

FT法とU-Pb法のノモグラム

檀原有吾*・岩野英樹*・檀原徹*・横山隆臣**・平田岳史**

Nomogram of FT and U-Pb dating methods

Yugo Danhara*, Hideki Iwano*, Tohru Danhara*,
Takaomi Yokoyama** and Takafumi Hirata**

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

** 京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻, Division of Earth and planetary Sciences, Graduate school of Science, Kyoto University

はじめに

FT法において、結晶に蓄積した自発FT密度は、その結晶の年代とU濃度含有量の関数で表わされる(兼岡, 1998)。すなわち、年代が古いほど、U濃度が高いほど自発FT密度は比例して高くなる。FT年代を測定するには自発FT密度の計数が可能であることが前提となるため、古い試料ほどウラン濃度が低く、若い試料ほどウラン濃度が高いことが求められる。これはFT法のみならず、他の年代測定法においても年代と放射性起源同位体濃度とは同様な関係にある(伊藤ほか, 2009)。

FT法では、測定試料中のU濃度と測定可能な年代領域の関係を示したノモグラム(Nomogram)が利用されてきた(Kaufhold and Herr, 1967)。“ノモグラム”とは、計算図表あるいは3変数の関係を表す図表のことで、FT法においてはKaufhold and Herr (1967)らの報告などにより、縦軸にFT年代 (Ma)、横軸にU濃度をそれぞれlogスケールでとり、それらに45° 斜交する自発FT密度 ρ_s (tr/cm²)を等検出強度線として描いている(図1 a)。この図を用いることにより、年代測定の適用範囲が明示され、未知試料の年代測定の可能性や適切な測定条件が容易に見極められる。

一方、U-Pb法ではこれまで比較的古い (> 100Ma) 試料に適用されることが多く、ノモグラムが作成されなかった。しかし最近では、1Maまで適用範囲が広がっており、さらに著者らは、これまで測定が困難であった1Maよりも若いジルコンのU-Pb年代測定の可能性を検討し始めた(詳細は本号の横山ほかを参照)。そこで今回横山ほか(本号)のFTおよびU-Pbデータを用い、両法のノモグラムを作成し、比較した。なおU-Pb法の場合、FT法の自発FT密度に対応するのが、放射壊変起源の²⁰⁶Pb、²⁰⁷Pbの検出強度ある

いは総カウント数となる(表1)。

FT法のノモグラム

まず表2の28試料のFTデータを用いてFT法のノモグラムを作成した。ここで扱われた試料は、若い年代値をもつ試料の年代測定を良好な条件で行うため、高ウラン濃度試料が多く選ばれている。また測定精度を高めるため、若い試料ほど多数粒子(最大で約830粒子)を対象に測定されている。

FT法のノモグラム(図1a)を見ると、FT法が適用可能な自発FT密度の上限はLake Mountain Rhyodacite (LMR)試料(3.7億年, U濃度 90 ppm, $\rho_s = \sim 10^7$ cm²)付近で与えられる。また特異的に高ウラン濃度の2試料(Kirigamine 02(Kiri02), 8000 ppm, およびKirigamine 03(Kiri03) 14000 ppm)は、1Maと若い試料であるにも関わらず、Kawamoto Granodiorite (OD-03)試料(33 Ma)やFish Canyon Tuff (FC3)試料(28 Ma)に匹敵する測定条件を有することが一目でわかる。一方最も若いUnzen Mayuyama 試料(5000年, U濃度240 ppm, $\rho_s = \sim 10^2$ cm²)は、800粒以上測定した(=測定面積を広げた)ことで、妥当な年代測定が実行できていると考えられる。

U-Pb法のノモグラム

今回用いるU-Pbデータはフェムト秒レーザーによるアブレーションでサンプリングを行うため、クレーター径は通常15 μ mとし、1 Maを切るFT年代をもつジルコンに対しては20 μ m径とした。年代測定は基本的にシングルグレイン(単結晶)で行い、測定粒子数はどの年代試料も10粒子で固定した。すなわち、FTデータのように、若い試料ほど信号を多く取得する措置(レーザー径を広げサンプリング量を増やす、測定粒子

表1. ノモグラムの構成

	FT法	U-Pb法
U濃度 (^{238}U)	熱中性子照射した ^{235}U の誘導FT密度から見積もられる値	Nancy 91500(ジルコンスタンダード)による補正值 またはNIST610(ガラス)による補正值
年代	自発FT密度(ρ_s), 誘導FT密度(ρ_i)の計測数から導出	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$, $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ により導出される値
等検出強度線	自発FT密度(ρ_s)	^{206}Pb , ^{207}Pb の検出強度

数を増やすなど)を採っていない。その他の詳しい測定条件は横山ほか(本号)を参照されたい。

今回28試料のうち19試料でU-Pb年代測定データが得られた(表2)。ただし ^{207}Pb - ^{235}U 年代では、 ^{207}Pb の存在量が少ないため、 ^{207}Pb の信号がジルコン表面の鉛の汚染やベースライン補正の影響を強く受けるから(横山ほか, 本号), ここでは ^{206}Pb - ^{238}U 年代データのみを採用している。これらのデータを利用して、横軸にNancy 91500スタンダードジルコンで補正したU濃度, 縦軸に ^{206}Pb - ^{238}U 年代としたノモグラムを作成した(図1b)。今回の実験条件での正確な年代測定が実行できる ^{206}Pb の等検出強度線(下限)はおよそ $\sim 10^2$ countsに対応している。

この図から、同じ1Maの試料でもウラン濃度が非常に高いKiri01, Kiri02, Kiri03の3試料は、今回の測定条件で十分測定できる範囲内にあること、一方ウラン濃度が約100 ppmのPink Tuff (OGPK), Vietnam zircon (VNZ-05) 試料は等検出強度線の下限から下方にプロットされ、今回の測定条件では測定できないことがわかる。実際に測定可能領域外にあるSanbe Kisuki (SK), Sanbe Oda (SOd)試料を測定した結果はFT年代と一致せず、誤差も大きい(表2)。

レーザービーム径を15-20 μm とした時、フェムト秒レーザーでのLA-ICP-MSシステムにおいて、安定した測定ができるウラン濃度-年代領域は、20 ppm-10 Ma, 10000 ppm- 0.02 Maを結ぶ等検出強度線の上方領域になる。このこと

は、ウラン濃度(ppm)と年代(Ma)の積が200 ppm \cdot Ma (=20 ppm \times 10Ma=10000 ppm \times 0.02 Ma)以上であれば測定可能であることを意味する。今回の実験条件では測定が難しいと判断される $\sim 10^1$ counts と $\sim 10^2$ counts の2本の等検出強度線の間にある試料(OGPK, VNZ-05, SKなど)は、検出強度を10倍にすることで測定が可能になると考えられる。すなわち、レーザー径を広げやすいエキシマレーザーを用いることによってU-Pb年代測定が実行可能と予想される。今後、エキシマレーザーで実験データを取得し、ノモグラムを作成していきたい。

文献

- 伊藤久敏, 倉橋克聡, 田村明弘, 千田大詩, 荒井章司, 森下知晃, 2009, LA-ICP-MSを用いたジルコンFT用年代標準試料のU-Pb年代測定-Nd-YAGレーザーとエキシマレーザーの比較-.フィッション・トラックニュースレター, 22, 11-19.
- 兼岡一郎, 1998, 年代測定概論. 東京大学出版会, 124-138.
- Kaufhold, J and Herr, W., 1967, Influence of experimental factors on dating natural and man-made grass by the fission track method, In Radioactive Dating and Method of Low-Level Counting, IAEA, 403-411.

表2. 年代標準試料を主としたジルコンのFT, U-Pb年代とU濃度

Sample name	FT age (Ma)			U-Pb age (Ma)			U (ppm)	
	average	Error 2 σ		²³⁸ U- ²⁰⁶ Pb age (Ma)	Error 2 σ		FT	U-Pb 91500
Lake Mountain Rhyodacite	367.6	± 3.1					90	
Kawamoto Granodiorite	32.7	± 0.8		32.0	± 1.9		400	514
Fish Canyon Tuff	27.8	± 0.4		28.6	± 1.9		300	437
Kumano Acidic Rock	15.1	± 0.4		15.7	± 2.1		300	285
Kitamura Tuff	13.6	± 1.4		12.9	± 0.5		150	320
Baba Tuff	10.7	± 0.6		12.3	± 0.5		350	320
Taitao ophiolite (268)	5.9	± 0.8		7.13	± 3.8		30	12
Taitao ophiolite (244)	5.8	± 0.4		6.53	± 0.8		600	161
Togamidake Andesite	2.85	± 0.32		3.47	± 0.73		130	210
Fukuda Volcanic Ash (Ebs-Fkd)	1.83	± 0.26			±		170	
Omine Tephra (Omn)	1.56	± 0.16		1.64	± 0.22		350	276
Mesa Fall Tuff (crystal rich)	1.44	± 0.28			±		320	
Mesa Fall Tuff (pumice)	1.32	± 0.24		1.37	± 0.20		500	414
Pink Tuff	1.00	± 0.08			±		90	
Kirigamine 01	0.92	± 0.10		0.94	± 0.07		2000	4824
Kirigamine 02	0.94	± 0.08		0.95	± 0.10		8000	8532
Kirigamine 03	0.94	± 0.08		0.92	± 0.04		14000	14386
zircon megacryst from Vietnam	0.85	± 0.10			±		130	
Bishop Tuff	0.79	± 0.04		0.72	± 0.07		2500	2723
Lava Creek Tuff A	0.70	± 0.10		0.72	± 0.38		1370	
KaishioKamitakara tephra(KMT)	0.60	± 0.08		0.68	± 0.16		490	
Toga pumice	0.42	± 0.08		0.51	± 0.21		1600	
Ata-Toihama	0.24	± 0.08			±		150	
Tagashira Tephra	0.14	± 0.06			±		520	
Sambe Kisuki	0.106	± 0.026		0.39	± 0.48		600	
Sambe Oda	0.064	± 0.024		0.20	± 0.40		800	
Sambe Ikeda	0.04	± 0.028			±		400	
Unzen Mayuyama	0.0051	± 0.0030			±		240	

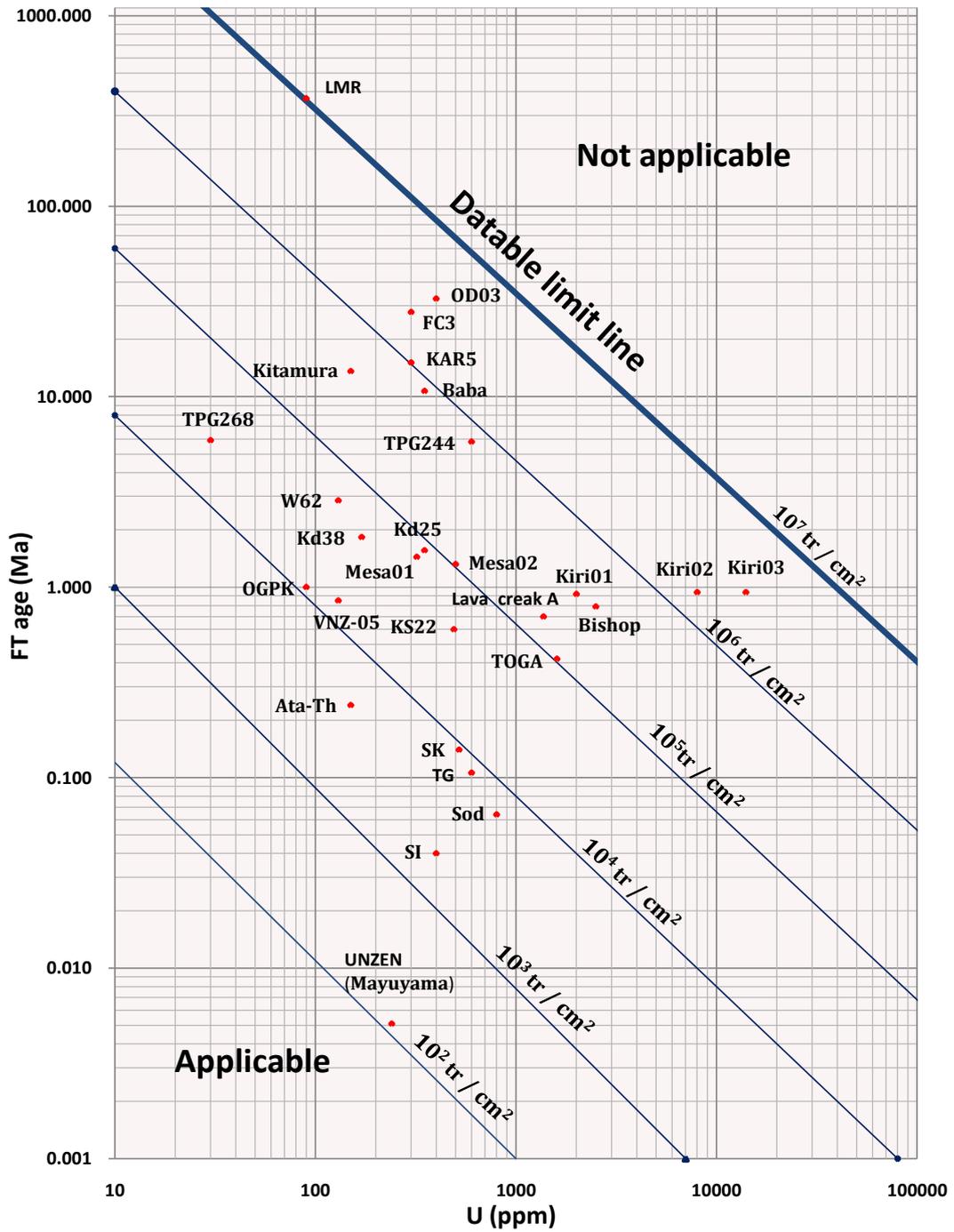


図1(a). マルチ・グレインを用いた FT法のノモグラム。青丸はFT年代測定試料を、斜線は等自発FT密度 ρ_s (tr/cm²)線を示す。FT年代値はマルチ・グレインの加重平均値で、一方 ρ_s もマルチ・グレインで求めた値で示される。

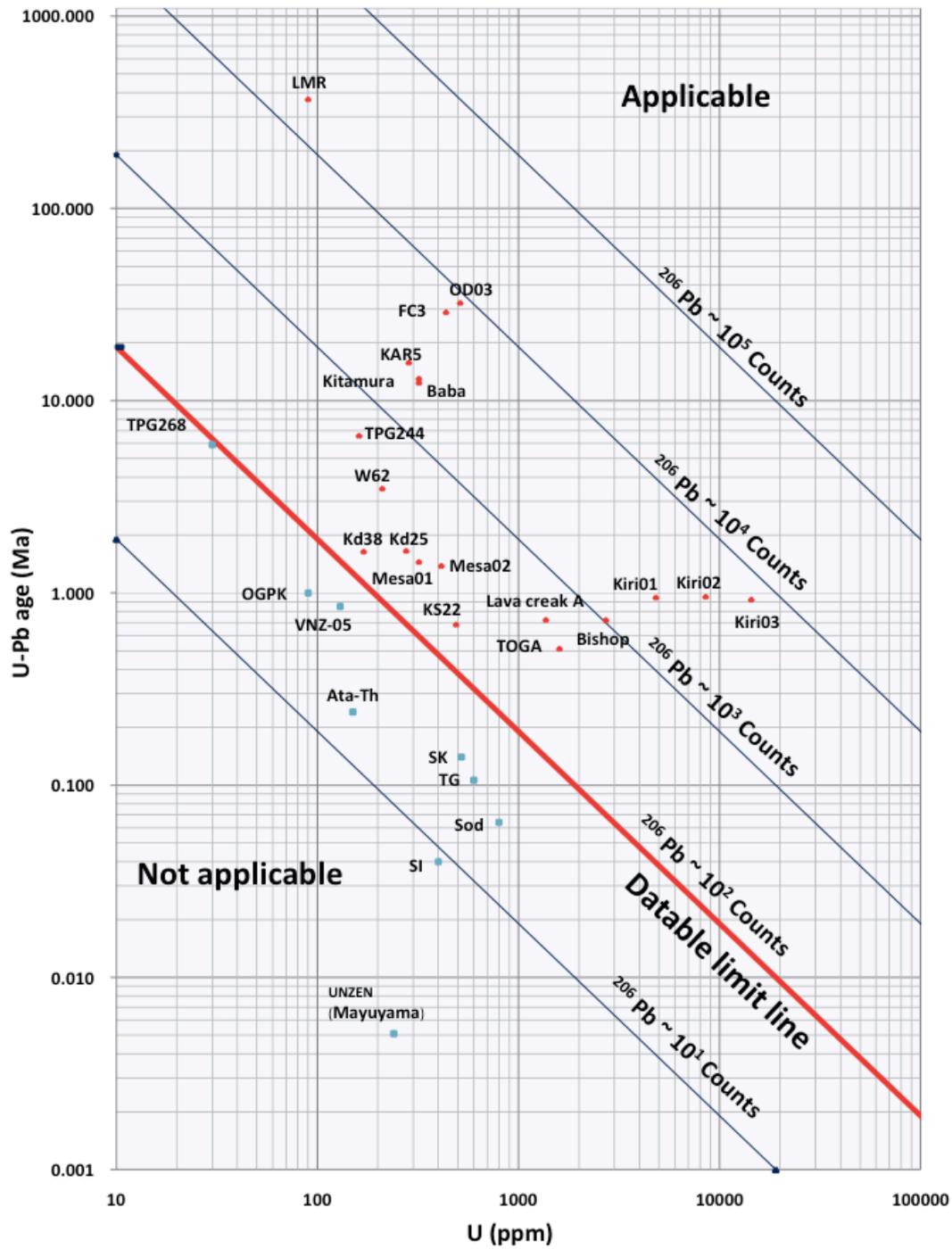


図1(b). シングル・グレインにおけるU-Pb法のノモグラム。赤丸、青丸はそれぞれLA-ICP-MSによるU-Pb年代測定が出来た試料と出来なかった試料を示す。斜線は ^{206}Pb の1粒子あたりの等総カウント数線を示す。この等総カウント数線の位置は実験条件(レーザービームの径や出力など)によって変化する。