

近畿花崗岩における Th ハロの分布*

早 瀬 一 一

〔緒言〕 花崗岩中の黒雲母には多色性ハロとして知られた斑點が往々見られる。これは雲母中の含放射性物質核鑛物より射出される α 粒子によるものである。ハロの研究は J. Joly⁽¹⁾により U, Th 系の諸種のハロ分類が行はれ、これと前後して O. Mügge⁽²⁾の研究がある。飯盛, 吉村,⁽³⁾ Kerr-Lawson,⁽⁴⁾ Van der Lingen,⁽⁴⁾更に最近では G. H. Henderson⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾の一連の有意義な研究がある。以上いづれも主としてペグマタイト中の黒雲母に於けるハロに就てであるが最近 F. Mendes⁽¹²⁾は花崗岩中のものについて測定している。これら一連の研究を歴史的に見るとき次の四つに属する。

〔ハロの研究史概観〕

A. 地質時代を通じて放射性物質の壊変係数の變化の有無：この問題は主として物理學者に注目された。ハロの半徑即ち放射性物質より射出される α 粒子の飛程と壊変係数との間には Geiger-Nuttall relationなるものがあり即ち $\log \lambda = A + B \log R$ なる關係が存在する。こゝに λ は壊変係数, A はウラニウム系列, トリウム系列等, 系に特有な恒数 B はすべての系に共通な恒数, R は飛程である。*** 従つて同一種類の放射性物質より出來たハロがその大きさを異にするならば地質時代を通じて放射性物質の壊変速度に變化があつたことを意味し物理學上重大問題であるばかりでなく, 地質學的にも放射物質による地球年齢測定の上に重大な支へとなる。この問題に關しては大體地質時代を通じて飛程は一定であるという結論に達している。然し乍らハロの半徑を測定する上にその輪廓の不鮮明な點及び母體雲母の產地により異質な點*** 等から測定値に差が出来るのは當然であり, 前者は Henderson による精密な測定で解決されているが後者は黒雲母の化學分析値の嚴密な比較を要する。

B. 未知元素探究：ハロは地質時代という長い時間を經過して出來たものであるから此の間に地球上から消失し

てしまつた元素があり得ると考へ, その崩壊途中に α 壊變を伴へば特有の飛程のハロをつくる。即ちハロのうちで現在知られている α 壊變物質に相當するハロ以外の大きさのハロがあればこゝういふ可能性が強い。例へば Z ハロ (飯盛・吉村) X ハロ及び Hibernium ハロ (Joly) 等がこれである。これに對して明解な結論は得られていないが最近の人工放射性物質の發達からそれらに該當する物質を決定することも可能であらう。

C. 地質年齢決定：ハロによる花崗岩の年齢決定は古く Joly により試みられた。天然のハロの濃度と人工的に一定量の放射性元素から出る α 線により雲母上に作られた斑點の濃度との比較により得られたものであるが, 前者は長年月にわたる α 粒子の放射狀投射であるに對し後者が短時間の平行投射である點, 及び核鑛物中の放射性物質含有量が推定であつた事等が難點である。處が, Henderson⁽⁵⁾⁽⁶⁾は U と AcU は天然に一定の割合を保つて存在するにかゝらず兩者の壊變速度の異なる事を利用して兩系のハロの濃度を比較することにより年齢を算出した。この方法は良好なハロの得られる場合設備さへあれば非常に好ましいものではあるがその測定限界が 400 million years 以上でこれ以下は不能である。

D. ハロの生成機構：以上三つの課題のいづれの時にも伴つて來る問題は黒雲母中に出来るハロの生成機構である。ハロは黒雲母の他角閃石, 螢石, 重晶石等種々の鑛物中に出来るが, 黒雲母, 角閃石と螢石の場合では著しく異なる。即ち前者が全體的圓盤狀黒化で加算的であるに對し後者は明瞭な線的ハロを示す。黒雲母ハロでは放射性物質よりの α 線により雲母中の Fe^{+++} が Fe^{++} に變化した結果であるとされている。この個々の α 線のイオン化作用が完全に Bragg のイオン化曲線に一致するか否かの問題及び過變の α 線による漂白作用 Solarisation の問題がある。この反轉作用があるためにハロの濃度による地質年齢決定は更に複雑なものとなる。又ハロの熱による影響は詳しく Poole⁽¹⁰⁾によつて研究されている。

以上の如くハロの研究は主として物理學者, 地球物理學者によつて行はれて來た。岩石學的考慮を拂つたものは Henderson⁽⁶⁾の分類で, それによるとハロの核鑛物が現在も尙放射能的に active であるものを active halo とし, 之を正岩漿的產物であるとした。一方核が現在で

* 昭和 24 年 6 月 19 日日本地質學會京都支部總會講演

** この式は嚴密には適用出来ない。

*** Bragg & Kleeman の approximate formula より

$$\begin{aligned} R &= \frac{\text{Range in medium A} \times \text{density of A}}{\text{Range in medium B} \times \text{density of B}} \\ &= \frac{\sqrt{\text{atomic weight of A}}}{\sqrt{\text{atomic weight of B}}} \end{aligned}$$

は無能なものを extinct halo とし之を熱水作用の産物であるとした。兩者はその大きさ形で區別出来る。

〔ハロ分布の意義〕 M. Morgan⁽¹¹⁾によれば各種花崗岩中の Zircon がそれぞれ特有の放射能をもつていている。若し花崗岩にかゝる傾向があるならば微量で計數管にもからぬ程の放射性を有する細片雲母上で U. Th の定性的識別、尙進んでは定量を試み各種花崗岩の識別に役立たせる事が可能な筈である。以下はこの意圖を以て行つた觀測結果の一部である。参考のために各種ハロの飛程を第一表に掲げる。

表 1. U. Th. Ac 系の黒雲母中に於ける各種飛程

	A. Knopf (4)	Iimori & Yoshimura (3)	G.H. Hen- derson (8)
UI	12.6—12.8	16~9	12.7
UII	14.5—15.5		15.3
Io	15.1		
Ra	16.0		
Rn	19.4	20	19.2
RaA	22.3	23	23.0
RaC'	33	33	34.2
RaF	18.6		
Th	13.7	15—10 21—18	12.7
RdTh	19.0		20.0
ThX	20.6		
Tn	24	24	23.9
ThA	26.9	27	27.8
ThC	22.6		
ThC'	40.8	41	41.8
AcU	14.7 ?		27.2
Pa	17.4	17—12	
RaAc	22.1	22	
AcX	20.7		
Acn	27.4	27	
AcA	31.1	31	
AcC	26.1		

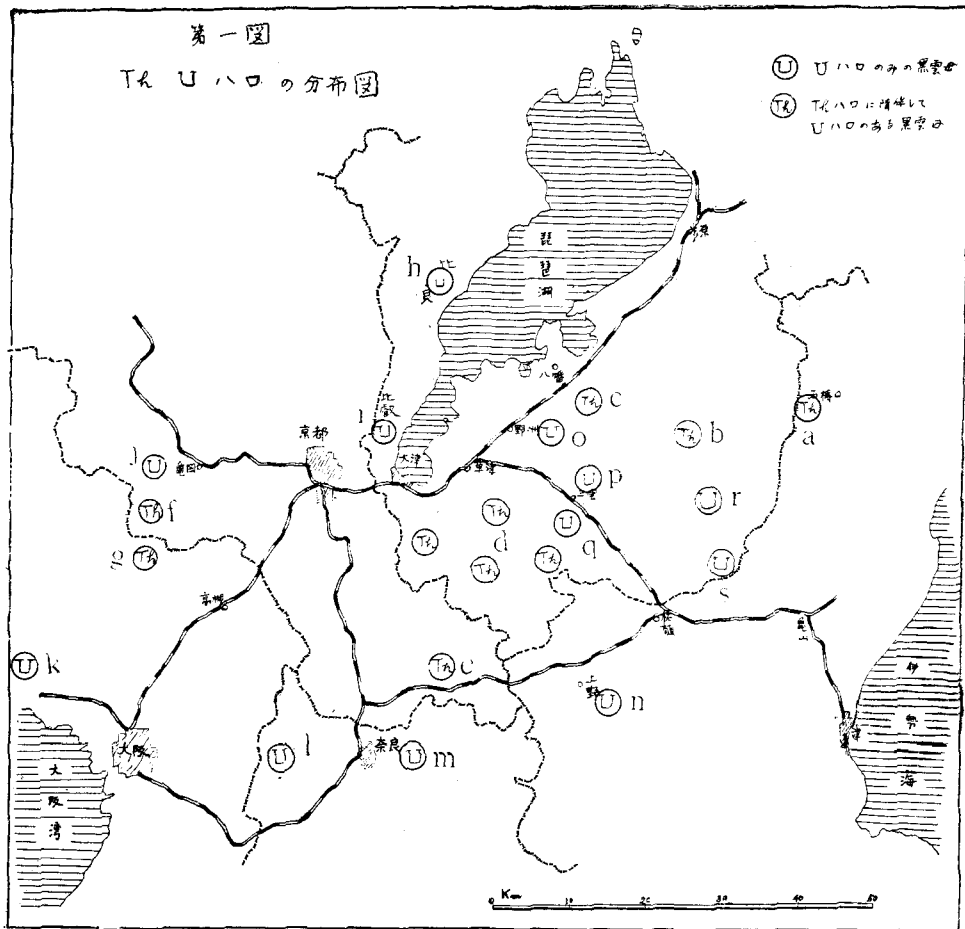
單位 ミクロン Knopf のものは黒雲母の conversion factor=0.00473 として α 線の空氣中に於ける飛程より計算したもの

表 2 長飛程 α 線の飛程

	空 氣 中	黒雲母中 (conversion factor) を 0.000485 として
ThC	9.5 cm	46.6 μ
	11.5 cm	56.0 μ
RaC	9 cm	43.6 μ
	11 cm	53.4 μ

〔測定法〕 ハロの半徑測定には Schrauben Mikrometar Okular を用ひた。核鑛物が極めて小さいときには Th ハロは 40 μ 内外の球狀をなす。薄片の厚さは 20~30 μ であるから岩石薄片上でハロを見る場合には完全な一切斷面でなく球の厚さ 20~30 μ の斷面を見ることになる。それ故圓の最外部がぼやける缺點があるがその中心斷面の半徑を見得る可能性は多い。(勿論いくら薄層でもハロの最外部は α 線のイオン化作用の tail のために當然わづかぼやける。) そこで先づ岩石薄片上で Th 又は U のハロの存否を知り明瞭でない場合は更に岩石中より直接採取した黒雲母の薄層を cedar oil に浸して測定した。黒雲母を薄くはがして 5 μ 以下にすることは理想的なことではあるが技術的に相當困難なことである。例へばハロをもつ黒雲母は一般にこれをもつていているものに比してもうくの様にはがれ難い。これは黒雲母中にジルコン、褐簾石の如き包裹物の多いことも理由の一つであるが放射能のために特にもうくなつていていると考えられる。それ故にハロの多い部分は特に薄くはがれ難い。然し雲母薄片は必ずしも斷面が核鑛物を含む完全圓である必要はなく中心核よりの ring の半徑が測定出来ればよい。核鑛物が極めて微小なときは問題はないがかなりの大きさを持つているときはこれを取りまいて出来るハロの形が核鑛物に略相似形になるためこれを或る斷面のみた場合の ring の大きさはそれが range の本來の大きさか斜に見た大きさを吟味する必要がある。例へば核鑛物が針状の場合にはこれを斜斷したものは橢圓形のハロをもつが飛程をあらわすものは橢圓の短徑である。柱狀鑛物の場合柱端にすれすれで然も核鑛物の見られないハロは實際の飛程よりも大きな形となり得るが、これは多少柱斷面に似た形をもつ。以上は大きく見誤る例であるが小さく見誤る例もある。例へば核鑛物が微小であるが雲母中まで疊り核鑛物を實際より大きく見る場合、又核鑛物が相當大きく(大體 80 μ 以上)その表面よりの α 線と鑛物内部よりの α 線の飛程が著しく異つてくるための見誤りなど小さくなる恐れが多分にある。中心核鑛物からはづれた斷面による二重又はそれ以上のハロよりその組合せの比によつて Th. U 何れの系に屬

近畿花崗岩に於るハロの分布



するかを作圖によつて知り得るが、これは内部ringの切面に近い断面では不正確なものであるし、又岩石薄片の如き厚さの時には好ましくない。

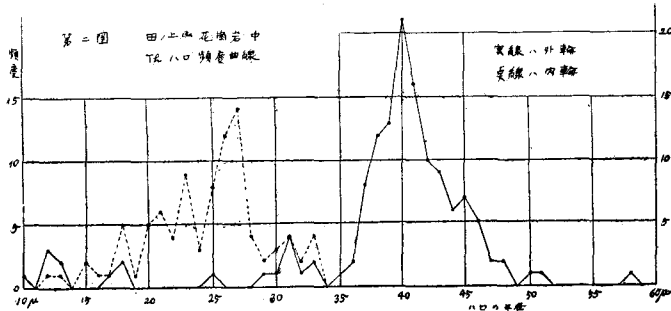
〔トリウムハロの分布〕 田ノ上山、石碯の花崗岩に於ける Th ハロに就ては既に飯盛、吉村兩博士²⁾の詳細な研究がある。田ノ上山花崗岩には Th ハロの發達が著しく黒雲母中に普遍的に存在し、此の花崗岩の特色の一つとなる。此の花崗岩に於ては少くともハロの上では Th 系が主で U 系が従である。Th, U を比較すると、一個の原子が壞變盡す迄に前者は6個、後者は8個の α 粒子を放出する。しかもその壞變速度は後者が前者の約3倍早い。それ故等量の U, Th では U ハロの出来る可能性が著しく Th ハロは二義的なものとなる。故に Th ハロが現はれることは Th が U に比して多いことを意味する。³⁾ 見える見地から京都、大阪、兵庫、奈良、滋賀、三重の各府縣にわたる近畿中部の諸花崗岩についてハロ

の分布をしらべて見ると第一圖の如く一連の關連性があることがわかつた。即ち Th ハロの著しいものに次の三つの地域がある。(1) 三重縣石碯花崗岩 (a) — 永源寺東方愛知川上流花崗岩 (6) — 一瓶割山花崗斑岩 (c) (2) 田ノ上山花崗岩 (d) — 笠置附近花崗岩 (e) (3) 法貴附近花崗岩 (f) — 高槻西方花崗岩 (G) (a) と (b) はその間に僅か古生層を夾むが同一のものらしく (c) は近江入幡東南方の近江平野中に孤立する前二者とは異つた岩種であるが同一系のものと考へられる。(d) (e) は比較的詳細に分布が知られた。(d) は特に Th ハロが多いが (e) はやゝ少く (d) (e) とは朝宮附近を連ねる接觸部を南北に漸移しているようである。(f) (G) の Th ハロ存在は數個の資料で知られたがその分布範圍は明らかでない。但しこれより西方妙見山附近の花崗岩に Th ハロがないことは確めた。(d) (e) と (f) (G) との關係はこの中間の花崗岩 (片町線にかこまれた部分) は未調査のた

め不明である。以上の他の花崗岩には U ハロのみを含み Th ハロは見られない。即ち比良 (h) 比叡 (i) 亀岡西方 (j) 六甲 (k) 生駒 (l) 奈良 (m) 伊賀上野 (n) 野洲附近 (o) 花園山 (p) 三雲 (q) 甲賀郡鮎河村 (r) 鈴鹿峠 (s) の諸地域に於ける花崗岩がこれである。

(a) 及 (b) の Th ハロ、石埴及び永源寺東方愛知川上流の黒雲母花崗岩は外觀上、田ノ上山黒雲母花崗岩に似ている。田ノ上山に比し褐簾石が多い。Th ハロの核鑛物の大部分は Zircon であるが褐簾石も Th ハロをもつ。40~43 μ のハロで時には over exposed で 46 μ に達するものがある。

(c) の Th ハロ。新割山花崗斑岩は俗に長福寺ミカゲと稱する石材を出し石英斑岩と接している。琵琶湖東南の石英斑岩中の一部分である。この中の黒雲母は緑泥石化したもので Th ハロを含む。緑泥石は黒雲母の如く薄くはがれ難いので直接測定は出来ない。薄片上で次のものが認められた。長福寺石切場 (51) $R=39.6\mu$ $r_a=26.1\mu$ 長福寺石切場 (57) $R=37.5$ $r_a=20.3\mu$ 岩倉 (59) $R=40\mu$ $r_a=25.9\mu$ ハロは緑泥石中で多少ぼけている。核鑛物は明瞭でない。

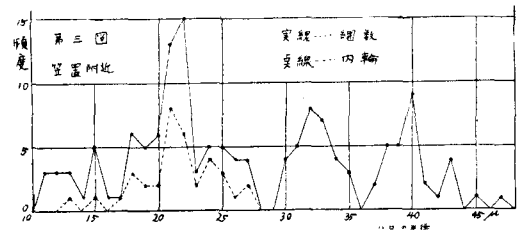


(d) 田ノ上山の Th ハロ。田ノ上山花崗岩は大部分が粗粒黒雲母花崗岩で部分的に優白質兩雲母花崗岩。細一中粒黒雲母花崗岩よりなる。時には白雲母の中にハロが存在することがあるが、かかる時の白雲母の 2V は比較的小さい。Th ハロが著しく第 2 圖はこれら多色性ハロ 273 個測定の頻度曲線である。全體の約半数は岩石薄片上、他は直接雲母片による。大部分は Active Halo で Th C' ハロの中に複合ハロとして Ra C' ハロを含む。27 μ 附近の内輪は Th A に該當する。31 μ 、27 μ 附近に Ac 系の AcA, Acn の ring が存在するか否かは明確には云へないが 31 μ の 8 つの測定値がこれに相當するかも知れぬ。圖で 45 μ 以上のものがあるが之は Over Exposed のハロに伴ひ該當物質が明らかでない。Ra C, Th C による long range であるか不明であるかも知れ

ない (表 2 参照)。Extinct halo type A (RaF) が時々見られるが花崗岩中では接觸部に極めて接近した部分にあらはれ Biotite hornfels 中では著しく多い。Joly の emanation halo の概念を裏書する事實である。このハロの有無により花崗岩質岩石を正岩漿的、變成岩的の兩者に區別出来る可能性がある。これについては別の機會に述べる。

(e) 笠置附近の細粒花崗岩及び粗粒片狀花崗岩についてその含有黒雲母中のハロを検するに Th ハロの存在することがわかつた。然し兩者共 U 系ハロの方が著しく Th 系の方が少い。粗粒片狀花崗岩は特に接觸部に近い部分にのみハロの發達が著しく之を離れるとほとんど見られない。第三圖は笠置附近花崗岩中のハロの頻度曲線でハロの上では細粒花崗岩、及び粗粒片狀花崗岩を區別出来ない。こゝでも Th ハロと U ハロでは核鑛物に相違があるが單に zircon の變種の相違か否かは不明である。屈折率干渉色共に Th ハロの核鑛物は zircon に比し小さい。以上の他 extinct halo と考へられるものゝ數が極めて多いがこゝには述べぬ。唯このハロの中心核も Th, U の active halo と異つたもので明確ではないが Sphene 様鑛物である。

(f) (g) 法貴産の黒雲母細粒花崗岩では 39 μ の外圓と 26.4 μ の内圓を有するハロが見られこれが U 系ハロよりも多い。又高槻西方花崗閃綠岩中に於ては黒雲母より變化した緑泥石中に 40.7 μ 41.6 μ 、42.6 μ の外圓及び 26.4 μ の内圓をもつものが見られる。その他細粒黒雲母花崗岩では黒雲母中に外圓 39.1 μ 、41.6 μ 、42.1 μ 、内圓 24.1 μ 、26.2 μ 、26.1 μ 、29.6 μ のものが見られる。(f) (g) の Th ハロを含む花崗岩の分布は未査である。



西南日本内帯の本州の部分の各種花崗岩について Th ハロの有無を検した結果、東は苗木附近より田ノ上を経て大凡山陽本線に沿ひかなりの巾をもつ地帯に此の花崗岩が點在する。即ちこの種の花崗岩の分布も地帯構造と一致する。

〔結論〕

1. 近畿地方中部の各種花崗岩は Th ハロを含むか否かにより地域別に區別することが可能である。
 2. 核鑛物は Th ハロ, U 系ハロにより異り, 更に extinct halo の核鑛物も別種である。
 3. Th ハロの多い花崗岩が石碓一田ノ上一高槻西方に連る。
- 本研究は文部省科學研究費によつた。研究の機會を與へられた春本教授, 放射能について種々御助言を與へられた初田, 浅山兩先生に深謝する。又標本を提供された港, 松本兩學士に謝意を表する。

References

1. J. Joly.
The genesis of pleochroic aaloes.
Phil. Trans. Roy. Soc. London, A 217:51 (1917)
2. O. Mügge.
Radioactivität und Pleochroitische Höfe.
Centralblatt. Mineral. Geol. 65-71, 113-120, 142-148. (1909)
3. S. Iimori, J. Yoshimura.
Pleochroic haloes in biotite. Probable existence of the independent origin of the Actinium series.
Sci. Pap. Inst. Phys. and Chem. Research Tokyo. 5 p. 11-24. (1926)
4. Adolph Knopf. etc.
Physics of the earth IV; The age of the earth. Nation. Research, Coun. 160p. (1933)
5. G. H. Henderson, S. Bateson.
A quantitative study of pleochroic haloes. I. Proc. Roy. Soc. London, A. 145, p. 563-581. (1934)
6. G. H. Henderson, L. G. Turnbull.
A quantitative study of pleochroic haloes. II. Proc. Roy. Soc. London, A. 145, p. 582-591. (1934)
7. G. H. Henderson, C. M. Mushkat, D. P. Crawford.
A quantitative study of pleochroic haloes. III. Thorium. Proc. Roy. Soc. London, A. 158, p. 199-211. (1937)
8. G. H. Henderson, F. W. Sparks.
A quantitative study of pleochroic haloes. IV New types of haloes. Proc. Roy. Soc. London, A. 173, p. 238-249. (1939)
9. G. H. Henderson, F. W. Sparks.
A quantitative study of pleochroic haloes. V. The genesis of haloes. Proc. Roy. Soc. London, A. 173, p. 238-264. (1939)
10. J. H. J. Poole.
The action of heat on pleochroic haloes. Phil. Mag. 5, p. 132-141 (1928)
11. Morgan Marianna.
Optical, spectrographic and radioactivity studies of zircon. Am. Jour. Sci. 239, p. 305-311. (1941)
12. F. Mendes.
Pleochroic haloes observed in Portugese rocks. Bol. Mus. Lab. Min. Geol. Fac. Sci. Univ. Lisboa. 4 No. 11-12 p. 3-54 (1943-1944)
- : J. P. Marble
Report of the committee on the measurement of geologic time. Nat. Res. com. 1949.

ENGLISH ABSTRACTS

THE GEOLOGICAL STRUCTURE OF THE YAKUNO DISTRICT, KYOTO PREF.

Keiji Nakazawa

1. The geological structure of this district is characterized by zonal structure of Permian and Triassic formations. There may be recognized at least four zones running E-W trend, namely, the I zone of Kawanishi Group (middle Triassic), the II of Yakuno Group (middle triassic), the III of Nukada Formation (Permian), and the IV of Heki Formation (upper Triassic) and Yakuno Group.

2. These zones contact each other by steeply northward dipped or almost vertical faults. Therefore the character of the structure is neither "Decke" structure nor "Klippe" but alike the "sandwich structure" of the outer zone of Kyûshyû Province.

3. The relation between sedimentary rocks and the basic intrusive rocks, distributed at the southern border of the area, is not fault as formerly considered, but sheet-like intrusion.

ON THE DISTRIBUTION OF THORIUM HALO IN THE GRANITES OF KINKI DISTRICT, JAPAN

Ichikazu Hayase

The granitic rocks of Kinki district have more or less the pleochroic haloes, which were studied widely by the writer. As the result, it is concluded that the distribution of Th-haloes in rocks of this district is limited in the band of Ishigure-Tanakami-Nose district, while the granites in other parts have only U-haloes.

Generally speaking it is a rule that variation of the type of haloes is associated with that of the nucleus minerals.

GEOLOGY OF THE CAPE SOYA DISTRICT, NORTH HOKKAIDO.

Toshiharu Etô

The account of the geology of this district was made by K. Jimbô in 1894 for the first time, and later by Y. Okamura in 1912, but only few fossils

were recorded at a few places along the coast-line. In 1940 the geology of the west part of this field was published by M. Tagami briefly and by T. Yagi in detail, but the central and east parts of it remained unknown. In 1949 the writer surveyed this area at the request of P.E.A.C. and found that it consisted of the Cretaceous, Tertiary and Quaternary formations of which stratigraphic classification might be summarized as Table 1. Distribution, lithological character and geotectonics of the formations are mentioned in the text, and the lists of the fossils yielded from the formations are given in Tables 2, 3 and 4.

SOME PROBLEMS ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF ROCKS

Masao Nishihara

The present paper describes results of an experiment and considerations about hardness and tensile-strength of rocks. From the viewpoint of the statistical theory of strength, the author concludes that it is desirable to measure hardness on polished surfaces rather than on natural crystal faces, and that the length-effect of tensile-strength must be observed in the case of rocks as well as that of metals. In the latter case the existence of the effect has already been proved experimentally by the author.

ON THE MEASUREMENTS OF RADON CONTENT IN HOT OR MINERAL SPRINGS.

Zin'itirô Hatuda

The apparatuses for the measurement of radon content in natural springs generally used in Japan are Engler-Sievers, IM-, Schmidt- and HS-fontactoscope. The last is a modification of Schmidt-tontactoscope with improvements in many respects recently designed by the author.

In this paper, the general description of these kinds of apparatus, their uses in detail, especially of HS-fontactoscope, are given as well as criticism on the measurements and structure of them.