

# 白田川が青白く見えるのはなぜか（第 2 報）

静岡県立下田高等学校  
自然科学部 2年 富田夏津馬 遠藤一心

## 1 要旨

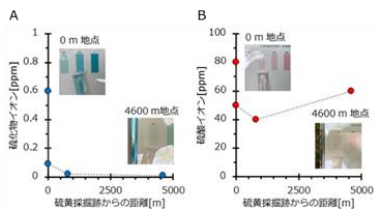
伊豆半島の天城山を水源とする白田川は東伊豆町を流れている。江戸時代に硫黄が採掘されていた伝承があるので、下田高校自然科学部では、白田川に青白く見える場所があるのは硫黄の粒子による光の散乱が原因だと仮説を立てて、検証のための研究を進めてきた。昨年度は、白田川各地点の pH を報告した上で、硫黄採掘跡の泥には質量比 3 割の硫黄が含まれていることを示した。今年度は、硫黄の粒子が白田川を青白く見せることを証明するため、白田川各地点で硫化物イオンと硫酸イオンの濃度を調査し、さらに各地点の青白さを数値化した上で、採取した水に含まれる微量成分を測定して光の散乱を引き起こす成分が硫黄以外にも含まれていないことを確かめた。

現地での採水は、すべて 2021 年 9 月 11 日に実施した。硫化物イオンと硫酸イオンの濃度は、パックテスト硫化物とパックテスト硫酸（ともに共立理化学研究所）で調べた。各地点の青白さは、色見本（日本塗料工業会）と吸光光度計（島津製作所）で数値化した。白田川で採取した水に含まれる各種成分の測定は、株式会社サイエンス（静岡県静岡市清水区小芝町）に依頼した。

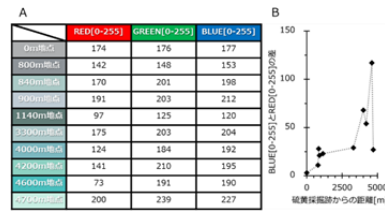
現地でのパックテストを使った調査によると、硫黄採掘跡で採取した水に含まれる硫化物イオンは 0.6ppm、硫酸イオンは 80ppm であったが、硫化物イオンは川を下ると急激に濃度が低下した一方で、硫酸イオンは 40ppm を下回ることにはなかった[図表ア]。色見本とともに写真を撮影して青白さを数値化すると、白田川各地点の色彩を RGB 値で表現できた。BLUE から RED の値（それぞれ 0 以上 255 以下）を引き算すると、水が無色透明で岩肌の灰色が見えた硫黄採掘跡 0 m 地点に比べて、最も青く見えた下流の 4600 m 地点は大きな値を示していた[図表イ]。持ち帰った水を吸光光度計で分析すると、190 nm 以下の短波長の光を、硫黄採掘跡 0 m 地点の水はわずかに、下流 4600 m 地点の水はその 1.7 倍吸収しており、青く見える原因が水自体にあると確認できた[図表ウ]。また、外部委託した硫黄採掘跡 0 m 地点と下流 4600 m 地点で採取した水の試験成績書によると、銅（Ⅱ）イオンとアルミニウムイオンは定量下限値の 0.1 mg/L 以下しか含まれておらず、メタケイ酸は両地点間で濃度にほぼ差がなかった。

私たちは白田川が青白く見えるのはなぜかという問いを解決するために研究を進めてきた。箱根大涌谷、草津白根山、阿蘇山火口で水が青白く見えるのは、硫黄のコロイド粒子が光を散乱させるためだとされる。白田川の水でも硫黄のコロイド粒子が光を散乱させていると私たちが考える根拠の第一は、採掘跡の泥に質量比約 3 割の硫黄が含まれている点である。第二は、硫黄コロイドのもとになる硫化物イオンが白田川の水に含まれていて、その濃度が下がっていく点[図表ア]である。第三は、銅（Ⅱ）イオンのように青く見えたり、水酸化アルミニウムコロイドやメタケイ酸コロイドのように光を散乱させたりする他の物質では、白田川各地点の青白さを説明できない点[図表イ]、[図表ウ]である。第四は、硫化物イオンが酸化されて硫酸イオンができるのに時間がかかるのと同様に、硫化物イオンから硫黄ができてコロイドとして成長するのに時間がかかるため、採掘跡から 4600 m 地点が最も青白く見えるという点[図表イ]、[図表ウ]である。以上を総合して、ほぼ間違いなく硫黄コロイドが原因だろうと私たちは結論づけた。白田川上流での硫黄採掘にともなう水質汚濁は元禄 14 年（西暦 1701 年）まで起源をさかのぼることができ、下流住民の生活に与えた影響を多数の古文書が伝えている。明治 35 年（西暦 1902 年）以降は硫黄を採掘しておらず、昭和 41 年（西暦 1966 年）に白田浄水場が設置され、堰堤が整備されたことで現在の白田川は水質が安定し、東伊豆町の主要な水源になっ

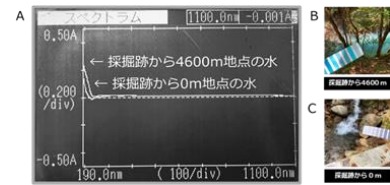
た。下田高校自然科学部が2年間かけて進めた研究は、従来の歴史・人文的な研究とは別の視点で、白田川への理解を発展させることができた。



[図表ア]. 白田川各地点の水に含まれる硫化物イオンと硫酸イオンの濃度。硫黄採掘跡からの距離はペンタイプマップメータ（小泉測機製作所）で算出。



[図表イ]. 色見本を使った白田川の水の青白さの数値化。表最左列の塗りつぶし色はRGB値から再現したもの。



[図表ウ]. 吸光光度計を使った白田川の水の青白さの数値化。ベースライン補正に使った純水製造装置（ヤマト科学株式会社）の精製水ではピークなし。

## 2. 背景

### 2-1. 白田川の昔と今

南方の火山島群がフィリピン海プレート上を移動してできた伊豆半島には、類例の少ない貴重な地形が数多くある。静岡県東伊豆町を流れる白田川の上流ではかつて硫黄採掘が行われていた[参考1]。

硫黄採掘の歴史は江戸時代に起源がある[参考1]。元禄14年（西暦1701年）～宝永4年（西暦1707年）までの5～6年の間、白田村と片瀬村の水田に悪水が入り、まったく稲作ができなくなった[参考1]。同時に白田川から流れ出した毒水が海に入り、海中の動植物がことごとく死滅して、この海を生業の場とする、伊豆東海岸の漁民が漁場を失い、生活に困窮して領主に硫黄採掘、製鉛禁止を願い出た。この騒動は激しさを増して江戸時代後期の元治～慶應年間（西暦1864～1868年）には、白田村を含む12カ村が参加し、「硫黄を掘れば切りくずが川に流れ込み、稲作はもとより、テングサやサザエなどが毒水でだめになる」や「大雨で泥水が流れただけで被害がでるのに、山を掘ればなお大変」等の理由で採掘への反対の請願が行われ、硫黄採掘に協力した者が1人でも発覚したらその者が住む村は漁をしてはいけないといった厳しい決まりを村の間で作った[参考1]。

明治維新後も硫黄採掘をめぐる攻防は続けられていた[参考1]。反対運動は続いたが、明治18年（西暦1885年）に国は白田川上流における硫黄の採掘を認めた[参考1]。周辺の村々のうち、魚漁で生計を立てていた稲取村の人々が猛反発したという。明治35年（西暦1902年）以降は、白田川上流で硫黄採掘は行われていない[参考1]。この一連の騒動は日本の公害の陳情としては最古であり最長の記録でもある[参考1]という。

現在の白田川の水質は安定していて、周辺地域に住む人々に安心して使用できる生活用水を提供している。白田川の中下流域にはアマゴやアブラハヤ等の純淡水魚や、アユやヨシノボリ等の回遊魚を確認できる[参考2]。普段、地元の私たちが目にする白田川は、普通の川と何ら変わりなく、見た目は透明である。素手で直接触れても問題ない。それこそ上流では魚が生息できないといった話や上流の水は青白いといった話に対して半信半疑になるほどである。

### 2-2. 昨年度までの成果

下田高校自然科学部では、昨年度から白田川上流の硫黄採掘跡を研究対象にしてきた[参考2]。昨年度は、白田川上流の現地調査を8月29日に行い、水源かん養保安林入口から1時間半程度歩き、白田川の硫黄採掘跡を発見した後、そこから流出する水や泥の採取をした。ここで採取した試料は、下田高校化学室で分析した。帰路では白田川の各地点でポータブルpH測定器を用いて水質調査を行い、その結果、白田川の水は硫黄採掘跡のpH=3.4の酸性から、下流にある白田浄水場付近ではpH=7.4の

中性に変化していくことが分かった。

硫黄採掘跡から流出していた泥からは硫黄を取り出し、その量を測定することができた。採掘跡の泥を乾燥させて得られた乳白色の粉末粉末からは、有機溶媒の二硫化炭素を用いて黄色の固体を取り出すことができた。黄色の個体が硫黄であるか確かめるために、鉛(Ⅱ)イオンを用いた硫黄の検出を試みた。試薬の硫黄を用いた場合も採取した泥を用いた場合も塩基性加熱下で酢酸鉛(Ⅱ)水溶液を滴下したところ同様の黒色沈殿が観察できた。この黒色沈殿は硫化鉛(Ⅱ)と考えられる。次にどの程度含まれているのかを調べるための実験を有機溶媒の二硫化硫黄を用いて泥から硫黄を除去する方法と加熱によって硫黄を除去する方法の2通り行った。その結果前者の実験では硫黄は質量比で25.8%、後者の実験では33.7%含まれていると分かった。

硫黄採掘跡から流れ出る水をペットボトルに入れて持ち帰り、下田高校化学室で簡易的な分析を行った。採水した翌日にBTB液を滴下したところ、酸性を示す黄色になった。次に塩化バリウム水溶液を滴下したところ、硫酸イオンを含む水で硫酸バリウムができる場合と同様の白色沈殿が観察された。また、酢酸鉛(Ⅱ)水溶液と硝酸銀(Ⅰ)水溶液を滴下したところ、硫化物イオンを含む水で硫化鉛(Ⅱ)や硫化銀(Ⅰ)ができた場合と同じように、硫黄採掘跡の水でも褐色沈殿がそれぞれ観察された。

### 3. 方法

#### 3-1. 川の長さの測定

川の長さを測定するために、ペンタイプマップメータ CV-10 (小泉測機製作所) を使用した。白田川の地図上で白田川をなぞり、地図の縮尺を加味して、硫黄採掘跡を0 mとして白田川の終点までの距離を計算した。なお、このペンタイプマップメータは、昨年度に授与された山崎賞の賞金を使って購入した。

#### 3-2. パックテストによる硫化物イオンと硫酸イオンの測定

現地での調査は2021年9月11日に実施した。この調査には、共立理化学研究所のパックテスト硫化物(硫化水素)とパックテスト硫酸(高濃度)を使用した。具体的な手順は添付されていた説明書に従った。なお、このパックテスト2種は、昨年度に授与された山崎賞の賞金を使って購入した。

#### 3-3. 吸光光度計を使った白田川の水の青白さの数値化

現地での採水は2021年9月11日に実施した。採取した水の分析には、紫外可視分光光度計 UVmini-1240 (島津製作所) を使用した。採水場所は、硫黄採掘跡0 m地点と、水が最も青白く見える4600 m地点である。下田高校化学室に持ち帰り、190~1100 nmの波長域を調べた。このとき、ベースライン補正は精製水で行い、ガラス製容器に液体を入れて調べた。この精製水は純水製造装置ピュアライン WL200 (ヤマト科学株式会社) のものを使った。

#### 3-4. 色見本を使った白田川の水の青白さの数値化

現地での調査は2021年9月11日に実施した。色見本には、2021年L版塗料用標準色色見本帳ポケット版 (日本塗料工業会) を使用した。肉眼により最も近い色見本を決め、その色見本とともに白田川各地点で写真を撮影した。この写真をもとにして色見本に指定されたマンセル値を、赤 (RED) 緑 (GREEN) 青 (BLUE) のRGB値に変換した。なお、色見本は、昨年度に授与された山崎賞の賞金を使って購入した。

RGB値は、赤緑青それぞれの0以上255以下の数値で各色を数値化するものであり、例えば (R, G, B) = (0, 0, 255) ならば青に、(R, G, B) = (0, 0, 0) ならば黒に、(R, G, B) = (255, 255, 255) ならば白になる。

主成分分析をすると白田川各地点の撮影場所は灰色～青緑色のほぼ同一直線状に乗った（データは示さない）ので、GREENの値は無視して、BLUEの値とREDの値の差を青さの指標とみなした。

### 3-5. 外部委託した水質の精密な分析

現地での採水は2021年9月11日に実施した。採取した水の分析は、株式会社サイエンス（静岡県静岡市清水区小芝町4-13）に依頼した。採水した場所は、硫黄採掘跡0m地点と、水が最も青白く見える4600m地点の2か所である。対象となる物質がどの程度含まれているか、精密な分析を依頼した成分は、ナトリウムイオン、カリウムイオン、マグネシウムイオン、カルシウムイオン、アルミニウムイオン、総鉄イオン、銅、メタケイ酸、硫酸イオンの9種類である。

## 4. 結果

### 4-1. 白田川の歴史の調査

白田川硫黄採掘跡に言及した、Google scholarで見つかる最も古い文献である『日本の鉱物産地（鈴木敏 1892）』には「伊豆国賀茂郡白田村硫黄ヶ窪、往昔の硫質噴汽孔、辺にありて其量少し」と書かれている[参考3]。私たちは、東伊豆町立図書館（静岡県賀茂郡東伊豆町奈良本908-8）を訪れ、より詳細な文献調査をした。すると、東伊豆町の『郷土誌その五（東伊豆町教育委員会 1985）』という文献[参考1]を、図書館職員の方から紹介された。この文献は、地元の名士の方々複数名が江戸時代の各種古文書を解読して地元の図書館に寄贈した研究冊子である。

この研究冊子を読むと、硫黄採掘にともなう水質汚濁の問題は、元禄14年（西暦1701年）までさかのぼることができることが判明した。上級生が筆頭著者になった昨年度の研究報告書[参考2]では元治～慶應年間（西暦1864～1868年）の請願にしか言及されていなかったため、150年近く硫黄採掘の歴史がさかのぼることになる。

また、この『郷土史その五』の引用文献リストから判断するに、大正～昭和以降、白田川硫黄採掘跡の研究は、各種古文書の解読など文献上での歴史的、人文学的な研究に限られるということも分かった。どうしてこの場所で硫黄が産出するのか、といった理科や自然科学に属する興味や関心で行われた研究には言及されておらず、おそらく下田高校で私たちが進めているもの以外は存在しないはずである。

### 4-2. 白田川の水に含まれる硫酸イオンと硫化物イオンの測定

昨年度の研究[参考2]によれば、白田川には酸性の水[図表1]が流れており、上流にある硫黄採掘跡で採取した水には、硫化物イオンと硫酸イオンが含まれているという。しかし、昨年度の実験[参考2]は金属イオンの水溶液を加えて、沈殿の生成を確認しただけである。したがって、どのくらいの量が含まれていて、硫黄採掘跡から離れるにつれてどのように変化するかは調べていなかった。今年度は市販のパックテストを使って、現地での測定に挑戦した。白田川には昨年度の調査でpHが酸性から中性に変化していくこと、中性の水が流れる支流が存在することが分かっていたので酸性を示した箇所为重点的に分析を行った。

パックテスト硫化物（硫化水素）を使った現地調査[図表2]では、硫化水素濃度が0.1 ppm～5 ppmの範囲に収まった。また、パックテスト硫酸（高濃度）を使った現地調査[図表2]では、硫酸イオン濃度が50 ppm～2000 ppmの範囲に収まった。ppmとはパー・パー・ミリオンの頭文字をとったもので100万分の1の意味しており、1 ppmは0.0001%に相当する。白田川の水にパックテストの測定の範囲内[図表2]にあった。硫黄採掘跡0m地点では、硫化物イオンは0.6 ppmであり、硫酸イオンが80 ppmだった。硫化物イオンは急速に濃度が低下し、硫黄採掘跡30m地点で0.05ppmまで低下し、12分の1程度に減っていた。その後、検出不可能な0.1ppm未満になった。また、硫酸イオンは穏やかに減少していき、最も川の水が青白く見える4600m地点では逆に増加していた。中性の水が流れる

支流では、2カ所測定して2カ所とも、硫化物イオンおよび硫酸イオンは検出されなかった[データは示さない]。

#### 4-3. 白田川の青白さの数値化

昨年度の調査[参考2]により、硫黄採掘跡0 m地点の白田川は無色透明の水が流れているように見えるが、4600 m地点および付近の水が最も青白く見えることを、肉眼で確認していた。しかし、この青白さを客観的な数値として確かなものにはしていなかった。そこで、色見本を使って現地で白田川各地点を撮影する方法と、持ち帰り試料を吸光度計で分析する方法の2種類で青白さを検証することにした。

色見本を使って現地で白田川各地点を撮影する方法[図表3]では、硫黄採掘跡0 m地点、800 m地点、840 m地点、900 m地点、1140 m地点、3300 m地点、4000 m地点、4200 m地点、4600 m地点、4700 m地点の10カ所で調べた。RGB値を使って川の各地点の水の色を再現すると、硫黄採掘跡0 m地点は灰色で、最も青色に近くなったのは4600 mであった。各地点のRGB値における青色を示すBLUEと赤色を示すREDの値の差を取ってグラフにした場合であっても、硫黄採掘跡0 m地点ではその値は最小であったが、硫黄採掘跡4600 m地点では最大になっていた。

また、持ち帰った水を吸光度計で調べる方法[図表4]では、硫黄採掘跡0 m地点と硫黄採掘跡4600 m地点の2カ所で調べた。この2地点の水をペットボトルに入れて下田高校に持ち帰り、採取を行った3日後に分析を行った。水はキャップの部分にパラフィルムを巻いた上で冷蔵庫に入れて保管した。昨年度の研究でこの方法で保管した際にpHの変質がなかったためこの方法で問題ないと考えられる。硫黄採掘跡0 m地点の水と硫黄採掘跡4600 m地点の水のどちらも210 nm以下の短波長の光を吸収していたが、グラフが最も光を吸収していたピークは4600 m地点の水の方が大きかった。この結果からも硫黄採掘跡0 m地点の方が無色透明だということが確かめられた。

#### 4-4. 青白く見える硫黄コロイド以外の物質

水の青色の原因として考えられるのは硫黄コロイドだけとは限らない。他に考えられる原因としては銅イオンが水に溶け込んでいるケース、水酸化アルミニウムコロイドやメタケイ酸コロイドがレイリー散乱を起こしているケースなどが考えられる。そこで私達は青白色の原因が硫黄コロイドであることを確かにするために、他の考えられる原因を排除することにした。

検出されないほど少ない、ことを示すのは、高校の設備では難しい。そこで、株式会社サイエンス（静岡県静岡市清水区小芝町4番13号）という水質分析の専門機関に外注することにした。この分析では、硫黄採掘跡0 m地点の水[図表5]と硫黄採掘跡4600 m地点の水[図表6]を添付された指示書に従って採水し、ナトリウムイオン、カリウムイオン、マグネシウムイオン、カルシウムイオン、アルミニウムイオン、総鉄イオン、銅、メタケイ酸、硫酸イオンがどの程度含まれているのか調べた。すると、銅(II)イオンは硫黄採掘跡0 m地点で0.1 mg/L未満、硫黄採掘跡で0.1 mg/L未満だったので、白田川が青白く見える原因物質ではないという結果が得られた。また、アルミニウムイオンは硫黄採掘跡0 m地点で2.0 mg/L、硫黄採掘跡4600 m地点で0.1 mg/L未満だったので、水酸化アルミニウムのコロイドは白田川が青白く見える原因物質でないという結果が得られた。どちらも少なすぎる。メタケイ酸は硫黄採掘跡0 m地点で36.2 mg/L、硫黄採掘跡4600 m地点で35.0 mg/Lであったが、含まれている濃度と、その場所が青白く見えるかどうかに関係がないので、メタケイ酸のコロイドは白田川が青白く見える原因物質でないという結果が得られた。

### 5. 考察

#### 5-1. 白田川が青白く見える原因

私たちは、白田川が青白く見える原因は、硫黄コロイドが光の散乱を引き起こすためだと仮説を立

てて、研究を進めてきた。実際に、神奈川県箱根大涌谷[参考 4]、群馬県の白根山火口、熊本県の阿蘇山火口[参考 5]の水が青白く見えるのは、硫黄コロイドだと考えられている。

昨年度の研究[参考 2]では、白田川の上流には硫黄採掘跡があること、硫黄採掘跡から流れ出る水は酸性であり、硫化物イオンと硫酸イオンが含まれていること、硫黄採掘跡の泥には質量比 3 割程度の硫黄が含まれること、粒子が小さくなるように低温で作成した硫黄のコロイド溶液は適切に光を当てると青白く見えることを示した。しかし、昨年度の研究[参考 2]では、白田川が青白く見える原因は、硫黄コロイドが光の散乱を引き起こすためだと結論づけるには、決め手が欠けていた。

今年度の研究では、まず白田川各地点と硫黄採掘跡の距離をペンタイプマップメータで調べた上[図表 1]で、パックテストを使って白田川各地点に含まれる硫化物イオンと硫酸イオンの量を測定[図表 2]し、硫黄コロイドのもとになる硫化物イオンが、硫黄採掘跡近くには多く含まれ、下流に行くと少なくなることを示した。今年度の研究では、白田川各地点の青白さを 2 種類の方法で数値化[図表 3]、[図表 4]しており、硫化物イオンが川を流れている間に空気中の酸素と触れて酸化されて硫黄コロイドを作り出す[参考 4]と考えれば、硫黄採掘跡 4600 m 地点で白田川が最も青白く見えるのは、硫黄コロイドができるのに時間がかかるからだの説明がつく。なお、光の散乱が起きて水が青白く見える硫黄コロイドの大きさは直径 100 nm~500 nm 程度だとされる[参考 6]。

また、今年度の研究では、外部機関に依頼して水質を分析[図表 5]、[図表 6]して、銅(II)イオンのように青く見えたり、水酸化アルミニウムコロイドやメタケイ酸コロイドのように光を散乱させたりする他の物質では、白田川が青白く見えることを説明できないことを示した。硫黄コロイド以外のもっともらしい可能性は排除されているので、白田川が青白く見える原因は、硫黄コロイドが光の散乱を引き起こすためだと結論できる。

#### 5-2. 硫酸イオンが増加する理由

白田川の水に含まれる硫酸イオンは 4600 m 地点で増加した[図表 2]。これは硫黄採掘跡から下流に流れていく過程で硫化物イオンから硫酸イオンに変化したからだと考えられる。変化の順番としては硫化物イオン  $S^{2-}$  (硫黄原子の酸化数 - 2)、亜硫酸イオン  $SO_3^{2-}$  (硫黄原子の酸化数 + 4)、硫酸イオン  $SO_4^{2-}$  (硫黄原子の酸化数 + 6) の順番に、空気中の酸素分子を酸化剤として反応し変化する[参考 4]と考えられる。

#### 5-3. 硫化物イオンから硫黄コロイドができるまでの時間

今年度の研究では、白田川の青白さを数値化すると、上流よりも下流で青白く見えるということが分かった[図表 3]、[図表 4]。これは、硫黄コロイドの生成には、硫化物イオンから硫酸イオンが生成されるのと同様に時間がかかるからだと考えられる。通常、川の水の速度は 0.2~0.3 m/s のため、最も青白く見えた 4600m 地点まで水が流れるには 4~7 時間程度の時間がかかるはずだ。現地で水流の速さを調べたり、下田高校化学室で硫化物イオンから硫黄コロイドができるまでの時間を調べたりして、より確かなことを明らかにしていきたい。

#### 5-4. 白田川の上流に硫黄が産出するのはどうしてか

伊豆半島と本州が地続きになる時期の前後に伊豆半島各地の火山活動は活発になった[参考 7]。伊豆半島で最大の規模を誇る天城山もその中に含まれていて 20 万~30 万年前頃の更新世に噴火活動を繰り返し成長した。そして、現在の万二郎岳、万三郎岳、箒木山、三筋山にまたがる直径 7 km の巨大なカルデラ[図表 7]を形成したと考えられ、白田川の上流はかつて存在した天城火山の中央に位置している。

伊豆半島はもとより降水量が多く、天城火山のカルデラの中でも標高の低かった南東部に川ができてそこから土砂が流出して現在の片瀬白田駅付近のような平地[図表 7]ができたと考えられる。

天城火山は複成火山だが、カルデラ南東部の崩壊の時期付近で活動を終えている。白田川上流に存在する硫黄採掘跡周辺は、伊豆半島が海底にあった数百万年前の鮮新世の火成岩の上に天城山が活動した 20 万～30 万年前の更新世の火成岩が積みあがった地質・地層[図表 7]になっていて、一度の噴火でできた単成火山から構成される伊豆東部火山群の噴火で 10 万年前～現在の完新世にできた火成岩は確認できない。硫黄採掘跡から流出する水は冷泉であり、現在も活動を続けている伊豆東部火山群の火山活動と関連付けることは難しい。

白田川上流で産出する硫黄は鉍染鉍床か沈殿鉍床かのどちらかだと考えられる。今後、白田川上流で産出する硫黄が、鉍染鉍床と沈殿鉍床のどちらで構成されているかを明らかにし、採掘跡が谷の最下部にあるという周辺の地形[図表 8]も踏まえた研究の掘り下げを行いたいと考えている。

Q.	白田川が青白く見えるのはなぜか？
A.	硫黄コロイドが光を散乱させるから。
根拠 1	箱根大涌谷、白根山火口、阿蘇山火口で青白く見えるのも硫黄コロイドのため。
根拠 2	硫黄採掘跡から持ち帰った泥に質量比約 3 割の硫黄が含まれていた。
根拠 3	硫黄コロイドのもとになる硫化物イオンが白田川の水に含まれていた。
根拠 4	硫黄コロイド以外の青白く見える原因物質は精密な分析でも見つからなかった。
根拠 5	硫黄コロイドができるのに時間がかかるから採掘跡 4600 m 地点が最も青白い。

↓ 新たな疑問

Q.	白田川の上流に硫黄が産出するのはどうしてか？
観点 1	時期。あの場所に硫黄の鉍床ができたのはいつか。
観点 2	成因。あの場所に硫黄の鉍床ができたのはどういう仕組みか。

伊豆半島ジオパーク推進協議会にメールで問い合わせたところ、白田川上流に硫黄が産出するのはどうしてかという疑問に対して、明確な答えはまだないとのことだった。

- > どうして白田川上流で硫黄が産出するのか、については明確な答えがまだありません。
- > というのも、そのことを正面から取り組んだ研究はおこなわれていません。
- > 高校生が取り組んで何らかの考察を導いてくだされば、非常に素晴らしいことだと思います。

また、白田川上流に硫黄が産出するのは、おそらく火山活動によるものとのことだった。

- > 国内の硫黄鉍床はすべて火山活動にともなうものと考えられています。
- > 成因によって昇華鉍床、溶流鉍床、沈殿鉍床、鉍染鉍床（および複合的なもの）に分類されます。

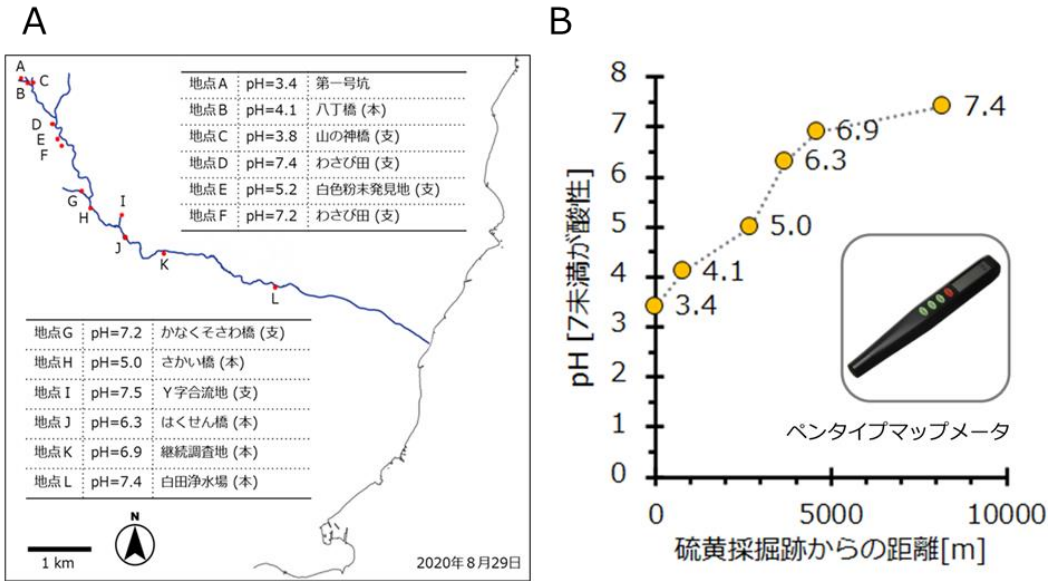
さらに、地形図や地質図で大まかに対象地域の特徴を把握するとよいとのことだった。白田川上流の硫黄採掘跡はちょうど谷の最下部にある[参考 8]。伊豆半島ジオパーク推進協議会からいただいたアドバイスをふまえて、今後は、現地の産出状態、母岩との関係、副生成鉍物などを総合的に調査し、下田高校自然科学部で白田川の硫黄の成因を明らかにしていきたい。

## 6. 参考文献

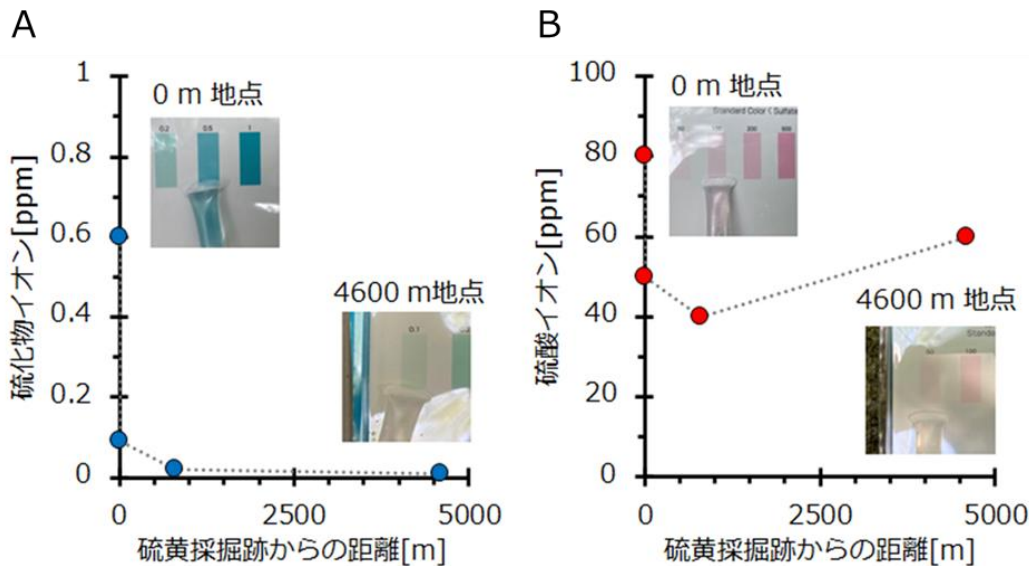
- [参考 1] 東伊豆町教育委員会『郷土誌その五』(1985)
- [参考 2] 須貝周平・富田夏津馬『白田川が青白く見えるのはなぜか』(山崎賞 2021/JpGU2021 大会など) [http://www.jpгу.org/meeting\\_j2021/publicPDF/007-P72.pdf](http://www.jpгу.org/meeting_j2021/publicPDF/007-P72.pdf)
- [参考 3] 鈴木敏『日本の鉱物産地』(地学雑誌 1892) <https://doi.org/10.5026/jgeography.4.515>
- [参考 4] 安藤武・大久保大治『大涌谷における火山性地すべりの地質特性に関する研究』(地すべり 1966) <https://doi.org/10.3313/jls1964.3.1>
- [参考 5] 恩田裕二ら『活動的強酸性火口湖の呈色因子に関する色彩学的・地球化学的研究』(陸水学雑誌 2003) <https://doi.org/10.3739/rikusui.64.1>
- [参考 6] 国見の温泉公式ホームページ | 国見温泉の緑色呈色因子  
<http://www5.famille.ne.jp/~kunimihp/kagaku.pdf>
- [参考 7] 南から来た火山の贈りもの 伊豆半島ジオパーク <https://izugeopark.org/>
- [参考 8] 国土地理院 | 地理院地図 <https://maps.gsi.go.jp/>



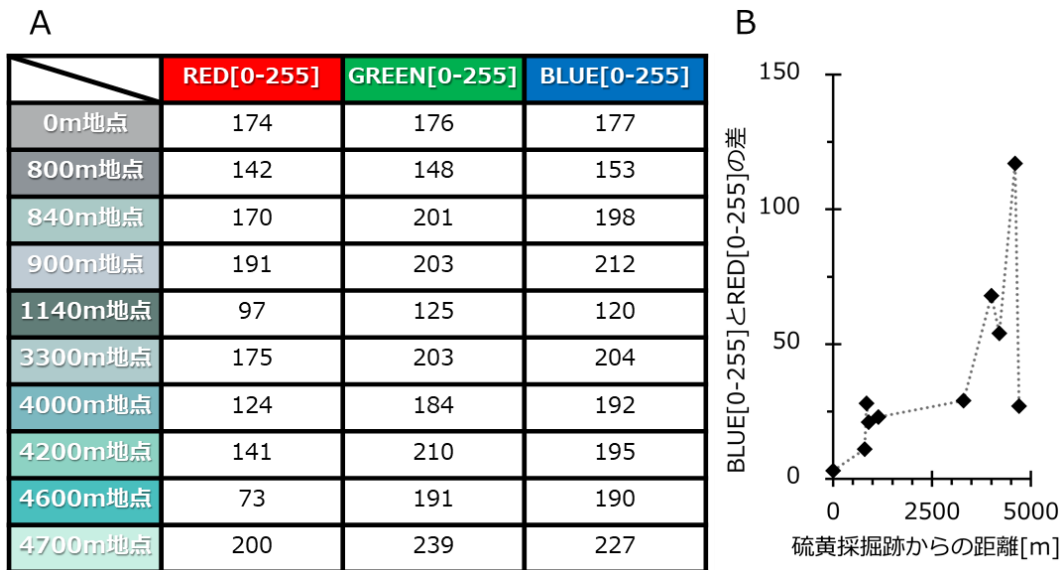
7. 図表



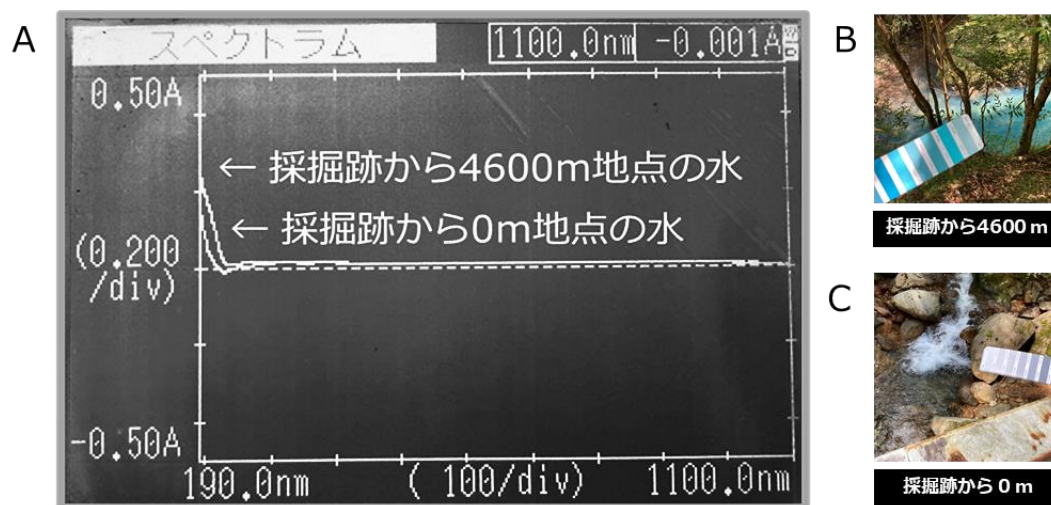
[図表 1]. ペンタイプマップメータを使った川の長さ と pH の関係の調査。A (左図) は昨年度の研究 成果。今年度の測定でも地点A、地点B、地点C、地点D、地点E、地点Kでは同様の傾向が見られ た(データは示さない)。図の地点Kが最も青白く見えた。B (右図) の横軸はペンタイプマップメー タを使って調べた硫黄採掘跡からの距離、縦軸は各地点の pH を示したグラフ。本流の値だけを抜粋し た。2021 年 6 月の JpGU (地球惑星科学連合) 2021 大会で、大学所属の専門家の方から、川の長さを 調べて距離を算出してほしいとアドバイスされたため、グラフを作成した。ペンタイプマップメータ は 2021 年 2 月に授与された山崎賞賞金を使って購入した。



[図表 2]. 白田川各地点の含硫黄イオンの濃度変化。横軸はペンタイプマップメータを使って調べた 硫黄採掘跡からの距離。現地での調査はすべて 2021 年 9 月 11 日に実施した。A (左図) は硫化物イ オンのグラフ。硫黄採掘跡から離れるにつれて急激に減少している。B (右図) は硫酸イオンのグラフ。硫黄採掘跡の水に含まれる硫酸イオンの濃度が最も高いが、他の 3 地点はそれほど変わらない。 写真は硫黄採掘跡 0 m 地点と硫黄採掘跡 4600m 地点でのパックテストの変色。このグラフの ppm (パー ツ・パー・ミリオン) は 100 万分の 1 の意味しており、1 ppm は 0.0001% に相当する。



[図表 3]. 色見本を使った白田川の水の青白さの数値化。色見本と白田川各地点の撮影は 2021 年 9 月 11 日に実施した。A (左表) は写真を撮影した白田川各地点の RGB 値を色見本から算出したもの。表の最も左の列は RGB 値から各地点の色を再現して、コンピュータ上で表示させたもの。B (右図) は RGB 値の BLUE[0-255]と RED[0-255]の差を調べて、青白さの指標にしたもの。肉眼で見た通り、硫黄採掘跡から 4600 m 地点が最も青い。各地点の距離は硫黄採掘跡からどれくらい離れているかペンタマップメータで調べたもの。



[図表 4]. 吸光光度計を使った白田川の水の青白さの数値化。採水は 2021 年 9 月 11 日に実施した。A (左図) は吸光光度計の測定画面。どちらで採取した水も 190 nm 未満の短波長の範囲に吸収のピークがあった。測定が可能な波長 190 nm から 1100 nm の範囲では、採掘跡から 4600 m 地点で採水した水は 0.25 A が最大値、0 m 地点で採水した水は 0.15A が最大値だった。ベースライン補正は精製水 (純水製造装置ピュアライン WL200) を使った。この精製水でピークは見られなかった (データは示さない)。B (右上図) は色見本と撮影した硫黄採掘跡から 4600 m 地点の写真。2020 年 8 月 29 日の調査でも、2021 年 9 月 11 日の調査でも、この場所が最も青白く見えた。C (右下図) は色見本と撮影した硫黄採掘跡から 0 m 地点の写真。無色透明の水が流れており、岩肌の灰色が見えるので、肉眼ではまったく青白く見えなかった。

# 試験成績書

第H- 210902 号  
2021 年 10 月 5 日

静岡県立下田高等学校 吉田 亮祐 様



(一社)静岡県計量協会

静岡県公認登録第 1-4-1-11-6 号  
事業者名 株式会社サイエンス  
〒424-0812 静岡市清水区小芝町4番13号  
電話 <054>361-0200  
環境計量士  
(登録第環6874号) 石川 一郎



受付年月日 2021 年 9 月 13 日

試料受付方法 郵送

依頼者名	静岡県立下田高等学校		
試料名	硫黄採掘跡		
採取場所	白田川		
採取年月日・時刻	2021 年 9 月 11 日 11:00	採取者	吉田 亮祐 様
特記事項	天候:曇後雨 気温:24℃ 水温:10℃		

(当方採取以外については、依頼者のお申し出により記入致しました。) ご注意  
ご依頼を受けました上記試料について試験した結果を下記の通り報告します。

試験の対象	単位	試験の結果	試験の方法
ナトリウムイオン	mg/L	5.6	鉱泉分析法指針
カリウムイオン	mg/L	2.2	鉱泉分析法指針
マグネシウムイオン	mg/L	3.7	鉱泉分析法指針
カルシウムイオン	mg/L	17.8	鉱泉分析法指針
アルミニウムイオン	mg/L	2.0	鉱泉分析法指針
総鉄イオン	mg/L	2.4	鉱泉分析法指針
銅	mg/L	0.1未満	鉱泉分析法指針
メタけい酸	mg/L	36.2	鉱泉分析法指針
硫酸イオン	mg/L	103.9	鉱泉分析法指針
		以下余白	

備考 試験の結果欄に 未満 と表示されている数値は定量下限値を示します。

[図表 5]. 硫黄採掘跡 (0 m 地点) で採取した水の試験成績書。株式会社サイエンス様に依頼した。

# 試験成績書

第H- 210901 号  
2021 年 10 月 5 日

静岡県立下田高等学校 吉田 亮祐 様



(一社)静岡県計量協会

静岡県公認登録第 1411 6 号  
事業者名 株式会社サイエンス  
〒424-0812 静岡市清水区小笠町4番13号  
電話 <054>361-0200  
環境計量士  
(登録第環6874号) 石川 一郎



受付年月日 2021 年 9 月 13 日

試料受付方法 郵送

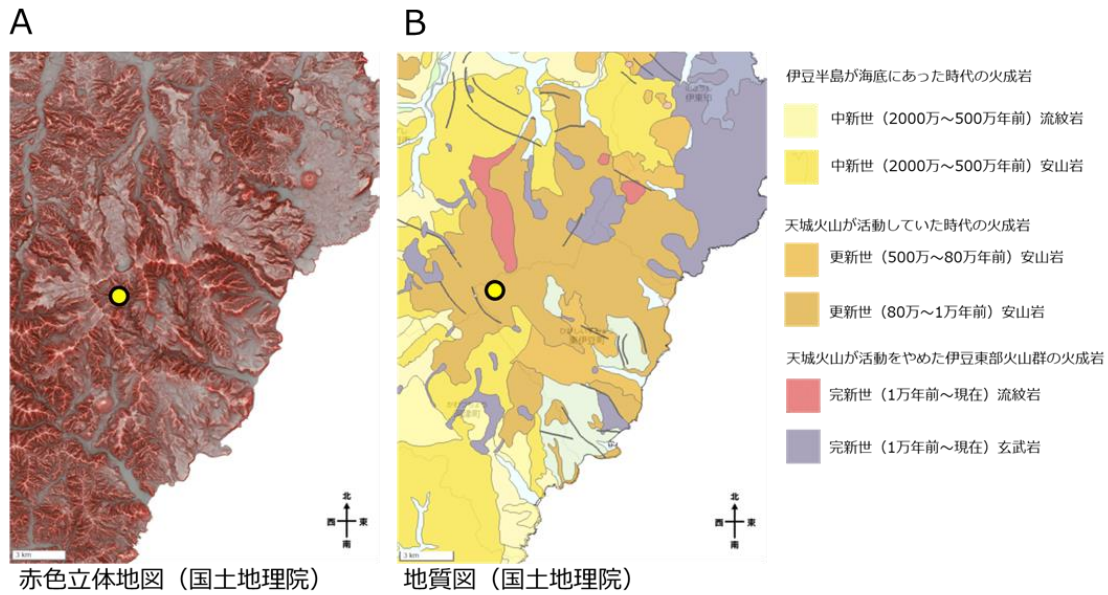
依頼者名	静岡県立下田高等学校		
試料名	白田川起点		
採取場所	白田川		
採取年月日・時刻	2021 年 9 月 11 日 12:00	採取者	吉田 亮祐 様
特記事項	天候:曇後雨 気温:24℃ 水温:12℃		

(当方採取以外については、依頼者のお申し出により記入致しました。)  
ご依頼を受けました上記試料について試験した結果を下記の通り報告します。

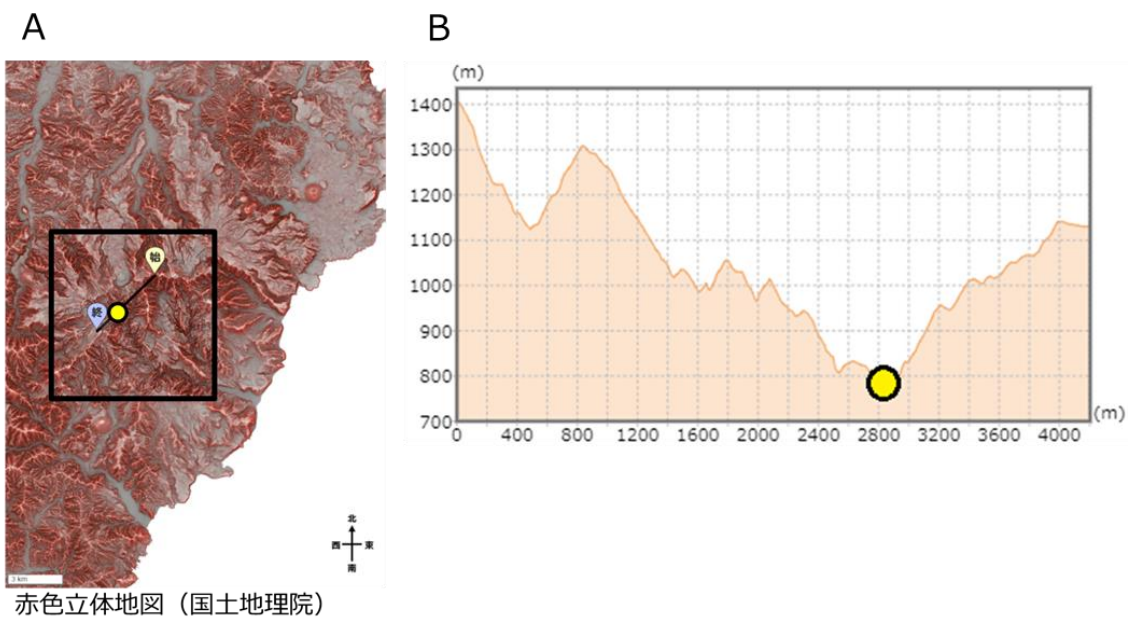
試験の対象	単位	試験の結果	試験の方法
ナトリウムイオン	mg/L	4.5	鉱泉分析法指針
カリウムイオン	mg/L	1.6	鉱泉分析法指針
マグネシウムイオン	mg/L	2.1	鉱泉分析法指針
カルシウムイオン	mg/L	8.6	鉱泉分析法指針
アルミニウムイオン	mg/L	0.1未満	鉱泉分析法指針
総鉄イオン	mg/L	0.1未満	鉱泉分析法指針
銅	mg/L	0.1未満	鉱泉分析法指針
メタけい酸	mg/L	35.0	鉱泉分析法指針
硫酸イオン	mg/L	30.6	鉱泉分析法指針
		以下余白	

備考 試験の結果欄に 未満 と表示されている数値は定量下限値を示します。

[図表 6]. 白田川起点 (4600 m 地点) で採取した水の試験成績書。株式会社サイエンス様に依頼した。



[図表 7]. 白田川上流にある硫黄採掘跡周辺の地質。硫黄採掘跡は天城火山のカルデラの中央やや北西部にある。硫黄採掘跡の周辺は天城火山が活動していた時代の火成岩からなる。A（左図）は赤色立体地図。B（右図）は地質図。国土地理院のウェブページ (<https://maps.gsi.go.jp/>) からデータを取得した。○が硫黄採掘跡。地図上部が北を意味する。縮尺棒は1 kmを意味する。



[図表 8]. 白田川上流にある硫黄採掘跡周辺の標高。A（左図）の始点は天城最高峰の万三郎岳。B（右図）の横軸は万三郎岳からの距離、縦軸は海面からの標高。国土地理院のウェブページ (<https://maps.gsi.go.jp/>) からデータを取得した。○が硫黄採掘跡。地図上部が北を意味する。縮尺棒は1 kmを意味する。