

熊本港に造成された「なぎさ線」における 生物生息環境の空間分布特性

THE CHARACTERISTICS OF SPATIAL DISTRIBUTION OF HABITAT
AT "THE ARTIFICIAL SHORELINE", IN KUMAMOTO PORT

増田龍哉¹・滝川清²・森本剣太郎³・畑田紀和⁴・新井雅士⁵
Tatsuya MASUDA, Kiyoshi TAKIKAWA, Kentaro MORIMOTO,
Norikazu HATADA and Masashi ARAI

¹正会員 熊本大学研究員 沿岸域環境科学教育研究センター (〒860-8555 熊本市黒髪2-39-1)

²フェロー 工博 熊本大学教授 沿岸域環境科学教育研究センター (〒860-8555 熊本市黒髪2-39-1)

³正会員 博(工) 熊本大学研究員 沿岸域環境科学教育研究センター (〒860-8555 熊本市黒髪2-39-1)

⁴学生会員 熊本大学 工学部環境システム工学科 (〒860-8555 熊本市黒髪2-39-1)

⁵学生会員 熊本大学大学院 自然科学研究科 (〒860-8555 熊本市黒髪2-39-1)

Ariake Bay, a typical closed bay on the west of the Kyushu Island, is a sea area where a vast tidal flat develops. Recently, various environmental degradations are reported occur in Ariake Bay, as red tidal and anoxic water. In this study, the ecosystem formation process by recovery of shoreline, the aim in this method is to establish the technology that can artificially restore the tidal flat and the shoreline in front of embankment development and to recover and maintain the ecosystem, was investigated in Ariake Bay. We investigated the characteristics of spatial distribution of habitat from relation to topography, sediment and distribution situation of benthos. As the result, the peculiar environment such as water-route influences distribution situation of benthos.

Key Words : *Ariake Bay, recovery, tidal flat, shoreline, benthos, ecosystem*

1. はじめに

有明海は九州西部に位置しており、我国の干潟総面積の約 40%に及ぶ広大な干潟(約 190km²)が発達した大型閉鎖性内湾である。近年、この有明海において赤潮発生件数の増加、貧酸素水塊の発生、底質環境の悪化に代表される環境悪化が慢性化し、悪循環に陥っているものと懸念されている¹⁾。その原因は地球温暖化や長年にわたる負荷の蓄積等様々な事象が考えられるが、沿岸域の開発や海岸線の人工化による、干潟や潮間帯から潮上帯までの連続した地形の場所(以下なぎさ線)の減少も原因の一つとして挙げられる。

本来、水辺や海岸線にあたる干潟やなぎさ線は、陸域から供給される土砂が潮汐や潮流等によって、長い年月をかけて浸食や堆積を繰り返すことで形成され、陸から海までをつなぐ連続した地形を有する多様な場所である。そして、その多様な環境条件の下で高い一次生産をもつ場所といわれており、その一次生産に支えられて底生生物や魚類、鳥類といった多種多様な生物が生息・来訪し、産卵、稚仔魚の

生育の場としても機能している。さらに、そういった生物活動の下、食物連鎖を通じた物質循環がバランス良く効率的に行なわれることで高い浄化機能を有している²⁾。しかし、有明海の干潟やなぎさ線は、江戸時代以前から戦後の食糧難の時代にかけては主に農地を広げるために干拓が行なわれ、高度経済成長期には工場や港湾施設等を造るために埋め立てられてきた。さらに、そういった農地等を防護するための防災目的で堤防が構築され、堤防前面に干潟はあるものの、潮上帯から潮下帯までの連続した地形をもった場所は姿を消している。

以上のことより、有明海の干潟海域環境を回復・保全するために、生物や塩生植物等の生息場であるなぎさ線を人工的に造成し、干潟生態系が有している自己再生機能(浄化機能)を回復(復元)させる「なぎさ線の回復」という対策工法の現地実証試験を行なっている。

本研究では、なぎさ線の回復技術を確立することを最終目的として、なぎさ線の地形、底質環境と定着した生物の分布状況との関係から、生物生息環境の空間分布特性について調べた結果を報告する。

2. 現地実証試験の概要

(1) なぎさ線の概要

熊本港は、有明海の湾中央部東側に位置し、船舶が利用する岸壁を除いて、周囲を石積み護岸によって囲まれた人工島である。この熊本港の東側と北側に「東なぎさ線」、「北なぎさ線」を造成した。

各なぎさ線の位置を図-1、概況と調査地点の位置を図-2に示し、概要を以下に記す。

東なぎさ線を造成した熊本港東護岸前面は、地盤高が約 T.P. $\pm 0.00\text{m}$ 、中央粒径が約 0.06mm の泥質干潟で、対岸の干拓地まで平坦な干潟が広がっている。潮流は上げ潮時は北向き、下げ潮時には南向きへ流れており、波浪の影響を受けにくい場所である。ここに、H.W.L. から現地盤の T.P. $\pm 0.00\text{m}$ まで、幅 $100\text{m} \times$ 奥行 100m の範囲で、潜堤をカテナリー曲線形に設定し、ちどり状に配置した。中央粒径が約 0.79mm の有明海産の海砂で覆砂を施し、中央部勾配は約 $1/30$ で、護岸の前面には潮上帯付近の覆砂の流出を防ぐための突堤が2本、中央部には生物の生息環境に多様性を持たせるための島堤が3箇所配置されており、2005年10月に造成が完了した。

北なぎさ線を造成した熊本港北護岸前面は、地盤高が約 T.P. -2.00m 、中央粒径が約 0.04mm の泥質干潟で、 100m ほど沖に離岸堤が設置されている。潮流は、上げ潮時は東向き、下げ潮時には西向きへ流れており、波浪や季節風の影響を受けやすい場所である。ここに、H.W.L. から現地盤の T.P. -2.00m まで、土砂流失を防ぐための長さ 50m の突堤を 40m 間隔で2本配置した。そこに、中央粒径が約 0.02mm の熊本港近郊の航路浚渫土砂を下層（現地盤から T.P. -1.50m まで）、浚渫土と中央粒径約 0.18mm の海砂を50%ずつ混合した土砂を中層、海砂のみを表層（厚さ 0.5m ）に使用した3層構造になっている。勾配は約 $1/12$ で、軟弱な浚渫土砂の流出を防ぐため、護岸から約 40m 沖に中仕切堤が設置されており、2006年9月に造成が完了した。

(2) 調査概要

各なぎさ線において、造成直前から定期的に地形、底質、生物調査を実施しているが、2007年4月までは、なぎさ線のセンターラインにおける代表地点で調査を行っていた³⁾。しかし、これまでの調査結果から、なぎさ線内の代表的なデータ取得がセンターラインだけでは不足しているため、2007年5月からは面的な調査を行った。

2007年5月からの調査地点を図-2示し、各調査の概要を以下に示す。

a) 地形調査

2007年5月と10月の大潮干潮時に、トータルステーションを用いて、東なぎさ線では、東西方向に 130m 、南北方向に 100m を 10m メッシュ、北なぎさ線では、東西方向に 80m 、南北方向に 95m を 5m メッシュで測量した。

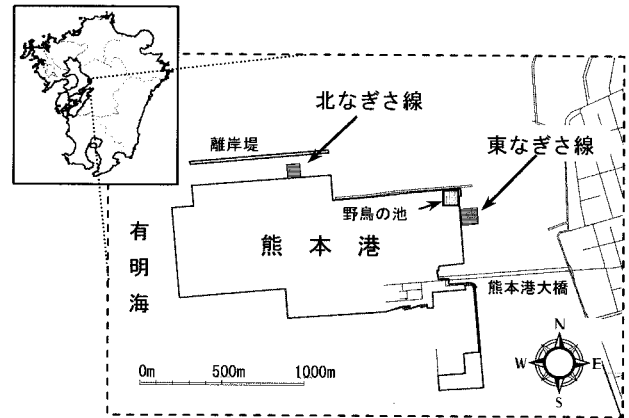
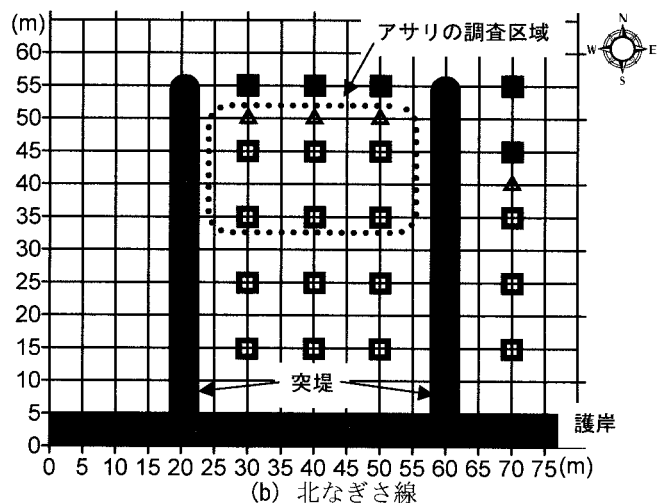
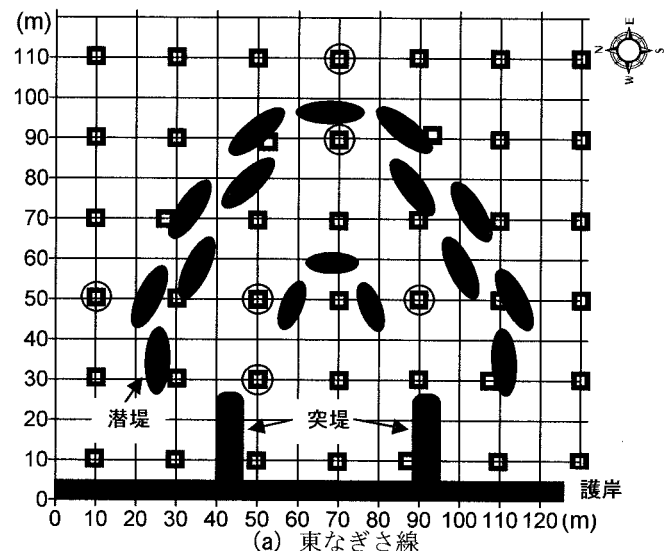


図-1 調査対象地位置図



□ 底質・半定量調査, ■ 底質調査のみ, △ 半定量調査のみ, ○ 定量調査

図-2 なぎさ線の概況と調査地点の配置

b) 底質調査

2007年5月と10月の大潮干潮時に、東なぎさ線42地点、北なぎさ線20地点で表層 5cm の試料を採取し、粒度分布、IL、COD_{sed}、T-S、T-N、含水率の分析を

行った。また、2007年7月と2008年1月は同地点で粒度分布のみを調べた。

c) 生物調査

2007年5, 7, 10月, 2008年1月の大潮干潮時に、各なぎさ線において定性調査、半定量調査、2007年5, 10月, 2008年1月に東なぎさ線の6地点で定量調査を行った。定性調査は、石積みや滞筋周辺等の局所的な環境を中心に目視観察を行い、なぎさ線に生息する生物の種数を把握した。半定量調査は、50cm×50cmのコドラート内をハンドスコップで掘り返し、直接底生生物を採取して、現地で個体数及び湿重量の計測と種の同定を行った。なお、半定量調査の調査地点は底質調査と同じ場所である。定量調査は、25cm×25cmのコドラートを用いて2回/地点で底泥を採取し、1.0mm目の篩にかけ、篩上に残った底生生物を採取した。採取した生物は、現地で中性ホルマリンで固定後、試験室に持ち帰り、個体数及び湿重量の計測と種の同定を行った。また、北なぎさ線ではアサリの稚貝が大量に確認されたため、アサリ調査区域を設け、5mメッシュ（28地点）で10cm×10cmコドラートで採取し、1.0mm目の篩にかけ、篩上に残ったアサリを採取した。採取したアサリは、現地で個体数と湿重量を測定した。

3. 地形変化と底質の空間分布

(1) 地形変化

東なぎさ線のセンターラインにおける横断変化を図-3、造成直後（2005年10月）と造成2年後（2007年10月）の地形図を図-4に示す。

東なぎさ線は、造成半年後から造成1年後までに台風の影響で大きく浸食されたものの、造成2年後までは大きな地形変化はみられなかった。平面的な地形変化を見ても全体的に浸食されており、突堤間で約70cm浸食され、浸食された土砂は護岸道路と突堤の北側と南側に堆積した。また、護岸から60～90mの中央部と中央より南側で浸食が大きく、浸食された土砂は図中北東側に向かって広く堆積している。これは、地形変化傾向から、上げ潮時の潮流によるものと考えられる。

北なぎさ線のセンターラインにおける横断変化を図-5、造成直後（2006年9月）と造成1年後（2007年10月）の地形図を図-6に示す。

北なぎさ線は造成1ヶ月後までに常時の潮流や波浪によって、T.P. ±0.00m よりも高い場所で大きく浸食された。この浸食された場所は、離岸堤よりも地盤が高い場所で、そこよりも地盤が低い場所では目立った浸食がみられていないことから、離岸堤が北なぎさ線の地形変化に影響しているといえる。その後、造成1年後までは目立った地形変化はみられなかった。平面的な地形変化を見ると、突堤間ではセンターラインと概ね同じような変化を示しており、

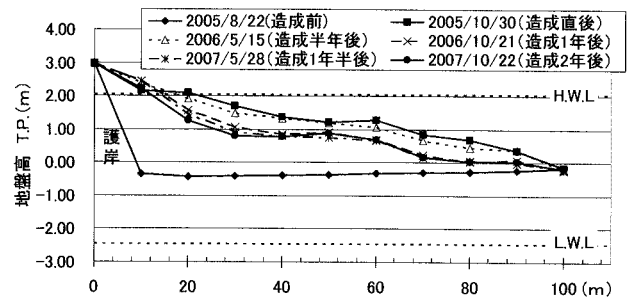


図-3 東なぎさ線のセンターラインにおける横断変化

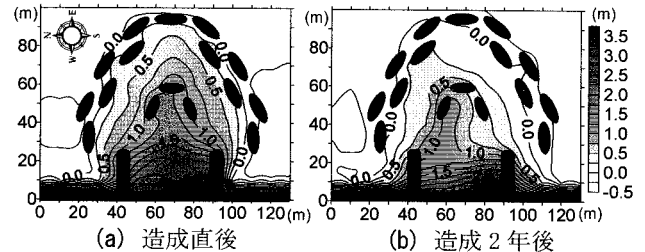


図-4 東なぎさ線における造成直後と造成2年後の地形図

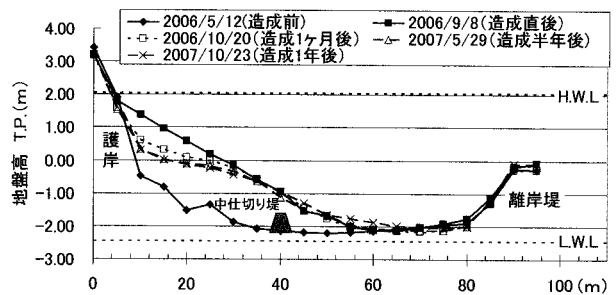


図-5 北なぎさ線のセンターラインにおける横断変化

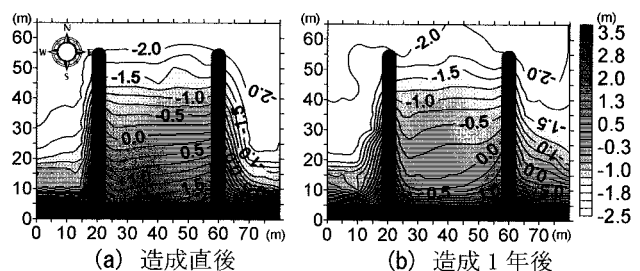


図-6 北なぎさ線における造成直後と造成1年後の地形図

浸食された土砂は東側突堤の背後に堆積した。

(2) 底質の空間分布

東なぎさ線の造成1年半後（2007年5月）と造成2年後（2007年10月）における、計84地点分の底質と地盤高の相関マトリクスを表-1、造成2年後における含泥率、含水率、COD_{sed}、T-Sの分布を図-7に示す。

底質と地盤高の相関をみると、含泥率と含水率、有機物の指標であるCOD_{sed}とILの相関が高く、地盤高とは負の相関がみられた。また、T-Sは有機物が嫌気的な条件下で分解された副産物として生成されるため、COD_{sed}とILの相関が高くなっている。

ちどり状の潜堤内側における造成直後の底質は、センターライン上で含泥率が30%以下、含水率が

表-1 東なぎさ線における底質と地盤高の相関マトリクス

	含泥率 (%)	含水率 (%)	CODsed (mg/gdry)	IL (%)	T-S (mg/gdry)	T-N (mg/gdry)	地盤高 (m)
含泥率 (%)	1.00						
含水率 (%)	0.82	1.00					
CODsed (mg/gdry)	0.69	0.84	1.00				
IL (%)	0.77	0.87	0.88	1.00			
T-S (mg/gdry)	0.40	0.55	0.73	0.62	1.00		
T-N (mg/gdry)	0.72	0.84	0.93	0.96	0.63	1.00	
地盤高 (m)	-0.76	-0.74	-0.49	-0.47	-0.29	-0.46	1.00

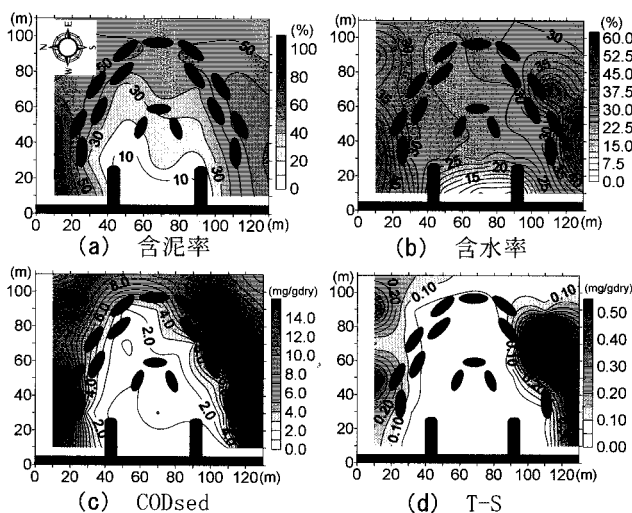


図-7 東なぎさ線における底質の分布(造成2年後)

概ね25%以下，CODsedが0.5mg/gdry前後，T-Sが0.05mg/gdry以下であった。

含泥率は造成1年後に護岸から90mの地点で表層1.0cmに泥分の堆積が確認され，造成2年後は地盤高がT.P.+0.5m以下の場所で含泥率が増加している。東なぎさ線を造成した場所は，造成前は泥質干潟であったため，地盤高の低い場所で徐々に泥分が堆積したものと考えられる。含水率は造成1年後に若干増加し，地盤高が低くなるにつれて高い傾向がみられた。造成2年後は地盤高がT.P.+1.5m以下の場所で，25～30%と広い範囲で含水率の増加がみられた。これは，泥分の堆積によるものと考えられる。CODsedは造成1年後に護岸より90m地点の表層で5.0mg/gdryと増加し，造成2年後は含泥率の増加がみられた場所で増加しているものの，概ね5.0mg/gdry以下であった。T-Sは造成1年後まで大きな変化は見られず，造成2年後は有機物の堆積はみられるが，硫化物の増加は認められず，好気的な環境が維持されている。

北なぎさ線の造成半年後（2007年5月）と造成1年後（2007年10月）における，計40地点分の底質と地盤高の相関マトリクスを表-2，造成1年後における含泥率，含水率，CODsed，T-Sの分布を図-8に示す。

底質と地盤高の相関をみると，概ね東なぎさ線と同じ傾向を示しているが，含泥率と含水率，T-Nと各項目の相関が低くなっている。これは，地形の浸食によって，浚渫土と海砂の混合層が露出している

表-2 北なぎさ線における底質と地盤高の相関マトリクス

	含泥率 (%)	含水率 (%)	CODsed (mg/gdry)	IL (%)	T-S (mg/gdry)	T-N (mg/gdry)	地盤高 (m)
含泥率 (%)	1.00						
含水率 (%)	0.63	1.00					
CODsed (mg/gdry)	0.80	0.77	1.00				
IL (%)	0.80	0.70	0.88	1.00			
T-S (mg/gdry)	0.53	0.49	0.70	0.59	1.00		
T-N (mg/gdry)	0.47	0.48	0.59	0.47	0.53	1.00	
地盤高 (m)	-0.70	-0.77	-0.61	-0.62	-0.31	-0.32	1.00

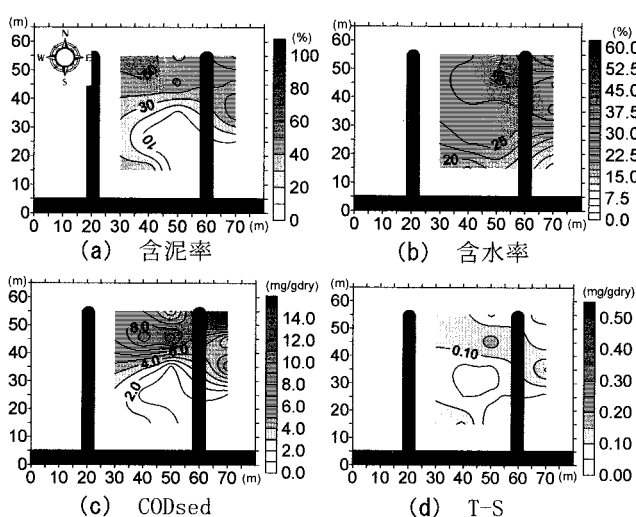


図-8 北なぎさ線における底質の分布(造成1年後)

場所があるためと考えられる。

造成直後の底質は含泥率が30%以下，含水率が概ね30%以下，CODsedが3.0mg/gdry以下，T-Sが0.05mg/gdry以下であった。

含泥率は造成1年後に地盤高の低い場所と，護岸から15～20mの西側で含泥率が増加している。これは，東なぎさ線と同様，造成前は泥質干潟であったため，地盤高の低い場所で徐々に泥分が堆積したものと考えられる。また，地盤の高い場所では地形の浸食によって，浚渫土と海砂の混合層が露出しているためと考えられる。含水率は造成1年後も大きな変化は無く，CODsedとT-Sは含泥率が高くなっている場所で増加した。北なぎさ線は東なぎさ線よりも地盤高が低いため，干出時間が短いことから，有機物やT-Sの増加がみられたと考えられる。

4. 生物生息環境の空間分布特性

(1) 出現生物種数の変化

東なぎさ線における造成前からの底生生物と石積み付着生物種数の経時変化を図-9，東なぎさ線で確認された底生生物を，ちどり状潜堤の内側（東なぎさ線内），外側（東なぎさ線外），内側と外側で共通して確認された種数，調査区域で確認された総確認種及び熊本県レッドリスト(2004)や環境省レッドデータブック等に記載されている注目種の種数を図-10に示す。

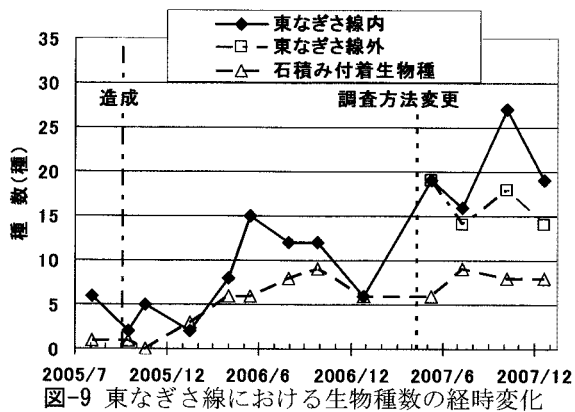


図-9 東なぎさ線における生物種数の経時変化

潜堤や突堤の石積みに付着している生物は、フジツボやタマキビガイ等で、造成半年後からは造成2年後まで種数の増加はみられなかった。

干潟に生息する生物は、造成半年後に多くの生物が定着し、種数が増えたものの冬季にやや減少し、造成1年半後の春季には再度増加した。これは、新たな生物の加入と、定量調査を追加するとともに、面的な調査を実施することで、このような結果となったと考えられる。造成2年3ヶ月後までの調査で、東なぎさ線内では巻貝綱12種、二枚貝綱14種、ゴカイ綱8種、軟甲綱25種、硬骨魚綱等その他5種の計64種が確認された。東なぎさ線外では巻貝綱9種、二枚貝綱12種、ゴカイ綱6種、軟甲綱19種、硬骨魚綱等その他6種の計52種が確認された。東なぎさ線内外で共通種を除いて合計すると巻貝綱13種、二枚貝綱17種、ゴカイ綱11種、軟甲綱30種、硬骨魚綱等その他8種の計79種が確認され、その中には、イチョウシラトリやハクセンシオマネキ等の注目種も18種確認されている。

北なぎさ線においても、東なぎさ線と概ね同様の生物が生息しており、造成半年後に多くの生物が定着し、冬季にやや減少する傾向を示した。造成1年4ヶ月後までの調査で、北なぎさ線内では巻貝綱11種、二枚貝綱7種、ゴカイ綱7種、軟甲綱21種、ナマコ綱等その他4種の計50種が確認された。北なぎさ線外では巻貝綱7種、二枚貝綱4種、ゴカイ綱10種、軟甲綱12種、ナマコ綱等その他3種の計31種が確認された。北なぎさ線内外で共通種を除いて合計すると巻貝綱12種、二枚貝綱10種、ゴカイ綱16種、軟甲綱24種、ナマコ綱等その他5種の計67種が確認され、その中には、サキグロタマツメタ等の注目種も11種確認されている。

東なぎさ線や北なぎさ線を造成した場所は、砂～砂泥質の干潟であったが、泥化が進行しており、砂～砂泥質干潟を好む生物は姿を消しつつある。しかし、なぎさ線を造成することで、それらの生物の生息場が復元できることが実証され、生物種の多様な場が、外側の干潟を含めて空間的に創成されている。

(2) 生物生息環境の空間分布特性

東なぎさ線の造成2年後における底生生物の総個体数と、東なぎさ線外で出現頻度が高いヤマトオサ

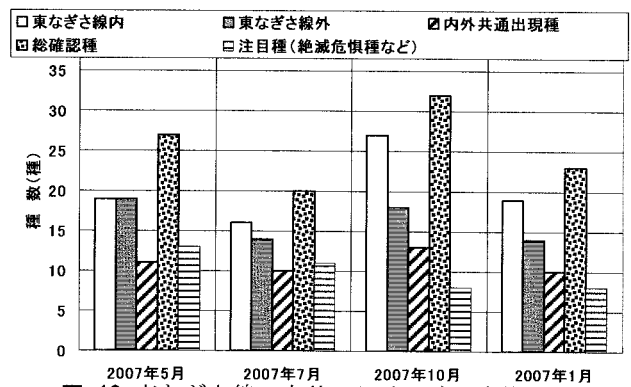


図-10 東なぎさ線の内外における確認生物種数

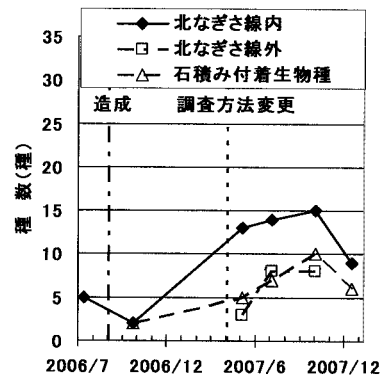


図-11 北なぎさ線における生物種数の経時変化

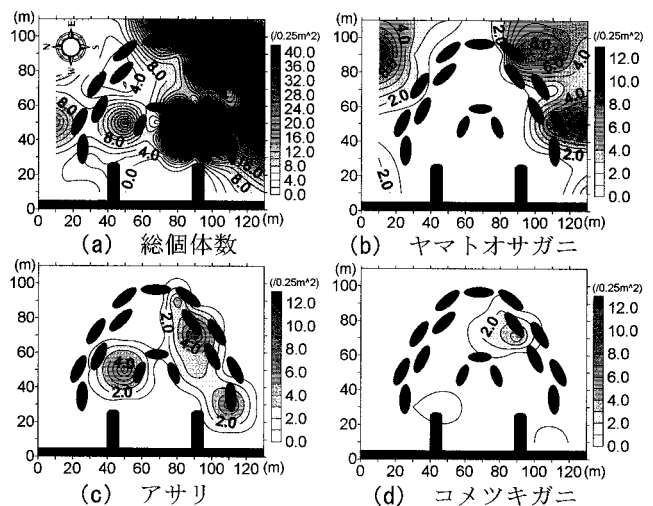


図-12 東なぎさ線における生物の生息分布(造成2年後)

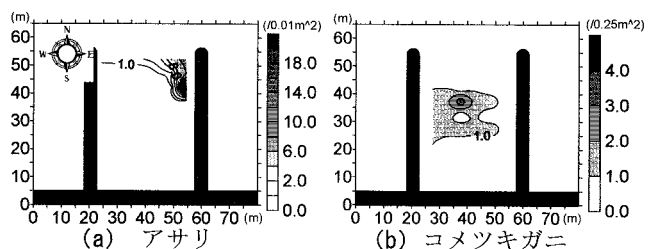


図-13 北なぎさ線における生物の生息分布(造成1年後)

ガニ、東なぎさ線内で出現頻度が高いアサリ、コメツキガニの生息分布を図-12、北なぎさ線内で出現頻度が高いアサリ、コメツキガニの生息分布を図-13に示す。

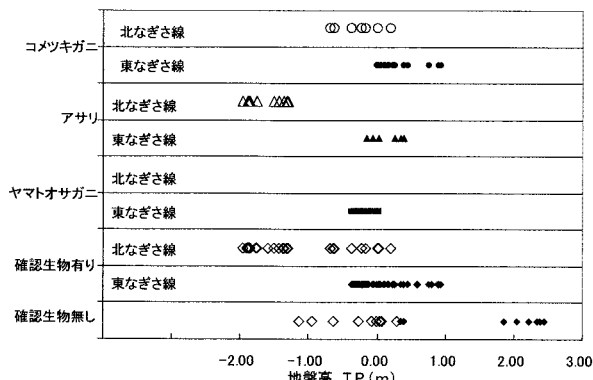


図-14 なぎさ線における地盤高と生物の生息範囲

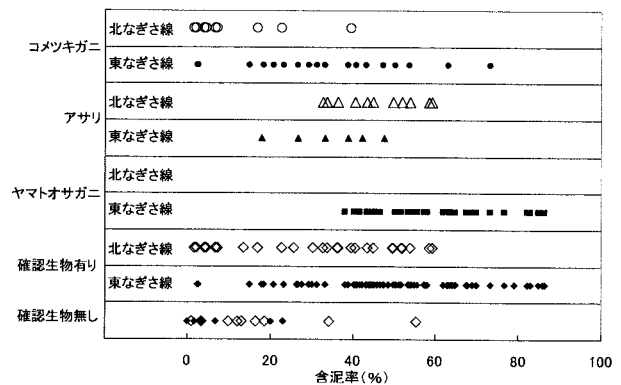


図-15 なぎさ線における含泥率と生物の生息範囲

総個体数の分布を見ると、中央部護岸側の地盤高の高いところでは全く生物が生息していない。これは、地盤高が高いため干出時間が長く、含水率が低いことや、生物の餌となる有機物が少ないためと考えられる。しかし、同じ熊本港に造成されている人工潟湖干潟「野鳥の池」では、地盤高が高い場所でも多くの生物が生息している⁴⁾。「野鳥の池」は含泥率が約 70%の泥質干潟で、塩生植物が繁茂していることや、石積み護岸で外海と隔てられているため波当たりが弱いこと等が東なぎさ線とは異なっていることから、今後は地盤の高い場所の含泥率を増やし、外力を抑えるといったことも検討する必要がある。東なぎさ線内で局所的に個体数が多くなっている場所は、懸濁物食者であるアサリ等の二枚貝が多い場所である。この場所は、なぎさ線の地盤内部に保持された海水が、干潮時に徐々に流出して滞りが形成されている場所であることから、底質や地盤条件以外にも局所的な環境が生物の生息に影響していることが示唆された。ヤマトオサガニは含泥率が高く、有機物が多い場所で個体数が多い傾向を示している。コメツキガニは東なぎさ線内で地盤高が T.P. ± 0.00m~+0.90m、含泥率が 0~60%の場所で生息が確認されているが、今回の調査データからは生息分布の明確な特徴は確認できなかった。

北なぎさ線のアサリの生息分布をみると、地盤高が T.P. -1.00m 以下で東側に多く分布している。これは、北なぎさ線では浸食された土砂は東側突堤の背後に堆積していることから、潮流によって土砂と一緒に定着したアサリの稚貝が流されたためと考えられる。また、東なぎさ線では、造成 2 年後にアサリの定着が確認されたが、北なぎさ線では造成半年で多くのアサリが定着した。これは、北なぎさ線の造成場所の現地盤が東なぎさ線よりも低いため、懸濁物食者であるアサリの生息に適していたためと考えられる。コメツキガニは地盤高が T.P. -0.70~± 0.00m、含泥率が 0~40%の場所で生息が確認されているが、今回の調査データからは生息分布の明確な特徴は確認できなかった。

なぎさ線における地盤高と生物の生息範囲を図-14、含泥率と生物の生息範囲を図-15 に示す。なお、東なぎさ線は造成 1 年半後と 2 年後、北なぎさ線は造成半年後と 1 年後のデータを用いた。

地盤高をみると、個別の生物は成帯分布がみとれる。東なぎさ線と北なぎさ線を比較すると、コメツキガニは概ね同じ地盤高の場所で確認されているが、東なぎさ線のアサリは、北なぎさ線では生息していない地盤高の場所で生息が確認されている。これは、前述したように、東なぎさ線で滞りが形成されているためと考えられる。含泥率でみると、コメツキガニは生息分布が広がっている。今回の底質データは表層のデータであるため、今後底質の鉛直分布も調べ、より詳細に空間分布を把握する必要があると考えられる。

5. おわりに

なぎさ線の地形、底質環境と定着した生物の分布状況との関係から、生物生息環境の空間分布特性について調べた。その結果、なぎさ線を造成することで、生物種の多様な場を空間的に創成でき、地盤高や底質環境以外にも滞等の局所的な環境が生物の生息に大きく影響していることが明らかとなった。

謝辞：本研究は、文部科学省科学技術振興調整費重要課題解決型研究等の推進「有明海生物生息環境の俯瞰型再生と実証試験（平成 17~21 年度）」の補助によるものであり記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 環境省、有明海・八代海総合調査評価委員会：委員会報告，pp. 5-40，2006。
- 2) 海の自然再生ワーキンググループ：海の自然再生ハンドブック-その計画・技術・実践-，第 2 巻干潟編，株式会社ぎょうせい，2003。
- 3) 増田龍哉，滝川清，森本剣太郎，前田恭子，柏原裕彦，島田康光：有明海熊本港周辺における「なぎさ線の回復」現地試験による生態系構築過程に関する研究，海洋開発論文集，第 23 巻，pp. 525-530，2007。
- 4) 三迫陽介，森本剣太郎，滝川清，増田龍哉，幸田明子，山下絵里子：人工潟湖干潟における環境変動メカニズム解明に関する研究，海洋開発論文集，第 22 巻，pp. 223-228，2006。