

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 10 日現在

機関番号：15501

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2013

課題番号：22510191

研究課題名(和文)断層プロセスゾーンの存在を考慮した活断層連動性および地震動予測手法の確立

研究課題名(英文) Establishment of the prediction method for active-fault linkage and seismic motion taking into consideration for a fault process zone

研究代表者

金折 裕司 (KANAORI, YUJI)

山口大学・理工学研究科・教授

研究者番号：60194883

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,500,000円、(間接経費) 750,000円

研究成果の概要(和文)：西南日本内帯を対象フィールドとして、(1)断層プロセスゾーンの特性評価(例えば、S波速度、幅、微細組織)(2)断層プロセスゾーンによる潜在断層(現在の応力場で動きやすい断層)の抽出、(3)断層プロセスゾーンの存在を考慮した疑似3D断層運動シミュレーション手法を改良した連動性および地震動評価手法の開発、(4)活断層帯(系)の地震動予測手法の確立、および(5)活断層保存施設の保守・運用、を行った。

研究成果の概要(英文)：In Southwest Japan as a case study field, the followings are performed; (1) characterization of a fault process zone (e.g., s-wave velocity, width and microstructure), (2) extraction of a potential fault, which moves easily under the modern stress field, by the process-zone characteristics, (3) development of evaluation methods for fault linkage and seismic motion by the modification of pseudo-3D fault-motion simulation taking into consideration for the fault process zone, (4) establishment of a seismic-motion prediction method for a fault zone (or system), and (5) maintenance and use of the preservation facility for the active fault.

研究分野：社会・安全システム科学

科研費の分科・細目：自然災害科学

キーワード：地震災害 断層プロセスゾーン 広域応力場 地震危険度 活断層

1. 研究開始当初の背景

- (1) 断層から発生する地震動を予測するために、地震調査研究推進本部による活断層長期評価に基づく地震動評価や各自治体の実施してきている地震被害想定には、一般に断層モデルと呼ばれる経験的グリーン関数合成法や統計的グリーン関数合成法などが採用されてきている。
- (2) 断層プロセスゾーンの片側幅は断層長の100分の1程度であることが知られてきているが、活断層に関して、断層プロセスゾーンの性状や微細組織と地震物性との関係はほとんど研究例がない。
- (3) 複数の活断層が集中して分布する場合、一連の系として活動するとみなすか、単独で活動するとみなすか、によって地震動予測結果とそれに基づく被害想定が大きく変わってくる。従来は経験的に、同一走向で隔離距離が5 km以内にある活断層は同一活断層帯(系)とみなされてきた。内陸地震の規模を正確に予測するためには、活断層帯(系)の認定が大変重要となってくる。
- (4) 断層プロセスゾーンは断層運動に伴って形成されることから、断層形成から現在までの応力場の変遷が微細組織に記録されている可能性が高い。

2. 研究の目的

- (1) 内陸地震に誘発される地震被害予測の精度を高める目的で、断層に伴われているプロセスゾーン(以下、断層プロセスゾーンと呼ぶ)を、有限要素法を用いた擬似3D断層運動シミュレーションに組み込み、断層近傍を対象として詳細な地震動予測手法を確立する。
- (2) 地震を起こす危険性が高い断層(ここでは潜在断層: potential faultと呼ぶ)を抽出するために、微細組織解析から得られた局所応力場とGPS測地や地震活動から得られる広域応力場を対比する手法を開発する。
- (3) さらに、応力変化シミュレーション手法に改良を加え、隣接する断層の連動性に断層プロセスゾーンの存在が与える影響を評価し、活断層帯(系)認定に関わる基礎データを得る。上記の結果を総合して、精度の高い地震動予測手法を確立する。

3. 研究の方法

- (1) 西南日本内帯を対象フィールドとして、断層プロセスゾーンの特性評価、断層プロセスゾーンによる潜在断層の抽出、連動性および地震動評価手法の開発、活断層帯(系)の地震動予測手法の確立、および活断層保存施設の保守・運用を行う。

- (2) とでは断層プロセスゾーンの微細構造解析と地震物性解析を行い、その結果を総合して、幅と断層長さに関する実証データを得るとともに、潜在断層の抽出方法を検討する。において、既存の2D断層運動シミュレーション手法を擬似3D(平面と断面の組み合わせ)に改良するとともに、で得られたデータを使って断層プロセスゾーンの幅とS波速度を入力して、鳥取県西部地震と福岡県西方沖の地震について検証を行う。
- (3) さらに、Coulomb3.1 応力シミュレーション・プログラムを改良し断層の連動性を解析して、の結果と併せて、活断層帯(群)の客観的な評価方法を確立する。上記の結果を総合して、画期的な被害予測手法の確立を目指して、特に危険性の高い潜在断層を対象として、震度予測および断層運動予測を行う。

4. 研究成果

- (1) 中国地方西部と中部地方を事例研究のフィールドとして、断層プロセスゾーンの特性評価を行い、断層プロセスゾーンの幅と断層長さに関するデータ解析、微細組織の解析を行い、断層内微細組織から局所応力場を復元した。造構環境と広域応力場に関わる基礎データを集大成して、西南日本内帯における広域応力場を解明した。断層データと造構環境および微細組織のデータを組み合わせ、潜在断層の認定方法を確立するとともに、潜在断層のカタログを整備・充実した。
- (2) 地震危険度の最も高い潜在断層を例として、変位、速度、加速度、を計算し、断層近傍の正確な震度分布を求めた。これらの結果を一般化して、断層近傍の地震動予測手法を確立して、新しい地震災害予測手法を提示した。断層プロセスゾーンの微細構造と応力変化シミュレーションに基づく連動性から、現在の応力場のもとで最も地震危険性の高い潜在断層を抽出する手法と活断層帯(群)の客観的な認定方法を確立して、地震被害想定的基础となる地震規模の精度の高い見積もり方法を提示した。
- (3) 山口市阿東篠目に設置されている木戸山西方断層の保存施設の保守およびその活用を図った。
- (4) 本研究で改良を試みる2D有限要素法を用いた断層運動の解析により地震動を評価する手法(Toki and Miura, 1985)は、過去の観測記録や断層パラメータなどの蓄積された資料が少なくても設計地震動の推定が可能となることがこの手法の大

きな特徴である。上記の手法を改良して、2001年鳥取県西部地震(Mj7.3)と2005年福岡県西方沖の地震(Mj7.0)のシミュレーションを実施して、活断層周辺の地震動がよく再現できることを示してきた(Fukushima et al., 2010)。その結果の一例を図1に示す。

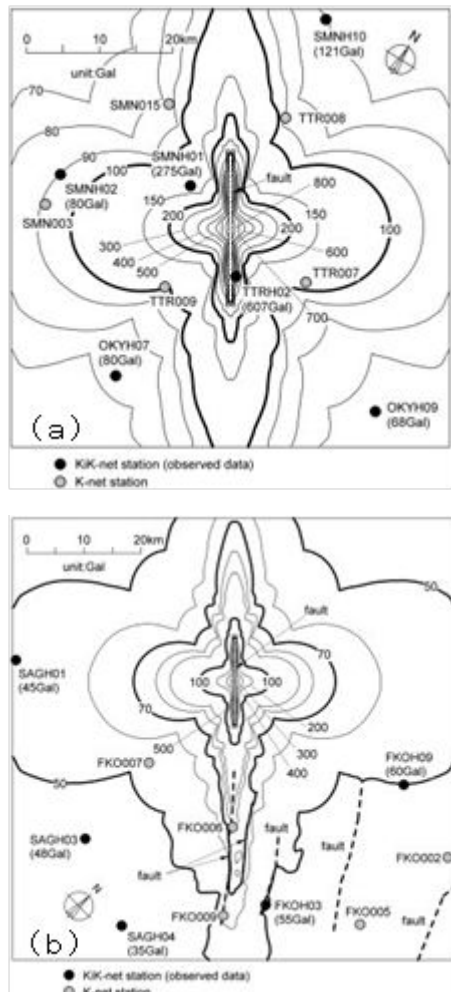


図1 断層プロセスゾーンを考慮した擬似3D断層運動シミュレーションによる地震加速度予測結果(等加速度線)とKik-net および K-net での実測値(Gal)(Fukushima et al., 2010)
 (a) 2001年鳥取県西部地震(Mj7.3)
 (b) 2005年福岡県西方沖の地震(Mj7.0)

(5) 断層の運動性を考慮した断層帯の設定に関する経験的な5kmルール(松田, 1991)が成立するか否かについて、断層プロセスゾーンの存在を考慮した2次元断層運動シミュレーションを行い、様々なケースを想定して4つの定義の検証が試みた。その結果は、5kmルールのうち定義(1)だけが成立し、それ以外は成立しないことがわかった(図2)。以下に、それぞれの定義について、その根拠を述べる。

定義(1): 震源断層が活動しても7.1km離れた別の断層では先端変位が生じていないことから、ステップする断層では5km以上離れると破壊が連動せず、単独の起震とみなせるので定義(1)を満たしている。

定義(2): さらに断層間を4.8km近づけると、“杉”型と“ミ”型に雁行配列する3本の断層では、中央の震源断層が変位しても、両端の断層に沿っては変位が伝播していない。この結果から5km以内でも断層が連動しないことから、定義(2)は成立していないことがわかる。

定義(3): 震源断層と、それに45°で斜交する断層の2本の断層間の中心距離を5.1kmとして、“イ”と逆“イ”の断層パターンで計算すると、斜交する断層に沿って変位が認められいずれのパターンでも断層が連動していることがわかる。5km以上離れた走向を異にする複数の断層でも連動することがわかり、定義(3)を満たさない。

定義(4): 同走向で一直線に分布する3本の断層の場合、断層間距離が5km、6kmおよび7kmのケースでもすべての断層が連動しているが、断層間距離が8kmのケースでは震源断層の両側の断層に沿っては変位が生じていない。つまりこの計算結果から、7km離れていても連動することから、この結果は5km以内という定義(4)を満たしていない。

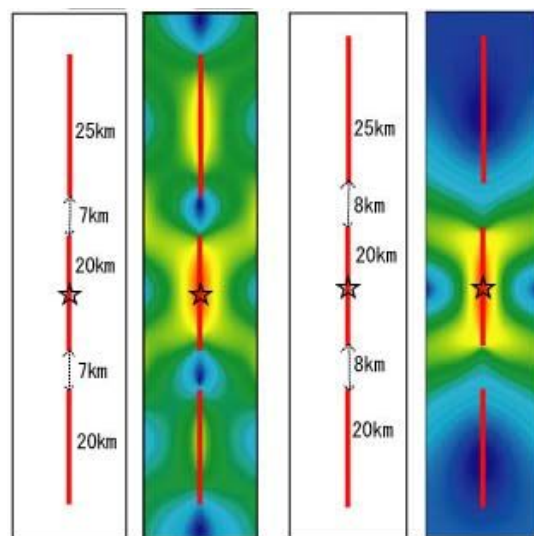


図2 2D断層運動シミュレーションによる起震断層の定義“5kmルール”の検証(山口・金折, 2011) シミュレーション結果星印が震央 (a)断層間距離7kmまで連動 (b)8kmのケースは非連動.(計算条件: 200m×200mメッシュ 断層プロセスゾーン片側幅200m S波速度 母岩:3.5km/s 断層岩:2.5km/s)

(6) 山口県文書館に所蔵されている毛利家文庫のうち、主に『大地震報告書』を解説して、安政南海地震による山口県内の被害をまとめるとともに、県内各地の震度およ

び瀬戸内海沿岸の津波高に関する基礎資料を得た。さらに、それらを補完するために、古文書や日記などに記述された被害状況をまとめた。活断層地震に関しても、同様に江戸時代の史料や古文書の記述を抜粋した。これらを検討して、海溝型巨大地震と活断層地震の時間的・空間的な基礎資料をまとめた。

(7) 昭和 62 (1987) 年山口県中部の地震 (Mj5.2) を震源断層として断層プロセスゾーンを考量した 2 次元断層運動シミュレーションを行い、大原湖断層系を構成する吉敷川断層と山口盆地西縁断層の連動性を解析し、手法の妥当性を確認するとともに、断層の方向性や接近度が連動性を評価するうえで重要なパラメータになることがわかった。さらに、宇部東部断層の連動性シミュレーションに関する基礎データを収集している。

シミュレーション結果から、断層の連動性と震度に関して、次の結果が得られた。

応力降下量 5MPa: 吉敷川断層で地震が発生した場合、山口盆地北西縁断層も連動した。吉敷川断層上と山口盆地北西縁断層上の一部で震度 6 弱~7, 断層群の北側の広い範囲で震度 4 の地震が想定された。

応力降下量 10MPa: 吉敷川断層で地震が発生した場合、5MPa と変位の範囲は同じだが、変位量が大きくなっている。5MPa の結果より大きな加速度が得られ、木戸山西方断層の一部で震度 6 弱が想定された。

応力降下量 5MPa: 下郷断層で地震が発生した場合、断層直上で最大 0.208m の変位が生じた。下郷断層上に震度 6 強~7 の揺れ、下郷断層を中心として東西方向に震度 4~5 弱が広がる。

応力降下量 10MPa: 下郷断層で地震が発生した場合、変位箇所や範囲は 5MPa の結果と同じだが、変位量は最大 0.545m、5MPa の結果より 0.337m 大きな値が得られた。下郷断層の東西方向に震度 5 弱~5 強の地震が広がる。

(8) 大原湖断層系を構成する木戸山西方断層の保存施設内で断層ガウジのサンプリングを行い、試料中の Mn 濃度を分析した結果、断層面に近い試料ほど Mn 濃度が高いことが示され、Mn 濃度が活断層の活動性を示す重要な指標であることを再確認した。山陰地方に分布する花崗岩や中新統を対象にして、Sr-Nd 同位体組成、K-Ar 年代と古地磁気方位などを解析して、中国地方西部の地質断層の分布やその形成時期を検討するための基礎資料を得た。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 18 件)

Lin, A., Toda, S., Rao, G., Tsuchihashi, S. and Yan, B., Structural Analysis of Coseismic Normal Fault Zones of the 2011 M_w 6.6 Fukushima Earthquake, Northeast Japan, Bulletin of the Seismological Society of America, 査読有、Vol.103, 2013, 1165-1170

相山光太郎、金折裕司、隣接する活断層の連結性と変位様式：弥畝山西断層と都茂断層の例 応用地質、査読有、Vol.53、No.1、2012、21-30

今岡照喜・小室裕明・山脇恵理香・金折裕司・大川侑里・金田孝典・山本明彦、山口県後期白亜紀防府バソリスの三次元形態：地質・岩石と重力異常からの推定、地質学雑誌、査読有、118、2012、782-800
相山光太郎、金折裕司、山口県中南部、宇部東部断層のトレンチおよびボーリング調査、応用地質、査読有、Vol.52、No.4、2011、137-142

大川侑里・金折裕司・今岡照喜、白亜紀防府花崗岩体で発生した土石流の分布と性状、査読有、応用地質、52、2011、248-255

Imaoka, T. (他 7 名、第 1 番目)、K-Ar age and geochemistry of the SW Japan Paleogene cauldron cluster: Implications for Eocene-Oligocene thermo-tectonic reactivation, Journal of Asian Earth Sciences、査読有、40、2011、509-533

Nagashima, M., Imaoka, T. and Nakashima, K., Crystal chemistry of Ti-rich ferriallanite-(Ce) from Cape Ashizuri, Shikoku Island, Japan, American Mineralogist、査読有、96、2011、1870-1877

藤内智士・重松紀生・今西和俊・吾妻崇・溝口一生・大谷具幸・沓名亮輔、地震学的に推定される応力と地質学的に推定される活断層の運動方向との比較：阿寺断層系の例、活断層・古地震研究報告、査読有、11、2011、139-150

Ishida, T. and Sasaki, Numerical simulation to examine accuracy of AE source location and its applications to in-situ rock monitoring, Journal of Acoustic Emission、査読有 29、2011、260-272

Shimizu, H., Murata, S. and Ishida, T., The distinct element analysis for hydraulic fracturing in hard rock considering fluid viscosity and particle size distribution, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences、査読有、48、2011、712-727

Aiyama, K., Kanaori, Y., Sagawa, A., Morioka, T. and Tanaka, T., Spatial-temporal migration of active-fault

earthquakes in central Yamaguchi Prefecture, southwest Japan Extended Abstracts to the Proceedings of the 11th Congress of the IAEG Geologically Active, 5-10 September Auckland. 査読有、1-1(CD-ROM)、2010
Fukushima K., Kanaori, Y. and Miura, F, Influence of Fault Process Zone on Ground Shaking of Inland Earthquakes: Verification of $M_j = 7.3$ Western Tottori Prefecture and $M_j = 7.0$ West Off Fukuoka Prefecture Earthquakes, Southwest Japan. Engineering Geology, 査読有、Vol. 116、2010、157-165

金折裕司、中国地方の地質と活構造、日本応用地質学会中国四国支部編「中国四国地方の応用地質学」、査読有、2010、8-12

金折裕司、中国地方の活断層、日本応用地質学会中国四国支部編「中国四国地方の応用地質学」、査読有、2010、16-23

Ishida, T., Kanagawa, T. and Kanaori, Y., Source distribution of acoustic emission during an in-situ direct shear test: Implication for an analog model of inhomogeneous rock-mass fracturing, Engineering Geology, 査読有、110、2010、66-76

清水浩之・村田澄彦・石田毅、粒状体個別要素法における岩石力学物性の設定に及ぼす粒子数および粒度分布の影響、材料、査読有、59、2010、219-226

〔学会発表〕(計 26 件)

大谷具幸、沓名亮輔、金折裕司、小嶋 智、山口県・木戸山西方断層破砕帯における最新すべり面と元素移動の関係、日本応用地質学会平成 25 年度研究発表会、名古屋大学野依記念館(名古屋市)、2013 年 10 月 24 - 25 日

多田賢弘、金折裕司、広島県中西部、上根峠の河川争奪と上根断層、日本応用地質学会平成 25 年度研究発表会、名古屋大学野依記念館(名古屋市)、2013 年 10 月 24 - 25 日

金折裕司、地震の活動期 - 西日本大震災に備える、日本応用地質学会九州支部、第34 回総会、特別講演、朱鷺メッセ(新潟市)、2012 年 11 月 1-2 日

多田賢弘、金折裕司、広島県西部、五日市断層に伴う断層岩類の微細変形構造解析、朱鷺メッセ(新潟市)、2012 年 11 月 1-2 日

久保博成、金折裕司、山口県中南部、佐波川構造線の性状と活動性について、朱鷺メッセ(新潟市)、2012 年 11 月 1-2 日

今井利宗、金折裕司、北丹後地震($M_j 7.3$)と震災記念碑、朱鷺メッセ(新潟市)、2012 年 11 月 1-2 日

Kanaori, K. Huge earthquakes in Japan and the causal plate motion、

International Symposium for Green Environment Development、Changwon 2011、Korea、2011 年 11 月 10-11 日

植山裕介、金折裕司、山口県中西部の活断層とテクトニクス、平成 23 年度日本応用地質学会研究発表会、札幌市教育文化会館(札幌市)、2011 年 10 月 26-27 日

相山光太郎、金折裕司、山口県中北部、迫田-生雲断層南西部に沿う活断層と野戸呂ブルアパート、平成 23 年度日本応用地質学会研究発表会、札幌市教育文化会館(札幌市)、2011 年 10 月 26-27 日

山口祐貴子、金折裕司、断層プロセスゾーンを考慮した断層運動シミュレーションによる活断層の連続性-中国地方西部を例に-、平成 23 年度日本応用地質学会研究発表会、札幌市教育文化会館(札幌市)、2011 年 10 月 26-27 日

久保博成、金折裕司、山口県中南部、佐波川構造線の性状~活断層の可能性~、平成 23 年度日本応用地質学会研究発表会、札幌市教育文化会館(札幌市)、2011 年 10 月 26-27 日

今井利宗、金折裕司、丹後半島、山田断層の非活動部における地震危険度評価、平成 23 年度日本応用地質学会研究発表会、札幌市教育文化会館(札幌市)、2011 年 10 月 26-27 日

今井利宗、金折裕司、1927 年北丹後地震($M_j 7.3$)、郷村断層と山田断層のテクトニクス、平成 22 年度日本応用地質学会研究発表会、島根県民会館(松江市)、2010 年 10 月 21-22 日

山口祐貴子、金折裕司、断層プロセスゾーンを考慮した断層運動シミュレーション - 平成 7 年兵庫県南部地震($M_j 7.3$)を例に、平成 22 年度日本応用地質学会研究発表会、島根県民会館(松江市)、2010 年 10 月 21-22 日

後根裕樹、金折裕司、山口県西部、菊川断層の形態について、平成 22 年度日本応用地質学会研究発表会、島根県民会館(松江市)、2010 年 10 月 21-22 日

相山光太郎、金折裕司、島根県南西部、弥畝山西断層と都茂断層のテクトニクスインバージョンと性状、平成 22 年度日本応用地質学会研究発表会、島根県民会館(松江市)、2010 年 10 月 21-22 日

後根裕樹、金折裕司、山口県西部、菊川断層の形態について、平成 22 年度日本応用地質学会研究発表会、島根県民会館(松江市)、2010 年 10 月 21-22 日

相山光太郎、金折裕司、島根県南西部、弥畝山西断層と都茂断層のテクトニクスインバージョンと性状、平成 22 年度日本応用地質学会研究発表会、島根県民会館(松江市)、2010 年 10 月 21-22 日

後根裕樹、金折裕司、山口県西部、菊川断層の形態について、平成 22 年度日本応用地質学会研究発表会、島根県民会館(松江市)、2010 年 10 月 21-22 日

〔図書〕(計 9 件)

金折裕司、この 1 冊でわかる山口県の活断層と大地震 - 次の大地震に備える -、金折研究室、2013、60p

金折裕司、江戸時代に起きた山口県の z 災: 活断層地震とスラブ内地震、金折研究室、2013、47p

金折裕司、一八五四年安政南海地震と一八七二年浜田地震による山口県の被害報告 第二版、金折研究室、2013、47p

金折裕司、語り継がれた山口県の大地震
と津波 - 伝説と民話 - 、金折研究室、2013、
40p

西村祐二郎、今岡照喜、金折裕司、亀谷
敦、山口県地質図第3版(15万分の1)
および説明書、山口地学会、2012、167

金折裕司、1854年安政南海地震と1872
年濱田地震による山口県の被害報告、金
折研究室、2012、41p

今井利宗、金折裕司、震災記念碑 後世
に残された北丹後地震の記録 金折研究
室、2012、64p

小坂和夫、金折裕司、千木良雅弘、吉田
鎮男、日本の断層マップ、培風館、2010、
248p

〔知的財産権〕

出願状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://ykl.sci.yamaguchi-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

金折 裕司 (KANAORI, YUJI)
山口大学・大学院理工学研究科・教授
研究者番号：6 0 1 9 4 8 8 3

(2) 研究分担者

今岡 照喜 (IMAOKA, TERUYOSHI)
山口大学・大学院理工学研究科・教授
研究者番号：3 0 1 9 3 6 6 8

(3) 連携研究者

大谷 具幸 (OHTANI, TOMOYUKI)
岐阜大学・工学部・准教授
研究者番号：2 0 3 5 6 6 4 5

石田 毅 (ISHIDA, TSUYOSHI)
京都大学・工学研究科・教授
研究者番号：1 0 2 3 2 3 0 7

遠田 晋次 (TODA, SHINJI)
東北大学・災害科学国際研究所・教授
研究者番号：8 0 3 1 3 0 4 7