

### 1. 目的

2006年頃から西日本の大気の状態が変化しているように見える。浮遊粒子状物質(Suspended Particulate Matter: SPM)を計測するとそれが顕著である。SPMは様々な現象、たとえば黄砂、煙霧となって我々の感知するところとなる。

SPMは1~10 $\mu\text{m}$ の微細粒子で成分は内燃機関の排気物、砂塵、海塩など様々である。重力で沈降するがエアロゾル化し成層圏に達するとなかなか降下せず地球を半周することもある。

粒子径2.5 $\mu\text{m}$ 以下のSPMは容易にエアロゾルとなり、吸引すると呼吸器の最深部に達する。その大きさのSPMは表面に水蒸気や窒素酸化物( $\text{NO}_x$ )を吸着する。そのゆえ表面に菌類が繁殖しやすい。SPMの有害性がこれらの表面吸着物により強められる。現在SPMの健康に対する影響調査が始まったところである。

我々は「宮崎地区のSPM外部流入量は少なくない」という仮定の下に、その流入SPM濃度分布を画像化したいと考えた。もしもそれが実時間で可能ならば、有害な高濃度SPM塊の通過を避けることができ健康に対する悪影響を極小化できる。

### 2. SPM可視化の問題点

宮崎地区のSPMの濃度は通常20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ である。黄砂時の異常濃度でも100~200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ でppbのオーダーである。可視部に顕著な吸収帯はなく、ほぼ透明で一般のカメラでは何も写らない。そこにSPM可視化の困難さがある。

大気散乱光の主成分は空気分子のRayleigh散乱である。SPM粒子の散乱は可視光領域ではMie散乱である。SPMを含む大気の明るさにはRayleigh, Mie散乱の情報が含まれていると考えられる。SPM濃度はppbオーダーであるので、

Rayleigh散乱強度 > Mie散乱強度  
の関係が成立している。ゆえにSPM分布を可視化するためには両散乱強度の差を圧縮する必要がある。その方法は以下である。

- (1) Rayleigh散乱は光の進行方向から $\pm 90$ 度方向では偏光しているので偏光フィルタにより減感する。
- (2) Mie散乱は光の進行方向に強い。
- (3) Rayleigh散乱強度は波長の4乗に比例し、Mie散乱は波長の0~2乗に比例する。

以上の方法のうち何処に出現するか不定の現象を対象にできる方法は(3)である。

次に散乱光を検出する機材を次の点を考慮して選定する必要がある。

- (a) 可搬性, (b) 電池稼動, (c) 操作容易性, (d) 保守性, (e) 経済性, (f) 出入国容易性。

我々はデジタル一眼レフカメラを選択した。同カメラを測定器として使用する際には次のような問題点がある。

- (A) 像の色成分(以下RGB成分)を分離するモザイク・フィルタの分光特性,  
(B) 入射光強度とpixel対応の明度値との線形特性,  
(C) CCD/CMOS受光素子, 撮像光学系の分光特性,  
(D) 入射光のスペクトル変化を6000Kの白色光下の画像に補正するAuto White Balance法の詳細と限界。

上記情報の詳細は公開されていない。我々は(A,C)については実機で天体からの光を回折格子でスペクトル分解して測定した。(B)についてはNDフィルタを利用して線形性が満足されていないことを確認した。(D)については測定可能か否か不明である。

そのような測定基準の不確実な状況で有意な測定を成すために以下の条件で測定した。

- ( $\alpha$ ) 画像をRAW形式で保存する((D)はRAWデータをソフトウェア処理するときに行われるため)。  
( $\beta$ ) (D)の影響を避けるためとMie散乱に関する(3)の条件から画像のR成分に対してデータ処理をする。我々の測定では画像のR成分は600~650nm領域の物体からの反射光に対応する情報である。

### 3. 撮影タイミング

SPM塊は裸眼では不可視である。何処に存在するか分からない。ゆえに何処をどのように撮影したらよいか分からない。そこで現在最も高濃度のSPM移流現象と考えられる黄砂現象に注目した。

黄砂をSPM濃度として測定すると宮崎地方では $\beta$ 線照射法(環境省大気汚染物質広域監視システム)で約100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , レーザ光散乱方式の粉塵計で約200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ である。後者は湿潤な大気するとき $\beta$ 線方式よりも高い測定値を与える。霧は散乱光方式では鋭敏に検出する。

我々は粉塵計を野外で稼動させ、計測値の変動を解析しながらSPM塊の移動を予測した。

SPM計測の一例を図1に示す。そこには冬季の宮崎市の夜間SPM蓄積と昼間の上昇気流による拡散を背景に寒冷前線通過時の大気境界面に存在するSPM塊の通過が記録されている。

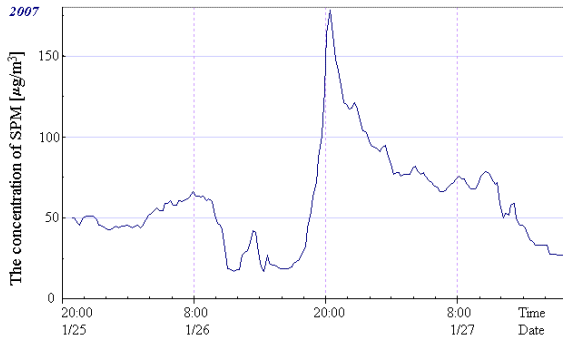


図1 2007/1/25, 20:00-1/27, SPM 濃度の変化(宮崎市船塚)

このような SPM 自動計測を 2007.1.19 より 6 ヶ月間行った。2007.2.24, 20:00 から約 14 時間奇妙な SPM 変化が観測された(図 2)。

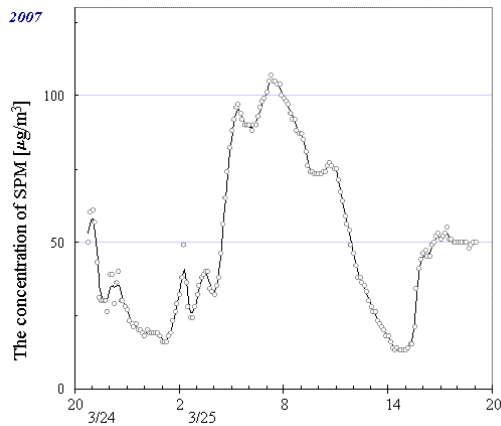


図2 2007/3/24, 20:00-3/25, 20:00 の SPM 濃度変化(宮崎市船塚) ○が観測値である。

図 2 の SPM 変化の特徴は：

- (1) Gauss 関数のような変化が 9 回起こっている。
- (2) 夜間の SPM 値より大きい値が 4~12 時に観測されている。SPM の拡散が起こる昼間の時間帯に濃度の極大値が観測されている。

これらの事実は SPM 濃度増大が 대기滞留効果ではなく、Gauss 分布濃度の SPM 塊が外部から移流してきていることを示す。以後我々は注意深く空を眼視観測した。

3/27, 22:40 粉塵計は  $81 \mu\text{g}/\text{m}^3$  を示し, 23:40 には  $990 \mu\text{g}/\text{m}^3$  の値を示した。同時に霧が発生した。24:50 には  $74 \mu\text{g}/\text{m}^3$  となり霧は消散した。この急激な大気の変化は SPM 塊が過冷却の湿潤な大気を通過したためと考えられる。その時の SPM 可視化は不可能であった。

継続して太陽近傍の空を観測中 3/28, 11:24 加江田溪谷上空に小さな雲の発生を確認した。雲は直ぐに薄くなり 11:27 に消滅した。そのときの空の画像から R 成分(以下  $\mathbf{r}$  と書く)を抽出し  $\text{mod}(\mathbf{r}^n, 256)$  で強調した

画像を図 3 に示す。  $n$  は画像強調のためのパラメータで経験的に 1.4 とした。



図3 加江田溪谷上空のコントラスト強調 R 画像 2007/3/28, 11:24, 強調パラメータ  $n=1.4$

図 3 より低空に霧状の何かが存在する。それが SPM であることを確定するために、対象物の分光測定が必要である。

#### 4. 同定法

画像データには色情報が含まれる。それを  $\mathbf{r}, \mathbf{g}, \mathbf{b}$  と書く。撮影光学系の周辺減光を考慮して  $\mathbf{g}/\mathbf{r}, \mathbf{b}/\mathbf{r}$  なる量を考える。画像中の任意の線分に沿って  $\{\mathbf{g}/\mathbf{r}\}, \{\mathbf{b}/\mathbf{r}\}$  値を計算し描画すると 2 曲線が得られる。その曲線は対象物の物性を表す。図 3 の横軸に平行に雲を横切る線分について処理すると図 4 を得る。

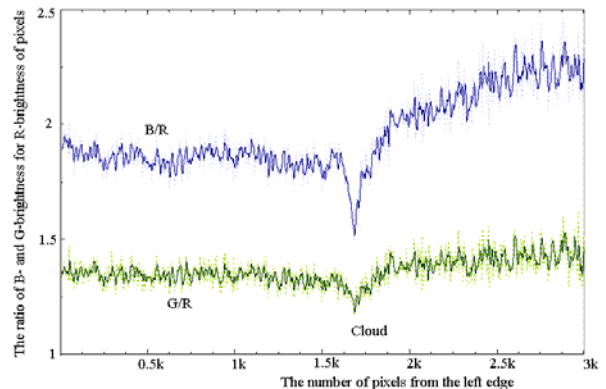


図4 雲(図3)周辺の大気の  $\{\mathbf{g}/\mathbf{r}\}, \{\mathbf{b}/\mathbf{r}\}$  曲線

図 4 の  $\{\mathbf{b}/\mathbf{r}\}$  曲線は雲の左側に Mie 散乱の多い部分があることを示す。すなわち SPM が存在することを示している。

#### 5. 結論と展望

我々は大気中の高濃度の SPM を可視化する方法を確立した。本法は大気汚染の研究に有意な知見を与える。本法に種々の SPM を含む空の色相の議論を加え  $\mathbf{g}/\mathbf{r}, \mathbf{b}/\mathbf{r}$  値から SPM の量を推定すること、を我々は目指している。