

1977年9月30日の山崎断層の小地震に伴った 諸観測量の異常変化について

(山崎断層研究グループ代表*) 岸 本 兆 方

ON ANOMALOUS PHENOMENA IN SOME KINDS OF OBSERVATIONS INCIDENTAL TO A SMALL EARTHQUAKE AT THE YAMASAKI FAULT ON SEPT. 30, 1977

By *Yoshimichi KISHIMOTO*
(The Research Group for the Yamasaki Fault)

Synopsis

A composite and co-operative observation project has been carried out since autumn of 1975, at the Yamasaki fault in Kinki District, Southwest Japan. This observation project is based on the "Earthquake Prediction Project of Japan", and called the observations at the test-field. Our program includes observations of earthquake, crustal movement, radioactivity, level and component of underground water, geomagnetism, earth current and others.

At the time of an earthquake on Sept. 30, 1977, whose magnitude was about 4, anomalous phenomena were found out in several kinds of observations. This fact, that even such small earthquake accompanied the precursors, is considered to show that observations in the test-field are useful for exercise of earthquake prediction.

1. 序

この論文は、1977年9月30日山崎断層中央部に起った小地震 ($M \approx 4$) の発生に関連したと考えられる諸種の観測の異常についての概説である。この地震に関する種々の題目については、当グループの各メンバーがそれぞれの観測結果について詳しく述べている^{1), 2), 3), 4), 5)} ので、それらを一貫して見て頂きたいと思う。本稿は、この地震に関する諸観測の紹介であると同時に、precursorと思われる現象を含めて、この地震に伴った諸変化を並べて示そうとしたものである。

2. テストフィールドにおける総合(集中)観測

当グループの山崎断層における観測は、一般に「テストフィールドにおける総合(あるいは集中)観測」

* 山崎断層研究グループの構成は下記の通りである。

岸本兆方(代表者)(京大防災研)
尾池和夫・佃 為成・見野和夫・竹内文朗・
吉岡龍馬(以上京大防災研)
田中 豊・藤森邦夫・中村佳重郎(以上京大
理)
住友則彦(京大教養)
宮腰潤一郎・西田良平(鳥取大教養)

杉村新・藤井直之・小林洋二(神戸大理)
藤田和夫(大阪市大理)
脇田 宏(東大理)
行武 毅(東大震研)
乗富一雄(秋田大鉱山)
佐藤 裕(国土地理院)
岩崎一雄(地質調査所)

という名で呼ばれているものの一つであるが、この種の研究の性格と成立の経緯について簡単に述べておく。

第1次(1965~69)および第2次(1969~73)の地震予知計画の成果の上に立って、1974年度から第3次地震予知5カ年計画が開始された。一方、この間、諸外国における地震予知研究の急速な発展や、国内における種々の重要問題の発生などを契機として、測地学審議会において、昭和50年当時の地震予知研究の成果や将来の研究のあり方についての再検討が行われ、その結果が「第3次地震予知計画の一部見直しについて」(50. 7. 2建議)としてまとめられた。この中で「基礎研究」の重要性が強調され、その一つの項目として「テストフィールド集中観測」が挙げられた。これは建議によると、「中規模地震の発生の可能性の高い地域にテストフィールドを設定し、各種観測を高密度に行い、地震が発生するまで続ける。これにより地震発生前後に生ずる現象を総合的に把握する。またできれば実験的に短期予報を試みる。」と述べられているが、これは「テストフィールド集中観測」の使命を簡明直截にいい表わしているもので、山崎断層における観測の目的も正にこれに他ならない。

山崎断層については次節で少しく説明するが、防災研究所において既に地震や地殻変動の観測を行っていた同断層地域は、上記のテストフィールドとして適格な場所と考えられ、1976年12月、脚註のような研究グループが結成された。現在、このグループによってなされている観測の分野は、

- 1) 地震観測(鳥取微小地震観測所による)
- 2) 地殻変動連続観測(安富観測坑内)
- 3) 測地測量(安富観測坑周辺)
- 4) 地下水位測定

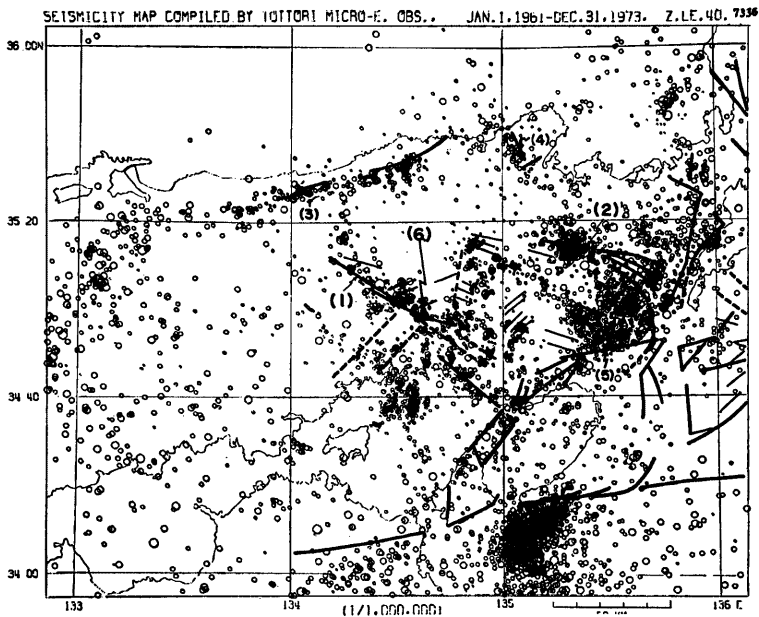


Fig. 1. Epicenter distribution (Jan. 1961-Dec. 1973).

- (1) Yamaguchi fault, (2) Mitoko fault, (3) Yoshioka-Shikano fault, (4) Gomura fault,
(5) Arima-Takatsuki tectonic line, (6) Yasutomi observation tunnel.

- 5) 地下水成分測定
- 6) 放射能測定
- 7) 地磁気・地電流・岩石比抵抗観測
- 8) 地温測定
- 9) 地形・地質学的調査

などである。

3. テストフィールドとしての山崎断層

Fig. 1 に示すように、山崎断層は兵庫・鳥取・岡山 3 県の県境附近からほぼ南東に延びる全長約 80km の左横ずれ断層である。

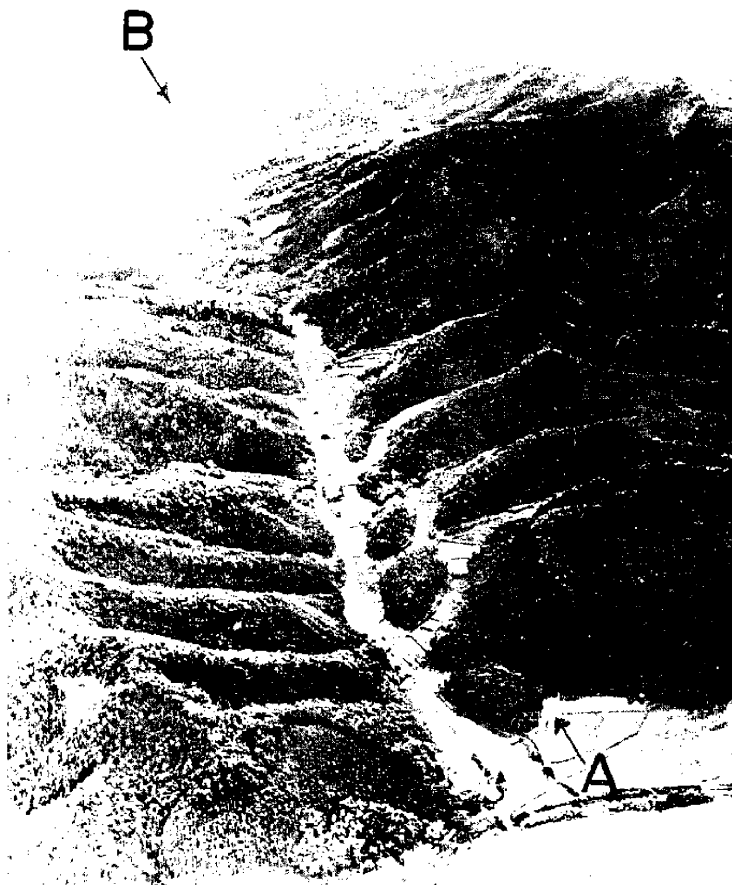


Photo. 1. Aerial photograph of the Yamasaki fault.

1965年、防災研究所附属鳥取微小地震観測所が観測を開始してまもなく、微小地震の震央がこの断層に沿う線状配列を示すことが判ってきた。Fig. 1は1965～1973年の震央分布であるが、山崎断層(図中の(1))に沿う震央の密集が見られる。Fig. 1の範囲でも、震央の分布様式は地域によって違いがある。たとえば、和歌山市周辺や淀川の北側、琵琶湖の西側などでは、震央は一面に広がり且発生数が極めて多い。これは、この地域の地殻が高度に破碎されており、小断層やクラックが無数に存在するからであろう。一方、西方の岡山県や広島県東部などでは、震央の分布はずっと疎らになり、分布の系統性もあまりはっきりしない。

山崎断層は両者の中間地域に存在する。すなわち、山崎・三峠(みとけ)・六甲・吉岡・鹿野などの活断層が存在する地域であり、地震と断層とのかかわりが明瞭である一方で、広い低活動域が存在する。このことは、地殻がモザイク状をなしており、主な破壊が各ブロックの境界線である断層によって起ることを示している⁹⁾。このような地殻の性質は、テストフィールドのため必要な性質の一つであるといえる。

さて、このような微小地震の研究の進歩とほぼ同期として、活断層の地質学的研究が急速に盛んとなり、先に述べた諸断層の中でも、山崎断層は典型的な左横ずれ断層であることが確かめられた。Photo. 1に山崎断層の空中写真を示す。写真に示されたA, Bを結ぶ直線が断層であって、その線上では、山が大きくくびれたり、千切れたりしているのが判る。断層というものは、このように驚く程直線的である。

以上のように、地震および地質の両面からの研究が進み、山崎断層や更に広く西南日本内帯における地震活動および地質構造、あるいはそれらの関連についての研究は極めて多数に昇る^{7), 8), 9), 10), 11), 12)}。そして、地震活動を始めとする地殻活動と、活断層をその典型的表われとする新しい地質構造とを、ネオテクトニクスの考えの下に統一的に考えることは、こうして定着したと云ってよいであろう。

この節の最後に、山崎断層で発生した大地震について調べてみる。確実にこの断層で発生したことが判っている大地震は歴史に残っていない。しかし、868年播磨の地震(M7.1)はそうであるかも知れない。最近では、1961年山崎断層の中央、山崎町附近にM6.3の地震が起った。1965年微小地震観測の開始以来の最大の地震は、1973年のM5の地震である。後節にも述べるが、M4～5の地震であれば割合頻繁に起ると思われる。

4. 1977年9月30日の地震に伴った諸現象

この地震は、安富観測坑(Fig. 1)の北方約5kmの所に発生した。験震学的結果については佃²⁾が詳しく述べている。Fig. 2に見るように、安富観測坑の附近は、1965年の観測開始以来10年以上も地震活動が大変低い状態にあった。今度の地震は、この低活動域(空白域)の西端にあると見られる。断層は、それに沿う地震活動を伴うとはいっても、全く連続的なものではなく、極めて活動的な部分と空白域とが混りあって並んでおり、空白域が順次地震で埋められて行くと考えるべきであろう。

さて、この地震の発生に約2年先立つ1975年後半には、安富観測坑内における伸縮連続観測、同観測坑を囲んで設置された安富春(うすずく)基線網における測地測量、断層周辺における種々の地球電磁気学的観測が開始されていた。また1977年初めには、ラドン放射能観測(観測坑内)、地下水成分測定(塩田温泉)、地下水位観測(安富町)などが始まった。従って、9月30日の地震時には、かなり前から多数の観測が始められていたため、種々の異常を観測できたのである。

4.1 地震活動(長・中期的現象)

Fig. 3に山崎断層地域の地震活動の時系列を示す。気象庁(上段)、鳥取微小地震観測所(下段)の両者とも、ほぼ4年を周期とする活動の消長が認められる。前述のように、1961年の活動はM6.3、1973年のものはM5の地震を発生させた。

試みに、山崎断層地域の小・微小地震について、Gutenberg-Richterの関係式を求めてみると、1年当りの発生数 N は、

$$\log N = 2.5 - 0.68M$$

で表わされる。この式によれば、M4の地震は2年に1回、M5は8年に1回、M6は40年に1回となり、

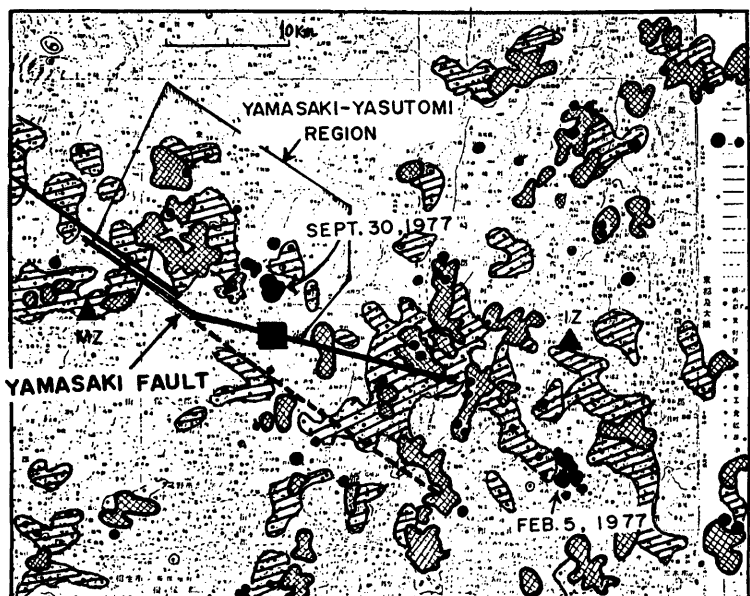


Fig. 2. Seismic activity around the central part of the Yamasaki fault. Meshed and shaded parts represent the areas which showed very high and relatively high seismicity in the past 12 years, respectively.

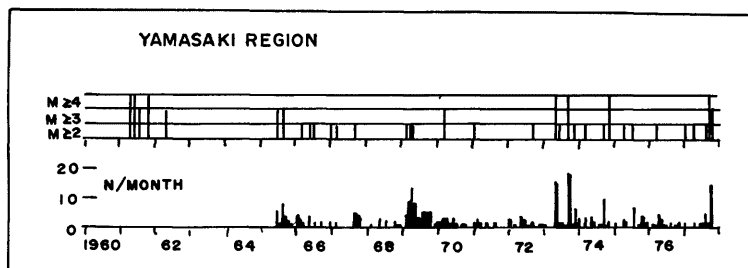


Fig. 3. Time series of seismic activity in the Yamasaki fault area. The upper and lower are due to the Japan Meteorological Agency and Tottori Microearthquake Observatory, respectively.

この結果を見ても4年周期というのは有りそうに思える。いずれにしても、M4～5程度の地震ならば比較的頻繁に起る可能性があり、地震予知の練習台としてのテストフィールドになり得るであろう。

1977年に活動が高まるであろうことは、上述の周期性によって前以て予想され、1976年12月の地震予知シンポジウムにおいて述べられている¹³⁾。これは統計資料による活動の時期予測が成功した例であり、長期予測といえ得るであろう。

Fig. 4は震央周辺の地震活動の時間変化を示すものである。横軸は時間であり縦軸は今度の震央から各地

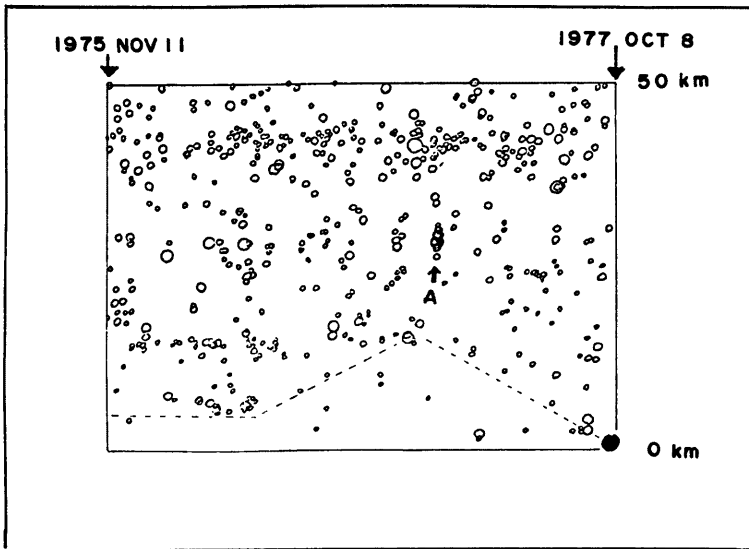


Fig. 4. A representation of time variation of seismic activity around a fixed point. Ordinate denotes the distance from the fixed point.

震までの距離を表わす。1976年6月半ば頃から、地震活動は震央附近からだんだんと遠ざかり、震央附近の空白が次第に大きくなっている。図中Aと示された1977年2月5日福岡町附近の地震 (Fig. 2 参照) を境として、地震活動は再び次第に震央の方へ近寄って行き、遂に地震発生に到ったことを示している。この種の観測事実は、1973年9月21日の山崎町附近の地震(M5)の際にも認められたもので、一般的な現象なのかも知れない。もしそうならば、注目する地点を原点としてこのような図を常時書かせて監視しておれば、中期的な予測を行える可能性がある。

4.2 短期的現象

Fig. 5 は地震3カ月前からの諸観測の時間変化である。上から順に、ラドン放射能、地下水中の塩素イオン濃度、地下水位、降雨量、地震、破砕帯をまたぐ2成分の伸縮計による毎日の伸縮変化量、破砕帯をまたぐ(10-11)成分のひずみの変化である。

4.2.1 ひずみ変化と降雨 (直前の現象)

尾池⁽⁴⁾は西南日本の地震発生に関する季節性の存在、およびその理由として、降雨が引金作用となって地震を発生させると述べている。問題の地震についても、発生した9月は西南日本の地震が最も多く起る月であること、地震発生の日前75mmの降雨があったこと、また、Fig. 5の2成分の伸縮の変化量(ds/dt)から見ると、降雨とともに断層は地質的ずれと逆向きの右ずれ運動を起し地震発生となったこと、など尾池の指摘する通りであった。すなわち、降雨とそれに伴う断層の異常なずれ運動は直前予測となり得るものである。

4.2.2 塩素イオン濃度とラドン放射能

Fig. 5で特に顕著な現象は、地下水中の塩素イオン濃度とラドン放射能(α 線)の変化である (Fig. 5の上端の2図)。前者については吉岡⁽³⁾が述べている。脇田らによる α 線測定の詳細は未発表である。ここでは両者について概観するに止めたい。

塩素イオン濃度が地震発生のほぼ2週間前から顕著な減少を示しているのが認められるが、これは今まで

の同種の観測の経験から見て地震に関連するものであろうと考えられる。また、地震前14日という長さは、Precursorの出現時に対する RIKITAKE¹⁵⁾ の式、

$$\log T = 0.76M - 1.83$$

(Tは Precursorの出現時から地震発生までを日単位で表わしたもの)

において、 $M=4$ とした時、 $T=16$ 日となるのとは一致するのは大変興味深い。このようなことから、この塩素イオン濃度の減少は地震に関連すると考えて間違いないと思われるが、このような小地震に、このような大きな変化が現われたことは注目すべきであろう。

なお、塩素イオン濃度は、8月10日頃から、それまでの直線的傾向から外れて次第に上昇を始めているように見えるがこれは何を意味するものであろうか、今後の問題である。

α 線の観測は安富観測坑内で行われている。方法はフィルムを坑内に吊して放置しておき、約20日で取替えて α 線の飛跡を数えるものである。地震をはさんで飛跡数の急激な増加がある。この観測については、坑内の位置によって時間変化の形が大きく異なる例もあり今後の検討をまたねばならぬが、塩素イオン濃度の変化などを考えるとやはり地震に関係するものといえるであろう。将来は連続的観測を行う必要がある。これらの例は短期間予測となりうるものである。

4.3 磁気測量その他

地電流の観測については宮腰⁴⁾が発表しているので、ここでは住友(未発表)による全磁力測量の結果について概説しておく。

山崎断層周辺の全磁力測量は、1975年12月第1回目を行って以来、毎年1回同じ場所での測定を繰り返している。1977年は、地震後4日、2週間、1カ月の3回にわたって測定した。測定値はすべて鳥取微小地震観測所における観測値を用いて化成しており、化成値の95%信頼区間は $\pm 1\gamma$ である。

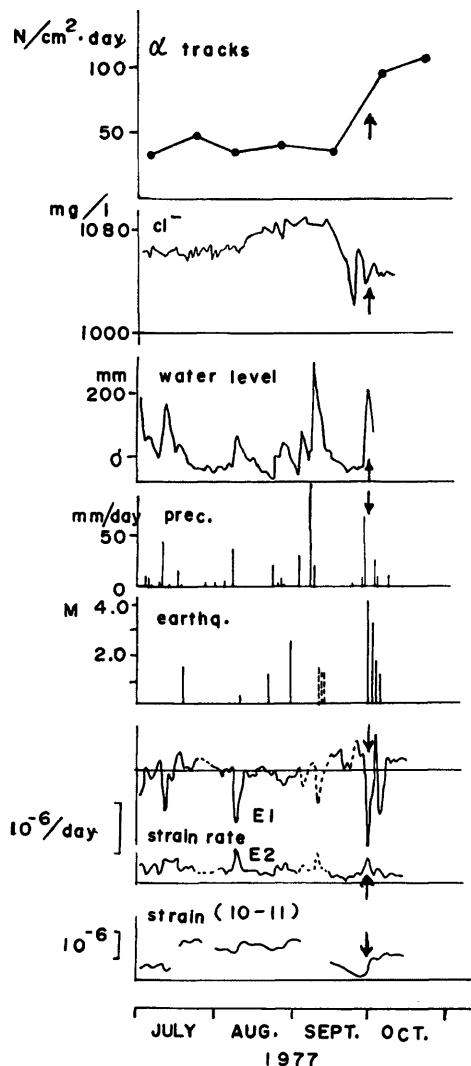


Fig. 5. Short-range variations of various observations. From the top to the below: α tracks from radon, chlorine ion density in underground water, water level in a shallow well, precipitation, earthquake occurrence, strain rates per day, and strain observed between two points crossing the fracture zone.



Fig. 6. Secular changes of geomagnetic total force relative to Tottori.

中期的には、震央附近のサイスミシティの時間変化が認められたが、常時的にこの変化を監視することは将来有用であろう。

1～2カ月あるいはそれ以下の短期的現象としては、地下水中の塩素イオン濃度の変化と、やや問題はあるとしてもラドン放射能の変化が観測されたことは注目すべきである。

直前の現象としては、既に指摘されている、乾燥期間の後の急な降雨とそれに直ちに伴って起る断層破砕帯の逆向きのずれ変位が明瞭であった。

このようにして、マグニチュードが4に満たない小地震であるにもかかわらず、このような種々の明瞭な異常変化が観測されたことは、より大きい地震の予知研究に強い支持を与えるものといつてよいであろう。そして、このような「テストフィールド集中(総合)観測」が、地震予知のため、予期通りの極めて有力な方法であることが立証されたといつてよいと思われる。

参 考 文 献

- 1) 尾池和夫・中村佳重郎：山崎断層における伸縮変化の連続観測結果，京都大学防災研究所年報，第21号B-1，1978，pp. 11-18.
- 2) 佃 為成：山崎断層の地震(1977年9月30日，M3.7)の震源付近の V_p/V_s 異常，京都大学防災研究

1975年から1976年にかけては、Fig. 6に示すように平均3γの磁場減少が見られる。1976年から77年にかけては逆に2γ弱の増加が見られるが、震央距離約1kmにある磁気点B-3では77年も減少が続いている。B-7も僅かに減少し、震央に近い磁気点では増加量が少ない。これらのことから、今回の地震発生に関連して全磁力が震央附近で3～4γ減少したのではないかと考えられるが、しかしマグニチュードから考えて、従来予想されてきた量より1桁大きいことは、今後の問題として残されている。

5. ま と め

以上に、1977年9月30日に山崎断層に起ったM4クラスの小地震に関連を有すると思われる種々の観測の異常について述べた。そのうちのいくつかは、かなりはっきりしたもので、今後の地震発生予測に役立つと思われるが、次に簡単にまとめておこう。

まず長期的には、山崎断層の地震にはかなりはっきりした周期性があり、それによって今回の地震活動は1976年に大体推測された。ただし、場所と規模を決めることはまだできない。

- 所年報, 第21号 B-1, 1978, pp. 47-56.
- 3) 吉岡龍馬：山崎断層・塩田温泉の塩素濃度と地震現象との関連, 京都大学防災研究所年報, 第21号 B-1, 1978, pp. 37-41.
- 4) 宮腰潤一郎：山崎断層帯における自然電位の経年変化, 京都大学防災研究所年報, 第21号 B-1, 1978, pp. 43-46.
- 5) 竹内文朗・見野和夫・貞広太郎：山崎断層付近における γ 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. 19-26.
- 6) 藤田和夫・岸本兆方：近畿のネオテクトニクスと地震活動, 科学, 第42巻, 1972, pp. 422-430.
- 7) Huzita, K., Y. Kishimoto and K. Shiono: Neotectonics and Seismicity in the Kinki Area, Southwest Japan, Journ. Geoscience, Osaka City Univ., Vol. 16, 1973, pp. 93-124.
- 8) Nishida, R.: Earthquake Generating Stress in Eastern Chugoku and Northern Kinki Districts, Southwest Japan, Bull. Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., Vol. 22, 1973, pp. 197-233.
- 9) Kishimoto, Y. and R. Nishida: Mechanisms of Microearthquakes and Their Relation to Geological Structures, Bull. Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., Vol. 23, 1973, pp. 1-25.
- 10) 岸本兆方：関西地域における地震活動と応力場, 京都大学防災研究所年報, 第16号 A, 1973, pp. 9-21.
- 11) 尾池和夫：鳥取微小地震観測所の震源表について, 地震, 第2輯, 第28巻, 1975, pp. 331-346.
- 12) 尾池和夫：微小地震の時空分布と活断層, 地質学論集, 第12号, 1976, pp. 59-73.
- 13) 尾池和夫・岸本兆方：地震予知テストフィールドとしての山崎断層, 地震予知研究シンポジウム(1976年12月13日・14日・15日), 1977, pp. 83-90.
- 14) 尾池和夫：降雨と地震発生との関係について, 京都大学防災研究所年報, 第20号B-1, 1977, pp. 35-45.
- 15) Rikitake, T.: Earthquake Precursors, Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 65, 1975, pp. 1133-1162.