

# 宍道湖堆積物の有機物濃度とそこに住む動物の近年の変化

山室真澄（東京大学・産業技術総合研究所）

## 背景・目的

本協議会が結成された主な理由は、ヤマトシジミ漁の不振だった。宍道湖以外の指定湖沼（例えば琵琶湖や諏訪湖など）でも漁獲量が減少しており、その原因として負荷削減により貧栄養化した為とする見解もある。

貧栄養化はNixon（2009）によって「Oligotrophication (noun) – a decrease in the rate of supply of organic matter to an ecosystem. 貧栄養化（名詞）生態系への有機物供給速度が減少すること」と定義されている。例えば年間有機物流入負荷量は、1年あたりの有機物供給速度と解釈できる。しかし宍道湖での有機物供給はこれだけではなく、宍道湖内部で植物が光合成によって生産する有機物の単位時間当たりの量も見積もる必要があるが、過去から現在まで比較できるデータは宍道湖には存在しない。

そこで本研究では2つの方法で、宍道湖で貧栄養化が起きているのか検討することにした。ひとつは堆積物の有機物濃度が、シジミが1万トン以上漁獲されていた1980年代から今日に至るまでどのように変化したかの検討である。湖水に供給される有機物が多ければ、たとえその有機物を動物が食べるにしても、動物の身に同化されるのは約1割で、残りの9割は排出される。従って、食べ残りが蓄積する表層堆積物中の有機物濃度を過去と現在で比較すれば、貧栄養化の有無を判断できる。

もうひとつは底生動物の密度の比較である。宍道湖では1982年夏に多数の地点で底生動物密度調査が行われている。この結果と現在とを比較することで、間接的に貧栄養化の有無を推定することができる。特に植物プランクトン起源の有機物を含む懸濁物を濾過して食べるオオユスリカは、1980年代の宍道湖では大量に羽化が生じて問題になっていたが、近年では大量羽化は全く起こっていない。同様のオオユスリカの激減は琵琶湖や諏訪湖でも起こっていて、これも貧栄養化が原因との見解がある。そこで本研究では特にオオユスリカに注目して、既報のレビューも行った。

## 研究成果

### 1. 1980年代から現在にいたる宍道湖表層堆積物中有機物濃度の変化

宍道湖では1982年に500m四方のグリッドで設けられた248地点で採泥が行われ、強熱減量を測定している。この1982年の調査を含む、ある程度面的な情報を得られる堆積物調査の概要を表1にまとめた。1982年は700°Cで4時間燃焼後に3時間放熱（オープン：2h / デシケーター：1h）させ秤量していた（中村ほか1982）。1997年は①乾燥サンプルを約1.5g秤量、②110°Cで2時間乾燥、③30分間デシケーター内で放冷、④秤量、⑤600°Cで2時間強熱、⑥30分間デシケーター内で放冷、⑦秤量（中村ほか1999）し、減量分を測定していた。

表 1 宍道湖で過去に報告された強熱減量の測定方法

| 調査年  | 資料名                          | 地点数 | 採泥方法         | 採取層の票<br>層からの深<br>さ範囲(cm) | 燃焼温度<br>(°C) | 燃焼時間<br>(h) |
|------|------------------------------|-----|--------------|---------------------------|--------------|-------------|
| 1982 | 島根県水産試験<br>場昭和 57 年度事<br>業報告 | 248 | エックマンバージ     | 0-2                       | 700          | 5           |
| 1997 | 島根県水産試験<br>場事平成 9 年度<br>業報告  | 81  | スミス-マッキンタイヤー | 0-2                       | 110 / 600    | 2 / 2       |

このように同じ「強熱減量」であっても燃焼温度や燃焼時間が異なっているため、比較して有機物濃度の増減を検討することはできない。そこで本研究では新たに図 1 で示す 15 地点で堆積物を採取し、元素分析計によって測定した有機炭素濃度と、表 1 に記載されたそれぞれの方法で測定された強熱減量との関係式を求めることで、過去に行われた強熱減量の値を有機炭素濃度に換算して、表層堆積物中有機炭素濃度の経年変化を比較した。

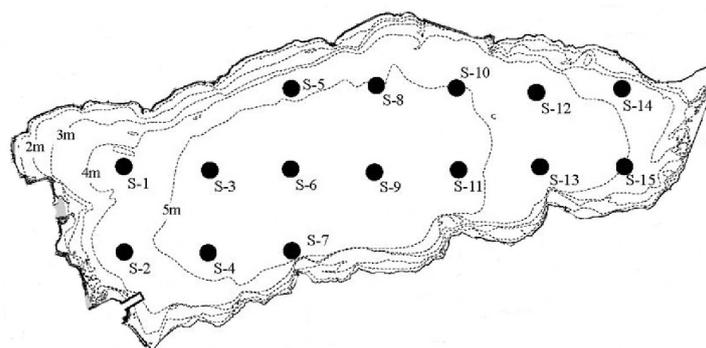


図 1 有機物濃度の比較を行った地点の位置

その結果、緯度経度では同じ位置だったものの採泥時の水深が 3 年間で一致しなかった S-5 と S-7 を除くと、斐伊川河口に当たる S-1 と S-2 以外の全地点で 1982 年より 1997 年の方が堆積物の有機炭素濃度が低くなり、1997 年から 2016 年にかけては増加していた。また S-5 と S-7 を除く 13 地点中 9 地点において、2016 年が最も有機炭素濃度が高かった (図 2)。

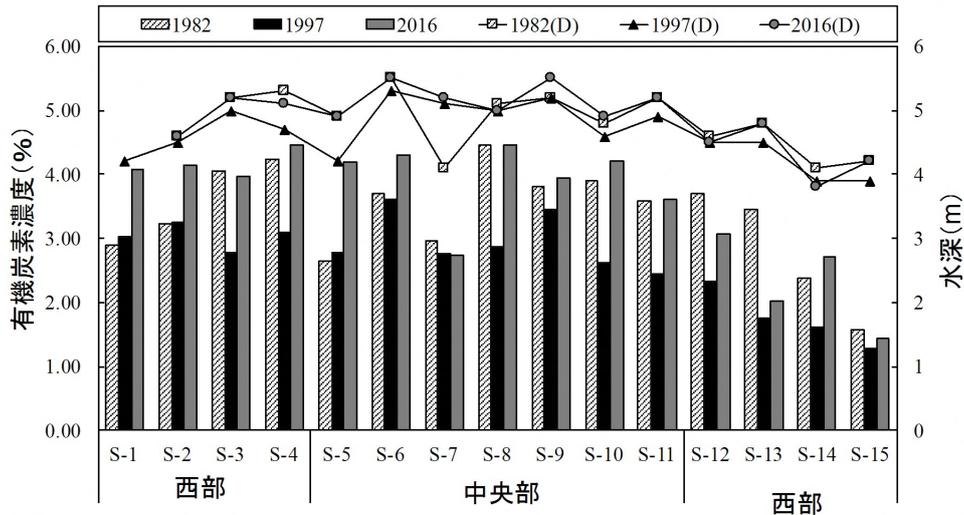


図2 各地点における1982・1997・2016年の有機炭素濃度(%)と測定時の水深. 棒グラフが有機炭素濃度, 折れ線グラフ(Dで示した)が水深を示す.

このよう湖底表層堆積物からは, 近年の宍道湖では貧栄養化ではなく, 逆に富栄養化が過去20年で進んでいる可能性が強くなった. そこでより正確に比較する為に, Yamamuro (2000) が1996年に採泥した方法と同じ位置と方法で表層堆積物を採取し, またその傾向が宍道湖固有なのか, 宍道湖と隣接する中海とも共通するかを確認するために, Yamamuro (2000)が中海で採取したのと同じ地点でも堆積物を採取し, 同様に比較した. 採泥は2017年8月に, 宍道湖で14地点, 中海で10地点, Yamamuro (2000)で採取した地点と同じ場所で採泥を行った(図3).

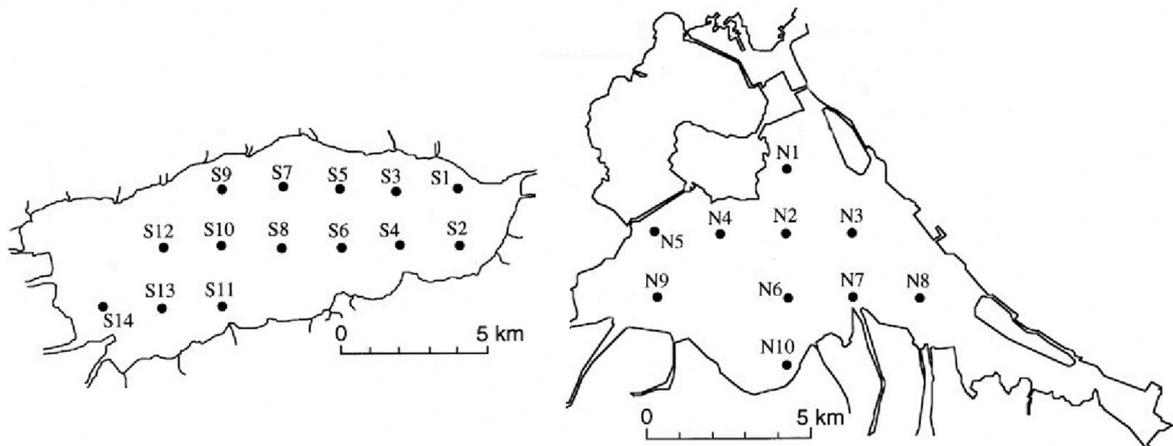


図3 1996年10月と2017年8月に採泥を行った地点. 左: 宍道湖 右: 中海

2017年8月に採取した堆積物の各地点での平均値を, Yamamuro (2000) に記載されている1996年10月に採取された堆積物の値と比較した(表2). 宍道湖では1996年よりも2017年の方が, 有機炭素・窒素・リン全てにおいて濃度が増加していた. 増加割合は有機炭素で平均1.6倍, 窒素で1.8倍, リンで1.3倍であった. ただし「対応のあるt検定」の結果では, リンの増加は有意ではなかった. 最も増加していた地点は有機炭素・窒素・リン全てにおいて, 湖心にあたるS8だ

った。

中海でも平均値で見ると有機炭素が 1.1 倍、窒素も 1.1 倍、リンが 1.2 倍と、2017 年の方が 1996 年より大きい濃度を示した。しかしいずれの元素についても「対応のある t 検定」の結果では有意差は認められなかった。

以上から宍道湖では貧栄養化は起こっておらず、むしろ堆積物中有機物濃度は増加していた。中海では 1996 年と 2017 年の値がほぼ同様であったことから、宍道湖での増加は系統誤差ではない。

表 2 宍道湖と中海の表層堆積物における有機炭素・窒素・リン濃度の 1996 年と 2017 年の比較。  
p 値は対応のある t 検定の結果を示す。

|     | 有機炭素(重量%) |         |     | 窒素(重量%) |         |     | リン(重量%) |         |     |
|-----|-----------|---------|-----|---------|---------|-----|---------|---------|-----|
|     | 1996(a)   | 2017(b) | b/a | 1996(a) | 2017(b) | b/a | 1996(a) | 2017(b) | b/a |
| 宍道湖 |           |         |     |         |         |     |         |         |     |
| S1  | 1.5       | 2.6     | 1.7 | 0.19    | 0.38    | 2.0 | 0.57    | 0.80    | 1.4 |
| S2  | 1.1       | 1.8     | 1.6 | 0.13    | 0.25    | 2.0 | 0.46    | 0.59    | 1.3 |
| S3  | 2.2       | 3.3     | 1.5 | 0.28    | 0.46    | 1.6 | 0.62    | 0.82    | 1.3 |
| S4  | 1.9       | 2.9     | 1.5 | 0.23    | 0.42    | 1.8 | 0.52    | 0.76    | 1.5 |
| S5  | 2.6       | 4.3     | 1.7 | 0.33    | 0.68    | 2.1 | 0.68    | 0.99    | 1.5 |
| S6  | 2.5       | 3.8     | 1.5 | 0.31    | 0.48    | 1.6 | 0.55    | 0.87    | 1.6 |
| S7  | 2.8       | 4.5     | 1.6 | 0.36    | 0.67    | 1.9 | 0.72    | 0.96    | 1.3 |
| S8  | 1.5       | 4.3     | 2.9 | 0.17    | 0.66    | 3.9 | 0.50    | 0.99    | 2.0 |
| S9  | 2.3       | 3.7     | 1.6 | 0.28    | 0.50    | 1.8 | 0.68    | 0.84    | 1.2 |
| S10 | 3.1       | 3.8     | 1.2 | 0.40    | 0.55    | 1.4 | 0.67    | 0.77    | 1.2 |
| S11 | 2.7       | 3.2     | 1.2 | 0.31    | 0.43    | 1.4 | 0.73    | 0.82    | 1.1 |
| S12 | 3.0       | 2.7     | 0.9 | 0.36    | 0.32    | 0.9 | 0.79    | 0.69    | 0.9 |
| S13 | 2.6       | 4.5     | 1.7 | 0.31    | 0.57    | 1.8 | 0.69    | 0.97    | 1.4 |
| S14 | 2.8       | 3.9     | 1.4 | 0.29    | 0.42    | 1.5 | 1.8     | 1.1     | 0.6 |
| 平均  | 2.3       | 3.5     | 1.6 | 0.28    | 0.48    | 1.8 | 0.71    | 0.86    | 1.3 |
| p 値 | <0.0001   |         |     | <0.0001 |         |     | 0.073   |         |     |
| 中海  |           |         |     |         |         |     |         |         |     |
| N1  | 2.7       | 3.1     | 1.1 | 0.30    | 0.39    | 1.3 | 0.49    | 0.72    | 1.5 |
| N2  | 3.3       | 3.3     | 1.0 | 0.39    | 0.43    | 1.1 | 0.48    | 0.73    | 1.5 |
| N3  | 2.9       | 3.3     | 1.1 | 0.32    | 0.37    | 1.2 | 0.68    | 0.69    | 1.0 |
| N4  | 2.8       | 3.1     | 1.1 | 0.34    | 0.39    | 1.1 | 0.60    | 0.69    | 1.2 |
| N5  | 4.0       | 3.8     | 0.9 | 0.54    | 0.57    | 1.0 | 0.69    | 0.77    | 1.1 |
| N6  | 3.3       | 3.6     | 1.1 | 0.38    | 0.41    | 1.1 | 0.59    | 0.67    | 1.1 |
| N7  | 3.1       | 4.3     | 1.4 | 0.32    | 0.38    | 1.2 | 0.53    | 0.56    | 1.1 |
| N8  | 4.1       | 3.0     | 0.7 | 0.49    | 0.31    | 0.6 | 0.55    | 0.59    | 1.1 |
| N9  | 2.6       | 3.1     | 1.2 | 0.30    | 0.38    | 1.3 | 0.48    | 0.64    | 1.3 |
| N10 | 3.0       | 3.8     | 1.3 | 0.31    | 0.47    | 1.5 | 0.76    | 0.61    | 0.8 |
| 平均  | 3.2       | 3.4     | 1.1 | 0.37    | 0.41    | 1.1 | 0.59    | 0.67    | 1.2 |
| p 値 | 0.221     |         |     | 0.161   |         |     | 0.048   |         |     |

## 2. 1980 年代から現在にいたるオオユスリカを中心とした大型底生動物の変化

宍道湖では 1982 年夏季に 500m 四方毎に設けられた 248 地点で採泥が行われ、主な大型底生動物の分布と個体数、湿重量が調べられている。ここで大型底生動物とは、目合い 0.5mm の篩いの上に残った動物を差し、これより小さいものはメイオベントスと呼ばれる。1982 年夏季に行われた調査結果の一部は Yamamuro et al. (1990) として公表されているが、オオユスリカ (*Chironomus plumosus*) を含むユスリカ類など、個体数が多い種類でも一部は一般には公表されていない。図 4

は、一般には公開されていない修士論文（山室 1986）に掲載されたオオユスリカの 1982 年夏季における分布と、Yamamuro et al. (1990)で公表された多毛類ヤマトスピオの分布を比較したものである。オオユスリカは淡水流入河川が接続する西部に多く分布するのに対し、ヤマトスピオは中海水が逆流する大橋川が接続する東部に多く分布している。

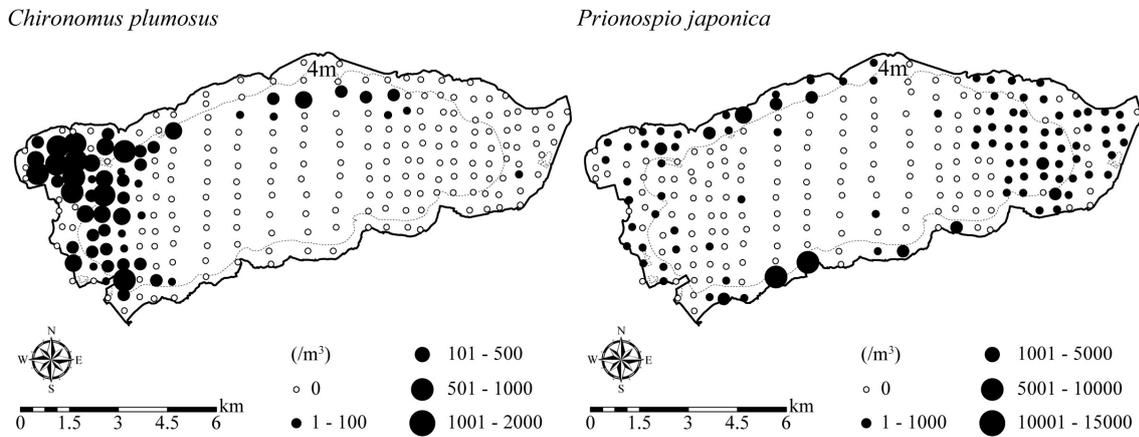


図4 1982年夏季に行われた調査でのオオユスリカの分布（左）とヤマトスピオの分布（右）。

このように汽水域の底生動物は塩分の影響を強く受けるので、宍道湖の東部と西部から合計 39 地点を選び、2016 年 8 月 4 日と 5 日に採泥を行った。図 5 は 1982 年におけるオオユスリカの分布結果から、2016 年にも調査を行った地点のみ示した図である。東部に多く西部に少ない状況は、これら 39 地点でも十分把握できることが分かる。

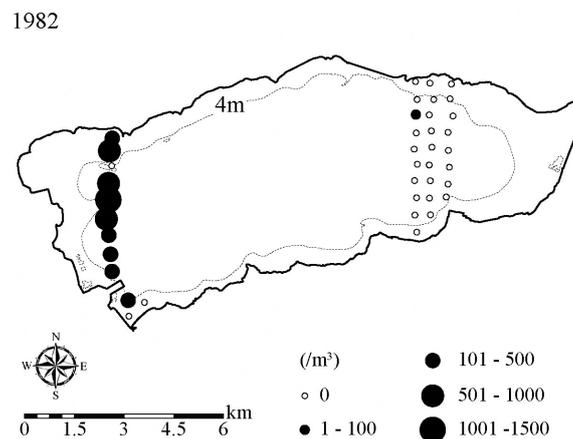


図5 1982年夏の宍道湖におけるオオユスリカの分布のうち、2016年にも採取した地点のみ抽出した図。

採泥方法は 1982 年と同様、エクマンバージ型採泥器かスミスマッキンタイヤー型採泥器を用いて各地点 0.1m<sup>2</sup>分採取し、0.5mm の篩で篩った残りを 10% の中性ホルマリンで固定し、実験室に持ち帰った。実験室では双眼実体顕微鏡を用いて底生動物を選別し、同定に供した。

表3に2016年に採取された主要底生動物の種名等と採取総数を示した。一部の多毛類（環形動物）については1982年以降の研究の進展により種名が変更されているが、1982年に採取されたものと同種である。*Chironomus* 属の1種はオオユスリカではないことが確認できたので、2016年はオオユスリカは全く採取されなかったことになる。

表3 2016年夏季に採取された主な底生動物

| 種名                           | 日本語表記                  | 旧同定名                     | 総数   |
|------------------------------|------------------------|--------------------------|------|
| 環形動物                         |                        |                          |      |
| <i>Prionospio japonica</i>   | ヤマトスピオ                 |                          | 5125 |
| <i>Notomastus</i> sp.        | <i>Notomastus</i> 属の一種 |                          | 14   |
| <i>Hediste</i> sp.           | カワゴカイ属の一種              | <i>Neanthes japonica</i> | 101  |
| <i>Laonome albicingillum</i> | ヒガタケヤリムシ               | <i>Potamila</i> sp.      | 474  |
| Oligochaeta gen. spp.        | 貧毛類数種                  |                          | 545  |
| 節足動物                         |                        |                          |      |
| <i>Cyathura muromiensis</i>  | ムロミスナウミナナフシ            | キクチスナウミナナフシ              | 8    |
| Tanypodinae gen. spp.        | モンユスリカ亜科数種             |                          | 722  |
| <i>Chironomus</i> sp.        | <i>Chironomus</i> 属の1種 |                          | 3    |

表4では、1982年に1m<sup>2</sup>当たり10個体以上採取された底生動物について2016年と比較した。節足動物はオオユスリカが採取されなかっただけでなく、モンユスリカ亜科のユスリカやムロミスナウミナナフシも激減していた。環形動物では多毛類のヤマトスピオとヒガタケヤリムシの密度が増加していたが、カワゴカイはほぼ同様、*Notomastus* 属の1種と貧毛類は激減していた。主要底生動物の平均密度の合計は、1982年が1m<sup>2</sup>あたり662個体であったのに対し、2016年は179個体であった。

表4 1982年夏に宍道湖で優占していた底生動物の1982年夏と2016年夏の1m<sup>2</sup>あたりの平均個体数の比較

| 動物名/年              | 1982 | 2016 |
|--------------------|------|------|
| <u>節足動物</u>        |      |      |
| オオユスリカ             | 121  | 0.0  |
| Tanypodinae亜科ユスリカ類 | 125  | 19   |
| ムロミスナウミナナフシ        | 30   | 0.2  |
| <u>環形動物</u>        |      |      |
| ヤマトスピオ             | 88   | 131  |
| イトゴカイ科の1種          | 101  | 0.4  |
| ヒガタケヤリムシ           | 4.2  | 12   |
| カワゴカイ属の1種          | 5.1  | 2.6  |
| 貧毛類                | 188  | 14   |

底生動物の平面分布を1982年と2016年で比較すると、環形動物では1982年に淡水側（西部）に多く分布していた低鹹汽水種 *Notomastus* sp.と淡水種である貧毛類が、東西両側で生息密度を減

小さらせていた。これに対して、中～高鹹汽水種であるヤマトスピオとヒガタケヤリムシは 1982 年より 2016 年の方が、東西に関わらず生息密度が増加していた。一方、節足動物では中～高鹹汽水種であるムロミスナウミナナフシの分布が東西にかかわらず減少していた。また 1982 年には高塩分側（東部）に多く分布していたモンユスリカ亜科のユスリカ幼虫も 2016 年の密度は 1982 年より減少していた。

オオユスリカは、かつて国内外の富栄養化湖沼で大量に羽化し、迷惑害虫とみなされていた（平林ほか、1991）。このため 1990 年代までの宍道湖では、国土交通省出雲河川事務所によって宍道湖湖心での底生動物定期調査に加え、1990～1992 年にはユスリカに特化した調査を行っていた。また 1993 年以降は湖心を含む 5 地点で底生動物調査を行っている。これらの資料から、今回の調査で全く採取されなかったオオユスリカについて、いつから生息が見られなくなったのか検討した。その結果、宍道湖では 1992 年までは住民から苦情が出るほどオオユスリカが生息していたが、1993 年 4 月以降、突然生息しなくなった。その後、1998 年と 1999 年には 1992 年以前程度の密度でオオユスリカの生息が見られたが、2000 年以降は出現しても痕跡的な状態で今日に至っていることが分かった。

宍道湖でオオユスリカ幼虫の激減が生じた 1993 年の前年に当たる 1992 年に、日本で初めてネオニコチノイド系殺虫剤が登録され、使用が開始された（表 5）。ネオニコチノイド系殺虫剤は昆虫に選択的に毒性を発揮するため、有機リン系殺虫剤と比べ人を含む哺乳類や、鳥類・爬虫類への安全性は高いとされる。また植物体への浸透移行性を持ち、さらに残効も長いことから、害虫予防や殺虫剤の散布回数削減につながるとされる。しかし残効が長いことは、環境に流出したときに分解・消滅まで時間がかかるということでもある。

表 5 日本で使用されている主なネオニコチノイド系殺虫剤とその登録年

| 成分       | 登録日        |
|----------|------------|
| イミダクロプリド | 1992/11/4  |
| アセタミプリド  | 1995/11/28 |
| ニテンピラム   | 1995/11/28 |
| チオメタキサム  | 2000/8/15  |
| チアクロプリド  | 2001/4/26  |
| クロチアジニン  | 2001/12/20 |
| ジノテフラン   | 2002/4/24  |

オオユスリカの減少原因がネオニコチノイド系殺虫剤であったとしたら、昆虫類が含まれる節足動物が生息塩分範囲に関わらず減少していたことや、節足動物以外でも淡水から低鹹汽水性の底生動物が減少していたことも、水田からの殺虫剤供給の影響と解釈できる。また 1. で明らかになったように、宍道湖の堆積物中有機物濃度からは、1990 年代から現在に向かって貧栄養化したとは考えられない。従って、殺虫剤が原因で底生動物が減少したとする仮説は、堆積物の結果と矛盾しない。

底生動物の減少はそれを餌とする水産対象魚類の減少をもたらすとともに、節足動物が水産対象種である場合、その減少をもたらす可能性がある。宍道湖におけるエビ類と魚類の漁獲量を見ると（図 6）、1992 年から 1993 年にかけてエビ類のみに明確な減少が生じており、これについてもネオニコチノイド系殺虫剤が原因である可能性がある。

幸い、ヤマトシジミについては1993年に明確な減少は生じておらず、ネオニコチノイド系殺虫剤の影響は現時点で生じていないと考えられる。しかしヤマトシジミの漁獲がまた激減したときに、他の水産対象種が豊富に漁獲できることが、宍道湖における漁業の持続可能性の点で非常に重要である。今後は流域で使用されている殺虫剤が宍道湖生態系に与える影響も、水産資源保全の観点から進める必要があるだろう。

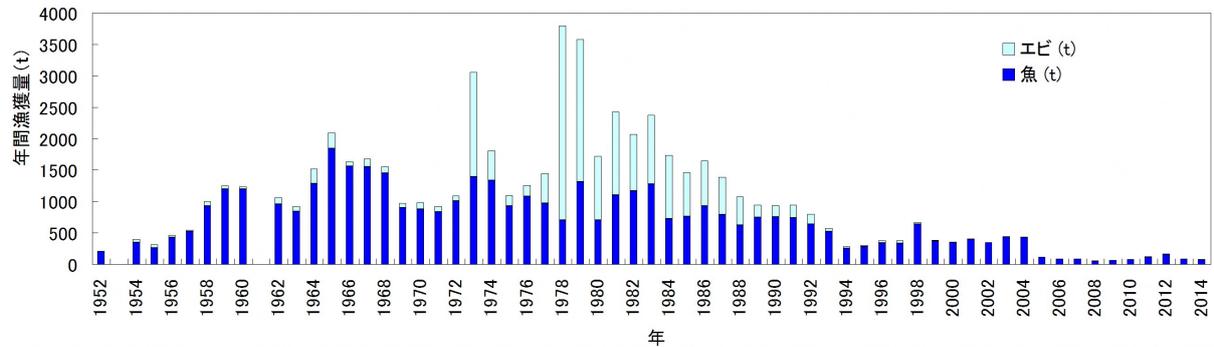


図 6 宍道湖におけるエビ類と魚類の年間漁獲量の推移. 宍道湖漁業協同組合のデータ (<http://shinjiko.jp/relays/download/?file=/files/libs/96/20150604091741688.xls>) から作成.