

デジタル画像解析について

— 大気汚染等の空間分布の可視化へのアプローチ —

神部 順子*・八木 徹**

要 約

私たちの生活の様々なところで画像処理を使った新たなシステムの開発が進められている。デジタル画像処理は、これからの情報化社会、マルチメディア社会において必須の技術といえよう。我々はデジタルカメラを用いた画像処理の技術で大気汚染等の空間分布を可視化する計測ツールとして利用している。デジタル画像を解析し、大気環境指標物質の一つである浮遊粒子物質の空間分布や特徴的な気象状況を見る方法を開発してきた。また太陽光の大気の散乱による空の色の変化を見るために、ペットボトルや傘袋等に満たした水にワックスを懸濁させ、それに白色LEDの光を当て、白色光の散乱をみる実験を行った。さらに、我々はこの一連の画像解析によって大気汚染の状況をみるだけでなく、晴天、日食、虹といった気象状況についてのより詳細な知見を得た。

キーワード：画像解析、デジタルカメラ、大気汚染、気象

1. はじめに

最近のコンピュータやカメラなどのデジタル製品の小型化・低コスト化および高性能化によって、私たちの生活の様々なところで画像処理を使った新たなシステムの開発が進められている。現在、薄型テレビ、デジタルカメラ、DVD/Blue-rayレコーダなど、デジタル家電が身の回りに多く存在する。デジタル家電製品では、画像をきれいに表示したり、画像を圧縮処理したりといった、デジタル画像処理技術が使われている。画像情報はデータ量が大きく、処理を行うのに時間がかかり、従来は気軽に使うことができなかったが、最近ではコンピュータやデジタル機器の性能が急速に向上し、また、価格も安くなったことでデジタル画像処理を使う製品が急速に普及した。デジタル画像処理

は、これからの情報化社会、マルチメディア社会において必須の技術といえよう。

我々はデジタルカメラを用いた画像処理の技術で大気汚染等の空間分布を可視化する計測ツールとして利用している。大気環境指標物質の一つである浮遊粒子物質（Suspended Particulate Matter: SPM）は、自動車排気ガスや工場からの排気など人の生活空間に密着しているものであり、SPMはいつでもどこでも誰でも観測可能である必要がある。しかし、従来のSPM観測法は複雑であり、実用的なデータを得るためには高価な装置を必要とする。また、その装置の維持費も大きい。そのため、大気汚染観測の多くは行政（部局）単位で離散的に行われている。通常、広域のデータの連続的かつ継続的な取得と解析は非常に難しい。また、従来の方法では各地点の個々の時刻でのSPMの量は測ることができるが、その種類や空間分布の情報を得ることも非常に困難である。

また、 SO_2 、 NO_x は紫外線により O_3 （オキシダント、強酸化性ガス）を生成する。SPMは O_3

2012年11月30日受付

* 江戸川大学 情報文化学科准教授 情報科学

** 江戸川大学 情報文化学科専任講師 情報化学

とともに呼吸器疾患を誘引する。SPM, O_x は現在の大気汚染の主要物質で、地上より数百～数千メートル上空の濃度が高いが、対流により地表に下降してくる。そこで、大気中の SPM, O_x 分布を観測する必要がある。衛星画像ではこのレベルの分解能は難しい。

日本の環境省の大気観測点では地表の O_x , SPM を観測している。空中の SPM を観測するライダー設置点は日本でも少なく、中国では有ってもデータが公開されない。東南アジアには1か所しかない。空中の O_x 観測は困難な状況である。現在は人間の生活空間中の SPM, O_x の空間分布観測の手掛かりが少なすぎる。

本研究は筑波大学の青山智夫研究員、産業技術総合研究所の長嶋雲兵博士らとの共同研究で、デジタル画像を解析し、SPM の空間分布や特徴的な気象状況を見る方法を開発してきた[1]。この研究は大気汚染の観測密度および観測精度の向上と継続的なデータ解析を可能とすることを目指している。SPM の量と種類についての知見を得ることへの解明はまだ十分には達していないが、我々はこの画像解析によって大気汚染の状況のみだけでなく、晴天、虹といった気象状況についてのより詳細な知見を得ることが出来ている。

そこでこの論文では、市販のデジタルカメラを用い、SPM や特徴的な気象状況について簡易測定装置やデジタル画像解析技術を用いて、いつでもどこでも誰でもが観測可能とするために、これまで得た知見を整理することとする。

2. デジタル画像を解析することの可能性

我々はデジタル画像処理を用いれば、大気の状態を理解するためにこういったことが可能かをみていく。まず、「どうして昼間の空は青く、夕方の空になるとオレンジ色に変わるのか」という疑問に対して実験を行い、それを画像解析した。空の色は地球を包む大気の粒子による太陽光の散乱によって変化すること、つまり、よく晴れた日の日の出の空の色は赤く、日が昇るにつれて黄色から青に変わり、また日が傾くにつれ青から黄色、

赤に変化し、この時太陽は赤→黄色→白→黄色→赤と変化する。この光の散乱の様子を白色 LED ランプとワックスを懸濁させた水をペットボトルや傘袋等に入れた、手軽に表現する実験を行い、写真を撮影して画像解析を行い、光源からの赤 R、緑 G、青 B 成分の減衰の様子を見た[2]。散乱経路の長いナイロン製の傘袋にワックスを懸濁させたものの左側から白色の LED ランプを当てたものを Figure 1 に示す。Figure 1 では LED ランプを当てた左端から青→(緑→)黄→橙と変化し、右端がきれいな赤色になっている。

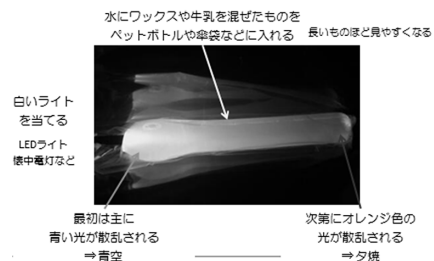


Figure 1 空のモデル

Figure 1 は身近なものを用いて光の散乱の様子を実際に示したものである。デジタル画像解析は光を色の成分に分解された様子をパターン認識していくものとも言える。光を色の成分として認識する過程やそのイメージ図については、アイオワ大学の HP に非常にわかりやすいスライドが示されている[3]。そのうちのいくつかの図をここで紹介していく。Figure 2 は白色光のプリズム、Figure 3 は可視光線の説明図、Figure 4 は光の波長を一覧表にしたものである。

こういった資料はデジタル画像解析の導入の資料として有用である。

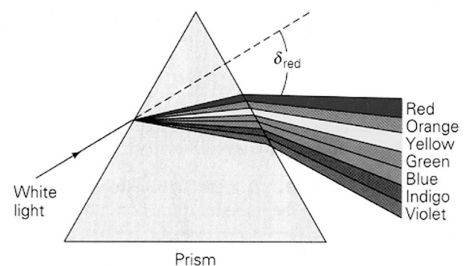


Figure 2 プリズムに白色光を当てた様子

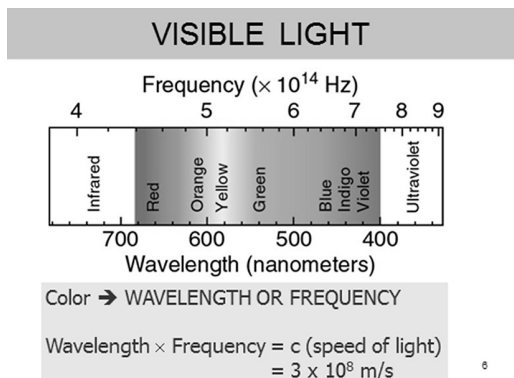


Figure 3 可視光線の説明図

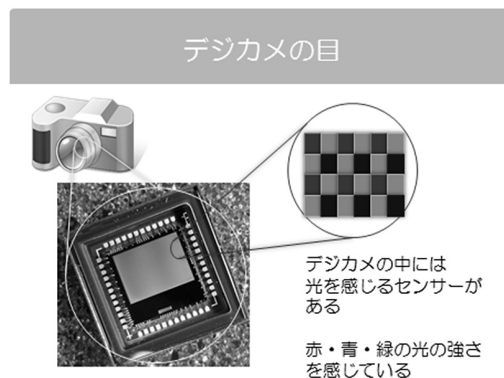


Figure 5 デジタルカメラが光を感じる仕組み

The index of refraction (n) depends of the color (wavelength) of the light

color	Wavelength (nm)	n
Red	660	1.520
orange	610	1.522
yellow	580	1.523
green	550	1.526
blue	470	1.531
violet	410	1.538

1 nanometer (nm) = 1×10^{-9} m

Figure 4 光の波長の一覧表

光についてデジタルカメラを用いデジタル画像としてどう認識するかを Figure 5 に示す。デジタルカメラには、赤 (R) と青 (B) と緑 (G) といった光の強さを感じるセンサーがある。それらの光の強さを測定していくことで、画像を数値化することが可能となる。

Figure 6 上の中央に引いた線の部分についての RGB 成分の変化を Figure 7 に示した。縦軸は相対的な強度で、横軸はピクセル数である。Figure 7 を見ると右端の白く見える領域で少し R が強い事が判る。この領域では G, B とも飽和している。左に行くにつれ B の領域が見られる。この場合は、G の領域が無く、青の領域の左側は直ちに黄色の領域になり、橙から赤へ変化していることが判る。左端では RGB の分離が大きくな

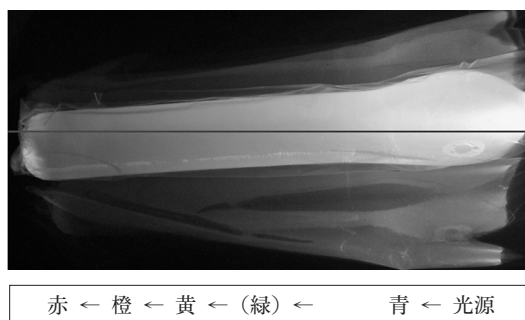


Figure 6 傘袋中にワックスで白濁させた液体に右側から光を当てた様子

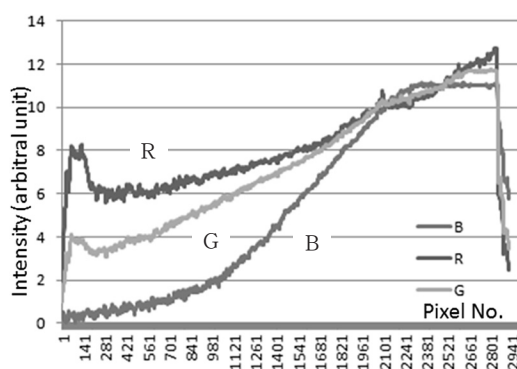


Figure 7 Figure 6 の線上を RGB で示したもの

り、B が急速に減衰し、R は穏やかに減衰するために遠くまで到達することが可能で、G がその中間であることが明確に示されている。

3. 晴天の様子

デジタルカメラでとらえた画像について RGB 成分で数値化することで実際の空を観測していると、雲一つ見られない晴天は、人間の眼で晴天に感じられる空であっても、デジタル画像の青／赤 (B/R) 比でみると場所による違いが見られ、デジタルカメラの感度の良さが確認された。Figure 8 に九州南東部（宮崎市）、美ヶ原（松本市）、関東東北部（土浦市）の晴天を示す。デジタル画像の B/R 比では、宮崎市では 3.9、高原の美ヶ原では 3.0 を超える値となり、土浦では 2.0 を超えている[4]。

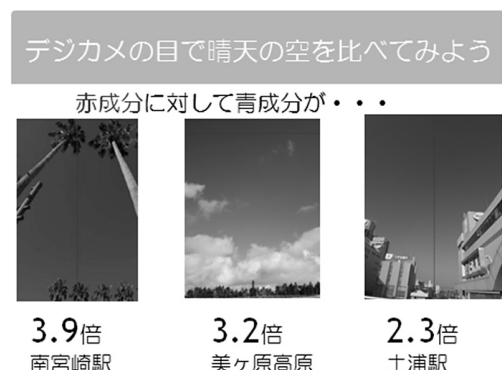


Figure 8 晴天の空の比較

4. 改造カメラによる計測

我々はデジタルカメラを改造し、可搬型の分光放射計とする技術を開発した。Figure 9 は 2011 年 9 月に乗鞍岳摩利支天山頂（標高 2,872 m）より赤外線カットフィルターを除去したカメラを用いて撮影したものである[5]。カットフィルターは、さまざまな方向性を持った自然光のなかで、不要な方向からの光をカットしたり乱反射を消してクリアな画像を得るためのフィルターである。赤外線カットフィルターを用いることで、空の青を増す効果がある。

Figure 9 から地表面の影響を受けない層の大気はまだ清浄であるが、汚染の長距離移動の前兆

と思われる黒色 mist 層が広範囲に存在しはじめていることが分かった。可視光では M 層は暗く、F 層は明るい。F 層は雲にならない水滴の霧と思われる。M 層は水滴ではなく 400~580 nm の光を吸収し、近赤外部に吸収を持たない SPM であろうことがわかる。



Figure 9 乗鞍高原で見られた黒色 mist 層

Figure 10 は 2012 年 8 月に赤外線カットフィルターを除去したカメラを用いて撮影したものである。



Figure 10 乗鞍岳の山岳流の渦

5. 日食をとらえる

2012 年 5 月 21 日の金環日食については江戸川大学にて学生とともに測定を行なった。

Figure 11 は金環が途切れて光のビーズとなる「ベイリービーズ現象」と太陽のゴースト（散乱）イメージをとらえることが出来た。

Figure 12 は Figure 11 について、さらに大気の構造をはっきりさせるために、天文画像処理ソフト「ステライメージ」[6]を用い、天体の微妙な濃淡を強調した。このソフトの操作は、特に困

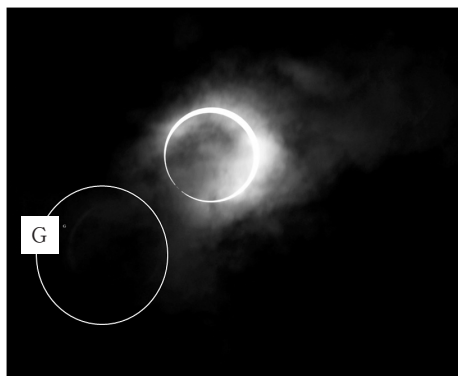


Figure 11 「ペイリービーズ現象」と太陽のゴースト（散乱）（Gで囲った部分）



Figure 12 Figure 11 について濃淡を強調したもの

難さを伴うこともないため、学生でも容易に扱うことが出来る。

6. 虹をとらえる

虹は大気に懸濁する水粒子に入射した太陽光の散乱によって見られることはよく知られている。太陽光を背にした位置から虹は観測されるが、大気に懸濁した水滴に入射した太陽光が水滴の中で屈折と反射を繰り返す、最初に入射光と反対側に出てくる光が一次の虹（主虹）を形成する。微妙に角度は異なるが、短い波長の光成分である紫は長い波長成分の赤に比べ屈折が大きいことにより低い角度で出てくる。太陽と虹の中心を結ぶ線に対し、ほぼ紫は 41° 、赤は 42° であるので、一次の虹は紫が円の内側で赤が外側に見える。

さらに水滴からは1次の虹を作る光より多くの屈折と反射をした光が出てくる。このうち2番目に出てくる光が二次の虹（副虹、二重虹）を作るが、光の強さは一次の虹に比べ非常に弱くなる。

Figure 13 に主虹（下側）と副虹（上側）の紫外線カメラによる画像を示した[7]。用いたカメラは、赤外カットフィルターを取り除いた改造 Canon 50D UV/IR にレンズ, EF 28 mm F2.8 を用い、緑赤欠損紫外線フィルターとして Hoya industrial B370 を装填した。この紫外線フィルターを用いた撮影システムは 370~420 と 750~900 nm の近紫外から近赤外の広い範囲の光を捕らえることができ、通常では不可視の SPM 空間分布を明瞭に表現する事が可能である。主虹は3重、副虹も2重になっていることがわかる。主虹の内側の濃密な水滴および副虹の外側の希薄な水滴の輪郭（青い輝線）も明瞭に判る。

Figure 14 は Figure 13 の G 成分の等高線図 [8, 9] である。主虹部の輝度分布の複雑な様相が分かる。画像処理により主虹の複雑な構造も観測できた。

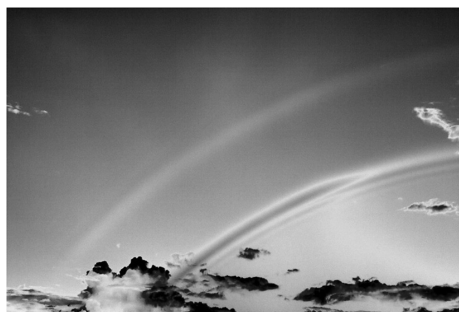


Figure 13 多重虹を紫外線カメラでとらえたもの

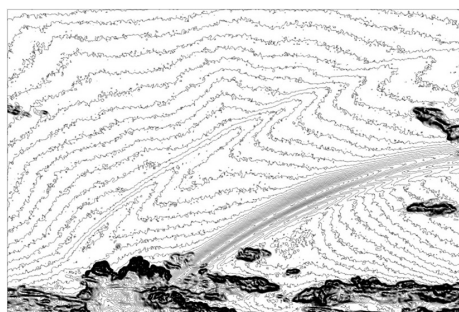


Figure 14 Figure 13 の G 成分の等高線図

今後の展望

デジタル画像処理技術はますます進化していくものと考えられる。さらに、新しい分野への画像処理の応用の可能性を秘めている。今後の課題としては大気観測の観測密度を高めるために、ここまでで開発した方法をより簡単な操作で実行できるようにし、だれもがいつでもどこでも大気の観測が実行できる状況を作り出す仕組み作りが必要である。特に、本学情報文化学科で学ぶ学生に対して、デジタル画像の撮影や画像解析をする技術、さらには解析に用いるプログラミングの理解と技術の習得に対して、工夫を重ねることが我々にとって重要な課題である。

また、 O_3 の空間分布は紫外領域の分光放射計が必要である。そこで、今後、学外の研究者と共同で製作することとしている。その後、SPM, O_3 の空間分布調査予定都市としては中国、インド、タイなどの東南アジアの中でも汚染が進んでいるであろう都市を選び、測定することとする。また、国内において、汚染が進んでいないと思われる地域での計測も進める。

謝 辞

乗鞍高原での観測は大学共同利用機構、自然科学研究機構の許可と予算により実施された。乗鞍観測所の職員諸氏、特に斎藤守也氏のご尽力に感謝いたします。また、本研究は、江戸川大学平成 24 年度

学内共同研究「環境汚染と地球温暖化に関する継続的なデータ解析の試み」代表：神部順子の補助を受けている。

参考文献

- [1] 青山智夫, 神部順子, 長嶋雲兵. 北緯 32 度, 東経 120~130 度上空の SPM 濃度, *Journal of Computer Chemistry, Japan*, (2008), 7(5), 185-200
- [2] 八木徹, 神部順子, 長嶋雲兵, 青山智夫. 水に懸濁したワックスによる白色光の散乱: 空の色の変化のデモンストレーション, *Journal of Computer Chemistry, Japan*, Vol. 11 (2012), No. 1, 78-80.
- [3] <http://www.physics.uiowa.edu/~umallik/advventure/phys-optics/lightwave.html>
- [4] 神部順子, 長嶋雲兵, 高妻孝光, 中山榮子, 青山智夫. 晴天のデジタル画像解析, *Journal of Computer Chemistry, Japan*, (2009), 8, 127-138
- [5] 八木徹, 神部順子, 中山榮子, 長嶋雲兵, 青山智夫. 乗鞍岳摩利支天山頂 (標高 2,872 m) における高層大気汚染の観測, 投稿中
- [6] ステライメージ <http://www.astroarts.co.jp/products/stling6/>
- [7] 八木徹, 神部順子, 長嶋雲兵, 青山智夫. 多重虹のデジタル画像解析, *Journal of Computer Chemistry, Japan*, Vol. 11 (2012), No. 2, 93-97.
- [8] 青山智夫, 神部順子, 長嶋雲兵, 中山榮子. 浮遊粒子状物質の可視化: 画像的アプローチ, *Journal of Computer Chemistry, Japan*, (2009), 8(1), 13-22.
- [9] 青山智夫, 神部順子, 長嶋雲兵, 中山榮子. 波長 760-1,000 nm で検出される大気エアロゾルの分布, *Journal of Computer Chemistry, Japan*, vol. 8 (2009), No. 4, 139-152.