

しちみおんせん
七味温泉の色はなぜ変わるのか

～エメラルドグリーンから乳白色に変わる謎を探れ！～

長野県屋代高等学校理数科

朝場香陽・金井桃花・高崎悠輝・廣川晴弘

指導教員：柳沢克央

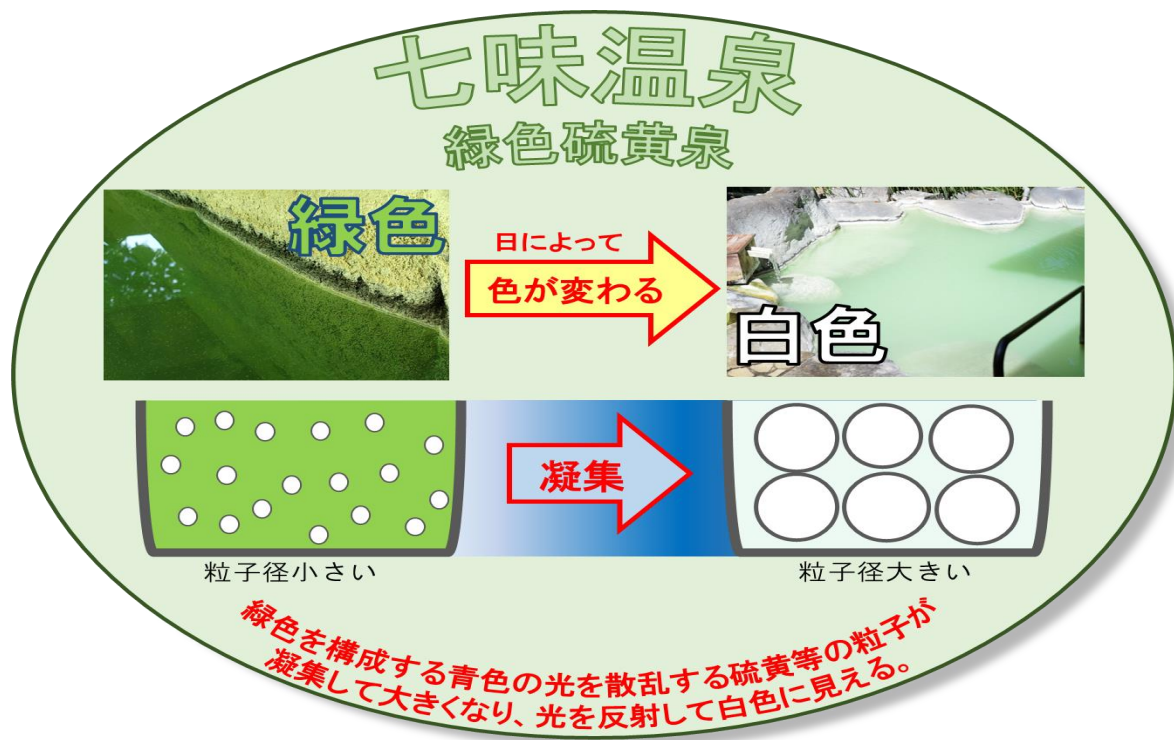
研究概要

七味温泉(長野県上高井郡高山村)は2つ以上の色に変化する珍しい温泉である。七味温泉の緑白色呈色に関する先行研究は行われていたが、変色の仕組みの詳細は解明されてこなかった。

まず、先行研究をもとに本温泉に関して分析を行った結果、成分は主に硫酸カルシウムであり、温泉水の濾過残留物の大半が硫黄であることが分かった。また、時間経過と共に凝析するが、温泉の成分は変わらないことを確認した。

また、先行研究では緑色の呈色機構は、硫化水素イオンが黄色を呈色し、硫黄がレイリー散乱により青色を呈色すると記述されていたので、長さ1メートルの管をもちいるなどして再現実験も試みた。その結果、濾過をした溶液が薄い黄色を呈色したのに対し、濾過をしない溶液が緑色を呈色することを確認した。

以上の過程による実験と考察とによって、七味温泉の変色の仕組みを「化学的なアプローチ」によって、初めて明らかにすることができた。



1. 研究動機

日本各地には、様々な色の温泉がある。不思議なことに一つの温泉が2つ以上の色に変化する温泉がいくつか知られている。その一つが長野県高山村にある七味温泉である。この温泉は緑色硫黄泉で、その時の状態によって色がエメラルドグリーンから乳白色に変化する。

先行研究には緑色硫黄泉の呈色機構についての記述はあるが、七味温泉の色が変化する原理についての記述はないため、このことを研究しようと考えた。

2. 研究方法

① 緑色の硫黄を含有する温泉に関する先行研究

に基づき緑色の原因物質を調べる。

→原因物質を用いて緑色温泉を再現し、検証する。

② 白色になる原因を調べる。

→温泉成分の詳細な分析を行い、白色に見えるのには、具体的に何が関係しているかを調べる。

なお、本研究では湯口から源泉が出て時間経過した湯船の湯を白色の状態と仮定し、湯口のサンプルと比較した。



写真1:七味温泉

3. 結果・考察

① 緑色に見える仕組み

七味温泉と同系統と推測される温泉に関する「緑色温泉の呈色機構」という先行研究を検討した。それによれば、当該温泉が緑色になる理由は、硫化水素イオンが含まれる水溶液が黄色を呈色し、硫黄や炭酸カルシウムのレイリー錯乱による青色が合わさることによるという。《図1》

先行研究の呈色機構が七味温泉にも当てはまるのではないかと推測した。実際にこの命題が真であるかどうかを確かめるため、図1の成分を溶かした水溶液「人工硫黄泉」を作り、源泉と人工硫黄泉を吸光分析で比較した。《グラフ1・2》

スペクトルが近似していることから、七味温泉にも「先行研究」の成分や機構が当てはまるといえる。

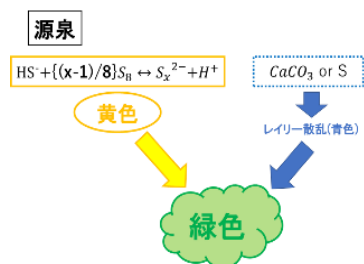
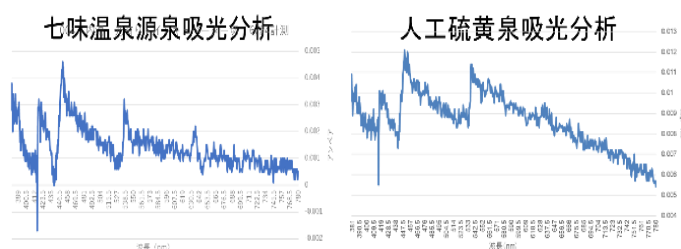
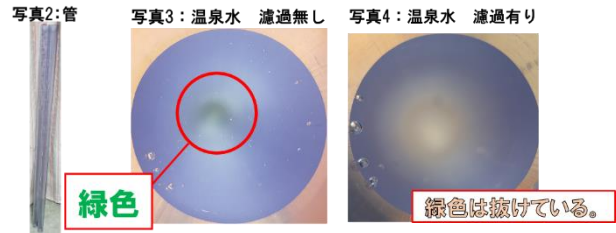


図1: 緑色温泉の呈色機構 先行研究より



グラフ1・2: 源泉と人工硫黄泉の吸光分析

次に、温泉を長さ1mの管《写真2》に入れて温泉と、濾過した温泉の色を比較した。温泉自体は緑色を示したが《写真3》、濾過すると緑色が抜けた。《写真4》



青い光の波長は $4.35 \sim 4.80 \times 10^{-7} \text{m}$ でレイリー散乱はこれより小さな粒子で起きる。濾紙の穴の大きさは 10^{-7}m 程度であり、濾過することで緑色が消えたことから、濾過することで、レイリー散乱を起こしていた粒子が取り除かれたと考えられる。

② 白色に見える原因を探る

信州大学工学部のご協力を頂き、七味温泉に含まれる物質の分析を行った。

(1) 温泉に含まれる成分や状態の調査

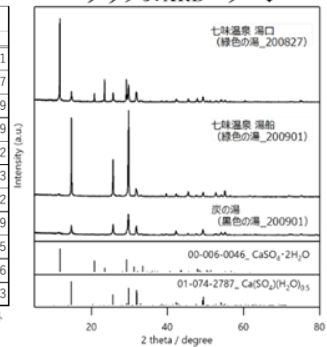
XRD: X線光電子分光法や ICP 分析: 誘導結合型発光プラズマ分析を用いて温泉水の濾液に含まれるイオン・化合物を調べた。《表1・グラフ3》

表1: ICPパターン 湯口&湯船

金属イオン		湯口	湯船
		(ppm)	(ppm)
ホウ素	B	12.599	11.101
ナトリウム	Na	85.154	75.607
マグネシウム	Mg	14.195	12.739
アルミニウム	Al	0.028	0.029
ケイ素	Si	36.202	32.972
カリウム	K	11.495	10.233
カルシウム	Ca	290.18	262.402
マンガン	Mn	1.529	1.369
ヒ素	As	1.594	1.415
ストロンチウム	Sr	0.896	0.806
バリウム	Ba	0.037	0.033

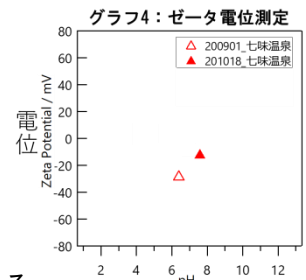
※測定値<0.010ppmの項目は除外

グラフ3: XRDパターン



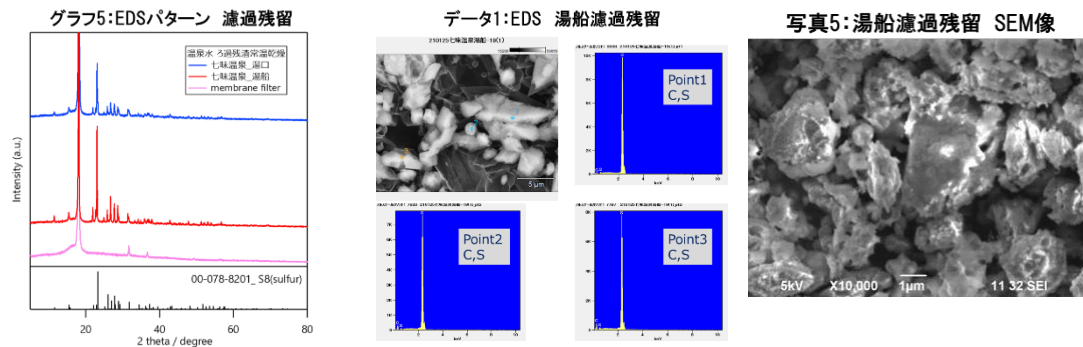
成分分析により①の先行研究であげられていた硫黄やカルシウムが多く含まれることが分かった。XRDの結果から温泉に含まれる大部分は先行研究と同じ成分であることがわかった。

しかし温泉の粒子の電位を調べると帯電していなかった。《グラフ4》粒子が帯電していないことから凝集していると分かった。レイリー散乱を起こしていた硫黄などの粒子が凝集して緑色が弱まると共に白色に見えると考えた。



(2) 温泉を濾過し、濾過残留を分析

(1)の考察(下線部)が正しいかを確認するため。温泉を濾過し、濾過残留を XRD パターンと EDS, SEM(電子顕微鏡)で調べ凝集した硫黄の粒子が含まれるかを分析した。《グラフ5・データ1・写真》



XRD より、濾過残留には硫黄が多量に含まれることが分かった。SEM 像・EDS を見ると粒子径は $2\sim 5\ \mu\text{m}$ ($2.0\sim 5.0\times 10^{-6}\text{m}$) で粒子の大部分は硫黄であることが分かる。以上のことから(1)の考察は正しいと考えた。

4. 結論

七味温泉は硫化水素イオンの黄色と硫黄粒子などのレイリー散乱で生じる青色が合わさり、緑色に見える。この温泉色が乳白色に変化する原因は、レイリー散乱を起こした粒子が時間経過で凝集し、レイリー散乱が起こらなくなるとともに、大きな粒子になるためと考えられる。七味温泉について、命題が真であったことが初めて明らかになったといえる。

本研究では、七味温泉が乳白色に見える原因である凝集の起きる地質学的条件についてまでは調べることはできなかった。粒子の凝集が温泉環境のどのような要素によって起こるのかについて今後、研究したい。

5. 引用・参考文献

- ・緑色温泉の呈色機構(東邦大学)
<http://www5.famille.ne.jp/~kunimihp/08.new.pdf>
http://www.jhss.org/journal/back_number/vol60_pdf/vol60no2_119_133.pdf
- ・七味温泉 温泉分析表 環境未来株式会社
- ・一般社団法人材料科学技術振興財団
<https://www.mst.or.jp/method/tabid/64/Default.aspx>
- ・数研出版 改訂版 化学
- ・身の回りの光 <http://phenomenon-of-light.jp/page2.html>

6. 謝辞

今回の研究にご協力いただいた方々に厚く御礼申し上げます。

- ・長野県上高井郡高山村「七味温泉」 紅葉館さま
- ・信州大学工学部物質化学科 手嶋・是津研究室, および関係者のみなさま