

## 茨城県沿岸に生息するマガキ *Crassostrea gigas* の銅 および亜鉛の蓄積状況

石川 和 芳

### On Accumulation of Copper and Zinc in "Green Oyster" in the Coastal Regions around Hitachi

Kazuyoshi ISHIKAWA

マガキの軟体部における緑化現象については、岡田・本橋<sup>1)</sup>、松江・橋高<sup>2)</sup>、森田<sup>3)</sup>、大植ら<sup>4)</sup>がその原因物質について研究を行ない、マガキ体内の銅および亜鉛蓄積濃度が関与していると指摘した。本県においても、日立市宮田川河口付近の初崎海岸で、以前からカキの緑化現象が知られ、その原因を多賀・原田<sup>5)</sup>は日立鉱山の銅精錬工場から宮田川に放出される含重金属排水の影響であると報告した。

その後 1968 年になって、同工場は排水の自主規制を強めて河川放流を中止し、海洋への放出を皆無といえる状態にまでした。しかし、それから約 10 年経過した今日でも、排水の海洋放出路になっていた宮田川の河口近傍の海浜（初崎海岸等）には緑色を呈するマガキの生息が観察されている。

筆者は、漁場保全的な立場から、マガキの銅・亜鉛蓄積濃度の現況、肉眼的判定手段としての緑色度との関係、およびマガキの生活周期との関係、さらには体内蓄積速度等について調査を行ない、若干の知見を得たので報告する。

#### 材料および方法

銅および亜鉛の体内蓄積濃度測定に用いた標本は、日立市初崎海岸を中心にして、福島県境に近い茨城市平潟町から県南部の鹿島町に至る沿岸海浜のうち、Fig 1 に示す 10 地点において採集した。

標本は 1977 年～1978 年の期間に採集されたものであり、いずれも岩礁域や防波堤に付着していた天然産のマガキで、殻長は 3.3～8.3 cm、全重量は 17.1～117.2 g の範囲であった。

一方、銅・亜鉛の体内への蓄積過程を調べる垂下試験材料には宮城県牡鹿町産の養殖ガキ（殻長 4.1～6.1 cm、全重量 86.1～146.1 g）を用いた。垂下地点は前記の宮田川河口沖約 300 m（水深 5 m）の場所を選び、網袋に入れて 1978 年 9 月 28 日に実験

を開始した。その後約 1 カ月間隔で 3 個体づつを無作為に取り出し、銅・亜鉛の分析に供した。この実験は 1978 年 12 月 25 日で終了したが、延 88 日の間に 3 回標本を取り出して分析値を得た。

マガキの分析方法は次のような順序で行なった。すなわち、

1. 貝殻から剝離した軟体部を水切りして湿重量を測定する。
2. これを 300 ml コニカルビーカーにとり、105℃前後で乾燥して乾重量を測定する。
3. これに HNO<sub>3</sub> と HClO<sub>4</sub> をそれぞれ 20 ml づつ加え、ホットプレート上で加熱分解し灰化する。
4. これを 1N-HCl で 100 ml に定容し、日立 208 型原子吸光光度計で測定する。

## 結果および考察

### 1 カキの緑色度と銅および亜鉛の体内蓄積濃度

茨城県沿岸域におけるマガキの銅・亜鉛蓄積濃度の地区別分析結果を Table 1 に示し、その分布状況を Fig 2 に示す。

Table 1 Copper and zinc in oysters, *Crassostrea gigas*, caught in the coastal region from Hirakata to Kashima.

	Cu(mg/g)	Sample number	Zn(mg/g)	Sample number
Hirakata	0.55 ± 0.22	6	8.98 ± 2.70	6
Otuko	0.74 ± 0.18	3	3.23 ± 1.00	3
Tenpisan	0.60 ± 0.13	8	4.53 ± 2.46	8
Hatuzaki	7.68 ± 4.70	30	5.96 ± 3.88	26
Ose	1.73 ± 1.03	16	3.82 ± 1.32	17
Kawarago	2.80 ± 1.28	14	4.48 ± 2.26	15
Kuji	0.88 ± 0.38	8	4.93 ± 4.61	8
Hiraiso	0.61 ± 0.21	8	4.02 ± 1.22	8
Oarai	0.36 ± 1.20	6	1.60 ± 0.66	6
Kashima	0.27 ± 0.09	3	5.13 ± 1.52	3
Ojika	0.06 ± 0.02	3	0.80 ± 0.09	3

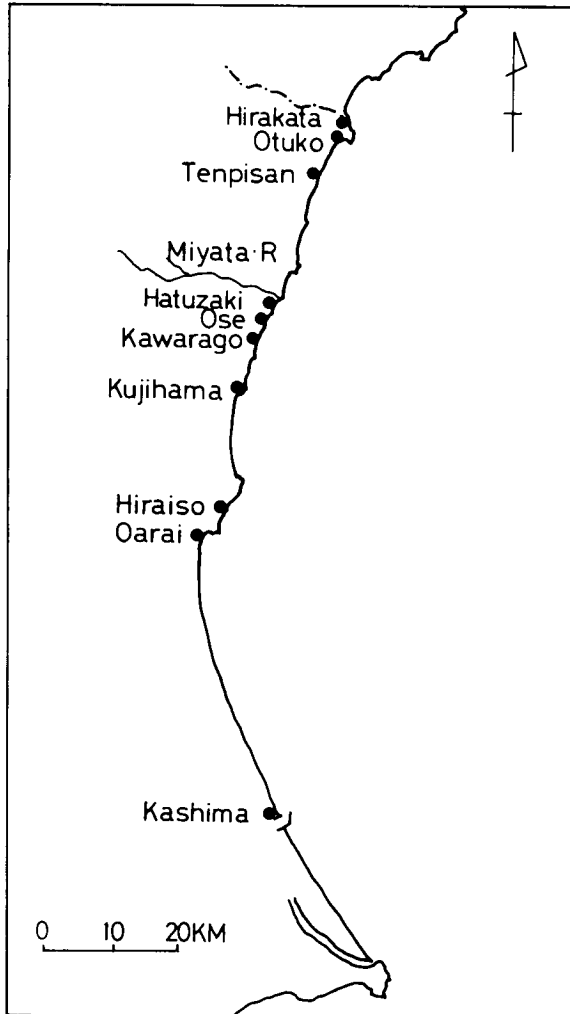


Fig. 1 Showing the sampling stations along the coast of Ibaraki Prefecture.

以上の手続きによって得た分析値は乾重量値で表わした。

また、垂下試験に際して、その地点付近の海水および底質を採集したが、前者の銅・亜鉛の分析は J I S K 0102 のジチゾンクロホルム抽出法、後者のそれは乾泥約 1 g を精秤した後、マガキの分析に準拠して行なった。

まず、銅についてみると、初崎地区が最も高く、 $7.68 \pm 4.70 \text{ mg/g}$  である。次いで河原子地区の  $2.80 \pm 1.28 \text{ mg/g}$ 、会瀬地区の  $1.73 \pm 1.03 \text{ mg/g}$  の順になり、この 3 地区と久慈地区の一部を除けば他は約  $0.90 \text{ mg/g}$  以下であった。なお、数値は地区ごとの平均値で示した。

一方、亜鉛の場合、上記 3 地区は  $3.82 \sim 5.96 \text{ mg/g}$  の値を得たが、大洗を除く他の地区でも  $3.23 \text{ mg/g}$  以上の値を示していて、銅濃度の高い地区のマガキが亜鉛についても高い濃度で蓄積しているというわけではない。ただ、県北の平潟地区や県南の鹿島地区で約  $5.0 \text{ mg/g}$  以上の高い値が検出されたことはマガキの発色とは別の問題で注目すべきところである。

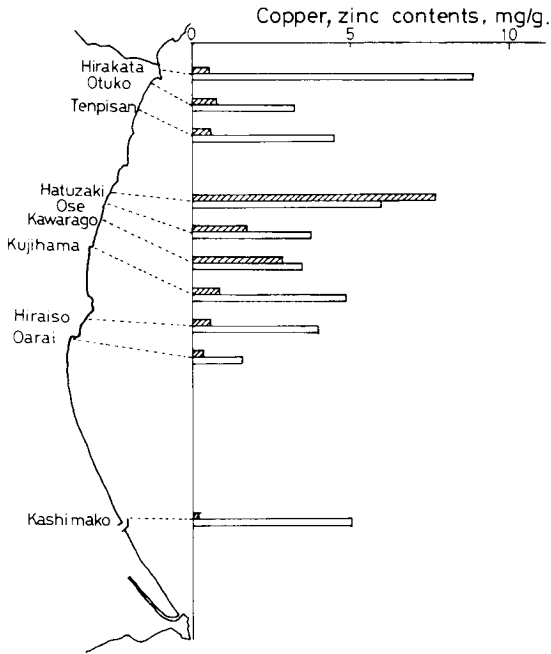


Fig. 2 Copper and zinc in oysters caught in the coastal region of Ibaraki Prefecture. ..... Cu, ..... Zn

従来、マガキ軟体部の緑化現象は銅の他に亜鉛の相乗作用がある<sup>5)</sup>と言われてきた。しかし、今回のように、亜鉛の蓄積濃度が高い場合でも、銅の体内濃度が低い場合には、軟体部が緑色を呈さないところをみると、銅の体内濃度が発色の主役を演じているものと考えられる。

マガキの発色部位を詳しく観察すると、軟体部の一部がわずかに淡緑色を帯びているものから、その全体が濃い緑色を呈しているものまで、個体によって発色部位の拡がりや色の濃淡などに差がみられる。そこで、肉眼観察による緑化の程度を緑色度と呼び、それを次のような5段階に分け、銅の体内蓄積濃度との相対関係を見たのがFig 3である。緑色度の判定基準は次のとおりである。すなわち、

- 緑色度 0 : 軟体部が乳白色の場合
- ” 1 : 軟体部が黄褐色の場合
- ” 2 : わずかに淡緑色を呈している場合

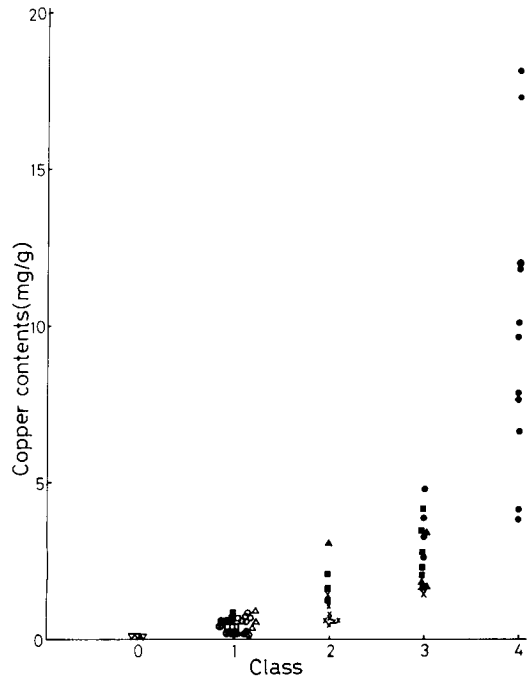


Fig. 3 Copper contents in oysters caught in the coastal region of Ibaraki Prefecture. The class numbers show the grade of body colour distinguished by their appearance.

Notes: class 0 ... white ; 1 ... skin colour ; 2 ... slightly greenish ; 3 ... partially greenish ; 4 ... wholly greenish.

Stations ● ... Hatuzaki, ▲ ... Hatuzaki, ■ ... Ose, × ... Kuji, □ ... Hiraiso, ⊗ ... Oarai, ⊙ ... Kashima, △ ... Hirakata, ○ ... Tenpisan, ▽ ... Ojika.

緑色度 3 : 部分的に濃い緑色を呈している場合

” 4 : 全体的に濃い緑色を呈している場合

Fig 3 から、緑色度 0 では銅が平均値で  $0.06 \text{ mg/g}$  しか蓄積されておらず、同じく 1 では  $0.52 \text{ mg/g}$ 、2 では  $1.20 \text{ mg/g}$ 、3 では  $2.81 \text{ mg/g}$ 、4 では  $9.94 \text{ mg/g}$  であって、これらの値が示すように、緑色度は銅蓄積濃度の目安になり、一般にミドリガキと称されるものの銅濃度は平均値で  $1.20 \text{ mg/g}$  以上である

ことが明らかである。

なお、緑色度4においては、銅の体内濃度の個体差が大きく、同時に緑色度3以下のもの比べて非常に高い値を示している。

さて、緑色度0に相当する個体は宮城県牡鹿町で採取したもののすべてであり、本県沿岸の採集標本の中にはこの色調に属するものは皆無であった。久慈地区および会瀬地区の一部で採取したマガキは緑色度2、河原子地区と初崎地区の一部のマガキは緑色度3、そして初崎海岸のマガキのほとんどのものは緑色度4に属し、県内のその他の地区のマガキは緑色度1であった。

このように高濃度の銅を含有するマガキの分布域が地域的に偏在し、さらに初崎から南側の海岸線沿いに河原子、久慈の順で漸減傾向を示していることは、後述のように、海岸沿いに卓越する南下流の動き<sup>6)</sup>と密接な結びつきがあるものと推定される。

一方、Fig 4の亜鉛の場合、緑色度0のグループは銅の場合と同様極めて低い0.80 mg/gの蓄積濃度であったが、緑色度1以上では緑色度と亜鉛濃度との間には銅でみられたような正の相関関係はなく、総体的に高い値を示して、緑色度4の段階で他の段階と蓄積濃度においてわずかに差がみられるに過ぎない。

さて、前述のように、緑色度4と判断された個体は、いずれも宮田川河口に近い初崎海岸で採集されたものであった。そのうち、最も蓄積濃度の多いものは銅 18.2 mg/g、亜鉛 13.0 mg/gを示して、1954年に測定された銅 17 mg/g、亜鉛 32 mg/g（多賀・原田）に比べると、銅についてはほぼ同じ水準である。

また、この地域的に偏在する緑化マガキが宮田川河口域を挟んで、その北側の地区ではほとんど観察されず、南側海岸線沿いの会瀬から久慈に至る南北約12 kmの各地区に広く分布し、かつその間で緩かな蓄積濃度の減少傾向が見られることは、上記宮田川河口域付近の海底に沈着、堆積している含銅物質から、現在も銅がイオン等の特殊な形態で海水に溶

出していること、および海岸線沿いに卓越する南下流<sup>6)</sup>が含銅海水を希釈しながら南側海浜に運搬していることを示唆している。

亜鉛の場合は、全般的に銅に比べて蓄積濃度が高く、初崎地区のグループを除けば、地理的な変異は特に認められない。ただ、牡鹿町産に比べて約2～10倍程度の高い蓄積濃度が検出されているので、さらに広域的な立場でそれらの特異性を検討して見る必要があると考えられる。

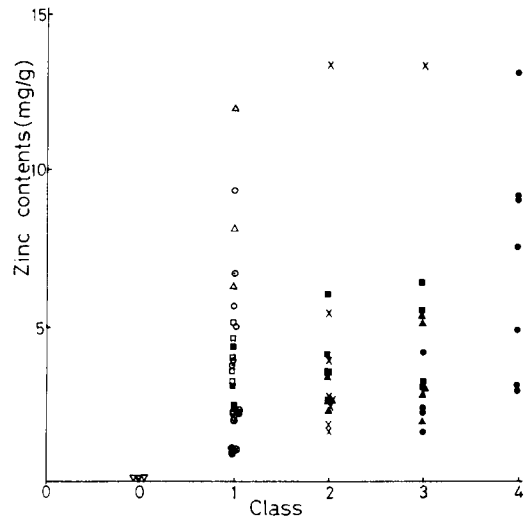


Fig. 4 Zinc contents in oysters caught in the coastal region of Ibaraki Prefecture. The class numbers show the grade of body colour distinguished by their appearance.

Notes: class 0...white, 1...skin colour, 2...slightly greenish, 3...partially greenish, 4...wholly greenish.

Stations. ●...Hatuzaki, ▲...Kawarago, ■...Ose, ×...Kuji, □...Hiraiso, ⊗...Oarai, ⊙...Kashima, △...Hirakata, ○...Tenpisan, ▽...Ojika.

## 2 マガキ体内の銅および亜鉛蓄積濃度の季節的变化

岩手県産のマガキについて、既にカキ軟体部の銅

および亜鉛の蓄積濃度が季節的に変動すること<sup>7)</sup>は知られているが、本報では茨城県産のマガキについて検討した。

Fig 5および6は1977年と1978年の銅、亜鉛蓄積濃度と身入度 (Condition Index : C. I. =  $\frac{\text{軟体部乾重量}}{\text{全重量}} \times 1,000$ ) の関係を時期別に示したものである。

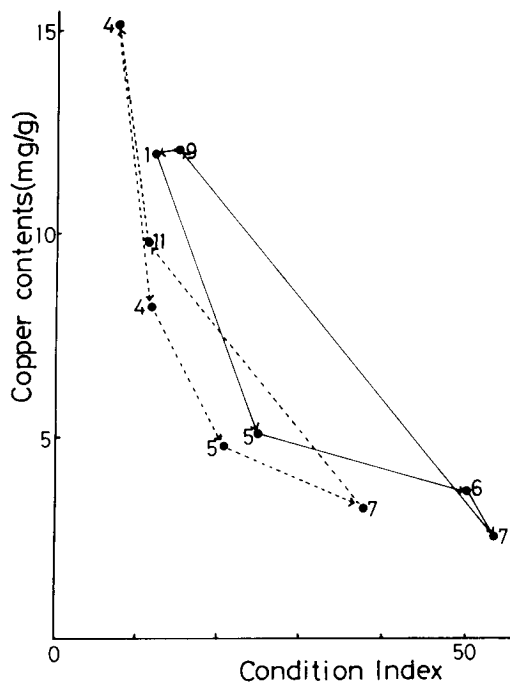


Fig. 5 Seasonal fluctuation for copper contents and Condition Index of oysters caught at the coast of Hatuzaki.

●—● 1977

●···● 1978

1 : January, 4 : April, 5 : May  
6 : June, 7 : July, 9 : September,  
11 : November.

すなわち、C.I.の季節の変動傾向には年により若干の差はあるが、総じて6月～7月にC. I. = 37～54の高い値を示し、その他の季節には25以下の低水準となり、特に11月から4月の期間には12以下にまで減少する。一方、マガキ体内の銅・亜鉛濃度

はC. I.の大きい時期に低く、C. I.の小さい時期に高い水準を保って、両者は年周期的な高低のリズムを維持しながら相互に極めて顕著な負の相関関係を示している。

土屋<sup>8)</sup>は宮城県産カキについて、蛋白質は2月～4月に最小値、5月～7月に最大値を示すことを明らかにし、また森ら<sup>9)</sup>も宮城産カキについて、生殖腺は産卵準備期に最大になるとしていることを参考にすると、7月、8月の時期に蛋白質量が急激に増加するのはカキ体内の生殖腺が急速に発育するためであろうと考えられる。

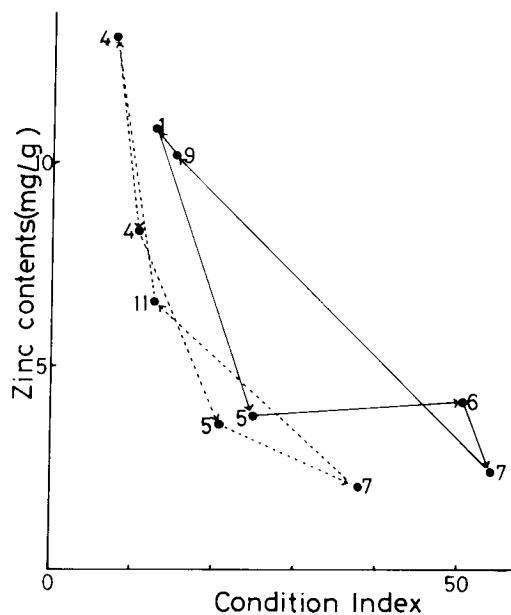


Fig. 6 Seasonal fluctuation for zinc contents and Condition Index of oysters caught at the coast of Hatuzaki.

●—● 1977

●···● 1978

1 : January, 4 : April, 5 : May,  
6 : June, 7 : July, 9 : September,  
11 : November.

一方、生田<sup>10)</sup>によれば、銅・亜鉛は季節的に重量変化の少ない外套膜、鰓、腎弁等に多く蓄積されていると述べている。

以上のことから、マガキの身入度と軟体部におけ

る銅・亜鉛蓄積濃度とが負の相関を示して、冬から早春に最高になり、6月～7月に最低になるという季節変動を示すことは、主として、生殖腺における蛋白質の季節的増減によるものと考えられる。

いずれにしても、茨城産マガキにも銅・亜鉛蓄積濃度の季節的変動が認められ、生活周期に基づく栄養代謝、特に生殖腺生理と連動しているものと思われる。

### 3 環境水からの銅・亜鉛蓄積速度

マガキの銅・亜鉛蓄積速度を調べるため、前述のような方法で垂下試験を行った。

試験期間中の同水域における底質は銅を314～476  $\mu\text{g/g}$ 、亜鉛を314～415  $\mu\text{g/g}$  含有しており、付近の海水中の銅・亜鉛濃度はそれぞれ0.002～0.008 ppm（平均0.005 ppm）、0.006～0.012 ppm（平均0.010 ppm）であった。

以上のような環境下における垂下試験結果を Fig 7 に示す。

供試標本の銅蓄積濃度は実験開始時 0.06  $\text{mg/g}$  であったものが88日後に1.51  $\text{mg/g}$  に増加し、亜鉛蓄積濃度は同じく0.80  $\text{mg/g}$  が3.01  $\text{mg/g}$  に増加した。この結果から蓄積速度を求めると、1日当りでは銅が0.017  $\text{mg/g}\cdot\text{day}$ 、亜鉛が0.025  $\text{mg/g}\cdot\text{day}$  と推算され、金属の種類によって蓄積速度に若干の差があることがわかる。

一方、環境水における銅および亜鉛の濃度は、平均値で前者が0.005 ppm、後者が0.010 ppm であることから、初崎産マガキの場合、銅・亜鉛の濃縮係数は  $2.5 \times 10^5$ 、 $1.1 \times 10^5$ （湿重量当り、平均値）となり、同一地域で同時に分析した同じ二枚貝に属するムサキイガイ（ $N=13$ ）の濃縮係数（銅： $6.0 \times 10^3$ 、亜鉛： $8.6 \times 10^3$ ）と比べても銅で40倍、亜鉛で13倍と高い濃縮率を示す。

これまでの分析結果<sup>1),3),4),5),6),9)</sup>では、マガキの銅の最大蓄積値は18  $\text{mg/g}$ 、亜鉛は32  $\text{mg/g}$  程度であり、このレベルで取り込みと排出とが平衡状態に達したと仮定すれば、前述の蓄積速度から銅は約3年、亜鉛は約3.5年ではば極限の状態に達する

と見られるが、前述のような蓄積濃度に季節的な変動があること、およびこの蓄積速度の実験が年周期変動の増大期に行われたことなどを考えれば、この所要時間はやや過少に見積られている可能性がある。

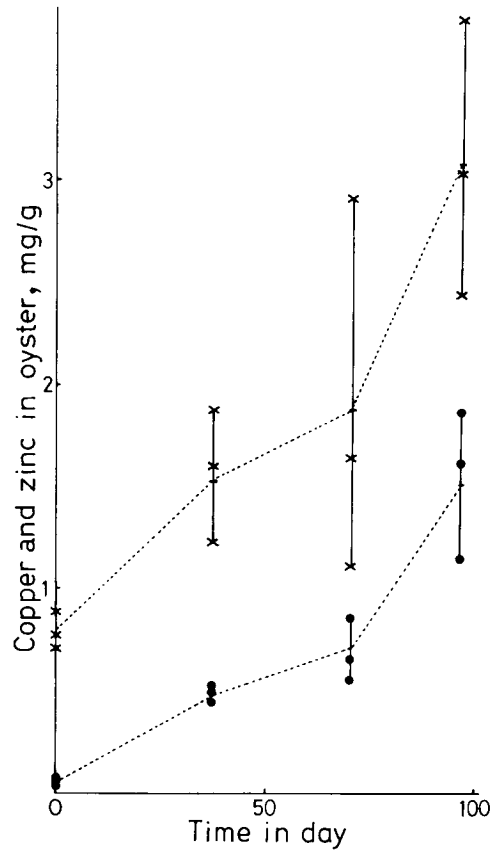


Fig. 7 Intake of copper and zinc in oysters (from Ojika) suspended in the sea offshore of Hatuzaki coast during the period from September to December, 1978.  
●—●—●— Cu  
×---×--- Zn

今回の調査では、銅・亜鉛の溶出源の状態やマガキ体内への取り込み機構などについては明らかにすることができなかった。宮田川河口付近海域においては、海底土中の銅・亜鉛濃度が減少しつつあるにもかかわらず、付近のマガキに現在もなお銅・亜鉛が取り込まれて、世間でいうミドリガキを生じさせ

ている事実は、漁場が正常な環境に戻るまでに、なお相当の年数が必要であることを示している。

## 要 約

1977, '78年の2カ年間、茨城県沿岸域に生息しているマガキについて、体内における銅・亜鉛蓄積濃度の地理的変異と季節的変動、および銅・亜鉛の体内蓄積速度などについて調べ、次のような知見を得た。

1. 県下で初崎から久慈地区までの間には現在もなお、ミドリガキが存在し、銅で最高 18.2 mg/g、亜鉛で同じく 13.1 mg/g が検出されたが、これらの蓄積濃度の高低は肉眼観察による緑色度の5段階判定法によってもその目安がつけられることを確かめた。

2. マガキ軟体部の緑化には銅が主要な役割を演じていると見られる。また、海底に沈降堆積している含銅堆積物とこの地域の海岸線沿いに卓越する南下流とがミドリガキの地理的分布特性を規定しているものと見られる。

3. マガキ体内の銅・亜鉛濃度には季節的変動が見られ、1月から4月に最高値、7月前後に最低値を示す。これはマガキの生殖腺生理および栄養生理と連動して生ずる年周期変動であると考えられる。

4. 約90日間の垂下試験によれば、マガキが銅および亜鉛を蓄積する速度はそれぞれ、 $0.017 \text{ mg/g} \cdot \text{day}$ 、 $0.025 \text{ mg/g} \cdot \text{day}$  と推算された。また、初崎産

マガキの銅・亜鉛の濃縮係数はそれぞれ  $2.5 \times 10^5$ 、 $1.1 \times 10^5$  の高い値であった。

終りに当り、御校閲をいただいた茨城県水産試験場長渡辺徹氏、御指導をいただいた前環境部長高橋惇氏、試料の採取に多大の御便宜をいただいた会瀬漁業協同組合庄司千学氏に心から感謝致します。

## 文 献

- 1) 岡田・本橋：水産研究会誌，33，1-8
- 2) 松江・橋高：水産研究会報，4，29-37(1952)
- 3) Morita Y：Jour. Earth Sci. Nagoya Univ. 3，33-57(1955)
- 4) 大植・伊藤・村上・三谷：愛媛大学地域社会総合研究報告B，3，15(1955)
- 5) 多賀信夫・原田和民：本誌，昭和29，30年度版，86-92(1958)
- 6) 友定彰・久保治良：東海区水研研究報告，(投稿中)
- 7) 上村俊一・會我正・佐藤一男・金沢武志：岩手水試研究報告，1，83-99(1971)
- 8) 土屋精彦：水産化学，恒星社厚生閣，東京，1962
- 9) 森勝義・玉手英夫・今井文夫・市川収：東北水研研究報告，25，65-88(1965)
- 10) 生田国雄：日本水産学会誌，34，117-122(1968)