

湯村断層の放射能探査

西田 良平・貞広 太郎・中尾 節郎・見野 和夫

SURVEY OF γ -RAY INTENSITY ON AND NEAR YUMURA FAULT, IN NORTHWESTERN PART OF HYOGO PREFECTURE, SOUTHWEST JAPAN

By Ryohei NISHIDA, Taroh SADAHIRO,
Setsuro NAKAO and Kazuo MINO

Synopsis

Yumura fault is located in northwestern part of Hyogo Prefecture, Southwest Japan. It has **ENE-WSW** direction and more than ten km-length from Kasumi-Chō to Onsen-Chō. And it is said that the Yumura fault was related to generation of the Yumura hot spring.

The survey of γ -ray intensity was carried out on and near the Yumura fault in order to locate the fault, and 737 observation points were utilized.

The contour map of γ -ray intensity in the area concerned was made by **YHP 9845b**. High intensity areas of γ -ray are located in the central zones and low intensity areas in the northern and southern parts. It was estimated that the Yumura fault is located in a transition zone from low to high intensity areas.

γ -ray intensities were measured on 8 routes at an interval of 20 m. In this analysis, the γ -ray intensity at each point was plotted as a function of S-N coordinates of observation points, and this graph shows the existence of several parts of high and low γ -ray intensities. It is inferred that transition points from high to low intensities agree with the fault line.

In the Yumura spa area, the highest part of γ -ray intensity accorded well with the part in which hot springs concentrate and therefore the temperature is high.

1. は じ め に

兵庫県北部の但馬地方は日本海に面し、ほとんどが山地で、円山川・矢田川・岸田川が北流し、小さな沖積地が見られるだけである。しかし、名湯として知られる城ノ崎温泉・湯村温泉等が湧出して、鳥取県へと日本海沿いに分布している山陰地方の温泉地の一翼である。又、但馬地方の地質構造は複雑で何回もの地殻変動を経ているために、その地質構造又はその形成についての議論は未解決の部分が多い。

地震も1925年の但馬地震 ($M=6.8$)、1927年の北丹後地震 ($M=7.5$)、1943年の鳥取地震 ($M=7.4$) 等、日本海沿いに大地震の発生がある。地震断層もそれぞれ田結地震断層、郷村・山田地震断層、鹿野・吉岡地震断層と活動しており、多くの活断層も認められている。ここでは、湯村温泉を通して温泉湧出に関連していると推定されている湯村断層の形状について、物理探査法の1つである放射能探査を試みた。

湯村断層は香住町から温泉町まで、約 20 km の長さで $N 60^{\circ} E \sim N 70^{\circ} E$ の走向を持つ断層である。日本の活断層地図¹⁾ には「鳥取地震時に活動した鹿野断層の東方延長上に湯村断層と名づけられた地質断層があり、微小地震がほぼこれに沿って線状に発生しているが、活断層地形を全く示さないのをこれを除外した」として、活断層から一応除外している。このように湯村断層は東方の田結地震断層や郷村・山田断層よりも西側の鳥取地震時の鹿野断層との関連が論じられている。

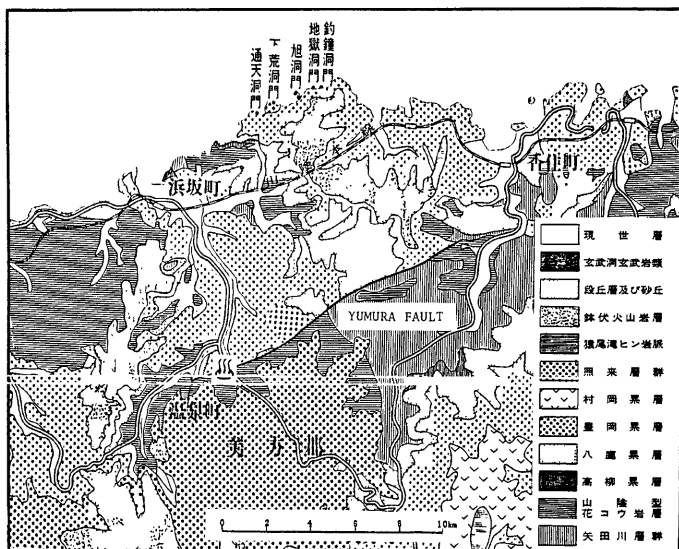


Fig. 1 Geological map at northwestern part of Hyogo prefecture. Thick line showed Yumura fault, and Yumura hot spring was located at sign “♨” in this map.

湯村断層は花コウ岩および矢田川層群が南側にあり、そのまだ南側には照来層群がある。そして、断層の北側には北但層群の八鹿黒層、豊岡黒層がみられる。²⁾ (Fig. 1) 又、断層上に湯村温泉があることから、断層が温泉湧出に重要な役割を果たしていることが指摘されている。

自然放射能を測定することで、今まで活断層と γ 線量の地域分布³⁾、地震活動に伴う γ 線量の時間変化等を論じて来た⁴⁾⁵⁾⁶⁾。ここでは、地質断層近傍の放射能探査から地表面の地質の相違と、断層が地表面に表われている場所を正確に認定することを試みた。又、湯村温泉域での γ 線量の地域分布と温泉湧出についても、断層の走向の検出、地表面の地質との関連で考察を行う。

2. 測定方法

湯村断層は香住町から温泉町まで NEE-SWW 系の断層であるが、断層が地質構造の相違として判定が出来る、湯村温泉を含む東西約 13 km と南北 10 km の範囲を測定域として、737 点で γ 線量の測定を行った。(Fig. 2) 測定に用いた計測器はアロカ社製 γ 線シンチレーション・サーベイメーター TCS 121 で、従来からの地表面に孔を掘る方法で実施した^{7,8)}。

測定は測定点が多数であるために、3 台のサーベイメーターを用いたので、それぞれの計測器の差異が生じないために、同時測定を行って計測器差の補正を行った。このずれは $1 \mu\text{R/h}$ 程度である。そして、1 つの測線については同一の機器を用い、データ中になるべく計測器差がない様にした。

測点ではサーベイメーターの γ 線検出部を地中に埋めて測定した時の値、Total Value、と空中へ向けて測定した時の値、Free Air Value、を測定した。

測定域では、断層の通っている場所が、それほど明瞭でないために断層を横切る道沿いに、8 本の測線を

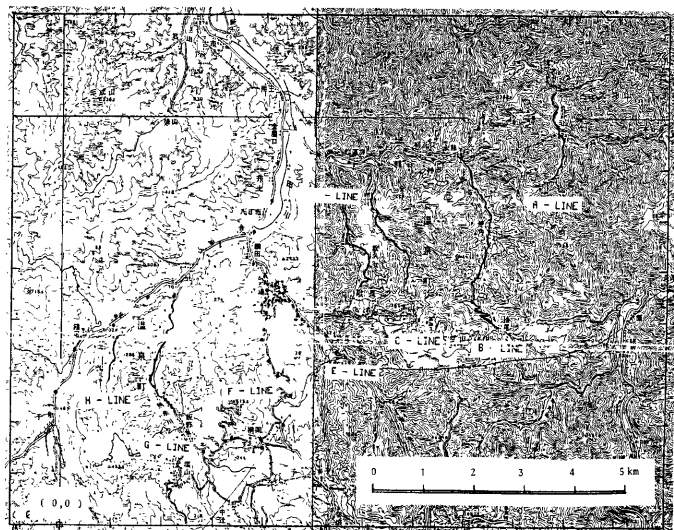


Fig. 2 Topographical map at northwestern part of Hyogo prefecture. Survey of γ -ray carried out in this area, and were measured 737 points.

設置し、その測線上を約 20 m の間隔で測定を行い、測線に沿う γ 線量の増減を検出し、断層の通る位置の推定を行った。浜坂町久斗山の A-測線から温泉町千谷の H-測線までである。最長測線は温泉町大熊から伊角を通る B-測線で、約 4 km になり、測点数は 200 点である。又、湯村断層が地質断層であるために、測定域全体の特徴を知るために、測線以外にも疎に測点を配置して地域分布を求めた。

3. 解 析

測定域内で測定された γ 線量の解析を行うために、データファイルの作製を行った。そして、地域分布としてコンターマップを作製し、断層を横切る測線では断層の通る位置を認定するために、2次元 running mean 法を用いた。

最初に、 $134^{\circ}30'E$, $35^{\circ}35'N$ を X・Y 座標の (5000, 8000) として、測点の座標を m 単位でディジタイザーで 1/1000 の地形図から読取り、鳥取大学教養部の YHP-9845 b 型のマイクロコンピュータに入力し、 γ 線量と共にデータファイルを作製した。次に、解析の結果を示す。

(1) γ 線量の地域分布

各測線上では 3 点毎、60 m 間隔、に測点を採用し、周辺部の 23 点を加えたデータについて、コンターマップを作製した⁹⁾¹⁰⁾。Fig. 3 に Total Value の分布を示す。コンターは $1 \mu R/h$ 毎である。 $10 \mu R/h$ のコンターを基準として、高い値の地域と低い値の地域に分割して考察を行った。

高い値の地域は測定域の中央部に、目玉状に位置している。又、やや地形との対応もみられ、山地が高い値を示している。低い値の地域は北側と南側の測定域の端部にある。その内でも、北側の低い値は地質的な特徴を表わしている。又、谷筋に入ると放射能値が低くなる傾向もみられる。特に、B-測線付近では巾の広い谷筋のために、全体に低い値となっている。

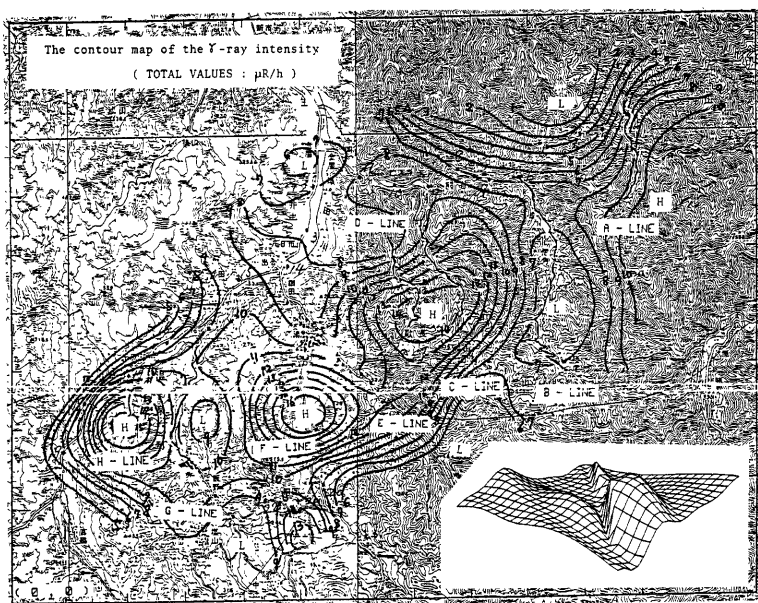


Fig. 3 The contour map of γ -ray intensity. Contours are $1 \mu\text{R/h}$ apart. **H** and **L** indicate high and low intensity area of γ -ray. A bird's-eye view in right-foot corner is to show a central area which located from the SW direction.

(2) 各測線の γ 線量分布

測線上の分布を表現する方法として、それぞれの測線がほぼ南北方向であるので、Y軸への投影図とした。Fig. 4～Fig. 11 はそれぞれの測線の分布を示す。各図において、上図は測点の Total Value, Free Air Value, 差を表わし、下図は次の様に平均化した値を示している。

測線上のある点から半径 40 m 以内の測点の放射能値に距離に反比例するウェイトを掛けて平均化した値を、その点での放射能値とする。そして、測線上をY軸方向（南北方向）に 10 m 間隔で、移動させて分布図を作製した。この平滑化によって、測線上での γ 線量の増減が明瞭に判別出来るようになった。主に議論は下図で行う。

各図の横軸の値は投影したY方向の座標を m 単位で表わし、縦軸は γ 線量の強さ $\mu\text{R/h}$ を表わす。

A-測線では γ 線量の高異常のピークが、Y軸で8400, 7700, 7500, 7300, 7200等に見られ、低異常域が8300～8200と7600の付近にみえる。8200～8100付近では γ 線量が $4 \mu\text{R/h}$ から $8 \mu\text{R/h}$ へと大きく増加している。

B-測線は最長の測線で、全体に他の測線よりも低い γ 線量である。何ヶ所かの高異常域と低異常域があるが、7200の低異常域から7000付近の高異常域への増加が目される。

C-測線では γ 線量が5800付近を境に北側と南側で約 $9 \mu\text{R/h}$ から $14 \mu\text{R/h}$ へと急激な増加を示している。すなわち、北側と南側で γ 線量のレベルが違っている。そして、この変動域のすぐ南の5700に高異常域がある。尚、4000付近の γ 線量は山地を越えた、次の谷である高山付近での測定である。

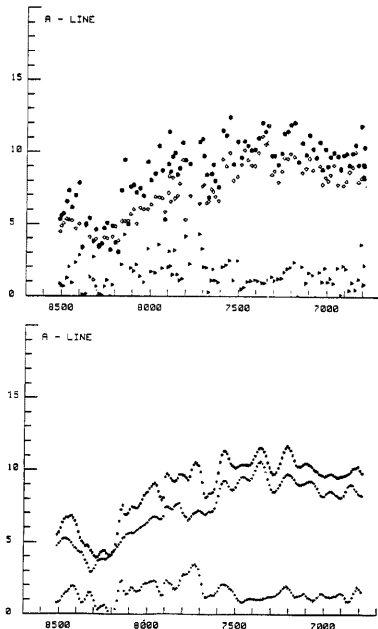


Fig. 4 A projection chart on **Y**-axis of γ -ray intensity on **A-line**. Plot intensities of γ -ray at measured points in upper graph, full circles show **Total Values**, open circles **Free Air Values**, and show **differences** between Total Value and Free AirValue. In lower graph, smoothed values which average points less than 40 m, and calculate at interval of 10 m.

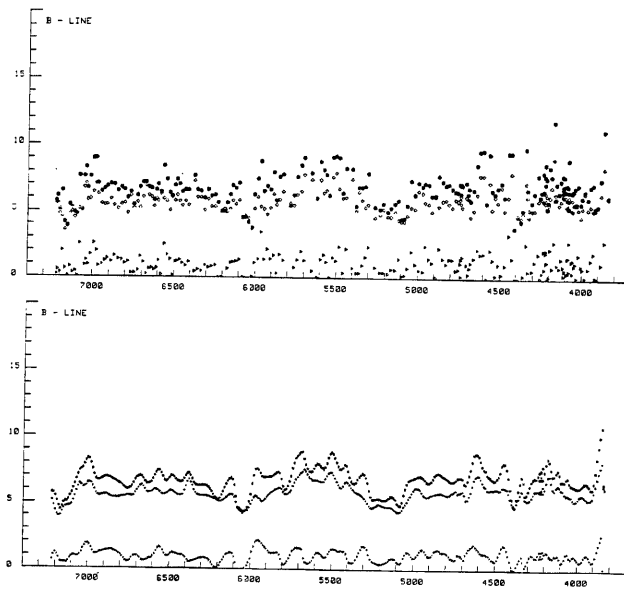


Fig. 5 On **B-line**, and same as Fig. 4

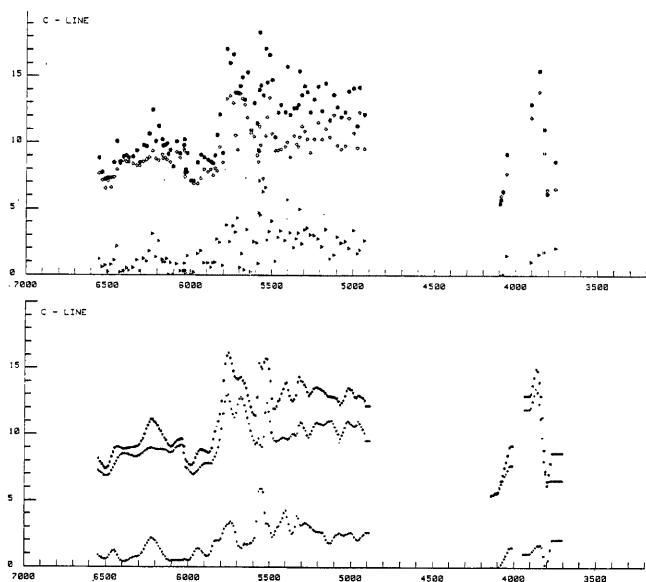


Fig. 6 On C-line, and same as Fig. 4

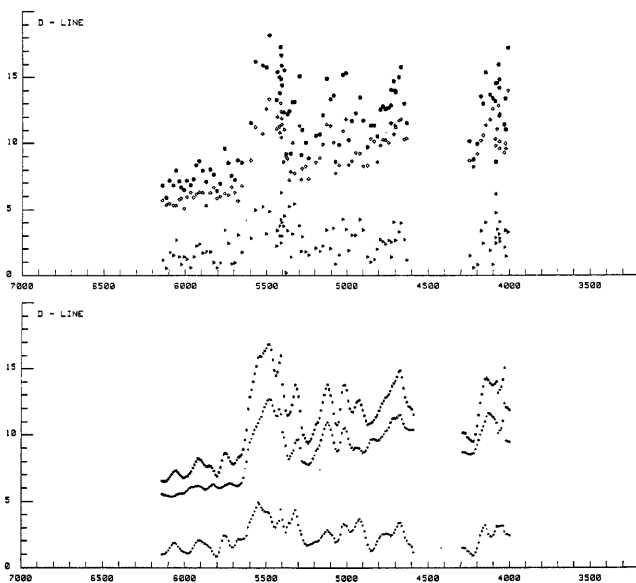


Fig. 7 On D-line, and same as Fig. 4

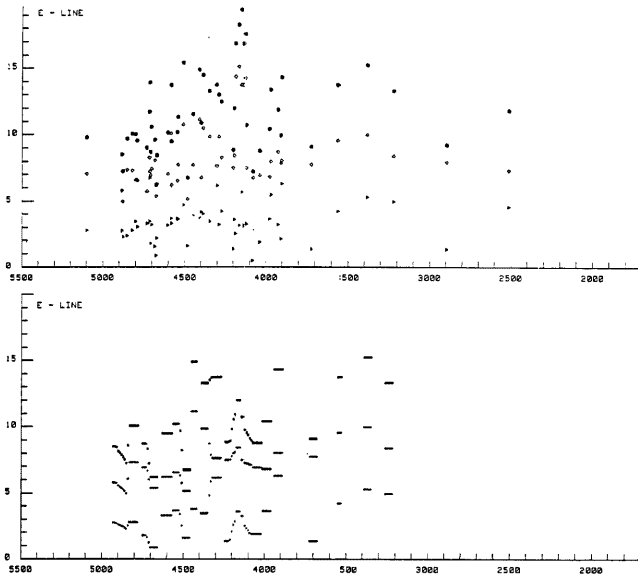


Fig. 8 On **E-line**, and same as Fig. 4

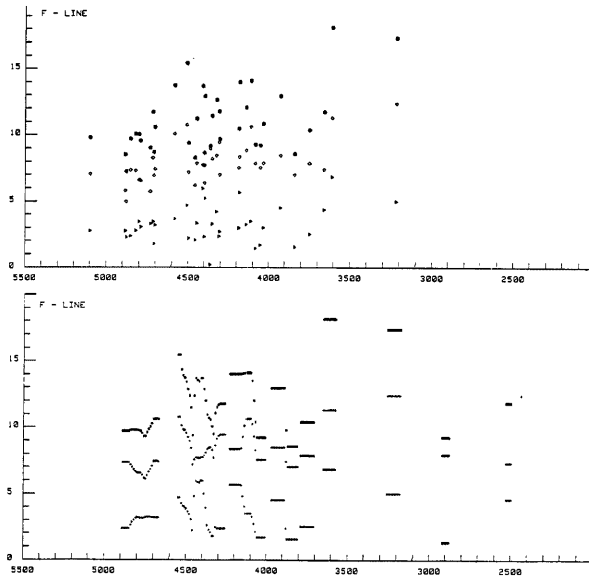


Fig. 9 On **F-line**, and same as Fig. 4

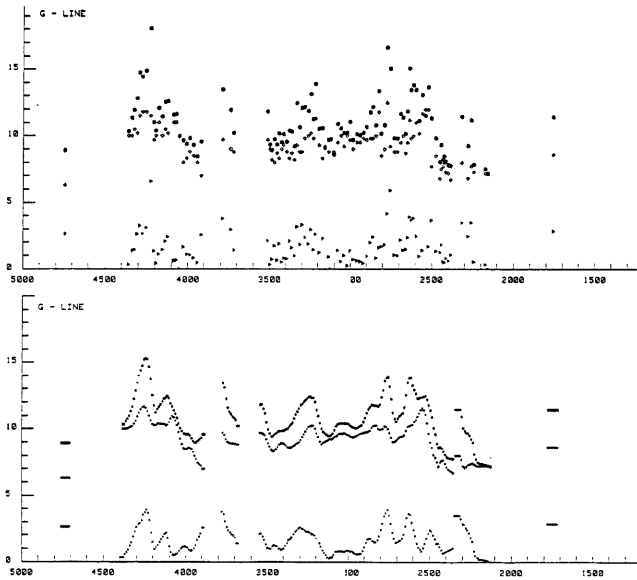


Fig. 10 On G-line, and same as Fig. 4

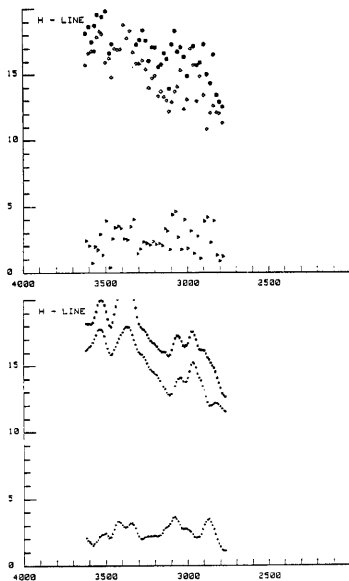


Fig. 11 On H-line, and same as Fig. 4.

D-測線は5600付近で北側の $8 \mu\text{R/h}$ から $16 \mu\text{R/h}$ へと急激な増加を示していることと、高異常域がこの変動域のすぐ南にあることは、C-測線での傾向とほぼ同じである。しかし、 γ 線量の高異常と低異常の変化が大きい。尚、4200付近の測定は山地を越えた歌長付近の測定値を示す。

E・F-測線は測点が疎で、他の測線と同様の解析を行うには不適であるが、E-測線では4500付近、F-測線では4600付近で γ 線量に南と北側で差が見られる。この傾向はC、D-測線と同様である。湯村温泉域では2次元分布として別に解析を行っている。

G-測線では北側にも高異常域があり、これまでの測線と異なっている。 γ 線量の高異常域は4200, 3600, 3400, 2800, 2600付近に認められる。しかし、一意的に断層の通っている場所であると決定出来ない。

H-測線は道が途切れ、測線を延長することが出来なかったが、G-測線と同様に北側に高異常域を示し、その境が3300付近である。全体的に γ 線量が高い値を示す。

断層を横切るAからHまでの測線では、 γ 線量が急

激に増減して、北側と南側でレベルの相違が見られることが判明した。これはこの地域に断層の存在が推定され、地表面の地質が断層で区切られると言う地質断層の特徴が、放射能値の変化として見られる。

4. 湯村温泉域での γ 線量の 2 次元分布

E・F-測線では温泉街での測定のため、裸地が少なく、又、造成地等で真土での埋立てをしているために、その地域の自然放射能値に人工の誤差が入り、他の測線と同じ密度で測点を採ることが出来なかった。そのため、約75点の測点を2次元的に分布させ、温泉域での γ 線量の平面分布を求めた。

Fig. 12 に示すように、湯村温泉は大きな2つの谷の合流点にあり、地形の影響により測点分布に偏りが生じる。又、沖積地と山地では γ 線量が異なる。特に、南側の花コウ岩体の山地では非常に大きな値になる。主に、沖積地に測点を配置して、地下構造の推定を行った。

γ 線量の分布の概略は、谷に沿って γ 線量の低異常域が分布する。しかし、温泉地の中心部に高異常域が存在する。

Fig. 13 には湯村温泉の泉源の位置と、それから推定される泉温の分布を示している。泉源の中心は98℃の荒湯で、ここを中心にして狭い範囲に泉源が分布している。それは γ 線量の高異常域と良い一致を示している。又、泉温分布の拡がっている走向にも、 γ 線量の高異常域の拡がりを見ることが出来る。

これは地下から湧出してくる温泉水域で、 γ 線量が高異常を示すことを、温泉水の上昇が断層の存在と関連して論じられていることから、湯村断層の走向に一致した場所に γ 線量の高異常の目玉が存在し、温泉が湧出している。

5. 考 察

湯村断層が地質断層と認定されている地域での γ 線量の分布の特徴を、2次元の地域分布と、断層を横切る測線についての分布から断層位置を確認することで行った。

γ 線量が地表面の地質によって異なることは、地域分布を求めることで、断層の南側の地質である花コウ岩類、あるいは照来層群で高い値を示し、断層の北側の八鹿累層・豊岡累層では低い値を示すことが判った。全域のコンターマップにはその相違が、高異常域と北側の低異常域として理解される。又、川の浸食による谷筋では低い値になる。これは沖積地によって基盤が被われることに因る。

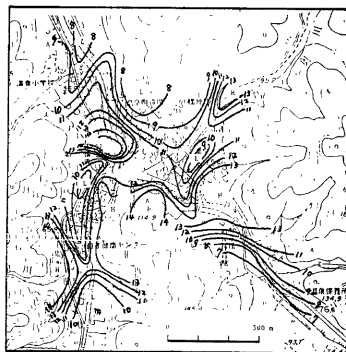


Fig. 12 Contour map of γ -ray intensity on Yumura spa, and same as Fig. 2.

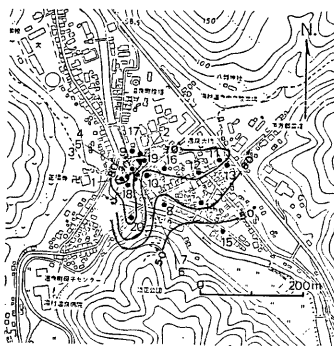


Fig. 13 Distribution of hot spring well in Yumura spa, and contour is a estimated temperature of confined hotwater.

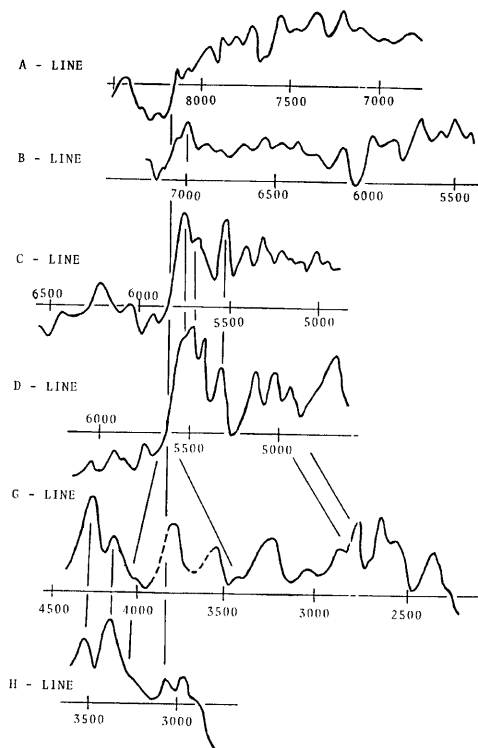


Fig. 14 Show distributions of γ -ray intensity in every measured lines.

湯村断層は高異常域から低異常域へと急激に変化する様な所に位置している。これは地質断層の特徴の1つである。

断層を横切る測線については、Fig. 14 に湯村断層が通ったと推定される位置で合わせた分布を示す。A からDまでの測線では断層の北側で低い値を示し、南側で大きい値を示している。しかし、湯村温泉から西側のG、H-測線では、断層の北側にも高異常域がある。これは地質図 (Fig. 1) の断層周辺の地質構造が、湯村温泉の西と東で異なっていることに起因する。地表面の地質等を参考にして、湯村断層の断層の位置を γ 線量の分布から確認することが出来た。特に、C、D-測線では明瞭に区切られ、2つの測線の一致も著しく、断層の位置決定が一意的に決定される。しかし、湯村断層の西側の地域では、 γ 線量の分布からも一意的に決定出来ず、断層の末端部に当る。今回求められた湯村断層を Fig. 15 に示す。

Fig. 15 には測定地域周辺での微小地震の活動を示す。京都大学防災研究所鳥取微小地震観測所で、1976年から1984年までのデータである。微小地震は NWW-SEE 走向の活動の並びが見られ、その走向は湯村断層の走向でもあり、概略として断層沿いに微小地震が存在すると言える。さらに、断層の南側に微小地震が多く発生している。しかし、一番近い観測点が鳥取本所 ($r \approx 25$ km) と大屋観測点 ($r \approx 30$ km) であるので、震源決定の精度から詳細な議論は出来ない。又、深さについても誤差が大きい。しかし、近畿地方北西

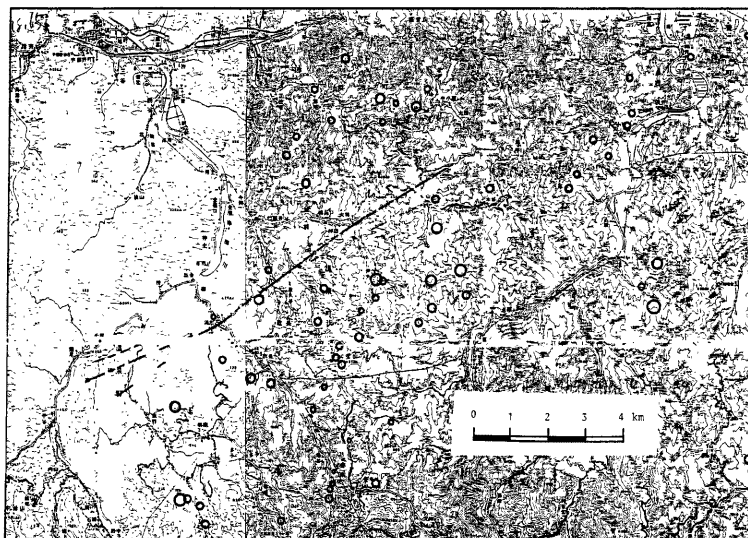


Fig. 15 Show Yumura fault estimated in this paper and distribution of microearthquakes observed from 1976 to 1984, by Tottori Microearthquake Observatory.

部の日本海沿岸ぞいの活動域の1つである。

この地域の詳細な地震活動については、1983年8月から浜坂町久斗山で、OM-2型による臨時観測を実施しているので、次報で地震活動と湯村断層の関連について論じる。

今回、判明したことをまとめると次の様になる。

- 1) 測定地域全体のコンターマップでは、湯村断層は γ 線量の高異常域から北側の低異常域へと移行する所にある。
- 2) 地域分布で、高異常域は花コウ岩類と照来層群にはほぼ合致している。又、低異常域は北但層群の八鹿累層、豊岡累層である。
- 3) 巾の広い谷地形で、沖積地が発達している地形では γ 線量の値が小さくなる。B-測線は岸田川の支流の1つで、谷の中が広く、全体に γ 線量の値が低い。
- 4) 湯村温泉域での γ 線量の地域分布で、高異常域は泉源の位置、泉温分布の走向と良い一致を示す。
- 5) 湯村温泉域での γ 線量の地域分布は、湯村断層の走向に高異常域の目玉があり、断層地形が温泉湧出に関連していることを示す。
- 6) 微小地震の活動が湯村断層沿いに見られ、大略には断層の南側に多く発生しているが、震源決定精度の問題から、詳細な議論は行えない。

6. 謝 辞

測定及び本研究に多くの助力と助言等をいただき、又議論をして頂いた京都大学理学部地質鉱物教室の西村進助教授、茂木透氏、そして教室の方々、大谷大学の西田潤一教授にお礼申し上げます。また、防災研究所微小地震部門の方々には貴重な討論をいただき、謝意を表します。この研究の一部に昭和59年度立命館大学科学研究（個別）助成金を使わせていただいた。付記して謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 活断層研究会：日本の活断層，1980.
- 2) 松本 隆・弘原海晴；北但馬地域の新生代構造発達史，地質雑，65，1959，pp.327-340.
- 3) 貞広太郎・見野和夫・中尾節郎・西田良平：鳥取市南部の吉岡地震断層系における γ 線量測定，防災研年報，27-B-1，1984，pp.101-109.
- 4) 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），防災研年報，25-B-1，1982，pp.73-87.
- 5) 中尾節郎・西田良平・岸本兆方：鹿野・吉岡断層周辺におけるガンマー線測定（Ⅱ），防災研年報，26-B-1，1983，pp.109-116.
- 6) 見野和夫・貞広太郎・西田良平・中尾節郎：鳥取県中部の地震（1983年10月31日）の震源域での γ 線サーヴェー，防災研年報，27-B-1，1984，pp.91-99.
- 7) 貞広太郎・見野和夫：活断層における γ 線測定（Ⅰ），地震，第33巻，1980，pp.51-70.
- 8) 遠山忠昭・檀原 毅・里村幹夫：活断層調査のための γ 線測定方法の再検討，地震，第37巻，1984，pp.539-547.
- 9) 塩野清治：標本・格子データ変換用サブルーチン PELTO，情報地質，7，1982，pp.81-88.
- 10) 塩野清治：標本・格子データ変換用サブルーチン SFS 3 L，情報地質，7，1982，pp.89-96.