

No.6 小山菜那（富山大学大学院）

【研究の名称】

糸魚川ジオパークの海岸礫に含まれる赤色チャート礫の年代と色調との関連性

【背景と目的】

新潟県糸魚川市の姫川河口から富山県朝日町にいたる海岸では、様々な岩型や色調を示す多様な海浜礫が見られ、その中に赤色のチャート礫も観察できる。この赤色チャート礫には、ルーペ観察により多量の放散虫化石の含有が確認できるものもある。また、波打ち際で洗われた礫には、少しずつ色味に差が認められ、様々な“赤色”でその色調を表現可能である。それぞれの礫の色調をどのように表現するか、その色調がそれぞれの岩石の持つ情報をどのように反映しているのかなど、海浜礫には様々な情報が潜在的に含まれ、それを調査解析することで後背地の地質情報を知ることができる。

本研究で対象とする赤色チャート礫は、姫川左岸、および田海川と青海川上流に分布する、秋吉帯に対比されるペルム系姫川コンプレックスの赤色チャート層に由来すると考えられる。姫川コンプレックスは、詳細な地表地質踏査と岩相層序学的研究と通じて、放散虫化石年代が報告され（田沢ほか、1984；河合・竹内、2001）、岩相と放散虫化石年代、および岩相間の層序関係に基づき、海洋プレート層序が復元されている（河合・竹内、2001）。しかし、チャートからの放散虫化石の産出は、他の岩相に比較して相対的に乏しく、化石群集の詳細についても十分に分かっていない。

以上の観点から、本研究では姫川河口より西方の海浜にみられる赤色チャート礫を対象に、その礫の色彩を数値化し、含まれる放散虫化石群集とその年代を明らかにすることで、色彩と放散虫化石群集・年代に規則性があるか否かを検討することを目的とする。加えて、本研究を進める上での手法論として、従来の肉眼観察では個人差が生じてしまう礫表面色の表現に関して、より客観的で正確な表現方法を提案したい。さらに、本研究を通してチャートからの放散虫化石抽出手法の改良の必要性が明らかになってきた。残念ながら、ここでは有効な提案を行えないものの、今後の研究を通じて解決していきたい。加えて、他の海浜の海浜礫を対象とする研究において、本研究のプロセスを活かす道筋を提案したい。

【研究内容】

調査地域：須沢エリア（姫川河口）、青海エリア（青海川河口）、親不知エリア（親不知海水浴場）、市振エリア（市振海水浴場）の4カ所を糸魚川GP地域内の主たる調査地点として選定する。加えて朝日エリア（宮崎海岸）を糸魚川GP地域外の参照地点として設ける。調査地域を図1に示す。

サンプリング：2024年8月9日の調査では赤色チャート礫の定量・定性採取を行った。各調査海岸で、波打ち際に10mの測線を設定し、測線沿いに約10～20 cm幅で、目視で確認できる赤色チャート礫を全て採取した。加えて、定量採取の枠外で定性的に赤色チャート礫を採取した。また、2024年12月25日の調査では、須沢エリア、親不知エリア、青海エリアで追加の定性採取を、

波打ち際に沿って数十mの範囲で実施した。ルーペを用いて礫表面を観察し、微化石の含有が確認されるものを中心に採取した。

2回のサンプリングで、約300試料の赤色チャート礫を採集した。うちルーペ観察により微化石の含有が確認されたものは43試料で、うち26試料から微化石が産出した。

研究室において、デジタルノギスと量りを用いて、赤色チャート礫のサイズと重量を計測した。加えて、肉眼で円磨度を評価した。その後、ダイヤモンドカッターで礫試料を半割し、一方を礫表面色の数値化に、もう一方を放散虫化石抽出のために活用した。この段階で、湿潤状態の礫表面色を肉眼で観察し区分した。

礫表面色を数値化は、次の工程で実施した。自然光が入る窓際でデジタルカメラを用いて赤色チャート礫を撮影した。撮影システムを図2に示す。この際、手製のグレースケールが礫の撮影表面と同じ高さになるよう、礫の隣に置いて撮影した。Photoshopを用いて、その画像のホワイトバランスの調整をかけた後、スポイトツールで礫本来の色を示していると思われる部分の色を抽出し、RGBとLabの値を記録した。そのデータをエクセルで二次元グラフを、Rで三次元グラフを描き、肉眼での色区分と数値との相関を検討した。

なお、色彩色差計（CR-400（コニカミノルタ））、測色計（Spectro 1、Spectro 1 Pro（ケイエルブイ））を用いた色彩の数値化を試みた。いずれも礫の切断面に計測センサーを当てることで簡便に計測できる点で、大きな利点を持つ。一方、その計測範囲は約8 mm径の円の領域で、狭い一点の計測はできない。カッターで切断した礫には、目視で多数の石英脈が認められ、チャートの色彩にもムラが存在する。石英脈のほ

か、変形や変質の影響ができる限り少ない狭い領域の色彩の計測は、試行した色彩色差計では理論的に不可能であり、本研究では先のPhotoshop法を用いることとした。

ルーペで放散虫化石の含有を確認できた赤色チャート礫を対象に、フッ酸法による放散虫化石の抽出実験を行い、個体分離した放散虫化石個体は低真空電子顕微鏡（SEM；日立TM4000）で観察および撮影した。この実験を進める過程で、ルーペ観察で想定しうる量の放散虫化石の産出が、5%フッ酸による抽出手法でほとんど確認できなかった。そこで、以下の抽出手法の改善を試みた；異なるフッ酸濃度を用いた抽出、5%フッ酸を1～5回と複数回にわたり繰り返すことによる抽出、NaOH法を用いた抽出。また、チャート試料中における放散虫化石の含有状態を確認するために、5%フッ酸処理を1～5回の複数回で適用したチャート試料それぞれを対象に、各試料のetching面のSEM観察と撮影を行った。加えて、放散虫化石の含む赤色チャート礫のうち、フッ酸法における化石個体の産出の程度が異なる試料を対象に、岩石薄片作製をニチカに依頼し、薄片観察を基に放散虫化石個体と周囲の基質との関係、および微細構造について、偏光顕微鏡下で観察した。

【研究のまとめ】

礫表面色の数値化にあたり、色彩色差計（CR-400（コニカミノルタ））、測色計（Spectro 1、Spectro 1 Pro（ケイエルブイ））、Photoshopの3パターンを試行した。色差計と測色計は、レンズ部分を対象物に当て、ボタンを押すだけで表面色が計測できる。それぞれ数値は、色差計は付属の画面に、測色計は無線接続したスマートフォンのアプリに表示される。Photoshopでの計測は先の研究内容に述べた通りである。Photoshopで得られるLab値の数値の幅に関して、L値は他3種と同じだが、a・b値は異なっている。色差計のa・b値は-60～60を示しており、Photoshopのa・b値は-128～127を示している。そのため、本研究ではPhotoshopのa・b値に0.5を掛けて補正を行っ

ている。図3には、色差計、測色計2種、Photoshopの4つについて、それぞれ横軸に赤方向、縦軸に黄色方向に値を取った散布図を示している。数値が大きい程、色味が鮮やかであることを示している。それぞれのデータの比較は次に示す。

この中で色差計は他の3つのデータよりも彩度を低く表現した。これに関して、色差計は測色計と数値の定義が異なっており、測色計よりもa・b値の最大値・最小値の幅が狭いことが考えられる。また機器内の測定方式は、色差計と測色計Spectro 1 ProはSCI方式が採用されており、礫表面の光沢に影響せず、実物の色に近い数値を

示していると思われる。一方で測色計Spectro 1はSCE方式が採用されており、礫表面の光沢が影響しており、肉眼で見る色に近い数値を示していると思われる。この測定方式に関して、どれを用いるのが最適かは検討できなかった。加えて、色差計・測色計ともに測定径が8mmと大きく、礫本来の色を示す部分を狙って計測するのが困難であるというデメリットを持つことが分かった。

色差計・測色計に比べ、礫本来の色を呈する部分を狙って計測するのが得意なのがPhotoshop法である。また、測定径が大きい色差計・測色計では測れない小さな礫に対してもデータを取れるため、本研究ではPhotoshop法で表面色データを取得することと決定した。

Photoshop法に関して、先に述べた数値の補正に加え、ホワイトバランス調整の際に、4色のグレースケールに対してそれぞれ平均化のぼかしフィルターをかけた。これによりグレースケールのピクセル毎の数値の差によるデータのばらつきを大幅に抑えることができた。

Photoshop法で取得したデータから、肉眼での色区分と数値との相関を検討したものが図4、5である。赤(紫)、赤(暗)、赤(鮮)、橙、赤(茶)、赤(乳白)の6色でそれぞれプロットにまとまりが見られた。青み赤に関しては、プロットに対応する礫の肉眼観察で再検討する必要がある。

ルーペで放散虫化石の含有を確認できたチャート礫を対象に、5%フッ酸を用いた抽出処理を実施した。岩石薄片およびフッ酸によるエッチング面において、多量の放散虫化石の含有が確認できる試料においても、フッ酸処理による分離個体は僅かであった。

本研究では、試料C_2-001で、時代決定に有効な放散虫化石を得た。図版を図6に示す。*Curvalbaillella u-forma* (Holdsworth and Jones, 1980)は、偽腹部の顕著な湾曲で特徴づけられる種で、*Follicucullidae*科の他の属種と明確に区別できる。*Holdsworthella cf. annulata* (ishiga, 1984)は、二つの翼を完全に欠く保存不良の一個体のみ確認にとどまるものの、偽腹部に4つの節を認めることができる。Xiao et al. (2018, 2020, . 2021)に基づくペルム紀放散虫化石帯(伊藤・鈴木、2022)に基づくと、本種の共産する時代は石炭紀新世末～ペルム紀古世最初期(*Curvalbaillella u-forma interval zone*)である。

また3試料(b-001、c_2-001、c_2-002)に対し、5%フッ酸処理を1～5回の複数回

で適用したチャート試料それぞれを対象に、各試料のetching面のSEM観察と撮影を行った。b-001とc_2-002は、3～5回目の処理で放射虫化石が得られた。c_2-002はエッチング面においても、3～5回目で微化石と基質の境界がはっきりして見える。b-001とc_2-001は1～5回目を通してエッチング面における違いはあまり見られなかった。微化石と基質の間に溶解差は見られず均質に溶けていたが、石英脈と基質の間に明瞭な溶解差が見られた。(図7)

b-001は図8に示す通り、岩石薄片観察では密集して放射虫化石が存在しているが、5%フッ酸処理では抽出できなかった。原因として、先に述べた通り微化石と基質の間に溶解差が無く、処理の段階で微化石も溶けてしまっていることが考えられる。



図1. 調査地域



図2. 礫表面色を計測する際の撮影システム

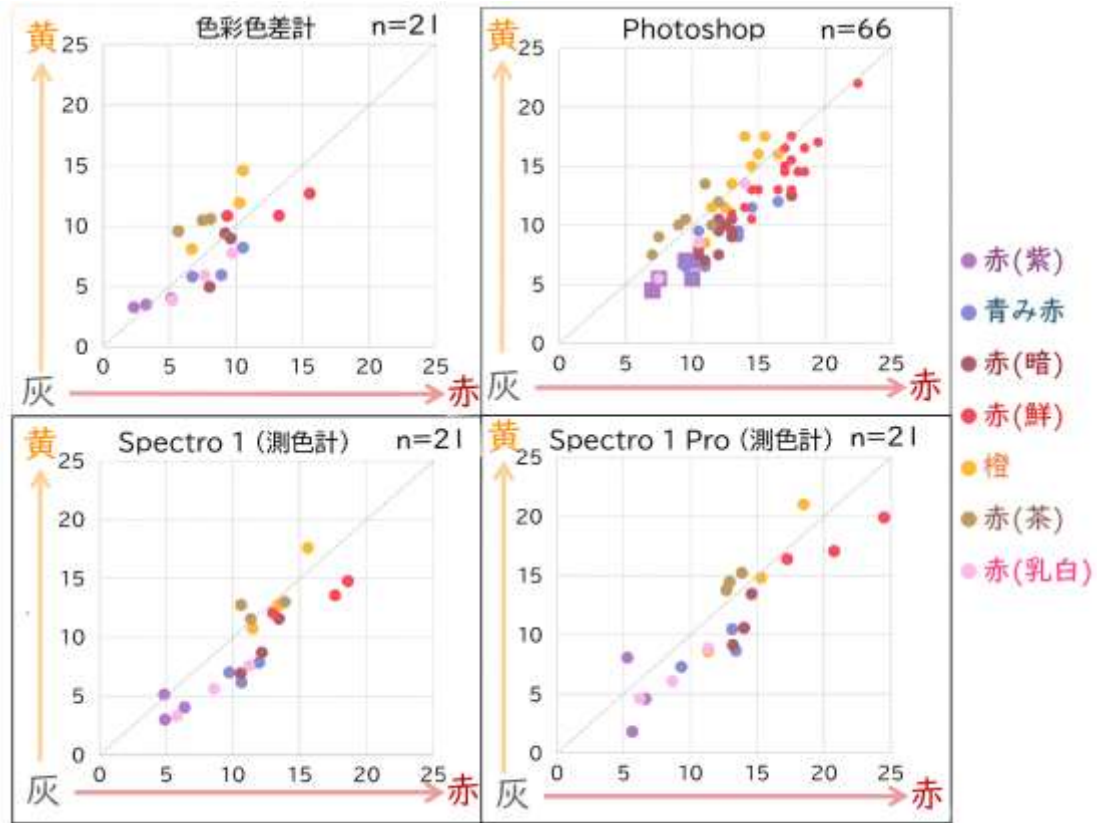


図3. 色差計、測色計2種、Photoshop法で得られた礫表面色データの散布図

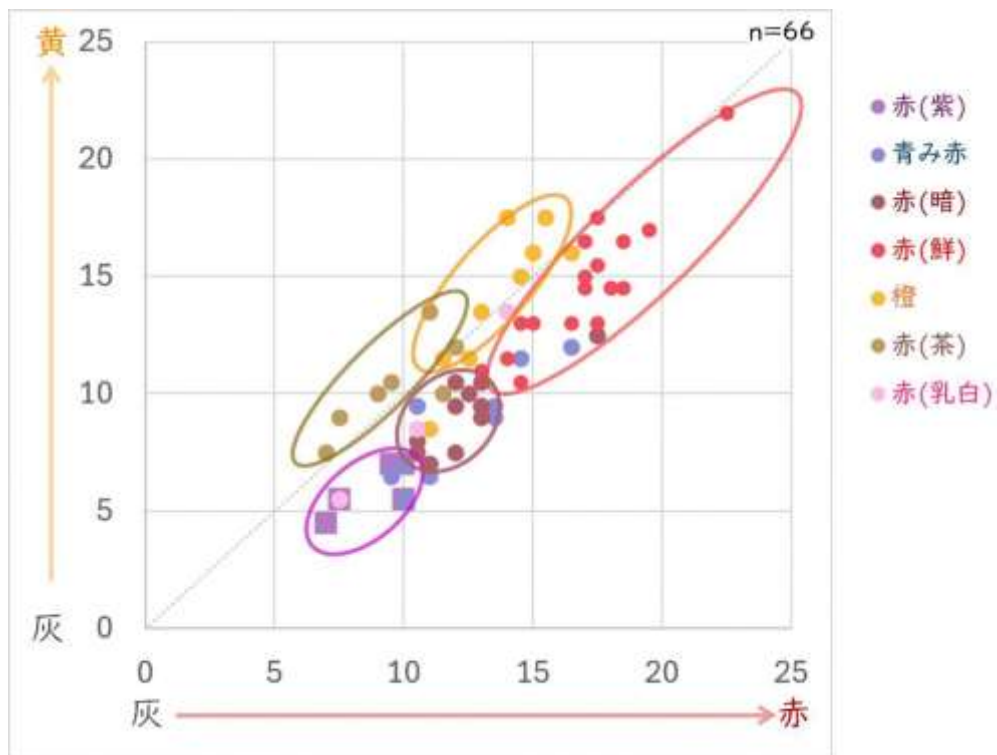


図4. Photoshop法で得られた礫表面色データと肉眼での色区分との相関(色相・彩度)

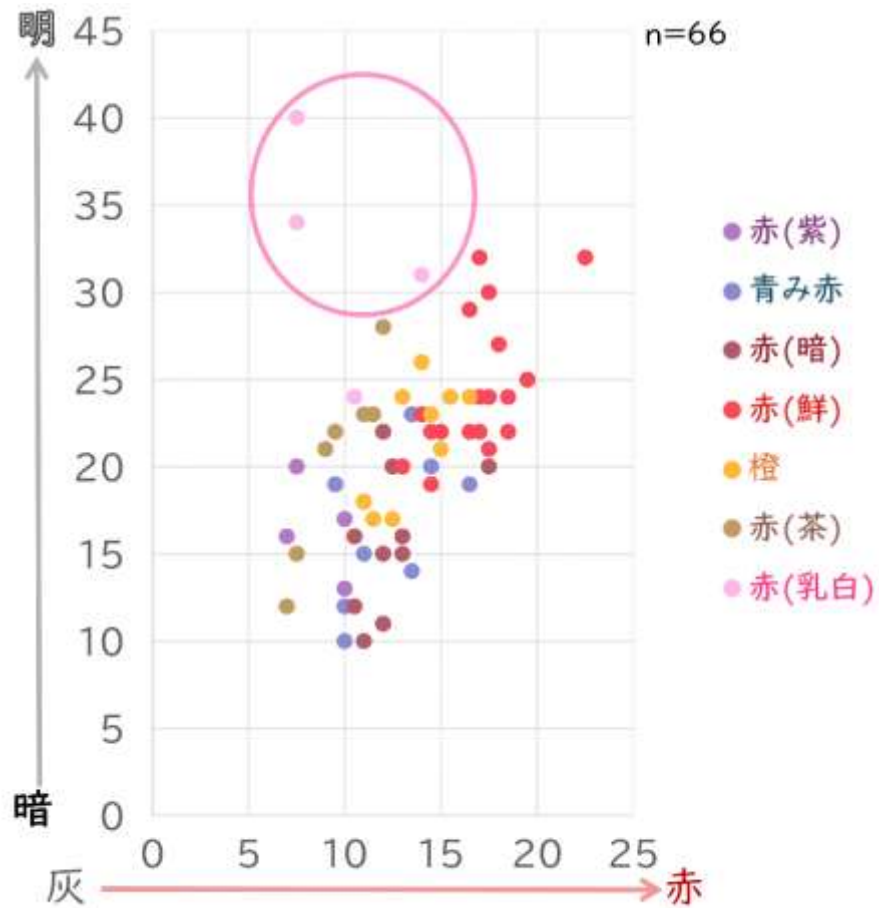


図5. Photoshop法で得られた礫表面色データと肉眼での色区分との相関(明度)

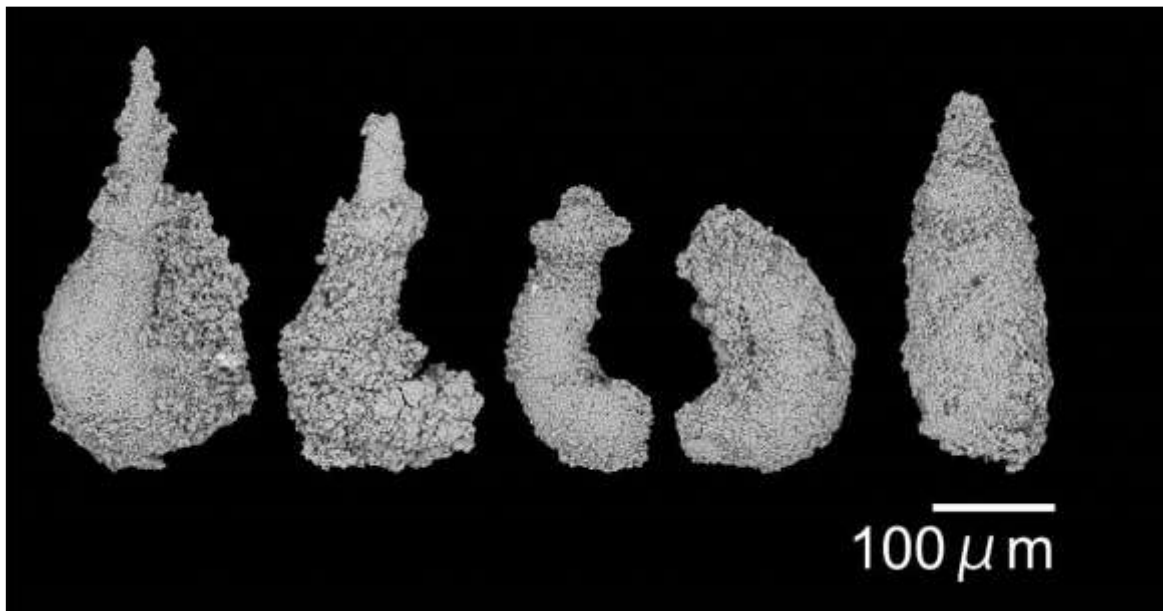


図6. 産出した放散虫化石個体

1-4. *Curvalbaillella u-forma* (Holdsworth and Jones, 1980)

5. *Holdsworthella cf. annulata* (ishiga, 1984)

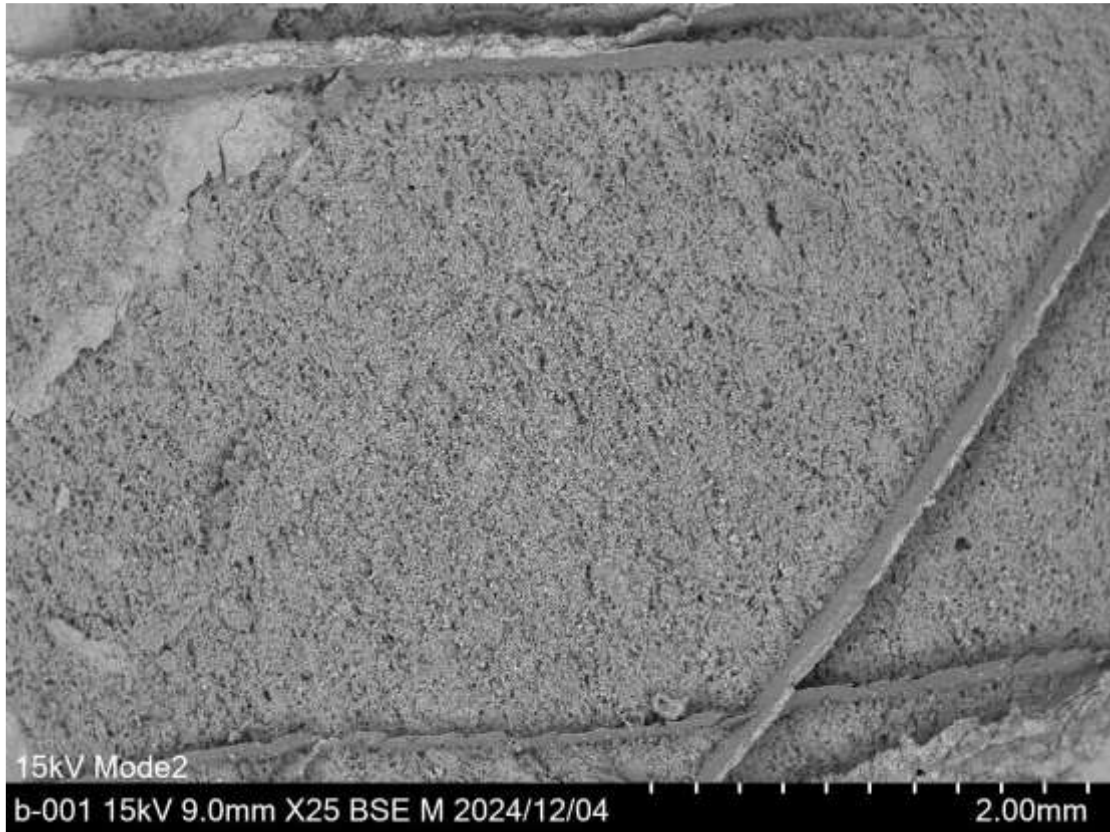


図7. 試料b-001のエッチング面観察画像 (SEM)

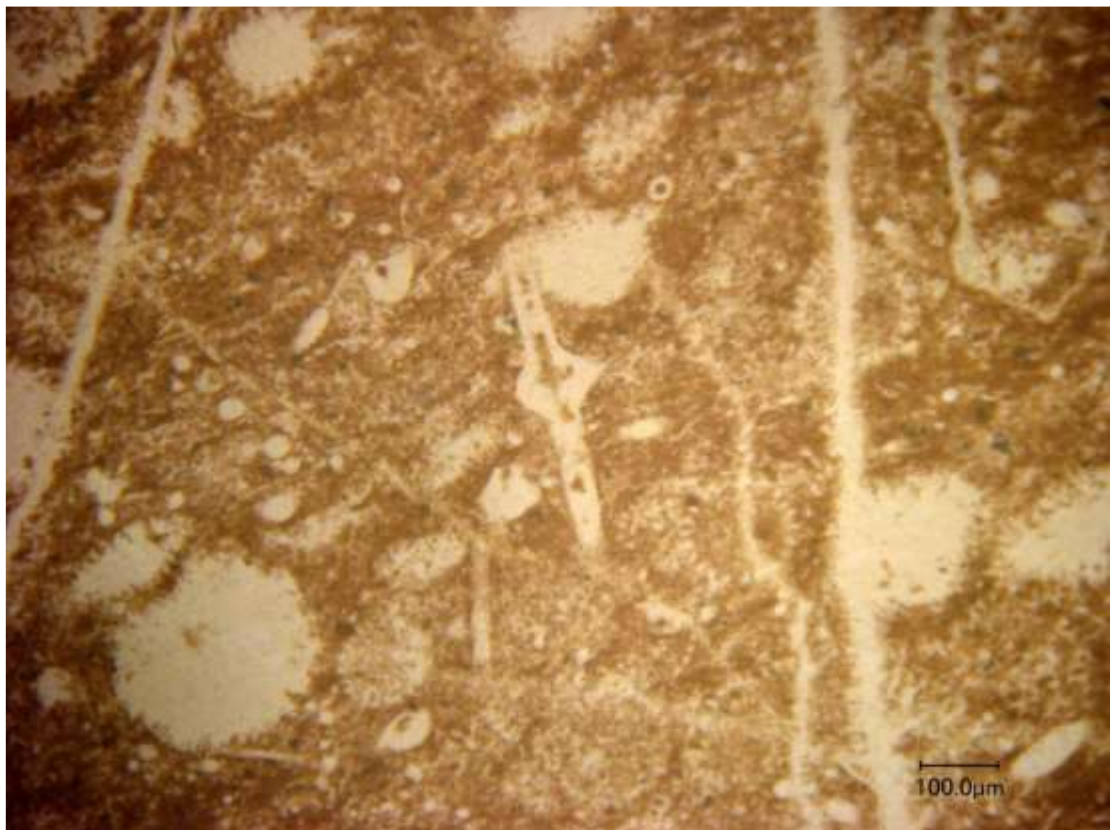


図8. 試料b-001の岩石薄片観察画像 (DMS)

【参考資料】

- Ishiga, H., Imoto, N., Yoshida, M. and Tanabe, T., 1984, Early Permian radiolarians from the Tamba Belt, Southwest Japan. *Earth Science; Journal of the Association for Geological collaboration in Japan*, 38, 44-52.
- 伊藤 剛・鈴木紀毅, 2022, ペルム紀放散虫Follicucullidae科研究の最近の進展. *化石*, (112), 5-16.
- 河合政岐・竹内 誠, 2001, 飛騨外縁帯青海地域から産出するペルム紀放散虫化石. *大阪微化石研究会誌*, 特別号, (12), 23-32.
- 長森英明・竹内 誠・古川竜太・中澤 努・中野 俊, 2010, 小滝地域の地質. *地域地質研究報告(5万分の1 地質図幅)*, 産総研地質調査総合センター, 130 p.
- 田沢純一・相田吉昭・結城智也・大槻 憲四郎, 1984, 青海の“非石灰岩古生層”よりペルム紀放散虫化石の発見. *地球科学*, 38, 264-267.
- Xiao, Y. F., Suzuki, N. and He, W. H., 2018, Low-latitudinal standard Permian radiolarian biostratigraphy for multiple purposes with Unitary Association, Graphic Correlation, and Bayesian inference methods. *Earth-Science Reviews*, 179, 168206.
- Xiao, Y. F., Suzuki, N., He, W. H., Benton, M. J., Yang, T. L. and Cai, C. Y., 2020, Variability of genus-level classification under quantification and parsimony theories: a case study of follicucullid radiolarians. *Paleobiology*, 46, 337355.
- Xiao, Y. F., Suzuki, N., Ito, T. and He, W. H., 2021, New Permian radiolarians from east Asia and the quantitative reconstruction of their evolutionary and ecological significances. *Scientific Reports*, 11, 6831.