

( 1 ) 実施機関名：

高知大学

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

燧灘 - 高縄半島下における中央構造線系の深部構造と断層活動に関する研究

( 3 ) 最も関連の深い建議の項目：

2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進

( 1 ) 日本列島及び周辺域の長期・広域の地震・火山現象

ア. 列島及び周辺域のプレート運動, 広域応力場

( 4 ) その他関連する建議の項目：

2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進

( 3 ) 地震発生先行・破壊過程と火山噴火過程

( 3-2 ) 地震破壊過程と強震動

イ. 強震動・津波の生成過程

( 5 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

5 か年の目標：中央構造線は日本における第一級の活断層であり、現在は斜め沈み込みにより右横ずれ運動をしているが、地質断層は北傾斜していることが示されてきた (Ito et al., 1996)。しかしながら、もし中央構造線において大地震が発生するとしたら、その地震断層は北傾斜面なのか、それとも高角の横ずれ断層なのかという問題は、単に断層構造だけではなく、応力場、断層の摩擦係数、強度などを考慮した物理的な検討が必要である。当該地域では活断層に明瞭なセグメント境界が見られ、セグメント境界を越えた連動型の大地震発生の可能性の有無も重要な問題である。この問題も中央構造線の大地震の地震断層が北傾斜面なのか、それとも高角の横ずれ断層なのかによって全く違ってくる。本研究では、燧灘から高縄半島に分布する地殻中部の地震が中央構造線の周辺に発生している事に注目し、主にこれらの地震活動を高密度の観測することによって、断層の活動様式について研究する。この地域は既に行われた 2 つの GPS のトラバース観測の中間であり、かつ両者の結果は中央構造線を挟んだ特徴がそれぞれで異なっているために、中央構造線の現在の滑りの不均質性の可能性についても把握に努める。

( 6 ) 本課題の 5 か年計画の概要：

燧灘から高縄半島地域において地震観測の精度を総合的に向上させるため 8 点程度のオフライン地震観測点を設置し連続記録を収録する。これにより中央構造線の北傾斜面の深部延長上に近い地殻中部地震発生域を中心に地震の検知能力、総合的な観測精度の向上を目指す。また定常観測網で得られているデータを使って、メカニズム解の決定、多重応力解析による応力場の推定、震源分布の再決定、震源域の  $V_p/V_s$  の推定を試み、現状起きている微小地震がどのような向きの断層面が、どのような力によって、どの程度流体の影響を受けやすい環境で発生しているのかについて、たたき台となる情報を得る。

平成 21 年度は観測点の設置を行う。

平成 22 年度：観測の継続しデータを蓄積しつつ、定常観測網によるデータとあわせて、地震活動度、震源分布、地震の検知能力などの基礎データを再検討する。

平成 23 年度：観測の継続しデータを蓄積しつつ、定常観測網によるデータとあわせて、メカニズム解分布の高精度決定、震源域  $V_p/V_s$  の解析を行う。

平成 24 年度は、特に高い不均質性が考えられる高縄半島付近において、局所アレイ観測を行い中央構造線の潜伏断層面の位置情報を増やす。

平成 25 年度は、総合的にみて、中央構造線の大地震は、どのような応力場のもとで、どのような断層面が、滑り得るものであるか検討する。

(7) 計画期間中(平成 21 年度～25 年度)の成果の概要：

中央構造線は西南日本における第一級の活断層である。現在は西南日本弧に対するフィリピン海プレートとの斜め沈み込みにより右横ずれ運動をしているが、反射法地震探査により、地質断層は北傾斜していることが示されている (Ito et al., 1996)。もし中央構造線において大地震が発生するとしたら、その地震断層は北傾斜面なのか、それとも高角の横ずれ断層なのかという問題の解明は、単に断層構造だけではなく、応力場、断層の摩擦係数、強度などを考慮した物理的な検討が必要である。この課題では、中央構造線の北方の香川西部-燧灘-高縄半島において、中央構造線に平行に帯状分布する深さ 20km までの地震活動に注目し、これらの地震のメカニズム解と起震応力場を知ることによって、中央構造線系の長期的な活動と周辺の広域テクトニクスを理解を目指した。

まず、地震観測の精度を総合的に向上させるために、燧灘(ひうちなだ)-高縄半島に新たに地震観測点を設置しオフライン連続観測を実施した。この観測では、愛媛県高縄半島、四国中央市、香川県まんのう町の計 7 地点と、HT08(三豊市詫間町箱)、HT09(伊吹島)、HT10(魚島)の 3 地点に 2Hz 速度型地震計を設置(図 1: HT01 - HT10)した。中央構造線の北傾斜面の深部延長上に近い地殻中部地震発生域を対象に、地震の検知能力、総合的な観測精度の向上を図ると共に、高知地震観測所で受信された 1996 年以降の P 波極性の地震データ(防災科研、気象庁、大学、産総研、JAMSTEC)を用いて、メカニズム解決定と応力逆解析を行った。

その結果、1) 香川西部-燧灘-高縄半島に発生する地震は、震源分布から大局的には中央構造線の北傾斜面上で発生していること、しかし、2) 微小地震のメカニズム解の節面は横ずれ断層型を示し、中央構造線の北傾斜面に一致するものがほとんど無く、応力解析の結果も横ずれ型を示すことが明らかとなった。

中央構造線の深部断層の滑り条件を、応力解析によって得られた四国東部の横ずれ型の応力場のもとで考察した(走向: 255 度固定、傾斜角: 10 度間隔)(図 2)。応力に対する断層の幾何学的配置により、高角であれば静的摩擦係数が 0.7 程度でも滑り条件を満足するが、傾斜角が小さくなっていくと、静的摩擦係数を 6 割程度に下げないと条件を満足しないことが分かった。もし滑り条件を満足することができなければ、応力場に対してもっとも滑りやすい高角の横ずれ断層面を新たに作る過程が進行するかもしれない。1999 年燧灘群発地震を含む地震群に対して、和達ダイアグラムによる  $V_p/V_s$  を求めたところ、レベルはそれほど高くないものの、1999 年群発地震では相対的に大きな  $V_p/V_s$  を示すことが分かった。中央構造線付近では、地中ガス中のヘリウム同位体比が若干高いと見積もられており (Dogan et al., 2006; Umeda et al., 2006)、深部低周波微動発生領域の上方に位置していることも考慮すると震断層域に下部から流体が供給され、滑り条件が満たされる可能性が考えられる。

さらに、3) メカニズム解の精査と野外観測のデータを統合することにより、正断層型の地震が高縄半島や燧灘西部に発生していることが明らかになった。この 4) 正断層型の地震の発生や応力場は、近畿南部、四国から九州へ至る前弧域の回転運動による transextension で説明可能かもしれない (Ikeda et al., 2009)。この考えでは、trans - extension から transpression へ遷移する位置が現状では四国中央部の新居浜付近となっている。そこでまず、瀬戸内周辺の活断層の形成に注目して、現在の応力場との関係を調べた。日本の活断層等を参考にして、A) 周防灘、B) 安芸灘、岩国、五日市、C) 福山、鞆、長者ヶ原、御調、尾道、D) 播磨灘、E) 長尾断層、F) 江畑、竹城、G) 鮎喰川の断層帯を対象とした(図

3). これらの活断層に地震のメカニズム解より推定した応力場(図4)が働いたとして、断層がどれくらい滑りやすいかについて、slip tendency を用いて検討した。多くの活断層について、走向や断層変位方向の情報はあるが、傾斜情報は少ない。各断層付近で得られた二つの応力場に対して、様々な走向と傾斜を想定し、剪断応力と法線応力の比を求め、最大値で規格化して slip tendency を評価した。その結果、横ずれ断層として滑りやすいと判定されるものは、周防灘、岩国、長者ヶ原がある。逆断層的な滑りで断層上下変位が説明できるものとして、江畑、鮎喰川があり、正断層的な滑りで断層の上下変位が説明できるものは、岩国となる。現状で、滑りにくい、あるいは、断層変位が矛盾するものとして、五日市、福山、鞆、御調、尾道、長尾があげられるが、これらに対しては応力場の推定精度が十分でないことや、断層活動の情報が不足するなどの点をもっと検討する必要がある。横ずれ以外の変位が説明できそうなものは、図5のように西部の岩国で正断層型、東部の江畑、鮎喰川で逆断層型であることから、前弧域ブロックの回転による Transpression/Transexension モデル(Ikeda et al., 2009)などに整合的と言え、微小地震の示す応力場と活断層の示す滑りは統合的に理解できる可能性を示唆している。

加えて、微小地震データのみを用いて燧灘東部(34.0-34.2 °N, 133.3-133.7 °E)に正断層型の地震が存在するかどうかを確認し、前弧域内の応力場が圧縮場から伸張場へ変化する位置を推定し、地質学的結果と合致するかどうかを調べた。この際に、2012年4月-2012年12月までに発生した地震に対して定常観測網および臨時観測の検測を行い、26個のメカニズム解を求めた。その結果、精度の良いメカニズム解の数は、横ずれ型、逆断層型、正断層型の順であった(図6)。予察的な調査ではあるが、燧灘東部に卓越した正断層的な応力場が形成されている可能性は低く、地質学的な情報と組み合わせたととしても、中央構造線周辺に働く transexension 領域の時間発展を議論できる可能性は低いと考えられる。

今後、これまでの定常観測に臨時観測のデータを加え、メカニズム解分布、不均質応力場の再推定を行い、中央構造線上の大地震発生に対する本研究の寄与、長期の広域的なテクトニクスとの関連、南海トラフ巨大地震の固着域の広がりとの関係等、さらに考察を行う必要がある。

(8) 平成25年度の成果に関連の深いもので、平成25年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):  
Kato, A. et al., 2013, Imaging the source regions of normal faulting sequences induced by the 2011 M9.0 Tohoku-Oki earthquake, *Geophysical Res. Lett.*, 40, 273-278

(9) 実施機関の参加者氏名または部署等名:  
久保篤規(高知大学理学部附属高知地震観測所)  
他機関との共同研究の有無:有  
鳥取大学 塩崎一郎

(10) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先  
部署等名:高知大学理学部附属高知地震観測所  
電話:088-844-8464  
e-mail:akubo@kochi-u.ac.jp  
URL:http://www.pslip.kochi-u.ac.jp/keo

(11) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者  
氏名:久保篤規  
所属:高知大学 理学部 附属高知地震観測所

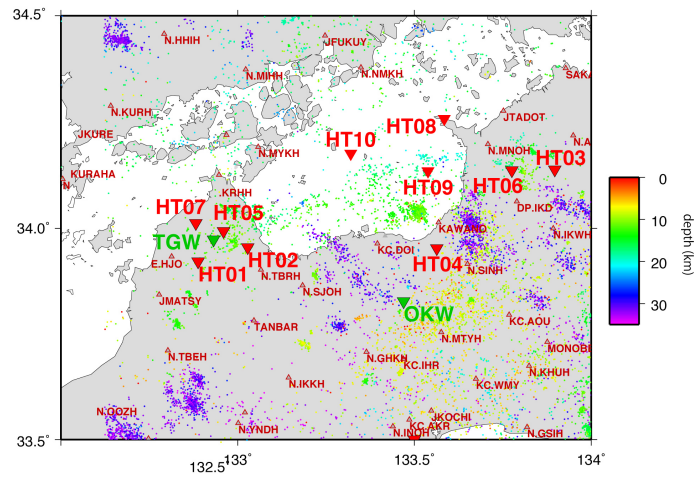


図1 燧灘—高縄半島周辺の地震観測点分布

赤印が本研究による野外臨時観測点分布 (HT01-HT10), 緑印は防災科学技術研究所 F-net 広帯域観測点 (玉川, 大川), 小印は気象庁, 防災科研, 大学, 産総研による定常地震観測点.

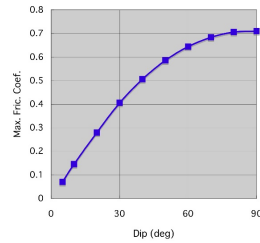


図2 横ずれ型応力場で傾斜した中央構造線を滑らせる条件

四国東部で得られた横ずれ型応力場で中央構造線の走向をもち, いろいろな傾斜を持つ場合に, 法線応力と剪断応力の比が計算できる. 既存の断層の再活動であると考え cohesionless とすると, 滑り条件を満足する最大の摩擦係数がそれぞれの傾斜に対して求められる.

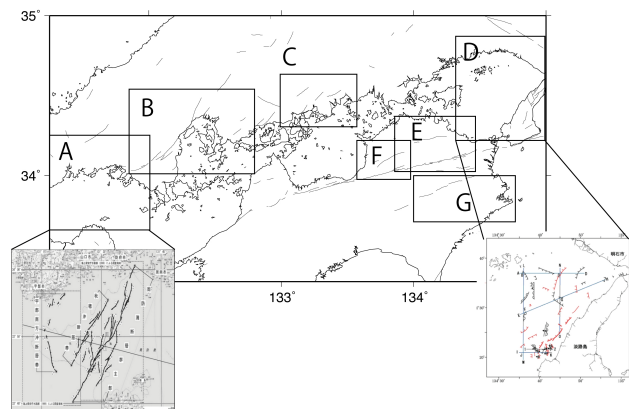


図3 研究対象とした断層帯領域

断層帯名は本文参照

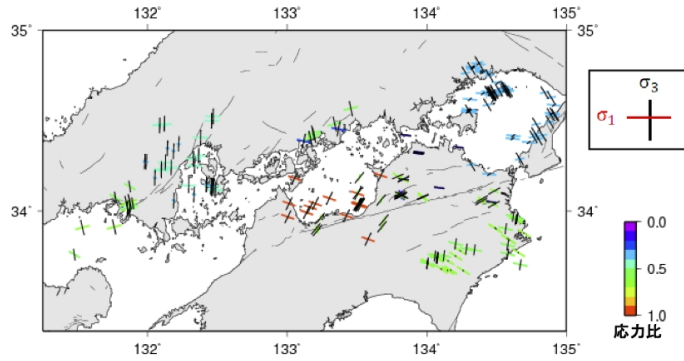


図4 応力解の空間分布

多重逆解法で得られた解を misfit 角を用いて応力解と地震データとの対応づけし、それによってマッピング。misfit 角 25 °以下で滑りうると仮定した。

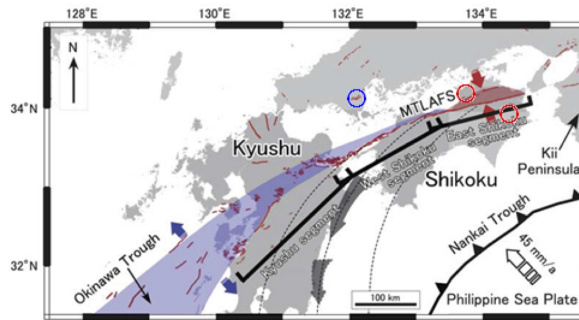


図5 横ずれ以外の鉛直断層変位のセンスが、解析で得られた応力場と整合性のある場所

Ikeda et al. (2009) に加筆，正断層型の応力場によって，活断層の鉛直断層変位が説明できる場合は青丸，逆断層型の応力場によって，活断層の鉛直断層変位が説明できる場合は赤丸。

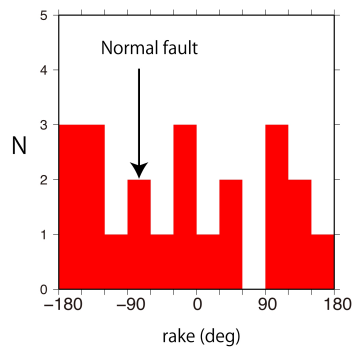


図6 燧灘東部で得られた地殻内地震のメカニズム解の rake 角分布

34.0 °N-34.2 °N ; 133.3 °E-133.7 °E ; 深さ 0 - 20km ; M:1.0 3.5