

外部ディテクター法による測定データの χ^2 検定

檀原 徹・糟谷正雄・岩野英樹・山下 透

(京都フィッシュン・トラック)

1. はじめに

既に公表されたF T年代測定データの χ^2 検定結果を利用して、測定者・測定方法・鉱物種そして年代試料の違いによって結果がどのように異なるかを比較した。ただし厳密な議論をするためには測定者ごとの詳細な測定操作の把握と多くの測定数が必要である。したがって今回はいくつかの問題点を指摘するに止めた。

2. 議論の対象とした論文と着眼点

比較検討の対象としたのは、発表順にHurford and Green(1983)、Green(1985)、Galbraith(1986)、Tagami(1987)そしてDanbara et al.(1991)である。 χ^2 検定結果の比較は、測定データの χ^2 分布の上側確率 $P(\chi^2)$ に着目し、くり返し測定における各測定の $P(\chi^2)$ の分布パターンに注目することにした。なお異なる2手法を比較したのはDanbara et al.(1991)による研究のみである。

3. 既出論文における χ^2 検定結果

Fig. 1、2、3に既出論文中的 $P(\chi^2)$ 値をプロットして比較しやすくした。またTable 1にはHurford and Green(1983)の χ^2 検定結果を示した。彼らの論文中には具体的な $P(\chi^2)$ 値が表記されていないが、危険率5%で帰無仮説が棄却された測定結果は明示されているため、棄却データの割合を集計することができた。

4. 議論

(1) 測定者による $P(\chi^2)$ 分布の違い

Fig. 1にはジルコンを用いた時の測定者ごとの $P(\chi^2)$ 分布を示した。Danbara et al.(1991)のED2(結晶外部面使用)を除いてすべてED1(結晶内部面使用)による結果である。

Danbara et al.(1991)のED1データで $P(\chi^2) < 5\%$ の測定数が全体の53%と著しく多く、Tagami(1987)でも $P(\chi^2)$ 分布の重心は50%以下の相対的に低い領域にある。また、Naeserのデータでは、 $P(\chi^2)$ が20~60%の中間領域が空白となりやや奇妙な感じをもたせる。もっともデータ数が少ないため有意な傾向と判断することは困難である。これら以外のGreen(1985)、Galbraith(1986)中のNovices(初心者たち)とDanbara et al.(1991)のED2は、 $P(\chi^2)$ が0~100%間にほぼ均等に分布することを示している。またTable 1に示すように、Hurford and Green(1983)では、1981年以前のデータでは $P(\chi^2) < 5\%$ の測定例が全体の44%と高く、

Danhara et al. (1991)に近い高率であるにもかかわらず、1981年を境にしてそれ以降のデータでは4%と激減していることは興味深い。これは1981年時点で彼らの測定システムになんらかの変更があったものと推測され、Galbraithが χ^2 検定法を提唱した年と一致する点が面白い。

(2) 測定方法 (ED1、ED2) による違い

Danhara et al. (1991)ではジルコンの年代標準試料Fish Canyon Tuff (FCT)、Buluk Member Tuff (BMT)、Tardree Rhyolite (TDR)を用い、ED1、ED2の2つの測定方法で得られたデータの $P(\chi^2)$ 分布を比較した。詳細はDanhara et al. (1991)を御覧いただきたい。その結果を簡単に述べると、ED1、ED2両法の $P(\chi^2)$ 分布には著しい差が認められた。すなわちED1では $P(\chi^2) < 5\%$ となるデータが全体の53%と過半数を占め全体に値が低い。ところが対照的に、ED2では $P(\chi^2)$ は0~100%間でほとんど均等に分布する。この実験結果は、ED1での測定結果のばらつきには非ポアソン変動要素が入りやすいが、ED2についてはポアソン変動のみから説明できることを示している。2つの測定方法による実験結果の相違の原因についてDanhara et al. (1991)は詳しく議論した結果、ED1における観察面の上下(上側は研磨されて失われている)のウラン濃度の違いが、非ポアソン変動要素として最も大きいと結論した。すなわち結晶内に存在するウラン濃度の不均一(多くの場合には累帯構造に起因)がED1測定で $P(\chi^2)$ を低くする原因となる可能性が指摘された。

(3) 鉱物種の違い

Fig. 2には鉱物種ごとの測定データの $P(\chi^2)$ 分布を示した。鉱物はジルコン・アパタイト・スフェーンの3種類であり、Green(1985)とTagami(1987)の結果では鉱物種による差はあまり目立たず、ほぼ均一な $P(\chi^2)$ 分布となっている。しかし注意深く見ると、ジルコン結晶における $P(\chi^2)$ 分布の重心がGreen(1985)では50%よりやや大きい領域に、Tagami(1987)においては50%より小さい領域に偏る傾向があるようにみえる。

(4) 年代標準試料による違い

Fig. 3にはジルコンの3つの年代標準試料の $P(\chi^2)$ 分布をDanhara et al. (1991)の結果からプロットした。ED2では3試料ともほぼ均等な $P(\chi^2)$ 分布を示す。一方ED1では $P(\chi^2)$ 分布にやや違いのあることが認められ、BMTが比較的均等なのに比べ、FCT、TDRでは $P(\chi^2) < 5\%$ データの割合が明らかに高くなる傾向が存在する。

5. まとめ

同一試料を測定しても、均一なウラン濃度分布をもつ粒子選別の努力をどこまで行うかにより $P(\chi^2)$ 値は変化するであろう。均等な $P(\chi^2)$ 分布形が、均一なウラン濃度分布をもつ粒子選別努力のパロメータとなるかも知れない。しかしED1の場合、観察面の上下は失われていることから均一なウラン濃度分布をもつ粒子

の選別は困難である。特に累帯構造をもった試料では $P(\chi^2)$ 値は均等に分布しにくい(低い方に偏る)と考えられる。このような場合には χ^2 検定結果にはとらわれず、ウラン濃度分布の不均一をキャンセルアウトできるだけの十分な粒子数を数えることが重要である。

F T年代測定データの χ^2 検定は、その測定における実験操作およびデータの信頼性に対して統計的評価を与えるばかりでなく、年代標準試料などの同一試料の繰り返し測定や、異種鉱物の測定データを長期に大量に蓄積して比較することにより、測定者自身の測定システム評価にも利用できるものと考えられる。

6. 文献

- T. Danhara, M. Kasuya, H. Iwano and T. Yamashita (1991) Fission-track age calibration using internal and external surfaces of zircon. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **97**, 977-985.
- R. F. Galbraith (1981) On statistical models for fission track counts. *Jour. Math. Geol.*, **13**, 471-478.
- R. F. Galbraith (1986) Statistical analysis of C. W. Naeser's Fish Canyon zircon data. *Nucl. Tracks Radiat. Meas.*, **11**, 295-300.
- P. F. Green (1985) Comparison of zeta calibration baselines for fission-track dating of apatite, zircon and sphene. *Chem. Geol.*, **58**, 1-22.
- A. J. Hurford and P. F. Green (1983) The zeta age calibration of fission track dating. *Isotope Geosci.*, **1**, 285-317.
- T. Tagami (1987) Determination of zeta calibration constant for fission track dating at irradiation facilities of a TRIGA type reactor. *Nucl. Tracks Radiat. Meas.*, **17**, 223-226.

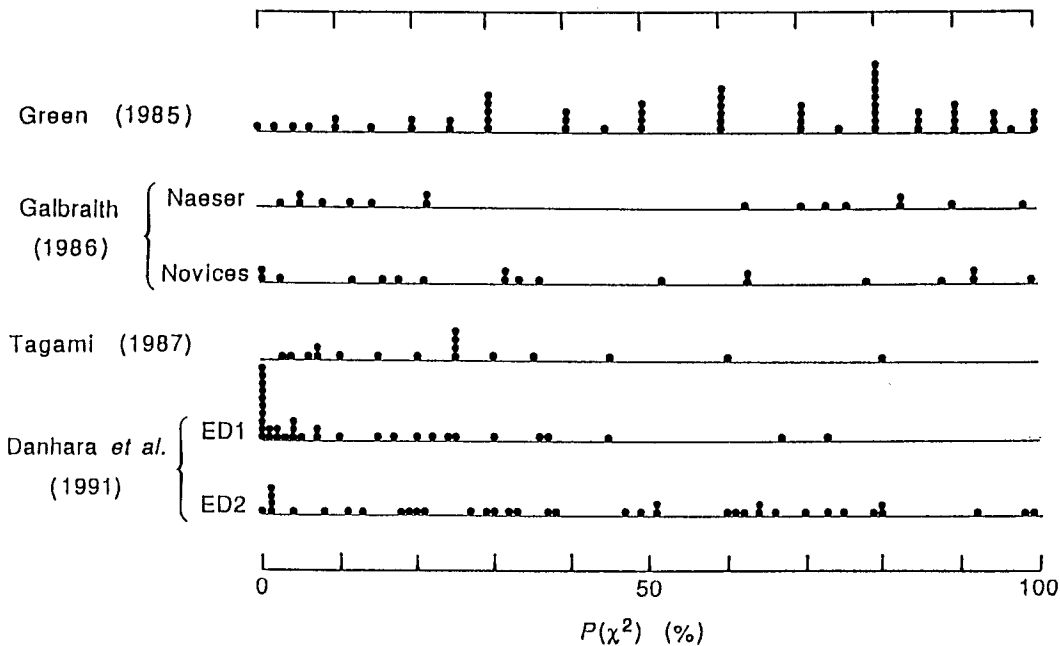


Fig. 1 A plot of significance level $P(\chi^2)$, the upper χ^2 tail probability corresponding to the observed χ^2 -statistics (Galbraith, 1981), for each published data set of zircon by different researchers.

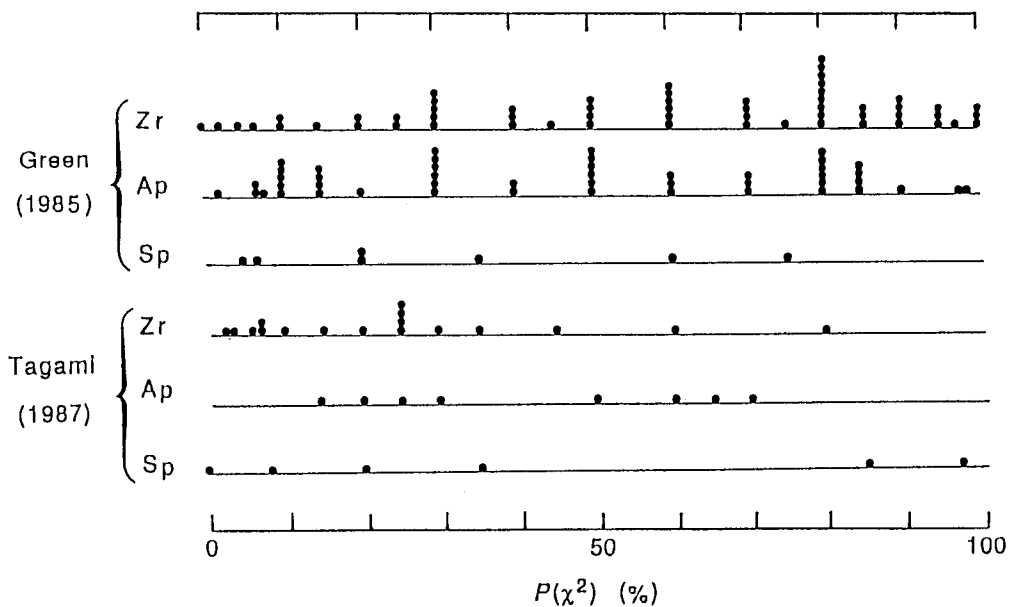


Fig. 2 A plot of significance level $P(\chi^2)$, the upper χ^2 tail probability corresponding to the observed χ^2 -statistics (Galbraith, 1981), of each published data set for zircon, apatite and sphene.

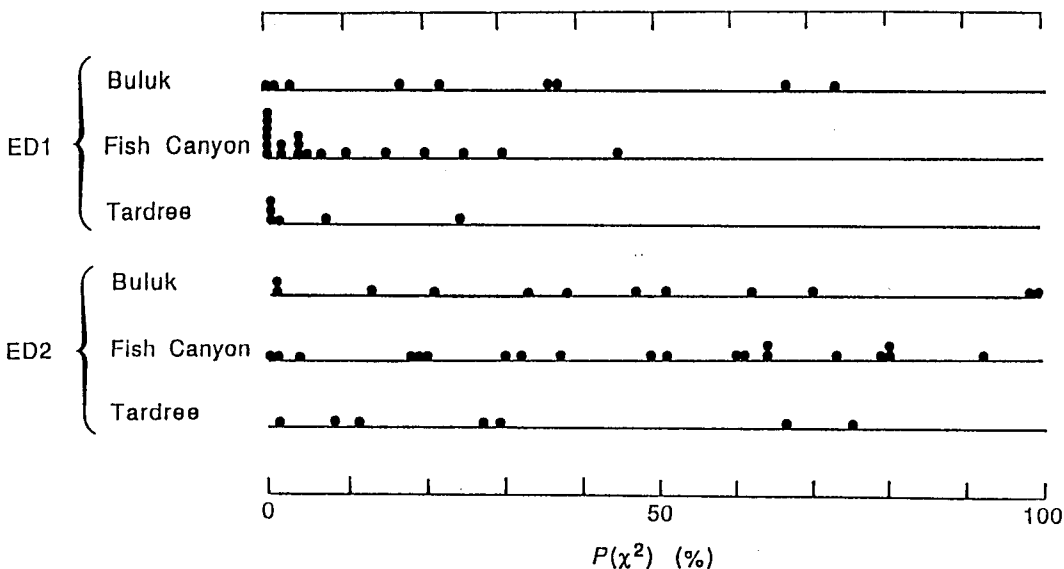


Fig. 3 A plot of significance level $P(\chi^2)$, the upper χ^2 tail probability corresponding to the observed χ^2 -statistics (Galbraith, 1981), for each data set of three age standard zircons from Danhara et al. (1991).

Table 1. Results of the χ^2 -tests in Hurford and Green(1983)

Year	n	$P(\chi^2) < 5\%$	$P(\chi^2) > 5\%$
'75 ~ '81	39	17 (44%)	22 (56%)
'82	37	4 (11%)	33 (89%)

Note: (1) n is the number of experimental data set.

(2) $P(\chi^2)$ is the upper χ^2 tail probability corresponding to the observed χ^2 -statistics (Galbraith, 1981).