

濃尾平野における海陸風の特徴と広域海風の出現条件*

森 博明^{*1}・小川 弘^{*2}・北田 敏廣^{*3}

要 旨

伊勢湾-濃尾平野を含む領域での1985年4~10月の暖候期における海陸風日を分類し、その出現頻度を調べた。さらに、その中で最も特徴的な広域海風について出現条件を検討した結果、「総観規模の気圧配置において、本州中央部が夏型(小笠原高気圧の支配下)、もしくは移動性高気圧の後面ないし中心に位置し、伊良湖-福井間の気圧傾度(X)と岐阜-熱的低気圧の中心間の気圧傾度(Y)が、概ね、 $2X+Y>0$ の関係を満足すること」が必要と考えられた。

1. はじめに

環境汚染の広域化に対する認識が深まり、100 km を超える地域規模での汚染質の動態を解明する必要性も高まっている。この地域規模での汚染質の動態に最も影響を与えるのが、海陸分布、山岳分布等の地域特性に基づき生成する局地風群であることも広く認識されている。この局地風群は、その性格上、すぐれて地域性が強いものであるが(例えば、北林, 1976)、その一方で、総観規模の気圧配置や気圧傾度との間に密接な関連があることもよく知られている(例えば、吉門, 1978; 鈴木・河村, 1987)。また、栗田・植田(1985)は、関東地方から排出された汚染質の動態に関連して、広域海風の到達範囲と熱的低気圧(Thermal Low; 以下、TL と略す)との関係を明らかにしている。

このように、局地風(特に海陸風)については、すでに様々な角度から研究がなされ、数多くの知見も得られているが、一方、伊勢湾-濃尾平野を含む領域においては、関東地方や瀬戸内と比較して研究例が少なく、特に、海陸風の出現頻度や風系の詳細な日変化、

総観場の気圧傾度及び TL との関係等に関する知見は必ずしも十分に得られているとは言い難い。そこで本研究は、この領域における汚染質の動態を解明するうえでの基礎資料とするため、4~10月の暖候期における海陸風日の分類と、その出現頻度に関する統計値及び最も出現頻度の高い「広域海陸風日」(後述)の典型的な流れ場の日変化について明らかにした。さらに、総観規模の気圧配置や中部山岳に形成される TL との関係について検討することにより、この地域に広域海風が出現する条件の推定を試みた。

2. 方法

2.1 解析対象期間

解析対象期間は観測データの入手状況、年間の気象状況等を考慮した結果、1985年4月1日~10月31日とした。この期間の月別の晴天日数、平均気温は、ほぼ平年と同等であった。

2.2 風向・風速分布図及び局地天気図の作成

印刷天気図(9・21時)をもとに、本州中央部が概ね高気圧に覆われていたと考えられる日(冬型を除く)85日を抽出し、AMeDAS 及び愛知県、岐阜県、三重県内に設置されている環境大気常時測定局の風向・風速データ(時間値)を用いて、地上風における毎時の風向・風速分布図(以下、気流図という)を作成した。なお、作図範囲は第1図に示す $34.5\sim 35.5^{\circ}\text{N}$ と $136.5\sim 137.25^{\circ}\text{E}$ で囲まれる領域とした。

また、これらの日について、中部地方及びその周辺に位置する気象官署の海面更正気圧データをもとに、局地天気図(9・15時)を作成した。なお、作図範囲

* Characteristics of land and sea breezes in the Nobi plain, and the conditions of occurrence of the "extended sea breeze".

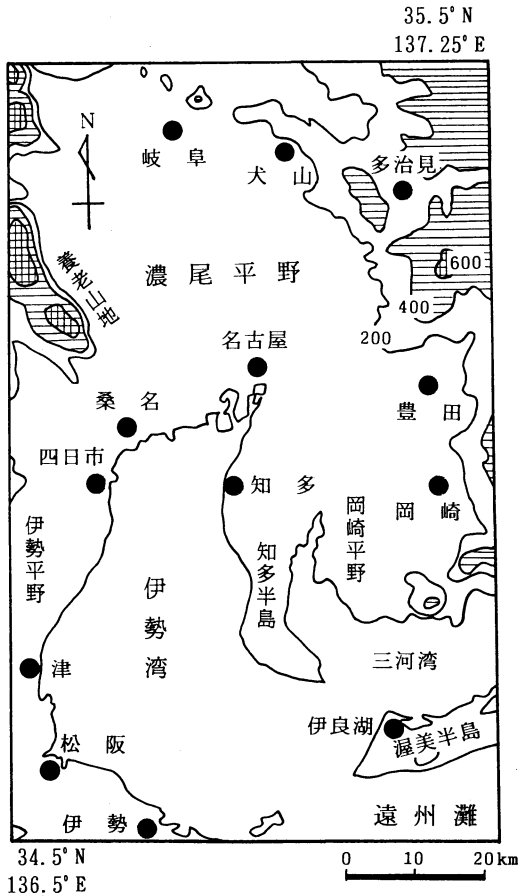
*1 Hiroaki Mori, (株) テクノ中部 環境部.

*2 Hiroshi Ogawa, (株) テクノ中部 環境部.

*3 Toshihiro Kitada, 豊橋技術科学大学エコロジー工学系.

—1993年12月16日受領—

—1994年3月29日受理—



第1図 解析対象範囲。●は主要都市（ただし、伊良湖は測候所の位置）を示す。標高は200 m ごとの等高線で示した。

は33~38°Nと133~141°Eで囲まれる領域とした。

2.3 TLの中心位置及び中心気圧の推定

2.2で作成した局地天気図をもとに、等圧線の形状よりTLの中心位置と中心気圧を推定した。なお、海面更正気圧よりTLの中心気圧を求めた場合、気圧変化を過大に評価することが明らかにされているが（例えば、Ku wagata and Sumioka, 1991）、ここでは作業を簡便にするため海面更正気圧をそのまま用いた。

3. 結果

3.1 濃尾平野における海陸風の形態

2.2で作成した気流図をもとにして、濃尾平野における海陸風の出現形態を検討した。なお、海陸風とは、本来、海陸の温度差に起因して生じる風系に限られるべきであるが、本研究のように地上風データによる解

析の場合、弱い一般風との区別が困難なため、ここでは便宜的に、海岸線に対して海域方向からの風系を「海風」とし、陸地方向からの風系を「陸風」として扱った。また、後で述べる海陸風日の分類にあたっては、①高気圧場に支配された晴天または薄曇りの日であり、総観場の気圧傾度が小さいこと、②濃尾平野のほぼ中央部（名古屋市付近）、三重県側（四日市市付近）、知多半島の伊勢湾側（知多市付近）において夜間、陸風が、あるいは日中、海風が認められること、③1日のうちに、陸風から海風、または海風から陸風への交替が見られること等の点を考慮した。

気流の日変化を検討した結果、濃尾平野-伊勢湾の領域における海風は、その規模により2種類に分類できることが明らかになった。すなわち、伊勢湾を起源とし、これより周囲の陸地へ海岸線を横切って放射状に吹き出す小規模な海風（以下、「伊勢湾海風」という）と、遠州灘方面の太平洋を起源とするSE~S系の大規模な海風（以下、「遠州灘海風」という）である。

そこで、伊勢湾海風が発達した後、昼過ぎから夕刻にかけて遠州灘海風が到達し、濃尾平野全体がひと続きのSE~Sの風系で覆われるような状態を「広域海風」と呼び、この広域海風が見られた海陸風日を「広域海陸風日」とした。一方、濃尾平野において、発達しない伊勢湾海風に基づく弱いSSW~SWの風系は見られるものの、遠州灘海風に基づくSE~Sの風系は出現しない海陸風日を「非広域海陸風日」とした。このほか、陸風の出現は不明瞭で海風のみ確認できる日（以下、海風日という）や海風の出現は不明瞭で陸風のみ確認できる日（以下、陸風日という）も見られた。

3.2 総観規模の気圧配置と海陸風日等の出現状況との関係

2.2で抽出した85日について、印刷天気図(9・21時)をもとに12~15時頃の総観場の気圧配置を推定し、①移動性高気圧（移動性の高圧部、帯状高気圧を含む）の前面、②同中心、③同後面、④夏型（小笠原高気圧の支配下）の4つの型に分類した。

次に、これらの日について、海陸風の発生状況及び広域海風の出現状況を毎時の気流図より判定した。その結果は第1表に示すように、全体では広域海陸風日：62日、非広域海陸風日：10日、海風日：6日、陸風日：7日であった。このうち、広域海陸風日の出現状況は、夏型が32日と全体の約半数を占めたほか、移動性高気圧の中心及び後面においてもそれぞれ19日と11日見られた。一方、非広域海陸風日は移動性高気圧

第1表 気圧配置型と海陸風日の出現状況との関係。
(1985年4月～10月)

	移動性高気圧			夏型	合計
	前面	中心	後面		
広域海陸風日	—	19	11	32	62
非広域海陸風日	—	7	—	3	10
海風日	—	1	1	4	6
()内は広域化した日		(1)	(1)	(4)	(6)
陸風日	7	—	—	—	7
合計	7	27	12	39	85
広域海風日合計*	—	20	12	36	68
広域海風出現率(%)	—	74.1	100.0	92.3	80.0

* : 広域海陸風日と広域化した海風日の合計を示す。

の中心と夏型に見られたが、出現率は移動性高気圧の中心の方が高かった。また、海風日は移動性高気圧の中心と後面及び夏型に出現したが、その全てにおいて広域海風が見られた。さらに、陸風日は移動性高気圧の前面においてのみ出現した。

このように、広域海陸風日と海風日を合わせると、「広域海風」は全体の8割に出現している。また、気圧配置別では、移動性高気圧の後面と夏型における広域海風の出現率がそれぞれ100%、92.3%と高く、これに次いで移動性高気圧の中心が74.1%となっている。なお、移動性高気圧の前面では広域海風は出現しなかった。

以上のように、濃尾平野においても総観規模の気圧配置と海陸風の出現状況には、かなり明瞭な関係が見られ、この地域に広域海風が出現する日は夏型、もしくは本州中央部が移動性高気圧の後面又は中心に位置していることが明らかになった。

3.3 典型的な広域海陸風日における流れ場の変化

濃尾平野における典型的な広域海陸風日(1985年5月17日)について、毎時の気流図の中から3時間ごとに抽出したものを第2a～2h図に示す。

① 陸風中期(1～5時) : 全域が陸風ないし山風場となっており、それぞれ海岸線に対してほぼ直角に風が吹いている。その風速は1～3 m/s程度であり、大規模な流れは見られない(第2a図)。

② 陸風終期(6～7時) : 三重県の日市から津にかけての風向がNW系からNE系に変化することにより、豊田、岡崎などの西三河地域や知多半島と風系が一致し、ほぼ全域的に、山岳部から木曾・長良・矢作川等の川沿いに流下する冷氣流の支配下に置かれて

いることが判る(第2b図)。

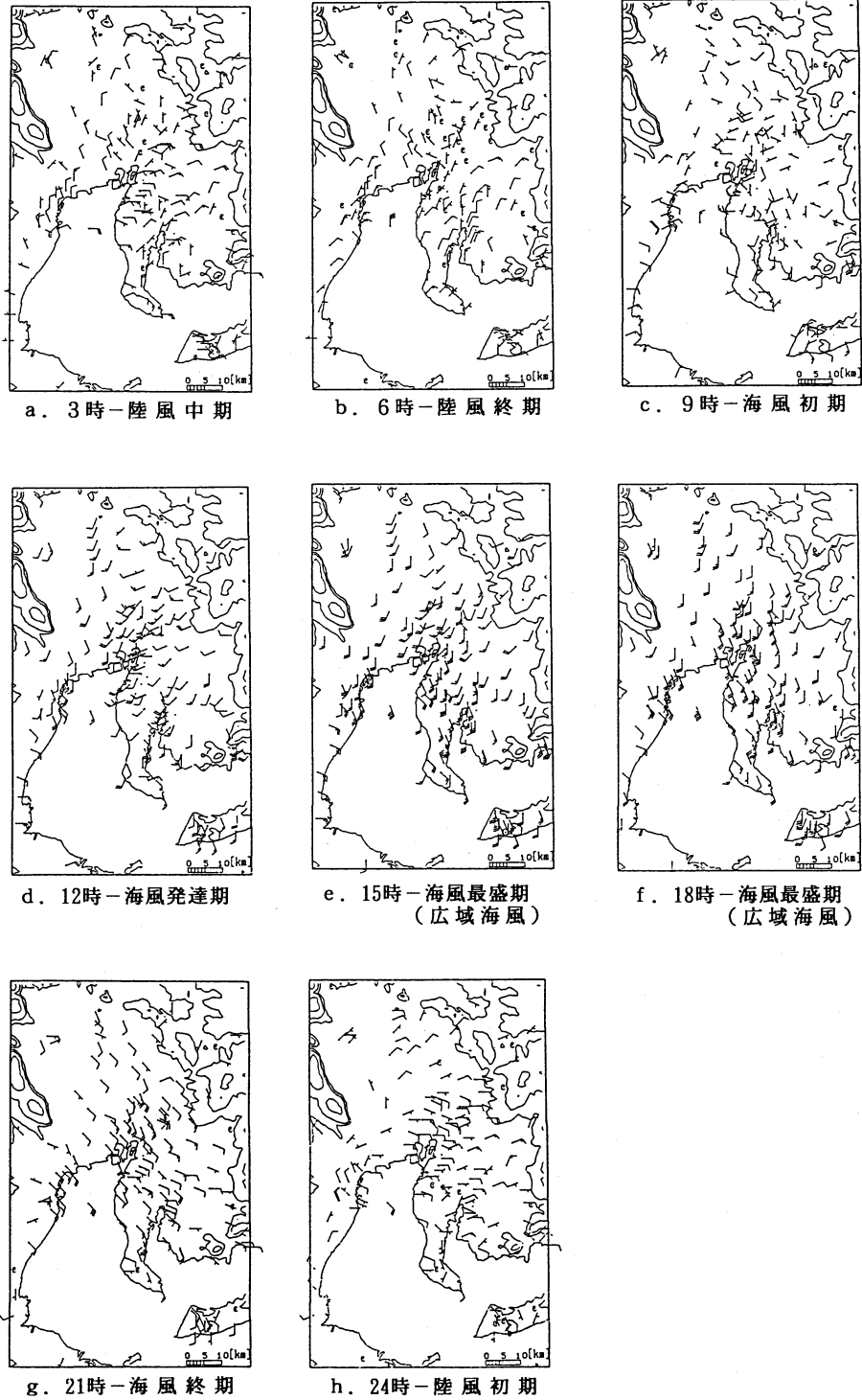
また、この例のような海陸風日には、人工熱源の影響で深夜から早朝にかけて名古屋の中心部が相対的な高温域になることが知られており(例えば、北田ら、1991)、第2a・2b図の濃尾平野北・中部付近においては、この高温域に収束するような流れが認められる。さらに、5～7時には、名古屋とその周辺の所々に静穏域も見られる。

③ 陸風→海風の交替期・海風初期(8～10時) : 知多半島の先端部や、東三河の海岸部、三重県の松阪から伊勢付近、渥美半島の遠州灘側などでは8時頃から海風が入り始める。また、9～10時になると対象範囲全域の海岸部で、それぞれの海岸線に対してほぼ直角に風速1～3 m/s程度の弱い海風が出現し、山沿いでは谷風と思われる風も見られる(第2c図)。一方、豊田から岡崎にかけての一部の地域では、まだ山風成分も残っているほか、名古屋付近は陸風とも海風ともつかない風向不定の弱風域にある。

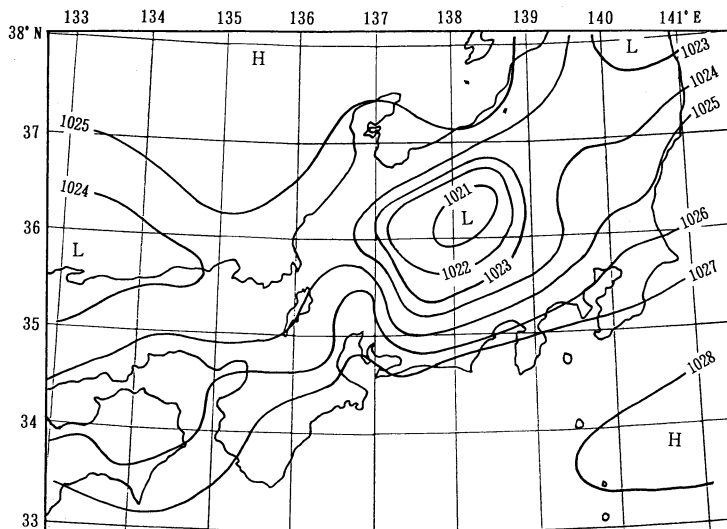
④ 海風発達期(11～13時) : 発達した伊勢湾海風と谷風が接続することにより風向不定の地域が消え、濃尾平野全域が海風場になると共に、風速も2～4 m/sとやや強まっている(第2d図)。この時、濃尾平野のほぼ中央に位置する名古屋付近はSWの風系を示している。また、渥美半島の先端付近では、伊勢湾(三河湾)側からの海風が消滅し、大規模な遠州灘海風が発達しつつある。

⑤ 海風最盛期(14～18時) : 伊勢湾海風、遠州灘海風共に最も発達し、広域化した状態を示している(第2e～2f図)。風速はさらに強くなり、海岸部で4～7 m/s、内陸部でも3～5 m/sを示す。特に15時頃(第2e図)には、発達した伊勢湾海風と大規模な遠州灘海風が名古屋付近で不連続線を形成しており、伊勢湾海風から遠州灘海風への勢力の転換期を示している。

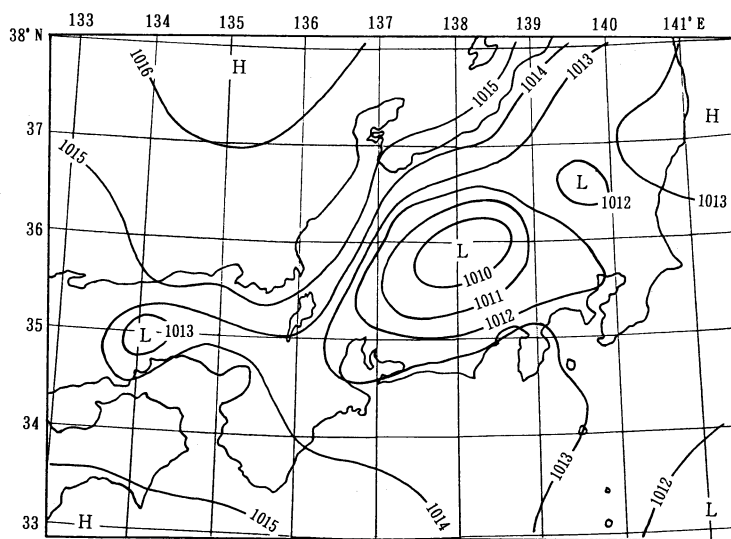
これについては、例えば、1991年4月22日という別の機会(ただし、同じく「広域海陸風日」)に、名古屋市港区で得られた観測結果を解析したものによると、この海風の切り替えはかなり急激に行われるだけでなく、両者間にはかなり明確な相違が認められることが明らかになっている。すなわち、風向が15時以降にSSWからSSEに変化した後、海風層の厚みが600～700 m(それ以前は400 m程度)に増加すると共に、温位も289～290 K程度と、15時以前(発達した伊勢湾海風)の291～292 Kと比較して1～2 K程度低くなること示されている(高木ら、1993)。



第2図 典型的な広域海陸風日における流れ場の変化(1985年5月17日). 長い矢羽根は2 m/s, 短い矢羽根は1 m/sを示す. また、「C」は静穏を示す.



a. 広域海陸風日 (5月17日, 15時)



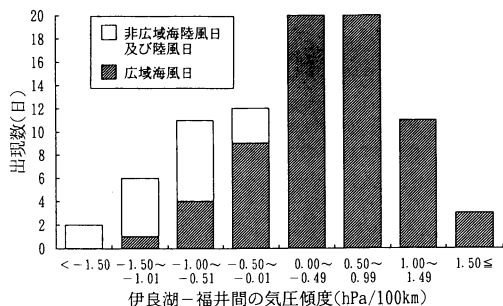
b. 非広域海陸風日 (5月11日, 15時)

第3図 広域海陸風日と非広域海陸風日における局地天気図の例. 等圧線の単位は hPa.

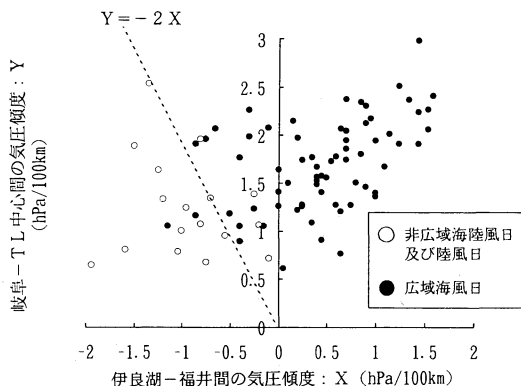
一方、この広域海風は、濃尾平野を吹走した後、その主要な流れが木曾川の谷筋に沿うように大きく北東方向に湾曲し、岐阜県の高治見を経てさらに山岳部の奥に向かうという特徴を示す(第2 d ~ 2 f 図)。このような流れの生成機構としては、Kondo (1990) の数値解析にも見られるように、中部山岳付近に発生する TL の影響を考慮することにより説明が可能と思われる。すなわち、高気圧に覆われた日に、日射によって発達した TL に対して、その周辺より吹き込もうとす

る流れに、発達した海風が結合することによって、中部山岳方面に向かう大規模な流れを形成していると考えられる。

⑥ 海風終期 (19~21時) : 概ね海風場にあると考えられるが、濃尾平野の西部に見られた SW の風系が徐々に消失し、遠州灘海風にに基づく SE~SSE の一様流となっている(第2 g 図)。また、風速も次第に小さくなり、海岸部で 3~4 m/s、内陸部では 2~3 m/s となっている。さらに、濃尾平野北部における中部山岳



第4図 伊良湖-福井間の気圧傾度と広域海風の出現傾向。気圧傾度は伊良湖から福井を差し引いたもので示し、また、広域海風日は広域海陸風日と海風日の合計で示してある。



第5図 伊良湖-福井間及び岐阜-TL 中心間の気圧傾度と広域海風の出現傾向との関係。気圧傾度は前者から後者を差し引いたもので示してある。

方面への湾曲も次第に見られなくなるが、これは日没に伴って TL が衰退することにより、海風を北東に偏向させようとする力も弱くなったためと考えられる。

⑦ 海風→陸風の交替期・陸風初期 (22~24時)：濃尾平野全体の風系がさらに東寄りになり、風速もさらに弱くなる。海風から陸風への交替期と考えられ、三重県の伊勢付近や、多治見から豊田、岡崎にかけての山沿いでは陸風または山風と思われる成分も見られる。また、24時には全体がほぼ陸風・山風場に移っており、濃尾平野としては概ね NW~E の風系に支配される (第2 h 図)。

このように、典型的な広域海陸風日の風向の変化を地域別に見ると、濃尾平野の中央及び知多半島の伊勢湾側では反時計回りを、三重県側では時計回りを示している。

3.4 広域海風の出現条件

局地天気図をもとに、広域海陸風日、非広域海陸風日、海風日、陸風日の各事例を検討した結果、広域海風が出現する日は、前述 (3.2) の気圧配置別の出現状況からも示唆されるように、総観場の気圧が概ね太平洋側が日本海側よりも高い傾向にあった (第3 a 図)。一方、広域海風が出現しない日は、概して日本海側が太平洋側よりも気圧が高いという共通性が見られた (第3 b 図)。

また、広域海風日には伊勢湾の地形に概ね一致するように局地的な高圧部が形成されることが多いのに対し、非広域海陸風日には、このような高圧部は伊勢湾には見られず、しばしば日本海側の若狭湾に形成されるという特徴が見られた。

そこで、気象官署の中から濃尾平野の概ね南北に位

置する「伊良湖」と「福井」を選出し、その気圧傾度 (海面更正したもので、単位は hPa/100 km。以下同じ) と広域海風の出現状況との関係を検討した。その結果、伊良湖-福井間の気圧傾度が正の場合、すなわち、太平洋側の気圧が日本海側よりも高い場合には、全て、濃尾平野に広域海風が出現していることが明らかになった (第4 図)。これは、総観規模の気圧傾度力の方が広域海風の生成に有利であることを示している。

一方、伊良湖-福井間の気圧傾度が負 (福井が高い) を示す場合にも広域海風が出現する例が見られることから、次に中部山岳に形成される TL との関係について検討した。

すなわち、日射が強く地表面加熱が進行しやすい状況において、本州中央部に形成される TL に対して広域海風 (あるいは谷風) が吹き込むという機構を想定した場合、TL の強さ (TL の中心とその外縁との気圧傾度) が増すほど海風の発達には有利になると考えられる。そこで、総観規模の気圧傾度力に打ち勝って海風が発達するには、内陸部がどの程度、熱的に低圧になる必要があるかを調べた。

いま、この TL の強さを、濃尾平野の北端付近にあって伊良湖と福井を結ぶ直線上に位置する「岐阜」と「TL の中心」間の気圧傾度で表し、これに伊良湖-福井間の気圧傾度を組み合わせて広域海風の出現条件を検討した結果、概ね、 $2X + Y > 0$ (ただし、X：伊良湖-福井間の気圧傾度、Y：岐阜-TL 中心間の気圧傾度。単位は hPa/100 km) で示されることが判った (第5

図). なお, 2.3項でも述べたように, TL の中心気圧を海面更正気圧より求めた場合には, 気圧変化を過大評価するという点を考慮すると, この関係式は物理的な指標としては必ずしも厳密なものではないが, 実用的な目安としては有用な関係を示すものと考えている. また, この式による判定結果の適合率(適合数/全数)は93%であった.

このように, 伊良湖-福井間の気圧傾度が, 多少, 負(日本海側が高い)を示しても, TLが発達した状況にあれば, 濃尾平野に広域海風が出現することが明らかになった.

4. まとめ

1985年の4~10月について, 本州付近が概ね高気圧に覆われていたと考えられる85日を抽出し, 地上風における毎時の気流図と局地天気図を作成した. これらをもとにして, 濃尾平野における海陸風の出現状況とその特徴, ならびに広域海風の出現条件等について検討した結果, 以下の点が明らかになった.

①濃尾平野の海風には, 伊勢湾を起源とする「伊勢湾海風」と, 遠州灘方面からの大規模な「遠州灘海風」があり, その発達程度によって広域海陸風日(62日)と非広域海陸風日(10日)に分類された. また, 海風又は陸風の一方のみが出現する海風日(6日)と陸風日(7日)も見られたが, このうち海風日には全て広域海風が出現した.

②本州付近が高気圧に覆われていた日の8割に広域海風が出現したが, 気圧配置別では, 移動性高気圧の後面と夏型における出現率が高かった. 一方, 非広域海陸風日及び陸風日は, これとは逆に, 移動性高気圧の中心と前面における出現率が高かった.

③広域海風の出現条件としては, 総観場の気圧が太平洋側の方が日本海側よりも高く, 気圧傾度力の方向が, 濃尾平野における海風を加速する方向と一致していることが第一次的な条件と考えられた. 具体的には, 伊良湖-福井間の気圧傾度が正(伊良湖が高い)を示すことが指標となる.

④一方, 伊良湖-福井間の気圧傾度が負の場合でも広域海風が出現する例が見られた. そこで, 中部山岳に形成されるTLの強さを考慮し, 伊良湖-福井間の気圧傾度(X)と岐阜-TL中心間の気圧傾度(Y)との関係を検討した結果, $2X + Y > 0$ が満たされれば, 概ね, 広域海風が出現することが示された(第5

図). すなわち, 日本海側の気圧が多少高くても, 本州中央部の地表加熱の度合いが高く, 強いTLが形成されれば, 濃尾平野に広域海風が出現することが明らかになった.

⑤典型的な広域海陸風日の風向の変化は, 濃尾平野の中央部及び知多半島の伊勢湾側では反時計回りを, 一方, 三重県側では時計回りを示した. 濃尾平野の中央部及び知多半島の伊勢湾側におけるこのような風向の変化は, 起源の異なる二種類の海風の切り替え, すなわち, 昼頃から午後の早い段階での発達した伊勢湾海風(SSW~SW)から, 15時以降の遠州灘海風(SSE~S)への変化に基づくと考えられた.

謝 辞

この解析を進めるにあたり, 貴重なデータを提供して頂いた気象庁, 各自治体の関係各位に深謝致します. また, (財)日本気象協会の富田賢治氏には, 度々貴重な御意見を頂いた. ここに, 厚く御礼申し上げます.

参 考 文 献

- 北林興二, 1976: 海陸風の統計的解析, 公害, 11, 288-306
- 北田敏廣, 国井克彦, 久保田庄三, 1991: 地域規模の土地利用変化に伴う大気環境の変化-濃尾平野の10年間(1975-1985)を例に, 土木学会衛生工学研究論文集, 27, 117-127
- Kondo, H., 1990: A numerical experiment of the "extended sea breeze" over the Kanto plain, J. Meteor. Soc. Japan, 68, 419-434
- 栗田秀實, 植田洋匡, 1985: 傾度風が弱い場合の大気汚染物質の長距離輸送と熱的低気圧および総観気象の関係, 大気汚染学会誌, 20, 251-260
- Kuwagata, T., Sumioka, M., 1991: The Daytime PBL Heating Process over Complex Terrain in Central Japan under Fair and Calm Weather Conditions, Part III: Daytime Thermal Low and Nocturnal Thermal High, J. Meteor. Soc. Japan, 69, 91-104
- 鈴木力英, 河村 武, 1987: 夏型気圧配置時の中部日本における地上風系の特徴, 天気, 34, 715-722
- 高木久之, 北田敏廣, 筑紫文夫, 小川 弘, 1993: 海風時, 沿岸部で得られたドップラーソーダデータのk-ε乱流モデルによる解析, 日本気象学会秋季大会講演予稿集, 106
- 吉門 洋, 1978: 海陸風に対する気圧配置の影響, 公害, 13, 292-301