

活断層周辺の地震活動の定量的な評価 —— GISデータベースの作成と活用 ——

西田良平*・渡辺邦彦
*鳥取大学工学部

要旨

活断層周辺の地震活動を解析することは、大地震の予知に重要な課題である。「微小地震データ」と「気象庁地震データ」から GIS データベース作成し、断層からの距離をパラメータとして地震発生密度を計算した。その変化から断層の影響を受ける距離（支配領域）を求めた。気象庁データでは 15 断層（22 断層域）、微小地震データでは 11 断層について解析を行い、それぞれ 7 地震域と 6 断層について、支配距離はそれぞれ約 3 km と 4 km と求めた。

キーワード：活断層，地震活動度，地震発生密度

1. はじめに

日本列島の地殻上部で発生する被害地震は、ほとんどの場合地表面に地震断層が出現する。地震活動が繰り返すことによって、地震断層は地表面に活断層を形成する。活断層は地下の地震活動による破碎帯が地表面に顔を出している場所である。地表面の活断層の活動層は地形判読によるリニアメントの判定、破碎面の推定、トレンチ調査などによって、活断層が認定され、その活動層が推定されている。これは地下の破碎帯である活断層周辺には歪が蓄積されていることが推定される。

微小地震から少し大きい地震の活動は地域によって、しばしば線状配列が見られる。特に活断層との関係は、西南日本内帯で山崎断層と微小地震の関連が見出されて以来、地震活動分布だけでなく、メカニズム、地震活動の移動現象、地震の発生機構全般について、それぞれの断層系で議論されている。しかし、活断層による周辺域への影響については、定性的には議論されているが、影響範囲の限定など定量的な議論には至っていない。そのためには断層周辺の地震活動を量的に定義する方法の構築とその表現方法を確立することが必要である。この研究ではこれらについて GIS ソフト（地理情報システム、Geographic Information System）を活用して、活断層周辺の地震活動の定量化を試みている。

断層として、横ずれ断層は周辺域の地震活動が線状配列を示すことからモデル化が可能であるので、西南日本の内陸部にある横ずれ断層について定量化解析を実施した。

2. 西南日本の地震活動と活断層

西南日本内帯の地震活動は、地殻上部に地震活動が多く発生し、地表面の活断層との関連が議論される。内陸の活断層は太平洋、フィリピン海などの海洋プレートとユーラシアなどの大陸プレートとのカップリングの強さによる内陸地域の地殻上部への圧縮力の強さで議論されている。カップリングが強い場合は大きな圧縮力が作用して、逆断層型の地震、活断層が卓越する。東北地方や中部地方がこの地域である。水平方向の圧縮力が比較的小さい場合、横ずれ断層型の地震や活断層が卓越する。西南日本内帯は太平洋プレートによるほぼ東西方向の圧縮力による横ずれ断層が発達している。フィリピン海プレートの作用は近畿地方から四国・九州地方へと連続する中央構造線により弱められ、太平洋プレートの影響のみが卓越している。しかも、中国地方では横ずれ断層は地形判読からは発見できずに、山崎断層以西では小規模な横ずれ断層しか見つかっていない。

地震活動は、中部地方から西では地殻上部での発生が多い、特に地震配列が線状配列を示す地域が多

く見られる。これは活断層との関連が示唆されることで、山崎断層と微小地震の関連が詳細に議論され、最近では跡津川断層と地震分布、兵庫県南部地震と余震分布など、地震活動、特に微小地震分布が地下の地震活動状況を示していることが指摘されている。過去の大地震の地震断層と微小地震分布との関連なども指摘されている。

西南日本を地形的な特徴から日本海側、脊梁山脈、瀬戸内海側と分けると、地震活動もまたそれに対応する特徴を示す。地震活動が活発な地域は日本海沿岸である。しかし、丹後半島から島根半島に至る日本海沿岸と島根半島より西方の日本海沿岸では地震の発生の様子が違う。前者には福井地震、北丹後地震、鳥取地震などが発生している地震多発地域であるのに、後者は1872年の浜田地震が日本海海底に発生しているのみでその相違は著しい。脊梁山脈が連なる高地では一般に地震が少ない。中国地方で一番高い大山付近は地震活動の少ない空白地域であるのに、同じ第四紀の火山である三瓶山から島根一広島県境は地震活動域である。三瓶山周辺が活発な理由には定説はないが、地下の状態を示す温泉分布では、大山の山体内には温泉はなく外れて米子市の皆生温泉そして東側の関金温泉、三朝温泉がある。それに対して、三瓶山には山頂付近に三瓶温泉（志学温泉）があり、周辺部に池田温泉、千原温泉、出雲湯村温泉、湯抱温泉等がある。この地下の状態の相違が地震活動の差としてあるかも知れない。瀬戸内海側では地震活動域は少なく、地震がばらついてるのが特徴にも見える。中国縦貫自動車道を大阪から西へ走って行くと、兵庫県福崎町のあたりから岡山県の作用町まで高速道路は、西南日本内帯でも第一級の活断層である山崎断層の上を走る。この山崎断層に沿って地震の発生が見られる。近畿地方は地震活動、微小地震が多発している地域で、活断層と

の関連も多く見られ、京都府中部の地震の巣は三峠断層に伴うものである。兵庫県南部地震は六甲一布引断層系と野島断層の活動である。京都市から北方へ花折断層に沿う地震活動も見ることが出来る。

四国地方、近畿地方を横断する中央構造線に沿う地震は、和歌山市付近では顕著な地震活動が存在するが、他の断層域では地震活動は低調である。また、中央構造線より南の地域では断層との関連、顕著な線状配列を示していない。

3. GISによる断層周辺の地震活動の解析

地理情報システム（Geographic Information System）は、地図上の位置情報と対象物の属性情報を構築することによって、その関係を解析、表現するコンピュータシステムである。空間的に統合されたデータ（空間データ）を、蓄積、表示、分析し、データが空間的に統合されることによって、データを地域の中に位置づけ、より現実に近い状態で分析する事が可能になる。従来の紙の地図の上では、対象物の位置および属性が記載されており、それぞれの対象物に対して、対応する詳細な情報が別の形で管理されている。地理情報システムを用いる事によって、こうした地図上の情報および属性情報をデジタル化し、総合的な管理を行う事が出来る。また、修正や更新などの業務、解析ツールとしてのコマンドを活用することで簡便に行う事ができる。

こうして、地理情報及び属性情報がコンピュータの上で管理されるようになると、それらのデータを利用して、紙の上では困難であったさまざまな加工、処理が可能になる。条件による検索や、統計処理、面積・距離計算、経路解析、適地選定など地理情報システムによって蓄積された地理データの高度利用を容易に行う事ができる。また、多彩な表示機能で表現される。

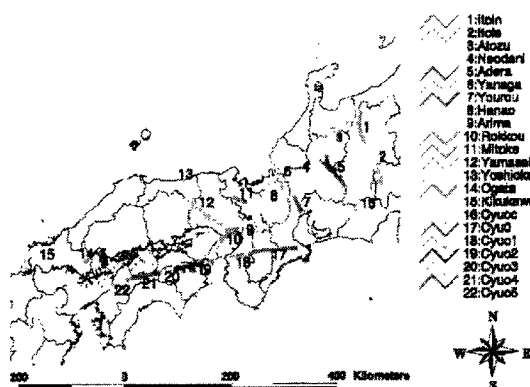


Fig.1 Analyzed active faults in the southwestern Japan (the number of fault is the same as Table 2)

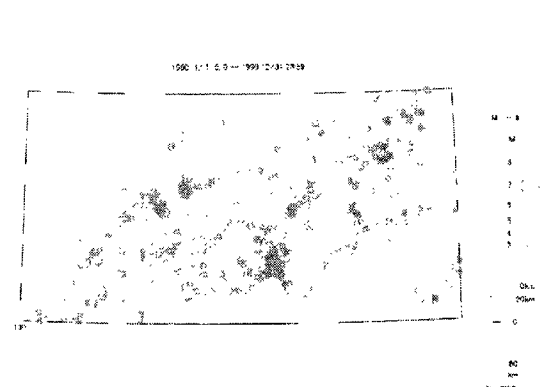


Fig.2 The JMA seismic data in the southeastern Japan (1960 ~1990, more than magnitude 3)

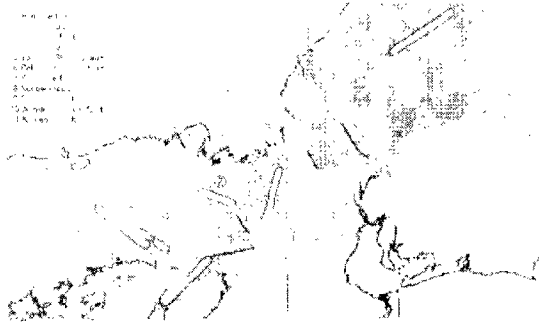


Fig.3 Analyzed active faults in the southwestern Japan (the number of fault is the same as Table 1. A bold void line show analyzed faults.)
Microearthquake data (1980 ~ 1995, more than magnitude 0 by DPRI, Kyoto University)

GIS ソフトを活用して、断層周辺の地震活動を解析するために GIS データベースを作成する。対象とする活断層をラインデータとして「断層データ」を作成する。活断層としては、「日本の活断層」に採用されている西南日本の活断層の内、15の断層について「活断層データ」を作成した。糸魚川-静岡構造線の北部と南部(1,2)、跡津川断層(3)、根尾谷断層(4)、阿寺断層(5)、柳瀬断層(6)、養老断層(7)、花折断層(8)、有馬-高槻構造線(9)、六甲断層系(10)、三峠断層(11)、山崎断層(12)、吉岡-鹿野断層(13)、小方-小瀬断層(14)、菊川断層(15)、中央構造線(16~22)である (Fig.1)。

「震源データ」をポイントデータとして作成する。

①対象：震源、②位置：緯度、経度、③属性情報：年月日時分、震源の深さ、マグニチュードなどである。2種類のデータファイルを作成した。「気象庁地震データ」は1960年から1990年までのマグニチュード3以上の震源を採用した (Fig.2)。気象庁が観測し、地震計によって震源決定された震源データは1923年からあるが、今回の解析に用いるためには、震源決定精度が比較的高く、対象地域で均質なデータとして上記の条件の震源データを採用した。「微小地震データ」は1970年代から京都大学で観測されている対象地域の震源ファイルを採用した。各観測地域で、観測開始時期や震源決定精度が少し異なるので、1980年から1995年までの期間に記録されたマグニチュード0以上の地震を採用した (Fig.3)。

「活断層データ」で、ラインデータから指定された範囲を自動的に作成するバッファリングを用いて、ポリゴン (領域) を作成した。指定した活断層から距離 Lkm 離れた領域でバッファリングを行った。L を1km から10km まで順次増加させ、1つの断層について10個のポリゴンを作成した。これらのポ

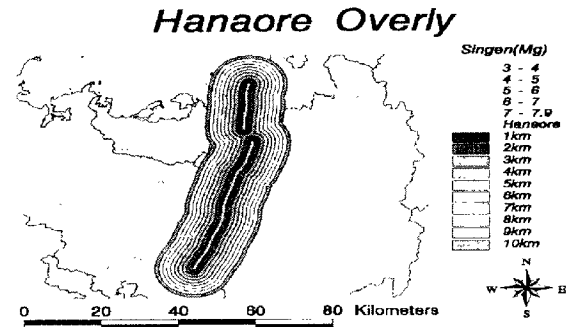


Fig.4 Example of GIS analysis. Overlay command used to a seismic data and a area of L(km) which is distances from the fault increased every 1km, from 1km to 10km.

リゴン (領域) と「地震データ」を重ね合わせるオーバーレイ解析を行った。この2つの「地震データ」について、微小地震に関しては11断層、気象庁データについては15断層について解析を行った。

花折断層での解析の例を示す (fig.4)。地表面の活断層から1km 毎にポリゴン (領域) を作成し、その面積 (S) と地震数 (N)、マグニチュード分布、地震発生時系列などが作成される。ここでは、地震発生密度として単位堆積当りの地震数 (N/S) を計算する、そして、L が1km 増加するたびに地震発生密度の変化分 ($\Delta N/\Delta S$) を計算した。

4. 議論及び考察

活断層周辺の地震活動を定義する場合、地下の活断層が周辺域に与えている影響を分離することが必要である。断層面上のずれがどの範囲まで、響きするのかを知るために、GIS ソフトを活用して、地震発生密度 (N/S) を求めて、断層からの距離 (L) との関連から議論を行った。しかし、活断層からの距離との関係は、地震発生密度の変化 ($\Delta N/\Delta S$) が良い対応を示している。これは活断層からの影響が及ばなくなる距離に対応している。

「微小地震データ」の解析は、断層1つについて解析を行った (Table1)。解析可能であったのは6つ、地震活動が少なく解析できなかった活断層は、柳瀬断層、郷村断層、根尾谷断層の3つで、亀岡断層と有馬高槻構造線は地震活動域の中にあつて、活断層の影響領域を分離することが出来なかった (Fig.5)。断層による支配領域は2~4km の範囲で、平均は約3km である。それらに含まれる地震数は山崎断層と六甲-布引断層系が多い。マグニチュードが0以上の地震発生密度は1平方km について約4

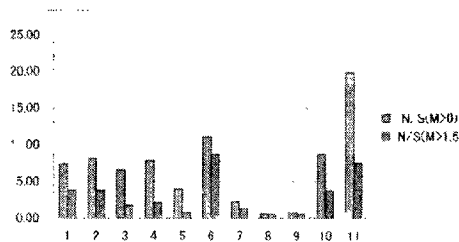


Fig. 5 The generation density of earthquake to be obtained from microearthquake data of each active fault. (N/S). The horizontal line is the number of fault and the vertical line is N/S. The number of fault is the same as Table 1.

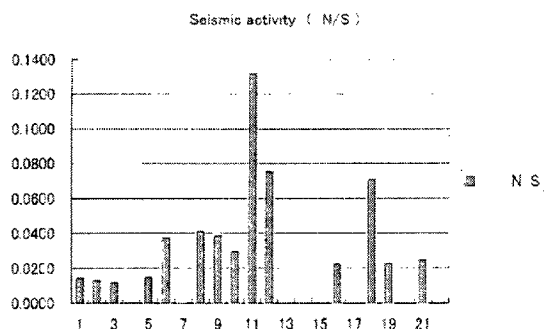


Fig.6 The generation density of earthquake to be obtained from the meteorological agency data of each fault.(N/S). The horizontal line is the number of fault and the vertical line is N/S. The number of fault is the same as Table 2.

から 11 個の大きな値を示している (Fig.5)。

「気象庁地震データ」による西南日本の 15 活断層周辺の地震活動について、22 の断層域について解析を実施した (Table2)。活断層周辺の発生した地震数がなく、8 つの断層域で解析出来なかった。そして、7 つの断層域では地震数が解析可能な数でないために結果を議論の対象から外した。これは気象庁データで震源決定精度とデータの均質性からマグニチュード 3 以上としたことが、理由である。今後、地震観測網の著しい整備で解析が可能となることが期待される。解析を実施し、地震数は少ないが、柳瀬断層、花折断層、有馬高槻構造線、六甲断層系、三峠断層、山崎断層、中央構造線 (1) で断層による地震活動が分離することが出来た (Fig.6)。そして、それらは 3 km から 6 km までの距離の中に決まり、集中している距離は 3 ~ 4 km である。

これらの結果から、断層による支配領域は、断層からの距離は、「気象庁地震データ」「微小地震データ」ともに、約 3 km である。これは活断層と地震

Table 1 The analyzed value to be obtained from the microearthquake data of each fault. Each row (or column*) includes the number, the name of fault, the effective distance, the dominated area, the number of earthquake(0), the number of earthquake (1.5), N/S(0), and N/S(1.5).

	Width	S(km*km)	N(M>0.0)	N(M>1.5)	N/S(M>0)	N/S(M>1.5)
1 Hanaore fault	3 km	312.937	2308	1172	7.38	3.75
2 Mitoko fault	2 km	134.182	1095	499	8.16	3.72
3 Yamasaki fault	4 km	758.53	5005	1339	6.80	1.77
4 Atotugawa fault	3 km	374.909	2956	805	7.88	2.15
5 Yosioka-Shikano fault	2 km	72.331	288	58	3.98	0.80
6 Rokkou-nunob	ult 3 km	405.508	4503	3529	11.10	8.70
7 Yanagase fault	5 km	478.772	1073	644	2.24	1.35
8 Neodani fault	5 km	452.483	275	226	0.81	0.50
9 Gohmura fault	5 km	225.942	155	117	0.89	0.52
10 Arima-takatsuki fault	4 km	412.986	3590	1545	8.69	3.74
11 Kamaoka fault	6 km	348.298	6901	2625	19.81	7.54

Table 2 The analyzed value to be obtained from the meteorological agency data of each fault. Each row (or column) includes the number, the name of fault (seismic area), the effective distance, the dominated area, the number of earthquake, seismic energy, N/S and E/S.

	Width(km)	S (km*km)	N	E	N/S	E/S
1 Itoigawa-Sizuoka fault(Nort)	3	420	6	1.28E+18	0.0143	3.05E+15
2 Itoigawa-Sizuoka fault(Sout)	4	795	10	2.54E+18	0.0126	3.19E+15
3 Atotugawa fault	5	690	8	1.89E+18	0.0116	2.74E+15
4 Neodani fault	0	0	0	0.00E+00	0.0000	0.00E+00
5 Adera fault	1	676	10	4.00E+18	0.0148	5.92E+15
6 Yanagase fault	3	268	10	1.48E+18	0.0373	5.52E+15
7 Yourou fault	0	0	0	0.00E+00	0.0000	0.00E+00
8 Hanaore fault	6	929	38	7.83E+19	0.0409	8.43E+16
9 Arima-Takatsuki fault	5	494	19	1.48E+19	0.0385	3.02E+16
10 Rokkou fault	3	406	12	5.07E+18	0.0296	1.25E+16
11 Mitoko fault	4	281	37	1.92E+20	0.1317	6.83E+17
12 Yamasaki fault	4	891	67	7.01E+20	0.0752	7.87E+17
13 Yosioka-Shikano fault	0	0	0	0.00E+00	0.0000	0.00E+00
14 Ogata-Oza fault	0	0	0	0.00E+00	0.0000	0.00E+00
15 Kikukawa fault	0	0	0	0.00E+00	0.0000	0.00E+00
16 Median Tectonic Line(Tyub)	4	1033	23	4.04E+18	0.0223	3.91E+15
17 Median Tectonic Line-0	0	0	0	0.00E+00	0.0000	0.00E+00
18 Median Tectonic Line-1	3	269	19	1.04E+18	0.0706	3.87E+15
19 Median Tectonic Line-2	6	1280	29	2.52E+18	0.0227	1.97E+15
20 Median Tectonic Line-3	0	0	0	0.00E+00	0.0000	0.00E+00
21 Median Tectonic Line-4	3	493	12	1.90E+19	0.0243	3.85E+16
22 Median Tectonic Line-5	0	0	0	0.00E+00	0.0000	0.00E+00

活動の関連は、地震活動が線状配列をしていることが、地下断層の影響だと考えることが出来る。また、地下に断層がある場合もその影響範囲は以外と小さく、断層の影響を考察することが出来る。

活断層は地下の地震の繰返しによって形成される。しかし、地下の断層面は地震後固着し、周囲の岩盤は力を受けても、すぐに滑り出さず、ある程度歪んで、エネルギーを蓄積する地下の断層面で歪エネルギーを蓄積することは断層面からの距離が離れた場所にも歪が蓄積され、その蓄積された歪によって、微小破壊が発生し、断層面からある距離離れた場所まで、地震が発生することになる。この影響を受けている範囲を「支配領域」として、断層周辺の地震活動を分離することとした。これは大地震発生後の余震活動は、本震の震源断層の周辺に余震活動が集中する。この現象は本震の震源断層による周辺域への歪の再配分で、それを是正するために地震活動が

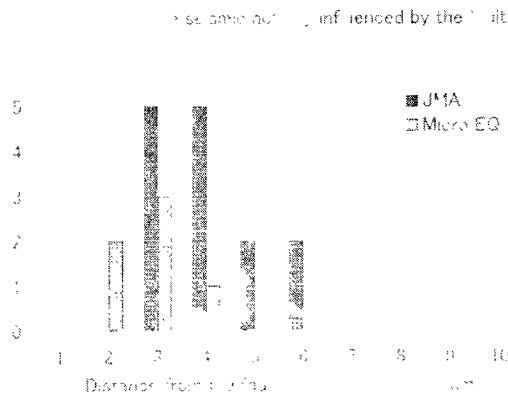


Fig.7 The frequency distribution of the distance dominated by active fault (dominated area)
The horizontal line is the effective distance and the vertical line is the frequency.

発生している、これも断層による支配領域と考えられる。断層面上でのずれの量は西南日本内帯の場合、最大数 m と限定され、その支配領域は限定される。

このことを考えると、活断層による支配領域が約 3 km であるのは、断層のずれによる周辺域への影響は、断層の長さによらずほぼ一定であることを示している (Fig.6)。

5. 結論

西南日本内帯の横ずれ断層について、GIS ソフトを用いて、断層からの支配領域を求めた。以下のその結論を述べる。

- 1) 活断層と影響される地震活動域 (支配領域) は地震発生密度の変化 ($\Delta N / \Delta S$) の断層からの距離の関数として表現し、平常値になるまでの範囲とした。
- 2) 「気象庁データ」は 15 断層中、7 断層域で支配領域が求まった。断層の長さに関係なく、2 ~ 6 km で、平均値は 4 km である。
- 3) 震源決定精度の良い「微小地震データ」は 11 断層中、6 断層で支配領域が求まり、距離 2 ~ 4 km で、平均は 3 km であった。

謝辞

本論文の作成にあたり、浅井享累氏、今田行彦氏、尾崎順一氏、藤原茂樹氏には地震データ、活断層データの作成・解析では大変お世話になりました。心からお礼申し上げます。

参考文献

- 浅井享累 (1996): GIS を用いた活断層周辺の地震活動の検証, 鳥取大学工学部卒業論文
- IMADA Y. (2000): Quantitative Evaluation of Seismic Activity Related to Active Faults, Master Thesis, Division of Earth and Planetary Science, Graduate School of Science, Kyoto University
- 宇津徳治 (1991): 地震学, 共立出版社, pp.129-133
- 尾池和夫 (1991): 地震の発生のしくみと予知, 古今書院, pp.32-44
- 活断層研究会 (1996): 「新編」日本の活断層, 東京大学出版会, pp.24-31
- Kanaori, Y. S. Kawasaki (1991): Space-time distribution pattern of destructive earthquakes in the inner belt of central Japan: activity intervals and locations of earthquakes, Eng. Geol., 31, pp.209-230
- Kishimoto, Y. and R. Nishida (1973): Mechanisms of microearthquakes and their relation to geological structures, Bull. Disaas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., 23, 1, pp.2-10
- 小出仁・山崎晴夫・加藤貞一 (1979): 地震と活断層の本, 国際地学協会, pp.89-93
- 西田良平, 他 (1997): 活断層周辺の地震活動, 1997 年度惑星合同学会春季大会講演集, pp.105
- 株式会社バスコ (1995): ARC/INFO 入門
- 渡辺邦彦, 他 (1998): 微小地震データによる活断層の地震活動, 1998 年度惑星合同学会春季大会講演集, Se-009

QUANTITATIVE REPRESENTATION AND EVALUATION OF SEISMIC ACTIVITY AROUND ACTIVE FAULTS Frame and Inflection of GIS Data Base

Ryohei NISHIDA* · Kunihiro WATANABE
Engineering Division, Tottori University

Abstract

To analyze seismic activity around active fault has an important role to clarify earthquake mechanism and to earthquake prediction. The examination by GIS data that is obtained from earthquake data was carried out. The area and the number of earthquake are found with the distance from active fault as a parameter, and the generation density of earthquake per unit area was calculated. The distance that is dominated by a fault (dominated area) was found by the variation of the earthquake generation density. 15 faults (22 seismic area) from the JMA data and 11 faults from the microearthquake data were analyzed. The seismic activities of the 7 seismic areas and the 6 faults can be clearly picked up and the activity degree of these was obtained. The seismic activity that is dominated by the fault is found to be 3-4 km from the fault. Accordingly, it is cleared that the seismic activities around the fault and the epicenter's fault of a big earthquake only dominate a limited area.

Keyword: active fault, seismic activity, generation density of earthquake