

岩石の放射性時辰儀
(アーサー・ホームズ氏)
『地球の年齢』の第六章

上 田 潤 一 譯

約百記『人間は不可解を解かんとする、
然れば神秘の石を充分に穿鑿する』

一八九六年佛國の物理學者ベクレルはウラム鹽及ウラム礦物は黒い紙を透過したり或は黒い紙に包まれた寫真乾板に感ずる不可視線を放射する事を發見した。キユーリー夫人は此劃時代的觀察を繼承し、當時既に知られて居た凡ゆる元素の研究に没頭し、間もなくトリウムのみがウラムに比す可き放射性を有する事を發見した。夫人は其研究探索の途中に含ウラムニウム礦物例へば瀝青ウラン礦の如き者は、其含有するウラムニウムの量の上からは説明出來ない程遙かに活潑に放射線を放出する事も見出した。

此の矛盾は一見奇異で且意味深長であつて、

其後の探究の出發點となり、終にラヂウム及他の稀有元素の發見となつた。今日では我々は三十餘の如斯元素の存在を知る、そして之等凡べての元素はウラムニウム及トリウムを親にもつ二つの主なる系統に屬して居るのである。又アクチニウム列と呼ばれる亞族があつて恐らくウラムニウム系の一分族であらふ。之は全族の約三%をなす。

自然に放出される放射線に三種類ある事は、アーネスト・ラザフォード卿によつて發見せられた。この三種を區別して α 、 β 、 γ 線とする。

α 線はヘリウムの電氣的荷電原子であつて、毎秒數千哩の速度を以て爆發的に放射される。

β 線は水素原子の千分の一より小さき質量を

有する電子であつて、 α 線微粒子よりも更に速かに放射される。

γ 線は活動敏速なる物質的微粒子ではなく、 α 線と同性質の者である。

レーン教授は發光懷中時計を有つ者は誰でも眼で以て放射能の結果を見得る一方法を教へた先ず暗中に光る時計或は磁石を握り、十分間その微光の中に坐して眼を鋭敏にした後、更に一分間暗中に居てから良い懷中レンズで時計を見よ。その時には放射が光つて搖曳して居るのを見るのであらふ。若しも其レンズが直径十倍近く擴大するならば、纏て放射能は爆發した狼烟から出る火花の如うに、無數の火花から成立してゐる事を知るであらふ。此の火花の一つ一つは一つの原子爆發を示し、放出されたヘリウム微粒子が敏感な硫化亜鉛を打つてそれを輝かすのである。

一九〇三年ソツダイ教授と故ウイリアムラムゼイ卿とが、元來全く瓦斯體を含まぬラヂウムラヂウムの成生からヘリウムが發生するのを直接に証明

した。同年巴里に於いてラヂウムは絶えず熱を發散する、そして此の勢力ポテンシャル發生は大部分放出されたヘリウム原子の高速度に源を發する事が發見された。

擬てラヂウム一原子が、ヘリウム一原子と其の潛勢力の一部を失ふならば、残つた原子は何か別の物に變形す可きであつて之に就いて精査した結果一新元素、即ちラヂウム・エマネーションとして知られて居る瓦斯體の發生が明かにされた。之は次いで崩壞して他の元素ラヂウムAが之に代る、そして勢力の劇しい放散或は多くの場合ヘリウムの放出を伴ふ所の類似の變形が長く連續して起るのである。例へばラヂウムですら、單にそれ丈では存在しないで、毎時ウラニウムの崩壞して生ずる姉妹元素の中の一として形成される者である事が判明した。

ウラニウムが逐次に崩壞して行く途中、三原子のヘリウムが發散された後に初めてラヂウムに達する。このラヂウムも亦逐次減衰し、そして新に發生される量と減衰によつて失はれる量

どが等しくなつた時に平衡状態が確立される。最後に入原子のヘリウムが逐出された時に、不安定な誘導元素の發生が終りを告げ、そして化學的に鉛と同じ者である安定な、不活潑な最終産物が残る。そして活潑であつた系統全體が平衡状態に入るのである。其結果として、現存するウラニウムの量と不安定な姉妹元素の量との間には一定の比がある。例へばラヂウムに對するウラニウムの比は約一對三百万であり、之によつて何故ラヂウムは稀有元素であるか説明されるのである。

元來純粹のウラニウムから成る礦物でさへ三百万分の一のラヂウムより含有し得ないのである。若し全系統が平衡状態にある時には、ウラニウム母體の一原子の崩壊は不安定な誘導元素各々の一原子の減衰とヘリウム八原子、鉛一原子の發生を意味する。ヘリウムと鉛は安定であるから其祖先であるウラニウムが徐々に崩壊するにつれて段々蓄藏される。

前章に暗示した地質年代測定法の可能なる所

以は此事實に基くので以下探究を進めるであらふ。

既に放射元素は自ら徐々に解ける發條ゼンアイによつて進行する時計に擬せられた。然し時計は耳に聞えるカチ／＼の音立てて過ぎ行く時を記録するけれ共、放射元素は砂時計に倣つて時を記録する物即ちヘリウムや鉛の蓄積を續けて居るのである。此の如く放射礦物は天然の測時器と考へる事が出来る、即ち年毎に不斷に礦物中に生ずるヘリウムや鉛の原子によつて時を記録するのである。

レーレー卿は先ず各礦物中に蓄積して居るヘリウムの量を確めた後、直接各種礦物中にヘリウムの成生される割合を測定した。そして數ヶ月に互る實驗によつて卿は一瓦のウラニウムから九百万年に一立の割合でヘリウムが生ずる事を証明する事が出来た。

トリウムの場合には同容積の瓦斯を生ずるのに約三倍の時間を要する事が發見された。錫蘭産トリアナイトと呼ばれる礦物は同礦が一年に

發生し得るヘリウムの二億八千六百万倍を元來含有して居る。著々或割合で發生して、之丈容積のヘリウムが蓄積するには二億八千万年かかる事は確かである。

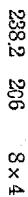
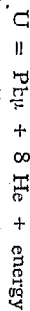
次に我々は成生の割合が地質時代を通じて著しく違はなかつたと言ふ假定の正否を吟味して見様。

之に就いては更に重要な難問が残つて居る。即ち我々はヘリウムが礦物の晶出以來經過した時間を通じて、其礦物中から逃げなかつたと言ふ事を確かにする事が出来るであらふか。不幸にして我々は爲し得ないのである。ヘリウムは瓦斯體であつて、どの放射礦物でも空氣に曝されるや否や、其内に蓄積する瓦斯體の一部を失ひ初めると言ふ事が實驗的に証明された。化學分析の爲め礦物を粉末にする時には、更に多くのヘリウムが漏洩するのである。従つて或礦物中のヘリウムは實は同礦が生涯の間に發生した全量の一部に過ぎないのである。

話はレーレー卿の研究に成るトリアナナイトに

戻るが、其年齢が二億八千万年に過ぎないと考ふるは明かに誤りである様に思はれる其年齢は之よりも更に高かる可きである。トリアナナイトは初め錫蘭島の粗粒花崗岩から壞れ出でて以來、數千年間風化作用に委せられた所の砂礫の中に現出する。此如く砂礫中に現出して風化作用に曝れて居る間に、ヘリウムの貯藏は漏洩して終つた、それで今日の測定は其年齢の最少見積りに過ぎないのである。

幸ひにも放射元素の最終産物である鉛は容易に逃げ様とせぬ者である。ウラニウムから鉛に至る最後の變化は左の原子方程式で示される



式中の數字は元素の原子量を示す、そしてウラニウムの二三八・二は鉛二〇六とヘリウム三二を生ずる事を示す。扱ウラニウムからヘリウムの成生される割合は既知であるから、百万瓦のウラニウムは毎年七千四百百分一のウラニウム鉛を生ずる事は容易に計算される。

かくして若し我々が分析によつて礦物中のウ
ラニウムUの百分比を、然して又其中に蓄積さ
れて居るウラニウム鉛 Pb_{210} の百分比を知るな
らば、其蓄積に要した時間は次の簡單な方程式
で大略近似値が得られる。

$$Pb_{210}/U \times 7400 \text{ 百萬年}$$

此の式は(以下の式も同様)礦物が最初に、品
出した時に、既存ウラニウムの固有量は現に残
存する量Uよりは若干大なる($U + Pb_{210} + He$)で
ある可きであると言ふ明白な事實によつて若干
の補正を要するのである。ウラニウムから誘導
された鉛の原子量は二〇六である。然るに普通
鉛の原子量は二〇七・二である事に氣付くであ
らふ。此の原子量の差は眞である事は、永い地
質時代を通じて安定な最終産物を蓄積した含ウ
ラニウム礦物から、分離し得た鉛を實地に測定
して確証され既に疑の餘地なし。他の點では化
學上二つの鉛は同一である、然し原子量の差は
市場に見る普通鉛(通常鉛の礫石である方鉛)
ニウムから生ずる鉛との判別に價值ある手段と

なるトリウムも亦ウラニウムと全く同様に逐次
崩壊して一つの長い系統を作る、然しヘリウム
は唯、六の時期にのみ放射されそして最終産物
は更に別種の鉛、即ち同位原素である。此の原
子量は二〇八であり、最後の變化は左の如く表
はされる。

$$Th = Pb + 6He + \text{energy}$$

$${}_{90}^{232}Th \text{ 鉛 } \rightarrow {}_{82}^{208}Pb$$

$$232 \quad 208 \quad 6 \times 4$$

トリウムよりヘリウム成生の割合は、百万瓦
のトリウムが一年に僅か一万九千五百分一瓦の
トリウム鉛を生ずるに過ぎぬ事を示す。此如く
して若し或礦物中のトリウムとトリウム鉛の百
分比が Th と Pb であるならば、鉛の蓄積に要した
時間は大略次式で與へられる。

$$Pb/Th \times 19,500 \text{ 百萬年 或は } Pb/0.38Th \times 7,400 \text{ 百萬年}$$

但し崩壊の割合は過去に在つても不變であつ
た事を要する。よく出會す事であるが、母元素
ウラニウムとトリウムの両者が一放射礦中にあ
る時には全體の鉛($Pb_{210} + Pb_{206}$)又 Pb_{210} に Pb_{206}
(Pb_{210})が蓄積に要した時間は次式で與へられる

$$\frac{\text{Pb}}{\text{U}+0.381\text{Th}} \times 7,400 \text{ 年}$$

此式も前の如く礦物の生涯を通じて母體が消耗する爲に僅小の補正を要す。比 $\frac{\text{Pb}}{\text{U}+0.381\text{Th}}$ は便宜上鉛比と言はれる。

扱て凡べての變質せざる初成放射礦物（即岩石の固結と共に晶出して以來風化や火山作用の如き天然營力によつて化學的干涉を受けなかつた礦物）は、若し其等が同一地質時代の者であれば同じ鉛比を有つ可きである事が明かであらふ。又更に古い地質時代の不變質初成礦物はより近世に屬する礦物より高い鉛比を持たなくてはならぬであらふ。

之等の推斷は實証によつてよく支持される。又往々出會す見掛け上の矛盾の起因は一般に、絶對にして本質的條件である新鮮さが満足されない所にある。

鉛比から其礦物の年齢を計算するのに色々な假定を用ひるが、次に之等を吟味して見ねばならぬ。

岩石の放射性時辰儀

我々は左の事項を確信し得るだらふか。

- (a) 鉛は結晶作用によつて放射礦物が出現した時に、其中に元々無かつたか。
- (b) 鉛は礦物の晶出後其中から失はれたり或は外部から其中に取入れられたりしなかつたか。
- (c) ウラニウムもトリウムも二者乍ら地質時代を通じて同じ割合で崩壊したであらふか。

第一問 (a)の解答は、分析された實驗試料の礦物組成の如何による。通常火成岩や巨晶花崗岩の多くの者は唯微かに鉛の痕跡を示すに過ぎぬ。そしてウラニナイトその他多種の放射礦物は通常、鉛の礦石とされて居る方鉛礦を含む巨晶花崗岩中に産しない。或ウラニナイトから分離した鉛の原子量は理論數値二〇六に頗る接近して居る事から、通常の鉛（原子量二〇七、二）は欠除して居る事或はそれ故に決して存在しなかつた事を示す。他の場合には年齢決定の上に影響を及ぼすには不十分ではあるが、極く

ウラニウム礦物の鉛の原子量

礦物	分析者	原子量
カタマンガ産 瀝青ウラン礦	ヘニツヒシユミツド及 ピルケンバツハ	206.048
モロゴロ産 ウラニナイト	ヘニツヒシユミツド及 セント・ホロビツツ	206.046
ノルウエイ産 プレツガライト	同上	206.06
南ダコタ産 ウラニナイト	ハル及リチャーズ	206.07
ノルウエイ産 クレヅエート	リチャーズ及 ツアズウォース	206.08
ノルウエイ産 プレツガライト	同上	206.12

地球

第十卷

第三號

1101

四四

少量の普通鉛の存在する事もある。實際に見出された原子量は、ウラニウム礦物が全然トリウムを欠く事が稀にしか起らないからには、非常によく行つた時でも常に二〇六よりは僅かに大きいのである。

或瀝青ウラン礦は、例へばコーン・ウォールのセント・アイブスやチェッコ・スロバキヤのヨハヒムスタールに於ける如く、礦脈をなして現出しそして方鉛礦と密接に隨伴して居る。

此場合には普通鉛が元來放射礦中に存した事は疑を容れぬ。然し幸ひにして、此の種の不純礦物から分離した鉛の原子量は、普通鉛とウラニウム鉛との割合を知るのに役立つ。例へばヨハヒムスタールの瀝青ウラン礦は殆んどトリウムを含まぬからトリウム鉛に因る煩雜さを無視出来る。該礦は〇・〇四二と言ふ大なる鉛比を與へる。鉛の原子量はヘンニツヒ、シユミツド教授によつて決定された、そして二〇六・四と言ふ値は鉛の三分一が通常鉛(二〇七・二)で、三分二丈がウラニウム鉛(二〇六)である事を示す。故に正しい鉛比は〇・〇二八となる。

右の如くに固有鉛の存在する爲めに起る困難は原子量の決定によつて打破する事が出来るのである。

第二假定(b)は稍々説明に容易でない。

新鮮及變質礦物の鉛比

岩石の放射性時辰儀

礦物	U	Th	Pb	Pb
				$\frac{Pb}{U+0.38Th}$
加奈陀産ウラニナイト				
(1) ヴィレニユープ	64.74	6.41	10.46	0.154
(2) パーリサウンド	69.19	2.83	10.83	0.152
(3) 同上	66.12	2.94	9.76	0.143
(4) ビユツト町	66.02	1.08	9.82	0.146
(5) 同上	64.24	0.71	9.62	0.147
(6) カーザフ(變質せり)	55.26	11.92	10.25	0.169
諾威アレンダル區域				
(1) ウラニナイト	61.27	3.65	10.16	0.162
(2) ニベナナイト	56.25	6.66	9.40	0.160
(3) ウラノトライト	8.80	45.50	1.55	0.160
(4) ウラニナイト(變質せり)	55.05	3.22	9.78	0.172
(5) グレヴェート(變質せり)	54.00	4.05	10.16	0.183

若し同じ地質時代の岩石から採つた新鮮な初成礦物の一組を通じて、鉛比が等しければ、其時には該礦物は其地質時代を通じて、鉛を失ひもしなかつたし又取入れる事もしなかつた事が頗る確かとなる。何となれば若しも右様にしたとすれば、其結果は處によつて異なる可きで且鉛比も變るであらふ。

變質作用の明白な影響は次の分析に見られる。

表に見る如く各組のウラニウム礦物に於いては、變質の結果はウラニウムが鉛より多く除去される様であるから、變質の影響は鉛比を高めると概言出来る。

然しトリウムに富む礦物の間に此の方則は適用されない。そして礦物が一見新鮮である場合でさへ實際信

頼出來る一定の比がないのである。

ウラニウム礦物とトリウム礦物との間には此點に於て頗る著しい對照があるので、ローソン教授と著者とは一九一四年に『鉛は恐らくトリウム系統の最終產物ではないであらふ』と結論した。又一九一八年にソツデイ教授は『最終產物の僅かに三五%丈が鉛であるのかも知れぬ』と言つて居る。然し其後研究した處では事實鉛は安定な最終產物であると言ふ意見に代る可き満足な結果を得なかつた。然し乍らトリウム礦物は餘り信用出來い結果を與へて居るので該礦は常に全方法の確實さに疑を投げる、換言すればウラニウム礦物の鉛比が年齢の指數としては高きに失する事を示すのである。

次に錫蘭產若干の礦物の興味ある表を掲げる
 ジョリー教授は No.4 の比は其より四倍も大なる
 No.1 よりも信用出來ると力説して居る。トライイト

の年齢は一億二千万年であり、瀝青ウラン礦は四億八千八百万年である。若し此の内孰れかを採る可きならば我々は孰れにす可きであらふか

錫 蘭 產 放 射 礦 物 の 鉛 比

礦 物	U	Th	Pb	Pb
				$\frac{Pb}{U+0.38Th}$
1. 瀝青ウラン礦	71.40	7.86	4.75	0.066
2. トライイト	4.57	62.8	1.28	0.045
3. トライイト	3.50	59.2	0.78	0.629
4. トライイト	1.62	54.4	0.36	0.016
5. トライイト	1.88	65.4	1.71	0.064

其平均は○・○六三である。此の如く錫蘭產の全礦物より得られた實証は、○・○六より高き

扱初めに、
No.4

の最小結果は
No.5

の○・○六四の

鉛比より一層正

確らしいと信ず

可き理由は何も

無い。正反對に

後の比は瀝青ウ

ラン礦の比と實

驗上等しいので

ある。第二に、

十四のトリアナ

イトの比は○・

○四七乃至○・

○七四であつて

比の採用に與し、而して或種トリアイトの與へる低い値に對しては何か外の説明を見付けらばならぬ事となる。

分析と原子量測定に基礎を置く凡べて利用し得べき資料に就いて最近精査せる處では、確かにトリウム礦物は其結晶の網目を循環する少量の水分の色々の作用の爲に、鉛を失ふらしいと言ふ事が判つた、そして又トリウム鉛はウラニウム鉛に優先して抽出されるらしいのである。然し乍らトリウム鉛もウラニウム鉛も二つ乍ら普通鉛と同じ性質を持つから、或礦物中から甲が乙よりも比較的多量に失はれると言ふ事は信じ難いのである。

けれ共こう云ふ現象は事實起つた者の様である。錫蘭産の分析されたトリアナイトの中三は特に興味がある、何となれば其等は原子量測定のため三個の鉛の標本が抽出された實物であるから。之等の分析及へニヒシユミツド決定の原子量は左表の如し。

錫蘭産トリアナイトの鉛比及各の混合鉛の原子量

	U	Th	Pb	Pb	鉛原子量
				U+0.88In	
1	26.8	57.0	3.5	0.072	203.84
2	23.2	62.7	3.11	0.071	206.91
3	11.8	68.9	2.34	0.062	207.21

鉛の原子量二〇六・八四は五八%のウラニウム鉛と四二%のトリウム鉛とから混成されて居るのである。此の様に鉛の各同位元素の量は計算出来るから夫々から別々に年齢が算出された。

$$\begin{aligned} \text{No.1} & \frac{3.5 \text{ の } 58\%}{26.8} \times 7,400 = 562 \text{ 百 萬 年} \\ & \frac{3.5 \text{ の } 42\%}{57} \times 19,500 = 500 \text{ 百 萬 年} \end{aligned}$$

同様に他の二分折から次の年齢を得

No.2—	$\frac{\text{ウラニウム鉛}}{\text{ウラニウム}}$	$\times 7,400 = 614$	百 萬 年	}	地
	$\frac{\text{トリウム鉛}}{\text{トリウム}}$	$\times 19,500 = 450$	百 萬 年		
No.3—	$\frac{\text{ウラニウム鉛}}{\text{ウラニウム}}$	$\times 7,400 = 577$	百 萬 年	}	球
	$\frac{\text{トリウム鉛}}{\text{トリウム}}$	$\times 19,500 = 410$	百 萬 年		

各場合共にウラニウム鉛が算出された年齢はトリウム鉛から算出された者よりかなり高い。之は各礦物共に其トリウム鉛の一部を失つたと言ふ假説によつて最も容易に説明される。

以上考察した處によつて、礦物の中ではウラニウムより生じた鉛は比較的溶解性の化合物中に存し、トリウムより生じた鉛は溶解性化合物中に存在するのであらふと言ふ事が言へる。

扱て鉛の一原子がウラニイト結晶格子の内に入り來る時には、鉛の原子はウラニウムと酸の原子によつて取り圍まれる可きで、之を換言

すれば鉛原子は酸性の環境の中にある。ヘリウムは化學的に不活潑元素であるから考慮の要なし (b) で原子一般の組合はウラン化鉛分子を形成する様な原子集團に相當するであらう。

最初に原子排列は偶然の事であつたかも知れぬ、しかし若し水分が結晶内を徐々に通過するならば、其結果起る所の限定された可動性と運動性の置換は各點に於て、最も不溶解性化合物即ウラン化鉛の形成を促すであらふ。トリウム礦物中では鉛はトレートを作る事は出来ない。何となればトリウムと酸素とは酸性環境を作らぬからである。而して事實トレートの存在は知られて居ない。トリアナイト中では鉛は酸化物として大部分存するであらふ又トライト中では一部酸化物として、一部珪酸化合物として存するであらふ兩礦物中最も有り觸れた鉛化合物は夫故に比較的溶解性の型である。

混和礦物例へばウラニウムに富めるトリアナイトの如きは鉛を失ふ傾向は、ウラニウムに乏しきライトよりは小であらふ。此事はトリアナ

テキサス州ラーノ産放射礦物

礦物	U	Th	Pb	Pb
				$\frac{Pb}{U+0.38Th}$
1. ウラニナイト	55.18	5.90	9.35	0.163
2. ウラニナイト	56.45	6.66	9.43	0.160
3. マツキントツシヤイト	19.75	39.86	3.47	0.099
4. トロガムマイト	19.70	31.40	2.01	0.063

岩石の放射性時辰儀

イトより移動するトリウム鉛は大部分ウラニウムと酸素で成る原子集團を通過せねばならぬと言ふ事實より起るのである。

若し然らずば逃去るだらふと思はれる鉛の一部は斯くして維持せられウラン化物として固定されるであらふ。

トライトに於ては鉛を維持するに要する能力は實際に僅小である。優先濾過作用説

はかくの如く化學的比率と符合して居る、又永らく未解決であつたトリウム礦物とウラニウム礦物との間の矛盾は、初めて一の適當な説明を得た様に思はれる。

疑はしき礦物各群は凡ゆる實証の十分なる考察によつて、夫れ自身の真相を判断されねばならない。

テキサス州ラーノ産礦物中ウラニナイトを除いては新鮮でない。右に記した二つのトリウム礦物はウラニナイトより遙かに低い比を與へ鉛を失ふ傾向あるを示して居る。No.4はNo.3から酸

化や水化作用によつて生じたる、黄褐色の殘留礦物である事は一顧の價がある。此變化に相當してトロガムマイトの鉛比はマツキントツシヤイトの夫れよりも低い。之に反しウラニナイトは酸化及水化作用によつて異常を示さぬ。その鉛比は鉛の濾過や添加によつて變化した様な形跡がない。一般にトリウム礦物は確たる根底が無いならば、彼等の示す所を採用するのは疑問

である。ウラニウム礦物は彼等が新鮮なるか、變質して居るかによつて、或は同時代の岩石から採つた一組の礦物の鉛比が一致するか否かによつて、信じ得可く又信す可からずである。その何れにしても年齢決定に對する價値は一般に原子量の決定によつて著しく増大される。

第三假説(c)は多色性暈の見地から最もよく吟味する事が出来る。そして此の興味ある題目を紹介する爲めに、我々は多色性暈の性質と起原とに就いて二十年前の研究を一考し様。

岩石中にウラニウムやトリウムの存在する時は最も美觀を呈す事がある。黒雲母、電氣石其他二、三礦物の薄片を顯微鏡下に檢する時、小さな環狀或は圓盤狀の斑點即多色性暈と呼ばれる者を屢々見受ける、そして其中央に風信子礦及他の放射礦物の微晶が常に存在す。

一九百〇七年ジョリー教授は之等多色性の強い斑點は、其中央にある微小の包裹物の放射能に基因すると發表し疑惑を解いた。

α線即ヘリウム原子は色々の放射元素より放射されるが、孰れも同一速度を持たない。ウラニウムより發するα線は雲母を約十七分一耗丈透過する事が出来、そして正に休止せんとして大部分の荷電子を失ふのである。又彼等はどの方向にも等しく放射されるに相違ないから、ウラニウムを核心とした球面を占める様になる。

ラヂウムより發するヘリウム原子は更に速かに運動し、更に深く透徹し更に一ツの球面を形成する。ラヂウムcよりのα線は最大飛程を有し、他の凡べてを包含する球體を形成する。

トリウム系ヘリウム原子の飛程も同程度であつて、ウラニウム系の者より僅かに大である。

従つて合成せられた球の直径は稍々大となる。

又ヘリウム原子が透過し得る距離は透過される物質の密度の大小によつて異なる。空氣中に於ける飛程は細心の注意を拂つて測定せられたそれで黒雲母に對する其値は容易に算出されるのである。

ウラニウム系の中、最大球は三十分一耗、ト

リウム系は二十五分一耗の直徑を持つてあらふ
扱て多色性量の最大直徑が綿密に測定された
るして理論上豫期される直徑を持つた二種の色
暈のある事は確實である。

此主張を實際に確立する爲めラザフォード卿
はガラスや黒雲母の片中に人工の色暈を作つた
色暈の色は二の因子即(イ)中心包裹物の放射
能、(ロ)色暈が現在する所の礦物の年齢、に基
づく。ヘリウム原子は特定の殻層中に集積する
から色は益々深くなる。色暈がかなり古い岩石
中にのみ見受けられる事は、興味あり且意義あ
る事である。

第三紀時代の花崗岩には一般に目に見える程
の色暈は無い。然るに三疊紀、泥盆紀の黒雲母
花崗岩には色暈は屢々よく發達して居る。

數年前ジョリとラザフォードとは色暈の色
によつて、カーロー地方(下部泥盆紀)のレーン
スター花崗岩中の黒雲母の色暈の年齢を見積る
事を試みた。人工色暈が同じ黒雲母の中に、作
用した放射能と其時間を正確に測定出来る様に

制限した條件の下で作られた。人工色暈は短時
間に高度の放射能が作用する事によつて作られ
天然色暈は長時間低度の放射能が作用して作ら
れたのである。

天然色暈が人工色暈と全く同じ濃度の色を呈
すと假定する。若し今、中心包裹物の放射能を
見積る事が出来れば、放射能の働いた時間は容
易に算出出来る譯である。かうして見出された
時間は、勿論色暈と色暈の存在してゐる礦物の
年齢であるであらふ。一度天然色暈と人工色暈
との色が對比されれば、殘る問題は天然色暈の
中心に在る風信子礦の放射能の見積り丈である
包裹物の容積は倍率の高い顯微鏡を使へば容易
に決定出来るが、不幸にして風信子礦を分離し
てウラニウムの含量を直接測定する事は出来な
い。けれ共上の如うな困難は公算極限に訴へる
事によつて打破される。

ウラニウム十%以上を含有する風信子礦は知
られて居ない。若し此の數字が檢される凡べて
の色暈に適用される者であるならば其中の或者
即淡色の色暈は明かに低過ぎる年齢を與へ、他

者即暗色量は正確な數に近い、恐らく少し大なる年齢を與へるであらふ。

實際ジョリーとラザフォードによつて得られた値は、五千万年乃至四億七千万年であつて、大きい値の方が小さい方より確かに真に近い。年齢が大過ぎるか小過ぎるかは此研究に費用されて居る方法によつては未だ決定出来ないのである。

多色性量の研究を續行中ジョリーは古い花崗岩の雲母中にあるウラニウム量は、若い岩石のよりも大なる半徑を持つて居る事を發見した。細心の注意を拂つて測定された結果は左の如くである。

原子崩壞の割合と該原子の發するα粒子の飛程との間には、一定の關係があるのでジョリーは恐らくウラニウム或は其若干部分は、現在よりも過去に於いて一層速かに減衰し、そして崩壞の割合及其結果である色量の半徑は地質時代を通じて漸く減少したと考へて居る。

雲母原產地	色量の半徑(單位)	地質年代
愛蘭, モールン山	0.0136	第三紀
愛蘭, バリエレン	0.0146	泥盆紀
芬蘭, ラバキヅイ	0.0152	前寒武利亞後期
諾威, アレンダル	0.0155	前寒武利亞中期
瑞典, キテルビイ	0.0160	

トリウムの色量は年と共に半徑の變化を示さない、そしてこの事はトリウム系には見られぬ所のウラニウム系の或る非常な複雑さを指摘する者である。

更にトリウム崩壞の割合は地質時代を通じて變らなかつた事は、更に別の方法によつて證明される。

如斯ウラニウム異常の他の説明は、ウラニウム崩壞の割合は又均一であつた、即ち實際上均一であつた事の證據としてウラニウム量を用ひる方向に路を開拓するであらふ。

ツヨリーの解説は若しもウラニウムの未知の同位元素が礦物中に在つて、地質時代を通じて夫が消耗されたとしたならば、今では主として二〇六以外の原子量を有つ鉛として現はれるであらふと言ふ考察の爲めに無根となる。

加之、變質を免れた若干のトリウム礦物はウラニウム礦物と同じ鉛比を與へる。夫れで若しトリウム崩壞の割合が過去に於いても變らなかつたとすれば、ウラニウム減衰の割合は實質的には一定に保たれたに相違ないと言ふ事も同様に言へる。

ウラニウムは二の判然たる姉妹元素を生ずるのでトリウムと區別される。其中の一はラヂウム系によつて進み(九七%)、他はアクチニウム系を辿る(三%)。

判然たるウラニウム量の異常はアクチニウム系の一員に基因する附加的色量によつて説明される可きであると言ふ事は有り得る様である。

若い色量にあつては其効果は全く檢出されないであらふ。そして附加的色量は頗る長時間を

経過した後最大半徑に達し、徐々に可視となつたに過ぎないであらふ。

それであるからウラニウム量の見掛けの半徑は、若い者より古い例へ行くに従つて段々増すであらふ。

ウラニウムに對するアクチニウムの關係が明にされる迄は、之に代る可き説明は証明され得ぬとしても、然しウラニウムは過去に於いては更に速かに崩壞したと言ふツヨリーの説が凡ゆる實証と調和せぬのに、之に代る可き説明は原子量の方の實証と少くも調和して居る。

崩壞の割合の一定不變である事に就いての他の疑點は次に述べる。

放射物質に課せられる處の物理的、或は化學的條件にして、極く輕微な檢出し得る程度の効果を放射物質の操作の上に及ぼす者はない様である。

英國學術協會の一九二一年の會合に於てレーン卿は這般の消息に就いて左の如く約言して居る。

『吾人は實驗室内にて崩壞の割合を鋭敏に變化し得る處の壓力及溫度の變化に關しては、何等の實驗をも行ふ事は出来ない、そして地球の皮層に於ける溫度も壓力も此の如き効果を及ぼしたと言ふ事は既に十分なる研究を遂げられぬ確實の事である云々』と

故に大體から云へば、ウラニウム崩壞の過程に於いて其割合が昔も今も同じであつたと信じ得る様に思はれる。然れば我々は最後に、變質を受けない初成礦物の年齢は次式によつて正しく與へられると結論しても差支へないであらふ

$$\frac{\text{Pb}}{\text{U}+0.387\text{Th}} \times 7,400 \text{ 百萬年}$$

礦物が晶出して此方、行はれたウラニウムやトリウムの減衰は此式によつて與へられる年齢を減ずる様に影響する事を考へよ。

補正した年齢は最も簡便に次の數を近似年齢に乘じ合せば得られる。

$$\left(1 - \frac{x}{2} + \frac{x^2}{3}\right) \text{ 此中 } x = 1.55t \frac{\text{Pb}}{\text{U}+0.387\text{Th}}$$

此式によると年齢減少は後期に於て小さく古い前寒武利亞紀に於ては一〇%のみに達する。此章を結ぶ表は現今利用しうる多くの資料に就いて概括してある。

來る可き數年は此問題に關して長足の進歩を見る事と豫想される。何となれば多くの米國地質學者及化學者が今や放射礦物の研究に熱心に協力しつつあるからである。

合衆國國立研究會は、敏腕なるレーン教授を議長とし原子崩壞によつて地質年代を測定する委員會を任命した。

目下多くの放射礦物の地質年代は満足に知られて居らないが、然し算出した所の年齢は到處で間に合ふ様な實証と調和して居る。

第三紀の開始は約六千萬年の昔に遡り、泥盆紀より二疊紀に至る上部古生代は二億五百万乃至三億七千万年に亙つて居る。

前寒武利亞紀は略々三點に集る一組の結果を示す、即六億、九億及十億五百万年である。但し以上の外に十二億六千万年と言ふのがあ

れ共之は確かではない。

モザムビック及ゴタ産の他の礦物は更に高齡を與へるが、夫れ等が示す處は重要な價值ありと考へられぬ。

我々は今や地史の抑もの始りに達した様に思ふ、しかしこの大陸でも最も古いとされて居る火成岩が深處から上昇しない前に、既に宏大な厚さを有する堆積層が表面に形成されて居た。そして之等は順次に今では何の痕跡をも止めて居ない更に古い火成岩の削磨によつて誘かれた者に違ひない。夫れであるから我々は少くも放射礦物より決定した最大年數に或長さの時代を加へて、地球の年齡は十六億年より小さくないだらふと確信して言明する。

地球の年齡の最大限を見出す一の試みが、火成岩の凡べての鉛は放射能に起原を發すと云ふ假定の下に、エッチ・エヌ・ラツセル教授によつて行はれた。

我々が平均岩石百万瓦中の元素の量を考える

ならば、鉛は七・五、ウラニウムは六、トリウムは十五瓦に達する。今鉛發生の見地から放射元素をウラニウムの項のみで表はすならば、其量は $U + 0.83Th$ 即一・七瓦である。若し全ての鉛が放射元素から來たとすれば、其時はウラニウムの原の量は二〇・三瓦であらねばなぬ。

扱て二〇・三瓦のウラニウムが一・七瓦のウラニウムを残し、七・五瓦の鉛と一・一瓦のヘリウムとに崩壊するに要する時間は三十億年以上である。

地球の年齡は此の數値を超える事は出來ない。何となれば岩石中の鉛の一部は原子量二〇七・二の普通鉛であり、且又放射元素は太陽中にも存在して地球の生れぬ以前に鉛を發生して居たからである。因つて我々には地球の年齡は三十億年よりは寧ろ十六億年に近しと信ず可きであると考へるのである。