水棲生物の重金属蓄積に関する研究—I.

カキの銅含有量について*

生 田 国 雄

(1967 年 2 月 6 日受理)

Studies on Accumulation of Heavy Metals in Aquatic Organisms—I.
On the Copper Contents in Oysters

Kunio IKUTA**

It is well known that aquatic organisms absorb and accumulate heavy metals in water environment, but we have no information on the mechanism of the absorption and accumulation of heavy metals and of their environmental factors affecting the absorption. When the concentration of the heavy metals in the water is under a certain limit, we can not observe any abnormal accumulation phenomenon, but when above a certain limit, we find abnormal accumulation. The study on green oysters is an instance showing the relations between the abnormal accumulation of heavy metals and industrial wastewaters containing heavy metals. The influence of the industrial wastewaters upon aquatic organisms has been discussed from the statistical, physiological, saprobiensystematic point of view, and the degree of the influence of the wastewater containing heavy metals has been done from the same point. The author is going to make clear the mechanism of absorption and accumulation of heavy metals in aquatic organisms and their environmental factors, furthermore a criteria of the influence of the wastewater containing heavy metals by determining their contents.

This paper deals with the copper-contents in the meat of oysters which were collected in Nobeoka Bay and it's neighboring water, Miyazaki Prefecture, from January to March, 1965. This experiment was carried out in order to prove the difference between the copper-contents in oyster caught in the southern coast of Nobeoka Bay (S-group) and those in the waters adjacent to Nobeoka Bay (N-group). The results are summarized as follows:

1) According to the mean value of the copper-contents in oysters caught at each sampling location, S-group is ranged from 320.2 to 686.8 mg Cu/kg fresh body weight, and N-group is ranged from 40.0 to 99.4 mg. Between the copper-contents of S-group and N-group the evident difference is seen at the significance of 0.1%.

2) It appears that one of the environmental factors making copper concentrated in the oysters of S-group is due to the copper being discharged into sea water by a Benberg factory and the exhausted mine gutter.

3) The copper-contents in oysters at Kojima are nearly equal to those of OKADA & МОТОНАШИ's results, but the concentration of copper in the sea water at the southern Nobeoka Bay differs extremely from their study.

水棲生物が環境水中の重金属を吸収蓄積することはすでに知られているが、重金属の吸収蓄積機構とそれに関与する環境特性については解明されていない。重金属が環境水中に一定限界以下の濃度で存在する場合には異常な蓄積現象は見られず、一定の限界濃度を越えると異常な蓄積現象が観察される場合が多く、この

* 昭和 41 年 4 月 4 日 日本水産学会年会にて要旨を発表した。

**宮崎大学農学部 (Fac. of Agr., Miyazaki Univ., Miyazaki City)

異常蓄積現象を含重金属廃水との関係において研究した例としてミドリガキに関するものがある。一般に産業廃水の水棲生物に与える影響度については水質成分の分析結果にもとづいた数理統計学的、水族生理学的、汚水生物学的検討がなされているが、含重金属廃水の影響度についてもこのような面からの検討が行なわれているにすぎない。よつて著者は水棲生物による重金属の吸収蓄積機構とそれに関与する環境特性を究明することに主眼をおき、さらに生物体の重金属蓄積量から含重金属廃水の影響度を判定する基準を明らかにしたいと考えている。

岡田・本橋¹⁾、松江・橋高²⁾、大植・伊藤ら³⁾、多賀⁴⁾、森田⁵⁾らによれば、カキの緑化現象に関係する因子は環境海水中の銅濃度とされている。特に宮崎県延岡産カキの緑化について報告した岡田・本橋¹⁾の結果に関しては菅原⁶⁾の批判がなされて疑問が残るとされている。著者はこの研究の解明に当り、まずこれらの点に注目して延岡湾とそれに隣接する沿岸域産のカキ軟体部の銅含有量について調べ、地域性とそれを左右する環境特性の一部について2・3の知見をえたので報告する。

材料および方法

延岡湾南部水域沿岸に5地点、妙見、土土呂、タカチベ、赤水、小島（以下南部群とする）、延岡湾以北水域沿岸に5地点、浦城、天神、島之浦、古江、宮野浦（以下以北群とする）を選定し、昭和40年1月から3月にかけて採集を行なった。供試ガキはマガキ (*Ostrea gigas*)、イワガキ (*Ostrea circumpicta*)、ケガキ (*Ostrea spinosa*) で、各採集地における優先種である。供試数は6個体とし、カキ軟体部を湿式分解法^{7,8)}により処理し、DDC法⁹⁾により銅を分析した。海水中の銅については延岡湾沿岸水域、小島北西1,000mの地点で24時間採水を行ない、表層水をDDC法⁹⁾により分析した。なお採水は直接法により行なった。

Fig. 1. Chart showing sampling locations.

Fig. 1A. Chart showing copper-contents in oysters in the southern Nobeoka Bay. A solid circle indicates 50 mg Cu/kg fresh body, and the asterisk (*) shows the exhausted mine.

Fig. 1B. Chart showing the copper-contents in oysters in the adjacent waters to north Nobeoka Bay. The mark indicates same as Fig. 1A.

結 果

カキ軟体部の銅含有量を採集地別に Table 1, Fig. 1A, 1B に示した。南部群のカキ軟体部の銅含有量は採集地別平均値で 320.2~686.8 mg Cu/kg fresh body weight の範囲であり、群内の地点間変動も比較的

大きく、この変動は種間変動とも考えられるが銅含有廃水の影響度の差とみることもできよう。この南部群のカキは全て軟体部が緑色あるいは淡緑色を呈し、部分的には緑色の斑点を有する個体もあり、いわゆるミドリガキと呼ばれるものと判断される。以北群のカキは外観的にも正常で緑色を呈する個体は皆無で、軟体部の銅含有量は40.0~99.4 mg Cu/kg fresh body weight の範囲であり、群内の地点間変動は比較的大きいが、これは種間変動と考えられる。

南部群と以北群とのカキ軟体部の銅含有量には顕著な有意差（正規分布検定により、 $Z_0 = 10.35$, $P = P(|Z| \geq Z_0)$, $P \ll 0.0001$, $\alpha = 0.001$, $P < \alpha$) が認められた。

考 察

1) 延岡湾南部沿岸水域海中の銅濃度の潮間変動を Fig. 2 に示したが、この変動は塩素量の変動と逆相関関係が強く、潮時との関係からすると落潮時には低塩分・高銅濃度の沿岸水が張出し、漲潮時には逆に高塩分・低銅濃度の沖合水と交代するものと考えられ、低塩分・高銅濃度の沿岸水はその性質上陸水からの由来性が強いと判断される。水産用水基準⁹⁾によれば銅の許容限界濃度は7.5 $\mu\text{g Cu/l}$ とされているが、漲潮時でもこの濃度前後であり、落潮時には許容限界濃度ををはるかに越えている。岡田・本橋¹⁾による海水中の銅濃度は420 $\mu\text{g Cu/l}$ であり、著者の結果とは大差がある。現況の延岡湾とそれに隣接する水域で

の銅濃度で400 $\mu\text{g Cu/l}$ 以上の分析値がみられるのは旭化成工業株式会社のペンベルグ工場廃水(700~900 $\mu\text{g Cu/l}$ ¹⁰⁾)の排水路および同社延岡地区各種工場廃水の放流される浜川(550~650 $\mu\text{g Cu/l}$ ¹⁰⁾)において実測されるのみで、浜川河口沿岸水域では200 $\mu\text{g Cu/l}$ ¹⁰⁾ を越える濃度は検出し得ない。

Table 1. Copper-contents in oysters.

S-group (Southern coast of Nobeoka Bay)		N-group (Adjacent waters to north Nobeoka Bay)	
Location and sampling date	Copper-contents in oysters	Location and sampling date	Copper-contents in oysters
Myoken Feb. 20.	273.5* 390.8* 259.8* 420.6* 274.5* 301.8*	Urashiro Jan. 30.	37.0* 138.1* 35.9* 53.9* 39.9* 60.5*
	m. v. 320.2		m. v. 60.9
Totoro Feb. 20.	505.1* 472.2* 401.4* 489.3* 352.4* 387.4*	Tenjin Feb. 21.	35.3** 25.0** 165.0** 71.5** 125.7** 98.6**
	m. v. 434.6		m. v. 86.9
Takachibe March 18.	664.5*** 559.7*** 722.2*** 603.7*** 616.7*** 510.8***	Shimanoura Feb. 21.	100.0** 122.6** 78.1** 84.0** 103.7** 108.1**
	m. v. 612.9		m. v. 99.4
Akamizu Jan. 29.	442.3*** 517.6*** 188.6*** 444.9*** 251.9*** 293.7***	Furue Feb. 21.	163.1*** 44.1*** 107.1*** 88.5*** 63.5*** 92.5***
	m. v. 356.5		m. v. 93.0
Kojima March 18.	571.9*** 724.9*** 450.8*** 931.9*** 778.5*** 662.5***	Miyanoura Feb. 21.	44.7** 41.1** 36.3** 47.6** 44.7** 26.1**
	m. v. 686.8		m. v. 40.0

Note: The unit is milligram per kilogram fresh body. The mean value of S-group is 482.2 ± 174.5 , and that of N-group is 76.1 ± 39.6 . The reference mark indicates oyster species, an asterisk (*) is *Ostrea gigas*, two (**) is *O. spinosa*, three (***) is *O. circumpecta*.

Fig. 2. Variation of copper concentration and chlorinity of the surface sea water by tide at 1,000 meters off north-west of Kojima on June 7~8, 1965.

銅の供給を受けていることになる。また小島対岸にある廃鉱の野積鉱石間流水は $250 \sim 300 \mu\text{g Cu/l}^{10}$ 程度の銅を含んで小島近くの沿岸水域に流出しており、この流水の水量は極めてわずかで 1 ton/hour 程度である。前記のような関係から前項で触れたように延岡湾南部沿岸水域海水中の銅濃度は正常海水よりも高い。しかるに延岡湾以北水域沿岸には南部水域沿岸にみられるような銅の供給源となる工場、鉱山などはないので海水中の銅濃度は $0.4 \sim 2.8 \mu\text{g Cu/l}$ の範囲で正常海水に含まれる程度と考えられる。これらのことから南部群のカキ軟体部の銅含有量が高いのは旭化成ペンベルグ工場廃水と野積鉱石間流水による延岡湾南部沿岸水域海水中の銅濃度の増加が大きな因子と考えられる。

3) 南部群のカキ軟体部の銅含有量を既応の研究結果と比較すると岡田・本橋¹⁾による延岡産カキの銅含有量は $308 \text{ mg Cu/0.1 kg dry weight}$ であり、著者の結果は生鮮重量 1 kg 当りであるので 0.4 倍¹¹⁾して単位をそろえると妙見 128, 土土呂 174, タカチベ 245, 赤水 143, 小島 $275 \text{ mg Cu/0.1 kg dry weight}$ となり、最も含有量の高い小島産のものでも $33 \text{ mg Cu/0.1 kg dry weight}$ の低下を示している。また小島産のものは多賀⁴⁾による会瀬産のもの $1/3$ 程度であり、大植・伊藤³⁾の渋川, 新居浜産のものに匹敵する。以北群のカキ軟体部の銅含有量を大植・伊藤³⁾の緑化を示さない地点のもの、淡緑色の個体を混ざる地点のもの、淡緑色を示す地点のものと比較すると後2者のものに相当する銅含有量であるが、著者の観察では呈色の異常を認める個体は皆無であった。

要 約

延岡湾とそれに隣接する沿岸域産のカキ軟体部の銅含有量について昭和40年1月から3月にわたり採集・分析した。南部群と以北群のカキ軟体部の銅含有量について両群間に顕著な有意差を認めた。南部群のカキ軟体部の銅含有量の高いのは浜川を経て放流される旭化成ペンベルグ工場廃水と小島付近の野積鉱石間流水による延岡湾南部沿岸水域海水中の銅濃度の増加に起因しているものと考えられる。南部群のカキ軟体部の銅含有量は岡田・本橋¹⁾の結果より低い値をえたが大差は認められない。一方海水中の銅濃度についてはその差がひじょうに大きいことを見出した。なお、岡田・本橋¹⁾の研究結果については菅原⁶⁾の批判があるが、ペンベルグ工場の廃水処理方法の変遷、関連工場群の稼動状況などから考えて、銅の補給量が大きく変化しており、現況では岡田・本橋¹⁾の結果の検討はできないので、一応その数値を用いて今回の結果と対比させながら論及した。

本文を終わるに当り終始御指導頂いた宮崎大学農学部助教授水沼栄三博士、ならびに結果の統計学的処理について御教示頂いた同教授古川一郎博士に感謝する。

文 献

- 1) 岡田郁之助・本橋邦郎：水産研究誌，33，1～8 (1938).
- 2) 松江吉行・橘高二郎：水産研究会報，No. 4，33～34 (1952).
- 3) 大植登志夫・伊藤猛夫ら：愛媛大学地域社会総合研究所報告，Bシリーズ，No. 3，1～5 (1955).
- 4) 多賀信夫：水産増殖資料，第4号，50～59 (1954).
- 5) Y. MORITA: *The Journal of Earth Science*, Nagaya Univ., 3, 42～43 (1955).
- 6) 菅原 健ら：水産研究会報，No. 11 (1948).
- 7) 日本化学会編：実験化学講座，15 卷，下，50～59 (1958).
- 8) E. B. SANDELL: *Colorimetric Determination of Traces of Metals*, 3rd ed., 437～470 (1961).
- 9) 日本水産資源保護協会：水産用水基準，6 (1965).
- 10) 生田国雄：延岡市周辺の産業廃水に関する研究，未発表.
- 11) 高槻俊一：牡蠣，技報堂 (1946).