

〈博士論文要旨〉

東アジア旧石器時代研究における ルミネッセンス年代測定

下 岡 順 直*

日本の前・中期旧石器時代研究は、2000年11月に発覚した「ねつ造」という事態に対してその後の検証により、ねつ造に関連した旧石器（遺物）・遺跡は、「学術資料としては使うことができない」という結論に至った。これら石器の年代は、石器が包含される地層の数値年代を基に評価されてきた。石器や遺跡に年代をもたらしてきたのは、そのほとんどが自然科学的手法を用いた年代測定によるものである。よって、石器がねつ造であることが明らかになったため、数値年代の考古学的評価は失われることとなった。しかし、地層はねつ造ではなく、地層の年代としては、これまでもこれからもその評価は変わらない。宮城県北部を中心とした地域のテフラ・堆積物の自然科学的年代測定結果について、数値年代の一覧を作成した。宮城県北部のテフラ層序は、早田によって詳細な研究が行われている。このテフラ層序に沿って数値年代を整理させて見ると、様々な手法で行われ求められてきた数値年代は、層序と整合性のあるデータとなっている。約20年来行われてきたこれら自然科学的年代測定による研究は、一地域において同じ測定方法の間で、または異なる測定方法の間で、各試料のクロスチェックが可能であり、また層序と検討が行われ、そして、各々の測定法の改良・向上および高精度化を行うことができたことは、忘れてはならないことである。

東アジア（ここでは、中国、朝鮮半島、日本列島、及びロシア沿海州とサハリンを含む地域を指す）における旧石器時代考古学研究では、近年光ルミネッセンス（Optically stimulated luminescence, OSL）年代測定の取り組みが試み始められた。しかし、その測定例は稀少で、OSL法によって求められた数値年代を編年研究に活用することができるまでには至っていない。

ルミネッセンス年代測定法は、土壌中の鉱物（石英や長石類）が加熱や露光によってタイムゼロイングをされてから、現在までに蓄積したルミネッセンス量（蓄積線量）を計測し、周辺の土壌から放出される放射線量（年間線量）で除することでルミネッセンス年代を求める方法である。

$$\text{ルミネッセンス年代（年前）} = \text{蓄積線量（Gy）} \div \text{年間線量（Gy/年）}$$

ルミネッセンス年代測定法には、加熱によってタイムゼロイングが行われた試料に適用できる熱ルミネッセンス（Thermoluminescence, TL）法と太陽光による光ブリーチによってタイムゼロイングが行われた試料に適用できるOSL法がある。赤外光励起ルミネッセンス（Infrared stimulated luminescence, IRSL）法は、OSL法の中でも赤外光を励起光としてルミネッセンスを測定する方法であり、特に長石試料について、IRSL測定が有効であることがわかっている。

平成16年度 *文学研究科文化財史科学専攻

本研究では、長石を用いたOSL法のひとつであるIRSL法による年代測定の実用化に向けた基礎研究と、東アジア旧石器遺跡の堆積物を対象としたIRSL年代測定およびTL年代測定を行った。日本列島において発見された後期旧石器時代をさかのぼる可能性をもつ石器群と中国や朝鮮半島における後期旧石器時代以前の石器群を測定することにより、年代学的な関連を考える上で一つの手がかりとなる。また、数値年代による時間系の確かな認識を把握することを目的とする。また、後期旧石器遺跡のルミネッセンス年代測定は、考古遺跡・遺物の年代測定として一翼を担う放射性炭素(C-14)年代測定法と原理が異なることから、年代のクロスチェックを可能にする。これは、旧石器時代研究を深化させるうえで数値年代の正確さを向上させるものである。さらに、編年の細分化が試みられてきた日本列島における後期旧石器の数値年代は、大陸の後期・晩期旧石器時代の石器編年を組むうえで重要な時間の物差しとして役立つことが期待される。

まず、長石のTLおよびIRSL特性を観察するために、曹長石(ブラジル産(Gavanador Valadares, Minas Gerais))と正長石(アメリカ産(Arizona Yavapai Country Hillside))の2種類の鉱物標本資料を用いた。

長石のTLに関する電子捕獲中心のパラメーターについて、①Thermal Cleaning法、②Fractional Glow法、③Isothermal法の3つの方法を用いて解析し、捕獲電子が準安定状態にある時間(寿命： τ)をFirst order kineticsとして求めた。

$$\tau = \frac{1}{s} \times \exp\left(-\frac{E}{kT}\right)$$

s: 振動数因子、E: 活性化エネルギー、T: 絶対温度、k: ボルツマン定数。

長石のIRSLに関する電子捕獲中心のパラメーターについて、Pulse annealing法を用いて、活性化エネルギー、振動数因子をFirst order kineticsとして求めた。そして、10℃のときの捕獲電子の寿命： τ を求めた。

ルミネッセンス発光色とTLパラメーター、IRSLパラメーターを基に、IRSLの発光モデルは、曹長石はtwo electron trap center-two recombination center、正長石はone electron trap center-one recombination centerとしてエネルギーバンドモデルを作成した(Fig. 1)。曹長石は、IRSL発光色が青色と緑色の2色の発光がある。正長石では発光が確認できなかったが、もっとも組成が類似したサニーディン(和歌山県産)において青色の発光が確認されている。これら発光色の結果は、作成したバンドモデルと矛盾しない。

長石のIRSLに関する特性を観察するために、①IRSLの測定温度依存性、②プレヒート処理の影響、③IRSLのIR励起光強度依存性—IRSL Componentとの関連性、④検出波長別線量依存性の観察、⑤Optical bleachingによるIRSL信号の衰退—Zeroing test、⑥Fading testの項目について実験を行った。Zeroing testでは、2～4時間太陽光に露光することでIRSL信号は1%以下にまで減衰する。Fading testでは、放射線を照射後約4ヶ月でIRSL信号が20～30%減少することが明らかになった。そして、直線的な線量依存性が得られるIRSL測定の条件として、励起光波長：890±50nmのとき、励起光強度：86.9mW/cm²、検出波長はBG39フィルター+HA50フィルター(350～600nm(FWHM))とし、プレヒート条件は、160℃で60秒間、測定温度は60℃と設定した(Fig. 2)

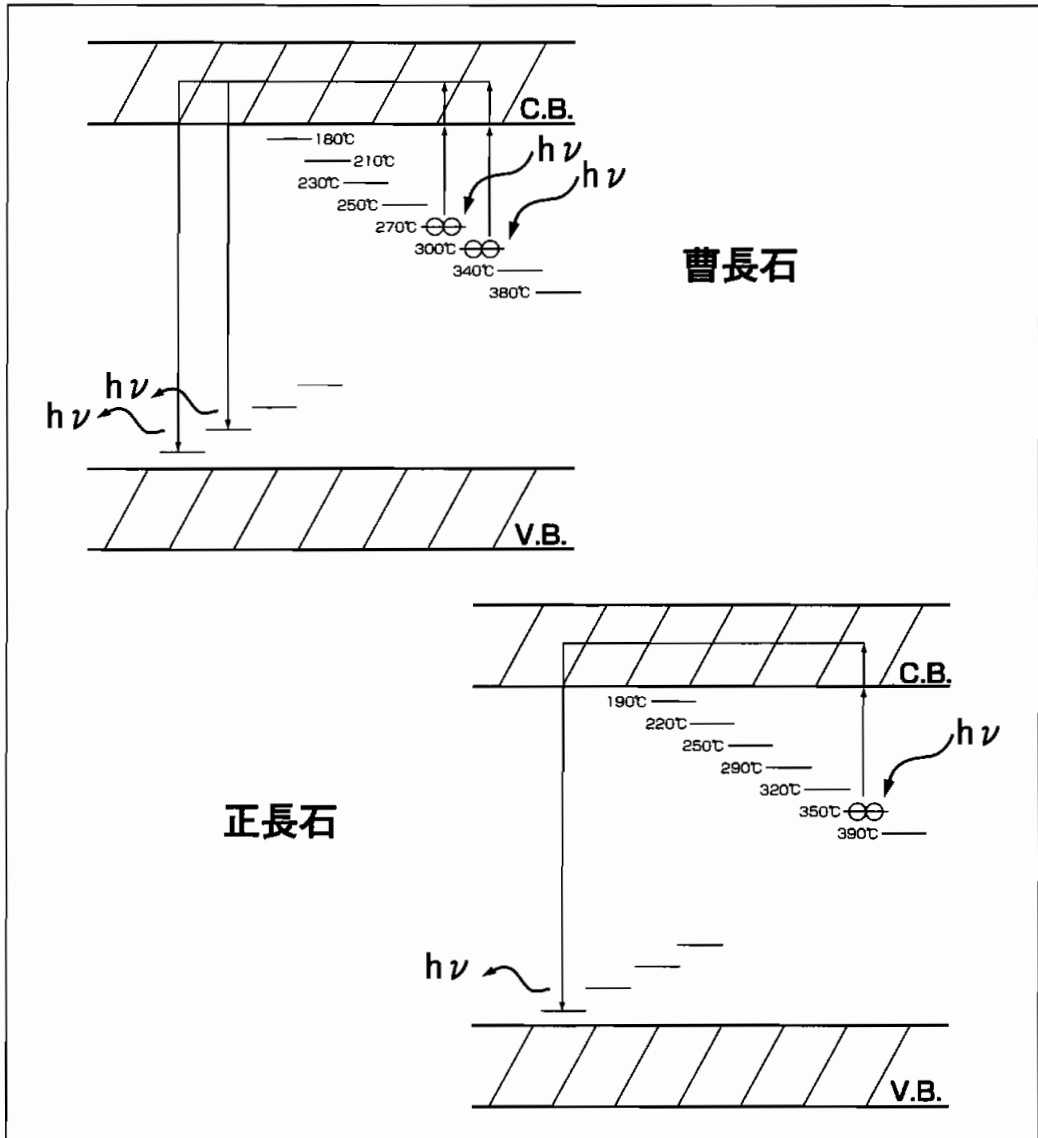


Fig. 1 長石のTLおよびIRSL特性の結果より作成したエネルギーバンドモデル。

(上：曹長石、下：正長石)、C.B.：伝導帯、V.B.：価電子帯、 $h\nu$ ：光子。

長石を用いたIRSL測定による蓄積線量の評価は、試料のゼロイングやプレヒート条件の検討、Fading testなどの条件を個々の年代測定試料ごとに検討することが、高精度な年代測定を行うためには重要であると考えられる。

次に、旧石器考古学および人類学的に重要であり、石器の出土層位がきらかである遺跡の堆積物について、ルミネッセンス年代測定を行った。本研究における旧石器遺跡の対象地域は、中国、韓国、日本、そして、サハリン、ロシア沿海州である。

サンプリングを行った遺跡・地点は、中国では、河北省泥河湾盆地において、許家窑遺跡、虎頭梁遺跡群、そして北西嘴・廟梁溝地点の馬蘭黄土 (Loess) について行った。この地域では、

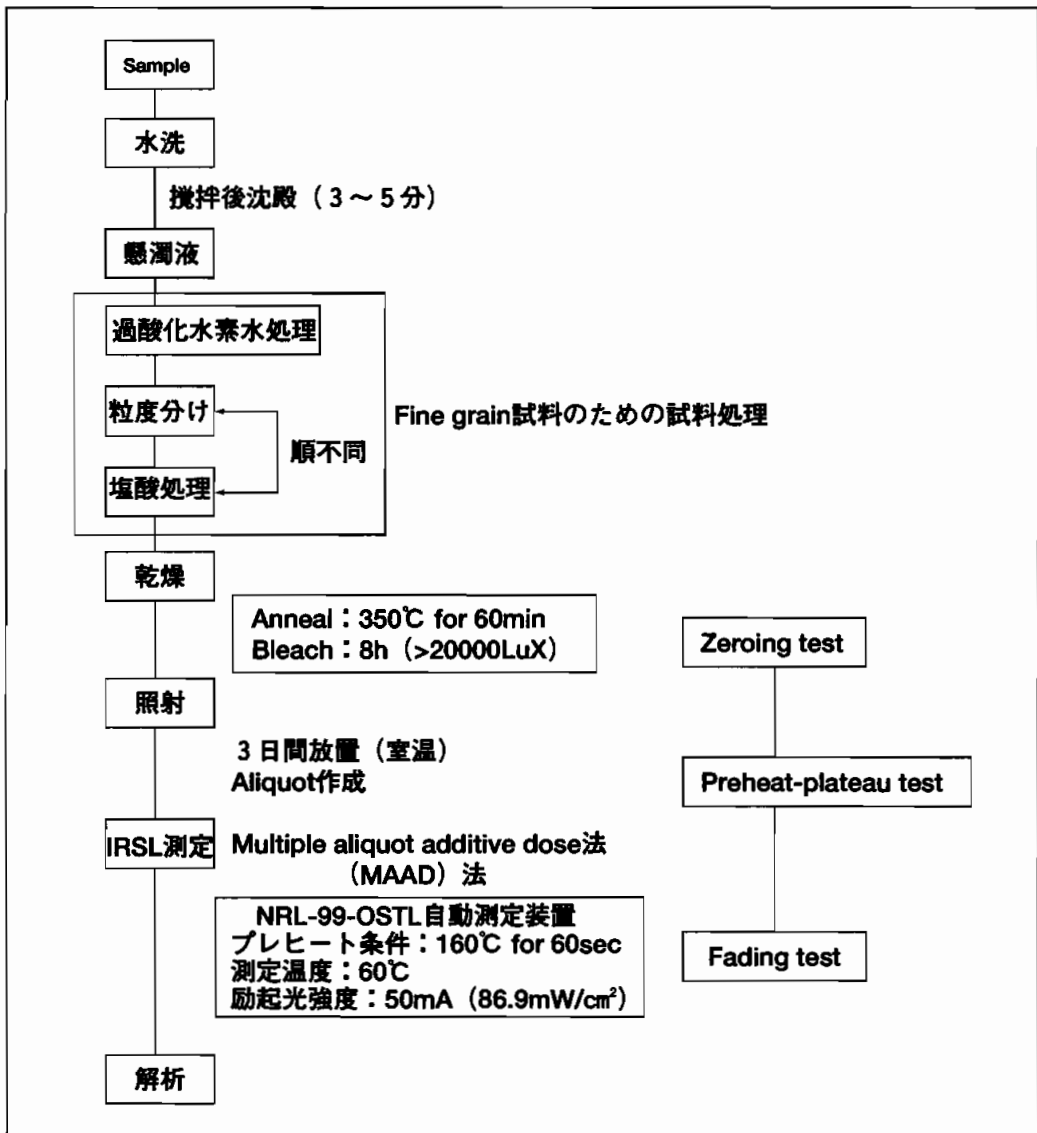


Fig. 2 微粒子 (FG) 法を用いたIRSL測定法のフローチャート。

試料により、測定条件など詳細な部分は再検討を必要とする。

小長梁遺跡、東谷它遺跡をはじめとして100万年をさかのぼると考えられる旧石器遺跡が発見されている。さらに、虎頭梁遺跡では細石刃石核と土器が出土するなど、前期更新世から完新世に至るまで連続とヒトの営みが続いていたことが明らかとなってきている。

韓国では、臨津江・漢灘江流域において、全谷里遺跡 (E55S20-IVピット)、長山里遺跡、佳月里遺跡、金坡里遺跡、新踏里露頭および南楊州市好坪洞遺跡である。漢灘江流域に位置する全谷里で採集された石器はハンドアックスやクリーパーなどであり、東アジアを「チョッパー=チョッピング・ツール文化圏」としたH.L.Movius Jrの仮説に再考を促す契機となった。臨津江および漢灘江流域では、元當里遺跡、佳月里遺跡・舟月里遺跡、金坡里遺跡など、朝鮮半島西海

岸沿いでは深谷里遺跡などで、全谷里遺跡で表採された石器と類似した石器群が発掘されている。臨津江および漢灘江流域の旧石器遺跡の多くは、溶岩台地上に存在している。溶岩台地を形成する玄武岩の年代については、これまでK-Ar法やFT法、TL法などが試みられ、多様な見解が得られてきた。しかし、溶岩台地やその上に立地する旧石器遺跡の年代確定には至っていないのが現状である。

サハリン・ロシア沿海州では、サハリン島Sennaya遺跡、ロシア沿海州Ustinovka 3遺跡である。

日本では、岩手県金取遺跡、長野県竹佐中原遺跡、上ノ原遺跡、大分県早水台遺跡、長崎県入口遺跡、熊本県大野E遺跡、宮崎県東畝原第一遺跡（始良丹沢火山灰、AT）、宮城県山田上ノ台遺跡、奈良県馬見二ノ谷遺跡、広島県冠遺跡、佐賀県多久三年山遺跡、その他に、北海道総進不動坂露頭、宮城県座散乱木露頭、山形県袖原露頭および宮城県中島山露頭（袖原第2テフラ（Sd-2））、宮城県上高森露頭（倉の沢第1テフラ（Ks-1））である。

ルミネッセンス年代測定では、蓄積線量と年間線量を別々に評価する。蓄積線量では、石英粗粒子法（粒度75~150 μm の石英）、Polymineal微粒子法（粒度約1~8 μm ）、準微粒子法（粒度約8~50 μm ）、石英微粒子法（粒度約1~8 μm の微粒な石英）の4種類を用いて試料処理を行った。測定は、Multiple aliquot additive dose (MAAD)法を採用した。MAAD法では、低線量領域の超直線性を補正するためにスプラリニアリティー補正を行う。試料処理が終了した試料を、電気炉を用いて350 $^{\circ}\text{C}$ で60分間アニール、もしくは、太陽光の下で8時間光ブリーチを行い、人為的ゼロイングを施した。

年間線量では、熱ルミネッセンス線量計（TLD）素子を用いて年間線量を評価する直接測定法と、低バックグラウンド高純度Ge検出器を用いて試料の γ 線スペクトルを測定し、産業技術総合研究所が提供する5種類の岩石標準試料によって、U, Th, K-40の濃度を較正し、Bellの式によって年間線量に換算する間接測定法を併用して評価を行った。年間線量は、粗粒子法では年間 β 線量、年間 γ 線量と年間宇宙線量の和、微粒子法では年間 α 線量、年間 β 線量、年間 γ 線量と年間宇宙線量の和で評価される。このとき、 α 線のルミネッセンス効率、10%と見積もった。準微粒子法では、粒径による α 線の減衰を考慮して、 α 線の粒径補正を行った。キーエンス社製デジタルマイクロスコープVHX-100を用いて、各試料の粒子の粒径を50~80個程度計測し、その長径の平均値を求めた。

各遺跡の各試料における蓄積線量、年間線量とルミネッセンス年代をTableにまとめた。中国の試料では、C-14年代やウラン系列年代と、韓国の試料では、FT年代やK-Ar年代と比較することができた。また、得られた数値年代は、各遺跡の層序に対して整合性のある結果といえる。そのなかでも、日本列島において、金取遺跡IVa層下部で $52 \pm 10\text{ka}$ 、入口遺跡3b層で $90 \pm 11\text{ka}$ 、4層で $103 \pm 23\text{ka}$ である。他方、韓国臨津江・漢灘江流域では、佳月里遺跡loc. 2、TP19グリットで石器包含層が $47 \pm 11\text{ka}$ ~ $78 \pm 24\text{ka}$ 、全谷里遺跡E55S20-IVピットの石器包含層上層で $88 \pm 39\text{ka}$ 、中国泥河湾盆地に位置する許家窩遺跡の遺物包含層で $69 \pm 8\text{ka}$ であった。これらは、約5~10万年前に東アジア地域において同時期の遺跡であると示唆された。本研究で求められた数値年代と数値年代に代表されるであろう石器群については、今後考古学的に遺跡の構造システムの

説明が進み、他地域の様相と比較されながら型式編年が組まれていく上で時間軸上に整然と並べられていくだろう。

数値年代を得るためには、サンプリングに始まり、試料ごとの測定法決定からデータの考察まで吟味しなければならない。測定者が試料の選択・選別する初期の段階から、求めた年代の吟味・解釈までの最終段階まで、その間にブラックボックスを作らず、すべてを行うことができたとき、そして、併せて年代データを求めるために研究を行い、年代データを蓄積し、それを基に考古学や地質学、第四紀学など各分野での研究を推進できたとき、展望として年代測定学から昇華した“年代学”という科学が成立するであろう。

Table 1 - 1 東アジア旧石器遺跡におけるルミネッセンス年代測定結果 (国外)

	遺跡名	Sample	試料処理法/測定法	蓄積量 (Gy)	年間積量 (Gy/ka)	ルミネッセンス年代 (ka)	備考
中国 泥河湾盆地	許家橋遺跡	石器出土層重上層	FG/IRSL	262±29	4.37±0.27	60±8	
		石器出土層	FG/IRSL	313±32	4.51±0.28	69±8	
	千家溝遺跡 (虎廟梁遺跡群)	6層上部	FG/IRSL	40.0±4.8	4.38±0.41	8.2±1.4	
		6層下部	FG/IRSL	41.2±5.1	4.59±0.37	9.0±1.3	
	北西嶺地点	Loess1	FG/IRSL	110±17	4.15±0.23	27±4	地表より2.2m下
關梁溝地点	Loess2	FG/IRSL	133±17	3.94±0.21	34±5	地表より4.8m下	
韓国 臨津江・漢江流域	金谷里	Chongokni 1	FG/IRSL	447±137	4.84±0.17	92±30	58m (amsl)
			Quartz-FG/BLSL	486±87	4.84±0.17	100±14	Incomplete zeroing?
		Chongokni 2	FG/IRSL	448±108	5.17±0.17	87±21	56.5m (amsl)
			Quartz-FG/BLSL	372±92	5.17±0.17	72±18	
		Chongokni 3	FG/IRSL	487±413	5.22±0.17	93±79	56m(amsl)
	Quartz-FG/BLSL		455±233	5.22±0.17	87±45		
	長山里	Jangsan-ri 3	FG/IRSL	1267±119	6.16±0.22	206±21	
		Jangsan-ri 4	FG/IRSL	1226±138	5.62±0.18	220±26	
		Jangsan-ri 5	FG/IRSL	1192±226	5.54±0.19	215±41	
	佳月里	kawol-ri, loc. 2 (TP19)	Semi-FG/IRSL	260.8±61.9	5.58±0.15	47±11	The upper layer of artifact horizon
			Semi-FG/IRSL	440.2±133.0	5.62±0.14	78±24	The lower layer of artifact horizon
		kawol-ri, loc. 3	Semi-FG/IRSL	226.2±99.6	4.41±0.09	51±23	The upper layer of artifact horizon
	金城里	kumpa-ri 1	FG/IRSL	134.9±104.2	6.17±0.31	22±17	Artifact horizon
		kumpa-ri 2	FG/IRSL	280.2±41.5	6.25±0.22	45±7	
	好坪洞	Shindan-ri	FG/IRSL	300±29	5.10±0.18	60±6	Black soil
5 layer		FG/IRSL	126±16	4.59±0.25	27±4	Upper	
		FG/IRSL	123±11	3.25±0.29	38±5	Lower	
サハリ ン	Sennaya遺跡	3層	FG/IRSL	516.0±47.1	3.37±0.12	150±15	
		4層	FG/IRSL	591.9±63.9	3.55±0.13	170±19	
		5層	Semi-FG/IRSL	534.2±81.8	3.53±0.13	150±24	
		7層	FG/IRSL	696.6±110.3	3.54±0.12	200±32	
沿口 海シ 州ア	Ustinovka 3遺跡	Ⅲ層	FG/IRSL	48.53±7.43	5.84±0.23	8.3±1.3	
		Ⅳ層	FG/IRSL	54.05±3.34	4.93±0.21	11.0±0.8	

Table 1 - 2 東アジア旧石器遺跡におけるルミネッセンス年代測定結果 (日本)

	遺跡名	Sample	試料処理法/測定法	蓄積線量(Gy)	年間線量(Gy/ka)	ルミネッセンス年代(ka)	備考	
日本	金取遺跡 (岩手県)	III d層上半部	FG/IRSL	91.6±9.7	1.94±0.06	47±5		
		III d層下半部	FG/IRSL	97.0±20.0	2.11±0.12	46±10		
		IV a層下部	FG/IRSL	143.8±28.3	2.77±0.09	52±10		
		IV b層	FG/IRSL	197.4±20.6	2.76±0.16	72±9		
	竹佐中原遺跡 (長野県)	4層	FG/ TL (Total bleach)	61.9±2.5	4.58±0.20	13.5±0.8	残存TLを考慮	
			FG/IRSL	57.0±9.4	4.58±0.20	12.4±2.2	17.8±5.0 (補正後)	
		4'層	FG/ TL (Total bleach)	81.3±3.3	4.10±0.11	19.8±1.0	残存TLを考慮	
			FG/IRSL	79.2±12.3	4.10±0.11	19.3±3.1	27.7±4.9 (補正後)	
		5層	FG/ TL (Total bleach)	127.0±3.5	4.20±0.16	30.2±1.4	残存TLを考慮	
			FG/IRSL	145.7±9.4	4.20±0.16	34.7±2.6	48.1±3.9 (補正後)	
		6層	FG/ TL (Total bleach)	225.4±10.8	4.27±0.12	52.8±2.9	残存TLを考慮	
			FG/IRSL	236.2±19.7	4.27±0.12	55.3±4.9	74.1±8.1 (補正後)	
	早水台遺跡 (大分県)	AH18-6層	FG/IRSL	77.0±12.0	2.60±0.10	29.6±4.7		
		AR7-6層	FG/IRSL	82.8±9.3	2.36±0.09	35.1±4.2		
		AP18-6層	FG/IRSL	88.2±8.0	2.74±0.11	32.2±3.2		
	入口遺跡 (長崎県)	2層	FG/IRSL	87.1±7.2	4.70±0.18	14±2		
		3b層	FG/IRSL	328±40	3.83±0.12	90±11		
		4層	FG/IRSL	277±80	2.69±0.11	103±23		
	大野E遺跡 (熊本県)	10層	CG/BLSL	32.8±13.1	1.54±0.04	21.3±8.5	18.1±2.1 (年代値の加重平均)	
			FG/IRSL	41.3±12.5	2.31±0.04	17.9±5.4		
			FG/IRSL	44.1±5.5	2.31±0.04	19.1±2.4	30.0±3.4 (年代値の加重平均)	
			FG/IRSL	77.9±22.2	2.70±0.11	28.8±8.3		
		12層	FG/IRSL	80.3±13.2	2.70±0.11	29.7±5.0	32.4±6.3 (年代値の加重平均)	
			FG/IRSL	83.7±15.1	2.70±0.11	31.0±5.7		
		13層	FG/IRSL	86.1±48.0	2.80±0.11	30.7±17.2	66.9±11.1 (年代値の加重平均)	
			FG/IRSL	100.1±23.9	2.80±0.11	35.7±8.6		
		14層	FG/IRSL	77.9±30.2	2.80±0.11	27.8±10.9	26.4±3.0 (年代値の加重平均)	
			FG/IRSL	176.5±59.5	2.41±0.07	73.2±24.8		
		東松原第一遺跡 (宮崎県)	始良丹沢火山灰(AT)	CG/TL	53.9±7.3	2.05±0.11	26.3±3.8	26.4±3.0 (年代値の加重平均)
				FG/TL	70.8±13.0	2.87±0.11	26.5±5.0	
	FG/IR-TL			74.0±8.9	2.87±0.11	27.7±3.5		
	山田上/台遺跡 (宮城県)	7層	FG/IRSL	34.8±4.4	2.44±0.08	14.3±1.9		
		10層	FG/IRSL	38.8±10.8	1.32±0.04	29.4±8.3		
15層		FG/IRSL	97.9±13.6	2.78±0.08	35.2±5.0			
川崎スコリア(Za-Kw)		Semi-FG/TL	30.9±17.6	1.12±0.04	27.6±15.8	荒羽賀籠頭		
風見ニノ谷遺跡 (奈良県)	3層下部	FG/IRSL	29.6±2.9	2.78±0.07	10.7±1.1	10.6±0.6 (年代値の加重平均)		
		SFG/IRSL	29.1±1.8	2.78±0.07	10.5±0.7			
	6層	FG/IRSL	116.2±11.2	2.66±0.08	43.7±4.4	42.5±3.2 (年代値の加重平均)		
冠遺跡(広島県)	Vb層下部	CG/GLSL	78.5±14.5	2.93±0.11	27±5			
	2a層	FG/IRSL	20.5±3.9	3.35±0.10	6.1±1.2			
	2b層	FG/IRSL	27.6±8.1	3.47±0.13	8.0±2.4			
多久三年山遺跡 (佐賀県)	3層	FG/IRSL	48.3±15.9	3.71±0.11	13.0±4.3			
	4層	FG/IRSL	86.4±14.8	3.54±0.14	24.5±4.3			
	赤褐色ローム層	FG/IRSL	263.7±17.6	4.22±0.18	63±5	総瀬不動坂(北海道)		
	安沢火山灰上部	FG/IRSL	48.8±3.4	2.93±0.07	16.6±1.2	鹿敷乱木(宮城県)		
安沢火山灰下部	CG/TL	90.2±14.3	1.42±0.07	63.5±10.5				
柳沢火砕流(Nr-Y)	CG/TL	82.7±13.3	1.22±0.09	67.8±12.0				
袖原第2テフラ(Sd-2)	CG/TL	274±22	1.35±0.11	203±23	袖原(山形県)			
		FG/IRSL	367±85	2.07±0.12		177±42		
	Quartz-FG/TL	426±47	2.07±0.12	206±26				
	Sd-2	CG/TL	170.5±14.6	0.69±0.10		192±27	中島山(宮城県)	
倉の沢第1テフラ(Ks-1)	CG/TL	459±29	0.86±0.06	530±50	上高森(宮城県)			
上ノ原遺跡 (長野県)	Vb層	FG/IRSL	48.7±6.6	1.65±0.03	29.5±4.1			