

気候変動の退氷に関する扇状地土砂移動と災害(ニュージーランド、南島)

○神戸大学 ゴメス クリストファー

1. はじめに

アルプスの氷河は、気候変動の重要なマーカーであるため、科学的な関心を引き付けています(図 1)。しかしながら、それらは山岳谷間や隣接平野における堆積物の供給にとっても非常に重要です。ニュージーランドの西海岸では、フランツヨーゼフ峡谷の氷河融解により、20 世紀に数十メートル上昇し、下流の集落を脅かしています (Davies et al., 2013)。これは特にニュージーランドでは重要であり、氷河が低高度に到達するため、支流に囚われた堆積物の詰まりを作り出します。これらの低高度支流には氷河がないため、大量の堆積物が氷河の側面に蓄積されています。氷河融解の後、氷河によって捕捉された堆積物は、主要な谷で突然放出され、大規模な河川扇や土石流の堆積物を作り出します (Gomez et al., 2018; Purdie et al., 2021)、その後、下流部の堆積物災害や災害に寄与します。この研究は、そのために、扇形地の傾斜の空間分布と変化を氷河からの距離に基づいて測定・計算し、扇形地での堆積物の拡散速度を計算することを目的としています。



図1 フォクス氷河 1920 年から 2022 年までに。温暖化の影響で、氷河の長さが短くなる。

2. 方法

現地でのデータ収集は、GNSS-RTK をドローンフォトグラメトリ (SfM-MVS) とトータルステーション、フォックスバレーの短い区間のレーザースキャンを組み合わせで行われました。下流地域で利用可能な場合には、LiDAR データも使用されました。

データ処理：扇形地の平均傾斜角の変化は、氷河からの距離と主要断層との関係に基づいて計算されました (この段階では、これら 2 つの影響がどのように相互作用するかを判断するのは困難です)。扇形地は拡散方程式の解析解に適合させられました。

$$h(r, t) = h_0 e^{-\frac{\alpha r}{\beta k t}}$$

、 r は扇形地の先端からの距離、 t は扇形地が活動していた時間 (現地調査と航空写真から決定) を表します。

以下の deAlmeida 式(de Almeida et al., 2012, 2013)を離散化することで、氷河の存在有無による堆積物の輸送速度の変化をグリッド上で計算しました。

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A_{xs}} \right) + g A_{xs} \frac{\partial (h+z)}{\partial x} + \frac{gn^2 |Q| Q}{A^{4/3} A_{xs}} = 0$$

Q は水の流量 (L³ T⁻¹)、t は時間 (T)、x は空間の位置 (L)、A_{xs} は河道の断面積 (L²)、g は重力加速度 (L T⁻²)、h は水深 (L)、z は河床高度 (L)、n はマンニングの摩擦係数 (L^{-1/3} T)、R は水理半径 (L) を表します。

3. 結果と考察

扇形地の平均傾斜は、氷河からの距離とともに減少し、急傾斜の扇形地は氷河の近くに存在します。浅い傾斜の全扇形地は、氷河から遠くに位置しています。距離 (k) とともに平均勾配 (s) がこの用にかわる： $s = -6.0655k^{-0.466}$ です。これは、急傾斜を維持する高い堆積物輸送量を伴う激しい活動期間の後、水と堆積物の比率がより伝統的な扇形地に戻ることを意味します。氷河の後退後には、泥石流や大量の堆積物が非常に急速に発生する危険性があります。これは現地観察でも確認されており、1.8 km 以上の大きなファンが 2 年未満で形成されています。拡散微分方程式の解析解 (参照：方法) を使用することで、堆積扇の傾斜を特徴付ける拡散速度の変化を計算することができます (図 3)。

その後、デーアルメイダによって書き直されたエクスナー (Exner) 方程式を使用し、流体力学の 2D St-Venant 方程式と、砂利表面に対する Manning 粗度係数 $n=0.03$ を組み合わせて、堆積扇形態の変化が堆積物輸送と洪水に与える影響をさらに調査しました。

参考文献

Davies, T., Campbell, B., Hall, B., Gomez, C. 2013. Recent behavior and sustainable future management of the Waiho River, Westland, New Zealand. *Journal of Hydrology (New Zealand)* 52.

de Almeida, G.A.M., Bates, P.D. 2013. Applicability of the local inertial approximation of the shallow water equations to flood modeling. *Water Resources* 49.

de Almeida, G.A.M., Bates, P.D., Freer, J.E., Souvignet, M. 2012. Improving the stability of a simple formulation of the shallow water equations for 2D flood Modelling. *Water Resources* 48.

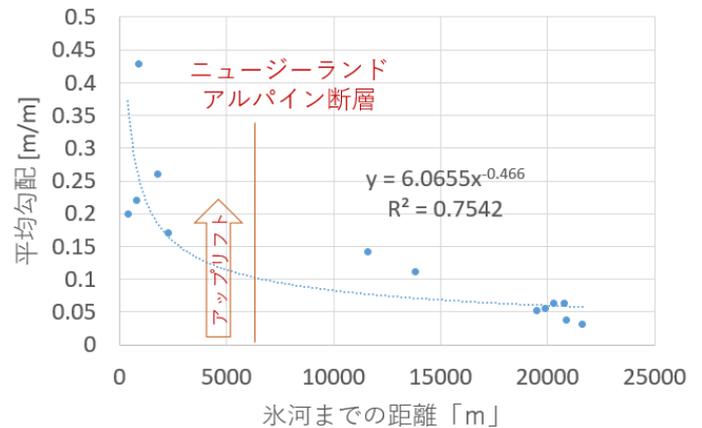


図 2 氷河から下流方面の距離とともに扇状地勾配が緩くなる。

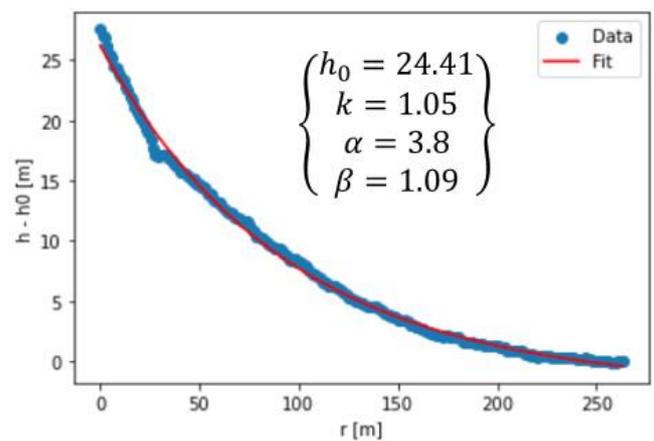


図 3 拡散方程式により扇状地の勾配パラメータを示す。

Gomez, C., Purdie, H. 2018. Point cloud technology and 2D computational flow dynamic modeling for rapid hazards and disaster risk appraisal on Yellow Creek fan, Southern Alps of New Zealand. *Progress in Earth and Planetary Science* 5.

Purdie, H., Bealing, P., Gomez, C., Anderson, B., Marsh, O.J. 2013. Morphological changes to the terminus of a maritime glacier during advance and retreat phases: Fox Glacier/Te Moeka o Tuawe, New Zealand. *Geografiska Annaler Series A*, 103 – issue 2.