

生物圏における元素分布にみられる自然則について

山本俊夫・岡本健一・大塚由紀子・青山一正

(京都教育大学化学教室*)

A Natural Regularity on the Distribution of Chemical Elements in the Biosphere

Toshio YAMAMOTO, Ken-ichi OKAMOTO, Yukiko OTSUKA
and Kazumasa AOYAMA

Department of Chemistry, Kyoto University of Education

A systematic study of 44 elements in various Japanese seaweeds was carried out by chemical and neutron activation analyses. Marine phytoplankton, marine zooplankton and freshwater angiosperms were analyzed for comparative data. A method to compare multi-element data in many samples by the seawater concentration and ocean residence time of the element is proposed. Since the geochemical behavior of the elements is based on atomic properties, general similarity are observed among elemental compositions of many biogeochemical substances. The logarithmic correlation coefficients for several biological and geological materials with respect to element abundances were calculated. In this calculation, if the elemental concentration of the geochemical substances are normalized by those of seawater, the values of the correlation coefficients generally increase. The correlation seems to be due to the fact that the ocean has an important relationship with all organisms and their environmental substances.

Mendeleev¹⁾は、原子量の小さい元素が自然界に多く分布していることを指摘しており、

* 所在地：京都市伏見区深草藤ノ森町(〒612)

Thatcher²⁾は生物に不可欠な元素は、メンデレーエフ型周期表の第4周期までの範囲に位置するとした。Shaw³⁾は周期表の同一族内で生物学的重要性は、その元素の海洋における存在量に対応しているとした。山本ら^{4,5)}は海藻が海水中からある元素を濃縮摂取する、いわゆる濃縮係数と、その元素が海水中で滞留する、いわゆる平均滞留時間との間に負の対数的相関傾向が存在することを見出した。この知見と関連して山本⁶⁾は、各種の生物地球化学物質中の各元素存在量を、海水中の存在量で規格化することによって、任意の2者間で勝れた対数的相関が見出されることを明らかにした。本報告ではBroeckerら⁷⁾がまとめた海水中の元素存在量および平均滞留時間に関する最近値にもとづく計算によって、上記の諸関係の存在を再確認するとともに、生物圏における元素分布にみられる自然則の一般性について考察した。

方 法

本報告に使用した海藻、海洋植物プランクトン、海洋動物プランクトンおよび淡水産被子植物に関するデータは著者らの分析にもとづく。各試料に対し水洗、乾燥、灰化後、各種の化学分析法ないし中性子放射化分析法を適用した。各試料毎の採取場所採取年月日、各元素毎の分析操作などについては、山本⁸⁾によるモノグラフを参照されたい。なお比較のためBlackら⁹⁾、三田¹⁰⁾、Youngら¹¹⁾、三田¹²⁾、Sivalingam¹³⁾、原田ら¹⁴⁾、North¹⁵⁾、中山¹⁶⁾の海藻に関する文献値およびBojanowski¹⁷⁾の鹹水産海藻に関する文献値をデータとして使用した。さらに生物圏に関連した物質としてちりめんキャベツ、ナマコ、河川水、地殻岩石、球粒隕石および浅海底土に関する元素分析データとして、それぞれBowen¹⁸⁾、松本ら^{19, 20)}、Goldbergら²¹⁾、Taylor²²⁾、Vinogradv²³⁾ および山本ら²⁴⁾の文献値を採用した。

結 果 と 考 察

第1表に本邦産海藻の分析結果の総括を示す。前報⁵⁾ではGoldbergら²¹⁾がまとめた海水中の元素存在量および平均滞留時間を用いてこの表のデータ解析をおこなった。Broeckerら⁷⁾がまとめた値を用いて、海藻および関連生物のデータ解析をおこなった結果(平均値)を第2表に示す。119個の本邦産海藻試料の平均相関係数の絶対値は0.96であり、前報で報告した0.92を上まわる。このことは著者ら⁴⁾が指摘した濃縮係数と、元素の平均滞留時間との関係が実験値の精度が増すとともに鮮明になることを示している。この表において海藻に関する著者らのデータと文献データ⁹⁻¹⁶⁾の解析値(log aおよびb)は互によく一致している。また鹹水産海藻、海洋植物プランクトン、海洋動物プランクトンおよび淡水産被子植物についてのデータ解析結果も極めて高い相関係数を示しており、濃縮係数と滞留時間の対数的相関が海藻のみ

Table 1. The range of concentrations of elements in Japanese seaweeds

Element	Number of samples	Minimum*	Maxmum*	Mean*	S. D. Mean
B	102	1.0×10^1	3.37×10^2	9.9×10^1	0.62
Na	90	2.0×10^2	6.66×10^4	9.6×10^3	0.92
Mg	114	3.0×10^2	5.34×10^4	1.13×10^4	0.76
Al	161	2.6×10^1	5.7×10^3	6.97×10^2	1.3
Si	35	4.4×10^2	2.18×10^4	4.78×10^3	1.1
P	53	2.0×10^2	2.8×10^3	1.05×10^3	0.43
Cl	24	2.7×10^2	3.4×10^4	3.7×10^3	1.9
K	87	3.0×10^2	4.6×10^4	1.25×10^4	0.78
Ca	129	2.8×10^3	3.16×10^5	2.04×10^4	1.9
Sc	52	1.1×10^{-2}	6.5	3.15×10^{-1}	2.9
Ti	53	1.8	1.78×10^2	3.51×10^1	1.1
V	76	2.8×10^{-1}	1.1×10^1	3.65	1.2
Cr	88	2.6×10^{-1}	7.3	1.68	0.79
Mn	115	4	1.2×10^3	1.04×10^2	1.3
Fe	215	2.5×10^1	3.41×10^3	5.42×10^2	1.2
Co	107	4.3×10^{-2}	4.54	7.4×10^{-1}	0.89
Ni	77	1.1×10^{-1}	8.62	2.67	0.72
Cu	66	6.1	2.77×10^1	1.39×10^1	0.40
Zn	135	1.7×10^1	6.8×10^2	1.45×10^2	0.79
Ga	58	2×10^{-2}	6.4×10^{-1}	1.4×10^{-1}	0.89
As	43	1.2	1.3×10^2	2.4×10^1	1.4
Se	17	1.5×10^{-2}	3.6×10^{-1}	1.4×10^{-1}	0.74
Br	51	2.7	7.4×10^2	1.8×10^2	1.0
Rb	52	4.1×10^{-1}	2.6×10^1	6.9	0.82
Sr	90	2.0×10^1	1.15×10^4	1.19×10^3	1.4
Mo	73	6×10^{-2}	1.16	3.4×10^{-1}	0.71
Ag	17	6.8×10^{-2}	7.7×10^{-1}	2.6×10^{-1}	0.92
Sb	33	4.0×10^{-2}	6.1	3.6×10^{-1}	2.9
I	14	1.4×10^1	2.42×10^3	4.34×10^2	1.5
Cs	51	1.0×10^{-2}	3.5×10^{-1}	9.3×10^{-2}	1.1
Ba	35	5.8	6.4×10^1	3.0×10^1	0.47
La	23	8.9×10^{-2}	2.0	7.6×10^{-1}	0.69
Ce	46	9.0×10^{-2}	5.3	1.2	1.0
Sm	27	1.0×10^{-2}	4.3×10^{-1}	1.4×10^{-1}	0.76
Eu	51	1.2×10^{-3}	8.6×10^{-2}	1.8×10^{-2}	1.1
Tb	17	6.4×10^{-3}	7.4×10^{-2}	2.7×10^{-2}	0.78
Yb	12	2.3×10^{-2}	2.1×10^{-1}	8.8×10^{-2}	0.61
Lu	13	6.1×10^{-4}	4.8×10^{-2}	2.0×10^{-2}	0.77
Hf	26	1.2×10^{-2}	5.5×10^{-1}	1.8×10^{-1}	0.90
Ta	7	5.8×10^{-3}	7.7×10^{-2}	3.8×10^{-2}	0.64
Hg	9	5.7×10^{-3}	2.9×10^{-1}	1.1×10^{-1}	1.1
Pb	2	7	1.2×10^1	1.0×10^1	0.37
Th	43	1.8×10^{-3}	6.9×10^{-1}	1.8×10^{-1}	1.1
U	17	1.6×10^{-1}	7.1	1.1	1.6

(* mg/Kg dried material)

Table 2. Relation between element concentration factor (y) and the oceanic residence time (x) for selected organisms

Biological group	log a	b	Number of samples	Correlation coefficient	Data source
Seaweeds	7.7	-1.05	119	-0.96	This work
Seaweeds	7.7	-1.06	65	-0.93	9-16
Brackish seaweeds	8.0	-1.05	6	-0.96	17
Marine plankton	9.8	-1.35	16	-0.97	This work
Zooplankton	8.1	-1.16	39	-0.95	This work
Angiosperms	8.9	-1.24	8	-0.96	This work

$$\log y = \log a + b \log x$$

log a : intercept on y axis,

b : slope of line

The method of data analysis was applied to the samples for more than seven elements whose ocean residence times are known.

ならず、広く多種類の生物を通じて存在するであろうことをうかがわしめる。

一方平均滞留時間はその定義および算出法から類推して、多くの岩石質あるいは水質試料中と海水中の元素存在比に対し相関関係をもつであろうことが予想され、山本²⁵⁾およびWhitfield^{26,27)}によって実証された。このように各種生物の海水に対する元素存在比(濃縮係数)およびそれら生物の環境を形成する岩石質および水質試料の海水に対する元素存在比が共通して、平均滞留時間に対して勝れた相関関係をもつことから、山本⁶⁾は多種類の生物圏物質の海水に対する元素存在比相互の間にも勝れた相関が存在するであろうことを類推し検証した。第3表および第4表はBroeckerら⁷⁾のまとめた最近の海水分析値を用いて、この相関関係を再検証したものである。すなわち第3表は9種の生物地球化学物質の対数的相関係数を表記し、第4表は各物質の元素組成を海水の元素組成で規格化した場合の相関係数を示す。両表の比較にみるように規格化することによって、各組み合わせにおいて相関係数は飛躍的に増大する。ここでもBroeckerら⁷⁾の海水データを用いた本計算の方が、Goldbergら²¹⁾のデータにもとづいた山本⁶⁾の前計算よりも高い相関係数を示した。なお海水の元素組成の代りに地殻岩石²²⁾や河川水²¹⁾の元素組成で規格した場合の相関係数は、第3表の規格化しない場合より著しく低下する。球粒隕石²³⁾の元素組成で規格した場合、相関係数の値は規格化しない場合に比べ極めて僅かに上下する。これらのことは、第3,4表にあらわれ、生物圏に包含される各種物質中の元素分布に対して、海水が最も一般的に、重要な相互関係を保ってきたという事実を暗示すると考えられる。

Table 3. Correlation coefficients between log U and log V

V \ U	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 Seaweeds	1.00								
2 Kale	0.94	1.00							
3 Holothuria	0.94	0.84	1.00						
4 Marine phytoplankton	0.71	0.53	0.26	1.00					
5 Marine zooplankton	0.90	0.83	0.86	0.79	1.00				
6 Stream water	0.95	0.90	0.79	0.72	0.76	1.00			
7 Crustal rock	0.80	0.77	0.45	0.79	0.64	0.81	1.00		
8 Chondrite	0.51	0.66	0.36	0.68	0.52	0.67	0.83	1.00	
9 Shallow water sediments	0.82	0.72	0.67	0.70	0.48	0.87	0.88	0.58	1.00

U : elemental concentration of a geochemical substance

V : elemental concentration another geochemical substance

Table 4. Correlation coefficients between log U/W and log V/W

V \ U	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 Seaweeds	1.00								
2 Kale	0.96	1.00							
3 Holothuria	0.99	0.96	1.00						
4 Marine phytoplankton	0.98	0.94	0.96	1.00					
5 Marine zooplankton	0.99	0.97	0.99	0.98	1.00				
6 Stream water	0.97	0.91	0.95	0.96	0.95	1.00			
7 Crustal rock	0.95	0.88	0.91	0.96	0.94	0.91	1.00		
8 Chondrite	0.89	0.86	0.86	0.94	0.93	0.87	0.92	1.00	
9 Shallow water sediments	0.97	0.91	0.94	0.97	0.95	0.98	0.97	0.92	1.00

U : elemental concentration of a geochemical substance

V : elemental concentration another geochemical substance

W : elemental concentration of seawater

文 献

1. MENDELEEV, D. (1869) *J. Russ. Chem. Soc.* 1: 60
2. THATCHER, R. W. (1934) *Science* 79: 463
3. SHAW, W. H. R. (1960) *Geochim. Cosmochim. Acta* 19: 207
4. YAMAMOTO, T. (1972) *Rec. Oceanogr. Works Japan* 11: 65
5. 山本俊夫, 田畑浩樹 (1984) 微量栄養素研究 1: 57
6. 山本俊夫 (1980) 放医研環境セミナー報文集 8: 237
7. BROECKER, W. C. and T. H. PENG (1982) *Tracers in the Sea*, Eldigio Press, New York P.26
8. YAMAMOTO, T. Ed. (1983) *Distribution of Trace Elements in Marine Algae—Comparative Biogeochemical Data—* 文部省科学研究費報告, 特定研究「海洋の動的構造」
9. BLACK, W. A. P. and R. L. MITCHELL (1952) *J. Mar. Biol. Ass. U. K.* 30: 575
10. 三田喜代 (1957) 日水誌 22: 558
11. YOUNG, E. G. and W. M. LANGILLE (1958) *Can. J. Botany* 36: 301
12. 三田喜代 (1961) 日水誌 27: 239
13. SIVALINGAM, P. M. (1978) *Bot. Mar.* 21: 327
14. 原田武夫, 大石圭一, 玉置富太郎, 小山睦夫 (1980) 日本水産学会春季大会予講集 p. 174
15. NORTH, W. J. (1980) *Amer. J. Bot.* 67: 1097
16. 中山祐輔 (1981) 私信
17. BOJANOWSKI, R. (1973) *Oceanologia NR* 2: 81
18. BOWEN, H. J. M. (1974) *J. Radioanal. Chem.* 19: 215
19. 松本保, 佐竹正忠, 平田寛 (1964) 日海誌 20: 110
20. 松本保, 佐竹正忠, 山本順子, 春名幸子 (1964) 日海誌 20: 117
21. GOLDBERG, E. D., W. S. BROECKER, M. G. ROSS and K. K. TUREKIAN (1971) *Radio activity in the Marine Environment*, National Academy of Science, Washington D. C. P.137
22. TAYLOR, S. R. (1964) *Geochim. Cosmochim. Acta* 28: 1273
23. VINOGRADOV, A. P. (1962) *Geokhimiya* 4: 291
24. YAMAMOTO, Y., Y. TANAKA and S. UEDA (1977) *J. Oceanogr. Soc. Japan* 33: 242
25. YAMAMOTO, T., Y. OTSUKA, M. OKAZAKI and K. OKAMOTO (1980) *Analytical Techniques in Environmental Chemistry*, Pergamon Press, Oxford P.401
26. WHITFIELD, M. (1980) *Marine Chem.* 8: 101
27. WHITFIELD, M. and D. R. TURNER (1983) *Trace Metals in Sea Water*, Plenum Press, New York P.719