

報 文

551.24 (521.61)

伊豆半島の水準点変動、とくに地塊の傾動について

鈴木尉元* 堀井泰紀** 石山克之** 宇都木 浩** 小玉喜三郎* 宮下美智夫*

On the Vertical Crustal Movement in the Izu Peninsula

Yasumoto SUZUKI, Yasunori HORII, Katsuyuki ISHIYAMA, Hiroshi UTSUGI,
Kisaburō KODAMA and Michio MIYASHITA

Abstract

The data of 1st levelling surveys are analyzed in order to elucidate the recent crustal movement in the Izu Peninsula. They show that the earth's crust is deformed nearly parallel to shore line and tilts toward the sea in most of the area. Several tectonic units are discriminated, each of which is deformed continuously and supposed to be bounded by active faults. Those units are 6 to 10 km in width. 1st levelling survey carried after the Off Izu Peninsula earthquake of May 9 of 1974 shows that several faults are activated. It was also ascertained that some faults were activated before the earthquake.

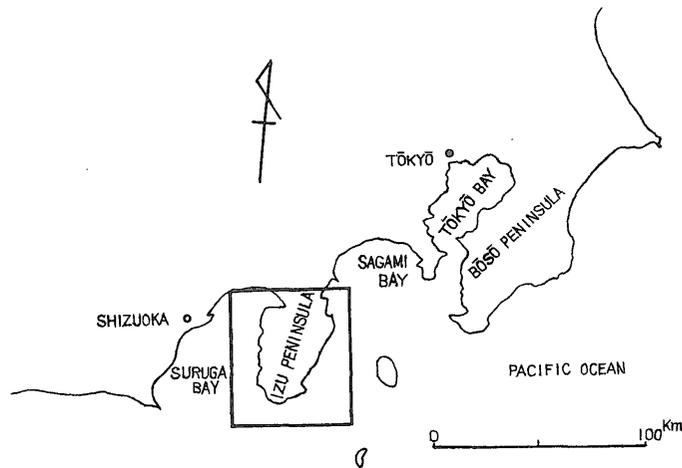
1. ま え が き

伊豆半島の地殻変動については、古くは伊東地震(1930)や北伊豆地震(1930)に関連して、くわしい検討がくわえられている。Tsuboi(1931)は、これらの地震の後、半島北西部について宮部の方法を用いて地殻変動を

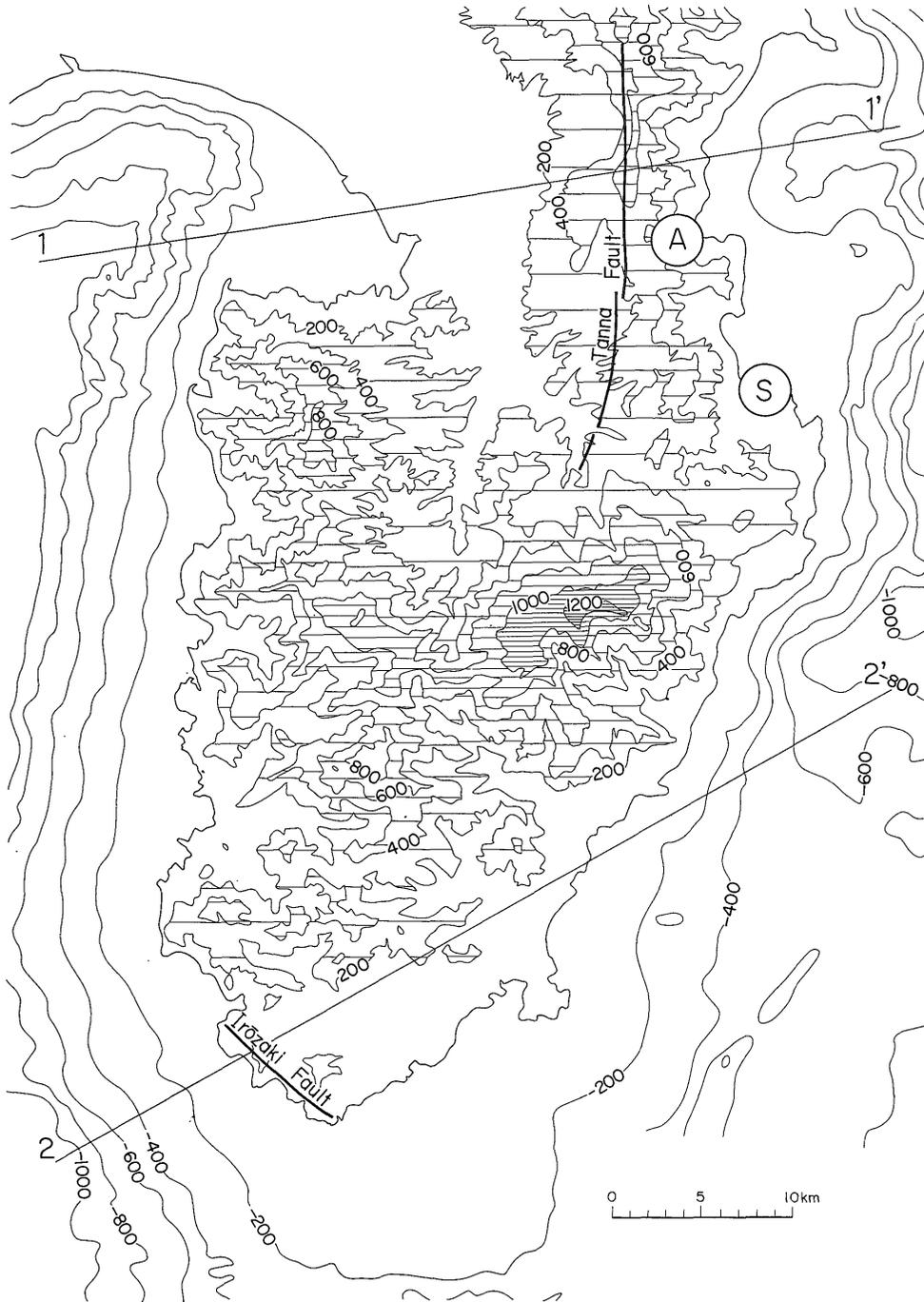
解析したその結果、駿河湾沿岸では、北部の地殻は北西方向に傾動していることを指摘した。その後、YAMAGUCHI(1937)は、半島北部について垂直変動と水平変動の関係を研究した。

檀原・広部(1964)は、1903—1925年の測量結果より半島全体の垂直変動を図として示した。この図から、半島東部は隆起し、西部の駿河湾沿岸は沈下していることがわかる。また1925—1931年については、半島北西部は

* 燃料部
** 芝浦工業大学土木工学科



第1図 伊豆半島の位置図



第2図 伊豆半島周辺の地形と最近の大きな地震に伴う断層ならびに震央
 丹那断層は1930年の北伊豆地震に伴う断層、石廊崎断層は1974年の伊豆半島沖地震に伴う断層、AとS
 は1930年の伊豆群発地震の震央。

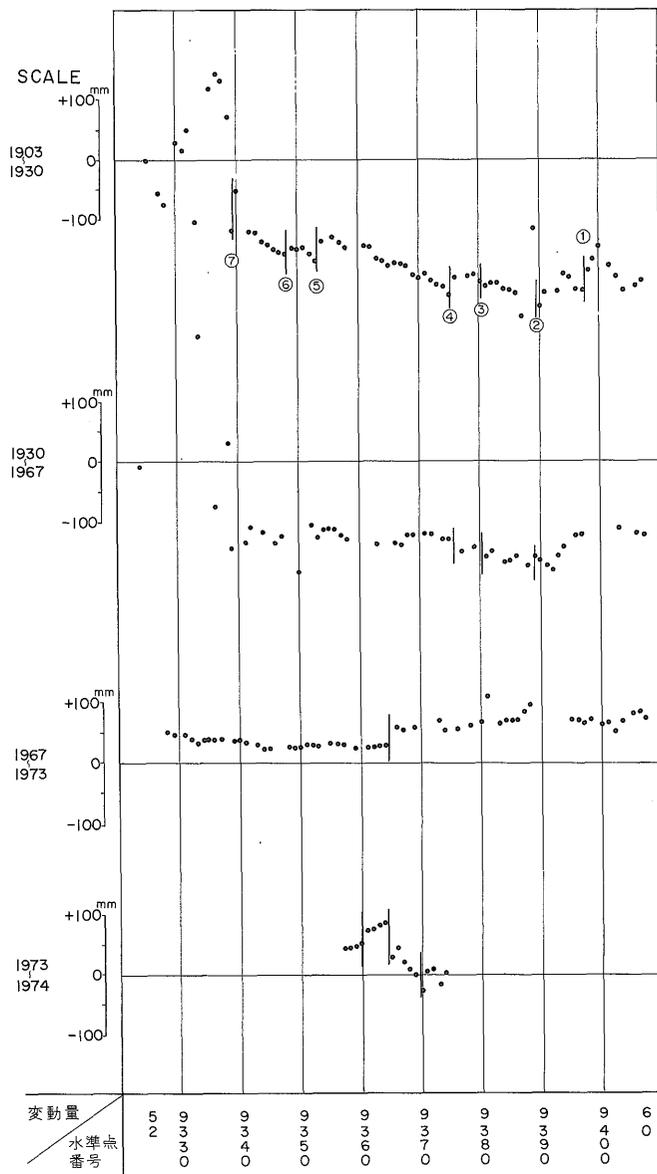
隆起し，南西に向かって傾斜沈下している図を示している。

藤井（1969）は，1931—1967年の測量結果を求め，それと過去2回の結果とを比較して半島の変動傾向を論じた。この中で，従来論じられてきた半島南端部の南下りの傾動運動には問題があるとしている。また伊東群発地震区域の変動については，大きく永久変位が残っていることが認められると述べている。

最近では，1974年5月9日に発生した伊豆半島沖地震

との関係で，半島の変動が議論されている。筆者らは，この半島の一等水準点観測値をこまかく解析し，現在の地殻変動の実体をあきらかにしようとした。そして，半島および周辺の海底の地形との関係を検討することによって，地震活動との関連性についてあきらかにしたいと考えた。

このような現在の半島の変動傾向を検討することは，将来の変動や地震の発生を予測するうえで，大変重要なことであると考えられる。



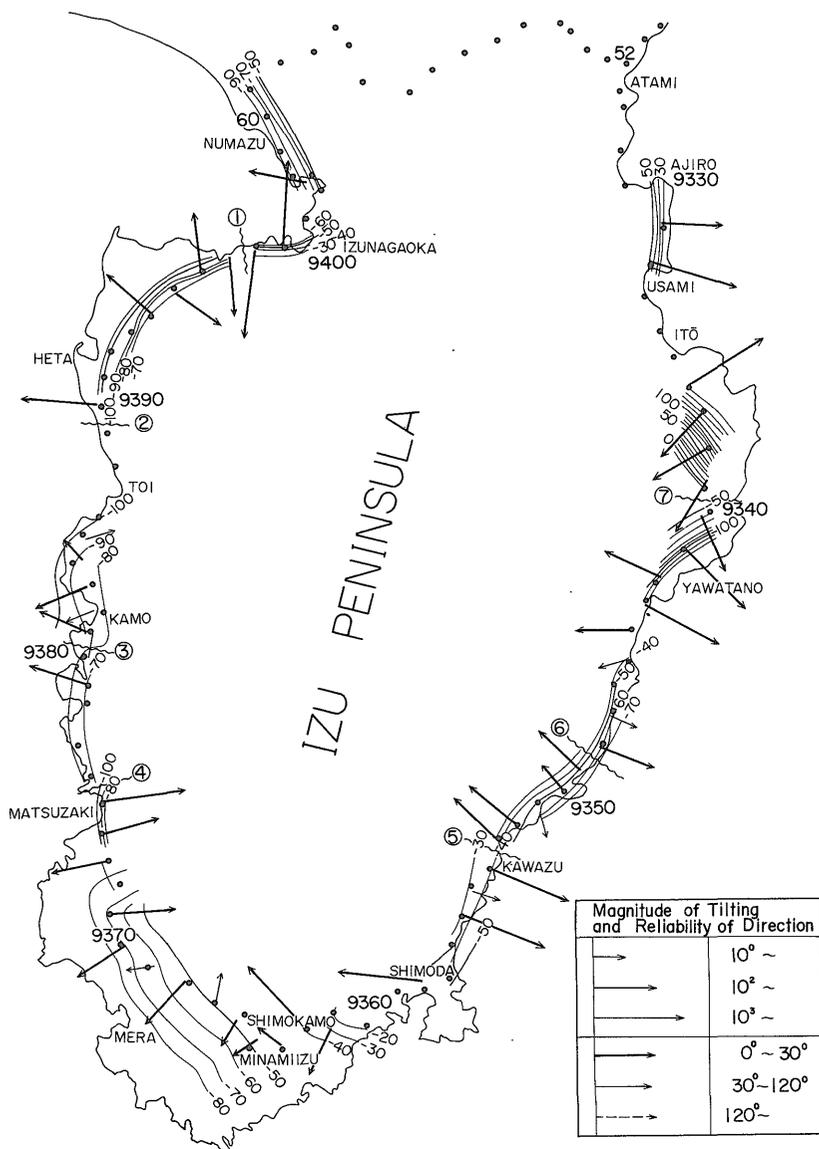
第3図 水準点の変動量図 縦線は変動の不連続部

謝 辞

この論文を書くにあたって、国土地理院の原田健久・藤井陽一郎氏には、資料の面でいろいろと御世話になった。地質調査所の三梨昂・垣見俊弘両技官には、解析結果について有益な議論をしていただいた。また原稿を読んでいただき、御批判いただいた。芝浦工業大学高田武雄先生には、いろいろ激励していただいた。この機会にこれらの諸氏に厚く感謝の意を表する。

2. 資 料

伊豆半島の水準測量は1896年に一部行われたが、一巡する路線については1903年にはじめて測量が行われた。その後、1930・1967・1973年に改測が実施された。これらの結果は、一等水準点成果集録として刊行されている。筆者らの解析資料はこれによった。また1974年5月9日に発生した伊豆半島沖地震に関連して、伊豆半島南部の BM9357-9374 の改測が行われた。国土地理院の御



第4図 1903—1930年の水準路線付近の垂直変動
矢印は3水準点の水準変動から求められた傾動方向。実線は等変動量線。波線は変動の不連続部。



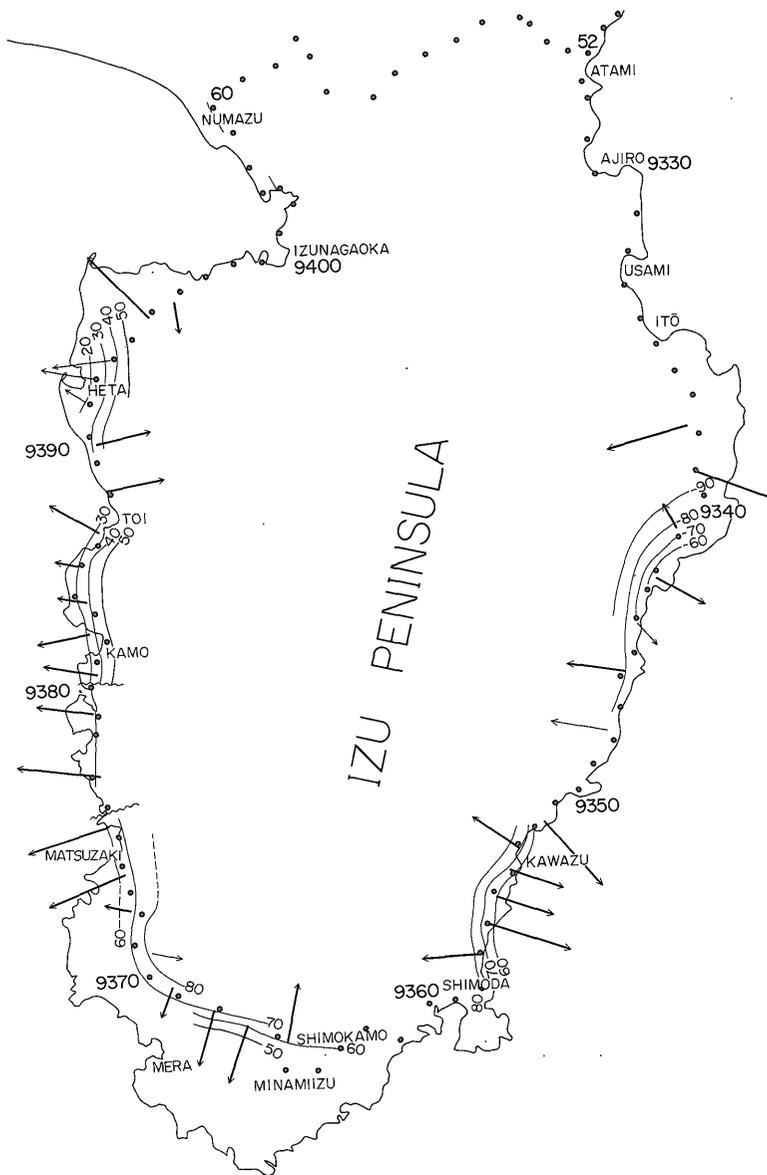
第5図 1903—1930年の垂直変動の一般的な変動傾向
矢印は傾動方向，実線は傾動運動の走向，波線は変動の不連続部

好意により、この結果を利用させていただいた。

3. 解析方法

筆者らは、次のような方法により測定値を解析した。まず各水準点の垂直変動の値をプロットした垂直変動量図(第3図)をつくった。これにより、半島全体の変動傾向や局所的な変動、とくに変動の連続性や不連続性などが読みとれる。つぎに、水準点近傍の変動傾向を調べるために、3個の水準点により構成される平面の傾動方

位と傾動量を計算した(計算の方法については鈴木ほか、1974を参照)。なお傾動方位の信頼性を確かめるために、三角形の1点に変動誤差(0, ±0.5, ±1.0, ±1.5 mm)を与えたときの方位のばらつきを調べた。これらの結果から、傾動方位の信頼度を3段階に区分し、矢印の太さによって表示した。この計算結果と各水準点の変動値をもとに、水準点付近の変動傾向を示す等変動量線をえがいた。



第6図 1930—1967年の水準路線付近の垂直変動



第7図 1930—1967年の一般的な変動傾向

4. 解析結果

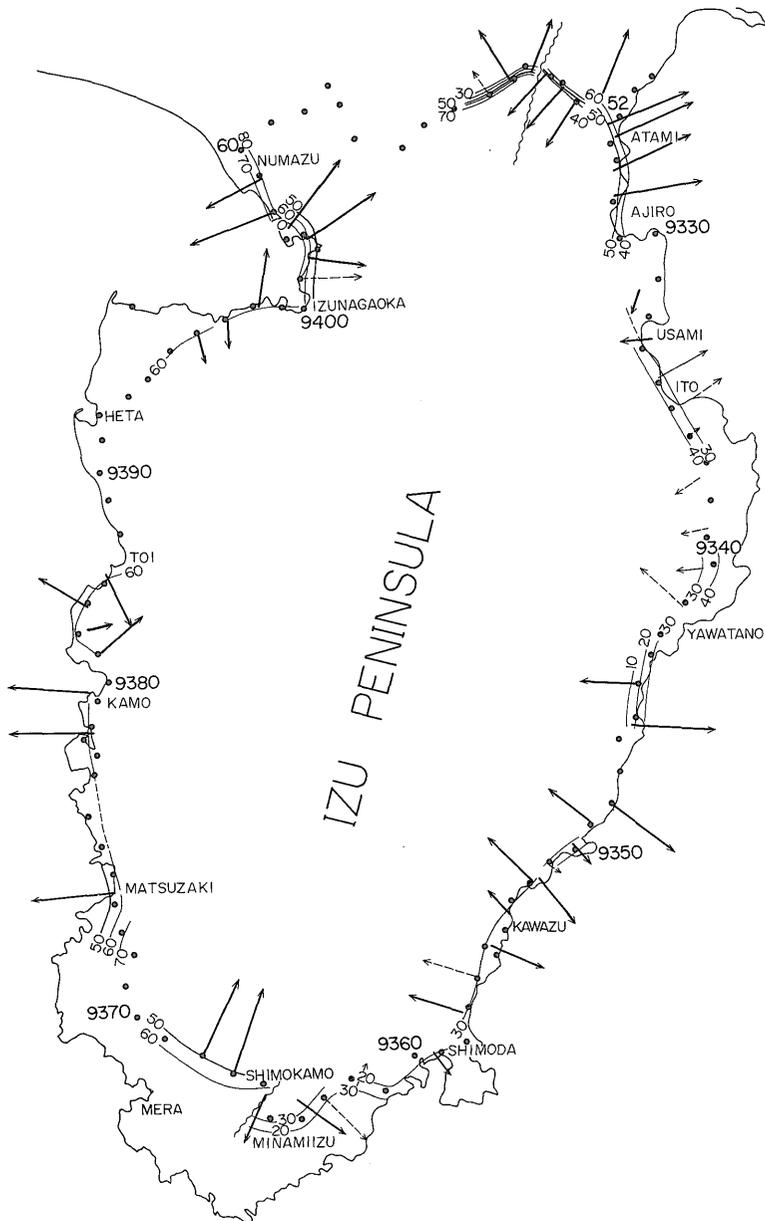
前節の方法により求めた変動図をもとに、年代を追って各期間ごとの変動の特徴を述べることにする。

4.1 1903—1930年の変動

等変動量線図(第4図、第5図)から、伊豆半島は海岸に直交して傾動している部分の多いことがわかる。このような傾向は、半島西側から南部にかけてとくに顕著

で、いくつかの不連続部をはさんで海側に傾動していることが読みとれるであろう。半島東側においても、部分的ではあるがこのような海側への傾動傾向が認められる。網代—宇佐美間(BM9330-9332)、富戸—八幡野間(BM9354-9357)などである。

網代付近(BM9330-9332)の海側への傾動や伊東付近(BM9337-9339)の内陸側への傾動傾向は、1930年に発生した伊東群発地震(第2図のA、S)の影響と思



第8図 1967—1973年の水準路線付近の垂直変動

われる。この変動は，垂直変動量図（第3図）のBM52-9350の動きからもわかるように，桁ちがいに大きなものである。

これらの資料解析において，変動に不連続が認められる。これは傾斜方向が急激に変化する，あるいは等変動量線が繋がらない，つまり垂直変動量の急激な変化と



第9図 1967—1973年の垂直変動の一般的な変動傾向

してあらわれる。この時期の不連続な位置をあげると、①BM9397-9398, ②9389-9390, ③9380-9381, ④9375-9376, ⑤9353-9354, ⑥9348-9349, ⑦9339-9340などである。伊東群発地震の影響を受けた地区についても、網代と伊東の中間に不連続な部分が認められる。これらの不連続位置は、等変動量線図(第4図)と垂直変動量図(第3図)に番号で示した。いずれの図でも、不連続として明瞭に認められるであろう。これらの不連続には含まれた一つの単元の大きさはほぼ一定で、6-10 kmの大きさをもっている。

4.2 1930—1967年の変動

この時期の変動は、全体に前期ほど激しい動きはみられない。しかし前期と同じように、半島西側から南部にかけて、海側への傾動が顕著にあらわれている(第6, 7図)。ただし前期には測定値のなかった半島西側の土肥付近(BM9388-9389)や松崎付近(BM9374-9376)では、海岸線に平行した方向を軸に内陸側への傾動傾向を示す。

この時期の垂直変動量図から、BM9389付近、9380付近、9377付近で不連続的な変位が認められる。これは前期の不連続の位置にほぼ一致している。

4.3 1967—1973年の変動

観測期間が短かったために全体としてあまり大きな動

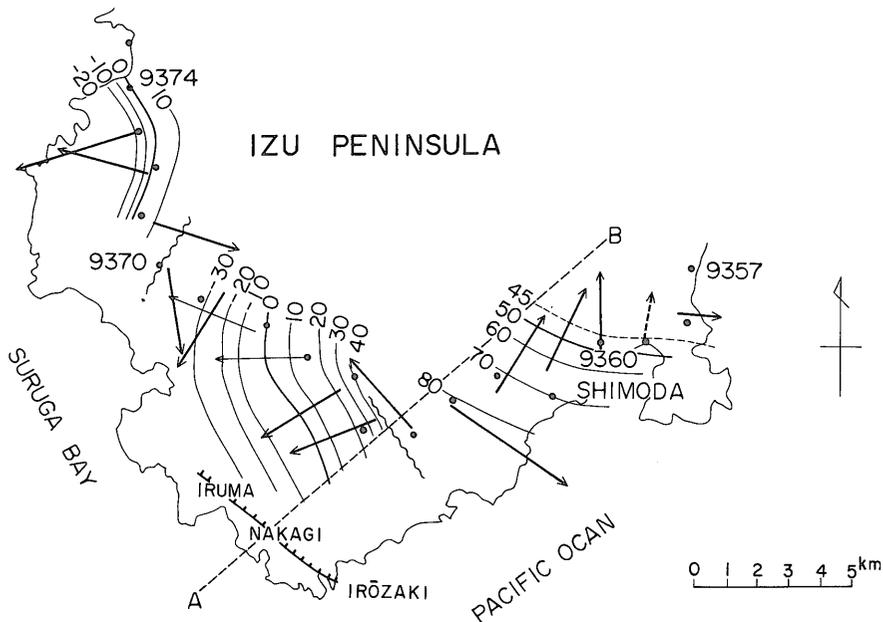
きはみられないが、そのなかでも半島西側は東側にくらべ隆起量がやや大きく、以前の各時期と同じように海側への傾動傾向が認められる。こまかく検討すると、熱海—網代間(BM52-9329)では北東の海側へ、伊東市南部(BM9338-9342)では西方内陸側へ、伊豆長岡町付近(BM9400-9403)では東ないし北東の内陸側へ、沼津市南部(BM9404-60)では南西海側への傾動を示している。

なお、半島南端のBM9365付近には不連続的な変位が認められる(第3, 6図)。この不連続の位置は前2期間にはあらわれなかったものであり、これを中心にBM9363-9365は南南東方向への傾動を、BM9366-9369は北北東への傾動傾向を示している。

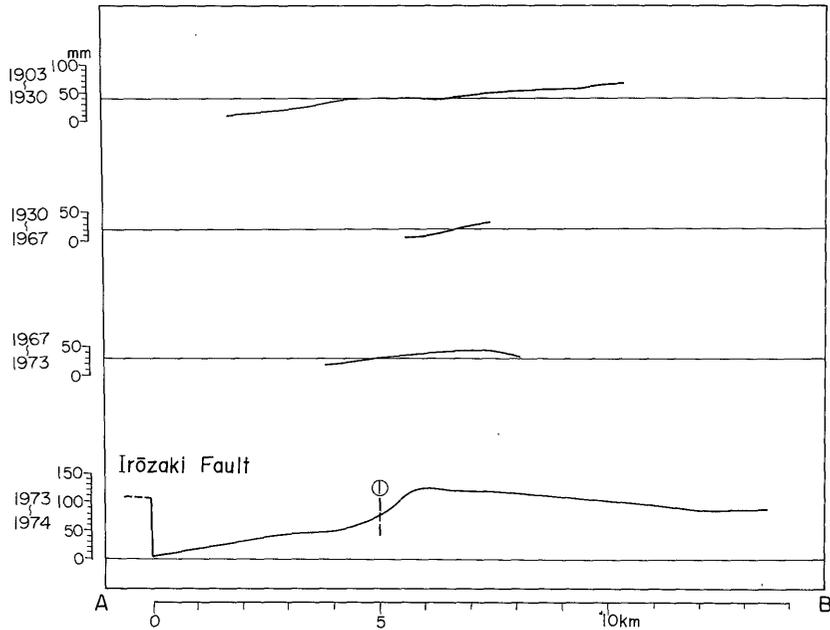
4.4 伊豆半島沖地震にさいしての変動

1974年の改測は、1974年5月9日に発生した伊豆半島沖地震による地殻変動の調査のためのもので、半島南部についてのみ行われた。この解析結果を等変動量線図として第10図に示した。

下田付近(BM9359-9362)は北北東へ、南伊豆町北部(BM9365-9362)は南西へ、半島西側松崎付近(BM9371-9374)は西の海側への傾動が認められるであろう。またBM9370付近とBM9374-9375に不連続的な変位がみられる(第3, 10図)。このほか、第3図よりB



第10図 1973—1974年7月の伊豆半島南部の垂直変動
波線は変動の不連続部。かぎつき実線は伊豆半島沖地震に伴う石廊崎断層。A Bは第11図の断面位置



第11図 伊豆半島南部の垂直変動の断面図
第10図のA B線にその面に投影したもの。①は第10図に示された不連続の位置。

M9360付近にも不連続がみられる。

第11図は，第10図の破線A—Bにその断面に各期間の変位を投影したものである。これにより伊豆半島沖地震にさいして活動した石廊崎断層と水準点の改測によって明らかにされた不連続線点付近の傾動様式がわかるであろう。

5. 解析結果の考察

5.1 水準点の変動から求められる地殻変形

以上の解析結果から，伊豆半島は各時期を通じて，ほぼ海岸線に平行した方向を軸に海側への傾動を示している地域が多いことがわかる。このことは，半島の大まかな地形が，最近の地殻変動によって決定されたことを示していると考えてよいであろう。

このような海側への傾動傾向は，とくに西海岸において顕著である。BM 9375-9390で隣り合う3水準点から計算される年平均傾動量は，1903—1930年では6個もとめられ，その数値は，0.12, 0.27, 0.04, 0.11, 0.04, -0.04（単位は sec./y, 海側への傾動を+とし，その反対側への傾動を-とする）で，平均0.1 sec./y.となる。また，1930—1967年では3個もとめられ，その数値は，0.08, 0.19, 0.07で，平均0.1 sec./y.となる。年平均0.1秒の割合で傾動運動が進行していくと，10万年で約3度，100万年で約28度となる。

現在の駿河湾東部の海底面の傾きは，約5度である。

上に述べた海岸線付近の大きな傾動運動は，この海域の沈降運動に伴うもので，半島内部ではこの傾動量は急激に小さくなるものと考えられる。地形は主として垂直運動によってその概形が決定されるので，もしも海岸付近の大きな傾動運動が内陸まで行われているとすると，伊豆半島の中心部は現在よりもずっと高くなければならぬであろうからである。

なお，杉村（1973）は，伊豆半島の完新世（6～8千年前）の海成段丘の高さの分布を示した。彼によると，このいわゆる縄文海進によって形成された段丘は，伊豆半島では2-9 mで，大磯丘陵海岸や房総半島先端などでの20m以上の高さと比較して小さい。このことは，海岸線付近が傾動運動の軸になっていることを示していると考えられる。

5.2 地殻の変形様式と地震の活動

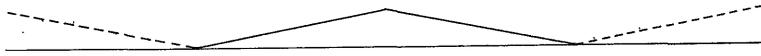
地形断面は，固有の振幅をもった様々な波長の変形が重畳した形で示されているとみなされる。筆者らは，この地形の特性をとらえ新しい時期の地殻変動を明らかにするために，半島および周辺の海底の地形断面のスペクトル解析をこころみた。まず第12図に示すようなモデルを考え，これをスペクトル解析をしてそれぞれの特性（第13図）を求めた。また第2図に示す1-1'，2-2'の線にそった地形断面図（第14図）を求め，これをスペク

トル解析した(第15, 16図). これと第14図を比較することによって実際の地形をモデル化してみた.

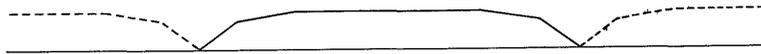
この結果, 第14図の 1-1' 断面は第12図に示すモデル I に, 2-2' 断面はモデル II に近似すると思われる. モデル I を山型, モデル II を箱型とよぶことにする.

さて, 地殻が下方からの力によって変形する場合, 力が働く部分が狭いときに山型に変形, 力が働く部分が広いときに箱型に変形する. このような変形がおこるときに, 地殻がいかに破壊するかを示したのが第17図である. 山型の変形では中央部に応力が集中し破壊するのに

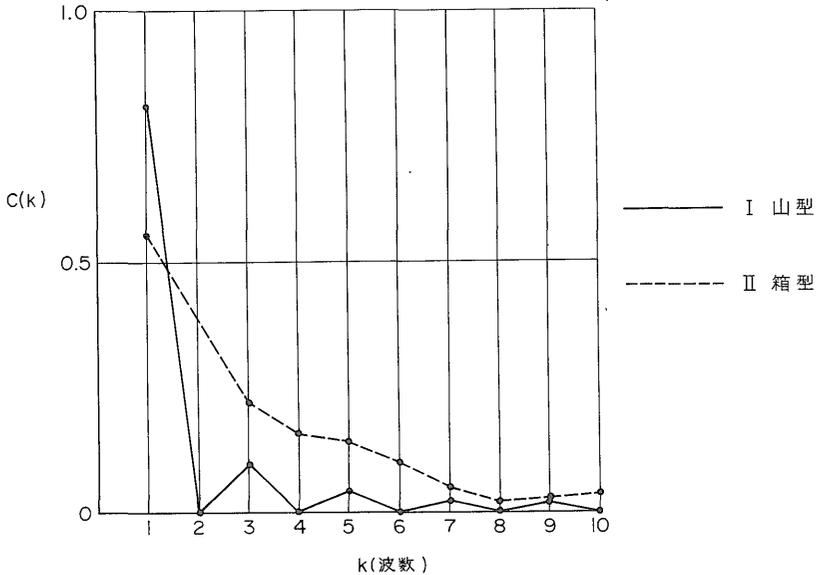
I 山型モデル



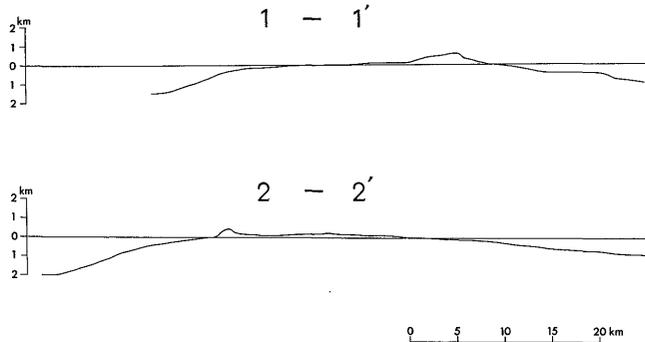
II 箱型モデル



第12図 山型モデル, 箱型モデル



第13図 山型および箱型モデルのスペクトル解析図
横軸 k は波数, 縦軸 C(k) は各波数のスペクトルの強さを表わす



第14図 第2図に示す 1-1', 2-2' にそう地形断面図

対して，箱型の変形では両端部に応力が集中し破壊する。

1-1'，2-2' 断面について考えてみる。1-1' 断面の北伊豆地震に際して活動した丹那断層は山型の変形に伴う中央部の破壊であり，2-2' 断面の石廊崎断層は箱型の変形に伴う両端部の破壊のあらわれであろう。伊東群発地震も箱型の変形に伴うものであろう。

よく知られているように，丹那断層や石廊崎断層では，垂直変位とともに，それよりも大きな水平変位がみられた。この垂直変位と水平変位の関係は今後の課題であるが，筆者らは，SEZAWA (1937) の指摘したように，この水平変位は地球という球の表面付近においては，標準状態において水平応力が垂直応力よりも大きくなることによるものではないか，と予想している。

もしも伊豆半島において上に述べたような変動が行われているとすると，応力集中部は海岸付近と山地の中央部ということになり，今後の地震はそのような場所に発生するであろう。

6. 結 論

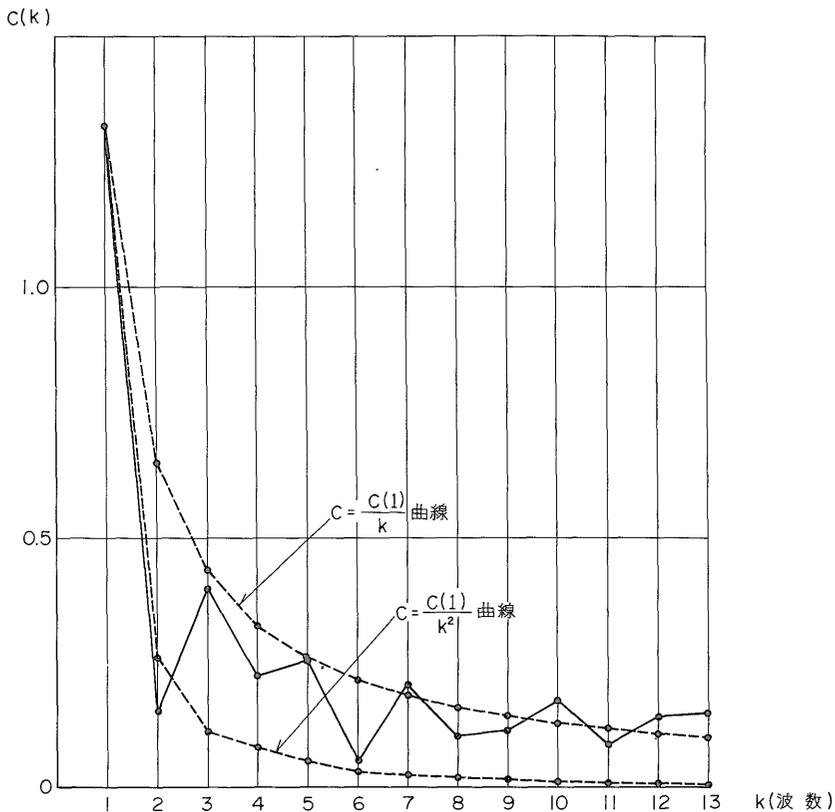
1. 伊豆半島は，一般に海岸線に平行する方向を軸に海側への傾動傾向を示している。とくに西海岸においては，海側に傾動する傾向が顕著である。

2. 等変動量線図の傾動方向（矢印の方向）や等変動量線から，連続した変動を示す単元の存在することが明らかになった。その大きさは，6-10 km である。

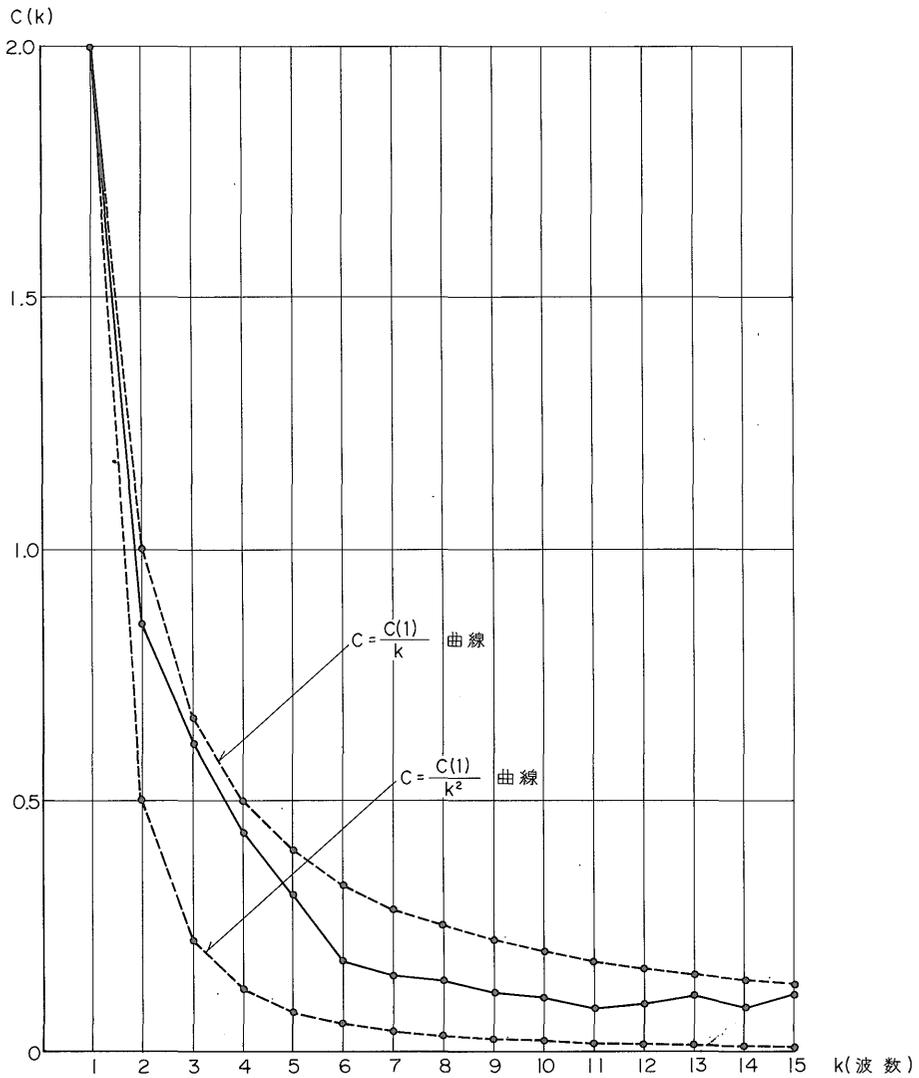
3. Tsuboi (1930) は，北伊豆地震 (1930) による伊豆半島北西部の変動を解析し，地塊の存在とその傾動方向を示したが，彼の地塊の境界とその傾動方向は，筆者らの解析結果とほぼ一致した。

4. 伊豆半島沖地震にさいして，石廊崎断層だけでなく，下賀茂付近などに不連続的な変位があらわれている。

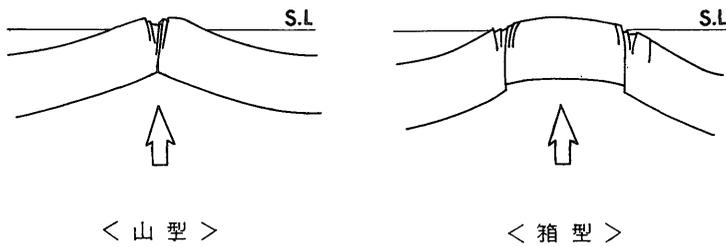
5. 伊豆半島の現在の変形様式から，今後の地震の活動は，変形勾配の大きな海岸付近と山地の中央部などに行われるであろう。



第15図 第2図 1-1' 断面図のスペクトル解析図
実線は実測値，破線は $1/k$ および $1/k^2$ に対する理想曲線である。



第16図 第2図 2-2' 断面図のスペクトル解析図



第17図 山型および箱型モデルにおける破壊状況

文 献

- 檀原 毅・広部正信（1964）日本における過去60年間の上下変動．II．関東地方南部．測地学会誌，vol. 10, p. 61-70.
- 藤井陽一郎（1969）伊豆半島における地殻変動．測地学会誌，vol. 14, p. 62-71.
- Miyabe, N. (1931) Blocks in the earth's crust and their movements, Part 1. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, vol. 9, p. 256-270.
- Sezawa, K. (1937) The Plastic state of the earth under gravitational forces. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, vol. 15, p. 878-887.
- 杉村 新（1973）日本付近におけるプレートの境界．世界の変動帯，p. 315-325. 岩波書店，東京.
- 鈴木尉元・小玉喜三郎・小北 悟・石川正晴・村田康男（1974）房総半島の水準点変動と地質構造との関連性．地調月報，vol. 25, p. 19-35.
- 鈴木尉元・小玉喜三郎・宮下美智夫・小北 悟・石川正晴・村田康男（1974）房総半島の最近の地殻変動と地殻内地震との関係．地調月報，vol. 25, p. 37-44.
- Tsuboi, C. (1931) On the results of repeated precise levellings around Idu peninsula. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, vol. 9, p. 271-290.
- (1933) Vertical crustal displacement in the seismic region of Itō, on the east coast of the Idu peninsula. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, vol. 11, p. 488-499.
- Yamaguchi, S. (1937) Deformation of the earth's crust in Idu peninsula in connection with the destructive Izu earthquake of Nov. 26, 1930. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, vol. 15, p. 899-934.