

考古学へのFT法の応用と可能性

檀原 徹*

Application and possibility of fission-track method to archaeology Tohru Danhara*

* 株式会社京都フィッション・トラック, Kyoto Fission-Track Co., Ltd

はじめに

かつてFT法は、黒曜石石器や人工ガラスなど考古学遺物の年代測定に広く応用されていた (Fleischer et al., 1965; Watanabe and Suzuki, 1969; Nishimura, 1971など)。この背景には、考古学が多くの自然科学分析技術の実験場であることが、大きく関係していると思われる。我国では1970～80年代にかけ多くの研究が公表されているが、1990年代以降研究例は激減する。この原因は、考古学試料を多く手掛けてきた西村・鈴木両氏が一線を退いたことと、1990年代のゼータ校正の導入(Hurford, 1990)にあったと考えられる。FT法はゼータ校正導入に至る1980年代の様々な議論を経て精密かつ規格化された手法となり、特に地質学分野で低温領域の熱年代学ツールとして不動の位置を確立した。その結果、FT研究者の大部分は熱年代学および関連する分野で占められるようになるのは当然の成り行きであった。加えてAMSを用いた¹⁴C年代測定の普及やESR・TL・OSL・(U,Th)/He・U-Pb年代測定の進歩に伴い、若い年代測定におけるFT法の優位性が低下してきたことも影響している。したがって今後は、FT法の特性をより活かす研究の方向性を見極めることが重要である。

今回筑波大学プレ戦略イニシアティブ「西アジア文明研究センター」との共催企画として開催された共通セッション「考古学との連携」に参加した機会に、FT法の考古学分野への関与の可能性を再度見直すとともに、原子炉利用が困難となりつつあるFT法の今後を見通し、対応と将来について議論する。

FT法の強みとは何か？

他の年代測定法と比較した時、FT法の最大の特徴は、リセット年代測定やFT長測定を利用した被熱解析が可能なことにある。ここでは考古

学を人類紀 (= 第四紀) における人間活動の歴史科学とみなし、その中でどのようにFT法を活用するのが効果的かを考えたい。

考古学分野への自然科学の応用としては、大きく4つの分野が考えられる。①年代測定、②産地同定、③真贋判定および④環境解析である。これらのうちFT法が適用されてきたものは、①年代測定と④環境解析 (より限定すれば被熱解析) である。年代測定においては、若い火成岩やテフラの噴火・定置年代内を測定するだけでなく、溶岩や火砕流堆積物が流下して昇温させた「焼土」を用いてリセット年代を得ることも可能である (Danhara et al., 2002後述)。一方被熱解析では、松崎ほか (2004) が溶岩や火砕流の下位層からFT長解析により被熱影響圏を定量化するとともに、溶岩や火砕流の定置温度を推定した例や、縄文遺跡の集石土坑中の「焼石」の被熱を検証した例 (檀原・岩野, 1994後述) がある。

このようにリセット年代測定やFT長を利用した被熱解析は、FT法の特長 (= 強み) を発揮できる分野であり、十分活用すべきで、特に古人類による火の使用の検証へのFT法の適用は、手法的有効性の可能性を引き出すチャンスとなるだろう。ただしジルコンやアパタイトといった測定対象鉱物の抽出が当然不可欠であり、破壊分析になることはやむを得ない。

FT法の応用例

本稿では「焼土」を対象にしたリセット年代測定と、「焼石」を対象とした被熱解析を例示して説明する。

「焼土」のリセット年代測定 (韓国全谷里旧石器遺跡)

全谷里 (チョンゴリ) 遺跡は韓半島中央部38度線の南に位置し、ハンドアックス型石器が韓国で最初に表採され旧石器研究の端緒となった遺跡とし

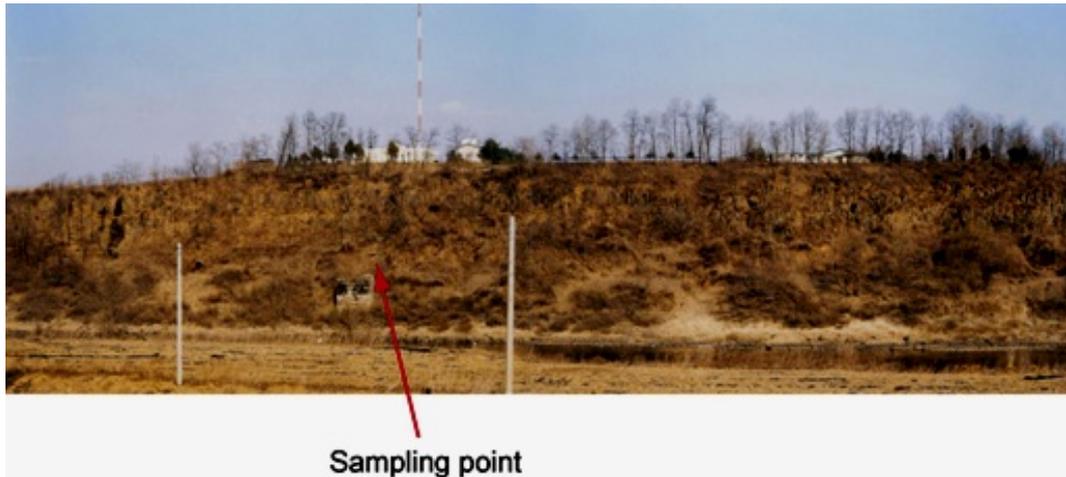


図1 全谷里遺跡玄武岩直下「焼土」採取地点全景

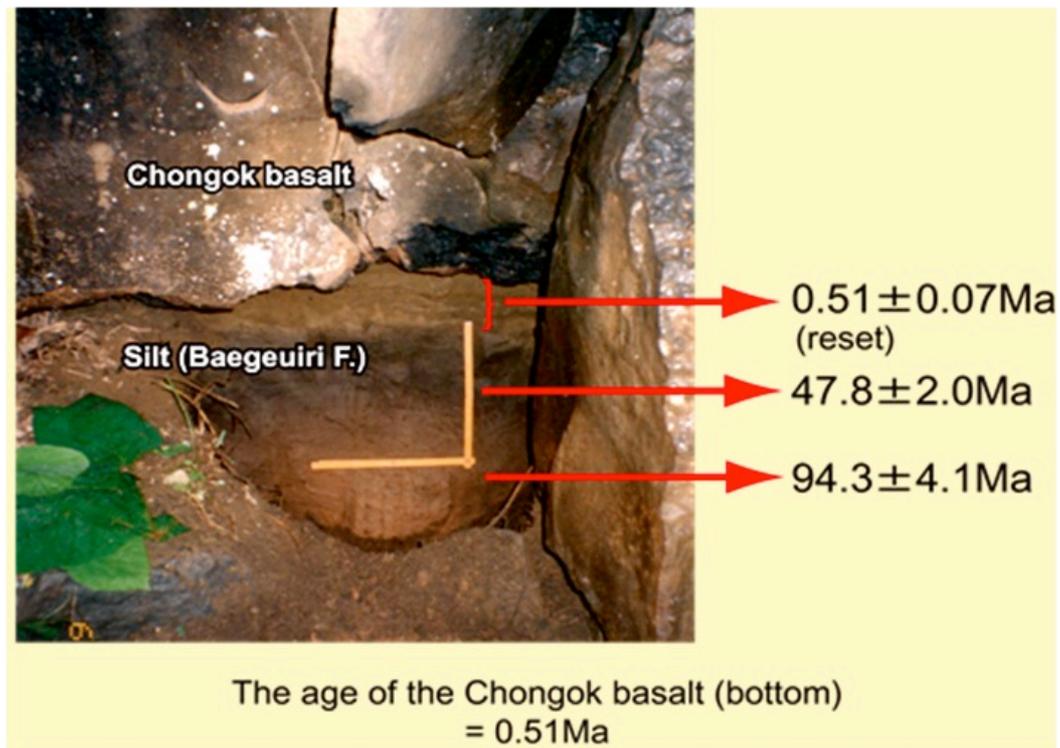


図2 図1地点「焼土」層の詳細

て著名である(松藤ほか, 2008)。基盤の片麻岩上に、全層厚10m以内の第四紀堆積層（上部はレス層）が載る。5層準以上の遺物包含層が認定され、最古の層準は挟在する玄武岩層の年代測定やレスー古土壌サイクルの研究から35万年以前と推定された。広大なオープンサイトの遺跡（群）であることから、各種の手法で多角的に調査・研究されている。

全谷里遺跡での最大の問題は、玄武岩層の枚数

と正確な年代測定であった。まず野外での露頭調査で玄武岩層直下の「焼土」がよく観察できる露頭を見出した(図1)。「焼土」層を色と硬さで3分した。玄武岩直下0~15cmは緑褐色で硬い。その下15~30cmは黒色で急に軟らかくなる。30cm以深は赤色で軟らかい(図2)。各層から分離したジルコンを用い、外部ディテクター法(ED1)でFT年代測定を行うと、玄武岩直下の層では $0.51 \pm 0.07 \text{Ma}$ の非常に若い年代が得られ

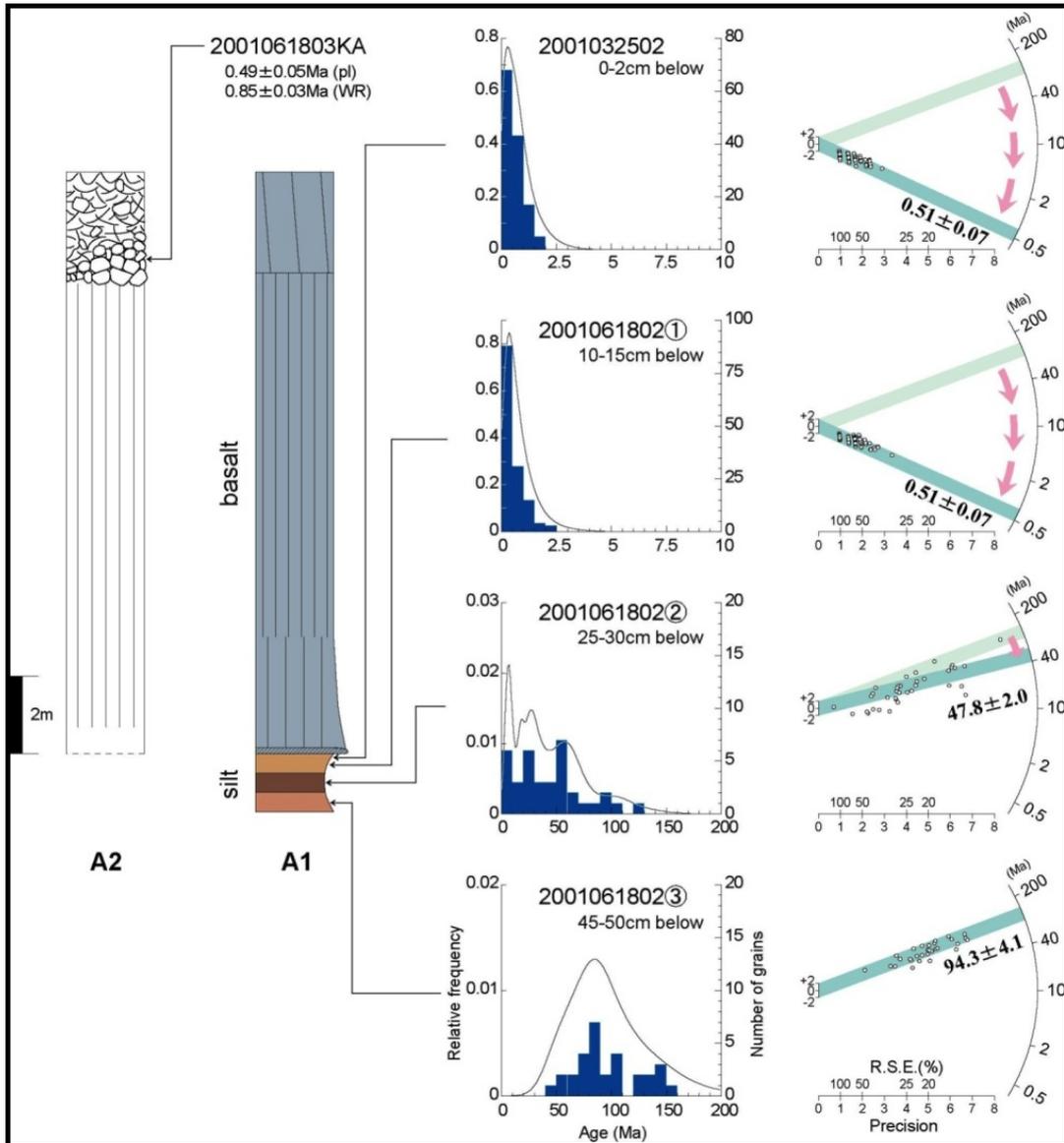


図3 全谷里遺跡「焼土」のFT年代測定結果

た。その下の黒色層では 47.8 ± 2.0 Maが、さらに下位の赤色層では 94.3 ± 4.1 Maが得られた(図2, 3)。これらのFT年代値の関係を図4に示す。上位の玄武岩(定置温度は約 1000°C と推定される)で、焼かれた0~15cm層はリセット年代を示し、その下位の25~30cmではpartial annealing状態となり、45~50cm下位では赤色であるにもかかわらずほぼ熱影響が認められないと解釈される。

神戸市雲井遺跡の「焼石」

考古学遺跡から発見される「焼石」や「焼土」は、古代人の火の使用の有無を検証する重要な試料である。さらにFT長解析を用いると、焼き方の繰り返しパターンやその用途を推定する上

で、重要な情報が得られる可能性がある。火使用の有無は、赤色化やススの付着といった変色の状況から、およその見当が発掘時につけられる。炉跡など焼土の場合には、古地磁氣的検討も広く行われる。しかし加熱後攪乱を受けたり、現位置に止まったことを証明し難い場合には、検証は困難となる。このような場合も、FT長解析により被熱程度を定量化できるFT法は、有効性を発揮できると考えられる。

ここでは雲井遺跡の縄文時代早期の集石土坑中より出土した「焼石」試料を対象に、被熱の有無とその程度を検出した例を示す(植原・岩野, 1994)。試料は赤色化した花崗岩礫(図5)であり、アパタイトは含まれなかった。この礫を切断

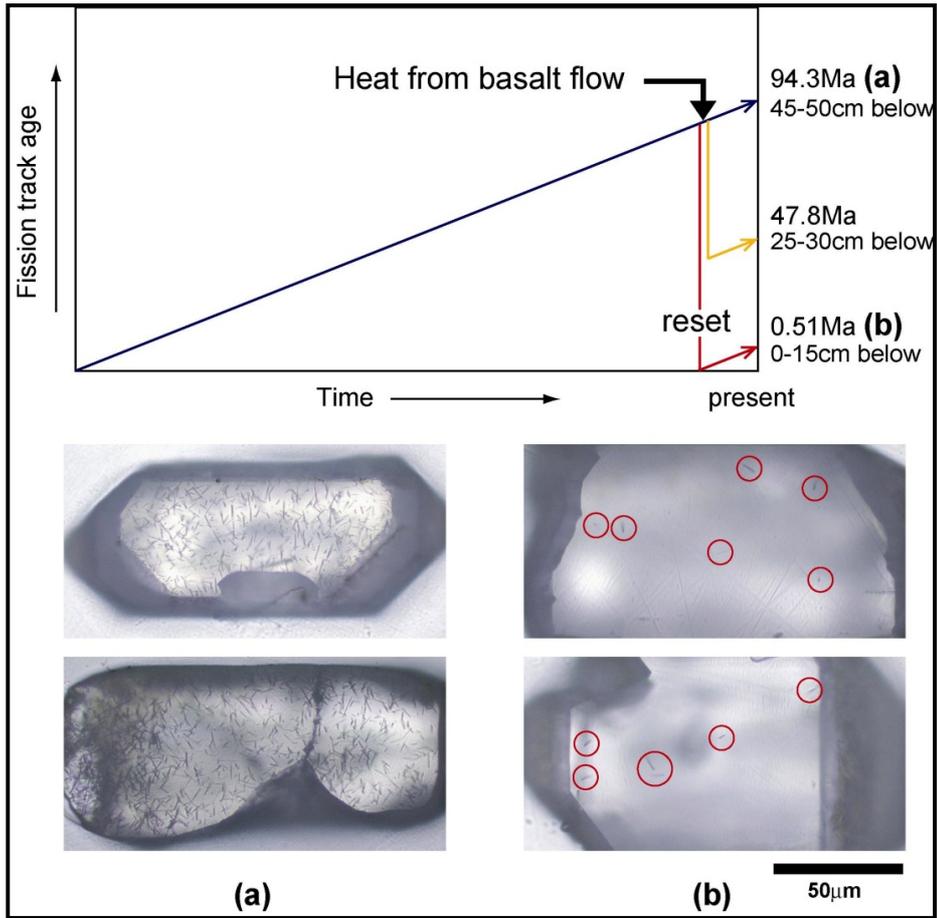


図4 「焼土」中のジルコンのエッチング・トラック像と玄武岩によるリセット年代発生の図解

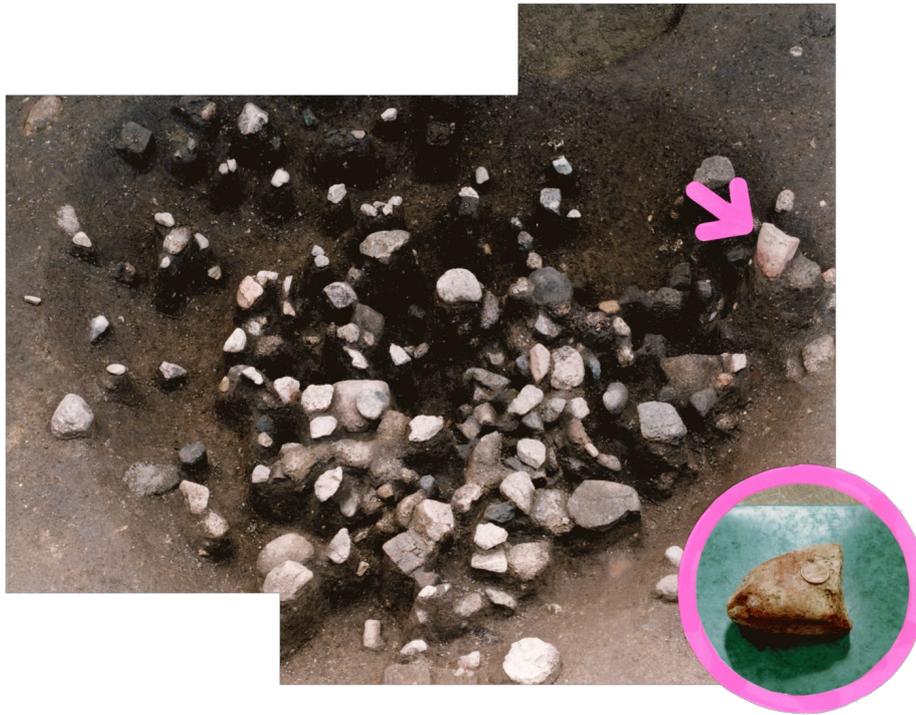


図5 神戸市雲井遺跡跡の集石土杭. 矢印は被熱解析に用いたカコウ岩礫.

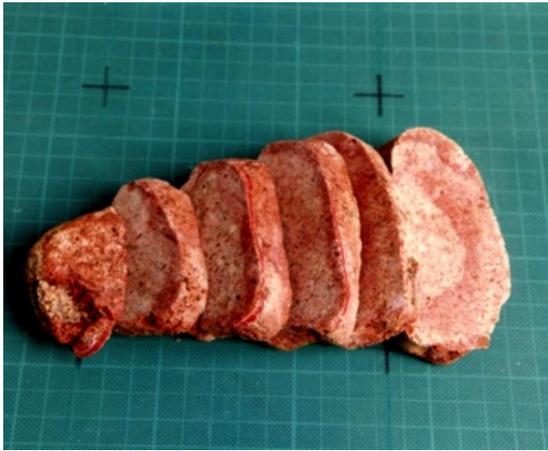


図6. 6片にスライスした「焼石」(赤色化したカコウ岩礫).

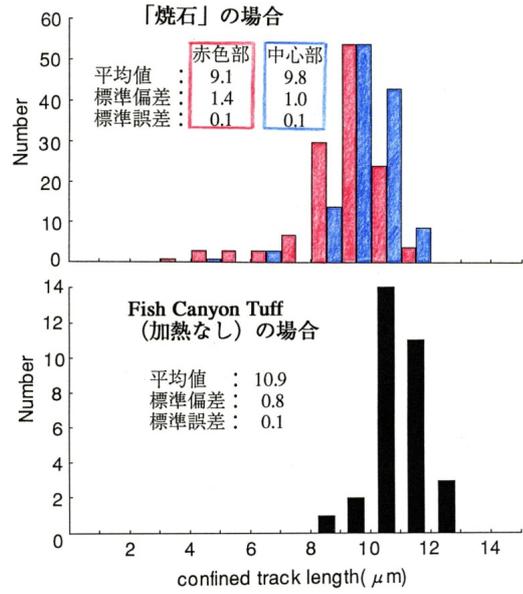


図7. 「焼石」中の赤色部と中心部のFT長分布の違い

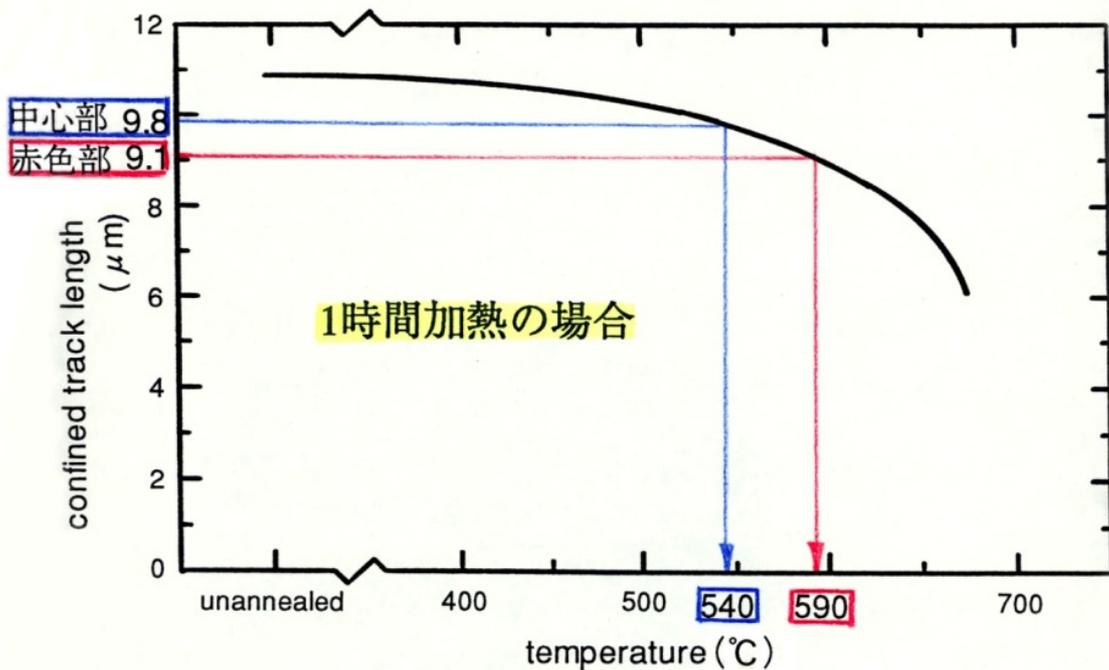


図8 FT長データから換算される赤色部と中心部の加熱温度の違い.

してみると(図6), 赤みがかかった層をもつ部分と変色のない部分が観察される. そこで前者を赤色部, 後者を中心部と便宜上みなし, それぞれの部分をもさらに慎重に切り取りジルコン分離を行った. エッチング後3次元FT長測定システムで測定を行い, 赤色部と中心部のFT長を比較した(図7). その結果赤色部では平均値 $9.1 \pm 1.4 \mu\text{m}$, 中心部では平均値 $9.8 \pm 1.0 \mu\text{m}$ が得られ, 加熱影

響のないとされるFish Canyon Tuffジルコンの $10.9 \pm 0.8 \mu\text{m}$ と比較すると双方とも短く, 赤色部は中心部に対してさらに短いことが判明した. これらの数値を一次元熱伝導方程式を用いシミュレーションを試みた結果, ①熱伝導率から表面から1時間焼かれ, ②その時赤色部は 590°C の加熱に相当すると推定された. この結果は1時間加熱とすると被熱程度が大きいと考えられ, より低温

で複数回焼いた可能性も示唆するものと解釈される。

3.11 東日本震災とFT法の現状

ここまでは従来のFT法（原子炉を利用するため、以後原子炉法と略称する）の枠組内での説明であった。しかし2011年3月11日以降原子炉利用の途を閉ざされた著者が是非強調しておきたいのは、FT法が測定法として次のステップを踏みつつある現状を伝えることである。FT法は原子炉利用を前提とする測定法であったが、今後はLA-ICPMSを利用してU濃度を測定する方法（以後LA-ICPMS法と呼ぶ）に大きく方向転換していくことに選択の余地はないと考えられる。もちろん現在でも京大実験炉の利用は継続されているが、想定される南海トラフ域の連動巨大地震の影響を受けない保証はないのである。したがってFT法を今後も日本で継続するためには、LA-ICPMS法によるFT法の確立を急ぐべきである。単に原子炉法の代替に止まらないことは既に議論した（檀原,1999）。加えてU-Th-Pb年代測定の最近の進歩は、0.1Ma試料を高精度で測定する領域にまで達している（坂田ほか,本会発表）。現時点でのLA-ICPMS法の進歩は、FT法とU-Pb法の同時に可能とするdouble(combined) datingの途を拓き、双方の長所を發揮しつつ、短所を互いに補う機能を持つに至っている。さらにLA-ICPMS法の開発のペースを考慮すると、今後早い時期に（U-Th）/He法の実現も視野に入ってくると思われる。その結果、閉鎖温度の大きく異なる3つの測定法U-Th-Pb法、FT法、（U-Th）/He法が同時に測定可能となるmulti-chronology技術が実現することも夢ではないと考えられる。そうなれば今後測定者はmultichronologistという名称でよばれているようになるだろう。さらに3つの測定法の実現は、考古学試料（当然地質学試料）に対し大きな影響を与えることが明らかである。すなわち、被熱分析において、より広い温度幅での解析が可能となるからである。3.11東日本大震災が我国のFT年代測定環境に与えたダメージは大きいだが、それがFT法だけに取まらないmultichronology技術の発展の契機になるとすれば素晴らしいことである。

文献

- 檀原 徹(1999): ジルコンを用いた第四紀試料の高精度FT年代測定の現状と将来. 月刊地球/号外 No.26, 70-76.
- 檀原徹・岩野英樹(1994): フィッション・トラック長解析用いた”焼石”の検証. -神戸市雲井遺跡墨石土杭中の礫を例として-. 旧石器考古学, 49, 15-21.
- Danhara, T., Bae, K., Okada, T., Matsufuji, K. and Hwang, S. (2002): What is the real age of the Chongokni Paleolithic site? Paleolithic Archaeology in Northeast Asia, Yeonchen Country and the Institute of cultural properties, Hanyang university, 77-116.
- Fleischer, R.L., Price, P.B., Walker, R. M. and Leakey, S.B. (1965b): Fission Track Dating of a Mesolithic Knife. Nature 205, 1138.
- Hurford, A. J. (1990): Standardization of fission track dating calibration: Recommendation by the Fission Track working Group of the I.U.G.S. Subcommiton on Geochronology. Chemical Geology (Isotope Geoscience Section), 80, 171-178.
- 松藤和人編(2008): 東アジアのレス-古土壌と旧石器編年. 280p. 雄山閣.
- 松崎達二・角田地文・石丸桓存・鎌田浩毅・檀原徹・岩野英樹・吉岡哲 (2004): 大規模火砕流による基盤岩への熱的影響の検討-フィッション・トラック方による熱履歴解析-. 応用地質, 45, 238-248.
- Nishimura, S. (1971): Fission Track Dating of Archaeological Materials from Japan. Nature 230, 242-243.
- 坂田周平・平川晋輔・岩野英樹・檀原 徹・平田岳史 (2013): 第四紀ジルコンのU-Pb年代測定～放射非平衡に関するU-Pb法再考～. フィッショントラックニュースレター, 26, 59-62.
- Watanabe, N. and Suzuki, M.(1969): Fission Track Dating of Archaeological Glass Materials from Japan. Nature 222, 1057-1058.