

JAERI-Research
2001-012



JP0150342



SPEEDIによる三宅島火山性ガスの
大気拡散シミュレーション

2001年3月

永井 晴康・古野 朗子・寺田 宏明
梅山 信昭 山澤 弘実 茅野 政道

日本原子力研究所
Japan Atomic Energy Research Institute

本レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。

入手の間合わせは、日本原子力研究所研究情報部研究情報課（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村）あて、お申し越しください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

This report is issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Research Information Division, Department of Intellectual Resources, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, 319-1195, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 2001

編集兼発行 日本原子力研究所

SPEEDIによる三宅島火山性ガスの大気拡散シミュレーション

日本原子力研究所東海研究所環境科学研究部

永井 晴康・古野 朗子・寺田 宏明・梅山 信昭・山澤 弘実・茅野 政道

(2001年1月31日受理)

原研では、原子力事故時に放射性物質の大気拡散をリアルタイムで予測するために開発した計算システムSPEEDIとWSPEEDIを基盤に、さまざまな環境汚染に対応できるような環境中物質循環予測研究を推進している。今回、その一環として三宅島火山性ガスの広域拡散シミュレーションを行っている。2000年8月28日の関東西部での三宅島の火山性ガスによる異臭騒ぎ以降、現在まで、以下のような火山性ガスの広域拡散シミュレーションを行ってきた。

- (1) 8月28日に火山性ガスが高濃度のまま関東地方西部に到達するメカニズムの解明と放出量の推定。
- (2) 9月13日の東海、関西地域における異臭騒ぎでの火山性ガスの到達メカニズムの解明。
- (3) 東海、関東地区を対象に気象データ収集から図形出力まで自動化した定常的な拡散予測を継続。

本報告は、上記の一連の活動をまとめたものである。

Atmospheric Dispersion Simulations of Volcanic Gas from Miyake Island by SPEEDI

Haruyasu NAGAI, Akiko FURUNO, Hiroaki TERADA, Nobuaki UMEYAMA ,
Hiromi YAMAZAWA and Masamichi CHINO

Department of Environmental Sciences
Tokai Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received January 31, 2001)

Japan Atomic Energy Research Institute is advancing the study for prediction of material circulation in the environment to cope with environmental pollution, based on SPEEDI (System for Prediction of Environmental Emergency Dose Information) and WSPEEDI (Worldwide version of SPEEDI), which are originally developed aiming at real-time prediction of atmospheric dispersion of radioactive substances accidentally released from nuclear facility. As a part of this study, dispersion simulation of volcanic gas erupted from Miyake Island is put into practice. After the stench incident at the west Kanto District on 28 August 2000 caused by volcanic gas from Miyake Island, the following simulations dealing with atmospheric dispersion of volcanic gas from Miyake Island have been carried out.

- (1) Retrospective simulation to analyze examine the mechanism of the transport of high concentration volcanic gas to the west Kanto District on 28 August and to estimate the release amount of volcanic gas.
- (2) Retrospective simulation to analyze the mechanism of the transport of volcanic gas to Tokai and Kansai districts in a case of stench incident on 13 September.
- (3) Automated real-time simulation from the acquisition of meteorological data to the output of figures for operational prediction of the transport of volcanic gas to Tokai and Kanto districts.

This report describes the details of these studies.

Keywords: SPEEDI, WSPEEDI, Atmospheric Dispersion, Material Circulation, Environmental Pollution, Miyake Island, Stench Incident, Volcanic Gas, SO₂, Automated Real-time Simulation

目 次

1. はじめに	1
2. 異臭騒ぎの解明	2
2.1 関東西部のケース	2
2.2 東海・関西のケース	8
3. 長期間の定常予測	13
3.1 自動予測の方法	13
3.2 予測の結果	17
4. 結言	27
謝辞	28
参考文献	28

Contents

1. Introduction	1
2. Examination of Stench Incident	2
2.1 Case for West Kanto District	2
2.2 Case for Tokai and Kansai District	8
3. Long-term Operational Simulations	13
3.1 Method for Automated Real-time Simulation	13
3.2 Prediction Results	17
4. Concluding Remarks	27
Acknowledgement	28
References	28

This is a blank page.

1. はじめに

原研では、1979年の米国 TMI 事故以降、国内原子力施設での放射能異常放出に対してリアルタイムで大気拡散予測を行うことを目的とした緊急時環境線量情報予測システム SPEEDI (System for Prediction of Environmental Emergency Dose Information)を開発し、旧動力炉核燃料開発事業団のアスファルト固化処理施設火災爆発事故⁽¹⁾や、東海村での JCO 臨界事故時の放射性物質大気拡散評価⁽²⁾に活用してきた。また、チェルノブイル事故の際には応急的なシステム変更により放射能の拡散予測に対応するとともに⁽³⁾、この経験を踏まえ、海外で発生した原子力関連事故により大気環境中に放出された放射性物質の広域拡散、地表面沈着及び被曝線量をリアルタイムで計算し、日本への影響を予測することを目的に SPEEDI の世界版 WSPEEDI (Worldwide version of SPEEDI) の研究開発を進めてきた⁽⁴⁾。

環境科学研究部大気環境研究グループでは、これらの研究成果を原子力以外の環境問題に広く活用するために、計算システム SPEEDI と WSPEEDI を基盤に、さまざまな環境汚染に対応できるような環境中物質循環予測研究を推進している。今回、その一環として、2000年8月28日午前10時ころから夕刻にかけて関東西部を中心に SO₂ 濃度測定値の急激な上昇及び硫黄臭と思われる刺激臭に関する苦情及び問い合わせが多数発生したこと(以下異臭騒ぎと呼ぶ)を契機に、三宅島火山性ガスの広域拡散シミュレーションを行っている。現在までの活動状況は、以下のとおりである。

- 8月28日 関東地方西部で異臭騒ぎが発生。
- 8月29日 異臭騒ぎについて、原研SPEEDIを用いて三宅島の火山性ガスとの関連を解析。
- 9月7日 火山性ガスの関東地方への進入過程を解明してプレス発表。
- 9月13日 東海、関西地域で異臭騒ぎが発生。
- 9月14日 三宅島火山性ガスの東海・関西地区への移行挙動を解析。
- 9月28日 (株)日本特殊陶業小牧工場から、定常的な拡散予測の可能性について打診。
- 10月4日 NHKニュース10で東海、関西地域での拡散シミュレーション結果を放映。
- 10月11日 気象データ収集から図形出力まで自動化し、定常的な拡散予測を開始。

シミュレーション手法としては、三宅島の噴火により放出される火山性ガスのうち SO₂ を対象として、大気力学モデルによる局地気象場予測で計算した風速場及び渦拡散係数に基づき、SO₂ を模擬した粒子群の移動を追跡し濃度分布の時間変化を求めた。また、シミュレーションによる予測濃度と測定結果の比較から SO₂ の放出量推定を行った。

本報告は、上記の一連の活動をまとめたものであり、第2章に関東西部及び東海・関西で発生した異臭騒ぎに到る火山性ガスの拡散メカニズムの解明、第3章に現在まで継続して行っている定常的な大気拡散予測について述べた。

なお、プレス発表の内容と定常的な拡散予測の最新結果については、原研のホームページ <http://www.jaeri.go.jp/> で参照できる。

2. 異臭騒ぎの解明

2.1 関東西部のケース

2000年8月28日午前10時ころから夕刻にかけて関東西部を中心に発生した異臭騒ぎと三宅島噴火との関連を、コンピュータシミュレーションにより詳細に解析した。三宅島の噴火により放出される火山性ガスのうちSO₂を対象として、大気力学モデルによる局地気象場予報で計算した風速場及び渦拡散係数に基づき、SO₂を模擬した粒子群の移動を追跡し、濃度分布の時間変化を求めた。また、シミュレーションによる予測濃度と測定結果の比較からSO₂の放出量推定を行った。

1) 計算モデル

SO₂の拡散シミュレーションには、原研で開発した放射性物質の大気拡散予測システム SPEEDI を用いた。このシステムの数値モデルは、大気力学モデル、質量保存風速場モデル及び濃度・線量モデルからなる。原子力事故時の計算では、濃度計算の領域は大気力学モデルの計算領域より狭く設定し、より高分解能で濃度分布計算を行うため、質量保存風速場モデルを用いて地形分解能の差を埋める必要があるが、今回の計算では同じ大きさの領域を用いており、大気力学モデルの計算結果をそのまま濃度計算に用いた。大気力学モデルは気象庁の GPV (気象数値予報格子点データ) を初期値及び境界条件として局地気象場予報を行い、風速場、温度場、乱流量を含む3次元気象場の変化を1時間ごとに出力する。濃度モデルは、大気力学モデルから出力された気象場を基に拡散物質を模擬した仮想粒子群の移動を粒子拡散モデルにより追跡し、濃度分布、沈着量等の時間変化を求める⁽⁵⁾。

2) 計算条件

計算領域は、三宅島を南端に含む400km四方、鉛直4kmに設定した(第1図)。大気力学モデルによる気象計算の格子数は水平50x50、鉛直30とし、水平方向は8kmの等間隔、鉛直方向は層の厚さが最下層での10mから最上層の400mまで増加する可変格子とした。一方、濃度分布の計算格子は、水平100x100、鉛直30で、鉛直方向は大気力学モデルと同じで水平方向の分解能を倍の4kmとした。

大気力学モデルの計算期間は異臭騒ぎの前日2000年8月27日21時から24時間とし、濃度計算は以下に述べる放出開始時刻から8月28日18時までとした。

濃度計算でSO₂を模擬する粒子群は、噴煙高度の観測データ⁽⁶⁾に基づき、海拔1000m(山頂付近)から3000m(噴煙高度)までの線分上から一様かつ放出期間中一定の割合で放出すると設定した。放出期間については、1時間だけ放出する条件の予備計算を放出開始時刻だけ変化させながら繰り返し行った結果から関東地方へSO₂が輸送されるような放出期間を解析し、2000年8月28日0時から5時までの放出とした。

3) 計算結果

大気力学モデルによる8月28日12時の地上及び上空1000mの風速計算値を第2図に示す。この時刻の一般風は概ね南から南東風で、関東平野には海風と考えられる風速分布が見られる。また、第3図に示す同時刻の渦拡散係数計算値の鉛直分布から、関東平野では混合層が1000m程度まで発達し

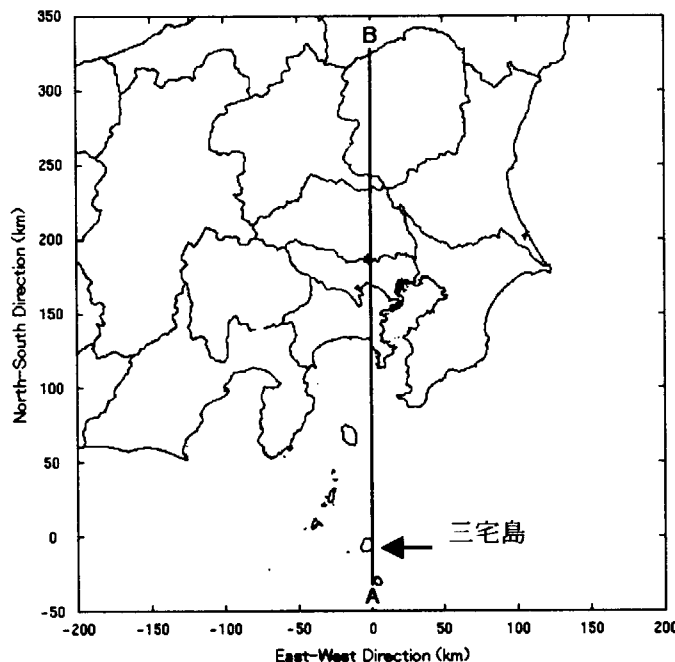
ていることがわかる。

SO₂濃度計算結果の鉛直分布を第4図に、地上での水平分布を第5図に示す。シミュレーションによると、28日の0時から3時頃に放出されたSO₂が、南から南南東の風に乗って午前中には関東西部上空に到達していた(第4図a)。12時ころには混合層がSO₂分布の底部(地上約700m)まで発達したことで取り込みによる降下が始まり濃度分布が地上まで達し(第4図b、第5図a)、さらに海風に乗って栃木、群馬方面に拡散した(第4図c及びd、第5図b)。また、午前4時から5時頃に放出されたSO₂は、南南東の風により伊豆半島の方向に流され、半島の山塊の影響で平野部に達し、静岡、山梨方面に拡散した(第5図b)。

以上の計算結果は、時間及び空間的に多少のずれは認められるが、環境庁の「大気汚染物質広域監視システム」(<http://www.eic.or.jp/eanet/>)で観測された高濃度SO₂の出現地域とよく一致した。また、三宅島に近い神奈川県南部の測定点においてSO₂濃度が低かったこともうまく説明できる。このことから、異臭の原因が夜間に三宅島から噴出したSO₂等の硫化物を含む火山性ガスであることは、ほぼ確実といえる。

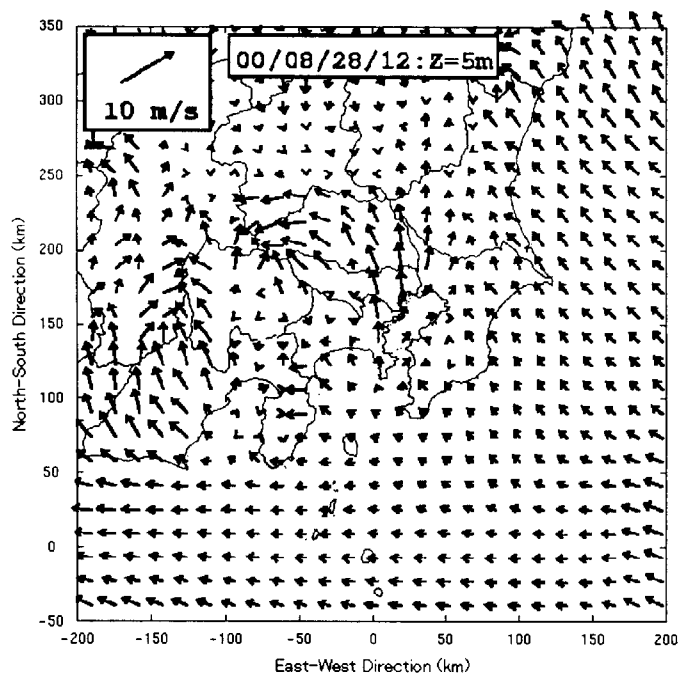
4) 放出量の推定

SO₂の放出率は不明のため、シミュレーションでは1m³/hの放出を仮定している。そのため、もしシミュレーションで設定した放出条件が実際の放出と一致しているとすれば、ある地点で実際に測定された濃度が、シミュレーションによるその地点の濃度の何倍か求めれば、それが放出率となる。環境庁の大気汚染物質広域監視システムのデータによれば、濃度差はあるが関東西部での高濃度は平均して200ppb程度であり、計算では約2x10⁻⁴ppbである。従って、放出率(m³/h)=200/2x10⁻⁴=1x10⁶(m³/h)=約2.5千トン/時となる。推定値が評価地点により差があることや、放出の初期分布が未確定であることを考慮すると、28日未明から明け方にかけてのSO₂総放出量は数千から1万トン程度と推定できる。

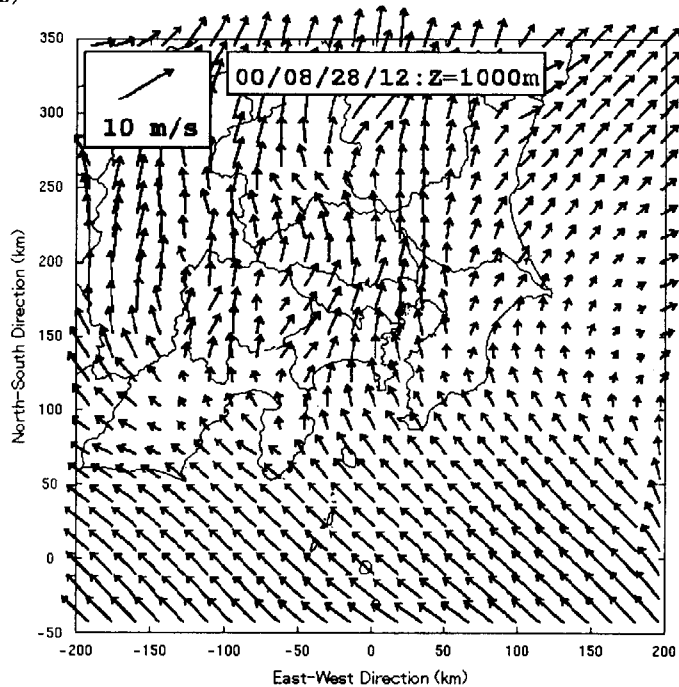


第1図 関東西部のケースの計算領域(直線A-Bは第3図以降に示す鉛直断面図の位置)

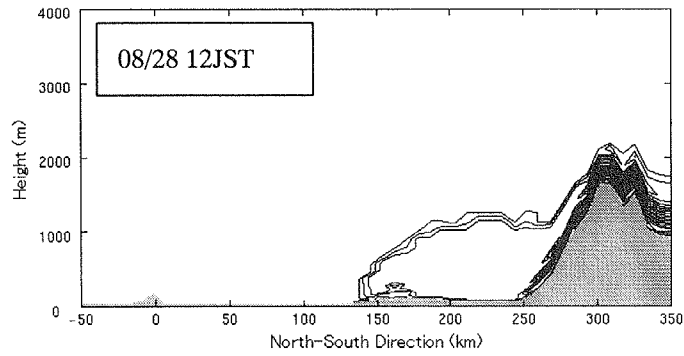
(a)



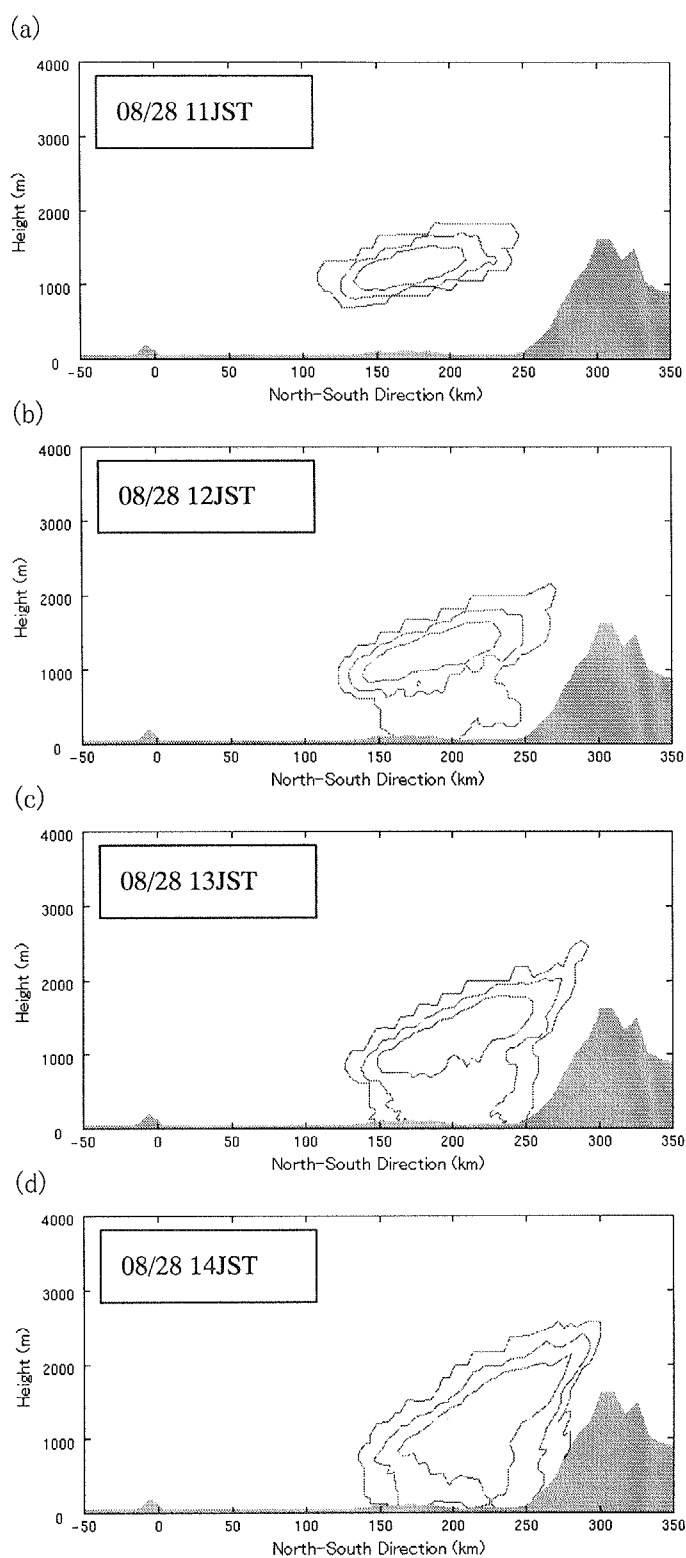
(b)



第2図 大気力学モデルによる8月28日12時の地上及び上空1000mの風計算値
(風速ベクトルはx、y方向ともに一つおきに間引いている)

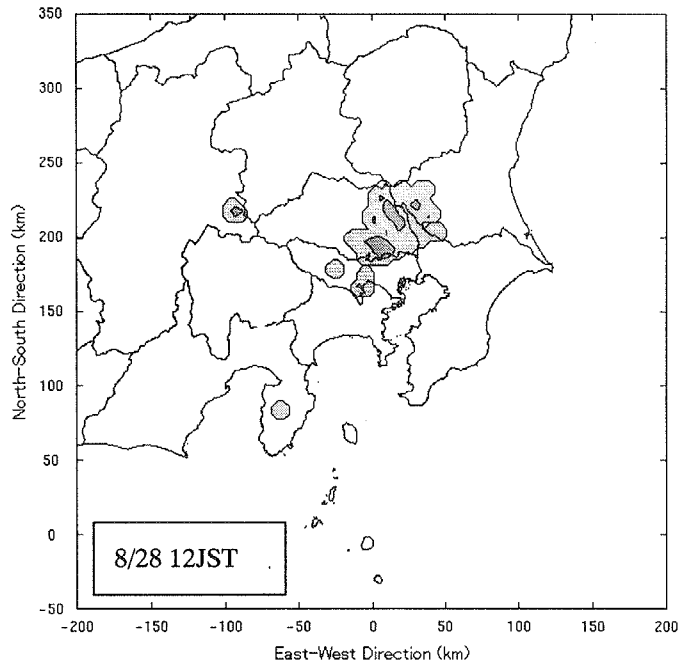


第3図 大気力学モデルによる8月28日12時の渦拡散係数計算値の鉛直分布
(断面は第1図の直線A-B上で、等値線は外側から1、20、40 m²/s)

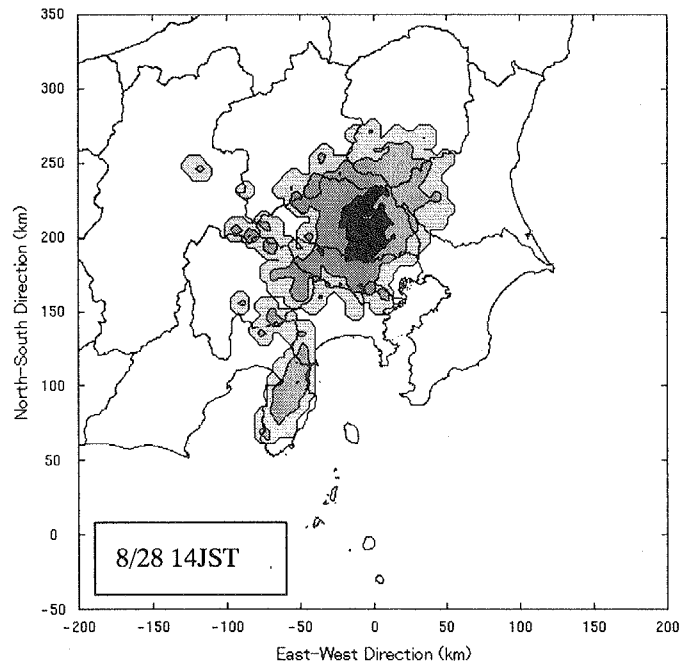


第4図 濃度モデルによる8月28日11時から14時までのSO₂濃度計算値の鉛直分布
 (断面は第1図の直線A-B上、等濃度線は放出量を1m³/hと仮定した場合のもので外側から
 10⁻²⁰、10⁻¹⁴、10⁻¹³ m³/m³)

(a)



(b)



第5図 濃度モデルによる8月28日12時及び14時におけるSO₂濃度計算値の地上分布
(等濃度線は放出量を1m³/hと仮定した場合のもので、外側から10⁻²⁰、10⁻¹⁴、10⁻¹³ m³/m³)

2.2 東海・関西のケース

2000年8月28日の関東西部での異臭騒ぎの後、同年9月13日から14日にかけて東海から関西及び北陸地方にまで及ぶ広域で同様な異臭及びSO₂濃度上昇が発生した。8月28日のケースと同様に三宅島から放出されたSO₂について9月13日における濃度分布の時間変化をコンピュータシミュレーションにより求めた。また、測定されたSO₂濃度分布の時間変化を良く再現するように設定した放出高度が8月28日のケースと大きく異なっていたため、その原因について考察を行った。

1) 計算条件

計算領域は、三宅島、近畿及び北陸地方を含む550km四方、鉛直4kmに設定した。大気力学モデル及び濃度モデルの格子数及び格子間隔は、水平方向の格子間隔が11km及び5.5kmになった以外は8月28日のケースと同じである。

大気力学モデルの計算期間は2000年9月12日21時から9月13日24時までの27時間とした。濃度計算は以下に述べる予備計算の結果から9月13日03時から9月13日23時までの20時間とし、放出条件は9月13日03時から12時までの期間に海拔0mから1000mまでの線分上から一定かつ一様な放出とした。

2) 予備計算

濃度計算の計算条件を決定するために予備計算を行った。観測された噴煙の到達高度は火口上空1000m程度であったので、8月28日のケースと同様に海拔1000m(山頂付近)から2000mまでの線分上から一様かつ一定の放出率で、SO₂を模擬する粒子群を1時間だけ放出する計算を繰り返した。しかし、SO₂濃度分布は東海及び北陸地方までは広がるが関西まで達するような時間帯はなく、東海地方に到達する時刻も測定及び異臭発生の時刻から大幅に遅れていた。濃度計算でSO₂測定値の分布及び時間変化を再現できなかったことの原因として、放出高度の設定が実際と異なっていたことが考えられる。実際、風速場の計算結果では、放出設定高度には関西に向かう風速成分はなく海拔1000mより下層で関西方面に向かう東風成分があり地表に近くなるほど強くなっていた。そこで、高度放出高度及び期間を変えた計算を実施した結果、海拔0mから1000mまでの高度から9月13日03時から12時まで放出した場合に測定されたSO₂濃度分布及び時間変化を良好に再現できた。

3) 計算結果

大気力学モデルによる9月13日12時の地上及び上空1000mの風速計算値を第6図に示す。全般的に地上は東風、上空は南風成分が強くて大きな風速シアが見られる。

SO₂濃度計算結果の地上での水平分布を第7図に示す。シミュレーションにより、地上付近から放出されたSO₂が、東風に乗って東海方面に輸送され14時ころまでには愛知県全域に達し(第7図a)、18時ころから近畿地方で高濃度となるようすが再現された(第7図c)。一方、上空から放出されたSO₂は、南から南東風成分により長野県から北陸方面に輸送され、中部山岳の影響で地表に降下して高濃度を引き起こした(第7図b、c、d)。以上より、三宅島から放出されたSO₂は地上付近の気流により関西方面に、上空の南風により北陸方面に輸送され広範囲にわたるSO₂濃度分布を引き起こしたと考えられる。

4) 放出高度の考察

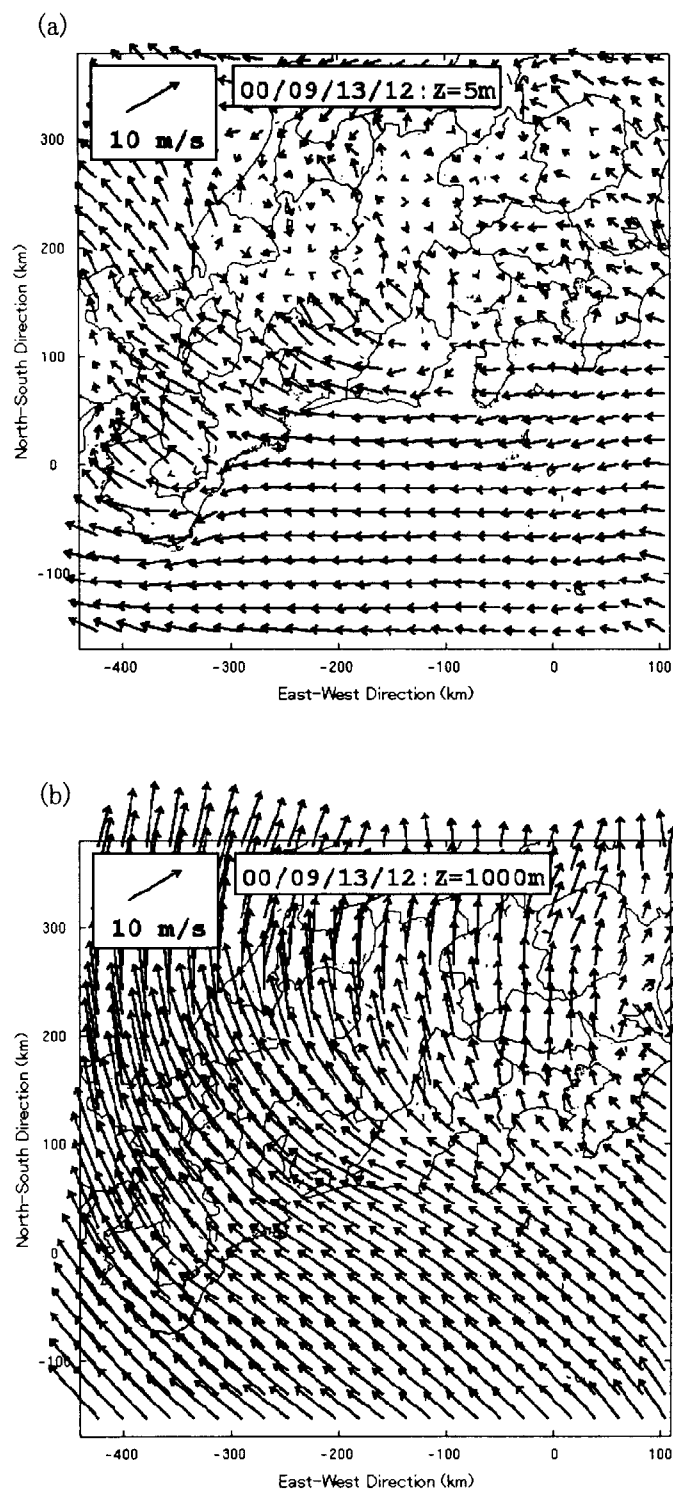
シミュレーションによるSO₂濃度分布の時間変化は、SO₂測定値と定性的に一致していたが、放出条件の設定には問題が残っている。ここで用いた拡散モデルには火山性ガス放出時の噴出あるいは浮力による上昇等の過程は含まれていない。また、モデル格子の分解能では表現できない地形の影響等も考慮する必要があるので、これらの過程による上昇あるいは下降を経て、鉛直速度を持たない放出物質の柱状分布が放出点付近に成されると仮定し、それを拡散計算の放出高度とした。8月28日のケースでは山の高さ及び噴煙の到達高度から設定した海拔1000mから3000mの放出高度で良好な結果が得られたが、9月13日のケースでは測定された分布を再現するような放出高度を予備計算により決定する必要があり、しかも火口より低く設定しなければならなかった。これら2ケースでの放出高度の相違について考察を行った。

8月28日及び9月13日の両ケースにおける風速場計算は、上空については測定点が十分になく測定時刻も限られているので確認できないが、地上についてはアメダス等の測定値を良く再現していた。従って、シミュレーションが正しいとすれば、9月13日のケースではSO₂分布は三宅島付近で海面近くまで下がっていたことになる。一方、8月28日のケースでも放出の最低高度を下げた計算を行ったが、高濃度が出現しなかった三宅島に面した海岸部や関東東部までSO₂濃度分布が広がり実測と合わなくなった。従って、これら2ケースで三宅島付近でのSO₂分布、つまり放出直後の拡散状況が異なっていたと考えなければならない。

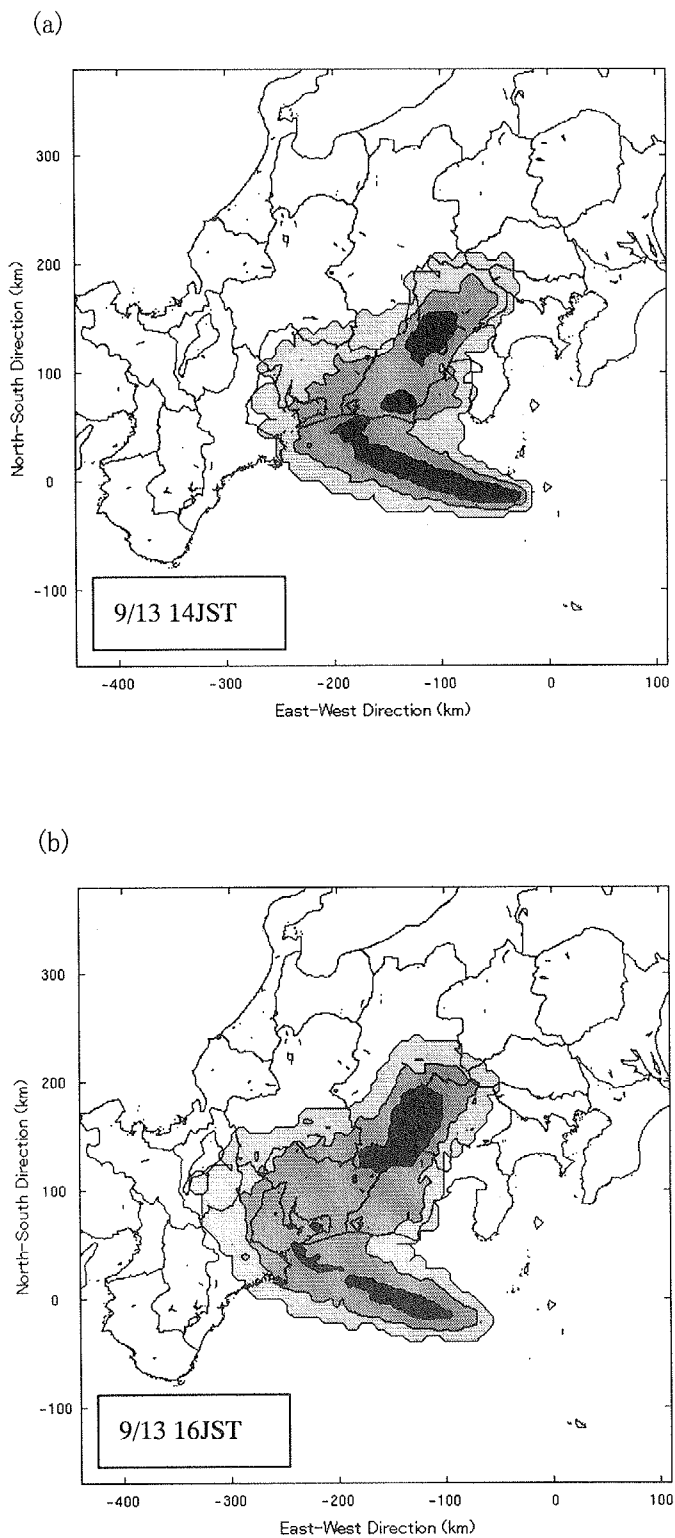
放出直後の拡散状況を決定する要因としては、ガスの噴出速度、噴出地点及び向き、温度等の火山性ガス噴出特性によるものと風向風速、大気安定度、地形による気流の乱れ等の気象条件に起因するものが考えられる。前者については、8月28日のケース直後の8月29日に大規模な噴火がありその際に大きな変化があった可能性は十分ある。噴煙到達高度から9月13日のケースの方がガスの上昇速度は小さく、火口からあまり上昇せずに地表に沿って流されたことも考えられる。後者については、初期拡散に影響を及ぼすと考えられる違いが風速場に見られる。8月28日のケースでは、三宅島及び関東地方は東海上に中心を持つ高気圧に覆われ穏やかな南よりの風速場となっていた。一方9月13日のケースでは、沖縄本島付近の発達した台風と東北地方を東西に横切る停滞前線の影響で三宅島付近の地上風は比較的強い東風、上空1500m付近では南東風となっていた。大気安定度も考慮する必要があるが、一般に風速が速いほど地形による気流の乱れは大きくなる。火口から吹き上げられた火山性ガスは、8月28日のケースでは安定した穏やかな気流によりほぼ水平に移流したが、9月13日のケースでは乱流による拡散、山越え気流、あるいは山の風下側での吹き降ろし等により三宅島近傍で海面付近まで輸送されたと考えられる。事実、同様に強風だった9月20日に三宅島近傍の海上において高濃度のSO₂が検出されたという報告もある。従って、9月13日には上記のようなガスが降下しやすい気象条件に噴出時のガスの上昇速度が小さかったことも加わって、SO₂分布が三宅島近傍で海面近くまで下がったと考えられる。

上記のような火山性ガスに特有な放出直後の拡散過程は、現時点のモデルでは計算することができない。従って、現地での観測情報がなければ先に述べたように放出条件を設定する際に予備計算により放出源近傍での初期分布を推定する必要がある。ここで述べた2ケースのような事後解析においては測定値を基に初期分布を推定する手法はむしろ有効であろう。しかし、予報計算においてはこのような手法は使うことができない。考えられる最大限の初期分布を与えて放出物質が到達する可能性がある範囲を

予報することは可能であるが、より精度の高い予報を行うためには、現地での種々の観測情報を迅速に入手し初期分布を推定する手法の開発、または上記のような放出直後の拡散過程を計算する機能を開発することが必要である。

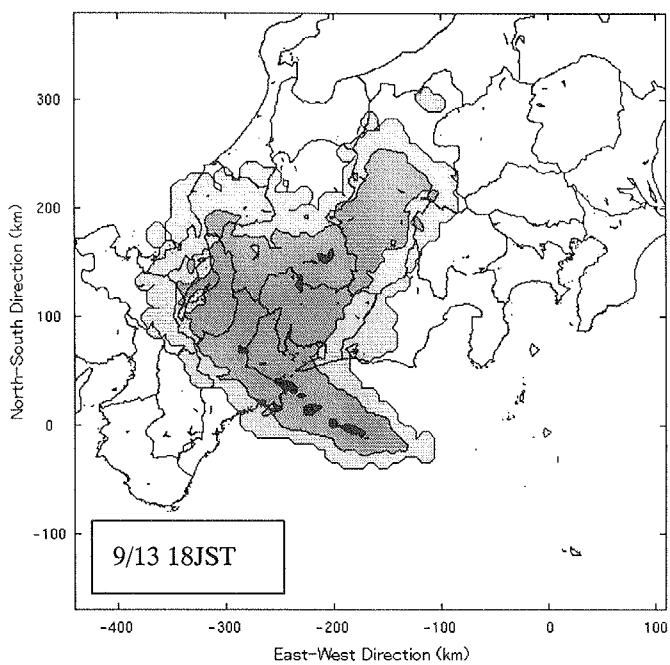


第6図 大気力学モデルによる9月13日12時の地上及び上空1000mの風計算値
(風速ベクトルはx、y方向ともに一つおきに間引いている)

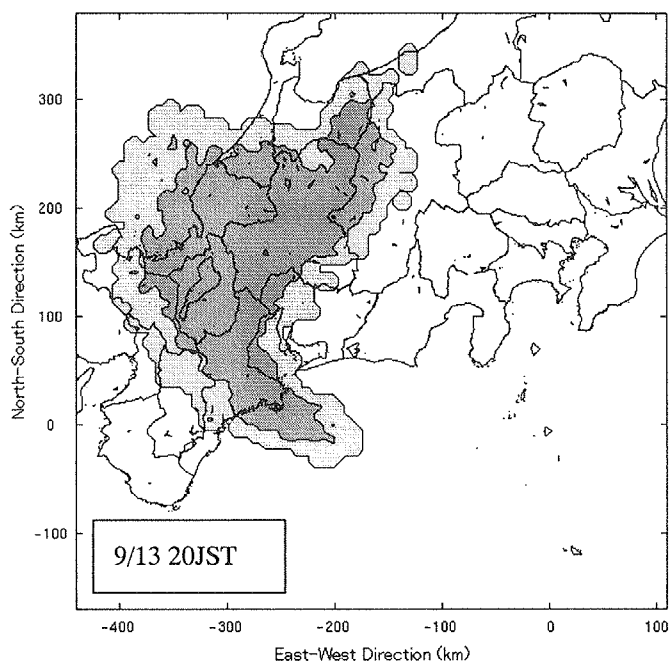


第7図 濃度モデルによる9月13日14時及び16時のSO₂濃度の地上分布
(等濃度線は放出量を1m³/hと仮定した場合のもので外側から10⁻²⁰、10⁻¹³、10⁻¹² m³/m³)

(c)



(d)



第7図 続き(9月13日18時及び20時)

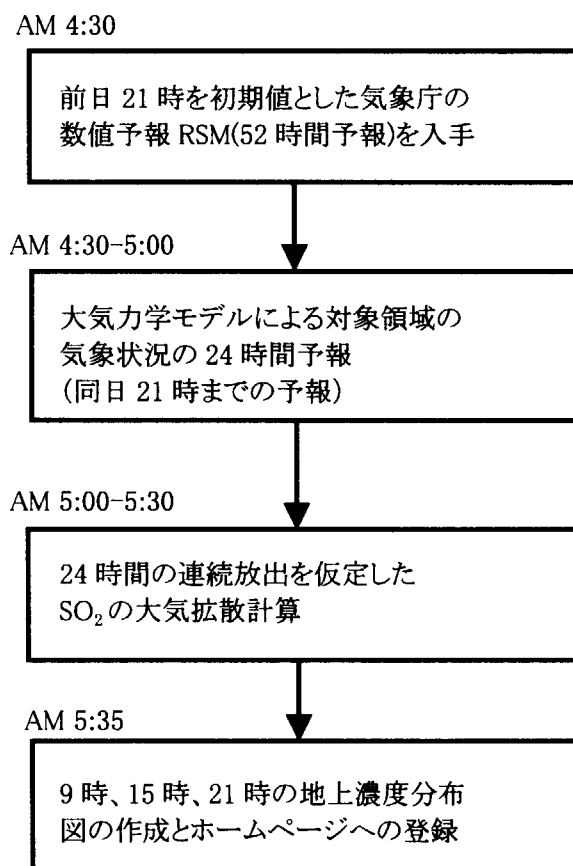
3. 長期間の定常予測

3.1 自動予測の方法

原研では、三宅島の火山ガス噴出が長期にわたることが予想されること、秋季には低気圧の接近により生ずる南風により東海・関東での異臭騒ぎの再発が懸念されること、(株)日本特殊陶業小牧工場(愛知県小牧市)から予測継続の打診があったことなどから、10月以降、リアルタイムでの火山性ガスの大気拡散予測を継続している。計算条件は、高濃度火山性ガスが到達する可能性がある領域、先に述べた放出高度の考察等を考慮して以下のように設定した。

計算領域	: 東北南部から近畿地方を含む 600×600 km (三宅島は領域南西隅から北に 170 km 東に 440 km)	
気象場計算	: 格子数 50×50、分解能 12km	濃度計算: 格子数 100×100
計算期間	: 前日 21 時から当日 21 時までの 24 時間	
放出条件	: 初期分布: 海拔 0~2000m の柱状	
放出量	: 二酸化硫黄 (SO ₂)、1 時間に 1m ³ (1 日に約 70 kg)	
放出期間	: 24 時間連続	
その他	: 雨及び雲による除去は考慮しない。	

長期にわたる予測計算をマニュアル操作で行うのは人的に困難であるため、ワークステーションのスケジューリング機能を利用して、一日に一回、全自動式で計算を行えるようにした。手順を、第 8 図に示す。



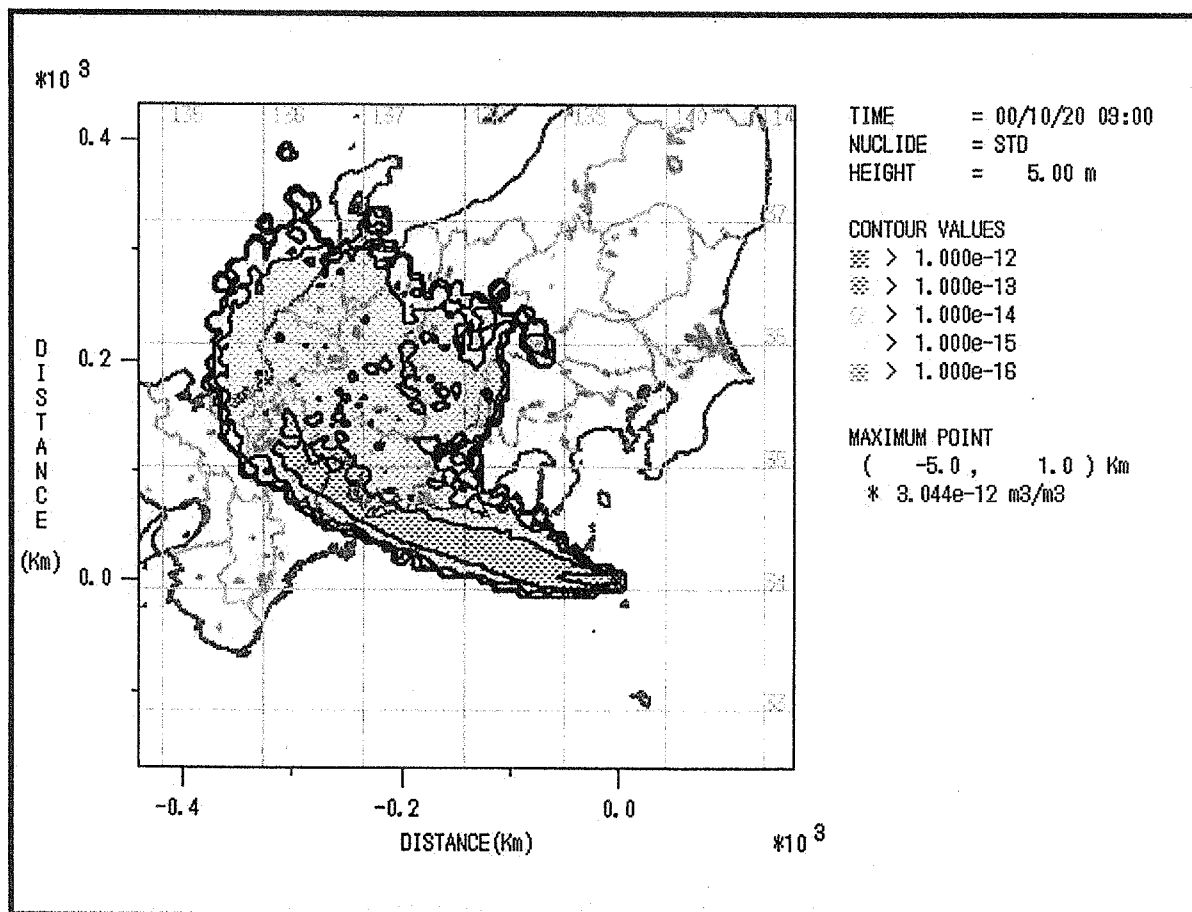
第 8 図 原研 SPEEDI による三宅島火山性ガス広域拡散の自動シミュレーション概念図

This is a blank page.

これにより、朝 6 時には、インターネットにより当日 21 時までの以下の拡散予測結果を確認できるようにした。

出力項目 : SO₂ 地上濃度分布の地図上表示
 単位 : 単位体積の空気に含まれる SO₂ の体積割合 (100 万倍で ppm 単位)
 (注) 放出量が 1 日に 1 万 t の場合さらに約 14 万倍する必要がある。
 濃度分布の時刻 : 9, 15, 21 時 (各時刻の 3 時間前からの平均濃度)

さらに、自動計算により SO₂ が東海から関東に拡散する可能性が予測された場合には、当日 9 時を初期値とした最新の気象庁気象予報を用いて、翌日の朝 9 時までの拡散予測が行われる。ホームページで確認できる図形の例を、第 9 図に示す。



第 9 図 原研ホームページで検索できる SO₂ 地上濃度分布図の例 (10 月 20 日 9 時)

予測結果は、次節に示すように、定常的なガス濃度の測定値と比較することで、SPEEDI 計算モデルの長期間予測の性能評価や、計算シミュレーションの自動化システムの開発など、新たな研究に役立っている。

This is a blank page.

3.2 予測の結果

前節で述べた自動長期予測結果を検証するため、(株)日本特殊陶業小牧工場(愛知県小牧市)から提供された測定データと予測結果の比較を行った。また、モデル計算の結果と天気図(当時の総観規模の気象条件)を比較することで、高濃度となりやすい気象条件を特定した。

1) 算結果と測定結果の比較

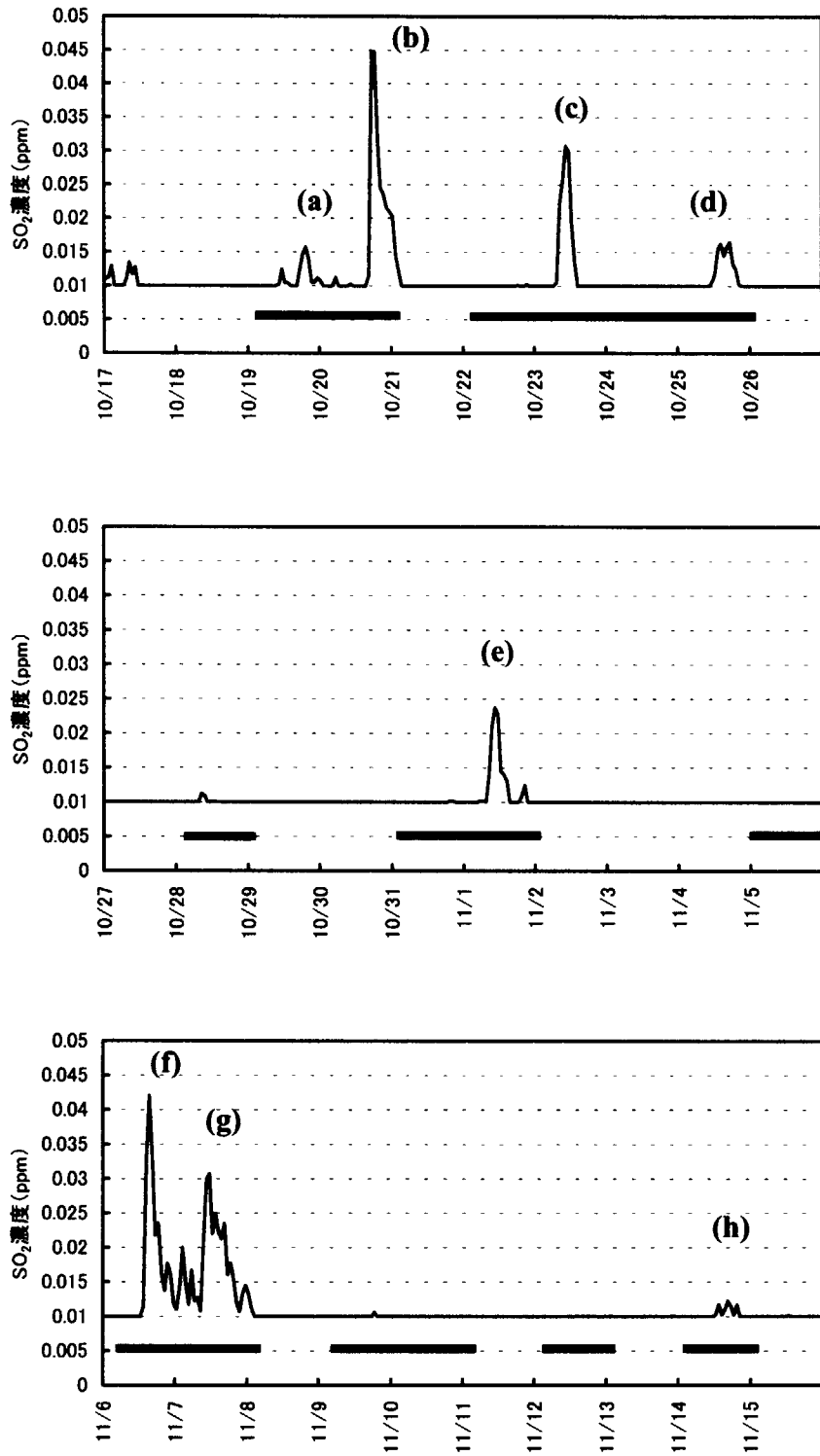
比較に使用した測定データは平成12年10月17日～12月11日の1時間平均のSO₂濃度(ppm)である。測定されたSO₂濃度の時系列変化を第10図に示す。また、0.01ppm以上の濃度上昇(以下、濃度上昇)が出現した日の一覧を第1表に示す。

第1表 濃度上昇出現日とその時間

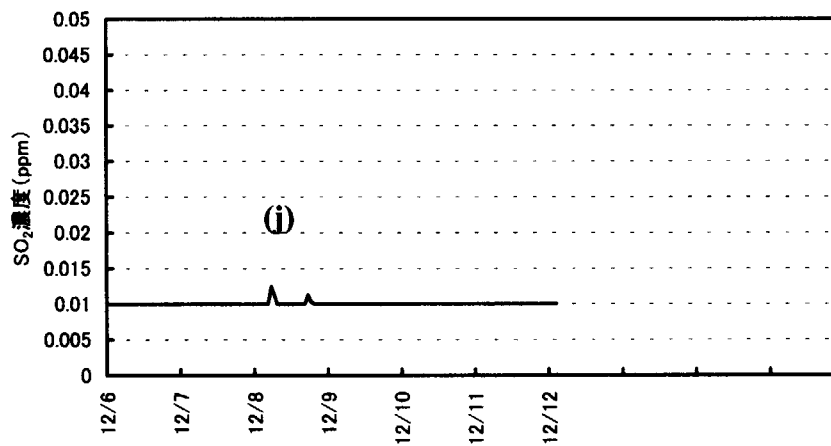
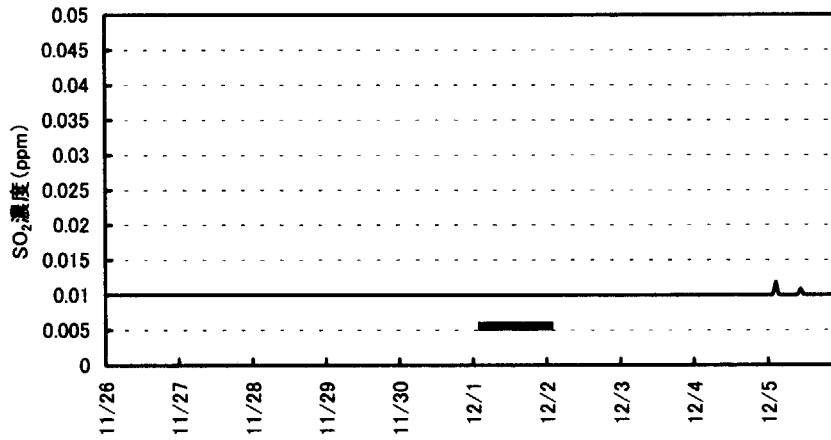
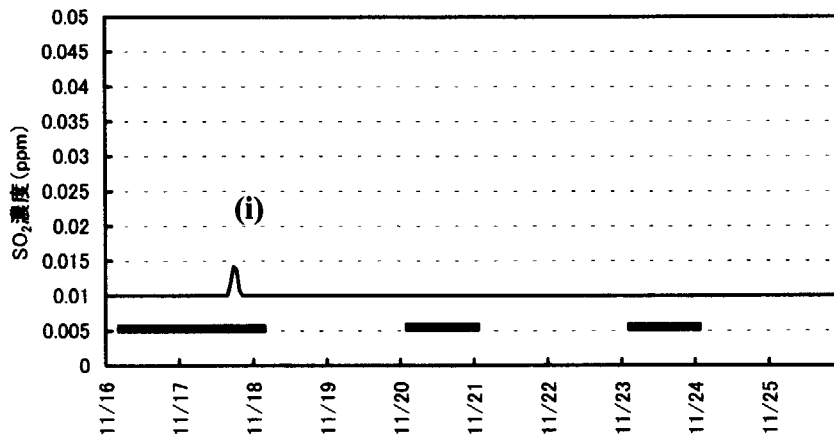
日付	時間	日付	時間
10/17	1:00-3:00	11/1	9:00-17:00
	8:00-11:00		21:00
10/19	12:00	11/6	14:00
	18:00-22:00		
10/20	18:00	11/8	5:00
		11/14	14:00
10/21	4:00		18:00-20:00
10/23	9:00-14:00	11/17	17:00-21:00
10/25	13:00-20:00	12/5	3:00, 12:00
10/28	9:00-10:00	12/8	7:00, 21:00

第10図によれば、解析を行った2ヶ月間の中で10月17日から11月15日までの前半の1ヶ月(第10図(1))に規模の大きい濃度上昇が観測され、頻度も多い。一方、後半1ヶ月(第10図(2))では、濃度上昇はほとんどなく、最大値も0.015ppm以下であった。濃度変動の要因は、放出量の変化と気象状態の変化が大きい。前者については「大規模な放出が続いている」という報道があるものの詳細な変動は不明である。後者については、3)で考察する。第10図において、0.005ppmのラインに示した太線は、自動予測計算が、同日に愛知県小牧市周辺にSO₂が移流することを予測したことを示している。第10図のアルファベットで示した濃度上昇に対応した日時濃度分布予測を第11図に示す。実際にSO₂の濃度上昇が観測された日には、計算でもすべて濃度上昇が予報されており、現在継続している自動長期予測が、予報機能の役割をはたしているといえる。なお、(j)のケースについては、測定された濃度上昇は計算開始時刻の0時以前の放出に起因したため通常の計算設定では再現できなかったが、9時を初期値とした計算では再現できた。

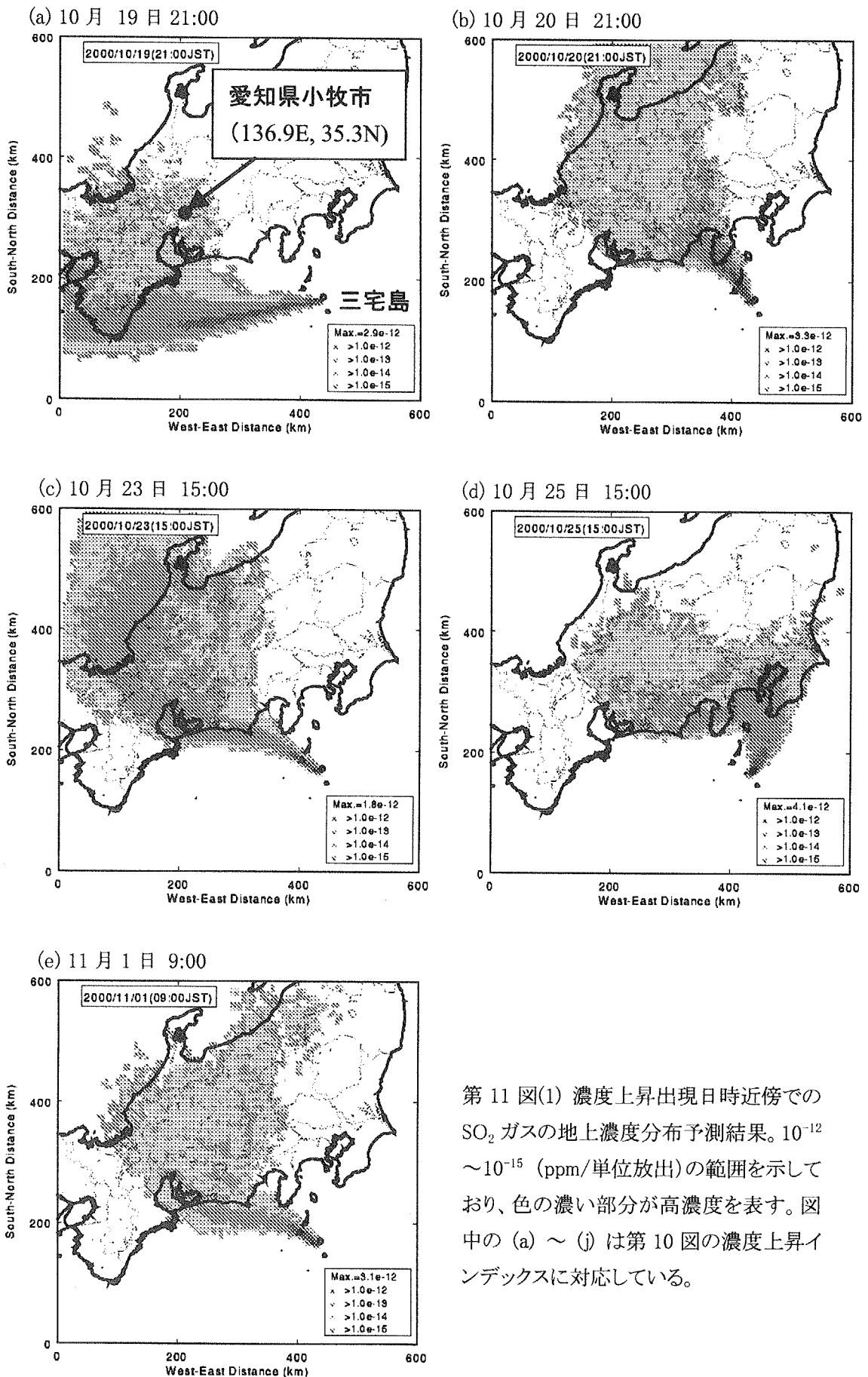
濃度上昇が予測されたにもかかわらず、実際の濃度上昇が現れなかったケースもあるが、これは、入力データやモデルの精度が要因である他、実際にSO₂ガスが流れても放出量の増減により、検出されないケースもあるのでないかと考えられる。



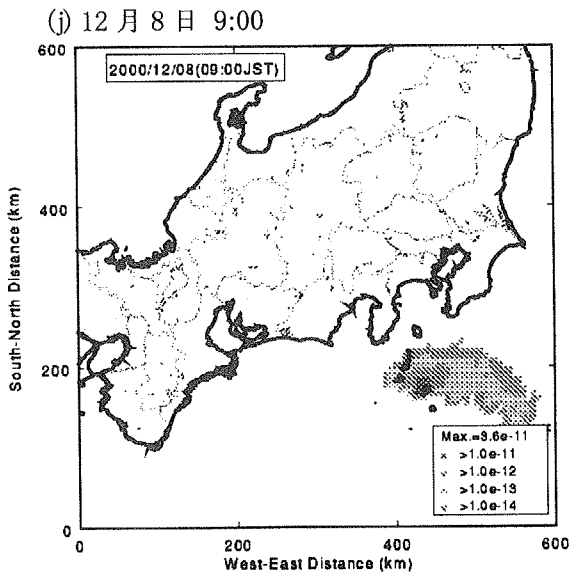
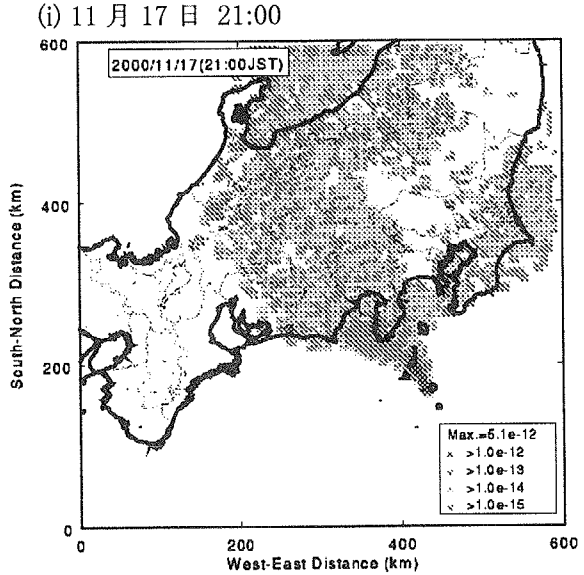
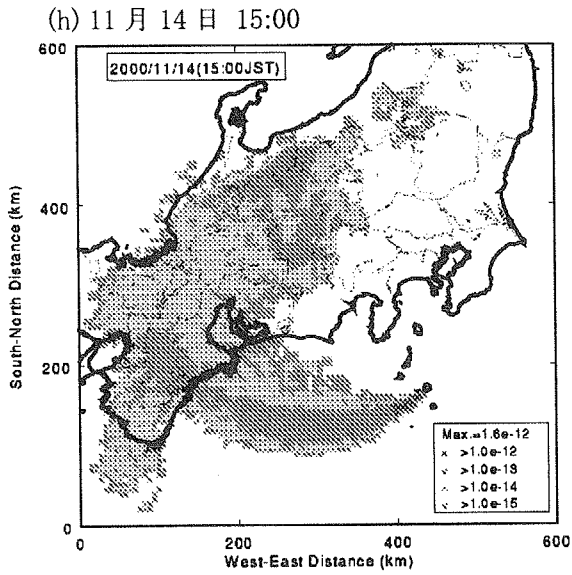
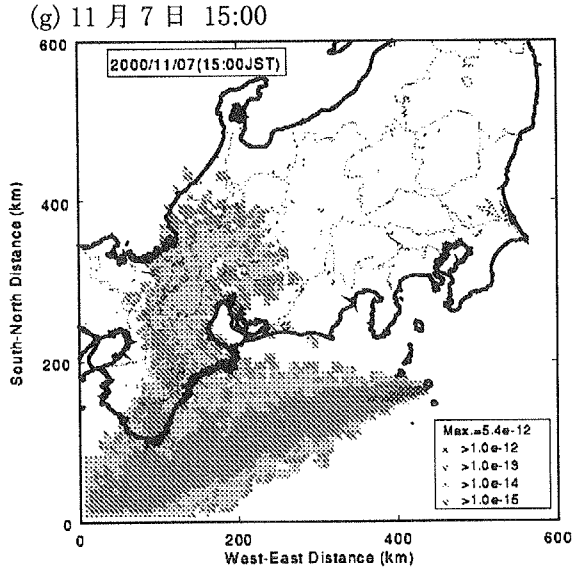
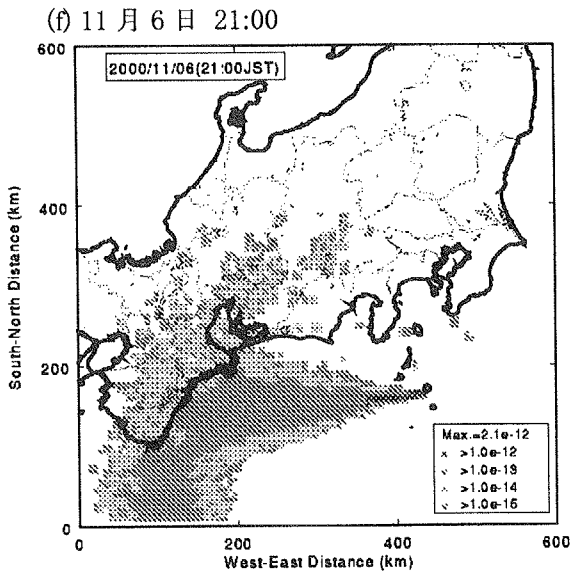
第 10 図(1) 愛知県小牧市での SO₂ 観測値の時系列変化(10 月 17 日から 11 月 15 日まで)。0.01ppm 以下の濃度は 0.01ppm とした。また、図中の 0.005 レベルに示した太線は、計算で同日に観測地点への SO₂ の移流を予測したことを示す。



第 10 図(2) 続き(11 月 16 日から 12 月 12 日まで)。



第 11 図(1) 濃度上昇出現日時近傍での SO₂ ガスの地上濃度分布予測結果。10⁻¹² ~ 10⁻¹⁵ (ppm/単位放出)の範囲を示しており、色の濃い部分が高濃度を表す。図中の (a) ~ (j) は第 10 図の濃度上昇インデックスに対応している。



第11図(2) 続き。

2) 詳細解析

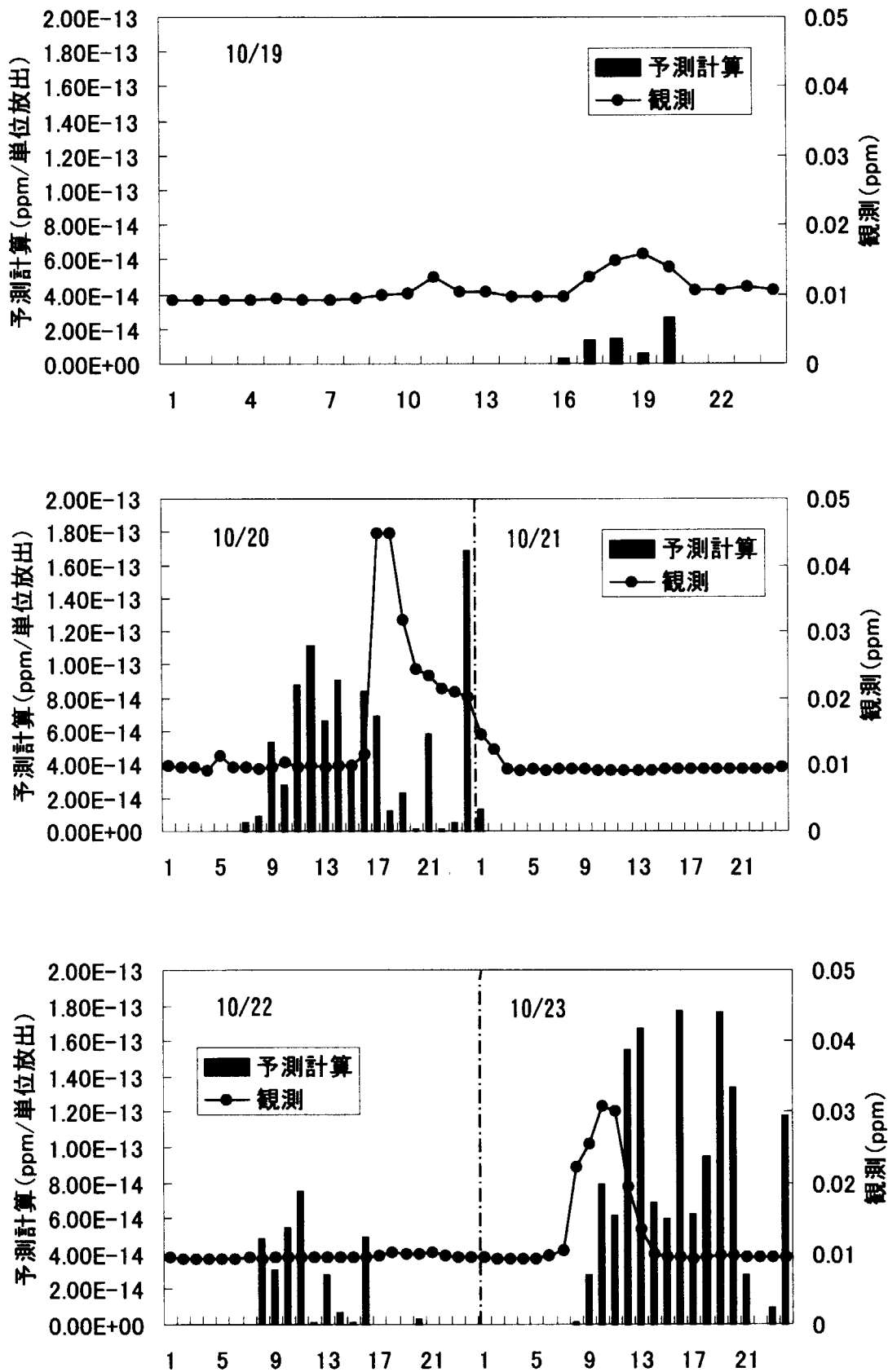
本節ではさらに、濃度上昇が比較的連続した10月19～23日について詳細解析を行った。計算条件は、基本的に自動シミュレーションと同じであるが、SO₂放出は5日間連続とし、濃度分布を1時間毎に出力した。第12図に、測定値と計算値の時系列変化の比較を示す。10月19日～21日の測定値と計算値の比較(第12図上段、中段)では、10月19日午後には両者共に濃度上昇が出現しており、10月20日16時から21日未明にかけての濃度上昇は、計算予測では10時頃から出現し、6時間のずれがみられる。10月22日～23日の測定値と計算値の比較(第12図下段)では、23日8時からの濃度上昇が計算では同日9時頃から出現し、上昇開始時刻はほぼ一致しているが、計算では濃度上昇が以後夜半まで継続しているのに対し、測定では同日14時には0.01ppmのレベルに下がっている。この理由のひとつとして、23日の低気圧の接近に伴う東海から関東での降雨によりSO₂が降水沈着で大気から除去されたためと考えられるが、さらに考察が必要である。第13図に、20日12時、17時、24時の計算結果を示す。地上風速場によれば、20日12時には、三宅島付近が東海上の高気圧の西端に位置し東風となっており、名古屋付近では本州南岸を接近する低気圧により、東南東の風になっている。これによりガスは三宅島から海上を西に移流し、名古屋付近で北西に向きを変えて愛知県小牧市に達している。17時には、高気圧、低気圧の東進にともない、三宅島から愛知県にかけて南東風が卓越する。そのため、愛知県小牧市は濃度分布の西側に位置するようになった。さらに24時には、三宅島付近で南南東に変わり、ガスの分布は、さらに東に移動している。

3) 気圧配置との関連についての考察

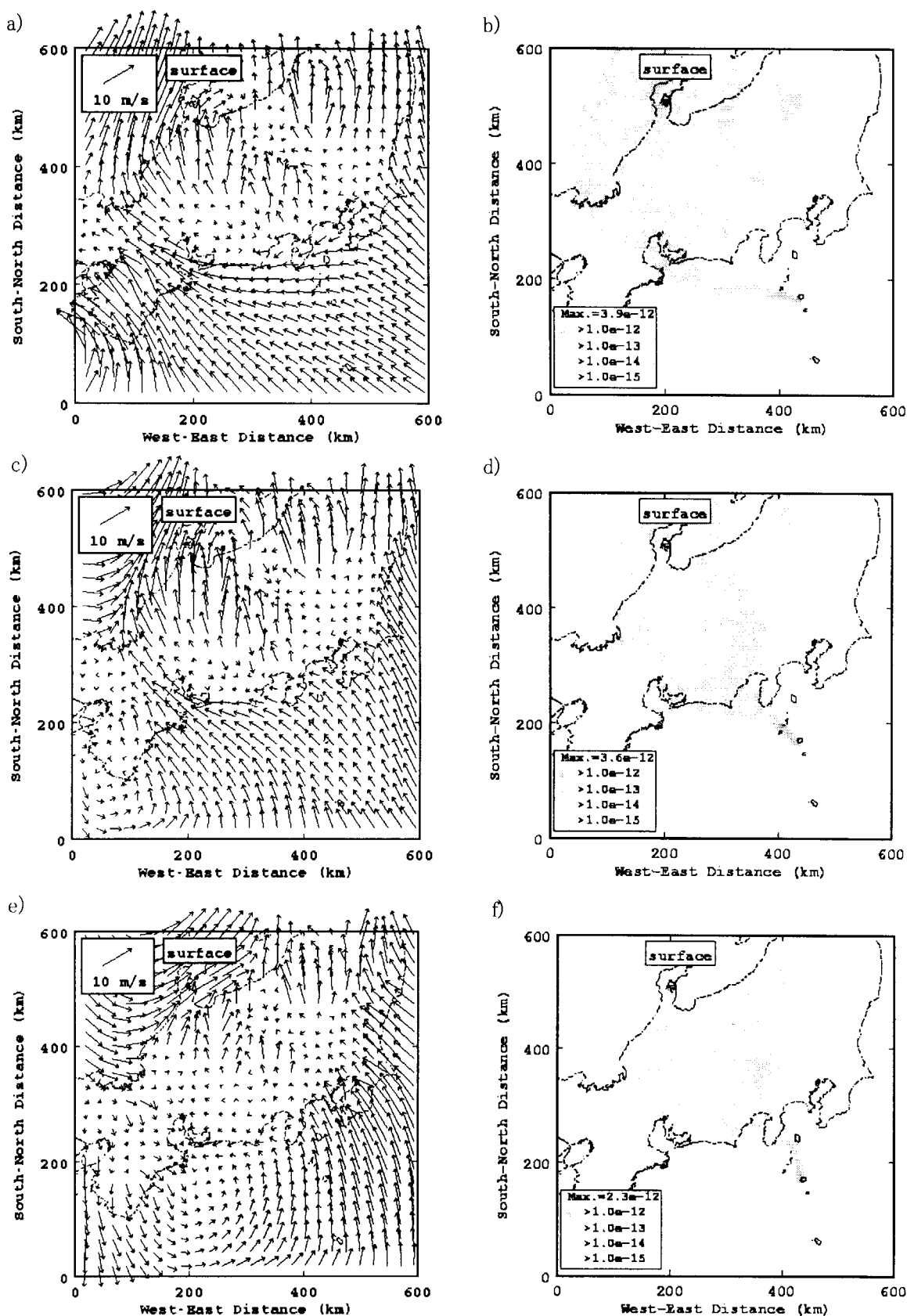
地上天気図を用いて、第1表にまとめた濃度上昇と気圧配置の関係を考察した。高濃度を観測した日の天気図を第14図に示す。

第14図によれば、今回の解析での高濃度出現時の気圧配置の共通点は、広く日本を覆っていた移動性高気圧が、中心を日本の東の海上に移しつつある状態であるという点であり、高気圧から吹き出す三宅島から愛知県に向かう東南東の風が発生しやすい。これに付随して、低気圧が本州南岸沿い(中部地方では愛知県付近)を東進し、四国付近に存在する場合、三宅島からの東南東の風は愛知県の南岸付近で南成分が強くなり、愛知から日本海側へ強く吹き抜ける。このパターンは10月20日、23日や11月17日に相当する。特に、10月20日は、本州南岸沿いだけでなくその北部にも低気圧が存在し、本州西部を深い気圧の谷が覆ったため、この傾向が強くみられた。この他、秋によく見られるパターンで、東シナ海に存在する台風が本州付近に停滞する前線と相互作用を起こす場合があるが、この時も台風から前線に吹込む南風が愛知県付近に表れると同様の影響がある。今回の期間では10月25日と11月1日がこれにあたる。比較的濃度と低濃度となっているが、この理由としては前線が台風により活性化されたことによる雨の影響が考えられる。濃度上昇が比較的多数観測された前半1ヶ月は、平年よりも太平洋高気圧の勢力が強く、例年になく秋雨前線の存在時期が長かった上、本州南岸付近が低気圧の通り道となることが多かった⁽⁷⁾ため、以上のようなケースが頻繁に出現した。

解析期間中の後半は秋雨前線が本州南岸沖に後退し、規模の大きな移動性高気圧が本州上を通過するケースが多くなるが、この場合ガスははじめ高気圧による東風により愛知県の南沿岸を通過し、高気圧の移動に伴う風向変化で愛知県を覆うようになる。今回の期間では、10月19日、11月6日、7日、14日、12月8日がこれにあたる。

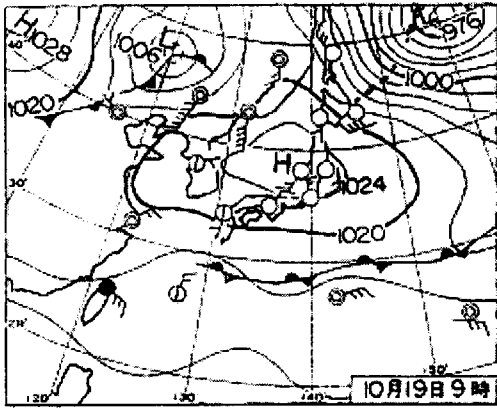


第 12 図 愛知県小牧市における SO₂ 測定値と詳細解析結果の比較

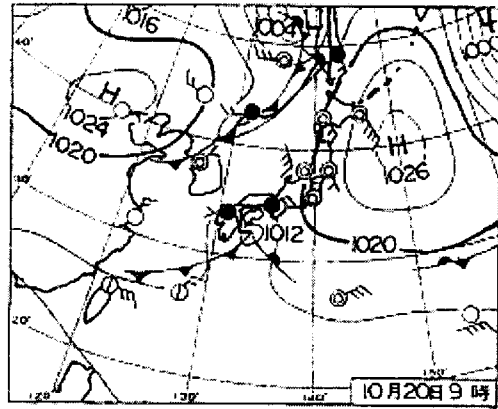


第13図 地上風速場(10月20日12:00:a、17:00:c、24:00:e)およびSO₂大気中濃度(10月20日12:00:b、17:00:d、24:00:f)の詳細解析結果。

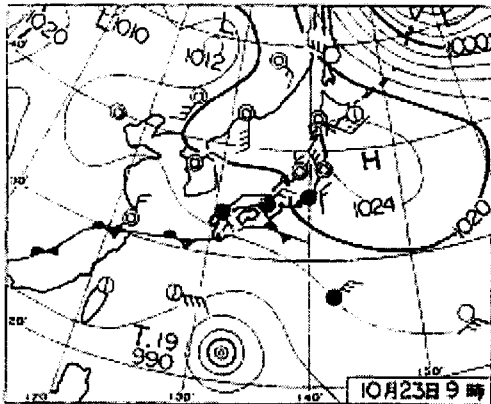
(a) 10月19日 9:00



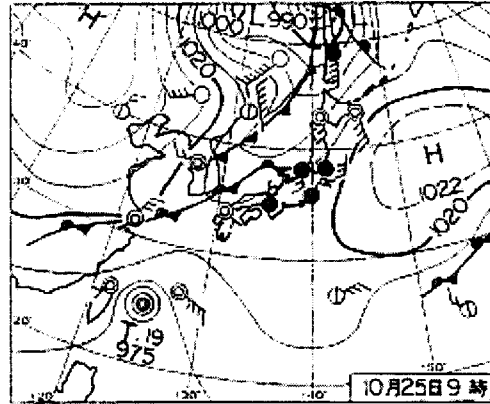
(b) 10月20日 9:00



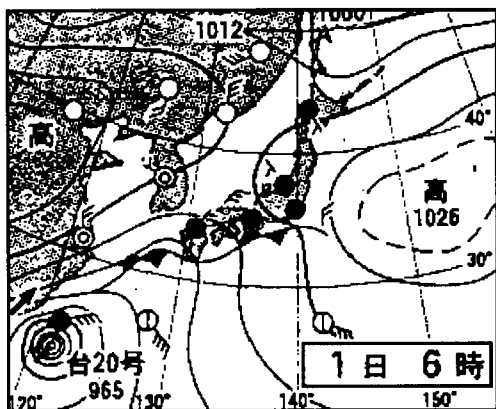
(c) 10月23日 9:00



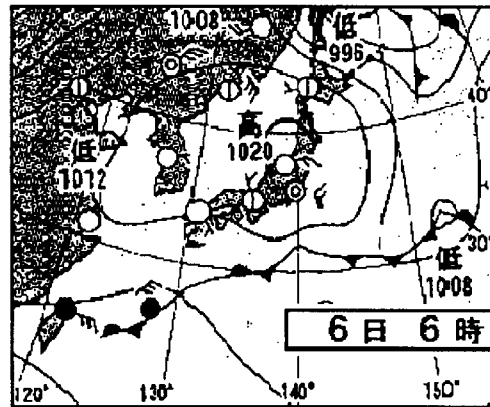
(d) 10月25日 9:00



(e) 11月1日 6:00

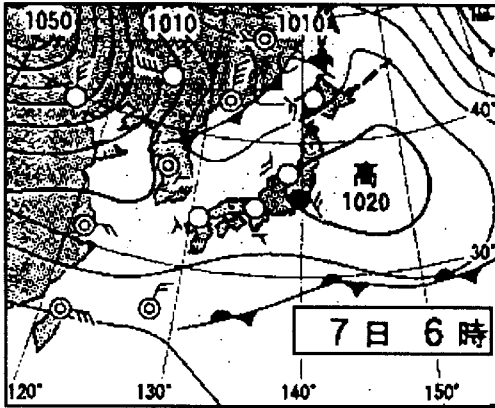


(f) 11月6日 6:00

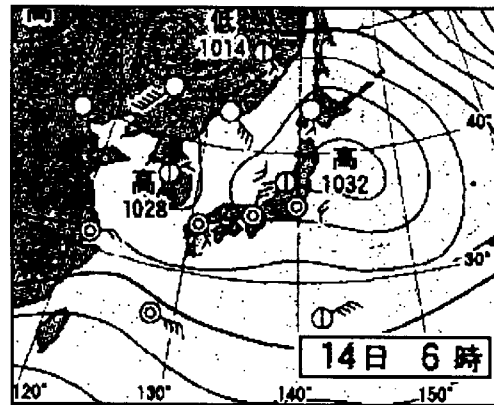


第14図(1) 濃度上昇出現日時近傍の天気図(気象庁提供)。図中の(a) ~ (j) は第10図の濃度上昇インデックスに対応している。

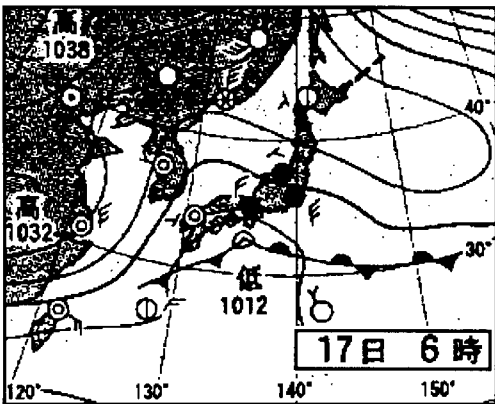
(g) 11月7日 6:00



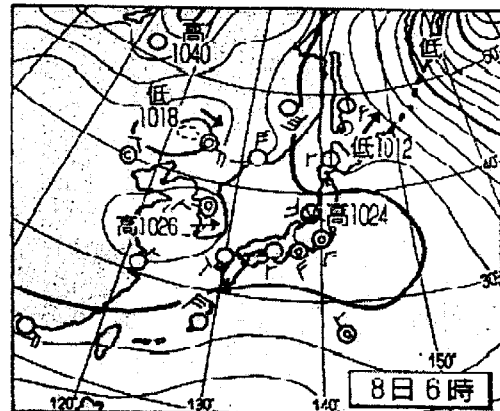
(h) 11月14日 6:00



(i) 11月17日 6:00



(j) 12月8日 6:00



第14図(2) 続き。

4) まとめ

- (i) 今回の計算では、詳細な放出条件が不明なことから放出条件を一定して計算を行ったが、全般的に精度の高い実時間予測ができたといえる。測定で濃度上昇が現れた全てのケースで東海方面へのガスの移流を予測しており、実時間予測システムとしての有用性が実証された。
- (ii) 気圧配置との関連では、広く日本を覆っていた移動性高気圧が中心を日本の東海上に移しつつあるパターンでの濃度上昇が特徴的である。さらに本州南岸付近を通る低気圧や秋雨前線の存在により、SO₂の移行過程が若干異なる傾向が見られる。
- (iii) 自動長期予測に現れた測定との不一致の原因として最も重大な要因は、既に述べたように放出高度や放出量などの条件が不明確であることである。これ以上の精度が必要とされる場合は、より正確な放出条件を入手する必要があると考えられる。その他、名古屋における三宅島起源のSO₂濃度上昇には低気圧が影響を及ぼしているケースが多く、降雨沈着過程が含まれていないことも誤差の原因になり得る。

4. 結言

原研では、原子力事故時に放射性物質の大気拡散をリアルタイムで予測するために開発した計算システムSPEEDIにより、2000年8月28日の関東西部での三宅島の火山性ガスによる異臭騒ぎ以降、現在まで、以下のような火山性ガスの広域拡散シミュレーションを行ってきた。

(i) 8月28日の関東西部での異臭騒ぎの解明

この異臭騒ぎは、28日未明から明け方にかけて三宅島から放出されたSO₂等の硫化物を含む火山性ガスが、夜間の安定した南風に乗って高濃度のまま関東地方西部の上空に達し、その後日中の強い日差しに起因する大気混合により一部が急激に地上に下降して内陸に運ばれたことが原因と推定できた。また、シミュレーションによる予測濃度と、測定結果の比較からSO₂の放出量を概算すると、28日未明から明け方にかけての総放出量は数千から1万t程度であったと推定できた。

(ii) 9月13日の東海、関西地域で異臭騒ぎの解明

この異臭騒ぎは、三宅島から放出されたSO₂のうち、地上付近から放出されたSO₂が東風に乗って東海・近畿地方で高濃度を引き起こし、上空に放出されたSO₂が上空の南から南東風成分により長野県から北陸地方に高濃度をもたらしたことが原因と推定できた。また、この解析の中で、火口からのガスの放出状態の仮定がシミュレーション結果に大きく影響することが明らかになった。

(iii) 長期間の定常予測

10月17日から12月15日までのほぼ2ヶ月間に愛知県小牧市で高濃度が出現した期間と計算シミュレーションの結果を比較した結果、出現した高濃度はすべて三宅島の火山ガスの影響であると推定できた。さらに、天気図と測定データ及びシミュレーション結果を総合的に検討すると、三宅島が移動性高気圧の南西側に位置して東寄りの風が卓越し、東海地域では接近する低気圧により南から南東風が卓越するような気象条件を中心に、東海地区に高濃度が出現していることがわかった。このような、気圧配置は秋季だけでなく、春季にも出現するため、自動予測を継続する必要がある。

現在の予測の問題点は、放出情報が不明な点である。放出量の正確な把握は濃度の絶対値を推定する上で不可欠であることは言うまでもないが、ガス噴出の高度も風向の鉛直シアーとの関連で重要である。8月28日の拡散計算では、前日に大規模な噴煙が上がったこともあり、上空への吹き出しを仮定した。実際、放出高度を下げると予測では関東の東部にガスが流れ測定結果と一致しない。一方、噴煙がたなびいていた9月13日のケースでは、ガスの放出高度を下げた方が東海及び関西地区での測定結果により近くなる。そのため、拡散シミュレーションを継続する上で、現地での種々の観測情報の迅速な入手手段の確立が重要である。また、定常予測の検証では、1地点のデータのための観測データを比較に用いているため、今後、複数地点の観測データを用いた検証を行っていく予定である。

謝 辞

定常的な連続計算との比較に用いた SO₂ 濃度測定の時系列データは、日本特殊陶業(株)のご好意により提供していただいたものである。ここに、深く感謝します。

参 考 文 献

- (1) 茅野政道、永井晴康：動燃アスファルト固化処理施設事故による ¹³⁷Cs の環境放出量の推定，日本原子力学会誌，39，644-646，(1997)。
- (2) JCO 臨界事故支援原研タスクグループ：JCO 臨界事故における原研の活動，JAERI-Tech 2000-074，2000。
- (3) Chino, M., Ishikawa H., Yamazawa H., Moriuchi, S.: Application of the SPEEDI System to the Chernobyl Reactor Accident, JAERI-M 86-142, 1986.
- (4) Chino, M., Ishikawa, H., Yamazawa, H.: SPEEDI and WSPEEDI: Japanese Emergency Response Systems to Predict Radiological Impacts in Local and Worldwide Areas Due to Nuclear Accident, Radiation Protection Dosimetry, 50, Nos 204, 145-152, (1993).
- (5) 永井晴康、茅野政道、山澤弘実：大気力学モデルを用いた緊急時放射能大気拡散予測手法の開発，日本原子力学会誌，41，777-785，(1999)。
- (6) 気象庁：三宅島の火山活動について(平成 12 年 8 月 31 日 21:45)：資料 2 三宅島空振／微動／噴煙／特別地震回数，火山噴火予知連絡会会見資料，(2000)。
- (7) 坂戸 宏敏、2000 年 10 月の日本の天候、気象、No.524、(2000) 。

(プレス発表の内容：<http://www.jaeri.go.jp/genken/>)

(予測結果の入手問合せ先：chino@sakura.tokai.jaeri.go.jp)

国際単位系 (SI) と換算表

表1 SI基本単位および補助単位

量	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質	モル	mol
光度	カンデラ	cd
平面角	ラジアン	rad
立体角	ステラジアン	sr

表3 固有の名称をもつSI組立単位

量	名称	記号	他のSI単位による表現
周波数	ヘルツ	Hz	s ⁻¹
力	ニュートン	N	m·kg/s ²
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m ²
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N·m
工率, 放射束	ワット	W	J/s
電気量, 電荷	クーロン	C	A·s
電位, 電圧, 起電力	ボルト	V	W/A
静電容量	ファラド	F	C/V
電気抵抗	オーム	Ω	V/A
コンダクタンス	ジーメン	S	A/V
磁束	ウェーバ	Wb	V·s
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度	°C	
光束度	ルーメン	lm	cd·sr
照射度	ルクス	lx	lm/m ²
放射能	ベクレル	Bq	s ⁻¹
吸収線量	グレイ	Gy	J/kg
線量等量	シーベルト	Sv	J/kg

表2 SIと併用される単位

名称	記号
分, 時, 日	min, h, d
度, 分, 秒	°, ', "
リットル	l, L
トン	t
電子ボルト	eV
原子質量単位	u

1 eV=1.60218×10⁻¹⁹J
1 u=1.66054×10⁻²⁷kg

表4 SIと共に暫定的に維持される単位

名称	記号
オングストローム	Å
バーン	b
バル	bar
ガリ	Gal
キュリー	Ci
レントゲン	R
ラド	rad
レム	rem

1 Å=0.1nm=10⁻¹⁰m
1 b=100fm²=10⁻²⁸m²
1 bar=0.1MPa=10⁵Pa
1 Gal=1cm/s²=10⁻²m/s²
1 Ci=3.7×10¹⁰Bq
1 R=2.58×10⁻⁴C/kg
1 rad=1cGy=10⁻²Gy
1 rem=1cSv=10⁻²Sv

表5 SI接頭語

倍数	接頭語	記号
10 ¹⁸	エクサ	E
10 ¹⁵	ペタ	P
10 ¹²	テラ	T
10 ⁹	ギガ	G
10 ⁶	メガ	M
10 ³	キロ	k
10 ²	ヘクト	h
10 ¹	デカ	da
10 ⁻¹	デシ	d
10 ⁻²	センチ	c
10 ⁻³	ミリ	m
10 ⁻⁶	マイクロ	μ
10 ⁻⁹	ナノ	n
10 ⁻¹²	ピコ	p
10 ⁻¹⁵	フェムト	f
10 ⁻¹⁸	アト	a

(注)

- 表1-5は「国際単位系」第5版, 国際度量衡局1985年刊行による。ただし, 1eVおよび1uの値はCODATAの1986年推奨値によった。
- 表4には海里, ノット, アール, ヘクトールも含まれているが日常の単位なのでここでは省略した。
- barは, JISでは流体の圧力を表わす場合に限り表2のカテゴリーに分類されている。
- E.C閣僚理事会指令では bar, barnおよび「血圧の単位」mmHgを表2のカテゴリーに入れている。

換算表

力	N(=10 ⁵ dyn)	kgf	lbf
	1	0.101972	0.224809
	9.80665	1	2.20462
	4.44822	0.453592	1

粘度 1 Pa·s(N·s/m²)=10 P(ポアズ)(g/(cm·s))

動粘度 1 m²/s=10⁴S(ストークス)(cm²/s)

圧	MPa(=10bar)	kgf/cm ²	atm	mmHg(Torr)	lbf/in ² (psi)
	1	10.1972	9.86923	7.50062×10 ³	145.038
力	0.0980665	1	0.967841	735.559	14.2233
	0.101325	1.03323	1	760	14.6959
	1.33322×10 ⁻⁴	1.35951×10 ⁻³	1.31579×10 ⁻³	1	1.93368×10 ⁻²
	6.89476×10 ⁻³	7.03070×10 ⁻²	6.80460×10 ⁻²	51.7149	1

エネルギー・仕事・熱量	J(=10 ⁷ erg)	kgf·m	kW·h	cal(計量法)	Btu	ft·lbf	eV	1 cal= 4.18605J (計量法) - 4.184J (熱化学) - 4.1855J (15°C) = 4.1868J (国際蒸気表)
	1	0.101972	2.77778×10 ⁻⁷	0.238889	9.47813×10 ⁻⁴	0.737562	6.24150×10 ¹⁸	
	9.80665	1	2.72407×10 ⁻⁶	2.34270	9.29487×10 ⁻³	7.23301	6.12082×10 ¹⁹	
	3.6×10 ⁶	3.67098×10 ³	1	8.59999×10 ⁵	3412.13	2.65522×10 ⁶	2.24694×10 ²⁵	
	4.18605	0.426858	1.16279×10 ⁻⁶	1	3.96759×10 ⁻³	3.08747	2.61272×10 ¹⁹	仕事率 1 PS(仏馬力) = 75 kgf·m/s = 735.499W
	1055.06	107.586	2.93072×10 ⁻¹	252.042	1	778.172	6.58515×10 ²¹	
	1.35582	0.138255	3.76616×10 ⁻⁷	0.323890	1.28506×10 ⁻³	1	8.46233×10 ¹⁸	
	1.60218×10 ¹⁹	1.63377×10 ²⁰	4.45050×10 ⁻²⁰	3.82743×10 ²⁰	1.51857×10 ²²	1.18171×10 ¹⁹	1	

放射能	Bq	Ci
	1	2.70270×10 ⁻¹¹
	3.7×10 ¹⁰	1

吸収線量	Gy	rad
	1	100
	0.01	1

照射線量	C/kg	R
	1	3876
	2.58×10 ⁻⁴	1

線量当量	Sv	rem
	1	100
	0.01	1

SPEEDIによる三宅島火山性ガスの大気拡散シミュレーション