

技術資料

港湾構造物における炭素量を用いた 生物現存量の定量評価の試み

秋元 彩渚*¹ 國田 淳*² 黒田 祐一*³ 酒井 康彦*¹ 宮崎太一郎*¹ 小島 治幸*⁴

*1 いであ株式会社, 〒559-8519 大阪府大阪市住之江区南港北 1-24-22

*2 国土交通省九州地方整備局北九州港湾・空港整備事務所, 〒801-0841 福岡県北九州市門司区西海岸 1-4-40

*3 国土交通省九州地方整備局下関港湾事務所, 〒750-0066 山口県下関市東大和町 2-29-1

*4 〒811-4142 福岡県宗像市泉ヶ丘 2-22-1

2017年2月6日受付, 2017年6月26日採録

Abstract

Conservation and creation of habitats in the coastal area are set as a new target of “Basic Program for the Conservation of the Environment of the Seto Inland Sea”. In addition, when the impacts of a landfill are unavoidable, it is required to conduct appropriate compensation measures based on the result of quantitative evaluation. The quantification of ecosystem services which lost by a landfill is desirable for selecting the most effective measure. However, it is difficult to figure out quantitatively a whole variety of ecosystem services. In this report, we try to quantify the biomass around harbor structures, using a simple evaluation method of biomass carbon. On the gentle slope revetment and the adjacent seabed of the artificial island built in the western Seto Inland Sea, we compare the biomass carbon per unit area for each of three layers on the revetment and for each of habitat foundations. Moreover, in the case of conducting a landfill project with and without an eco-friendly structure in this area, we estimate the annual biological production using the biomass carbon and the amount of increase in biomass carbon.

Keywords: biomass, carbon, gently slope revetment, biological production, ecosystem services

1. はじめに

「瀬戸内海環境保全基本計画」の変更（平成27年2月閣議決定）において、沿岸域における生物生息・生育場の保全・創出が新たに目標として挙げられるとともに、埋立による不可避の影響については、「定量的評価の結果を踏まえ、適切な代償措置を確実に実施すること」とされている。代償措置の規模を決定するにあたっては、埋立によって失われる生態系サービス及び代償措置によって増加する生態系サービスを定量化する必要がある。しかし、生態系から産み出されるサービスは、生物生息場の創出効果や水質浄化効果など多岐にわたり、サービスの定量化の手法も十分確立されておらず、全体を定量的に評価することは困難である。また、生態系サービスを定量化する際の基本的な情報である生物現存量についても、埋立事業の実施にあたって十分把握された事例は少ない。

海域において生物現存量を定量的に把握した先行事例として、三浦ら（2013）は全国13漁港の生物現存量を炭素量で推定した。また、中西ら（1999）は、大阪湾での埋立を想定し、開発行為によって増減する生物現存量及び生物生産量を、炭素量と窒素量で試算した。矢持ら（2000）は大阪湾の関西国際空港島北西護岸地先海域における生物現存量及び生物生産量を栄養階層別に比較し、対象海域の生態系構造を示した。

本報では、西部瀬戸内海に建設された人工島の傾斜護

岸及び近傍の海底に生息する生物のうち、場の変化による影響を直接受ける付着生物（付着植物、付着動物）と底生動物を対象に、水深帯別、生息基盤別の単位面積あたりの生物現存量を把握した。生物現存量の指標は、生物毎の水分量に左右されず、かつ、生物体を構成する主な元素である炭素を用いた。なお、炭素量は、生物への固定量を把握するため、殻等の無機分を含む生物全体の炭素量（TC）を測定対象とした。算定は、対象海域に生息する主要な生物種の炭素量を測定し、湿重量を炭素量に換算することにより行った。また、将来的に場の生物生産機能を評価することを見据え、生物現存量から生物生産量を概算した。さらに、埋立によって消失・出現する生物現存量と代償措置によって増加すると予測される生物現存量を試算した。

2. 調査海域及び方法

2.1 調査海域及び調査地点

調査海域は、瀬戸内海の西端に位置する北九州港新門司沖における人工島（北九州空港）周辺海域とした。調査地点は既存の生物調査結果（北九州港湾・空港整備事務所, 2010～2014）のうち、人工島東側の海底及び護岸の地点とした。調査地点とした海底の水深は約10mであり、底質は泥質である。護岸については、D.L.+0.5m付近に幅約10mの小段が設けられた、勾配1:4/3の緩傾斜護岸であり、D.L.+6.2mからD.L.-3.5m付近まで消

波ブロックで被覆されている。調査地点及び護岸断面の模式図を Fig. 1 に示す。

2.2 生物現存量の算出方法

2.2.1 対象生物

当該海域では、浮遊生物、遊泳生物、底生生物等が生息している。本報では、場の変化によって直接的に生息基盤が増減する底生生物として、護岸に生息する付着生物（付着植物、付着動物）及び海底に生息する底生動物を対象とした。なお、葉上動物は付着動物に含めている。

2.2.2 採取方法

付着植物及び付着動物は、平均水面（D.L.+2.1 m）、

大潮最低低潮面（D.L.+0.08 m）、大潮最低低潮面下 1.0 m（D.L.-0.92 m）の 3 層について、0.1 m² の坪刈によって採取した。また、底生動物は、採泥面積 22 × 22 cm² のスミス・マッキンタイヤ型採泥器を用いて 3 回採取した海底表層泥を 1 mm 目の篩でふるった残渣から採取した（北九州港湾・空港整備事務所、2010～2014）。

2.2.3 炭素含有量の測定方法

当該海域に生息・生育する主要種の炭素含有量を測定した。測定は、殻等を含む生物全体を対象とした。主要種は 2010 年～2014 年の優占種のうち、出現頻度が高いものを選定した。測定に用いた試料は、平成 27 年度秋

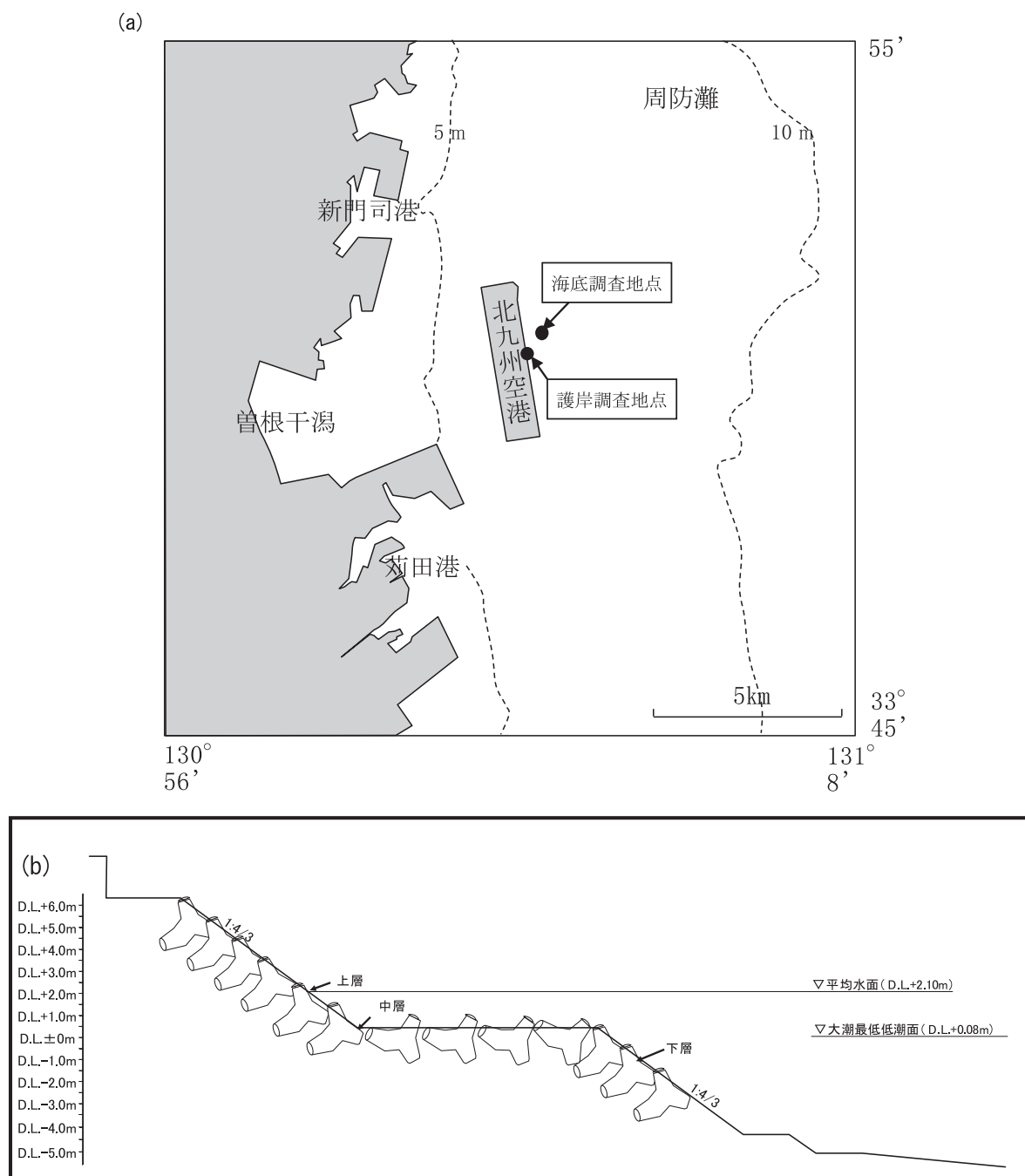


Fig. 1 Location map of investigation stations and the cross-section of the revetment; (a) investigation stations, (b) the cross-section of the revetment

季に採集された付着植物7種、付着動物3種、底生動物12種である。底生動物は選定した主要種が採取できなかったため、採取できた種について炭素含有量を測定した。炭素含有量は凍結乾燥機（東京理科器械（株）社製凍結乾燥機FDU-810）を用いて乾燥した試料をすり潰し、CHN分析計（（株）ジェイ・サイエンス・ラボ社製マイクロコーダーJM10）を用いて測定した。なお、乾燥処理を凍結乾燥とした理由は、熱による変性が少なく、乾燥後に固い殻等も潰しやすくなるためである。

2.2.4 生物現存量（炭素量）の算出方法

採取した付着植物、付着動物、底生動物の湿重量を炭素量に換算し、直近5ヶ年（2010年～2014年）の平均を用いて、四季及び四季平均の単位面積あたりの生物現存量（炭素量）を算出した。なお、湿重量は、殻等を含む生物全体を測定したものである（北九州港湾・空港整備事務所、2010～2014）。炭素量への換算については、同分類群の種は体組成が比較的似ていると考えられることから、炭素測定種と同じ分類群（属、科、目、綱、門の順）に測定値をあてはめた。なお、複数の炭素測定種があてはめられる場合には平均値を用い、採取できなかった主要種の一部には三浦ら（2013）の値を用いた。

3. 結果

3.1 炭素含有量の測定結果

炭素含有量の測定結果を Table 1 に示す。湿重量あたりの炭素含有量の平均は、付着植物で6%、付着動物で12%、底生動物で4%であった。また、乾燥重量あたりの炭素含有量の平均は付着植物で28%、付着動物で15%、底生動物で30%であった。なお、一部の種については三浦ら（2013）より文献値が得られたため、参考として示した。

3.2 生物現存量（炭素量）の算出結果（水深別、生息基盤別、季節別）

単位面積あたりの生物現存量（炭素量）を分類群（門）別に Table 2 に示す。護岸における植物（付着植物）については、上層では四季を通じて紅藻植物が多く、中層では四季を通じて褐藻植物が多かった。下層では春季と冬季は褐藻植物、夏季と秋季は紅藻植物が多かった。動物（付着動物）については各層の四季を通じて軟体動物が多かった。海底の動物（底生動物）については、分類群（門）別の明確な季節変化はみられなかった。生物現存量（湿重量及び炭素量）の四季平均を Fig. 2 に示す。湿重量で見ると、護岸の生物現存量（湿重量）は、3層平均で付着植物が1,488 g/m²、付着動物が1,231 g/m²であった。海底の生物現存量（湿重量）は、底生動物が18.7 g/m²であった。炭素量で見ると、護岸の生物現存量（炭素量）は、3層平均で付着植物が74.3 g-C/m²、付着動物が134.9 g-C/m²であった。海底の生物現存量（炭素量）は、底生動物が1.2 g-C/m²であった。湿重量においては、護岸の生物現存量に占める付着植物の割合は付着動物の割合に比べ約10%大きいのにに対し、炭素量においては約30%小さかった。

護岸における水深別の生物現存量をみると、付着植物は、下層にいくほど生物現存量が多くなっていった。一方、付着動物は、上層で最大、中層で最小であった（Fig. 2）。

護岸の生物現存量の季節的な変化を Fig. 3 に示す。3層平均で、付着植物は春季に139.3 g-C/m²で最大になり、夏季にかけて減少し、秋季に最少になり、冬季から春季にかけて増加した。付着動物は季節による大きな変化はみられなかった。

護岸下層と海底の生物現存量を Fig. 4 に示す。海底の底生動物は春季から夏季にかけて減少し、夏季から冬季

Table 1 Target species and their carbon content

区分	分類				学名	和名	測定値			【参考】文献値		
	門	綱	目	科			乾燥重量/ 湿重量 (g-dry/g-wet)	炭素量/ 乾燥重量 (g-C/g-dry)	炭素量/ 湿重量 (g-C/g-wet)	乾燥重量/ 湿重量 (g-dry/g-wet)	炭素量/ 乾燥重量 (g-C/g-dry)	炭素量/ 湿重量 (g-C/g-wet)
付着植物	紅藻植物門	紅藻綱	テングサ目	テングサ科	<i>Gelidium elegans</i>	マケサ	0.28	0.38	0.11	-	-	-
			サンゴモ目	サンゴモ科	<i>Amphiroa zonata</i>	ウスカワコニテ	0.61	0.16	0.10	-	-	-
	褐藻植物門	褐藻綱	ヒバマタ目	ホンダワラ科	<i>Sargassum fusiforme</i>	ヒジキ	0.13	0.29	0.04	0.20	0.34	0.07
					<i>Sargassum filicinum</i>	シダモク	0.15	0.27	0.04	-	-	-
					<i>Sargassum horneri</i>	アカモク	0.17	0.26	0.04	0.13	0.31	0.04
					<i>Sargassum macrocarpum</i>	ノコギリモク	0.18	0.32	0.06	0.10	0.31	0.03
			コンブ目	カンメ科	<i>Ecklonia stolonifera</i>	ツルアラメ	0.20	0.31	0.06	-	-	-
				チカイイ科	<i>Undaria pinnatifida</i>	ワカメ	-	-	-	0.14	0.34	0.05
				平均			0.24	0.28	0.06	0.14	0.33	0.05
	付着動物	軟体動物門	腹足綱	盤足目	ムカデガイ科	<i>Serpulorbis imbricatus</i>	オオベガイ	0.73	0.16	0.12	-	-
		二枚貝綱	カキ目	イタホガキ科	<i>Saccostrea kegaki</i>	ツカギ	0.83	0.14	0.12	-	-	-
				キザルガイ科	<i>Chama</i> sp.	キザルガイ属	0.79	0.14	0.11	-	-	-
				平均			0.78	0.15	0.12	-	-	-
底生動物	軟体動物門	腹足綱	頭楯目	キセウガイ科	<i>Philine argentata</i>	キセウガイ	0.10	0.32	0.03	-	-	-
		二枚貝綱	マルダレイ目	ハナガイ科	<i>Leptaxinus oyamai</i>	マルハナガイ	0.25	0.12	0.03	-	-	-
				ニッコウガイ科	<i>Nitidotellina</i> sp.	サクラガイ属	0.17 ^{注1)}	0.21	0.04	-	-	-
				マテガイ科	<i>Solen kikuchii</i>	マテガイ	0.17	0.28	0.05	-	-	-
	環形動物門	ゴカイ綱	サシバゴカイ目	チロ科	Glyceridae	チロ科	0.14	0.44	0.06	-	-	-
				Nereididae		ゴカイ科	0.09	0.40	0.04	-	-	-
			スピオ目	モロコガイ科	<i>Magelona</i> sp.	Magelona属	0.11 ^{注2)}	0.39	0.04	-	-	-
				ミスヒキガイ科	Cirratulidae	ミスヒキガイ科	0.11	0.33	0.03	-	-	-
				ダルモコガイ科	<i>Sternaspis scutata</i>	ダルモコガイ	0.06	0.20	0.01	-	-	-
				イトコガイ科	Capitellidae	イトコガイ科	0.12	0.34	0.04	-	-	-
節足動物門	軟甲綱	エビ目	マルハカニ科	<i>Heteroplax transversa</i>	ナガサキハカニ	0.29	0.23	0.07	-	-	-	
その他				Holothuroidea	ナマコ綱	-	-	-	0.17	0.4	0.07	
			平均			0.14	0.30	0.04	0.17	0.40	0.07	

注1) 乾燥後の重量が小さく乾燥重量/湿重量の信頼性が低かったため、同目のチゴマテガイの値を使用した
 注2) 乾燥後の重量が小さく乾燥重量/湿重量の信頼性が低かったため、同目のミスヒキガイ科の値を使用

Table 2 Biomass carbon per unit area (g-C/m²)

生息基盤	区分	植物					区分	動物				
		春季	夏季	秋季	冬季	年平均		春季	夏季	秋季	冬季	年平均
		(g-C/m ²)										
上層	緑藻植物	0.03	0.00	0.0	0.03	0.01	軟体動物	293.5	239.9	261.3	265.3	265.0
	褐藻植物	0.01	0.01	0.0	0.01	0.01	環形動物	0.24	0.13	0.08	0.19	0.16
	紅藻植物	0.23	0.42	0.02	3.6	1.1	節足動物	0.16	0.32	4.6	4.0	2.3
	その他	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	その他	0.04	0.0	0.0	0.09	0.03
	合計	0.27	0.43	0.02	3.7	1.1	合計	293.9	240.4	265.9	269.6	267.5
護岸 中層	緑藻植物	2.2	3.9	0.0	1.8	2.0	軟体動物	13.6	8.7	45.7	14.9	20.7
	褐藻植物	93.7	19.2	46.1	99.7	64.7	環形動物	1.0	0.32	0.52	0.19	0.51
	紅藻植物	27.6	9.8	4.7	4.4	11.6	節足動物	1.1	0.29	0.21	0.76	0.60
	その他	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	その他	1.5	3.0	0.46	0.71	1.4
	合計	123.5	32.9	50.7	106.0	78.3	合計	17.2	12.3	46.9	16.6	23.2
下層	緑藻植物	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	軟体動物	47.1	127.2	103.6	75.2	88.3
	褐藻植物	267.0	14.9	16.2	100.9	99.8	環形動物	1.3	5.6	1.0	0.93	2.2
	紅藻植物	27.0	61.6	36.1	49.9	43.6	節足動物	9.8	4.8	2.5	1.8	4.7
	その他	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	その他	17.4	24.8	9.8	22.8	18.7
	合計	294.1	76.6	52.3	150.8	143.4	合計	75.6	162.4	116.9	100.7	113.9
3層平均	緑藻植物	0.75	1.3	0.0	0.62	0.67	軟体動物	118.0	125.3	136.9	118.5	124.7
	褐藻植物	120.2	11.4	20.8	66.9	54.8	環形動物	0.85	2.0	0.54	0.44	1.0
	紅藻植物	18.3	23.9	13.6	19.3	18.8	節足動物	3.7	1.8	2.4	2.2	2.5
	その他	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	その他	6.3	9.3	3.4	7.9	6.7
	合計	139.3	36.7	34.3	86.8	74.3	合計	128.9	138.4	143.2	129.0	134.9
海底	緑藻植物	-	-	-	-	-	軟体動物	0.29	0.05	0.17	1.0	0.38
	褐藻植物	-	-	-	-	-	環形動物	0.26	0.06	0.07	0.06	0.11
	紅藻植物	-	-	-	-	-	節足動物	0.05	0.17	0.06	0.01	0.07
	その他	-	-	-	-	-	その他	0.85	0.27	0.58	0.69	0.60
	合計	-	-	-	-	-	合計	1.4	0.54	0.88	1.8	1.2

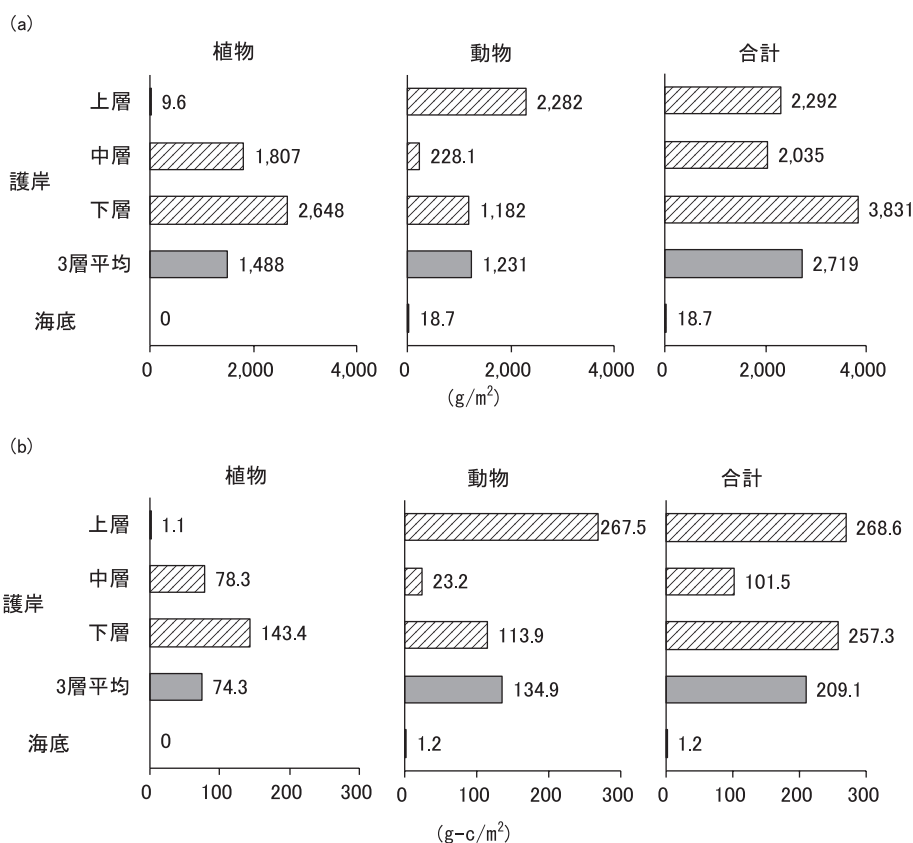


Fig. 2 Annual average biomass; (a) wet weight (g/m²), (b) carbon (g-C/m²)

にかけて増加した。護岸の付着生物の単位面積あたりの生物現存量（四季平均）は257.3 g-C/m²であり、海底の底生動物の1.2 g-C/m²よりもはるかに大きかった。

4. 議論

4.1 炭素含有量の考察

湿重量あたりの炭素含有量は、付着動物の方が付着植

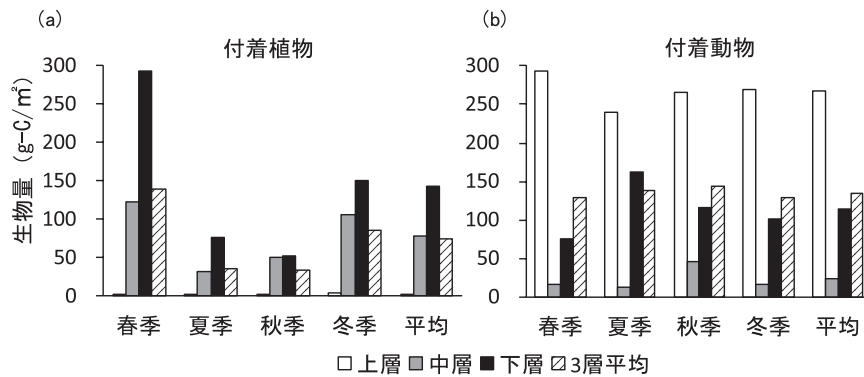


Fig. 3 Biomass carbon in each layer and season on the revetment (g-C/m²); (a) seaweeds, (b) animals

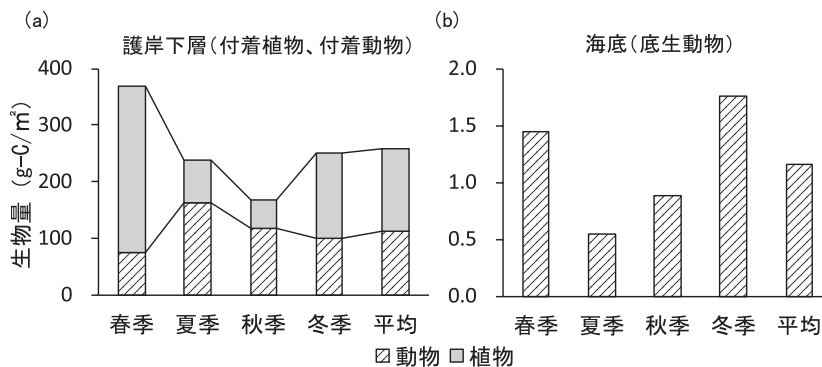


Fig. 4 Biomass carbon of lower layer and seabed (g-C/m²); (a) lower layer (attached organisms), (b) seabed (benthos)

物よりも大きかった。一方、乾燥重量あたりでは、付着植物の方が付着動物よりも大きかった。これは、付着植物の方が付着動物よりも乾燥重量あたりの水分量が高いためである。つまり、付着動物においては炭素に換算した際に付着植物ほど生物現存量の変化が大きくならなかったことを示している。

湿重量あたりの炭素含有量は、同分類群（門）の種は概ね同程度であったが、湿重量あたりの水分量は、海底の底生動物では86%程度であるのに対し、護岸の付着動物では22%程度であり、前者の方が多くの水分を含んでいた（Table 1）。このため、湿重量あたりの炭素含有量は、底生動物の方が付着動物よりも小さい値になっていたと考える。分類群（門）別にみると、付着動物における軟体動物門の炭素含有量は11～12%であり、底生動物における軟体動物門の3～5%よりも高かった。測定種はいずれも殻を持つ種であるが、先行事例（三浦ら, 2013）によると、軟体部の炭素量は2～3%程度になっていることから、付着動物の軟体動物門では、底生動物の軟体動物門に比べて軟体部に対する殻分の割合が大きい種が多かったと言える。したがって、炭素量をあてはめる際には、分類群のみではなく、生息基盤の違いについても考慮する必要があると考える。また、付着植物における紅藻植物門の炭素含有量は10～11%であり、付着動物における軟体動物門と同程度の値であった。紅藻植物門のサンゴモ目は、細胞内外に炭酸カルシウムを沈着し、石灰化して硬くなることが知られており（馬場,

2000）、炭酸カルシウム由来の炭素を多く含むためと考えられる。また、テングサ目は吉田ら（2001）により、他の海藻よりも炭素を多く含有することが示されている。

乾燥重量あたりの炭素含有量は、湿重量あたりの炭素含有量に比べて、同一の分類群（門）でも種間の差が大きかった。既存知見においても、例えば付着植物の褐藻植物門については、26種の炭素含有量が19～46%（三浦ら, 2013；吉田ら, 2011；吉田ら, 2001）の範囲にあるとされており、種間の差がみられる。本報の測定結果は、既存知見における炭素含有量の測定結果と比較すると、概ね同程度であった。

4.2 生物現存量（炭素量）の評価

生物現存量の季節的な変化をみると、付着植物については春季に最も多く、夏季にかけて減少し、秋季から春季にかけて増加していた（Table 2）。これは、多年生の大型褐藻のヒジキが春季から夏季にかけて減少し、秋季から冬季にかけて増加したこと、また、一年生の大型褐藻のワカメ、アカモクが冬季から春季に繁茂し、夏季から秋季にはほとんど出現しなかったことが要因として考えられる。ヒジキ、ワカメ及びアカモクの3種は、出現種全体の70%を占めていた。付着動物については大きな季節変化はみられなかった（Table 2）。軟体動物門のケガキが出現種全体の79%を占めており、ケガキの消長が全体の生物現存量の増減に影響したと考えられる。底生動物については、春季から夏季にかけて減少し、夏季から冬季にかけて増加していた（Table 2）。これは、

夏季に下層 DO が低下していたことが影響した可能性が考えられる。調査地点における 2010～2014 年度の下層 DO の測定結果は、夏季で 5.8～6.9 mg/L、春季、秋季及び冬季では 7.5～10.8 mg/L であり（北九州港湾・空港整備事務所, 2010～2014）、夏季に下層 DO が低くなっていた。

水深毎の変化をみると、付着植物については、上層に比べて中・下層で生物現存量が多くなっていた（Fig. 2, Table 2）。中層及び下層では主に潮間帯から潮下帯に大きな群落を作る大型褐藻のヒジキ、アカモク、ワカメが多くみられた。これらの種は中層の 82%、下層の 91% を占めていた。付着動物については、中・下層に比べて上層で生物現存量が多くなっていた（Fig. 2, Table 2）。上層では主に潮間帯に生息する二枚貝のケガキが多くみられた。ケガキは、上層の出現種の 95% を占めていた。

生息基盤毎の比較では、海底に最も近い護岸下層の付着生物の現存量と、海底の底生動物の現存量を炭素量で比較した。面積あたりの生物現存量は、護岸の方が海底よりも 2 桁大きい値になった。このことは、生息基盤が海底から護岸（付着基盤）に変化した場合に、面積あたりの生物現存量が増加する可能性があることを示してい

る（Fig. 4, Table 2）。

以上のことから、埋立事業による生物現存量の変化量の適切な評価には、水深や生息基盤等の生息環境毎の生物現存量や季節による変動等を考慮する必要がある。

2010～2014 年度における年変動をみると、付着植物については、2011 年度及び 2014 年度に生物現存量が多かった（Fig. 5）。一年生の大型褐藻であるワカメやアカモクの例年よりも多く出現したことが要因として考えられる。付着動物については、2011 年度に生物現存量が多かった。軟体動物門のケガキが多く出現したことが要因として考えられる。また、底生動物については 2012～2013 年度に生物現存量が多かった。2012 年度の春季や 2013 年度の冬季にハネナシギボシムシ科の一種やイカリナマコ科の一種、アカウオといった大型の底生動物が局所的に出現したことが要因として考えられる。

算出した生物現存量について、矢持ら（2000）による関西国際空港周辺海域での算定結果（付着植物：121.7 g-C/m²、底生動物：1.94 g-C/m²）と比較すると、付着植物で 74.3 g-C/m²、底生動物で 1.2 g-C/m² となり両者とも 0.6 倍であり、本報の算出結果は概ね妥当な結果であると考えられる。

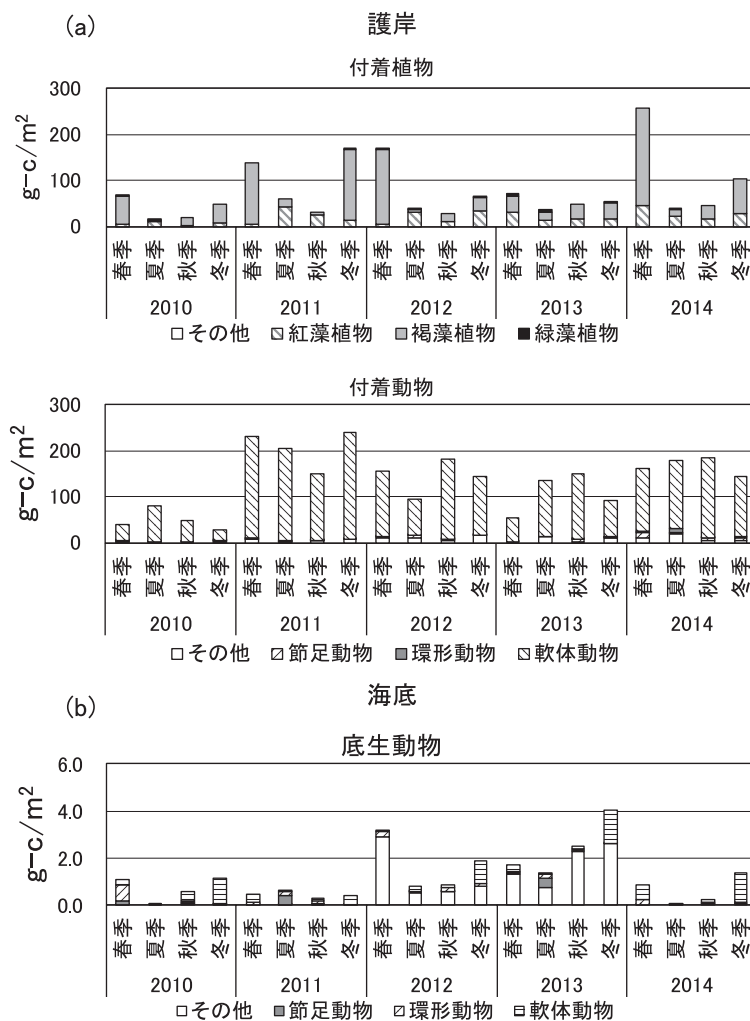


Fig. 5 Seasonal and yearly changes in biomass carbon; (a) attached organisms (seaweeds and animals), (b) benthos

4.3 生物生産量の概算

生物現存量とは、ある時点での生物量のことである。さらに、生物生産量を算定することで、その地点の年間の生物増加量を評価することが可能となることから、生物生産量を概算した。生産量は、四季のうち、最も生物現存量が多い季節に回転率(年間生産量P/生物現存量B)を乗じて算定した。ここで、回転率は文献値を用い、付着植物については Mann (2000) の Table 1.1 より海藻群落の回転率 1.2 とし、付着動物及び底生動物については Mann(2000)の Table 8.2 より分類群毎の平均値を算出し、軟体動物 1.5、環形動物 2.6、節足動物 7.7、その他 2.5 とした。

生物生産量の概算結果を Table 3 に示す。Table 2 に示したように、植物である基礎生産者は春季、動物である 1 次消費者は秋季が最も多く、これに回転率を乗じて年間の生物生産量とした。概算の結果、年間の生産量は基礎生産者で 167.1 g-C/m²・y で生物現存量の 1.2 倍、1 次消費者は付着動物で 233.8 g-C/m²・y で生物現存量の 1.6 倍、底生動物で 2.3 g-C/m²・y で生物現存量の 2.6 倍であった。算出した生物生産量について、矢持ら (2000) による関西国際空港周辺海域での算定結果(付着植物: 216 g-C/m²・y、底生動物: 4.55 g-C/m²・y) と比較すると、付着植物は 167.1 g-C/m²・y で 0.8 倍、底生動物は 2.3 g-C/m²・y で 0.5 倍となり、本報の算出結果は概ね妥当な結果であると考えられる。

なお、本報の試算は、各栄養段階における一部の分類群についてのみの概算であり、対象海域全体の生産量を把握するためには、浮遊生物(プランクトン)や、遊泳生物を含めて評価する必要がある。

4.4 埋立事業により変化する生物現存量の試算

算定した単位面積あたりの生物現存量を基に、対象海域における埋立事業によって変化する生物現存量を試算した。対象海域の人工島東側で予定されている埋立事業を実施した場合、海底 245 ha、護岸 2,775 m が消失する。また、埋立部分の周囲に新たに護岸を整備することが予定されており、北側と南側にそれぞれ 900 m、東側に 2,775 m の護岸が出現する(北九州港湾・空港整備事務所, 2014)。事業を実施した場合に消失・出現する海底面や護岸の位置を Fig. 6 に示す。これらの海底や護岸の消失・出現面積を単位面積あたりの生物現存量に乘じ、埋立事業により変化する生物現存量とした。海底には底生動物の生物現存量を、護岸には付着生物の生物現存量を用いた。護岸の生物現存量は、Fig. 6 に示す北、東、南護岸の調査結果を用いた。具体的には、消失する護岸については東護岸の値、出現する護岸については環境が類似すると考えられる同方向の護岸の値をそれぞれ用いた。護岸の面積は、付着生物が多く生息する水深帯として D.L.+3.0 ~ D.L.-3.0 m の法面面積とした。また、護岸面は 3 層に区分し、上層は D.L.+3.0 ~ D.L.+1.0 m、中層は D.L.+1.0 ~ D.L.-0.5 m、下層は D.L.-0.5 ~ D.L.-3.0 m の範囲とした。3 層は、それぞれに調査点を含み、範囲が同程度となるように設定した。なお、付着植物については、調査点を含む護岸断面においてベルトトランセクト法による目視観察(被度調査)を実施している(北九州港湾・空港整備事務所, 2010 ~ 2014)。この結果、上層の範囲についてはごく少数の小型海藻のみの出現であり、調査点の出現種と異なる場合があったが、中層及び下層の範囲での主な出現種は、調査点の主な出現種と概

Table 3 Biological production per unit area (g-C/m²・y)

生息基盤	分類群	植物(基礎生産者)			分類群	動物(一次消費者)		
		生物量 (g-C/m ²)	生産量 (g-C/m ² ・y)	回転率		生物量 (g-C/m ²)	生産量 (g-C/m ² ・y)	回転率
上層	緑藻植物	0.03	0.03	1.2	軟体動物	261.3	391.9	1.5
	褐藻植物	0.01	0.01		環形動物	0.08	0.20	2.6
	紅藻植物	0.23	0.28		節足動物	4.6	35.2	7.7
	その他	0.0	0.0		その他	0.0	0.0	2.5
	合計	0.27	0.32	-	合計	265.9	427.4	-
中層	緑藻植物	2.2	2.7	1.2	軟体動物	45.7	68.5	1.5
	褐藻植物	93.7	112.4		環形動物	0.52	1.4	2.6
	紅藻植物	27.6	33.1		節足動物	0.21	1.6	7.7
	その他	0.0	0.0		その他	0.46	1.1	2.5
	合計	123.5	148.2	-	合計	46.9	72.7	-
下層	緑藻植物	0.0	0.0	1.2	軟体動物	103.6	155.4	1.5
	褐藻植物	267.0	320.4		環形動物	1.0	2.6	2.6
	紅藻植物	27.0	32.4		節足動物	2.5	18.9	7.7
	その他	0.0	0.0		その他	9.8	24.5	2.5
	合計	294.1	352.9	-	合計	116.9	201.4	-
3層平均	緑藻植物	0.75	0.90	1.2	軟体動物	136.9	205.3	1.5
	褐藻植物	120.2	144.3		環形動物	0.54	1.4	2.6
	紅藻植物	18.3	21.9		節足動物	2.4	18.6	7.7
	その他	0.0	0.0		その他	3.4	8.5	2.5
	合計	139.3	167.1	-	合計	143.2	233.8	-
海底	緑藻植物	-	-	-	軟体動物	0.17	0.25	1.5
	褐藻植物	-	-	-	環形動物	0.07	0.19	2.6
	紅藻植物	-	-	-	節足動物	0.06	0.45	7.7
	その他	-	-	-	その他	0.58	1.5	2.5
	合計	-	-	-	合計	0.88	2.3	-

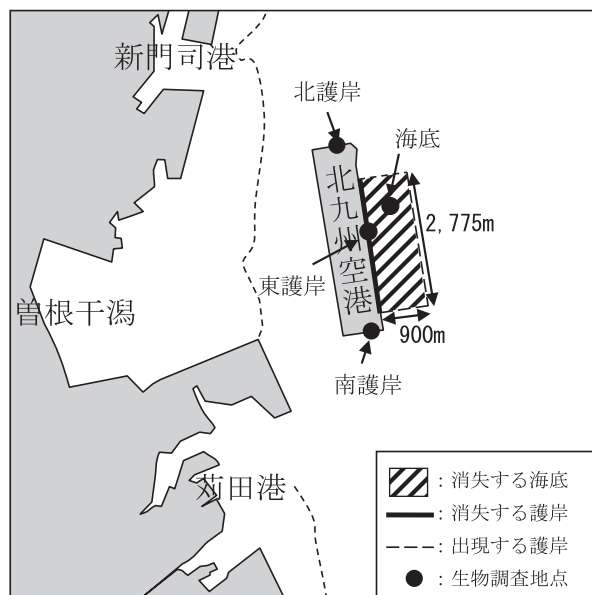


Fig. 6 Location of the land fill site and study points

ね同様であり、付着植物が主に出現した中層及び下層については、調査点の水深別の代表性は確保されていると考える。

埋立事業により変化する生物現存量を Table 4 に示す。消失する海底の生物現存量は四季平均で 2.9 t-C、消失する護岸の生物現存量は 9.8 t-C であり、海底、護岸合わせて 12.7 t-C であった。また、新たに整備する護岸の生物現存量は東側、北側、南側合わせて四季平均で 10.5 t-C であった。

埋立によって消失する生物現存量は新規護岸によって出現する生物現存量を上回り、消失分が大きい結果となった。そこで、生物量増加に向けた対策として、南側、東側護岸の一部の水深帯の消波ブロックを、溝付の消波ブロックに変更するものとして生物現存量を試算した。なお、溝付の消波ブロックに変更することによる生物増加効果については、浅井ら (1997) が実施した溝加工ブロックによる生物増加効果の実証実験の結果、及び矢田ら (2008) における溝付の消波ブロックの形状を参考とし、付着植物を 1.3 倍、付着動物を 2.5 倍と設定した。

生物量増加に向けた対策を実施した場合の生物現存量は、新たに整備する護岸のうち、消波ブロックを溝付に

Table 4 Biomass change by the landfill; (a) decreased biomass, (b) increased biomass, (c) increased biomass in using the wave-dissipating block with grooves

増減	生息基盤	試算に用いたデータ								試算結果 生物現存量 (t-C)	
		付着植物				付着動物					
		①	②	③	④	①	②	③	④		
(a)	既存護岸	上層(DL+3.0~+1.0m)	1.1	4.5	1,150	-	267	4.5	1,150	-	1.4
		区間 I 中層(DL+1.0~-0.5m)	78	11.2	1,150	-	23	11.2	1,150	-	1.3
		下層(DL-0.5~-3.0m)	143	7.9	1,150	-	114	7.9	1,150	-	2.3
		区間 II 上層(DL+3.0~+1.0m)	1.1	3.3	1,625	-	267	3.3	1,625	-	1.4
		中層(DL+1.0~-0.5m)	78	9.4	1,625	-	23	9.4	1,625	-	1.5
		下層(DL-0.5~-3.0m)	143	4.2	1,625	-	114	4.2	1,625	-	1.8
	海底	-	-	-	-	1.2	900	2,775	-	2.9	
	合計									12.7	
(b)	新規護岸	上層(DL+3.0~+1.0m)	1.2	3.6	900	-	334	3.6	900	-	1.1
		北護岸 中層(DL+1.0~-0.5m)	77	2.7	900	-	78	2.7	900	-	0.38
		下層(DL-0.5~-3.0m)	85	4.5	900	-	107	4.5	900	-	0.78
		東護岸 上層(DL+3.0~+1.0m)	1.1	3.4	2,775	-	267	3.4	2,775	-	2.5
		中層(DL+1.0~-0.5m)	78	2.5	2,775	-	23	2.5	2,775	-	0.70
		下層(DL-0.5~-3.0m)	143	4.2	2,775	-	114	4.2	2,775	-	3.0
	南護岸 上層(DL+3.0~+1.0m)	1.0	3.4	900	-	281	3.4	900	-	0.86	
中層(DL+1.0~-0.5m)	84	2.5	900	-	85	2.5	900	-	0.38		
下層(DL-0.5~-3.0m)	170	4.2	900	-	63	4.2	900	-	0.88		
	合計									10.5	
(c)	新規護岸 (消波ブロックを変更しない水深帯)	上層(DL+3.0~+1.0m)	1.2	3.6	900	-	334	3.6	900	-	1.1
		北護岸 中層(DL+1.0~-0.5m)	77	2.7	900	-	78	2.7	900	-	0.38
		下層(DL-0.5~-3.0m)	85	4.5	900	-	107	4.5	900	-	0.78
		東護岸 上層(DL+3.0~+1.1m)	1.0	3.2	2,775	-	267	3.2	2,775	-	2.4
		下層(DL-2.4~-3.0m)	143	1.0	2,775	-	114	1.0	2,775	-	0.71
		南護岸 上層(DL+3.0~+1.1m)	1.0	3.2	900	-	281	3.2	900	-	0.81
	新規護岸 (消波ブロックを変更する水深帯)	上層(DL+1.1~+1.0m)	1.1	0.2	2,775	1.3	267	0.2	2,775	2.5	0.37
		東護岸 中層(DL+1.0~-0.5m)	78	2.5	2,775	1.3	23	2.5	2,775	2.5	1.1
		下層(DL-0.5~-2.4m)	143	3.2	2,775	1.3	114	3.2	2,775	2.5	4.2
		南護岸 上層(DL+1.1~+1.0m)	1.0	0.2	900	1.3	281	0.2	900	2.5	0.13
中層(DL+1.0~-0.5m)	84	2.5	900	1.3	85	2.5	900	2.5	0.72		
下層(DL-0.5~-3.0m)	170	4.2	900	1.3	63	4.2	900	2.5	1.4		
	合計									14.1	

算定式: 生物現存量 (t-C) = ①単位面積当たりの四季平均の生物量 (g/m²) × ②法面長さ (m) × ③護岸長さ (m) × ④増加倍率 ÷ 1,000,000
 ※海底については②は埋立面積の東西方向長さ、③は南北方向の長さとした
 ※既存護岸については、断面形状の異なる2区間について、それぞれ算定した

変更する水深帯の生物現存量に前述の増加効果を乗じ、変更しない水深帯の生物現存量と足し合わせることで試算した。試算の結果、対策を実施した場合の生物現存量は四季平均で 14.1 t-C となり、対策を実施しなかった場合の生物現存量 10.5 t-C よりも 3.6 t-C 増加することとなる。溝付の消波ブロックへの変更により、埋立によって消失する生物現存量を回復し、埋立前に比べて生物現存量が増加する可能性が示された。なお、今回の試算は全出現種の生物現存量を対象としたものであり、埋立事業による生物種の変化を考慮していない。埋立事業による影響や代償措置の検討に当たっては、生物種の変化に伴う生態系機能の変化についても検討することが望まれる。

4.5 課題

より正確に生物現存量（炭素量）を把握するために、湿重量から炭素量への換算精度を向上することが望ましい。このために、より多くの生物種の炭素量を測定し、同分類群への炭素量のあてはめの妥当性を検証することが必要である。

また、生物現存量の精度向上のために、実態に近い生物生息状況を把握することが望ましい。この解決策として、代表 1 地点の調査結果を対象の生息基盤全体に適用するのではなく、生物生息環境の代表性が高い複数地点の生物現存量を用いることが考えられる。

さらに、沿岸域における埋立事業等の開発行為による自然環境への影響や代償措置の必要性、適切な代償措置の規模・形式等を検討・評価するためには、生態系サービスの定量的な評価手法の確立が望まれる。具体的には、生物現存量だけでなく、生物生産量を評価することによる生物増加効果の評価精度向上や、水質浄化効果、水産生物の増殖効果、及び炭素の固定による気候調整効果等の評価手法が挙げられる。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、新門司沖環境創造方策技術検討会の委員各位からご指導・ご助言を頂いた。ここに感謝の意を表す。

参考文献

- 浅井正, 小笹博昭, 村上和男, 1997. ブロック式構造物への海洋生物の着生実験とその着生条件について. 港湾技研資料, No. 881, 2-41.
- 馬場将輔, 2000. 日本サンゴモ類の種類と形態. 海洋生物環境研究所研究報告, 1, 1-68.
- 北九州港湾・空港整備事務所, 2010～2014. 生態系調査報告書. 北九州港湾・空港整備事務所, 2014. 新門司沖土砂処分場(Ⅱ期)公有水面埋立事業 環境影響評価準備書, 1901 pp.
- Mann, K.H., 2000. Ecology of Coastal Waters, second edition. Blackwell, 406 pp.
- 三浦浩, 伊藤靖, 吉田司, 2013. 漁港の生態系構造と生物現存量の推定. 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 69(2), I_1211-I_1215.
- 中西敬, 上嶋英機, 1999. 埋立前後における生態系の構造と機能の変化に関する定量的評価の試み. 海岸工学論文集, 46, 1191-1195.
- 矢田良治, 山下仁, 伊藤吉孝, 潮見幸司, 2008. 溝付消波ブロックによる海洋生物創出への試み. 海洋開発論文集, 24, 783-788.
- 矢持進, 米田佳弘, 吉澤昭人, 大塚正純, 二宮早由子, 2000. 関西国際空港地先海域の生物生産構造. 海岸工学論文集, 47, 1191-1195.
- 吉田吾郎, 新村陽子, 樽谷賢治, 浜口昌巳, 2011. 海藻類の一次生産と栄養塩の関係に関する研究レビュー—および瀬戸内海藻場の栄養塩環境の相対評価—. 水産総合研究センター研究報告, 34, 1-31.
- 吉田吾郎, 内村真之, 吉川浩二, 寺脇利信, 2001. 広島湾に生育する海藻類の炭素・窒素含有量とその季節変化. 瀬戸内海区水産研究所研究報告, 3, 53-61.

* * * * *

An attempt of a quantitative evaluation of the biomass carbon around harbor structures

Ayana Akimoto*¹, Atsushi Kunita*², Yuichi Kuroda*³, Yasuhiko Sakai*¹, Taichiro Miyazaki*¹, Haruyuki Kojima*⁴

*¹ IDEA Consultants, Inc., 1-24-22 Nanko-kita, Suminoe-ku, Osaka city, Osaka 559-8519, Japan

*² Kitakyushu Port and Airport Office, Kyushu Regional Development Bureau, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, 1-4-40 Nishikaigan, Moji-ku, Kitakyushu city, Fukuoka 801-0841, Japan

*³ Shimonoseki Port Office, Kyushu Regional Development Bureau, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, 2-29-1 Higashiyamatomachi, Shimonoseki city, Yamaguchi 750-0066, Japan

*⁴ 2-22-1, Izumigaoka, Munakata city, Fukuoka 811-4142, Japan

Received: February, 6. 2017, Accepted: June, 26. 2017