

## γ線の測定 —花折断層—

見 野 和 夫

### A γ-RAY SURVEY ALONG HANAORE FAULT

By *Kazuo* MINO

#### Synopsis

The  $\gamma$ -ray survey was carried out by a scintillation survey meter at O-hara area near around Hanaore Fault Zone in the northern part of Kyoto. The survey was done several times over along the same observational line. Static pattern of  $\gamma$ -ray intensity is revealed similar one in each other, even there is small difference.

Strong intensity of  $\gamma$ -ray means subsistence of crushed rocks zone and a huge fault as Hanaore consists of the structure made by these weak zones. A pretty large earthquake among micro-earthquakes was occurred, fortunately for us, during survey period. The  $\gamma$ -ray survey was done just on January 6, 1978 when it was just one day before the earthquake.

The observational results before the earthquake, did not give large variations of  $\gamma$ -ray intensity. But after 5 days from the earthquake, that is January 11, the intensity of  $\gamma$ -ray decreases into low value, over observational error, at almost all stations. The improvement of  $\gamma$ -ray was found after 2 weeks from the earthquake.

Ordinarily the large fault as Hanaore is one of boundaries around block of crust, and fault zone is more sensitive to geophysical activity in the crust.

Continuous observation of  $\gamma$ -ray will give the solution to correlation with earthquake or earthquake prediction.

#### 1. はじめに

γ線の強度の地下での分布を調べることは、物理探査の放射能探査として知られる。γ線 survey は、断層、水の分布等の所在を知る為に行われている。γ線 survey の最も簡便な方法は、シンチレーションサーヴェーターによるものであろう。このサーヴェーターは、放射能を取扱う施設においても用いられる。本稿では、花折断層の一部において、γ線強度の分布を測定し、その結果を、地震活動とも結びつけて報告する。

近年、地震の研究の成果を礎にして、地震予知の方向を目指す研究が盛んに行われるようになった。中でも、活断層の地震活動に与える役割が、地震現象の解明の、一つの重要な key point と考えられるようになって来た。従って、活断層の性格を知るための catalogue 作りも、必要な、地震に備える対策となる。もし簡単な survey により、活断層の存在する場所、断層の走向、断層近傍の地殻構造等が決められるならば、比較的短期の内に、断層の catalogue 作成への一歩を印すことができるであろう。宇治市黄檗近傍の、いわゆる黄檗断層付近で、上記の考え方に基いて、γ線 survey を実施して、一応の成果を得た<sup>1)</sup>。この結果に勢を得て、近畿地方で第一級の規模をもつと言われる。花折断層と山崎断層の survey を実施した。花折断層は近畿地方を東西に分断する構造線であり、有史以来、多くの地震活動を伴う運動をくり返し、京阪神一帯

に被害を与え続けて来た<sup>2)</sup>。しかし、この断層は、過去一世紀にわたって活動を停止しているかに見える。活動が全く終わったのではないことは、断層を中心とする微小地震活動が今尚盛んであり、比良山塊の上昇変動にも力を貸していると考えられることから明瞭であろう<sup>3)</sup>。

## 2. $\gamma$ -線強度の測定

立地条件を考えて、シンチレーションメータによる探査を、大原地域で行った。測線は、大原街道を横断し、丁度、断層を切るように在る。東海自然歩道に沿って取られた。東は御木峠中服、西は山地に到るまで約 3km の路線となる。測定点は約 50m 毎に設けられた (Fig. 1)。

ここでは、測定回数の多い、又立地条件の良い、大原街道より東側の測線について測定した結果を述べる。

$\gamma$ -線強度の測定方法は、に地表 3~5cm の凹部を作り、センサーのヘッドを、凹の底に当てる。毎 10 秒 1 回のメータの読取を 12 回行って、最大最小を除く 10 回の平均を、その測点での値とした。

観測の結果を表に示した (Table 1)。表中 ST は補正用の標準線源の測定値 (Calib) で、観測の前後に測られたものである。\* は補正を加えない値、\* は補正を加えた値を示している。1978 年 1 月 6 日の測定値 (\*\*\*) は、測定前後の Calib. の値の変化が小さいため、補正は行われていない。又この日の Calib. の値で各観測値を標準化している。単位は  $\mu R/H$  とした。

観測値は、各 Calib. 値の前後の値の傾斜で補正されていて、1 月 6 日の Calib. の平均値で normalized されている。尚観測機器が、他の日々のそれと異なるときの補正は、両器で同時に同一場所を幾点か測定し、両者の値の相関を取って行った。

## 3. 測定の結果

代表的な 3 回の観測の結果と測点の高度を図に示すと Fig. 2 となる。図中、横軸は観測点の番号を示している。約 1km の路線に 4 カ所の  $\gamma$ -線強度の強い場所がある。これは 100m たらずの巾の破砕帯が連続的に存在することを表わしているのであろう。測点番号 No. 16 の周辺は、地形図からも、高度分布からも、大きな破砕帯の存在が考えられる。実際 No. 16 の一帯は、破砕帯が地表に表われていて、断層の露頭の一部と考えてよい。

しかし、図に見られるように、3 回の観測の結果のパターンは、全体として、よい一致をしている。このことは、花折断層は、大小の破砕帯の組合わさった構造をしていて、大きな規模では、直線的な大断層を築いていると考えられる。

各観測値を、観測日毎に相関をとると Fig. 3 a, b, c となり、直線の勾配は、ほぼ  $45^\circ$  を示している。即ち、Fig. 2 で見たように、夫々の pattern が、よく似ていることを表わしている。Fig. 3 a には 1977 年 11 月 8 日と 1978 年 1 月 6 日の観測結果の相関が示してある。ばらついてはいるが、誤差を考慮すると、変化がな

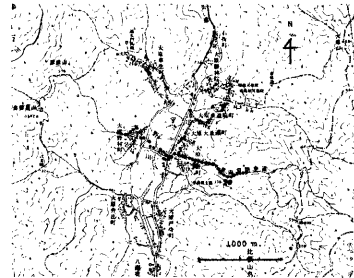


Fig. 1. A  $\gamma$ -ray survey line at O-hara in the northern area of Kyoto. Each interval between observational points is about 50 m.

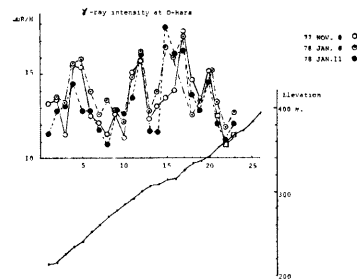


Fig. 2. Distribution of  $\gamma$ -ray intensity and elevation along observational line. The axis of abscissa shows observational stations number.

Table 1. Data of  $\gamma$ -ray survey and elevation along observational line.

DATE	77 NOV. 8	77 NOV. 15	77 DEC. 20	78 JAN. 6	78 JAN. 11	78 JAN. 24	Elevation	
ST.	291.9 300.1	391.7 370.5	364.3 356.4	398.3 395.2	397.3 369.3	384.1 349.9		
Station NO:	9.68* 9.84 8.44 11.50 11.37 9.25 8.95 8.54 9.44 8.36 10.01 11.81 9.22 9.89 10.25 10.56 13.27 9.48 10.29 11.58	13.16** 13.36 11.44 15.56 15.37 12.48 12.06 11.49 12.68 11.21 15.15 15.80 12.31 13.19 13.68 14.04 17.62 12.57 13.62 15.31	10.48* 101.4* 104.2 11.19 15.48	12.32** 13.60*** 13.30 15.48 15.91 13.96 12.57 13.45 12.80 12.24 14.86 16.35 13.99 16.67 16.96 17.36 14.72 13.48 12.15 15.29 13.36	11.41* 12.84 13.05 14.24 12.68 12.55 11.45 10.62 12.49 12.26 13.18 15.65 11.12 17.04 15.37 15.63 12.17 13.75 11.26 11.98 12.67	11.43** 12.87 13.12 14.36 12.83 12.74 11.66 10.85 12.80 12.61 13.60 16.20 11.59 17.82 16.13 16.45 13.78 12.90 14.62 12.01 11.14 12.13	12.72* 13.14** 15.23 16.20 15.44 14.25 13.99 14.24 12.82 12.92 13.83 15.71 12.11 12.53 17.45 17.69 12.27 15.03 17.04	251 m. 216 226 235 240 246 250 260 268 274 281 291 296 298 304 304 315 324 326 330 342 348 358 362 372 383

\*: observed value

\*: value corrected by calibration constant

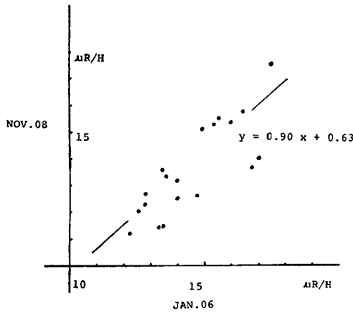


Fig. 3-a. Mutual correlation between  $\gamma$ -ray intensity observed on Nov. 8, 1977 and Jan. 6, 1978.

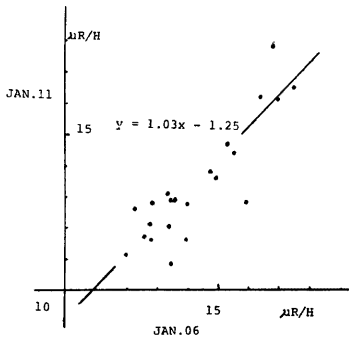


Fig. 3-b. Mutual correlation between  $\gamma$ -ray intensity on Jan. 11 and Jan. 6. The values on Jan. 11 show lower than ones on Jan. 6, over observational error.

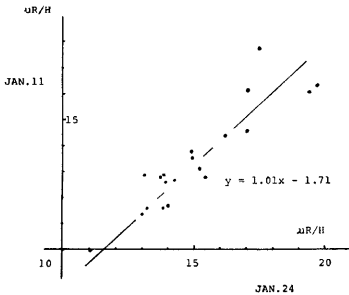


Fig. 3-c. Mutual correlation of  $\gamma$ -ray intensity on Jan. 11 and Jan. 24. This correlation curve shows clearly the values on Jan. 11 is lower than ones on Jan. 24.

かったと言える。一方 Fig. 3b では 1978 年 1 月 11 日と 1 月 6 日の結果で、1 月 6 日に比べて 1 月 11 日が、 $\gamma$ -線強度が低下したと考えられる。又 Fig. 3c の結果から 1 月 24 日の値が 1 月 11 日より高い。全体のパターンは一致しながら、各々の観測結果に高低があることが解った。このような変化は気象変化と関連づけられることがある。約 10km 離れた場所に、京都大学の気象研究室の観測所がある。 $\gamma$ -線観測期間の資料を Fig. 4 に示す。気圧の変化は、 $\gamma$ -線の原因が  $Rn$  ガスによるものとするれば（正確には  $Rn \rightarrow Bi \rightarrow Po$  と変化して  $Bi$  が  $Po$  になるときに  $\gamma$ -線を出す。 $Rn$  の半減期が約 3.8 日に対し  $Bi$  の半減期は、2~3 分である。従って、 $\gamma$ -線を出すのは  $Bi$  であるが  $Bi$  の半減期が  $Rn$  の半減期に比べて小さいので  $Rn$  そのものが  $\gamma$ -線を出すと考えることが出来る。）少しは関係するかも知れない。気温は地中温度で利くであろうから、影響があっても、なだらかなものであろう<sup>4)</sup>。この資料との比較では相関はみられない。

しかし、ここで議論しようとするのは、この期間に起った、近年では比較的大きい地震との関係である。

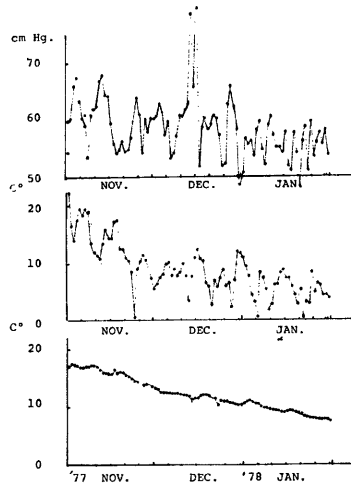


Fig. 4. From upper, atmospheric pressure in cmHg, temperature on the surface & 1 m. underground in  $^{\circ}C$ .

Table 2. The list of major microearthquakes,  $M \geq 3.0$ , occurred near around the western part of Kyoto during November, December 1977 and January 1978.

Y	M	D	H	M	E	N	M	
1977	1	28	09	10	135°12.04'	35°13.45'	3.4	
	2	9	10	18	135°47.80'	35°00.45'	4.0	
	5	9	8	45	135°36.57'	34°56.51'	3.2	
	6	30	14	3	135°28.45'	35°50.89'	3.6	
	7	27	15	4	135°48.32'	35°11.72'	3.1	
	8	23	17	38	135°39.90'	34°58.63'	3.5	
	10	17	13	31	135°43.83'	35°06.96'	3.0	
	11	20	14	44	135°32.54'	35°02.67'	3.0	
	11	25	12	53	135°25.36'	35°02.67'	3.9	
	12	4	22	45	135°24.23'	35°03.57'	3.1	
	12	17	3	34	135°20.18'	34°59.11'	3.6	
	12	29	17	56	135°29.82'	35°06.58'	3.6	
	1978	1	7	6	1	135°21.39'	34°58.02'	4.4

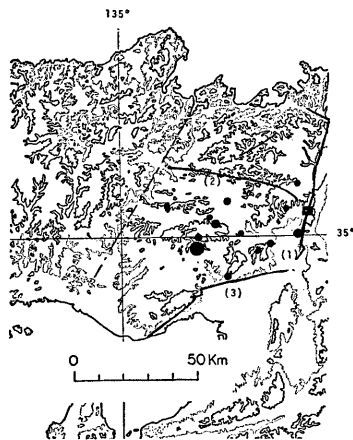


Fig. 5. Topography, indicated 400 & 100 m. by solid & dotted lines respectively, epicenters of earthquakes listed on Table 2 and  $\gamma$ -ray survey area shown by solid square. Solid lines 1), 2) & 3) show Hanaore Fault, Mitoko F. & Arima-Takatsuki Tectonic line respectively. Chained line means Yuragawa-Kakogawa trough.

#### 4. 地震前後の $\gamma$ -線強度の変化

1978年1月7日06時01分、京都府西部、東経135°21'23.3", 北緯34°58'01.4"にM4.4の地震が起った。 $\gamma$ -線観測を実施していた大原地区からは約45km隔った場所であった。まず地震活動の状況に触れておく方がよい。

##### 4.1 京都西部(1月7日)の地震前の seismicity

東を花折断層、北を三峠断層、西を由良川・加古川地溝帯、南を有馬・高槻構造線<sup>6)</sup>で囲ま

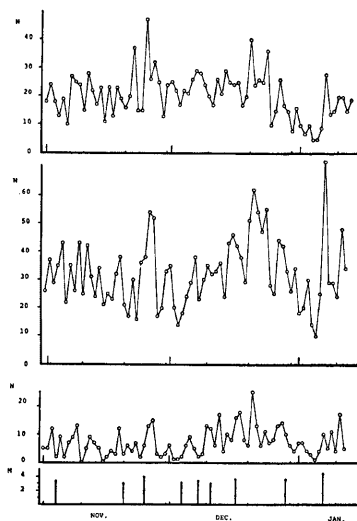


Fig. 6. From upper, numbers of microearthquakes detected by the telemetered array stations of Abuyama Seismological Observatory during November, December 1977 and January 1978. Seismicity abnormally decreases from 2 weeks before the main earthquake M4.4.

Numbers of earthquakes observed at three stations of Tottori Microearthquake Observatory begin to decrease in same way as the result of Abuyama.

The same data by Tottori but only S-P time less than 5.0 sec. also decreases from about 2 weeks before the earthquake. The last figure is activity of major earthquakes  $M \geq 3.0$  which listed Table 2.

れた地域は京都大学理学部阿武観山地震測所、の微小地震観測網の中央部にあたる。1977年の $M \geq 3$ の地震は13個で1月から11月までは約1カ月間に1個または1個以下であったのが12月には4個発生し1978年1月7日の本震を中心に、漸次本震に近づくような発生した。(Table. 2, Fig. 5)

一方、阿武山のテレメータシステムで、観測された地震の頻度分布は、本震の約2週間前から急速に減少し始めた。Fig. 6 同様の結果は、鳥取微小地震観測所管下の泉、氷上、三日月等で見られた。この地震の減少現象は他の機会に詳しく論ずるつもりである。

#### 4.2 $\gamma$ -線強度と地震

1月6日の $\gamma$ -線 survey は、M4.4 の地震の前日に行われたことになる。即ち地震直前のもとなったの

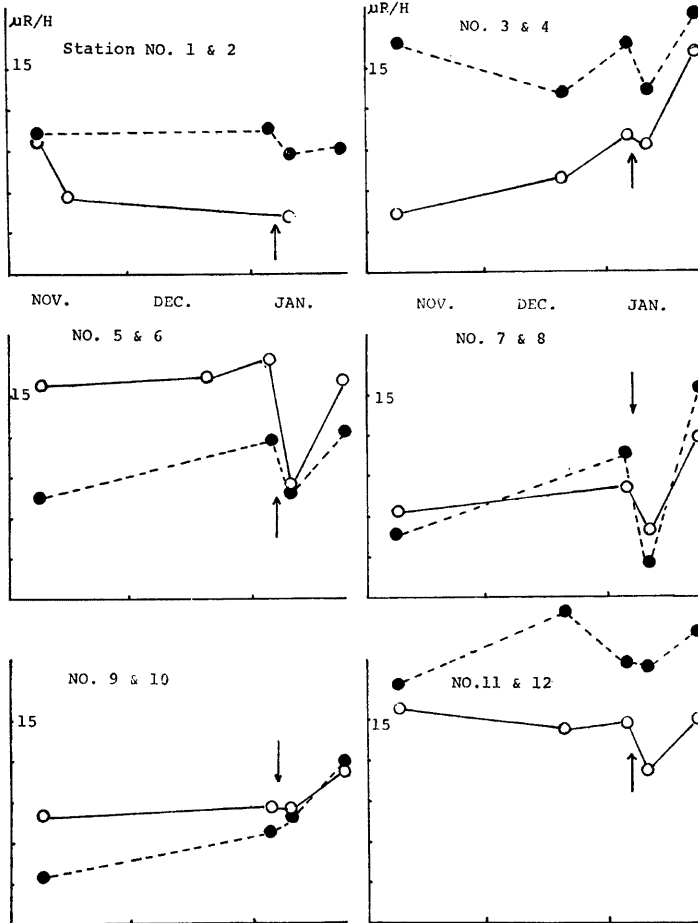


Fig. 7. Changes of  $\gamma$ -ray intensity at stations No. 1-12. Except No. 1 observed on November 15, other data were obtained on Nov. 8, Jan. 6, Jan. 11 and Jan. 24. An arrow shows the earthquake occurred on Jan. 7, 1978.

である。天候の回復を待って、1月11日に、再測を行った。前節で述べたように、 $\gamma$ -線強度は低下していた。24日の測定結果は $\gamma$ -線強度が地震後に変化したことを確認させた。即ち1月6日の値に回復していたのである。(Fig. 7, Fig. 8)

図中○は N 番目, ⊙は N+1 番目を表わしている。矢印は地震を示す。観測日は11月8日, 11月15日

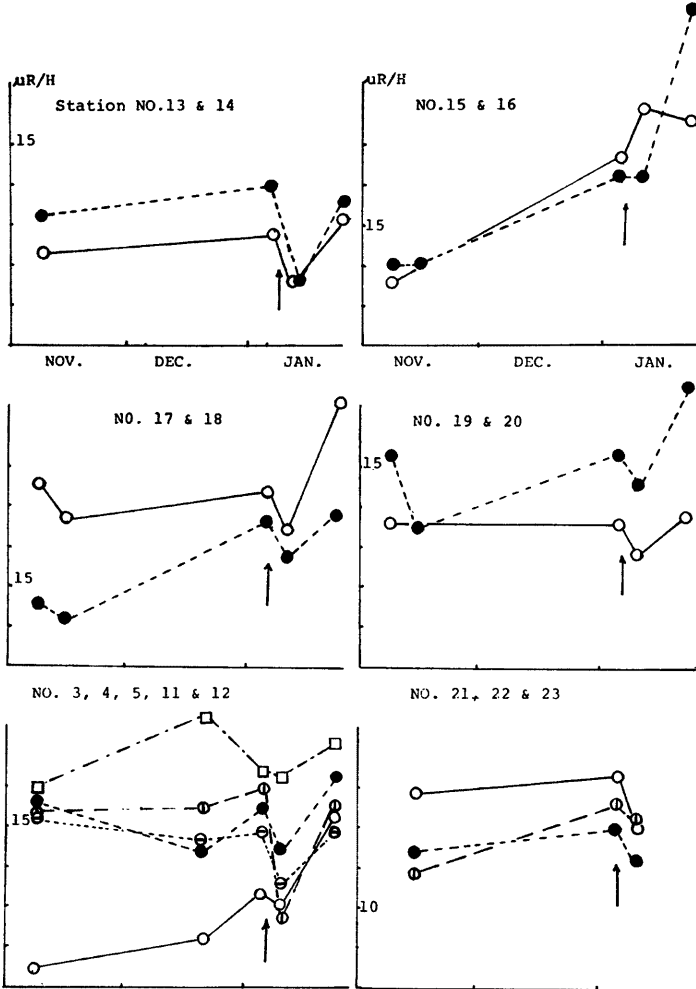


Fig. 8. Changes of  $\gamma$ -ray intensity at stations No. 13-23. The data involved result of the observation on Dec. 20 is written at the left of bottom. And the right of bottom is the results of observations on Nov. 15, Jan. 6 and Jan. 11.

(一部), 12月20日(一部), 1月6日, 11日, 24日, である。12月20日の測定を行った点では, 1月6日の値が上昇して見えるが, 誤差を考えれば, 11日に低下しただけであると考えの方が適当であろう。

## 5. 考 察

survey による測定は, 断層の巾や走向を知る点では断層の catalogue 作成の助けとはなっても, 断層の性格を決定することは出来ない。しかし Fig. 2 に見られる  $\gamma$ -線強度の高い地帯が, 常に強い  $\gamma$ -線を出すこと, 言い換えれば,  $\gamma$ -線強度の分布パターンが変化しない事は, 地下の何らかの情報をもたらしている。地質, 地形又は他の物理量による調査が必要であろう。

1月7日の地震前後の  $\gamma$ -線強度の変化については, 地震と  $\gamma$ -線 survey 地域とが約 45km 離れている。少し距離がある。しかし, この地震群は, 花折, 三峠の両断層と有馬・高槻構造線及び由良川・加古川地溝帯に囲まれた地塊内に発生した。M $\geq$ 3 の地震については, 本震発生時に近づくに伴って, 多くの発生を見た反面, 近在の微小地震の活動全体としては, 約 2 週前に発生頻度が急に低下しはじめたことは興味ある。

花折断層は活断層であることを考慮すれば, この地塊内での, 地殻活動の表現の一つである地震活動の影響は, 他の場所に比して, 断層地帯で増巾されて, 新たな, より活発な又は不活発な地震活動や他の物理量, 例えば水位, 地電流, 地磁気そして Rn ガスや  $\gamma$ -線強度, の変化が, よりはっきりした形で見られるであろう。断層の地塊の境界としてのこのような増巾作用は, King et al. (1977<sup>9)</sup>) が指摘するまでもなく, 微小地震の常時発生地域が地塊の境界と一致することから想像されることであった。

従って 45km という距離にもかかわらず, 花折断層の一部である大原地区で  $\gamma$ -線強度の変化が観測されたと考え得る。しかし,  $\gamma$ -線強度の変化が地震直前にあったかどうかは survey では解らない。従って地震予知のインジケータとして利用出来るかどうかは今後の問題として残る。

$\gamma$ -線強度が, 少なくとも地震後に低下し, その後回復することは, 1977年9月30日の山崎町(兵庫西部)で観測された<sup>7)</sup>。地震後に低下するメカニズムは種々考えられるが, 現在, 山崎町で実施されている,  $\gamma$ -線強度の連続観測の結果を待ちたい。

## 6. ま と め

### 静的な $\gamma$ -線強度の分布

- 数回の同一路線での測定について, 量の多少の変化はあったが, 分布の形には, 大きな変化がない。
- $\gamma$ -線分布のピーク値を示す場所は, 破碎帯を表わしていて, 各ピークにより表わされる破碎帯群が全体として花折断層を形成している。
- 従って, 静的  $\gamma$ -線強度の分布は, 地下構造の情報を伝えているものと考えてよいだろう。

### 地震前後の $\gamma$ -線強度分布

- 地震 1 日前(精確には 12~14 時間前)の強度に比べ地震後 4 日目の強度は, 測点 No. 9, 10, 15 を除いて総て減少したが
- 約 2 週間後には, 6 日の値に回復又は少し増加した。
- 地塊の境界に, 地塊内の地殻活動に最も敏感に反応する性質があるらしい。他の証拠は, 断層に沿う微小地震の発生であろう。
- 連続観測が,  $\gamma$ -線強度の変化と地震との関りを解明するだろう。

以上のように, 断層の catalogue 作成の一方法として行った  $\gamma$ -線 survey が計らずも, 地震前後の  $\gamma$ -線強度の変化を観ることになった。 $\gamma$ -線 survey meter で行える観測が次のステップに, かかったと考えてもよいだろう。

## 7. 謝 辞

種々議論していただいた, 防災研究所微小地震部門及び京大教養学部地学教室の皆様にご感謝致します。



尚、この研究の一部は科学研究費 A 274110 で行われた。

#### 参 考 文 献

- 1) 見野和夫・竹内文朗：黄檗断層付近の  $\gamma$ -線測定，京都大学防災研究所年報，第20号 B-1, 1977, pp. 29-33.
- 2) 宇佐美龍夫：資料・日本被害地震総覧，東京大学出版会，1975.
- 3) 三木晴男：琵琶湖周辺の地震活動について，京都大学防災研究所年報，第19号 B-1, 1976, pp. 13-20.
- 4) King, C. Y.: Radon emanation on San Andreas Fault, Nature, Vol. 271, 9, Feb. 1978, p. 516.
- 5) 藤田和夫編：第四紀地殻変動図 —近畿—，地質調査所，1974.
- 6) King, C. Y., R. D. Nason and R. O. Burford: Coseismic steps recorded on creep meters along the San Andreas Fault, J. geophys. Res. 82, 1977, pp. 1655-1662.
- 7) 竹内文朗・見野和夫・貞広太郎：山崎断層付近における  $\gamma$ -線の測定について（その1），京都大学防災研究所年報，第21号 B-1, 1978, pp. 43-64.