

光波側距による草薙断層と麻機断層の活動監視

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2008-01-25 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 新妻, 信明 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.14945/00000375

光波測距による草薙断層と麻機断層の活動監視

新妻 信明¹

Monitoring on the activity of the Kusanagi and Asabata faults with laser ranging

Nobuaki NIITSUMA¹

Abstract Automatic laser ranging has been started systematically to monitor the activity of the Kusanagi and Asabata faults along the laser paths from the Crustal Activity Observatory of Shizuoka University to Yatsuyama, Yambara, Torisaka and Shizuhata.

The Udo Hills is tilting northwestward along the Kusanagi Fault and Asabata Pond is subsiding along the Asabata Fault by large-scale gravity collapse. The basal part of the collapsed Udo Block is riding on the subducting Philippine Sea Plate along the Suruga Trough. Tilt model along the faults was established and compared with the topography and geology. The gravitational collapses occurred on the northeastern corner of the submarine fan and delta body from the Abe River. The Kusanagi and Asabata faults are member of the multiple collapse system, and the other members are estimated at the southeast margin of Udo Hills.

Systematic offsets have been detected by comparing air temperature calculated from laser ranging data with the surface air temperature at the Shizuoka Station of the Japan Meteorological Agency. The offsets relate to the changes in the distance of the laser paths, caused by the crustal movement. The amount of the changes is more than several cm in laser path distance. The maximum distance appeared in the middle of April 1998 just before the earthquakes to the east off Izu Peninsula, and the minimum distance appeared in the early January 2000 after the Taiwan Earthquake of September 1999 for Yatsuyama and Yambara laser paths. The distance of the Yatsuyama path increased from March 2000, then decreased in the end of September 2000, which might be related with the earthquakes and eruption of Miyake Island and earthquakes near the Niijima-Kozushima.

Key words: laser ranging, Kusanagi Fault, Asabata Fault, multiple collapse system, Udo Hills, Asabata Pond, earthquake

緒言

草薙断層と麻機断層は、約10万年前の海岸平野を大規模な円弧すべりによって傾動させて有度丘陵および麻機沼を形成し、その下底は駿河トラフに沈み込むフィリピン海プレートに載り上げる活断層と考えられている(新妻, 1998). 草薙断層においては、1841年・1935年・1993年に地震が発生している(新妻, 1995b). 有度丘陵の南西部に位置する静岡大学地殻活動観測所では、1980年以來、光波測距儀・地震計・傾斜計を用いて地殻活動を観測している(檀原, 1981). 1992年には定常的光波測距のための反射プリズムを谷津山に、1993年には山原に設置し、

1995年から定常観測が開始された。

光波測距儀による定常観測により、光波測距には光路の気温が大きな影響を与えることが明らかにされた。この原理を逆用することによって光波測距儀を光路気温の精密測定機として使用する方法が開発され、静岡地方気象台における地表気温と光路気温を比較することによって、地殻変動による光路長の変動を検出することができるようになった。フィリピン海プレートの東西両縁で起こる地震との関係を解析した結果、検出された地殻変動はフィリピン海プレートの動きや応力状態と密接に対応していることが明らかにされている(新妻, 1998; 2000).

今回、光波測距の自動測定について改良を加え欠測を

¹静岡大学理学部地球科学教室, 422-8529 静岡市大谷836

¹Institute of Geosciences, Shizuoka University, 836 Oya, Shizuoka, 422-8529 Japan

E-mail: senniit@ipc.shizuoka.ac.jp

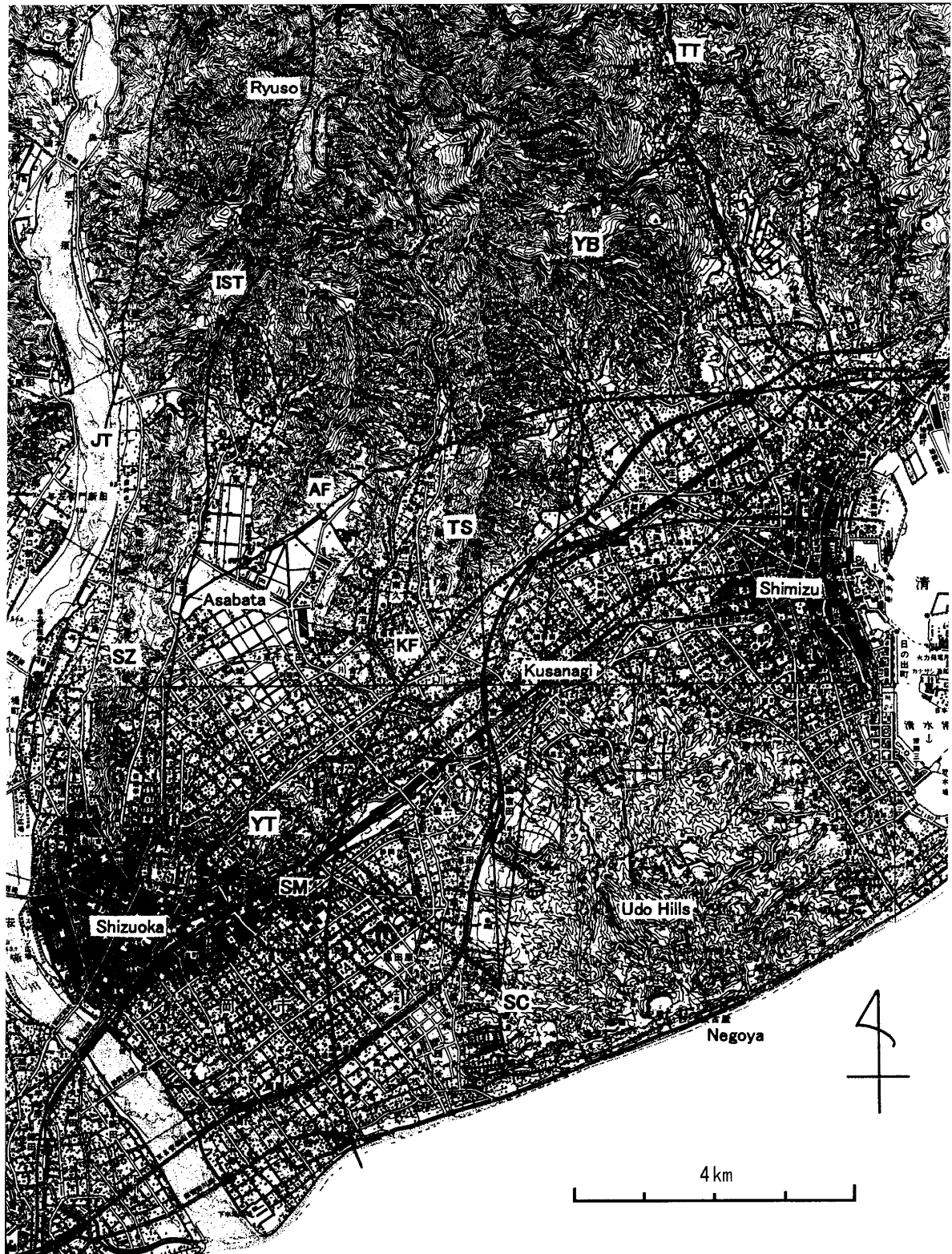


図1 静岡の地形区分と草薙・麻機活断層および光波測距光路図。

Laser paths for monitoring on activities of the Kusanagi and Asabata faults.

曲線curves：断層fault；IST：糸魚川-静岡構造線Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line, JT：十枚山構造線 Jumaiyama Tectonic Line, TT：田代峠衝上断層 Tashirotoke Thrust, KF：草薙断層Kusanagi Fault, AF：麻機断層Asabata Fault.

直線straight lines：光波測距光路laser path；SC：静岡大学地殻活動観測所 Crustal Activity Observatory of Shizuoka University, YI：谷津山 Yatsuyama, YB：山原Yambara, TS：鳥坂Torisaka, SZ：賤機Shizuhata, YW：八幡山, SM：静岡地方気象台Shizuoka Station of the Japan Meteorological Agency.

表 1 静岡大学地殻活動観測所から草薙断層と麻機断層を常時監視観測を行っている光路。 List of laser paths for monitoring on the activities of the Kusanagi and Asabata faults.

光路名 laser path	反射プリズム設置位置 position of reflecting prisms				基準距離 base distance
	北緯 latitude (N)	東経 longitude (E)	標高 height	名称 location	
谷津山 Yatsuyama	34° 58' 49.27"	138° 24' 18.85"	108m	東海大学鉄塔 Tower of Tokai Univ.	3708.568m
山原 Yambara	35° 03' 21.30"	138° 27' 12.93"	448m	NTT 無線中継所 NTT Antenna	10552.989m
鳥坂 Torisaka	35° 01' 10.00"	138° 26' 09.00"	220m	NTT 反射板 NTT Reflecting Plate	6464.669m
賤機 Shizuhata	35° 00' 04.00"	138° 22' 47.00"	150m	松田氏農園 Orchard of Mr. MATSUDA	6934.180m
測定位置 measuring position	34° 57' 39.19"	138° 26' 18.25"	108m	静岡大学地殻活動観測所 Crustal Activity Observatory Shizuoka University	

防止するとともに、光路を2本増設することによって2本の活断層の変位をそれぞれ2方向について定常的に監視する体制が確立された。また、草薙・麻機の2本の活断層による有度丘陵の隆起傾動と麻機沼の沈降について傾動運動を検討したので報告する。

観測法の改善

光波測距は、静岡大学地殻活動観測所の整準台(檀原, 1981)に設置した六桜精密社製のAuto-Ranger JXを用い、1996年1月からMS-DOSプログラムによって自動測定を行った。1998年3月には、測距儀に垂直微動装置を取り付け、計算機制御によって最大受光位置を走査し、自動測距を実現した(新妻, 1998)。1998年11月から2台の測距儀を1台の計算機で交互に自動測定できるように改良し、谷津山と山原の交互観測が開始された(新妻, 2000)。

2000年3月にBorland社C++ TCW5言語によるWindows 95/98用に開発したプログラムLR1の実動試験を開始した。従来使用していたMS-DOSによる測定制御においては、測距儀からRS232Cによって測距値を受領する際に、1日に1回程度計算機が作動凍結を起こすために、毎朝夕に計算機を再起動しなければ完全な観測記録を得ることができなかった。今回、開発したLR1においては、RS232C通信に起因する作動凍結は起こらず、1週間の連続測定も可能になった。

LR1は、2台の光波測距儀を自動制御し、測定結果を取り込み、制御状態と測定結果を画面に表示し、解析結果を計算機内蔵のハードディスクと外付けのフロッピーディスクに保存する。測定は測距儀からの測定値を10回受領し、その平均値と標準誤差を算出して1測定とし、2台の測距儀について1台の計算機で交互測定するが、それぞれの光路について約10分毎の測定結果を得ることができる。

光波測距儀が使用するレーザー光は、光路の気温構造により屈折し、受光位置が変化するため、測距開始前に測距儀の垂直微動を計算機制御のステップモータを用い

て走査し、受光強度の最大位置において測距を行っている(新妻, 1998)。これまで使用してきたステップモータ(多摩川精機TS3118N54; 12V0.16A)では、力不足のため計算機がモータ駆動信号を発したにもかかわらず駆動しないことが起こることと、気温の季節変化に伴って固定具が伸縮し、固定位置を調整しなければならなかった。2001年1月に大きなモータ(Oriental Motorの24V0.2A; 1.80Deg/step; VEXTA stepping motor; PX244-04A)に交換し、安定な自動制御が可能になり、長期間の光路屈折記録を取ることが可能になった。

LR1においては、制御する2台の測距儀を赤・黒の2色で表示分けし、測距前の最大受光位置走査状態を垂直微動位置・受光強度曲線として表示するとともに、測距結果から算出された光路気温の平均値・標準偏差と最大受光位置の測定時刻による変動をグラフとして表示し、測定状況と測定結果を一目で確認できるようにした。また、計算機に接続する測距儀の受光特性、設置位置、測定光路、光路の基準距離を個別に設定することができる。これらの制御には東芝のサブノート計算機Libretto70を使用している。測定結果は、コマ区切りとするテキストファイル形式のCSVファイルとして保存されるが、約1週間分にあたる3000測定について保存できる。

CSVファイルとして保存された測定結果は、静岡地方気象台から入手した気圧・気温・蒸気圧とともに表計算ソフトウェアExcelによって解析し、解析結果をCSVファイルに保存する。解析結果ファイルは、Windows 95/98用に開発された汎用作図プログラムGraph1によって作図を行うことができる。

測距光路の充実

レーザー光の反射には、1992年に谷津山の東海大学の鉄塔に設置した反射プリズム(新妻・小田川, 1993)と1993年に清水市山原のNTTの無線中継所鉄塔に設置した反射プリズム(新妻ほか, 1996)を使用してきた(図1)。

山原光路は10 km以上と最も長く、夏季には霞がか

かり、測定できない状態が続くので、2000年6月にNTT無線中継所鉄塔に設置した3素子の反射プリズムを6素子の反射プリズムに交換した(図2 a)。この交換

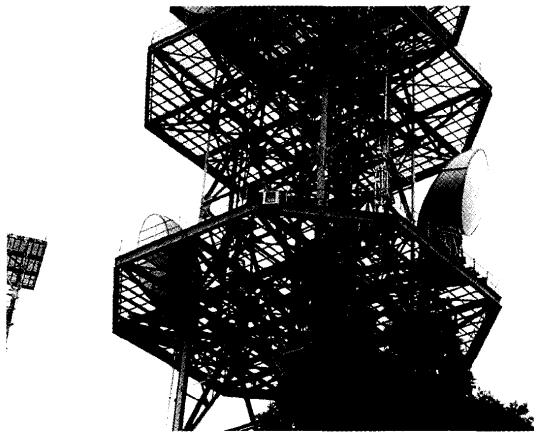
によって、これまでのレーザーの最大受光強度が3.1-3.4Vであったのが、4-4.7Vに増大した。

これまで山原光路に使用していた3素子の反射プリズムを、2000年6月、NTTの鳥坂マイクロ波反射板に設置し、鳥坂光路を確保し、測定を開始した(図2 b)。

2000年7月には、谷津山の東海大鉄塔の反射プリズム点検を行い、配電箱のガラス窓とプリズムを清掃した(図2 c)。

2000年12月には、2万5千分の1図幅「清水」の南西端にある192.0m三角点の南東約90mの松田八郎氏農園鉄索固定台に3素子反射プリズムを納めた配電箱を設置し、賤機光路を確保し、測定を開始した(図2 d)。2001年1月、配電箱のガラス窓が水蒸気で曇るために、配電箱に乾燥剤シリカゲルを入れ密封した。他光路の配電箱は、湿気がこもらないように、底部に穴を開け、虫よけの網を張って開放型としてきたが、賤機については地面に近いために開放型では水蒸気によって曇ったものと考えられる。

今回の鳥坂と賤機への反射プリズム設置によって、麻機断層・草薙断層について南北方向と北西-南東方向の測線を確保でき、両断層の動きを監視する体制が整えることができた(図1, 表1)。



a



b



d



c

図2 静岡大学地殻活動観測所から定常観測を行っている光波測距用反射プリズム。Box containing the reflectal prisms for laser ranging.

- a. 山原NTT無線中継所鉄塔に取り付けられた反射プリズム。NTT Yambara Antenna.
- b. 鳥坂NTT超短波反射板上部への反射プリズム取り付け作業。NTT Torisaka Micro Wave Reflecting Plate.
- c. 谷津山東海大学鉄塔に取り付けられた反射プリズム。Yatsuyama Tower of Tokai University.
- d. 賤機山の松田八郎氏農園に設置した反射プリズム。Shizuhata Orchard of Mr. Hachiro MATSUDA.

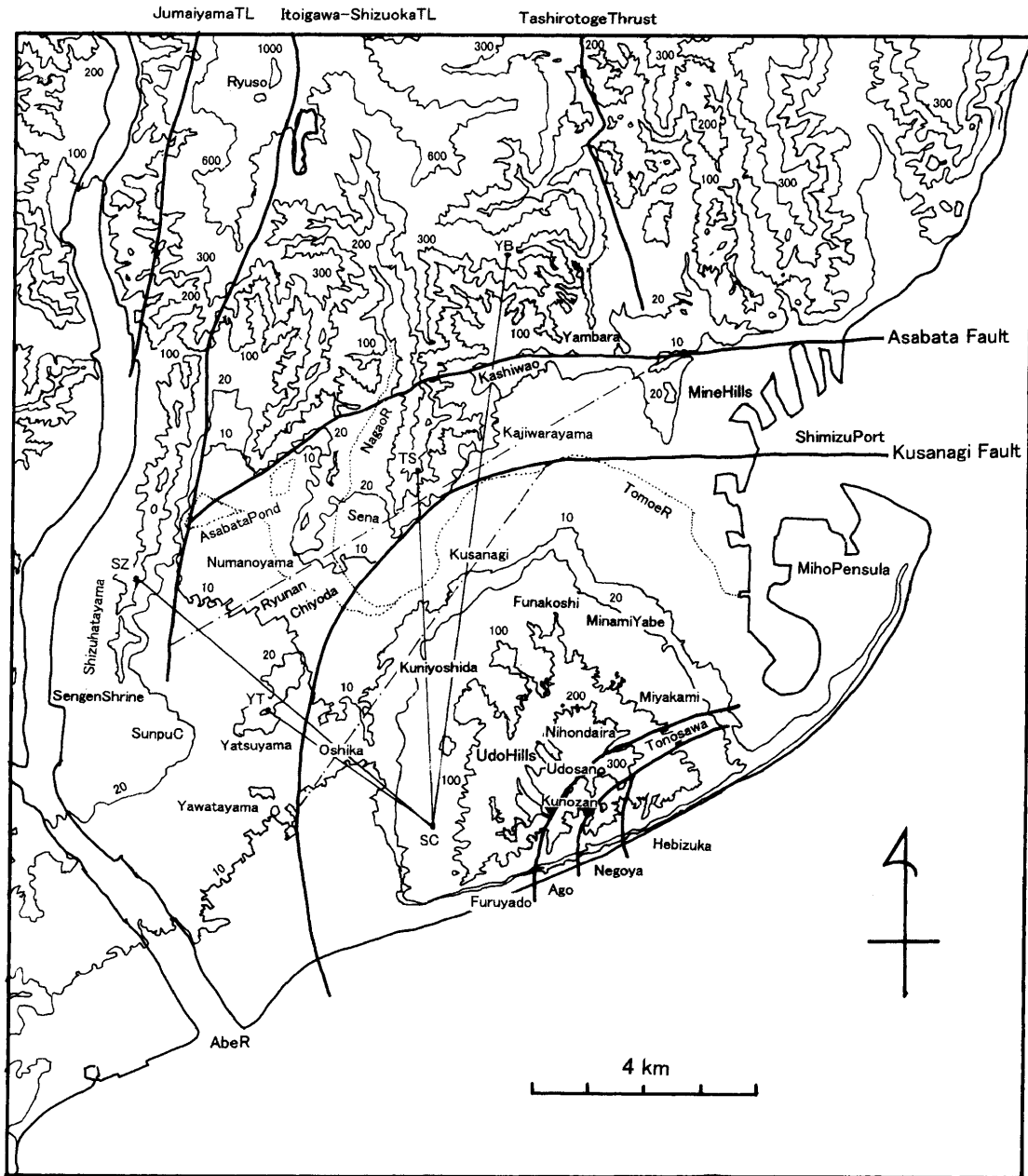


図3 多重円弧すべり断層と静岡地域の地形と地質構造線. Multiple collapse system, topographic contours and geologic faults in Shizuoka area
 10m・20m・100m・200m・300m・600m・1000m等高線 (国土地理院2万5千分の1および5万分の1地形図にもとづく).
 1点鎖線は傾動軸. One dot broken lines represent plange axes for the tilt models along the Asabata and Kusanagi faults.

静岡・清水市街の地形と地質

静岡市街の地形は、安倍川沿いに南に向かって低くなるが、駿府城付近は標高24mと標高20m等高線が東に張り出し、10m等高線は駿府城を中心とする約2.5kmの同心円状となっている(図3)。この円錐状の平地の中には谷津山と八幡山が在り、それらの南東側に有度丘陵が北西に傾動して存在する(図4)。有度丘陵の北西部は日本平を中心とする半径約4.5kmに沿って標高10mの等高線が位置している。駿府城と日本平を中心とする10mの等高線は小鹿でかろうじて接している。小鹿の低地は、東方で巴川流域となり草薙を通り、清水港

に到っている。有度丘陵を取り囲む円弧状の低地と谷津山・八幡山の境界には草薙断層の存在が推定されている(新妻・中野, 1991)。八幡山-谷津山と続く丘陵地はその北東方で巴川に切れ、沼の山、更に長尾川に切れ、梶原山に連続する。

静岡市街の北西には南北に伸びる賤機山があるが、駿府城の北西で平野に没し、賤機山の西側を流下する旧安倍川の土砂が駿府城を要とした扇状地を形成している。土砂の及ばない麻機沼は標高6-7mと極めて低く、安倍川と麻機の標高の差は山頂から明瞭に分かり、静岡市は、中部電力設立前にこの落差を利用して発電しようと計画したとのことであった(図5)。巴川が注ぐ清水



図4 傾動する有度丘陵を取り囲む谷津山・八幡山. Tilting Udo Hills surrounded by Yatsuyama and Yawatayama separated by the Kusanagi Fault from the Shizuhata orchard of Mr. Hachiro MATSUDA.
有度丘陵と谷津山・八幡山の間には草薙断層が通り、手前の低湿地は麻機断層に沿う沈降域。松田氏農園から撮影。



図5 安倍川と麻機沼を分ける糸魚川-静岡線に沿う賤機山. Abe River and Asabata Pond separated by the Asabatayama along the Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line.
安倍川河床(左)と麻機沼(右)の高度差が明瞭である。The height of the Asabata Pond is significantly lower than the Abe River.

港の南にある三保半島の標高が10 m以上におよぶことから、巴川の源流である麻機沼の異常な低さが分かり、度重なる洪水の歴史もうなづける。

この地域の地質は、安倍川に沿って十枚山構造線が通り、安倍川の東縁の新第三紀火山岩からなる賤機山と西岸の古第三紀付加体との境界となっている。賤機山の東縁には糸魚川-静岡構造線があり、麻機沼の北で平野に没して地表に露出しないが、駿府城を通り、安倍川河口に達するものと推定される。糸魚川-静岡構造線の東側は後期中新世堆積岩類の静岡層群からなり、清水北方の北北西方向に伸びる田代峠衝上断層を境界とし、東側は後期中新世・鮮新世の堆積岩類の浜石岳層群からなる。静岡平野の谷津山・八幡山は静岡層群からなり、有度丘陵は総計350 m以上の厚さをもつ安倍川河口域の三角州・海底扇状地堆積物である中期更新世から最終間氷期の根古屋層・久能山礫層・草薙泥層・小鹿礫層とそれをおおう国吉田礫層からなる。清水北方の嶺丘陵(図6)は根古屋層に対比される嶺層からなる(杉山・下川, 1990)。

有度丘陵の西縁は北西に傾斜する更新統が平野に埋没しており、南縁は海岸侵食を受けて海崖となっている。東縁は、久能山礫層に発達する大規模な斜交層理の方向と平行し、久能山礫層の岩相が東縁で変化して村松礫・

シルト部層と区別されていることから、侵食されにくい久能山礫層分布によって規定されていると考えられている。久能山礫層の載る根古屋層は、南矢部・船越の標高50 mにも露出しており、船越では久能山礫層を欠いて草薙泥層が根古屋層を被っている(近藤, 1985)。

有度丘陵の傾動は草薙断層沿いの円弧すべりによるものと考えられるが(新妻・小田川, 1993)、この円弧すべりは、竜爪を南端とする中部山岳地域の急激な上昇(檀原, 1971)によって安倍川河口域に350 m以上まで積み上がった三角州・扇状地北東端に発生した重力崩壊現象と見ることができる(図7, 8)。

草薙断層による有度丘陵傾動

有度丘陵の地形を見ると、地殻活動観測所は草薙から南に追跡できる100 m域の南西端に当たる。この100 m域には平坦面があり、国吉田南東方で最も典型的に発達し、西北西傾斜で標高50 mから150 mまでの等高線が傾斜方向に900 mにわたっている。走向はN35°Eで傾斜は6.3°と算出される。この傾斜でこの面を有度山まで延長すると標高428 mに達する。この面は、草薙泥層上位の侵食されにくい小鹿礫層によって形成されている



図6 有度丘陵の北東に位置する清水港周辺の嶺丘陵, 巴川, 三保半島, Mine Hills, Tomoe River and Miho Peninsula in the Shimizu Port area located on the northeast of the Udo Hills.

平野部を直線的に通過しているのが東名高速道, 嶺丘陵部に清水インターチェンジがある。嶺丘陵の南北には草薙断層と麻機断層が通る。山原NTT無線中継所鉄塔から撮影。

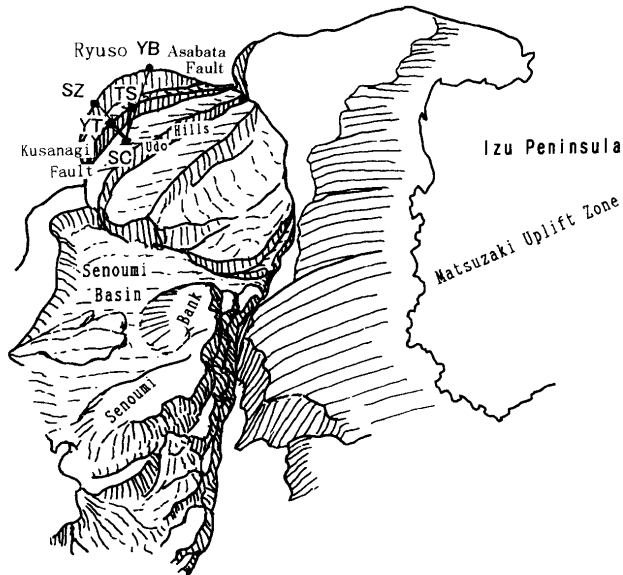


図7 測距光路と草薙断層・麻機断層による円弧すべり地形。Laser paths for ranging and submarine topography in the Suruga Trough with the Kusanagi and Asabata faults showing gravitational collapse.

SC: 静岡大学地殻活動観測所Crustal Activity Observatory of Shizuoka University, YT: 谷津山 Yatsuyama, YB: 山原Yambara, TS: 鳥坂Torisaka, SH: 賤機Shizuhata.

草薙・麻機断層周辺における沖積層の埋積は崩壊地形を明示するために除いてある。

Alluvium filling around Kusanagi and Asabata faults is removed to clarify the topography of collapse.

が、有度丘陵上部では侵食され、その下位の久能山礫層が平坦面を形成している。久能山礫層の面は、小鹿礫層の平坦面よりも約100m下位に存在し、日本平では北北西に傾斜し、220mから270mまでの等高線が傾斜方向に525mにわたって平坦面を形成しており、走向はN55°E、傾斜は5.4°と算出される。この傾斜で有度丘陵で最も高い標高307.2mの有度山の位置まで延長す

ると標高320mとなり、10m以上上位となる。

久能山礫層下位には、根古屋層が標高100mまで露出しており、根古屋層の上面は小鹿礫層の面より下位約350mに存在することになる。

有度丘陵の平坦面は、安倍川河口域にほぼ水平に形成された三角州・海底扇状地の上面と考えられることから(近藤, 1985), 有度丘陵が北西に傾動していることは明らかであるが、定量的に解析するために、国吉田南東の小鹿礫層上面の傾斜をもって有度丘陵の傾動を代表させることとする。草薙泥層が堆積した最終間氷期の海水準は酸素同位体比測定結果(たとえば, 新妻, 1995a)から現在と同程度の海水準と考えられていることから、小鹿礫層の面が現在と同じ海水準で形成されたすると、小鹿礫層の面が標高0mになる位置は、面形成から現在まで沈降も隆起もしていない傾動軸になり、この軸よりも南東側で有度丘陵は隆起し、北西側では沈降していることになる。この軸より北西方の沈降域は、巴川・長尾川の合流地域となっている。

東名高速道の清水インターチェンジ付近の嶺丘陵に露出する嶺層は根古屋層に対比されており、清水工業高校の東側の丘陵では北方に10-11°傾斜する礫と泥の互層が1978年の工事で露出したことが報告されている(杉山・下川, 1990)。根古屋層は、船越において草薙泥層に被われるが、その層準を小鹿礫層の面の傾斜で嶺丘陵まで延長すると、標高-20mとなり、露出している嶺層は50m上位に存在することになる。

嶺層が北に傾斜していることは、断層によって南東側の有度丘陵が沈降したとする考えが最も単純である。予想される断層の位置は、嶺丘陵と有度丘陵との間にある標高10m以下の巴川に沿う低地となる。この位置は有度丘陵の傾動を説明するために提唱された草薙断層の位置(新妻・小田川, 1993)に当たるが、その位置を嶺丘陵の南縁よりも南側に限定することができる。

麻機断層による傾動

嶺丘陵の北側は山地になるが、嶺層が北側に傾斜していることは、この丘陵と山地の間に草薙断層と同じ性格の断層の存在が予測できる。この断層は、麻機沼の沈降を説明するために、草薙断層の外側を同心円状に囲む断層として提唱された麻機断層(新妻, 1998)に当たる(図4)。麻機断層は、円弧すべりによって麻機沼が沈降し、谷津山・八幡山が隆起して北西に傾動していると考えられる。

標高20mの等高線は、嶺丘陵で孤立しているが、その北側では山地と平野の境界線とほぼ一致している。嶺丘陵北西の山原から20m等高線は柏尾まで東西方向であるが、柏尾から麻機沼の間では南に突き出している(図3, 9)。この突出部の中央を長尾川が流れ、東側が梶原山、西側が沼の山となっている。突出部の南南西延長部に谷津山・八幡山が並ぶ。この突出部の付け根に当たる梶原山の北東部の柏尾と沼の山の北西部では、20m等高線がそれぞれ西側・東側に湾入していることは、この突出部の北縁が沈降していることを示している。この沈降部の北縁を麻機断層が通過し、麻機断層に沿って円弧すべりを起こしており、梶原山・沼の山・谷津山・八幡山が北西に傾動したものと考えることができる。麻機断層が通過することが予想される長尾川と田ヶ谷との合流地点より南では瀬名の平野が広がることも麻機断層の南側が沈降していることを示唆している。梶原山と沼

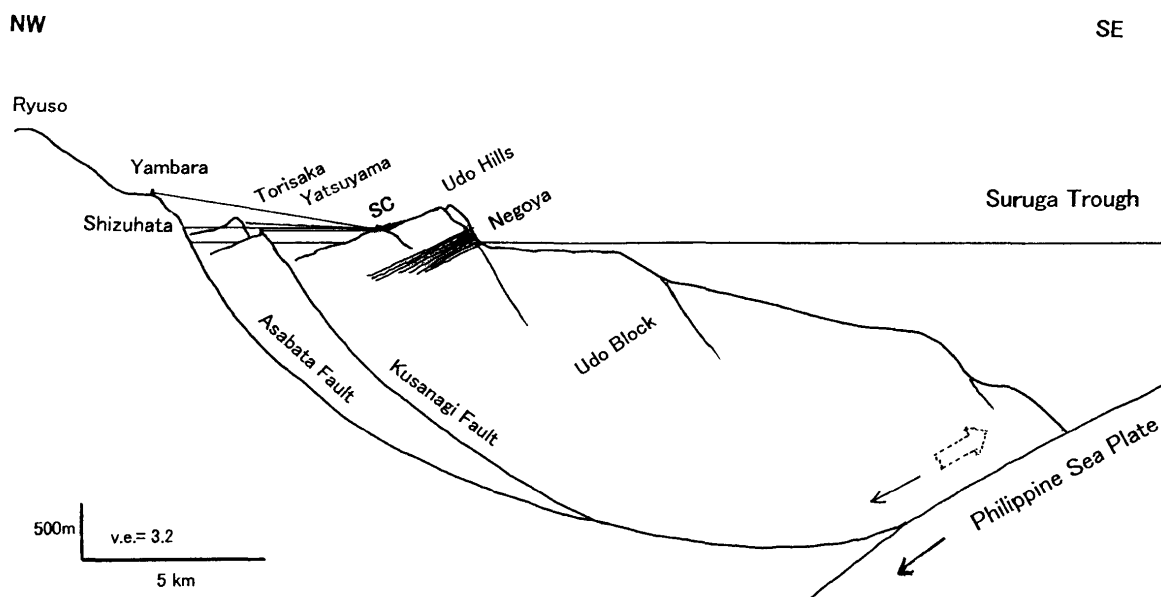


図8 有度地塊の傾動と草薙・麻機断層およびフィリピン海プレートの沈み込み。

Cross-section for tectonic setting of tilting Udo Block showing to collapse along Kusanagi and Asabata faults, and subduction of the Philippine Sea Plate.

直線straight lines: 測距光路Laser paths for ranging; SC: 静岡大学地殻活動観測所Crustal Activity Observatory of Shizuoka University.

矢印arrow: フィリピン海プレート沈み込みにともなう運動 movement caused by the subduction of the Philippine Sea Plate, corresponding to decrease the tilt angle of the Udo Block, 白矢印block arrow: 草薙断層・麻機断層に沿う円弧すべりに伴う運動movement caused by the collapse along Kusanagi or Asabata Fault corresponding to increase the tilt angle of the Udo Block.

の山が北側の山地と接続する箇所の尾根が低くなり向きを変えている(図3)。これらの地点を東側に追跡すると嶺丘陵の北側で10mの等高線が西側に入り込み窪地になっている位置をこの断層の通る候補として上げることができる。

麻機断層の傾動を定量的に扱うために、沈降域と隆起域の境界となる傾動軸を認定する必要がある。麻機沼では沖積層が静岡・清水地域では最も厚く、90m以上に達しており(静岡県, 1983)、奈良時代の条理跡も数m沈降している(矢田, 1995)ことから、傾動軸は麻機沼よりも南に存在しなければならない。賤機山の山稜が浅間神社で平野に埋没するのに対して、賤機山よりも侵食されやすい静岡層群からなる谷津山・八幡山が平野に没せずより南まで平行するように伸びていることは、谷津山・八幡山が隆起していることを示唆しており、傾動軸は谷津山よりも北側に位置すると考えられる。

麻機沼南方の10m等高線は、賤機山の東では扇型であるが、谷津山北方の竜南と千代田で東北東方向となり、東北東方向を軸とし、南側が隆起していると考えられる。麻機断層についての傾動軸を竜南付近とすると、傾動角は竜南と麻機沼間の距離約1.5kmと麻機沼の沈降量90mから傾動角は 3.4° と算出される。この傾動モデルによると谷津山は90m程度隆起し、八幡山は180m程度隆起したことになり、傾動前の谷津山は標高10mとなり、賤機山同様に平野に埋没してしまう高度であったことになる。



図9 麻機断層によって梶原山と山地の接続部の稜線が急変と傾動する有度丘陵の平野への埋没。Kajiwarayama connecting to mountains of right side with bending ridge line, where is estimated for the Asabata Fault to cross.

この接続部の手前の柏尾には麻機断層に沿う沈降によって直線的な沢が発達する。梶原山と有度丘陵間の平野は、梶原山の麓を通る草薙断層に沿う沈降部を埋積している。梶原山の奥に見えるのが谷津山、接続部の奥に見えるのが沼の山。山原NTT無線中継所鉄塔から撮影。

多重円弧すべり断層の形成

草薙断層と麻機断層という円弧すべりを伴う同心円状の断層の形成は、地すべり地域に見られる典型的な重力崩壊の様式であるが、2重の円弧すべりが生じるのは、1つの円弧すべりによって傾動地塊内の不安定が増大し、

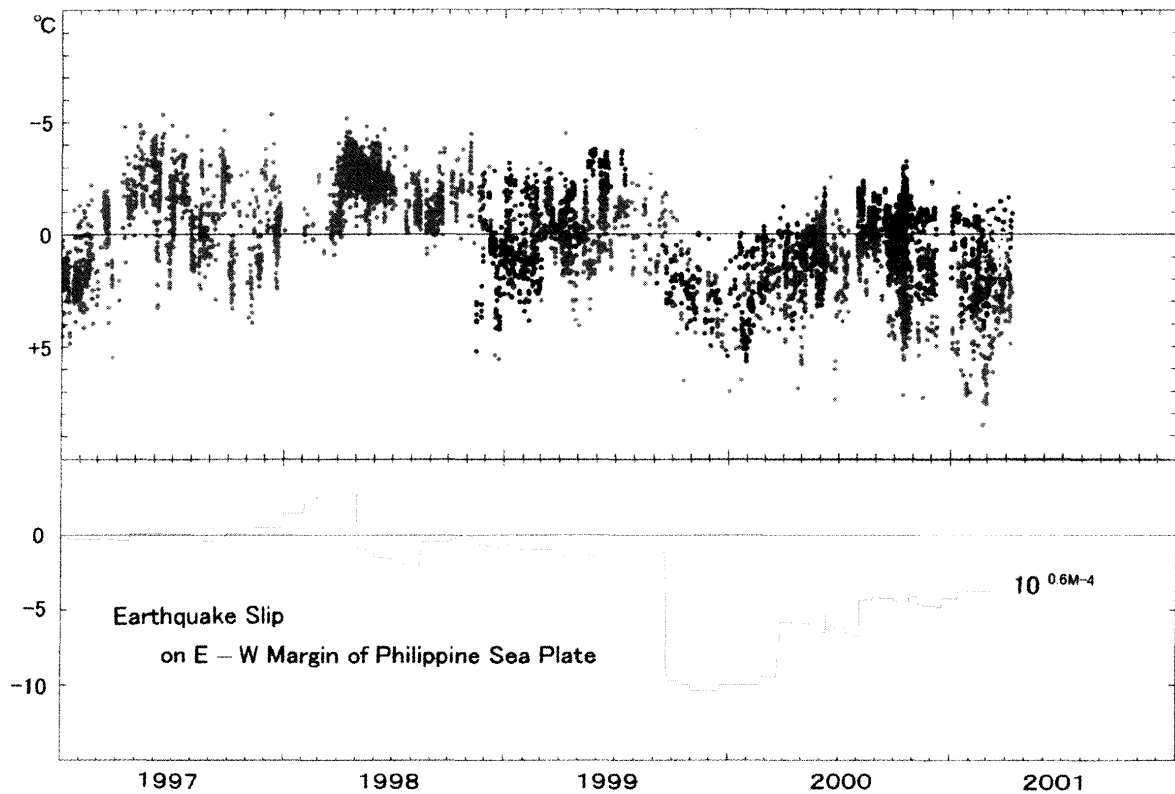


図10 光路気温と気象台気温との差の変動とフィリピン海プレート東西両縁の地震

Differences between laser path temperature and surface temperature, and the balance of the Philippine sea Plate.

上図Upper graph: 夜間21-24時において10回測定における光路気温の標準誤差が谷津山光路(赤)については 0.15°C ・山原光路(青)については 0.075°C ・鳥坂光路(緑)および賤機光路(黄)については 0.10°C 以下の測定値について気象台気温との気温差を縦軸に表示してある。グラフ上方ほど光路気温が地表気温に比較して低く、光路距離が拡大し、下方ほど光路距離が短縮する。気温差 1°C の変化は谷津山光路距離4mm・山原光路距離10mm・鳥坂光路距離7mm・賤機光路距離6mmの変化に対応する。

Air temperature differences of laser paths on Yatsuyama (red), Yambara (blue), Torisaka (green) and Shizuohata (yellow) from surface of the Shizuoka Station of the Japan Meteorological Agency at 21:00 to 24:00 with less standard error in 10 times repeated measurement than 0.15°C for Yatsuyama, 0.075°C for Yambara, and 0.10°C for Torisaka and Shizuohata laser paths. Upper direction of these graphs corresponds to a lower temperature of laser path than surface temperature and a longer laser path. The difference of 1°C corresponds to 4 mm of length for Yatsuyama, 10 mm for Yambara, 7 mm for Torisaka, and 6mm for Shizuohata laser paths.

下図Lower graph: 気象庁の「地震・火山月報(防災編)」に記載されている「日本及びその周辺で発生した主な地震と津波予報を行った地震」と「世界の主な地震」の中でフィリピン海プレート東縁における太平洋プレート沈み込みに関する地震とフィリピン海プレート西縁における地震のマグニチュードから変位量($10^{0.6M-4}$; 松田, 1975)を求め、東縁における累積量から西縁の累積量を減じたもの。

Balance of the Philippine Sea Plate based on significant earthquakes listed in "Monthly Report on Earthquakes and Volcanoes in Japan" of Japan Meteorological Agency. Curve represents balance in the accumulation of dislocation, $10^{0.6M-4}$ (Matsuda, 1975), for the earthquake with Magnitude M along the eastern and western margins of the Philippine Sea Plate.

横軸Horizontal axis: 大目盛は年初で小目盛は月初。

Big and small marks represent beginning of year and month.

新たな円弧すべりが起こるからである。草薙・麻機断層も同様に形成されたとすると、麻機断層の形成後に草薙断層が形成されたと考えられる。麻機断層についての傾動角を用いて草薙断層形成前の有度丘陵の状態を推定すると、両断層形成前に小鹿礫層の上面が現在の海水準であったとすると、小鹿礫層の面が麻機断層によって 3.4° 傾動すると、有度山は麻機断層についての傾動軸から6 km 離れていることから、小鹿礫層の面は標高356 mとなるが、有度山は小鹿礫層の面よりも120 m下位であるので標高236 mと現在の標高よりも70 m低いことになる。麻機沼は現在も沈降を続けているので、草薙

断層形成時の傾動角は現在よりも小さく、有度山の高度は更に低い状態で形成されたことになる。

有度丘陵の高度が現在よりも低い状態で不安定となり、草薙断層が形成されたとすると、草薙断層に伴う傾動によって有度丘陵南東縁は不安定になり、新たな断層の形成が予測される。有度丘陵南東縁の久能海岸沿いに露出する根古屋層の層理面の傾斜方向が古宿と安居の間で西北西から北東ないし東北東に変わることから、この間に円弧すべりを伴う断層の存在が予測できる。地形からするとこの断層は日本平と有度山の間を通過し、宮加三に抜ける。同様な検討を更に南側について行くと、久能山

と有度山の間を通り殿沢に抜ける断層、根古屋と蛇塚の間などが候補として上げることができる(図3)。この地域は、1935年の大谷地震の際に崩壊が起こったという報告も残されていることから(長島, 1999)、海崖の局地的な崩壊とも考えられるが、同心円状の円弧すべり断層の存在も検討する必要がある。

光路長変化と地震活動

光路長を基準距離(表1)として光路気温を算出すると、光路長が伸長すると算出される光路気温は低下し、短縮すると上昇するという系統的な変化をしますので、算出された光路気温と静岡地方気象台気温との差を解析した。光路気温の算出に用いた式は、

$$T_c = \frac{106.339 \times P - 15.026 \times E}{310.0 + \frac{D_s - D}{D_s} \times 10^6} - 273.15$$

であり、 T_c が算出気温(°C)、 P が気圧(mmHg)、 E が蒸気圧(mmHg)、 D_s が測定距離(m)、 D が基準距離(m)である。気温が安定する21時から24時の間の測距値を対象とし、10回の測距値から算出される光路気温の標準誤差が谷津山光路については0.15°C以下(光路長0.56mm以下)、山原光路については0.075°C以下(光路長0.79mm以下)、鳥坂光路については0.10°C以下(光路長0.65mm以下)、賤機光路については0.10°C以下(光路長0.69mm以下)の算出光路気温と気象台気温との差を求めた(図10)。

谷津山光路については、1997年1月から伸長し6月に最大となり、8月に短縮、9月に伸長、11月に短縮、12月に伸長と30mm(気温差8°C)におよぶ変動が観測された。この変動において、伸長時に伊東沖の群発地震が起こり良く対応している。この期間の測定点の大きなばらつきは、測距儀を固定して測定していたことによる。

垂直微動による最大受光位置走査が開始され、1998年3月から4月にかけて20mmの伸長があり4月中旬に最長に達した後に伊豆半島東方沖群発地震の活動が4月21日に開始している。それ以後1998年12月まで短縮し、伊東沖地震は静穏化した。1997年から1998年の気温差と伊東沖群発地震との対応は良く、伸長の後に群発地震が起こっている。1998年6月に短縮してから2001年3月の現在まで、伊東沖群発地震が起こった気温差に達していないことと群発地震が起こっていないことと良く対応している。

1999年10月から短縮し、2000年2月に最短となった。その後、伸長に転じて2000年5月にほぼ基準長になったが、2000年9月下旬に突然短縮し、2001年3月中旬まで次第に短縮し、2000年1月の距離よりも短くなった。2001年3月下旬には伸長傾向に変わったようである。

この間の地震活動としては、1999年9月21日の台湾中部地震M7.7が目され、短縮と台湾中部地震ともなうフィリピン海プレートの動きとの関連が指摘されている(新妻, 2000)。フィリピン海プレートの沈み込み・衝突による地震が発生すると谷津山光路は短縮し、フィリピン海プレートへの太平洋プレートの沈み込みによる地震が発生すると伸長する。2000年2月26日マリアナ諸島M6.2、3月28日父島近海M7.6が伸長に関与していると考えられる。5月から6月にかけての短縮は

5月17日台湾M5.4、6月6日奄美大島近海M6.1と対応する。2000年9月下旬の急激な短縮には6月27日から開始した三宅島および新島・神津島近海の最大M6.4の群発地震との関係が予想される。この急激な短縮の後の10月6日鳥取県西部M7.3が発生した。短縮状態は2001年3月まで続いたが、3月下旬に伸長に転じたところで、2001年4月3日に静岡県中部M5.1が起こっている。

1998年11月から山原光路の観測が開始され、谷津山光路との比較が可能となった。2000年6月までは、谷津山光路と同じ傾向で変動していたが、2000年9月に谷津山光路が急に短縮したにもかかわらず山原光路の変動は認められなかった。2000年6月から鳥坂光路の観測が開始されたが、鳥坂光路は谷津山光路と山原光路との中間的な変動をしている。3つの光路距離変動様式については、2000年9月下旬に変化したことは明かである。

新島・神津島域は、銭州海嶺の北東延長部に当たり、逆L字型に曲がる駿河トラフ・南海トラフに沿って沈み込むフィリピン海プレート内の破断域に相当し(Niitsuma, 1999)、2000年6月からの三宅島の噴火と新島・神津島近海の地震はこの破断の拡大に対応させることが可能である。沈み込み境界背面の破断は、沈み込まれる有度丘陵にも多大な影響を与えることが予想されるが、今回観測された変動様式の変化はその影響と考えられる。

まとめ

1. 鳥坂のNTT超短波反射板と賤機山の松田八郎氏農園鉄索台にレーザー測距用反射プリズムを設置し、定常測定を開始し、草薙・麻機の両断層の監視体制が整った。
2. Windows 95/98で駆動する自動測定プログラムを作成し、自動測定時の計算機凍結を回避することに成功した。
3. レーザー光路の気温構造変化に伴う光路の屈折を補正して、レーザー受光量を最大にする垂直微動に使用していたモータの出力を増強し、光路屈折記録を長期間取ることに成功した。
4. 草薙断層と麻機断層に関する地質と地形の検討により、両断層は竜爪を南端とする中部山岳地域の急激な上昇によって、安倍川河口域に形成された厚い三角州・海底扇状地北東端に発生した重力崩壊による多重円弧すべりによる断層であり、有度丘陵を同心円的に囲む形に存在しており、有度山の隆起と麻機断層沿いの沈降が大きいことが明らかになった。
5. 1997年1月から2001年3月までの光路長変動において、伊東沖の群発地震は谷津山光路の伸長と良く対応している。
6. 1999年10月からの谷津山光路短縮は、フィリピン海プレート西縁の地震である1999年9月の台湾中部地震に対応しており、谷津山光路長とフィリピン海プレート東西両縁に起こる地震との関係が明らかになった。
7. 2000年9月に起こった谷津山光路の急激な短縮は、これまでの変動様式とは異なっており、2000年6月からの三宅島の噴火および新島・神津島近海の地震との関係するものと考えられる。

謝 辞

山原無線中継所の反射プリズムの交換および鳥坂マイクロ波反射板への反射プリズムの設置についてはNTT西日本静岡支店・NTT ファシリティーズ東海支店・NTT ME 東海には特別の配慮をいただき便宜を計っていただき、NTT 西日本静岡支店の三輪英司氏には連絡の窓口になっていただいた。NTT ファシリティーズ東海支店の尾形廣志 IBS 室副主査は山原無線中継所のプリズム交換の際に立ち会っていただいた。谷津山鉄塔の反射プリズム点検に際しては、東海大学の木下正高博士にお世話になった。静岡市北安東三丁目の松田八郎氏は本研究の目的を理解され、農園内に反射用プリズムを設置させていただいた。

静岡大学理学部地球科学教室の里村幹夫博士・林 愛明博士・北村晃寿博士・Mudhusoodhan Satish-Kumar 博士には討論していただき、本稿を査読していただいた。以上の方々に御礼申し上げます。

引用文献

- 檀原 毅 (1971), 日本における最近 70 年間の総括的上下変動. 測地学会誌, **17**, 100-108.
- 檀原 毅 (1981), 静岡大学地殻活動観測所の概要. 静岡大学地球科学研究報告, **6**, 25-34.
- 近藤康生 (1985), 静岡県有度丘陵の上部更新統層序. 地質学雑誌, **91**, 121-140.
- 松田時彦 (1975), 活断層から発生する地震の規模と周期について. 地震第2輯, **28**, 269-283.
- 長島 昭 (1999), 静岡強震. 静岡地学, **79**, 21-28.
- 新妻信明 (1995a), ミランコビッチ時計. 文明と気候 (安田喜憲・小泉 格編), 朝倉書店, 東京, **1**, 53-59.
- 新妻信明 (1995b), 本州中部のテクトニクスと 1993 年の静岡の地震. 静岡大学地球科学研究報告, **22**, 11-22.
- 新妻信明 (1998), 光波測距による大気境界層の気温連続測定と地殻変動. 静岡大学地球科学研究報告, **25**, 31-49.
- Niitsuma N. (1999), Rupture and delamination of island arc crust due to the arc-arc collision in the South Fossa Magna, central Japan. *The Island Arc*, **8**, 441-458.
- 新妻信明 (2000), 光波測距による大気境界層の日周・年周変動およびフィリピン海プレートによる有度地塊傾動機構の解明. 静岡大学地球科学研究報告, **27**, 17-35.
- 新妻信明・中野 進 (1991), 有度丘陵における地震動振幅と地質構造. 静岡大地球科学研究報告, **17**, 131-147.
- 新妻信明・西田光二・水藤 尚・武田 浩 (1996), レーザー測距儀による気温の測定. 静岡大学地球科学研究報告, **23**, 9-18.
- 新妻信明・小田川信哉 (1993), 谷津山-静岡大学間のレーザー光波測距. 静岡大学地球科学研究報告, **19**, 35-44.
- 杉山雄一・下川浩一 (1990), 清水地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 地質調査所, 103p.
- 静岡県 (1983), 静岡県地震対策基礎調査報告書-ボーリング柱状図集 (中)-. 448p.
- 矢田 勝 (1995), 静岡-清水平野の遺跡発掘によって発見された縄文~歴史時代の地滑り跡・活構造. 地震学会講演予稿集, no. 2, P65.