

地形的特徴からみた “ 延岡構造線 ”

著者	横田 修一郎, 岩松 暉
雑誌名	鹿児島大学理学部紀要. 地学・生物学
巻	24
ページ	37-53
別言語のタイトル	“ Nobeoka Tectonic Line ” Viewed from Topographical Features
URL	http://hdl.handle.net/10232/00001719

地形的特徴からみた“延岡構造線”

横田修一郎・岩松 暉*

(1991年9月10日受理)

“Nobeoka Tectonic Line” Viewed from Topographical Features

Shuichiro YOKOTA and Akira IWAMATSU*

Abstract

Nobeoka Tectonic Line, one of major tectonic lines in Central Kyushu, is defined as the boundary fault dividing the Shimanto Supergroup into Cretaceous and Paleogene systems (HASHIMOTO, 1962). However, differences of not only geological ages but also structures in both terrains is not clear. Moreover, location of the Tectonic Line is not also confirmed.

Generally, geological differences in ages, lithofacies and structures of any areas tend to appear in topographical features such as gradient of slopes, stream density and drainage patterns. So, several elements of topographical features have been analyzed in the area including the Nobeoka Tectonic Line by using the numerical data of topography.

As the results, Nobeoka Tectonic Line is topographically recognized as a low gradient zone elongating northeast-southwest direction. Standard deviation of gradient distribution also shows topographical difference of zone along the Tectonic Line from other areas. On the contrary, differences in topographical spectrum in N-S section are not recognized between both terrains separated by the Tectonic Line.

1. はじめに

地質構造線は地域の地質構造発達史を考えるうえで極めて重要な要素である。ここでとりあげる“延岡構造線”は九州四万十帯のなかで白亜系と古第三系を境する構造線として定義され(橋本, 1962), 中央構造線や仏像構造線とともに, 中・南九州の地質構造発達史を考えるうえで基本的かつ重要な構造要素とされてきた。しかし, 調査・研究が進むにつれて, 周辺に分布する地層の地質時代や岩相・構造上の特徴は必ずしも構造線を境としていない可能性が指摘されはじめ, 構造線自身の地質学的性格や位置に関する様々な解釈とともに, 構造線が存在すら疑問視されるようになってきた(小川内他, 1984; 田中他, 1991; 岩松, 1991)。

ところで, 西南日本外帯では一般に帯状の地質構造に調和して地形的な帯状パターンも明瞭である。新第三系・第四系が広く分布している九州においても, 基盤の広く露出する脊梁山地を中心に NE-SW 方向の地形的帯状パターンが認められ, 地質構造の地形への反映を物語っている。

* 鹿児島大学理学部地学教室 Institute of Earth Sciences, Faculty of Science, Kagoshima University, 1-21-35 Korimoto, Kagoshima 890, Japan.

これは、山地を構成する個々の岩石・岩盤固有の被侵食性の差異とそれらの分布特性等によるといえよう。

地質構造線(断層)によって境されている個々の帯状域が特定の地質時代や岩相・構造等によって特徴づけられているならば、地質構造線は岩石の形成時代や形成環境の境界であり、さらにその後の構造運動や変成作用等の境界であるといえる。したがって、構造線を境として、岩石・岩盤の物理的性質の違いを反映したなんらかの地形的特徴上の違いが現れるのは当然であろう。例えば、同じ砂岩でも時代によって物理的性質の違うこと(たとえば、星野・井波, 1975)を考慮すれば、それが斜面の傾斜角や谷の発達程度、起伏等の違いとなって現れることは十分に考えられる。また、構造線自身も、断層-破碎帯の浸食のされやすさを反映して周辺に相対的な低地または鞍部をつくりやすいことは容易に考えられる。

そこで、以下ではこのような岩石・岩盤の物理的性質を通じて地質構造の地形への反映という点に着目し、広域的にみた“延岡構造線”周辺の地形的特徴を調べ、それをもとにした地質構造線の性格について考察してみる。

地質構造を反映する構造地形は、一般には第四紀の構造運動に起因する大規模な構造起伏(tectonic relief)と個々の地質構造に起因する組織地形(structural relief)に分けられるが、これに基づく、ここでとらえようとする地形的差異とは構造線によって境される両側地域での組織地形上の差異といえよう。

2. 九州四万十帯の帯状区分と“延岡構造線”

九州の四万十帯では古くから多くの地質学的研究がなされている(たとえば橋本, 1962; 今井他, 1971, 1975, 1979; 最近では坂井・勘米良, 1981など)。なかでも、橋本(1962)は九州四万十帯を岩相上の特徴から、北より佐伯帯(上部ジュラ系~上部白亜系)、蒲江帯(トリアス系?~下部白亜系)、延岡帯(古第三系~中新統あるいは漸新統)、高隈山帯(ジュラ系~下部白亜系)、日南帯(古第三系)、熊毛帯(古第三系?~中新統)の6帯に区分し、これがその後の構造区分の基礎となっている。そして、各帯の境界をなす構造線は、北より色利-袴谷構造線、延岡-紫尾山構造線、去川-鹿屋構造線とされ、そのうち、延岡-紫尾山構造線はもっとも著しい大断層帯(剪断帯)とされてきた。その後、今井他(1975)は九州四万十帯を諸塚帯、神門帯、日向帯、高隈山帯、日南帯と区分し、さらに寺岡他(1981)は諸塚帯(下部白亜系、一部ジュラ系?ないし上部白亜系)、神門帯(古第三系)、日向-日南帯(始新統~下部中新統)の3帯に区分している。各帯はいずれも延岡構造線、大藪衝上断層とよばれる低角断層によって境されていると考えられており、両断層(構造線)とも上記の橋本(1962)のそれらを再定義したものといえる。

“延岡構造線”に関してはこのように多くの層序学的・古生物学的研究があるにも関わらず、その正確な位置はもちろんのこと存在の有無すら確定していない。田中他(1991)は、“延岡構造線”のうち、神門地域の詳細な地質調査結果をもとに構造線を挟む両側の地層が見かけ上、上下関係をなし、さらに構造的にも両者が調和的である可能性を指摘した。さらに岩松(1991)はこれをもとに、少なくとも従来のように構造単元を境するような“延岡構造線”は、標識地の延岡でも、内陸の神門地域でも存在は確認できないとした。

本研究はこのような地域を対象としたものである。広範囲の地形解析結果と対応させるための“延岡構造線”として、以下では『1/200,000九州地方土木地質図』(九州地方土木地質図編纂委員会, 1986)を用いたが、これはほぼ上記の寺岡他(1981)を基本としている。

3. “延岡構造線”に沿った地域の地形・概要と用いた地形データ”

(1) 地形・地質概要

地形解析の対象とした範囲は、第1図に示すように宮崎県延岡市から熊本県人吉市にいたる東西約80km、南北約60kmである。この地域は九州山地南部に相当し、中央部には国見岳 (EL. 1739m)、市房山 (EL. 1722m)、諸塚山 (EL. 1342m) などを中心とする標高1,000m以上の山地が広がっており、基盤が広く露出している。標高の高い部分は大局的には九州山地方向のNNE-SSWに延びているが、詳細にみると山稜にはNE-SW方向に配列しているものが多い。

対象地域の南西部には人吉盆地があり、その中央を球磨川が南西方向に流れている。一方、脊梁をなす九州山地から東へは五ヶ瀬川、耳川、小丸川、一ツ瀬川などが急峻な山地を縫って流下している。ただし、耳川上流部などでは、河川の流路方向も一部NE-SWとなっており、これは山稜の同方向への配列とともに地質構造に規制されたものと考えられる。東部の海岸近くでは標高数100m以下の丘陵状地形が形成されており、とくに延岡市の五ヶ瀬川下流部から日向市の耳川下流部にいたる地域は緩傾斜の丘陵となっている。

本対象地域は、『1/200,000九州地方土木地質図』（九州地方土木地質図編纂委員会、1986）によれば、大部分は四万十帯に含まれているが、北西部は一部三宝山帯（秩父帯）に含まれている。



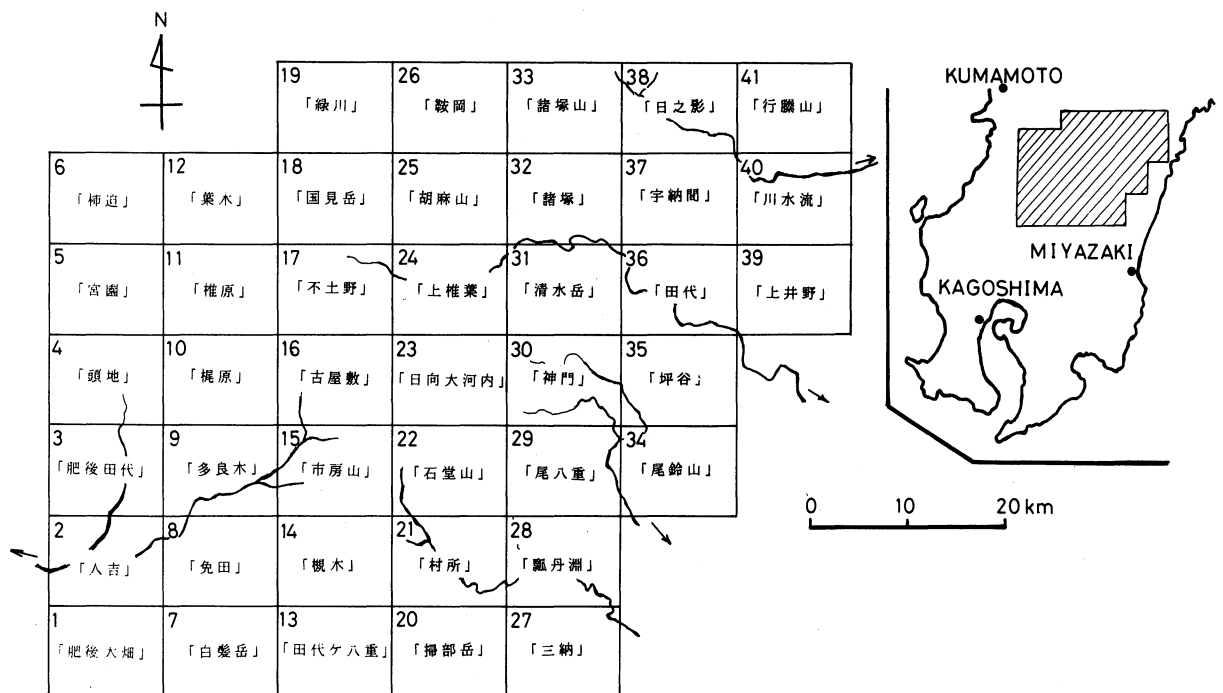
第1図 対象地域の地形概要。等高線間隔は200メートル（点々は1,000m以上の部分）。“延岡構造線”は右上の延岡から左下の人吉にかけて推定されている。破線の枠は第2図の範囲を表す。

そして、同図には延岡構造線は四万十帯のほぼ中央部に NE-SW 方向に描かれている。ただし、断層面が低角度であるとして断層線は極めて不規則な形態に表現されている。さらに対象範囲内には市房山付近に中新世の小規模な花崗岩体が存在するのをはじめ東端の尾鈴山付近にも酸性岩類が存在している。寺岡他 (1981) によれば、この地域の四万十帯は“延岡構造線”を境として北側は諸塚層群、南側は日向層群とよばれ、両者の間に神門層が細長く存在しているとされている。いずれも砂岩、泥岩を主体とするが、岩相は様々であり、とくに諸塚層群には片状砂岩が含まれているという特徴がある。

(2) 国土数値情報による地形標高データ

地形的特徴を解析するための基礎データとして国土数値情報の地形標高データ (KS-110-1) を使用した。この標高データに関しては、基準メッシュ (区画) が設定されており、それは1次メッシュ (第1次地域区画)、2次メッシュ (第2次地域区画)、3次メッシュ (第3次地域区画) と段階的に区分されている (建設省国土地理院, 1983)。1次メッシュは東西1度、南北40分の範囲 (1/200,000の地勢図幅の範囲) であり、2次メッシュは1次の範囲を東西、南北にそれぞれ8等分したもの (1/25,000の地形図幅の範囲) である。第3次メッシュはそれをさらに10等分したものである。実際に利用できる基本メッシュにはさらに4等分した4次メッシュがある。すなわち、1/25,000の地形図幅を東西、南北に40等分したものに相当する。この場合、基本メッシュ (4次メッシュ) の大きさは東西約295m (11.25秒)、南北約231m (7.5秒) となる。

国土数値情報を利用した範囲と対応する1/25,000地形図幅名 (2次メッシュ) を第2図に示す。延岡市の北部から、前述の神門地域をへて人吉市にいたるほぼ長方形の範囲であり、これらのなかには1/25,000の地形図が計41図幅含まれている。“延岡構造線”はさらに北東方向に延岡市の海岸部に延びているとされており (橋本, 1962)、そこでの地質構造は小川内他 (1984) 等によ



第2図 地形解析の対象とした範囲と1/25,000地形図幅名。
各図幅の左上の数字 (1～41) は便宜的につけた図幅番号。

て議論されている。しかし、海岸部においては侵食営力にかかわる初期条件・境界条件が内陸の山地地域とで大きく異なる可能性があるため、解析対象から除外し、内陸部のみに限定した（第2図参照）。利用した全範囲に含まれるメッシュの数、すなわち標高値のデータは計65,600点に達する。

(3) 地形数値データの事前処理

国土数値情報のオリジナルデータには標高値の与えられていない地域、たとえば、大きな河川部分やダム湖、急崖部、あるいは人工的な埋立地などがあり、実際の使用にあたってはこれら空白部の処理が必要となる。さらに、データ作成時の読み取りミスや入力ミスが現実にはかなり存在するため、オリジナルデータの使用にあたってはデータ全体のチェックが必要である。ここでは空白部のデータはまわりの値から補間し、またデータチェックとしてはすべてのデータ値に関してそれを隣接メッシュの値と比較し、一定の差以上の場合にはその値を破棄したうえまわりからの補間値に置き換えるという方法をとった。

4. “延岡構造線” 周辺地域における地形の標高と傾斜角

“延岡構造線” 周辺地域における地形的特徴として、まず地形要素の基本である標高（高度）と傾斜角について調べ、推定されている構造線の地形的位置について考察する。

(1) 標高の分布

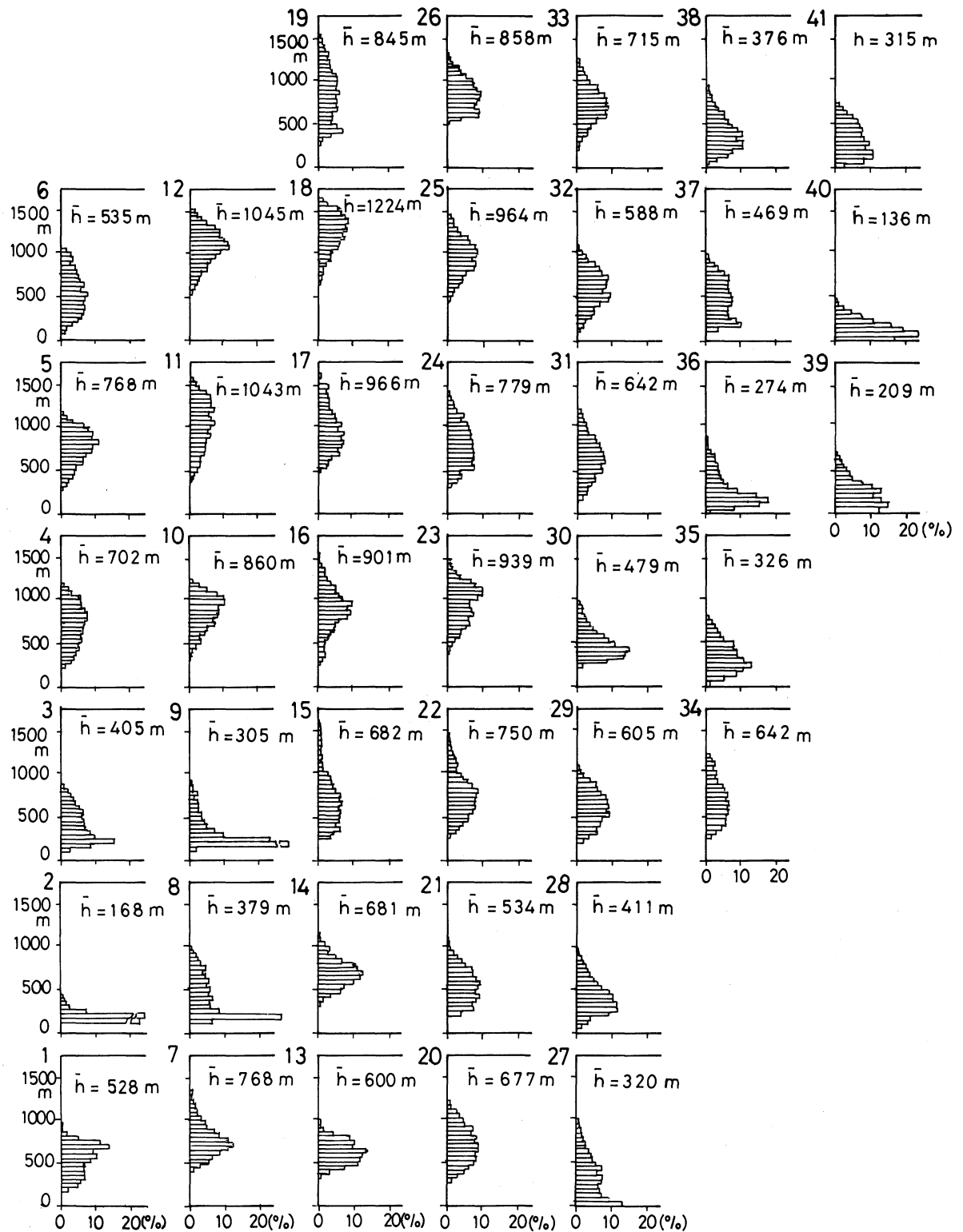
地表の標高（高度）は地形的特徴の最も基本的要素である。第3図はそれぞれの2次メッシュ（各1/25,000地形図幅の範囲）内において、標高50m ごとの面積百分率を求め、標高の特徴をヒストグラムのかたちで表したものである。平野、丘陵の広がっている人吉盆地（図中のNo. 2, 8, 9 など）や東部の耳川下流部（No. 39, 40）などでは低標高部にピークが認められるが、それ以外の地域では標高の中央部にピークが存在し、分布はほぼ上下に対称に近いかたちとなっている。ただし、分布型は地域によって微妙に異なる。また、No. 15, 22のように正規分布に加えて標高1,000m 以上にわずかながら分布の見られるものも存在する。ヒストグラムの分布型はこのように様々であるが、互いに隣接する地域間に類似のものの見られる傾向がある。

(2) 平均標高

第3図にはそれぞれの区画（2次メッシュ）内での平均標高 \bar{h} も示している。平均標高 \bar{h} というまでもなく個々の基本メッシュ（4次メッシュ）ごとに与えられている標高（高度）値をそれぞれの区画内で単純に平均化したものであり、

$$\bar{h} = \sum_{i=1}^n h_i / n \quad (1)$$

として求められる。ここで h_i は区画内に含まれている i 番目の基本メッシュの標高（高度）値であり、 n は対象区画内でのメッシュ総数である。平均標高の平面的な分布をもう少し詳しくみるため、ここではさらに2次メッシュ（各1/25,000地形図幅の範囲）をさらに縦横2等分し、1/4の区画範囲を単位として、平均標高 \bar{h} を求めた。この場合、 $n=20 \times 20=400$ である。このようにして求めた平均標高値 \bar{h} (m) とそれに基づいた平均標高の分布を第4図に示す。いうまでもなく、これは第1図の地形図をさらに大局的に示したものに相当する。一般に侵食による微地

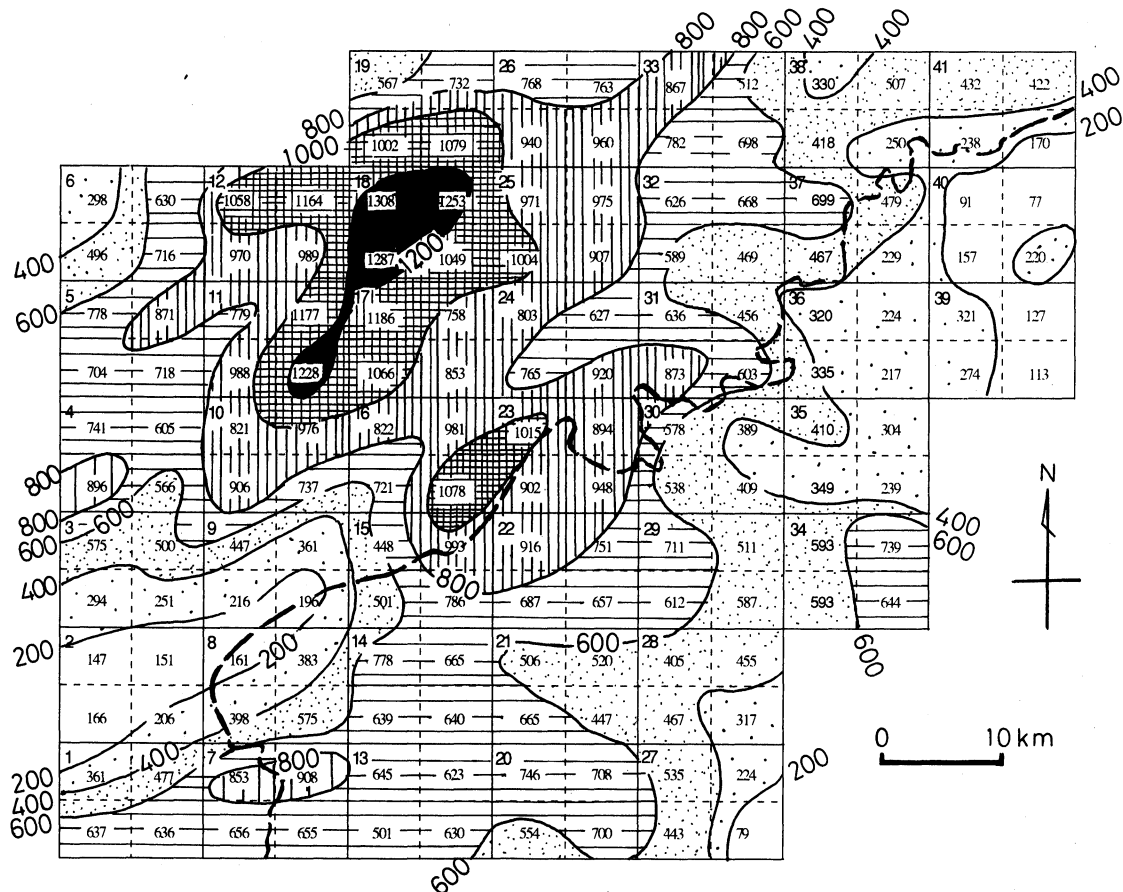


第3図 2次メッシュ (1/25,000図幅単位) 内における標高別面積百分率。
縦軸は標高, 横軸は標高50mごとの面積の全体に占める割合を表す。
 \bar{h} はそれぞれのメッシュ内で平均標高 (単位はメートル) を示す。
左上の数字 (1~41) は第2図に対応する。

形を消去して大局的な構造地形を議論する際には、このような単純な算術平均でなく、むしろ最高標高値を重視した接峰面図の作成されることが多いが、ここでは原地形が全般に明瞭でないこと、大規模な構造地形の議論が主目的でないこと等から(1)のような平均化を用いた。

第4図に示すように、対象地域のうち脊梁山地に相当する中央部の国見岳周辺には平均標高1,200m以上の地域が存在するほか、国見岳から北東方向の諸塚山にかけても1,000mを越える地域が広がっている。そして平均標高の高い地域（たとえば、600m以上の地域）は巨視的には九州山地の延びの方向、すなわち NNE-SSW 方向に延びている。ただし、もう少し詳細にみると、四万十帯の帯状構造の方向である NE-SW 方向に延びているように見える。一方、南西部人吉盆地の球磨川周辺では当然ながら平均標高は低く、北東部の日向市周辺地域でも平均標高は低い。

第4図には『1/200,000九州地方土木地質図』（九州地方土木地質図編纂委員会、1986）による“延岡構造線”の推定位置を破線で示しているが、これとの対応関係をみると、少なくとも“延岡構造線”の北側では全般に平均標高は高く、南側ではやや低い。ただし、構造線を境する平均高度の差異はそれほどシャープではない。このことから、逆に“延岡構造線”は巨視的にみると九州山地南東端に相当するが、地形的にはそれを画するようなものではないといえよう。



第4図 2次メッシュの1/4区画内での平均標高（単位はメートル） \bar{h} とその分布。
右上から左下への破線は“延岡構造線”。

(3) 斜面の傾斜角

一般に斜面の傾斜角はそこでの岩石・岩盤の物理的性質を反映していることが多い。傾斜角は様々な目的に用いられているが、とくに、斜面崩壊や地すべりなどの自然災害の発生条件として

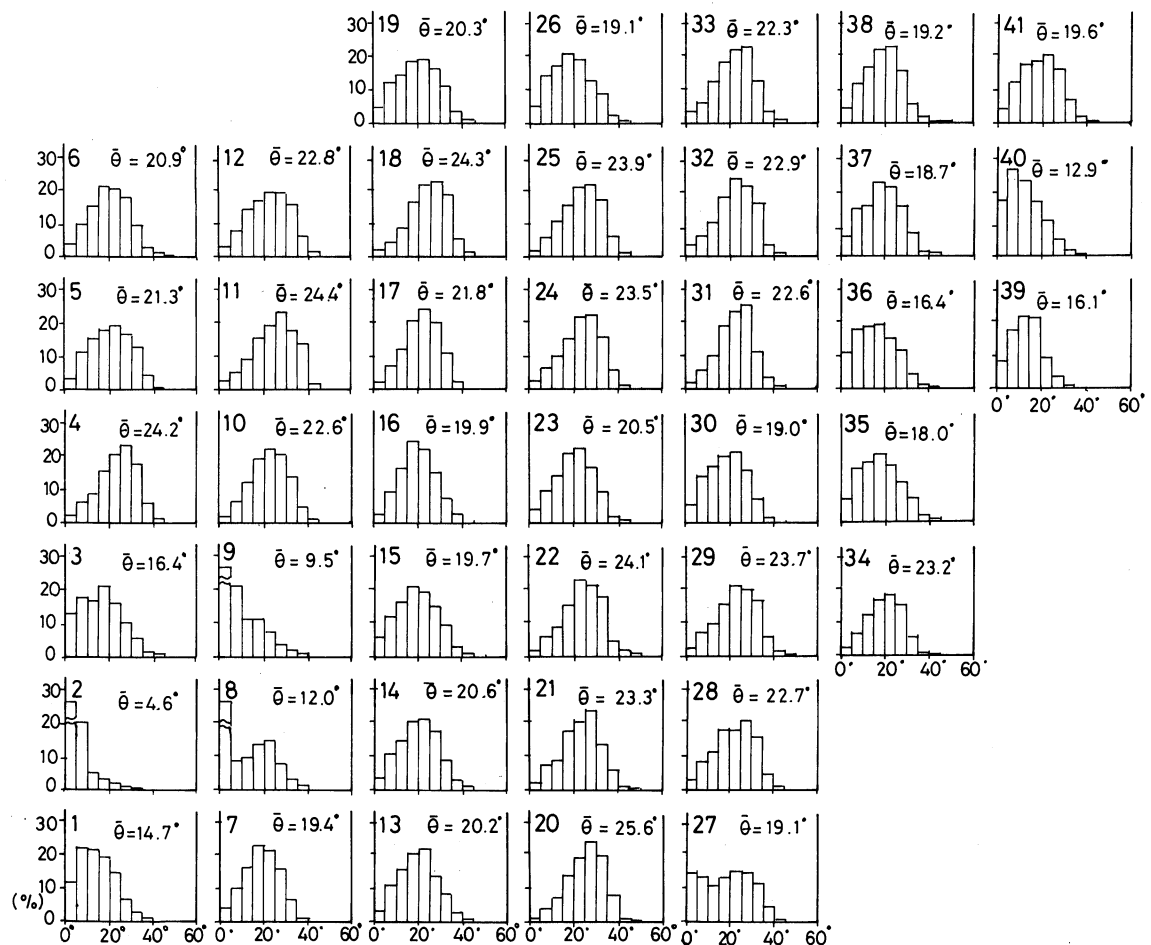
重要であることから、防災上で広く用いられている。定性的には、急傾斜の斜面ほど不安定なためである。また、一般に岩石・岩盤が硬く、浸食されにくいほど平均的な斜面の傾斜角は大きくなることが予想される。斜面の傾斜角は前述の地形標高データから容易に計算することができる。現実の山地地形の複雑さを考えれば、ここでの基本メッシュ（4次メッシュ）の大きさ（295m×231m）は斜面崩壊や地すべりの発生といった局所的かつ微妙な傾斜角の算出には適していないが、諸塚層群、日向層群といった規模での地形的特徴の議論は可能であろう。

いま、基本メッシュ（4次メッシュ） i の斜面の傾斜角（最大傾斜角）を θ_i とすると、 θ_i は、

$$\theta_i = \arctan \{ \sqrt{(\Delta h_i / \Delta x)^2 + (\Delta h_i / \Delta y)^2} \} \quad (2)$$

によって求めることができる。ここで Δh_i は隣接メッシュ間での標高差、 Δx 、 Δy はメッシュ間の水平距離（東西方向ならびに南北方向の距離）である。この場合、 $\Delta x=295\text{m}$ 、 $\Delta y=231\text{m}$ である。

ここでは基本メッシュ（4次メッシュ）ごとの傾斜角をもとに、それぞれの2次メッシュ（1/25,000図幅単位）内での斜面傾斜角の面積百分率を計算した。結果を第5図のようにヒストグラムのかたちで示す。当然ながら、人吉盆地（No. 1, No. 2）等では 10° 以下の緩傾斜部分が広い面積を占めるが、他の大部分では $10^\circ \sim 20^\circ$ 付近にピークがみられ、最大傾斜角は 55° 前後



第5図 2次メッシュ（1/25,000図幅単位）内での斜面傾斜角の面積百分率と平均傾斜角 $\bar{\theta}$ 。
横軸は 5° 刻みで表した斜面傾斜角（°），縦軸は面積百分率（％）。
左上の数字（1～41）は第2，3図に対応する。

が多い。分布型としては正規分布に近いものが見られる。詳細にみると、分布型は必ずしも左右対称のものではなく、左側（緩傾斜側）がやや緩く、右側（急傾斜側）がやや急になっているものが多い。これは、斜面が浸食によってそれぞれの岩石・岩盤固有の傾斜角近くに達しているものが多いと解釈できる。換言すれば、このような分布型の地域では斜面は岩石・岩盤の不安定領域に近い状態に達しているものといえよう。

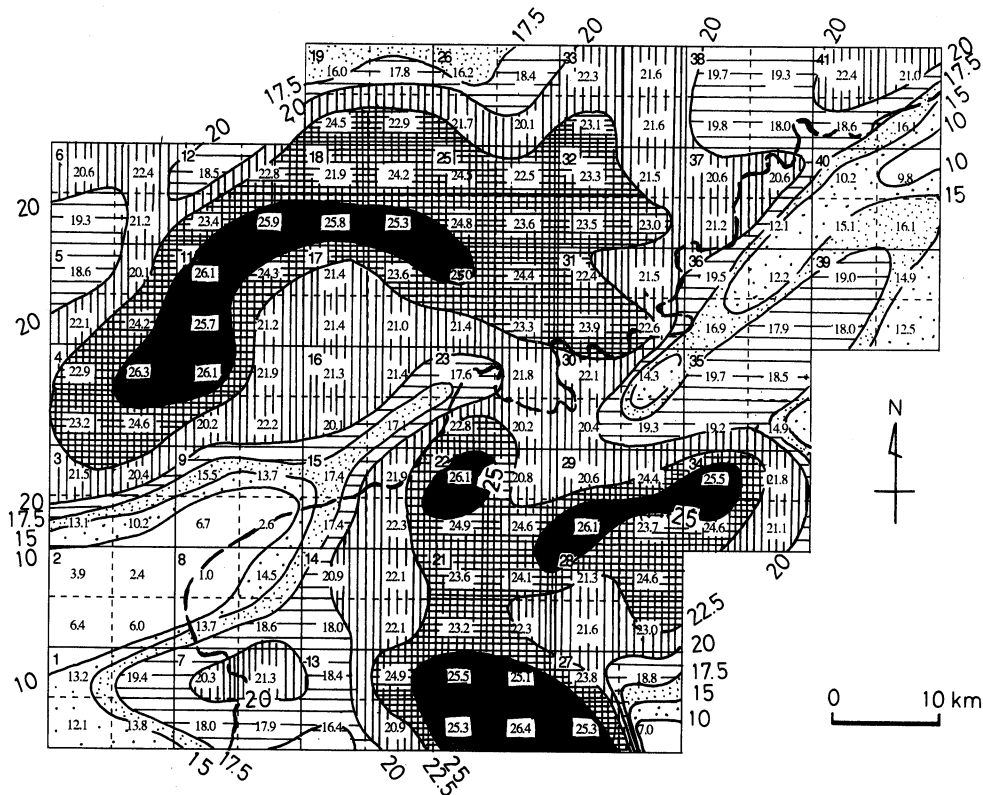
(4) 平均傾斜角

ここでは平均傾斜角 $\bar{\theta}$ は個々の基本メッシュ（4次メッシュ）での傾斜角 θ_i を1つの2次メッシュの範囲内で平均化したものである。すなわち、平均傾斜角 $\bar{\theta}$ は

$$\bar{\theta} = \sum_{i=1}^n \theta_i / n$$

で求められる。第6図は標高分布と同様に1/4区画での平均傾斜角の値（°）とそれに基づいた平均傾斜角の分布を示したものである。これによれば、本地域では平均傾斜角20°以上の地域がかなり広がっており、全般に急峻であることがわかる。そして、前述の平均標高と同様に脊梁部に相当する中央部ではとくに急傾斜で、国見岳から諸塚山にかけて25°以上の地域がいくつか認められる。ただし、対象地域の南部でも尾鈴山をはじめ25°以上の急傾斜地域が存在する。

一方、平均傾斜角20°以下の相対的に緩傾斜の地域は南西部の球磨川に沿った地域や北東部の五ヶ瀬川、耳川の下流部等に広がっている。これらは平均標高の低い地域ともある程度対応しているが、緩傾斜の地域はNE-SW方向にゾーンとして延びている傾向が認められる。



第6図 1/4区画内での平均傾斜角（単位は度）とその分布。右上から左下への破線は“延岡構造線”。

“延岡構造線”との対応関係をみると、急傾斜地域（たとえば 22.5° 以上の地域）は構造線を境とした北側と南側の両方に認められ、逆に構造線に沿った地域では相対的に緩傾斜になっている傾向が認められる。 20° 以下の緩傾斜ゾーンが球磨川上流部の“延岡構造線”に沿って、あるいは五ヶ瀬川の中流部から耳川の中流部にいたる“延岡構造線”に沿ってそこでの河川流路と斜交しながら NE-SW 方向の顕著な方向性をもって認められる。また、第4図との対応でみると、平均標高の全般に高い脊梁山地でも構造線の推定されている付近ではその両側の地域に比べて相対的に緩傾斜になっているのが特徴である。

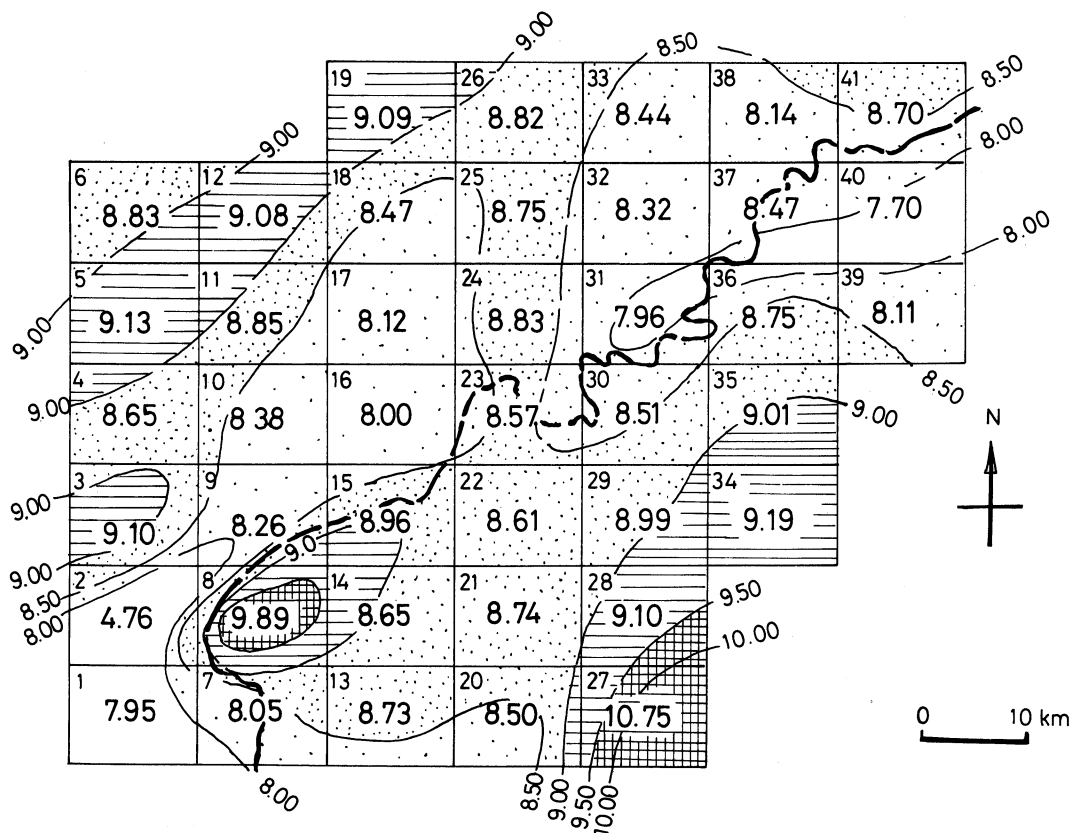
緩傾斜ゾーンは、部分的にはかつての旧河道であったにせよその形成が“延岡構造線”や“大藪衝上断層”（野田・橋本，1958）の破碎帯の存在やそれに沿った泥岩優勢層の存在による基盤岩の浸食されやすさに規制されてきた可能性も考え得る。

(5) 傾斜角分布の標準偏差

つぎに、個々の2次メッシュ内の傾斜角の面積百分率はほぼ正規分布型をしていることから（第5図）、それぞれのメッシュ内で標準偏差を求めた。標準偏差 θ_s は

$$\theta_s = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\theta_i - \bar{\theta})^2 / n} \quad (4)$$

で与えられる。標準偏差 θ_s の分布を第7図に示す。 θ_s はほぼ $7.0 \sim 9.0$ であるが、人吉盆地の緩傾斜部（No. 2）では 4.76 と著しく小さい。また、図の中央部に相対的に低いゾーンが認めら



第7図 2次メッシュ（1/25,000図幅単位）内での傾斜角の標準偏差 θ_s とその分布。右上から左下への破線は“延岡構造線”。

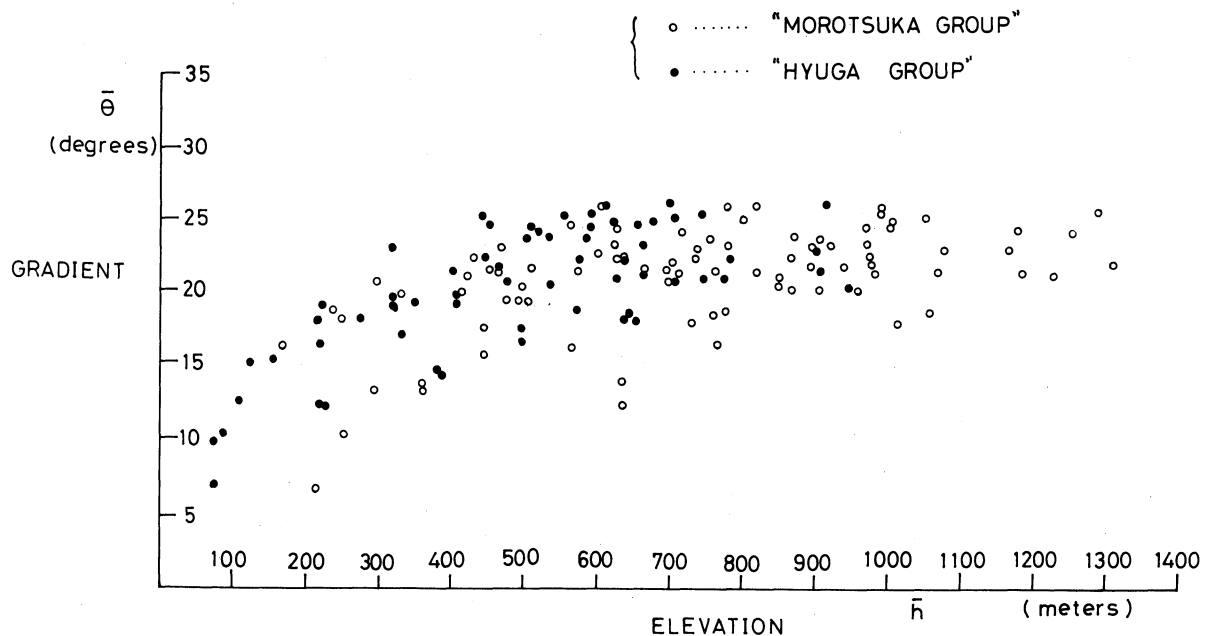
れる。“延岡構造線”との対応でみると、構造線とその北側に標準偏差の相対的に低いゾーンが広い範囲で認められる。これは、構造線自身というよりも、むしろ特定の岩相等に対応したものかもしれない。

(6) 平均標高と平均傾斜角

第8図は“延岡構造線”を境とする両側での地形的特徴を平均標高と平均傾斜角という両面からみるため、各1/4区画ごとの平均標高を横軸に、また平均傾斜角を縦軸にとってプロットしたものである。“延岡構造線”を境として北側の諸塚層群地域（厳密には前述のように白亜系以外の地域も含んでいる）を白丸で、また南側の日向層群地域を黒丸で表現している。対象地域にはこれらの地層群の他に新第三系・第四系が分布している地域や花崗岩の露出している地域があるが、これらの地域は除外している。これら地質区分は『1/200,000九州地方土木地質図』（九州地方土木地質図編纂委員会、1986）に基づいている。

第8図によると平均標高、平均傾斜角はともにばらついているが、全般的な傾向として平均標高が高くなるにつれて平均傾斜角も急になる傾向が認められる。ただし、平均標高600m以上になると、平均傾斜角に変化は見られない。一般に第四系等が分布している標高の低い地域では緩傾斜になっている傾向があるし、逆に標高の高い基盤山地では急傾斜面の現れることが多い。したがって、平均標高と平均傾斜角の間には野上・杉浦（1986）が指摘するようにある程度の相関関係が成立するといえよう。

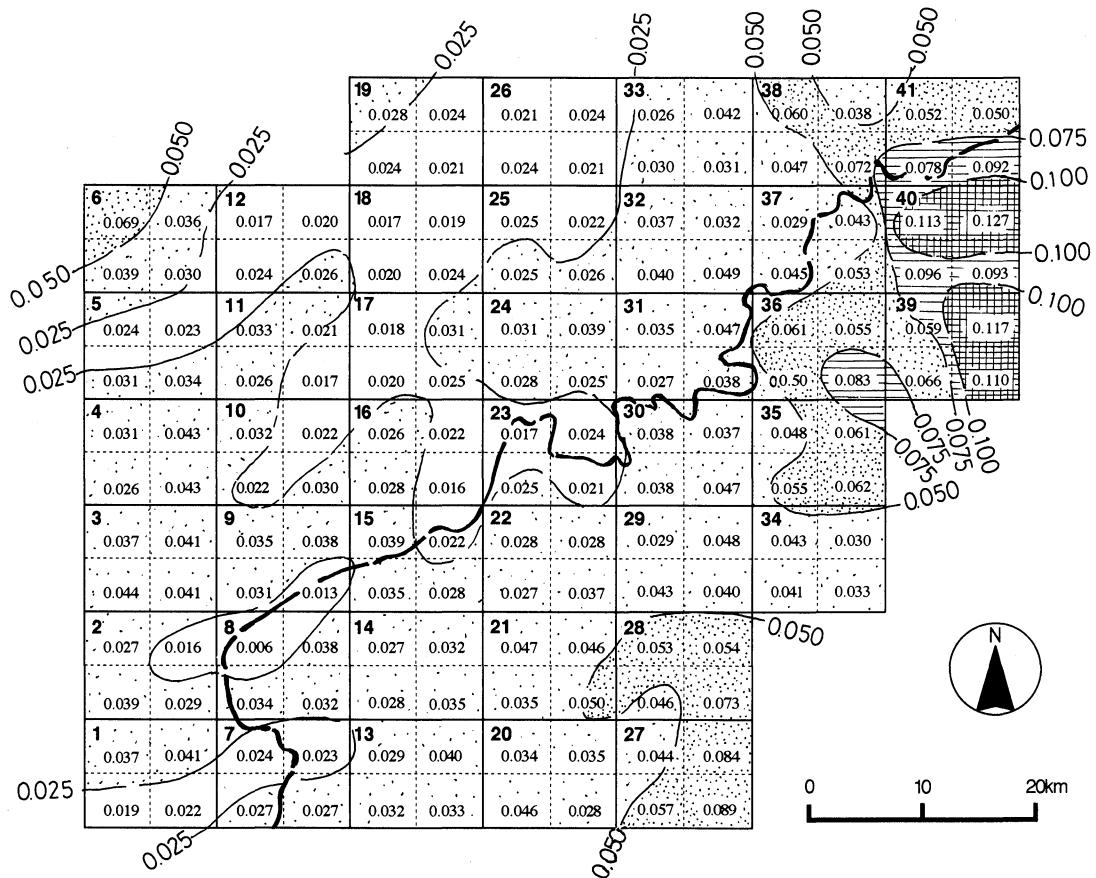
“延岡構造線”によって境される北側の諸塚層群、南側の日向層群での平均標高、平均傾斜角をみると、いずれも大差は認められないが、平均標高では日向層群の方が全般に低い範囲に散在している。平均傾斜角に関しても大差はないが、平均標高の低い範囲内での平均傾斜角は日向層群の方がわずかに大きい。いずれにしても平均標高と平均傾斜角でみるかぎり、構造線を境とす



第8図 平均標高（高度）と平均傾斜角の関係。白丸は延岡構造線北側（諸塚層群）、黒丸は南側（日向層群）。ただし、第四系、花崗岩類の地域は除く。

る両層群での地形的な差異はほとんどなく、あっても極めてわずかといえる。また、わずかな違いがそこでの岩石・岩盤の物理的性質の違いに起因するものかあるいはそれぞれの地域での地史的な違い、外的営力の違いによるものかは現時点ではあきらかではない。

平均傾斜角／平均標高比の平面的な分布を示すと第9図のようになる。これによれば、対象地域の西部では広い範囲で低く、東部で高い傾向が明瞭である。また、その境界は“延岡構造線”や四万十帯の延びの方向ではなく、むしろ NNE-SSW 方向、すなわち九州山地の方向でもある。これは、斜面の傾斜が一樣であれば、平均標高が東部ほど低いことを意味している。この原因として大きな構造的な隆起・沈降として解釈できるかもしれないし、また、尾鈴山周辺の酸性岩類という異岩種に起因するとも考え得る。



第9図 各区画内での平均傾斜角／平均標高比とその分布。
右上から左下への破線は“延岡構造線”

5. “延岡構造線”周辺地域における地形起伏のスペクトラム

(1) 地形起伏のスペクトラム

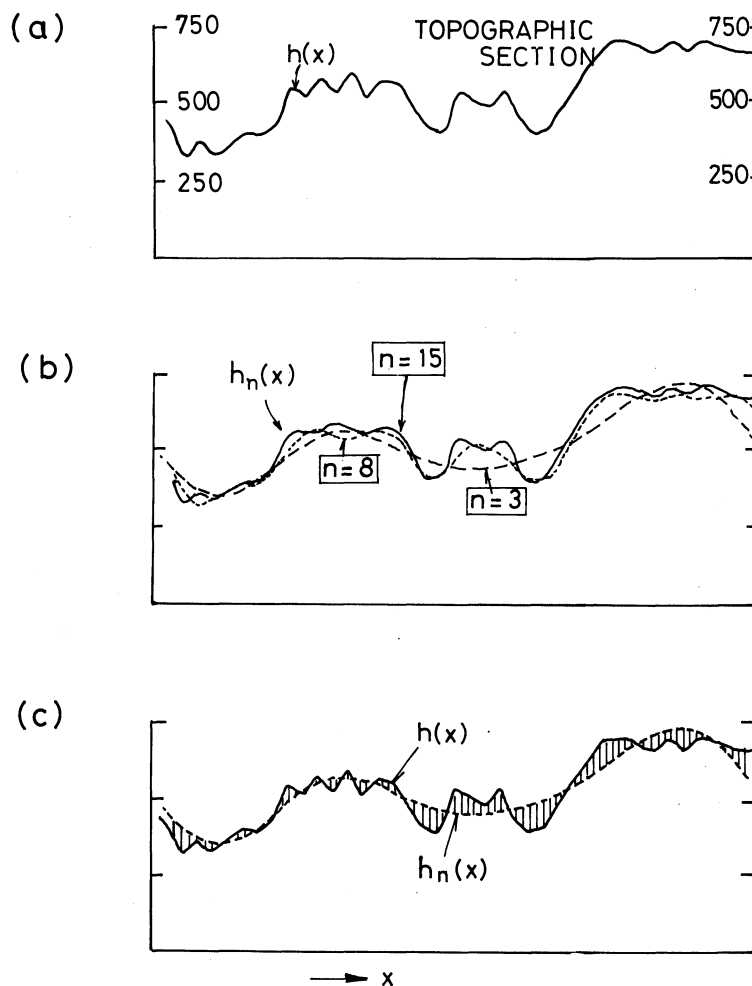
つぎに地形起伏の特徴について調べてみる。地形の起伏も平均標高等と同様に地形の基本的要素である(野上・杉浦, 1986)。起伏は単に地形上の特徴にかぎらず、起伏量を通じて土砂の生産性などにも影響するため、様々な分野で多くの研究者によって議論されてきた(田中・石外, 1951; TANAKA, 1955; 平野, 1971; HOBSON, 1972; OHMORI, 1978)。ここでは、構造線を挟む両側で

発達している谷の大きさや分布密度の違いをみるのが目的であるため、起伏のスペクトラム（波長）について調べてみる。

一般に組織地形（structural relief）として地形起伏に現れる地質的な因子には様々なものが考えられるが、ここで対象とする波長数100mから数kmに限れば、その起伏には個々の岩石の被侵食性だけでなく、様々な被浸食性をもった岩石の組合せ、それらの空間的分布などが影響すると思われる。地形の波長やスペクトラムの研究としては PREY（1922）や福田（1975）があるが、その基本はまず地形断面 $h(x)$ を(5)式のようにフーリエ級数に展開することであろう（平野・横田，1976）。

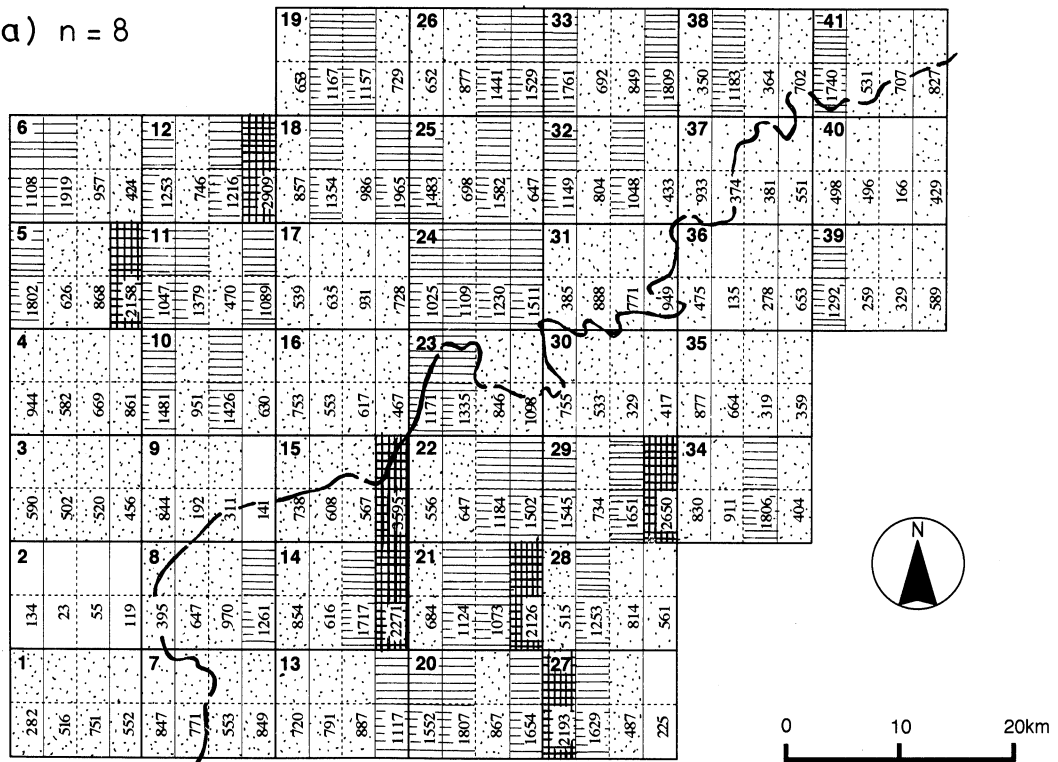
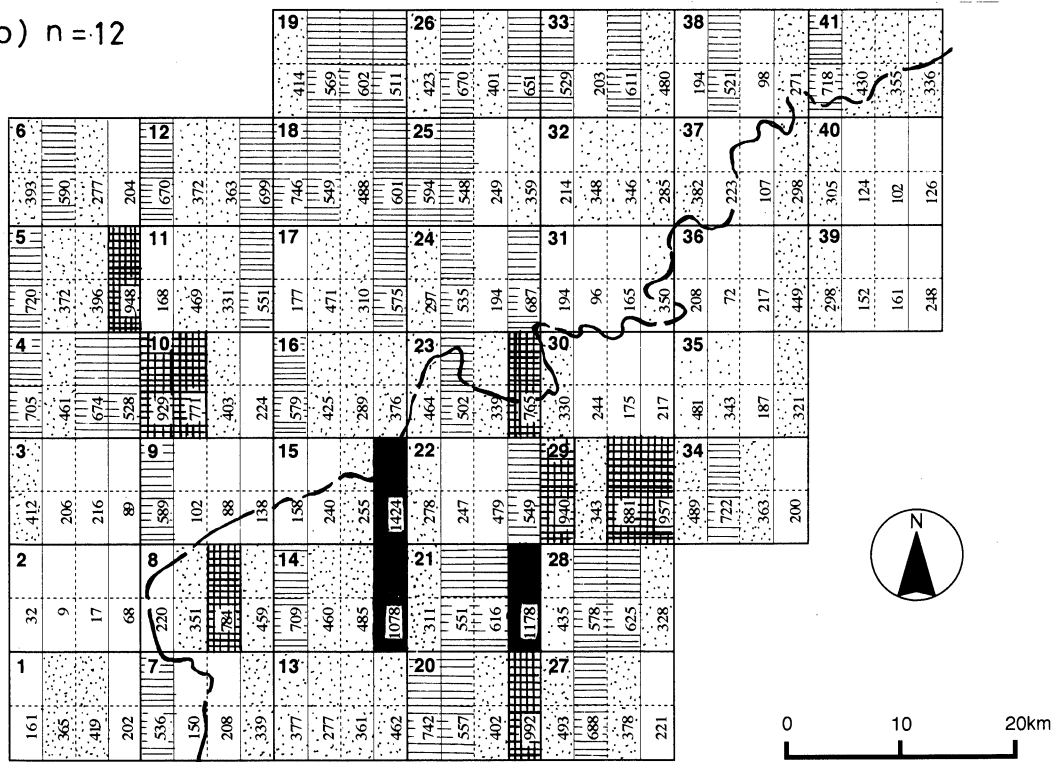
$$h(x) = \sum_{i=0}^{\infty} \{a_i \cdot \sin(2i\pi x/L) + b_i \cdot \cos(2i\pi x/L)\} \quad (5)$$

ここで L は地形断面の長さである（ここでは $L=9.24\text{km}$ ）。フーリエ級数の係数 a_i 、 b_i は $h(x)$ から簡単に求めることができるが、これらはそれぞれの地形断面における波長という点でみた特徴を表すことになる。このような違いをみるために、ここではさらに以下のような方法をとった。



第10図 地形断面図における起伏とスペクトルの考え方。

(a)地形断面。(b)フーリエ級数の合成による近似地形、 n は合成した次数を表す。(c)実際の地形 $h(x)$ と n 次までの合成地形 $h_n(x)$ の残差（斜線部）。

(a) $n = 8$ (b) $n = 12$ 

第11図(a)(b) 残差平方和の分布例。ここではN-S方向の地形断面を対象とし、それぞれ $n=8, 12$ までのフーリエ合成と実際の地形断面との残差を表している(単位は m^2)。右上から左下への破線は“延岡構造線”。

(2) 残差平方和

いま(5)式の係数 a_i , b_i を用いれば, 第 n 次まで合成した近似的な地形断面 $h_n(x)$ は以下のよう表すことができる.

$$h_n(x) = \sum_{i=0}^n \{a_i \cdot \sin(2i\pi x/L) + b_i \cdot \cos(2i\pi x/L)\} \quad (6)$$

$h_n(x)$ は $h(x)$ に関する近似曲線であるが, 近似の程度は当然次数 n が小さいときはオリジナルの地形断面 $h(x)$ (第10図(a)) に対して粗く, n が大きくなると細かい起伏まで近似していることになる (第10図(b)参照). そこで, いまオリジナルの地形 $h(x)$ と任意の次数 n までの近似地形 $h_n(x)$ との残差 $h(x) - h_n(x)$ を第10図(c)のようにとり,

$$S = \int_0^L \{h(x) - h_n(x)\}^2 dx / L \quad (7)$$

を計算すると, 特定の波長より狭い間隔で谷が発達しているかどうか, 単位長さあたりの残差平方和 S の違いとなって現れることになる. 谷密度の定量的表現には SMITH (1950) の texture ratio などの方法が古くから知られているが, 個人差が入ることを考えれば, ここで用いた方法は平野・横田 (1976) が指摘するのと同様に一定程度客観性がある.

第11図(a), (b)はそれぞれの地形図幅の中から N-S 方向に 4 断面ずつ選び, それぞれについて 8 次 ($n=8$) および 12 次 ($n=12$) までの残差平方和 S を計算したものである. ここでは $L=9.24\text{km}$ であるから 8 次および 12 次までの波長はそれぞれ 1.15km , 0.78km となる. したがって S の平面的な分布はそれぞれの波長以下の起伏の大小を示していることになる. なお, N-S 方向の断面をとったのは全体的な地質構造を横断する方向を選んだためである.

(a), (b)いずれにおいても残差平方和 S は必ずしも不規則に分布しているわけではなく, 隣接地域間に類似性が認められる. S の低いゾーンは人吉盆地周辺や東側の丘陵部など低標高地域で見られるのに対して, 高いゾーンは中央の山地に広がっている. 波長の小さい(b)をみると, 構造線を境として, 南側の方に高い部分が多い傾向がわずかながら認められる. しかし, 大局的には, 起伏に関するかぎり少なくともこの規模の波長では起伏の違いはほとんどないといえよう.

6. ま と め

“延岡構造線”によって境されている両側の地質特性の違いを地形的特徴から見いだす試みとして, 平均標高, 平均傾斜角, 地形起伏の波長について国土数値情報の地形数値データをもとに検討した.

結果として, “延岡構造線”は巨視的には標高の高い九州山地の南東端に沿った位置に推定されているが, 地形的 (標高的) には明瞭ではない. ただし, 構造線に沿っては全般に緩傾斜で, それが構造線方向にゾーンとして伸びているという特徴が認められた. また, 傾斜角の分布に関する標準偏差が構造線とその北側に沿ってやや低いゾーンとなっている傾向も見いだされた. これに対して, N-S 方向の地形断面上の起伏では構造線付近を境として, 南側ほど細かい波長の起伏が大きい傾向がわずかながら認められた. しかし, 大局的には起伏の波長に関しての両側での差異は認められないといえよう.

一般に地質特性の地形への反映については, 砂岩や泥岩といった特定の岩質による違いであれば議論しやすいが, 砂岩, 泥岩に加えてチャートや緑色岩類など多様な岩相を含む広い範囲で議論する場合には単に個々の岩石の物理的性質だけでなく, 様々な被侵食性をもった岩石の組合せ

やそれらの空間的な間隔も影響すると考えられる。したがって、地形的特徴が異なるといってもそれが具体的にどのような地質因子の反映なのかの理由づけは極めてむずかしい。しかし、ここで試みたように平均標高、平均傾斜角や起伏の波長といった地形の基本要素だけによっても、“延岡構造線”そのもの、あるいはそれを挟んだ両側にわずかながらも違いが認められ、このことは地形的特徴からの議論も可能であることを意味するといえよう。

今回地形解析に使用した地形数値データは基本メッシュが295m×231mと大きく、これをベースとする限り、対象上の制約がある。このため、延岡北東方の海岸で小川内他(1984)が指摘したような谷密度の違い等を議論するにはいたらなかったが、今後は様々なスケールで解析することも必要であろう。

【謝辞】本報告書の作成にあたっては、国土情報整備事業の一環として建設省国土地理院において作成された九州山地地域の国土数値情報資料を使用した。また、本研究の一部には平成2年度文部省科学研究費補助金(一般研究C)「新旧構造帯の接触関係に関する構造地質学的研究——九州四万十帯における白亜系と古第三系との関係」(代表 岩松 暉 課題番号 No.01540631)を使用した。

文 献

- 福田正巳(1975) 調和解析の地形学への適用とその問題点(1975年度春季地理学会シンポジウム要旨)。地理学評論, 48, 647-648.
- 橋本 勇(1962) 九州南部における時代末詳層群研究の総括。九州大学教養部地学研究報告, 9, 13-69.
- 平野昌繁(1971) HRT(起伏量)ダイアグラムによる侵食度の量的表現。地理学評論, 44, 628-637.
- 平野昌繁・横田修一郎(1976) 西南日本に例をとった電子計算機による地形数値解析。地理学評論, 49, 440-454.
- HOBSON, R.D. (1972) Surface roughness in topography: quantitative approach. In spatial analysis in geomorphology, Edited by R. J. Chorley, 221-245, Methuen & Co., London.
- 星野一男・井波和夫(1975) 天草および北西九州における岩石の高压物性とその石油地質学的意義。石油技術協会誌, 40, 236-245.
- 今井 功・寺岡易司・奥村公男(1971) 九州四万十帯北東部の地質構造と変成分帯。地質雑, 77, 207-220.
- 今井 功・寺岡易司・奥村公男(1975) 九州四万十帯の構造区分。地団研専報, 19, 179-189.
- 今井 功・寺岡易司・奥村公男(1979) 神門地域の地質。地域地質研究報告(5万分の1図幅), 地質調査所, 44 p.
- 岩松 暉(1991) 新旧構造帯の接触関係に関する構造地質学的研究——九州四万十帯における白亜系と古第三系との関係。平成2年度科学研究費補助金(一般研究C)研究成果報告書, 14 pp.
- 建設省国土地理院(1983) 国土数値情報の概要。建設省国土地理院, 147 pp.
- 九州地方土木地質図編纂委員会(1986) 「1/200,000九州地方土木地質図」ならびに同解説書。(財)国土開発技術研究センター, 485 pp.,.
- 野上道男・杉浦芳夫(1986) パソコンによる数理地理学演習。古今書院, 275 pp.
- 野田光雄・橋本 勇(1958) 宮崎県東臼杵郡椎葉村大河内附近の地質構造。九州大学教養部地学研究報告, 5, 17-24.
- 小川内良人・岩松 暉・田邊暁子(1984) 宮崎県延岡市北東部の四万十累層群の層序および地質構造。鹿児島大学理学部紀要, 17, 67-88.
- OHMORI, H. (1978) Relief structure of Japanese Mountains and their stage in geomorphic development. Bull. Geogr. Univ. Tokyo, 10, 31-85.
- Prey, A. (1922) Darstellung der Höhen-und Tiefenverhältnisse der Erde durch eine Entwicklung nach Kugelfunktionen bis zur 16 Ordnung. Abhandl. Ges. Wiss. Göttingen. Mathe-Physik. Kl., N.F., 11, 11-29.

- 坂井 卓・勘米良亀齡 (1981) 宮崎県北部の四万十帯の層序ならびに緑色岩類の層序. 九州大学理学部研究報告 (地質), **14**, 31-48.
- SMITH, M.K. (1950) Standards for grading texture of erosional topography. *Amer. Jour. Sci.*, **248**, 655-668.
- 田中治雄・石外 宏 (1951) 貯水池の堆砂量と集水地域の地形及び地質との関係について (第1報). 土木学会誌, **36**, 173-177.
- TANAKA, H. (1955) Geological and topographical studies on the sedimentation of resevoirs in Japan. *Jour. Technical Research Laboratory*, **5**, 163-198.
- 田中健一・家村克敏・西山賢一・安達麻紀子・永濱功治・瀬川浩平・岩松 暉・横田修一郎 (1991) 九州四万十帯, 神門地域における“延岡構造線”周辺の地質構造. 日本地質学会第98年学術大会講演要旨集, 334.
- 寺岡易司・今井 功・奥村公男 (1981) 九州外帯の屈曲構造. 中生代造構作用の研究, **3**, 87-98.