

## FT年代測定システムの自動化は可能か？- 次世代型FT年代測定の構想 -

檀原徹\*・岩野英樹\*・吉岡哲\*・山下透\*

Is automatic measurement for fission track dating possible?

- A plan of the next generation system -

Tohru Danhara, Hideki Iwano, Tetsu Yoshioka and Tohru Yamashita

### 1. 目的

およそ分析一般にわたりその方法論的確立の目標に、「より正確に、より精度良く、より速く」が求められる。フィッション・トラック (FT) 年代測定法は、年代標準試料を用いたゼータ較正法の導入 (Hurford, 1990) により、K-Ar 年代値などと比較可能な基準が与えられ、測定値の正確さ (精度) を保証できた。しかしながら、本来機器分析が理想である放射年代測定法の中で、FT 法だけが機器・自動測定化が達成されておらず、測定精度・分析速度については他の手法に完全に取残されている状況にある。例えば、測定者が行うトラック計数は1試料に数時間必要で、20-30粒子を対象としたルーチン測定では5%程度かそれより低い測定精度しか得られない。また、ウラン濃度測定には原子炉照射が必要で、そのため分析期間が数ヶ月に及んでしまう。すなわち、現状のまま精度・速度の向上を図るには多大な人的労力を要し、またそれには限界がある。

石油公団研究員の R. Sorkhabi 氏はアリゾナ大学から日本に戻って来た直後、著者 (檀原) に対し、「現在のFT年代測定に最も求められるものは精度です。精度の向上こそが問題なのです」と語ったことがある。米国内での他流試合の中で戦ってきた彼が痛感したのがFT年代値の精度の低さだったことは容易に想像できる。最近 (U-Th)/He 年代測

定がにわかに脚光を浴び始めたが、新しい熱史ツールとしてだけではなくその簡便さと高精度にも魅力があるからに違いない。

このような状況の中、著者らはFT法の飛躍的改良、すなわち省力かつ高精度・高速化には機器測定の導入しかありえないと考えている。ここでは機器・自動測定を基本とする次世代型のFT年代測定法の構想について述べてみたい。

### 2. 次世代型 FT 法の戦略

従来のFT年代式 (簡略式) は下式で示される。

$$T = \zeta(\rho_s/\rho_i) \Phi, \quad (1)$$

ここで、Tは年代値、 $\zeta$ はゼータ値、 $\rho_s$ 、 $\rho_i$ はそれぞれ自発、誘導トラック密度、 $\Phi$ は熱中性子線量である。しかしここで、上記測定値をいかに自動測定するかというこれまでの考え方をやめ、機器測定を導入させるにはどうしたらよいかという観点で考えた時、次世代FT年代測定法の成立に2つのポイントがある。第1は自発トラック密度 ( $\rho_s$ ) 計測の自動化であり、第2はウラン濃度 (C) の測定の機械化である。両測定値を得ることによって、FT年代値は、

$$T = A(\rho_s/C), \quad (A \text{ は定数}), \quad (2)$$

の式でより単純に与えられる。

\*株式会社フィッション・トラック Kyoto Fission Track Co., Ltd

## 2.1. 自発トラック計測の自動化

FT の識別・計数の自動化について、従来画像処理による試みがなされてきた (Wadatsumi et al., 1988; Schwarze et al, 1996) が、未だ実用化に至っていない。この主な原因は、正確なトラック識別の基礎が弱かったことにある。すなわち、人間 (測定者) の行う、非常に複雑かつ高度なパターン認識に基づいて識別された“トラック”について、正確に定義づけできなかつたため、画像処理では全く同様の作業が行えなかつたといえる。この点で、鉱物とディテクター上の誘導トラックの1対1対応実験 (Iwano et al., 1992) によって達成できた、“真の”トラック・リファレンスは、トラック計数の自動化への最初のステップとして重要である。しかしながら、現在のままのエッチング法ではトラック以外のディスロケーションや傷までもエッチングされてしまい、正確な画像処理は依然困難なのは明らかである。

自発トラック計測の自動化には、エッチングに代わる別のトラック観察法で、自動測定 (画像処理) しやすくさせることが重要である。最近、従来のエッチング (トラック径を 300 倍以上に拡大させる) を行わず、薄い電解液処理でトラックのみを固定する基礎実験に成功した (檀原ほか, 1997)。この方法では原則的にアモルファス部分 (すなわちトラック) だけが反応していると考えることができ、それによってディスロケーションのような計数におけるノイズがなくなるため、単純に画像処理に移行できる可能性がある。現時点では実現できていないが、固定されたトラック部分を蛍光発色させて画像処理することが、自動化への可能なアプローチのひとつと考えている。

## 2.2. ウラン濃度測定機械化

研究炉を用いたウラン濃度測定は現在ほぼ確立した水準にある (岩野ほか, 本号参照)。しかし FT 法が原子炉に依存した形では、誘導トラック密度測定時の結晶とディテクター上の計測部位の位

置合わせ精度の向上も含め、FT 法の早期の高精度・高速化には困難が多いと予想される。さらには利用できる研究炉の選択肢が減少しつつある現在、FT 法の存続自身が揺らいでいる。著者らはこれまで、FT 法以外のウラン濃度測定 (評価) 法として、EPMA やアルファ・トラック法などを試みてきたが (檀原ほか, 1992; Kasuya et al., 1993)、全く実用に至らなかった。

一方、SIMS や ICP 質量分析法など、結晶 1 粒子ごとにウラン濃度測定が可能な手法の中で、レーザーアブレーション型 ICP 質量分析法 (LA-ICP-MS) の最近の進歩は著しく、ようやくエキシマレーザーを搭載した ICP-MS で、ジルコン、アパタイトのウランを含む正確な微量成分分析が実現された (Kimura et al., 本号)。この研究は LA-ICP-MS の導入で、研究用原子炉に依存しないウラン濃度測定、すなわち FT 年代測定が達成できることを証明している。この方法によって、熱化の乏しい照射場で問題となった  $^{232}\text{Th}$  などの誘導核分裂の影響はなくなり、ほぼ理想的な FT 法の基礎を築くことができる。



図 1. 従来および次世代型 FT 年代測定法のフローチャート (檀原, 1999)

### 3. 実現に向けて

図1に従来型と次世代型 FT 年代測定の測定手順を比較して示した。上述の2つ機器・自動測定化のポイントのうち、LA-ICP-MS 法が適用されるだけでも FT 法は強力な年代測定法として生まれ変わる。これまで高精度化が難しかった第四紀試料での多数粒子測定が実行可能になり、またテフラ試料のように外来粒子を含みうる場合でも、これまでの色調・晶癖・FT 密度など記載的・半定量的基準に加え、LA-ICP-MS による多成分分析値を用いた測定粒子のグルーピング（同起源性）が新しい方法論として期待される。さらに、最近ではほとんど対象にされない鉱物（例えば、雲母、角閃石、ガーネット等など）の年代測定にも大きな寄与をなすであろう。

次世代型 FT 法では、K-Ar 年代測定に依存せず独立した測定系として成り立つことを前提と考えており、壊変定数についても見通しを持っている（岩野ほか、本号参照）。今後実現に向けて検討を進めたい。

### 文献

- 檀原 徹, 1999, *月刊地球*, 号外 26, 70-76.
- 檀原 徹・岩野 英樹・吉岡 哲・森下 祐一・星住 英夫, 1997, *FT ニュースレター*, 10, 1-9.
- 檀原 徹・鈴木 和博・糟谷 正雄・岩野 英樹, 1992, *FT ニュースレター*, 5, 58-60.
- Hurford, A.J., 1990, *Chem. Geol. (Isot. Geosci. Sect.)*, 80, 171-178.
- Iwano, H., Kasuya, M., Yamashita, T., Danhara, T., 1992, *Nucl. Tracks Radiat. Meas.*, 20, 341-347.
- 岩野 英樹・吉岡 哲・檀原 徹, 2000, *FT ニュースレター*
- Kasuya, M., Iwano, H., Danhara, T., 1993, *Nucl. Tracks Radiat. Meas.*, 21, 525-533.
- Kimura, J., Danhara, T., Iwano, H., 2000 *Fission Track News Letter*.
- Schwarze, P.J., Jessell, M.W., Greadow, A.J.W., Kohn, B.P., 1996, *Abstracts of International Workshop on Fission-Track Dating (Gent)*, p.99.
- Wadatsumi, K., Masumoto, S., Suzuki, K., 1988, *J. Geosci. Osaka City Univ.*, 31, Art. 2, 19-46.