

TECHNICAL REPORTS OF THE METEOROLOGICAL RESEARCH INSTITUTE No.11

OBSERVATIONS AND NUMERICAL EXPERIMENTS ON LOCAL CIRCULATION
AND MEDIUM-RANGE TRANSPORT OF AIR POLLUTIONS

By

APPLIED METEOROLOGY RESEARCH DIVISION, MRI

気象研究所技術報告

第11号

局地風と大気汚染物質の輸送に関する研究

応用気象研究部

気象研究所

METEOROLOGICAL RESEARCH INSTITUTE, JAPAN

MARCH 1984

Meteorological Research Institute

Established in 1946

Director : Dr. S. Moriyasu

Forecast Research Division	Head : Mr. T. Yoshida
Typhoon Research Division	Head : Dr. M. Aihara
Physical Meteorology Research Division	Head : Dr. T. Okabayashi
Applied Meteorology Research Division	Head : Mr. N. Murayama
Meteorological Satellite Research Division	Head : Dr. K. Naito
Seismology and Volcanology Research Division	Head : Dr. H. Watanabe
Oceanographical Research Division	Head : Dr. H. Iida
Upper Atmosphere Physical Research Division	Head : Dr. M. Kano
Geochemical Research Division	Head : Mr. T. Akiyama

1-1, Nagamine, Yatabe-Machi, Tsukuba-Gun, Ibaraki-Ken 305, Japan

Technical Reports of the Meteorological Research Institute

Editor-in-chief : Dr. T. Okabayashi

Editors : Dr. T. Akiyama Mr. H. Kondoh Dr. Y. Sasyo
 Dr. T. Yoshikawa Dr. J. Aoyagi Dr. M. Seino
 Dr. M. Endoh Dr. K. Kodera Dr. K. Fushimi

Managing Editors : K. Nishida, H. Nishimura

Technical Reports of the Meteorological Research Institute

has been issued at irregular intervals by the Meteorological Research Institute since 1978 as a medium for the publication of survey articles, technical reports, data reports and review articles on meteorology, oceanography, seismology and related geosciences, contributed by the members of the MRI.

序

気象研究所応用気象研究部では1980年代初期における応用気象の研究として特に大気汚染気象の研究に重点を置いて実施してきており、経常研究のテーマはこれと何らかの関係をもった低層大気の物理過程の研究から構成されている。これらの研究を基礎にしたより実用的な研究のひとつとして、大気汚染質のうち特に二次汚染質の挙動を気象学的側面から究明するため、“局地循環と大気汚染物質の長距離輸送”という課題(気象庁予報部要望課題)を環境庁国立機関公害防止等試験研究費(1980～82年)による特定研究として実施した。この研究は野外気象観測と数値モデルによるシミュレーションからなり、試験地域として沿岸の複雑地形を選んだ。海陸風や山谷風などが関与した局地気象とそれの影響下にある大気汚染質のメソスケールの輸送の解明を目的として実施した。

大気境界層の気象の野外観測については、古くは米国のO' Neillのもの、近年はオーストラリアのWangara実験(1967年)、Koorin実験(1973年)があり、それぞれ後日データを含む印刷物が刊行されている。これらは平坦地の特殊な気候帯のところでのより大規模な野外観測である。また日本においては環境気象評価のためのいくつかの観測が1970年代に行なわれ、とりわけ南関東大気環境調査(1976年)は大規模な野外観測であり、それぞれ報告物が出版されている。これらの野外気象観測よりは期間が短かく規模は小さいが、より複雑な地形——熱的にも幾何学的にも複雑という意味の complex terrain——での、昼夜連続の局地気象観測のデータは数少なく貴重である。一般にこの種の気象観測には多くの経費と労力を要するという意味でも第一目的以外の多くのことに役立てることが大切であり、この主旨において本技術報告に記すことにした。一方本研究のうちの数値モデルについては現在世界の気象界における研究のレベルを見るときや先がけた成果が得られていると思う。数値モデルの例証については大局的に見てかなり良いものであるが、パラメータの不確定さや観測データの代表性などの点からまだ不十分であり、これらはこれからの多くの進んだ研究にまつられるものである。

特定研究については、1979年に菊地幸雄(応用気象研究部長)らによって計画され、1980年から3年間実施された。観測の実施計画は原田朗、村山信彦、吉川友章らによって立案準備を行なった。

野外観測の実施に当たり、大阪管区気象台と管内気象官署(松山、岡山、広島、高知、高松、室戸岬)および現地の地方自治体特に愛媛県、岡山県、香川県の各公害関係研究センターの協力をえた。1980～81年の野外観測は環境庁が実施する地方自治体の観測と同時に実施し、資料の交換を行った。トレーサ実験は主として試料分析について日本原子力研究所との協同研究(矢野直ほか)によって実施された。また一部の観測で防衛庁の協力をえた。全般の観測について下記の応用気象研究部職員によるほか日本気象協会、昭和航空の受託によって実施された。現地観測は本報告書各

章執筆者ほか数人の職員ないし執筆者以外の職員のグループによって実施された。数値実験は主として木村富士男、荒川正一らにより気象研究所電算機 M200 Hを使用して開発された。本報告書のとりまとめは主として佐藤功が当たった。

研究の中間成果は1981年、1982年の日米大気汚染気象委員会にも報告された。

本研究の担当者は荒川正一、木村富士男、小出孝、小林隆久、佐藤純次、戸矢時義、村山信彦、矢野直、吉川友章(以上1980～82年)、原田朗(1980年)、鈴木彌幸(1981、82年)、佐藤功、栗田進(以上1982年)、白崎航一(1981、82年研究協力者)である。

昭和59年2月

気象研究所 応用気象研究部長

村 山 信 彦

目 次

序

概要(和文)	1
概要(英文)	5

第1章 地上・低層気象観測	11
1.1 観測地点	11
1.2 観測時刻	20
1.3 観測装置の仕様	22
1.3.1 低層ゾンデ	22
1.3.2 係留気球	23
1.4 代表地点の観測結果およびデータ収録仕様	24
参考文献	32

第2章 瀬戸内海の家陸風の特性と局地気象現象	33
2.1 瀬戸内海の家陸風の特性	33
2.1.1 1980年度観測	33
2.1.2 1981年度観測	36
2.1.3 1982年度観測	40
2.2 風速分布	44
2.3 混合層	44
2.4 K_z の地点別特性	48
2.5 瀬戸内海の家陸気象現象	50
参考文献	51

第3章 ノンリフトバルーンによる気流観測	55
3.1 観測の概要	55
3.2 観 測	55
3.3 観測結果	58
3.4 解析例	71
参考文献	71
付 録 ノンリフトバルーンの調整	72

第4章 航空機観測	79
4.1 はじめに	79
4.2 観測機器	79
4.2.1 航空機	79
4.2.2 サーミスター温度計	82
4.2.3 白金抵抗温度計	82
4.2.4 露点計	84
4.2.5 Lyman-alpha湿度計	86
4.2.6 赤外放射温度計	89
4.2.7 日射計・長波長放射計	90
4.2.8 パーティクルカウンター	93
4.2.9 大気汚染測定装置	93
4.2.10 大気サンプリングシステム	94
4.2.11 VTR システム	96
4.2.12 データ収録装置	96
4.3 80年観測概要	98
4.4 80年観測結果の解析と考察	105
4.4.1 温位と大気汚染質濃度の鉛直分布の特徴	105
4.4.2 大気汚染質濃度の水平分布の特徴	105
4.5 81年観測概要	107
4.6 81年観測結果の解析と考察	117
4.6.1 大気汚染質濃度と温位、混合比の鉛直分布の特徴	117
4.6.2 地表面温度の日変化	117
4.6.3 水蒸気変動量の観測	123
4.6.4 エーロゾルの観測	127
4.7 82年観測概要	128
4.8 82年観測結果の解析と考察	138
4.8.1 大気汚染質濃度の鉛直断面の特徴	138
4.8.2 積雲内の汚染濃度	142
4.9 ドップラー航法による風の観測	143
4.9.1 測定原理	143
4.9.2 観測の概要	144
4.9.3 観測結果と考察	145

4.10	まとめ	147
	参考文献	148
	付 録	149
	1 データ処理のブロックダイアグラム	149
	2 航空機観測データMT情報	151
第5章	ドップラーソダによる気流と乱流パラメータの3次元測定	159
5.1	装置の基礎概念	159
5.2	実地測定	160
5.3	拡散パラメータの検討	164
5.4	あとがき	167
	参考文献	167
	付 録	168
	1 各種の測定による拡散パラメータの算定式	168
	2 ドップラーソダのMT収録仕様	168
第6章	エア・トレーサーによる拡散実験	173
6.1	はじめに	173
6.2	Activable Multiple Air Tracer (AMAT) システム	174
6.2.1	放出方法	175
6.2.2	サンプリング	176
6.3	トレーサー実験	177
6.3.1	新居浜におけるトレーサー予備実験	177
6.3.2	海陸風循環内におけるAMAT輸送実験	181
6.4	AMATの沈着および比較実験	193
6.4.1	実験の目的	193
6.4.2	野外トレーサー実験の概要	193
6.4.3	結 果	195
6.5	結 論	201
	参考文献	201
	付 録 トレーサー実験データ	204
第7章	局地気象モデルを利用した光化学大気汚染の数値シミュレーション	217
7.1	はじめに	217

7.1.1	大気汚染研究における局地風の重要性	217
7.1.2	局地風の研究へのフィードバック	217
7.1.3	数値モデルの概要	217
7.2	局地気象モデル	218
7.2.1	基礎方程式	218
7.2.2	地面からの熱収支	221
7.2.3	境界層の扱い	225
7.2.4	上部境界条件	227
7.2.5	水平方向の境界条件とワンウェイネスティング	229
7.3	大気汚染モデル	231
7.3.1	移流拡散モデル	231
7.3.2	パラメータ化した光化学反応	232
7.4	2次元の海陸風と光化学大気汚染	239
7.4.1	計算条件	239
7.4.2	風と汚染の立体分布	241
7.4.3	地上濃度の日変化	243
7.4.4	まとめ	247
7.5	中国・四国地方の静穏時の局地風シミュレーション	247
7.5.1	実測風の特徴	247
7.5.2	数値シミュレーションによる地上風の特徴	249
7.6	観測期間中の局地風と大気汚染のシミュレーション	253
7.6.1	1981年度観測との比較	253
7.6.2	1982年度観測との比較	276
7.7	関東地方への応用	285
7.7.1	関東地方の光化学大気汚染の特徴	285
7.7.2	計算の条件	286
7.7.3	シミュレーションの結果	288
7.7.4	結果の検討	291
7.8	まとめ	294
	参考文献	295
	関係発表論文リスト	297
	図・表説明リスト(和文)	301

概 要

現在、社会的、行政的に問題になっている光化学スモッグは、大気中における汚染物質の滞留時間および輸送距離が長いこと、汚染源と被汚染地域の地理的な関連が明らかでない場合が多く、大気汚染防止対策を困難なものにしている。このような現状において、わが国の今後の大気汚染防止対策を進めるため、発達した局地風のもとで、長時間にわたって輸送される大気汚染物質の挙動に関する研究が必要である。本研究はこのような背景のもとに、瀬戸内海の中央部の燧灘とその周辺地域を観測および実験の対象地域として、下層大気における局地循環と大気汚染物質の長距離(100～200 km)、長時間(1～2日)にわたる輸送現象を解明することを目的として計画した。

研究は、現象やその実態を解明する手段によってつぎの3項目より構成されている。

- (1) 局地循環の実態の解明
- (2) 大気汚染物質の100～200 km、1～2日にわたる輸送の解明
- (3) 数値シミュレーションによる局地循環内の輸送の解明

(1)、(2)は現地における観測・実験によって遂行され、(3)は数値モデルによる実験である。また(2)で行う中距離用多重トレーサー実験は、その手法の開発を行い、それを野外実験に用いた。

本研究の観測と実験は3年計画で行なったが、初年度と2年度は環境庁・関係自治体などで同時に観測が行われたので、解析にあたっては他機関のデータも使用した。当部が実施した観測および実験項目は下記の通りである。

〔初年度(1980年)〕

項 目	観 測 方 法	観 測 要 素	観 測 地 点	観 測 日 時	備 考
地 上 気 象	一般測器と目視	一般気象	新居浜・魚島 福山	7月22日 9時 ～24日 11時	毎 時
上 層 風	1点セオドライト によるパイボール	風向・風速 (地上～3000m)	”	”	”
鉛 直 気 温	低層ゾンデ	気 温	新 居 浜	7月22日 9時 ～24日 9時	毎3時間
低層風鉛直分布	バイスタティック ドップラーソーダ	風向・風速 風の乱れ	”	7月22日～24日	連続測定
ノンリフトバルーン	テトルーン レーウィンゾンデ 2点追跡	気球の軌跡	”	期間中6回	船上・陸上 放 球
航 空 機 観 測	航空機による直 接測定	O ₃ 、NO _x 濃度 海地表面放射温度	燧灘およびその 周辺地域	期間中6回	
ト レ ー サ ー 実 験	希土類元素の放 射化分析	ト レ ー サ ー 捕 集	新居浜周辺	放出:期間中5回 捕集:深夜を除く 毎2時間	放出:船上、陸上各点 捕集:船上、魚島 新居浜7点

〔2年度(1981年)〕

項目	観測方法	観測要素	観測地点	観測日時	備考
地上気象	一般測器と目視	一般気象	松永、鞆、竹原、魚島、宮窪、三崎、別子、観音寺、新居浜今治、春風丸	8月19日6時～22日9時	76回 ただし新居浜のみ18日9時～23日12時の124回
上層風	1点セオドライトによるパイボール	風向・風速 (地上2000m)	〃	〃	毎時
上層気象	低層ゾンデ	気温・湿度 (地上～2000m)	新居浜・松永魚島	19日6時～22日9時	気温26回(3時間毎) 湿度13回(6時間毎)
	係留気球 無線・自動印字	風向・風速 気温・湿度 (海上400m)	春風丸	19日15時～21日21時	3時間毎
低層風鉛直分布	バイスタティック ドップラーソーダ	風向・風速 風の乱れ (地上500m)	新居浜	18日から28日までの10日間	連続測定
ノンフットバルーン	テトルーン レーウィンゾンデ 2点追跡	気球の軌跡	〃	期間中10回	
航空機	航空機による直接測定	風向・風速 気温・湿度 日射・地(海)面 放射温度 O ₃ 、NO _x 濃度 エアロゾル	燧灘とその周辺の地域	風向・風速 19日と21日の9時と13時、O ₃ 、NO _x 濃度等は19日と20日は3回 21日は2回	
トレーサー実験	希土類元素の放射化分析	トレーサー捕集	放出：地上、船上 航空機上各1点 捕集：新居浜8点 鞆、魚島、春風丸 宮窪、三崎、観音寺、東予、北木島 弓削、伊予三島、玉津、長津、関川、漁船	放出：8月19日 8月21日 それぞれ3回ずつ 捕集：20日の夜を除き2時間毎	

〔3年度(1982年)〕

項目	観測方法	観測要素	観測地点	観測日時	備考
地上気象	一般測器と目視	気温、湿度 全雲量、視程、 天気	吉川、総社、倉敷、坂出、満濃、財田、高知	7月27日9時～30日9時	毎時(73回)
上層風	1点セオドライト パイボール	風向・風速 (地上2000m)	〃	〃	〃
上層気象	低層ゾンデ	気温・湿度 (地上2000m)	総社、倉敷 与島	7月27日9時～30日9時	3時間毎(25回)
	係留気球 観測装置	気圧、気温、湿度 風向・風速 (地上500m)	満濃	〃	〃
低層風鉛直分布	バイスタティック ドップラーソーダ	風向・風速 風の乱れ (地上～500m)	岡山	7月24日～8月7日 8月12日～8月22日	連続
航空機	航空機による直接測定	風向・風速、気温、湿度、日射 地(海)面放射温度 O ₃ 、NO _x 濃度 エアロゾル	高知・伊予三島・三崎・高梁線上 高さ300～3500m	7月27日～29日	
トレーサー実験	希土類元素の放射化分析	沈着による損失と鉛直濃度分布への影響	筑波	8月4日～6日	放出：気象研究所 南南西3.2km 農業技術研究所 40m の給水塔

数値シミュレーションについては下記の年次計画によって行った。

初年度：局地循環のシミュレーションが可能な数値モデルの開発と計算領域の決定に関するテスト。

二年度：初年度開発したモデルの改良と、それによる種々の一般場における局地風循環の数値実験。

三年度：局地風による汚染質の輸送を数値実験するための光化学反応をとり入れた新しいモデルの作成。

上層風の観測から

- (1) 地表付近の海陸風の上層には、四国側には顕著な反流が認められるが、中国側には海風の反流はほとんどみられないこと。
- (2) 日中の局地循環は四国側でより顕著に現われること。
- (3) 下層にジェット状の強風域が発生すること。
- (4) 夜半から早朝にかけては、アメダスデータからは陸風が明瞭に認められない場合でも、100m層では陸風が明瞭であること。
- (5) 海風時の海面上の発散線は海峡部ではほとんど定まった位置にあるが、燧灘では中央～北部を振動すること。
- (6) 中国側の海風収束線は地形を反映して複雑であるが、四国側では山が急峻なために、谷風が発達して、短時間に内陸に達すること。
- (7) 一般流と海陸風が逆方向のところでは、2つの風系の間100m程の転移層が認められること。

などが明らかになった。また燧灘では、海上には夜間に厚く、日中ほとんど消滅する冷氣塊が存在し、海陸風との対応が示され、また雷雨による鉛直方向の熱交換の地域差によって、中国側と四国側との海陸風に変化のあることが認められた。

1980、1981年の航空機観測により、

- (1) 早朝燧灘周辺の広い地域にわたって高さ500mくらいまで、 NO_x の濃度が高いこと。
- (2) 早朝 O_3 の高い層が高さ500m以上に観測される場合があること。
- (3) 午後になるとかなりの量の汚染質が高さ1500m以上の上空まで輸送されることが明らかになった。1982年には、
 - (1) 早朝 NO_x は燧灘では高さ500m以下で、 O_3 は500～1000mの層で高い。
 - (2) 午後になると O_3 やエアロゾルの層は四国山脈の南北斜面と中国側で厚く、2000m付近まで達しているが、燧灘での汚染空気は層は浅くなること。
 - (3) 四国山脈の上層に輸送された汚染質は上層反流によって燧灘の上層へ戻されていることが観測された。
 - (4) 雲中の汚染質の分布から、発達した積雲は O_3 の鉛直輸送に重大な影響を与えているととも

にエーロゾルの強い除去作用のある可能性が見出された。

トレーサー実験の結果、

- (1) 新居浜付近では、陸風時、海風時ともトレーサーは遠距離にまで運ばれず、放出点付近に長時間滞留すること。
- (2) 海岸から20 km 沖合で航空機から午後海風にのせて放出したトレーサーは、陸上で長時間にわたって捕捉され、放出後11時間たっても検出された。
- (3) 今回用いたトレーサーは距離50 km、時間40時間以上追跡可能であることが認められ、地表面への沈着も1%以下にすることが可能であること。

などがわかった。

ドップラーソーダによる観測では、

- (1) 水平流はパイボールによる観測結果とよく一致した。
- (2) 鉛直流は海風、陸風ともその吹きはじめのころ400～500mの高さで著しい上昇が起り、海風や陸風の最盛期には下降流域が厚くなる傾向が認められた。
- (3) 鉛直方向の乱れは一般に下層で大きく上空で小さいが、風向急変を伴うじょう乱では上空まで乱れることが観測された。

ノンリフトバルーンによる観測では、燧灘南部海域での海風循環は沖合10 km 付近でも測定され、そこでは海から陸に向かう流れは300～400mの厚さを持っていることなど、海上における海風循環の模様を7時間にわたってとらえた観測例が得られた。

数値シミュレーションは局地風に関する既存のモデルを改良して、種々の一般流のもとでの海陸風循環について、現実的な再現に成功した。また局地風による汚染質の輸送を数値実験するための新しいモデルを開発した。このモデルは光化学反応について大巾に簡略化されているので、精度上の問題は多く残されてはいるが、従来の汚染モデルで扱うことがほとんどできなかった局地風による汚染質の三次元的な輸送を、詳細な気象資料を要しないで見積ることが可能となった点など、大気環境の予測に有効な手段となるものと思われる。

SYNOPSIS

The present project consists of three parts: (a) observation of the meteorological field with local circulations under complex terrain, (b) observation of medium-range transport of air pollutants and (c) numerical simulation of local circulation and transport of air pollutants in it.

The studies were performed for the three fiscal years 1980 to '82. The observations (a) and (b) were made in the central part of the Inland Sea and its coastal regions during 22–24 July 1980, 18–20 August 1981 and 27–30 July 1982.

We describe our experiment in the following for each year. The preliminary experiment was done in the year 1980. Hourly pilot balloon observation was made at three sites to reveal the general flow and the characteristic features of local circulation. A Doppler sodar installed at Niihama reinforced the observations, and gave some information about turbulence aloft. Radiosonde observation in the lower atmosphere was also made at Niihama and provided vertical temperature distribution.

Aircraft measurements were made of NO, NO_x and O₃ concentrations, air temperature, dew point temperature, ground surface temperature. The measurement aimed at tracking pollutants emitted by large stacks in the Niihama area, which were transported both by the general wind and the complex local winds.

A multiple air tracer technique applicable to the range of 10 to 100 Km was developed, and field experiments of the technique were conducted at Niihama. In those experiments, two different chemical compounds, Dysprosium and Europium, were used for tracer materials, which were released in the sea-breeze and land-breeze flows respectively. After applying neutron rays to the sample filters

Nobuhiko Murayama, Akira Harada,* Tomoaki Yoshikawa, Shoichi Arakawa** Junji Sato,†
Fujio Kimura, Tokiyoshi Toya, Takahisa Kobayashi, Takashi Koide, Naoshi Yano,†† Yako Suzuki,
Isao Sato and Susumu Kurita: Applied Meteorology Research Division, MRI

* Magnetic Observatory

** Marine Division, JMA

† Office of planning, MRI

†† Saitama University

in an atomic reactor, electron energy was measured to obtain the concentrations of the two atomic elements.

In order to find the actual local circulations and the related transport of air pollutants in the area concerned, trajectory experiments were conducted by tracking a non-lift balloon ("tetroom"). A tetroom equipped with a set of RAWIN was launched six times during the periods, and was tracked by the double-rawin technique which was to measure the height and position of tetroom. Though the 1980 field experiment was not necessarily conducted under the best conditions to observe the local circulation, we were able to have a valuable experience related to the experiments themselves. An evidence of local circulation under the prevailing synoptic flow which was found in both the field experiment and numerical experiment encourages us to further studies.

Following the preliminary experiment of the year 1980, the 1981 experiment on local circulation and the medium-range air pollutant transport was carried out in the Hiuchinada area, the central part of the Inland Sea and its coastal region. The pilot balloon and surface air observations were conducted hourly at eleven sites. The upper air temperature and humidity were measured 3-and 6-hourly respectively by slowly rising radiosondes at three sites. The air temperature, humidity and wind up to about 400 m in altitude were measured 3-hourly using tethered balloons. The sea water temperature was recored on ship about 10 Km off the Niihama coast. The upper air observations showed that the temperature over the Inland Sea varied in the same manner with that over the land, in spite of the difference of cooling or heating between land and sea surface. The temperature inversion layer often appeared several hundred meters above the sea surface. The inversion layer reached the maximum height of about 500 m in the morning and near the sea surface in the evening. A Doppler sodar was operated and wind and turbulence data were obtained during 10th-28th August in Niihama. Aircraft measurements were made of the vertical profiles and horizontal distribution of air temperatures, humidities, dew point temperatures, aerosols, O₃ and NO_x concentrations and surface temperatures in Hiuchinada and its surroundings through 8 flights. A non-lift balloon (tetroom) was released at 500 m in altitude and tracked by the double-rawin technique for several hours, 10 times in the Niihama area. The tetrooms were flown to the west and no local circulation effect was distinct.

Three different chemical compounds, Europium, Holmium and Dysprosium, were released from the ground, boat and aircraft respectively, on 19th and 21st. The tracers were collected at 9 spots in Niihama and 11 spots in the surrounding area including 2 boats. After applying neutron rays to the sample filters in an atomic reactor, gamma ray energy was measured to get the concentrations

of the three atomic elements. Whether the wind was inshore or off-shore, the high concentration was kept long and the air mass of the tracer appeared to stagnate in certain restricted areas near Niihama. The analysis of the surface and upper winds and surface concentrations showed that the high-concentration air mass hovered between land and sea owing to the land and sea breezes and could not move far away and that the pollutants were slow to diffuse.

The numerical simulation technique developed in the year 1980 was improved. The ground temperature was provided in definite form in the previous model, but it was determined by the energy balance based on the solar radiation and surface characteristics in the revised model. One of the characteristics of the wind data in the lower atmosphere over the Hiuchinada and its surroundings was the strengthening of the wind along the prevailing wind direction in the northern part of the Inland Sea, whenever the wind was easterly or westerly. The lower level jet was more remarkable at night than in the daytime. This was also successfully simulated in the numerical model.

The observation points of the year 1982 were distributed along the line passing through Kurashiki and Sakaide. The observations started soon after the end of the rainy season and terminated just before the coming of typhoons. The field experiment consisted of PIBAL, radio sounding, aircraft and other observations. A harmonic analysis of the upper wind variation was tried. The one-day component of the surface wind variation showed alternation of the sea breeze in the daytime and the land breeze in the nighttime. The hodograph of surface wind variations showed an ellipse with its longer axis perpendicular to the contour of the land surface. The wind direction backed below the 800 m-level and veered above the level which is in accord with the inertial wind direction change.

The vertical distribution of the wind was monitored continuously by the Doppler sodar system in Okayama. The results observed were compared with that of the nearby pibal and that of sodar in Niihama in the preceding year. It was found that the lower and upper winds shift simultaneously in Okayama. The updraft continued during weak easterly winds in the daytime and the downdraft prevailed during southeasterly winds. The variations of wind speed and direction were large when wind shifts and the variation of the vertical wind component was large at a specified time of the day, in a specified wind and so on.

It was found by aircraft measurements that polluted air was transported upwards vigorously by the local winds, especially by the valley wind in the daytime, and reached to the 3000 m level in the

evening. The high concentration of pollutants appeared at two levels above the coast of the Inland Sea in the evening. The developed cumulus clouds seemed to help the vertical transport of ozone and scavenging of the aerosols.

The tracer experiments were made at Tsukuba where the installation and equipment were enough to challenge the problems encountered in the previous experiments. It was found that the loss of tracer material in the form of minute particles due to the deposition to the ground surface was within 1% of the released material and the effect of the deposition on the plume was small.

Numerical simulation of the air pollution over the Inland Sea was carried out by the two step model. The first step was a three-dimensional time-dependent local wind model, which calculated wind velocity and the vertical diffusion coefficient. This model had been developed by the year 1981. The second step was the photochemical air pollution model which was also a three-dimensional model using the result of the first step model as input data. A second step model was further constructed with two submodels, a diffusion and advection model and a photochemical reaction model. The emission rate of pollutants was assumed to be a constant on the land surface whose altitude was less than 1000 meters. But on the southern side of Shikoku, no pollutant source was assumed. The results showed that ozone was transported upward by the well developed valley wind in the daytime, and the vertical distribution of pollutants agreed well with the aircraft observation. In the night time, however, there was some disagreement about the vertical transport of pollutants between simulation and observation.

In Chap. 1, ground-based observation is summarized with the description on the observation network and period, specifications of the low-level radiosonde and tethered balloon used, and examples of data with the format of MT data files stored.

In Chap. 2, the meteorological aspects of the atmospheric boundary layer in the Inland Sea area are discussed from the viewpoint of land-and-sea breeze by using the field observations. Individual paragraphs deal with wind field, mixing layer, vertical diffusivity and the local phenomena, i. e., convergence and divergence associated with land-and-sea breeze, and cyclonic vortex appearing at the time of wind direction inversion. Analyses of temperature and wind fields observed on the ship, at an inland and coastal stations are particularly shown by crosssectional presentations to clarify the features of the boundary layer.

In Chap. 3, air flow observation in the land-and-sea breeze regime is described with paragraphs on non-lift balloon observation and analysis of 1980 RUN 1. The data are presented with horizontal trajectories and vertical fluctuation both in Figure and Table.

In Chap. 4, aircraft measurements of various meteorological elements and air pollutants, such as NO_x , ozone and airborne particulates, are described in detail. We were rather successful in getting data on the areal distribution using a twin-engine plane. Instrumentation with specifications and calibration of each instrument used and the data acquisition system are first given, followed by the data observed and analyzed for 1980, 81 and 82 respectively. In particular, the vertical profiles of pollutants and the diurnal variation of surface temperature are analyzed, and the data of moisture fluctuation are discussed for 1981, while the diurnal variation of the pollutant distribution is discussed with vertical cross-sectional presentation. The abrupt change of pollutant concentration observed in a convective cloud is shown with a continuous record for 1982. Furthermore wind observations by use of Doppler navigation are discussed with the data obtained in trial experiment. The data acquisition system is shown in a flow chart which contains the MT file name.

In Chap. 5, Doppler sodar observation is presented, by which vertical profiles of wind field and turbulent parameter are obtained up to several hundred meters in altitude. After summarizing measurement concept, an example of the results observed is presented and the variation of the wind field in the boundary layer is discussed for the days of 1981 and 1982. In the last part, the MT file data-set of the Doppler sodar is dealt with.

In Chap. 6, transport or diffusion experiment conducted concurrently with field observation in 1980 and 1981 and that in Tsukuba in 1982 by use of activable multiple air tracers (AMAT) are overviewed. Here are presented a review of the foregoing studies, techniques of the AMAT, the sampling, a comparison with that using SF_6 tracer, the results of field experiments, the experiment to evaluate deposition of the tracer and the overall summary and conclusion.

In Chap. 7, Which is the last, under the title of numerical simulation of photo-chemical air pollution using the local wind model, the numerical experiment on transport of primary and secondary air pollutants is described in detail. Starting with the first paragraph on the role of local wind field upon air pollution, summary of a numerical model and mesoscale or local-scale meteorology model is presented with basic equation, heat budget at the ground, description of boundary layer, upper bound-

ary condition and horizontal boundary and a simple one-way nesting method.

Secondly, an air pollution model is presented with the description of an advection-diffusion submodel and a parameterized photo-chemical reaction submodel. In the fourth paragraph, two-dimensional land-and-sea breeze and photo-chemical air pollution are discussed with computational condition, cross-sections of wind and pollutants, diurnal variation of pollutant concentration at the ground. Next, the local wind simulation at the calm in the Inland Sea area is discussed through comparison with field observation.

A part of this research was supported by the fund for researches on environmental pollution prevention granted to national research institutes.