

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

柿野 純

東京湾船橋地先のアサリ漁場においては例年7～9月に青潮が発生し、その度ごとに多かれ少なかれ同漁場のアサリがへい死する等の影響を受けている。

アサリを含めた二枚貝のへい死原因については千葉県内湾水産試験場において昭和41年～同43年に実験や調査がくり返され、かなりの知見¹⁻⁸⁾が集積されている。青潮と同様の現象が起こる三河湾においても二枚貝がへい死しており、田中ら⁹⁻¹¹⁾が調査試験を行なっている。これらの報告書によって、有機汚濁が進行した内湾においては貧酸素水塊が形成され、二枚貝が大きな被害をこうむっていることが明らかにされているが、具体的なへい死に至るまでの貧酸素ないし無酸素水の影響については確たるものはない。このことは水中における止水式実験では一定濃度に保ち難い硫化物についても同様である。

筆者は昭和53年7月の青潮によって船橋地先のアサリがほぼ全滅に近い被害を受けたことを契機として昭和54年度から詳細な青潮発生機構に関する調査を行なった。その一環として貧酸素水および硫化物のアサリに対する影響についての実験装置を考案し、この装置を用いて実験を行ない、若干の知見が得られたので報告する。

材料および方法

1) 実験に用いたアサリ

半込漁業協同組合によって採取されたアサリをその日のうちに水産試験場に搬入し、海水を豊富に流したバットに入れて馴致し、以後3日～20日の範囲で実験に用いた。アサリは昭和55年中に都合3回採取し、便宜上採取された月日別に、6月7日のものを試料Ⅰ、9月25日のものを試料Ⅱ、11月27日のものを試料Ⅲとした。これらのアサリのうち、手で接触した際に強く殻を閉じる3cm前後の個体(全重量は平均して10g程度)を実験に供した。搬入したアサリは試料Ⅱがいくらか弱っており、馴致中のへい死が多く、また試料Ⅲは11月末のものなので瘦せていた。

2) 実験区の設定とアサリへい死の判別法

実験は大別して2者について行なった。一つは貧酸素水のみによるアサリのへい死までの時間を調べるもので、止水式装置を用いて5実験区を設定し、1実験区についてアサリ5個体を入れ、24時間ごとに取り上げて、この間のへい死率を調べた。他の一つは貧酸素水中に硫化ソーダを一定濃度添加してアサリに対する影響を調べるもので、流水式装置にアサリを5個体入れて72時間の連続で行なった。

アサリについては殻を開いて完全にへい死したかどうかを確認した。実験終了時に生きていても、この後実験の影響で死ぬことがあるので少なくとも3日間は生死の判定のために別のビーカーに移し、通常海水を流して様子をみた。

3) 貧酸素水および硫化ソーダ原液の調整法

貧酸素水を作成するために、150ℓタンクに海水を入れ、この上に厚さ2cm程度に流動パラフィンを置き、海水中にエアストーンを入れて窒素ガスを吹き込んだ。流動パラフィンの飛沫がとばないように静かに吹き込んだが、海水中のDO(溶存酸素, Dissolved Oxygenのこと。以下同じ)は初め急速に、後程ゆっくりと減少し、おおむね8時間程度で0.5PM程度に減少するので、これを貧酸素水として用いた。

硫化ソーダ原液を作成するには、Sとして設定濃度に相当する特級硫化ソーダを秤取し、2ℓメスフラスコ中で再蒸留水を用いて溶かした。

なお、硫化ソーダを添加すると水溶液がアルカリ性になるので、貧酸素水中にトリスー塩酸緩衝液(貧酸素水中でトリス1.4/125M, 塩酸1.1/125M程度)を加えてPHを実際の青潮(約7.7程度)¹²⁾と同じに調整した実験を最後に行なった。この実験水は分析用試水を採水する際、PH調整によって硫化水素(H₂S)が多くなり、強い臭気を発生した。

4) 実験装置について

貧酸素水のみによる実験は図1に示す10ℓガラス水槽にアサリと8ℓの貧酸素水を入れ、大気からの酸素

の溶け込みを流動パラフィンで防止した止水式の簡単な装置である。流動パラフィンを上には置くだけでは大気からの酸素の溶け込みが心配されたが、水中にクロロフォルムを滴加してバクテリアの働きを防止し、水中のDOの量を3日間測定してみた結果では初期濃度0.39PMに対して3日後に0.78PMとなり、問題にする程大きなものではなかった。

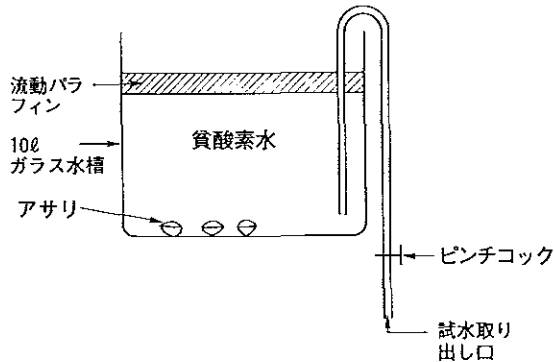


図1. 貧酸素水による冠水時間の実験装置

硫化ソーダを用いた実験においては貧酸素水中に硫化ソーダを一定濃度に保つために図2の装置を考案した(図1の止水式装置における硫化物の減少については結果の項を参照)。図に示すとおり、貧酸素水および硫化ソーダ原液をポンプで一定量ずつアサリを入れた1ℓビーカー中に流し、ビーカー内の試水はマグネチックスターラーで攪拌した。サイフォンによって試水を排水し、ビーカー内の水量を一定に保った。ビーカー底ではマグネットが回転しているのでアサリを直接入れることが出来ない。そこでガラス玉を入れたビニールチューブの輪を作り、この上に穴のあいたプラスチックの簀を置き、この上にアサリを置いた。また、マグネチックスターラーは熱を持っているので、これがビーカーに伝わらないように段ボール紙を小さく切

って両者の間にはさんだ。

5) 実験において測定した項目とその測定法

実験において測定した項目とその測定法は以下のとおりである。

水温……………棒状水銀温度計

PH……………PH比色計

DO……………ウインクラー変法

硫化物……………公害分析指針¹³⁾記載のP-フェニレンジアミンを使う方法

実験結果

1) 貧酸素水による影響

図1に示した装置を用いた貧酸素水のみでの冠水時間による影響実験の結果を試料Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ別にそれぞれ表1～3に示した。また表1、2にかかわる累積へい死率を図3、4に示した。

試料Ⅰのアサリは96時間後からへい死が始まり120時間後(3、4区)には80～100%へい死し、144時間後の実験区はその日までに全個体がへい死した。試料Ⅱのアサリは48時間後からへい死が始まり、120時間経過した区は全個体がへい死した。一方試料Ⅲのアサリは168時間経過しても全くへい死がみられなかった。

実験中のアサリはわずかに殻を開いていることが多く、時間がさらに経過すると水管をいっぱいに広げて水中にわずかに残っている酸素を取り込んでいるのではないかと思われる様子が観察された。殻を全く閉じたままの個体もなかには観察された。

時間が経過して1個体でも水槽中でアサリが死ぬと開殻し、肉片の腐敗が急速にすすみ、水が白濁するとともにDOが全く含まれなくなり、他の個体も急速にへい死が始まった。このようになると分析用試水を採

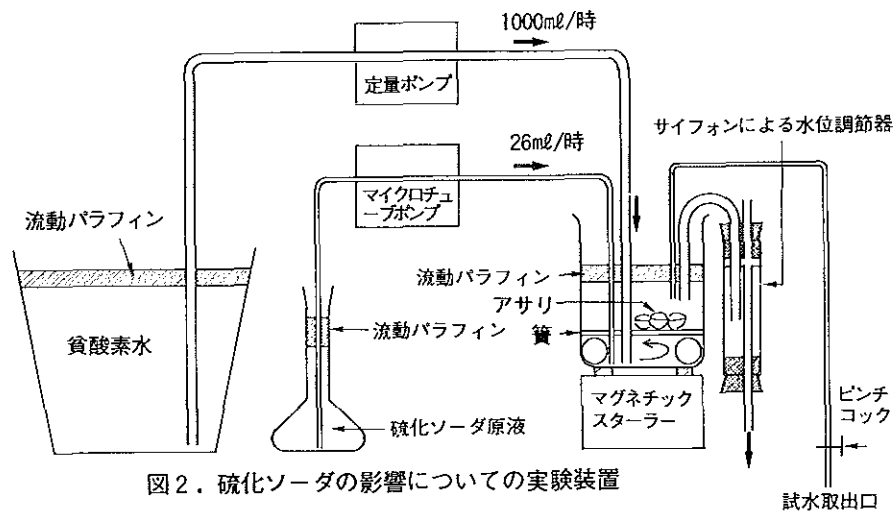


図2. 硫化ソーダの影響についての実験装置

表1. 貧酸素水の冠水時間による影響実験Ⅰ(止水式)

実験区(経過時間)	1 (72)	2 (96)	3 (120)	4 (120)	5 (144)	
DO (PPM)	開始時	0.63	0.64	0.58	0.76	0.80
	終了時	0.12	0.06	ND	ND	ND
へい死率 (%)	0	20	80	100	100	

試料Ⅰを使用, 水温24℃

表2. 貧酸素水の冠水時間による影響実験Ⅱ(止水式)

実験区(経過時間)	1 (24)	2 (48)	3 (72)	4 (96)	5 (120)	
DO (PPM)	開始時	0.37	0.46	0.49	0.22	0.36
	終了後	—	0.15	—	ND	ND
へい死率 (%)	0	20	60	80	100	

試料Ⅱを使用, 水温24.2~25.3℃, PHは1~3区が8.3~8.2
4区が8.3~7.2以下, 5区が8.3~7.8

表3. 貧酸素水の冠水時間による影響実験Ⅲ(止水式)

実験区(経過時間)	1 (72)	2 (96)	3 (120)	4 (144)	5 (168)	
DO (PPM)	開始時	1.12	0.82	0.96	0.95	0.97
	終了時	1.45	0.11	0.50	0.09	0.58
へい死率 (%)	0	0	0	0	0	

試料Ⅲを使用, 水温16.8~18.5℃, PHは8.2~8.0の範囲

取する際に強い腐敗臭を発生するようになった。

2) 硫化ソーダの影響

本実験を始めるに先立ち, 図1に示す止水式装置を用いて対照区および硫化ソーダを一定濃度添加した区について48時間のアサリに対する影響を調べた。この結果を表4に示したが, 添加した硫化ソーダによるSの値(H_2S , HS^- , S^{2-} の三者合計値になる)は急速に減少していき, 41時間後には全区ともNDになった。またアサリのへい死はみられなかった。このことよって硫化ソーダが含まれていても条件によってはへい死しないことが判明した。硫化ソーダを用いて硫化物を一定濃度に保つためには以下に述べる図2の装置による流水式実験を行なう必要があった。

図2の装置を用いてアサリを入れたピーカーに72時間連続して貧酸素水および硫化ソーダを注入した結果

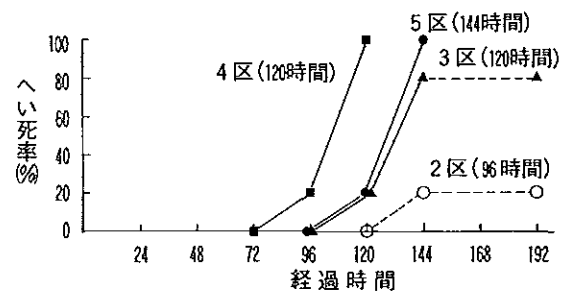


図3. 貧酸素水による影響実験Ⅰ. 累積へい死率
試料Ⅰを使用, ()内は冠水時間, 破線部分は冠水時間終了後の観察経過。

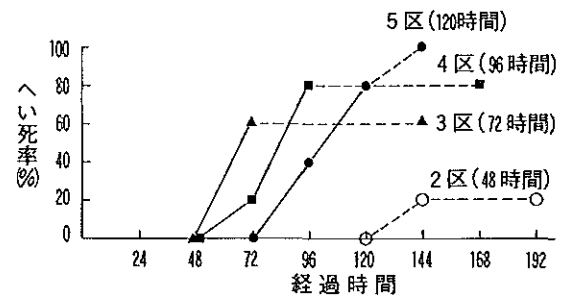


図4. 貧酸素水による影響実験Ⅱ. 累積へい死率
試料Ⅱを使用, 以下は図3の補足説明と同様。

表4. 硫化ソーダの影響実験Ⅰ
(予備実験, 48時間の止水式)

実験区	測定項目	開始時	3時間	17時間	41時間	へい死率(%)
11 (対照区)	DO (PPM)	0.68	0.91	1.35	0.33	0
	S (PPM)	ND	ND	ND	ND	
2	DO (PPM)	0.59	0.87	0.91	0.34	0
	S (PPM)	0.23	0.14	ND	ND	
3	DO (PPM)	0.53	0.59	0.82	0.33	0
	S (PPM)	0.62	0.43	0.04	ND	
4	DO (PPM)	0.52	0.59	0.67	0.51	0
	S (PPM)	1.06	0.75	0.08	ND	
5	DO (PPM)	0.78	0.83	0.72	0.21	0
	S (PPM)	1.38	1.04	0.15	ND	

試料Ⅰを使用, 水温23.8~24.0℃

を試料Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ別にそれぞれ表5~7に示した。試料Ⅰにおいては3PPMの設定濃度(実測値平均2.5PPM)において40%へい死したが, 5PPMにおいてはへい死しなかった。このため3PPM区のアサリのへい死はたまたま弱っていたアサリを使用したためであると考えた。10PPMの高濃度区においては80%, 20PPMでは100%へい死した。実際の青潮発生時に測定された硫化物濃度は最高でも2PPM程度¹²⁾なので以下の試料Ⅱ, Ⅲにおいて

は高濃度区の実験は行なわず、0.5、1.0 ppm設定濃度の実験を行なったが、試料Ⅱにおいては0.5 ppm区が60%、1.0 ppm区が100%へい死した。試料Ⅲはへい死しなかった。

以上のとおり硫化物によってアサリはへい死する場合としない場合があったので、実際の青潮水中に含まれる硫化物と同じPH条件にするために貧酸素水をトリス塩酸緩衝液で7.7に調整した場合の影響実験を試料Ⅲについて行なった(表8)。この結果0.5~5.0 ppm設定濃度の範囲でへい死はなかった。

表5. 硫化ソーダの影響実験Ⅰ(72時間, 流水式)

実験区	設定濃度 (S.ppm)	実測値(S.ppm)					へい死率 (%)
		開始時	24時間	48時間	72時間	平均値	
1	3	—	2.6	2.5	2.5	2.5	40
2	5	—	4.2	4.0	4.0	4.1	0
3	10	9.8	9.7	10.7	11.2	10.4	80
4	20	18.1	16.9	18.5	20.1	18.4	100

試料Ⅰを使用, 水温25.4~26.8℃, PHは1区8.3, 2区8.4, 3区8.5, 4区8.7

表6. 硫化ソーダの影響実験Ⅱ(72時間, 流水式)

実験区	設定濃度 (S.ppm)	実測値(S.ppm)					へい死率 (%)
		開始時	24時間	48時間	72時間	平均値	
1	0.5	0.34	0.32	0.26	—	0.31	60
2	1.0	0.83	0.95	0.94	1.27	1.00	100

試料Ⅱを使用, 水温25.2~26.4℃, PHは1.2区とも8.3

表7. 硫化ソーダの影響実験Ⅲ(72時間, 流水式)

実験区	設定濃度 (S.ppm)	実測値(S.ppm)					へい死率 (%)
		開始時	24時間	48時間	72時間	平均値	
1	0.5	0.35	0.28	0.15	0.19	0.24	0
2	1.0	0.72	0.69	0.49	0.44	0.59	0

試料Ⅱを使用, 水温18.3~21.0℃, PHは1区8.3, 2区8.4

表8. 硫化ソーダの影響実験Ⅳ(72時間, 流水式)

実験区	設定濃度 (S.ppm)	実測値(S.ppm)					へい死率 (%)
		開始時	24時間	48時間	72時間	平均値	
1	0.5	0.64	0.38	0.20	0.25	0.37	0
2	1.0	1.02	0.76	0.46	0.49	0.68	0
3	3.0	3.31	2.72	2.22	—	2.75	0
4	5.0	4.5	3.8	3.4	—	3.90	0

試料Ⅲを使用, 水温17.2~19.6℃, PHはトリス塩酸を用いて7.7に調整した。

考 察

1) 貧酸素水に対するアサリの耐性

貧酸素水に対するアサリのへい死までの耐久時間は採取されたアサリの月日別の試料によって大きく異なる結果となった。6月7日や9月25日のものは48~96時間で死に始めるが、これは同じような水温設定条件下で行なわれた田中ら¹⁰⁾の実験結果とほぼ一致している。これに対して11月27日のものは168時間でも死ななかった。この原因については第1に実験設定における水温の違いによる影響が考えられる。前二者の実験は24~25℃であるのに対して後者は17~19℃である。

海老原, 村田⁵⁾の報告ではアサリは水温によって酸素消費量が異なっている。しかしこれは酸素が十分に供給されている場合のことで、酸素が少ない場合は同じように酸素を取り込むわけではなく、兼子⁸⁾はハマグリについて、水中に酸素が少なければそれに従って消費する酸素量も少なくなるとしている。本実験の結果でも実験水槽中の低濃度の酸素は容易に減少しないのでアサリは水中から酸素をそれ程取り込んでいないと考えられ、兼子の報告と一致している。従ってアサリは別の代謝経路による呼吸によってへい死までの生命を維持している筈である。ここで24~25℃の同じ水温条件の2回の実験結果を比較した場合、もともといくらか弱っていた9月25日のアサリの方が早く死に始めることを考えると、水温条件が異なることのみによってアサリの貧酸素水に対する耐久時間を説明することは無理が生ずる。

そこで次に考えられるのが季節によるアサリの生理的条件の違いである。佐伯, 熊谷¹⁴⁾の報告ではアサリは4~7月にグリコーゲンを中心とする炭水化物含量が多く、8月から10月にかけて急減する。今回の実験

において9月25日に採取したアサリが最も弱かったことは、このグリコーゲンが急減している時期にあたり、アサリにとっては最も酸欠に弱い時期ではなかったろうか、ということが想定される。このグリコーゲンはHOCHACHKAら¹⁵⁾の報告でも各種動物にとって酸素欠乏の条件下におけるエネルギー源として用いられる。

以上のように、本実験の結果では0.5PM程度の低酸素の条件下において、アサリの耐久時間は実験の水温条件と採取された季節による生理条件によって大きく異なることを推察した。11月に採取されたアサリの耐久時間の長さはいずれ解明されるべき今後の課題として、青潮が発生する7～9月のアサリの場合、酸欠に対する耐久時間は48～96時間が一定の限界と考えられる。また1個体でもアサリがへい死すると水質が非常に悪くなるので、実際のアサリ生息の場においても腐敗した間隙水によって、同じ場に生息するアサリに急速にへい死が広がるであろうことが容易に推察される。

2) 硫化物の影響

今回の実験結果では6月に採取されたアサリについて、20PM以上の高濃度で72時間の間にへい死するが、実際の青潮が発生した際に検出される2PM程度では72時間でもおおむねへい死しないと考えられる。また表8に示したように青潮水と同じPHに試水を調整しても3.9PMまでへい死しない。この実験中にアサリがどの程度硫化物を吸収したか定かでないが、実験中のアサリはわずかに殻を開いて水管を出しており、外界と全く遮断されたわけではないので、硫化物に対してその溶存している状態、即ち H_2S 、 HS^- 、 S^{2-} のいずれであっても貧酸素水による冠水時間程に大きな影響は受けないと考えられる。ただし9月25日に採取されたアサリでは1PM濃度の72時間で100%へい死したので、もともと弱っていたアサリに対してへい死を早める結果にはなるであろう。

要 約

- 1) 船橋地先で発生する青潮によるアサリへい死と関連して、貧酸素水および硫化物のアサリに対する影響を調べた。
- 2) 貧酸素水に対するアサリの耐久時間は採取された季節によって異なるが、7～9月については48～96時間の冠水が生息のための限界であった。11月のアサリについてはさらに長時間の冠水によっても死ななかった。このように相異がある原因として、アサリの耐久時間は採取された季節による生理条件と実験の水温条件によって大きく異なることを推察した。

- 3) 硫化物は溶存している状態、即ち H_2S 、 HS^- 、 S^{2-} にかかわらず、実際の青潮発生時の貧酸素水による冠水時間程には影響せず、貧酸素水によって弱ったアサリのへい死を早める程度であろうと推察した。

文 献

- 1) 菅原兼男・海老原天生・宮沢公雄・川名順之：木更津市地先ハマグリ斃死調査について、千葉県内湾水産試験場試験調査報告書、第8号、pp43～56 (1966)
- 2) 菅原兼男・佐藤正春：東京湾の赤潮、同上報告書、第8号、pp57～95 (1966)
- 3) 菅原兼男・海老原天生・佐藤正春・青木邦昭・宮沢公雄・川名順之・飯田健二：赤潮観測委託およびハマグリ漁場調査結果とハマグリ被害について、同上報告書、第9号、pp49～73 (1967)
- 4) 菅原兼男・海老原天生・川名順之・飯田健二：東京湾奥部のアサリ被害原因について、同上報告書、第9号、pp74～88 (1967)
- 5) 海老原天生・村田靖彦：アサリ(*Venerupis semi-decussata*)の酸素消費量(第1報)、同上報告書、第9号、pp89～96 (1967)
- 6) 菅原兼男・海老原天生・青木邦昭・宮沢公雄・兼子昭夫・川名順之・飯田健二：アサリ・ハマグリ漁場環境調査、同上報告書、第10号、pp32～59 (1968)
- 7) 菅原兼男・佐藤正春：赤潮観測委託結果と貝類被害について、同上報告書、第10号、pp60～78 (1968)
- 8) 兼子昭夫：ハマグリ大量斃死原因究明の一環としての生理、飼育実験、同上報告書、第10号、pp79～96 (1968)
- 9) 田中弥太郎・浜田サツ子・相良順一郎・筒井久吉：貧酸素水塊の形成と貝類の生産に関する研究、農林水産生態系における汚染物質の循環と指標生物に関する研究、昭和49年度研究成績報告書、pp45～57 (1975)
- 10) 田中弥太郎・相良順一郎・浜田サツ子・筒井久吉・戸倉正人・井戸津都史：同上研究、昭和50年度研究成績報告書、pp35～42 (1976)
- 11) 田中弥太郎・筒井久吉・井戸津都史：同上研究、昭和51年度研究成績報告書、pp45～51 (1977)
- 12) 千葉県水産試験場公害研究室：昭和54、55年度青潮調査結果(未発表資料)
- 13) 日本分析化学会関東支部編：公害分析指針、5、水・土壌編2、pp74～75、共立出版株式会社(1975)
- 14) 佐伯清子・能谷洋：アサリの一般成分および無

機成分の季節的変動, 日本水産学会誌, 第46巻, 第
3号, pp 341 ~ 353 (1980)

- 15) P.W.HOCHACHKA, J.FIELDS and T.MUSTAFA :
Animal Life Without Oxygen : Basic Biochemical
Mechanisms, Amer, Zool, 13, pp 543 ~ 555 (1973)