

四日市の海風と大気汚染*

波 多 正 二**

要 旨

四日市の海陸風は時計廻りの日変化をする。SO₂ の濃度は海陸風の日変化に伴って変る。

1968年から1970年まで、海風を対象にして上層風の観測を行なった。海風の平均高度は、暖候期においては12時が500m、15時は700m内外である。

海風高度の日変化は、高気圧の中心付近で発現する海風は、昼頃に高度が最も高くなる。高気圧の東側で発現する海風の高度は一般に低い。高気圧の西側で発現する海風は、午後には更に高度が高くなる傾向がある。市街地の SO₂ 濃度は、高気圧の中心からやや東側または北側に発現する海風の場合に最も大きくなる。

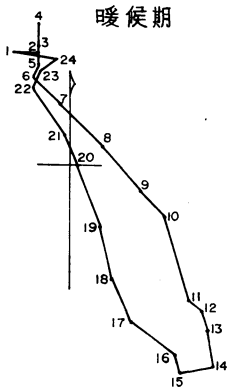
1. ま え が き

四日市の市街地における亜硫酸ガス（以下 SO₂ と略記する）の濃度は、既報¹⁾のように、高気圧におおわれ、海風が発達するような穏やかな日に高濃度を示すことが多い。

海風は四季を通じて発現するが、海風が発現する日には、常に市街地で SO₂ の高濃度が現れるとは限らな

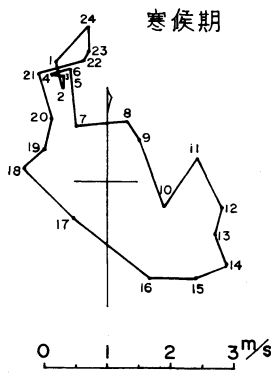
Apr. — Sep. 1968

暖候期



Jan. — Mar. 1968
Oct. — Dec.

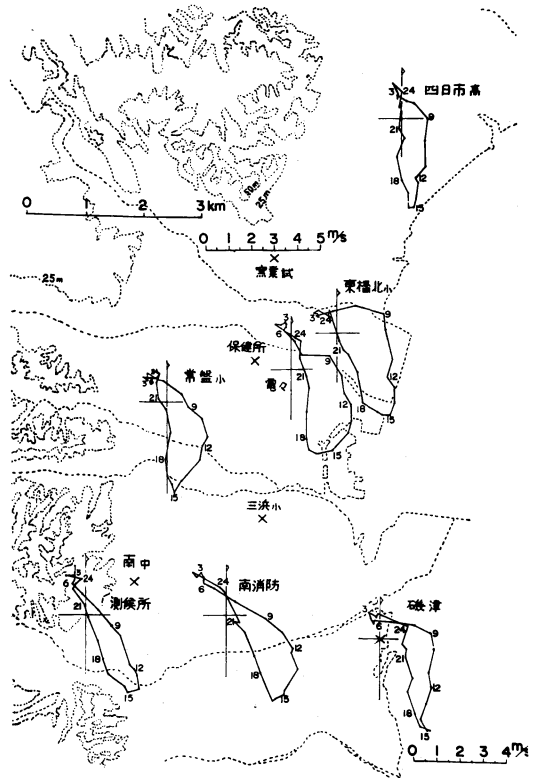
寒候期



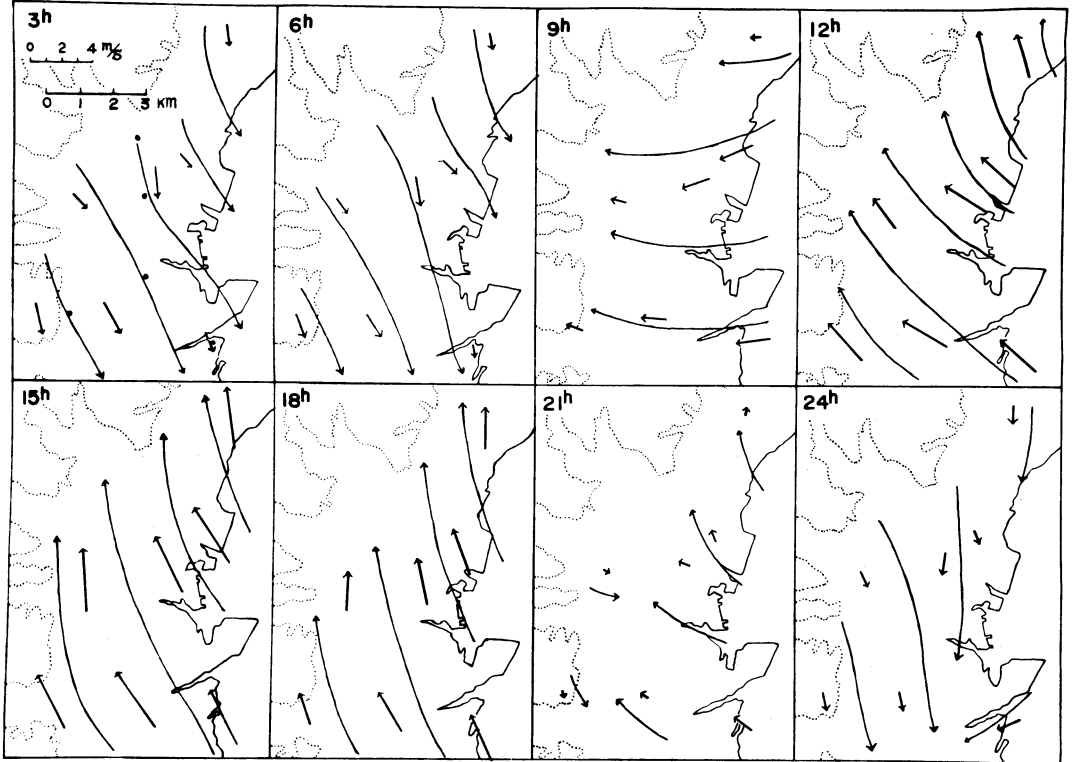
第1図 四日市測候所における海陸風の日変化1968年

* Relation between Sea Breeze and Air Pollution at Yokkaichi City

** S. Hata 四日市測候所（現在：浜松測候所）
—1971年2月15日受理—



第2図 暖候期における観測地点別海陸風の日変化1968年



第3図 海陸風の時刻別流線

い。SO₂の濃度と海風との関係を調べるには、海風の実態を把握する必要がある。そこで昭和43、44年度の2か年にわたり、上層風を含めた四日市の海風の調査を行なった。

2. 四日市の海陸風の日変化

海陸風は純然たる熱的なものは少なく、多少なりとも一般流が重なっている。二宮²⁾は新潟の海陸風をきめる方法として、日照時間と日最大風速を用いている。

二宮の方法に準じて、日最大風速 6 m/sec 以下、日照時間 6 時間以上の日について、天気図を参考にして1968年の海陸風日をきめた。4月から9月を暖候期、1月から3月と10月から12月を寒候期とした。海陸風日は暖候期には36日、寒候期には24日となる。

これらの日について、四日市測候所の風向風速を合成し、海陸風の日変化を求めた。第1図に示す。

暖候期、寒候期ともに、風は時計廻りに変化している。特徴としては、海風から陸風になる時刻が、暖候期は寒候期にくらべて可成り遅れている。これは日没の時刻差だけでなく、暖候期と寒候期では、一般流が異なっていることが大きな原因であろう。

第2図に、測候所外6地点の暖候期における海陸風の平均の日変化を示す。各地点とも、測候所と同じ日の資料によった。各地点の日変化は測候所と大体同様であるが、細かく見ると、海風から陸風になる時刻は海岸に近づくほど遅れている。第2図の資料により、3時間毎の流線を描くと第3図を得る。

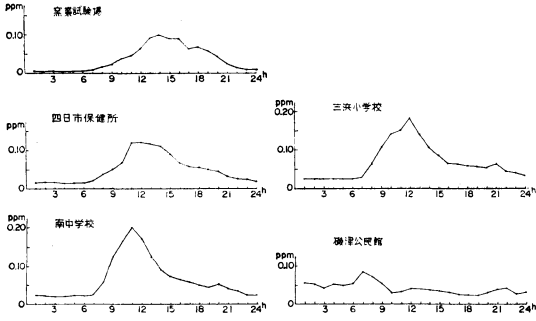
風向は時計廻りに変化して、日中は SE から SSE の風が卓越する。北の方ほど風向は南に偏っている。また 21時の流線は、海風から陸風になる時刻が内陸と海岸地方では差のあることを、はっきり示している。

3. 海陸風の日変化と SO₂ の濃度

1968年の暖候期(4月～9月)について、海陸風が発現した日の SO₂ 濃度の時刻別平均を第4図に示す。

磯津を除けば、各地点とも日中に最大濃度を示している。第4図の左側の3観測点の中では、南中学が最も南に位置している(第2図)。

濃度のピークは南中学が11時、保健所が12時、窯業試験場が14時である。工場群と観測点との相対位置を考えれば、南に位置するほど SO₂ 濃度のピークが早く現れることは、四日市の海風が NE から時計廻りに変化す



第4図 海陸風日の SO₂ の日変化 1968年5月～9月

ること一致している。また南中学の濃度の変化は急であり、これにくらべて、築業試験場の日変化は緩慢であり、特に夕方に向っての下降傾向が緩やかであることは、四日市の海風が午後 SE から SSE 風の継続時間が長いことによるものであろう。

三浜小学校は南中学等の3地点にくらべて、工場群との相対位置がやや異なっているので、日変化の型も多少違っている。

磯津の SO₂ 濃度は、工場群との相対位置の関係から海風では濃度が低く、陸風になると濃度は上る。

臨海工業地帯における大気汚染は、海陸風をはじめとする局地風の影響が大きいといえよう。

4. 海風の平均高度

四日市測候所では9時にパイバルによる上層風の観測を行なっている。海風の高度を知るためには、日中の観測が必要である。1968年の夏から1か年にわたり海風が発現した日の12時と15時に、上層風の観測を行なった。観測回数は12時が42回、15時が30回である。

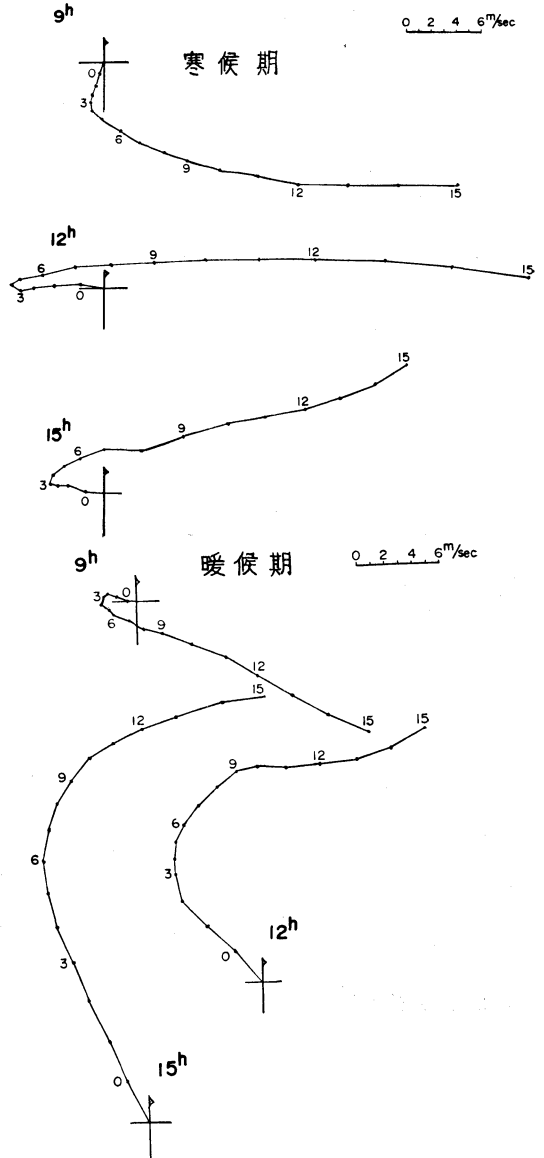
第1表 海風の高度別観測回数

暖候期 (4月～9月)

高さm	100	200	300	400	500	600
12時	1	3	4	5	3	2
15時			2	3	4	1

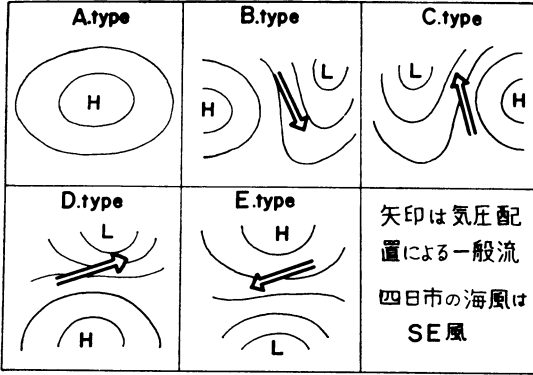
寒候期 (1月～3月, 10月～12月)

高さm	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
12時	—	2	5	6	2	2	1	—	3	—
15時	1	5	3	2	—	1	2	—	—	1



第5図 海風の平均航跡図 寒候期(上), 暖候期(下)

海風の上面では、海風と一般流とが混り合った層があり、海風の高度をきめるにはかなり主観的にならざるを得ない。このため、風が東分から西分に変る高さを海風の高度とした。ただしかなりの高度まで東分が続いている場合には、風速が急変する高さをとった。なお、9時には第6節の(3)に述べるように、海風や陸風の上に弱いNE風が残っている場合があり、また海風が発現



第 6 図 気圧配置による海風の種類(矢印は一般流)

していないこともあるので、9時の海風高度は省略した。

12時と15時の海風の高度別観測回数を、暖候期と寒候期とに分けて第1表に示す。ただし海風がはっきりしないものは除いた。

海風の高度別の平均ベクトルを求めて、高度の順に結び、気球の平均の航跡図が得られる。寒候期と暖候期とに分けて第5図に示す。0は地上風、3は高度300m、6は600mの、それぞれ平均のベクトルである。この図の東分から西分に変る高さを、海風の平均高度と考えてよからう。ただし9時は後で述べるように海風の高度はきめにくい。

第5図を作成するために求めた高度別の東西成分の資料から、風が東分から西分に変る高さをとると、第2表が得られる。

第2表 東分から西分に変る高度(海風の平均高度)

	暖候期	寒候期
12時	450m	450m
18時	650m	400m

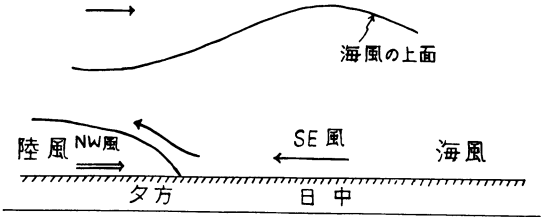
測候所は海拔47mである。第2表の高さに50mを加えた高さを海風の平均高度とみてよからう。

5. 気圧配置による海風の種類

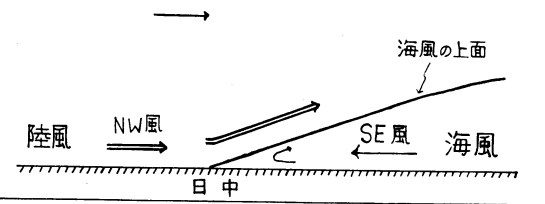
高気圧の中心付近では風は極く弱い、その周囲では第6図に矢印で示すような一般流がある。四日市の海風の主風向はSEであるから、高気圧の東側では一般流に逆らった海風になり、高気圧の西側では一般流と大体同じ方向の海風となる。

高気圧の付近に発現する海風を第6図のように、Aか

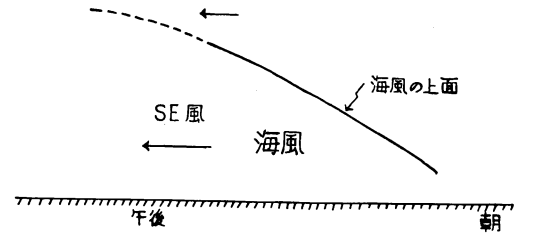
A型 夕方になると海風の下に陸風が侵入する



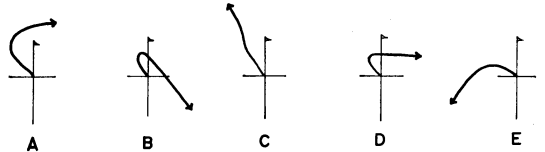
B型 日中 陸風は海風の上にはい上っている



C型 午後になると海風の高度は高くなる



第7図 四日市の海風の基本型



第8図 海風の航跡図の型別分類

らEの5つの型に分類した。

A型：高気圧の中心付近の気圧傾度が極く緩慢なところに発現する海風。

B型：高気圧の東側に発現する海風。

C型：高気圧の西側に発現する海風。

D型：高気圧の北側に発現する海風。

E型：高気圧の南側に発現する海風。

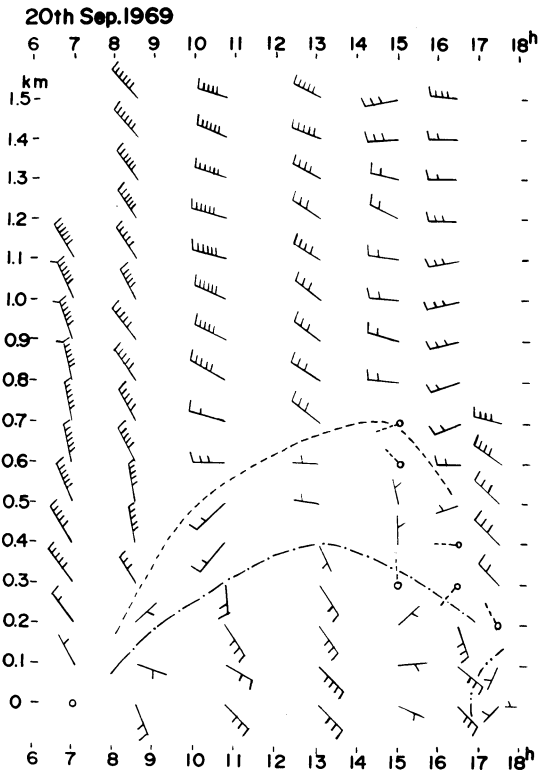
このように分類すると、四日市の海風はB型とD型は一般流に逆らって発現する海風であり、C型とD型は一般流に重った海風と言えよう。このうちA、BおよびC型は特に基本的な型である。

この三つの型について、その特徴を述べる。

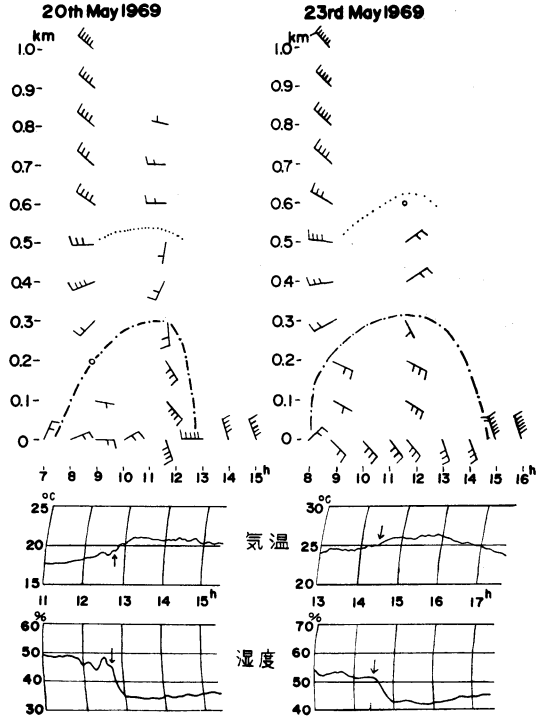
A型：教科書に示されたような代表的な海風であり、昼過ぎに海風の高度は最も高くなる（四日市では500m前後）、その後高度は低くなり、夕方には陸風に変る。この型の陸風は接地冷却によって発現するので、海風の下に侵入する。弱い上層陸風が残ることがある。第7図の上段に示す。

B型：一般流はNWである。海風は一般流に逆って発現するので、A型やC型にくらべて内陸深くまで侵入できない。海風の高度は概して低い。海風と陸風とが接しているところでは、陸風は海風よりも高温なので海風の上には上っている。この陸風はA型の陸風とは本質的に異なっている。第7図の中段に示す。

C型：一般流はSE風である。海風は一般流と同じ風向なので、A型やB型の海風にくらべて発達し易い。また海風と一般流とが重なるので、午後には海風の高度は高くなり、風速は他の型にくらべて最も強くなる。第7図の下段に示す。



第9図 A型海風の日変化 1969年9月20日 (矢羽根1本は1 m/sec)



第10図 B型海風の日変化と気温、湿度 1969年5月20日(左) 1969年5月23日(右) (矢羽根1本は1 m/sec)

6. 海風高度の日変化

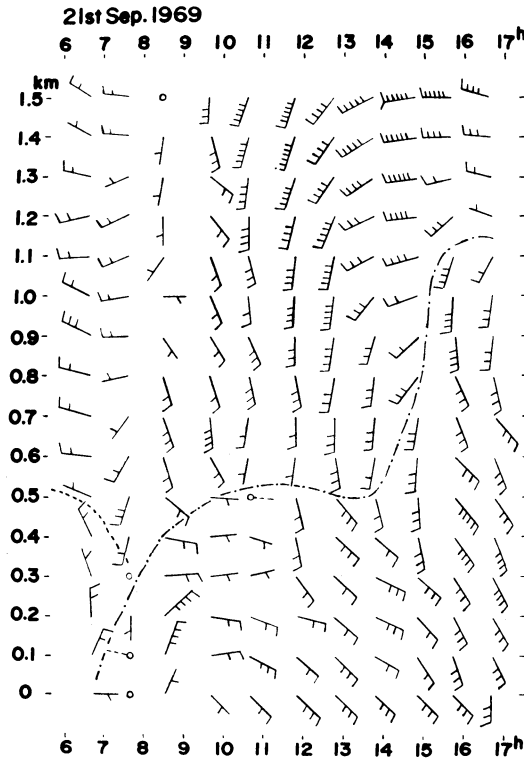
(1) 四日市の海風を、前節のように5つの型に分けて、パイバル観測の航跡図と対比すると、第8図のようになる。B型とD型は海風の高度が最も低い。

(2) A, B, Cの3型について、上層風の時刻別変化を第9図から11図に示す。この図の矢羽根1本は風速1 m/sec、6本は6 m/secであり、○印は静穏を示す。

第9図はA型の海風で、海風の高度は日中に最も高く400mである。17時過ぎにはSW風に変り、18時には地上風はNWになって陸風の侵入を示している。

第10図はB型の海風であり、日中に陸風に変っている。海風から陸風になると同時に気温は2~3°C上昇し、湿度は急下降している。海風の高度は、この図に示した両日とも300mである。B型の海風であっても夕方近くに陸風になることもあるが、陸風の上に上層海風は残らない。

第11図はC型の海風である。当日は朝から上層に南風が入っていた。海風の高度は昼頃までは500mであるが、15時頃から高くなり、17時には1,000mに達した。



第11図 C型海風の日変化 1969年9月21日 (矢羽根1本は1m/sec)

気圧系は時間と共に移動する。一般にはこれらの型の中間のものが多い。次に外の例を3例示そう。

第12図はD型からA型に移っている。7時は陸風であるが、8時過ぎに風はEに変わり、海風の侵入を示している。海風高度は日中は約300m、17時過ぎには地上近くに陸風が侵入している。これと同時に、海風は約200m持ち上げられたような状態を示し、上層海風として残っている。四日市では当日の日中には公害警報が発令された。

第13図はD型からC型に移った。午後は海風の高度が高くなっている。

第14図はB型とD型の中間で、海風の高度は極めて低く、せいぜい200mぐらいである。17時過ぎに陸風になった。夏としては陸風になる時刻はかなり早かった。

四日市の主要工場の煙突高度は100m以上あるので、海風の高度がこのような極めて低い場合は地上のSO₂の濃度はあまり高くないようである。

(3) 第12, 13, 14図をみると朝は高度500m以下にNEを主とした弱風層が現われており、この層は海風の発達

に伴って消滅している。

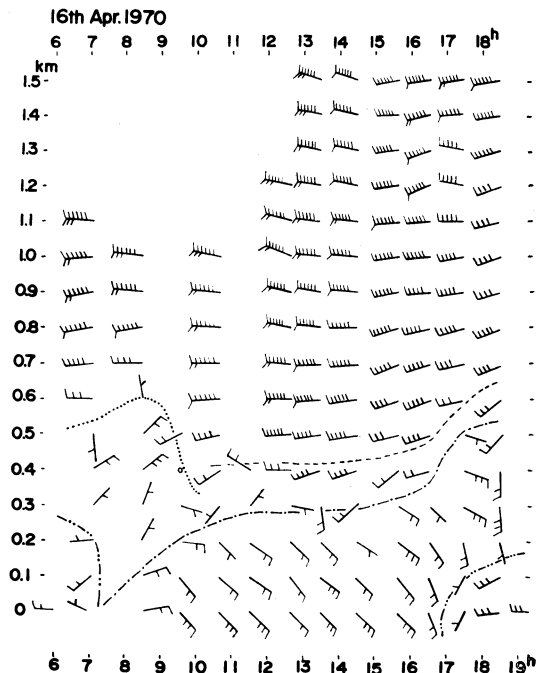
この層を夜間の接地冷却によって地上付近の低層に形成された安定層と考えれば、四日市で、夜から朝にかけて発現するNWを主風向とする陸風は、極く下層の現象と考えられる。

第15図は第12図に示した1970年4月16日の資料のうち、8時35分から約10分間隔で観測した下層風の変化状況を示す。

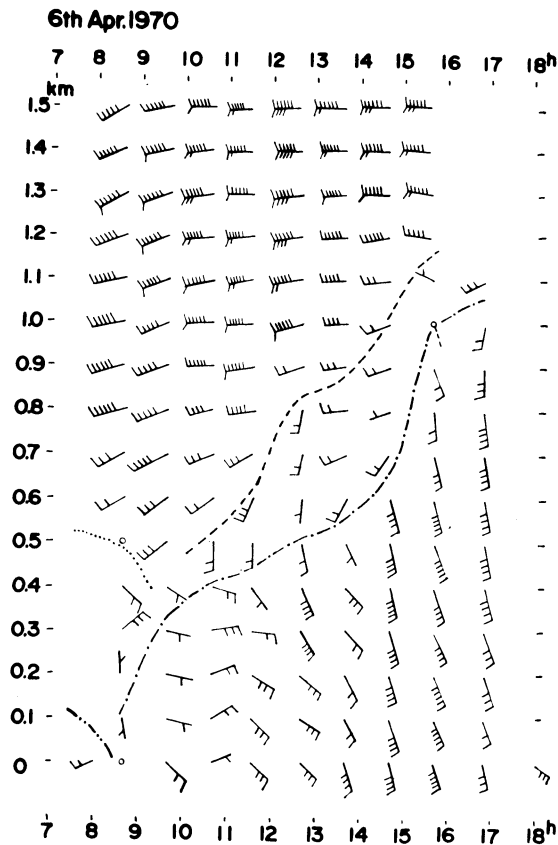
時間の経過に伴って上層の一般流が発達するのでNE風の層は低くなり、40分後には、その上面は約100m下がっている。また海風の発達に伴って、1時間後の9時33分にはNE風の層は全く消滅している。

気温の垂直分布の観測が無いので決定的なことは言えないが、この弱風層が接地冷却によって形成された気温の安定層であれば、パイバル観測によって、その存在が確かめられることは、早朝における気温の逆転層の高さを知る一方法として、パイバル観測の意義は大きいといえよう。

以上は、伊勢湾の海岸線から西に約5km離れた測候所における観測であって、一般論としては当てはまらないかも知れないが、気圧配置によって海風の高度はかなり異なることは指摘してもよからう。



第12図 1970年4月6日の海風



第13図 1970年4月6日の海風

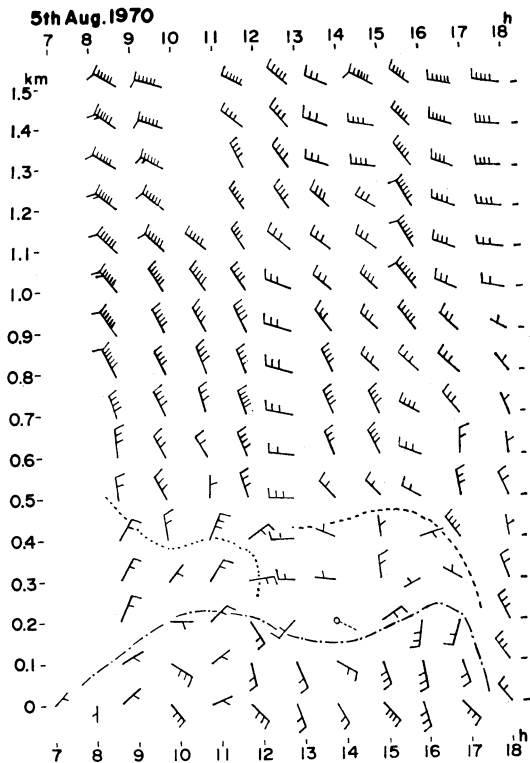
この外に海陸風の循環に伴って現われる上層の補償流³⁾の問題がある。四日市では、海風に伴う補償流は実況そのものから見出すことは難かしい。ひとつの試みとして、高度毎のベクトル差を求めて検討したが、良い結果は得られなかった。

7. 気圧配置と海風の強さ

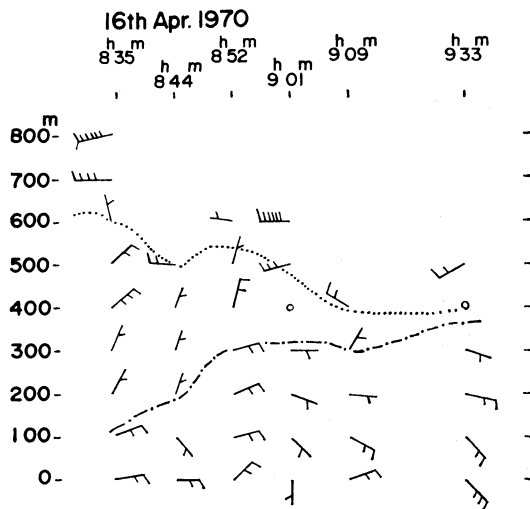
一般流に逆らって発現する海風と一般流に重なって発現する海風を検討するため、第16図に示すように9時の大阪と四日市の気圧差を横軸に、大阪と舞鶴の気圧差を縦軸にとり、晴天の日だけを選んで、測候所の9時から18時までの平均風速をプロットした。風向は9時から18時まで、すなわち日中の最多風向をとった。矢羽根は上層風の場合と同じく1本は1m/secである。資料は1968年の5月から8月を用いた。

両軸の中心は気圧傾度が0であり、この点を高気圧の中心と考えれば、横軸の+は高気圧の東側、-は高気圧の西側であり、また縦軸の+は高気圧の北側に当る。

1971年7月

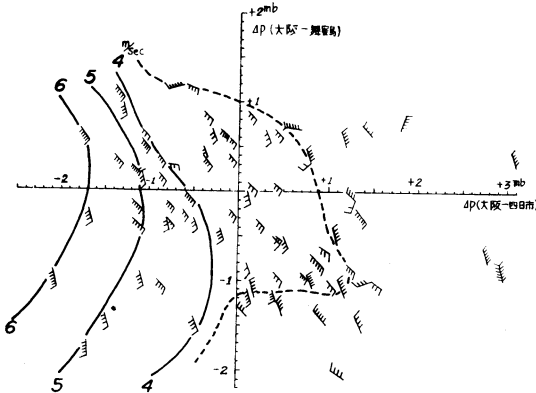


第14図 1970年8月5日の海風

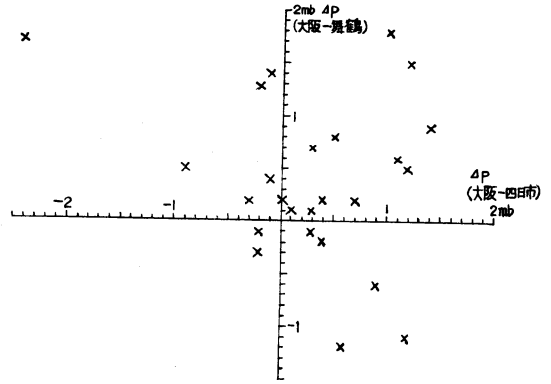


第15図 1970年4月16日の海風の10分間隔の観測

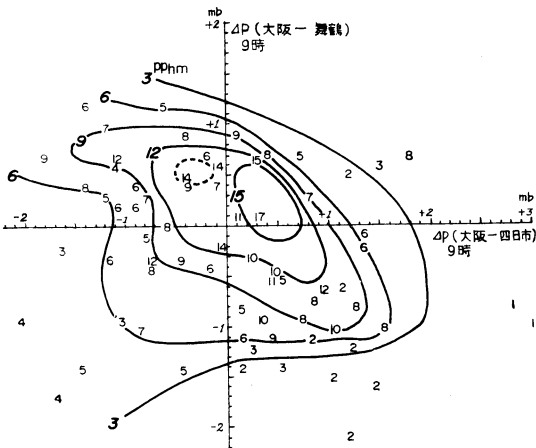
第16図の点線から右側はNW風の区域であり、左側は海風の発現した区域を示している。図の中心付近や、そのやや東側では平均風速3m/sec ぐらいの海風であ



第16図 9時の気圧差と日中の主風向と平均風速 (晴天) 1968年5月～8月 (矢羽根1本は1 m/sec)



第18図 公害警報が発令された日の9時の気圧差 1966年～1970年7月



第17図 9時の気圧差と日中の SO₂ 濃度 (晴天) 1968年5月～8月

り、左側すなわち中心から西に向うにつれて海風は強くなっている。

これは高気圧の東側では一般流に逆らった海風であり、高気圧の西側では一般流に重なった海風であることを示していると言えよう。

8. 気圧配置と SO₂ の濃度

四日市の市街地に設置された磯津を除く4地点の大気汚染自動観測点について、3地点以上の資料が揃った日の9時から18時までの SO₂ 濃度の平均を求めて、前節の方法により、風向風速の代わりに SO₂ の濃度をプロットすると第17図が得られる。資料は第16図の場合と同じく、1968年の5月から8月で、晴天の日だけを取り扱った。

第17図を第16図と対比すれば、SO₂ の濃度は両軸の中心付近の東側と北側の値が大きく、同じ SE 風の場でも西側ほど濃度は小さい。なお NW または W 風の場合は SO₂ の濃度が小さいことは言うまでもない。

両軸の交点を高気圧の中心とすれば、四日市市街地の SO₂ 濃度は、先に述べたB型およびD型の海風のときに最も高く、続いてA型、E型、C型の順になるとみてよからう。

参考までに、1966年から1970年7月まで四日市で公害警報が発令された日について、同様な方法で検討したものを第18図に示す。

この図の中心を高気圧の中心とすれば、×印は高気圧の中心付近に最も多いが、中心の東側と西側とをくらべると、東側が特に多くなっている。これは第17図で検討したことと一致している。

第7節と第8節は暖候期について検討したものである。この方法を寒候期に適用したが、あまりすっきりした結果が得られなかった。その原因としては次のことが考えられる。

- (1) 寒候期は暖候期に比べて日中の時間が短い。
- (2) 寒候期は暖候期に比べて海風の風速が弱いので、すっきりした形にならない。
- (3) 夜間の接地冷却によって形成される中部地方の局地性の高気圧による影響が、9時まで残っているの、大阪と四日市の気圧差に影響が現れる。

9. あとがき

四日市の海風と大気汚染との関係を考える場合の、ひとつの目安としての調査であり、海風の分類にはかなり主観的な面があると思われる。大気汚染と気圧配置との関係については、もっと広範囲の資料が必要であるが、

大気汚染気象ポテンシャルの子報のための実用性と小官署における作業量を考慮して、あえてこのような方法によった。

この論文は昭和43・44年度東京管区気象台調査研究補助費により、四日市測候所員一同が協力して行なった研究成果で、昭和44・45年度東海地区気象研究会の発表論文4編をとりまとめたものである。資料の提供を頂いた三重県公害センターの村田次長を初めとして、東京管区気象台ならびにご指導を頂いた津地方気象台長や関係官

に、謝意を表す。

参考文献

- 1) 津地方気象台，四日市測候所（1968）：四日市における大気汚染の調査，研究時報，**20**，438-469.
- 2) 二宮洗三（1960）：新潟の海陸風について，研究時報，**12**，719-723.
- 3) 舟田久之（1967）：海陸風，気象庁技術報告第50号，富山県の風に関する報告，48-76.

(372 ページからのつづき)

③生存条件に対する生態的制御の生理

の三つを考えました。またイギリスの動物生態学者エルトン (C. Elton, 1954) は野外において生態系の研究が進む次のような四つの段階を示しました。

①定性的観察にもとづく自然誌的段階

②単なる記載から、数を処理し、集団構造を解析する統計的段階

③個体群のからみあった生物社会の性質を、特定の個体群の変化や平衡をとおして調べる動的段階

④エネルギーの通路や出入りをとおし、生態系全体またはその一部の生産性を調査する段階。

A お話をきいていると、生態学が何を目的とし、どんな調べ方をするのかが大体わかってきましたが、科学の方法としては、ことさら新しいことはないように思いますが。

B 確かにその通りですが、生物という対象を考えると、対象に応じた方法の特殊性がうかび上がってきます。いま物理学——生物科学——社会科学とならべてみると、生物科学は上、下に二つのフロントを持つこととなります。その一つは基底部の物理・化学との接触面です。その領域にあるものとして生化学、生物物理、分子生物学などとよばれる分野があげられます。これに対して社会科学との接触面にあるのが生態学、生物社会学、動物心理学などの諸領域です。

A 学問の位置づけは解りましたが、生態学もやはり本質的には基底部の物理・化学の上に成立つてはおりませんか。

B そのような面も確かにあり、物理・化学的手段を全くぬきにして近代的な生態学は成立たないでしょう。

しかしながら生態学を単に物理・化学の一応用として解消してしまうわけにはいきません。

それは両側にある物理学と社会科学を直接比較してみるとよくわかります。たとえば社会科学は現象論的なもので、その本質は人間の生理学であるというようなことは誰も言わないでしょう。生理学にまで還元しないでも、社会のレベルで本質的な普遍法則の探究ということがある筈だからで、対象のレベルをぬきにした還元主義には不備があるのです。

A 最近、とくにエコロジーが問題にされるのはなぜですか。

B それは地球全体が一つの閉じた系として、そこでの環境汚染が進み、人間の生き方が問題になってきているからです。このような問題の取りあつかいには、従来やってきたような部分的な知識の単なる積み上げだけでは不十分で、もっと各分野の総合化がエコロジカルな形で望まれるのです。

気象学も名前通りの大気中の現象の認識の学問から、最近では環境科学の一端をになう学問として成長してきました。環境という以上、それは単なる外界ではなく、人間という生活する主体がかかわりをもつ事物になります。そこでは改めて価値とか目的が総合した形において問われることになるでしょう。それは純粋な解析的認識だけでは手に負えぬ問題です。私は昔ながらの気象学も、たとえば総観法のような特殊なすぐれた方法を生み出したことは認めますが、将来はさらに価値とか目的をもった気象技術を反映させながら、新しい分野が開拓されていくことでしょう。

(根本順吉：気象庁図書課)