

## 空中写真を利用した活断層の変位の測定 —諏訪湖南岸地域の活断層群—

安田 聡\* 橋本知昌\*\* 寒川 旭\*\*\*  
齋藤英二\* 渡辺和明\* 宮崎純一\*

YASUDA, A., HASHIMOTO, T., SANGAWA, A., SAITO, E., WATANABE, K. and MIYAZAKI, J. (1989)  
Measurement of displacement of active faults, using several kind of aerial photographs  
—Active faults on southern side of Lake Suwa—. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 40(9), p.  
469-478.

**Abstract:** The main aim of this study is to measure the vertical displacement of active faults by photogrammetric method using several kind of aerial photograph. The study area is located in southern to south-eastern side of Lake Suwa along the Itoigawa-Shizuoka tectonic Line, where fault scarplets are very clear to displace fan and terrace surfaces. Measurement was carried out to get the vertical displacement precisely and to calculate the mean rate of fault movement, using instrument Wild A10 autograph.

(1) The results obtained from aerial photograph very well agree with those from leveling in the field. The difference is less than 10% of the relative height. Therefore this photogrammetric method gives considerable precision.

(2) As a result of measurement in Ariga-Takabe, distance about 8 km, the degree of displacement was measured 14.1 m around Ariga, 23.0 m around Minamimashino at the center, and 5.5 m around Takabe. It was supposed that fault displacement was maximum on the central. Also average slip rates were calculated  $0.28 \text{ m}/10^3 \text{ y}$ /,  $0.46 \text{ m}/10^3 \text{ y}$ , and  $0.28 \text{ m}/10^3 \text{ y}$  respectively.

### 1. ま え が き

活断層の研究において、断層変位量の測定は活断層の運動像を解明する場合の最も基本的なデータとなる。変位量は一連の断層沿いでも、地域的に大きく変化することが知られているので、活断層に沿って連続的に変位量を追跡してゆくことは断層運動の実態をより詳しく明らかにする上で重要である。

精細な断層変位量やその分布を求めるためには、地形図上からの変位量の読み取りだけでは精度的に不十分である。例えば、活断層付近の微地形の表現が十分でなかったり、高さに関するデータは、その地形図の等高線の精度の範囲を出ることができない。このため、従来は活断層の垂直変位量を精度良く求めようとする場合、現地でのオートレベルやハンドレベルを用いた部分的な簡易測量が行われてきた。しかし、この様な測定は時間的あるいは土地条件による制約を受け、多数のデータをを得ることは困難である。また、近年の急速な国土開発によ

て断層地形が著しく破壊改変されていることも正確な測量を困難にしている。これらの欠点を補うのが写真測量である。写真測量は既存の空中写真を利用して用途に応じた縮尺の地形図を図化し、必要な場所の地形断面を容易に得ることができる。さらに人工改変以前の時期に撮影された空中写真を用いることができるので、消失した断層地形についても調査可能である。

地質調査所では、活断層研究の一環として活断層の精密地形図作成及び変位量測定の研究を行っている。精密地形図を作成する場合、現地調査、図化に加えて現地での補備測量を行って地形図を完成させていくのが一般的である。しかし、樹木による被覆の少ない場合は、図化機を用いた写真測量だけでも断層の垂直変位量を精度良く求められることが経験的に明らかとなっている(桂島ほか, 1987)。また、垂直変位量の測定を能率良く行い、かつ実測が困難な場所についても容易に測定できる点からみて、写真測量による活断層の垂直変位量の測定は、近年とみに必要性が高まっている断層活動性のデータを蓄積する上で最も有効な手法と考えられる。さらにこのことは、火山地形や地回り地形等の調査研究において

\* 地質情報センター \*\* 元地質情報センター  
\*\*\* 近畿・中部地域地質センター

も、空中写真を利用して定量的な地形・地質データを抽出できることを示唆している。

筆者らは、活断層の変位量測定のためのフィールドとして、断層地形の人工改変の著しい諏訪盆地南西縁の糸魚川-静岡構造線沿いの地域を選び、この地域に存在する活断層群の周辺について写真測量による地形図図化及び計測を行った。そして、垂直変位量を測定し現地での実測値との比較を行った。その結果、両者は非常によく一致し、手法としての有効性を確認することができた。さらに測定値と地形面の年代から算出された活断層の変位速度についてもあわせて報告を行う。

なお、本研究にあたり日本道路公団名古屋建設局、(株)中部測地研究所からはボーリング資料等の諸情報を提供して頂いた。また、本報告書をまとめるにあたって地質調査所環境地質部の奥村晃史氏からは多くの助言を頂いた、記して厚く御礼申し上げる。

## 2. 地形・地質の概要

諏訪盆地は、フォッサマグナの西縁に沿って発達する構造盆地の1つである。また、その位置は西南日本を内帯・外帯に2分する中央構造線が、糸魚川-静岡構造線と交わる地点に近接している(第1図)。

諏訪盆地の西側の山地は、中新世前期の緑色凝灰岩を主とする守屋累層とそれを覆う塩嶺累層で構成される。塩嶺累層は鮮新世-更新世初期に諏訪盆地周辺に噴出堆積した火山岩から成る(諏訪教育委員会, 1975)。盆地底は厚さ400 m以上の第四紀層に埋められている(山崎は

か, 1988)。

盆地の南西縁の山地との境界線に沿っては、糸魚川-静岡構造線活断層系に属する活断層が存在し、南東-北西走向で雁行状に配列する明瞭な断層変位地形が認められる。とくに守屋山の麓に発達する小扇状地面や崖錐面上には、これを変位させる盆地側落ちの低断層崖が連続的に認められ、ごく新しい時期まで断層活動が続いてきたことを示している。

## 3. 地形図作成及び地形断面計測

### 3.1 使用した空中写真

諏訪地域をカバーしている最も古い、すなわち人工改変の程度が低い時期の空中写真は、米軍が撮影(国土地理院管理, 1947-48)した縮尺1/12,000及び1/15,000である。しかし、これらの空中写真は鮮明度が劣るうえに画像にゆがみがあり、図化・計測用には適していない。このため、道路公団が中央高速自動車道建設の調査用として撮影した、1/8,000(道路公団, 1965)及び1/34,000(国土地理院, 1973)の空中写真を使用した。撮影諸元は第1表のとおりである。

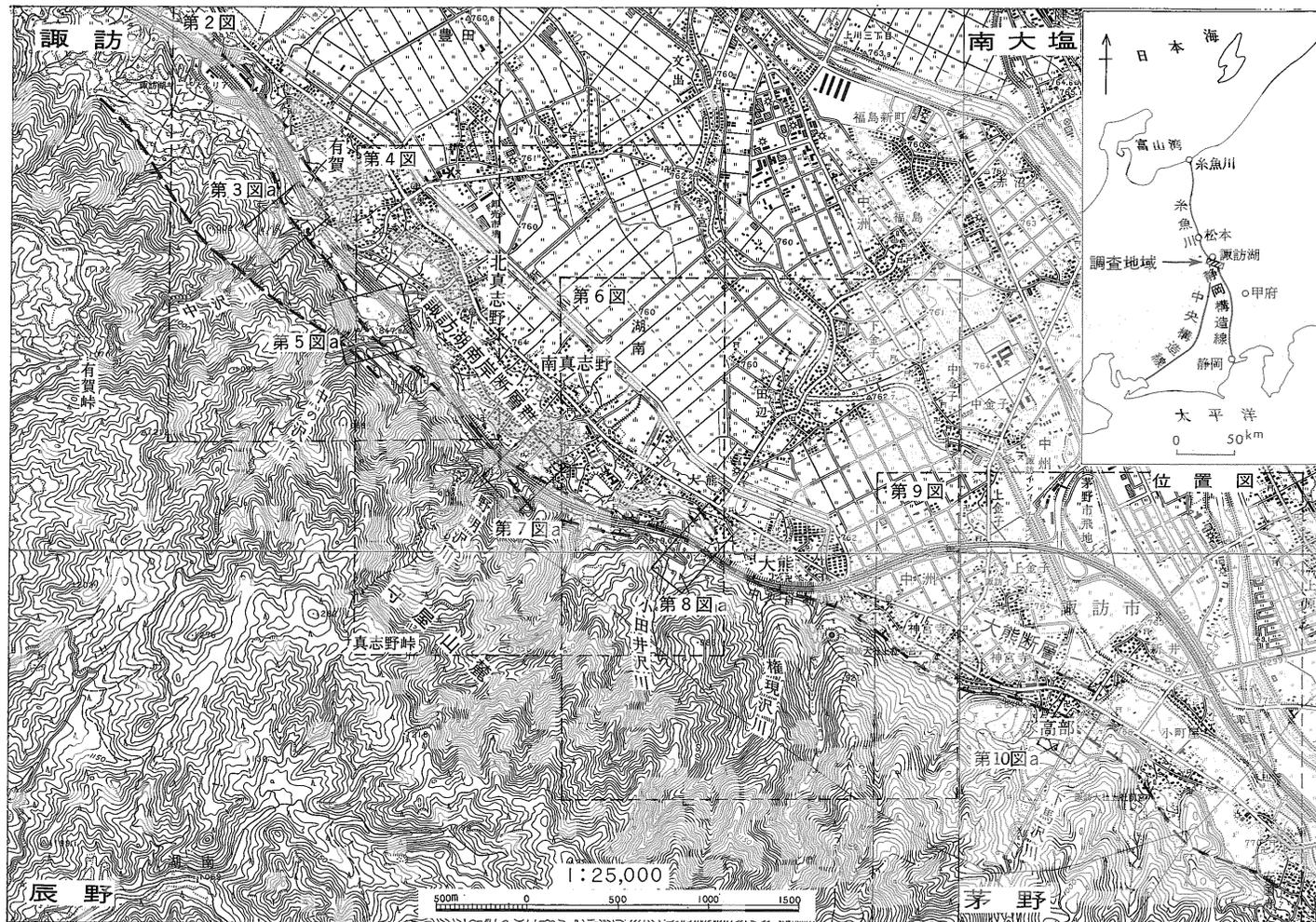
### 3.2 使用機器等

地形図の図化と地形断面計測のための写真座標 X, Y 及び標高 H の観測には、精密図化機(ウィルド A10オートグラフ)を用い、写真座標の読み取りと測地座標の変換には座標読み取り装置及びパーソナルコンピュータを、地形断面図作図には XY プロッターを使用した。

### 3.3 基準点等

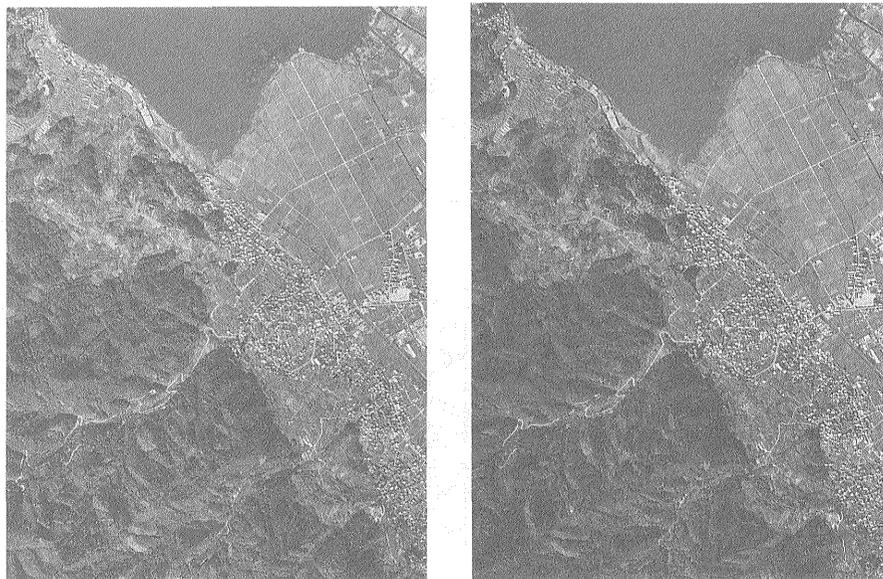
第1表 空中写真撮影諸元

撮影機関名	国土地理院	日本道路公団	米軍
撮影年月日	①昭和48年10月16日 ② " 52年 7月16日	昭和40年11月22日	①昭和22年10月 2日 ② " 23年 3月31日
撮影縮尺	① 1/33,800 (1/34,000) ② 1/11,700 (1/12,000)	1/7,900 (1/8,000)	① 1/12,000 ② 1/15,000
撮影高度	① 5,950 m ② 2,600 m	2,000 m	① 2,600 m ② 3,100 m
地区名・コース及び写真番号	① CB-73-7Y C5, 4-7 C6A, 6-9 ② CB-77-1 C5, 1-4 C6, 3-6 C7, 4-7	C10, 4-16	① R238 3-7 19-23 36-38 ② R1230 59-61



第1図 位置図及び調査地域総括図

この地図は国土地理院発行の1/25,000地形図(南大塩・茅野・諏訪・辰野)の一部を使用したものである



第2図 有賀付近空中写真 CB-73-7Y, C5-5, 6 (縮尺は原寸の85%)  
写真中央の中沢川扇頂部付近に傾斜方向に直交する明瞭な断層が判読できる。

図化の標定に必要な基準点の確認は、現地における刺針作業により行った。基準点を直接写真上に刺針できない場合は、その付近で写真に明瞭に写っている位置に偏心し、その点の X, Y, H を求め偏心点として使用した。偏心点の観測には簡易太陽法と磁針法を併用した。

また、図化の標定精度を高めるために、平地とその周辺では、諏訪市・岡谷市及び茅野市作成の縮尺1/2,500の都市計画図を使用し、これに表示されている独立標高点の中で、写真と明らかに対比できるものを選び、その地点の座標 X, Y を地図上から測定し併せて使用した。

### 3.4 図化標定用基準点(パスポイント)の増設

縮尺1/8,000空中写真は、撮影される範囲が狭く写真に写る基準点(国家基準点)の数が少ないため、パスポイントを増設しなければならぬ。まず、1/34,000空中写真と1/8,000空中写真を対比し、経年変化がなく、しかも明瞭に写っている場所を選び、その点の写真座標を1/34,000写真から測定し写真標定用パスポイントとした。

### 3.5 図化

諏訪市有賀-茅野市高部に至る延長約8kmの区間において、写真判読で活断層と判定された低断層崖を中心に、断層変位地形全体が概観できるように縮尺1/5,000の地形図を、また、低断層崖周辺の地形をできるだけ詳細に表現するために、1/2,500の微地形図(第3図a-10図a)を作成した。図化に先立って、高さの測定精度を高めるために、図化機の基線長を可能なかぎり長くし

た。一方、描画誤差を最小限に抑えるために、描画台との拡大率をできるだけ小さくした。

### 3.6 断面計測

断面計測には、人工改変が比較的少ない時期に撮影され、しかも撮影縮尺の大きい1/8,000空中写真を用いた。

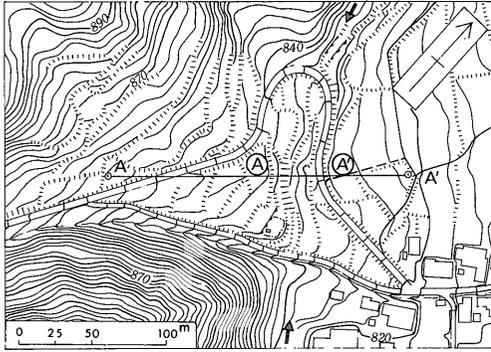
計測対象は、地表面の原形が良く保存されている扇状地で活断層によって扇状地面が変位し、低断層崖が形成されている場所を選んだ。

各扇状地面での断面の位置は、断層崖に直交しなるべく樹木が少なく、対比面の読定が容易にできる場所を選定し、測線の始点、終点は現地で確認できる地点を選んだ。標高値は、断面線上で写真で観察できるすべての傾斜変換点について標高値を読み取った。各標高値は3回以上の読定を行い、そのうち較差が0.2m以内なる2つ以上の読定値を採用しその平均値を求めた。なお、使用図化機の最小読定値は0.1mである。

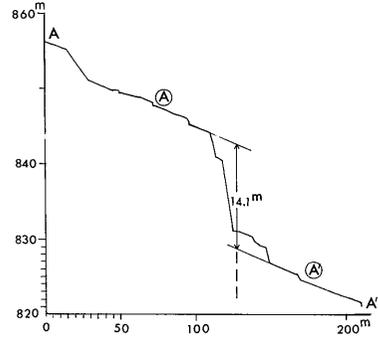
地形断面図の作図はXYプロッターを使用し、断層変位量の計測精度を高めるために縦横比を5:1とした。

## 4. 活断層の形態及び垂直変位量の計測

上記方法によって、断層変位を受けかつ地形面の形成年代の推定が可能な扇状地5ヶ所(有賀・北真志野西部・南真志野・大熊南部及び高部付近、第3図a-第10図a)を選び、各々について空中写真を用い地形断面図を作成するとともに変位量の計測を行った。そのうち人工改



第3図a 有賀付近(A-A'断面)1/2,500地形図  
矢印の間に活断層が分布.



第3図b A-A'地形断面図



第4図 北真志野西部付近空中写真CB-73-7Y-C5-5,6 (縮尺は原寸の85%)。山麓線の前縁に中ノ沢川によって形成された新旧の扇状地が発達している。それを切断するように断層がNW-SEに向かって走っている。

変の少ない3ヶ所(有賀・南真志野・高部付近)について実測を行い、写真測量による計測値と比較を行った。

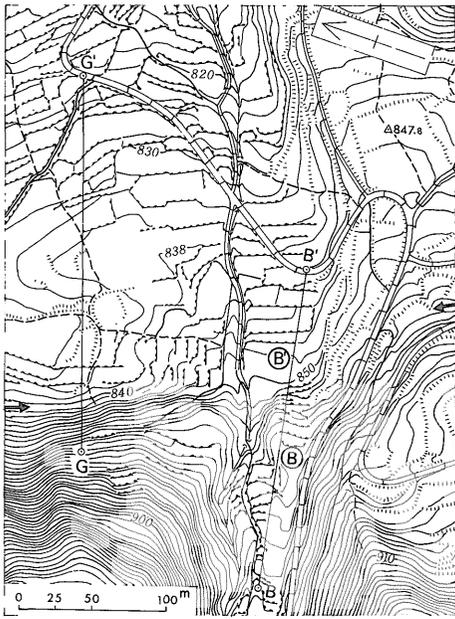
#### 4.1 有賀付近

有賀峠付近から流下する中沢川(第1図)の扇状地では、扇頂付近に扇状地面の傾斜方向に直交する北西-南東走向の盆地側落ちの明瞭な低断層崖が認められる(第2図, 第3図a)。この断層崖に直交するA-A'地形断面図(第3図b)を写真測量によって作成し、(A)面と(A)面の垂直変位量を計測した結果14.1mの値を得た。また、同一断面の実測値は13.9mの値を得た。その差は0.2mであった。

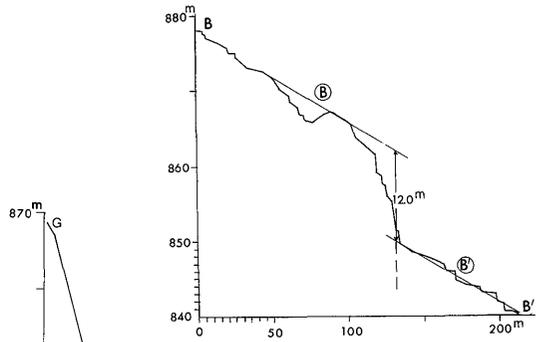
この扇状地面はNAKATA and CHIDA (1974)により波田面に対比され、これを覆うテフラの年代(竹本ほか, 1987)より同面の離水年代は約5万年前と考えられる。これらから有賀付近の活断層の平均変位速度(垂直成分)は $0.28 \text{ m}/10^3 \text{ y}$ と算出された。

#### 4.2 北真志野西部付近

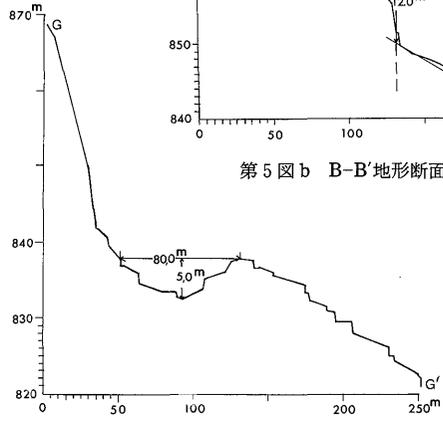
山麓線の前縁に中の沢川(第1図)によって形成された扇状地が発達している(第4図, 第5図a)。左岸の扇状地面は、耕地として利用されているものの原面の形態が良く保存されている。この面はNAKATA and CHIDA (1974)により波田面に対比される。



第5図a 北真志野西部付近(B-B', G-G')1/2,500地形図  
矢印の間に活断層が分布。



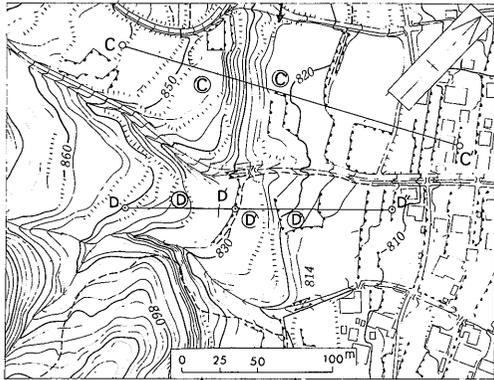
第5図b B-B'地形断面図



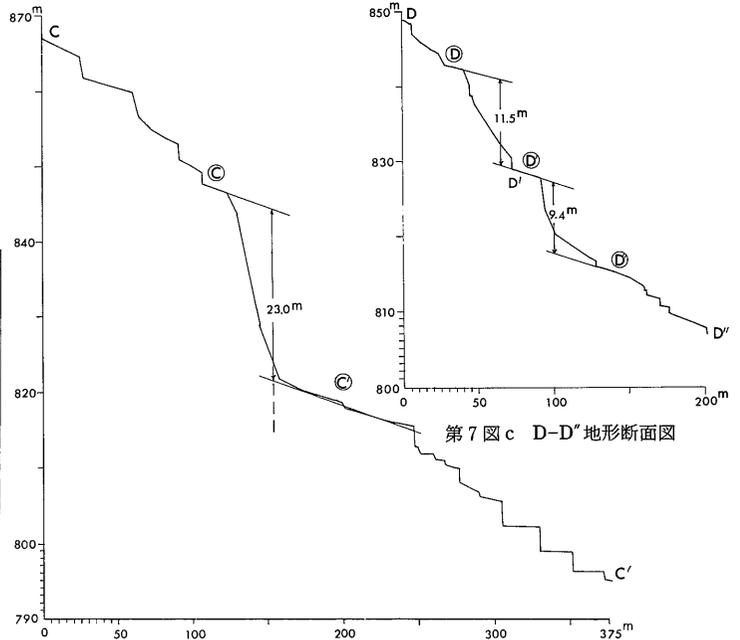
第5図c G-G'地形断面図



第6図 南真志野及び大熊付近空中写真CB-73-7Y, C6A-6, 7 (縮尺は原寸の85%)  
小田井沢川によって形成された扇状地の現河道の左岸には、雁行状に副断層が、また右岸には階段状に断層崖が判読できる。



第7図a 南真志野付近(C-C', D-D'断面)1/2, 500地形図  
矢印の間に活断層が分布。



第7図b C-C'地形断面図

第7図c D-D'地形断面図

右岸の扇状地面は左岸に比べて上位に位置し、かつ開折の程度が大きく形成時期は左岸より古い。

この新旧の扇状地面が断層変位を受けている。地形判読により南西側が隆起したものと判定される。また、この低断層崖に平行して地溝状に幅約80mの谷(第5図a, c)が形成されている。

断面図は、変位がもっとも明瞭な中の沢川扇頂部(第5図a)の波田面上の低断層崖に直交するB-B'地形断面図(第5図b)を作成、⑧面と⑨面の変位量を計測し12.0mの値を得た。平均変位速度(垂直成分)は $0.24 \text{ m}/10^3 \text{ y}$ と算出された。

#### 4.3 南真志野付近

真志野峠付近から流下する野明沢川(第1図)の扇状地では、扇頂付近に扇状地面の傾斜方向に直交する盆地側落ちの明瞭な低断層崖が認められる(第6図, 第7図a)。この断層は、川の左岸では扇状地面を大きく変位させる1つの低断層崖として認められるが、右岸では2つの低断層崖に分かれており、扇状地面を階段状に変位させている。この扇状地面も有賀付近のものと同じく波田面に対比され(NAKATA and CHIDA, 1974)、形成時期は約5万年前と考えられる。

地形断面図は、左岸で大きく扇状地面を変位させている断層崖にはほぼ直交するC-C'断面と、2段に分かれて

いる右岸のD-D'断面(第7図a)について作成し変位量の計測を行った。

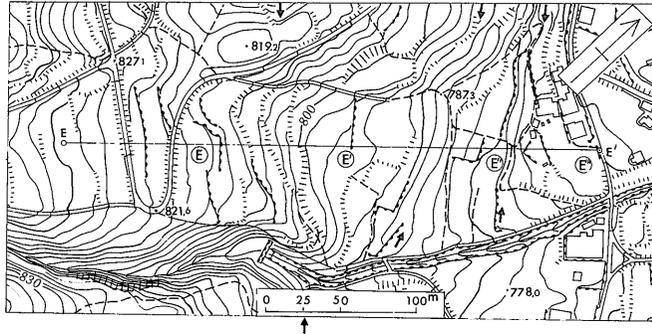
左岸の断面において⑧面と⑨面の変位量は23.0m、右岸での⑩面と⑪面の変位量は11.5m、⑫面と⑬面の変位量は9.4mとそれぞれ計測された。また、⑫面と⑬面の実測で得た値は9.0mで、その差は0.4mであった。

右岸の2つの低断層崖による垂直変位量を合わせると20.9mとなり、左岸の変位量とはほぼ同様の値となるので、同一の断層が右岸では分岐したものと思われる。

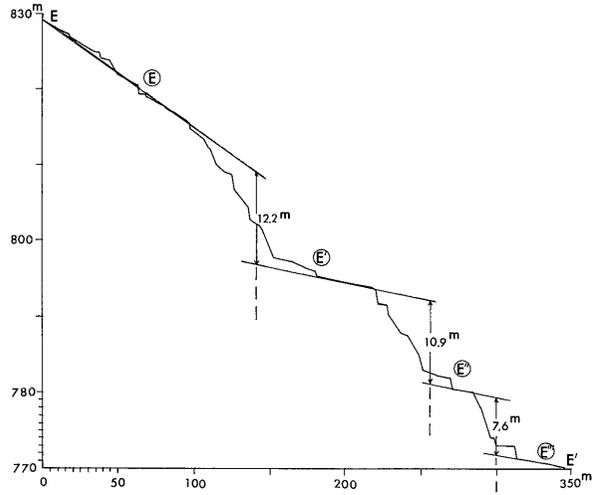
断層の平均変位速度(垂直成分)は $0.46 \text{ m}/10^3 \text{ y} - 0.42 \text{ m}/10^3 \text{ y}$ と算出された。

#### 4.4 大熊南部付近

小田井沢川中流付近では、標高819.0mの三角点のある小丘(第1図)が舌状に北東方向に突き出しており、この小丘より一段低い段丘面上に明瞭な低断層崖が認められる(第6図, 第8図a)。この段丘面上では、低断層崖は階段状に3つに分かれている。これらの段丘はNAKATA and CHIDA (1974)により上部3面を波田面に、最下面を上海渡面に対比され、これを覆うテフラの年代(竹本ほか, 1987)から地形面の形成は、それぞれ約5万年前と1.5万年前と考えられる。断面計測では、これらすべての低断層崖に直交するE-E'地形断面図(第8図



第8図a 大熊南部付近(E-E'断面)1/2,500地形図 矢印の間に活断層が分布.



第8図b E-E'地形断面図



第9図 茅野市高部付近空中写真CB-73-7Y, C6A-7, 8 (縮尺は原寸の85%)  
下馬沢川扇状地を横切る低断層崖が山麓線の延長上に判読できる。

b)を作成した。各低断層崖について垂直変位量を計測した結果、波田面に対比される㊦面と㊧面、㊨面と㊩面の変位量はそれぞれ12.2 m, 10.9 mの値を得た。㊥面と上海渡面に対比される㊪面との高低差は7.6 mなので、波田面の実際の変位量はさらに大きくなると思われる。なお、これらの計測値は松島・伴(1979)の実測値とほぼ一致している。また、上記変位量より平均変位速度(垂直成分)はそれぞれ0.24 m/10<sup>3</sup> y, 0.22 m/10<sup>3</sup> yと算出された。

#### 4.5 茅野市高部付近

下馬沢川扇状地(第1図)を横切る低断層崖が、山麓線の延長上に認められる。この扇状地はNAKATA and CHIDA (1974)により森口面に対比される。扇状地の上には人工的に階段状の畦畔が築かれ水田として利用されている。このため断層崖の認定は容易ではないが、扇状地面全体の傾斜が不連続に変化する扇端部付近の直線的な崖を低断層崖と認定した(第9図, 第10図a)。

高部集落付近では人工改変が進み、低断層崖としての形態が部分的にしか残っていないため断層の位置の認定が困難である。

下馬沢川に沿った森口面に対比される(NAKATA and CHIDA, 1974)扇状地のほぼ中央にF-F'地形断面図(第10図b)を作成し、その両側の㊦面と㊧面の変位量を計測した結果5.5 mの盆地側落ちの値を得た。また、同一断面の実測を行い5.0 mの値を得た。その差は0.5 mで

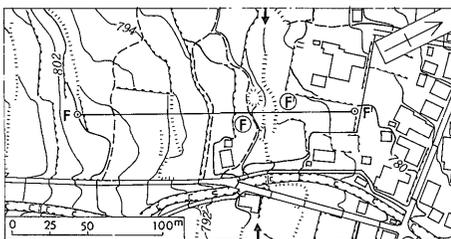
あった。この断層の平均変位速度(垂直成分)は0.28 m/10<sup>3</sup> yと算出された。

#### 5. ま と め

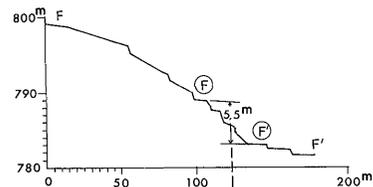
諏訪湖南岸地域の活断層群を、空中写真を用いた写真測量によって計測した結果をとりまとめれば以下のとおりである。

- ① 写真測量による活断層の変位量の計測は、現地での実測値と比較した結果、比高5 m以上の低断層崖について、較差は0.5 mの範囲内で計測することができ、この規模の垂直変位の計測を精度良く行い得ることを確認できた。
- ② 計測した変位量は、有賀付近で14.1 m, 南真志野付近で23.0 m, 高部付近で5.5 mで、各地点での平均変位速度はそれぞれ0.28 m/10<sup>3</sup>y, 0.46 m/10<sup>3</sup> y, 0.28 m/10<sup>3</sup> yと求められた。この結果、今回の測定区間の中では中央部の南真志野付近が最大の活動度を示すことが判明した。また、各面の形成年代を基に平均変位速度を求めた結果を第2表に示す。
- ③ 対象地域における活断層は、いずれも北西-南東方向に連続し、すべて盆地側落ちで現在の地形起伏と調和的である。これらの断層は第四紀後期の後半においては0.5 m/10<sup>3</sup> y以下の変位速度で活動を繰返し、上記起伏の形成に寄与して来たと考えられる。

今後写真計測と個々の扇状地面の精密な年代調査を



第10図 a 茅野市高部付近(F-F'断面)1/2,500地形図  
矢印の間に活断層が分布。



第10図 b F-F'地形断面図

第2表 各地点の平均変位速度

測定場所及び地形断面線	有賀付近 A-A'	北真志野付近 B-B'	南真志野付近 C-C', D-D'	大熊南部付近 E-E'	高部付近 F-F'
変位量	14.1 m	12.0 m	23.0 m, 11.5 m, 9.4 m	12.2 m, 10.9 m	5.5 m
地形面	波田面	波田面	波田面	波田面	森口面
年代	約5万年前	約5万年前	約5万年前	約5万年前	約2万年前
平均変位速度 (m/千年)	0.28 m/10 <sup>3</sup> y	0.24 m/10 <sup>3</sup> y	0.46 m/10 <sup>3</sup> y, 0.23 m/10 <sup>3</sup> y, 0.19 m/10 <sup>3</sup> y	0.24 m/10 <sup>3</sup> y, 0.22 m/10 <sup>3</sup> y	0.28 m/10 <sup>3</sup> y

併用することによって、断層活動の実態や地域性についてより詳細な議論が可能と思われる。

文 献

- 金子史朗(1972) 断層の地形. 地形図説2, 古今書院, p. 93-141.
- 活断層研究会編(1980) 日本の活断層—分布図と資料. 東京大学出版会, 363p.
- 桂島 茂・寒川 旭・橋本知昌・宮崎純一・渡辺和明・斎藤英二(1987) 静岡県御前崎地域の活構造. 地調月報, vol. 38, p. 319-330.
- 小出 仁・山崎晴雄・加藤碩一(1984) 地震と活断層の本. (株)国際地学協会, 東京, 123p.
- 松島義章・伴 信夫(1979) 糸魚川-静岡構造線の活動によって変位した諏訪湖南東岸の縄文住居跡. 第四紀研究, vol. 18, p. 155-160.
- NAKATA, T. and CHIDA, N. (1974) On tectonic

features around the Matsumoto and Suwa Basins, central Japan. *Sci. Rep., Tohoku Univ.*, 7ser., vol. 24, p. 59-73.

- 小口 高(1988) 松本盆地及び周辺山地における最終氷期以降の地形発達史. 第四紀研究, vol. 27, p. 101-124.
- 諏訪教育会(1975) 諏訪の自然誌. 530p.
- 竹本弘幸・百瀬 貢・平林 潔・小林武彦(1987) 新期御岳テフラ層の層序と時代. 第四紀研究, vol. 25, p. 337-352.
- 山崎晴雄・下川浩一・水野清秀(1988) 陸域のプレート会合点付近における地震のテクトニクスの研究. 活断層調査, 中部日本活構造地域の地震テクトニクスに関する研究(第一期)成果報告書, p. 129-138.

(受付: 1989年3月7日; 受理: 1989年5月30日)