

論文

島根県における 2001 年以降の地震活動と地形および地質との比較*

林 広 樹**

Seismicity of recent years after 2001 in Shimane Prefecture and its implication to the local geomorphology and geology

Hiroki Hayashi **

Abstract

This study demonstrates the detailed correlation of recent seismicity (2001-2010) with geomorphological analyses, surface geology and gravity anomaly in Shimane Prefecture, southwestern Honshu, Japan. The epicenter distribution of small earthquakes is characterized by the NE-SW zonal concentration extending from the northern part of Yamaguchi Prefecture to around Mt. Sambe in Oda City (Yamaguchi-Izumo Intra-Plate Seismic Zone: YISZ). With the conjugate sense of the seismic zone, relatively small zone of NNW-SSE trending are observed from Mt. Sambe to Miyoshi City, Hiroshima Prefecture (Sambe-Miyoshi Seismic Zone: SMSZ).

The YISZ can be correlated with the geomorphological boundary between the Tsunozu and Kibi Low-relief Surfaces in the Iwami Highland. With respect to the steep gradient of gravity anomaly, a concealed tectonic line related to the deposition of the Pliocene Tsunozu Formation is implied just beneath the seismic zone. It suggests that the recent activity of the seismic zone occurs at the concealed tectonic line under the present ENE-WSW compression field.

Around the SMSZ, many lineaments with N30°W and N60°W trending are recognized. These trending directions are generally concordant with the focal mechanisms of earthquakes in this region. According to the detailed epicenter distribution in the seismic zone, NNW-trending small segments of seismicity are recognized with a right-stepping arrangement. It indicates that the right-stepping pattern in the seismic zone might be originated by the left-lateral slip of a concealed NW-SE tectonic line.

Key words: seismicity, geomorphology, geology, Bouguer gravity anomaly, Shimane Prefecture

はじめに

山陰地方はその大半が山地によって占められ、特に中山間地帯は自然災害に対して脆弱な側面をもつ。平成 24 年度から平成 25 年度にかけて実施された島根大学萌芽研究「山陰地域における自然災害データベースの構築および防災研究拠点の形成」(研究代表者：汪 発武 教授)では、そうした観点から山陰両県で過去に発生した様々な自然災害をデータベース化し、その地域特性の抽出を試みた。また、平成 26 年度から平成 27 年度に実施された島根大学萌芽研究「山陰地方強靱化を目指した自然災害の総合的研究」(研究代表者：汪 発武 教授)では、自然災害データベースを維持・発展させるとともに、地域特性を踏まえた減災手法についての統合的な研究を行った。

山陰地方は数年~数十年おきに地震災害に見舞われており、その対策を疎かにすることはできない。過去の地震災害

を整理してみると、この地域に被害を与える地震は、南海トラフに震源をもつプレート境界型巨大地震と、山陰地方に震央をもつ地殻内地震とに分けられる(林, 2014)。後者の代表例として 1872 年石見浜田地震(気象庁マグニチュード (Mj) 7.1)や 2000 年鳥取県西部地震 (Mj7.3)がある。特に、石見浜田地震は県内の死者が 551 名を数え、島根県では最大の被害地震となっている。

こうした地殻内地震が繰り返し発生すると、活断層や活褶曲といった変動地形として地表に出現する可能性がある。しかし、山陰地方には主に花崗岩類からなる隆起準平原が広く分布しており、河岸段丘や海岸段丘といった新期の地形面に乏しいため、地形判読による変動地形の認識が困難である。実際、2000 年鳥取県西部地震の地表地震断層のように、地震発生後の調査で活断層が認識される例もある(伏島ほか, 2002)。

日本の微小地震検知能力は、国立研究開発法人防災科学技術研究所の高感度地震観測網 (Hi-net) の整備により、2000 年以降に飛躍的に向上した(例えば, Okada *et al.*, 2004)。これにより、地殻浅部の地震活動と地表地質、地形との詳細比較が可能になった。金折・遠田 (2007) は、山口県北東部から鳥取県中部に至る微小地震の集中帯を認め、山口-出雲地震

* 山陰防災フォーラム 2014 年春の講演会 (2014 年 5 月 17 日, 島根大学松江キャンパス) で一部講演

** 島根大学大学院総合理工学研究科
Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering, Shimane University, 1060 Nishikawatsu, Matsue, Shimane 690-8504, Japan

帯と命名した。島根県周辺の地震活動については既に多くの優れたレビューがあるが（例えば、笠原，1983；西田，2007，2013），本研究では微小地震の検知能力が向上した近年の地震活動を解析対象として，震央分布や既知の活断層，数値地形モデルの解析により認識されたりニアメント，表層地質，および重力異常分布との詳細比較を行う。

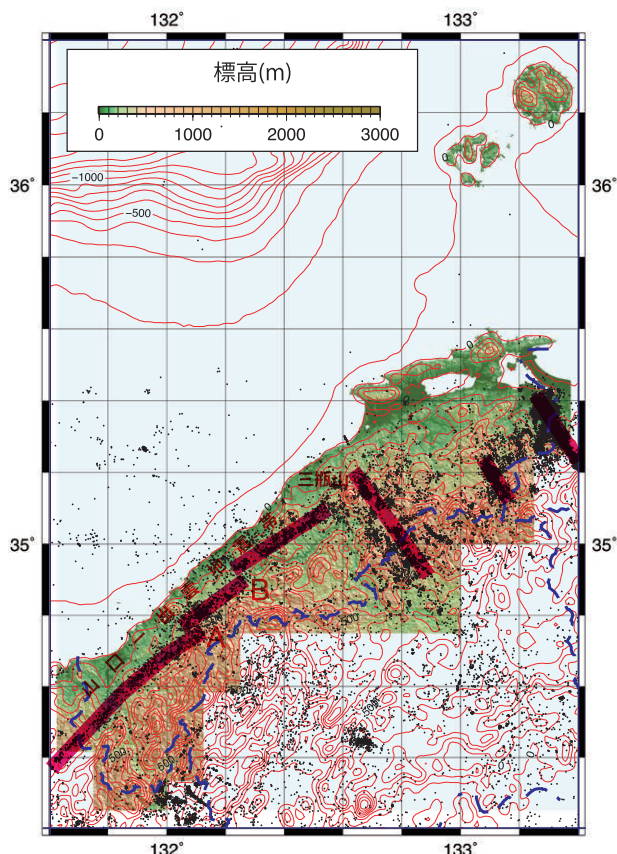
データおよび解析方法

解析対象は島根県全域を含むように，北緯 $34.2^{\circ} \sim 36.4^{\circ}$ ，東経 $131.6^{\circ} \sim 133.4^{\circ}$ の範囲を設定した。地形データは，国土地理院より公表された基盤地図情報 10m グリッド標高データより，島根県を含む部分をダウンロードして統合した。地形解析は Generic Mapping Tools (GMT) Ver. 4.5.8 (Wessel and Smith, 1991) を用いて，傾斜量分布や傾斜方位分布を求めた。また，地形の大局的な特徴を示すため，アメリカ気象海洋局 (NOAA) が作成した全球標高モデル ETOPO1 (Amante and Eakins, 2009) から GMT により生成した地形図を接峰面図として用いた。ETOPO1 は緯度経度 1 分ごとのグリッド標高データで，日本付近では緯度方向 (約 1.85 km) と経度方向 (約 1.33 km) のグリッド間隔が異なることに留意する必要があるが，島根県全体の地形傾向を表現するうえでは特に問題が無いと判断した。

重力ブーゲー異常分布は，地質調査所 (2000) による仮定密度 2.67 g/cm^3 のブーゲー異常値グリッドデータを用いた。このグリッドデータは，日本の陸域 347979 点，海域 691766 点の重力測定データに基づき，1 km のグリッド間隔で計算されたものである。すなわち，1 km のグリッド間隔で平滑化されているため，それ以下の短波長成分がカットされているデータであることに留意する必要がある。しかし，本研究で地震活動や地質構造との対比を行ううえでは，精度上特に大きな問題は無いと考えられる。本研究では，地殻内における地震活動との比較を詳細に行うため，沈み込むスラブ等の深部構造の影響を除去することを目的として，GMT の高速フーリエ変換 (FFT) コマンドにより波長 160 km 以上の長周期トレンドをカットする処理を行った。なお，カットオフ周波数の設定にあたっては，Nakajima and Hasegawa (2007) による西南日本地下のスラブ形状を参考にして試行錯誤した。

地震データは，2001 年から 2010 年までの 10 年間の気象庁一元化震源を用いた。解析対象期間は，Hi-net の全国展開により，それ以前と比べて震源決定精度が大幅に向上している (Okada *et al.*, 2004; Obara *et al.*, 2005)。また，2011 年 3 月 11 日の東北日本太平洋沖地震の影響が現れていない区間でもある。本研究地域の地震は，ほとんどが震源深度 20 km 未満の地殻内地震であり，それより深い地震はごく僅かだったため，震源の深さによるフィルタリングは特に行わなかった。これらの地震の震央について，GMT を用いて地図上にプロットした。

本研究の地質図は，産業技術総合研究所地質調査総合センター (2015) による 20 万分の 1 日本シームレス地質図の Shapefile を，ESRI 社の ArcGIS 10.2.2 で座標変換し，他の解析結果と重ねて示した。なお，シームレス地質図の島根県内



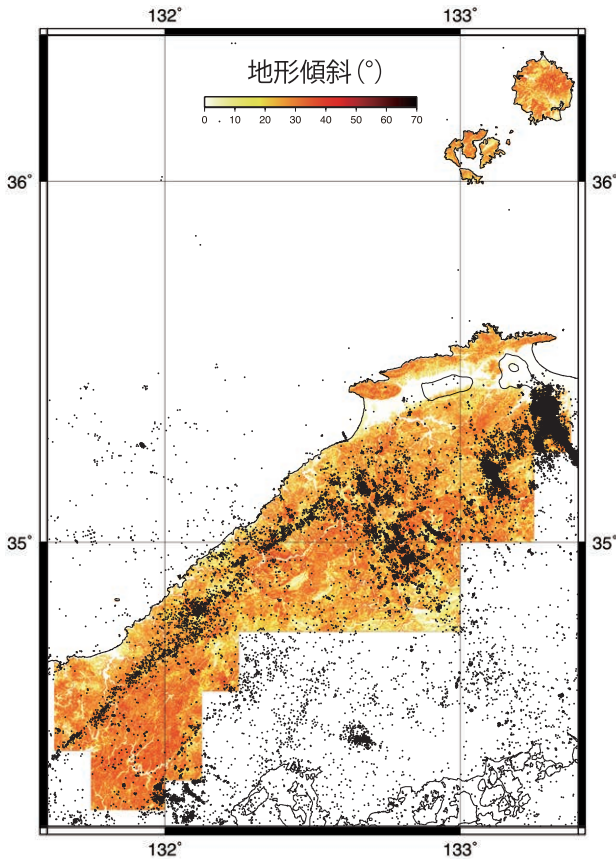
第 1 図 島根県周辺の地形陰影図 (国土地理院 10m グリッド標高データから作成) に，接峰面図 (赤色等高線：等高線間隔は 100m) と震央分布 (2001～2010 年) を重ねて示した。青破線は県境を示す。赤文字 A, B はそれぞれ浜田市弥栄町木都賀付近および浜田市-江津市境付近における山口-出雲地震帯 (金折・遠田, 2007) の食い違い箇所を示す。

の部分については，新編島根県地質図 (新編島根県地質図編集委員会, 1997) と地質境界が良好に対応しているため，解釈にあたっては新編島根県地質図を参照した。

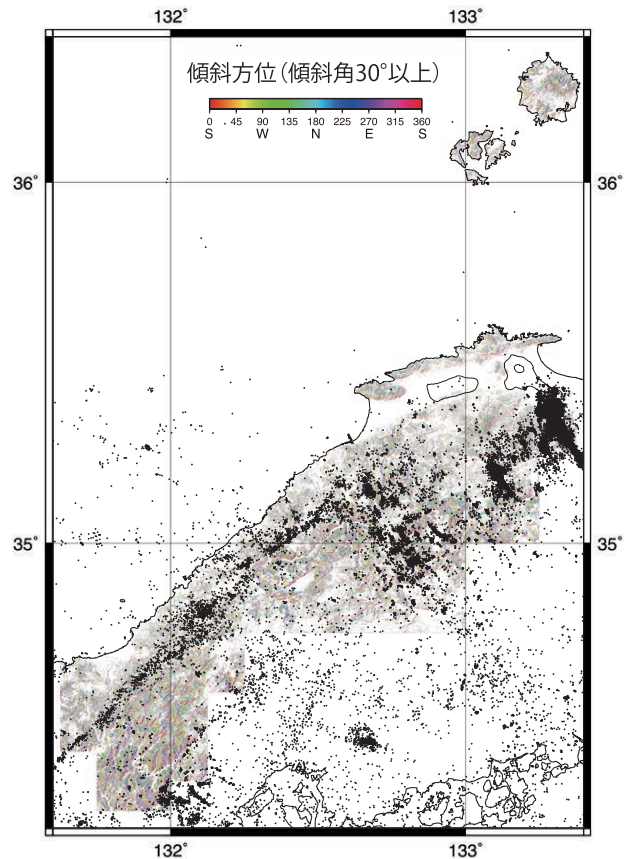
結 果

1 島根県の地形・地質と地震活動との比較

国土地理院の 10m グリッド標高データから作成した地形陰影図上に，接峰面図 (等高線間隔は 100m) と震央分布を重ねて示した (第 1 図)。震央は山口県北部から鹿足郡津和野町付近を経て大田市三瓶山付近にかけて北東方向の直線的に集中する傾向が顕著であり，これは金折・遠田 (2007) による山口-出雲地震帯に相当する。この地震帯は，地形的には接峰面図の標高 300m の等高線に概ね沿って分布し，石見高原における都野津面 (高度帯 0～400m) と吉備高原面 (高度帯 400～600m) (小畑, 1997) の地形面境界にほぼ相当している。地震帯内部の構造を詳しく見ると，浜田市西部の弥栄町木都賀付近 (第 1 図の A)，および浜田市と江津市の市境付近 (第 1 図の B) の 2 カ所で，左ステップ (杉形) の雁行状に水



第2図 島根県周辺の地形傾斜角分布図に、震央分布（2001～2010年）を重ねて示した。



第3図 島根県周辺の地形傾斜方位分布図に、震央分布（2001～2010年）を重ねて示した。傾斜方位は地形傾斜角 30° 以上の領域について示した。中国山地の領域では北東-南西方向のリニアメントが顕著に認められる。

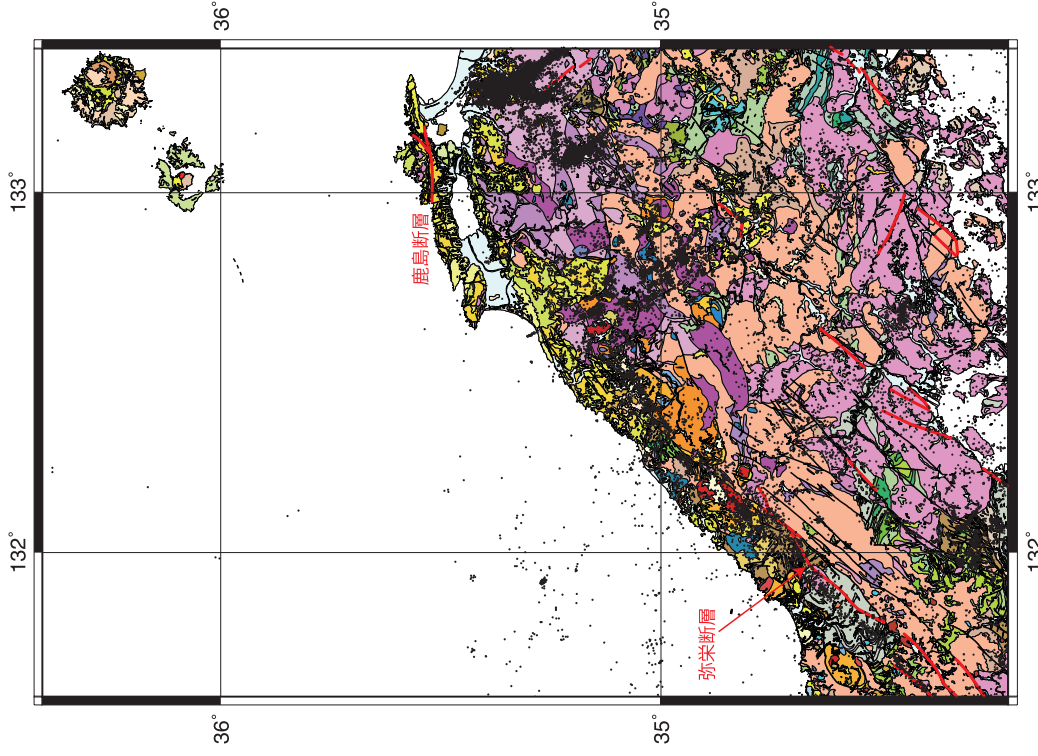
平隔離 3～5 km 程度の食い違いが認められる。

山口-出雲地震帯と直交する北西-南東方向の地震帯として、大田市三瓶山東麓付近から広島県三次市にかけての地震帯（ここでは三瓶-三次地震帯と呼称する：後述）と奥出雲町横田付近の小地震帯、鳥取県米子市南西部から日野郡日野町にかけての地震帯がある。これらのうち、鳥取県西部の地震帯は 2000 年鳥取県西部地震に関連して地震活動が活発化した領域である。

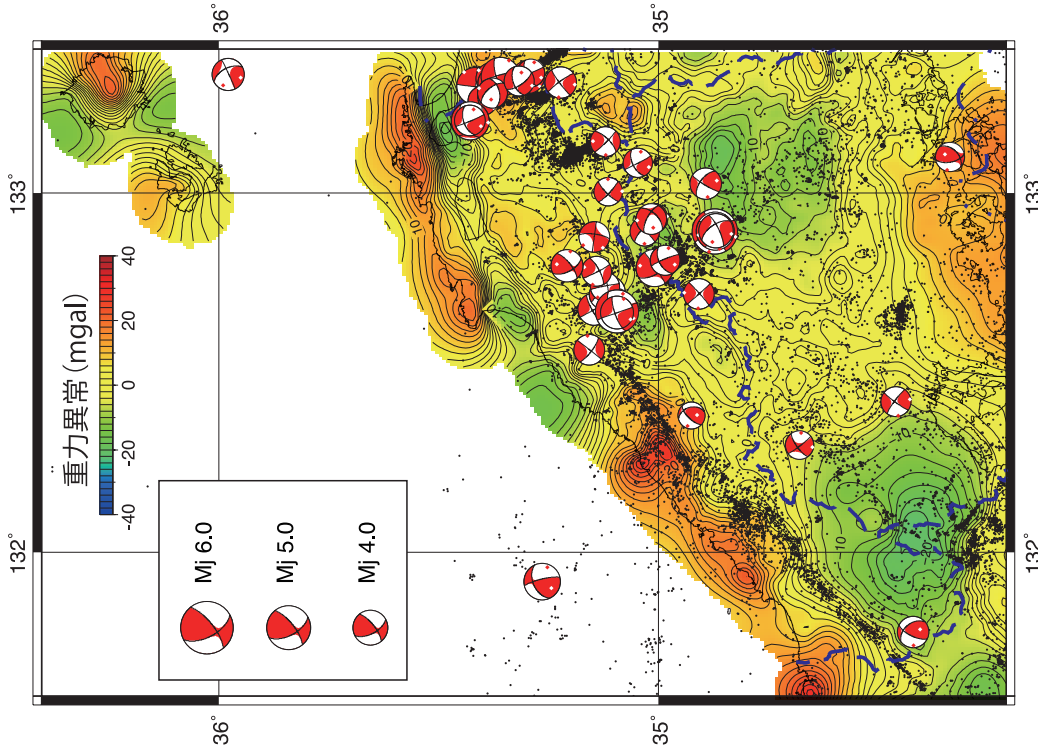
変動地形の可能性のあるリニアメントを抽出するため、地形傾斜角分布と震央分布を重ねて示した（第2図）。地形傾斜角は基盤岩類が分布する山地で大きくなり（30°以上）、主に中新統が分布する丘陵地帯で 10～40°、平野や盆地で 0～10° 前後の値を示す。さらにリニアメントを判別しやすくするため、傾斜方位分布図を作成した（第3図）。傾斜方位の計算にあたっては、平野のように傾斜角が小さい領域では正確な傾斜方位を求めることが困難になるため、傾斜角 30° 以上の領域についてのみ求めた。島根県地域では、山口-出雲地震帯と平行な北東-南西方向のリニアメントが多く認められ、特に県西部の鹿足郡付近で顕著である。県東部では、三瓶-三次地震帯の付近で北西-南東方向のリニアメントも認められる。

地質図と震央分布を重ねたものを第4図に示す。地質図の凡例は産業技術総合研究所地質調査総合センターのウェブページ (https://gbank.gsj.jp/seamless/legend_shosai.html) で公開されている。大田市から津和野町にかけての地域では、三郡変成岩類と白亜系～古第三系の流紋岩質～デイサイト質火砕岩（匹見層群など）との境界を構成する断層が北東-南西方向に続いており、大局的に石見高原と中国山地との地形境界とほぼ一致している。山口-出雲地震帯に相当する微小地震の活動は、この境界断層よりも 3～5 km 程度北側に離れて平行に分布している。また、活断層として知られる弥栄断層（中田・今泉, 2002）とも、約 2～3 km 北側に離れてほぼ平行に分布している。島根半島東部を東西に貫く活断層である鹿島断層（中田・今泉, 2002）や、1872 年浜田地震との関連が推定された変動地形（藤森ほか, 1990）に対応する地震活動は認められなかった。

波長 160 km 以上の長周期成分を除去した重力ブーゲー異常図に、震央分布、および Mj4.0 以上の地震のメカニズム解を重ねたものを第5図に示した。地震のメカニズム解は、防災科学技術研究所 F-net によるセントロイド・モーメント・テンソル解（CMT 解）を引用した。山口-出雲地震帯は重力異常の急変帯上に位置しており、北西側に正の重力異常、南



第4図 鳥根県周辺の地質図（産業技術総合研究所地質調査総合センター, 2015）と震央分布（2001～2010年）を重ねて示した。地質図の凡例は産業技術総合研究所地質調査総合センターのウェブページ（https://gbank.gsj.jp/seamless/legend_shosai.html）参照。また、活断層（産業技術総合研究所活断層データベース, URL: https://gbank.gsj.jp/activefault/index_gmap.html から引用）は赤実線で示した。



第5図 鳥根県周辺の重力ブローグ異常分布図（地質調査所, 2000による1kmグリッドデータをもとに、波長160km以上の長周期成分を除く）に、震央分布（2001～2010年）および防災科学技術研究所F-netのCMT解（Mj4.0以上）を重ねて示した。重力異常の仮定密度は2.67 g/cm³。青破線は境界を示す。

東側に負の重力異常が分布する。一方、三瓶-三次地震帯は、北西-南東方向に連なる負の重力異常域に沿って分布している。CMT 解で示された Mj4.0 以上のやや大きな地震は、微小地震の空白域で発生する傾向があり、山口-出雲地震帯の直上ではほとんど発生していない。三瓶-三次地震帯および 2000 年鳥取県西部地震の余震域では、北東-南西走向および北西-南東走向の節面をもつ CMT 解が求められている。

2 三瓶-三次地震帯について

三瓶-三次地震帯の内部には数列の地震クラスターが認められ、また、1978 年 6 月 4 日鳥根県中部の地震 (Mj6.1) などの被害地震も発生していることから、さらに詳細な地形・地質との比較を試みることにした。鳥根県大田市~広島県三次市にかけての地形図に震央分布と F-net メカニズム解 (Mj4.0 以上)、最近の被害地震を重ねたものを第 6 図に、傾斜方位分布図 (地形傾斜角 30° 以上の領域について作成) に震央分布とメカニズム解を重ねたものを第 7 図に示した。図示した範囲では N30°W および N60°E 方向のリニアメントや直線谷が明瞭に発達し、周辺のメカニズム解で示された節面と調和的である。微小地震は、主に N30°W 方向のリニアメントに沿って、列状の小クラスターをなして分布している。いくつかの小クラスターは、過去の比較的大きな地震の直近に分布している。

地質図と震央分布、メカニズム解を重ねたものを第 8 図に示した。第 7 図で認められたリニアメントと地質断層との関係は明瞭でなく、震央分布に対応した地質断層も特に認められない。地震帯内では、濃いピンク色で示されている中期始新世花崗岩類 (石見花崗岩など) の分布域で特に微小地震が多く発生する傾向があり、地震帯内のクラスターを形成している。本地域南東部の三次盆地北東縁には、活断層の山内逆断層 (今村ほか, 1973) が位置し、東西走向および北東-南西走向の低角北傾斜の断層面により白亜系火山岩類が中新統備北層群や第四系に衝上している。山内逆断層のすぐ南側には微小地震の震央が小クラスターを形成しているが、山内逆断層が北傾斜の低角逆断層であることを考慮すると、この断層と直接関連した地震活動とは認めがたい。

波長 160 km 以上の長周期成分を除去した重力ブーゲー異常図に、震央分布、およびメカニズム解を重ねたものを第 9 図に示した。重力の正異常領域は雲南市吉田町付近から雲南市南部にかけて、および邑南町作木町付近に分布しているが、三瓶-三次地震帯の位置で不連続となっている。一方で、負異常の領域は三瓶山周辺と邑智郡美郷町登ヶ丸山付近、広島県庄原市高野町付近、三次盆地に認められ、同様に三瓶-三次地震帯の位置で不連続となっている。微小地震は重力異常の急変帯で特に多くなる傾向を示す。

考 察

1 山口-出雲地震帯について

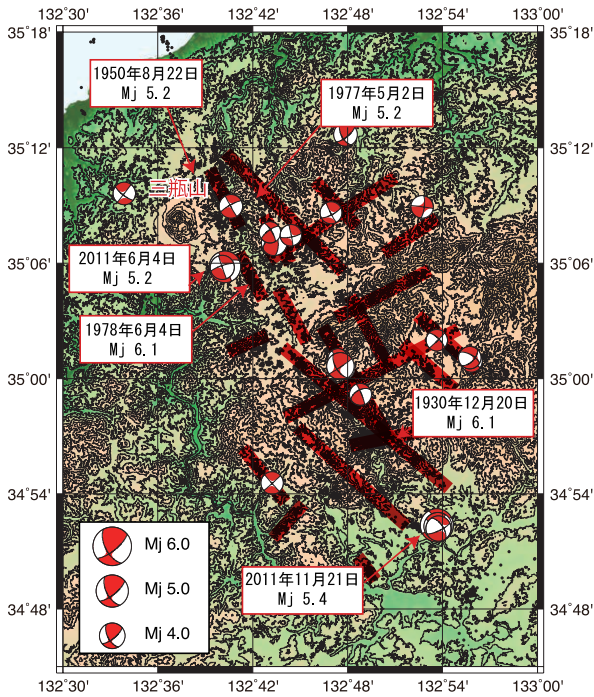
本研究で認めた山口-出雲地震帯の詳細構造は、左ステップの雁行状を示し、その形状から高角右ずれの剪断センスを

伴う構造線の存在が示唆される。また、地形面としては石見高原の都野津面と吉備高原面の境界とおおむね一致し、すなわち都野津層の南限分布境界にほぼ相当する。さらに、県西部で活断層の弥栄断層とほぼ平行に分布すること、重力異常の急変帯と一致すること、周辺地震のメカニズム解から N60°E および N30°W の高角節面と北西-南東圧縮が示唆されることも考慮すると、この位置に都野津層堆積期に南上がり (北落ち) センスで活動した構造線が伏在し、それが現在の北西-南東圧縮の応力場で右横ずれに再活動している可能性が指摘される。

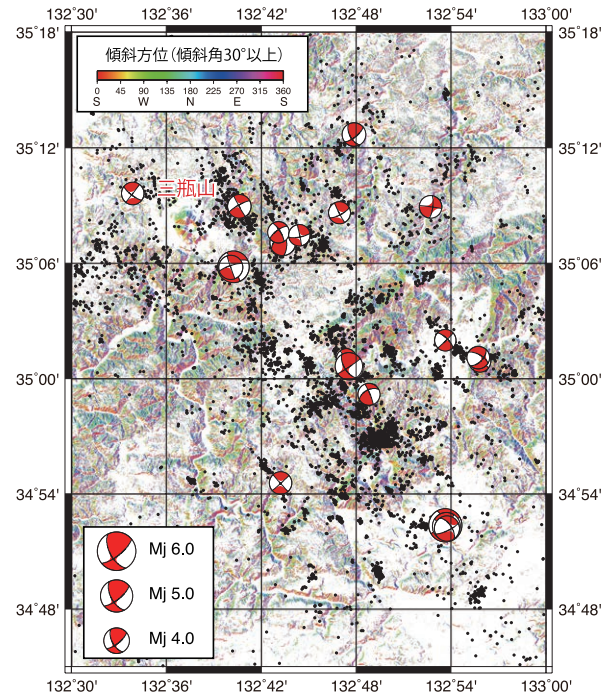
山口-出雲地震帯に確実に含まれる過去の被害地震としては、1997 年山口県北部の地震 (Mj6.6) がある。この地震では益田市で震度 5 強を記録し、震央に近い山口県阿武郡阿東町 (現在の山口市阿東) で 3 棟の家屋が全半壊するなどの被害が生じた。その他、1676 年 (延宝 4 年) 石見の地震 (Mj6.5) や 1778 年 (安永 7 年) 石見の地震 (Mj6.5?) がこの地震帯の近傍に推定されているが (宇佐美, 2003)、詳細は不明である。

Gutscher and Lallemand (1999) は、マグニチュード 5 を超える浅発地震が山陰沿岸に沿って配列し、それらのメカニズム解が北東走向の鉛直節面を伴う北西-南東圧縮で類似することから、山陰沿岸に東西 500 km にわたる右ずれの北中国剪断帯 (Northern Chugoku Shear Zone: NCSZ) を提唱した。NCSZ は、フィリピン海プレートの斜め沈み込みに伴うプレート間カップリングにより、西南日本弧が沈み込み境界に沿って移動することによる未成熟の剪断帯とされた。NCSZ の活動には、1948 年福井地震 (Mj7.1) や 1927 年北丹後地震 (Mj7.3)、1943 年鳥取地震 (Mj7.2)、1872 年浜田地震 (Mj7.1) のように大きな被害を記録した地震が含まれている。山口-出雲地震帯は、周辺の弥栄断層や鹿島断層といった活断層や、1872 年浜田地震の起震断層とともに、NCSZ の西部を構成している未成熟な構造線の一部が活動したものと考えられる。

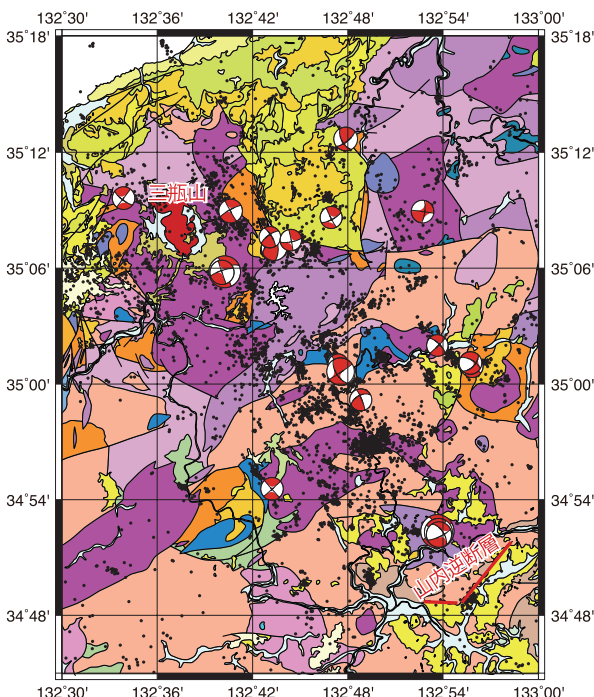
金折ほか (1999) は 1997 年山口県北部地震の震源域近傍で白亜紀花崗岩類を切断する断層露頭を認め、断層ガウジの複合面構造から推定される運動センスが山口県北部地震の発震機構と一致すること、一方でカタクレサイト帯から推定される運動センスが左横ずれであることを示した。金折・遠田 (2007) は、山口-出雲地震帯が北東-南西方向の活断層やリニアメントに沿って分布しているとし、白亜紀の左横ずれ断層が現在の東西圧縮場でインバージョンして右横ずれ運動を起こしたものと推定した。一方、高田ほか (2003) は中国地方全体のリニアメントを詳細に再検討し、山口-出雲地震帯に相当する地震活動が既知の活断層やリニアメントよりも若干北に位置しており、直接的な一致は見られなかった。本研究では、山口-出雲地震帯の西端部は金折ほか (1999) の指摘のように 1997 年山口県北部地震の余震域と一致するものの、それ以外の領域については高田ほか (2003) の指摘のように弥栄断層系の活断層から有意に北側にずれる結果となった。一般に Mj6.8 以下の地殻内地震は、地表に変位が達しないとされる (松田, 1998)。山口-出雲地震帯では、発生している地震の規模が小さいため、地形表現として地表に明瞭にあらわれていないものと考えられる。平行する弥栄断層の活動履歴は十分に解明されていないが、ともに NCSZ を構成し



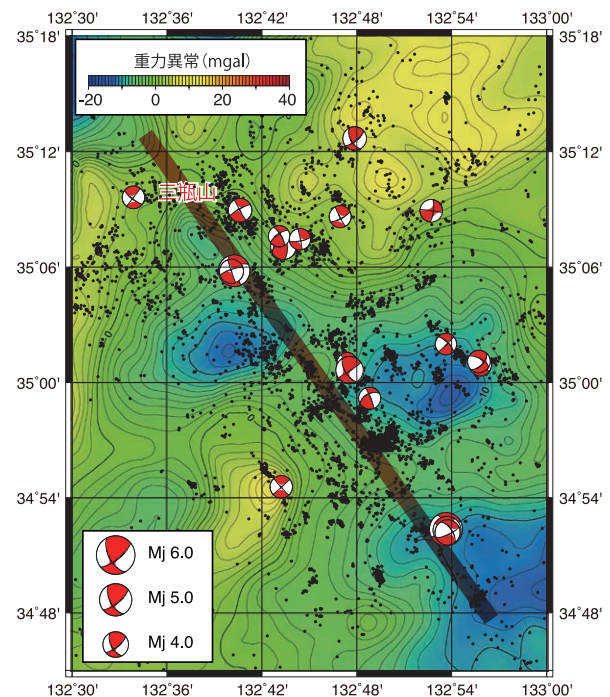
第 6 図 大田市三瓶山～三次市周辺の地形図に、震央分布 (2001～2010 年)、最近の比較的大きな地震、および防災科学技術研究所 F-net の CMT 解 (Mj4.0 以上) を重ねて示した。標高の凡例は第 1 図参照。赤帯は地震の帯状集中域を概略的に示している。



第 7 図 大田市三瓶山～三次市周辺の地形傾斜方位分布図 (地形傾斜角 30° 以上) の領域について作成) に、震央分布 (2001～2010 年) および防災科学技術研究所 F-net の CMT 解 (Mj4.0 以上) を重ねて示した。



第 8 図 大田市三瓶山～三次市周辺の地質図 (産業技術総合研究所地質調査総合センター, 2015) に、震央分布 (2001～2010 年) を重ねて示した。地質図の凡例は産業技術総合研究所地質調査総合センターのウェブページ (https://gbank.gsj.jp/seamless/legend_shosai.html) 参照。活断層である山内逆断層は赤実線で示した。



第 9 図 大田市三瓶山～三次市周辺の重力ブーゲー異常分布図 (地質調査所, 2000 による 1km グリッドデータをもとに波長 160km 以上の長周期成分を除去) に、震央分布 (2001～2010 年) および防災科学技術研究所 F-net の CMT 解 (Mj4.0 以上) を重ねて示した。重力異常の仮定密度は 2.67g/cm³。赤帯は想定される深部基盤の不連続を示す。

ていると推定される山口-出雲地震帯における微小地震の活動が、弥栄断層のモニタリングに有効となる可能性がある。

2 三瓶-三次地震帯について

三瓶-三次地震帯周辺では、1930 年以降 5 回の被害地震が発生している。また、近年も Mj5.0 前後のやや大きな地震が発生している（第 6 図）。これらのうち、余震分布が把握されている 1977 年 5 月 2 日島根県中部の地震（Mj5.2；気象庁地震課地震活動検測センター，1977）、1978 年 6 月 4 日島根県中部の地震（Mj=6.1；気象庁地震課地震予知情報室，1979）、2011 年 6 月 4 日島根県東部の地震（Mj5.2；澁谷，2012）、2011 年 11 月 21 日広島県北部の地震（Mj5.4；気象庁大阪管区気象台，2012）では、北西-南東方向に余震が分布し、メカニズム解から西北西-東南東圧縮の横ずれ断層型とされている。これらは三瓶-三次地震帯の大局的な配列方向と調和的である。澁谷（2004）は、この地域で 2002 年 7 月～2003 年 6 月に発生した Mj3.5 以上の 7 個の地震のうち、4 個が同一面上で発生した可能性を指摘した。重力異常分布（第 9 図）の不連続も考慮に入れると、この地震帯の直下に北北西-南南東方向の深部基盤の断裂が示唆される。

三瓶-三次地震帯内の小クラスターの分布に着目すると、北北西-南南東方向、およびそれと直交し共役の関係にあると推定される東北東-西南西方向の直線状の集中が見られる（第 6 図）。このうち、卓越している北北西-南南東方向の小クラスター群は、三瓶-三次地震帯の全体走向に対して 10～20° 前後左回りに斜交して分布し、全体としてミ型雁行状に配列しているように見える。これらの小クラスターは、地質断層との関係が明瞭ではないものの（第 8 図）、地表に認められるリニアメントとは良好に対応する（第 7 図）。一般に、横ずれの断層系が未発達な段階にある場合、地表付近には小規模なリーデル剪断面（R1）が先行出現する場合がある。本地域における右雁行した地震クラスターの分布は、微小地震の発生層より深部に伏在する構造線の左横ずれ運動による R1 面が、現在の応力場で再活動したものである可能性が指摘される。

向吉・武島（2016）は、三瓶山東麓の飯南町獅子付近で詳細な地表断層の分布調査を行った。彼らの調査地域は三瓶-三次地震帯の北部に相当し、近傍では 2003 年 4 月 2 日に Mj4.2 の地震が発生している。彼らは調査地域内に、北東走向の高角北傾斜と西北西走向の高角南傾斜の 2 つの断層系の発達を認めた。そのうち、後者については相対的に新しい断層系であり、北西走向の深部断層の左横ずれ活動に伴う R1 面に相当する可能性を指摘した。本研究では、向吉・武島（2016）の調査地域近傍に西北西走向へ配列した地震の小クラスター（第 6 図）やリニアメント（第 7 図）も認めており、それらが彼らの西北西走向の断層と共通の背景を有する可能性も指摘される。今後、三瓶-三次地震帯全体の断層調査が切望される。

近年、全地球型測位システム（GNSS）を用いた全国的な測地観測網（GEONET）の解析により、山陰地方沿岸の鳥取県から島根県東部にかけて顕著な地殻変動集中域（山陰ひずみ集中帯）の存在が指摘されている（西村，2014；西村ほか，2015；西村・高田，2016；水戸川・小暮，2016）。水戸川・小

暮（2016）は、三瓶山周辺に震源分布と対応した局所的な正の面積ひずみの存在を指摘した。西村ほか（2015）は、山陰ひずみ集中帯と斜交する北北西-南南東方向に配列する震源分布（2000 年鳥取県西部地震の余震域、および三瓶-三次地震帯に相当する）について、山陰ひずみ集中帯の右横ずれ活動に伴う左横ずれのリーデル剪断面（R2）で説明できる可能性を指摘した。Gutscher and Lallemand（1999）は、中国地方の大部分が NCSZ と中央構造線とに挟まれる右横ずれ剪断帯を構成しているモデルを図示しており、山口-出雲地震帯や三瓶-三次地震帯の詳細構造や活動様式も、このモデルのもとで統一的に説明できる可能性がある。

西村・高田（2016）は、山陰ひずみ集中帯における測地学的ひずみ速度が、地震学的ひずみ速度よりも 1 桁大きく、また地質学的ひずみ速度よりも 2 桁大きいことを示した。すなわち、測地学的ひずみ速度の大部分が非弾性変形であることが示唆される。三瓶-三次地震帯周辺においても、地下深部の非弾性領域における左横ずれ変形が浅部の地震活動や断層系の幾何学的配置に反映されている可能性があり、より詳細な測地学的解析と地震活動との対比が望まれる。

結 論

島根県を対象地域として、2001 年～2010 年の地震活動と地形・地質・重力異常との詳細比較を行った。本研究の主要な結論を以下に列記する。

- (1) 震央分布は山口県北部から大田市三瓶山付近まで北東-南西方向の直線状に分布する傾向が顕著であり、これは金折・遠田（2007）による山口-出雲地震帯に相当する。これと直交する北西-南東方向の震央分布としては、大田市三瓶山東麓付近から広島県三好市にかけて（三瓶-三次地震帯）、奥出雲町横田付近、および鳥取県西部の地震帯がある。
- (2) 山口-出雲地震帯は、地形的には石見高原の都野津面と吉備高原面の境界にほぼ相当し、すなわち都野津層の分布南限と対応している。また、重力異常の北落ちの急変帯とも対応している。したがって、都野津層堆積期に南上がり（北落ち）センスで活動した構造線が伏在し、それが現在の応力場で右横ずれに再活動した可能性が指摘される。
- (3) 三瓶-三次地震帯の周辺では N30°W および N60°W 方向のリニアメントが多数認められ、地震のメカニズム解から示唆される節面と調和的である。この地震帯内における震央の詳細分布に着目すると、北北東-南南西方向の小地震列が右雁行して配列しており、深部に伏在する構造線の左横ずれ運動を反映している可能性が指摘される。

謝 辞

元島根大学大学院総合理工学研究科の岡田博貴氏には、本研究の資料収集や解析の一部を手伝って頂いた。震源データには、北海道大学、弘前大学、東北大学、東京大学、名古屋大学、京都大学、高知大学、九州大学、鹿児島大学、防災科

学技術研究所, 産業技術総合研究所, 国立研究開発法人海洋研究開発機構, 国土地理院, 青森県, 東京都, 静岡県, 神奈川県温泉地学研究所, 横浜市および気象庁の地震波形を気象庁と文部科学省が協力してデータ処理した一元化震源を使用した。地震のメカニズム解は防災科学技術研究所 F-net のデータを用いた。活断層の分布は産業技術総合研究所による活断層データベースから引用した。以上の方々および機関に心から感謝申し上げる。なお, 本研究経費の一部に, 鳥根大学萌芽研究「山陰地方強靱化を目指した自然災害の総合的研究」(研究代表者: 汪 発武教授)を使用した。

文 献

- Amante, C. and B.W. Eakins, 2009, ETOPO1 1 Arc-Minute Global Relief Model: Procedures, Data Sources and Analysis. NOAA Technical Memorandum NESDIS NGDC-24. National Geophysical Data Center, NOAA. doi:10.7289/V5C8276M.
- 地質調査所, 2000 編, 日本重力 CD-ROM. 数値地質図 P-2, 地質調査所.
- 藤森孝俊・蒔苗耕司・山口 勝・川口 隆・太田陽子, 1990, 鳥根県浜田地震 (1872 年) の地形学的検討. 地学雑誌, **99**, 44-59.
- 伏島祐一郎・井村隆介・森野道夫・杉山雄一・水野清秀, 2002, 2000 年鳥根県西部地震断層のトレンチ掘削調査. 活断層・古地震研究報告, **2**, 183-208.
- Gutscher, M.A. and Lallemand, S., 1999, Birth of a major strike-slip fault in SW Japan. *Terra Nova*, **11**, 203-209.
- 林 広樹, 2014, 鳥根県内における近年の地震活動の傾向. 鳥根県地学会会誌, **29**, 11-15.
- 今村外治・三浦 亮・大道 昌, 1973, 天然記念物, 船佐・山内逆断層帯. 広島県文化財調査報告, **11**, 35-74.
- 金折裕司・小林健治・安野泰信・割ヶ谷隆志・山本哲朗, 1999, 1997 年山口県北部地震 (M6.1) の震源断層と家屋被害. 応用地質, **40**, 220-230.
- 金折裕司・遠田晋次, 2007, 中国地方西部に認められるプレート内山口-出雲地震帯の成因と地震活動. 自然災害科学, **24**, 507-523.
- 笠原慶一, 1983, 鳥根地方の地殻活動. 鳥根大学地質学研究報告, **2**, 55-66.
- 気象庁地震課地震活動検出センター, 1977, 5-3 1977 年 5 月 2 日鳥根県中部の地震について. 地震予知連絡会会報, **18**, 113-115.
- 気象庁地震課地震予知情報室, 1979, 5-1 1978 年 6 月 4 日鳥根県中部の地震について. 地震予知連絡会会報, **21**, 132-134.
- 気象庁大阪管区気象台, 2012, 8-1 近畿・中国・四国地方とその周辺の地震活動. 地震予知連絡会会報, **88**, 359-362.
- 松田時彦, 1998, 活断層からの長期地震予測の現状-糸魚川-静岡構造線活断層系を例にして-. 地震 **2**, **50**, 23-33.
- 水戸川 司・小暮哲也, 2016, Nearest Neighbor 法にほる GNSS データ解析: 山陰地域のひずみ分布の推定. 日本地学連合 2016 年秋季大会, P4.
- 向吉秀樹・武島正幸, 2016, 鳥根県中部群発微小地震分布域に見られる断層系の分布とその特徴. 日本地球惑星科学連合 2016 年大会講演要旨, SSS27-P27.
- Nakajima, J. and Hasegawa, A., 2007, Subduction of the Philippine Sea plate beneath southwestern Japan: Slab geometry and its relationship to arc magmatism. *Jour. Geophys. Res.*, **111**, B03409.
- 中田 高・今泉俊文, 2002 編, 活断層詳細デジタルマップ. 東京大学出版会, 60p.
- 西田良平, 2007, 山陰地域の地震活動. 鳥取大学工学部研究報告, **38**, 25-39.
- 西田良平, 2013, 2 山陰地域の地震活動. 公益社団法人日本地すべり学会「山陰地域の斜面災害」編集委員会 (編), 山陰地域の斜面災害. (公社) 日本地すべり学会, 東京, 196-201.
- 西村卓也, 2014, 山陰地方の GNSS データに認められるひずみ集中帯. 日本地球惑星科学連合 2014 年大会講演要旨, SSS31-06.
- 西村卓也・細 善信・三浦 勉・米田 格・小池俊貴, 2015, 山陰ひずみ集中帯における稠密 GNSS 観測網の構築. 日本地球惑星科学連合 2015 年大会講演要旨, SCG57-17.
- 西村卓也・高田陽一郎, 2016, 山陰ひずみ集中帯における最近の地殻変動と測地・地震・地質学的ひずみ速度の比較. 日本地球惑星科学連合 2016 年大会講演要旨, SCG63-23.
- Obara, K., Kasahara, K., Hori, S. and Okada, Y., 2005, A densely distributed high-sensitivity seismograph network in Japan: Hi-net by National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention. *Review of Scientific Instruments*, **76**, 021301.
- 小畑 浩, 1997, 都野津丘陵・吉備高原および周防高原の岩石制約性と斜面交代の計測による比較-付-吉備高原・都野津丘陵の原初地形の復元について. 鳥根大法文地域社会教室論集, **6**, 5-23.
- Okada, Y., Kasahara, K., Hori, S., Obara, K., Sekiguchi, S., Fujiwara, H. and Yamamoto, A., 2004, Recent progress of seismic observation networks in Japan -Hi-net, F-net, K-NET and KiK-net-. *Earth Planets Space*, **56**, xv-xxvii.
- 産業技術総合研究所地質調査総合センター, 2015, 20 万分の 1 日本シームレス地質図 2015 年 5 月 29 日版. 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- 澁谷拓郎, 2004, 鳥根・広島県境地域, 三瓶山東麓周辺の地震活動. 京都大防災研年報, **47B**, 697-704.
- 澁谷拓郎, 2012, 9-1 鳥根県東部の地震 (2011 年 6 月 4 日 Mj=5.2). 地震予知連絡会会報, **87**, 422-424.
- 新編鳥根県地質図編集委員会, 1997, 新編鳥根県地質図 (20 万分の 1). 内外地図株式会社.
- 高田圭太・中田 高・野原 壯・原口 強・池田安隆・伊藤 潔・今泉俊文・大槻憲四郎・鷺谷 威・堤 浩之, 2003, 震源断層となりうる活断層とリニアメントの検討-中国地方を事例として-. 活断層研究, **23**, 77-91.
- 宇佐美龍夫, 2003, 最新版日本被害地震総覧 [416] -2001-. 東京大学出版会, 東京, 605p.
- Wessel, P., and Smith, W.H.F., 1991, Free software helps map and display data. *Eos, Trans. Am. Geophys. Union*, **72**, 441.

(受付: 2016 年 11 月 17 日, 受理: 2016 年 12 月 20 日)