

## 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—

相山光太郎\*・金折裕司\*\*

### 要旨

島根県南西部の弥畝山西断層と都茂断層の性状と分布を詳細に再検討するために、それらの断層に沿う地域と延長部で地形・地質調査を実施した。得られた結果と既存の重力異常図および震源分布データを組み合わせ、弥畝山西断層と都茂断層の連結性と変位様式を議論する。

リニアメント判読と地表調査に基づいて、これまで指摘されてきたよりも、弥畝山西断層は南西方向に10km、都茂断層は東方向に1km長く連続することを指摘した。弥畝山西断層北東部と都茂断層が接合する益田市美都町板井川地域において横ずれデュプレックスが確認される。その横ずれデュプレックスに囲まれた領域は周囲に比べて標高が低く、低地になっている。断層露頭の変形構造は、都茂断層の変位センスが左横ずれから右横ずれにインバージョンしたことを示す。この変位センスは、横ずれデュプレックスに囲まれた低地がプリアパート(板井川プリアパート)としてNE-SW方向に拡大を続けるとともに、それによって低地が沈降することを示唆している。

**Key words** : 活断層 active fault, 横ずれデュプレックス strike-slip duplex, 変形構造 deformation structure

### 1. はじめに

平成16年(2004年)新潟県中越地震( $M_w$ 6.5)の発生により、活褶曲の地下に潜む活断層の存在が明らかにされ<sup>1)</sup>、活褶曲と伏在断層の関係に注目が集まってきている。この地震は東北日本の東西圧縮を反映して発生したことも指摘されており<sup>2)</sup>、活断層調査において断層の運動様式を考慮することが重要であることを意味する。

複数の活断層の連結性や変位様式は、連動性やセグメンテーションを明らかにするために、考慮されなければならない要因である。Lettlis *et al.*<sup>3)</sup>は、世界中の横ずれ運動を示す地震断層にみられる不連続構造のステップ幅と変位量を比較し、ステップ幅が1~2 km以下を示す多くの地震断層が不連続構造を越えて、連動していることを報告している。日本でも、5 km以内に分布する活断層をまとめて一つの起震断層として扱う手法がある<sup>4)</sup>。

島根県南西部では近接する弥畝山西断層と都茂断層が、弥畝山西断層系を構成している。弥畝山西断層に関しては、福塚・金折<sup>5)</sup>がリニアメント判読と現地調査に基づいて、

この断層を北と南の2つのセグメントに区分している。一方、都茂断層に関しても同様な調査から、断層の分布と性状が記載されている<sup>6)</sup>。それぞれの断層については詳しい性状と分布が記載されているものの、両活断層の相互作用についてはこれまで議論されていない。

本研究では、弥畝山西断層と都茂断層およびその延長部を対象として地形・地質調査を実施し、これらの活断層の性状と分布を再検討する。とくに、両断層が近接する益田市美都町板井川地域の変動地形と断層露頭を詳細に記載し、弥畝山西断層と都茂断層の関連性を明らかにする。これらの調査で得られた結果と既存の重力異常図および震源分布データを比較し、弥畝山西断層と都茂断層の連結性と変位様式を議論する。

### 2. 弥畝山西断層と都茂断層の概要

金折<sup>7)</sup>は、中国地方西部の断層運動が東進するアムールプレートに支配され、東西圧縮応力場にあることから、この地域に分布するNE-SWおよびNW-SE方向の活断層はそれぞれ、右横ずれと左横ずれの運動センスを持つことを示唆している。

山口県中南部から島根県南西部にかけて、複数の活断層から構成される大原湖-弥畝山西断層系がENE-WSW~NNE-SSW方向で分布している<sup>8)</sup>(図-1)。この断

\* (株)ダイヤコンサルタント関西支社 Dia Consultants Co., Ltd.(会員)

\*\* 山口大学大学院理工学研究科 Graduate School of Science and Engineering, Yamaguchi University(会員)

層系の北東部は、ENE-WSW~NE-SW方向の弥歎山西断層(全長30km)と都茂断層(全長19km)から構成される<sup>9)</sup>。

弥歎山西断層は、今村ほか<sup>10)</sup>によって弥歎山断層として記載された。活断層研究会<sup>11)</sup>では確実度Ⅱの活断層として図示されている。さらに中田・今泉<sup>12)</sup>では、弥歎山西断層と都茂断層を含めて弥栄断層帯と呼んでいる。しかし、地震調査研究推進本部では、これらの活断層を長期評価の対象としていない<sup>13)</sup>。

200万分の1活断層図編纂ワーキンググループ<sup>14)</sup>は、谷の屈曲量( $D$ )と断層から上流の谷の長さ( $L$ )の関係から屈曲率 $a$ 値( $a=D/L$ )<sup>15)</sup>を求め、弥歎山西断層の活動度<sup>11)</sup>をB級と見積もっている。福塚・金折<sup>9)</sup>も $a$ 値を用いて活動度を見積もり、弥歎山西断層の北部セグメントがA~B級であるのに対して、南部セグメントは活断層の可能性が低い

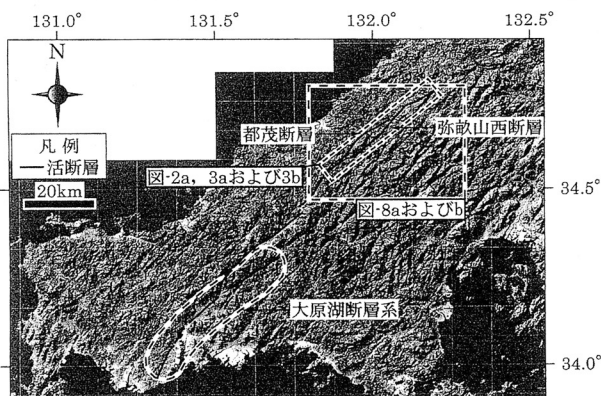


図-1 大原湖-弥歎山西断層系を構成する活断層の分布(金折・遠田<sup>9)</sup>を基に、一部修正) ランドサット陰影図((財)リモートセンシング技術センター)の一部を使用。

と推定している。

福塚・金折<sup>9)</sup>は変動地形と断層露頭の調査結果に基づいて、弥歎山西断層の運動センスが再活動により左横ずれから右横ずれにインバージョンしたことを示している。金属鉱業事業団<sup>16)</sup>によると、弥歎山西断層に対応するF4断層は南東方向へ急傾斜し、この断層を挟んで南東側の地質が隆起している。これに対して活断層研究会<sup>11)</sup>は、弥歎山西断層に沿う逆向き断層崖の存在から、この断層が北西上がりの活断層であると推定している。

福塚ほか<sup>9)</sup>はリニアメントの明瞭度と変位地形に基づいて、都茂断層が右横ずれ運動を示すことを示し、都茂断層に伴うカタクレサイト中では逆に左横ずれ運動を示すPフォリエーションを認めている。このことから、都茂断層でも再活動による断層運動のインバージョンがあったことが推定される。

弥歎山西断層と都茂断層周辺の地質図を図-2aに示す。調査地域には北東から南西にかけて、弥歎山西断層と都茂断層が存在し、都茂断層の南西に日原断層が分布する。日原断層の北東端と都茂断層の南西端はステップしている。さらに本研究で確認したF1断層が、弥歎山西断層と都茂断層の境界付近に存在し、都茂断層の北東端とステップしている。

弥歎山西断層の北東部は主として、三疊系周防変成岩類の三隅層群と白亜系匹見層群の境界をなし、南西部は三隅層群とジュラ系付加体の鹿足層群内を通過する。都茂断層の北東部は三隅層群内を通り、南西部は白亜紀花崗岩類および鹿足層群内を通過する。F1断層は三隅層群の中を通

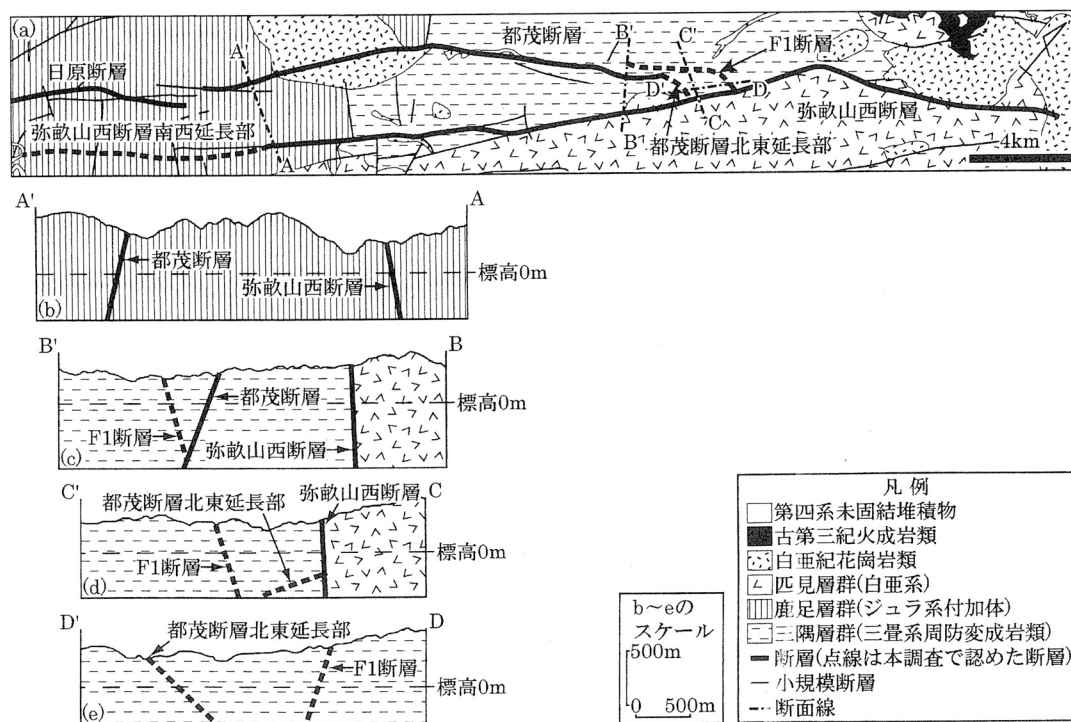


図-2 弥歎山西断層、都茂断層およびF1断層周辺の地質(a)と地質断面(b~e) (a)新編島根県地質図編纂委員会<sup>17)</sup>を一部改変した。さらに層序区分については、岡村ほか<sup>18)</sup>も参考にした。断面線A-A'~D-D'は図-2b~eの地質断面の位置を示す。

過する。これらの断層周辺には、第四系の未固結堆積物と古第三紀の火成岩類が分布する。

### 3. リニアメントの分布

空中写真(縮尺 1/15,000と 1/10,000)を用いて、弥歎山西断層および都茂断層周辺の地形判読を行い、リニアメントの分布を明らかにした。リニアメント判読基準は井上ほか<sup>19)</sup>に基づいている。図-3aに、リニアメントの判読結果を示す。

#### 3.1 弥歎山西断層

弥歎山西断層にはほぼ対応して、調査地域の北東端にあたる波佐から南西部の土井ノ原に至る30kmの区間には主に

C~Dランク、北東部でBランクのリニアメントを判読した。これらのリニアメントは沢・尾根の連続的な右屈曲、閉塞丘、逆向き断層崖、崖、鞍部および直線状谷から構成される。弥歎山西断層のリニアメントの例として、板井川北東部のBランクのリニアメントを図-3cに示す。このリニアメントは南西の逆向き断層崖から連続し、主に沢・尾根の右屈曲から構成される。図の中央部には、尾根の右横ずれで形成された閉塞丘が確認できる。この閉塞丘と逆向き断層崖の遠景写真が福塚・金折<sup>9)</sup>で紹介されている。

弥歎山西断層の南西延長部である土井ノ原から調査地域南西端にあたる晩越までの10kmの区間にリニアメント群(リニアメントLG1と呼ぶ)が分布する。このリニアメン

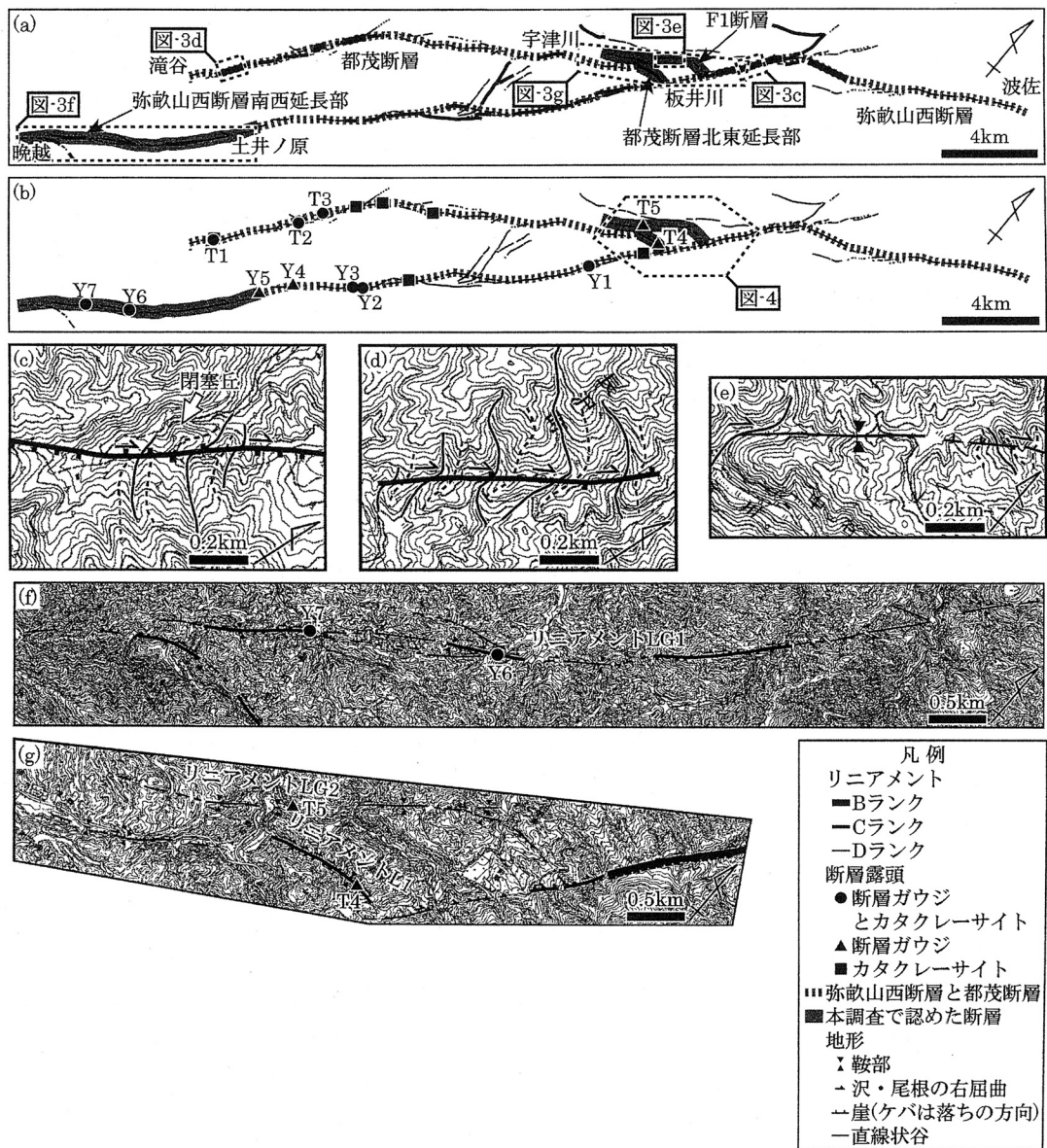


図-3 弥歎山西断層、都茂断層およびF1断層周辺のリニアメントと断層露頭 (a)リニアメント、地名および断層名。(b)リニアメント沿いの断層露頭。リニアメントはランク付けしていない。(c~e)左から右の順に、弥歎山西断層、都茂断層およびF1断層に沿う沢・尾根の右屈曲や閉塞丘。(f)リニアメントLG1周辺の地形と断層露頭。図-3a中の左下の枠内を拡大し、断層露頭を重ねたものである。(g)リニアメントL1およびLG2周辺の地形と断層露頭。図-3a中の中央右の枠内を拡大し、断層露頭を重ねたものである。国土地理院発行25,000分の1地形図のうち、(c)、(e)および(g)は『宇津川』、(d)は『都茂郷』、(f)は『石谷』、『日原』および『都茂郷』の一部を使用。

表-1 主断層面の走向, 傾斜および破砕帯最大幅

Loc.No	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	T1	T2	T3	T4	T5
走向	N36° E	N60° E	N46° E	N38° E	N48° E	N66° E	N45° E	N45~54° E	N62° E	N20° E	N70° W	N60° E
傾斜	88° SE	78° SE	72° SE	52° N	80° E	70° SE	45° NW	73~80° NW	72° NW	70° NW	50° N	75° SE
破砕帯最大幅	15m	3m	0.8m	0.33m	0.65m	1.5m	0.4m	0.97m以上	0.7m以上	0.7m以上	0.6m以上	0.2m

ト群はDランク、一部でCランクと判定した(図-3a)。これらのリニアメントは、沢・尾根の右屈曲、崖、鞍部および直線状谷から構成される(図-3f)。

### 3.2 都茂断層

都茂断層にはほぼ対応して、調査地域中央部の板井川から南西部の滝谷に至る19kmの区間でDランク、一部(主に中部~南西部)でB~Cランクのリニアメントが判読される。これらのリニアメントは、沢・尾根の連続的な右屈曲、崖、鞍部および直線状谷から構成される。図-3dに、都茂断層のリニアメントの例として、滝谷北東部のBランクのリニアメントを示す。このリニアメントは主に、沢・尾根の連続的な右屈曲から構成される。

都茂断層の北東延長部の板井川付近では、全長1kmのCランクリニアメント(リニアメントL1と呼ぶ)を判読した(図-3a)。リニアメントL1の方向はEWで、弥畝山西断層に近接し、その離間距離は150mである。このリニアメントは沢・尾根の連続的な右屈曲、崖および鞍部からなる(図-3g)。

板井川から調査地域中央部の宇津川にかかる都茂断層北東部の北西に、0.3km離れてリニアメント群(リニアメントLG2と呼ぶ)が並走する。リニアメントLG2は南西部でNE-SW方向であるが、北東部でEW方向に屈曲して、弥畝山西断層に接する。このリニアメント群はDランクに判定され、沢・尾根の右屈曲、崖、鞍部および直線状谷から構成される。リニアメントLG2を構成するリニアメントの例として、板井川北西部のDランクのリニアメントを図-3eに示す。図中のリニアメントは、その南西部と北東部が沢・尾根の右屈曲からなり、中央部が崖、鞍部および直線状谷で構成される。

## 4. 断層露頭

判読したリニアメントに沿って、18か所で断層岩を伴う断層露頭を確認した(図-3b)。そのうち、12か所で断層面と断層ガウジを確認した。本研究では、カタクレサイトや断層ガウジ、断層角礫から構成されるゾーンを破砕帯とする。

表-1に、確認した主断層面の走向・傾斜と破砕帯幅の最大値を示す。12か所の内訳は、弥畝山西断層沿い5か所、リニアメントLG1沿い2か所、都茂断層沿い3か所、リニアメントL1沿い1か所、リニアメントLG2沿い1か所である。これらのうち、断層露頭Y1、Y3~5、T1およびT5は福塚・金折<sup>9)</sup>や福塚ほか<sup>6)</sup>、青木・金折<sup>20)</sup>でも確認されている。

弥畝山西断層に沿う断層露頭Y1~5の主断層面はN36~

60°E走向で、主に72~88°SE傾斜を示す。破砕帯の最大幅は15mである。リニアメントLG1に沿う断層露頭Y6とY7の主断層面の走向・傾斜はそれぞれ、N66°E・70°SEとN45°E・45°NWである。破砕帯の最大幅は1.5mである。

都茂断層に沿う断層露頭T1~3の主断層面の走向・傾斜はN20~62°E・70~80°NWである。破砕帯の最大幅は1m以上である。リニアメントL1に沿う断層露頭T4での主断層面の走向・傾斜はN70°W・50°Nである。破砕帯の最大幅は0.6mを超える。

リニアメントLG2に沿う断層露頭T5の主断層面の走向・傾斜はN60°E・75°SEである。破砕帯の最大幅は0.2mである。

## 5. 板井川地域の横ずれデュープレックスと断層露頭

弥畝山西断層と都茂断層の近接部に位置する板井川地域は、両断層の関係を明確にするうえで重要であるため、この地域の変動地形と断層露頭を詳細に記載する。さらに本研究では、一つの露頭で確認した断層面の明瞭さと断層ガウジの幅などから判断して、最も明瞭でシャープなものを主断層面、それ以外の断層面を派生断層面とする。

### 5.1 板井川デュープレックス

図-4aは板井川地域の地形図上に断層、リニアメントおよび断層露頭位置を示したものである。この地域には弥畝山西断層、都茂断層、および本研究で確認した都茂断層の北東延長部とF1断層が分布する。

断層の分布形態を広域的にみると、F1断層は南西部で都茂断層に近接して並走し、北東部では都茂断層から離れている。都茂断層は図-4aの南西部でNE-SW方向に分布するが、断層の北東端でF1断層に並行に屈曲し、EW方向に向く。さらにF1断層と都茂断層の北東端は、いずれも弥畝山西断層に接する。狩野・村田<sup>21)</sup>やWoodcock and Fischer<sup>22)</sup>によると、横ずれ断層の屈曲部にはデュープレックスが形成されることから、弥畝山西断層、都茂断層およびF1断層は全体として横ずれデュープレックスを構成していると判断した。このデュープレックスをここでは板井川デュープレックスと呼ぶ。

図-4bは板井川デュープレックスを含む地域の50m等高線の高度帯図上に断層とリニアメントを示したものである。板井川デュープレックスの北縁を構成するF1断層を境に北側の標高が高いのに対して、南縁を構成する都茂断層を境に南側の標高が高い。すなわち両断層に囲まれた地域は、周囲に比べ相対的に標高が低い。さらに、板井川デュープレックスの南東縁を構成する弥畝山西断層を境に南東側が急に高くなっている。このことから、板井川デュープレ

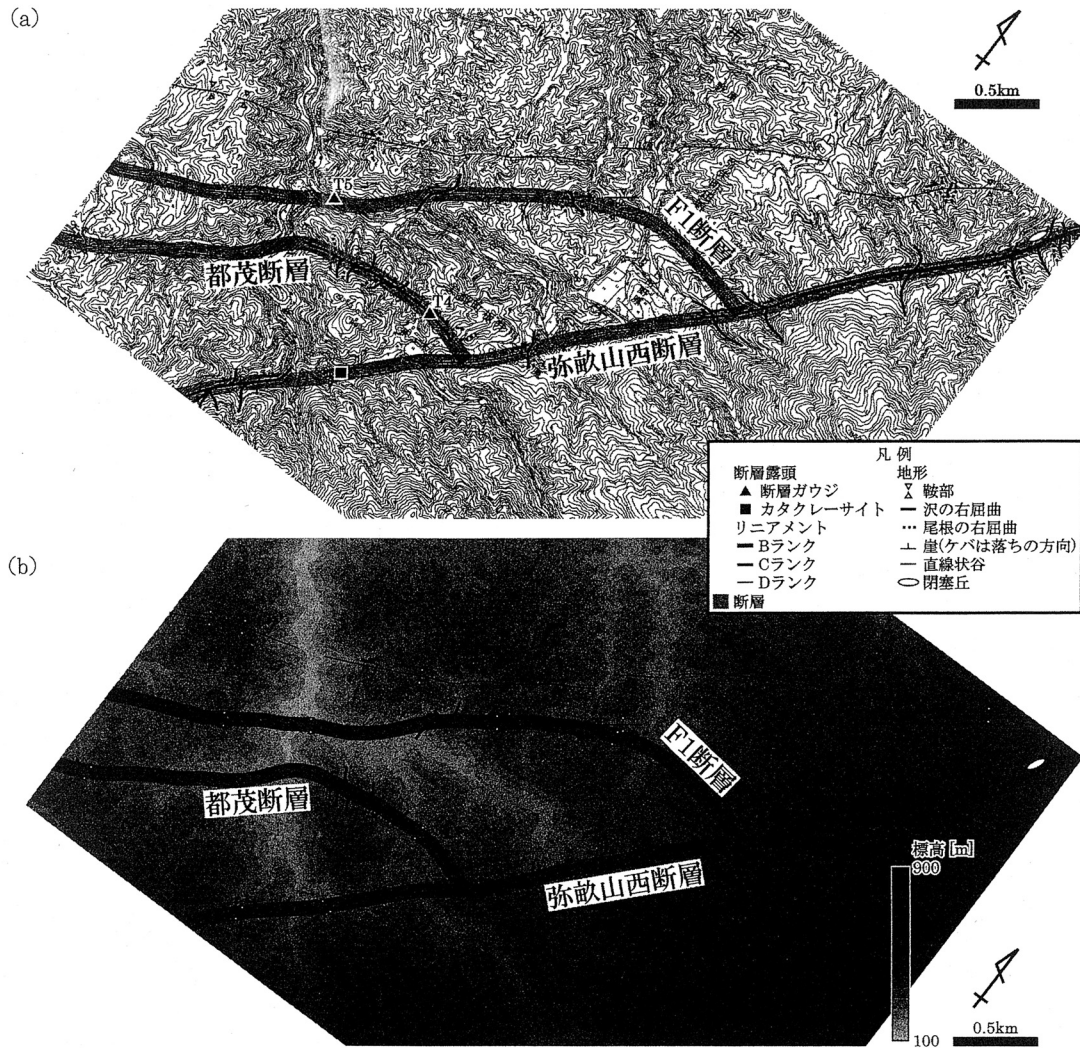


図-4 板井川地域のリニアメントと断層 (a)板井川地域の地形図上に断層，リニアメントおよび断層露頭位置を重ねた。国土地理院発行25,000分の1地形図『宇津川』の一部を使用。(b)標高50mごとの等高線を結んで作成した高度帯図上に断層とリニアメントを重ねた。図の範囲は図-3bに示す。

クスに囲まれた地域は周囲に比べ標高が低く、低地を形成している。

### 5.2 断層露頭 T4 の性状

断層露頭 T4 の写真とスケッチを図-5aおよびbに示す(露頭の位置は図-3b, gおよび4a参照)。断層破碎帯中には、主断層面(走向・傾斜: N70°W・50°N)のほかに3本の派生断層面が認められる。派生断層面の走向・傾斜はN65~70°W・40~45°Nである。主断層面には、レイクの値が5~10°SEである条線が認められる(図-5c)。

断層破碎帯は、泥質および緑色片岩(三隅層群)起源の断層角礫や断層ガウジから構成される。主断層面沿いの断層ガウジは幅2~5cmで、緑灰~灰白色を呈する。派生断層面沿いの断層ガウジは幅0.5~1cmで、派生断層面3に接する断層ガウジのみ黄褐色を呈し、それ以外は緑灰~灰白色である。断層角礫帯は最大幅53cm以上で、派生断層面3沿いの断層角礫帯1だけが、強風化している。断層破碎帯の上部は崖錐に覆われる。

横ずれによる変形構造を確認するために、条線の傾斜方

向に平行で、主断層面の傾斜と直交する破碎帯床面を観察した。図-6に横ずれを示す変形構造の写真とスケッチを示す。主断層面に沿った幅約4cmのゾーンに、断層角礫や細粒な断層角礫(細粒物)からなるレンズ状の構造が認められる。この構造の成因については、後で議論する。このゾーンの外側は、角礫の長軸方向が主断層面の方向から反時計回りに20~30°回転するように配列するフォリエーションが発達している。

### 5.3 断層露頭 T5 の性状

断層露頭 T5 の写真とスケッチを図-7aおよびbに示す(露頭の位置は図-3b, gおよび4a参照)。主断層面(走向・傾斜: N60°E・75°SE)には、レイクの値が15°SWである条線が認められる(図-7c)。同様に、レイクの値が5~20°Sである条線が福塚ほか<sup>9)</sup>でも報告されている。泥質片岩(三隅層群)の片理は、石英斑岩に沿って南東上がりに褶曲している。断層破碎帯は、黒色の断層ガウジと断層角礫(泥質片岩起源)から構成される。断層ガウジと断層角礫帯の幅はそれぞれ、1~4cmと4~19cmである。

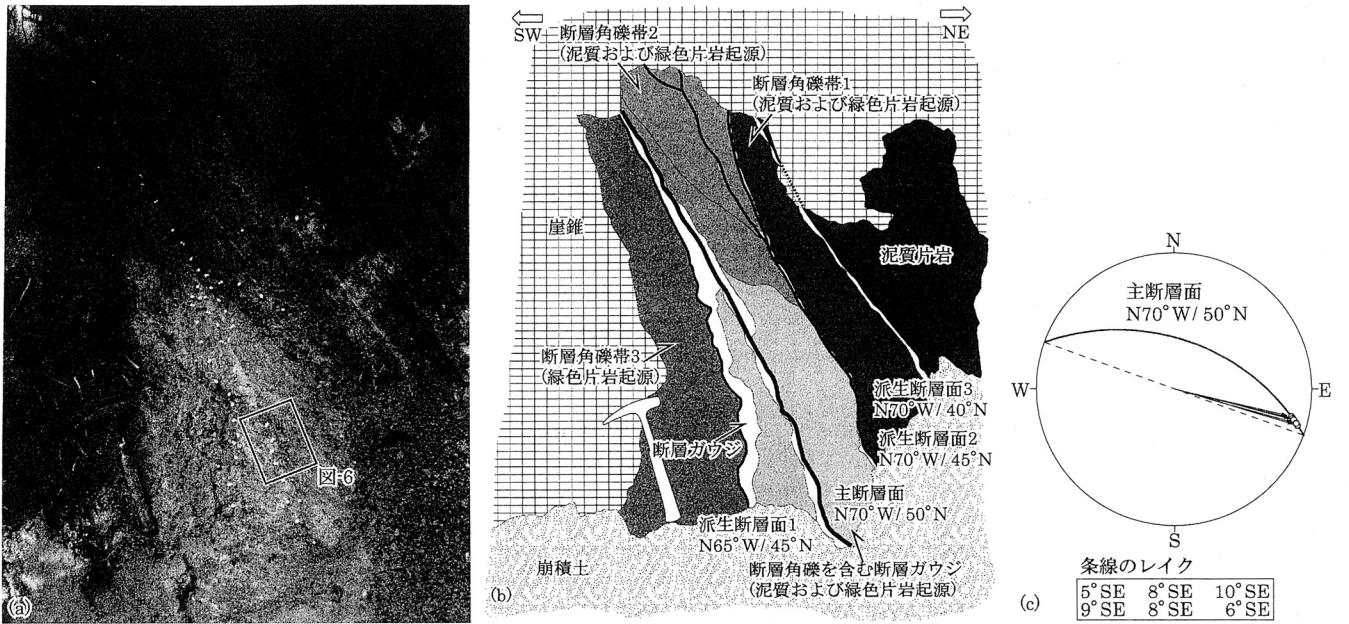


図-5 断層露頭 T4 の写真(a)およびスケッチ(b), 条線のステレオネット(c) 断層角礫帯1および3は断層角礫帯2に比べ、基質中の断層ガウジの量が多い。露頭の位置は図-3b, gおよび4aに示す。

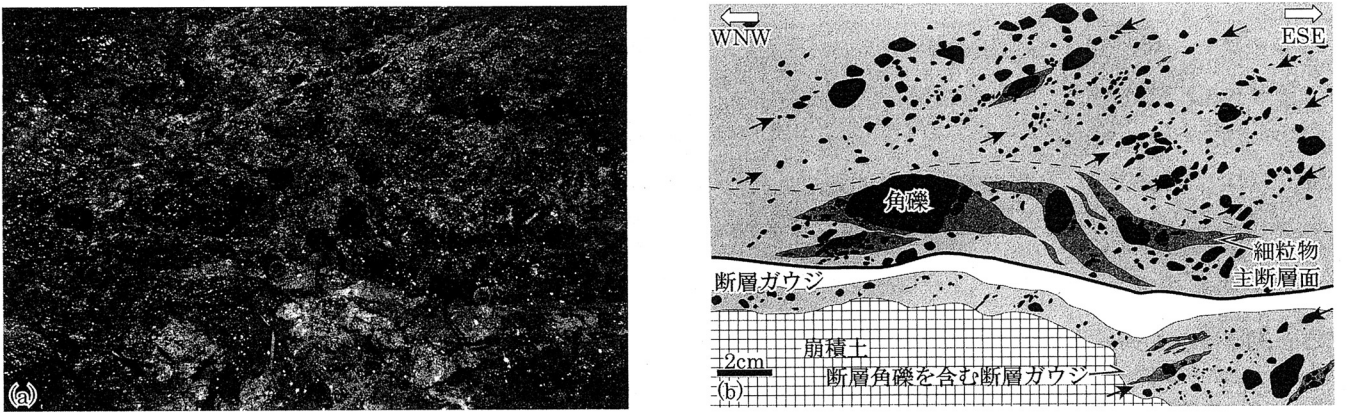


図-6 断層露頭 T4 中の横ずれ変形構造の写真(a)とスケッチ(b) 矢印はフォリエーションを示し、主断層面に沿う幅約4cmのゾーンにはレンズ状の構造が認められる。写真内の11本の待ち針(灰〜暗灰色)はスケッチしていない。図の位置は図-5に示す。

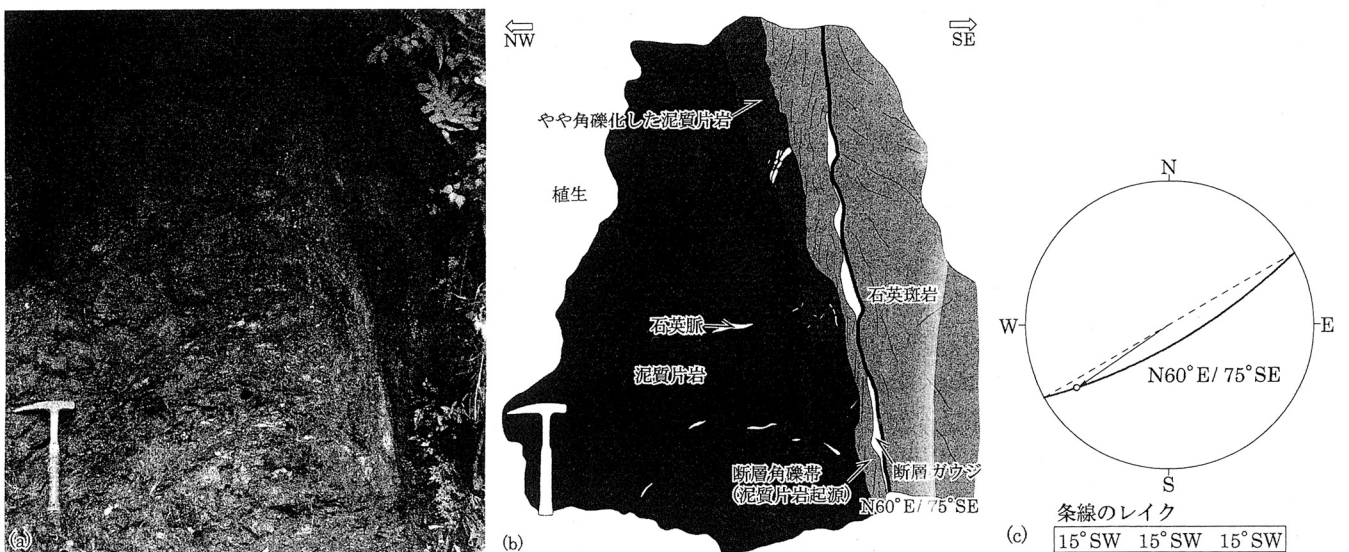


図-7 断層露頭 T5 の写真(a)およびスケッチ(b)と、条線のステレオネット(c) 露頭の位置は図-3b, gおよび4aに示す。

## 6. 議 論

### 6.1 断層の分布

次に述べる三つの理由によって弥歙山西断層の南西延長部と都茂断層の北東延長部、F1断層の位置を明らかにした。

①弥歙山西断層の南西延長部に位置するリニアメントLG1に沿って断層露頭Y6とY7を確認したことから(図-3f参照), 弥歙山西断層南端はこれまで指摘されていたよりも南西方向に10km連続し, 全長は40kmとなる。

②都茂断層の北東延長部に位置するリニアメントL1に沿って断層露頭T4が確認されたことから(図-3g参照), 都茂断層は東方向にさらに1km連続することになる。このことから, 都茂断層北東端は弥歙山西断層に近接した後, 接する可能性が出てくる。

③都茂断層北東部の北西に位置するリニアメントLG2に沿って断層露頭T5が確認されたことから(図-3g参照), リニアメントLG2はF1断層に一致し, この断層も弥歙山西断層に接することになる。

### 6.2 断層の地下構造

弥歙山西断層, 都茂断層およびF1断層を横断する地質断面図はすでに図-2b~eに示した。この図において, 断層の見かけの傾斜は, 断面線に最も近い断層露頭で測定された断層面の傾斜から計算した。以下に3断層の地下での連結性を検討する。

①弥歙山西断層と都茂断層の南西部を横断する断面A-A'では, 見かけの傾斜がそれぞれ, 南東および北西方向を示すことから, これらの断層は地下で収れんしない可能性がある(図-2b参照)。

②弥歙山西断層中部や都茂断層北東部, F1断層南西端を横断する断面B-B'では, 見かけの傾斜がそれぞれ, 南東および北西方向であり, 弥歙山西断層と都茂断層は地下で収れんしないが, 都茂断層とF1断層は深さ700m(標高-400m)付近で収れんすることが推測される(図-2c参照)。

③弥歙山西断層とF1断層の中部を横断する断面C-C'では, 見かけの傾斜がいずれも南東方向を示す。F1断層の傾斜角度は弥歙山西断層のそれよりも緩いため, これらの断層は地下で収れんすることが考えられる(図-2d参照)。

④都茂断層とF1断層の北東端を横断する断面D-D'では, 見かけの傾斜がそれぞれ, 北東および南西方向を示し, これらの断層は地下で収れんする可能性がある(図-2e参照)。

上記では, 弥歙山西断層と都茂断層の南西部は地下で収れんしないが, これらの断層とF1断層は板井川地域の地下で収れんしている可能性を挙げた。この推定は, 6.1項で述べたように都茂断層とF1断層が弥歙山西断層に接することに矛盾しない。つまりF1断層は, 地下で弥歙山西断層と都茂断層に収れんし, これらの断層から派生してい

るものと考えられる。

### 6.3 重力異常と地震活動

図-8aおよびbはそれぞれ, 弥歙山西断層, 都茂断層および日原断層の位置を島根県南西部の重力ブーゲー異常図と気象庁一元化カタログから作成した震源分布図の上に加筆したものである。等値線の間隔が狭いところは重力異常の変化が激しく, 上部地殻の密度が水平方向に急変していることが予想される。急変の原因として断層構造の存在が挙げられる<sup>24)</sup>。さらに図-8cおよびdはそれぞれ, 図-8b中のA-A'~B-B'断面とC-C'~D-D'断面の断面図である。

従来指摘されてきた弥歙山西断層沿いの重力異常の急変帯は, さらにその南西延長上に連続し, 本研究で明らかにした断層南西端からの10km延長部と一致する。都茂断層に沿っても, 重力異常の急変帯が認められる。

弥歙山西断層では北東部周辺に震源が分布しており, 断層の北西側(下盤側)にやや集中しているようにみえる。弥歙山西断層の中部~南西部では震源がほとんど認められない。このことから, 断層の北東部と中部~南西部が別々の挙動セグメント<sup>25)</sup>である可能性を示唆している。都茂断層に沿っては, 断層の北西側に震源が集中し, この断層が北西傾斜であることが示唆され, 露頭で確認した断層面の傾斜方向と整合する。さらに, 都茂断層沿いの震源は弥歙山西断層北東部沿いの震源と連続しているように見え, 板井川地域で弥歙山西断層と都茂断層北東端が接合することに矛盾しない。

福塚・金折<sup>9)</sup>でも弥歙山西断層北東部と都茂断層に沿った重力異常急変帯や震源の分布, 弥歙山西断層中部~南西部沿いの地震空白域を確認しているが, 本研究で示した都茂断層の北西側に震源が集中することについては述べていない。

福塚・金折<sup>9)</sup>は弥歙山西断層南西部とその南西延長部に続く重力異常急変帯を確認していなかったため, 弥歙山西断層北東部に沿う重力異常の急変帯が都茂断層に連続する可能性を示した。

### 6.4 都茂断層およびF1断層の運動センス

#### (1) インバージョンを示す都茂断層の変形構造

すでに記載した断層露頭T4の主断層面に沿った幅約4cmのゾーン内のレンズ状構造(図-6中央部)は, 以下の順序で形成されたと推定した。

図-9aに示すように, まず断層の左横ずれ運動により, 密に発達する葉状の面構造であるPフォリエーションが形成される<sup>21), 26)</sup>。その後, 右横ずれ運動で, フォリエーション内の円形の断層角礫が右回転するとともに, 回転に伴って細粒部が引きずられるように変形した(図-9b)。このような粒子回転はWhite *et al.*<sup>27)</sup>などでも報告されている。さらに石英脈でも同様なメカニズムで, 図-9bのような変形構造が生じることが知られている<sup>28), 29)</sup>。

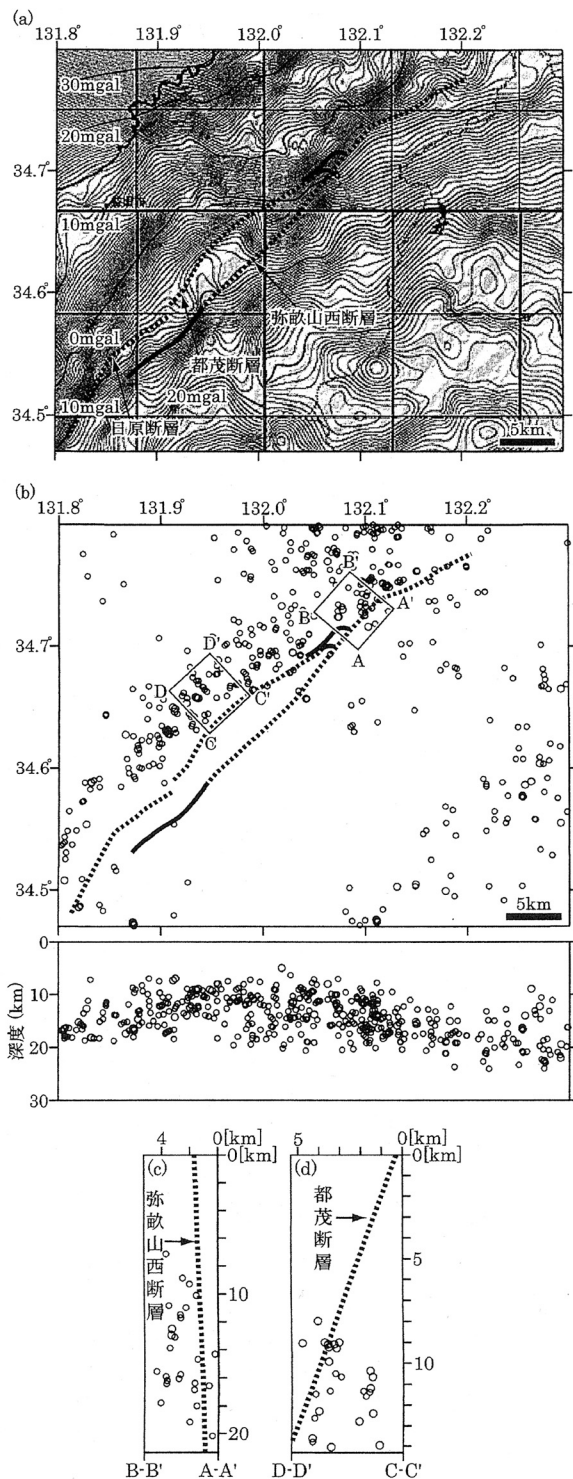


図-8 弥畝山西断層、都茂断層および日原断層周辺の重力異常<sup>23)</sup>(a)と地震の分布(b~d) 気象庁一元化地震カタログを使用し、1997年10月1日~2010年11月10日に発生した $M_j \geq 2.0$ 、深さ30km以浅の震源と弥畝山西断層、都茂断層および日原断層の位置を重ね合わせた。ブーゲー異常の補正密度は $2.67\text{g}/\text{m}^3$ 、等値線間隔は $0.5\text{mgal}$ である。実線と点線はそれぞれ、新たに確認した断層と金折・遠田<sup>9)</sup>による断層の分布を示す。(c)と(d)はそれぞれ、(b)内のA-A'~B-B'断面とC-C'~D-D'断面の断面図を示す。さらに(c)および(d)中の断層の傾斜角度は、A-A'~B-B'およびC-C'~D-D'断面に最も近い断層露頭Y1(弥畝山西断層)およびT3(都茂断層)で測定された主断層面の傾斜角度を使用した。

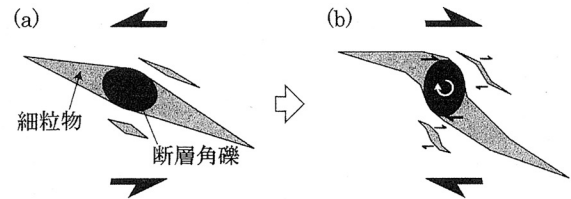


図-9 インバージョンによる変形構造の形成モデル (a)左横ずれ運動によるPフォリエーション。(b)右横ずれ運動で、右回転したPフォリエーション。

以上のレンズ状構造の形成過程から、都茂断層の横ずれ運動センスは左横ずれから右横ずれにインバージョンしたと判断した。さらに、断層露頭 T4 の主断層面から離れた位置で確認されたフォリエーションは主断層面から反時計回りに $20\sim 30^\circ$ で配列し、右横ずれによって形成されたPフォリエーションであると判断されることから、これも右横ずれ運動を示すことになる。

以上に述べてきた横ずれ運動センスのインバージョンは、福塚ほか<sup>6)</sup>が断層露頭 T1 のカクレーサイト中に左横ずれ運動を示すPフォリエーションを認めたことや、都茂断層沿いで沢・尾根の右屈曲が配列することにも裏付けられる。さらに図-2aにおいて、都茂断層を境に白亜紀花崗岩類が左横ずれオフセットしているように見える。このことも、都茂断層の左横ずれ運動があった可能性を示唆している。

断層露頭 T4 の主断層面(走向・傾斜： $N70^\circ W \cdot 50^\circ N$ )に沿って、レイクの値が $5\sim 10^\circ SE$ である条線が確認された。このことから、都茂断層北東端は正断層成分を伴う右横ずれ断層であることがわかる。

## (2) F1断層の右横ずれセンス

沢・尾根の右屈曲がF1断層沿いに確認され、主断層面にレイクの値が $15^\circ SW$ である条線が分布することから、この断層は正断層成分を伴う右横ずれ断層であることがわかる。断層露頭 T5 で確認した泥質片岩の南東上がりの褶曲構造が断層運動によるものならば、F1断層の縦ずれ成分が逆断層運動から正断層運動にインバージョンしたことが示唆される。

## 6.5 板井川プリアパートの拡大

図-10に板井川地域の標高 $-400\text{m}$ における断層の構造モデルを示す。この図は断層の地表トレース(図-4参照)と運動センス、地質断面図(図-2b~e参照)を考慮して作成したものである。弥畝山西断層、都茂断層およびF1断層の分布と右横ずれの運動センスから、板井川デュープレックスを構成する都茂断層北東端とF1断層の湾曲部にはNE-SW方向のトランステンションが働くことになるため、板井川デュープレックスに囲まれた低地がプリアパートとして、今後さらにNE-SW方向に拡大し、それに伴い中央部が沈降することが予想される。この沈降域は、都茂断層北東端とF1断層がそれぞれ、北落ちと南落ちの正断層成分を伴うことと矛盾しない。さらに板井川デュープレックス



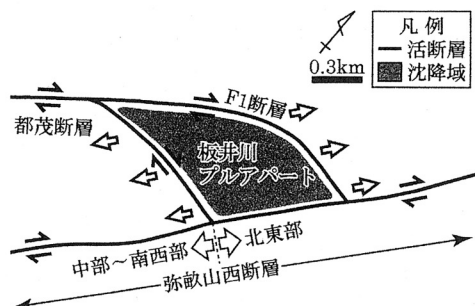


図-10 板井川地域の標高400mにおける断層の構造モデル

に囲まれた低地は、F1断層と都茂断層北東端の間に位置しており、それらの断層運動によってトランステーションが作用して形成された。このような低地の形成はWu *et al.*<sup>30)</sup>のアナログ実験に裏付けられている。

本研究では、板井川デュープレックスに囲まれた沈降域を板井川プリアパートと呼ぶ。このプリアパートの南西に位置する弥歎山西断層中部～南西部の北東端が右横ずれ運動をする場合、板井川プリアパートに対してNE-SW方向のトランスプレッションが働くために板井川プリアパートが形成・拡大することが難しい。さらに、板井川プリアパートの南西約1kmの弥歎山西断層中部～南西部の北東端に沿って、沢の右屈曲が確認される(図-4参照)。これらのことから、弥歎山西断層中部～南西部の北東端の右横ずれ変位量は板井川プリアパートの形成・拡大を阻止できるほど大きくない、またはその右横ずれ変位量が北東端に向かうにつれて減少し、弥歎山西断層中部～南西部が板井川プリアパートに接する地点では、ほとんど変位量を伴わない可能性が挙げられる。弥歎山西断層中部～南西部が板井川プリアパートに接する地点で変位量を伴わない場合、板井川プリアパート付近を境に弥歎山西断層は北東部と中部～南西部の2つの挙動セグメントに分かれることが推定される。これは、震源が弥歎山西断層北東部に沿って密に分布しているのに対して、中部～南西部に沿ってはほとんど確認できないことと整合的であり、福塚・金折<sup>9)</sup>のセグメント区分ともほぼ一致する。さらに、弥歎山西断層の北東部と都茂断層は板井川地域でつながることから、連動している可能性も示唆される。このセグメンテーションと連動性については、活断層から発生する地震規模を見積もるうえで重要であるため、今後さらに詳しく検討していく必要がある。

## 7. ま と め

本研究では、弥歎山西断層と都茂断層およびその延長部を対象として地形・地質調査を実施し、これらの2活断層の性状と分布を再検討した。とくに、両断層が近接する板井川地域の変動地形と断層露頭を詳細に記載し、弥歎山西断層と都茂断層の関連性を明らかにした。これらの調査で得られた結果と既存の重力異常図および震源分布データを比較し、弥歎山西断層と都茂断層の連結性と変位様式を議

論した。

本研究で得られた結果を以下にまとめる。

- ①弥歎山西断層はその南西端からさらに10km連続することから、全長は40kmになる。このことは重力異常図に見られるように、弥歎山西断層に沿う重力異常の急変帯が断層南西延長上に連続することと一致する。都茂断層の北東端はさらに東方に1km延びるとともに、これに並走するF1断層を確認した。弥歎山西断層と都茂断層の南西部は地下で取れんしないが、これらの2断層とF1断層は板井川地域でつながる可能性が高く、震源分布図において、都茂断層沿いの震源が弥歎山西断層北東部沿いのものと連続していることに裏づけられている。
- ②断層露頭の変形構造に基づく、都茂断層では左横ずれから右横ずれに断層運動がインバージョンしているとともに、断層北東端では正断層成分が伴われていることがわかった。沢・尾根の右屈曲や断層露頭の条線から、F1断層は正断層成分を伴う右横ずれ断層であることを明らかにした。
- ③板井川地域中央部において、弥歎山西断層や都茂断層、F1断層からなる横ずれデュープレックスを認定した。このデュープレックスに囲まれた地域は周囲に比べ標高が低く、低地を形成している。さらに、弥歎山西断層や都茂断層、F1断層の右横ずれ運動センスにより、デュープレックスにはNE-SW方向に働くトランスプレッションが想定されることから、その低地は板井川プリアパートとして今後さらにNE-SW方向に拡大し、それに伴い中央部が沈降していく可能性がある。

## 引用文献

- 1) 平田直・佐藤比呂志・東京大学地震研究所緊急余震観測グループ(2005): 2004年新潟県中越地震—地下構造と余震分布から推定される震源断層—, 科学, Vol.75, pp.149-151.
- 2) 防災科学技術研究所(2005): 新潟県中越地震と地質構造との比較, 地震予知連絡会会報, No.73, pp.399-402.
- 3) Lettis, W., Bachhuber, J., Witter, R., Brankman, C., Randolph, C. E., Barka, A., Page, W. D. and Kaya, A. (2002): Influence of releasing step-overs on surface fault rupture and fault segmentation: examples from the 17 August 1999 Izmit Earthquake on the North Anatolian fault, Turkey, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol.92, pp.19-42.
- 4) 松田時彦(1990): 最大地震規模による日本列島の地震分帯図, 地震研究所彙報, Vol.65, pp.289-319.
- 5) 福塚康三郎・金折裕司(2002): 断層の地形・地質学的特徴と地震活動および重力異常—島根県南西部, 弥歎山西断層を例として—, 応用地質, Vol.43, pp.226-234.
- 6) 福塚康三郎・金折裕司・青木道範(2002): 島根県南西部に発達する弥歎山西断層と都茂断層の関連性, 日本応用地質学会平成14年度研究発表会講演論文集, pp.157-160.
- 7) 金折裕司(2005): 山口県の活断層—地震災害の減災をめざして—, 近未来社, 119p.
- 8) Kanaori, Y. (1997): Seismic risk assessment of active fault

- systems in the western Chugoku District of southwest Japan, *Jour. Nat. Dis. Sci.*, Vol.19, pp.9-29.
- 9) 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*, Vol. 25, pp.507-523.
  - 10) 今村外治・楠見久・中野光雄・吉村典久・岡本和夫(1959): 三段峡, 八幡高原地域を主とするいわゆる断層谷の地質学的研究, 三段峡と八幡高原総合学術調査研究報告, pp.64-83.
  - 11) 活断層研究会(1991): 新編日本の活断層—分布図と資料—, 東京大学出版会, 437p.
  - 12) 中田高・今泉俊文(2002): 活断層詳細デジタルマップ, 東京大学出版会, 60p.
  - 13) 地震調査研究推進本部: 活断層の長期評価, [http://www.jishin.go.jp/main/p\\_hyoka02\\_danso.htm](http://www.jishin.go.jp/main/p_hyoka02_danso.htm), 平成22年11月25日.
  - 14) 200万分の1活断層図編纂ワーキンググループ(2000): 200万分の1活断層図—過去数十万年間の断層活動の特徴—, 活断層研究, Vol.19, pp.3-12.
  - 15) 松田時彦(1975): 活断層としての石廊崎断層系の評価, 1974年伊豆半島沖地震災害調査報告書, pp.121-125.
  - 16) 金属鉱業事業団(1978): 昭和51年度精密調査報告書—益田地域—, 金属鉱業事業団, 167p.
  - 17) 新編島根県地質図編集委員会(1997): 新編島根県地質図(20万分の1), 内外地図.
  - 18) 岡村義彦・西村祐二郎・長谷晃・添田晶・沖村雄二・広渡文利・本村慶信・赤塚政美・井上多津男・安居院弘輔・大谷顕一・孤島章一郎(1975): 島根県益田地域の三郡変成岩類, 山口大学教育学部研究論叢, Vol.25, pp.19-36.
  - 19) 井上大榮・宮腰勝義・上田圭一・宮脇明子・松浦一樹(2002): 2000年鳥取県西部地震震源域の活断層調査, *地震 2*, Vol.54, pp.557-573.
  - 20) 青木道範・金折裕司(2004): 大原湖-弥敷山西断層系北東部の断層活動性, *日本応用地質学会平成16年度研究発表会講演論文集*, pp.283-286.
  - 21) 狩野謙一・村田明広(1998): 構造地質学, 朝倉書店, 298p.
  - 22) Woodcock, N. H. and Fischer, M.(1986): Strike-slip duplex, *Jour. Struct. Geol.*, Vol.8, pp.725-735.
  - 23) 山本明彦・志知龍一(2004): 日本列島重力アトラス—西南日本および中央日本—, 東京大学出版会, 144p.
  - 24) 工藤健・河野芳輝(1994): 日本列島の重力異常陰影図—(II) フォッサマグナ周辺の重力異常陰影図と地質構造—, *地震 2*, Vol.46, pp.371-379.
  - 25) 土木学会原子力土木委員会断層活動性分科会(2004): 原子力発電所の活断層系評価技術—長大活断層系のセグメンテーション—, 土木学会, 175p.
  - 26) Rutter, E. H., Maddock, R. H., Hall, S. H. and White, S. H.(1986): Comparative microstructures of natural and experimentally produced clay-bearing fault gouges, *PAGEOPH*, Vol.124, pp.3-30.
  - 27) White, S. H., Bretan, P. G. and Rutter, E. H.(1986): Fault zone reactivation: kinematics and mechanisms, *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, Vol.317, pp.81-97.
  - 28) Beach, A.(1975): The geometry of en-echelon vein arrays, *Tectonophysics*, Vol.28, pp.245-263.
  - 29) Roering, C.(1968): The geometrical significance of natural en-echelon crack-arrays, *Tectonophysics*, Vol.5, pp.107-123.
  - 30) Wu, E. J., McClay, K., Whitehouse, P. and Dooley, T.(2009): 4D analogue modelling of transtensional pull-apart basins, *Mar. Petrol. Geol.*, Vol.26, pp.1608-1623.

(2010年12月9日受付, 2011年10月13日受理)

*Jour. Japan Soc. Eng. Geol.*, Vol.53, No.1, pp.21-30, 2012

## Connectivity and Slip Style of Two Neighboring Active Faults —A Case Study of the West Yauneyama and the Tsumo Faults, Southwestern Shimane Prefecture, SW Japan—

Kotaro AIYAMA and Yuji KANAORI

### Abstract

We conducted topographical and geological investigations in the areas along the West Yauneyama and the Tsumo faults and their extension areas, in order to review in detail characteristics and distributions of the faults in southwestern Shimane Prefecture. By combining the results with an existing gravity anomaly map and data of seismicity in the studied area, we then discuss the connectivity and slip styles of the faults.

Based on new lineament interpretation and the field investigation, we showed that the West Yauneyama and the Tsumo faults extend 10 km to the southwest and 1 km to the east in length, respectively, compared to those indicated by previous studies. A strike-slip duplex can be recognized in the Itagawa area, Mito town, Masuda City in which the Tsumo fault meets the northeastern part of the West Yauneyama fault. Because the area surrounded by the strike-slip duplex is lower than in elevation that surrounding the strike-slip duplex, the surrounded area is regarded as a depression. Deformation structures found in some fault outcrops show that the slip on the Tsumo fault inverted from sinistral to dextral motion. The slip sense suggests that the depression surrounded by the strike-slip duplex continues to extend to the NE-SW direction as a pull-apart, which is referred to the Itagawa Pull-Apart in this paper, and subsequently the depression may subside.

**Key words** : active fault, strike-slip duplex, deformation structure