

平成 22 年 5 月 1 日現在

研究種目： 基盤研究(B)  
 研究期間： 2006 ～ 2009  
 課題番号： 18340178  
 研究課題名(和文) 大型藻類に含まれる有害金属元素—海洋汚染の新しい評価指標の確立を  
 目指して—  
 研究課題名(英文) Toxic metal elements contained in macro-algae  
 - bio-indicator for assessment of marine pollution -  
 研究代表者  
 山本 鋼志 (YAMAMOTO KOSHI)  
 名古屋大学・大学院環境学研究科・准教授  
 研究者番号：70183689

## 研究成果の概要(和文)：

本研究では、海水汚染の指標として大型藻類に含まれる金属元素組成を用いることを目的とし、大阪湾周辺の 19 地点から 6 種類の藻類を採取し、金属元素の分析を行った。その結果、汚染の進んだ大阪市周辺の藻類は多くの有害金属元素に富んでおり、海水汚染指標として有効であることが明らかとなった。しかし、藻類の種類により、同じ地点で採取したにもかかわらず元素濃度が異なり、取り込み係数が異なることが想定された。

## 研究成果の概要(英文)：

In this study, we analyzed 6 species of macroalgae collected at 19 locations along Osaka Bay for 13 metal elements by ICP-MS in the purpose of usage of metal element compositions of algae as a bio-indicator of marine water pollution. As a result, macro algae collected along Honshu Island around Osaka City are enriched in various toxic metals compared to those along Awaji Island with less contamination of toxic metals. This strongly suggests that the chemical composition of macroalgae reflects the degree of marine pollution and can be a useful bio-indicator.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	8,100,000	2,430,000	10,530,000
2007 年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2008 年度	2,700,000	810,000	3,510,000
2009 年度	1,800,000	540,000	2,340,000
年度			
総計	15,100,000	4,530,000	19,630,000

## 研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・地球宇宙化学

キーワード：内海域、環境評価、環境汚染、大型藻類、金属元素

## 1. 研究開始当初の背景

内海域では、生活排水や工業廃水により汚染が進んでいると報告されている。しかし、

それが、どのような範囲で、どの程度進んでいるかを明らかにするような研究は進んでいない。海水には 3.5%程度の塩類が溶けており、ppm や ppb オーダーの微量汚染元素

の定量の妨げとなるため、多試料・多元素の定量が困難であることが一つの大きな原因としてあげられる。また、内海域では、夏期には水塊が層構造をなし低層に貧酸素水塊が現れるのに対し、冬期では上下方向の水の循環が激しくなり貧酸素水塊が消滅する。このように季節により水塊構造が異なっており、平均的な汚染を知ることは困難である。そこで、本研究では、生物試料を用いて海水の汚染状況を把握することを目的とした。

## 2. 研究の目的

本研究では、海水の汚染を推定する生物試料として、大型藻類に着目する。大型藻類の根は、岩場に付着するために働き、陸上植物のように栄養素の吸収には使われない。栄養素は、葉から吸収されるため、周りの海水から直接取り込まれる。この際、懸濁物質よりも溶存物質がより効果的に取り込まれるものと思われる。この栄養素の吸収の際、汚染元素も同様に組織内に取り込まれるものと想像される。

そこで、本研究では初めに藻体の大きな褐藻類のワカメに着目し、環境汚染指標としての有効性をテストし、引き続いて緑藻類や紅藻類を含めた多種の藻類の分析を行い、それらの海水汚染指標としての有効性を明らかにする。

また、藻類が海水からどのような濃縮係数で金属元素を取り込むのかを明らかにすることにより、藻類の元素濃度から海水の汚染度を数字で表すことが出来る。そこで、人工的な飼育が可能なワカメをコントロール海水中で成長させ、海水中の金属元素をどのような係数で取り込むのかを明らかにする。もし、飼育実験が順調に進まない場合には、藻類周辺の海水の直接分析を試み、濃縮係数の決定を行う予定である。

## 3. 研究の方法

上記目的を達成するために、以下の方法により研究を進める。

(1) 大阪湾沿岸部に広く繁茂するワカメに着目し、海域の汚染度との対比を通して「ワカメ」の海水汚染の指標としての可能性を検討する。特に、ワカメは仮根、茎、葉と芽株より生体を構成している。ワカメの生育部位と金属元素含有量との関係を生元素組成との関連を含めて明らかにする。

(2) 大型藻類は、その種類（緑藻・紅藻・褐藻）によって各元素の濃集割合が異なり、有害金属元素の種類により海洋汚染の指標となる藻類が異なると考えられる。より広い分

布を示す多種の藻類（褐藻：タマハハキモク・カジメ、緑藻：アナアオサ、紅藻：フダラク・マクサなど）の分析を通して、元素ごとの海水汚染の指標藻類を選定する。

(3) 藻類の人工飼育を行い、疑似海水中の有害金属元素をどの程度濃集するのか？を定量的に示し、藻類の金属含有量から海水の汚染度を推定するための係数の推定を試みる。もし、人工飼育が困難な場合には、藻類周辺の海水試料の分析を行い、藻類の海水からの金属元素濃縮係数の決定を試みる。

## 4. 研究成果

本研究を通して、以下の結果が得られた。

(1) ワカメの主要部分のうち、葉状部、孢子葉共に Mg 濃度が顕著に高く、乾燥重量当たり $\mu\text{g/g}$ レベルであり、次いで Zn や Cu の濃度が他の元素に比べて比較的高く、Zn は 20-35 ppm, Cu は 10-60 ppm であった。一方、Cd や Sn の濃度は比較的低く、Cd は 0.2 ppb, Sn は 0.2-0.4 ppb であった。葉状部と孢子葉の各金属元素濃度を比較すると、Mg や Cd, Hg を除くほとんどの金属元素が葉状部に高濃度に含まれていることが分かった。これ以降の分析では、葉状部を用いることとした。

(2) 多種類の藻類の分析のために、ワカメ（褐藻類）の他にアナアオサ（緑藻類）タマハハキモク・カジメ（褐藻類）、フダラク・マクサ（紅藻類）の採取を行った。これらの試料の分析結果から、藻類の種類と金属元素濃度の比較を行ったところ、金属元素毎に濃集する藻類の種類が異なっており、汚染指標として適した藻類が異なることが明らかとなった。例えば、Co や Ni では紅藻類のフダラクはほとんどこれらの元素を取り込まず、一方、褐藻類のタマハハキモクは両元素の濃度範囲が広く汚染指標として有効である可能性が高い。Mn, Cd, Sn, Pb などの元素は、同一種の藻類でも採取地点による元素濃度範囲が広く、10 倍以上の濃度範囲を示すものが多い。これらの広い濃度範囲が海水の汚染を反映するものであれば、海水の汚染指標として利用が可能である。

(3) 人工海水に Cd と Zn を加えた環境でワカメの人工飼育を行った。2 元素とも培地中の元素濃度が高くなるにつれてワカメ藻体の元素濃度も高くなった。

Cd においては Cd 200 ppb 培地で培養した成長藻体の Cd 濃度のレベルと Cd 1000 ppb で培養した藻体の Cd 濃度は 350-700 ppb の濃度範囲で一定であるのに対し、培地の Cd 濃度が 200 ppb レベル以下は海水中の金属元

素濃度の上昇に対し、藻類中の金属元素層度が急激に上がることが分かった。

ZnにおいてはZn 250 ppb 培地で培養した成長藻体は30-40 ppmであり、Znが250 ppbよりも高濃度の培地でも藻体 Zn 濃度はほとんど変わらず、ゆるやかに高くなっていること、一方、培地のZn濃度が250 ppb レベル以下は海水中の金属元素濃度の上昇に対し、藻類中の金属元素層度が急激に上がることが分かった。

すなわち、必ずしも金属元素取り込み係数は一定でなく、海水中の金属元素濃度により大きく変化することが示された。そこで、藻類の周辺海水の分析を行い、藻類中の金属限と濃度との相関図を描いたが、Hgなどの一部元素を除いて良い相関関係が見られず、濃縮係数の決定には至らなかった。

汚染が進んでいる大阪市周辺と汚染の少ない淡路島沿岸を比較すると、ほとんどの藻類が大阪市側で高い金属元素濃度を示す。本研究では、藻類の金属元素濃縮係数の決定までは至らなかったが、海洋の汚染度の違いにより、大型藻類中の金属元素濃度は大きく変化を示し、海水汚染指標としての有効であると結論できる。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 9 件)

1. Kato A., Guimarães S.M.P.B., Kawai H. and Masuda M. 2009. Characterization of the crustose red alga *Peyssonnelia japonica* (Rhodophyta, Gigartinales) and its taxonomic relationship with *P. boudouresquei* based on morphological and molecular data. *Phycological Research*, **57**: 74-86. 査読有り

2. Uwai, S., Kogame, K., Yoshida, G., Kawai H. & Ajisaka, T. 2009. Geographical genetic structure and phylogeography of the *Sargassum horneri/filicinum* complex in Japan, based on the mitochondrial *cox3* haplotype. *Marine Biology*, **156**, 901-911. 査読有り

3. Kawai H., Hanyuda T., Lindeberg M. and Lindstrom S.C. 2008. Morphology and molecular phylogeny of *Aureophycus aleuticus* gen. et sp. nov. (Laminariales, Phaeophyceae) from the Aleutian Islands. *Journal of Phycology*, **44**: 1013-1021. 査読有り

4. Yamada, M., Yamamoto, K., Ushihara, Y. & Kawai, H. 2007. Variation in metal concentrations in the brown algae *Undaria pinnatifida* in Osaka Bay, Japan. 査読有り *Phycological Research*, **55**: 222-230.

5. Kawai, H., Hanyuda, T., Draisma, S.G.A. & Müller, D.G. 2007. Molecular phylogeny of *Discosporangium mesarthrocarpum* (Phaeophyceae) with a reassessment of the order Discosporangiales. *Journal of Phycology*. **43**: 186-194. 査読有り

6. Kawai H., Kamiya M., Komatsu T., Nakaoka, M., Yamamoto, T. & Marine Research Group of Takeno. 2007. Ten years' monitoring of intertidal macroalgal vegetation of Hyogo Prefecture, NW coast of Honshu, Japan to assess the impact of the *Nakhodka* oil spill. *Algae* **22**: 37-44. 査読有り

7. Uwai, S., Nelson, W., Neill, K., Wang, W D., Aguilar-Rosas, L.E., Boo S.M., Kitayama, T. & Kawai, H. 2006. Genetic diversity in *Undaria pinnatifida* (Laminariales) deduced from mitochondria genes - origins and succession of introduced populations. *Phycologia* **45**: 687-695. 査読有り

8. Yamada, M., Yamamoto, K., Ushihara, Y. & Kawai, H., 2006. A survey of organic solvent extractable metal concentrations in the bottom sediments in Osaka Bay, Japan *Marine Pollution Bulletin*, **52**: 231-238. 査読有り

9. Yano, T., Kamiya, M., Murakami, A., Sasaki, H. & Kawai, H. 2006. Biochemical phenotypes corresponding to molecular phylogeny of the red algae *Plocamium* (Plocamiales, Rhodophyta): implications of incongruence with the conventional taxonomy. *Journal of Phycology*, **42**: 155-169. 査読有り

[学会発表] (計 2 件)

1. Yamada, M., Hoang, N., Yamamoto, K., Ushihara, Y. & Kawai, H. (2008) Evaluation on Pb contamination in algae in Osaka Bay, Japan. *EMECS-8 International Conference, Shanghai*, Oct. 27-30.

2. 大野ひとみ・山本鋼志 (2006) 海洋環境評価の新しい手法の確立-有機溶媒による沿岸堆積物からの金属元素抽出. 日本地球化学会, 日本大学, 2006年9月13-15日

[その他]  
ホームページ等

<http://chibake.com/member/kyamamoto/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

山本 鋼志 (YAMAMOTO KOSHI )  
名古屋大学・大学院環境学研究科・准教授  
研究者番号：70183689

### (2) 研究分担者

川井 浩史 (KAWAI HIROSHI )  
神戸大学・内海域環境教育研究センター  
教授  
研究者番号：30161269