

カラーチャート(色見本)を用いた湯だまり表面色の色彩評価

阿蘇山火山防災連絡事務所 後小路 義弘
京都大学火山研究センター 寺田 暁彦*

*現所属 東京工業大学火山流体研究センター

1. はじめに

阿蘇火山中岳の活動火口である第一火口には、非噴火期に直径約 200 m の火口湖（湯だまり）が形成されている。通常、青緑色に呈色している湯だまりの湖表面色は、火山活動とともに変化することが知られている。そのため、水温や水量とともに、湖表面色を火山活動度評価の指標のひとつとして用いることが期待される。

湖表面の呈色原因については、いくつかの先行研究がある^{1), 2), 3)}。例えば恩田・他⁴⁾は、湯だまりと草津白根火山・湯釜で採取した湖水試料を詳細に検討した。室内実験と比較により、粒径 0.1–0.45 μm および 1.2 μm の硫黄コロイドが、それぞれ青色と白色、 Fe^{2+} イオンが緑色の原因であり、それらの量、比によって、湖表面色が変化することが示唆された。

すなわち、火口湖の表面色は、湖水中における硫黄コロイドの生産環境と Fe^{2+} イオン濃度を反映しているらしい。これらが、火山活動すなわち湖底での噴気活動に対して、具体的にどう関係しているかは、現時点で明確ではない。しかし、阿蘇火山においては、火山の活動に対応して湖表面色が変化してきたことも事実である。従って、非噴火期に湖表面色を定量的に評価しておくことは、火山の活動度評価を行なうために重要である。

気象庁阿蘇山測候所は、火口縁から目視で判断した湖表面色を 1932 年から記録してきた。同様の観測は、2008 年以降は阿蘇山火山防災連絡事務所が引き継いでいる。しかし、主観と記憶に頼る目視観測には、観察者による違いや、僅かな色変化を認識することの難しさ等、多くの課題が含まれている。ポータブル型色彩計は、主観に頼らず、色を定量的に評価する装置として極めて有用である⁵⁾。しかし、光源となる太陽光や大気散乱光は、常に変化している。そのため、色彩計を用いて色を定量化しても、色彩変化の原因が、光源の変化を反映したものか、実際の湖水の変化を捉えたものか、区別することが難しい。例えば、快晴の日中よりも曇天や夕刻において、湖表面色はより濃く見える。

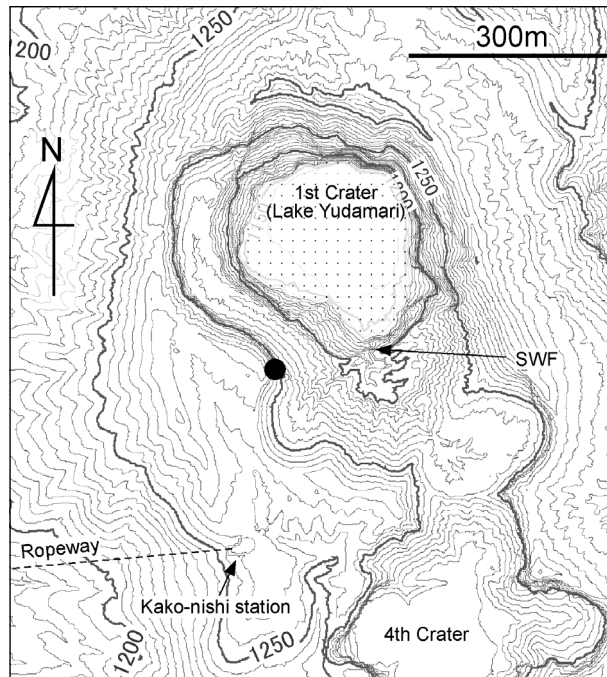


図 1. 阿蘇火山中岳第一火口周辺の地形図。黒丸は火口南西観測点（阿蘇火山博物館 A カメラの近傍）。本地形図の作成に必要な数値標高データは、国際航業株式会社から提供された。

たとえ快晴の日に色彩計で湖表面色を測定しても、若干異なる値が測定されることもある⁵⁾。

本研究では、従来の主観に頼った色彩評価よりも高い信頼性を確保すること、光源の変化が色彩評価へ与える影響を低減させるために、カラーチャート（色見本）を用いた湖表面色評価を試みた。本報告では、色見本や観測方法について述べた後、色見本を用いた観測の有効性を、2008年9月から6ヶ月間実施した結果に基づいて検討する。

2. 観測方法

湯だまり近傍において、色見本に対する光源と、湖面に対する光源は、ほぼ同一とみなせるであろう。本研究では、湖面と色見本において、反射率等の光学的特性が等しいと仮定する。このとき、光源の変動が色彩に与える影響は、湖面、色見本ともに等しく現れるため、色見本を参照すれば、光源の変動が色彩評価へ与える影響は相殺される。そのような期待のもと、2008年9月から翌年2月にかけて色見本を火口縁（図1）に持ち込み、色彩評価を14回実施した。本期間、湯だまりの湖水量は緩やかに減少したが⁶⁾、南壁噴気を除いて火山活動に大きな変化はなく、湯だまりは概ね静穏な状態で推移した。

2.1 色見本の概要

測定に用いたのは、米国 PANTONE 社製のフォーカラープロセス・ガイドセット（以下、単に色見本と呼ぶ）である。例として、色見本の、あるページの一部を図 2 に示す。本図は、スキャナを用いて色見本をデジタル化したもので、オリジナルの色とは異なる。ただし、スキャナの色補正機能は解除してあり、色の相対的な違いを見るのが可能である。本製品は、印刷用に用いる色の見本として作成された製品で、サイズは 235 × 43 mm で、コート紙 167 ページに合計 3,006 色が表現されている。各ページには、2 列 18 色で同系色が濃淡の順に配列されている。

各色は、13 × 23 mm の矩形領域に、CMYK の各色が微小な網点で印刷され、それらの量比を変えることで表現されている。各色の下には、CMYK の各網点の存在比が 100 分率で記載されるとともに、色のコード名が記されている。コード名は、それぞれ先頭には「DS」、PANTONE 社が定義した色番号（1 - 334 番）、ハイフンのあとに濃淡を表す番号（1 - 8）で構成されている（図 2）。ここで、番号が若いほど、その基本色系において色が濃いことを示す。なお、色番号の最後に付された「C」は coated（コート紙）を示す。

2.2 観測方法

色彩評価は、阿蘇火山博物館の通称 A カメラ付近の、南西観測点（図 1）と呼ばれる場所で行なった。色見本の中から湖面色に最も近い色を目視で探し、色のコード名を 1 つ記録した。観測のたびに、2 人の観測者が独立に色彩評価を行なうこととした。その結果を比較すると、濃淡が 1 段階程度異なることがあるものの、各観測者が選んだ色はほぼ一致した。

通常、色彩評価は湖面上を漂う湯気が少なく、湖面がよく見える場所を探して行なう。

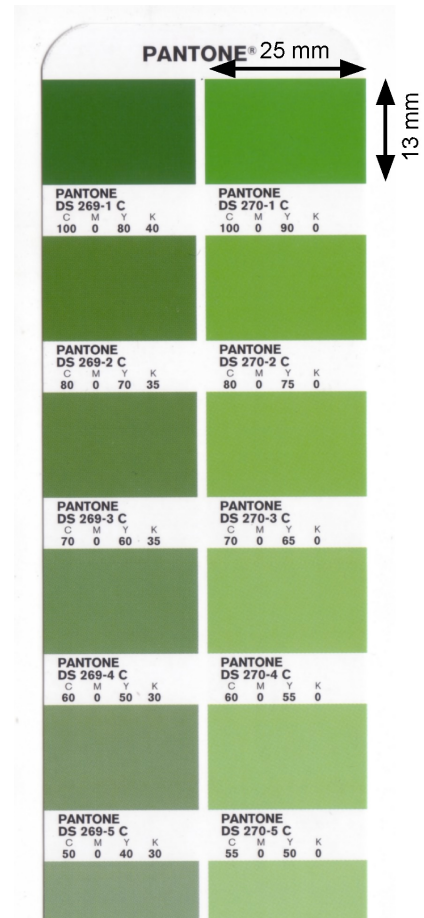


図 2. 観測に使用した PANTONE 社製のフォーカラープロセス・ガイドセットの例。

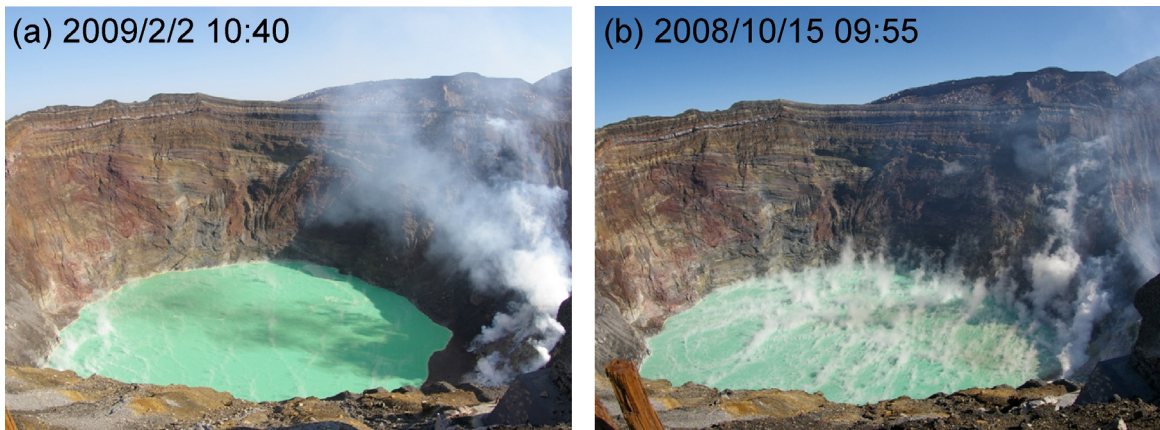


図 3. 色彩評価の実施時における湯だまりの可視画像。(a) 湯気が少なく、色彩評価が容易な例。
(b) 湯気が多く、色彩評価に時間を要する例。

観測条件がよい、すなわち快晴で湖面上の湯気が少ない 2009 年 2 月 2 日の例を図 3(a) に示す。このような条件下での色彩評価は容易であり、2 人の観測者が独立に行なった結果は、ほぼ一致する。このとき、色彩の選択に要する時間は、概ね 2 分程度であった。

一方、湖面上を漂う白い湯気が多い場合（例えば図 3(b)）は色彩評価に迷い、観測者によって色彩の選択結果が異なる場合もあった。このように条件の悪い日は、5 分程度の時間をかけて湯面を観察した。

なお、色彩の僅かな変化を議論する場合には、光源と対象物、対象物と観測者の幾何学的関係は一定であることが望ましい⁷⁾。本観測では、測定の実便性を優先し、毎回、同じような角度で色見本を湖面へかざすことで色彩を評価した。

3. 観測結果

表 1 に、選択された色彩の色番号、観測時の気象条件、赤外カメラで計測した湖表面温度を示す。また、図 4 に、選択された色彩を時間軸に対して示す。

日照のある湯だまりにおいて、湖面色は DS270-7C や 8C に近い色が選択される。一方、2008 年 11 月 13 日および 12 月 4 日の湖面色は、それぞれ DS267-7C および DS266-7C が選択された。これらの色は、DS270-8C に比較してやや白いことを意味する。当日は湖面上を漂う湯気が多く（図 3(b)）、その白色が色彩評価に影響したと思われる。日照がない湯だまりにおいては、例えば DS262-6C や DS266-5C などが選択された。これらの色は、日照のある湖面色に比較して、暗い色であることを意味する。

表 1 から、選択された色と、同時に実施した赤外放射温度計による湖表面温度との間

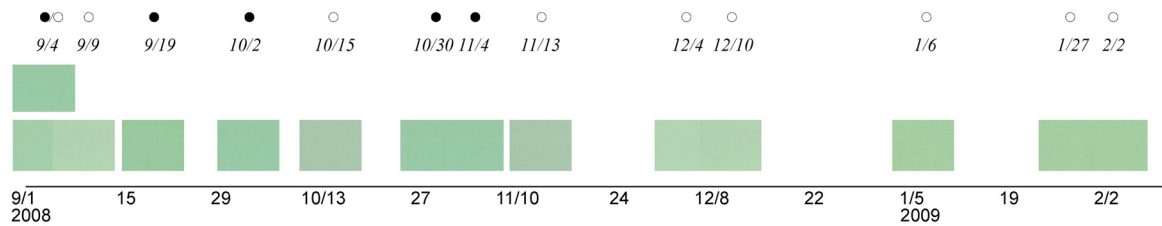


図 4. 選択された色見本を時間順に並べた図。当時の日照の有無を、それぞれ白丸，黒丸で示す。

には、相関は認められない。また、図 4 から、測定を行なった 2008 年 9 月から 2009 年 2 月にかけて、湖面色に長期的な変化傾向は見られず、ばらつきながらも、同じような色が半年間にわたり選択されたことがわかる。阿蘇山火山防災連絡事務所では、本期間の湖面色は、全ての観測実施日において緑として公表している。

4. 議論

従来までの目視と記憶に基づいた色の判断に対して、本研究では、色見本を基準として湖表面色を評価した。色見本を用いることで、観測者どうしの個人差を排除し、従来よりも詳細な色変化を、安価で簡単に実施できることが示された。気象条件の影響はあるものの、選択された色は、毎回よく似ている（図 4）。色見本を用いた色彩評価は、手法の簡便さからも、新しい火山観測手法として極めて有効であり、草津白根火山・湯釜などの、他の火口湖にも応用が期待できる。本章では、本観測で得られた色彩評価の意義と、観測を進めるとともに明らかになった課題をまとめる。

4.1 意義

観測を行なった 2008 年 9 月から 2 月にかけて、南壁噴気の活動は活発化したものの、湯だまりの熱活動に大きな変化は起きなかった⁶⁾。また、2009 年 2 月に採取した湖水の Fe^{2+} などの化学溶存成分濃度には、2008 年 7 月の湖水と比較して大きな変化は認められなかった（寺田，未公表資料）。以上のことから、本研究期間において湯だまりの熱活動が安定しており、湖水に大きな変化がなかったという立場で議論する。

表 1 によれば、快晴の日は概ね安定した結果が得られている。その一方、色彩評価結果は日照の有無によって明らかに異なる。これは、湖表面とコート紙表面の光学特性が、実際には異なるためであろう。また、湯だまり湖面は急峻な崖に囲まれており、大気散

乱光の入射は、視界の開けた火口縁上の色彩観測点では、厳密には異なるであろう。すなわち、表1に見られる色彩のばらつきは、見かけ上のものと思われる。

本研究では、湖水の状態が安定している状態で、半年間にわたり様々な気象条件下において色彩評価を継続した。その結果、表1、図4に見られるような、見かけ上の変化の大きさを把握することができた。このような、いわはノイズ幅を評価できたことで、今後、起きるであろう湖水変化を評価するために重要な基礎情報を獲得できた。

4.2 課題

色見本を用いるうえで、経年劣化に関する課題が見つかった。約6ヶ月にわたり観測に使用した色見本と、新たに購入した同一製品とを比較すると、目視でも明らかに、使用とともに色見本に退色が進行したことがわかる。その程度は、各列の色の色差よりも明らかに小さく、図4に示した結果に退色が与える影響はない。ただし、色見本の退色は、野外使用とともに今後も進むであろう。色彩計を用いるなどして、色見本の劣化状況を定期的に把握しておく必要がある。

また、測定に時間を要することがある。例えば、湖面に湯気が多く立ち込めている場合、浮遊硫黄が薄く広く広がっている場合、あるいは青白いSO₂ガスが漂っている場合には、色選択に最大7分を要した。また、前回よりも表面色が大きく変化して見えた場合にも、適切な色を探すまでに時間を要した。

本報告では、色の相対変化を問題とした。一方、色彩計を用いて色見本の各色を定量化すれば、色度図に表示して、過去に色彩計で定量化された湯だまりの湖表面色^{4), 5)}や、他火山の火口湖における色彩と比較することが可能である。

湯だまりは、火山体内部の状態を映し出す窓である。色見本は安価で、取扱いも極めて簡易である。今後も、湖表面温度、水位、湯量などと同様に湖表面色を定量的に記載し、1ヶ月に2-4回程度の高い時間分解能で、湯だまりの湖表面色の変動を明らかにしたい。

5. まとめ

カラーチャート(色見本)を火口縁に持ち込んで、湖表面色を記録する新しい火山観測手法を考えた。従来までの目視と記憶に基づいた色の判断に対して、本手法は、色見本を基準として湖表面色を評価する。そのため、観測者どうしの個人差を排除するとともに、色の変化を従

来よりも詳細に把握できる。また、日射や大気散乱光などの光源が、湖表面、色見本に対して等しいとみなせば、光源の変化が色彩評価へ与える影響が低減されることも期待できる。半年間にわたる観測の結果、選択された色は毎回よく似ていた。色のばらつきの原因は、主として日射の有無、湯気の多少にあり、そのような見かけ上の色変化の大きさを把握できた。今後起きるであろう、火山活動に起因する湖水変化を、従来よりも高い時間分解能、色分解能で捉えることが期待される。

表 1. 選択された色彩と、当時の気象条件。湖面温度は赤外放射温度計を使用して測定し、湯だまり温度として公表している値である。気温と湿度は、色彩評価を実施する際に現地で測定した。観測条件は、湖面の湯気や雲などによる視界の程度を 5 段階で表現したもので、数字が大きいほど、湖面がよく観察できる好条件であったことを意味する。

観測日	時刻	天気(雲量)	日照	色彩評価	湯だまり温度[°C]	気温[°C]	湿度[%]	観測条件
2008/9/4	11:00	晴 (8/10)	無	DS262-6C	55.8	19.4	95	(良)543②1(悪)
			有	DS266-6C				
2008/9/9	09:50	晴 (3/10)	有	DS270-8C	56.5	21.1	67	(良)54③21(悪)
2008/9/19	16:10	晴 (8/10)	無	DS266-5C	53.8	21.2	92	(良)5④321(悪)
2008/10/2	16:30	晴 (8/10)	無	DS262-6C	56.3	15.2	77	(良)543②1(悪)
2008/10/15	09:55	快晴 (1/10)	有	DS268-7C	57.3	14.0	33	(良)54③21(悪)
2008/10/21	16:30	晴 (4/10)	無	DS263-6C	57.4	15.3	70	(良)54③21(悪)
2008/10/30	11:10	薄曇 (10-/10)	無	DS262-6C	53.6	11.6	59	(良)54③21(悪)
2008/11/4	16:30	快晴 (1/10)	無	DS262-6C	50.8	9.5	63	(良)543②1(悪)
2008/11/13	13:55	快晴 (1/10)	有	DS267-7C	54.2	14.6	62	(良)543②1(悪)
2008/12/4	09:20	晴 (5/10)	有	DS266-7C	50.9	8.0	70	(良)543②1(悪)
2008/12/10	09:40	快晴 (0/10)	有	DS270-8C	52.6	7.0	32	(良)5④321(悪)
2009/1/6	10:50	晴 (4/10)	有	DS270-7C	48.1	-1.0	83	(良)54③21(悪)
2009/1/27	10:45	晴 (8/10)	有	DS270-7C	47.2	-1.5	39	(良)54③21(悪)
2009/2/2	10:40	快晴 (0/10)	有	DS270-7C	53.0	7.0	38	(良)5④321(悪)

謝 辞

現地観測に際して、阿蘇火山防災連絡事務所の山下隆丞氏に多大なご助力を頂きました。火口周辺地形図を作成するための数値標高データは、国際航業株式会社にご提供いただきました。ここに記して深く感謝します。本研究を進めるにあたり、京都大学生存圏研究所平成 20 年度萌芽ミッションプロジェクトの研究費を使用しました。

参 考 文 献

- 1) Oppenheimer, C. (1997): Remote sensing of the colour and temperature of volcanic lake, J. Remote Sens., 18, 5-37.
- 2) Ohsawa, S., Kawamura, T., Takamatsu, N., and Yusa, Y. (2001): Rayleigh scattering by aqueous colloidal silica as a cause for the blue color of hydrothermal water. J. Volcanol. Geotherm. Res., 113. 38-50.
- 3) 大沢信二・須藤靖明・馬渡秀夫・下田 玄・宇津木 充・網田和宏・吉川 慎・山田 誠・岩倉一敏・恩田裕二 (2003) : 阿蘇火山の火口湖「湯溜り」の地球化学的性質, 九大地熱・火山研究報告, 12, 62-65.
- 4) 恩田裕二・大沢信二・高松信樹 (2003) : 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, 64, 1-10.
- 5) 吉川 慎 (2005) : 阿蘇火山中岳第1火口の温度変化と火山活動, 東京大学地震研究所技術報告, 11, 20-23.
- 6) 寺田暁彦 (2009) : 阿蘇火山中岳第一火口の熱活動ー2008 年度の位置付けー, 第 4 回阿蘇火山集中総合観測報告, 105-117.
- 7) 大田 登 (2001) : 色彩光学, 第 2 版, 東京電機大学出版, 310p.