

インダス・プロジェクトにおける 考古学 GIS 班のこれまでの活動

寺村 裕史 総合地球環境学研究所
近藤 康久 東京大学大学院
宇野 隆夫 国際日本文化研究センター
菅頭 明日香 富山大学大学院
岸田 徹 同志社大学文化情報学部
酒井 英男 富山大学理学部

1 考古学 GIS 班の活動の経緯

インダス文明は、紀元前3千年紀を中心として、インド西北部からパキスタンにかけての広範な地域で栄えた古代文明である。整ったプランをもつ大小の都市、華麗なインダス式土器、高度な技術で製作した貴石・貝・ファイアンス・金属製などの装身具、インダス文字や人物像を表した銅製や石製の印章などが、この古代文明を特徴づけている (Wheeler 1968; Kenoyer 1998; Possehl 1999; Agrawal and Kharakwal 2003; Osada 2005)。またこれらの研究の中で、王宮・王墓のように有力な個人の存在を示す発見がなく、武器の発達が顕著でないことが、インダス文明の大きな特色として指摘されてきた。なおここでいうインダス文明は、初期・盛期・後期ハラッパー文化 (Early Harappan, Mature Harappan, Late Harappan) の総称である。

このインダス文明の繁栄を支えた基盤は、インダス川やガッガル・ハークラール川が流れる広大なインダス平原における農業牧畜生産と、西方のイラン・湾岸地域・メソポタミア文明、北方のアフガニスタンを中心とする BMAC 文化 (Bactria-Margiana Archaeological Complex)、東方のガンジス新石器文化・南方の南アジア新石器文化との盛んな交流であったと推定されている (前掲書)。

このことを反映して、インダス文明では小麦・大麦・豆やヤギ・ヒツジなど西アジア起源の栽培植物・家畜が存在する一方、米やコブウシ・馬など異系統のものがああり、その複合過程の解明が、インダス文明研究の大きな課題となっている。またインダス文明の盛衰の背景についても、環境変化や民族移動について、多くの議論がなされてきた (前掲書)。しかしインダス文明遺跡を総合的な方法で発掘した事例はまだ少なく、以上で述べた事柄には、まだ未解明のまま残されている所が少なくない。

そうした現状から、インダス・プロジェクト「環境変化とインダス文明」(代表: 総合地球環境学研究所教授 長田俊樹) は、学際的な方法によってインダス文明の盛衰と環境変化を総合的に解明することを目的としてスタートした。インダス・プロジェクトでは、考古学、地質学、言語学、人類学など多くの分野の研究者が協力して、物質文化研究グループ、古環境研究グループ、伝承文化研究グループ、生業研究グループという4つのグループを編成して、調査と研究を進めている。

このような学際的プロジェクトの大きな課題は、多様な分野の研究の結果を総合して、まとまりある成果として発信する仕組みを作ることにあるであろう。この課題を達成するため、Geographic Information Systems (GIS：地理情報システム) を共通の研究基盤として、すべての情報に共通した時空間情報を与えて一体的に管理・分析し、その成果を共有する作業を、物質文化研究グループの中において考古学 GIS 班として活動すると同時に実践してきている。

本稿は、インダス・プロジェクトにおける考古学 GIS 班の活動成果について報告するものである。その第一の目的は、考古学調査の成果を精密に記録することにある。これによって広い地域に分布する複数の遺跡の成果を統一的に管理し、同じ基準で比較することが出来るようになるであろう。

2 調査の方法

「はじめに」の部分でも若干触れられているが、インダス・プロジェクトにおいては、人間が古代以来環境とどのように向かい合ってきたのかに焦点をあて、古代の環境がインダス文明に及ぼした影響を研究している。プロジェクトにおける考古学 GIS 班の役割としては、遺跡の発掘調査で得られたデータを GIS 上で統合し、情報の収集・管理・分析・公開を行なうことにある。

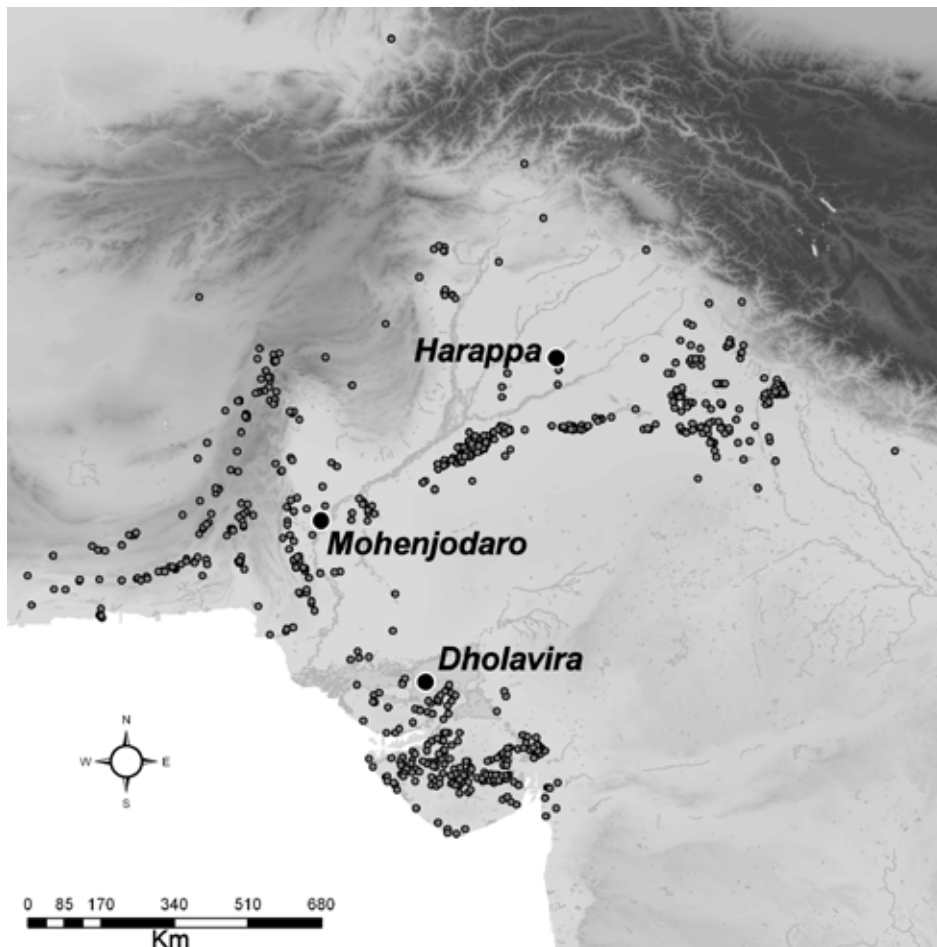


図1 インダス文明関係遺跡分布図 (Mature Harappan)

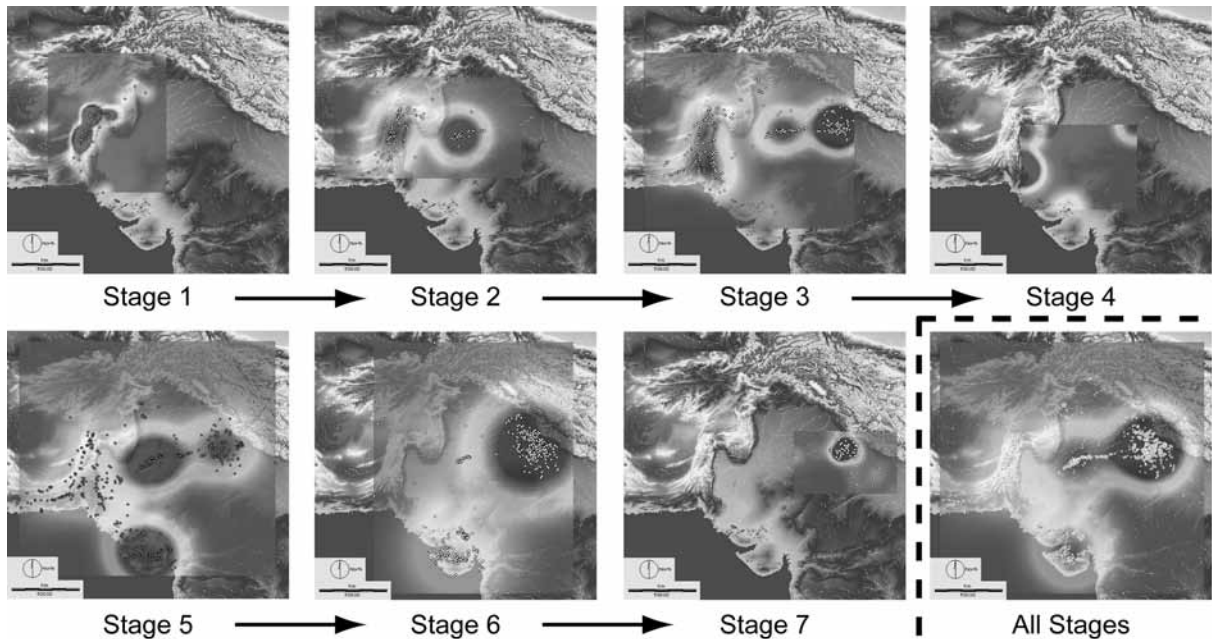


図2 遺跡分布密度の通時的変化

実際の分析にあたっての方法論としては、大きく3段階のレベルを想定し、それぞれのレベルにおいて適切な方法を選択し分析をおこなってきている。3段階のレベルとは、1. 広域レベル（Supra-regional level）、2. 地域レベル（Regional level）、3. 対象遺跡レベル（Target site level）の各レベルである。

以下、考古学 GIS 班のこれまでの活動と絡めながら、各レベルについてみていきたい。

3 調査・研究の成果

まず、広域レベルとしては、インダス文明遺跡のデータベース作成とそのデータを基に GIS の分析機能を用いたインダス文明遺跡の分布研究が相当するであろう。南アジア地域の DEM の作成および、インダス文明関係遺跡の位置情報等の入力をおこない、その遺跡空間データベースを基にインダス文明の諸都市・集落を DEM 上に時期別に表示して、遺跡分布や遺跡密度の通時的変化をインド・パキスタンにまたがる広範囲で分析している（図1・2）。

地域レベルでは、インド・グジャラート州カーンメール遺跡の調査に引き続き、インド西北部のインダス文明遺跡の調査を開始することを計画した。そのためまず2007年3月に、インド・ハリヤーナー（Haryana）州とラージャスターン（Rajasthan）州において、遺跡分布調査を実施した（図3）。

遺跡分布調査は、デカン大学（Deccan College）ヴァサント・シンデ（Vasant Shinde）教授、ロータク（Rohtak）大学マン・モーハン・クマール（Man Mohan Kumar）教授・同大学院ヴィヴェーク・ダーンギー（Vivek Dangi）氏らが共同して実施し、宇野隆夫が高精度 GPS（Trimble Pro XH）を使用して遺跡プロファイリングをおこなった（図4、Shinde *et al.* 2008）。調査を実施した遺跡は、ハリヤーナー州で12遺跡、ラージャスターン州で12遺跡、合計24遺跡である。さらにそれらの分布をもとに、GISを用いたRun-off analysis（河道復元分析）の結果をみると、



図3 分布調査実施風景（ファルマーナー遺跡）

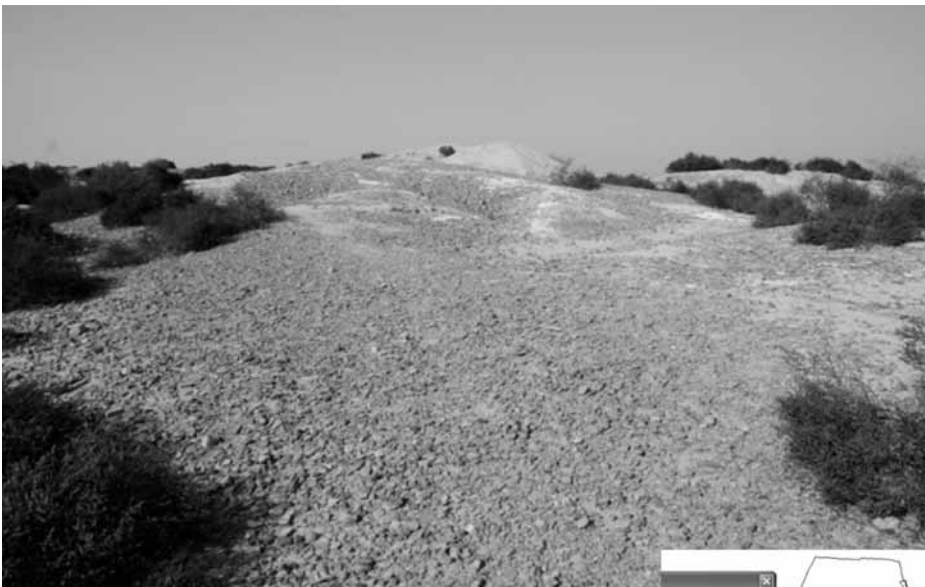


図4 Kalibangan 遺跡の近景とプロファイリング

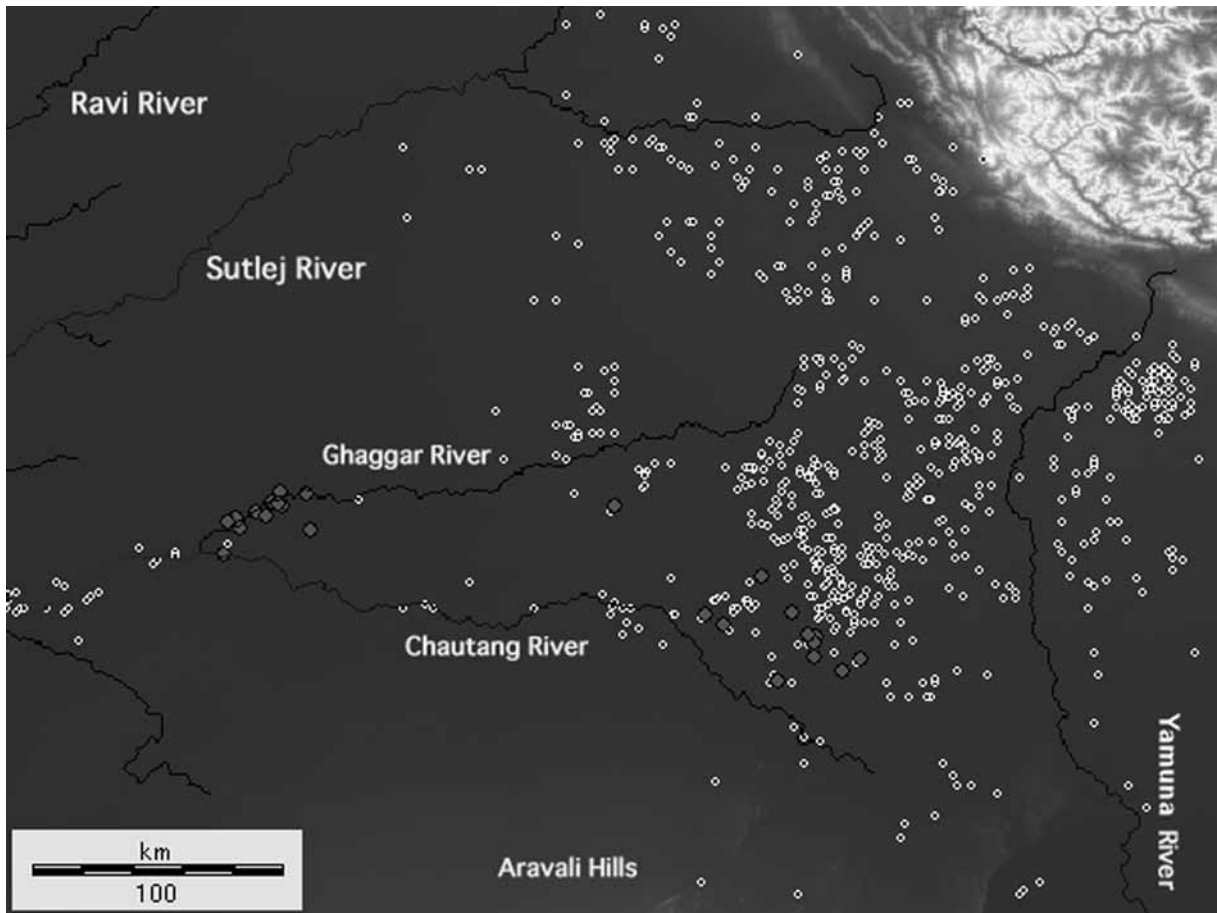


図5 分布調査遺跡（黒ドット）と河道復元



図6 GPS（左）とトータルステーション（右）使用の様子

ガッガル（Ghaggar）川とその支流であるチョウタング（Chautang）川の河道が明瞭に表れているが、この2つの河川の合流点より下流では、河道がやや明瞭でなくなる（図5）。分布調査を実施したハリヤーナー州の遺跡のほとんどは、チョウタング川に沿って分布している。これに対して、ラージャスターン州の盛期ハラッパー文化期のインダス文明遺跡については、分布調査の結果カーリーバンガン（Kalibangan）遺跡が最も東に位置することを確認できたため、ガッガル川とチョウタング川の合流点より下流域に立地したと理解できるようになった。

他方、ハリヤーナー州の遺跡分布調査成果から、最大遺跡のラーキー・ガリー（Rakhi Garhi）

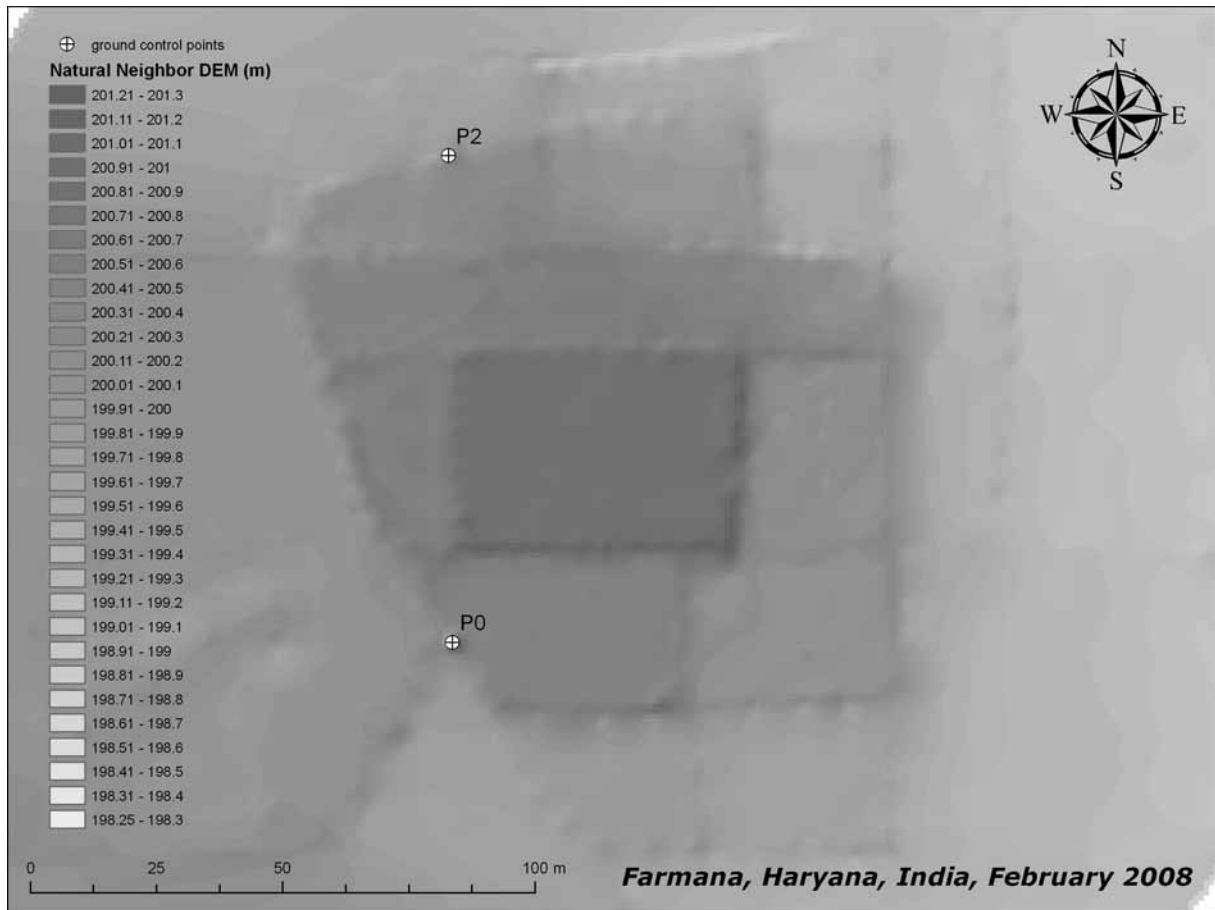


図7 ArcGISによるファルマーナー遺跡の1mメッシュDEM

遺跡だけではなく、ファルマーナー（Farmana）遺跡やミタータル（Mitathal）遺跡も規模が大きく存続年代も長く、重要な遺跡であることが明らかになった。これらの成果に基づき、対象遺跡レベルとしてファルマーナー遺跡の本格的な発掘調査を開始し、その地形測量を実施することとなった。

対象遺跡レベルとしては、インドのファルマーナー遺跡・カーンメール遺跡それぞれにおいて、GPS やトータステーションを用いたデジタル地形測量や写真測量を実施し、遺跡周辺の地形や遺跡の構造を把握することに努めている(図6)。以下、簡単にそれらの測量成果を報告する。

ファルマーナー（Farmana）遺跡の地形測量

ファルマーナー遺跡においては、発掘調査前の遺跡周辺も含めた広範囲の地形測量をおこなった。基準点を高精度GPSによって計測し、遺跡中心部分をプリズム自動追尾型トータルステーション（Topcon GPT-9005A）、周辺部分をGPS（Topcon GB1000×2台）による歩行測量によって座標値を取得した。計測したポイント全てが世界測地系に則した位置情報として数センチ以内の誤差で記録され、GIS上での統合・分析が可能になる。計測ポイントのXYZ座標は、世界測地系に準拠したUTM（ユニバーサル横メルカトル）座標系で記録しており、単位はメートルで統一している。

トータルステーションを用いて測量した遺跡中央部に作業範囲を限定して、高精度のデジタル標高モデル（DEM）をArcGISで作成した。測点の内挿（補間）には、自然近傍（Natural Neighbor）法を採用した。図7はファルマーナー遺跡中心部のDEMであるが、現在の耕作地

となっている地表面の畑の区画が良く表現されている。

カーンメール（Kanmer）遺跡の地形測量

カーンメール遺跡はグジャラート（Gujarat）州のカッチ湿原（グレイト・ラン）とリトル・ランとの間に挟まれた場所に位置し、すぐ南側にはランが迫ってきているところに立地している。カーンメール遺跡においては宇野が2006年2月に高精度GPS（Topcon GB500, Trimble Pro XH）による歩行測量を実施しているが、現地は草木のために歩けない地区も多く、また計測に用いたTrimble Pro XHは1周波のGPSであり、標高に関して約0.5～1mの測定誤差をもつため、カーンメール遺跡のDEMはかなり粗いものとなり、課題を残した。そのため次年度に城塞部分に限ってではあるが、トータルステーション（Trimble S6）による再測量を実施することとなった。また城塞周辺とカーンメール遺跡東側の遺物散布がみられた丘陵周辺においては、2周波のGPS（Topcon GB1000×2台）を用い新たに地形測量を実施した。

まず、ArcGISによる分析について述べる。カーンメール遺跡においても、ファルマーナー遺跡と同様に、中心部となる城塞区（citadel）に作業範囲を限定して、ArcGISによる高精度DEMの作成を試みた。カーンメールでは城壁の埋もれた急斜面が存在するので、斜面の傾斜の地表面の微妙な凹凸をとらえるために、一辺を4分割して、自然近傍法に基づく0.5mメッシュのDEMを作成した（図8）。ArcGISで作成したDEMは、城塞の東側が西側よりも1～2mほど高く、南側と西側に凹みがあることをよく示している。

次にIDRISIによって、カーンメール遺跡の周辺部分と城塞部分の計測ポイントを結合しDEMを作成したものが図9である。東側丘陵（Kanmer East）は、遺物散布地であることが確認されたため、急遽高精度GPS（Topcon GB1000×2台）による歩行測量を実施したものであるが、丘陵の高まりや形がよく表わされている。標高としては城塞部分よりも若干低く、北西から南東方向にかけて長細く延びる。遺跡としての詳細は不明であるが、性格を検討する上でも城塞部分と同一平面上で図面として記録し比較することで、カーンメール遺跡（城塞部分）との関連も明らかになってくるであろう。

カーンメール遺跡においては、地形測量に加えて、デジタルカメラによる遺構の写真測量も並行しておこなった。遺構の平面図や土層の断面図などは、インド側の調査チームが紙図面に記録しているため、日本隊としてそれとは別にデジタルによる写真測量を行なうことで、3次元的な情報を付加しお互いのデータを補完することが出来ると考えている。

カーンメール遺跡の調査では、北東・北西・南西の各コーナーの平面図と、城塞北側いくつかのトレンチで検出された城壁、マウンド上面のトレンチの建物跡を測量している。図11は、カーンメール遺跡の等高線図に、調査で発掘したトレンチの枠と、写真測量で記録した遺構画像を重ねたものである。地形測量図の上にトレンチ同士の位置関係や、写真測量による遺構平面写真を重ねることで、城壁や遺構の重なり・継続状況を把握することに有効な手法であると考えられる。棹の先にカメラを装着した場合はカメラがブレないように固定する方法が困難であったりするなど、課題はいくつか見つかったが、一連の写真測量調査では一定以上の成果を得られたと考えている。

さらにカーンメール遺跡はインダス文明期の城塞遺跡であり、現在までに実施された発掘調査の結果、二重の大規模な石積み城壁が発見されている。そこで、この城壁を対象として、城壁の巡る様子および城門の位置を非破壊で推定する目的で地中レーダ探査を実施した。

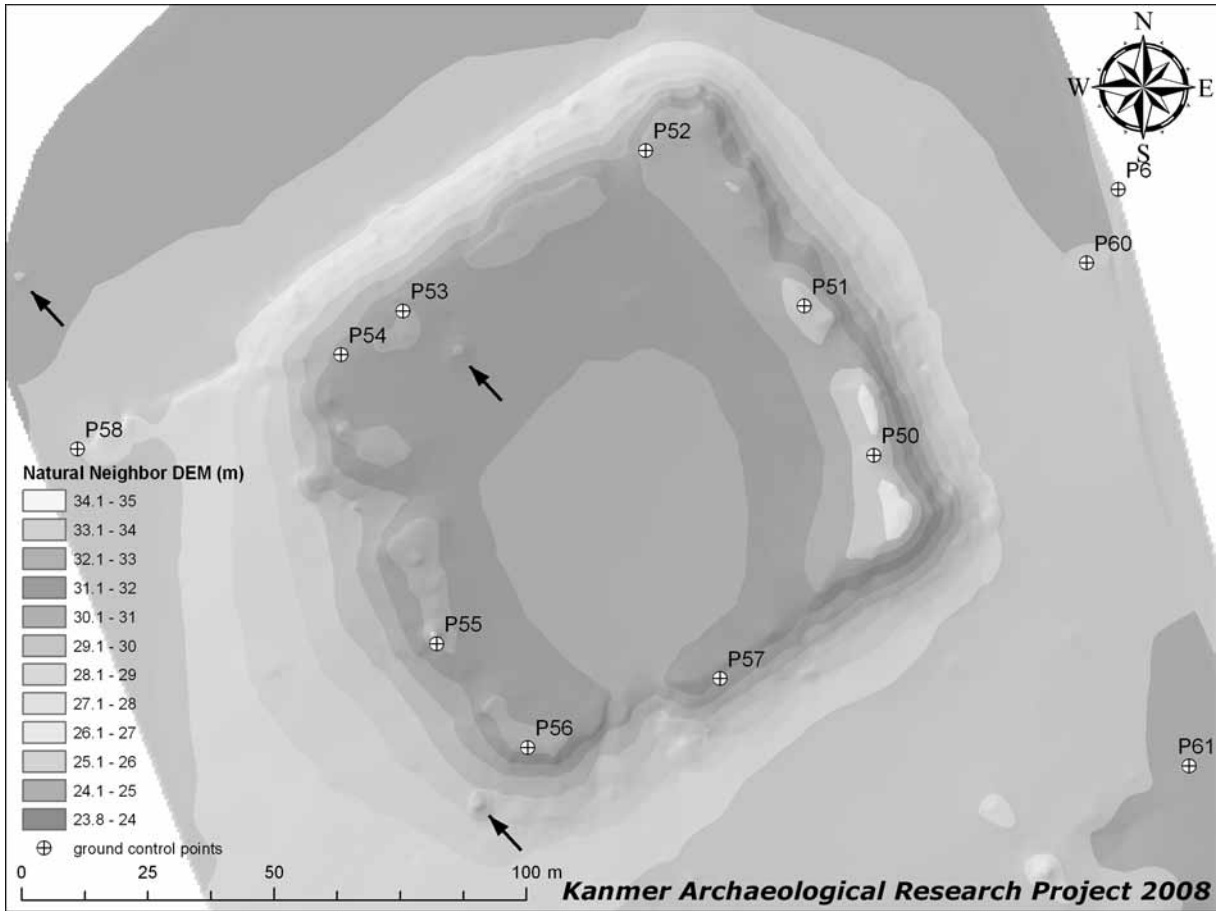


図 8 ArcGIS によるカーンメール遺跡の 0.5m メッシュ DEM

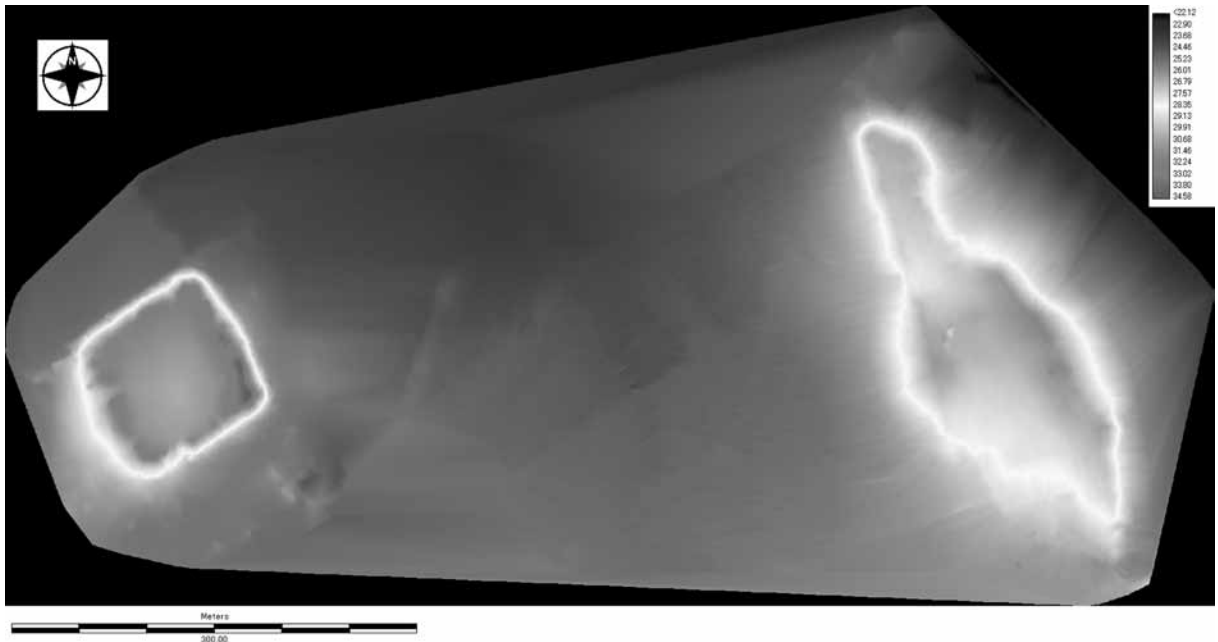


図 9 カーンメール遺跡と東側丘陵の DEM

地中レーダ探査は 2008 年 2 月 23 ～ 26 日の計 4 日間で実施した。探査に使用した装置はカナダ Sensors & Software 社製 Noggin plus 250 およびスマートカートシステムである。中心周波数 250MHz のアンテナを用いた。探査範囲を図 12 に示す。城塞遺跡の周縁部に Grid 1 ～ 9 の探査範囲を設定した。各グリッドでの測線間隔は、Grid 1 ～ 3 および Grid 7 は 0.5m、Grid 4 ～ 6,8,9



図 10 梯子の上からの撮影（左）と棹の先にカメラを装着しての撮影（右）の様子

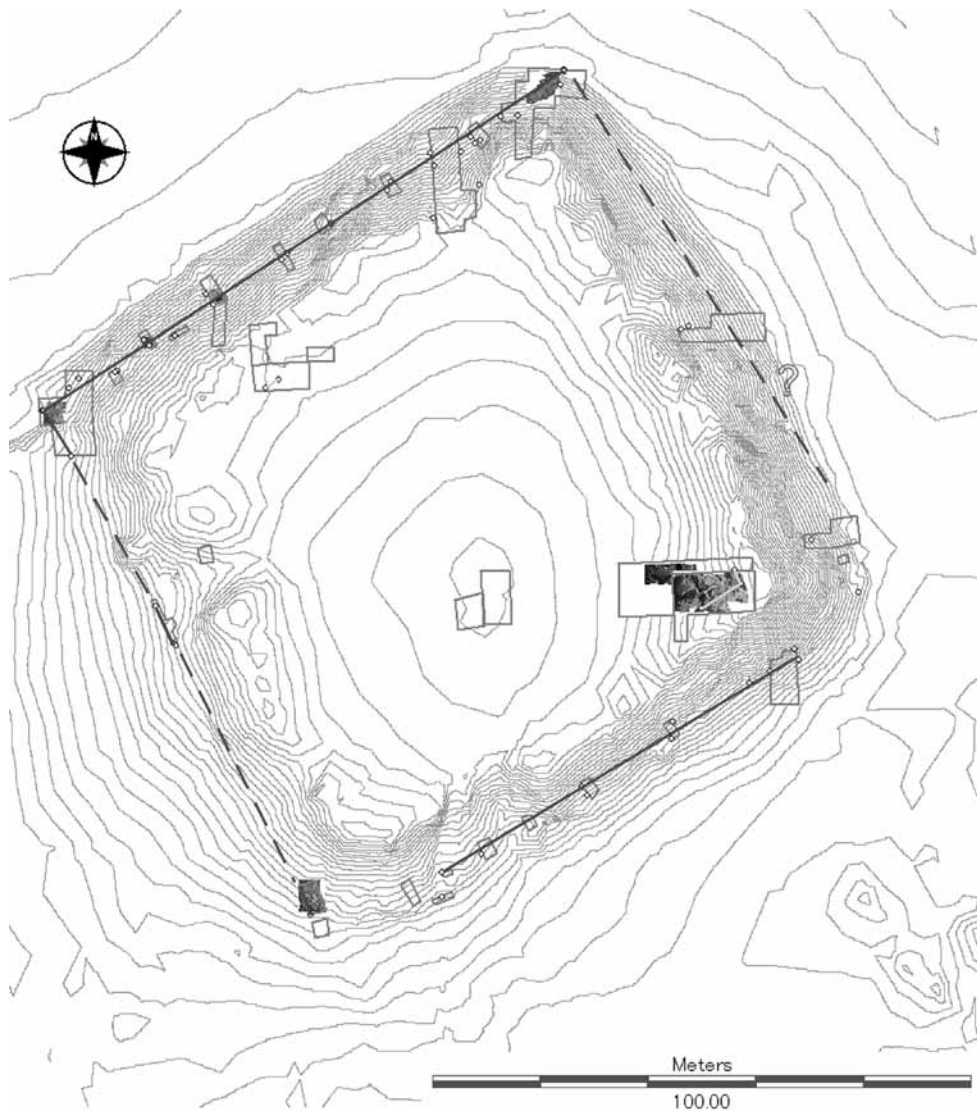


図 11 カーンメール遺跡のコンター図と写真測量図のオーバーレイ

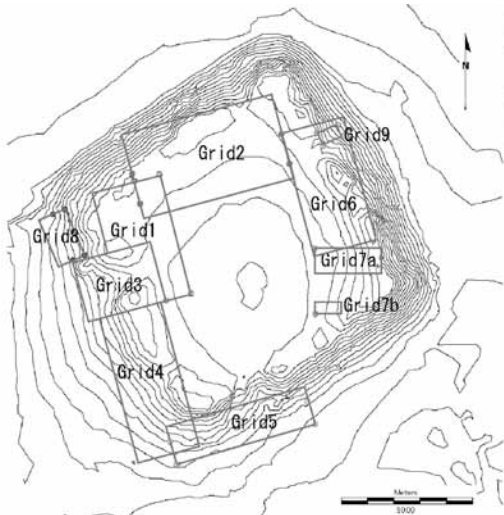


図 12 地中レーダ探査範囲



図 13 地中レーダ探査風景



図 14 探査結果から推定した外壁の位置 (破線)

は 1m とした。探査した総測線数は 468 本である。図 13 に探査風景の写真を示す。探査範囲の多くは斜面であり、地表には多くの礫が散乱していたため、探査装置の移動は困難であった。そのため、上り坂では、探査装置の前部に結びつけたロープを引っ張る方法で実施した。

全ての探査範囲における Time slice 図を測量図に重ねて示したのが、図 14 である。地中レーダ探査で推定した外壁を赤線で示している (破線は推定部分)。城塞の東側外壁は $N-26.5^{\circ}-W$ 、南壁は $N-57.6^{\circ}-E$ の軸線を持ち、直交ではなく、やや鋭角に交わることが判明した。城塞全体

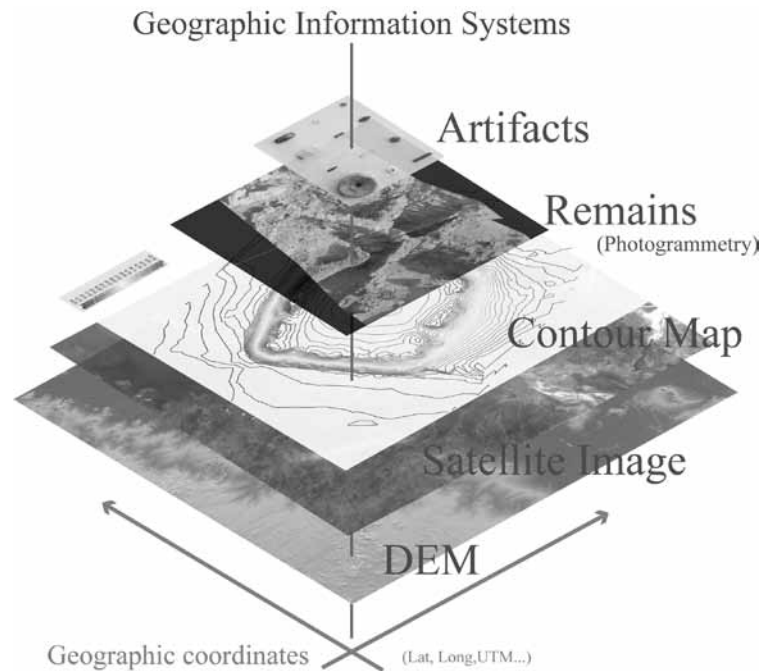


図 15 インダス・プロジェクトにおける GIS を軸とした空間データの統合

の地形測量図でも、城塞は南北に長い対角線をもつ、やや歪んだ方形を呈しており、城壁も同様の形状を持つと考えられる。

探査の結果、城塞の西側、南側の西半分、南西コーナー、および東壁の一部を明確に捉えることができた。南西コーナー部では、外壁は直角ではなく、鋭角につながることも判明した。さらに、城塞西側（Grid 3 および 4）では建物跡と推定される強い異常応答を捉えることができた。本探査の重要な目的であった、城門の位置については、Grid 4 に外壁の途切れる部分が認められ、城門の可能性が考えられる。

4 今後の課題と展望

以上で、現在までのインダス・プロジェクトにおける考古学 GIS 班の活動について述べてきた。我々は将来（近未来）の最も大きな課題として、考古学でおこなう作業のすべてを GIS 上で実施できる環境を構築することを目標としている。そして上記の諸課題を達成できたならば、一つの遺物・遺構というミクロのレベルから広域レベルに至るまで、シームレスに移動しこの将来的な課題をほぼ達成できるものと予想している。

最終的には、図 15 にあるように遺構情報の上に遺物の定量的情報なども加え、前に記したように 3 段階のレベルを踏まえた上で GIS という一つの柱のもと全ての情報を統合し、考古学調査のモデルとなるようなシステムを構築していきたいと考えている。

さらに我々は、GIS の管理・分析機能を考古学だけではなく、学際的な分野で活用することを目標としている。如何なる種類の情報でも、ID 番号、属性、時間、空間という四種の情報があれば、GIS 上で運用してその表示・分析機能を用いることができる。そしてそこから一歩先に進み、GIS の管理・分析機能に加え、さらにデジタルの利点を生かしたインターネット上

での情報共有も見据えた上で、GIS で統合されたデータのオンラインによる管理・検索機能を持たせた「WebGIS」の構築も、今後検討していくべき課題であると考えている。そういった事柄も視野に入れつつ、我々は考古学情報だけではなく、言語学・民族学・動植物学をはじめとするインダス・プロジェクトの多様な研究資料について、GIS への格納と運用を試みている。我々は、この試みが未来の新しい総合的な研究分野である GIS (Geographic Information Science) の確立につながるものと展望している。

謝辞

本稿で述べるインダス・プロジェクトにおける考古学 GIS 班の成果は、インダス・プロジェクト（代表：長田俊樹、総合地球環境学研究所教授）のすべてのメンバーと、下記に記す方々の多大な協力とによって得られたものである。ここに芳名を記して、心よりお礼申し上げます。

Vasant Shinde (Deccan College, Pune, India)

Jeewan Singh Kharakwal (Institute of Rajasthan Studies, JRN Rajasthan Vidyapeeth, Udaipur India)

Y. S. Rawat (Gujarat State Department of Archaeology, Gujarat, India)

Man Mohan Kumar (M. D. University, Rohtak, India)

Vivek Dangi (M. D. University, Rohtak, India)

宮原健吾（京都市埋蔵文化財研究所）

千葉 一（東北学院大学）

【引用・参考文献】

- Agrawal, D.P. and J.S. Kharakwal (2003) *Bronze and Iron Ages in South Asia*. Aryan Books International, New Delhi.
- Kenoyer, J.M. (1998) *Ancient Cities of the Indus Valley Civilization*. Oxford University Press, Karachi.
- Osada, T. (2005) *Studies on the Indus Civilization: Retrospect, Prospect and Bibliography*. Indus Project, Research Institute for Humanity and Nature, Kyoto.
- Possehl, G.L. (1999) *Indus Age: The Beginnings*. University of Pennsylvania Press, Philadelphia.
- Shinde, V., T. Osada, M.M. Sharma, A. Uesugi, T. Uno, H. Maemoku, P. Shirvalkar, S.S. Deshpande, A. Kulkarni, A. Sarkar, A. Reddy, V. Rao and V. Dangi (2008) "Exploration in the Ghaggar Basin and excavation at Girawad, Farmana (Rohtak District) and Mitathal (Bhiwani District), Haryana, India", in T. Osada and A. Uesugi (eds.) *Occasional Paper 3: Linguistic, Archaeology and the Human Past*. Indus Project, Research Institute for Humanity and Nature, Kyoto. pp.77-158.
- Wheeler, R.E.M. (1968) *Indus Civilization*, third edition. Supplementary volume to the Cambridge History of India. University Press, Cambridge.