

OSL/TL 自動測定装置 NRL-99-OSTL2-KU の設計製作と X 線管球の線量率較正

下岡 順直* 波多野 智** 田邊 和明**
森 美比古*** 青木 智史**** 阪江 修**

キーワード：OSL/TL 自動測定装置、小型 X 線管球、 ^{60}Co γ 線、線量率較正

1. はじめに

ルミネッセンス年代測定は、石英や長石などを対象として加熱もしくは露光によってゼロリセットされたイベントに有効な年代測定法である。火山噴火や土器の焼成など加熱によってゼロリセットされた試料には熱ルミネッセンス (TL) 法を用い、太陽光などによって露光された堆積物に対しては光ルミネッセンス (OSL) 法が用いられる。ルミネッセンス法による年代測定では、ゼロリセットから現在までに対象となる鉱物が自然放射線から被ばくした量 (蓄積線量) を一年間に被ばくする線量 (年間線量) で除することにより年代を求める。蓄積線量を評価するためには、採取した試料を暗室で前処理し、得られた対象鉱物について、加熱もしくは露光によって測定したルミネッセンス強度を定量することで求める。蓄積線量を評価する測定装置はこれまで様々な装置があるものの、デンマーク王立研究所 (Riso) が提供する装置が現在主流である。Riso の装置は、照射のために ^{90}Sr β 線源が装着されていること、single grain による測定も可能であること、測定後の解析ソフトが充実していることなどの特長がある。しかし、Riso の装置は高価な上に日本では放射線源の管理が法律上難しいなどの問題がある。そこで、著者らは15年前に自動測定装置 NRL-99-OSTL (以下、一号機と記す) (図1(a)) を設計製作した (長友ほか2007)。この装置には、Riso の ^{90}Sr β 線源を装着し、これまで多くの第四紀試料や古文化財試料の年代測定を試みてきた (例えば、Shitaoka *et al.* 2012; Shitaoka and Nagatomo 2013など)。ただし、装置として様々改良を行ってきたために解決できないバグも生じていること、低温での OSL 実験も兼ねていたことから装置全体が大型でありランニングコストがかかること、線源に放射線核

種を用いていること、経年により部品の予備がないことなどから装置として更新が喫緊の課題であった。そこで今回、一号機の後継機として、NRL-99-OSTL2-KU (以下、二号機) を設計製作した。なお、二号機では線源に放射線核種以外として、Hashimoto *et al.* (2002) によって考案された小型 X 線管球を装備した。これにより、放射線管理区域外でも測定が可能になった。本稿では、二号機の概略と一号機から改良した点について記述する。そして、二号機で蓄積線量の評価を開始するにあたり、小型 X 線管球の線量較正を行い、線量率を決定したデータを報告する。

2. OSL/TL 自動測定装置 NRL-99-OSTL 2-KU の概要

一号機の後継として二号機を設計製作するにあたり、改良点として、① 外国製の装置よりも安価で製作でき、ランニングコストも軽減できること、② 年代測定に特化したコンパクトな装置にすること、③ 放射線照射とルミネッセンス測定の繰り返しが行われる際の駆動部分を迅速に動作することで測定時間を一号機よりも短縮すること、をコンセプトに掲げた。これらコンセプトを基に、設計製作した二号機を図1(b)に示す。ヒーター温度や励起光強度、X線の高電圧発生装置など制御ユニットの上部に測定ユニットである試料を設置する暗箱と X 線管球および光学ユニット、そしてコンピューターを配置したことでコンパクトなものになった。試料を設置する暗箱は密閉性を良くし、測定雰囲気窒素置換を効率良く行うために、形状を一号機の直方体に対して二号機は円柱体にして、X 線管球や試料交換部分など接合部すべてに Oリングを装着した。これにより、真空引きは一号機と比

* 立正大学
** ネオアーク株式会社
*** アーサ技研株式会社
**** 奈良教育大学

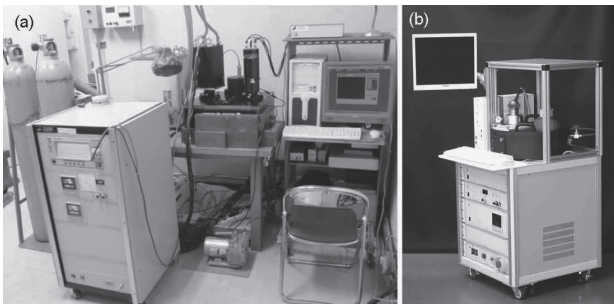


図1 NRL-99-OSTL (a) と NRL-99-OSTL 2-KU (b)

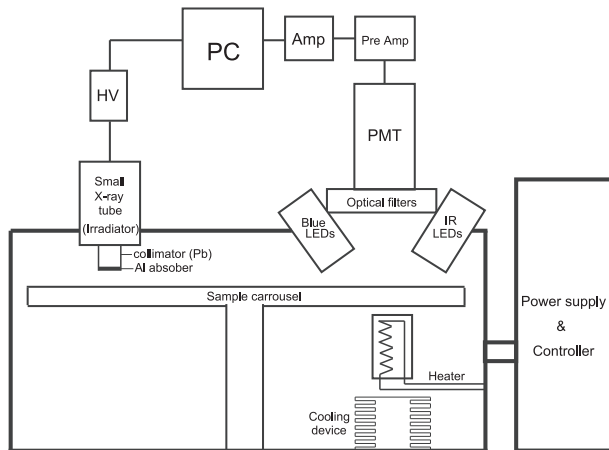


図2 OSL/TL 自動測定装置 NRL-99-OSTL 2-KU の概略図

べて2倍の効率になり、窒素置換におけるランニングコストも軽減した。二号機の概略を図2に示す。暗箱内には試料皿が最大32個まで設置できるプレートと試料皿を加熱するヒーターが置かれている。ヒーターは持ち上げることで試料皿と接し、室温から550℃まで加熱することができる。さらに、加熱後にヒーター温度を迅速に下げるために放熱板も設置した。

OSL 測定のための励起光部と受光部は一体化されており、ルミネッセンスは2枚の集光レンズで集められて光学フィルターで選択された後、光電子増倍管 (PMT) で検出される。励起光源は青色 LED と赤外 LED のユニットを作成し、用途ごとに取り替え可能にした。蓄積線量評価のため、2種類の励起光源の放射照度は一号機のデータ (下岡 2005) を参考に、青色 LED (465 ± 15 nm) は 30 mW/cm²、赤外 LED (890 ± 30 nm) は 80 mW/cm² とした (図3)。受光部は、目的に応じて光学フィルターを交換することにより波長選択が可能である。今回は、励起光が青色 LED のときは Hoya 製 U340 (厚さ 2.5 mm) 4枚と朝日分光製長波長カットフィルター (厚さ 1 mm) 1枚、赤外 LED のときは Schott 製 BG39 (厚さ 2.5 mm) 3枚と朝日分光製 cold filter (厚さ 3.8 mm) 1枚を採用し、

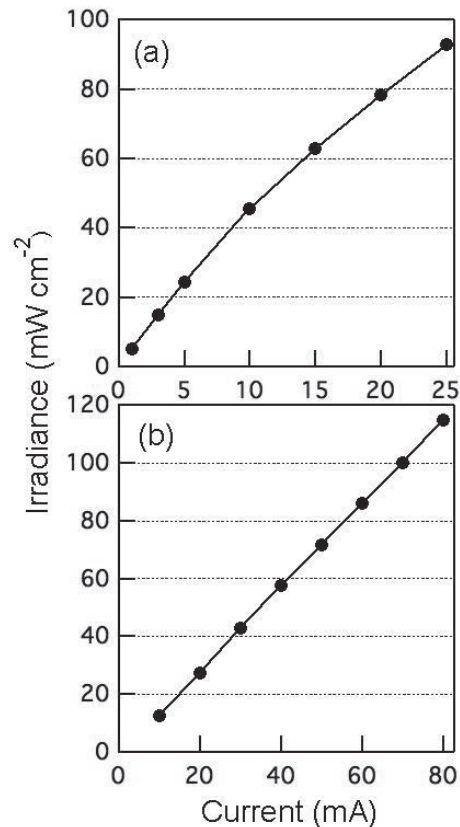


図3 励起 LEDs の駆動電流 (mA) に対する放射照度 (mW/cm²)
(a) 青色 LEDs、(b) 赤外 LEDs

それぞれ 280~370 nm (FWHM)、350~600 nm (FWHM) の波長を選択して受光した。TL 測定の場合は、Schott 製 BG39 もしくは Corning 製 4-96 (厚さ 5.0 mm) や Hoya 製 R60 (厚さ 2.5 mm) と IRC65L (厚さ 2.5 mm) の組み合わせが使用できるようにした。PMT は、浜松ホトニクス製 H7360-02 を採用した。ただし、TL 測定の際、Hoya 製 R60 (厚さ 2.5 mm) と Kenko Tokina 製 IRC65L (厚さ 2.5 mm) のフィルターを組み合わせるときは赤色領域をより効率良く検出するために、PMT の光電面がマルチアルカリである浜松ホトニクス製 H7421-40 へ交換可能にした。

放射線照射は、小型 X 線管球 Varian 製 VF-50JW を用い、Spellman 製高電圧発生装置 (MNX50P50) で制御する。X 線管球の前部には鉛製 10 mm コリメーター (Hong *et al.* 2005) 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 (Hong *et al.* 2005) を設置した。

放射線量率については、放射線照射に放射線核種を使用した場合は半減期による線量率変化を管理する必要があるが、X 線を利用すると線量率が不変であるため線量

計算が容易である。しかし、X線は電気によって発生させているため、X線が安定するまでの時間を考慮する必要がある。北沢ほか(2013)は、管電流を変化させてタイムラグを実験的に見積もり、よりタイムラグが小さくなる条件を設定した。これに対して、筆者らは管電流をオシロスコープで観察し(図4)、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化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、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。このことによって、X線の電源 off 後の万が一の照射も防ぐことができる。これらの制御は、試料プレートの回転モーター速度に依存することから、各動作の時間を見積もり、照射時間を計算できるようにプログラムを設定した。

3. X線管球の線量率較正

X線の線量率を、管電流0.1 mA と0.05 mA の2種類において決定した。これは、前者が数10万年単位の蓄積線量に相当するX線を試料に照射をする際に測定時間を短縮するためであり、後者は数千~数万年単位の試料に照射することを念頭に置いたものである。X線の較正では、3rdスタンダードである広島大学原爆放射線医学研究所⁶⁰Co γ 線で較正された奈良教育大学⁶⁰Co γ 線源を用いた

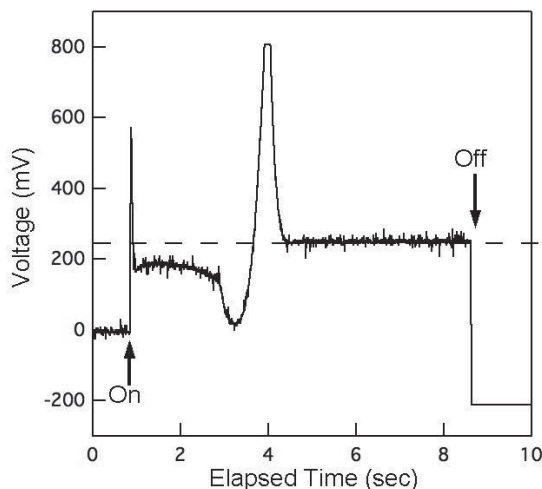


図4 管電流0.05 mA を小型X線管球に流したとき、オシロスコープで観察した波形

図中のOnで管電流が流れはじめ、250 mVで安定し、offで管電流の電源を切る。

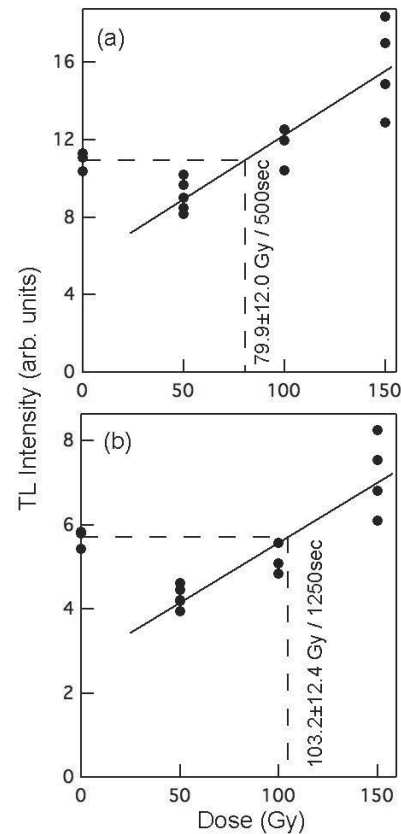


図5 ⁶⁰Co γ 線による小型X線管球の線量率較正

(a)と(b)の較正曲線は、各々プラトー領域の温度範囲で見積もった。(a)管電流0.1 mA のとき、500秒照射した線量が 79.9 ± 12.0 Gy、(b)管電流0.05 mA のとき、1250秒照射した線量が 103.2 ± 12.4 Gy と見積もられた。

(下岡・長友2006)。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500°Cで60分間加熱処理後に、⁶⁰Co γ 線を線量率約0.06 Gy/分で50、100、150 Gy 照射した。その後、二号機で TL 測定して較正曲線を作成した(図5)。そして、同じ試料を用いて管電流0.1 mA で500秒、管電流0.05 mA で1250秒照射したときの TL 強度と比較した。なお、較正曲線は2種類の管電流で TL 測定したときの TL 信号が安定な温度領域(プラトー領域)で見積もった。その結果、管電流0.1 mA のとき 79.9 ± 12.0 Gy、管電流0.05 mA のとき 103.2 ± 12.4 Gy と見積もられた。この結果より、線量率は管電流0.1 mA のとき 9.6 ± 1.4 Gy/分、管電流0.05 mA のとき 5.0 ± 0.6 Gy/分となった。後者は一号機に装着していた⁹⁰Sr β 線源の線量率約 4.7 ± 0.4 Gy/分(下岡・長友2006)に類似する値が得られたことから、従来と同様の線量率依存性による線量評価が行える。

4. まとめ

今回、新しく OSL/TL 自動測定装置として NRL-

99-OSTL2-KU を設計製作した。OSL/TL 装置には、照射と測定を繰り返し自動で行うために、小型 X 線管球を装着した。そして、校正された⁶⁰Co γ線を用いて X 線管球の2種類の管電流において線量率校正を行った。今後は、X 線管球の劣化による線量率変化がどのように生じるのかについて、オシロスコープを使用して慎重に見極めることが高精度な蓄積線量評価を継続して行う上で重要となるだろう。

謝 辞

装置製作にあたっては奈良教育大学の長友恒人名誉教授から、小型 X 線管球および高電圧発生装置については(株)テクノエックスの吉田靖彦氏、新潟大学の橋本哲夫名誉教授、(株)信越化学工業の八幡 崇博士、立正大学の北沢俊幸講師からご教示いただいた。末筆ながら、記して謝意を表します。なお本研究は、日本学術振興会科学研究費若手研究 (A) (課題番号 25702011、代表者：下岡順直) の一部を使用した。

参考文献

Hashimoto, T., Nakagawa, T., Hong, D.G. and Takano, M. (2002) An automated system for both red/blue thermoluminescence and optically stimulated luminescence mea-

surement. Journal of Nuclear Science and Technology, 39-1, 108-109.

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.

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.

長友恒人・下岡順直・國木田大 (2007) ロシア沿海州新石器遺跡堆積物の赤外光ルミネッセンス (IRSL) 年代測定, 奈良教育大学紀要, 56-2, 1-6.

下岡順直 (2005) 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, 博士論文, 276p.

下岡順直・長友恒人 (2006) 歯のルミネッセンス特性と線量測定への応用の可能性, 奈良教育大学紀要, 55-2, 1-7.

Shitaoka, Y., Maemoku, H. and Nagatomo, T. (2012) Quartz OSL dating of sand dunes in Ghaggar basin, northwestern India. Geochronometria, 39-3, 221-226.

Shitaoka, Y. and Nagatomo, T. (2013) OSL dating using quartz fine grains extracted from Loess in Upper Paleolithic sites of Nihewan Basin, Northern China. Geochronometria, 40-4, 311-316.

A New System for Luminescence Measurement and Calibration of X-ray tube

SHITAOKA Yorinao *, HATANO Satoshi **, TANABE Kazuaki **, MORI Yoshihiko ***,
AOKI Satoshi ****, SAKAE Osamu **

* Rissho University

** Neoark Corporation

*** URSA Engineering Co., LTD

**** Nara University of Education

Key words : New system for OSL and TL measurement, small X-ray tube, ⁶⁰Co Gamma ray,
Calibration of dose rate