

活動の成果概要

令和3年度 土佐清水ジオパーク活動支援事業

【事業対象者】 羽地 俊樹

【所属】 国立研究開発法人産業技術総合研究所

活動の名称 中新統三崎層群の小断層・鉾物脈の調査研究

【活動の成果概要】

1 背景

土佐清水市の南部には、後期始新世から前期中新世の堆積年代が想定される四万十帯南帯に属する付加体の来栖野層および清水層と、前期中新世から中期中新世にかけての前弧海盆堆積物である三崎層群が分布する。土佐清水日本ジオパークは、これらの地質およびその地質資源を生かした人々の暮らしを主題として昨年新たに認定された日本ジオパークであり、これら地質の調査研究は同ジオパークの発展や土佐清水市の地質を観光資源として活用を促すにあたって重要である。また日本ジオパークネットワークには、本ジオパークと似た地質背景を持つ南紀熊野ジオパークが存在する。そこには、同じく四万十帯南帯とそれを覆う中新世前半の前弧海盆堆積物である熊野層群や田辺層群が分布する。しかし、両ジオパークに分布する前弧海盆堆積物の地質構造は大きく異なっている。熊野地域ではそれら堆積物は基盤の付加体を不整合に多い、比較的緩傾斜かつ分かりやすい地質構造で上位に重なっている。一方で土佐清水ジオパークでは、三崎層群は一部で基盤との不整合が確認されているものの(木村, 1985), その外縁のほとんどを断層で境され、また同層群は急傾斜の姿勢である。したがって、これらの構造差の成因の研究を進めることは、土佐清水ジオパークの日本ジオパーク内での差別化および価値向上に貢献するものと考えられる。

このような背景の下、本研究では三崎層群の構造発達史の解明を目指し、同層群の地質調査を行った。具体的には、小断層や鉾物脈の探索を行い、それらの構造から古応力を検討することを試みた。中新世の西南日本では、背弧で日本海の拡大が起こり、前弧で伊豆弧の衝突が進行した、特異なテクトニックセッティングが想定されている。上述のように三崎層群はこの頃の西南日本の他地域の前弧海盆堆積物と比べて傾動しており、その構造発達史は中新世以降の構造発達史を考えるうえで制約条件を与えると期待される。しかし、同層群に関しては、層序・堆積学的な研究は多くあるものの(例えば、木村, 1985), 構造地質学的研究例はほとんどない。そこで、本研究では同層群中の小構造から構造発達史の解明の手掛

かりを見出そうと試みたわけである。

2 地質概説

中新統三崎層群は下位から順に、整合一連に重なる養老層・浜益野層・竜串層からなり、合計の層厚は 3000m に達する前弧海盆堆積物である。三崎層群は多くの生痕や堆積構造が見られ、それらから堆積環境に関する研究例が多く存在する。それらによれば、泥岩主体の岩相からなる養老層は外側陸棚、砂岩泥岩互層からなる浜益野層は内側陸棚、砂岩主体の竜串層は浅海から潮間帯の堆積物であると考えられている（例えば、奈良ほか、2017）。

三崎層群の堆積年代を示す地質学的証拠は多くはないが、およそ 13~18 Ma の頃の地層であると想定されている。養老層の最下部から、Blow (1969) の N7 に相当する浮遊性有孔虫化石が報告されている（木村、1985）。また、三崎層群は土佐清水ジオパーク南東端の足摺岬花崗岩体（約 13 Ma; Shinjoe et al., 2010）が定置する以前の地層であるとされる（木村、1985）。

3 小構造と古応力

三崎層群には、地質図規模の断層が複数存在することが報告されており、そのトレンドやみかけの変位方向についての報告がある（木村、1985）。また、Raimbourg et al. (2017) は土佐清水市周辺の付加体中の変形構造解析を行った際に、三崎層群分布域についても主応力軸の結果を報告している。しかし、対象とした構造が何者かについての記載がない。このように、露頭規模で観察される小断層や鉱物脈については、先行研究の記載例がない状況であった。

本研究で露頭調査を行った結果、三崎層群中には多数の小断層が存在することが明らかとなった（図 1）。今年度の調査で報告者は、養老集落から浜益野集落までの海岸露頭の養老層および浜益野層と竜串周辺の竜串層の概査を行った。分布密度の差はあるものの、いずれの地域でも小断層は普遍的に存在することが分かった。それらは数 cm~数 10 cm の変位量を持ち、いわゆる面なし断層ではなく断層面の露出が可能で、小断層解析に利用する方位データが採取可能なものであった。また養老層内部では少量の鉱物脈も見られたが、それらは断層活動に付随して生じた割れ目に注入したものと判断されるものが大半であり、岩脈解析法には適さないものであった（図 2）。したがって、本研究では古応力の検討のため、小断層の方位データの採取を行った。

小断層データは層準ごとの比較を目的として、養老集落東海岸沿いの養老層、落窪集落南の海岸沿いの浜益野層、竜串公園の竜串層の 3 層準から採取した（図 3）。採取した小断層データを図 4 に示す。養老層では 102 条の断層条線データを採取でき、東西走向の断層面を持つ断層が多かった（図 4a）。そのセンスは見かけ正断層が多いものの、断層条線から変位方向が確認できた断層では、正・逆・横ずれの多様な変位方向のものが混在していた（図

4a). 浜益野層では 30 条の断層データを採取した (図 4b). 断層面の方向はばらつくものの NE-SW 走向のものは少なく, NW-SE 方向にわずかな集中が見られた. また, その変位方向も多様であるが, 正断層センスを持つものが少なかった. 竜串層では 40 条の小断層データを採取し, その断層面の方位は NW-SE 方向へよい集中を示した (図 4c). ただし, 文化財指定地域のため非破壊で調査を行った結果, 断層条線の情報を得ることができず, 採取できたデータは自然に断層面が露出していた 1 条を除きセンスオンリーデータであった.

得た小断層データに Hough 変換法 (Sato, 2006; Yamaji et al., 2006) を利用して古応力解析を行った. 応力解析結果を図 5 に示す. 3 つのデータセットの応力解析の結果, 各地点のデータを代表する応力はそれぞれ異なった. 養老層から得たデータセット YR1 では, 最大圧縮主応力軸 ($\sigma 1$) が鉛直に近く, 最小圧縮主応力軸 ($\sigma 3$) が NW-SE 方向を向いた応力 Y が得られた (図 5a). 応力 Y の応力比は中程度であった. 浜益野層のデータセット HM1 では $\sigma 1$ が NW-SE 方向を, $\sigma 3$ が鉛直ないし, NE-SW 走向で中程度の傾斜角の応力テンソルが卓越した (図 5b). それらから, 応力比が中程度の応力 H が見いだされた. 竜串層から得たデータセット TT1 では, センスオンリーデータが大半を占めることからその解析精度は低かったが, $\sigma 1$ は NW-SE 走向の低角から高角もしくは鉛直の姿勢を, $\sigma 3$ は低角の姿勢を持つであろうことが推定された.

4 議論とまとめ

三崎層群周辺の構造発達史を扱った近年の研究として, Raimbourg et al. (2017) がある. 彼らは, 三崎層群およびその基盤をなす付加体中の最高被熱温度解析を行い, 三崎層群と付加体には 100°C を越える最高被熱温度の差があることを報告した. また, 栗栖野層中の劈開から得られた K-Ar 年代値 (Agar et al., 1989) に依拠して, 前期中新世の 18 Ma 頃に被熱イベントが起きたと述べている. これらに基づき, 前期中新世の土佐清水地域では伊豆弧の海嶺衝突沈み込みがあり, それに起因する高い温度勾配と強圧縮が存在したと議論した. しかし, 本議論にはいくらかの問題がある. まず 1 つ目に, 付加体と三崎層群で得られた応力配置に大きな差がない点である. 彼らは変形構造解析をしているが, 土佐清水市南部からは付加体と三崎層群のどちらからも NNW-SSE 方向に最大圧縮主応力軸を持つ横ずれ断層型応力のみが得られている. 彼らの議論に則れば, 基盤の付加体中から強圧縮応力が得られ, それは三崎層群中で得られないことになる. また, 上記で参照された変形の年代の議論も疑わしい. 実際, 彼ら自身も分析に扱った結晶径に問題があることを指摘している (Raimbourg et al., 2017). したがって, 前期中新世から中期中新世にかけての土佐清水市の構造発達史は再検討の必要性がある.

本研究で古応力解析を行った 3 つの地点では, 異なる応力が得られた. 本研究で扱った小断層データは三崎層群の一部にすぎず, 大局的な議論を行うには十分でない. したがって, この解析結果の差の要因として考えられる可能性を指摘するに留める. 本報告書では 3 つの要因を指摘する. 1 つ目は, 小断層の形成後の傾動によって解析結果がみかけ回転してい

る可能性である。今回データを採取した小断層それぞれの直近の母岩の姿勢を図 6 に示す。図の通り、今回小断層データを採取した 3 地点の母岩の姿勢はその集中方向が異なる。三崎層群の各地層はいずれも整合的に重なりとされていることから (木村, 1985), この姿勢の変化は堆積後の傾動が一様でなかったと考えられる。実際, 木村 (1985) の走向線図でも地質図スケールの褶曲が認められる。したがって, 小断層の形成後にこれらの変形が起こっていた場合, 地域的な傾動によって見かけの応力の方位が変わってしまっている。2 つ目は三崎層群堆積中の応力変化があった可能性である。三崎層群中では, 変形の程度に差が見受けられた。具体的には, 下部の養老層は小断層が多数見られるだけでなく一部の泥岩では劈開が発達するなど, 三崎層群のより上部の地層とは様相が異なった。したがって, 例えば養老層堆積時には強いテクトニクス下にあった後に, 浜益野層堆積時から落ち着いた別の応力場に置かれたなどの仮説も考えられ, そもそも三崎層群の各層準が経験した古応力が異なる可能性がある。3 つ目に複数の応力記録が混在している可能性である。三崎層群は上述のようにその堆積中に応力編年があった可能性があり, さらにその堆積後も約 1500 万年間のあいだ様々な変形を繰り返している。この間に経験した複数の応力状態による小断層データが混在していると考えられ, その数密度によっては応力解析結果が不安定になる。これらに加えて, 他にも複数の要因が影響している可能性があり, 今後の調査では「同層準で姿勢の異なる地域での比較」, 「似た姿勢の異なる層準での比較」, 「追加調査による応力解析結果の向上」を進めることでこれら要因の寄与を検証できるだろう。

今回の調査によって, 三崎層群中には構造地質学的研究対象となりえる小構造が多数存在し, 詳細な検討が可能であることが明らかとなった。海食棚の露出が良く, 小断層の分布密度が比較的高いことから, 小断層間の切断関係が認定される地点も少なくない (例えば, 図 1b では写真右上から左下に走る断層が, 左上から右下へ走る断層を切断している)。したがって, 上述の応力編年の議論にあたり, 断層の産状から制約を与えることが可能であると見込まれる。また, 三崎層群中には地質図規模では表現されない小規模なせん断帯も確認され, さらに一部小断層ではそのせん断帯との切断関係も認められた (図 7)。本研究の露頭調査日数はわずか 5 日であるが, その間に以上のような露頭情報を得ることができた。したがって, より丹念な地質調査を行うことで, 地質図規模の傾動, 褶曲や断層・露頭規模のせん断帯・小断層といった複数の規模の変形構造に対して, 露頭の産状から前後関係を見出せる可能性がある。このように, 三崎層群からは高品位な構造地質学的データを得ることが可能であり, 方位データに依存した古応力の議論だけでなく, 露頭情報を加味した厚みのある構造発達史の議論が可能である。今後の調査で, これらのデータ収集を行い, 層準・広域的な変化を比較することで三崎層群の構造発達史を検討することが可能であると見込まれる。

5 引用文献

Agar et al., 1989. J. Geol. Soc. London, 146, 893–986.

Blow, 1969. Internat. Conf. Plankton. Microfos., 1st, Proc., 1, 199–421.

木村, 1985. 地質雑, 91, 815–831.

奈良ほか, 2017. 地質雑, 123, 471–489.

Raimbourg et al., 2017. Tectonics, doi: 10.1002/2017TC004529.

Sato, 2006. Tectonophys, 421, 319–330

Shinjoe et al., 2010. Geochem. J., 44, 275–283.

Yamaji et al., 2006. J. Struct. Geol., 28, 980–990.

6 付図

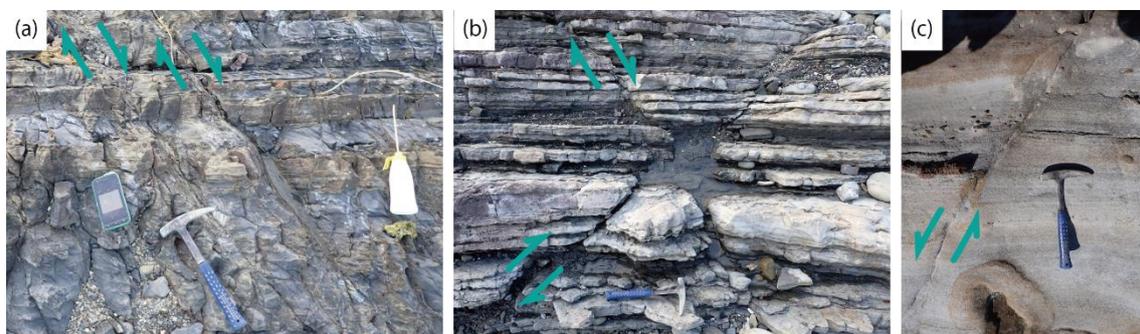


図1. 三崎層群中の小断層の露頭写真 (a: 養老層, b: 浜益野層, c: 竜串層)

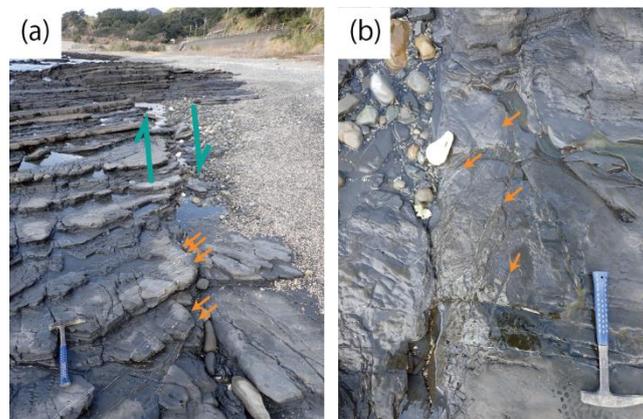


図2. 三崎層群中の鉞物脈（オレンジ色矢印）の露頭写真（a: 遠景, b: 鉞物脈近傍）. 右横ずれ主断層周辺に発達したリーデルセン断面（R1）に沿って注入したものと考えられる.

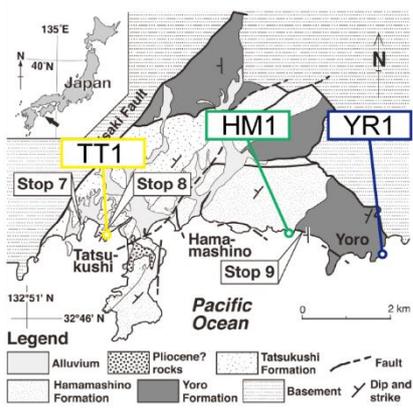


図3. 小断層データ採取位置 (奈良ほか, 2017 に加筆)

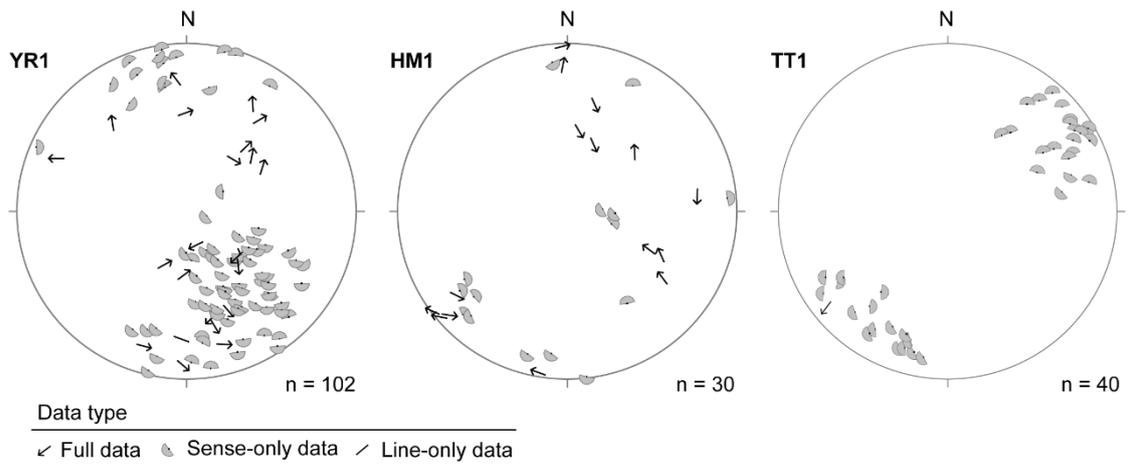


図4. 採取した小断層データ (Tangent-lination diagram)

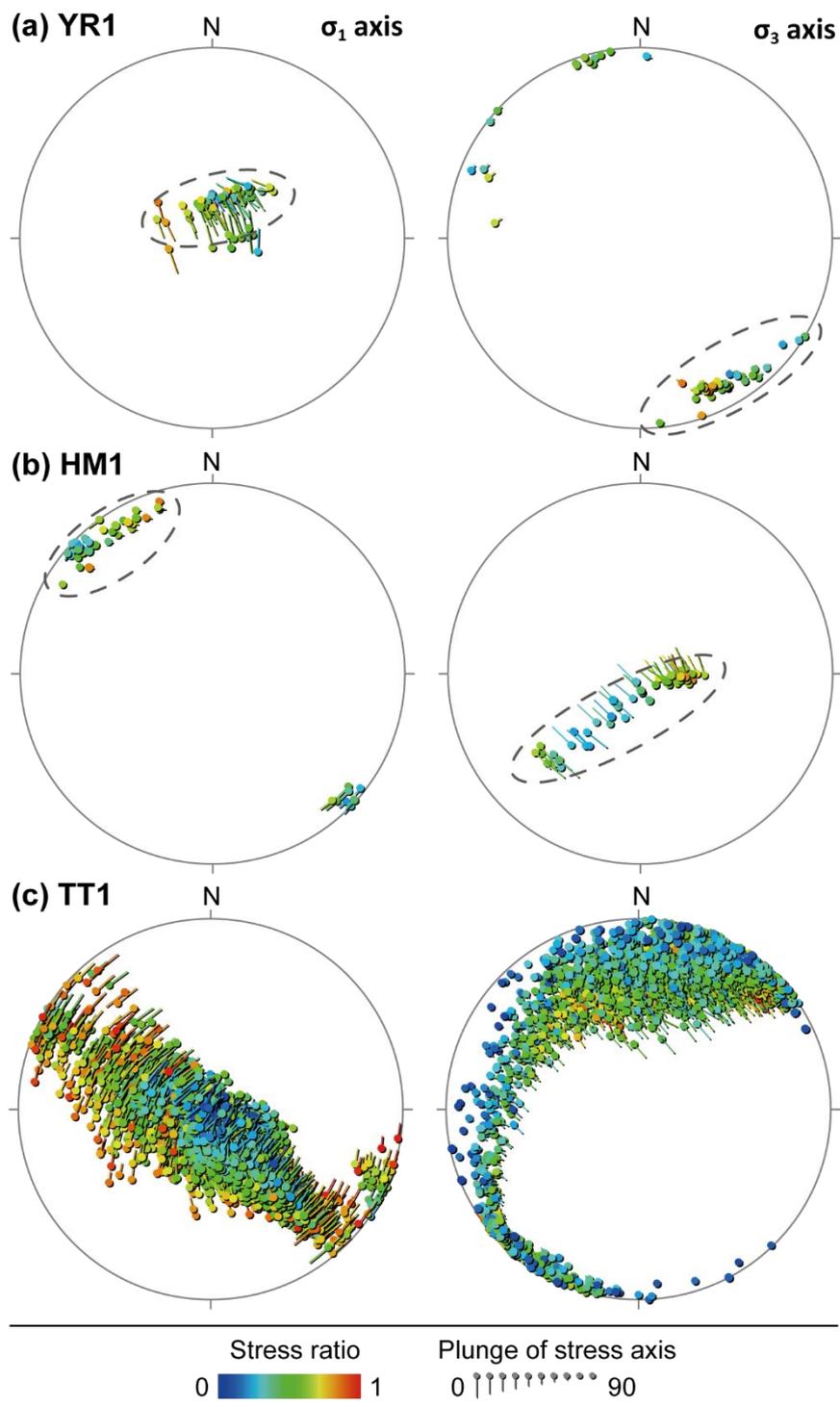


図5. 応力解析結果一覽

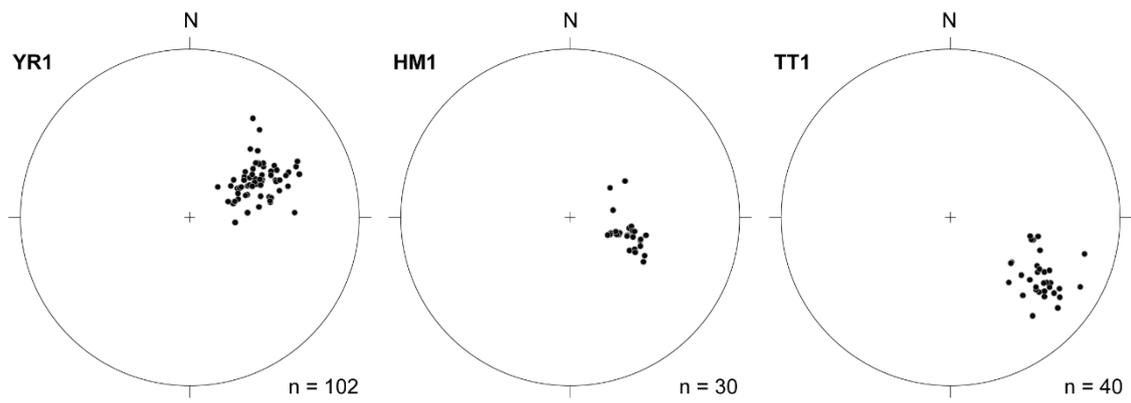


図6. 小断層データを採取した露頭の層理面の方向 (下半球等積投影).

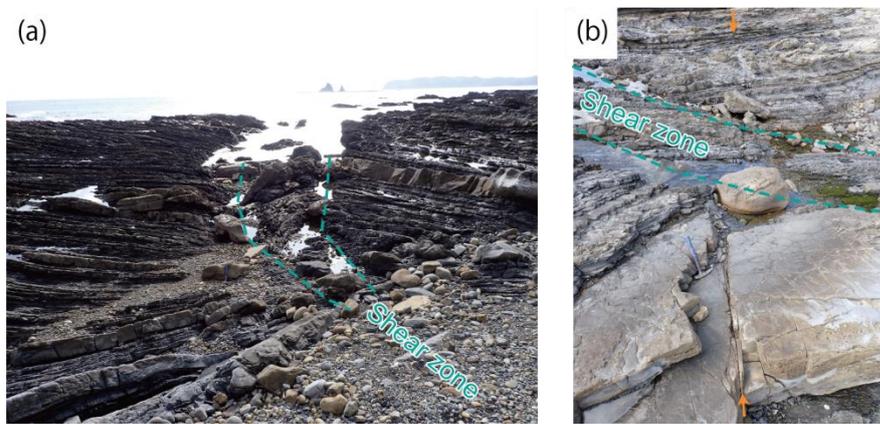


図7. 露頭規模のせん断帯. (a) 遠景. (b)小断層との切断関係.