

93. 先史アンデス海岸地域におけるジャガイモ利用－歯石 DNA と安定同位体を用いた農耕・漁労複合の検証－

山形大学 学術研究院（人文社会科学部担当） 講師 荘司 一步

概要

本研究の目的は、先史アンデス古期（5000-3800BC）の定住漁労集団による植物利用の実態を明らかにし、アンデス文明の基礎を形作った初期集団による農耕・漁労複合の存在を検証することである。そのため本研究では、ペルー北海岸のクルス・ベルデ遺跡（4200-3800BC）から出土した人骨を対象に炭素・窒素の安定同位体分析と歯石 DNA の解析を実施し、植物資源と海産資源の摂取割合およびその内訳を明らかにすることを目指した。その結果、海産資源に強く依存していたと考えられてきたペルー沿岸部の古期定住集団が、従来想定されていたよりも早い時期からジャガイモやトウモロコシなどの植物資源を多く摂取していたことが明らかになった。古期に続く形成期早期（3000-1800BC）では、内陸河川流域と沿岸域にそれぞれ定住した2つの集団が海産資源と植物資源を提供しあう相互依存的な交換経済が成立したことが分かっているが、古期において内陸河川流域に分布する遺跡は報告されていない。そのため、本研究によって示された農耕・漁労複合の存在は、沿岸河口域において漁労に従事していた集団が、同じ地域に位置する沿岸湿地帯や沿岸河川流域において小規模な初期農耕にも従事していた可能性を示唆している。

今後、本研究によって歯石から得られた古期の植物遺体の DNA と後の時代、および現生の栽培植物との比較を進めることで、遺伝学的な系譜関係を明らかにし、初期農耕が沿岸域で開始されるプロセスをさらに明らかにしていく必要がある。

背景および目的

現在のペルー共和国を中心とした中央アンデス地域は、南北に連なるアンデス山脈が生み出す高度差によって、乾燥した海岸砂漠からアンデス高地、アマゾンの熱帯雨林まで多様な自然環境を有している。この海岸地域において豊富な海産資源を基盤とする定住村落が成立したのが先史アンデスの古期（5000-3000BC）であり、農耕を基盤とした定住化と対比してアンデス地域に特有の文明形成段階の一つとみなされ、研究が進められてきた。こうした時代背景をふまえ、環境変動と資源利用、そしてモニュメントの創出過程の解明を目的として申請者が実施したクルス・ベルデ遺跡における考古学調査は、海産資源を中心に利用しながら環境変動に柔軟に適応してきた漁撈民の実態が明らかにした（図1）。

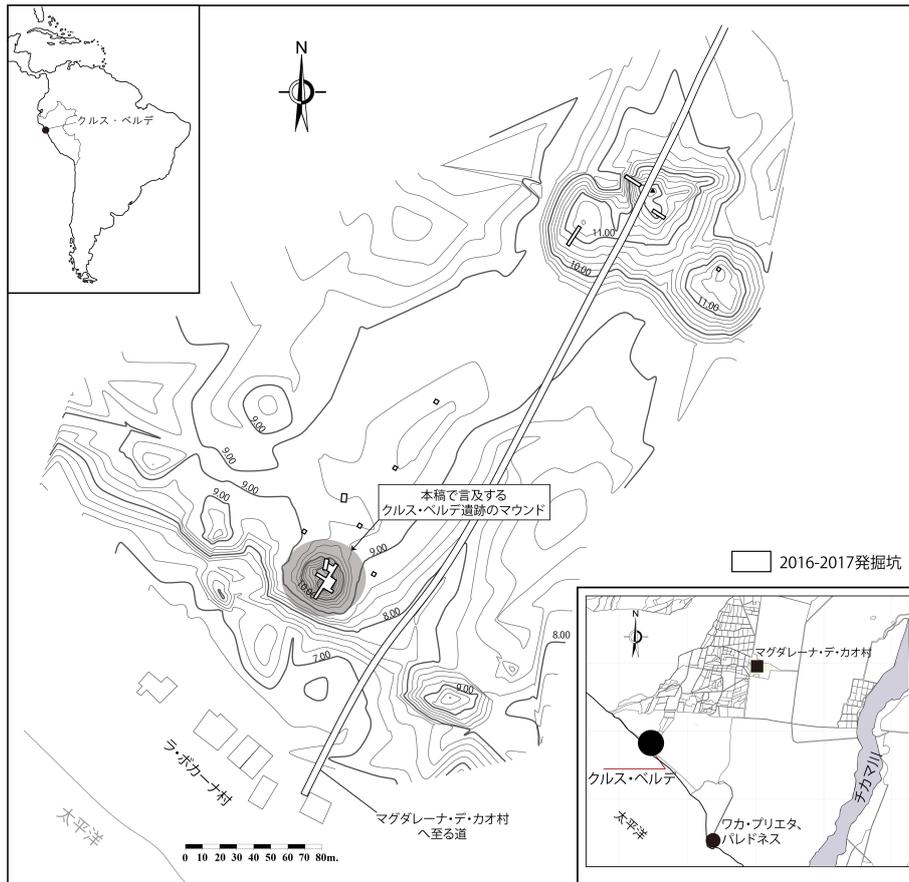


図1. クルス・ベルデ遺跡の立地。

出土する動物遺存体は海産資源の集中的な利用を裏付けている一方で、でんぶん粒やフローテーションサンプルなどの微小植物遺体の分析は、海産資源と同時に植物資源が利用されていたことを示唆している。とくに、事前調査では埋葬人骨の歯石から海岸地域で最古の事例となるジャガイモやトウモロコシ、カボチャなどのでんぶん粒が検出されており、従来の定説では説明しきれないデータが報告された（図2）。

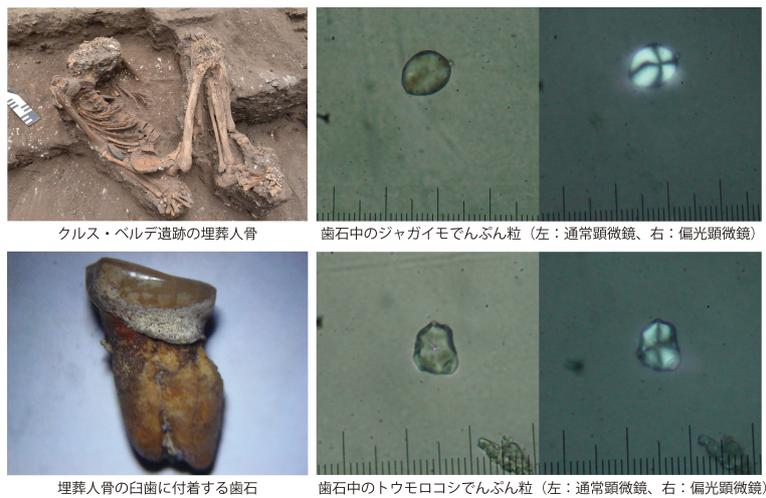


図2. クルス・ベルデ遺跡から出土した埋葬人骨の一例と歯石および検出されたでんぶん粒。

いずれの食用植物もアンデス高地などの山岳地帯で先行して栽培化が進んだと考えられてきたものである。それにもかかわらず、沿岸漁労民による植物利用の事例は、近隣の同時代の遺跡からもトウモロコシを中心に確認されており、従来の文明形成過程に再考を促すうえでも農耕・漁労複合のような生業活動の実態解明は、喫緊の課題として大きな注目を集めている。すなわち、調査・分析方法の進展に伴う新たなデータの蓄積によって、栽培植物が漁労集団の食資源の中でどのような位置づけにあったのか、どのようにして海岸地域で利用され始めたのかという新たな問題に直面しつつある。

考古学において植物利用を復元する手法は様々にあるものの、植物遺存体は埋没土壌などの保存環境の影響を大きく受けるために量的な評価が難しいこと、植物の属・種レベルの同定が困難であることなど、容易には克服できない問題を抱えている。本研究は、古人骨の安定同位体比を用いた海産資源と植物資源の摂取割合の検証や歯石 DNA 解析による動物種・植物種の同定などの最新の理化学的手法を用いて、そうした問題を克服しようとするものである。それは、先史アンデス古期の沿岸部において農耕・漁労複合の存在が注目されるものの、植物利用の位置づけを正しく評価できないでいた研究状況にブレイクスルーを起こすものといえよう。また、本研究の成果は、アンデス特有の文明形成過程の一つとして注目されてきた漁撈定住について、そこに果たした植物利用の役割を解明するものであり、資源利用と人類史の複雑な関係性を解明するうえでも大きな意味を持つ。また、ジャガイモは、アンデス高地で栽培化されたとするのが定説であり、古期の山岳地域では様々な動植物のドメスティケーションが進められていたことがわかっている。一方、クルス・ベルデ遺跡の埋葬人骨の歯石から検出された栽培種ジャガイモのでんぷん粒は、アンデス高地の出土例に匹敵する古さであり、海岸地域では最古の事例となる。同遺跡におけるその他の考古学データには、高地との交流を示す証拠が全く存在しないことに加えて、遺跡近くの海岸丘陵に季節的に生じるロマス（季節性の草原）にジャガイモの野生種が自生している点を鑑みれば、ここで利用されたジャガイモが海岸地域で独自に栽培化されたものであった可能性もある。

そこで本研究では、①沿岸漁労集団の食資源に占める海産資源と植物資源の割合を明らかにすること、および②埋葬人骨の歯石に残される DNA を解析することで食資源の内訳を明らかにすると同時に栽培植物の遺伝学的データを入手することを目的として設定した。

方法

1) クルス・ベルデ遺跡出土遺物の資料調査

研究協力者である瀧上舞（国立科学博物館）、澤藤りかい（九州大学）とともに、クルス・ベルデ遺跡の実地調査を行い、遺跡の立地や周辺環境を確認した。その後、出土遺物が保管されているペルー文化省ラ・リベルタ支局の考古遺物保管庫において、埋葬人骨の資料調査を実施し、埋葬人骨および歯石の保存状態を確認のうえ、分析対象となる資料の選定を行った。選定された資料は、写真撮影と簡単な所見を含めたリストを作成のうえ、文化省の指導に従い、破壊分析のための国外輸出手続きが行われた。

2) 海岸丘陵に生じるロマス植生の踏査と野生種ジャガイモの採集

海岸地域に自生する野生種のジャガイモ (*Solanum mochiquense*) の分布調査と生息環境の把握、資料の収集を目的にクルス・ベルデ遺跡に最も近い海岸丘陵であるセロ・カンパーナ（ラ・リベルタ州）で踏査を実施した。ロマスとは、海岸部の雨季に生じる霧の水分によって繁茂する季節性の植生であり、立ち入りには同地を管轄するトルヒーヨ大学と環境省の許可が必要である。許可申請のうえ、同地の植生に詳しいトルヒーヨ大学の植物学者および動物学者に同行を依頼した。

3) 埋葬人骨の炭素・窒素安定同位体分析

クルス・ベルデ遺跡で出土した全9体の埋葬人骨のうち、保存状態の良い11点の資料を分析対象とした。人間が摂取する動植物は、栄養段階や光合成回路の違いに基づき、異なる炭素および窒素の同位体比を有している。そうした同位体比は、食物として摂取されることで人間の体組織に蓄積されていることから、人間の炭素・窒素同位体比を測定することで食性を推測することができる。本研究では人骨に含まれるコラーゲン（たんぱく質）を前処理によって抽出し、同位体比を測定した。

4) 歯石 DNA の抽出と解析

クルス・ベルデ遺跡で出土した埋葬人骨 5 体のうち、歯石の残存状態が比較的良好な 11 点の資料を分析対象とした。歯石を削り取ったものを試料として DNA を抽出し、ゲノム解析を行うことで、歯石に含まれる動植物を特定する。

結果および考察

1) 実地調査による資料の選定と保存状態

資料調査の結果、比較的良好な保存状況の資料を選定した。炭素・窒素安定同位体比分析のために 9 個体、全 11 点の人骨を選定し、歯石 DNA の分析のために 5 個体、全 11 点の人歯が選定された。計 22 点の資料は研究目的のための輸出手続きが 2024 年 3 月に行われたものの、ちょうど文化財に適用される規則の改変期にあたってしまったため、輸出作業が大幅に遅れ、日本国内の研究機関への到着は 2024 年 9 月へと大幅にずれ込んでしまった。

2) ロマス植生の調査と野生種ジャガイモの採集

上述のような特殊な季節性植生であるロマスにおいて現生の植物標本を採集するため、ペルー海岸部の雨季にあたる 2024 年 9 月にセロ・カンパーナ山の踏査を行った。セロ・カンパーナ山は沿岸に位置する標高 1000m ほどの丘陵である。ロマス植生は多く認められたものの、地下茎の状態を雨季を待つ野生種のジャガイモが芽吹くには湿度が足りず、2024 年の踏査で当該植物種を確認することはできなかった (図 3)。



図 3. セロ・カンパーナ山のロマス植生.

2024 年 9 月撮影

一方で、野生種のジャガイモがとくに濃いガルア (雨季に発生する霧) を必要とすることや、雨季でなくともエル・ニーニョ現象などにより降雨がみられた際に芽吹くなど、中長期的な降水量の変動と深く関係しているなどの新たな知見が得られた。また、地下茎の状態で当該植物種を採集することが極めて困難であることも、過去の植物利用を考えるうえで非常に示唆的であった。

また、トルヒーヨ大学の好意により、同大学植物標本資料室に保管されている、セロ・カンパーナ山で採集された同種のジャガイモ標本を提供してもらえることになったため、2025 年以降に輸出手続きを進め、遺伝学的な系統関係を調べる際の貴重なデータとして分析・活用することにする (図 4)。

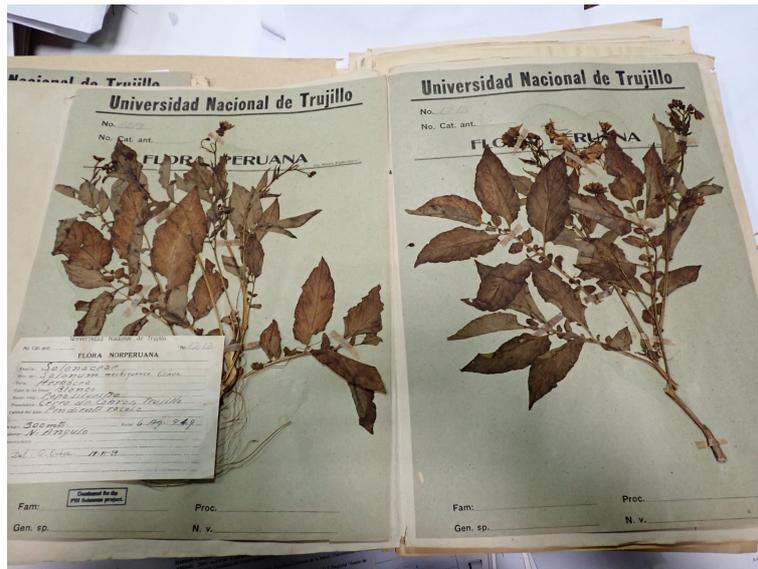


図4. トルヒーヨ大学に保管されている野生種ジャガイモの標本.

3) 炭素・窒素安定同位体比の測定

炭素・窒素安定同位体比の分析を行った結果、試料汚染の少ないコラーゲンの抽出に成功したのは、輸出した11点のうち、5個体にあたる5点の試料に留まった。一見すると保存状態は良いように見えるものの、海風による塩害を多く受けていることも明らかになった。このうち測定が完了したのは、4点の試料であり、炭素と窒素の値が示された。

まず、動物骨の動物考古学的な先行研究 (Shoji et al. 2022) によって示唆された通り、クルス・ベルデ遺跡の4個体は海生生物摂取の影響が強く表れていた(図5)。4個体の食性に大きな違いは見られず、特にTM2とTM4はほぼ同じ食性を示した。TM9は最も炭素・窒素同位体比が低く、海産資源の利用が他の3個体よりわずかに低かったと推測される。一方の植物資源についてもジャガイモなどが該当するC3植物を中心にC4植物(トウモロコシなど)も含めて一定量摂取していたことが示唆される。こちらも同遺跡で行われた歯石中のでんぷん粒分析と同様の結果を示している一方、後の時代の他遺跡のデータと比較して、ややC4植物を多く摂取していたことが指摘できる。トウモロコシは時代が新しくなるほどに、海岸部の主要穀物として重要度が増していったと考えられてきたことからしても、古期の段階で後の形成期より多くのトウモロコシが摂取されていたことは重要な発見といえる。

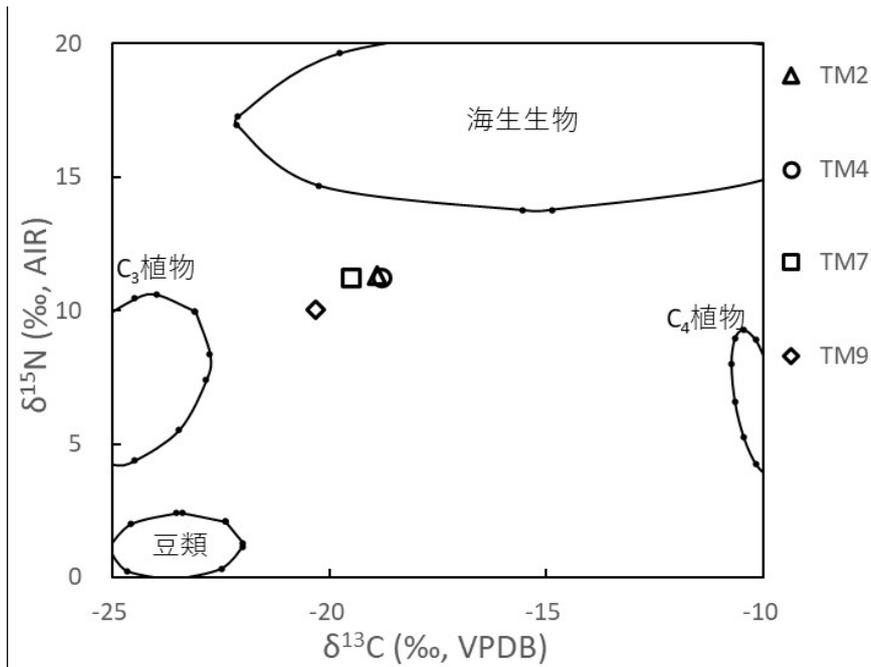


図 5. クルス・ベルデ遺跡出土人骨の食性推定.

食物の同位体比および分別補正は Takigami et al., 2021 を参照した

4) 歯石 DNA 解析の現状報告

輸出した 11 点の人歯のうち 5 個体にあたる 5 点から歯石が採取された。このうち 3 点の試料から DNA の抽出に成功し、歯石に含まれる食物の古代 DNA を復元できるめどが立っている。次世代シーケンサーによる DNA 配列の特定作業が進められているが、遺物の輸出作業に想定外の時間を要したこともあり DNA 配列の解析作業は完了していないため食物となった動植物種の特定はできていない。作業は 2025 年 4 月に完了する予定であり、炭素・窒素安定同位体分析の結果と合わせて、C3 植物や C4 植物、窒素同位体比の値に影響するマメ科の植物の同定が期待される。

また、幸運にも歯石が多く採取できた 3 点の試料については、たんぱく質の構造から動植物種を特定するプロテオミクスの分析が可能な状態であったため、こちらの分析も加えて進めることになった。

5) 考察：ペルー北海岸古期の農耕・漁労複合と今後の展望

歯石 DNA の解析結果は出揃っていないものの、炭素・窒素安定同位体比の分析結果をふまえ、古期に行われていた農耕・漁労複合の実態が明らかになってきた。クルス・ベルデ遺跡の分析結果を他の遺跡の資料をもとに報告されているデータと比較してみると、形成期早期とはやや異なる形で植物資源と海産資源が利用されていたことが示唆される。形成期早期において内陸部と沿岸部の 2 つの集団による相互依存型の交換経済の存在が推測されており、その著名な遺跡として内陸部ではカラル遺跡、沿岸部ではアスペロ遺跡がある (Shady and Leyva eds 2003)。カラル遺跡のデータは C3 植物とマメ類に大きく影響を受けた値を示している一方で、アスペロ遺跡では海産資源の影響が大きい (図 6)。これに対してクルス・ベルデ遺跡のデータは海産資源利用によりながらも両者の中間に位置していることから、同遺跡では両資源へのアクセスが担保されていたことがわかる。古期の遺跡分布は沿岸部に集中しており内陸河流域に位置する遺跡は報告されていないこと、植物の収穫と加工に利用された石器がクルス・ベルデ遺跡をはじめとする沿岸部の遺跡から出土していることを加味するとすれば、同遺跡では漁労と初期農耕が密接な形で組み合わせられていたといえる。沿岸部の湿地帯で畝状の遺構も報告されていることから、漁労を行う沿岸部のすぐ近くで初期農耕が行われていた可能性が高い。形成期早期の沿岸部に位置する遺跡の中でも、他の遺跡とは異なり湿地に分布する多様な資源が複合的に利用されていたと指摘されて

いるバンドウリア遺跡(Chu 2011)がクルス・ベルデ遺跡と酷似する同位体比を示していることも、これを支持するデータといえる。一方で、比較対象となる形成期の遺跡群よりもC4植物影響が若干強く表れているクルス・ベルデ遺跡のデータはトウモロコシもまた相対的に多く利用されていた可能性を示している。

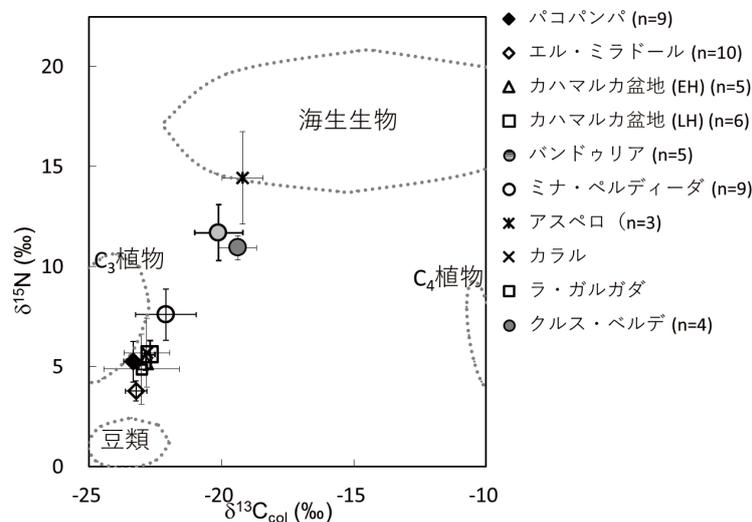


図 6. クルス・ベルデ遺跡の炭素・窒素安定同位体比と形成期の他遺跡のデータ

でんぷん粒分析で報告されているジャガイモ、カボチャ、サツマイモなど、アンデス文明史を語るうえで重要な位置づけにあるC3植物やトウモロコシなどのC4植物の栽培種が、すでに古期の時代から漁労・農耕複合の中で醸成されてきたことが示唆される。農耕を基盤とした定住化と対比してアンデス地域に特有の文明形成段階の一つとみなされてきた漁労定住であるが、その様相は栽培植物も組み合わせた複雑な形で実現されていたことが明らかになった。

これに加えて、進行中であるDNA解析の結果が出揃えば、漁労・農耕複合の実態がより詳細に解明されるといえよう。それだけでなく、歯石から抽出した遺伝学的データと自生する野生種のデータの比較を通じて、海岸部で利用された栽培植物の遺伝学的系譜関係が明らかになれば、先史アンデス古期における沿岸部の初期農耕がどのように開始されたのかという点にまで議論を拡張できるようになる。このことは、アンデス文明史におけるアンデス高地と海岸地域の関係性の再考につながるだけでなく、ドメスティケーションや種の多様性、栽培種の拡散過程などの研究にも寄与し、考古学や生態学、進化生物学などの分野に大きなインパクトをもたらす研究への発展が期待できる。本研究成果については、歯石DNAとプロテオミクス解析の結果をまとめた一編と、これに炭素・窒素安定同位体分析、考古学的文脈を加えて考察した論文の計二編を学術誌に投稿する予定である。

(完)

発表論文

- 1) Kazuho Shoji, Víctor F. Vásquez S, Teresa E. Rosales T. 2023 Starch grains on human teeth as evidence for 4000 BCE potato consumption at the Cruz Verde site, northern coast of Peru. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 51: 104152.

引用文献

- 1) Takigami, M., Seki Y., Nagaoka T., Uzawa K., Morales-Chocano, D., Mukai H., Yoneda M., 2021. Isotopic study of maize exploitation during the Formative Period at Pacopampa, Peru. *Anthropological Science* 129(2), 121-132.

- 2) Shoji, K. 2022 Faunal use during the Archaic period based on macro remains from Cruz Verde, North Coast of Peru. *Revista ARQUEOBIOS* 17(1) 42-63
- 3) Shady, S. R. and C. Leyva (editors) 2003 *La ciudad sagrada de Caral-Supe: Los orígenes de la civilización Andina y la formación del estado primitivo en el antiguo Perú*. Instituto Nacional de Cultura, Lima.
- 4) Chu, A. 2011 Household Organization and Social Inequality at Bandurria, A Late Preceramic Village in Huaura, Peru. Unpublished Ph. D. Dissertation, Department of Anthropology, University of Pittsburgh, Pittsburgh.