

## 河口干潟の環境変化がアサリ (*Ruditapes philippinarum*)

### の成育に及ぼす影響

成松 将吾<sup>1</sup>・高見 徹<sup>2</sup>

<sup>1</sup>専攻科機械・環境システム工学専攻, <sup>2</sup>都市システム工学科

本報告書では、大分県番匠川の河口干潟を対象水域として、河口干潟の環境変化がアサリ (*Ruditapes philippinarum*) の成育に及ぼす影響と、それに対する河川整備および環境管理のあり方について考察を行った。既往の報告から得られた知見を整理した結果、アサリ漁獲量急減以後において、番匠川河口域では、①樋門・樋管からの栄養塩の流入によって富栄養化の傾向にあること、②富栄養化によると考えられるアオサ (*Ulva* spp.) の異常増殖が認められることから、アオサの異常増殖後の枯死と腐敗によって生ずると考えられる底質直上水の嫌気化と硫化水素 ( $H_2S$ ) の発生がアサリの成育阻害を引き起こしていると考えられた。アオサからの $H_2S$ の発生量とアサリの成育に及ぼす影響について室内実験を行った結果、アナアオサ (*Ulva pertusa*) の腐敗によって発生する $H_2S$ がアサリの生存に影響を及ぼすことが明らかになった。このことは、番匠川河口干潟においてもアナアオサから発生した $H_2S$ がアサリの死亡を引き起こし、アサリ漁獲量低下の原因となる可能性を示唆するものであると考えられる。したがって、番匠川河口干潟においてアサリ漁獲量を回復させるためには、アナアオサの異常増殖の原因となると考えられる河口域の樋門・樋管からの栄養塩の流入負荷量を低下させるような流域の水質管理や底質の嫌気化を防ぐような河川流量管理等の対策が必要であると考えられる。

**Key Words :** tidal flat, environment, *Ruditapes philippinarum*, *Ulva pertusa*, , hydrogen sulfide

#### 1. はじめに

本報告書は、大分高専土木工学科および大分高専専攻科において学習した水環境工学とその他の関連科目を基礎として、現在わが国において問題となっている沿岸海域の環境変化と水産生物資源の劣化に関する知見と実験的考察を取りまとめたものである。なお、本報告書では、大分県番匠川の河口干潟を対象水域として、河口干潟の環境変化がアサリ (*Ruditapes philippinarum*) 漁獲量に及ぼす影響について考察することとした。番匠川河口域でのアサリの漁獲量は、1986年から1993年にかけて約100t/年であったが、1994年から急激に減少し、1995年以降は現在に至るまで1t/年以下の状態が続いている。本報告書は、番匠川河口干潟におけるアサリ漁獲量低下の原因とそれに対する河川整備および環境管理のあり方について考察するものである。

本論文の構成は以下の通りである。

第2章では、基礎的知識を整理するため、本報告書の対象水域である干潟の定義と物理化学的特性についてまとめた。また、水環境の保全に重要な役割を果たす干潟の機能、すなわち、生物生産や消費、水質浄化といった

干潟の生物学的特性について、物質循環 (特に炭素 (C)、窒素 (N)、硫黄 (S)) に関する知見を踏まえて整理した。

第3章では、本報告書の対象水産生物資源であるアサリの生活史、わが国における生息分布、成育条件等のアサリの生態と成育環境についての基礎的知見を整理した。

第4章では、対象水域である大分県番匠川河口干潟の概要とアサリ漁獲量低下の問題について、既往の研究報告をもとに知見を整理し、本報告書で明らかにすべき課題に関する考察を行った。

第5章では、第4章で明らかになった課題について実験的考察を行った。すなわち、番匠川河口干潟におけるアサリ漁獲量減少の原因の一つが、河口域の富栄養化に伴って異常増殖した大型藻類 (アオサ, *Ulva* spp.) の腐敗に伴う底質直上水の嫌気化と硫化水素 ( $H_2S$ ) の発生によるものではないかと考え、実験室内においてアナアオサ (*Ulva pertusa*) の溶存酸素 (DO) 消費速度と硫化水素 ( $H_2S$ ) 発生量に関する実験を行い、その結果をもとにアサリに対する硫化水素 ( $H_2S$ ) の暴露試験を行い、硫化水素 ( $H_2S$ ) 濃度とアサリの死亡率との関係を明らかにした。

第6章では、本報告書のまとめを行った。

## 2. 干潟の定義、物理化学的特性、ならびに生態系と物質循環

本章では、基礎的知識を整理するため、本報告書の対象水域である干潟の定義と物理化学的特性についてまとめた。また、水環境の保全に重要な役割を果たす干潟の機能、すなわち、生物生産や消費、水質浄化といった干潟の生物学的特性について、物質循環（特に炭素（C）、窒素（N）、硫黄（S））に関する知見を踏まえて整理した。

### (1) 干潟の定義<sup>1)・2)</sup>

干潟とは、「干潮時に露出する砂泥質の平坦な地形」または、「潮汐の干満周期により露出と水没のサイクルを繰り返す平坦な砂泥質の地帯」とされる。潮汐の関係からみると、干潮時に干上がり満潮時に水没する沿岸の部分を潮間帯とよび、それを干潟、またはそれに隣接する後浜や浅海部を加えたものが干潟とされる。

干潟は、大別すると次の4つの種類に分けられる。

#### a) 河口型干潟

河口部分の岸もしくは中洲、さらには河口前面に形成される。底質は泥もしくは泥砂が多い。

#### b) 潟湖型干潟

河口域の一部に形成された半閉鎖型水域内のもの。底質は泥砂もしくは砂泥が多い。

#### c) 前浜型干潟

内湾の湾奥に砂泥が堆積してできた遠浅の海岸のこと。底質は砂泥もしくは砂が多い。

#### d) 人工干潟・海浜

多くは内湾の海岸線に山砂などを使用して人工的に造成したもの。底質の性質は、河口部分より上流側は波浪の影響が小さく、それに加えて河川水と海水との境界で両者の流動が停滞するところは泥質、波浪の影響を受け流動があるところは砂質、その中間が泥砂、砂泥質となる。

なお、本報告書で対象となる干潟は、上述のa)の河口型干潟（本報告書では河口干潟と称している）である。

### (2) 干潟の生態系と機能<sup>2)・3)</sup>

生態系は生産者、消費者、分解者といった要素で構成されている。植物プランクトンや海藻類等の生産者は無機物から有機物を生成できる生物である。植物プランクトンは植物を食べる動物（植食者）に消費される。この植食者を一次消費者と呼ぶ。植食者はさらに別の動物に食べられて、一部はその動物の生物体に取り込まれ、一部は排泄される。この動物を二次消費者と呼ぶ。二次消費者はさらに三次消費者によって消費される。このような一連の流れを食物連鎖と呼ぶ。このように、生きた食物を食べる捕食者のみから構成される食物連鎖を捕食

（生食）連鎖という。一方分解者は、動植物の死骸や排泄された有機物（デトリタス）を食物とする微生物や後生動物（デトリタス捕食者）から成る。この食物連鎖を腐食連鎖という。デトリタス捕食者自身は原生動物や動物を經由して再び捕食連鎖に戻される。

干潟において、微細藻類、海藻類、あるいは岸側に繁るヨシ等の湿性植物は生産者であり、水中に溶解している栄養塩類（窒素（N）、リン（P）等）を吸収し成長（増殖）する。一次消費者であるアサリなどの二枚貝は、ろ過摂餌動物であり、水中懸濁物の捕食によって水質浄化を行う働きがある。また海藻や魚介類の死骸や陸上植物などの有機物（デトリタス）は分解者によって分解されることによって水質浄化が行われる。さらに巻貝、カニ、エビ、トビムシ、フナムシ、魚類、鳥類等の消費者によって捕食されることにより、生産者によって生産された炭素（C）、窒素（N）、硫黄（S）などを含む有機物が生態系の中で移動・循環される。

### (3) 物質循環<sup>4)</sup>

本節では、干潟の環境を考慮する上で重要な炭素（C）、窒素（N）、硫黄（S）の物質循環について以下にまとめる。

#### a) 炭素（C）

炭素は生物中の乾燥重量の約50%を占めており、生物にとって重要な元素である。自然界における炭素は生態系の中で循環する。まず、生産者による二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）の有機物への固定は、水素供与体として水（H<sub>2</sub>O）を用い酸素（O<sub>2</sub>）を放出する高等植物や藻類による光合成、光合成独立栄養性細菌による光合成、化学合成独立栄養性細菌による化学合成によってなされる。このように、固定化された有機炭素は順次消費者に変換され、その過程で一部は無機化され二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）に戻されるとともに、排泄物や死骸としての有機炭素（デトリタス）が排出される。これは、分解者によって摂取され、一部は分解され二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）に戻される。

#### b) 窒素（N）

窒素は、生物中では細胞構成の主要化合物としてのタンパク質、およびその構成アミノ酸の構成元素として重要である。無機態の窒素の有機物への固定は、細菌、藻類、高等植物などの増殖・成長に伴うアンモニア態（NH<sub>3</sub>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>）あるいは酸化態窒素の形で摂取され、アミノ酸およびタンパク質の構成材料となる。消費者に摂取されたタンパク質は、その構成アミノ酸にまで分解された後、各生物を構成するタンパク質に再合成される。アンモニア態窒素（NH<sub>3</sub>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>）は、好気性条件下では硝化菌により硝化されて硝酸態窒素（NO<sub>3</sub><sup>-</sup>）となる。また、嫌気性条件下では酸化態窒素は結合酸素として利用され、還元されてガス状の一酸化二窒素（N<sub>2</sub>O）を経て窒素ガス（N<sub>2</sub>）となる。通常の条件下ではほとんどが窒素ガス

(N<sub>2</sub>)として放出されるが、例えば水素供与体量の不足や嫌気性条件の不完全さなどにより、一酸化二窒素(N<sub>2</sub>O)の段階で還元反応が止まり大気中に放出されることがある。一酸化二窒素(N<sub>2</sub>O)は地球温暖化原因ガス(温室効果ガス)として注意されている。窒素の循環において重要な気体状の窒素ガス(N<sub>2</sub>)からアンモニア態窒素(NH<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)への還元は、窒素固定細菌によって行われる。

c) 硫黄 (S)

硫黄は、天然には単体硫黄として、また、硫酸塩(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)や硫化水素(H<sub>2</sub>S)、二酸化硫黄(SO<sub>2</sub>)として広く存在している。硫黄の循環は閉鎖的な局地の沿岸堆積物中でもっとも顕著に進行する。堆積物中の嫌気層では、硫酸塩還元細菌による有機物の酸化分解のために硫酸塩(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)が使われ、硫化水素(H<sub>2</sub>S)を発生させる。硫化水素(H<sub>2</sub>S)は気体であるので上方に拡散するが、嫌気性が保たれ光が到達する層になると光合成独立栄養性の硫黄細菌によって硫黄(S<sup>0</sup>)に酸化され、さらに好気性の条件下において化学合成独立栄養性細菌によって硫酸塩(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)に酸化される。硫化水素(H<sub>2</sub>S)および二酸化硫黄(SO<sub>2</sub>)は揮発性であるので、炭素および窒素と同様に、循環には生物圏、陸域、海洋、および大気の上すべての層での交換が含まれる。

3. アサリの育成環境

本章では、本報告書の対象水産生物資源であるアサリの生活史、わが国における生息分布、育成条件等のアサリの生態と育成環境についての基礎的知見を整理した。

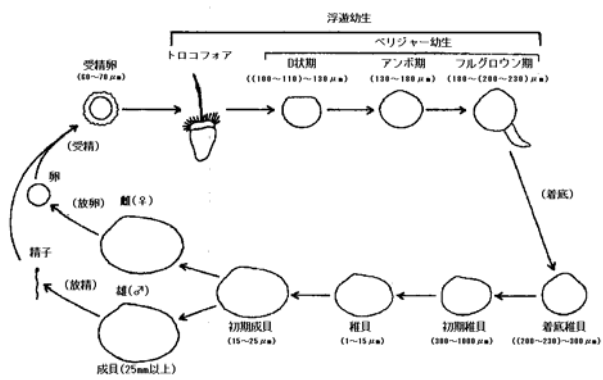


図 1 アサリの育成段階と大きさ<sup>5)</sup>。(図中数字のうち卵は卵径、D 状態期幼生以後は殻長を示す。)

(1) アサリの生活史<sup>5)</sup>

アサリは雌雄異体であり、卵径約 60μm で産卵された後、水中で受精し、トロコフォア幼生、ベリジャー幼生の浮遊生活の 2~3 週間を経由し、200μm 前後になると変態し、成殻を形成して着底する。殻長約 1 mm になると親貝とほ

ぼ同様の形態になる。成熟は殻長 5~10 mm ですでにみられるが、産卵が可能になるのは概ね殻長 15 mm 以上である(図 1)。

アサリの分布域は、産卵期の特性から、年 1 回しか産卵しない北の海域と、年 2 回以上産卵する南の地域に大きくわかれ、北海道は前者に、東京湾以南が後者にそれぞれ区分される。まれに雌雄同体の個体が発見されることがある。

(2) アサリの育成条件<sup>5)</sup>

アサリの育成に関わる環境因子は、水温、塩分、浮泥、溶存酸素(DO)、光強度、波浪、栄養塩、底質、餌生物とそれを運搬する流れ(物質輸送)、外敵生物等、多くのものが挙げられる。これらの要素の特性を決定する外的条件として、①湾などの大きさと形状、②淡水の流入量、③日射量、④潮汐と風、が挙げられる。アサリの育成には、底質は細砂(粒径 0.075~0.25mm)および中砂(粒径 0.25~0.85mm)が適しており、粘土・シルト(粒径 0.075mm 以下)や礫(粒径 2mm 以上)が多い環境には適していない。成長期は一般に春季~秋季であり、冬季は成長が緩やかになり、全く停止する場合もある。成長速度はその時の環境条件によって異なり、同じ地方や地域でも、潮下帯、干潟の沖側、干潟の岸側によって異なる場合がある。

これまでに報告されているアサリ育成のための水質条件は次の通りである。

a) 水温

幼生は水温 12~30℃で正常に発生する。また、-2℃以下か 35℃以上が一定時間以上継続すると、へい死する。育成のための最適値は 20℃~25℃であり、成長が可能な範囲は 10℃~30℃である。

b) 塩分

浮遊幼生の正常な発生のためには 20‰以上の塩分が必要である。しかし、20‰以上であっても、水温によっても成長が悪化することがあり、安定した成長を期待するには 25‰以上の塩分が望ましい。

c) 溶存酸素(DO)

貧酸素水のアサリへの影響は水温やその時のアサリの生理状態によるが、1ppm 以下の海水に冠水すると、早ければ 2 日経過後からへい死が始まり、4 日以上継続すると大量のへい死が発生する。

d) 有害物質

アサリの育成阻害や死亡を生じさせる有害物質濃度についての毒性試験データは極めて少ない。現在得られているデータでは、アサリに対する 96 時間暴露後の半数致死濃度(LC<sub>50</sub>)として、鉛(Pb)で 14 mg/l、亜鉛(Zn)で 16 mg/l、陰イオン界面活性剤(LAS)で 18 mg/l が報告されている<sup>6)</sup>。

#### 4. 番匠川の環境

本章では、対象水域である大分県番匠川河口干潟の概要とアサリ漁獲量低下の問題について、既往の研究報告をもとに知見を整理した後、本報告書で明らかにすべき課題に関する考察を行った。



図2 番匠川河口域の概略図<sup>8)</sup>。

##### (1) 番匠川の概要<sup>7)</sup>

番匠川は、大分県佐伯市の三国峠に源を発し、急峻で屈曲の多い渓谷を流下し、久留須川、井崎川、堅田川などの支川と合流して佐伯湾に注ぎ込む一級河川である(図2)。幹川流路延長38km、流域面積464km<sup>2</sup>で、そのうち89%を山地が占めている。河口干潟は県南では数少ないアサリの生産地となっており、大分県漁業協同組合佐伯支店(以下、佐伯漁協と称す)に水揚げされるアサリの大部分を番匠川河口干潟の漁獲量が占めていた。河口干潟は番匠川本川の河口端から約2.5km上流までの左岸側の河口域に形成されており、その総面積は約30haである(図2)。感潮区間は約6.8kmであり、干潮時においても河口端から上流約4.0km付近まで塩水が底層に浸入している。河口左岸側には4つの樋門・樋管が設置されている(図2)。佐伯市では水産業と農業が基幹産業となっており、河口干潟ではアサリ、ハマグリおよびクルマエビ等を対象とした漁業が営まれていた。佐伯漁協のアサリ漁業は、河口沖および河口端から約1.5km上流までの範囲における右岸側の河道および左岸側の干潟部となっている。

##### (2) 番匠川河口域のアサリ漁獲量の推移<sup>7)</sup>

佐伯漁協に水揚げされるアサリの漁獲量は、1993年までは約100t/年程度であった。しかし、1994年から急減し、1995年以降は1t/年以下にまで落ち込んでいる(図3)。一

方で、佐伯漁協に水揚げされる全ての魚介類の総漁獲量は、1980年代に入ってから低下が始まり、1986年以降に400t/年前後、1995年以降は200t/年を割るに至っている。1986年から1993年の期間は佐伯漁協の水揚げの約4分の1をアサリが占めていたといえる。全国的にもアサリの漁獲量は減少しているものの、番匠川での漁獲量の急減が起こった1994年には、アサリの漁業の盛んな九州北部(福岡県や熊本県)や大分県全規模での急減が見られないため、番匠川河口干潟での減少は、この地域特有の問題である可能性が高いと考えられる。

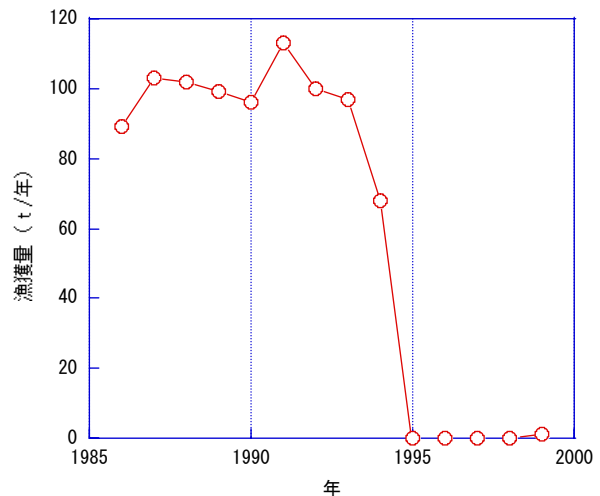


図3 大分県漁業協同組合佐伯支店におけるアサリ漁獲量の推移。

##### (3) 番匠川河口域の水質と生物量の変化<sup>6), 9), 10), 11)</sup>。

1989年から2002年における番匠川河口域の水質を、既往の報告<sup>9), 10)</sup>をもとに整理した結果、アサリ漁獲量の急減の始まった1994年以前と以後における水質に大きな変動はなく、年間を通じて、水温は8.5~31.0℃、溶存酸素(DO)濃度は5.2mg/l以上、生物学的酸素要求量(BOD)および化学的酸素要求量(COD)は、それぞれ2.4mg/lおよび3.5mg/l以下であり、アサリの育成に直接影響を及ぼすことはないと考えられた。しかし、全窒素(T-N)については0.25~2.44mg/l、全リン(T-P)については0.009~0.093mg/lと経年的に高い値を示し、富栄養化の傾向にあると考えられる。河口域における富栄養化は栄養塩を吸収し増殖する植物プランクトンや、アナアサリ(*Ulva pertusa*)等の大型藻類の異常増殖を促す。既往の報告によると、特に樋門・樋管(図2)からの栄養塩の流入負荷が高く(表1)<sup>11)</sup>、河口域の富栄養化傾向はこの樋門・樋管に起因していると考えられる。また、他の報告では、樋門・樋管付近におけるアオサ(*Ulva spp.*)の堆積密度の最大値が5684g/m<sup>2</sup>と極めて高い値を示したことが報告されている。アオサの異常増殖は一時的に栄養塩を吸収し水域の栄養塩濃度を低下させる効果がある

が、その後のアオサの枯死と腐敗によって、底層の溶存酸素(DO)を消費し嫌気層を形成する。また、嫌気層ではアオサの分解によって生じた硫酸塩(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)が硫酸塩還元細菌によって還元され、水素と化合して硫化水素(H<sub>2</sub>S)を発生する。底質直上水の嫌気化はアサリの好気呼吸を阻害し、硫化水素(H<sub>2</sub>S)はアサリに対する神経毒性や組織破壊を生じさせると考えられる。

以上のことより、番匠川河口域では、樋門・樋管からの栄養塩の流入負荷が高く、水域の富栄養化が生じ、アオサの異常増殖を引き起こしていることが明らかになった。また、アオサの異常増殖がその後の底質直上水の嫌気化や硫化水素(H<sub>2</sub>S)の発生を引き起こし、これがアサリの成育阻害を引き起こすのではないかと考えられた。

表1 樋門・樋管からの流出水の水質分析結果<sup>11)</sup>

水質\地点	女島第2樋管	女島第2樋門	女島樋門	女島樋管
T-N (mg/l)	9.4	1.1	2.3	3.1
NH <sub>4</sub> -N (mg/l)	5.3	0.5	0.6	1.4
NO <sub>3</sub> -N (mg/l)	1.2	0.6	1.7	1.2
T-P (mg/l)	0.70	0.16	0.52	0.24
PO <sub>4</sub> -P (mg/l)	0.45	0.087	0.37	0.13

#### (4) 番匠川河口域の底質<sup>10)</sup>

既往の報告によると、番匠川河口部にある女島第2樋管付近(図2)の粒度組成比率は、年間を通して細砂(粒径0.075~0.25mm)および中砂(粒径0.25~0.85mm)の合計値が底質全体の66.6~85.2%を占め、粘土・シルト(粒径0.075mm以下)は0.65~10.3%、粗砂・礫(粒径0.85mm以上)は0.1~0.8%と少なかった<sup>10)</sup>。アサリの成育には細砂および中砂が適しており、粘土・シルトや礫の多い環境には適していない。これらのことより、河口域の底質はアサリの成育に適しているといえる。

また、2001~2002年における番匠川の河口域における底質の重金属含有量の最大値は、銅(Cu)で9.0mg/kg、亜鉛(Zn)で50mg/kg、ニッケル(Ni)で20mg/kg、マンガン(Mn)で340mg/kgであり、代表的なアサリ漁場の一つである山口県瀬戸内海沿岸における平均値(Cu 5.9ppm, Zn 6ppm, Ni 6.8ppm, Mn 124ppm)と比較して約1.5~3.0倍程度高い値であったことが報告されている<sup>10)</sup>。しかし、これらの重金属類がアサリの成育に及ぼす影響濃度については、まだ十分な知見が得られておらず、底質の重金属濃度とアサリの成育との関係を明らかにする必要がある。また、硫化水素(H<sub>2</sub>S)等、その他の有害物質による成育阻害濃度についても知見は極めて少なく、各種の有害物質による成育阻害濃度を明らかにする必要がある。

#### (5) アサリ漁獲量低下の原因と解明すべき課題

以上のことから、大分県番匠川河口干潟において1994

年以降にアサリの漁獲量が急激に減少した原因については、明確な結論を得ることができなかった。しかし、既往の報告から得た知見を整理した結果、アサリ漁獲量急減以後において、番匠川河口域では、①樋門・樋管からの栄養塩の流入によって富栄養化傾向にあること、②富栄養化によると考えられるアオサの異常増殖が認められることから、アオサの異常増殖後の枯死と腐敗によって生ずると考えられる底質直上水の嫌気化(貧酸素化)と硫化水素(H<sub>2</sub>S)の発生がアサリの成育阻害を引き起こしているのではないかと考えられた。しかしながら、アオサから発生した硫化水素(H<sub>2</sub>S)がアサリの成育に及ぼす影響についての知見は極めて少ない。したがって、次章では、アオサからの硫化水素(H<sub>2</sub>S)の発生量とアサリの成育に及ぼす影響についての実験的考察を行うこととした。

### 5. アサリの成育に対する硫化水素の影響に関する実験的考察

本章では、第4章で明らかになった課題について実験的考察を行った。すなわち、番匠川河口干潟におけるアサリ漁獲量減少の原因の一つが、河口域の富栄養化に伴って異常増殖した大型藻類(アオサ, *Ulva* spp.)の腐敗に伴う底質直上水の嫌気化と硫化水素(H<sub>2</sub>S)の発生によるものではないかと考え、実験室内においてアナアオサ(*Ulva pertusa*)の溶存酸素(DO)消費速度と硫化水素(H<sub>2</sub>S)発生量に関する実験を行い、その結果をもとにアサリに対する硫化水素(H<sub>2</sub>S)の暴露試験を行い、硫化水素(H<sub>2</sub>S)濃度とアサリの死亡率との関係を明らかにした。

#### (1) 実験方法

##### a) アナアオサの溶存酸素消費速度と硫化水素発生量に関する実験

はじめに、暗期条件におけるアナアオサ(*Ulva pertusa*)の溶存酸素(DO)消費速度と、その後の嫌気性分解による硫化水素(H<sub>2</sub>S)の発生量を明らかにするため、以下の実験を行った。自作の亚克力製水槽(外形寸法0.15×0.15×0.15m, 容量(3L)に番匠川河口干潟で採取した所定量のアナアオサを入れ、濾過滅菌海水(塩分32‰)で満たして亚克力製の蓋で密閉し、恒温培養庫内(TITEC社製, M200F; 温度25℃)に設置した。水槽に投入したアナアオサの湿重量は、海水3Lに対して0.3g, 3.0g, 30gの3段階とした。また、アナアオサの光合成による酸素の発生を防ぐため、培養庫内における光照射は行わなかった。また、水槽の蓋には予めpHメーター(HORIBA社製, D-51)とDOメーター(IJIMA社製, B-100N), ならびに採水用の開閉可能な取水口が設置されており、培養庫に設置してから7日(168時間)後までの水温, pH, 溶存酸素(DO)濃度, 硫化水素(H<sub>2</sub>S)濃度

について測定を行った。なお、硫化水素 (H<sub>2</sub>S) 濃度はメチレンブルー吸光度法<sup>12)</sup>によって測定した。

**b) アサリに対する硫化水素の暴露試験**

次に、アナアオサから発生した硫化水素 (H<sub>2</sub>S) がアサリに及ぼす影響を明らかにするため、以下の方法で、アサリに対する硫化水素 (H<sub>2</sub>S) の暴露試験を行った。所定量のアナアオサを前述 (5.1.1) のアクリル製水槽 (外形寸法0.15×0.15×0.15m, 容量3L) に入れ、濾過滅菌海水で満たして密閉し、恒温培養庫内 (25℃) に設置した。前述 (4.3) のとおり、番匠川河口域のアオサ (*Ulva* spp.) の堆積密度は最大で5684g/m<sup>2</sup>であった<sup>10)</sup> ことを考慮して、水槽に投入したアナアオサの湿重量を100g (密度100g/(0.15)<sup>2</sup> m<sup>2</sup>, すなわち、約4400g/m<sup>2</sup>) とした。培養庫に設置してから3日 (72時間) 後まで、前述 (5.1.1) と同様の方法で水温、pH、溶存酸素 (DO) 濃度、ならびに硫化水素 (H<sub>2</sub>S) 濃度を測定して硫化水素 (H<sub>2</sub>S) の発生を確認した水槽からアナアオサを取り出し、アサリ7個体 (総湿重量31.19g) を水槽内に投入してアサリの状態を観察した。また、対照として、硫化水素 (H<sub>2</sub>S) を含まない濾過滅菌海水にアサリ7個体 (総湿重量28.18g) を投入した水槽を準備し、アサリの状態を観察した。

**(2) 結果と考察**

**a) アナアオサの溶存酸素消費速度と硫化水素発生量**

アナアオサの溶存酸素 (DO) 消費速度と硫化水素 (H<sub>2</sub>S) 発生量に関する実験結果を図4~7に示す。実験期間中における水温は、水槽を恒温培養庫内に設置したため、実験開始直後を除いてほぼ一定 (25℃) に保たれた (図4)。pHは、アナアオサ投入量0.3gにおいては培養期間中ほぼ一定 (8.2) であったが、投入量3.0gおよび30gにおいては培養時間の経過に伴って低下した (図5)。pHの低下は、アナアオサ (および共生細菌) の呼吸による水中の二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) 濃度の増加、または嫌気的条件下での従属栄養性細菌によるアナアオサの分解 (嫌気性発酵) によって有機酸が発生したためと考えられる。溶存酸素 (DO) 濃度は、アナアオサ投入量0.3gでは培養時間の経過に伴う低下は認められなかったが、投入量3.0gでは培養開始時に10.35mg/lであったのが7日 (168時間) 後には5.63mg/lに低下した (図6)。また、アナアオサ投入量30gでは培養開始直後から溶存酸素 (DO) 濃度は急激に低下し、4時間後において0mg/lになった (図6)。硫化水素 (H<sub>2</sub>S) 濃度は、アナアオサ投入量0.3gと3.0gでは7日 (168時間) の培養期間中において検出できなかった (図7)。これに対して、アナアオサ投入量30gでは培養時間の経過に伴って硫化水素 (H<sub>2</sub>S) 濃度は急激に上昇し、7日 (168時間) 後には75mg/lという極めて高い値になった (図7)。

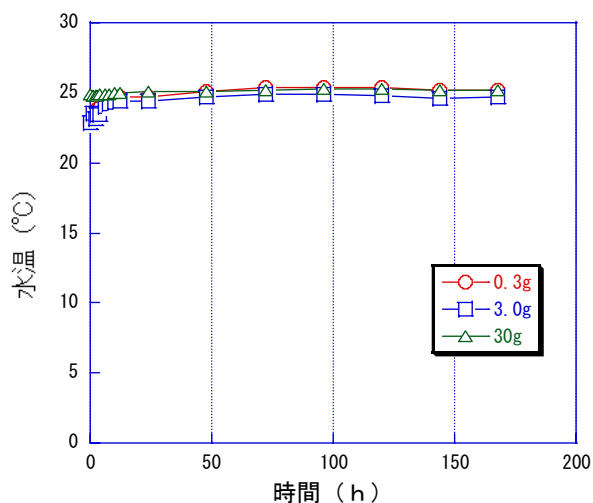


図4 アナアオサの培養時間と水温の関係。

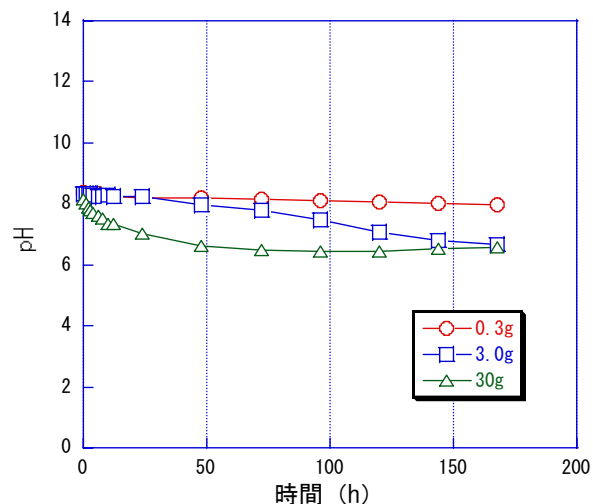


図5 アナアオサの培養時間とpHの関係。

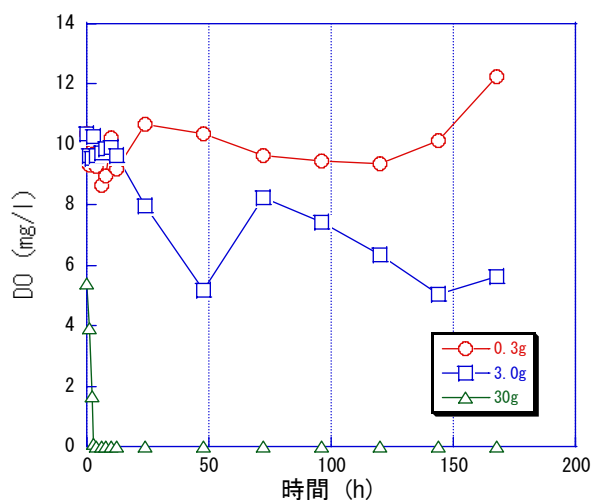


図6 アナアオサの培養時間とDO濃度の関係。

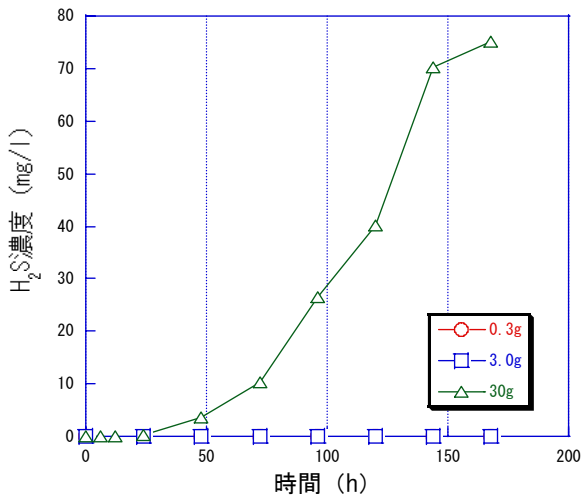


図7 アナアオサの培養時間とH<sub>2</sub>S濃度の関係.

以上の結果から、暗期条件においてアナアオサは湿重量の増加に伴って溶存酸素 (DO) 消費速度が増加するとともに硫化水素 (H<sub>2</sub>S) 発生量が増加することが明らかになった。特に、アナアオサ湿重量 30g (水槽の単位底面積当りの密度として約 1300g/m<sup>2</sup>) においては溶存酸素 (DO) 消費速度と硫化水素 (H<sub>2</sub>S) 発生量がともに極めて高かった。このことから、河口干潟におけるアナアオサの異常増殖による堆積は、潮汐周期である 12 時間という時間内においても、底質直上水の嫌気化や硫化水素 (H<sub>2</sub>S) の発生を引き起こし、アサリの成育に阻害影響を及ぼす可能性があると考えられる。

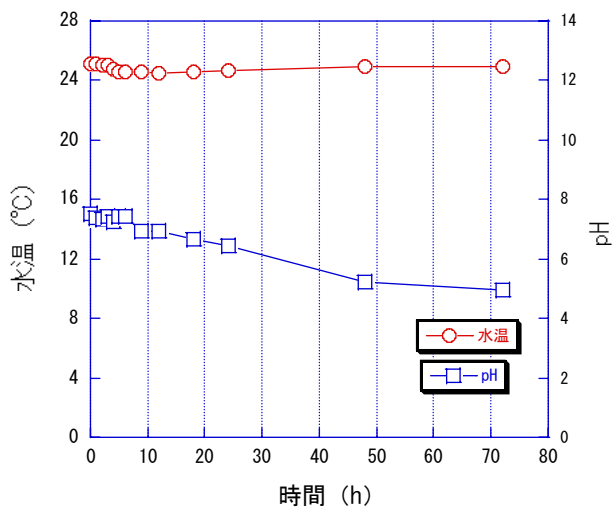


図8 アナアオサ投入量 100g のときの培養時間と水温、pH との関係.

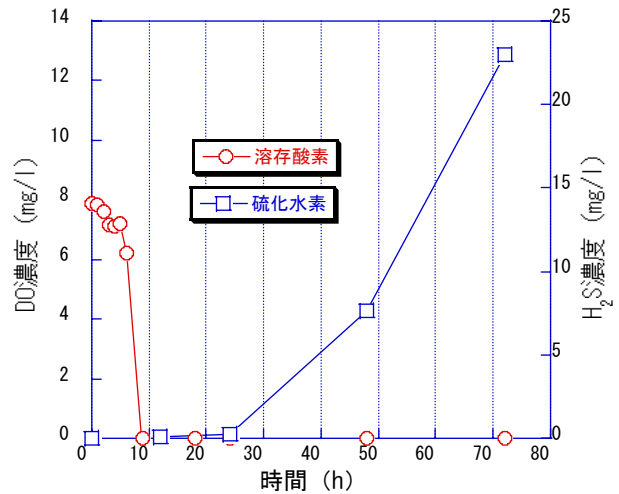


図9 アナアオサ投入量 100g のときの培養時間と DO 濃度、H<sub>2</sub>S 濃度との関係.

### b) アサリの成育に対する硫化水素の影響

アナアオサ投入量 100g (水槽内での堆積密度約 4400g/m<sup>2</sup>) における培養時間と水温、pH、溶存酸素 (DO) 濃度、ならびに硫化水素 (H<sub>2</sub>S) 濃度の関係を図8、9に示す。前述 (5.2.1) の実験結果と同様に、水温については培養期間 (3日、72時間) 中に変化はなく、pHおよび溶存酸素 (DO) 濃度については時間の経過に伴って低下した (図8、9)。また、硫化水素 (H<sub>2</sub>S) 濃度は培養開始から3日 (72時間) 後には23.0mg/lとなった (図9)。この条件でアサリ (7個体) の暴露を開始した結果、アサリは1日 (24時間) 後に2個体の死亡が確認され、2日 (48時間) 後には残りの5個体の死亡が確認され、全個体が死亡した。一方で、硫化水素 (H<sub>2</sub>S) を含まない海水で飼育したアサリは3日 (72時間) 後においても1個体も死亡しなかった。以上の結果より、アナアオサの腐敗によって発生する硫化水素 (H<sub>2</sub>S) がアサリの成育 (生存) に影響を及ぼすことが明らかになった。

### (3) アサリの成育に対する硫化水素の影響とその対策

以上の実験結果より、アナアオサの腐敗によって発生する硫化水素がアサリの成育 (生存) に影響を及ぼすことが明らかになった。このことは、番匠川河口干潟においてもアナアオサから発生した硫化水素 (H<sub>2</sub>S) がアサリの死亡を引き起こし、アサリ漁獲量低下の原因となる可能性のあることを示唆するものであると考えられる。したがって、番匠川河口干潟においてアサリ漁獲量を回復させるためには、アナアオサの異常増殖の原因となると考えられる河口域の樋門・樋管からの栄養塩の流入負荷量を低下させるような流域の水質管理や底質の嫌気化を防ぐような河川流量管理等の対策が必要であると考えら

れる。

## 6. まとめ

本報告書では、大分工業高等専門学校専攻科で学んだ水環境工学を基礎として、現在わが国において問題となっている沿岸海域の環境変化と水産生物資源の劣化に関する知見と実験的考察を取りまとめた。なお、本報告書では、大分県番匠川の河口干潟を対象水域として、河口干潟の環境変化がアサリ (*Ruditapes philippinarum*) 漁獲量に及ぼす影響について考察するとともに、アサリ漁獲量低下の原因とそれに対する河川整備および環境管理のあり方についての考察を行った。その結果、大分県番匠川河口干潟においてのアサリ漁獲量急減の原因については、明確な結論をえることができなかった。しかし、既往の報告から得られた知見を整理した結果、アサリ漁獲量急減以後において、番匠川河口域では、①樋門・樋管からの栄養塩の流入によって富栄養化の傾向にあること、②富栄養化によると考えられるアオサ (*Ulva spp.*) の異常増殖が認められることから、アオサの異常増殖後の枯死と腐敗によって生ずると考えられる底質直上水の嫌気化(貧酸素化)と硫化水素 ( $H_2S$ ) の発生がアサリの成育阻害を引き起こしているのではないかと考えられた。しかしながら、アオサから発生した硫化水素 ( $H_2S$ ) がアサリの成育に及ぼす影響についての知見は極めて少ない。したがって、アオサからの硫化水素 ( $H_2S$ ) の発生量とアサリの成育に及ぼす影響についての実験的考察を行うこととした。その結果、アナアオサ (*Ulva pertusa*) の腐敗によって発生する硫化水素がアサリの成育(生存)に影響を及ぼすことが明らかになった。このことは、番匠川河口干潟においてもアナアオサから発生した硫化水素 ( $H_2S$ ) がアサリの死亡を引き起こし、アサリ漁獲量低下の原因となる可能性のあることを示唆するものであると考えられる。したがって、番匠川河口干潟においてアサリ漁獲量を回復させるためには、アナアオサの異常増殖の原因となると考えられる河口域の樋門・樋管からの栄養塩の流入負荷量を低下させるような流域の水質管理や底質の嫌気化を防ぐような河川流量管理等の対策が必要であると考えられる。

追記：本報告書は、学位授与申請のために大学評価・学

位授与機構に提出した学修成果報告書をもとに一部の加筆・修正と書式の変更を行ったものである。

## 参考文献

- 1) 須藤隆一：環境修復のための生態工学，pp.191-164，講談社サイエンティフィック，1995。
- 2) 磯部雅彦：海岸の環境創造—ウォーターフロント入門—，pp.58-73，朝倉書店，1994。
- 3) 有田正光，池田裕一，中井正則，中村由行，道奥康治，村上和男：水圏の環境，pp.37-48，学校法人 東京電機大学，1998。
- 4) 宗宮功，津野洋：水環境基礎科学，pp.131-161，コロナ社，1997。
- 5) (社) 全国沿岸漁業振興開発協会：沿岸漁業整備開発事業 増殖場造成計画指針 ヒラメ・アサリ編(平成8年度版)，pp.123-164，1995。
- 6) (社) 日本水産資源保護協会：水産用水基準(2000年度版)，2000。
- 7) 清野聡子，小松利光，安達貴浩，井上徹教，高見徹，中茂義晶，別府五男，郡山貞次：水産生物資源の変動に関する複合的要因の解明過程における課題—大分県番匠川河口干潟のアサリを例として—，第30回環境システム研究論文発表会講演集，pp.71-78，2002。
- 8) 建設省九州地方建設局佐伯工事事務所：佐伯 2000 事業概要，2000。
- 9) 建設省九州地方建設局佐伯工事事務所：水質年表平成1年～平成12年，1989-2000。
- 10) 高見徹，東野誠，井上徹教，中茂義晶，安達貴浩，清野聡子，別府五男，郡山貞次，小松利光：河口干潟の環境と水産生物資源の変動に関する現地観測—大分県番匠川河口干潟のアサリを対象として—，水工学論文集，第47巻，pp.1081-1086，2003。
- 11) 河野晶文，井上雅智，吉野内謙，東野誠，高見徹，中茂義晶，平島英恵，小松利光，井上徹教，清野聡子，高木章次，荒巻重則：番匠川河口干潟底質の酸素消費速度について，土木学会西部支部研究発表会，pp.B446-B447，2004。
- 12) (社) 日本下水道協会：下水試験方法 上巻(1997年版)，1997。

(2006.9.29 受付)