

昭和50年秋季大会シンポジウム 「海陸風」の報告

まえがき

昭和50年秋季大会での「海陸風」に関するシンポジウムは、昭和50年10月30日午後、秋季大会々場の大阪府商工会館で、山元竜三郎氏を座長として開催された。座長のあいさつ、話題提供者の講演要旨および主な討論内容を以下に報告する。討論内容の整理は、水間満郎・岩本智之、岩嶋樹也の各氏にお願いした。

あ い さ つ

座長 山 元 竜三郎*

海陸風は、気象学において、最も古く、最も新しい課題の一つと言える。激しい風や雨を伴わないために、その予報の要望はなかったが、比較的規則正しい日変化のために、古くから関心を集め、19世紀後半には、欧州・米国などでの研究成果が既に発表されている。今世紀の半ば頃には、電波伝播に対して、ダクトを形成し、異常伝播の原因となる事で注目を集めた事もあった。近年、海岸地方の大気汚染に関連して、再び注目を浴びて、New York 付近などでの観測が行なわれて来た。大気境界層内の現象とは言え、高度 1 km またはそれ以上の気層内で起こり、また水平的には数 10 km の拡がりをもつ現象なので、その詳細な観測は、十分に行なわれたとは言えない。特に海岸線が直線でなく、また陸地に起伏があるなどの場合の観測は、むしろ、始められたばかりだと言うべきである。

理論的研究は、1920年代に、Jeffreys が、気圧傾度力・摩擦力・コリオリ力の釣合から海陸風理論を提示して以来、数々の理論が出され、1950年代半ば以後、数値積分による理論が発表されて来た。3次元モデル、一般

風の導入が試みられ、海風前線の simulation も目途がついたと言えそうである。しかし、熱や運動量のフラックスの算定など、問題は残されている。

わが国の海陸風について考える場合、海岸線の屈曲のみならず、瀬戸内地方のように、山が海岸近くまで迫っている場合も少なくない。特に後者については、殆んど理論的研究が発表されていなかった。

瀬戸内地方をかかえている関西支部では、環境問題に関連して関心が集中しており、過去3年にわたって、広島市において、海陸風に関するシンポジウムを開催したが、全国から研究者が多数参集されて、熱心な発表・討議がなされた。これらの会合により指摘された問題点などをふまえて、今回のシンポジウムを迎えたわけである。

本日は、先ず、宮田賢二氏に瀬戸内地方の海陸風の観測による実体を述べて頂く。次に、佐藤功氏から、大阪市付近での大気汚染との関連を話して貰う。3番目に河村武氏から、関東平野について、同様なお話を聞き、最後に、荒川正一氏から、数値シミュレーションについて、話題を提供して頂く事とした。

1. 瀬戸内海沿岸付近における海陸風**

宮 田 賢 二***

1. はしがき

瀬戸内海沿岸地域ではその温和な気候の中で、海陸風

は四季を通して現われる目立った局地気象現象として人々の注意をひき、昔から海陸風についての研究は他の地域に比べかなり多い。その上に昭和40年代に入って深刻化した大気汚染問題は、この地域の海陸風に再び注目させ、さらに多くの調査・研究が付け加えられて今日に至っている。それらの数多くの研究を通してこの地域の海

* R. Yamamoto, 京都大学理学部

** Land-and-sea breeze in coastal area of Seto Inland Sea.

*** K. Miyata, 広島女子大学

陸風の実態はかなり明瞭になってきているが、まだ十分調査されていないことも多い。

この点を明らかにするために海陸風を現象論的にとらえる上でのポイントを整理すると次のようになる。

- (1) 海陸風の空間構造(a. 水平方向, b. 鉛直方向)
- (2) 海陸風の強さ
- (3) 海陸風の時間的過程
- (4) 海陸風に及ぼす付加的要因の効果(a. 地形条件, b. 一般風, c. 成層状態, d. その他)

これらのポイントを総合的に調査したものはない。この中で詳しく調べられているのは地表付近の(2)と(3)についてである。最近では(1)-bの研究も多くなっている。従って(1)-aや(4)の各項、(1)を(3)の観点から調べたものなどが不十分である。特定の場所での調査が多く、大掛かりな調査を必要とするものが残された結果であろう。気象要素別に見ると風についての研究が大部分を占め、温度や湿度などの解析が少なく、海水温の観測なども重要な割りにあまりなされていない。

しかしこの地域の海陸風の第1近似的な特徴はこれまでの研究によって得られるように思われる。ここではそれについて整理することと、その他の特徴的な現象について触れることにし、地域的な差違や季節による変化などには触れない。

2. この地域の第1近似的な海陸風像

(1) 空間構造

a. 水平方向の拡がり

内陸へは約30km、海上には約20km位の拡がりがある。従って内海のどこでも海陸風の影響を受ける。内陸部では山谷風と重なる可能性がある。海陸風は一般的には海岸付近から始まるが、山谷風の影響などによるのかそうでない場合もある。

b. 鉛直構造

海風の拡がりは最盛時約300~700m、陸風は約100~400mである。海域部や内陸についてはまだよく分らない。下層に対する反対流は上層の一般風との区別がつけにくいのでその拡がりは明らかでないが、一応の目安としては海風の最盛時に1,000~1,500m、陸風では500~1,000m位を考えてよいのではなからうか。

(2) 強さ

海風は2~5m/s位、陸風は0~3m/s位である。海

風、陸風いずれも上空に風速は強まり、数百m付近に極大のあることが多い。

(3) 海陸風の時間的過程

海風は日出後2~4時間後に吹き始め、日没後1~2時間して陸風になる。なぎは海風、陸風の吹き始める前1時間位続く。陸風の弱い場所ではなぎが持続することになる(瀬戸の夕なぎ)。風向は時計廻りに変化する所が多いが場所によってはそうでない場合のあることも見出しされている(3の(2)参照)。

3. 特徴的な現象

(1) 下層ジェットのような夜間の風

宮田等によってひうち灘で見出しされ、その後内陸部でも同様の風が観測されている。日中の海風より強く顕著な風速の鉛直シャープを持ち、高度数百mに極大がある。夜半なぎの頃に吹き始め、数時間程度続く。

(2) 2種類の海風

佐橋は、この地域の海風は2種類の卓越風向を区別できること、さらに一方のタイプの時中国側は時計廻りの風向変化を示すのに対し、四国側は反時計廻りになっていることを見出した。この相違を一般風の効果として説明しているが、海風が何故2種類の卓越風向を持つかについてもまだ解決されていない。

(3) 広域的な海陸風構造

宮田等はひうち灘の周囲で行なった上層風観測データを用い、この海域を中心とする高度500m付近に境界を持つ広域的な3次元の循環構造の可能性を示し、瀬戸内海中央部における広域的な海陸風モデルを提案している。広瀬は瀬戸内海沿岸の全域にわたる地上風の主成分分析の結果から、紀伊水道を流出入する風の存在を示した。従来から注意されてきたことではあるが、これまでの海陸風のスケールを越えた大気の流動の可能性を示すもので今後の調査が待たれる。

4. あとがき

この地域の海陸風研究は質量ともに豊富であるが、なお瀬戸内海全域に及ぶ海陸風のダイナミックな振舞いとらえるには不十分であるように思える。その意味でも個別的な研究とともに、総合的かつ広域的な実態調査をぜひ実施させたいものである。最後に筆者の力量と勉強不足のため中途半端なReviewに終わったことをおわびしたい。

2. 海陸風と沿岸都市汚染*

佐藤 功**

わが国の大気汚染地域である工業都市はほとんど沿岸地方にあり、また汚染源の多くは海岸付近に存在していることから、大気汚染が海陸風と密接に関連していることはよく知られているところである。最近に至って漸く硫黄酸化物の排出規制がなされるようになったために、今日の大気汚染は窒素酸化物およびその二次汚染質が重視されるようになり、特に暖候期に多発する光化学スモッグに対する海陸風の役割についての研究が自治体などの関係者によって多くなされている。

これらの研究によって明らかにされている点は、①光化学オキシダント(Ox)は海風域内で高濃度となる場合が多い、②夜間陸風によって海上に運ばれた汚染物質は日中海風によって内陸へ運ばれる、③海陸風の交替期に現われる弱風が光化学反応を促進させる、④海陸風による鉛直循環により上空で生成されたOxが地表面へ運ばれる、⑤Fumigationを含む海風域内の不安定化による着地濃度の増加などである。したがってOx発生のための気象条件として海陸風の有無をあげ、特に海風前線に着目しているものが多くみられる。

しかしながらこれらの報告の多くは推論の域を出ない部分があり、例えば②については主として地上の流線解析による結果であり、汚染空気の大気流線解析によって実証されたものではない。また④については海上を含む大規模な観測結果に基づいて結論されたものはわが国ではまだ明らかにされておらず、大阪湾沿岸については海陸風の直接循環を明らかに促えた観測がない状態である。

海風域内におけるOx形成の過程を示した報告には大阪府が昭和48年度の大気環境調査として実施した観測結果に基づく「Ox高濃度出現過程における海風層内の変質と対流推定モデル」がある。これによれば海風による移流性の安定層の形成は風速4~6m/sの場合が最適で、2~3m/sでは変質混合がさかんととなり、また7m/s以上では乱流混合のために出現しにくいと報告されている。また海風による移流性の安定層は内陸へ入るに従ってその高さを増しながら弱められ、10数km内陸では海

風気塊はほとんど完全に変質して移流性安定層は解消する。そのために沿岸部では対流混合層上部の高濃度汚染質は地表面に到達しないが、内陸部では対流混合によって地表面に下降すると説明されている。

大阪府におけるOxはその発生時間数、ピーク濃度ともに海岸から10数km内陸で著しいが、沿岸部でも多発しており上述の機構では説明できない。沿岸部でしばしば午前と午後には2つのピークを持つ濃度変化を示すが、午前のピークは海風域内の内部境界層によるFumigationによって説明され、午後のそれは海風のReturn Flowによる汚染質の循環によるものとされているが、観測結果からの実証はない。

海風の内陸への侵入は一般流によって左右され、海風が一般流にさからって内陸へ侵入する場合に、郊外においては海風前線の通過と共に急激なOx濃度の増加が見られることがあり、これは光化学スモッグとして目視される場合もある。このような汚染気塊の移流はロスアンゼルス郊外で知られているものと同様な現象と思われる。

大阪では都心付近で海風前線通過前にOx濃度のピークが記録される場合がある。海風前線付近の詳しい観測例はなく都心部における高濃度の出現には疑問の点が多いが、大阪管区気象台が1975年夏に実施した海風前線付近の風の鉛直分布は一点における時間変化ではあるが、海風前線付近の構造を知る上に貴重な観測結果である。これについては別な機会に報告されるのでここでは簡単に述べる。海風が海岸付近で吹きはじめると都市域で陸風が弱まると海風前線にはほぼ平行に数km前方に収束線が形成され、都心部はこの疑似海風前線と主海風前線との間の発散場となり、この間でOx濃度のピークが出現している。このような現象は都市域に共通しているとは限らず、大阪平野における淀川、生駒山、また都心部を構成している上町台地などの影響によるものと思われるが、これらは今後の観測によって明らかにされるであろう。

Ox汚染は硫黄酸化物によるそれと違って10⁶mオーダーの気象現象に関連しているといわれており、確かに広域に発生するが、同時にその濃度分布は一様ではなく、特に都市域においては地面の状態、地物や地形効果

* Lana-and-sea breeze and air pollution in coastal city.

** I. Sato, 大阪管区気象台

などによる複雑な鉛直運動が寄与しているものとみられ、これらの説明にはより細かい観測が要求される。

3. 関東地方の汚染シミュレーション*

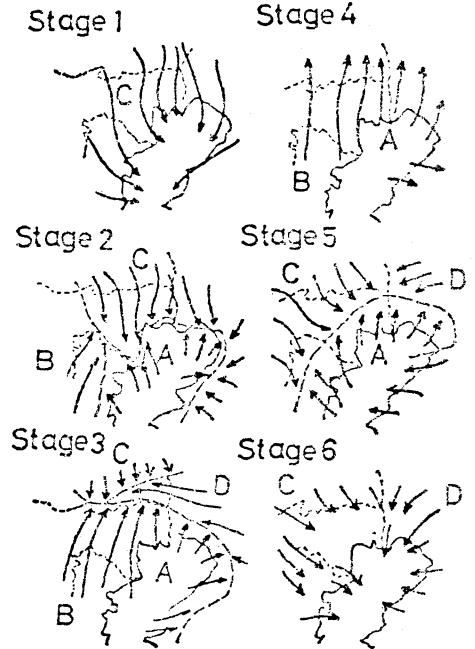
河村 武**

関東地方は南部の首都圏に日本の総人口の1/4が集中し、とくに東京湾沿岸を中心に大汚染地域が広がっている。したがって大気汚染濃度の分布は、海陸風などの局地風系の状態に支配されている。関東地方の大気汚染シミュレーションを行うには、まずこの局地風系を知る必要がある。

南関東の局地風系の立体構造については、気象庁が大規模な特別観測を実施中であるので、その結果にまたなければならぬが、暖候期の一般風が弱い日における東京湾周辺地域の地上風系の日変化のモデルは第1図のようになる。実際には毎日の風系の交替は、総観規模の気圧場と絡んで変化する。暖候期の高濃度光化学スモッグに関連して、日中の局地風系の分布は次の4種類の型に分類される。(A) 気圧傾度が南に高く北に低い型で、比較的早い時刻から南風が吹走する。(B) 気圧傾度がゆるやかで、第1図のモデルとはほぼ同じ日変化が見られる。(C) 気圧傾度は南よりも北がやや高く、南東風が吹きやすく、Stage 4 が現われにくい。(D) 北高型の気圧配置のため、北東気流が卓越し南よりの風が吹きにくい。光化学オキシダントの高濃度域(0.15 ppm 以上)は、(A) 型の場合は埼玉県以北の北関東に現われ、(B) 型では午前中は南関東に限定されるが午後には北関東まで拡がる。(C) 型の場合は埼玉県南部以南の南関東に、(D) 型では神奈川県に限られる。

関東地方では、これまでにいろいろなモデルによる大気汚染のシミュレーションが試みられているが、ここでは竹内清秀とその共同研究者によって最近行なわれた、光化学スモッグのシミュレーションを紹介する。

大気汚染のシミュレーションを行う場合、次の三点が問題になる。すなわち、汚染質の排出量(強度)の見積もり、汚染質の大気中の輸送拡散(変質を含む)の過程の取扱い、各地の汚染濃度の分布の観測で、これらのいずれもがシミュレーションの結果とその評価と関連を持っ



第1図 一般風が弱い晴天日における東京湾周辺地域の局地風の日変化のモデル

- Stage 1: 早朝～朝
 - Stage 2: 9～10時頃
 - Stage 3: 正午頃
 - Stage 4: 14時～夕刻
 - Stage 5: 21時～夜半
 - Stage 6: 夜半～早朝
- 風系 A: 東京湾の海風 B: 相模湾の海風
 C: 関東平野西部の陸風 D: 関東平野南部の陸風

ている。第1の汚染質の排出量については、東京都・神奈川県・埼玉県などは国や地方自治体などの資料がよく整備されている地域で、固定発生源(工場など)だけでなく、移動発生源(自動車)についての資料がある。しかしSOxやNOx以外の炭化水素についての資料が極めて少ない。また大気中に放出されるNO、NO2の割合も不明であるなど不十分の点があり、仮定を置いて作業を進めなければならない。第2の拡散場を示す気象資料、第3の汚染濃度の観測資料とも通常は地上観測資料がほとんどであるため、ここでは環境庁等の特別観測が

* Simulation of air pollution in Kanto District.

** T. Kawamura, 気象研究所

実施され、上層の風や気温、汚染濃度の資料が得られている日についてシミュレーションを試みた。

大気汚染の数値シミュレーションに使われるモデルは、大別するとボックスモデル、ブルームモデル、パフモデル、統計モデルなどに分けられるが、ここでは風の場が定常でない上に、光化学反応による汚染質の変質を取扱うことから、拡散方程式を数値的に解く拡散方程式モデルを採用した。対象地域は川崎市から東京都を経て埼玉県南部に至る地域である。大気汚染を取扱うにあたって、ラグランジュ流とオイラー流の二つのアプローチを試みた。ラグランジュモデルは、特定地点の汚染濃度とそこに影響する汚染源との関係を調べるのに適し、リセプターオリエンテッド方式で汚染質の排出を取扱った。これに対し、オイラーモデルは空間的な汚染濃度分

布の時間的变化を知ることができるのが特徴で、汚染源は一辺 2 km の格子に分けて入力した。

拡散方程式を解くにあたって、リッドは低層ゾンドの観測資料により決定し、また拡散係数は台形の鉛直分布を与えた。東京地域について予備段階で行った一次汚染質の SOx や NOx についてのシミュレーションでは実測値と計算値とがよく一致するが、オキシダントについては、全体に計算値が実測値よりも低くなり、満足できる結果は得られなかった。この原因は一つには前に述べたように一次汚染質（とくに炭化水素）の資料の不足が挙げられるが、さらに光化学反応の情報が不足している、シミュレーションに十分に取り入れられていないためと考えられる。

4. 海陸風の数値シミュレーション*

荒川正 —**

海陸風の数値シミュレーションに関して2つの話題を提供する。

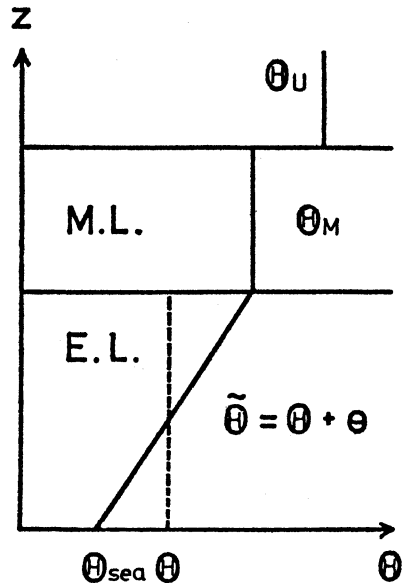
1. 数値シミュレーションの方法

Estoque (1961) 以来、海陸風の数値シミュレーションが進められてきて、現在では3次元のシミュレーションも行なわれるようになった。しかし浅井・吉門(1973)も述べているように、シミュレーションに関してはつぎのような点が問題とされている。

- (i) 質量の保存性
- (ii) 境界条件
- (iii) 鉛直乱流輸送

われわれはこれらの点を改良したモデルを作り、それを南関東地区にアプライしようとしている。われわれの改良点というのは、

(i) について：通常の格子法で層別化した層 (Euler 層とよぶ) の上に、実質面をもった層 (Material 層とよぶ) を置き、それらをもって全システムとする。この系は質量を保存する。なお実質面に生ずる外部重力波を除去するため、その上に無限に続く等温位層を想定する。この層はつねに静止しているとする (第1図参照)。Pielke (1974) はこの層を考えずに実質面は等圧面とし



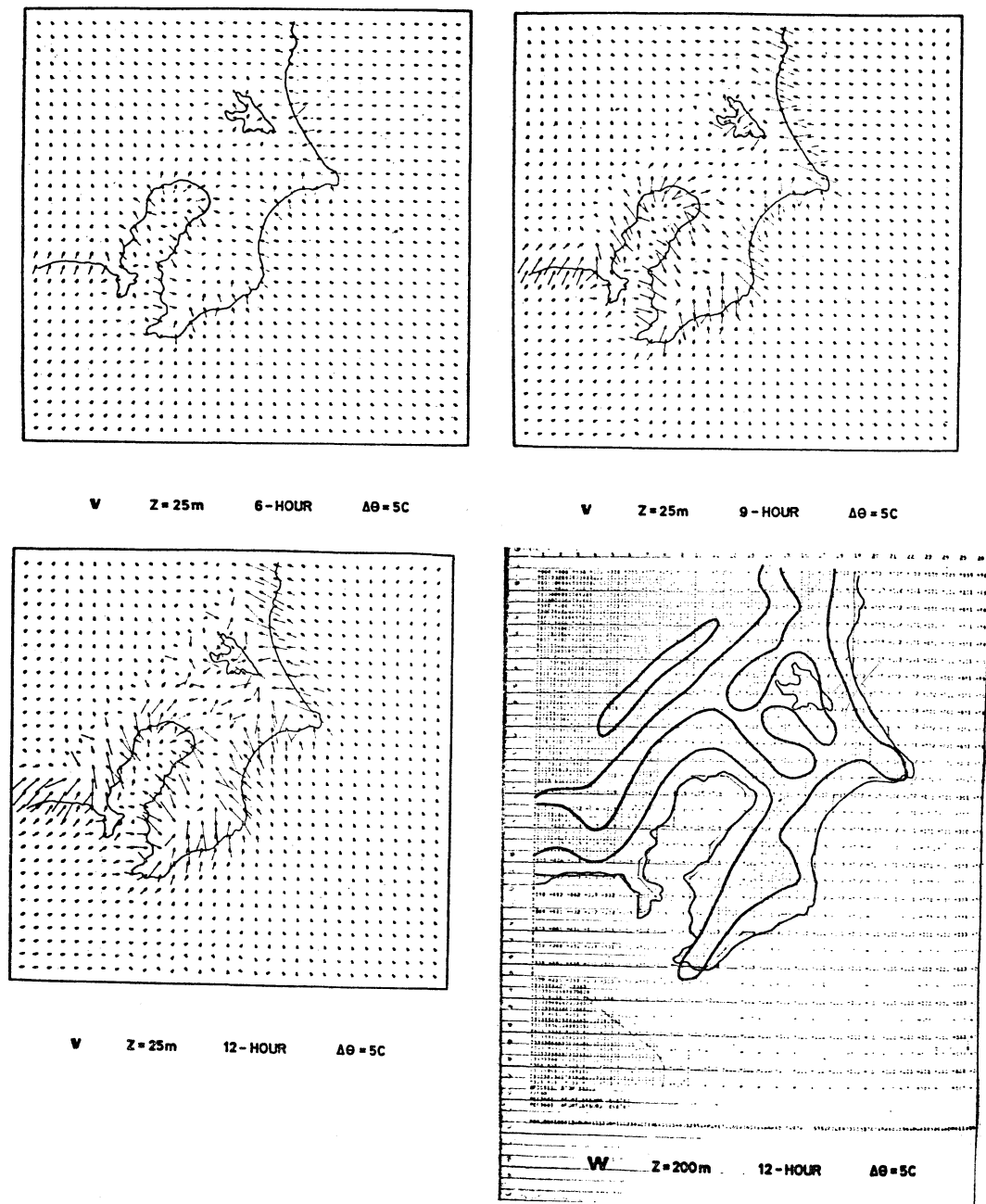
第1図 鉛直方向への層の分割と初期の温位分布。

E.L. は Euler layer, M.L. は Material layer の意で、E.L. は地表から 2,000 m まで11層に分割されている。M.L. の厚さは最初 800 m とした。

て扱っている。それ故外部重力波は除去されず、Pielke のばあいの時間間隔は $\Delta x = 11 \text{ km}$ として20~60秒であった。しかしこのモデルでは $\Delta x = 7.5 \text{ km}$ として3分

* On numerical simulations of the sea and land breeze.

** S. Arakawa, 気象大学校



第2図 高さ 25 m における水平風の分布 (上2枚と左下).

スタートから 6, 9, 12時間後のもの. 右下は高さ 200 m における鉛直流の分布. 陰影部は上昇域 (12時間後のもの).

とすることができた.

(ii) について: Material 層に関する横の境界条件は, 風速に関しては法線傾度なし, 層の厚さは一定とした.

これは領域内に発生した重力波を透過させるに十分である. Euler 層では全ての物理量に関して上の風速と同条件としたが, これにはまだ一考の余地があるように思

う。

(iii) について：鉛直方向の運動量 および熱の渦拡散係数 K_M, K_H の鉛直分布に関しては、著者によりまちまちである。接地境界層内の分布はどの著者もほぼ直線分布である。エクマン層内の分布について、Magata (1965) は一定とおき、Estoque は一次的に減少、McPherson (1970) は指数関数的に減少、Pielke は3次曲線としている。Magata のばあいを除き、どの著者のばあいも安定度と風速の関数として与えている。Pielke のばあいにはとくに凝っていて、KEYPS 方程式の解から K_M, K_H を求めている。われわれも Pielke の方法を採用しようとしているのだが、この方法は静止状態から出発するとき問題がある (Pielke は一般風のあるばあいしか取り扱ってない)。われわれのテストでは静止状態から出発させたとき一度も成功していない。それで現在は Magata の分布をとり入れて実験している。

2. シミュレーションの結果

上のモデルを関東地方の地形にアプライした例を示す。初期状態として安定成層をもった静止大気を考え、海陸の温度差はないものとする (第1図参照)。その後海面温度は一定であるが、地面温度は日較差 10°C をもって正弦的に変化するものとする。

第2図は計算結果である。スタートから6, 9, 12時間後の高さ 25m における風速の分布と、12時間後の高さ 200m における上昇速度の分布である。この図からつぎのような特徴が見られる。

イ) 海風は時間とともに次第に強さを増しながら時計回りに旋回している。しかし東京湾東岸は逆回りをする。これは実測結果と一致しているが、後者の問題についてはまだ定説がないようである。

ロ) 房総半島の収束線、霞ヶ浦周辺に収束線が現われる。これは w の場により顕著である。これは房総半島の日中の積雲、利根川沿いの収束線などの形で実際にも観測されている。

ハ) 海風前線も w の場から見た方がよい。相模湾岸、東京湾西岸では海風前線が顕著で、海岸から内陸 15km ほどのところに帯状に存在する。そのさらに内陸 20km ほどのところにもう一本の帯状の上昇域が現われる。これは佐藤功氏の指適する2次の海風前線に相当するものと思われ、海風循環から発した内部重力波とみなされる。

18時間後ころから境界の影響と思われる乱れが出はじめる。境界条件 (とくに Euler 層) になお一工夫必要と

思われる。

なおここに提供した話題は、菊池幸雄 (気象庁電計)、白崎航一 (気象大学校)、長野美文 (気象庁電計) らとの共同研究をもとにしている。

文 献

- 浅井富雄・吉門 洋：天気，20，1-10 (1973).
 Estoque, M.A.: Q.J.R.M.S., 19, 244-250(1961).
 Magata, M.: Pap. Met. Geoph., 16, 23-37(1965).
 McPherson, R.D.: J. app. Met., 9, 767-777(1970).
 Pielke, R.A.: Mon. Wea. Rev., 102, 115-139 (1974).

討 論

根山 (呉)：瀬戸内の海陸風を考えると、山陽側では海岸線から 10 ないし 30 km 位に山の斜面があり、当然斜面風と海陸風がひとつになる可能性がある。広島で放球されたテトルーンはたしかに南風によって山の中へずっと入っていくが、海風の最盛期には山の方でも谷風が吹いている。両者の関連についての考え方を聞きたい。

宮田：その点はすでに議論がなされており、例えば山本武夫の研究によると山口盆地の谷風と瀬戸内の海陸風がある時間後に結合しているという報告がある。しかし従来の研究のほとんどは沿岸付近に限られているので尚今後の課題である。海風の陸地への侵入については谷風の影響は考えられるにせよ 20 ないし 30 km というのは妥当だと思う。

根山：広島において海岸線から直角に4点山の中へ展開した観測の資料を調べてみると、海風の始まりは中国山脈の中まで追跡できる。海風がどこで谷風になったかわからない。地上での風の資料も集まりつつあるので山の斜面を含めたモデルの開発が必要である。

根山 (呉)：海風前線の鉛直的なかたむきはどうか。

佐藤：目視の限りでは、前方にかたむいているものと後方にかたむいているもの両方ある。

根山：アメリカでのレーダエコーの解析では陸地に向かってかたむいているといわれる。

佐藤：大阪では後方にかたむいているものが多いように思う。

岡林 (大阪航空)：用語は分りやすく願いたい。例えば material layer とは何か。

荒川：その層をつぎ抜けては物質は移動しないという意味である。

藤田（気研）：上昇下降分布が海風前線にもなって出ているが、その移動速度・波長といったものはどうか。

荒川：移動速度は見積っていない。9時間のときになく、12時間のものに現れている。最後の断面では霞ヶ浦の循環に邪魔されて追跡し切れない。移動速度が風速より早いことはたしかである。

梶原（高松）：海陸風のメカニズムを考える場合、日射と同様海水の表面温度が影響すると考えられるが、資料の整理の際どのように処置しているか。香川県公害監視センターの資料では海風の吹きはじめが日出後2時間という場合が多いが、一般流がない場合で天気がよく日射が効いているのに海風の吹きはじめがおそい例がある。前日の夜間の内陸部の気温と海水の表面の温度との差が大きいとき海風の吹きはじめがおそくなるようである。

宮田：大阪湾においてもそのような例があることは聞いている。

梶原：海陸風のメカニズムをミクロ的にみると、潮流が局地的に強い所で垂直混合が効いて表面水温が低くなり、そのような場所の付近の海陸風循環に影響を及ぼしているとみられる例がある。

宮田：従来の瀬戸内の観測では局地的なものが多くその代表性がよく分らないので、自分は広域的なものを強調した。今後は広域的なものと同局的なものとの関連を明らかにする必要がある。

孫野（北大）：汚染質の数値シミュレーションで NO と NO₂ ではオーダが合ったというが、発生源の与え方がよかった所を評価すべきか、拡散係数の与え方を評価

すべきかいずれであるか。（大事な所だという声あり）

河村：汚染源の資料は現在可能な範囲で一番よいものでそれ自体の精度のよさはあるが、それだけで常にうまくいくとはいえない。

竹内（気研）：拡散のシミュレーションでの問題点は発生源の与え方で、NO_x として考える場合はいいが、NO と NO₂ を区別して考える際には、初期値としてどのような割合で与えるかが問題である。現在は半々に与えている。炭化水素については排出の分布がよく分らないので一定として濃度で与えたが問題が残っている。拡散係数については sensitivity analysis によると鉛直分布型でなく値の大きさが問題である。光化学反応式そのものにもむづかしい所があり、計算速度と容量を考えて単純化しているがそこにも問題がある。要するに反応過程と NO と NO₂ の発生割合をどうきめるかが問題である。

山本（宮城教大）：Pielke から海陸風の数値シミュレーションの際安定な場合 KEYPS でなく Yamamoto-Shimanuki の式を用いたらいい結果が得られたという手紙を受けとっている。その後最近 Yamamoto-Shimanuki の式を更に改良したものを発表しているのでそれを用いることを考えてほしい。地表面温度についてはサイン型のものを与えているが、むしろ放射などを考慮して地表面温度の日変化を計算しそれを使うことにしてはどうか。

荒川：Yamamoto-Shimanuki の式はグループで検討しているがまだ使い切れていない。地表面温度条件を free にすることについては今後検討したい。