

東海地域における地震予知観測の方法について

尾池 和夫・見野 和夫・松尾 成光
岸本 兆方

ON THE METHOD OF OBSERVATIONS FOR EARTHQUAKE PREDICTION RESEARCH IN THE TOKAI REGION

By *Kazuo OIKE, Kazuo MINO, Shigemitsu MATSUO*
and *Yoshimichi KISHIMOTO*

Synopsis

Shizuoka Prefecture in the Tokai region of Japan has designated eight model high schools for observations and studies of earthquake prediction. We have supported this program and are collaborating with teachers and students of model high schools. Our duties are to suggest a direction of their program, to prepare simple and inexpensive methods for their observation of natural phenomena associated with the occurrence of earthquakes, and to study with them on characteristics of precursory phenomena of big earthquakes.

In this paper we have described on some kinds of methods newly designed for the continuous observation of the variation of ground water level, ground tilt movement and self-potential.

To observe the variation of ground water level we designed a new digital water level gauge. It is composed of a float, photo-electric detectors, a digital IC circuit, a up/down counter and LED display. This water level gauge has very high sensitivity and can detect 1 mm change of water level. Now twenty gauges have been settled on the well in or near the campus of model high schools and continuous observation by them have been carried out.

For the observation of ground tilt movements long span water pipe tiltmeters have been set in the shallow underground of the campus of each high school. They have two components which are perpendicular to each other and spans of more than 50 meters. We calculate the variation of tilt from data of changes of water level detected by magnetic sensors. Although water pipes are buried in 1 meter depth from the ground surface and so a noise level is comparatively high, we can detect a tilt movement of 5×10^{-6} radian by only reading output voltage of sensors once in a day. In the case of continuous recording of signals we can detect a tilt of 0.1×10^{-6} radian.

The variation of self-potential is continuously recorded on a paper chart by a multi-channel recorder. Electrodes were buried in more than 2 meters depth of underground to observe two components of NS and EW. Each component has a span more than 40 meters.

In addition to three kinds of observations, short period seismometer and meteorological instruments are set in each campus. Some high schools have individual programs owing to their circumstances. Examples of precursory phenomena associated with a big earthquake observed on the hot spring water at the Matsuzaki High School are shown.

1. はじめに

静岡県教育委員会は、静岡県下に8か所の高等学校を地震予知観測学習モデル校に指定し、地震予知の観測と学習を進めてきた。この観測と学習のための方法と、観測結果の整理については、防災研究所の東海地域における地震予知観測の一環として、我々が指導し色々の技術的な協力を行なっている。この論文では、

現在までに開発され観測に使用されるようになった方法の内容と、特徴について述べたい。

1978年、地震防災についての知識の普及と学習を目的として実践教育を実施するために、静岡県教育委員会が5校のモデル校を指定した。1978年10月頃から、実際の観測の仕事が始まり、1979年初めには、観測データが取れるようになった¹⁾。また、1979年4月からは、さらに3校がモデル校に指定され活動を開始した²⁾。これらのモデル校では、地震予知観測を行なっているが、単なる学習に終ることなく、地震予知研究に役立つ精度の高いデータを収集することをも大きな目的としている。このような観測学習のために観測対象を選び、観測計器を選ぶことは、非常に重要であり、かつ難しいことであった。

観測項目としては、地下水位変動、土地傾斜変動、自然電位の変化、および地震波観測を基本とした。これらについては、すべてのモデル校で長期間にわたる連続観測を行なうこととし、さらに、それぞれの場所での特徴を生かした観測や調査を加えていくこととした。地下水位は、地下の物理的・化学的状態をよく反映する情報源として、また、傾斜変動は地下の力学的状態を知るデータとして重要なものである。自然電位の変化は、地球電磁気学的に地下の状態を知ることを目として観測される。これらは、地震発生に伴った自然現象の変化を、色々な角度から捕えるために連続的な観測が行われている。このようなデータを地震発生との関連で分析するために、地震計が設置されており、短周期地震波を記録する。また、諸観測データに影響を及ぼす、気圧、気温、降雨量などの気象変化も測定されている。

観測データは、最低一日一回の読取り値を得ることを原則とし、いくつかについては打点式記録計による連続記録の形で得られる。地震予知の研究のために限れば、記録器による連続データが得られることが最適であるが、高校生たちの学習目的から考えれば、毎日の測定値をグラフに記入して観察する方法を併用することは、重要な意味を持っている。自然のさまざまな変化の中で、特定の現象の変化を定量的に、しかも毎日自分の眼で確かめながら測定することによって、自然現象に対する理解や認識が深くなっていく。また、読取ったデータをグラフに記入する方法で続けていけば、自動的にデータを集録する装置を必要としない。地震予知観測のシステムを設置する場合の経費のほとんどは、信号の伝送と集録および処理のための部分に支出されていることを考えれば、手作業による観測方式は、経費面での制約から不可能と考えられる連続観測を、比較的多くの場所で実施できるという利点を持っている。このような考え方を実践するために、そのまま使用できる計測器は、製品としてはほとんどなく、結局新しく方法を開発しなければならなかった。

2. 観 測 点

静岡県下の県立高等学校の中から8か所のモデル校が指定されている¹⁾²⁾。自然現象の精度の高い観測を行なうために、普通は人工のノイズ源から離れるよう都市部には観測点を設置しない。このような専門家の常識をあえて破って、都市部や交通網の近くでも多くの観測を行なってみることとした。地震に関連した現象を捕える目的に限ってみれば、必ずしもこのような条件の場所で得られるデータが、まったく使えないということはない。むしろ、地震は都市部にも発生するのだから、局所的に出現する地震先行現象を把握するためには、人工のノイズ源に近い所でも、なんとかしてデータを得られるよう工夫しなければならない。また、広域にわたって都市化の進んだ日本列島では、都市部を避けていたのでは、観測点の最適な配置が不可能となる。このような問題についての研究を進める目的を含めて、学校の特色や地域をも考えて8校のモデル校が選ばれた。

モデル校の所在地などは次のとおりである。括弧内は観測学習を開始した年を示す。位置は、学校内の適当な基準点のもので、各種のセンサーが学校内と周辺に点在する。

松崎高等学校 (1978年)	静岡県賀茂郡松崎町桜田188 (〒410-36) 138°47'31"E, 34°45'07"N, (15mH)
静岡東高等学校 (1978年)	静岡市川合577 (〒420) 138°24'55"E, 35°00'19"N, (12mH)

川根高等学校 (1978年)	静岡県榛原郡中川根徳山1644-1 (〒428-03) 138°07'01"E, 35°04'20"N, (257mH)
磐田北高等学校 (1978年)	磐田市美登里2031-2 (〒438) 137°51'40"E, 34°44'10"N, (35mH)
農業経営高等学校 (1978年)	浜松市都田町8725 (〒431-21) 137°45'E, 34°48'N, (85mH)
韭山高等学校 (1979年)	静岡県田方郡韭山町韭山229 (〒410-21) 138°57'30"E, 35°03'09"N, (13.0mH)
榛原高等学校 (1979年)	静岡県榛原郡榛原町静波850 (〒421-04) 138°13'34"E, 34°44'10"N, (4.3mH)
焼津中央高等学校 (1979年)	焼津市小土157-1 (〒425) 138°17'32"E, 34°51'52", (8.8mH)

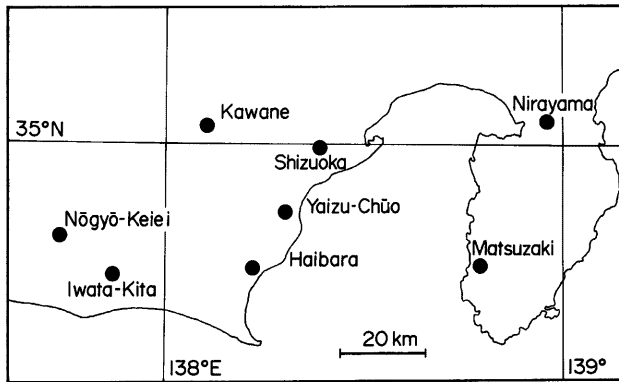


Fig. 1. Distribution of model high schools for earthquake prediction research in Shizuoka Prefecture.

Fig. 1 は上記の観測点の分布を示している。地形、人口分布、地質条件などの点から見て、条件の異なる場所に存在することがわかるであろう。

松崎高等学校は、松崎港から約 1 km ほどの所にあり、基盤岩も露出していて比較的高感度の地震観測も可能である。校内の 3 カ所に観測用井戸を持ち、東西および南北に各 50 m の水管傾斜計、および東西、南北に各 75 m の距離で自然電位測定用の電極が埋設してある。学校のすぐ近くに自噴温泉があり、湧水量、水温、pH の値が測定されている。近くの民家の井戸を借りて水位の測定も行なわれている。自噴泉以外については、他の学校についても、ほぼ同じようにセンサーが置かれている¹⁾²⁾。韭山高等学校とともに、最近地震活動の活発な伊豆地域で重要な観測点である。

川根高等学校は、大井川の河岸段丘上にある。大井川鉄道の電車によるノイズが自然電位の観測に影響を及ぼすが、夜間には止まる。この地域の年間降雨量は 3000 mm 以上である。

静岡東、榛原および焼津中央高等学校は、駿河湾の西沿岸に沿って並んでいる。都市ノイズの大きな所で、特に焼津中央高等学校は、東名高速道路、東海道本線、東海道新幹線の交差する所にある。このような条件の所で地震に先行する諸現象の検出はどこまで可能であるかを探ってみたいと考える。

磐田北および農業経営高等学校は、天竜川をはさんで磐田原洪積台地の南端と三方ヶ原台地の北端とに、それぞれ位置している。特に後者の付近は、地下水面が低く、昔は水の便の悪い所であった。従って手掘りの井戸も 10 m 以上の深さまで掘られている¹⁾。

これらの各観測点の状況は、すでに詳しく報告されている²⁾。

3. 地下水位変動の観測

既存の井戸を利用したり、あるいは観測用に新しく井戸を掘って、地下水位変動の観測を行っている。観測に際しては、地下水面の 1 mm の変動を検出できるよう目標をおいた。また、多数の観測点を作ることを考え、計測器を安価に製作できる必要があり、新しく読取り式の水位計を開発した。

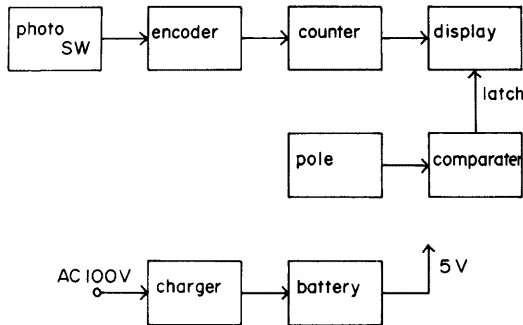


Fig. 2. Block diagram of the digital water level gauge.

Fig. 2 は開発した水位計の構成を示し、回路などの詳細はすでに報告されている³⁾。この水位計のしくみは、次のようなものである。浮きの上下運動がガラスファイバー・ロープで水位計のプーリの回転に変換される。この回転量を円周に 200 個のスリットを刻み、その通過光を検出する光スイッチでパルスとして検出する。2つの光スイッチからのパルスの位相差とパルスの数から、回転方向および回転量を検出して、これらをアップダウン・カウンターで積算し、数値を表示する。浮きの上下 1 mm の変動が、数字の 1 に対応して変化するので、読み取り値はそのまま mm 単位の水位を表わしている。表示の数字は 4 桁であるが、10 m を超える変動があっても、下 4 桁を表示するので、水面の位置はどこにあっても必ず読み取ることができる。

浮きの使えない細井戸の場合には、スチール・ロープを用いて、巻き取りリールからロープを降し、先端に電極をつけて水面を検出する。水位計はデジタル積算方式であるから、水面に電極が接した時の信号で、表示の数字をラッチして読み取ることができる。さらに、水面を検出しながら自動的に巻き取りリールを回転させる方式も可能である⁴⁾。

水位計の表示を一日一回以上読み取って、グラフに記入する方法で、データが収集されている。読み取りの際に、水位変動に大きく影響を及ぼすと思われる雨量と気圧も同時に観測し記録する。

比較的ノイズの少ない井戸については、デジタル水位計の出力をそのままプリンタに打出したり、D/A 変換して打点式記録計に連続記録させることも可能であり、簡単な回路で作ることができる。これらについても、すでに試作器が完成し、試験済みである。近い将来、地震予知観測に有望と考えられる井戸に設置する予定である。

4. 傾斜変動の観測

地殻変動の連続観測はいろいろの手段で行なわれる。高感度のセンサーを用いる方式では、センサーを設置するためにトンネルやボーリング孔を必要とし、任意の場所での観測には困難となる。地震予知観測学習の目的から考えて、学習の場から離れた所でデータを取る方法では意味がない。比較的原理が単純で、しかも研究に役立つデータを得るための方法として、数 10 m のスパンで標石を設置し、毎日辺長や水準の測量をくり返す方法がある。このような方法は、活断層を境界とする地塊運動が予想されるような地域では非常に大きな意味を持っている⁵⁾。ただ、学校内で実施するためには、有効なデータを得るためには、かなりの設備と技術の準備が必要である。

多くの方法について検討した結果、長い水管による土地傾斜の観測を行なうこととし、校庭に 50 m 以上の水管を直行する 2 方向に埋設して、両端のタンクの水面をマイクロメータで測定する方法を採用した。水管には、直径 50 mm の水道用塩化ビニールパイプを用いた。これを地下 1.2 m に埋設して埋め戻した。水槽を 3 か所に設置し、それらを結んで L 字型に 2 方向の水管を設置してある。水の温度変化を小さくするため、水槽は厚さ 10 mm の断熱材を内装した小屋の中に置いてある。Fig. 3 は、設置した例として川根高等学校の配置図である。水管の長さは 50 m 以上とし、校内の状況に応じて可能なかぎり長くするようにした。Fig. 4 は水槽の設置状況を示す。水槽には、普通の陶製のタンクが用いられている。このようにすれば、

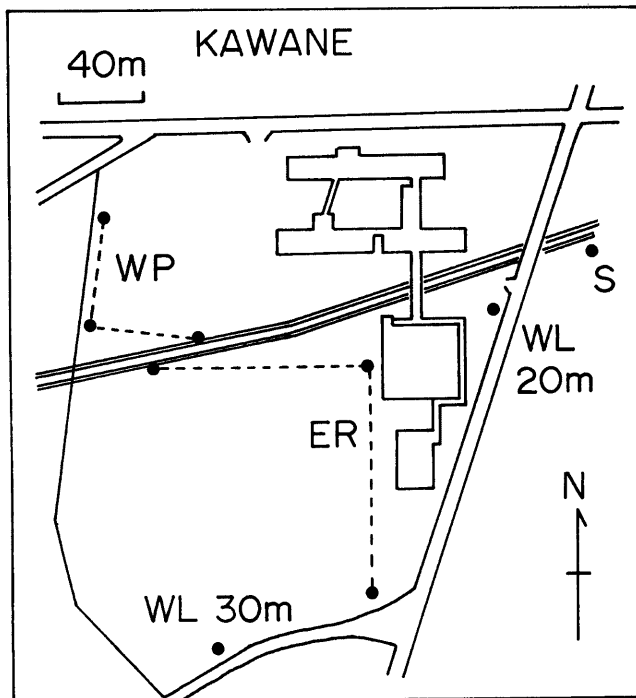


Fig. 3. Distribution of water pipe tiltmeters and other instruments in the campus of the Kawane High School.

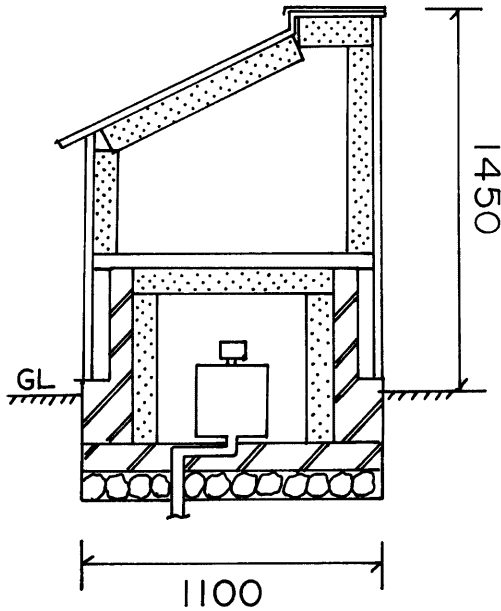


Fig. 4. Water tank of tiltmeter.

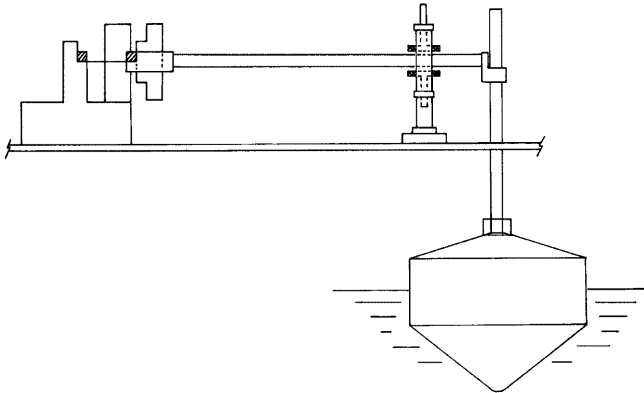


Fig. 5. Structure of the sensor of tiltmeter.

地元の水道工事の技術がどこでも簡単に手配できて便利である。

水面位置の読み取りには、当初は手動のマイクロメータを用いたが、測定のと度小屋の蓋を開けることによって水位に擾乱を与えるので、現在では、磁気センサーを応用した測定方式を採用している。Fig. 5は

センサーの構造を示す。一日一回以上測定するが、その時には、外部からセンサーに電源を接続して、出力電圧をメータで読み取る。電源供給開始後約2分で、安定な出力電圧が読み取り可能となる。Fig. 6 にセンサーの出力特性を示す。簡単なデジタル電圧計で出力を読み取ることができ、10 mV が約 50 μm の水位変動に対応する。この変動は水管 50 m の時、約 0.2 秒角又は 1 μrad の傾斜変動に対応する。

ケーブルでセンサー出力を記録室に送れば、連続記録が可能となる。比較的長周期の動きを知れば充分であるから、ローパス・フィルターを通して打点式レコーダに入力する方法で今後記録したいと考えている。

このような方法で一年以上観測した結果、年間変化の振幅は約 $\pm 10 \mu\text{rad}$ 程度であることがわかった。気圧や気温などの影響を除くことができれば、地震前後の比較的短期間の変化や、長期にわたるゆっくりした地殻変動を充分検出することができると考えられる。

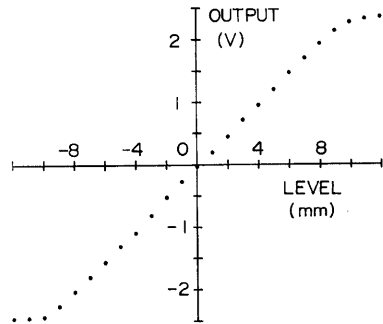


Fig. 6. Relation between the variation of water level and the output voltage of a tiltmeter.

5. 自然電位変化の観測

地震発生に関連して地磁気や地電流、岩石抵抗などが変化する。このような電磁気現象を観測する方法として、ここでは、最も簡単な自然電位の観測を行なうこととした。校庭内に最も長距離でしかも東西と南北に測定電極を配置できるようにした。ただし、焼津中央高等学校の場合には、国鉄東海道本線および新幹線から離れるため、校外に設置し、スパンを長距離にして測定を行なっている。

電極には、アース用のカーボン電極から長さ 90 cm のものを選び、深さ 2 m の穴を掘ってその底に一か所 3 本ずつ打ち込んで連結した。4 か所の電極からケーブルを引いて観測室内で、打点式レコーダに連続記録を行なっている。

自然電位の連続記録には、降雨の影響が出る場合が多い。これは、埋設した電極の接地状態が悪い場合や、ケーブルの絶縁が悪い場合によく見られる。したがって、電極の接地抵抗の変化の影響を少なくするために、測定器の入力インピーダンスを高くし、また、電極の埋設やケーブルの敷設には充分注意が払われた。しかしながら雨の影響が大きく現われる所もあってまだ方法について検討しなければならない点も残されている。

自然電位の年変化は大体 $\pm 100 \text{ mV}$ 程度であり、また鉄道に近い所であっても、夜中には短時間であるがノイズの少ない時間帯があって、1 日 1 回のサンプリングにより電位の変化を観測することが可能であることがわかった。

6. その他の観測

地電計は各学校に上下動一成分が設置されている。これらは最初微小地震観測用のドラム式のものが使われていたが、トリガー方式のものにしたいに取り換えられつつある。川根や松崎ではノイズが少なく、比較的高感度の観測が可能であるが、その他の場所では感度を上げることは困難である。

松崎では、自噴泉の湧水量を毎日計測している。またこの温泉の pH の値を携帯用 pH メータで測定し、水温をも測定している。

Fig. 7 に 1980 年 6 月 29 日前後の伊豆東方の地震活動（最大 M6.7）と関連すると考えられる、松崎での観測結果を示す。湧水量と水温の間には負の相関があるが、5 月中頃から水温があまり下らずに湧水量が増加したり、急激に変化している。時期をほぼ同じくして pH も変化し、また他の井戸での水位の変動や自然

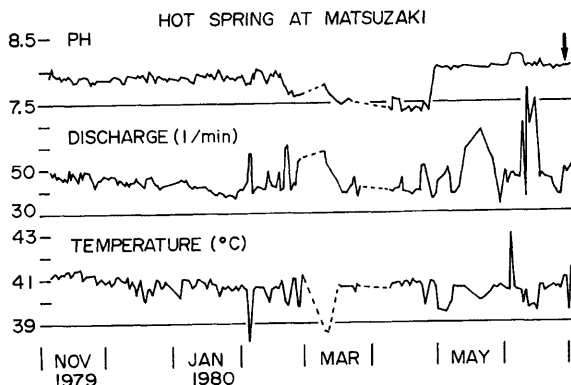


Fig. 7. Examples of records obtained at the Matsuzaki High School which shows precursory phenomena before a large earthquake of $M=6.7$ in the Izu region.

電位の変化も見られる。

7. おわりに

高等学校生徒の課外活動として、地震予知観測を総合的に行なう計画は、静岡県のこの計画が日本で初めてのものであろう。地震に関連する現象の観測を行ない、成果を発表したグループはあるが、これらは特定の現象に限っての研究であり、静岡県の場合のように、種々の角度から自然現象を観測する方式が地震予知研究には必要である。このような方式を実現するための、最大の問題点は観測方式をどのようにすればよいか、という点であった。そのために、かなりの部分について開発し、試験をくり返しながらい改良する作業が必要であった。ここに述べた方式が完全とはいえないが、現在まで実際に高校生たちによって使われ、成果を得るために一定の役割を果たしてきたと言える。実際に使用した経験を活かして、さらに改良を加えていきたい。

高等学校で地震予知観測学習を経験した多くの卒業生たちが、社会の色々な場所で将来大地震の発生という事態を迎えた時、また、地震の警戒宣言が発表された時にまわりの人々に対して良きリーダーとなって行動することがきっとできるであろうと思う。そのためにも、本質的でかつ精度の高い観測ができる方法を、誰でもが使えるものにしていかねばならない。

1979年初め頃から、各モデル校での観測記録が蓄積され始めた。方法の改良を進めるためにも、これらのデータの解析を充分に進めていく必要がある。

この研究を進めるにあたって、静岡県教育委員会および静岡県知事公室地震対策課の皆様にご多大なご協力をいただき、8か所のモデル校の方々には、計測方式の開発と改良に対して現場での使用経験に基づく貴重な提案や意見をいただいた。例として示した観測データは、松崎高等学校から提供されたものである。関係の方々へ深く感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 静岡県教育委員会・静岡県総務部地震対策課：静岡都地震予知観測学習モデル校調査年報，第1巻，1978.

- 2) 静岡県教育委員会・静岡県知事公室地震対策課：静岡県地震予知観測学習モデル校調査年報，第2巻，1979.
- 3) 尾池和夫・見野和夫・松尾成光・高感度デジタル水位計について，静岡県地震予知観測学習モデル校調査年報，第3巻，1980，pp. 108-114.
- 4) 尾池和夫・渡辺邦彦・中村佳重郎・谷口慶祐・岸本兆方：山崎断層地震予知テストフィールド連続観測システムについて，京都大学防災研究所年報，第24号 B-1，1981，pp. 29-40.
- 5) 尾池和夫：中国の地震学と地震予報，京都大学防災研究所年報，第23号 A，1980，pp. 1-16.