

## 熱ルミネッセンス年代測定法の現状と火山活動史への応用

高島 勲

〒010-8502 秋田市手形学園町 1-1

秋田大学工学資源学部素材資源システム研究施設

e-mail : takasima@ipc.akita-u.ac.jp

## 1. はじめに

熱ルミネッセンス (TL) 年代測定は 1950 年代から研究が進められてきたており、考古学を中心対象として主に西欧諸国で発展してきた。それらの測定対象は主に堆積岩であり、1980 年代から研究が本格化した光励起ルミネッセンス (OSL) が最近の主流である。OSL は堆積岩については最適の手法であり、数十年という非常に若い年代も測定可能であるが、処理を完全暗室で行わなければならないこと、装置がかなり高価なこと、 $\beta$ 線源付きで実験室の条件が厳しいことなどの条件がある。

火山岩については、日本が研究の中心であり、遺跡の発掘に関連した火山灰層の TL 年代測定が多数行われた (市川, 1988 ; 橋本ほか, 1993 ; 長友, 1993)。しかし、同一地層とされる試料の測定結果があまりにも広い年代範囲になるため、TL 年代の信頼性に疑問を持つ地質研究者は多いと予想される。個別のデータについての情報を吟味したわけではないので、年代の不一致の原因を詳細に議論するには困難を伴うが、主因として、①測定者の認識と異なる地層の測定の可能性、②再堆積層試料で層序と一致しない年代を求めた可能性、③TL 法の原理上の誤差要因を排除できない試料への適用、などが考えられる。①、②の誤差要因排除のためには、確実な地質情報が必要であり、対象地域の地質に詳しい地質研究者との連携が非常に重要である。③の誤差要因排除のための試料選択の問題はこれまであまり取りあげてこなかったが、信頼性の高い TL 年代を得るためには、決定的に重要な要因である。本報告はその点に焦点を当てて解説を行う。

## 2. TL 法の原理と特徴

TL 法は放射線計測の応用であり、地層中の石英等の鉱物が周辺の岩石から受けた放射線及び宇宙線の総量を熱発光量として求め (定量化のために線量既知の人工照射を行う)、1年間当たりの放射線量 (U, Th, K の化学分析値等から計算し、宇宙線量を加えて評価する) で割ることで年代を得る

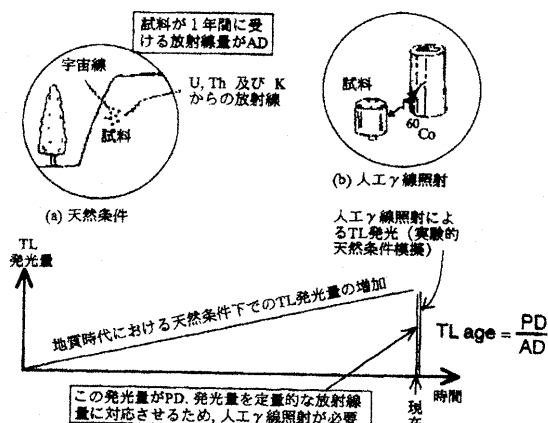


Fig. 1 Schematic explanation of TL dating(modified from Takashima (1995)).

ことができる (Fig.1)。原理は簡単で測定も容易であるが、正確で信頼できる年代値を求めるためには試料や対象鉱物の選択が重要となる。これまでに、断層粘土や土器など非常に多くの地質、考古学試料の測定が行われてきているが、火山岩中の石英についての測定が最も信頼性が高い (年代範囲は数百年~50 万年程度)。我々の研究室で測定した TL 年代を既存の他の手法と比較したものを Fig.2 に示した。この図のデータは比較的古いものであるが、近年、福岡大学の研究者を中心に  $^{14}\text{C}$  との比較データ (奥野ほか, 2005 ; 稲永ほか, 2006 ; など) が多く出されており、精度・信頼性はほぼ証明されている。なお、それらのデータは、本報告で強調している試料選択の基準を満たしているものである。

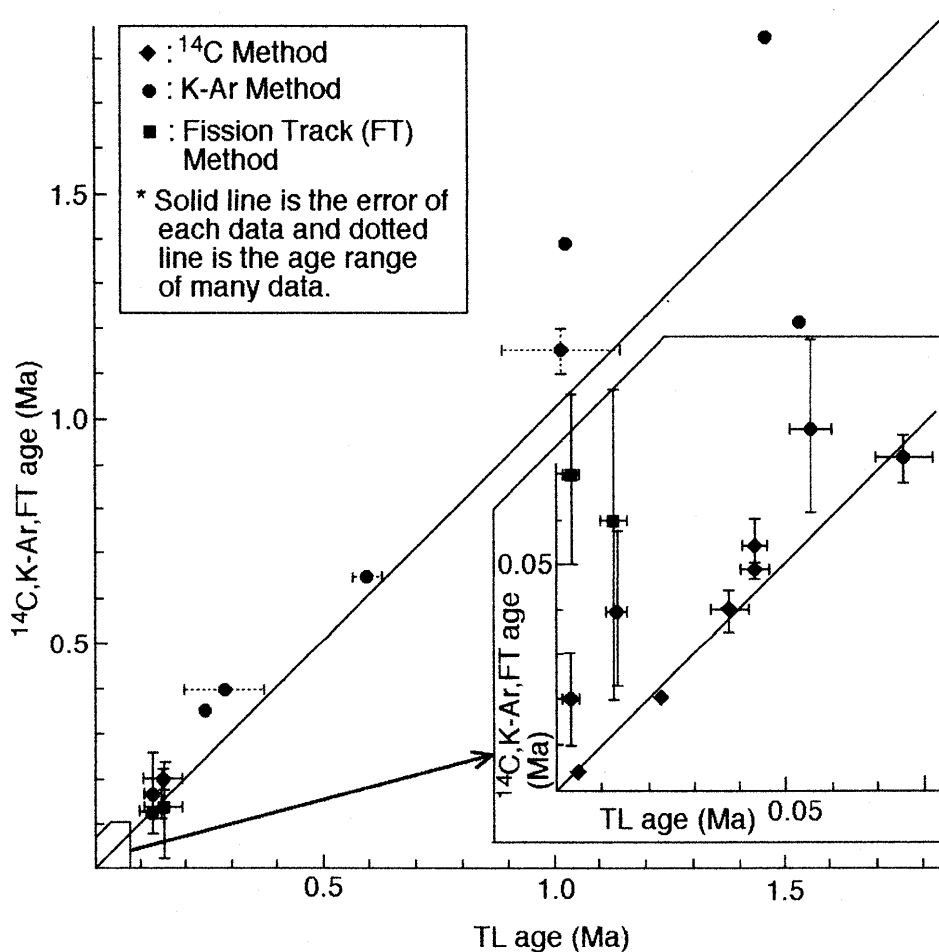


Fig. 2 Comparison of TL age with data from other dating methods (after Takashima (1995)).

TL 法はまだそれほど普及していないため、発光測定装置は自作する場合が多い (筆者の研究室も自作)。部品代 70 万円程度を準備すれば、簡単に組み立てられることから、国内数カ所及びタイの姉妹校等への設置がなされ、多くのデータが出されている。他の石英分離等の試料処理は通常の地質研究室に一般的に装備されているもので十分なので、どこでも容易に年代測定が行える。放射線 ( $\gamma$ 線) 照射はやや特殊だが、RI センターや研究目的での照射を無料で提供している (社) 日本アイソトープ協会甲賀研究所を利用させてもらうことで目的を達成できる。

火山岩の試料処理は、石英分離と放射線測定 (U, Th, K の定量) のための粉砕である。石英は 0.25

mm程度の粒度で分離し、300mg程度以上を確保する。放射線測定用は機器の種類にもよるが、50-300gで1mm以下の粒度が普通である。一般的な試料必要量は500g程度である。なお、U, Th, Kを外注依頼する場合は必要試料の量はさらに少なくてよい。我々の研究室で行っている試料処理・

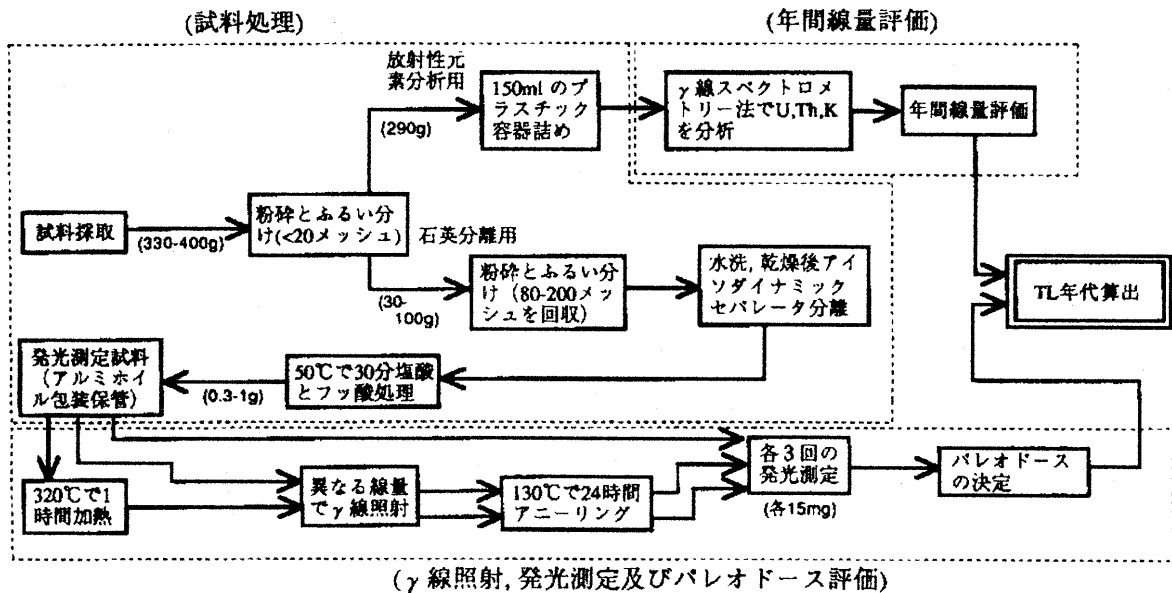


Fig. 3 Procedure of sample preparation and TL measurement (after Takashima (1995)).

測定手順を Fig.3 に示した。より詳細な測定，試料処理については Takashima and Watanabe (1994)，山縣ほか (2004) を参照されたい。

### 3. 信頼できる年代を得るための試料の選択

筆者らは、信頼できる TL 年代を求めるためには試料の選択が重要であることを指摘してきた (Takashima *et al.*, 2002 ; 高島・エディ スチプタ, 2004)。固結した緻密な岩石は、年間線量評価に影響を与える堆積時から現在まで元素の移動や水分量の変動がなく、年代測定で必須の要件である閉鎖系の確保が期待できる。TL 測定の誤差・信頼性に係る要素の多くは試料が堆積してからの地質環境の変化によるものが多い。水中に堆積した地層が離水した場合や地下水流動による元素移動は確実に TL 年代を変動させる (Fig. 4)。

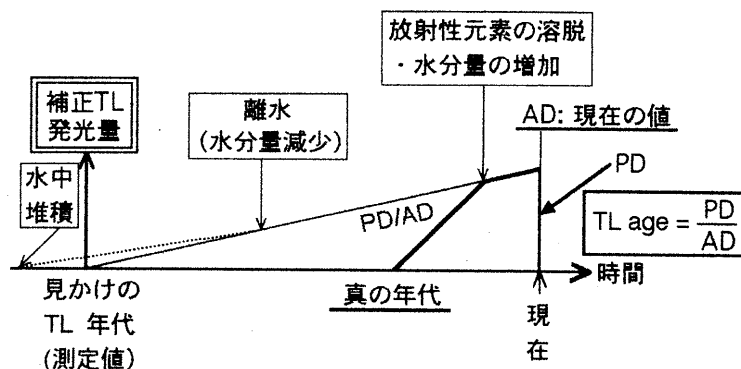


Fig. 4 Explanation of TL age error by geological processes.

高島・エディ スチプタ (2004) は、閉鎖系確保に係る固結度に加え、水中・陸上堆積という地質的条件を考慮した試料条件に基づく TL 年代測定の信頼性を A, B, C, D という4区分にランク分けすることを提案した。

ランク A: 固結した溶岩や溶結凝灰岩を対象とする。地下水の通過がないので、堆積時から現在の試料採取時まで成分変化や水分量変動の危険性がない。このような試料について、石英粒径を確実に測定し、宇宙線見積りのための地形解析等補正を完全に行う。このランク A の中でも、U, Th, K の含有量が高く、年間線量が 2mGy/年を超えるものは、放射性元素分析の精度が高く、宇宙線見積りに多少の不確定要素があっても年代に係る誤差が無視できるほど少ないので、最大級のランク A+となる。ランク A+は真の年代からの隔たりが 10%以下、ランク A は同じく 15-20%程度と予想される。

ランク B: 火山灰や未固結火砕流のように多孔質で地下水の流動がある試料を対象とする。これらの試料では、地下水の流動に伴って放射性元素の溶脱の可能性が考えられる。また、年間線量評価に大きな影響を与える水分量も時間とともに変動した可能性が高い。経験的には、寒冷気候である東北、北海道の火山灰試料の放射性元素溶脱量はゼロかかなり少ない。また、現在の露頭が地表近くになった時に地下水量が増加したと考えられ、年間線量見積りでは水分量ゼロで計算した方が真の年代に近い。このような試料が真の年代からどの程度ずれているかという点は現在検討中であるが、概ね 30%以内に入ると予想される。

ランク C: 水中堆積した火山灰のような、環境変化が確実な試料が対象となる。年代値としては全期間水中と全期間陸上として求めた間のいずれかになる。

ランク D: 溶脱が明らかな試料。1 試料のみでは判定不可能だが、同一層準について 10 個程度の測定が行われれば選別できる。基本的に捨てるべきデータであるが、多数の測定例があれば補正も可能である。

ランク A は溶岩や強溶結凝灰岩、未固結凝灰岩中の溶岩岩片など、ランク B は未固結凝灰岩など、ランク C は水中堆積した凝灰岩などで水分量の極端な変動が予想されるものである。

また、最近の研究で試料の続成変質 (スメクタイト等の存在) が TL 年代の若返りを生ずることが判明した (Takashima *et al.*, 2004) ことから、ランク分けとは無関係に、X 線回折による粘土鉱物の検討を行い、続成変質した試料を TL 年代測定から排除することが必要と考えられる。

#### 4. 東北・北海道地域の測定結果概要

本報告では、これまで行ってきた測定のうち、東北と北海道の 16 地域 (Fig.5) の TL 年代について、未公表データを含め上記の基準を基に総括する。年代範囲は、沼沢火山の数千年から七つ森火山の 1.5Ma まで、第四紀全体をほぼカバーする。

ランク A は、十勝、鬼首・鳴子、白河などの強溶結凝灰岩、ニセコ (尻別岳)、むつ燧岳、鬼首高日向山、七時雨山などの溶岩が該当する。ランク B は、支笏、鳴子、安達、肘折などの未固結火砕流、火山灰などが該当する。ランク C は、鬼首のカルデラ湖に堆積した軽石流が該当する。

以上の内、鬼首・鳴子地域については、本報告の試料選択を重視した初めての総括的 TL 測定結果として報告した (高島ほか, 2006)。それ以外のいくつかの地域については予察段階であるが、次のようにまとめられる。

(1) 北海道十勝地域: 十勝 WT が 0.31~0.45Ma, 美瑛 WT が 0.46~0.58Ma, 雨月沢 WT が 0.64~0.76Ma となり、既存データよりかなり若くなる。

(2) 北海道ニセコ: 尻別岳溶岩が 33~36ka となり、これまでいわれていた洞爺 WT (約 10 万年) より古いという説を覆した。

(3) 岩手県七時雨山: 山頂溶岩が 0.23~0.30Ma となり、テフラから推定されていた最新期の

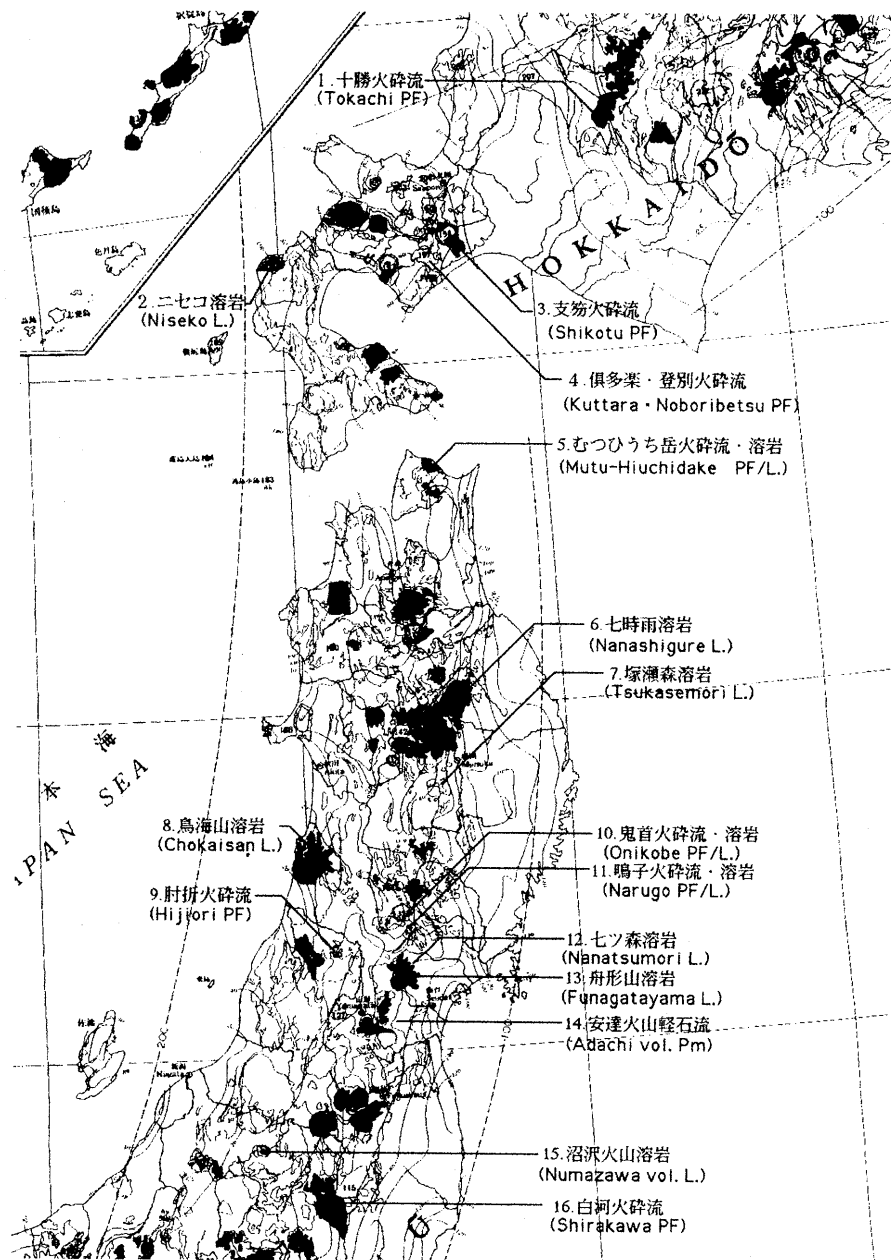


Fig. 5 Location of 16 areas for TL dating of volcanic rocks  
(Base map is from Ono *et al.* (1981))

活動と調和的なデータが得られた。

(4) 福島県白河：白河 WT が  $0.97 \sim 1.02\text{Ma}$  となり、K-Ar 年代とほぼ調和した年代となった。50 万年より古い試料については、続成作用による若返り等の吟味が必要だが、条件が良ければ 2 百万年程度まで測定可能である。

### 謝辞

本報告は、2005 年度の名古屋大学年代測定総合研究センターシンポジウムにおける講演をまとめたものである。講演ならびに本報告執筆の機会を与えて下さった、同研究センターの中村俊夫教授に厚くお礼申し上げます。

## 引用文献

- 市川米太 (1988) : 馬場壇 A 遺跡関連の TL 年代. 馬場壇 A 遺跡 II, 東北歴史資料館資料集, no. 23, 東北歴史資料館, 53-54.
- 稲永康平, 奥野 充, 高島 勲, 鮎沢 潤, 小林哲夫 (2006) : 南九州, 入戸火砕流堆積物の熱ルミネッセンス年代. 福岡大学理学集報, **36**, 1-6.
- 橋本哲夫, 能登谷信, 白井更知 (1993) : 高森遺跡関連地層からの石英素粒子を用いた赤色熱蛍光 (RTL) 年代測定. 高森遺跡 II, 東北歴史資料館資料集, 東北歴史資料館, no. 35, 43-52.
- 長友恒人 (1993) 高森遺跡関連テフラの熱ルミネッセンス年代測定. 高森遺跡 II, 東北歴史資料館資料集, 東北歴史資料館, no. 35, 39-42.
- 奥野 充, 前垣内勇作, 高島 勲, 中村俊夫, 稲永康平, 小林哲夫 (2005) : 放射性炭素および熱ルミネッセンス年代測定による鍋島岳火山の噴火年代の検討. 福岡大学理学集報, **35**, 14-48.
- 小野晃司, 曾屋龍典, 三村弘二 (1981) : 日本の火山 (第 2 版). 200 万分の 1 地質図, 地質調査所.
- Takashima, I., Mori, Y. and Mukaikubo, A. (2002) : Standardization of thermoluminescence dating of volcanic rocks—Proposal of grade check for reliable geological age—*Advance in ESR Application*, no. 18, 177-179.
- Takashima, I., Nazuri, A.A., Lim, P.S, Koseki, T., Mouri., Nasution, A. and Eddy Sucipta, I.G.B. (2004) : Thermoluminescence age determination of Quaternary volcanic rocks and alteration products at Tawau area, Sabah, Malaysia. *J. Geotherm. Ses.Soc. Japan*, **26**, 273-283.
- Takashima, I. and Watanabe, K. (1994) : Thermoluminescence age determination of lava flows/domes and collapsed materials at Unzen volcano, SW Japan. *Bull. Volcanol. Soc. Japan*, **39**, 1-12.
- 高島 勲 (1995) : 熱ルミネッセンス年代測定—特に石英による火山岩類の測定精度について—. 第四紀研究, **34**, 209-220.
- 高島 勲, エディ スチプタ (2004) : 東北及び北海道の第四紀火山岩の熱ルミネッセンス年代の総括. 平成 16 年日本地熱学会講演要旨集, 15.
- 高島 勲, 村上英樹, ディク グエン ホン, エディ スチプタ, 毛利陽司, 柴田能辰 (2006) : 鬼首・鳴子カルデラ周辺の後期更新世火砕流堆積物及び火山岩の熱ルミネッセンス年代. 岩石鉱物科学, **35** (2) (in press)
- 山縣武彦, 高島 勲, 渡辺公一郎, 井沢英二 (2004) : 熱ルミネッセンス法による新期雲仙火山溶岩ドームの年代測定—妙見火山以降 2 万 5 千年の噴火活動史—. 火山, **49**, 73-81.