

スマートフォンを用いた沖縄県内の赤土等流出水の 汚濁度測定と基礎的色彩特性

前 稔文¹・佐野 博昭¹・上野 崇寿²・嶋田 浩和³・PROCHAZKA Zdenek³・
安藤 りほ⁴・伊東雄一朗⁵・河野 李奈⁵

¹都市・環境工学科, ²電気電子工学科, ³情報工学科, ⁴九州建設コンサルタント株式会社,
⁵機械・環境システム工学専攻

近年の激甚化した降雨による沖縄県における農地からの赤土等流出は非常に深刻な問題であり、河川や沿岸海域の環境や生態系を破壊するなど、観光業や水産業にも大きな被害をもたらしている。

本研究では、誰もが容易に赤土等流出水の汚濁度測定をできるように、スマートフォンで簡単に操作できるアプリケーションを開発した。スマートフォンで撮影した懸濁液の画像からHSV空間の色情報を取得し、測定結果が汚濁度と概ね一致していることが確認できた。また、撮影画像の各ピクセルの彩度と明度の分布を示すことができ、基礎的な画像特性として高い汚濁度の懸濁液については彩度の範囲が広いことが把握できた。

キーワード：スマートフォン、アプリ、赤土等流出水、汚濁度測定、色要素

1. まえがき

近年の降雨の激甚化によって、沖縄県の赤土等流出問題は、これまで以上に危機的な状況にある。とりわけ、農地からの赤土等の流出は非常に深刻であり、その流出によって、河川や海水の汚濁、底質汚染が生じ、河川や沿岸海域の生態系を破壊するなど、観光業や水産業にも大きな被害をもたらしている。

現在、赤土等流出による汚濁度の程度を表す指標には、懸濁物質含量 (SPSS) ¹⁾をはじめとして、懸濁物質質量 (SS)、濁度、透度などがあり、流出水の汚濁程度の評価については、主として懸濁物質質量 (SS) を用いて行われている。

これらの汚濁度は、自治体、民間企業、さらには研究者などによって測定されているものである。そのため、沖縄県民は、降雨後の河川や海域が赤く濁っているのを見て赤土等の流出を実感するだけで、赤土等流出の実態を正確かつ定量的に把握するのではなく、感覚的に評価するだけに留まってしまう。

この状況のままでは、沖縄県民が赤土等流出問題を沖縄県の環境問題として主体的に捉えることは難しく、赤土等流出を喫緊の環境問題として主体的に取り組むためには、県民自身が河川や海域の懸濁水の汚濁度を容易に測定できる方法の確立が必要となる。さらに、県内の各地域にお

ける汚濁度測定結果を専用サーバにアップロードできるようになれば、沖縄県全域にわたった住民参加型の赤土等汚濁度監視網の構築が可能となる。

懸濁水汚濁度の測定に関する研究として、伊原ら^{2)~5)}、斎藤ら⁶⁾は、デジタルカメラで撮影された画像から濁度を測定する方法について検討している。そのうち、文献2)では、光の減衰特性を利用することでデジタルカメラの画像から濁度の推定が可能になると報告している。

本研究では、誰もが容易に赤土等流出水の汚濁度測定をできるように、現代社会において十分に普及しているスマートフォンで簡単に操作できるアプリケーション (以下、アプリ) の開発を目的としている。さらに、将来的には、開発したアプリを用いて、河川や海域表面の撮影画像から懸濁水の汚濁度を判定する手法を確立し、そのデータを集約して汚濁状況をリアルタイムで表示するシステムの構築を目指している。

そこで、本稿では、その第一歩として、スマートフォンのカメラで撮影した懸濁液の画像から色情報を取得し、汚濁度の推定の可能性について検討した。さらに、懸濁液ごとに各ピクセルについて色情報である彩度と明度の分布性状を示すことにより、懸濁液の色彩特性について考察した。

2. 色空間と汚濁度の設定

デジタル画像において、色空間は非常に重要である。代表されるものとしてRGB空間（赤（Red）、緑（Green）、青（Blue））が挙げられ、パソコンのモニターやデジタルカメラなど幅広く用いられている。しかし、同じデジタル画像でも色空間の表記の違いにより与える印象は異なる。

筆者は、看板などのサインを含む景観のデジタル画像を対象として、HSV空間による表記の有用性について検討してきた⁷⁸⁾。

そこで、本研究で扱う懸濁液の画像について、RGB空間とHSV空間（色相（Hue）、彩度（Saturation）、明度（Value））による表記で示し、両者の色情報を確認することに着手した。

表-1は、赤土等懸濁液（以下、懸濁液）の濃度を0.2, 1.0, 2.0, 4.0, 8.0g/Lに調整したサンプル画像からRGB空間の各要素を抽出した結果である。

表より、赤（R）はバラツキが見られるものの130前後と一定の値を示している。それに対して緑（G）および青（B）は汚濁度が大きくなるにつれて値は小さくなるが、両者の値の推移は異なる。また、RGB空間の三色の組み合わせによって色調は大きく変化することから、RGB空間による表記は、汚濁度を示す指標に用いることが困難と考えられる。

一方、HSV空間の要素に着目すると、色相（H）および明度（V）は汚濁度による影響をほとんど受けておらず、それぞれ概ね一定の値を示している。彩度（S）については汚濁度と共に値が増加する傾向にあり、その違いにより色調を表現できると言える。

以上の結果より、本研究では、懸濁液の汚濁度を分類するにあたっては、HSV空間の要素を用いることとした。また、ここで扱う汚濁度については、上述の各懸濁液から得られたHSVの要素の値を基にして、0.2g/L以下（汚濁度A、彩度22以下）、0.2g/L～1.0g/L（汚濁度B、彩度23～74）、1.0g/L～2.0g/L（汚濁度C、彩度75～85）、2.0g/L以上（汚濁度D、彩度86以上）として彩度によって4段階に区分した。

次章では、撮影した懸濁液のデジタル画像内の各ピクセルを段階ごとに分類することで、懸濁液の汚濁度を推測してみることにする。

3. スマートフォンアプリ

懸濁液の汚濁度を推定するためにスマートフォンアプリを作成した。図-1は、アプリの実行画面を示す。

まず、「撮影」ボタンをタップすることで、スマートフォンのカメラを起動し、標準のカメラアプリを操作することで画像を格納し、アプリ画面の左に表示することができる。既に格納されている画像を開くときは、「開く」ボタンをタップすることで画像を選択することができ、同様にしてア

プリ画面に表示させる。

次に、表示された画像における懸濁液の部分をクリックして対象とする色を選択するが、抽出された色が画像の左下に表示され確認することができる。このとき、選択した色は画像内の1ピクセルでしかなく、被写体との距離や周辺光などの影響を受けていることから、懸濁液の画像における各ピクセルの色相も一定値になるとは限らない。

そこで、十分に懸濁液部分のピクセルを測定できるように、色相の範囲を定めるための閾値を設け、それをスライダーで設定すると同時に値を画面上で確認できるようにした。続いて、「範囲抽出」ボタンをタップすることで対象となるピクセルが右側に表示され、対象外のピクセルは黒く塗られる。

最後に、「濁度判定」ボタンをタップすることで、各汚濁度におけるピクセル数が表示され、全体的な汚濁度の推測が可能となる。

以上の作業の流れを図-2に示す。なお、対象の色選択や閾値の調整は、画像の表示から濁度判定までの間、繰り返すことが可能である。

表-1 赤土等懸濁液の色彩情報

汚濁度(g/L)	赤R	緑G	青B	色相H	彩度S	明度V
0.2	138	125	108	34	22	54
1.0	168	122	44	33	74	66
2.0	137	77	20	29	85	54
4.0	132	66	12	27	91	52
8.0	128	62	11	26	91	50

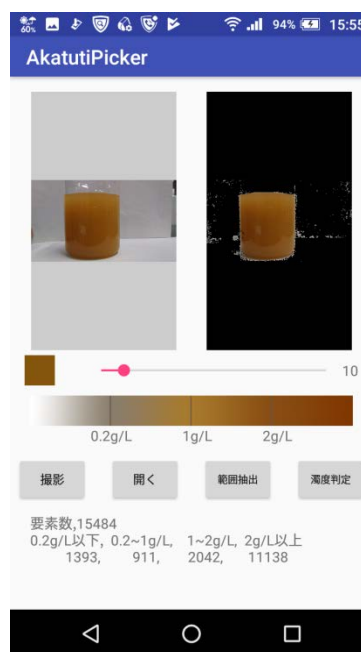


図-1 アプリの実行画面の1例（汚濁度3.0g/Lの場合）

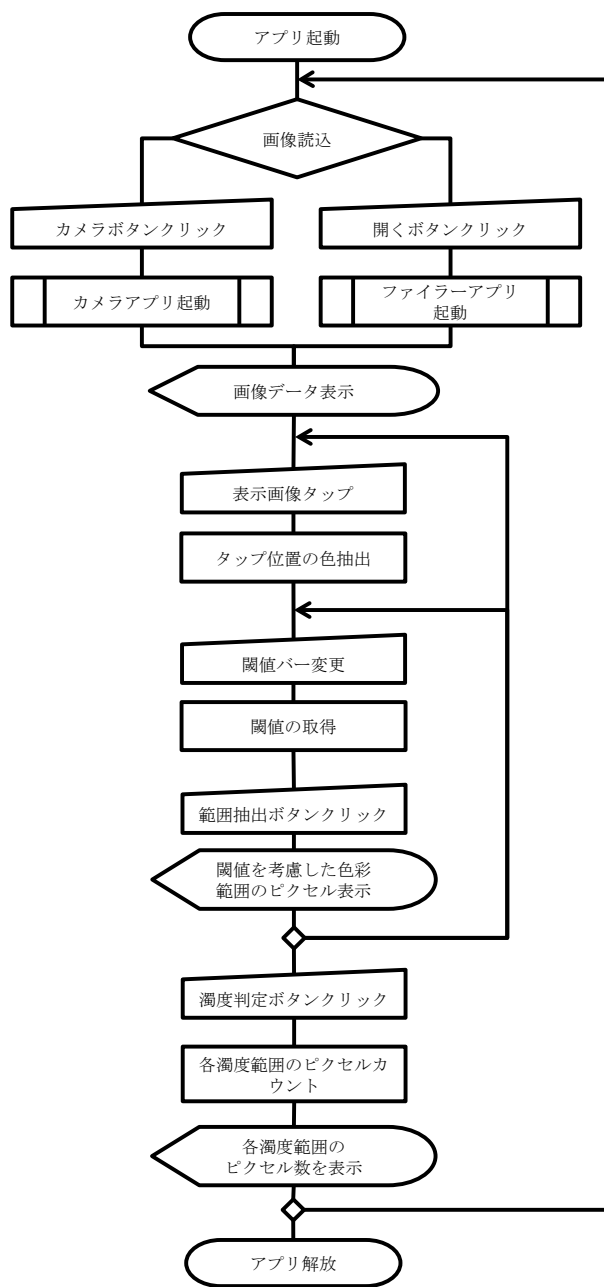


図-2 アプリのフロー図

4. シミュレーション

(1) 閾値によるピクセルの抽出の変化

前述の通り、作成したアプリから懸濁液の色を選択する際、画像内の1ピクセルを選択するため、その選択された1ピクセルのHSVの要素しか得られない。実際、撮影するときの周辺環境により、色相、彩度、明度に影響があると考えられることから、限定されたある特定の1色のみを対象として測定した結果については、妥当性に欠けることが容易に推測できる。また、1色に限定した場合、対象とする懸

濁液に対して選択されたピクセルは十分な数に達しない。

したがって、選択したピクセルに類似した色も対象として測定する必要があると考え、選択したピクセルの色相を基準に指定した閾値の範囲内にあるピクセルは全て測定の対象となるようにした。

そこで、まずその閾値の違いによる対象ピクセルの増え方について確認し、シミュレーションで設定する閾値を決定することとした。

図-3は、懸濁液の画像(元画像)と、閾値を0から10まで変化させたときに抽出された対象ピクセルを示したものである。なお、ここで扱う懸濁液の汚濁度については、前述の設定した汚濁度を参考にして、その各汚濁度の範囲にある0.2, 0.5, 1.5, 3.0g/Lのものを用意した。なお、汚濁度0.2g/Lの懸濁液については、赤土等の汚濁水の排水基準値を参考に設定した。

いずれの汚濁度の懸濁液についても、閾値が0ではかなりのピクセルが欠落していることが分かり、閾値を大きくすると表示するピクセル数が増加していることが視認できる。汚濁度の低い(a)0.2g/Lおよび(b)0.5g/Lの懸濁液については、閾値が2になると概ね全体のピクセルを抽出することができたといえ、それ以降は閾値が大きくなって画像に顕著な変化はみられなかった。汚濁度の高い(c)1.5g/Lおよび(d)3.0g/Lの懸濁液については、汚濁度の低い懸濁液に比べて閾値を高くしないと十分にピクセルを抽出しない傾向にあり、とりわけ汚濁度3.0g/Lの懸濁液は、閾値を10に設定して懸濁液全体を抽出していることが確認できた。

以上から、汚濁度が高くなるほど対象ピクセルの色相の範囲が広がる傾向にあることが分かり、本研究のシミュレーションにおいては、各懸濁液の色相の閾値はいずれも10と設定することとした。

(2) シミュレーション結果

表-2に、各懸濁液の汚濁度の分布を示す。0.2g/Lの懸濁液については、19,242ピクセル中6,181ピクセル(32.1%)が汚濁度A、13,061ピクセル(67.9%)が汚濁度Bとなった。このように汚濁度でピクセル数が二分されたことについて、この懸濁液は、汚濁度AとBの境界の値に合わせて汚濁度を設定していることから、彩度の小さな差異によりいずれかの汚濁度として判定されたものと思われる。また、他の汚濁度のピクセル数はいずれも0であることから、測定結果は良好といえる。

0.5g/Lの懸濁液については、15,100ピクセル中552ピクセル(3.7%)が汚濁度A、14,536ピクセル(96.3%)が汚濁度B、12ピクセル(0.1%)が汚濁度Cとなり、汚濁度Bに集中した。また、3.0g/Lの懸濁液については、15,484ピクセル中1,393ピクセル(9.0%)が汚濁度A、911ピクセル(5.9%)が汚濁度B、2,042ピクセル(13.2%)が汚濁度C、11,138ピクセル(71.9%)が汚濁度Dとなった。この懸濁液について



図-3 各懸濁液における閾値と対象ピクセルの変化

も、概ね汚濁度Dに集中したといえる。これらの懸濁液については、1つの妥当な汚濁度に集中していることが確認できた。

一方で、1.5g/Lの懸濁液については、19,365ピクセル中汚濁度Aが4,728ピクセル (24.4%)、汚濁度Bが721ピクセル (3.7%)、汚濁度Cが1,180ピクセル (6.1%)、汚濁度Dが

12,736ピクセル (65.8%) となり、2つの汚濁度AとDに集中した。この測定結果は他の懸濁液と異なっており、前出の図-3(c)に示す閾値10の画像から分かるように、懸濁液以外のピクセルも多く含まれている。

このことは、被写体との距離や角度の変化から生じた誤差によるものと考えられ、撮影する環境に大きく依存することが確認できた。

(3) 懸濁液の画像特性

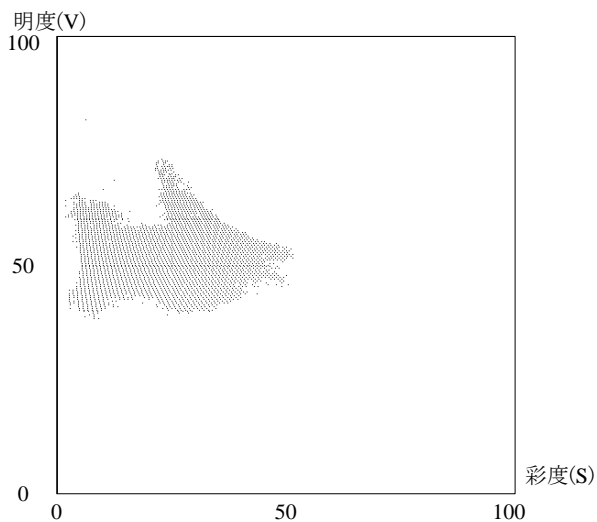
本節では、マンセルの色相環⁹⁾で表示される色相5YR (色相は18~54) に含まれるピクセルを対象に、彩度と明度の分布から画像特性を検討する。なお、画像はスマートフォンのカメラによって撮影されたものを用いており、縦480×横640ピクセルのサイズに変換し、画像解析には文献⁷⁾、

8)で作成したプログラムを用いた。

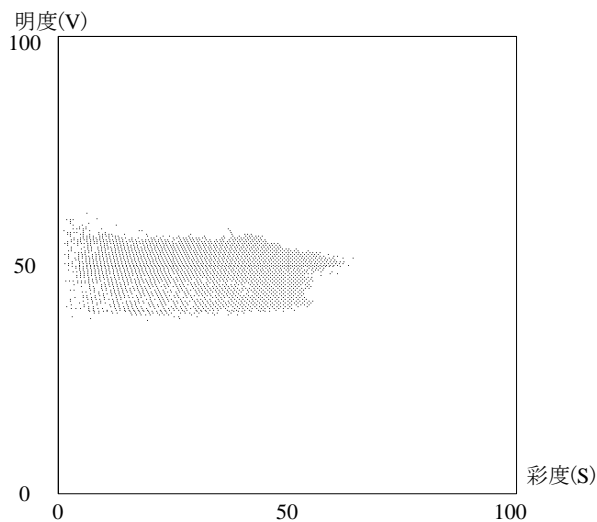
図-4に、各懸濁液の画像における各ピクセルの彩度と明度の分布図をしており、それぞれ0から100 (%) で表示し

表-2 各懸濁液 (画像ピクセル) の汚濁度の分布

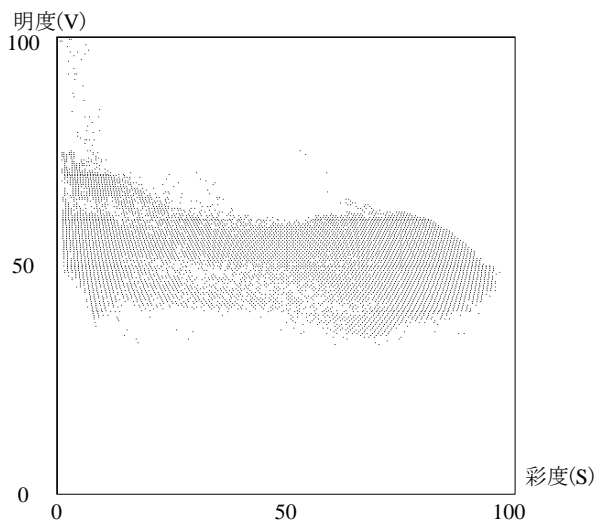
汚濁度 (g/L)	汚濁度A ~0.2g/L	汚濁度B 0.2~1.0g/L	汚濁度C 1.0~2.0g/L	汚濁度D 2.0g/L~	合計
0.2	6,181 (32.1%)	13,061 (67.9%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	19,242
0.5	552 (3.7%)	14,536 (96.3%)	12 (0.1%)	0 (0.0%)	15,100
1.5	4,728 (24.4%)	721 (3.7%)	1,180 (6.1%)	12,736 (65.8%)	19,365
3.0	1,393 (9.0%)	911 (5.9%)	2,042 (13.2%)	11,138 (71.9%)	15,484



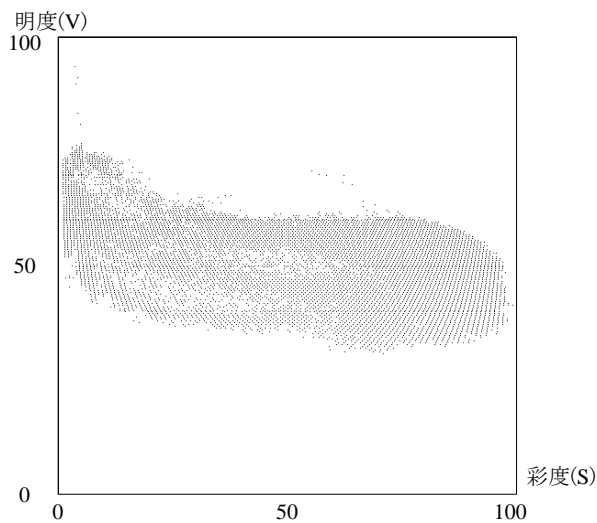
(a) 0.2g/Lの懸濁液



(b) 0.5g/Lの懸濁液



(c) 1.5g/Lの懸濁液



(d) 3.0g/Lの懸濁液

図-4 色相YR5におけるピクセルの彩度(S)-明度(V)の分布

ている。(a)汚濁度0.2g/Lの懸濁液については、彩度は0～50程度であり、明度は40～73の範囲で分布している。(b)汚濁度0.5g/Lの懸濁液については、彩度が0～61、明度が40～60の範囲で分布している。(c)汚濁度1.5g/Lの懸濁液については、彩度が0～97、明度が48～70の範囲に多く分布している。(d)汚濁度3.0g/Lの懸濁液については、彩度が0～97、明度が30～75の範囲で分布している。

懸濁液ごとに見てみると、汚濁度が低い懸濁液については彩度の範囲は狭く、明度はそれほど高くなく範囲も広くない。一方、汚濁度が高くなると彩度は0～97と範囲が広くなり、高彩度のピクセルも多く見られ、また、明度の範囲も高低ともに広がる傾向が見られた。

5. まとめ

本研究で開発したスマートフォンアプリにより、HSV空間の色情報を取得することができ、各汚濁度と概ね一致することが確認できた。また、スマートフォンで撮影した画像について、色相5YRにおける各ピクセルの彩度と明度の分布から基礎的な画像特性を把握できた。

今後も継続して赤土等流出水の汚濁度測定の実シミュレーションとアプリの改善を目指す、まずは以下について検討を重ねる。

実際に流出する懸濁水には1Lあたり数十gの赤土が含まれる場合もあることから、より実物に近い対象での汚濁度に設定したシミュレーションを実施する。

また、図-3から分かるように被写体であるピーカー以外のピクセルが選択されている。より精度を高めるため、被写体の撮影条件や別の色空間の活用について検討する。

謝辞：本研究を遂行するにあたり、「全国KOSEN沖縄赤土等流出抑制技術研究会（会長：佐野博昭）」関係各位には

貴重なご助言をいただきました。ここに、深甚なる謝意を表します。

参考文献

- 1) 大見謝辰夫：SPSS 測定法とその解説，沖縄県衛生環境研究所報，第37号，pp.99-104，2003.
- 2) 伊原浩生，山口晴幸，増永和弘：デジタル画像を利用した濁度測定法の検討，第29回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集，VII-36，pp.884-885，2001.
- 3) 伊原浩生，山口晴幸，増永和弘：デジタル画像を利用した濁度測定法の検討，第4回環境地盤工学シンポジウム講演概要集，pp.95-100，2001.
- 4) 伊原浩生，山口晴幸，増永和弘：デジタル画像を利用した濁度・SS濃度測定法の検討，第36回地盤工学会講演概要集，VII-36，pp.2559-2560，2001.
- 5) 伊原浩生，山口晴幸，増永和弘：沖縄県の赤土懸濁水の濁度と化学的性質について，第56回土木学会全国大会講演概要集，pp.664-665，2001.
- 6) 齊藤和伸，山口晴幸，岩田道春，増永和弘：沖縄県における赤土汚染問題に関する研究，地球環境シンポジウム論文集，Vol.11，pp.63-72，2003.
- 7) 前 稔文，小林竜一：景観画像における HSB 要素の分析に関する基礎的研究，日本建築学会情報システム技術委員会，第31回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集，pp.73-78，2008.
- 8) 小林竜一，前稔文：景観画像におけるHSB空間の彩度と明度による色彩変化の把握，日本建築学会情報システム技術委員会，第32回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集，pp.143-146，2009.12.
- 9) 渡辺安人：色彩学の実践，学芸出版社，2005.

(2018.9.28受付)