巡検案内書

四国西部の中央構造線断層帯の地形と地質*

Tectonic landform and geology of the Median Tectonic Line Fault Zone in western Shikoku, southwest Japan*

池田倫治¹ 後藤秀昭² 堤 浩之³

概要

Michiharu Ikeda¹, Hideaki Goto² and
Hiroyuki Tsutsumi³

2017年1月28日受付.

2017年6月12日受理.

* 日本地質学会第124年学術大会(2017年・愛媛)
巡検(Bコース)案内書

¹ 株式会社四国総合研究所土木技術部
Department of Civil Engineering, Shikoku
Research Institute Incorporation, 2109-8 Yas-
himanishi-machi, Takamatsu 761-0192, Ja-
pan

² 広島大学大学院文学研究科地理学教室
Department of Geography, Graduate School
of Letters, Hiroshima University, 1-2-3
Kagamiyama, Higashi-Hiroshima 739-8522,
Japan

³ 同志社大学理工学部環境システム学科
Department of Environmental Systems Sci-
ence, Faculty of Science and Engineering,
Doshisha University, Kyotanabe, Kyoto 610-
0394, Japan

(注) 本原稿の PDF カラー版が J-STAGE でご覧い
ただけます.

<https://www.jstage.jst.go.jp/browse/geosoc/-char/ja>

西南日本の地体構造を考える上で中央構造線は欠くことのできない地質要素のひとつである(以下では, 便宜的に地質境界の中央構造線を表現する場合には「中央構造線」を, 活断層としての中央構造線を表現する場合には「中央構造線活断層系」を, また両方の断層を包括して表現する場合には「中央構造線断層帯」を用いる). 中央構造線断層帯は長い活動史を持ち, 白亜紀に西南日本内帯/外帯の地質境界として形成されてから, 現在もその一部が活断層として活動している. しかし中央構造線と中央構造線活断層系の地下深部構造については現在も議論の分かれているところである. 一方で, 全長 400 km 以上にわたる横ずれ活断層の破壊過程には不明な点が多いため, 地震防災上も注目され地質学的のみならず地震学的にも研究が進められている. 特に 1995 年兵庫県南部地震以降, 正確な断層分布の把握, 最新活動時期, 活動間隔あるいは変位量といった断層活動性評価に資する情報が急速に蓄積されてきた. さらに, その様な活動性情報の収集は, 長大横ずれ断層である中央構造線活断層系の断層セグメンテーションの検討を促進し, その結果, 断層破壊過程あるいは発生する地震の規模予測の議論へと展開されている.

本巡検では, 四国西部の中央構造線と中央構造線活断層系を時空間的に意識しながら断層露頭を訪れ, 地質境界の産状および活断層地形を観察する. また, 中央構造線の活動で形成された第二瀬戸内層群である郡中層の産状についても観察し, 様々なフェーズにおける中央構造線断層帯の運動像に迫る.

Keywords

Median Tectonic Line, Median Tectonic Line active fault system, northwest Shikoku, Gunchu formation, fault outcrop, fault displaced topography

地形図

1 : 25,000 「伊予小松」, 「伊予川内」, 「松山南部」, 「砥部」, 「上灘」
都市圏活断層図

1 : 25,000 「西条」, 「松山」, 「郡中」

見学コース

9:00 愛媛大学出発(バス)→松山 IC→西条市丹原町(STOP1:湯谷口の断層露頭, 臼坂における断層変位地形)→STOP2 砥部衝上断層露頭(昼食)→STOP3 伊予断層帯(伊予断層, 米湊断層および本郡断層)→STOP4 郡中層→17:30 松山空港→18:00 松山駅(解散)

見学地点

Stop 1	(34°51'22"N, 133°00'46"E)	西条市丹原町湯谷口
	(33°51'20"N, 133°00'21"E)	西条市丹原町臼坂
Stop 2	(33°43'54"N, 132°47'45"E)	伊予郡砥部町岩谷口
Stop 3	(33°43'54"N, 132°41'39"E)	伊予市市場
	(33°43'47"N, 132°41'28"E)	伊予市三秋
	(33°42'24"N, 132°39'47"E)	伊予市双海町高野川
	(33°44'33"N, 132°41'24"E)	伊予市本郡
Stop 4	(33°43'55"N, 132°40'23"E)	伊予市森

はじめに

中央構造線は、西南日本を内帯と外帯にわける地質境界であり、四国地域では、領家帯と三波川帯の構造境界をなしている(以下では、便宜的に地質境界の中央構造線を表現する場合には「中央構造線」を、活断層としての中央構造線を表現する場合には「中央構造線活断層系」を、また両方の断層を包括して表現する場合には「中央構造線断層帯」を用いる)。中央構造線の形成は白亜紀頃と考えられており、現在も活動を継続している非常に長い活動史を持つ断層である(例えば、Kubota and Takeshita, 2008; 水野・青矢, 2013; 岡田, 2016; 高橋, 2016 など)。長期の活動史の中では、周辺のプレート運動の変化に伴って活動環境の変化も生じている。特に、中期中新世の日本海の拡大イベントあるいはフィリピン海プレートの沈み込み方向の変化によって、西南日本のテクトニクスは大きな影響を受けている。このようなテクトニクス場の変化に伴って、初期に形成された地質境界に近接して並走もしくは雁行する活動時期の異なる断層群が複雑な断層分布形態をなしている(例えば、Kubota and Takeshita, 2008; 水野・青矢, 2013; 岡田, 2016; 高橋, 2016 など)。つまり、今後の中央構造線活断層系の活動性評価を検討していく上でも、過去の断層活動がどのようなものであったのかということの解明することは重要である。

四国の中央構造線断層帯については、10年前の高知大会で見学旅行が実施されている。今回の一部の見学地点はその時の見学地点と重複するが、今回は特に四国中央部から西部にかけて分布する時代の異なる活動の痕跡を観察出来る代表的な断層露頭あるいは断層地形を観察する。

中央構造線断層帯周辺の地質概要

1. 領家帯変成岩類および花崗岩類

四国北西部地域では、主に高縄半島に領家帯変成岩類および花崗岩類が分布する(Figs. 1, 2)。変成岩類は、地域南部で和泉層群に不整合に覆われ、北部では花崗岩類の貫入を受けている。原岩は、主に砂岩・泥岩および砂泥互層であり、一

部に苦鉄質岩を伴う。また、凝灰質変成岩から、後期三疊紀～ジュラ紀初頭の放散虫化石が報告されている(鹿島・増井, 1985)。領家帯変成岩類は、角閃岩相程度の広域変成作用を被っているが、一部では接触変成作用を被っている。変成岩類から得られた約100～90 Maのモナザイト CHIME 年代値(Suzuki and Adachi, 1998)は花崗岩類の形成年代(約100～68 Ma: Kagami et al., 1988 および Yuhara et al., 2000 など)とほぼ同じ範囲に入ることから、花崗岩類の貫入と変成作用がほぼ同時期であったと考えられている。

2. 和泉層群

和泉層群は、中央構造線の北側に沿って分布する後期白亜紀の海成層である(Figs. 1, 2)。主として砂岩泥岩互層からなり、礫岩、凝灰岩を伴う。四国北西部の北縁では領家帯変成岩類もしくは領家花崗岩類を不整合に覆い、南縁では三波川変成岩類あるいは久万層群と中央構造線を挟んで接する。また一部の地域では久万層群および石鏡層群に不整合で覆われる。化石およびFT年代に基づく、四国西部の和泉層群の地質年代は後期白亜紀(初期～中期カンパニアン期)と推定されている(西村, 2016)。

和泉層群は、全体的に東方に軸傾斜する向斜軸を持つ向斜構造を呈する。向斜軸は分布域の南部にあり、中央構造線は向斜構造の南翼を切断する。西村ほか(1980)によれば、堆積盆の中心は堆積環境の著しい変化を伴わずに西方から東方に順次移動し、和泉層群の各時期の堆積物は東方への海進に伴い次々とオーバーラップしたと考えられている。また Taira et al. (1983) および 宮田 (1996) は、和泉層群は白亜紀後期の中央構造線の左横ずれ運動にともなって生じたブルーパート堆積盆の堆積物であると解釈している。

3. 三波川変成岩類

三波川変成岩類は中央構造線の南側に分布し、主として泥質片岩、塩基性片岩、珪質片岩および砂質片岩で構成される(Figs. 1, 2)。四国中央部から東部にかけては泥質片岩が、四国西部では塩基性片岩が広く分布する。一般に片理面の走向はE-W～WNW-ESEであり、北部の中央構造線付近で急傾斜構造を示すが、南部では緩傾斜構造となる。

Fig. 1. a) Distribution of active faults and topography in Shikoku. b) Simplified geological map showing the location of the Median Tectonic Line (MTL) fault zone in Shikoku. The relief map is based on a 5 m digital elevation model from the Geospatial Information Authority of Japan.

Fig. 2. Distribution of the Median Tectonic Line fault zone on a simplified geological map of northwest Shikoku. Observation points of this excursion are also shown on the map. MTL: Median Tectonic Line, MTLAFS: Median Tectonic Line active fault system.

三波川変成岩類の原岩年代として、三畳紀のコノドント化石が報告されているが(松田, 1978; 須槍ほか, 1980), 最近の碎屑性ジルコンを用いた検討によれば, 原岩年代は古くと

も 100 Ma 以降である(Aoki et al., 2007, 2009; 大藤ほか, 2010 など). 一方で変成年代として約 95~60 Ma の K-Ar および Ar-Ar 年代値が得られているが, その変成年代値の

一部は、前述した碎屑性ジルコンの年代値よりも有意に古い。そのため、年代測定法に関する再検討の余地が残されている(榊原, 2016)。

炭質物結晶を用いた中央構造線の断層運動時の剪断熱の検討も進められており、Mori et al. (2015)によれば、中央構造線近傍 150 m 以内では最高で約 60°C の温度上昇を示すとされている。また、中央構造線周辺において検出された熱異常は、長期間にわたり繰り返した断層運動による熱の累積温度上昇の記録と考えられている(Mori et al., 2015)。

4. 新第三系・第四系

4.1. 久万層群 久万層群は、愛媛県から高知県の四国山地西部に広く分布し、三波川変成岩類および和泉層群を不整合に覆う河川成あるいは湖沼成の堆積物である(木原, 1985; 楠橋・山路, 2001; 越智ほか, 2014) (Figs. 1, 2)。本層群は、中新世の日本海拡大時に西南日本弧内に形成された内陸堆積盆を埋積した堆積物である(楠橋・山路, 2001; 竹下, 2010)。本層群は中央構造線の活動により変形していることから、中央構造線の活動史に関して制約を与え得る地層群である(例えば、竹下, 1993, 2010; 竹下ほか, 2000; 越智ほか, 2014)。

久万層群は、当初、三波川結晶片岩の角礫岩からなる二名層と、その上位に重なり、和泉層群および領家帯由来の円礫岩が卓越する明神層に区分された(Nagai, 1957)。その後、成田ほか(1999)は、本層群は下位より三波川結晶片岩礫で構成される古岩屋層、和泉層群および領家帯由来の花崗岩類の円礫岩ならびに砂岩泥岩互層を主体とする嵯峨山層、砂岩礫岩互層および砂岩泥岩互層を主体とする狩場層そして砂岩や花崗岩類に由来する円礫岩を主体とする富重層の区分を提案した。同時に、成田ほか(1999)は、久万層群の一部と考えられていた、愛媛県上浮穴郡久万高原町披和田鶴田峠付近ならびにその西方の二名地域の極限られた地域に分布する細礫岩層(ひわだ峠層)を、後述するように久万層群とは堆積年代が大きく異なることから、同層群から除外した。また越智ほか(2014)は、久万層群は下位で主に三波川変成岩類の碎屑物で構成される古岩屋層と、上位で主に砂岩や花崗岩の碎屑物からなる明神層とで構成されると再定義している。

本層群から凝灰岩の FT 年代として 16.5 ± 0.7 Ma(鹿島・武智, 1996)、 16.8 ± 1.1 Ma および 18.4 ± 1.5 Ma(成田ほか, 1999)の年代値が報告されている。また、黒雲母 K-Ar 年代として 16.9 ± 0.4 Ma および 15.5 ± 0.4 Ma の年代値が報告されている(竹下ほか, 2000)。これらの年代値から、本層群は前期中新世から中期中新世の堆積物と考えられている(成田ほか, 1999; Kubota and Takeshita, 2008)。一方、ひわだ峠層の堆積年代は前期始新世と考えられている(成田ほか, 1999)。ひわだ峠層は、三波川結晶片岩類を不整合で覆う最も古い地層であり、堆積年代の下限は約 50 Ma である(成田ほか, 1999)。ひわだ峠層には三波川変成岩類の礫が含まれることから、三波川変成岩類の一部が約 50 Ma までに地表に露出し、剝削を受けたことを示唆している(例えば、Wallis et al., 2000)。

近年、久万層群と上位に重なる石鎚層群との境界部におい

て、久万層群が堆積直後の未固結時に石鎚層群の安山岩質溶岩に接触して形成されたペペライトが発見されたことから、両者間に大きな堆積間隙が存在しない可能性が示唆されている(Chiba and Sakakibara, 2006)。

4.2. 石鎚層群 石鎚層群は、中期中新世の酸性火山碎屑岩類および貫入岩類を主体とする地層であり、石鎚コールドロンの西方へ広範囲に分布する(Figs. 1, 2)。石鎚層群は、下位から主に火砕流堆積物で構成される高野累層、安山岩質火砕岩類および溶岩流からなる黒森峠累層、デイサイト質凝灰岩、輝石安山岩質～流紋岩質溶岩からなる皿ヶ峰嶺累層で構成される。

本層群は、久万層群および和泉層群を不整合に被覆し、中央構造線を覆って内帯と外帯の両域に分布している(永井・堀越, 1953)。また、和泉層群、三波川変成岩類および中央構造線の断層破碎部に貫入している酸性～中性火山岩類も本層群に対比されている(堀越, 1964)。この酸性～中性火山岩の貫入岩体の主要なものに、川内町の土谷岩体、犬寄屈曲に沿った明神山岩体がある。明神山岩体の構造運動による破碎の程度は軽微であるが、土谷岩体は中央構造線付近で顕著な破碎産状を呈する(田崎ほか, 1993)。

石鎚層群を構成する酸性火山岩および中央構造線の断層破碎部に貫入している酸性～中性火山岩類から約 15 Ma(田崎ほか, 1990, 1993) および約 12.9 Ma(柴田ほか, 1989) の K-Ar 年代が報告されている。

4.3. 第二瀬戸内累層群 四国西部地域には、中央構造線に隣接する平野の縁辺部に鮮新世後期～更新世の河成～湖成層が分布する(Figs. 1, 2)。これらの堆積時期は 2～1 Ma と推定されている(水野, 1992)。これらの第二瀬戸内累層群は沖積平野の地下に分布し、瀬戸内海の下海底にも広く分布する(斎藤ほか, 1972; 緒方, 1975)。主要なものとして道前平野の岡村層(水野, 1987)、松山平野の郡中層、八倉層、鳥ノ子層および三秋層(長谷川, 1992)が挙げられる(水野, 1992 など)。これらの地層は、メタセコイアの産出、あるいは火山灰層の FT 年代から更新世前期(～中期)の地層と推定されている(水野, 1987)。郡中層については後述するため、ここではそれ以外の地層について概略を記載する。

岡村層は、愛媛県小松町、西条市、新居浜市周辺に分布する。岡村層は礫層を主体とし、粘土層、砂層を挟む河川～小規模な湖沼成の堆積物であり、層厚は 70 m 以上である。岡村層には火山灰層(岡村火山灰層(水野, 1992))が挟在されており、その FT 年代は 1.4 ± 0.2 Ma である。

鳥ノ子層は高縄山地南麓部の川内町川上から松瀬川にかけての丘陵およびその北方の山地に分布する。長谷川(1992)によれば、本層は北側の山地から供給された和泉層群砂岩を主体とする碎屑物からなる。また、本層は、川上断層の両側の和泉層群を不整合に覆い、段丘堆積物および沖積層に不整合に覆われている。本層中の火山灰層から 0.53 ± 0.15 Ma の FT 年代が得られていることから、本層は更新世前期～中期の堆積物と考えられる(長谷川, 1992)。

八倉層は和泉層群を不整合に覆い、松山市南方の伊予市から砥部町にかけての丘陵地に分布する(高橋ほか, 1984)。本

Fig. 3. Schematic diagram showing the tectonic development of the Median Tectonic Line fault zone.

層は非常に淘汰の悪い礫層からなるが、その構成礫は一般に良く円磨されている。また砂、シルト、粘土の各薄層を挟在する。礫種はほとんどが中新統石鎚層群由来の安山岩類および凝灰岩であり、和泉層群の砂岩および頁岩、領家花崗岩類およびホルンフェルス、まれに三波川結晶片岩類が混在する。本層の碎屑物は主として南ないし南東から供給されており、層相から扇状地成堆積物と判断される。

三秋層は、伊予断層の南東側の丘陵頂部および伊予断層の北西側の丘陵斜面の一部に分布する固結度の高い礫層である。本層は和泉層群をほぼ水平に不整合で覆う礫層で、まれにシルト層あるいは砂層を挟む。層相および分布から伊予断層沿いの凹地に堆積した河成あるいは崖錐堆積物と推定される。本層は上部が剝削されているが、10 m以上の厚さを有する。本層中の火山灰からは 0.96 ± 0.23 Ma の FT 年代が得られている(長谷川, 1992)。

4.4. 段丘堆積物 平野の周辺部には、扇状地成の粗粒な砂礫層からなる河成段丘面群が形成されている。これらは、比高、開析の程度、構成礫の風化度に基づき高位、中位、低位の各段丘に区分される(岡田, 1973)。そして、高位段丘が多摩面(15~50 万年前)に、中位が下末吉面(10~15 万年前)に、低位が武蔵野面(6~8 万年前)、立川面(1.5~3 万年前)等に概ね相当すると考えられた。広域火山灰などによって時代が確認された段丘は従来少なかったが、近年その発見が各

所で続いており、低位段丘については年代がほぼ確立してきた(岡田・堤, 1990)。これらの段丘堆積物は、中央構造線活断層系の活動の変遷を検討する上で重要な指標を提供する。

中央構造線断層帯の活動史

中央構造線断層帯の活動史については、多数の研究があり、それぞれの研究で少しずつ異なる。ここでは主に最近の研究である Kubota and Takeshita (2008) および水野・青矢 (2013) に基づいて話を進める。Kubota and Takeshita (2008) では、四国の中央構造線断層帯周辺の断層の運動史は以下のようにまとめられている (Fig. 3)。

- ①後期白亜紀以前(83 Ma 以前)の左横ずれ運動(鹿塩時階)
- ②和泉層群堆積時(82~77 Ma)の左横ずれ運動
- ③暁新世-前期始新世(63~58 Ma)の正断層運動(市ノ川時階)
- ④中期始新世-後期漸新世の北上がり成分を持つ左横ずれ運動(先砥部時階)
- ⑤久万層群の堆積時(18~16 Ma)の花山断層の正断層運動
- ⑥中期中新世(15 Ma)の衝上断層運動(砥部時階)
- ⑦第四紀の右横ずれ運動

以下では新第三紀以前の中央構造線の活動(①~⑥)と第四

紀の活動(⑦)とに分けて説明する。

1. 新第三紀以前の中央構造線の活動

①後期白亜紀以前(83 Ma 以前)の左横ずれ運動

この時期は、Kobayashi(1941)の鹿塩時階に相当する。この活動時階は、中央構造線の近傍の領家帯に発達する鹿塩マイロナイトの形成時期で、中央構造線の誕生期とされている。この時期の中央構造線は、低角北傾斜断層面が左横ずれ変位する活動で特徴づけられる。その活動時期は良く限定されないが、領家花崗岩の貫入中あるいは貫入後であろうと考えられている。Kubota and Takeshita(2008)では、この活動時階の時期はIchikawa(1980)に基づいて83 Ma 以前と推定されている。

一方で、高木(1997)は、地質学および年代学的データを基に中部地方の中央構造線に沿った領家帯に発達するマイロナイトの形成時期について検討している。その結果によれば、95~85 Ma(鹿塩時階1期左横ずれ剪断変形)および70~65 Ma(鹿塩時階2期左横ずれ剪断変形)の2回のマイロナイトの形成時期が推定されている。つまり、ここで注目している、後期白亜紀以前(83 Ma 以前)の左横ずれ運動は、高木(1997)で定義されている95~85 Ma に起こった鹿塩時階1期左横ずれ剪断変形に相当する。

②和泉層群堆積時(82~77 Ma)の左横ずれ運動

この時期は、左横ずれ変位の活動に伴い和泉層群が堆積する時期と考えられている。Kubota and Takeshita(2008)では、和泉層群から得られた放散虫化石および領家花崗岩に貫入する酸性火山岩の貫入岩のK-Ar年代などからこの活動時階の時期が82~77 Ma と推定されている。しかし、近畿地方から報告されている和泉層群の若い堆積年代はマーストリヒチアン期(71~65 Ma: Gradstein et al., 2004)であることを考慮すると、この時期にも中央構造線の活動は継続していたと考えるのが妥当である。またこの時期は、前述した高木(1997)で推定された後半のマイロナイト化時期(70~65 Ma)である鹿塩時階2期左横ずれ剪断変形の時期と重なる。

一方で、水野・青矢(2013)では、この和泉層群が堆積する際の中央構造線の運動を新たに和泉時階として定義しており、左横ずれ変位の活動は和泉層群の堆積を持って終了したと考えている。いずれにしても、この和泉層群堆積時の中央構造線の活動時階(和泉時階)から次の市ノ川時階にかけて中央構造線の運動が、左横ずれ運動から正断層となり、その活動の枠組みが大きく変化したと考えられている。

③暁新世-前期始新世(63~58 Ma)の正断層運動(市ノ川時階)

この時期は、Kobayashi(1941)の市ノ川時階に相当する。この活動時階は三波川変成岩の上昇を引き起こした正断層運動で特徴付けられる活動時階である。この時階では、おおむね北傾斜の中央構造線に沿って上盤北の運動が起こっている。Kubota and Takeshita(2008)では、この時階の時期はひわだ峠層が堆積する前であり、中央構造線の断層ガウジのK-Ar年代(柴田ほか, 1989; 高木・柴田, 1992)を参考にすると、63~58 Ma と推定されている。

一方で、水野・青矢(2013)は、市ノ川時階を和泉層群の堆積終了後から広義の久万層群の堆積時までの時期としている。これは、Kubota and Takeshita(2008)で、中央構造線近傍の和泉層群に正断層変位を示す小断層群が報告されていることに加えてFukunari and Wallis(2007)および楠橋・山路(2001)で砥部地域から面河地域の久万層群には、久万層群堆積時にも中央構造線が正断層として運動していた痕跡が残されていることに基づいた解釈である。この解釈では、市ノ川時階が後期白亜紀から前期中新世まで長期期間にわたることになる(Fig. 3)。しかし、後述するようにKubota and Takeshita(2008)では、詳細な構造解析からこの間に南北圧縮の活動環境が生じたことが示されている。つまり、市ノ川時階の正断層の活動環境とその後の久万層群の堆積を引き起こした正断層の活動環境は異なる運動と考えるのが妥当と思われる。

④中期始新世-後期漸新世の北上がり成分を持つ左横ずれ運動

この活動時階は、Kubota and Takeshita(2008)で先砥部時階として定義されたものである。この活動時階は、和泉層群内の重信川断層の活動で形成された大規模な褶曲構造および北部和泉帯が南部和泉帯に衝上する構造から、南北圧縮運動で特徴づけられる活動時階である。また、山北ほか(1995)によれば、九州の佐志生断層に関する調査結果に基づく、前期漸新世(K-Ar年代: 33~34 Ma)頃には中央構造線が左横ずれ成分の卓越した低角北傾斜の斜め衝上断層であることを指摘している。これらの情報を総合してKubota and Takeshita(2008)では、この活動時階に中央構造線は左横ずれ成分を持つ低角北傾斜の斜め衝上運動が起こっていたと考えている。またその時期は、断層ガウジのK-Ar年代測定結果から、45~25 Ma に起こった可能性が高いとしている。

⑤久万層群の堆積時(18~16 Ma)の花山断層の正断層運動

これは中央構造線の活動時階ではなく、花山断層の活動である。Kubota and Takeshita(2008)では、後述するように、この断層はこの後の時階である砥部時階の時に活動した花山衝上断層と同一の断層である。久万層群は、堆積と同時に形成されていたハーフグラベン構造を埋積した扇状地成堆積物であり、花山断層はそのハーフグラベン構造の発達に寄与したと考えられている。久万層群の堆積時期は、FT年代あるいはK-Ar年代から18~16 Ma と推定されていることから、この花山断層の正断層運動の時期も同時期と推定されている。

⑥中期中新世(15 Ma)の衝上断層運動

この活動時階は砥部衝上断層の形成時期であり、Kobayashi(1941)の砥部時階に対応する。砥部時階の断層活動についてはこれまで主に3つの解釈が提案されている(Fig. 4)。まず、高木ほか(1992)は、三波川変成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、北側の和泉層群が南側の久万層群に衝上する過程で地下から引きずりあげられたものと推定している(Fig. 4a)。

Fig. 4. Schematic diagrams (north-south cross-sections) in the area along the Median Tectonic Line, northwestern Shikoku, from a) Takagi et al. (1992), b) Kubota and Takeshita (2008), and c) Takeda (1996).

一方で、砥部衝上断層は三波川変成岩類中に形成された断層であり、中央構造線が再活動した断層ではないという解釈も提案されている(高橋, 1986; 竹下, 1993; Kubota and Takeshita, 2008) (Fig. 4b). このモデルでは、久万層群堆積時に南傾斜の正断層の活動があり(花山断層)、久万層群堆積盆が形成された(竹下, 1993). そしてその後、その南傾斜の花山断層が北側へのし上げる衝上断層(花山衝上断層)として再活動する際に派生的に形成された衝上断層が砥部衝上断層だとしている。

さらに、武田(1996)は、花山衝上断層と砥部衝上断層との構造関係について次の様な異なる解釈を提案している (Fig. 4c). 砥部衝上断層は市ノ川時階で形成された中央構造線の再活動であり、花山衝上断層は砥部衝上断層から枝分かれた断層である。この両断層の構造関係はトランスプレッションのテクトニクスで特徴的な正の花弁構造(Woodcock and Fisher, 1986)に類似する。北谷衝上の断層面上で観察された条線が南西-北東を示すことから、花山衝上断層に付随する北谷断層は南西-北東の横ずれ運動を示す。したがって、この椰子の木構造は左横ずれのトランスプレッショ

ン場で生じたと推定される。このことは、中央構造線の左横ずれ運動は、市ノ川時階の前に終了しているという水野・青矢(2013)の指摘とは一致しない。

いずれにしても久万層群の上位の石鎚層群には変形の影響が認められないことから、砥部時階の衝上運動は久万層群の堆積後から石鎚層群の堆積前までの時期、すなわち前期中新世末~中期中新世初頭(約 15 Ma 頃)の比較的短い時期に起こったものと考えられている(成田ほか, 1999; 竹下ほか, 2000)。

ここで、Kubota and Takeshita(2008)では設定されていないが、水野・青矢(2013)では、この砥部時階の後に石鎚時階(須槍・阿子島, 1973)が設定されている。この石鎚時階は、中期中新世の石鎚火成岩類の貫入時期に相当する。この時期に大規模な断層運動が生じているわけではないが、高木ほか(1992)は砥部衝上断層において衝上断層運動後に正断層運動のオーバープリントが生じていることを報告している。また同時に、砥部衝上断層のドロマイト質片岩基底部のガウジから得られた 14.7 Ma の K-Ar 年代値がこの正断層運動の時期を示している可能性を指摘している。一方で、石鎚時階の中央構造線の運動は正断層センスであるが、その変位量は砥部時階と比較してはるかに小さかったと考えられている(Fukunari and Wallis, 2007)。しかし、例えば西条市丹原町湯谷口(今回の見学地点 Stop 1)の右岸露頭では、中央構造線の運動で剪断変形を受けた安山岩の貫入岩がカタクレサイト化したと思われる産状も観察されることから、石鎚時階の変形がそれほど小さいものではなかった可能性もある。一方で、石鎚時階以降も一部の中央構造線は断層活動を継続していた可能性も否定出来ない。

また、第四紀の活動を示す中央構造線活断層系の構成断層(例えば、伊予断層など)の破碎帯にも剪断変形を受けた安山岩質火山岩の貫入岩の分布が観察される(池田ほか, 2012)。しかし、この安山岩質火山岩の貫入岩は周辺の基盤岩と貫入関係にあったのか、あるいは剪断関係にあったのかは明かではない。一方で、Kubota and Takeshita(2008)は、中央構造線活断層系の構成断層は、先砥部時階に左横ずれ衝上断層として活動した断層の再活動であることを指摘している。このことは、安山岩質火山岩の貫入岩が先砥部時階に形成された断層面に沿って貫入し、その後の石鎚時階の活動および第四紀の活動で破碎されたと考えられることを示唆するのもかもしれない。

2. 第四紀後期の活動

第5期の新居浜時階は、太平洋プレートとフィリピン海プレートの斜め沈み込みに起因する右横ずれセンスの断層運動である。以下に、中央構造線活断層系に関する情報を整理する。

2.1. 断層分布形態 四国山地北麓や讃岐山脈南麓域では、地質境界の中央構造線のほかに、これとはほぼ平行ないし雁行状に配列する断層が分布する (Fig. 1)。これらの大半は少なくとも第四紀後半に右横ずれが卓越した活断層であり、中央構造線活断層系と呼ばれている(岡田, 1973; Tsutsumi and Okada, 1996; 岡田・杉戸, 2006)。四国中東部では地質境

Fig. 5. Three-dimensional view of the shallow basement structure based on seismic reflection surveys near Matsuyama City.

界である中央構造線と活断層である中央構造線活断層系は直線的にほぼ一致して分布するが、四国中央部から西部では、両断層は共に直線性を欠いた分布を示すようになる (Fig. 1)。さらに、活断層は中央構造線の北側にのみ、主に引張性ステップを伴いながら分布する (Fig. 1)。

今回の巡検対象である四国北西部地域には、中央構造線活断層系の構成断層である、川上断層 (北方断層を含む)、重信断層、伊予断層 (米湊断層および本郡断層を含む) が東から西に向かって分布する (Fig. 2)。精密重力探査および複数の測線による反射法地震探査から、これらの断層で囲まれた引張性ステップ領域にプルアパート堆積盆が形成されていることが明らかにされている (池田ほか, 2003) (Fig. 5)。

2.2. 活動性に関する情報 1980年代以降に始まった変動地形学とトレンチ調査を組み合わせた調査によって、本断層系の分布および古地震についての情報が蓄積された (活断層研究会編, 1991; 岡田, 1992; 堤ほか, 1992; 水野ほか, 1993 など)。1995年の兵庫県南部地震以降、四国の中央構造線活断層系では、大学および公的研究機関の継続的な調査に加え、愛媛県や徳島県による網羅的な古地震調査が実施され、活動性評価の基礎資料となる断層分布情報および古地震情報が拡充された (堤ほか, 2000; 愛媛県, 2001; 後藤ほか, 2001; 森野・岡田, 2002; 中田・今泉編, 2002 など)。これらの結果を基に、中央構造線活断層系全体の古地震情報が地震調査研究推進本部 (2011) によってまとめられている (Fig. 6)。

①活動時期

父尾断層を対象とした阿波市上喜来地点のトレンチ調査から16世紀頃の活動イベントが推定され、その活動イベントが1596年の慶長伏見地震と対比された (岡田, 1992; Tsutsumi and Okada, 1996; 岡田・堤, 1997)。それ以降に行われたトレンチ調査においても、多くの地点で16世紀頃に活

動した地質学的な証拠が得られた (地震調査研究推進本部, 2011)。岡田 (2006, 2016) は、これまでのトレンチ調査結果を踏まえると、9月1日から5日にかけて、四国の中央構造線活断層系全体が活動した可能性が高いとしている。一方、地震調査研究推進本部 (2011) は、地形・地質的な調査結果からは、中央構造線活断層系は四国地方全域が16世紀以降に活動したと推定されるが、四国地方の中央構造線活断層系沿いの慶長伏見地震時の被害の記録は一部に限られていることから、慶長伏見地震の際に中央構造線活断層系も活動したと特定することはできないとしている。

最新活動イベントとは異なり、最新活動イベントの一つ前の活動イベントの時期は四国全域を通して様ではない (Fig. 6)。その活動イベント時期は、東から、讃岐山脈南縁—石鎚山脈北縁東部区間 (鳴門南断層—石鎚断層) で約2000年前頃、岡村断層区間で約3300年前—3000年前頃、および石鎚山脈北縁—伊予灘区間 (川上断層—伊予断層) で1世紀—8世紀頃 (約2000年前—約1300年前) である (地震調査研究推進本部, 2011)。

四国の中央構造線活断層系を対象としたトレンチ調査で3回以上の活動イベントが認定された地点はそれほど多くない。ある程度の信頼度を持って議論に耐えうる活動イベント情報としては、最新活動イベントとその1つ前の活動イベント情報に限られるのが現状である。

②活動間隔

一般に、平均活動間隔の推定には複数の活動イベントから直接算出する方法および平均変位速度と1回のすべり量から算出する方法の2つが用いられる。前述したように、四国の中央構造線活断層系では3回以上の活動イベントが推定されている地点数が少なく、また同時に精度の高い1回のすべり量と平均変位速度の情報もそれほど多くない。そのため、地震調査研究推進本部 (2011) では、これら両方の算

Fig. 7. Comparison of right-lateral slip rates and amounts of right-lateral offset during the most recent earthquakes along the Median Tectonic Line active fault system in Shikoku. Offsets of multiple seismic events are also shown. Modified from Tsutsumi and Goto (2006).

出手法を用いて平均活動間隔の推定が以下のように行われている。

讃岐山脈南縁—石鎚山脈北縁東部区間(鳴門南断層～石鎚断層)では、父尾断層で右横ずれ平均変位速度が 6 mm/yr, 1 回の活動に伴う右横ずれ変位量が 6~7 m と求められ、平均活動間隔は約 1000~1200 年となる。一方で、本区間の最新活動は 16 世紀頃であり、1 回前の活動が約 2000 年前頃であることから、活動間隔は 1500~1600 年となる。この 2 つの方法により求められた数値は整合しないが、両方の算出に用いた数値の信頼度がそれほど高いものではないため、本区間の平均活動間隔は約 1000~1600 年とされている。

岡村断層区間では、右横ずれ平均変位速度が 5~6 mm/yr, 1 回の活動に伴う右横ずれ変位量が 6 m であることから、その平均活動間隔は 1000~1200 年と求まる。しかし、岡村断層の過去 3 回の活動時期から、その間の活動間隔は 2300~2500 年と求まる。ここでも、2 つの算出方法で得られた数値が合わないが、本区間の平均活動間隔はこれら 2 つの数値から 1000~2500 年とされている。

石鎚山脈北縁—伊予灘区間では、川上断層は約 4 千 5 百年前以後、16 世紀以前に 4 回の活動があったことから、その平均活動間隔は約 1000~1300 年と求められる。一方、伊予灘東部断層の上灘沖では、過去約 1 万年間に少なくとも 4 回の活動が認められており、その情報を基にすると平均活動間隔は 2500~2900 年と求められる。川上断層と伊予灘に分布する断層が常に同時に活動したかどうかは不明であるが、これらの 2 つの数値より、本区間の平均活動間隔は約 1000~2900 年の可能性があるかと判断されている。

③ 1 回の横ずれ変位量および平均変位速度

四国の中央構造線活断層系の変位量情報については、堤・後藤 (2006) で網羅的な検討が行われている (Fig. 7)。この

検討では、詳細な地形判読から最新および過去数回の断層変位を記録していると考えられる、右屈曲している断層崖・河谷などの地形指標および道路・畦などの人工指標の分布を明らかにし、その後現地調査・測量からその地形が断層変位に起因するものかどうかを検討し、27 地点で変位量の計測を行っている。さらに、その計測情報に既往情報を含めて、中央構造線活断層系全域で約 30 地点の変位量情報、約 6 地点の平均変位速度情報を基に、中央構造線活断層系の最新活動に伴う横ずれ変位量分布および平均変位速度分布の傾向について検討を加えている。

変位量分布に注目すると、個々の断層でばらつきはあるものの、大まかに四国の中東部の中央構造線活断層系(神田断層～岡村断層区間)で最新活動に伴う変位量が最大 5 m 以上と大きく、その東西で変位量が小さくなる傾向(例えば、伊予断層では 2~3 m 程度)が認められる。一部の断層では、最新活動時の変位量の整数倍の変位量も観察され、同程度の変位の累積が推定されている。

中央構造線活断層系の右横ずれ平均変位速度は最大で 10 mm/yr に達する。また、四国の中部～東部では 5~10 mm/yr で、四国西部では 1.3~1.6 mm/yr と東西に変位速度が小さくなる。つまり、変位量分布の傾向と同様に平均変位速度の大きいところでは変位量が大きい傾向を示す。Loveless and Meade (2010) および Tabei et al. (2002) によれば、地殻変動データに基づく平均変位速度は、それぞれ 7 mm/yr および 5 mm/yr と求められている。これらの値は、地形地質データから推定された第四紀の平均的な変位速度 (5~10 mm/yr) とオーダーは一致する。

縦ずれ変位量については、池田ほか (2015a) で整理されており、四国西部から四国中東部にかけて 0.2 mm/yr (北下がり) から最大 1.7 mm/yr (北下がり) に変化する。つまり、横ずれ変位量の大きいところで縦ずれ変位量も大きい傾向を示

Fig. 8. Segmentation models proposed by previous researchers for the Median Tectonic Line active fault system. Iyonada Fault (Iyonada F.), Iyo Fault (Iyo F.), Shigenobu Fault (Sh F.), Kawakami Fault (Kw F.), Ishizuchi Fault (Iz F.), Ikeda Fault (Ik F.), Mino Fault (Mi F.), Chichio Fault (Ch F.), Zunden Fault (Zn F.), Itano Fault (It F.), and Naruto Fault (Na F.).

している。

④セグメント区分 (Fig. 8)

中央構造線活断層系のような長大断層では、一般に断層全域が一度に活動するのではなく、いくつかに分断された区間 (セグメント) ごとに活動することが知られている (岡田, 1992)。そのため、長大横ずれ断層の地震規模を評価する上でセグメント区分の検討は重要な課題となっている。これまでに提案されている中央構造線活断層系の主なセグメント区分モデルについて以下にまとめる。

中央構造線活断層系のセグメント区分として、主として断層分布の幾何学的特徴を基にしたモデルが提案されている (岡田, 1992; Tsutsumi and Okada, 1996 など)。岡田 (1992) では四国地域を 4 つの大セグメントに区分し、さらに 7 つの小区分が認定されている。また Tsutsumi and Okada (1996) では 10 のセグメントに区分されている。吉岡ほか (2005) でも、10 のセグメントが認定されている。佃 (1996) では 5 つの大セグメントと 12 の小セグメントが認定され、特に大セグメントの境界と特徴的な地質構造との対応が検討されている。中田・後藤 (1998) では断層に沿った縦ずれ変位パターンと Y 字あるいは V 字状に発達する分岐断層に注目して、四国中東部、岡村、四国西部の 3 つの大セグメントを認定し、中東部セグメントはさらに 2 つに区分される

としている。

地震調査研究推進本部 (2011) は、特に断層の活動時期などに大きなウエイトを置いたセグメント区分モデル (挙動セグメント) を提案し、四国の中央構造線活断層系は、主に過去の活動時期から 3 つの単位区間に区分されるとしている。ただし、これらの区間が個別に活動する可能性や、複数の区間が同時に活動する可能性、これら 3 つの区間とは異なる範囲が活動する可能性、さらには断層帯全体 (360 km) が同時に活動する可能性も否定できないとされている。

その他の視点に基づくセグメント区分モデルもいくつか提案されている。例えば、Ikeda et al. (2009) では、断層帯全域が一様な応力場にあるのではなく、断層に沿って応力場が変化する可能性を指摘している。その様な視点に立つと、四国東部では断層面の normal stress が compression で、四国中央部から西部にかけての領域が compression ~ tension に変化する transition な領域、それから九州で tension な領域となっている可能性がある。そのような応力場の変化に従うと、四国から九州の中央構造線活断層系は 3 つのセグメントに区分される。また、Ikeda et al. (2006) では、地下の地震発生層の地震波速度構造不均質に基づいたセグメントモデルを提案している。

Fig. 9. Orientations of maximum principal stresses moving from northwest to southeast along the Median Tectonic Line active fault system. (a) N170°E (Famin et al., 2014), (b) N100°E (Research Group for Crustal Stress in Western Japan, 1980), and (c) N85°E (Onishi et al., 2016).

中央構造線活断層系のテクトニクス背景と深部構造

1. 中央構造線活断層系のテクトニクス背景

ここでは、地形・地質学的情報と地球物理学的情報にわけて中央構造線活断層系のテクトニクス背景について既往情報を整理する。

1.1. 地形・地質学的情報 地質境界である中央構造線と活断層である中央構造線活断層系は、四国中東部では直線的にほぼ一致して分布するが、四国中央部から西部では、両断層は共に直線性を失った分布を示すようになる (Fig. 1). この断層分布形態の変化する四国中央部領域を挟んで、中央構造線活断層系の一般走向は約 16° 変化する (四国西部 N61°E, 四国東部 N77°E).

中央構造線活断層系の変動地形学的特徴に注目すると、四国中東部の中央構造線活断層系は約 2~1 Ma 頃にトランスプレッションの状態にあったことが阿讃山脈の隆起などから推定されている (植木・満塩, 1998). 一方で四国中西部の中央構造線活断層系は、主に引張性ステップを伴いながらそのステップに盆地状構造を形成していることから、トランスプレッションの状態を経験していることが推定される。

断層の活動性情報のうち変位量情報に注目すると、断層に沿った 1 度の地震時の右横ずれ変位量は特に四国中東部で横ずれ変位が大きく、四国西部で小さくなる (堤・後藤, 2006). また、平均変位速度も同様の傾向を示す。四国地域の中央構造線活断層系の活動間隔は 1000~2000 年の範囲内であり大きな差異は認められない (森野・岡田, 2002). したがって、中央構造線活断層系に沿って観察される変位速度の変化は、個々の断層の活動頻度の差ではなく、個々の地震時の変位量の大小に起因している可能性が高い (堤・後藤, 2006). つまり、四国中東部と四国西部で中央構造線活断層系の活動環境の相違を示唆する。

1.2. 地球物理学的情報 中央構造線活断層系の活動を考える上で、断層近傍あるいは周辺の応力場の情報は欠かせない。地殻内で発生した微小地震の震源メカニズム解に基づく四国中東部の主応力軸の方位角は NW-SE~WNW-

ESE 方向である (木村・岡野, 1992). 一方で、中央構造線活断層系沿いの絶対応力測定によれば、四国中央部の佐々連鉱山の地殻応力測定から最大主応力軸の方位角が N77°W あるいは N83°W の値が報告されている (西日本地殻応力調査班, 1980). また、四国西部の佐田岬半島では、ボアホールブレイクアウトの結果に基づき、N85°E の最大主応力軸の方位角のデータが得られている (Onishi et al., 2016) (Fig. 9). さらに、Famin et al. (2014) によれば、地質構造解析に基づく、第四紀の四国東端部付近の最大主応力軸の方位角はほぼ南北であることが示されている。これらのことから、四国の地殻内に働く主応力軸は四国東部 (南-北方向) から四国中央部 (西北西-東南東方向) を経て四国西部 (西南西-東北東方向) と主応力軸が反時計回りに回転していることが伺える (Fig. 9). この主応力軸の回転の傾向は、GPS 観測データから推定された前弧スリバーの剛体運動を示す向きが四国西部から九州にかけて反時計回りに回転する傾向 (Nishimura and Hashimoto, 2006; Wallace et al., 2009) と調和的である。

佃 (1992) は、中央構造線活断層系は前弧スリバーの北縁に相当し、スリバーの挙動が中央構造線活断層系の活動性と関連していることを指摘している。前述したように地形・地質情報に基づく、四国の中央構造線活断層系は四国中東部と西部地域で大きくその性状を異にする。このような断層に沿った活動性の変化を産む要因として、最大主応力軸の方位およびスリバーの反時計回りの回転が大きく貢献していると考えられる。

2. 中央構造線の深部構造および活断層との構造関係 (傾斜角度)

伊藤 (1996) で中央構造線と中央構造線活断層系の深部地下構造に注目したレビューが行われて 20 年が経過した。その間も、この課題の解明に資するため反射法地震探査を主とする物理探査が行われてきた。しかし、それでもなお、現時点では両断層の深部構造関係についての明確な解は得られていない。

これまでに四国で行われた浅部および深部地下構造探査

Fig. 10. Detailed topographic maps of the observation points in this excursion (Stops 1–4) (modified from digital topographic map of the Geospatial Information Authority of Japan. <http://maps.gsi.go.jp/>). Black filled stars represent the observation points.

(反射法地震探査, MT 探査)によれば, 中央構造線と中央構造線活断層系の地表トレースが一致している四国東部では, 地質境界の中央構造線の断層面は深さ約 5 km 以浅では $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 北傾斜で概ね一致している(伊藤ほか, 1996; Ito et al., 1996, 2009; Kawamura et al., 2003; 堤ほか, 2007; 佐藤ほか, 2005; Sato et al., 2015). これは, 東西延長の紀伊半島あるいは豊後水道での探査結果とも調和的である. 一方, 両断層のトレースが不一致となる四国西部地域では, 伊予灘海域において反射法地震探査が実施されている(大野ほか, 1997). それによれば, 伊予灘を通過する中央構造線活断層系は海底近くでは地溝を形成している場合が多いが, 地下では三波川変成岩類と傾家帯の地質境界(中央構造線)に収斂すると見なされる. 地溝は基盤岩中の右横ずれ断層運動で形成されたプルアパート堆積盆と推定されている(大野ほか, 1997; 岡田, 2016). また, 四国西部の中央構造線が最も大きく屈曲する領域である桜樹屈曲付近で MT 探査が実施されており, 中央構造線が北に $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 程度で北に傾斜している構造が示されている(Ikeda et al., 2013).

異なる視点からのアプローチとして, Tabei et al. (2002) は GPS データの解析結果を基に中央構造線の断層傾斜角の推定を試みた. その結果によれば, 中央構造線が 35° で北傾斜し, 15 km 以深の領域に 5 mm/yr の定常右横ずれ変位を与えるモデルが地殻変動場を最も良く説明する.

一方で, 断層露頭およびトレンチ壁面ではほとんどの場所で垂直ないし北側へ高角度で傾斜した断層面が観察される(岡田・杉戸, 2006). また, 宮田(1996)はアナログ実験を用いて和泉堆積盆の発達過程と中央構造線の役割について検討している. その結果によれば, 和泉堆積盆の形成時の中央構造線は低角度ではなく, 中角度から高確度の断層であったと推定されている. またこの構造は, 地下浅部から深部まで

中央構造線が $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$ の低角度であるという反射法地震探査結果と調和しないとしている.

見学地点

Stop 1 西条市丹原町湯谷口の断層露頭と白坂の活断層地形 [地形図] 1 : 25,000「伊予小松」, 中田ほか(1998) : 都市圏活断層図 1 : 25,000「西条」

[位置] $34^{\circ}51'22''\text{N}$, $133^{\circ}00'46''\text{E}$ 西条市丹原町湯谷口

$33^{\circ}51'20''\text{N}$, $133^{\circ}00'21''\text{E}$ 西条市丹原町白坂

[説明] 西条市丹原町湯谷口の中山川河床では, 和泉層群と三波川変成岩類とが接する露頭が観察される(Figs. 2, 10, 11 and 12). ここでは中央構造線の活動で形成された断層角礫～断層ガウジが分布し, その断層破砕帯に沿って幅約 5 m の安山岩岩脈が貫入している(例えば, 岸ほか, 1996). 柴田ほか(1989)はこの断層ガウジから 60 Ma の K–Ar 年代値を報告している. つまり, 本露頭で観察される断層破砕帯は, 市ノ川時階の活動で形成されたものである. また, 前述したように, 本露頭では安山岩起源の断層角礫～断層ガウジが観察されることから, 本露頭で観察される中央構造線は石鎚火成活動以降にも断層活動を生じていたことを示している. つまり, この断層活動は石鎚時階の運動に対応する可能性が高いが, 石鎚時階以降もさらに一部の中央構造線が断層活動を継続した可能性も示唆している. なお, 本露頭は愛媛県の天然記念物に指定されているため, 露頭観察には十分な注意が必要である.

湯谷口の中央構造線露頭の約 100 m 下流域の中山川河床には中央構造線活断層系川上断層の断層露頭が分布している(森野ほか, 2002) (Figs. 11, 13). この断層露頭は, 地形的に推定されている川上断層の東方延長部と一致する(岡田, 1972; 岡田・杉戸, 2006). 本地点は, 四国西部地域で中央

Fig. 11. Geologic map along the Nakayamagawa River in the Yuyaguchi area. Base map is from a 1:2500 topographic map of the area published by Saijo City. MTL: Median Tectonic Line, MTLAFS: Median Tectonic Line active fault system.

構造線と中央構造線活断層系が最も近接して分布する地点である。

①湯谷口地点

安山岩の貫入岩と三波川変成岩類の境界面の構造は $N83^{\circ}E$ 、傾斜 $30^{\circ}N$ である (Fig. 11)。本露頭では、大きく2種類の断層破碎帯(三波川変成岩類と和泉層群の境界部に発達する葉片状カタクレーサイト、安山岩の貫入岩北側に分布する未固結破碎帯(断層角礫-断層ガウジ))が観察される。前者の葉片状カタクレーサイトの破碎帯幅は約3m程度である。全体として三波川変成岩類の破碎の程度は弱く、和泉層群の破碎が顕著である。この葉片状カタクレーサイトに発達する複合面構造から上盤が東に動く右横ずれ断層運動センスが読み取れる。岸ほか(1996)では湯谷口の中山川北岸の中央構造線の破碎帯を下位から上位に向かってI帯～VII帯に区分している。このうちのIV帯を除く破碎帯が市ノ川時階で形成されたもので、IV帯のみ砥部時階で形成された破碎帯であるとしている。一方、後者の未固結破碎帯は、安山岩の貫入岩の北側に幅約10mにわたり分布する。この破碎帯は主に黒色ガウジからなり、粘土中に砂岩クラストが浮いた産状を示す。北側に向かって破碎帯の規模や破碎程度が弱くなり、変形を受けた和泉層群に移行する。

中山川河床の川上断層の露頭は、洪水等で河床堆積物が洗い流された時に出現する(森野ほか, 2002)。川上断層の東方延長部に相当し、断層の走向は $N75^{\circ}E$ で傾斜はほぼ鉛直である。前期更新統の岡村層相当層と和泉層群の破碎帯が接している。和泉層群の破碎帯幅は約20mである。岡村層相当層の層理面は、断層より4～5m北側で約 30° 北傾斜である

が、断層近傍ではほぼ直立している。和泉層群の破碎帯では、断層角礫帯と断層ガウジ帯が観察され、断層ガウジ帯には岡村層相当層の構成物が混在している。

②白坂地点

川上断層はENE-WSW方向に分布する主に安山岩質火山岩および三波川変成岩類で構成される丘陵の北縁に沿って、比高1.5～5mの明瞭な低断層崖として認められる (Fig. 14)。この低断層崖を掘削したトレンチ調査の結果、3回の川上断層の活動イベントが明らかにされている(池田ほか, 2014) (Fig. 15)。本トレンチ調査結果に基づく、川上断層の最新活動時期はA.D.1405以降(A層堆積以降)である。最新活動に先行する活動時期はB.C.790～A.D.65および、約29,000 yBP～B.C.560と推定されている (Fig. 6)。

Stop 2 砥部衝上断層露頭

[地形図] 1:25,000「砥部」

[位置] $33^{\circ}43'54''N$, $132^{\circ}47'45''E$ 伊予郡砥部町岩谷口

[説明] 愛媛県伊予郡砥部町岩谷口の砥部川河床には、砥部時階の模式地とされる中央構造線の断層露頭が分布する (Figs. 10, 16)。本露頭は国の天然記念物に指定されている。

断層露頭は砥部川河床に約200mにわたって連続的に露出している。露頭北部の滝を挟んで北側には和泉層群の破碎された砂岩・泥岩互層が走向 $N70^{\circ}E$ で 30° 北傾斜の逆断層面を介して久万層群礫岩の上盤側に分布する (Fig. 16a)。断層ガウジ～断層角礫岩となっている領域は境界から幅10m程度であり、その領域より北側では和泉層群の堆積構造が保存されている。また滝から約150m上流側では、三波川変

Fig. 12. a) Outcrop of the Median Tectonic Line in the Yuyaguchi area. Sanbagawa metamorphic rocks are juxtaposed with the sedimentary Izumi Group. Andesitic rocks have intruded the contact of the two units. All rocks are deformed or crushed by repeated movement along the Median Tectonic Line. b) Slickenlines (roughly N-S trending) on the surface of andesitic rocks.

成岩類(緑色片岩)を覆って、三波川変成岩類の角礫だけで構成される久万層群古岩屋層が分布する(Fig. 16c)。この古岩屋層および三波川変成岩類には明瞭な破碎組織は観察されない。さらに、久万層群と和泉層群の破碎帯に挟まれて、断層に沿って50~100 cmの層厚を持つ淡黄褐色層が分布する(Fig. 16d)。この層はフィロナイト様岩石(堀越, 1964)あるいは優白色岩の貫入(竹下, 1991)と考えられてきた。しかし高木ほか(1992)は、本岩は衝上運動に伴い三波川変成岩類の絞り出されたものが熱水変質によりドロマイト化したもの(ドロマイト質片岩)と記載している。

ドロマイト質片岩および周辺の断層ガウジには複合面構造が発達しており、上盤が北方に移動する正断層センスが得られている(高木ほか, 1992)(Fig. 16d)。また砥部川河床の和泉層群中にも正断層センスの小断層が発達していることも報告されている(高橋, 1977)。高木ほか(1992)は、このような構造データに基づく、衝上断層である砥部衝上断層は、ある時期を境にして正断層運動に反転したと指摘している。

Fig. 13. a) Deformed or fractured rocks of the Izumi Group, which is composed of interbedded sandstones and mudstones, are well exposed along the bed of the Nakayamagawa River. The gouge zone corresponding to the Median Tectonic Line active fault system is also shown. b) Close-up photograph of the gouge zone showing right-lateral shear of the Median Tectonic Line active fault system.

Stop 3 伊予断層帯

[地形図] 1:25,000「上灘」, 岡田ほか(1998): 都市圏活断層図 1:25,000「郡中」

[位置] 33°43'54"N, 132°41'39"E 伊予市市場

33°43'47"N, 132°41'28"E 伊予市三秋

33°42'24"N, 132°39'47"E 伊予市双海町高野川

33°44'33"N, 132°41'24"E 伊予市本郡

四国の中央構造線活断層系分布域の陸域最西端部には、伊予断層と並走して本郡断層および米湊断層が分布する(Fig. 2)。これらの3断層は、断層分布、地下構造および変位センスなどの情報に基づく、主断層-分岐断層の活動システムを構成すると考えられている(池田ほか, 2005)。その断層システムの中では、伊予断層が右横ずれ変位を担う主断層として活動し、北西側に分布する米湊断層および本郡断層は上下変位を担う分岐断層として活動していると解釈されている(池田ほか, 2005)。

伊予断層(伊予市市場-三秋-高野川地点) 伊予断層は四国陸域の中央構造線活断層系の最西端に位置し、NE-SW 走向を示す、長さ約14 kmのA級活断層である(活断層研究会編, 1991)(Fig. 2)。本断層に沿っては、右横ずれを示唆

Fig. 14. Map showing geomorphological features and fault traces of the Median Tectonic Line active fault system around the Ususaka area (modified from Ikeda et al., 2014).

Fig. 15. Photograph and map of the east wall of the Ususaka trench (modified from Ikeda et al., 2014).

する系統的な河川の屈曲および段丘面の変位等の変位地形が明瞭である。後藤(1996)は、これらの変動地形を詳細な空中写真判読によって抽出し、伊予断層の上下方向の平均変位速度を $0.17 \sim 0.2 \text{ mm/yr}$ 、右横ずれ平均変位速度を $1.3 \sim 1.6 \text{ mm/yr}$ と見積もっている。

伊予断層の古地震調査は3箇所で行われている。後藤ほか(2001)は、伊予市市場地点で2箇所のトレンチ調査を行い(Fig. 17)、最新活動時期は14世紀以降であるとしている。また田の畦のずれ量を基に、最新活動時の右横ずれ変位量を $2.1 \sim 2.3 \text{ m}$ 程度と見積もっている(Fig. 18)。このト

Fig. 16. a) Outcrop of the Tobe Thrust along the Tobegawa River. Dolomitic schist (Dol) of the Sanbagawa metamorphic belt overlies the Tertiary Kuma Group conglomerate. b) Slickenlines on gravel from the Kuma Group. c) Structural relationship between the Kuma Group and the Sanbagawa metamorphic rocks (Sn) as seen in outcrop. d) Composite planar fabric showing normal fault movement in the dolomite schist.

レンチ調査地点から南西方向に谷底平野から孤立する小丘地形(プレッシャーリッジ)が分布し、またさらに南西延長にも段丘崖に右横ずれ変位地形が分布する(後藤ほか, 2001)。池田ほか(2012)では、このプレッシャーリッジの南西側の地点(三秋地点)でトレンチ調査が行われている(Figs. 17, 19)。また、同時に後藤ほか(2001)のA トレンチ付近でもトレンチが行われ、両方のトレンチ調査結果を総合して伊予断層の活動履歴がまとめられている(Figs. 17, 20)。その結果によれば、伊予断層の最新活動時期はA.D.1650~A.D.1854、一つ前の活動時期はB.C.2865~B.C.845、それ以前の活動時期は、B.C.4850以前である(Fig. 6)。三秋地点のさらに南西に位置する高野川地点では、段丘面を横切る伊予断層を対象にトレンチ調査が行われている(愛媛県, 2001)(Fig. 21)。本地点では、段丘堆積物中のAT火山灰が伊予断層に沿って引きずられる構造が観察され、さらに和泉層群中に形成された破碎帯の産状が観察された(Fig. 21)。**米湊断層および本郡断層(伊予市本郡)** 米湊断層および本郡断層は、伊予断層の中央部の北西側に並走する断層である(岡田ほか, 1998; 池田ほか, 2005)(Figs. 2, 22)。米湊断層は、低位段丘面上に約2.5 kmにわたって連続する撓曲崖(比高2~8 m)として認められる(岡田ほか, 1998; 後藤・中田, 2000; 池田ほか, 2005)。一方、本郡断層は、南東側低下の逆向き低崖(比高約0.5 m)として約800 mにわたり追

跡される。両断層の地下構造および活動性を推定するために、反射法地震探査、群列ボーリング調査およびトレンチ調査が実施されている。反射法地震探査の結果、米湊断層は約50°南傾斜の逆断層状であり、本郡断層はそのバックスラストであると推定される(池田ほか, 2005)(Fig. 23)。また、米湊断層を対象とした群列ボーリング調査結果から、上下方向の平均変位速度は0.6 mm/yrと見積もられている(池田ほか, 2005)。また本断層の最新活動時期はB.C.2025~B.C.5のであり、最新活動に先行する活動の時期はB.C.6015~B.C.1920の間である(池田ほか, 2005)(Fig. 6)。

伊予断層帯の活動履歴および活動システムのまとめ 上記のように、伊予断層のトレンチ調査から3回の活動時期情報が得られており、本郡断層のトレンチ調査から2回の活動時期情報が得られている(Fig. 6)。本郡断層の最新活動時期と1つ前の活動時期は、伊予断層の1つ前の活動時期と2つ前の活動時期と一部重なる(Fig. 6)。このことから、主断層である伊予断層が活動したときには分岐断層である本郡断層(おそらく米湊断層も)が活動している可能性が高い。一方で、伊予断層の最新活動時には本郡断層は活動しなかった可能性が高い。この時の米湊断層の活動は現時点では不明であるが、伊予断層帯の場合、分岐断層が単独で活動することはなく、主断層が活動した時にのみ、分岐断層が活動するような活動システムを構成している可能性が高い。伊予断層帯は

Fig. 17. Map showing the detailed locations of trench sites, geomorphological features, and fault lines around the study area (modified from Ikeda et al., 2012). A–B shows the location of the topographic profile. Base map is from a 1:5000 topographic map of the area published by Iyo City. A: Alluvial plain; LIII: Lower terrace surface III; LII: Lower terrace surface II; LI: Lower terrace surface I; Mt: Mountains; Af: Alluvial fan; Ls: Landslide. b) Topographic profile across the fault scarp.

Fig. 18. Right-lateral displacement of terrace riser across the Iyo Fault in the Ichiba area. The most recent rupture along the Iyo Fault is estimated to have caused 2.1–2.3 m of right-lateral displacement (Goto et al., 2001; Tsutsumi and Goto, 2006).

Fig. 19. Photograph and map of the northeast wall of the Miaki trench (modified from Ikeda et al., 2012).

A trench/Northeast wall

Fig. 20. Photograph and map of the northeast wall of trench A at the Ichiba trench site (modified from Ikeda et al., 2012).

Fig. 21. a) Fault scarp of the Iyo Fault on a lower terrace surface. b) Photograph of an outcrop showing a crushed zone with fault gouge from the Iyo Fault.

Fig. 22. Seismic reflection survey line and trench site. Numerals along the seismic reflection survey line indicate common midpoints (CMP) (modified from Ikeda et al., 2005). Base map is from a 1:5000 topographic map published by the Geospatial Information Authority of Japan.

Fig. 23. Interpreted depth profile of the seismic reflection survey line in Fig. 22 (modified from Ikeda et al., 2005). Numerals in the seismic profile indicate corrected velocity values (m/s).

Fig. 24. a) Fault geometry of active faults in the Iyo-nada Sea and the Iyo fault zone. The Iyo fault zone is located in an area of a contractional bend or slip partitioning. This results in compression and upheaval along the northern front (light gray area). Distribution of active faults is after Miura et al. (2001). b) Schematic diagram showing the contractional bend model (after Kano and Murata, 1998). c) Schematic diagram showing the slip partitioning model (modified from Ikeda et al., 2005).

Fig. 25. Geological map of the Gunchu Formation (modified from Itoh, 2015). Base map is from a digital topographic map from the Geospatial Information Authority of Japan (<http://maps.gsi.go.jp/>).

その西方の伊予灘海域にも複数の断層が連続していることが確認されている(七山ほか, 2002)。その平面的な断層分布を見てみると、主断層である伊予断層が高野川付近で北側に屈曲する(Fig. 24)。この屈曲部は、伊予断層が右横ずれ変位を生じた場合トランスプレッションの場となり、この場の中で伊予断層帯の活動システムが形成されている。このような伊予断層帯の活動システムはスリップパティショニングあるいはコントラクショナルベンドのいずれかのシステムに対応したものであると考えられている(Fig. 24)。

Stop 4 郡中層

[地形図] 1 : 25,000「上灘」、岡田ほか(1998) : 都市圏活断層図 1 : 25,000「郡中」

[位置] 33°43'55"N, 132°40'23"E 伊予市森

郡中層は、松山平野南西端の伊予市森の海岸沿いに露出する湖沼～河川成の鮮新～更新統である(Figs. 10, 25)。海岸では本層の層厚約 300 m の部分を観察することができる(Fig. 26)。一方で、伊予市で行われた反射法地震探査の結果から、本層およびその下位層も含めた層厚は 800 m 以上に達すると考えられている(池田ほか, 2005) (Fig. 23)。伊予断層帯の運動に伴い全体的に地層が高角度に傾斜しており北側が上位である(池田ほか, 2005)。地層の走向は N50°E で傾斜は 20°～80°NW である。本層は、南東側の最下位で白亜系和泉層群と接する。このように、中央構造線の活動と密接に関係して堆積が進んだ郡中層の堆積環境の変遷などは、中央構造線の活動史をひもとく鍵となる。

郡中層は岩層に基づき、粘土・シルト卓越層(下部層)、礫・粘土互層(中部層)および礫卓越層(上部層)の 3 層に区別されている(高橋・鹿島, 1985; 水野, 1987)。全体に上方粗粒化を示すことから、湖沼的環境から扇状地～三角州的環境に変わっていったと考えられている(高橋・鹿島, 1985)。地層の走向の変化は小さいが、傾斜は上部層で 60°～20°N、中部層から下部層では 80°N 程度である。

Fig. 26. Photographs of the Gunchu Formation in outcrop, showing a) the upper member, and b) the lower member.

本層中には数層準の火山灰層が確認されており(高橋・鹿島, 1985; 水野, 1987; 北林ほか, 2012), その1層準について松井ほか(1985)および北林ほか(2012)が, それぞれ 1.9 ± 0.7 Ma (FT 年代) および 2.2 ± 0.3 Ma (LA-ICP-MS による FT 年代) の年代値を報告している. またそれに加えて植物化石, 花粉化石および古地磁気分析から鮮新世後期~更新世前期の堆積物であることが指摘されている(高橋・鹿島, 1985; 水野, 1987).

鹿島・高橋(1980)は郡中断層を上山南方 600 m の地点(産業廃棄物処理場)において確認している. 観察結果より断層の走向は $N36^{\circ}E$ で 79° 南傾斜であり, 和泉層群が郡中層にのり上げる逆断層であるとしている. しかし, 郡中層の高角傾斜の構造は郡中断層の活動と関係が無いとしている. また郡中断層の北東方向延長部は高位段丘礫層に被われている. 一方, 水野(1987)は, 丘陵部にみられる郡中断層に断層破碎帯がみられず小規模であることから, 郡中層と和泉層群の境界は不整合とみなすのが妥当であると述べている.

Itoh (2015) では, 郡中層の詳細な地質調査, 古地磁気学的検討, などを基に, 中央構造線(断層帯)の活動の変遷に関する検討が行われている. 郡中層は, 層相を基に下部層と上部層に区分され, それぞれの部層を構成する礫種が大きく異なる(Figs. 25, 26). この構成礫種の変化に基づくと, 前期更新世に中央構造線活断層系伊予断層の南側の隆起が起き, 郡中層の主要堆積場が北側にシフトした可能性が指摘されている. また, このときの伊予断層の上下方向の断層運動に伴

い郡中層が高角に傾斜したと解釈している. さらに, 東西方向には, 伊予断層と北側の推定断層間に非対称の堆積盆の発達と共に郡中層が形成されていったと考えられている.

謝 辞

2017 年日本地質学会愛媛大会巡検案内書編集委員長ならびに編集委員の方々, さらには佐野 栄巡検準備委員会委員長には本論作成において大変お世話になった. 北海道大学竹下 徹教授および早稲田大学高木秀雄教授の査読により, 本論は大幅に改善された. 私有地の露頭観察では地権者の皆様にご協力頂いた. (株)ナイバの木村一成氏および(株)四国総合研究所の辻 智大博士には, 巡検コースの設定準備について御助力を頂いた. 四国電力株土木建築部の大野裕記博士, 西坂直樹氏および大西耕造氏には現地地質調査においてご協力頂いた. 以上の方々に厚く御礼を申し上げます.

文 献

- Aoki, K., Iizuka, T., Hirata, T., Maruyama, S. and Terabayashi, M., 2007, Tectonic boundary between the Sanbagawa belt and the Shimanto belt in central Shikoku, Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **113**, 171–183.
- Aoki, K., Kitajima, K., Masago, H., Nishizawa, M., Terabayashi, M., Omori, S., Yokoyama, T., Takahata, N., Sano, Y. and Maruyama, S., 2009, Metamorphic P-T-time history of the Sanbagawa belt in central Shikoku, Japan and implications for retrograde metamorphism during exhumation. *Lithos*, **113**, 393–407.
- Chiba, E. and Sakakibara, M., 2006, Peperite at boundary between Middle Miocene andesitic lava and clastic sediments, western Shikoku, Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **112**, XIX–XX.
- 愛媛県 (Ehime Pref.), 2001, 愛媛県活断層調査報告書(概要版) – 中央構造線断層帯(愛媛県北西部, 石鎚山脈北縁, 讃岐山脈南縁)に関する調査 – (*Outline of Active Fault Research Reports of Ehime Prefecture*)*. 47p.
- Famin, V., Raimbourg, H., Garcia, S., Bellashen, N., Hamada, Y., Boullier, A., Fabbri, O., Michon, L., Uchida, T., Ricci, T., Hirono, T. and Kawabata, K., 2014, Stress rotations and the long-term weakness of the Median Tectonic Line and the Rokko-Awaji Segment. *Tectonics*, **33**, doi: 10.1002/2014TC003600.
- Fukunari, T. and Wallis, S. R., 2007, Structural evidence for large-scale top-to-the-north normal displacement along the Median Tectonic Line in southwest Japan. *Island Arc*, **16**, 248–261.
- 後藤秀昭(Goto, H.), 1996, 中央構造線活断層系: 伊予断層の変位地形(Fault morphology of the Iyo Fault, the Median Tectonic Line Active Fault System). 活断層研究(*Act. Fault Res.*), **14**, 28–38.
- 後藤秀昭・中田 高(Goto, H. and Nakata, T.), 2000, 四国の中央構造線活断層系 – 詳細断層分布図と資料 – (*Detailed Distribution of Active Faults along the Median Tectonic Line in Shikoku*). 広島大学総合地誌研究センター研究叢書(Spec. Publ., Res. Center Regional Geogr., Hiroshima Univ.), **35**, 144p.
- 後藤秀昭・中田 高・堤 浩之・奥村晃史・今泉俊文・中村俊夫・渡辺 ト キ 一(Goto, H., Nakata, T., Tsutsumi, H., Okumura, K., Imaizumi, T., Nakamura, T. and Watanabe, T.), 2001, 中央構造線活断層系(四国)の最新活動時期からみた活断層系の活動集中期(The latest surface-faulting events on the Median Tectonic Line in Shikoku, Southwest Japan, based on mini-trenching and geoslicer studies). 地震 II (*Jour. Seismol. Soc. Japan, 2nd Ser.*), **53**, 205–219.

- Grandstein, F., Ogg, J. G. and Smith, A. G., 2004, *A Geologic Time Scale 2004*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, U. K., 589p.
- 長谷川修一 (Hasegawa, S.), 1992, 中央構造線沿いの大規模岩盤すべりと第四紀断層運動 (*Large-Scale Rock Mass Slides and Quaternary Faulting along the Median Tectonic Line in Shikoku, SW Japan*). 東京大学学位論文 (Ph. D Thesis, Univ. of Tokyo), 219p.
- 地震調査研究推進本部 (Headquarter for Earthquake Research Promotion), 2011, 中央構造線断層帯 (金剛断層東縁-伊予灘) の長期評価 (一部改訂) について (*Report of the long-term evaluation for the Median Tectonic Line fault zone the eastern edge of the Kongo mountains-the Iyo-nada Sea*). 86p (http://www.jishin.go.jp/main/chousa/katsudansou_pdf/81_83_85_86_89_chuo_2.pdf, 平成 28 年 11 月 25 日参照)
- 堀越和衛 (Horikoshi, K.), 1964, 四国西部 (愛媛県) における中央構造線に沿う地帯に分布する火山岩類について (On volcanic rocks distributed along the Median dislocation line in the western part of Shikoku). 愛媛大学紀要, 第 II 部 (自然科学) (*Mem. Fac. Sci. Ehime Univ.*), **5**, 7-16.
- Ichikawa, K., 1980, Geohistory of the Median Tectonic Line of Southwest Japan. *Mem. Geol. Soc. Japan*, **18**, 187-212.
- 池田倫治・後藤秀昭・堤 浩之・露口耕治・大野裕記・西坂直樹・小林修二 (Ikeda M., Goto, H., Tsutsumi, H., Tsuyuguchi, K., Ohno, Y., Nishizaka, N. and Kobayashi, S.), 2012, 四国北西部の中央構造線活断層系伊予断層の完新世活動履歴 (Holocene faulting history of the Iyo Fault, part of the Median Tectonic Line active fault system in northwest Shikoku, southwest Japan). 地質雑 (*Jour. Geol. Soc. Japan*), **118**, 220-235.
- Ikeda, M., Kato, S., Nishizaka, N., Ohno, Y., Matsuo, K. and Kishimoto, M., 2013, Magnetotelluric imaging of the Median Tectonic Line in western Shikoku, southwest Japan: Implication of the fault-related low-resistivity zone. *Tectonophysics*, **601**, 78-86.
- 池田倫治・大野一郎・大野裕記・岡田篤正 (Ikeda, M., Ohno, I., Ohno, Y. and Okada, A.), 2003, 四国北西部地域の中央構造線活断層系の地下構造とセグメンテーション. 地震 II (*Jour. Seismol. Soc. Japan, 2nd Ser.*), **56**, 141-155.
- 池田倫治・大野裕記・長谷川修一・岡田篤正 (Ikeda, M., Ohno, Y., Hasegawa, S. and Okada, A.), 2005, 四国北西部中央構造線活断層系, 米湊断層および本郡断層の地下構造と活動履歴 (Subsurface structure and fault segmentation along the Median Tectonic Line Active Fault System, Northwestern Shikoku, Japan). 地震 II (*Jour. Seismol. Soc. Japan, 2nd Ser.*), **57**, 419-439.
- Ikeda, M., Toda, S., Kobayashi, S., Ohno, Y., Nishizaka, N. and Ohno, I., 2009, Tectonic model and fault segmentation of the Median Tectonic Line active fault system on Shikoku, Japan. *Tectonics*, **28**, TC5006, doi: 10.1029/2008TC002349, 2009.
- 池田倫治・辻 智大・後藤秀昭・堤 浩之・興津昌宏・柳田 誠・大野裕記・西坂直樹 (Ikeda M., Tsuji, T., Goto, H., Tsutsumi, H., Okitsu, M., Yanagida, M., Ohno, Y. and Nishizaka, N.), 2015a, 四国中央部の中央構造線断層帯川上断層東端部における群列ボーリング調査 (Arrayed-boring survey near the eastern end of the Kawakami fault of the Median Tectonic Line Active Fault Zone in central Shikoku, southwest Japan). 地質雑 (*Jour. Geol. Soc. Japan*), **121**, 403-419.
- 池田倫治・辻 智大・堤 浩之・後藤秀昭・柳田 誠・大西構造・西坂直樹 (Ikeda, M., Tsuji, T., Tsutsumi, H., Goto, H., Yanagida, M., Onishi, K. and Nishizaka, N.), 2015b, 愛媛県西条市加茂川左岸の中央構造線断層帯岡村断層の断層分布と最新活動時期 (Fault distribution and the time of the latest seismic event of the Okamura fault of the MTL fault zone at the left bank of the Kamo river in Saijo City, Ehime Prefecture). 日本活断層学会 2015 年度秋季学術大会講演予稿集 (2015 Ann. Meet. Japan. Soc. Active Fault Studies, Abstr.), P10.
- 池田倫治・堤 浩之・後藤秀昭・西坂直樹・大野裕記・柳田 誠 (Ikeda, M., Tsutsumi, H., Goto, H., Nishizaka, N., Ohno, Y. and Yanagida, M.), 2014, 四国西部の中央構造線断層帯川上断層の東部における完新世後期の活動履歴 (Late Holocene faulting history of the Kawakami fault of the Median Tectonic Line Fault Zone in west Shikoku, southwest Japan). 活断層研究 (*Act. Fault Res.*), **40**, 1-18.
- Ikeda, M., Zhao, D. and Ohno, Y., 2006, Crustal structure, fault segmentation, and activity of the Median Tectonic Line in Shikoku, Japan. *Tectonophysics*, **412**, 49-60.
- 伊藤谷生 (Ito, T.), 1996, 新段階にはいった中央構造線研究 (レビュー) (New stage of the research on the Median Tectonic Line: A review). テクトニクスと変成作用 (原 郁夫先生退官記念論文集) (*Tectonics and Metamorphism: The Hara Volume*), 創文 (SOUBUN Co., Ltd.), 241-249.
- 伊藤谷生・井川 猛・足立幾久・伊勢崎修弘・平田 直・浅沼俊夫・宮内崇裕・松本みどり・高橋通浩・松澤進一・鈴木雅也・石田啓祐・奥池司郎・木村 学・國友孝洋・後藤忠徳・澤田臣啓・竹下徹・中谷英夫・長谷川修一・前田卓哉・村田明広・山北 聡・山口和雄・山口 覚 (Ito, T., Ikawa, T., Adachi, I., Isezaki, N., Hirata, N., Asanuma, T., Miyauchi, T., Matsumoto, M., Takahashi, M., Matsuzawa, S., Suzuki, M., Ishida, K., Okuike, S., Kimura, G., Kunitomo, T., Goto, T., Sawada, S., Takeshita, T., Nakaya, H., Hasegawa, S., Maeda, T., Murata, A., Yamakita, T., Yamaguchi, K. and Yamaguchi, S.), 1996, 四国中央構造線地下構造の総合物理探査 (Geophysical exploration of the subsurface structure of the Median Tectonic Line, East Shikoku, Japan). 地質雑 (*Jour. Geol. Soc. Japan*), **102**, 346-360.
- Ito, T., Ikawa, T., Yamakita, S. and Maeda, T., 1996, Gently north-dipping Median Tectonic Line (MTL) revealed by recent seismic reflection studies, southwest Japan. *Tectonophysics*, **264**, 51-63.
- Ito, T., Kojima, Y., Kodaira, S., Sato, H., Kaneda, Y., Iwasaki, T., Kurashimo, E., Tsumura, N., Fujiwara, A., Miyauchi, T., Hirata, N., Harder, S., Miller, K., Murata, A., Yamakita, S., Onishi, M., Abe, S., Sato, T. and Ikawa, T., 2009, Crustal structure of southwest Japan, revealed by the integrated seismic experiment Southwest Japan 2002. *Tectonophysics*, **472**, 124-134.
- Itoh, Y., 2015, *Gunchu Formation*. LAP LAMBERT Academic Publishing, 76p.
- Kagami, H., Honma, H., Shirahase, T. and Nureki, T., 1988, Rb-Sr whole rock isochron ages of granites from northern Shikoku and Okayama, Southwest Japan: Implications for the migration of the Late Cretaceous to Paleogene igneous activity in space and time. *Geochem. Jour.*, **22**, 69-79.
- 狩野謙一・村田明広 (Kano, K. and Murata, A.), 1998, 構造地質学 (*Structural Geology*) *. 朝倉書店 (Asakura Publ.), 298p.
- 鹿島愛彦・高橋治郎 (Kashima, N. and Takahashi, J.), 1980, 四国松山平野の環境地質学的研究 (1) - 松山平野とその周辺部の地質 - (Environmental geology of the Matsuyama plain, Shikoku). 愛媛大学紀要自然科学 D (*Mem. Ehime Univ. Sci., Ser. D*), **9**, 1-16.
- 鹿島愛彦・増井 芽 (Kashima, N. and Masui, M.), 1985, 四国高縄半島, 領家変成岩類の地質年代 (Geological age of the Ryoke metamorphic rocks in the Takanawa Peninsula, Shikoku). 地質雑 (*Jour. Geol. Soc. Japan*), **91**, 233-234.
- 鹿島愛彦・武知賢樹 (Kashima, N. and Takechi, K.), 1996, 四国, 石鎚山第三系久万層群の凝灰岩のフィッショントラック年代 (Fission-track age of tuffs from the Kuma Group, Shikoku, Japan). 岩鉱 (*Jour. Mineral. Petrol. Econ. Geol.*), **91**, 196-200.
- 活断層研究会編 (The Research Group for Active Faults of Japan ed.), 1991, 新編日本の活断層: 分布図と資料 (*Active Faults in Japan, New Edition: Distribution Map and the Related Materials*) *. 東京大学出版会 (Univ. Tokyo Press), 437p.
- Kawamura, T., Onishi, M., Kurashimo, E., Ikawa, T. and Ito, T., 2003, Deep seismic reflection experiment using a dense re-

- ceiver and sparse shot technique for imaging the deep structure of the Median Tectonic Line (MTL) in east Shikoku, Japan. *Earth Planet Space*, **55**, 549–557.
- 木原茂樹 (Kihara, S.), 1985, 愛媛県中央部、久万町周辺の始新統久万層群の層序と堆積環境. 構造地質研究会・碎屑物研究会合同シンポジウム論文集「スランプ相」の形成とテクトニクス-未固結堆積物の変形に関する諸問題- (*Proc. Joint Symp. Tectonic Res. Clastic Material Res. Groups*), 133–144.
- 木村昌三・岡野健之助 (Kimura, S. and Okano, K.), 1992, 四国の中央構造線およびその周辺地域についての地震学的考察 (A Seismological examination of the Median Tectonic Line and its surrounding area in Shikoku, Southwest Japan). 地質学論集 (*Mem. Geol. Soc. Japan*), **40**, 187–195.
- 岸 家光・原 郁夫・塩田次男 (Kishi, I., Hara, I. and Shiota, T.), 1996, 市ノ川時階～砥部時階における中央構造線に沿う浅所岩石の変形様式-愛媛県丹原町湯谷口の例 (Deformation styles of shallow-depth rocks along the Median Tectonic Line during the Ichinokawa to the Tobe phase-an example from an outcrop of Tamaracyo (Yuyaguchi), Ehime Prefecture). テクトニクスと変成作用 (原 郁夫先生退官記念論文集) (*Tectonics and Metamorphism: The Hara Volume*), 創文 (SOUBUN Co., Ltd.), 227–232.
- 北林栄一・檀原 徹・岩野英樹 (Kitabayashi, E., Danhara, T. and Iwano, H.), 2012, 愛媛県伊予市の郡中層の火山灰のフィッシュン・トラック年代 (Fission-track age of zircon from volcanic ash layer of the Gunchu Formation in Iyo City, Ehime Prefecture in Shikoku, Japan). 大分地質学会誌 (*Jour. Geol. Soc. Oita*), **18**, 61–64.
- Kobayashi, T., 1941, The Sakawa orogenic cycle and its bearing on the Japanese Island. *Jour. Fac. Sci. Univ. Tokyo, Sec. 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.
- 楠橋 直・山路 敦 (Kushuhashi, N. and Yamaji, A.), 2001, 愛媛県河地域の久万層群が示す西南日本の中新世テクトニクス (Miocene tectonics of SW Japan as inferred from the Kuma Group, Shikoku). 地質雑 (*Jour. Geol. Soc. Japan*), **107**, 26–40.
- Loveless, J. P. and Meade, B. J., 2010, Geodetic imaging of plate motions, slip rates, and partitioning of deformation in Japan. *Jour. Geophys. Res.*, **115**, B02410, doi: 10.1029/2008JB006248.
- 松田哲夫 (Matsuda, T.), 1978, 四国中央部三波川南縁帯石灰質片岩よりトリアス紀中・後期コノドント化石 *Metapolygnathus* の発見 (Discovery of the Middle-Late Triassic conodont genus *Metapolygnathus* from calcareous schist of the Sanbagawa southern marginal belt in central Shikoku). 地質雑 (*Jour. Geol. Soc. Japan*), **84**, 331–333.
- 松井和夫・長谷川修一・山田 仁 (Matsui, K., Hasegawa, S. and Yamada, H.), 1985, 愛媛県伊予市南西に分布する郡中層の年代について (Age dating of the Gunchu Fault distributed in the southwest of Iyo City, Ehime Pref.). 日本地質学会第 92 年学術大会講演要旨 (92th Annu. Meet. Geol. Soc. Japan, Abstr.), 52.
- 三浦健一郎・七山 太・大塚一広・池田倫治・金山清一・長谷川正・杉山雄一・佃 栄吉 (Miura, K., Nanayama, F., Otsuka, K., Ikeda, M., Kanayama, S., Hasegawa, T., Sugiyama, Y. and Tsukuda, E.), 2001, 伊予灘東部海域の中央構造線活断層系の完新世活動性評価 (I) —シングルのチャンネル音波探査の成果— (Holocene activity of the MTL active fault system in east Iyo-nada, Seto Inland Sea (I): Results of single channel acoustic survey). 活断層・古地震研究報告 (*Annu. Rept. Active Fault, Paleoearthq. Res.*), **1**, 199–214.
- 宮田隆夫 (Miyata, T.), 1996, 中央構造線の断層運動と泉層群堆積盆形成のモデル化 (Sandbox modeling for Cretaceous Izumi sedimentary basin along Median Tectonic Line, Southwest Japan). テクトニクスと変成作用 (原 郁夫先生退官記念論文集) (*Tectonics and Metamorphism: The Hara Volume*), 創文 (SOUBUN Co., Ltd.), 220–226.
- 水野清秀 (Mizuno, K.), 1987, 四国及び淡路島の中央構造線沿いに分布する鮮新・更新統について (予報) (Preliminary report on the Plio-Pleistocene sediments distributed along the Median Tectonic Line in and around Shikoku, Japan). 地調月報 (*Bull. Geol. Surv. Japan*), **38**, 171–190.
- 水野清秀 (Mizuno, K.), 1992, 中央構造線に沿う第二瀬戸内期の堆積場—その時代と変遷 (Age and tectonic development of the Plio-Pleistocene sedimentary basins along the Median Tectonic Line, Southwest Japan). 地質学論集 (*Mem. Geol. Soc. Japan*), **40**, 1–14.
- 水野清秀・岡田篤正・寒川 旭・清水文健 (Mizuno, K., Okada, A., Sangawa, A. and Shimizu, F.), 1993, 2.5 万分の 1 中央構造線活断層系 (四国地域) ストリップマップ説明書 (*Explanatory text of strip map of the Median Tectonic Line Active Fault System in Shikoku, Japan, scale 1: 25,000*). 構造図 (8), 地質調査所 (Geol. Surv. Japan), 63p.
- 水野清秀・青矢睦月 (Mizuno, K. and Aoya, M.), 2013, 新居浜地域の地質, 第 9 章 中央構造線, 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅) (*Geology of the Niihama District, Quadrangle Series, 1: 50,000*). 産総研地質調査総合センター (Geol. Surv. Japan/AIST), 141–147.
- Mori, H., Wallis, S., Fujimoto, K. and Shigematsu, N., 2015, Recognition of shear heating on a long-lived major fault using Raman carbonaceous material thermometry: implications for strength and displacement history of the MTL, SW Japan. *Island Arc*, **24**, 425–446.
- 森野道夫・塩田次男・原 郁夫・池田小織・田中義浩・市原 健・森川 倫人・森山 豊・谷野宮恵美・窪田安打 (Morino, M., Shitota, T., Hara, I., Ikeda, S., Tanaka, Y., Ichihara, K., Morikawa, M., Moriyama, Y., Taninomiya, E. and Kubota, Y.), 2002, 中央構造線活断層系川上断層の断層露頭 (Outcrop of shear zone along the Kawakami fault, the Median Tectonic Line active fault system at Yuyaguchi, Tambara Town, Ehime Pref., Western Shikoku). 地質雑 (*Jour. Geol. Soc. Japan*), **108**, III–IV.
- 森野道夫・岡田篤正 (Morino, M. and Okada, A.), 2002, トレンチ調査結果の再検討に基づく四国中央構造線活断層系の活動履歴. 活断層・古地震研究報告 (*Annual Report on Active Fault and Paleoeearthquake Researches*), 産業技術総合研究所地質調査総合センター (Geol. Surv. Japan/AIST), 2, 153–182.
- Nagai, K., 1957, The Upper Eocene Flora of the Kuma Group, in the Ishizuchi Range, Shikoku, Japan. *Mem. Ehime Univ. section 2*, **2**, 73–82.
- 永井浩三・堀越和衛 (Nagai, K. and Horikoshi, K.), 1953, 愛媛県伊予郡砥部町付近の第三紀層 (Tertiary deposits distributed in the neighborhood of Tobe, Iyo-gun, Ehime-ken). 愛媛大学紀要, 第 II 部 (自然科学) (*Mem. Fac. Educ. K. Ehime Univ. Ser. II*), **1**, 119–132.
- 中田 高・後藤秀昭・岡田篤正・堤 浩之・丹羽俊二 (Nakata, T., Goto, H., Okada, A., Tsutsumi, H. and Niwa, S.), 1998, 1: 25,000 都市圏活断層図「西条」 (*Active Fault Map in Urban Area, Saijo*). 国土地理院 (Geospatial Information Authority of Japan).
- 中田 高・今泉俊文編 (Nakata, T. and Imaizumi, T.), 2002, 活断層詳細デジタルマップ (*Digital Active Fault map of Japan*), 東京大学出版会 (Univ. Tokyo Press), 68p, DVD2 枚, 付図 1 葉.
- 中田 高・後藤秀昭 (Nakata, T. and Goto, H.), 1998, 活断層はどこまで割れるのか? 横ずれ断層の分岐形態と縦ずれ分布に着目したセグメント区分モデル (New geometric criteria for active fault segmentation; Fault branching and dip-slip distribution pattern along strike-slip faults). 活断層研究 (*Act. Fault Res.*), **17**, 43–53.
- 七山 太・池田倫治・大塚一広・三浦健一郎・金山清一・小林修二・長谷川正・杉山雄一・佃 栄吉 (Nanayama, F., Ikeda, M., Otsuka, K., Miura, K., Kanayama, S., Kobayashi, S., Hasegawa, T., Sugiyama, Y. and Tsukuda, E.), 2002, 伊予灘から佐賀関

- 沖 MTL 活断層系の広域イメージングとセグメント区分 (Regional imaging and segmentation of the MTL active fault system in the Iyo-nada Sea-off Saganoseki area). 活断層・古地震研究報告 (*Annu. Rep. Active Fault Paleoseismicity Res.*), **2**, 141–152.
- 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 (Narita, K., Yamaji, A., Tagami, T., Kurita, Y., Obuse, A. and Matsuoka, K.), 1999, 四国の第三系久万層群の堆積年代とその意義 (Depositional age of the Tertiary Kuma Group, Shikoku, and its significance). 地質雑 (*Jour. Geol. Soc. Japan*), **105**, 305–308.
- Nishimura, S. and Hashimoto, M., 2006, A model with rigid rotations and slip deficits for the GPS-derived velocity field in Southwest Japan. *Tectonophysics*, **421**, 187–207.
- 西村年晴 (Nishimura, T.), 2016, 和泉層群. 日本地質学会編 日本地方地質誌 7, 四国地方 (*Monograph on Geology of Japan, vol. 7, Shikoku*). 朝倉書店 (Asakura Publ.), 44–50.
- 西村年晴・飯島 東・歌田 実 (Nishimura, T., Iijima, A. and Utada, M.), 1980, 四国・淡路島の和泉層群の沸石統成帯と堆積盆解析 (Zeolitic burial diagenesis and basin analysis of the Izumi Group in Shikoku and Awaji Islands, Southwest Japan). 地質雑 (*Jour. Geol. Soc. Japan*), **86**, 341–351.
- 西日本地殻応力調査班 (Research Group of Crustal Stress in Western Japan), 1980, 応力解放法による地殻応力測定 (1) 四国・佐々連鉱山 (Absolute Measurements of Crustal Stress by a Stress Relief Method: (1) the Sazare Mine, Shikoku). 地震予知連絡会報 (*Report of CCEP*), **23**, 155–159.
- 越智真人・間宮隆裕・楠橋 直 (Ochi, M., Mamiya, T. and Kusuhashi, N.), 2014, 四国の中新統久万層群層序の再検討: “下坂峠層”と“富重層” (A reexamination of the stratigraphy of the Miocene Kuma Group, Shikoku, SW Japan: the “Shimosakabatoge Formation” and the “Tomishige Formation”). 地質雑 (*Jour. Geol. Soc. Japan*), **120**, 165–179.
- 緒方正彦 (Ogata, S.), 1975, 佐田岬半島北岸海域の地質構造—音波探査による海底地質の考察— (Geology of the northern offshore terrain along the Sadamisaki Peninsula, Shikoku Island: Submarine geologic study by the continuous seismic profiling). 電力研報告 (*CRIEPI Res. Rept.*), 37506, 35p.
- 岡田篤正 (Okada, A.), 1972, 四国北西部における中央構造線の第四紀断層運動 (Quaternary Faulting along The Median Tectonic Line in the Central Part of Shikoku). 愛知県立大学文学部論集 (一般教育編) (*Bull. Fac. Literature, Aichi Pref. Univ.*), **23**, 68–94.
- 岡田篤正 (Okada, A.), 1973, 四国中央北縁部における中央構造線の第四紀断層運動 (Quaternary Faulting along The Median Tectonic Line in the Central Part of Shikoku). 地理評 (*Geogr. Rev. Japan*), **46**, 295–322.
- 岡田篤正 (Okada, A.), 1992, 中央構造線活断層系の活動区の分割試案 (Proposal of the segmentation on the Median Tectonic Line active fault system). 地質論集 (*Mem. Geol. Soc. Japan*), **40**, 15–30.
- 岡田篤正 (Okada, A.), 2006, 活断層で発生する大地震の連動・連鎖—中央構造線・濃尾断層系・山陰地域の活断層を事例として— (Temporal clustering of active faultings and large earthquakes: Examples from the Median Tectonic Line active fault system, Nobi fault system and active faults of San'in District). 月刊地球号外 (*Chikyū Monthly Extra Ed.*), **54**, 2–21.
- 岡田篤正 (Okada, A.), 2016, 中央構造線 (活) 断層. 日本地質学会編 地質日本地方地質誌 7, 四国地方 (*Monograph on Geology of Japan, vol. 7, Shikoku*). 朝倉書店 (Asakura Publ.), 338–430.
- 岡田篤正・堤 浩之 (Okada, A. and Tsutsumi, H.), 1990, 四国中・東部における中央構造線の断層露頭と地形面の編年に関する資料 (Data on fault exposures of the Median Tectonic Line and geomorphic surface chronology in the central to eastern part of Shikoku, Southwest Japan). 活断層研究 (*Act. Fault Res.*), **8**, 31–47.
- 岡田篤正・堤 浩之 (Okada, A. and Tsutsumi, H.), 1997, 中央構造線活断層系父尾断層の完新世断層活動—徳島県市場町でのトレンチ調査— (Holocene Activity of the Chichio Fault, the Median Tectonic Line Active Fault System, Southwest Japan, based on Trenching Studies). 地学雑 (*Jour. Tokyo Geogr. Soc.*), **106**, 644–659.
- 岡田篤正・堤 浩之・中田 高・後藤秀昭・丹羽俊二, 1998, 1: 25,000 都市圏活断層図「郡中」 (*Active Fault Map in Urban Area, Gunchū*). 国土地理院 (Geospatial Information Authority of Japan).
- 岡田篤正・杉戸信彦 (Okada, A. and Sugito, N.), 2006, 四国中央部の中央構造線活断層帯の地形・地質・地質構造 (Geomorphology, geology and subsurface structure of the Median Tectonic Line active fault zone in the central part of Shikoku). 地質雑 (*Jour. Geol. Soc. Japan*), **112**, 補遺 (Supplement), 117–136.
- Onishi, K., Nishizaka, N., Ishikawa, Y., Nayuki, T., Tanaka, T., Ando, K., Oouchi, T. and Ito, T., 2016, Estimate of the initial rock stress by performing a comprehensive evaluation using the results of several techniques. 7th Civil Engineering Conference in the Asian Region (CECAR 7), Waikiki, Oahu, Hawaii, August 30–September 2.
- 大野裕記・小林修二・長谷川修一・本荘静光・長谷川正 (Ohno, Y., Kobayashi, S., Hasegawa, S., Honsho, S. and Hasegawa, T.), 1997, 四国北西部伊予灘海域における中央構造線活断層系の深部構造とセグメンテーション (Deep-seated structure and segmentation of the active faults of the Median Tectonic Line by the seismic refraction and reflection survey, in the Iyo-nada sea, northwest Shikoku). 四国電力, 四国総合研究所研究期報 (*SEPCO SRI Half-Year Res. Rep.*), **68**, 48–59.
- 大藤 茂・下條将徳・青木一勝・中間隆晃・丸山茂徳・柳井修一 (Otoh, S., Shimojo, M., Aoki, K., Nakama, T., Maruyama, S. and Yanai, S.), 2010, 砂質片岩中のジルコンの年代分布に基づく三波川帯区分の試み (Age distribution of detrital zircons in the psammitic schist of the Sanbagawa Belt, Southwest Japan). 地学雑 (*Jour. Geol. Soc. Japan*), **119**, 333–346.
- 斎藤 実・板東祐司・栗原権史郎・西嶋輝之・寺田道直 (Saito, M., Bando, Y., Kurihara, G., Nishijima, T. and Terada, M.), 1972, 瀬戸内南岸平野部の水理地質について (On the hydrogeology in the southern alluvial plain of the Setouchi area). 香川大学農学部学術報告 (*Tech. Bull. Fac. Agr. Kagawa Univ.*), **23**, 221–232.
- 神原正幸 (Sakakibara, M.), 2016, 三波川帯. 日本地質学会編 地質日本地方地質誌 7, 四国地方 (*Monograph on Geology of Japan, Vol. 7, Shikoku*). 朝倉書店 (Asakura Publ.), 51–88.
- 佐藤比呂志・児島悠司・村田明広・伊藤生・金田義行・大西正純・岩崎貴哉・於保幸正・荻野スミ子・狩野謙一・河村知徳・蔵下英司・越谷 信・高須 晃・竹下 徹・津村紀子・寺林 優・豊原富士夫・中島 隆・野田 賢・橋本善孝・長谷川修一・平田 直・宮内崇裕・宮田隆夫・山北 聡・吉田武義・Harder, S., Miller, K., Kaip, G., 小澤岳史・井川 猛 (Sato, H., Kojima Y., Murata, A., Ito, T., Kaneda, Y., Onishi, M., Iwaski, T., Oho, Y., Ogi-no, S., Kano, K., Kawamura, T., Kurashimo, E., Koshiya, S., Takasu, A., Takeshita, T., Tsumura, N., Terabayashi, Y., Toyohara, F., Nakajima, T., Noda, K., Hashimoto, Y., Hasegawa, S., Hirata, N., Miyauchi, T., Miyata, T., Yamakita, S., Yoshida, T., Harder, S., Miller, K., Kaip, G., Ozawa, T. and Ikawa, T.), 2005, 西南日本外帯の地殻構造, 2002 年四国—瀬戸内横断地殻構造探査の成果 (Crustal Structure of the Outer Zone in Southwest Japan revealed by Shikoku and Seto-Inland-Sea Seismic Profiling in 2002). 地震研集報 (*Bull. Earthq. Res. Inst. Univ. Tokyo*), **80**, 53–71.
- Sato, H., Kato, N., Abe, S., Van Horne, A. and Takeda, T., 2015, Reactivation of an old plate interface as a strike-slip fault in a slip-partitioned system: Median Tectonic Line, SW Japan. *Tectonophysics*, **644–645**, 58–67.
- 柴田 賢・中島 隆・寒川 旭・内海 茂・青山秀喜 (Shibata, K., Nakajima, T., Sangawa, A., Utsumi, S. and Aoyama, H.), 1989, 四国における中央構造線の断層ガウジの K–Ar 年代 (K–Ar ages of fault gouges from the Median Tectonic Line in Shikoku).

- 地調月報(*Bull. Geol. Surv. Japan*), **40**, 661–671.
- 須槍和巳・阿子島功(Suyari, K. and Akojima, I.), 1973, 四国島の中央構造線の新期の活動様式(Fault movements of the region adjacent to the Median Tectonic Line and their significance with topographic evolution of Shikoku, Japan). 杉山隆二編, 中央構造線(*Median Tectonic Line edited*), 東海大学出版会(Tokai Univ. Press), 177–189.
- 須槍和巳・桑野幸夫・石田啓祐(Suyari, K., Kuwano, Y. and Ishida, K.), 1980, 四国西部三波川帯主部よりの後期三疊紀コノドントの発見(Discovery of the Late Triassic conodonts from the Sambagawa Metamorphic Belt proper in western Shikoku). 地質雑(*Jour. Geol. Soc. Japan*), **86**, 827–828.
- Suzuki, S. and Adachi, M., 1998, Denudation history of the high T/P Ryoke metamorphic belt, southwest Japan: Constraints from CHIME monazite ages of gneiss and granitoids. *Jour. Metamorphic Geol.*, **16**, 23–37.
- Tabei, T., Hashimoto, M., Miyazaki, S., Hirahara, K., Kimata, F., Matsushima, T., Tanaka, T., Eguchi, Y., Takaya, T., Hosoi, Y., Ohya, F. and Kato, T., 2002, Subsurface structure and faulting of the Median Tectonic Line, southwest Japan inferred from GPS velocity field. *Earth Plant Space*, **54**, 1065–1070.
- Taira, A., Saito, Y. and Hashimoto M., 1983, The role of oblique subduction and strike-slip tectonics in the evolution of Japan. *AGU/GSA Geodyn. Ser.*, **II**, 303–316.
- 高木秀雄・柴田賢(Takagi, H. and Shibata, K.), 1992, 断層ガウジのK–Ar年代測定—中央構造線における例(K–Ar dating of fault gouge: examples along the Median Tectonic Line). 地質学論集(*Mem. Geol. Soc. Japan*), **40**, 31–38.
- 高木秀雄・竹下徹・柴田賢・内海茂・井上良(Takagi, H., Takeshita, T., Shibata, K., Utsumi, S. and Inoue, R.), 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(Middle Miocene normal faulting along the Tobe Thrust in western Shikoku). 地質雑(*Jour. Geol. Soc. Japan*), **98**, 1069–1072.
- 高木秀雄(Takagi, H.), 1997, 中部地方領家帯のマイロナイト化の時期(A time of mylonitization of Ryoke belt in the Chubu district)*. 月刊地球(*Chikyu Monthly*), **19**, 111–116.
- 高橋治郎(Takahashi, J.), 1977, 愛媛県松山市南部の地質と中央構造線(On Geology and the Median Tectonic Line in the southern part of Matsuyama City, Ehime Prefecture). 地質雑(*Jour. Geol. Soc. Japan*), **83**, 325–340.
- 高橋治郎(Takahashi, J.), 1986, 愛媛県松山市周辺地域の“中央構造線”(On "The Median Tectonic Line" In Matsuyama City and The Neighbouring Areas, Ehime Prefecture, Japan). 愛媛大学教育学部紀要, 第三部(自然科学)(*Mem. Fac. Educ. Ehime Univ. Ser. III*), **6**, 1–44.
- 高橋治郎(Takahashi, J.), 2016, 中央構造線(The Median Tectonic Line). 日本地質学会編, 地質日本地方地質誌7, 四国地方(*Monograph on Geology of Japan, Vol. 7, Shikoku*). 朝倉書店(Asakura Publ.), 325–338.
- 高橋治郎・大瀧昭智・鹿島愛彦(Takahashi, J., Otaki, A. and Kashima, N.), 1984, 愛媛県松山市南方に分布する矢倉層について(On the Yakura Formation to the south of Matsuyama City, Ehime Prefecture, Japan). 愛媛大学教育学部紀要, 第三部(自然科学)(*Mem. Fac. Educ. Ehime Univ. Ser. III*), **4**, 31–38.
- 高橋治郎・鹿島愛彦(Takahashi, J. and Kashima, N.), 1985, 愛媛県伊予市森の海岸に分布する郡中層について(On the Gunchu Formation at the Mori Coast Iyo City, Ehime Prefecture). 愛媛大学教育学部紀要, 第三部(自然科学)(*Mem. Fac. Educ. Ehime Univ. Ser. III*), **5**, 19–29.
- 武田賢治(Takeda, K.), 1996, 四国, 松山南東部の中央構造線の始新世—中新世テクトニクス(Eocene-Miocene tectonics of the Median Tectonic Line in the southeastern Matsuyama area, Shikoku, Japan). テクトニクスと変成作用(原 郁夫先生退官記念論文集)(*Tectonics and Metamorphism: The Hara Volume*), 創文(SOUBUN Co., Ltd.), 233–240.
- 竹下徹(Takeshita, T.), 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(Deformation microstructures in dominantly white-colored rocks distributed along the Tobe Thrust of the Median Tectonic Line and their implication). 地質雑(*Jour. Geol. Soc. Japan*), **97**, 175–178.
- 竹下徹(Takeshita, T.), 1993, 日本海拡大期の西南日本前弧域および中央構造線沿いの変形: 予察(Deformation of the forearc region and along the Median Tectonic Line in southwest Japan during the opening of the Japan Sea: A preliminary report). 地質学論集(*Mem. Geol. Soc. Japan*), **42**, 225–244.
- 竹下徹(Takeshita, T.), 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(Tectonics in the Forearc Region of Central and SW Japan during the Japan Sea Opening). 地学雑(*Jour. Geol. Soc. Japan*), **119**, 347–361.
- 竹下徹・田中秀実・板谷徹丸(Takeshita, T., Tanaka, H. and Itaya, T.), 2000, 四国西部‘石鎚山第三系’のK–Ar年代とその意味(K–Ar ages of the ‘Ishizuchiya Tertiary System’ in western Shikoku, Japan, and their implications). 地質雑(*Jour. Geol. Soc. Japan*), **106**, 308–311.
- 田崎耕市・高橋治郎・板谷徹丸・グレープス, R. H.・鹿島愛彦(Tazaki, K., Takahashi, J., Itaya, T., Grapes, R. H. and Kashima, N.), 1990, 四国北西部の中央構造線に貫入した安山岩のK–Ar年代(K–Ar ages of the andesites intruding along the Median Tectonic Line in northwestern Shikoku, Japan). 岩鉱(*Jour. Mineral. Petrol. Econ. Geol.*), **85**, 155–160.
- 田崎耕市・加々美寛雄・板谷徹丸・長尾隆志(Tazaki, K., Kagami, H., Itaya, T. and Nagao, T.), 1993, 四国北西部の中央構造線に沿う酸性火山岩の起源とK–Ar年代(K–Ar ages and the origin of acidic volcanic rocks along the Median Tectonic Line at northwest Shikoku, Japan). 地質学論集(*Mem. Geol. Soc. Japan*), **42**, 267–278.
- 佃 栄吉(Tsukuda, E.), 1992, 西南日本弧のアクティブテクトニクス—前弧スリバーの西進運動にともなう変形像—(Active tectonics of Southwest Japan arc controlled by the westward translation of the forearc sliver). 地質学論集(*Mem. Geol. Soc. Japan*), **40**, 235–250.
- 佃 栄吉(Tsukuda, E.), 1996, 中央構造線活断層系のセグメンテーションと周囲の地質構造(Segmentation and its related geologic structures of the Median Tectonic Line active fault system, southwest Japan). テクトニクスと変成作用(原 郁夫先生退官記念論文集)(*Tectonics and Metamorphism: The Hara Volume*), 創文(SOUBUN Co., Ltd.), 250–257.
- 堤 浩之・岡田篤正・中田 高・安藤雅孝(Tsutsumi, H., Okada, A., Nakata, T. and Ando, M.), 1992, 中央構造線岡村断層の地表付近の構造と完新世の活動: 1988年春季西条地区トレンチ発掘調査(Near surface structure and Holocene movements on the Okamura fault, an active segment of the Median Tectonic Line in central Shikoku: A case study of the 1988 spring trench survey). 地質論集(*Mem. Geol. Soc. Japan*), **40**, 113–127.
- 堤 浩之・岡田篤正・後藤秀昭・松木宏彰(Tsutsumi, H., Okada, A., Goto, H. and Matsuki, H.), 2000, 中央構造線活断層帯川上断層の完新世後期における活動履歴(Late Holocene faulting along the Kawakami fault, an active segment of the Median Tectonic Line, southwest Japan). 活断層研究(*Act. Fault Res.*), **19**, 77–86.
- Tsutsumi, H. and Okada, A., 1996, Segmentation and Holocene surface faulting on the Median Tectonic Line, Southwest Japan. *Jour. Geophys. Res.*, **101**, 5855–5871.
- 堤 浩之・後藤秀昭(Tsutsumi, H. and Goto, H.), 2006, 四国の中央構造線断層帯の最新活動に伴う横ずれ変位量分布(Surface offsets associated with the most recent earthquakes along the Median Tectonic Line Active Fault Zone in Shikoku, Southwest Japan). 地震2輯(*Jour. Seismol. Soc. Japan, 2nd Ser.*), **59**, 117–132.
- 堤 浩之・戸田 茂・今村朋裕・石山達也・河村知徳・佐藤比呂志・宮内崇裕・加藤 一・隈元 崇・武田麻美・山本彰吾(Tsutsumi, H., Toda, S., Imamura, T., Ishiyama, T., Kawamura, T., Sato, H.,

- Miyauchi, T., Kato, H., Kumamoto, T., Takeda, A. and Yamamoto, S.), 2007, 四国の中央構造線断層帯の浅層反射法地震探査—2002年新居浜測線と2003年阿波測線—(Seismic reflection surveys across the Median Tectonic Line Active Fault Zone in Niihama City, Ehime Prefecture and Awa City, Tokushima Prefecture). 地震研彙報(*Bull. Earthq. Res. Inst. Univ. Tokyo*), **82**, 105–117.
- 植木岳雪・満塩大洗, 1998, 阿讃山地の隆起過程: 鮮新～更新統三豊層群を指標にして(Uplift history of the Asan Mountains, Shikoku, southwest Japan, based on stratigraphy and lithofacies of the Plio-Pleistocene Mitoyo Group). 地質雑(*Jour. Geol. Soc. Japan*), **104**, 247–267.
- Wallace, L. M., Ellis, S., Miyao, K., Miura, S., Beavan, J. and Goto, J., 2009, Enigmatic, highly active left-lateral shear zone in southwest Japan explained by aseismic ridge collision. *Geology*, **37**, 143–146.
- Wallis, S. R., Takasu, A., Enami, M. and Tsujimori, T., 2000, Eclogite and related metamorphism in the Sanbagawa belt, southwest Japan. *Bull. Res. Inst., Okayama, Univ. Sci.*, **26**, 3–17. Stop 1
- Woodcock, N. H. and Fisher, M., 1986, strike-slip duplexes. *Jour. Struct. Geol.*, **8**, 725–735.
- 山北 聡・伊藤谷生・田中秀実・渡辺弘樹(Yamakita, S., Ito, T., Tanaka, H. and Watanabe, H.), 1995, 古期中央構造線としての佐志生断層の前期漸新世における top-to-the-west 斜め衝上運動(Early Oligocene top-to-the-west motion along the Sashu fault, a low-angle oblique thrust of the Paleo-Median Tectonic Line, east Kyushu, Japan). 地質雑(*Jour. Geol. Soc. Japan*), **101**, 978–988.
- Yuhara, M., Kagami, H. and Nagao, K., 2000, Geochronological characterization and petrogenesis of granitoids in the Ryoke belt, Southwest Japan Arc: constraints from K–Ar, Rb–Sr and Sm–Nd systematics. *Island Arc*, **9**, 64–80.
- 吉岡敏和・栗田泰夫・下川浩一・杉山雄一・伏島祐一郎(Yoshioka, T., Awata, Y., Shimokawa, K., Sugiyama, Y. and Fusesima, Y.), 2005, 全国主要活断層活動確率地図説明書. 構造図(14) (*Explanatory Text of the Rupture Probability Map of Major Active Faults in Japan*). Tectonic Map Ser.14), 産総研地質調査総合センター(Geol. Surv. Japan, AIST), 127p.

* English translation from the original written in Japanese

科学論文では、学説の検証可能性を保証することが重要です。そのため、地質学雑誌掲載論文には、重要な証拠となった試料がどこで得られたかを示しているものがあります。言うまでもないことですが、見学や採取を行う場合、各自の責任において地権者や関係官庁への連絡と許可の取得の必要があることにご注意下さい。詳しくは、以下のサイトをご覧ください。

<http://www.geosociety.jp/publication/content0073.html>

一般社団法人日本地質学会