

独立行政法人 防災科学技術研究所 ○納口恭明

地球フロンティア 小澤 久

1. はじめに

災害をもたらす自然界の様々ななだれ現象を、筆者らは粉粒体が斜面上を重力の作用で流れ下る現象としてモデル化し、ミニチュアサイズのモデル実験で再現する方法を調べてきた。この中で、十分に発達したなだれの先端部には粒子が集中して頭のように盛り上がり、後端部では粒子が細長く散乱し尻尾のような形態をとることが、異なるスケールのなだれ現象を互いに結び付ける相似に関する一つの尺度であることを見出した。

このようななだれの頭部-尾部構造はなだれの運動が抵抗力と駆動力のバランスした定常状態における形態である。それは定常状態における速度がなだれ集団の大きさに依存し、大きな集団ほど大きな定常速度をもつというルールからの帰結である。

ところで、定常性のスケールとしての無次元数 V_e^2/Lg は頭部-尾部構造の出現のスケールではあるが、この値のみでその形すべてを記述できるものではない。本論文では、粒子なだれの運動形態に関係するいくつかの無次元数の意味について述べる。

2. 粒子なだれの代表空間スケール

粒子なだれには、大きくいって粒径 d 、粒子集団の代表サイズ D 、地形の代表サイズ L という3種類の独立な幾何学的空間スケールが存在する。これらの比が等しい二つの系は幾何学的に相似である。

一方、運動に関しては、環境流体との相互作用で決まる終速度を代表パラメータとして、1個の粒子の終速度 v_e となだれ集団の終速度 V_e から求められる動的な代表空間スケール

$$l_c = v_e^2/g \quad (1)$$

$$L_c = V_e^2/g \quad (2)$$

が存在し、これらと3個の幾何学的代表空間スケールの5個の比が等しい二つの系は互いに、運動学的にも幾何学的にも相似になる。ここで l_c は静止した状態からスタートした単一粒子が加速状態にブレーキがかかり、終速度へと移り変わりはじめる代表距離である。その意味で単一粒子の制動距離と呼ぶことにする。同様に L_c は粒子集団の制動距離と呼ぶことにする。

これらの5個の代表空間スケールの中の任意の2個の組み合わせの比でできる無次元数は10個あり、このうちの独立な4個が等しければ、いくつかの性質について相似となる。

3. 先端の形態に関する無次元数

地形の代表スケールとして L を斜面長と考えよう。ここで、

$$l_c/L \gg 1 \quad (3)$$

の場合を考える。この条件は斜面長に比べて単一粒子の制動距離が十分に長い場合である。この斜面上では、制動が不十分であるために、先にスタートした先端の単一粒子に後続の本体が追いつけず頭部の形成が始まっていない状態といえる。

これに対して、

$$l_c/L \ll 1 \quad (4)$$

の条件下では、頭部の形成が始まっていて、少なくとも先端に単一粒子以上の集団が存在することを意味する。すなわち、この無次元数はなだれ集団の先端に頭部が形成されはじめたかどうかを判断するものといえる。

4. 最大の頭部形成を特徴づける無次元数

L_c/L について考える。これは

$$L_c/L = V_e^2/Lg \quad (5)$$

である。

$$L_c/L \ll 1 \quad (6)$$

のとき集団の制動距離よりも斜面長が十分大きいので、集団はすでに終速度に到達し、したがって頭部は最大となる。 $v_e < V_e$ から常に $L_c > l_c$ が成り立つので、(6)式が成り立つ条件下では、当然(4)式も成り立つことになる。

5. 雪崩の長さの相似に関する無次元数

L_c/l_c について考える。この無次元数は V_e, v_e を使って次のように表される。

$$L_c/l_c = (V_e/v_e)^2 \quad (7)$$

(6)式の条件下では(4)式は自動的に成り立ち、先端速度は集団の終速度 V_e 、末端では単一の粒子の終速度 v_e となる。したがって、スタート地点から先端までの距離に対するなだれ集団の先端から末端までの長さの比は

$$(V_e - v_e)/V_e = 1 - v_e/V_e = 1 - (L_c/l_c)^{-1/2} \quad (8)$$

となり、無次元数 L_c/l_c が大きいほど細長く尾を引いたなだれとなるのに対して、小さい場合は、短くひとかたまりの集団となる。

なお、発表ではこれらを実験結果と対応づけて示す。