

海洋に関する化学的研究 (第 15 報)

海水中に溶存する元素量の規則性並びに海洋の年齢に就て¹⁾

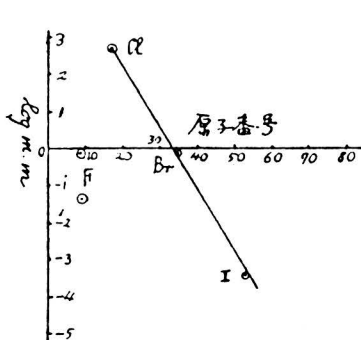
石橋 雅義 原田 保男

(受理 昭和 18 年 3 月 31 日)

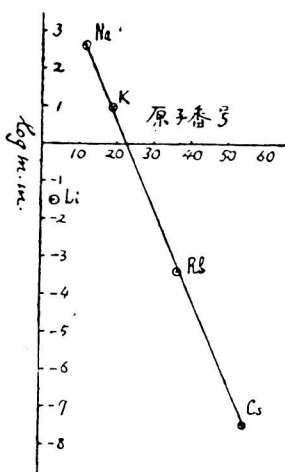
I 總 論

元素の原子番号と Clark 数との間に何等かの法則性の存すべきことを豫想して此等の間の相關々係を求めんとする試みは W. D. Harkins²⁾ 氏により提唱せられて以來多くの人々により行はれた所であり、Harkins 氏は彼の名を冠して一般に呼ばれる有名なる法則——“原子番号の偶数の元素はその隣接する奇数番号の元素より一般にクラーク数が大である”——に於て此等の間の大略的傾向を論じて居る。

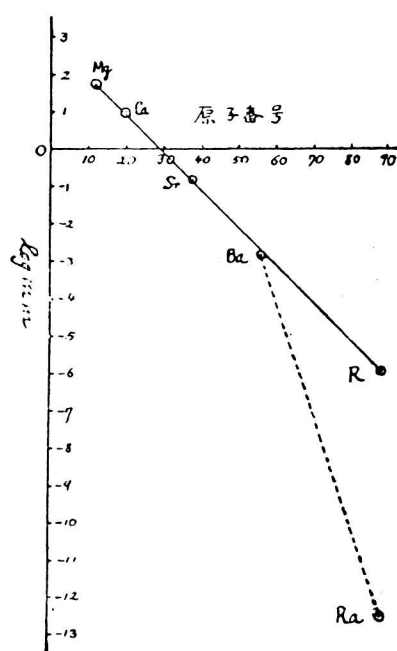
著者等は海水溶存元素に関する系統的研究を續行の途上、水圏のみを対象としても、此處にも亦此等の溶存元素量と其の原子番号との間に或る一定の相關性のあるらしきことに着目した。而して兩者の關係を究明したところ海水の場合に於ても亦此等の間に驚くべき規則性の存在することが分明したのである。即ち海水中に溶存する元素の量は第 1 表に示すが如く同族元素にありては下段の元素程其の含有量が減少する。其の減少の割合は第 1 圖~第 3 圖に示すが如く、既に定量の行はれて居るアルカリ金屬



第 1 圖
(ハロゲン族元素)



第 2 圖
(アルカリ族元素)



第 3 圖 (アルカリ土族元素)

1) 本研究の要旨は昭和 16 年 4 月日本化学會に於ける地球化学に關する討論會に及び昭和 17 年 10 月 17 日京都に開催せられし日本學術協會大會に發表したものである。

2) W. D. Harkins: J. Am. Chem. Soc.; 39 (1917), 856.

3) 第 1~12 報は日本化学會誌に第 10 報は日本學術協會誌に第 13, 第 14 報は本誌に掲載した。而して第 16, 第 17 報は日本化学會誌に第 18 報は海と空に各報告、印刷中である。

元素アルカリ土金属元素，ハロゲン属元素等に於ては殆ど直線的になつて居る。但し同族元素中最上段の元素，例へば Li, F (Be は未だ測定されて居ない) は何れも他の化学的及び物理的性質と同様に全く例外的の量を示して居る。

而して此等の圖に於て元素の量を表はす爲にとりたる著者等の特徴は從來 Clark 氏の行つた重量 % 表示法ではなく，其の代りに原子數に比例する量即ちミリモル (m.m.) を以てし，更に其の常用對數を取つて之を縦軸となし，横軸には原子番號を取つたのである。何故なれば斯くする方が後の説明に有效適切なるのみならず重量%法を用ふるよりも一層満足すべき結果を得たからである。

尙過去一世紀に亙る物理學及び化學に關する非常なる研究の結果により，原子番號は原子それ自體の本質的な總ての物理的及び化学的諸性質を代表するものである事を吾人は知るものであるが，一方現在海水中の諸種の元素の量が主として陸上よりの水による搬入され方の難易に起因するものと考へるならば，原子自體の有する物理的及び化学的性質の週期性が其の一つの現はれとして，其の巨視的なる見地に於て海水中の元素量と原子番號との間にも見出し得られるにあらずやと思はせられる。殊に海洋の如き巨大なる源泉に於ては統計的な大數の法則 (Gesetz der grossen Zahlen) はかなり満足に適用せられるものであらうと考へられる。尙海水の如き均一性の優れた系に於ては個々の分析數値の全體性は陸上の場合の數値の夫に比して遙かに勝る事も亦著者等の得たる規則性の主なる原因であらう。斯く思ひ來れば吾人が地球化学的論議に於て其の根據とする元素量は重量%に於て考察するよりも寧ろ其の原子數に比例する量に基づき立論する方が妥當なる場合の多かるべきを知るのであり，著者等は此の種の研究に就ては今後とも雖も斯る見地より考を進めてゆく心算である。

第 1 表

元 素	原 子 番 號	g/L	m.m./L	log m.m.
F	9	$\begin{cases} 0.000822 \\ 0.0014 \end{cases}$	$\begin{cases} 0.043 \\ 0.74 \end{cases}$	$\begin{cases} -1.367 \\ -0.131 \end{cases}$ Carnot Wattenberg
Cl	17	18.42	519.6	2.71567
Br	35	0.063	0.79	-0.102
I	53	0.00005	0.00038	-3.420
EcaI	85	—	—	—
Li	3	0.0002	0.029	-1.538
Na	11	10.16	432.0	2.635
K	19	0.37	9.4	0.973
Rb	37	0.0000035	0.0004	-3.398
Cs	55	$n \times 10^{-9}$	$n \times 10^{-8}$	-7~-8
EcaCs	87	—	—	—
Be	4	—	—	—
Mg	12	1.24	51.0	1.708
Ca	20	0.40	10.0	1.000
Sr	38	0.013	0.15	-0.824
Ba	56	0.0002	0.0015	-2.824
Ra	88	$n \times 10^{-13}$	$n \times 10^{-13}$	-12~-13

4) 海水中の鹽類に就ては，最初海洋が出来た時に既に處女水中に存在して居たものであると云ふ説もあるが，本論文にあつては雨水等により搬入せられたものであると云ふ從來最も有力なる普通の説をとる。

II 實驗値に關する考察

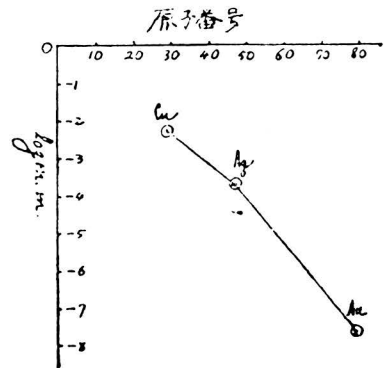
海水中に溶存する元素の量に關する研究は古來其の數頗る多く、かなり異なる分析數値の得られた場合も少なからずあるが本論文中に引用した數値は著者等の教室にて測定せる Li, Rb, Cs, Cu, Au 以外の元素は最近に於て最も信頼せられる T. G. Thompson⁵⁾ 氏及び H. Wattenberg⁶⁾ 氏の總說的論文より採擇した。但しラヂウムのみは C. S. Piggot⁷⁾ 及び W. D. Urry 氏等が認めて居る様に R. D. Evans, A. F. Kip⁸⁾ 及び E. G. Moberg 等により行はれた最近の分析數値が正しいものと思はれるので此の値によつた。即ち第1表、第2表及び第1~第4圖は此等の數値により作製したのである。

海水中の鹽類が主として陸地より長年月に亙り雨水等の爲に搬入蓄積せられたものと考へるならば、主として地表近くに分散普存せるアルカリ金屬、アルカリ土類金屬及びハロゲン族等の親石元素に於て特に元素量と原子番號との關係が規則的であることは容易に推察し得るところであり、又地表に於ける分散元素にあらざる第三主族より第四副族……第六主族に至る間の親銅、親鐵元素にありては幾分の不規則性の存在するであらう事も亦推察し得られるのである。

然し海水中の此等の諸元素に對する分析値は其の研究の至難なる爲に現在尙極めて不備不完全なるが故に上記の豫想を今確認することは不可能である。但し一例として殆ど分析を終れりと見るべき銅族元素 (Cu, Ag, Au) 等に就て其の溶存濃度と原子番號との關係を求むれば第2表及び第4圖の如くなる。

第 2 表

元 素	原 子 番 號	g/L.	m.m./L.	log m.m.
Cu	29	3×10^{-5}	0,0047	-2,328
Ag	47	$\begin{cases} 2 \times 10^{-7} \\ 3 \times 10^{-7} \end{cases}$	$\begin{cases} 0,00028 \\ 0,00020 \end{cases}$	$\begin{cases} -3,553 & \text{Wattenberg} \\ -3,699 & \text{Thompson} \end{cases}$
Au	79	4×10^{-9}	2×10^{-8}	-7,699



第4圖 (銅族元素)

1. ハロゲン族元素に就て

既に第1表及び第1圖並びに叙上の論議により著者等の意圖の満足せられたるは明かである。Fの分析値が人によりかなり異なり従つて圖上に於ける其の位置も確定的ではないが本論議にはさして障害を與へない。

2. アルカリ族元素に就て

第1表、第2圖及び叙上の考察により自ら明白である。只 Cs に就ては其の存在は勿論豫想さて居た

- 5) T. G. Thompson, R. J. Robinson: Bull. National Research Council, No. 86 (1932), 114.
 6) H. Wattenberg: Z. anorg. allgem. Chem., 236 (1938), 346.
 7) C. S. Piggot, W. D. Urry: Am. J. Sci., 239 (1941), 81.
 8) R. D. Evans, A. F. Kip, E. G. Moberg: Am. J. Sci., 236 (1938), 241.

れけれ共其の定性，定量共に未だしであつた。然る所第2圖に於てアルカリ元素を結ぶ線を延長して之と Cs の原子番號 55 の縦軸との交點を求める事により吾人は外挿的に海水中に溶存すべき Cs の量を豫知することが可能となる。

即ちこの値は第2圖より次の如くにして求め得る。求むる Cs の濃度を C ミリモルとすれば、

$$\log C = -7.5$$

$$\therefore C = 3 \times 10^{-8} \text{ ミリモル}$$

$$= 4 \times 10^{-9} \text{ g/L となる。}$$

著者等は上記程度の Cs (4×10^{-9} g/L) の検出可能なるべき微量分析法を考案し、之を海水由來の苦汁に適用して間接に海水中の Cs の量を測定し、この豫測の正しきことを實證した。即ち吾人の實驗的に得たる海水中の Cs の量は $n \times 10^{-8}$ ミリモル ($n \times 10^{-9}$ g/L) であり、之は實驗誤差の範囲内に於て良く豫測値と一致せりと云ふべきである。之に関する詳細は日本化學會誌に報告、印刷中である。

3. アルカリ土族元素に就て

第1表及び第3圖に於て第二主族アルカリ土族元素量の規則性に就て詳細に考察する。茲に於て先づ目に映づることは地表にあつて高度に分散状態に普存して居る Ra が海水中にては唯一つ例外的に Mg-Ca-Sr-Ba の線の延長上より著しく偏差して存在することである。即ち第3圖より外挿的に得られる Ra の量は 1×10^{-9} ミリモル即ち 2×10^{-7} g/L となるに拘らず實測により與へられたる海水中の Ra の量は之より遙かに小さく、 $n \times 10^{-13}$ ミリモル即ち $n \times 10^{-13}$ g/L である。⁷⁾⁸⁾

著者等は此の主なる原因として次の二項を考へ、此等に對して數量的の説明を試みて満足すべき結果を得た。即ち上記の如き Ra の現存量の不足は

1. Ra の放射性による崩壊減量
2. Ra の海底への沈降析出による減量

等に原因するものであり、この内第1原因によるものは第2原因の夫よりも遙に大(約 100 倍)なることを算出し得た。以下此等に関して論ずることとする。

先づ最初に第1原因なる崩壊による減量に就て説明する。第3圖に於て Mg-Ba を結ぶ直線と Ra の原子番號 88 の横軸との交點 R の意義を考へる。夫は原始の太古より海水中に種々の源泉より導入せられた Ra が崩壊することなく、他の安定なる元素と同様に、蓄積され來つたと假定した場合に存在すべき濃度を表はすものである。而して Ra の崩壊理論に就ては既に吾人のよく知れる所なるが故に、吾人は之を用ひて Ra の海水中に於ける現存量より R を次の如くにして理論的に求めることが出来る。

1 年間に海水中 1 L 中に搬入せられる Ra の量を N_0 ミリモル、海洋の年齢を T 年、海水 1 L 中の Ra の現存量を N_T ミリモル、Ra の崩壊恒数を λ (年單位) とすれば、

$$N_T = N_0 e^{-\lambda T} + N_0 e^{-\lambda(T-1)} + N_0 e^{-\lambda(T-2)} + \dots + N_0 e^{-2\lambda} + N_0 e^{-\lambda} \dots \dots \dots (1)$$

上式は $e^{-\lambda T}$ を初項とし $e^{-\lambda}$ を公比とする等比級數なるを以て、

9) 陸上、海底より又は U の自然崩壊による生成等々。

$$N_T = N_0 \left\{ \frac{e^{-\lambda}(e^{-\lambda T} - 1)}{e^{-\lambda} - 1} \right\} = N_0 \left\{ \frac{e^{-\lambda}e^{-\lambda T} - e^{-\lambda}}{e^{-\lambda} - 1} \right\} \dots\dots\dots(2)$$

而して T は海の年齢にして現在迄に多数の人々により種々異なる値が與へられて居り其の大きさは 1~100 億年の間にあるものゝ様である。以前は大略/億年内外と考へられて居たのであるが近來この値は次第に増大する傾向を有し殊に放射能より求められた値にあつては十數億年乃至は數十億年となつて居る¹⁰⁾。故に (2) 式に於て $e^{-\lambda} \cdot e^{-\lambda T}$ は $e^{-\lambda}$ に對して無視してよい。仍つて

$$N_T = N_0 \left\{ \frac{-e^{-\lambda}}{e^{-\lambda} - 1} \right\} = N_0 \left\{ \frac{e^{-\lambda}}{1 - e^{-\lambda}} \right\}$$

上式に於て、 $e = 2.71828$, $\lambda = 4.38 \times 10^{-4}$ を代入すれば

$$\begin{aligned} N_T &= N_0 \left\{ \frac{e^{-4.38 \times 10^{-4}}}{1 - e^{-4.38 \times 10^{-4}}} \right\} = N_0 \times \frac{0.99956}{0.00044} \\ &= 2.27 \times 10^3 N_0 \dots\dots\dots(3) \end{aligned}$$

N_T 即ち海水中の Ra の現存量については Joly, Evc 氏等の研究以來多数の測定が行はれて居り、其の量は海水の深度によりても幾分の變化あることも知られて居るが著者等は後記の如き理由により海洋全體を代表する Ra の量として 1.5×10^{-13} g/L 即ち 7×10^{-13} ミリモルをとる。

故に $N_T = 7 \times 10^{-13}$ とすれば

$$\begin{aligned} (3) \text{ 式より} \quad 7 \times 10^{-13} &= 2.27 \times 10^3 N_0 \\ \therefore N_0 &= 3 \times 10^{-16} \text{ ミリモル} \quad \text{となる。} \end{aligned}$$

即ち 1 年間に海水 1 L 中に搬入せられる Ra の量 N_0 は 3×10^{-16} ミリモルとなる。故に想像上の點 R の Ra の濃度を N ミリモルとすれば次の如くなる。

$$N = N_0 T = 3 \times 10^{-16} T$$

故に $T = 10^9$ (即ち 10 億年) とすれば

$$N = 3 \times 10^{-16} \times 10^9 = 3 \times 10^{-7} \text{ ミリモル}$$

となり、指標は $\log 3 \times 10^{-7} = -6.523$ となる。

又 $T = 5 \times 10^9$ (即ち 50 億年) とすれば

$$N = 3 \times 10^{-16} \times 5 \times 10^9 = 1.5 \times 10^{-6} \text{ ミリモル}$$

となり、指標は $\log 1.5 \times 10^{-6} = -5.824$ となる。

而して第 3 圖より求められる指標は 一〇 なるを以て上記の値は T を 10 億年とすれば僅かに大となり T を 50 億年とすれば僅かに小となる。吾人は今日と雖も未だ正確なる海洋の年齢 T を知り難きが故に嚴密なる計算は困難ではあるが上記の如く海洋の年齢を 20~30 億年とするならばよく R 點に於ける Ra の濃度を説明し得るのである。勿論この際、Ra の海底への沈降析出による減量も起る爲に其の補正も行ふ必要があるけれども、この大きさは後に記する様に崩壊減量に比較すれば殆ど無視し得る程度に小なる値をとるものゝ如くである。

次に著者等は叙上の第 2 の原因たる Ra の沈降による減量に就て考察する。海水中にあつて Ra の沈降析出の様子を最も明瞭に示すは Evans 氏等の實驗値 (1930 年) であらう。之を同氏の論文より引用

10) 野滿隆治: “海洋學” (1942) 133

第4表より知り得る如く海水中に 51.0 ミリモルだけ存在する Mg は赤粘土中には 1.99% だけ存在する。故にこの Mg が海水より赤粘土中に析出濃縮する割合を 1 とすれば、Ca は Mg の

$$1 \times \frac{4.3 \times 10^{-1}}{2 \times 10^{-1}} \approx 2 \text{ 倍だけ多く沈澱析出したであらう。}$$

同様にして Sr は

$$1 \times \frac{6.2 \times 10^{-3}}{2.9 \times 10^{-3}} \approx 2 \text{ 倍だけ多く沈澱析出したであらう。}$$

此等の関係を同様にして Ba, Ra に就き求めて表示すれば次の如くなる (第5表)。

即ち Ba は Mg の約 400 倍, Ra に至つては約 4,000 倍も多く海底に沈積することになる。故にこの現象による Ra の減少も亦先述の直線より Ra の偏差の原因たり得ると思考されるのである。而して著者等は此の原因により沈積する Ra の量を次の如くにして算出した。其の結果によれば前にも記した様に此の原因に基づく影響は比較的的小なるものゝ如くである。本計算に使用せる数

値にはかなり疑問のあるものがあり、従つて以下得らるゝ数値の信頼性は必らずしも確定的なるを得ないけれ共、其の算出の合理的なるに鑑みて数値の大略を察知するに足るであらう。

前記 Evans の実験によれば第3表に示すが如く、1,300 m の深度の海底表面土中の Ra の含有量は 3×10^{-12} g Ra/g である。今この海底土上に 10 cm 平方の面積をとり此の上に乗る水柱を考ふれば、この水柱の體積は、 $1,300 \times 10 = 13,000$ L となる。故に上記 10 cm 平方の海底に含有せらるゝ Ra がこの上にある 13,000 L の海水中より沈降析出したものと思ふれば、1 年間に 1 L の海水より沈澱により失はれる Ra の量は次の如くにして求め得る。

別の方法により¹³⁾計算された深海底沈積物の沈降速度は 1,000 年につき大約 0.07 cm¹⁴⁾である。故に 10 cm 平方の海底へ丁度 1 g の沈積物が生ずる年数を求め、この年数を以て 3×10^{-12} g Ra を割れば 1 年間に海水より沈積する Ra の量を知ることが出来る。然るに 10 cm 平方の面積に 1 g の沈積物を均等に敷けば其の厚さ h は次の如し。但し沈積物の比重をかりに 1.5 とした。

$$1.5 h \times 10^2 = 1$$

$$\therefore h = 0.007 \text{ cm}$$

而して 0.07 cm 沈積するに 1,000 年を要したるを以て 0.007 cm 沈積するには

$$1,000 \times \frac{0.007}{0.07} = 100 \text{ 年}$$

を要することゝなる。故に 13,000 L の海水柱より 100 年間に 3×10^{-12} g の Ra が沈積するなるを以て 1 L より 1 年間に沈積する量は

第 5 表

海水中のアルカリ土族元素が海底に沈積濃縮する量の比

	海水より海底へ沈積する量の比
Mg	1
Ca	2
Sr	2
Ba	400
Ra	4,000

13) 野滿隆治：“海洋學”(1942) 82

14) この種の研究は最近 P. H. Kuenen により行はれて居る。Proc. K. Akad. Wetensch. Amsterdam, 41 (1938), 302; Am. J. Sci., 239 (1941), 161

$$\frac{3 \times 10^{-12}}{100 \times 13,000} \approx 2 \times 10^{-18} \text{ g Ra/L.}$$

となる。之を海の出来た時より總計すれば（かりに 10 億年とみる）

$$2 \times 10^{-18} \text{ g} \times 10^9 = 2 \times 10^{-9} \text{ g Ra/L.}$$

$$= 1 \times 10^{-8} \text{ ミリモル}$$

となる。之は前記崩壊による減量 10^{-6} ミリモルと比較して非常に小である（約 1/100）。故に沈降析出の爲に海水より失はれる Ra の量は崩壊現象により消失する夫に比較して、著者等が問題として直線よりの Ra 偏差を論ずる場合には、無視して差支ないであらう。

尙注意に値する一事は第 5 表に於て Ba の海底への沈積が他の Mg, Ca, Sr. 等に比して大なるが故に Ba の數値は直線より多少下位に出るべき筈の様に考へられるのであるが事實は直線上に位置することである。之は分析値の不備によるか又は他の理由によるか不明に屬する。

4. 銅族元素に就て

既に第 2 表及び第 4 圖に於て Cu, Ag, Au 等に就て海水中の溶存濃度と原子番號との關係を示し、此等の場合にありても著者等の提唱がよく成立することを認め得た。銅族元素以外の親銅、親鐵元素等に對する見解も II. 實驗値に關する考察中に其の概要を記したるが故に茲には敢て省略した。夫等は今後の研究に俟たねばならないのである。

III 海洋年齢の新決定法

叙上の論述により陸上に分散普存する元素に於ては、同族にあるものは特別の原因の存せざる限り彼等の海水中の溶存量は其の原子番號と直線的關係にあるべきことを知つたのである。著者等はこの關係を用ふることにより海洋の年齢決定に對する新方法を提唱する。

放射性元素の崩壊現象を種々の地球化學的年代の決定に利用することは近年に至り屢々試みられる所であり、此等の方法により比較的確實らしき地球化學的年代が多數決定せられて居る。この種の方法を著者等の教室にては既に海洋に適用して海洋の年齢算定に對する一新方法¹⁵⁾を提出したのであつた。而して更に今茲に著者等の提唱する海洋年齢の算定法は等しく放射性に關聯する理論によるものであるが其の着想、内容ともに従來の夫とは全く趣を異にする新方法である。

既に第 I 章にて述べた (3) 式に於て明かなる如く海洋の年齢 T が Ra の崩壊恒數 λ に比して充分大なる時は(事實然りである)、海水中の Ra の現存量 N_T と 1 年間の Ra 搬入量 N_0 との間には T に無關係に

$$N_T = 2.27 \times 10^3 N_0$$

なる關係が成立する。又第 3 圖の Mg-Ba を結ぶ直線と Ra の原子番號 SS の横軸との交點を R とし、R の縦軸の指標を N とすれば

15) 石橋, 田中, 早川: 本誌, 第 2 卷第 3 號 (昭和 18 年); 18

本研究に於て石橋は海洋の年齢は 10~50 億年の間にあるべしと算定した。

$$N = N_0 T$$

なる関係が成立する。故に之を前式と組合すれば

$$T = \frac{N}{N_0} = \frac{N}{\frac{N_T}{\frac{2.27 \times 10^3 N}{2.27 \times 10^3}}} = \frac{2.27 \times 10^3 N}{N_T}$$

となる。而して上式に於て N , N_T は既知なるを以て T 即ち海洋の年齢を求め得る。即ち $N = 1 \times 10^{-6}$, $N_T = 7 \times 10^{-13}$ を代入すれば

$$T = \frac{2.27 \times 10^3 \times 10^{-6}}{7 \times 10^{-13}} \approx 3 \times 10^9 \text{ 年}$$

斯くして海洋の年齢は大約 30 億年と云ふことになる。但しこの計算に於ては海底に沈降析出せる Ra の減量は既に記した様な理由のもとに之を無視したのである。然し其の場合の計算に用ひたる数値に對しては現今の状態にあつてはさしたる信頼を置き難いが故に此の沈降析出に基づく Ra の減量かもし實際に大なるに於ては從つて夫による減量も無視し得なくなるであらう。斯様な場合には上式の N の値が小となり海洋の年齢 T は 30 億年よりそれだけ小さくなる可能性があることになる。然し上記の値は勿論海洋の大略的年齢を表はし得ると考へらるゝを以て、本法により求めたる年齢は他の放射性現象に立脚して決定せられたる海洋の年齢とよく一致した結果を與へ、海洋の年齢は 10~50 億年の間にあるべしと云ふ石橋の前提唱を支持するものである。

IV 結論、將來への示唆

既に他の著者により定量せられたる分析數値と著者等の教室に於て研究決定し得たる分析數値とに基づく海水中に溶存せる元素量と其の原子番號との間の規則的關係に就て述べたのであるが、斯る規則性を認める事により吾人は茲に注目すべき次の事實を知る事が出来る。

1. 叙上の規則性は只に海水に於てのみならず地球上の全水圏に於ても亦成立するであらう。何となれば全水圏の中、海水は 98% を占有し他は合計しても約 2% に過ぎないからである。更に岩石圏を加へての地球全體に於ける此等元素の存在量の規則性をも示唆するにあらずやと考へられる。

2. 既に Cs の量の豫測の際に述べたるが如く、内挿又は外挿的に海水中の溶存元素量を他の近接元素の量より豫知し得るであらう。即ち週期表に於て未だ空位に残されてゐる唯二つの元素 Eca Cs 及び Eca I の量を何れも大略察知出来るのである。

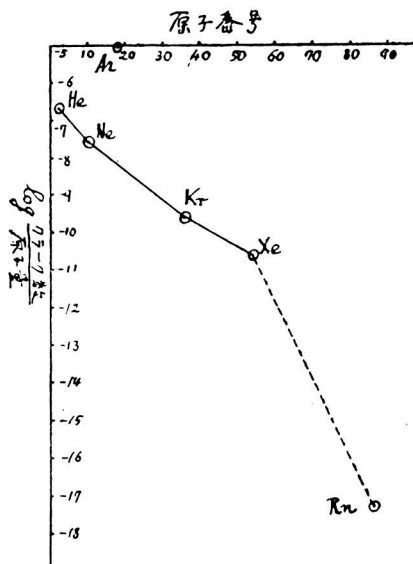
第 1 圖及び第 2 圖に於て 85 番の Eca I 及び 87 番の Eca Cs の濃度は外挿的に夫々 10^{-8} m.m./L 及び 10^{-14} m.m./L となる。然し此等の元素は何れも放射性を有するものならんと考へられるを以て第 3 圖の Ra の場合と同様に、よしや其等が海水中に現存するとしても、其の量は上記の値より遙かに小なるものならんと思考せられる。果して然りとすれば此等の二元素を海水中に求めることは現在の分析方法によつてはあまりに微量に過ぎて不可能に近いと思はざるを得ない。

3. 以上は海水溶存元素に就て考察したのであるが、この思考を更に擴張して之を地球全體の元素に適用すれば次の如き事實を見出し得る。即ち Clarke 數を其の原子量にて割つた數の常用對數を縦軸にとり原子番號を横軸としてグラフを描くに一般の元素に於ては各族共によい規則性を見出し得ない。然

し稀有ガス族元素にあつては第3表及び第5圖に示すが如く Ar 及び Rn 以外は兩者の間にかなり規則正しい關係の成立するを見るのである。

第 3 表

元 素	原子番號	クラーク數 原子量	log $\frac{\text{クラーク數}}{\text{原子量}}$
He	2	2.00×10^{-7}	- 6.699
Ne	10	2.47×10^{-8}	- 7.607
Ar	18	8.77×10^{-6}	- 5.057
Kr	36	2.41×10^{-10}	- 9.618
Xe	54	2.32×10^{-11}	-10.635
Rn	86	4.54×10^{-18}	-17.343



第 5 圖 (稀有ガス族元素)

この場合 Ar の偏差の理由は不明であるが Rn の量が非常に偏差する事實は海水の場合の Ra の例と全く同様に其の崩壊減量により説明し得るであらう。

4. 斯の如く水圏乃至氣圏の如き均一系に於ては元素の量と原子番號との間に直線的關係が成立し、不均一系である地殻中の元素量が不規則になることは、均一系に於ける個々の分析數値が其の全體を論ずるに足る信頼度を有するに對し、一般の Clarke 數は其の基礎をなす分析値の不完全なると及び分析對象が地下 15 km 迄と云ふ限定せられし地球の部分なる爲に上記の如き巨視的議論に偏差するものなるべしと考へられる。

斯る見地より著者等は將來に於て Clarke 數そのものゝ補正の上に叙上の思考を適用布延せんことを期するものである。

本研究にあたり費用の一部を文部省科學研究費に仰いだ。記して深厚なる謝意を表する。

※ Clarke 數に於てもアルカリ、ハロゲン等の如き分散元素にあつては此の關係が直線に近づき、親鐵、親銅元素にありては偏差の度が高くなる様である。