

## 観測坑内におけるガンマー線連続観測 (I)

中尾 節郎・岸本 兆方・澁谷 拓郎  
 見野 和夫・西田 良平・桂 郁雄

### CONTINUOUS OBSERVATION OF $\gamma$ -RAY INTENSITY IN AN OBSERVATION VAULT (I)

By Setsuro NAKAO, Yoshimichi KISHIMOTO, Takuo SHIBUTANI,  
 Kazuo MINO, Ryohei NISHIDA and Ikuo KATSURA

#### Synopsis

Continuous observation of  $\gamma$ -ray intensity has been made at the observation vault attached to the Tottori Microearthquake Observatory for the purpose of investigating the relation between earthquake occurrence and  $\gamma$ -ray intensity.

From the results for about 40 months it is elucidated that  $\gamma$ -ray intensity shows an annual variation and has approximately negative and positive correlations to atmospheric pressure and temperature, respectively.

It was ascertained that the  $\gamma$ -ray intensity commences to show abnormally large values a few months before the occurrence of nearby earthquakes with relatively large magnitude, say, greater than 4.5.

#### 1. は じ め に

地中より地表に散逸してくる放射性元素には、 $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{220}\text{Tn}$  とその崩壊生成物が考えられる。すなわち、地中にはウラン系列 (Fig. 1) の親核種  $^{238}\text{U}$ , トリウム系列の親核種  $^{232}\text{Th}$  から生成した  $^{226}\text{Ra}$  及び  $^{224}\text{Ra}$  が存

#### ウランニウム系列

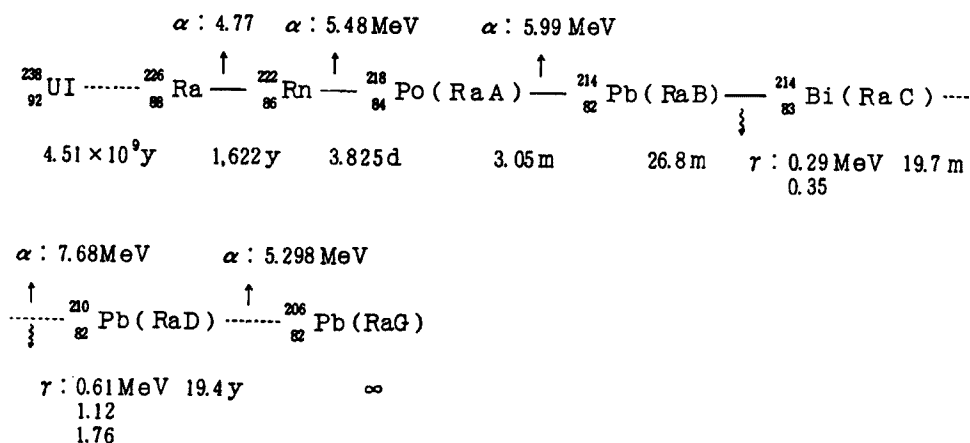


Fig. 1. Radioactive decay of uranium series.

在する。これらが崩壊し、不活性ガスである  $^{222}\text{Rn}$  (半減期3.8日),  $^{220}\text{Tn}$  (半減期54.5秒) となる。半減期を考えると、地中から割れ目や断層に沿って散逸してくる放射性物質の主成分は、 $^{222}\text{Rn}$  (以後ラドンガスと記す) と考えて良い。又、ラドンガスは水に溶け地下水にも多く存在する。

大地震の前後にラドンガス濃度に変化があり、それが地震予知に有効であるといわれている。ラドンガス濃度の変化が地震の前兆として観測される例が今迄多くみられている。例えば、1966年ソ連邦ウズベク共和国に発生したタシケント地震の例がある。すなわち、深層地下水中のラドンガス濃度が、マグニチュード(以後Mと記す)5.5の地震に先行して数年間上昇し、地震の直前に最高値に達し、地震後もとの濃度に戻った<sup>1)</sup>。中国では、1975年海城地震や1976年松藩・平武地震の前に、広範囲にわたって、地下水中のラドンガス濃度が数日から1ヶ月余りの間に異常変化したという報告<sup>2), 3)</sup>がある。我が国でも伊豆大島近海地震<sup>3)</sup> や千葉・茨城県境付近の地震<sup>4)</sup> の前に地下水中のラドンガス濃度に変化したという報告がある。

われわれは、主に放射能探査<sup>5), 6)</sup>に用いられている、シンチレーション・サーベイメーター (以後サーベイメーターと記す) を用い、地震発生との関連の研究を目的として、主としてラドン娘核種の出すガンマー線強度の連続測定を山腹にある坑内で行ってきた。今回は、測定場所の概況、ガンマー線源の識別、放射線の測定結果と他の量との関係などについて述べ、最後に近傍に発生した地震との関係について報告する。

## 2. ガンマー線源の識別と観測地の概況

本観測のデータは、京都大学防災研究所附属鳥取微小地震観測所の地殻変動観測用の坑内で、サーベイメーターを用いて行った測定により得られたものである。坑内の様子を **Fig.2** に示す。この観測坑のかぶりは約5～10mであり、岩は石英安山岩質火山礫凝灰岩である。観測坑は外気を遮断するために、アルミの

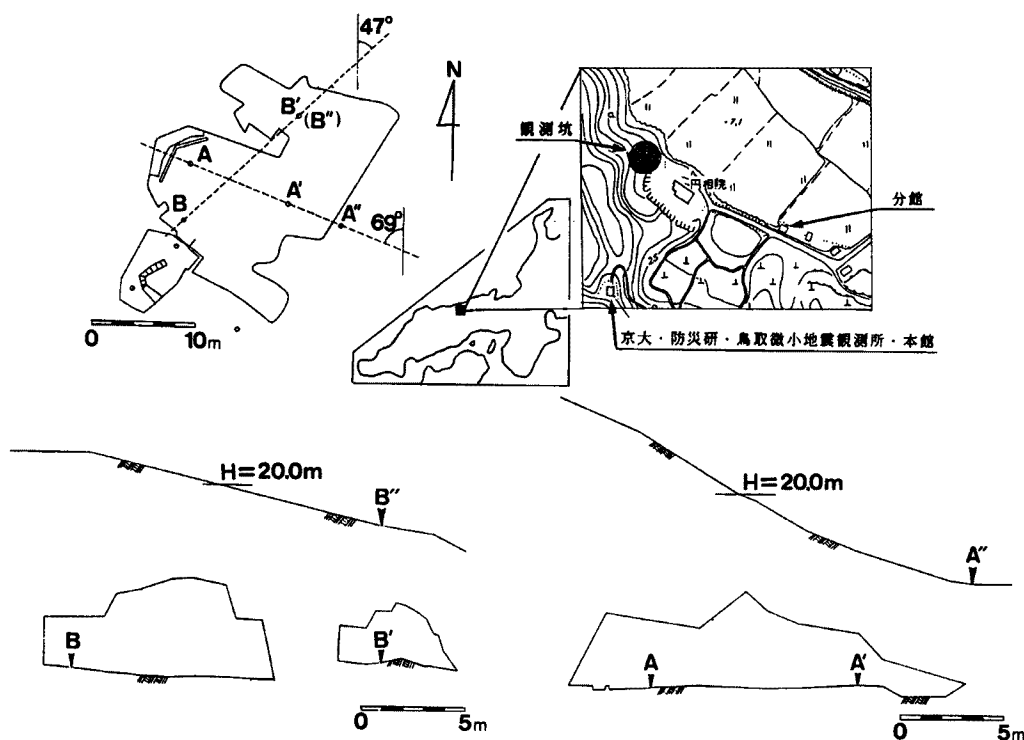


Fig. 2. Observation vault.

Upper right: position of the vault,

Upper left: a ground plan of the vault,

Lower: two vertical sections in the directions indicated in the figures.

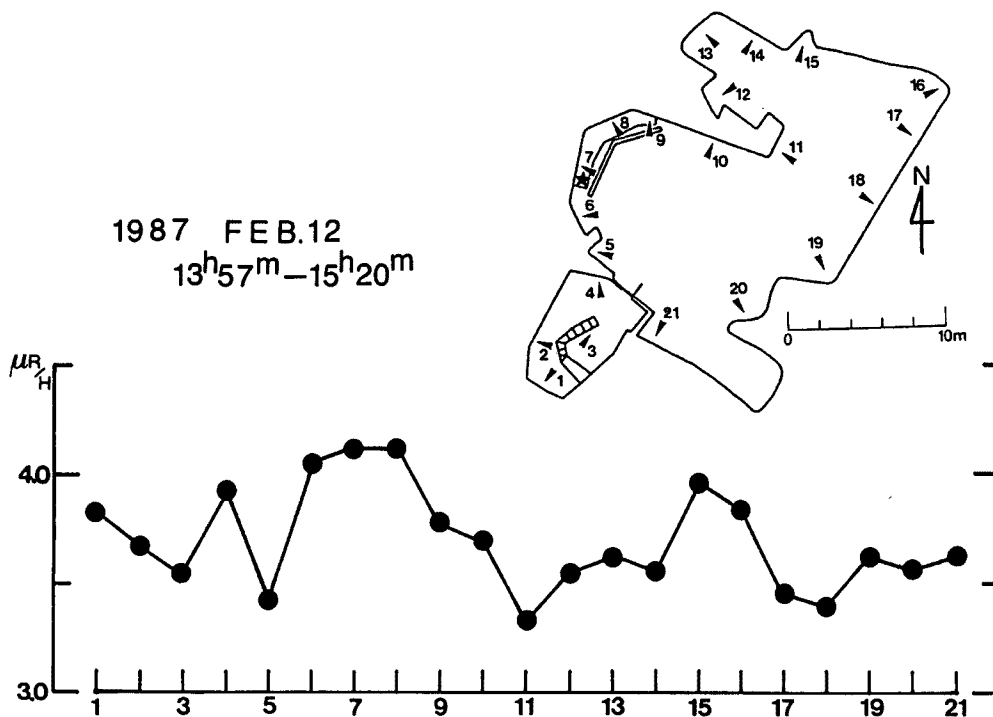


Fig. 3. Positions of the survey-meter for test observation (upper) and  $\gamma$ -ray intensity at each position (lower).

扉が2ヶ所設けられているがこの扉による気密性は乏しく、測定結果にみられる周期性の原因の1つになっていると思われる。

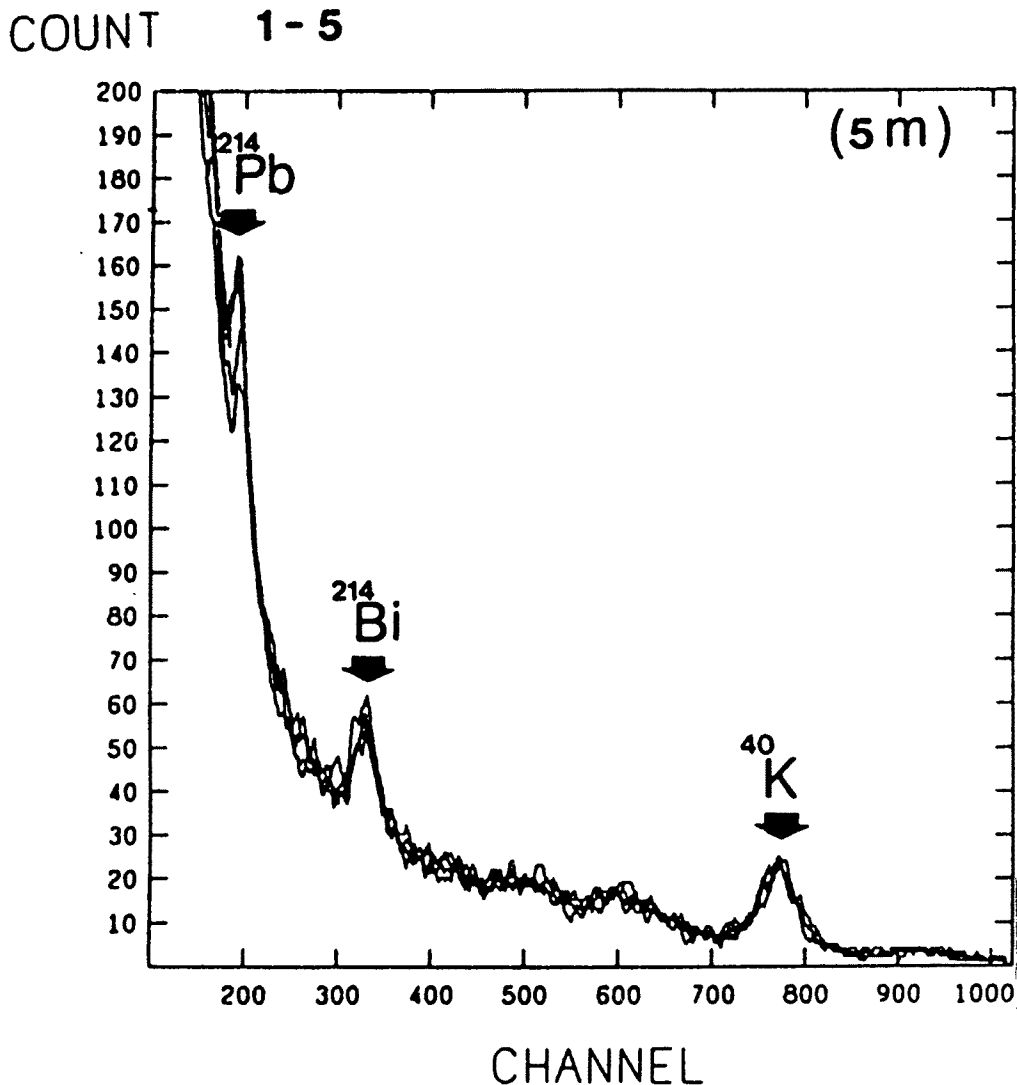
坑内のガンマー線の濃度の局所的な偏りを鉛の筒で指向性を持たせたサーベイメーターで調べたが、特に強い傾向はみられず、ガンマー線源は坑内にはほぼ様な濃度で分布していることが判った。測定した坑内の地点と結果を **Fig. 3** に示す。

使用したサーベイメーターは、口径1インチの NaI (TI) を装着し、これに入射したガンマー線数に比例した値をレートメーターで示している。観測坑内の空気、天井岩盤よりの滴水水及び岩石中の放射能濃度を測定したところ **Table 1** の様になり、それらの持っている放射能はいづれも特に多いものでないことが分った。さらに、サーベイメーターで測られているガンマー線を出している核種を調べるために、マルチチャンネルアナライザー（波高分析機、以後 MCA と記す）を坑内に持ち込んで、ガンマー線源を分別することにした。得られた測定結果を **Fig. 4** に示す。 $^{214}\text{Pb}$ 、 $^{214}\text{Bi}$ 、 $^{40}\text{K}$  に対応するピークが明瞭に分離されて現われている。 $^{222}\text{Rn}$  ガスの娘核種でガンマー線を放射して崩壊するのは、 $^{214}\text{Pb}$  と  $^{214}\text{Bi}$  である。 $^{214}\text{Bi}$  の近傍には  $^{40}\text{K}$  のコンプトン効果によるピークが出るが、この測定機では分離出来なかった。しかし、桂ら (1985) によると、コンプトン効果によるピークは小さく、ここでは問題にすることはないと考えられる。

以上の様に、サーベイメーターでは、確かに  $^{222}\text{Rn}$  ガスの娘核種を測定していることが判った。尚、 $^{40}\text{K}$  の放射するガンマー線も加わっているが、岩石中の  $^{40}\text{K}$  は一定値を示す筈であり、変動成分はラドン娘核種と

Table 1. Density of radioactivity in the vault.

|          |                                                                                                                                                                                                 |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Dripping | ~25 Bq/ml                                                                                                                                                                                       |
| Air      | ~820 Bq/m <sup>3</sup>                                                                                                                                                                          |
| Tuff     | $^{238}\text{U}$ — $2.6 \times 10^{-2}$ Bq/g<br>$^{226}\text{Ra}$ — $2.8 \times 10^{-2}$ Bq/g<br>$^{210}\text{Pb}$ — $3.1 \times 10^{-2}$ Bq/g<br>$^{228}\text{Ac}$ — $2.9 \times 10^{-2}$ Bq/g |

Fig. 4.  $\gamma$ -ray spectrum observed by MCA.

みられる。尚、ラドン娘核種の出ずガンマー線の変化をよくみるためには、サーベイメーターの回路を改良して、 $^{40}\text{K}$  の信号を除き、 $^{214}\text{Bi}$  以下のみを検出測定することが望ましい。

### 3. 測定結果

測定を開始した1983年8月23日から1986年10月31日までのガンマー線強度の観測結果を、気温、気圧及び雨量の観測値とともに **Fig. 5** に示した。ガンマー線強度は、その平均値を6秒毎に打点式レコーダーに記録しているが、データはバラツキを持っているので、図では1時間ごとにその平均値を読み取り、その1日平均値をプロットしている。気象データは、鳥取地方気象台における観測値で、気圧、気温は3時間ごとの読み取り値を採用し、その1日平均値をプロットし、雨量は1日の積算値をプロットしている。

ガンマー線強度連続測定については冬期の欠測が目立つが、その主因は、高圧電源回路の不良によるものである<sup>9)</sup>。

前論文<sup>10)</sup>で、約10分間の坑内におけるガンマー線強度の測定(10秒毎の読み取り値)で、約  $2\sim 3 \mu\text{R}/\text{H}$

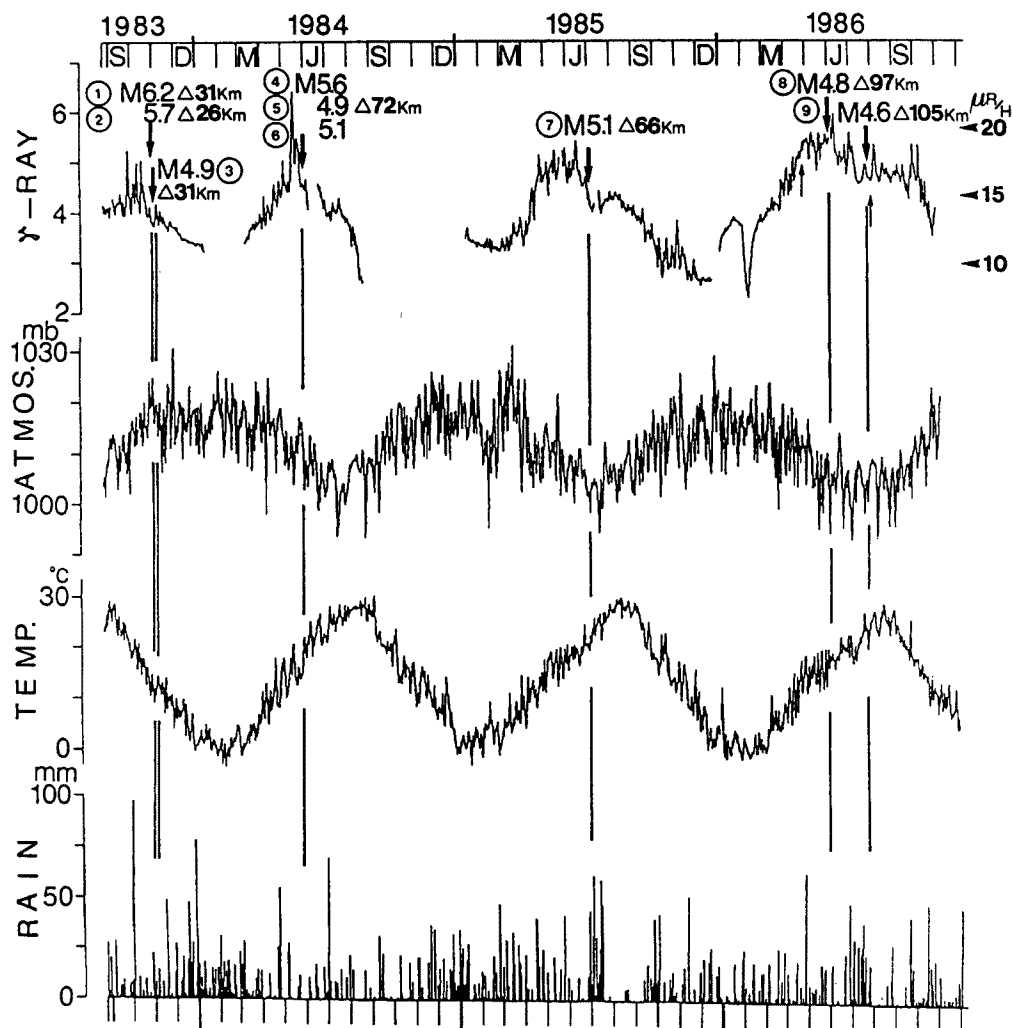


Fig. 5. Observational results of  $\gamma$ -ray intensity, atmospheric pressure, temperature and precipitation, in order from the top to bottom. Relatively large nearby earthquakes are shown by arrows attached to the  $\gamma$ -ray observation results.

の変動があると指摘したが、今回の測定結果ではさらに長周期の変動があることが判った。主な結果をまとめると次の通りであった。

- 1) 坑内におけるガンマー線強度は、 $2\sim3\mu\text{R}/\text{H}$  のバラツキを持ちながら、およそ  $3\sim4\mu\text{R}/\text{H}$  程度の幅を持つ約10日前後の短周期変動と、 $8\sim10\mu\text{R}/\text{H}$  の強度の幅で、夏に高く冬に低い長周期変動が認められる。
- 2) 気温、気圧及びガンマー線強度の長周期変動に対する自己相関関数を計算した結果を **Fig. 6** に示す。三者とも同様な長周期変動を持っていて、この周期は年周と考えてもよいことが判った。
- 3) 長周期変動については、約1ヶ月程度のフェーズラグはあるが、ガンマー線強度は気圧と負の相関、気温と正の相関が認められる。
- 4) 坑内の空気中のラドンガス濃度が、降雨に伴って増加する報告<sup>9)</sup>があるが、この観測坑の場合にはその影響は認められなかった。

## AUTO-CORRELATION FUNCTION

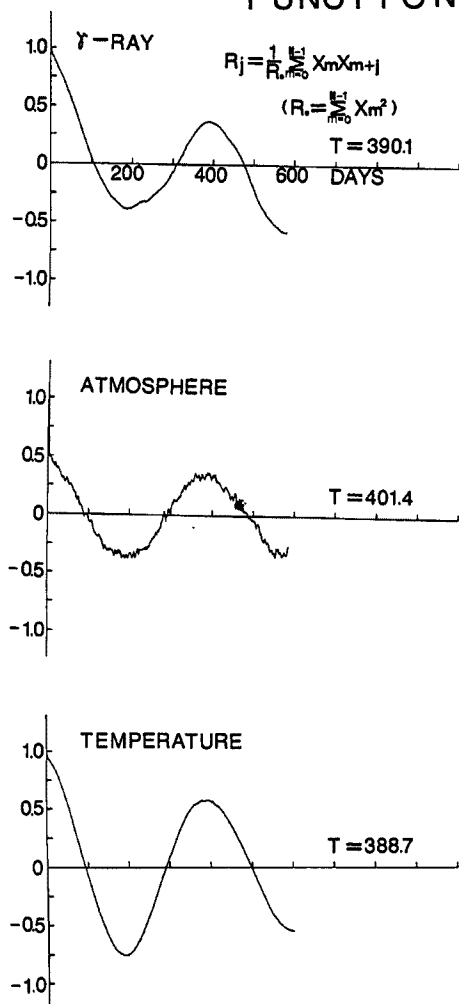


Fig. 6. Auto-correlation functions of  $\gamma$ -ray intensity, atmospheric pressure and temperature.

## 4. 地震発生とガンマー線強度との関係

Fig. 5のガンマー線の強度と、地震の発生の図をみると、ガンマー線の強度は短周期でフラついているが、大まかにいってガンマー線がだんだん増加して、減少に転じて暫くして地震が発生している様にみられる。この関係を統計的に明らかにするために、先に周期的相関があると認められた気圧とガンマー線強度の相関関係を、各地震について調べてみた。もし地震発生の遙か以前の日々の平常な両者の関係、地震発生の10~20日前のかなり近くの日々の関係と、地震発生後の関係に明瞭な差が認められた時は、ガンマー線の変動を地震の発生と関係あるものと考えてもよいと思われる。

観測期間中、観測坑からおよそ震央距離 100 km の範囲で発生した  $M \geq 4.5$  の地震は、計 9 個であった。震央分布図を Fig. 7 に、気象庁によって決定された震源要素を Table. 2 に示す。又、Fig. 5 に発生時を示してある。

Table 2. List of nearby earthquakes of  $M \geq 4.5$ , in the period of  $\gamma$ -ray observation.

| N | Y  | M  | D  | LAT.     | LON.    | MAG. |
|---|----|----|----|----------|---------|------|
| 1 | 83 | 10 | 31 | 133° 56' | 35° 24' | 6.2  |
| 2 |    | 10 | 31 | 133 59   | 35 26   | 5.7  |
| 3 |    | 11 | 03 | 133 54   | 35 26   | 4.9  |
| 4 | 84 | 5  | 30 | 134 36   | 34 57   | 5.6  |
| 5 |    | 5  | 30 | 134 37   | 34 57   | 4.9  |
| 6 |    | 5  | 30 | 134 38   | 34 57   | 5.1  |
| 7 | 85 | 7  | 2  | 133 37   | 35 21   | 5.1  |
| 8 | 86 | 6  | 3  | 135 12   | 35 53   | 4.8  |
| 9 |    | 7  | 28 | 134 12   | 36 28   | 4.6  |

これらの地震活動は鳥取県中部、山崎断層、大山東麓、丹後及び隠岐東方の 5 地域に発生したものであるが、各々の地震と気圧との関係について先に述べた仮定に従って調べてみた。

### 1) 鳥取県中部の地震 (1983年10月31日, $M 6.2$ )

観測坑からの震央距離 (以後  $\Delta$  とす記) 31km で発生。5 例の地震活動の中で一番近くで発生し、 $M$  も一番大きい。Fig. 8-a に示す様に、地震 1 ヶ月前から両者の間の負の相関関係が乱れ (●印) 地震後にガンマー線強度は低くなり、数日後相関関係が回復した様にみえる。●印は明らかに一群をなして外れている。

### 2) 山崎断層の地震 (1984 年 5 月 30 日, $M 5.6$ )

$\Delta = 72$  km であり、三番目に近いが  $M$  は二番目に大きい。Fig. 8-b に示す様に、地震の約 15 日前から相関関係が乱れ (●印)、地震後にガンマー線強度は低くなり、数日後回復した様にみえる。ただこの場合負の相関は回復していない。

### 3) 大山東麓の地震 (1985 年 7 月 2 日, $M 5.1$ )

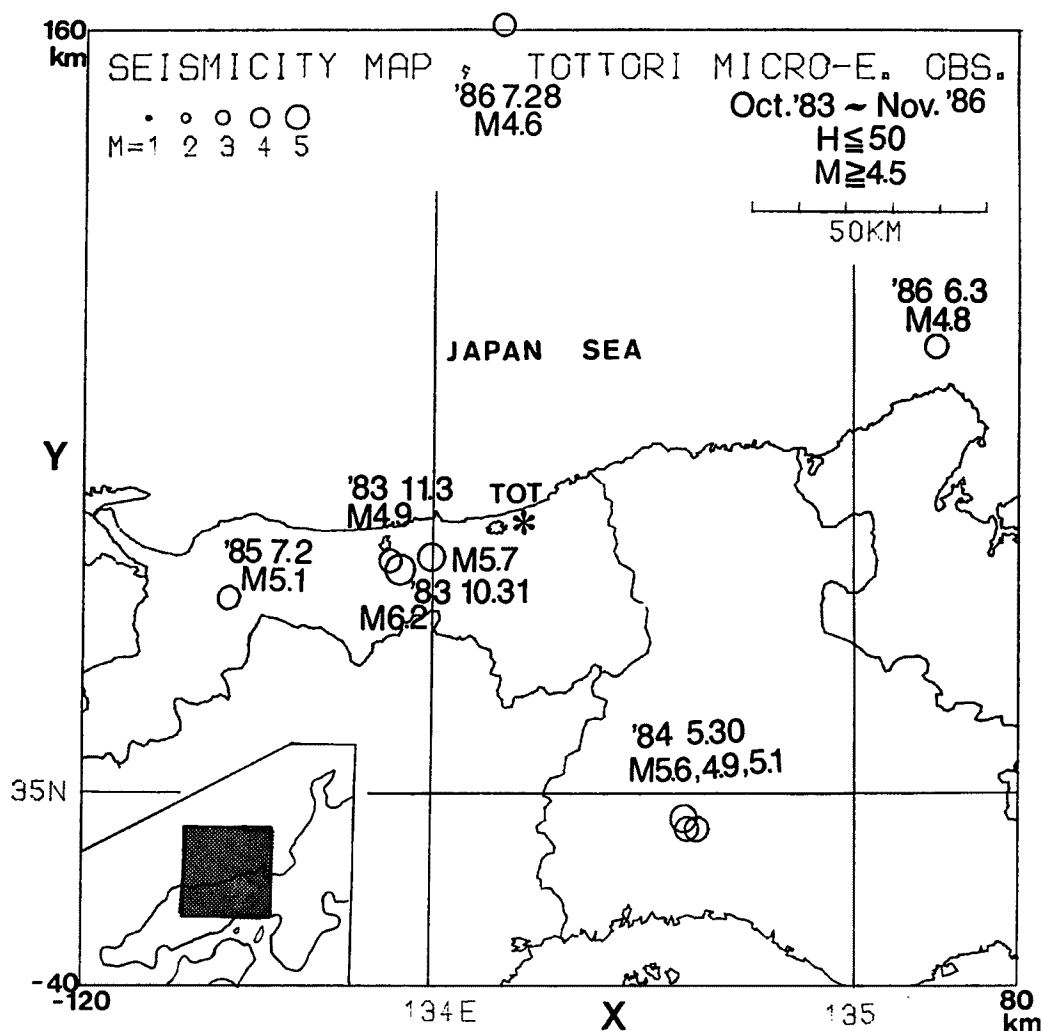


Fig. 7. Distribution of nearby earthquakes of  $M \geq 4.5$ , in the period of  $\gamma$ -ray observation.

$\Delta = 66$  km であり、二番目に近いが  $M$  は三番目に大きい。Fig. 8-c に示す様に、地震の約 40 日前から負の相関関係が乱れ、地震後にガンマー線強度が低くなり、数日後回復した様に見える。この場合は、地震前の異常な相関が非常に明瞭にみられる。

#### 4) 丹後・隠岐東方の地震（1986年6月3日， $M4.8$ ；同年7月28日， $M4.6$ ）

$\Delta = 97$  km 及び  $\Delta = 105$  km と少し距離が離れている。Fig. 8-d では、●印は他のデータと混在して、その特異性は不明確である。これは  $M$  が小さく距離が遠いことにも関係していると考えられる。

以上述べてきた5例中3例は、明らかに地震の前にガンマー線強度が増加していることを示している。これらのガンマー線強度は、1インチの NaI を用いたサーベイメーターの連続測定によるものであるが、今後はさらに欠測の少ない精度よい観測を行ない、他の量と地震との関係を追求め、上述の事実関係をより詳細に確かめて、地震の前にガンマー線強度が増加するというメカニズムを解明し、地震予知の一手法として確立したい。

## 5. 謝 辞

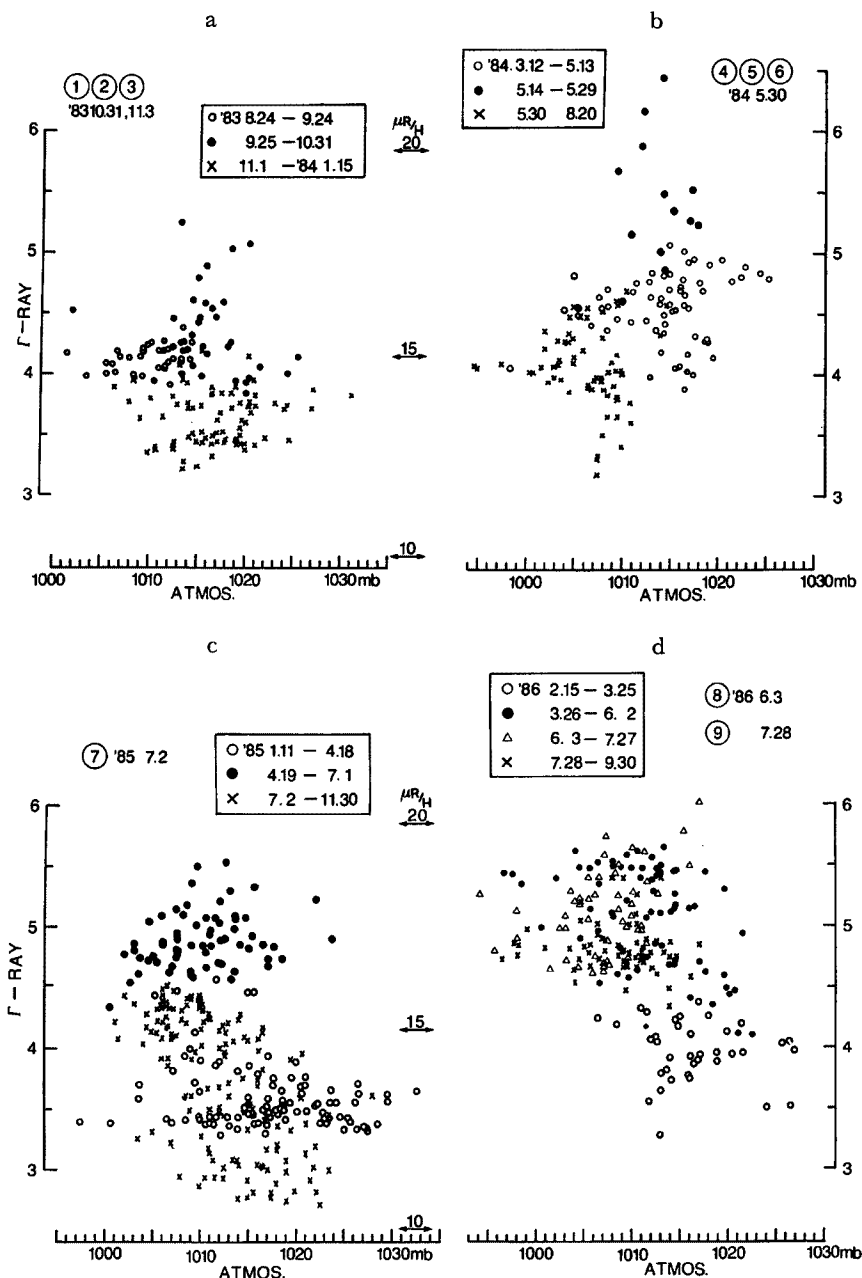


Fig. 8. Relations between the  $\gamma$ -ray intensity and atmospheric pressure in four periods.

(a) Aug. 24, 1983—Jan. 15, 1984, (b) Mar. 12—Aug. 20, 1984,  
(c) Jan. 11—Nov. 30, 1985, (d) Feb. 15—Sept. 30, 1986.

この研究を進めるにあたり、福井大学工学部岡部茂教授には、終始懇切な助言を頂き、さらに原稿に目を通して頂き厚く御礼申し上げます。立命館大学理工学部貞広太郎教授には、MCAでの観測協力や助言を頂き深く感謝致します。又、名古屋大学工学部下道国氏、福井大学工学部西川嗣雄氏には、放射能濃度の測定器の借用、分析等で御協力頂き感謝致します。最後に尾池和夫助教授、微小地震グループの方々及び鳥取微小地震観測所の矢部征氏、伊達留美子さんには、観測の補助をはじめ多大の御協力を頂き、厚く御礼申し上げます。



げます。

# 参 考 文 献

- 1) 浅田敏：地震予知の方法，東大出版，1978，pp. 146-166.
- 2) 尾池和夫：中国と地震，東方書店，1979，p. 129.
- 3) WAKITA, H., Y. NAKAMURA, K. NOTSU, M. NOGUCHI and T. ASADA: Radon anomaly: A possible precursor of the 1978 Izu-Oshima-Kinkai earthquake, Science, 207, 1980, pp. 882-883.
- 4) 吉田則夫：1985年10月4日千葉・茨城県境付近の地震前のラドン濃度の異常，地震学会予稿集，1986，No. 1，p. 149.
- 5) 西田良平・貞広太郎・中尾節郎・見野和夫：湯村断層の放射能探査，京大防災研年報，第28号 B-1，1982，pp. 142-156.
- 6) 見野和夫・平野憲雄・中尾節郎：北陸地方南部の活断層（Ⅰ），京大防災研年報，第29号 B-1，1986，pp. 23-28.
- 7) 桂郁雄・西村進・貞広太郎・見野和夫・茂木透・西田潤一：宇治市黄栗断層の $\gamma$ 線強度測定，地震，第2輯，第39巻，1986，pp. 267-275.
- 8) フロカ株式会社松江出張所：修理報告書，1986.
- 9) 下道国・山内常生：地下道内ラドン濃度におよぼす大気圧と降水の影響，RADIOISOTOPES, Vol. 29, No. 4, 1980, pp. 181-183.
- 10) 西田良平・中尾節郎・岸本兆方：鹿野・吉岡断層周辺におけるガンマー線測定（Ⅰ），京大防災研年報，第25号 B-1，1982，pp. 73-87.