

[16018]

Co 照射による断層帯石英の光蛍光飽和実験

Response of saturated OSL signals by Co-60 radiation related to fault quartz grains

鴈澤 好博, #,A)

Yoshihiro Ganzawa #,A)

A) Hokkaido University of Education, Hakodate campus

Abstract

This experiment was carried out to study a reconstructive level of OSL equivalent dose evaluated from quartz grains after high Co-60 dosing from 0.5-20kGy. Dose saturation experiment of OSL signal in quartz grains showed a wide range of saturation dose between 100Gy and 640Gy. As a result, the ratio between reconstructive OSL equivalent dose and Co-60 irradiation dose was in a wide range between 8 and 100%.

Keyword: quartz, OSL, saturated signal, Co-60

1. はじめに

活断層の活動評価を行うため、断層の活動時代を明らかにすることは防災上重要な研究課題である。断層年代を行うためには用いる手法のシグナルが断層活動時に物理的破壊や熱によってリセットされ、その後再びシグナルが蓄積される過程が必要である。このような手法にはフィッシュン・トラック法や ESR 法があるが、最近、鉱物から放出される蛍光 (OSL) を用いて、評価する可能性について論じられている (鴈澤ほか, 2013)。特に石英を用いた OSL 法は石英が鉱物として安定であるため組成変化もしないので、純粋に年代測定鉱物として利用できる利点がある。

熱に対する石英の OSL シグナルの消失について、たとえば Jain et al. (2003)は、加熱実験で 310℃、数 10 秒の条件で満たされることを示した。また、OSL のトラップ深度や頻度ファクターから明らかにされたアレニウスプロットからの見積もりでは、300℃、20 秒程度でシグナルはリセットされ、20℃の場合、310Ma 程度であるとされる (Singarayer and Bailey, 2003)。しかし、石英の OSL 蓄積可能な上限線量は 200-400Gy 程度とされるので、年代測定が可能な上限年代も数 100ka と見積もられる (Singarayer and Bailey, 2003)。この年代は、活断層の年代測定が可能な上限年代でも相当している。

これまで、断層活動の年代測定を目指して、阿寺断層を対象にガウジや基盤岩を含む広域の断層地質帯 (苗木花崗岩) を対象に、石英を用いて OSL の基本特性を明らかにすることを進めてきた。その中で、基盤岩は 60Ma 程度の年代を経ているので、石英の OSL 蓄積線量は飽和し、上記の上限線量を示すことが期待される。にも係わらず、実際の OSL 測定を行うと線量値は異常に低いことを見出してきた。このような現象がなぜ起こるのか、今年度の研究テーマとして進めてきたので、その概要を報告する。

2. 実験方法

実験には中津川市横川地点から採取した花崗岩石英を用いた。これは阿寺断層の基盤花崗岩 (試料コード: YTB) で、破碎帯も構成する試料である。花崗岩の Rb-Sr 年代や K-Ar 年代は 52-68Ma (山田・赤羽, 2005) を示すので、OSL は飽和に達していると推定される。

実験ではまず、YTB から分離した石英について、異なる条件で加熱し、OSL シグナルを消去した。一つは OSL シグナルのみを消去する目的で 340℃、40 秒の加熱を施した。もう一つは花崗岩の冷却通過温度を想定して 500℃、10 分の加熱を施した。また、未加熱の天然石英も用意した。これらの石英試料に対して Co-60 照射を 1.7mGy/m、8.3mGy/m、16.7mGy/m の線量率で 0.5-20kGy の照射を施し、この線量 (ターゲット線量) が OSL 測定で復元できるかを検討した (表 1)。OSL 測定には、受光波長を 300nm に設定した MEDEC 社製の OSL 測定装置を用いた。測定方法は SAR 法で行い、テストドーズ測定を組み込んだ OSL 信号強度の補正を行った。

3. 実験結果

実験結果は次の点に注目した。まず、上記で記したように OSL 蓄積可能な飽和線量は 200-400Gy 程度とされるので、これよりはるかに高い線量を照射した場合、飽和線量に対してどの程度の線量復元率を示すのかに注目した。また、断層活動を想定した加熱処理を施した場合、飽和線量の差異が生じるのか、また、過飽和線量の大小によって復元率の差異が生じるのかについても注目した。基本的にはいずれの試料も過飽和照射を行うのであるから、飽和線量を示すことが期待される。

この点を検討するために、X 線再生照射(Lx)とテ

[16018]

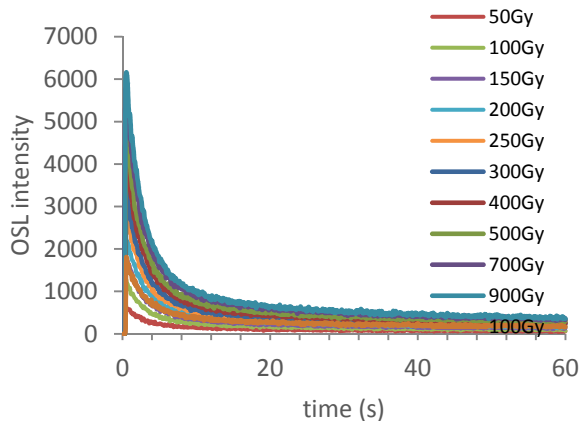


図 1a YTB (340°C加熱, 1kGy 照射) の発光曲線

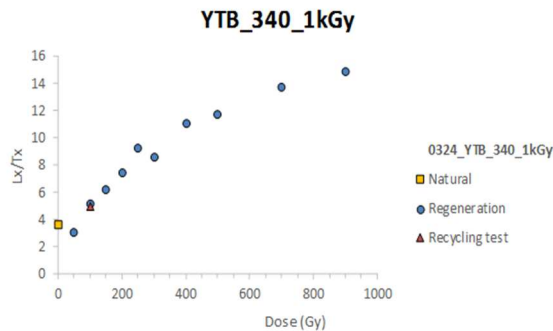


図 1b YTB (340°C加熱, 1kGy 照射) の成長曲線

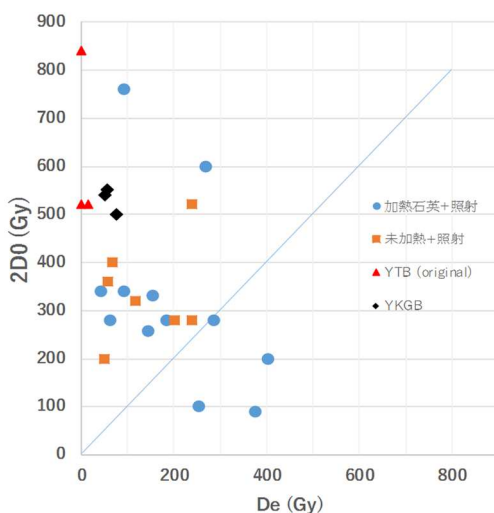


図 2 Co60 照射試料の蓄積線量 (De) と飽和線量 (2D0) の比較

スト照射(Tx)をセットで行う SAR 法による OSL 成長線の作成を行った。成長線の一般式は次式で示され、この式の D_0 を用いて、飽和線量値を推定することができる (Robert and Duller, 2004)。

$$Lx/Tx = I_0 + 10x(1 - \exp(-D/D_0)) \quad (1)$$

ここで、 Lx は再生照射の OSL 強度、 Tx はテスト照射の OSL 強度、 I_0 は回復度、 D は任意の線量、 D_0 は飽和を規定する線量レベルである。

この式から得られる D_0 の 2 倍の値 ($2D_0$) がほぼ飽和線量値に相当するとされている (Robert and Duller, 2004)。そこで、OSL 装置内での X 線最大照射線量を 200、500、900Gy に設定し、SAR 測定による成長曲線を描いた。

図 1 に実験結果の一例を示した。そのうち図 1a は 340°C 加熱を施し、1kGy の Co-60 照射をした YTB の発光曲線と成長線を描くために測定した 50-900Gy の発光曲線である。ところが、図では識別しづらいが、ターゲット線量である Co-60、1kGy 照射の発光曲線は X 線再生発光曲線の中に埋没してしまう結果となった。次にこの結果に基づいて、感度補正を行った OSL 成長線を作成した (図 1b)。その際、図 1b の発光曲線の最初の 1 秒間の積算を OSL 強度とした。発光強度 (Lx/Tx) は SAR 法による感度補正を行った。X 線照射の発光強度は 50Gy から 900Gy まで伸張続けるが、線量が増すにつれて飽和状態に達しつつあることがわかる。上記(1)式に基づく、この場合の D_0 は 320Gy である。また、図の黄色四角で示された点が Co-60、1kGy に対する OSL 発光強度である。図 1b から読み取れる復元線量は約 224Gy である。したがって、線量復元率は 35 % (224Gy/640Gy) 程度となる。このことはまた、1kGy の過剰照射に対し復元できる線量 (224Gy) は 22%程度に過ぎないことを示している。

同様な方法を用いて、他の試料についてもターゲット線量に対する復元度を検討した。その結果を表 1 にまとめた。表 1 から次の点が指摘できる。

SAR 測定で復元された線量は 27-325Gy で、Co-60 照射のターゲット線量 (0.5-20kGy) を復元することはなかった。また、試料に加えた加熱、線量強度、総照射線量の諸条件と復元線量との特段の関係を見出すこともできなかった。また、De 測定の上限となる $2D_0$ は 100-650Gy の幅広い範囲にあり、同一の花崗岩試料からの石英を用いたにもかかわらず、大きな差異が見出された。また、 $2D_0$ に対する De の復元率 (A/B) は 8-100% で大きな幅を示した。さらに $2D_0$ は加熱条件や線量率の差異との間に相関がみられなかった。

つまり、既知線量 (0.5-20kGy) の Co-60 照射に対する復元線量は過小な値を示す場合が多い。また、線量の測定上限値は同じ花崗岩起源にも係わらず多様で、その復元率も多様である。ただ、一般的傾向として、 $2D_0$ が高い試料ほど復元蓄積線量が低いことが示された (図 2)。

苗木花崗岩(YTB)の年代は 52-68Ma を示すので(山

[16018]

表 1 Co-60 照射に対する石英 OSL の線量復元と OSL 飽和線量(2D₀)

Sample	Radiation source	Preheat treatment	Dose rate (Gy/m)	Target dose (Gy)	Reg. max dose (Gy)	Line fit. De (Gy)	A. D ₀ fit. De (Gy)	B. 2D ₀ (Gy)	A/B De recovery ratio	I _{max}
YTB	Co60	N	1.7	1000	900	239	325	320	1.00	9.0
		N	1.7	1000	200	68	51	400	0.13	3.0
		340°C × 60s	1.7	1000	900	91	224	640	0.35	15.5
		340°C × 60s	1.7	1000	200	42	28	340	0.08	3.0
		500°C × 600s	1.7	1000	900	403	200<	200	1.00	7.0
		500°C × 600s	1.7	1000	200	286	280<	280	1.00	3.1
YTB	Co60	N	8.3	500	200	57	40	360	0.11	3.1
		N	8.3	5000	200	49	27	200	0.14	2.0
		340°C × 60s	8.3	500	200	154	134	330	0.41	3.4
		340°C × 60s	8.3	5000	200	93	72	340	0.21	2.9
		500°C × 600s	8.3	500	200	63	43	300	0.14	3.0
		500°C × 600s	8.3	5000	200	185	206	280	0.74	2.7
YTB	Co60	N	16.7	10000	900	239	280<	280	1.00	7.5
		N	16.7	10000	200	201	261	280	0.93	2.2
		340°C × 60s	16.7	10000	900	376	90<	90	1.00	3.8
		340°C × 60s	16.7	10000	200	268	347	600	0.58	5.0
		500°C × 600s	16.7	10000	900	254	100<	100	1.00	3.9
		500°C × 600s	16.7	10000	200	144	132	256	0.52	2.3
YTB	Co60	N	33.3	20000	200	118	164	320	0.51	2.9

田・赤羽、2005)、120kGy 程度の線量を浴びていると推定される。本実験とは別個に測定した YTB の天然石英の OSL 測定から得られる天然蓄積線量は $1.99 \pm 2.51 \text{ Gy}$ が主を占めるが、まれに 130Gy に達する試料も存在する。しかしこうした蓄積線量の差異にも係わらず、2D₀ に対する De の回復率(A/B)は 0-29%で、明らかに非飽和状態にある。また、これとは別に YTB 天然石英の飽和実験結果を示したが、この実験においても天然蓄積線量は 0-91Gy を示し、これらの 2D₀ に対する復元率は、0-16%に過ぎなかった。

このことは過飽和線量を受けた場合、OSL から得られる De は飽和値 (2D₀) を示すことは稀で、過飽和被ばくは OSL 信号の崩壊を生じさせるのか、あるいは著しいフェーディングが起こっているのかもしれない。今回の Co-60 照射実験で示された De の回復率(A/B)は 8-100%であるが非飽和線量を示すものが多く、天然石英の非飽和状態に類似している。長い地質時代を再現する石英の被ばく実験を行うことは不可能であるが、今回の実験はその一部反映していると考えられる。

[4] Singarayer, J. S. and Bailey, R. M., 2003, Further investigations of the quartz optically stimulated luminescence components using linear modulation. Radiation Measurements, 37, 451-458.

[5] 山田直利・赤羽久忠, 2005, 濃飛流紋岩を貫く花崗岩類. 地団研専報, 53, 89-97.

参考文献

[1] 鴈澤好博・高橋智佳史・三浦和督・清水聡, 2013, 光ルミネッセンスと熱ルミネッセンスを利用した活断層破碎帯の年代測定法. 地質学雑誌, 119, 714-726.

[2] Jain, M., Murray, A. S. and Bøtter-Jensen, L., 2003, Characterization of blue-light stimulated luminescence components in different quartz samples: implications for dose measurement. Radiation Measurements, 37, 441-449.

[3] Robert H. M. and Duller G. H. T., 2004, Standardized growth curves for optical dating of sediment using multiple-grain aliquots. Radiation Measurements, 38, 241-252.