

降雪は雲内で発生した氷の結晶が種々の形に成長し、更に幾つも併合して落下してきたものであり、この雪が地面に積もると積雪となる。降雪に関する現象を地上から上空に向かっての高さで分類すると、

(1) 地上の積雪、(2) 地上付近の落下中の降雪粒子、(3) 降雪をもたらす上空の雲に大別できる。

(1)の地上での降雪は、以前から積雪量として記録されている。また、落下した雪結晶を顕微鏡等を使って微視的に観測する手法もかなり古くから行われ、我が国では江戸時代(1833年)に古河城主土井利位が「雪華図説」として、雪結晶の図柄を収めている。その約100年後の昭和11年3月に、中谷宇吉郎博士は人工雪の作成に成功した。

(2)の地上付近での落下中の降雪粒子は、人間が直接見ることができるが、降雪粒子は様々で、しかも時々刻々複雑に変化しているので、これらを定量的に観測する手法はまだ十分には開発されていなかった。

(3)の降雪をもたらす上空の雲の観測は、近年著しく発展し、気象レーダ、航空機、気象衛星等のリモートセンシング技術が利用されるようになり、降雪の発生機構や降雪の短期予測に成果を挙げてきている。しかし、レーダ反射因子は、降雪強度だけでなく、降雪粒子の種々の物理的特徴量の影響を受けやすく、レーダ観測と地上観測との同期実験が不可欠である。

3-1では、落下中の降雪雪片を撮影し、画像処理を用いて、雪片の形状並びに落下運動パターンを解析する方法を紹介する。また、3-2では、降雪によるレーダ反射因子を測定し、画像処理による降雪雪片の形状等の観測値との比較の概要を紹介する。

(村本健一郎)

### 3-1

## 画像処理で降雪を観る

村本健一郎 椎名 徹

### 1. はじめに

雲の中で成長した雪結晶は自分の重みで落下し、雲粒の中を落下していく途中で雲粒が雪結晶に付着して成長するが、落下速度は遅いので、すぐに空間数密度が高まり互いに接触する割合が高くなり、しかも枝が機械的からみやすい構造のため、幾つもの結晶の合体した雪片

となる(冒頭写真<sup>(1)</sup>)。この雪片は、更に落下中にお互いに衝突併合し、大きなボタン雪となることがある。この衝突併合には、雪片の輪郭線の複雑さや落下運動の不規則さが関与していることが報告されている。本節では、画像処理法を用いた落下中の降雪雪片の形状並びに落下運動パターンの解析方法とその結果を紹介する。

### 2. 降雪雪片の形状と落下運動の観測システム

図1は降雪雪片の形状と運動の撮影システムの構成である<sup>(2)-(4)</sup>。風の影響を少なくするために、防風タワー(5×5×13m)を設置し、その内部にランプの平行光線で限定された照射空間を形成する。タワー内を落下中の雪片が照射空間を通過するときの映像を横方向及び下部か

村本健一郎 正員 金沢大学工学部情報システム工学科

E-mail muramoto@t.kanazawa-u.ac.jp

椎名 徹 正員 富山工業高等専門学校電気工学科

E-mail cina@toyama-nct.ac.jp

Measurement of Snowfall by Image Processing. By Ken-ichiro MURAMOTO, Member (Faculty of Engineering, Kanazawa University, Kanazawa-shi, 920-8667 Japan), and Toru SHIINA, Member (Toyama National College of Technology, Toyama-shi, 939-8630 Japan).  
電子情報通信学会誌 Vol.84 No.10 pp.706-708 2001年10月

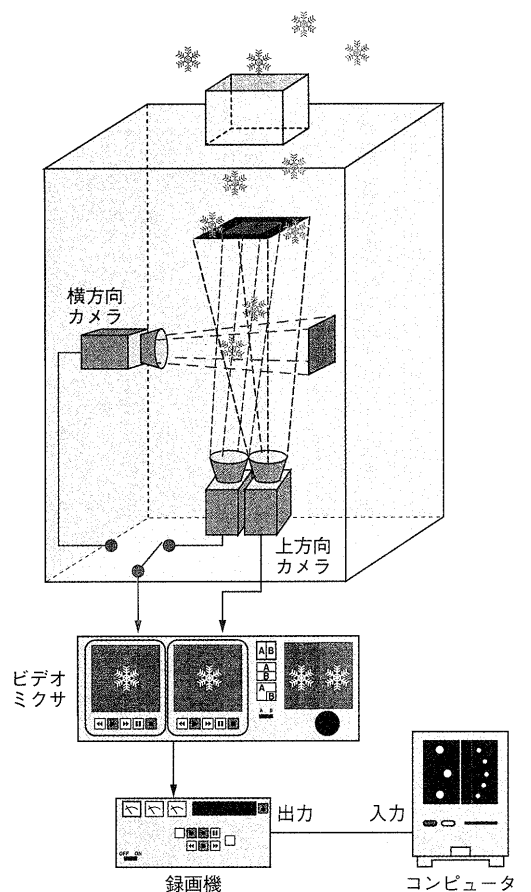


図1 雪片の形状と落下運動観測システム 上方向と横方向、及び上方向の狭視野と広視野の切換が可能となっている。

ら上方向に設置した2台のCCDカメラで撮影する。両方向からの撮影を同期させるために、ビデオミキサで1画面の右半分と左半分に同一雪片の両方向からの映像を合成し、ビデオレコーダで録画する。再生映像から、両方向の雪片が同時に撮影されている映像を検索して、画像処理装置に入力し、形状と落下速度を解析する。

図2は、下方向から撮影した雪片映像の連続複数フレームである。広視野映像からは広い観測空間の落下運動軌跡、狭視野映像からは詳細な形状を解析できる。

### 3. 形状と落下運動の解析

#### 3.1 モーメント特徴<sup>(2)</sup>

座標 $(i, j)$ における画像 $f(i, j)$ の $(p + q)$ 次のモーメント $m_{pq}$ は、次式で定義される。

$$m_{pq} = \sum_i \sum_j i^p j^q f(i, j) \quad (1)$$

(1) 面積

式(1)で、 $f(i, j)$ の領域内を1、背景を0とすると、0次のモーメント $m_{00}$ は、面積を表す。

(2) 正規化モーメント特徴量

重心の周りのモーメント $M_{pq}$ は、特に、重心モーメントと呼ばれ、その正規化量 $M_n$ を

$$M_n = \frac{2\pi}{m_{00}^2} (M_{02} + M_{20}) \quad (2)$$

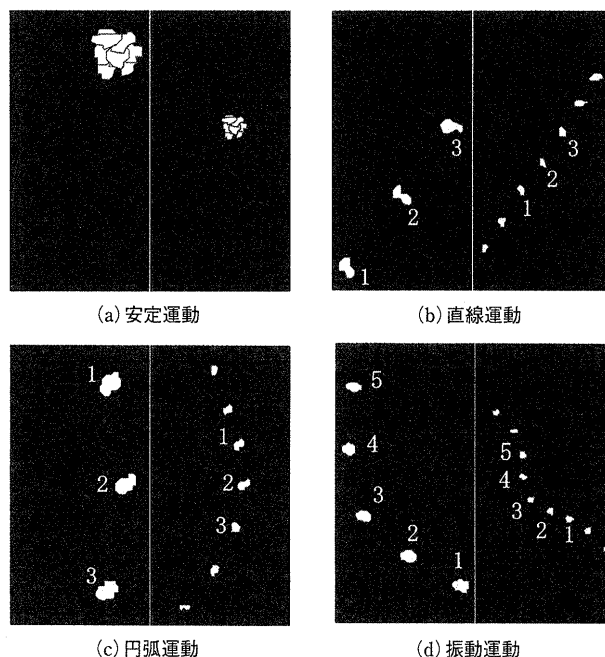


図2 輪郭線データによる雪片像の水平面上の運動表示例 右側：広視野映像、左側：狭視野映像。

で表す。正規化された二次重心モーメント $M_n$ は、領域の大きさ、並進及び回転に関して不変特徴量を持つ。 $M_n$ は、画像 $f(i, j)$ の形状が円のときに最小値1.0となり、円より変形するに従って大きい値になる。ここでは、 $M_n$ の逆数をモーメント特徴量とする。

#### 3.2 輪郭線特徴<sup>(2)</sup>

雪片の二次元輪郭線データを使って、形状の複雑さを円形度及びフラクタル次元により求めることができる。

(1) 円形度

円形度 $\phi$ は、輪郭線長を $L$ 、断面積を $A$ とすると

$$\phi = 4\pi A / L^2 \quad (3)$$

で表される値である。円のときは1.0となり、複雑な形状になるほど小さい値をとる。

(2) フラクタル次元

フラクタル次元は輪郭線の複雑さを表すために用いることができる。測定に使う物差し長さ $\epsilon$ を変えたときの輪郭線長 $L(\epsilon)$ を求め、 $L(\epsilon)$ と $\epsilon$ を対数グラフにプロットしたとき、データが直線上に並べばフラクタルとなり、その傾きからフラクタル次元 $D$ が定義される。

$$L(\epsilon) = k\epsilon^{1-D} \quad (4)$$

ただし、 $k$ は定数である。図3(a)は実際の雪片例について $\epsilon$ の長さを次第に短くしていったときの $L(\epsilon)$ の変化の様子を示す。図3(b)は、 $\epsilon$ と $L(\epsilon)$ が直線上に並ぶ範囲が存在するので、フラクタルであることを示している。

3.3 回転<sup>(3)</sup>

図2(b), (c)に示したように、雪片自身が回転運動をしながら落下する場合が見られた。このような雪片の自转角を解析するために、まず、雪片をその重心(G)から輪

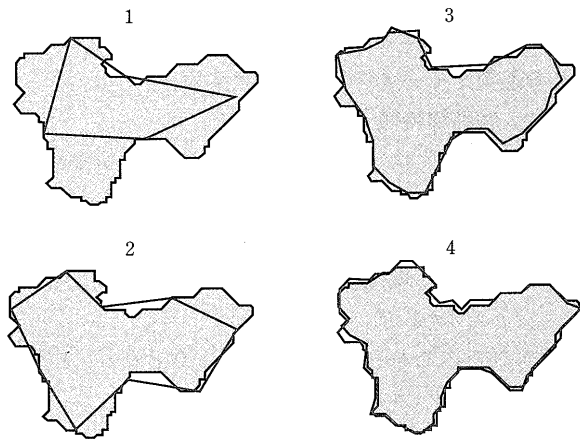
郭線までの距離( $r$ )と角度( $\delta$ )で極座標表示し(図4(a)), それを一次元波形と見なしてグラフを描く(図4(b)). 次に複数フレームの雪片像についての図4(c)のグラフの相関解析を行うことにより, 落下中の雪片の1/30秒ごとの回転角度を求めることができる. 図4(c)は, 図2(b)の雪片映像1, 2, 3についての解析例である.

4. 解析結果

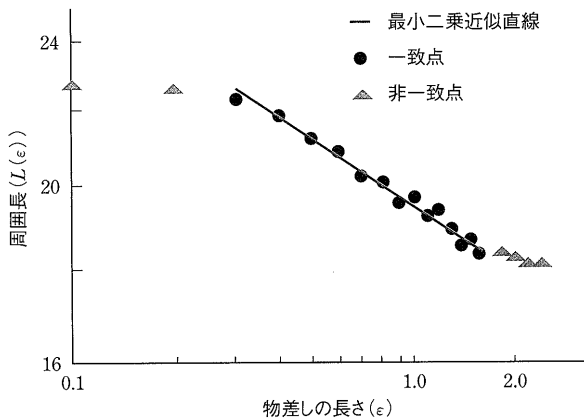
図5に示すように, モーメント特徴量及び円形度は面積が大きくなるほど小さな値をとる<sup>(2)</sup>. これより, 雪結晶の併合数が多くなるほど, 横方向に細長い形状になることが示された. 一方, フラクタル次元の値は面積に関係なくほぼ一定値となる<sup>(2)</sup>. すなわち, 雪片には固有のフラクタル次元が存在することを示している. また, 3.3の方法で解析した雪片の落下中の回転角速度と面積との関係を調べると, 小さい雪片ほど回転角速度は速くなる傾向がある<sup>(3)</sup>. これは, 小さい雪片ほど輪郭形状が円形に近づき, 回転しやすくなるためと考えられる.

5. おわりに

落下中の雪片同士の併合には, 雪片の形状並びに落下

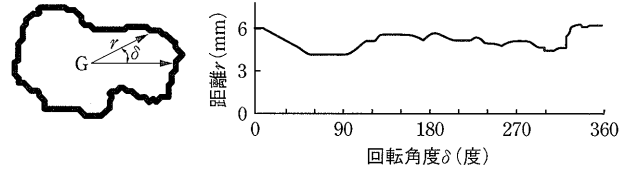


(a) 雪片の周囲長の測定



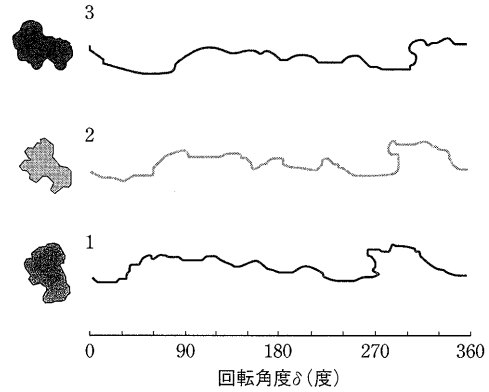
(b) 最小二乗法による直線の傾き

図3 雪片のフラクタル次元の計算例



(a) 雪片像

(b) (a)の極座標表示



(c) 自転運動の例

図4 回転角速度の計算法

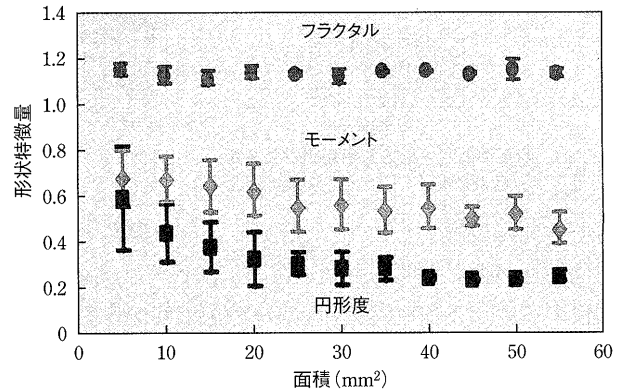


図5 面積と形状特徴量との関係

運動が関与していることが報告されている. ここでは, 落下中の雪片映像を画像処理して, 形状並びに落下運動の解析例を紹介した. 更に, 粒子の形状と落下速度を詳細に解析することにより, 粒子を雪片とあらわれに自動分類することが可能となっている<sup>(4),(5)</sup>.

文 献

- (1) 石坂雅昭, 村本健一郎, “コンピュータ合成による雪片の立体表示,” 雪氷, vol.55, no.2, p.i, June 1993.
- (2) 村本健一郎, 松浦弘毅, 椎名 徹, “領域および輪郭線による降雪雪片の形状特徴解析,” 信学論 (D-II), vol.J76-D-II, no.5, pp.949-958, May 1993.
- (3) 村本健一郎, 高木繁則, 椎名 徹, 松浦弘毅, “降雪雪片の落下運動パターン解析,” 信学論 (D-II), vol.J77-D-II, no.9, pp.1778-1787, Sept. 1994.
- (4) 村本健一郎, 高木繁則, 椎名 徹, 松浦弘毅, “2台のカメラを使った降雪粒子の形状と落下速度の同時測定,” 信学論 (D-II), vol.J78-D-II, no.8, pp.1249-1253, Aug. 1995.
- (5) 椎名 徹, 村本健一郎, “降雪粒子映像の画像解析と粒子分類への応用,” 信学論 (D-II), vol.J82-D-II, no.2, pp.240-249, Feb. 1999.