

ガッガル川流域の砂丘砂と洪水性シルトの 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

前杵 英明

広島大学大学院教育学研究科

青木 智史

奈良教育大学教育学部

長友 恒人

奈良教育大学

1 はじめに

インド、ハリヤーナー州、ラージャスターン州からパキスタン国境に向かってガッガル川およびその支流であるチョウタング川が流れている（図 1）。この流域には、カーリーバンガン遺跡やラーキーガリー遺跡などのインダス文明期の都市遺跡が遺されている。ガッガル川は、現在乾季には水流がほとんど無くなる間欠河流であるが、かつては水量豊富な大河であり、その恩恵によって文明は成熟したと考えられた。その後、河川争奪による乾燥化により流域の砂丘が拡大したことで、インダス文明の都市は衰退したとする説が挙げられてきた。ところが、我々が 2008 および 2010 年に行った現地調査では、ガッガル川河道付近の氾濫原は、大河であるヤムナー川やサトルージ川などと比べて小規模であることや、砂丘上にインダス文明期の遺跡がすでに存在していたことなどが確認された。これらの事実から、ガッカ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ていたと考えられる。そこで、砂丘の光ルミネッセンス（OSL）年代測定を行って、砂丘の堆積開始年代を求め、砂丘形成とインダス文明期の新旧関係を検証した。砂丘地帯は乾燥しているため有機物が少なく、放射性炭素（ ^{14}C ）測定が行える試料が少ない。また、OSL 測定は太陽光などでタイムゼロイング（年代の初期化）された鉱物試料について有利なことから、砂丘堆積物は OSL 測定法に適している。また、ファルマーナー遺跡や 4MSR 村近郊の遺跡では、遺物包含層の下位に洪水性シルト堆積物が確認できた。これらの OSL 年代測定も行い、砂丘年代や遺跡年代との関連性を考察した。

2 OSL 年代測定

OSL 測定試料は、2008 年度にガッガル川左岸およびその支流とされるチョウタング川兩岸のシーサルカース村、マイヤル村、ボーダーサル村、ラングマハル村、バクラワラー村、43GB 村の 7 カ所において砂丘堆積物を、ファルマーナー遺跡、4MSR 村の考古遺跡において

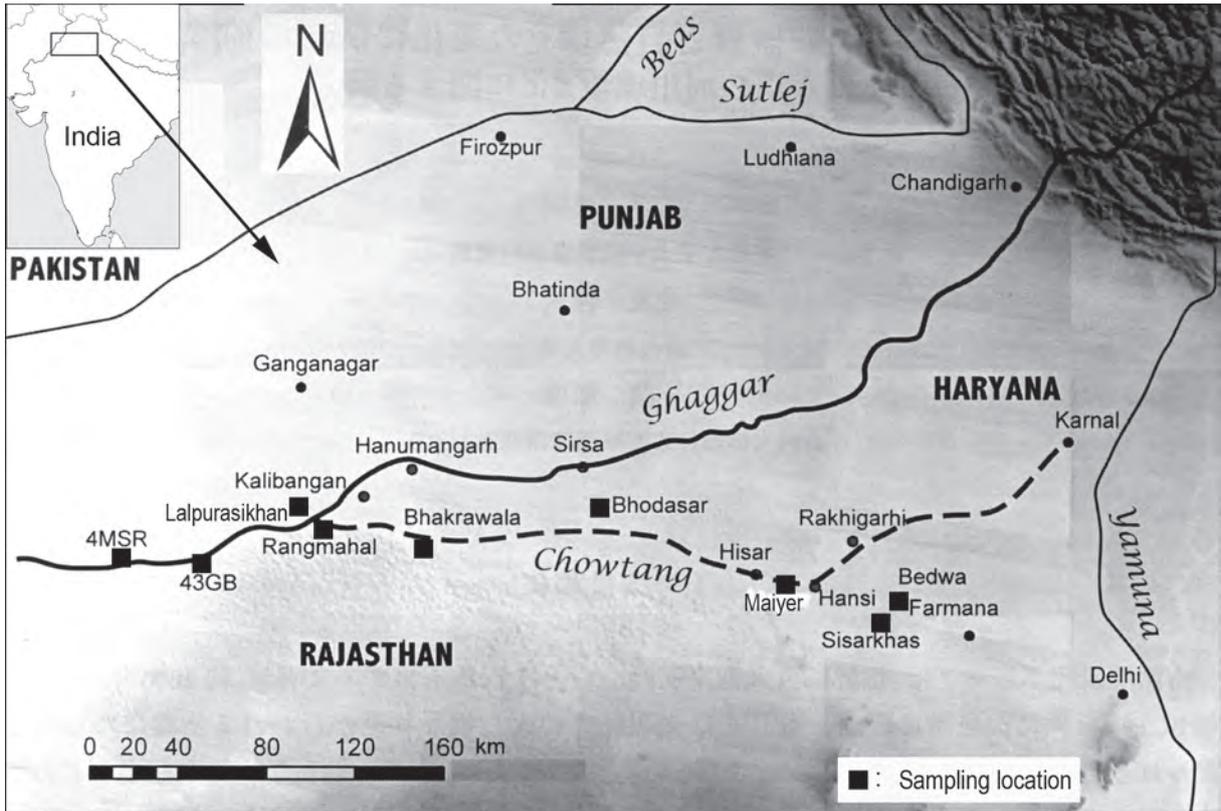


図1 ガッガル川流域調査地域

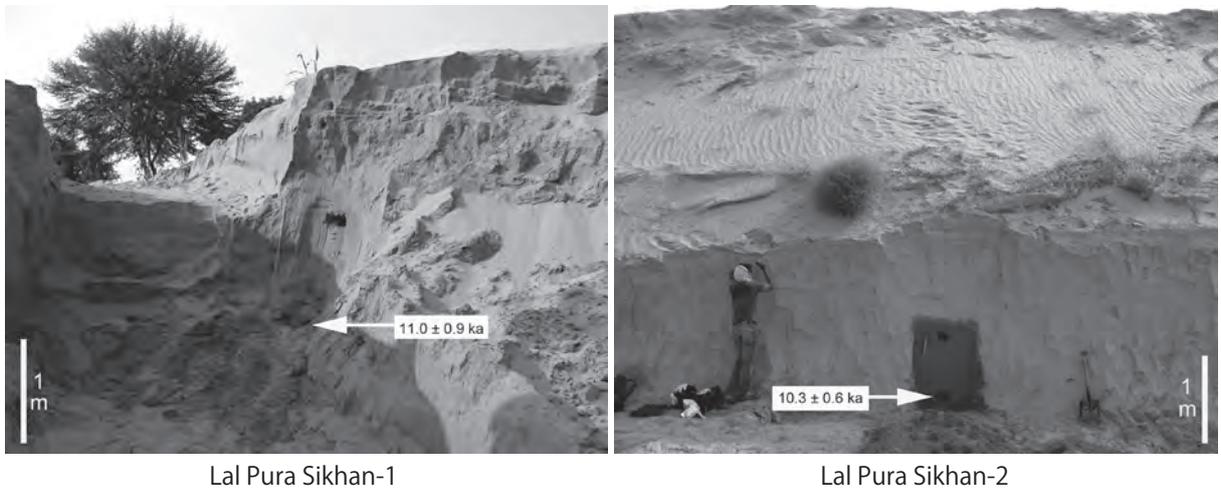


図2 OSL年代測定試料採取地点 (Lal Pura Sikhan)

洪水性シルト堆積物を採取した。2010年度には、ガッガル川右岸に位置するラルプーラシカーン村近郊の2カ所から砂丘堆積物を採取した(図2)。試料は、各地点で上下2ヶ所を採取し、上位より①と②(表1)とした。

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分間処理により、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表面のエッチングを行った。

表 1 OSL 測定結果

試料採取地点	試料	蓄積線量 (Gy)	U (ppm)	Th (ppm)	K (wt %)	年間線量 (mGy/a)	OSL 年代 (ka)
Sisarkhas	①	38.3 ± 2.5	1.78	10.68	1.22	2.50 ± 0.08	15.3 ± 1.1
	②	32.0 ± 1.6	1.75	11.59	1.28	2.66 ± 0.09	12.1 ± 0.7
Maiyer	①	30.2 ± 2.2	1.64	10.95	1.00	2.34 ± 0.10	12.9 ± 1.1
	②	34.1 ± 2.0	1.80	12.06	1.03	2.47 ± 0.09	13.8 ± 1.0
Bhodasar	①	13.4 ± 1.0	1.79	10.80	1.19	2.57 ± 0.25	5.2 ± 0.6
Rangmahal	①	26.4 ± 1.3	1.05	7.97	1.08	2.01 ± 0.08	13.1 ± 0.8
	②	34.1 ± 2.3	1.49	9.97	1.21	2.37 ± 0.08	14.4 ± 1.1
Bhakrawala	①	11.2 ± 0.4	1.50	11.28	0.98	2.27 ± 0.09	4.9 ± 0.3
	②	28.2 ± 1.1	1.59	9.77	0.99	2.14 ± 0.07	13.2 ± 0.7
Lal Pura Sikhan-1	②	33.4 ± 2.3	2.62	12.82	1.37	3.03 ± 0.11	11.0 ± 0.9
Lal Pura Sikhan-2	②	32.4 ± 1.7	2.77	13.97	1.51	3.15 ± 0.09	10.3 ± 0.6
43GB	①	11.7 ± 0.7	1.51	8.98	1.21	2.33 ± 0.08	5.0 ± 0.3
	②	11.5 ± 0.6	1.42	9.44	1.15	2.23 ± 0.08	5.1 ± 0.3
Farmana	①	46.9 ± 1.5	5.70	28.15	2.31	5.95 ± 0.16	7.9 ± 0.3
4MSR	①	23.9 ± 1.0	2.46	12.43	1.58	2.83 ± 0.08	8.4 ± 0.4
	②	25.4 ± 1.1	2.67	13.12	1.55	2.81 ± 0.08	9.0 ± 0.5

ファルマーナーと 4MSR は洪水性シルト堆積物。その他は、砂丘堆積物。

最後に石英鉱物の粒径を 75 ~ 150 μ m に調整した。

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) を使用した。蓄積線量評価は、単試料再現法 (Single aliquot regenerative-dose : SAR) 法 (Murray and Wintle 2000) を用いた。測定の詳細は、下岡ほか (2010) を参照されたい。

年間線量評価のための γ 線スペクトル測定は、奈良教育大に設置された高純度 Ge 検出器 (Eurisys mesures 製 EGSP2800-20-R) を使用した。年間線量評価は、試料中の放射性元素 U、Th、⁴⁰K から放出される γ 線を計測し、産業技術総合研究所が提供する 5 つの岩石標準試料で作成した検量線を用いて U、Th、K 濃度を決定し、換算式 (Adamiec and Aitken 1998) により年間線量を求めた。その際、含水比補正 (Zimmerman 1971) を行い、年間宇宙線量は Prescott and Hutton (1994) の式を参考にして 0.10 mGy/年と仮定した。

3 結果と考察

試料は、それぞれ複数回測定を行って蓄積線量を求めた。各試料の OSL 年代を表 1 に示す。砂丘の OSL 年代は 15 ~ 10 ka (ka: 千年前) もしくは 5 ka を示した。これは、Singhvi *et al.* (1982)、Chawla *et al.* (1992)、Juyal *et al.* (2003) が報告したルミネッセンス年代と整合性ある結果であった。インダス文明が最盛期 (4.5 ~ 3.9 ka) には砂丘はすでに現位置に存在し、砂丘が川の氾濫で大規模に侵食されるようなことはなかったことが明らかになった。よって、ガッガル川が文明期に恒常河川から季節河川に移行するほど劇的な変化はなかったと考えられる。洪水性シルトの OSL 年代は、9 ~ 8 ka を示した。これは、試料を採取した遺跡の年代よりも古く、この時期は湿潤であったと考えられる。これらは、Chawla *et al.* (1992) や Juyal *et al.* (2003) がラージャスターン西部のタール砂漠核心部やグジャラート州東部のタール砂漠南部で行った研究と矛盾しない。

今後、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、ガッガル川流域に位置するインダス都市の衰退原因についても明らかになっていくことを期待する。

【参考文献】

- Adamiec G. and Aitken M.J. (1998) "Dose-rate conversion factors: update", *Ancient TL* 16: 37-50.
- Chawala S., Dhir R.P. and Singhvi A.K. (1992) "Thermoluminescence chronology of sand profiles in the Thar desert and their implications", *Quaternary Science Reviews* 11: 25-32.
- Juyal N., Kar A., Rajaguru S.N. and Singhvi A.K. (2003) "Luminescence chronology of Aeolian deposition during the late quaternary on the southern margin of Thar desert, Indis", *Quaternary International* 104: 87-98.
- 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.
- Singhvi A.K., Sharma Y.P. and Agrawal D.P. (1982) "Thermoluminescence dating of sand dune in Rajasthan", *Nature* 295: 313-315.
- Zimmerman D.W. (1971) "Thermoluminescence dating using fine grains from pottery", *Archaeometry* 13: 29-52.
- 下岡順直・長友恒人・前杢英明 (2010)「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」『環境変化とインダス文明 2009 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、39-44 頁