

トレンチ発掘溝周辺の γ 線測定

貞広 太郎・見野 和夫

γ -RAY SURVIES IN AND AROUND EXCAVATED TRENCHES

By Taroh SADAHIRO and Kazuo MINO

Synopsis

The γ ray survies were carried out in and around trenches for researching activities of the faults. The γ ray intensity derived from survies indicates same properties with Rn gas emanation there. The γ ray intensity was strong just above the fault. It does not contradict with ordinary results.

1. はじめに

^{222}Rn は3.8日の半減期をもつ放射能元素の気体で、移動性が高く、地殻の運動とかかわって放射能物質を含む岩石の微小破壊とともに母岩から遊離し、地殻岩石中の割れ目を通して、乾性的にも湿性的にも移動し、 ^{222}Rn 量を測定・比較することによって地震予知も可能であることがいわれてきた¹⁾。

筆者らは、同じ原理で、地殻岩石中の割れ目である断層・破砕帯の位置・走向の推定も可能であろうと考えた。ただ、 ^{222}Rn の測定は手数と時間がかり、その測定は容易でない。そこで、筆者らは、Fig. 1 に示したような ^{222}Rn の孫娘元素 ^{214}Pb 、 ^{214}Bi が短時間のうちに、 ^{222}Rn と放射平衡になることを考慮し、 ^{214}Pb 、 ^{214}Bi のだす γ 線の強度を測定することによって、その場所に移動してきている ^{222}Rn 量の分布状態を知るという方法を利用することとした。

2. 目的

筆者らは、黄桷断層（京都府宇治市）付近での測定（1976年11月）以来、多くの断層でこの方法の有効性を確かめてきたが、それでもそれはなお間接的で、推定の域をでることはできなかった。測定された γ 線の強度分布と実際の断層・破砕帯との関連性を、直接、より詳しく見たいとの希望を抱き続けてきたが、地震予知のための断層トレンチ調査が行われることになった機会に、それと同行して、 γ 線強度分布の測定の結果とトレンチ調査結果明らかとなった断層、およびその構造との関連を比較・検討することにした。

3. 測定方法

トレンチ調査場所付近で、予想される断層線を横切る適当な測線を選び、5～2m、ときには精査のためより短い間隔で、測線上に測点を設定し、Aloka 社製の scintillation survey meter (γ 線用) を測器とし、10 sec 毎の12回読み取り、上下2値を捨てて、残り10値

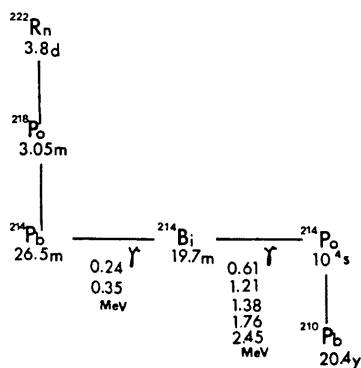


Fig. 1. Uran series' decay process ($^{222}\text{Rn} \rightarrow ^{210}\text{Pb}$).

の平均値を取るという方法で測定した。なお、survey meter の感度は標準線源を sensor head に密着させて、測定毎に同値になるように補正することとした。測定にそれ程時間をとらない同一測線上での測定では、とくに補正を行う必要を認めなかった。

4. 測 定

4.1 山崎断層トレンチ調査時の γ 線測定 (1979.2.26~3.1)

トレンチ調査の場所は、地震予知の test field になっている山崎断層(兵庫県)上で Fig. 2 に示した兵庫県宍粟郡安富町西部で、A, B, C, D 4本の試掘が行われ、予想された断層を掘りあてることができた²⁾。

筆者らはトレンチ試掘中に、その付近が湿田で、しかも表層が厚く、トレンチに接近した場所での測定ではいい結果がえられそうもないので、Fig. 2 に示すように西側から4測線を設定し、黒丸で示した個所に測点を設けて測定した。その結果は既に発表した³⁾ 如く、試掘された断層に対応する部分に γ 線強度の peak の1つがあらわれ、つづけてすめた 1m 間隔の部分的精査の結果、さらに、その南側と北側に別の断層・破砕帯の存在が予想できることを示しておいた。

最近、この場所で土地造成が行われ、筆者らが指摘していた断層の1つが、トレンチ場所から南 10m のところで確認された。

4.2 1891年濃尾地震断層(岐阜県)のトレンチ調査時の γ 線測定 (1981.8.3~4)

トレンチ調査がおこなわれたのは、濃尾地震であられた4つの地震断層のうち、岐阜県山県郡高富町高田での梅原断層と、岐阜市佐野での根尾谷断層系の断層の2カ所で、Fig. 3 に示めた場所である⁴⁾。

筆者らは、ここでもまた現場が湿田状でトレンチに近接した測定が困難なので、トレンチ付近に Fig. 4・a, Fig. 5・a に示すような測線と測点を設定して γ 線強度の測定をおこない、Fig. 4・b, Fig. 5・b のような結果をえた。

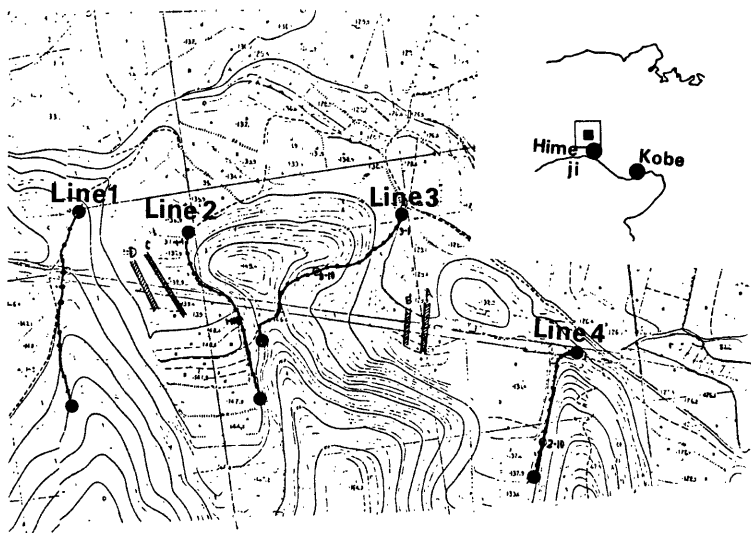


Fig. 2. Location of the Yamasaki fault and route of the survey.

梅原断層（高田）の場合は、Line 2 の測点1の場所が造成された道路際で、他処から碎石が運ばれてきていることを考慮すれば、Line 1 の peak と Line 2 の別の peak を結ぶと、トレンチで確認された断層線とよく一致した結果がえられた。

根尾谷断層（佐野）の場合は1測線しか取れなかったが、その測線上で peak を示した測点50付近で、Fig. 5・c に示すように道路をはさんだ山側に平行なもう1つの測線をとってγ線強度の精査をおこない、peak をえた。この2点を結んだ方向が、偏角補正をして N56.5°W で、測点50からこの方向に引いた線が Fig. 5・a の線となる。

ここでのトレンチでは結局断面が見られなかったが、筆者らの測定ではトレンチのやや北側を走る断層線が推定された。このことに関連する考察は後に述べる。

今回の調査では、トレンチ（高田）内にはいり、Fig. 6・a の各点のγ線強度を測定した。測点の選定はできるだけ等間隔で測定者の足場のよさと、水漏れのひどくないところを選んだ。結果は Fig. 6・b に示す。測点1, 2, 3, 5, 6, 10 は泥炭層下の礫をふくむ腐植質層内で、測点4, 7, 8はその直下の小礫をふくむ粘土層内で、測点9はその下のシルト層、測点11は断層の礫をふくむ砂層、測点12は粘土層であった。これに関する考察も後でふれる。

4.3 阿寺断層（岐阜県）のトレンチ調査時のγ線測定（1981. 10. 20～21）

トレンチ場所は岐阜県恵那郡付知町倉屋神社西で、Fig. 7 の破線で示めた部分である⁹⁾。筆者らは、こ

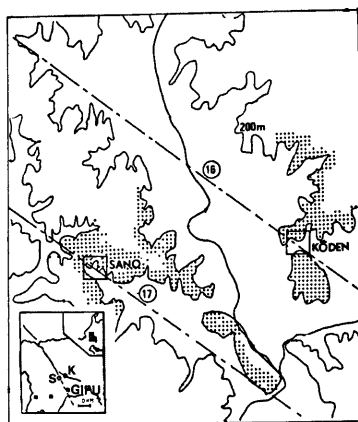
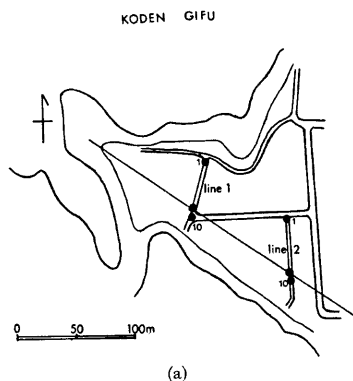
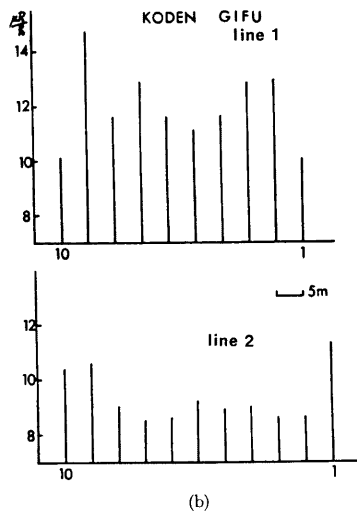


Fig. 3. Location of the survey area and the Neo fault. □: survei sites.



(a)



(b)

Fig. 4. a. Survey route at Koden area in the Neo fault.
b. Results of the survey along lines 1 and 2.

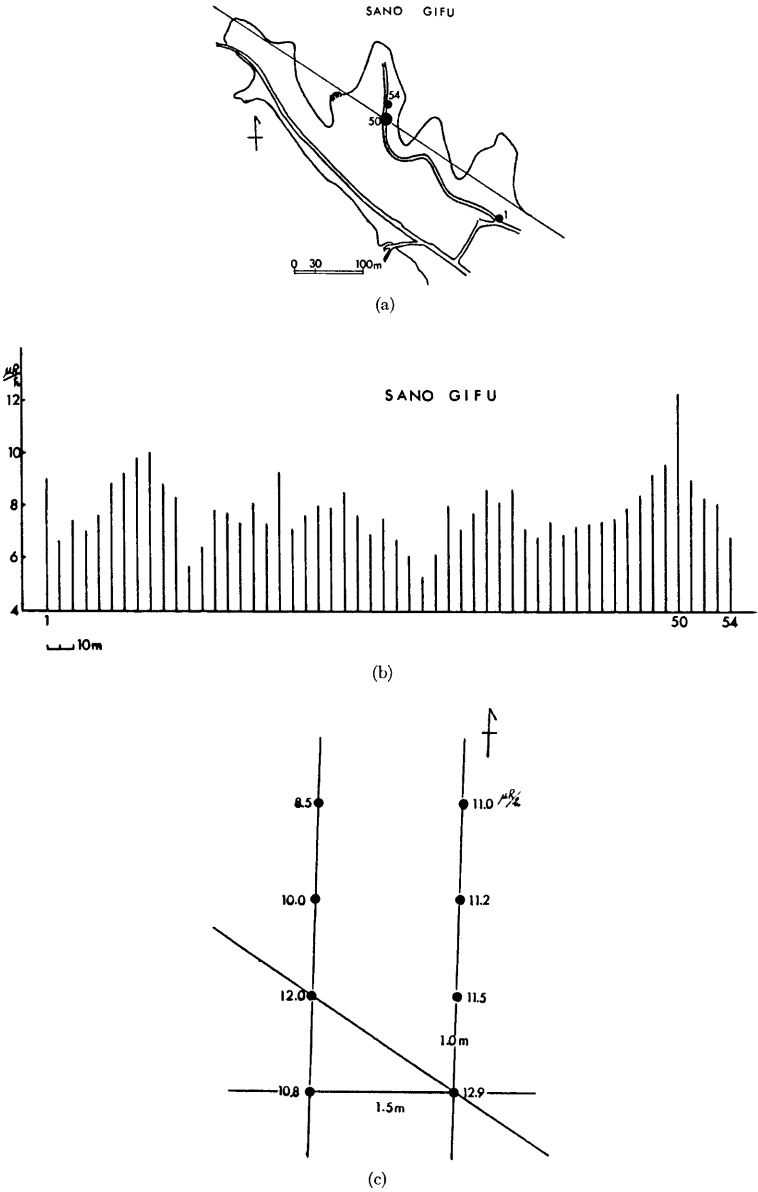


Fig. 5. a. The survey route at Sano area in the Neo fault. b. Results of the survey. c. Detailed location of the maximum intensity of γ -ray.

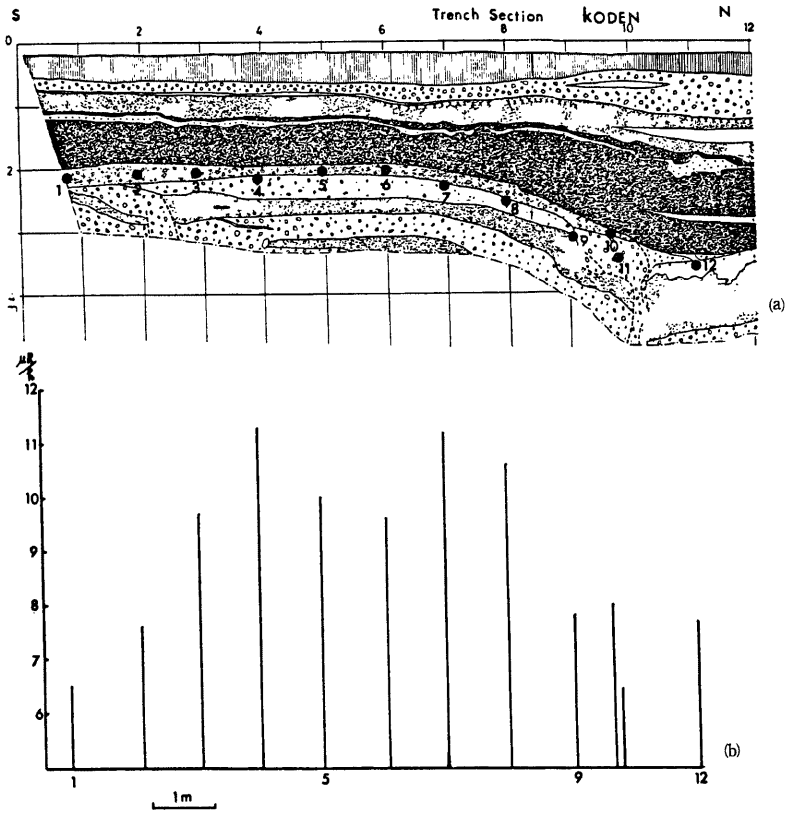


Fig. 6. a. Trench section NS at Koden area. b. Results of the survey.

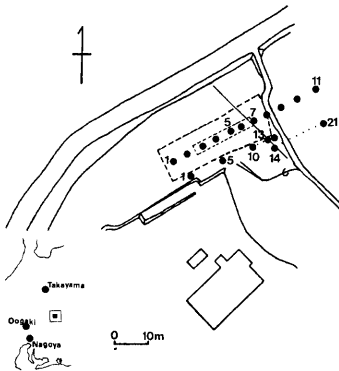


Fig. 7. Location of the Atera fault and the survey route.

のトレンチの周辺が畑地で測定に都合がいいので、トレンチの南側に接近して測線を測点1から測点11まで2m毎に取り、測点11から測点13までを1m毎、測点13以降を50cm毎と精査し、断層線直上の測点13を14にずらして測点21までを再び2m間隔とし、断層付近の精査を試みた。

結果は、Fig. 8・a に示めた通りである。ここで測点16から20まで、 γ 線強度の高いところがあるが、断層で切られた岩盤（濃飛流紋岩）の上に堆積している礫層も同じ濃飛流紋岩で、それ自身の γ 線強度が高く、その上をおおう表土の層が東にいくに従って薄くなり、ときに礫が顔を出しているところもあって、こ

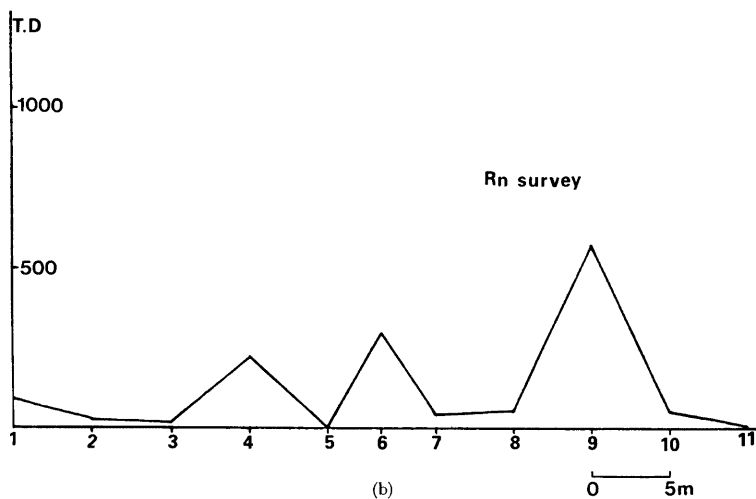
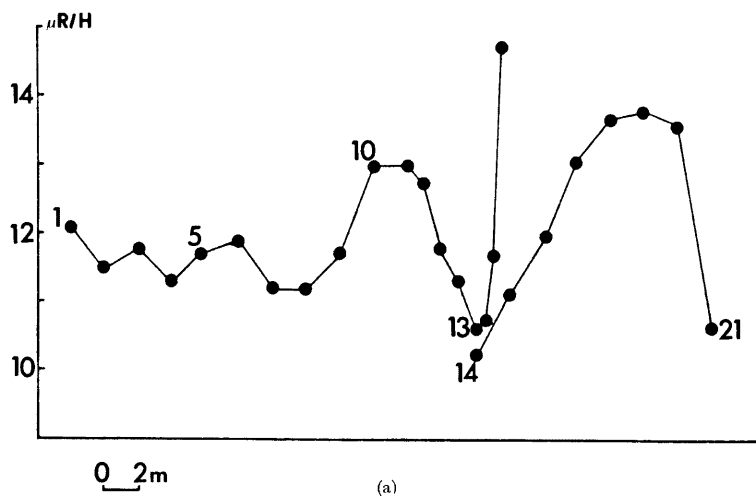


Fig. 8. a. Results of the survey at the Atera fault region.
b. Result of the survey of Rn by Geological Survey of Japan.

のような結果が出ているようである。測点13（断層）から西側は落ちた側で厚い堆積層が出来ている。

測点13では、断層直上から測点までの距離は 3m 以上あり、そこから斜め東上りに断層の割れ目が走り、地表面近くまで延びてきている。そのため断層本体の直上は γ 線強度は低く、そこから割れ目の延びている方向 1.5m の所に peak が出ている。その上、落ちた側に γ 線強度の高い部分が現われている。

これは、興味ある結果であった。

同時に、ここでは地球化学的調査、とくに ^{222}Rn 測定がトレンチ試掘前にトレンチ直上でおこなわれていて、これとの対応関係も見ることが出来た。(Fig. 8・b) それらについての考察は後に述べる。

4.4 丹那断層（静岡県）トレンチ第1回調査結果と γ 線測定（1981.11.13～14）

トレンチ場所は静岡県田方郡函南町名賀で、1930年の北伊豆地震（ $M=7.0$ ）のときできた丹那地震断層の現われたところである。トレンチは1980年10月に掘られ、その詳細は既に発表されていた⁹⁾。

筆者らは、そのトレンチ結果と γ 線測定の結果とがどう対応するかを調べるとともに、天然記念物となっている丹那断層の動いた跡でも γ 線測定をし、ちょうど、丹那盆地の北と南をそれによって押えることになるので、その中間にも測線をとって、ここでの断層線の全容を調べようと考えた。

そこで、Fig. 9 に示めすように、トレンチ溝を Line 1、天然記念物のところで動いたとされる線をはさんで東西方向に Line 3 を、この2つの測線の間に道路に沿って Line 2 の合計3測線を設定した。

Line 1 の詳細は、Fig. 10・a に示すトレンチの北壁に沿った部分で、0m から始めて、東へ 2.5m 毎に測点を取り、測点3、4、5、6、7は精査のため間隔を1/2にした。

このトレンチは調査後、埋め戻され、人手でかき回わされているうえに、この地域全体の γ 線強度が低いこともあって、 γ 線測定の結果には peak がそれ程 sharp には出ないだろうと予想された。測定結果は Fig. 10・b である。それ程明瞭ではないが、peak は 0m から 7.5m のところにあり、そのあたりから 10m までが相対的に高い。Fig. 10・a に書き入れられている北伊豆地震であられたといわれる地震断層（地割れ）とはほぼ一致し、トレンチ調査の結果解明された北壁断面のスケッチ⁷⁾の断層部の状態ともよく対応している。

Line 3 の測定結果は Fig. 12 に示めす。北伊豆地震で動いたとされている線上に測点3を取り、その東に2点、その反対側にやや密に4点を取り γ 線測定をした。ここでは、測点3ではなくその 1m 西側の測点4に peak が現われ、その東側の方が相対的には高くでている。

Line 2 では、測点8まではトレンチ部からみても断層線から離れているので 10m 毎に測定し、それ以降は 5m 毎とし、測定困難な箇所をとばして、合計39の測点で測定した。測定結果は Fig. 11 である。ここでは peak が、測点11と測点30に現われ、それに次ぐ高いところが測点19と測点26の前後に現われた。

この附近は地質調査所の加藤らによって、既に ^{222}Rn 濃度の分布調査が α トラック法によって行われていた⁸⁾。それと対比すると、

- ① 「天然記念物丹那断層」のところで、Fig. 13・b にみられるように、断層線上 No. 4 より 1m 西側の No. 3 に peak があり、その東側の方が高くなっていて、筆者らの測定結果と一致している。
- ② Fig. 13a の C Line, B Line の結果と筆者らの測定結果を対応させると、断層線は Line 2 の測点11を通ると考えてよい。そうすると筆者らが

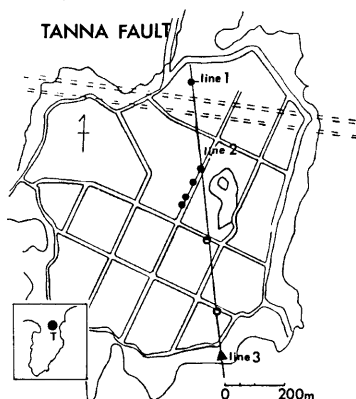
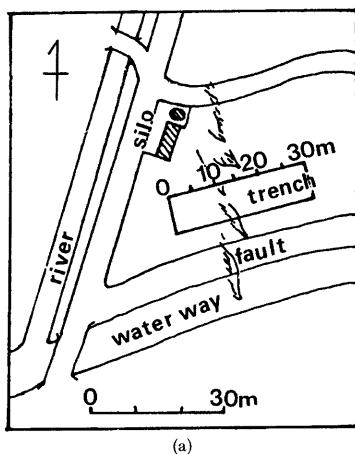
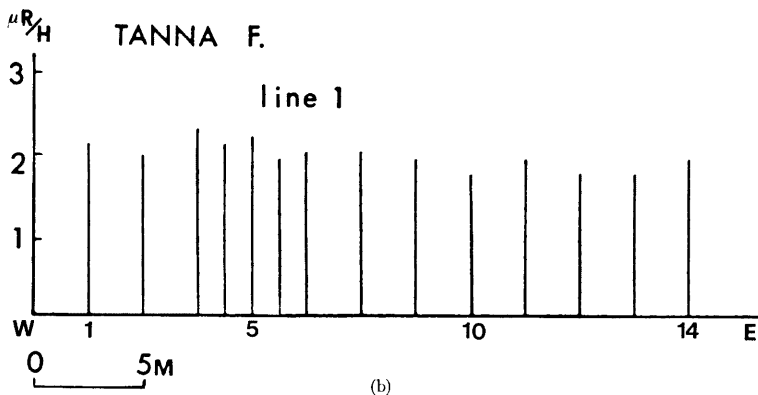


Fig. 9. Location of the Tanna fault and route of the survey.
○ Peak of α track by Geological Survey of Japan



(a)



(b)

Fig. 10. a. Location of the trenching at the Tanna fault.
b. Results of the survey at the Tanna fault.

引いた Fig. 9 の断層線と地質調査所の調査結果 Fig. 13・a の断層線はよく一致する。

- ③ α トラック法で現われている B Line の No. 12 の西側の値の大きいところと、C Line の No. 21 の西側の値の大きいところが、筆者らの測点19と対応するのかも知れない。これは断層の西落ちの現れかも知れない。
- ④ 筆者らの測定のもう1つの peak については、対応する測定がないので何ともいえない。考えられることは、この丹那盆地にある唯一の丘をつくっている複雑な地質構造のため、測点26前後のところに副断層、ないし破碎帯が形成されているのかも知れない。

4.5 丹那断層（静岡県）トレンチ第2回調査時の r 線測定（1982.2.24～25）

丹那断層の第1回トレンチ調査と同じ場所をより深く掘って、より古い地震の痕とその年代を調べる目的で今回のトレンチがおこなわれた。今回は、ここから 1km 北方にもう1つのトレンチ試掘もおこなわれた。

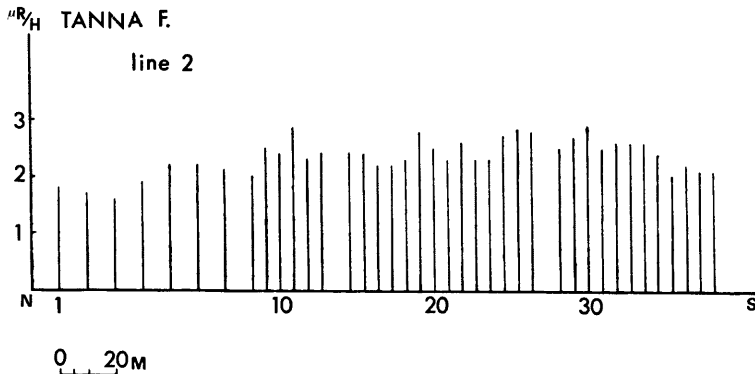


Fig. 11. Results of the survey at the Tanna fault along line 2.

筆者らはトレンチの現場で、 γ 線測定の結果とトレンチ結果とを対照させたいと考えて、測定をおこなった。第1回と同一箇所トレンチをトレンチ (site 1)、北方のトレンチをトレンチ (site 2) とよぶ。

トレンチ (site 1) では、測定の都合で、今回は南壁に沿って測定した。結果は Fig. 14・a である。0m が第1回トレンチの南壁 0m と一致している。図表の現し方はここでは変えた。厚い堆積層 (50m 以上といわれる) と、基盤岩の種類のためか、 γ 線強度の絶対値が低いので peak が見え難くなるため、free air の値との比をとった。

結果は、9m のところに peak が、5~6m のところと同じく強く現われるところがでた。これは Fig. 10 の地震断層の現われ方とよく一致し、筆者らのトレンチ南壁の見学結果と対応していた。当時は細かい調査の続行中であつたので、その結果をまてて検討をしたい。

トレンチは (site 2) は渥田内のため、それに沿った測定はいい結果が期待できないので、その付近で、社殿と鳥居の間が動いたことがはっきりしている田代火雷神神社 (天然記念物に指定されている) で、断層線をはさんで東西に測線を設け 50cm 毎に測定した。

社殿に通ずる石段下を測点 1 とし東に 6 点をとった。結果は Fig. 14・b に示す。peak は測点 2 にあらわれ、測点 3, 4, 5 が断層の東落ちを現わすのか高い測定値がでている。念のために西側を測定しておこうと考えたが 3m 程度の石段にはばまれ、しかも社殿の周辺はコンクリートで固められていたため、測定可能な石段直上の一ヶ所だけ測点 7 として測定しておいた。図では点線で結んだ。予期したように測定値は低いものであつた。

5. 考察とまとめ

5.1 γ 線強度は、標準線源を使って調べてみると、sensor から 30cm 以上離すと空気中でもほとんど free air と変わらない。そのため、地表近くまで ^{222}Rn が到達し易くない場合は、表土の厚さ、堆積層の厚さが測定値に大きく効いてくるので、断層決定には、山崎断層トレンチなどの場合の例でみるよ

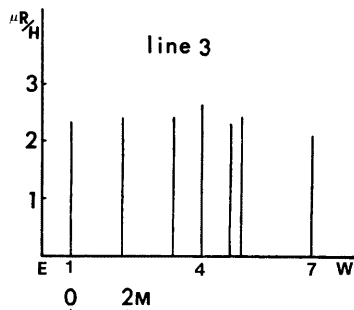


Fig. 12. Results of the survey at the Tanna fault along lines 3.

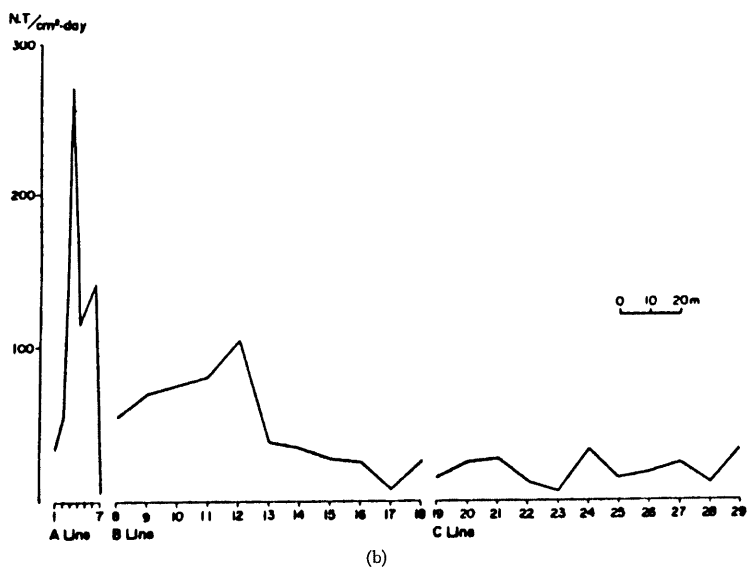
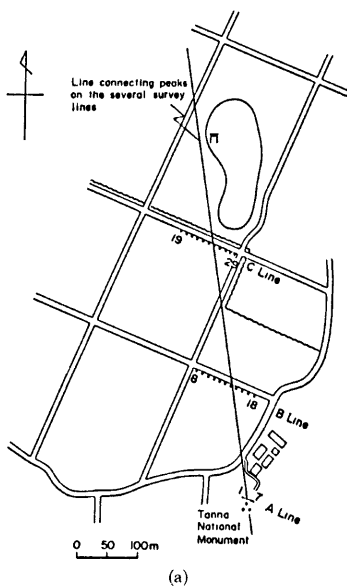


Fig. 13. a. Location of the Tanna fault.
b. Result of the survey of a track by Geological Survey of Japan.

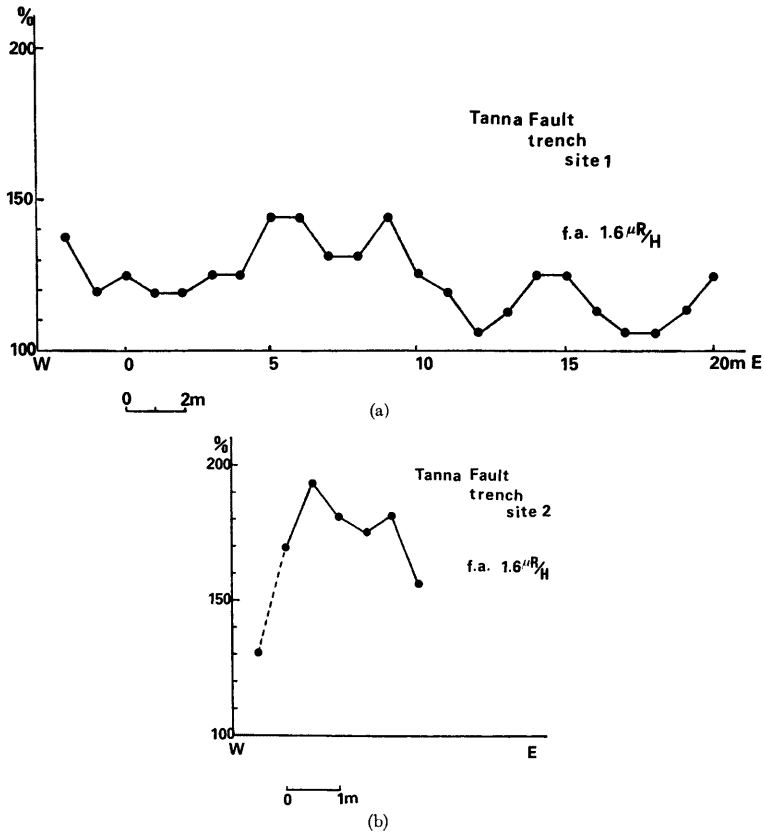


Fig. 14. a. Results of the survey at Tanna fault in second trenching.
b. Results of the survey at site 2. In figure f.a. means the value in free air.

うに、表土の被りがあまり厚くないと思われる場所に数測線を取り、そのなかのいくつかの測線に現われる peak を結んで考える必要がある。

5.2 今度の γ 線強度の測定の結果を、全体として、みると、トレンチ調査の結果確認された断層部と地表で測定した γ 線強度の peak とは、小さな誤差の範囲でよく一致していた。

なお、この誤差は、阿寺断層トレンチに典型的にあらわれているように、断層面が地表に向かって切れている（割れ目の）方向に peak がずれるところから生じているのではないかと考えられる。

また、断層の落ちた側に割れ目が多く、それを伝って ^{222}Rn が移動し易くなるため、 γ 線強度の大きくなる部分がでてくるようである。

5.3 γ 線強度分布と ^{222}Rn 測定の結果とがよく相関していることが丹那断層付近の調査で確認できた(4.4)。

阿寺断層トレンチ試掘の前後にも地質調査所の加藤により ^{222}Rn の測定がトレンチ中央を通る測線 (Fig. 7) 上でおこなわれた⁹⁾。その試掘前の測定結果と筆者らの γ 線測定結果とが比較できるデータなので、Fig. 8

にみるように断層部 (^{222}Rn 測定では測点7, γ 線測定では測点13) を揃えてあらわすと、全体の傾向がよく合っていることがわかる。

ただ、ここでは γ 線測定の測点13以降の peak が ^{222}Rn 測定の結果にはでていない。そのこともあってか、断層上では ^{222}Rn は最低値になるといわれることがあるが、これは測点の密度と断層の割れ目の延びの方向がうまくつかめるかどうかの問題ではなからうか。

今後、 ^{222}Rn 測定と γ 線測定を同一地点で同時にやって相互の関係をもっとはっきりさせたい。

5.4 4.2で述べた如く、梅原断層のトレンチ内では直接壁面の γ 線測定を試みた。測点と測定結果は Fig. 6-a, b である。これまで、トレンチ内にはいると γ 線強度が予想された程、断層部で高くないという経験をしてきたが、ここでその点をはっきりさせようと考えた。結果は、やはり、断層部で γ 線強度は低くなっていた。

これは断層・破砕部で一般にみられる地下水の溢出にとまって、開口されると同時に、 ^{222}Rn がその周辺の地層に捕獲され ^{214}Pb や ^{214}Bi に壊変して、その場所で γ 線をだすようになる暇もなく運び去られるか、掘さくによって開口され空中に拡散してしまう結果と考えられる。 γ 線強度の高いところは ^{222}Rn が捕獲され固定され易いところである。

5.5 4.2でふれた如く、根尾谷断層トレンチでは断層の存在は確認されなかったが、筆者らの γ 線測定では Fig. 5-a, b, c にみるように断層線を引くに足る peak がでた。トレンチ調査の結果の解釈では、この程度の深さでも断層部がみられないのは、1891年の濃尾地震のとき、この断層が動かなかったためであろうとされた。

この違いは、調査の目的と方法の違いからくるものであろう。

筆者らの測定は、ともかく ^{222}Rn が地下から地表に向かって上昇し易くなっている場所（基本的には、断層・破砕部）を、その形成時期を問わず、それが存在するかどうかを調べることに主たる目的がある。筆者らのこの測定方法では、推定した断層の新旧、あるいは、それが形成された年代はわからない。

6. 謝 辞

今回の調査では、トレンチ調査の間をぬって γ 線測定をおこなったため、トレンチ調査をすすめていられた皆さんに多大のご迷惑をかけながら、逆に、御好意ある援助・貴重な示唆・有益なる助言・討議をいただいた。一人ひとり御名前をあげて謝辞をのべるゆとりがないので、調査グループ名と主宰者名のみをあげて謝意をあらわしたい。

- ① 山崎断層トレンチ調査グループ (岡田篤正)
- ② 濃尾地震断層トレンチ調査グループ (岡田篤正)
- ③ 阿寺断層トレンチ調査 (地質調査所 佃 栄吉)
- ④ 丹那断層発掘調査団 (松田時彦)

Fig. 6-a のトレンチ壁面図は調査グループの原図から、Fig. 7 は地質調査所月報の原図から、Fig. 8-b は地質調査所 (加藤) 原図から、Fig. 10-a は調査団報告から、Fig. 13-a, b は地質調査所月報の原図をそれぞれお借りした。あわせて謝意を表したい。

調査では、京都大学防災研究所の松村一男、京都大学大学院生西上欽也の両氏の協力を受けた。また、京都大学防災研究所微小地震部門の方々にもこの小論をまとめる過程で貴重な討論をいただいた。記して謝意を表したい。

参 考 文 献

- 1) 脇田 宏：地震予知の方法浅田敏編著東大出版，1978 p. 146-165.
- 2) 岡田篤正・佃 為成・安藤雅孝他：山崎断層上のトレンチ調査，地震学会講演予稿集，1979春季，p. 176.

- 3) 貞広太郎・見野和夫：活断層における γ 線測定(Ⅰ), 地震, 第2輯, 第33巻, 1980 p. 51-70.
- 4) 岡田篤正・安藤雅孝・佃 為成他：1982年濃尾地震断層トレンチ発掘調査——序報, 地震学会講演予稿集, 1981秋季, p. 51.
- 5) 佃 栄吉・山崎晴雄：トレンチ発掘調査で明らかになった阿寺断層の活動時期, 地震学会講演予稿集, 1982春季, p. 175.
- 6) 丹那断層発掘調査団：丹那断層発掘調査の記録, 地理, 第26巻, 第6号, 1981 p. 122-129.
- 7) 同上。
- 8) 加藤完他： α トラック伊豆半島の活動層調査, 地質調査所月報, 第32巻, 第4号, 1981 p. 199-212.
- 9) 吉川清志・高橋 誠・加藤 完：阿寺断層における土壌ガス・溶存ガス組成について, 地震学会講演予稿集, 1982春季, p. 96.
- 10) 見野和夫・竹内文朗：黄桷断層付近の γ 線測定, 京都大学防災研究所月報 第20号 B-1 1977 p. 29-33.