

デジタル画像解析について (2)

—— 大気汚染、黒色 mist 層の観測を中心に ——

八木 徹*・神部 順子**

概 要

デジタルカメラで撮影された画像には様々な情報が含まれている。適切な画像処理を施すことにより人間が視認できる以上の情報を引き出すことができる。我々はデジタル画像を解析することで浮遊粒子状物質 (SPM) を可視化する技術を開発してきた。その技術を用い、乗鞍観測所からの大気観測を 2011 年から継続して実施している。その結果、黒色の mist 層が広範囲に存在していることが確認された。

キーワード: デジタルカメラ, デジタル画像解析, 浮遊粒子状物質 (SPM), 大気汚染

1. はじめに

近年、デジタルカメラは進化を続けており、画像の解像度、色の階調数、ダイナミックレンジや高感度撮影時の画質などの性能が常に向上している [1]。我々は、発展著しいデジタルカメラを用いて大気構造や汚染物質などの観測をおこなう技術を開発してきた [2-6]。高性能のセンサーを有するデジタルカメラで撮影された画像の中には多くの情報が含まれている。通常の写真プリントやディスプレイ上での表示においては、人間の目に自然に写るようにその情報が加工されており、自然な画像に不要とされる多くの情報は利用されていない。そこで、利用されていない多くの画像情報を適切に加工することで、人間が視認できなくとも、デジタルカメラが捕らえた様々な現象を引き出すことが可能となる。我々は、筑波大学の青山智夫博士、産業技術総合研究所の長嶋雲兵博士らと共に、デジタル画像を解析して大気構造や汚

染物質を観測する技術を開発してきた。特に浮遊粒子状物質 (Suspended Particulate Matter: SPM) は、自動車や工場などから排出される様々な物質からなり、人の生活に密接に関連するものである。このような SPM を、デジタルカメラを用いた画像解析により簡便に観測できるようにすることは非常に重要である。

本論文では、デジタル画像解析技術を用いて乗鞍岳から大気観測をおこなった結果をまとめる。2011 年 8 月より自然科学研究機構が管理する乗鞍観測所が一般に利用できるようになった [7]。同観測所は乗鞍岳摩利支天峰 (標高 2872m) にあり、地表面からの影響が少ないとされる自由大気中にある。このため、地表近くの接地層上の大気汚染調査にも適している。我々は 2011 年から継続して乗鞍観測所における大気観測を実施している。

自由大気中において、黒い霧状の層が観測されることがある。これを黒色 mist 層と呼ぶ。mist 層は汚染物質が長距離にわたって移動する前兆とも考えられる。この mist 層が乗鞍観測所より観測されている。本論文では、デジタル画像解析技術を用いた事例として mist 層の観測を中心に、いくつかの結果についてまとめる。

2013 年 11 月 30 日受付

* 江戸川大学 情報文化学科専任講師 情報化学

** 江戸川大学 情報文化学科准教授 情報科学

2. 解析手法

デジタルカメラでは、光はカラーフィルターを用いて R (赤), G (緑), B (青) の 3 色に分けて記録される。2×2 の 4 画素の中に、R のフィルターが 1 つ、G のフィルターが 2 つ、及び B のフィルターが 1 つの合計 4 個のフィルターを 1 セットとして配置する Bayer 配列が利用されている。光を検出する素子の上に各フィルターを置き、それぞれに対応する波長域の光を検出するようにしている。

RGB それぞれの素子で記録された光の輝度値を用いて画像処理をおこなう。本節では画像処理の手法を解説する。まず、記録された光の輝度値を 0 ~ 255.9 の範囲に規格化する。以下、i 番目の素子 (画素) で検出される光の輝度値を Y_i とする。規格化は以下の式を用いておこなう。

$$Y_{\max} = \max(Y_i) \quad (1)$$

$$Y_{\min} = \min(Y_i) \quad (2)$$

$$Y_i' = F(Y_i - Y_{\min}) \quad (3)$$

$$F = 255.9 / (Y_{\max} - Y_{\min}) \quad (4)$$

ここで (1) 式と (2) 式における $\max()$ と $\min()$ は、それぞれ輝度の最大値と最小値を取り出す関数である。(3) 式と (4) 式では、輝度を 0 ~ 255.9 の範囲にスケールしている。この規格化では、輝度データを実数として保持しており、この段階で整数化して 256 階調にしているわけではない。このため、規格化の後も輝度のデータは、センサーで記録された情報を失わずに保持している。

画像強調は以下の式を用いて実施する。

$$Y_i'' = \text{amp} * Y_i' + \text{bias} \quad (5)$$

$$X_i = \text{int}(Y_i'') \quad (6)$$

ここで、amp は 0 より大きい実数とする。また $\text{int}()$ は、小数点以下を切り捨てることで整数化する関数である。(6) 式の X_i を画像処理後の画素 i における輝度値とする。このとき、輝度の値の範囲は

$$[\text{int}(\text{bias}), \text{int}(\text{amp} * 255.9 + \text{bias})] \quad (7)$$

となる。ここで、 Y_i'' が 255.9 を超える場合に以

下の処理を追加する。

$$X_i = \text{int}(255.9 * 2 - Y_i'') \quad (8)$$

この変換により、255.9 を超えた輝度値はネガ階調となる。すなわち、輝度 255 以上は、元データが明るいほど、強調画像では暗くなるように表現される。さらに、(8) 式の変換により、輝度値が負の値を取る場合はこれを 0 とする。したがって、輝度を高めるよう amp の値を大きくすると、輝度 = 0 の黒い領域が増えていくこととなる。

また、bias の値を負に指定することも可能である。この場合、輝度値の範囲は

$$[0, \text{int}(\text{amp} * 255.9 + \text{bias})] \quad (9)$$

となる。これは希薄な SPM 層などを強調するときに有効になると考えられる。

本手法では、画像強調の処理を実施した後、各画素の輝度値を 256 階調 (8bit) で表現するように変換している。一般にデジタルカメラの RAW データの中の輝度値は、12 ~ 14bit と広い階調を持っている。すなわちこの手法では、amp と bias を調整することにより、注目する領域の画像を強調した後にデータを 8bit に変換している。

3. 画像解析結果

2013 年 9 月 10 日から 11 日にかけて、乗鞍観測所にて観測をおこなった。その際に撮影されたデジタル画像に対して、前節の画像処理を適用した結果を示す。

図 1 に 2013 年 9 月 11 日午前 7 時 47 分に乗鞍観測所から北東方向の空を撮影した画像を示す。図 1 の (1) は撮影画像をそのまま白黒化したものである。この日は観測所の北側、北西から北東方向にかけて黒い粒子がたなびく層、黒色 mist 層が観測された。それは視認できるほどの濃度の濃いものであった。図 1 (1) の M で示した層が mist 層に相当する。その下に白く写っている C 層は白雲である。この白雲は mist 層より遠方に存在していたものである。

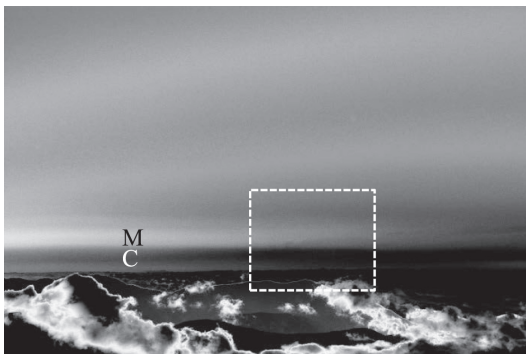
図 1 の (2) は amp=4.0, bias=-256.0 として作成した強調画像である。amp>2.0 としているため、高輝度領域はネガ階調となっている。このため、mist 層が白く、白雲が黒く描写されている。また、元画

像はRGBの各信号について強調処理をおこなうためカラー画像であるが、本図では白黒化している。特に注目すべき領域として、図1の(2)の中で、破線で示した四角の領域を拡大したものを図1の(3)に示す。

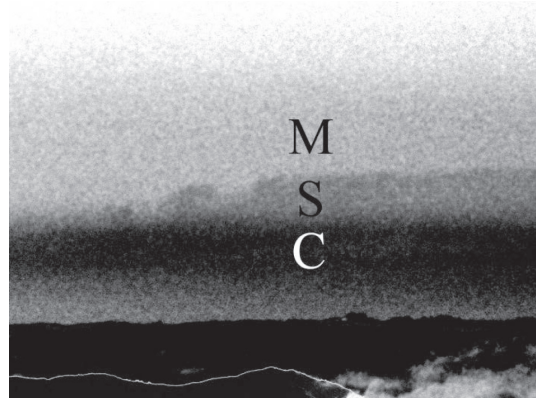
M層(mist層)とその下のC層(白雲の層)の間に、黒い影のようにS層があることがわかる。これは、mist層の向こう側にある白雲の形が透けて見えているものである。オリジナルの画像(1)では、mist層に遮られて雲の形などは確認が困難である。このように、画像解析処理によりmist層と白雲の重なる領域の構造を見ることができた。mist層の中あるいは奥に存在する水滴や雲の構造が観測可能であることを示している。



(1) 元画像



(2) 強調画像 (amp=4.0, bias=-256.0)



(3) 強調画像(2)の拡大図

図1 乗鞍岳摩利支天峰北東方向の空(2013年9月11日 07時47分)撮影データ:カメラNikon D7100, f105mm, F8, 1/2000 sec, ISO100

図2に2013年9月11日午前2時19分に乗鞍観測所から北方向の空を撮影した画像を示す。図2の(1)は撮影画像をそのまま白黒化したものである。夜間であるため、ISO1250, 30秒の高感度、長時間露光撮影となっている。シルエットで写っている山は穂高岳と槍ヶ岳である。(1)の元画像では、手前に低い雲がたなびいているが、上空は晴れており、星空が広がっている様子がわかる。

図2の(2)はamp=8.0, bias=-128.0として作成した強調画像である。図2の(2)においては、縞状にたなびく物質の層が見えている。非常に濃度が薄いため、視認は難しく、一見すると清浄な大気に見える空であった。強調画像で確認される層は、日中にたなびいていたmist層が夜間でも残っている様子が写されたものと考えられる。



(1) 元画像



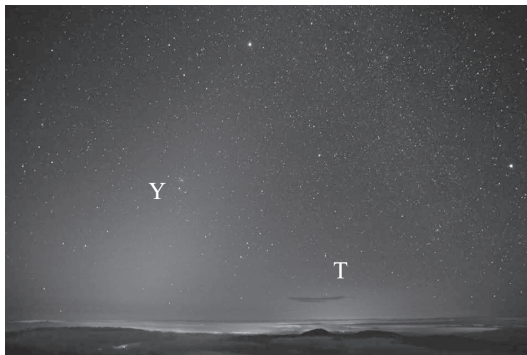
(2) 強調画像 (amp=8.0, bias=-128.0)

図2 乗鞍岳摩利支天峰北方向の空 (2013年9月11日02時19分) 撮影データ: カメラNikon D7100, f50mm, F2.8, 30 sec, ISO1250

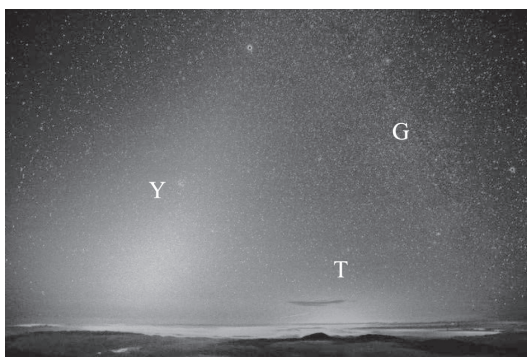
図3に2013年9月11日午前3時51分に乗鞍観測所から東方向の空を撮影した画像を示す。図3の(1)は撮影画像をそのまま白黒化したものである。記号Tの下に見える明かりは、町明かりが反映されたものである。記号Yの下にはTよりも遙かに高い位置まで光が伸びている領域が存在していた。また、Yの領域の光は、地上から等方的に広がるものではなく、垂直方向より画面右方向に傾いて伸びる様子が写されている。これは、黄道光が撮影されたものである。通常画像でも確認できるほどはっきりと写されている。それほど町明かりが少なく光害が少ないため撮影されたと考えられる。

図3の(2)はamp=6.0, bias=0.0として作成した強調画像である。元画像よりもさらに上方に光が伸びていることがわかる。黄道光が直線的に広がっている様子がより鮮明に映し出されている。またGの領域には左上から右下に向けて天の川が見えている。

また、通常画像でもある程度確認できるが、黄道光の下部にはmist層が確認できる。夜間においてもmist層が大気中に存在していることがこの画像からも読み取ることができる。



(1) 元画像



(2) 強調画像 (amp=6.0, bias=0.0)

図3 乗鞍岳摩利支天峰東方向の空 (2013年9月11日03時51分) 撮影データ: カメラNikon D7100, f17mm, F2.8, 20 sec, ISO800

4. バンドパスフィルターの利用

バンドパスフィルターはある限られた波長の光のみを透過するフィルターで、カメラレンズ前方に取り付けて撮影をおこなう。通常の撮影条件とは異なるため、カラーでの画像は得られないが、特定波長の光の画像を撮影出来る。すなわち特定波長についての強調画像を得ることとなる。その波長領域についてS/N比の高い画像が得られる。

ここでは、撮影波長を370～420nm, 及び766nmとし、摩利支天山頂から撮影した画像を解析する。

2011年9月14日午前9時51分、乗鞍岳西方高山上空に視角約90degにわたる黒色mist層を観測した。その画像とB/R-ratio, 及びG/R-ratioを図4, 5に示す。B/R-ratioは、各画素におけ

るBとRの輝度値の比を求めたものである。図4には二つの大気層(M, F層)があり, M層は眼視でも観測できた。

可視光における二層の輝度を図6に示す。また, $766 \pm 10\text{nm}$ の画像を図7に示す。可視光ではM層は暗く, F層は明るい。766nmではM層はほとんど確認できず, F層は帯状である。帯の厚みは 0.15deg である。B/R-, G/R-ratioでは両層はほぼ同じ値であるが, F層がより雲の性質(RGB輝度が同じ, 766nmで光を吸収する)を有している。以上から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 $400 \sim 580\text{nm}$ の

光を吸収し, 近赤外部に吸収を持たないSPMであろう。

9月15日午前中, 乗鞍岳西方に黒色 mist は存在せず, 11時以降, 北方向に灰色の層が出現した。午前10時27分の波長 $600 \sim 900\text{nm}$ 像ではその層は確認できなかったが, 午前11時16分の波長 $370 \sim 420\text{nm}$ 像では明瞭であった(図8のO点の上の薄黒く見える層)。方位 11deg の位置をscanした近紫外～深青色光の強度を図9に示す。層の見かけの厚さは 1.2deg である。近紫外域では雲周辺が汚れたように描写されている。

2012年8月30日午前9時13分～24分にか



図4 乗鞍岳摩利支天峰で確認された黒色mist層(2011年9月14日09時51分) 撮影データ: カメラPentax K100Dsuper, f50mm, F8, 1/1000sec, ISO200

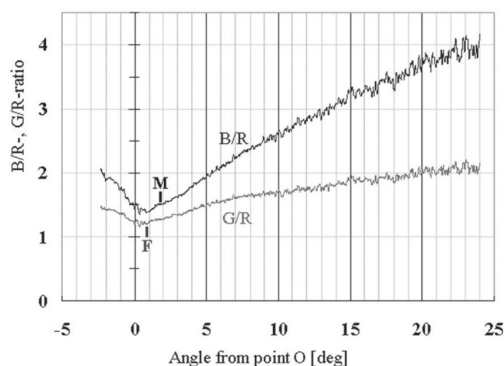


図5 B/R及びG/R-ratio (図4のライン上) 横軸は点Oからの角度を示す。2つの層はFとMの間に存在する。

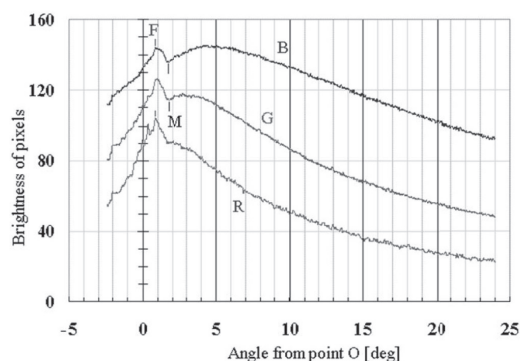


図6 RGBの輝度 (図4のライン上)

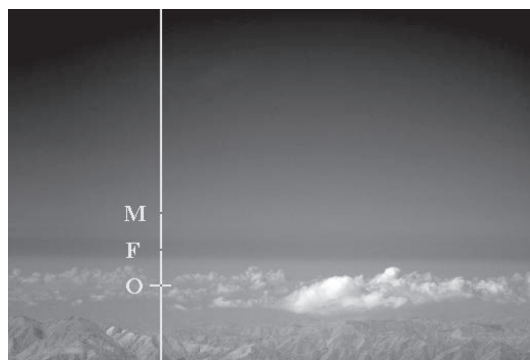


図7 乗鞍岳摩利支天峰で確認された黒色mist層(2011年9月14日09時51分) 撮影データ: カメラCanon EOS X4 (赤外カットフィルター除去), f100mm, F3.2, 1/160sec, ISO800, バンドパスフィルター ($\lambda=766 \pm 10\text{nm}$)

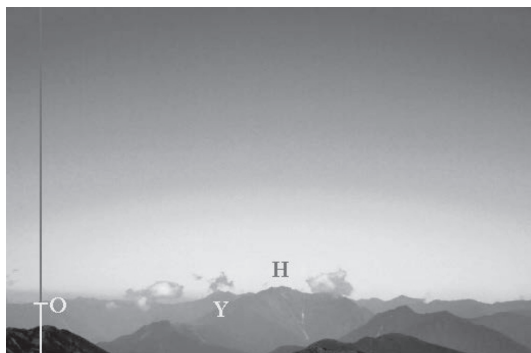


図8 乗鞍岳摩利支天峰で確認された黒色mist層 (2011年9月15日11時16分) 撮影データ: カメラCanon EOS X4 (赤外カットフィルター除去), f28mm, F5.6, 1/2000sec, ISO400, バンドパスフィルター ($\lambda=370\sim420\text{nm}$)
記号Oは輝度計算の原点, YとHは槍ヶ岳と穂高岳。

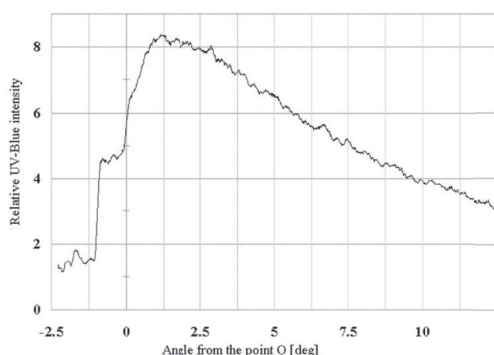


図9 紫外から青色光の輝度分布 (図8のライン上)

て、上昇する雲の撮影を乗鞍観測所にておこなった。図10と11に撮影された雲の画像を示す。ここでもバンドパスフィルターとして370～420nmを利用している。図10から11にかけておよそ11分の時間が経過している。この間に刻々と雲が成長していった。

近紫外から短波長の青色領域では、やはり雲周辺が汚れたように描写されている。視認した際には麓から吹き上げてきた白雲であった。370～420nmの光を捕らえることにより、白雲中の黒い物質を撮影出来ている。このような波長域で黒色に写る物質は、下界の排気ガスなどの塊が上昇して雲になる可能性も示唆される。



(1) 全体画像



(2) 雲の拡大画像

図10 乗鞍岳摩利支天峰から撮影した上昇雲 (2012年8月30日09時13分) 撮影データ: カメラCanon EOS 5D2, f28mm, F5.6, 1/180 sec ISO250, バンドパスフィルター ($\lambda=370\sim420\text{nm}$)



(1) 全体画像



(2) 雲の拡大画像

図11 乗鞍岳摩利支天峰から撮影した上昇雲 (2012年8月30日09時24分) 撮影データ: カメラCanon EOS 5D2, f28mm, F5.6, 1/180 sec, ISO250, バンドパスフィルター ($\lambda=370\sim420\text{nm}$)

5. まとめ

2011年8月から乗鞍観測所における大気観測を実施した。デジタルカメラによる撮影画像を解析することによりSPMの観測をおこなった。本研究のデジタル画像解析技術を用いることにより、大気中に含まれるSPMを捕らえることができた。また、バンドパスフィルターを用いた撮影も大気構造を解析する上で有効であることが確認

された。

今後も本画像解析技術の発展をはかると共に、より多くの人が簡便に技術を活用して、大気汚染などの環境問題をより身近なものとしてとらえることができるようにする必要がある。大気中の汚染物質の観測は今後も重要性を増すものである。乗鞍観測所においても、大気中には毎年黒色mist層が確認されており、今後も継続的な観測を実施することが必要である。

参考文献

- [1] DxOMark, "Camera Sensor Ratings", <http://www.dxomark.com/Cameras/Ratings>
- [2] 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, J. Comput. Chem. Jpn., Vol. 8 No. 1, pp 13-22, (2009) .
- [3] 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, J. Comput. Chem. Jpn., Vol. 8, No. 4, pp 127-138 (2009)
- [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 (2), J. Comput. Chem. Jpn., Vol. 9 No. 5, pp 231-240 (2010)
- [5] 青山 智夫, 八木 徹, 神部 順子, 長嶋 雲兵, 中山 榮子, 浮遊粒子状物質の可視化: RAW データ処理方式, J. Comput. Chem. Jpn., Vol. 9 No. 5, pp 219-230 (2010)
- [6] 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 2872m) における高層大気汚染の観測, J. Comput. Chem. Jpn., Vol. 12 No. 2, pp 138-144 (2013)
- [7] 自然科学研究機構 (NINS), 乗鞍観測所, <http://www.nins.jp/research/norikura.php>