

アサリの水質浄化能に及ぼす地球温暖化の影響に関する研究

金網紀久恵*・上月康則**・村上仁士***・桑原久実****

水温と水位上昇が進行した場合のアサリ個体群による水質浄化能の変化について、盤洲干潟を対象に、基礎的な影響評価を行った。水温、水位の影響を個別に評価したところ、水位が30 cm、88 cm 上昇した場合には、アサリの生物量はそれぞれ約3割、約8割減少した。また水温28℃以上となると、アサリの濾水量よりも、呼吸量の方が上回るために、有機物固定量は減少する可能性が示された。水温（5.6℃）と水位（88 cm）の両値が増加した場合には、有機物濾過量は現状の20%、固定量は19%にまで減少すると試算された。

1. 緒 論

干潟に生息する二枚貝類の濾水による水質浄化量は極めて大きい。一方、地球温暖化に伴う水位上昇により、潮間帯に存在する干潟は今後面積が減少するものと推定される。また、二枚貝の濾水等の生理学的特性や生残率などは水温上昇の影響を受けるものと考えられる。しかしながら、地球温暖化に伴う我が国干潟域の二枚貝による浄化能の変化を試算した研究例は未だにない。

筆者らは、干潟や砂泥域に高濃度に生息する二枚貝類の中でも、広範囲かつ高濃度に分布する最も重要な水産物アサリ (*Tapes philippinarum*) に注目し、東京湾盤洲干潟をモデル海域として、地球温暖化に伴うアサリの有機物浄化能に及ぼす影響について推定を試みた。温暖化の影響については、水位上昇による干潟面積の減少に伴うアサリ生物量の変化、水温上昇についてはアサリ個体による有機物濾過量と固定量に及ぼす影響を扱った。なお、水温および水位の上昇については、IPCC 第三次評価報告書から最も大きい数値を用いた。地球温暖化の影響は、2000年を現状として短期・中期・長期（2010、2050、2100年後）について検討した。

2. モデルの概要

盤洲干潟は面積約12 km²、漁獲量4～5千tのアサリ漁場である。当干潟をモデル海域として、アサリによる水質浄化能に及ぼす地球温暖化の影響を、有機物濾過量と有機物固定量の変化として算出した。有機物濾過量は、濾水により水中から一旦アサリの体内に取り込まれる有機物量、有機物固定量はアサリの体内に身肉として固定される有機物量とした。アサリの生物量や水温のデータは2000年度の実測値（千葉水試、2001）を用い、水温上昇の解析時にはこの2000年に観測された値にプラスした。

なおここでは、水位上昇と水温上昇に区別して検討し、最後に両方の環境変化をまとめて検討した。また、アサリ生息域について潮間帯と潮下帯に区分して解析を行った。

3. 水位上昇に伴うアサリの浄化能の変化

（1）干潟面積の減少とアサリ生物量の変化

盤洲干潟の海岸線は護岸によって固定されているため、図-1に示すように水位上昇により潮間帯となる干潟の面積は減少する。潮下帯のアサリ生息域は、水位上昇に伴い岸側へ移行するため変化はないものと考えた。アサリの生息密度は、図-2に示すように潮下帯より潮間帯の方が大きく（千葉水試、2001）、水位上昇によって潮間帯が岸側へ移行し構造物により生息密度の高い地盤高の面積が減少すると、それに伴いアサリの生物量も減少すると考えられる。

そこで地盤高別の干潟面積およびアサリ生息密度から、水位上昇に伴う潮間帯面積とアサリ生物量の変化を算出

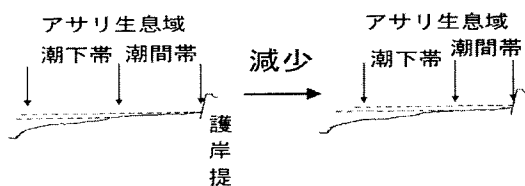


図-1 水位上昇による干潟面積の変化（模式図）

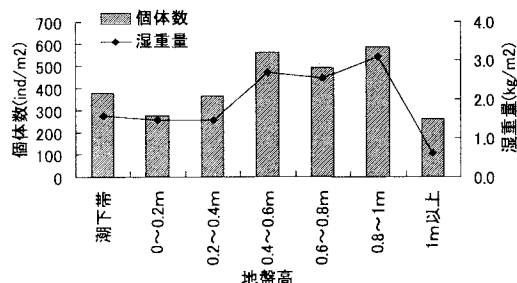


図-2 地盤高によるアサリ生物量の比較

* 学生会員 徳島大学大学院工学研究科
** 正 会 員 工博 徳島大学助教授大学院工学研究科
*** フェロー 工博 徳島大学教授大学院工学研究科
**** 正 会 員 農博 (独法)水産工学研究所環境分析室長

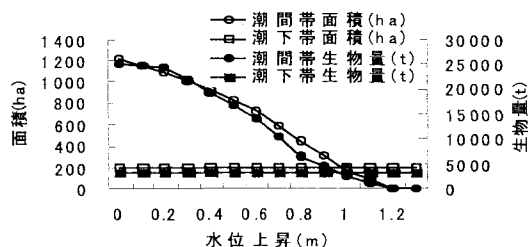


図-3 水位上昇に伴う干潟面積とアサリ生物量の変化

した。なお潮下帯では、水位上昇によってアサリの生息域が岸側にスライドするため、面積と生物量は変わらないものとした。

図-3より潮下帯のアサリの生物量はその生息面積が変化しないために水位上昇の影響を受けないが、潮間帯では水位の上昇に伴う潮間帯面積の減少によってアサリ生物量が減少することがわかる。また水位が0.6 m 上昇すると潮間帯面積、アサリ生物量ともに半減し1.2 m 上昇すると潮間帯はほぼ消滅しアサリは潮下帯に生息するもののみになると推定された。

(2) 水位上昇に伴うアサリの濾水時間の変化

1時間毎の潮位を近傍の君津港における調和定数を用いて算出し、地盤高毎に各日の冠水時間を求めてモデルに組み込み、水位上昇によるアサリの濾水時間の変化を求めた(図-4)。干潟のアサリは干出時には濾水活動を停止するため、水位上昇による冠水時間の増大はアサリの濾水時間を増大させることがわかる。

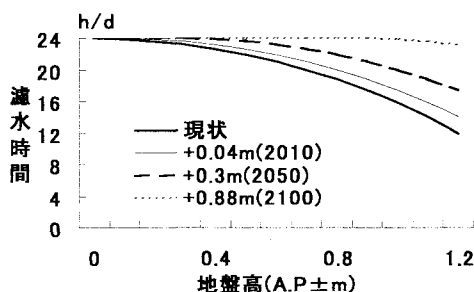


図-4 地盤高別平均濾水時間

(3) 水位上昇に伴う有機物濾過量と固定量の変化

水位の上昇に伴うアサリ個体群による有機物濾過量及び固定量の変化を、殻長組成を考慮した炭素収支評価モデル(金網ら, 2002)を用いて算出した。潮間帯における算出結果を図-5及び図-6に示した。

潮間帯におけるアサリ個体群による有機物濾過量及び固定量は水位の上昇に伴い減少する。例えば水位上昇が0.4 m～0.8 mの範囲ではアサリ生息量の高い部分の潮間帯が失われるため、有機物濾過量と固定量の減少は0

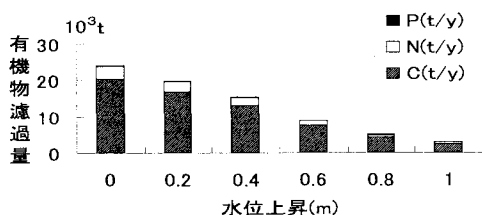


図-5 水位上昇による有機物濾過量の変化

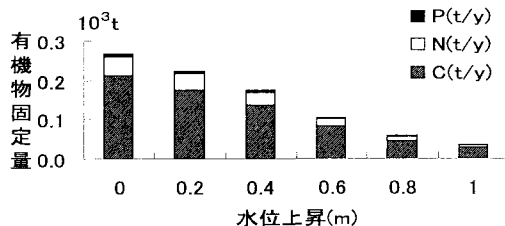


図-6 水位上昇による有機物濾過量の変化

m～0.4 mの範囲に比べて僅かながら減少の度合いが大きい。水位1 mの上昇で有機物濾過量及び固定量は現状のほぼ1割に減少する。

4. 水温上昇に伴うアサリの浄化能の変化

水温の影響については、呼吸および濾水量の水温による変動と個体成長の変動、および水温上昇による稚貝生残率の変化を扱った。

(1) 代謝速度と水温の関係

アサリの呼吸速度と水温の関係については、水温に伴って呼吸速度が増大することが東京湾盤州海域のアサリを用いた実験により実証されている(磯野, 1998)。また濾水速度と水温の関係については、秋山(1985)の実験例があり、水温の上昇に伴い濾水率が増大し、水温28℃付近で濾水率が最大となることが知られている。これらの知見を用いてアサリの摂餌速度及び呼吸速度と水温の関係を式(1)と式(2)で表した。

$$\text{摂餌速度 } C = POC \cdot FT \cdot 10^{-3} \dots \dots \dots (1)$$

$$\begin{aligned} \leq 25^\circ\text{C}: & \quad FT = 0.1199 \cdot 10^{0.0482 \cdot \text{Temp.}} \cdot WW^{0.62} \cdot 24\text{h} \\ 25^\circ\text{C} \sim 28^\circ\text{C}: & \quad FT = 1.1 \cdot (0.0373 \cdot \text{Temp.} + 0.2656) \cdot WW^{0.62} \cdot 24\text{h} \\ 28^\circ\text{C} <: & \quad FT = 1.1 \cdot (-0.0182 \cdot \text{Temp.} + 1.8331) \cdot WW^{0.62} \cdot 24\text{h} \end{aligned}$$

$$\text{呼吸速度 } R = \text{Res} \cdot CR \cdot 24\text{h} \dots \dots \dots (2)$$

$$\begin{aligned} \leq 25^\circ\text{C}: & \quad \text{Res} = 0.0391 \cdot 10^{0.031 \cdot \text{Temp.}} \cdot WW^{0.7} \cdot 24\text{h} \\ 25^\circ\text{C} \sim 40^\circ\text{C}: & \\ & \quad \text{Res} = 0.163 \cdot (0.0143 \cdot \text{Temp.} + 1.0717) \cdot WW^{0.7} \cdot 24\text{h} \\ 40^\circ\text{C} <: & \\ & \quad \text{Res} = 0.163 \cdot (-0.0761 \cdot \text{Temp.} + 4.0429) \cdot WW^{0.7} \cdot 24\text{h} \end{aligned}$$

ここで、POCは懸濁態有機炭素濃度(mgC/m³)を表し、POC = 37 · Chl.aで設定した。FTは濾水速度(1

/day), Res ($ml-O_2/h$) は呼吸速度, $Temp.$ は水温 ($^{\circ}C$), WW は軟体部湿重量 (g), CR は呼吸量の炭素換算比である. FT の温度関数は秋山 (1985) の実験値から (社) 全国沿岸漁業振興開発協会 (1997) が作成した関数が報告されているのでこれを用いた. Res は磯野 (1998) で示されたパラメータの範囲の中で, 当海域の成長曲線とモデルによる成長が最も適応する数値を選んで設定した. なお体サイズの関数については, 東京湾盤州海域のアサリを用いた実験式 (磯野, 2000) を用いた.

(2) 水温上昇による $Chl.a$ 濃度の変化

水温と $Chl.a$ 濃度の季節変動は千葉水試による H12 年度の盤津沖での観測値 (千葉水試, 2001) から, 水温と $Chl.a$ の関係を高次回帰式で表し, 季節変動を推定した (図-7). ただし, 盤州海域では水温 $30^{\circ}C$ 以上の時の $Chl.a$ 観測値が得られていない. 地球温暖化に伴う植物プランクトン量の変化については, 栄養塩濃度, 植物プランクトン種, 高次生産者, 成層の程度などが影響を及ぼすと考えられるが, 未だ十分な知見は得られていない. そこで, ここでは水温 $30^{\circ}C$ 以上の場合の $Chl.a$ 濃度は水温 $28^{\circ}C$ 時のものを用いて解析を行った.

水温と $Chl.a$ 濃度の関係について上記のような仮説を置いた場合には, 図-8 のように, 現状の初夏と晩夏に見られた $Chl.a$ のピークが, 水温の上昇に伴いそれぞれ春季, 秋季へシフトすると推定された. また各水温上昇に伴う $Chl.a$ 濃度の年平均値は, 図-9 のように水温上昇 $1^{\circ}C \sim 2^{\circ}C$ の範囲では僅かに増大するが, それ以上の

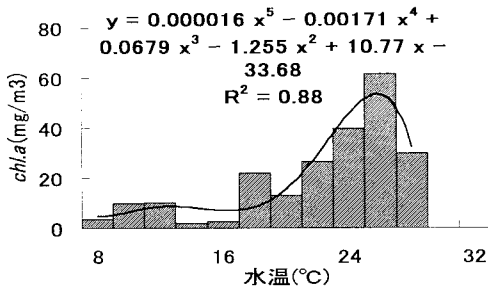


図-7 水温と $Chl.a$ の関係

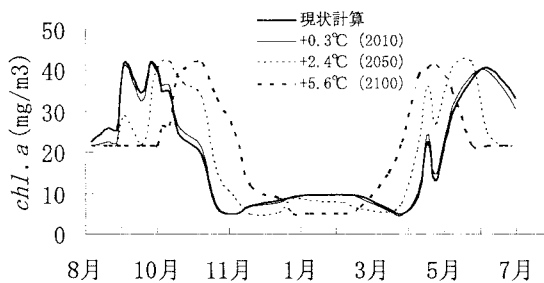


図-8 水温上昇時の $Chl.a$ の季節変化

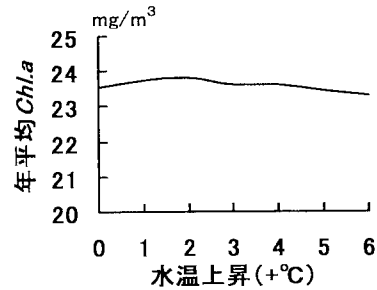


図-9 水温上昇に伴う年平均 $Chl.a$ の変化

水温上昇域では $Chl.a$ の年平均値はやや減少する.

(3) 水温上昇による稚貝生残率の変化

東京湾では, 春季発生したアサリは夏季の高温時には稚貝期~成貝期に達している. このことから夏季の個体数変動に関しては自然死亡率と同時に高温時の稚貝の生残率を考慮して計算を行った.

水温と稚貝生残率の関係については, 木下 (1985) の実験値を用いて稚貝期のアサリについて, 24時間以内の接触時間で全数が生存する限界の水温と接触時間および全数が致死する水温と接触時間の回帰式を作成して (図-10), モデルに取り入れた.

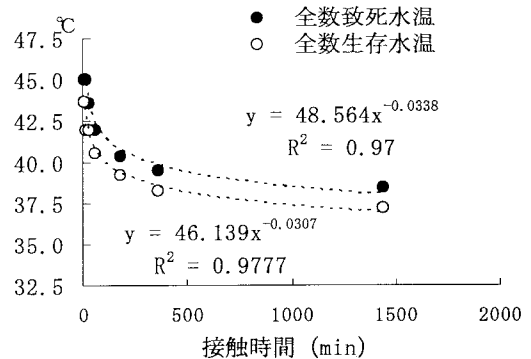


図-10 アサリ稚貝の高温耐性

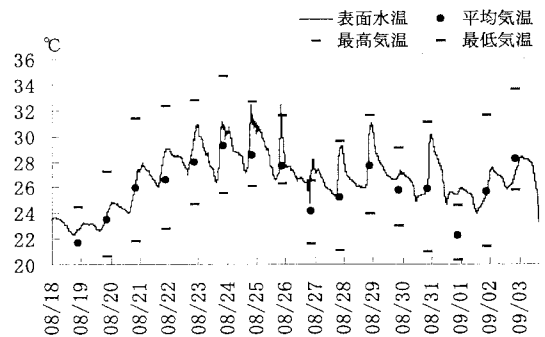


図-11 盤州干潟における表層水温の変化

夏季の高温出現時間については、盤洲干潟表面における泥温連続観測結果を用いて推定した。図-11は盤洲干潟の金田地先（標高AP+1m付近）に水温センサーを設置し、2003年8月18日～9月3日の干潟表面の水温変化を記録した結果である。また図中に気象庁木更津観測所の日最高・最低・平均気温を示した。

当観測期間中には、干潟表面の水温は、日中に干出した時に日最高気温と同等あるいは最高気温を越える場合があった。しかし、その持続時間は長くても数時間であり、高温によるアサリ稚貝の斃死を生起する程の観測値はみられなかった。

(4) アサリの有機物濾過量と固定量の変化

アサリ個体群による有機物濾過量と有機物固定量の月別変化の水温上昇による影響を図-12および図-13に示した。有機物濾過量は、*Chl.a*の季節変化に対する水温上昇の影響を受け、ピークが晩夏から秋へ移行する。さらに水温が2.4℃以上上昇すると、濾過量が減少するために、濾過量のピークは現状より若干減少する。

有機物固定量の月別変化についても、有機物濾過量と同様に、*Chl.a*の季節変化に対する水温上昇の影響を受け、ピークが晩夏から秋へ移行する。水温2.4℃の上昇では、春季の有機物固定量のピークが最も大きくなる。さらに、夏季には水温上昇による呼吸量が増大するため、水温がそれ以上上昇すると、春季から夏季にかけて有機物固定量が著しく小さくなる傾向が見られた。特に夏季8月頃の減少は著しく、水温上昇5.6℃においては、ア

サリ個体群の夏季の生産はごく僅かとなる。

水温上昇に伴う年間の有機物濾過量と有機物固定量の変化を図-14及び図-15に示す。

前述したように、アサリの濾水量は水温28℃まで増大し、それ以上の水温では減少する（式（1））。しかし一方で水温上昇により春季および秋季の*Chl.a*が増大するために、有機物濾過量は水温上昇に伴って増大するために、+6℃では現状の約3割増加するといった結果となった。

またアサリ個体群の有機物固定量は、有機物濾過量の増大に伴い、水温上昇とともに増大する。しかし水温がさらに上昇すると、呼吸量の増大が濾水速度の増大を上回るため、有機物固定量は濾過量に比べて増加の度合いは小さく、+6℃では現状の約1割の増加となる。なお盤洲干潟の例では夏季の高温暴露は短時間のため、温度上昇による稚貝生残率低下の影響は小さい結果となった。

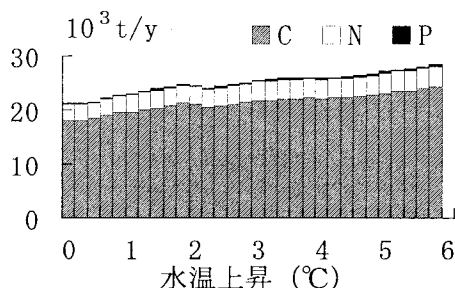


図-14 水温上昇による有機物濾過量の変化(潮間帯)

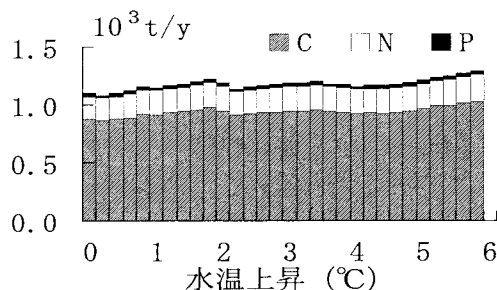


図-15 水温上昇による有機物固定量の変化(潮間帯)

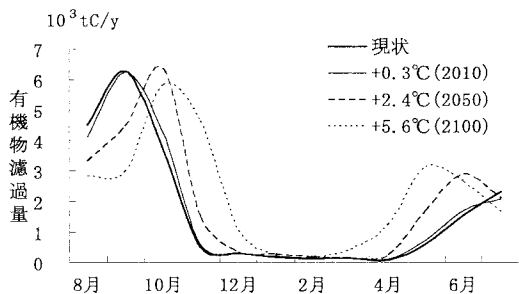


図-12 水温上昇による有機物濾過量の月別変化

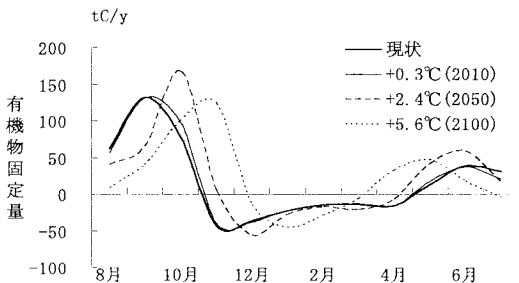


図-13 水温上昇による有機物固定量の月別変化

5. 水温、水位上昇に伴うアサリ個体群の水質浄化能の変化

(1) 水位、水温上昇の設定条件

水位、水温の上昇はIPCC第三次評価報告書のモデルにある最も高い数値を用い、2000年をベースとして短期(2010)・中期(2050)・長期(2100)の水温と水位の上昇を0.3, 2.4, 5.6℃, 0.04 m, 0.3 m, 0.88 mと設定して地球温暖化の影響の検討を行った。

(2) 温暖化に伴うアサリの水質浄化能の変化

水温及び水位上昇に伴う、アサリの有機物濾過量と固定量の変化を表-1及び表-2に示す。潮下帯では水位上昇による面積減少の影響を受けないため、主に水温上昇の影響によりアサリの有機物濾過量、固定量がやや増大するのに対し、潮間帯は水位上昇の影響により、有機物濾過量と固定量は共に減少する。中期モデルの場合には干潟全体での有機物濾過量は約83%、固定量は約90%となる。さらに長期モデルの場合には、それらの値は有機物濾過量では現状の7%、固定量は19%にまで減少すると試算された。

表-1 水位、水温上昇に伴う有機物濾過量の変化

海 域	時 期	水温 ℃	水位 cm	有機物濾過量		
				kt-C/y	kt-N/y	kt-P/y
潮間帯	現 状	+0	+0	18.1	2.9	1.8
	短期(2010)	+0.3	+4	17.5	2.8	1.7
	中期(2050)	+2.4	+30	14.4	2.3	1.4
	長期(2100)	+5.6	+88	1.2	0.2	0.1
潮下帯	現 状	+0	+0	2.2	0.4	0.2
	短期(2010)	+0.3	+4	2.3	0.4	0.2
	中期(2050)	+2.4	+30	2.5	0.4	0.3
	長期(2100)	+5.6	+88	2.9	0.5	0.3

表-2 水位、水温上昇に伴う有機物固定量の変化

海 域	時 期	水温 上昇 +℃	水位 上昇 cm	有機物固定量		
				kt-C/y	kt-N/y	kt-P/y
潮間帯	現 状	+0	+0	0.19	0.04	0.03
	短期(2010)	+0.3	+4	0.18	0.04	0.03
	中期(2050)	+2.4	+30	0.16	0.04	0.02
	長期(2100)	+5.6	+88	0.01	<0.01	<0.01
潮下帯	現 状	+0	+0	0.02	0.01	0.00
	短期(2010)	+0.3	+4	0.02	0.01	0.00
	中期(2050)	+2.4	+30	0.03	0.01	0.00
	長期(2100)	+5.6	+88	0.03	0.01	<0.01

6. 結 論

地球温暖化が進行した場合のアサリ個体群による水質浄化能の変化について、盤洲干潟を対象に、種々の仮説の下、基礎的な影響評価を行った。その結果、次のような結果が得られた。

①アサリ生物量は潮下帯に比べて、潮間帯に多く分布する。そのため水位上昇により潮間帯の面積が減少し、アサリの生物量も減少する。水位が30 cm 上昇すると潮間帯面積、アサリ生物量ともに約3割減少し、88 cm 上昇すると潮間帯は約8割減少する。

②水温28℃以上となると、アサリの濾水量よりも、呼吸量の方が上回るために、有機物固定量は減少する。

③水温及び水位の両環境条件が上昇した場合には、潮下帯では大きな影響を受けないが、潮間帯のアサリ生物量が減少し、浄化能は低下する。そのために干潟全体での有機物濾過量と固定量も減少する。水温5.6℃、水位88 cm 増加する長期モデルでは、有機物濾過量は現状の20%、固定量は19%にまで減少すると試算された。

なお、ここでは高水温時の *Chl.a* 濃度の変化の他にも、水位上昇に伴う地形変形といった作用も考慮していない。もし、侵食作用が進行し、潮間帯が失われることになれば、さらにアサリの生物量は減少し、水質浄化能も低下すると思われる。

なお、本研究は水産庁プロジェクト研究の一環として実施した研究の成果を活用したものである。

参 考 文 献

- 秋山章男(1985)：底生動物の挙動と食物連鎖，潮間帯周辺における浄化機能と生物生産に関する研究，昭和59年度研究成果報告書，東海区水研・南西区水研，pp. 99-104
- 磯野良介(1998)：東京湾盤洲干潟のアサリによる窒素摂取量の推定とその季節変動に係わる要因，水環境学会誌，第21巻，第11号，pp. 751-756.
- 磯野良介・中村義治(2000)：二枚貝による海水濾過量の推定とそれにおよぼす温度影響の種間比較，水環境学会誌，第23巻，第11号，pp. 683-689.
- 金綱紀久恵・中村義治・上月康則・村上仁士・柴田輝和(2003)，：炭素収支による東京湾アサリ個体群の生物機能評価，海岸工学論文集，第50巻，土木学会，pp. 1291-1295
- 木下秀明(1985)：アサリの卵・浮遊幼生・稚貝の高温耐性，海生研報告，NO.85204，pp. 1-38
- (社)全国沿岸漁業振興開発協会(1997)，増殖場造成計画指針，316p.
- 千葉水試(2001)：平成12年度森林，海洋等におけるCO₂収支の評価の高度化（地域重要資源の現地実態調査）委託事業報告書，22p.