるような場合が見られる.

地衡風の風向が南南西または南西の場合について第5図 (下) に示す. この場合, 気圧傾度は陸風を強める方向に働き, 地衡風の風速によらず長浜の風は陸風の場合が多く, 地衡風の風速が大きくなると長浜の風速も大きくなる傾向がある. 長浜の風が陸風となる場



第6図 21時から09時における松山での最大風速 (VS-MY) と地衡風速 (VG) との対応 (1978-80年). 上段は地衡風の風向が北北西または北, 下段は地衡風の風向が南南東または南. プロットは第5図と同じ.

合, 地衡風の風速が小さいときに, 長浜の風速が地衡風の風速より大きくなる場合があることは, 地衡風の風向が北北東または北東の場合と同様である.

このように長浜では, 気圧傾度力が小さい場合には, 気圧傾度力が陸風を強める方向に働く場合のみならず, 弱める方向に働く場合にも, 10 m/s を越えるような強い陸風が吹く場合があることが分かる.

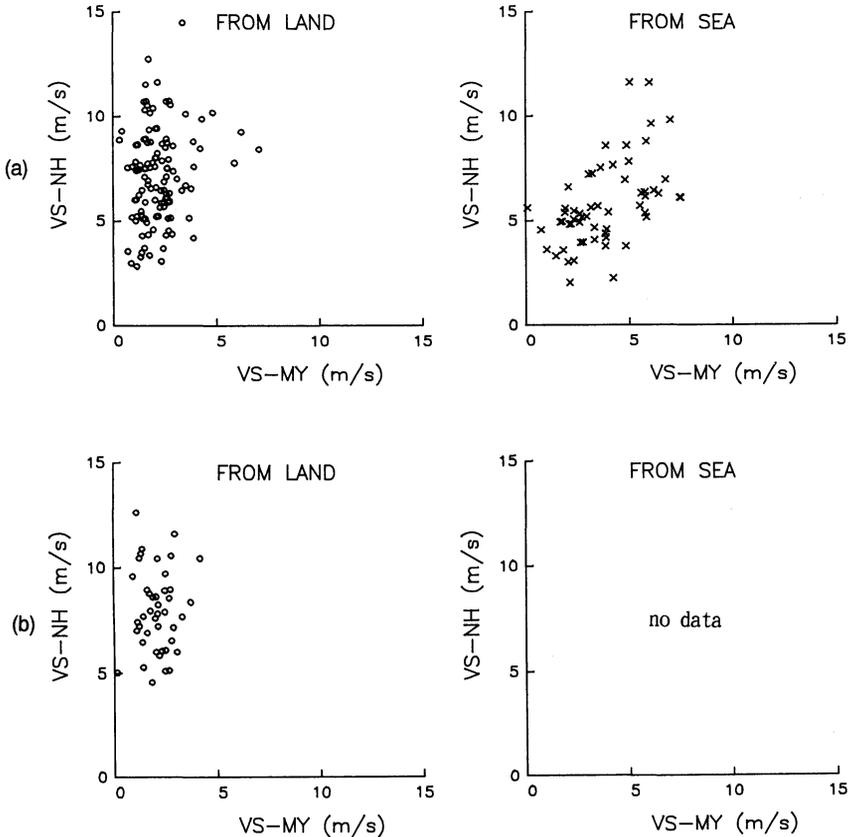
同様な解析を松山についても行った. その結果を第6図に示す. 松山付近では海岸線は北北東—南南西方向に延びているので, 地衡風の風向は北北西または北の場合と, 南または南南東の場合について調べた. 地衡風が北北西または北の場合 (第6図, 上) は気圧傾度力は海風を強める方向に働く. このとき地衡風の風速が大きい場合には松山の風は海風の場合が多く, 風速も大きい. 地衡風の風速が小さいときには, 松山の風は陸風の場合も多くなる. しかしながら長浜のように 10 m/s を越えるような発達した陸風は見られな

い.

地衡風の風向が南南東または南の場合 (第6図, 下). 気圧傾度力は陸風を強める方向に働く. このときも松山の風は陸風だけでなく海風の場合もある. 陸風は地衡風の風速が大きくなると大きくなる傾向があるが, 海風は地衡風の風速によらず 5 m/s 以下である. 地衡風の風速が小さい場合に, 長浜のように陸風が地衡風の風速以上に顕著に発達するという傾向は見られない.

4.2 長浜と松山の陸風の比較

長浜での強い陸風を松山の風との対比で見てみる. 陸風が特に発達する寒候期の11月と12月について調べることにする. 夜間から朝まで (第5図の場合と同じ) の最大風速の対応関係を第7図に示す. 上段(a)は天気の状態を考慮しない場合, 下段(b)は陸風が発生しやすい天気の日で, かつ地衡風が 10 m/s 以下の場合である. この図では長浜での最大風速時の風向が陸から海に向



第7図 21時から09時における長浜と松山の最大風速の比較(11月, 12月). 1978-80年の3年間のデータを用いた. 横軸が松山の風速 (VS-MY), 縦軸が長浜の風速 (VS-NH). 上段は全データ, 下段は好天日だけのデータ. 第6図と同様, 長浜での風向別に示す.

かう場合と海から陸に向かう場合とに分けて示した.

天気の状態を考慮しない場合 (第7図 (a)), 長浜の風は陸風の場合と海風の場合とがある. 長浜で陸風の場合, 長浜の風速は松山の風速に比べて著しく大きくなり, 松山で 3 m/s 以下の風であるにもかかわらず, 長浜では 10 m/s を越える風が吹く場合がある.

一方, 長浜で海風になる場合, 松山の風速と長浜の風速の間には, ばらつきが大きい, 比例関係が見られる. 長浜で海風になる場合には, 季節風の場合が含まれる. 季節風が強い場合, 長浜でも松山でも風速が大きくなるが, 長浜の風速と松山の風速との間に比例関係が見られることは, このことの反映であると考えられる.

地衡風が 10 m/s 以下で, 海陸風が発生し易い天気の場合 (第7図 (b)), 長浜の風はすべて陸風となり, 海風の場合は見られない. この時, 松山の風が 5 m/s

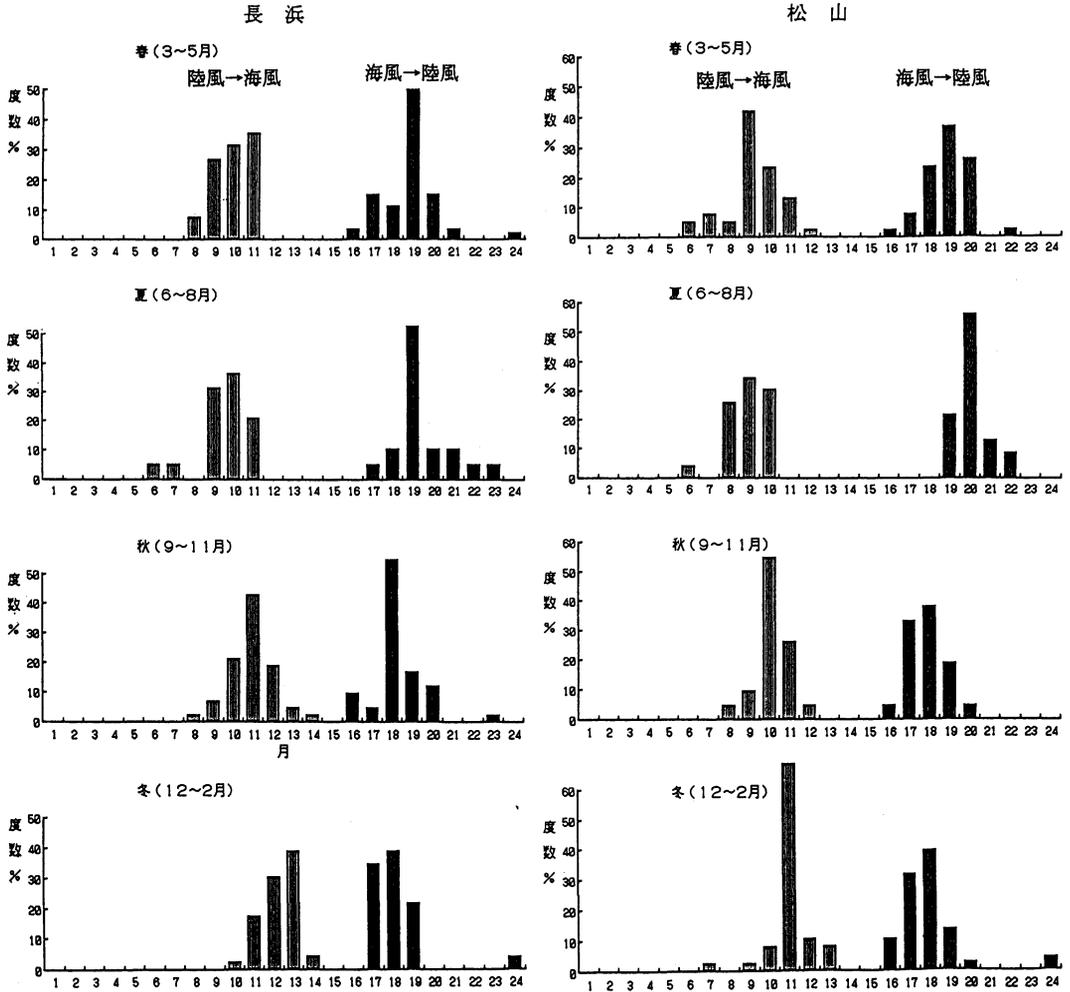
以下であるのに対して, 長浜の風は 10 m/s 以上となる場合も多く見られる.

地衡風と長浜・松山の陸風との関係 (第5, 6図), およびここで示した同一日の長浜と松山の風の比較より, 長浜における強い陸風は, 局地的に発生していることが明らかである.

4.3 海風, 陸風の継続時間

長浜における陸風の発達を解明するためには, どの程度風速が大きくなるかということと共に, 陸風がどの程度継続するかということも重要である. そこで長浜と松山について, 海風と陸風が入れ替わる時刻を調べることにする.

海陸風が発生し易い天気の日で, かつ地衡風が 10 m/s 以下の場合について, 陸風から海風へ入れ替わる時刻, および海風から陸風へ入れ替わる時刻の度数分布を, 季節別に調べた. その結果を第8図に示す. 長



第8図 長浜, 松山における海風および陸風の開始時刻の度数分布 (1978-80年). 好天日で地衝風が 10 m/s 以下の場合.

浜では、陸風が海風と入れ替わる時刻は、春・夏は、9時から11時である場合が多く、12時には海風に替わる。一方、秋・冬にはこれより遅れる傾向にある。冬は13時が最も多く、ついで12時、11時となっており、陸風が午前中だけでなく、午後になっても継続する場合がある。海風から陸風へ替わる時刻は春、夏は19時が多く、秋、冬は早まる傾向があり、冬は17時、18時が多い。松山の場合、陸風から海風へ替わる時刻は、長浜の場合に比べて1時間くらい早くなる傾向がある。海風から陸風へ替わる時刻は、春が19時前後、夏が20時前後、秋が18時前後、冬が17、18時となる場合が多い。

陸風と海風が入れ替わる時刻を平均してみると、長浜では春 (10時、19時)、夏 (10時、19時)、秋 (11時、

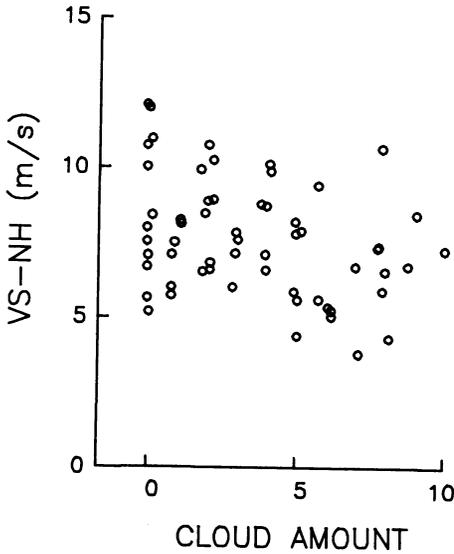
18時)、冬 (12時、18時)、松山では春 (9時、19時)、夏 (9時、20時)、秋 (10時、18時)、冬 (11時、18時) となる。したがって長浜では陸風は冬には18時間吹き、夏には15時間吹くことになる。

このように長浜では陸風は日の出後も数時間吹き続ける傾向があり、冬季には海風に替る時刻は午後になる場合もある。長浜における陸風の継続時間は松山よりも1時間くらい長くなる。

4.4 夜間雲量と陸風の発達との関係

長浜では年間を通じて、夜間には陸風が発達するが、特に寒候期に強く発達する。井上 (1959) は肱川あらしの吹く条件として大洲盆地での晴天、微風をあげている。そこでこのことについて調べてみた。

大洲盆地での天気の詳細なデータはないので、松山地方気



第9図 11月, 12月における夜間の平均雲量と長浜の最大風速との関係 (1978-80年). 好天日で地衡風が10 m/s 以下の場合.

象台における夜間から早朝の雲量と長浜における陸風の最大風速との関係について調べてみた. 第7図と同様, 寒候期の11月, 12月について, 地衡風の風速が10 m/s 以下で, 日中の天気曇または晴という条件の下で, 夜間の平均雲量と最大風速との関係を調べた. その結果を第9図に示す. 両者の間の関係はばらつきが大きい, 平均雲量が小さいときに最大風速が大きくなる傾向が見られる. 寒候期について, 長浜で強い陸風が吹く場合, 夜間の大洲の風を調べてみると, 風速

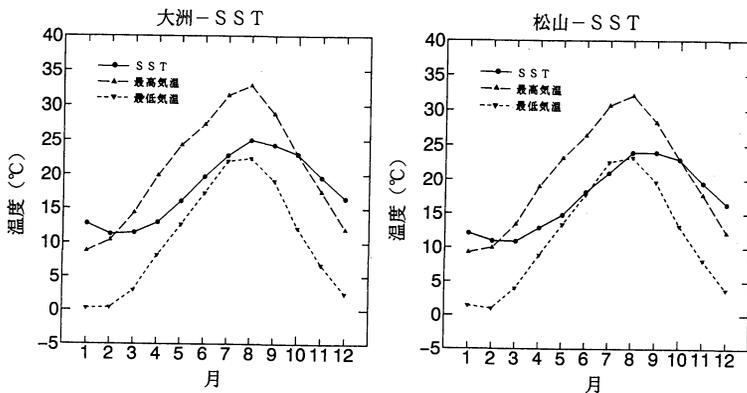
が小さく, 静穏 (1 m/s 以下) の状態が長く続く傾向が見られた. これらのことは寒候期の長浜での強い陸風の発生が, 夜間の放射冷却が大きくなるような気象条件と関係していることを示している.

4.5 海水表面温度 (SST)

海陸風の発達, いうまでもなく海陸の温度差に支配される. 長浜付近での海陸の温度差の気候学的条件がどのようになっているか調べるため, 長浜沖の海水表面温度 (小村, 1983) の月別平均値と大洲の月別の日最低気温, 日最高気温の平均値とを比べてみた. 松山についても同様な調査を行った. 第10図にその結果を示す. 大洲では各月の日最低気温の平均値はどの月も平均海水表面温度より低くなっている. 温度差は冬季に大きく, 12月には15度近くにも達するが, 夏季に小さく, 7月には約2度の差しかない. 松山でも全体的な傾向は同じである. 長浜において, 冬季に陸風が強く発達するのは, 海陸の大きな温度差が関係していることを示している. しかしながら, 松山でもこの温度差はほぼ同程度であるから, 長浜での陸風の発達は, 盆地と海とが狭い谷によってつながっているという地形の特徴と関係することを示唆している.

3. まとめ

“肱川あらし”と呼ばれる特異な現象が発生する肱川河口付近の風の日変化の平均的特性について, 長浜における風のデータを用いて調べた. 長浜での風の日変化は, 瀬戸内海沿岸の平野部とは大きく異なった特徴を示し, 日中に比べて夜間から早朝に風速が強くなり, 陸風が顕著に発達する.



第10図 大洲, 松山における月別の日最高・最低気温の平均値と両地点の沿岸の月別の平均海水表面温度. 気温のデータは1941年—1970年の30年平均値 (気象庁, 1972). 海水表面温度は小村 (1983) の図より読み取る.

長浜では総観場の気圧傾度が小さく、天気がいの場合に、夜間、風速が 10 m/s を越えるような強い陸風が発生することがある。この長浜の夜間の強風は、対比を行った沿岸平野部では見られないもので、特異な地形で生ずる強風の典型例を示している。

謝 辞

この研究を行うにあたって、磁気テープ資料の利用の便宜をはかっていただいた気象庁統計室に感謝します。また有益な指摘をいただいたレフリーに感謝します。

参 考 文 献

- 井上 基, 1959: 「肱川あらし」について, 昭和34年度四国地区研究会誌, 高松地方気象台。
- 気象庁, 1972: 全国気温・降水量月別平年値表 観測所観測 (1941-1970), 気象庁観測技術資料第36号。
- 小村久美男, 1983: 瀬戸内海の平均的海況, 神戸海洋気象台彙報, 第201号, 10-39。
- 西本洋相, 1978, 肱川あらし, 海の気象, 24, 2, 17-21。
- 中田隆一, 1982: 肱川あらしの調査, 研究時報, 34, 3, 135-139。
- , 1992: 肱川あらし, 天気, カラーページ。
- 森 征洋, 1982: 日本における風の日変化の気候学的特性について, 天気, 29, 3, 27-34。
- , 1983: 瀬戸内海沿岸における風の日変化の気候学的特性—月別変動について—, 天気, 30, 1, 19-23 および30。
- , 1985: 地衝風と地表風との対応について—多度津・岡山の場合—, 天気, 32, 9, 523-529。
- , 1991: 肱川河口における風の特性について, 日本気象学会関西支部例会, 講演要旨集, 第56号, 12-16。
- 谷治正孝, 蔵田英之, 岡本智順, 1992: 強い陸風・山風としての肱川あらし(肱川あらしの研究 第1報), 日本地理学会, 98-99。
- , 岡本智順, 深石一夫, 1992: 大洲盆地の霧と肱川あらしの垂直構造(肱川あらしの研究 第1報), 日本地理学会, 100-101。



日本水文学会1994年度学術大会および総会のお知らせ

日 時: 1994年6月17日(金)～19日(日)

場 所: 地震防災センター

(静岡県静岡市駒形通5-9-1)

Tel: 054-251-7100

日 程: 6月17日(金) 9時30分～20時

シンポジウム, 特別講演, 一般研究発表,

総会, 懇親会

6月18日(土) 9時30分～17時

一般研究発表

6月19日(日) 9時～15時30分

巡検(大井川および磐田原地域の地下水:

バス使用)

費 用: 大会参加費 1,000円(学生500円)

巡検参加費 4,000円

予稿集代 1,500円

懇親会 5,000円

問い合わせ先: 日本水文学会庶務委員長

筑波大学 嶋田

TEL 0298-53-2568

FAX 0298-53-2565