

ルミネッセンス測定装置に新しく装着した小型X線管球の線量率校正

下 岡 順 直*

キーワード：小型X線管球、線量率、校正、ルミネッセンス測定装置、石英

1. はじめに

熱ルミネッセンス (TL) や光ルミネッセンス (OSL) による年代測定は、理化学的年代測定法の1つであり (例えば, Aitken 1985: 長友 1999: 下岡 2018)、蓄積線量を年間線量で除して年代を求める。そのなかで、蓄積線量の評価については、年代測定試料となる石英や長石などの鉱物に蓄積したルミネッセンス信号が、ゼロリセット (初期化) されてから現在までに蓄積したルミネッセンスの発光強度から求める。このとき、蓄積線量は、既知線源で作成した線量応答曲線を用いて定量する。そのため、高確度で測定を行うためには比較する既知の放射線量の正確さが求められる。北沢ほか (2013) や下岡ほか (2015) では、ルミネッセンス測定装置に装着した小型X線管球の線量率を校正する詳細な検討を行ってきた。

今回、ルミネッセンス測定装置NRL-99-OSTL2-KU (下岡ほか 2015) について、経年劣化したヒーターヘッドを交換する機会にあわせて、長年使用してきたX線管球Varian製VF-50J-Wタイプを新しく購入できたVareximaging (Varianの後継会社) 製のVF-50J-Wタイプに交換した。そこで、新しいX線管球の線量率を校正した。

2. 線量率校正のためのOSL測定条件

ルミネッセンス測定装置NRL-99-OSTL2-KUは、2013～2014年にかけて設計製作した (下岡ほか 2015)。このとき、線源として小型X線管球 Varian 製VF-50J-Wタイプを用いた。X線管球はSpellman製高電圧発生装置 (MN50P50) で制御する。しかし、設置から10年経過し、電氣的なノイズの増加も目立つようになった。今回、新しいX線管球を購入する機会が得られたことから、以前と同じVareximaging製のX線管球VF-50J-Wタイプに取り替えた。

X線による照射の制御は、下岡ほか (2015) と同じく Hong *et al.* (2005) を参照して、X線管球の前部には鉛製10 mmコリメーターを設置し、照射対象試料以外が被ばくしないようにした。さらに、照射時の線質特性に対しては、低エネルギー側を遮蔽する厚さ200 μm のアルミニウム製吸収板を設置した。

X線は電気によって発生させるため、管電流をオシロスコープで観察する。そして、X線が安定するまでの時間を考慮し、X線が安定するまでの時間を見積もり、対象試料に照射する前に管電流が安定してから照射する手順を試みた。具体的には、最大32皿まで掲載可能な測定装置暗箱内の試料プレートには、試料皿を1個もしくは2個おきに設置する。そしてX線を発生させ、X線が安定するまでは照射対象試料の一つ横の位置で待機し、X線が安定した後、対象試料の位置まで移動して照射する。照射終了後は、照射位置からさらに一つ横の位置に移動させ、X線管球の電源を切るようにした。

X線の校正には、ルミネッセンス測定装置を製造しているRisøが世界中のルミネッセンス年代測定の研究室に提供しているスタンダード石英 (Risø Calibration Quartz: RCQ) を用いた。使用したRCQのロットは、Batch-No.200である。RCQ (Batch-No.200) の石英粒径は90～180 μm 、RCQ (Batch-No.200) として照射線量は 6.00 ± 0.12 Gyである (Autzen *et al.* 2022)。

X線管球の線量率は線量率依存性を考慮して、歴史時代の試料に適応する場合と先史時代から地質試料に対応するために、それぞれ管電流を0.05 mA と0.1 mA の2種類において決定した。線量率校正は、single aliquot re-generation (SAR) 法 (Murray and Wintle 2000) を用いたOSL測定で行った。OSL測定に用いたプレヒート条件などは、Kadereit *et al.* (2013) を参照した。SAR法の測定手順を表1に示す。OSL測定は、RCQ (Batch-No.200) を5 mgずつ5皿用意して行った。

なお、Kadereit *et al.* (2013) に挙げられているOSL測定条件はRisø製測定装置によるものなので、用いた

* 立正大学地球環境科学部

表1 SAR法による測定手順

Step	Treatment	Observed
1 ^(a)	Give dose, D_i	—
2	Preheat for 60 s at 260 °C	—
3	Stimulate for 100 s at 125 °C	L_i
4	Give test dose	—
5	Cut heat (160 °C)	—
6	Stimulate for 100 s at 125 °C	T_i
7	Stimulate for 40 s at 280 °C	—
8	Return to 1	—

(a) Step 1: For the RCQ sample, $i = 0$ and $D_0 = 0$ Gy.

OSL測定条件がルミネッセンス測定装置NRL-99-OSTL2-KUに適しているか確認するために、測定後にDose recovery testによる再現測定を行った。RCQのOSL信号を人為的にゼロリセット後に求めた線量率で人工照射した6 Gyに対し、再現した等価線量との比（線量比）を求めた。

3. 結果と考察

SAR法によるOSL測定では、一連の再現線量測定（ L_i ）と感度補正用のテストドーズ測定（ T_i ）から構成（表1）され、これらから感度補正されたOSL信号（ L_i / T_i ）を求めた。そして、感度補正されたOSL信号を求める測定を繰り返し、感度補正された線量応答曲線を作成し、RCQの感度補正されたOSL信号（ L_n / T_n ）を内挿して等価線量を求めた。そして、等価線量の誤差は、Monte Carloによるブートストラップ法（Duller 2007）

を用いて評価した。

なお、SAR法によるOSL測定の際に感度変化が生じないかを観察するrecycling比（SAR法による一連の測定の最初と最後に同一線量から求めたOSL信号の比）は0.90～1.00、SAR法間でOSLがきちんとゼロリセットされているかを観察するrecuperation比は0～0.0003であった。Wintle and Murray（2006）では、SAR法によるOSL測定ができていないかを判定するため、recycling比は0.9～1.1、recuperation比は0.1以下を基準の範囲内とする。測定結果は判定基準内であり、放射線量に対する石英OSL信号の感度変化が大きく見られなかったことから、測定した5皿とも線量評価に利用できると判断した。

Dose recovery testによる再現測定の結果は、管電流0.05 mAと0.1 mAで線量比はそれぞれ 1.04 ± 0.02 と 1.04 ± 0.03 であった。これは、Dose recovery testによる再現測定の線量比が0.9～1.1以内とするWintle and

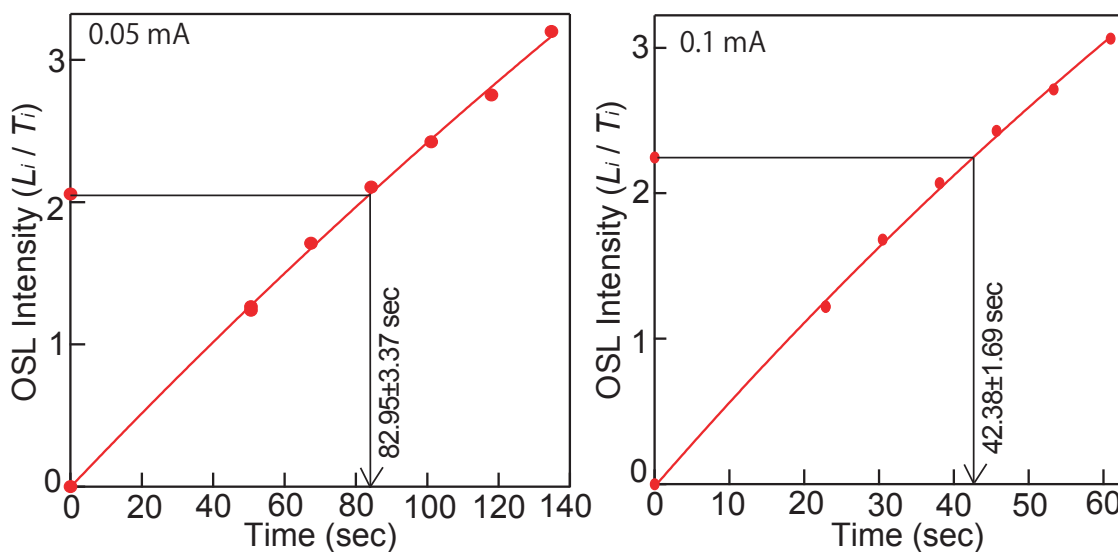


図1 管電流ごとの線量応答曲線（測定した5皿のうちの一つ）

表2 校正した線量率

current of X-ray tube	
0.05 mA	0.1 mA
0.07 ± 0.002	0.14 ± 0.004

単位は Gy/sec

Murray (2006) の判定基準内であり、表1のOSL測定条件がルミネッセンス測定装置NRL-99-OSTL2-KUに適合していると判断した。

管電流ごとの線量応答曲線の一例を図1に示す。評価できた線量時間は、管電流0.05 mAと0.1 mAそれぞれ5回測定した加重平均で、 84.40 ± 1.54 秒と 42.62 ± 0.76 秒であった。これらが、RCQ (Batch-No.200) の既知線量 6.00 ± 0.12 Gy (Autzen *et al.* 2022) に相当するので、線量率はそれぞれにおいて、 0.07 ± 0.002 Gy/secと 0.14 ± 0.004 Gy/secとなった(表2)。2つの管電流値による結果であるが、管電流と線量率は比例関係があると思われる。

以前用いていたX線管球の校正(下岡ほか 2015)では、著者が福島県石川町産のベグマタイト鉱床の石英を100 μ m程度に調整した試料を利用したこともあって、線量率の誤差は管電流0.05 mAと0.1 mAそれぞれ12.0%と14.6%であった。これに対して、今回の測定ではRCQ (Batch-No.200) を使用し、線量率の誤差は2.9%となり、X線管球の線量率の測定精度を向上することができた。

4. まとめ

ルミネッセンス測定装置NRL-99-OSTL2-KU(下岡ほか 2015)について、長年使用してきたX線管球を新しく購入できたVareximaging製のX線管球VF-50J-Wタイプと交換し、新しいX線管球の線量率を校正した。その結果、X線管球の線量率は、管電流0.05 mAと0.1 mAで、それぞれ 0.07 ± 0.002 Gy/secと 0.14 ± 0.004 Gy/secになった。

謝辞

X線管球の購入は、日本学術振興会科研費 新学術領域研究(研究領域提案型)18H05447を使用し、ク

ロスレイテクノロジー株式会社を通して行った。RCQの購入には、日本学術振興会科研費 基盤研究(C)21K00974を使用した。X線管球の交換と測定装置の修繕と改良には奨学寄附金を使用し、ネオアーク株式会社の山田啓裕氏、和田哲人氏、波多野 智氏、阪江 修氏の協力を得た。記して感謝申し上げます。

参考文献

- Aitken, M.J. (1985) Thermoluminescence Dating. Academic Press, 359p.
- Autzen, M., Andersen, C.E., Bailey, M. and Murray, A.S. (2022) Calibration quartz: An update on dose calculations for luminescence dating. Radiation Measurements, 157, Article 106828.
- Duller, G.A.T. (2007) Assessing the error on equivalent dose estimates derived from single aliquot regenerative dose measurements. Ancient TL, 25, 15-24.
- Hong, D.G., Kim, M.J., Yawata, T. and Hashimoto, T. (2005) Optimum aluminum absorber thickness of a small X-ray irradiator for equivalent dose determination. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 265-3, 495-498.
- Kadereit, A. and Kreutzer, S. (2013) Risø calibration quartz – A challenge for β -source calibration. An applied study with relevance for luminescence dating. Measurement, 46, 2238-2250.
- 北沢俊幸・八幡 崇・伊藤成樹・橋本哲夫(2013) ルミネッセンス(TL/OSL)自動測定システム装備の小型X線照射装置の線量率校正. 地球環境研究, 15, 11-16.
- 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.
- 長友恒人(1999) ルミネッセンス法. 長友恒人編 考古学のための年代測定学入門, 古今書院, 59-76.
- 下岡順直・波多野智・田邊和明・森美比古・青木智史・阪江修(2015) OSL/TL自動測定装置NRL-99-OSTL2-KUの設計製作とX線管球の線量率校正. 地球環境研究, 17, 107-110.
- 下岡順直(2018) ルミネッセンス法. 考古学ジャーナル, 709 (2018年3月号), 18-23.
- 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.

Calibration of a newly fitted X-ray tube in a luminescence measurement system

SHITAOKA, Yorinao*

* Faculty of Geo-environmental Science, Rissho University

Key words : X-ray tube, dose-ray rate, calibration, luminescence measurement system, quartz