

地形と地震の関係

——傾斜と地震分布——

見野 和夫・松村 一男

TOPOGRAPHY AND EARTHQUAKES —SLOPE OF TOPOGRAPHY AND EARTHQUAKES—

By *Kazuo* MINO and *Kazuo* MATSUMURA

Synopsis

The relationship between spatial pattern of microearthquakes and slope of topography in the northwestern Kinki district was investigated.

The most typical slope related to earthquakes was about 3-4/100 which are 1.5-3.0 degrees. Especially, the slope 3/100 indicated active fault and boundary of blocks.

Same relation was found on disastrous earthquakes occurred in a period from 1850 to 1975 in the Southwestern Japan.

In the Central Japan, the slope related to earthquakes was 5/100.

The slope of topography was defined as follow. Slope at a certain point is defined by $\tan \theta$ of the maximum inclination at a plane through the point and adjacent eight points.

1. はじめに

この研究は、北西近畿地域の微小地震の観測の結果に基づいて行われた。従って、当該地域の地震の地震活動の空間分布と、地形の関係の概要を、この節で述べる。第2節では傾斜と地震活動の関係を、数値的に示す。第3節では、前節の結果について考察し、結論を述べる。

この研究で用いられる資料は、地震については、鳥取微小地震観測所と阿武山地震観測所²⁾で作製されたもので、1970年から1978年6月30日までに、精度よく求められた微小地震の震源表を用いた¹⁾。地形は1/200,000の地勢図を、40×40に分割して、各単位面積の平均高度をその面積の高度として、10 m 単位で表わしたものを³⁾用いた。単位面積は、緯線に沿って、1.5'、経線に沿って、1' で囲まれる部分である。単位面積内に発生した地震の頻度を、地震のデータとして、計算に用いた。

1970年から、1978年6月30日までに決められた震央分布を示す (Fig. 1)。135° E 線を境いに、東部では、阿武山地震観測所の資料を用い、西部では、鳥取微小地震観測所の資料を用いている。震源の深さ分布は、10 km 付近に密集している (Fig. 2)。阿武山地震観測所の観測網の展開されている地域では、微小地震の分布は、面的な広がりを見せている。一方、135° E 線より西部地域では、線的または、帯状の分布をしている。

震央分布を、数値化して、地形及び地震活動の様子を示す (Fig. 3)。135° E 線より東部では、単位面積当りの地震発生数が5回、または、それ以上のとき、西部では、3回または、それ以上発生したとき、地震が発生したと考えて、図中に、黒い影で示した。薄い影は、標高 400 m 以上の地形を表わしている。実線は、活断層⁴⁾であり、①は、山崎断層⁵⁾を、②は、三峠断層を、そして、③は、有鳥一高槻構造線 (ATL と呼ぶことにする) を表わしている。図から判る様に、微小地震は、主な断層に沿って分布している。また、断層の北側に、密に分布する傾向が強い。この地域は、山地の麓である。

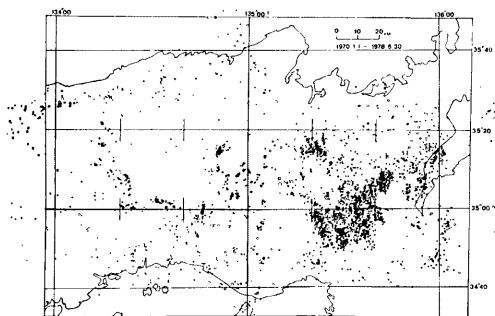


Fig. 1. Hypocentral distribution of microearthquakes observed by Tottori Microearthquake Observatory and Abuyama Seismological Observatory during a period from 1970 to June, 1978.

1-1. 山崎断層付近の地震活動

山崎断層は、西南日本内帯に分布する活断層の中で、代表的な、活動度の高い、第一級の活断層である。全長 80 km の strike-slip 型の、左ズレ断層である。歴史上、この断層の活動と推定される大地震は、868年の $M 7.1$ と1864年の $M 6.4$ である⁶⁾。

微小地震は、断層の北側の、幅約 10 km の、山裾地域に主な活動域を持っている。従って、地震分布は、線状または、帯状を示す。

しかし、微小地震の分布を、詳細に観察すると、活動の盛んな地域は、断層の東西の端部と、断層の折れ曲りの地点である。これらの地域は、いずれも、断層が河川と交差する地点である。地震発生は、断層に沿うと言うより、これら断層を横切る河川に沿って、北上している。河川の流路は、断層と共役な位置を占めている。

日本海沿岸に沿う地震分布は、1900年代の、海岸線に発生した一連の、被害地震の余震域に発生する活動である。従って、現在なお、余震活動が続行していると考えられる。この地域は、大地震発生の可能性の高いことを考えると、鳥取微小地震観測所の、要注意観測対象域といえよう。

1-2. ATL 付近の地震活動

大阪平野を、山地から分ける、ほぼ東西の走向をもつ、境界線が **ATL** である。全長 50~60 km に及び、北上がりの dip-slip 型で、右ズレの断層である。地震活動は、断層の北側に、幅 20 km の、面的で、矩形的の分布をしている。歴史上の被害地震は、当断層には、今のところ見つかっていない。

微小地震分布を、詳しく調べるために、震央分布を数値化して、**Fig. 4** に示した。

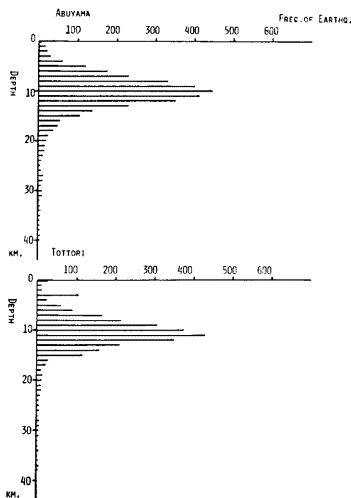


Fig. 2. Distribution of hypocentral depths. Most active zone is present at about 10 km in depth.

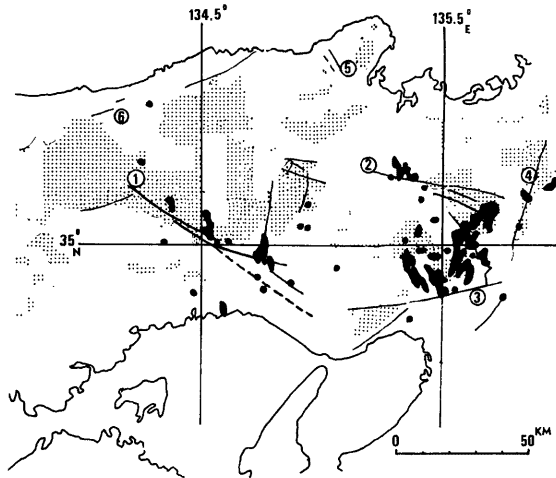


Fig. 3. Relation between topography and seismic activity is explained schematically. Hard shadow: epicenters, pale shadow: mountain region over 400 m in height. 1: Yamasaki fault, 2: Mitoke fault, 3: Arima-Takatsuki tectonic line (ATL), 4: Hanaore fault, 5: Gomura fault and 6: Shikano-Yoshioka faults.

三峠断層の北端部の地震活動は、1968年夏以来、継続している群発活動である (Wachi Swarm⁷⁾。

ATL 沿いの地震分布は、数値化すると、大体、南北に並ぶ、四つの地震群に分かれる。図中の実線は、活断層である。但し、ATL に直交する四本の直線は、次図 (Fig. 5) の地塊の境界線を表わしている。地形図は、標高 300 m 以上の様子を示している。この高さは、この地域の基盤岩の形を表わしている。微小地

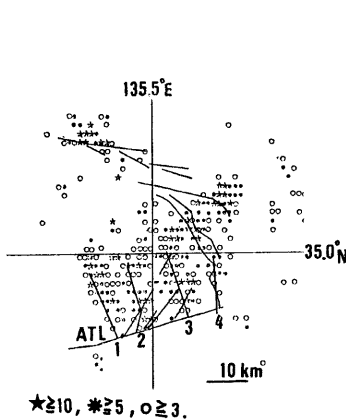


Fig. 4. Digitalized display of hypocenters around ATL. Solid line: active fault.

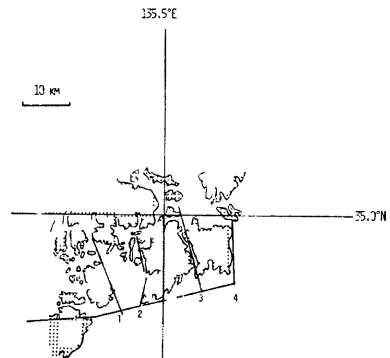


Fig. 5. Topography over 300 m in height is shown by hatched area. Short straight lines indicate rivers and they are boundaries of blocks. 1: Ina river, 2: Ai river, 3: Akuta river and 4: Katsura river.

震活動は、図中1で示される猪名川西部にはなく、4で示される桂川より東部でも稀薄である。外の二つの直線も、規模は小さいが、河川である（2：安威川，3：芥川）。

即ち，ATL に対し，共役な位置を占める河川に沿って地震が発生している。

北西近畿地域の微小地震の分布は，次の様にまとめることが出来る。

- 1) 400 m より高い山地の中央部には，地震は分布しない
- 2) 断層に沿って，地震分布がある。
- 3) 特に，断層と共役な位置を占める河川に，地震活動は強く結びついている。

以上が，北西近畿地域の地形と地震分布の概要である。これらの事柄を，バックグラウンドにして，地震分布と，地形の傾斜との関係について，次節で述べる。

2. 地形の傾斜

傾斜は，ある点と隣接する8点，合計9点で，決まる平面の最大傾斜角 θ の正接 $\tan \theta$ で表わす。従って傾斜は，約 $6\text{ km} \times 6\text{ km}$ の地域の平均的な値となる。

取り扱う地域を次の様に分けた。鳥取微小地震観測所の観測地域を，東経 133° から 135° ，北緯 $34^\circ 40'$ から $36^\circ 00'$ で囲まれる地域とした。一方，阿武山地震観測所の場合は，東経 135° から 137° ，北緯は， $34^\circ 40'$ から $36^\circ 00'$ で囲まれる地域である。

活断層地域は，山崎断層を含む， 134° から 135° と， $34^\circ 40'$ から $35^\circ 20'$ の地域と，ATL を含む， 135° から 136° と $34^\circ 40'$ から $35^\circ 20'$ で囲まれる地域とである。

2-1. 高度と傾斜の頻度分布

ここで言う頻度は，単位面積の数量のことである。北西近畿地域は，他の地域と比較すると，むしろ平坦な地形である。鳥取微小地震観測所の観測域の地形高度及び傾斜分布を Fig. 6, 7 に示す。傾斜のゆるい場所と高度の低い場所が，非常に広い。この地域は，一般には堆積地を示しているので，実際の地殻活動，即ち，造構運動には関係がないと考えられよう。阿武山地震観測所の観測地域も同様の傾向である。

2-2. 傾斜と標高の関係

ある標高を占める地域の傾斜の中で，最も頻度の高い傾斜を，その高度の代表的な傾斜とする。傾斜と標高の間には，Fig. 8 に見られるような関係がある。即ち，傾斜は標高に比例する。図の左は，阿武山，右は鳥取の観測所に関するものである。標高を 100 m 単位で縦軸に，傾斜を 1/100 単位に，横軸に表わしている。西南日本全体でも，この比例するという関係は成り立っている。

2.3. 地震発生域分布と地形

地震の発生が，どのような地形に対応しているかを知るために，単位面積に，地震が，1 回以上発生した場合，その単位面積は ON の状態にあると考える。ON の地域の分布と，地形の高度と傾斜との関係を求めた。唯し，ある高度（傾斜）での ON 領域は，その高度（傾斜）での全面積との比で表わされている。同様にして，地震発生頻度分布の場合も調べた。

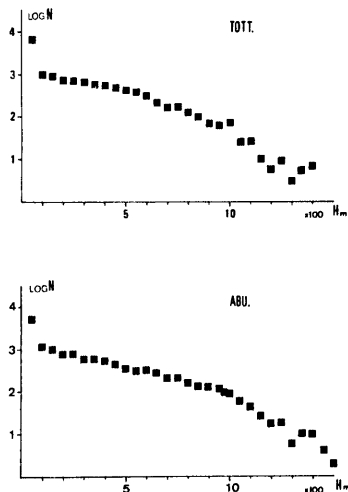


Fig. 6. Heights distribution in the north-western Kinki district. Upper figure indicates the region in and around Tottori Microearthquake Observatory and lower one indicates in and around Abuyama Seismological Observatory.

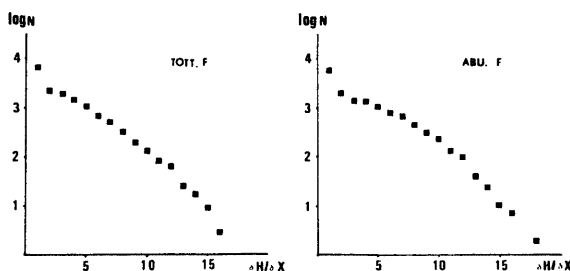


Fig. 7. Gradients distribution in the northwestern Kinki district.

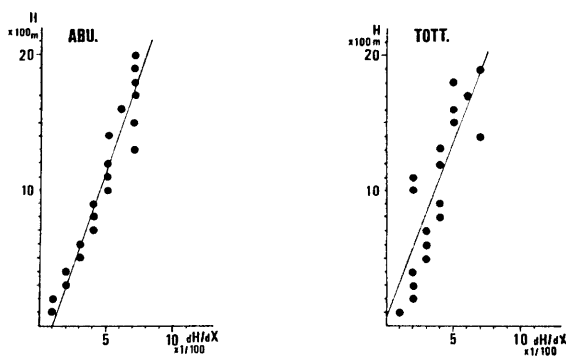


Fig. 8. Relation between gradient and height. Vertical axis indicates height in 100 m unit. Horizontal axis indicates gradient in 1/100 unit.

2-3-1. 鳥取微小地震観測所

ON 地域の分布と、地形高度及び傾斜との関係を Fig. 9 (a, b) に示す。ON 地域は、250~350 m の標高の地形で、最も頻度が高く、傾斜は、4/100で最高頻度を示した。地震の発生し易い場所は、低地でも、高地でもなく、また、低傾斜地でもなく、急傾斜地でもない、中間的な地形の中に含まれている。

一方、地震頻度は、Fig. 10(a, b) に示すように、高度 350 m で最大頻度を示し、傾斜では、4/100に、ピークを示している。地震の多く発生する場所は、地震が最も発生容易な地域である。しかも、高度においても、傾斜においても中間的な値をとる地域に一致している。

この様な、関係は、阿武山地震観測所の観測地域でも同様に見られた。

2-3-2. 活断層地域

鳥取・阿武山の両観測所の観測地域を特徴づけるのは、活断層地域である。

まず、山崎断層東端地域は、大変平坦で、低地が広く広がっている。従って、地震発生域も、発生頻度も、低傾斜、低地で大きい。Fig. 11, 12. この地域が、河川により開折され、その河川に沿って、地震が多発しているためであろう。

一方、ATL 近傍では、山崎断層周辺の地形と比較すれば、阿武山地震観測所の監視下の全域の地形に近い。

結果を Table 1 に示す。

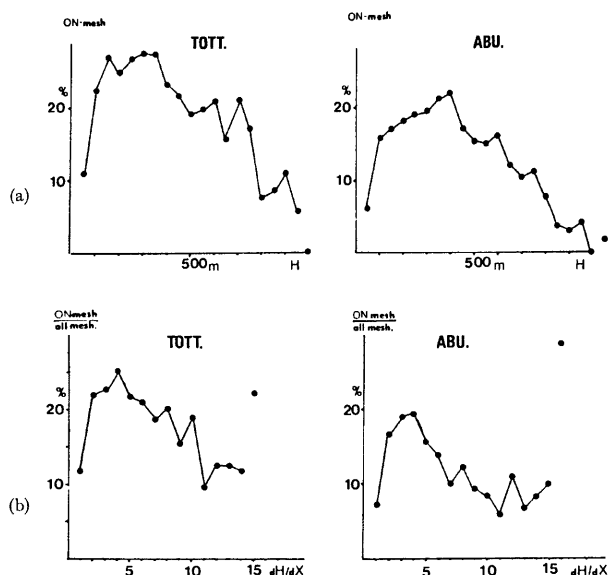


Fig. 9. a: Relation between ON-area ratio and height., b: Distribution of ON-area ratio related to gradient.

地震の発生する場所は、高度、傾斜ともに、この地域での、中間的な場所であった。この様な場所の多くは、山地と平野の境界域である。即ち、傾斜4/100で高度 300~400 m は、境界を表わす値である。

以上の様な、地形の傾斜や高度が、どの様な意味をもっているかを、次節で考える。

3. 考 察

地震活動と地形の関係を、地形高度との関係と、傾斜との関係に分けて考察する。

3-1. 地形高度と地震分布

地震多発地帯の標高は、300~400 m である。この地域は Fig. 3 によると、山地の裾野である。地震活動が活断層に関係しているのは確かであるが、実際には、断層は、地震多発帯より、低位にある。

北西近畿地域では、地震発生を特徴づける標高が 300~400 m であるのに対し、北陸微小地震観測所及び上宝地殻変動観測所の結果によれば、夫々 700 m, 1000 m 近傍の高度が、地震活動に関係している。

従って、地形の高度そのものが、地震発生に関係しているとは言えない。地震発生域を境に、一方は、高く他方は、低いという地形の配列をしている。この高度差は、一般的には、第四紀の隆起速度の差に起因すると言われている(吉川, 1973)⁸⁾。高地と低地の境には、歪が集中して、elastic rebound theory⁹⁾ に従って、破壊が生ずる。即ち弾性反撥的に破壊が生じ、高地は、より高く成長して、山地を成したのである。

この様に考えると、地震発生に関する特徴的な地形高度は、tectonics の重要な情報を提供していることになる。

3-2. 地形の傾斜と地震分布

地震頻度の最も大きい値に対応する傾斜は、4/100 であった。傾斜と標高の関係を考えると、断層の位置

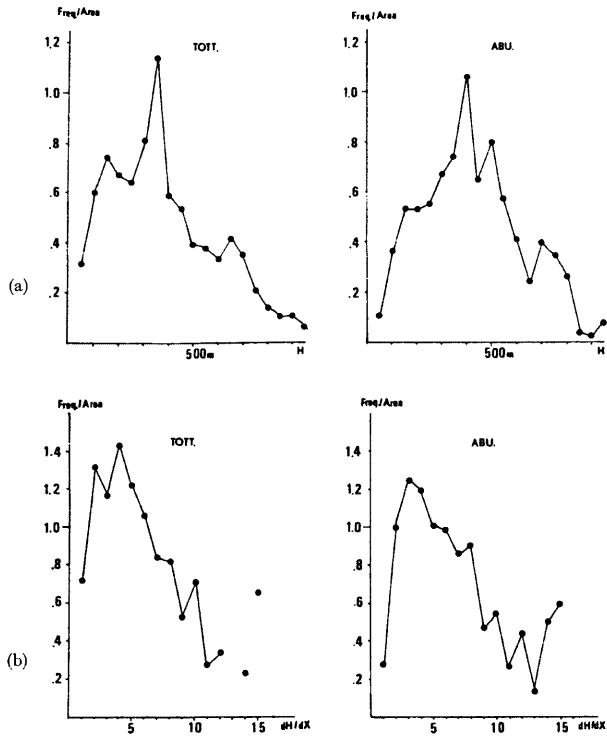


Fig. 10. a: Frequency ratio of earthquakes and height, b: Frequency ratio of earthquakes and gradient.

Table 1. Results of relation between topography and seismicity.
Tottori ME. : Tottori Microearthquake Observatory
Abuyama SE. : Abuyama Seismological Observatory

Observatory	the whole area		the active fault zone	
	Tottori ME.	Abuyama SE.	Tottori ME.	Abuyama SE.
ON-AREA				
Height	100-350m	400m	0-100m	500-600m
Slope	4/100	4/100	1/100	6/100
Frequency				
Height	350m	400m	100m	500m
Slope	4/100	4/100	3/100	8/100

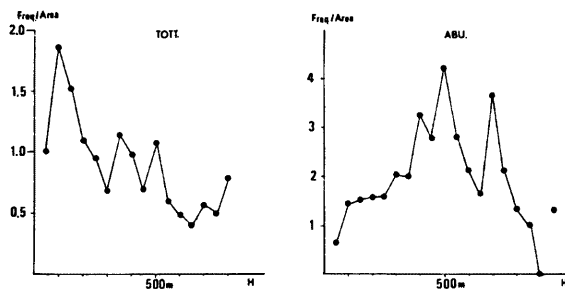


Fig. 11. Frequency ratio of earthquakes and height in and around active faults.

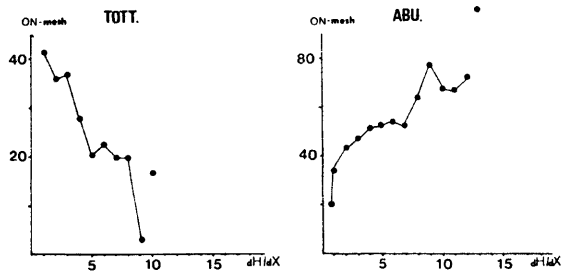


Fig. 12. ON-area frequency ratio and gradient in and around active faults.

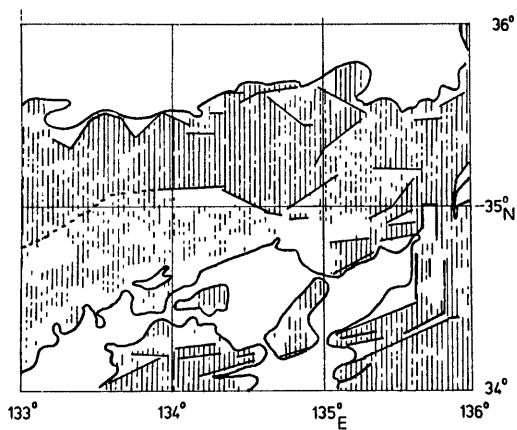


Fig. 13. Distribution of gradient, Hatched area: gradient over 3/100. Solid line: gradient 3/100.

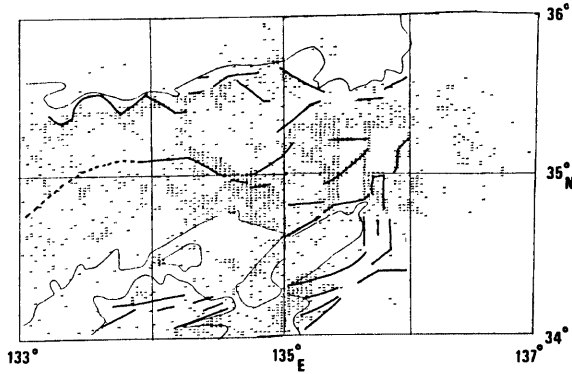


Fig. 14. Relation between gradient 3/100 and seismicity. Seismicity is shown by numbers of earthquakes occurred in a unit area.

の傾斜は、少し緩く3/100程度になる。傾斜の分布を **Fig. 13** に示す。但し3/100より大きい値には、影をつけた。3/100は、実線で示している。**Fig. 3** に見える、山崎断層や ATL は3/100の傾斜に良い一致を示している。**Fig. 13** の実線を、数値化して示した震央分布図に重ねると、3/100が、断層帯であり、また、地塊の境界を表わしていることが判る (**Fig. 14**)。地震が、3/100より急な地形に分布している。断層より、低地で緩い傾斜地には、稀薄である。鳥取微小地震観測所のデータによると、播磨平野から神戸の平野に、多くの地震があるが、夜間の分布図や、阿武山地震観測のデータに基く、震央分布図では、この地区の活動は、大阪平野のそれと同じくらいに低い。**Fig. 14** によると、地震発生の上限の傾斜は、約5~6/100である。

以上の事柄は、被害地震についても言えることであることを、次の節で述べる。

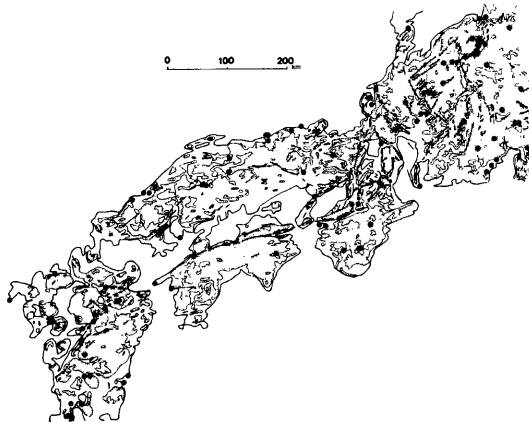


Fig. 15. Relation between gradient 3/100 and disastrous earthquakes and active faults in the Southwest Japan. Solid circle: disastrous earthquake occurred during a period from 1850 to 1975. Hatched area: gradient over 3/100.

3-3. 被害地震と地形

被害地震の資料は、416年から1925年までについては、宇佐美 (1975)¹⁰⁾ に、1925年から1975年までは、気象庁の資料を用いた。議論は、フォッサマグナより西、即ち、西南日本の陸地のみに限っている。被害地震の多くは、標高 300 m 以下、それより低い地域に対応している。1850年から1975年の間に起った地震だけに限ると、60%の地震が 300 m 及び、それより低い地域に起っている¹¹⁾。他の地震は、断層に、多くの場合関連している。

敦賀湾・伊勢湾を結ぶ線 (TIL と名づける) より東を、中部日本、西を、西日本と呼ぶ。西日本での被害地震のほとんど総てが、低地に発生している。一方、中部日本では、より高地に、地震がある。傾斜と高度の関係を考えると、中部日本で、地震や活断層に関係する傾斜は、西日本の場合より、急な値をとると考えられる。

3/100 を key value とした、西南日本全体の傾斜分布と1850年から1975年の間に起った被害地震及び主な活断層の分布を図にした (Fig. 15)。図中、影部は、傾斜が3/100より急峻な地域を表わしている。黒丸は被害地震を、実線は、主な活断層を表わしている。西日本では、活断層、総ての被害地震は、3/100の傾斜に良い一致を示している。しかし、TIL より東では、必ずしも良く一致していない。中部日本について、5/100を key value として、Fig. 15 と同様の図を造った (Fig. 16)。西南日本で、3/100の傾斜に見られたと、同様の良い一致を示した。

活断層は、一定の傾斜地形に一致し、その地形は、地塊 (山地と平野) の境界である。傾斜は、西南日本全体の tectonics に、強く結びつく、地形の要素である。

4. 謝 辞

微小地震の分布が、河川と関係があることを述べた。被害地震と河川との間にも、非常に興味ある関連が見られるが、この件については、次の機会に述べる。

微小地震データを利用させていただいた、鳥取微小地震観測所、阿武山地震観測所及び北陸微小地震観測所の皆様に深く感謝致します。

微小地震部門の諸兄及び教養部地学教室の皆様に、議論をしていただき、有益な助言を賜ったことに対し、感謝致します。

計算は、防災研究所防災科学資料センター FACOM M-140 を使用しました。

参 考 文 献

- 1) Oike, K.: Seismic activities and crustal movements at the Yamasaki fault and surrounding regions in south west Japan, J. Phys. Earth, 25, 1978, s31-s41.
- 2) 黒磯章夫, 波辺 晃: 阿武山地震観測所の微小地震テレメータシステムについて, 地震 第 2-30巻, 1977, p. 91-106.
- 3) Hagiwara, Y.: Analysis of Gravity Values in Japan, Bull. Earthq. Res. Inst. Tokyo Univ., 45(5), 1967, p. 1091-1228.
- 4) 活断層研究編: 日本の活断層, 1980, 東大出版会。

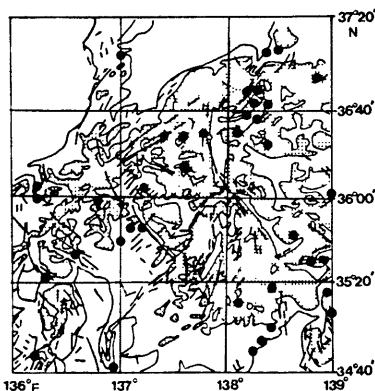


Fig. 16. Relation between gradient 5/100 and disastrous earthquakes and active faults.

- 5) 福井謙三：山崎断層系の変位地形，地理学評，1981, p. 196-213.
- 6) 佃 為成，安藤雅孝，岡田篤正：大昔の大地震の痕跡をさぐる——鹿野断層及び山崎断層におけるトレンチ発掘調査，地理，24, 1979, p. 64-71.
- 7) Watanabe, H., and A. Kuroiso.: Seismic Activity in the Northern Part of the Kinki District and Related Problems (1), Spec. Cont. Geophys. Inst., Kyoto Univ., No. 9, 1969, p. 123-136.
- 8) 吉川虎雄：山崎直方先生と変動地形の研究，地理学評，44, 1971, p. 552-564.
- 9) Reid, H. F.: The California Earthquake of April 18, 1906, Rep. SEIC, Canegie Inst. Washington, Vol. 2, 1910.
- 10) 宇佐美竜夫，日本被害地震総覧，1975，東大出版会。
- 11) 見野和夫，地形と地震の関係（I），地震，2-34, 1981, p. 213-222.