

ISSN 1344-8366

『古代アメリカ』 *América Antigua*

第 25 号, 2022 年, 括刷 (pp.53-63)

<調査研究速報>

ペルー北部、インガタンボ遺跡の測量調査

山本睦（山形大学）、
大谷博則（インガタンボ考古学プロジェクト）

3D Mapping at Ingatambo, Northern Peru

Atsushi Yamamoto (Yamagata University),
Hironori Otani (Ingatambo Archaeological Project)

古代アメリカ学会

Sociedad Japonesa de Estudios sobre la América Antigua

Japan Society for Studies of Ancient America

『古代アメリカ』25, 2022, pp.53-63

<調査研究速報>

ペルー北部、インガタンボ遺跡の測量調査

山本睦
(山形大学)
大谷博則
(インガタンボ考古学プロジェクト)

1. はじめに

本稿では、ペルー最北部を流れるワンカバンバ(Huancabamba)川の南岸に位置するインガタンボ(Ingatambo)遺跡での測量調査の成果について報告する(図1)。本調査は、Covid-19の影響でフィールドへの渡航が制限されるなか、在ペルー共和国の共同研究者との連携によって実施されたものである。われわれは、インガタンボ遺跡において、これまでに計5シーズンの発掘調査をおこなってきた。より詳細な発掘調査の期間は次の通りである(①: 2006年7月16日~9月28日、②: 2007年7月27日~9月27日、③: 2011年8月4日~9月8日、④: 2015年6月6日~7月2日、⑤: 2018年5月8日~7月3日)。しかし、10haをこえる遺跡規模と、アンデス山脈の東斜面にあり、標高1,066mで熱帯低地に近いという調査地に特有の高密度の植生などから、遺跡全体を包括する詳細な地形図および遺構図を、いまだ作成できていないという問題をかかえていた。そのため、神殿の建設過程の全体像を把握したうえで、神殿と景観をめぐる研究を展開していくことが困難となっていたのである。そこで本調査では、はじめに1980年代の航空写真を用いて地形図を作成することを試みた。そして次に、それをふまえて、RTK(Real Time Kinematic: リアルタイムキネマティック)対応のUAV(Unmanned Aerial Vehicle: 無人航空機、ドローン)とGNSS(Global Navigation Satellite System: 全球測位衛星システム)対応の機器を用いて、RTK-GNSS測量による高精度の測量を実施し、詳細な地形図を作成することを目指した。ここでいうRTKとは、基準点からの観測データをリアルタイムに観測点に送信することで、観測点を瞬時に測位計算し、高い精度の測位を実現する技術のことをさす[西2016:46-47]。また、RTK-GNSS測量とは、基準点と観測点という2つのポイントを同時に観測することで、数cmの誤差での測量を可能とするものである[久保2018:97]。

2. 本調査の背景と調査方法

2-1. インガタンボ遺跡の考古学調査とその問題点

主として、複数の石造基壇と広場状の開放空間から構成されるインガタンボ遺跡は、これまでの調査によつて形成期(前3000年紀元前後)からインカ期(後1438-1532年)におよぶ堆積をもつことが確認されている(表1)。なかでも、ポマワカ期(前1200年-前800年)とその最盛期ともいえるインガタンボ期(前800年前500

年)には、ワンカバンバ川流域だけでなく、ペルー最北部でも最大規模の神殿が築かれ、当該地域の社会的統合の中心かつ地域間交流の重要地としての役割をはたしたことも明らかとなってきた〔松本・山本2022〕。さらに、ワンカバンバ川流域の踏査の結果をふまえると、ポマワカ期から流域内に複数の神殿が建設されていくなかで、インガタンボが流域の核となる神殿であったこともわかつてきた。そして、周辺地域および遠隔地との地域間交流が活性化するなかで、地域間ルートの結節点に位置するインガタンボの中心性が高まり、神殿がさらに大規模化、複雑化したと考えられている〔Yamamoto 2021a〕。

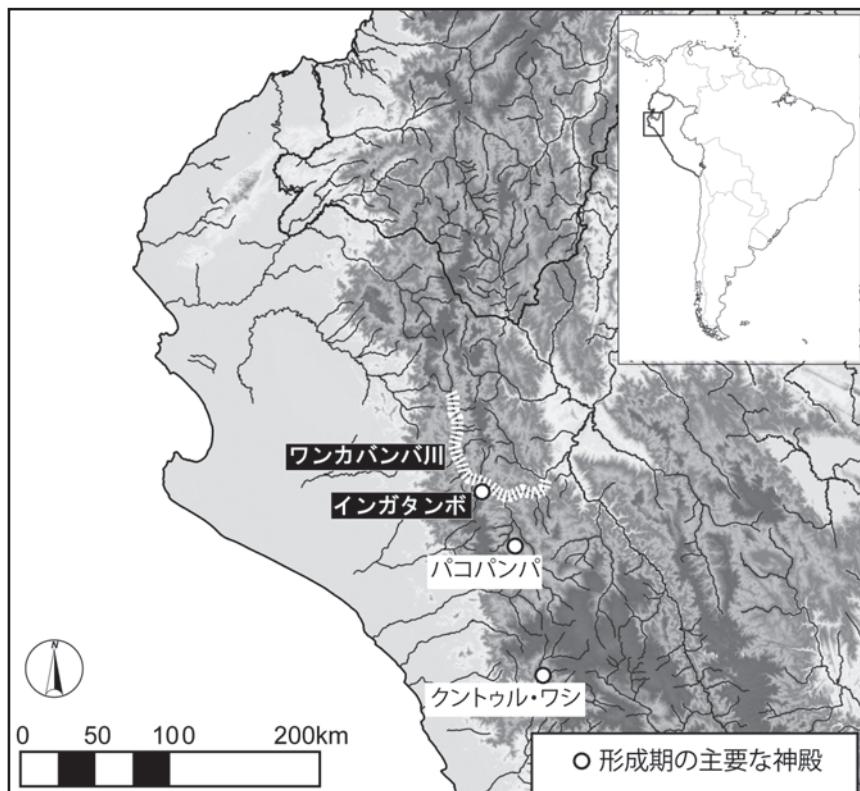


図1 インガタンボ遺跡の位置

表1 インガタンボ遺跡の編年

編年	インガタンボ遺跡の編年	
形成期早期～前期	ワンカバンバ期	前2500-前1200年
形成期中期	ポマワカ期	前1200-前800年
形成期後期	インガタンボ期	前800-前500年
地方王国期	ラス・フンタス期	後1300-1400年
インカ期	タンボ期	後1400-1500年

これらにくわえて、インガタンボの建築は、ポマワカ期の後半以降、とくに神殿の中心部において、ペルー北部山地に位置する形成期の大神殿であるパコパンパとの類似性を顕著に示すようになる〔Yamamoto 2021b〕。ここでいう大神殿とは、たんに建築規模の大きさにとどくものではない。それよりもむしろ、政治、経済、あるいは宗教などの側面において、一つの地域をこえた比較的広い範囲で中心的な役割をはたしたと考えられる神殿のことをさす。その一方、両者の関係を大神殿からの一方向的な影響力の波及として単純にとらえることができないこともわかつてきた〔Yamamoto 2021c〕。つまり、インガタンボは、地域間交流が活性化するなかで、ペルー北部一帯で地政学的に重要な位置づけとなり、周囲の様々な社会と交流をもちながらも、固有の戦略や社会的背景におうじて、独自の発展をとげたことが次第に明らかとなってきたのである。

しかしながら、発掘調査を実施した基壇の一区画を除いて、インガタンボでは、主にその規模や植生といった問題から、遺跡全体を包括的にとらえる詳細な遺構図や地形図を作成することができないまま、調査がすすめられてきた（写真1）。このため、各基壇での発掘調査には大きな支障はなかったものの、遺跡全体の配置などに関して、周辺地域の神殿間との建築特徴による比較が困難なものとなっていたのである（図2）。



写真1 インガタンボ遺跡遠景（地表面を樹木や下草が覆っている。北側から撮影）

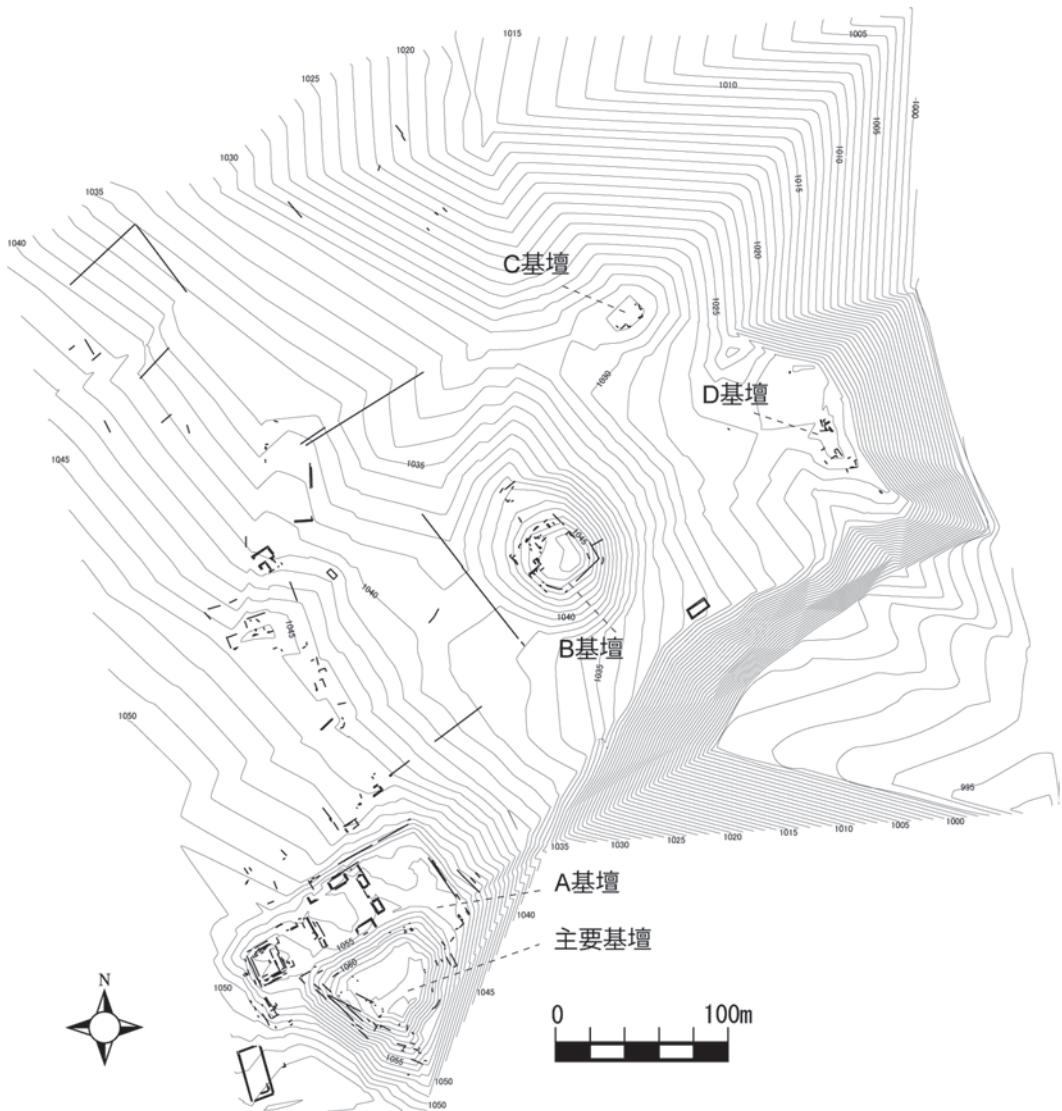


図2 インガタンボ遺跡の全体図（地形図は2006年と2007年の調査で作成）

そこでまず本調査では、1980年代の航空写真からオルソ画像を作成した（図3）。オルソ画像とは、空中写真を、地図と同じように真上からみたような傾きのない、正しい大きさと位置に表示される画像に変換したもののことである〔久保2018:149〕。そのため、オルソ画像では、位置や距離などを正確に計測することが可能となる。このようにして、航空写真を用いてオルソ画像を作成した結果、とくに遺跡の南部において、現在では破壊され、消失してしまった基壇の一部を確認するなど、遺跡自体の範囲を再検討することができた。しかし、航空写真の解像度が低く、遺構やそれを構成する石の形状などといった細部までを認識することは不可能であった。

そこで、これらの問題点を解決し、高精度の地形図と遺構図の作成を目指して、RTK-GNSS測量による高精度の測量を実施した。調査期間は2022年2月24日から3月5日までであった。

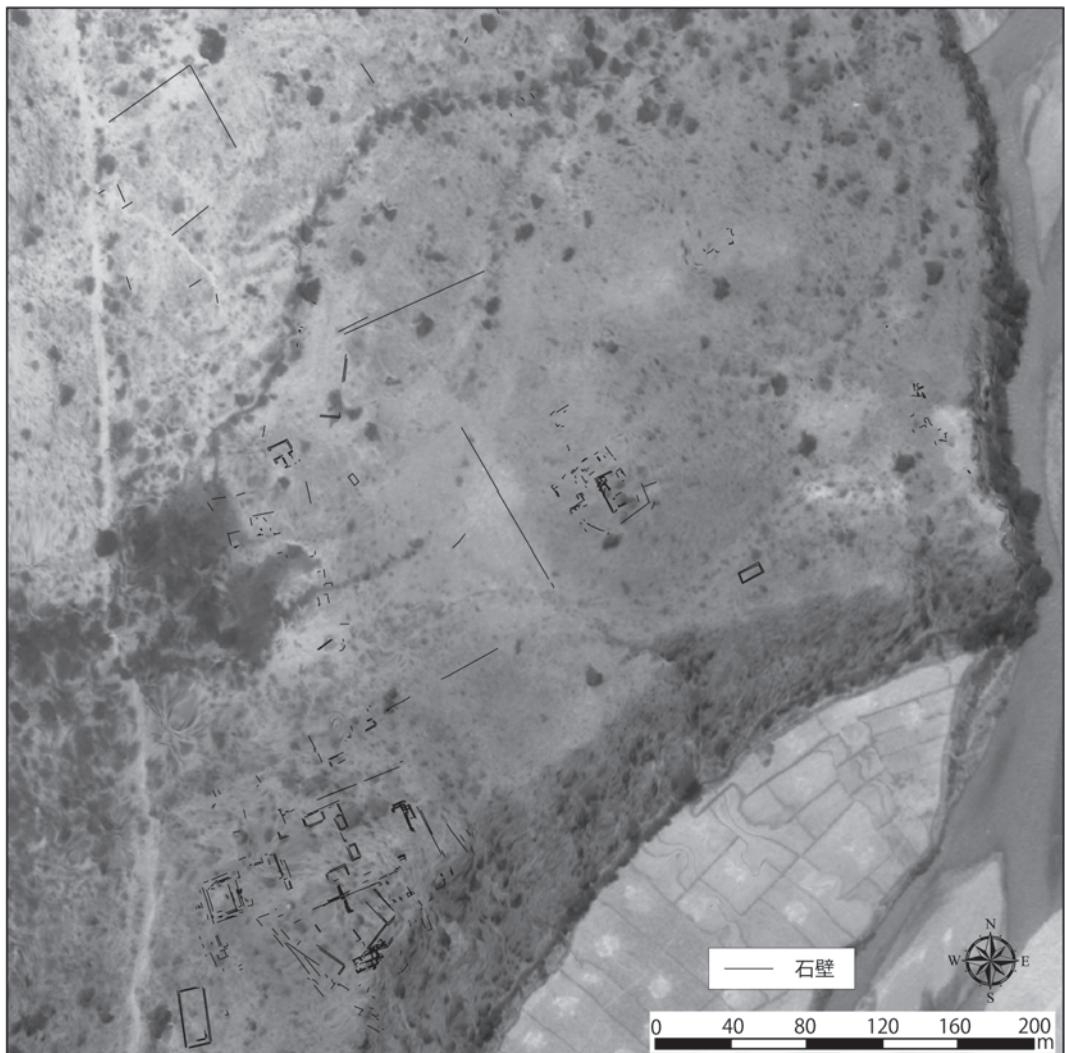


図3 航空写真より作成したオルソ画像

2-2. 調査方法

2-2.1) 調査機材と測定方法

本調査は、機体に備わる GNSS 測量機と地上に設置した GNSS 基準局をリンクさせて UAV の測位をおこなう、地上基準点測位方式により実施した。その理由は、ペルー国内では、複数の基準局を利用したネットワーク型 RTK [久保 2018:114-115] 測量のインフラ整備が、2022 年 3 月の時点で進んでいなかったためである。調査に使用した UAV は DJI 社製 Phantom4 RTK である。また、基準点の取得のための GNSS レシーバーには、South 社製の Galaxy G6 IMU GNSS を用いた。さらに、調査の際に、DJI 社の高精度 GNSS レシーバーである D-RTK2 を基準局とした手法を用いたところ、UAV とリンクしたときに Fix (測定に適した状態) とはならなかつたた

め、Galaxy G6 MU GNSS を基準局として代用した。Fix とならなかった理由としては、Galaxy G6 MU GNSS の衛星受信数が 19~26 であったのに対し、DJI 製の D-RTK2 は 10~14 と受信状態がきわめて悪かった点があげられる。また、本調査では、IGN (Instituto Geográfico Nacional : ペルー国土地理院) の電子基準点の観測データを利用した基準点の座標値の測定ができていないこともその原因の一つであった可能性がある。そして、こうした状況をふまえて、本調査では RTK-GNSS 測量により、3 次元直行座標 (x 軸、y 軸、z 軸) を測定した。

2-2. 2) 作業手順

UAVによる写真撮影や測量を効果的におこなうためには、対地高度を一定に保つことが必要となる。そこで、起伏にとんだ地形や遺構を測量対象とする本調査では、UAV 操作を手動ではなく、UAV の送信機に搭載された DJI GS RTK アプリケーションを用いておこない、対地高度を 30m と一定に保った自動飛行および自動撮影を実施した。このアプリケーションは、複雑な設定を必要とせず、高精度の測量をおこなえる点にその特徴がある。

現地での最初の作業は、RTK-GNSS 測量による基準点の 3 次元直行座標の測定であった。その後、UAV を対地高度 120~200m (解像度 4cm 程度) で飛行させ、遺跡周辺部の写真測量をおこなった。次に、そのデータから Agisoft 社の Metashape を用いて、植生や人工物などの高さをふくむ地表面の高さを表した三次元データの DSM (Digital Surface Model : 数値表層モデル) を作成した。そして最後に、DSM データをもとにして、UAV を地形認識モードによる対地高度 30m で飛行させ、対地高度を一定に保ったまま高精度の写真測量を実施した。なお、UAV による写真測量においては、地面にたいして平行ではなく、角度をつけて天底角 20°で撮影をおこなった。その理由は、視点の異なる複数枚の画像から被写体の 3 次元形状を復元する SfM (Structure from Motion) 処理をすることで、精度が向上するためである [松岡・野末・上原 2020]。

2-2. 3) 解析

データ解析に際しては、まず、UAV による空撮写真と RTK-GNSS 測量によってえられた基準点の位置情報をもとにして (表 2, 写真 2) 、Metashape による SfM 処理をおこない、インガタンボ遺跡の点群データ、および DEM (Digital Elevation Model : 数値標高モデル) とオルソ画像を作成した。次に、大量の点群データから、ノイズや地表面、樹木、遺構などを抽出するために、ローカスブルー社の ScanX Cloud というクラウド型の点群処理ソフトを用いて、点群データを処理した。その後、Esri 社の ArcMap を使用して、処理済みの点群データから DTM (Digital Terrain Model : 数値地形モデル) 、および遺跡全体の立体図を作成した。なお、立体図の作成手順は戸田 [2012] を参照した。

表 2 基準局および基準点の位置情報

基準点	X座標(UTM)	Y座標(UTM)	Z座標(標高)
基準局	696,486.618	9,340,579.103	1,072.674
基準点1	696,473.084	9,340,554.487	1,074.771
基準点2	696,621.134	9,340,797.766	1,057.138
基準点3	696,447.499	9,340,786.015	1,058.000
基準点4	696,359.440	9,340,937.376	1,051.648

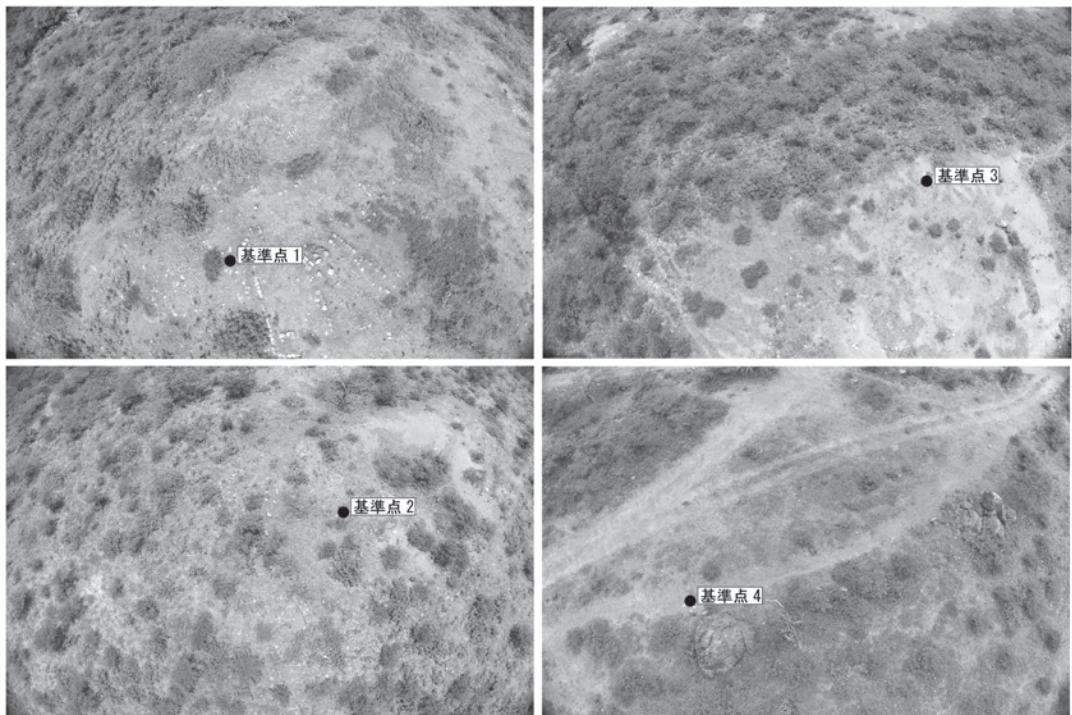


写真2 基準点の位置とその周囲の植生

3. 調査成果と今後の課題

本調査の成果は、大きく二つある。

一つは、インガタンボ遺跡において、高精度の地形データを計測することで、詳細な地形図を作成した点である。より具体的には、解像度 5cm かつ水平・垂直誤差 1cm の DTM と、50cm 間隔の等高線をふくむ立体図を作成することができた（図4、図5）。そのため、これまでには把握できなかった地形の細やかな起伏が把握できるようになり、基壇の形状確認や遺跡範囲の策定に重要な成果をもたらした。たとえば、A 基壇やその上に載る形を呈する主要基壇の南面と西面は、ペルー北部の他の形成期神殿とは異なり、方形ではなく、地形にあわせてややいびつな形で築かれていることが改めて認識された。また、検討の余地はあるものの、2015 年の発掘調査で想定されたように A 基壇が北側に大きく伸びていることが〔山本・ラミーレス 2015〕、地形図から読みとれることも示唆された。

もう一つは、本調査成果をいかして、これまでの調査によって作成された遺構の合成図を再検証し、人為的なエラーや巻尺などを用いた測量などの際に生じた誤差を修正することができたということである（図6）。この結果として、従来では平板測量などで作成してきた遺構図を合成する際に、10cm 程度のゆがみや誤差があったことが確認された。ただし、現時点において、確認された誤差を修正して合成した遺構図が作成できたのは、図6 に示した主要基壇部のみであり、この作業は今後も継続していく必要がある。

以上のように、本調査によって、これまでと比べて、詳細かつ高精度な地形の3次元モデルと遺構図を作成することができた。本調査によるデータは、たんに精巧な遺跡地図や遺構図を作成するだけにとどまらず、インガタンボ遺跡における神殿の建設過程の理解や、他の神殿建築との建築的特徴の比較、あるいはインガタンボとその周囲の景観をめぐる研究をすすめていく際に、きわめて重要なものとなると考えられる。また、本成果が今後の発掘調査計画の立案に大きく寄与することも、疑いようがない。

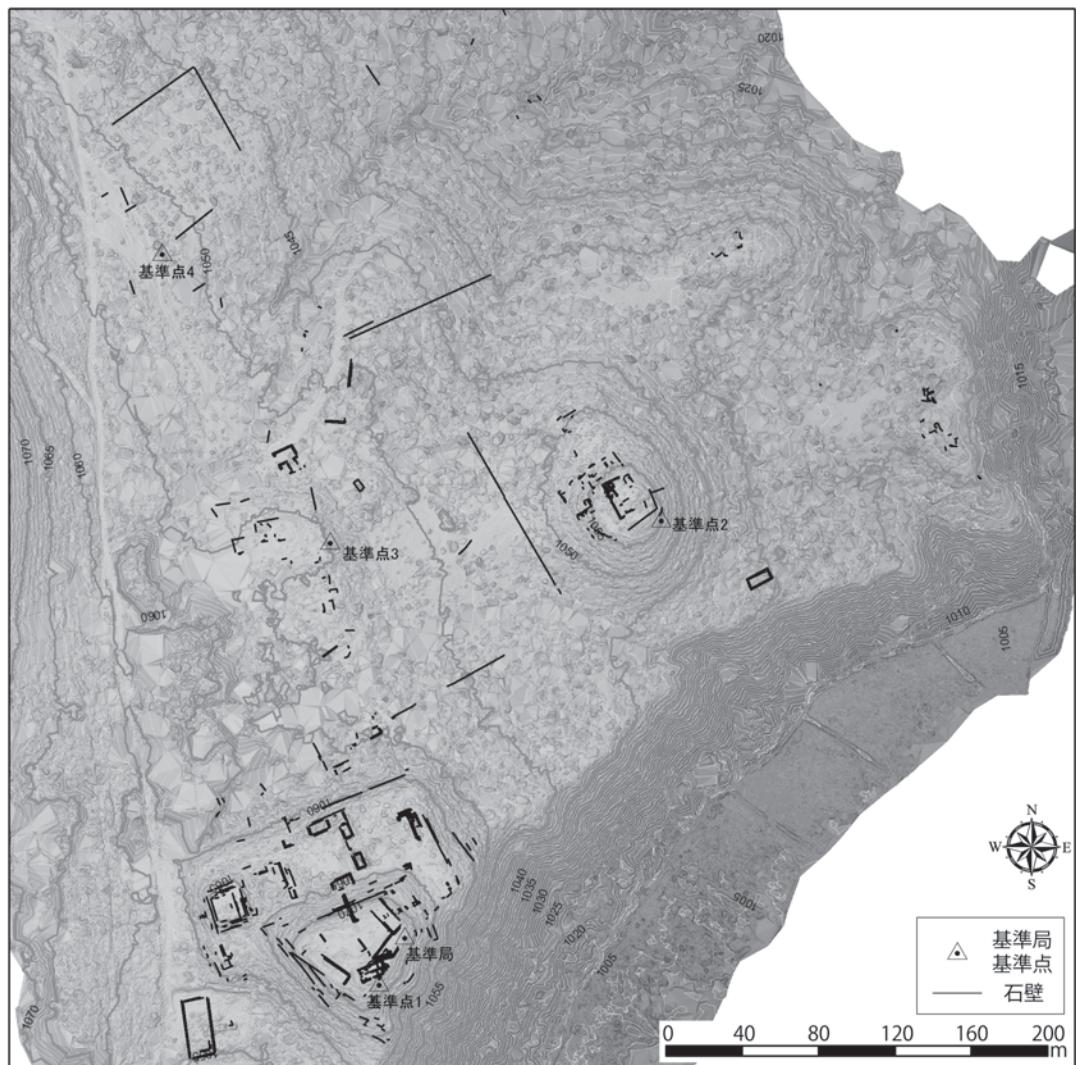


図4 インガタンボ遺跡の全体図（本調査により作成）



図5 インガタンボ遺跡A基壇の地形と遺構

ただし、上記の成果が示された一方で、本調査では十分に対応できなかった多くの課題がみとめられたのも事実である。まず、調査地の植生の影響によって、UAVによる写真撮影および測量では、地表面の点群データを計測できない地点が多く確認された。UAVを用いた写真測量では、樹木や厚い下草に覆われた地点の遺構や地表面を十分に認識することができなかつたためである。たとえば、A基壇の北側には植物に覆われた地点が多く存在していることから、先述したA基壇の規模を本調査成果を通じて正確に確認することは困難である。この問題を解決していくためには、遺跡全面の樹木や下草を除去するか、あるいはLiDAR（Light Detection and Ranging）による地表面点群データの計測が不可欠となるであろう。また、IGNの電子基準点の観測データを利用して、本調査でインガタンボ遺跡に設けた基準点の座標値を測定し、より正確な位置情報をえることも必要である。この作業は、将来的に実施予定の景観分析の際に、より精度の高い分析結果をもたらすものになると期待できる。

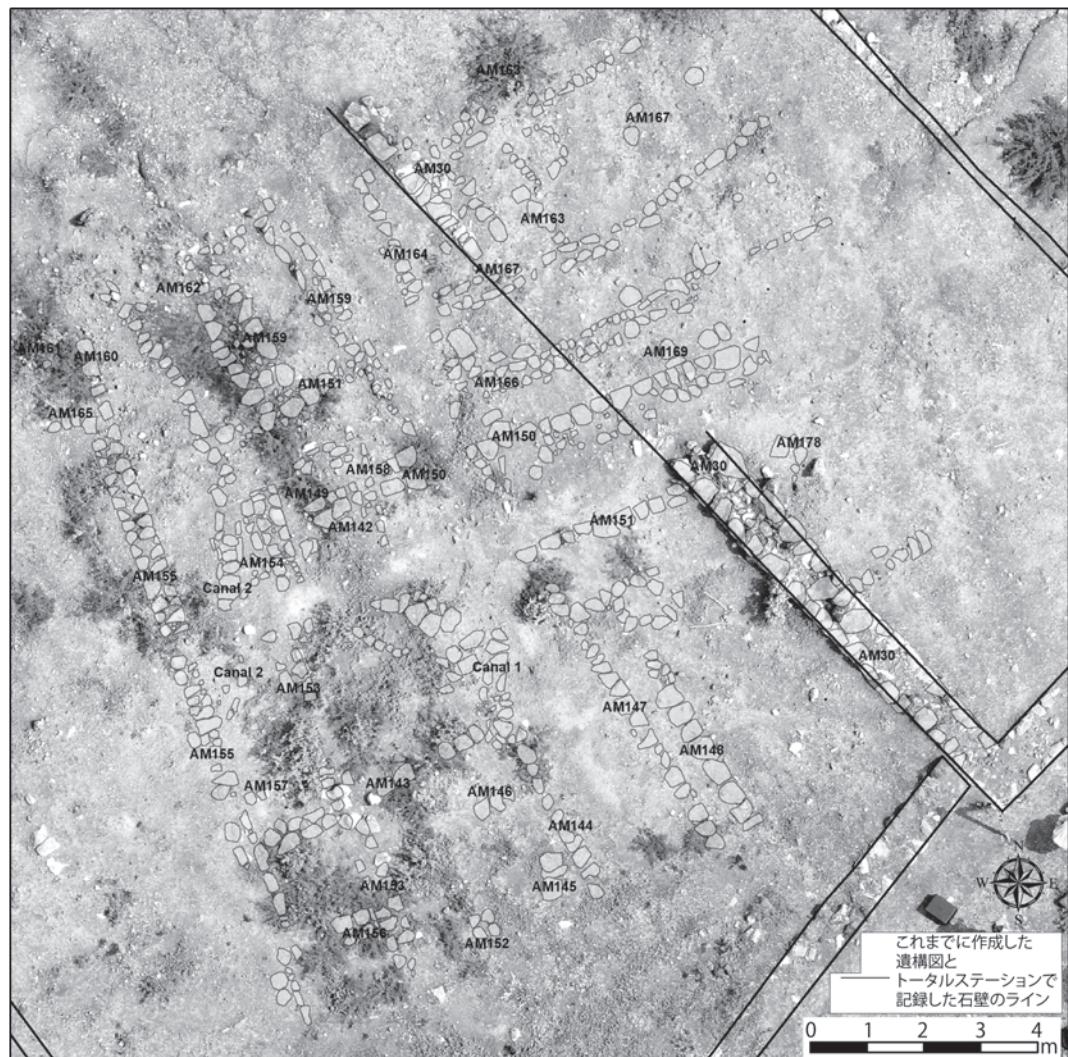


図6 本調査成果とこれまでの調査成果の統合（インガタンボ遺跡主要基壇上部）

4. おわりに

本調査によって、実施した測量およびデータ解析は、その手法や技術を他の遺跡で援用することも可能であり、とくにインガタンボ遺跡よりも植生の影響が少ない地域においては、より有効性を発揮するものと考えられる。

また、課題は残るもの、これまでの調査と比して、一層詳細な地形図や遺構図を作成することで、遺跡間の比較や景観分析をおこなう礎を築き、今後の調査を優位にすすめていくための指針をうちだせたことは、本調査の非常に重要な成果であるといえよう。

【謝辞】

本調査の実施においては、現地でオスカル・アリアス氏とエルメル・ラモス氏に多大な尽力をいただいた。また、放送大学の鶴見英成氏と国立民族学博物館の松本雄一氏には、企画、立案から調査の実施およびデータ解析にいたるまで、多くのご協力をいただいた。さらに、本研究は、JSPS 科学研究費 19H05732、K7H04778、21H00640 によって実施された。この場を借りて、深く感謝の意を表する。最後に、2名の査読者の方にはきわめて建設的なコメントをいただいた。厚く御礼を申し上げたい。

参考文献

久保信明

2018 『図解よくわかる 衛星測位と位置情報』 日刊工業新聞社。

戸田賢一郎

2012 「航空レーザ測量を用いた微地形図の作成」 『砂防学会誌』 65(2):51-55。

西修二郎

2016 『衛星測位入門—GNSS 測位のしくみー』 技報堂。

松岡祐仁、野末晃、上原広行

2020 「斜め往復撮影による標定点不要の造成地 UAV 写真測量手法の開発」 『フジタ技術研究報告』 56:25-30。

松本雄一、山本睦

2022 「周囲の神殿ではなにがおきていたか—文明の形成を端から眺める」 『アンデス文明ハンドブック』
(関雄二 (監修) ・山本睦・松本雄一 (編)) pp.151-168、臨川書店。

Yamamoto, Atsushi

2021a La transición del paisaje en el valle de Huancabamba durante el Periodo Formativo (3000-1 a.C.). En *Paisaje y Territorio en los Andes Centrales: Prácticas sociales y dinámicas regionales*, edited by L. Díaz, O. Arias and A. Yamamoto, pp.71-91. Fondo Editorial de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima.

2021b Complexities of Regional and Interregional Interactions during the Formative Period in Northern Peru: New Perspectives from Ingatambo, Huancabamba Valley. *Anthropological Science* 129(2):133-143.

2021c The Emergence of Social Complexity in Northern Peru: A Diachronic Perspective from the Huancabamba Valley. In *The Archaeology of the Upper Amazon: Complexity and Interaction in the Andean Tropical Forest*, edited by R. Clasby and J. Nesbitt, pp.83-105. University Press of Florida, Gainesville.

山本睦、マリーナ・ラミーレス

2015 「インガタンボ遺跡（第四次）およびイエルマ遺跡の発掘調査」 『古代アメリカ』 18:65-77。

原稿受領日 2022 年 5 月 19 日

原稿採択決定日 2022 年 8 月 13 日

