

同一テフラのTL年代とOSL年代の比較

長友恒人・下岡順直*・西村誠治**

奈良教育大学教育実践開発講座

(平成17年5月6日受理)

Comparison of Results between TL and OSL Dating of the Same Tephtras

Tsuneto NAGATOMO, Yorinao SHITAOKA* and Seiji NISHIMURA**

(Department of Archaeological Science, Nara University of Education, Nara 630-8528, Japan)

(Received May 6, 2005)

Abstract

In this study, thermoluminescence (TL) ages and optically stimulated luminescence (OSL) ages of the same tephtras are compared. If a tephtra containing minerals which were completely time-zeroed at the time of an eruption, its TL age might be the same as the age obtained by the OSL technique. According to our research, the ages by TL and OSL methods for the same tephtra, however, are not necessarily the same. The TL ages and OSL ages were compared for eleven tephtras from Tohoku and Kyushu areas. Quartz coarse grains, poly-mineral semi-fine grains, poly-mineral fine grains and quartz fine grains were used for the measurements, which were made using three apparatuses with different detection optical filters and excitation light sources.

The compared results of the TL and OSL ages are grouped into four categories; (1) the TL age agrees with the OSL age, (2) the OSL age is younger than the TL age, (3) the TL age obtained using the sample after the OSL measurement is older than the TL and OSL ages and (4) the OSL age indicates the time of the last deposition of the tephtra. Some aspects of the differences between the TL and OSL ages are discussed in this paper.

Key Words : Tephtra, TL dating, OSL dating, Cross check

キーワード : テフラ, TL年代測定法, OSL年代測定法, クロスチェック

1. はじめに

テフラ(火山噴出物)の年代測定法の一つとして熱ルミネッセンス(Thermoluminescence; TL)法が1980年代初めから適用されるようになった⁽¹⁾⁽²⁾. TL法は焼成された土器やテフラなど加熱によってタイムゼロイン

(以下,ゼロイングと称する)された試料に適用されるが,加熱によるゼロイングが不完全な水成堆積物や風成堆積物についてもTL年代測定が試みられてきた⁽³⁾⁽⁴⁾. これらの堆積物にTL法を適用する場合には,露光によってゼロイングされたものとして測定され,露光によるゼロイングの不完全さに対する補正は露光テストによって

* 奈良女子大学共生科学研究センター ** 奈良教育大学大学院在学

残存TLとして評価される。しかし、露光テストによる残存 TLが対象試料の実際の残存TLを正確に評価している保証はない。1985年にHuntlyらによって堆積物に対する光ルミネッセンス (Optically Stimulated Luminescence; OSL) 年代測定法の有効性が示されて以降⁽⁵⁾、水成堆積物や風成堆積物のルミネッセンス年代測定はOSL法によるものが一般的となった。TL法とOSL法におけるゼロイングの物理的メカニズムは同じであって、結晶の禁止帯の電子捕獲中心に捕獲された電子を解放することであるから、被熱温度が十分に高い場合にはOSLに対応する電子捕獲中心においてもゼロイングが起きる。被熱試料のOSL測定例としては、焼石や焼土について試みられた例がある^{(6) (7)}。

テフラ中の鉱物は火山噴火の加熱により完全にゼロイングがなされているのでTL法を適用することができ、特に、放射性炭素年代測定法の適用限界を超える第四紀のテフラに関して有効な年代測定方法である。しかし、降下火山灰は溶岩のような閉鎖系ではないので、降下堆積してから現在までに隣接する地層や地下水系との間に鉱物の交換が起きる場合がある。露頭において一次堆積であることが明確なテフラに関してはこのような現象は、年代測定の観点からは無視しうるほどであるが、一次堆積後に露光された二次堆積のテフラに関しては露光による部分的なゼロイングと本質物ではない鉱物が混入されている可能性を考慮しなければならない。

実際のテフラはこのような混入の可能性があるので、TL法、OSL法、電子スピン共鳴 (ESR) 法、フィッシュオントラック (FT) 法などによるクロスチェックが重要であることは論を待たない。クロスチェックの測定例は多くはないが、TL法やOSL法のほかにESR法による同一テフラの測定が試みられている⁽⁸⁾。他、堆積物に対するTL年代とOSL年代を比較する研究がなされている^{(9) (10)}。また、被熱試料でOSL測定後のTL測定 (以下、OSL-TL測定) による線量評価の可能性がGodfrey-Smithらによって示唆されており⁽¹¹⁾、我々もいくつかの試みを行っている⁽¹²⁾。火山灰においてもTL年代測定のみでは信頼性のあるデータを得ることが出来ず、OSL法の開発を待つて信頼性が高いデータが得られた例もある。例えば、1983年、市川によって宮城県岩出山町の露頭から採取された安沢火山灰上部についてTL年代測定が行われた。その結果、TL年代として95900年 (蓄積線量の誤差が±10.7%) が得られたが⁽¹³⁾、層位的に安沢火山灰上部より下位に相当する安沢火山灰下部や柳沢火砕流のTL年代よりも古い年代値であった (後に得られた安沢火山灰下部と柳沢火砕流のTL年代は、それぞれ63.5±10.5kaと67.8±12.0ka⁽¹⁴⁾である)。層序と整合性がない原因として、安沢火山灰上部は、「2種類の火山灰が混合している可能性」⁽¹³⁾、「火山灰の本質物以外の石英を多く含む」

⁽¹⁵⁾ ことが指摘され、火山灰の一次堆積層ではないと考えられた。長友らはこの安沢火山灰上部についてOSL年代測定を試み、16.1±3.5kaという層序と矛盾しない数値年代を得た⁽¹⁴⁾。一次堆積後に時間をおかずに二次堆積をしたテフラ層についてはTL法とともにOSL法を併用することで、測定年代の正確さと信頼性を向上させることが期待できる。

以上のような視点から、同一のテフラについてTL法とOSL法を用いた年代測定を行い、両者によって求められた数値年代を比較した結果を以下に記し、より信頼性の高いルミネッセンス年代が得られることを論じる。

2. 測定

2. 1. 試料

測定に用いた試料は、第四紀に噴火したと考えられる東北地方および九州地方に堆積しているテフラである。測定したテフラと、それぞれの採取地点は以下の通りである。

- (1) 焼石山形パミス (Yk-Y) : 岩手県北上市の大森露頭において採取した。
- (2) 袖原第1パミス, 第2パミス (Sd-1, Sd-2) : 山形県尾花沢市袖原の露頭においてSd-1, Sd-2を、脊梁山脈を越えた宮城県色麻町中島山の露頭でSd-2を採取した。
- (3) 北原火山灰 (Kth) : 宮城県色麻町中島山の露頭と山形県舟形町の堀ノ内露頭の2地点で採取した。
- (4) 蔵王川崎スコリア (Za-Kw) : 宮城県仙台市山田上ノ台遺跡10層および同県川崎町の荒羽賀露頭の2地点で採取した。
- (5) 原セ笠張露頭: 大山倉吉パミス (DKP) や阿蘇-4テフラ (Aso-4) の下位の層より3枚の火山灰層とその下より2枚の堆積物を採取した。なお、これらの火山灰層は命名されていない。
- (6) 始良丹沢火山灰 (A-Tn) : 宮城県新富町東畝原第一遺跡および同県川南町後牟田遺跡の2地点で採取した。
- (7) 始良岩戸火山灰 (A-Iw) : 宮城県綾町二反野露頭において採取した。
- (8) 鬼界アカホヤ火山灰 (K-Ah) : 鹿児島県末吉町桐木遺跡において採取した。

2. 2. 試料の粒径別ルミネッセンス測定方法

ルミネッセンス年代測定法では、主に石英と長石を測定試料として使用する。一般的には、鉱物の粒径と自然放射線の透過能 (飛程) の関係から、100 μ m程度の鉱物を使用する粗粒子法 (Inclusion法もしくはCoarse Grain法、以下、CG法と称する) と約1~8 μ mの鉱物を使用す

Table 1 比較に用いた測定法と鉱物の粒径の対照表.

TL および IRSL-TL 測定法	GLSL および IRSL 測定法
石英粗粒子	石英粗粒子
石英粗粒子	多鉱物微粒子
石英微粒子	
多鉱物微粒子	
準微粒子	

(注) 試料の粒度は粗粒子法, 微粒子法, 準微粒子法のそれぞれについて, 約 100 μm , 1~8 μm , 8~50 μm である.

る微粒子法 (Fine Grain法, 以下FG法と称する) が用いられることが多い⁽¹⁶⁾. CG法は, フッ化水素酸を用いたエッチング処理により α 線量に起因するルミネッセンスを無視することが可能になり, 年間線量評価は β 線と γ 線の和で表される. 一方, FG法では, 鉱物の粒径が小さいことから α 線の寄与を無視することができない. このときの α 線によるルミネッセンス効率は β 線や γ 線の効率に対して10~15%とされている⁽¹⁷⁾. なお, FG法では, 粒度のみを調整した通常適用される多鉱物微粒子法 (Poly-mineral Fine Grain法, 以下, Poly-FG法と称する) と, それを再度ケイフッ化水素酸処理により微細な石英のみを抽出した石英微粒子法 (以下, Q-FG法と称する) がある⁽¹⁸⁾. その他に, 粒径が約 8~50 μm の鉱物を使用する準微粒子法 (Semi Fine grain法, 以下, SFG法と称する)⁽¹⁹⁾ や粒径が500 μm 程度の鉱物を使用する方法⁽²⁰⁾ がある.

今回, TL法とOSL法による比較を行った測定試料の粒径はCG法, SFG法及びFG法である. 処理した試料は偏光実体顕微鏡観察とX線回折によって鉱物同定を行い, 粒径の測定はデジタルマイクロスコープ (キーエンス社VHX-100型) を使用した. 以下, OSL測定において励起光に緑色を使用した場合をGLSL (Green Light Stimulated Luminescence), 赤外光を使用したOSLをIRSL (Infra-red Stimulated Luminescence) と称する

こととする. Table 1に測定法別に使用した試料の粒径を示す. なお, 蓄積線量を評価するための測定方法は, Multiple Aliquot Additive Dose 法 (多試料付加線量法) によった.

2. 3. ルミネッセンスの発光波長と測定装置

TLとOSLの線量依存性は, ルミネッセンスの波長によって異なる⁽²¹⁾ (22). そこで, 発光波長が異なるルミネッセンスを測定するために, 本研究では次の測定装置を用いた. HARSHAW社 2000A型, Daybreak社1150型, そして自作のNRL-99-OSTL装置である. 使用した測定装置の測定条件は, Table 2の通りである. また, OSL測定条件については, 下岡らに従った⁽²³⁾.

3. TL年代とOSL年代の比較

各試料の測定結果をTable 3に示す. 以下, 各試料の結果について, 検討を行っていく. なお, 数値年代は全て千年前 (ka) に統一してある.

- (1) Yk-Y: CG法のTL測定では68 \pm 5ka, Poly-FG法のIRSL測定では70 \pm 10kaとなり, ほぼ一致する結果となった. 一方, Poly-FG法のTL測定では90 \pm 13ka, Poly-FG法のIR-TL測定では87 \pm 9kaとなった. Yk-Yは, Aso-4よりも層位的に上位である⁽²⁴⁾ (25) ことから, CG法のTL年代とPoly-FG法のIRSL年代は層位的に矛盾がなく, Poly-FG法のTL測定とPoly-FG法のIR-TL測定では, Yk-Yパミスではない微粒の石英が混入していることによって見かけ上古い年代値が得られた可能性が指摘される.
- (2) Sd-1, Sd-2: 袖原露頭のSd-2では, CG法のTL測定で203 \pm 23ka, Q-FG法のTL測定で206 \pm 26ka, 中島山露頭のSd-2では, CG法のTL測定で179 \pm 15kaと192 \pm 27kaになった. 袖原露頭のSd-2について, Poly-FG法のIRSL測定で177 \pm 42kaという他の測定

Table 2 各測定装置のTL測定条件とOSL測定条件.

測定条件 測定装置	TL および IR-TL 測定			GLSL および IRSL 測定	
	検出波長 (nm)	昇温速度 ($^{\circ}\text{C}/\text{秒}$)	最高温度 ($^{\circ}\text{C}$)	励起波長 (nm)	検出波長 (nm)
DAYBREAK1150 TL/OSL 自動測定装置	310-440	10	500	514	300-480
	380-550	10	400	880 \pm 20	310-440 350-600
NRL-99-OSTL TL/OSL 自動測定装置	350-600	10	500	890 \pm 50	350-600
HARSHAW-2000A TL 測定装置	350-570	10	500	-----	

Table 3 各試料のTL年代およびOSL年代.

Q-CG：石英粗粒子法，Q-FG：石英微粒子法，Poly-FG：多鉱物微粒子法，Poly-SFG：多鉱物準微粒子法，TL：熱ルミネッセンス，IRSL：赤外光ルミネッセンス，GLSL：緑色光ルミネッセンス，IR-TL：IRSL測定後のTL測定。（ ）は，年間線量値を間接測定で評価した数値である。

試料名	蓄積線量 (Gy)	年間線量 (Gy/ka)	ルミネッセンス年 代(ka)	処理法/測定法	備考
山形パミス (Yk-Y) 大森露頭	65.1±2.6	0.96±0.05	68±5	Q-CG/TL	
	108.7±14.2	1.21±0.06	90±13	Poly-FG/TL	
	85.5±10.9	1.21±0.06	70±10	Poly-FG/IRSL	
	105.0±9.9	1.21±0.06	87±9	Poly-FG/IR-TL	
袖原第2パミス (Sd-2) 袖原露頭	273.6±21.5	1.35±0.11	203±23	Q-CG/TL	
	366.6±84.6	2.07±0.12	177±42	Poly-FG/IRSL	Fading は無い、
	解析不可	2.07±0.12	解析不可	Poly-FG/TL	
中島山露頭	426.4±46.8	2.07±0.12	206±26	Q-FG/TL	
	159.6±8.2	0.89±0.10	179±15	Q-CG/TL	
袖原第1パミス (Sd-1) 袖原露頭	170.5±14.6	0.89±0.10	192±27	Q-CG/TL	
	268.3±27.8	0.93±0.07	289±37	Q-CG/TL	
北原火山灰 (Kth)	274.4±1.7	0.93±0.07	296±22	Q-CG/TL	
	279±163	0.93±0.07	301±177	Q-CG/GLSL	
堀ノ内露頭	130.1±11.5	1.53±0.13	85±10	Q-CG/TL	
	114.0±22.7	2.10±0.13	54±11	Poly-FG/IRSL	
中島山露頭	138.2±17.8	2.10±0.13	66±9	Poly-FG/IR-TL	
馬場壇露頭	170.4±6.9	2.70±0.08	63±3	Q-CG/TL	SEISO 火山灰
川崎スコリア (Za-Kw)	12300 (rad)	0.175 (rad)	70.3	Q-CG/TL	文献(26)
	38.8±10.8	1.32±0.04	29.4±8.3	Poly-FG/IRSL	
山田上ノ台遺跡	69.6±7.3	1.32±0.04	53±6	Poly-FG/TL	
荒羽賀露頭	30.9±17.6	1.12±0.04	27.6±15.8	Poly-SFG/TL	
原セ笠張露頭	261.4	0.49	530	Q-CG/TL	層位 ↑ 上 ↓ 下
	45.3	0.49	92	Q-CG/GLSL	
	369.3	0.66	560	Q-CG/TL	
	74.5	0.66	110	Q-CG/GLSL	
	547.1	0.78	700	Q-CG/TL	
	100.5	0.78	130	Q-CG/GLSL	
	483.7	0.59	820	Q-CG/TL	
	207.8	0.73	290	Q-CG/GLSL	
始良丹沢火山灰 (A-Tn) 東畝原第一遺跡	53.9±7.3	2.05±0.11	26.3±3.8	Q-CG/TL	
	70.8±13.0	2.67±0.11	26.5±5.0	Poly-FG/TL	
	41.0±9.4	2.67±0.11	15±4	Poly-FG/IRSL	Fading 補正なし
後牟田遺跡	74.0±8.9	2.67±0.11	27.7±3.5	Poly-FG/IR-TL	
始良岩戸火山灰 (A-Iw) 二反野露頭	61.5±12.8	2.32±0.21	26.6±5.1	Q-CG/TL	
	62±7	0.80±0.06	77±10	Q-CG/TL	
	96±11	1.09±0.06	88±11	Poly-FG/TL	
鬼界アカホヤ火山灰 (K-Ah) 桐木遺跡	57±12	1.09±0.06	52±11	Poly-FG/IRSL	Fading 補正なし
	10.74±2.64	(1.40±0.05)	(7.7±2.0)	Poly-FG/TL	
	10.61±3.18	(1.40±0.05)	(7.6±2.3)	Poly-FG/IRSL	
桐木遺跡	11.73±2.01	(1.40±0.05)	(8.4±1.5)	Poly-FG/IR-TL	

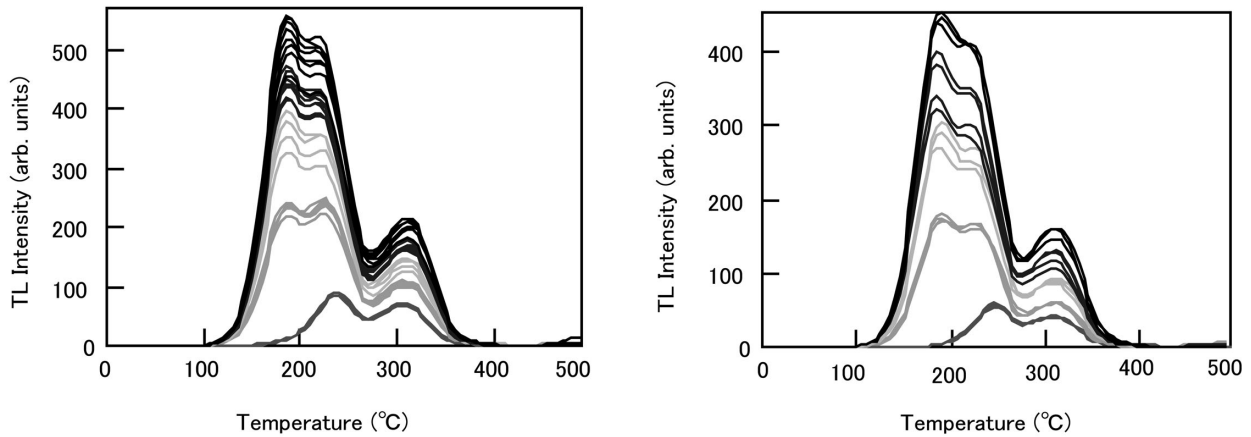


Fig. 1 袖原露頭 (左) と中島山露頭 (右) におけるSd-2のTLグローカーブ形状の比較.

結果よりいくらか若い年代が得られた。この袖原露頭Sd-2のPoly-FG試料について、異常減衰をチェックするためのFadingテストを行ったが、Fadingは見られなかった。袖原および中島山の露頭で検出されたSd-2は、そのTLグローカーブがほぼ近似している (Fig. 1) ことは、それぞれの露頭で採取されたパミスが同一起源であることの傍証であり、測定された年代も誤差の範囲で一致している。

袖原露頭のSd-1についてはTL年代およびGLSL年代について、ほぼ一致する結果であり (Fig. 2), 他層からの鉱物の混入は認められない。得られた結果は、CG法のTL測定で 289 ± 37 ka, 296 ± 22 ka, CG法のGLSL測定で 301 ± 177 kaである。

- (3) Kth: 堀ノ内露頭のKthについて、CG法のTL測定で 85 ± 10 ka, Poly-FG法のTL測定では 54 ± 11 ka, Poly-FG法のIR-TL測定では 66 ± 9 kaという結果であり、中島山の露頭では、CG法のTL測定で 63 ± 3 kaという結果であった。なお、市川によって馬場壇の露頭から採取されたKthは、CG法のTL測定で 70.3 kaであった⁽²⁶⁾。テフロクロノロジーにおいて、KthはAso-4より下位、三瓶木次テフラよりも上位であるとされている^{(27) (28)} ことから、今回の結果では、層序と矛盾のない結果は、堀ノ内露頭のCG法のTL測定による結果のみであり、他のデータはすべて若い数値を示した。また、堀ノ内露頭のデータでは、各測定法で求めた数値間に整合性が見られないが、CG試料ではなく、Poly-FG試料のTL測定とIR-TL測定の結果が若いのは微粒鉱物の混入によると考えられる。
- (4) Za-Kw: 山田上ノ台遺跡より給源に近い荒羽賀露頭のZa-Kwでは、SFG法のTL測定において 27.6 ± 15.8 kaであった。山田上ノ台遺跡のZa-Kwについて、Poly-FG法のTL測定では 53 ± 6 ka, Poly-FG法のIRSL

測定では 29.4 ± 8.3 kaであり、Poly-FG法のIRSL測定の結果が荒羽賀露頭のSFG法のTL測定年代と整合性のある結果となった。山田上ノ台遺跡のZa-Kwは、試料処理の結果、Poly-FG試料が得られた。一方、給源により近い荒羽賀露頭のZa-Kwでは、CG程度の石英もFG程度の鉱物も含まれていなかった。このことから、山田上ノ台遺跡のZa-KwのFG試料には、本来このスコリアに含有されない鉱物が他から混入した疑いが高い。このことは、山田上ノ台遺跡のZa-Kwと荒羽賀露頭のZa-KwのTLグローカーブを比較 (Fig. 3) することでも明らかであり、

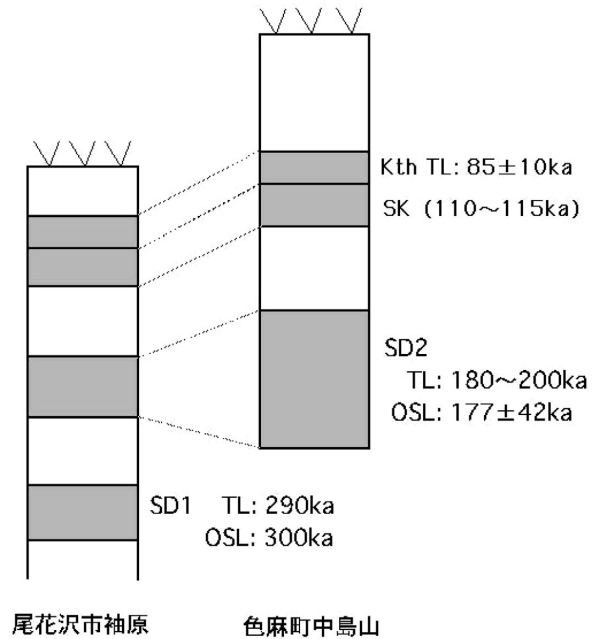


Fig. 2 袖原露頭 (左), 中島山露頭 (右) の柱状図とTL/OSL年代。KthのTL年代は、山形県舟形町堀ノ内露頭採取試料による。また、SKの数値年代は、文献⁽³³⁾による。

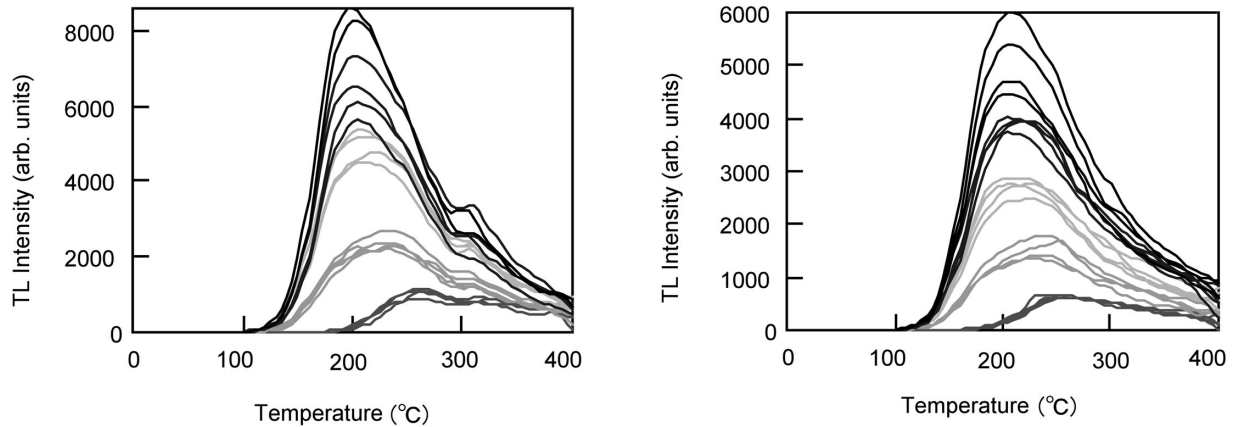


Fig. 3 山田上ノ台遺跡（左）と荒羽賀露頭（右）におけるZa-KwのTLグローカーブの形状の比較。300°C付近に違いが見られる。

荒羽賀露頭のZa-KwのTLグローカーブにはみられない300°C付近のピークが、山田上ノ台遺跡のZa-Kwを測定したTLグローカーブ表れている。このことから、山田上ノ台遺跡のZa-Kwでは、露光によりゼロイングされたIRSL測定の結果がZa-Kwの年代を示していると考えられる。また、この値はZa-Kwの ^{14}C 年代である26240 +1360/-1160 年BP (TH-309) ~ 31500 +2610/-1970 年BP (TH-365)⁽²⁹⁾と整合性がある。

- (5) 原セ笠張露頭：3枚の火山灰層と2枚の堆積物について、CG法のTL測定およびGLSL測定の結果と層序の関係をFig. 4に示す。層序とTLおよびGLSLのそれぞれの年代を比較すると、下層になるほど数値年代は古くなり矛盾がないように見える、しかし、TL年代は、GLSL年代よりもかなり古い値である。Fig. 4によれば、3枚の火山灰層の直上に広域テフラであるDKPやAso-4が検出されている⁽³⁰⁾。Aso-4を85-90ka⁽³¹⁾とし、堆積速度を一定であると仮定するとTL年代よりもGLSL年代の方が堆積状況と整合していると考えられる。TL年代が古い原因としては、一次堆積後に時間をおいて熱的にゼロイングされていない土壌を含んで再堆積した可能性が考えられる。
- (6) A-Tn：東畝原第一遺跡において、CG法のTL測定で26.3±3.8ka, Poly-FG法のTL測定で26.5±5.0kaとよく一致する結果であった。また、後牟田遺跡から採取したA-Tnでは、CG法のTL測定で26.6±5.1kaであり、東畝原第一遺跡における測定結果と一致している。しかし、東畝原第一遺跡のA-Tnについて、Poly-FG法のIRSL測定では15±4kaとなり、Poly-FG法のIR-TL測定では27.7±3.5kaとなった。IRSLについては、Fadingテストの結果、照射直後からIRSL信号の減衰が見られたことから、

Anomalous fadingが生じたと考えられ、TL測定の結果に信頼性がある。

- (7) A-Iw：CG法のTL測定結果が77±10ka, Poly-FG法のTL測定結果が88±11ka, Poly-FG法のIRSL測定結果が52±11kaとなった。Poly-FG試料についてIRSLのFadingテストをした結果、照射直後から信号の減衰が見られた。このことから、Anomalous fadingが

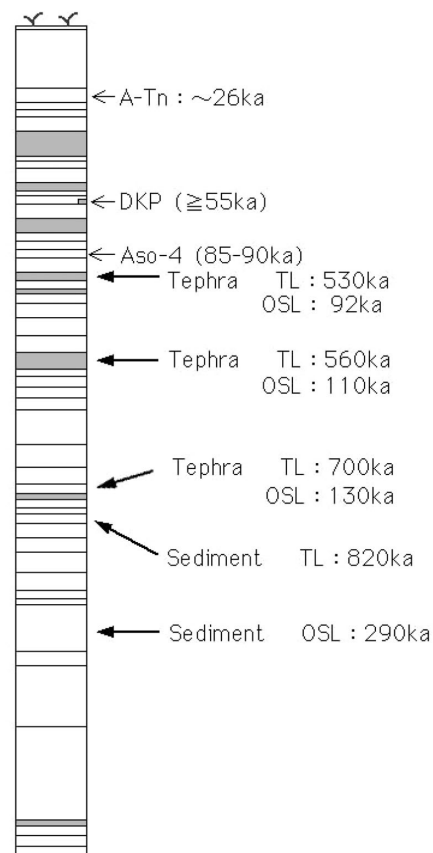


Fig. 4 原セ笠張露頭の柱状図とTL/OSL年代。DKP, Aso-4の数値年代は、文献⁽³¹⁾、⁽³³⁾による。

生じたと考えられ、A-Iwの噴出年代はPoly-FG法のIRSL測定結果より古いと考えられる。Poly-FG試料のTL年代が古いのは、微粒鉱物の他層からの混入が原因と考えられ、CG法のTL測定結果が噴出年代を示しているであろう。

- (8) K-Ah：桐木遺跡採取のK-Ahについて、年間線量評価に直接測定法⁽¹⁶⁾を採用することができなかったため、 γ 線スペクトル法による間接測定⁽¹⁶⁾の結果である 1.40 ± 0.05 Gy/kaを採用して年代値を算出した。これを用いて、Poly-FG法のTL測定では 7.7 ± 2.0 ka、Poly-FG法のIRSL測定では、 7.6 ± 2.3 というほぼ一致する結果を得た。これは、暦年較正を行ったK-Ahの ^{14}C 年代である7300年前⁽³²⁾と比較して、大きな矛盾のない結果である。Poly-FG法のIR-TL測定結果は 8.4 ± 1.5 kaであり、他のデータと比べると古い結果となった。

4. 考察

測定法としてTL法、GLSL法とIRSL法、測定試料の粒径としてCG法、SFG法、FG法を用いた同一テフラのルミネッセンス年代測定結果は以下の4種類に分類される。

- (1) TL年代とOSL年代の結果が一致した例
- (2) OSL年代がTL年代よりも若く見積もられた例
- (3) OSL-TL年代がTL年代やOSL年代よりも古く見積もられた例
- (4) テフラが最終的に堆積した年代としてOSL年代を採用した例

TL法とOSL法は、いずれも鉱物結晶の電子捕獲中心に捕獲された電子の物理的性質を利用した年代測定法であるから、両者の結果は一致するはずであるが、OSL年代がTL年代よりも若く見積もられる傾向がある。その原因のひとつとして長石のAnomalous Fadingが考えられる。FG/IRSL法では、長石のルミネッセンスを測定しているため、Anomalous Fadingにより蓄積線量が見かけ上少ないことがあり、今回示した例の中にもFading TestでAnomalous Fadingが観察された。

また、テフラの堆積以後に光ブリーチされた鉱物が混入された場合には、OSL年代が若く見積もられる可能性がある。遺跡で検出されるテフラ層が二次堆積であって、二次堆積時の光ブリーチが微少である場合には、TL年代は二次堆積の年代ではなくテフラの噴出年代を示すであろう。この場合にも、微粒鉱物の方が地下水などによる移動の影響を受けやすいと考えられるので、FG試料をTL測定すると、熱によりゼロイングが行われていない鉱物からのルミネッセンスにより、年代が見かけ上古く見積もられる。このような試料をFG/OSL法で測定し

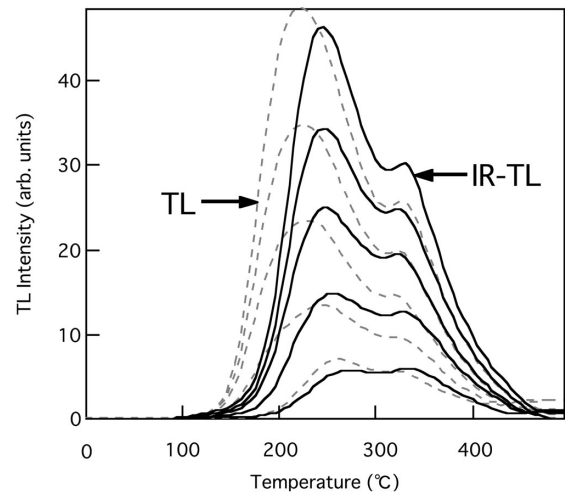


Fig. 5 A-TnのTLグローカーブ。Poly-FG試料のTL測定(破線)とIR-TL測定(実線)の比較。

た結果は二次堆積の年代を示すと考えられる。

TLとOSLでは、 α 線のルミネッセンス効率が異なる可能性が指摘されており⁽³⁴⁾、FG法における個々の試料の α 線ルミネッセンス効率が今回のFG測定で仮定した10~15%より小さい場合には、年代値を見かけ上若く評価させることになる。 α 線ルミネッセンス効率が明らかではない試料についてはFG/IRSL法ではなく、石英のCG法によるGLSLあるいはBLSL (Blue Light Stimulated Luminescence) 測定を行うことが望まれる。しかし、石英、特に日本のテフラ起源の石英のBLSL特性は非常に複雑であり⁽⁸⁾、我々も石英のCG/GLSL法とCG/IRSL法による蓄積線量評価をルーチン的には確立できていない。今回の測定例では、Sd-1についてTL年代と整合性のある石英のGLSL年代が得られた (Table 3) が、Sd-2やKthのGLSL/CG測定では、線量依存性が直線的ではなく合理的な蓄積線量が得られなかった。

遺跡や露頭で観察されるテフラの堆積は様々な堆積環境の要因によって制約される。一次堆積したテフラの年代測定結果は火山の噴出年代を示すが、降下したテフラが水面から非常にゆっくりと沈降して湖底や海底に堆積する場合には光ブリーチされることも考えられる。そのようなテフラ層や二次堆積のテフラ層については、OSL年代測定の結果は堆積の年代を示すと見なすことができる。このような場合においても、長石のAnomalous Fadingのチェックが不可欠であり、また、再堆積の時に、太陽光によるゼロイングが完全に行われたかどうかをテスト (ブリーチテスト) する必要がある。TL法のひとつであるTotal Bleach法を噴出後に露光した再堆積テフラに対して適用することが可能であるが、ブリーチテストとは逆に残存TLに対する考慮が必要となる。水成堆積物の場合には、鉱物ではない珪藻などの珪酸質が

混入していないことを確認しなければならないだろう。

放射性炭素年代測定法において正確な校正曲線が適用されるようになったことにより、旧石器時代や縄文時代の年代学にとって重要な広域テフラであるA-TnとK-Ahは、従来考えられていた年代よりかなり古く見積もられる傾向がある。Table 3に示した我々の測定結果もそのことを示している。A-TnとK-Ahの測定結果では、OSL-TL年代がTL年代やOSL年代よりも誤差の範囲内ではあるが、古く見積もられている。この結果から考えると、OSL測定時の光励起によってTLに対応する電子捕獲中心の電子密度が増加している可能性がある。Fig. 5はIRSL-TL測定のプロファイルにおいて、300℃付近にピークが表れているが、IRSL測定時の赤外光励起によって、より深い電子捕獲中心から励起された電子がTLプロファイルの300℃付近に対応する電子捕獲中心に捕獲された、または、伝導帯に励起された電子がTLプロファイルの300℃付近に対応する電子捕獲中心に再捕獲された可能性が考えられる。

複数地点で採取した同一のテフラの測定結果について、Sd-2のように信頼性のある結果が得られたデータもあれば、Kthのように地点間のデータは近似したデータになったものの、層序とは矛盾するデータもあった。このような場合は、年代測定結果だけではなく、地形学的、堆積学的な検討が必要である。

ここに示した測定例からわかるように、あるテフラ層をTL法でのみ測定して数値年代を決定することでは不十分であり、OSL測定も試みることは、より信頼性のあるデータを得る上で重要であろう。考古遺跡内から検出されるテフラ層は、純粋な一次堆積であるとは限らず、他層からの混入などを含むことがあり、また、二次堆積であることも少なくない。このようなとき、給源近くの露頭で採取した同一テフラを含めて、TL法とOSL法を併用することにより、考古遺跡内のテフラ層の数値年代推定をより信頼性のあるものにすることができる。また、テフラ層を挟んでその上下に位置する堆積物のOSL測定を行うことで、遺物包含層の年代推定はより信頼性が高いものになるであろう。

謝辞

本研究の一部は科学研究費補助金基礎研究A「放射線損傷年代測定法の精度向上と東アジア旧石器遺跡への適用」(平成15年度:課題番号15200059)によるものである。

参考文献

- (1) Guerin, G. and Valladas, G. (1980) Thermoluminescence dating of volcanic plagioclase. *Nature* 286, pp. 697-699
- (2) Ichikawa, Y., Hagihara, N. and Nagatomo, T. (1982) Dating of pyroclastic flow deposits by means of the quartz inclu-

- sion method, *PACT* 6, pp. 409-416
- (3) A. G. Wintle and D. J. Huntly (1979) Thermoluminescence dating of sediments, *PACT* 3, pp. 374-380
- (4) Tatumi, S. H., Nagatomo, T., Sengupta, D., Watanabe, S., Barreto, A. M. F. and Suguio, K. (1998) Thermoluminescence dating of eolian sediments from Sao Francisco river, State of Bahia, Brazil, *Radiation Effects & in Solids*, 146, pp. 285-295
- (5) Huntly, D. J., Godfrey-Smith, D. I. and Thewalt, M. L. W. (1985) Optical dating of sediments, *nature*, 313, pp. 105-107
- (6) 橋本哲夫, 高野雅人 (2002) 縄文土器片 (奥三面遺跡群出土) より抽出した石英粒子を用いたルミネッセンス年代評価, 日本文化財科学会第19回大会研究発表要旨集, pp. 98-99
- (7) 橋本哲夫, 中川貴博, 野村幸子 (2003) 瓦片から抽出した石英粒子の光励起・赤色熱ルミネッセンス (OSL・RTL) 測定に基づく天然蓄積線量比較と年代評価, 日本文化財科学会第20回大会研究発表要旨集, pp. 6-7
- (8) 豊田新, 塚本すみ子, 鈴木毅彦, 今田裕子 (2004) ESR・TL・OSLによる第四紀テフラの年代測定 (1), 第21回ESR応用計測研究発表会, p. 33
- (9) 綿貫拓野 (1998) 九州北部のレスのTL・OSL年代測定, 第14回ESR応用計測研究発表会, p. 51
- (10) 綿貫拓野, 塚本すみ子 (2000) 第四紀後期におけるレス堆積物のルミネッセンス年代測定と環境変化の検出, 第16回ESR応用計測研究発表会, p. 49
- (11) Godfrey-Smith, D. I., Huntly, D. J. and Chen, W. H. (1988) Optical dating studies of quartz and feldspar sediment extracts, *Quat. Sci. Rev.* 7, pp. 373-380
- (12) 北代陽子, 小松久美, 長友恒人, 柳田俊雄 (1998) 土壌堆積物のOSL年代とTL年代の比較~東北地方の旧石器遺跡を例として~, 第14回ESR応用計測研究発表会, pp. 48-49
- (13) 市川米太 (1983) 座散乱木遺跡とその周辺遺跡の熱ルミネッセンス年代, 座散乱木遺跡-考古学と自然科学の提携一, pp. 95-96
- (14) 長友恒人, 下岡順直 (2003) 座散乱木遺跡関連地層のルミネッセンス年代測定と数値年代の検討, 宮城県岩出山町・座散乱木遺跡検証発掘調査報告書, pp. 69-74
- (15) 庄子貞雄, 山田一郎, 高橋正 (1983) 座散乱木遺跡を中心とした遺跡土壌の土壌学的研究, 座散乱木遺跡-考古学と自然科学の提携一, pp. 80-94
- (16) 長友恒人 (1999) ルミネッセンス法, 考古学のための年代測定学入門, pp. 59-76
- (17) Aitken, M. J. (1985) *Thermoluminescence Dating*, Academic Press
- (18) Julie Rees-Jones (1995) Optical dating of young sediments using fine-grain quartz, *Ancient TL*, vol. 13, No. 2, pp. 9-14
- (19) 長友恒人, 下岡順直, 小林由弥 (2004) ルミネッセンス年代測定における年間 α 線量の粒径依存性の検討と準微粒子法への適用, 奈良教育大学紀要, 第53巻, 第2号, pp. 11-16
- (20) 印牧もとこ, 山縣理恵, 遠藤邦彦 (2000) Single grain法による火山噴出物のTL年代測定, 月刊地球, Vol. 22, No. 10, pp. 681-686
- (21) 藤本研 (1996) 長石のルミネッセンス特性, 平成7年度奈良教育大学大学院修士論文
- (22) 下岡順直 (2005) 東アジア旧石器研究におけるルミネッセンス年代測定, 奈良大学大学院博士論文
- (23) 下岡順直, 長友恒人 (2001) 石英・長石を試料とした光励起ルミネッセンス年代測定法の基礎研究, *RADIOISOTOPE*, vol. 50, No. 9, pp. 381-389
- (24) 照井一明, 瀬川泰宏 (1994) 焼石岳火山起源の村崎野軽石

- について, 地質学雑誌, 第100巻, 第7号, pp. 509-512
- (25) 渡辺満久 (1991) 北上低地帯における河成段丘面の編年および後期更新世における岩屑供給, 第四紀研究, 30 (1), pp. 19-42
- (26) 市川米太 (1988) 馬場壇A遺跡関連のThermoluminescent Dating, 馬場壇A遺跡「-前期旧石器時代の研究-」, pp. 53-54
- (27) 早田勉 (2003) 山形県尾花沢市袖原3遺跡におけるテフラ層序, 袖原3遺跡 中島山遺跡 一斗内松葉山遺跡発掘調査報告書, pp. 141-155
- (28) 早田勉 (2003) 宮城県色麻町中島山遺跡におけるテフラ層序, 袖原3遺跡 中島山遺跡 一斗内松葉山遺跡発掘調査報告書, pp. 156-171
- (29) 板垣直俊, 豊島正幸, 寺戸恒夫 (1981) 仙台およびその周辺地域に分布する洪積世末期のスコリア層, 東北地理, 33-1, pp. 48-53
- (30) 柳田俊雄 (2000) 阿武隈川流域の前期旧石器遺跡時代遺跡の調査-原セ笠張遺跡の研究-, pp. 11-12
- (31) 町田洋, 新井房夫 (2003) 新編火山灰アトラス [日本列島とその周辺], 東京大学出版会, pp. 114-115
- (32) 町田洋, 新井房夫 (2003) 新編火山灰アトラス [日本列島とその周辺], 東京大学出版会, pp. 106-107
- (33) 町田洋, 新井房夫 (2003) 新編火山灰アトラス [日本列島とその周辺], 東京大学出版会, pp. 120-121
- (34) 北京大学周立平教授やグラム大学I. K. Bailiff教授より御教示いただいた.

