

JAERI - M
90-188

環境放射線測定評価法の比較研究

1990年11月

齋藤 公明・長岡 鋭・坂本 隆一
堤 正博・森内 茂・岡野 真治*

JAERI-Mレポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。
入手の間合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしてください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division
Department of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-
mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

©Japan Atomic Energy Research Institute, 1990

編集兼発行 日本原子力研究所
印刷 いばらき印刷(株)

環境放射線測定評価法の比較研究

日本原子力研究所東海研究所環境安全研究部

斎藤 公明・長岡 鋭・坂本 隆一
堤 正博・森内 茂・岡野 真治*

(1990年10月1日受理)

本レポートは、1985-1986年に実施した理研と原研の共同研究の成果をまとめたものである。理研と原研の環境放射線測定法の精度確認と特性調査の目的で、同一環境下での同時測定及び解析結果の比較、検討を実施した。測定項目は地上における定点測定、自動車による走行測定及びヘリコプタによる飛行測定の3種類とした。 γ 線全照射線量率に関し理研と原研の結果は10%以内で一致したが、理研の結果の方が系統的に高めの値を示した。 ^{238}U 系列、 ^{232}Th 系列及び ^{40}K の成分別 γ 線量率は理研と原研で明らかな違いがみられ、成分別線量率を求めるためのエネルギーバンドの位置、幅ならびに方程式の係数の検討が必要であることが分った。走行測定では、線量率の変動の大きな場所においては、十分に短い距離毎のまとめを行なわないと、その変動を正しく再現できない場合があることが明らかになった。また、ヘリコプタによる測定から、安倍川以西の地殻 γ 線線量率のレベルは関東のレベルに比して、明らかに高いことが確かめられた。

Intercomparison of Measuring and Evaluation Methods
for Environmental Radiations

Kimiaki SAITO, Toshi NAGAOKA, Ryuichi SAKAMOTO, Masahiro TSUTSUMI
Shigeru MORIUCHI and Masaharu OKANO*

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

(Received October 1, 1990)

This report presents the results of the cooperative research by IPCR and JAERI. In order to investigate the accuracy and characteristics of the measurement and evaluation methods for environmental radiations, developed independently by IPCR and by JAERI, field experiments were performed using the both methods under the same conditions at the same time. The experiments were performed at fixed points on the ground, in a moving car and in a flying helicopter. Discussion was made on the basis of the comparison of the results from the both methods. The exposure rates from the IPCR method agreed within 10% with those from the JAERI method, however the former were systematically higher than the latter. Since the evaluated exposure rate components due to ^{238}U -series, ^{232}Th -series and ^{40}K showed apparent differences between the IPCR method and the JAERI method, further investigation is necessary for the positions and widths of the applied energy bands and the coefficients in the equations to evaluate the components. In measurements in a moving vehicle, the sequential data should be gathered per sufficiently short distance to distinguish the local change of the radiation level when it changes greatly according to the location. The aerial data showed that the exposure rates from terrestrial gamma rays in the region west of the

* Research Councilor Association of Radiation Effects

Abe river are apparently higher than those in the Kanto district.

Keywords: Intercomparison, Environmental Radiations, Gamma Rays,
Cosmic Rays, Measurement, Evaluation, IPCR, JAERI,
Environmental Survey Car, Helicopter

目 次

1. はじめに	1
2. 野外測定	1
2.1 測定項目	1
2.2 放射線測定法, 解析法	1
2.3 位置計測法	3
3. 解析結果と考察	4
3.1 定点測定	4
3.2 走行測定	5
3.3 飛行測定	7
4. まとめ	9
参考文献	11

Contents

1. Introduction	1
2. Field experiments	1
2.1 Objects	1
2.2 Measurement and analysis	1
2.3 Positioning methods	3
3. Results and discussion	4
3.1 Measurements at fixed points	4
3.2 Measurements in a moving car	5
3.3 Measurements in a flying helicopter	7
4. Conclusion	9
References	11

List of Tables

- Table 1 Dates, places and courses of the field measurements.
- Table 2 Exposure rates measured at 1m height on the ground.
- Table 3 Exposure rates at 1m on the ground in the second measurement carried out by JAERI.
- Table 4 Exposure rate components due to ^{238}U -series, ^{232}Th -series and ^{40}K .
- Table 5 Exposure rate components due to ^{238}U -series, ^{232}Th -series and ^{40}K in the second measurement by JAERI.
- Table 6 Gamma ray flux density per unit exposure rate.
- Table 7 The average exposure rates and the standard deviations in the measurement in the car.
- Table 8 The average exposure rates and the standard deviations in the measurement in the helicopter.

List of Figures

- Fig. 1 The gamma ray pulse height spectrum at 1m height on the ground, the gamma ray flux density and the energy spectrum of exposure rates. The results at the JAERI ground using the IPCR method.
- Fig. 2 The gamma ray pulse height spectrum at 1m height on the ground, the gamma ray flux density and the energy spectrum of exposure rates. The results at the JAERI ground using the JAERI method.
- Fig. 3 The gamma ray pulse height spectrum at 1m height on the ground, the gamma ray flux density and the energy spectrum of exposure rates. The results at the Kuji River ground using the IPCR method.
- Fig. 4 The gamma ray pulse height spectrum at 1m height on the ground, the gamma ray flux density and the energy spectrum of exposure rates. The results at the Kuji River ground using the JAERI method.
- Fig. 5 The gamma ray pulse height spectrum at 1m height on the ground, the gamma ray flux density and the energy spectrum of exposure rates. The results at the JAERI monitoring post using the IPCR method.

- Fig. 6 The gamma ray pulse height spectrum at 1m height on the ground, the gamma ray flux density and the energy spectrum of exposure rates. The results at the JAERI monitoring post using the JAERI method.
- Fig. 7 The driving courses of the environmental survey car.
- Fig. 8 Change of exposure rates observed in the environmental survey car. The results from the IPCR method.
- Fig. 9 Change of exposure rates in the environmental survey car. The results from the JAERI method.
- Fig. 10 Frequency distributions of exposure rates observed in driving course 1.
- Fig. 11 Frequency distributions of exposure rates observed in driving course 2.
- Fig. 12 Frequency distributions of exposure rates observed in driving course 3.
- Fig. 13 The driving courses of the survey car drawn using the data from the positioning system.
- Fig. 14 The flying courses of the helicopter.
- Fig. 15 Change of exposure rates observed in the flying helicopter using the IPCR system.
- Fig. 16 Change of exposure rates observed in the flying helicopter using the JAERI system.
- Fig. 17 Sequential change of flying height measured by a radar altimeter.
- Fig. 18 Frequency distribution of exposure rates observed using the IPCR system in flying course 1.
- Fig. 19 Frequency distribution of exposure rates observed using the JAERI system in flying course 1.
- Fig. 20 Frequency distribution of exposure rates observed using the IPCR system in flying course 2.
- Fig. 21 Frequency distribution of exposure rates observed using the JAERI system in flying course 2.
- Fig. 22 Frequency distribution of exposure rates observed using the IPCR system in flying course 3.
- Fig. 23 Frequency distribution of exposure rates observed using the JAERI system in flying course 3.

1. はじめに

今までに様々な環境放射線の測定器、測定法が開発され、また、様々な環境下での放射線測定がなされてきた。これらの経験の蓄積の結果、高い精度で環境放射線を測定できるようになった。なかでも、原研及び理研はそれぞれ独自の技術を開発し、測定経験も豊富で、この分野での中心的役割を果たしてきた⁽¹⁻⁷⁾。しかし、それぞれに開発した技術による同じ環境下での同時測定は行われたことがなかった。そこで、測定精度の確認と測定法の特徴を調べることを目的に、原研と理研による環境放射線（環境ガンマ線及び宇宙線）の同時測定を実施した。

測定項目は定点測定、自動車による走行測定およびヘリコプタ上での飛行測定の3種類とした。定点測定は東海村内の平坦地2カ所と原研モニタリングポスト屋上1カ所、走行測定は東海村と勝田市にまたがる3コース、飛行測定は原研那珂研究所から名古屋空港までのコースで実施した。理研、原研がそれぞれ独自に測定したデータを持ち帰り、それぞれの方法で解析し、その結果を比較、検討した。

2. 野外測定

2.1 測定項目

測定項目は、前項で述べた通り、定点測定、走行測定と飛行測定である。各測定の日時、場所、コースをTable 1にまとめる。定点測定は平坦でしかも十分に広い場所を2点(定点1, 2)、原研の敷地内で動燃との境界にあるモニタリングポストの屋上1点(定点3)を選んだ。走行測定は原研の環境サーベイ車を用い、東海村内の2コース(走行1, 2)ならびに東海村から勝田市をまわる1コース(走行3)で実施した。飛行測定では、原研の開発した緊急時航空機ガンマ線測定評価システムARSAS (Aerial Radiological Survey and Assessment System)⁽⁸⁾を搭載したBell-212型ヘリコプタの機上で実施した。ここでは、原研那珂研究所から名古屋空港まで連続で飛行したが、この中を3つのコースに分けて解析した。測定点ならびにコースの特徴については測定結果の項で述べることとする。

2.2 放射線測定法、解析法

測定法と解析法を理研、原研の順で次にまとめる。なお、本レポートでは照射線量率を略して線量率と呼ぶこととする。また、宇宙線に対しては照射線量率相当値をさす。

(1) 理研

測定法

測定器は3"φ球形NaI(Tl)シンチレータを用いたスペクトロメータで、システム全体は鞆

1. はじめに

今までに様々な環境放射線の測定器、測定法が開発され、また、様々な環境下での放射線測定がなされてきた。これらの経験の蓄積の結果、高い精度で環境放射線を測定できるようになった。なかでも、原研及び理研はそれぞれ独自の技術を開発し、測定経験も豊富で、この分野での中心的役割を果たしてきた⁽¹⁻⁷⁾。しかし、それぞれに開発した技術による同じ環境下での同時測定は行われたことがなかった。そこで、測定精度の確認と測定法の特性を調べることを目的に、原研と理研による環境放射線（環境ガンマ線及び宇宙線）の同時測定を実施した。

測定項目は定点測定、自動車による走行測定およびヘリコプタ上での飛行測定の3種類とした。定点測定は東海村内の平坦地2カ所と原研モニタリングポスト屋上1カ所、走行測定は東海村と勝田市にまたがる3コース、飛行測定は原研那珂研究所から名古屋空港までのコースで実施した。理研、原研がそれぞれ独自に測定したデータを持ち帰り、それぞれの方法で解析し、その結果を比較、検討した。

2. 野外測定

2.1 測定項目

測定項目は、前項で述べた通り、定点測定、走行測定と飛行測定である。各測定の日時、場所、コースをTable 1にまとめる。定点測定は平坦でしかも十分に広い場所を2点(定点1, 2)、原研の敷地内で動燃との境界にあるモニタリングポストの屋上1点(定点3)を選んだ。走行測定は原研の環境サーベイ車を用い、東海村内の2コース(走行1, 2)ならびに東海村から勝田市をまわる1コース(走行3)で実施した。飛行測定では、原研の開発した緊急時航空機ガンマ線測定評価システムARSAS (Aerial Radiological Survey and Assessment System)⁽⁸⁾を搭載したBell-212型ヘリコプタの機上で実施した。ここでは、原研那珂研究所から名古屋空港まで連続で飛行したが、この中を3つのコースに分けて解析した。測定点ならびにコースの特徴については測定結果の項で述べることとする。

2.2 放射線測定法、解析法

測定法と解析法を理研、原研の順で次にまとめる。なお、本レポートでは照射線量率を略して線量率と呼ぶこととする。また、宇宙線に対しては照射線量率相当値をさす。

(1) 理研

測定法

測定器は3"φ球形NaI(Tl)シンチレータを用いたスペクトロメータで、システム全体は鞆

(33×20×45 cm)に入れて持ち運びできる。測定は検出体のシンチレーション信号波高値を実時間ですべてカセットに収録し、後日スペクトルを再現するもので、スペクトルサーベイレコードと呼ばれるものである⁽¹⁻³⁾。

測定は全行程について実時間の時系列で測定を行ない、目的の時刻(地点)をまとめた。

検出体は定点測定では地面上1 mあるいはモニタリングポスト建屋の上に直接置き、走行測定ではサーベイ車内の座席の横に、また、飛行サーベイでは機体内の中央の座席の下に置いた。

解析法

収録した波高値は1分間毎のスペクトル分布としてまとめ、必要に応じてさらにこれの分布を加算してまとめた。これらシンチレーションスペクトルはエネルギー校正を行ない、10 keVに規格化し、全エネルギー吸収以外のスペクトル寄与はピーリングオフ法により除去し、光子スペクトルとして解析し線束密度と線量率を算出した。

さらにエネルギーバンド法により、⁴⁰Kおよび²³⁸U系列、²³²Th系列の線量率寄与を連立1次方程式によって求めた。基準となるスペクトルは高濃度のラドン洞穴ならびにインドのケララ地域での測定結果で、それぞれ他の成分が無視できる環境のスペクトルを用いている。なお、⁴⁰Kについては、散乱線の地上1 mの線量率への寄与は直接線と同じとした。

また単位照射線量率(μ R/h)当りの線束密度($\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$)を算出した。

(2) 原研

各測定項目(次のa~c)の中で、測定法と解析法の丸数字はそれぞれ対応している。

a) 定点測定

測定法

- ① 3"φ球形NaI(Tl)検出器を利用したポータブルDBM測定器により、1分毎に線量率相当値を磁気テープに記録した。
- ② 3"φ NaI(Tl)検出器に波高分析器を接続し、各地点1200秒ずつの波高分布測定を行った。
- ③ ポータブルGe測定器に波高分析器を接続し、波高分布測定を行った。

全ての原研所有の検出器について、検出器位置は地上あるいはモニタリングポスト建屋上1 mであった。検出器は理研のものも含め全て、直径5 m程度の円の中に収めるよう配置した。

解析法

- ① 換算係数により線量率を計算した。
- ② G(E)関数^(4,7)により線量率を計算した。ストリッピング法を用いたスペクトル解析により線束密度、線量率を計算した。エネルギーバンド法により²³⁸U系列、²³²Th系列、⁴⁰K 3成分の線量率寄与分を解析した。ここでいうストリッピング法は理研のピーリング法と原理は全く同じであるが、本報告書ではそれぞれの呼び方を尊重して分けて記述する。但し、利用する応答行列の作成方法は異なる。また、スペクトル解析結果から線束-線量率比を計算した。
- ③ 解析に必要なデータ整備が完了していないため、今回は解析を行わなかった。

b) 走行測定

測定法

環境サーベイ車屋根上に据え付けられた5"φ球形NaI(Tl)検出器に波高分布測定装置が接続されている。10秒毎連続の波高分布測定を行った。

解析法

G(E)関数法により線量率を計算した。

c) 飛行測定

測定法

- ① 5"φ×4"円筒形NaI(Tl)検出器により1秒毎連続の波高分布測定を行った。
- ② DET-256(4"×4"×16")NaI(Tl)検出器により1秒毎連続の波高分布測定を行った。検出器はいずれも機体の下に装着した。

解析法

- ① G(E)関数法により線量率を計算した。
- ② 検出器の全吸収エネルギーから換算係数により線量率を計算した。

以上、原研が行なったNaI(Tl)検出器を用いた測定の解析に必要な γ 線応答関数は、基本的にモンテカルロ法を利用したシミュレーション計算により得た⁽⁹⁾。

宇宙線については、理研、原研とも、波高分布の3 MeV以上の計数とその線量に比例するとした。3"φNaI(Tl)検出器で理研が2.12 μ R/h/cps, 原研は2.27 μ R/h/cpsの換算定数を用いている。

2.3 位置計測法

(1) 理研

測定点、測定位置の確認にはビデオカメラによる映像が取り入れられている。すなわち、位置の映像内には時刻、ならびに測定中の計数率が棒グラフで示され、これらとともに映像は収録された。棒グラフはこの他に加圧アルゴン電離箱による測定、飛行高度などの表示も行なわれた。またこれらのデータは波高値とともに収録された。

(2) 原研

a) 走行測定

ジャイロコンパスおよび走行計からの信号により走行の方向、距離を磁気テープに記録した。

b) 飛行測定

ヘリコプタ直下の景色をビデオに録画した。ジャイロコンパスからの信号により機体の垂直直下を示すマークを画面にスーパーインポーズした。

3. 解析結果と考察

3.1 定点測定

(1) 線量率

各測定法、解析法により得たガンマ線ならびに宇宙線の線量率を Table 2 に示す。この測定値の統計誤差はガンマ線線量については全て 1～2%以内であったが、宇宙線については 6～7%に達するものがあった。久慈川グラウンドは久慈川の河川敷に位置しており、他の 2 点に比べガンマ線線量率が高い所である。

ガンマ線線量率を比べると、理研の値と原研の DBM 測定器の値は 5%以内で、また原研のその他方法により得た線量率とも 10%以内で一致したが、理研の値の方が系統的に高めにでる傾向がうかがえる。NaI (TI) 結晶のサイズの精度に起因する誤差が最大数%有り得るが、これを考慮しても系統的な違いがあると思われる。

宇宙線線量率は 3.14～3.42 μ R/h の範囲の妥当な値を示したが、統計的ばらつきがあるため詳細な比較は行わなかった。但し、換算係数の値が理研、原研で 7%程違っていること、また、換算係数を用いる簡易評価法が適応できる環境条件の範囲が明確でないこと等の問題点が残されている。

原研の波高分布測定では、G(E)関数による γ 線線量率とストリッピング法による値は 4%以内で一致している。しかし、ストリッピング法による値で DBM 測定器の値に比べ 10%近く低めにでているものがあり、食い違いの程度が普通の測定経験から考えて少し大きめであるため、定点 1 と定点 2 において同じ条件での再測定を原研だけで実施した。

その結果を Table 3 に示す。DBM 測定器の結果を本測定と比べると定点 1、定点 2 共に 0.2 μ R/h 程度低めである。これは空気中のラドンや地中の含水率の変化⁽¹⁰⁾、また測定場所の違いを考慮すれば説明できる程度の差である。再測定における DBM 測定器と波高分布測定による値の一致は良かった。また、波高分布測定からの線量率の、本測定と再測定の間的一致も良かった。これらから考えて、本測定で DBM 測定器の線量率が少々高めに出了ことは、特に測定器の特性によるものではないと予想される。

同じ原研の波高分布からの線量率でも、G(E)関数による値はストリッピング法の値より系統的に数%高い傾向があることが分かる。

(2) ^{238}U 系列, ^{232}Th 系列, ^{40}K 核種別線量率

Table 4 に ^{238}U 系列, ^{232}Th 系列, ^{40}K 各核種別の線量率寄与を示す。また、原研だけで実施した再測定の 3 成分解析結果を Table 5 に示しておく。これらの値は、波高分布を解析して得られるガンマ線エネルギースペクトルに、各核種を代表するエネルギーバンドを設定し、そのバンド内のカウントに基づいた 3 元 1 次方程式を解くことにより得た。理研、原研ともに解析原理は同じであるが方程式の係数が異なる。

理研と原研の値を比較すると、 ^{238}U 系列の線量率については原研の値が高めであるが、 ^{40}K

に関しては低めにでている。 ^{238}U 系列と ^{40}K はバンドのエネルギーが接近していること、また、 ^{238}U 系列のウィンドウで注目している ^{214}Bi の1.76 MeVガンマ線の強度が他に比して弱いことから解析に誤差が含まれやすい。 ^{232}Th 系列については、原研グラウンド、原研モニタリングポストでの測定では一致しているが、久慈川グラウンドの測定では理研の値が少し高めである。 ^{232}Th 系列のウィンドウは他の核種の影響を受けにくい部分に設定しており、この値が異なるのは考えにくい。測定場所の違いが反映したものと判断される。今後、特に ^{238}U 系列と ^{40}K に注目して、エネルギーウィンドウの設定位置と幅、方程式の係数に関し検討が必要である。

本解析により得た成分別線量を合計し(1)で得た線量と比較すると、理研の場合はほぼ一致しているのに対し原研の値もほぼ数%以内で一致していることがわかる。但し、1回目の原研グラウンドでの一致は良くない。

(3) 波高分布、スペクトル解析結果

測定した波高分布、およびこれをスペクトル解析して得たガンマ線束エネルギースペクトルと線量率エネルギースペクトルをFig.1～6に示す。理研、原研とも良く似た波高分布、線束エネルギースペクトルならびに線量率エネルギースペクトルを示している。但し、2.2～2.4 MeV附近のピークに違いが見られる。これは解析に用いる応答関数の違いに起因すると考えられる。

ガンマ線エネルギースペクトルの傾向ならびにスペクトル解析の特性を表す指標として、線束-線量率比をTable 6に示す。線束-線量率比は、相対的に、 ^{40}K で低めに ^{238}U 系列、 ^{232}Th 系列で高めの値をとる(モンテカルロ法を用いて我々が計算した結果では⁽¹¹⁾、 ^{238}U 系列で1.55、 ^{232}Th 系列で1.45、 ^{40}K で1.06となっている)。今回の測定では、 ^{40}K からの線量率が全線量率の中で占める割合がどの測定場でもほぼ半分近くで大きく違わないため(Table 4参照)、線束-線量率比も場所によりあまり異ならない。

理研と原研の値の一致は良いが、系統的に理研の値が僅かに低めに出る傾向がうかがえる。理研方式で処理した線束エネルギースペクトルのほうが僅かにハードであることが分かる。

3.2 走行測定

走行測定のコースをFig.7に示す。走行コース1、3は原研敷地外の自然環境下のコースであるのに対し、コース2は原研敷地内の施設周辺の地域で、東海村周辺のバックグラウンドに比べて多少高線量率の地域も含むコースである。

(1) 平均線量率の比較

各コースの平均ガンマ線線量率および線量率の変動の標準偏差をTable 7に示す。理研の値は測定時間1分毎にまとめたもの、原研については測定時間1分毎、10秒毎と走行距離200 m毎にまとめたものを示した。理研の値は環境サーベイ車内の測定値をそのまま示しているのに対し、原研の値は環境サーベイ車上の測定値を地上値に換算するための係数1.37を乗じた値である。

コース3では理研の線量率が原研に比べて高い。原研の線量率は地上換算値であるから、これは車体の遮蔽を考慮した場合ありえないことである。そこで、同じ条件下での再測定を行っ

たが、やはり、サーベイ車内の線量率は本測定に比べずっと低い線量率を示した。本測定で²²⁶Raのチェックソースを携帯した際、線源コンテナの遮蔽能力を過大評価して理研の検出器のそばに置いたためこの様な現象が現れたと考えられる。従って、理研の線量率はバックグラウンド値に線源からの寄与分が重なっており絶対値の比較はできないため、標準偏差をもとに線量率の変動に関し検討を加える。

コース毎の標準偏差を比べると、コース1と3は同程度の値であるのに対し、コース2では明らかに大きめの値を示している。これは施設の周囲の高線量率地域（校正棟ならびに廃棄物処理場の周辺）の測定結果が含まれていることに起因する。また、コース2では、10秒毎の平均値の標準偏差は、1分毎、200m毎の平均値の標準偏差に比べて大きめにでている。施設の回りの局所的な高線量率が1分毎の処理では周囲の低線量率と平均されて正しく表現できないため、また、200m毎の処理では高線量率のデータは1データ表れるだけであるためにこのような結果になると考えられる。

普通の環境下での測定では（コース1, 3）、5"φ球形NaI(Tl)検出器を用いた10秒毎の測定値、1分毎の測定値、及び、3"φ球形検出器の1分毎の測定値はどれも同程度の標準偏差を示す。これは線量率の統計精度がどの場合も良いことを示唆している。

(2) 線量率の時系列データ

ガンマ線量率の時間変化をFig. 8, 9に示す。理研の結果は測定時間1分毎、原研の結果は走行距離200m毎にまとめた線量率をそれぞれ示している。なお、理研の結果には定点測定も含め11月22日の測定結果が全て連続で表されている。

まず全体の形を比べみると、線量率変化の傾向は良く似ていることが分かる。コース2では理研と原研で、すなわち処理の方法により、高線量率地域の線量率のピークの高さが明らかに異なる。理研の結果では校正棟周辺のほうが処理場周辺よりも高線量率を示したが、原研の結果は逆の傾向を示している。校正棟の周辺で一時停止したのに対し、処理場の周辺は一定速度で走り抜けたために、処理場周辺の線量率の高さを1分毎では十分に表現できないためと考えられる。距離毎に処理したデータが線量率の地域分布を表すのには適当であることが分かる。

理研の図に線量率と一緒に表されている線束-線量率比は、やはり施設の影響で、コース2で大きな変化を見せている。この比率が校正棟付近で周囲に比べて低く、処理場付近で高くなっているのはガンマ線エネルギー分布の特性をそれぞれ表している。すなわち、校正棟付近ではガンマ線エネルギー分布がハードであるのに対し、処理場付近ではソフトであることが予想される。

(3) 線量率頻度分布

コース別の線量率の頻度分布をFig. 10, 11, 12に示す。原研の結果は測定時間10秒毎、1分毎と走行距離200m毎に処理した線量率の頻度分布をそれぞれ示した。コース1, 3では測定方法ならびに処理方法が原因と考えられる顕著な差はみられない。

コース2の結果からはいくつか興味ある傾向がうかがえる。まず、時間毎（1分毎、10秒毎）に処理した結果では、5μR/h付近の主なピーク以外に7μR/h付近にもピークがある。一方、距離毎に処理したデータでは7μR/h付近のピークはない。このピークは校正棟の付近に長く駐車していたために現れたピークであり、距離毎の処理をすることにより消滅した。

次に、原研の結果には処理場周辺の $9.5 \mu\text{R/h}$ 以上の線量率(この中には 10 数 $\mu\text{R/h}$ の値も含まれている)が複数記録されているのに対し、理研の結果には $8.5 \mu\text{R/h}$ 以下の値しか記録されていないことが分かる。これの原因として、理研のデータは1分毎の処理を行なっているため、局部的に線量率が高い場所を短い時間で走り抜ける場合には、その線量率の高さを正しく表現できないこと、また、理研の検出器はサーベイ車内に置かれており、しかも処理場からのガンマ線はエネルギーが低かったため車体の遮蔽効果が大きく効いたことが、想像される。

(4) 走行経路の再現性

環境サーベイ車の位置計測システムの記録より再現された走行測定の間路を Fig. 13 に示す。a) 図は記録された生のデータより計算された走行コース、b) 図は数箇所のチェックポイントを入力し、生データに修正を加えた後に計算した走行コースである。全般に、細かく方向を転換しない走行の場合再現性は良いが、細かく曲る場合、特に、バックやきりかえしが含まれる走行では再現性が悪くなる傾向にある。

チェックポイントを設定して修正を加えることにより、かなり現実に近く走行コースを再現できることが確認できた。修正の手間をいかに省略化するかが今後の課題である。

3.3 飛行測定

原研那珂研究所から名古屋空港まで連続飛行を行ったが、その中を Fig. 14 に示すように3つに分けそれぞれコース1、2、3とした。コース1は関東平野、コース2は丹沢、箱根山岳地帯、コース3は東海道沿いのコースである。飛行高度は原則として 150 m としたが、地域によりこの高度での飛行が不可能な部分もあったため、その際にはさらに高い高度での飛行を行った。特に、コース2は山間部であるため、安全のために高めの高度で飛行している。

(1) 平均ガンマ線線量率

Table 8 で各コース毎に理研と原研の平均線量率を比較する。原研の値は $5''\phi \times 4''\text{NaI(Tl)}$ 検出器による測定からのものである。DET-256 検出器は線量換算値に関する検討が充分でないため、この表には線量値を示さない。

理研と原研の値は良い一致を示している。理研の検出器は機内に、原研の検出器は機体の下に取り付けたが、機体の遮蔽の効果を考慮すると、もし同じ場所に取り付けたならば理研の結果が少し高めにでたことが予想される。

各コースの平均線量率を比べると、コース3、コース1、コース2の順で高いことが分かる。コース1と3の違いは地質に起因する、すなわち、箱根以西のバックグラウンドが関東平野に比べ高いためである。また、コース2の結果が最も低めであるのは、飛行高度を上げたことで、空気による減衰が効いたためであると考えられる。

1分毎にまとめた線量率の変動の標準偏差(理研の $3''\phi \text{ NaI(Tl)}$ 検出器による結果)は1秒毎にまとめた結果(原研の $5''\phi \times 4''\text{NaI(Tl)}$ 検出器による結果)より明らかに標準偏差が小さい。ガンマ線レベルが低い環境での測定であり、まとめの長さ(1分と1秒)に起因する1データの統計精度の違いが影響していると考えられる。なお、1秒間にヘリコプタが飛行する距離は $40 \sim 50 \text{ m}$ であり、今回のようにバックグラウンドを対象にした測定では1秒というまと

めの長さは短すぎるかもしれないが、解析プログラムの関係から本報告書では原研のデータは1秒毎の処理を行った。

コースによる標準偏差の違いを比べると、コース3が最も標準偏差が高い。これは、後で議論するように、コース3には線量率レベルの異なる2つの地域が含まれるためと考えられる。

(2) 線量率、高度の時系列データ

理研の測定した線量率の時系列データをFig. 15に、原研の測定した線量率をFig. 16に示す。ここでは参考のためにDET-256 NaI(Tl)検出器により測定した線量率も示しておく。また、Fig. 17に電波高度計により得た飛行高度の時系列データを示す。

理研の線量率と原研の線量率は、全体の傾向は良く似ているが、ばらつきの程度に差がある。これは、標準偏差の項でも述べた通り、線量率を計算する際のまとめ時間の長さにより1データの統計精度がかなり異なるためである。

DET-256 NaI(Tl)の線量計算は検出器の吸収エネルギーに換算係数を乗ずることにより行った。換算係数としてDET-1024 NaI(Tl)検出器(16"×16"×4", DET-256の4倍の体積を持つ)の換算係数の1/4の値を用いた。しかし、DET-256による線量率は5"φ×4" NaI(Tl)検出器に比べ明らかに高めにでていることから、DET-256検出器の感度はDET-1024の感度の1/4よりかなり高いと思われる。これは、NaI(Tl)結晶自身による環境ガンマ線の遮蔽効果の違いの影響であろうと予測される。

また、地上でのガンマ線線量率測定値を比較すると面白い傾向が出ている。離陸前(原研那珂研究所グラウンド, 11時47分以前)の線量率の比較では原研の値のほうが理研に比べ高めにでているのに対し、着陸後(名古屋空港, 14時43分以後)は同程度の値を示している。この現象は機体の遮蔽効果の変化により説明できる。機体下部に座席シートを取り囲むように燃料タンクがあるが、離陸前には燃料が一杯入っていたため、環境ガンマ線が水平に近い斜下方向から主にやってくる地上では燃料タンクが遮蔽体として働き、結果として理研の線量率が低めに出たと考えられる。一方、燃料をほぼ使い果たした着陸後では、タンクの遮蔽効果は小さくなり、理研、原研同程度の値が得られた。また、高空の環境ガンマ線は真下からくる成分が強いため、飛行中には燃料タンクの遮蔽効果があまり影響せず、理研、原研の間で差がでなかったと想像できる。

飛行高度と線量率は明らかに負の相関を示している。例えば、安倍川を過ぎたあたりで自衛隊の官制航空圏の関係で高度を上げたが、ここでは線量率が極端に下がっている。

(3) 線量率頻度分布

線量率頻度分布をFig. 18～23に示す。

a) コース1

原研の結果は、データ記録上の問題でコース1をさらに前半、後半2つの部分に分けて表している。理研、原研の前半、後半とも1.1 μR/h前後にピークのある正規分布に近い形をしている。これは、関東平野一帯地質が同じで線量率レベルの変化も少ないことを示唆している。但し、分布の広がりには統計精度の関係により原研のほうが大きい。

b) コース2

ここでも0.7～0.8 μR/hにピークのある正規分布に近い形を示している。

c) コース 3

線量率の時系列変化を参照すると、明らかに線量率レベルの異なる2つの地域がある。1つは安倍川以西の高線量率地域、もう1つは安倍川以東の低線量率地帯である。原研のデータは13時48分以前と以後に分けて示されているが、これはそれぞれ低線量率地域と高線量率地域にはほぼ相当し、図中に示された平均線量率も異なる。また、このコース測定中に自衛隊の官制航空圏の関係で飛行高度を上げており(13時30分から13時40分の間)、その影響が13時48分以前の頻度分布に表れている。

これらの要因が重なり合い、コース3全体の頻度分布(理研の結果, Fig. 22)は正規分布と異なり、低線量率側へ尾を引く形となっている。

4. ま と め

理研と原研の環境放射線測定法の精度確認ならびに特性調査の目的で、同じ環境下での同時測定と解析結果の比較、検討を実施した。この結果、以下の事が明らかになった。

a) 全ガンマ線線量率について

- ① 理研と原研の値は10%以内で一致することが確かめられた。系統的に理研の値は原研に比べて高めに出る傾向にあった。
- ② 原研の3種類の線量評価法(ポータブルDBM測定器, G(E)関数法, ストリッピング法)からの値はそれぞれ良い一致を示した。同じ波高分布測定結果を用いた場合でもG(E)関数法による値は系統的にストリッピング法の値より数%高めであった。

b) ^{238}U 系列, ^{232}Th 系列, ^{40}K の成分別ガンマ線線量率について

- ① ^{238}U 系列については原研の値が高めに、 ^{40}K については低めに出ることが明らかになった。この解析を行うためのエネルギーウインドウの位置と幅, 方程式の係数に関して今後検討する必要がある。

c) 移動測定におけるガンマ線線量率の時系列データについて

時系列データを求めるのに、測定時間毎に処理する方法と走行距離毎に処理する方法の2種類を比較した。時間毎に処理する方法では時間の長さを変えた解析も行った。

- ① 普通の自然環境下の測定では処理方法による顕著な差は現れなかった。
- ② 部分的に急激に線量率の変動する地域が含まれる場合には、処理方法により結果が明らかに異なることがあることが確かめられた。この場合には、線量率の地域分布を正しく表わすためには、ある程度短い距離毎の平均処理が必要である。
- ③ 乗り物の遮蔽効果が測定効果に大きく影響する場合がある。

d) スペクトル解析結果について

- ① スペクトル解析から得た線量率は他の方法から得た線量率と一致している。
- ② 線束-線量率比は理研と原研で近い値が得られたが、僅かに系統的な違いがみられる。応答行列の作成方法について検討の余地が残されている。

e) 飛行測定における地殻ガンマ線線量率レベルの地域変化について

c) コース 3

線量率の時系列変化を参照すると、明らかに線量率レベルの異なる2つの地域がある。1つは安倍川以西の高線量率地域、もう1つは安倍川以東の低線量率地帯である。原研のデータは13時48分以前と以後に分けて示されているが、これはそれぞれ低線量率地域と高線量率地域にほぼ相当し、図中に示された平均線量率も異なる。また、このコース測定中に自衛隊の官制航空圏の関係で飛行高度を上げており（13時30分から13時40分の間）、その影響が13時48分以前の頻度分布に表れている。

これらの要因が重なり合い、コース3全体の頻度分布（理研の結果、Fig. 22）は正規分布と異なり、低線量率側へ尾を引く形となっている。

4. ま と め

理研と原研の環境放射線測定法の精度確認ならびに特性調査の目的で、同じ環境下での同時測定と解析結果の比較、検討を実施した。この結果、以下の事が明らかになった。

a) 全ガンマ線線量率について

- ① 理研と原研の値は10%以内で一致することが確かめられた。系統的に理研の値は原研に比べて高めに出る傾向にあった。
- ② 原研の3種類の線量評価法（ポータブルDBM測定器、G(E)関数法、ストリッピング法）からの値はそれぞれ良い一致を示した。同じ波高分布測定結果を用いた場合でもG(E)関数法による値は系統的にストリッピング法の値より数%高めであった。

b) ^{238}U 系列、 ^{232}Th 系列、 ^{40}K の成分別ガンマ線線量率について

- ① ^{238}U 系列については原研の値が高めに、 ^{40}K については低めに出ることが明らかになった。この解析を行うためのエネルギーウィンドウの位置と幅、方程式の係数に関して今後検討する必要がある。

c) 移動測定におけるガンマ線線量率の時系列データについて

時系列データを求めるのに、測定時間毎に処理する方法と走行距離毎に処理する方法の2種類を比較した。時間毎に処理する方法では時間の長さを変えた解析も行った。

- ① 普通の自然環境下の測定では処理方法による顕著な差は現れなかった。
- ② 部分的に急激に線量率の変動する地域が含まれる場合には、処理方法により結果が明らかに異なることがあることが確かめられた。この場合には、線量率の地域分布を正しく表わすためには、ある程度短い距離毎の平均処理が必要である。
- ③ 乗り物の遮蔽効果が測定効果に大きく影響する場合がある。

d) スペクトル解析結果について

- ① スペクトル解析から得た線量率は他の方法から得た線量率と一致している。
- ② 線束-線量率比は理研と原研で近い値が得られたが、僅かに系統的な違いがみられる。応答行列の作成方法について検討の余地が残されている。

e) 飛行測定における地殻ガンマ線線量率レベルの地域変化について

- ① 関東地方の線量率レベルは今回飛行したコース内では地域による大きな差は見られなかった。
- ② 安倍川、大井川以西の線量率レベルは関東地方の線量率レベルに比べ明らかに高いことが確かめられた。

f) 宇宙線線量率測定について

- ① 理研、原研ともに、NaI(Tl)シンチレーション検出器の波高分布の3 MeV以上のカウントを利用した簡易測定法を用いており、今回の測定では十分な検討は行なえなかった。

環境放射線線量ならびにこれに関連した量は、理研と原研の環境放射線測定法の間で総体的に良い一致を示した。このことから、理研、原研それぞれに独自に開発を進めてきた環境放射線測定法の信頼性が確かめられた。今までに行われた、また今後行われるであろう理研あるいは原研による様々な環境放射線の測定結果は本レポートに示した確度の範囲内で信頼がおけることが判明した意味は大きい。各測定法、解析法で部分的に解決しなければならない問題点も残されているが、これらは今後の課題とする。本研究で得た知見は現在原研で進めている環境放射線測定法の標準化に生かされることが期待される。

参 考 文 献

- (1) 熊谷秀和, 岡野真治, 橋爪 朗: "簡易形データレコーダと放射線計測における応用"
理化学研究所報告 第51巻 5号 p119-138 (1975).
- (2) M. Okano, K. Izumo, H. Kumagai, T. Katou, M. Nishida, T. Hamada and
M. Kodama: "Measurement of Environmental Radiations with a Scintillation
Spectrometer Equipped with a Spherical NaI(Tl) Scintillator"
Natural Radiation Environment III, Symp. Proc. CONF-780422, p896-
911.
- (3) 熊谷秀和, 岡野真治, 橋爪 朗: "環境放射線測定用可搬型シンチレーションスペクトロメ
ータ" 理化学研究所報告書 第58巻 1号 p52-61 (1982).
- (4) 森内 茂: "スペクトル-線量変換演算子による線量評価法とその演算子の決定"
JAERI 1209 (1970).
- (5) 森内 茂: "スペクトル荷重方式による環境 γ 線線量測定器に関する研究"
JAERI-M 7066 (1977).
- (6) T. Nagaoka: "Intercomparison between EML Method and JAERI Method
for the Measurement of Environmental Gamma Ray Exposure Rates"
Radiat. Prot. Dosim., 18 p81-88 (1987).
- (7) 堤 正博, 森内 茂, 斎藤公明: "3 ϕ 球形NaI(Tl)シンチレーション検出器の実効線量当
量評価用G(E)関数(スペクトル-線量変換演算子)" JAERI-M 89-196 (1989).
- (8) 堤 正博, 斎藤公明, 坂本隆一, 長岡 鋭, 森内 茂: "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).
- (9) 斎藤公明, 森内 茂: "モンテカルロ計算によるNaI(Tl)シンチレーション検出器ガンマ線
応答関数のデータカタログ" JAERI 1306 (1987).
- (10) 高田和正, 斎藤公明, 森内 茂: "環境パラメータによるガンマ線場変動の考察"
JAERI-M 84-101 (1984).
- (11) K. Saito and S. Moriuchi: "Development of a Monte Carlo Code for
the Calculation of Gamma Ray Transport in the Natural Environment"
Radiat. Prot. Dosim., 12 p21-28 (1985).

Table 1 Dates, places and courses of the field measurements.

測定項目	年月日	時刻	場所、経路
定点1	'85-11-22	11:30-12:00	原研グラウンド
定点2	'85-11-22	13:50-14:20	久慈川グラウンド
定点3	'85-11-22	15:10-15:40	原研モニタリングポスト
走行1	'85-11-22	13:12-13:39	あこぎクラブ-久慈川グラウンド
走行2	'85-11-22	14:33-15:02	久慈川グラウンド-原研MP
走行3	'85-11-22	15:56-16:31	原研正門-佐和
飛行1	'85-12-9	11:50-12:41	那珂-相模川
飛行2	'85-12-9	12:42-13:09	相模川-裾野駅
飛行3	'85-12-9	13:10-14:40	裾野駅-名古屋駅

Table 2 Exposure rates measured at 1m height on the ground.

測定地点	線量率($\mu\text{R/h}$)					
	理研		原研(DBM)		原研(波高分布測定)	
	γ 線	宇宙線	γ 線	宇宙線	G(E)関数法 γ 線	Str.法 γ 線
原研 グラウンド	4.59	3.23				
	4.65	3.20				
	4.69	3.35	4.61	3.14	4.39	4.21
	4.53	3.40				
	Av.	Av.				
	4.61	3.30				
久慈川 グラウンド	6.13	3.17	5.74	3.27		
	6.13	3.17	5.78	3.45		
	6.13	3.17	6.28	3.33	5.75	5.52
	6.13	3.17	Av.			
	6.07	3.21	5.93	3.36		
	6.04	3.42				
	6.47	3.23				
	Av.					
	6.16	3.21				
原研 MP	5.19	3.42	4.93	3.26		
	5.11	3.18	4.89	3.57	4.76	4.61
	5.03	3.19	Av.			
	5.05	3.11	4.91	3.42		
	5.05	3.11				
	Av.					
	5.09	3.20				

Table 3 Exposure rates at 1m on the ground in the second measurement carried out by JAERI.

測定地点	線量率($\mu\text{R/h}$)		
	原研(DBM) γ 線	原研(波高分布測定) G(E)関数法 γ 線 Str.法 γ 線	
原研 グラウンド	4.42		
	4.46	4.56	4.41
	4.21		
	4.57		
	Av. 4.42		
久慈川 グラウンド	5.65		
	5.59		
	5.72	5.77	5.57
	5.74		
	5.61 Av. 5.66		

Table 4 Exposure rate components due to ^{238}U -series, ^{232}Th -series and ^{40}K .

測定地点	測定者	成分別線量率($\mu\text{R}/\text{h}$)				全線量率($\mu\text{R}/\text{h}$) (表2の値)
		^{238}U 系列	^{232}Th 系列	^{40}K	合計	
原研 グラウンド	理研	0.63	1.32	2.55	4.51	4.61
	原研	0.85	1.27	2.02	4.14	4.61
久慈川 グラウンド	理研	0.98	2.34	2.99	6.32	6.16
	原研	1.39	1.95	2.32	5.66	5.93
原研 MP	理研	0.80	1.69	2.63	5.13	5.09
	原研	1.08	1.56	2.08	4.72	4.91

Table 5 Exposure rate components due to ^{238}U -series, ^{232}Th -series and ^{40}K in the second measurement by JAERI.

測定地点	成分別線量率($\mu\text{R}/\text{h}$)				全線量率($\mu\text{R}/\text{h}$) (表3の値)
	^{238}U 系列	^{232}Th 系列	^{40}K	合計	
原研 グラウンド	1.13	1.30	1.86	4.29	4.42
久慈川 グラウンド	1.54	1.78	2.34	5.66	5.66

Table 6 Gamma ray flux density per unit exposure rate.

測定地点	線束/線量率 ($\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}/\mu\text{R/h}$)	
	理研	原研
原研 グラウンド	1.12	1.17
久慈川 グラウンド	1.12	1.17
原研 モニタリングポスト	1.09	1.15

Table 7 The average exposure rates and the standard deviations in the measurement in the car.

走行コース	測定者	γ 線平均線量率 ($\mu\text{R/h}$)	標準偏差 ($\mu\text{R/h}$)
1	理研 (1分毎)	4.04	0.73
	原研 (1分毎)	4.55	0.71
	(10秒毎)	4.55	0.77
	(200m毎)	4.34	0.74
2	理研 (1分毎)	5.61	1.10
	原研 (1分毎)	5.93	1.36
	(10秒毎)	5.96	1.98
	(200m毎)	5.63	1.29
3	理研 (1分毎)	5.74	0.68
	原研 (1分毎)	5.01	0.62
	(10秒毎)	5.01	0.68
	(200m毎)	4.90	0.60

注) 原研の値にはサーベイ車の遮蔽効果を補正するため1.37を乗じてある

Table 8 The average exposure rates and the standard deviations in the measurement in the helicopter.

飛行コース	測定者	γ 線平均線量率 ($\mu\text{R/h}$)	標準偏差 ($\mu\text{R/h}$)
1	理研 (1分毎) (3"x3"NaI(Tl))	1.04	0.12
	原研 (1秒毎) (5"x4"NaI(Tl))	1.06	0.21
2	理研 (1分毎) (3"x3"NaI(Tl))	0.71	0.10
	原研 (1秒毎) (5"x4"NaI(Tl))	0.72	0.17
3	理研 (1分毎) (3"x3"NaI(Tl))	1.22	0.26
	原研 (1秒毎) (5"x4"NaI(Tl))	1.23	0.35

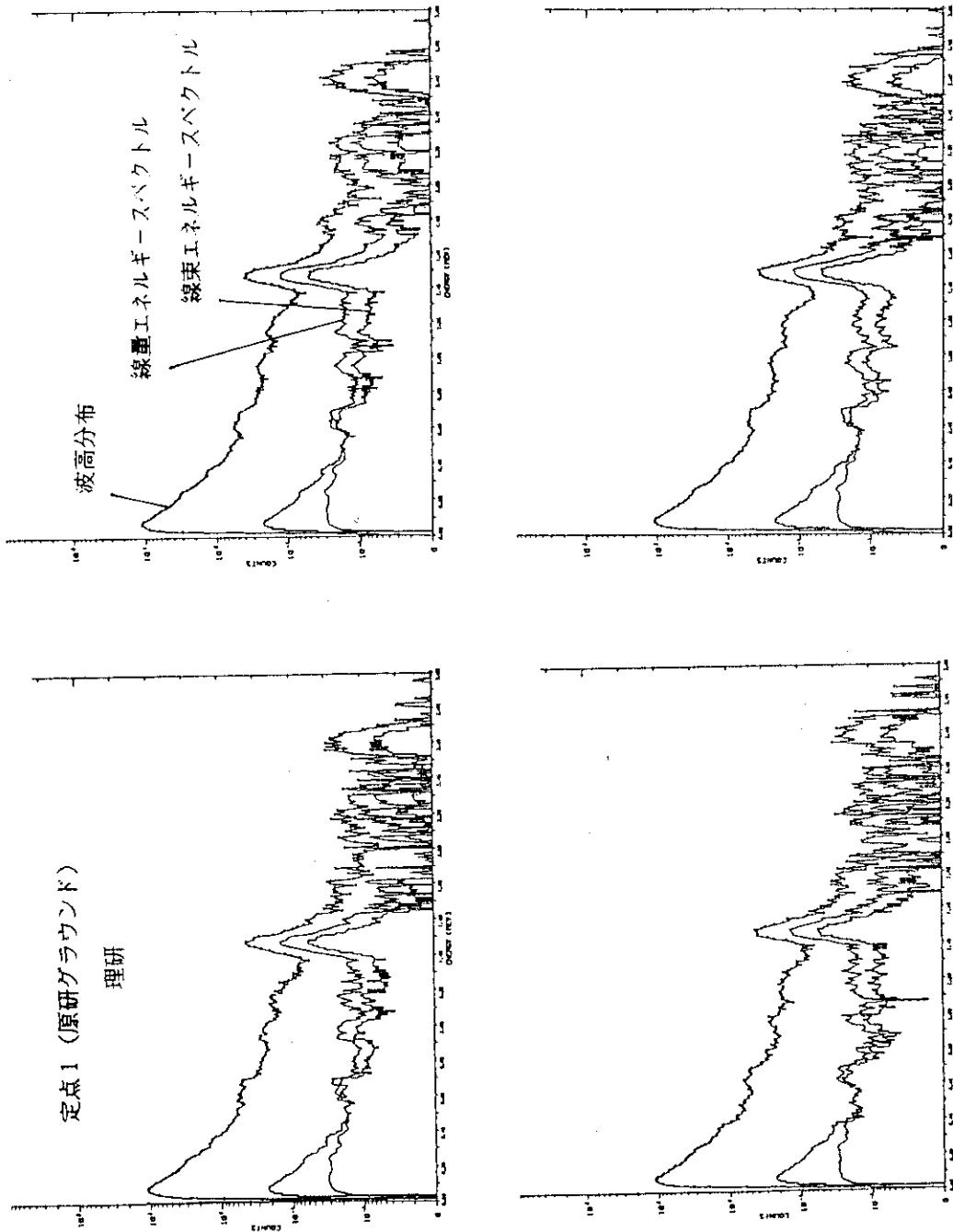


Fig. 1 The gamma ray pulse height spectrum at 1m height on the ground, the gamma ray flux density and the energy spectrum of exposure rates. The results at the JAERI ground using the IPCR method.

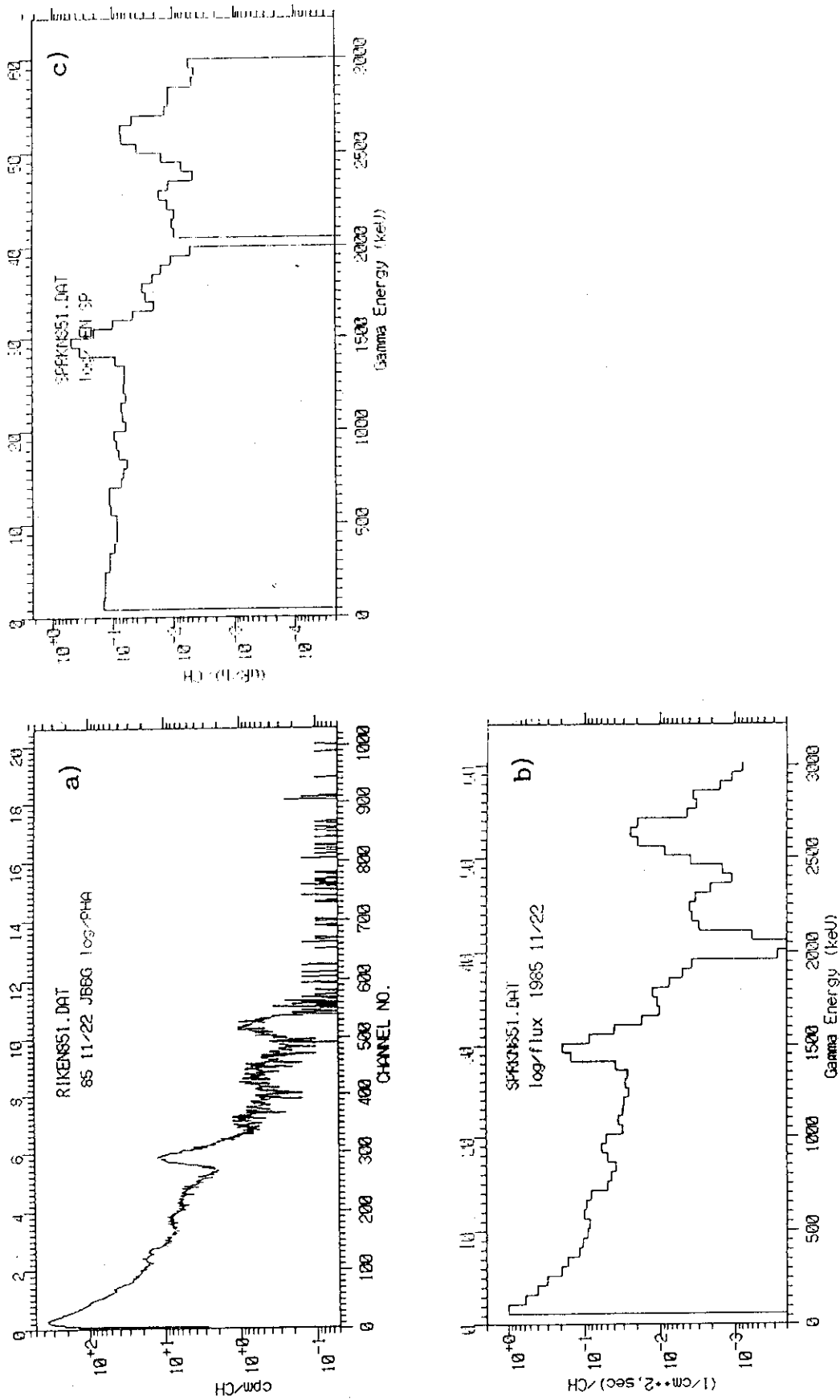


Fig. 2 The gamma ray pulse height spectrum at 1m height on the ground, the gamma ray flux density and the energy spectrum of exposure rates. The results at the JAERI ground using the JAERI method.

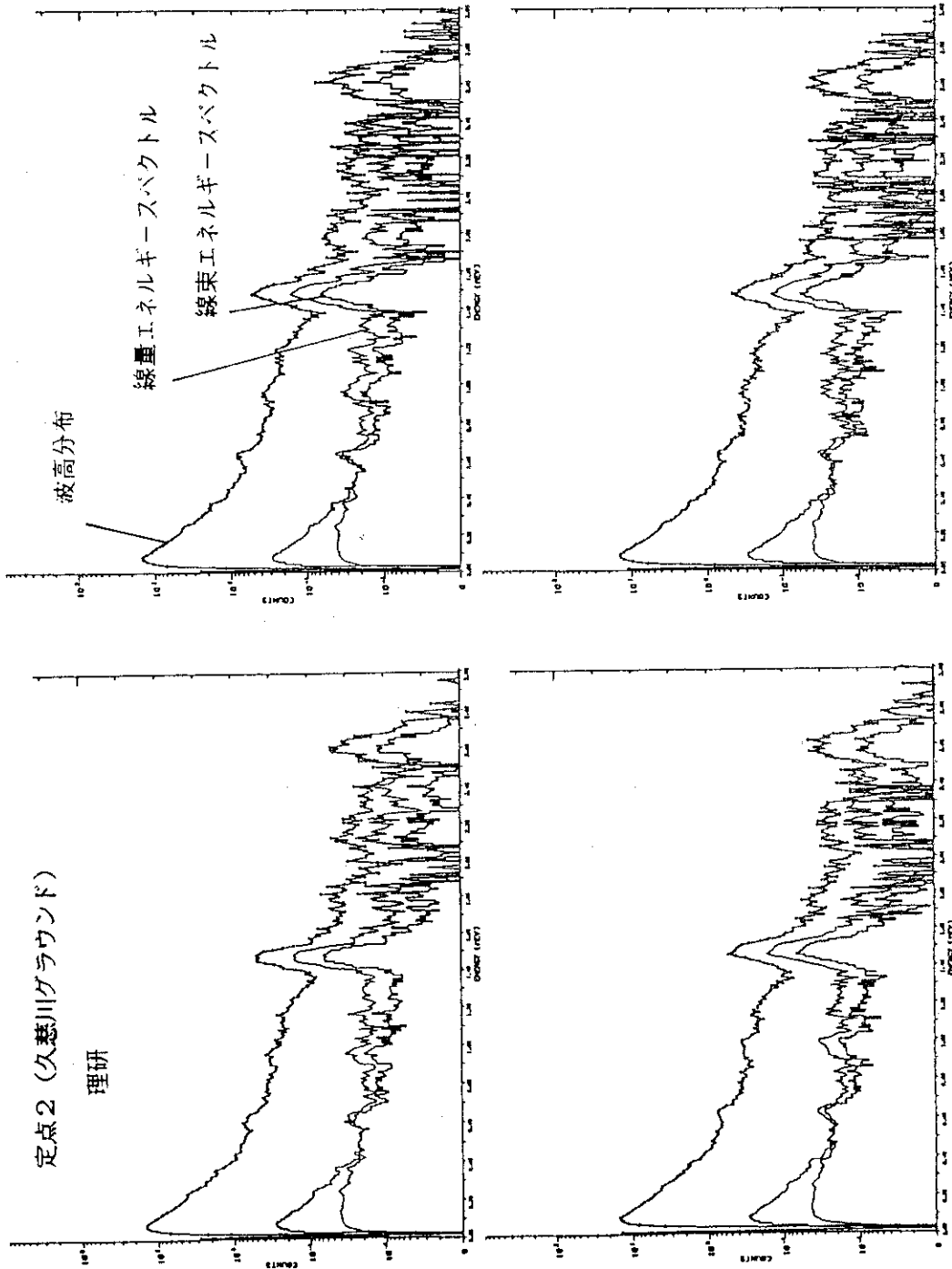


Fig. 3 The gamma ray pulse height spectrum at 1m height on the ground, the gamma ray flux density and the energy spectrum of exposure rates. The results at the Kuji River ground using the IPCR method.

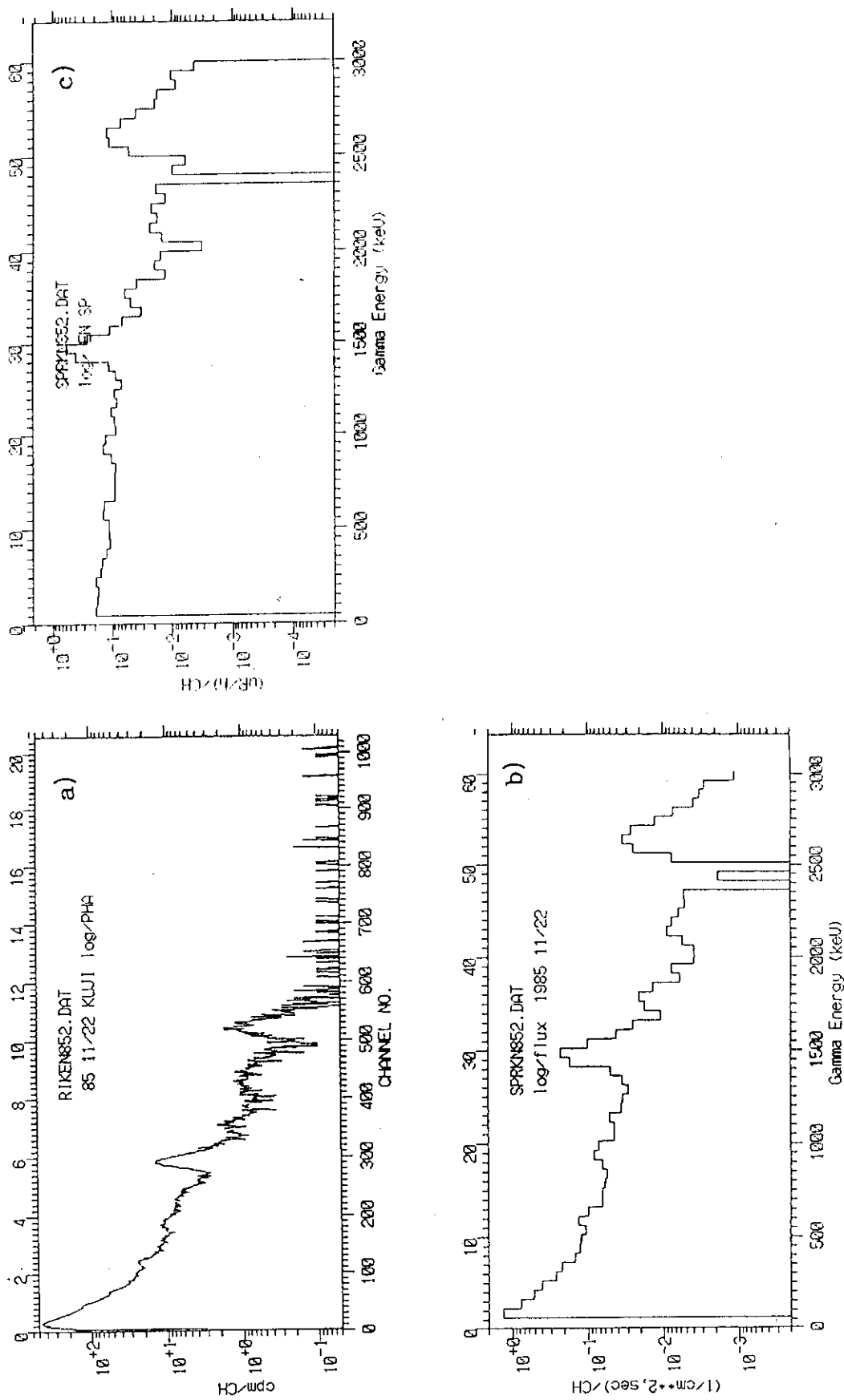


Fig. 4 The gamma ray pulse height spectrum at 1m height on the ground, the gamma ray flux density and the energy spectrum of exposure rates. The results at the Kuji River ground using the JAERI method.

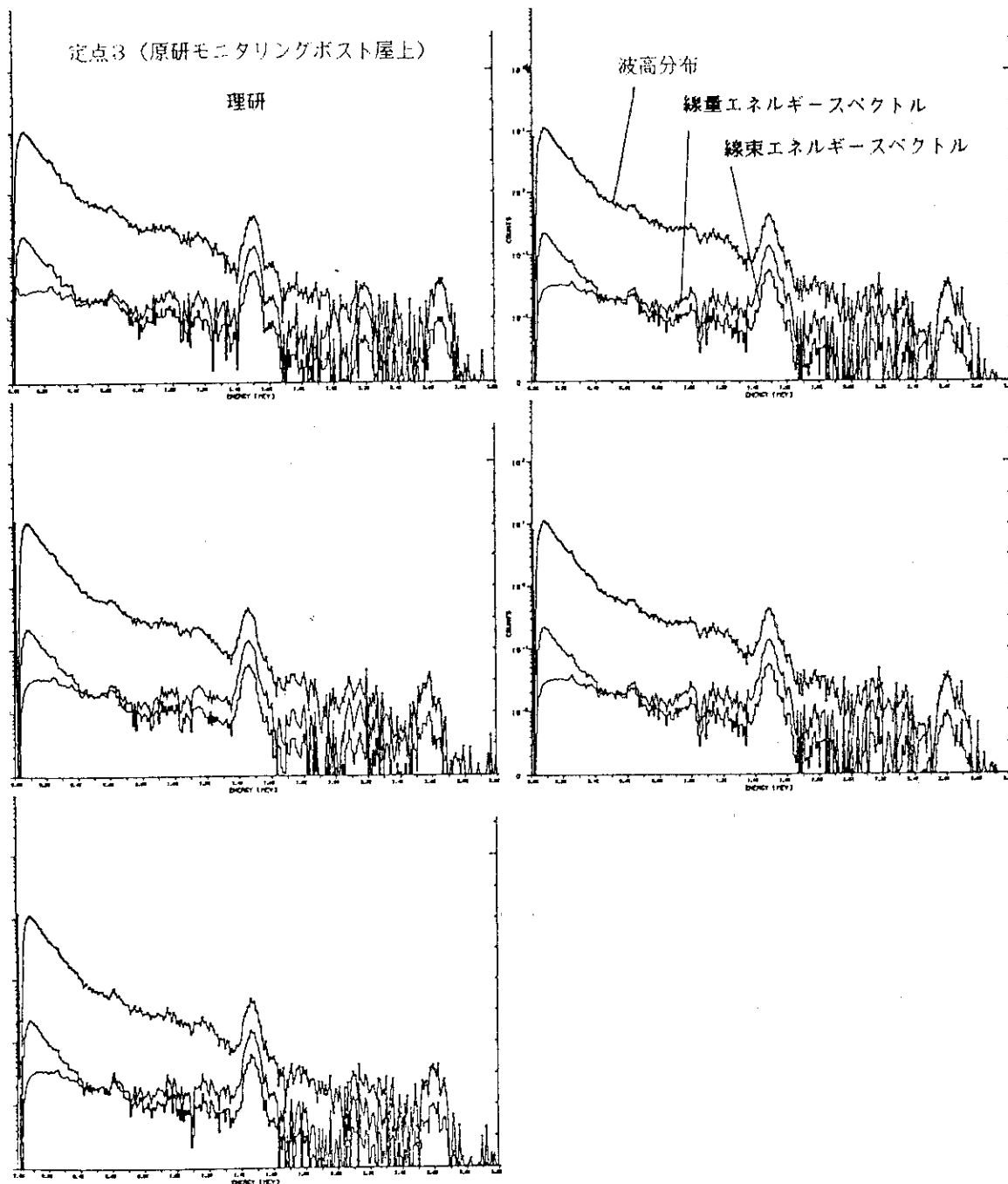


Fig. 5 The gamma ray pulse height spectrum at 1m height on the ground, the gamma ray flux density and the energy spectrum of exposure rates. The results at the JAERI monitoring post using the IPCR method.

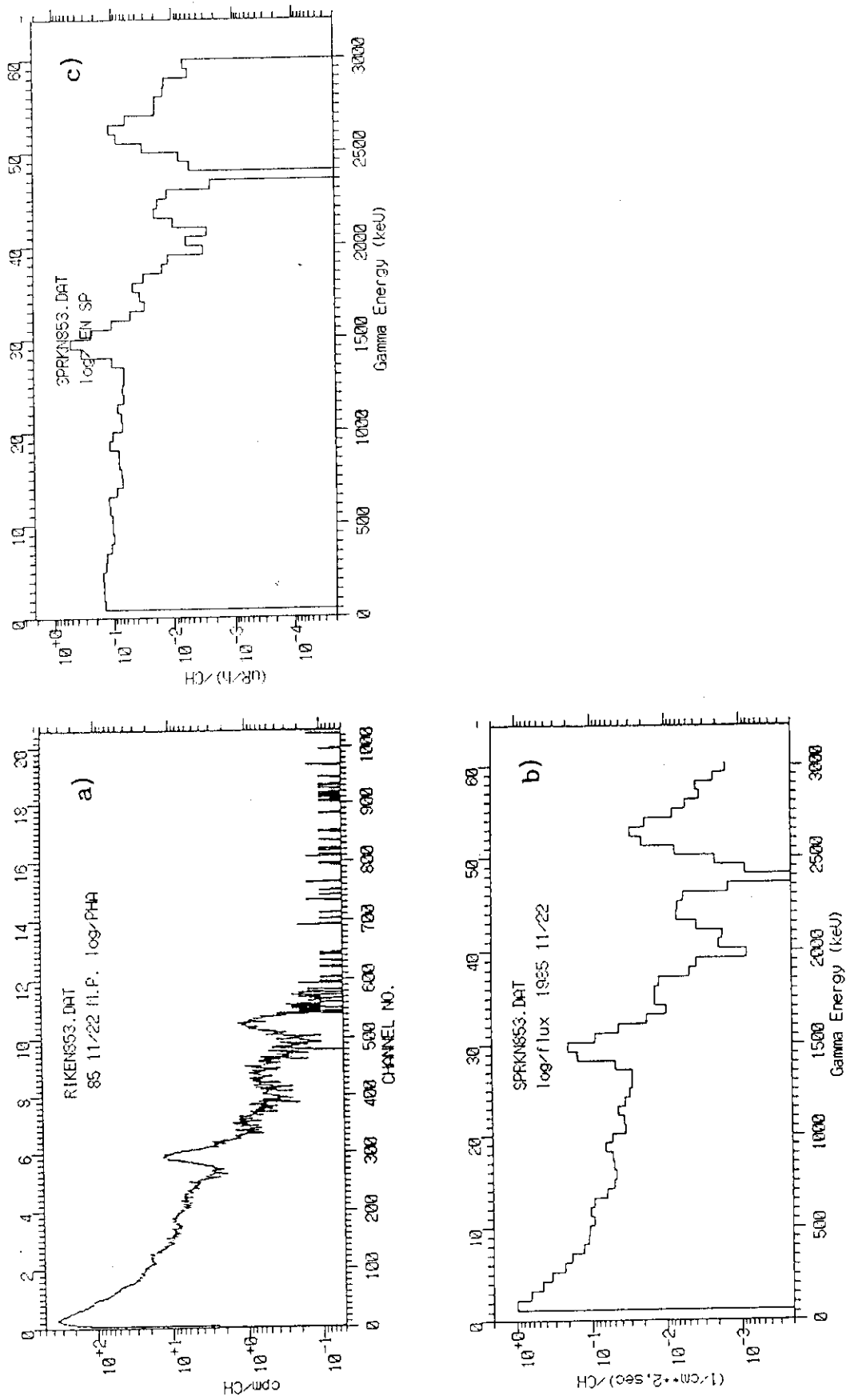


Fig. 6 The gamma ray pulse height spectrum at 1m height on the ground, the gamma ray flux density and the energy spectrum of exposure rates. The results at the JAERI monitoring post using the JAERI method.

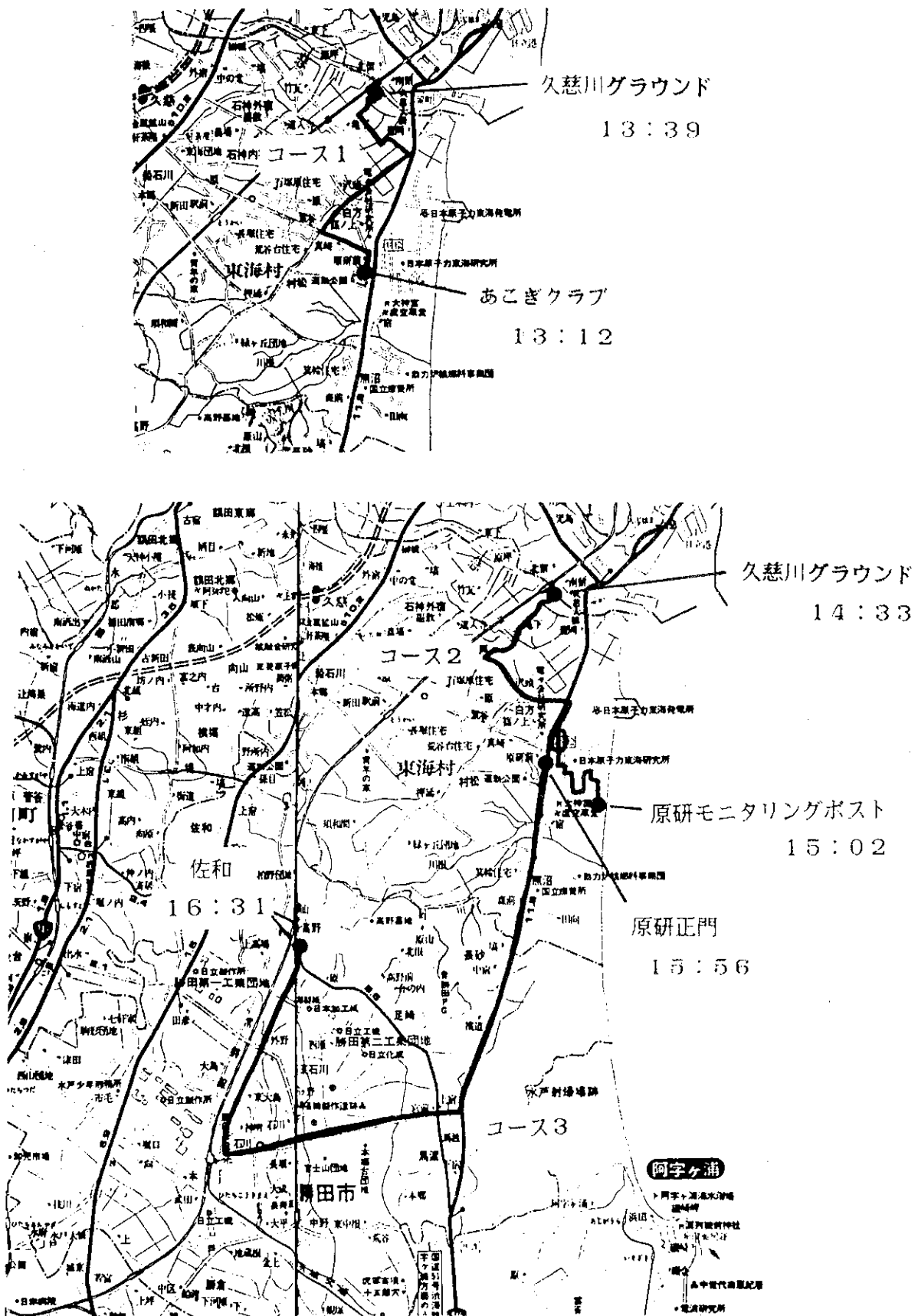


Fig. 7 The driving course of the environmental survey car.

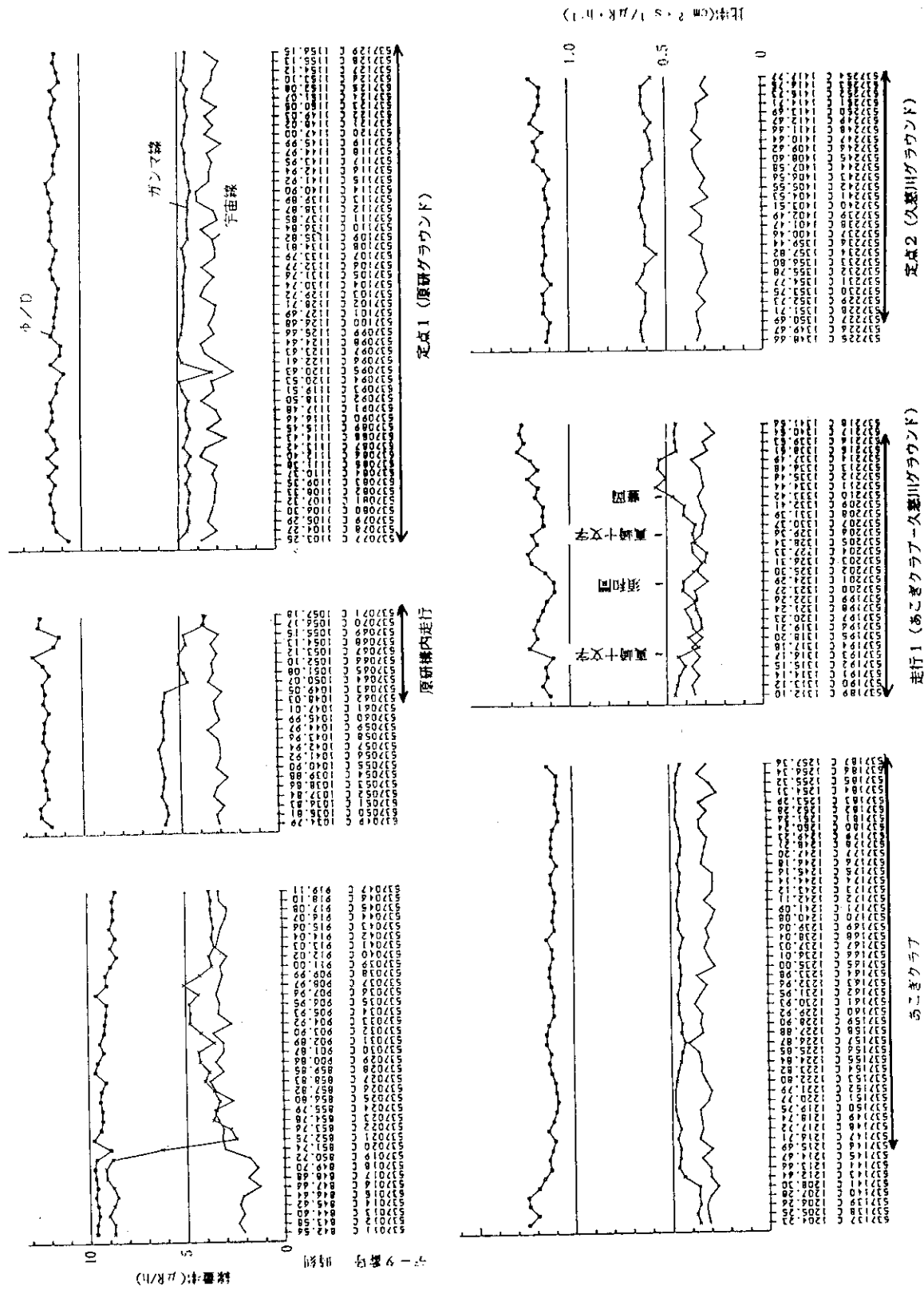
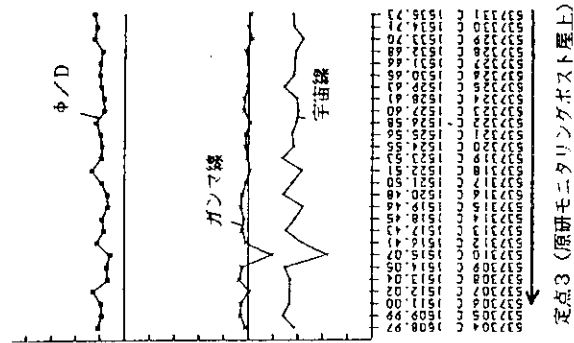
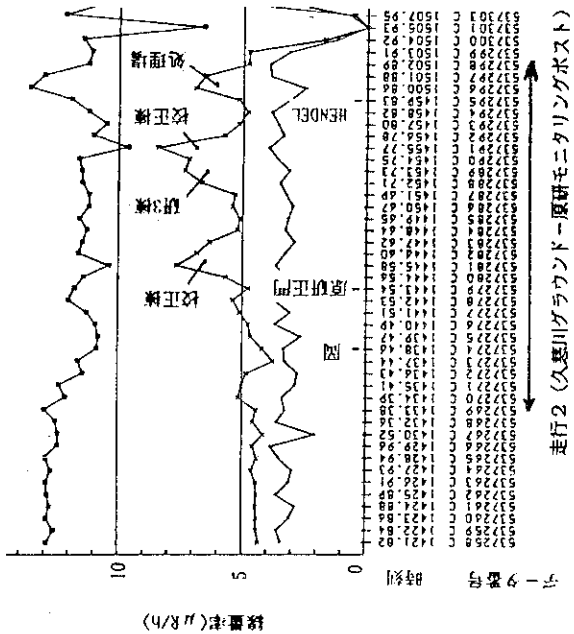
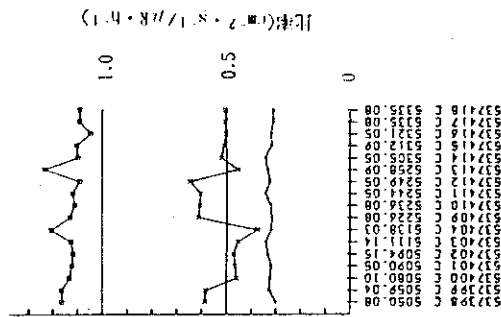


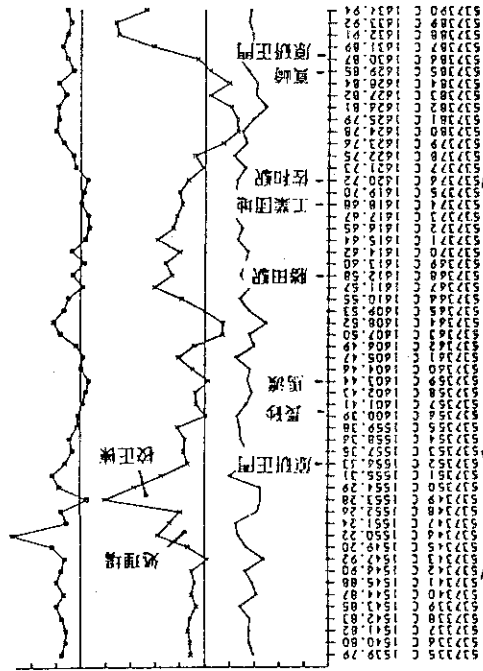
Fig. 8 Change of exposure rates observed in the environmental survey car. The results from the IPCR method.



定点3 (原研モニタリングポスト屋上)

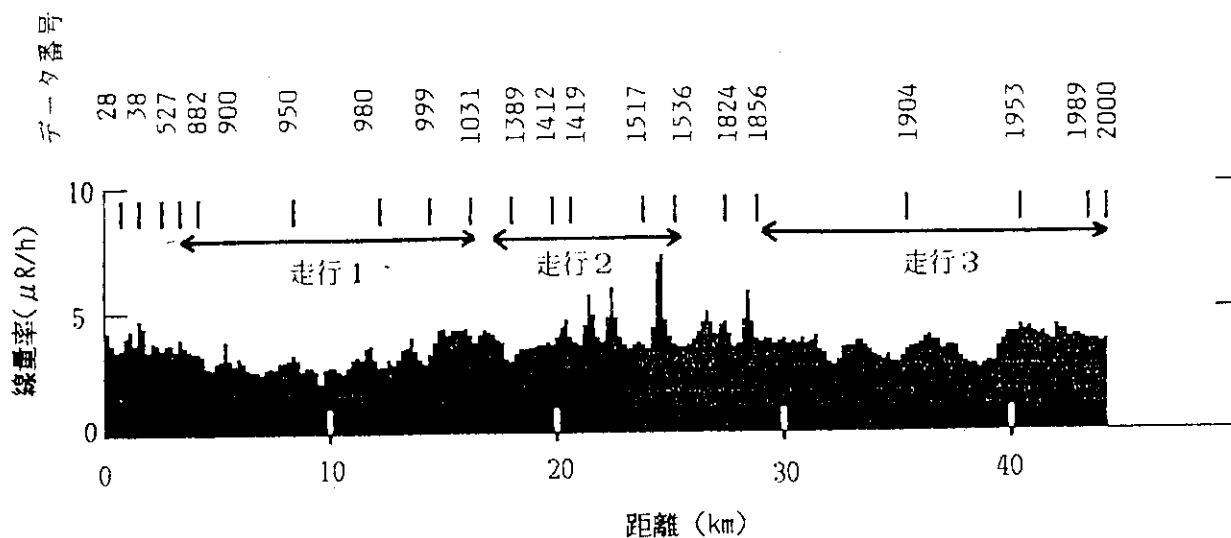


走行2 (久慈川クラウド-原研モニタリングポスト)



走行3 (原研正門-馬渡-佐和駅)

Fig. 8 (cont.)



28 アパッチ坂下	1419 原研正門
38 処理場	校正棟
527 原研南門	1517 再処理
882 旧東海郵便局前	処理場
900 真崎十文字	1536 原研モニタリングポスト
950 須和間	1824 アパッチ坂下
980 真崎十文字	1856 原研正門
999 豊岡	1904 馬渡交差点
1031 久慈川グラウンド	1953 勝田駅前交差点
1389 岡	1989 工業団地通り交差点
1412 原電前	2000 佐和駅前交差点

Fig. 9 Change of exposure rates in the environmental survey car. The results from the JAERI method.

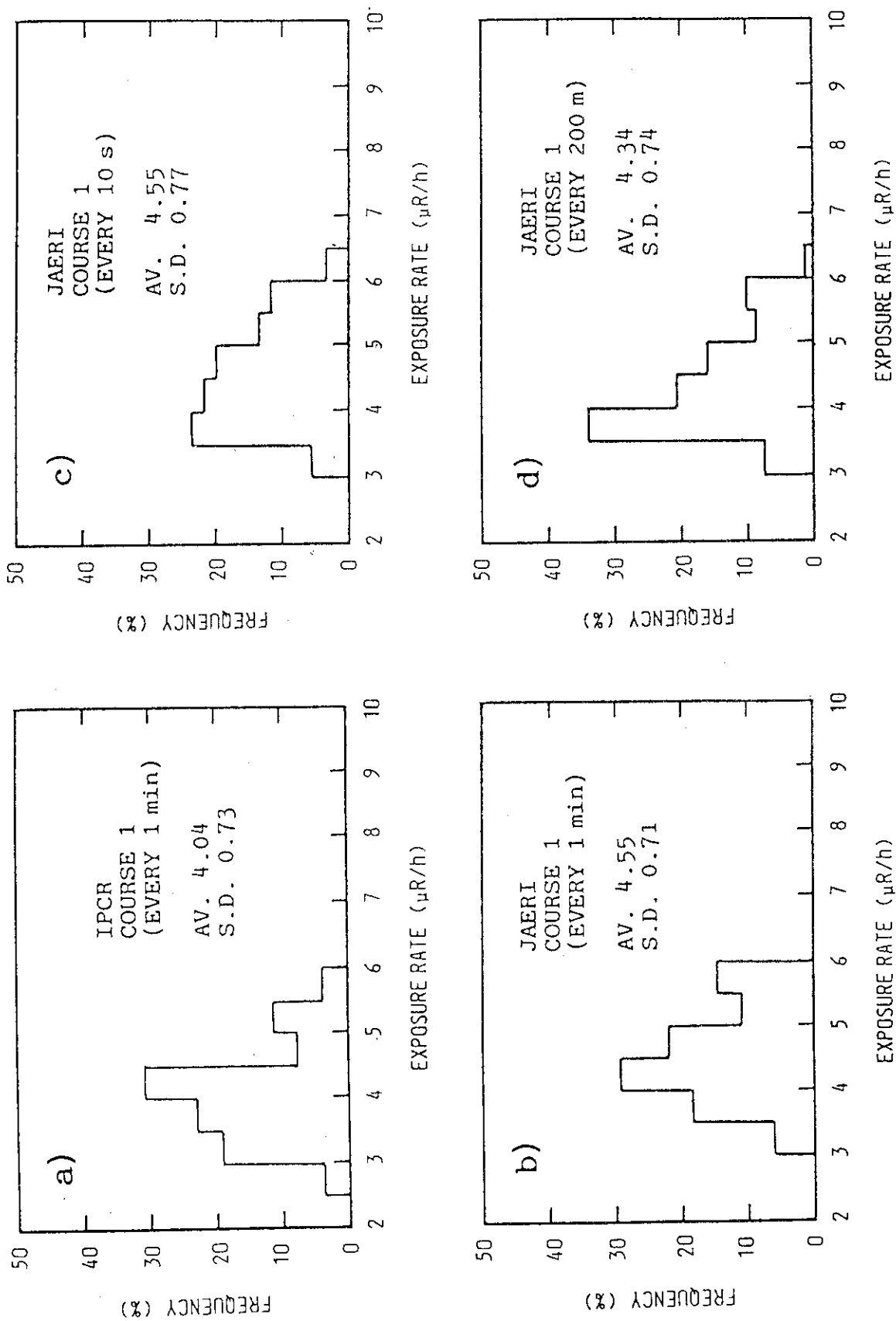


Fig. 10 Frequency distributions of exposure rates observed in driving course 1.

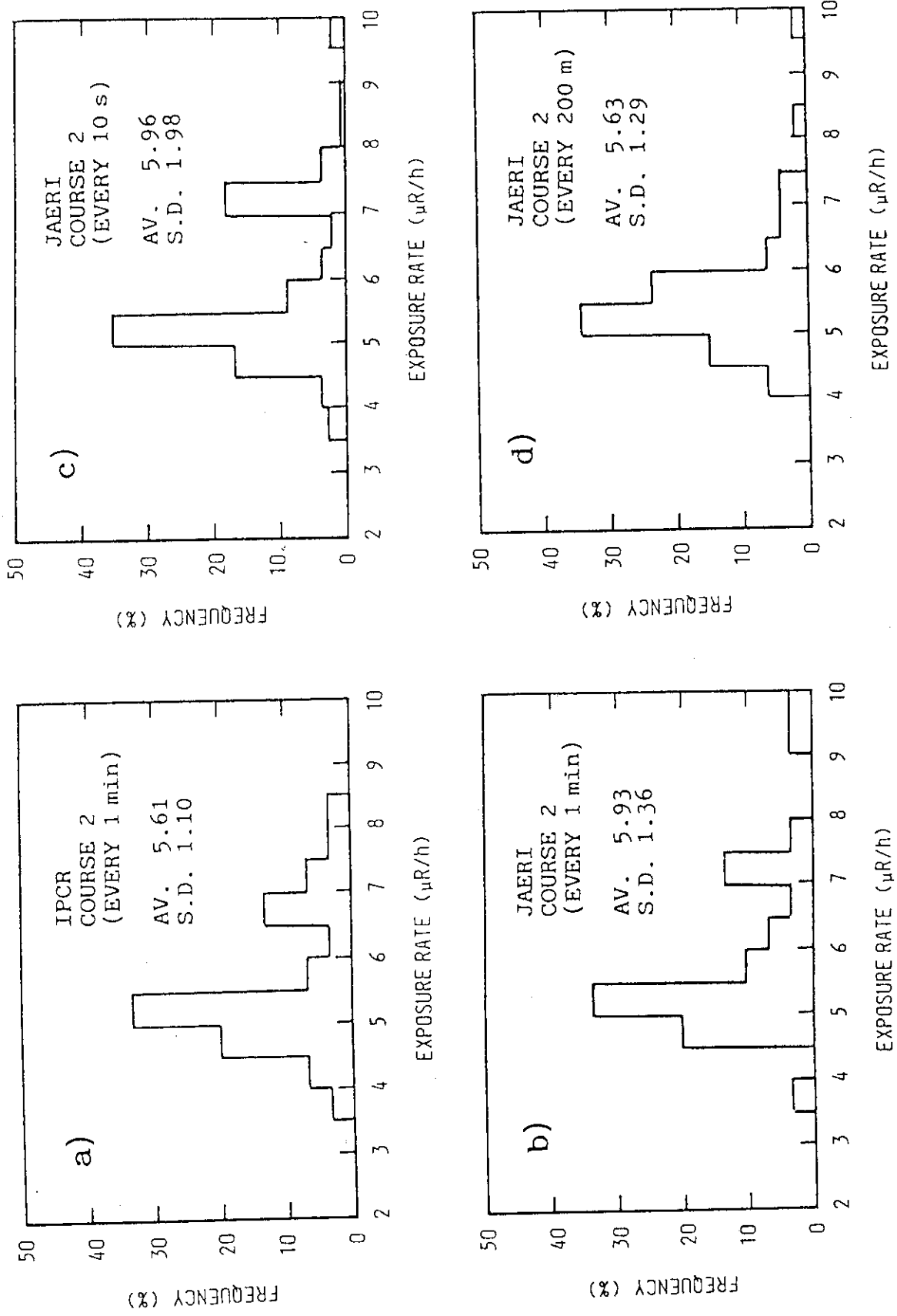


Fig. 11 Frequency distributions of exposure rates observed in driving course 2.

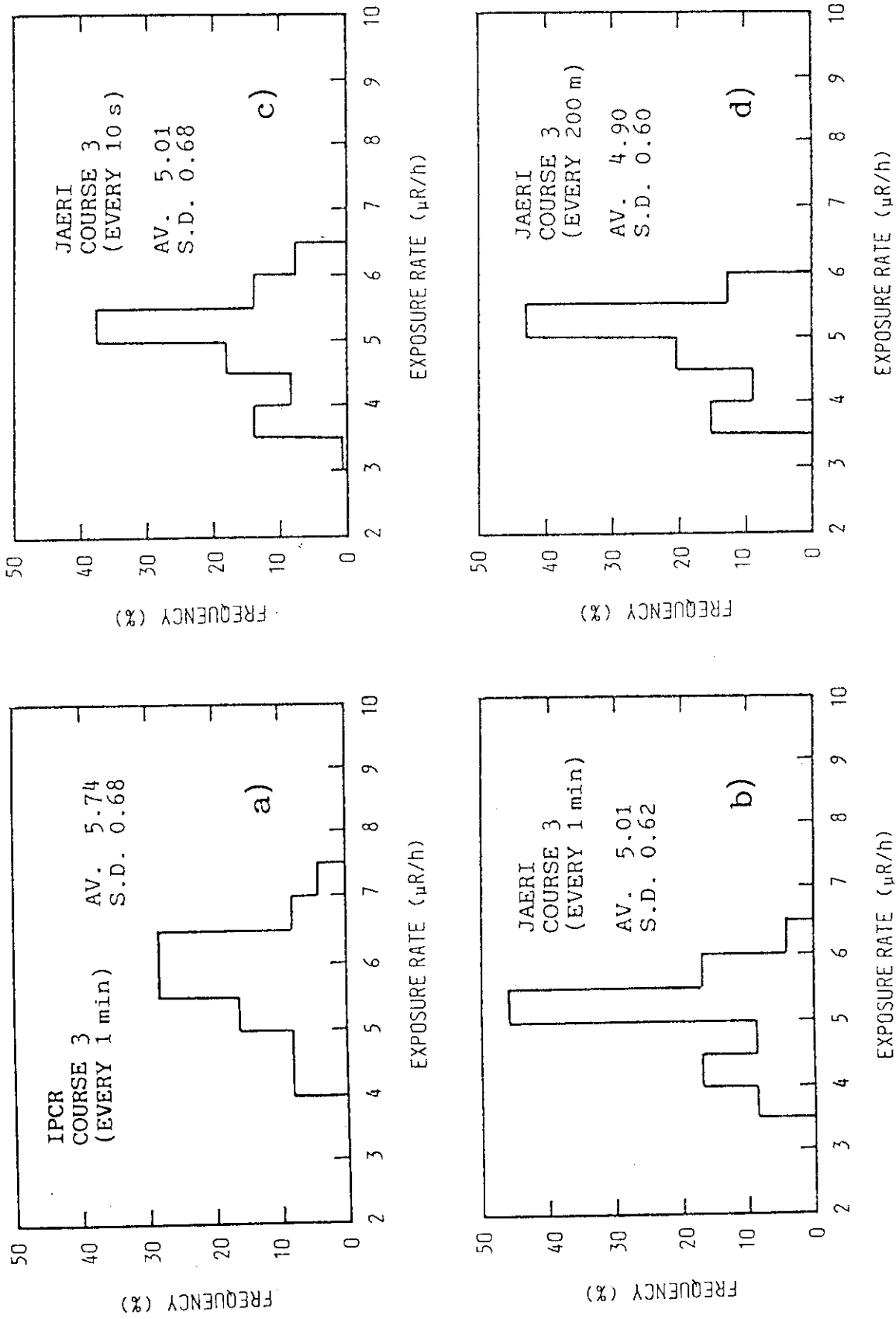


Fig. 12 Frequency distributions of exposure rates observed in driving course 3.

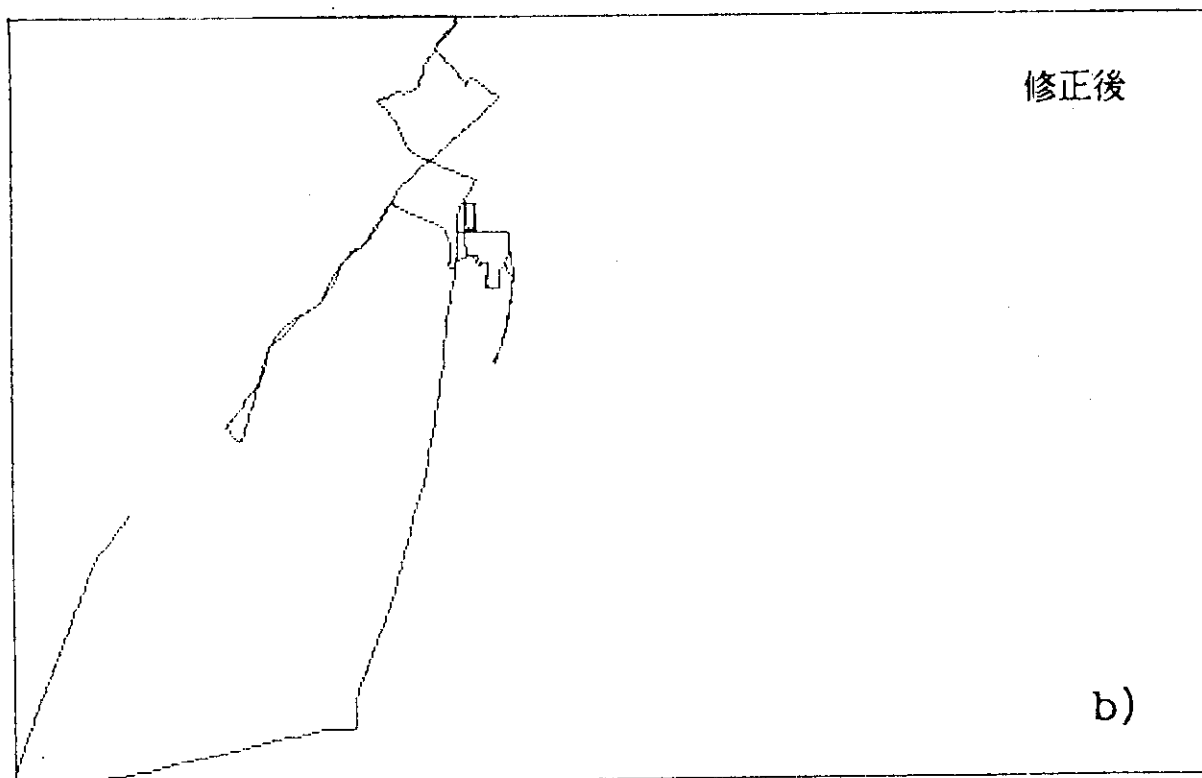
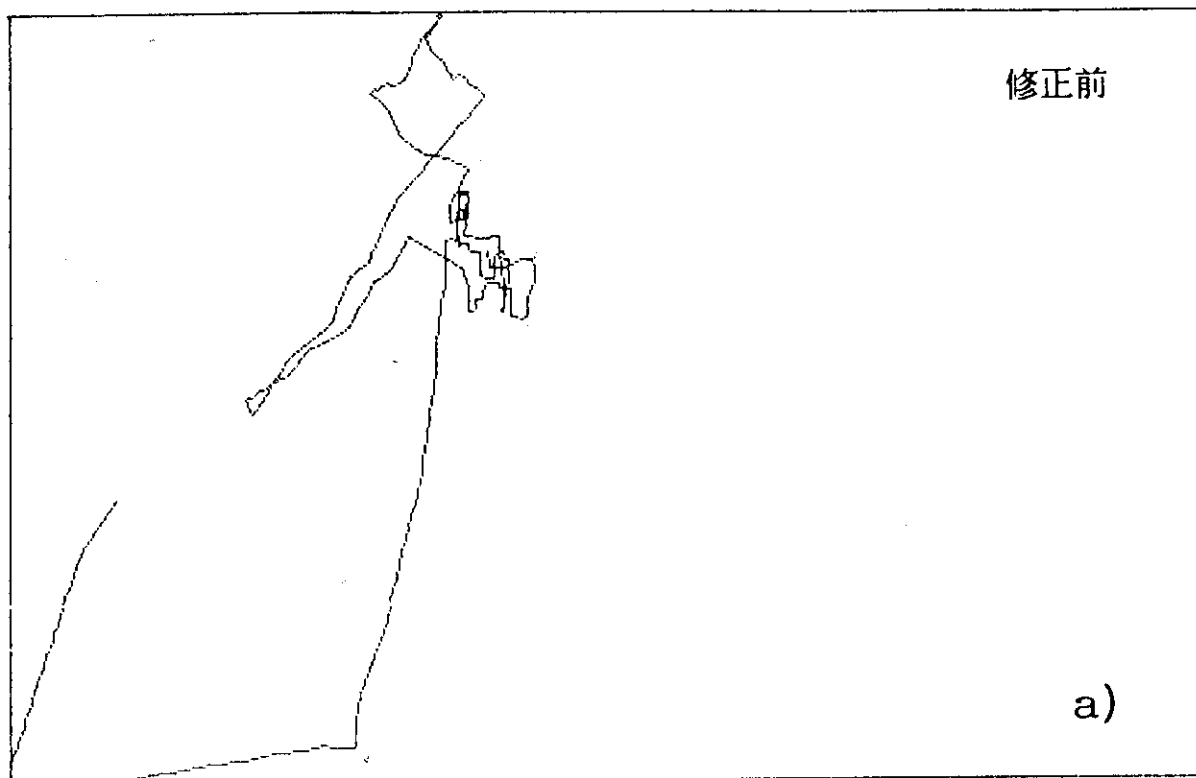


Fig. 13 The driving courses of the survey car drawn using the data from the positioning system.

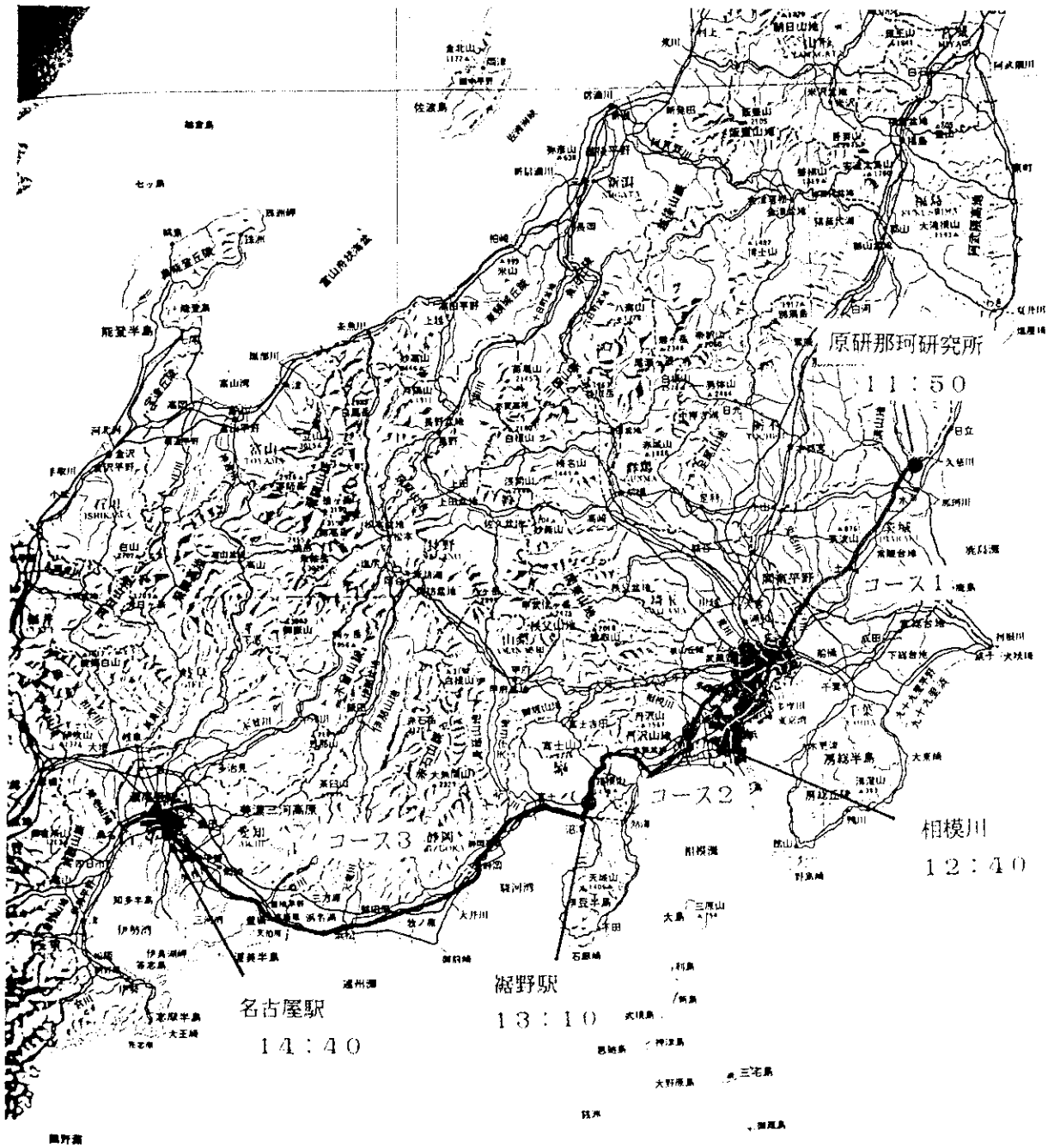


Fig. 14 The flying courses of the helicopter.

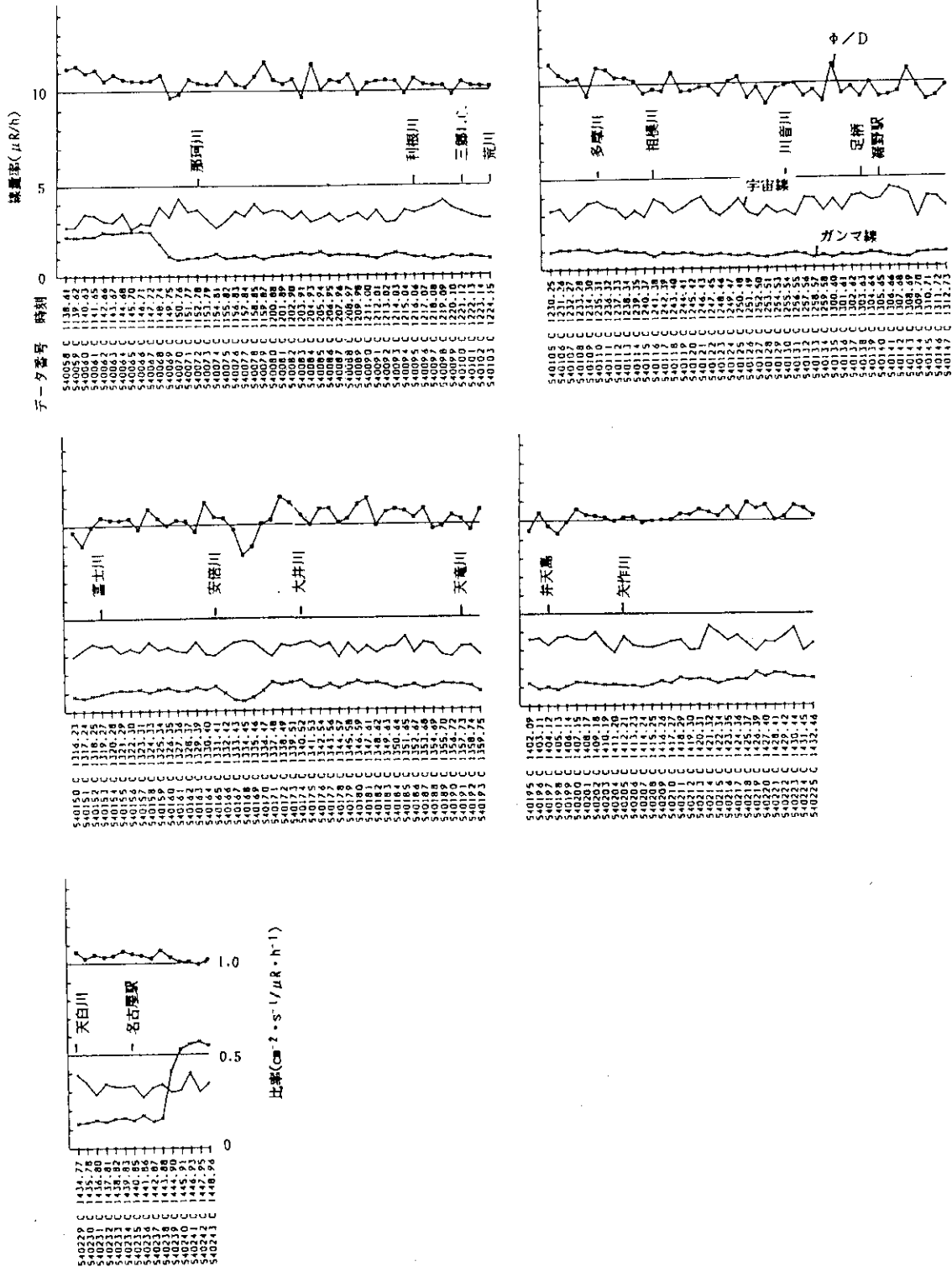
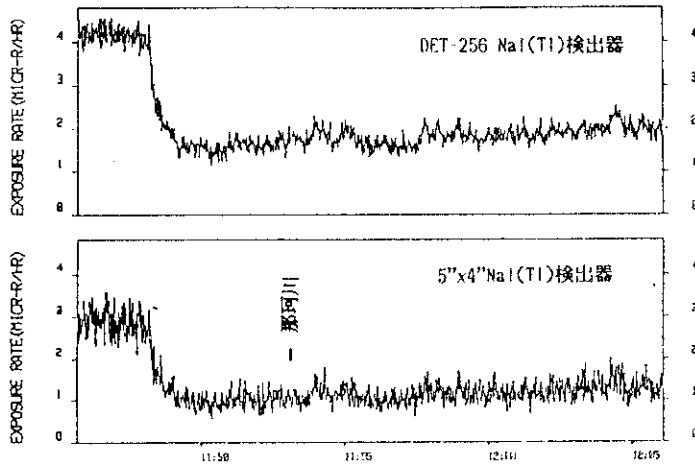
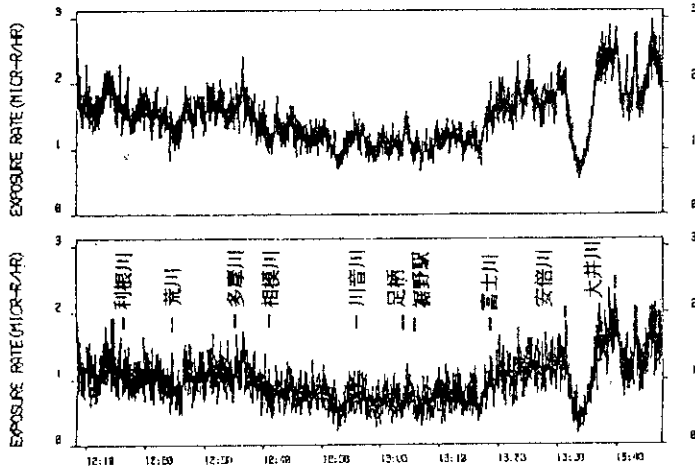


Fig. 15 Change of exposure rates observed in the flying helicopter using the IPCR system.

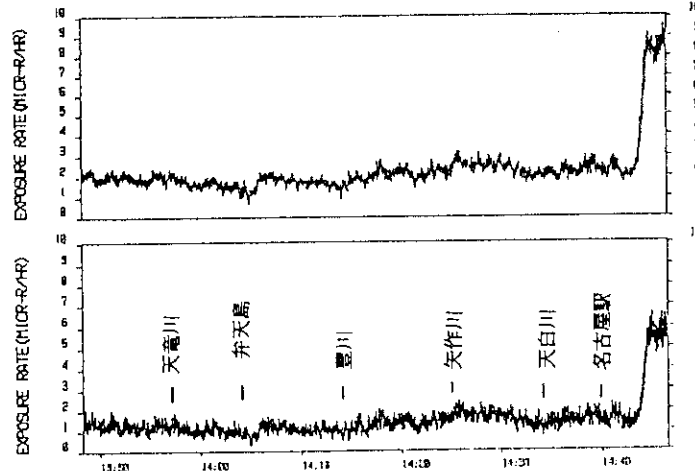
CALCULATED DOSE 2092 YEAR 1965 DECEMBER 9 MONDAY



CALCULATED DOSE 2092 YEAR 1965 DECEMBER 9 MONDAY



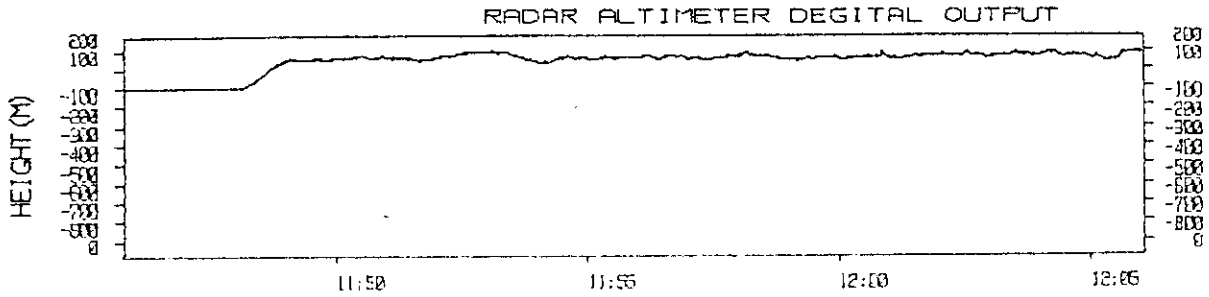
CALCULATED DOSE 2092 YEAR 1965 DECEMBER 9 MONDAY



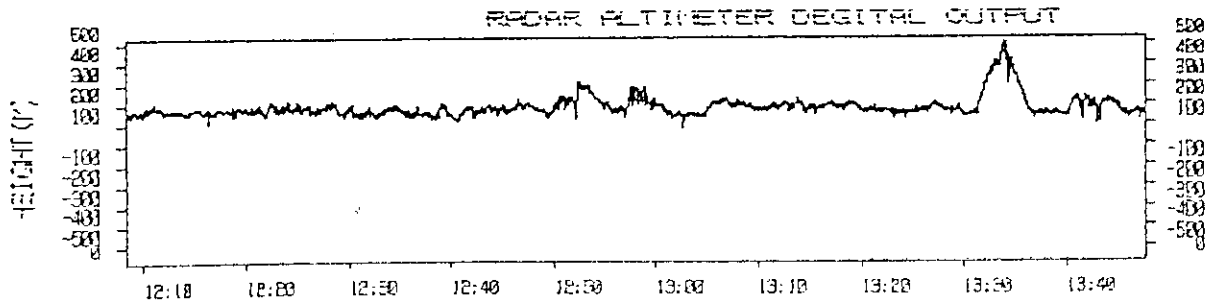
時刻

Fig. 16 Change of exposure rates observed in the flying helicopter using the JAERI system.

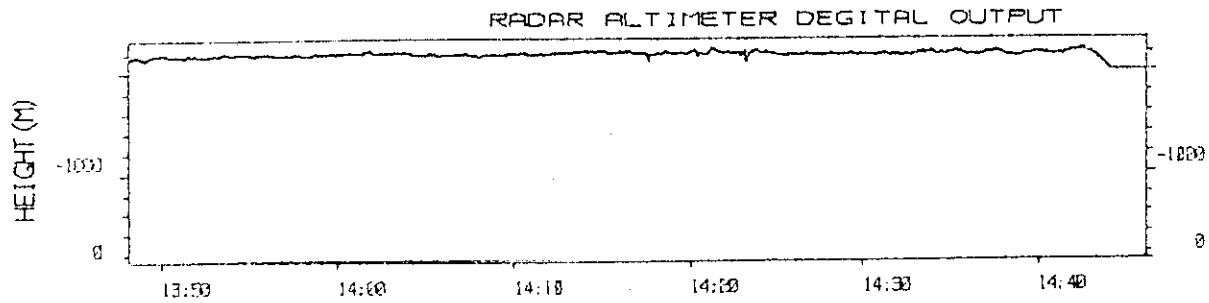
HEIGHT Z092 YEAR 1985 DECEMBER 9 MONDAY



HEIGHT Z092 YEAR 1985 DECEMBER 9 MONDAY



HEIGHT Z092 YEAR 1985 DECEMBER 9 MONDAY



時刻

Fig. 17 Sequential change of flying height measured by a radar altimeter.

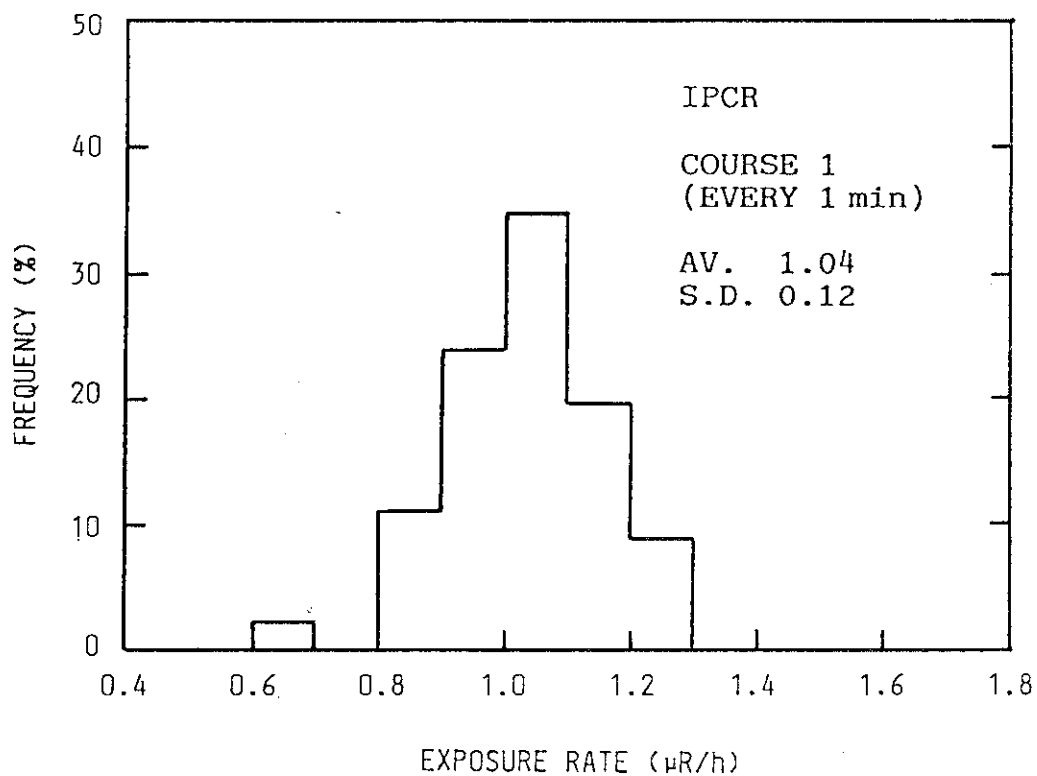
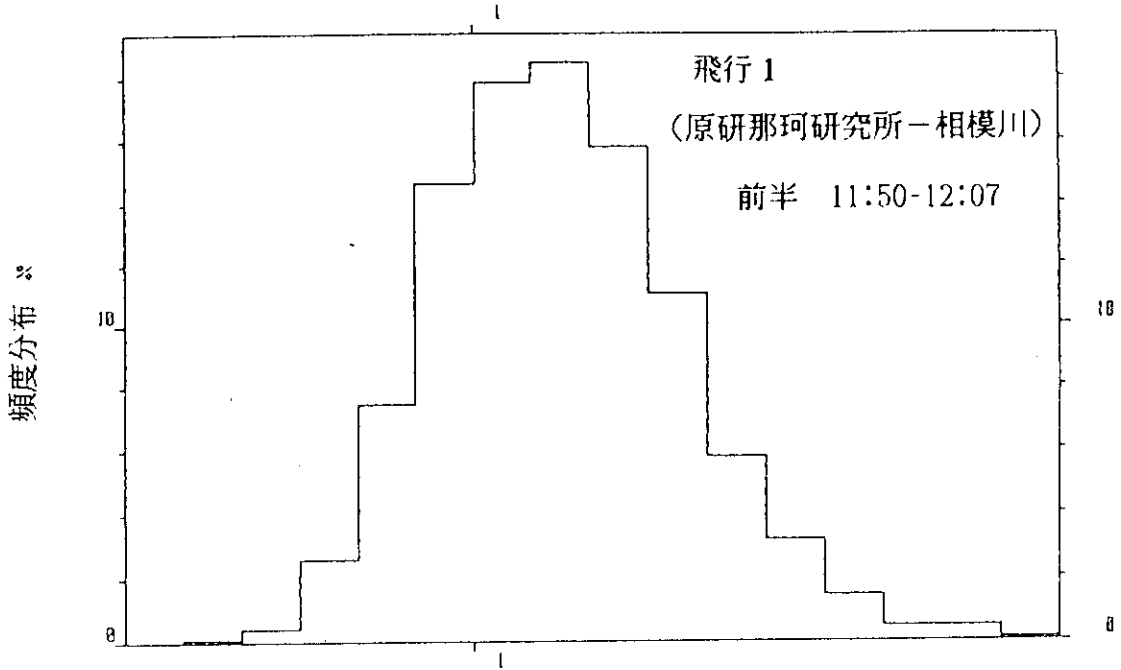


Fig. 18 Frequency distribution of exposure rates observed using the IPCR system in flying course 1.

Z092 YEAR 1985 DECEMBER 9 MONDAY

LP DOSE

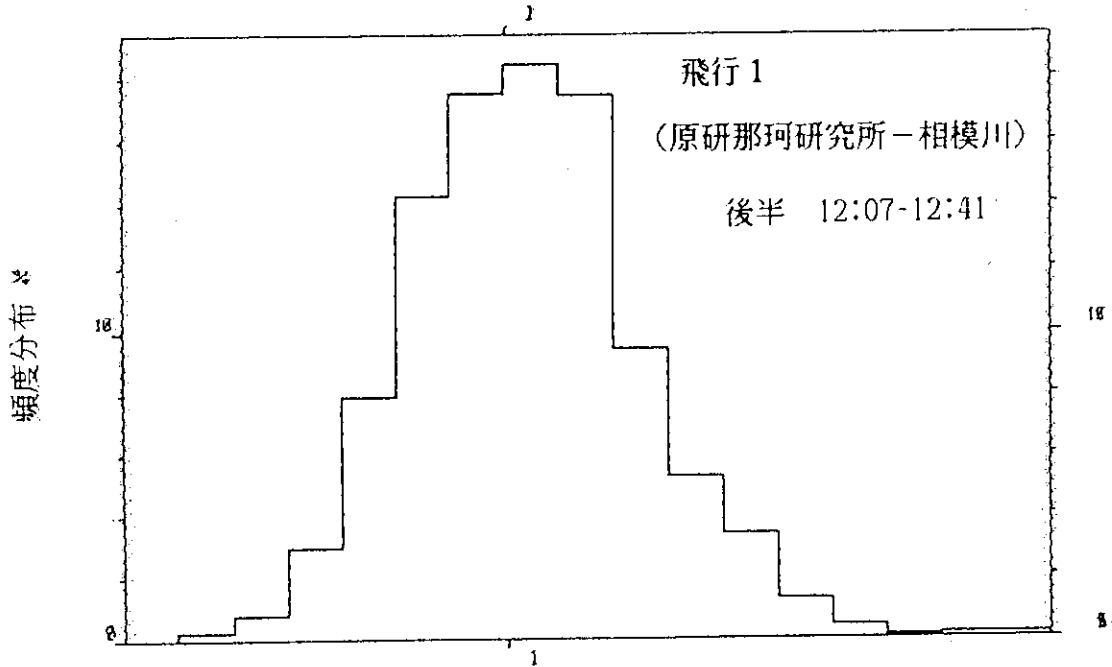
AVERAGE = 1.1500e+00 STANDARD DEVIATION = 2.1083e-01



Z092 YEAR 1985 DECEMBER 9 MONDAY

LP DOSE

AVERAGE = 1.0404e+00 STANDARD DEVIATION = 2.1153e-01



線量率(μR/h)

Fig. 19 Frequency distribution of exposure rates observed using the JAERI system in flying course 1.

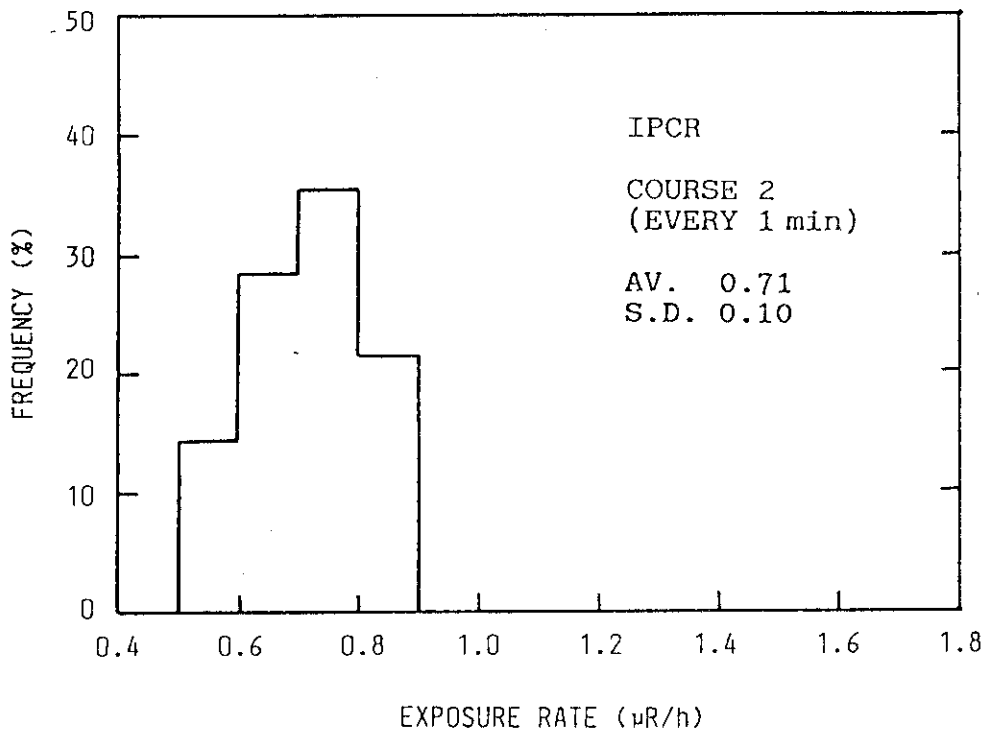


Fig. 20 Frequency distribution of exposure rates observed using the IPCR system in flying course 2.

Z092 YEAR 1985 DECEMBER 9 MONDAY

UP DOSE

AVERAGE = 7.2313e-01 STANDARD DEVIATION = 1.6944e-01

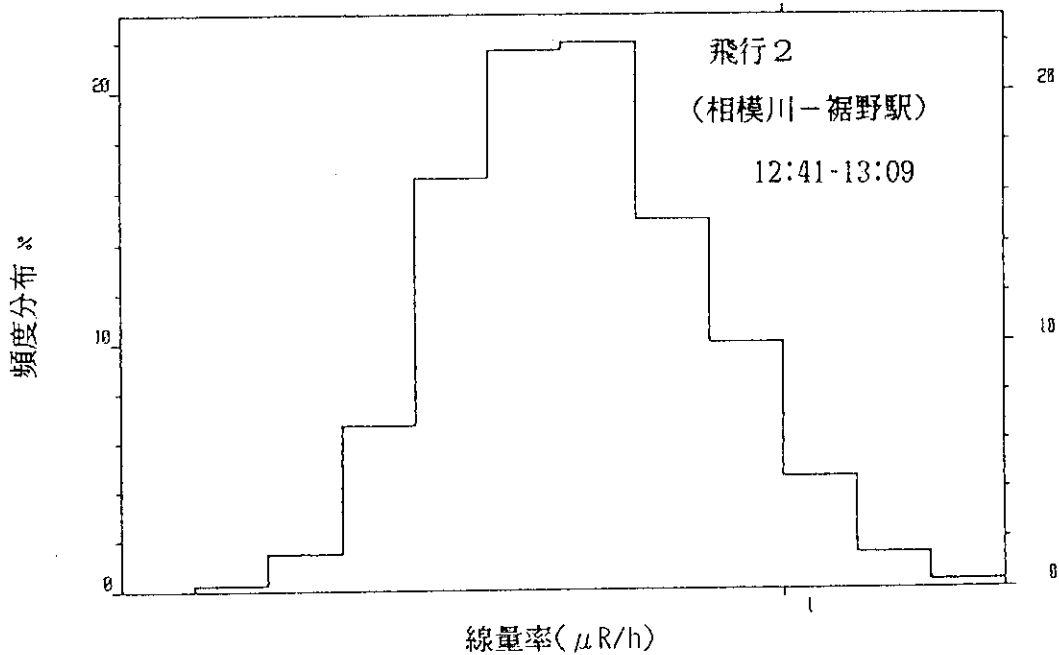


Fig. 21 Frequency distribution of exposure rates observed using the JAERI system in flying course 2.

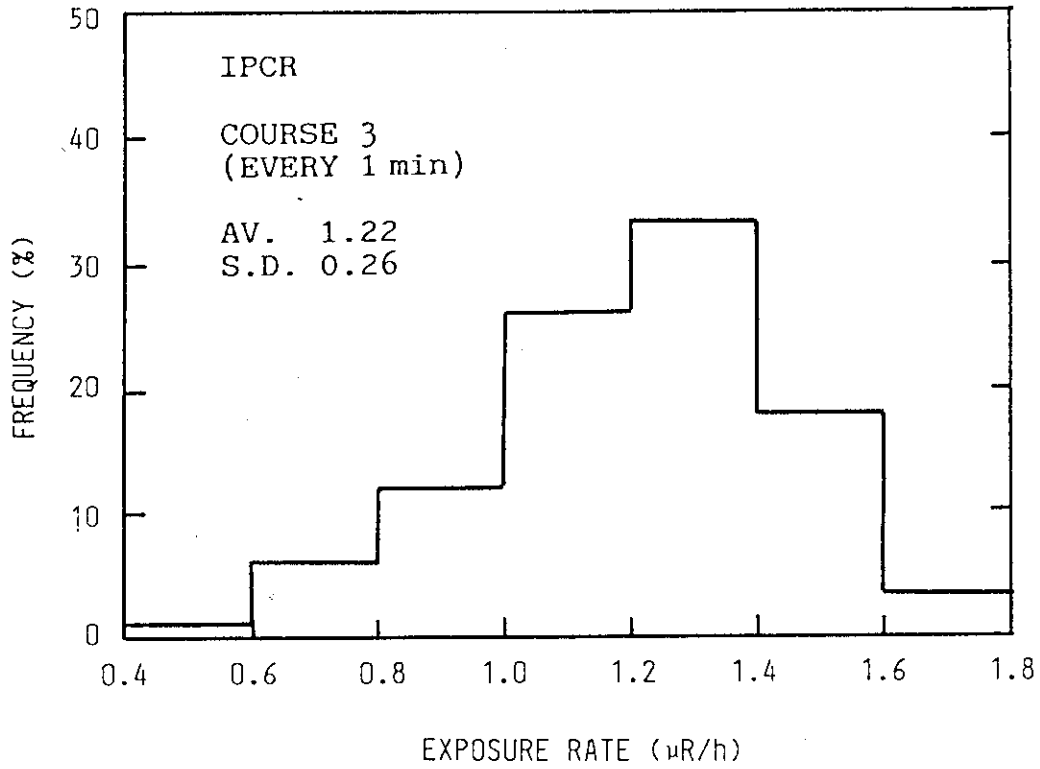
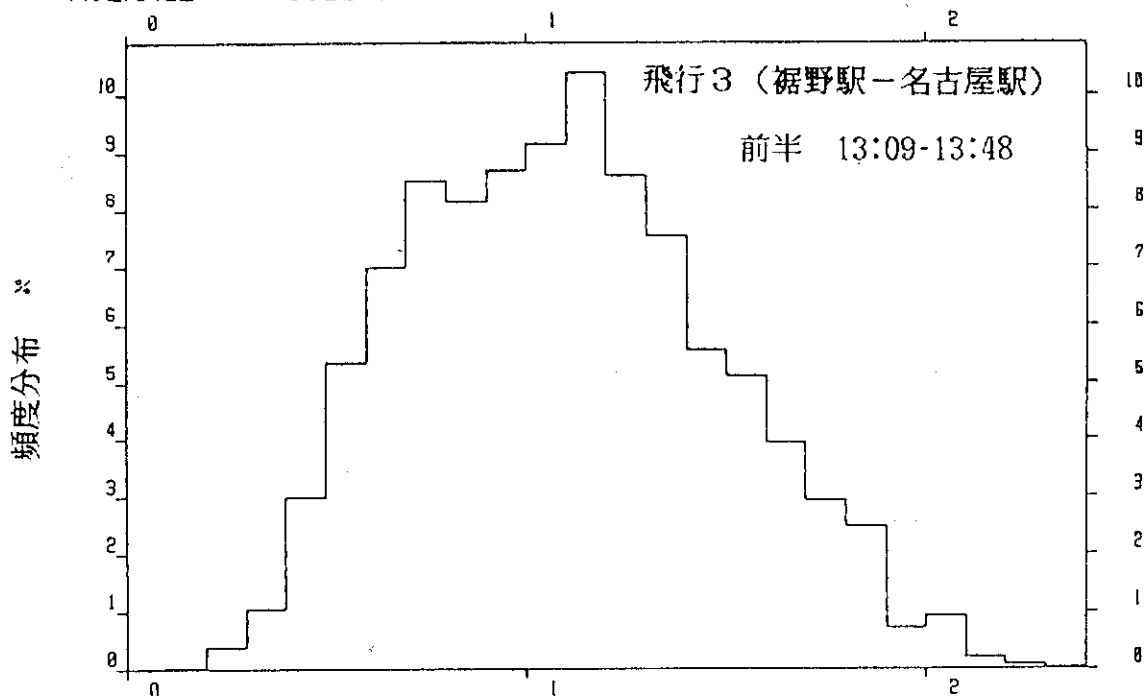


Fig. 22 Frequency distribution of exposure rates observed using the IPCR system in flying course 3.

Z092 YEAR 1985 DECEMBER 9 MONDAY

UP DOSE

AVERAGE = $1.0976e+00$ STANDARD DEVIATION = $3.8626e-01$



Z092 YEAR 1985 DECEMBER 9 MONDAY

UP DOSE

AVERAGE = $1.3203e+00$ STANDARD DEVIATION = $3.1550e-01$

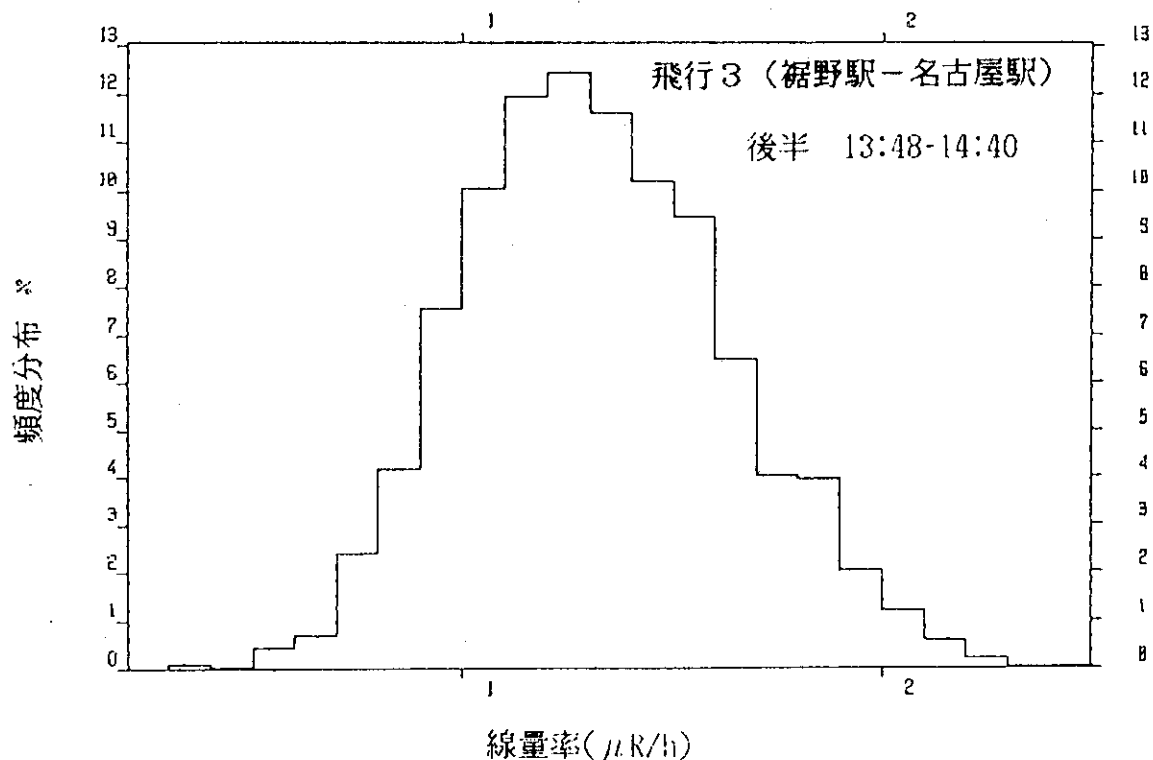


Fig. 23 Frequency distribution of exposure rates observed using the JAERI system in flying course 3.