

愛媛県砥部衝上断層の変形構造に基づく中央構造線の砥部時階および石鎚時階の運動像の検討

窪田 安打^{1), 2)}

要旨 中央構造線は活動時期の異なる複数時階の断層運動を記録している。愛媛県砥部町に露出する砥部衝上断層は、中央構造線の砥部時階及び石鎚時階の断層運動を記録した貴重な露頭である。それ故、古くから変形構造の記載や年代測定が行われ、近年ではそれらの結果を基に中央構造線の運動史が総括されている。しかし、断層境界面付近の変形構造を示すデータが少ないという問題があった。そこで本研究では、先行研究では示されていなかった断層露頭の詳細なスケッチおよび変形構造の追加記載を行い、砥部時階および石鎚時階における中央構造線の運動像をより詳細に議論した。

キーワード：中央構造線、砥部衝上断層、砥部時階、石鎚時階

1. はじめに

日本最大の断層である中央構造線 (MTL) には、白亜紀以降の活動時期の異なる複数の運動時階 (古いものから、鹿塩、市ノ川、先砥部、砥部、石鎚、菖蒲谷) に区分されている (例えば、Ichikawa, 1980; Kubota and Takeshita, 2008; 竹下, 2010)。これらのうち、砥部時階および石鎚時階は、主に四国地方の地質構造により定義された運動時階である。前者は、MTL 沿いに下部中新統の久万層群に対して上部白亜系の和泉層群が衝上した断層運動として定義され (Kobayashi, 1941)、後者は、MTL 沿いに瀬戸内火山岩 (年代値 15-14Ma; 例えば Shibata and Nozawa, 1968) が広範囲に貫入した活動と同時期に、これらに正断層変位を与えた運動として定義されている (須鎗・阿子島, 1974)。

この砥部時階および石鎚時階の根拠となる断層変形構造は、愛媛県砥部町砥部川沿いに露出する国の天然記念物に指定されている砥部衝上断層で認められる (Fig. 1)。この断層沿いの粘土鉱物に対する年代測定により断層運動の時期が検討されている。高橋 (1992) は、断層面の下盤の久万層群が衝上断層による引きずり変形を受けていることに加えて、和泉層群中に分布する右ずれ成分をともなう断層運動により形成されるエシュロン状配列の褶曲群が分布する

こと、さらに松山市東方に分布する中央構造線が南北方向へ走向が変化する屈曲部において、東側の久万層群に西側の和泉層群が衝上することを根拠とし、砥部時階に北側の和泉層群が南側の久万層群に右ずれ成分を持ちながら衝上したと推定した。高木ほか (1992) は、三波川結晶片岩類を起源とするドロマイト質片岩が断層沿いに挟まれて分布していることに注目し、それらは衝上運動時に地下より引きずりあげられたものと推定している。久万層群は、一部の始新世の堆積物 (ひわだ峠累層: 成田ほか, 1999) を除き、同層に分布する酸性凝灰岩のジルコンのフィッシュントラック年代 (鹿島・武智, 1996; 成田ほか, 1999) や石鎚層群最下部の凝灰岩に含まれる黒雲母の K-Ar 年代 (竹下ほか, 2000) により前期中新世末期 (18-16Ma) の堆積物と考えられている。後続する石鎚層群の断層運動時期を考慮すると、砥部時階の時期は 16-15Ma と推定されている (竹下, 2010)。

一方、石鎚時階については、断層沿いに挟まれて分布するドロマイト質片岩のガウジの変形構造解析および K-Ar 年代測定により、中期中新世 (15-14Ma) に MTL が正断層運動を生じた時期に相当するとされている (高木ほか, 1992)。

以上のように、砥部衝上断層における既往研究では、変

Engineering Geology of Japan, No. 5, 'The special issue of 20th anniversary of Hiruzen Institute for Geology and Chronology', 61-66 (2015)

Kinematic history of the Tobe and Ishizuchi Phases along the MTL, inferred from deformation structure of the Tobe Thrust, Ehime Prefecture, Japan

Yasu'uchi Kubota^{1), 2)}kubota-yasuuchi@oyonet.oyo.co.jp¹⁾, kubota-yasuuchi@mail.sci.hokudai.ac.jp²⁾¹⁾ OYO Corporation,

4-4-33 Yamagoe, Matsuyama 791-8013, Japan

²⁾ Department of Natural History Sciences, Graduate School of Science, Hokkaido University, Kita 8, Nishi 5, Kita-ku, Sapporo 060-0808, Japan¹⁾ 応用地質株式会社 四国支社
〒791-8013 松山市山越 4-4-33²⁾ 北海道大学大学院理学院自然科学専攻
〒060-0810 札幌市北区北 8 条西 5 丁目理学 6 号館 901

2015年5月1日受付, 2015年6月24日受理. © 2015 Hiruzen Institute for Geology and Chronology. All rights reserved.

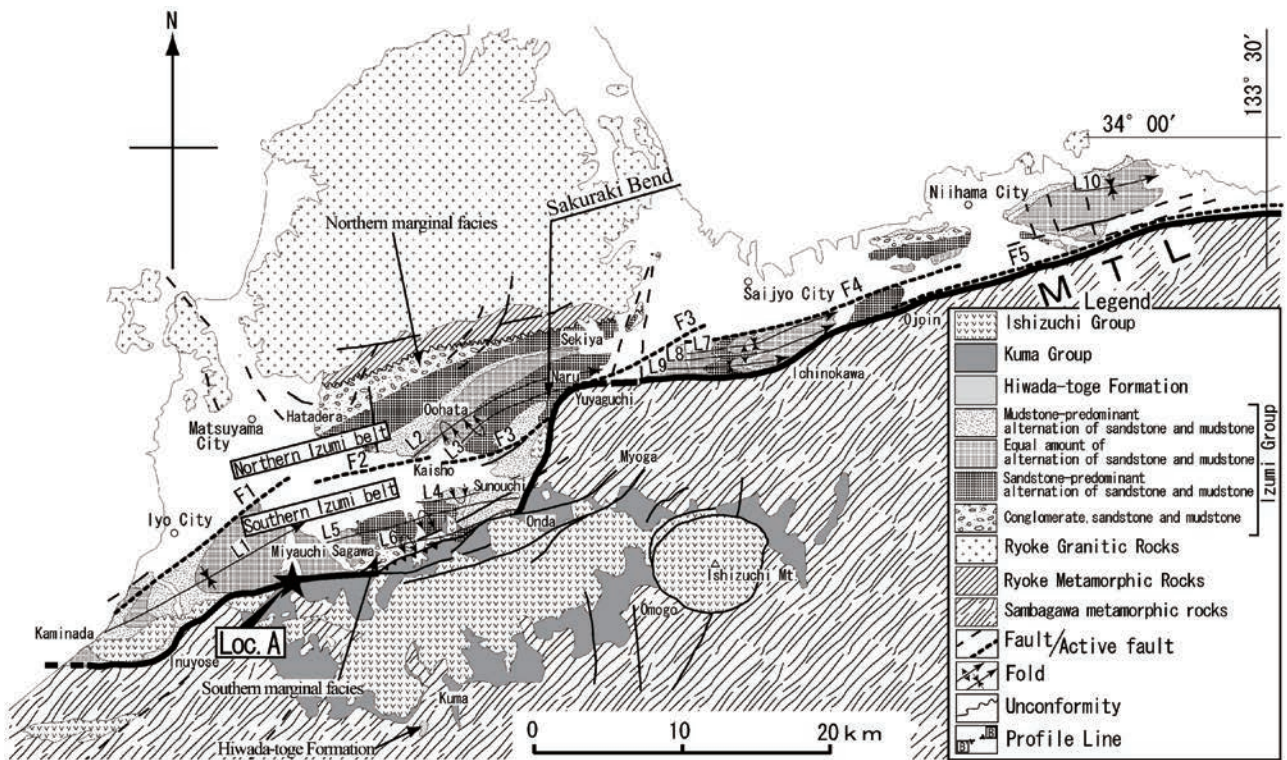


Fig. 1 Geological map of western Shikoku (modified from Momoi *et al.*, 1991). Thin solid lines in the same symbols (i.e. lithology) indicate bedding plane (refer to Kubota and Takeshita, 2008). Loc. A indicates a location of the Tobe Thrust.

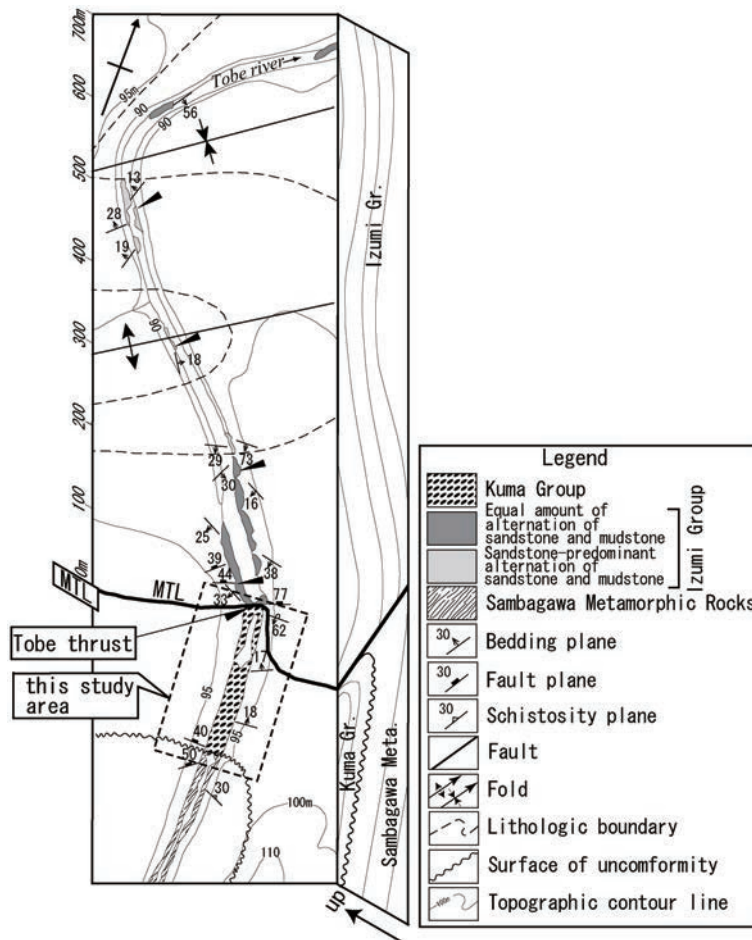


Fig. 2 Route map showing lithofacies, geological structures around the Tobe Thrust (modified from Kubota and Takeshita, 2008). The cross-section is also shown in the right column.

形構造の記載や年代測定が行われ、近年では竹下 (2010) により砥部衝上断層の運動史が総括されている。しかし、断層境界付近の変形構造解析のデータ数が少ないという問題点がある。そこで本研究では、先行研究で示されていなかった断層露頭の詳細なスケッチおよび追加の変形構造記載を行った。さらに、それらの結果と先行研究の結果を比較・検討し、砥部時階と石鎚時階の運動センスをより詳細に議論した。なお、断層露頭が国の天然記念物に指定されているため、試料採取や露頭への打撃等は一切行っていない。

2. 砥部衝上断層の地質概要

砥部衝上断層の露頭は、愛媛県砥部町砥部川の河床沿いに分布する (Fig. 2)。この断層南側の新第三紀前期中新世の久万層群と断層北側の後期白亜紀の和泉層群の間には、ドロマイト質片岩が2m以下で板状に存在しており (高木ほか, 1992) (Fig. 3 (1), Fig. 4), 久万層群とドロマイト

質片岩が接する断層面はN70°E 30°Nである (高橋, 1992)。この地域に産する久万層群は和泉層群から供給された礫岩層からなり、厚さ0.5m以下の砂岩層を薄く挟む。礫岩には級化構造が認められ、主に円礫~亜円礫からなる。まれに三波川結晶片岩類起源の片岩の角礫を含む。断層面より南側150m付近では、下位の三波川結晶片岩類と久万層群の不整合面が分布する。この不整合面に沿って、三波川結晶片岩類起源の泥質片岩および緑色片岩の礫を含む礫岩層が厚さ数m以下で分布する。久万層群の砂岩層の堆積構造にもとづくと、久万層群の堆積面は、ほぼ水平~北へ緩く傾斜するが、断層面より南側2m程度の範囲では砂岩層の層理面がN82°W 30°N ~ N84°W 77°Sの逆転~高角度傾斜となっており、衝上運動による引きずりによって形成された軸面が北傾斜する向斜 (南フェルゲンツの向斜構造) が分布する。ドロマイト質片岩の原岩は三波川結晶片岩類の泥質片岩および石灰質結晶片岩であり、それらが破碎を伴う熱水変質を受け、ドロマイト化したものと考えられている (高木ほか, 1992)。このドロマイト質片岩は断層角礫およびガウジ化が進んでおり、研磨片および薄片の観察か

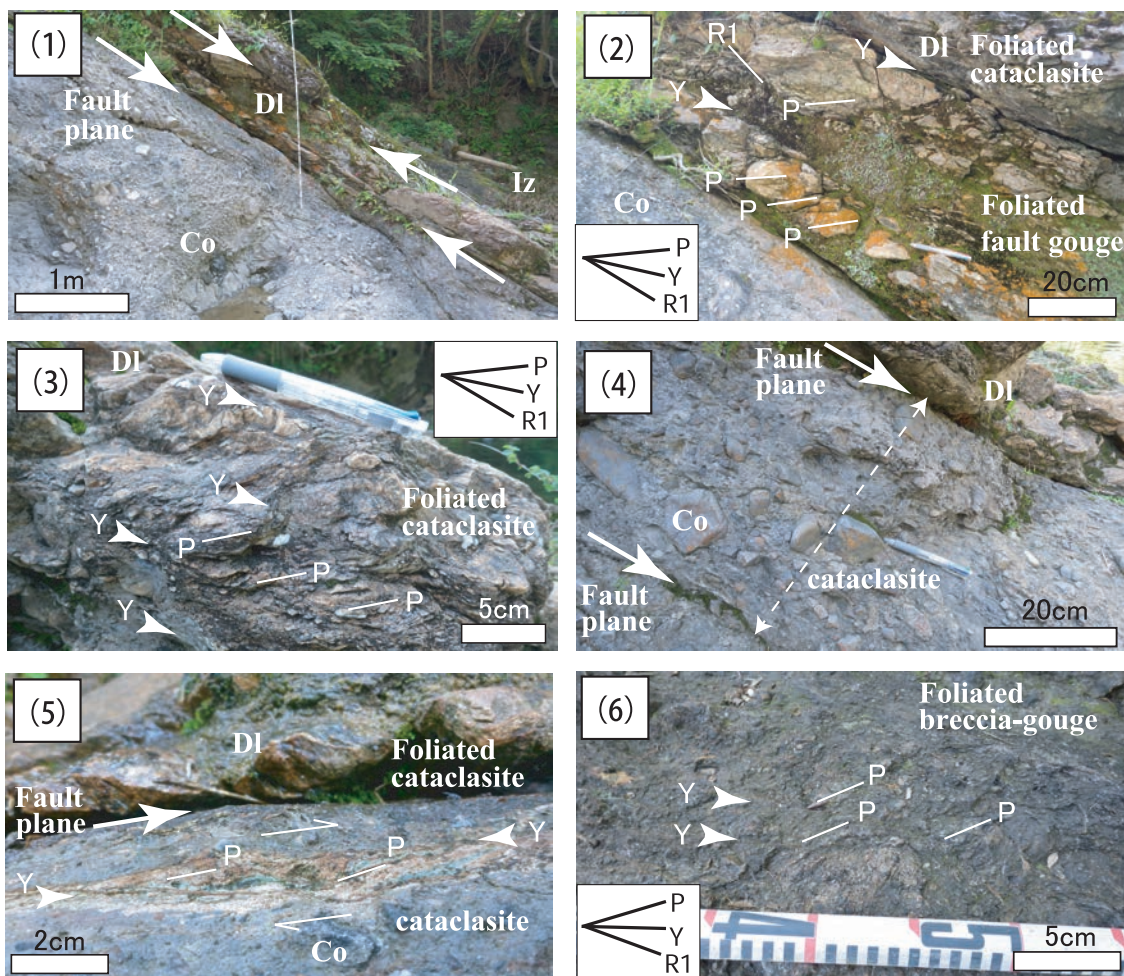


Fig. 3 Representative field photographs of the fault outcrop. (1) (2) The Tobe Thrust is composed of dolomitic schist with foliated cataclasite and foliated gouge layers. (3) Foliated cataclasite layers. P foliation, R1 shear and Y shear fabrics are observed. (4) Cataclasite of conglomerates of the Kuma Group. (5) Shear lens of dolomitic schist in the cataclasite layer of conglomerates of the Kuma Group at the outcrop of right bank. (6) Foliated fault gouge-breccia of dolomitic schist at boundary of the Izumi Group. DI: dolomitic schist, Co: conglomerate of the Kuma Group, Iz: Izumi Group

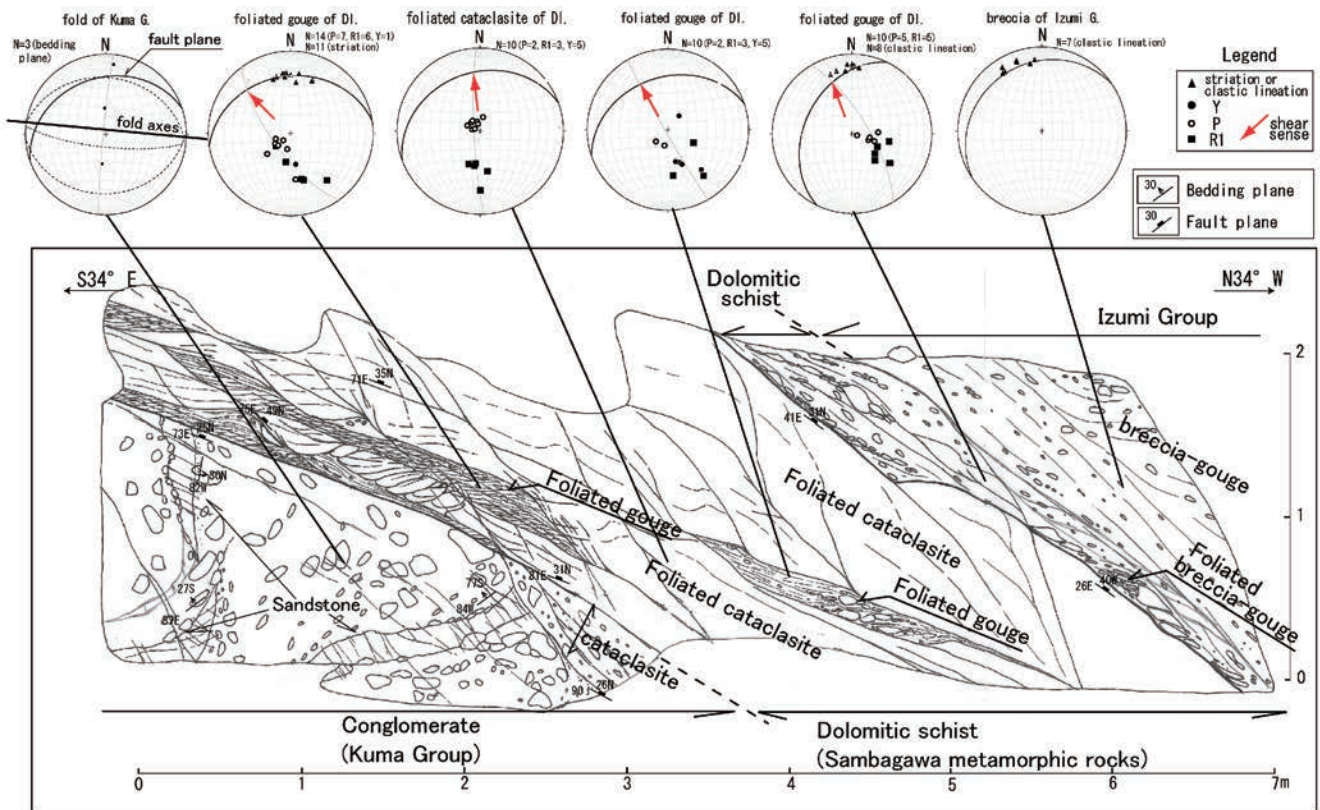


Fig. 4 Sketched outcrop of the Tobe Thrust at the left bank. Note that the complex deformation structure of the dolomitic schist, which consists of foliated cataclasite and foliated gouge layers. In contrast, conglomerates of the Kuma Group show the dragged fold with a south-vergence fold plane and an east-west-trending axis, and the cataclasites of the conglomerates are developed along the fault plane. See text for further explanation. Poles of P foliation, R1 shear, and Y shear (equal-area and lower-hemisphere projections), and shear sense (allows) are shown in the upper stereonet diagrams.

ら、正断層運動に伴う破碎と考えられている（高木ほか、1992）。ドロマイト質片岩北側の和泉層群の砂岩泥岩互層も同様に強く破碎されている。ドロマイト質片岩との境界より北側 3m 程度の範囲では、礫状に破碎されており、層構造は認められない。

3. 変形構造の記載とせん断センスの推定

3.1. 久万層群

久万層群の断層沿いの変形構造は、幅 0.3m 以下の破碎帯と衝上運動による引きずりで形成された南フェルゲンツの向斜構造である (Fig. 4)。破碎帯は固結したカタクレサイトであり、主に久万層群の砂岩礫や片岩礫を含む (Fig. 3 (4))。片岩礫はドロマイト質片岩、泥質片岩、および緑色片岩である。左岸側の露頭では、上部に破碎帯が認められない (Fig. 4)。右岸側の露頭ではこのカタクレサイトに上盤のドロマイト質片岩が破碎されて取り込まれており、見かけ逆断層のシアレンズを形成している (Fig. 3 (5))。このカタクレサイトは、剪断面の発達が不明瞭であり、礫は堆積時の礫形状を残すものが多い。さらに、久万層群由来の礫の長軸方位を統計的に調査した結果、断層面よりも 0.3m 以上離れた範囲では、東-西~東北東-西南西の姿勢が一般的に認められるのに対して、断層面よ

りも 0.3m 以内では、東-西方向に加え、北北東および北北西方向で北へプランジする姿勢が認められた (Fig. 5)。これは、断層面沿いの引きずりによる長軸の再配列によるものと考えられる。また、断層面沿いの南フェルゲンツの褶曲軸面はほぼ東西走向であり、断層面の走向に対して低角度で斜交する (Fig. 4)。

3.2. ドロマイト質片岩

高木ほか(1992)で報告されているように、ドロマイト質片岩は、全体に片理面が顕著に発達しており、剪断されて著しく変形を受けて固結した葉片状カタクレサイトである (Fig. 3 (3))。また、ドロマイト質片岩の基底部と内部および上盤側の和泉層群との境界にはガウジが分布し、断層沿いには葉片状カタクレサイトが発達するドロマイト質片岩を破碎して、R1, P, Y 面の複合面構造 (Rutter *et al.*, 1986) が顕著に発達する。この複合面構造を計測した結果、基底部および内部のガウジ沿いでは、上盤が北西方向へ移動する正断層センスが確認された (Fig. 4)。久万層群と接する基底部の断層面に分布する条線は北へプランジを示し、複合面構造が示す北西方向への運動センスとは若干異なる。また、上盤側の和泉層群との境界では、ドロマイト質片岩が礫状に破碎されて固結した葉片状断層角礫~葉片状ガウジが分布する (Fig. 3 (6))。ここでは上盤が北北西~北方向へ移動する正断層センスが確認された (Fig.

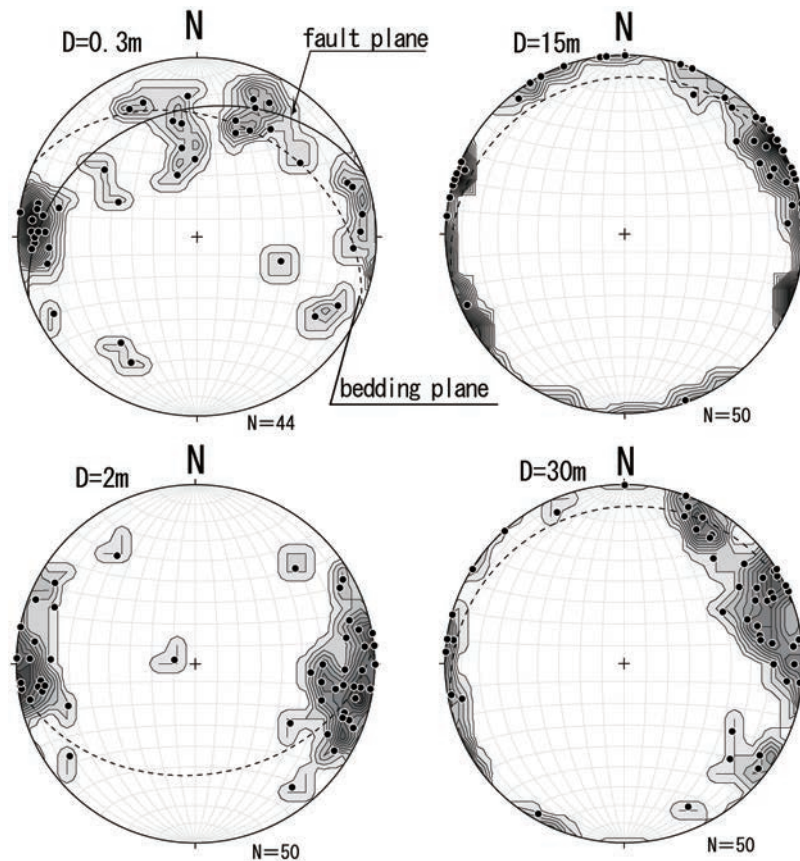


Fig. 5 Equal-area and lower-hemisphere projections (contour diagram) of the major axes of conglomerate in the Kuma Group at each distance from the MTL. Fault plane of the Tobe Thrust and bedding plane are indicated by solid and dashed great circles, in each projection. N: Number measured major axis. D: distance from the MTL. Contour lines with gray scales show the densities of the poles, which are determined as a percentage of the total number of poles per 1% area of the stereogram. The data are projected on Schmidt's net diagrams by using the Stereonet 8 (Allmendinger, 2013).

4). ドロマイト質片岩の全体に発達する葉片状カタクレーサイトの構造には、上盤が北方向へ移動する正断層センスが認められる (Fig. 4)。したがって、本露頭におけるドロマイト質片岩の基底部、内部、および上盤の和泉層群の境界の運動センスは、いずれにおいても上盤が北西～北方向へ移動する正断層センスを示す。

3. 3. 和泉層群

ドロマイト質片岩の葉片状断層角礫の上盤に、和泉層群の破碎帯である幅 3m 程度の砂岩泥岩からなる断層角礫が分布する (Fig. 4)。複合面構造の発達是不明瞭であるが、岩片の長軸は南北方向に配列しており、下盤のドロマイト質片岩の葉片状断層角礫と調和的な線構造が確認される (Fig. 4)。境界付近では両者の岩片が激しく混在し、構造が不明瞭である。和泉層群の断層角礫の北側には幅 2m 程度の範囲で、N66°E 38°N ~ N86°E 30°N の正断層が数条分布しており、北側のプーディナージ構造が発達した砂岩泥岩互層と接する。

4. 各時階の運動像の考察

4. 1. 砥部時階

これまでに砥部時階の衝上運動による変形構造は、断層面の下盤の久万層群に発達する引きずり変形(高橋, 1992)とドロマイト質片岩の衝上(高木ほか, 1992)の記載があるのみであった。本研究による変形構造解析は、上盤が南南東～南南西方向へ移動したことを示す。久万層群の長軸の再配列や南フェルゲンツの褶曲軸面から、上盤が南方向へ移動する逆断層センスが推定され、そのセンスは既往研究結果と整合的である。また、ドロマイト質片岩との境界の断層面沿いに分布する幅 0.3m 程度のカタクレーサイトには、見かけ逆断層センスの変形を示すドロマイト質片岩のシアレンズが分布し(本研究)、また、ドロマイト質片岩以外の片岩礫も含まれることが知られている(竹下, 1991)。おそらくこの片岩礫は、衝上運動に伴い基盤である三波川結晶片岩類との不整合面沿いに分布していた久万層群の片岩礫がまきあげられたものであり、カタクレーサイトはこの時に形成された破碎帯であると考えられる。このカタクレーサイトの剪断面の発達是不明瞭であり、礫は堆積時の礫形状が残すものが多く、断層の引きずりによる礫の配列

も生じている。これらのことから、久万層群が比較的軟質な時期に MTL 砥部時階の南南東～南南西方向への衝上運動が起きたと推定される。

4. 2. 石鎚時階

ドロマイト質片岩の基底部、内部、および上盤側の和泉層群との境界に発達する葉片状カタクレサイトの変形構造解析は、上盤が北西～北方向へ移動する正断層センスを示した。高木ほか(1992)は、ドロマイト質片岩のガウジの条線や薄片観察から上盤が北へ移動する正断層運動センスを確認しており、本研究の結果と整合的である。しかし、ドロマイト質片岩の葉片状カタクレサイトに関して、竹下(1991)は、その微小割れ目沿いに白雲母や緑泥石などの緑色片岩相を示す熱水変質鉱物が大量に形成されているが、和泉層群の破碎帯には白雲母と緑泥石の成長や石英の塑性変形などの変形条件は認められないことから、両者の形成環境・時期が異なることを指摘している。本研究では、ドロマイト質片岩に発達するガウジがカタクレサイトを破碎していることを確認しており (Fig. 4)、カタクレサイトの形成時期は石鎚時階よりも古い可能性がある。高木ほか(1992)は、本露頭のドロマイト質片岩の基底部のガウジのうち、久万層群の境界面より 5cm 以内の箇所の雲母鉱物の K-Ar 年代測定を行い、最も若い年代値として $14.7 \pm 0.8\text{Ma}$ を報告している。したがって、少なくともドロマイト質片岩の基底部、内部、および上盤側の和泉層群との境界に分布する葉片状ガウジは石鎚時階 (15-14Ma) MTL の活動に伴い形成した破碎帯であり、その運動センスは上盤側の和泉層群が北西～北方向へ移動する正断層センスであったと考えられる。

Kubota and Takeshita (2008) や竹下 (2010) は、ドロマイト質片岩に観察される葉片状カタクレサイトについて、33-25Ma の K-Ar 年代測定結果が示されていること (高木ほか, 1992) から、砥部時階以前の先砥部時階の断層運動により形成した可能性を指摘している。しかし、本露頭は砥部時階や石鎚時階の変形が重複している露頭であるため、先砥部時階の運動センスを検討するのに十分な露頭とは言い難い。現在、他地区において先砥部時階の変形が記録された断層露頭の検討を進めており、その詳細は別論文で報告する。

謝辞

北海道大学大学院の竹下徹教授には、貴重な助言をいただいた。深く感謝いたします。岡山理科大学の青木一勝博

士、および株式会社森山地質年代学研究所の八木公史博士により丁寧に校閲していただいた。深く感謝いたします。

引用文献

- Allmendinger, R. W. (2013) Stereonet 8. <http://www.geo.cornell.edu/geology/faculty/RWA/programs/stereonet.html>, 2015/06/22.
- Ichikawa, K. (1980) Geohistory of the Median Tectonic Line of Southwest Japan. *Memoirs of the Geological Society of Japan*, 18, 187-212.
- 鹿島愛彦・武智賢樹 (1996) 四国, 石鎚山第三系久万層群の凝灰岩のフィッシュントラック年代. 岩鉱, 91, 196-200.
- Kobayashi, T. (1941) The Sakawa orogenic cycle and its bearing on the Japanese Island. *Journal of Faculty of Science of the University of Tokyo*, Section 2, 5, 219-578.
- Kubota, Y. and Takeshita, T. (2008) Paleocene large-scale normal faulting along the Median Tectonic Line, western Shikoku, Japan. *Island Arc*, 17, 129-151.
- 桃井 齊・鹿島愛彦・高橋治郎 (1991) 第4版 20万分の1地質図及び同説明書「愛媛県の地質」. トモエヤ商事, 松山, 86p.
- 成田耕一郎・山路 敦・田上高広・栗田裕司・小布施明子・松岡敷充 (1999) 四国の第三系久万層群の堆積年代とその意義. 地質学雑誌, 105, 305-308.
- Rutter, E. H., Maddock, R. H., Hall, H. and White, S. H. (1986) Comparative microstructures of natural and experimentally produced clay-bearing fault gouges. *PAGEOPH*, 124, 3-30.
- Shibata, K. and Nozawa, T. (1968) K-Ar ages of granitic rocks of Ashizurimisaki, Takatsukiyama and Omogo, Japan. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, 19, 223-228.
- 須鎗和巳・阿子島 功 (1974) 四国島の中央構造線の諸問題 - 四国中央部における中央構造線, 徳島大学教養部紀要 (自然科学), 7, 25-42.
- 高木秀雄・竹下 徹・柴田 賢・内海 茂・井上 良 (1992) 四国西部, 砥部衝上断層における中新世中期の正断層運動. 地質学雑誌, 98, 1069-1072.
- 高橋治郎 (1992) 愛媛県域の中央構造線の活動史. 地質学論集, 40, 99-112.
- 竹下 徹 (1991) 中央構造線砥部衝上断層に沿う優白色岩の変形微細構造とその意味. 地質学雑誌, 97, 175-178.
- 竹下 徹 (2010) 日本海拡大時の中央および西南日本前弧域テクトニクス. 地学雑誌, 119, 347-361.
- 竹下 徹・田中秀美・板谷徹丸 (2000) 四国西部 '石鎚山第三系' の K-Ar 年代とその意味. 地質学雑誌, 106, 308-311.