

雪崩の連続体モデルの開発

○ 西村浩一・納口恭明（防災科研・雪氷）、常松佳恵（CRCソリューションズ）

Development of continuum snow avalanche model

Kouichi Nishimura, Yasuaki Nohguchi, and Kae Tsunematsu

これまでに日本で開発された「流れ型雪崩」の運動モデルは、その多くが雪崩全体を平均化し、質点または剛体と見なして記述するものであった。最大到達距離や速度が再現されるよう抵抗係数等のチューニングが進められてきたが、雪崩の高さ、3次元の地形上での広がり等の情報が得られないなど、防災上不十分な点が多かった。本研究では、Savage and Hutter (1989)の粒状体モデルに基づき、雪崩を連続体として捉えた運動モデルの開発に着手したので、進捗状況を報告する。

質量保存と運動量保存はそれぞれ以下の式で与えられる。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(hu) + \frac{\partial}{\partial y}(hv) = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(hv) + \frac{\partial}{\partial x}(hv \cdot u) + \frac{\partial}{\partial y}(hv \cdot v) = -\frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial y}(gh^2 \cos \theta) + gh \sin \theta_y + F_y$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(hu) + \frac{\partial}{\partial x}(hu \cdot u) + \frac{\partial}{\partial y}(hu \cdot v) = -\frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial x}(gh^2 \cos \theta) + gh \sin \theta_x + F_x$$

ここで、 x, y は斜面に平行な座標系で、 θ は斜面の傾斜角、 h は雪崩の厚さ、 u と v は x と y 方向の雪崩の速度である。 F は摩擦力で、クーロン摩擦のほか、フルード数と厚さの関数として与えることもできる (Pouliquen, 1999)。今回は上記のモデルを1次元化し、低温室で実施した実験結果との比較を行った。なお計算にあたっては数値振動を抑えるため、物理量（厚さ）の局所的な変化の状況に従って差分を切り替える TVD スキームが用いられた。図1には、直径36cmの半球にざらめ雪を充填し、45度の斜面を流下させた際の状況を、また図2と3には摩擦角を30度として与えた時の流れの速度と厚さの計算結果を示した。

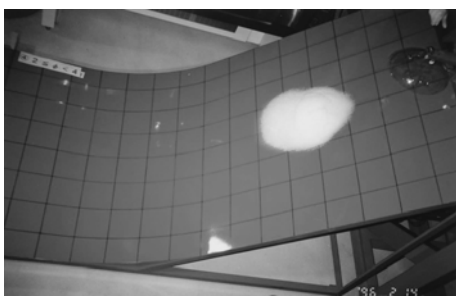


図1. 低温室での実験（格子間隔は20cm）

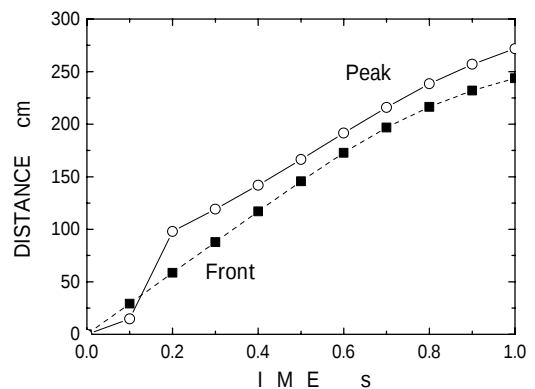


図2. 速度の計算結果

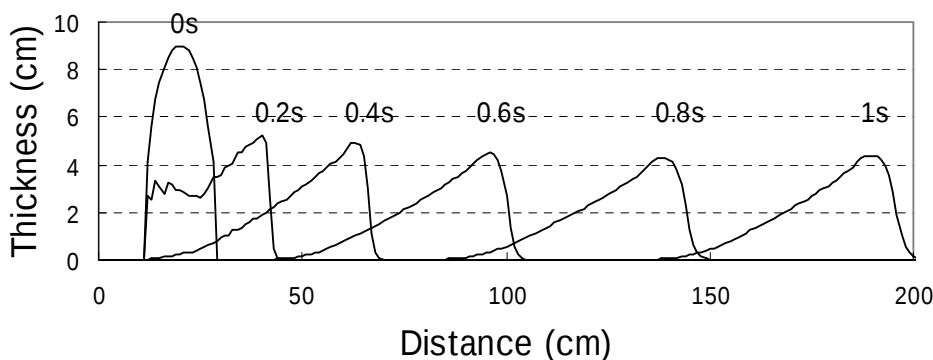


図3. 流れの厚さの変化
(計算結果)