

有明海におけるマナマコの低塩分耐性

松本 昌大・杉野 浩二郎
(有明海研究所)

福岡県では、有明海福岡県地先の重要な漁船漁業である潜水器漁業の振興を図るため、マナマコ *Stichopus japonicus* の漁場造成及び種苗放流を行っている。2009年に放流場所の塩分を連続的に観測したところ、梅雨時期に本種の適応塩分とされる値を下回り、また潮の干満にあわせて塩分が大きく変動する現象が観察された。今回、このような特殊な環境を模して、本種の低塩分耐性試験を行ったところ、成体マナマコでは影響がみられなかったが、稚マナマコでは、高水温でより大きく低塩分の影響が認められた。以上のことから、有明海での放流効果を高めるためには、梅雨時期までに十分な大きさになるような早期放流や大型種苗の放流などが必要であると考えられた。

キーワード: マナマコ, 有明海, 低塩分耐性

有明海福岡県地先における潜水器漁業はタイラギを対象として営まれているが、近年、タイラギ資源は低水準にあるため、漁業経営が非常に厳しい状況にある。そこで、潜水器漁業の振興を図るため、有明海福岡県地先ではほとんど生息していないと考えられるマナマコ *Stichopus japonicus* を新たな対象種とするための事業が実施されている。本海域の底質はその全域がほぼ砂泥質あるいは軟泥質であるため、マナマコの3つの型（アカナマコ・アオナマコ・クロナマコ）のうち、内湾性の砂泥域を好む¹³⁾アオナマコを放流種に選定し、図1に示す三池島周辺に2009年9月から種苗放流を実施している。なお、本海域には、マナマコの付着基質となる砂礫岩礁域がほとんどないため、種苗放流前の2009年7月に三池島周辺に投石漁場を造成した。

しかしながら、三池島は筑後川河口の延長線上にあり（図1）、大規模な出水時には放流場所が低塩分にさらされる可能性があるため、放流したマナマコの生残あるいは再生産への影響が懸念される。このため、放流場所における塩分の連続観測を行うとともに、放流場所で観測された塩分変化にあわせた低塩分耐性についての室内試験を行い、新しい知見を得たので、ここに報告する。

方 法

1. 放流場所での水温及び塩分の連続観測調査

稚マナマコを放流した三池島（図1）周辺の水深5mの海底に、高さ約1mの高さになるよう小型メモリー水温塩分計（JFE アレック株式会社, A7CT-USB）を設置し、



図1 三池島位置

2009年5月18日から2010年2月23日まで水温と塩分の連続観測を行った。

2. 成体マナマコの低塩分耐性試験

塩分の連続観測の結果に基づいて、放流場所の底層において、大雨の後に観測される最低塩分とほぼ同じ塩分10に調整した海水（以下、低塩分海水という。）と同海域の平均的な塩分である28の海水（以下、通常海水とい

う。)の交互浸漬の設定を行い、このときの成体ナマコの生死について判別を行った。

低塩分海水を満した150l 容水槽に成体ナマコ15個体を収容し、12時間経過した後、通常海水を満した別の150l 容水槽に移して12時間浸漬した。その後、再び低塩分海水水槽に戻し、12時間経過した後、通常海水水槽に移して、さらに12時間浸漬した(図2)。この間、水槽から移し替える際に、体組織の溶解を確認することで成体ナマコの生死を判別した。

試験に供した成体ナマコは、2010年1~2月に豊前海で採集されたもので、平均体重は約100g であり、室内水槽で4ヶ月飼育し、馴致した。

また、水温による影響も検討するために、20℃及び10℃の2つの温度区を設けた。試験中は無給餌無換水とし、エアレーションを行った。

3. 稚ナマコの低塩分耐性試験

成体ナマコでの試験と同様に、低塩分海水と通常海水の交互浸漬した際の稚ナマコの生死について判別を行った。

150l 容水槽の内部に30l 容の小水槽を設置し、前者には通常海水を、また後者には低塩分海水を満した。30l 容水槽に稚ナマコ100個体を20個体ずつネットに小分けして収容し、12時間経過した後、150l 容水槽の水槽に移して、12時間浸漬した。その後、再び30l 容水槽に戻し、12時間経過した後、150l 容水槽に移して、さらに12時間浸漬した(図3)。

また、成体ナマコと同様に、水温による影響を検討するために、10℃、20℃、25℃の3つの温度区を設けるとともに、通常塩分に48時間浸漬した対照区を設定した。

それぞれの試験区において、水槽から移し替える際に、体組織の溶解を確認することで生死を判別した。判別の難しい稚ナマコは、24時間通常海水に置き、体組織の溶解を確認し、生死の判別を行った。

試験には豊前海研究所で生産した平均全長21.1mm の種苗を用いた。これらは試験開始の1日前に150l 容水槽の水槽に入れ、馴致した。

試験中は無給餌無換水とし、エアレーションを行った。

結 果

1. 放流場所での水温及び塩分の連続観測調査

水温及び塩分の連続観測の結果を図4に示した。

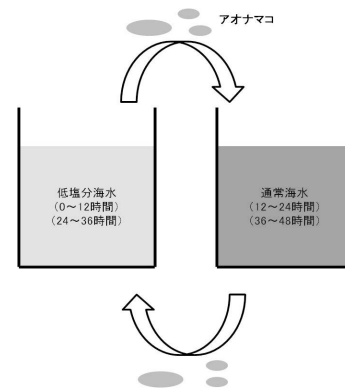


図2 実験装置(成体ナマコ)

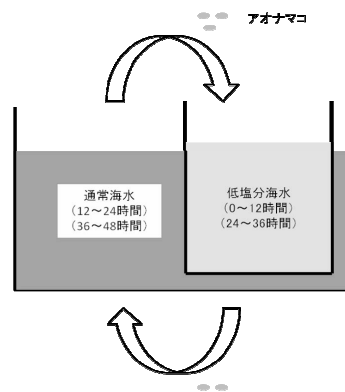


図3 実験装置(稚ナマコ)

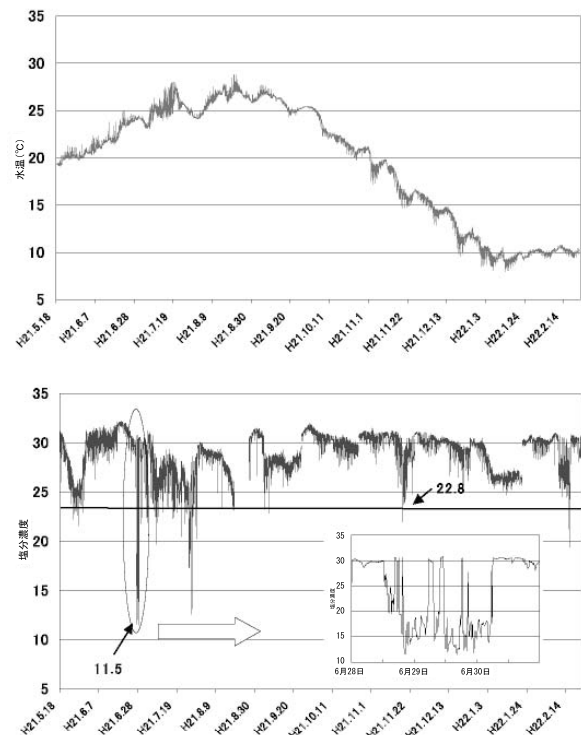


図4 定点における水温塩分の連続的变化

観測期間中の最低水温は、8.0℃で（2010年1月14日）、最高水温は28.8℃であった（2009年8月21日）。

観測された塩分は、最低が11.5（2009年6月29日）、最高は32.1であった（2009年6月20日）。最低塩分が観測された日を含む、2009年6月28日から30日にかけては、気象庁の観測データから柳川市で3日間139.5mmの降水量が記録されるような降雨があった。また、低下した塩分は、12時間後には通常の塩分に回復し、さらに12時間後に再び低塩分になることを繰り返した。このときの水温は24℃前後であった。

なお、塩分については、観測機器の汚れに起因すると思われる異常値は除外した。

2. 成体ナマコの低塩分耐性試験

試験中、低塩分海水に浸した成体ナマコは、体壁が硬化し、外見上活動が停止する状態（図5）が観察されたが、再び通常海水に浸すと、軟化し、活発に動くようになる（図6）など、すべての試験区で成体ナマコの斃死は見られなかった（表1）。

3. 稚ナマコの低塩分耐性試験

試験区別の稚ナマコの生残個体数の推移を表2に示した。また、試験区別の平均生残個体数の推移を図7に示した。

表1 試験区別の成体ナマコの生残個体数の推移

水温設定	試験開始	12時間後	24時間後	36時間後	48時間後	生残率
20℃	15	15	15	15	15	100%
10℃	15	15	15	15	15	100%



図5 低塩分浸漬時の成体ナマコ



図6 通常海水浸漬時の成体ナマコ

試験中、低塩分海水に稚ナマコを浸すと、成体ナマコほど顕著な形状変化はないものの、成体ナマコと同様に、動かなくなった（図8, 9）。また、低塩分海水に浸漬した後、通常海水に移す際に確認したところ、生残はしているものの、体表の色素が溶出しているものがあった。

10℃試験区は試験開始から12時間後（低塩分海水に置いた後）に平均19.8個体とほとんど斃死が見られなかったが、24時間後から生残個体数が減少し、試験の終了した48時間後には平均7.6個体となった。10℃対照区では48時間後までほとんど斃死が見られなかった。最終的な生残率はそれぞれ38%と97%となった。20℃試験区は12時間後には平均生残個体数が平均17.4個体となり、その後も減少を続け、48時間後には平均3.2個体となった。また、20℃対照区は48時間後までほとんど斃死がなかった。

表2 試験区別の稚ナマコの生残個体数の推移

試験区	試験開始	12時間後	24時間後	36時間後	48時間後	生残率
10℃試験区	20	20	19	11	5	25%
	20	19	15	15	6	30%
	20	20	14	14	6	30%
	20	20	12	12	8	40%
	20	20	16	15	13	65%
平均	20	19.8	15.2	13.4	7.6	38%
10℃対照区	20	19	18	18	18	90%
	20	20	20	20	20	100%
	20	20	20	20	20	100%
	20	20	20	20	20	100%
	20	20	19	19	19	95%
平均	20	19.8	19.4	19.4	19.4	97%
20℃試験区	20	20	20	15	7	35%
	20	19	15	14	2	10%
	20	18	9	6	3	15%
	20	15	7	5	1	5%
	20	15	9	7	3	15%
平均	20	17.4	12	9.4	3.2	16%
20℃対照区	20	20	20	20	19	95%
	20	20	20	20	18	90%
	20	20	20	20	17	85%
	20	20	20	20	20	100%
	20	20	20	19	19	95%
平均	20	20	20	19.8	18.6	93%
25℃試験区	20	20	11	4	2	10%
	20	19	13	12	1	5%
	20	20	15	10	1	5%
	20	20	15	11	1	5%
	20	20	15	9	0	0%
平均	20	19.8	13.8	9.2	1	5%
25℃対照区	20	19	19	19	19	95%
	20	20	20	20	20	100%
	20	20	20	20	19	95%
	20	18	18	18	18	90%
	20	20	19	19	18	90%
平均	20	19.4	19.2	19.2	18.8	94%

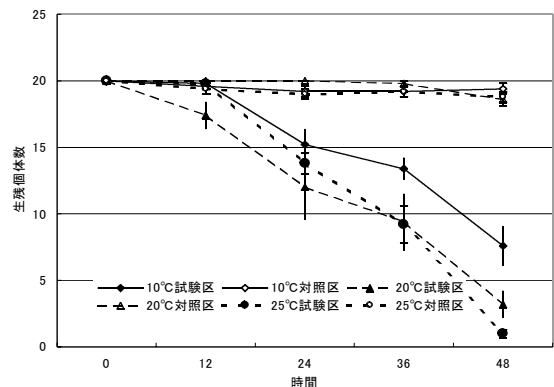


図7 試験別の平均生残個体数の推移



図8 試験開始前の稚ナマコ



図9 低塩分浸漬時の稚ナマコ

最終的な生残率はそれぞれ16%と93%であった。

25℃試験区は、10℃試験区と同様に、12時間後の平均生残個体数が19.8個体とほとんど斃死がなく、生残個体数は24時間後から減少した。また、25℃対照区は、その他の対照区（10℃対照区及び20℃対照区）と同様に、48時間後までほとんど斃死がなかった。最終的な生残率はそれぞれ5%と94%であった。

48時間後の平均生残個体数について、統計処理を行ったところ、10℃試験区と10℃対照区、20℃試験区と20℃対照区、25℃試験区と25℃対照区の間には有意な差があった（t検定： $p < 0.05$ ）。また、10℃試験区と20℃試験区、25℃試験区の間で有意差があり、10℃試験区、20℃試験区、25℃試験区の順に生残個体数が少なくなった（分散分析： $p < 0.05$ ）。なお、10℃及び20℃、25℃対照区の間には有意差はなかった。

考 察

今回観測された塩分の推移は、12時間以内の短時間ごとに低塩分と通常の塩分を繰り返した。これは、有明海湾奥部の潮差は6~7m ある⁴⁾ことから、干潮時には河川水に由来する表層の低塩分水塊が定点の水深まで下がってきて、満潮時には沖からの高塩分水塊に置き換わるためと思われる。本試験は、このような有明海特有の現象にあわせて設定したものである。

また、放流場所で観測された最低塩分は11.5であり、崔²⁾によりアオナマコの適応塩分下限値とされた塩素量

12.6‰（塩分に換算して22.8）、瀧口・小林⁵⁾により塩分下限値とされた浮遊幼生期の20~30、0.4mm サイズでの20~25、5mm サイズでの15、成体期での15~20を大きく下回るため、実際に放流したナマコに影響を与えることが懸念される。

今回の低塩分耐性試験では成体ナマコの場合、塩分10の低塩分でも斃死が見られず、崔²⁾や瀧口・小林⁵⁾の試験と異なった。水温の影響については、崔²⁾は高水温においてより大きい障害が生じるとしており、瀧口・小林⁵⁾は0.4~5mmサイズの稚ナマコ以外は、高水温でより障害が大きいとしている。今回の成体ナマコの試験においては、水温条件に関わらず、斃死がなかったため、両者の知見とは一致しなかった。これらの研究結果と今回の結果の相違は、崔²⁾が最高2か月間、瀧口・小林⁵⁾が48時間であり、今回の試験の低塩分海水への浸漬時間（12時間×2回）より長いことによる可能性はある。

一方、稚ナマコを使った試験では斃死が見られた。25℃試験区、20℃試験区、10℃試験区、25℃対照区、20℃対照区、10℃対照区の順で48時間後の生残個体数が多かった。同一水温では試験区とその対照区の間には有意差があったことから、低塩分条件が稚ナマコの生残に影響を及ぼしていることが明らかになった。瀧口・小林⁵⁾は、今回の試験で供した稚ナマコより小さな5mm サイズのものをを用いて、塩分10のとき15℃、20℃、25℃の水温条件下では、48時間後には試験に供した全数が斃死したことを確認している。今回の試験では全数の斃死までには至っていないものの、この知見と似た傾向が見られた。また、各試験区の間で有意差があり、対照区の間には有意差がなかったことから、高水温のとき、低塩分条件での稚ナマコの生残に対し、より大きな影響を与えることが明らかになった。このことは、崔²⁾や瀧口・小林⁵⁾の見解と一致した。

今回の試験結果から成体ナマコについては、放流場所で観測されたような低塩分の条件下では、その影響はほとんど受けないと推定された。しかし、稚ナマコ（20mm サイズ）については、このような条件下では大きな影響を受けると推定され、特に、高水温のとき、より大きな影響を受けていることから、水温が20℃以上で低塩分になりやすい時期（梅雨時期や台風時期）の放流は低塩分による斃死を招く危険性がある。

過去の研究^{6,7)}では、梅雨時期である6月や7月初旬に放流された例もあるが、0.3mm サイズと非常に小さい。瀧口・藤本⁶⁾によると、放流サイズは大きいほど生残率が高く、7月初旬に放流した0.3mm サイズの放流群は、10月に放流した6mm サイズと比べ、生残率が100分の1であった。中島ら⁸⁾によると、平均15.6mm の放流群と

平均29.4mmの放流群では、残留率が前者で7.4%、後者で47.0%である。このことから、少なくとも放流サイズを30mm以上にすることで高い残留率を期待できるとしている。いずれにしろ、これらのようなサイズによる残留率の違いが低塩分耐性によるものかどうかは言及されていない。今回、2009年7月に造成した三池島周辺の漁場には、2009年9月に平均5.9mmの稚ナマコを1,300個体、2009年11月に平均25.3mmの稚ナマコを24,200個体放流した。後者は6~7月の梅雨時期を経験しても生存が確認されているが、前者は2010年7月から放流場所で確認できなくなった(未発表)。小型の個体は付着力が弱い、斃死ではなく、潮流による散逸の可能性も考えられる。⁹⁾放流した際のサイズで平均5.9mmの稚ナマコが確認できなくなり、より大きな平均25.3mmの稚ナマコの生残が確認されたことが、低塩分による影響によるのかについての検証は、今後の課題である。

アオナマコは崔²⁾によると水温17.5°Cから19.0°C以下で、光永・松村¹⁰⁾によると崔²⁾よりも低い水温で、活動期になり、摂餌活動が活発になる。放流ナマコは、瀧口・藤本⁶⁾によると0.3mmサイズの稚ナマコが放流後1年で、真崎ら¹¹⁾によると30mmサイズの稚ナマコが8カ月で体重約30gに成長する。したがって、アオナマコが低塩分耐性を獲得するサイズの検討は今後の課題であるが、放流したナマコは低水温期に成長するもので、低塩分期になるまでにはできるだけ大きくなるよう、早期に放流することや大型種苗の放流を検討する必要がある。

ところで、マナマコの産卵期は、福岡県豊前海海域では4~6月(盛期は5月下旬~6月下旬)、¹²⁾長崎県大村湾では3月上旬~5月下旬(盛期は4月)¹³⁾とされている。有明海でも放流したアオナマコが成熟すれば、同じような時期に産卵期となると予想される。ナマコは受精から稚ナマコに変態するまでに約20日を要する³⁾ことから、観測された低塩分が起りやすい6~7月は、その年生まれの当歳ナマコは、浮遊幼生期にあたる。この時点でナマコはまだ低塩分耐性を獲得していないため、今回観測されたように、6~7月に低塩分となれば、斃死する可能性があり、再生産が困難と考えられる。このことから、三池島周辺では放流したナマコは、一代取り切り型になる可能性がある。今後、増殖を目的として有明海にナマコを放流する場合、三池島よりも低塩分になりにくい放流場所の選定も必要であると考えられる。

文 献

- 1) 崔相, 大島泰雄: ナマコにみられる「アオ」と「アカ」の形態及び生態的差異について. 日本水産学会誌 1961; 27(2): 97-106.
- 2) 崔相: なまこの研究, 海文堂, 東京. 1963.
- 3) 武田正倫: 棘皮動物, 「水産無脊椎動物II」(奥谷喬司編), 恒星社厚生閣, 東京. 1994; 329-339.
- 4) 佐藤正典, 田北徹: 有明海の生物相と環境, 「有明海の生きものたち」(佐藤 正典編), 海游舎, 東京. 2000; 10-36.
- 5) 瀧口克己・小林信: マナマコ *Stichopus Japonicus* SELENKA の生理・生態について - I - 成長段階別の塩分変化抵抗性および稚ナマコ期の摂餌量 - . 福岡県豊前海研究所研究報告 1986; 53-58.
- 6) 瀧口克己・藤本敏昭: マナマコ *Stichopus Japonicus* SELENKA の増殖に関する研究 - X 人工種苗放流試験. 福岡県豊前水産試験場研究報告 1989; 第2号: 143-150.
- 7) 瀧口克己・藤本敏昭・神菌真人: マナマコ *Stichopus Japonicus* SELENKA 人工種苗の大量放流による漁場形成に関する研究 - I - 放流場所別放流効果と放流ナマコの成長 - . 福岡県豊前海研究所研究報告 1990; 第3号: 53-62.
- 8) 中島幹二・坂東忠男・吉村圭三・瀧谷明朗: 宗谷海峡におけるマナマコ人工種苗放流サイズの検討. 北水試研報 2004; 67: 97-104.
- 9) Tanaka M.: Diminution of Sea Cucumber *Stichopus japonicus* Juveniles Released on Artificial Reefs. *Bull. Ishikawa Pref. Res. Center.* 2000; 2: 19-29.
- 10) 光永直樹・松村靖治: サイズ別に放流した人工稚ナマコの成長と生残. 長崎県水産試験場研究報告 2004; 第30号: 7-13.
- 11) 真崎邦彦・山浦啓治・青戸泉・大隈齊・金丸彦一郎・伊東義信: 人工礁へ放流したマナマコ種苗の移動, 分散及び成長. 水産増殖 2007; 55(3): 355-366.
- 12) 石田雅俊: マナマコの種苗生産. 栽培漁業技術開発研究 1979; 8(1): 63-75.
- 13) 酒井克己・小川七朗・池田修二: 大村湾におけるマナマコの天然採苗. 栽培漁業技術開発研究 1980; 9(1): 1-20.