

ロータル遺跡・カーンメール遺跡周辺における  
完新世離水海岸平野の環境変化  
—地形発達・粒度・相対的海面変化の分析から—

宮内 崇裕

千葉大学大学院理学研究科

はじめに

2009年度は、以下に示す前年度からの主な課題および追加の課題について調査研究を推進した。

- 1) ロータル遺跡周辺での完新世海岸平野構成層の掘削・試料採取
- 2) ロータル遺跡・カーンメール遺跡の立地条件と周辺の海岸平野の離水過程との関係
- 3) 内陸河川網における塩分起源とその流入経路と集積過程（追加課題：中内敦夫（岐阜大学）および久米（RIHN）により別途報告）

現地調査は、まず2009年12月11日～21日に行った。ここでは宮内・中内がウダイプルのJ.S.カラクワール博士（ラージャスターン・ヴィディアピート大学）に送付しておいたパーカッション式ドリラーのメンテナンスとロータルへの配送手配を行い、河口から内陸河川に沿って水質分析のための陸水サンプリングを実施した。継続してドリラーによる試験掘削を行う予定であったが、種々の制約が発生し掘削の中止を余儀なくされた。ほぼドリラー使用をあきらめていたところ、2010年2月～3月にイタリア隊がロータル遺跡で調査をする情報を得て、そこに合流できないか、同年1月ブジでの国際会議において長田教授（RIHN）・前杵教授（広島大）が交渉にあたった。結果的に合同調査が許可され、宮内が同年3月13日～17日に急遽インドへ渡航し、イタリア調査隊（Dennys Frenz博士、Bologna大学）に合流した。彼らにこちら側の掘削の意義について説明を行い議論の後、パーカッション式ドリラーによる試験掘削をロータル遺跡周辺でようやく行うことができた。なお、前年度リトルランで採取した堆積物の粒度分析は、国立極地研究所所有のレーザー回折式粒度分布測定装置（島津製作所製、SALD-3100）を用いて前杵教授（広島大）にお願いした。これらの総合解析に基づき、ロータル遺跡・カーンメール遺跡周辺の完新世離水海岸平野の離水過程についていくつかの新知見を得た。なお、その成果の概要は2010年日本地球惑星科学連合大会において発表した（宮内ほか2010）

## 1 ロータル遺跡周辺での完新世離水海岸平野構成層の掘削・試料採取

ロータル博物館に配送・保管してあったドリラーの扱い方をイタリア隊に説明し、ロータル遺跡敷地外の休耕地において試験掘削を行った（図1、Loc.1）。掘削地点の地形学的な位置は、完新世タイダルフラット I を覆う網状流河床であり、標高 10m 前後と推定される。ここは、2008 年度の調査にて手掘りにて地表下 35cm まで掘削を行い、砂泥質な氾濫原堆積物を確認した場所のすぐ近くである。今回の掘削にて、さらに深度を下げたコアリングを期待したが、ドリラーの刃先が約 1m 貫入した段階でストップしてしまった。パーカッションには問題なく、表層の思わぬ固結が障害となった。新期堆積物であれば地下深い方が地層自体は軟らかいと予想していたが、全く逆の状態であった。つまり、乾季には地下水面が低下し表層部は相当緻密に固まり、ドリラーの刃先の進入を止めてしまうのである。理屈はわかったが、今度は刃先が抜けなくなってしまい、難儀をすることになった。1 時間近く付属品を使って刃先を取り除こうとしたが全く動かずあきらめかけた時、レンタカーの運転手が車のジャッキを挟み、あっという間に抜いてくれたのである。彼の機転がなければそのまま刃先を地面に突き刺したまま帰ることになったであろう。氾濫原堆積物の下位に期待される完新世中期の海進堆積物(海成層)を採取するには、すくなくとも雨期後半で地下水位が上昇し、堆積物が軟弱になる時期での掘削が必要である。イタリア隊と相談し、再調査については後日検討することとなった。

先学による報告によれば (Rao 1979, 1985)、遺跡内での地質層序が概略記録されていて、氾濫原堆積物の厚さは約 5m、この下位に貝殻まじりの泥層があるらしい（図3）。貝殻の C14 年代

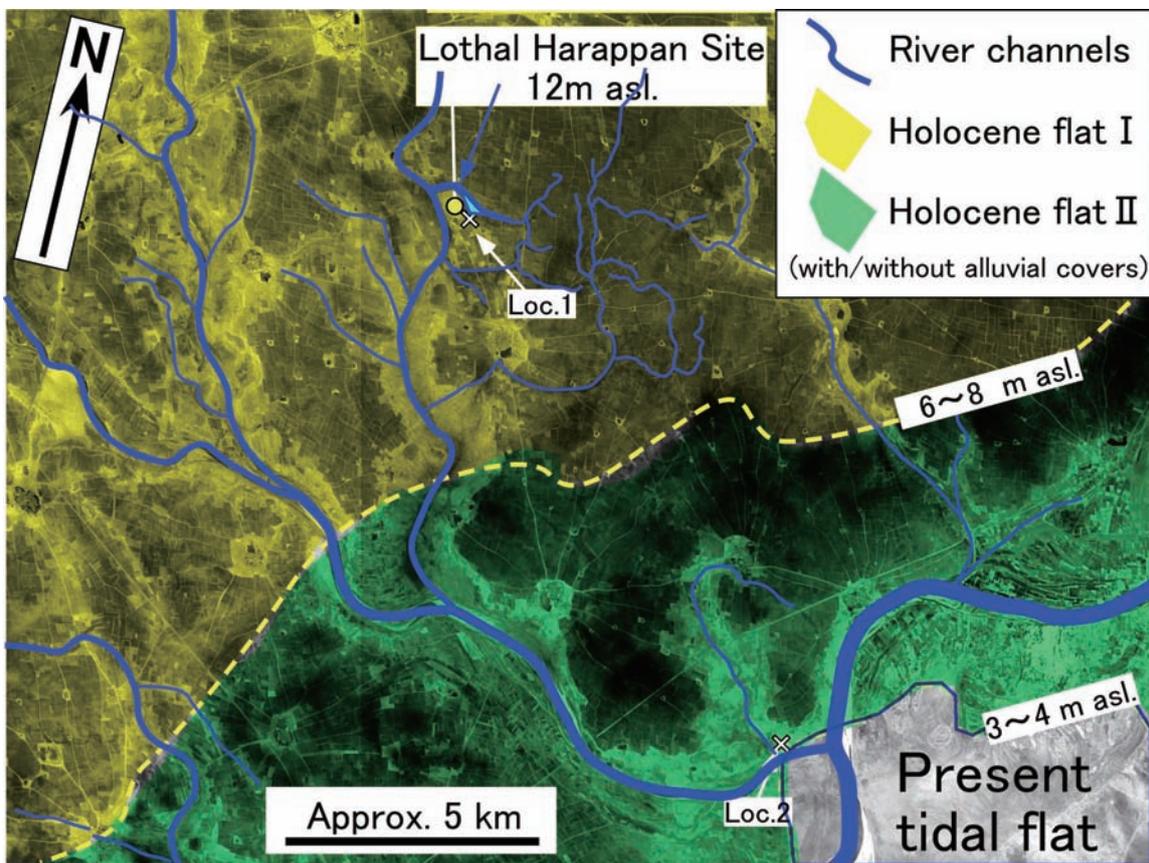


図1 ロータル遺跡周辺の地形学図

測定も期待できるので、何としても次回（雨期）に掘削によるコアリングを完遂したいものである。

## 2 ロータル遺跡の立地条件の変遷： キャンベイ湾沿岸の地形環境から

キャンベイ湾沿岸の海岸平野は、現成の広い tidal mud flat、その高位に発達する海成段丘（昔の flat が順次離水したもの）、そしてそれらの上面を覆う洪水氾濫水系網によって特徴づけられる。高位海成段丘は標高 15m 前後、低位のそれは標高 10m 前後にあり、それぞれ更新世後期（MIS5）期および完新世中期（MIS1）の高海面期に対比されている（Prasad and Gupta 1999）。キャンベイ湾での現在の平均潮位差は 8m に達することを考慮しても、全体として隆起傾向であり、平均的な隆起速度は 0.1mm ~ 1mm/年である。

ロータル遺跡は、少なくとも 2000 年（暦年補正なしの C14 年代）より前に離水した MIS1 後期の Holocene flat I を覆う氾濫水系網の中に立地し、標高 12m の氾濫堆積物上にある（図 1・図 3）。この堆積物の下位、標高 6 ~ 7m には海成砂層・泥層が存在する（Rao 1979, 1985）ことから、海水が進入した内湾環境の後に相対的に海面が低下し、この flat I は氾濫原域となったことは明らかである。従って、ロータル遺跡はこのような氾濫原となった後に、河床を避けるように微高地に立地したことになる。古水系と旧海岸線の位置（遺跡から 5km 弱）から判断すれば、とくに高潮位時には、これらの水系を利用して遡上する水運が十分可能であり、遺跡内に発見された港湾（dockyard）はそのため建設されたものと理解できる（図 4）。その後、さらに相対的海面低下がおこり海岸線が前進したために、高潮位時でも水運が不可能となり、徐々に古代ロータルの港湾都市は衰退していったと考えられる。完新世の最大海進期が 7000 年前ごろと仮定すると、このような海岸線の前進と海岸平野の離水は、それ以降の相対的で連続的な海面低下として捉えることができる（図 5）。約 7000 年以降の海面の相対的低下量は約 6m と試算される。



図 2 パーカッション式ドリラーによる掘削の様子

## 3 カーンメール遺跡の立地条件の変遷：リトルラン沿岸の地形環境から

リトルランは現在雨季になると塩水が進入する汽水性湿地となり、小さな舟の航行は可能となる。本遺跡はリトルラン沿岸から北へケスタ列を超えた約 7km 内陸にある小さなケスタ（標高 30 m 前後）上に位置している。周辺の地形は、これらの組織地形とそれを取り巻くように発達した扇状地群よりなっている（図 6）。遺跡基部からリトルランまでの河川勾配は 2/1000

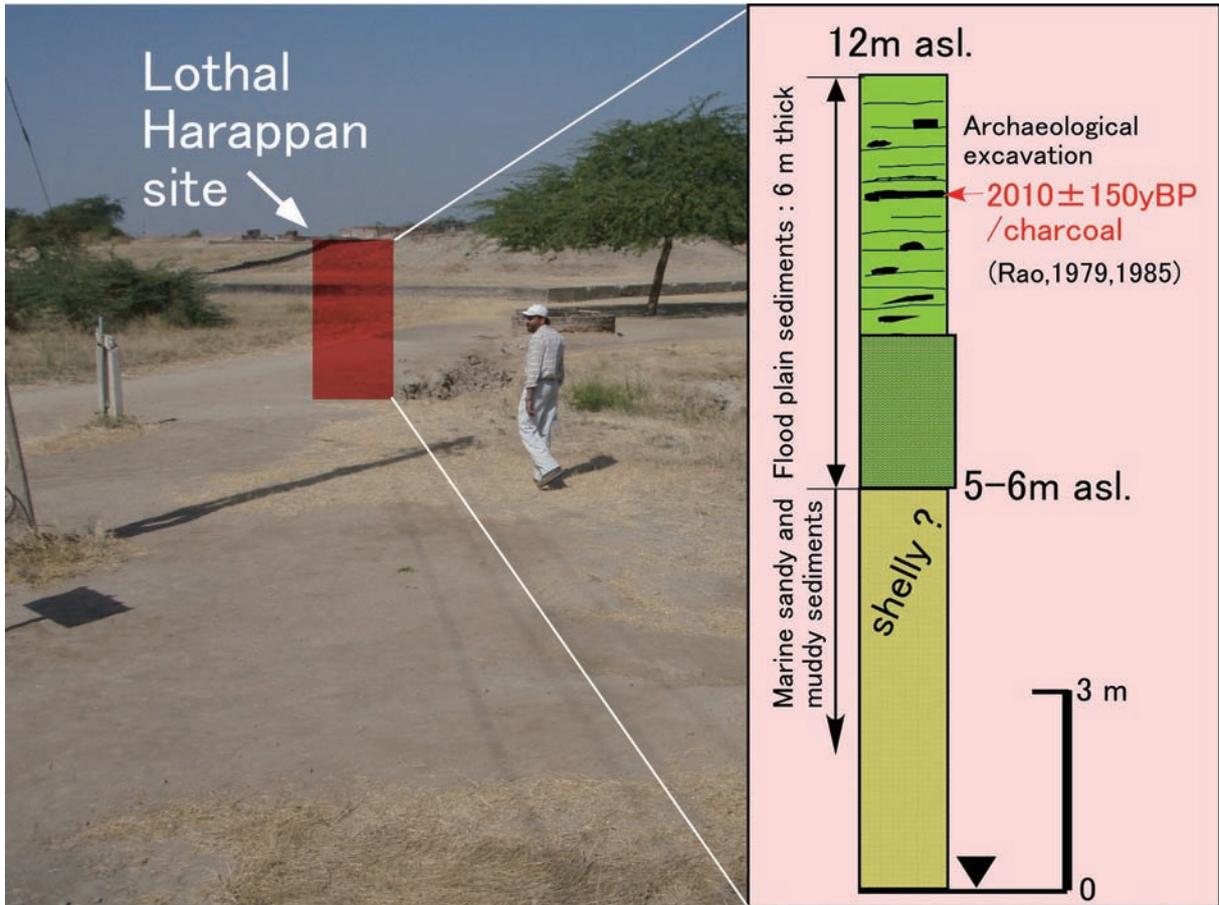


図3 ロータル遺跡内での地質層序 (Rao 1979-1985 から作成)

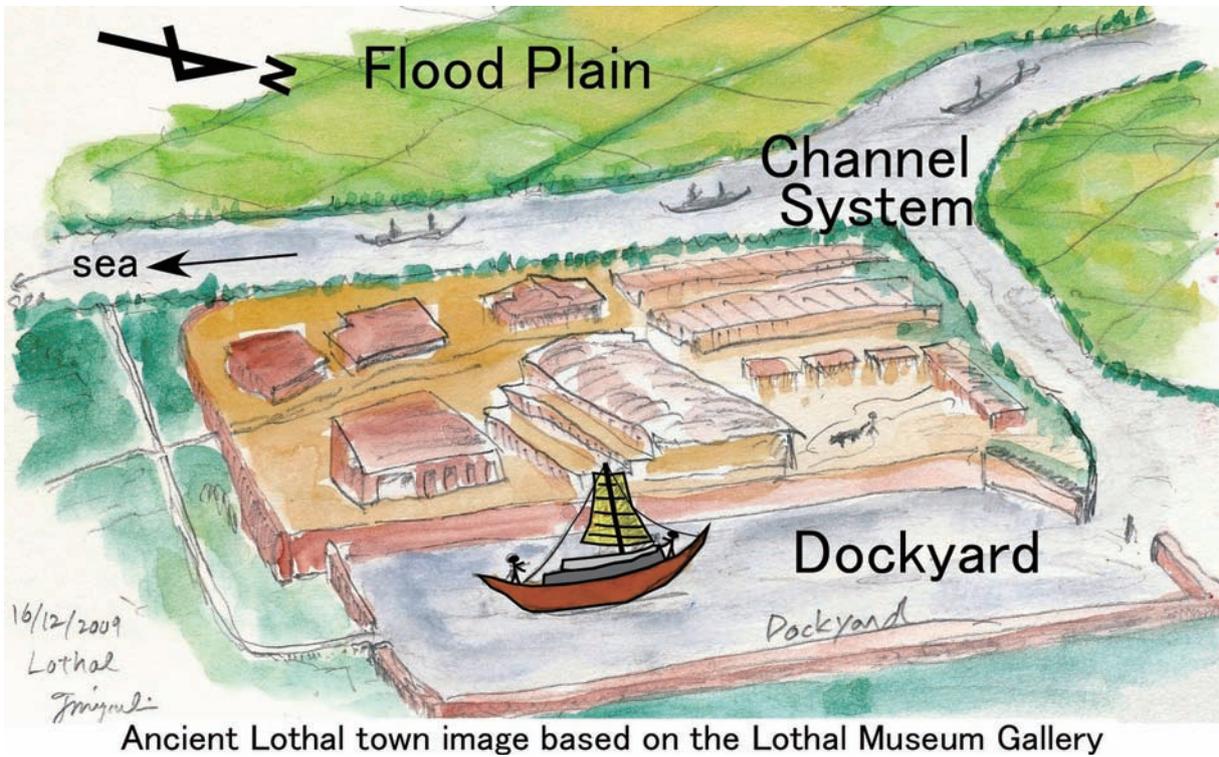


図4 古代ロータル港湾都市の立地と周辺地形のイメージ図

と大きな値を示す。最前列のケスタとリトルランの間には時代の異なる3つの開析扇状地が認められる（古いものからAF-1, AF-2, AF-3）。AF-3上のLoc.3での掘削によれば、表層地質は有機質泥層とラミナを伴う中粒砂層の互層構造（層厚10cm前後）を示す（図7）。それぞれの単層の層位と粒度分析結果（図8）から、ラミナのある中粒砂層は雨季に丘陵から流れ出す河川によって運ばれた季節性の斜面堆積物、そしてシルトからなる有機質泥層は雨季末期から乾季に繁茂した植生の有機成分が集積したものと考えられる。これらの下位にリトルランの海成堆積物が存在するかどうか今後確認する必要があるが、完新世中期にAF-3付近まで海進が及んでいた可能性が高い（図9）。カーンメールが上述のロータル同様に水運を活用して発展していた可能性を考慮すると、AF-3付近がインダス文明期の海岸線であると仮定しても、河川勾配が急であることから河床を遡上することは難しく、水運を利用できるのはここまでである（図10）。この時代に、カーンメールからAF-3付近までの約5kmについては、別の移動手段を強いられたことは疑いない。その後、相対的な海面低下が起り（図10）、リトルランが縮小したことで陸上移動距離はさらに長くなったことに対応することができなくなり、古代都市カーンメールは徐々に衰退したのかもしれない。

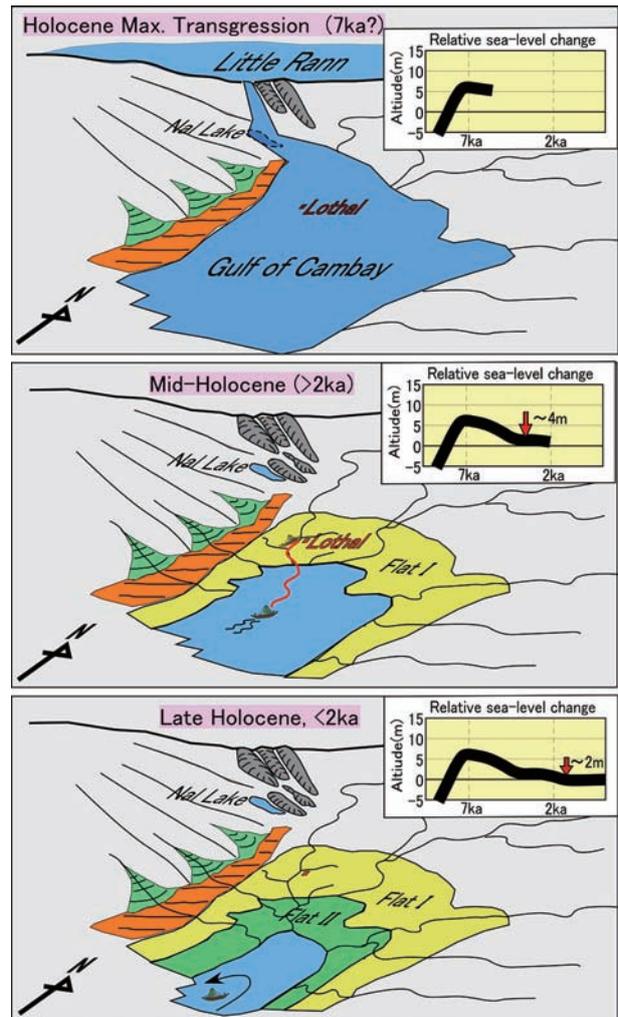


図5 ロータル周辺の完新世海岸平野の離水過程

#### 4 完新世後期の相対的海面変化とハイドロアイソスタシー

湾奥部にあったインダス文明のいくつかは、完新世中期に地球規模の海進ピークを迎え、徐々に海退が進行する途中の海岸平野の地形変化に伴い水上交通を獲得した可能性が高い。しかし、さらに海退が進行することによって、そのような水上交通を当時の技術では維持できなくなり、港湾都市は衰退していったらしい。海湾に面するインダス文明の盛衰は、完新世の相対的海面低下に伴う海岸線環境の変化に大きく影響されたことは明らかである。では、このような海面変化はなぜおこったのであろうか？これまでの調査によってキャンベイ湾沿岸やリトルラン沿岸部の岩礁部には、変動帯に見られるような間欠的な地震隆起を示すような多生的海成段丘や離水海岸地形は確認されていない。氷床地域から遠地では氷河融解後のハイドロアイソスタシーによって地殻の上下変動が発生し、海岸線の相対的上下変化を生み出すことが知られてい

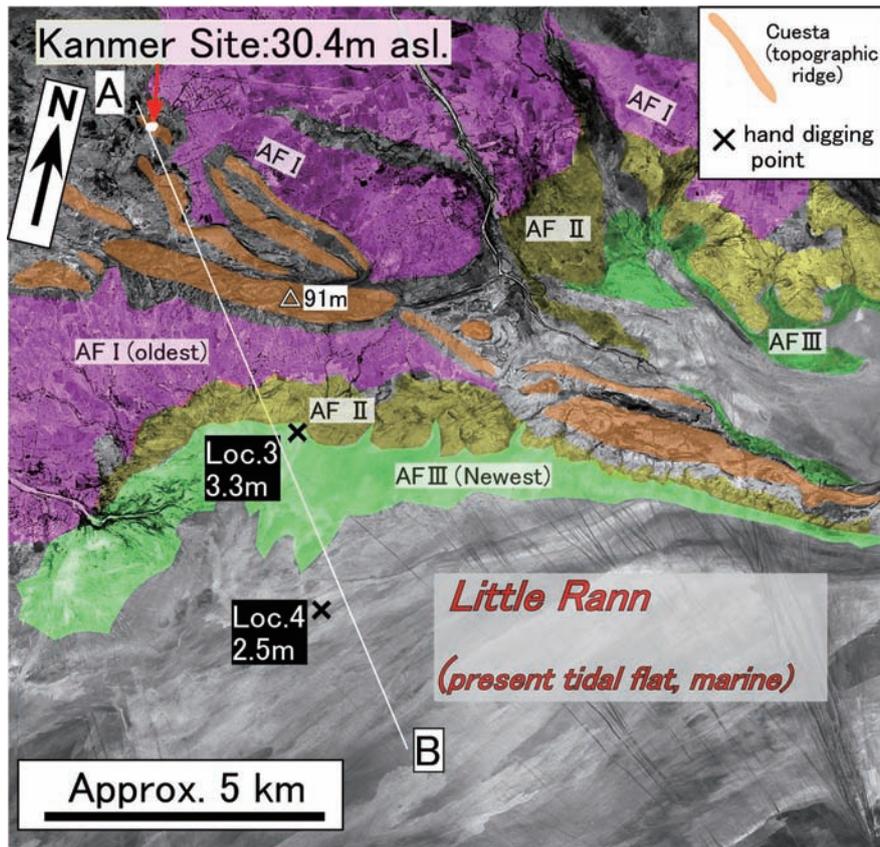


図6 カーンメール遺跡周辺の地形学図

る (Lambeck 1996)。同じ古環境 G の奥野淳一博士 (国立極地研究所) によれば、最終氷期以降の氷床融解によって増加した海洋水の効果をもとにマンツルの粘性緩和に伴う地殻変動を計算してみると、グジャラート地方は 2m ~ 6m の地殻隆起が過去 6000 年間に起こり、内陸部ほど大きくなる傾向がある (図 11、Okuno、2010)。ロータル遺跡周辺でのハイドロアイソスタシーによる隆起 (4m ~ 5m) は、地形学的に推定された相対的海面低下量 (6m) とほぼ一致していることから、ロータル周辺の離水過程はこのようなハイドロアイソスタシーによるものと考えるのが合理的であり、テクトニックな地殻の変形による隆起運動は仮にあったとしてもごく僅かであり無視できるほど小さいものと推定される。

## 5 今後の課題

上記したように、海進期の海成堆積物の採取を行うために、地下水位が上昇し、表層部が軟弱になる雨期でのドリラー掘削を行う必要がある。また、地形や地層の標高について精度が悪いので、RTK-GPS による調査地点の高度測量も合わせて実施する必要がある。イタリア調査隊との合議の結果、雨期での掘削調査を可能にするために、米国 National Geographic 助成金への申請を本年 5 月行っており、その審査結果待ちの状態である。もし採択と許可が下りれば、掘削調査が本年 10 月ごろの雨期に実施可能となる。

一方、インドでは種々の地形を表現するための地形図の整備が遅れているため、別の手段によって地図作成を遂行する必要がある。最近では人工衛星に搭載したセンサによって取得された

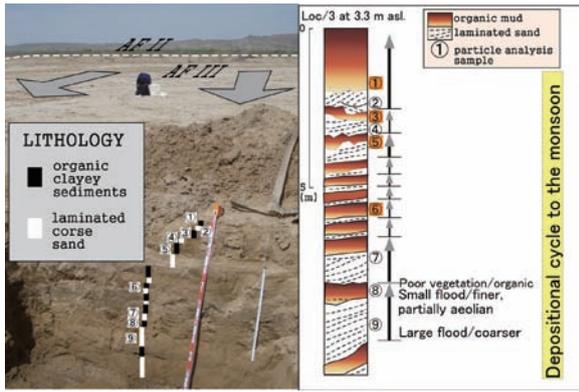


図7 リトルランでの掘削と表層地質層序 (Loc.3の位置は図6に示す)

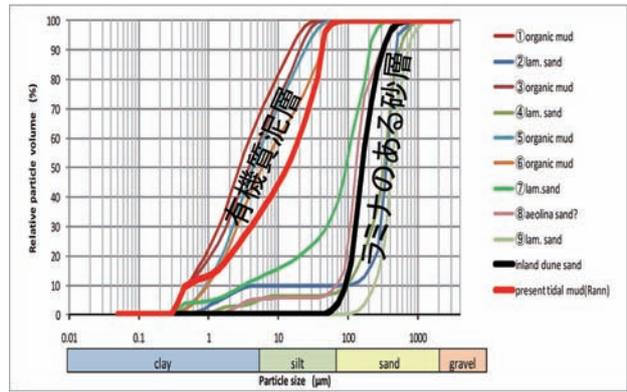


図8 リトルランでの掘削地点 Loc.3 における粒度分析

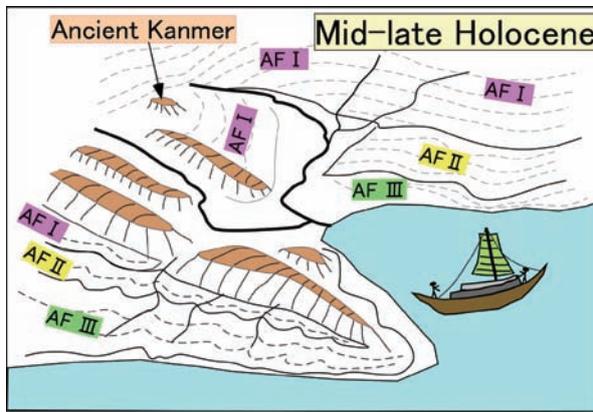


図9 完新世中期～後期のカンメル遺跡周辺の地形環境

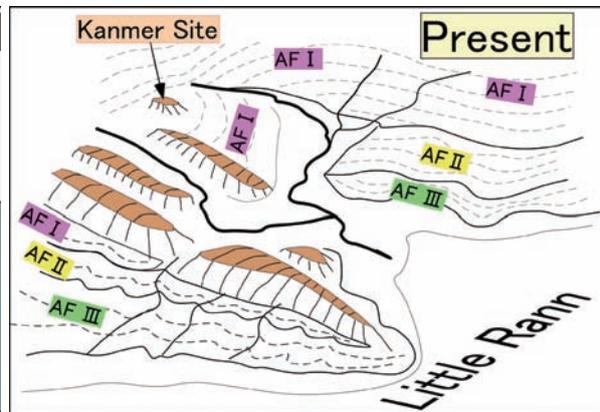


図10 現在のカンメル遺跡周辺の地形環境

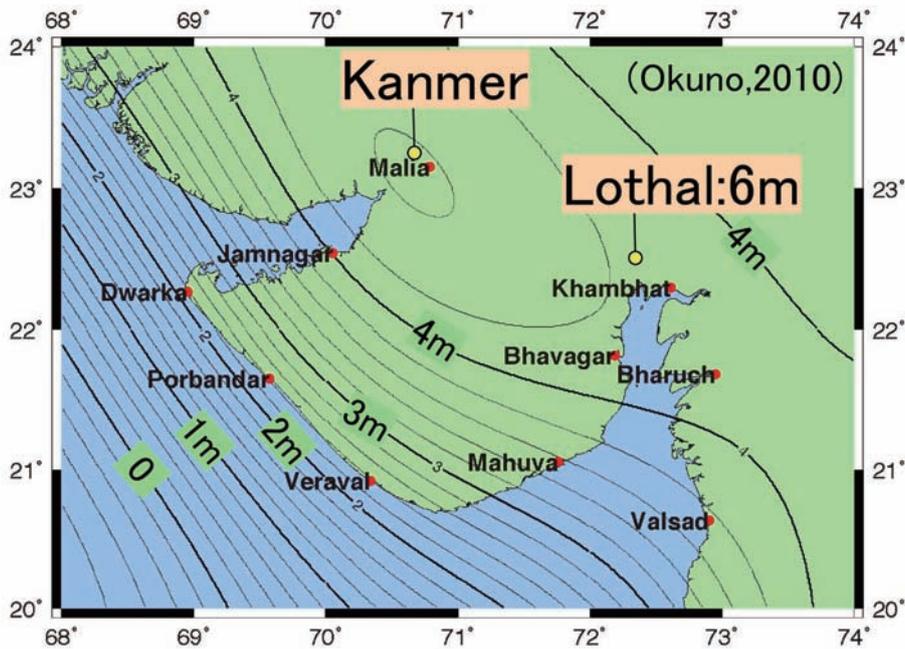


図11 ハイドロアイソスタシーによるグジャラート地方の地殻変動 (Okuno 2010)

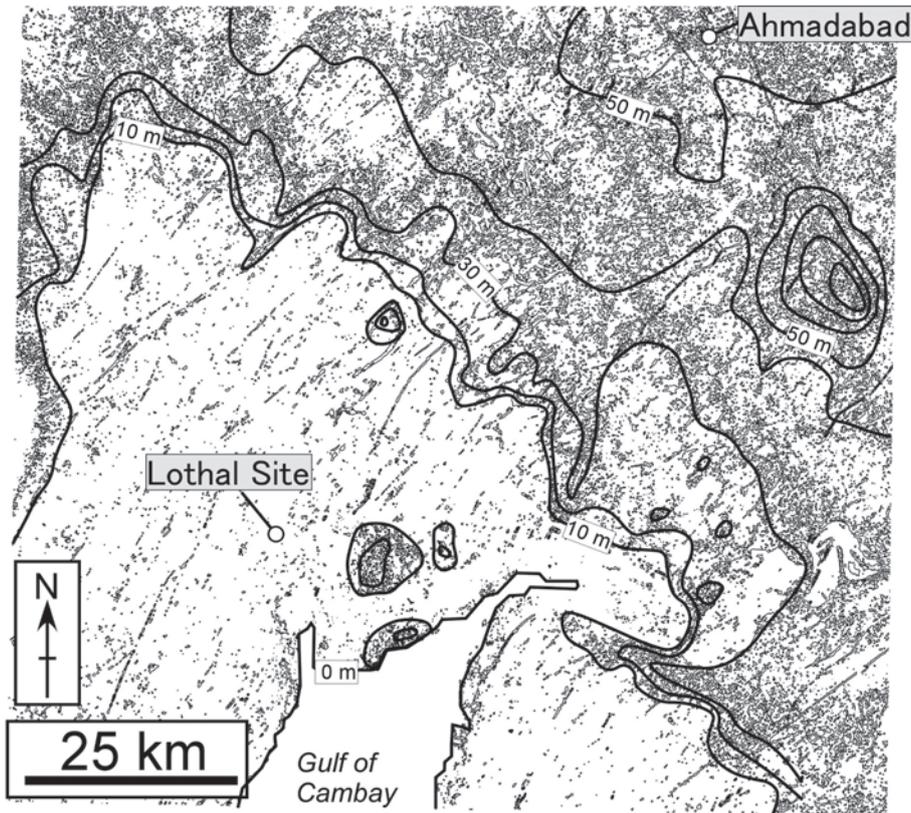


図 12 ASTER-GDEM を ArcGIS によって処理して描いたロータル周辺の等高線図

地球標高データ（GDEM）が無償公開されており、これらを活用した地形表現図をコンピュータ処理によって行うことができるようになった。2010年度は、これらの地形データを用いて ArcGIS による地形起伏図や等高線図を作成し、遺跡周辺の地形解析・高度解析を行う予定である。とくに、30m ピクセル相当の ASTER-GDEM（高性能マルチバンド光学センサによる全球標高データ）を利用した陰影図や立体地形図を作成し、遺跡の立地条件について分析を進めることができる。一例としてロータル遺跡周辺の等高線図を示す（図 12）が、地象物のノイズも多く種々のフィルタリング処理が求められることがわかる。

【引用・参考文献】

Lambeck, K. (1996) Shoreline reconstructions for Persian Gulf since the last glacial maximum. *Earth Planetary Science Letters*, 142: 43-57.

宮内崇裕・前杵英明・松岡裕美・長田俊樹・J.S.Kharakwal (2010) 「海湾に面するインダス文明の盛衰に影響を与えた完新世後期海岸平野の環境変化－地形発達と相対的海面変化の分析から－」、2010年日本地球惑星科学連合大会、「人と環境」セッション HQR010-04、千葉。

Okuno, J.(2010), Sea-level change and hydro isostasy in Gujarat, western India: Implication for the development of Indus civilization. *JGUM2010, Session: Human and Environment: HQR010-03*, Chiba.

Prasad, S. and S.K. Gupta (1999) Role of eustasy, climate and tectonics in late Quaternary evolution of Nal-Cambay region, NW India. *Zeitschrift Geomorphologie*, N.F. 43,438-504.

Rao, S.R. (1979/1985) *Lothal: A Harappan Port Town (1955-1962)*. Archaeological Survey of India, New Delhi.