フィッション・トラック法による骨のウラン分析と その考古学的応用¹⁾

松 浦 秀 治²⁾

Uranium Analysis of Fossil Bones Using Fission Track Techniques and its Applications to Archaeological Science¹⁾

Shuji MATSU'URA²⁾

Spatial variations in uranium concentration (unit area: 0.25 mm in length, 0.5 mm in width) from the outside to the inside of Substantia compacta were examined at some points of a given specimen of long bone using fission track techniques. An investigation was also made on the relation between the thickness of compact bone and the uranium content. The results obtained (Table 3, Figs. 3~7) suggest that the maximum uranium concentration of each sample is an adequate indicator for relative dating of fossil bones.

The uranium content (maximum) of animal bones from the Kannondo cave site reveals a tendency to increase with their horizons (Fig. 8) and shows no strict correlation with the fluorine content (Fig. 9), it confirming the significance of using the two concentrations of buried skeletal remains together as pointers to age.

There were presented further applications of uranium and fluorine content in bones to estimating such disturbances in archaeological deposits as caused by human activities (see Figs. 10~11), and of the changes in uranium concentration profiles (see Figs. 3~5) to dating bones from post-glacial deposits.

I. は じ め に

土中に埋没した骨の化学組成が変化していくことは、19世紀始めから知られており、幾つかの成分について年代的变化の考察がなされて来た (COOK, 1960; OAKLEY 1969; FLEMING, 1976: p. 181-200). ウランは地下水中から骨に吸着され (DAVIDSON & ATKIN, 1953), リン灰石中の Ca^{2+} との置換によって固定される (NEUMAN & NEUMAN, 1958). このウラン含有量による方法はフッ素法 (OAKLEY, 1951; 辺田, 1967) と同様、化石骨の相対年代判定法の一つとして人類・考古学的諸問題の解決に応用されてきた (BOWIE & DAVIDSON, 1955; OAKLEY, 1974, 1975; 他). しかし骨表面から放出される β 線量の測定によるウランの間接的定量とそれに基づく年代判定

には次の2つの問題が指摘された.

i) 化石骨に取り込まれたウランは骨の表面、割れ目に多く集積し、従って均一に分布していない可能性がある (DAVIDSON & ATKIN, 1953) もの、その評価が困難であること.

ii) β 線放出量の増加が初期には少ないため、比較的新しい時代の骨 (後氷期の骨など) では、相対年代判定に利用できないこと (BOWIE & DAVIDSON, 1955).

これに対して、フィッション・トラック法によるウラン分析法の開発 (PRICE & WALKER, 1963) は極めて低濃度のウランの定量、試料の任意の研磨面でのウラン分布状態の推定、を可能にした. SUZUKI (1970) は、本法を用い骨の横断面において、外側表面から内部に向ってのウランの分布状態を調べ、これの経年変化による年代

1) 1978年3月22日受付. 本論文は第31回日本人類学会・日本民族学会連合大会 (1977) で発表した内容の一部に、補足を加えたものである.

2) 東京大学理学部人類学教室

Department of Anthropology, Faculty of Science, The University of Tokyo.

Table 1 Archaeological contexts of the Taishaku Kannondo cave site. Based on Shiomi *et al.* (1976).

Layer no.	No. of specimens	Relics	Archaeological age
19	3	rouletting pottery, arrowhead, scraper	Earliest Jomon
20 ¹⁾	4	plain pottery, small triangular arrowhead	//
21 ¹⁾	3	plain pottery, small triangular arrowhead	//
22	3	fragments of plain pottery, arrowhead	//
23 B	1	a few fragments of animal bones	Late Palaeolithic ?
24 C	1	a few fragments of animal bones	//
25 B	14	fragments of animal bones and of antlers	//

1) Presumably contemporaneous with the Layer 6 of Kamikuroiwa rock-shelter site [¹⁴C-date: 10085±320 Y. B. P (I-943)].

Fig. 1 Section of the deposits at the Kannondo cave site. Redrawn from Shiomi *et al.* (1976)

推定の可能性を示唆した。また SEITZ & TAYLOR (1974) はオールドヴェイ峡谷出土のウシ科の歯について、ウランの試料内及び地層間の変異を検討した。しかし現在のところ、骨中におけるウランの分布状態に関して詳しい研究はなされていない。

本研究は国内の遺跡から出土した獣骨及び人骨にフィッショントラック法を適用し、上記の問題を検討する

と共にその人類・考古学的応用について述べたものである。

II. 試 料

1. 祇園貝塚（千葉県木更津市上深作：139° 57' 49'' E, 35° 22' 52' N）出土人骨 3 点

BGN 1：腓骨，外果を含む約 15cm の破片

BGN 2: 脛骨, 骨幹部約 12cm の破片

BGN 3: 中手骨, ほぼ完全なもの

以上 3 点は埋葬状態で発見され, 同一個体に属すると考えられる。当貝塚は縄文中期末 (加曽利 E II) ~ 後期初頭 (堀之内) のもので, 主体土器は堀之内式である。試料は, 市立市川博物館堀越正行氏から提供を受けた。分析試料採取箇所については IV-1 に詳しく記した。

2. 帝釈観音堂遺跡 (広島県神石郡神石町永野南:

133° 13' 35" E, 34° 48' 36" N) 出土の獣骨 29 点

1 点 (シカの肋骨) を除きすべてシカ *Cervus nippon*

TEMMINCK 又はイノシシ *Sus scrofa* LINNAEUS の四肢骨破片である。骨を産出した層から出土している遺物を Table 1 に, また観音堂遺跡の断面図を Fig. 1 に示した。試料のうち 8 点は大阪市立大学故田中正昭氏を通して, 残りは直接帝釈峡遺跡群発掘調査団 (団長: 松崎寿和博士) から提供された。

3. 山下町第 1 洞穴 (沖縄県那覇市山下町: 127° 40' 31" E, 26° 11' 52" N) 出土獣骨 33 点

すべて, リュウキュウジカ *Metacervulus astylodon* (MATSUMOTO) (高井, 1975 参照) の四肢骨破片である。1968 年 12 月 26 日 ~ 1969 年 1 月 6 日に発掘 (団長: 渡辺直経博士) されたもので, 同遺跡 VI 層から出土している。上部洪積世に属する (高宮ほか, 1975 参照)。骨の出土した深さと分析試料数を Table 2 に示した。

III. 分析方法

骨の外側表面に垂直に骨緻密質横断片を採取し, 水洗・乾燥後, 減圧下で樹脂 (丸本工業, No. 105) 包埋する。樹脂硬化後, 骨の横断面を研磨し, 水洗・乾燥後, 研磨面にポリカーボネート・シート (帝人, パンライト) を密着・固定する (Fig. 2)。この試料を立教大学原子力研究所, TRIGA II 型原子炉の回転試料棚 (熱中性子束密度: $\sim 5 \times 10^{11} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$) で 2 ~ 6 時間の照射を行なう。冷却後, ポリカーボネートを 6 N NaOH・50°C・30 分間のエッチングをし, 顕微鏡観察した。飛跡の計数は $\times 40$ (対物) $\cdot \times 10$ (接眼) で行なった。

計数は, 骨の外側表面に垂直に内部へ向って測線を設定し, この測線に沿って 0.5mm 間隔で (BGN 1・2・3 については連続的に) 測線の両側にそれぞれ 0.25mm 四方の計測域を設けて, 行なった。従って各計測点における計数範囲は, 0.25mm $\times$ 0.5mm となる。骨のウラン含有量はウラン濃度既知でウランが均一に分布している

Table 2 Number of analysed long bones of deer (*Metacervulus astylodon*) from the layer VI, Yamashita-cho cave I. These fossils were referred to Late Pleistocene (TAKAMIYA *et al.*, 1975).

Depth from the surface of the layer VI (cm)	No. of specimens
0 ~ 50	4
ca. 40	3
50 ~ 70	4
70 ~ 90	6
90 ~ 110	4
110 ~ 130	2
130 ~ 160	4
160 ~ 190	2
190 ~ 220	2
220 ~ 250	2

Fig. 2 Schematic diagram showing the interrelation among bone sample and standard sample in resin, and polycarbonate sheet; all of which are fixed with Scotch Drafting Tape from outside.

黒曜石³⁾を標準試料とし, 同一条件で照射して (Fig. 2) それから生じたポリカーボネート中の飛跡を計数すれば, 次式から算出される。

$$\frac{C_u}{C_s} = \frac{\rho_u}{\rho_s} \cdot \frac{R_s}{R_u}$$

ここで下付文字 u と s はそれぞれ未知試料, 標準試料, を表わす。また,

3) 霧ヶ峰産のもので, GE-Fisher Standard Glass (FLEISCHER *et al.*, 1965) との相互比較がなされている。ウラン濃度 3.13ppm (エッチングされうるトラックの平均長を $1.0 \times 10^{-3} \text{ cm}$ として算出した)。

Table 3 Uranium content of BGN 1-1~5.

Sample No.	Uranium Content $\pm$ Standard Error (ppm)		
	Maximum	Minimum	Average
BGN 1-1	4.02 ± 0.21	0.71 ± 0.09	1.74 ± 0.04
BGN 1-2	4.15 ± 0.21	1.09 ± 0.11	1.95 ± 0.04
BGN 1-3	4.56 ± 0.23	0.32 ± 0.06	1.53 ± 0.04
BGN 1-4	4.34 ± 0.22	0.62 ± 0.08	2.05 ± 0.05
BGN 1-5	4.23 ± 0.25	0.92 ± 0.12	1.85 ± 0.05
$\bar{x}$	4.26	0.73	1.82
s^2	0.0417	0.0866	0.0403
s	0.20	0.29	0.20
$s/\bar{x}$	0.048	0.40	0.11

C: ウラン濃度 ($\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)

ρ : ポリカーボネート・シート (検出器) 上での誘発核分裂飛跡密度 ($\text{tracks} \cdot \text{cm}^{-2}$)

R: 核分裂片の有効飛程 ($\text{mg} \cdot \text{cm}^{-2}$) である。

Rは物質の成分元素による値であるが、本研究では $R_{\text{obsidian}}/R_{\text{bone}} = 1$ とした。これに由来する誤差は、ABDULLAEV *et al.* (1968), MORY *et al.* (1970), NISHIMURA (1970) から $< 7\%$ と推定される。

観音堂洞穴および山下町第1洞穴出土の化石骨では、フッ素含有量の測定も行なった。分析試料には、ウラン分析用に採取した骨横断片の一部を当てた。大きな骨では、さらに2~3ヶ所から歯科用ドリルを用いて粉末を採取し、これに加えた。分析法は TANABE & WATANABE (1968) ⁴⁾ に依った。

IV. 結果と考察

1. 骨のウラン含有量の代表値について

本研究では、骨の緻密質について分析を行なうが、一つの骨試料を代表するウラン含有量として、骨のどの部分の値を用いるか検討するため、同一骨内におけるウラン含有量の分布を調べた。分析試料は BGN 1 (腓骨) の遠位端から 4cm、破損端から 3cm を除き、2cm 間隔で5点採取した。また骨の厚さを異にする BGN 2 (脛骨)、BGN 3 (中手骨) からは、骨幹中央部において、それぞれ 1.5cm 間隔で3点、0.5cm 間隔で2点、採取した。分析結果を Table 3, Fig. 3~7 に示した。Table 3 における分析値の標準誤差は飛跡の計数誤差にのみ基づいている。また、ごくまれに、いわゆる star・sunburst といわれる放射状の飛跡の密集部が観察されるが、これは計数から除いた。

Fig. 3 Spatial variations in uranium concentration in substantia compacta of BGN 1 (human fibula). Five pieces of transverse section (BGN 1-1~5) of the compact bone were cut out at intervals of 2 cm along the diaphysis. BGN 1, BGN 2 and BGN 3 (Figs. 3~7) were excavated from the Gion shell-mounds dated in the range 3600—4300 yr B. P. The three bones belong to the same individual.

BGN 1-1~5 (腓骨) について見ると (Table 3, Fig. 3),

- 5つともウラン含有量はそれぞれ外部に多く内部に少ないという類似したパターンを示す。
- 海綿質に近い部分でウラン含有量はややふえる傾向にあるが、その程度は一樣でない。
- 最大値 (表面近くの値) は $4.02 \text{ ppm} \sim 4.56 \text{ ppm}$ と変動幅が小さく (変動係数 0.048) 計数誤差を考慮するとそれらの値の間に有意差はない。
- 最小値、平均値共にその変動係数はやや大きく

4) 当論文中的 peak の反射面指数 (140) は (231) と読み替えられるべきであろう。

Fig. 4 Spatial variations in uranium concentration in substantia compacta of BGN 1. A thicker part of substantia compacta is marked with an asterisk. The insert illustrates a thicker and a thinner parts of the compact bone, and the line (marked by two arrows) along which fission tracks were counted as a unit area of $0.25\text{mm} \times 0.5\text{mm}$.

(それぞれ 0.40, 0.11), また最小値の現われる位置は一樣でない。

BGN 1-1*, BGN 1-2*はそれぞれ BGN 1-1, BGN 1-2と同一試料において緻密質の厚い部分で計測したものである (Fig. 4). それらの骨の表面から内部に向ってのウラン含有量の変化状態は BGN 1-1&2 のウラン分布図において, ウラン含有量の低い中間部を引きのばした形に近い。またウラン含有量の平均値は BGN 1-1* : 1.33 ppm, BGN 1-2* : 1.62 ppm をとり, それぞれ BGN 1-1 : 1.74 ppm, 及び BGN 1-2 : 1.95 ppm の平均値より低い値を示した。

同様に BGN 2-1~3 (脛骨) におけるウランの分布状態 (Fig. 5) も, それぞれ互に類似し, また, それらは BGN 1-1 ~ 5 のウラン分布図の低濃度の部分を引きのばした形に近似している。逆の現象は骨緻密質の薄い BGN 3 (中手骨) の分析結果にみることができる (Fig. 6)

Fig. 7 には, 各計測線でのウランの最大値, 最小値及び平均値を, その計測部分の緻密質の厚さに対して図示した。これから, 最小値・平均値はともに骨緻密質の厚さ・骨内腔からのウランの侵入の程度によって左右される可能性があるが, 最大値はそれらにかかわらず, ほぼ一定した値をとることが推測される。

骨のウラン含有量の代表値として何をとりかという問題に関しては, 以上の結果から, その最大値を, ウラン含有量による相対年代判定法の各骨の代表値とするのが妥当と判断される。これはウラン供給体としての土壌, ウラン受容体としての骨, およびその環境によって一定した値をとるものと考えられる。

2. 遺跡での応用例

(1) 帝釈観音堂遺跡での例—地層間の差—

ウランについての分析結果は Fig. 8 に示した。ここでは骨のウラン含有量 (最大値) を, 骨の出土した層の

Fig. 5 Spatial variations in uranium concentration in substantia compacta of BGN 2 (human tibia). Three pieces of bone section (BGN 2-1~3) were cut out at intervals of 1.5cm along the diaphysis.

深さに対して示してある。包含層は 20° 以上の急傾斜で洞奥へ下っているため、ここでは Fig. 1 に基づいて各層の深さを設定した。

地層下位の年代の古い化石骨ほどその平均的ウラン含有量の多いことが、北海道入江遺跡出土の骨について、吉岡・阪上 (1970) により報告されている。本研究では骨のウラン含有量の代表値として最大値をとったが、Fig. 8 に示すように、より古い地層から出土した骨でその含有量が増加していることがわかる。

縄文早期層 (19 層~22 層) 出土獣骨のウラン含有量 (2.2ppm~6.1ppm) と 25B 層のそれ (4.1ppm~10.5 ppm) とは 2 点を除き重複しない。それらの平均値 3.5 ppm と 6.9ppm は、マン・ウィットニー U-検定を行なうと 0.1% の危険率で有意差がある。化学分析から骨の相対年代判定を行なう場合、幾つかの時代にまたがる骨群を一集団として扱うことが多く、その母集団の分布型を明確に仮定して検定するのは無理があると思われる。

る。ここでは母数によらない検定法を用いた。

Fig. 9 は縄文早期層 (19 層~22 層) および 25 B 層出土獣骨群のそれぞれの示すウラン含有量・フッ素含有量を図示したものであるが、2 群の分布の違いをより明確に捉えることができる。ここで各骨のウラン含有量とフッ素含有量の相関をとってみると、

縄文早期層の骨 (N=13) : $r = -0.16 (0.6 < p < 0.7)$

25B 層の骨 (N=14) : $r = 0.43 (0.1 < p < 0.2)$

であった。このように、時代幅を区切ると、骨のウランとフッ素含有量に有意な相関は見られなかった。ところで全体 (N=27) で相関をとってみると $r = 0.69 (p < 0.001)$ を示し、有意な相関が得られた。これはウラン含有量及びフッ素含有量がそれぞれ独立に年代と関連があるために、見かけ上の相関が生まれたものと解釈される。

化石人骨は発掘によって発見されるとは限らず、偶然に見い出されたような場合には出土地層が不明確なこと

Fig. 6 Spatial variations in uranium concentration in substantia compacta of BGN 3 (human metacarpus). Two pieces of bone section (BGN 3-1~2) were cut out at intervals of 0.5cm along the diaphysis.

が多い。また、*in situ* で発見されたものでも何らかの攪乱により原位置から動かされている可能性もある。このような場合に出土地の各層準の獣骨と問題の人骨の分析値（フッ素、チッ素、ウラン、マンガンなど）とを比較することにより、人骨の産出地層の推定、また相対年代の判定を行なうことができる。上記のようにフッ素とウランの含有量はその相関が低く（影響を及ぼす環境要因の独立性が高いと思われる）、このような分析値を指標として併用することは、その判断をより確実なものとする。

(2) 山下町第1洞穴・第Ⅶ層出土鹿化石骨の例一層内での分布一

各骨のウラン含有量（最大値）を骨の出土した深さ（Ⅶ層表面より）に対して図示すると Fig.10 のようになる。これをみると、骨のウラン含有量を示す点の分布

範囲が、0 cm~90cm とそれ以下とでは、異なっているように見える。ウラン含有量は上層部（0 cm~90cm）で11.1ppm~20.1ppm に広がり、下層部（90cm~250cm）では 15.0ppm~19.2ppm の範囲をとる。それらの分布域は互に重複しているものの、分散比は 2.79 と大きく（5%で有意）また平均値（上層部：15.2ppm、下層部：16.7ppm）の差は 5% の危険率で有意であった（マン・ウィットニー U-検定）。これらのことは上層部から出土した鹿化石骨と下層部から出土した鹿化石骨の同質性・同時代性に対して疑惑を懐かせるものである。この傾向は各骨のウラン及びフッ素含有量をプロットしてみると、より明らかになる（Fig. 11）。高宮ほか（1975）によれば、Ⅵ層上層部からは人骨が発見されており、また生活層であったと思われるⅢ層・Ⅴ層はⅥ層を人為的に切りぬいて出来た層ではないかと推測されている。このことを考え合わせると上記の現象は次のようにも解釈できる。即ち、Ⅵ層表面より 90cm 以下で出土した遺物に示されるウラン含有量15ppm~20ppm・フッ素含有量0.5%~1.0%の鹿化石骨を中心としたものが、Ⅵ層本来の堆積物であって、Ⅵ層表面からの深さが 90cm より上層では、のちの人間活動によりもたらされた鹿骨が混入しているのではないかと、ということである。このことは今後人骨のフッ素及びウランの分析、また土壌の化学分析を通して吟味されるべきことであるが、骨のウラン・フッ素含有量を指標として遺跡における堆積状態・攪乱状態が推察される可能性を示した。

山下町第1洞穴では炉跡の木炭層の年代が測定されているので、その ^{14}C 年代 ($32,100 \pm 1,000 \text{ BP [TK-78]}$) は最も確実なものと考えてよいが、人骨と同じ層から出土した獣骨に ^{14}C 法を適用したり、その動物相から年代を判定する場合には、上記の問題を考慮する必要があると思われる。

V. まとめと今後の方向

遺跡出土の獣骨及び人骨の緻密質にフィッジョン・トラック法を適用して、ウラン含有量の測定を行なった。また骨の外側表面から内部に向かってウランの分布を調べた（単位面積：0.125mm²；縦 0.25mm 横 0.5mm）。

i) 同一長骨の各部位における緻密質のウラン含有量の変異、骨の緻密質の厚さとウラン含有量との関係を調べた。その結果、ウラン含有量による化石骨の相対年代判定法の指標としては、骨中ウラン含有量の最大値をとるのが適当であると判断された。

ii) 骨のウラン含有量は、フッ素含有量と同様に、同

Fig. 7 Maximum, minimum and average concentrations of uranium in human bones belonging to the same individual vs. thickness of the compact bone at the analysed parts. For explanation of the codes, see the legends for Figs. 3~6.

一遺跡内での骨の相対年代判定の指標となる。骨のウラン含有量は、フッ素含有量と強い相関を持たず、両元素の分析値を併用することの意義は大きい。

iii) 骨のウラン及びフッ素含有量によって、遺跡の堆積状態・攪乱状態が推察される可能性が示された。

本論文では骨中のウラン分布状態の年代変化については言及しなかったが、骨の年代が古くなるほどウランは骨中により均一に分布していく傾向のあることが確かめられている(松浦, 1977)。骨中でのウランの移動には水の介在を考慮する必要があるが、Fig. 3~5 に示されるようなウランの分布状態を拡散による濃度勾配図として近似することは可能であろう。筆者はシリンダー内の拡散におけるフィックの第2法則の解を BGN 2 に適用して、拡散係数 $D=1.3 \times 10^{-6} \sim 2.3 \times 10^{-6} \text{cm}^2 \cdot \text{year}^{-1}$ を得た。骨の海綿質に近い部分では骨内腔からの拡散の影響を受けるため一定以上の厚さの骨にしか適用できないこと、拡散における零点の設定・円筒として近似したと

きの半径推定の精度など、今後検討・改善すべき点は多いが、年代既知の骨を用いてDをある範囲で推測できれば、同じ遺跡から出土した年代不明の骨の上限年代または下限年代を決定することができる。特に、後氷期の骨では有効である。これらの方法と応用例についての詳細は稿を改めて報告する予定である。

今後、化石骨に直接適用できる絶対年代測定法の確立が望まれるが、相対年代判定法は、少量の試料があればよいこと(直径 5mm の骨緻密質横断片でウラン・フッ素両元素の分析が可能)また、地層の年代が判明しても人骨などの遺物と地層との共時性は別問題であることなどから、その意義は依然大きいと言えよう。

謝 辞

本研究は、東京大学渡辺直経教授の指導により行なった。骨の試料は、帝釈峡遺跡群発掘調査団(団長: 松崎寿和博士)、大阪市立大学故田中正昭氏、市立市川博物館堀越正行氏、筑波大学鶴丸俊明氏の好意による。謹んで

Fig. 8 Uranium content (maximum) of bones from the Kannondo cave site plotted by cultural layer. 1) The layers 19~25B make an angle of 20 or more with the horizontal level toward the inner part of the cave. "Depth" shows the average depth of the layer according to Fig. 1.

Fig. 9 Fluorine and uranium (maximum) content of each bone from the Kannondo cave site.

Fig. 10 Uranium content (maximum) of fossil deer bones from the layer VI, Yamashita-cho cave I plotted by depth.

Fig. 11 Uranium (maximum) and fluorine content of each bone from the layer VI, Yama shita-cho cave I. Later contamination with bones of deer hunted probably by prehistoric man (human skeletal remains were found at the upper part of the layer VI) may be a possible explanation to account for the difference between the range of F-U content of bones from the upper part (0~90cm) and from the lower part (90~250cm).

感謝の意を表する。

また獣骨の同定をして下さった国立科学博物館長谷川善和博士、有益な批判と実験にあたっての熱心な助力を賜った立教大学鈴木正男助教授、有益な助言を賜った日本医科大学下田信男教授、熱中性子照射に際し便宜を与えられた立教大学(原子力研究所)戸村健児教授、X線回折装置の利用を許された東京大学島崎英彦助教授、拡散現象の解釈について御教示頂いた東京大学北沢宏一博士に対して深く敬意を表する。

引用文献

- ABDULLAEV, Kh., KAPUSTSIK, A., OTGONSUREN, O., PERELYGIN, V. P. & CHULTÉM, D. (1968) Determining the concentration of fissionable materials in solid bodies. *Instrum. Exp. Tech.*, 1968, p. 319—321.
- BOWIE, S. H. U. & DAVIDSON, C. F. (1955) The radioactivity of the Piltown fossils. *Bull. Br. Mus. (Nat. Hist.) Geol.*, 2, p. 276—282.
- COOK, S. F. (1960) Dating prehistoric bone by chemical analysis. *Viking Fund Publ. Anthropol.*, 28, p. 223—245.
- DAVIDSON, C. F. & ATKIN, O. (1953). On the occurrence of uranium in phosphate rock. *C. R. XIX^e Congr. Géol. Int.*, 1952, XI, p. 13—31.
- FLEISCHER, R. L., PRICE, P. B. & WALKER, R. M. (1965) Neutron flux measurement by fission tracks in solids. *J. Nucl. Sci. Eng.*, 22, p. 153—156.
- FLEMING, S. (1976) *Dating in archaeology*. 272p., J. M. Dent & Sons.
- 松浦秀治 (1977) 骨のウラン分析とその考古学的応用。第31回日本人類学会日本民族学会連合大会レジュメ, p. 52.
- MORY, J., GUILLEBON, D. DE et DELSARTE, G. (1970) Mesure du parcours moyen des fragments de fission avec le mica comme détecteur-Influence de la texture cristalline. *Radiat. Eff.*, 5, p. 37—40.
- NEUMAN, W. F. & NEUMAN, M. W. (1958) *The chemical dynamics of bone mineral*. 209p. The University of Chicago Press.
- NISHIMURA, S. (1970) Determination of uranium contents of standard rocks by fission-track registration in muscovite. *Radioisotopes*, 19, p. 194—196.
- OAKLEY, K. P. (1951) The fluorine-dating method. *Yearb. Phys. Anthropol.*, 5, p. 44—52.
- OAKLEY, K. P. (1969) Analytical method of dating bones. D. Brothwell & E. Higgs (ed.): *Science in Archaeology*. 2nd ed., p. 35—45. Thames and Hudson.
- OAKLEY, K. P. (1974) Revised dating of the Kanjera hominids. *J. Hum. Evol.*, 3, p. 257—258.
- OAKLEY, K. P. (1975) A reconsideration of the date of the Kanam Jaw. *J. Archaeol. Sci.*, 2, p. 151—152.
- PRICE, P. B. & WALKER, R. M. (1963) A simple method of measuring low uranium concentrations in natural crystals. *Appl. Phys. Lett.*, 2, p. 23—25.
- SEITS, M. G. & TAYLOR, R. E. (1974) Uranium variations in a dated fossil bone series from Oldvai Gorge, Tanzania. *Archaeometry*, 16, p. 129—135.
- 潮見 浩・藤田 等・川越哲志 (1976) 帝釈観音堂洞窟遺跡の調査。帝釈峽遺跡群発掘調査団編「帝釈峽遺跡群」, p. 80—103. 亜紀書房。
- SUZUKI, M. (1970) Preliminary report on fission track date of animal bone from the Amud cave. H. Suzuki & F. Takai (ed.): *The Amud Man and his cave site*, p. 428. The University of Tokyo.
- 高井冬二 (1975) 山下町第1洞発見の鹿化石・人類学雑誌, 83, p. 280—293.
- 高宮広衛・金武正紀・鈴木正男 (1975) 那覇山下町洞穴発掘調査報告。人類学雑誌, 83, p. 125—130.
- 田辺義一 (1967) 弗素含量による古人骨の編年。第四紀研究, 6, p. 164—167.
- TANABE, G. & WATANABE, N. (1968) Dating fossil bones from Japan by means of X-ray diffraction pattern. *J. Fac. Sci., Univ. Tokyo, Sec. V*, 3, p. 199—216.
- 吉岡満夫・阪上正信 (1970) 化石骨中のウランおよび²³⁰Th, ²³¹Paとその年代学。地球化学討論会講演要旨集, p. 155—156.