

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 4 月 1 日現在

機関番号：10101
 研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2010～2012
 課題番号：22500981
 研究課題名（和文）氷河地形と氷河流動モデルのカップリングによる日本の後期更新世氷河作用復元
 研究課題名（英文）ELA reconstruction of the late Pleistocene glaciation in Japan by the coupling of geomorphological interpretation and glacier dynamics
 研究代表者
 澤柿 教伸 (SAWAGAKI TAKANOBU)
 北海道大学・大学院地球環境科学研究所・助教
 研究者番号：70312410

研究成果の概要（和文）：日高山脈の氷河の底面状態および気候応答性を検討するため、3次元で復元した氷河の形態と氷河流動モデルとのカップリング手法を開発し、個別の氷河について ELA や AAR を算出するとともに、氷期の氷河の底面状態を反映するパラメータを特定した。さらに、このカップリングモデルを用いて paleo-ELA を復元する際に重要視すべき、氷河の流動特性、側岸の影響や流動形態、氷河表面形状の再現度合い、について検討した結果、氷河表面形状と基盤地形の再現度合いが重要なパラメータとなることが示された。

研究成果の概要（英文）：We tried to develop a new method to reconstruct the equilibrium line altitude (ELA) of past glaciers (paleo-ELA) without the concept of accumulation are ratio (AAR). The new method, called glacier snapshot model (GS model), involves a combination of geomorphological interpretation and a glacier flow model that is based on the concept of the relationship between surface mass balance and flux divergence at each grid. The results obtained for the current glaciers indicate that the GS model can reconstruct the ELA well and that thus the reconstructed ELA does not depend on the selection of flow parameter values. The results obtained for past glaciers showed that calculated paleo-ELA depend on the surface topography of the past glacier; that is, the position of the reconstructed paleo-ELA varied with the method of reconstructing surface topography. Moreover, some of the calculation results for glaciers with large variations in ice thickness showed multiple paleo-ELA. These results indicate that method to reconstruct the surface topography of the past glacier is the key to paleo-ELA reconstruction.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
2012年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：地理学・地理学

キーワード：氷河地形，日高山脈，最終氷期，平衡線高度，氷河流動

1. 研究開始当初の背景

近年、日本の氷河作用を新しい知見を取り込んで、氷河地形に類似する他の成因による地形を再分類し、復元された氷河の雪氷物理学的な妥当性を再吟味しようとする気運も高まってきている。さらに、日本の氷河作用研究は、国内の氷河地形研究という枠内にとどまらず、全地球的な環境変動復元やグローバルな気候変動の復元と予測のための基礎資料としても成果の提示が求められるようになっており、国際第四紀学会(INQUA)の氷河作用委員会のワーキンググループ“Extent and Chronology of Glaciations”(代表 Ehlers, J.)では、世界の最終氷期氷河作用をまとめたアトラス (Developments in Quaternary Science, Vol. 2c, 2004)が刊行され、申請者は日本の最終氷期最拡大期における氷河地形分布図を Geographical Information System (GIS)で作成して貢献した(Sawagaki et al, 2004)。2010年には、アトラスの改訂第二版が出版された。

一方、ヨーロッパアルプスやヒマラヤ山脈における現成氷河の研究では、衛星データの解析によって、個々の事例だけでなく、実在する様々なタイプの山岳氷河の挙動や気候応答性が広域的に議論されつつある。特に、「陸域観測衛星ALOS」の高解像度画像と従来の航空写真判読とを組み合わせることで、これまでにない新たな氷河地形解析の可能性がでてきた。また、近年の温暖化で急激に衰退して消滅の危機にさらされている氷河も多く報告されるようになってきており、それらの衰退過程を追跡し、要因を究明し、将来予測にもつなげることは、地球環境問題としても重要な課題になってきている。

当該研究の中でも特に、氷河の平衡線高度(ELA)は、地域的な気候条件を示す重要な指標であり、特に古環境の復元においては、paleo-ELAの正確な推定が大きな課題とされてきた。その際、氷河の涵養域比(AAR)がよく用いられてきたが、AARには氷河の個体差や降水条件に左右される問題点が指摘されており、そもそも、AARの算出の根拠となる氷河の復元が、動力学的あるいは質量収支的に妥当かどうかという視点で検証された例はほとんどない。

2. 研究の目的

本研究では、氷河地形と氷河流動モデルとをカップリングさせることにより、より客観的でリアリスティックな氷河像を復元することを目的とする。特に、(1)日本の氷期の氷河における適正なAAR(涵養域と消耗域の面積比)、(2)日本の氷期の氷河の温度特性、(3)日本の氷期の氷河の気候変動への応答性、の3点を明らかにすることをめざす。

具体的には、AAR法に頼らないELAの決定方法として、氷厚分布を加味して3次元で氷河の形状を数値化し、氷河の複数のグリッドに分け、グリッド内に入ってくる氷の量と出ていく氷の量の差($\partial F/\partial x$)を計算し、連続の式において形状変化がないと仮定することで、 $\partial F/\partial x$ の符号が変化する高度をELAとして算出する手法を開発する。さらに、開発したモデルを用いて、流動特性や氷河表面形状に関するパラメータの選択がELAの算出に与える影響についても検討し、実際にGSモデルを過去の氷河に適用すること目的とする。

3. 研究の方法

本研究は、数値情報として氷河地形分布図の作成を手始めに、GISで作成したデータと氷河流動モデル・質量収支モデルとのカップリング手法の検討を行ったのち、実際にカップリングモデルを適用した数値実験を行い、結果を個別の氷河について検討するとともに、地域的な集合体として氷河分布を統計的に解析し、得られた結果が示す気候学的な意味について考察する。

具体的には、AAR法に頼らないELAの決定方法として、氷厚分布を加味して3次元で復元された氷河において流動を計算し、その結果を基にELAを推定するというモデルの開発を試みる。氷河の流動特性や表面形状に関するパラメータを設定できるようにして、それらの寄与度を検討できるようにもすることをめざす。

氷厚分布が比較的良く明らかにされている現存氷河にこのモデルを適用して妥当性を検証し、その上で、日高山脈北部地域に後期更新世に発達した氷河の復元例に適用してpaleo-ELAの検出を試みる。

4. 研究成果

日高山脈の氷河の底面状態および気候応答性を検討するため、日高山脈に限定して3次元で復元した氷河の形態と氷河流動モデルとのカップリング手法の改良作業を実施した。氷河についてELAやAARを算出する際に重要な、氷期の氷河の底面状態や断面形状を反映するパラメータを特定し、ひとつおりのカップリング手法を完成させた。

現成氷河に本モデルを適用した計算値は、観測値と同様のELAを示し、このモデルの妥当性が確認された。また、パラメータの設定を変化させた結果から、氷河の流動特性はELAの復元に直接的に寄与しないことが示された。基盤地形の起伏により流動方向に氷厚が大きく変化する氷河では、複数の高度にELAが検出され、氷河表面形状や基盤地形の再現度合いがELAの復元を左右する重要なパラメータとなることが示された。

さらに、このカップリングモデルを用いてpaleo-ELAを復元する際に重要視すべき、氷河の流動特性、側岸の影響や流動形態、氷河表面形状の再現度合い、について検討した結果、氷河表面形状と基盤地形の再現度合いがpaleo-ELAの復元において重要なパラメータとなることが示された。

また、モデル計算の結果に応じて試行錯誤で氷河の形状や他のパラメータを再調整することで、動力学的あるいは質量収支の観点から見て、過去の氷河をより正確に3次元で復元できる可能性を示した。

本研究の成果が今後の氷河復元研究に及ぼす展望として以下の二点が上げられる。

(1)過去の氷河の正確な3次元復元：カップリングモデルの計算結果に従って、氷河表面を調整していくことで、過去の氷河を3次元的に正確に復元できる。

(2)過去の氷河の流動特性の推定：古気候データに基づき、氷河発達時の質量収支を推測できれば、カップリングモデルから算出できる質量収支分布との比較から、当時の氷河の流動特性を特定できる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計5件)

- 1) 澤柿教伸, 松岡直子, 岩崎正吾, 平川一臣 (2012): 日高山脈北部七ッ沼カールの融氷河堆積物と恵庭 a 火山灰. 地学雑誌, 121, 2, 252-268. 査読有り.
- 2) Sawagaki, T., Lamsal, D., Watanabe, T. and Byers, A. (2012): Changes in Surface Morphology and Glacial Lake Development of Chamlang South Glacier in the Eastern Nepal Himalaya since 1964. Global Environmental Research, 16, 1, 83-94. 査読有.
- 3) 澤柿教伸・松岡直子・岩崎正吾・平川一臣 (2011) ポロシリ亜氷期とトッタベツ亜氷期の新事実. 北海道の雪氷, 30, 67-68. 査読無.
- 4) 澤柿教伸・Lamsal D. (2011) デジタル三次元空間における実体視地形解析へのステレオスコピック技術の応用. 地理学論集, 86, 1-9. 査読有.
- 5) 澤柿教伸・松岡直子・岩崎正吾・平川一臣 (2010) 日高山脈トッタベツ谷における融氷河成堆積物の堆積学的検討. 地理学論集, 85, 3-15. 査読有.

[学会発表] (計5件)

- 1) Sawagaki, T., Abe, Y. and Yamaguchi, S. (2013) Application of a glacier flow model in the reconstruction of past glacier ELA, Combination of geomorphological interpretation and glacier dynamics. International Symposium on Changing Mountain Environments in Asia. Hotel Himalaya, Kathmandu, Nepal. 2012. 10. 8
- 2) 澤柿教伸・松岡直子・平川一臣 (2012) 日高山脈のポロシリ亜氷期とトッタベツ亜氷期の認定に関する新知見. 雪氷学会北海道支部研究発表会. 北海道大学(札幌市). 2012年5月18日
- 3) 阿部洋祐・山口 悟・澤柿教伸 (2012) 地形学的解釈と氷河流動モデルの融合による氷河復元手法の検討. 日本地理学会春季学術大会. 首都大学東京(八王子市). 2012年3月29日
- 4) 澤柿教伸・岩崎正吾・松岡直子・平川一

臣 (2011) 日高山脈における最終氷期の氷河変動—ポロシリ亜氷期とトッタベツ亜氷期の認定に関する新知見—. 日本地理学会春季学術大会. 明治大学 (東京都). 2011年3月29日

- 5) 阿部洋祐・山口 悟・澤柿教伸 (2011) 氷期の日本の氷河への氷河流動モデルの応用—平衡線高度(ELA)と質量収支分布の復元—. 日本地理学会春季学術大会. 明治大学 (東京都). 2011年3月29日

6. 研究組織

(1) 研究代表者

澤柿 教伸 (SAWAGAKI TAKANOBU)
北海道大学・大学院地球環境科学研究院・助教
研究者番号：70312410

(2) 研究分担者

平川 一臣 (HIRAKAWA KAZUOMI)
北海道大学・名誉教授
研究者番号：40126652

渡邊 悌二 (WATANABE TEIJI)
北海道大学・大学院地球環境科学研究院・教授
研究者番号：40240501

(3) 連携研究者

青木 賢人 (AOKI TATSUTO)
金沢大学・人間社会学域地域創造学類・准教授
研究者番号：30345649

山口 悟 (YAMAGUCHI SATORU)
防災科学技術研究所・雪氷防災研究センター・主任研究員
研究者番号：70425510