

降雨と地震発生との関係について

尾 池 和 夫

ON THE RELATION BETWEEN RAINFALL AND THE OCCURRENCE OF EARTHQUAKES

By Kazuo OIKE

Synopsis

Some characteristic evidences suggesting that the heavy rainfall triggers the occurrence of earthquakes are described as follows;

- (a) Monthly distribution of frequency of shallow shocks in the Inner Zone of the Southwest Japan shows the similar pattern as the rates of change of mean monthly precipitation.
- (b) Many large earthquakes occur at the beginnings of the rainy seasons.
- (c) In many cases local heavy rainfalls take place in the epicentral region in a few days before the occurrence of earthquakes.
- (d) There are many cases in which earthquakes occur 3 to 5 days after heavy rainfalls.
- (e) Microearthquake activity along the Yamasaki Fault clearly increases when large effect of rainfall is observed by extensometers crossing the fractured zone.
- (f) Temporal variation of microearthquake activity along the active fault corresponds well to the variation of precipitation and the water level of the river.

1. はじめに

陸地に発生する浅発地震と地表での気象との関係については、数多くの研究がなされている。特に降雨や川あるいはダムなどの水位変化と地震発生との間には、密接な関係が見出されることがある。

McGinnis (1963) は、1900年以降のミズーリ州ニュー・マドリッド付近の浅発地震とミシシッピー河の水位の変化とを調べ、両者の間に明瞭な相関があることを見出した¹⁾。それによると、月別の地震発生数と月別水位平均値の変化率とが、非常に良く似た分布をすること、また、60年間の地震による放出エネルギーの変化が、長期間にわたって水量の変化に合っていること、の2つの現象がある。このようなことから、彼は、洪水や豪雨が地震発生の引金役となる性質と、水量の増減が長周期の地殻変動と関係し、また地震活動の変化とも関係する性質とがあると考えた。

Ozawa (1968)²⁾、および小沢 (1969)³⁾ は、1968年8月18日の京都府船井郡和知町付近の地震 ($M=5.6$) と、その直後の27日の京都市の地震 ($M=4.9$) とについて、その前後の逢坂山における地殻変動記録との関係を調べた。ひずみ変化などに現われた地震の先行現象を調べた結果、これらの地震の直前に降った豪雨が、地震発生の引金となった可能性が指摘された。

Taiwani (1976)⁴⁾ は、降雨後のダムによる人造湖の水位の急激な上昇から46時間遅れて、同じパターンで地震活動が高まる現象を観測した。

これらは全て、降雨やそれによる水位の変化が、浅発地震発生を促す性質を持っていることを示すものであり、数mの水位変化が、地震活動を変化させる現象である。一方、歴史上地震がほとんど発生していない場所に、ダムを建設して人造湖をつくった後、地震を誘発する例が多く知られている。例えば、中国広東省

の新豊江では、貯水開始後3年目に M6.1の地震が発生した⁵⁾。人造湖の水位が 100mを越えるような場合には、まったく新しい地震活動域をつくる場合さえありうる。

西南日本の陸地に発生する浅発地震について、最近の資料から降雨との間にどのような関係があるかを調べ、また、微小地震の連続観測資料について降雨や川の水位との間にどのような関係があるかを詳しく調べた結果を以下に述べる。

2. 地震発生の季節性

Fig. 1 に降水量と地震の月別分布の例を示す。図の上端は、冬期の降雪の少ない地域を代表して、岡山における1941~1970年の30年間の月降水量の平均値を、2番目はその変化量を示す。これらのパターンは降雪量の多い山陰・北陸の冬期を除いて西南日本にはほぼ共通するものである。月降水量のデータは理科年表によった。

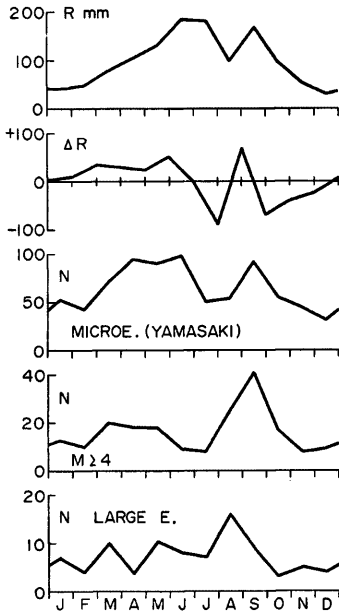


Fig. 1. Monthly distributions of precipitations and earthquakes. From top to bottom, shows monthly distribution of precipitation at Okayama, the rates of change of them, frequency of microearthquakes at Yamasaki, that of shallow shocks in the Inner Zone of the Southwest Japan and that of historical large earthquakes in the same region.

雪量の多い山陰・北陸の冬期を除いて西南日本にはほぼ共通するものである。月降水量のデータは理科年表によった。

兵庫県南部の山崎断層中央部の山崎町付近には、1965年以来連続して観測された資料から⁶⁾、微小地震の活動域の存在が知られている⁷⁾。この地域の微小地震の震源は、10~15kmの深さに集中しており、震央分布は地表で観察される活断層と密接に関連して線状の配列を示す傾向がある^{8),9)}。この山崎付近の微小地震の月別発生回数、は、月別降水量の変化の分布に非常に良く似た分布を示している。また、気象庁によって求められた震源の表から、深さが60km以下の浅発地震を選び、131°~137° E, 34°~38° Nの範囲(大体、西南日本内帯の地域)について、M≥4の地震の月別頻度分布を描くと、上記の微小地震と同じ分布の形を示すことがわかる。

さらに、理科年表から内帯で発生した歴史上の大地震で陸地の浅発地震と思われるものを選ぶと、その月別頻度もまた同じパターンを示す。Fig. 1 中の下側の3種類の分布は、皆月別地震回数を示すが、上から下へと次第に大規模な地震についての性質を表わしている。これらの分布はいずれも、3~6月の雨季と8~9月の台風による豪雨シーズンとに地震活動が多いことを示している。また、必ずしも有意とは言えないが、地震活動のピークの時期は大規模な地震ほど早く出現している傾向がある。

地震活動の季節性について調べられた例も多くあるが、M≥7.9の巨大地震が日本列島周辺で顕著な季節的集中性を示すことが知られている¹⁰⁾。日本の巨大地震はほとんどすべてプレートの境界である海溝沿いに発生する。これらの地震の季節性は、例えば海流と海水温度などに関係があるのかもしれない。

いずれにせよ、浅発地震の発生は、地表における現象の年変化に強く影響されていると考えられる。

3. 降雨・水位・地震活動の時間的変化

山崎断層を南北に横切って揖保川の主流や支流の林田川が流れている。建設省の資料から山崎観測点での

水位変化とその付近での降水量を、微小地震活動と比較して、**Figs. 2, 3 and 4** に示す。山崎付近の微小地震は最近約4年の周期で活動の変化を繰り返している。その変化の様子を**Fig. 5** に示す。**Fig. 2** は、地震活動の静かな時期から活発な時期へと変化する時である。1969年2月の水位の急激な上昇と同時に地震活動

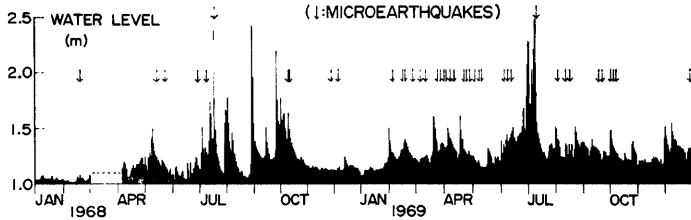


Fig. 2. Shows that the beginning of the seismic active period corresponds to the sudden increase of water level at the beginning of the rainy season in February 1969.

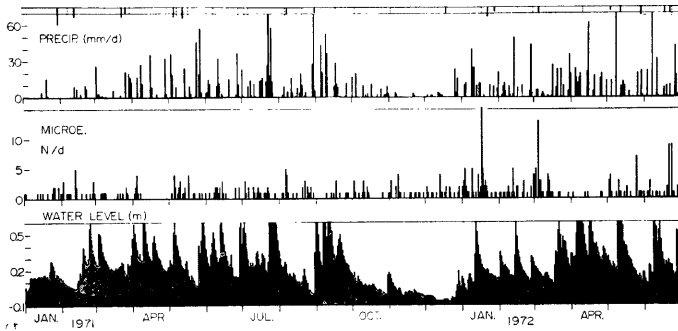


Fig. 3. Shows data in a very quiet period. Daily number of shocks has been obtained by the temporary observation with very high gain.

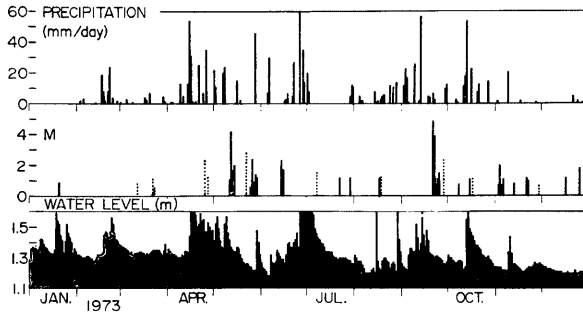


Fig. 4. Shows the relation between comparatively large activities and change of water level.

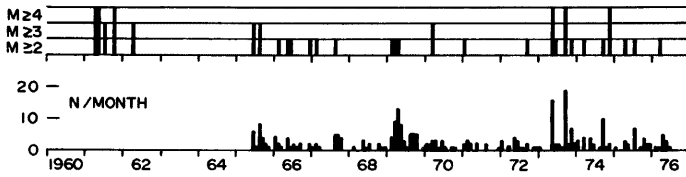


Fig. 5. Periodical change of seismic activity at Yamasaki region.

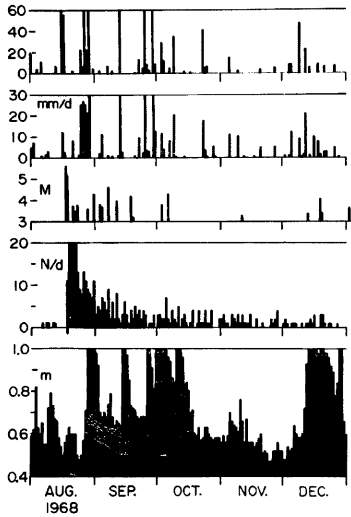


Fig. 6. Relation between daily precipitations, aftershocks of the Wachi earthquake and water level. Heavy rainfalls can be found just before the main shock.

が始まっている。**Fig. 3** は非常に静かな時期を示す例で、中段の地震活動のデータは山崎断層近くでの臨時高感度観測によるものであり、この時は12月末から降雨と水位の増加した特殊な気候であったが、それらによく一致して、1972年1月初めから地震活動が活発化している。

1973年の5月および9月に比較的大きな地震活動があったが、それらの活動の始まりは、**Fig. 4** に示されたように、やはり急激な増水と対応している。

大地震の後に続く余震活動は、地震発生のための条件がそろっていて、特定の地域に近い将来の地震発生が充分予想される場合という事ができる。このような場合の例を見てもやはり降雨や水位変動と地震活動との間に関係があるようである。**Fig. 6** は1968年8月18日の和知地震の余震活動を降雨や水位と比べたものである。本震直前に豪雨があり、その後の余震活動は11月頃で一度おさまっているが、12月の増水とともにまた活発となっている。**Fig. 7** は1969年9月9日の岐阜県中部地震の余震活動と降雨との関係を示している。矢印で示された顕著な余震はそれぞれ目立った降雨の後に発生している。日別余震回数(A)および(B)は、それぞれ伊藤 (1971)¹¹⁾ および渡辺・黒磯 (1970)¹²⁾ による。

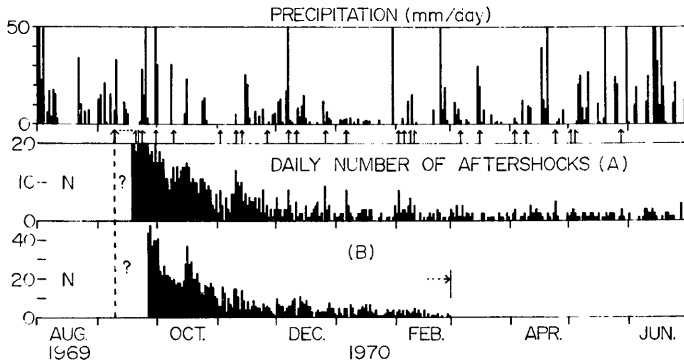


Fig. 7. Another example on the aftershock activity in the Central Gifu region in relation to rainfalls.

4. 地震直前の降雨量分布

和知地震直前の降雨量分布の大略の様子を見ると、局所的に集中豪雨が震央地域にあったことがわかる。その後の大きな余震直前についても同じような現象が見られる。これらの降雨量分布を Fig. 8 に示す。8月18日の和知の本震の後、8月27日には約 50km 離れた京都市にM4.9 の地震が起きた。この地震直前には、Fig. 9 のようにやはり震央地域に雨量分布の極大が見られる。

岐阜県中部地震の1週間ほど前から、この震央地域に数回の集中豪雨ないしは降雨があった。この時の雨量分布は Fig. 10 に示されている。

Fig. 11 および Fig. 12 は、時間的にも空間的にも降雨のパターンが孤立している例である。このような

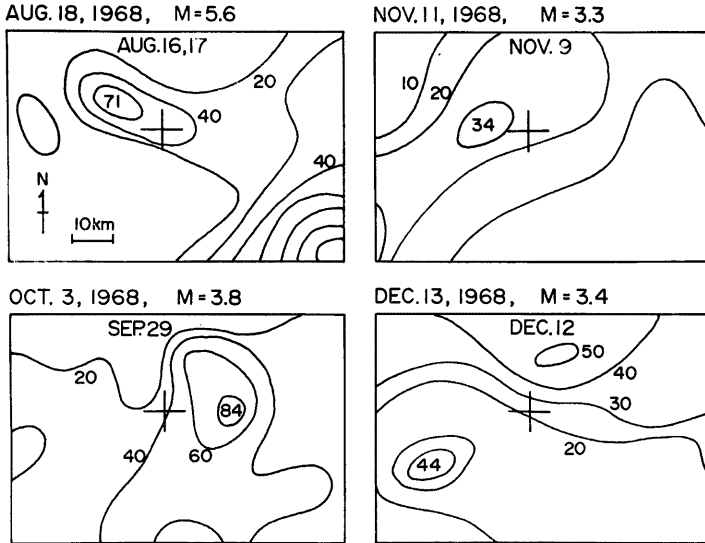


Fig. 8. Distribution of rainfalls before main shock of August 18, 1968, and large aftershocks in the Wachi region.

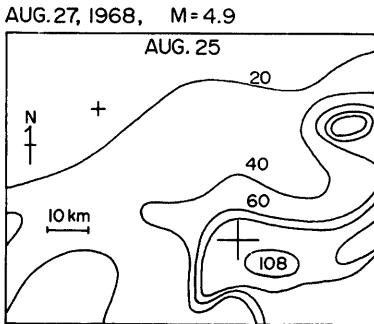


Fig. 9. A local heavy rainfall before another large main shock, August 27 (large cross), compared with the epicenter of Wachi earthquake (small cross).

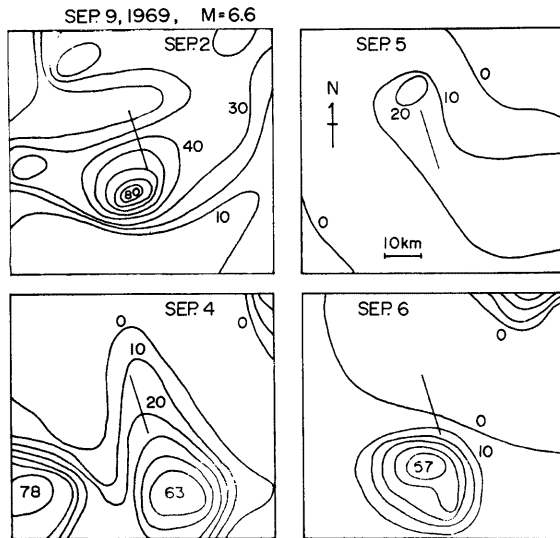


Fig. 10. Repeated rainfalls before the Central Gifu earthquake ($M=6.6$).
A line in each map shows an aftershock region.

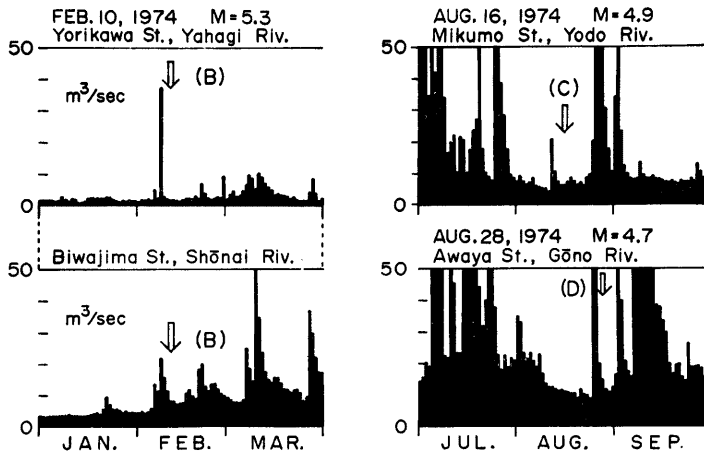


Fig. 11. Examples showing that sudden increase of water in the river at the beginning of rainy season triggers the occurrence of earthquakes.

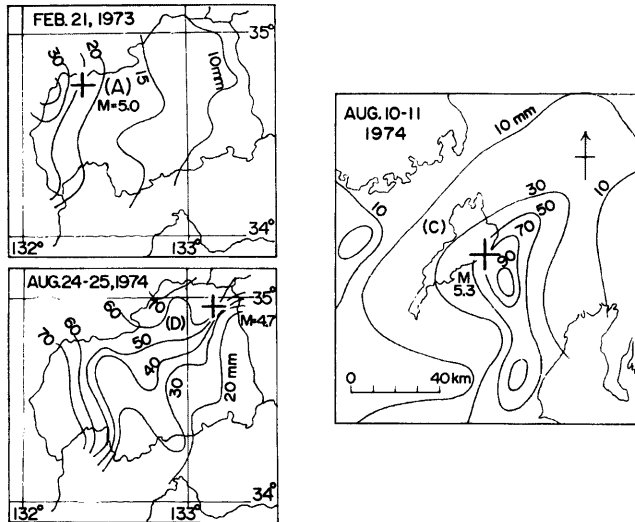


Fig. 12. Distribution of precipitation just before earthquakes. (C) and (D) correspond to those in Fig. 11.

例は、雨季の始まりである2月頃や8月の後半に多い。

降雨量と地震の大きさなどとの間には一般的量的関係は見られないが、生野鉱山の廃坑への注水によって生じた誘発地震や山はねの規模¹³⁾とその直前の降雨との間には何らかの量的関係が存在するようである。その結果は、Fig. 13 に示されているが、これらによると、降雨量が大きいほど早い時期に大きな地震が発生するといえる。

5. 統計的な性質

Fig. 14 は、山崎付近の比較的大きな地震とそれらの前後の日降水量を示している。このような地震前後の日降水量のデータは、Fig. 1 に示した $M \geq 4$ 以上の地震196個のうち、135個の地震について得られた。上記地震の中で明らかに陸に震央のある浅発地震は158個だから、そのうちの85%について統計的性質を見ることができる。

地震発生の日を中心にして重ね合わせ、前後1日毎に一定量以上の降雨のあった回数を数えた結果が、Fig. 15 に示されている。この結果によれば、地震前3～5日に降雨の頻度の高いことがわかる。この性質は、降雨量の下限を大きくするほど、また、 M の下限を大きくするほど明瞭に見られる。

日本列島は雨の多い地域であり、豪雨の頻度も高い。従って、

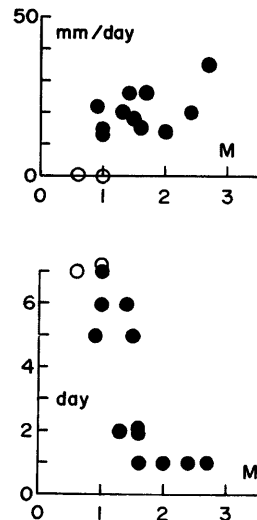


Fig. 13. Upper part shows the relation between precipitations and magnitudes of microearthquakes induced by the water-injection at the Ikuo mine. Lower part shows the relation between time intervals from rainfall to shock and magnitudes.

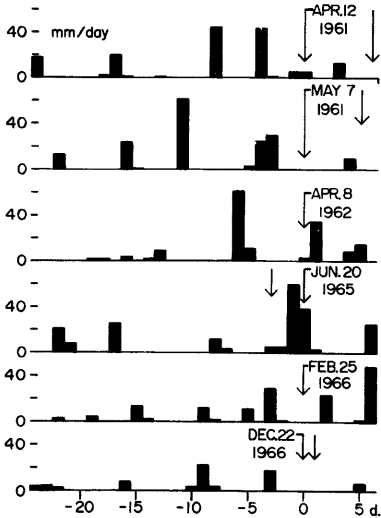


Fig. 14. Shows some examples of temporal distribution of daily precipitations before and after shocks.

何かの現象が偶然雨に出会う確率が高い¹⁴⁾。Fig. 16は、ある時点から前1週間に偶然ある量以上の降雨に出会う確率を、平均降雨日数から求め、実際の地震前の様子と比べたものである。その結果、地震前1週間に降雨のある率は偶然の場合より明らかに高くなっている。同じ性質は、地震前後の一定日以内に降雨の存在する率を比べた、Fig. 17の結果にも見られる。すなわち、地震前に降雨のある率は常に地震後の場合よりも高い。

上に述べたことは、地震をもとに降雨を見た場合についての結果であるから、雨の後にいつも地震が起る、というのでは決してない。時間的にも空間的にも降雨の頻度の方がはるかに大きいから、これらの性質を地震予報に直接単独で応用することはできない。

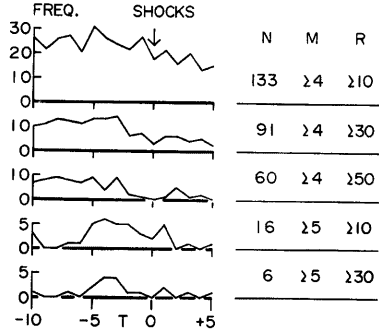


Fig. 15. Daily frequency of existence of rainfalls before and after earthquakes summed up by superimposing origin times of earthquakes at $T=0$, shown in various cases in a righthand table.

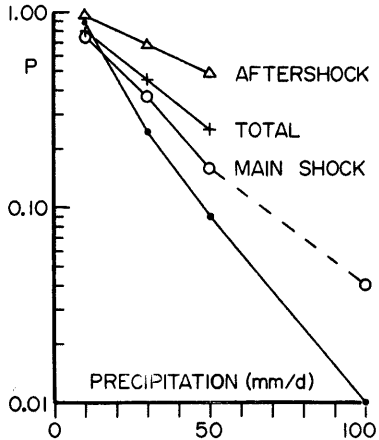


Fig. 16. Rates of existence of rainfalls more than R mm/day in a week before shocks, compared with the probability by random sampling in the same region. Aftershock in this figure means shock which occurs in 10 days after a large shock in a same region.

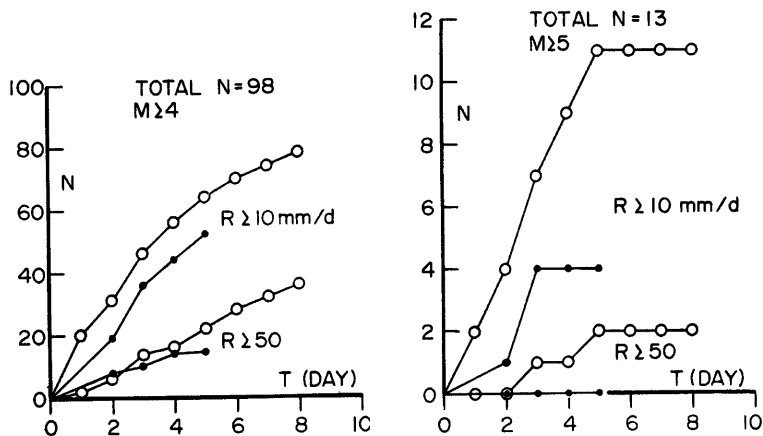


Fig. 17. Number of shocks with rainfalls more than 10 or 50mm/day in T days before (open circle) and after (closed circle) the occurrence.

6. 活断層の動きとの関係

山崎断層の動きを調べるために設置された、伸縮計の記録によると、破碎帯に降雨後大振幅の異常変動が現われる時がある。この時、付近の微小地震活動が活発となる^{15), 16), 17)}。Fig. 18 の左はその例であり、降雨前後同じ日数の地震分布と、破碎帯の動きを示している。この期間では、山崎断層沿いの活動が全体的に目立っていたが、例えば、Fig. 18 の右に示したように、他の地震帯が活動している時には、その地震帯の活動が、降雨による影響で活発になるようである。

三河地殻変動観測所の伸縮計によって記録された降雨後のひずみ変化も、付近の地震の発生直前に異常を示すことが報告されている¹⁸⁾。

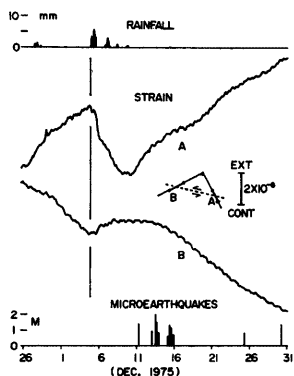
7. ま と め

種々のデータをもとにして得られた、降雨と地震発生との関係は次のようにまとめられる。

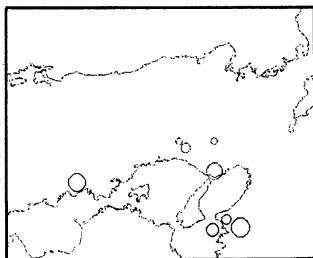
- 西南日本内帯の地震は春と秋に多く、月別頻度の山は大きい地震ほど早い時期に現われる。
- これらの分布のパターンは、月別降水量の変化率とよく似ている。
- 乾燥期の直後の降雨や増水とともに地震活動が始まる場合が多い。
- 地震発生の日3～5日前に顕著な降雨がある場合が多い。
- 降雨後破碎帯に異常な動きが現われると、地震活動が活発化する。

これらの性質から、地震発生のある程度そろっている所へ、急激な降雨や増水があると、それらが浅発地震発生の引金役として作用することがある、と考えることができる。このような性質は、総合的な観測によって地震予知が行なわれる場合には、直前予報のための一つの判断要素となりうるものである。

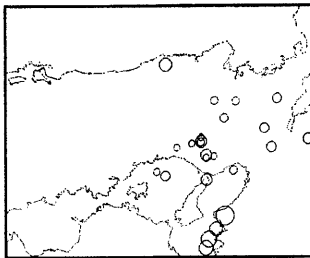
ここに述べた現象以外にも、例えば積雪時の気温の急上昇なども同じ効果を及ぼすことが考えられ、さらに調査する必要があることが多い。また、時間的変化を定量的に分析して、どのような場合に引金作用を持ちうるかなどの間に答えることが今後の問題である。



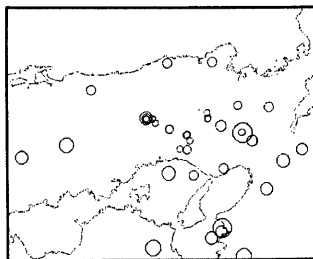
NOV. 23 - DEC. 4, 1975



MAY 2 - 11, 1976



DEC. 5 - DEC.16, 1975



MAY 12-21, 1976

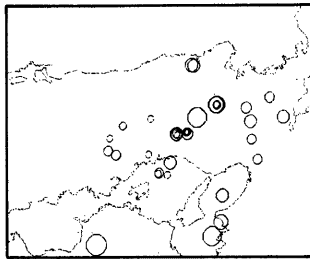


Fig. 18. An example of relation between short term strain change and microearthquakes, and epicentral distributions in the same period before and after a rainfall. Epicentral distributions in the righthand show another example before and after a heavy rainfall.

謝 辞

この研究のきっかけとなった山崎断層での地殻変動観測は、大阪市立大学理学部藤田和夫教授、京都大学防災研究所岸本兆方教授の御努力により始められたものであり、実施にあたって日本道路公団山崎工事事務

所の全面的な御協力をいただいた。観測は京都大学理学部の中村住重郎氏や中堀義郎氏に負うところが多い。また、降雨との関係について、小沢泉夫・奥田節夫・田中豊・西田良平・山内常生・Pradeep Talwani の諸氏をはじめ多くの方々に貴重な御意見を賜った。これらの方々に深く感謝の意を表します。

データの多くは、防災研究所附属防災科学資料センターの資料から得た。また、データ処理は同センターの FACOM 230-25 によって行なった。研究費の一部は、昭和51年度文部省科学研究費自然災害特別研究(1) 102003, (2) 102515によって支出されたものである。

参 考 文 献

- 1) McGinnis, L. D.: Earthquakes and Crustal Movement as Related to Water Load in the Mississippi Valley Region, Illinois State Geol. Survey Circular, No. 344, 1963, pp.1-20.
- 2) Ozawa, I.: Observation of the Crustal Strains at the Time of Earthquakes Around Kyoto City, Spec. Contr. Geophys. Inst. Kyoto Univ. No. 8, 1968, pp.91-108.
- 3) 小沢泉夫：京都市および上和知地震前後の地殻のひずみの観測，京都大学防災研究所年報，第12号A，1969，pp.123-136.
- 4) Talwani, P.: Earthquakes Associated with the Clark Hill Reservoir, South Carolina—A Case of Induced Seismicity, Engineering Geology, Vol. 10, 1976, in press.
- 5) Sheng C. K., C. H. Chang, H. C. Chen, T. C. Li, L. S. Huang, T. C. Wan, C. J. Yan and H. H. Lo: Earthquakes Induced by Reservoir Impounding and Their Effect on the Hsinfenkiang Dam, Paper at the 11th Congress on Large Dams, Madrid, 1973.
- 6) 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.
- 7) Tsnkuda, T.: Sequence of Microearthquakes Near the Yamasaki Fault, Bull. Disaster Prevention Res. Inst. Vol. 27, 1977, in press.
- 8) 藤田和夫，岸本兆方：近畿のネオテクトニスと地震活動，科学，第42巻，1972，pp.422-430.
- 9) 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.
- 10) Mogi, K.: Monthly Distribution of Large Earthquakes in Japan, Bull. Earthquake Res. Inst., Vol. 47, 1969, pp.419-427.
- 11) 伊藤 潔：1969年9月9日岐阜県中部地震の余震活動，地震第2輯，第24巻，1971，pp.117-128.
- 12) 渡辺 晃，黒磯章夫：岐阜県中部地震—1969年9月9日—の余震について，地震研究所彙報，第48巻，1970，pp.1195-1208.
- 13) 田中 豊，西田良平：山はねおよび廃坑内注水による誘発地震の発生機構，第5回岩の力学国内シンポジウム，1977，pp.91-96.
- 14) 武田番男，二宮洗三：日本の豪雨・豪雪，科学，第47巻，1977，pp.138-148.
- 15) 尾池和夫：山崎断層の挙動と地震予知，科学，第47巻，1977，pp.450-456.
- 16) 尾池和夫：降雨と浅発地震，自然，1977，6月号，pp.44-57.
- 17) Oike, K, Y. Kishimoto, K. Nakamura and Y. Nakahori: Some Characteristic Behaviors of the Yamasaki Fault Observed by Extensometers, Jour. Geodetic Soc. Japan, Vol. 22, 1976, pp.83-90.
- 18) 三河地殻変動観測所：地震予知連絡会資料，1977。