

パタゴニア氷原ペリート・モレノ氷河の変動に関する数値実験研究

C212082 三浦 綾菜 指導教員 内藤 望 教授

キーワード：数値実験研究，山岳氷河変動モデル，ペリート・モレノ氷河，氷河底流動

1. 研究背景と目的

近年，地球温暖化に伴う海面水位上昇が懸念されている．IPCC の報告[1]によると，過去 20 年にわたり山岳氷河は世界規模で縮小し続けており，海面水位上昇に対しては海水の熱膨張に続き 2 番目に大きな影響を与えている．しかし山岳氷河の中で大きな割合を占めるカービング氷河に関する研究は著しく遅れており，山岳氷河変動モデルによる数値実験研究もカービング氷河ではほとんど行われていないのが現状である．カービング氷河とは，氷河や氷床，棚氷の末端から氷塊が海洋や湖に崩落するカービング現象が起こる氷河のことである．本研究では，気候変化に伴うカービング氷河の変動を数値モデルを用いて予測することを究極的には志す中で，まず山岳氷河の変動モデルを構築し，観測データが比較的揃っているカービング氷河である，パタゴニア氷原ペリート・モレノ氷河を対象とした基礎的な数値実験を実施する．

2. 研究方法

山岳氷河変動モデルは氷河縮小・拡大(氷河体積の変化)を計算するものである．谷氷河を流動横断方向に 50 m 間隔で輪切りにした箱状の部分一つ当たりの，氷河表面の質量収支と氷河の流量を計算し，連続の式から氷河表面高度を求めた．本研究での対象氷河を図 1 に示す．上流の涵養域についてはデータが不足しているため，末端距離 8.6 km を本研究の対象範囲の上流端とした．

質量収支(融解量)は Degree-Day 法により計算した．Degree-Day 法とは，日平均気温 0°C 以下では融けず， 0°C 以上で融解量が気温に比例するとみなす手法である．この比例係数は氷河ごとに異なるが，ペリート・モレノ氷河における既往研究[2]より $7.1 \text{ mm } ^{\circ}\text{C}^{-1} \text{ day}^{-1}$ とした．使用する気温データは，ペリート・モレノ氷河末端付近の AWS で 1999～2014 年に記録されたものを使用した．また，氷河上の気温高度減率は氷河風の影響が大きく，全球平均値 $6.5^{\circ}\text{C km}^{-1}$ ではなく，既往研究[3]より $8.0^{\circ}\text{C km}^{-1}$ とした．

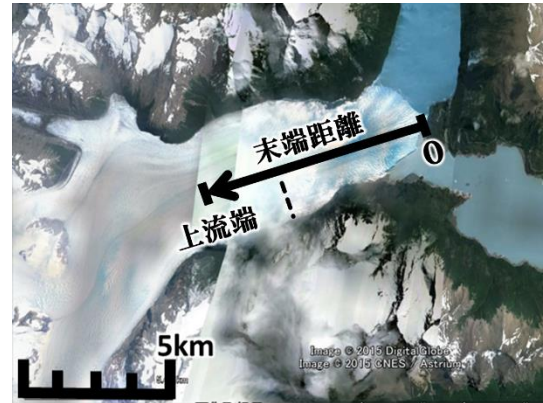


図 1. ペリート・モレノ氷河.

末端を水平座標の原点とし上流方向に末端距離をとる．破線は消耗域中流部の表面測量域．(背景は©Google Earth より)

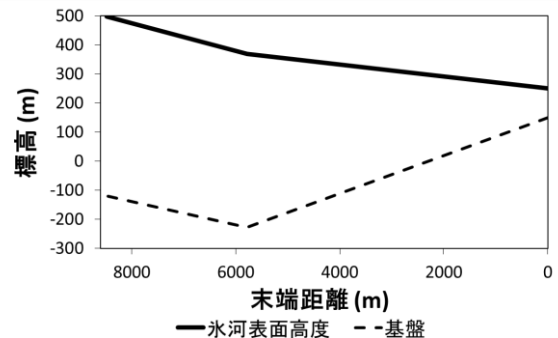


図 2. ペリート・モレノ氷河縦断面図.

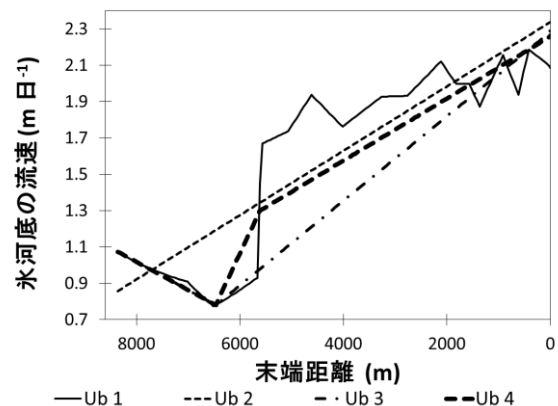


図 3. 氷河底の流速の分布.

U_b1 : 表面流速[3]と塑性変形効果との差.

U_b2 : U_b1 を直線回帰して求めた仮定.

$U_b3, 4$: U_b1 の流速の急変を考慮した仮定.

対象とする氷河範囲は消耗域であるため涵養量はゼロと仮定した。

流量計算では、氷体の塑性変形効果と氷河底の流速(以下 U_b と記す)を考慮して流量を求めた。既往研究[3]による氷河表面高度、氷厚データから氷河縦断面を描いたのが図 2 である。そして氷厚、表面傾斜から塑性変形効果を求めた後、表面流速との残差から氷河底の流速を見積もった結果が図 3 中の U_{b1} である。ただし末端距離 6 km 付近での局所的な流速の急変は不自然であるため、単純化した $U_{b2} \sim 4$ も仮定し、氷河底の流速が体積変化にどう寄与するか検討した。

3. 結果と考察

3. 1 表面高度の水平分布

本モデルを用いて、1999 年を初期値とし 13 年後の 2012 年の表面高度を計算した。図 4 は 1 年当たりの表面高度変化率の水平分布を示す。末端距離 6 km 付近では表面低下を示し下流の同 4 km 付近では大きな表面上昇を示している。下流方向へ流量が増大する伸張流では氷厚を薄くし、逆に減少する圧縮流では厚くする効果が作用するためである。そして U_b の仮定の違いにより結果に差異が生じている。

3. 2 消耗域中流部における表面高度経年変化

図 1 の消耗域中流部で行われた表面測量の実測値[4]と、測量場所におけるモデル計算結果を比較した結果が図 5 である。 U_{b3} の場合に実測の表面低下量に近い値が得られた。実測値に見られる 1999 ~ 2003 年の表面上昇を再現していないが、これは今回の数値実験では涵養域からの流量と氷河底の流速の時間変化を無視して一定とし、気候変動について考慮していないためである。

4. まとめ

氷河底の流速については未解明な部分が多いが、そのわずかな仮定の違いが氷河変動の計算結果に大きく影響するため、慎重な取り扱いが求められる。今後は、気候変化を反映するとともに、末端のカービングによる影響も取り込めるようなモデルへの改良が望ましい。

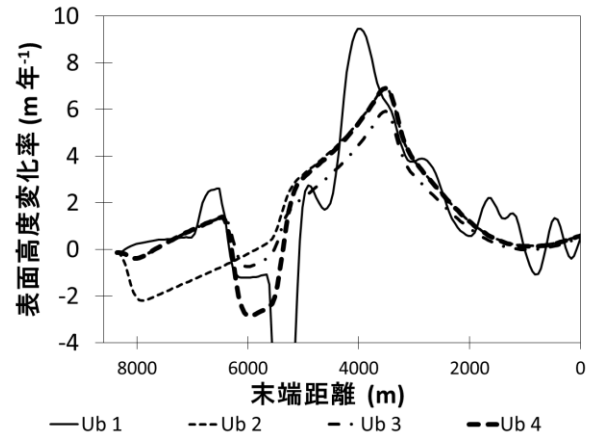


図 4. 2012 年の氷河表面高度変化率の水平分布.

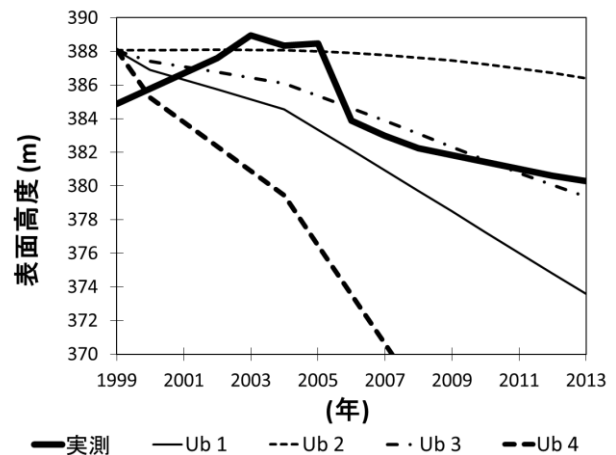


図 5. 消耗域中流部における氷河表面高度の経年変化. 実測[4]と U_b の各種仮定によるモデル計算結果を比較している.

引用文献

- [1] IPCC: Climate Change 2013. WG1, AR5, Cambridge Univ. Press, 1535pp. (2013)
- [2] Takeuchi, Y. *et al.*: Annual air-temperature measurement and ablation estimate at Moreno Glacier, Patagonia. *Bull. Glacier Res.*, **14**, 23-28. (1996)
- [3] Stuefer, M. *et al.*: Glaciar Perito Moreno, Patagonia: climate sensitivities and glacier characteristics preceding the 2003/04 & 2005/06 damming events. *J. Glaciol.*, **53**, 3-16. (2007)
- [4] Naito, N. *et al.*: Glaciological monitoring regarding dynamic behavior of Glaciar Perito Moreno, Southern Patagonia Icefield in 2003-2010. *Glaciological and Geomorphological Researches in Patagonia: 2003-2009*, 170-174. (2012)