

JAERI - M  
86-111

緊急時モニタリングと予測計算のための手法  
並びにシステムの開発

1986年8月

環境放射能研究委員会  
緊急時モニタリング・予測専門部会

緊急時モニタリングと予測計算のための手法並びにシステムの開発

日本原子力研究所東海研究所  
環境放射能研究委員会  
緊急時モニタリング・予測専門部会

(1986年7月9日受理)

日本原子力研究所では、外部諸機関の援助を得て、昭和55年より6ヶ年にわたり、緊急時関連研究を実施した。本編は、このうち「緊急時モニタリング・予測専門部会」のもとに行なわれた研究の結果をまとめた最終報告書である。全部で10編ある研究論文を、研究項目により3節に分類して表わした。

DEVELOPMENT OF THE TECHNIQUE AND SYSTEMS FOR  
THE EMERGENCY MONITORING AND PREDICTION CALCULATION

Steering Committee for the Environmental Radiation Safety  
Subcommittee for the Monitoring and Prediction of  
Radionuclides Accidentally Released to the Atmosphere

Tokai Research Establishment  
Japan Atomic Energy Research Institute  
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received July 9, 1986)

This report contains papers on emergency research carried out under "Subcommittee for the Monitoring and Prediction of Radionuclides Accidentally Released to the Atmosphere" organized by JAERI from 1980 through 1985. According to subjects ten papers are classified into three groups; 1) development of emergency monitoring technique for radiations and radionuclides; 2) research on protection effects of Japanese houses for radiations and radioactivity; 3) development of emergency prediction calculation systems and verification of the calculation models. The research program was accomplished with much success, and some of the developed technique and systems are going to be put on practical use. The research was aided by many people from many organizations. We would like to express hearty thanks for their valuable supports and advises.

Keywords: Emergency, Monitoring, Prediction Calculation, Stack Monitor, ARSAS, ARMS, Aerial Survey, Shielding Effect, Sheltering Effectiveness, SPEEDI, Code System, Calculation Models, Statistical Model, Dynamic Model, Data Base

## 目 次

1. まえがき .....	1
2. 緊急時迅速放射線（能）モニタリング技術の開発 .....	2
2.1 緊急時用スタックガスモニタの開発 .....	2
南 賢太郎（原研）	
2.2 ヨウ素分離捕集材の性能評価に関する研究 .....	7
加藤正平，野口 宏，村田幹生，国分守信（原研）	
2.3 航空機迅速 $\gamma$ 線サーベイシステムの開発 .....	19
森内 茂，長岡 鋭，坂本隆一，斎藤公明，堤 正博（原研）	
2.4 航空機放射性核種捕集測定システムの開発 .....	32
笠井 篤，松永 武，柳瀬信之，天野 光（原研）	
3. 被曝防護対策のための家屋の放射線（能）防護効果に関する研究 .....	47
3.1 日本家屋の放射線遮蔽効果に関する研究 .....	47
山口恭弘，南 賢太郎（原研）	
3.2 家屋等の放射能防護効果に関する研究 .....	55
村田幹生，加藤正平，野口 宏，国分守信（原研）	
奥山博康（清水建設（株））	
4. 緊急時迅速計算予測システムの開発と計算モデルの検証 .....	64
4.1 SPEEDI 計算コード・システムの開発 .....	64
浅井 清，中村康弘，茅野政道，石川裕彦，甲斐倫明，森内 茂， 今井和彦（原研）	
4.2 SPEEDI 風速場・拡散・線量評価モデルの開発及び検証 .....	78
今井和彦，茅野政道，石川裕彦，甲斐倫明，本間俊充，日高昭秀， 飯島敏哲（原研）	
4.3 統計的及び力学的気象拡散予測モデルの開発 .....	94
吉川友章，小出 孝，栗田 進（気象研）	
4.4 緊急時対策用自然ならびに社会環境データバンクの作成 .....	108
飯島敏哲，本間俊充，日高昭秀，坂本幸夫（原研）	
5. まとめ .....	116

## Contents

1. Preface .....	1
2. Development of Emergency Monitoring Technique for Radiations and Radionuclides .....	2
2.1 Development of an Emergency-Use Stack Gas Monitor .....	2
K. Minami (JAERI)	
2.2 Performance Evaluation of Cartridges Used for Selective Collection of Airborne Radioiodine in Nuclear Reactor Accident .....	7
S. Kato, H. Noguchi, M. Murata and M. Kokubu (JAERI)	
2.3 Development of the Aerial Radiological Survey and Assessment System (ARSAS) .....	19
S. Moriuchi, T. Nagaoka, R. Sakamoto, K. Saito and M. Tsutsumi (JAERI)	
2.4 Development of the Aerial Radionuclides Monitoring System (ARMS) .....	32
A. Kasai, T. Matsunaga, N. Yanase and H. Amano (JAERI)	
3. Research on Protection Effects of Japanese Houses for Radiations and Radioactivity .....	47
3.1 Radiation Shielding Effect of Japanese Houses .....	47
Y. Yamaguchi and K. Minami (JAERI)	
3.2 Sheltering Effectiveness of Houses for Airborne Radioactivity .....	55
M. Murata, S. Kato, H. Noguchi and M. Kokubu (JAERI) H. Okuyama (Shimizu Construction Co. Ltd.)	
4. Development of Emergency Prediction Calculation Systems and Verification of the Calculation Models .....	64
4.1 Development of the Computer Code System SPEEDI .....	64
K. Asai, Y. Nakamura, M. Chino, H. Ishikawa, M. Kai, S. Moriuchi and K. Imai (JAERI)	
4.2 Development of Windfields, Concentration and Dose Calculation Models in SPEEDI .....	78
K. Imai, M. Chino, H. Ishikawa, M. Kai, T. Honma, A. Hidaka and T. Iijima (JAERI)	

4.3	Real-Time Predicting Computation Models of Windfields and Diffusion with Statistical and Dynamic Methods .....	94
	T. Yoshikawa, T. Koide and S. Kurita (Meteorological Research Institute of Japan)	
4.4	Meteorological and Social Data Bases Used for Emergency Planning .....	108
	T. Iizima, T. Honma, A. Hidaka and Y. Sakamoto (JAERI)	
5.	Summary .....	116

## 1. ま え が き

原子力安全委員会環境放射能安全研究専門部会が作成した「環境放射能研究年次計画」の中に示されている「放射性物質異常放出時の安全確保」に関する研究の一環として、昭和55年度に開始された緊急時関連の研究開発は、昭和60年度をもち予定どおり終了した。これまでに実施された研究開発の内容は、各年度毎に、昭和55年度緊急時モニタリング・予測専門部会報告書、昭和56年度環境放射能研究委員会の活動、昭和57年度環境放射能研究委員会の活動、昭和58年度環境放射能研究委員会の活動報告書、昭和59年度環境放射能研究委員会の活動報告書としてすでにまとめられている。

本報告書は、緊急時6ヶ年研究計画のうち「緊急時モニタリング・予測専門部会」のもとに実施された研究の成果を、各研究項目ごとに6年間全体にわたりまとめた論文集である。全部で10編ある論文を、研究項目により「緊急時迅速放射線（能）モニタリング技術の開発」、「被曝防護対策のための家屋の放射線（能）防護効果に関する研究」、「緊急時迅速計算予測システムの開発と計算モデルの検証」の3つの章に分類し、以下順次紹介する。

## 2. 緊急時迅速放射線(能)モニタリング技術の開発

### 2.1 緊急時用スタックガスモニタの開発

原研

南 賢太郎

原子炉事故時にはクリプトンとキセノンを主成分とする高濃度の混合放射性希ガスが排気筒などより環境へ放出され住民に外部被曝を与える。この高濃度混合放射性希ガスの核種別放出率及び放出量を連続的に測定しこれを基に環境での予測被曝線量を評価し防災対策が実施される。しかし、現状の排気筒ガスモニタは、原子炉事故時に放出される可能性のある高濃度放射性希ガスの測定にあたって飽和現象や窒息現象を伴い十分機能し得ないことが予測されるとともに被曝線量を求めるために混合放射性希ガスの核種分析を必要とし、緊急時の迅速性に欠ける難点がある。このため本研究では原子炉事故時にも安定に動作し環境での被曝線量を容易に求めることが可能な新しい方式の排気筒モニタの開発を実施したものである。

緊急時用スタックガスモニタの具備すべき要件は原子炉事故時の異常な環境条件下においても正常に動作し、かつモニタの指示値より迅速に環境での被曝線量が評価できることである。このため排気筒モニタの指示値が環境の照射線量率に直接的に比例するような測定方式であることが望ましく、このような方式として照射線量率放出率スタックガスモニタリング方式を考案した。

#### I. 緊急時用ガスモニタの原理<sup>1)</sup>

この新しい測定方式の原理は排気筒において測定すべき物理量を  $4\pi$  照射線量率放出率としたことである。そして、この  $4\pi$  照射線量率放出率は排気筒側で放射性希ガスを限定した空間に流し、この空間にエネルギー特性の平坦な検出器を設置して放射性希ガスによる照射線量率を測定し、この測定値と排気筒の排風率の積を求め、これを限定された空間が有する  $r$  線捕集形状関数で割ることにより求めることができる。

$$H = \frac{D \cdot V}{\epsilon} \dots\dots\dots (1)$$

ここで H :  $4\pi$  照射線量率放出率 ( $\mu R \cdot h^{-1} \cdot m^2 \cdot h^{-1}$ )。

$\epsilon$  :  $r$  線捕集形状関数 (m)。

D : 限定された空間の照射線量率 ( $\mu R \cdot h^{-1}$ )。

V : 排風率 ( $m^3 \cdot h^{-1}$ )。

$\epsilon$  は  $4\pi$  照射線量率放出率測定にあたって重要な役割を有する因子で、これは限定された空間の形状と寸法及び検出器の設置位置が決れば放射能や  $r$  線エネルギーに無関係に常数となる特性を有する関数である。この  $\epsilon$  は計算により評価することもできるが実際的には  $^{41}Ar$  や  $^{133}Xe$  などの放射性希ガスを用いて実測により決定する。

また、 $r$  線捕集形状関数の導入により排気筒から排出された放射性希ガスによる風下軸上の地



表における照射線量率  $D(x_0, y_0, 0)$  と排気筒側で測定している放射性希ガスによる照射線量率とが比例関係にあることを次式により表わすことができる。

$$D(x_0, y_0, 0) = \frac{\epsilon(x_0, y_0, 0)}{\epsilon} \cdot \frac{1}{\mu} \cdot D \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 $\epsilon(x_0, y_0, 0)$ : 被曝地点における  $\gamma$  線捕集形状関数

$\mu$  : 平均風速 (m/s)

したがって、本照射線量率放出率スタックガスモニタリング方式は原子炉平常運転時や事故時等における放射性希ガスの放出にともなう環境での被曝線量計算を核種分析などの手段を要せず従来方式よりも精度よく迅速に実施できる特徴を有するので放出放射性希ガスを管理する上で非常に便利である。

## II. 校正用ガスループ

本緊急時用スタックガスモニタの校正は  $^{133}\text{Xe}$  や  $^{41}\text{Ar}$  などの放射性希ガスを用いて  $\gamma$  線捕集形状因子を決定することである。校正を行うには校正用ガスループを用い、Fig. 1 に示すように本ガスモニタをこれに接続し、放射能濃度の分った希ガスを循環することにより行う。 $^{133}\text{Xe}$  などプレカブルシール型アンブルに封入した放射性希ガスは  $V_2$  バルブの先端にこれを接続してループへ導入した。導入手順は  $V_2$  バルブを閉じて循環ループ系内を真空にし、プレカブルシールを破壊させた後  $V_2$  バルブを開きループに放射性希ガスを導入する。次に  $V_{10}$  を開き室内空気を乾燥筒を通じて除湿しながら系内に入れ、ループ系内圧力を大気圧にバランスさせる。大気圧バランスをマンメータで確認後、循環ポンプを運転し、ループ内に導入した放射性希ガスを攪拌・混合させた。なお、循環ポンプは 30 l/分の空気循環能力を有する。

アルゴンを円筒状石英ガラスアンブルに封入し、これを原子炉で照射して  $^{41}\text{Ar}$  を製造した。このアンブルは特別に製作したアンブルクラッシャーを  $V_8$ ,  $V_9$  バルブに接続し、ループ内圧力を大気圧の状態にしてアンブルを破壊し  $^{41}\text{Ar}$  をループに導入した。ループ内放射性ガス濃度の決定は 1.5 l の基準電離箱を用いて測定した。基準電離箱の電離電流対放射能濃度換算係数は原安協報告書<sup>2)</sup>の値を用いた。

## III. 緊急時用スタックガスモニタの構造と性能

本モニタの検出部は通気形ガスタンクとこの中にエネルギー特性の平坦な照射線量測定用検出器及びエネルギー特性を有する検出器を挿入する構造のものである。そして、これらの検出器の信号より  $4\pi$  照射線量率と実効的な放出放射能を求める場合に必要な放射性希ガスの  $\gamma$  線平均エネルギーを測定できるようにしたものである。

本モニタの検出器には窒息現象がなく高レンジ化の容易な電離箱検出器を使用した。設計試作した電離箱検出器は Ar ガス封入高圧電離箱でステンレス及び銅板でエネルギー特性を平坦化したものである。また、 $\gamma$  線エネルギー判定のために Xe ガス封入電離箱を用いた。

Ar 封入電離箱のエネルギー特性は Fig. 2 に示すように 80keV より 2 MeV の範囲で  $\pm 11\%$  の性能である。また、Xe 封入電離箱のエネルギー特性も同図中に示す。両者の電離箱のエネルギー特性の相異による出力電流差より求められる放出希ガスに対するエネルギー判定性能は Fig. 3 に示すよ

うに良好である。したがって、本スタックガスモニタは混合放射性希ガスの $\gamma$ 線平均エネルギーを80keVより約2MeVの範囲で容易に判定できる性能を有する。

Ar封入電離箱検出器の照射線量率測定範囲は1mR/hより $10^3$ R/hである。この電離箱を容積85ℓの通気型ガスタンクに挿入し本ガスモニタを製作した場合に得られる実効的な放射能換算能度は放出混合放射性希ガスの $\gamma$ 線平均エネルギーを1MeVとするとき $10^{-3}$ より $10^3$   $\mu$ Ci/cm<sup>3</sup>である。

なお、本方式によるスタックガスモニタを大洗研究所材料試験炉の排気筒に緊急時用として設置した。

#### 参考文献

- 1) 照射線量率放出率スタックガスモニタリング方法及び装置：特許公報，昭61-11383  
(1986)，日本原子力研究所。
- 2) 環境放射能の計測の標準化に関する研究：原子力安全研究協会，昭和54年度。

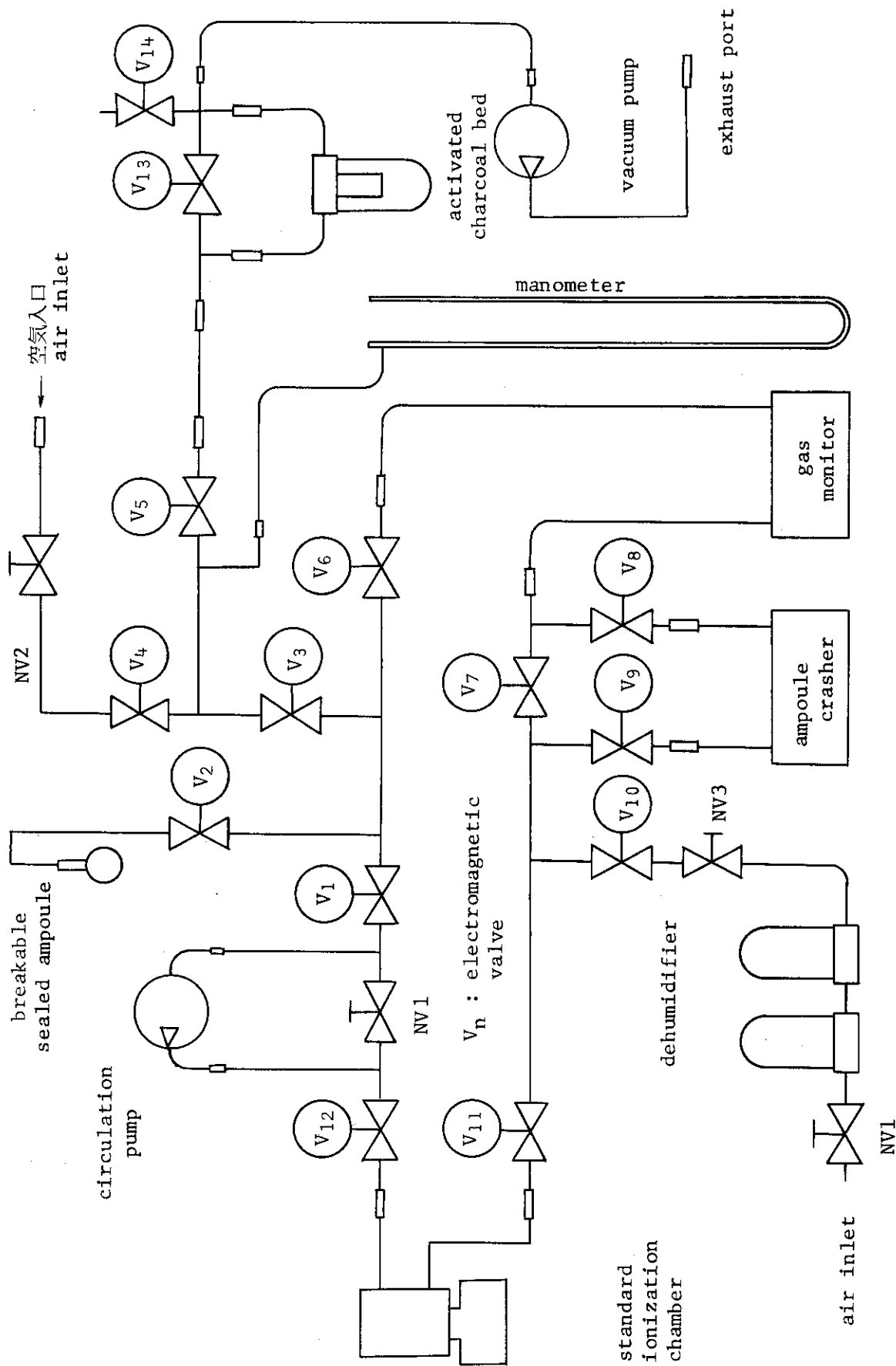


Fig. 1 Gas loop for a calibration of gas monitors

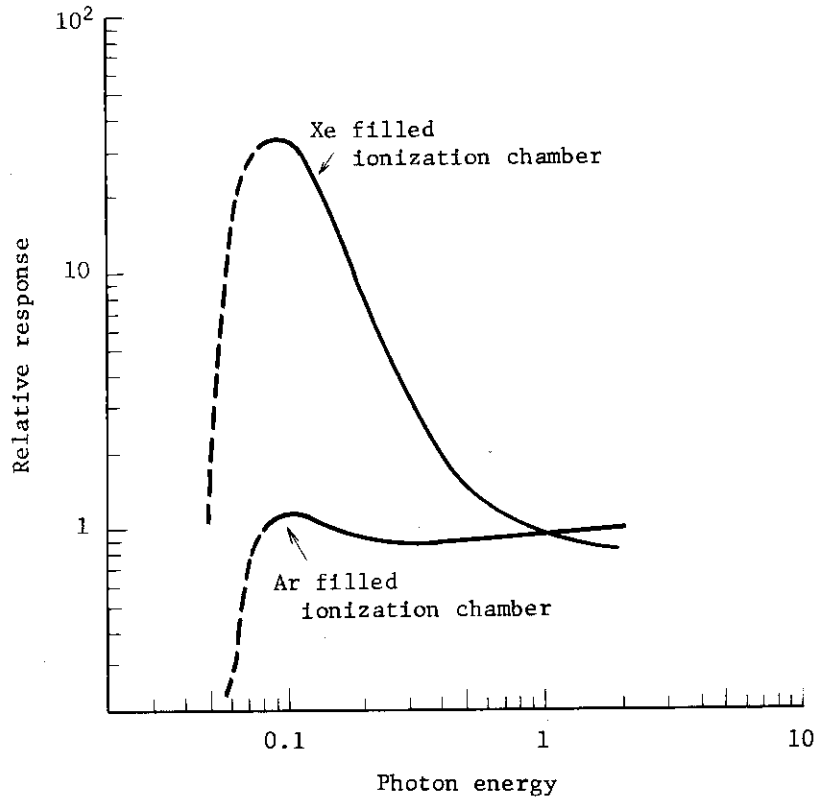


Fig. 2 Energy response of two ionization chambers as a function of  $\gamma$ -ray energy

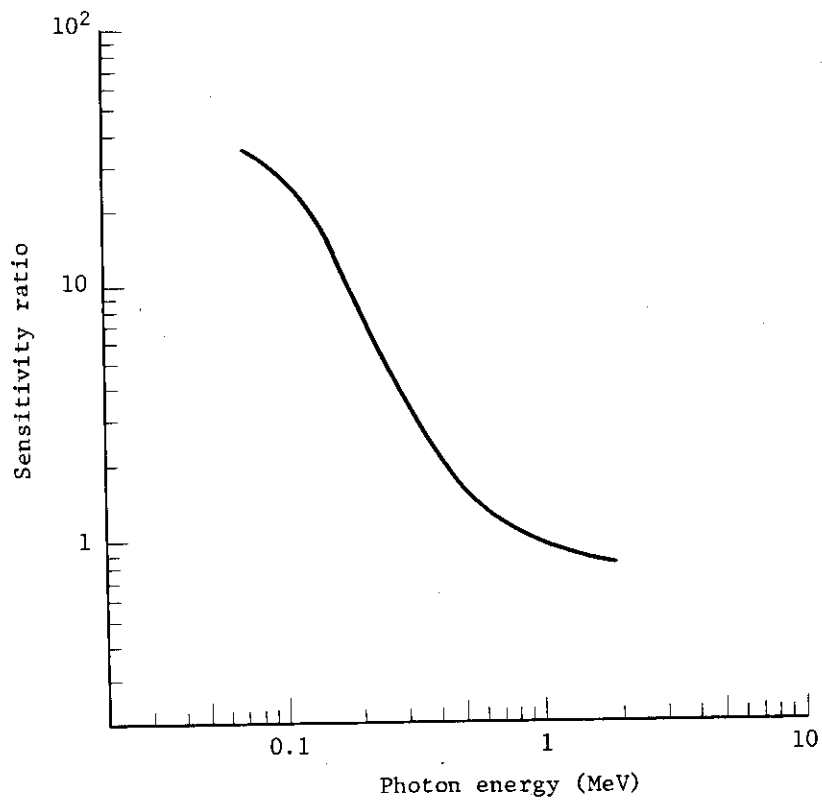


Fig. 3 Sensitivity ratio of two detectors for the estimation of average  $\gamma$ -ray energy of the radioactive rare-gas

## 2.2 ヨウ素分離捕集材の性能評価に関する研究

原研

加藤正平, 野口 宏, 村田幹生, 国分守信

### I. 緒 言

原子炉事故により大量の放射性物質が放出される場合には、放出放射能による公衆への影響を迅速に予測し対策を講じる必要がある。特に放射性ヨウ素は人体への影響が大きいことから、その評価が重要である。しかし、原子炉事故時には放射性ヨウ素とともに大量の放射性希ガスが放出され、従来用いられてきた活性炭によるヨウ素モニタリング法では活性炭が放射性希ガスを吸着するため、ヨウ素濃度を正確に評価することは困難である。実際、TMI原子力発電所の事故においては、放射性希ガスが放射能として $^{131}\text{I}$ の約 $10^5$ 倍も放出された。そのためヨウ素モニタに使用していた活性炭カートリッジに放射性希ガスが吸着され、空气中ヨウ素濃度を過大に評価し、事故対策に支障をきたすという結果を招いた。

本研究は原子炉事故時の放射性ヨウ素を正確にモニタリングする技術を確立するため、高濃度放射性希ガス中から放射性ヨウ素のみを選択的に分離捕集し測定する方法を開発することを目的として行った。分離捕集に要求される吸着剤の性質は、ヨウ素捕集効率が大きく、かつ希ガスの吸着が小さいことである。本研究ではまずヨウ素分離捕集に用いる最適な吸着剤を選ぶため、各種ヨウ素吸着剤の希ガス吸着量や希ガスおよびヨウ素捕集効率を調べた。さらに適切と考えられる吸着剤を用いて緊急時ヨウ素モニタリング用カートリッジを試作し、その実用性について検討した。

### II. 試験吸着剤

適切なヨウ素吸着剤を選択するために試験した吸着剤は銀シリカゲル、銀アルミナ、銀ゼオライト、および比較のためのTEDA添着活性炭である。Table 1に各吸着剤についての添着物質、添着量、形状、粒度、および製造国名を示す。銀シリカゲルと銀アルミナは、それぞれシリカゲルとアルミナに硝酸銀を添着したものである。銀ゼオライトはイオン交換によって銀イオンをゼオライトに結合させたものである。TEDA添着活性炭は破碎状、その他は球状である。Table.1には、カートリッジに充填した時の吸着剤の充填密度、比表面積、細孔容積、および平均細孔半径の実測値を示す。比表面積は窒素の吸着等温線にB.E.T.式を適用することにより、細孔容積は気体吸着法によって測定した。平均細孔半径 $r$ は比表面積 $s$ と細孔容積 $V$ から $r = 2V/s$ の関係式より計算した。比表面積はTEDA活性炭が $1400\text{m}^2/\text{g}$ で最も大きく、銀ゼオライトが約 $500\text{m}^2/\text{g}$ 、銀アルミナと銀シリカゲルが約 $100\text{m}^2/\text{g}$ であった。平均細孔半径は銀シリカゲルと銀アルミナが $60 \sim 70 \text{ \AA}$ と大きく、銀ゼオライトが約 $14 \text{ \AA}$ 、TEDA活性炭は最も小さく $9 \text{ \AA}$ であった。細孔容積はTEDA活性炭が $0.61\text{cm}^3/\text{g}$ で最も大きく、他は約 $0.33\text{cm}^3/\text{g}$ であった。細孔分布を窒素吸着法で調べた結果、TEDA活性炭と銀ゼオライトの細孔は半径 $10 \sim 10^4 \text{ \AA}$ までの広い範囲で存在するが、銀アルミナは約 $10^2 \text{ \AA}$ 、銀シリカゲルは約 $5 \times 10^2 \text{ \AA}$ 付近に最大となる分布を有していた。

### Ⅲ. 各種吸着剤の希ガスとヨウ素に対する捕集特性

#### Ⅲ-1 希ガス平衡吸着量と吸着熱

高濃度放射性希ガスの雰囲気中から放射性ヨウ素を選択的に分離捕集する吸着剤の性能は希ガスの吸着特性に大きく依存している。そのため各種吸着剤の吸着等温線をB.E.T法を用いて測定した。希ガスとして高純度非放射性キセノンとクリプトンを用いた。測定に先立って吸着剤を200℃で2時間以上の真空脱気処理を行った。測定温度は-78℃, 0℃, 25℃で、平衡分圧の範囲は $10^{-2} \sim 10^2$  mmHgについて行った。Fig. 1(a)と(b)にそれぞれ各種吸着剤のキセノンとクリプトンの0℃における吸着等温線を示す。活性炭と銀ゼオライトのキセノンの平衡吸着量は銀シリカゲルや銀アルミナのそれより約3桁大きく、またクリプトンでは約2桁大きかった。また各吸着剤ともクリプトンの吸着量はキセノンのそれより少ないことが明らかとなった。得られた吸着等温線からde Boreの吸着式を用いて吸着熱を算出した。吸着熱は吸着量に依存していた。キセノンの吸着熱は活性炭と銀ゼオライトが大きく6~6.5 kcal/mol, 銀アルミナと銀シリカゲルは約5 kcal/molであり、クリプトンの吸着熱は各吸着剤ともキセノンのそれより約2 kcal/molさらに小さかった。以上の結果から、銀アルミナと銀シリカゲルは希ガスの吸着量が少なく、また吸着熱が小さいことから、吸着しても脱離し易いものと推定される。また、クリプトンはキセノンより吸着し難いことが明らかとなった。

#### Ⅲ-2 各種吸着剤のキセノン捕集効率

吸着剤を充填したカートリッジで空気中キセノン捕集した場合の捕集効率を調べた。捕集効率測定装置の概略図をFig. 2に示す。本装置はヨウ化メチル捕集効率の測定にも使用できる。装置は湿度調節部、キセノンまたはヨウ化メチル発生部、捕集部、放射能測定部、および放射能回収部からなる。捕集効率測定は、温湿度を調整した空気と放射性キセノンまたはヨウ化メチルの混合空気を所定の流量で捕集し、捕集された放射能を測定することによって行った。キセノン捕集実験では $^{133}\text{Xe}$ をトレーサーとして用いた。

Fig. 3に吸着剤厚2 cmの捕集カートリッジで、相対湿度90%の $^{133}\text{Xe}$ 混合ガスを面速19 cm/secで捕集したときの $^{133}\text{Xe}$ 捕集時間の関係を示す。いずれの吸着剤についてもキセノン捕集効率は捕集時間の増加にしたがって低下している。これは、キセノン吸着量はある時間捕集すれば平衡に達し、それ以上捕集されないことによる。捕集効率はTEDA添着活性炭が最も大きく、続いて銀ゼオライト、次に銀シリカゲル、銀アルミナの順であった。これは平衡吸着量の順にほぼ対応している。捕集されたキセノンは時間とともに脱離すると考えられるが、捕集後、清浄空気を通過することにより脱離を促進することができる。Fig. 4は、キセノン捕集した後、清浄空気を面速19 cm/secで通気したときの吸着量の変化を表わしている。銀シリカゲルと銀アルミナについては脱離が速く測定できなかったのを示していない。いずれの吸着剤とも、数10分間の清浄空気の通気によってTEDA活性炭は約2桁、銀ゼオライトは約1桁低下した。このことは、捕集後清浄空気通気による分離捕集性能の向上の可能性を示している。

#### Ⅲ-3 各種吸着剤のヨウ化メチル捕集効率

ヨウ化メチル捕集実験では、 $^{131}\text{I}$ で標識したヨウ化メチルを用いた。ヨウ化メチルを用いたの

は、他のヨウ素化学種である  $I_2$  や  $HOI$  より捕集され難いからである。捕集実験は  $10^{-8} \sim 10^{-9}$   $g/cm^3$  のヨウ化メチル濃度で行った。

Fig. 5 に相対湿度 90% における各種吸着剤のヨウ化メチル捕集効率と捕集時間の関係を示す。このときの吸着剤厚さは 2 cm, 捕集時の面速は 19 cm/sec であった。吸着剤によって程度の差はあるが、いずれも捕集時間の増加に従って捕集効率は低下した。捕集効率は TEDA 添着活性炭が最も高く、続いて銀アルミナと銀シリカゲルは同程度で次に銀ゼオライトの順であった。相対湿度 20% においては、いずれの吸着剤についても捕集効率 99% 以上であった。捕集効率に対する相対湿度の影響を調べた結果、TEDA 添着活性炭はほとんど相対湿度の影響を受けないが、特に銀ゼオライトは高湿度において効率が急激に低下することも明らかとなった。キセノンの場合には、捕集後に清浄空気の通気によって吸着キセノンが脱離したが、ヨウ化メチルの場合、いずれの吸着剤についても、捕集後の清浄空気通気による脱離は観測されなかった。キセノンは物理吸着であるが、ヨウ化メチルの場合は、いずれも結合の強い化学吸着によって捕集されていることによる。

### III-4 分離捕集性能

高濃度希ガス雰囲気からヨウ素を選択的に分離捕集する性能を表わす指標として、ここでは次式で定義される分離捕集比を用いる。

$$\text{分離捕集比} = \frac{\text{ヨウ化メチル捕集効率}}{\text{キセノン捕集効率}}$$

分離捕集比が大きいほど分離捕集性能が優れていることを意味する。分離捕集比の算出にはヨウ化メチル捕集効率とキセノン捕集効率を別々に測定した結果を用いた。Fig. 6 は、Fig. 3 と Fig. 5 の結果をもとに得た結果を示す。すなわち、捕集条件が捕集用カートリッジの吸着剤厚さ 2 cm, 面速 19 cm/sec, 相対湿度 90% のときの、各種吸着剤の分離捕集比と捕集時間の関係を示している。

全吸着剤とも分離捕集比は捕集時間の増加にともない増加した。分離捕集比の最も大きいものは銀アルミナで、捕集時間 60 min で分離捕集比は約  $10^7$  以上、次に高いのが銀シリカゲルで約  $10^7$ , 銀ゼオライトは約  $10^5$ , TEDA 添着活性炭は約  $10^4$  であった。また相対湿度 20% の場合は、キセノンが吸着し易くなり、分離捕集比が小さくなり、銀アルミナ、銀シリカゲル、銀ゼオライトは約 1 桁、TEDA 添着活性炭は約 2 桁小さくなった。

## IV. 緊急時ヨウ素モニタリング用捕集材の検討

### IV-1 銀アルミナカートリッジの性能

#### (1) ヨウ素の分離捕集性能

銀アルミナは希ガスの吸着が少なく、ヨウ素捕集効率が高く、ヨウ素分離捕集用吸着剤として優れた性質を有していることが明らかとなった。この結果をもとに銀アルミナを用いて分離捕集用カートリッジを試作した。銀アルミナカートリッジは現在、日常モニタリングで用いられている活性炭カートリッジと同寸法である外径 60 mm, 厚さ 20 mm (吸着剤の有効直径 50 mm, 厚さ 16 mm) の円筒状である。この試作した捕集材に対して実用的な条件下における種々の性能を

調べた。

Table 2には銀アルミナカートリッジおよび比較としてTEDA添着活性炭カートリッジの捕集性能を示す。捕集流量  $50 \text{ l/min}$  で  $60 \text{ min}$  捕集したときの、ヨウ化メチル捕集効率とXe捕集効率、およびこれらの値から算出した分離捕集比である。銀アルミナカートリッジのヨウ化メチル捕集効率は湿度の増加に従って低下することを示している。しかし、分離捕集比は相対湿度20%において  $5 \times 10^5$  であったが、一般環境の平均的な相対湿度である70%では  $2 \times 10^6$  以上であった。一方、TEDA添着活性炭カートリッジではヨウ化メチル捕集効率は相対湿度に関係なく安定して高い値を示した。しかし、分離捕集比は相対湿度90%で  $5 \times 10^4$ 、70%では  $5 \times 10^3$  であり、銀アルミナカートリッジより分離捕集性能は劣っていた。

さらに、銀アルミナカートリッジの性能を明らかにするため、原子炉事故時を模擬した放射性キセノンと放射性ヨウ素の混合ガスを用いて分離捕集実験を行った。試験に用いた混合ガスの放射能濃度は  $\text{CH}_3^{131}\text{I}$  が約  $10^{-8} \mu\text{Ci/cm}^3$ 、 $^{133}\text{Xe}$  が約  $10^{-4} \mu\text{Ci/cm}^3$  である。実験では、相対湿度20%の混合ガスを  $50 \text{ l/min}$  で  $10 \text{ min}$  捕集した後、Ge(Li)検出器で捕集カートリッジの $\gamma$ 線スペクトルを測定した。Fig. 7(a)と(b)はそれぞれTEDA添着活性炭カートリッジと銀アルミナカートリッジの $\gamma$ 線スペクトルである。TEDA添着活性炭カートリッジでは $^{131}\text{I}$ のスペクトルに加え、 $^{133}\text{Xe}$ のスペクトルも観測された。高エネルギー $\gamma$ 線を放出する短半減期希ガス核種を大量に含む原子事故時直後にはヨウ素モニタリングの支障となることを示している。一方、銀アルミナカートリッジは $^{131}\text{I}$ のスペクトルのみで $^{133}\text{Xe}$ は認められない。このことから銀アルミナカートリッジを用いることによりヨウ素のみを分離捕集できることが明らかとなった。

## (2) ヨウ素捕集性能の経年劣化特性

緊急時ヨウ素モニタリング用捕集材は、緊急時に備えて、長期間保管されることが予想される。そのため、捕集材のヨウ素捕集性能の経年劣化を明らかにするための試験を行った。試験は、銀アルミナカートリッジを、高湿度（相対湿度90%以上）下での保管、室内保管、デシケータ内保管、ビニール袋保管、缶詰保管し、定期的に各保管条件のカートリッジについてヨウ化メチル捕集効率を調べた。その結果、高湿度下保管のカートリッジについては、著しいヨウ化メチル捕集効率の経時的低下が観られたが、その他の保管条件については約3年経過しても有意な劣化は観測されなかった。実際の保管では、缶詰保管にしておくことと機械的力への抵抗、雨水等の浸入阻止、運搬、保管の容易さの点で良いと考えられる。

## IV-2 TEDA添着活性炭カートリッジの利用

TMI原子炉事故時には、活性炭を用いたヨウ素モニタリングによって空气中ヨウ素濃度を過大に評価して混乱を招いた。このことを本研究結果はある程度裏づけている。さらに、本研究によってTEDA添着活性炭の性質がより明確となった。希ガスはTEDA添着活性炭に物理吸着し、高湿度（相対湿度90%程度）では捕集され難いこと、また、たとえ捕集されても清浄空気通気によって効果的に脱離できること、吸着量は速やかに平衡に達し、捕集時間の増加とともに分離捕集比が増加することが明らかとなった。このような性質を考慮に入れることによって、TEDA添着活性炭を緊急時ヨウ素モニタリングに適用する可能性が考えられる。すなわち、TEDA添着



活性炭カートリッジは希ガスの吸着し難い高湿度条件下で数時間サンプリングする場合は有効であろう。また、高湿度条件下でない場合は、捕集後の清浄空気通気で希ガスを脱離させた後測定することにより利用できる。Table 2 から予想されるように 70%以下の相対湿度の場合、分離捕集比は約  $10^3$  であるが、清浄空気通気によりさらに 2 桁分離捕集比は高められると予想される。

使用において注意を要するのは、事故時の漏洩放射能中の希ガスとヨウ素の組成が事故時の種々の条件に依存しており、予測できないことである。従って、ヨウ素の定量的評価を TEDA 添着活性炭を用いて行う場合、その時の捕集条件に対応した分離捕集性能を念頭におく必要がある。

## V. 結 論

緊急時放射性ヨウ素モニタリング法として、高濃度放射性希ガス雰囲気中から放射性ヨウ素のみを選択的に分離捕集し、測定する方法を確立することを目的として研究を行った。まずヨウ素吸着剤として知られている各種吸着剤について、希ガス吸着特性とヨウ化メチル捕集性能を調べた結果、銀アルミナが優れた性質を有していることが明らかとなった。そして緊急時ヨウ素モニタリング用捕集材として銀アルミナを充填した捕集カートリッジを試作しその性能を調べた結果、銀アルミナカートリッジは相対湿度などの捕集条件に関係なく優れたヨウ素分離捕集性能を有し、実用できることが明らかとなった。また従来用いられてきた TEDA 添着活性炭カートリッジは、高湿度条件下で長時間捕集する場合、あるいは捕集後、清浄空気の通気を行い吸着した希ガスを脱離させることにより利用の可能性があることも明らかとなった。

Table 1 List of adsorbents and their properties.

Descriptions	Adsorbent			
	TEDA Charcoal	Ag-Silica gel	Ag-Alumina	Ag-Zeolite
Impregnant	TEDA	AgNO <sub>3</sub>	AgNO <sub>3</sub>	Ag
Content of impregnant (%)	5	12	9	38
Shape	granule	bead	bead	bead
Mesh size	12x30	10x16	10x16	10x16
Country of production	Japan	FRG	Japan	USA
Packed density (g/cm <sup>3</sup> )	0.50	0.73	1.2	1.3
Surface area (m <sup>2</sup> /g)	1400	100	90	510
Pore volume (cm <sup>3</sup> /g)	0.61	0.32	0.33	0.34
Mean pore radius (Å)	8.8	64	67	13

Table 2 Retention efficiency for CH<sub>4</sub>I and Xe, and retention ratio.

Cartridge	Relative humidity(%)	Retention efficiency(%)		Retention ratio
		CH <sub>4</sub> I	Xe	
Silver alumina cartridge	20	91	$2 \times 10^{-4}$	$5 \times 10^{-5}$
	70	83	$< 4 \times 10^{-5}$	$> 2 \times 10^{-6}$
	90	73	$< 2 \times 10^{-6}$	$> 2 \times 10^{-6}$
TEDA impregnated charcoal cartridge	20	99.4	$7 \times 10^{-2}$	$1 \times 10^{-3}$
	70	99.5	$2 \times 10^{-2}$	$5 \times 10^{-3}$
	90	98	$2 \times 10^{-3}$	$5 \times 10^{-4}$

Note: Sampling conditions; flow rate 50 l/min and sampling time 60 min.  
Retention ratio is defined as the ratio of the retention efficiency for CH<sub>4</sub>I to that for Xe.

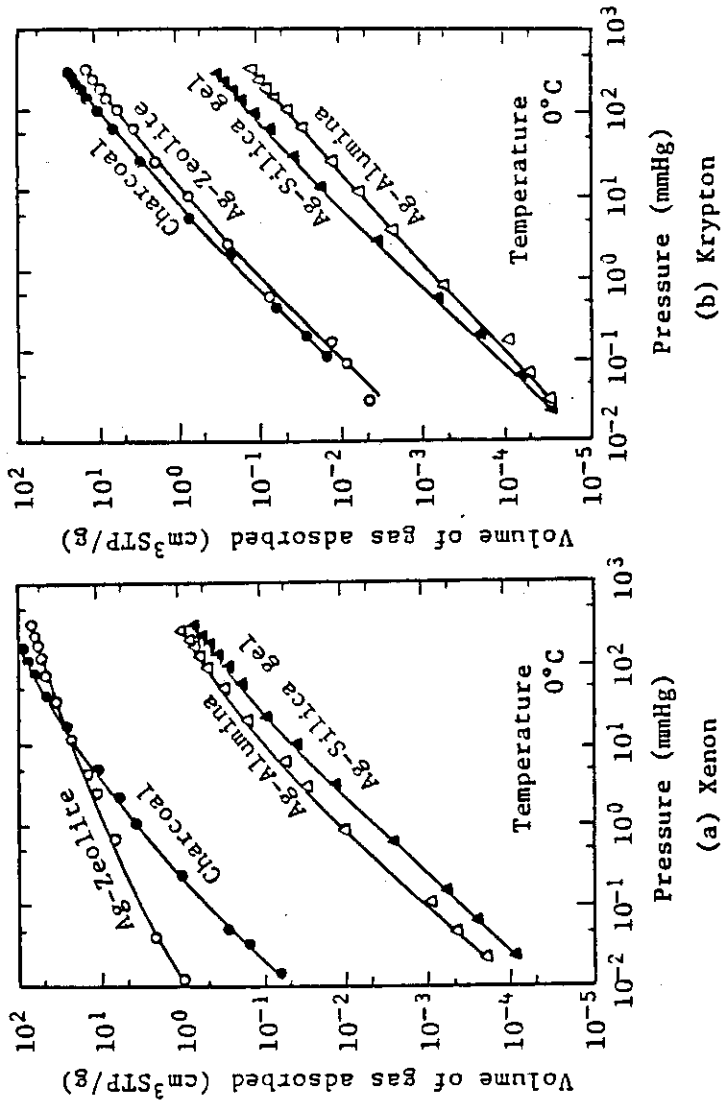


Fig. 1 Adsorption of noble gas on various adsorbents.

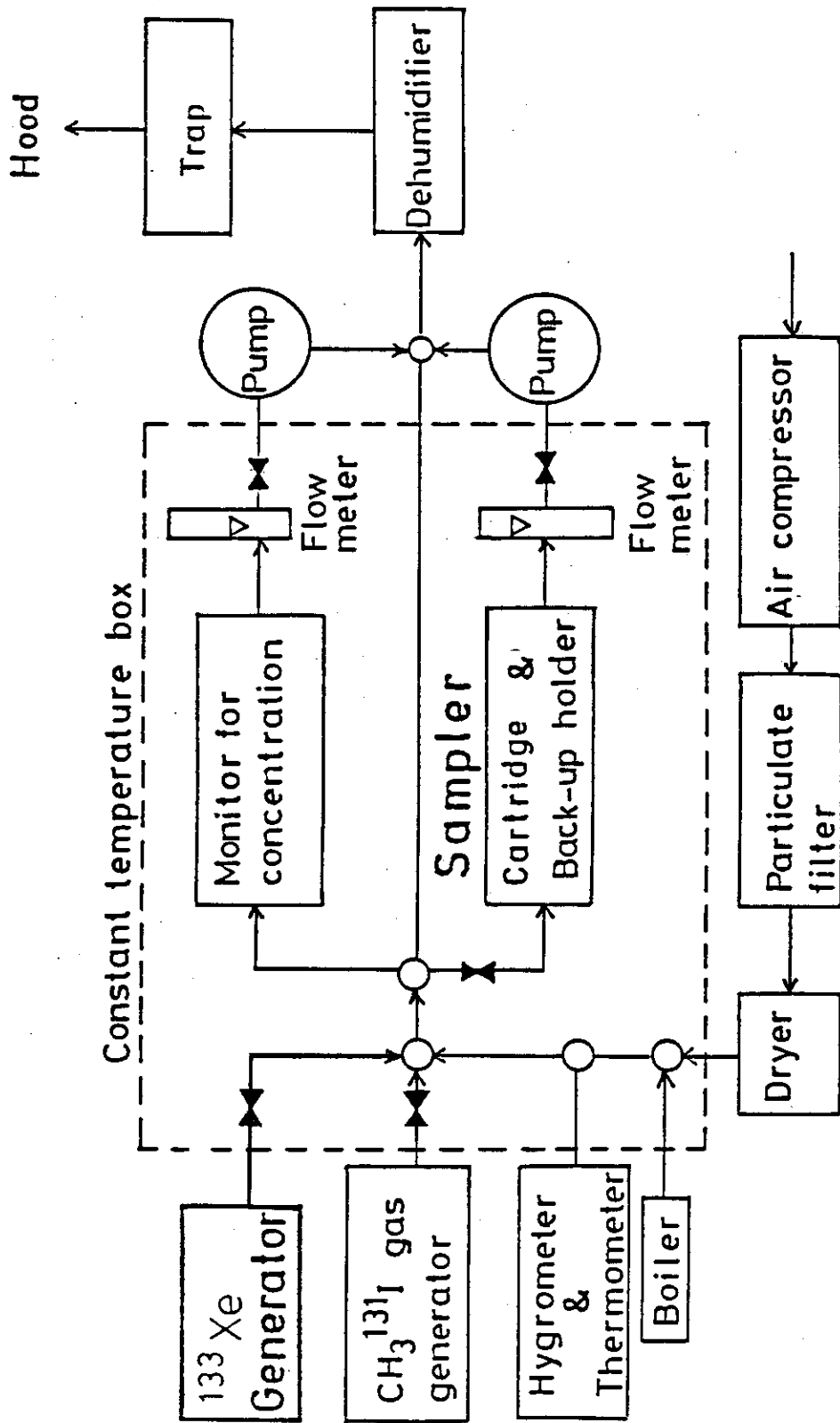


Fig. 2 Block diagram of test apparatus.

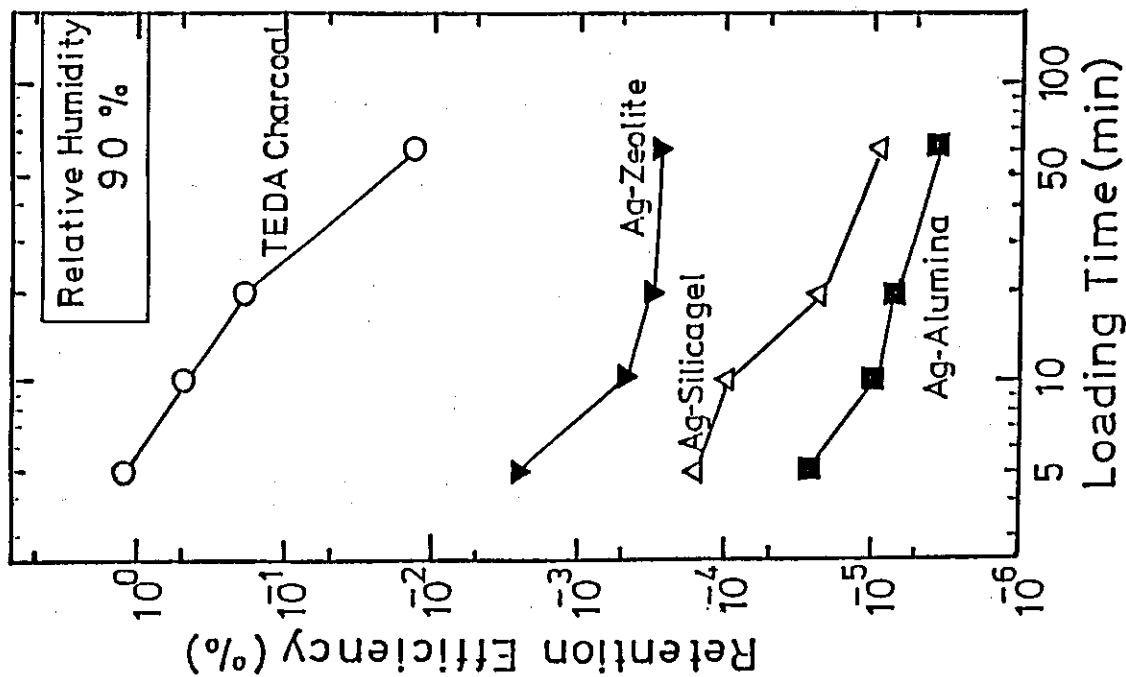


Fig. 3 Retention efficiency for xenon as a function of loading time under the conditions: face velocity 19 cm/sec, relative humidity 90% and bed depth 2 cm.

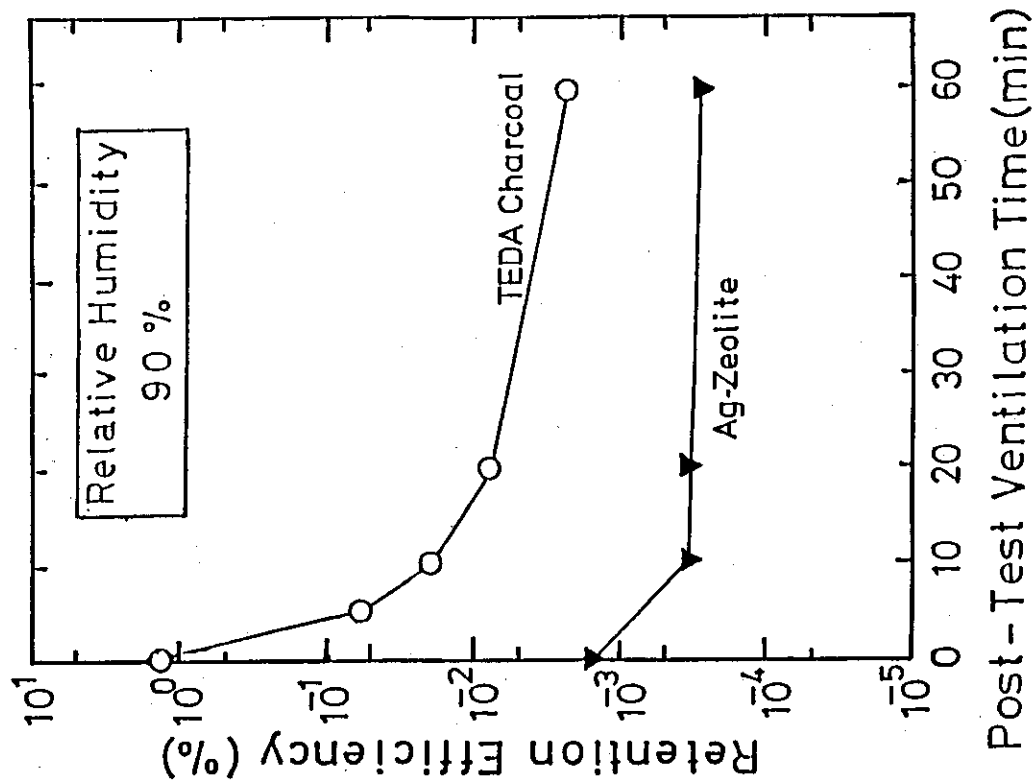


Fig. 4 Effect of post-test ventilation on the retention efficiency for xenon loaded under the conditions: face velocity 19 cm/sec, relative humidity 90% and bed depth 2 cm.

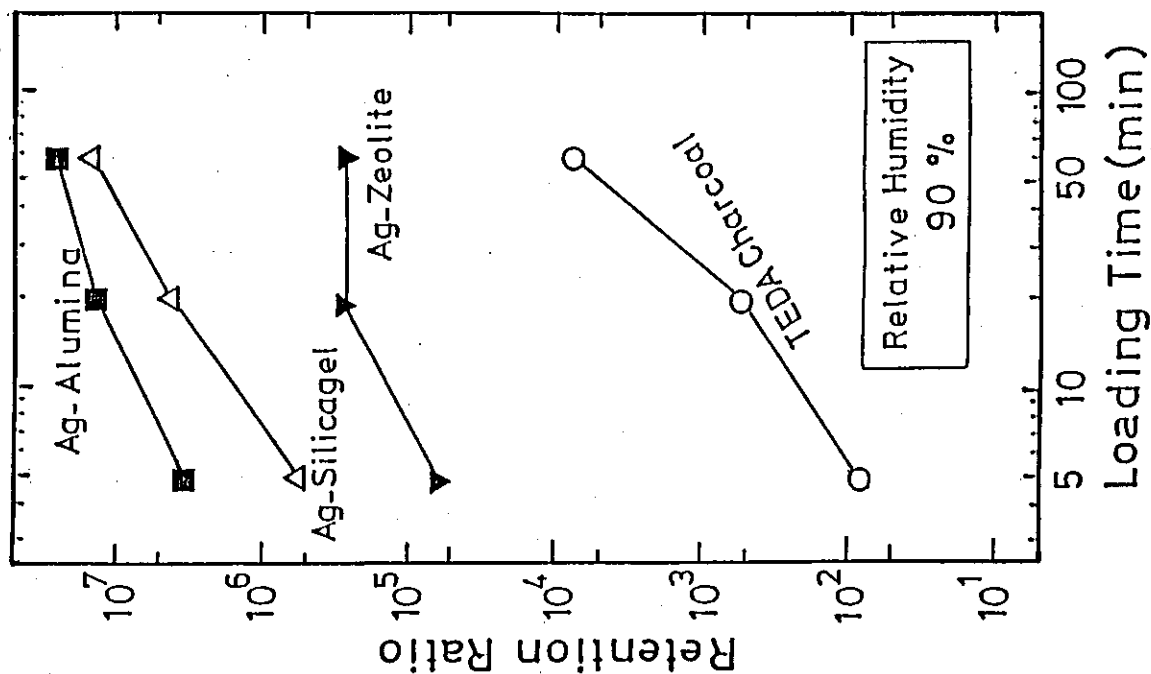


Fig. 6 Retention ratio as a function of loading time under the conditions : face velocity 19 cm/sec, relative humidity 90% and bed depth 2 cm.

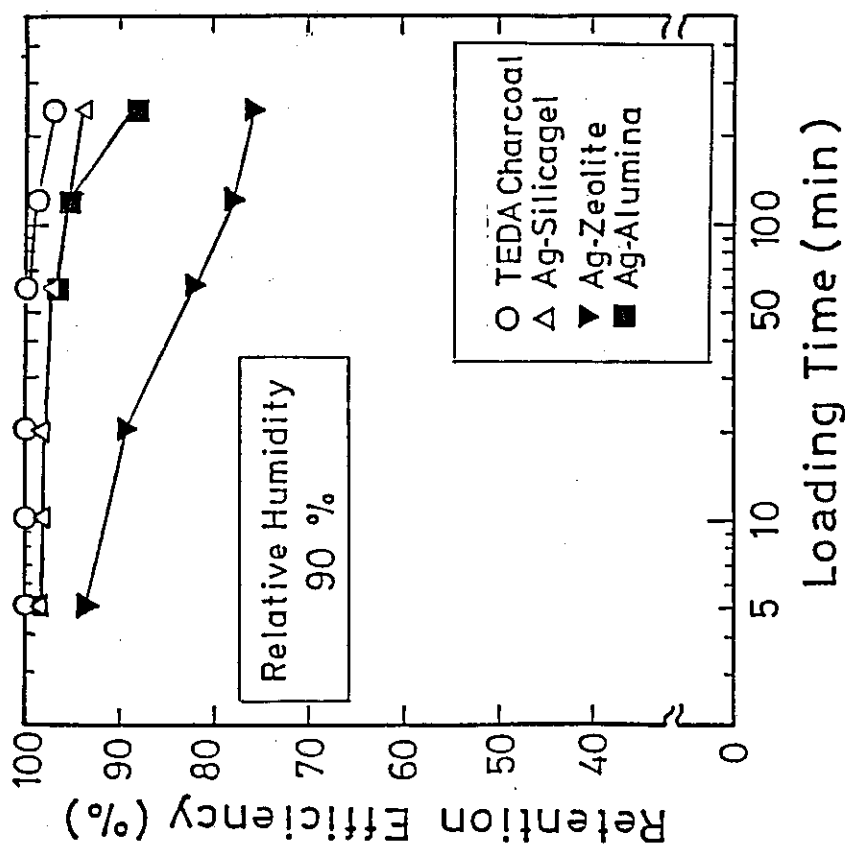


Fig. 5 Retention efficiency for methyl iodide as a function of loading time under the conditions : face velocity 19 cm/sec, relative humidity 90% and bed depth 2 cm.

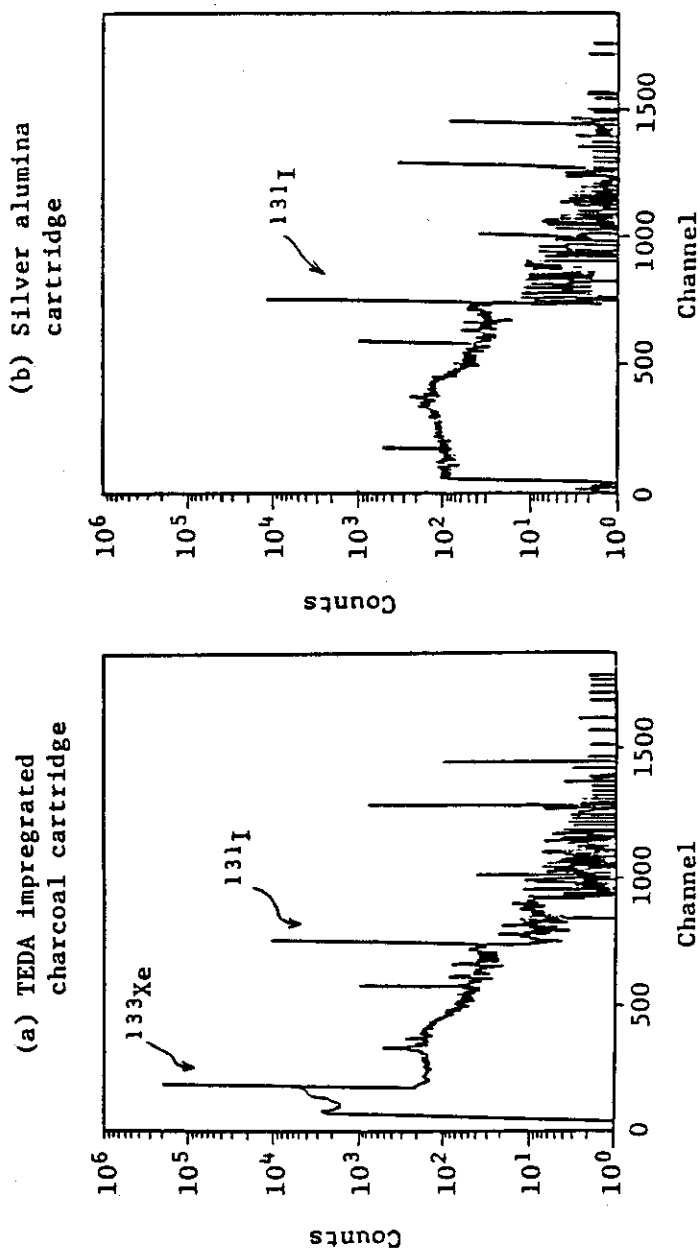


Fig. 7 Gamma-ray spectra of cartridges after sampling the air containing  $10^{-4} \mu\text{Ci}/\text{cm}^3$   $^{133}\text{Xe}$  and  $10^{-8} \mu\text{Ci}/\text{cm}^3$   $\text{CH}_3^{131}\text{I}$  under the conditions; flow rate 50 l/min, sampling time 10 min and relative humidity 20%.



## 2.3 航空機迅速 $\gamma$ 線サーベイシステムの開発

原研

森内 茂, 長岡 鋭, 坂本隆一, 斎藤公明, 堤 正博

### I. まえがき

原子炉事故等で原子力施設周辺の環境に放出された放射性物質による環境影響を迅速に評価し、周辺住民に対する緊急対策を実施するには航空機を用いたサーベイシステムの活用が極めて有効である。過去の欧米の事故例では、原子炉事故、核爆発実験での汚染区域の調査、輸送中の遺失線源の捜査、原子炉衛星の落下による汚染区域の線源探査等に航空機サーベイシステムが使用され、その有効性が認められているところである。

当緊急時6カ年研究計画がスタートした昭和55年当時は、日本では本格的な航空機 $\gamma$ 線サーベイシステムの開発と使用経験がなく、昭和55年度にシステムの開発に着手するに当って測定機器の開発・整備から開始しなければならなかった。研究用機器の整備に引き続き測定システムの基礎特性試験、バックグラウンド放射線の特性調査(昭和56年)、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{60}\text{Co}$ の $\gamma$ 線源による人工放射線場での測定法、飛行技術・位置計測法の試験を兼ねた実験(昭和57年)、実原子力施設サイト周辺での総合試験(昭和58年、59年)を実施した。これらの野外測定実験に並行して、データ処理システムの開発整備、データ解析法の開発あるいは環境 $\gamma$ 線のモンテカルロ計算コードの開発を進め、59年度中にシステムの基本部分の開発整備を終了した。

一方、研究用に使用してきた測定システムの使用経験をもとに昭和58年度より実用型の測定システムの整備に着手し、昭和60年度に開発完了を目指し、作業を続けている。研究用システムで蓄積した評価データを実用システムに引き継ぎ使用していくため、研究用に使用してきた測定システムと実用型システムの同一条件下での測定実験により比較データを得るとともに、実用型システムの総合的な性能確認を進めた。

以下に各研究項目別に成果<sup>1-4)</sup>の概要をまとめた。

### II. 航空機放射線サーベイ評価システムの開発、整備

ARSAS (Aerial Radiological Survey and Assessment System) は航空機搭載部と地上部の2部よりなり、航空機搭載部のシステムとしては、研究用のシステムとその改良型である実用型システムの2つのシステムを製作した。研究用システムは昭和56年度に製作され、部分的改良を加え、空中での線量評価における基礎データの収集のための実験が実施された。また実用型システムは59年度に製作され、60年度には実際に航空機に搭載し測定を行った。放射線測定機器には、米国製の本来地質探査用の機器に改造を加え使用している。研究用システムを搭載したヘリコプタ Bell 206 L-1 を Photo 1 に示す。

#### II-1 航空機搭載型研究用測定システムの開発

放射線検出部には、NaI (Tl) シンチレーション検出器を使用している。大型の外国製 DET-1024 (形状 16"×16"×4")、DET-256 (4"×16"×4") から、環境測定に汎用的に使用されている国産の 5"φ×4"、4"φ×4"、3"φ×3"、2"φ×2" (Pb遮蔽材付)、5"φ球、

3" φ球の各種形状・寸法の検出器を揃えた。このうち5" φ×4" , 4" φ×4" , 5" φ球, 3" φ球の検出器は標準用ないし外国データとの比較用に整備されたもので、実用には低レベル検出器にDET-1024 またはDET-256 , 中レベル検出器には3" φ×3" , 高レベル検出器には2" φ×2" (Pb 遮蔽材付) を充てる。これにより、放射線場の測定レベルが1 μR/h 以下から1 R/h 以上までの範囲を測定できる。温度によるゲイン変動の対策として、外国製検出器ではヒーターにより一定の温度に保つことにより、また国産検出器では回路により温度補償がなされている。

研究用システムでは、2系統のパルス処理が行え、256 ch と64 ch の約50 keV ~ 3 MeV の範囲のガンマ線エネルギースペクトルを得ることができる。航空機の位置標定にはマイクロ波を使ったMRS (Microwave Ranging System) を用いている。他に比べて測定精度が高い点からMRS を選択した。これは航空機に搭載された主局と地上に設置された従局(2局, 最大4局) よりなり、主局から発射された質問パルスと従局からの応答パルスの時間差より距離に換算するものである。高度の測定には電波高度計を用いる。MRSによる位置標定の精度は±10 m内外であることがわかった。しかし電波の見通しのきかない地域では、位置データの欠測が起こり、MRS は不向きである。これを補う意味でもビデオシステムを併用しており、時刻、位置情報、ジャイロからの鉛直下マークが重ねられた飛行直下画像がビデオテープに記録される。MRS が地勢上使用に適しない地域では、目標物沿い飛行を行うことも試みられた。目標物として主要道路、川、山の尾根等を目印とする。放射線測定データは、位置情報、および時刻、識別番号等とともにオープンリールの磁気テープに書き込まれる。

## II-2 実用型測定システムの開発

研究用測定システムの検討結果をもとに小型化、高性能化、搭載時間の短縮化等を満たす実用型の航空機ガンマ線サーベイシステムを開発した。この実用型システムのブロック図をFig.1に示す。実用型システムでは、256 ch のガンマ線エネルギースペクトルが2系統得られ、さらに線量ユニットを製作した。線量ユニットでは3系統の検出器からの放射線パルスが処理でき、それぞれはG(E) 関数法により線量換算され、計数率、線量率が前面パネルに表示される。またビデオシステムを原研で製作し、線量ユニットからの計数率、線量率等の数値もVTRの画像に重ね書きされるようにした。データ収録部も容量が大きくなり、これらのデータは全部取り込まれ、記録される。データ記録部はコンパクトなデジタルカセットに変更し、2時間のデータの書き込みが可能である。実用型では、中型ヘリコプタを使用し、また搭載時に着脱が容易なように搬送用ラックごと積み込むような工夫をした。

## II-3 データ処理部

磁気テープに取得したデータの処理は地上において行われる。大型計算機およびミニコンをもちいた、本システムの解析プログラム、CARDiN が整備された。データの補正、修正の他に、解析された出力として、ガンマ線エネルギースペクトル、線量値・飛行高度・エネルギーウィンドウ値等の時系列表示、線量値を重ねた飛行軌跡図等が得られる。

### Ⅲ. 野外測定実験とデータ解析によるシステムの性能評価

#### Ⅲ-1 バックグラウンド放射線の基礎特性調査

自然放射線場で飛行測定実験を行い、並行して実施した地上測定と合わせて解析し、環境  $\gamma$  線の基本的諸特性を明らかにした。

DET-1024 検出器に対する宇宙線寄与分の評価の実験から、宇宙線寄与分の線量・計数率の高度分布のデータを得た。高度 500 m までは地上レベルと余り変わらず、高度 1000 m 以上では変化がはっきり現れる。地上付近の宇宙線寄与分は 3 MeV 以下の成分では  $0.08 \mu\text{R}/\text{h}$  前後であった。

$^{222}\text{Rn}$  娘核種寄与分の評価の実験から、単位線量あたりの  $^{222}\text{Rn}$  娘核種成分のパルス波高スペクトル分布を得た。伊勢湾上空で行った広域の  $^{222}\text{Rn}$  娘核種からの  $\gamma$  線寄与分は、 $^{222}\text{Rn}$  濃度が高くなる早朝時、コース上に設けたチェックポイント間平均値で  $0.16 \sim 0.38 \mu\text{R}/\text{h}$  の値が観測された。

地殻  $\gamma$  線の高度減衰の評価の実験から、種々の地質の異なる場所で地殻起因ガンマ線パルス波高スペクトル分布を得た。Fig.2 に愛知県碧南市の水田で得られた高度分布の一例を示す。対地高度 100 m の計数率  $N_0$  および線量率  $D_0$  で規格化した数値について検討した。計数率および線量率の減衰傾向に殆ど差がなく、さらに指数関数的に減衰することから、高度 30 m から 300 m の範囲における、高度  $H$  m での計数率  $N$  及び線量率  $D$  は次式で近似できる。

$$N = N_0 \exp\left(-\frac{0.69}{100}(H-100)\right)$$

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{0.69}{100}(H-100)\right)$$

さらに、地上値については上式より求めた値を 20 % 程度増す必要がある。また、ディスクリミネーションレベルをパラメータに線量率と計数率及び吸収エネルギーについて検討した結果、自然放射線場を対象にした場合、相関が非常によいことが分かった。

飛行測定と地上測定の両方法から得た地上値の相関をウラン・トリウム・カリウムの成分別に検討した結果、ウラン成分は  $1 \sim 2 \mu\text{R}/\text{h}$ 、トリウム成分は  $1 \sim 5 \mu\text{R}/\text{h}$  の線量率範囲となっているが、いずれも良い相関をめている。カリウム成分はコース測定と定点測定の傾向が若干異なる。これは地上測定と飛行測定ではジオメトリーが異なることに起因し、地上測定においては道路に隣接する建物からの増加分があるためと思われる。

#### Ⅲ-2 人工放射線場における測定実験の解析

$^{60}\text{Co}$ 、 $^{137}\text{Cs}$  の密封点線源を用いた人工放射線場における飛行測定実験を行い、位置測定システムの性能試験、放射線測定システムの性能評価、測定飛行方法の試験、データ処理方法の検討を進め詳細なデータを取得した。

人工放射線場における地上測定実験から、距離による  $\gamma$  線の減衰特性を定量的に評価した。地上 1 m における線量率の直接線寄与分、散乱線寄与分及びその合計について検討した結果、線源近傍では  $^{60}\text{Co}$ 、 $^{137}\text{Cs}$  とともに直接線寄与分が支配的であり、直接線寄与分と散乱線寄与分が同

程度になるのは  $^{60}\text{Co}$  で 300 m,  $^{137}\text{Cs}$  で 150 m であった。

人工放射線場における飛行測定実験から、得られた線量率の空間分布を用いて線量率の等値線について検討した。その例をモンテカルロ計算の結果と併せて Fig. 3 に示す。等値線作図に当たっては、入力データ数が十分でない、バックグラウンドの変動による誤差などの問題はあがるが、測定値と計算値は良く一致した。

線源からの距離による線量率と計数率との比、線量率と吸収エネルギーとの比の変化について、 $^{60}\text{Co}$  線源、 $^{137}\text{Cs}$  線源の場合について検討した。この結果、線量率と計数率との比については、線源に近い場所では変化が現れるが、線量率と吸収エネルギーとの比はほぼ一定値を示した。

スキャン測定実験から、線源近傍の線量率の平面分布について検討を行った。線源を中心とする 1000 m 四方の正方形内を 100 m 間隔で平行に設定した計画コース上の飛行を行い、その結果、5"  $\phi$   $\times$  4" NaI (Tl) 検出器、 $^{137}\text{Cs}$  300 m Ci 線源を使用した場合の線量率の平面等値線 (Fig. 4) が作成できた。

### III-3 $^{41}\text{Ar}$ プルーム測定実験の解析

東海サイトにおいて施設から定常的に放出される  $^{41}\text{Ar}$  のプルームを対象に飛行実験を行い、放射性プルームの追跡測定法と放出量評価法に関する詳細なデータを取得した。 $^{41}\text{Ar}$  プルームの追跡実験から、追跡法及び B.G. からの分離評価法について検討した。ARSAS のスペクトルモニタにより  $^{41}\text{Ar}$   $\gamma$  線ピークを観測しながら、スタックからのプルームを横切る風軸横断方向で風下方向にジグザグ飛行した。測定結果にディスクリミネーション法、エネルギーバンド法を適用し、 $^{41}\text{Ar}$  の分離及び判定を行った。

Fig. 5 は海風時 (ESE)、弱安定の大気条件下で実施した  $^{41}\text{Ar}$  プルームの長距離追跡例である。矢印がプルーム軸を示し、サイトから 5 km まではディスクリミネーション法により分離評価でき、さらに 16 km 地点までエネルギーバンド比を用いることにより  $^{41}\text{Ar}$  の存在が確認できた。

$^{41}\text{Ar}$  放出量推定の実験では、スタックから放出される放射性核種の放出量の推定法について検討した。プルーム軸に直角に一定高度で飛行して得られる空間線量率分布を利用し、空間線量率の積分値を用いる方法及び空間線量率の最大値を用いる方法について行った。ガウスプルームを仮定し、いろいろな大気安定度、放出  $\gamma$  線エネルギーに関して計算を実施し、その結果をもとに、飛行測定データに適用した結果、スタックモニタによる放出率とファクタ 2~3 の範囲で一致することが確認できた。

### III-4 複雑地形に於ける各種飛行サーベイ

福井県嶺南地区において、複雑地形での各種飛行サーベイ法の実験を行い、主として複雑な地形サイトでの飛行方法に関する問題点の抽出と解決のためのデータを取得した。

サーベイモードとして、目標物沿い (道路)、尾根伝い、半島横断について検討した。目標物沿いサーベイは地理不案内でも殆ど問題無く予定コースを通ることができる。尾根伝いサーベイは地形が複雑である場所或いは雲が発生している場所ではコースを見失うことがある。半島横断サーベイでは一定高度で飛行測定する場合、海上と陸上では海拔高度が極端に異なり、注意を要

することがわかった。

また、複雑地形においては適当なMRS従局設置点を探すことは容易で無いことがわかった。実用化に際しては、事前に、従局設置点を検討することが必要である。

### Ⅲ-5 目的別各種飛行サーベイ法

Ⅲ-1からⅢ-4に述べた研究では、種々の測定対象に対してそれぞれの目的に応じた飛行モードを採用したが、ここでそれらについてまとめておく。飛行モードとその測定対象・目的等をTable. 1に示す。実際の飛行サーベイ時には、飛行地域の条件、測定対象を考慮してサーベイ方法を選ぶ必要がある。

Table 1 List of Survey Modes.

飛行モード	飛行方法	測定対象・目的	備考
目標物沿い	道路、尾根、地上設置物等を目標として予め設定されたコース上を飛行	広域の全般的サーベイ (例; 表面汚染, 遺失線源の探査)	MRSを使えない条件下でも適用可能
スキャン測定	測定地域内に平行に設定された多数本のコース上を一定高度で連続的に飛行	等値線図の作成 (Fig. 4 参照), 平面分布の評価	測定地域内を均一に飛行するよう留意
同心円測定	放出源を中心とした同心円上を一定高度で飛行	プルームの方向, 広がり の探査	放出源を中心とした線量率分布の迅速把握に有効
プルーム追跡	放出源付近から風下方向へジグザグに飛行	プルーム流跡線の追跡 (Fig. 5 参照)	スペクトルモニタを利用
ラドン測定	湖, 海等広い水面上と, それに平行する陸上の両コース上を飛行	空気中ラドンからの寄与分の評価	自然放射線を対象とした基準測定
宇宙線測定	海面上をいくつかの一定高度で飛行	宇宙線高度分布及び地上値の評価	自然放射線を対象とした基準測定

## IV. 野外実験のシミュレーション計算と環境ガンマ線特性基礎データの蓄積

航空機サーベイシステムの開発に必要な基礎資料をうるため上記の実験を実施する一方、さらに環境ガンマ線に関するデータの充実を計る目的で理論計算を行った。先ず、野外実験のシミュレーション計算によりプログラムの検証を行い、続いて環境ガンマ線に関する基礎データをまとめた。

計算には原研で開発したモンテカルロプログラムYURIを用いた。ガンマ線の輸送媒体として

半無限の土と空気を考え、これらが無限平面で接していると仮定した。土と空気は一樣の密度を持ち、土は $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ と $\text{H}_2\text{O}$ から、空気は $\text{N}_2$ 、 $\text{O}_2$ と $\text{Ar}$ からなるとした。ガンマ線の反応過程として光電効果、コンプトン散乱、電子対生成の3つを考慮している。電子は発生した地点で全エネルギーを失うとし、電子対生成により生じた陽電子もその場で2本の0.51 MeV消滅ガンマ線を放出すると仮定した。計算モデルおよび入力データの詳細については別報告書<sup>4)</sup>を参照されたい。

#### Ⅳ-1 野外実験のシミュレーション計算

本システムを用いて行った野外実験のなかで昭和56年度、57年度に実施したものについてシミュレーション計算を行った。地殻からのガンマ線の高度による減衰および地上2.5 mにある点線源からのガンマ線の輸送に関する計算を行い、線量率と線束密度について実験値との比較検討を行った。

地殻からのガンマ線の高度による減衰のシミュレーション計算では、 $^{232}\text{Th}$ 、 $^{238}\text{U}$ 系列の放射性核種は放射平衡状態にあり、地中に一樣に分布すると考えた。空中のラドン、トロンの影響は一切考慮していない。 $^{40}\text{K}$ 、 $^{232}\text{Th}$ 系列、 $^{238}\text{U}$ 系列の地中濃度は、実験場から持ち帰った土の試料を純Ge検出器で測定して求めた。各放射性核種のガンマ線エネルギーおよび放出確率はENSDFの1982年版のデータに基いて評価した。

照射線量率の高度による減衰傾向の計算結果と実験結果と比較した例をFig. 6に示す。全線量率の中に占める直接線と散乱線の寄与をFig. 6-(a)に、また、 $^{40}\text{K}$ 、 $^{232}\text{Th}$ 系列、 $^{238}\text{U}$ 系列各核種からの寄与をFig. 6-(b)に、それぞれ分けて表わしている。航空機による測定値が系統的に少し低めに出ているが、減衰傾向は似ており、全体的によい一致がみられる。

57年度に行った人工点線源を用いた実験では、 $^{60}\text{Co}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 各線源の強度の校正を、線源を実験状態にセットして行った。計算入力にはここで得た実効の線源強度を用いている。Fig. 7に実験で得た空間線量率の水平方向の分布と計算結果の比較を、また、Fig. 8に線束密度に関する比較を示す。実験結果の統計精度の高いところ、すなわち、線源に近い場所では実験値と計算値は良い一致をみせている。

#### Ⅳ-2 環境ガンマ線特性基礎データの蓄積

環境ガンマ線の特性の基礎データとして、 $^{40}\text{K}$ 、 $^{232}\text{Th}$ 系列、 $^{238}\text{U}$ 系列の地殻ガンマ線各成分、地表平面線源からのガンマ線、地上にある点線源からのガンマ線についてそれぞれ線量、フルエンスを計算し、これらの量の空間分布、エネルギースペクトル、方向分布のデータをえた。

計算結果の例として、地表面に一樣分布している放射性核種からのガンマ線強度の高度による減衰をFig. 9に示す。これは $1\text{ m}^2$ 当たり10万個のガンマ線が放出されたときの、線量ならびに直接線の減衰割合を表わしたものである。沈着核種によって減衰傾向が大きく異なることが分かる。

このほか、環境ガンマ線に関する詳細なデータを得ているがここでは紙面の都合上割愛する。

## V. あとがき

航空機 $\gamma$ 線サーベイシステムの開発は以上の通り航空機搭載部の $\gamma$ 線測定システム、地上に置きデータ解析処理に用いるデータ処理システムともにはほぼ目標通り進んだ。

航空機 $\gamma$ 線サーベイにより事故施設周辺広域の線量率分布の迅速評価、プルームの流跡線追跡、放出量評価のための測定等の緊急時のモニタリング範囲の判定等に役立つ情報、あるいは対策のための直接の情報、計算予測システムの入力データの提供等緊急時の諸活動に有効な広範な情報が入手できると期待される。今後、緊急時モニタリング体制の中に新たに加わるであろう航空機 $\gamma$ 線サーベイシステムの活用の位置付けを明確にし総合的に整合性のある効果的な活動ができるようその役割と連携に関する検討を進めることが必要である。

## 参考文献

- 1) 堤正博他：“航空機ガンマ線サーベイシステムの開発・I—ガンマ線および位置計測機器とデータ処理法—”，JAERI-M-86-072（1986）。
- 2) 坂本隆一他：“航空機ガンマ線サーベイシステムの開発・II—バックグラウンド放射線の基礎特性調査—”，JAERI-M-86-020（1986）。
- 3) 長岡 鋭他：“航空機ガンマ線サーベイシステムの開発・III—人工放射線場における測定実験の解析—”，JAERI-M-84-241（1985）。
- 4) 斎藤公明他：“航空機ガンマ線サーベイシステムの開発・IV—野外実験のシミュレーション計算と環境ガンマ線特性基礎データの蓄積—”，JAERI-M-85-004（1985）。

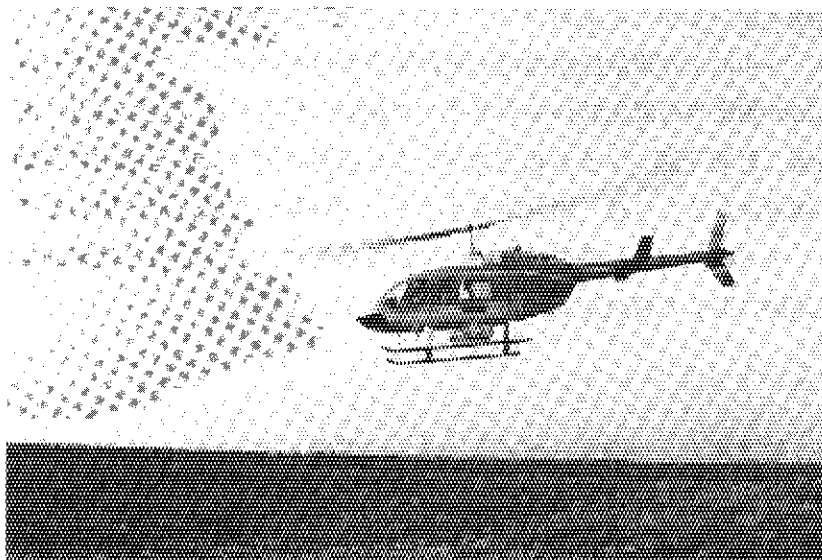


Photo. 1 The Bell 206L-1 helicopter equipped with a large volume gamma detector.

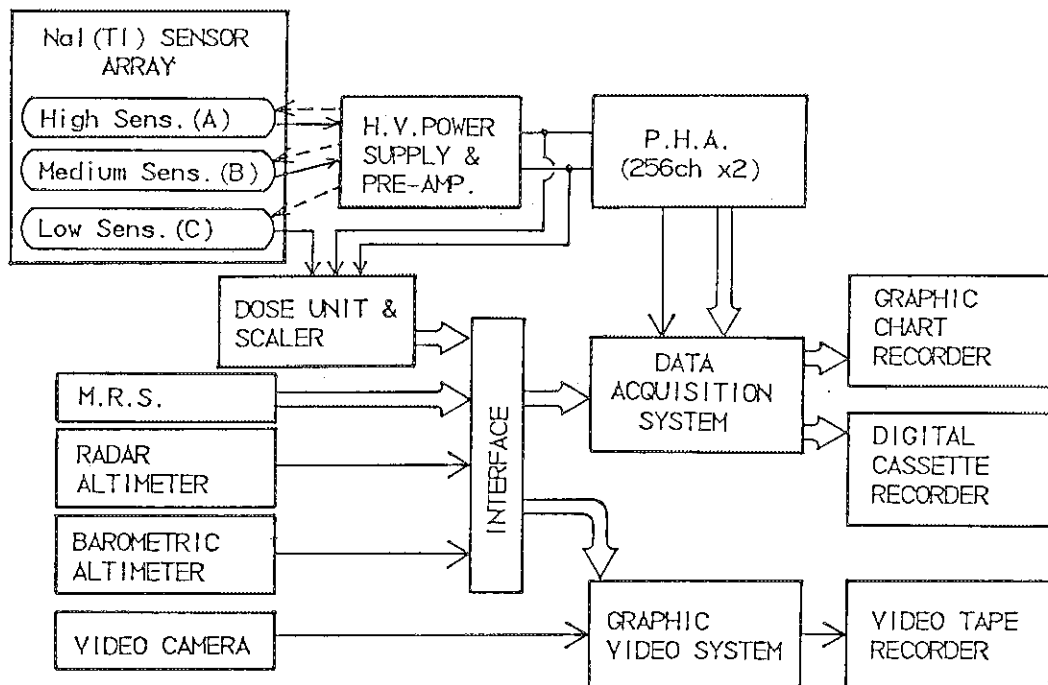


Fig. 1 Block diagram of practical aerial survey system.



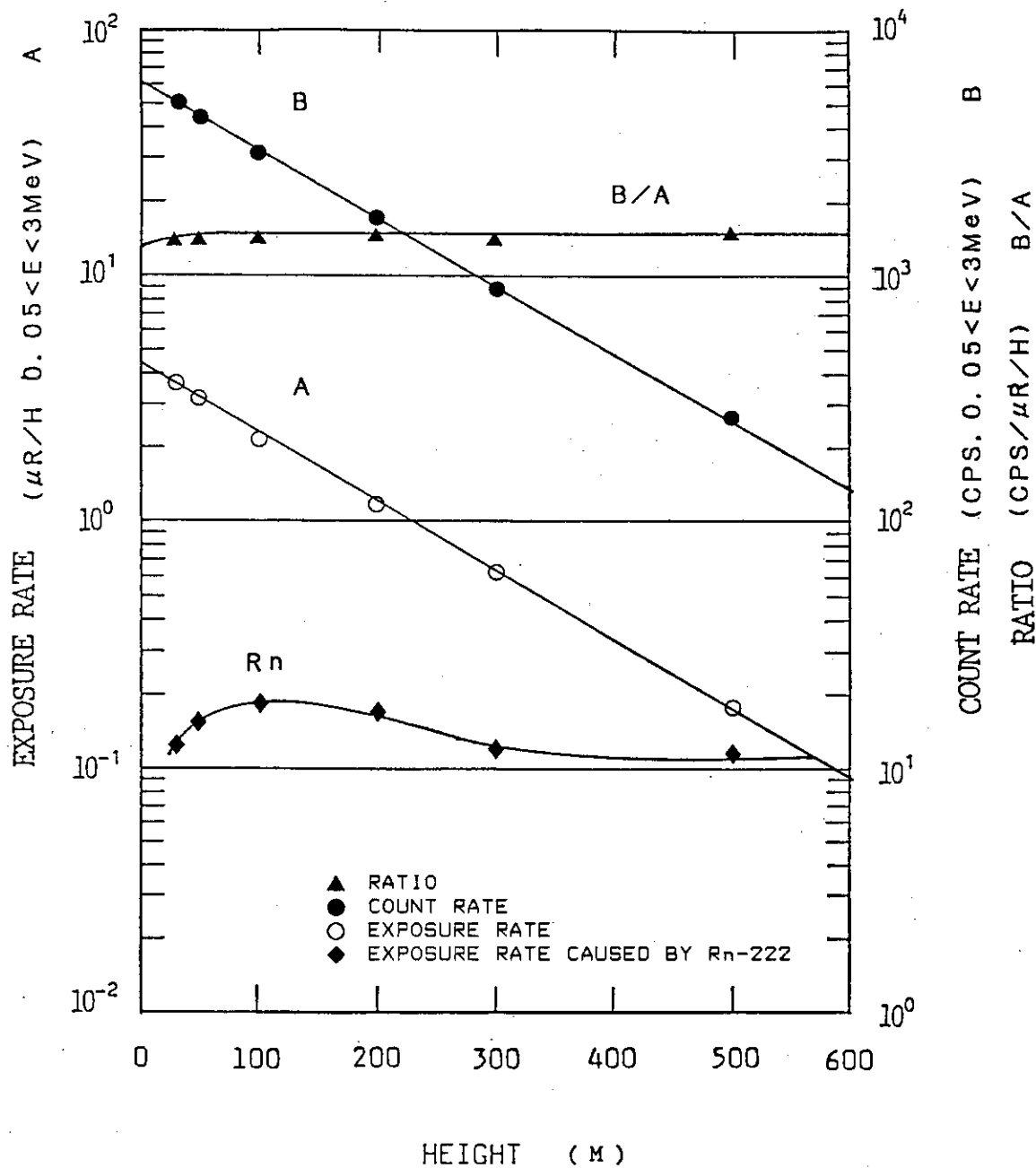


Fig. 2 Vertical distribution of terrestrial gamma rays.  
(Experimental site : Hekinan)

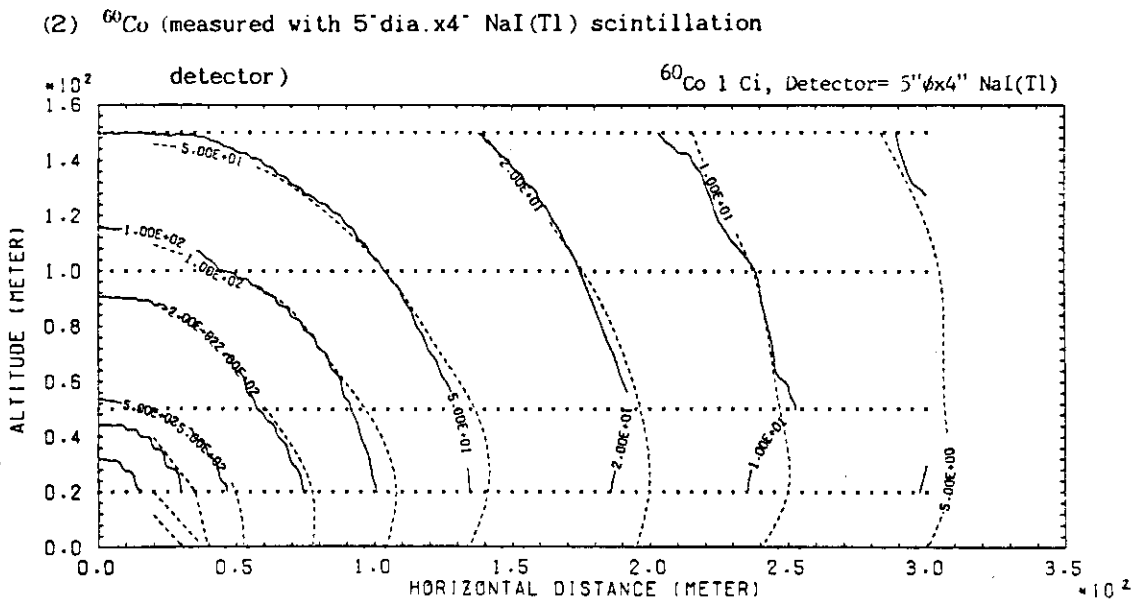
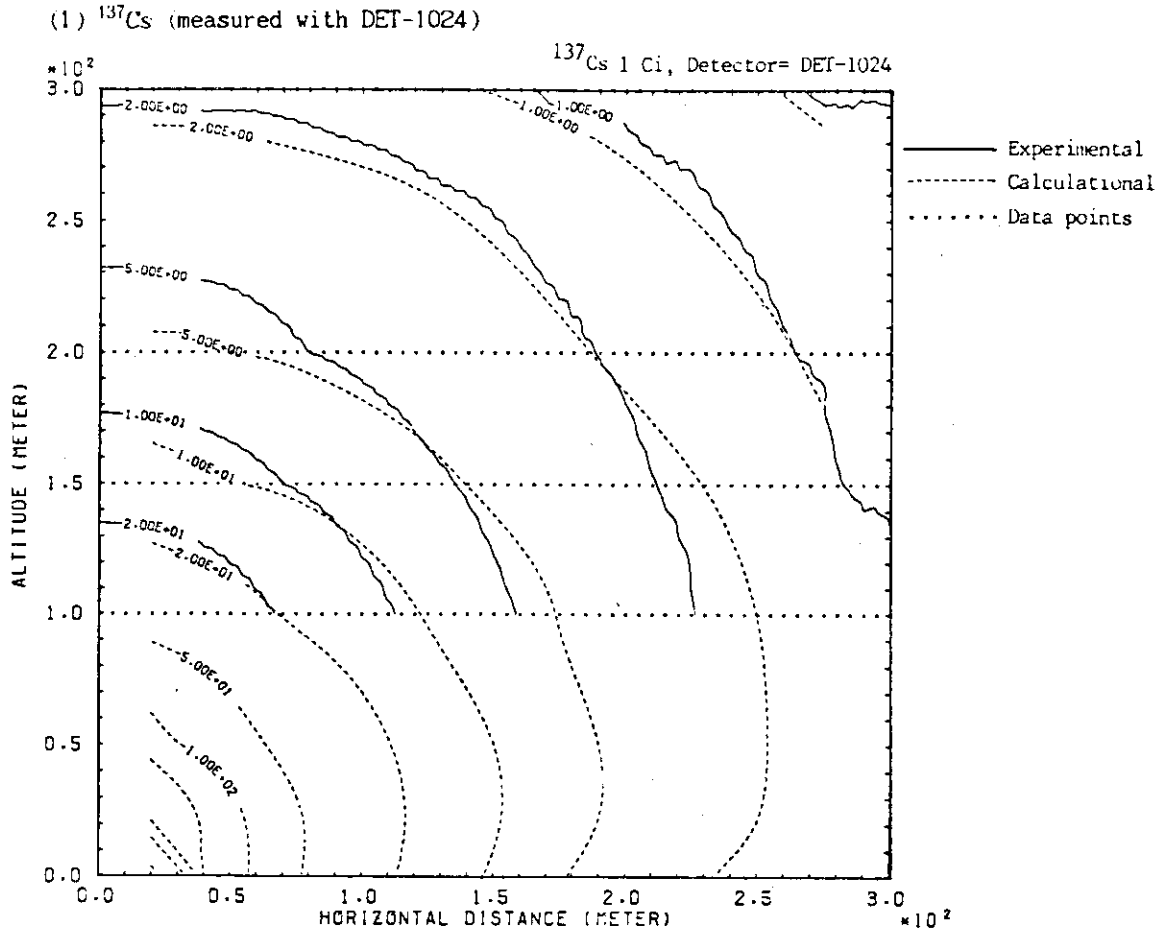


Fig. 3 Contours of exposure rate around a point gamma-ray source. Source intensities are normalized to 1 Ci.

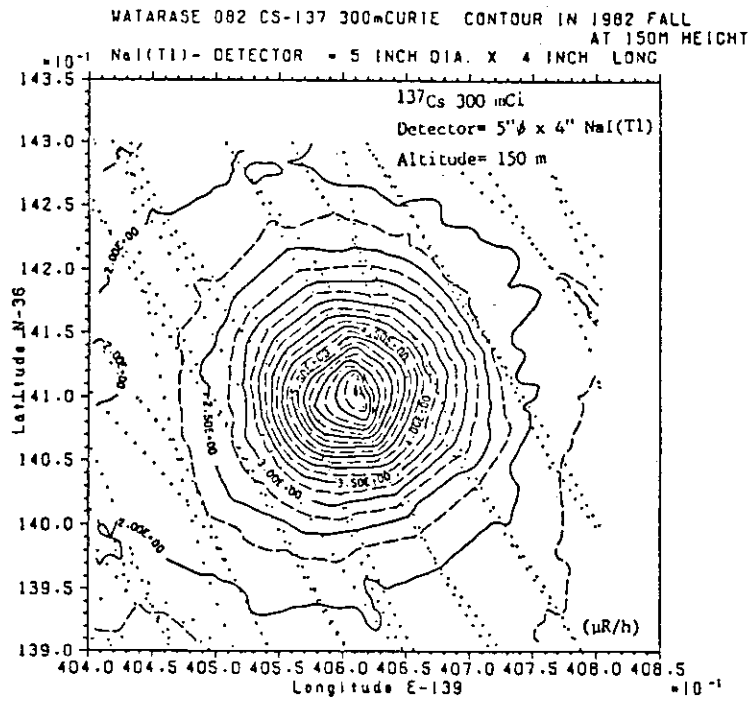


Fig. 4 Exposure rate contour calculated using a data set obtained by scanning flight measurement.

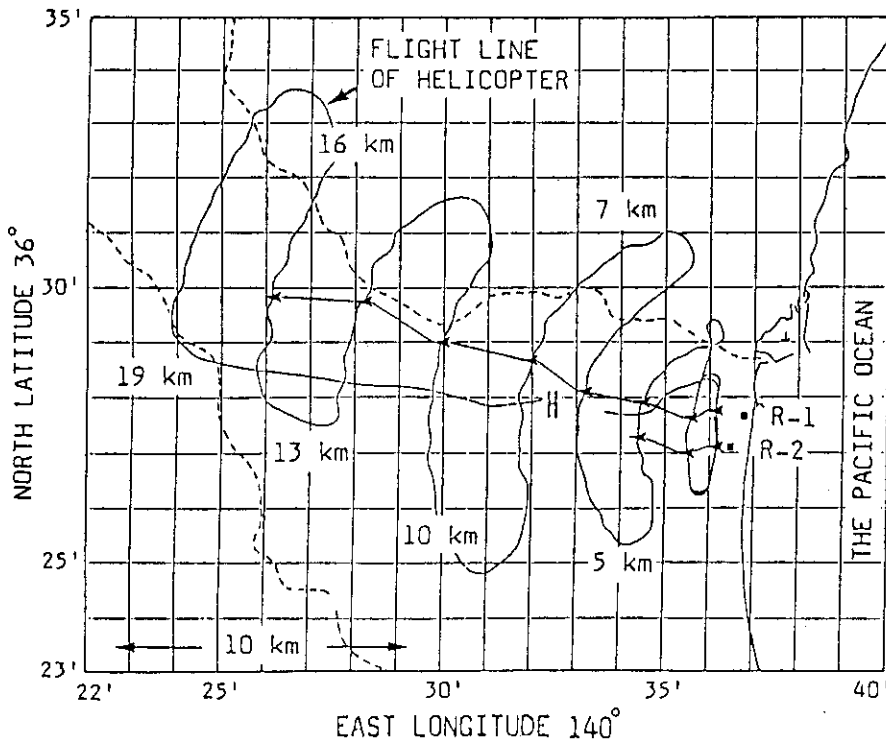


Fig. 5 An example of experimental results of  $^{41}\text{Ar}$  plume tracking.

◀ : peak point of exposure rate,  
 H : Heliport

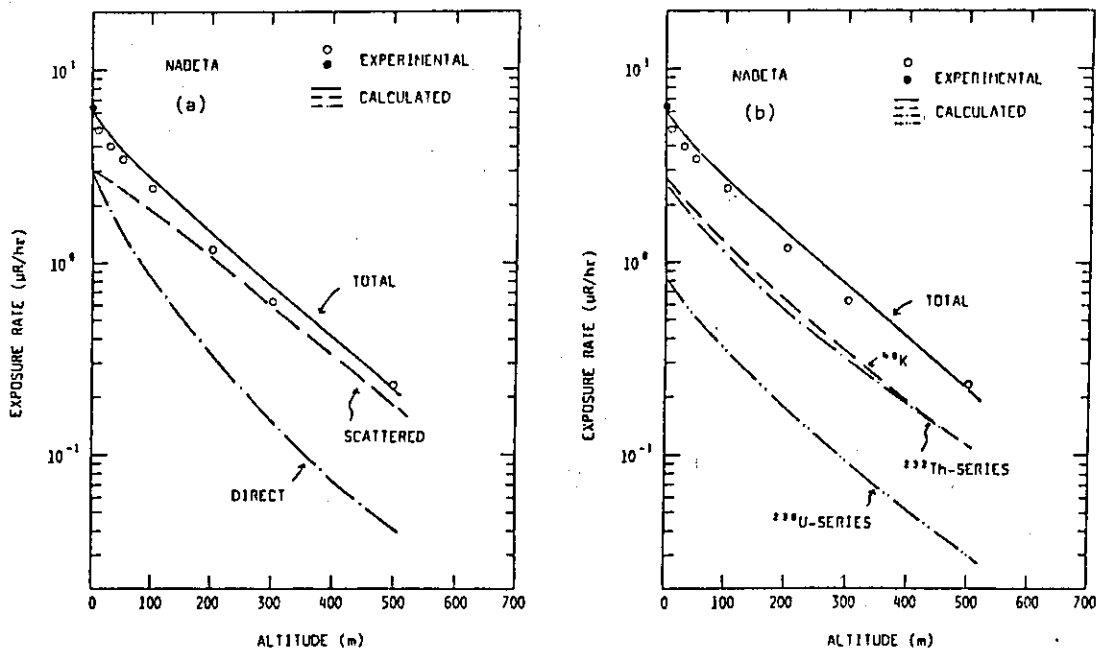


Fig. 6 Decreasing tendency of terrestrial gamma rays with height. Calculated exposure rates were compared with experimental data at Nabeta experimental field. Black circles stand for data observed at 1 m on the ground, while white circles stand for data observed in the air with a helicopter.

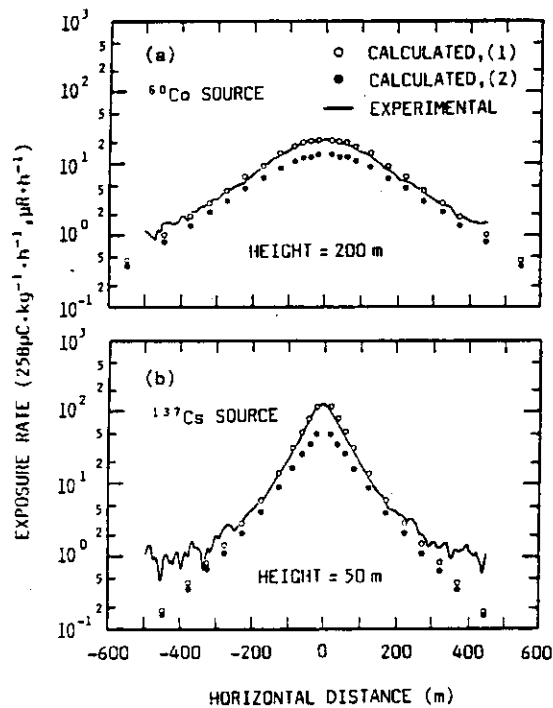


Fig. 7 Comparisons of calculated exposure rates with experimental data for a point source of (a) <sup>60</sup>Co, (b) <sup>137</sup>Cs on the ground. Calculation (1) stands for total exposure rates, calculation (2) for contribution from scattered gamma rays. Experimental results were obtained using a 5" diameter spherical NaI(Tl) detector on a helicopter flying at a constant height. All data are normalised to a source intensity of 3.7 × 10<sup>10</sup> Bq (1 Ci).

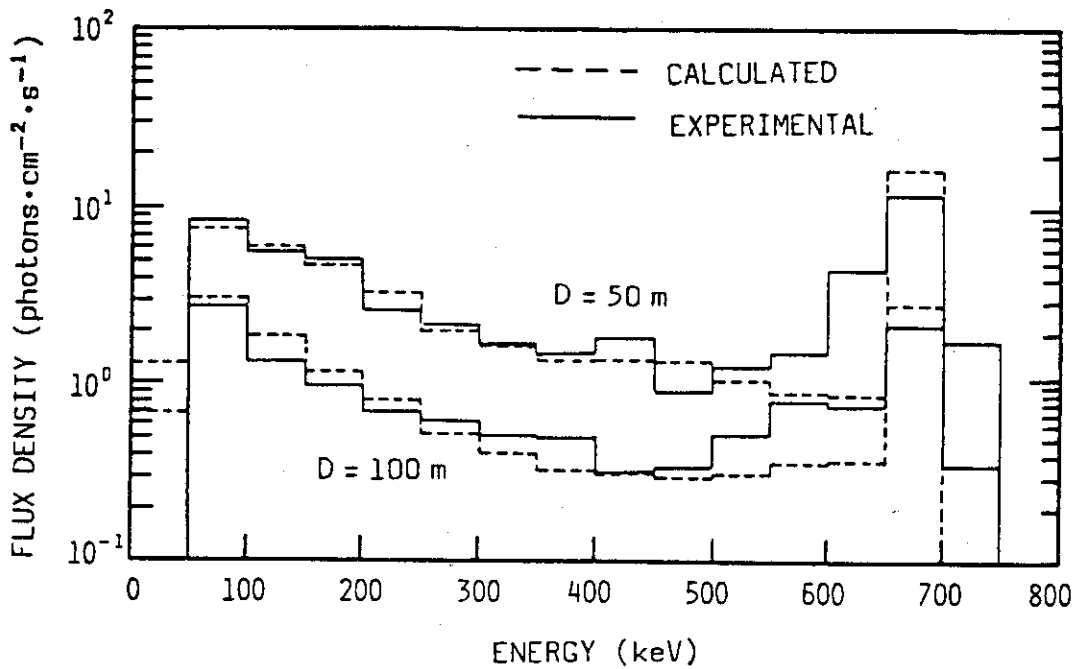


Fig. 8 Experimental and calculated energy distributions of flux density. In the experiment, gamma rays from a  $1.15 \times 10^{10}$  Bq (310 mCi)  $^{137}\text{Cs}$  source were detected by a 3" diameter spherical NaI(Tl) detector on a helicopter at a height of 20 m. The observed pulse-height spectra were unfolded using a stripping method.

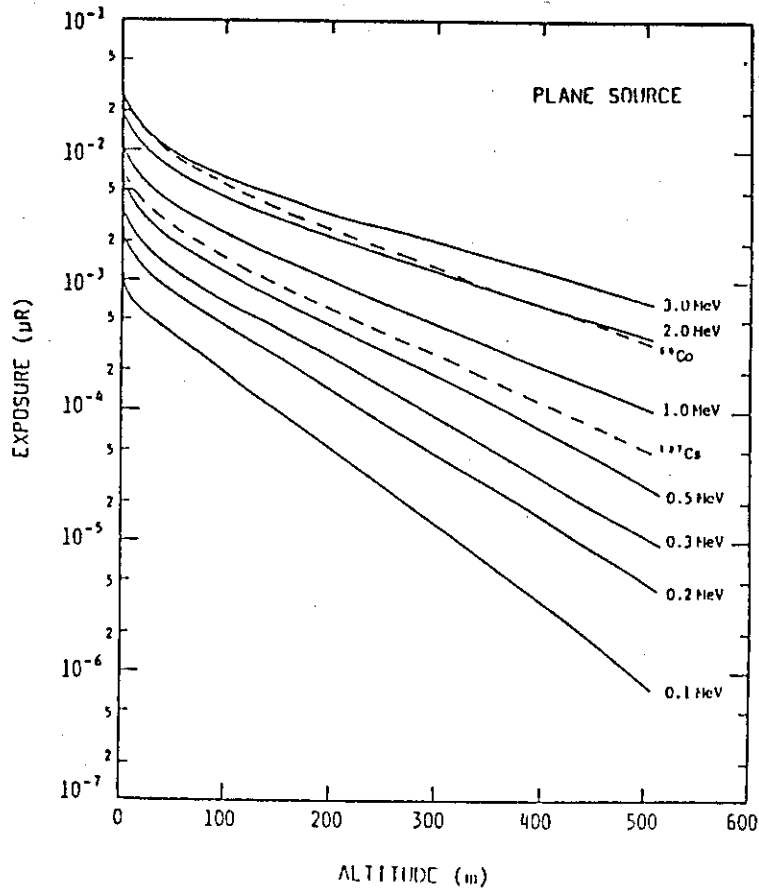


Fig. 9 Decreasing tendency of gamma ray exposure from an infinite plane source on the ground. The source intensity was taken to be 100,000 photons/m<sup>2</sup>.

## 2.4 航空機放射性核種捕集測定システムの開発

原研

笠井 篤, 松永 武, 柳瀬 信之, 天野 光

### I. はじめに

本システムは、原子力施設の緊急時において、施設周辺上空の大気中放射性核種を航空機により直接にモニタリングするシステムである。本システムにより得られるデータは大気中放射性核種濃度とその分布であり最終的には被曝線量を推定するものである。

機上においては主要核種のおよその濃度が把握できる。データの解析は、地上の計算機によりなされ、捕集位置、捕集時刻における平均的大気中放射性核種濃度が算出される。以下に、本システムの詳細について述べる。

### II. システムの構成と機能

#### II-1 構成

本システムは、システムの制御部分を中心にダストサンプラ、放射線検出器、波高分析器、データ収録装置から構成されている。システムの構成をFig. 1に示す。放射線検出器には $\gamma$ 線測定用のGe検出器と低エネルギー $\gamma$ 線測定用のLEPS検出器を用いている。ろ紙には、グラスファイバフィルタとチャコールフィルタを用いている。

機器搭載のための航空機として、セスナエアロコマンド685型を用いている。航空機には、航空機の位置および風向・風速を知るためのドップラーナビゲーションシステム、高度を知るための気圧高度計、そして外気に対する温湿度計が装備されている。

航空機内における機器の配置をFig. 2に示す。地上ではデータ解析のための計算機システムが必要であり、本システムでは原研の計算センターを用いている。機器の概略仕様をTable 1に示す。

#### II-2 機能

本システムの機能を以下に述べる。

##### (1) 大気中塵埃の捕集

航空機の機首部に固定された内径51mmの空気取り入れ管から外気が吸引されビニールパイプを経てろ紙に導かれる。吸引にはダイヤフラム式ポンプを用いている。流量はバルブにより制御され、0-60( $\ell/\text{min}$ )の間に設定できる。ろ紙は直径60mmのグラスファイバフィルタ(HE-40T)とチャコールフィルタ(CP-20B)から成っている。ろ紙の後段にはさらに直径60mmのカートリッジ型のチャコフィルタが設けられている。

吸引された大気は、ビニールパイプを経て機外に排気される。Fig. 3にダストサンプラの外観を示す。

##### (2) 放射線測定

ろ紙に捕集、吸着された放射性核種はGe検出器およびLEPS検出器による $\gamma$ 線スペクトロメトリにより、同定、定量される。チャコールカートリッジフィルタに対しては地上で測定が行な

われる。検出器は、ダストサンプラに設けられた架台に取り付けられている。外部放射線の遮蔽のために5 mm厚の鉛板を用いている。

本システムの測定対象核種は $\gamma$ 線を放出する核分裂生成物であり、特に放射性希ガス、放射性ヨウ素を対象としている。他に大気中に存在するラドンの娘核種など $\gamma$ 線を放出する放射性核種も測定される。検出器には、比較的高いエネルギーの $\gamma$ 線の検出に適したGe検出器と低エネルギーの $\gamma$ 線の検出に適したLEPS検出器を用いており、両検出器による測定を同時に行なうので、広いエネルギー範囲にわたり測定が可能となっている。Fig.4に両検出器の絶対測定効率をグラスファイバーフィルタとチャコールフィルタそれぞれについて示す。

### (3) 航空機位置，気象データの取得

本システムでは航空機の位置（緯度，経度），高度，風向，風速，気温，湿度のデータを，航空機に取り付けられている付属機器から取得できる。これらのデータは放射線測定データとともに本システムの最終出力データとなる。緯度，経度，風向，風速の測定はドップラナビゲーションシステムにより行なわれる。すなわち，航空機から3方向に電波を発信しその反射波を受信し，ドップラ効果の原理に基づいて航空機の世界速度ベクトルがまず求められる。これからある短い時間内における移動ベクトルが求められる。次に，飛行経路下の予め設定された地点を基準点として移動ベクトルをつなげていくことにより航空機の位置が知れる。風向，風速は機首の方向と実際の進行方向との差及びピトー管による値等から求められる。気温，湿度は乾球，湿球温度計から求められる。

### (4) 機器制御，データ処理

上記の捕集測定機器の動作，各データの取得，記録は処理制御部により自動的に制御される。また，小型ディスプレイと小型プリンタに位置情報，放射線スペクトルデータの一部をモニタ出力させることができる。

捕集測定機器の制御においては次の4つのモードが用意されており，これらのいずれかを選択できる。

#### (i) オートモード

捕集，測定，データ処理のすべての動作が自動的に行なわれる。捕集時間，測定時間が秒単位で任意に設定でき，航空機位置，気象データの取得時間，反復捕集測定の設定もできる。初回の捕集の開始に関しては2つの方法がある。すなわち，開始する時刻を設定する方法と，開始する航空機の位置（緯度，経度）を設定する方法である。測定終了後，各データは自動的に磁気テープに記録される。

#### (ii) セミオートモード

初回の捕集の開始方法のみがオートモードと異なっている。すなわち，セミオートモードでは，オペレータが開始スイッチを押すと初回の捕集が開始される。2回目以降の捕集は自動的に開始される。

#### (iii) マニュアルモード

捕集，測定の開始，終了をオペレータが行なうモードである。各データの磁気テープへの記録は自動的に行なわれる。反復捕集，測定は行なわれない。

## (iv) バックグラウンドモード

未捕集のろ紙の測定を行なうモードである。大気の吸引は行なわれない。

いわゆる、バックグラウンドデータの測定が行なわれる。

各モードの動作フローチャートをFig.5に示す。

## (5) データ解析

データを記録した磁気テープに対して、計算機によりまずデータの編集が行なわれる。次に、 $\gamma$ 線スペクトル解析が行なわれる。現在は、同解析には原研計算センターに用意されている $\gamma$ 線スペクトル解析コードBOB 76を用いている。 $\gamma$ 線スペクトル解析結果と測定条件（捕集流量、位置、時刻）から捕集地点における平均的な大気中放射性核種濃度が求められる。磁気テープデータの編集から、大気中放射性核種の濃度の算出まで、会話型の計算コードにより行なわれる。

## Ⅲ. システムの運用

## Ⅲ-1 飛行方法

本システムを用いて捕集測定を行なう場合の可能な飛行方法について述べる。まず、飛行の目的は次のように区分される。

- (a) 放射性雲拡散範囲の把握
- (b) 放射性雲拡散方向における大気中放射性核種濃度の把握
- (c) 施設近隣の市街地、集落の上空における大気中放射性核種濃度の把握

一方、飛行方法として3種類の方法が考えられる（Fig.6参照）。すなわち、(i)小円の円周上の飛行（小円飛行）、(ii)大円の円周上飛行（大円飛行）、(iii)風向に沿った直線上と風向に直角な直線上の飛行（直線飛行）である。各方法で測定される大気中濃度は、それぞれ円中心点、円弧区間上、直線区間上での平均濃度である。

飛行目的と飛行方法は次のように組み合わせることが適切と考えられる。(a)の拡散範囲の把握の目的には施設を中心とする(ii)の大円飛行と、施設の風下範囲で直線飛行を行なう。(b)の大気中濃度の把握には、拡散方向の放射軸上の小円で(i)の小円飛行を行なう。(c)の目的にはそれら市街地、集落の上空で大円飛行と小円飛行を行なう。また、それぞれの飛行に付随して気象データ（風向、風速、気温、湿度）が得られる。

## Ⅲ-2 運用方法

本システムの基本的な研究開発は終了した。運用体制については別に検討されることになるが、運用体制策定に必要な基礎的事項について述べる。

## (1) 航空機

本システム搭載のための航空機にはTable 1に示される項目と、付属機器が必要となる。実際には、外気吸引孔、各機器の架台等が設けられている必要性、ドップラナビゲーションシステム等付属機器の出力信号とデータ処理装置との整合性の点から特定の機体がいられよう。

現在用いている固定翼の航空機の利点は、搭載重量が大きなこと、航続距離が長いことである。欠点としては、飛行速度が大きいため狭い領域での放射性核種濃度の分布が得られないことである。



本システムを用いての飛行可能範囲は、(a)飛行場の位置、(b)航続距離、(c)検出器の稼働時間により定まる。まず、(a)に関しては全国の民間機用飛行場のほとんどが使用可能である。(b)に関しては、セスナエアロコマンド 685 型航空機では最大航続距離が約 2000 km、巡航速度が約 260 km/h である。したがって、現場での作業時間を 2 時間としたときには、飛行場から最大約 700 km の地点までが飛行可能範囲となる。(c)については、検出器の稼働時間は冷却のための液体窒素の消費時間により制約され、現在約 6 時間である。しかし、より大容量のデューワーを使用すれば 10 時間以上となり、この場合には飛行時間の制約にはつながらない。

## (2) 捕集・測定機器

運用前の準備として、液体窒素による放射線検出器の冷却、機器の航空機体への取り付けが必要である。おもな必要資材は、液体窒素、捕集フィルタ、磁気テープ等である。

## (3) 要員

本システムを運用するのに必要な人員は、搭載要員としてオペレータ 2 名、パイロット 1 名、ナビゲータ 1 名、地上作業要員として 2 名、合わせて 6 名が必要である。

## IV. 飛行実験

本システムを搭載し開発の各段階で飛行実験を計 6 回行なった。これらの飛行実験においてシステムの機能試験、緊急時飛行方法の検討そして大気中放射性核種の実際の検出を行なった。その結果、本システムでの放射性核種の検出限界は、 $I = 131$  に対し理想的な条件下で  $1(\text{pCi}/\ell)$  である。以下に、システムの開発が終了した段階で 1986 年 1 月に行なった飛行実験の概要について記す。

### IV-1 実験内容

茨城県東海村上空の飛行を行なった時、直線飛行、大円飛行（前節参照）を実施し有効性を検討した。また、この地域の 1 つのバックグラウンドデータを取得した。一方、山梨県甲府盆地上空において、大気中の自然放射性核種であるラドン短寿命娘核種 ( $\text{Pb-214}$ ,  $\text{Bi-214}$ ) の捕集測定飛行実験を行なった。

### IV-2 実験結果

東海村での飛行実験における航跡と測定スペクトルの例をそれぞれ Fig. 7, 8 に示す。甲府盆地における実験で得られたスペクトルにおいては、盆地という地形上の特性が反映されて、 $\text{Pb-214}$ ,  $\text{Bi-214}$  等のピークは、東海村の場合に比較して明瞭に認められた。

この飛行実験の結果、大気中の放射性核種の捕集、測定が本システムにより可能であることが実証された。

## V. まとめ

本システムでは、処理制御部が入力パラメータに基づいて自動的に捕集、測定、データ処理の機能を制御する。したがって、航空機上でオペレータに要求される操作は、パラメータの変更のみであり機器の誤操作はほとんどない。また、初期の頃に発生した測定系へのノイズの混入も解

消し、飛行中の振動による影響もみられない。これらの動作や機能は60年度に行なった飛行実験により確認されており、本システムは実用可能な段階にある。

しかし、今後さらに以下の点を検討、改善する必要があると考えられる。

- 1) 捕集フィルタとして放射性希ガスと放射性ヨウ素の分離捕集比が大きいシルバーゼオライト等の使用を検討する。
- 2) 放射線検出器を低エネルギーから高エネルギーまでの $\gamma$ 線を一台で同時に測定できるものに置き換える。これにより多重波高分析器も一台となる。
- 3) 地上の大型計算機によるデータ処理方式を、機上の小型計算機による方式に替え、対応の即時性を高める。
- 4) 本システムでは航続距離を重視して固定翼の小型航空機を用いたが、多少の変更により大型ヘリコプターへの搭載も可能であるのでその対応を考慮する。
- 5) 本システムは開発段階での試作機であるため、やや大型のシステムとなっているが、実用機においてはさらに軽量化、小型化が可能である。

Table 1 Specifications of the equipments of the aerial radionuclides monitoring system

機 器	型 式	仕 様
ダストサンプラ	アロカ (株) 製航空機搭載型ダストサンプラ (特別試作機)	<p>ポンプ：ダイヤフラム式</p> <p>吸引流量：1-50 (ℓ/min)</p> <p>吸引時間：0.1-99.9 (min)</p> <p>0.1 (min) 単位</p> <p>ろ紙装荷個数：最大 60 個 (補充可能)</p> <p>使用ろ紙：</p> <p>①ろ紙ホルダー</p> <p>a. HE-40T グラスファイバーフィルタ (60mm φ)</p> <p>b. CP-20B チャコールフィルタ (60mm φ)</p> <p>組合わせ：a, b, a+b のいずれか</p> <p>②カートリッジホルダー</p> <p>a. HE-40T グラスファイバーフィルタ (60mm φ)</p> <p>b. CHC-50 カートリッジ (60mm φ)</p> <p>(チャコールまたはシルバークロマトゲルを充填，3 個まで装着可能)</p> <p>組合わせ：a+b, b のいずれか</p> <p>使用電源：AC 100 V, 50 Hz</p> <p>消費電力：150 W</p> <p>重量：80 kg</p>
Ge 検出器	ORTEC社製 GEM (HPGe Coax)	<p>検出部：48mm×34mm φ，円筒形</p> <p>相対効率：10.9 %</p> <p>分解能 (FWHM)：1.71 keV (1.33 MeV において)</p> <p>ピークコンプトン比：44.5/1</p> <p>印加電圧：+3000 V</p>
LEPS検出器	ORTEC社製 GLP (HPGe LEPS)	<p>有効体積：25 mm</p> <p>有感層厚：10 mm</p> <p>分解能 (FWHM)：348 eV (5.9 keV において)</p> <p>569 eV (122 keV において)</p> <p>印加電圧：-1000 V</p>
多重波高分析器	D. S. DAVIDSON社製 MODEL 4106, 4106 A (各 1 台)	<p>4096 チャンネル</p> <p>外部トリガによる測定可能</p> <p>使用電源：AC 100 V, 50 Hz</p> <p>消費電力：30 W</p>
ビン電源	日本原子力研究所モデル 102 型	<p>出力電圧：±12 V, ±24 V (±0.05 %)</p> <p>出力電流：1 A</p> <p>使用電源：AC 100 V, 50 Hz</p> <p>消費電力・電流：12 W, 0.475 A (無負荷)</p> <p>163 W, 1.95 A (全負荷)</p>
高圧電源		<p>Ge検出器，LEPS 検出器用</p> <p>出力電圧：0-5000 V</p> <p>出力電流：0-100 A</p> <p>使用電源：+24V, 80mA; +12V, 12mA</p> <p>-24V, 65mA; -12V, 0mA</p>

Table 1 (continued)

機 器	型 式	仕 様
スペクトロスコープ ピーアンプ		Ge検出器, LEPS検出器用 入力信号: Rise Time 10-650 ns Decay Time 40-2000 ns 出力信号: 0 ~ +10 V Shaping Time: 0.5, 1, 2, 3, 6, 10 $\mu$ s 使用電源: +24V, 100mA; +12V, 85mA -24V, 105mA; -12V, 50mA
処理制御部	セナー(株)製 (特別試作機)	本文 II. 2(4)に記す動作が可能 入力用キーボード, 液晶ディスプレイ, 小型プリンタ, クロックを内蔵 使用電源: DC 28 V 消費電力: 80 W 重量: 25kg
磁気テープ装置	TEAC(株)製 MT-800GP	記録方式: PE (1600 rpi) 使用磁気テープ: 1/2" 幅, 最大 1200 ft 使用電源: AC 100 V, 50Hz 消費電力: 130 W 重量: 38 kg
航空機	エアロ・コマンド Inc 社製 エアロコマンド 685	アジア航測(株)所有機体 (JA5215) 最大速度: 451 km/h 経済巡航速度: 402 km/h 失速速度: 138 km/h (フラップ下げ) 運用高度限界: 7620 m 航続距離: 2,275 km (以下, 捕集測定システム搭載時) 乗組員: 4名 貨物積載量: 200 kg
ドップラナビゲーションシステム	デッカ・ナビゲータ社製 ドップラレーダ 72型システム	実用精度 対地速度: 0.6 m/s 飛行方位: 1.0 度 風向: 10 度 風速: 1 m/s 最小出力間隔: 5 秒 使用電源: DC 28 V
気圧高度計	電気出力高度計	ダイヤフラム式 差動トランス使用 実用精度: 1 mb, 20 m 使用電源: DC 28 V
温湿度計	牧野応用測器株特製 航空機用温湿度計	センサ: ビード型サーミスタ (乾球用, 湿球用 2 系統) 実用精度: 2 °C 使用電源: DC 28 V

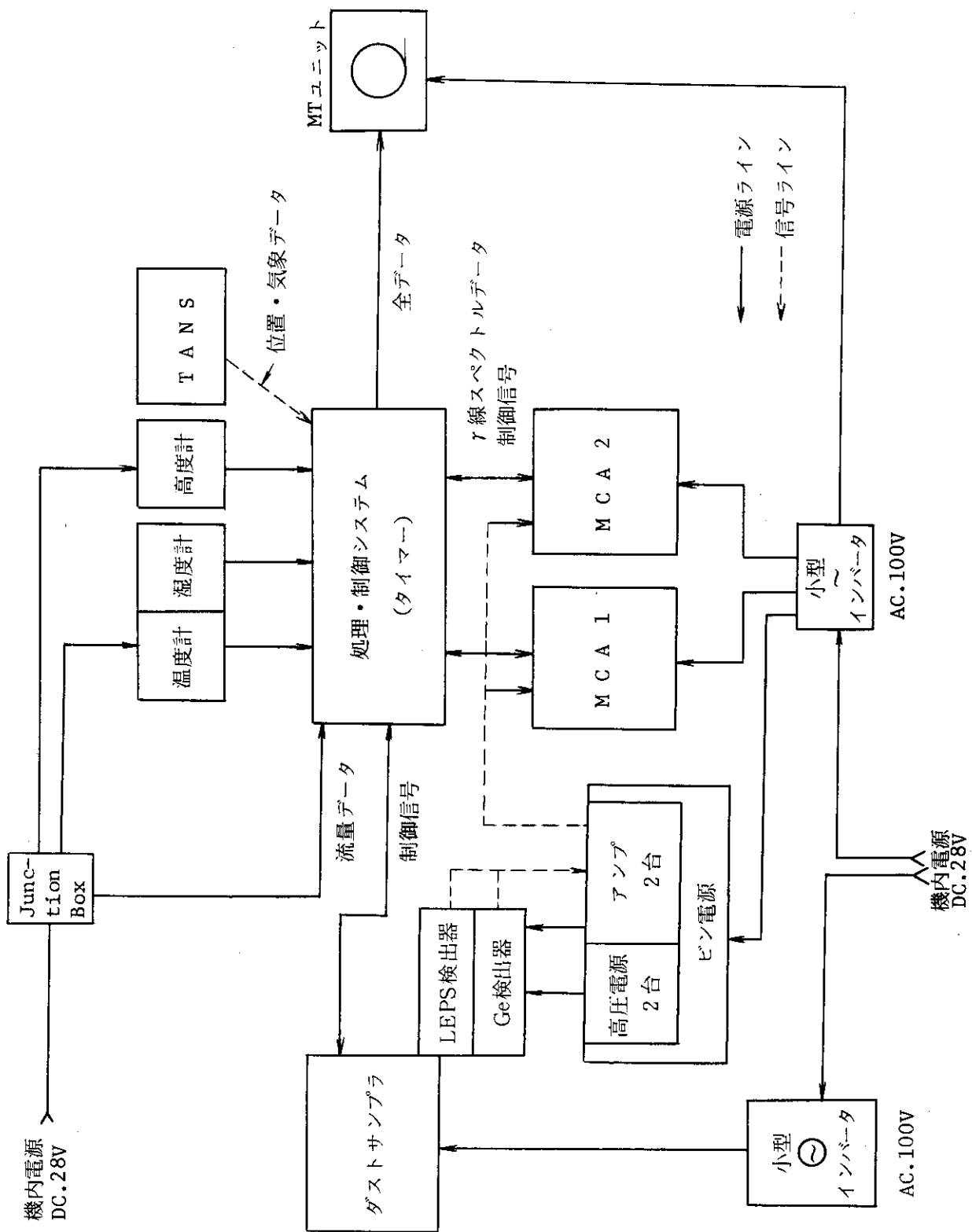


Fig. 1 Construction of the aerial radionuclides monitoring system

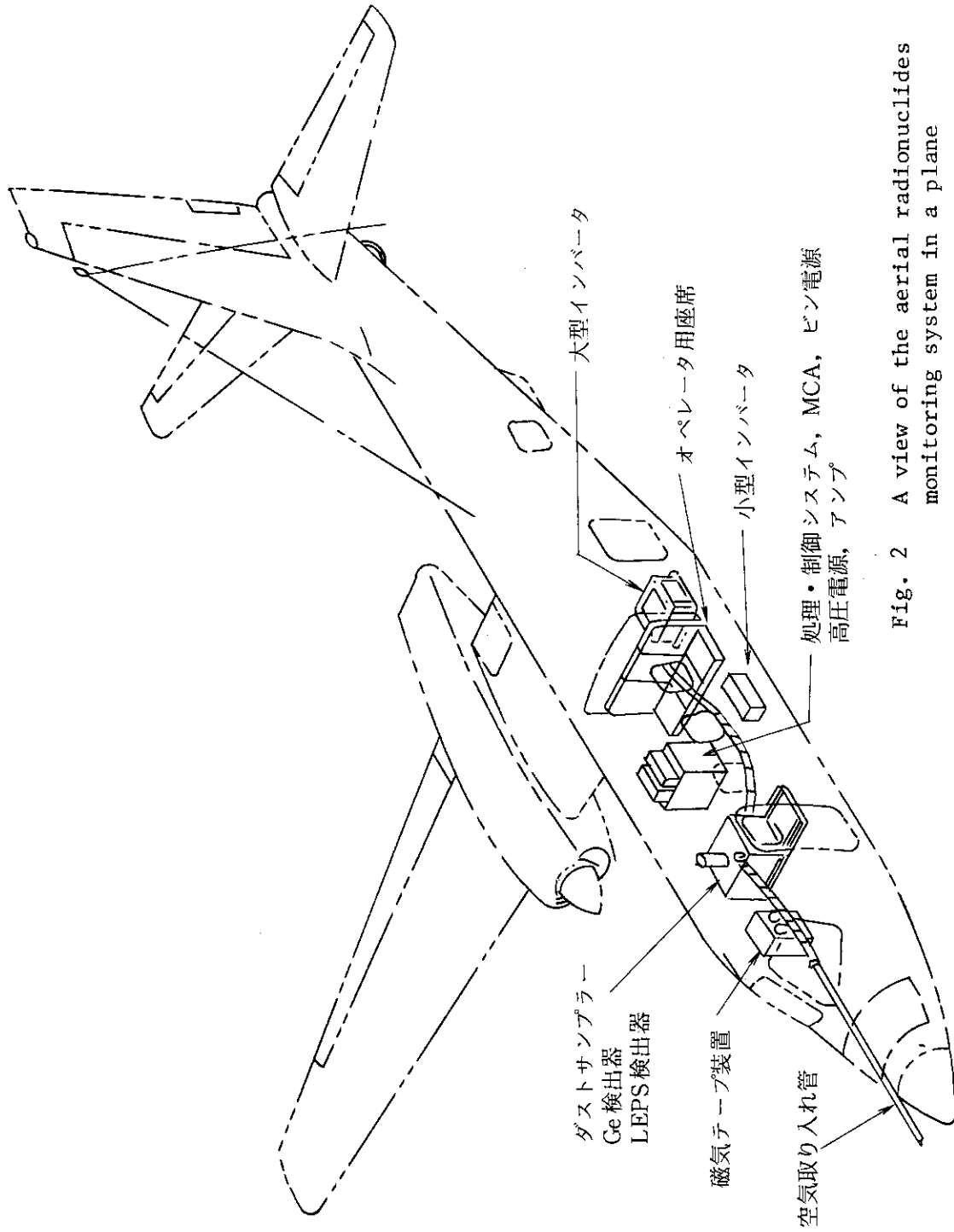


Fig. 2 A view of the aerial radionuclides monitoring system in a plane

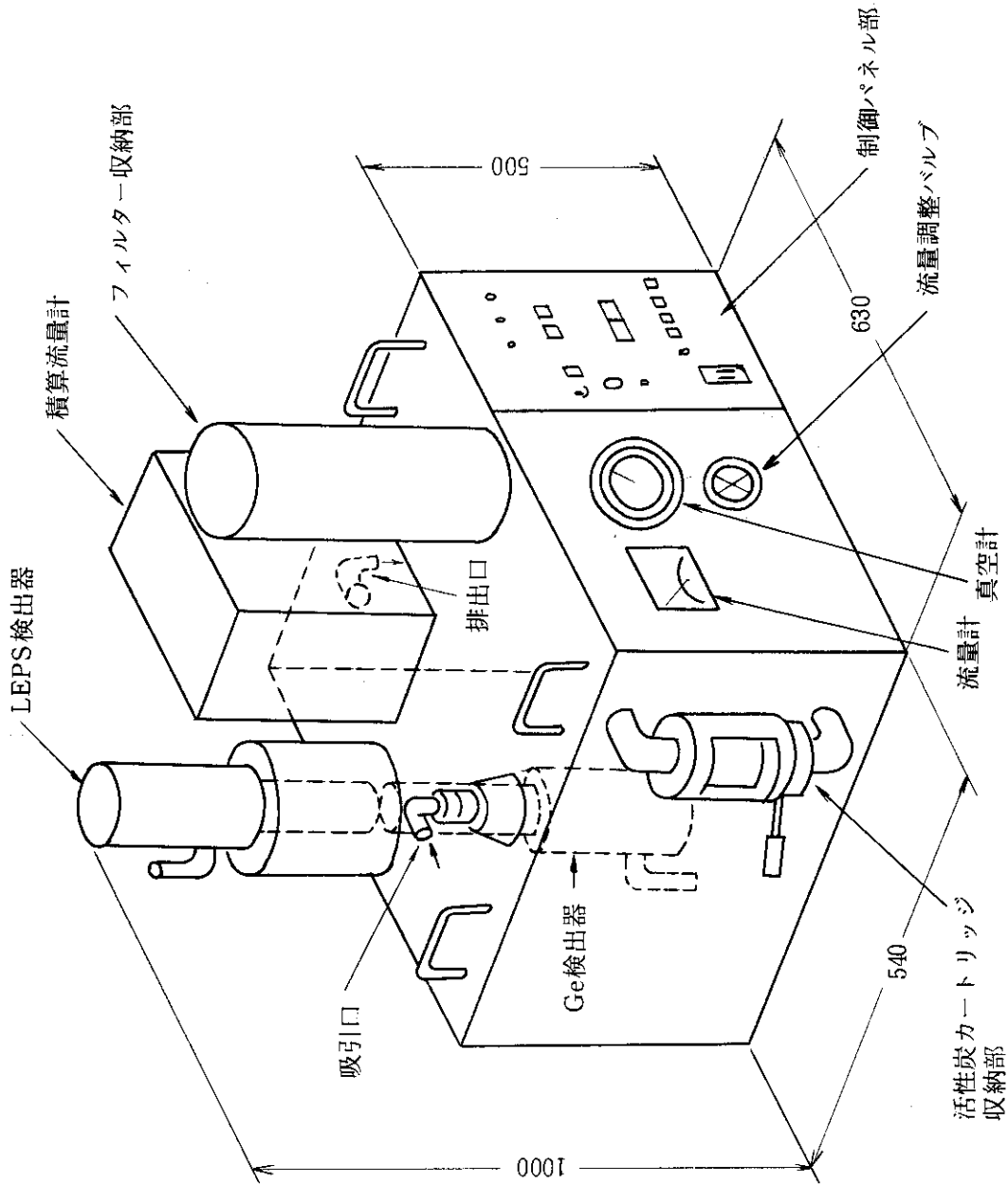


Fig. 3 Outside appearance of the radionuclides sampler

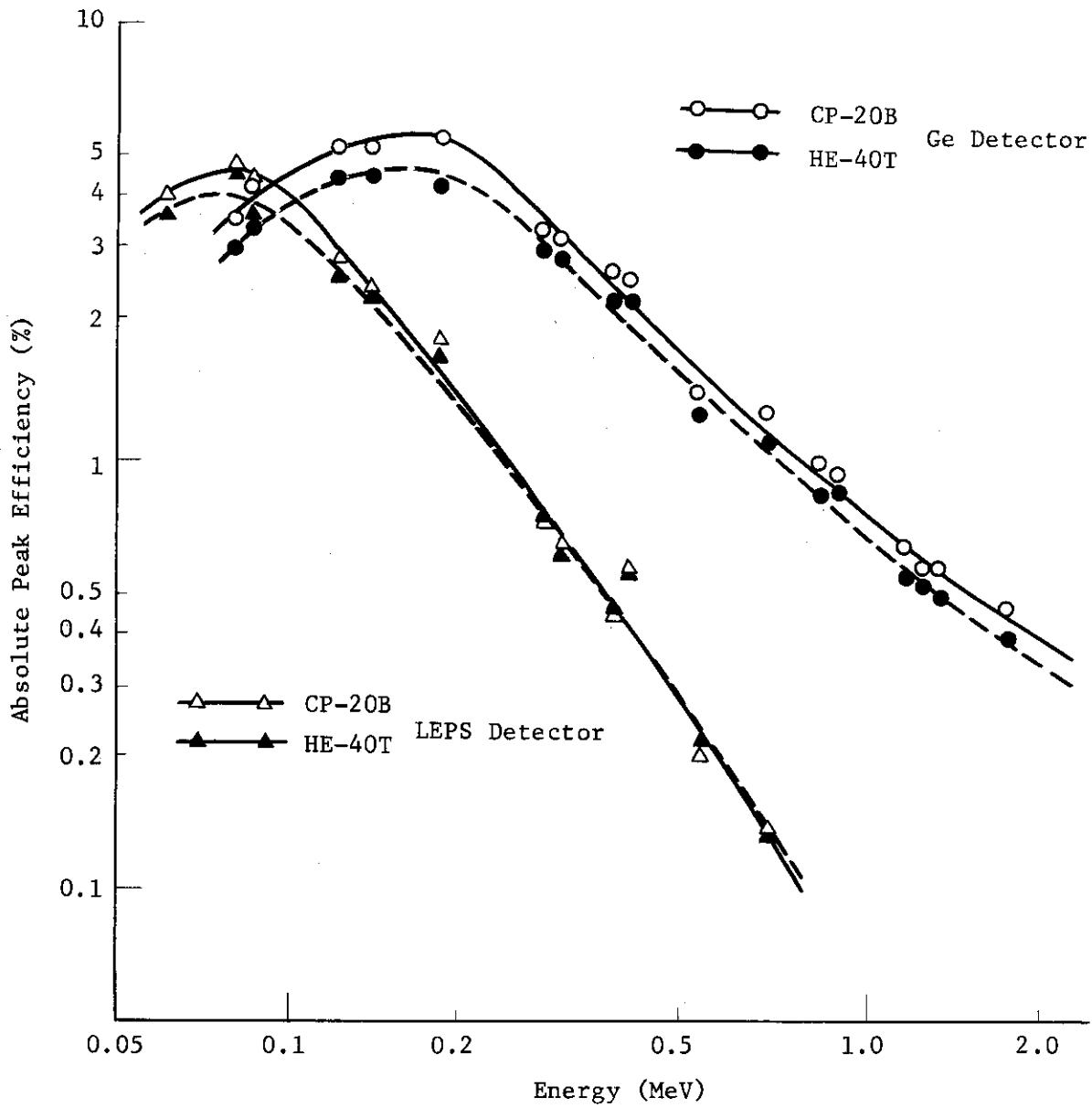


Fig. 4 Efficiency curves of the radiation detectors



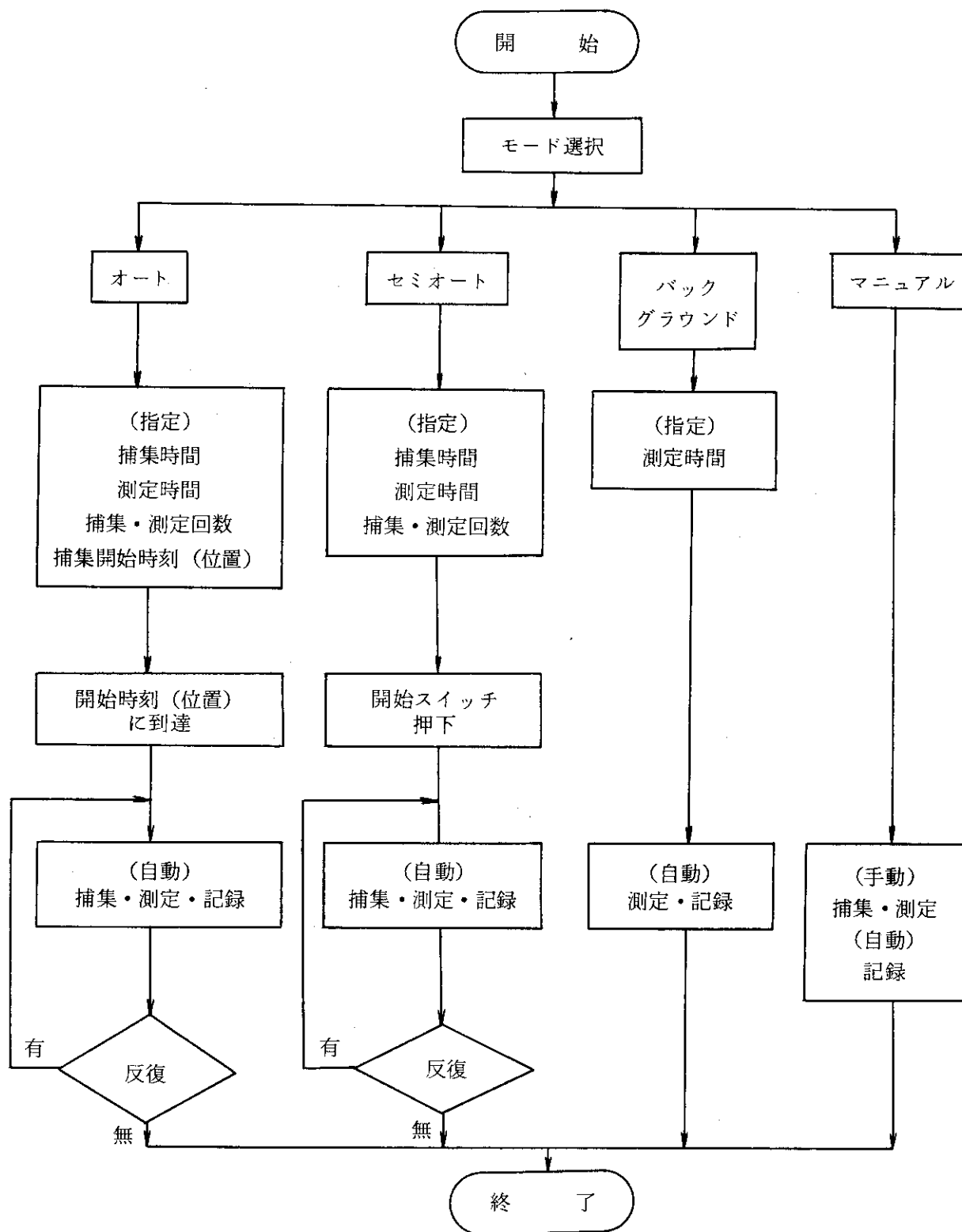


Fig. 5 Operation flow diagram of the aerial radionuclides monitoring system

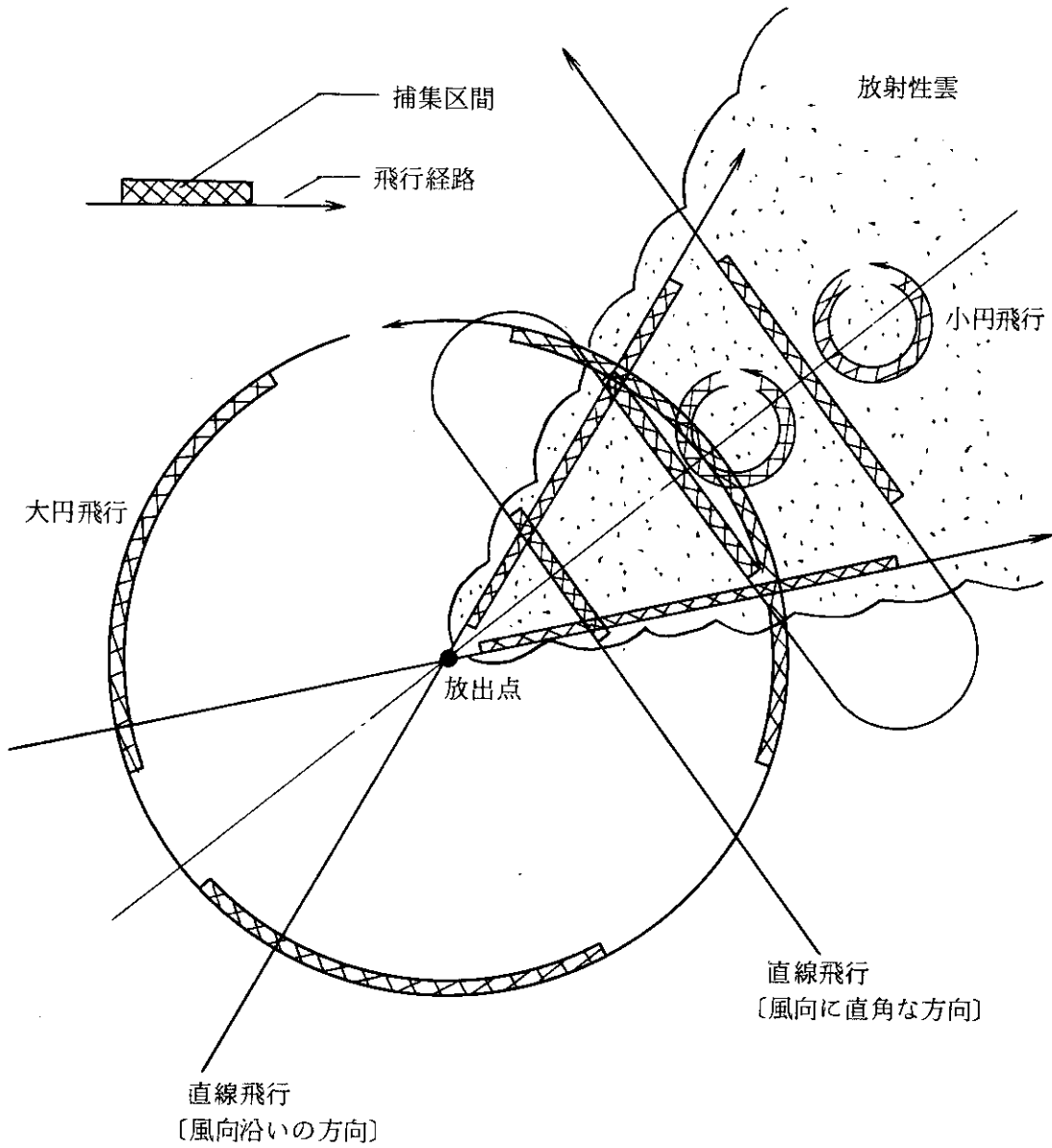


Fig. 6 Possible flight patterns by the aerial radionuclides monitoring system

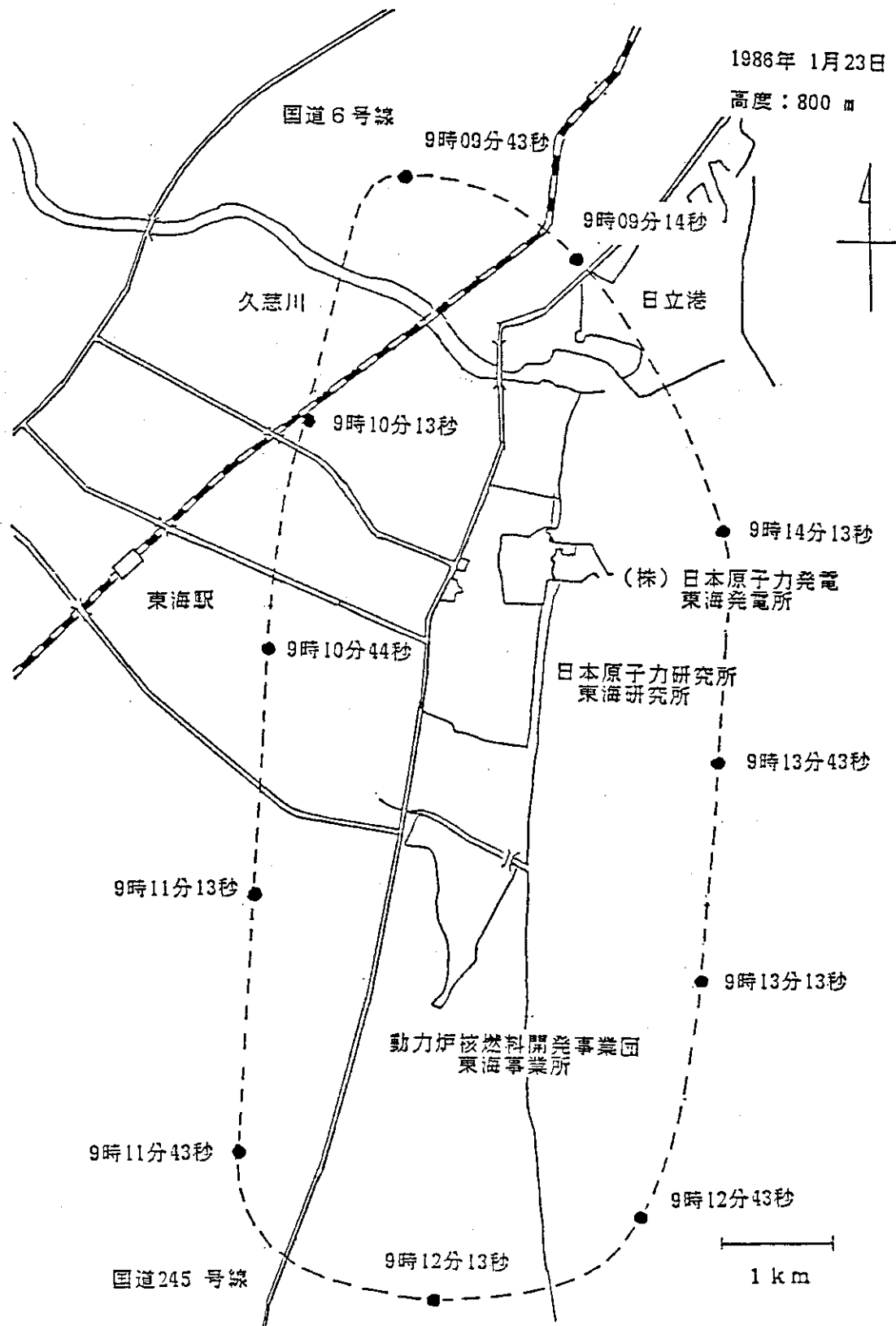


Fig. 7 An example pattern of the test flight with the aerial radionuclides monitoring system.

1986. 1. 24  
 山梨県甲府盆地上空  
 高度：300m

捕集：10分間  
 流量：0.6m<sup>3</sup>  
 測定：10分間  
 Ge検出器

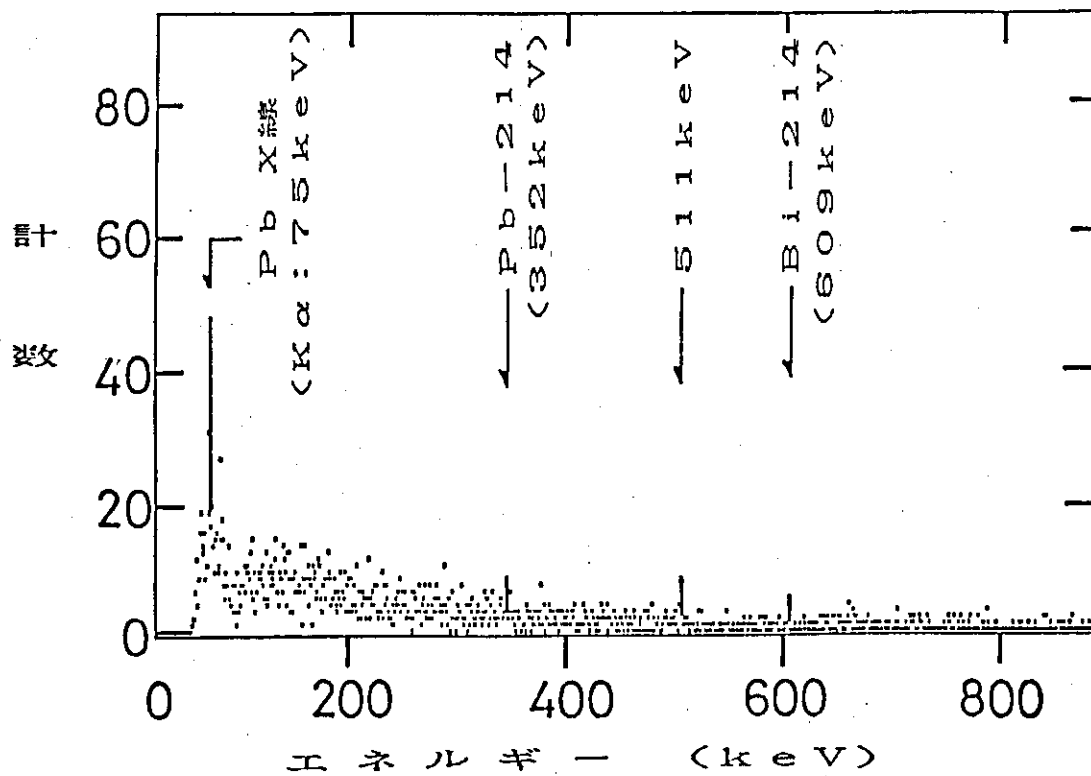


Fig. 8 Gamma-ray spectrum of radionuclides collected on the filter at a height of 300m above the Koufu basin, Yamanashi.

### 3. 被曝防護対策のための家屋の放射線(能) 防護効果に関する研究

#### 3.1 日本家屋の放射線遮蔽効果に関する研究

原研

山口 恭弘, 南 賢太郎

原子炉事故時に多量の放射性物質が施設外へ放出された場合、施設周辺住民の被害を最小限に止める必要がある。このための防護対策として、事故の初期状態では住民の屋内退避が最も簡便かつ安全であると考えられている<sup>1)</sup>。この際、住民が退避する身近な家屋が、屋外からの放射線に対してどの程度の遮蔽効果を有するかを明らかにすることは、緊急時計画の立案上重要な問題である。これについて欧米ではある程度の研究がなされているが<sup>2)</sup>、我が国の家屋構造や家屋に使用されている材料は、欧米のそれと相違があるので、実状に合った放射線遮蔽効果の評価が求められている。

そこで、本研究においては、我が国に現存する家屋を対象として、 $\gamma$ 線遮蔽効果を評価した。研究は、家屋に使用されている種々の建築材料の $\gamma$ 線遮蔽効果の評価、およびこれらの建築材料を用いて構成される家屋の $\gamma$ 線遮蔽効果の評価に分けて進められた。以下、それぞれについて述べる。

#### 1. 建築材料の $\gamma$ 線遮蔽効果<sup>3), 4)</sup>

我が国の家屋等に使用されている建築材料は、多種多様である。本研究では、これらのうち典型的な19種類の建築材料を選び、 $\gamma$ 線に対する線減弱係数および線量ビルドアップ係数を実験によって求めた。19種類の建築材料の内訳は、杉板など木質系材料7種類、石綿スレート板などセメント系材料7種類、石膏ボードなど石膏系材料2種類、粘土瓦など粘土系材料2種類、およびガラス系材料1種類である。

線減弱係数の測定は、 $^{241}\text{Am}$  (59.5 keV),  $^{51}\text{Cr}$  (320 keV),  $^{137}\text{Cs}$  (662 keV),  $^{60}\text{Co}$  (1170 および 1332 keV) の $\gamma$ 線源、および適当な金属フィルタを用いてエネルギー分布幅を狭めた連続X線(実効エネルギー 44.84 および 105 keV)を用いて、Narrow Beam の条件下で行なわれた。19種類の建築材料とともに Table 1 に示す。

線減弱係数を材料の平均見掛け密度で除して求めた質量減弱係数を元素別の質量減弱係数と測定エネルギー範囲内にわたって比較し、最もよく一致する元素を決めた。この元素の原子番号に基づき、建築材料を次の2つの群に分類した。すなわち、原子番号7~9に対応する材料および原子番号13~16に対応する材料の群である。前者は木質系材料が対応し、後者はセメント、石膏、粘土およびガラス系材料が対応する。建築材料に対するこの分類法は、本研究で取り上げた19種類の材料以外の建築材料の減弱係数の推定に有用である。

上で分類した各群からそれぞれ2種の建築材料(パーティクルボード、硬質繊維板、石綿スレート板および石膏ボード)を選び、これらについて線量ビルドアップ係数を測定した。パーティ

Table 1 Measured linear attenuation coefficients of various building materials.

	Building Material	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Linear Attenuation Coefficient (cm <sup>-1</sup> )								
			*44 keV	59.5 keV	*84 keV	*105 keV	320 keV	662 keV	†1250 keV		
1	Cedar Board	0.38	0.0803±0.0004	0.0745±0.0003	0.0585±0.0002	0.0560±0.0003	0.0392±0.0006	0.0288±0.0002	0.0217±0.0004		
2	Lauan Board	0.54	0.1244±0.0004	0.1066±0.0002	0.0909±0.0002	0.0837±0.0003	0.0598±0.0005	0.0436±0.0001	0.0332±0.0002		
3	Plywood Board	0.65	0.1445±0.0008	0.1229±0.0003	0.1016±0.0005	0.0992±0.0005	0.0678±0.0012	0.0514±0.0006	0.0378±0.0010		
4	Particleboard	0.70	0.1532±0.0004	0.1322±0.0003	0.1149±0.0002	0.1066±0.0002	0.0738±0.0006	0.0522±0.0002	0.0411±0.0004		
5	Insulation Fibreboard	0.30	0.0663±0.0004	0.0569±0.0003	0.0475±0.0002	0.0447±0.0002	0.0317±0.0005	0.0217±0.0003	0.0188±0.0005		
6	Hard Fibreboard	0.99	0.2246±0.0007	0.1992±0.0007	0.1694±0.0004	0.1602±0.0004	0.1132±0.0010	0.0788±0.0005	0.0627±0.0008		
7	TATAMI	0.34	0.0892±0.0003	0.0672±0.0003	0.0577±0.0002	0.0509±0.0002	0.0361±0.0004	0.0257±0.0002	0.0194±0.0003		
8	Wood-wool Cement Board	0.54	0.2772±0.0006	0.1632±0.0004	0.1071±0.0002	0.0998±0.0002	0.0513±0.0004	0.0392±0.0002	0.0299±0.0003		
9	Wood-chip Cement Board	1.11	0.6138±0.0013	0.3681±0.0009	0.2383±0.0005	0.1973±0.0006	0.1164±0.0007	0.0852±0.0003	0.0674±0.0004		
10	Asbestos Cement Sheet A	1.49	0.9761±0.0020	0.5232±0.0012	0.3261±0.0005	0.2677±0.0005	0.1576±0.0010	0.1167±0.0005	0.0901±0.0005		
11	Asbestos Cement Sheet B	1.70	1.192 ± 0.0025	0.6597±0.0015	0.4021±0.0006	0.3266±0.0007	0.1862±0.0014	0.1347±0.0007	0.1027±0.0011		
12	Autoclaved Lightweight Concrete	0.58	0.3190±0.0006	0.1851±0.0004	0.1263±0.0002	0.1015±0.0002	0.0570±0.0004	0.0442±0.0001	0.0335±0.0002		
13	Hollow Concrete Block	1.52	0.8624±0.0022	0.5205±0.0013	0.3184±0.0005	0.2357±0.0005	0.1452±0.0009	0.1106±0.0003	0.0806±0.0005		
14	Pressed Cement Roof Tile	2.31	1.347 ± 0.0031	0.7864±0.0020	0.5002±0.0009	0.4149±0.0010	0.2442±0.0020	0.1858±0.0008	0.1329±0.0012		
15	Gypsum Board	0.70	0.4177±0.0010	0.2404±0.0006	0.1561±0.0003	0.1266±0.0003	0.0747±0.0006	0.0560±0.0002	0.0415±0.0004		
16	Gypsum Lath Board	0.66	0.4203±0.0009	0.2465±0.0008	0.1530±0.0004	0.1226±0.0004	0.0759±0.0007	0.0529±0.0004	0.0335±0.0005		
17	Clay Rooftile A	1.93	0.9281±0.0021	0.5540±0.0007	0.3669±0.0006	0.3048±0.0007	0.1837±0.0013	0.1368±0.0005	0.1016±0.0007		
18	Clay Rooftile B	1.65	0.8178±0.0019	0.4931±0.0006	0.3390±0.0006	0.2776±0.0006	0.1762±0.0012	0.1202±0.0005	0.0945±0.0007		
19	Sheet Glass	2.34	1.347 ± 0.0031	0.6370±0.0019	0.4480±0.0011	0.3819±0.0012	0.2372±0.0026	0.2058±0.0011	0.1354±0.0016		

\* Values obtained with heavily filtered X-rays

† Average energy

クルボードおよび石綿スレート板について得られた線量ビルドアップ係数を平均自由行程で表わした材料の厚さの関数としてFig.1に示す。図から、材料の厚さが薄い(数 $\mu t$ 以下)場合、線量ビルドアップ係数が次式で示されるような厚さの一次関数で近似できることがわかる。

$$B_D(t) = 1 + \alpha \mu t \quad (1)$$

ここで、

$B_D(t)$  : 厚さ $t$  (cm)の材料の線量ビルドアップ係数

$\alpha$  : 定数

$\mu$  : 材料の線減弱係数 ( $\text{cm}^{-1}$ )

$t$  : 材料の厚さ (cm)

定数 $\alpha$ は、建築材料の分類群および $r$ 線のエネルギーによって、Table 2のように与えられる。我が国の家屋に使用されている建築材料の厚さは、コンクリート家屋のコンクリート壁および屋根を除けば、数 $\mu t$ 以下であるので、建築材料の線量ビルドアップ係数を(1)式から求めても良いことがわかった。

## II. 家屋の $r$ 線遮蔽効果

以上のようにして実験で求めた $r$ 線に対する各種建築材料の線減弱係数および線量ビルドアップ係数を用いて、我が国の代表的な家屋の $r$ 線遮蔽効果を計算で評価した。

まず、家屋を木造家屋、プレハブ家屋および鉄筋コンクリート家屋の3種類に分類し、統計資料<sup>5)</sup>に基づきそれぞれの家屋の構造、使用されている建築材料および窓、壁等の占有率を決定した。さらに、 $r$ 線遮蔽計算の対象物とするために、異なる建築材料の多重層から成る屋根部、壁部および一枚の板ガラスの窓部から家屋が構成され、これら各部の遮蔽に寄与する割合は家屋中心から各部を望む立体角に比例すると仮定した (Fig.2参照)。

家屋の $r$ 線遮蔽率を家屋外における照射線量率に対する家屋内における照射線量率の比と定義し、以下の計算式を用いて評価した。

$$\overline{\text{S.F.}} = \left\{ \sum_i (\text{S.F.})_i \cdot \Omega_i \right\} / \sum_i \Omega_i \quad (2)$$

$$(\text{S.F.})_i = \frac{\sum_j S(E_j) \left\{ \prod_g B_g(E_j, t_g) e^{-\mu_g(E_j)t_g} \right\}_j \Delta E_j}{\sum_j S(E_g) \Delta E_j} \quad (3)$$

$$\left( \begin{array}{l} i = 1 \sim 3 \\ j = 1 \sim 18 \end{array} \right)$$

ここで、

S.F. : 家屋の $r$ 線遮蔽率

$(\text{S.F.})_i$  : 屋根, 壁, 窓部の $r$ 線遮蔽率

$\Omega_i$  : 家屋中心から各部を望む相対立体角

$S(E_j)$  :  $r$ 線束密度 ( $\text{cm}^{-2}$ ,  $\text{keV}^{-1}$ )

$B(E_j, t_g)$  : 第 $g$ 層の材料の線量ビルドアップ係数

$\mu_g(E_j)$  : 第 $g$ 層の材料の線減弱係数 ( $\text{cm}^{-1}$ )

Table 2 Constants  $\alpha$  in formula (1) for material groups and  $\gamma$ -ray energies.

Group (Z)	Constant $\alpha$		
	68 ~ 100 keV	100 ~ 662keV	662 ~ 1250keV
I(7~9)	1.3	1.0	0.7
II(13~16)	0.7	0.7	0.7

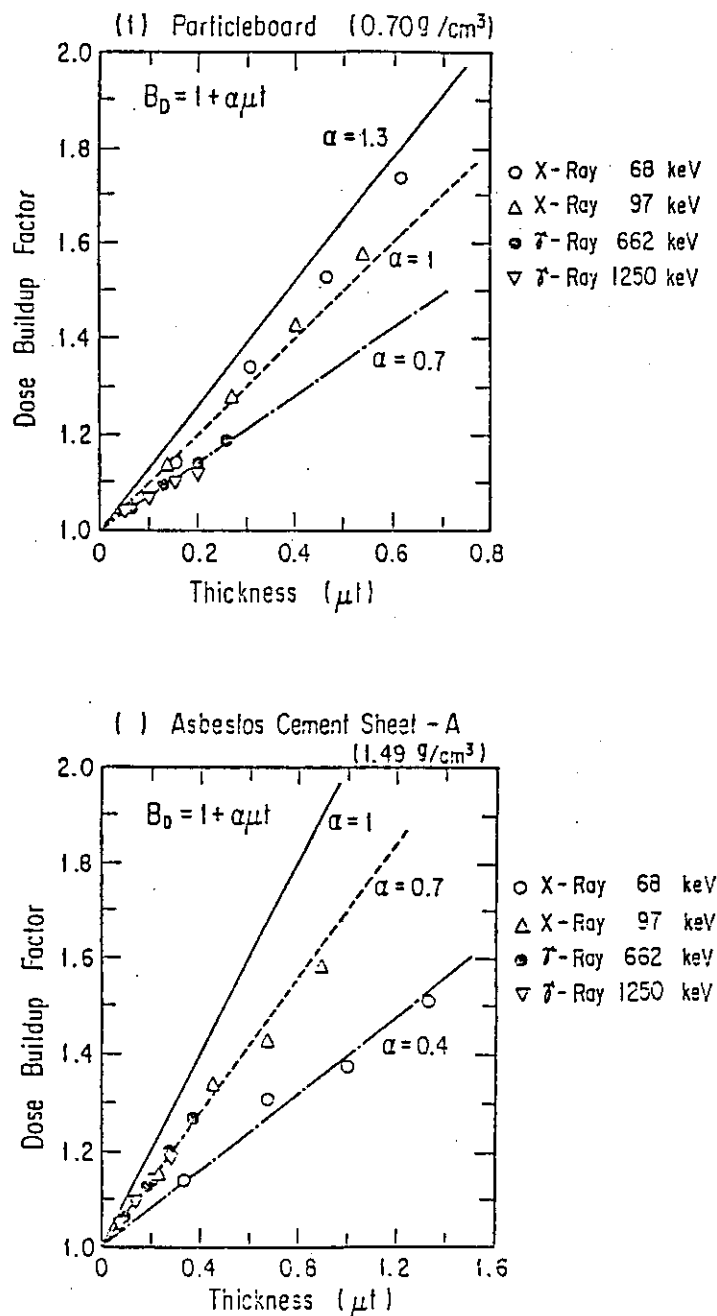


Fig. 1 Dose buildup factors of Particleboard and Asbestos Cement Sheet-A as a function of thickness.



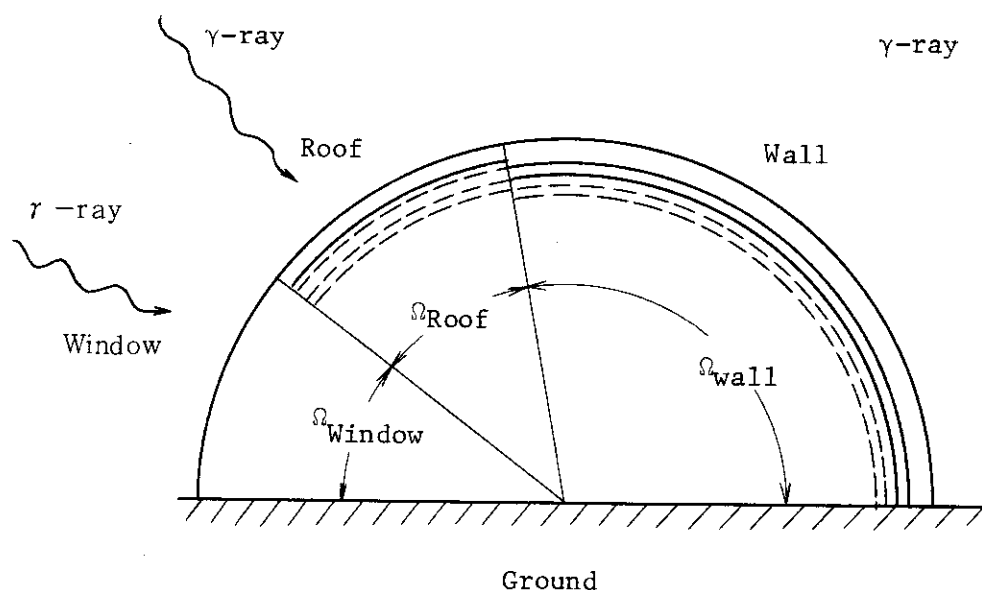


Fig. 2 Model of house for shielding calculation

- $E_j$  :  $r$ 線エネルギー (keV)  
 $t_g$  : 第  $g$  層の材料の厚さ (cm)  
 $\Delta E_j$  :  $r$ 線エネルギー群幅 (keV)

(2)式において、家屋全体としての  $r$ 線遮蔽率を屋根、壁窓の各部の  $r$ 線遮蔽率の立体角重み付き平均として計算した。 $r$ 線を放出する物質が空間に分布した場合、家屋表面に到達する  $r$ 線には直接線の他に、空気によって散乱されエネルギーが低下した散乱線があり、それぞれ遮蔽される度合が違ふ。そこで、各部の  $r$ 線遮蔽率を計算する際に、(3)式で示すように、各エネルギー群に対する遮蔽率をその群の  $r$ 線束密度の重み付き平均として求めた。また、異なる材料の多重層で構成される屋根および壁部の  $r$ 線遮蔽率を各層の遮蔽率の積として計算した。 $r$ 線束密度の計算は、 $r$ 線を放出する物質が空間に均一半無限大に分布した場合 (Submersion model) および家屋上空に地表面と平行な円筒状に分布した場合 (Overhead plume model) について、輸送計算コード ANISN<sup>6)</sup> 及び DOT<sup>7)</sup> を用いて計算した。

我が国の典型的なプレハブ家屋 (鉄骨構造)、木造家屋および鉄筋コンクリート家屋の  $r$ 線遮蔽率を空間に分布する  $r$ 線源エネルギーの関数として Fig. 3 に示す。各家屋に使用されている建築材料および屋根、壁、窓部の占める相対立体角は、図の右に示す通りである。プレハブ家屋、木造家屋、鉄筋コンクリート家屋の順に遮蔽効果が良くなる。木造家屋は、屋根、壁にそれぞれ互 (1.93 g/cm<sup>3</sup>) 2.8 cm、モルタル (2.2 g/cm<sup>3</sup>) 3.2 cm を使用しているために、屋根、壁にそれぞれ石綿スレート (1.49 g/cm<sup>3</sup>) 0.45 cm、ALC板 (0.58 g/cm<sup>3</sup>) 5.0 cm を使用しているプレハブ家屋に比較して  $r$ 線遮蔽効果が良い。200 keV 以下で、鉄筋コンクリート家屋の  $r$ 線遮蔽率の変化の仕方が他の家屋と異なっている。これは、コンクリート (厚さ 12 cm) の線量ビルドアップ係数として無限媒質中での計算値を用いたので、低エネルギー領域では後方散乱の確率が高くなり有限厚の場合より線量ビルドアップ係数が大きくなるためである。また、1 MeV 以

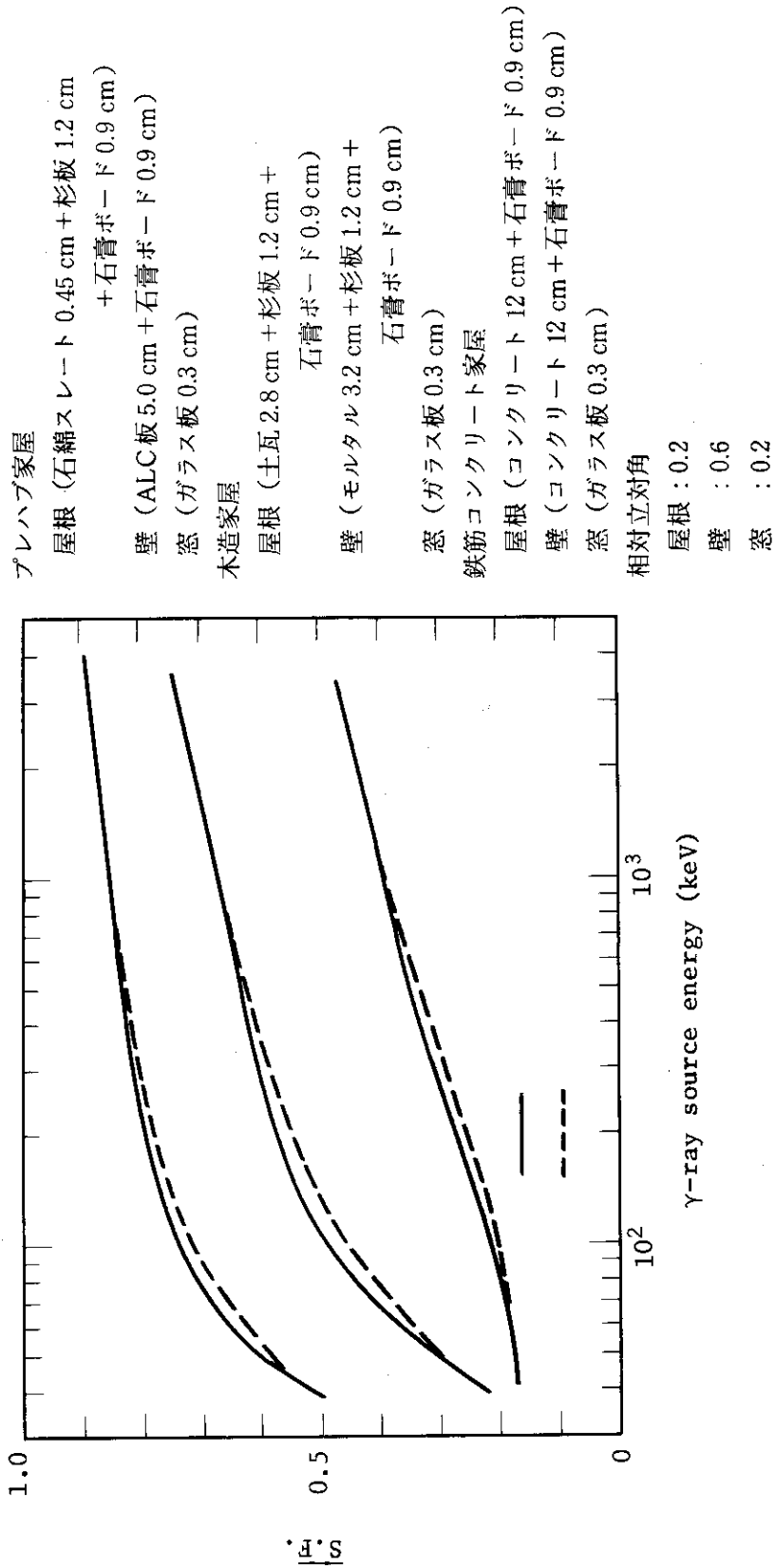


Fig. 3 Shielding factors,  $\overline{S.F.}$ , as a function of  $\gamma$ -ray source energy

下では、Overhead plume modelの方がSubmersion modelより $\gamma$ 線遮蔽率が小さいが、大きな違いではない。したがって、家屋の $\gamma$ 線遮蔽率は、 $\gamma$ 線源の分布形態によって大きく変わることはないことがわかった。

原子炉事故時において施設外へ放出される可能性が最も高い物質は、Kr, Xe等の放射性希ガスである。施設から放出された放射性希ガスは、その核種混合割合が事故発生後の経過時間とともに変わるので、これらから放出される $\gamma$ 線の平均エネルギーも変化する<sup>8)</sup>。したがって、放射性希ガスを対象とした家屋の $\gamma$ 線遮蔽率も、事故後の経過時間とともに変化すると考えられる。Fig. 4は、原子炉事故時に放出される放射性希ガス(Kr, Xe)を対象とした家屋の $\gamma$ 線遮蔽率を原子炉停止後の経過時間の関数として表わしたものである。各家屋に使用されている建築材料および屋根、壁、窓部の占める相対立体角は、Fig. 3と同様である。また、各時間における希ガスの核種混合割合は、300日間運転した加圧水型原子炉におけるKr 4核種、Xe 7核種に対して計算した。計算には放射性同位体の生成・消滅計算コードORIGEN 2<sup>9)</sup>を使用した。各家屋の $\gamma$ 線遮蔽率は、時間とともに下っていき、<sup>133</sup>Xe(81 keV  $\gamma$ 線を放出)が最も優勢な核種となる100~1000時間で最低となることがわかった。

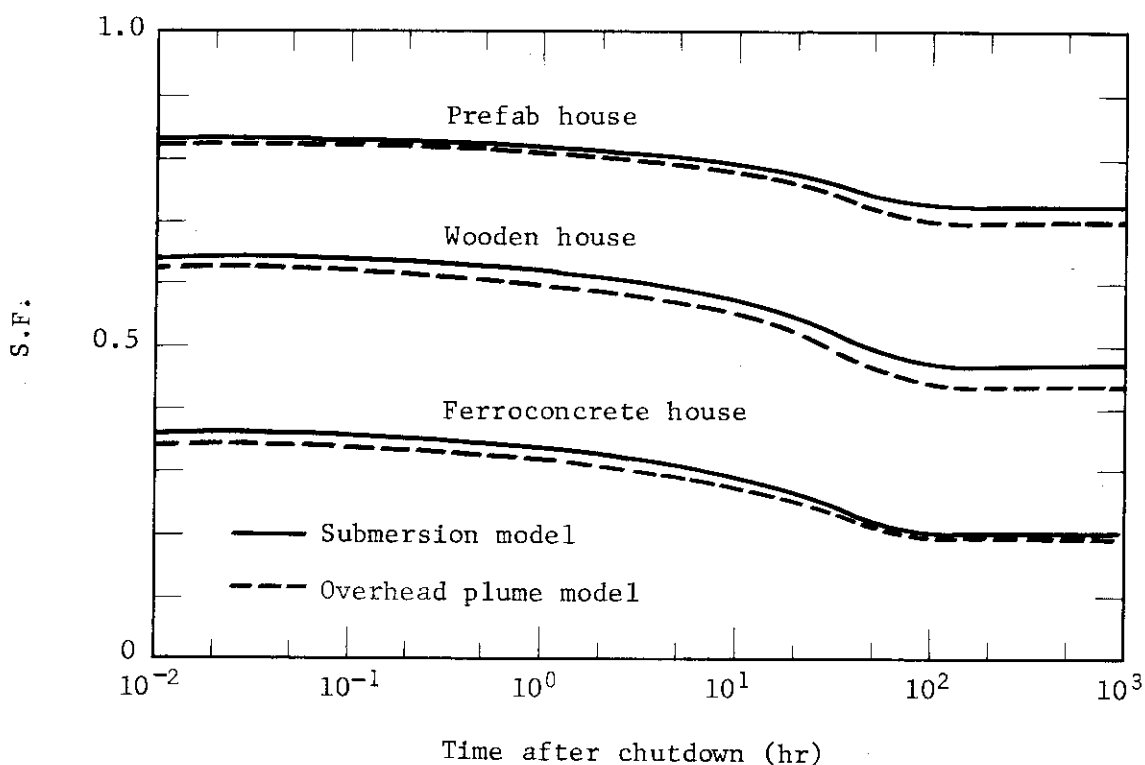


Fig. 4 Shielding factors, S.F., as a function of time after reactor shutdown

### Ⅲ. 結 論

以上に述べてきた本研究の結論として、以下のことが明らかとなった。原子炉事故時における家屋の $\gamma$ 線遮蔽率の安全側の評価として、木造家屋およびプレハブ家屋に対して $S.F. = 0.9$ 、また、鉄筋コンクリート家屋に対して $S.F. = 0.4$ である。これらの値は、昭和55年6月原子力安全委員会決定の「原子力発電所等周辺の防災対策について」<sup>1)</sup>の付属資料中にある家屋の防護効果に関する値を保証するものである。

### 参考文献

- 1) 原子力安全委員会：「原子力発電所等周辺の防災対策について」（昭和55年6月）
- 2) U.S. Environmental Protection Agency : EPA 520/1-78-001A (1978)
- 3) 山口恭弘, 南賢太郎, 大谷暁 : 保健物理, 20, 241 (1985)
- 4) 山口恭弘, 南賢太郎, 大谷暁 : JAERI -M85-119 (1985)
- 5) 財団法人放射線影響協会 : 国民線量推定のための基礎調査(I)および(II) (1978)
- 6) Engle W. W. Jr : ORNL -TM- 4015 (1972)
- 7) Mynatt F. R. : ORNL -TM-4280 (1973)
- 8) 南賢太郎他 : JAERI -M8966 (1980)
- 9) Bell M. J. : ORNL -4628 (1973)

### 3.2 家屋等の放射能防護効果に関する研究

原研

村田 幹生, 加藤 正平, 野口 宏, 国分 守信

清水建設(株)

奥山 博康

#### I. 緒言

原子力施設の異常時に万一放射性物質が大量に施設外に放出されるようなことがあれば、当該地域住民の被曝を最小限にとどめるために適切な対策を講じる必要がある。このような場合、手近な家屋内への退避は容易に実施が可能であり、また、既存の情報網等が利用できる等の利点もあって、有効な対策の1つと考えられている。本テーマは、日本家屋を主対象として屋内退避による内部被曝の低減効果（以下では、防護効果とよぶ）の評価を行うことを目的としたものである。防護効果は次式で表すことができる。

$$\text{防護係数} = \int_0^t C(t)_{in} dt / \int_0^t C(t)_{out} dt \quad (1)$$

ここで、 $C(t)_{in}$  と  $C(t)_{out}$  は時刻  $t$  における家屋内と家屋外の空气中放射能濃度である。

外気の侵入による家屋内濃度  $C(t)_{in}$  の変化は、家屋の自然換気に支配されるため、防護効果の評価には家屋の換気率についての知見が必要不可欠である。筆者らは、家屋内退避に対する日本家屋の防護効果の評価するために、まず最初に家屋の換気回数を簡易に推定する経験式を新に見出し、防護効果の大略の評価を行うことを可能にした。次いで、換気率や防護効果を詳細に計算するために、より多様性をもつ計算コードの開発を行い、実測値との比較により妥当性を検討した。

#### II. 家屋の自然換気率に関する経験式

日本家屋の換気率については、非放射性のトレーサガスを用いて実測された多くの報告例があるが、家屋の種類や構造、測定時の環境条件等が種々異なっているために、一般化された形での換気率を求める式は報告されていない。そこで、換気率実測データの文献調査を行い日本家屋の換気率を簡易に推定するための経験式を多変量回帰分析によってもとめた。

##### II-1 データの収集について

換気回数の実測データを文献から収集するために、日本科学技術情報センターの所蔵資料のほか、日本建築学会大会梗概集、日本建築学会論文報告集、建築研究所年報、住宅公団調査研究報告書、ASHRAE TRANSACTION を調査した。調査対象は、資料中に測定場所、期日、測定方法、測定条件などの必要なデータが明記されている研究報告と論文に限った。屋内に退避したとき原則として窓や戸などの開口部を通常の状態に閉じかつ空調装置や換気扇などを停止するものと考え、隙間を通しての自然換気を調査の対象とした。また、フィールド実験のみを対象とし、模型実験により得られたデータは除外した。さらに、欧米の家屋の換気率についても比較のために同様の調査と解析を行った。

## II - 2 調査項目

自然換気率は通常、換気回数 ( $h^{-1}$ ) で表され、ある部屋を通過する風量をその部屋の容積で割ったもので定義される。換気風量は自然換気を引き起こす駆動力と、駆動力が作用する家屋の通気路によって決まってくる。駆動力は通気路の両側の圧力差であり、その一つは室内外の温度差に対応した空気の密度差に対応するものである。もう一つは外気流の動圧が家屋外周表面で静圧に変わり生じる風圧である。これは外気風速と密接な関係がある。一方、家屋の通気路としては戸や窓などの隙間、換気扇などの開口がある。この通気路の数と形状（構造）に対応して通気抵抗が構成される。通気抵抗は家屋の気密性と密接に関連しており家屋の構造・種別に大きく依存するものと考えられる。そこで、本解析の調査項目として、(1)換気回数、(2)外気風速、(3)室内外温度差、および(4)家屋の気密性の指標となるものを選んだ。

家屋の構造と関連する気密性は把握が困難なものであるが、ここでは文献中に記されている家屋の構造・種別が気密性と関連していることに着目し、気密性の程度を表すものとして気密指標を新たに定義した。この指標は文献に現れる日本と欧米の家屋を Table 1 に示す構造・種別ごとに4段階に分類し1から4の数値を割り当てたものである。

## II - 3 調査データの解析

調査により最終的に得ようとする換気回数を推定する経験式は、換気の駆動力である室内外温度差、外気風速、および家屋通気路の通気抵抗と関連する気密指標が説明変数になっていると考え、次式のように最も単純な線形式で表されると仮定した。

$$Y = A_0 + A_1 \cdot X_1 + A_2 \cdot X_2 + A_3 \cdot X_3 \quad (2)$$

ここで、 $Y$  は換気回数 ( $h^{-1}$ )、 $X_1$  は気密指標、 $X_2$  は風速 ( $m/s$ )、 $X_3$  は室内外温度差 ( $^{\circ}C$ ) であり、 $A_0 \sim A_3$  は係数である。(2)式の係数  $A_0 \sim A_3$  を決定するために、多変量回帰分析法を適用した。

## II - 4 調査および回帰分析の結果

文献調査の結果、自然換気回数の実測データは、日本の家屋について12論文、211データ、欧米の家屋については11論文（アメリカ6、スウェーデン、イギリス、オランダ、カナダ、オーストラリアは各1）、500データが得られた。

日本の調査データでは、風速、室内外温度差の範囲はそれぞれ  $0 \sim 10.0 m/s$ 、 $0 \sim 39.6 ^{\circ}C$ 、欧米データは、それぞれ  $0 \sim 11.0 m/s$ 、 $0 \sim 49.0 ^{\circ}C$  であった。換気回数は、その測定時の諸条件によって大きく異なり、日本家屋の場合では  $0.05 \sim 5 h^{-1}$ 、欧米家屋では  $0.02 \sim 2 h^{-1}$  で2桁の広い範囲に分布していた。平均換気回数は  $0.97 h^{-1}$ （日本）と  $0.37 h^{-1}$ （欧米）で、日本家屋の方が平均的に3倍近く換気されやすいことがわかった。一方、変動係数は  $0.71$ （日本）と  $0.66$ （欧米）で、両者に大きな差は見られなく、換気回数の分布の広がりや似ていることがわかった。自然換気回数  $Y$  を求める経験式は、次式の線形回帰式で表すことができた。

日本家屋の場合

$$Y = 0.263 + 0.139 X_1 + 0.059 X_2 + 0.012 X_3 \quad (3)$$

欧米家屋の場合

$$Y = 0.123 + 0.028 X_1 + 0.079 X_2 + 0.001 X_3 \quad (4)$$

得られた回帰式は、適合性、有意性および変数間の独立性の点において良好なものであった。

各説明変数  $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ のうち、実環境では外気風速が換気回数の変動の原因になり易いとわかった。Fig. 1 に回帰式から計算した換気回数の推定例を示す。

以上の調査から、経験式を用いて大まかに自然換気回数を推定することが可能となった。この推定値から、家屋を単室として室内ガスの瞬時拡散を仮定すれば、外気空気濃度が一定の場合防護係数は次式から計算できる。

$$\text{防護係数} = \left( t + \frac{1}{Y} e^{-Yt} - \frac{1}{Y} \right) / t \quad (5)$$

ここで、 $Y$ は(3)、(4)式からもとまる換気回数 ( $h^{-1}$ )、 $t$ は家屋が放射性ガスに包まれてからの経過時間(h)である。

### Ⅲ. 換気率および防護係数計算コードの開発

前述の経験式から家屋全体としての防護効果を簡易に推定できるようになったが、さらにより詳細に換気率や防護効果を評価するための計算コード VENTG を開発した。

#### Ⅲ-1 コードの概要

コード VENTG は外気濃度、外界条件（風向、風速、気温）、室温および家屋条件を入力として、換気回路網によるシミュレーションの方法<sup>1)</sup>に基づいて多数室における換気系の計算を行う。その結果、風量によって構成される多数室系の濃度に関する連立方程式を解き、部屋間の空気流れ、建物全体または部屋毎の濃度、換気回数、防護係数の時間変化が計算される。

入力データの中で家屋条件は計算対象となる個々の家屋の通気路に関して特有の値である。パラメータは部屋数、部屋容積、通気路（隙間）数、部屋の床面高さ、通気路高さ、通気路抵抗係数と指数および建物外周の風圧係数である。このうち通気路抵抗係数と指数、風圧係数は計算に利用できるデータが無かったので、 $N$ で述べるように実測によりもとめた。その他の家屋に関するパラメータ値は対象家屋について実地に調査して得た。

外気濃度の時間変化は関数形、あるいは  $\Delta t$  のステップ毎の濃度で入力する。風速は高さ 10m で測定される自由風速値を入力し、コードの中で指数法則から計算される窓前風速に変換される。

### Ⅳ. 通気路抵抗係数と指数および風圧係数の測定

計算入力として必要な通気路の抵抗係数と指数、風圧係数の値を実験によりもとめた。

#### Ⅳ-1 通気路抵抗係数と指数の測定

通常の家屋に使われている窓、ドア、換気口、排気口など実物大供試体 12 種類の隙間と、代表的なモデル隙間 20 種類（木製）について通気路抵抗係数  $k$  と指数  $n$  を測定した。供試体は加圧チャンバの一端に取り付け、他端より加圧ファン、ディフューザ、スクリーンを通して均一な静圧差を供試体両側に与えることにより差圧と通過空気量の関係を測定した。測定値から次式によ

りと  $n$  を求めた。

$$\Delta P = \zeta \frac{\rho_0}{2g} \left( \frac{Q}{L} \right)^n \quad (6)$$

ここで、 $g$  は重力加速度、 $Q$  は隙間通気量、 $\Delta P$  は差圧、 $\rho_0$  は外気の密度、 $L$  は隙間長である。結果の一例として木製ドアの隙間長 1 m 当りの通気量  $Q$  と静圧差  $\Delta P$  の関係を Fig. 2 に示す。図中には、ドアの各辺の隙間毎に測定した  $\zeta$  と  $n$  の値が示されている。測定した  $\Delta P$  の範囲では、 $\zeta$ 、 $n$  とともに  $\Delta P$  に依存しないことがわかった。また、 $n$  は全ての供試体において 1~2 の範囲にあった。

## N-2 風圧係数の測定

家屋の縮小模型を 3 種類製作し、低圧風洞内に設置して家屋外周の風圧係数をもとめた。風圧係数測定に用いた家屋模型は、①鉄筋コンクリート造集合住宅（縮尺 1/150，風圧測定孔 116 箇所）、木造 2 階屋（1/50，63 箇所）および③木造平屋（1/50，48 箇所）である。家屋模型①は、V で述べる換気率の実測対象家屋の 1 つであり、シミュレーションの対象家屋でもある。また、家屋模型①については現地に模して、半径 150 m の範囲にある建物のダミーを配置させた。風洞内の垂直方向の風速分布は、市街地あるいは平野地における一般大気の垂直分布を模擬した。家屋表面の風圧は風向（22.5°）ごとに測定し、次式から風圧係数をもとめた。

$$P_i - P_s = C_w \frac{\rho_0}{2g} V_w^2 \quad (7)$$

ここで、 $C_w$  は風圧係数、 $V_w$  は自由風速、 $P_i$  は壁面の風圧、 $P_s$  は風洞内静圧である。

## V. 実家屋の自然換気率の測定

コードの妥当性を検討するために、多室構造をもった 3 種類の実家屋の換気率を自然の外気条件（風向、風速、温度差）のもとで測定した。

実験では、炭酸ガスを定められた順序で各室にファンで攪拌しながら注入し、多点サンブラを用いて各室および外気のガス濃度の時間変化を測定した。これらの時系列測定値から、換気回路網によるシミュレーションの方法<sup>1)</sup>に基づいて部屋間の空気流れおよび換気率を評価した。測定にあたっては、通常の状態では窓やドアを閉じ自然換気状態とした。測定を実施した家屋は、①鉄筋コンクリート集合住宅（うち 1 戸、チャンバ数 8，全容積 95 m<sup>3</sup>，所在地東京）、②木造 2 階屋（1 戸建て、チャンバ数 10，全容積 210 m<sup>3</sup>，東京）、③鉄筋コンクリート 2 階建てテラス住宅（6 軒長屋のうち 1 戸、チャンバ数 7，全容積 118 m<sup>3</sup>，茨城県）の 3 種類である。

測定結果の 1 例を Fig. 3 に示す。図は家屋①の場合で、図中に測定時の条件が示されている。また、各部屋に出入りする空気量（ℓ/s）が矢印と数値で示されている。総換気風量は 91 m<sup>3</sup>/h で、家屋全体の換気回数は 0.96 回/h であった。各部屋の換気回数は隣接する部屋との空気の入りがあるために、全体の換気回数よりは大きくなっていることがわかった。

## VI. 換気シミュレーションの結果と防護係数の評価

Table. 2 は、家屋①（気密指標 2 に相当）の実測換気率と VENTG によるシミュレーションの



結果および回帰式(3式)による計算値を比較したものである。この結果から、家屋①の場合、シミュレーションの結果は実測換気回数の0.36～1.29倍の範囲にあり、ファクタ3程度で換気回数を推定でき、実用性のあることがわかった。実測値と推定値の差は、現実の気流の複雑さや、検知できなかった隙間の存在、通気路の抵抗係数、風圧係数等のパラメータ値の不確かさに起因するものと考えられる。表中には回帰式から計算した換気回数の値と、標準偏差 $\sigma$ の範囲が示してあるが、実測換気回数およびシミュレーションによる推定値ともに $\pm\sigma$ の範囲に入っていることがわかる。このことから、回帰式は簡易な推定には有効であることが確認された。

VENTGを用いて、外気濃度が一定で1時間持続する場合を想定して、家屋①の建物全体としての屋内濃度、換気回数および防護係数の時間変化を計算した。これらの結果の例をFig. 4, Fig. 5, Fig. 6に示す。各室温と外気温度はFig. 3の換気率実測時のデータを用いた。風向は16方位(時計方向)を数字で示したもので、(1)が北を示している。Fig. 5をみると、換気回数は風速にはほぼ比例して増加し、東風のときに大きくなる傾向を示している。Fig. 3の条件にあわせて風速が約4 m/s、風向が北々東で一定とすると、換気回数の計算値は0.9回/hとなる。室内濃度(Fig. 4)は、外気濃度が持続する間は上昇し続け、風速2 m/sでは1時間後には外気濃度の0.5倍程度に、8 m/sでは外気濃度と同程度まで上昇することがわかる。放射性ガスの通過後には屋内濃度は減衰をはじめめるが、減衰には数時間を要し、風速2 m/sでは最も濃度減衰が遅い。一方、防護係数の時間変化(Fig. 6)は、1時間までは室内濃度変化の傾向と類似の傾向を示して上昇する。外気放射性ガスの通過後にも在室していると室内残留ガスのために防護効果が低減してゆくことがわかる。このことは、ガスの通過後には早い時期に新鮮な空気を取り入れる必要があることを示している。計算コードは、このような解析結果を部屋ごとにも出力できるようになっているので、部屋ごとに防護効果を比較することもできる。

## Ⅶ 結 言

家屋内退避によって得られる放射能防護効果を評価するために、自然換気率を簡易に計算する経験式を得ることにより大略の防護効果の評価を可能とした。さらに、より詳細に換気率や防護効果を評価するために計算コードVENTGを開発し、実家屋の換気率実測データとの比較によりコードの実用性を確認した。これによって、家屋の条件(通気路)、外界条件(風向、風速、気温)、室温との関係で、室内ガス濃度、換気回数および防護係数の時間変化の評価が可能となった。今後は種々の家屋の防護効果の評価を行うとともに、なお精度上の改善の余地があるために通気路抵抗係数・指数、風圧係数および家屋条件等の入力データの整備につとめる。

## 参考文献

- 1) 奥山博康：一般拡散システムの回路網による状態方程式とそのシステムパラメータの同定理論，日本建築学会論文報告集，第344号，103-114(昭和59年10月)。

Table 1 Index of air-tightness( $X_1$ ) for various houses.

Index $X_1$	Structure	
	Japanese house	Foreign house
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Reinforced concrete work (heat insulating, double window)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Reinforced concrete work (heat insulating)</li> <li>•Brick work(sealed)</li> <li>•Mobile home(continuous sheathing board)</li> <li>•Town house</li> </ul>
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Steel framed reinforced concrete work</li> <li>•Reinforced concrete work (single window)</li> <li>•Light weight concrete work</li> <li>•Prefabricated concrete panel work</li> <li>•Ceramic block work</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Brick work(traditional construction)</li> <li>•Mobile home</li> </ul>
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Wooden house(heat insulating, mortar finished, double window, sound proofing)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Wooden house(heat insulating, double window, caulked and sealed)</li> </ul>
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Wooden house</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Wooden house</li> </ul>

Table2 Comparison of the measured air change rate of the reinforced concrete apartment house with those obtained from simulation by VENTG and calculation using the regression equations.

Date	Air change rate ( $h^{-1}$ )		
	Measured	Simulation	Regression
Nov.19	1.19	0.47	$0.74 \pm 0.45$
Jan.21	0.92	1.2	$0.82 \pm 0.48$
Jan.23	0.96	1.3	$0.78 \pm 0.47$
Jan.24	1.02	0.72	$0.72 \pm 0.44$

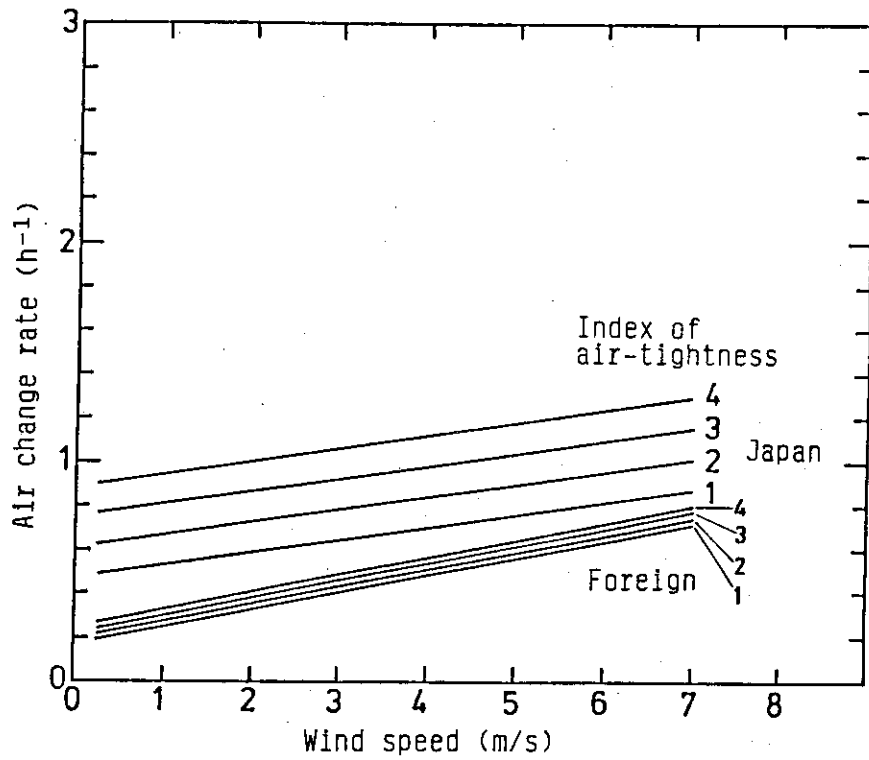


Fig. 1 Plots of the regression equations. Temperature difference between indoor and outdoor is 5 °C.

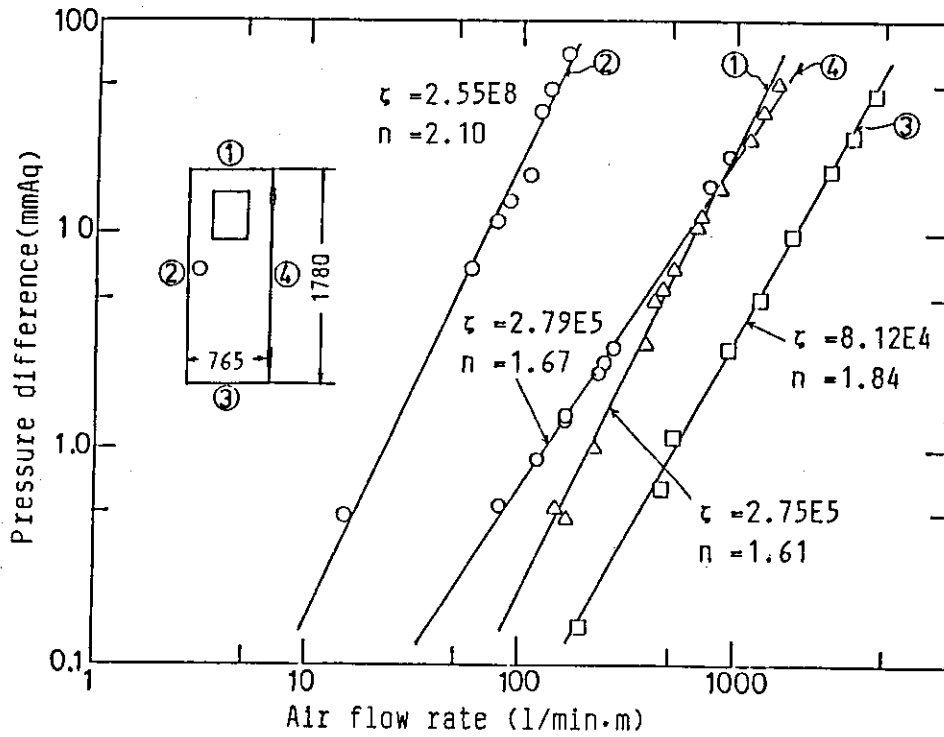


Fig. 2 Relation between pressure difference and air flow rate passing through gaps of a wooden door.  $\zeta$  and  $n$  are coefficient of air flow resistance and exponent.

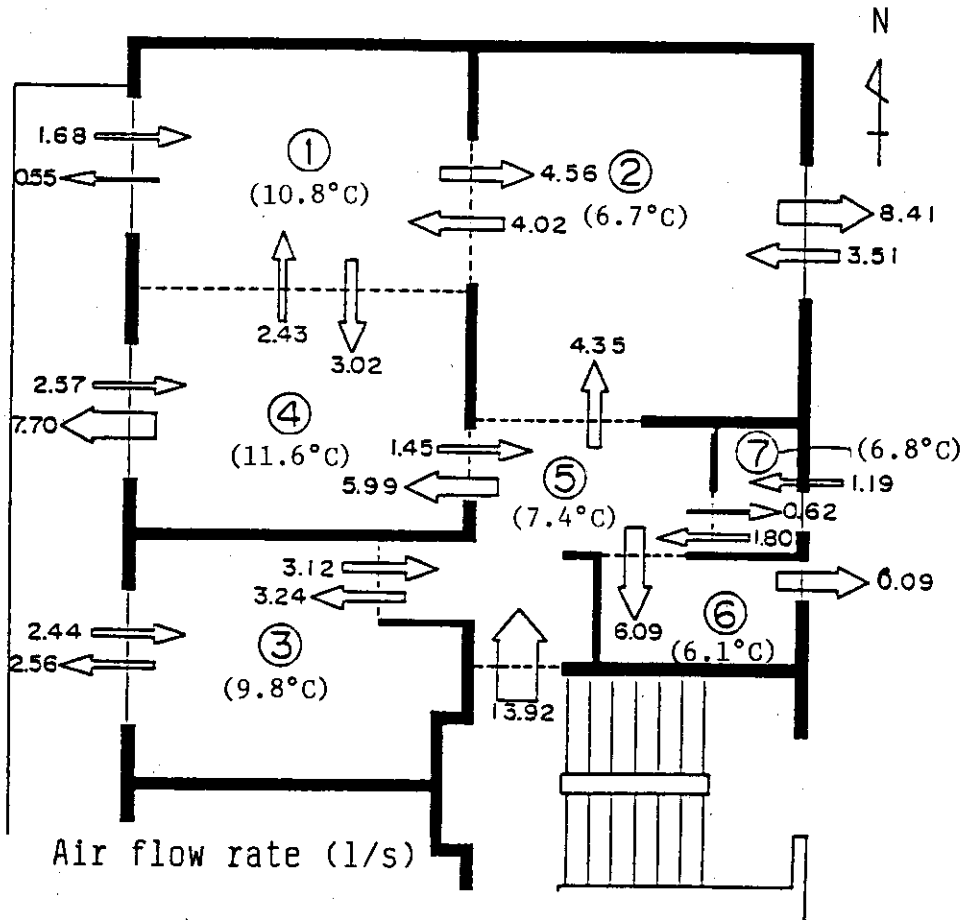


Fig.3 Measurement of air change rate of the apartment house made of reinforced concrete.  
 Date;Jan.23,1985, Wind direction:N-NE, Wind speed: 3-5 m/s, Outdoor temp.:11.3 °C, Air change rate: 0.96 h<sup>-1</sup>.

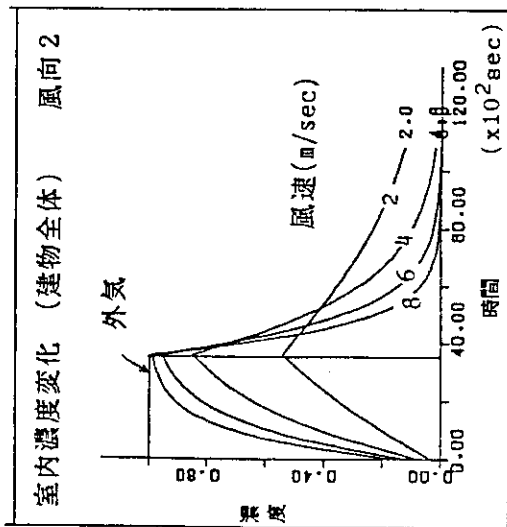


Fig. 4 Indoor gas concentration vs. time. Outdoor gas concentration remains constant for an hour. (output of VENTG)

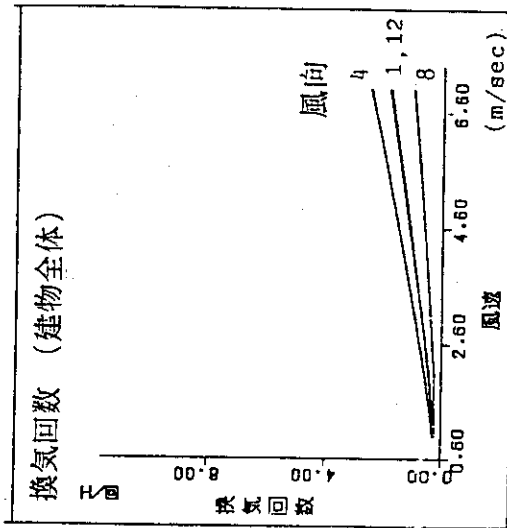


Fig. 5 Air change rate vs. wind speed. (output of VENTG)

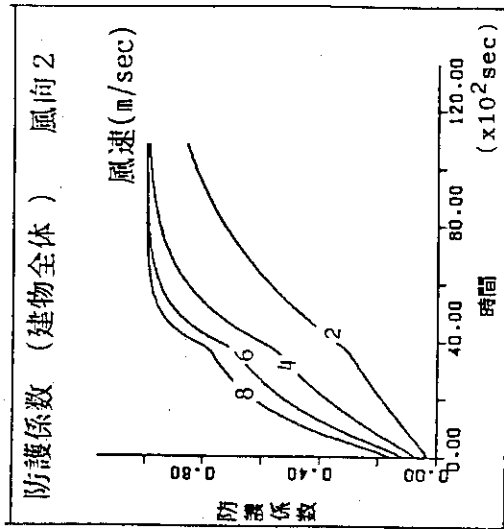


Fig. 6 Protection factor vs. time. Outdoor gas concentration remains constant for an hour. (output of VENTG)

## 4. 緊急時迅速計算予測システムの 開発と計算モデルの検証

### 4.1 SPEEDI 計算コード・システムの開発

原研

浅井 清, 中村康弘, 茅野政道, 石川裕彦, 甲斐倫明, 森内 茂, 今井和彦

#### I 序 論

この節の記述は、報告 1), 2), 3), 4) の一部を抜粋、編集したものである。

本コード・システムは、原子炉事故時等の緊急時に、大気中放出物に起因する一般環境での被曝線量を予測する計算コード群を、有効に結合し計算要請に対して臨機応変に対処することを目的としている。本コード・システムの開発は昭和56年度に始まり、昭和58年度末に第3版が完成した。59及び60年度は、この第3版の細部の改良をおこなった。計算は、気象データの一部を用いた拡散計算による濃度分布から、線量値を求める簡易計算部分と、気象データ、地形を考慮した三次元風速場計算と気象データ、地形データ及び計算された風速場を用いた三次元濃度分布計算、それにつづく濃度分布からの線量計算の流れをもつ詳細計算部分を考えている。また計算対象領域は、基本的には狭域(サイト周辺 25 km)と広域(サイト周辺 100 km)としている。

Table 1 の WEADUS 2, WIND 04, PRWDA, 及び CIDE は詳細計算に係る計算コードで、Fig. 1 はこれらのコードを使用したときの計算の流れを示す。

以下 II で本コード・システムの設計概念、III でその機能と構成の概略について述べる。

Table 1 Summary of the codes in the SPEEDI system

Purpose	Code name	Model	Output variables
Forecast of meteor. data	WEADUS2	Statistical-analysis model	Forecasted $U, V$ at the measuring points
Wind field	WIND04	3-D mass-consistent model	$U, V$ and $W$ in $(x, y, z, t)$
Concentration	PRWDA	Random-walk model for the gradient-transfer theory	Concentration in $(x, y, z, t)$ and in $(x, y, t)$
Dose	CIDE	Cell-integrated dose model	External gamma-dose and internal dose in $(x, y, t)$
Reference calculation	GSDOSE	Gaussian plume model	External gamma-dose and thyroid dose in $(x, y, t)$
	LSPUFF	Puff-plume model	External gamma-dose and thyroid dose in $(x, y, t)$

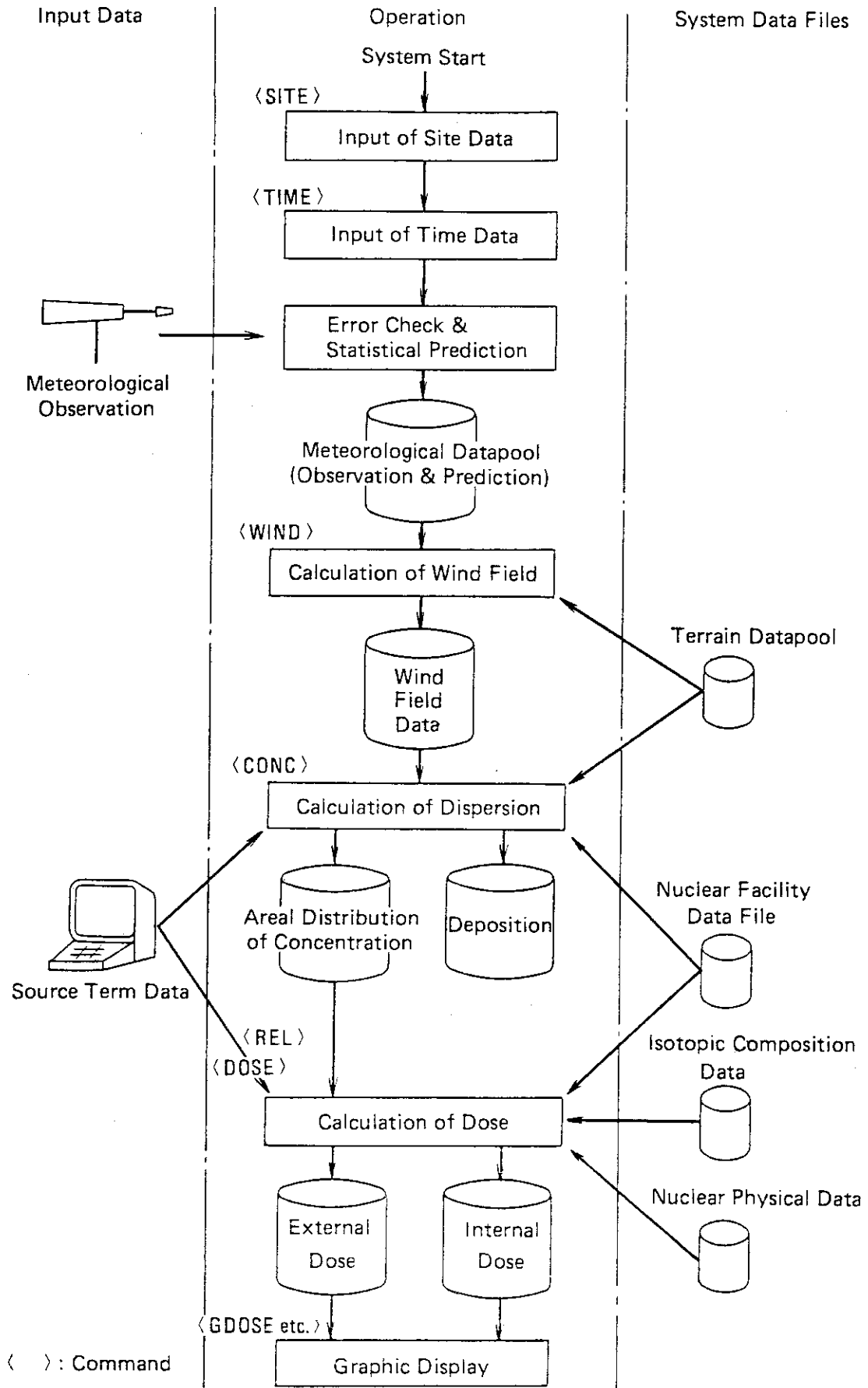


Fig. 1 Computational flow of SPEEDI.

## II SPEEDIコード・システムの設計概念

この節では SPEEDIコード・システム設計の考え方について触れる。

原子力コードのシステム化の考え方、方法は時代と共に変遷している。それは大きくは第1世代(1975年頃まで)と第2世代(1975年以降)に分類することができる。第1世代では、既存コード(の入出力)を接続してゆくという考え方と実現方法が一般的であった。この方法では新規にコードを付け加えるとき、あるいは既存コードを削除するときなどに手間のかかることが多い。第2世代のシステム化の考え方、実現方法は、まず共用的基本ユーティリティを共通基盤として築き、その上に物理モジュール(単体としての原子力コード)やモジュール間インターフェイスを乗せようとするものである。SPEEDIコード・システムもこれと同じ考え、方法で作られている。

会話形のコマンド・システム、ユーティリティ、共用ソフトウェアなどは、SPEEDIコード・システムの共通基盤を成している。この方法の特長は、第1には各モジュールを一貫して計算でき、また単体コードとしても計算できるようになっていること、第2には個々の単体コードのシステムへの組込み、取外しが容易であり、かつシステム全体へ影響を及ぼさないようになっていくことである。第2世代の方法の欠点は、第1には基盤となるソフトウェアの作成にぼう大な作業量と費用を要すること、第2にはその作業の内容が物理モジュールとほとんど関係がないことである。これらの欠点を避けるために、SPEEDIコード・システムでは、ファイル取扱いや図形表示などの既成ソフトウェアを活用し、地形、行政区間等の地域データは国土庁の国土数値情報を利用することで所要作業量の削減と作業時間の短縮を図っている。

このほかに SPEEDIコード・システムの設計にあたって考慮したおもな項目と理由、その解決策は次のとおりであった。

### (1) 研究開発段階と実用段階の両立

SPEEDIコード・システムの開発が始まった時期には、システムに組込まれるべき計算コード群は原研においては未だ研究開発段階にあった。原型となる物理モデルと計算コードは、米国ローレンス・リバモア国立研究所地球科学部の研究者たちの努力によって、1976年頃から実用化の段階に入っていたのであるが、それらのコードを単に輸入するだけでは、研究的にも実用的にも使いこなすことはできない。同じ物理モデルから出発しても理論や実験による検証が必要で、その過程で研究者に蓄積した知見と経験が徐々に計算コードとシステムへ移植される必要がある。こうしてみると SPEEDIコード・システムは、最終的には実用システムが求められながらも、研究開発的要素を多く包含していたことがわかる。従来のコード・システムは、十分に検証された既存の計算コードを集めてシステム化することを主眼としていた。そのときはシステムに組込まれた計算コード群が頻繁に修正されることはない。SPEEDIの計算コードは上述のように多くの修正が予想された。また、研究者がシステムに一時的に計算コードを付加することも、消去することも容易でなくてはならず、しかもそれらの操作をシステムが持つ機能や他の計算モジュールに無関係におこなえなくてはならない。実用的見地からはこのような繁雑な操作についての考慮は不必要であるというよりは邪魔である。むしろ固定した単純な操作がのぞましい。この互いに矛盾する段階を両立させるために、コード・システムは会話形式で制御することとし、計算コードは会話形式制御部を介してできるだけゆるく結合させる方針とした。その結合の方法は前



出の報告<sup>4)</sup>に述べているので、ここでは触れない。実用的な意味から会話形式コマンドの入力パラメータの数は必要最小限に留め、利用者が質問、あるいは要求しない限りはそれ以上の入力をシステム側から要求してくることはないよう設計されている。

#### (2) モジュール・コード・システムの実現

コード・システムに組み込まれた計算コードがモジュール性を有するというのは、そのコードを他の類似のコードと簡単に交換できるということである。それが可能であるためには、それらコードの入力、出力が同じ形式内容でなければならない。そこで気象データ、風速場計算出力、濃度計算出力、線量計算出力、地図データなどの大量データはデータプール・ファイルで形式と内容を統一した。各計算モジュールを制御する入力データは会話形式制御部の持つ最新基本データのうち計算コード固有の入力データと同じものがあれば、計算コードの固有入力データは会話形式制御部の最新データで自動的に置き換えられる。計算コードの固有入力データはネームリスト形式で表現され、ディスク・ファイルに格納されている。システムがこのファイルを書き換えるので、各計算コード自身の変更はない。入力データの単位が異なる場合はシステムが自動変換するよう定めた。このような簡単な方法によってモジュール・コード・システムを実現した。

#### (3) システムの部分的利用

実用的に使うときも風速場、濃度、そして線量と一貫計算をおこなうとは限らないが、研究開発で使用するときには風速場、濃度、あるいは線量のいずれかの部分に限ることが多い。そこでシステムの各部分の計算は他の部分とは独立に動作するよう設計した。

#### (4) データ・ファイル形式の統一

SPEEDI の計算コードで使用されるデータは、放出された核種、気象、濃度分布、線量分布、地形、地図情報等範囲の定まった共通的なものがほとんどである。したがって、これらそれぞれのデータ形式の標準仕様を定め、特に指定されない限りはこの標準形式データを使用することによって入出力データの図形表示等はシステムが用意した機能を利用できる。このため計算コードの開発者は計算部分のみに注意すればよく、開発負担が軽減される。

#### (5) システムの簡易な制御

システムを動作させるのに利用者マニュアルを参照しなくてもよいように、教示的機能を持たせた。そのひとつはHELPコマンドである。

HELPコマンドは、SPEEDIを使用中に、コマンドの機能と文法を表示するもので、簡単な使用マニュアルとして用いることができるようにした。

HELPコマンドだけを入力すると、SPEEDIが用いているコマンドの機能の一覧を表示する。HELPコマンドの次に表示したいコマンド名を指定すると、そのコマンドの文法を表示する。他のひとつは、メニューによる入力とシステムの制御であり、ひとつのメニューはひとつの計算に対応する。メニュー画面には標準値が表示されており、これを変更することで入力がおこなわれ、次のメニューを指定することでシステムの制御を可能とした。

#### (6) 実時間処理の重視

緊急時線量予測計算コード・システムの性格から、時々刻々変化する状況、例えば放出源情報、風向、風速の変化等は直ちに計算に反映させなければならない。どのような計算コードも状況変化に応じて修正されたデータを共通に使用しなければならない。このためにシステム内のどの計

算コードも会話形制御部から起動され、修正されたデータを自動的に会話形式制御部から受け取るよう設計されている。

#### (7) 図形表示機能の重視

複雑地形の3次元空間における風速場、濃度、線量分布等を数字で出力しても理解が難しい。そこで利用者が適当に下絵を選択し、その上にファイルにある計算結果を会話形式でレーザ・プリンタ、またはグラフィック端末画面上に重ね書きするようにした。こうして各計算コードは計算結果の図形表示という厄介な問題から切り離されている。

#### (8) 初期データ設定の自動化

会話形式各コマンドの実行や計算に必要な初期データの設定は、できる限りシステムが自動的に設定するようにした。SITE コマンドでサイト名、施設名を入力すれば、放出地点の緯度、経度、放出高が自動設定されるなどはこの例である。

#### (9) システム使用状況の自動ログ

緊急時においては情報が錯綜し、計算順序、入力データの混乱も考えられる。このため会話形式制御部を通して入力されたコマンドとそのパラメータはシステムが常時自動的にログ（記録）を取るようにした。このログはログ表示用コマンドで端末に表示することができるので過去の入力を調べることができる。現在は実験と並行しておこなう SPEEDI の運用テストなどで役立っている。

#### (10) 既存ソフトウェアの活用

コード・システムの構築には多大のマンパワーがかかり、しかも大部分は図形処理やファイル取扱い等の基盤的ソフトウェアの作成に費されることは衆知の事実である。そこで SPEEDI コード・システムの開発では図形処理に ARGUS、ファイル取扱いに DATAPOOL ソフトウェアを利用することとした。両ソフトウェアともに原研で開発されたものでいくつかの応用分野で広く使用されている。

#### (11) 実用システムへの体系化

最近の集積回路技術の急速な発展を背景に、米国ローレンス・リバモア国立研究所、デュボン社サバンナ・リバー研究所などでは緊急時の予測計算コード・システム全体をスーパーミニコンへ移植しようとしている。これも時代の趨勢なので、本コード・システムも最終的にはミニコンでも動かすことができるよう計算時間、メモリ、オペレーティング・システムの機能等に留意している。その点について少し述べておこう。

従来の16ビット・ミニコンによって作られたソフトウェアを32ビットの計算機に移植することは、必要となる作業時間等の面から現実的でない。また逆に大型計算機や32ビット・スーパーミニコンで作られたソフトウェアを16ビット・ミニコンに移植することは、機能、計算時間、メモリ容量の面から見て不可能に近い。したがって、この両者の間には越えることのできない技術的なギャップが存在する。そこで我々は大型機からミニコンへ移る方法を探った。即ち、先ず大型計算機でソフトウェアを開発し、その後それを巨大ミニコンに移してゆく方法である。安価な32ビット・スーパーミニコンが16ビット・ミニコンに取ってかわりつつある時代なので、この方法によればすべての範囲をカバーできる。以上の議論をまとめると Fig. 2 のようになる。

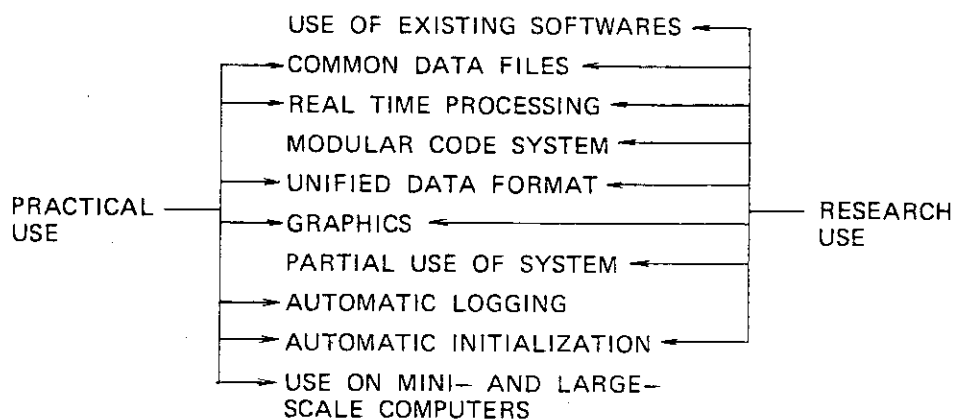


Fig. 2 Two sided design concepts.

### Ⅲ システムの機能と構成の概略

本コード・システムは大別して、会話形式で入力されたコマンド命令を処理する会話形式制御部ソフトウェア、環境データ等の基本データや計算結果を一定の様式で記録しておくデータ・ファイル群、各種計算結果の図形表示用ソフトウェア、各核種の崩壊を考慮して環境中での比率を燃料棒内の核種組成比率とモニタリング情報から推定する放出比簡易推定ソフトウェア、及び計算コードとシステム間のデータやりとりのための汎用アクセス・ルーチンの5グループから構成される。これらの概略について述べる。

#### Ⅲ-1 会話形式制御部ソフトウェア

前述のようにシステムの使用はコマンド形式で行われる。コマンドの代表的なものは Table 2 に示した通りである。オペランドは、放出率や、計算開始の時刻等、状況や時間により値の変更されるものを中心に構成されている。オペランドで設定した値はシステム会話形式制御部のもつ現在の最新データを内容とする第Ⅰ種制御表に記録されていく。これと別にシステムは、各計算コードに必要な入力データのうち会話形式で与えられるデータの一覧表（これを第Ⅱ種制御表とよぶ）を、登録された計算コード別にもっており、WIND, CONC等のコマンドでコード名が設定され実行命令が出されると、該当コードの第Ⅱ種制御表を参照して第Ⅰ種制御表から計算コードに必要なデータだけを引き出してデータ・リストを作成して計算コードに渡す。この時、データ・リストの値は、単位変換ルーチンにより、計算コード側が要求している単位に変換される。コマンドの入力形式は、メニューによる入力、メニューによらない入力の2種がある。メニューは Fig. 3 のように日本語と英語の2種が用意されている。

Fig. 3 で空欄となっているパラメータ欄は、実際はシステムが自動的にその時点における第Ⅰ種制御表の該当する値で置き換えて表示する。したがって利用者は変更を必要とする部分のみを入力すればよい。

Table 2 Summary of major commands

Command Name	Explanation
EMER	Initiate or restart the code system
SITE	Set informations of an accident site
REL	Set informations of radioactive release
DISPW	Display observed meteorological data of the site
SETW	Set meteorological data of a meteorological station to fill a lack of data of the station
WIND	Calculate the wind field of a specified region
CONC	Calculate the concentration of a specified region The region is included in the one specified by WIND
DOSE	Calculate the dose of the region specified by CONC
GWIND, GCONC GDOSE	Display results over specified maps
PLAN	Display dose and conc. isopleths over maps with regulation values for emergency planning
SUB	Submit a computational module to the computer as a batch processing job
RUN	Process a computational module as a TSS job
GO	Same as the above
DPARAM	Display control parameters of SITE, REL, WIND, CONC, DOSE, GRAPH, PLAN mode, or files
SET	Set control parameters of modes
CLOG	Display the past conversational records logged in a logging file
HELP	Help users by displaying informations on commands
SAVE	Save the control informations for restart
END	End the session of the code system

When a 'Q' is added to each command, the system automatically questions the user about input parameters.

### III-2 システム・データ・ファイル

システムが保有するデータ・ファイルは、環境データ等の計算のための基礎データを収納してあるデータ・ベースと計算結果を記録するファイル群に分けられる。データの一覧を Table 3 に示す。

#### (1) データ・ベース

基礎データ・ファイルは、地域情報データ、気象情報データ、サイト・データ、核種組成データ、核データの5種のファイルを保有している。

#### (a) 地域データ・ファイル

地域データは、国土庁の国土数値情報から、全国14サイトの地域情報を、サイト周辺25km (Local) と100km (Regional) について抽出して作成した。地域データ・ファイルに含まれるデータは、標高、海岸線、行政区界、地名、道路、鉄道、湖沼、土地利用である。標高データと土地利用データは狭域で1km×1km、広域で4km×4kmのメッシュの平均が記録され

```

..... サイト情報 ..... (08/28 16:03)
原子カサイトデータを入力
  入力タイプ==> _ (下の A または B を選択して下さい)
A) 原子カサイトをサイト名で入力して下さい
  (1) サイト名= _____
  (2) 施設名= _____
  (3) 放出高= _____ (M) (数値又は*)
      (* ; スタック高度が自動設定される)
  * 燃焼度: _____ (MWD/MTU)
B) 放出点を緯度・経度で直接入力する時は以下に入力して下さい
  (1) 緯度= _____ 度 _____ 分 _____ 秒
  (2) 経度= _____ 度 _____ 分 _____ 秒
  (3) 標高= _____ (M)
  (4) 放出高= _____ (M)
  * 燃焼度: _____ (MWD/MTU)
PF1 : 時刻設定画面      PF3 : キャンセル      PF4 : 前画面表示
PF2 : 現画面          PF5 : 前画面表示解除
コマンド名==> _____ (設定, CR により対象画面表示 ; 未設定時はコマンド画面)
  
```

Fig. 3(a) An example of Japanese menu.

```

----- S I T E ----- (08/28 16:17)
INPUT NUCLEAR SITE DATA
  INPUT TYPE ==> _ (SELECT A OR B)
A) INPUT SITE NAME OF NUCLEAR ENERGY SITE
  (1) SITE NAME = _____
  (2) FACILITY NAME = _____
  (3) RELEASE HEIGHT = _____ (M) (NUMBER OR *)
      (*: STACK HEIGHT IS USED)
  * BURNUP : _____ (MWD/MTU)
B) INPUT RELEASE POINT DIRECTLY
  (1) LATITUDE = _____ ° _____ ' _____ "
  (2) LONGITUDE = _____ ° _____ ' _____ "
  (3) SITE TERRAIN HEIGHT = _____ (M)
  (4) RELEASE HEIGHT = _____ (M)
  * BURNUP : _____ (MWD/MTU)
PF1 : TIME MENU      PF3 : CANCEL      PF4 : PREVIOUS MENU
PF2 : PRESENT MENU  PF5 : PUT BACK PRESENT MENU
COMMAND NAME ==> _____ (SET AND 'CR', DISPLAY OBJECT MENU, ELSE GENERAL MENU)
  
```

Fig. 3(b) An example of English menu.

Table 3 Summary of data files in SPEDDI

Computed data files*)	System data files**)
Wind field data	Nuclear site characteristic data
Concentration data	Meteorological observation data
Dose data	Topographical data
	Isotopic composition data
	Nuclide physical data

\*) Files for calculated results.

\*\*) Files prepared in advance by SPEDDI.

ている。これらのデータは計算の他に、図形出力時に計算結果の下絵となる地図データとして利用される。現在は、14サイト分用意されているが、国土庁の数値情報磁気テープから任意の地域の情報を抽出するためのソフトウェアも用意されているので、サイト追加や、すでにある地域データファイルの対象領域の変更等は容易に行うことができる。

#### (b) 気象データ・ファイル

気象データ・ファイルについては、将来は常時オンラインで入手されることを仮定して、時間別に各サイトの周辺観測点のデータを整理するように作られている。記録されるデータは観測点位置、測器高、測定項目等のサイト別の観測点データと、時系列に並べられた風向、風速、雨量、日射量等のデータである。時系列データは、一定時間間隔でファイル内に保存される。現在は、気象データの入手はオンラインで行われておらず本計画の中で別途行われている野外実験時の茨城県公害センタの観測データや気象庁の AMeDAS データを随時端末から入力して上記の構造の気象データ・ファイルを作成している。

#### (c) 核種組成ファイル

核種組成ファイルは、任意の時刻における環境中の希ガス、ヨウ素の核種の比率を求めるための基礎データとなるファイルで、希ガス、ヨウ素中の各核種の炉内での比素を、燃焼度別にテーブル化してある。比率は、希ガスに属する核種の比率の和と、ヨウ素の同位体の各比率和がそれぞれ1になるように作られている。各核種の正確な放出率が入手された場合は、このファイルは使用しない。

#### (d) サイト・ファイル

サイト・ファイルには、全国の原子力サイトの緯度、経度、標高、メイン・スタックの高さ、炉型が記録されており、SITE コマンドでサイト名と施設名を入力すると自動的にデータが第1種制御表に記録される。放出高度については、オペランドの施設名のあとに、値を入れるとその値が記録される。現在のサイト・ファイルには、地図等をもとに漸定的な値を入れてあるが、実用時には正確な値に置き換える必要がある。

#### (e) 核種データ・ファイル

被曝評価の上で重要と思われる核種として希ガス15核種、ヨウ素同位体7核種、その他の核種40種を選び、各核種の核データを記録してあり、各計算コードで必要に応じて引き出すことができる。

## (2) 計算結果出力ファイル

本システムによる計算出力は、風速場の三次元分布、空間濃度の三次元分布、地表面沈着量の二次元分布、照射線量率、積算外部被曝線量、甲状腺線量、甲状腺以外の内部被曝線量の二次元分布である。各データは直交座標系で記録され、水平1メッシュが狭域計算で1km×1km、広域計算で4km×4kmを基本としている。鉛直方向は、25m、50m等変えることができるが、風速場計算時に決定した値が濃度及び線量の計算でも用いられる。

各データは通常一時間毎に出力されるが、これらのデータは、最新計算時刻からさかのぼって24時間ファイル内に保存され、即時に、再使用できるようになっている。

## Ⅲ-3 図形表示用ソフトウェア

防災対策の指針<sup>5)</sup>によれば、モニタリングを行うべき地域及び地点の迅速な選定のための予測として、

- ① ガンマ線最大線量とその出現地点
- ② 大気中よう素最大濃度とその出現地点
- ③ 大気中よう素濃度及びガンマ線量率の地域分布
- ④ 被曝線量の分布とその時間変化

が上げられている。また防護対策の指標のための予測線量として、全身外部線量と甲状腺線量を取り上げその数値を提案している。本システムではこれらを考慮した図形出力を用意した。地域分布の出力はカラー・ディスプレイ装置上に地図と共に表示され、同時に最大値出現地点が\*で表示される。例えば外部全身線量の地域分布出力では図の上部にタイトル、右に日時、計算コード名、等値線の値、最大値とその位置等が表示される。図では地図上に地名と、道路、鉄道が表示されるが、要請に応じて行政区界、等高線、経緯線も表示できる。また出力する図の種類、地域、時刻、等値線の値等はすべて会話形式で指定できる。濃度分布と風速場分布については、航空機によるモニタリングに資するために、任意の高度の分布を出力できるようにしてある。なお、防災対策指針中の摂取制限のための指標濃度である葉菜中濃度、飲料水中濃度、ミルク中濃度については、実測により判断されるべきものとして出力せず、実測のための基礎データとなる地表面沈着量分布の出力のみを行っている。

これらの図形表示ソフトウェアは、原研で開発された図形表示用パッケージ・ルーチン ARGUS-V 4<sup>6)</sup>を利用して作成されている。

## Ⅲ-4 放出率推定ルーチン

緊急時には放出量に関するデータが十分に得られない場合が予想され、事故初期には、線量評価のために限られた情報から希ガス、ヨウ素の各核種の放出率を推定する必要がある。本システムでは、放出情報データとして、

- ④ 施設側等から希ガス、ヨウ素それぞれの放出率が入手された場合、
- ⑤ モニタリング等により希ガス中1核種、ヨウ素同位体中の1核種の放出率が得られた場合、
- ⑥ 希ガス、ヨウ素中のすべての核種の放出率が得られた場合、
- ⑦ 希ガス、ヨウ素以外の核種の評価を行う場合、

を考慮している。

これらのデータはREL コマンドのオペランドとして、放出率決定日時とともに入力する。

### Ⅲ-5 汎用アクセスソフトウェア

本システムのデータ・ファイルのうち、地域データ・ファイル、気象データ・ファイル、計算出力ファイルは、原研開発のデータプール・システム<sup>7)</sup>を採用している。このファイリング・システムは、データの入出力法が簡便でありデータ管理の上でいくつかの利点をもつが、まだ一般に普及しておらず、計算コードをシステムに組み込む際、上記ファイルとのアクセスのためのコード書き換えが煩雑になる。そこで、ファイルと計算コードの間にデータやりとりのためのソフトウェアを設け、これを媒介としてファイルと計算コードを結ぶようにした。このソフトウェアは、どの計算コードにも適用できるので汎用アクセス・ソフトウェアと呼んでいるが、これにより単体コードをシステムに組み込む際のコード書き換えはかなり少なくなる。

システムのモジュラー性は、この汎用アクセス・ルーチンと、前述の第Ⅰ、Ⅱ種制御表により保たれている。計算コードとシステム・ルーチンの規模、処理時間等を Table 4 に示す。

### Ⅲ-6 ベクトル計算機及びミニコンへの適用

SPEEDI の開発に着手した昭和55年当時、原研のコンピュータはFACOM M-200であったが、以後昭和58年にFACOM M-380、昭和59年にFACOM VP-100を導入し、それとともに計算時間は急速に短縮された。Table 5は、各詳細計算コードのスカラ版をFACOM M-380で計算した場合と、ベクトル化版をFACOM VP-100で計算した場合の計算時間の比較である。表に示したように、演算速度は風速場計算で9倍、濃度計算で4倍、被曝線量計算で6倍に向上しており、風速場からの被曝線量までの一連の1時間予測計算は従来の1/5に短縮された。これはFACOM M-200からFACOM M-380に切り換えられた時に計算速度が3倍になったことと比べ、計算所要時間短縮に大きな効果を挙げたといえる。

これにより、SPEEDIは迅速性を保ちつつ精度の高い計算を行うことが可能になった。

上述のように、計算時間の短縮のために計算コードをベクトル化することは、有効な手段であった。しかしながらこの種のシステムは、今後、ベクトル演算機能のないミニコンピュータで運営されている地方自治体の放射線監視センターなどでも保有する可能性があり、SPEEDIで用いられているような詳細計算を、ミニコンでも実時間で運用できるように簡略化することの可能性を検討する必要がある。具体的には、

- ・ 計算対象領域を狭くして、風速場計算で設定する格子点を減らす、
- ・ 濃度計算で発生させている粒子の数を減らす、
- ・ 被曝線量計算で、はじめに全核種の実効エネルギーを求め、核種についての繰返し計算を省く、

などである。これらの簡略化は、ミニコンによる運用を可能にするかも知れないが、一方で大型コンピュータを用いた非簡略版の計算に比べ精度が悪くなる。そのため、機種に応じて、簡略化による迅速性の向上と精度の低下の両面を考慮した最適な簡略化の方式を検討しなくてはならない。この検討については、原研計算センターに設置されているスーパーミニコンを使用しておこ



Table 4 Code and utility program in the SPEEDI code system

Category	Name	Explanation	CPU time (s)	Memory (kB)	I/O times	Source statements
Command Control	EMER	Command control and decay calculation		1800		8208
Datapool	DISPDP	Display control information of datapool				250
	DISPW	Display and update weather datapool				980
Graphics	GWIND	Display weather and wind field data	7	1452	2592	5186
	GCONC	Display concentration data	12	1688	4971	6932
	GDOSE	Display dose data	4	1300	1391	5020
	GBACK	Display regional data	2	1140	802	3036
	PLAN	Display areas by countermeasures	4	1210	1613	4020
Other	SITEMDP	Determine site location automatically				83
Wind Field	WIND04	3 dim. calc. by variational method	72	3028	4633	1591
Concen- tration	PRWDA	Concentration by particle dispersion	151	2636	4542	3660
	LSPUFF	Quick calculation by puff model	4	768	777	1923
Dose	CIDE	Dose calculation by grid-cell model	6	1228	2630	1816
	GSDOSE	Quick calc. by Gaussian plume model	7	828	3901	3602
Datapool Construc- tion	RGONDP	Construct regional datapool (file)	8	536	7996	6258
	WCREAT	Create weather DP by batch mode	16	1000	5083	505
	WEADUS	Create weather DP by TSS mode		768		2967
Datapool Access	DPAC	Interface between physical models and datapool files				4662
Graphic Package	ARGUS	General purpose graphic package		3508		39715
Datapool System	DPLIB	Datapool program library		476		21419
	DPTSS	Interactive display of datapool		768		15962
	PREPROC	Preprocessor for datapool user program		376		9368
Basic Graphic Library	GGSL	Basic graphic library		587		10455
	PDS	Library for DSCAN graphic terminal		283		3322
	PTS	Library for TEKTRONIX graphic terminal		165		4551
	PNL	Interface for Japanese language line printer		65		2700

- Note. 1) Memory of EMER contains file handling and graphic routines in execution time  
 2) CPU time, memory size and I/O times are measured by FACOM M-380 large-scale computer (25 MIPS, or 9 MFLOPS).

Table 5 Computation speed ratio to FACOM M-380 computer due to vectorization of WIND04, PRWDA and CIDE code

Code	Speed ratio	Computer
WIND04	9	FACOM VP-100
PRWDA	4	FACOM VP-100
CIDE	6	FACOM VP-100

ない、スーパーミニコン使用時の精度維持のための必要粒子数、計算時間についてのデータを得た。

#### IV おわりに

実用化された緊急時システムは各国に存在するが、規模の面では、ミニコンのみで処理されるような中小規模のものが多い。本システムのような大規模なソフトウェアをもつシステムとしては、米国の ARAC システム<sup>8)</sup>が有名であるが、これについても巨大ミニコンへの移植が進められている。

本システムは日本で初めての詳細計算機能をもつ緊急時システムであり、数時間先の気象予測と被曝線量評価の機能および会話形制御による使用の簡便さは、米国の ARAC より優れた点といえる。

コードシステムの開発は昭和59年度で一旦終了するが、計算精度の向上はこれからも続く課題であり、計算モデルの改良のみならず、放出源情報の精度向上、気象観測ネットの整備も含めた総合的な研究が必要である。また本システムはあくまでも計算予測であり、測定結果との間には物理的諸条件の相違、気象データや放出データ等の不正確さに起因する不一致が生ずることが予想される。そのため、原研の緊急時計画の中で行われている航空機サーベイ等のモニタリングシステムと SPEEDI との協力活動により、互いの欠点を補い効率的な緊急時対応体制をとる必要がある。

SPEEDI の開発は、環境放射能研究委員会、モニタリング予測専門部会（浜田達二部会長）のもとにあるシステム W.G. の作業の一環として行われた。W.G. のメンバーを脚注に記す\*。本システムの作成に当っては、各方面の方々から協力を得た。地域データベース作成には国土庁の国土数値情報を用いたが、使用にあたり国土庁国土情報整備室の協力を得た。核種組成比率データと物理データ、図形表示ソフトウェアに利用した ARGUS-V4、データファイルに用いたデータプールシステムは、本研究と別にそれぞれ原研の安全解析部核燃料施設安全解析室、核融合理論解析研究室、計算センターで開発されたものであり、作成者のご厚意により利用させて頂いた。また、本システムの作成には、コード総合化専門部会（桂木学部会長、当時）のモジュラーコードシステム作成に関する議論の蓄積が基礎となっており、システム作成に関しても多大な援助があった。ここに、上記の関係者の方々に深く感謝の意を表します。また、コードシステムの会話形制御部や図形出力部のプログラミングを行った(財)原子力データセンターの奥田基（現、富士通）、堀上邦彦の両氏および富士通 FIP の山本和明氏を初めとする各位に感謝します。

---

\* 吉川友章・荒川正一（昭57年まで）・木村富士男・小出孝（気象研）、佐藤貞（安全解析所）、今井和彦・森内茂・茅野政道・石川裕彦・甲斐倫明・浅井清・中村康弘・篠沢尚久・飯嶋敏哲・本間俊充・日高昭秀（原研）

参考文献

- 1) Imai, K., et al., "SPEEDI : A Computer Code System for the Real-Time Prediction of Radiation Dose to the Public due to an Accidental Release", JAERI 1297, Oct. 1985.
- 2) 茅野政道, 他, 「SPEEDI ; 緊急時環境線量情報予測システム, JAERI-M 84-050」, 1984年4月.
- 3) 浅井 清, 他, 「緊急時環境線量情報予測システム SPEEDI の設計, 構築と使用経験」, 原子力誌, 27 [9], 1985.
- 4) 「最近の原研コード・システム」, 原子力コード研究委員会総合化専門部会編, JAERI-M 83-208, 1983年12月.
- 5) 原子力安全委員会, 「原子力発電所周辺の防災対策について」, 1980年.
- 6) Takeda, T., et al., "Integrative Graphic Subroutine Package ARGUS-V4", Computer Physics Communications, 34, 15, 1985.
- 7) 富山峯秀, 他, 「データプール の概念と機能」, JAERI-M 8715, 1980年3月.

## 4.2 SPEEDI 風速場・拡散・線量評価モデルの開発及び検証

原研

今井和彦, 茅野政道, 石川裕彦, 甲斐倫明, 本間俊充, 日高昭秀, 飯嶋敏哲

## I 概要

緊急時に用いられるモデルに対する要求としては、第1に迅速であること、第2に複雑地形において時間的、地域的に変化するプルームの流れをできるだけ正確に把握できることである。従来の実用モデルであるガウシヤンプルームモデルは、計算時間は速いが、短期間の予測に対して精度の高いものではない。そこでSPEEDIでは、主要モデルとして近年の計算機技術の発達とともに急速に開発が進められている大気拡散数値モデルを用いることにした。数値モデルには、研究目的に使用されるものから実用的に使用されはじめたものまで各種あるが、ここではすでに米国のARACシステムで利用されている質量保存風速場モデルと拡散方程式の数値解モデルの組合せを採用し、さらに線量セル・モデルという考え方を線量計算に導入することによって、風速場の計算から、濃度、線量にいたるまで一貫した詳細かつ迅速な予測を可能にした。迅速な計算は各コードをベクトル化することにより達成した。これらの主要モデルの他に、参照計算用にパフモデル及びガウシヤンプルームモデルによる線量評価コードも作成した。また主要モデルのスーパーミニコンでの利用の可能性の検討のため主要モデル簡略版の作成テストも行った。以上のモデルを用いた計算コードの一覧をTable 1に示す。表中のWEADUS2は、気象研で開発した統計予測モデルをSPEEDI用に改良・整備したものである。

以上のコードのうちSPEEDIの主要コードである、WIND04及びPRWDAについては野外拡散実験や気象研の風洞実験等により検証が行われている。

以下に主要コードで用いたモデルの概略と検証及び簡易モデルの概略を述べる。

Table 1 Summary of the codes in the SPEEDI system.

Purpose	Code name	Model	Output variables
Forecast of meteor. data	WEADUS2	Statistical-analysis model	Forecasted $U, V$ at the measuring points
Wind field	WIND04	3-D mass-consistent model	$U, V$ and $W$ in $(x, y, z, t)$
Concentration	PRWDA	Random-walk model for the gradient-transfer theory	Concentration in $(x, y, z, t)$ and in $(x, y, t)$
Dose	CIDE	Cell-integrated dose model	External gamma-dose and internal dose in $(x, y, t)$
Reference calculation	GSDOSE	Gaussian plume model	External gamma-dose and thyroid dose in $(x, y, t)$
	LSPUFF	Puff-plume model	External gamma-dose and thyroid dose in $(x, y, t)$

## II 主要計算コード

### II-1 風速場計算コード WIND 04

WIND 04 は, Shermann (1978) により開発された方法に基づいて作成された計算コードで観測データを用いて3次元風速場を計算する機能を持つ。

計算モデルの概要を Fig. 1 に示す。計算対象とする領域周辺にはいくつかの気象観測施設がある。第1段階としてこれらの施設で観測された風向, 風速, 安定度のデータを用いて, 各格子点での風ベクトル( $u^0, v^0, w^0$ )を内挿, 外挿により求める。ここで  $u^0, v^0, w^0$  は各々, x 方向(東向き), y 方向(北向き), z 方向(上向き)の風速成分である。

このようにして観測値から単純に内挿によって得られた風速場は, 本来満足すべき物理法則を満たしてはいない。

そこで, 第2段階としては, 内挿された風速場を質量保存則を満たすように修正する。この時修正量の積分値を最小に抑える為に変分法を用いる。地形の影響は, 地表面付近で生ずる風速場の見かけの発散(収束)を修正することにより風速場全体に反映される。

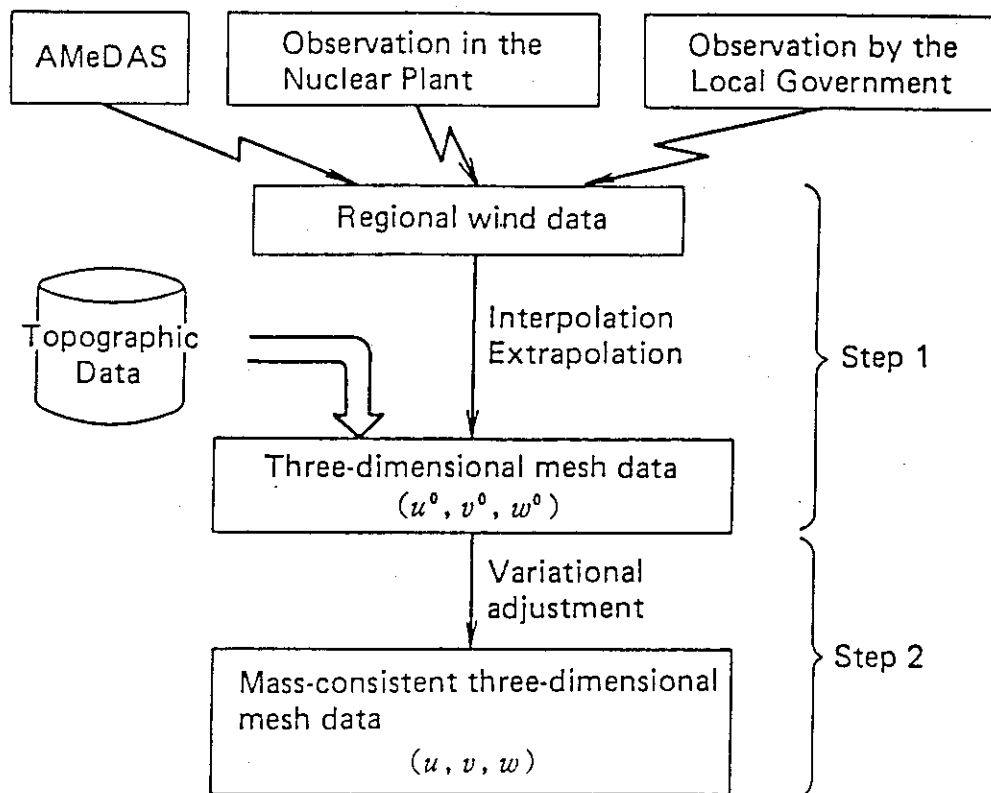


Fig. 1 Overall concept of the method for the calculation of three-dimensional mass-consistent wind field.

## II-2 濃度計算コードPRWDA

放出物質の移流・拡散を詳細にシミュレートするためには、いわゆる移流・拡散方程式を数値的に解く必要がある。数値解法としては、差分モデル、粒子拡散モデル等いくつか提案されているが、ここでは、粒子拡散法を用いた。

粒子拡散法は、Fig. 2 に示すように、オイラー・グリッドを通過する放射性雲を模擬したラグランジュアン粒子群により放出物の空間分布を求めるモデルである。粒子群の移動は、風速場計算コード WIND 04 で計算された 3 次元の風速場による移流項と、大気乱流に起因する拡散項の和で表わされる。移流の成分は、空間内の 3 次元オイラー・グリッド格子点に与えられた風速場から内挿した粒子の移流速度により求めることができる。拡散の扱いについては、PICK法とランダム・ウォーク法がある。

PICK法では、拡散に各セル間の濃度勾配を用いるため、正しい拡散を行わせるためには、各セル内に十分な粒子数が必要になるのに対して、ランダム・ウォーク法では、各粒子の拡散が独立に行われる。

SPEEDI ではオイラー・グリッド間隔を 500 m × 500 m × 25 m を基本にしており、水平方向の拡散については、かなり風下で分布が広がるまで、PICK法による取扱いはできない。これらの理由から本コードでは、水平拡散にランダム・ウォーク法、格子巾の小さい鉛直方向に PICK法を用いた。

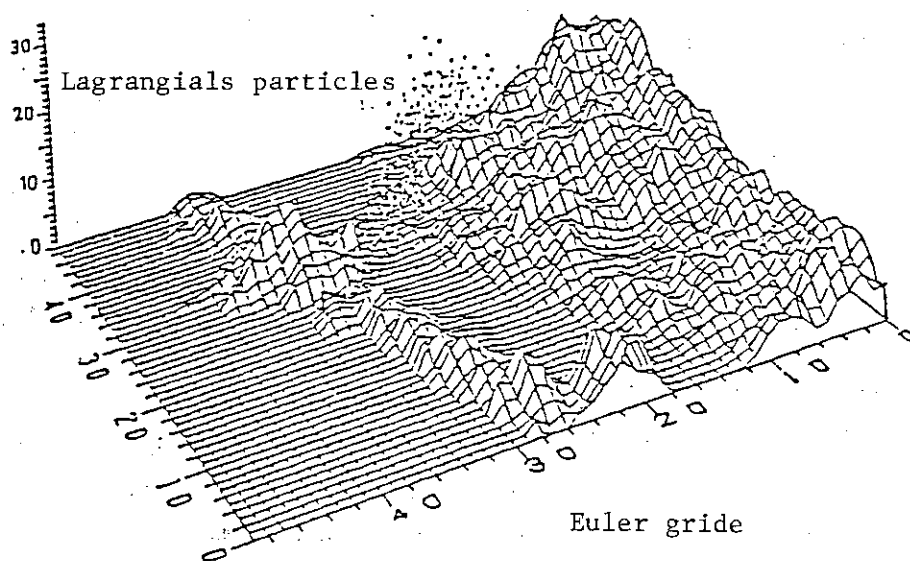


Fig. 2 Conceptual representation of particle diffusion model.

### II - 3 線量計算モデルCIDE

CIDE は、粒子型拡散モデルから計算される濃度分布からの被曝線量 ( $\gamma$  線外部被曝線量および内部被曝線量) を計算するために開発したコードである。計算の最も中心となる  $\gamma$  線による外部被曝線量は、空間を任意の大きさのメッシュに分割してできるセルの中の平均濃度がセル内に一様に分布していると仮定して各セルからの寄与を積算し評価する線量セル・モデルを用いて計算される (Fig. 3 参照)。線量セル・モデルを用いて得られる結果は、ガウス型濃度分布のときの数値積分結果との比較でよく一致することが確かめられている。ただし、結果の精度がセルの大きさに依存するため、計算条件や計算時間を考慮して適切なものを選ぶことが必要である。

線量モデルCIDE が出力する線量は、照射線量率 (単位は  $\mu\text{R}/\text{hr}$ )、 $\gamma$  線外部被曝線量当量 (単位は mrem)、放射性ヨウ素の吸入による甲状腺被曝線量当量 (単位は mrem)、その他の核分裂生成核種の吸入による内部被曝線量当量 (単位は mrem) の 4 種類である。ただし、ヨウ素およびその他の核分裂生成核種による内部被曝線量当量は年齢グループを大人、幼児、乳児の 3 つに分けて評価する。

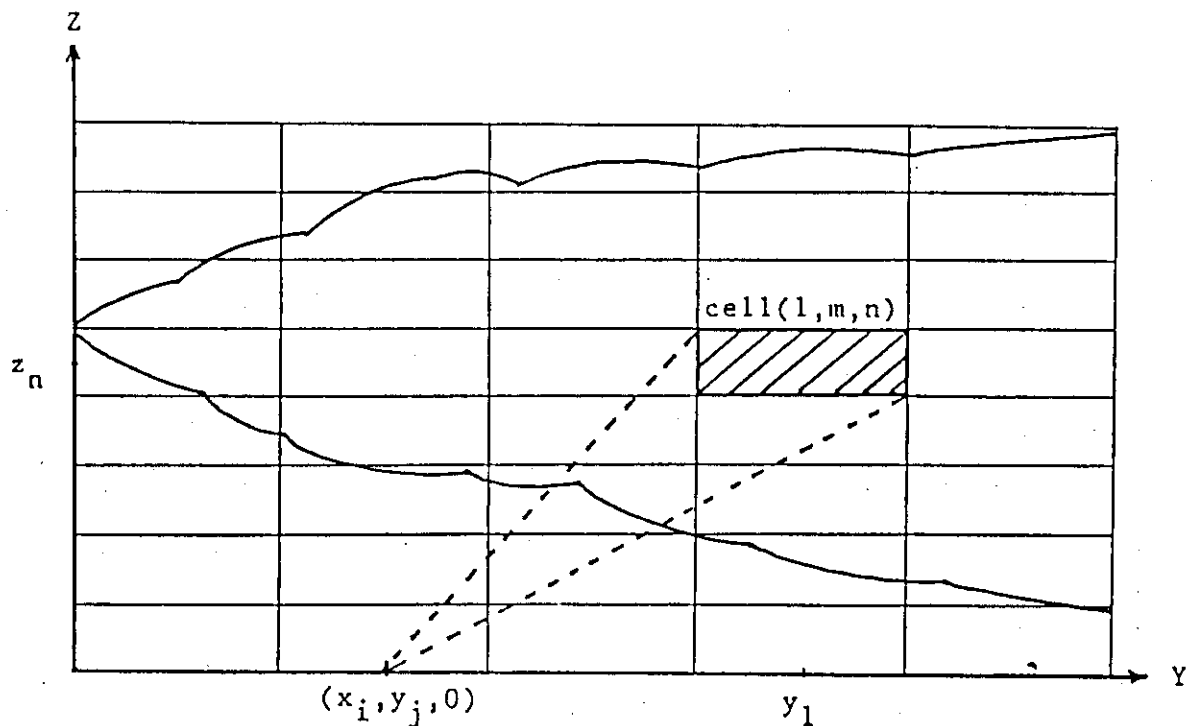


Fig. 3 Outlook of cell-integrated dose model.

### II - 4 放出量推定モデル

SPEEDI では、放出源情報はシステム外部から入るものとして、すなわち計算のための入力データとして取り扱っている。しかし、事故後早急に詳細な情報が入手される可能性は小さい。そのために、希ガスの全放出率はわかっているが希ガスの同位体組成が明らかでない場合、線量計算に必要な光子エネルギーや崩壊定数を決定できない。このような状況を考慮してSPEEDIでは次の条件を仮定として放出率の推定に用いている。

- ① 希ガスは15核種、ヨウ素は7核種について、原子炉停止時の炉内の同位体組成比が崩壊以

外によって変わらないで、環境中でも維持されるものとする。

- ② 原子炉停止時の炉内の核種組成は、軽水炉の炉型（BWR，PWR）および燃焼度ごとに燃焼計算で求めたものを用いる。

これらの仮定により、任意の時刻の各核種の環境中での比率は、シャットダウン時の比率と崩壊定数から算出でき、これにより希ガス及びヨウ素の総放出率又は、その中の1核種の放出率の情報から、各核種の放出率が計算できる。

### Ⅲ 主要モデルの実験による検証

沿岸及び複雑地形における移流拡散のデータ取得のために、SPEEDIのモデル開発と並行して、野外拡散実験及び風洞実験が、気象風洞実験専門部会の下で行われてきた。

野外拡散実験は昭和55年より6ヶ年実施され、初めの4ヶ年は東海村周辺における沿岸地区実験、後半2年は筑波山周辺における複雑地形上実験が行われた。

また風洞実験は、気象研の大型風洞を用いて、東海村地区、中程度の複雑地形である島根地区及び筑波山周辺を対象として行っている。

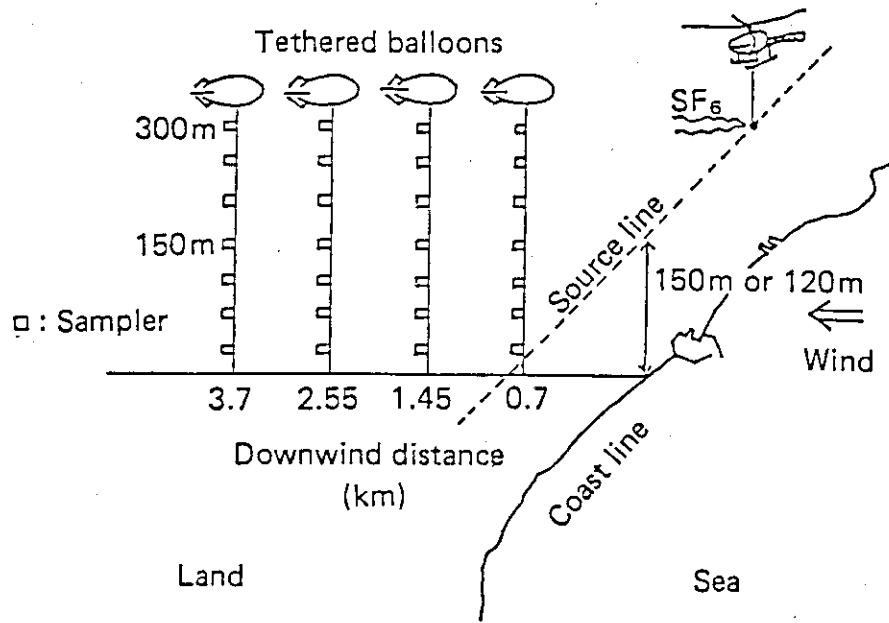
ここではSPEEDIのモデルと、これらの実験との比較の例について述べる。

#### Ⅲ-1 沿岸地区野外実験との比較

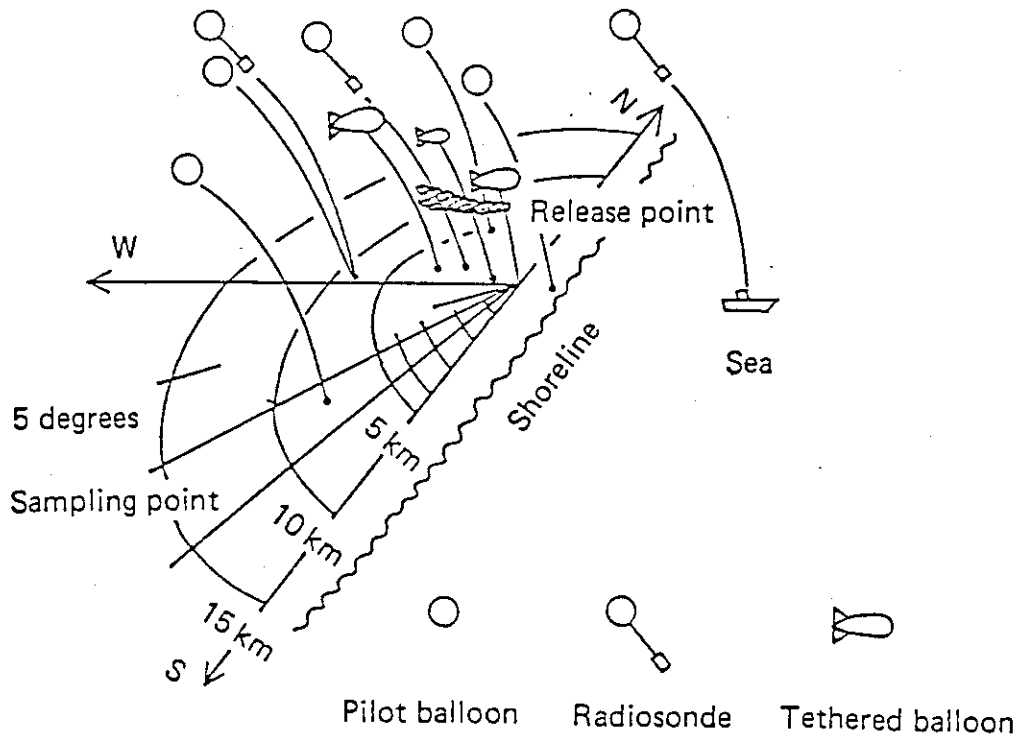
Fig. 4に55～58年までの実験配置の概要を示す。4年間の野外実験のうち前半2年間は沿岸地域特有の内部境界層存在時の鉛直拡散機構を調査するために、鉛直濃度分布の測定を主眼に行った。トレーサはSF<sub>6</sub>を用い、ヘリコプタで海岸沿い5～6kmを数回往復して高度150mから90分間放出した。サンプリングは、地上から50mごとにサンプラーを付けた係留気球4台と30個の地上サンプラーを風下方向に配置し、放出時間の後半30分間に行った。実験時の気象観測としては地上風向・風速分布、鉛直風向・風速分布、鉛直温度分布の測定等を行っている。実験は昭和55年に7ラン、56年に10ラン行われているが、ここでは内部境界層の存在したランについてのシミュレーション結果の例を示す。内部境界層のモデリングは、濃度計算モデルPRWDAにおいて乱れの状態の異なる層を鉛直方向に設定することにより行った。この層は地上から、地面により不安定になった層、安定な海風が不安定になりかかる遷移層、海風の安定な層に対応するものであり各層の乱れの大きさは、鉛直気温傾度より決定した。このモデルでは内部境界層の沿岸からの立ち上りを考慮せず、各層の高度は一定としている。Fig. 5に、各風下距離における鉛直濃度分布の比較を示す。破線が係留気球による実測値、実線が計算値である。またD.D.は放出ラインからの風下距離を示す。各ランとも上風の安定した層で拡散が抑制される様子や、地面近くの不安定層で拡散が促進される状態が、上記の内部境界層モデリングで表現できる。

後半2年間の野外実験はFig. 4(b)に示すように海岸線からの120m点源放出で行っておりサンプリングは2本の係留気球と1, 2, 3, 4, 5, 10及び15kmまでに5°間隔で半弧状に配置した地上サンプラーにより行った。目的は、前半2年間と同様に内部境界層存在時の拡散調査であるが、特にこの2年間は、水平拡散のデータ取得に主点をおいた。Fig. 6に、57年度実験における地上濃度分布の実験と計算の比較を示す。各図で実線は計算結果、破線は実験結果を示す。等値線の内側は3000 ppt ( $\times 10^{-12} \text{ m}^3/\text{m}^3$ ) 外側が300 pptの値を示している。各ランにおいて、気温の鉛直分布



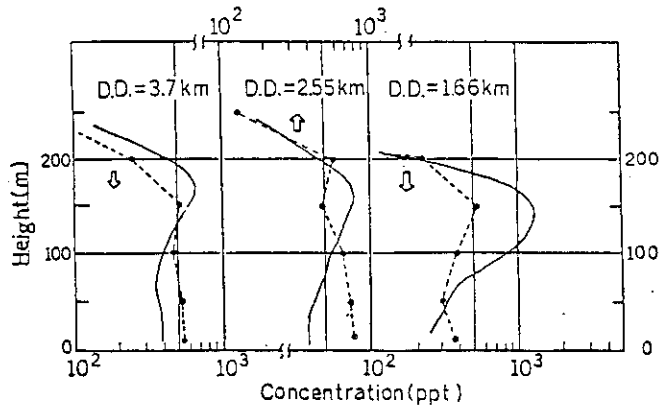


(a) Deployment in 1980 and 1981 experiments.

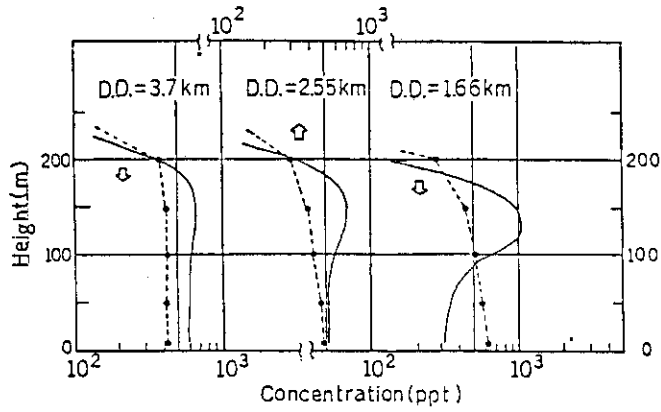


(b) Deployment in 1982 and 1983 experiments.

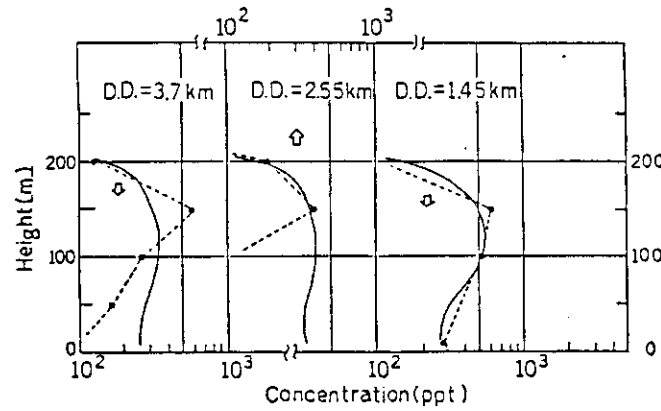
Fig. 4 Deployments of equipment in a series of experiments.



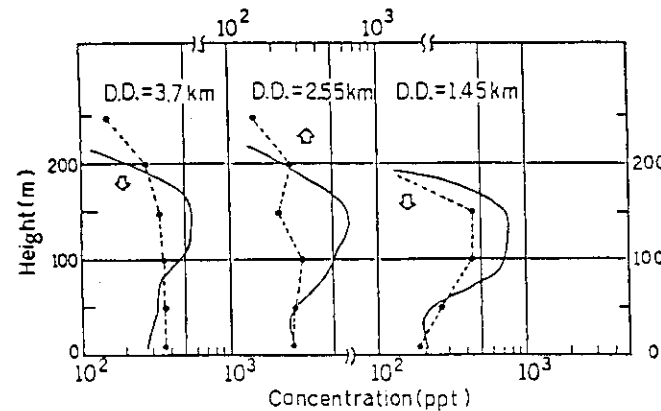
(a) Run 4 in 1980



(b) Run 5 in 1980



(c) Run 2 in 1981



(d) Run 4 in 1981

● Experiment  
— Calculation

Fig. 5 Comparison of vertical concentration distribution at the tethered point of balloons. D.D shows Downwind Distance.

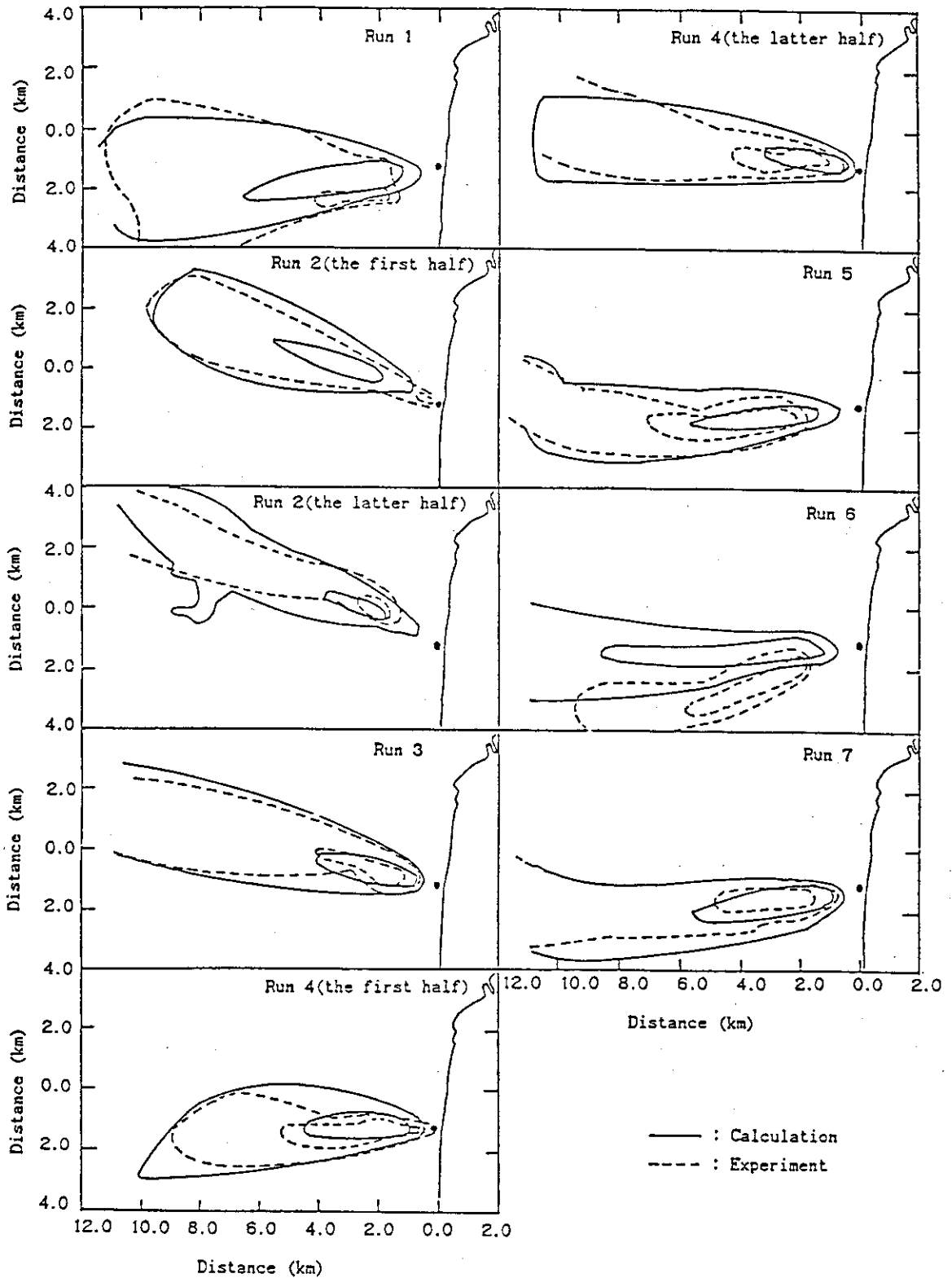


Fig. 6 Comparison of horizontal distribution at the ground level in 1982 experiment.

から推定される地上付近の大気の状態は、ほとんど不安定であり、この安定度を用いてガウスプルームモデルの計算を行えば、実測に比べかなり巾の広い分布の計算結果が得られるが、本モデルではプルームの放出点高度の安定状態での移流・拡散も考慮できるため実測に近い結果が得られる。

鉛直方向に拡散係数の異なる層を設定して拡散シミュレーションを行う。上記の3層モデルはもともと上層気温逆転層等のモデル化のため考案したものであるが、Fig. 5のように内部境界層に対しても有効であることがわかった。しかしながら現在、通常観測として原子力サイト又はサイト周辺で行われている気象観測では、内部境界層の構造や、最悪の場合にはその存在さえ判別が困難であり今後、観測面での充実が望まれる。

### Ⅲ-2 複雑地形野外実験との比較

6ヶ年計画の後半2年間は、筑波山周辺で複雑地形上野外実験を行った。59年度の実験配置をFig. 7に示す。トレーサ放出点は、常に山に向かって流れるように選択し、放出高度は200 mと7 mの2種を選択した。放出継続時間は200 m放出の場合30分、7 m放出の場合90分とした。サンプリングは、地上風下方向10 kmまでに、ほぼ均一に約30点、鉛直方向は1地点で300 mまで30 m間隔で行った。サンプリング時間は30分とした。気象観測は、鉛直データの取得を目的として山の回りにパイロットバルン6点、ラジオゾンデ2点、係留気球2点、リモートセンシング3点を配置した。

ここではラン6 (10/17:15:00~16:00) の計算結果を以下に示す。計算メッシュは250 m × 250 m × 50 mとした。観測風の入力データは筑波山を囲む7ヶ所の上層気象データの平均を入力とした。また乱れの指標としてはラジオゾンデによる鉛直気温分布を用いた。Fig. 8に地上濃度分布の比較結果を示す。図の実線が計算値、記号で示したものが実測値である。図に示すように計算値の方が若干、西にずれている傾向がある。この例は使用する入力データが実際のSPEEDI運用時のものと異なるため、実用時の能力を評価するようなシミュレーションを加え、入力データがおよぼす結果への影響等について評価をしていく予定である。

### Ⅲ-3 風洞実験との比較

風洞実験に対するシミュレーションは島根地区実験の結果を利用して行った。対象地区の地形をFig. 9に示す。実験の詳細は省くが、風向はN、風速の鉛直分布は中立のプロファイルになるように設定してある。また安定状態は風洞の性質状ほぼ中立である。模型は1/2000であり放出高度は、実スケールで100 mとした。地形は放出点の風下0.7 kmに標高150 m程度の山脈があり、それを越えると風下3 kmに標高300 mの孤立峰が存在する地形で複雑さとしては中程度である。Fig. 10に放出点風下0.7, 1.0, 1.5, 2.0及び2.5 kmにおけるプルームのy-z断面(風下方向をx軸とする)の濃度分布の実験と計算の比較を示す。図は、風下方向から放出点に向けて描いたものであり、300 mの山により風下に行くにつれてプルームの地上付近の部分がE方向にずれていく様子が計算でも表現されている。

以上に述べてきた一連の検証により現在まで以下の事項が明らかになった。

① 鉛直方向の乱れの分布を多層モデルで表現することにより、内部境界層や上層気温逆転層

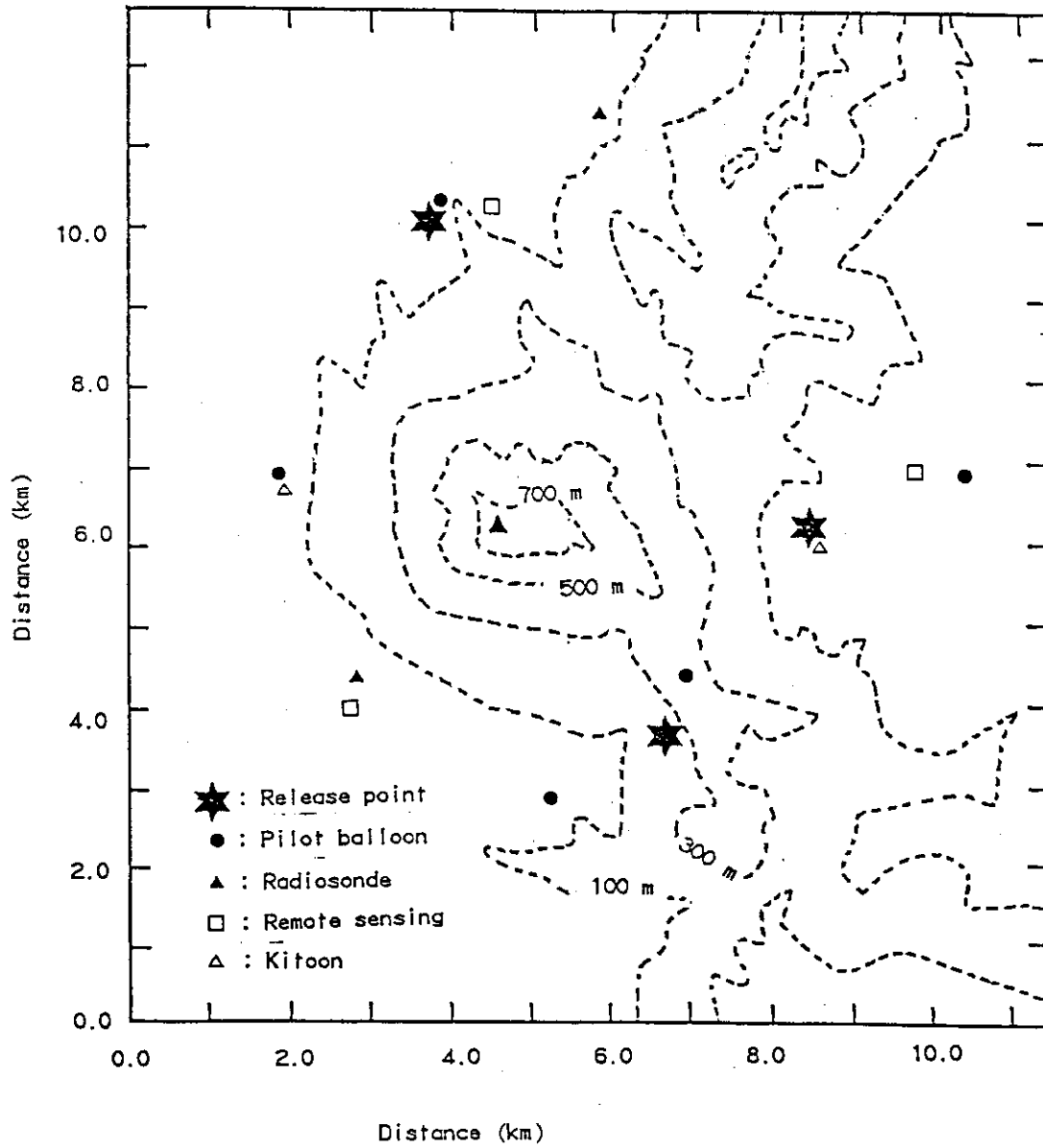


Fig. 7 Deployment of equipment in the case of the 1984 experiment at Mt. Tsukuba.

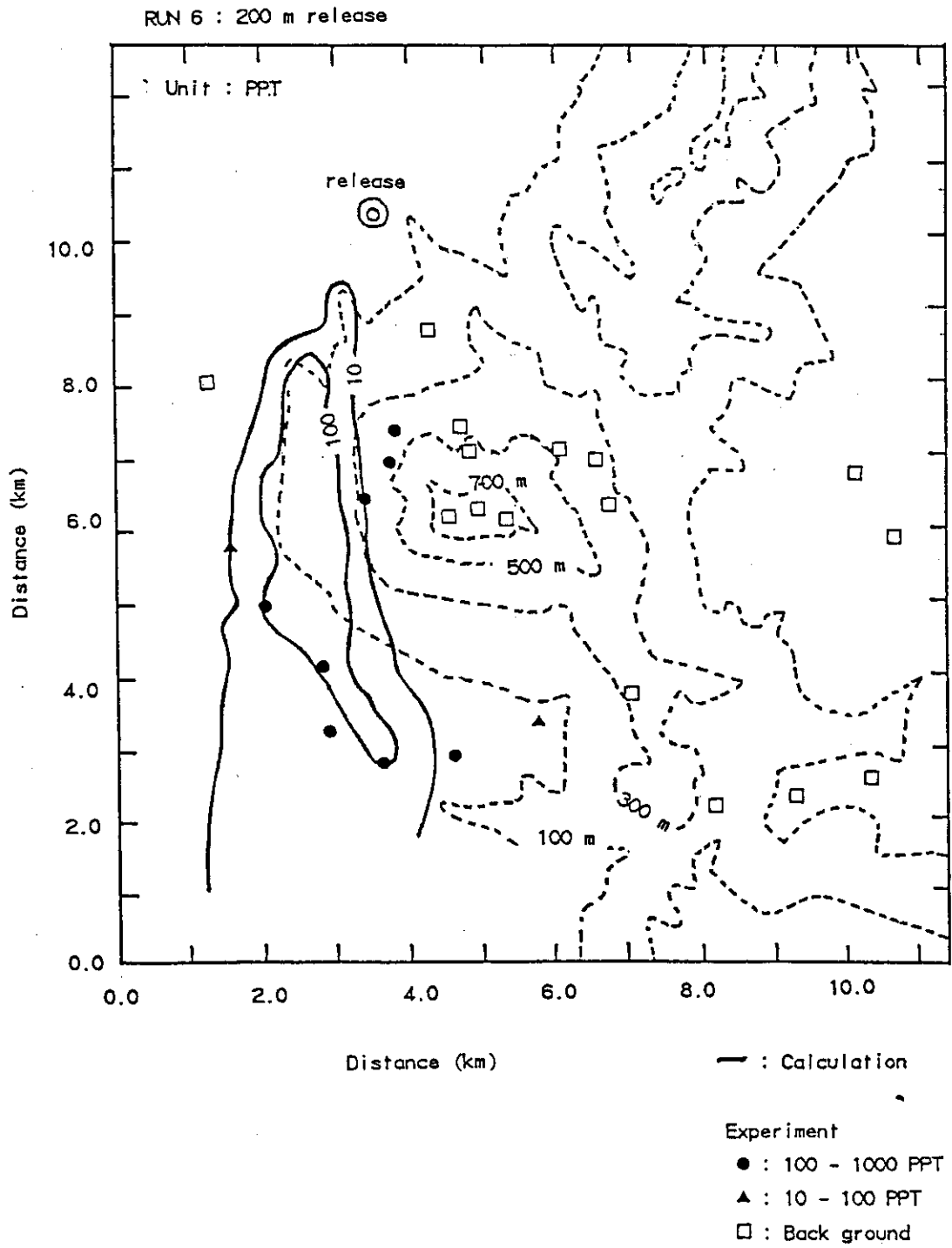


Fig. 8 Comparison of horizontal distribution at the ground level in 1984 experiment.

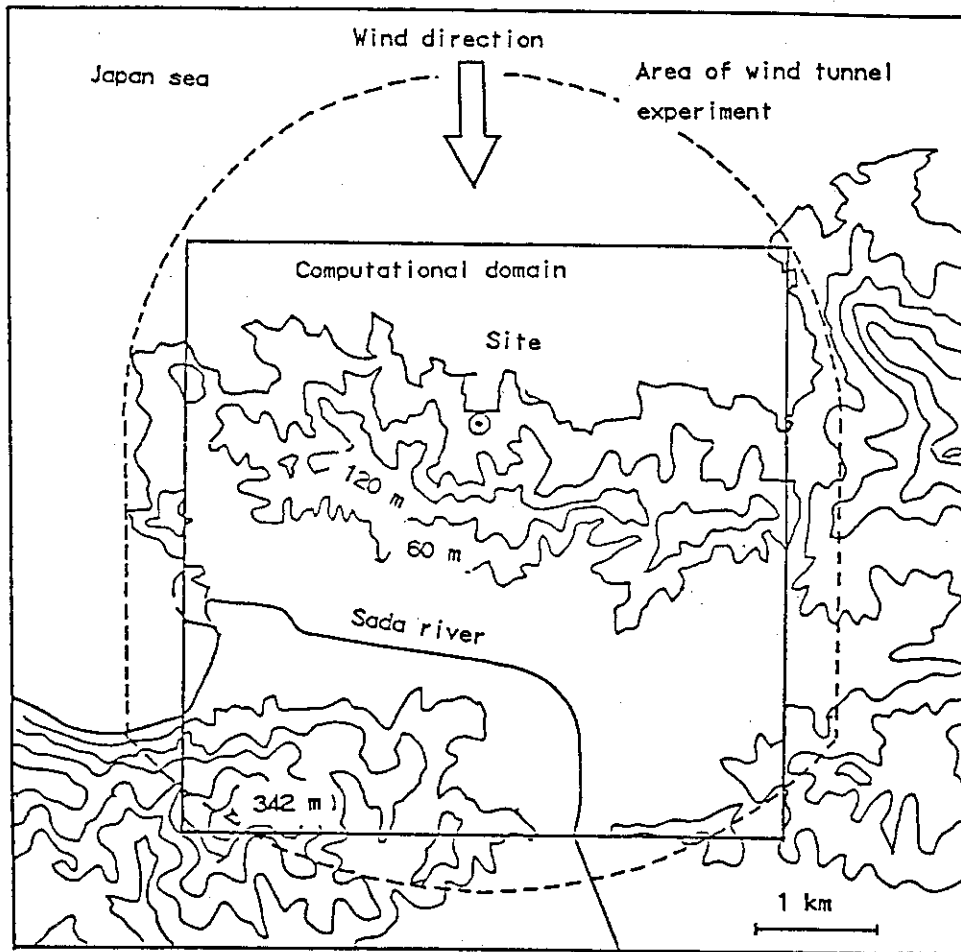


Fig. 9 The topography of Shimane district which is used for wind tunnel experiment.

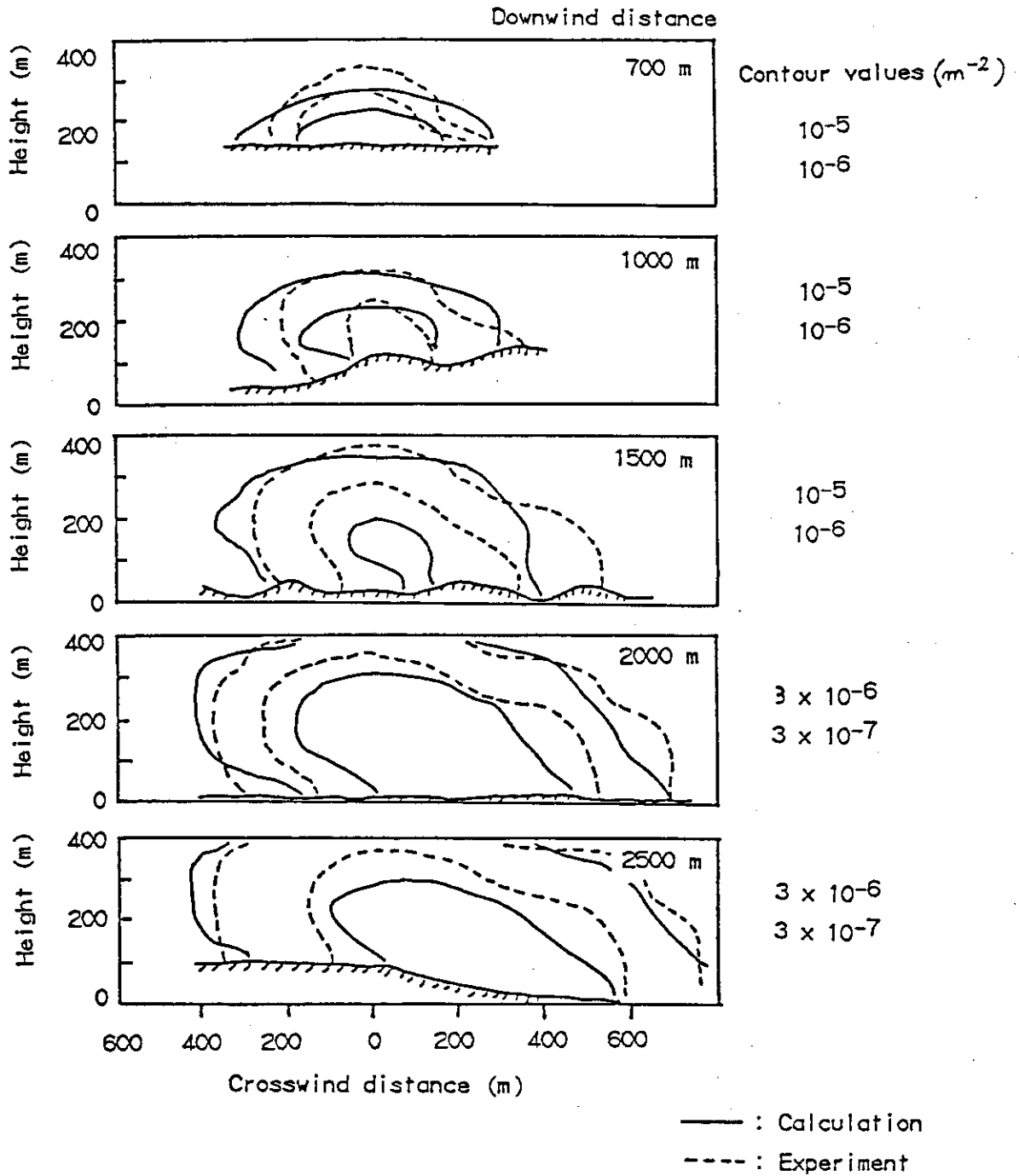


Fig. 10 Comparison of vertical cross-sectional concentration at the several downwind distance in wind tunnel experiment.



の考慮ができる。

- ㊦ 複雑地形に対し、平野や海等から一定風向の風が吹き込む場合、複雑地形上の拡散を精度よく予測できる。
- ㊧ しかしながら、静穏的や夜間下降流が形成されるような場合、入力データの状況によりかなり精度がおちる恐れがある。

最後の問題については、入力データが及ぼす計算への影響の検討にもとづくモデルの改良や、実測モニタリングにもとづく計算値の修正等の研究が必要となると考えている。

#### IV 被曝線量簡易予測モデルの開発

緊急時計画では、事故発生直後で、まだ放射性物質の放出量等の放出条件あるいは気象条件などに関する情報が十分入手できない初期段階で、精度は不十分ではあるが迅速に周辺公衆の被曝線量のある程度予測することが要請されると考えられる。この要請に応えるために、SPEEDIシステムのサブシステムとなる次の2つの被曝線量簡易計算方法を開発した。その詳細はすでに他の報告書<sup>1) 2)</sup>に記述されているので、ここではその特徴をまとめる。

##### IV-1 ガウス分布型直線プルームモデルによる簡易計算方法（計算コードGSDOSE）

原子炉から核分裂生成物が環境へ放出されるような事故では、事故の規模如何にかかわらず、まず放射性希ガス群及び放射性ヨウ素の放出と環境への影響が重要視される。また初期の段階では詳細な気象データは入手できないため、サイト内で観測される風向、風速、大気安定度のみを使って放出物質の大気拡散を予測する場合には、施設設置前の安全解析に通常用いられるガウス分布型直線プルームモデルを使うことが簡単な方法である。

以上の点を考慮して本開発を進め、計算コードGSDOSEを作成した。本コードの機能は、①希ガスγ線による外部全身線量、②ヨウ素群の吸入による甲状腺線量、③ヨウ素の地表汚染密度の計算である。①については、単位実効エネルギー、単位風速に対する全身線量をいろいろの平均エネルギー、放出高、大気安定度、被曝点についてあらかじめ求め、約12万個のデータとしてコード中に収納し、計算も迅速に行えるようにした。これらデータの内外挿精度が良好であることを事前に確認した<sup>2)</sup>。また、希ガスの放出量は通常核種別ではなく混合した全体量で報告される。このためGSDOSEでは混合全体量が使用できるようにした。放出情報が入手されない場合にはSPEEDI本システムから原子炉停止時の希ガス各核種放出率を与えられ放出量の予測を行う。②については、ヨウ素の拡散中の沈着及び降雨洗浄効果が扱えるようにした。また国の防災指針<sup>3)</sup>に対応できるよう成人のみならず小児、乳児の甲状腺線量を計算する。③については緊急時サーベイや食物摂取制限の第1次判断の基礎情報を提供すべく計算される。沈着開始後任意時刻におけるヨウ素5核種の地表汚染密度分布が計算される。

##### IV-2 パフモデルによる簡易計算方法（計算コードLSPUFF）

パフモデルによる簡易計算方法の開発は、特にサイト周辺10~20kmの狭域に対して、各種の対策の判断あるいは、モニタリングに対する助言に有効となるよう、できるだけ迅速に、しかも放射性物質の移流・拡散から線量計算までを一貫してできることを目的に行われた。その際に、

気象条件の時々刻々の変化あるいは空間的な変動を、少ない気象情報からできるだけ考慮できるようにし、また、放射性プルームの通過にともなうガンマ線による外部被曝の計算を正確、迅速に行うことを特徴として、以下の3段階で開発が行われた。<sup>1)</sup>

- a) 2次元風速場の計算
- b) パフモデルによる濃度計算
- c) パフに基づくガンマ線による外部被曝計算

放出物質の移流を予測するには、対象地域の風の流れを正確に把握しなければならない。下層大気の流れは、熱や地形あるいは摩擦の影響を受けるが、ここでは地形の影響のみを考慮に入れ地表面付近の AMeDAS データからの情報を用いて、風速場の2次元的な発散を少なくする方法を用いた。

パフモデルは、連続的な物質の放出を一連の離散的に放出されたパフで近似するため、事故時のような時々刻々の気象条件を考慮しなければならない場合、プルームモデルより優れている。ただ、得られる気象情報の時間間隔に対応して、十分な数のパフを発生させないと計算精度上の問題が生ずる。このモデルでは、計算時間、計算容量が莫大とならず、しかもある精度以上の結果が得られるように、パフ発生時の時間間隔の決定に工夫を行った。

ガンマ線による外部被曝は、原子炉事故において非常に重要な被曝経路の一つである。この算定には、プルーム形状全体にわたる空間的な積分が必要であり、従来のガウスプルームモデルに基づく方法においても多大の計算時間を要していた。このモデルでは、単一等方のパフからの寄与を合計する方法<sup>1)</sup>を用いて計算時間の短縮を行った。さらに、実際の非等方なパフの拡がりを考慮するため、等方パフの拡がりを表わす拡散パラメータ $\sigma$ として、水平方向の $\sigma_h$ と垂直方向の $\sigma_z$ の幾何平均 $(\sigma_h \sigma_z)^{1/2}$ を用いた。この方法を、定常プルームが形成されている場合に、プルーム軸上の線量率としてプルームモデルに基づく結果と比較したものが Fig. 11 である。大気が安定で非等方さの等合が増す遠距離程結果に開きがあるが、10 km 程度まで十分よい一致を示している。

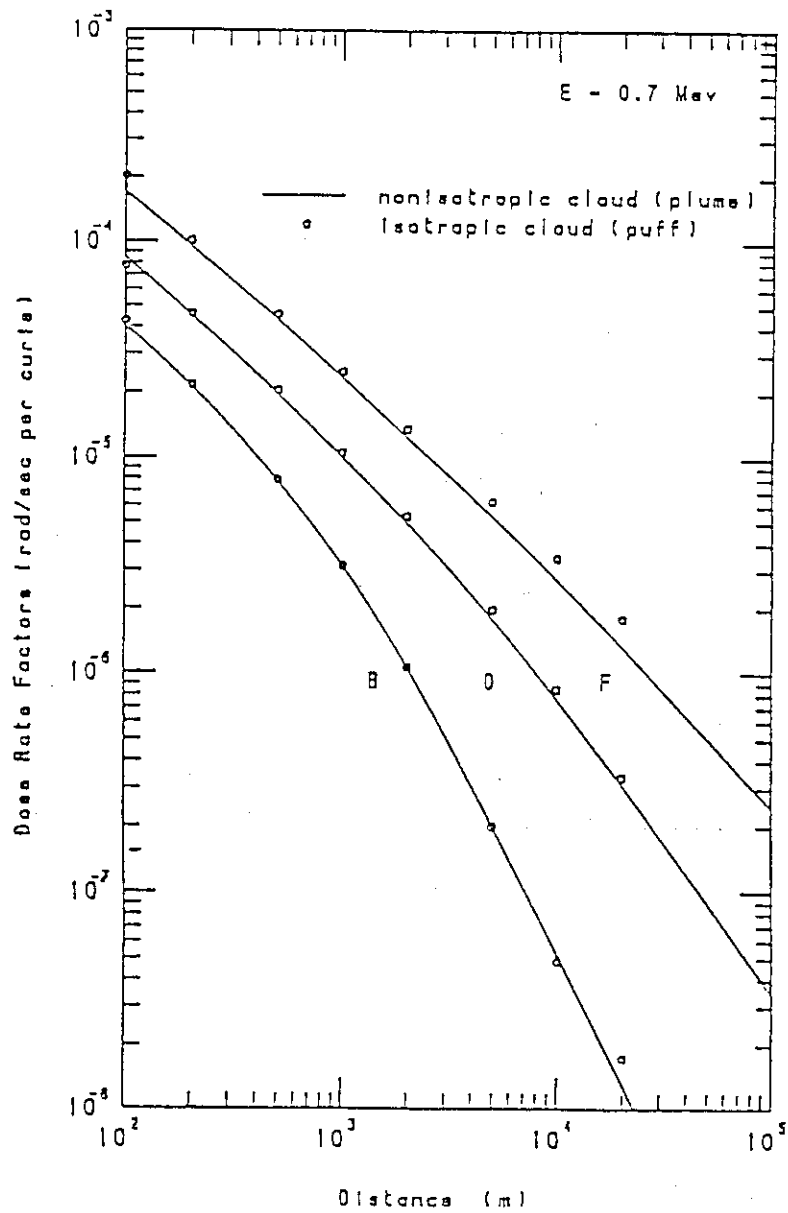


Fig. 11 Comparison of downwind cloud- $\gamma$  doses obtained by LSPUFF model with those by the Gaussian plume model.

参考文献

- (1) IMAI, K. et al : JAERI-1297 (1985)
- (2) 日高昭秀, 飯嶋敏哲 : 保健物理20, p. 33-42 (1985)
- (3) 原子力安全委員会 : 原子力発電所等周辺の防災対策について (昭和55年6月)

### 4.3 統計的及び力学的気象拡散予測モデルの開発

気象研究所

吉川友章, 小出 孝, 栗田 進

原子力施設の万一の事故による放射性物質の放出に際して、現場で迅速に状況把握を行うための統計的気象予測モデルと、中央の大型電算機で精密計算を行うための力学的気象モデルを開発した。

#### I. 統計的気象予測モデル

現場用の迅速計算のため、統計的予測と変分法による地形効果の表現を組合わせたモデルを設定した。プログラムは、すでに気象研究所に導入したミニコン級の専用電算機を主体とする端末処理演算装置に組み込まれ、随時使用できる状態になっている。この装置によると、データ入力から計算結果のディスプレイ、プリントアウトに至るまで、一連の作業が同時併行で処理され、中央の大型電算機の端末機として情報交換も可能となる。(Fig.1 参照)

統計的気象予測モデルは、使用条件として、気象庁・地方自治体・原子力施設等の現有測定網にわずかな補足点を増設すれば、それらのデータをインプットとして直ちに実用できること、現況解析や通報の時間を補う程度(3時間以内)の予測機能を持つこと、別途用意される差分法の拡散モデルのほか、既存のプルームモデル、パフモデル、原子力研究所の開発する拡散モデル、放射線被曝評価モデル等と接続できることを配慮し、現況把握を10分以内、3時間予測を20分程度で処理できるよう設定されている。モデルの基本理論と機能を概説すると次のようになる。

**基本処理** 限られた地点の風速成分( $u, v$ )を月別平均値( $\bar{u}, \bar{v}$ )で割った値と、地域内測定点の平均風の差を $X(i, t)$ とし、その共分散行列

$$R(i, j) = \sum_t X(i, t) \cdot X(j, t) \quad (1)$$

を地域平均風の方向別(8~16方位)に計算しておく。 $R(i, j)$ の固有関数を $P(i, k)$ とすると、

$$X(i, t) = \sum_k A(k, t) \cdot P(i, k) \quad (2)$$

$$A(k, t) = \sum_i X(i, t) \cdot P(i, k) \quad (3)$$

となる。 $i$ は風速成分番号、 $k$ は主成分番号。これにより毎時の $X(i, t)$ は時間に対して不変の $P(i, k)$ によって、別の変数 $A(k, t)$ に変換される。主成分は寄与率に応じて、適当な数で打切つてよく、東海村地域の例では、 $k=6\sim 8$ で90%以上をカバーできた。

**メッシュ値の推算** 3次元の各メッシュの推定値 $Y(j, k)$ は、 $A(k, t)$ と主成分別の固有関数 $Q(j, k)$ を用いて、

$$Y(j, t) = \sum_k A(k, t) \cdot Q(j, k) \quad (4)$$

で与えられる。 $Q(j, k)$ は観測値から求めた特定点の固有関数 $P(i, k)$ から、エイトケン・ラグランジュ法などにより、内挿配分で与える。

**短時間予測** 広域の気象庁測定点の3時間ごとのデータを主成分解析し、 $A(k, t)$ と同等の指数  $B(1, t)$  を求めると、 $A(k, t)$  の推定値  $\tilde{A}(k, t)$  は

$$\tilde{A}(k, t) = \sum_1 S(1, k) \cdot B(1, t) \quad (5)$$

となる。1時間ごとの内挿推定値を改めて

$$\tilde{A}(k, t) + C(k, t) \rightarrow \tilde{\tilde{A}}(k, t) \quad (6)$$

とし、毎時えられる修正値  $C(k, t)$  を指数平滑法でフィードバックし、外挿をくりかえすことで、数時間先までの値を予測する。その際、主成分の寄与に応じて、 $k$  を適宜打切ることにより、計算を速くすることができる。東海村のテストでは、 $k=6$ 、指数平滑の補正係数 0.7 程度のとき、予測成績がよかった。

Table 1 はこの手法で予測した 1979 年 4-9 月の東海村地区の 1-6 時間後の風の  $u, v$  成分、第 1 主成分と実況値の相関を示す。(第 2-第 6 主成分は省略) これによると、季節による差はあるが、3時間先までが相関 0.8 を上まわることが多く、実用に耐えると考えられる。

**地形効果の表現** 予測された実測点の風ベクトルから全メッシュの値を推定するには、各測点の固有関数を内挿配分する方法もあり、平坦地では十分使えるが、丘陵地では地形による迂回、上昇効果が表現されにくい。そこで統計モデルによるメッシュ値を、 $Z^*$  系を用いた連続方程式の初期値として与え、許容誤差の解となるまで修正をくりかえす手法(変分法)を付加する。基本式とその解法は、 $Z^*$  系座標を用いたこと以外は、原子力研究所の現況解析モデルと同じため、記述を省略するが、計算の精度向上と計算時間の短縮のため、スタガー格子の採用、鉛直方向のインプリシット解法、水平方向の 2 次元配列を 1 次元表示にして対応した電算機のアレイプロセッサの有効利用、米国標準大気を仮定した空気密度の高度分布の算入等、独自の工夫がなされた。

**差分法による拡散計算**  $Z^*$  系座標であっても、全メッシュの気流が与えられれば、煙軸を流跡に合わせて屈曲させたプルームモデル、既存のパフモデル等によっても放射性物質の拡散が計算できるが、精度の向上、今後の粒子状物質の挙動モデルの連結等を考慮して、差分法による拡散方程式の数値解法モデルを開発した。

$Z^*$  系座標による拡散方程式は

$$\begin{aligned} & \frac{\partial C}{\partial t} + \frac{1}{h \rho_0} \frac{\partial (h \rho_0 C u)}{\partial x} + \frac{1}{h \rho_0} \frac{\partial (h \rho_0 C v)}{\partial y} + \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial (h \rho_0 C w^*)}{\partial z^*} \\ & = \frac{1}{h \rho_0} \frac{\partial}{\partial x} \left( h \rho_0 K_H \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{1}{h \rho_0} \frac{\partial}{\partial y} \left( h \rho_0 K_H \frac{\partial C}{\partial y} \right) \\ & \quad + \frac{z_T^2}{h^2 \rho_0} \frac{\partial}{\partial z^*} \left( \rho_0 K_v \frac{\partial C}{\partial z^*} \right) + Q(x, y, z^*, t) \end{aligned} \quad (7)$$

$h$  : メッシュの厚さ (m)

$z_T$  : 計算空間の上限高度 (m)

- $K_H$  : 水平拡散係数 ( $m^2/sec$ )
- $K_v$  : 鉛直拡散係数 ( $m^2/sec$ )
- $\rho_0$  : 空気密度 ( $kg/m^3$ )
- $Q$  : 放射性ガス放出強度 ( $Nm^3/sec$ )

で、差分スキームは水平移流項、鉛直移流項、水平拡散項、鉛直拡散項のそれぞれについて別々の手法を使い、精度の向上と計算の安定につとめた。

**即時予測計算の例** Fig. 2 は 1985 年 11 月 6 日、筑波山地域で行った拡散実験に際し、15時の一般風と安定条件をインプットして計算した気流場と、ガス状物体の相対濃度分布を示す。トレーサーが筑波山の南々西、風上側 600 m 上空に点状に放出されたと仮定し、時々刻々の分布を計算したが、ここでは放出後 25 分後に汚染塊が山頂付近にさしかかったときの状態を選出した。端末処理演算装置では、地形等高線が赤、気流ベクトルが水色、汚染物質の等濃度線がレベルに応じて、色別の等濃度線としてディスプレイされる。またこれらの図は、カラーのドットプリンターでハードコピーされる。

さらに表示は、各層の平面図のほか、必要により任意の向きの鉛直断面も描かれる。Fig. 3 は山頂を通る南北方向の鉛直断面で、4 層の気流ベクトルを示す。山地でベクトルの表示位置が上っているのは、 $Z^*$  系の座標で計算された結果を通常の座標系で表示したためである。

## II. 力学的気象予測モデル

行政中枢の管理する電算センターで、超大型電算機を用いて計算する放射性物質の精密な気流・拡散場の予測モデルとして、非静力学、非弾性条件のもとで、 $Z^*$  系座標の運動方程式、連続方程式、熱エネルギー方程式等を差分法で解く手法を開発した。

**気流場の計算** 起伏のある地表での境界条件を容易にするため、鉛直座標に

$$z^* = H \frac{z - z_s(x, y)}{H - z_s(x, y)}$$

$z_s$  : 地表の海拔高度,  $H$  : 計算空間の上面高度

を用いると、方程式系は

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t} (\rho u) + \frac{\partial}{\partial x} (\rho u u) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho u v) + \frac{\partial}{\partial z^*} (\rho u w^*) \\ & = - \frac{\partial}{\partial x} (G^{\frac{1}{2}} P') - \frac{\partial}{\partial z^*} (G^{\frac{1}{2}} G^{13} P') + DFX \end{aligned} \quad (8a)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t} (\rho v) + \frac{\partial}{\partial x} (\rho v u) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho v v) + \frac{\partial}{\partial z^*} (\rho v w^*) \\ & = - \frac{\partial}{\partial y} (G^{\frac{1}{2}} P') - \frac{\partial}{\partial z^*} (G^{\frac{1}{2}} G^{23} P') + DFY \end{aligned} \quad (8b)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t} (\rho w) + \frac{\partial}{\partial x} (\rho w u) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho w v) + \frac{\partial}{\partial z^*} (\rho w w^*) \\ & = - \frac{\partial P'}{\partial z^*} + g \left( P \frac{\theta'}{\theta} - G^{\frac{1}{2}} \frac{P'}{G_s^2} \right) + DFZ \end{aligned} \quad (8c)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} (\rho u) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho v) + \frac{\partial}{\partial z^*} (\rho w^*) = 0 \quad (8d)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \theta') + \frac{\partial}{\partial x} (\rho \theta' u) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho \theta' v) + \frac{\partial}{\partial z^*} (\rho \theta' w^*) = DFT \quad (8e)$$

と表わされる。さらに気圧偏差  $P'$  については、

$$\rho w^* = \frac{1}{G^{\frac{1}{2}}} (\rho w + G^{\frac{1}{2}} G^{13} \rho u + G^{\frac{1}{2}} G^{23} \rho v) \quad (9)$$

を連続方程式 (8d) に代入して、時間  $t$  で微分した式と、運動方程式の各成分式 (8a~c) をそれぞれ  $x$ ,  $y$ ,  $z$  で微分した式を組み合わせると、 $P'$  に関する楕円型方程式がえられるためこれを緩和法で解くことによって求める。ここで、 $G^{\frac{1}{2}}$ ,  $G^{13}$ ,  $G^{23}$  は

$$G^{\frac{1}{2}} = \frac{H - z_s}{H}, \quad G^{13} = \frac{\partial z_s}{\partial x} \cdot \frac{z^* - H}{H - z_s}, \quad G^{23} = \frac{\partial z_s}{\partial y} \cdot \frac{z^* - H}{H - z_s}$$

と定義される。DFX, DFY, DFZ は運動エネルギーの X, Y, Z 方向への拡散項, DFT は熱エネルギーの拡散項を意味する。

各式の差分表示のうち、空間差分は荒川のスキームによって表わされ、従属変数の  $P$  はメッシュの中心、 $u$ ,  $v$  は側面、 $w$ ,  $w^*$ ,  $\theta'$  は上下の面に配置される。時間差分には主に松野スキームを用い、拡散項の時間差分のみ前進差分とした。

このモデルは地形による迂回、上昇効果のほか、浮力による局地对流効果も含むため、海陸風、山谷風とともに、裸地や小湖沼等で大気が局部的に熱せられたり、冷やされたりするときの局地对流も表現される。Fig. 4 は地面が 1 メッシュのみ熱せられた場合の試算結果を示す。太陽からの熱と夜の放射冷却を考慮した熱収支は、土地利用形態などの条件を入れて、別途計算モデルを開発しているため、さしあたり地表面空気に

$$\theta'_G = \theta_0^* \exp \{ -2.3 [(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2] / r^2 \} \quad (10)$$

$\theta_0^*$  : 気温変動幅 (°K)

$r$  : 地表面の熱せられる範囲 (m)

の熱源を仮定した。図は加熱開始後 25 分の状態で、熱源の上に強い上昇気流が生じ、下部に渦状の流れが発生している。また上昇流を補償する水平収束は最下層で特に強い。

Fig. 5 は実地の半島地形を例に、一般風を無風とし、地表面に sin 関数の気温変動を仮定したときの海陸風、山谷風の複合効果による気流を示す。当初、地表面気温は海陸上で等しいとし、地表面気温のみ変動させると、海風と谷風が発生し始める。図では海岸線付近よりも山稜で風が

強いことから、山谷風の効果が強く作用していると考えられる。

**拡散計算** 大気中に放出された放射性物質の移流・拡散は、統計的気象モデルの項でのべられた  $Z^*$  系の拡散方程式の差分法モデルをそのまま使う。ただし統計的気象モデルでは、予測時間が3時間以内で短いことや、気温場の計算がなされないこともあって、安定条件は計算開始時の風と気温の実測高度分布、ドップラーソーダ等による拡散パラメータの実測等から、全空間一様として与え、時間的にも変わらないとしているが、力学的気象モデルでは、熱エネルギーの拡散を同時に計算し、風速と温位のメッシュ値が時々刻々と予測されるため、拡散係数もクロージャーモデル等により、時間・空間的に変わるとして与える必要がある。しかしあまり複雑に与えると、計算時間が一層長くなることや、現時点では水平拡散係数（特に風向方向の係数）を表現するよいモデルがないため、さしあたり鉛直拡散係数のみを気温と風の関数として与え、水平拡散係数は鉄塔やドップラーソーダで実測された鉛直と水平の拡散パラメータのデータから、安定条件に応じた統計的関係を導いて使うしかない。

**実地計算の例** Fig. 6 a-b は筑波山地域で計算した中立条件と安定条件の気流を示す。地形については、国土地理院の数値情報から、筑波山を中心とする30km四方の地域を選び、1kmメッシュの海拔高度をとり出して、電算機で等高線を描かせたが、この他に鳥観図等の立体的表示のプログラムも用意されている。一般流は地衡風として西5m/sとなる気圧傾度で与え、安定条件は中立で  $\partial\theta/\partial z = 0^\circ\text{K}/\text{km}$ 、安定で  $\partial\theta/\partial z = 4^\circ\text{K}/\text{km}$  とした。図は計算時間150分後の  $z^* = 100\text{m}$  の層の気流分布を示す。中立条件では、山の稜線部分で少し風が強まり、峰を避ける迂回がおこっている。風下山麓では淀みが見られる。一方、安定条件では、稜線の強風と迂回が一層顕著となり、筑波山稜の北端では東方山塊との鞍部をぬけて、南東へ蛇行する流れが目される。また稜線の東側では、斜面をふき下る風が強い。

Fig. 7 a-b はモデル孤立峰上の気流分布と、孤立峰の風上平坦地に想定した連続放出源から拡散するガス濃度を計算した例を示す。気流は計算開始後90分、ガスは放出開始後30分の状態ではほぼ定常状態に達している。放出点は左から3番目の最下層メッシュ  $\Delta x = \Delta y = 500\text{m}$ 、 $\Delta z = 100\text{m}$  の中心点とし、放出量は  $1\text{Nm}^3/\text{sec}$  とした。これによると、中立条件では10ppm以上の部分が孤立峰の風上斜面を上昇し、山頂の裏側あたりまで到達しているのに対し、安定条件では10ppmプルームの末端が中腹で止まっている。またこの計算では、移流の効果を明確にするため、拡散係数を水平方向に  $100\text{m}^2/\text{sec}$ 、鉛直方向に  $25\text{m}^2/\text{sec}$  と固定しているが、現実には拡散係数は安定条件で小さい値となって、ガス濃度分布の差異は一層顕著となる。

1984年10月に筑波山地域で行われた拡散実験に際しての実測の気象データをインプットとして、ガス状物質の拡散を計算し、実験結果と比較検証した。このとき、筑波山の西麓と北麓で、低層ゾンデにより測定された気温プロファイルでは、両地点とも1200m位の厚さの混合層内が一様な乾燥気温減率、その上で中立となっていた。計算もこれに合わせて、地表-1200mで  $\partial T/\partial z = -0.010^\circ\text{C}/\text{m}$ 、1200m以上で  $\partial T/\partial z = 0.000^\circ\text{C}/\text{m}$  の2層状態を与えた。一般流として、平坦地上の実測風SE 6m/sに相当する気圧傾度を設定した。

Fig. 8 a はこうして計算された  $z^* = 100\text{m}$  の気流ベクトルを示す。山稜をはさんで風上と風下で風が弱く、稜線上では収束による強風が認められる。筑波山の南麓では南東風が東になったのち、西麓で北に向う迂回がめだつ。



Fig. 8 b は、SF<sub>6</sub>をトレーサーとする実験を再現するため、この気流場で実験と同じ位置に連続発生源を与えてZ系拡散方程式の差分法で計算したガス状物質の相対濃度を示す。発生源強度として、この時点ではSF<sub>6</sub>の実際の放出量が与えられなかったため、発生源メッシュに  $1 \times 4 \times 4 \times 4 \text{ Nm}^3/\text{sec}$  の放出を仮定した。図は放出後20分後の最下層の濃度分布をとり出したもので、実験の地上測定（原子力研究所拡散実験、1984年Run 8）に対応させることができる。実験では上空200mで、ヘリコプターより放出されたため、計算でも2層目のメッシュを放出源とし、中立条件に合わせて、 $K_x = K_y = 50 \text{ m}^2/\text{sec}$ 、 $K_z = 25 \text{ m}^2/\text{sec}$  の拡散係数を与えた。

計算結果によると、ガスは筑波山北東の湯袋峠の鞍部をぬけて、北西の平坦地へ拡がり始めている。東方の山稜の東斜面では拡散が速く、西斜面では濃度が低くなって、山麓の等濃度線がくびれている。ガスが東斜面に接してはい上がり、西側では主軸が上空を通ったためと思われる。これらの傾向は拡散実験の結果でも認められる。

このほか、SF<sub>6</sub>ガスの拡散実験だけでなく、レーダ反射物体による拡散実験、風洞実験等の多くの事例を再現計算し、力学的気象モデルの性能を確認したほか、実際の原子力サイトについても、代表的な地形のサイトをいくつか選び、気流場の検証計算を行っている。

これらの結果からみて、統計的気象モデル、力学的気象モデルとも、実用段階に到達したといえる。特に統計的気象モデルは、端末処理演算装置を導入して、実用システムとしての機能も持たせ、一般電話回線を経由して各測定点の最新データを自動収録する方式も準備中で、現場でいつでも使える状態を保持しながら、補足的な改良を行うこととしている。例えば、統計的気象モデルでは安定条件に応じて、水平気流と鉛直気流の配分比が変わるとして、それらの指数  $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$  を用いているが、いまのところ全空間一様に変わるとしている。地表面の熱条件が一様な筑波地域では、これで十分使えるが、海上と陸上、大都市の内外等では、場所によって指数の変動を変える必要がある。今後、 $\alpha_1$  と  $\alpha_2$  を場所、安定条件、時間等の関数として表現し、モデルに組み込むこととしている。

一方、力学的気象モデルでは、地表面の熱収支をsin関数で近似しているが、さらに太陽の高度角、地面傾斜、土地利用状態（地被状態、土壌含水率）等をパラメータとして、顕熱、潜熱、上下フラックス等を考慮した地表の熱収支、地表の地面と接地気層の熱交流等をモデル化して組み込むことが残されている。また、拡散係数のクロージャーマデル等による表現、インプットデータの処理法等も不完全であるが、これらは中央電算機の性能、通信回線の質と情報量にも関係するため、このあと2年間の研究が続けられることになっている。

さらに難しい問題として、現時点では放射性物質を乾いたガス状物質としているが、事故の内容によっては、粒子状物質や水蒸気の放出もあり、自然の水蒸気、霧、雨等との複合効果も考えなくてはならない。こうした問題は限られた期間のプロジェクトでは解明とモデル化は困難であり、今後、環境保全や気象改変等に関連して研究されることが望まれる。そして将来、モデル計算が可能になった段階で、補完プログラムとして付加したい。

Table 1 Correlation between predicted wind components and observed data using the present monitoring data in Tokai district. (1: u component, 2: v component. 3: the first principal component, 4 and the follows : omitted.)

予測期間		1 h	2 h	3 h	4 h	5 h	6 h
(79年) 4月	1	0.937	0.864	0.779	0.707	0.633	0.577
	2	0.937	0.867	0.800	0.742	0.692	0.651
	3	0.901	0.820	0.750	0.689	0.634	0.597
	⋮						
5月	1	0.947	0.859	0.767	0.689	0.609	0.540
	2	0.930	0.824	0.691	0.559	0.438	0.318
	3	0.850	0.751	0.638	0.571	0.521	0.481
	⋮						
6月	1	0.939	0.875	0.809	0.747	0.690	0.644
	2	0.960	0.913	0.864	0.817	0.770	0.732
	3	0.871	0.828	0.792	0.756	0.695	0.672
	⋮						
7月	1	0.916	0.831	0.739	0.657	0.583	0.517
	2	0.955	0.906	0.845	0.784	0.722	0.666
	3	0.876	0.817	0.729	0.644	0.574	0.523
	⋮						
8月	1	0.950	0.887	0.805	0.722	0.641	0.564
	2	0.964	0.924	0.880	0.832	0.788	0.749
	3	0.905	0.862	0.793	0.713	0.645	0.580
	⋮						
9月	1	0.909	0.823	0.722	0.621	0.518	0.405
	2	0.968	0.917	0.874	0.828	0.784	0.739
	3	0.861	0.782	0.695	0.635	0.555	0.485
	⋮						

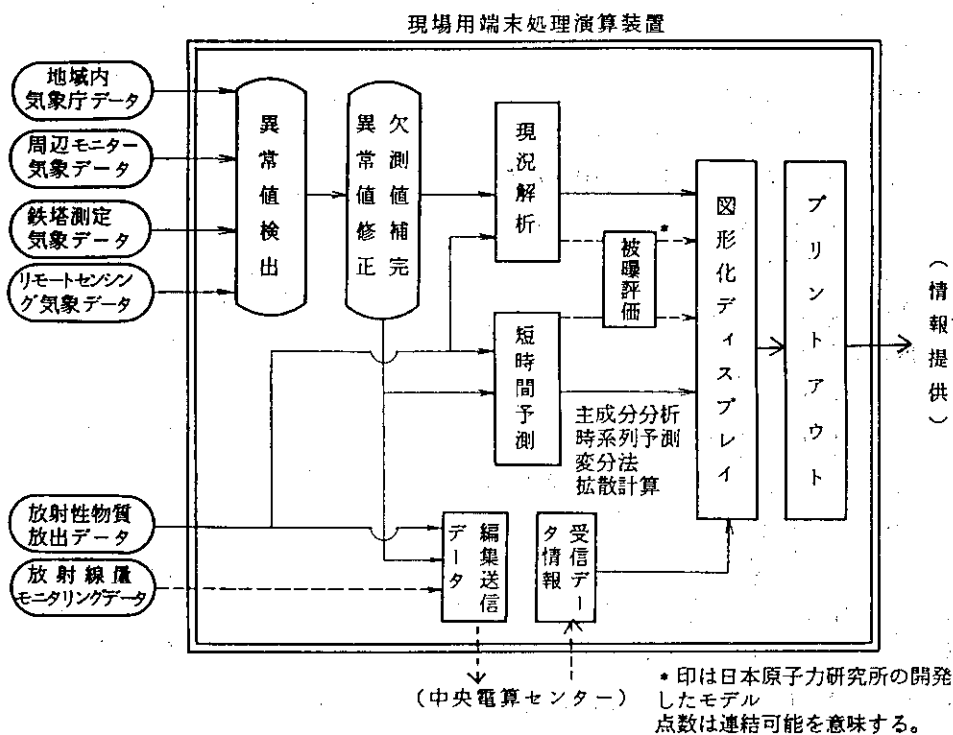
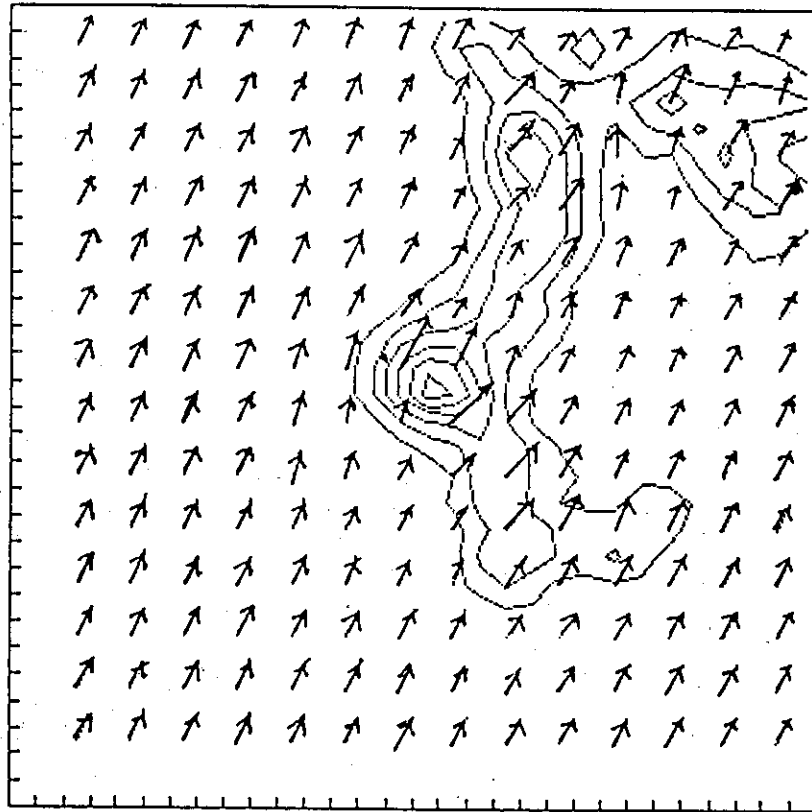


Fig. 1 Emergency computation system with a terminal mini-computer adopted in Meteorological Research Institute, and flows of data and informations.

1-SOU → 2m/s



LAYER # 1

20-STEP

25.00-MIN.

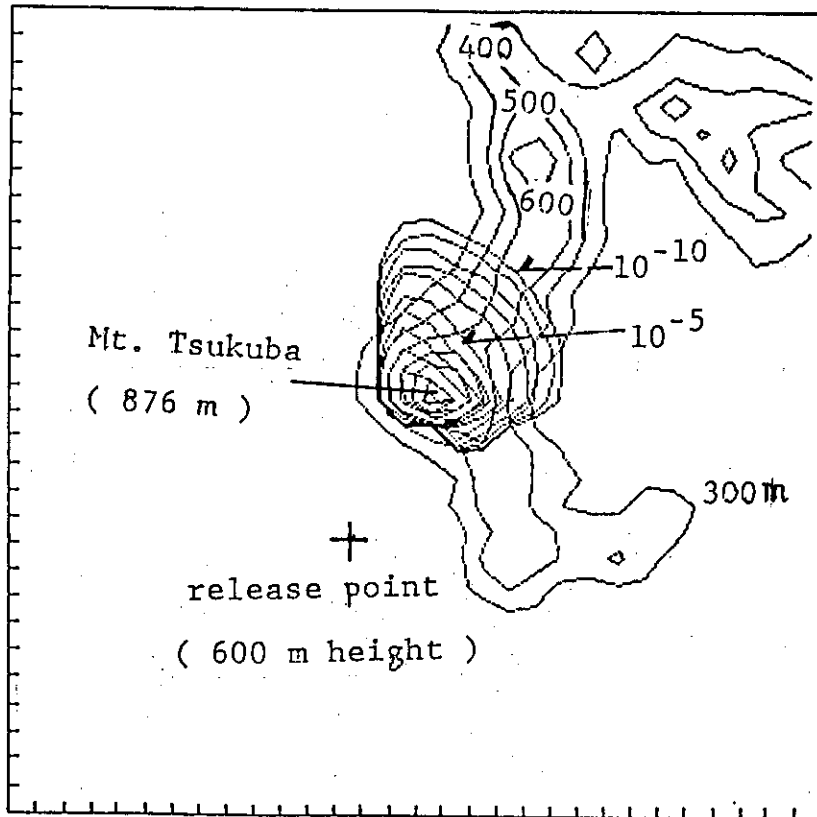


Fig. 2 Wind field and diffusion in Tsukuba district predicted with the statistic meteorological model.

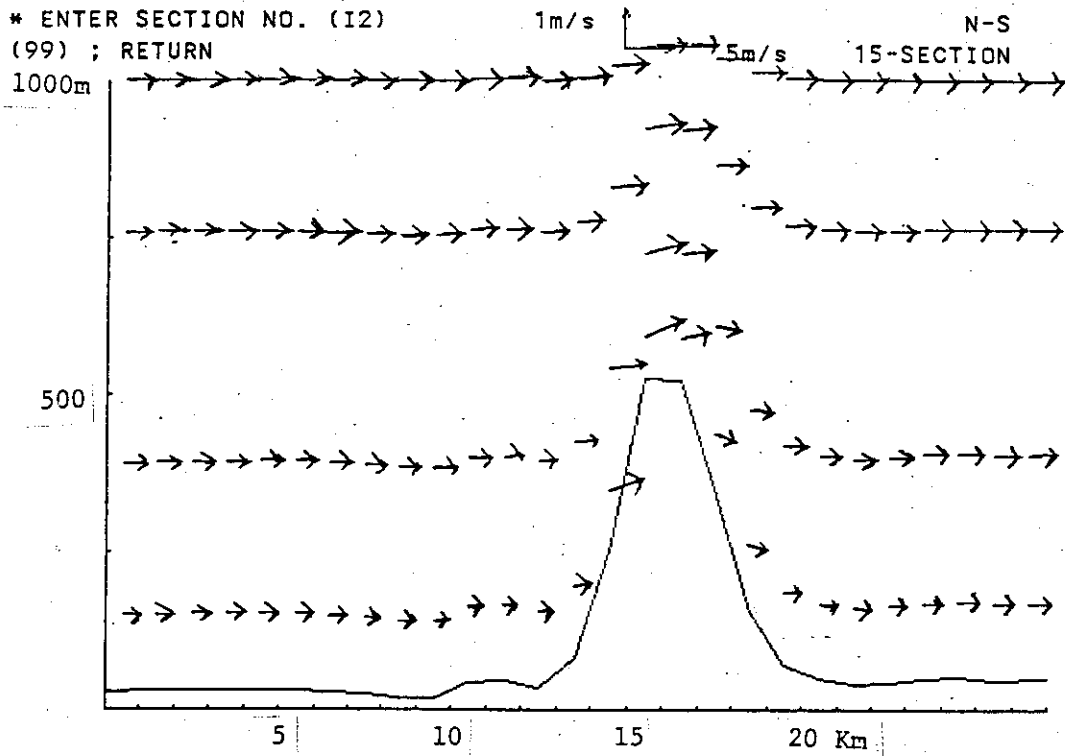


Fig. 3 Vertical cross section of the wind field in Fig.2 in the north-south direction across Mt. Tsukuba.

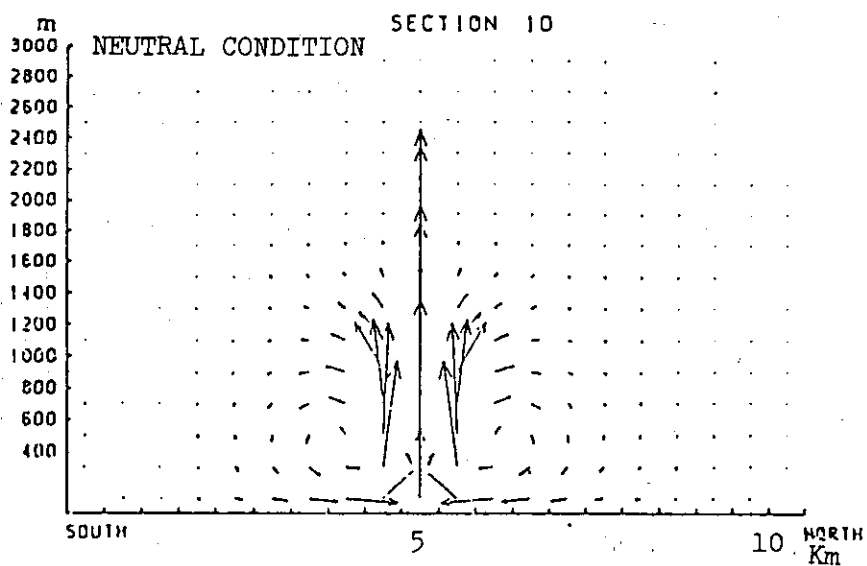


Fig. 4 Local advection by continuous heating on a mesh computed with the dynamic meteorological model (situation at 25 min.)

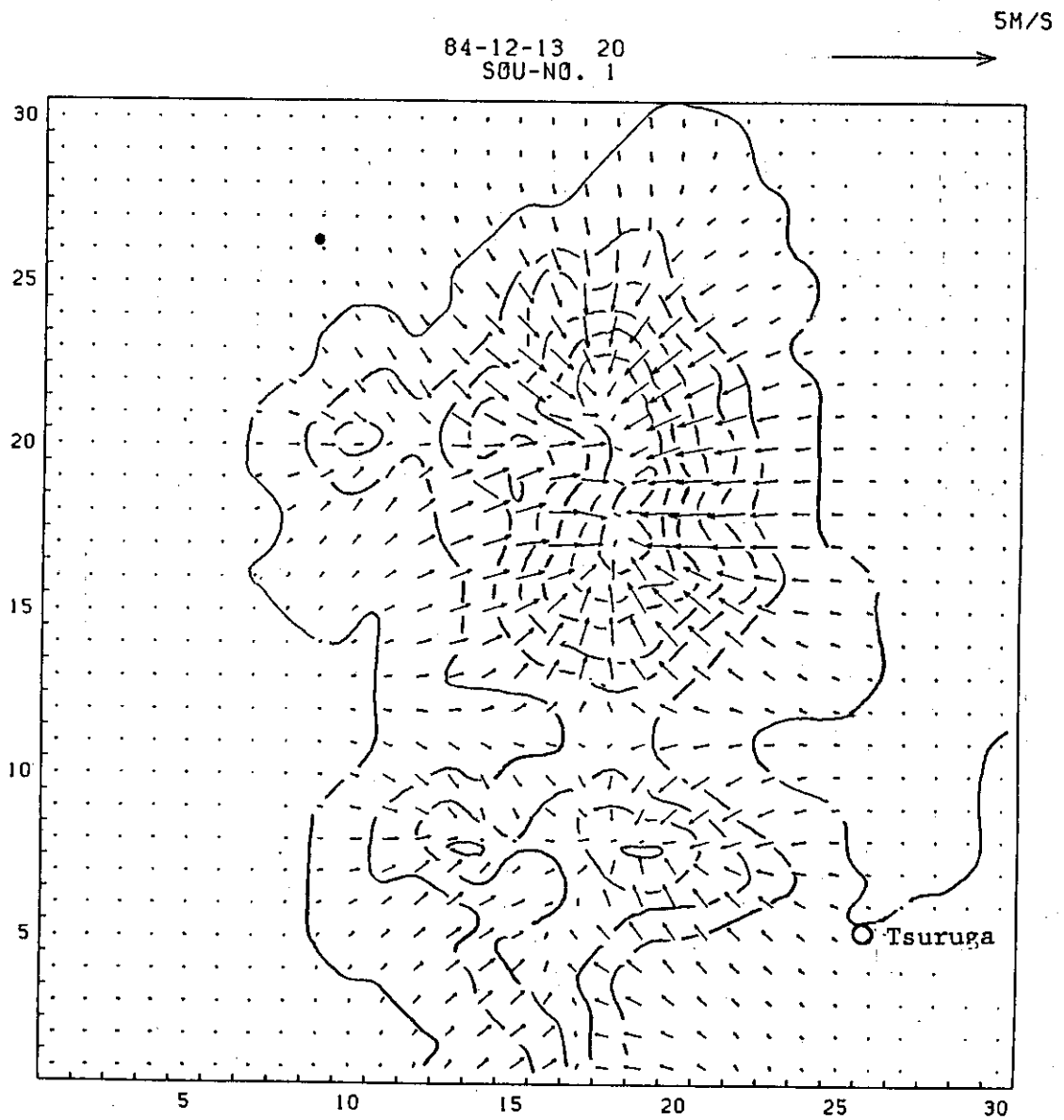


Fig. 5 Thermal advection over Tsuruga peninsula computed with the dynamic meteorological model (synoptic scale wind is calm, contours mean the height from sealevel in 100m interval.)

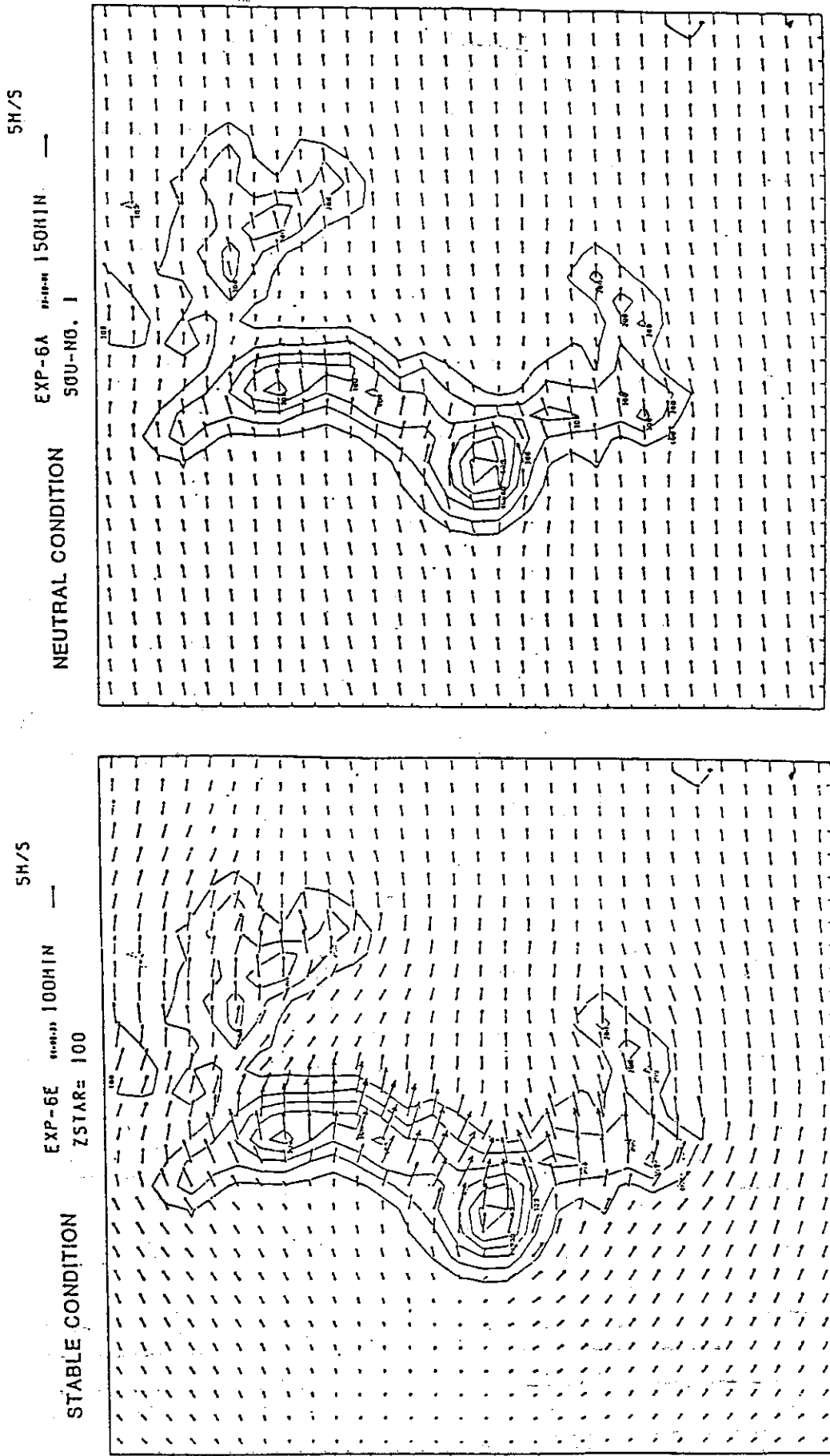


Fig. 6-a Wind field in Tsukuba district computed with the dynamic meteorological model (synoptic scale wind is 5m/s, stability is neutral.)

Fig. 6-b The same as Fig 6-a except in a stable condition.

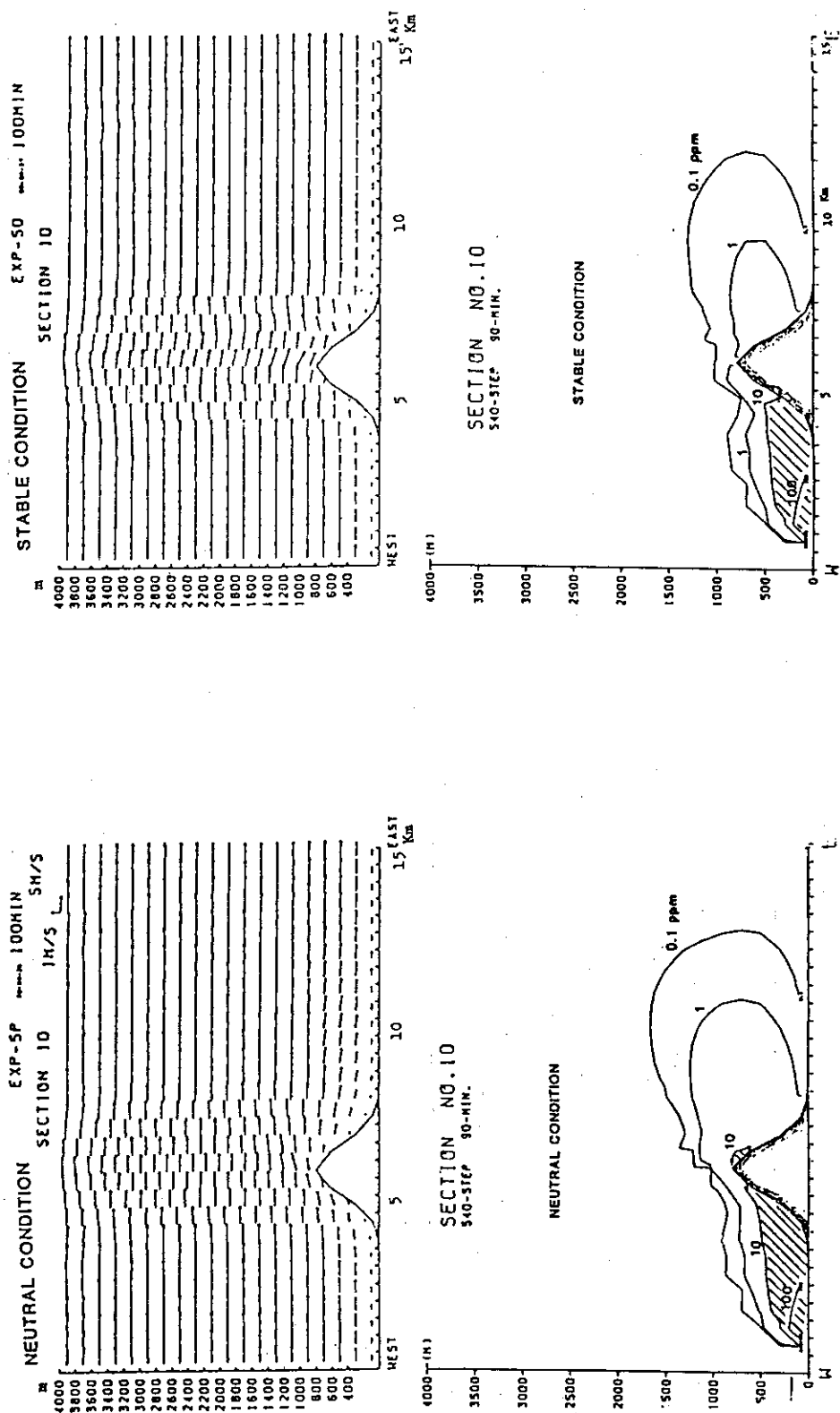


Fig. 7-a Wind cross section over an isolated peak and gas diffusion, computed with the dynamic meteorological model (neutral condition.)

Fig. 7-b The same as Fig 7-a except in a stable condition.

85-02-16 30  
 50U-NO. 1

5M/S

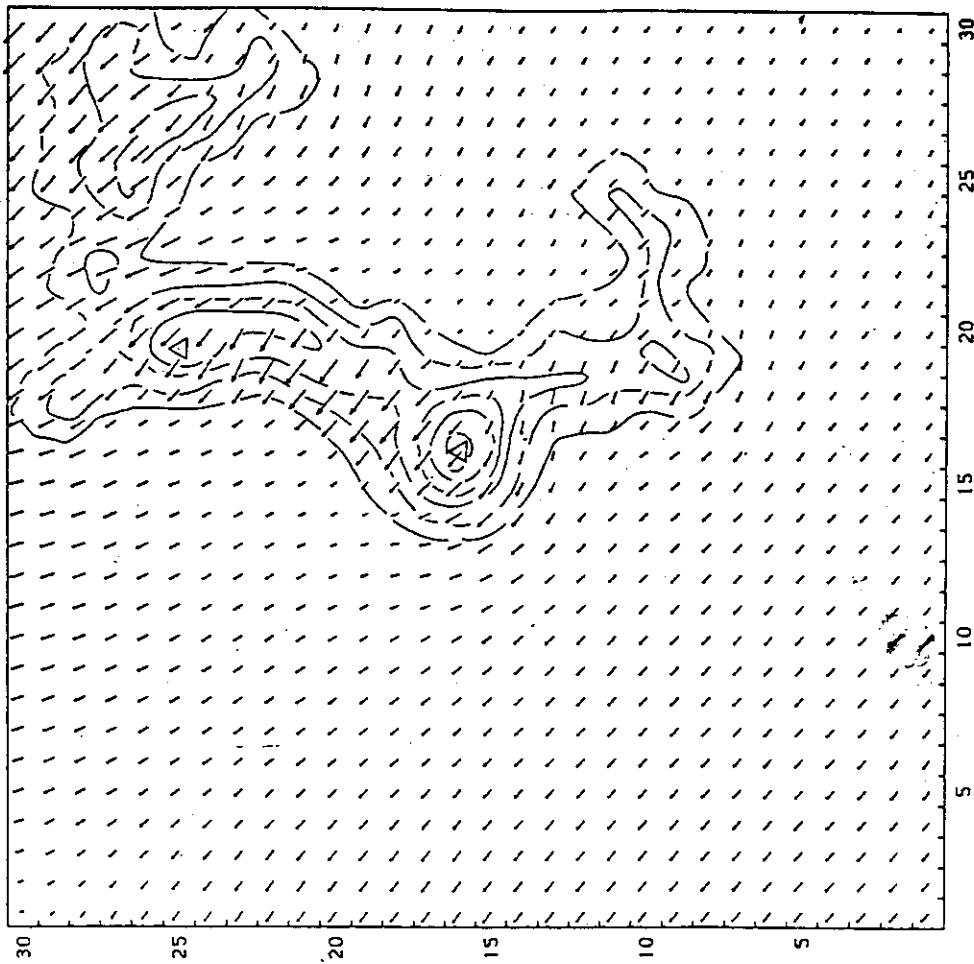


Fig. 8-a Wind field in Tsukuba district computed with the dynamic model (synoptic scale wind is SE 6 m/s, stability is input with the observed temperature profile i.e. weak unstable.)

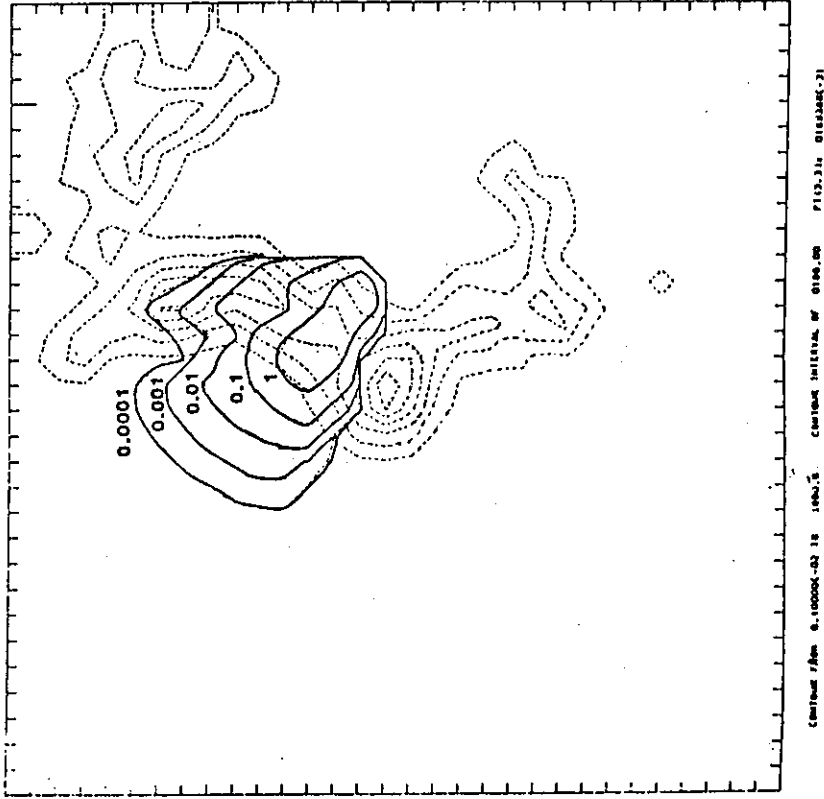


Fig. 8-b Gas diffusion from a continuous source in the wind field of Fig. 8-a. ( situation at 20 min. after the release.)



## 〔付〕研究成果の最近の発表

発表項目	発表者	発表年月	発表機関	掲載刊行物
Diffusion and Motion of Air Pollutants Observed by Chaff and Two Doppler Radars around a Mountain	S. Kurita T. Satomura T. Yoshikawa K. Matsuura Z. Yanagisawa M. Ishiwara	60年5月	The Korean Federation of Science and Technology Science	Proceedings of International Conference on Atmospheric Sciences and Applications to Air Quality
2台のドップラーレーダによる筑波山周辺のチャフの観測	栗田 進 里村 雄彦 吉川 友章	59年10月	日本気象学会	59年秋季大会予稿集
大気中に放出された放射性物質拡散の即時予測システム開発に関する研究	吉川 友章 小出 孝 木村 富士男 里村 雄彦 白崎 航一 戸矢 時義 栗田 進	59年11月	気象研究所	59年度研究発表会予稿集 P. 25-38
2台のドップラーレーダによる筑波山周辺のチャフの観測Ⅱ	栗田 進 里村 雄彦 吉川 友章	60年5月	日本気象学会	60年春季大会予稿集
Real Time Predicting System of Wind Field and Diffusion against Accidental release of Nuclear Materials	T. Yoshikawa T. Koide S. Kurita	61年2月	日米大気汚染気象委員会	第9回日米大気汚染気象委員会論文集

#### 4.4 緊急時対策用自然ならびに社会環境データベースの作成

原研

飯嶋敏哲, 本間俊充, 日高昭秀, 坂本幸夫

緊急時防災対策を効果的に立案・実施するためには、当該サイト周辺環境の自然的及び社会的特性に関するデータと関連情報を日頃から整備することが有効であることは明らかである。原子力安全委員会原子力発電所等周辺防災対策専門部会が先に、「原子力発電所等周辺の防災対策について」（昭和55年6月）の中で挙げた防災対策資料のうち、特に自然社会環境に関するデータとしては、Table 1にまとめたものが緊急時対策用データベースの対象となり得る。

本研究計画の中では、Table 1のうち(4)、(7)を除く項目を対象に、以下の3分類に従い東海サイトを事例としてデータの調査及び収集を行った。

- |                      |              |
|----------------------|--------------|
| a) サイト周辺地域の気象データ     | (3)          |
| b) 国土数値情報            | (1)          |
| c) 人口、飲料水源、農耕条件等のデータ | (2)(5)(6)(8) |

このうち、特にc)については、データの収集を計ると共に、データベースの構成と機能の検討、及びデータの更新等に関連する今後の課題を整理することに努めた。

##### I. サイト周辺地域の気象データ

放射性物質の周辺環境への大量放出があった場合、周辺住民の被曝を防止するための対策を行う上で、放出プルームの移動、拡散の迅速な予測が非常に重要となる。その予測を行うにあたり必要な情報となる気象データに関して、東海サイトを事例として選び次の調査を行った。

- a) 気象観測網の現状
- b) 観測データの送信方法
- c) 気象データの収集及びデータベース構成の検討

本調査では以下のことが明らかになった。

##### (a) 気象観測網の現状

- ・全国的に展開されている観測網で最も密なものは、気象庁のアメダスであり、約21km間隔で観測点が設けられ、風向・風速、気温、降水量、日照の4要素が測定されている。
- ・県単位の観測網では、地方自治体による大気汚染のモニタリング用のものがある。観測点の密度にはかなりの精粗があり、発生源の周辺で密である。測定項目はまちまちであるが、風向・風速は必ず観測されている。
- ・原研・東海を中心とする50km以内では、Fig. 1のようにアメダス8点、自治体17点、計25地点のテレメータ観測所がある。(Table 2参照) その分布は、海岸部で密、内陸部で粗である。
- ・アメダスと自治体の風速計の感度は、アメダスが鈍く、自治体のは鋭くできている。微風時の拡散などではその違いに注意する必要があるが、保守状態の違いなどによる影響に比べて大きな影響は無いと思われる。

##### (b) 観測データの送信方法

- ・気象庁関係のアデス、アメダスのデータは気象協会を通じて送信することが直ちに可能である。

・自治体のデータをオンラインで入手するためには、コードや取扱いの条件を先方に合わせるほか、先方のシステムの改造が必要な場合もあるであろう。

(c) 気象データの収集及びデータバンク構成の検討

(a) の調査と同時に、Table 2 の観測所における気象データを昭和50年4月から昭和54年3月までの5ヶ年分について収集した。それらのデータは、SPEEDI システムの中で、データプールという形で収納され、SPEEDI システムの風速場・拡散モデルの開発時に、デモンストレーション用のデータとして有効に用いられた。したがって、緊急時対策用データバンクの中から、その対象として気象データは除かれた。

## Ⅱ. 国土数値情報

国土庁、国土地理院では昭和50年度以降、国土情報整備事業として、国土に関する基礎的な情報の整備を進めている。そのうちの国土数値情報は、地形、土地利用等、地図に表現されている内容を緯経線によって区画された地域メッシュ毎に一定の形式で数値化され、磁気テープに保有されている。

これらのデータは、Table 1 の項目では、(1)、(4)に一部利用可能であり、国土庁から、地形、湖沼、海岸線、行政界、道路・鉄道に関するデータを借用し、SPEEDI システムの風速場計算の標高データとして、また、濃度、線量分布の作図の下絵用のデータとして、システム内で地域データプールとして使用した。

## Ⅲ 人口、飲料水源、農耕条件等のデータ

早期に実施の必要性がある緊急時対策は、屋内退避、避難、安定ヨウ素剤の支給などであるが、いずれの場合も集団を移動させることである。しかも恐らく行政区画単位の人口について、対策の立案、実施が必要となろう。また中期に実施が考えられる対策としては、汚染区域の立入制限、飲食物摂取制限などがある。この場合には環境サーベイが実施され、そのデータ、情報を基に対策が立案されることになる。このため有効な環境サーベイ計画の立案に必要な情報を整備しておくことが重要であろう。

以上の必要性に応え得るようなデータバンクを作成する場合に考えるべき事項を検討、整理するために、東海サイトを事例として、人口、飲料水源、農耕条件等に関して次のデータ及び関連情報を収集し、データバンクの試作を進めた。

(a) データ及び関連情報の収集

i) 人口分布に関するデータ及び関連情報

サイトの近傍と遠方では緊急時対策の内容は異なり、したがって収集すべきデータ及び関連情報の質的差異があると考えて、データ等を、東海サイトから100 km範囲内と、10 km範囲内に分けてそれぞれ収集した。

100 km範囲内では、247 市町村について次の市町村単位データを収集した。

イ) 居住人口

ロ) 昼夜間別人口

ハ) 幼児、就学児童それぞれの人口

ニ) 学校数, 社会福祉施設数, 病院ベッド数

ホ) 市町村の位置 (経緯度)

10km 範囲内では, 6 市町村について, 次の最小行政区画単位データ及び地図類を収集した。

イ) 居住人口 (男女別)

ロ) 昼夜間別人口 (男女別)

ハ) 幼稚園, 小・中・高等学校, 大学, 各種学校, 社会福祉施設, 病院の位置, 在籍人数, 収容人数

ニ) 学校, 病院等の規模, 構造, 建材, 換気量

ホ) 行政区画, 学校, 病院等の位置, 通学区域等を示す地図

ii) 飲料水源, 農耕分布等に関するデータ及び関連情報

飲料水源等のデータも, 人口分布等のデータと同様に, 東海サイトから 100 km 範囲内と 10km 範囲内に分けてそれぞれ次の項目について収集した。

イ) 取水源, 飲料水供給施設の所在位置

ロ) 給水施設の構造, 給水工程

ハ) 給水経路, 給水量, 給水範囲, 給水人口

ニ) 自家給水所帯数と分布

ホ) 下水の処理面積, 処理人口, 排除方式, 放流先

ヘ) 農作物の種類, 栽培時期

ト) 耕作面積, 生産量

チ) 農作物の流通経路, 収穫から消費までの日数

リ) 上水道関係図 (給水経路, 給水区域)

ヌ) 下水道関係図 (排水経路, 処理区域)

ル) 土地利用図

オ) 市町村農業集落図

(b) データバンクの試作

上記のデータ及び関連情報を 2 年間で収集したので, まずこれらのデータをマスターファイルに収納する作業を行った。すべてのデータが行政区画単位で収集されているので, これら行政区画に県, 市町村, 部落の順でコード番号を与え, すべてのデータをコード番号で検索できるようにした。また出力データが読み易いように, 県市町村丁等の名称, 学校等公共施設の名称, 所在地などを日本語で入力した。さらに公共施設の電話番号もマスターファイルに収納した。

前記のように, 数値データのみならず多くの情報が地図上に示されている。これら地図情報は地図から読み取る方が便利なので, 必要な地図番号が検索できるようにし, さらに行政区画や公共施設の位置を見出し易いように, それらに地図座標番号を付すようにした。

以上のように収納されたデータ及び関連情報を編集, 出力させるために, 次の機能を持つデータバンクを試作した。

イ) 必要なデータを県, 市町村, 町字, 丁, 番地の順で検索し出力する,

ロ) ある地区に関するすべての関連情報を検索し出力する。

(c) 今後の課題

データの収集，データバンクの試作を進めた結果，今後さらに以下の課題を検討する必要があると考えられる。

i) データの収集に関する課題

イ) 行政区画の変更

人口密集地域では問題ないが，発展地域ではしばしば行政区画の変更が行われるので注意してデータ更新を行う必要がある。

ロ) 人口関係データ

データバンクの利用目的からすれば，常に最新のデータを備えることが望ましい。このためには国勢調査より市町村の住民台帳を使用する必要がある。ただし集計月は市町村により異なるので注意が必要である。

ハ) 学校，社会福祉施設関係データ

学校教育法に基づく学校の在籍数は「学校基本調査」で明らかにされるが，その他の学校については変化が大きいので直接ヒアリングが必要である。

社会福祉施設の在籍数は「社会福祉施設調査」で明らかになるが，データは調査から2年後にまとまるので注意が必要である。ただし，施設はほぼ定員を満しているので，定員数から判断することは可能である。

ニ) 病院関係データ

病床数は精神科，伝染，結核，らい以外の科目については一括されているため，例えば妊産婦人口の把握などにはヒアリング等の工夫が必要である。

病院建造物の構造は「施設票」により明らかになるが調査には厚生省の許可が必要である。

ホ) 飲料水関係データ

データの変化は現在給水人口と計画人口との差が大きい地域で大きいと予想される。したがって各事業体の水道台帳に記載されている新規計画に注意し県に確認する必要がある。

ヘ) 農耕分布関係データ

農耕分布の詳細は農林業センサスの農業集落カードから知ることができるが，出荷状況，栽培時期などは各市町村の農業改良普及所等へ問合せることが望ましい。

ii) データバンクの作成に関する課題

本研究計画の範囲では，マスターファイルに収納されたデータを行政区画単位で編集，出力させることのみを視点を置きデータバンクの試作を行った。本来データバンクの機能は対策の具体的計画に大きく依存する筈である。この意味から，今後対策計画の具体化が進むに従いデータバンクの機能を改良，拡張する必要がある。

Table 1 Data sets recommended by the Nuclear Safety Commission to be prepared for emergency planning

項 目	備 考
(1) 種々の縮尺の周辺の地図	
(2) 周辺地域の人口、世帯数等に関する資料	◦ 原子力発電所からの方位、距離別、季節的な人口変動
(3) 周辺地域の気象資料	◦ 施設及び周辺測点における風向、風速及び大気安定度の季節別及び日変化のデータ
(4) 周辺の道路、鉄道、ヘリポート及び空港等輸送交通手段に関する資料	◦ 道路の幅員、路面状況及び交通状況、時刻表、滑走路の長さ
(5) 避難場所及び屋内退避に適するコンクリート建物に関する資料	◦ 位置、収容能力
(6) 周辺地域の特殊施設（保育所、学校、診療所、病院、刑務所等）に関する資料	◦ 原子力発電所等からの方位、距離
(7) 緊急医療施設に関する資料	◦ 位置、対応能力、収容能力
(8) 飲食物に関する資料	◦ 飲料水、農畜水産物に関するデータ

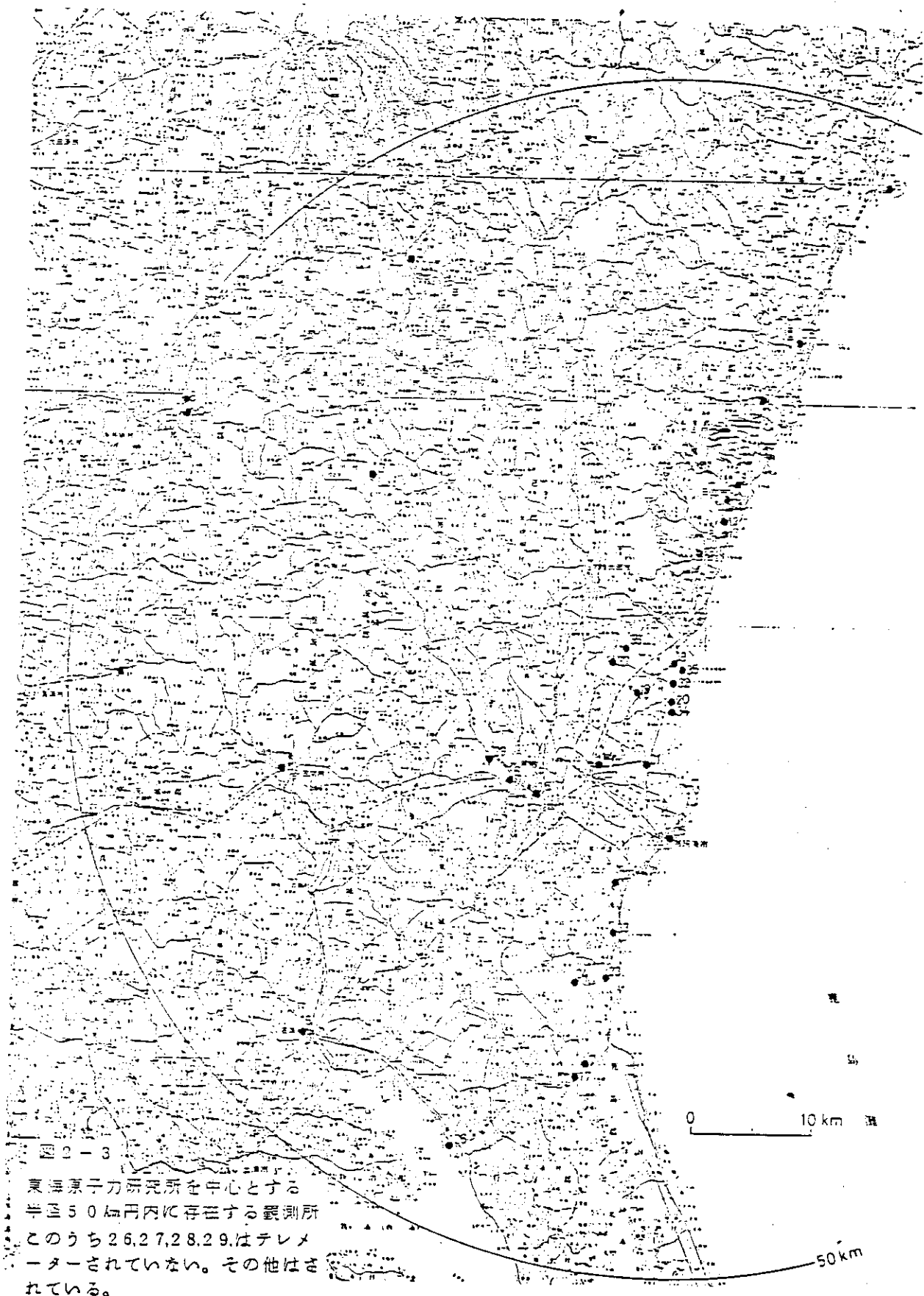


Fig. 1 Meteorological stations in the circle with 50-km radius from JAERI Tokai Research Establishment. All the stations except No.26 to 29 have the telemetering system.

Table 2 Location and observing elements of the meteorological stations

番号	地点名	所属	所在地	観測回数 又は時刻	気象観測							汚染物質種目				備考
					風向 風速	温度	湿度	雨量	日射量	放射量	SOx	NOx	Dust	Ox		
1	大津	気象庁 アメダス	北茨城市大津町堂之作西 2200 市立大津小学校	24回 毎時	○	○	○	○								アメダス観測所 観測開始 53.1.18~
2	大子	"	茨城県大子町本子 県立大子第一高等学校	"	○	○	○	○								" 53.1.13~
3	小瀬	"	茨城県那珂郡緒山村小瀬 1881-1 県立小瀬高等学校	"	○	○	○	○								" 53.12.20~
4	日立	"	日立市助川町 1-1-1 日立市大気相談所	"	○	○	○	○								" 53.1.18~
5	笠間	"	笠間市石井 717 茨城県消防本部	"	○	○	○	○								" 53.1.31~
6	水戸	気象庁 アメダス	水戸市金町 1-4-6 水戸市地方気象台	"	○	○	○	○								気象庁 アメダス観測所 (明) 30.1.1 50.3.3~
7	鉾田	気象庁 アメダス	茨城県鹿嶋郡鉾田町大子安房 1418-15 茨城県消防本部	"	○	○	○	○								アメダス観測所 " 53.1.31~
8	烏山	"	栃木県那須郡烏山町愛宕台字金井町裏 町上水道貯水池	"	○	○	○	○								" " 52.12.27~
9	日立神峯	茨城県 公害課	日立市動物園 5-2-22	"	○				○	○	○	○	○			県大気汚染測定局 " 48.~
10	日立市役所	"	日立市役所 1-242	"	○				○	○	○	○	○			" " 49.~
11	日立会瀬	"	日立市会瀬 3-672 日立工場浄水場	"	○	○			○	○	○	○	○			" " 46.~
12	日立曲繩子	"	日立市鶴川町 3-11-12 多賀中学校	"	○				○	○	○	○	○			" " 47.~
13	日立多賀	"	日立市本広町 1-1 虎堂公園	"	○				○	○	○	○	○			" " 50.~
14	勝田市役所	"	勝田市東石川町 1370 市役所	"	○				○	○	○	○	○			" " 50.~
15	水戸県庁	"	水戸市三の丸 1-5-38 茨城県庁	"	○	○			○	○	○	○	○			" " 49.~
16	石岡保健所	"	石岡市石岡 726 石岡保健所	"	○				○	○	○	○	○			" " 49.~
17	鉾田保健所	"	鉾田市鉾田 1367 鉾田保健所	"	○				○	○	○	○	○			" " 49.~
18	東海豊岡	茨城県 原子課	茨城県那珂郡東海村豊岡 537	"	○											県放射能汚染測定局 " 51.~
19	東海押延	"	押延公民館	"	○											" " 51.~
20	東海村松	"	村松公民館 " 4-41	"	○											" " 51.~



Table 2 (Cont'd)

番号	地点名	所 属	所 在 地	観測回数 又は時刻	気 象 観 測						汚 染 物 質 種 日				備 考
					風向 風速	温度	湿度	雨量	日射量	放射量	SOx	NOx	Dust	Ox	
21	勝田馬渡	茨城県 原子力課	勝田市馬渡2983 馬渡中学校	24回 毎時	○										県放射能汚染測定局, 観測開始昭和51.~
22	大洗大貫	"	茨城県大洗町大貫町2908 県立大洗高等学校	"	○			○							" " 51.~
23	旭荒地	"	茨城県鹿嶋郡旭地605 荒地小学校	"	○										" " 51.~
24	旭造谷	"	" 造谷公民館	"	○										" " 51.~
25	那珂湊	茨城県 水産課	那珂湊市本町20-10 皇三洋港湾事務所		○									アナログ	
26	玉造町	"	茨城県玉造町1560 県立水産試験場		○										" " 55.9~
27	十王町	" 防	茨城県多賀郡十王町高秋消防1590 高秋消防十三分署	1回 9時	○	○	○	○							" " 55.9~
28	高萩市	"	高萩市本町1-100 高萩消防署	"	○	○	○	○							" " 55.9~
29	水戸市	茨城県 教育庁	水戸市愛宕町4-1 県教育研修センター		○										"
30	烏山町役場	栃木県 公害課	栃木県那須郡烏山町中央1-1-1 烏山町役場	24回 毎時	○										県大気汚染測定局
31	益子町役場	"	栃木県芳賀郡益子町益子2030 益子町役場	"	○										"
32	原研東海	事業体	茨城県那珂郡東海村白方白根2-4 日本原子力研究所	"	⊗	⊗	⊗	○	○	○					
33	原研大洗	"	茨城県東茨城郡大洗町成田町新堀3607	"	⊗	⊗	⊗	○	○	○					
34	動 燃	"	茨城県那珂郡海村村松4-33 動力所・核燃料事業団	"	⊗	⊗	⊗	○	○	○					
35	原 電 会 社	"	" 白方1-1 日本原子力発電	"	⊗	⊗	⊗	○	○	○					
36	住 友	"	" 石神外宿2600 住友金屬工業		○										アナログ
37	三 菱	"	" 舟石川622 三菱原子力燃料		○										"

注 ⊗ 上層気象を含む

## 5. ま と め

TMI-II原子炉事故を契機にして緊急時体制、緊急時対策の内容の見直し、改良が各国で進められ、この6カ年で、モニタリング技術や新しい計算技術を導入した各種計算システムの開発整備が進み、技術面、体制面での著しい進歩が見られた。当研究は原子力安全委員会、科学技術庁で作成された国家的な計画のもとに実施されたものであり、緊急時対策に直接係わる環境放射能、放射線の情報を提供する環境モニタリング、予測計算に関する研究と技術開発として進められてきた。当初5カ年の計画で開始され途中で予算上の問題から1年延長された点を除き、ほぼ目標通りの研究成果を得て終えることとなった。

本最終報告書は緊急時関連の全般にわたる総合的な成果の概略をまとめたもので、個々のテーマの詳しい内容についてはそれぞれの個別論文であげた参考資料から知ることができよう。また、今後さらに詳しいレポートがでる予定の項目もある。緊急時のモニタリング、予測計算に関する組織的な研究はこれをもって終了し、今後は、実用化体制を整備し新たな展開を図る、技術維持と改良を続ける、などの残された課題を、各テーマ毎に処理していくこととなる。これらの成果が今後日本における緊急時の環境安全のための諸対策に活かされるならば誠に幸いであり、またそうなることを切に望むものである。