

地形解析とその意味

見 野 和 夫

ANALYSIS OF TOPOGRAPHY IN SOUTHWEST JAPAN

By *Kazuo* MINO

Synopsis

We had a try to analyse topography in analytical methods to reveal the scale and direction of arrangements of blocks which composed topography on the Earth's surface in Southwest Japan.

Analysis was carried out by band pass filters and 2-dimensional Fourier methods. Topographical mesh data were prepared by the Geographical Survey Institute of Japan.

Basic scale of blocks constructing the topography in Southwest Japan is about 50-70 km in length. Topography with such scale is arranged in a certain direction which orients N-S. Typical property of topography was found in short scaled blocks with short wavelength which is 20-30 km in length.

Topography in the Outer Zone of Southwest Japan is undulating from east to west in several waves which are considered to be a fold with axes oriented N-S. The same pattern appears in the northern part of the Inner Zone, even its wavelength is shorter.

1. はじめに

西南日本における地殻活動の状況は東北日本でのそれより少し複雑である。しかし、種々の活動の結果は蓄積されて現在の地形の形態にしか残らない。即ち、地形の中には、諸々の年代の諸々の地殻活動の手懸が存在していると考えられる。この最も端的な例は、近年に発生した大地震に伴う地変である¹⁾。また、トレンチ掘削による大地震の繰返しの際の地変のあった事も判明している²⁾。上記の様な急激な変化ではないが、より大規模な従ってゆるやかな変形もある³⁾。中国山地の恒常的隆起⁴⁾等はゆるやかな変形 (0.1~1.0 mm/yr) である。測量の結果を用いて、変形が地塊相互の運動である事⁵⁾や地殻の変動が時間的に変化する⁶⁾事等が知られている。

この様な変動の関与する地形の規模は雑多である。何所でどの様な規模の地形が、どういう形状で分布しているかを知る事は必要な事である。

以上の様な観点から地形の解析を行った。解析の手段として、バンド・パス・フィルターによる各周波の地形の抽出、及び、二次元フーリエ解析による地形の代表的な地形、及び全体の傾向を探った。解析の対称となる地形のデータは、国土地理院で作製されたメッシュ・データを用いた。

まず解析の方法のあら筋を述べて、バンド・パス・フィルターで抽出される地形と二次元フーリエ解析の結果を示し、最後に簡単な考察を加えた。

2. 解析手法とデータ

2-1. バンド・パス・フィルター⁷⁾

重力解析用に開発されたバンド・パス・フィルターを用いた。このフィルターは *Seya* (1963) により開発された一種の移動平均フィルターである。ここでは二次元の場合を示した。

移動平均法によるフィルターは次の様に表わせる。

$$f(x, y) = \begin{cases} F_0/\pi r_0^2 & ; 0 \leq r \leq r_0 \\ 0 & ; r > r_0 \end{cases}$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}$$

従ってこのフーリエ変換は

$$F(\omega_1, \omega_2) = 2F_0 \frac{J_1(\omega r_0)}{\omega r_0}$$

$$\omega = \sqrt{\omega_1^2 + \omega_2^2}$$

ここに J_1 は一次のベッセル関数である。

$F(\omega_1, \omega_2)$ によりフィルターの特性を表すことが出来る。

Seya (1963) のフィルターは、カットする領域が互いに異なる二個の移動平均フィルターを組合せたものであり次の様に表わすことが出来る。

$$f(x, y) = \begin{cases} \frac{F_0}{\pi} \left(\frac{1}{r_0^2} - \frac{1}{r_1^2} \right) & ; r_0 \leq r \leq r_1 \\ 0 & ; r_1 < r < r_0 \end{cases}$$

従ってその特性は

$$F(\omega_1, \omega_2) = 2F_0 \left\{ \frac{J_1(\omega r_2)}{\omega r_0} - \frac{J_1(\omega r_1)}{\omega r_1} \right\}$$

で表わされる。特性曲線は、 r_1/r_0 が 2.0, 2.5, 3.0 の場合を示している Fig. 1。ここでは、Seya (1963) に従って $r_1/r_0=3.0$ を用いた。

2-2. 二次元フーリエ法

XY 座標上に二次元のデータ・アレイを次の様に与える。

$$a_{m \Delta x, n \Delta y}$$

ここに

$$m=0, 1, 2, \dots, M-1$$

$$n=0, 1, 2, \dots, N-1$$

Δx ; X 方向の単位長

Δy ; Y 方向の単位長

データ・アレイ $a_{m \Delta x, n \Delta y}$ のフーリエ変換は次の様に表わされる。

$$A_{u \Delta k, v \Delta l} = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} a_{m \Delta x, n \Delta y} \exp\{-2\pi i(m \Delta x \cdot u \Delta k + n \Delta y \cdot v \Delta l)\} \Delta x \cdot \Delta y$$

$$i = \sqrt{-1}$$

$$\Delta k = 1/M \Delta x, \Delta l = 1/N \Delta y$$

フーリエ変換を行う前にデータに次の重みをかけてデータを滑かにした。

$$\omega(i, j) = \sqrt{(-\cos i + 1.0) \times (-\cos j + 1.0)} / 2.0$$

ここに $i = m' \Delta x, j = n' \Delta y$ であり、 m', n' はデータによりまた取るべき周波数により違う。ここでは、メッシュ・データの与え方を考慮して 10 km より小さい波長においてはその振幅が無視出来る様にした。

2-3. データ

国土地理院の作成した地形データ (メッシュ・データ) の中で 1/200,000 の地勢図を 40×40 の要素に分割して、その各単位面積の平均高度を 10 m 単位で表わしたものをを用いた。従って各要素の占める面積は緯線に沿って 1', 経線に沿って 1.5' で囲まれる。緯度 35° 線上で夫々約 1.85 km, 2.28 km となる。解析の対称

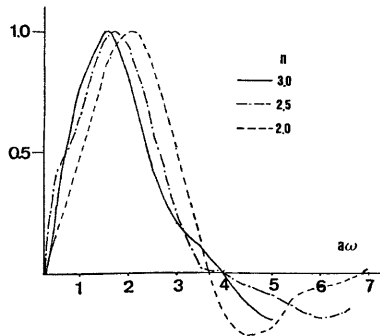


Fig. 1 Characteristic functions of Seya's filter are shown in normalized expression.

となる地域は、フォッサ・マグナより西側の謂ゆる西南日本である。この地域はさらに次の様に分割される。

即ち、フォッサ・マグナと敦賀・伊勢湾線で区切られる中部地域、敦賀・伊勢湾線、由良川・加古川線とMTL(中央構造線)で囲まれる近畿三角帯、MTLより南の外帯と北の内帯の四区に分かれる(Fig. 2)。このような地区の分割は、ここでは主に西南日本の代表的な構造線により行われた。

3. 解析の結果

3-1. バンド・パス・フィルターにより抽出された地形

中心波長 $\lambda=40$ km, $\lambda=20$ km のバンド・パス・フィルターで抽出された地形を夫々、長波地形、短波地形を代表する地形として示した Fig. 3, 4。夫々のバンド幅は $1.5r_0 \sim 9r_0$ 程度になる。従って $\lambda=40$ km のバンド・パス・フィルターは $15 \sim 90$ km の波長をもつ地形を、また $\lambda=20$ km の場合には $5 \sim 40$ km の波長の地形を引き出していることになる。これら抽出された地形を大波(長)地形、小波(長)地形と呼ぶことにする。バンド・パス・フィルターにより抽出された地形について、順次各ブロックごとにその特徴を述べる。次の議論では、フィルターの誤差を除去している。誤差を $20 \sim 30\%$ と大きめに取った。

3-1-1. 外帯

図に示される様に (Fig. 5), 外帯は、MTLの南側の地域である。影の部分でその地区を表わした。外帯の地塊の並びは、東から赤石山脈、紀伊山地、四国山地(剣山、石鎚山)、九州山地から成っている。夫々の地塊の規模は $50 \sim 70$ km である。これらの地塊は MTL に対して南北の列びをもっている⁸⁾。ここで赤石山脈については、中部地区に入れて論ずる方が良いかも知れない。小波地形の分布を Fig. 6 に示す。誤差を除去すると、中国地区を中心にパターンは大変複雑になる。しかし、外帯では、(九州では少し不明瞭であるが) 30 km 程度の南北の地形が良く分離して見られる。この傾向は、誤差つきの図 Fig. 4 でより明瞭に現われる。外帯では、地形は南北に長く伸びている上に夫々が併列して全体の地形を形成していることになる。

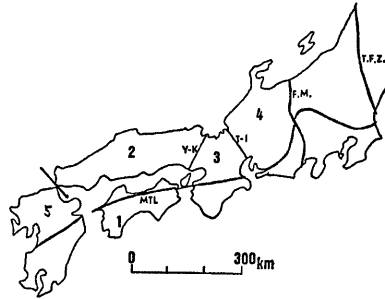


Fig. 2 Map of Southwest Japan which is indicated the western part of Fossa Magna.

- TFZ : Tanakura Tectonic Line
- FM : Fossa Magna
- T-1 : Tsuruga-Ise Bays Line
- MTL : Median Tectonic Line
- Y-K : Yura-Kako Line
- 1. the Outer Zone,
- 2. the Inner Zone,
- 3. the Kinki district,
- 4. the Chubu district.

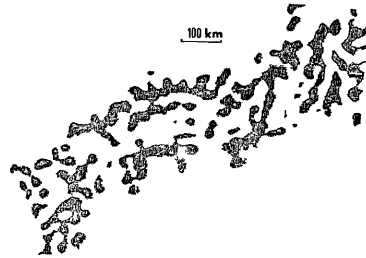


Fig. 3 Pattern of topography subtracted by band pass filter with the characteristic wavelength $\lambda=40$ km. Shadow parts indicate positive areas which agree with high lands or mountains.

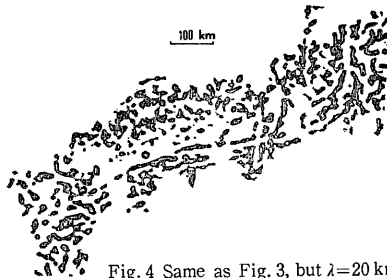


Fig. 4 Same as Fig. 3, but $\lambda=20$ km.

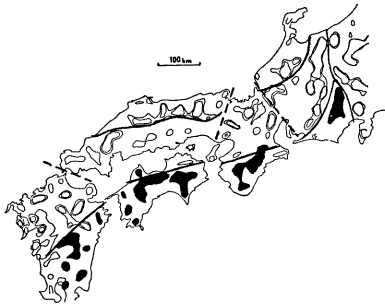


Fig. 5 Large scaled topography of the Outer Zone is shown by shadow area. Solid line across the Chugoku area is boundary between the Sanin and Sanyo Zones.



Fig. 6 Short scaled topography of the Outer Zone.

3-1-2. 内 帯

内帯の長波地形を Fig. 7 に示す。内帯は地形、地質的に次の様に分割される。MTL に沿う北部の瀬戸内海全体を領家帯と呼び、その北が山陽帯で、日本海側を山陰帯と呼ぶ (Fig. 8)。山陽帯と山陰帯は中国山地の南の境界で分けられる。内帯の地形の特徴は、中国山地で表現される。中国山地は図に見られる様に

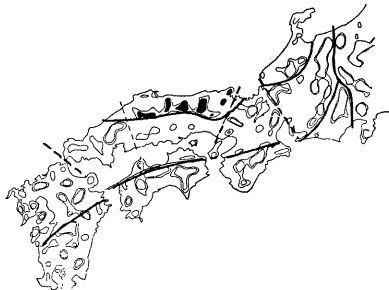


Fig. 7 Large scaled topography of the San-in Zone which is agreement with the Chugoku Mountain Range.



Fig. 9 Short scaled topography of the Sanin Zone.

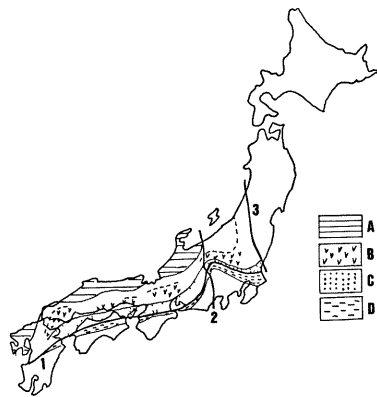


Fig. 8 Southwest Japan is divided by property of granitic rocks,
 A : the Sanin Zone,
 B : the Sanyo Zone,
 C : the Ryoke Zone,
 D : the Izumi Zone.
 There is intermediate zone between the Sanin and the Sanyo Zones.
 1. MTL,
 2. Fossa Magna,
 3. Tanakura Tectonic Line.

4～5個の地塊から成っている。これらの地塊はほぼ南北に併列している。しかし山陽帯は西に冠山々地を含むが、端立つ地形の並びがない。小波地形を Fig. 9 に示す。明瞭な地形のパターンを分別することは出来ない。これは、より長い波長でフィルターを施さなければならない事を物語っている。

3-1-3. 中部地域

ここでは、中部地区は Fossa Magna と敦賀・伊勢湾線間の地域に限る。Fig. 10 に長波地形を示す。飛弾・木曾・赤石山脈が全体の地形の並びを支配している。地形はほぼ南北でその長さは150 km にも及ぶ。北陸地域は、内帯の山陰帯へ入れて考えた方が良くかも知れない。小波長の地形を Fig. 11 に示す。少々明瞭さを欠くが Fossa Magna, MTL に沿って南北の長い地塊が存在している。Fig. 4 の地形図で見ると一層はっきり見られる。

3-1-4. 九州地域

長波地形は Fig. 10 に示した。不規則な分布をしているが外帯の南北、内帯での N45°W の地形が支配的である。小波長の地形を Fig. 11 に示す。互いに45°を成す地形が分布している。

以上のようにバンド・パス・フィルターは、各ブロックの地塊の分布を与え、また、その流れを示した。全体の地形の長波地形は Fig. 12 の様に表される。中部地域に表われる地形の流れの方向が西南日本全体の地形の流れになっている。短波地形では、MTL 沿いに小地形が平行して並んだ。この地形そのものが MTL であると考えることが出来る。MTL の活動の激しかった事を物語っている。Fig. 13。



Fig. 10 Large scaled topographies in the Chubu and Kyushu districts.



Fig. 12 Large scaled topographies expressed N-S direction are shown by dark shadows.



Fig. 11 Short scaled topographies in the Chubu and Kyushu regions.

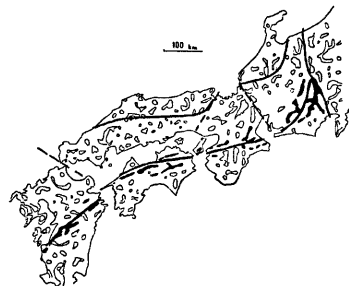


Fig. 13 Stream of short scaled topographies along MTL is shown by dark shadows. They take shape of MTL itself.

3-2. 二次元フーリエ解析の結果

フーリエ解析は、経線に沿って2°緯線に沿って1°20′で囲まれた地域ごとに施された。即ち1/200,000の地勢図四枚分の領域である。この面積の代表的な長さは、約200 km である。従って二次元フーリエ解析の結果は100 km 以下の波長に限る場合に意味あるものと考えられる必要がある (Fig. 14)。

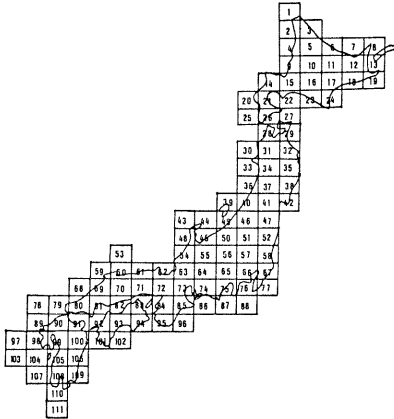


Fig. 14. Numbering of 1/200,000 scale topographic map published by the Geographical Survey Institute.

結果を内帯, 外帯, 中部山岳地帯等の地域に分けて, 各々の地域の代表的な特徴について述べる。

3-2-1. 外帯

この地域の二次元フーリエ解析の結果の代表的な地域の例と全体の地域の傾向を示す。Fig. 15 は 84, 83, 93, 94から成る地域の結果である。縦軸に東西波長(地形は南北列である)を, 横軸は南北波長(地形は東西列に並ぶ)を表わす。●印の大きい程フーリエの振幅は大きい。図には1.0を最大値として0.2~0.3までを意味ある振幅として取った。代表例で見ると, 50~70 km の波長の地塊の存在を示している事が判る。一方小波地形では東西波長20~40 km に一つの分布の集中する所(ピーク)が現われる。地形の東西に並ぶ, 即ち南北波長が40 km より長波であることと対称的

な傾向である。全体の傾向を, 各点の振幅の重みを同一とみなして, 各地域の結果を重ね合せた図で表わして, Fig. 16 に示した。ここでも 50~80 km の大波長地形の存在することが判る。また20~40 km の東西波長をもつ地形が卓越している。この結果は実際の地形に矛盾するものではない。

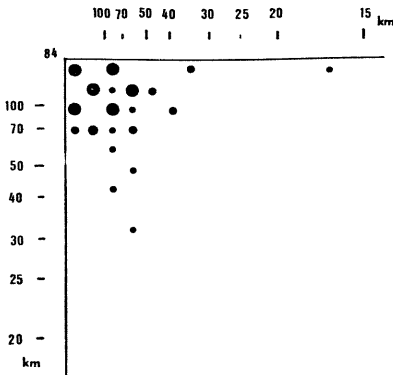


Fig. 15 Result of 2-dimensional Fourier analysis of regions No. 84, 85, 95 and 96 which area is the Kii Peninsula. Vertical axis indicates E-W wave and horizontal axis means N-S wavelength.

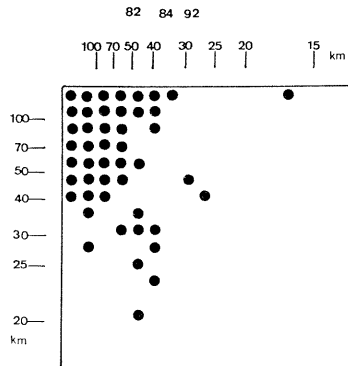


Fig. 16 General tendency of results of Fourier analysis in the Outer Zone.

3-2-2. 内帯

内帯の地形は、瀬戸内海・山陽低地帯と中国山地で形成されている。中国山地は、東から、氷ノ山、三国山、大山、道後山、冠山山地の5つの地塊で構成されている。各地塊の規模は波長50 km程度である。しかし、西端の冠山山地はその規模が少々大きく他の地塊とは距離的にも隔っている。各々の地塊は対応する低地を伴っていて、その低地により分割され外帯同様の南北列の地塊に分かれ、それらが組合わされて全体として東西並びの山脈を構成している。二次元フーリエ解析の結果の代表的地域例を2例示す (Fig. 17, 18)。前の図では、大波長 50~70 km の地塊の外に約 30 km の東西波長の地形の存在を示している。外帯と同様地形が南北に列ぶ性質をもっている。しかし後の図には地形が東西に列ぶ。即ち、南北波長があり波長 20~30 km にピークがある。この様な小波長地形の二つの系列が当地域の複雑さを造り出している。全体のパターンを Fig. 19 に示す。大波長地形の外に、東西波長で 20~30 km、南北波長でも 20~30 km の地形が現われている。小波長群の大波長群からの分離は東西波長の地形の方が明瞭である。特徴を表現する地形となる可能性がある。

3-2-3. 中部地域

この地域の特徴は、ほぼ南北に引かれるフォッサ・マグナに沿う活火山列と北から南へ伸展する飛弾、木曾、赤石山脈から成る山岳地形である。また、活断層の分布は他に例のない程密であり、その規模も大きい従って、この地域では断層地形も一つの特徴である。二次元フーリエ解析の結果の中で代表的な地域の例を

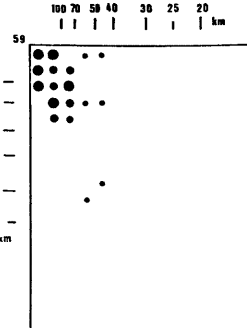


Fig. 17 Typical pattern of result of the analysis in the Sanin Zone.

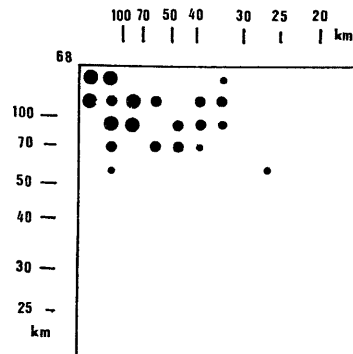


Fig. 18 Typical pattern in the Sanyo Zone.

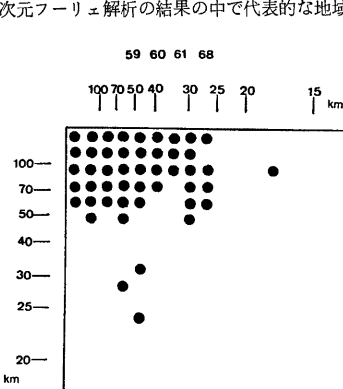


Fig. 19 General tendency in the Chugoku region.

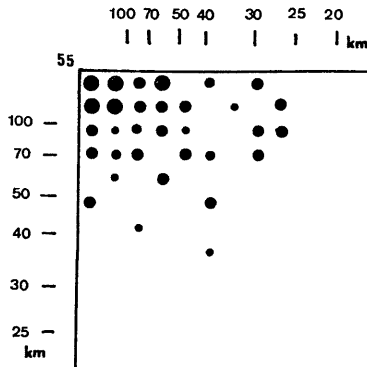


Fig. 20 Result of analysis in Central Chubu area.

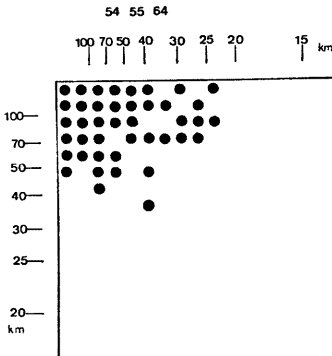


Fig. 21 General tendency in the Chubu district.

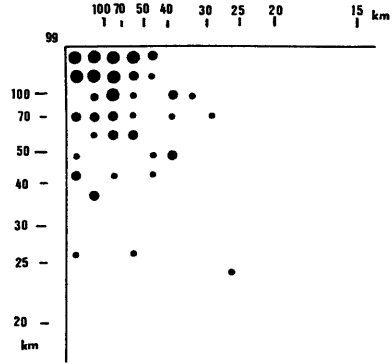


Fig. 22 Result of the central Kyushu area.

Fig. 20 に示す。50~80 km の大波長地形の存在がここでも明らかに現われる。他の二次元フーリエ解析の結果によると東西並びの小地形（南北波長をもつ地形）が顕著に現われている。全体の傾向にもその様子を見る事が出来る（Fig. 21）。

3-2-4. 九州地域

MTL により九州の地塊は阿蘇火山を中心とする活火山地帯と北北東・南南西に列ぶ九州山地とに二分されている。

二次元フーリエ解析の結果の代表例を Fig. 22 に示す。大波長の地形も小波長の地形もどの方向にも偏らない N45°E または N45°W の走向を表わしていると解釈出来る。全体の傾向も同様である。

4. 議論と考察

各地域の実際の地形と解析結果とを比較することにより、解析結果の意味を考える。

4-1. 外帯

二次元フーリエ解析の結果によると、西南日本の外帯では、地形は小波長でも大波長でも東西方向に卓越していた。即ち大・小の地形が南北列を成して併列することを意味している。

$\lambda=40$ km で表わされる特性をもつバンド・パス・フィルターにより抽出された外帯の地形は、南北波を含みながらも、ほぼ南北列の地形から成り卓越した東西波を含んでいることを示している。また、 $\lambda=20$ km で表わされる特性をもつフィルターにより抽出された地形は、東西波で小規模の地形を表わしている。 $\lambda=20$ km のフィルターで抽出されたままの謂ゆる生の結果に、よりはっきり表現されている。またこの小波地形図では MTL 沿いで東西に並ぶ小地形もはっきりと読取れる。MTL により造られた地形であると考えると、MTL の活断層としての活動の激しさの表われである。

外帯の実際の地形の分布は、西から九州山地、豊後水道、石鎚山地、土佐湾、剣山山地、紀伊水道、紀伊山地、伊勢湾となり、高・低地をくりかえしている。それらの間隔はほぼ一定していて、約100 km である。構造としては、南北軸をもつ波長100 km の褶曲地形でありその上に小波長の同形の褶曲地形を含む形をとっている。

4-2. 内帯

二次元フーリエ解析の結果は、大波長地形については50~80km の地形のあることを物語っているが小地形については、結果は複雑であった。東西方向が中国山地の並びであることを考えると、小地形に南北波をもつ東西並びの地形があることは想像出来ないことではない。小波小地形の複雑さは、バンド・パス・フィ

ルターのバンド幅の狭いことに原因する。今、 $\lambda=28$ km で表わされる特性のバンド・パス・フィルターを施した結果を示す。(Fig. 23)。南北列びも東西並びの地形も同じ程度の重さで現われる。このフィルターのバンド幅は10~65 km である。影の部分は北側で南北に列ぶが南では東西に並ぶ。実際の中国地域の地形の並びは、冠山、江川・三次、道後山、米子・高梁川、大山、津山、三国山、鳥取・千代川、氷ノ山、由良・加古川の様には高地と低地が交互にくりかえされる。冠山山地を除くと、中国山地の地形の構造は南北軸をもつ波長一定の褶曲地形と解することが出来る。各地塊の間隔は、 $\lambda=40$ km で抽出された地形の影部の間隔に等しく約50 km である。

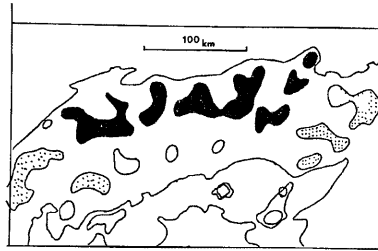


Fig. 23 Topography abstracted by the band pass filter with the characteristic wavelength $\lambda=28$ km. Dark shadow zone indicates the Sanin Zone.

4-3. 中部地域

二次元フーリエ解析の結果によるとこの地域の地形は、主に長波の地塊から成っていた。ほぼ南北に伸展する地形である。しかし、南北波の短波長の地形も卓越していた。これは、山脈の稜線に直交する侵蝕による渓谷、もしくは河川の分布を示している。山脈の稜線は大地形の並びに一致してほぼ南北に伸展している。そのため渓谷は東西に分布することになる。バンド・パス・フィルターの結果には明瞭には分離して出てこなかったがより小波地形には見てとれる。

4-4. 九州地域

二次元フーリエ解析の結果はバンド・パス・フィルターにより抽出された地形を良く説明する。この様に 45° で交差する地形は、応力場に依存しているが、実際的には、活火山の活動と MTL の運動の影響によるものである。

以上の様に、西南日本の地形は、50~70km を代表長とする地塊から出来ている。各地域の地形的特徴は20~30km の地形の並びで決まっている。

外帯では、小波地形の南北列び、中国地域では、小波地形としては稍々大きいそしてやや不明瞭な南北列びである。

中部地区では全体的な地形の傾向は、他の地域に一致して南北の伸展をみせていたが、小波長の南北波の説明に明解を欠く。これらの地形の分布の差は、地質構造と密接に結びついているが、このことは他の機会に述べることにしたい。

二次元フーリエ解析の結果は、各地区の地形の波長と地形の波状の強さを判定するのに有効であった。詳しい解析は地形の細密なデータまたはより広い地域の解析によって可能である。

Seya (1963) のフィルターは、地形解析にとって有用であった。特に計算の簡単な事は、電子計算機の使用において経済的であった。データの規模と地形の分布の複雑さの為に $\lambda=8$ km 以下の波長をもつ地形については何も言えない。またフーリエ解析の前処理の平滑化時に、10km 以下の地形を切り捨てるように操作が行われたためでもある。

謝 辞

この小論をまとめるにあたり、京都大学防災研究所岸本兆方教授、尾池和夫教授及び同僚小地震部門の皆様には、多くの有益な助言をいただきました。深く感謝致します。また防災研究所資料センターの松村一男氏には計算にあたり多くの助力をいただきました。あわせてお礼申し上げます。尚データ処理は防災研究所資料センターの FACOM M140 により行われた。

参 考 文 献

- 1) 松田時彦 : 1891年濃尾地震断層, 震研彙報, 速報, 13, 1974, pp. 85-126.
- 2) 岡田篤正, 安藤雅孝, 佃為成 : トレンチ発掘による活断層の調査, 月刊地球, 1, 1979, pp. 608-615.
- 3) Kaizuka, S. : Rate of folding in the Quaternary and Present, Geogr. Rept. Tokyo Metrop. Univ. 2, 1967, pp. 1-10.
- 4) 吉川虎雄 : 山崎直方先生と変動地形の研究, 地理学評, 44, 1971, pp. 552-564.
- 5) Tsuboi, C. : Investigation of the Deformation of the Earth's Crust found by Precise Geodetic Means, Jap. J. Astr. Geophy. 10-(2), 1933, pp. 93-248.
- 6) Mizoue, K. : Modes of Secular Vertical Movements of Earth's Crust, Bull. Earthq. Res. Inst. 45-(4), 1967, pp. 1019-1090.
- 7) Seya, K. : On the New Method of Analysis in Gravity Prospecting, Jap. Geol. Survey, Rept. No. 201, 1963.
- 8) 貝塚爽平 : 日本の地形, 岩波新書, 966, 1977.