

桜島噴煙の衛星画像の鉛直シヤーモデルによる検討

飯野 直子*・木下 紀正*

(1995年10月16日 受理)

Investigation of a Vertical Shear Model for the Satellite Images
on the Dispersion of Volcanic Clouds from Mt. Sakurajima

Naoko IINO and Kisei KINOSHITA

Physics Department, Faculty of Education, Kagoshima University, Kagoshima, 890 Japan

Abstract

Various patterns of the volcanic clouds from Mt. Sakurajima in satellite images are compared with the streaklines of a vertical shear model, which are computed at constant atmospheric pressures from the data on upper winds. This model is found to be able to explain gross features of various types of advection and dispersion of the volcanic clouds seen in the satellite data.

1. は じ め に

桜島は1955年の南岳山頂火口の爆発以来、長期間にわたって活発な噴煙活動を続けている。桜島からの数十～数百kmにわたる噴煙の移流拡散は衛星データにも数多くの記録があり、これらは上空の大気拡散の貴重な情報と考えられる。現在、日本上空を定期的に観測している衛星はLANDSAT-5, NOAA-11, 12, 14, MOS-1, 1b, SPOT-1～3, JERS-1 および GMS-5 等があり、それぞれ異なる軌道や観測周期、地上分解能などの特性がある。特に気象衛星 NOAA は、毎日観測しているのでデータも豊富で広範囲にわたっているため、大規模な噴煙の移流もとらえている。また、1995年8月末には3年ぶりといわれる活発な桜島火山活動による降灰が島原や福岡でも確認されている。噴煙に含まれる微粒の火山灰や SO_2 の酸化によって生じた硫酸エアロゾルは長時間大気中を漂い、南九州や、時には九州北部での酸性雨の原因ともなっている。

*鹿児島大学教育学部物理学教室

噴煙の到達高度は噴出強度に依存し、その形態は上層の風速・大気安定度によって規定されるが、噴出源から数kmで水平移流の状態となり、鉛直方向にはあまり拡散せず下流に行くにつれて水平拡散が主となる。そして、噴煙流の水平拡散の形態は風の鉛直シヤーに強く支配されることが地上観測や高層データと衛星画像との対比から示唆されている。噴煙の形態の典型例として、およそ風速10m/s以上の強風で鉛直シヤーが小さい場合の線状移流、5-9 m/sの並風で顕著な鉛直シヤーがない場合の帯状拡散、0-4 m/sの弱風で鉛直シヤーが大きい場合の扇状拡散がみられる。また上空が無風状態では平板状に滞留した様な拡散がみられる¹⁻⁴⁾。

このような桜島噴煙の移流拡散の様相の解明は、高度1000-3000mにおける大気の運動や大気汚染・拡散を研究する上で有用であると考えられる。これまで、関係する流跡線解析の研究として文献5, 6)や、桜島起源のSO₂地表濃度の拡散方程式による数値シミュレーション^{7, 8)}などがある。最近、衛星データにみられる水平拡散の諸形態を簡単なコンピュータシミュレーションで理解するために、著者らは噴煙拡散の鉛直シヤーモデルを構築し、線状移流を主とする1992年のNOAA画像7例について、対応する流脈線との簡単な比較・検討を行った⁹⁾。このモデルでは、高層データを基に内挿を行って得られた風データから流脈線を出力する。ここでは、様々な形態の噴煙拡散を示す衛星データと照らし合わせて、このモデルの妥当性を詳しく検討する。また、先に挙げた流跡線解析との比較や、南九州地域のSO₂高濃度事象との検討も行う。本モデルは流跡線の出力も可能であるが、衛星データとの対比には流脈線の形で出力が適当である。また、高層データとして今回はおもに鹿児島を使用するが、福岡の高層風も一部検討する。

以下では、2節で衛星および高層風データについて述べ、3節では鉛直シヤーモデルと高層風データの処理および流脈線解析の方法について述べる。4節では結果と考察を議論し、5節で結論と今後の課題を述べる。

2. データについて

2-1 衛星データと噴煙検出

2-1-1 衛星データとセンサの種類

噴煙検出に用いられる最近の極軌道衛星は表1のとおりである。NOAAの昼間のデータのうち気象庁気象衛星センターで受信し、日本気象協会で処理・提供されているものは92.6.17までは11号、92.6.18~95.6.6は12号、95.6.7からは14号によるものである。表1で取り上げた噴煙検出に適したセンサの波長領域を図1に示す。

なお、JERS-1に搭載しているSARセンサは、波長23.56cmのマイクロ波を自ら放出してその反射波をとらえるアクティブ方式のセンサである。このマイクロ波は、密度の小さい雲や噴煙は透過するので、地表面の解析や地下資源の探索には有用であるが¹⁰⁾、ここでは取りあげない。

0をR, G, Bに配色しているが, ch. 3の代わりにch. 1を割り当てても同様に噴煙が朱色に表示される。

そのほかの衛星はLANDSAT-5 (TM-6)を除いて可視～短波赤外域のバンドしか持っていないので, 雲と噴煙の区別は形態からの判断が必要である。噴煙流は周辺部が薄く, 連続的で海上にも伸びているのに対して, 積雲は周辺部が鮮明で主に陸上でみられることから比較的容易に区別できる。しかし層状雲の場合は広い範囲にわたるため噴煙流と重なっていると区別は困難である。ただし, 噴煙流の上流と下流が見えていたり, 噴煙流と層状雲の高度が異なり, 風の鉛直シヤーから移流の方向が異なる場合などは区別できる。

この論文ではモノクロ出力で衛星画像を示す。LANDSAT-5 および MOS-1 については可視域の最短波長のバンドで噴煙を検出し, 近赤外域バンドで海陸の区別をした。NOAA-11については, ch. 0で噴煙を検出し, 遠赤外域チャンネルで海陸の温度差による区別を行った。ただし, この方法による NOAA 画像では, ネガポジ反転を行い, 噴煙を白く表示し, 海陸の温度の高い方を黒く表示した。

2-2 高層風データ

2-2-1 高層気象資料

高層気象観測は世界各地で毎日2回の定時(グリニッジ標準時の0hと12h(hは時刻);日本標準時(JST)では9hと21hにあたる)に高層大気の気圧・気温・湿度と風を測定するレーウインゾンデ観測が行われている。さらに日本では3hと15hにも風だけを測定するレーウイン観測が行われている。観測では, 定時の約30分前に地上から放球され, 上昇中の気球から次々に送信される気圧・温度・湿度の値から, 静水圧平衡の式を使って高度が計算できることから, 気圧・気温・湿度の高度分布が求められる。また, 上昇中の気球の位置を地上の無線方向高度探知機で追跡して, 各高度の風向, 風速が求められている^{12, 13)}。

高層風データは, JSTで3h, 9h, 15h, 21h(以後観測定時と記す)の地表(吉野283mただし'94年2月末に東郡元へ移転)と指定気圧面の925hPa('91.11以降), 900hPa, 850hPa, 800hPa, 700hPa, 600hPa, 500hPa, ..., 100hPaにおける風向と風速がある。ここでは, 各観測定時の900～700hPaを主に使用する。

2-2-2 高層観測点とその範囲

日本国内に高層観測点は18ヶ所あり, 九州およびその周辺では, 福岡(大濠公園), 鹿児島(吉野/東郡元), 奄美大島(本茶峠)および米子, 潮岬などにある。鹿児島が最短距離になる範囲は, 図2に示すように, 北は天草一延岡ライン, 南は口之島あたりまでである。一応これを鹿児島の高層データの適用範囲の目安と考える。

飯野，木下：桜島噴煙の衛星画像の鉛直シヤーモデルによる検討

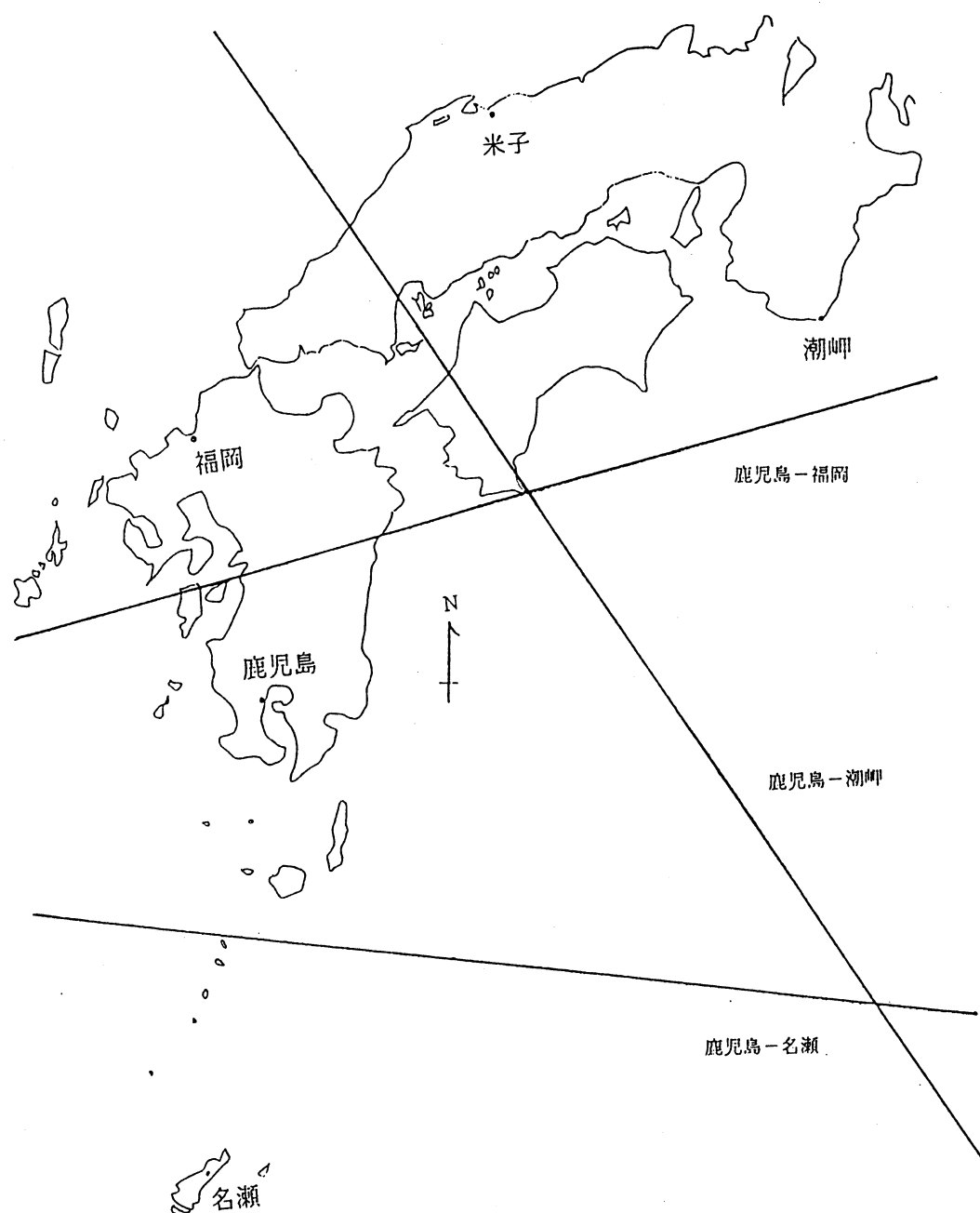


図2. 西日本の高層観測点とそれぞれが最短距離になる範囲.

2-3 地上観測データ

衛星データと同日に撮影された垂水フェリー鴨池港付近からのビデオカメラによる噴煙観測のインターバル記録や、ビデオプリンタによるアウトプットを噴煙の放出強度と移流高度の評価に利用する。ビデオカメラによる噴煙観測の方法と結果の特徴については、文献1-4)に記されている。

3. 鉛直シャーモデルによる流脈線

3-1 流跡線と流脈線

流跡線 (trajectory または path line) は、流れの場において、ある流体要素が時間を追って描く軌跡である。流脈線 (streak line) は、流れの場のなかのある一点を通過した全流体要素の、通過後のある時刻におけるそれぞれの流体要素の位置を連ねた線である。したがって、これらは定常流の場合は一致するが、非定常流の場合は異なる¹⁴⁾。

衛星画像は、ある一点 (火口) から放出された噴煙の、ある時刻 (衛星の観測時刻) における移流形態をとらえたものである。流脈線にあたる。

3-2 モデルについて

モデルは桜島上空のある範囲の高度に放出された理想粒子の、それぞれの等圧面上における風向と風速データに基づいた、一定時間ごとの位置から流脈線を示す。理想粒子は重さを持たず、いったん上空に放出されたら同じ等圧面上にとどまり、風と共に移流し続けると仮定する。また、放出は一定時間続く場合を考える⁹⁾。しかし、実際には放出強度の時間変化や、冷却による気塊降下と灰の落下など垂直変化、乱流拡散の効果などが問題となる。なお、分子拡散は乱流拡散に比べて無視できることが知られている。

また、地上約1 kmまでの境界層内の大気の運動は、煙突からの煙の概観といった汚染物質の拡散の研究などでよく知られているように、大気安定度の状態によって変化する。特に逆転層の出現による大気汚染の現象は深刻な社会問題であった。一方、桜島 (南岳1,040 m) の噴煙が移流拡散する自由大気は一般に安定である。激しい爆発に始まる噴煙流について別途検討する以外は、これらの鉛直拡散の問題には、ここではこれ以上立ち入らない。

3-3 高層風データの取扱い

高層風は一般に安定であるので、かなり広範囲にわたって等圧面上で一様であると仮定し、北方へかなり移流する場合の他は鹿児島の高層データだけを使用する。

ここでは指定気圧面の6時間おきの観測定時、高度に換算して約1,000 m, 1,500 m, 2,000 m, 3,100 mに対応する指定気圧面 900 hPa, 850 hPa, 800 hPa, 700 hPa における風向と風速データから1時間、10 hPa 毎にデータの内挿を行う。また、データに欠測がある場合 (おもに15 h) は、前後の時間のデータより内挿する。ただし、長時間の内挿になるので、結果の妥当性には注意しなければならない。

3-4 内挿の方法

内挿は風向と風速を別々に処理する。風速は単純に線形内挿を行う。風向については、ベクトル

飯野, 木下: 桜島噴煙の衛星画像の鉛直シヤーモデルによる検討

による方法と角度による方法の2つを試みた。ベクトルによる線形近似では、風向を x , y 成分で扱って内挿したが、風速の過小評価の傾向や内挿に使用するデータの風向の変化量が大きい場合に内挿中央部付近での風向の急激な変化がみられる。そこで角度による内挿を行うが、角度の大きさ(一般角)は動径が原点のまわりをどちら向きに何回転してその位置に重なったかによって、いろいろな値が考えられるので注意が必要である。まず、 180° を越える大まわりの内挿にならないための前処理を施してから、線形近似の内挿を行い、これを高層風データ(以後、風データと略す)として使用する。

風向に関する内挿の手順は、まず各観測定時における指定気圧面データ値を指定気圧面間の角度差が、 180° 以下になる表現に処理した後、10hPa 毎の内挿値を求める。次に、先に求めた各気圧面の風向を時間に沿った変化として求めるために、観測定時の間の角度差が 180° 以下になる表現にして、1時間の変化量を求める。そして、先に求めた各観測定時のそれぞれの気圧面の風向に、それぞれの変化量を加えることで1時間毎の値を求める。

また、900hPa の風速が0または欠けている場合が数例ある。これらは地表データは用いないで、高さ方向での外挿からその時刻の風向を求め、欠測の場合は、前後の時間の平均から求める。

一般に、風向・風速の変化がなめらかな場合はあまり問題ないが、急激な変化があるときは内挿によってそれをとらえることはできない。

3-5 解析の手順

解析に先立って、衛星の種類および衛星画像による出力時間の評価と、地上観測データによる煙流軸高度と移流高度の上下幅の評価を行う。解析では、表計算ソフトで内挿の処理を行って得た風データを1日毎にテキスト形式のデータファイルとして、Quick BASIC のプログラムに読み込んで使用する。次に、プログラムを実行して、風データのドライブ指定とファイル名、九州地図の倍率入力の後、流脈線の開始と終了時刻、気圧面の上下値を入力すると、流脈線がモニターに出力される。出力する時刻や気圧面の変更、九州地図の倍率調整、他の日の解析も連続して行うことができる。

4. 結果と考察

4-1 噴煙の形態と流脈線

今回使用した衛星データリストと流脈線の出力条件を表2に示す。高層データについては、欠測の無い日をF、15hに欠測のあった日をLと記す。また、衛星とセンサの種類や噴煙の形態なども併せて示す。これらのうち代表的な衛星画像を図3~12のaに示し、処理パラメータは後で表3に記す。それぞれに対応する流脈線は図3~10のbに示し、図11, 12では流跡線についても議論する。

表2. データリストと流脈線の条件.

日 付	衛星	噴煙の形態	高層データ	評価時間	上 下 幅	備 考
89. 1.21	L5	中角	L	9-10h	890-810hPa	
3.10	L5	扇状	F	8-10	880-800	図 8
10.18	M1	滞留	F	9-11	850-800	図10
12. 7	L5	線状	F	6-10	880-830	図 3
90. 3.13	L5	線状	F	8-10	830-770	図 4
	N11	長流		10-14	890-820	
3.26	N11	扇状	L	8-13	880-800	PL
4. 2	N11	扇状	L	7-14	890-820	図 9
4. 6	M1	扇状	F	9-11	850-800	
4. 9	N11	線状	L	9-14	820-800	
4.27	N11	带状	F	3-14	860-840	図11, PL
5. 6	N11	中角	F	3-14	850-830	PL
5. 9	N11	長流	F	5-14	830-780	
5.21	N11	線状	L	8-13	840-820	
6.11	N11	扇状	L	9-14	850-800	
7. 9	M1b	爆発	L	8-11	850-750	6 : 46爆発, PL
	N11			7-14	850-750	
7.19	L5	小幅	F	7-11	900-850	
	N11	長流		3-14	870-820	
7.22	N11	長流	F	4-14	900-850	図12, PL
10.27	M1	小幅	F	8-11	880-840	
12.10	L5	小幅	L	9-10	880-840	9 : 35爆発
91. 4.15	M1	小角	F	10-11	870-860	
7.18	M1b	小角	F	7-11	880-850	
7.22	L5	小幅	F	8-10	900-850	
10. 2	M1	带状	F	9-11	900-800	図 7
92. 5.21	L5	小幅	F	8-11	850-750	図 5
	N11	小幅		10-15	870-840	図 6
10.20	N12	爆発	L	4- 8	700-600	4 : 45爆発
11. 7	N12	線状	F	5- 8	890-860	
	J1	带状		9-11	900-850	

高層データの F は欠測無し, L は15h 欠測, 備考の PL は流跡線との比較。

4-1-1 線 状

89.12. 7, 90. 3.13 (L5, N11), 90. 4. 9, 90. 5.21, 92.11. 7 (N12) の6例について検討する。衛星画像はいずれも線状の移流がみられる。本モデルでは、地上観測から評価した、煙流軸高度を中心とする初期幅（以後、評価幅と記す）の2倍程度の気圧面の上下幅（以後、上下幅と記す）ではほぼ再現できる。特に図3に示す89.12. 7は東へのやや弓状の形態が衛星画像とよく一致する。図4の90. 3.13では直線状の移流がよく再現される。90. 4. 9は方向が少し（10-20°）ずれるが、この日は15hの高層データが欠測のため、内挿ではその間の変化がとらえられなかったためと考えられる。90. 5.21は噴煙の下流部が折れまがっているが、この部分は煙流主軸よりも上空を移

流する爆発噴煙のためと考えられる。

4-1-2 小幅・小角度

線状に準ずる形態に，小幅の移流と小角度の拡散がある。小幅の移流として，90. 7. 19, 90. 10. 27, 90. 12. 10, 91. 7. 22, 92. 5. 21 (L5, N11) の6例を検討する。いずれも評価幅の約2倍の上下幅で，移流の方向や細い流れを再現できる。特に92. 5. 21は，LANDSAT と約3時間後の NOAA 画像，それぞれにみられる形態の違いが流脈線でも表れている(図5, 6)。なお，図5に示す LANDSAT 画像1シーンの外には，薄い噴煙の下流部が認められる。その部分まで含む流脈線では，ゆるやかな南よりのカーブの傾向が一致している。90. 12. 10は，評価時間が9-10hなので，1時間内挿の本モデルでは9:35の小爆発の噴煙の折れまがりを再現することはできない。また，小角度の拡散として，91. 4. 15, 91. 7. 18の2例を検討する。いずれも評価幅程度の上下幅で拡散の方向や広がりやが衛星画像と一致する。

4-1-3 帯 状

91. 10. 2, 92. 11. 7 (J1) を検討する。91. 10. 2は，900-850hPa のシャーが非常に大きいので，衛星画像の噴出源付近での扇状の広がりがよく再現され，全体的に衛星画像とよく一致する(図7)。92. 11. 7 (J1) は，噴出源付近での扇状の広がりがやや不足するが，移流の方向や形態はほぼ再現できる。

4-1-4 扇状・中角度

89. 3. 10, 90. 3. 26, 90. 4. 2, 90. 4. 6, 90. 6. 11, 91. 10. 2 の6例について検討する。いずれも評価幅の2~3倍の上下幅で扇状の広がりがみられる。図8に89. 3. 10の場合を示す。90. 4. 6と90. 6. 11は衛星画像よりも北方への広がりがやや不足する。90. 6. 11は高層データの15h欠測のためと考えられるが，90. 4. 6は欠測はないので，観測定時のデータの内挿ではつかみきれない鉛直シャーの出現によると考えられる。また，90. 4. 2は評価幅の3倍の上下幅ではほぼ概形はつかめるが，噴出源付近にみられる直線的移流は再現できない。これは，衛星観測時刻の前の短時間に風速が強まって押し流されたため，衛星画像ではこのような形態を示すが，1時間内挿の風データではそれがとらえられていないためと考えられる(図9)。

扇状の変種として中角度のラケット形拡散を示している89. 1. 21の場合は，中角度で広がりはじめた噴煙がやがて最大幅に達した後，見えなくなるほど薄くなる部分が増えるために下流ですぼまり，見かけがラケット形となる²⁾。しかし，本モデルでは乱流拡散や濃度の効果を考慮していないため，評価幅の約3倍の上下幅で概形はつかめるが，衛星画像にみられるすぼまりは再現できない。

4-1-5 滞 留

89. 10. 18については，高層風の鉛直シャーは大きいですが，評価幅の2.5倍の上下幅をとると，概形がほぼ再現できる(図10)。

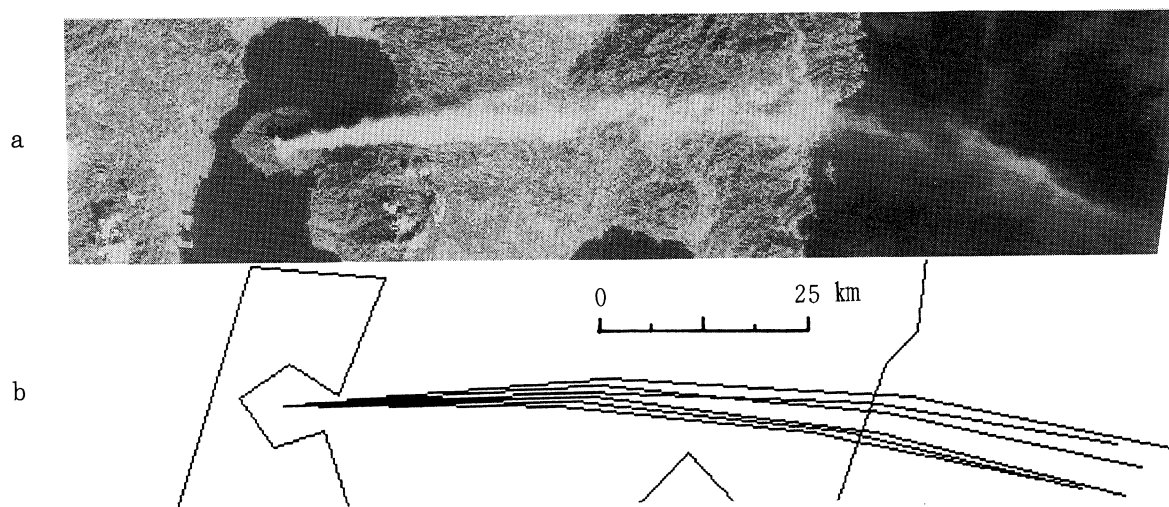


図3. a 89.12.7 LANDSAT-5, b 7-10h, 880-830hPa 流脈線.

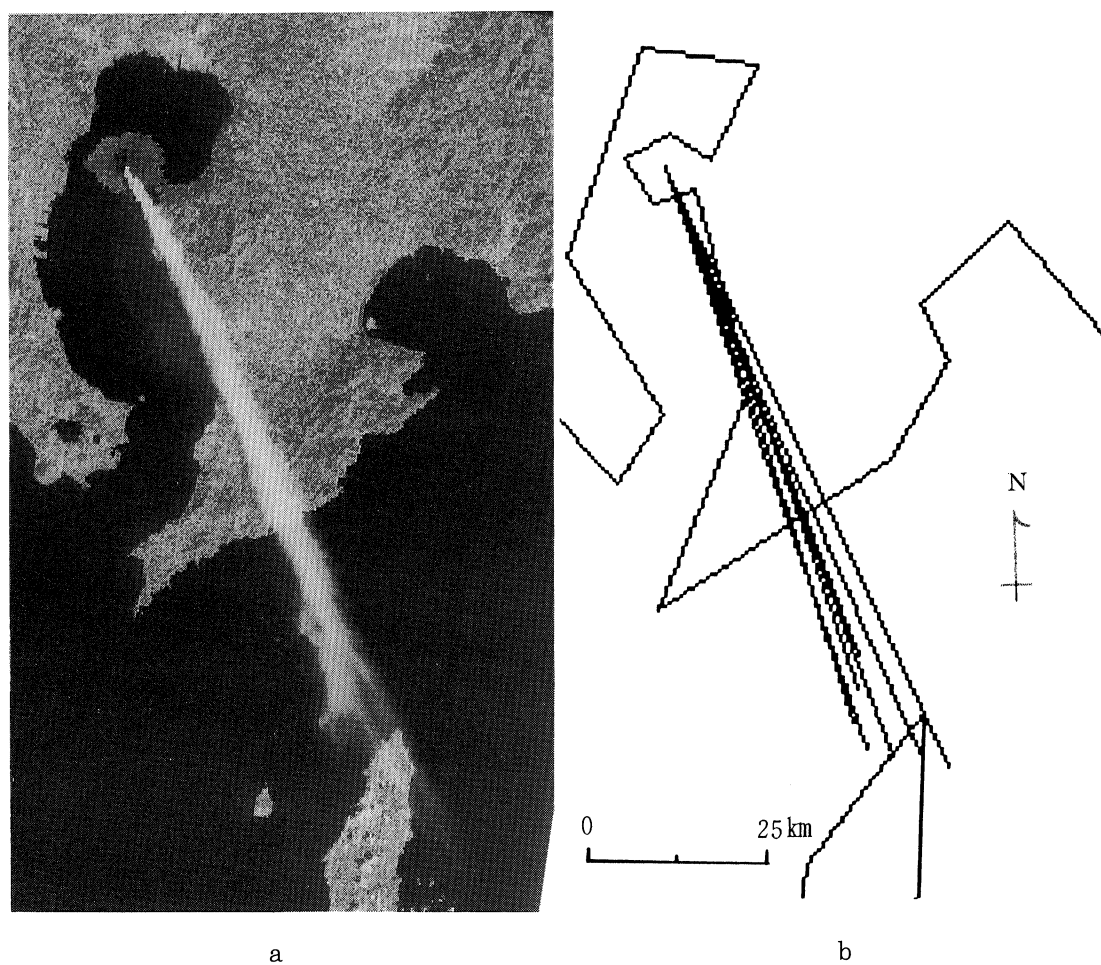


図4. a 90.3.13 LANDSAT-5, b 8-10h, 830-770hPa 流脈線.

飯野，木下：桜島噴煙の衛星画像の鉛直シヤーモデルによる検討

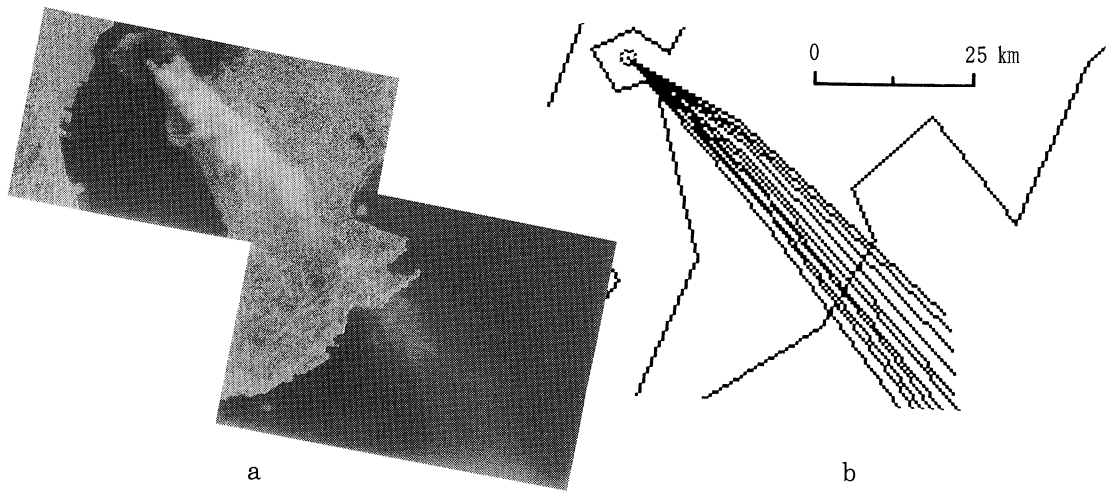


図 5. a 92. 5.21 LANDSAT-5,

b 8-10h, 900-800hPa 流脈線.

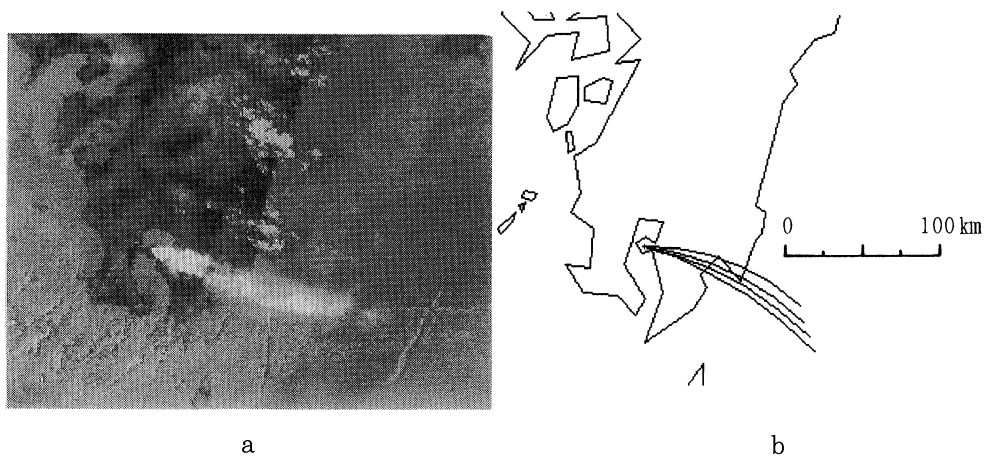


図 6. a 92. 5.21 NOAA-11,

b 10-15h, 870-840hPa 流脈線.

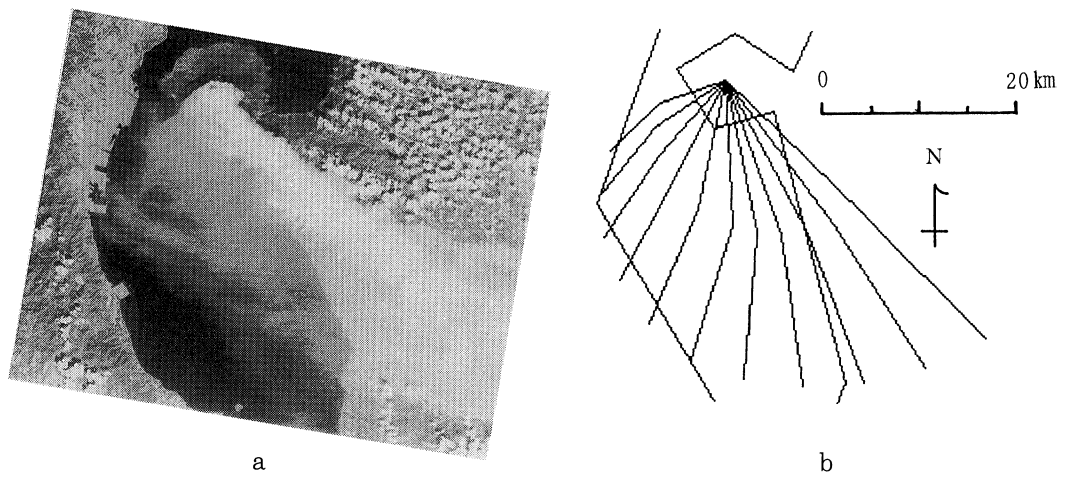


図 7. a 91.10. 2 MOS-1,

b 9-11h, 900-800hPa 流脈線.

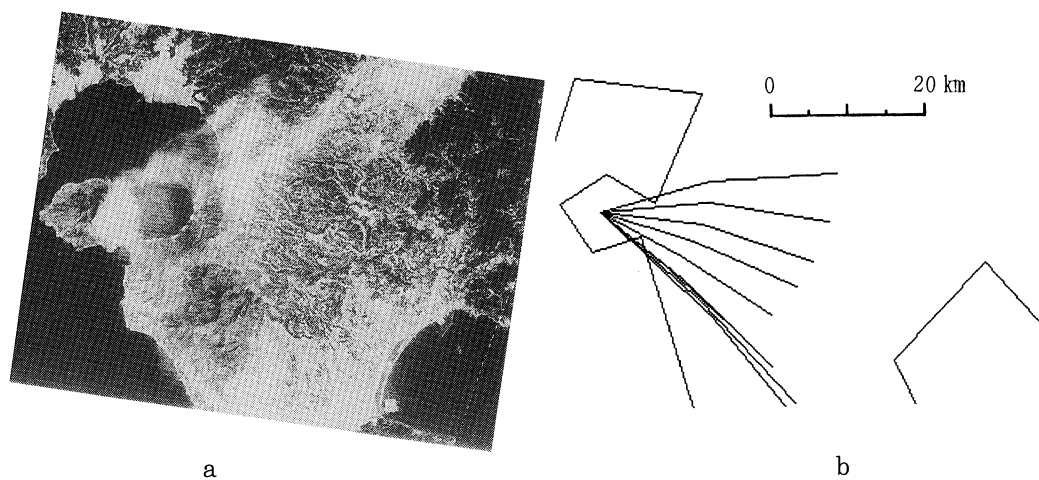
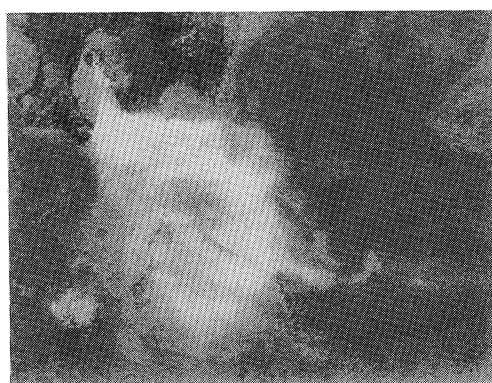


図8. a 89.3.10 LANDSAT-5,

b 8-10h, 880-800hPa 流脈線.



a

図9. a 90.4.2 NOAA-11,



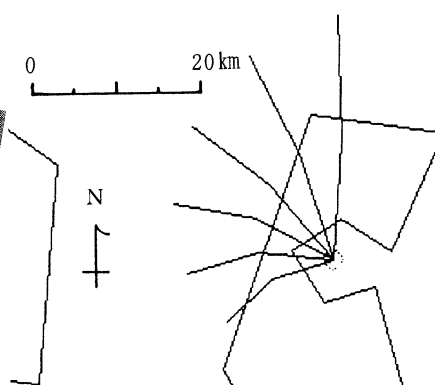
b

b 7-14h, 890-820hPa 流脈線.



a

図10. a 89.10.18 MOS-1,



b

b 9-11h, 850-800hPa 流脈線.

4-1-6 爆 発

90.7.9, 92.10.20 の2例について検討する。90.7.9は6:46に爆発があり, 10:52にはMOS-1b, 14:06にはNOAA-11による観測が行われている。M1bに対応する流脈線は衛星画像とほぼ一致する。N11に対応する流脈線では, 衛星画像よりも北よりの移流がみられる。これは, 15hが欠測のために, 高層風の東よりへの変化が内挿によってとらえられなかったためと考えられる。しかし, 移流の規模はよくとらえられており, 爆発噴煙の移動が理解できる。92.10.20のNOAA画像には, 長さ約450kmに及ぶV字型の大噴煙がみられる。この日は, 4:45に大きな爆発が観測されており, 5:00-8:00の流脈線からこの爆発噴煙は, 高度約4,000m, 火口から約220~230kmを東へ移流していると考えられる。噴煙全体の規模から, 4-8h, 700-600hPaの流脈線の高度を考慮すると, 衛星画像のV字の形態が理解できる⁹⁾。

ここで, 図3~12の衛星画像の処理パラメータを表3に示す。ただし, 図4と図5については, LANDSATの2シーンをペースト処理した, JPEG方式の画像ファイルである。B, G, Rの欄にはそれぞれ使用バンドまたはチャンネルと, 各色の明暗の限界に対応するCCT値の上下値を記す。但し, ハードコピーの出力はモノクロにした。反転の項は, 画像出力時のビデオプリンタ(三菱SCT-CP120)の設定で, ネガポジ反転処理を行ったものをY, 行わなかったものはNと記す。

表3. 図に用いた衛星画像の処理パラメータ。

図番号	日 付	衛星	セ ン サ	B		G		R		反転
3	89.12. 7	L5	MSS	4,	12- 22	6,	3- 33	4,	12- 22	N
4	90. 3.13	L5	MSS	4		6		5		N
5	92. 5.21	L5	TM	1,	83-124	4,	16-107	2,	31- 56	N
6	92. 5.21	N11	AVHRR	0,	94-115	0,	94-115	4,	125-190	Y
7	91.10. 2	M1	MESSR	1,	14- 24	4,	4- 40	1,	14- 24	N
8	89. 3.10	L5	MSS	4,	17- 25	4,	17- 25	4,	17- 25	N
9	90. 4. 2	N11	AVHRR	0,	98-108	0,	98-108	4,	131-160	Y
10	89.10.18	M1	MESSR	1,	15- 60	4,	6- 27	1,	15- 60	N
11	90. 4.27	N11	AVHRR	0,	97-109	0,	97-109	4,	120-165	Y
12	90. 7.22	N11	AVHRR	0,	108-119	0,	108-119	0,	108-119	Y

B, G, R 欄は band (or ch.), CCT 値 (下-上)。反転欄はネガポジ反転処理の有無 (Y/N)。

4-2 流跡線解析との対比

文献5, 6)による解析では, JSTの9h, 21hにあたる12時間毎の全球のデータを2時間毎に内挿し, 850hPaの等圧面に限って, 24時間の桜島からの前進軌跡と阿蘇への後退軌跡を求めている。データには温度や湿度の情報も含まれており大気安定度も考慮されている。そして, 解析結果は阿蘇草千里におけるSO₂高濃度事象の観測から支持されている。ここでは, 前進軌跡のみを参照する。

流跡線との対比は、90. 3. 26, 90. 4. 27, 90. 5. 6, 90. 7. 9, 90. 7. 22の5例について検討する。まず衛星画像と流脈線の対応では、扇状形態を示す90. 3. 26と中角度の形態を示す90. 7. 9 (MOS-1b) はほぼ一致する。90. 7. 9のNOAA-11および大規模な移流を示す残りの3例については、天草や甕島あたりまではだいたい一致するが、下流部の北方への移流は再現できない。図2に示す高層風の適用範囲の目安からも明らかなように、下流部は福岡の高層風の影響が大きいためと考えられる。そこで、鹿児島の代わりに、福岡の高層データを基に求めた風データを用いて出力すると、90. 4. 27と90. 5. 6は北北東への移流がみられ、衛星画像の下流部の移流方向と一致する。90. 7. 9はNOAA画像にみられる下流部の北東へのカーブの傾向が一致する。また、90. 7. 22についても衛星画像の下流部にみられる弓状の北西への移流が再現できる。

次に、この5例について9h-21hの12時間の850hPa面の流跡線を出力して、文献5, 6)の9hスタートの12時間の解析結果(以後前進軌跡とよぶ)と比較・検討する。90. 3. 26と90. 4. 27の前進軌跡は、図2に示す高層風の適用範囲の目安で鹿児島域内にあるため、本モデルによる流跡線も鹿児島のみのデータではほぼ一致する。しかし、他の3例の前進軌跡は鹿児島と福岡の両方にわたっているのも、先も述べたようにそれぞれの適用範囲内の軌跡を考慮すると理解できる(図10, 11)。文献5, 6)のモデルは、気象庁数値予報部作成の全球客観解析メッシュデータを用い、林田・笹野の開発したプログラムによる¹⁵⁾。一方、本モデルは時間と気圧面の内挿は細かく行っているが、南北の空間内挿をプログラムに取り入れていないので、北方では高層風の場所による一様性が問題となってくる。

4-3 南九州地域のSO₂高濃度事象との検討

桜島火山ガスの移流・拡散のメカニズムの考察として、文献8)では宮崎県南部地域と鹿児島県の計26の測定局においてSO₂高濃度が観測された日の事例解析や典型的な高濃度日のSO₂実測値分布と濃度の数値シミュレーションの結果を比較・検討している。ここでは、1991年のなかで典型日として挙げられている、7.10(高濃度観測地域; 宮崎)、11.11(大隅)、11.19(日南)、11.25(川内)の4例について、7.10と11.11は10-12h、他の2日は10-13hの900-850hPaの流脈線を実測値分布および数値シミュレーションと比較する。ただし、本モデルでは地形の効果や濃度分布を考慮していないので、高層風の特徴と流脈線の方角と高濃度観測点の位置関係だけを考える。

高層風は、11.25を除いて風向がよくそろっている。11.11と11.19は900-850hPaの水平幅内に主な高濃度観測点が含まれ、数値シミュレーションともほぼ一致する。11.25はシアーが大きいため、900-850hPaの移流は北よりで広がりすぎる。ただし、925-900hPaの水平幅内には全ての高濃度観測点が含まれる。しかし、宮崎で高濃度が観測された7.10は900-850hPaの移流は北より過ぎる。数値シミュレーションも北より過ぎる傾向がみられてその点は一致する。しかし本モデルでは、数値シミュレーションのような濃度拡散は取り扱っていないため、この日は主要な高濃度観測点から外れている。

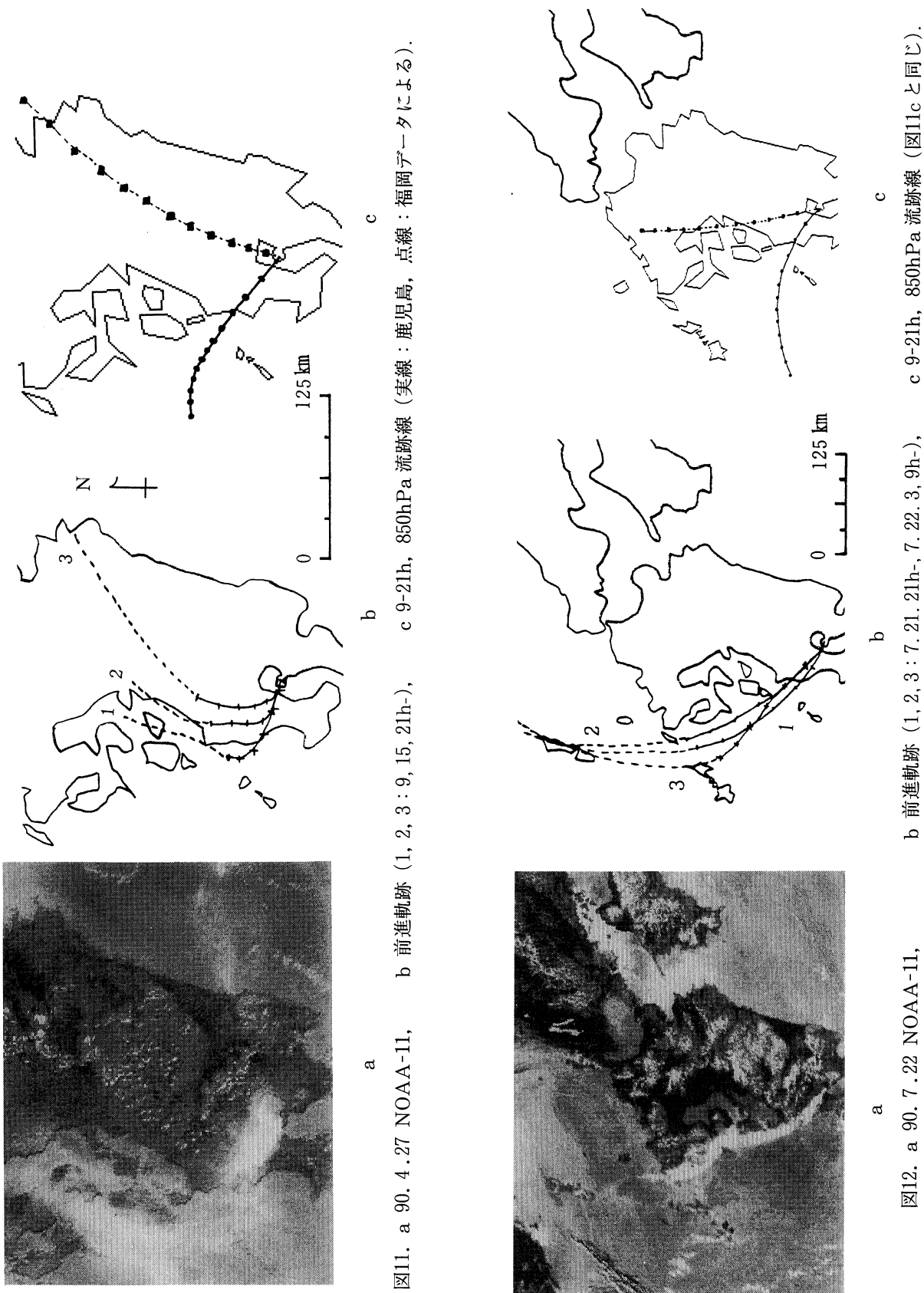


図11. a 90.4.27 NOAA-11, b 前進軌跡 (1, 2, 3 : 9, 15, 21h-), c 9-21h, 850hPa 流跡線 (実線：鹿児島島，点線：福岡データによる).

図12. a 90.7.22 NOAA-11, b 前進軌跡 (1, 2, 3 : 7.21.21h-, 7.22.3.9h-), c 9-21h, 850hPa 流跡線 (図11cと同じ).

5. お わ り に

本稿では、高層風の鉛直シヤーが噴煙の移流・拡散形態を決める主要な要因であると仮定する鉛直シヤーモデルにより得られた流脈線を、31例の衛星画像および4例のSO₂高濃度事象日の実測値分布と数値シミュレーションの結果と比較・検討を行った。また、5例の流跡線解析との対比を行った。

その結果、次の点が明らかになった。①高層風の鉛直シヤーは、噴煙の移流・拡散形態に支配的な影響を与えている。②鹿児島のデータの適用範囲内の高層風は各等圧面ではほぼ一様であると見なし、よい。③噴煙と火山ガスの挙動はほぼ一致している。ただし、6時間おきの定時観測結果の内挿ではとらえきれないと考えられる事例が、割合は少ないが若干見られる。

また、モデルに関する、鉛直拡散や降灰の考慮、爆発初期の乱流の水平拡散への効果および濃度分布の検討や、高層データに関して、さらに鹿児島と福岡間の等圧面の風の、場所による違いを取り入れた空間内挿を行うことなどは今後の課題である。

謝 辞

コンピュータプログラムや画像処理に関する三仲啓氏（鹿大教育）のひと方ならぬご助力に感謝致します。著者のひとり（木下）は、流跡線解析についての直江寛明氏（気象研究所）をはじめ、NOAA データ解析についての後藤あずみ氏（日本気象協会情報本部）・斉藤誠一氏（北大水産）、細山田三郎氏（鹿大教育）との共同研究に感謝します。また、南九州におけるSO₂高濃度事象解析の議論について大倉光志氏（宮崎大工）に感謝します。

参 考 文 献

- 1) 木下紀正・吉田 潔, 桜島噴煙流の写真解析, 鹿大教育学部研究紀要, 自然科学編, 42, 1, 1990.
- 2) 木下紀正・細山田三郎, 桜島噴煙拡散の衛星画像と地上観測, 鹿大教育学部研究紀要, 自然科学編, 43, 1, 1991.
- 3) K. Kinoshita, Video Monitoring of Ejection and Dispersion of Volcanic Ash Clouds from Mt. Sakurajima, Proc. 3rd. Asian Symp. on Visualization, Chiba, 1994, p. 416.
木下紀正, 桜島の噴煙と地形性雲のビデオ観測, 可視化情報, 15, Suppl. 2, 117, 1995.
- 4) K. Kinoshita, Observation of Flow and Dispersion of Volcanic Clouds from Mt. Sakurajima, Atmospheric Environment, in press, 1996.
- 5) 直江寛明・木下紀正・池辺伸一郎, 九州における火山ガス長距離輸送の解析, 天気, 40, 671, 1993.
- 6) 直江寛明・木下紀正・池辺伸一郎, 火山ガス長距離輸送の流跡線解析, 日本気象学会春季大会講演予稿集, 1993, D 358.
- 7) 石川誠一・大倉光志・富田雄一郎・斉藤信弘・藤田芳和, 宮崎県南部地域におけるSO₂高濃度事象の解析, 宮崎大工学部研究報告, 40, 1, 1994.
- 8) 大石 忠・磯永敏男, 桜島プルームの移流・拡散の解析と簡単な数値シミュレーション, 平成5年度宮

飯野, 木下: 桜島噴煙の衛星画像の鉛直シヤーモデルによる検討

崎大学工学部卒業論文, 1994.

- 9) 飯野直子・木下紀正, 桜島の噴煙拡散の鉛直シヤーモデル, 可視化情報, **15**, Suppl. 2, 121, 1995.
- 10) 堤 毅一・増水紀勝・木下紀正・石黒悦爾, JERS-1 データを用いた桜島の噴煙抽出と土地被覆の検討, 日本リモートセンシング学会第17回学術講演会論文集, 1994, p. 75.
K. Tsutsumi, T. Masumizu, K. Kinoshita, E. Ishiguro, S. Tanaka and T. Sugimura, Investigation of the Dispersion of Volcanic Ash from Mt. Sakurajima and the Detection of Ash Deposit Area, Final Rep. JERS-1/ERS-1 System Verification Program, Vol. 2, 1995, p. 385.
- 11) 細山田三郎・木下紀正・斉藤誠一・後藤あずみ, 気象衛星ノアの赤外画像からの火山噴煙検出, 日本リモートセンシング学会九州支部 第2回研究発表会論文集, 1994, p. 21.
K. Kinoshita, S. Hosoyamada, A. Goto and S. Saitoh, NOAA-AVHRR Imagery of Volcanic Clouds in Kyusyu, Japan, Proc. 1993 Int. Geosci. and Remo. Sens. Sympo., Tokyo, 1993, p. 1824.
- 12) 鹿児島地方気象台, 鹿児島の気象百年誌, 日本気象協会鹿児島支部, 1983.
- 13) 小倉義光, 一般気象学, 東京大学出版会, 1985.
- 14) 伊藤昭三, 環境工学—大気編入門—, 朝倉書店, 1984.
- 15) 林田佐智子・笹野泰弘, 大規模な物質輸送現象解明のための流跡線解析とその問題点, 日本気象学会春季大会予稿集, 1988, p. 244.
笹野泰弘, 流跡線解析, 黄砂エアロゾルに関する調査研究, 大気汚染研究協会, 1989, p. 131.