

Tuni 湖における斜面形状と浮遊砂特性に関する研究

福島大学大学院共生システム理工学研究科 今泉 直也

Fabiana Mercado

福島大学共生システム理工学類

川越 清樹

1. はじめに

気候システム温暖化は今後の地球環境改変を及ぼす関心事であり、様々な分野で将来予測に取り組むと同時に、適応するための対策、施策を検討が進められている。温暖化に伴う氷河減衰は全球規模の水資源問題において重点的課題として取り上げられており、融解水量の減少、水質変化、土砂生産等多岐にわたる問題が指摘されている。

本研究の対象地域となるアンデス山脈山麓に分布するボリビアの Tuni 湖(図 1 参照)は、標高約 4,500m に位置する 1977 年に建設された総貯水量 $24.7 \times 10^6 \text{ m}^3$ のロックフィルダムにより貯水されている湖沼である。貯水池から南東約 30 km に位置する La paz および El alto へ生活、灌漑用水として $1.0 \text{ m}^3/\text{sec}$ を配水させている。Condriri, Tuini, huyna potosi と呼称される 3 つの流域からの出水をトゥニ貯水池の水源とするが、各々の流域最上部には氷河が分布する。当該領域は年間降水量 500mm 程度の半乾燥地域の気候を呈し、降水よりも氷河融解による出水を貯水池に集積させて水資源を確保させている。しかしながら、近年の気温上昇によりアンデス山脈氷河の急速な減衰が報告されており¹⁾、将来的な水資源量の切迫が危惧されている。加えて、近年、La paz, El alto の人口集中の加速も認められており、都市域、耕作地の拡大による水需要の増加も指摘されている。そのため、気候システムの温暖化に伴う水資源の影響を見積もることが必要とされている。

ただし、気候システムの温暖化としての影響は水資源量にとどまらず、貯水池の土砂堆砂の影響を考慮しなければならない。温暖化により氷河融解が進行した場合、植生の乏しい地表面

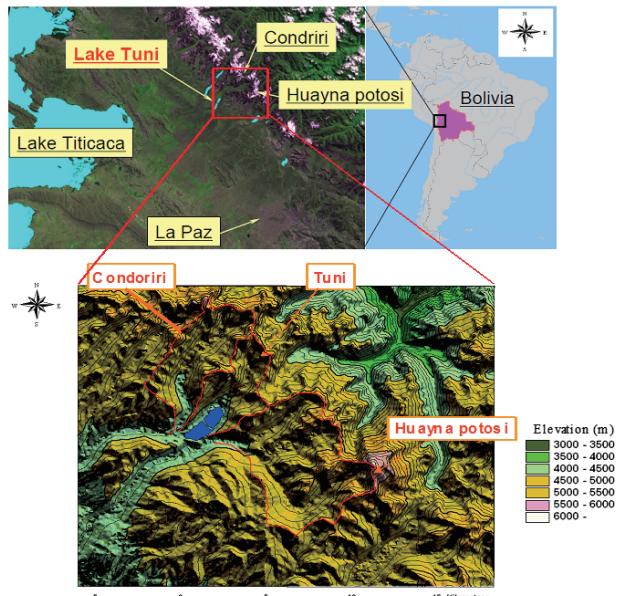


図 1 調査対象地域

*Research on characteristic relationship between landform and suspended sediment in Tuni lake by Naoya Imaizumi, Fabiana Mercado and Seiki Kawagoe

に裸地が広がることとなる。特に氷河下の土砂浸食量は火山地帯の次いで多いことが指摘されている²⁾が、植生繁茂するまで降水衝撃吸収効果がないため裸地面で降水による浸食の進む過程が想定される。その一方で、温暖化することにより植生繁茂しやすい条件に変化することとなる。そのために長期的には土砂浸食が減少する可能性も含まれる。

以上を背景に、氷河下領域の湖沼である Tuni 湖流域を対象に土砂動態の解明を目的に研究を試みている。本論文では、湖沼の流域内の地形・土地被覆・斜面構成土壤の分析と浮遊砂の研究経過について取りまとめたものである。

2. 研究方法

土地被覆解析、地形情報整備、斜面構成土壤分析を試みているが、各研究の手法は以下に示す通りである。

① 土地被覆解析

衛星画像 Landsat TM(グリッドセル解像度 30m×30m)を利用し、氷河、裸地地域、植生被覆地域の特定を試みた。

② 地形情報整備

緻密な地形、微細地形情報(基礎データ衛星画像 ALOS グリッドセル解像度 7m×7m)を利用し、Tuni 湖に流入する流域の河床勾配と周辺斜面のデータ整備を実施した。

③ 斜面構成土壤分析

現地より各流域の土壤試料をサンプリングし、粒度試験を行うことで流域各エリアの土壤粒径の分布状況把握を試みた。

以下に各取り組みの詳細を記載する。

① 土地被覆解析

衛星画像 Landsat TM(グリッドセル解像度 30m×30m)は、可視域バンドを 3 つ、近・中間赤外域バンドを 3 つ、赤外域バンドを 1 つとした計 7 つより構成されている。これらのバンドを合成利用することで指標を求め、植生、裸地、氷河の被覆領域の判読を試みた。以下の(1)式から(3)式に示す指標をグリッドセル毎に求めて空間領域を判読している。

$$(植生) \quad NDVI[Normalize difference vegetation index] \quad ([NIR-VIS]/[NIR+VIS])-----\quad (1)$$

$$(裸地) \quad NDSI[Normalize difference soil index] \quad ([MIR-NIR]/[MIR+NIR])-----\quad (2)$$

$$(氷河) \quad NDSI[Normalize difference snow index] \quad ([GIS-MIR]/[GIS+MIR])-----\quad (3)$$

ここで、NIR:0.76-0.90 μ m(近赤外 Band4), VIS:0.63-0.69 μ m(可視 Band3), GIS:0.52-0.60 μ m(可視 Band2), MIR:1.55-1.75 μ m(中間赤外 Band5)である。判読画像は 1986 年から 2011 年までの 8 月のデータ(2011 年のみ 5 月)である。既に著者らにより、年毎の乾季(おもに 8 月)のデータは判読されており、流域毎の乾季時期のみの土地被覆は求められている³⁾。傾向として、植生被覆領域増加、裸地被覆領域やや減少、氷河被覆領域減少が認められている。本解析では、各月の 1986 年から 2011 年平均値を求め、季節的な変化傾向を求めるに取り組んでいる。

② 地形情報整備

緻密な地形、微細地形情報(基礎データ衛星画像 ALOS グリッドセル解像度 $7m \times 7m$)を利用し、Tuni 湖に流入する Condri, Tuni, huyna pototi 流域の河床勾配と周辺斜面のデータ整備を実施した。周辺斜面のデータとして同一方向の斜面延長、斜面傾斜度を求めた(図 2 参照)。これら地形情報を整備することで、流域内の地形緩急を理解することが可能となる。急勾配ほど土砂移動特性が高まり、緩勾配ほど土砂堆積が進むといったプロセスを重ね合わせることで、土砂生産が貯水池に到達するまでの、土砂生産、土砂輸送、土砂堆積の動態推測にも利用できる。なお、本論では土砂生産に特化した考察を示すこととし、裸地の土地被覆と重ね合わせしたことによる土砂生産活性化ゾーンを検討した。

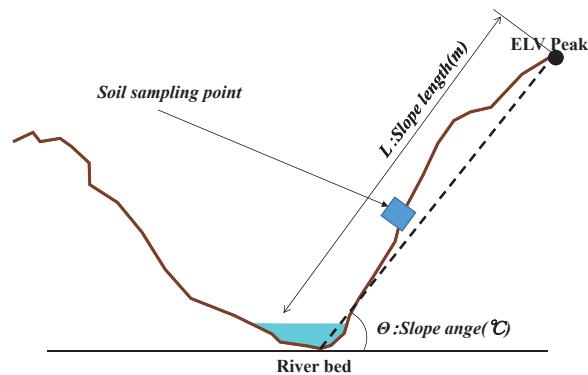


図 2 地形情報概念図

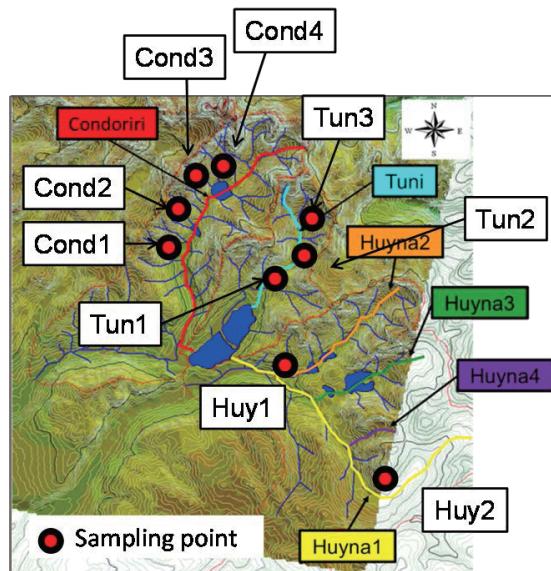


図 3 斜面構成土壤サンプリング位置図

③ 斜面構成土壤分析

現地より各流域の土壤試料をサンプリングし、粒度試験を行うことで流域各エリアの土壤粒径の分布状況把握を試みた。図 3 に斜面構成土壤サンプリング位置を示す。斜面構成土壤サンプリングした土壤とは、斜面表層 5cm 内に分布する裸地に分布するものである。表層に分布する土壤の粒度を把握することにより、雨食に伴う土砂流動しやすい土壤粒子の分布状況を確認できる可能性をもつ。また、河道内の土砂形状や浮遊砂状況との比較より量的な土砂動態把握できる可能性も有する。なお、現地調査結果から表層に分布する土壤は、先に示した氷河直下流域で植生乏しい状況であることも影響し、有機物混入を示唆する黒褐色化した色調を成していない。概ねが粘板岩基質の暗青灰色を呈した状況であることが把握されている。基本的に当該流域の概ねは粘板岩が剥離した土砂が表層に分布している。

3. 土地被覆解析結果

土地被覆解析結果として、図4に各月の平均的土地被覆、図5に雨季(2月)と乾季(8月)の統括比較図を示す。各結果に示されるとおり、植生の活性度は異なるものの各月で植生分布領域に大きな変化がないことが明らかにされた。流域に分布する植生は Paja と呼ばれる雑草だが、多年草で完全に枯れて消失することではなく、乾季に活性乏しくなるものの、雨季には活性高まる傾向を示す。なお、既往研究から植生被覆範囲が徐々に増加することも踏まえる³⁾と、気候変動により枯渇しにくいため、今後も温暖化により植生被覆領域は増加する可能性を有する。その一方で裸地面積が減少する可能性も示唆される。また、標高との比較によれば、標高4,500m 以上で裸地の占拠率が著しく広がることが明らかにされた。現行の植生繁茂限界高度は概ね4,500m であると考えられる。

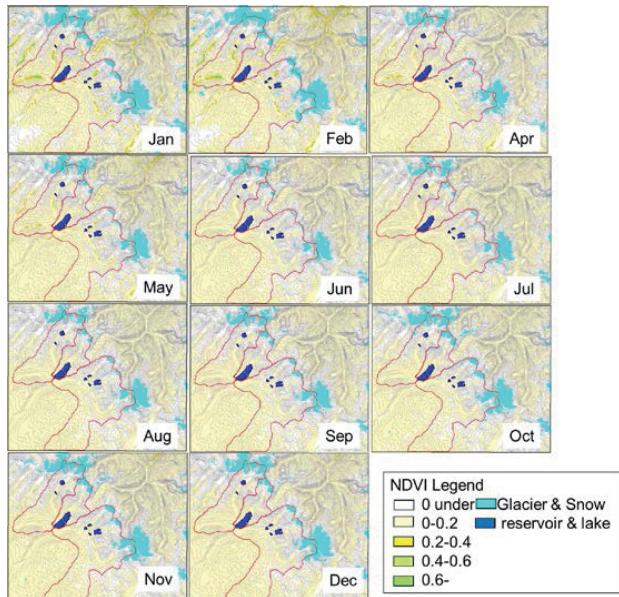


図4 各月の平均的土地被覆図

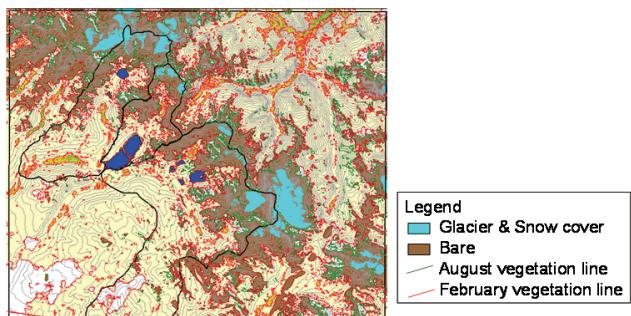


図5 雨季(2月)と乾季(8月)の統括比較図

4. 地形情報整備と土砂生産の考察

地形情報整備、および土砂生産性を踏まえた考察を行うための結果として、図6に地形判読統括図を示す。図6は流域毎の河床勾配、斜面延長、斜面斜度に加えて、斜面に対する裸地の占拠率を示している。裸地と地形の情報を重ね合わせることで土砂生産の活発化しやすい領域を把握することができる。

Condoriri 流域では、裸地が広がり、斜面傾斜度が大きな(左岸、右岸とも最大20°程度)領域はL=6,500 から 7,000m 地点で土砂生産が活発に生じうる可能性が示唆される。なお、この直下流の河床勾配は急変して緩くなる。そのため、規模の大きな生産でない限り、直下に土砂堆積ゾーンも確保され、粒径の細かな浮遊土砂が貯水池に波及していく過程が推測できる。他のCondoriri 流域の特徴としては、標高4,600m の地点で裸地斜面増加している傾向が認められる。

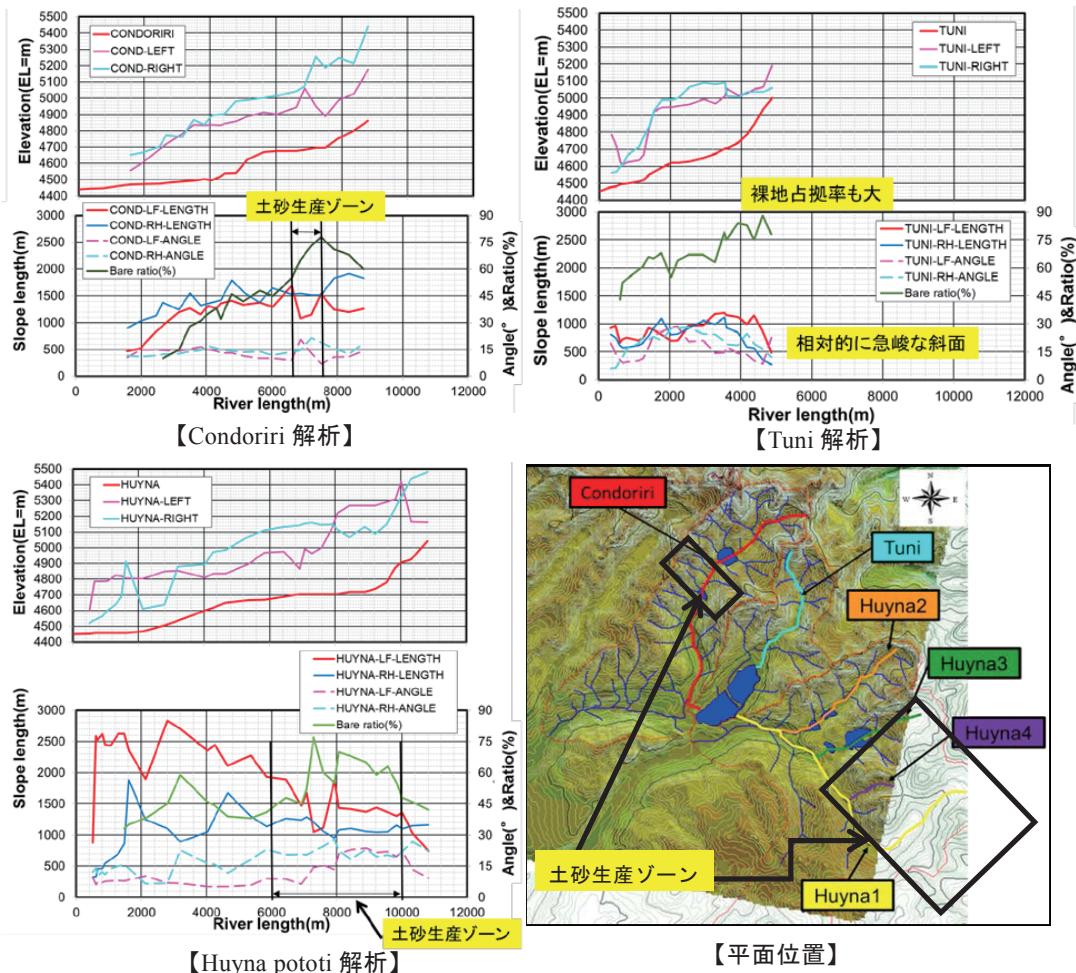


図6 地形判読統括図

Tuni 流域では、他流域と比較して裸地斜面の占拠率が大部分を占めている。斜面傾斜度も急峻であり、地形的には土砂生産ポテンシャルが高いと推測される。河床勾配も急であるものの、流末側で河床幅が広がっており、テラスも形成されていることから、貯水池に土砂が流入しにくい地質形状を成しているといえる。

Huyna 流域では、裸地が広がり、斜面傾斜度が大きな(左岸、右岸とも最大 20°以上)領域は L=6,500m 以降で認められている。この状況は、L=6500 より上流側のエリアが土砂生産しやすい形状をなしていると推測される。また、この流域の右岸側は全流域区間を通じて急峻(15°以上)であり、特に右岸側の土砂流出しやすい地形特徴を有しているといえる。

5. 斜面構成土壤分析

現地調査より把握された地質状況として、Condoriri, Tuni では暗青灰色を呈する粘板岩基岩の原色に近似した状況が認められる一方で、Huyna potosi では風化劣化を示唆する褐色の色調を呈する。色調から Huyna potosi で土砂生産しやすい状況が推測される。土壤粒度分析の結果は図7の土壤粒度分析図に示す通りである。粒度の傾向より粒径 2mm 以下の砂を対象にすれば Tuni 流域、Huyna potosi 上流域で多く分布すること、概ねの流域で粒径 200 μm 以下の細

砂から粘土は概ね 3%から 10%の分布する一方で、Tuni 流域は 20%以上と多い結果が明らかにされた。輸送されやすい土砂は粒径的に Tuni 流域に多く分布するが、特に輸送しやすいシルト($75 \mu\text{m}$ 以下)よりも小粒径の分布は不明であるため、今後、試料をさらに細分化する意向である。また、浮遊砂の分析も踏まえて土砂動態の解析を進める予定である。

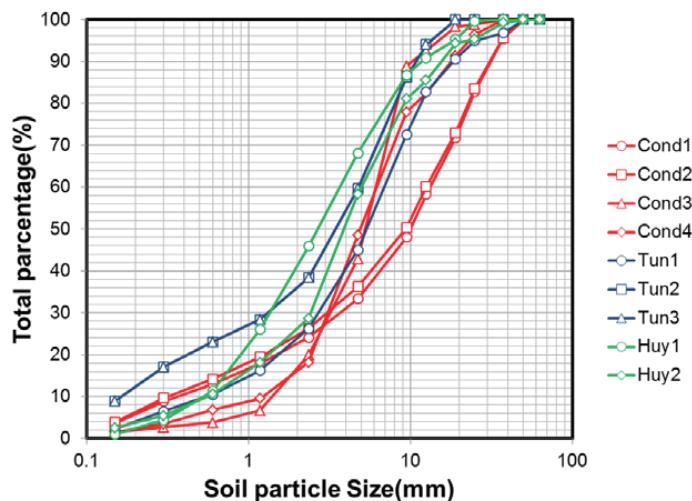


図 7 土壤粒度分布図

6. おわりに

研究の取り組みにより以下の考察を得た。

- 土地被覆より、季節変化で枯れにくい Paja の植生特性より裸地領域は減少する可能性が明らかにされた。
- 地形情報整備と土地被覆の関係より、Condoriri, Huyna potosi 流域の土砂生産しやすい領域と Tuni 流域は総じて土砂生産しやすいものの流出部のテラスの形成により流出制限されていることが明らかにされた。
- 土壤粒度分析より、Tun 流域および Huyna potosi 上流では土砂輸送しやすい細粒土砂粒子が多く分布していることを明らかにした。

今後、浮遊砂も含めた土砂化学組成、および細粒粒度構成も含めた緻密な解析を加え最終的な土砂動態過程を誘導する結論を導き、氷河下流域の土砂特性を明らかにする..

謝辞：本研究は、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 によって実施されました。ここに記して謝意を示す次第である。

参考文献

- Bernard Francou, Edson Ramirez, Bolivar Caceres, and Javier Mendoza : Glacier Evolution in the Tropical Andes during the the Last Decades of the 20th Century, A Journal of the Human Environment Vol.29, Issue.7, pp.416-422, 2000.
- Koppes, M. and Montgomery, D.R., The relative efficacy of fluvial and glacial erosion over modern to orogenic timescales, Nature Geoscience ,2 ,pp.644-647,2009.
- 今泉直也, Fabiana mercado, 川越清樹:熱帯氷河流域下の植生変化が土砂浸食に及ぼす影響の評価, 2013 年度水文水資源学会研究発表会要旨集, pp.210-211, 2013.