

スマートフォンを用いた SPM可視化アプリケーションの開発と大気状態解析システム

八木 徹^{1) 3)}、神部 順子^{1) 3)}、長嶋 雲兵²⁾、青山 智夫³⁾

概要

大気の状態を観測し、浮遊粒子状物質(SPM)を可視化するためのスマートフォンアプリの開発を行った。スマートフォンで撮影したRGBカラーのデジタル画像において、B/R、G/R、B/Gの比を求めることにより、画像中の非線形性をキャンセルし大気中の散乱光分布の強調画像を求めることが出来た。また、スマートフォンアプリケーションを用いて大気状態を解析して指標化するシステムについて考察した。

キーワード：浮遊粒子状物質(SPM)、スマートフォンアプリケーション開発、可視化、大気汚染

1. はじめに

浮遊粒子状物質(Suspended Particulate Matter : SPM)とは、大気中に浮遊する粒子状物質のうち、直径が $10\mu\text{m}$ 以下のものを指す。また、粒子径が $2.5\mu\text{m}$ 以下のものは、特にPM2.5と呼ぶ。SPMは、長時間にわたり大気中に浮遊し、人の呼吸器官に吸引されることで、喘息などの原因として人体に影響を及ぼすと考えられており、対策が必要とされている。ただし、SPMの発生源には、内燃機関の排気だけでなく、砂塵や海塩などの自然由来のものもある。いずれにせよ、対策の第一歩は、SPMに対する関心を高め、自分の生活圏がどの程度SPM対策を必要としているのか、考えさせることである。

SPMの存在を意識させるには、その存在を視覚化する方法が必要である。筆者らは、大気散乱光であるReyleigh散乱やMie散乱が異なる物質で生じることに着目し、デジタルカメラでとらえた撮影画像を解析して散乱の差異を捉え、SPMを可視化する技術を開発してきた[1]。具体的には、デジタルカメラ受光部の赤(R)、緑(G)、青(B)の各信号の輝度値を用いてB/R比やG/R比を計算したり、画像の強調処理を行いSPMの分布を解析した。また、大気中のSPM量を定性的に判定するB/R比やG/R比の基準を示してきた[2, 3]。さらに、乗鞍岳における高層大気の観測[4]や、海中のデジタルカメラ撮影画像に対する解析を実施[5]し、散乱光

分布から様々な知見を得てきた。

本研究では、スマートフォン内蔵の高解像度デジタルカメラに着目し、上述の方法を応用して大気の状態を解析する基礎的なアプリケーションを開発した。また、スマートフォンには、GPSによる座標情報の取得や、刻の自動合わせによる正確な時刻の記録が可能であるなど、個人に最も身近な観測装置として、大きな可能性を持っている。そこで、開発したアプリケーションを用い、大気の状態を解析し、汚染度合いを指標化するシステムを考察した。

2. アプリケーション開発

今回は、iPhone用アプリケーションの開発を行った。開発対象とした環境はiOS9で、使用言語はSwift2.1である。開発アプリケーションは、画像撮影、データ管理、データ解析の3つの機能で構成されている。

画像撮影機能では、撮影の自由度を高くするために、フォーカス、露出、ホワイトバランスの値をマニュアルで設定できるようにした。露出は、一般のカメラなら、絞りとシャッタースピード、ISOで調整する。しかし、iPhoneカメラには絞り機構がないため、シャッタースピードとISOをマニュアルで調整できるようにした。ホワイトバランスは、B/Rなどの輝度値の比を計算して比較する必要があることから、色温度を任意の値で固定できるようにした。

以上の撮影条件の制御には、iOSでのオーディオビジュアルデータを詳細に制御するAVFoundationフレームワーク[6]を利用した。AVFoundationフレームワークでカメラを利用して撮影データを取得するまでの利用クラスの概略を図1に示す。iOS8以降で実装されたManual Camera Controlsを用いることで、撮影条件の

2017年2月6日受付 2017年2月28日受理

1) 江戸川大学情報文化学科/情報教育研究所

2) 計算科学振興財団FOCUS

3) 江戸川大学情報教育研究所

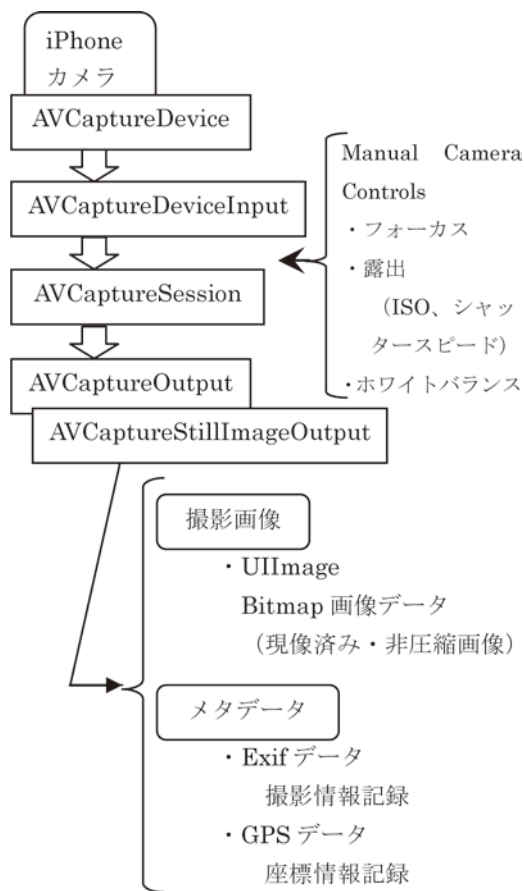


図1. 開発したiPhoneカメラアプリケーションの概略

柔軟な設定を行うことが出来る。

開発したアプリケーション内の画像データは、AVCaptureStillImageOutputからUIImageデータとして取得する。必要に応じてUIImageデータからbitmapデータを取得して、ピクセルごとのB/R、G/R、B/Gの各成分を計算した。画像の保存にはPNGフォーマット(24bit RGB)を用い、画像圧縮による情報の損失を防いだ。さらに、OpenCVライブラリを活用し、各ピクセルのチャンネルごとの輝度値を以下の式で変換する強調処理など、きめ細かな画像解析を行えるようにした。

- $\text{quo}((Bi \cdot f), 255)$ が偶数の場合

$$Bf = \text{mod}(Bi \cdot f, 255)$$

- $\text{quo}((Bi \cdot f), 255)$ が奇数の場合

$$Bf = 255 - \text{mod}(Bi \cdot f, 255)$$

※変換前の輝度値をBi、変換後の輝度値をBfとする。

quoは商を求める計算で、modは剰余を求める計算を表す。fは変換係数であり、 $f=64$ としている。

撮影画像を取得すると同時に、撮影情報や座標情報をメタデータとして記録することも可能である。今回は画像データのみを取得したが、各種撮影条件の記録にメタデータの利用が有効である。

なお、SPM可視化のための画像解析では、デジタルカメラのセンサーに記録された未加工のRAWデータを用いる方が良いが、iOSアプリケーションでは、AVFoundationを用いてもbitmapやJPEG等に変換されたデータしか得ることが出来ない。しかし、最新のiOS10では、カメラ画像のRAWデータを取得できるよう仕様が改訂されている。このRAWデータ取得は、今後のアプリケーション改良で対応する。

3. 画像解析の例

実際に作成したアプリケーションで撮影した画像と、各種強調画像の例を図2から図6に示す。各図は(1)から(4)の4枚の画像を含んでいる。いずれも、(1)はオリジナルの撮影画像、(2)はオリジナル画像に強調処理を施したものである。(3)と(4)はそれぞれ、B/R、G/Rを求め、その画像に強調処理を施したものである。

図2は、2016年10月15日午前7時23分、つくば市において南方の空を撮影した画像である。雲のない快晴の空を撮影している。オリジナル画像(1)を見ると、画面右上の空が最も青く、左下に向かうにつれて青みが薄くなっている。さらに、地上付近は白っぽい色となる層状の領域が存在している。

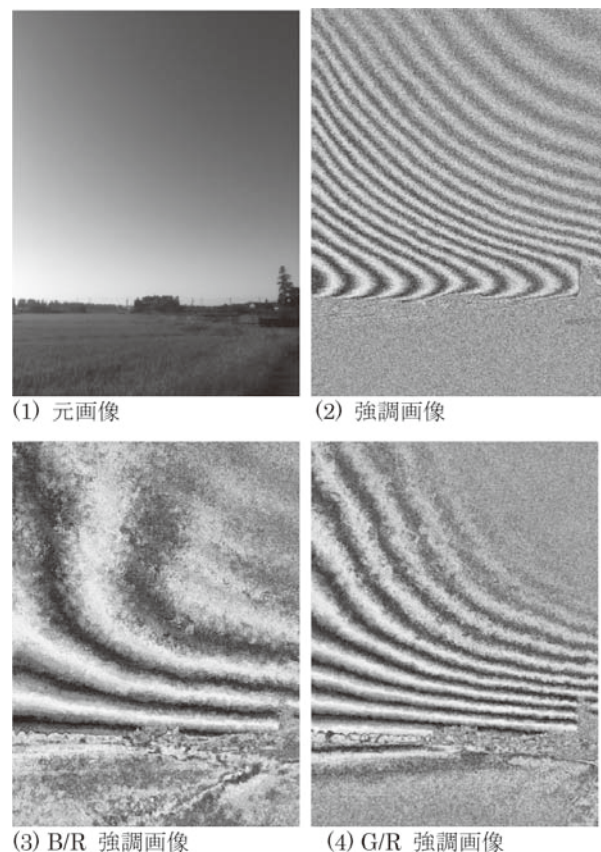


図2. 南方の空の画像（つくば市2016年10月15日7時23分）

(1)に画像強調処理を施したものが、画像(2)である。空の散乱光の強度分布を反映した縞模様が等高線のように描かれており、散乱光分布がなだらかに変化している様子が見える。撮影時刻には、光源となる太陽が東(画像左側)に存在しているため、画面左の方が明るく、右上に向けて暗く青みが濃くなっている。また、この強調画像の地上付近は、上空とは縞模様の形状が異なっている。したがって、地上近くには層状の領域が存在し、上空とは異なる散乱光分布を示しているように見える。しかし、一般に、デジタルカメラのセンサーでは、輝度が中間的な領域では線形性が保たれるが、光が強く輝度の高い領域では線形性が崩れる傾向があり、上述の減少もこの非線形性により生じている可能性がある。前述したRAWデータであれば、12～14bitの情報量を持ち、線形性を保つ領域も広いが、一般的な8bitのデジタル画像では線形性を保つ領域はRAWデータよりも狭くなる。iOSのAVFoundationで得られる画像データも、8bit bitmapで各ピクセル [0, 255]の範囲のデータとなっている。

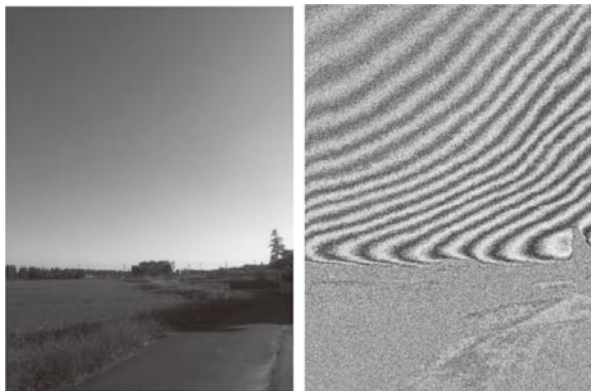
よって、大気散乱光の解析を行うためには、非線形性を除く必要がある。オリジナル画像の各ピクセルを、B/R比とG/R比に変換し、その画像を強調処理したものを、それぞれ(3)と(4)に示す。これらには、(2)に見

られた地上付近の層状の構造が消滅していることがわかる。すなわち、B/RやG/Rというピクセルの比をとることにより、画像の非線形性が打ち消されたものと考えられる。各ピクセルの比を計算する本手法は、非線形性をキャンセルし、散乱光分布の傾向を観測するために有効な方法であると考えられる。

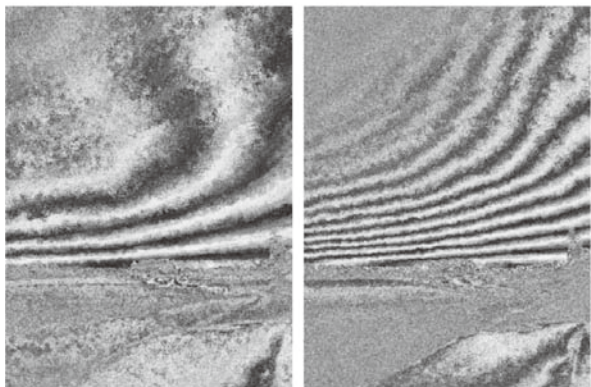
(3)と(4)のB/RとG/R比の画像を比べると、G/R比の方が縞模様の間隔が狭く、値の変化が大きいことがわかる。特にB/R強調画像には、縞模様の変化に2つのパターンを見ることが出来る。輝度の変化の傾向に2つの種類が混在している可能性を示唆している。

図3は、図2と同地点における撮影画像で、時刻が15時20分と午後になっている。光源である太陽は画面右方向に移動している。オリジナル画像の強調処理では、地上付近に層状の領域がみられること、B/RやG/R比を取った画像の強調処理では、その層状領域が消滅すること。B/R画像よりもG/R画像の方が縞模様の間隔が狭いこと、特にB/R画像において、輝度の変化が2パターンに分かれていることなどの傾向が図2と同様にみられが、光源である太陽の位置が異なることから、すべて左右対称になっている。

図4は、2016年10月20日、午後16時24分、流山市において南方向の空を撮影した画像である。夕方であ

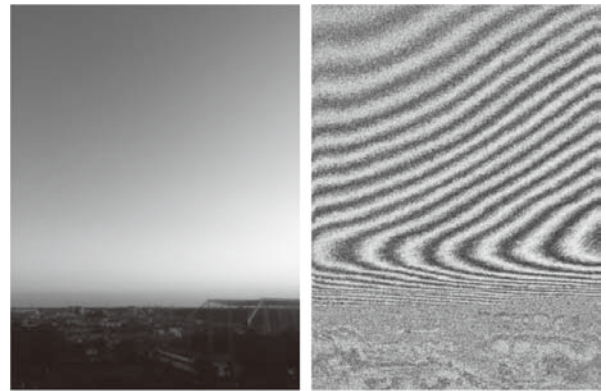


(1) 元画像 (2) 強調画像

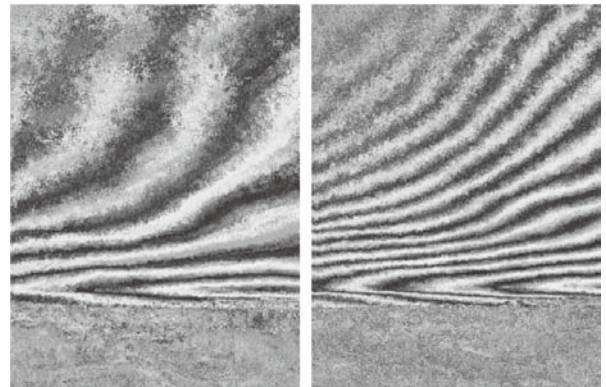


(3) B/R 強調画像 (4) G/R 強調画像

図3. 南方の空の画像(つくば市2016年10月15日15時20分)

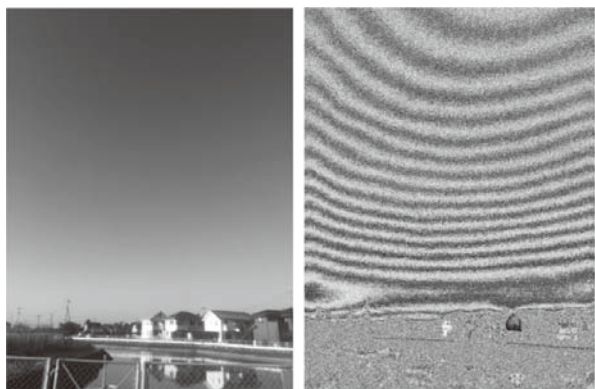


(1) 元画像 (2) 強調画像



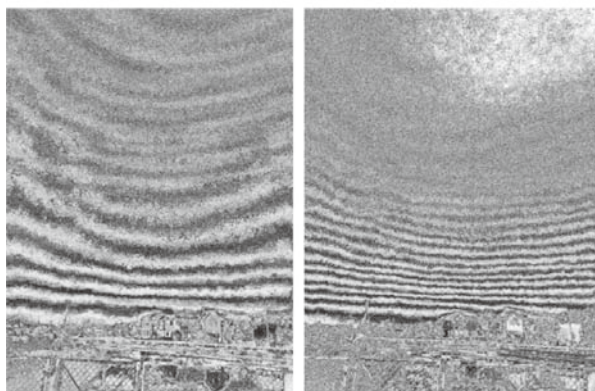
(3) B/R 強調画像 (4) G/R 強調画像

図4. 南方の空の画像(流山市2016年10月20日16時24分)



(1) 元画像

(2) 強調画像



(3) B/R 強調画像

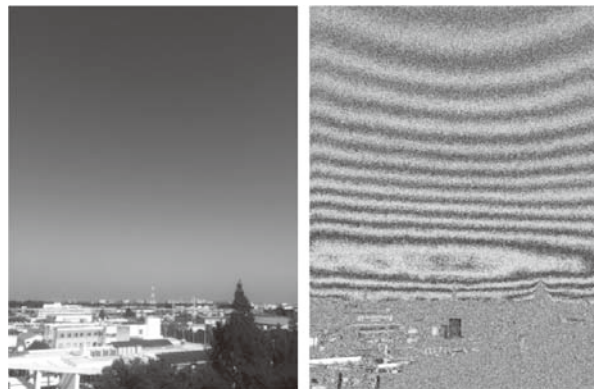
(4) G/R 強調画像

図5. 北方の空の画像(つくば市2016年10月15日15時28分)

り、元画像では、空の一部はオレンジ色を帯びている。また、地表付近には、明るい領域の下に霞状にくすんだ領域の層が存在している。オリジナル画像の強調処理(2)を見ると、地表付近に散乱光分布の異なる領域が存在している。B/R比やG/R比をとった画像(3)、(4)では、地表近くの霞状領域のみ散乱光分布の様子が異なる。非線形性を除いた後に、散乱光分布の傾向が異なる領域が残っていると解釈される。

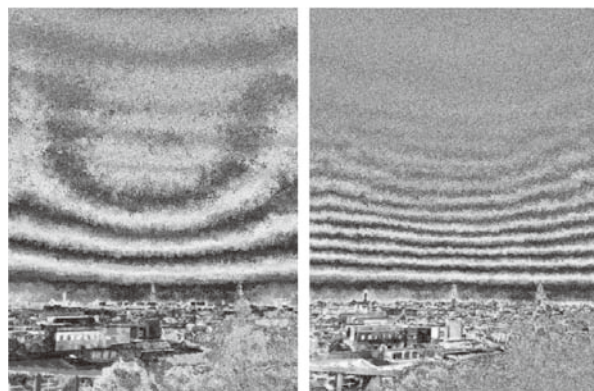
図5は2016年10月15日、午後15時28分、つくば市において北方の空を撮影した画像である。また、図6は2016年10月20日、午前10時8分、流山市において、北方の空を撮影した画像である。いずれの写真も太陽を背にしているため、散乱光の分布は放物線状で対称に近い形をしている。この写真においても、B/R、G/R比の強調画像ではG/Rの方が等高線間隔が狭く、B/R画像では上空での縞模様が2パターンの重なりで描かれている。

ここまでの解析により、iPhoneで撮影した通常の撮影データでは、輝度の大きな領域近くで非線形性が生じるため、そのままでは大気散乱光分布の解析に適さないが、B/RやG/Rの比を取ることで、非線形性をキャンセルできることを示した。また、B/R比の分布には散乱光分布が2つの成分に由来する縞模様を持



(1) 元画像

(2) 強調画像



(3) B/R 強調画像

(4) G/R 強調画像

図6. 北方の空の画像(流山市2016年10月20日10時8分)

つこと、B/R分布よりもG/R分布の方が変化量が大きく、強調画像の縞模様が密な分布を持つことを示した。

このようなスマートフォンのデジタルカメラを用いた大気撮影画像の撮影、解析データはこれまでにほとんど例が無く、今後様々な大気の撮影を行い、同時に、気温、湿度、SPM濃度など、各種気象条件や大気汚染物質情報とともに情報を蓄積することが重要である。それにより、大気汚染状況を簡便な指数で表し、スマートフォンで撮影した空の画像にその指数を対応付けることが可能になり、大気汚染状態を個人が簡便に判定できるようになる。

スマートフォンで撮影を行う際には、画像だけでなく、GPSによる緯度経度の位置情報、カメラを向けた方位、仰角などの情報を記録することが出来る。このため、「いつ」「どこで」「どの向きの」空を撮影したかを知ることが出来る。

一方、環境省大気汚染物質広域監視システム(そらまめ君)のように、各地における大気汚染情報の観測網が構築されている[7]。このような大気汚染の実測情報と、スマートフォンの撮影画像データを合わせることで、大気画像データと汚染物質分布の関連性を対応付けることも考えられる。

図7に、大気状況の解析システムの概要を示す。

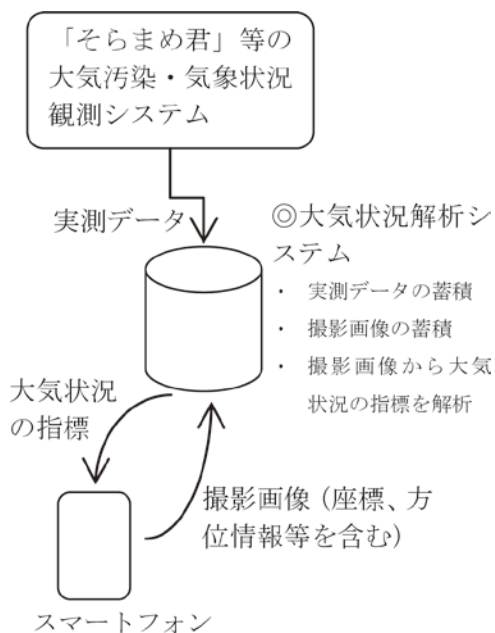


図7. 大気状況解析システム概要

このシステムは、観測情報の収集、撮影データの収集、大気情報指標化のための解析の3つの機能から成る。観測情報の収集では、そらまめ君のような大気汚染情報や、各地の気温、湿度などの気象情報を収集し、様々な地点の大気情報をデータとして記録する。撮影データの収集では、今回作成したSPM可視化アプリケーションにデータ通信機能を持たせ、撮影画像をアップロードする。撮影画像には、撮影条件や、GPSによる座標や方位、カメラの仰角などの情報をメタデータとして記録しておく。このデータは、大気の撮影画像から、大気汚染状況を推測するための基礎データとなる。

今回開発したアプリケーションは、スマートフォンを、その高い機能を活用することで、大気の散乱光分布を観測するための観測機とするものである。また、汚染物質の分布など、大気情報の実測データと合わせた解析を行うことで、いつでもどこでも大気の状態を知るシステムを構築するための基礎となりうる。さらに、身近なスマートフォンを利用することで、誰もが簡便に空の状態を観測できるため、散乱光分布を学ぶ理科教育や、大気汚染の状況を観察する環境教育への応用も考えられる。

4. まとめ

本論文では、SPM可視化のためのスマートフォンアプリケーションを開発した。アプリケーションは、画像撮影、データ管理、データ解析の3つのシステムから成り、フォーカス、露出、ホワイトバランスの値を任意に設定した撮影を行うことが出来る。また、撮影

画像を解析し、B/R、G/R、B/Gの比を求めたり、画像の強調処理を行うことができる。作成したアプリケーションを用いて、実際の大気を撮影し、解析した結果を示した。

B/RやG/Rの比を取る解析では、画像の非線形性を取り除くことができた。また、B/RやG/Rの分布の特徴について議論した。

今回作成したアプリケーションで撮影した画像と、そらまめ君等の大気汚染や気象情報を観測するシステムの情報を蓄積することで、大気汚染状況を指標化するシステムについて考察した。データの蓄積を進めることで、スマートフォンでの撮影画像を解析して、大気汚染を推測し、大気の状態を指標化することが出来ると考える。本アプリケーションがそのための基礎となりうる。

今後は、アプリケーションをiOS10に対応させ、GPSによる緯度経度や撮影時の方位、仰角などのデータを合わせて保存できるよう機能を拡張する。また、Ad-Hocでの限定的な配布でテストを重ね、日常的に様々な場面で大気画像の記録を行い、大気の状態を解析するための基礎としていく予定である。

参考文献

- [1] T. Aoyama, T. Yagi, J. Kambe, U. Nagashima, E. Nakayama, *Journal of Computer Chemistry, Japan*, Vol. 9, No. 5, pp.219-230 (2010).
- [2] J. Kambe, T. Aoyama, T. Kohzuma, E. Nakayama, U. Nagashima, *Journal of Computer Chemistry, Japan*, Vol. 8, No. 4, pp.127-138 (2009).
- [3] J. Kambe, T. Aoyama, T. Kohzuma, E. Nakayama, U. Nagashima, *Journal of Computer Chemistry, Japan*, Vol. 9, No. 5, pp.231-240 (2010).
- [4] T. Yagi, J. Kambe, E. Nakayama, U. Nagashima, T. Aoyama, *Journal of Computer Chemistry, Japan*, Vol. 13, No. 6, pp.330-331 (2014).
- [5] U. Nagashima, J. Kambe, T. Yagi, T. Aoyama, *Journal of Computer Chemistry, Japan-International Edition*, Vol. 2, No. 6, 2015-0054 (2016).
- [6] AVFoundation Programming Guide, <https://developer.apple.com/library/content/documentation/AudioVideo/Conceptual/AVFoundationPG/>
- [7] 環境省, 環境省大気汚染物質広域監視システム, Atmospheric Environmental Regional Observation System : AEROS <http://soramame.taiki.go.jp>

