

# 貧酸素・硫化水素・浮泥等の環境要因がアサリに及ぼす影響

日向野 純也 \*

## Influence of environmental factors as oxygen deficiency, hydrogen sulfide and suspended mud on the survival and growth of Manila clam

Junya HIGANO\*<sup>1</sup>

### Abstract

The production of Manila clam has been decreasing since early 1980s in Japan. It is presumably related to the environmental deterioration mainly caused by reclamation, barrage construction and waste discharge from watershed. Oxygen deficiency, hydrogen sulfide and suspended mud are considerably significant factors for survival and growth of Manila clam, because they affect the respiration and filtration of the clam. Manila clam shows the tolerance for anoxic condition by switching respiration to anaerobiosis that is commonly recognized in bivalve species. Manila clam also tolerates hydrogen sulfide that affects aerobic respiration. Higher concentration of suspended particle reduces the filtration of bivalves, but it isn't fatal. The cause of mass mortality of Manila clam couldn't be explained well by single factor within a short period. However, compound and long-term effects presumably influence the physiological condition of the clams and eventually cause the fatal damage. It is necessary to monitor both the environmental factors and physiological condition of the clams in order to predict the survival of the clam and to make a plan for rehabilitation of the clam habitat.

**Key word:** Manila clam, oxygen deficiency, hydrogen sulfide, suspended mud

アサリ *Ruditapes philippinarum* (Adams and Levee, 1850) の減耗要因は種々挙げられているが、アサリの生息する海域への有機物負荷の増大や土木工事などによる物理的な環境変化の影響によって増加するであろう貧酸素、硫化水素、浮泥などもアサリの生残や成長に大きな影響を与えていると考えられる。貧酸素や底質の還元化に伴い発生する硫化水素は呼吸を阻害する要因として、また浮泥は呼吸阻害と共に濾過や摂餌を妨害する要因として取り上げられることが多い。浮泥の存在はアサリの生存や成長を阻害すると同時に餌料源としても捉えられるように、肯否両面での影響が考えられる。ここでは、これらの要因について既存の知見等を整理しながら、沿岸の環境変化と資源減少の関係について考えてみたい。

### アサリ漁獲量・移植種苗数の動向

漁業養殖業生産統計年報（農林水産省統計情報部，1954-2001）に基づく我が国におけるアサリの漁獲量を Fig. 1(A) に示す。1953年には8万トン程度であったが徐々に増加し1960年代に入ると10万トンを越え、約25年間に渡り11~16万トンの生産量を推移した。1983年をピークに急激に減少を始め、1987年に10万トンを割り込んだ後も減少傾向は続き、1996年以降は4万トンを下回る年が多くなっている。千葉県 (Fig. 1(B)) では1960年代~1970年代初頭にピークがあり一時は8万トンを超えるなど日本全体の半分以上を占めていたが、東京湾での埋め立てが進むに従い急激に減少し、1~2万トンで推移してきたが現在さらに減少して1万トンを割り込んでいる。有明4県

(Fig. 1(C))におけるアサリの漁獲量は1953~1970年までは平均約2万トンであった。この時期は東京湾での生産量が多かったため、有明海での漁獲は抑えられ、資源が温存されていたと推察されるが、1970年代中頃から千葉県での漁獲量が減少するに従い有明海における漁獲

量が増加した。1976~1983年にかけては全国のアサリ漁獲量の約半分を占めるに至ったが、その後減少に転じ、1989年以降は3000~12000トンに低迷している。特に主産地である熊本県は1977年をピークに漁獲量が著しく減少し、その減少傾向は全国及び千葉県を遥かに凌いでい

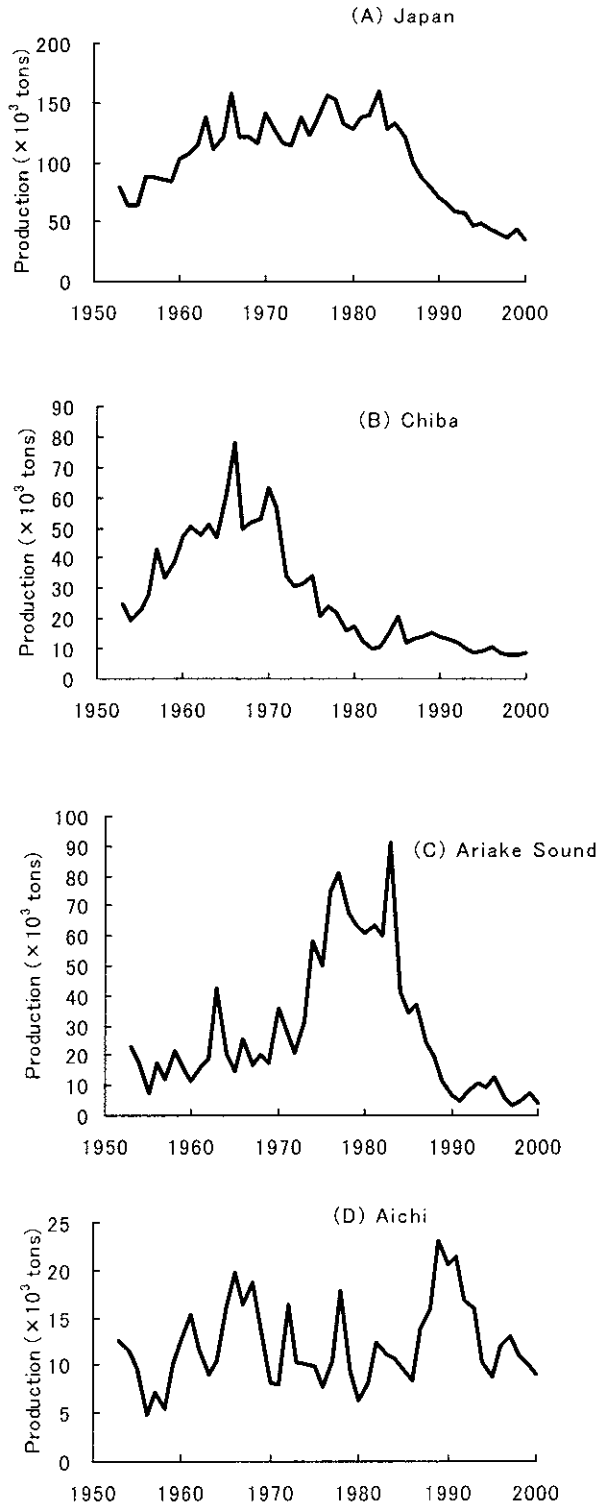


Fig. 1. Annual productions of Manila clam, *Ruditapes philippinarum* in Japan (A), Chiba Pref. (B), total of four Prefs. in Ariake Sound (C) and Aichi Pref. (D).

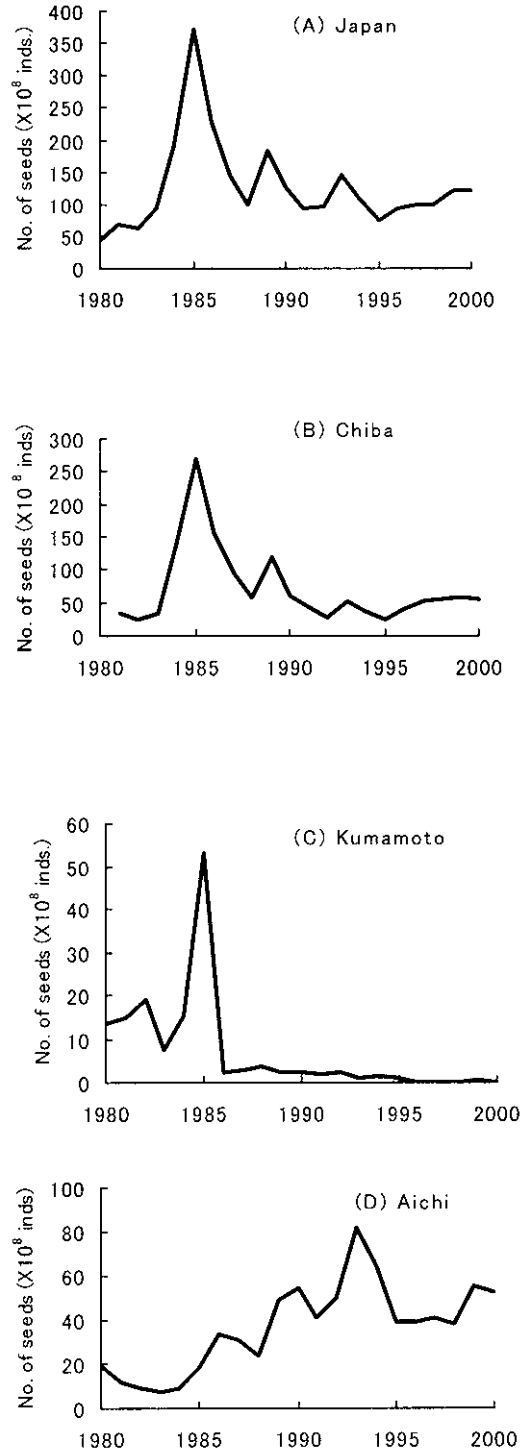


Fig. 2. Number of transferred Manila clam seed. Japan (A), Chiba Pref. (B), Kumamoto Pref. (C) and Aichi Pref. (D).

る。これに対し、愛知県における生産量は1~2万トンの間を比較的短い周期で変動し、長期的に見れば安定した生産を上げている (Fig. 1(D))。

アサリは古くから移殖が盛んに行われてきた (大島, 1994)。同じ漁場の中で稚貝の濃密な生息域から成長の速い場へと移殖する短距離の移動形態からトラックや船で遠隔地へ輸送する長距離の移殖が日常的に行われている。Fig. 2(A)~(D)に各県に移殖されたアサリ種苗数の経年変化 (水産庁・日裁協, 1980-2002) を示す。Fig. 2に表されているのは受け入れ種苗数であって生産量を反映している訳ではない。受け入れ種苗の絶対数は千葉県が圧倒的に多いため、日本全体の受け入れ種苗数の変動もその動向に左右される傾向が見られる。ここでは1980年以前の状況がわからないが、Fig. 2(A)からは1985年前後が突出して高くそれ以降も1980年頃に比べて高い様子が見られる。すなわち、1985年以降は漁獲量が減少しているにもかかわらず以前よりも種苗の移動量が増加している事が推察される。しかし、1990年代以降は愛知県以外では大きく落ち込んでいる。アサリ種苗の主要な供給県は熊本県と愛知県であったといわれているが、熊本県では大きく減少し愛知県のみ種苗供給地としての地位を維持している。すなわち、全国的に地場での種苗の生産量が少ないために、生産は主に他地域から移殖された種苗に依存しているが、十分な種苗が供給されない現状が近年の漁獲量減少に反映されていると思われる。また同時に移殖後の生残が悪いことも関連があると思われる、アサリの生育場の環境が以前よりも不適になっていると推察される。

#### 貧酸素の影響

貧酸素がアサリの生残に及ぼす影響については古くから着目され、多くの知見が得られてきた。アサリの貧酸

素耐性については柿野 (1982)、萩田 (1985)、中村 (1997) により実験的に調べられ、水温が25℃以下ではほぼ無酸素でも供試個体が死滅するまで4~5日間を要することが示されている (Table 1)。二枚貝は溶存酸素濃度が低い時には無気呼吸を維持し、代謝を低くして比較的長期間生存する事が知られている。二枚貝の嫌氣的代謝ではグリコーゲンとアミノ酸 (アスパラギン酸等) を貯蔵物質として利用し、コハク酸、プロピオン酸など様々な代謝産物を得ながら生命維持に必要なエネルギーを得ている (Hochachka, 1984)。にもかかわらず、貧酸素に連動して多くのへい死事例が報告されている (柿野, 1982; 柿野, 1986; 愛知水試, 1995など)。それは長時間にわたり貧酸素或いは無酸素状態が継続することによって、貯蔵物質が底を付き死に至るためなのであろうか。青山ら (1999) は貧酸素によるアサリ死亡率の定式化 (鈴木ら, 1998) を改良し、グリコーゲン含量を考慮した貧酸素下でのアサリ死亡モデルを作成し、中村ら (1997) による無酸素条件下でのアサリの生残実験結果と良い一致を示した。また、中村 (1997) によるヤマトシジミの無酸素耐性実験では軟体部中のグリコーゲン含量が35mg/gであったのが20℃で25日間経過後16mg/gに低下し、30℃では39mg/gから11日間経過後に11mg/gまで低下している。これらの結果は嫌気代謝時のエネルギー供給にグリコーゲンが消費されていることを示唆している。ただ、現時点では貯蔵物質が使い果たされて死亡に至るのか、貯蔵物質は残っていても代謝産物 (例えばプロピオン酸) の蓄積によって生理状態が変化することにより死に至らしめられるのか定かではない。また、グリコーゲン含量の季節変化は大きい (白石ら, 1995)、これは環境条件よりも成熟サイクルに依存する部分が大きく、絶対値が基準値としての意味を為し難いという欠点もある。しかしながら、上記の留意点を考慮して取り扱うのであれば二枚貝の生残を予測する上でグリコーゲン含量

Table 1. Tolerance of Manila clam to hypoxic condition. Lethal times were read from published data.

W.T.(°C)	DO(mg/L)	LT50 (hr)	LT100 (hr)	
24	0.58→ND	132	-	Kakino (1982)
	0.76→ND	105	120	"
	0.80→ND	129	144	"
24.2 - 25.3	0.49	68	-	"
	0.22→ND	84	-	"
	0.36→ND	102	120	"
20	0.36	-	-	* Hagita (1985)
25	<0.05	35	96	Nakamura et al. (1997)

\* No Manila clams died until 120 hr.

は有用な指標であると思われる。

また、貧酸素に連動して底質の還元化が進むと硝酸還元が起こり、さらに還元化が進むと硫酸還元となり硫化水素が生成される。このような状態ではアンモニアの溶出も活発に起こると予想される。さらに二枚貝はアンモニアを尿として排泄するため（西脇, 1999）生息密度が高い場合などに生息場周辺におけるアンモニア濃度が高くなる恐れがある。二枚貝に対するアンモニアの毒性は96時間半数致死濃度でNH<sub>3</sub>として数mg/Lが報告されている（Stevens, 1982; Abraham *et al.*, 1996）。通常海域の水柱ではこのように高いアンモニア濃度になることはないであろうが、間隙水中や底直上では高濃度になる可能性は否定できないので、底質の還元化が進行する状況を想定してアサリに対するアンモニアの影響を把握しておく必要がある。

### 硫化水素の影響

還元環境下では*Desulfovibrio*等の硫酸還元細菌の繁殖により硫化水素が生成される（Boyd and Tucker, 1998）。特に有機汚濁の進んだ底泥中で非常に高い濃度で検出されるのは周知の通りであるが、硫化水素は水溶性が高いため、拡散や巻き上げにより底層水中へ容易に移行すると思われる。硫化水素は  $\text{H}_2\text{S}=\text{HS}^-+\text{H}^+$ ,  $\text{HS}^-=\text{S}^{2-}+\text{H}^+$  で表される温度、pH依存平衡を示す。後者の式でS<sup>2-</sup>側に傾くのはpHが10以上であることから、海中では前者の平衡のみを考慮すれば良い（Boyd and Tucker, 1998）。前者の式の平衡定数は25℃で7.01であることが知られている。すなわち、pHがこれ以下ではH<sub>2</sub>Sが多く、以上ではHS<sup>-</sup>が多くなる。塩分の存在下ではH<sub>2</sub>Sの比率はこれより若干低下する。例えば水温28℃、塩分30psuでpH8なら全硫化物の4.8%、pH7なら33.4%がH<sub>2</sub>Sである（Table 2）。海水中の硫化水素濃度の定量法は工藤（1964）、APHA *et al.*（1999）等に述べられており、全硫化物におけるH<sub>2</sub>Sの比率の推定式はAPHA *et al.*（1999）に詳述されている。

硫化水素の毒性については、シアン化物と同じく還元型チトクロームa<sub>3</sub>の酸化を遮断して酸化的磷酸化を阻害する事により、低酸素症と同様の症状を引き起こすことが知られている（Lehninger, 1977; Boyd and Tucker, 1998）。しかしこの毒性はイオン化していないH<sub>2</sub>Sに限られ、HS<sup>-</sup>は細胞膜で排除されるので毒性は発揮されない。すなわち硫化水素の毒性はpHによって大きく左右される。硫化水素は好気代謝過程における反応を阻害するので、嫌氣的代謝によって高い低酸素適応を示す二枚貝には硫化水素による急性毒性は表れ難いと思われる。柿野（1982）は青潮発生時の硫化物濃度をTotal-Sで2mg/L程度までであった事を示し、飼育試験により10mg/L以上では3日間で80%以上のへい死を観察した（9月に採取したアサリでは1mg/Lで100%へい死）。萩田（1985）は英虞湾内で13.9mg/Lを観測し、3日間の飼育実験では3.7mg/Lで80%、8.1mg/L以上では100%のへい死率を得ている。これらの値は無酸素における結果と類似している。これらの実験でへい死に至った硫化物濃度は極めて高く、アサリの生息する干潟域で水中の硫化物量が10mg/Lを越えることは希であろうから、硫化水素単独で短期間にへい死をもたらすことは考え難い。しかし、高橋ら（1986）によると、実験時の水温が21.5~24.5℃であったにもかかわらず、還元泥が1、2、4%と高濃度に懸濁した場合（硫化物濃度はそれぞれ2.2、3.8、9.2mg/L）は、それぞれ3、2、1日目までに約80%がへい死するという結果を得ている。これは静置した還元泥中で同様に行った実験結果よりも速やかに減耗する傾向が現れている。このことから還元状態になった底泥が蒔き上がった場合には、かなり危険な状況が想定される。

### 浮泥の影響

浮泥は海底面に滞留した懸濁物を総称していると考えられるが、懸濁物の質（有機物の多寡、粘土鉱物の組成、粒子の大きさ）と濃度の面から整理する必要がある。そ

**Table 2.** Fraction of total sulfide existing as toxic H<sub>2</sub>S at different pH and water temperature in seawater (30psu). Calculation was followed by APHA *et al.* (1999).

pH	Temperature (°C)								
	16	18	20	22	24	26	28	30	32
7.0	0.433	0.414	0.397	0.380	0.364	0.348	0.334	0.320	0.307
7.5	0.194	0.183	0.172	0.162	0.153	0.145	0.137	0.129	0.123
8.0	0.071	0.066	0.062	0.058	0.054	0.051	0.048	0.045	0.042
8.5	0.024	0.022	0.020	0.019	0.018	0.017	0.016	0.015	0.014
9.0	0.008	0.007	0.007	0.006	0.006	0.005	0.005	0.005	0.004

の観点は、

- ・餌料として貢献するのか？
  - ・摂餌、呼吸の障害になるのか？
  - ・浮泥が堆積した時に呼吸や体の固定に影響があるか？
- 等である。浮泥が二枚貝に及ぼす影響は主にその濾過活動を通してである。二枚貝の濾水速度、取込速度、擬糞排泄速度は懸濁粒子の質と濃度によって変化することが知られている。餌料プランクトンの濃度が一定程度以上になると濾水速度は低下し、擬糞排泄速度が上昇する、この間で取込速度は極大値を示す (Foster-Smith, 1975)。一方、無機懸濁物或いは有機物含量の低い懸濁物が混合すると、懸濁物濃度が高くなるに従って濾水速度が低下し、有機物の取り込みが阻害されるようになる。例えば、餌料 (*Pseudoisochrysis paradoxa*) 濃度については、殻長 32mm のホンビノスガイ *Mercenaria mercenaria* の濾水率は  $50 \times 10^3$  cells/mL に対し  $150 \times 10^3$  cells/mL では約半分に低下する。一方、底泥懸濁物を添加すると、0mg/L では 5.5L/hr/gDW が 40mg/L では 3L/hr/gDW に低下する (Bricej and Malouf, 1984)。

このように浮泥の存在が、擬糞排出を増加させ、さらには濾水速度の低下や餌の取り込み速度を低下させる濃度に達している頻度が高くなれば、アサリのエネルギー収支の上で負の要因となりうる事が予想される。懸濁物の組成は場所と時期によって大きく変動する事が予想される。現地で認められる濁水或いは浮泥の有機物含量や植物色素量を評価すると共にこれらの懸濁物がアサリに消化吸収されて栄養源として貢献しているのか実験的に明らかにする必要がある。

### これらの因子の複合作用

先に述べたようにアサリは貧酸素や硫化水素にかなりの耐性を示すため、長期間無酸素状態が継続するような場合を除いて現場で見られるへい死を単一の要因でのみ説明する事は難しい場合が多い。しかしながら、幾つかの要因が重なってへい死に至る状況が作られているかも知れない。例えば、ヤマトシジミの貧酸素耐性は水温が 20℃ と 30℃ では全く異なり、LT<sub>100</sub> が前者の 54 日から後者の 10 日に著しく短縮されている (中村, 1997)。アサリの場合では干出時に高温を経験すればさらに生理状態が悪化するであろう。高水温で致死日数が著しく短縮されるのは硫化水素の影響についても同様である (中村, 1997)。硫化水素は低 pH で毒性が高いので、植物プランクトンが高密度に増殖している時には特に夜間呼吸によって炭酸イオン濃度が上昇し pH が低下するために毒性を増すと予想される。逆にアンモニアは Table 3 に示すように pH が高いほど非イオンのアンモニアの比率が高くなり毒性が強くなるので、日中の光合成が盛んな時に pH が上昇して毒性を示す恐れもある。また、河川の出水や工事などにより無機懸濁物が高濃度に存在する、或いは適正な植物プランクトンが不足する等の条件が継続すれば、アサリの貯蔵物質蓄積が妨げられ、結果として貧酸素等の影響を容易に受けることになるであろう。

### 二枚貝の生育段階から見た環境要因の影響

先に述べたように現時点では愛知県、特に三河湾を除いてアサリ種苗数が絶対的に不足しているようである。

**Table 3.** Fraction of total ammonia existing as unionized ammonia at different pH and water temperature in fresh water. Calculation was followed by Boyd & Tucker (1998).

pH	Temperature (°C)								
	16	18	20	22	24	26	28	30	32
7	0.003	0.003	0.004	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008	0.009
7.2	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008	0.009	0.011	0.012	0.015
7.4	0.007	0.008	0.009	0.011	0.013	0.015	0.017	0.020	0.023
7.6	0.011	0.013	0.015	0.017	0.020	0.023	0.027	0.031	0.036
7.8	0.018	0.021	0.024	0.028	0.032	0.036	0.042	0.048	0.057
8	0.028	0.033	0.038	0.043	0.049	0.057	0.065	0.075	0.087
8.2	0.044	0.051	0.059	0.067	0.076	0.087	0.100	0.114	0.132
8.4	0.069	0.079	0.090	0.103	0.117	0.132	0.149	0.169	0.194
8.6	0.105	0.120	0.136	0.154	0.172	0.194	0.218	0.244	0.276
8.8	0.157	0.178	0.200	0.223	0.248	0.276	0.306	0.339	0.377
9	0.228	0.255	0.284	0.313	0.344	0.377	0.412	0.448	0.490
9.2	0.319	0.352	0.386	0.420	0.454	0.489	0.526	0.563	0.603
9.4	0.426	0.463	0.500	0.534	0.568	0.603	0.637	0.671	0.707

ではなぜ他の地域ではアサリ稚貝の加入が減少したのであろうか。考えられる要因を以下に挙げる。

- ・産卵量が減少した＝過剰漁獲等による母貝集団の縮小
- ・浮遊幼生が適地に供給されない＝流況と供給地の関係
- ・適地の面積が減少した＝底質環境の変化

本論に關係するのは3番目についてであるが、底質環境の変化には底質粒径の細粒化や均一化の他に、夏季などに貧酸素や還元層の形成が促進されるようになることが考えられる。特に3番目の要因との關係を評価するためには、アサリの浮遊幼生、着底仔貝、初期稚貝が貧酸素、硫化水素、浮泥等にどの程度の耐性を有するか評価する事が必要となってくる。アサリの初期成育段階において、これらの環境要因の影響を体系的に調べた研究はまだ報告されていないので、他の二枚貝での研究例をここに紹介する。

成貝或いは殻長数mmの稚貝を対象に実験を行うと著しい環境耐性が示されるが、胚、浮遊幼生、着底初期稚貝では上記の環境要因に対する耐性は著しく低くなる。Widdows *et al.* (1989) はバージニアガキ *Crassostrea virginica* 幼生の生残に及ぼす無酸素の影響を調べており、半数致死時間が殻長82, 167, 312 $\mu$ mでそれぞれ11, 18, 51時間と成長に従って耐性を獲得していく様子が示されている。さらに殻高16mmの付着稚貝では約150時間に延長している。遊泳行動の点から見ると、バージニアガキの浮遊幼生は酸素飽和度10~20%で鉛直方向の遊泳速度が著しく低下する (Mann and Rainer, 1990) ことが認められている。また、*M. mercenaria* 幼生の成長に対する溶存酸素と懸濁物濃度の影響が実験的に調べられ (Huntington and Miller, 1989)、通常の溶存酸素濃度 (6.5mg/L) に比べて低酸素下 (4, 2, 1mg/L) では有意な成長の抑制は見られないが、過酸素下 (13.7mg/L) では有意な成長抑制が見られている。懸濁物濃度については2200mg/Lでのみ有意な成長抑制が見られた。酸素濃度は24時間、懸濁物は48時間の実験であったが、この間の生残には全く有意差が見られない。硫化水素についての二枚貝幼生を用いた研究例は少ないが、全硫化物濃度が0.1mg/Lでもムラサキガイ胚の半数異常発生を示す (Knezovich *et al.* 1996) という結果が得られている。

上記のような初期成育段階の生残成長を決定する要因の解析はアサリの種場形成 (場の広さと生息密度) を予測する上で重要な要素である。

#### 今後の研究に向けて

ここで取り上げた貧酸素、硫化水素、浮泥は必ずしもアサリの成長・生残を抑制する要因のすべてを含んでいる訳ではない。さらに他の環境要因の影響も探索する必

要があろう。しかし、現在起こっている問題に対処するためには限られた項目ではあっても環境要因の変化とアサリの生残・成長・生理状態の変化との關係を把握することが重要である。例えば環境項目を連続的にモニタリングすると共にアサリの貯蔵物質や代謝産物の測定を定期的に行うことが上げられる。なるべくアサリの生息地の環境を反映できるように底直上 (5cm程度) の水温、塩分、溶存酸素濃度、pH、さらには濁度や現場蛍光強度のモニタリングが理想的である。生物側からは定期的に少なくともアサリの冷凍サンプルを保管し、さらには潜砂や濾水能力の試験、有機酸分析用試料の確保などにより多角的な解析が可能になり、へい死に至る過程の解明に近づくものと思われる。また対策技術開発のために目標値の設定する場合にも重要な知見が得られる筈である。

#### 文 献

- Abraham A., Couturier C. and Parsons J. A., 1996: Toxicity of un-ionized ammonia to juvenile giant scallops, *Placopecten magellanicus*. *Bull. Aquacult. Assoc. Can.*, **96**(3), 68-70
- 愛知県水産試験場, 1995: 平成6年度夏季におけるアサリの大量へい死について. 愛知水試研究業績C-16, 21pp.
- 青山裕賢・甲斐正信・鈴木輝明・中尾 徹・今尾和正. 1999: 三河湾における貧酸素化によるアサリ (*Ruditapes philippinarum*) の死亡率の定式化 II. *J. Adv. Mar. Sci. Tech. Soci.*, **5** (1 and 2), 31-36
- APHA, AWWA, WPCF, 1999: Standard methods for the examination of water and wastewater, 20th edition, American Public Health Association, Washington D.C., USA.
- Boyd C. E. and Tucker C. S., 1998: Pond aquaculture water quality management. Kluwer academic publishers, Boston, 700pp.
- Bricej V. M. and Malouf R. E., 1984: Influence of algal and suspended sediment concentrations on the feeding physiology of the hard clam *Mercenaria mercenaria*. *Mar. Biol.*, **84**, 155-165
- Foster-Smith R. L., 1975: The effect of concentration of suspension on the filtration rates and pseudofaecal production for *Mytilus edulis* L., *Cerastoderma edule* (L.) and *Venerupis pullastra* (Montagu). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **17**, 1-22
- 萩田健二, 1985: 貧酸素水と硫化水素水のアサリのへい死に与える影響. 水産増殖, **33**(2), 67-71
- Hochachka P. W., 1984: 低酸素適応の生化学—酸素なき

- 世界で生きぬく生物の戦略 (橋本周久, 阿部宏喜, 渡辺終五訳), 恒星社厚生閣, 東京, 194pp.
- Huntington, K. M. and Miller D. C., 1989: Effects of suspended sediment, hypoxia, and hyperoxia on larval *Mercenaria mercenaria* (LINNEUS,1758). *J. Shellfish Res.*, **8**(1), 37-42
- 柿野 純, 1982: 青潮によるアサリへい死原因について 貧酸素水および硫化物の影響. 千葉水試研報, **40**, 1-6
- 柿野 純, 1986: 東京湾奥部における貝類へい死事例 特に貧酸素水の影響について. 水産土木, **23**(1), 41-47
- Knezovich J. P., Steichen D. J., Jelinski J. A. and Anderson S. L., 1996: Sulfide tolerance of four marine species used to evaluate sediment and pore-water. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, **57**, 450-457
- 工藤英郎, 1964: 海水中の硫化物定量法の吟味と松島湾の海水中の硫化物量. 東北水研報, **24**, 1-7
- Lehninger A. L., 1977: 生化学 (上) 第2版—細胞の分子的理解— (中尾 眞監訳), 共立出版, 東京, 592pp.
- Mann R. and Rainer J. S., 1990: Effect of decreasing oxygen tension on swimming rate of *Crassostrea virginica* (GMELIN, 1791) larvae. *J. Shellfish Res.*, **9**(2), 323-327
- 中村幹雄, 1997: 宍道湖におけるヤマトシジミと環境との相互関係に関する生理・生態学的研究, 北海道大学博士論文
- 中村幹雄, 品川 明, 戸田顕史, 中尾 繁, 1997: 宍道湖および中海産二枚貝4種の環境耐性, 水産増殖, **45**(2), 179-185
- 西脇三郎, 1999: 「排出」, 軟体動物学概説 (下巻), サイエンティスト社, 東京, 112-126.
- 農林水産省統計情報部. 1954-2001: 昭和28年度~平成12年度漁業養殖業生産統計年報, 農林統計協会, 東京
- 大島泰雄, 1994: 水産増・養殖技術発達史, 緑書房, 東京, 476pp.
- 白石 淳, 長 修司, 三島かおり, 1995: 北部九州産アサリ (*Ruditapes philippinarum*) の筋肉部分と内臓部分の一般成分の周年変化. 日本家政学会誌, **46**(4), 313-319
- 水産庁, 日本栽培漁業協会, 1980-2002: 昭和52~平成12年度栽培漁業種苗生産, 入手・放流実績.
- 鈴木輝明, 青山裕晃, 甲斐正信, 1998: 三河湾における貧酸素化によるアサリ (*Ruditapes philippinarum*) の死亡率の定式化. *J. Adv. Mar. Sci. Tech. Soci.*, **4**(1), 35-40
- Stevens F. S., 1982: Sensitivity of juvenile hard clams (*Mercenaria mercenaria*) to ammonia. *J. Shellfish Res.*, **2**(1), 107
- 高橋清孝, 佐藤陽一, 渡辺 競, 1986: アサリの生存限界に関する実験的検討. 宮城水試研報, **11**, 44-58
- Widdows J., Newell R. I. E. and Mann R., 1989: Effect of hypoxia and anoxia on survival, energy metabolism, and feeding of oyster larvae (*Crassostrea virginica*, Gmelin). *Biol. Bull.*, **177**, 154-166

## 質疑応答

(時間超過のため質疑応答なし)