

底質が汚濁した港内での ナマコの摂餌行動について

寒地土木研究所 水産土木チーム ○岡本 健太郎
山本 潤
釧路開発建設部 根室港湾事務所 上平 大介

港内泊地での蓄養が広く実施されているが、残餌が海底に堆積し、底質が悪化することが問題視されている。筆者らは底質改善手法として、ナマコの摂餌生態による底質浄化能力の定量化に向けて検討を行ってきた。しかし、以前の室内試験で使用した堆積物は、ナマコが自然に生息している箇所から採泥したものであり、既に汚濁が進行した箇所の堆積物をナマコが摂餌し、実際に底質浄化能力が発揮できるか疑問が残されていた。本稿では、底質汚濁が進行している落石漁港の堆積物を摂餌物とした場合での、ナマコの摂餌生態に関する室内試験を行った。その結果、好気的な環境下であればナマコは汚濁が進行した堆積物を支障なく摂餌し、摂餌量はナマコが自然に生息する箇所の堆積物より多く摂餌することが確認され、底質浄化効果に大いに期待できることが明らかになった。

キーワード：底質浄化、マナマコ、摂餌行動

1. 目的

現在、港内泊地水面を利用して水産物の出荷調整や蓄養が行われている。しかし、蓄養に伴う残餌や排泄物等が海底に堆積し、嫌気状態となって底質が悪化する原因となる。このような状況を改善するために、当チームでは堆積物食者であるナマコの摂餌生態を利用することで底質改善を行う手法の検討を進めている。平成 18、19 年度には成体ナマコによる底質浄化能力の定量化試験を行った。しかし、試験で使用した堆積物はナマコが自然に生息している箇所から採泥したものであり、ナマコの摂餌物として最適な堆積物である。しかし、底質汚濁が問題視されている漁港が多数あり、既に汚濁した底質をナマコによって改善する場合には、こうした底質をナマコが摂餌できるのか疑問が残されていた。

今回、底質汚濁が進行している落石漁港（写真-1）の底質を摂餌物とした場合の摂餌行動について検討を行った。



写真-1 落石漁港全域

落石漁港では、漁港内の蓄養活動や流況の影響により、底質が堆積し、一部は還元してヘドロ状態となっている。

2. 落石漁港の現状

(1) 水質について

平成 19 年の現地調査によると、落石漁港は寒流（親潮）の影響で、夏期でも水温は 20℃に達しない海域である。水深別の水温分布については、6 月調査において水深 1 m から 3 m 付近で水温の低下が見られたが（図-1）、この付近の塩分濃度は 32‰程度ではほぼ一定であり（図-2）、夏季の強い成層化は生じない海域であるといえる。

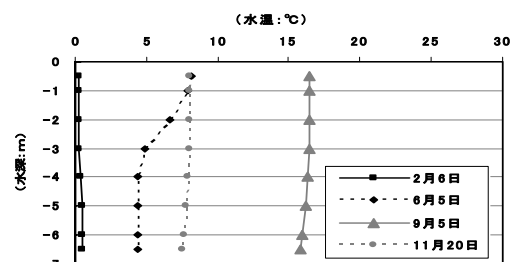


図-1 水温鉛直分布

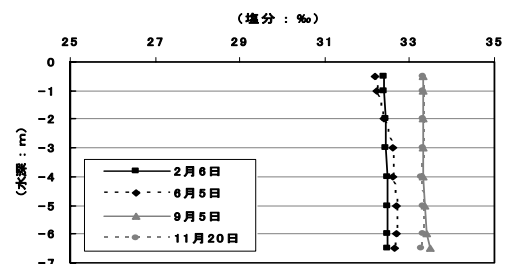


図-2 塩分濃度鉛直分布

次に、海底面付近で採水した水質を分析すると（表-1）、アンモニア態窒素（NH₄-N）の濃度については、夏期では濃度が 0.095mg/L と高く、冬期では 0.013mg/L と低い濃度であった。水産用水基準⁽¹⁾では、海域でのアンモニア態窒素の濃度基準は 0.03 mg/L と記載されており、一部の時期で基準値を超える濃度が確認された。ナマコは、通常は岩礁帯に付着し、摂餌する際には砂泥域に移動することから、岩礁帯及び砂泥域に生息する代表的な水産有用種の毒性値の比較を行った。その結果、主に岩礁帯に生息しているアワビの毒性値が 3.9mg/L、主に砂泥域に生息しているウシエビ（別名：ブラックタイガー）の毒性値が 46mg/L と報告されており、現時点ではナマコの生息に関して特に問題ないと思われる。

懸濁態物質（SS）の濃度については、最も高い値で 17mg/L であった。懸濁態物質が巻き上がりやすい砂泥域に生息するクルマエビについては 50mg/L までは生息に影響を及ぼさないと報告されていることから現時点ではナマコの生息に関して特に問題ないと思われる。

溶存酸素（DO）の濃度については、夏期では濃度が 6.8mg/L で、冬期では 12.4mg/L であり海底面での貧酸素水塊は見られなかった。また、水産用水基準では海域での溶存酸素の基準値は 4.3 mg/L と記載されており、すべての時期において基準値を超えており、ナマコの生息に関して問題ないと思われる。

表-1 水質分析

採水日	NH ₄ -N (mg/L)	SS (mg/L)	DO (mg/L)
H18.11.19	0.092	17	8.7
H18.12.12	0.068	1	9.8
H19.1.10	0.034	6	10.7
H19.2.6	0.014	6	11.2
H19.6.5	0.029	4	10.9
H19.9.5	0.095	4	6.8
H19.11.20	0.047	2	8.8
H20.1.29	0.013	4	12.4

(2) 底質について

底質分析（表-2）の結果から、化学的酸素消費量（COD）については、夏期では濃度が 19mg/g 乾泥と低く、冬期では 46mg/g 乾泥と高い濃度であった。水産用水基準⁽¹⁾では、海域での COD 濃度の基準値は 20mg/g 乾泥と記載されており、夏から秋の期間を除いては基準値を超える濃度であることが確認された。

全硫化物については、夏期では濃度が 1.8mg/g 乾泥と低く、冬期では 3.0mg/g 乾泥と高い濃度であった。水産用水基準では、海域での全硫化物の基準値は 2.0 mg/g 乾泥と記載されており、夏から秋の期間を除いて基準値を超える濃度であることが確認され、COD と同様な傾向を示していることがわかった。

表-2 底質分析

採泥日	COD (mg/g 乾泥)	全硫化物 (mg/g 乾泥)
H18.11.19	28	2.0
H18.12.12	23	3.0
H19.1.10	23	1.8
H19.2.6	27	2.4
H19.6.5	32	2.0
H19.9.5	19	1.8
H19.11.20	16	1.7
H20.1.29	46	2.8

(3) 水質・底質の現状評価

落石漁港の水質・底質の現状を整理すると、水質については、一時的に基準値を超えるアンモニア態窒素の濃度が確認された以外は、いずれも基準内の値を示しており、水棲生物の成育に支障はないと思われる。

一方、底質については一部を除き COD 及び全硫化物が水産用水基準を上回る結果となり、底質汚濁が懸念される。底質汚濁の指標方法として COD と全硫化物と泥分含有率から求める方法（手法①）と強熱減量と全硫化物と泥分含有率から求める方法（手法②）による合成指標⁽¹⁾があり、その結果を表-3 に示した。合成指標の判断基準は、値が正の場合は底質が汚濁された底質であり、負の場合は正常な底質であることから、現時点での落石漁港の底質は汚濁が進行している状況であるといえる。

表-3 合成指標で算定した底質汚濁指標

	手法①	手法②
H18.11.19	1.091	1.448
H18.12.12	1.904	1.928
H19.1.10	1.080	0.799
H19.2.6	1.483	1.339
H19.6.5	1.222	1.102
H19.9.5	0.741	-0.332
H19.11.20	0.489	-0.425
H20.1.29	3.263	0.600

実際に採泥した底質を観察すると、底質の色は黒く、強烈な腐卵臭が漂っており、底質は還元状態なヘドロであることがわかる（写真-2）。しかし、落石漁港では親潮の影響により、夏期でも水温が 20℃に達せず、表層から海底面までの水温差が小さく躍層が存在しない海域であることから、底質の酸素消費による貧酸素水塊は発生していないと思われる。

しかし、表層から海底面までの水温差が拡大すると、次第に躍層が形成され、貧酸素水塊や硫化水素の発生、さらに青潮の発生を招き、水産有用種が死滅することが懸念される。



色が黒く、還元状態の底質（ヘドロ）である。

写真-2 採泥した底質

3. 試験方法

汚濁が進行している落石漁港の底質を摂餌物とした場合での、ナマコの摂餌生態に関する室内試験を行った。対象区として追直漁港で採泥した底質を摂餌物とした。採泥は写真-3の矢印で示すとおり、落石漁港では蓄養水面の中心付近、追直漁港ではナマコの息が多く見られる箇所で行った。

摂餌条件については各港の底質を表層部分（浮泥部分）と深層部分に分けて、ナマコが摂餌するかどうかを観察した。表層部分は直上の海水に含まれる溶存酸素と酸化反応し、茶色で好気的な底質である。一方、深層部分は溶存酸素と酸化反応できないため、黒色で嫌気的な底質であり、いわゆるヘドロである。各港の表層部分と深層部分の底質をそれぞれ用意した水槽に入れ、濁りが収まった時点でナマコを1個体を収容した。なお、水槽に入れた底質の厚さは表層は約1mm（容積約60cm³）、深層は1cm（容積約600cm³）とした（図-3）。水槽に入れた底質はあらかじめTOC（全有機体炭素）、T-N（全窒素）、T-S（全硫化物）、COD（化学的酸素消費量）、強熱減量の底質分析を行い、また、採泥した底質の鉛直方向における酸化還元電位について測定を行った。

摂餌試験は2008年11月に実施し、水温は15℃とし、摂餌期間は4週間と設定した。試験前・試験後には、ナマコの湿重量と底質の湿重量を測定を行い、試験期間中の摂餌量と湿重量変化量を算出した。また試験中、水槽内の溶存酸素の低下とナマコから排出されるアンモニア態窒素の濃度が増加しないために曝気と海水交換を行い、溶存酸素、酸化還元電位、pHを確認しながら水槽内の環境に配慮し試験を実施した。



写真-3 底質の採泥箇所
（左側：落石漁港 右側：追直漁港）



ケース①（落石漁港）
（底質：表層 厚さ1mm）



ケース②（落石漁港）
（底質：深層 厚さ1cm）



ケース③（追直漁港）
（底質：表層 厚さ1mm）



ケース④（追直漁港）
（底質：深層 厚さ1cm）

図-3 ナマコの摂餌試験の検討ケース

4. 試験結果

(1) 底質分析

ナマコの摂餌物に使用した底質の分析結果を表-4に示した。分析の結果、落石漁港の底質は追直漁港に比べ、全ての分析項目において値が高い水準であることがわかった。特にCODについては、落石漁港では34mg/g乾泥であり、水産用水基準の基準値である20mg/g乾泥を上回り、落石漁港での底質汚濁が進行していることを示している。またT-Sについては、ともに基準値の0.2mg/g乾泥を上回った値となり、どちらの底質も腐卵臭が漂っている状況であった。

表-4 底質分析結果

（単位：強熱減量：% その他：mg/g乾泥）

分析項目	落石 (表層)	落石 (深層)	追直 (表層)	追直 (深層)
TOC	16	20	6.6	7.9
T-N	5.7	5.1	2.4	2.2
T-S	1.7	2.3	1.2	0.98
COD	31	34	20	16
強熱減量	9.1	11	7	6.6

(2) 酸化還元電位

次に、鉛直方向の底質汚濁状況を把握するために酸化還元電位の測定を行った。酸化還元電位とは、底質の酸化性物質と還元性物質によって生じる電位の差であり、値がマイナスの場合は還元性がある底質で汚濁が進行している状況である。測定に使用した底質はダイバーによって柱状採泥器を海面下20cmまで打ち込んで採泥した。また、回収時には底質を乱さないように注意を払った（写真-4）。

採泥した底質は、用意した架台に柱状採泥器を差し込み、底質を乱さないで上部に移動させ、底質があふれる寸前まで移動させた後、測定器で酸化還元電位の測定を行った。測定後は底質を2cm上部に移動させ、あふれた

底質を取り除いた後、再び測定器で酸化還元電位の測定した。これらの作業を繰り返し測定を行い、鉛直方向の底質汚濁状況を確認した（写真-5）。

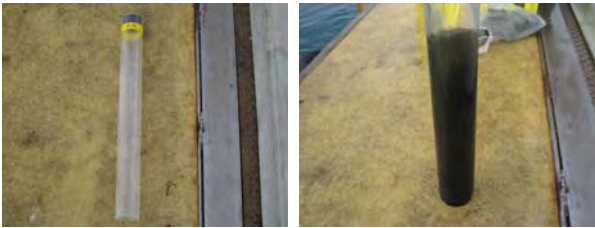


写真-4 採泥に使用した柱状採泥器
(左側：採泥前 右側：採泥後)

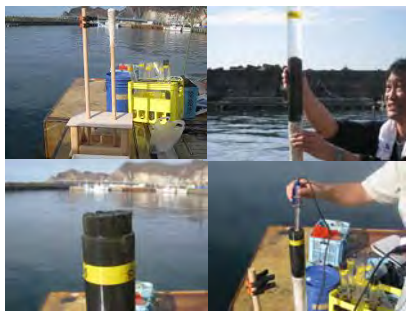


写真-5 酸化還元電位測定状況

(左上) 柱状採泥器を設置する架台
(右上) 架台に設置した柱状採泥器
(左下) 上部に移動させた底質
(右下) 酸化還元電位の測定状況

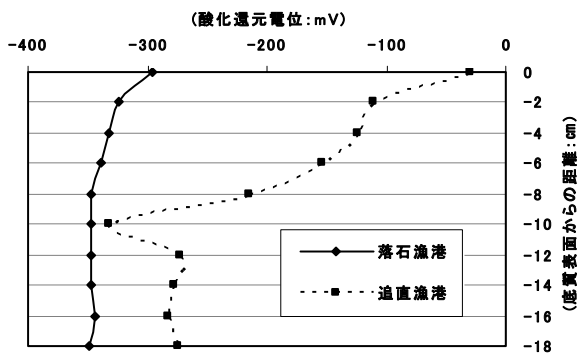


図-4 酸化還元電位の測定結果

酸化還元電位の測定結果について図-4に示した。測定の結果、追直漁港では表層付近では-30~-100mV程度となり、深さ10cm付近までは酸化還元電位が低下していくが、それ以深では酸化還元電位は-300mV程度で変動を示さなかった。一方、落石漁港では表層付近から-300mV程度と著しく低い値を示し、それ以深でも徐々に低下し、酸化還元電位は-350mV程度まで低下した。

測定結果より、追直漁港の底質は堆積物表面から数cmまで好氣的な底質であり、実際にナマコが摂餌している様子も見られた。一方、落石漁港の底質は表層から嫌氣的な底質であり、強烈な腐卵臭が漂うヘドロであることが測定結果から確認できた。

(3) ナマコの摂餌試験

ナマコの摂餌試験の結果を表-5に示した。摂餌試験の結果より、落石漁港を対象としたケース①、②の摂餌行動は非常に活発であり、追直漁港を対象としたケース③、④と比較すると、ケース①はケース③の約5倍、ケース②はケース④の約6倍の摂餌量を示した。その理由として落石漁港の底質は強熱減量の割合が高く、底質に含まれる有機物が豊富であり、ナマコにとって好ましい摂餌物と思われる（写真-6）。

また、摂餌試験による湿重量変化は摂餌量が多いケース①、②で成長量が多い傾向であることがわかった。

表-5 ナマコの摂餌試験の結果

		ケース① 落石表層	ケース② 落石深層	ケース③ 追直表層	ケース④ 追直深層
ナマコ 湿重量 (g)	試験前	141.64	185.70	97.10	134.38
	試験後	152.44	204.06	96.24	143.39
	変化量	10.80	18.36	-0.86	9.01
堆積物 (g)	試験前	85.98	796.71	117.91	922.53
	試験後	0.91	368.00	68.38	852.88
摂餌量 (g)		85.07	428.71	49.54	69.65
備考		10日で 完食			



写真-6 摂餌試験状況

(左上) ケース① 摂餌するナマコ
(右上) ケース① ほぼ完食状態のナマコ
(左下) ケース② 摂餌するナマコ
(右下) ケース② 試験試験後のナマコ

次に、摂餌行動でナマコ内部に吸収される同化量について算出した。本試験では排泄物がうまく回収できなかったため、昨年度に実施した室内試験の結果から同化率0.185 (11月、水温15°C)を準用し⁽²⁾、同化率と摂餌量からナマコ100g/匹での1日当たりの同化量を算出した。算出の結果、落石漁港を対象としたケース①、②で同化量が多く、ケース③、④では少ない傾向となった(表-6)。このことから、底質浄化効果である炭素除去量及び窒素除去量についてもケース①、②の方が多い傾向であり、ナマコによる底質浄化効果が大きいことがわかる。このケース①、②の浄化能力を昨年度室内試験で得た除

去量（表-7）と比較すると炭素除去量では平均的に高い水準を示し、窒素除去量では室内試験を凌ぐ浄化能力を有していることがわかった。

表-6 ナマコの底質浄化効果

	ケース① 落石表層	ケース② 落石深層	ケース③ 迫直深層	ケース④ 迫直深層
同化量 (mg/day/100g)	2.30	1.71	0.08	0.22
炭素除去量 (mg/day/100g)	36.78	34.23	1.42	1.78
窒素除去量 (mg/day/100g)	13.10	8.73	0.52	0.49

表-7 昨年度室内試験で得た除去量

	平均値	最大値
同化量 (mg/day/100g)	1.20	2.03
炭素除去量 (mg/day/100g)	29.13	51.68
窒素除去量 (mg/day/100g)	4.17	6.89

5. まとめ

以上より、ナマコは汚濁が進行した底質を支障なく摂餌できることが確認できた。摂餌量については自然界で摂餌する量より多く摂餌しており、底質浄化効果に大いに期待できると思われる。

しかし、汚濁した底質である以上、底質と直上の溶存酸素と酸化反応により酸素が消費され、貧酸素水塊を形成する恐れがある。実際、試験前に底質を水槽に投入した際に濁りが発生し、この状況での溶存酸素濃度は1mg/Lに満たない値であった（写真-7）。



写真-7 底質を投入した直後の水槽

落石漁港の泊地では1年を通じて水温が低温であり、また港外からの海水交換のおかげで海底面での溶存酸素濃度は正常な値を維持している。しかし、波浪等による濁りの発生で著しく溶存酸素の低下を招く危険性がある。このため、海底面の貧酸素水塊からナマコを守るには、ナマコを一時的に上層部に避難させる基質が必要であり、その1例としてホタテ貝殻礁による生物の生息場の創生が考えられる。ホタテ貝殻礁は堆積物・懸濁物食者の生物増集効果があり、底質浄化能力についてはすでに報告されている⁽³⁾。今後、ナマコ等の水産生物の生息環境に配慮した沿岸構造物の整備手法の1つとして確立していきたい。

参考文献

- 1) 社団法人 日本水産資源保護協会：水産用水基準（2005年版）pp.16-24、62-63、91-93 2006
- 2) 岡本健太郎・山本潤・佐藤朱美：底質改善機能を有するマナモコの摂餌生態に関する室内研究
平成19年度北海道開発局技術研究発表会、港-3 2008
- 3) 岡本健太郎・山本潤・三森繁昭：ホタテ貝殻礁に増集した生物による有機物除去能力の検討
平成20年度土木学会全国大会 2008