

(別記5-1)

## 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】西沢 志穂

【所属】神戸大学大学院理学研究科惑星学専攻

## **活動の名称 千尋岬の温度境界から読み解く土佐清水の地史**

### 【活動の成果概要】

#### <目的・概要>

令和元年, 2年度の土佐清水ジオパーク構想活動支援研究(山本・千代延 2020, 山本 2021)によって, 土佐清水ジオパークの一大観光地となっている竜串層における最高被熱温度と熱伝導度の分布は, それ以外の地域と大きく異なることがわかっている。一方, その境界部における分布の詳細は未検討であるため, ①熱的境界が地質境界(竜串層/浜益野層)に一致するのか, ②その境界様式がどうなっているのか(図1)については, 明らかになっていない。

本研究では, この地質境界が露出する千尋岬における最高被熱温度と熱伝導度の空間分布を明らかにし, これによって, 地質境界と熱的境界の相互関係を検討した。

#### <千尋岬の地質概説>

土佐清水市の海岸部に露出する三崎層群は, 最下部の養老層から最上部の竜串層まで一連整合であり, 千尋岬はその中間層である浜益野層と竜串層の境界である(図1-A; 甲藤・平, 1978)。前者は, 砂岩優勢砂泥互層からなる沖浜遷移帯(内側陸棚)の堆積物であり, 後者は軟質砂岩からなる浅海(沖浜遷移帯～外浜)堆積物である(奈良ほか, 2017)。千尋岬に露出する両者の境界では岩相が, 浜益野層 5～30 cm に対して竜串層 50～200 cm と厚層化する。

#### <手法>

調査地域において現地調査を行ったうえで, 風化の影響を最小限にするために, 新鮮な岩石が露出する波打ち際で岩石試料を採取した。なお, 調査地域は足摺宇和海国立公園の特別保護地域を含む。そのため, 試料採取には文化庁、環境省、高知県幡多土木事務所および教育委員会に許可申請を行った。

#### 1. 最高被熱温度:ビトリナイト反射率

最高被熱温度の指標として用いられるビトリナイト反射率の測定用試料は、以下の手順で準備した。採取した岩片状試料を、実験室内で鉄乳鉢を用いて粉碎し、 $\phi 75 \mu\text{m}$ ,  $\phi 180 \mu\text{m}$ ,  $\phi 710 \mu\text{m}$  の篩を用いて流水下で篩い分けを行った。 $\phi 75 \mu\text{m}$ ,  $\phi 180 \mu\text{m}$  の粒子を比重 1.8 の SPT 溶液 (Sodium Polytungstate Solution) でビトリナイト粒子を比重分離した。取り出した粒子をエポキシ樹脂に固定し、その表面を #2400 まで耐水サンドペーパーで研磨、さらに #6000 のアルミナ粉で琢磨した。上記のように作製した供試体に対して、鏡下で約 100 粒程度の反射率を測定した。

## 2. 熱伝導度

熱物性の測定用試料は、以下の手順で準備した。調査地域の砂岩層 14 地点で採取した岩石試料を、実験室内で地層面に対して垂直方向に直径 4 cm の円柱状に成形する。さらに、それらを高さ 3 cm にカットした。このため、成形された測定面は、地層面に平行となり、面内の s 等方性が仮定される。接面をスルアス社の MD グラインダーシステムを用いて #500 まで研磨した。このシステムは研磨粉を使用しないため、測定面のコンタミネーションを最小化できる。これらを水に浸けて、真空デシケーターを用いて 1 週間以上かけて飽和状態とした。

測定は、京都大学工学研究科の TPS1500 を用いた Hot-Disk 法 (Gustafsson 1991; Iso 2008) で測定した。1 接面につき 7 回行い、熱的安定性を確保するために 2 回目以降計 6 回の測定データを用いて熱伝導度を算出した。それぞれの採取地点につき 3 接面以上の測定を行い、その平均をその地点の熱伝導度とした。

## <結果>

測定結果は、それぞれ花崗岩からの距離を横軸として表現した。花崗岩から試料採取地点までの距離は、図 2 のように、花崗岩の露出境界を近似した円の中心 (図中★印) との直線距離から近似円半径を差し引いた距離とする。また、この近似円は、重力異常分布 (産総研、2013) と調和的である。

### 1. ビトリナイト反射率

17 地点 (竜串層地 10 点、浜益野層/養老層 7 地点) におけるビトリナイト反射率を測定し、被熱時間を 100 万年と仮定して最高被熱温度の検討を行った (Sweeny and Burnham 1988)。これらの結果を表 1 に、花崗岩からの距離との関係を図 3 に示す。なお図 3 は、

山本・千代延(2020)による14地点のデータを含む。

最高被熱温度は、浜益野層と竜串層の境界に当たる千尋岬において、274 °C (Ro=2.93 %)から162 °C(Ro=0.8 %)へと花崗岩からの距離に応じて連続的に急減する。温度の高い浜益野層から温度の低い竜串層にかけて、徐々に厚層化する。岩相変化を考えると、この温度異常は両者の堆積相の違いを反映していると考えられる。

## 2. 熱物性

調査地域内の15地点における熱伝導度を測定した。砂岩は竜串層5点、浜益野層2点、養老層2点、四万十帯3点で採取し、泥岩(泥質砂岩を含む)は、浜益野層1点、養老層1点、四万十帯1点で採取した。これらの結果を表2に、花崗岩からの距離との関係を図4に示す。なお、図4には山本(2021)のデータを含む。

一般的に泥岩は、砂岩より低い熱伝導度を示すことが知られており、本研究においても同様の傾向が見られた。また砂岩に注目すると、千尋岬の浜益野層/竜串層境界において、花崗岩からの距離に応じて連続的に急減する。これは、ビトリナイト反射率の結果と整合的である。このことから、地質境界における遷移的な堆積相が熱物性を規制したといえる。

### <得られた結果の意義>

千尋岬の地質境界において最高被熱温度は連続的に急減することから、地質境界と熱的境界は一致し、熱的に整合であることがわかった(図1B)。今後の課題として、上記の測定データを用いた被熱シミュレーションを行い、研究地域の地史をより詳細に検討することが挙げられる。さらに、三崎層群内(特に千尋岬における浜益野層/竜串層境界部)の柱状図を作成し、詳細な砂岩泥岩比率と今回の結果を比較することで、被熱分布に与える堆積相の役割を明らかにできると期待される。

### <引用文献>

- Gustafsson SE, 1991 Transient plane source techniques for thermal conductivity and thermal diffusivity measurements of solid materials., *Rev Sci Instrum*, **62**, 797–804. doi: 10.1063/1.1142087
- ISO, 2008 Plastics—determination of thermal conductivity and thermal diffusivity—part 2: transient

plane heat source (hot disc) method, International Standard ISO 22007-2. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.

甲藤次郎・平朝彦、1979. 四国南西部の三崎層群. *高知大学学術研究報告 (自然科学)* **13**, 165-180.

木村公志、1985. 四国南西部の第三系清水層および三崎層の層序および堆積層. *地質学雑誌*, **12**, 815-831. doi: 10.5575/geococ.91.815

奈良正和、2016. 古第三系および新第三系. *日本地方地質誌 7 四国地方*, 朝倉書店 272-288.

奈良正和・楠橋直・岡本隆・今井悟、2017. 久万層群と三崎層群：日本海拡大期の西南日本弧前弧中新統画記録するもの. *地質学雑誌*, **123**, 471-489. doi: 10.5575/geosoc.2017.0035

Sweeny, J. J. and Burnham, A. K., 1988 A chemical kinetic of vitrinite maturation and reflectance. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **53**, 10, 2649-2657. doi: 10.1016/0016-7037(89)90136-1

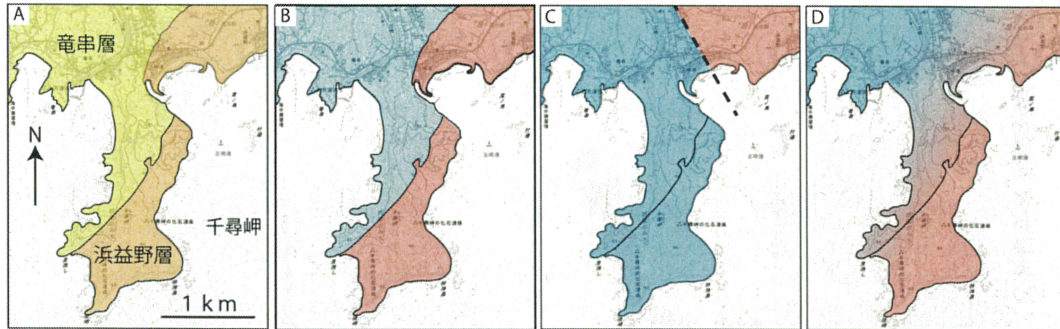


図1：千尋岬の地質図と検証すべき熱境界モデル。(A) 千尋岬の地質図。竜串層と浜益野層の地質境界は、千尋岬を北東－南西に横断している。(B) 地質境界と熱的境界が一致する場合。(C) 最高経験温度が千尋岬全域で低い場合。(D) 最高被熱温度が全域で高い場合。

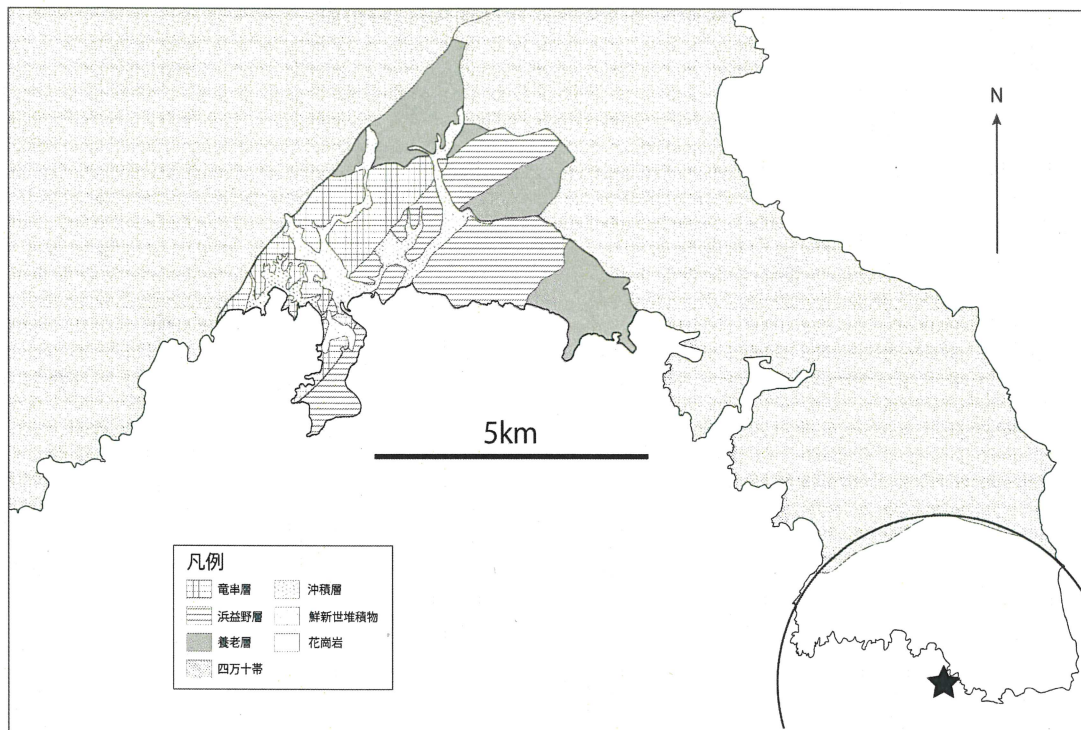


図2：花崗岩からの距離のとり方。(花崗岩分布近似円中心からの距離)－(近似円の半径)を花崗岩からの距離とした。ここで、花崗岩分布近似円は、重力異常分布と調和的である。

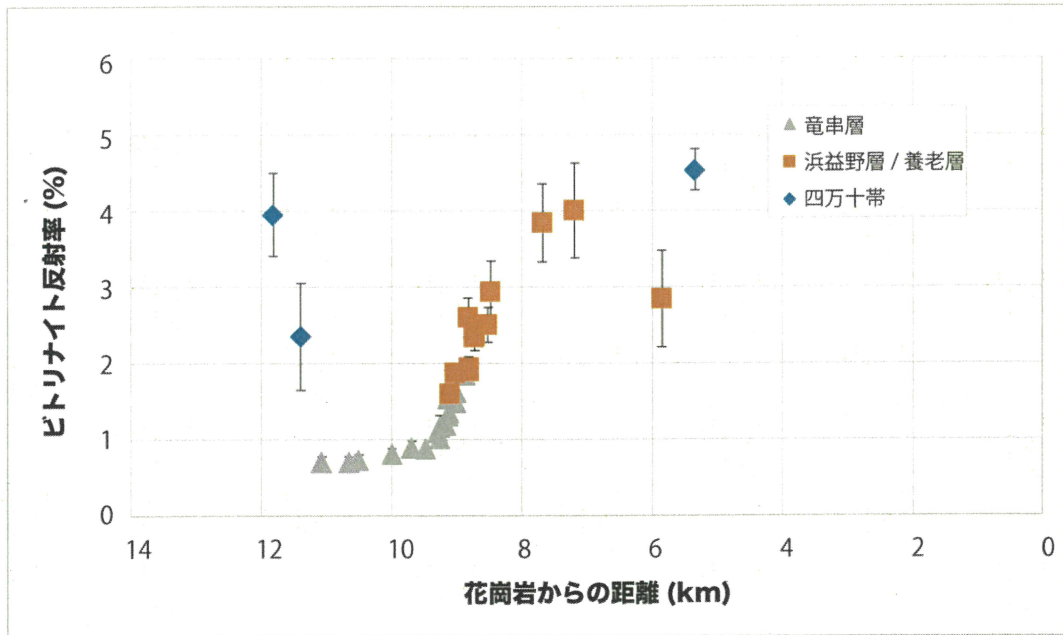


図3：ビトリナイト反射率と花崗岩からの距離の関係。ビトリナイト反射率は浜益野層/竜串層境界（花崗岩からの距離：8.5-9.0 km）において、連続的に急減する。

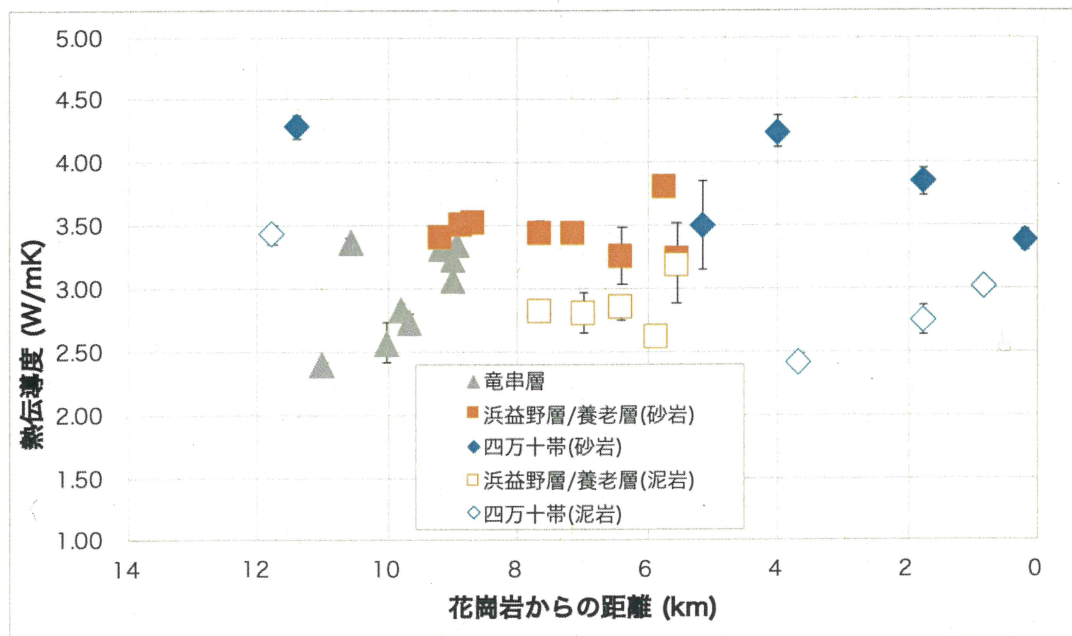


図4：熱伝導度と花崗岩からの距離の関係。千尋岬の地質境界部（浜益野層/竜串層）において、熱伝導度が急減する。これは、ビトリナイト反射率の結果と整合的である。

表1：浜益野層・竜串層から得られたビトリナイト反射率のデータ。（非公開）

表2：三崎層群、及び四万十付加体の砂岩・泥岩から得られた熱拡散率のデータ。（非公開）