

《研究ノート》

チュキバンバ地すべり：南部ペルー
アンデスの大規模地すべり

荻 谷 愛 彦*

1. はじめに

地すべりとは、斜面を構成する岩石や岩屑、土壌が重力の影響で集団となって斜面下方へ移動する現象である。アンデス山脈やヒマラヤ山脈などの大起伏山地には、移動した物質の体積が 10^6 m^3 を超える大規模地すべりが発達する（たとえば、Hewitt 1999；Schuster *et al.*, 2002）。近年、日本でよく使われる「深層崩壊」もこれに類する大規模な地すべりの一種である。

大規模地すべりでは、広範囲にわたり地下数十メートル以深で地すべりが発生する結果、大量の物質が斜面下方へ移動する。地すべりの移動物質が到達した範囲では、居住地や耕地の破壊・埋積といった一次的な被害が生じる。また大量の岩屑が谷底付近にとどまるため、長期間（ 10^2 – 10^3 年以上）にわたって土砂が下流へ排出される。この結果、河床の上昇や土石流の頻発などの二次的な被害が生じる。以上は、大規模地すべりがもつ負の側面である。

一方、地すべりで移動した物質は短期間で緩傾斜地を作りだす。そのような土地は棚田や段畑、居住地として利用されやすい。また大規模地すべりによる移動物質は凹凸に富む複雑な地形を形成し、その複雑な地形に対

* 専修大学文学部教授

応した多様な自然環境が生じることがある (Walker and Shiels, 2013)。これらは、大規模地すべりがもつ正の側面といえる。

大規模地すべりが、いつ、どのように、なぜ発生したのかについては、大起伏山地における災害の予測や対策に不可欠な基礎資料として解明しておく必要がある。また上述した大規模地すべりが持つ正の側面をも意識するならば、これらの基礎研究は地形発達や第四紀環境変動、地生態、自然地理・人文地理の観点からも興味深いテーマである。当然ながら、こうした議論の根幹にかかわるという点で、大規模地すべりとそれに関連した地形・地質の記載は重要である。

本稿では、ペルー共和国南部における大規模地すべりの事例を報告する。この大規模地すべりはアンデス高地への入口にあたるチュキバンバ (Chuquibamba) という地方都市の一带に発達する。発生時期は不明であるが、過去数万年以内の可能性がある。地すべりの大きさは長径約28 km、短径約10 km もあり、地すべり移動体の水平投影面積は約130 km²に及ぶ。推定体積はかなり控えめに見積もっても 6.5×10^9 m³ 以上である。この大規模地すべりは南米の地形を解説した著名な教科書 (Clapperton, 1991) で簡単に紹介されたことはあったものの、現地調査はほとんどなされていなかった。

2. 地域のあらまし

ペルー南部の太平洋沿岸地域は、その沖合を寒流（ペルー海流）が北上するため乾燥気候が支配する。アンデス山脈から流下する主要河川沿いのオアシスを除き、全般に砂漠や裸岩斜面、裸地が卓越する。

南緯15度付近では海岸の背後に標高1000–2000 m の山脈（海岸山脈）があり、その内陸側の標高2000–3000 m 付近にやや急な傾斜地が展開す

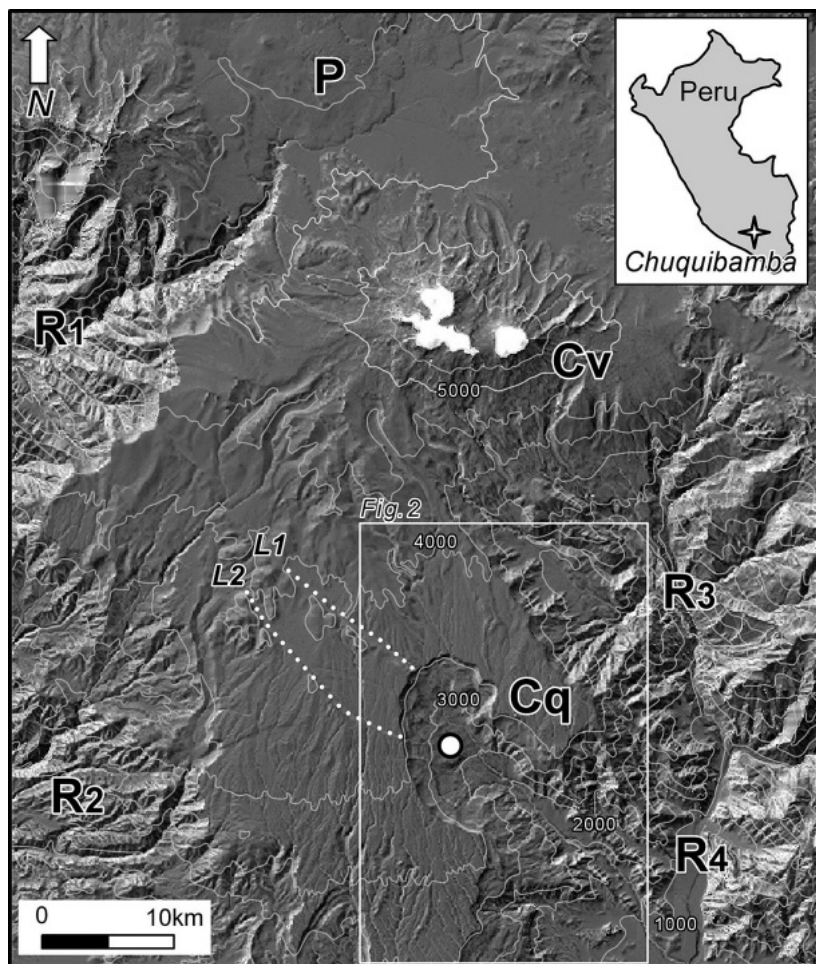


図1 調査地域

Cq：チュキバンバ地すべり。P：プナ。Cv：コロプナ火山。コロプナ火山の標高6000 m以上の斜面を白で表示。R1：チチャス（Chichas）川，R2：チュルンガ（Churunga）川，R3：タパルザ（Taparza）川，R4：コルカ（Colca）川。L1とL2は活断層の疑いがある南側隆起のリニアメント。○で示したチュキバンバ市街地の中心は南緯15度50.4分，西経72度39.1分。

る。この傾斜地のさらに内陸側には、標高4000–5000 mに達する広大な高原が広がる。この高原はアンデス山脈の一部で、現地ではプナ (Puna) とよばれる。プナの広大さと平坦さの鍵は、新生代の激しい火山活動（溶岩流・火砕流堆積物）と第四紀更新世にくりかえし生じた氷河の侵食作用にある。プナにはコロプナ (Coropuna; 標高6377 m) などの第四紀成層火山が点在する。

プナでは牧民がリャマやアルパカを飼育し、それより少し低い高度帯では農民がジャガイモやトウモロコシを栽培する。インカ時代から、牧民と農民は人の往来や物資の交換、祭事などを通じ、経済的・社会的・文化的互恵関係をもっている（稲村, 1995）。

チュキバンバは、首都リマに次ぐペルー第2の大都市アレキパ (Arequipa) の北西約130 km の位置にある（図1）。チュキバンバはアレキパ県コンデスーヨ (Condesuyos) 郡の中心地であり、海岸地帯からプナへの入口にあたるため旅行者や物流の中継地となっている。市街地の中心は地すべり移動体の標高2800–2900 m 付近に展開するが、周辺にも多くの小集落が見られる。チュキバンバ区 (distrito) 全体の住民は約3600名とされる（2007年センサスに基づく；Wikipedia）。

3. 地形分析の方法

2002年以降、数次の現地調査を行い、主要道路の沿線で地形・地質を観察した。またペルー国立地理研究所発行の地勢図（縮尺1：250000）の読図や、ランドサットおよびGoogle Earthによる衛星画像の目視判読も行った。アメリカ航空宇宙局が配付する数値標高データ (SRTM-DEM) から陰影図を作成し、解析を行った。

4. チュキバンバ地すべりの特徴

4.1. 周辺の地形

チュキバンバの大規模地すべり（以下、チュキバンバ地すべりとよぶ）は、第四紀にプナに噴出したコロプナ火山南面の広い火山麓緩斜面を刻んで発生している（図1）。この緩斜面は標高3000–5000 mにかけて発達しており、主に新第三紀の年代（ 13.8 ± 0.3 Ma, 5.97 ± 0.2 Ma）を示す溶岩や火砕流堆積物が累重する（Olchauski and Dávila, 1994）。

火山麓緩斜面には無数の浅い枯れ谷が、最大傾斜方向である南に向かって発達する。谷の形成期は未詳である。しかしコロプナ火山には明瞭な氷食谷やモレーンが山体の全方位に発達しており、それらは酸素同位体ステージ2を中心とする最終氷期最寒冷期に形成されたと考えられている（Clapperton, 1991）。また氷河地形から推定される最終氷期の氷舌高度は標高4500 m 前後であることも考慮すると、火山麓緩斜面上の枯れ谷は融氷流水（アウトウオッシュ）の影響を受けた比較的新しい地形の可能性がある。

この南向きの火山麓緩斜面には、少なくとも2条の明瞭なリニアメントが確認される（図1）。これはチュキバンバ地すべりの西縁から北西に26 km 以上連続するもので、地域地質図（Olchauski and Dávila, 1994）では地質断層とされている。ところが、これらのリニアメントは上述の枯れ谷群を明らかに切っており、枯れ谷群に下流側（南側）隆起の系統的変位を与えて地形異常をもたらしめている。上述のように、枯れ谷群の形成期は不明であるが、最終氷期のものだとすればこれらのリニアメントは活断層の疑いがもたれる。

コロプナ火山を載せるプナの縁辺はチュキバンバ地すべりの他にも、チチャス川（Rio Chichas；図1，R1）やタパルザ川（Rio Taparza；図1，

R3) などの河川に深く侵食されている。それらの河川の谷頭や谷壁にも地すべりが発生している。

4.2. 地すべり地形

チュキバンバ地すべりの範囲設定は地形計測・解析の制約条件になる。本稿では、図2に示す滑落崖C1からC18と、それらに対応する滑落崖直下の地すべり移動体の分布範囲を暫定的にチュキバンバ地すべりとする。これは地すべり移動体の単位として、滑落崖C15からC17の直下に分布する大きな地すべり移動体および滑落崖C18の直下に分布する別の地すべり移動体の南側に東流する河川があり、この河川が局地的な地形境界となっているためである。チュキバンバ地すべりの範囲については、今後の研究によって変更が生じうる。

チュキバンバ地すべりは、全体として南南東に開いた馬蹄状の平面形を示す。チュキバンバ地すべりの特徴の1つは、複数の滑落崖が複合して全体に大きな滑落崖を形成していることである。弧状の滑落崖は少なくとも18ヶ所確認でき(C1からC18, 図2)、個々の滑落崖に対応して地すべり移動体が滑落崖直下に存在する(C1やC5, C7など)。また、いくつかの滑落崖の下に1つの移動体がまとまって分布する地点(C2やC3, C4など)もある。

図1や図2で馬蹄状に見えるのが滑落崖で、その比高はおよそ200–400 mである。滑落崖の延長は、滑落崖C1からC18の範囲に限っても約41 kmある。また滑落崖全体の差し渡しは、長径約28 km、短径約10 kmに達する。チュキバンバ地すべりでは地すべりの発達過程が不明なため単純な形状比較は必ずしも適切ではないが、地すべり地形の広がりには1974年4月25日にペルー中部で発生し同国屈指の規模を持つとされるマウンマルカ(Mayunmarca)地すべりをも上まわる。マウンマルカ地すべりでは、地すべりの発生域上部(すなわち滑落崖上縁)から谷底の地すべり堆積域末

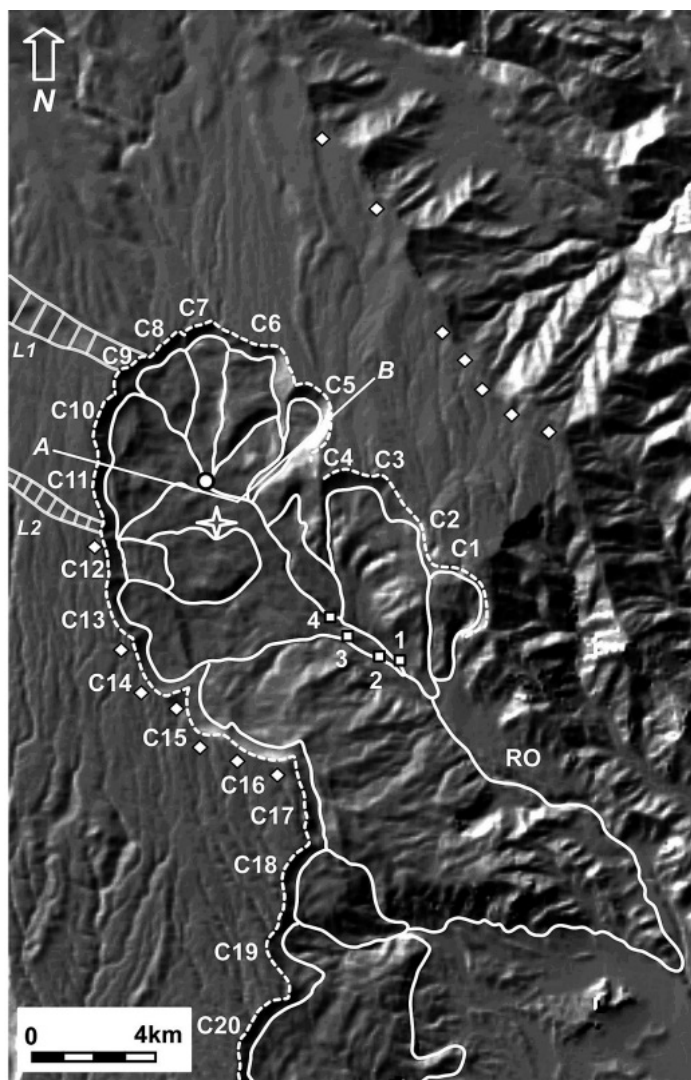


図2 チュキバンバ地すべり

破線は滑落崖。C1－C20は滑落崖の番号。◇は裁頭谷。L1とL2はブナのリニアメントと崖（南側隆起）。A－Bは地形断面の位置（図3）。1－4は地質観察露頭。○はアヤワラ遺跡。十字はチュキバンバの市街地。ROはグランデ川。背景の地形陰影図はSRTM－DEMに基づく。

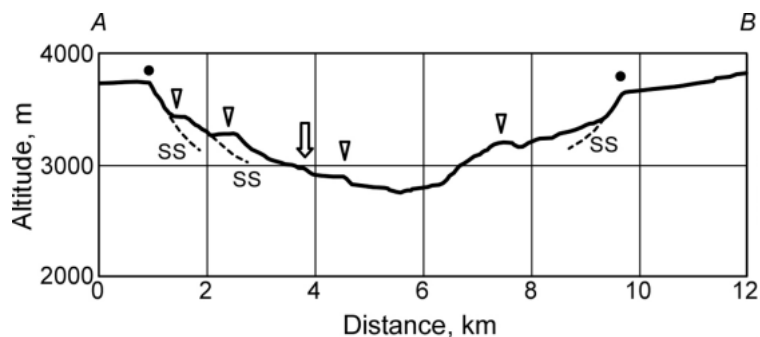


図3 チュキバンバ地すべりの横断面

●は滑落崖の上縁。▽は地すべり移動体上の段状地形。SSは推定すべり面。下向きの矢印はアヤワラ遺跡やワマンタンボ遺跡のおよその位置。垂直水平比は2：1。断面線位置は図2に示す。

端まで、直線状の谷の中を水平距離約7 km、比高約1800 mにわたって $1.6 \times 10^9 \text{ m}^3$ の物質が移動した (Schuster *et al.*, 2002)。

チュキバンバ地すべりの移動体の一部（滑落崖 C10直下の移動体など）は、移動体上面が滑落崖側に逆傾斜している。また移動体の上面に段状の地形が形成されている（図3）。図3に示す地すべり移動体の断面形からみて、チュキバンバ地すべりの一部は後方回転を伴うスランプ型地すべりと推定される。そして、個々の地すべり移動体はおおむね滑落崖の伸び方向に対して垂直な方向に伸張するように見える。ただし地すべり移動体を開析して南南東に向かう排出河川（グランデ川；Rio Grande, 図2）が発達しており、上述のように地すべり地形全体（特に滑落崖）は南南東に開いた馬蹄状を呈する。

地すべり移動体上には無数の塚状地形や閉塞・半閉塞凹地が認められる。それらの多くは、地すべり移動体における物質移動に伴う圧縮・引張で生じた凸地・凹地である。

4.3. 地すべり移動体の地質

チュキバンバ周辺は乾燥気候下にあるため、露頭が植生で覆われることがない。チュキバンバ地すべりを貫通する幹線道路沿いでは、地質の観察に適した露頭が数多く存在する。たとえば、滑落崖 C2 や C3, C4 に対応する地すべり移動体末端の地点 1（ワクリヤイ, Huacclay；南緯15度52分54秒, 西経72度35分17秒, 標高1815 m）では、高さ約80 m の露頭全面に地すべり堆積物が露出する（図4）。それらは最大長径が10 m にも達する巨大な礫を含む未固結層で、砂やシルトの基質に富む。全体に淘汰が悪く、礫も角礫を主体とする。同様の堆積物は滑落崖 C15 や C16 の下に位置する地すべり移動体の末端にあたる地点 2（イライ, Iray；南緯15度52分47秒, 西経72度35分29秒, 標高1870 m）でも確認される（図5）。両地点とも、礫はプナに露出する安山岩質の溶岩片を主体とする。

地点 3（アレキピリヤ, Arequipilla；南緯15度52分22秒, 西経72度36分



図4 地点1

巨礫を伴う淘汰の悪い地すべり堆積物。露頭の全高は約80 m。2010年8月撮影。



図5 地点2

巨礫を伴う淘汰の悪い地すべり堆積物。露頭の全高は約6 m。20010年8月撮影

8秒、標高1990 m)では、地すべり堆積物中の巨礫に無数の亀裂が入り、亀裂間にわずかな空隙が開いているジグソー・クラックが確認される(図6)。これは、一見すると亀裂間の空隙によって巨礫がバラバラになっているようであるが、離れている岩片を接合すると元の1つの巨礫になるように見えることからジグソー・パズル構造ともいわれる。また地点4(アレキピリヤ; 南緯15度52分6秒, 西経72度36分18秒, 標高2115 m)では溶岩流の構造が全体としては大きく乱れないものの、無数の亀裂を発達させながら堆積している様子がみられる。

以上のような、特徴的な破碎構造をもつ礫や、それらが集合した異常に厚い堆積物は、特に大規模な地すべりに随伴することが知られている。実際、カラコラム・ヒマラヤや、チュキバンバの北北西約75 kmに位置するアレキパ県ラウニオン郡のコタワシ周辺で見いだされている(Hewitt, 1999; 荏谷, 2012)。その層相や堆積構造は、通常の河川堆積物



図6 地点3

ジグソー・クラックの発達する地すべり堆積物。露頭の全高は約15 m。2010年8月撮影。

や氷河堆積物にはみられない独特のものである。なお、地すべり移動体の水平投影面積（132 km²）と移動体の推定平均層厚（50 m）を乗じて得られる移動体の推定体積は 6.5×10^9 m³である。

4.4. 年代

チュキバンバ地すべりの発生年代を直接示す資料は得られていない。

地形層序からは、上述のようにチュキバンバ地すべりは火山麓緩斜面に発達した枯れ谷群を切っており、枯れ谷の一部が上流側の流路を欠いた裁頭谷となっている点に注目すべきである（図2）。これらの枯れ谷群がいつ形成されたのかはわかっていないが、コロプナ火山南面の最終氷期の氷食谷やモレーンに連続するので、氷河の前面において融氷流水（アウトウオッシュ）が刻んだ谷である可能性がある。そうだとすると、チュキバン

バ地すべりの一部は酸素同位体ステージ2にあたる最終氷期極相期（約2万年前）以降に発生したことになる。

地形開析度の面では、滑落崖 C15から C17に対応する巨大な地すべり移動体の末端がグランデ川の側方侵食を受けて急崖をなすのに対し、この移動体より上流側にある他の移動体ではそのような開析が認めにくい点に注目すべきである。グランデ川の侵食が上流に及んでいない可能性もあるが、開析の進んだ地形ほど古いとすれば、チュキバンバ地すべりの活動期は新・旧に別れる可能性がある。

考古資料の面からは、チュキバンバ地すべりの移動体に載る形成期中期のアヤワラ（Ayawara）遺跡が示唆を与える（南緯15度49分30秒，西経72度39分20秒，標高2980 m，図2）。この遺跡は移動体上に生じた凸地に築造されており，1200–800BC ころの土器を産出する（Avendaño y Rosas, 2000）。特に，遺跡から検出された炭化物の ^{14}C 年代校正暦年は1400–1000 BC に収まる確率が高いと考えられている。したがって遅くとも完新世後期の3400–3000BP ころには，チュキバンバ地すべり北部における地すべりの活動はおおむね完了し，居住が始まっていた可能性が高い。なお，Avendaño y Rosas (2000) の付属論文（Michczyński y Ziolkowski, 2000）によれば，ここに示した暦年は ^{14}C 年代の南半球補正を施していない点に注意する必要がある。アヤワラ遺跡の南約300 m の地点には，ワリ期（AD 500–900）のワマンタンボ（Huamantambo）遺跡も存在する。

4.5. 地すべりの素因・誘因

チュキバンバ地すべりでは，その発生域となっている火山麓緩斜面の地質条件が重要と考えられる。Olchowski and Dávila (1994) らの記載や筆者の観察によれば，これらの斜面は溶岩流や火砕流堆積物が互層をなし累重しているとみられる。またこれらの互層はアンデス（プナ）の隆起に関連して，おおむね南に緩く傾斜している。このような層構造では溶岩流が

不透水層をなしたり、粒度や強度など物性の異なる地層間が弱面となり、すべり面を形成しやすいことが考えられる。

チュキバンバ地すべりの周辺において火山麓緩斜面やプナを侵食するグラデ川やチチャス川、タバルザ川の谷頭は開析（侵食）の最前線にあたり、連続する遷急線をなしている。遷急線の周辺で大規模地すべりが発生しやすいことは、上述のコタワシ周辺での地形調査によって判明している（荻谷，2012）。すなわち、プナやその周辺の高原もしくはそれに類する台地状地形の縁辺において、明瞭な遷急線が用意されているという地形条件が地すべりの発生要因として地質とともに重要と考えられる。

チュキバンバ地すべりを発生させた誘因の解明は、古文書がみいだされないアンデス高地では事実上不可能であろう。またチュキバンバ地すべりは複数の滑落崖を有するので、地すべりは時期を変えて複数回発生したことも考えられる。乾燥気候の卓越する当地では大量の降水や急速な融雪が地すべりの引きがねになったとは考えにくいだが、エルニーニョ・イベントによる異常な降水が誘因となった可能性は否定できない。またペルー海溝のプレート沈み込みに伴う遠地性の巨大地震や、コロプナ火山の活動に伴う局所的な地震、火山麓緩斜面を切るリニアメントが活断層だった場合の古地震なども想定される。

5. むすび

チュキバンバ地すべり（標高2000–3500 m）は南部ペルーの火山麓緩斜面の縁に生じた大規模地すべりである。その広がりには長径約28 km・短径約10 km に達する巨大なもので、現時点で推定される地すべり移動体の体積は $6.5 \times 10^9 \text{ m}^3$ である。延長41 km におよぶ馬蹄状の滑落崖は18個以上に細分可能で、地すべり活動がいくつかの空間単位に別れて生じたこと

を示唆する。周囲の地形や考古遺跡との関係に基づくと、地すべりは最終氷期以降に発生し、完新世後期には完了していたことが考えられる。もちろん、それ以前の時期に地すべりが生じた可能性が排除されたわけではない。地すべり移動体の開析度に基づけば、地すべりの発生時期は南部で古く、北部で新しい可能性がある。また地すべりの発生要因として、緩く傾いた溶岩流や火砕流堆積物が累重する地質構造と、火山麓緩斜面の縁にあって明瞭な遷急線が発達しているという地形条件が重要と考えられる。誘因については明言できないが、古地震や異常な降水が想定される。

プナと太平洋の海岸地域（チャラやユンガとよばれる環境区分帯）とを結ぶ人や物資の中継地として、あるいはこの地方の中心地として、チュキバンバは古くから栄えてきたと思われる。まさにプナの入口にあたるこの場所に、地質時代の大規模地すべりは広大な緩傾斜地を用意した。プナを構成する堅固で透水性の低い溶岩・火砕流堆積物は、地すべりによる移動過程で砂やシルトといった細粒物質に富む未固結堆積物に作り替えられた。礫の除去というやっかいな作業はあるが、温量的にはトウモロコシ帯に属し、このような未固結堆積物からなるチュキバンバでは耕地の展開が可能である。本稿では考察の対象としなかったが、こうした大規模地すべりの地形・地質条件が集落の発達や機能、農耕の展開に影響してきた可能性がある。西部アンデスでは文化人類学や農学、考古学に関する研究がさかんであるが、地形学・自然地理学との融合によって新たな議論の展開が可能と思われる。

筆者がチュキバンバ地すべりに関心を持つきっかけは、稲村哲也教授（放送大学）・山本紀夫名誉教授（国立民族学博物館）が率いた科学研究費（JSPS22251013, JSPS13371010）調査隊へ参加させていただいたことにある。現地調査では川本 芳，鳥井恵美子，天野美代子，阪根 博，^故佐藤 エスペランサ花子の各氏，およびアマノ博物館職員諸氏・現地住民諸氏に

お世話になった。アヤワラ遺跡の文献と現地情報は鶴見英成博士に提供していただいた。専修大学環境地理学教室の米田 巖教授には、南米を含む世界地誌について折にふれて助言いただいた。以上の皆様に篤く御礼申し上げます。

引用文献

- Avendaño, M. N. y Rosas, A. C.(2000) : *El periodo formativo en el área de Arequipa*. Ziolkowski, M.S y Franco L. A. B eds. Proyect Arqueológico Condesuyos, Vol.1, 27-57.
- Clapperton, C.(1991) : *Quaternary geology and geomorphology of South America*. Elsevier.
- Hewitt, K.(1999) : Quaternary moraines vs. catastrophic rock avalanches in the Karakoram Himalaya, northern Pakistan. *Quaternary Research*, 51 : 220-237.
- 稲村哲也 (1995) : 『リャマとアルパカーアンデスの先住民社会と牧畜文化』, 花伝社。
- 荻谷愛彦 (2012) : ペルー・アンデスの大規模地すべりと人々の暮らし。 *E-journal GEO*, 6 : 149-162。
- Michczyński, A. y Ziolkowski, M. S.(2000) : *Calibración de los fechamientos radiocarbónicos asociados a contextos formativos de los sitios de Punta Islay, Hacha/S y Ayawala, Dept. de Arequipa*. Ziolkowski, M.S y Franco L. A. B eds. Proyect Arqueológico Condesuyos, Vol.1, Anexo 1 , 57-60.
- Olchowski, E. y Dávila, D.(1994) : *Geología de los cuadrangulos de Chuquibamba y Cotahuasi*. Carta Geológica Nacional, Serie A, Boletín N°50. Instituto Geologico Minero y Metalurgico, Peru.
- Schuster, R. L., Salcedo, D. A. and Valenzuela, L.(2002) : Overview of catastrophic landslides of South America in the twentieth century. Evans, E. G. and DeGraff, J. V. ed., *Catastrophic landslides : Effects, occurrence, and mechanisms*. The Geological Society of America.
- Walker, L. R. and Shiels, A. B.(2013) : *Landslide ecology*. Cambridge University Press.
- Wikipedia (2013) : *Distrito de Chuquibamba (Arequipa)*. 2013年11月12日閲覧。