カキ養殖場における餌料プランクトン環境（石巻湾の枝湾，荻浜湾海域を中心に）

Environmental Conditions and the Role of Plankton Community as Prey for Oysters in Oyster Farming Areas in Oginohama Bay (A Branch of Ishinomaki Bay), Northern Japan

神山孝史^{1),*}・山内洋幸²⁾・岩井拓郎²⁾

¹⁾ 独立行政法人水産総合研究センター東北水産研究所海区水産業研究部，〒985-0001 宮城県塩釜市新浜町 3-27-5

²⁾ 宮城県水産研究開発センター環境養殖部，〒986-2135 宮城県石巻市渡波字袖ノ浜 97-6

Takashi KAMIYAMA^{1),*}, Hiroyuki YAMAUCHI²⁾ and Takuro IWAI²⁾

¹⁾ Tohoku National Fisheries Research Institute, Fisheries Research Agency, 3-27-5, Shinhami, Shiogama, Miyagi 985-0001, Japan

²⁾ Miyagi Prefecture Fisheries Research and Development Center, 97-6, Watanoha, Ishinomaki, Miyagi 986-2135, Japan

Abstract: Aquaculture of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* is one of important fisheries industries in Japan. Since production of cultured oysters mainly depends on the natural productivity of the ecosystem, information on the mechanism of the lower trophic ecosystem in oyster farming areas is essential to sustain the high productivity of oyster aquaculture. In the present study, characteristics of environmental conditions, primary production and the grazing loss by microzooplankton in an oyster farming area in Oginohama Bay (Miyagi Prefecture), Japan, were clarified by partly comparing with data in Hiroshima Bay. Then, based on accumulated data, carbon energy flow from primary production through the planktonic food chain to oysters were estimated. In Oginohama Bay, occurrence of phytoplankton blooms in spring and autumn, low concentration of nutrients in early summer, and high abundance of microzooplankton in early spring and late summer were observed. Among environmental parameters in the bay, the annual mean temperature, nutrient concentration and abundances of prey organisms for oysters were lower and salinity was higher than the values in Hiroshima Bay. Primary production in Oginohama Bay was high in spring and autumn, and low in summer and winter. Low primary production in summer was probably due to low nutrient concentrations. Grazing loss of phytoplankton by microzooplankton often exceeded the primary production in summer. The annual production of oyster and plankton components and estimated energy flow between them showed that the transfer efficiency from primary production to oyster production was ca. 4% and also implies that the energy flow from microzooplankton to oysters is an important pathway as well as that from phytoplankton.

Key Words: *Crassostrea gigas*, energy flow, environmental conditions, Pacific oyster, planktonic food chain, primary production.

はじめに

二枚貝養殖は通常無給餌で行われるため，その餌料供給を天然プランクトンの生産に依存していることが大きな特徴である．そのため，養殖漁場の環境とプランクトン生産システムが二枚貝生産に大きな影響を及ぼす要因であり，我が国の二枚貝養殖の生産性を維持・向上させていくため

には，これらの特徴を明らかにすることが重要である．

カキ（マガキ *Crassostrea gigas*）は，我が国の主要な養殖対象種のひとつである．その生産海域は全国にわたるが，2002年漁業・養殖業生産統計年報によると広島県と宮城県の生産量は，都道府県別生産量のそれぞれ第1位，第2位を占め，両県の殻付き生産量は全国の74%に達する（農林水産省統計部 2004）．広島県では，その県内生産が1988年をピークに1998年頃まで大きく減少した．このため，県内の研究機関でその原因究明に向けた事業・研究が実施されてきた．その結果，貧酸素水塊の形成，有害有毒プランクトンの出現による赤潮や貝毒の影響，過度の漁場利用や養殖形態の変化が生産量減少の原因として特定され（広島

Received 15 Dec. 2005 Accepted 23 May 2006

*: Corresponding author

県水産試験場 2001), さらに養殖マガキの安定生産に向けた生産改善手法も打ち出されている(広島県水産試験場 2004). 一方, 宮城県産マガキの生産量はここ数年安定しているが, カキ養殖場の環境に関する情報は少ない状況にある. 将来にわたりその生産を維持または向上させていくためには, カキ養殖漁場の環境条件や餌料生物の生産力の特徴を把握し, 養殖による海域利用強度を的確に評価していくことが重要と考えられる.

ここでは, 宮城県のカキ養殖場における現場調査で把握された環境や餌料プランクトン量の特徴を広島湾でのデータとの比較を交えながら明らかにした. また, 同海域で測定された基礎生産速度と微小動物プランクトンによる消費速度の特徴を示し, 最後に, プランクトン現存量, 生産量, 消費量のデータをもとに基礎生産からカキに至るエネルギーフローを推定し, カキ養殖によるプランクトン生産の利用効率を評価した. なお, 親のカキの餌料の下限は $3\mu\text{m}$ 程度と考えられるため (Langdon & Newell 1990), ここでは植物プランクトンと微小動物プランクトン (体幅 $200\mu\text{m}$ 以下) をカキの餌料プランクトンとみなした.

宮城県石巻湾東部(荻浜湾)のカキ養殖場の環境と餌料プランクトン出現の特徴

石巻湾は仙台湾の北西部に位置し, 湾内は宮城県産カキの主産地である. ここでは, その枝湾である荻浜湾に注目した. 荻浜湾は牡鹿半島の西岸にある小湾で, 石巻湾, 仙台湾を経由して黒潮系水, 親潮系水の影響を複雑に受ける沖合い混合域に直接面している. 荻浜湾内に注ぐ大きな河川はないが, 湾外水は北方から東北最大の流域面積をもつ北上川の一部(旧北上川)の流入の影響を受ける. した

がって, 本海域は沖合い水と河川水の影響を共に受ける特徴をもっていると考えられる. 以下に示すデータは, 荻浜湾の中央部に定点を設け(水深約 13m), 2001~2004 年の期間に月 1~2 回に頻度で表層, 5m 層, 10m 層から採水または観測・分析された結果に基づくものである.

1. 環境およびプランクトンの変動特性

2001 年 4 月から 2004 年 3 月までの水温, 塩分の結果で認められた特徴は, 表層水温には夏季に 2 回のピークが認められること, 7~8 月の初めのピークには塩分低下が伴うことであった. このことは, 高水温で低塩分の海水が夏季の一時期に湾外から流入することを示唆している. 2001 年 4 月から 3 年間の各層平均の栄養塩濃度 (DIN, $\text{PO}_4\text{-P}$, $\text{SiO}_2\text{-Si}$) は, 混合期には比較的高い値で推移したが, 4~6 月には通常 DIN が $3\mu\text{M}$ 以下, $\text{PO}_4\text{-P}$ が $0.2\mu\text{M}$ 以下, $\text{SiO}_2\text{-Si}$ が $10\mu\text{M}$ 以下と低く推移し, 河川水の影響を受けた湾外水の流入時期以外には夏季でも栄養塩濃度は概して低いレベルであった. クロロフィル *a* 濃度は 3~5 月に底層付近, 10 月に水柱全体に高くなり(月平均 最高 $7.8\mu\text{g/l}$), その主体は $>20\mu\text{m}$ のサイズ画分であったことから (Fig. 1), 春と秋には比較的大型な植物プランクトン(おそらく珪藻)のブルームが起きると考えられた. また, 盛夏に表層付近でも一時的にクロロフィル *a* 濃度が上昇する傾向があった(月平均 $4\mu\text{g/l}$). 2001 年春から 1 年間の調査で得られた微小動物プランクトンの出現密度と各生物群の体サイズから見積もった微小動物プランクトンの炭素換算生体量は, 3 月および夏季に高くなる傾向があり, 1 月と 6 月に低くなった. 夏季の増加は繊毛虫類の増加によるものであるが, 調査期間中の 7~8 月には, 二枚貝類の顕著な増加が一時的に認められる場合があった. この時期の二枚貝

Fig. 1. Monthly concentration of chlorophyll-*a* and the contribution of each size fraction in Oginohama Bay.

の顕著な増加を除くと、年間平均の生体量は $10 \mu\text{gC/l}$ となる。この値は瀬戸内海全域で報告されている $0.5 \sim 28 \mu\text{gC/l}$ の範囲 (Uye *et al.* 1996) に含まれ、沿岸域としては一般的な出現量と考えられる。

2. 広島湾との比較

萩浜湾におけるカキ養殖場の環境の特徴をさらに明確にするため、我が国の主要なカキ養殖場である広島湾での調査結果と比較した。広島湾は瀬戸内海西部に位置する閉鎖性が非常に強い内湾である。湾北部から西部には比較的大きな河川がいくつか流れ込むため、この海域はエスチュアリーの性質が強く、夏季には多様な赤潮が発生し底層に貧酸素水塊が形成されるようないわゆる富栄養化の進行した海域である。広島湾西岸の大野瀬戸付近のカキ養殖場で1年間調査された月別の水温、塩分、栄養塩濃度、クロロフィル *a* 濃度、微小動物プランクトン出現密度から年間平均値を求め、萩浜湾のデータとの違いを年間平均値の比と月ごとの対応のある *t*-検定で比較した。両湾の各項目の実データについては、別の報告 (Kamiyama *et al.* 2005) の中で示している。

萩浜湾に対する広島湾の年間平均環境データの比をとると、塩分は1より低く、それ以外はいずれも1より高い値となった (Fig. 2)。この結果や個々のデータを見ると、萩浜湾に比べて広島湾西部は河川水の影響が強く、そのため陸域からの栄養塩類の供給が多く、それを利用する植物プランクトンがより豊富に存在することがわかる。一方、萩浜湾では、塩分が高く維持されていることから河川水の影響は低く、そのために栄養塩類濃度も低くなり、植物プランクトン量も低く維持されていると考えられる。しかし、春と秋には植物プランクトン量が顕著に増加する傾向が認められ、宮城産カキの成長はこの植物プランクトンの増加によって支えられているかもしれない。広島湾が河川水の影響を強く受けるのに対し、河川水の流入のない萩浜湾では何が湾内の環境変動を支配しているのだろうか？ 宮城県水産研究開発センターが萩浜湾よりも沖合い域で調査した周年の環境データの結果と今回の養殖場での値を比較

すると、周年違いが見られた項目が海水の窒素濃度で、沖合い域で高い傾向が認められた (Kamiyama *et al.* 2005)。栄養塩濃度の高い海水が低い海水に影響を及ぼすと考えると、湾内の環境は沖合い水の影響を強く受けていると推察される。

石巻湾でのカキ養殖は波浪に強い延縄式が用いられ、沖合いに向けて漁場が拡大してきた。これには、栄養供給が各地崎の入組んだ内湾の内部ではなくその沖にあり、比較的低い餌料濃度でも活発な海水交換で餌料不足が補われるという環境の特徴が大きく関係しているであろう。

石巻湾東部における基礎生産と微小動物プランクトンによる消費

カキの餌料環境としてしばしば指標とされる項目はクロロフィル *a* 濃度であるが、現実に測定される値は多様な動物群によって消費された余剰分と見なされる場合がある。植物プランクトンを指標としてカキの餌料環境を評価する場合、より優れた項目は植物プランクトンの生産速度 (基礎生産速度) である。著者らは、2002 年から2年間、萩浜湾の定点において、栄養塩無添加条件を作った希釈法実験 (Landry & Hassett 1982) をほぼ毎月実施し、基礎生産速度と微小動物プランクトンによる摂食速度を測定した。測定対象は2 m あるいは5 m 層の海水で、Whatman GF/F を使用したろ過海水で生海水の割合が10~100% になるように5段階の希釈段階を2本ずつ作成した。各希釈海水には栄養塩を添加したが ($\text{NO}_3\text{-N}$ $10 \mu\text{M}$, $\text{PO}_4\text{-P}$ $2 \mu\text{M}$)、100% 海水には別途栄養塩無添加条件を2本作成した。それを現場水温と自然光 (表層光の70% 程度の光強度) のもとで24時間培養した。各希釈海水の培養前後のクロロフィル *a* 濃度の変化率と希釈率 (生海水の割合) の関係と100% 海水の栄養塩添加の有無によるその変化率の違いから、自然条件下での基礎生産速度を算出するとともに (Landry *et al.* 1995)、現場海水の栄養塩濃度が基礎生産速度に及ぼしている影響を評価した。

その結果、基礎生産速度は、おおむね春季 (3~5月) と秋季 (10~11月) に高く、夏季・冬季に低くなり、クロロフィル *a* 濃度の増減とおおむね類似した。100% 海水のクロロフィル *a* 生産速度の栄養塩添加の有無による違いを季節的に見ると、4~10月には植物プランクトンの生長が窒素、リンの栄養塩類によって律速されていることが判明した。このことから、高水温であるにもかかわらず夏季にクロロフィル *a* 濃度が低下する原因の一つが、栄養塩制限による低い基礎生産速度によるものと推察された。一方、微小動物プランクトンによる基礎生産消費速度は、おおむね基礎生産速度の高い時期に高くなる傾向があったが、しばしば基礎生産速度を超える高い値が認められた。特に、それはクロロフィル *a* 濃度の低い夏季に多く認められたため、その時期の低いクロロフィル *a* 濃度のもう一つの原因

Fig. 2. Ratios of the environmental parameters in Hiroshima Bay to values in Oginohama Bay.

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, significant difference between data in both bays using monthly paired Student's *t*-test.

Fig. 3. Primary production and grazing loss by microzooplankton. Data were calculated from the results of monthly dilution experiments for 2 years and phytoplankton carbon contents. Solid line and dashed line indicate the annual mean values of the primary production and grazing loss, respectively.

Fig. 4. Comparison of annual primary production in Oginohama Bay with values found in the previous studies. Previous data was cited from Coastal Oceanography of Japanese Islands (1985).

が、微小動物プランクトンによる植物プランクトンの消費にあると考えられた。

この結果をもとに水柱での炭素ベースの基礎生産速度を以下のような手順で求めた。植物プランクトンの炭素を懸濁態有機炭素濃度（実測値）から微小動物プランクトンと従属栄養鞭毛虫の炭素濃度を差し引くことで求めた。推定された 2 m 層と 5 m 層の植物プランクトン炭素濃度とその生産速度を水柱（0～10 m 層）に当てはめる手順については、Shinada *et al.* (2001) に従った。これらの手順で対象海域における単位面積あたりの炭素ベース基礎生産速度を月ごとに推定した結果、その値は年間平均 342 mgC/m²/d となり、年間基礎生産の 80% が春季（3～5 月）と秋季（9～11 月）での生産で占められることが判明した (Fig. 3)。また、微小動物プランクトンによる基礎生産の消費速度は年間平均 295 mgC/m²/d となった。

これまでに報告されている我が国における内湾での基礎生産速度の測定値は（日本海洋学会沿岸海洋研究部会 1985），単位体積あたりに換算すると 7～158 mgC/m³/d であり、その場の環境特性でかなり異なることがわかる (Fig. 4)。本研究で得られた萩浜湾での値は瀬戸内海全域での平均値に近かった。

エネルギーフロー

本海域における餌料環境を評価するためには、同海域で収容されているカキの量と年間生産量を求めることが重要であるが、海域が複数の地域漁協で複雑に利用されていることや当該年度に出荷されないカキが存在することなどの理由から正確な数値を求めることは現状では困難である。したがって、かなり乱暴な前提であるが宮城県萩浜地区で収穫されるカキの年間養殖生産量を年間でのカキ生産量（成長量）とみなし、本対象海域での炭素ベースでの基礎生産からカキにいたるエネルギーフローを試算し、カキ養殖に及ぼす餌料プランクトンの役割を評価した。

1. 萩浜海域における炭素換算の年間養殖カキ生産量と餌料要求量

第 49 次宮城県農林水産統計年報（東北農政局統計情報部 2002）によると 2002 年の萩浜地区のカキ剥き身生産量は 164 トンであった。カキの水分含有率を 80%，乾重量あたり炭素含有率を 44%（広島県水産試験場 2001）とすると、この海域でのカキの年間生産量は炭素換算値で 14 トンとなる。萩浜地区でのカキ生産海域を他の地区と明確に区分することが困難であるが、ここでは、地元漁協の情報から萩浜湾内とその沖合い域の 3.1 km² を対象海域とみなした。したがって、上述のように月ごとに求めた生産速度と消費速度と海域面積から年間の対象海域での基礎生産量は 392 トンと推定された。また、炭素ベースでのカキの摂餌量に対する増重量の割合（餌料転換効率）を 41%（周年のデータの平均；広島県水産試験場 2003）とすると、年間 14 トンのカキ生産のための餌料要求量は 34 トンとなる。

2. プランクトン間エネルギーフロー

実測された微小動物プランクトンによる基礎生産消費量は対象海域では年間 338 トンとなる。微小動物プランクトンの各グループの大きさと水温のデータをもとに、繊毛虫類については Muller & Geller (1993) の方法、それ以外については代謝に必要な呼吸要求量をもとに求める方法 [Ikeda & Motoda (1978) の方法] を用いて対象海域での微小動物プランクトン（ベントス幼生を除く）の年間生産量を推定した結果、その値は 88 トンとなった。

また、2003 年春から 1 年間ではあるが、微小動物プランクトンの消費者として重要な中大型動物プランクトンの生体量も調査し、年間平均では 2 mgC/m³ という値が得られた。この値は瀬戸内海での値 (13.2～35.5 mgC/m³, Uye & Shimazu 1997) と比較すると 1 桁低く、沿岸域としてはかなり低い値といえる。さらに、その動物群ごとに求められた結果と水温から Ikeda & Motoda (1972) の方法で最高生産量と餌料要求量を推定した。その結果、対象海域での中大型動物プランクトンの年間生産量は 2 トン、餌料要求

量は6トンと推定された。カキと中大型動物プランクトンが餌料プランクトンをめぐり競合すると考えると、中大型動物プランクトンが植物プランクトンと微小動物プランクトンに及ぼす影響を推定する必要がある。解析に十分な知見は蓄積されていないことや中大型動物プランクトンの群集組成でこの影響は大きく異なるが、ここでは、自然群集の植物プランクトンと微小動物プランクトン（繊毛虫類）に対するカイアシ類の摂餌選択性を調べた研究結果から (Fessenden & Cowles 1994)、全餌料に対する捕食速度に対する両餌料に対する平均依存度を1:1と考え上記の中大型動物プランクトンの餌料要求量にあてはめると、この動物群は植物プランクトンと微小動物プランクトンからそれぞれ3トン消費すると推定された。

3. カキに至るエネルギーフローとその評価

上記のプランクトン間のエネルギーフローとマガキの生産量と餌料要求量から対象海域での基礎生産からカキに至るエネルギーフローを推定した (Fig. 5)。結論として、本海域での基礎生産量 (392 トン) からカキ炭素生産量 (14 トン) への転送効率は約 4% となり、カキの餌料要求量 (34 トン) は基礎生産量の 9% に相当することになる。この転送効率については広島湾で 2% 程度という推定が行われている (樽谷ら 2003)。広島湾では餌料が豊富で、その量がカキ生産を制限することが少ないのに対し、本海域では餌料条件がカキ生産に大きな影響を及ぼしていることが両者の転送効率の違いの一因であろう。対象海域でのカキの餌料としてのフローは、基礎生産量からの 51 トンと微小動物プランクトンからの 85 トンの合計 136 トンとなる。先に示したカキの餌料要求量 34 トンはこの値の 25% に相当し、残りは、海底への沈降、他の懸濁物捕食者による利用、海水交換による流出などでフローから流出すると解釈される。また、今回、付着珪藻のようなプランクトン以外の生物の影響や無生物懸濁粒子を無視したが、これらも外部からカキに至るフローとして軽視できないかもしれない。これらの影響の評価は今後の課題である。こうした問題からエネルギーフローの詳細な評価は現状では難しいが、少なくとも植物プランクトンからの直接的なフローのほかに微小動物プランクトンからの流れも重要であるといえそうである。また、基礎生産量やその消費は季節的に大きく変化するため、ここでの年間総計の解析結果は、季節別に調べた値と大きく異なる可能性がある。特に、基礎生産量は春季と秋季に高いことから、その時期には植物プランクトンからのフローは強まるであろう。逆に、春季から初夏に基礎生産力は栄養塩制限によって低レベルにあり、その時期に微小動物プランクトンのカキ餌料としての役割が高まるかもしれない。季節別のエネルギーフローの解析も将来の課題として残されている。

上記の解析では、主な部分は現場海域で実測されたデータが用いられたが、一部のデータは単年度の結果であり、

Fig. 5. Estimated annual carbon flow (C ton/year/area) through components of the plankton community to the oysters in oyster farming area in Oginohama Bay. Values in boxes denote the annual production rates of plankton and oysters and those in ovals are carbon flow rates between two trophic components or carbon requirements of the components above them.

複数年のデータの蓄積が望まれる。また、いくつかは既往の知見から類推した数値が用いられた。また、エネルギーフローのモデルも単純で、上述のように季節的な検討を含めてさらに吟味する余地が残されている。これらの点から、今回の解析はあくまで試算結果として解釈すべきである。しかし、今回、紹介したように北日本では餌料条件がカキの生産や質に大きな影響を及ぼす場合があるため、餌料条件を含めた生産環境の実態や物質循環を明らかにするアプローチは重要である。今後、対象海域でのデータの蓄積や解析を進めると同時に、より広範囲の海域での実態を把握していく必要がある。

謝 辞： 広島湾におけるカキ養殖に関する情報を提供していただいた独立行政法人水産総合研究センター瀬戸内海区水産研究所の松山幸彦博士に、また、石巻湾での地先漁業協同組合のカキ養殖漁場利用状況に関する情報を提供していただいた宮城県水産研究開発センターの松浦裕幸研究員および関係した漁業協同組合の方々に厚くお礼申し上げます。本稿をまとめるにあたり貴重ご指摘、ご助言をいただいた独立行政法人水産総合研究センター東北区水産研究所の佐古 浩博士に感謝申し上げます。

引用文献

- Fessenden, L. and T. J. Cowles 1994. Copepod predation on phagotrophic ciliates in Oregon coastal waters. *Marine Ecology Progress Series*, 107: 103–111.
- 広島県水産試験場 2001. 平成 10～12 年度海面養殖業高度化推進対策事業 カキ養殖体系再構築技術開発事業—平成 10～12 年度とりまとめ報告書一, 28 pp.
- 広島県水産試験場 2003. 広島カキ生産改善技術開発研究 (2) 室内成育実験, 広島県水産試験場事業報告 2002 (平成 14) 年度, pp. 29–30.
- 広島県水産試験場 2004. カキ養殖生産改善の実践に向けて, 13 pp.

- Ikeda, T. and S. Motoda 1978. Estimated zooplankton production and their ammonia excretion in the Kuroshio and adjacent seas. *Fishery Bulletin*, 76: 357-367.
- Kamiyama, T., H. Yamauchi, T. Iwai, S. Hanawa, Y. Matsuyama, S. Arima and Y. Kotani 2005. Comparison of environmental conditions in two representative oyster farming areas: Hiroshima Bay, western Japan and Oginohama Bay (a branch of Ishinomaki Bay), northern Japan. *Fisheries Science*, 71: 1295-1303.
- Landry, M. R., J. Kirshtein and J. Constantinou 1995. A refined dilution technique for measuring the community grazing impact of microzooplankton, with experimental tests in the central equatorial pacific. *Marine Ecology Progress Series*, 120: 53-63.
- Landry, M. R. and R. P. Hassett 1982. Estimating the grazing impact of marine micro-zooplankton. *Marine Biology*, 67: 283-288.
- Langdon, C. J. and R. I. E. Newell 1990. Comparative utilization of detritus and bacteria as food sources by two bivalve suspension-feeders, the *Crassostrea virginica* and the mussel, *Geukensia demissa*. *Marine Ecology Progress Series*, 58, 299-310.
- Müller, H. and W. Geller 1993. Maximum growth rates of aquatic ciliated protozoa: the dependence on body size and temperature reconsidered. *Archiv für Hydrobiologie*, 126: 315-327.
- 日本海洋学会沿岸海洋研究部会（編）1985. 日本全国沿岸海洋誌 (Coastal Oceanography of Japanese Islands), 東海大学出版会, 東京, 1134 pp.
- 農林水産省統計部 2004. 平成 14 年漁業・養殖業生産統計年報, 376 pp.
- Shinada, A., T. Ikeda, S. Ban and A. Tsuda 2001. Seasonal dynamics of planktonic food chain in the Oyashio region, western subarctic Pacific. *Journal of Plankton Research*, 23: 1237-1247.
- 樽谷賢治・辻野 睦・手塚尚明・花村幸生 2003. 広島湾における低次生産構造の解明. 独立行政法人農業環境技術研究所（編）, 「環境研究」森林・農地・水域を通ずる自然循環機能の高度な利用技術の開発中間成績報告書（前期：平成 12～14 年度）, pp. 85-88.
- 東北農政局統計情報部 2002. 第 49 次宮城県農林水産統計年報平成 13 年～14 年, 273 pp.
- Uye, S., N. Nagano, and H. Tamaki 1996. Geographical and seasonal variations in abundance, biomass and estimated production rates of microzooplankton in the Inland Sea of Japan. *Journal of Oceanography*, 52: 689-703.
- Uye, S. and T. Shimazu 1997. Geographical and seasonal variations in abundance, biomass and estimated production rates of meso- and macrozooplankton in the Inland Sea of Japan. *Journal of Oceanography*, 53: 529-538.