

海藻中の微量元素含有量にみられる規則性について

山 本 俊 夫・田 畑 浩 樹

(京都教育大学化学教室*)

The Regularity on the Contents of Minor and Trace Elements in Seaweeds

Toshio YAMAMOTO and Hiroko TABATA

Department of Chemistry, Kyoto University of Education

A systematic study of 44 elements in various Japanese seaweeds has been carried out by chemical and neutron activation analyses. A method of data analysis based on the relationship between the concentration factor for the element in a seaweed and its oceanic residence time was applied to the analytical results. For a general survey of the distribution of chemical elements in seaweeds, statistical treatment of each element in individual samples was performed.

著者ら^{1) 2) 3) 4)}は本邦産海藻中の微量元素含有量に関して系統的研究をおこなってきた¹⁾。その研究過程において、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(Concentration Factor)と、これらの元素が海水中で滞留する、いわゆる平均滞留時間(Oceanic residence time)との間に負の対数的相関傾向が存在することが見出された²⁾。この規則性に基づいて、著者らは各種海藻中における化学元素の分布に関するデータ解析の一方法を提案した³⁾。このデータ解析法は単に海藻のみにでなく、広く生物圏における多くの生物種および環境物質に関して、適用し得るものであることが明らかになりつつある⁴⁾。

本報告では海藻に関して著者らがおこなってきた通常の化学分析および中性子放射化分析の総括的結果を表1に示す。それらの分析値に対して上述のデータ解析法を適用した結果を

*所在地：京都市伏見区深草藤ノ森町(〒612)

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

(* mg/Kg dry matter)

Element	Number of samples	Minimum*	Maximum*	Mean*	S. D. Mean
B	102	10	337	99	0.62
Na	90	200	6.66×10^4	9600	0.92
Mg	114	300	5.34×10^4	1.13×10^4	0.76
Al	161	26	5700	697	1.3
Si	35	440	2.182×10^4	4780	1.1
P	53	200	2800	1050	0.43
Cl	24	270	3.4×10^4	3700	1.9
K	87	300	4.6×10^4	1.25×10^4	0.78
Ca	129	2800	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	178	35.1	1.1
V	76	0.28	11.0	3.65	1.2
Cr	88	0.26	7.3	1.68	0.79
Mn	115	4	1200	104	1.3
Fe	215	25	3410	542	1.2
Co	107	4.3×10^{-2}	4.54	0.74	0.89
Ni	77	0.11	8.62	2.67	0.72
Cu	66	6.1	27.7	13.9	0.40
Zn	135	17	680	145	0.79
Ga	58	0.02	0.64	0.14	0.89
As	43	1.2	130	24	1.4
Se	17	1.5×10^{-2}	0.36	0.14	0.74
Br	51	2.7	740	180	1.0
Rb	52	0.41	26	6.9	0.82
Sr	90	20	1.15×10^4	1190	1.4
Mo	73	0.06	1.16	0.34	0.71
Ag	17	6.8×10^{-2}	0.77	0.26	0.92
Sb	33	4.0×10^{-2}	6.1	0.36	2.9
I	14	14	2420	434	1.5
Cs	51	1.0×10^{-2}	0.35	9.3×10^{-2}	1.1
Ba	35	5.8	64	30	0.47
La	23	8.9×10^{-2}	2.0	0.76	0.69
Ce	46	9.0×10^{-2}	5.3	1.2	1.0
Sm	27	1.0×10^{-2}	0.43	0.14	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}	0.21	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}	0.55	0.18	0.90
Ta	7	5.8×10^{-3}	7.7×10^{-2}	3.8×10^{-2}	0.64
Hg	9	5.7×10^{-3}	0.29	0.11	1.1
Pb	2	7	12	10	0.37
Th	43	1.8×10^{-3}	0.69	0.18	1.1
U	17	0.16	7.1	1.1	1.6

Table 1 shows a summary of the content of each element for individual samples. Values are arranged in the order of atomic number of element.

Table 2. The range of the values of data analysis on Japanese seaweeds

Values of data analysis	Number of Samples	Minimum	Maximum	Mean	Standard deviation
					Mean
$ \gamma $ (correlation coefficient)	121	0.82	0.98	0.92	0.038
$\log a$ (the intercept on the y axis)	121	5.2	8.6	7.0	0.097
b (the slope of the straight line)	121	-1.2	-0.63	-0.94	-0.13

The method of data analysis (See Fig. 2 and 3) was applied to individual samples which have been analyzed for more than seven elements whose oceanic residence time are known. The results are summarized in Table 2 and 3.

From the values of $\log a$, b and $|\gamma|$, we can gain a general view on the distribution of elements in each sample.

表2および表3に示す。なお各元素の海水中における平均存在量および平均滞留時間の文献値としてゴールドバークら⁵⁾の採用したものをを用いて計算した。図1に平均滞留時間および濃縮係数について一般に用いられている定義を示す。また平均滞留時間と濃縮係数との間に負の対

$$(1) \text{ Oceanic Residence Time : } \chi = \frac{A}{\left(\frac{dA}{dt} \right)}$$

A : the total amount of the element dissolved or suspension
in the ocean

$\frac{dA}{dt}$: the amount introduced or precipitated per unit time (year)

$$(2) \text{ Concentration Factor : } y$$

$$y = \frac{\text{ppm in fresh seaweed}}{\text{ppm in sea water for the element concerned}}$$

(assuming that the seaweeds contain 75% water)

Fig. 1. Definitions of oceanic residence time and concentration factor

Table 3. The range of y/y_0 values on Japanese seaweeds

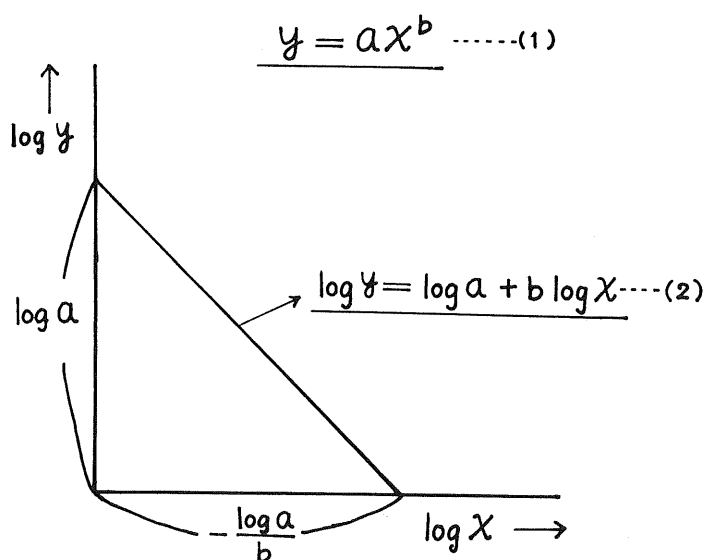
y/y_0 : the ratio of the measured concentration for each element with respect to the calculated theoretical concentration

Element	Number of samples	Minimum	Maximum	Mean	Standard deviation
					Mean
B	42	0.85	13	2.8	0.81
Na	84	0.044	2.0	0.43	0.81
Mg	98	0.16	9.7	1.1	1.3
Al	78	0.12	3.9	0.99	0.69
Si	23	0.066	0.84	0.33	0.56
P	48	6.5	57	21	0.55
Cl	24	0.088	0.65	0.11	1.3
K	81	0.24	5.2	1.8	0.55
Ca	114	0.068	7.6	0.45	1.7
Ti	50	0.84	16	4.1	0.70
V	69	0.17	4.0	1.4	0.71
Cr	76	0.17	2.7	0.80	0.75
Mn	91	0.28	37	5.0	0.94
Fe	121	0.10	2.2	0.48	0.64
Co	95	0.37	11	2.8	0.64
Ni	68	0.022	0.97	0.33	0.58
Cu	46	0.35	3.0	1.2	0.59
Zn	109	0.44	13	3.8	0.73
Ga	44	0.22	1.1	0.56	0.36
As	43	0.37	57	7.0	1.5
Se	17	0.099	1.1	0.42	0.66
Br	51	0.063	5.1	1.8	0.74
Rb	52	0.11	10	2.7	0.72
Sr	82	0.31	37	4.3	1.2
Mo	63	0.051	1.0	0.24	0.72
Ag	17	0.16	1.9	0.65	0.90
Sb	33	0.016	0.88	0.10	1.5
I	14	1.0	190	37	1.5
Cs	51	0.28	7.1	2.1	0.94
Ba	35	0.33	1.8	0.80	0.45
La	23	0.55	5.0	1.6	0.64
Hg	9	0.033	2.0	0.55	1.3
Pb	2	3.5	4.1	3.8	0.11
U	17	0.80	66	10	1.5

A specific aspect of y/y_0 values is that the magnitude of each element in the sample may be compared with other elements of the same sample. Furthermore, by assuming the existence of a general relationship between concentration factors and residence times throughout a group of samples, the magnitude of the y/y_0 value for each element in the sample may be compared to the same element in another sample. Thus, by comparing the y/y_0 values within a group of samples, we can know collectively which sample is enriched or deficient and in which elements.

数的相関があると仮定した場合の、代表的なモデルを図2に示し、アラメに関する実例を図3に示した。

平均滞留時間は、海洋を一つの大きな平衡系とみなした概念であり、海洋における各元素の地球化学的挙動の活潑さを示す尺度とみれる。一方濃縮係数は定義から、元素の海洋における生物化学的挙動の活潑さの尺度ともみなされる。この両者の間に高い相関が見出されたのは、海洋における元素の地球化学的挙動と生物化学的挙動が互に密接に関連していることを意味するであろう。両者の定義はいずれも、分子または分母に海水中の各元素存在量の値を含んでい



x : Oceanic Residence Time

y : Concentration Factor (observed)

y_0 : Concentration Factor

(calculated from the assuming formula)

a, b : Constants of a Sample

r : Correlation Coefficient between $\log x$
and $\log y$

Fig. 2. Oceanic residence time versus concentration factor: a model of the general relationship in which the logarithm of concentration factor (y) is inversely proportional to the logarithm of residence time (x)

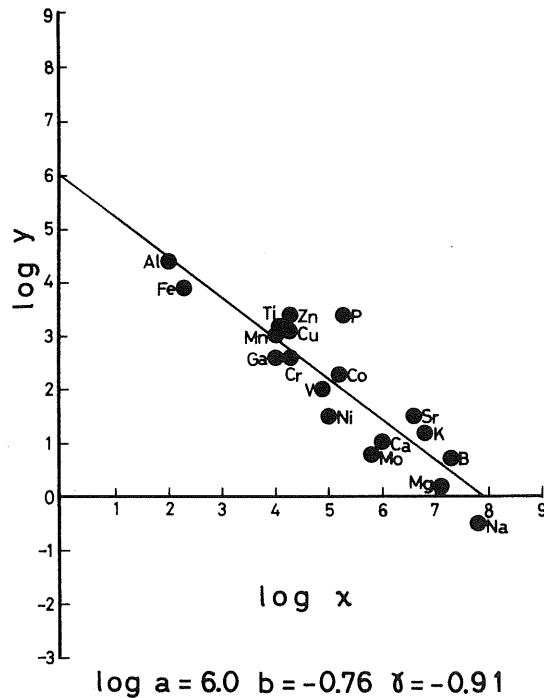


Fig. 3. *Eisenia Bicyclis*, plot of $\log x$ vs. $\log y$ (mean on 9 samples)

る。これに関連して著者らは次の事実を見出した。すなわち、一般に各種の自然物質の元素組成相互の対数的相関係数は、海水中の元素組成の値によって割る（重みづけをする）ことによって、普遍的に大きくなる。

石橋（京都大学理学部，故人）は，海水中の大多数の微少量元素の存在量を世界にさきがけて明らかにしたが，それらの数値の一つ一つが，広く地球上の生物圏全般における元素分布の在り方に，深いかかわりをもっていることが実証されつつある次第である。

文 献

1. YAMAMOTO, T. (Ed.) (1983) *Distribution of Trace Element in Marine Algae - Comparative Biogeochemical Data -*, A report on a Grand-in-Aid for Scientific Research from the Ministry of the Education, Science and Culture, Japan. (Grant No. 56117002, 57110003 and 58102003). Kyoto University of Education, Fushimi-ku Kyoto
2. YAMAMOTO, T. (1972) *Rec. Oceanogr. Wks. Japan* **11**: 65
3. YAMAMOTO, T., T. YAMAOKA, S. TSUNO, R. TOKURA, T. NISHIMURA and H. HIROSE (1977) In *Proceedings of the Ninth International Seaweeds Symposium* (ed. A. Jensen and J. R. Stein)

Science Press, Princeton 445

4. YAMAMOTO, T., Y. OTSUKA, M. OKAZAKI and K. OKAMOTO (1980) In *Analytical Techniques in Environmental Chemistry* (ed. J. Albaiges), Pergamon Press, Oxford, pp. 401
5. GOLDBERG, E. D., W. S. BROECKER, M. G. GROSS and K. K. TUREKIAN (1971) in *Radioactivity in the Marine Environment* (ed. Committee on Oceanography) National Academy of Science, Washington D. C. 137