

インダス文明に関連したガッガル川河畔砂丘の 光ルミネッセンス (OSL) 年代測定

下岡 順直

京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設

長友 恒人

奈良教育大学

前杵 英明

広島大学大学院教育学研究科

1 はじめに

インド・ハリヤーナ州、ラージャスターン州からパキスタン国境に向かってパンジャーブ平原を流れるガッガル川（旧サラスワティー川）およびその支流とされるチョウタング川流域には、ラーキーガリー (Rakhigarhi) 遺跡、カーリーバンガン (Kalibangan) 遺跡およびファルマーナー (Farmana) 遺跡などインダス文明期の考古遺跡が点在している。これら考古遺跡が放棄された要因として諸説検討されているが、その一つとしてインダス文明成立後、河川争奪による流域の乾燥化によりガッガル川流域に分布する砂丘が拡大、発達したことでインダス都市が衰退する一因になったとされている。しかし、前杵ほか (2009) による現地調査の結果、砂丘上にインダス文明期の遺跡がすでに存在すること、現河道付近の河畔段丘が発達し、氾濫原の地形が周辺のヤムナー川やサトレジ川と比べてきわめて小規模であることなどがわかってきた。これらの事実から、ガッガル川流域に分布する砂丘はインダス文明成熟期にはすでに存在した可能性が指摘された (前杵ほか 2009)。そこで、これらの推察を検証するため、またガッガル川の河川環境とインダス文明盛衰の関連を議論するために、ガッガル川流域の河畔砂丘の形成年代をえることを目的として、砂丘堆積物を採取して光ルミネッセンス (OSL) 法を用いて年代測定を行った。さらに、インドとパキスタンの国境付近に位置する 4MSR 村近郊では、ハラッパー期の遺跡がガッガル川氾濫原堆積物の上に形成されていた。そこで、ガッガル川が氾濫した時期を確定するために、氾濫原堆積物を採取して OSL 年代測定を試みた。

2 OSL 年代測定

試料採取は、2008 年 12 月 1 日～12 月 15 日および 2009 年 2 月 28 日～3 月 2 日に行った。試料採取のための現地調査の詳細は、前杵ほか (2009) を参照されたい。OSL 測定試料は、ガッガル川およびチョウタング川流域のシーサルカース (Sisarkhas) 村、マイヤル (Maiyer) 村、ボーダーサル (Bhodasar) 村、ラングマハル (Rangmahal) 村、バクラワラー (Bhakrawala) 村、

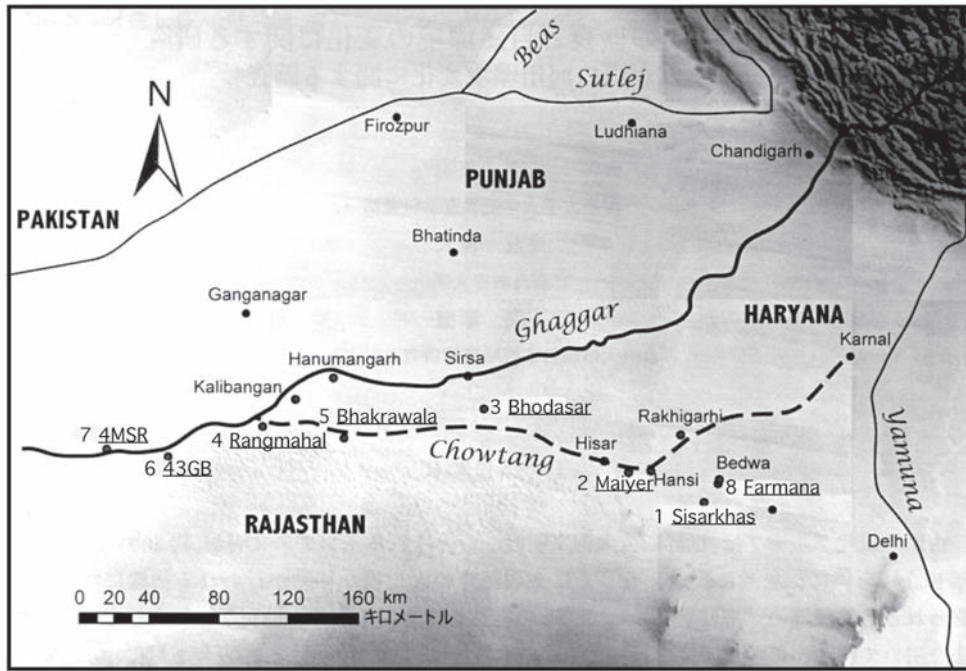


図1 2008年度のガッガル川流域調査地域とOSL年代測定用試料採取地点(1~8)
(前巻ほか2009より作成)

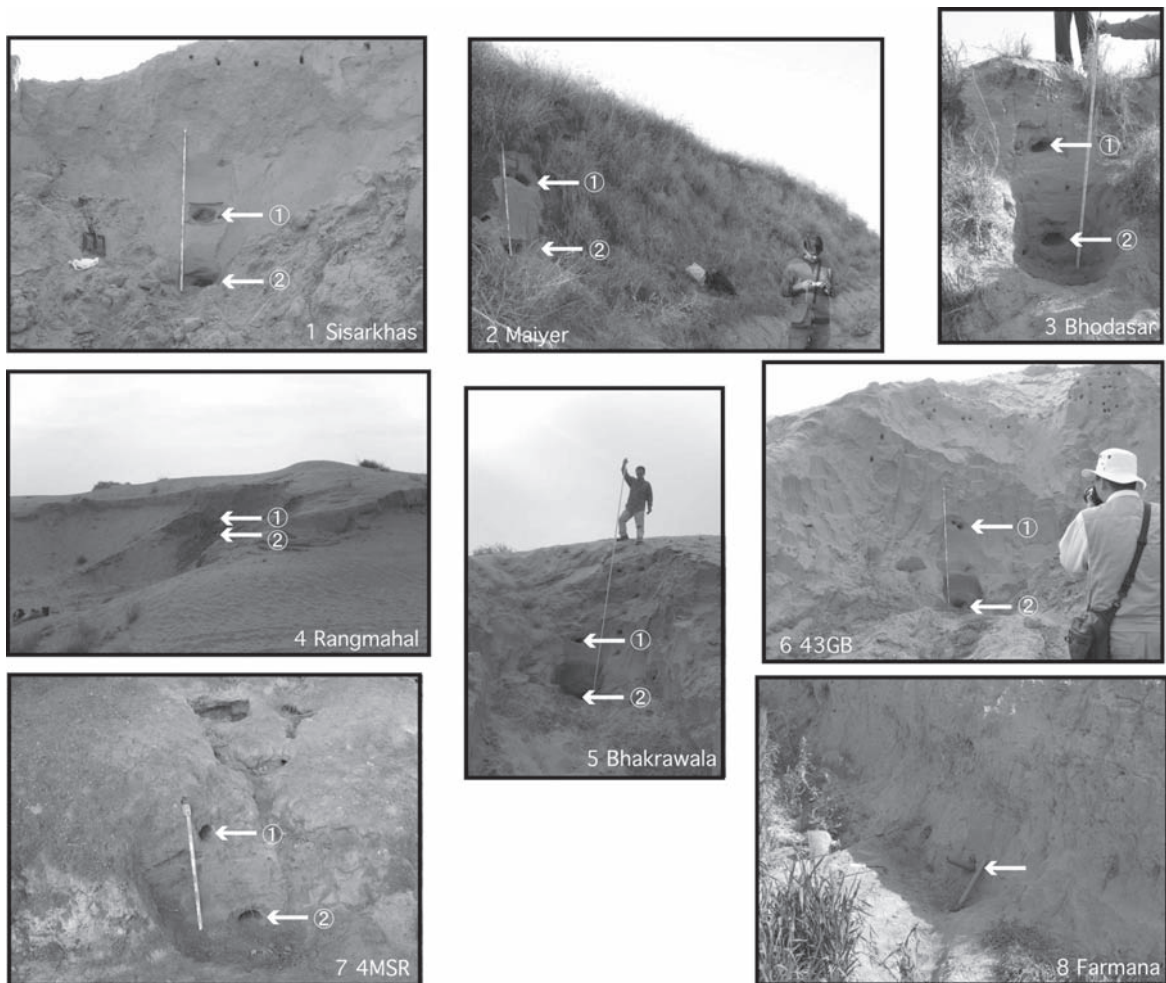


図2 各試料採取地点(1~8)における採取位置
採取した上位より①、②とする。

43GB 村の近郊の 6 カ所の砂丘堆積物、ファルマーナー遺跡と 4MSR 村近郊に位置するハラッパー期の遺跡堆積物下位の氾濫原堆積物を採取した (図 1)。試料は、ファルマーナー遺跡以外において各地点で上下 2 ヶ所から採取し、上位より①と②とした (図 2)。

採取した試料は、暗赤色灯の暗室で試料処理を行った。砂丘砂より抽出した粒径 50 ~ 250 μm の鉱物を 10% 過酸化水素水による約 12 時間処理と 20% 塩酸による 90 分間処理で、有機物と炭酸塩鉱物を除去した。その後、磁気分離器を用いて磁性鉱物を除去し、20% フッ化水素酸で 90 分間処理を行い、石英以外の鉱物の除去と石英鉱物の表面のエッチングを行った。再度 20% 塩酸で 60 分間処理をすることにより石英鉱物表面に生成されたフッ化物を除去した。最後に石英鉱物の粒径を 75 ~ 150 μm に調整した (以下、ナチュラル試料と称す)。

蓄積線量評価のための OSL 測定は、奈良教育大に設置された OSL 自動測定装置 (NRL-99-OSTL) (長友ほか 2007、図 3) を使用した。測定は青色 LED (470 \pm 40 nm、18.1 mW/cm²) で励起し、250 ~ 380 nm の OSL を検出した。人工照射に用いた ⁹⁰Sr 線源の線量率は 4.8 Gy/min である。蓄積線量評価は、Single aliquot regenerative-dose (SAR) 法 (Murray and Wintle 2000) を用いた。SAR 法による測定手順を図 4 に示す。測定温度は 120°C、100 秒測定で感度補正 (テスト線量と称す) 用測定前の加熱処理 (カットヒートと称す) 条件は 160°C (保持時間 60 秒) であり、測定前の加熱処理 (プレヒートと称す) 条件はプレヒートテストを行い 230°C (保持時間 60 秒) とした。

年間線量の評価は、 γ 線スペクトロメトリーによる間接測定法 (長友 1991) で行った。試料は乾燥させた後、粒径 75 μm 程度に粉碎し、30 g を秤量してプラスチックケースに封入後、無酸素銅と低バックグラウンド鉛で遮蔽した高純度 Ge 検出器を用いて試料中の放射性元素 U、Th、⁴⁰K からの γ 線を計測した。産業技術総合研究所の提供する岩石標準試料 JG-1a、JR-1、JB-2、JB-3、JA-3 (Ando *et al.* 1987) で作成した検量線を用いて U、Th、K 濃度を決定し、Adamiec and Aitken (1998) による換算式により放射性元素濃度から年間 β 線量、年間 γ 線量を計算した。換算式から年間線量を計算する際、採取した試料の乾燥重量に対する水分量の比を含水比として補正 (Zimmerman 1971) を行った。年間宇宙線量は、Prescott and Hutton (1994) の式を参考にして 0.1 mGy/年と仮定した。

3 結果と考察

OSL の測定例を図 5 に示す。OSL 減衰曲線 (図 5 (b)) から積算した 0 ~ 1 秒間の OSL 信号をテスト線量測定による OSL 信号で補正した OSL 信号 (Li/Ti) により生長曲線 (図 5 (a)) を作成し、ナチュラル試料 (n) の OSL 強度 (Ln/Tn) を内挿して蓄積線量を求め (図 5 (a))、複数測定によるデータを Radial plot に示した (図 6)。Wintle and Murray (2006) の判定条件を採用し、Common age model (Galbraith *et al.* 1999) を用いて各試料の蓄積線量を評価した。各試料の蓄積線量、年間線量および OSL 年代を表にまとめた。

ガッガル川流域砂丘堆積物の 43GB 以外の各採取地点下部 (②) の OSL 年代は、13 ~ 15 ka (ka: 千年前) となった。これにより、砂丘の形成がインダス文明成熟期 (4000 年前頃) より以前にすでに開始されていることがわかった。個々の地点では、シーサルカース①より 180 cm 上位で後期ハラッパー文化の土器が多数検出される層準が見つかっており (前空ほか 2009)、シー

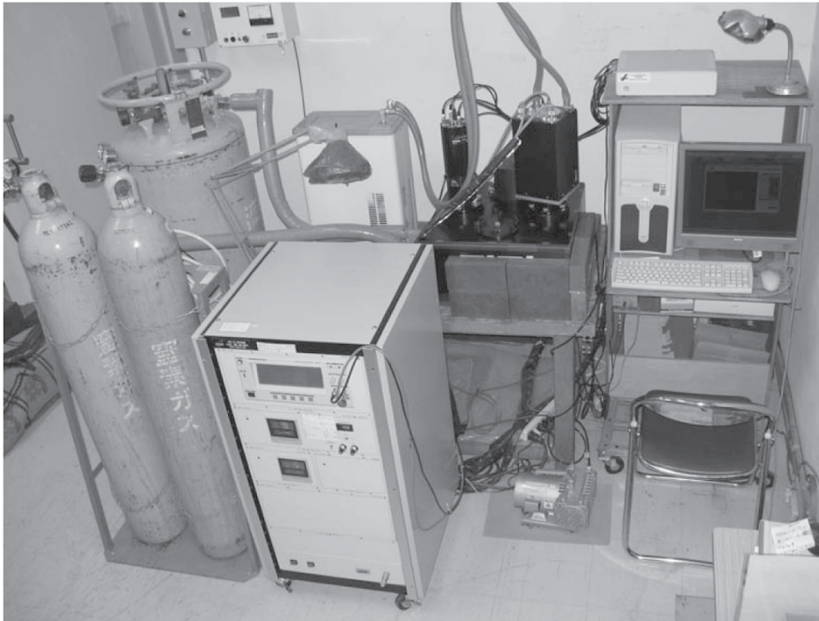


図3 奈良教育大学に設置している OSL 測定装置 (NRL-99-OSTL)

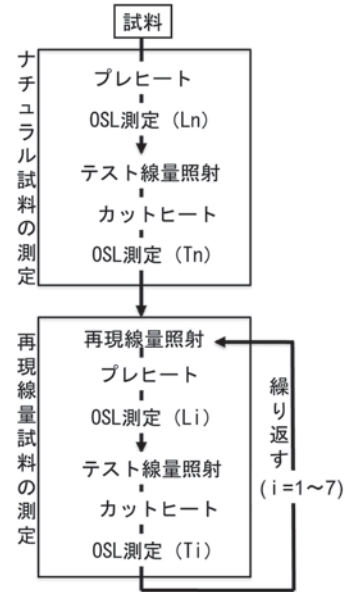


図4 SAR 法の測定手順

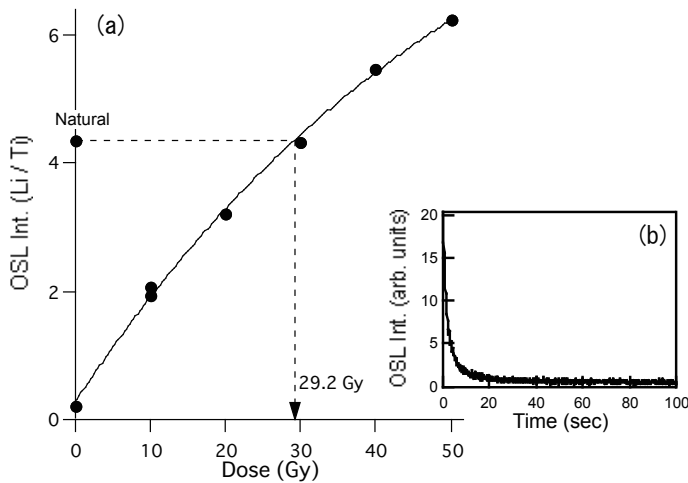


図5 OSL 測定例 (Mayer ①)

(a) 生長曲線、(b) 50 Gy の減衰曲線

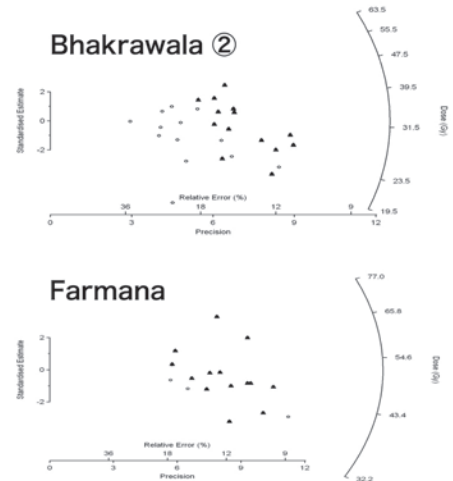


図6 SAR 法により求めた蓄積線量の Radial plots

●：測定データ、▲条件をクリアしたデータ

サルカースの OSL 年代より砂丘形成が明らかに後期ハラッパー文化期以前であることを確認できた。なお、43GB の OSL 年代は 5 ka であり、測定した砂丘堆積物の中で最も新しい年代となった。43GB にある砂丘の上にはインダス文明期の土器片が多数散乱し、2008 年度の調査では遺物包含層も確認されているが (前杵ほか 2009)、OSL 年代からこれらは 5 ka 以降の年代であると考えられる。ファルマナー遺跡では遺物包含層下位の氾濫原堆積物の OSL 年代は 7.9 ± 0.3 ka であり、遺跡が砂丘形成開始後に形成されたという前杵ほか (2009) の観察結果を追認する。4MSR ではガッガル川の氾濫原堆積物とされる 4MSR ②の OSL 年代は 9.0 ± 0.5 ka であり、ガッガル川が氾濫した時期は砂丘形成開始後のイベントであったと考える。これらの OSL 年代に対し、ボーダーサル②の OSL 年代は誤差の範囲を超えて新しい年代を示したが、これは砂丘堆積物が崩落して堆積したものを試料として採取した可能性が高いと判断した。

表 砂丘堆積物および氾濫原堆積物の OSL 年代

試料採取地点	試料	蓄積線量 (Gy)	年間線量 (mGy/a)	OSL 年代 (ka)
Sisarkhas	①	38.3±2.5	2.50±0.08	15.3±1.1
	②	32.0±1.6	2.66±0.09	12.1±0.7
Maiyer	①	30.2±2.2	2.34±0.10	12.9±1.1
	②	34.1±2.0	2.47±0.09	13.8±1.0
Bhodasar	①	13.4±1.0	2.57±0.25	5.2±0.6
	②	(0.5) [*]	2.45±0.11	(0.2) [*]
Rangmahal	①	26.4±1.3	2.01±0.08	13.1±0.8
	②	34.1±2.3	2.37±0.08	14.4±1.1
Bhakrawala	①	11.2±0.4	2.27±0.09	4.9±0.3
	②	28.2±1.1	2.14±0.07	13.2±0.7
43GB	①	11.7±0.7	2.33±0.08	5.0±0.3
	②	11.5±0.6	2.23±0.08	5.1±0.3
4MSR	①	23.9±1.0	2.83±0.08	8.4±0.4
	②	25.4±1.1	2.81±0.08	9.0±0.5
Farmana		46.9±1.5	5.95±0.16	7.9±0.3

※ Bhodasar ②は、砂丘堆積物が崩落して堆積したものを採取した可能性が高い。

4 まとめ

河川環境とインダス文明盛衰の因果関係を議論するために、ガッガル川流域の河畔砂丘堆積物および氾濫原堆積物の OSL 年代測定を行った。

- 1 砂丘堆積物の OSL 年代は 13 ~ 15 ka および 5 ka、ガッガル川の氾濫原堆積物 OSL 年代は 8 ~ 9 ka であった。
- 2 1 より、13 ~ 15 ka にはガッガル川流域において砂丘の形成は始まっており、8 ~ 9 ka にはガッガル川の氾濫があったと推測される。また、遺跡包含層は砂丘上に形成されており、遺物包含層の年代は 5 ~ 8 ka 以降と考えられる。

以上より、砂丘堆積物の OSL 年代は、ガッガル川河畔砂丘がインダス文明成熟期にはすでに存在していたとする前空ほか (2009) の調査報告を支持する結果であった。今後、パンジャーブ平原における河川争奪過程が解明され、ガッガル川の河川環境とインダス文明盛衰の因果関係の議論がより深化し、「サラスヴァティー川」についてもより明らかになっていくことを期待したい。

謝辞

東京海洋大学大学院生の永田雄気氏には、OSL 測定を手伝っていただいた。京都大学地球熱学研究施設の山本順司氏には、報告書作成にあたって有意なコメントをいただいた。記して、感謝申し上げます。

【引用・参考文献】

- Adamiec, G. and Aitken, M.J. (1998) Dose-rate conversion factors: update. *Ancient TL* 16: 37-50.
- Ando, A., Mita, N. and Terashima, S. (1987) 1986 values for fifteen GSJ rock reference samples, "igneous rock series". *Geostandards Newsletter* 11: 159-166.
- Galbraith, R.F., Roberts, R.G., Laslett, G.M., Yoshida, H. and Olley, J.M. (1999) Optical dating of single and multiple grains of quartz from Jinmium rock shelter, northern Australia: part I, experimental design and statistical models. *Archaeometry* 41: 339-364.
- Murray, A.S. and Wintle, A.G. (2000) Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerative-dose protocol. *Radiation Measurements* 32: 57-73.
- Prescott, J.R. and Hutton, J.T. (1994) Cosmic ray contributions to dose rates for luminescence and ESR dating: Large depths and long-term time variations. *Radiation measurements* 23: 497-500.
- Wintle, A.G. and Murray, A.S. (2006) A review of quartz optically stimulated luminescence characteristics and their relevance in single-aliquot regeneration dating protocols. *Radiation Measurements* 41: 369-391.
- Zimmerman, D.W. (1971) Thermoluminescence dating using fine grains from pottery. *Archaeometry* 13: 29-52.
- 前杵英明・長友恒人・下岡順直 (2009) 「インダス文明の盛衰と自然環境の変化に関する研究—ガッガル川の河川環境変化に関する調査—」『環境変化とインダス文明 2008 年度成果報告書』総合地球環境学研究所 インダス・プロジェクト、37-43 頁。
- 長友恒人・下岡順直・國木田大 (2007) 「ロシア沿海州新石器遺跡堆積物の赤外光ルミネッセンス (IRSL) 年代測定」『奈良教育大学紀要』56: 1-6.
- 長友恒人 (1991) 「TL および ESR 年代測定法のための年間線量率の測定」『月刊地球』13: 249-253.