テフロクロロジーと絶対年代決定¹⁾

小 林 国 夫²⁾

Tephrochronology and Absolute Age Determination

Kunio KOBAYASHI

Most tephrochronological studies based upon absolute ages are derived from historical records of eruption and radiocarbon dates from Holocene and Pleistocene times. However, unless associated with some organic matters whose ages are younger than 35,000 years old, tephra layers usually could not be dated.

Recently Kigoshi explored the possibility that Ionium dating could be applied to igneous rocks whose ages are not so older as compared with the half-life of Ionium. The method is expected, when the informations would be increased, to elaborate the chronology of the later part of the Pleistocene period.

Momose has shown that the Curie temperature of titanomagnetite in a solid solution series between $TiFe_2O_4$ and Fe_3O_4 , seems likely to reflect the composition of associated magma and is taken as a clue for identification of tephra.

Certain topics on tephrochronology hitherto carried in Europe and in Japan are introduced.

I. Tephra の有効性

第四紀の研究において Tephrochronology の方法による対比は日本では近年とみに活用されるにいったが、元来、Thorarinsson (1944) がこの方法を Chronology と呼んだとき、じっさいには大部分は噴火年のわかっていて歴史時代の火山灰を扱ったのであって、事実上、絶対年数による編年ができたのである。彼のいうところでは：

“アイスランドは歴史時代をつうじて火山活動がはげしく A. D. 870 年にこの島に移民していらい、すでに 140 回の爆発が 25—30 地点でおこっている。この他に記録されない活動もあるので、火山灰が流亡しないで土壌形成がおこっている所では、土壌断面に明瞭に降灰層準が示されている”

このような研究は日本にも例がすくなくない。歴史時代あるいは、先史時代であっても文化層と層位関係がわかっていて詳細な火山灰による編年が出来あがっている

例はとくに北海道に多い(山田・勝井・近堂：1963)。

北海道各地の火山起原のテフラ(山田, 1958), 支笏火山(勝井, 1958), 樽前火山(勝井, 1959), 有珠火山(大場・近堂, 1964)。その他三原火山(Nakamura: 1960, 1961) および富士火山(町田: 1964)などは代表的な例であるが、これら完新世のテフロクロロジーについては本誌に別の著者が紹介するであろう。

テフロクロロジーとはいうものの、歴史時代の記録保持者でないかぎりテフラは絶対年数とは直接のかかわりもなく、それ自体が同一時間面を指示しているという意味しかない。テフラの有効さということは同一時間面が空間的に広く拡大されているということなのだろう。

じっさいにテフロクロロジーが絶対年代とかみ合うようになったのは、 ^{14}C 年代がついた木片などを含む地層と層位関係がついたことなのである。テフラあるいはテフラに関連する火山岩で絶対年代が測定された例はまだほとんどない。

年代決定の材料としては、風化あるいは異質物の混入

1) 1967. 11. 7 受付

2) 信州大学理学部地質学教室 Department of Geology, Faculty of Science, Shinshu University

の可能性から考えると、テフラよりも火山岩を扱う方が間違いがなさそうだが、層位に関する情報は前者の方がずっと多いに違いない。

テフラが絶対年代測定上有利な条件というのは2つある。

(1) テフラは火山体周辺では溶岩・火砕流その他の噴出物と層位関連がつくために年代の古さに従って火砕流中の木片などによる ^{14}C 年代・Ionium 法・K-Ar 法などが可能であり、ときには地磁気極性の変動も大ざっぱな予想には利用できるだろう。

(2) 火山体をはなれるとテフラは成因的に無関係の現象一たとえば地形面・泥炭層・人類遺物などと関連するようになる。そうした有機体の炭素によって年代がわかった例はすでに夥しい。

以上のような事情のなかでテフラと堆積物や地形面との層位関係をつけるという仕事、つまりテフラと地質学的な意義をもつ事実との層位関係をつけることがテフクロノロジーの役割りということなのであろう。

II. Tephra による年代決定

a. K-Ar 法

第四紀の問題として火山噴出物の K-Ar 年代がつけられた例は、第四紀の間でもとくに古い年代にかぎられており、その中でもテフラとしては Olduvai 溪谷で凝灰岩中の鉱物を用いた例があるにすぎない。鮮新世-洪積世境界をめあてとした年代決定例を第1表に示しておく。

第1表 Pliocene-Pleistocene 境界ごろの K-Ar 年代

1	Tuff of the Bed I, Olduvai, Tanganyika (Lower Villafranchian ?)
	1.75×10^6 y (Leakey et al.: 1961, Evernden et al.: 1964)
2	Basalt, Varlos volcano, France (Between Astian and Villafranchian)
	1.61×10^6 y (Evernden et al.: 1964)
3	Biotite, Sutter Buttes, California
	$1.5-1.9 \times 10^6$ y (Evernden et al.: 1964, Evernden and Curtis: 1965)
4	Reversely magnetized lava, Tolstoi Point, St. George Is., Bering Strait (Late Pliocene)
	2.13×10^6 y (Cox et al.: 1966, Hopkins: 1967)
5	Reversely magnetized lava, Utsukushigahara volcano, Shinshu, Japan (Early Pleistocene)
	1.3×10^6 y (Momose et al.: 1966)

b. Ionium 法

K-Ar 法による測定は困難な 10^6 年以後の年代決定法は、テフラであるといふを問わず、なお開発が希望される場所であるが、例えば $\text{Th}^{230}-\text{U}^{234}$ 法ではすでに海棲貝化石などの年代が測定されてきた。さいきんこの方法で地中海沿岸の古典的な海岸段丘堆積物の絶対年代が測定され、Eemian およびそれ以前の高海面期の年代が報告された (Stearns and Thurber: 1965)。

ところで最近の研究の結果、貝殻は炭酸カルシウム質のマトリクス中に保存されたものでないかぎり閉じた系にならないので信頼すべき Th^{230} 年代を得ることは困難だということである (Broecker: 未刊)。

これらの試料中にはもと実質量の Th は全然なかったと考えられるので、堆積物の形成後一方的に増加する Th^{230} を測定すれば年代を知ることができる。しかし火成岩のばあいには事情が異っており、 Th^{230} の半減期の長さ 8×10^4 年に比べて年代の余り古くない岩石中には火成岩固結時らしい Th^{230} の崩壊残物が含まれており、そのほか U^{234} から新たに生成した Th^{230} も含まれることになる。この由来の異なる2種の Th^{230} の量の変化に注目して木越 (1967) は既知の Ionium 法とは異なる火成岩に適用されるイオニウム法を開発したのである。

この方法では $30 \times 10^4 \sim 2 \times 10^4$ 年位のあいだの年代決定が可能であるが、上述のように ^{14}C 年代の測定限界より古い時代の編年にイオニウム法が登場してきた感がある。

この方法は火成岩はもちろん軽石・スコリアにも適用されるが、軽石やスコリアには異質物の混入・ガラスの粘土化の現象が著しく、U-Th 量の多寡など試料によって処理方法に種々の技術的な問題もあるらしい。

御嶽火山第三浮石層 (Pm-III) の浮石のイオニウム年代と、それを取り込んでいる小野泥炭層 (長野県辰野町) の木片 (Kobayashi and Shimizu: 1965, 1966, 小林ほか: 1967) とが次ぎのように測定された (Kigoshi: 1967)。

第2表 小野泥炭層の Radiocarbon 及び Ionium 年代

辰野町小野相吉 (Aiyoshi-II-240)	$>30,000$ ^{14}C y (GaK-158, Kigoshi et al.: 1962)
〃 小野泥炭層 (Ono-IIIa)	$35,700 \pm 1,400$ ^{14}C y (GaK-1047; Kigoshi, 1967; Kobayashi and Shimizu: 1966)
〃 小野川河畔 Pm-III	$37,600 \pm 5,500$ Th^{230} y

III. テフラの同定

日本のようにテフラが主に安山岩質であり、多くの火山から多量に供給されているところでは一枚のテフラの同定、追跡ということはそうとう困難な問題になることがある。

ヨーロッパにおけるテフラの研究例では粒度・鉱物組成・化学成分・屈折率などさらにそれに関連する泥炭層の年代と花粉分析というように入念なデータをあつめている。テフラの稀小価値を思わせる細かい研究ぶりとはともかく、この点、日本ではあるテフラの研究は同時に他のテフラからの識別に役立つことが要求される。

軽石やスコリアのばあい鉱物組成は火口から距離の変化に伴って変化を示すことはない筈だが、細粒のタフのようなばあいには鉱物組成は距離の如何で異なってくる(勝井他: 1963)。このような問題にたいする基礎的研究、さらに鉱物そのものの鉱物学的研究は日本では十分なされたとはいえない。多くのデータは一連の活動をひきおこしている岩漿の成分が火山活動の一輪廻の間では徐々に変化し、その間に飛躍的な変化はおこらないことを示している。この事は鉱物組成や以下のべる titanomagnetite 系鉱物の成分変化でもみとめられる。

最近、百瀬(1967)³⁾はロームの軽石やスコリアについて $\text{TiFe}_2\text{O}_4\text{-Fe}_3\text{O}_4$ 系列の titanomagnetite のキュリー温度 (T_c) を測定し、その起原を推定することを試みている。この固溶体系列では TiFe_2O_4 の減少に伴い T_c は直線的に増加することになっているので、浮石やスコリアの鉱物組成や化学的性質と T_c との対応をみることができる。じじつ関東・信州ロームの浮石やスコリアを扱った結果では起原火山の岩漿の成分変化と titanomagnetite の T_c とはよく関連しあっていることがわかった。

この方法にはなお、基礎的な理論および実験を必要とするが、この鉱物は風化に対してわりに安定であり、測定のための必要量が少なくすむので、特定テフラの同定には有効な補助手段となることがあるだろう。

IV. テフロクロノロジーの実例

前にも書いたようにテフラそのものの年代が決定したためにテフロクロノロジーが進歩したという例はほとんどなく、 ^{14}C の年代測定によって間接的に年代が決定したことがその進歩の原因である。年代の決定に伴ってテフラの関係する相手がよければたいへん面白い“三題

断”ができあがるわけである。

以下、ヨーロッパの例と日本の例の 2, 3 を紹介する。

第3表 Eifel 地方の Tephrochronology (Frechen: 1959, 一部変更)

編年上の位置	絶対年代	火山活動	火山の中心
段丘面	更新世		
低位段丘下位面	新ツンドラ期		
	アレレード	11000	ラーハス口
低位段丘上位面	ヴュルム氷期Ⅱ	25000	ヴェーラス口
	パウルス氷期	26000	
	ヴュルム氷期Ⅰ	29000	
	グッドラフ氷期	44000	
	ヴュルム氷期Ⅰ		
中位段丘下位面	リス氷期		
中位段丘上位面	ミンデル氷期		
新期主段丘面	ギュント氷期	37000	リーデナス口
古期主段丘面			

00000 浮石質火山岩 玄武岩質火山岩 玄武岩 浮石質火山岩 玄武岩 浮石質火山岩 玄武岩

a. Eifel 地方のテフロクロノロジー

ライン河中流の Koblenz-Bonn の間の左岸地域は Maargebiet ともいわれるようにマール式の火口の多い地方である。この地域では洪積世中期から末期まで爆発的な火山活動がつづき軽石やときにはほとんど異質物のみからなるテフラを抛出している。

ライン河の流域には見事な河岸段丘が発達しテフラとの関連がつけられている(第3表)。このうち主段丘堆積物の基底に玄武岩質の輝石とエジリン輝石が含まれ Riedener Kessel の活動の開始を示している。Riedener のフォノライト質の火山灰のサニディンは 370,000 K-Ar 年という値を示した(Evernden et al.: 1952)。

Neuwied 盆地の Kärlich の Würm 氷期のレスの断面には Würm I/II 亜間氷期から Würm III 亜氷期まで Wehrer Kessel の浮石が含まれている。ここのレス断面には氷河周辺気候下の氷楔や Taschenboden などがみられ、テフラの編年上の位置はきわめて明らかである(Frechen and Rosauer: 1959)。一方、ライン河の低位段丘の上位面にはアウインを欠く Wehrer の浮石が出現する。

Laacher 火口の軽石は中部一南ドイツの数多くの湿原に風塵層として存在する。これは Wallensen 湿原堆積物

3) 百瀬寛一(1967) 信州ローム層パミス中の強磁性鉱物の磁性予報。日本地球電気磁気学会第42回講演会。

中で Alleröd の中期にあたることを示している (Frechen: 1959). Laacher 浮石層にふくまれる木片は第4表のように Alleröd の年代を与えている。

第4表 Laacher 浮石の年代 (Frechen: 1959)

テフラの産地	年代	^{14}C 測定者
Gleeser Traß	10680 $\pm$ 85	HI De Vries (Groningen)
Wallensen	11044 $\pm$ 500	W. F. Libby (Chicago)
"	10910 $\pm$ 330	H. Levy u. N. R. Tauber (Kopenhagen)
Thelenberg	10950 $\pm$ 190	K. O. Münnich (Heidelberg)
Brohltal-Traß	11025 $\pm$ 90	HI De Vries (Groningen)
"	11150 $\pm$ 200	Meyer Rubin (Washington)
Frauenkirch-Traß	10800 $\pm$ 300	"

b. 日本におけるテフロクロロジーの 2・3 の話題

テフロクロロジーはテフラ分布地域にあける編年の方法であるから、その土地の他の地質学的条件如何によっても編年の面目が異なってくる。日本のように気候変動の記録に乏しく、陸上の生物の化石に恵まれない国では、絶対年代測定の意義は大きい。

しかしながら日本における ^{14}C 年代による編年という点ではまず系統的なサンプリングと ^{14}C 年代値の量においてなお不十分な点があり、編年のみならず地殻・気候などの変動について多くの問題をかかえている。

1959 年いらい学習院大学の実験室から供給されつつある測定値は Würm 氷期の中期以降の知識の増加に大きな役割を果たしている。

^{14}C 年代さらに歴史時代の記録年代による火山活動史を示したものは本稿第1章にあげたほか Minato et al. (1965, p. 366—371), 木越 (1965, p. 87), 一色他 (1965) などにまとめられているが、すべては雑誌 "Radiocarbon" に登録されている (Kigoshi et al.: 1962)。

(1) 縄文文化の起原の古さ

ここにはあえて縄文文化といわず日本の土器文化といった方がよいが、とにかくこの盛名な問題は、世界における土器文化の発生への疑問に関連してしばしばとりあげられてきた。

なかでも浅間山の第二軽石流 (PF 2; Aramaki: 1963) の年代がそれと同時に考えられる降下軽石によって土器文化と無土器文化の間に境界をひいた例がある (小林, 1964)。

この年代は 10,650 $\pm$ 250 年 B. P. (GaK-331) と 11,300 $\pm$ 400 (M-1430) である。群馬県下で板鼻黄色浮石層

Y P (新井: 1962) と呼ばれる浮石層は元宿遺跡などいくつかの尖頭器文化と爪型土器を伴う縄文早期の西鹿田文化とをわける層位にある。

土器の起原はその後の研究によってさらに若干、古くなるかと思われるが、それにしても 11,000 $\pm$ 1000 年頃に日本における土器の発生なり輸入を考えるとよいであろう (Kobayashi: 1965)。

(2) Würm 氷期の亜間氷期の記録

比較的振幅の小さい気候変動は Würm 氷期のあいだにはかなり短かい周期でおこっているために、そのひとつひとつを国際的な編年に位置づけることはかなり困難であり、現行の ^{14}C 年代測定の精度では俄かに対比ができかねることがある。

Würm 氷期後期の Alleröd や Bölling interval, あるいは Gardena のように北アメリカのみに知られた小暖化期が日本に記録されているのかどうかは問題である。

Alleröd 期については、それが海面変動にあらわれたとみられるような海面上昇中の停滞 (Fujii and Fuji: 1967) が報告されているが、しかしじっさいに暖化を示す地層あるいはその関連層準の年代でおさえられた例は野尻湖と志賀高原のツボガクレ池の堆積物から報告されている (Tsukada: 1967)。

野尻湖ではボーリング深度 2.35~2.4 m のサンプル (11,800 $\pm$ 160 ^{14}C 年 Y-1603), の上位ツボガクレ池のボーリング深度 7.90~7.95 m の (9,740 $\pm$ 440 ^{14}C 年 Y-1130) の下位に、いずれも小さい暖化期があきらかに記録されている。

これらのコアのうち野尻湖のものは長さ 2.4 m までのあいだその上部 0.90~0.915 m, 0.64~0.68 m の層準に火山灰がみられるというが、これが既知のテフラのどの層位にあたるのか、杉久保文化層の古さを検討するうえにもひとつの課題となる。

以上にくらべると Paudorf 亜間氷期は、すでに詳説 (Kobayashi and Shimizu: 1966) したようにテフラとたいへんなかりあいをもっている。

④ 木曾川泥流 26,600 $\pm$ 1,600 (GaK-240 a) と 27,800 $\pm$ 2,000 (GaK-240 b) の年代は信州ローム新期ローム下部の第1スコリア (Sc-I) と同層準にある。

⑤ 木曾川泥流は木曾川を約 100 km 流下し高部礫層から小牧段丘礫層の上部をつくっている (Quat. Res. Group of Kiso Valley and Kigoshi: 1964, 木曾谷第四紀研究グループ: 1967)。

⑥ 中央アルプスの池の平圍谷では第1氷堆石堤上に第1スコリアをのせ第2—3氷堆石堤上にはない。した

がってこの間の氷河後退期はひとつの暖化期を示す。

④ 小牧段丘・立川段丘および富田段丘など海岸地域の段丘面の形成は主 Würm 氷期の海退時における小停滯ないし海進を示すものと予想されるので、氷河性海面変動仮説の立場では小暖化期と考えられる。これら段丘礫層の年代は

立川段丘 約 1.65 万年より古い(立川ローム中部を代表するらしい御殿場蓮華寺の炭化木片 16,500 ± 400 ¹⁴C 年 B. P.) (GaK-318)

富田段丘 礫層の年代 26,000 ± 800 ¹⁴C 年 B. P. (GaK-112)

⑤ 有明海においては小さい海進を指示するといわれる大江層(有明海研究グループ: 1965) の年代は 25,900 ± 1,000 ¹⁴C 年 (GaK-381) と 22,100 ± 900 ¹⁴C 年 B. P. (GaK-274) で今日とかわりない水温の貝と有孔虫化石群集によって特徴づけられている。

⑥ Paudorf 亜間氷期は 2.5~2.7 万年、北米では Farmdale 亜間氷期が 2.3~2.6 万年といわれている。

ヨーロッパでは Würm 氷期の 2 分方式あるいは 3 分方式のいずれのばあいでも Paudorf 期はひとつの仕切りとして用いられている。日本のように海成層の多い国で海岸付近において、Paudorf 期が段丘礫層で暗示されることは貴重であり、これはひとつの目じるしとして適用性がたかい。

(3) 下末吉海侵の年代

下末吉層は日本各地に対等層あるいは対等堆積面とされるものをもち、その時代は最終氷期つまり Riss-Würm 間氷期かあるいは、さらに古い間氷期かということで意見がわかれている。下末吉相当層とされるものには貝化石が伴われるので Th²³⁰-U²³⁴ 年代の測定を行なうことが可能かと考えたが、この方法にも難点があることはさきのべたとおりである。

Ionium 法と ¹⁴C 年代測定により信州ロームの Pm-III が 3.6~3.8 万年の範囲に入ることがわかったが、この年代は御嶽第一浮石層 (Pm-I) の下末吉ロームへの追跡を勘案するとき、関東における下末吉ローム上部一武蔵野ローム下部のそれを暗示することになる。武蔵野ロームと下末吉ロームの間の時間間隙が大きいという証拠は全くないので、どっちみち下末吉層上部の年代が 10 万年をこえるという可能性はない。

Stearns and Thurber (1965) らの地中海沿岸の Tyrhenian 2 または Ouljian は 7~9 万年の海侵をしめしており、これはオランダでも ¹⁴C 年代から想定される Riss-Würm Interglacial の年代だと信ぜられている

(Hansen: 1965, p. 68)。

このように下末吉海侵の時代を Riss-Würm 間氷期より古いとすることはほとんど見込みのない予想である。

引用文献

- 新井房夫 (1962) 関東盆地北西部地域の第四紀編年。群馬大学紀要, **10**, 1—79.
- Aramaki, S. (1963) Geology of Asama volcano. Jour. Fac. Sci. Univ. Tokyo, Sect II, **14**, 229—443.
- 有明海研究グループ (1965) 有明・不知火海域の第四系。地団研専報, **11**, 1—86.
- Cox, A., Hopkins, D. M., Dalrymple, G. B. (1966) Geomagnetic polarity epochs: Pribilof Islands. Bull. Geol. Soc. Amer., **77**, 883—909.
- Evernden, J. F., Curtis, G. H., Kistler, R. (1957) Potassium-Argon dating of Pleistocene volcanics. Quaternaria, **4**, 1—5.
- Evernden, J. F., Savage, D. E., Curtis, G. H., James, G. T. (1964) Potassium-Argon dates and the Cenozoic mammalian chronology of North-America. Amer. Jour. Sci., **262**, 145—198.
- Evernden, J. F., Curtis, F. H. (1965) The present status of Potassium-Argon dating of Tertiary and Quaternary rocks. Rep. VI Internat. Congress, Quat., 643—651, 2 tables.
- Frechen, J. (1959) Die Tuffe des Laacher Vulkangebietes als quartärgeologische Leitgesteine und Zeitmarken. Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **4**, 363—370.
- , Rosauer, E. A. (1959) Aufbau und Gliederung des Würm-Löss-Profils von Kärlich im Neuwieder Becken. Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **4**, 267—282.
- Fujii, S., Fuji, N. (1967) Postglacial sea level in the Japanese Islands. Paper presented at 11th Pac. Sci. Cong., Jour. Geosci., Osaka City Univ., **10**, Art. 1—6, 43—51.
- Hansen, S. (1965) The Quaternary of Denmark. The Quaternary **1**, 1—90
- Hopkins, D. M. (1967) Quaternary marine transgression in Alaska. "The Bering Land Bridge" edited by Hopkins, 47—90 (Stanford Univ. Press)
- 一色直記他 (1965) 放射性炭素 ¹⁴C による年代測定。地質ニュース, **133**, 20—27.
- 勝井義雄 (1958) 樽前火山の軽石流堆積物の時代について。地質雑, **64**, 347—348.
- (1959) 支笏降下軽石堆積物について。火山 (**2**), **4**, 33—48.
- 他 (1963) 十勝岳 1962 年の噴火。岩鉱, **49**, 213—226.
- Kigoshi, K., Tomikura, Y., Endo, K. (1962) Gakushuin natural radiocarbon measurements I. Radiocarbon, **4**, 84—94.
- Kigoshi, K. (1967) Ionium dating of igneous rocks.

- Science, **156**, 932—934.
- 木越邦彦 (1965) 年代測定法. 222 p. (紀伊国屋).
- 木曾谷第四紀研究グループ (1967) 木曾川上流部の第四紀地質 I. 地球科学, **21**, 1—10.
- 小林国夫 (1964) 縄文文化と無土器文化の C¹⁴ 年代. 科学, **34**, 96—97.
- Kobayashi, K. (1965) Late Quaternary chronology of Japan. Chikyū Kagaku, **79**, 1—17.
- , Shimizu, H. (1965) Classification and correlation of Shinshū Loam in the South Shinshū tephrogenetic region, Central Japan. Jour. Fac. Lib. Arts and Sci., Shinshū Univ., **15**, 37—55.
- , ——— (1966) Significance of the Ikenotaira interstadial indicated by moraines on Mt. Kumazawa of the Kiso mountain range, Central Japan. Jour. Fac. Sci., Shinshū Univ., **1**, 97—113.
- Leakey, L. S. B., Evernden, J. H., Curtis, G. H. (1961) Age of Bed I, Olduvai Gorge, Tanganyika, Nature, **191**, 478—479.
- 町田 洋 (1964) Tephrochronology による富士火山とその周辺地域の発達史 1, 2. 地学雑, **73**, 293—308, 337—350.
- Nakamura, K. (1960, 1961) Stratigraphic studies of the pyroclastics of Oshima volcano Izu, deposited during the last fifteen centuries, I, II, Sci. Paper. Coll. General Educ., Univ. Tokyo, **10**, 125—145; **11**, 281—319.
- Minato, M., Gorai, M., Hunahashi, M. (1965) The geologic development of the Japanese islands. 442 p. (Tsukiji Shokan).
- Momose, K., Kobayashi, K., Yamada, T., Ozima, M., Kaneoka, I. (1966) Radiometric age of lava flows of the Enrei formations in central Japan. Jour. Fac. Sci., Shinshū Univ., **1**, 93—96.
- 大場与志男・近堂祐弘 (1964) 有珠火山の降下軽石堆積物について. 火山 (2), **9**, 75—86.
- Quaternary Research Group of the Kiso Valley and Kigoshi (1964) Radiocarbon date of the Kisogawa volcanic mudflows and its significance on the Würmian chronology of Japan. Chikyū Kagaku, **71**, 1—7.
- Stearns, C. E., Thurber, D. L. (1965) Th 230-U 234 dates of late Pleistocene marine fossils from the Mediterranean and Moroccan littorals. Quaternaria, **7**, 29—42.
- Thorarinsson, S. (1944) Tefrokronologiska Studier på Island. Geogr. Annal., **1—2**, 1—217.
- 豊野研グループ・斎藤 豊 (1964) 野尻湖底の哺乳動物化石含有層の絶対年代. 地球科学, **73**, 40.
- Tsukada, M. (1967) Vegetation and climate around 10,000 B. P. in central Japan. Amer. Jour. Sci., **265**, 562—585.
- 山田 忍 (1958) 火山噴出物の堆積状態から見た沖積世における北海道火山活動に関する研究. 地研専報, **8**, 40.
- 山田 忍・勝井義雄・近堂祐弘 (1963) 北海道における第四紀火山屑層物の分布とその編年. 第四紀研究, **3**, 80—87.