

## 跡津川一牛首断層系と長波長地形

川崎 一郎・松原 勇・川畑 新一・和田 博夫・三雲 健

### THE ATOTSUGAWA-USHIKUBI FAULT SYSTEM AND LONG WAVELENGTH VARIATION OF SURFACE TOPOGRAPHY

By *Ichiro KAWASAKI, Isamu MATSUBARA, Shin'ichi KAWABATA,*  
*Hiroo WADA and Takeshi MIKUMO*

#### Synopsis

We investigate a relationship between the Atotsugawa-Ushikubi fault system of about 70 km length and the long wavelength (10–30 km) variation of topographic heights in its adjacent area, the Hokuriku district, central Japan. The long wavelength variation is obtained by moving average to the topographic heights in a digital form. It is concluded that the fault system has large extent to reach the lower crust, separating the thicker crustal block in the Takayama highland area of an average height of about 0.8 km from the thinner one in the Toyama coastal plain area. The Atotsugawa-Ushikubi fault system that has the maximum accumulated displacement of about 3 km shows an excellent correlation with the long wavelength topography with a cut-off wavelength of 5 km.

#### 1. はじめに

地震は活断層の動きによって生じる。地震時に、活断層上では、地震の大きさ（マグニチュード）に応じて、断層は数 cm から数 m 変位（断層面上のくい違い）する。長い地質年代を通じ、地震は同一断層面上で繰り返し発生し、断層変位が蓄積される。サンアンドレアス断層のような巨大なプレート間トランスフォーム断層では、蓄積断層変位が最大 400 km にも達する<sup>1)</sup>。国内北陸地方では、跡津川断層は、蓄積断層変位が断層中央部で最大 3 km<sup>2)</sup> に達し、島弧内陸部の活断層として第 1 級の規模である。

跡津川断層の断層運動は、富山県一岐阜県北部飛騨地域の広域的な地形変化にどのような影響を与えているだろうか？ 数 m から数 100 m の短波長の地形変化には、侵食等による地形形成力の方が圧倒的に大きいだろう。しかし、数 km 以上のオーダーの長波長地形になると、長い地質年代を通して絶え間なく進行してきた断層運動が、相当大きな影響を与えて来たと考えられる。本論文の目的は、断層運動が長波長の地形にどのような影響を与えているのか、その影響は地形の波長によってどのように異なるのかを調べることである。何等かの手法によって長波長地形を取り出し、他の地球物理学的諸要素と比較する研究は、既に、見野<sup>3)4)5)</sup>、Mino<sup>6)</sup> 等によって行なわれているが、本論文では、特に、跡津川一牛首断層系やその南方飛騨三角帯との関連に焦点を当てる。飛騨三角帯とは、跡津川一牛首断層系と飛騨山地、白山山地に取り囲まれた、高山高地を中心とする、平均標高約 0.8 km の三角形の部分を使う<sup>7)</sup>。

富山一岐阜県境では跡津川断層ばかりが名高いが、その約 5 km 北方を並走する牛首断層も、その規模は跡津川断層に優るとも劣らない<sup>8)9)</sup>。本論文では、跡津川断層と牛首断層を、跡津川一牛首断層系と呼び、一括して扱う。

## 2. 計 算 方 法

ここでは、国土地理院の平均標高データファイルを使わせて頂いた。原数値データは、東西に22.5秒(北緯36.5度で約 560 m)、南北に20秒(約 616 m)ごとに、その格子間内の最高点と最低点の平均が平均標高として与えられている。原数値データでは与えられていない海の標高は総て 0 m とした。Fig. 1 は、200 m のコンターで描いた当該地域の地形である。本論文では、これを原地形と呼ぶ。太い実曲線が海岸線で、図中央の ATS-F、USH-F と示された太実線が、跡津川断層、牛首断層の位置を示す。

ただし、Fig. 1 では、計算の都合上、原数値データにおける東西南北4つのメッシュずつ、総計  $4 \times 4 = 16$  個のメッシュの値の平均をとり、新しい1つのメッシュは、東西1分30秒 ( $\Delta L_{EW}$ , 約 2.2 km)、南北1分20秒 ( $\Delta L_{NS}$ , 約 2.46 km) の大きさになっている。このことにより、Fig. 1 は、原地形と言っても、東西 4.5 km、南北 4.9 km 以下の波長成分は既に失われてしまっている。

長波長地形は、次の移動平均で取り出した。カットオフ波長を  $L$ 、東西南北2方向のメッシュの大きさを各々  $\Delta L_{EW}$  と  $\Delta L_{NS}$  とし、 $(2M_{EW}+1)\Delta L_{EW}$  と  $(2M_{NS}+1)\Delta L_{NS}$  が  $L$  に一番近い2つの整数  $M_{EW}$  と  $M_{NS}$  をまず探す。この  $M_{EW}$  と

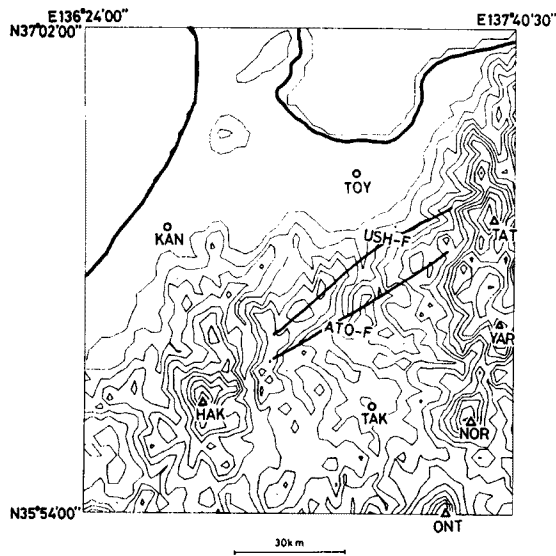


Fig. 1. Topography of Toyama and the northern part of Gifu prefectures. Grid intervals for this plot are 1'30" (2.2 km) in the E-W direction and 1'20" (2.5 km) in the N-S direction. A contour interval is 200 m. Solid curves are coast lines. Solid lines labelled ATO-F and USH-F denote traces of active faults, Atotsugawa- and Ushikubu-faults, respectively. Circles indicate locations of major cities in this area, Kanazawa (KAN), Takayama (TAK) and TOYAMA (TOY). Triangles are high mountains, Hakusan (HAK), Norikura (NOR), Ontake (ONT), Tateyama (TAT) and Yarigatake (YAR).

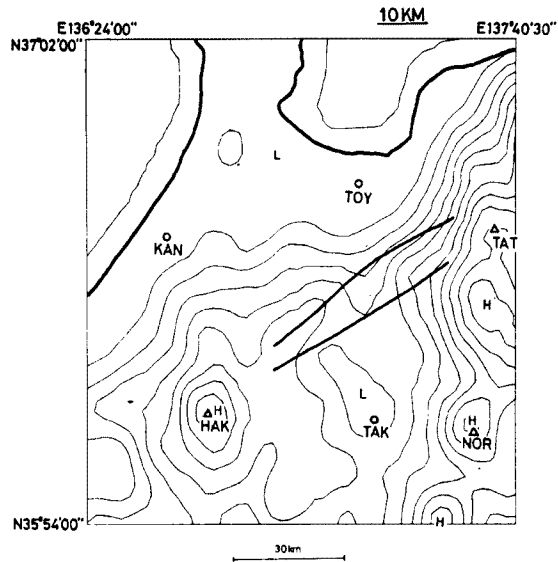


Fig. 2. Long wavelength topography extracted from Fig. 1 by a high-cut moving average with a cut-off wavelength of 10 km. Labels H and L denote relative highs and lows, respectively. Other pertinent data and symbols are the same as in Fig. 1.

$M_{NS}$  にたいして、次のような原標高データ  $A_{kl}$  の移動平均をとり、それを新たに  $B_{ij}$  とする。

$$B_{ij} = \sum_{k=-M_{BW}}^{M_{BW}} \sum_{l=-M_{NS}}^{M_{NS}} A_{kl} / (2M_{BW}+1)(2M_{NS}+1) \quad \dots\dots(1)$$

こうして得られた  $B_{ij}$  が長波長地形である。(1)式の移動平均は、東西方向に、

$$F_{BW}(f) = \sin [\pi(2M_{BW}+1)f\Delta L_{BW}] / \sin [\pi f\Delta L_{BW}] / (2M_{BW}+1) \quad \dots\dots(2)$$

南北方向に同様の  $F_{NS}(f)$  の短波長カットのフィルターを掛けたことに対応している。ここで、 $f$  は、地形変化の周波数である。このフィルターは、カットオフ波長が  $(2M_{BW}+1)\Delta L_{BW}$  と  $(2M_{NS}+1)\Delta L_{NS}$  で、それより短い波長の地形と殆んど消えてしまう。

ただし、 $(2M_{BW}+1)\Delta L_{BW}$  と  $(2M_{NS}+1)\Delta L_{NS}$  は厳密にはカットオフ波長  $L$  に一致せず、その差は、場合によっては、 $L$  の10%近くに達するときもある。しかし、本論文の議論では、その程度の波長の違いは問題にしないので、この様な場合でも、カットオフ波長は単に  $L$  とみなして話を進める。

(1)式のような移動平均をとると、元々メッシュの大きさが  $(N, M)$  であるようなデータセットは、新たなメッシュの大きさは  $(N-2M_{BW}, N-2M_{NS})$  となり、図が縮小してしまう。このことで余計な混乱が生じないように、Fig. 1 から Fig. 4 までは、最小の Fig. 4 に合わせ、Fig. 5 から Fig. 7 までは Fig. 8 に合わせて、同1の大きさの部分だけをプロット出力してある。

フーリエ変換によるフィルターや、ごく長波長の地形をカットする微分を取るような操作<sup>4)</sup>なども予備的に試みたが、本論文では、原地形との対応が付き易く、視覚的に混乱の少ないと筆者達には感じられる、単純な移動平均による短波長カットの長波長地形を見ることにした。

### 3. 富山海岸平野と高山高地

Fig. 2 は、 $M_{BW}=M_{NS}=8$ 、カットオフ波長  $L=10$  km になるよう移動平均を取った長波長地形である。

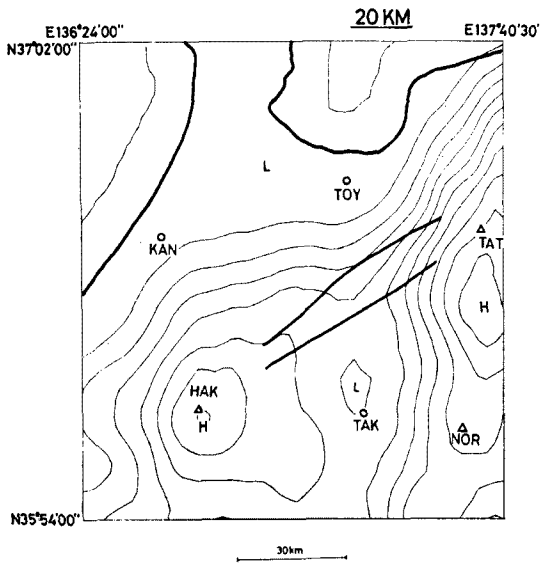


Fig. 3. Long wavelength topography extracted from Fig. 1 by a high-cut moving average with a cut-off wavelength of 20 km. Other pertinent data and symbols are the same as in Fig. 1.

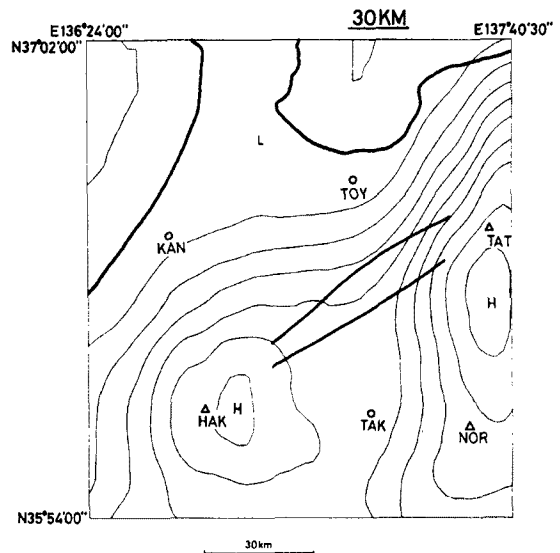


Fig. 4. Long wavelength topography extracted from Fig. 1 by a high-cut moving average with a cut-off wavelength of 30 km. Other pertinent data and symbols are the same as in Fig. 1.

Fig. 2 以下, カットオフ波長は, 図の右上にアンダーラインを引いて示されている。Fig. 1 から Fig. 4 まで, コンターの間隔は 200 m である。

Fig. 1 から Fig. 4 までを見て, 次の(イ)と(ロ)に気付く。

(イ) 飛驒山地 (4TAT から, 4NOR) と白山山地 (HAK) はコンターが混み, 長波長帯で見ても, 地形が急峻で, 独立した地塊を形成している。

(ロ) 跡津川一牛首断層系の北方富山 (4TOY) 海岸平野と標高約 0.8 km から 1.0 km の高山 (4TAK) 高地地域は, 共に比較的平坦で, 両地域の標高は, 跡津川一牛首断層系を境に急激に遷移している。

このような長波長地形と最も密接な関係がありそうな物理量は ブーゲ異常である。金沢大学の河野のグループは精力的に日本全国の重力を測定して回った。河野・古瀬 (1989)<sup>10)</sup> はその集大成である。彼らの測定の一環である大久保・他 (1987)<sup>11)</sup> によると, ブーゲ異常も長波長地形と同じ傾向を示し, 跡津川一牛首断層系を境に全体の傾向が大きく変わる。富山海岸平野地域のブーゲ異常は, 平均標高約 0.8 km の高山高地地域に比較して 40~50 mgal 程度大きく, モホ面も数 km 程度浅いと推定される。人工地震<sup>12)</sup>なども併せ考慮すると, 富山海岸平野部の地殻の平均的な厚さは 25~30 km 程度, 飛驒三角帯内高山高地では 30~35 km と思われる。ブーゲ異常は, 30 km 前後の深さの構造変化に対しては分解能がよくないので, モホ面の深さ変化がどの程度急激なものか分からないが, 大久保・他 (1983)<sup>11)</sup> は相当急激な変化があると推定した。

日本地質図<sup>13)</sup>によると, 跡津川一牛首断層系北方には第三紀の地層が広がり, 富山海岸平野では第四紀層が圧倒的に多くなり, 全体として北に向かって大きく傾斜している。跡津川一牛首断層系付近及び南側の飛驒三角帯内高山高地地域は, 飛驒変成岩から中生代手取層など古い堆積層及び花崗岩などの深成岩が露出し, 跡津川一牛首断層系以北に比べ, きわだった対比を見せている。第四紀地殻変動図<sup>14)</sup>を見ると, 跡津川一牛首断層系を含む富山県南部一岐阜県北部では東西方向のコンターが密で, 飛驒三角帯内高山高地地域の第四紀隆起量はほぼ 1 km に達する。

以上の事実を併せ考えると, 跡津川一牛首断層系以南の飛驒三角帯内高山高地地域の地殻構造も, 跡津川一牛首断層系を境に急激に移り変わっていること, しかも, この変化が, 主として第四紀以降に生じたらしいことが分かる。逆にこのように言うこともできる。第三紀末までは, 飛驒三角帯内高山高地地域と富山海岸平野部は標高差の余り無い広い平坦な地域を形成していた。第四紀になって飛驒三角帯内高山高地地域は急激に上昇し始め, 2つの地殻ブロックの相対運動の1部 (あるいは主要部) を担うものとして, 跡津川一牛首断層系は変位した。

Tsубoi (1933)<sup>15)</sup> は, 50年前に, 日本国内の地殻変動の測量結果を, 地塊相互の運動として解釈した。筆者達の考えは, 北陸・飛驒地域に関してはこれと同じと考えることが出来る。

#### 4. 飛 驒 隆 起

この地域のもう1つの問題は, 他の地域と独立した諸傾向をもつ, 幅 20~30 km 程の飛驒山地脊梁部 ( $\Delta$ TAK から,  $\Delta$ NOR にかけて) と, 白山山地 ( $\Delta$ HAK の周り) である。ヨーロッパや北アメリカなど, アイスタシー均衡の成立している安定大陸では, 標高が 1 km 高くなるとブーゲ異常が約 110 mgal 小さくなるという経験則がよく成り立つ<sup>16)</sup>。北陸でも同じ経験則が成り立つとし, 飛驒山地と白山山地の脊梁部幅 20~30 km の部分の平均標高を, 仮に 2000 m と 1400 m とするならば, 飛驒山地で -220 mgal, 白山山地で -150 mgal 程度のブーゲ異常があってもおかしくないはずである。実際には, 各々の地域で, -80 mgal, -30 mgal 程度しかない。

日本列島の下に沈み込むプレートの影響は, この地域で 100 mgal 以上<sup>17)</sup>になるが, これは大変波長の長い変化で, 富山海岸平野部と飛驒山地脊梁部の相対的なブーゲ異常の差を議論する場合には無視しても差し

支えないであろう。

大久保・他 (1988)<sup>11)</sup> は、上記の矛盾の原因を地殻密度の違いに帰する地殻内アイソスタシーという考えを提唱した。しかし、120 mgal から 140 mgal にも達する経験則からのズレを購うには、この部分だけ、厚さ 10 km の、P 波速度 5.5 km/s、密度 2.67gr/cm<sup>3</sup> の低密度層を必要とし、不自然にも見える。やはり、この経験則からのズレは、飛驒山地と白山山地の脊梁部の標高とモホ面の不均衡（アイソスタシー異常）に帰せられるべきものではなからうか。最も、現在の段階では、どちらの考えが正しいとも決定的には言えないであろう。

この重力異常をアイソスタシーからのズレとみなし、第四紀地殻変動図などを併せ考えると、飛驒山地脊梁部や白山山地の幅 20~30 km の部分が、アイソスタシーから期待されるものに比べて、1.0~1.3 km 程度浮き上がっていること、及び、このようなアイソスタシーの原理に逆らう隆起現象が、第四紀の間進行し続けて来たことになる。

何故、高山高地地域は、第四紀の間に、1 km 近くも隆起し続けて来たのか、何故飛驒山地脊梁部や白山山地は、アイソスタシーの原理に逆らってまで、第四紀の間隆起し続けて来たのだろうか。

小林 (1983)<sup>18)</sup> と中村 (1983)<sup>19)</sup> は、日本海東縁サブダクション説を唱えた。この仮説によると、フォッサマグマは、北アメリカプレートとアジアプレートの収束境界であり、北アメリカプレートに属するフォッサマグマ以東の部分が、アジアプレートに属する飛驒山地と衝突し始め、そのため、飛驒隆起が生じたことになる。

一方、安藤 (1986)<sup>20)</sup> によって、S 波偏光異方性<sup>21)</sup>や地震実体波の 3 次元インバージョンの成果<sup>22)</sup>を基に、北陸地方直下上部マントルでは、深さ 250 km の高山の深発地震の巣あたりからマントルダイアピルが上昇してきているという考えが提唱されており、それが飛驒山地直下に達して飛驒山地を持ち上げている可能性も指摘されている。これらの問題は本論文の射程をはるかに越えるので、詳しいことは別の論文に譲りたい。

三雲・他 (1985)<sup>23)</sup> は、京都大学上宝地殻変動観測所、名古屋大学高山地震観測所、東京大学信越地震観測所の高感度微小地震観測網の観測データを集め、飛驒山地脊梁部直下地殻浅部の地震の発震機構を、北西—南東主圧力軸の横ズレ断層型、または逆断層型のメカニズムが卓越しているとした。

一方、川崎・竹本 (1983)<sup>24)</sup> は、彼らの求めた飛驒山地脊梁部直下の地殻浅部の地震のメカニズムが正断層型が多いように見えることから、安藤が示唆したようなテクトニックな浮力に原因を求め、それが、第四紀飛驒隆起と密接な関連があるとした。

しかし、現在のデータのみでは、地震学の方からこれ以上のことを言うのは無理なように思われる。

## 5. 跡津川—牛首断層系東端部

次に、跡津川—牛首断層系の東端を細かくみよう。Fig. 5 から Fig. 8 は、この部分の拡大図である。Fig. 5 が、この場合の原地形である。メッシュの間隔は、Fig. 1~Fig. 4 の半分、東西45秒（北緯36.5度で約 1.12 km）、南北40秒（約 1.23 km）で、コンターの間隔は 100 m である。従って、Fig. 5 は、原地形と言っても、東西 2.2 km、南北 2.5 km 以下の波長成分は既に失われてしまっている。

Fig. 6 は、波長 5 km 以下をカットオフした長波長地形である。この図は、本論文中で示される 9 枚の図の中でも取り分け重要である。第一に気が付くことは、幅東西 10 km、南北 10 km 程の立山 (JTAT) ブロックが、跡津川断層 (ATO-F) の東方延長部 (図中波線 A) を境に、その南側の薬師岳 (JYAK) ブロックと約 10 km、右ズレに変位していること、その北方部分でも、牛首断層 (USH-F) の東方延長部 (破線 B) を境に、同程度右ズレに変位して見えること、及び、その境界部はコンターが混み、傾斜が目立って急なことである。これらの部分では、断層及びその延長部を境にして、標高の落差が 500 m 以上にも達す

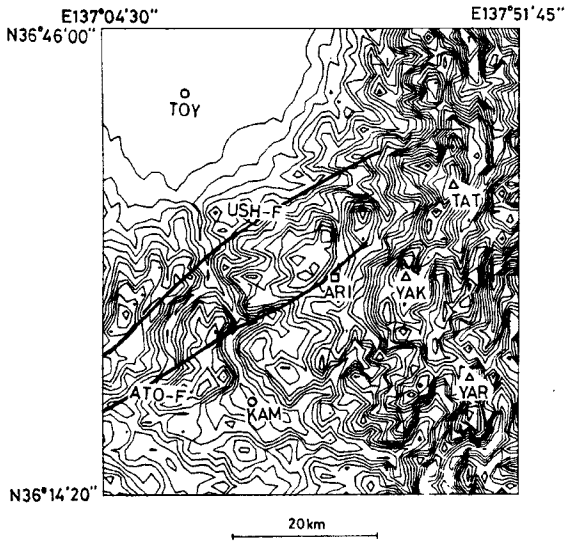


Fig. 5. Topography of the eastern part of the area of Atotsugawa-Ushikubi fault system, magnified from Fig. 1. Grid intervals for this plot are 45" (1.1 km) in the E-W direction and 40" (1.2 km) in the N-S direction. A contour interval is 100 m. Circles indicate locations of major cities in this area, Kamioka (KAM) and Toyama (TOY). Triangles are high mountains, Tateyama (TAT), Yakushi (YAK) and Yarigatake (YAR). A square is Arimine lake (ARI). Other pertinent data and symbols are the same as in Fig. 1.

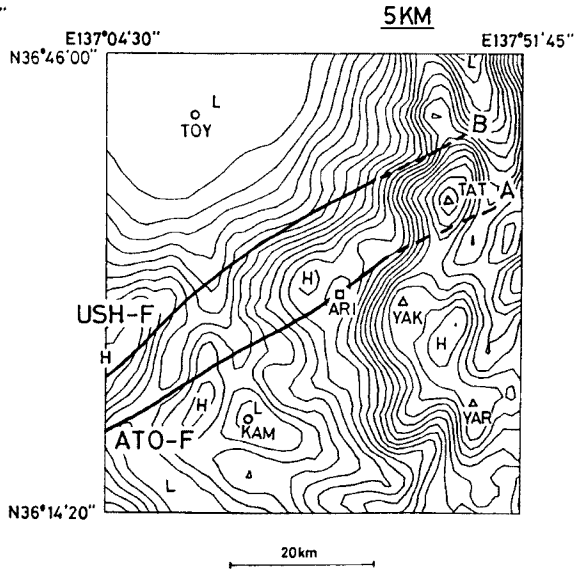


Fig. 6. Long wavelength topography extracted from Fig. 5 by a high-cut moving average with a cut-off wavelength of 5 km. Labels H and L denote relative highs and lows, respectively. Other pertinent data and symbols are the same as in Fig. 1.

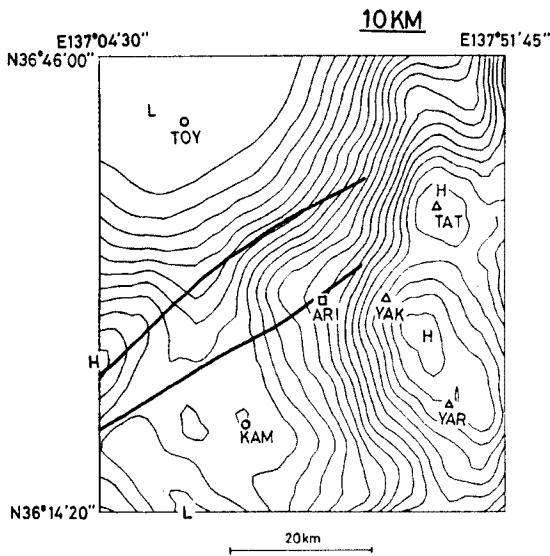


Fig. 7. Long wavelength topography extracted from Fig. 5 by a high-cut moving average with a cut-off wavelength of 10 km. Other pertinent data and symbols are the same as in Fig. 1.

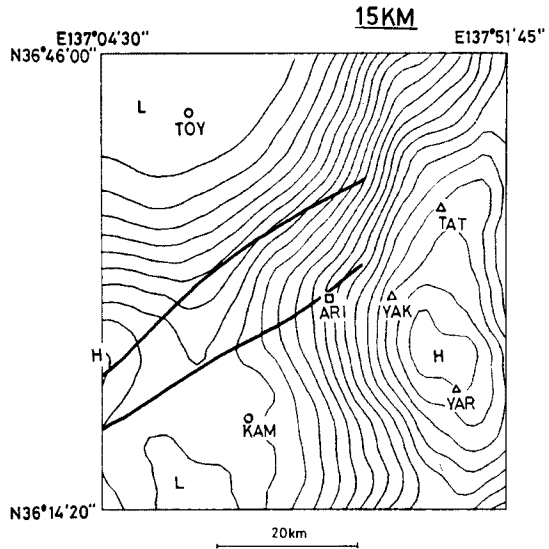


Fig. 8. Long wavelength topography extracted from Fig. 5 by a high-cut moving average with a cut-off wavelength of 15 km. Other pertinent data and symbols are the same as in Fig. 1.

る。

この破線部分 A と B は、活断層研究会 (1980)<sup>25)</sup> や藤井・竹村 (1979)<sup>8)</sup> によって、活断層の疑いありとされたものをつなぎ合せたものである。岡田 (私信) によれば、種々の状況証拠を併せれば、これらの部分も活断層であることは疑いないが、第四紀層を切る直接的証拠に欠けるので、文献上は「疑いあり」に止めてあるだけとのことである。

一方、土の集落には (富山 (ATOY) と神岡 (AKAM) を結ぶ直線と跡津川断層が交わるあたり) 高原川 (神通川の上流) の屈曲点があり、高原川の流路を約 3 km、右横ズレに変位させている<sup>21)</sup>。この変位は、原地形の Fig. 5 ではよく分かるが、Fig. 6 では判然としない。

これらのことから、Fig. 6 の波破線部 A と B の標高急変部分は、断層運動の累積変位そのものではなく、断層運動が、他の原因で出来た特徴的な地形をより際だつものにした痕跡を見ているのであろう。松田 (1966)<sup>2)</sup> が推定したように、跡津川断層の第四紀の累積断層変位が最大約 3 km ならば、波長 6 km 程度の長波長地形に、この影響が強く及んでいるのは当然なのであろう。

Fig. 6 は、地形変化の適切な波長部分を取り出すことが、活断層判断の有力な補助手段の 1 つ足りうることを示している。但し、今の場合は、カットオフ波長は 5 km であったが、活断層の地形形成力、侵食の地形形成力などの兼ね合いで、都合のよい波長帯は違って来るだろう。

Fig. 7 と Fig. 8 は、カットオフ波長が、それぞれ、10 km と 15 km の長波長地形である。Fig. 6 で見られた特徴を全体として残しているが、Fig. 6 ほど明瞭でない。カットオフ波長を、第四紀最大累積断層変位よりずっと長くしたため、上述のような明瞭な特徴が失われてしまったのであろう。

## 6. 北部フォッサマグナとの関連

次に、Fig. 9 で、跡津川—牛首断層系の東北東への延長部と北部フォッサマグナ地域の地形変化との関連を調べた。Fig. 9 のカットオフ波長は 10 km で、コンターの間隔は 200 m である。Fig. 9 中の破線の内、a と d は藤井・竹村 (1979)<sup>8)</sup> によって活断層の疑いありとされているもの、c は「日本の活断層」で戸隠山断層と呼ばれているもの、g は中土川の明瞭な線状地形、b と e は単にそれらを結ぶように筆者達が任意に引いた直線である。フォッサマグナ (太線) は、主として姫川に沿って引いた。

このようにして Fig. 9 を見ると、跡津川—牛首断層系の東北東延長部 (破線部) を境に、フォッサマグナは 10 km 程、右ズレに大きく折れ曲がっているように見える。もたろん、Fig. 9 は、破線 b と e の部分で恣意的で、この図が直ちにフォッサマグナの右ズレ折れ曲がりを確認しているとは言えない。

宇佐美 (1985)<sup>26)</sup> によると、1858年 4 月 9 日、跡津川断層で M 6.9 飛越大地震が発生、その 2 週間後の 4 月 23 日、跡津川断層の東北東への延長とフォッサマグナが交わる辺り、ちょうどフォッサマグナが大きく折れ曲がっている辺りで、M 5.9 大町地震が発生した。この大町地震が、フォッサマグナを震源とする南北走向の断層の地震か、跡津川断層の東北東への延長部を震源とする東北東走向の断層の地震か興味深い、今となっては詳細は分からない。

## 7. まとめと結論

跡津川断層とその周辺部の長波長地形を調べることに、次のような知見を得た。

跡津川—牛首断層系は、富山海岸平野部と飛津三角帯とを大きく区切っている。他の情報を併せ考えると跡津川—牛首断層系は、富山海岸平野部の比較的薄い (25~30 km) 地殻構造区と、飛津三角帯内部の厚い (30~35 km) 地殻構造区、かなり急激な遷移帯になっている。このことは、跡津川—牛首断層系が、地表からモホ面にまで達する、根の深い、大きなスケールのテクトニックな学現象であることを示していると考

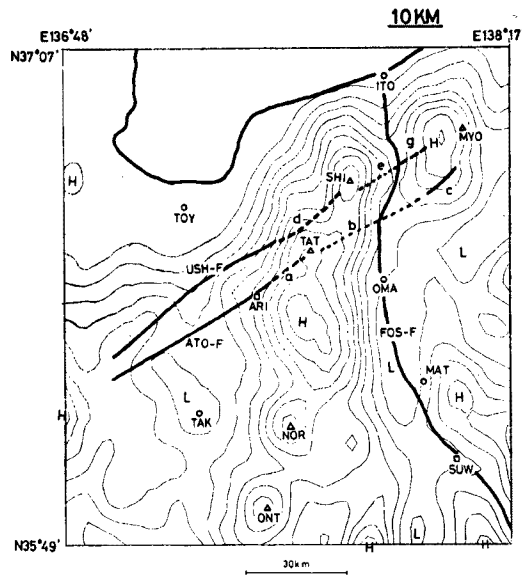


Fig. 9. Long wavelength topography of the Hida mountain area, including Toyama, the northern part of Gifu, the western margin of Niigata prefectures. A cut-off wavelength is 10 km. A contour interval is 200 m. Solid curves not labelled are coast lines. Solid lines labelled ATO-F, USH-F and FOS-F denote traces of active faults, Atotsugawa and Ushikubi faults and Fossa Magna (Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line), respectively. Circles indicate locations of major cities in this area, Itoigawa (ITO), Matsumoto (MAT), Omachi (OMA), Takayama (TAK) and Toyama (TOY). Triangles are high mountains, Norikura (NOR), Myokou (MYO), Ontake (ONT), Shirouma (SHI) and Tateyama (TAT). Meanings of a short line c and short broken lines a, b, e and g are in the text. Other pertinent data and symbols are the same as in Fig. 1.

えられる。跡津川—牛首断層系の長さが 70 km にも達することを考えれば、このようなことは当然なのかも知れない。

カットオフ波長 5 km の長波長地形図 (Fig. 6) を詳しく見ると、跡津川—牛首断層系の東北東端で、そこを境に、飛驒山地が 5~10 km 大きく右ズレにずれているように見える。また、その部分で、コンターが混んでおり、「日本の活断層」<sup>25)</sup> で活断層の疑いありとされたこの部分が、確実に地形をずらせていることが分かる。このことは、うまく短波長カットした地形を取り出すことにより、活断層の規模を判断する格好の補助資料が得られることを示している。

確実ではないが、跡津川—牛首断層系の東北東への延長部が、フォッサマグナの右ズレの折れ曲がりに関連しているように見える兆候がある。このように、適当に長波長地形を取り出すことにより、広域的な活構造の研究に、新しい補助的情報を加えてくれる可能性がある。

このように、適当な波長の地形を取り出すことは、変動地形学において接峰面図を書くことに似ている。この論文で行なったような手法は、大型計算機さえあればいたって簡単で、試行錯誤がしやすい。うまく使えば、活断層解析の有力な補助的手段となるであろう。

## 謝 辞

原稿を読んで貴重なコメントを頂いた同志社大学理工学部見野教授、富山大学教養部竹内助教授に感謝し



ます。数値地形データの使用を許して頂いた国土地理院に感謝致します。

数値計算は、主として、富山大学計算機処理センターの FACOM 235-45 S (現在の機種は IBM 3084-KX) で行ないました。

### 参 考 文 献

- 1) Crowell, J.C.: Movement Histories of Faults in the Transverse Ranges and Speculations on the Tectonic History of California, in Proceeding of the Conference on Geologic Problems of San Andreas Fault System, Ed. by W.R. Dickinson and A. Grantz, Stanford Univ. Publ. Geol. Sci., 11, 1968, pp. 323-341.
- 2) 松田時彦：跡津川断層の横ずれ変位，地震研究所彙報，44，1966，pp.1179-1212.
- 3) 見野和夫：地形と地震の関係（Ⅰ），地震2，34，1981，pp.213-222.
- 4) 見野和夫：地形解析とその意味，京大防災研年報，26，B-1，1983，pp.1-10.
- 5) 見野和夫：地形と地震の関係（Ⅱ），地震2，38，1985，pp.423-434.
- 6) Mino, K.: On a Formation Mechanism of Topography and Its Relation to Earthquake Occurrence in Southwest Japan, Bull. Disast. Prev. Res. Inst., 34, 1983, pp. 129-167.
- 7) 河野芳輝：中部日本の重力異常（Ⅱ）地形，地震活動，活断層，構造線との比較，地震2，36，1983，pp.247-253.
- 8) 藤井昭二・竹村利夫：富山県とその周辺の活断層，富山県地震対策基礎調査報告書，1979，pp.39-72.
- 9) 竹村利夫・藤井昭二：飛騨山地北縁部の活断層群，第4紀研究，22，1984，pp.287-312.
- 10) 河野芳輝・古瀬慶博：日本列島の重力異常—日本での重力測定100年—，科学，58，pp.414-422.
- 11) 大久保義弘・古瀬慶博・河野芳輝：跡津川断層周辺の重力異常と地殻構造，月刊地球，5，1983，pp.425-430.
- 12) Aoki, H., T. Tada, Y. Sasaki, T. Ooida, I. Muramatsu, H. Shimamura and I. Furuya: Crustal Structure in the Profile Across Central Japan as Derived from Explosion Seismic Observations, J. Phys. Earth, 20, 1972, pp.197-223.
- 13) 地質調査所：日本地質図，地質調査所，1978.
- 14) 第四紀地殻変動研究グループ：第四紀地殻変動図，第四紀研究，7，1968，pp.182-187.
- 15) Tsuboi, C.: Investigation of the Deformation of the Earth's Crust Found by Precise Geodetic Means, Jap. J. Astr. Geophys., 10-(2), 1933, pp. 93-248.
- 16) 坪井忠二：重力第2版，岩波書店，1979，
- 17) 丸山直利・河野芳輝：日本列島周辺のプレートの重力効果，地震学会予稿集，No.2，1986，pp.220.
- 18) 小林洋二：プレートの“沈み込み”の始まり，月刊地球，5，1983，pp.510-514.
- 19) 中村一明：日本海東縁新生海溝の可能性，地震研究所彙報，58，1983，pp.711-712.
- 20) 安藤雅孝：地震波から見たマンヨルダイアピル，火山2，31，1986，pp.45-53.
- 21) Ando, M., Y. Ishikawa and F. Yamazaki: Shear Wave Polarization Anisotropy in the Upper Mantle Beneath Honshu, Japan, J. Geophys. Res., 1983, 88, pp. 5850-5864.
- 22) Hirahara, K., K. Ikami, M. Ishida and T. Mikumo: Three-Dimensional P wave Velocity Structure Beneath Central Japan—Low Velocity Bodies in the Wedge Portion of the Upper Mantle Above High-Velocity Subducting Plates—, Tectonophysics, 163, 1989, pp. 63-73.
- 23) 三雲 健・小泉 誠・和田博夫：飛騨地方北部の地震活動，地震メカニズム，及びテクトニクス，地震2，38，1985，pp.25-40.

- 24) 川崎一朗・竹本 浩：北陸地方における地震の発生様式，5，1983，pp. 377-383.
- 25) 活断層研究会：日本の活断層，東大出版会，1980，
- 26) 宇佐美龍夫：飛騨地震と大町地震，地震予知連絡会報，33，1985，pp. 76-79.