

TL法による新薬師寺旧境内遺跡出土瓦の年代測定

青木 智史 奈良教育大学理科教育講座 (古文化財科学)
綱 真奈美 大阪府立近つ飛鳥博物館
長 友恒人 奈良教育大学
(平成23年5月6日受理)

TL dating of the roof tiles from Shin-Yakushi-ji Temple Old Precincts site

Satoshi AOKI

(Department of Science Education, Nara University of Education)

Manami TSUNA

(Osaka Pref. Chikatsu Asuka Museum)

Tsuneto NAGATOMO

(Nara University of Education)

(Received May 6, 2011)

Abstract

The thermoluminescence (TL) method is a typical and well-used tool for estimating the age of heated relics. In the present work, we applied a TL method to the shards of the roof tiles from the Shin-Yakushi-ji Temple Old Precincts site which was discovered in 2008 at the Nara University of Education campus. The excavation of this site was carried over 2008 and 2009. The old Shin-Yakushi-ji temple is considered to have been built in A.D.747 and operated until A.D.962 according to several historical records. The present work was aimed to confirm the historical description which shows that the old Shin-Yakushi-ji temple architectures were collapsed in A.D.962. This work is also intended to show the effectiveness of TL method to determine the age of ancient roof tiles for the researches of architecture histories. In the present work, we examine the drastic change of the dose rate between the firing and measurement of a tile and show that TL dating is an effective tool for the research on the history of old roof tile structure.

Key Words : TL dating, Roof tile, Shin-Yakushi-ji Temple
Old Precincts site

キーワード : TL法, 瓦, 新薬師寺旧境内遺跡

1. はじめに

2008年(平成20年)、奈良教育大学構内で大きな考古学的な発見があった。構内北東隅の建物老朽化による建て替えに伴う発掘調査が行われた際、明治時代後期に建てられた旧陸軍聯隊の建物遺構の下から、奈良時代の大規模な寺院遺跡が検出された⁽¹⁾。奈良教育大学構内は、奈良時代には新薬師寺の広大な境内の一画であり、発掘の結果から同遺跡は新薬師寺旧境内遺跡であることが明

らかにされた。特に注目を集めたのは、基壇幅約68mにおよぶ東大寺大仏殿を除けば平城京大極殿を凌ぐ奈良時代最大級の大型基壇建物跡が検出されたことであった。おそらく、その規模から新薬師寺旧金堂、史料が伝える七仏薬師金堂にあたると思われる。2008年の発掘では、上記の大型基壇建物跡の検出を始め、大量の瓦、数点の奈良三彩片など、重要な発掘成果が得られた。2009年には、大型基壇建物跡の検出地点から南方数十m地点の確

認調査が行われ、奈良時代から平安時代の遺物を含む東西流路と南北溝が検出された⁽²⁾。この東西流路と南北溝からは奈良三彩片や木屑漆片などの重要な遺物ともに、瓦片が多く出土した。

新薬師寺旧境内は、現在の新薬師寺を東限に四町（約440m）四方にわたる広大なもので、奈良教育大学構内の過半におよんでいる。新薬師寺は、具体的な創建年代は不明であるが、東大寺の記録『東大寺要録』によれば創建は西暦747年（天平19年）ごろと伝えられる⁽³⁾。少なくとも「新薬師寺堂」が図示されている『東大寺山堺四至図（正倉院）』が描かれた西暦756年（天平勝宝8年）には新薬師寺金堂は成立していたと考えられる。金堂以外の伽藍については、文献記載などから十数年かかって整備されたと考えるのが妥当だろう。大型基壇建物は、発掘により出土した灯明皿の型式などから10世紀ごろまでは存続していたことがわかっており、『東大寺要録』が伝える西暦962年（応和2年）の大風による七仏薬師堂等堂舎顛倒の記述ともよく整合する。この8世紀中期から10世紀中期の間、史料には新薬師寺関連の記載が複数認められ、本研究に関連する注目すべき記載としては『続日本紀』や『東大寺要録』に西暦780年（宝龜11年）に西塔が焼失した記載がある⁽⁴⁾（『東大寺要録』には金堂、講堂も焼失とある）。

今回、測定対象とした試料は、2009年度調査で東西流路および南北溝から検出された瓦片5点である。分析対象の瓦試料は、奈良時代の所謂「布目瓦」であり、後に個別に検討するが瓦の焼成年代については考古学的には奈良時代中頃と考えられる。これらの瓦は、その出土状況などから大型基壇建物とは別の建築物に用いられていた瓦と考えられるが、その建築物の建造時期は判然としない。『正倉院文書』には西暦760年ごろには金堂以外の建物の名称が散見されるようになるため⁽⁵⁾、分析対象の瓦もこの頃に用いられ始めた可能性もある。本研究で熱ルミネッセンス（Thermoluminescence；TL）法を適用する目的は、瓦の焼成年代を改めて評価して伽藍の成立過程を明らかにすることを試みる他、焼成後の被火などの可能性についても検討することである。史料からは西暦780年に少なくとも西塔が焼失し、西暦962年には大風により伽藍が倒壊したことがわかる。具体的な記載はないが、西暦962年の倒壊時に火災を伴っていた可能性もある。TL法で評価される年代は試料が最終的に高温を被った年代であり、本研究課題に適した分析方法といえる。

本研究で用いたTL法は、1960年頃に開発された、石英などのルミネッセンス鉱物が放射線を吸収した際に生じる電子のエネルギー状態変化を利用した線量評価法⁽⁶⁾である。これまで半世紀以上にわたって年代測定法として研究が続けられてきた。欧米や日本、近年は中国など

のアジア各国でも盛んに研究が行われ、これまでに土器をはじめとして、陶器や磁器、瓦、窯、竈、焼土、焼石、火山灰など、様々な被熱考古遺物・試料の数値年代評価法として多くの重要な研究成果が得られている⁽⁷⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾。

TL法は、文字通りTL現象を利用して放射線の蓄積量を評価する方法である。簡潔に述べれば、TL現象メカニズムは以下ようになる。石英などの結晶性鉱物は、放射線を吸収したとき、そのエネルギーの一部が価電子帯にある電子に与えられて電子と正孔の対を生成し、電子は価電子帯から伝導帯に励起されたのち、電子捕獲中心へ、正孔は正孔中心に捕獲され準安定状態となる。電子捕獲中心が安定ならば電子はそこにとどまるため、吸収した放射線量に比例して捕獲された電子の数が増加することになる。このとき結晶に熱エネルギーを与えると電子は励起され伝導帯を移動して正孔中心の正孔と結合し、正孔中心のエネルギー状態に依存した波長のルミネッセンスを放出する。この現象がTL現象である。本研究で測定対象とする瓦の場合、粘土で成形された後、瓦窯で高温焼成される。この際、瓦胎土中の石英などの鉱物は数百℃から千℃以上の熱を被り、焼成以前に蓄積していた電子を放出し、電子捕獲中心の電子蓄積はゼロの状態になる。TL法ではこれをゼロイング（またはゼロセット）と呼び、年代測定における最も重要なイベントである。ゼロイング後、鉱物は再び自然放射線を吸収して電子を蓄積する。TL測定によって評価されるのは、このゼロイングから測定時まで吸収した放射線量（蓄積線量、paleodose；PD）である。一方、試料が一年間に吸収する放射線量を年間線量（annual dose；AD）といい、年間線量を評価できれば、蓄積線量を年間線量で除することにより被熱以降の経過年代を評価することが可能となる。これがTL年代である。よって、TL年代を正確に評価するには、蓄積線量と年間線量を正確に評価する必要がある。

今回分析を行う上でもっとも大きな課題となると想定されるのが、過去における年間線量の変化についてである。本研究の場合、分析対象が長期間利用されていた建築材である可能性が高い。通常、TL法の対象となる試料は被熱時から土中へ埋蔵されるまで時間は比較的短い場合が多い。しかし、本研究の場合は、創建期の瓦と仮定すれば、少なくとも西暦750年ごろから西暦962年の大風による倒壊までの約210年間屋根瓦として用いられていた可能性がある。その場合、約210年間は屋根上にあり、倒壊後1050年程度は土中にあったことになり周辺環境由来の年間線量に大きな違いが生じることになる。大風に伴い火災が発生し瓦試料がゼロイングされていれば10世紀中頃を基準とした年代が評価されると予想されるが、火災を伴っていない場合は年間線量の変化に起因する年代値のズレが観測される可能性がある。その点も含めて

分析結果を検討し、奈良教育大学構内新薬師寺旧境内遺跡出土瓦のTL法による自然科学的分析を実施した。

2. 測定試料

本研究で測定対象としたのは、2009年6月に奈良教育大学構内新薬師寺旧境内遺跡発掘調査C区から出土した瓦片5試料である。発掘調査C区では、多くの瓦などの遺物を含む東西流路と南北溝が検出されている。この発掘調査C区は、東西流路および南北溝の出土遺物と堆積状況から10世紀に埋没したと考えられ、先述した『東大寺要録』に記される西暦962年の大風による倒壊と年代的に一致している。C区から検出される瓦は考古学的に奈良時代のものであり、奈良時代に焼成され建築材として用いられていた瓦が10世紀まで使用され、大風により金堂などが倒壊した時期と時を同じくして堆積したものと考えられる。

測定試料は東西流路のものをNSY-01シリーズ、南北溝のものをNSY-02シリーズとし、東西流路出土瓦から3点、南北溝出土瓦から2点を測定対象とした。試料写真は、写真1に示した。今回測定対象とした試料はいずれも破片であり、明確に型式学的な特徴を有しているものではない。従って、それ単独では大まかな年代を推定するに留まるが、新薬師寺旧境内遺跡からは型式の明確な資料が多く検出されている。そこで、それらの資料を基に、分析対象瓦の胎土や技法上の特徴から可能な限り考古学的な推定年代を導出した。

試料NSY-01-R01は、胎土が極めて白く、また非常に硬く焼締められていることが特徴的である。同遺跡内で出土した興福寺式6301J型式の瓦と同質のものと考えられる。同型式は8世紀前期から中期と考えており、試料NSY-01-R01も同時期のものと考えられる。試料NSY-01-R02および試料NSY-01-R03については対応する型式を見出すことはできなかったが、桶巻き作りの痕跡が認められず一枚作りであると考えられる点から8世紀以降のものとして判断することができる。その他の特徴とあわせて奈良時代後期から平安時代初頭までの瓦であることは明らかであるため、8世紀末頃までの製品と判断した。試料NSY-02-R01は、新薬師寺旧境内遺跡出土の東大寺式6235型式系と近似する特徴を有しており、同型式とすれば東大寺式でも早い段階のものといえ、8世紀前期から中期の製品と考えられる。試料NSY-02-R02については型式判断は難しいが桶巻き作りの痕跡が認められ、奈良時代の瓦であると考えて矛盾がないことから8世紀前期から中期までの製品であると判断できる。以上のことから、本研究で測定対象とする瓦試料は、いずれも考古学的には8世紀の製品であると考えられ、新薬師寺創建期から奈良時代末までのものと考えられる。

3. 試料採取および試料処理

測定対象とした瓦試料は、いずれも胎土中に石英を多く含み、また比較的潤沢な試料採取が可能であったため石英粗粒子法による測定を行った。蓄積線量評価用の試

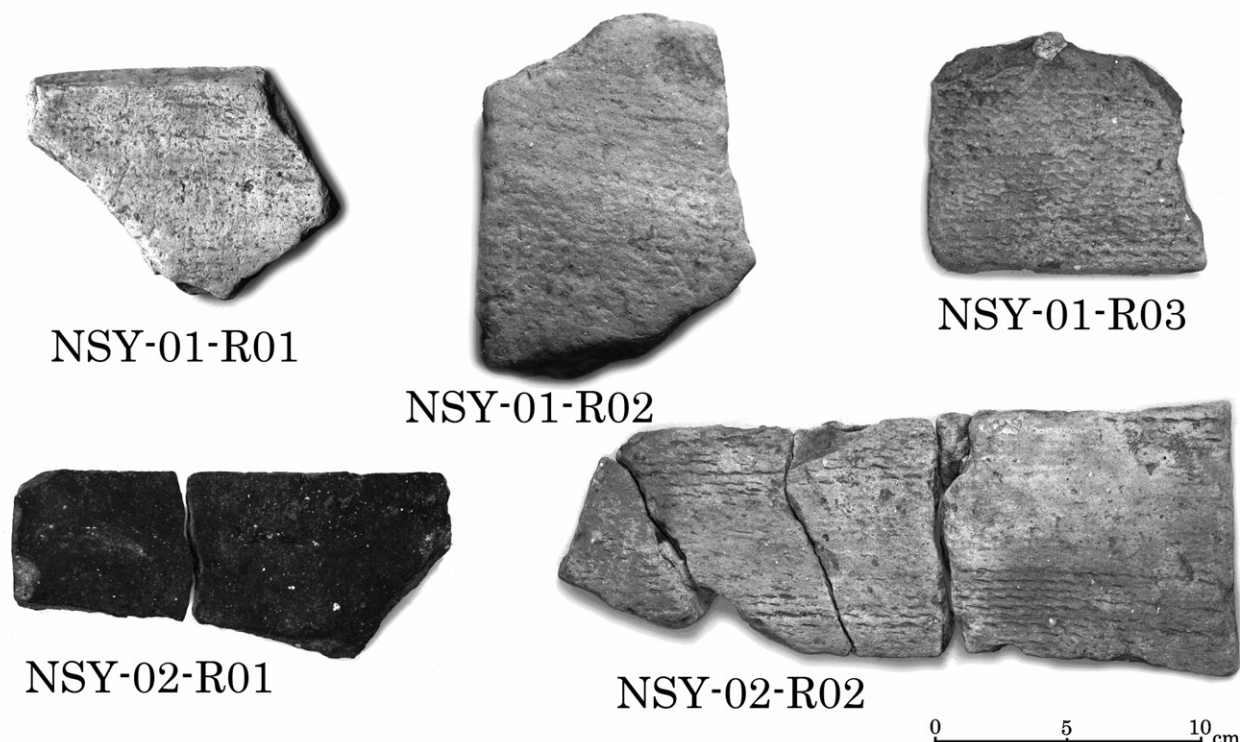


写真1. 分析対象とした新薬師寺旧境内遺跡出土瓦

料採取は、以下の手順で行った。また、以下の作業はすべて暗室内（暗赤色灯下、照度1lx以下）で行った。まず各試料本体からダイヤモンドカッターを用いて数gの試料片を採取し、露光により蓄積線量が減少している表面部をミナー株式会社製の超硬カッター（以下、超硬カッター）で除去した。この際、外部からの β 線の影響を受ける表面部（深さ2mmまで）を超硬カッターで除去した。次いで、アルミ板で挟み万力を用いて徐々に圧力を加えながら粉碎した。採取時に過剰な摩擦および圧力を加えないように注意しながら作業を行った。その後、60メッシュと300メッシュの標準篩にかけ鉍物の粒度分けを行い、粒度分けした試料（粒径50~250 μ m）を採取した。その後10%の過酸化水素水で16時間処理を行い有機物の除去を行った。さらに、蒸留水で洗浄し、50 $^{\circ}$ Cの恒温槽で乾燥の後、20%の塩酸で60分間処理した。これを蒸留水で洗浄後、50 $^{\circ}$ Cの恒温槽で乾燥させ、フランク型マグネティックセパレーターで非磁性鉍物と磁性鉍物に分離し、分離した非磁性鉍物を20%のフッ酸で90分間処理した。蒸留水で洗浄後、50 $^{\circ}$ Cの恒温槽で乾燥させ、200メッシュの標準篩にかけて粒径75 μ m以上の試料を測定試料とした。

また、年間 β 線量評価のための試料は、蓄積線量評価用の試料採取の際に超硬カッターで除去した表面部試料を50 $^{\circ}$ Cの恒温乾燥槽で十分に乾燥させ、乾燥重量で30g（少ないものは10g）採取し測定試料とした。年間 γ 線量評価用の試料は、NSY-01シリーズは試料周辺の東西流路遺物包含層から、NSY-02シリーズは同じく試料周辺の南北溝遺物包含層から土壌試料を採取し恒温乾燥槽で乾燥させた後、乾燥重量30gの粉末を試料として用いた。

4. 測定

4. 1. 蓄積線量の評価

蓄積線量の測定には、DAYBREAK社製のTL/OSL自動測定装置-1150 TL SYSTEM-を使用した。昇温速度10.0 $^{\circ}$ C/sec、最高温度500 $^{\circ}$ Cで測定した。用いた光学フィルタはCorning 7-59およびSchott BG-39であり、検出波長域は350-470nmである。

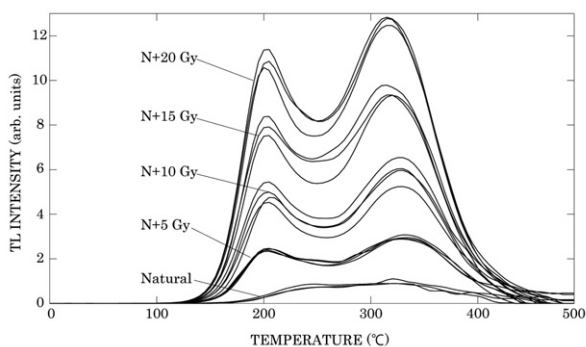


図1. 試料NSY-01-R01のTLグローカーブ (ED)

蓄積線量の評価には、石英粗粒子法によるMultiple aliquot additive dose (MAAD) 法⁽¹⁾を適用した。MAAD法は、Natural試料と任意の線量の放射線を照射した付加線量試料を測定し、生長曲線を作成して等価線量 (equivalence dose; ED) を評価する方法である。測定では⁶⁰Coの γ 線の照射によって任意の放射線量をNatural試料に付加した。吸収した放射線量に対し、試料のTL強度が直線的に増加するならば等価線量は蓄積線量であるが、一般的に低線量領域において生長曲線の傾きは小さくなり補正が必要となる (スプラリニア領域)。そこで、蓄積線量を正確に評価するためスプラリニアリティ (supralinearity; SPR) 補正を行う。スプラリニアリティ補正値の測定は、アニール (熱処理) した試料に付加線量を照射して測定する。アニール条件は350 $^{\circ}$ Cで60分間とした。得られた補正値を等価線量に加えたものが蓄積線量となる。また、等価線量評価のための積算温度領域はプラトーテストにより最適領域を求めた。TL測定では、1回の測定に試料5mgを用い、各線量で5回の測定を行った。等価線量およびスプラリニアリティ補正値は最小二乗法による直線回帰により評価した。試料NSY-01-R01のED測定時のグローカーブと生長曲線を、図1および図2に例示した。

4. 2. 年間線量の評価

本研究では発掘が比較的短期間であったことから、発掘調査現場での年間線量の直接測定が行えなかったため、年間線量評価は間接測定法に基づいて行った。間接測定法は、試料中の放射性元素含有量を評価し、Adamiecらの換算式⁽²⁾を用いて年間線量を算出する方法である。

TL法で評価する放射線には α 線、 β 線、 γ 線、そして宇宙線が存在するが、それぞれ飛程が異なっており年間線量を評価する際には注意を要する。概ね土壌中における各放射線の飛程は、 α 線が約0.1mm、 β 線が約2mm、 γ 線が約300mm程度である。蓄積線量評価に際し、試料採取時に表面から約2mmの深さまで除去するため、 α 線と β 線に関しては試料胎土由来の年間線量を評価すればよいことになる。また、フッ酸処理によって

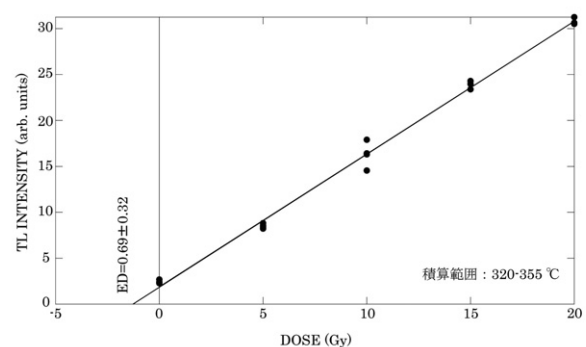


図2. 試料NSY-01-R01のTL生長曲線 (ED)

試料粒子の表面部をエッチングする石英粗粒子法では、外部由来の α 線を考慮する必要はなく、内部被曝も起さないため β 線のみを評価すればよい。一方、 γ 線と宇宙線は飛程が長いので周辺環境由来の放射線量を評価しなければならない。よって、年間線量のうち、 β 線量は瓦試料胎土から、 γ 線量は埋蔵時の試料周辺土壌から評価した。また、宇宙線量については0.15mGy/aを評価した⁽¹³⁾。

瓦胎土中および周辺土壌中の放射性元素含有量は、低バックグラウンド鉛および無酸素銅で遮蔽した高純度Ge検出器を用いた γ 線スペクトル法により評価した。試料を粉末状にしたものを57.5×64.0×2.5mmのプラスチックケースに詰め、厚さ0.4mmのポリチャック袋に内包して測定し、独立行政法人産業技術総合研究所が提供している岩石標準試料（JG-1a, JR-1, JA-3, JB-2, JB-3）で較正して、U、Th、Kの含有量を評価した。また、試料に照射した放射線の一部は水に吸収されるため、含水率補正を行った。通常、考古試料は土中埋蔵時に地下水などを含んでおり、 α 線、 β 線、エネルギーの弱い γ 線は試料に到達するまでに水にある程度吸収されることになる。よって、年代値を正確に評価するには含水率補正が必要となる。瓦試料および周辺土壌を発掘調査区でサンプリングする際、速やかに重量を測定し、これを土中における基準含水状態と仮定した。その後、50℃の恒温乾燥槽で2週間程度乾燥させ、乾燥による重量変化がなくなった時点で乾燥重量を測定した。この含水重量と乾燥重量を用いてZimmermanの補正式⁽¹⁴⁾により含水率補正を行い、年間線量を評価した。

5. TL年代測定結果とその考察

5. 1. TL年代測定の結果

蓄積線量の評価結果は表1に、評価された瓦胎土中および周辺土壌中の放射性元素含有量は表2に、年間線量の評価結果は表3、そして最終的に評価されたTL年代値は表4に示した。図1と図2および図3と図4に例示したように、TLグローカーブは個々の線量ごとに非常にまとまりが良く、生長曲線の線量依存性も良好であり、信頼性の高い蓄積線量評価が可能であった。

評価されたTL年代は、試料NSY-01-R01が 1170 ± 200 年前、NSY-01-R02が 1120 ± 200 年前、NSY-01-R03が 1240 ± 170 年前、NSY-02-R01が 1170 ± 220 年前、NSY-02-R02が 1170 ± 290 年前となり、TL年代値の中央値は比較的近似した値を示している。また、5試料の平均年代を評価すると 1174 ± 99 年前となり、各試料の中央値が1標準偏差内に入ることがわかる。このことから、測定対象の5試料は、同時期または比較的近い年代に焼成されたものである可能性が示唆される。しかしながら、評価されたTL年代値は考古学的な年代観と必ずしも一致しない。筆者らは、新薬師寺の伽藍が整備された時期を文献資料などから西暦747年から770年頃までと考えており、分析対象の瓦の考古学的な年代観もこの考えと矛盾はない。しかし、評価されたTL年代を測定年である2010年を基準として西暦年に換算すると、それぞれ 840 ± 200 年、 890 ± 200 年、 770 ± 170 年、 840 ± 220 年、 840 ± 290 年となり、誤差範囲内には入るものの試料NSY-01-R03を除き中央値は数十年から百年程度考古学的な年代観に対して若く年代値が評価されている（図5）。蓄積線量の評価に

表1. 蓄積線量の評価結果

Sample No	ED (Gy)	SPR (Gy)	PD (Gy)
NSY-01-R01	0.69±0.32	2.76±0.44	3.45±0.55
NSY-01-R02	1.37±0.32	3.48±0.61	4.85±0.69
NSY-01-R03	2.01±0.32	2.73±0.38	4.74±0.50
NSY-02-R01	1.84±0.23	2.28±0.59	4.12±0.63
NSY-02-R02	1.72±0.68	1.76±0.45	3.48±0.81

表2. 瓦片胎土および周辺土壌中の放射性元素含有量

Sample No	U (ppm)	Th (ppm)	K (%)
NSY-01-R01	2.95±0.23	9.06±0.81	1.38±0.12
NSY-01-R02	5.63±0.30	17.85±0.75	2.26±0.14
NSY-01-R03	3.65±0.23	13.83±1.90	1.99±0.13
NSY-02-R01	3.89±0.29	14.17±0.98	1.62±0.12
NSY-02-R02	4.68±0.35	16.27±1.13	1.77±0.13
NSY-01-Soil	4.11±0.25	15.28±0.58	1.85±0.12
NSY-02-Soil	3.95±0.24	14.78±0.60	1.72±0.12

表 3. 年間線量の評価結果

Sample No	年間 β 線量	年間 γ 線量	年間宇宙線量	総年間線量
NSY-01-R01	1.34±0.16	1.47±0.04	0.15	2.96±0.17
NSY-01-R02	2.70±0.48	1.47±0.04	0.15	4.32±0.48
NSY-01-R03	2.22±0.34	1.47±0.04	0.15	3.84±0.34
NSY-02-R01	2.01±0.36	1.35±0.04	0.15	3.52±0.36
NSY-02-R02	1.48±0.28	1.35±0.04	0.15	2.98±0.28

(単位:mGy/a)

表 4. TL年代値の評価結果

Sample No	PD (Gy)	AD (mGy/a)	TL年代 (2010年基準)
NSY-01-R01	3.45±0.55	2.96±0.17	1170±200
NSY-01-R02	4.85±0.69	4.32±0.48	1120±200
NSY-01-R03	4.74±0.50	3.84±0.34	1240±170
NSY-02-R01	4.12±0.63	3.52±0.36	1170±220
NSY-02-R02	3.48±0.81	2.98±0.28	1170±290

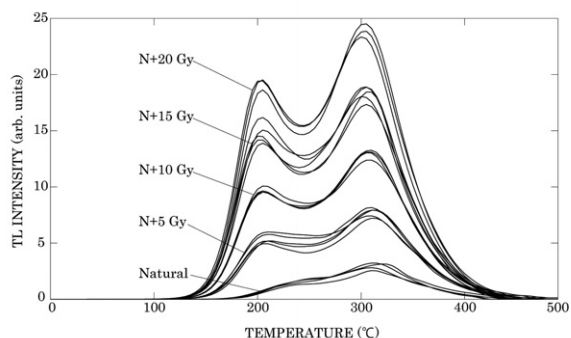


図 3. 試料NSY-02-R01のTLグローカーブ (ED)

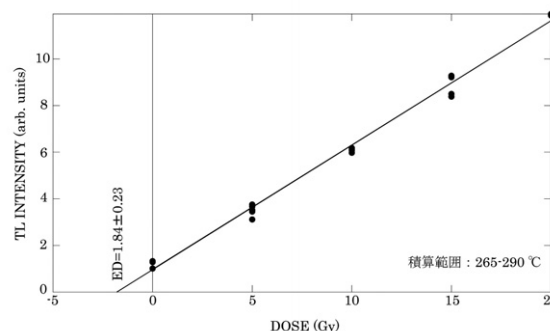


図 4. 試料NSY-02-R01のTL生長曲線 (ED)

関しては、既に述べたようにグローカーブや生長曲線の信頼性は良好であり問題は見られない。加えて、埋蔵時の年間線量評価に関しても、発掘調査C区の状況からみて埋没後は大きな攪拌もなく、地下水状況も安定していたと考えられ同様に問題はない。また、西暦962年の倒壊時に火災を伴っていた痕跡も、中央値がまとまりよく得られている点や、中央値平均年代値の誤差範囲から西暦962年が外れている点から考えて、今回の分析結果からは認めることはできない。さらに火災などで被熱した試料は感度変化などでグローカーブの攪乱や線量依存性の悪化が生じることが多いが、今回の分析結果からはその傾向は認められない。西暦780年に西塔が焼失した際に今回の分析対象に関連する建築物も被火した可能性も考えられたが、本研究からは金堂およびその近傍の建築物が火災に遭っている証左は認められなかった。よって、年代値が若く評価された原因は、火災などによる被熱とは別に存在すると考えるのが妥当であろう。

5. 2. 考察と検討

TL年代値が相対的に若く評価された原因として注目すべきなのは、本研究の目的部分でも触れた、建築材として長期間利用された後に土中に埋まったことによる年間線量の変化である。先述したように、TL法に寄与する放射線源はその飛程により種類が異なっている。飛程が短い β 線は試料胎土に由来し、飛程の長い γ 線はその大部分が試料の周辺環境に由来することになる。通常、TL法では測定時に評価した年間線量が現在まで不変であったという仮定に基づいて年代値を算出するが、本研究の場合はその仮定は成り立たないと考えられる。分析の結果、火災などにより瓦の焼成後に再加熱を受けた痕跡は認められず、8世紀中頃に創建されてから大風で倒壊する西暦962年まで屋根瓦として利用されていた可能性が高い。よって、図6に示したような、倒壊時を境とした年間 γ 線量の変化が生じたものと考えられる。瓦が屋根瓦として使用される場合、瓦本体と屋根面に連続するその他の瓦の胎土以外に大きな影響を与える γ 線源は

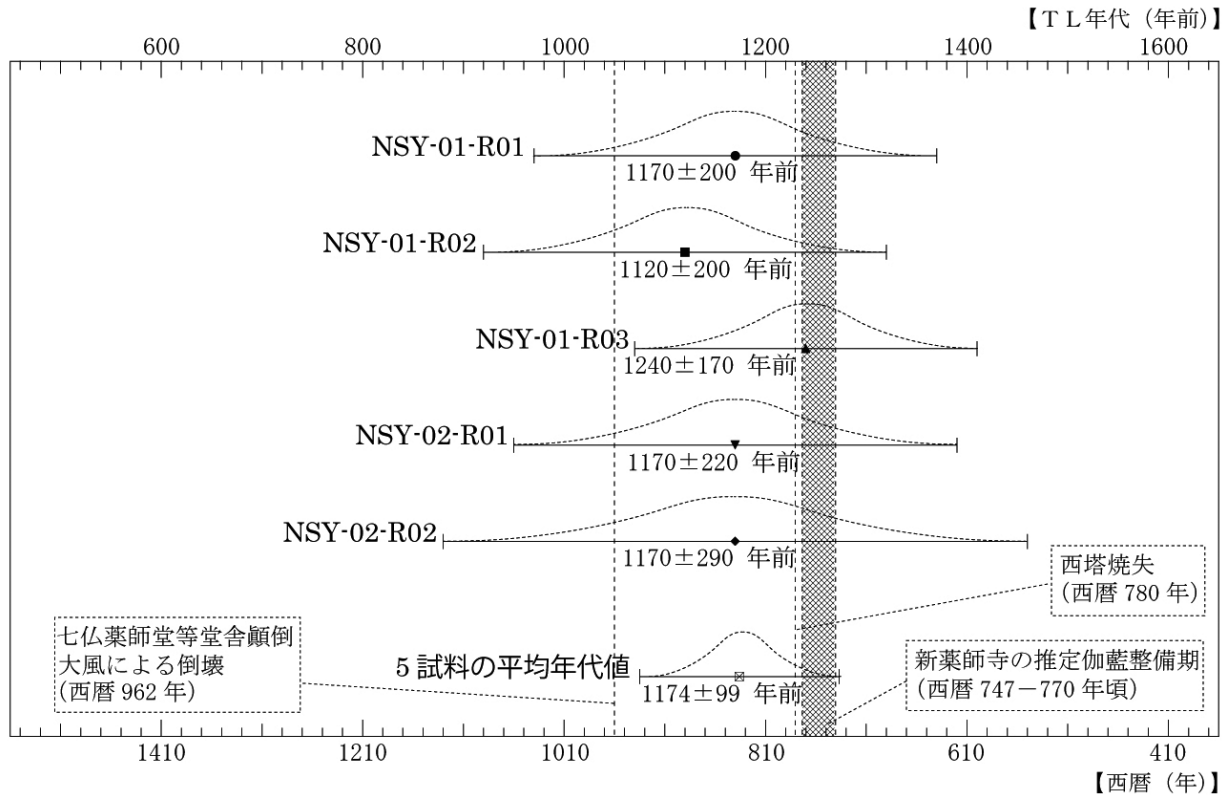


図5. 評価されたTL年代値と新薬師寺関連の文献記載上の年代観との比較

存在しない。周囲に土壌という大きなγ線源を有している土中埋蔵時に比べて、試料に入射するγ線量は大幅に少なくなると考えられる。TL年代測定における年間線量の変化に注目した研究が、本研究に先だって2004年に長友らによってなされている。唐招提寺金堂基壇敷石直下から検出された磚のTL年代測定を行った際の年間線量変化に注目した研究⁽¹⁵⁾がそれである。彼らはこの研究において、唐招提寺金堂基壇が創建当初磚敷きであったものが、ある時期の修理の際に磚の上に敷石が置かれたことに着目し、基壇の修理時の幾何学的条件の変化を考慮した年間線量の変化についての検討を行った。その結果、唐招提寺金堂の敷石は、鎌倉時代の修理の際に敷かれた可能性が高いことを明らかにしている。本研究では、

この研究成果を参考に以下で検討を行った。

過去における三次元的なγ線の影響を考慮した年間線量を基に吸収放射線量を算出し、この結果を本研究で得られた試料の蓄積線量と比較した場合、もし推定吸収線量を評価する仮説が正しいならば蓄積線量と推定吸収線量は近似的な値をとるはずである。この仮説の検討のため、考古学的に創建期の瓦であることが明らかな試料NSY-01-R01を対象に、以下の10の仮定を置いて、屋根瓦利用時と土中埋蔵時におけるγ線量率の違いが蓄積線量に与える影響について検討した。

- 仮定① 試料NSY-01-R01が焼成されたのは西暦750年
- 仮定② 試料NSY-01-R01が埋没したのは西暦962年
- 仮定③ γ線の影響範囲は半径300mm
- 仮定④ 自然放射線源から放射されるγ線の平均エネルギーは0.8MeV
- 仮定⑤ 屋根瓦および周辺土壌の密度は同一（密度2.00kg/m³）
- 仮定⑥ 屋根瓦層の厚さは重なりも考慮して50mm
- 仮定⑦ 測定試料とした石英は瓦層の中央に位置
- 仮定⑧ 屋根瓦層の年間γ線量は本研究で評価した5試料の平均値
- 仮定⑨ β線量および宇宙線量は不変
- 仮定⑩ 含水率は埋蔵時と同一

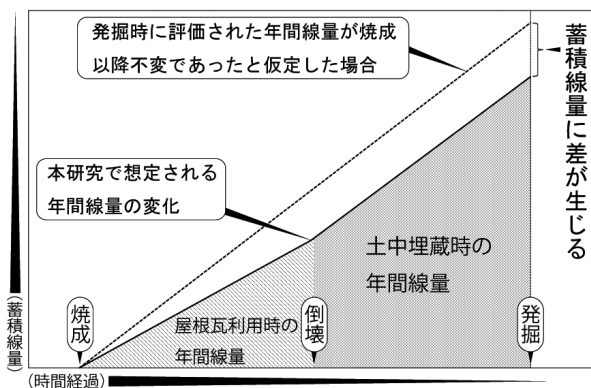
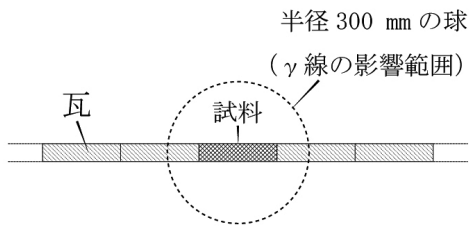


図6. 年間線量の変化と蓄積線量の関係

屋根瓦利用時



土中埋蔵時

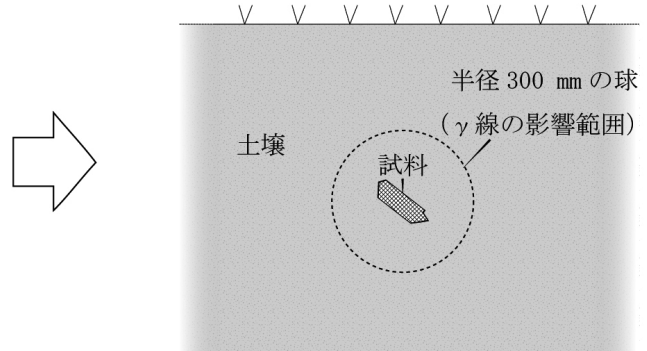


図7. 試料周辺環境の違いとγ線影響範囲

図7に示したように、試料の周囲半径300mm圏内の状況は、屋根瓦利用時と土中埋蔵時では大きく異なる。本来、両者のγ線量率を比較する場合には様々な条件を考慮しなければならないが、ここでは、試料の幾何学的条件とγ線の減衰率を考慮して近似させ、推定吸収線量を評価することとした。まず、試料を中心とした半径300mmの球を考慮すべきγ線の影響範囲として設定した。その上で、石英試料が厚さ50mmの瓦の中央に層状に存在したと仮定し、石英試料が厚さ25mmの瓦胎土層に挟まれていた状態を想定する(図8)。そして、この厚さ25mmの瓦胎土層が半径300mmの球の体積に占める割合を算出した。瓦胎土が試料の上下に厚さ25mm存在するため、密度 2.00kg/m^3 の物質中のγ線減衰曲線から距離25mm範囲のγ線量の影響率を評価し、これを半径300mmの球における厚さ25mmの瓦胎土層の占める割合に係数として乗じ、これと瓦試料5点の胎土由来の年間γ線量の平均値の積を求め、2倍して石英試料上下層の和を求め、屋根瓦使用時の年間γ線量として評価した。試料を中心とする半径300mmの球の体積に対する厚さ25mmの瓦胎土層の占める割合は約6%である。また、図9に示すように、γ線の減衰曲線における距離25mm範囲の割合は約38%である。そして、瓦試料5点の胎土由来年間γ線量が中央値平均で 1.30mGy/a である。β線量および宇宙線量は測定時と同じと仮定するため、西暦750年から西暦962年までの212年間の推定吸収線量はそれぞれ 0.28Gy 、 0.03Gy となる。上述の仮定のもと評価された屋根瓦利用時の推定吸収γ線量は 0.01Gy となった。また、西暦962年から西暦2010年までの1048年間の推定される吸収β線量、吸収γ線量、吸収宇宙線量は、それぞれ 1.40Gy 、 1.54Gy 、 0.16Gy である。これらすべての線量を合計すると 3.42Gy となった。TL測定により評価された試料NSY-01-R01の蓄積線量は $3.45 \pm 0.55\text{Gy}$ であり、本仮定に基づいて評価した推定吸収線量 3.42Gy とよく近似する結果となった。同じく創建期の瓦と考えられる試料NSY-02-R01およびNSY-02-R02でも同様の仮定に

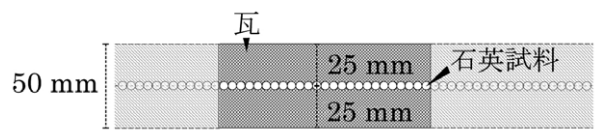


図8. 仮定⑥および⑦の概念図

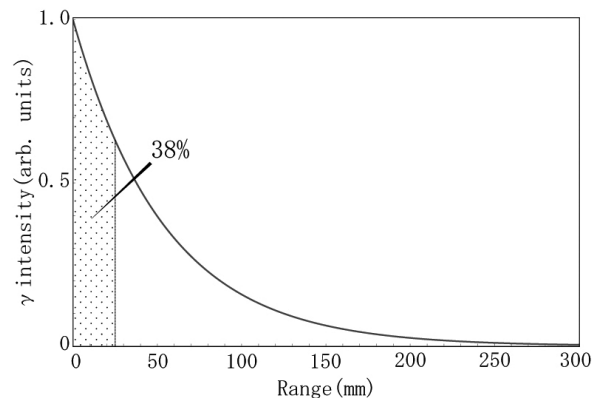


図9. γ線減衰曲線と距離25mm範囲の影響率

基づいた検討を行った。その結果、試料NSY-02-R01では、推定される吸収線量が、西暦750年から西暦962年までの間が 0.47Gy 、西暦962年から西暦2010年までの間が 3.68Gy となり、合計で 4.15Gy となった。この推定吸収線量も、TL分析の結果求められた試料NSY-02-R01の蓄積線量 $4.12 \pm 0.63\text{Gy}$ とよく近似する結果となった。試料NSY-02-R02も、西暦750年から西暦962年までの間が 0.35Gy 、西暦962年から西暦2010年までの間が 3.12Gy となり、合計で 3.47Gy 、評価された蓄積線量 $3.48 \pm 0.81\text{Gy}$ とよく近似する結果となった。

さらに、瓦の考古学的な推定年代が他の3試料よりも数十年下ると考えられる試料NSY-01-R02およびNSY-01-R03についても同様の仮定のもとで検討を行った。その結果、推定吸収線量はNSY-01-R02が 5.14Gy 、NSY-01-R03は 4.54Gy と評価された。測定により評価された両者の蓄積線量は、 $4.85 \pm 0.69\text{Gy}$ および $4.74 \pm 0.50\text{Gy}$ であり、比較的近似しているものの他の3試料に比べると近似性

は悪い結果となった。これは、考古学的な年代が他の3試料よりも下の試料であることから、先述の10の仮定のうち仮定①及び②が成り立たない為とも考えられる。また、他の3試料と異なった埋蔵過程を辿った可能性も考えられる。今後測定数を増やし、検討を重ねていく必要があるが、以上の検討結果から、新薬師寺旧境内遺跡発掘C区出土瓦が用いられていた建築物は、『東大寺要録』が伝える西暦962年に倒壊し埋没したものである可能性が強く示唆される。なお、この検討結果から表1に示した蓄積線量は実際の年代に対して過小評価されたものであり、表3に示した年間線量は過大評価されていると考えられる。従って、表4に示したTL年代値を基に新薬師寺旧境内にあった伽藍の成立過程を検討することは適当ではない。

本研究の結果から明らかとなったのは以下の6点である。(1) 測定対象とした5点の瓦は、新薬師寺旧境内の伽藍整備期に焼成されたものと考えられる。(2) 測定対象とした5点の瓦のうち、NSY-01-R01、NSY-02-R01、NSY-02-R02の3試料は、同時期に焼成されたものである。

(3) 試料NSY-01-R02およびNSY-01-R03は、他の3試料と年代や埋没過程に違いがある可能性がある。(4) 西暦780年の西塔焼失の際の被火の痕跡は認められない。

(5) 西暦962年の大風による倒壊時に大規模な火災が起きた証拠は認められない。(6) 分析試料が用いられていた建築物は8世紀中頃に建てられ10世紀中頃に倒壊・埋没したと考えられる。

5. 3. 今後の展望

今回、年間線量の変化を論じる際に、非常に単純化した仮定を置いた。実際には、土中と屋根上では含水率に大きな差が生じることが想定されるし、屋根瓦利用時には瓦以外の建築材からの γ 線影響も少なからず存在するだろう。しかし、結果として評価された推定吸収線量は分析結果と非常によく近似するものであり、この仮説は一定の有意性を含むものと判断している。ゆえに、年代値が若く評価された原因を検討する仮説として実効的なものであると考えている。今回測定対象とした瓦の他に新薬師寺旧境内遺跡でサンプリングした試料が11点あり、現在測定の準備を進めている。本研究で見出された蓄積線量の過小評価傾向が同様に観測されるか否かが注目される。同様の傾向が認められるならば、さらに詳細に検討を重ねることで、本研究で提案した仮説をより確かなものとすることもできると考えている。

今回検討した瓦の利用期間に着目した仮説は、文献資料や考古学的成果から創建年代は明らかなものの廃絶年代に関わる情報が欠落している建築物の存続年代について、大まかな指標を提供できる可能性がある。特に、文献上も考古学上も火災の痕跡・証拠が求められない場合

には有効といえるだろう。創建年代に対し複数試料がまとまって若い年代を示す場合、創建から廃絶までに期間をいくつか設定し、測定値に対して近似する年代幅を見出すことで、建築物が存在していた期間をある程度想定し得るのではないだろうか。蓄積線量の評価精度や埋蔵状況の変化など、様々な問題も含まれるが、考古学的に有益な情報が得られない場合などには、検討材料を提供することもできるだろう。今後、本研究と同じ仮定の成り立つ分析試料の収集・研究を重ね、建築物を対象にした新たな研究手法としての可能性を探りたい。

謝 辞

本研究で測定対象とした奈良教育大学構内新薬師寺旧境内遺跡出土瓦片は奈良教育大学の金原正明教授からサンプリングの機会をいただいた。また、金原正明教授および株式会社アコードの文化財調査士である島軒満氏から本研究に関する有益なご助言を賜った。この場を借りて、両氏に感謝の意を表したい。

参考文献

- (1) 金原正明 (2009) 新薬師寺旧境内, 大和を掘る27 2008年度発掘調査速報展, 奈良県立橿原考古学研究所附属博物館, p33.
- (2) 金原正明 (2010) 新薬師寺旧境内 2009年度調査, 大和を掘る28 2009年度発掘調査速報展, 奈良県立橿原考古学研究所附属博物館, p37.
- (3) 筒井英俊 改訂 (1944) 東大寺要録, 全国書房.
- (4) 直木孝次郎 他訳注 (1992) 続日本紀4, 東洋文庫 548, 平凡社.
- (5) 東京大学史料編纂所編 (1987) 大日本古文書 正倉院編年文書, 東京大学出版会.
- (6) Kennedy, G. C. and Knopff, L (1960) Dating by thermoluminescence, *Archaeology*, 13, pp.147-148.
- (7) Ichikawa, Yoneta (1965) Dating Ancient ceramics by Thermoluminescence, *Bulletin of institute for chemical research, Kyoto University*, vol.43, No. 1, pp.1-6.
- (8) Ichikawa, Y., Nagatomo, T. and Hagihara, N. (1978) Thermoluminescent dating of Jomon pattern pottery from Taishaku valley, *Archaeometry*, vol. 20, PART 2, pp.171-176.
- (9) 青木智史, 長友恒人 (2007) 熱ルミネッセンス年代測定法を用いた法蔵寺鳴滝乾山窯の操業時期推定, *東洋陶磁*, 第三十六号, pp.27-37.
- (10) 長友恒人 (1999) ルミネッセンス法, *考古学のための年代測定入門*, 古今書房, pp.59-76.
- (11) Aitken, M.J (1985) *Thermoluminescence Dating*, Academic Press.
- (12) Adamiec, G., Aitken, M. (1998) Dose-rate conversion factors: update, *Ancient TL*, Vol.16-2, pp.37-50.
- (13) 長友恒人 (1999) ルミネッセンス法, *考古学のための年代測定入門*, 古今書房, p73.
- (14) Zimmerman, D. W (1971) Thermoluminescent dating using fine grains from pottery, *Archaeometry*, vol. 13, PART 1, pp.29-52.

- (15) 長友恒人, 西村誠治 (2004) 唐招提寺金堂基壇の磚のTL年代測定, 日本文化財科学会第21回研究発表要旨集, pp.6-7.