

逢坂山観測所で観測された地下水位変化と周辺の地震活動

重富 國宏・山田 勝・藤井 伸蔵

CHANGES IN GROUNDWATER LEVEL AT OSAKAYAMA OBSERVATORY AND SEISMIC ACTIVITY IN THE VICINITIES

By *Kunihiro SHIGETOMI, Masaru YAMADA, Shinzo FUJII*

Synopsis

Continuous monitoring of groundwater level have been carried out since December 1976 at Osakayama observatory in order to investigate relations between changes in groundwater level and strain changes and earthquake occurrence. Secular changes in groundwater level seem to correlate with temporal changes in seismic activity in the vicinities. Abrupt falls in groundwater level with amplitudes larger than 5cm were observed at seven times. in four cases rather large earthquakes ($M \geq 4.4$, $\Delta \leq 50\text{km}$) were occurred within 145 days after abrupt falls in groundwater level.

1. はじめに

防災研究所附属地震予知研究センター逢坂山観測所では、地下水位変化と歪変化及び地震発生との関係を知ることを目的として、観測坑道内に直径20cm、坑道床面からの深さ19mの井戸を掘削し、1976年12月以来地下水位の連続観測が実施されてきている。観測の概要・日変化・降雨量との関連・年周変化・歪変化との関連については既に報告されている¹⁾。また、地震に伴う地下水位変化についても報告されている²⁾。この中で地下水位の連続観測は、伸縮計・傾斜計等によるいわゆる地殻変動連続観測の擾乱源としての降雨・坑内湧水の単なるIndicatorというのではなく、それ自体が地殻変動の有力な観測手段で有り得ることが主張されている。

本稿では、地下水位変化と観測点近傍の地震活動との関連について、(1)緩やかな変化としての経年変化と地震発生数の時間的变化、(2)観測開始以来観測所周辺で発生したやや大きめの地震前後の地下水位変化、(3)時折観測される直接的な異常現象としての急激な地下水位低下と地震発生との関連、について報告する。

2. 地下水位変化と周辺の地震活動

2.1 経年変化と地震発生数

地殻変動の連続観測の結果に基づいて経年変化を論ずる場合、あるいは地震発生に関連する異常現象を論ずる場合にも、観測の継続性・安定性についての吟味が必要である。逢坂山観測所における地下水位の連続観測の場合、観測開始以来十数年を経過するが、その間観測条件に特に変化はなく現在も良好な記録が得られている。観測開始以来、自記記録用のドラム送りの故障やインク切れ等による欠測も皆無ではなかったが、その様な場合もカウンター・バランスの位置を一週間毎に記録しているため、一週間を越える欠測は生じていない。また、随時井戸の上端から水面までの距離を直接測定して連続観測のチェックをしている。観

測井戸周辺の環境にも特に変化はない。観測開始以来、日変化の振幅、気圧変化・降雨に対するレスポンスにも変化は見られない。以上の様な点からも、逢坂山観測所での地下水位の連続観測においては、経年変化を論ずるのに十分耐え得る観測結果が得られている。**Fig. 1** に、記録例として 1990 年 10 月 23 日から 1990 年 11 月 20 日までの 4 週間の地下水位と気圧記録を示す。水位の自記記録は当初 1 週間まきであったが、1990 年 9 月から記録紙送り速度を 1/2 にして 2 週間まきに変更している。

地下水位は、ほぼ年間の総降雨量に比例した振幅の年周変化を伴いながら経年的な変化も示している。経年変化の主たる原因は、降雨量及び集中的に降雨のある時期の、年毎の相違によるものと考えられる¹⁾。**Fig. 2** に、1977 年 1 月から 1992 年 12 月までの地下水位変化の月平均値と、SEIS-PC³⁾ によって求めた震央距離 $\leq 50\text{km}$ 、マグニチュード ≥ 2.0 、深さ $\leq 50\text{km}$ の地震の月別発生数を示す。地下水位は 1980 年まで上昇傾向を示し、1983 年頃まではやや平衡状態を保ち、以後下降に転じ、1987 年から 1988 年にかけて再び上昇に転じている。経年変化には周期性があるようである。経年変化の傾向が変化する 1987 年頃から地震発生数が増加している。渡辺 (1993)⁴⁾ によると近畿地方北部の地震活動について、いわゆる b 値が 3~5 年周期で変化することが指摘されている。地下水位の経年変化にも似たような傾向が見える。このことは、潮汐ポテンシャルに対するレスポンスに見られる様に、地下水位の経年変化が観測点周辺の tectonic な力の変化を反映していることを示している可能性もあるが、一方、基本的には降雨量によって規定される地下水位の変化 (増減) が観測点周辺の地震活動の消長に直接影響している可能性もあり得ると考えられる。地球潮汐の観測結果から、逢坂山の場合 1 cm の地下水位変化は 5×10^{-8} の歪変化に対応する¹⁾。観測期間中の地

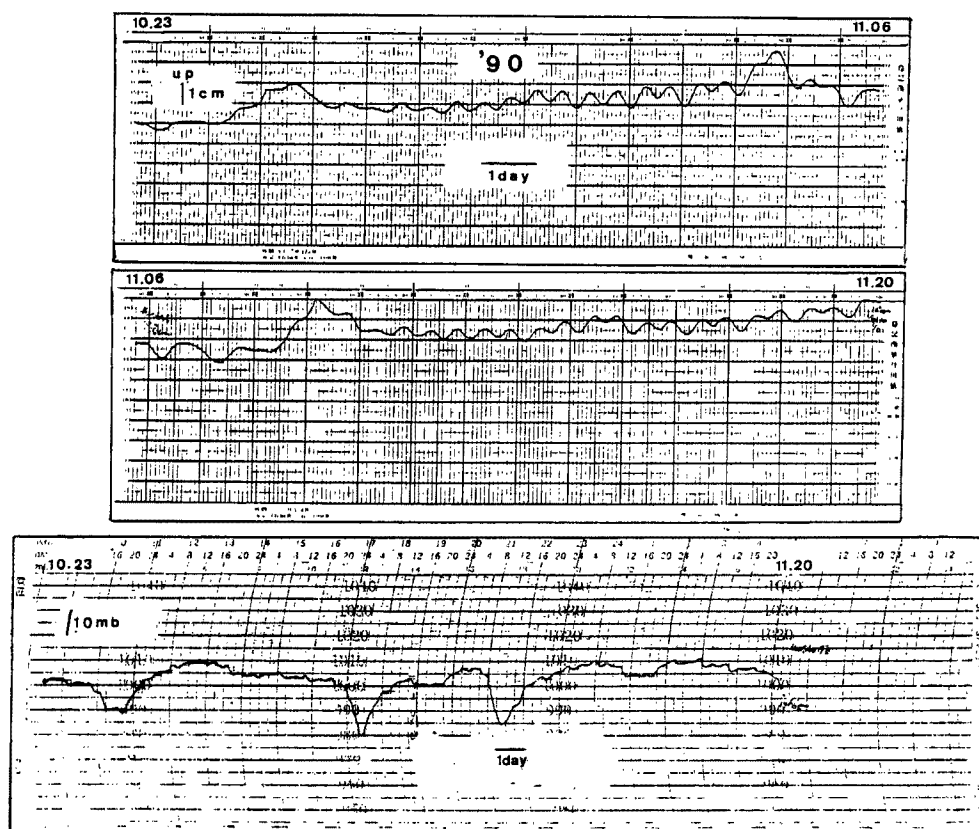


Fig. 1 Records of the hydrograph (upper two) and the barograph (lower) for the period from October 23 to November 20, 1990.

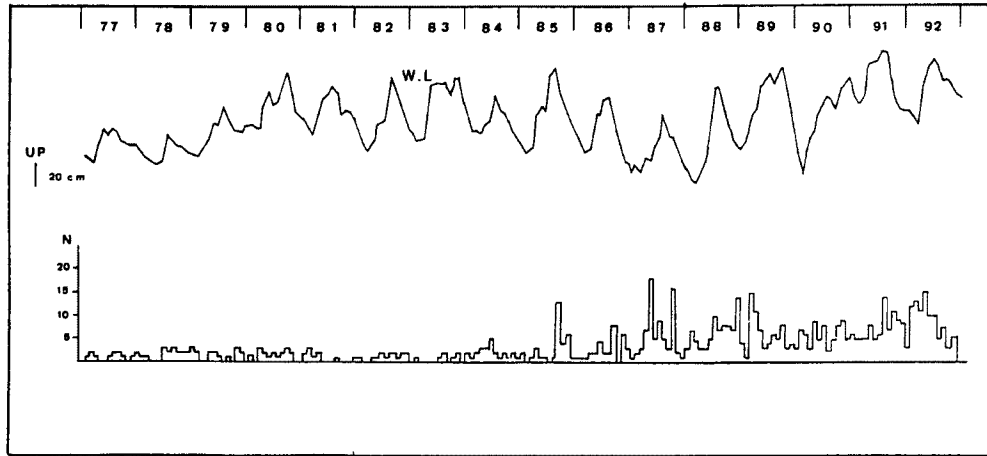


Fig. 2 Changes in groundwater level (monthly mean values) and every monthly numbers of earthquakes near the observatory ($\Delta \leq 50\text{km}$, $M \geq 2.0$, after SEIS-PC³⁾).

地下水位の最高位と最低位の差は100cmにも達し、これは 5×10^{-6} の歪変化に相当する。このことから、地下水位の変化が観測所近傍の歪場に与える影響は無視出来ないと考えられる。また、地下水の岩石への浸透が、例えば周辺の媒質の破壊強度の変化等、周辺の場の条件を変化させることも考えられる。1987年～1988年の経年変化の傾向の変化は、他の地殻変動観測結果にも現れているという報告⁵⁾もあり興味深い。

2.2 地震前後の地下水位変化

観測開始以来、観測所から50km以内にやや大きめの地震といえるマグニチュード4.5以上の地震が6個発生した。Fig. 3に、地震前150日地震後50日の地下水位変化と降雨量(日値)を示す。年周変化の傾向や降雨に対するレスポンスに特に異常変化は現れていない。明瞭な異常現象としては、例えば1990年1月11日の地震($M=4.9$, $\Delta=17\text{km}$)の17日前に約7cmの急激な水位の低下が観測された。地震の前の急激な水位の低下は、1979年、1980年、1987年、1990年の地震の前にも観測されている(Fig. 2 ▲印)。この他にも、1991年9月24日の地震($M=4.4$, $\Delta=30\text{km}$)の30日前に約8cmの急激な水位の低下が観測されている。

2.3 急激な地下水位低下と地震発生

地下水位の連続観測を実施していると、まるで井戸の底が抜けたかの様に急激に水位が低下するのが観測されることがある。1979年5月27日初めて観測されて以来1992年12月までに、5cm以上の急激な水位の低下が7例観測された。Fig. 4に、上述の1990年1月11日の地震に先行する急激な水位低下が観測された1989年12月の記録例を示す。このような急激な水位の低下については、水位は既に低下しているにもかかわらず、フロートが井筒に引っかかっており、水面の動きに追従しきれていなかった分が何らかの衝撃を受けて解消されたものとも考えられる。しかし、記録を見てみると、いずれの場合も水位の低下は滑らかであり、潮汐変化が見えることもある。このことから、記録に現れた時点で水位の低下が生じているものと考えられる。長期にわたり安定な観測が実施されて来ている逢坂山における地下水位の連続観測において、この地下水位の急激な低下は明らかに異常現象である。例えば大量の降雨があった場合、あるいは台風通過時急激に気圧が低下した場合には、急激に水位が上昇することはあるが、急激な水位の低下には、すぐに結びつく原因は考えられない。異常現象が地震発生の前兆現象であるためにはその後に、例えば脇田(1987)⁶⁾

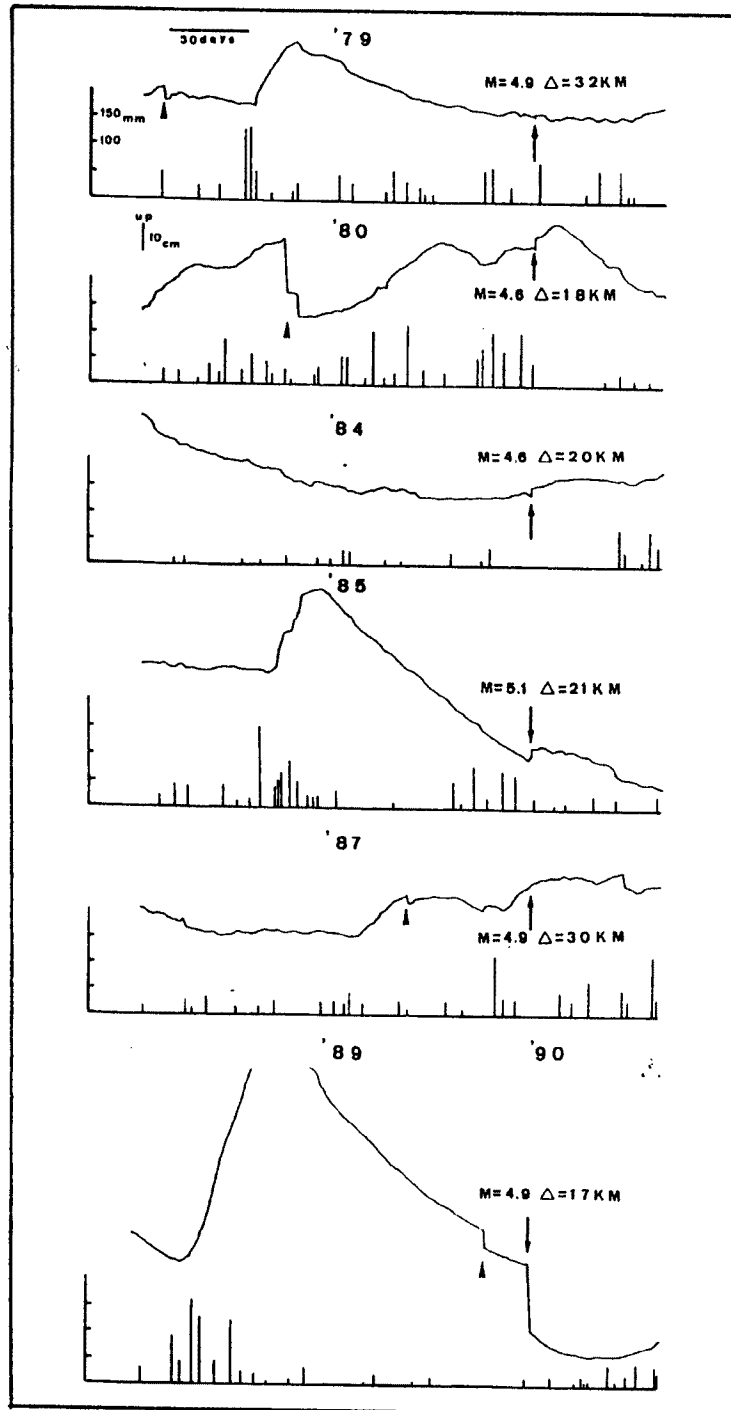


Fig. 3 Temporal changes in groundwater level and precipitations for 150 days before and 50 days after rather large earthquakes ($\Delta \leq 50\text{km}$, $M \geq 4.5$). In four cases abrupt falls in groundwater level (indicated by $\blacktriangle$) were observed.

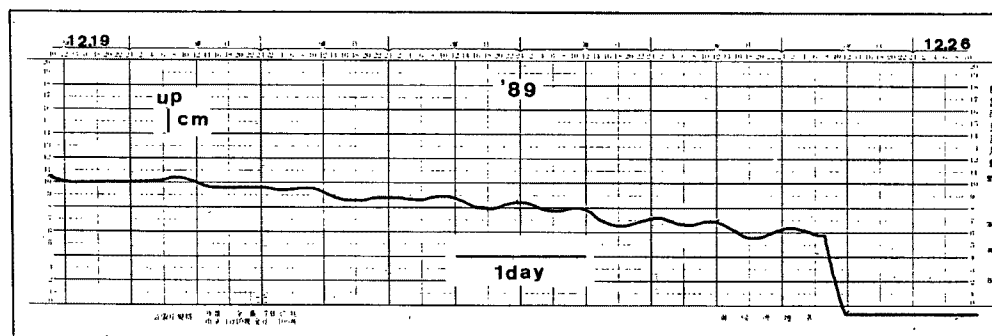


Fig. 4 Record of the hydrograph for the period from December 19 to December 26, 1989 showing abrupt fall in groundwater level.

が指摘するように，“適当地震”が発生する必要がある。1. 異常現象の適当日数後，2. 適当な距離以内に，3. 適当な大きさ，の地震の発生である。いわば後予知になるが，その観点から見てみると，観測された7例中5例については，17日後から145日後に観測点から50km以内にマグニチュード4.4以上の地震が発生している。**Table 1**に，5例の水位低下の振幅，対応する“適当地震”のマグニチュード，震央距離及び地震発生までの日数，を示す。振幅については，自記記録用のペンが記録紙の下端で止まっている場合があり，その様な場合，カウンター・バランスの位置の変化から求めた。カウンター・バランスの位置をチェックした時，既に水位が下降の最大位置から回復していることも考えられ，振幅を少なく見積っている可能性がある。“適当地震”と言う場合，問題は“適当”の妥当性である。“適当”と判断した地震のマグニチュードと地震発生までの日数及び震央距離との間に系統的な関係が存在するかを見てみた（**Fig. 5**）。系統的な関係は明瞭には見られない。マグニチュードにばらつきがないためと，振幅が考慮されていないためかとも考えられる。**Fig. 5**中の直線はそれぞれ，地震の前兆現象の先行時間とマグニチュード，及び前兆現象の出現距離とマグニチュードについて坪川（1969）⁷⁾及び力武（1986）⁸⁾によって求められたものである。他のデータから求められたこれらの式と比較してみると，逢坂山の例についての“適当地震”は，異常現象発生からの時間及び観測点からの距離について，そう無理な地震を選んではいないと言える。もちろん，異常現象が確かに地震の前兆現象であったか否かとは別の問題である。

Table 1. Magnitude (M) and epicentral distance (Δ) of earthquakes preceded by abrupt falls in groundwater level observed at Osakayama observatory.

Y	M/D	δH	Y	M/D	M	Δ	T
		cm				km	day
1979	5/27	6	1979	10/16	4.9	32	145
1980	6/11	28	1980	9/11	4.6	18	96
1987	4/10	5	1987	5/28	4.9	30	47
1989	12/25	7	1990	1/11	4.9	17	17
1991	9/24	8	1991	11/2	4.4	30	39

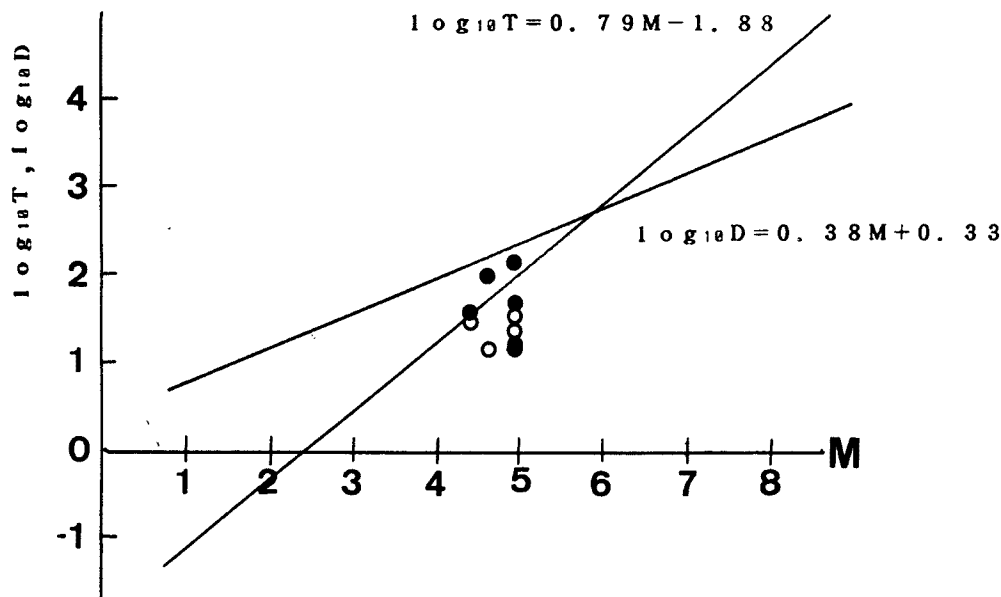


Fig. 5 Plots of logarithmic precursor time (T) in days (●) and logarithmic epicentral distance (D) in kilometers (○) vs. magnitude for data listed in **Table 1**. Equations are empirical formula obtained by Tubokawa (1969)⁷⁾ and Rikitake (1986)⁸⁾ respectively.

3. まとめ

逢坂山観測所において地下水位の観測を開始して以来十数年経過して、経年的な変化も見えてきた。また、時折異常現象ともいえる急激な水位の低下が観測された。この間、観測所周辺ではマグニチュード4.5以上の地震も数個発生している。以上のことから、逢坂山で観測された地下水位変化と観測所周辺の地震活動との関連について検討してみた。その結果、経年変化については以下のことが言えそうである。1. 経年変化には周期性がある。2. 地下水位の経年変化と地震活動の時間的変化とは関連がありそうである。3. 地下水位の変化が地震活動の時間的変化の直接的な原因である可能性がある。観測所周辺で発生したマグニチュード4.5以上の地震については、6例中4例に地震前に急激な水位の低下が観測された。急激な水位の低下については、5 cm以上の急激な水位の低下が7例観測されている。そのうち5例については、17日から145日以内に、観測所から50km以内にマグニチュード4.4以上の地震が発生している。この水位の急激な低下は、通常の日変化や年周変化の変化に比べてきわめて異常な変化である。観測中すぐに異常とわかる異常現象である。いわば現場性の高い異常現象である。観測されたこれらの地下水位変化の異常が地震発生に関連する前兆現象であるかについては、判断するには事例が足りない。今のところ結果的にはすべていわゆる後予知になっているが、例えば1989年12月の場合、誤解を恐れずに言えば、地震発生が期待される異常現象であった。

経年変化については、もう少し資料が蓄積されれば、周期性、地震活動との関連、長期的な気候変動との関連についてのよりはっきりした知見が得られるものと考えられる。観測を継続したい。急激な地下水位の低下についても、事例の蓄積を俟って地震発生との関連を明らかにしたい。また、急激な水位の低下のメカニズムの解明につながるモデルも提示し得ていない。今後の課題である。

参考文献

- 1) 重富國宏・橋田匡邦・藤井伸蔵：逢坂山地殻変動観測所における地下水位の連続観測について，京大防災研究所年報，第31号B-1，1988，pp.19-28.
- 2) 重富國宏・山田 勝・藤井伸蔵：逢坂山観測所で観測された地震に伴う地下水位変化，京大防災研究所年報，第35号B-1，1992，pp.359-370.
- 3) 石川有三・松村一男・横山英昭：SEIS-PCの開発—概要—，情報地質，Vol. 10，1985，pp.19-34.
- 4) 京都大学防災研究所 地震予知研究センター（渡辺晃）：近畿地方中部の地震活動，地震予知連絡会報，第49巻，1993，pp.405-419.
- 5) 名古屋大学理学部 地震火山観測地域センター：犬山における地殻変動の観測（1967年～1992年），地震予知連絡会報，第50巻，1994，pp.563-565.
- 6) 脇田 宏：地球化学観測—研究成果と問題点—，地震予知研究シポジウム，1987，pp.213-220.
- 7) 坪川家恒：地殻変動の継続期間と地震の規模との関係について，測地学会誌，15，1969，pp.75-88.
- 8) 力武常次：地震前兆現象—予知のためのデータ・ベース—，東京大学出版会，1986，pp.203-220.