

数値地理情報を利用した熱帯氷河減少による水資源影響評価

福島大学共生システム理工学類 学生会員 渡邊 恵

東北大学大学院工学研究科 正会員 朝岡良浩

福島大学大学院共生システム理工学研究科 正会員 川越清樹

1. はじめに

近年、気候システムの温暖化による地球環境変化が危惧されており、標高 4000m 超級の山岳地では、氷河の減衰が明らかにされている¹⁾。特に熱帯域に分布する“熱帯氷河”は気温上昇に対する影響が大きいとされている。全球における約 95%の熱帯氷河が分布するアンデス山系の国々では、氷河に水資源を依存していることから社会的な被害が懸念されている。さらにアンデス山系の国々は貧困層が多く分布し、経済力不足と人口増加の予測から深刻な展望が見込まれている。しかしながら、住民の危機感は薄く、いまだ氷河減少に対する定量的な影響評価がなされていない。以上を背景に本研究では、熱帯氷河の分布する経済力の低いエクアドル、ペルー、ボリビアを対象に①、②の研究に取り組んだ。

① 1999 年から 2009 年の衛星画像を数値地理情報化し、該当年の氷河減衰の傾向より、氷河消失年を計算した。(氷河変動解析)

② 主要産業である農業に着目し、各国の氷河減衰のインパクト量を示した。(氷河インパクト解析)

2. 解析方法

2.1 氷河変動解析

本解析では、衛星画像より雪氷面の有無を以下に示す S3 指標²⁾より求めた。また、衛星画像からの S3 指標を基本情報として、NDVI 指標、土地利用、フィルンライン高度(標高データ)を照合させることで、雪氷面と類似する水域や雲を除去したものとなっている。S3 と NDVI は以下に式を示す。

$$S3 = \frac{Nir1(Vis - Nir2)}{(Nir1 + Vis)(Nir1 + Nir2)} \quad (1)$$

$$NDVI = \frac{Nir1 - Vis}{Nir1 + Vis} \quad (2)$$

Vis : 可視域の反射率
Nir1 : 近赤外の反射率 1
Nir2 : 近赤外の反射率 2

先行研究により S3 の閾値が 0 程度になることが観測から確認されているため、S3 の閾値は 0 に設定した。フィルンラインは積雪量と融解量がほぼ等しいところであり、熱帯氷河の分布する高度は 4000m 以上である³⁾。以上の手法により、南米全域の雪氷面を求め、国別に時系列情報に整理した。図 1 は 2002 年 8 月衛星観測による南米の雪氷面分布である。



図 1 2002 年 8 月衛星観測による氷河分布

2.2 氷河減衰インパクト解析

対象地域 3 か国の 1999 年、2004 年、2008 年の各年の農畜産物の収量上位 20 位までの品目のウォーターフットプリントの総和を、その国のその年のウォーターフットプリントとして算出し、これを農業部門の水需要とした。この水需要を基に氷河減少量に対する作物の収量を求めることとした。

3. データセット

1) 衛星画像データ

Centre National d' Etudes Spatiales が運営する地球衛星探査機 SPOT VEGETATION センサのデータを利用した。衛星の回帰日数は約 1 日でセンサは約 1 km の分解能を保持し、4 波長帯を観測することができる。解析では 1 日データを月別値に平滑化して利用した。

2) 数値地理情報

土地利用データとして、千葉大学の CERES の運営する GLCNMO を利用した。標高データとして U.S. Geological Survey の HYDRO1k DEM for South America を利用した。いずれの情報も解像度 1 km × 1 km である。

3) 食糧生産

FAO が運営するオンライン統計データベースである FAOSTAT よりデータを取得し、利用した。

4) ウォーターフットプリント

作物ごとの 1997 から 2001 年の世界平均のウォーターフットプリント⁴⁾を用いて計算した。

4. 解析結果

4.1 氷河変動解析

図 2 より季節変化では雨季に年々変動が大きく、乾季に変動が小さいことが明らかにされた。この影響として積雪の影響が推測される。氷河に着目する

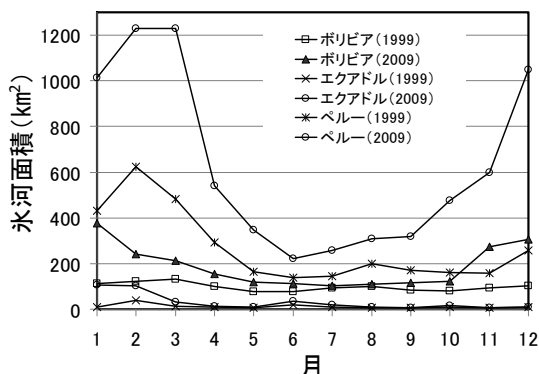


図2 氷河面積季節変化

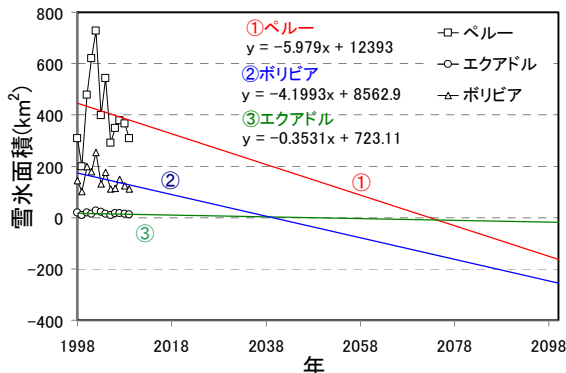


図3 氷河面積経年変化

ため、最も変動の小さく、乾季であり降水の影響の少ない8月を解析の対象とし、経年変化を求めることとした。図3は各国の雪氷面の経年変化を示す。経年変化から、いずれの国も概ね同じ挙動を示し、雪氷面は減少傾向であることが明らかにされた。また、氷河を捉えていると考えられる雪氷面積の最大年と最小年の差が国土面積に占める割合はペルーでは約41%、ボリビアでは約14%、エクアドルでは約7%であることも明らかにされた。氷河減衰を示唆する過去約10年間の線形近似式を用いた場合、ペルーは2073年、エクアドルは2048年、ボリビアは2039年に消失することが見積もられた。

4.2 氷河減衰インパクト解析

氷河減衰のインパクト解析として、最も早期に氷河消失が見込まれるボリビアを参考に、2030年を最終年として、2015年、2020年の3つの時期の作物収量の減少量を見積もった。図4より基準に利用する各作物収量、ウォーターフットプリントは農業生産の多様化、および生産力向上に伴うエネルギー利用促進に合わせて上昇している。ただし、この上昇は、極端変化を示していないことから、近年の値を平均化して解析に利用した。氷河減衰に従い2030年には2015年時の2倍強の農業生産減少が見込まれることが明らかにされた。ただし、この上昇は、極端変化を示していないことから、近年の値を平均化して解析に利用した。図5に作物収量減少の検討結果を示す。氷河減衰に従い2030年には2015年時の2倍強の農業収量減少が見込まれることが明らかにされた。

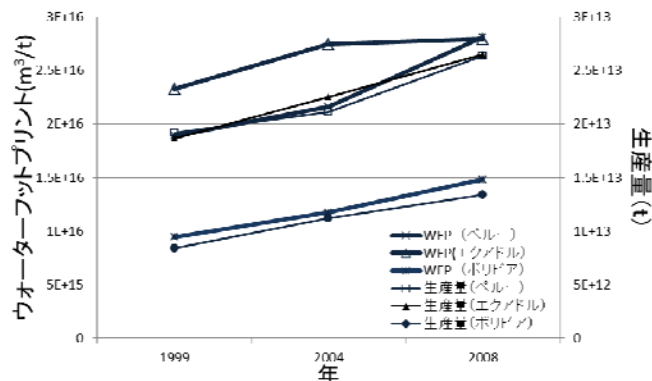


図4 ウォーターフットプリント経年変化

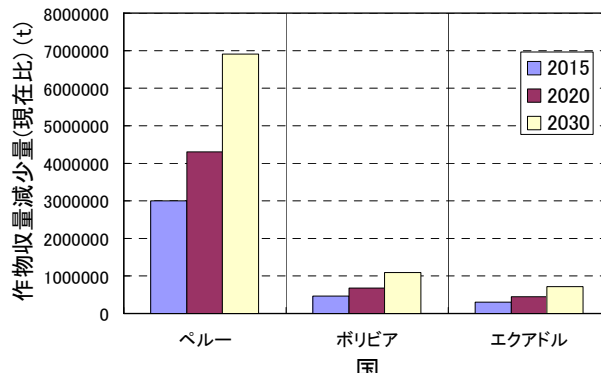


図5 氷河現象換算の作物収量減少量

5. 解析結果

乾季に年々変動が小さいのは、積雪による影響が少ないためであると考えられる。そのため、雪の影響が少ないと考えられる8月で経年変化を考察したところ、過去10年間では減少傾向にあることがわかった。今後この傾向のまま減少すると仮定すれば、2080年までにはアンデス山系の熱帯氷河は消失することが分かった。氷河面積が減少傾向にあるにも関わらず、ウォーターフットプリントは増加傾向にあった。したがって将来的に農業に使用できる水資源が制限されることが予想される。さらに人口増加や経済発展が見込まれるため、より深刻になる可能性がある。今後はリモートセンシングデータの空間解像度や時間分解能をさらに細かく捉えること、降水量や気温等の気象データを組み込むことで、より精度の高い解析に努めたい意向である。

謝辞：本研究の一部は、地球規模課題対応国際科学技術協力事業(SATREPS)の援助によるGRANDEによって実施された。ここに謝意を示す。

参考文献

- 1) Edson Ramirez et al : Glacier Evolution in the Tropical Andes during the the Last Decades of the 20th Century, A Journal of the Human Environment, Vol.29, pp.416-422, 2000.
- 2) 斎藤篤思・山崎剛：積雪のある森林域における分光反射特性と植生・積雪指標，水文・水資源学会誌，Vol.12, No.1, pp.28-38, 1999.
- 3) 藤井理行・上田豊・成瀬廉二・小野有五・伏見碩二・白岩孝行，基礎雪氷学講座□.
- 4) Hoekstra, A.Y. et al : Globalization of water: Sharing the planet's freshwater resources, Blackwell Publishing, Oxford, UK, 2008.