

静岡県相良町の地殻傾斜連続観測点における比抵抗探査

中野 進・里村 幹夫・都築 美里・住友 則彦

A RESISTIVITY EXPLORATION AT SAGARA OBSERVATION STATION FOR CRUSTAL TILTING, CENTRAL JAPAN

By *Susumu NAKANO, Mikio SATOMURA, Misato TSUZUKI and Norihiko SUMITOMO*

Synopsis

In order to detect precursory crustal movements of the Tokai earthquake, Shizuoka Prefectural Government installed a water-tube tiltmeter, at Sagara, central Japan. Since June 1983, crustal tilting has been continuously observed by Shizuoka University. The secular trend obtained by means of this tiltmeter has shown always northwestward. On the other hand, the results of repeated levelings in this region show tilting southeastward. In order to account for this inharmonic tilting, we propose a model of the active folding, associated with the subduction of the Philippine Sea plate, under the Sagara station.

As one of the trials to confirm this model, we carried out electrical resistivity surveys using the Wenner method in December 1994 at Sagara station. 5 profiles crossing the base line of the water-tube tiltmeter were conducted. The results show that it is difficult to support the existence of the fold structure.

1. はじめに

東海地方の駿河湾西岸地域は、近い将来に発生が予想される、大規模地震の震源域にあると考えられている¹⁾。静岡県は、この東海地震の先行現象を検知する目的で、名古屋大学の設計による水管傾斜計を、1983年3月に静岡県榛原郡相良町に設置した^{2,3)}。観測されたデータは、静岡大学教養部へテレメーター送信され、そこで解析を行っている。(Fig. 1)

これまで、この水管傾斜計による観測結果に関しては、いくつかの論文が発表されている^{2~6)}。これらによると、相良観測点の傾斜計によって得られたデータには、北西方向への経年傾斜が見られる。一方、国土地理院による掛川-

浜岡間の水準測量などから、相良地域は、広域的には南東方向へ傾斜していると報告されている⁷⁾。つまり、相良観測点の傾斜計データに見られる経年傾斜は、広域的な変動とは逆の傾動を示していることになる。これらの非調和的な観測結果を解釈するために、傾斜計の南東側に背斜軸があり、北西側に向斜軸があるような活褶曲のモデルが考えられた^{4~6)}。南東方向からの圧縮力によって褶曲運動が進行すれば、広域的には南東傾斜であっても、傾斜計が北西に傾斜する理由を説明できるからである。しかし、地質学的研

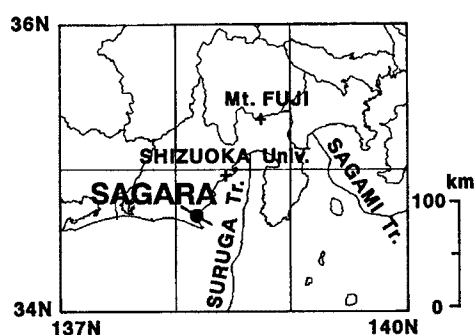


Fig. 1. Location of the Sagara station.

究^{8,9)}との対比や、重力探査によるモデルの検証^{4~6)}が行われたが、相良観測点の地下に活褶曲構造が存在することを確認することはできなかった。

そこで、京都大学防災研究所附属地震予知研究センターと静岡大学教養部は、比抵抗法による電気探査を相良観測点で実施した。その目的は、上記の活褶曲の存在を明らかにして、相良観測点付近のローカルテクトニクスを解明することである。

2. これまでの研究経過

2.1 相良観測点の概要

まず、相良観測点の水管傾斜計の配置を Fig. 2 に、設置状況を Table 1 に示す。これらの詳細は、文献^{2,3,10)}に記載されている。また、水管の両端には、それぞれ観測室が設けられている。ここでは、南東端(駿河トラフ側、海岸側)を A 点、北西端(牧ノ原台地側、内陸側)を B 点と呼ぶ。

次に、相良観測点付近の地質図⁹⁾を Fig. 3 に示す。相良地域の基盤は、新第三系中部中新統から下部鮮新統にかけての海成層からなる相良層群で、観測点付近では、それに属する砂岩泥岩互層(相良互層)である⁹⁾。その上部に、第四系上部更新統の段丘堆積物の、古谷泥層・京松原砂層・牧

Table 1. Description of the water-tude tiltmeter at the Sagara station.

STATION NAME	SAGARA
LATITUDE	34° 40.5' N
LONGITUDE	138° 11.0' E
ELEVATION OF INSTRUMENT	105.0 M
AVERAGE	2 ~ 3 M
LENGTH OF BASELINE	365 M
AZIMUTH OF BASELINE	N 60° W

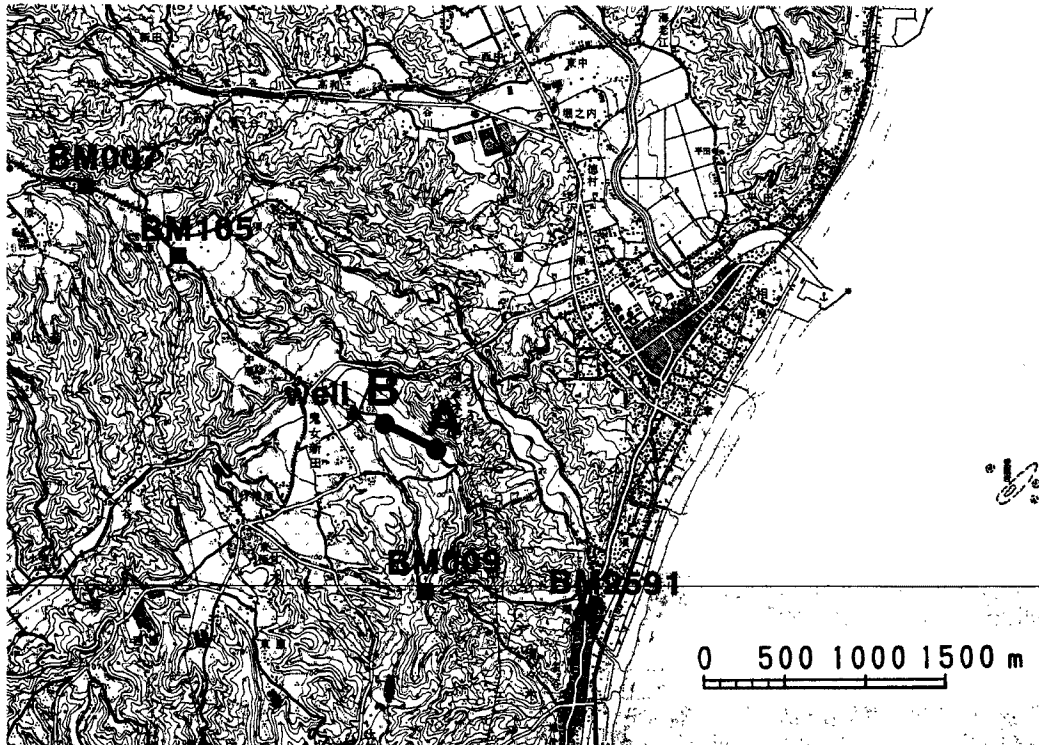


Fig. 2. Map of research area. Closed circles marked A and B indicate both the sites of the water-tube tiltmeter's pots.

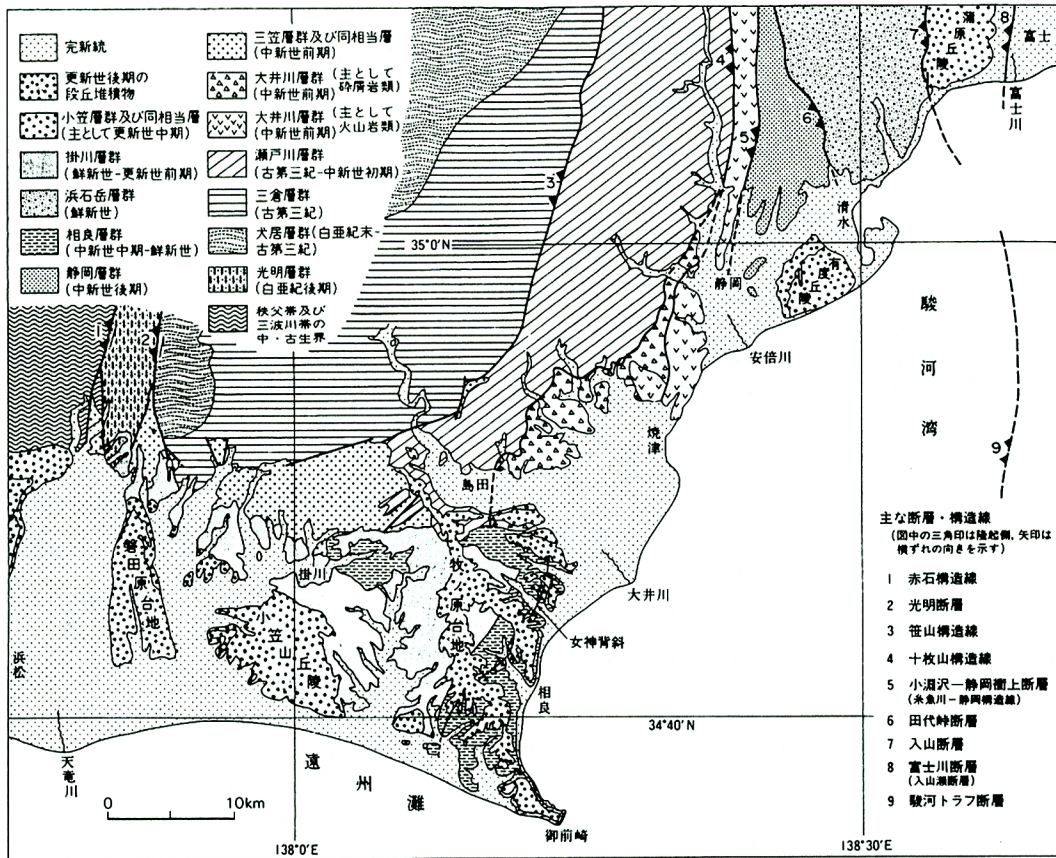


Fig. 3. Geological map of the surrounding area of the Sagara station. (Sugiyama et al.)⁹⁾

ノ原礫層が分布している⁹⁾。

さらに、水管傾斜計の AB 両端点でのボーリング柱状図²⁾を Fig. 13 に示す。計器が粘土混じり砂礫の安定した層に埋設されていることが、これからわかる。この層は N 値が 50 近くまであり、透水性もよい²⁾。この観測点の特徴をいくつか挙げる。

- (1) 水管の基線長は 365 m で、国内に設置されている水管傾斜計の中でも、かなり長基線の部類に入る^{2,3,10)}。
- (2) 観測点の周囲は茶畑で、水管は農道を開削して埋設している。平均的な被りは 2 ~ 3 m で^{2,3,10)}、かなり浅い。農道はアスファルトで舗装されている。
- (3) 水管の成分は一方向だけであるが、駿河トラフにおけるフィリピン海プレートの収束方向¹¹⁾と、ほぼ一致している。

2.2 水管傾斜計のデータ

相良観測点で得られた、1983 年 6 月 1 日から 1994 年 12 月末日までの傾斜の記録を、B 点の室温 (T_B)、中間点の室温 (T_C) および A 点の気圧 (P) とともに Fig. 4 に示す。いずれのデータも、毎 1 時間サンプリングの日平均値である。また、下段には牧ノ原アメダスによる日雨量を示す。なお、ここで言う傾斜とは、A 点のポットと B 点のポットとの水位の差を基線長で割った値で、上向きが海岸 (A 点) 側に下がるセンスである。

相良観測点の傾斜の記録は、大きな年周変化を描いている。また、観測室の室温にも、年周変化が見られる。さらに、雨が降ると傾斜に変化が現れているようである。つまり、Fig. 4 の傾斜記録には、温度変

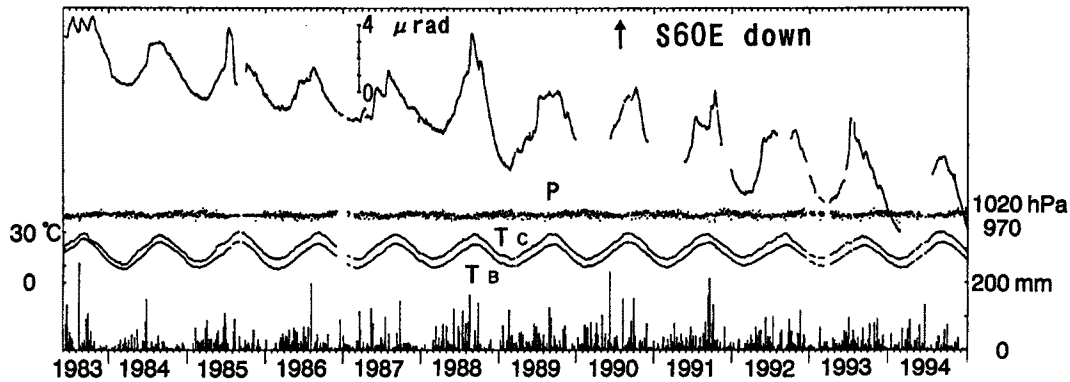


Fig. 4. Daily mean values of hourly sampling data: The uppermost graph shows tilting (upward indicates ground tilting toward the Suruga trough), the center graphs show atmospheric pressure (P) and air-temperature in the cellar (T_B : the site B, T_C : the middle of both the site), respectively. Daily precipitation at Makinohara (by Japan Meteorological Agency) are shown on the bottom.

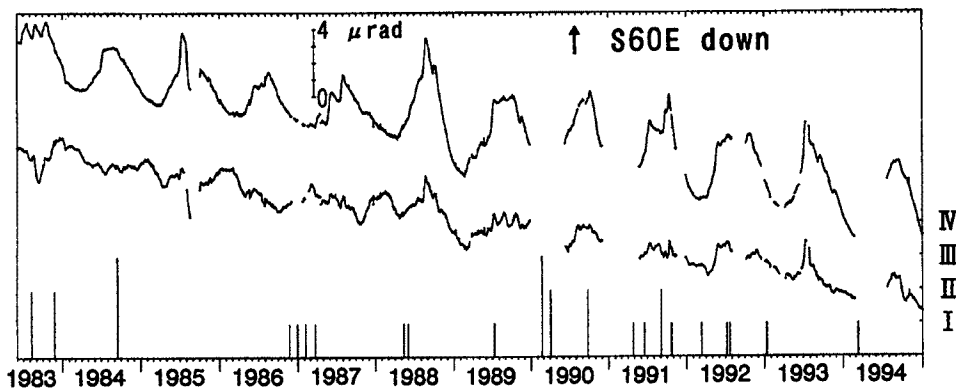


Fig. 5. Daily mean values of the tiltmeter (the same as Fig. 4), and those corrected for the temperature and precipitation effects. Seismic intensities (Japan Meteorological Agency Scale) of the felt earthquake at Omaezaki are shown on the bottom.

化の影響や降雨(による地下水位の変化)の影響が含まれていると考えられる。そこで、柳沢の方法¹²⁾をもとにした伝達関数を用いて、これらの影響を取り除くことにする。この操作の具体的な手順については、文献⁶⁾に詳しい。

補正前の傾斜記録と、それから温度と降雨の影響を差し引いて補正した結果とを、Fig. 5の上段と中段にそれぞれ示す。また、下段には御前崎での有感地震の震度を示す。

Fig. 5から、相良観測点の水管傾斜計によって得られたデータには、内陸(北西)側への経年傾斜が見られることがわかる。そして、その傾斜速度は、およそ 7.5×10^{-7} [rad/yr] である。

2.3 広域変動とテクトニックモデル

ところで、国土地理院による掛川と浜岡との間の水準測量 (Fig. 6) などから、相良観測点付近は、広域的には駿河トラフ側へ傾斜していると報告されている (Fig. 7)⁷⁾。これに対して、前節で示した、相良観測点の傾斜計のデータに見られる経年傾斜は、広域の変動とは逆の傾動を示していることになる。

reference point : 140-1 reference year : 1962

● : net adjustment values

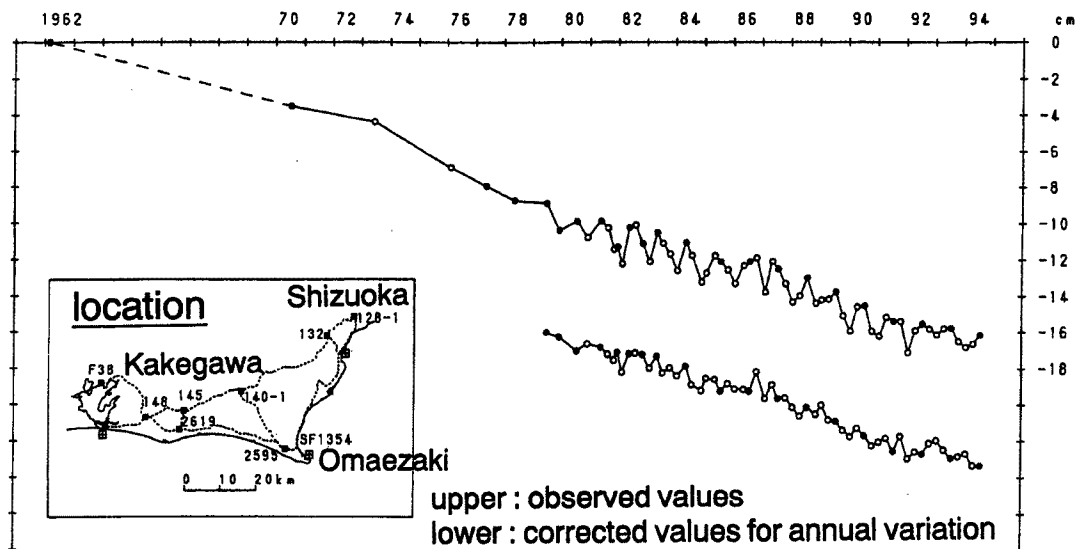


Fig. 6. Temporal variation in height of the B.M. 2595 in Hamaoka relative to B.M. 140-1. (after Geographical Survey Institute)⁷⁾

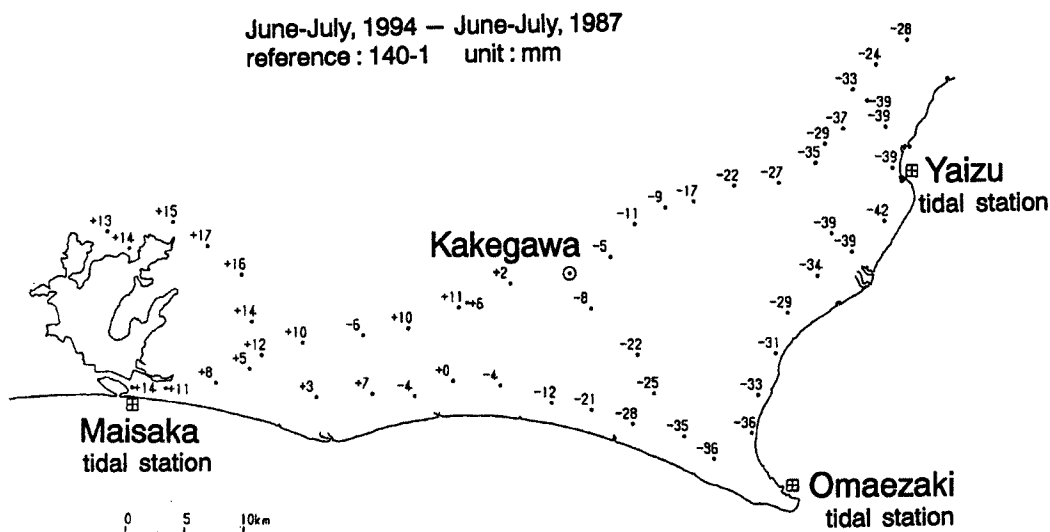


Fig. 7. Vertical movements in the Tokai district. (after Geographical Survey Institute)⁷⁾

水管傾斜計による観測値が、この地域の真の地殻傾斜を反映しているかどうかを確かめるために、1983年から1984年にかけて、傾斜計の両端点 AB 間で 7 回の水準測量が行われた²⁾。その結果は B 点（内陸）側が沈んでおり、傾斜計と調和的であった。一方、1983年から1990年にかけて、海岸沿いにある水準点 BM 2591 から水管傾斜計の A 点（海岸側）まで、10 回の水準測量が行われた^{2,4-6)}。その結果は、より海岸

に近い BM 2591 側が沈んでおり、国土地理院の報告と調和的であった。ベンチマークの区間ごとの結果なども含めて、相良観測点付近での水準測量の結果については、文献^{2,4-6)}に詳しい。

以上の結果と地質学的な研究^{8,9)}から、Fig. 8のような短波長の活褶曲がこの地域の基盤にあるのではないかと考えられる。つまり、傾斜計の南東側に背斜軸、北西側に向斜軸があり、フィリピン海プレートの沈みこみにともなう南東方向からの圧縮力によって、この褶曲運動は進行しているとする。このように仮定すると、広域的には駿河トラフ側に傾斜しているが、傾斜計が内陸側に経年傾斜する理由を説明できる。

2.4 重力探査

Fig. 8のような活褶曲があるとするれば、その影響が重力のブーゲー異常に現れている可能性がある。里村ほかは、ブーゲー異常からこの褶曲構造を検出して、地殻変動との関係を探るために重力測定を行った⁴⁻⁶⁾。

平均密度 $2.35 \text{ [g/cm}^3\text{]}$ から求められたブーゲー異常には、フィリピン海プレートの沈み込みによる影響と考えられる、内陸部から御前崎先端に向けて数値が大きくなるような、広域的な傾向が見られた⁴⁻⁶⁾。広域的な傾向が2次曲面で表されると仮定して、この2次曲面の成分を求め、ブーゲー異常値から引き去った「残差ブーゲー異常⁴⁻⁶⁾」を、測定点とともにFig. 9に示す⁶⁾。残差ブーゲー異常は、比較的浅い地下の密度構造を反映しているものと考えられる。

Fig. 9を見ると、御前崎の先端から内陸部に向かって、南西-北東方向の軸を持つ正負の異常帯が、約2 km ごとに現れていることがわかる。とくに、傾斜計の設置された付近には、南西-北東方向に伸びた明瞭な正の異常帯が見られる。これは、前章で考えた活褶曲を反映しているように思われる。

また、Fig. 9には、地質学的研究から求められた褶曲軸の分布⁸⁾が、残差ブーゲー異常に重ねて描かれている。図の中央、比木向斜軸は負の異常帯とほぼ一致するが、他の背斜軸や向斜軸と正負の重力異常帯とは、よく対応しているとは言えない。この理由として、Fig. 9の残差

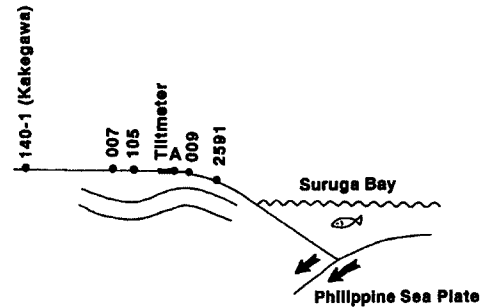


Fig. 8. A Possible model to explain why the ground tilting at the tiltmeter station is reverse to the regional one. Results of the regional leveling surveys by Geographical Survey Institute show that the coastal area along the Suruga Bay is subsiding referring to B. M. 140-1. (after Satomura et al.)⁶⁾

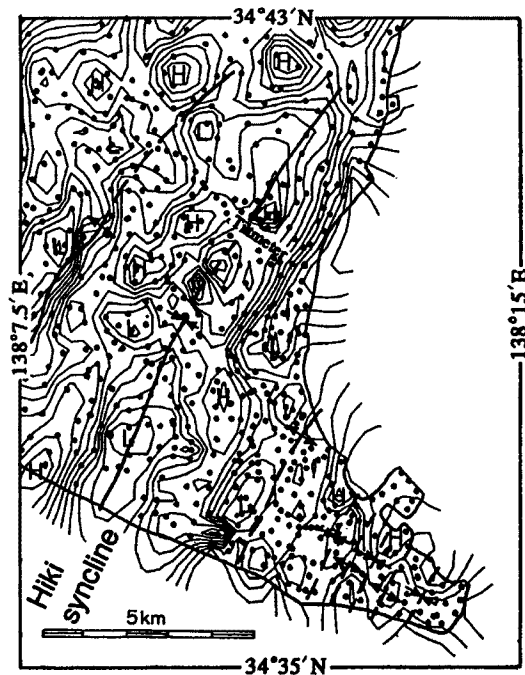


Fig. 9. Residual bouguer anomalies around the tiltmeter station after subtracting parabolic regional trend. Contour interval is 0.25 mgal. Syncline and antiline axes estimated by geological studies (Mizuno et al.)⁸⁾ are also shown in this figure. (after Satomura et al.)⁶⁾

ブーゲー異常は、褶曲構造よりも表層の、第四系堆積物の密度構造の影響をより強く受けている、ということが考えられる⁵⁾。

一方、志知ほか¹³⁾は、この地域の重力データの再検討を行い、さらに6~1.7kmの波長帯を通すバンドパスフィルタをかけ、この波長帯の重力異常成分を抽出した。その結果は、約5kmの間隔で南東—北西に配列する、南西—北東走向の波状構造が見られ、相良観測点は、重力の尾根の北東側にあることが示された。

3. 地下構造についての予備的考察

ここで、前述の Fig. 13 中に示したボーリング柱状図について検討する。B点(内陸側)では、基盤の相良層群(深さ33.2m)中に至るまで掘削された。この時、深さ9.5mの孔内水位が観測されたが、A点(海岸側)では、約15mまで掘っても地下水は沸き出さなかった²⁾。しかし、B点より約200m北西にあった井戸(Fig. 2)の水位が地下7~8mであったことから、B点側で13.2mの深さにある砂質シルト層が、不透水帯になっている可能性もある²⁾。そして、B点側の砂質シルト層は、A点側の深さ10.6mの砂質シルト層につながっているのではないかと考えられる。

このような観点で、改めて相良観測点付近の地下構造を考察すると、以下のように言える。「つながっている」とした砂質シルト層は、A点(海岸側)よりもB点(内陸側)の方が深い(Fig. 13)。そして、Fig. 8のような活褶曲が、深さ約30mよりも浅い第四系堆積層にあると仮定すると、このシルト層の深さが、AB両点で違うことの説明もつく。

そして、この褶曲の規模は、次のように推定される。Fig. 2の地形図、水野ほかの地質図⁸⁾、杉山ほかの地形区分とFig. 4の地質図⁹⁾、および、前章の最後に記した志知ほかの重力異常の結果¹³⁾から、相良観測点付近の南東—北西方向の第四系堆積物の広がりには1~5kmと見られる。そこで、褶曲の波長も同程度であると思われる。また、Fig. 13のA点側のボーリング柱状図で、基盤までの深さが33.2mであったところから、褶曲の振幅は40m以内であろう。同じくFig. 13に関して、先に注目した砂質シルト層が365mの距離で4mほど深さが違うことから、褶曲の波長が最短の1kmのときでも、その振幅は10m以上はあるであろう。そして、褶曲の平均的な深さも、その振幅と同程度の範囲内にあると思われる。

活褶曲の規模について整理すると、

- (1) 褶曲の波長は1~5km
- (2) 褶曲の振幅や平均的な深さは、ともに10~40m

であると推定される。

4. 電気探査

4.1 目的

前章のように、相良観測点地下の第四紀層に活褶曲があると仮定するならば、さらに詳細な調査を行い、その存在の真偽を確かめる必要がある。しかし、重力測定から地下の密度分布を推定する方法だけでは、褶曲の振幅が小さく波長が短いと推定されることもあり、第三系相良層群の構造と第四系堆積層の構造とを独立に求めることは恐らく難しい、と予想される。そこで、密度とは別の物理量を測定する手段を併用して、より精密に地下構造を調べる方法を検討した。

その手段の一つとして、電気探査が挙げられる。とくに、「大地に電流を流し、それによって形成される電位から地下の比抵抗分布を解析する¹⁴⁾」比抵抗法は、地殻浅部の微細構造探査に適しているとされてい

る。そこで、深さと振幅が数十 m 程度と推定される、堆積層中の褶曲構造を調べるには最適であると思われる。

4.2 比抵抗探査の方法

測定は1994年12月26日と27日に実施され、測定装置は、地震予知研究センター所有の、応用地質(株)製“McOHM (MODEL-2115)”を使用した。また、電極配置は、Fig. 10のようなWenner法^{14,15)}によった。

今回のWenner配置による測線は、Fig. 11のように5本で、水管をまたぐように測線をとった。2.1節で述べたように、観測点周囲は茶畑であるが、水管の上の農道はアスファルト舗装されており、この農道に直交するように茶の木が連続的に植えられている。それゆえ、水管方向に長い測線をとることができれば理想的であったが、そのような測線をとることはできなかった。また、測線の中点を水管上に置くこともできなかったことも、農道がアスファルト舗装されていることによる。

そして、各測線ごとに、次の要領で測定を行った。電極間隔1 m から始めて、1回の測定ごとに電極間隔を広げ、電極間隔が40数 m 前後になるまで、9回から10回

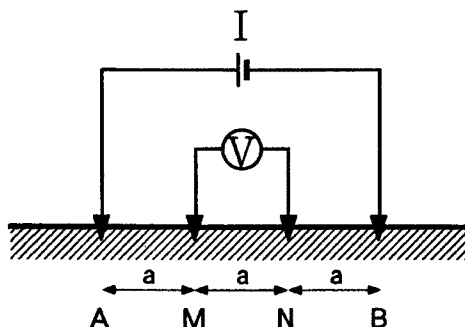


Fig. 10. Schematic figure of Wenner electrode array. Two electrodes measured the potential difference are put between two electrodes switched on the current. Four electrodes are arranged at the same interval and the interval is changed with every measurement.

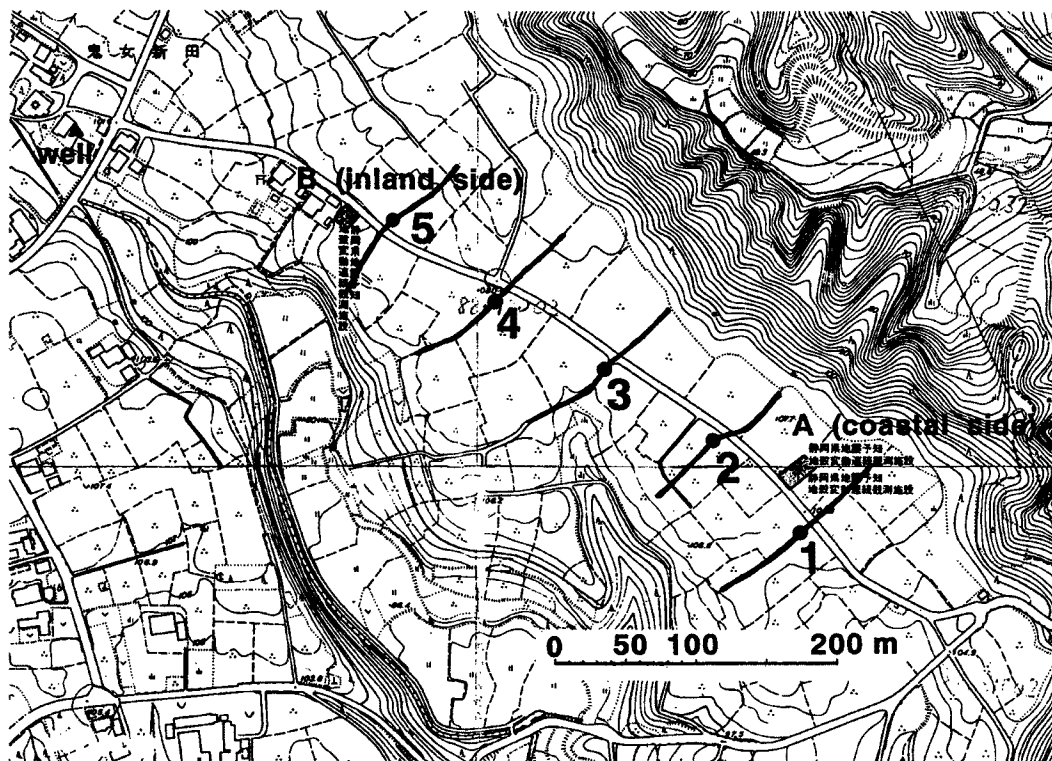


Fig. 11. Five profile lines of the resistivity exploration. Closed circles indicate the middle points of lines.

くり返した。

Wenner 配置では、電流と電位から、次のように「見かけ比抵抗」が定義される^{14,15)}。

$$\rho_a = 2\pi a \cdot \frac{V}{I} \dots\dots\dots (1)$$

ρ_a ：見かけ比抵抗， a ：電極間距離， V ：測定された電位差， I ：地下に流した電流

4.3 測定値の解析

各測線ごとに、以下の手順で測定値の一次元解析を行った。

- (1) 前節の方法により、それぞれの測定ごとに見かけ比抵抗を求める。
- (2) 均質等方の地層が水平に重なった、水平成層構造のモデルを仮定し、リニアフィルタ法^{14,15)}によって、地表での理論的な見かけ比抵抗を見積もる。今回の解析では、牛島ほか¹⁶⁾の順解析プログラムを用いた。
- (3) 1から5の各測線で、3層から5層の水平成層構造を仮定し、測定値のグラフと理論値のグラフとが目で見てもよく一致するように、モデルの作成を繰り返した。今回の解析では、各測線ごとの、測定値と理論値の見かけ比抵抗の標準偏差が30 [$\Omega \cdot m$] 以下になることを、一応の基準とした。各測線の測定値と、5層構造を仮定したときの理論曲線を、Fig. 12 (a) から Fig. 12 (e) に示す。

以上の手順で得られた、各測線における比抵抗モデルの柱状図を、前述のボーリング柱状図とともに Fig. 13 に示す。Fig. 13 は、地表の標高差も考慮して図化してある。

4.4 解析結果と考察

Fig. 13 を見ると、測線が長く取れなかったこともあり、B点（内陸側）のボーリング柱状図の最下層にあたる、新第三系泥岩の基盤までは見えていないようである。そして、3章で注目した、ボーリング柱状図で砂質シルト層にあたる層も、比抵抗モデルの柱状図では相当する層が分からない。

一方、各セクションで最も比抵抗が大きい層（濃いハッチの領域）に注目すると、この領域は北西（Fig. 13 では左側）下がり傾向が見られる。ただし、セクション2とセクション3で、450～475 [$\Omega \cdot m$] の層まで含めると、セクション2でこの領域が深くなってしまう。

また、セクション2とセクション3とは、対応する各層の比抵抗が同じような値を示している（たとえば第3層）。セクション4とセクション5の各層も同様である（たとえば第3層）。しかし、セクション1、セクション2と3の組、そしてセクション4と5の組とを相互に比較すると、対応する各層の比抵抗がかなり異なっているように見える（たとえば、第2層）。

そのほかの特徴として、各セクションの、第3層と第4層の境界、第4層と第5層の境界で、それぞれ急激に見掛け比抵抗が変わっている。B点のボーリングでは、（1983年当時）9.5 mの深さに地下水面があった²⁾。このことから、各セクションの第4層内（薄いハッチの領域）に、地下水面があると考えられる。この領域は、南東（Fig. 13 では右側）下がり傾向が見られる。

ところで、A点（海岸側）のボーリングは、B点に比べて掘削深度が浅く、基盤まで掘られていない。しかし、約15 mまで孔を掘っても地下水は見られなかった²⁾。これは、Fig. 13 より、A点ではB点に比べて地下水位が低いと見られるので、A点のボーリングは、あと数 mのところまで地下水面に到達しなかった、と考えられる。このことも、各セクションで地下水面があると思われる領域が、南東下がり傾向を示すことを支持している。

以上の地下水位に関する議論は、実際の地下水位データと比較するとはっきりする。3章でも触れたように、観測点の近くに井戸があり（Fig. 2）、以前は地下水位の記録を取っていた。しかし、井戸が埋められてしまい、1994年以降はデータが取れていない。また、以前記録されていた水位のデータも欠測が多く、水位の長期的な変化の傾向も、はっきりとしたことは言えない。

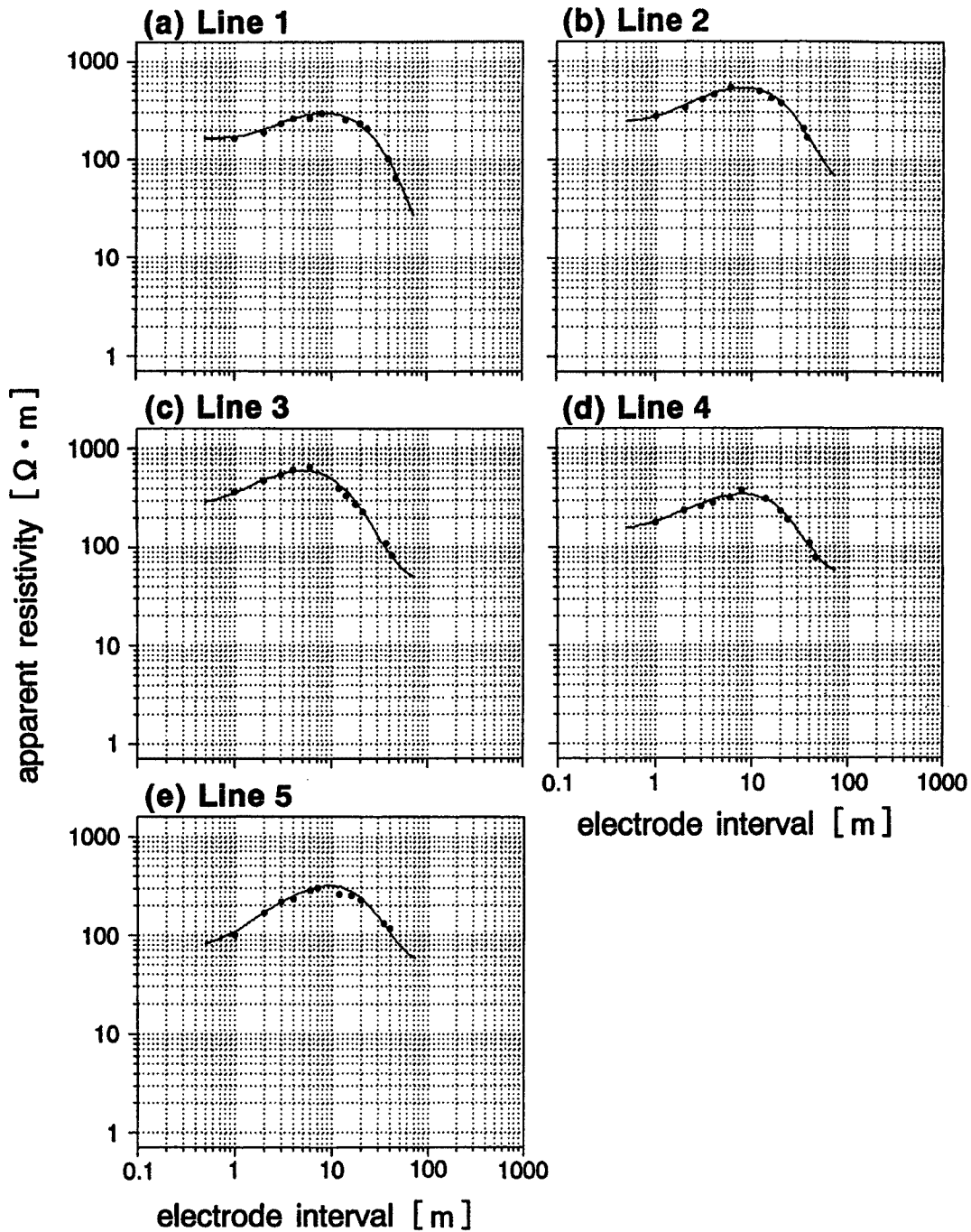


Fig. 12. (a)–(e) Comparison between measured resistivities and estimated ones. Closed circles indicate measured apparent resistivities of five profile lines, respectively. Solid Curves indicate apparent resistivities of five profile lines, which are calculated using a theoretical model, when horizontally five layers (shown in Fig. 13) are assumed, respectively.

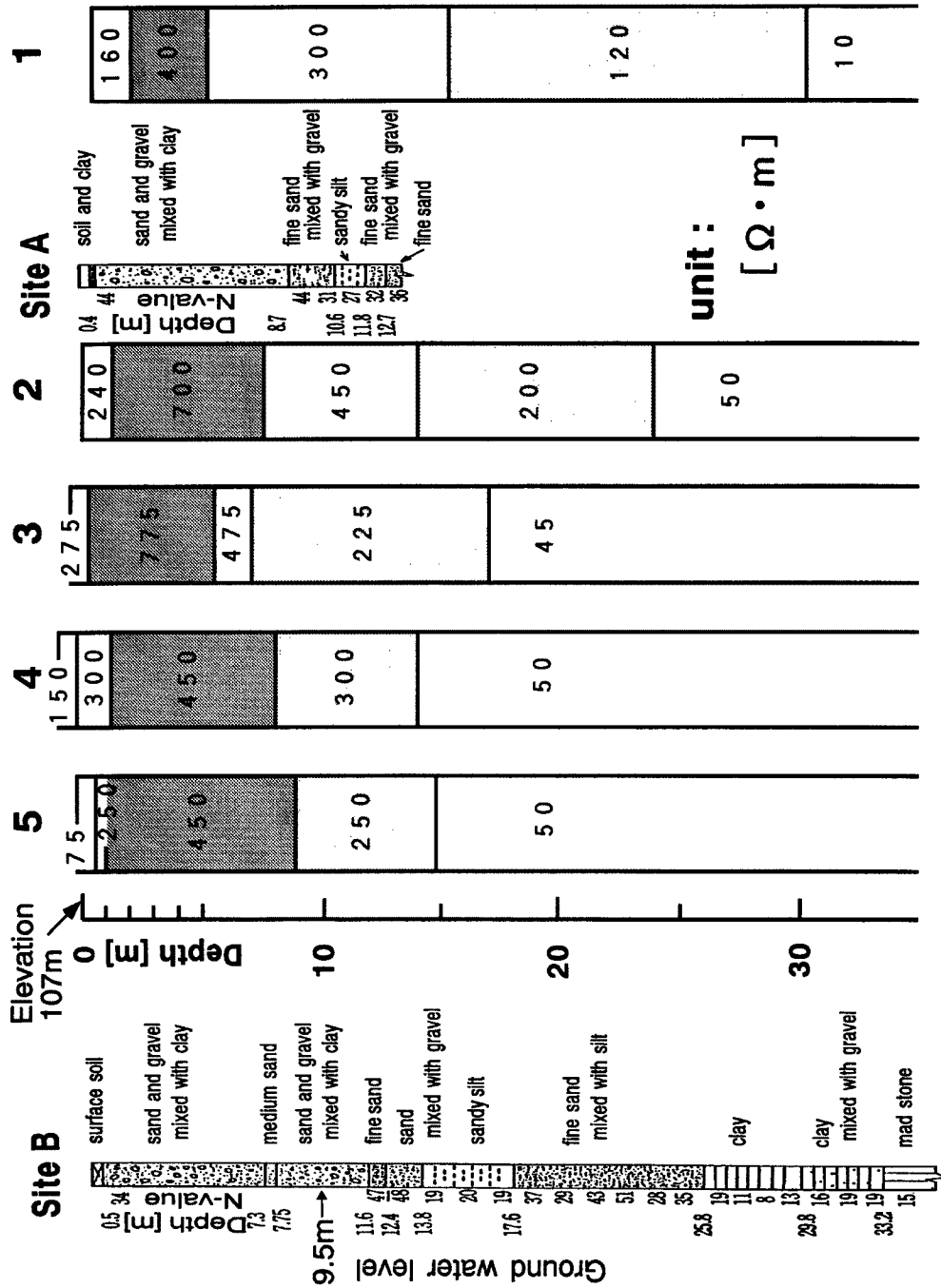


Fig. 13. Five estimated resistivities columns, when horizontally five layers are assumed. Boring columns at both the sites of tiltmeter's pots are also shown (after Toyama et al.) 2).

5. 結 論

相良観測点で実施された比抵抗探査の結果から、Fig. 13 が得られた。しかし、3章で注目した砂質シルト層が、A点とB点とでつながっているかどうかは、判明しなかった。

また、Fig. 13 に現れている特徴として、地下水面があると考えられる領域に南東下がりの傾向が見られた。これは、地下水位と地質構造とに相関があるとすれば、3章で仮定した第四系の活褶曲 (Fig. 8) から連想される北西下がりの地下構造とは、逆の傾向を示していることになる。しかし、相良観測点における、地下水位と地質構造との直接的な対応関係は、まだよく分からない。

いずれにしても、今回の比抵抗探査からは、第四系にあると仮定した活褶曲構造から期待される、相良観測点のA点 (南東) からB点 (北西) に向かって一様に深くなってゆくような地下構造は、見られなかった。したがって、相良観測点の地下に第四系の活褶曲構造があり、水管傾斜計が向斜軸と背斜軸の間に設置されている、というモデルを支持するような結果は得られなかった。

6. お わ り に

今回の比抵抗探査では、活褶曲のモデルを実証することはできなかった。しかし、相良観測点の水管傾斜計で観測された経年傾斜と、水準測量によって観測された広域的な傾斜とが、逆の結果を示していることは事実である。

これからの課題として、以下のようなことが挙げられる。

まず、相良観測点付近での水準測量を、引き続き実施してゆくことである。ここで、2.3節で述べた、相良観測点付近での水準測量の結果には、我々が提案した活褶曲構造を反映するような、傾斜計の経年傾斜と調和的な区間が見られる^{2,4-6)}。しかし、Fig. 7の国土地理院による水準測量の結果からは、(南西—北東走向の)活褶曲構造を反映するような、昇降の傾向が逆転する区間が、(とくに南東—北西方位の路線では)明瞭ではない。そこで、相良観測点付近の水準路線を延ばし、国土地理院の路線の間を埋めるまでに達すれば、傾斜計の経年傾斜と調和的な領域が、広域的に呈示されるかもしれない。

次に、A点とB点の間で新たにボーリングを行えば、A点とB点との地層のつながりかたを、より詳しく知ることができであろう。とくに、4.4節で述べたように、セクション3とセクション4とは、対応する層の比抵抗がかなり異なっているように見えるので、この間でボーリングをする意義は大きいと思われる。また、地質学的調査に関して言えば、傾斜計の配置されている台地の北東側と南西側は下り斜面になっているので、ここで露頭調査をすることによって、直接的に褶曲構造を捜す方法も考えられる。

最後に、弾性波探査が挙げられる。相良観測点の水管傾斜計のデータに含まれる、地球潮汐成分についての報告¹⁷⁾によれば、この地球潮汐成分には、大部分が海洋潮汐の影響によると思われる季節変化が見られる。そして、海洋潮汐の影響を見積もっても、この季節変化は残ることから、相良付近の地殻の弾性係数が季節変化しているのではないか、という考察がなされている¹⁷⁾。そこで、弾性波探査を年間に数回実施することができれば、褶曲構造の存在が確かめられると同時に、褶曲運動が進行するようすや弾性係数が時間変化するようすも捕らえられる可能性がある。

謝 辞

比抵抗探査の準備に際しては、防災研究所附属地震予知研究センターの大学院生の諸氏、とくに地球電磁気学系の後藤忠徳氏と坂中伸也氏に手伝っていただいた。また、後藤氏には、今回の比抵抗探査に関して全般的にお世話になった。

九州大学工学部資源工学教室の茂木透博士と藤光康弘博士には、比抵抗探査の結果についての御意

見をいただくとともに、プログラムを提供していただいた。

京都大学工学部資源工学教室の菅野強博士には、今回の比抵抗探査の結果についての御意見をいただくとともに、比抵抗探査全般についていろいろと御教授いただいた。

京都大学防災研究所附属地震予知研究センターの田中寅夫教授には、本論文を査読していただいた。

以上の方々に、厚く御礼申し上げる。

参 考 文 献

- 1) Ishibashi, K. : Specification of a Soon-to-Occur Seismic Faulting in the Tokai District, Central Japan, Based upon Seismotectonics, Earthquake Prediction, An International Review, Am. Geophys. Union, Washington, D. C., 1981, pp. 297 - 332.
- 2) 遠山忠昭・長谷川靖：静岡県相良町における長距離水管傾斜計の地殻傾斜観測について，静岡大学地球科学研究報告，12，1986，pp.33-44.
- 3) 里村幹夫・檀原 毅・長谷川靖・遠山忠昭・志知龍一・鮫島照彦・井野盛夫・岩田孝仁・萩原利明：相良および上坂地殻変動連続観測施設の概要，静岡大学地球科学研究報告，13，1987，pp.157-164.
- 4) Satomura, M., S. Kobayashi, Y. Hasegawa, T. Toyama, T. Dambara, R. Shichi, M. Ino and T. Iwata : Observation of Crustal Movements by Means of A Long Baseline Water-Tube Tiltmeter at Sagara, Shizuoka, Japan, IAG Symp. 101. Global and Regional Geodynamics, Springer-Verlag, New York, 1990, pp. 329 - 336.
- 5) 里村幹夫・小林茂樹・伊藤忠志・臼井和平：相良における傾斜観測とその広域傾斜変化の関係，静岡大学地球科学研究報告，17，1991，pp.149-160.
- 6) Satomura, M., S. Kobayashi, R. Shichi, T. Ito, S. Nakano and S. Iizuka : Relation between Local Ground Tilting Observed with a Tiltmeter at Sagara and Regional Crustal Movements in the Tokai District, Central Japan, Proc. CRCM '93, Geod. Soc. Japan, 1994, pp. 15 - 18.
- 7) 国土地理院：東海地方の地殻変動，地震予知連絡会会報，第53巻，1995，pp.438-484.
- 8) 水野清秀・杉山雄一・下川浩一：静岡県御前崎周辺に分布する新第三系相良層群及び掛川層群下部の火山灰層序，地質調査所月報，38，1987，pp.785-808.
- 9) 杉山雄一・寒川 旭・下川浩一・水野清秀：御前崎地域の地質，地域地質研究報告（5万分の1地質図幅），地質調査所，1988，pp.1-153.
- 10) (財)地震予知総合研究振興会編：地殻変動観測施設要覧，国土地理院・(財)地震予知総合研究振興会，1993，pp.110-111，p.410.
- 11) Seno, T., S. Stein, A. E. Gripp, : A Model for the Motion of the Philippine Sea Plate Consistent With NOVEL-1 and Geological Data, J. Geophys. Res., 98, No. B 10, 1993, pp. 17941 - 17948.
- 12) 柳沢道夫：宇佐美臨時観測点における降水量と傾斜観測の関係，測地学会誌，26，No. 3，1980，pp.187-199.
- 13) 志知龍一・小林茂樹・野崎京三・里村幹夫・山本明彦：重力異常から見出された御前崎地域の活構造，日本測地学会第82回講演会要旨，1994，pp.51-52.
- 14) 物理探査学会編集：図解物理探査，物理探査学会，1989，pp.53-62，pp.192-201.
- 15) 佐々宏一・芦田 譲・菅野 強：建設・防災技術者のための物理探査，森北出版(株)，1993，pp.128-196.
- 16) 牛島恵輔・水永秀樹・加藤明彦：パソコンデータによる電気探査データの解析，物理探査，40，

- No. 6, pp. 423 - 435.
- 17) Nakano, S., M. Satomura, Y. Tamura and S. Nakao : Tidal Analyses of Tilting Data Observed by Means of Water-Tube Tiltmeters at Sagara and Kamisaka, Central Japan, Proc. CRCM '93, Geod. Soc. Japan, 1994, pp. 19 - 24.