

I 課題名

平成29年度水産基盤整備調査委託事業 餌料生物現存量の原単位化調査

II 実施機関及び担当者名

一般財団法人漁港漁場漁村総合研究所
第2調査研究部 伊藤 靖

III 実施年度

平成27年度～平成29年度

IV 緒言（まえがき）

水産環境整備事業では、生態系ピラミッドの各段階で効果算定が可能な餌料生物の増殖効果を適正に把握し、事業効果をより正確に評価する必要があり、以下のことが課題になっている。

- (1) 現在、水産環境整備事業に係る事前評価では、海域や水深による標準的な原単位がないため、個別事業ごとに餌料生物量を計測している場合が多く、その精度に課題がある。
- (2) 水産環境整備事業の評価においては、「環境基盤の重視」を考慮した生態系全体の底上げ効果の評価手法に関する新たな考え方が求められている。
- (3) 水産環境整備は、PDCAサイクルに従って事業を進めることが求められており、それに必要なモニタリングの充実を図る必要がある。しかし、餌料生物に係る現地調査の方法については、標準化が図られておらず、課題となっている。

そこで、水産環境整備事業に係る事前評価等の精度を高めるために、以下の対策（検討）を行った。

- (1) 事前評価等の精度向上を目的とした餌料生物平均現存量の原単位化の検討・設定。
- (2) 水産環境整備事業の「環境基盤の重視」を考慮した新たな便益算定方法の検討。
- (3) 餌料生物に関する事業評価のための現地調査方法の標準化を目的とする「漁場施設における餌料生物現地調査マニュアル（暫定版）」の作成。

V 方法

V.1 餌料生物平均現存量の原単位化

餌料生物平均現存量の原単位化は、下記のフローで実施した。なお、原単位化する餌料生物平均現存量とは、餌料生物の年平均現存量のことである。

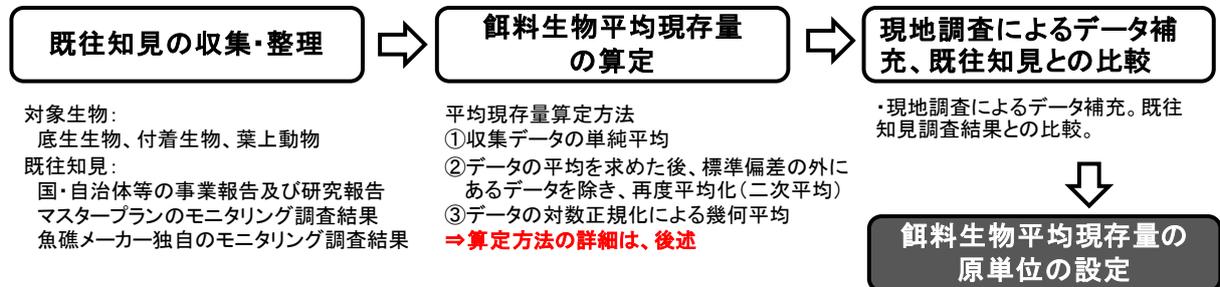


図 V-1 餌料生物平均現存量の原単位化に関するフロー

V.1.1 既往知見の収集・整理

既往知見は、表 V-1 に示した条件に沿ったものを収集した。また、収集したデータは、①一般公開されている研究データ、②魚礁メーカー独自の未公表データ、水産環境整備マスタープラン実施海域モニタリングデータであった。

表 V-1 収集した既往知見の条件

付着生物	： 漁場施設もしくは漁港施設に付着するものを対象とした。
底生生物	： 知見の多くは、漁場施設計画水域において事前に調査されたもので、これらを中心に資料を収集した。また、竣工後の調査事例についても収集した。
葉上動物	： ガラモ、アラメ等の藻類に付着する葉上動物は漁場及び漁港施設で採集されたものを対象とするが、アマモ場の葉上動物に関しては造成藻場の調査事例が少ないため、天然藻場の事例を収集した。

V.1.2 餌料生物平均現存量（原単位）の算定

収集した標本データの頻度分布をみると、そのデータにはばらつきが認められた（図 V-2 参照）。そこで、以下の 3 つの方法で餌料生物平均現存量（原単位）を求めて比較検討し、適正化を図ることにした。

- ① 標本データの単純平均
- ② 標本データの二次平均（単純平均の標準偏差の外にあるデータを除き、再度平均値を求める方法）
- ③ 標本データの対数正規化による幾何平均（相乗平均とも云う）

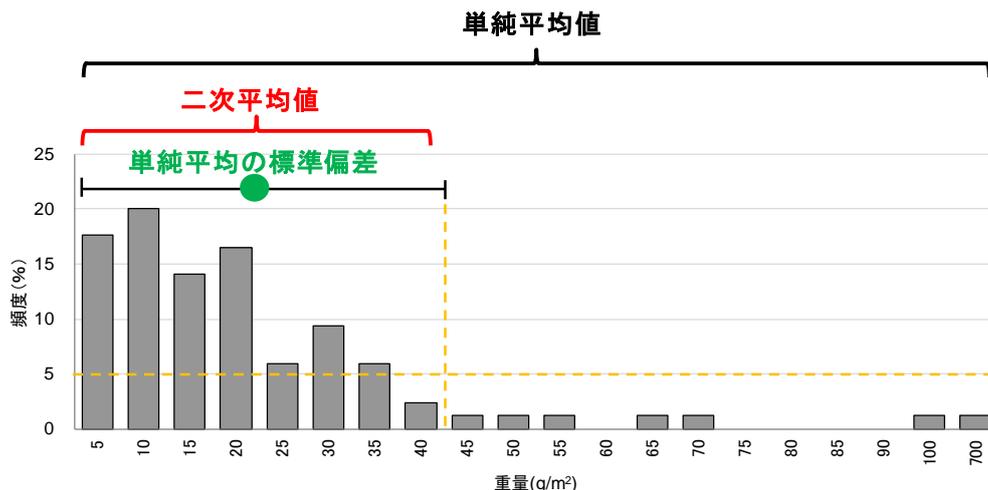


図 V-2 収集した標本データ（既往知見データの平均現存量）の頻度分布の例

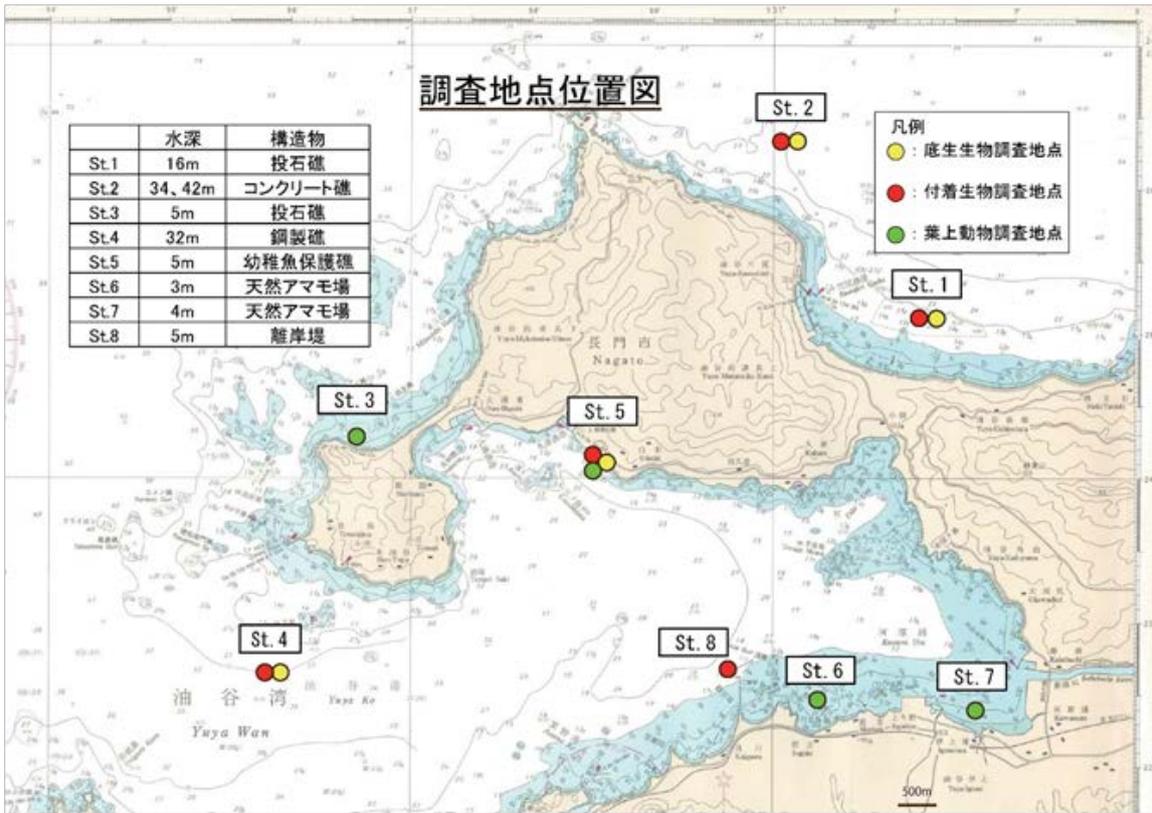
V.1.3 現地調査

現地調査は、標本データの補充、既往知見によって算定された餌料生物平均現存量の精査等を目的に実施した。

現地調査は、平成 27・28 年度は日本海西区の山口県油谷地区と瀬戸内海区の兵庫県家島地区、平成 29 年度は既往知見の少ない太平洋中区の三重県志摩地区、太平洋南区の大分県佐伯地区をモデルに行った。

現地調査の位置は、図 V-3 及び図 V-4 に示したとおりであった。また、調査内容の概要は、図 V-5 に示したとおりであった。なお、底生生物効果範囲調査については、後述の便益算定方法の検討や現地調査マニュアルにおける基礎資料として、平成 28 年度に山口県油谷地区のみで実施した。

(日本海西区：山口県油谷地区)



(瀬戸内海区：兵庫県家島地区)

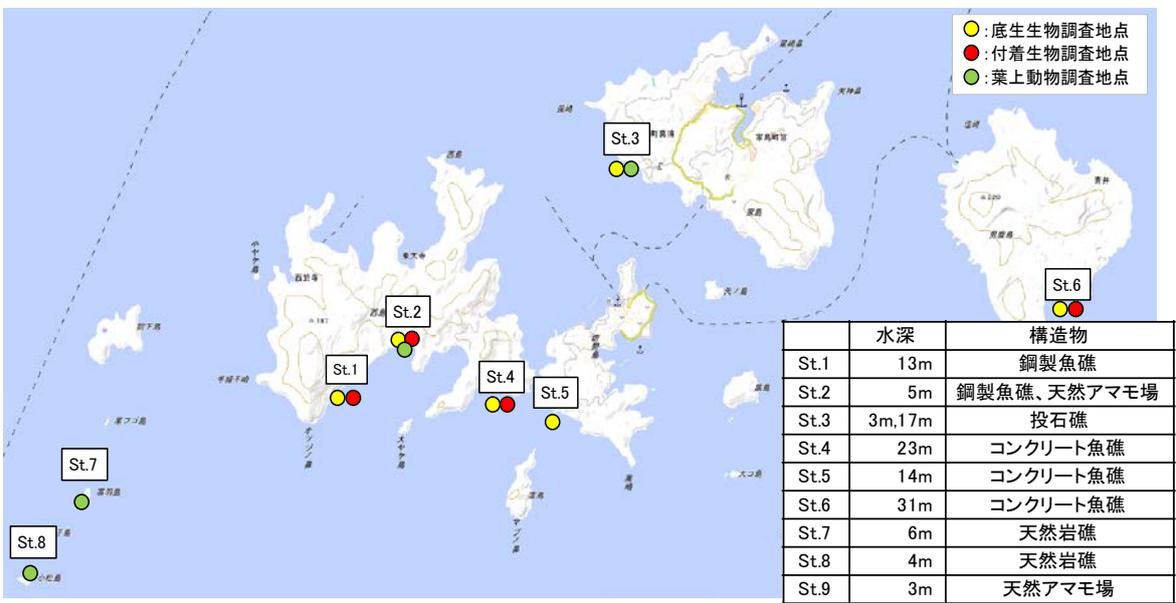


図 V-3 平成 27・28 年度における現地調査位置図

(太平洋中区：三重県志摩地区)



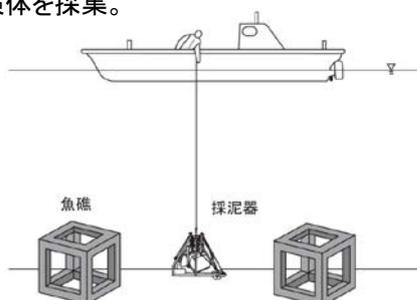
(太平洋南区：大分県佐伯地区)



図 V-4 平成 29 年度における現地調査位置図

■ 底生生物調査

漁場施設とその対照区で、採泥器を用いて四季もしくは二季において調査。原則、1地点あたり3検体を採集。



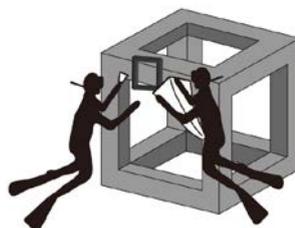
■ 葉上動物調査

海藻の繁茂期に坪刈り法によって50cm×50cmの枠内の海藻(草)を刈り取り、付着する動物を分析・調査した。原則、1地点あたり3検体を採集。



■ 付着生物調査

坪刈り法によって20cm×20cmの枠内の生物を採集し、調査。原則、1地点あたり5検体を採集。



■ 底生生物効果範囲調査

魚礁群の縁辺から、5mまでは1m間隔、それ以降は10m、20m、50m、100m、200mに地点を置き、採泥器等で調査した。1地点あたり1検体を採集。

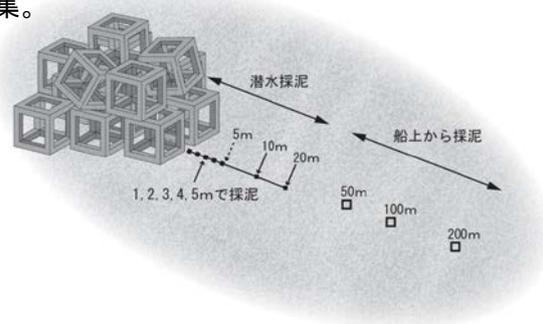


図 V-5 現地調査の概要

V.2 新たな便益算定方法の検討

水産環境整備事業の理念や考え方等を整理し、従来の漁場整備との比較を行い、当該整備事業における新たな評価方法の考え方について検討を行った。

V.3 漁場施設における餌料生物現地調査マニュアル（暫定版）の作成

上記の本調査で検討された調査結果や既往知見等を用いて、現地調査マニュアル（暫定版）を作成した。

VI 結果

VI.1 餌料生物平均現存量の原単位化

VI.1.1 既往知見の収集・整理結果

(1) 収集した既往知見の標本及び検体数

調査期間の3年間で収集した標本数は、①底生生物 395 件 (1368 検体)、②付着生物 362 件 (716 検体)、③葉上動物 127 件 (209 検体) であった (表 V-2 参照)。また、このうち今年度は、水産環境整備マスタープラン実施海域において更新された新たなデータを中心に、①底生生物 24 件 (58 検体)、付着生物 18 件 (36 検体)、葉上動物 9 件 (9 検体) の標本を収集することができた。

表 VI-1 収集した既往知見の標本数及び総検体数

餌料種類	海区	H27-29年度	
		総標本数	総検体数
底生生物	北海道太平洋北	64	180
	北海道日本海北	42	130
	日本海北	18	123
	日本海西	59	67
	東シナ海	64	476
	瀬戸内海	117	294
	太平洋北	6	14
	太平洋中	8	63
	太平洋南	17	21
	計	395	1368
	付着生物	北海道太平洋北	20
北海道日本海北		16	34
日本海北		41	79
日本海西		18	18
東シナ海		72	74
瀬戸内海		133	260
太平洋北		21	161
太平洋中		28	28
太平洋南		13	14
計		362	716
葉上動物		北海道太平洋北	-
	北海道日本海北	2	2
	日本海北	8	8
	日本海西	16	40
	東シナ海	15	22
	瀬戸内海	62	101
	太平洋北	8	17
	太平洋中	12	15
	太平洋南	4	4
	計	127	209

注) 検体数は各知見のデータ数、標本数は検体から得られた知見毎の年平均現存量

(2) 既往知見の整理

1) 類型化の検討

同一条件のコンクリート製テストピースを用いて詳細に付着生物現存量を比較検討した対馬海域の事例¹⁾では、テストピースに付着した生物相が水深 40m 以浅と 90m で異なると報じられた(図 VI-1 参照)。また、現存量についても、フジツボ類の付着量が多い水深 40m 以浅と生物相が異なる 90m の平均現存量の間に大きな差が生じ、統計的にも有意な差が示された(U 検定;信頼区間 99%)¹⁾。

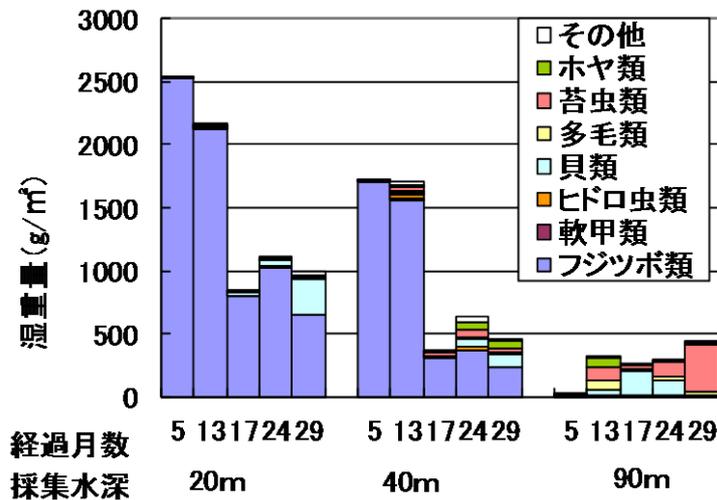


図 VI-1 付着生物現存量の水深比較¹⁾

そこで、収集した標本データから得られる水深別現存量の比較を行い、本調査の原単位化における水深による類型化が図れるか検討した。

水深の検討は、表 VI-2 に示したように収集した現存量データが少ない海区もあることから、全国の水深別平均現存量によって比較することにした。また、水深の区分は、特に付着生物が 30m 台までのデータが主であったことから、10m 未満、10m 台、20m 台、30m 以深とした。なお、葉上動物については、水深 20m 未満のデータが主であることから、ここでは対象にしなかった。

表 VI-1 餌料生物現存量データの標本数

底生生物現存量の標本数					付着生物現存量の標本数				
海区	<10m	10-19m	20-29m	≥30m	海区	<10m	10-19m	20-29m	≥30m
北海道太平洋北	6	8		50	北海道太平洋北		8		12
北海道日本海北		8		34	北海道日本海北	8	8		
日本海北	4			14	日本海北	15	11	4	10
日本海西		2		57	日本海西	4	2	4	6
東シナ海	11	15	4	30	東シナ海	12	16	12	32
瀬戸内海	28	31	20	29	瀬戸内海	48	51	7	
太平洋北				6	太平洋北	9	4	3	5
太平洋中	2	5			太平洋中	11	6	8	3
太平洋南	4		13		太平洋南	5	5	3	
総計	55	69	37	220	総計	112	111	41	68

収集した既往知見の水深別の底生生物平均現存量、付着生物平均現存量の比較を図 VI-2 に示した。

底生生物平均現存量は、10m 未満や 30m 以深でやや高いが、大きな差は示されなかった。

付着生物平均現存量については、水深が増すにつれて大きくなる傾向がみられたが、その関係性は統計的には不明瞭であった。

また、これら水深との関係性は、浅場から水深 30m 程度の範囲で行った後述の現地調査の結果においても明瞭に示されなかった。

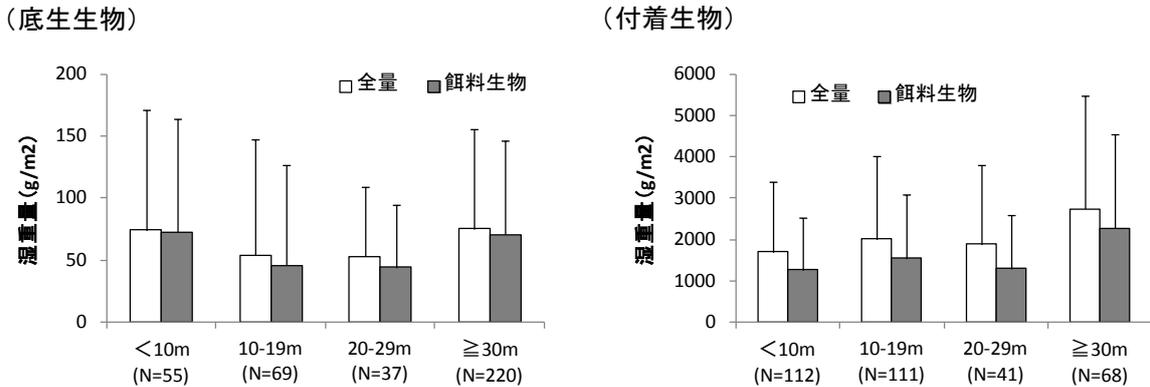


図 VI-2 既往知見における餌料生物平均現存量の水深比較

対馬海域の事例において生物相や現存量が水深で異なった理由は、以下のとおり考察された¹⁾。

- ① 海域の補償深度（有光層）による、付着生物の餌料環境の相違
→水深 40m 以浅は、植物・動物プランクトンが多く、フジツボ類等のプランクトン食の付着生物が多い。一方、水深 90m はデトリタスが多く、それを食す付着生物が多い。
- ② 海域や地形による幼生密度及び移送速度の相違

本調査で収集した既往知見において水深による違いが確認できなかった理由は、収集した標本データの水深が主に 30m 程度までと浅く、補償深度以深となる深場のデータが少なかったためと考えられた。

以上の検討結果から、本調査で設定する餌料生物現存量の原単位化については、全層の平均値を現存量として整理し、標準化するのが望ましいと考えられた。

2) 海域区分の検討

次に、収集した既往知見の海域区分の整理方法について検討を行った。

海域の区分は、①広範な大洋・縁海による区分、②水産行政や研究において広く用いられる大海区区分（図 VI-3 参照）、③近年の気候変動による海面水温の上昇を受けて気象庁が分類した海域区分（図 VI-4 参照）の3つで、検討した。

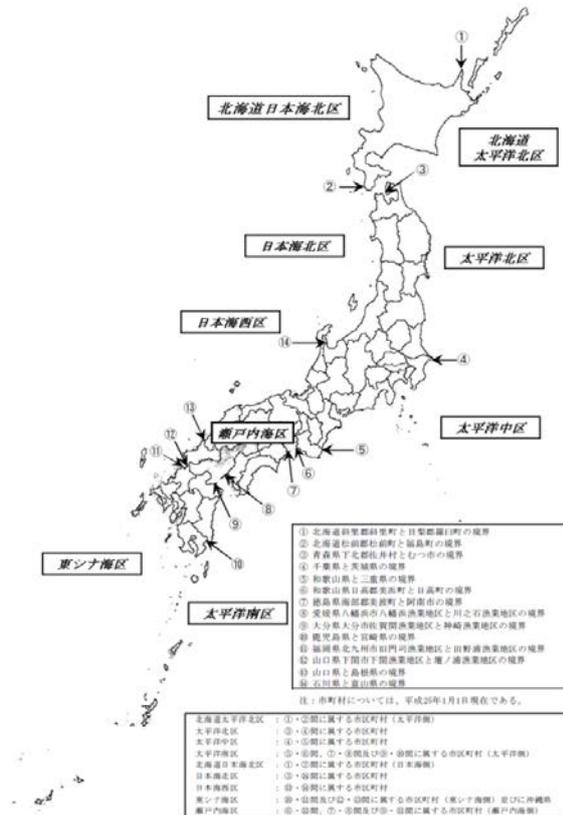


図 VI-3 水産行政・研究における大海区区分

3つの海区区分の標本データ数の一覧を、表 VI-2 に示した。

標本データ数は、当然、海区区分が細くなるほど減少した。特に、気候変動の影響で分類された「気象庁-海区」において、データが欠落する海区が複数みられ、課題となった。

次に、我が国の海流の状況や生物相の地理的分布を、図 VI-5 及び図 VI-6 に示した。

日本近海には、①南西諸島から太平洋沿岸の房総半島沖に流れる黒潮、②東シナ海から日本海を北上し津軽暖流や宗谷暖流に枝分かれする対馬暖流、③千島列島の方から流れてくる親潮の3つの海流がある。

また、我が国の気候は、北では亜寒帯、中間では温帯、南では亜熱帯と異なっている。

これら海洋・気象条件の違いから、例えば太平洋側の生物相は、①北海道では亜寒帯～北方系温帯性群集、②三陸～房総では親潮-黒潮混合域で北方系の温帯性群集、③房総～紀伊半島では南方系の温帯性群集、④紀伊半島以南では亜熱帯～南方系温帯性群集が優勢になっている。また、これら生物相の地理的区分は、「水産-大海区区分」でおおよそ反映できた。

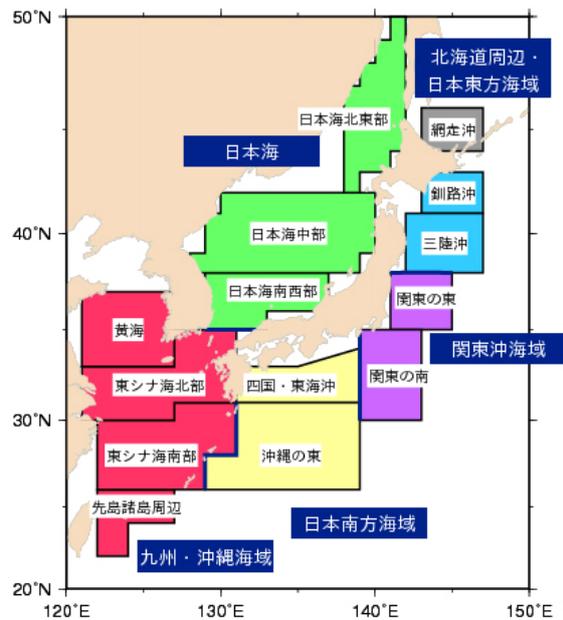


図 VI-4 海面水温長期変動傾向における海域区分

以上の検討結果から、本調査で設定する餌料生物現存量の原単位化については、水産行政や研究で広く用いられる大海区区分で整理するのが望ましいと考えられた。

表 VI-1 各海区における標本数一覧

【底生生物】

大洋・縁海	標本数	水産-大海区	標本数	気象庁-海区	標本数
オホーツク海	8	北海道日本海北	42	網走沖	8
日本海	111	日本海北	18	日本海北東部	34
		日本海西	59	日本海中部	18
東シナ海	64	東シナ海	64	日本海南西部	59
				東シナ海北部	64
				東シナ海南部	-
瀬戸内海	117	瀬戸内海	117	瀬戸内海	117
太平洋	95	太平洋南	17	沖繩東	-
		太平洋中	8	四国・東海沖	25
		太平洋北	6	関東南	-
		北海道太平洋北	64	関東東	-
				三陸沖	6
				釧路沖	20
				他	44
計	395	計	395	計	395

【付着生物】

大洋・縁海	標本数	水産-大海区	標本数	気象庁-海区	標本数
オホーツク海	-	北海道日本海北	16	網走沖	-
日本海	75	日本海北	41	日本海北東部	16
		日本海西	18	日本海中部	41
東シナ海	72	東シナ海	72	日本海南西部	18
				東シナ海北部	72
				東シナ海南部	-
瀬戸内海	133	瀬戸内海	133	瀬戸内海	133
太平洋	82	太平洋南	13	沖繩東	-
		太平洋中	28	四国・東海沖	41
		太平洋北	21	関東南	-
		北海道太平洋北	20	関東東	-
				三陸沖	21
				釧路沖	-
				他	20
計	362	計	362	計	362

【葉上動物】

大洋・縁海	標本数	水産-大海区	標本数	気象庁-海区	標本数
オホーツク海	-	北海道日本海北	2	網走沖	-
日本海	26	日本海北	8	日本海北東部	2
		日本海西	16	日本海中部	8
東シナ海	15	東シナ海	15	日本海南西部	16
				東シナ海北部	15
				東シナ海南部	-
瀬戸内海	62	瀬戸内海	62	瀬戸内海	62
太平洋	24	太平洋南	4	沖繩東	-
		太平洋中	12	四国・東海沖	16
		太平洋北	8	関東南	-
		北海道太平洋北	-	関東東	-
				三陸沖	8
				釧路沖	-
				他	-
計	127	計	127	計	127

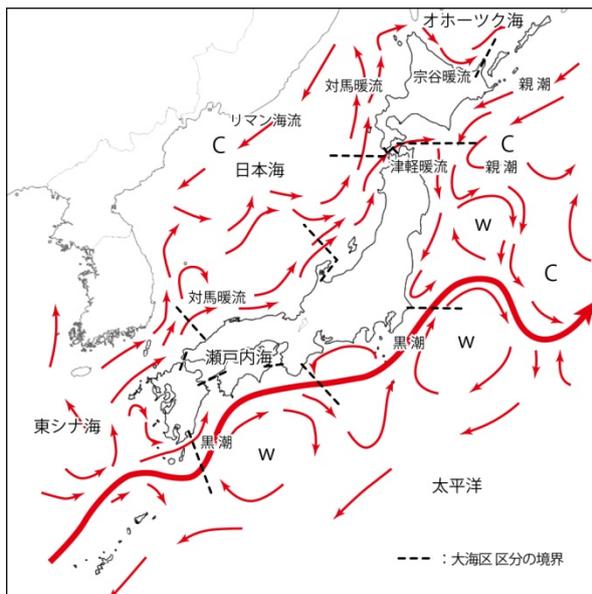


図 VI-5 日本近海の海流²⁾

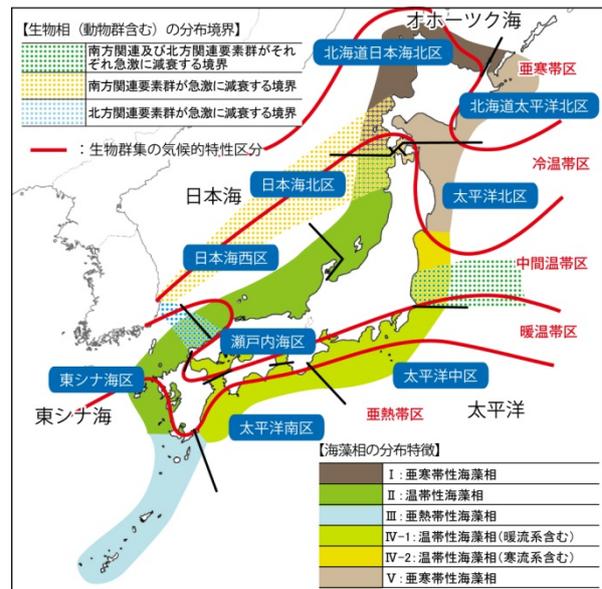


図 VI-6 生物相の地理的区分^{3), 4)}

VI. 1. 2 餌料生物平均現存量（原単位）の算定及び比較検討結果

餌料生物平均現存量を「V. 1. 2 餌料生物平均現存量（原単位）の算定」の項で述べた3つの算定方法より求め、その結果を比較検討した。検討結果の一例を、図VI-7に示した。

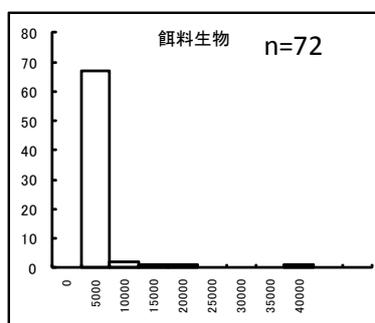
単純平均は、突出した現存量によって平均現存量が大きく見積もられた。また、他の算定方法に比べて標準偏差が高く、過大評価の恐れがあると考えられた。

二次平均や幾何平均については、データのバラツキが抑えられ、標準偏差が小さくなった。また、幾何平均は、データの対数変化により頻度分布が正規化した。ただし、現存量は単純平均の0.4倍と低く、過小評価が懸念される結果となった。

この検討結果の傾向は、他の海区等のケースにおいてもほぼ同様であった（表VI-2～VI-7参照）。

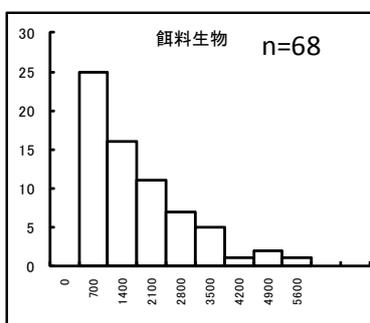
① 単純平均

平均:2,312g/m²
標準偏差:4,831



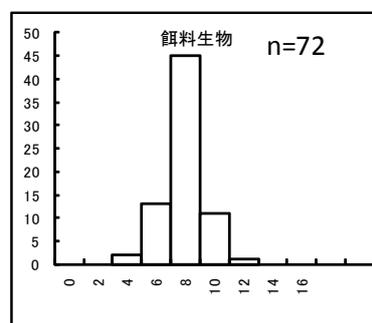
② 二次平均

平均:1,370g/m²
標準偏差:1,174



③ 幾何平均

平均:991g/m²
標準偏差:1.338(対数化時)



図VI-7 各算定方法における餌料生物平均現存量の比較（東シナ海区, 付着生物）

表VI-2 各海区における底生生物平均現存量の算定結果

(平均現存量:g/m²)

海区	単純平均			二次平均			幾何平均		
	全量	餌料生物	選好性	全量	餌料生物	選好性	全量	餌料生物	選好性
北海道太平洋北	357	354	30	191	190	17	130	127	17
北海道日本海北	143	134	8	92	82	6	77	67	6
日本海北	46	20	11	28	22	8	26	15	9
日本海西	20	17	11	12	11	8	13	11	8
東シナ海	89	48	16	41	21	8	27	20	8
瀬戸内海	94	75	25	54	50	18	39	38	13
太平洋南	22	22	7	10	10	4	9	9	4
太平洋中	179	22	6	59	22	3	62	18	4
太平洋北	134	133	131	161	160	159	117	116	113

(標準偏差)

海区	単純平均			二次平均			幾何平均		
	全量	餌料生物	選好性	全量	餌料生物	選好性	全量	餌料生物	選好性
北海道太平洋北	704	696	38	180	180	13	1.5	1.5	1.1
北海道日本海北	240	240	7	67	60	4	1.1	1.2	0.8
日本海北	78	14	8	17	11	4	1.0	0.8	0.7
日本海西	22	19	12	8	8	6	0.9	0.9	0.8
東シナ海	225	100	33	62	19	6	1.3	1.1	0.9
瀬戸内海	230	126	70	54	46	16	1.2	1.1	1.0
太平洋南	39	39	8	10	10	3	1.3	1.3	0.9
太平洋中	235	12	7	84	1	2	1.7	0.8	0.8
太平洋北	66	67	68	31	32	32	0.6	0.6	0.6

注) 幾何平均の標準偏差は、対数変換時の値を表す。

表 VI-3 各海区における付着生物平均現存量の算定結果

(平均現存量: g/m²)

海区	単純平均			二次平均			幾何平均		
	全量	餌料生物	選好性	全量	餌料生物	選好性	全量	餌料生物	選好性
北海道太平洋北	3,145	2,468	20	1,468	1,240	12	1,117	897	8
北海道日本海北	609	452	114	246	122	8	133	111	5
日本海北	4,489	2,139	61	2,958	1,308	19	1,776	1,102	9
日本海西	1,550	1,470	133	1,072	787	81	1,062	988	69
東シナ海	2,859	2,312	92	1,883	1,370	58	1,380	991	35
瀬戸内海	2,322	1,793	78	1,504	1,040	55	1,195	775	40
太平洋南	1,255	967	23	1,110	730	15	956	616	18
太平洋中	2,038	1,547	56	1,210	951	33	1,053	603	29
太平洋北	3,695	2,184	44	989	824	10	692	371	5

(標準偏差)

海区	単純平均			二次平均			幾何平均		
	全量	餌料生物	選好性	全量	餌料生物	選好性	全量	餌料生物	選好性
北海道太平洋北	3,876	2,827	32	1,754	1,318	14	1.8	1.8	1.3
北海道日本海北	1,522	1,323	425	467	97	15	1.6	1.4	1.9
日本海北	10,201	2,380	170	2,875	1,038	40	1.6	1.4	1.8
日本海西	1,287	1,317	182	547	468	88	1.0	1.0	1.2
東シナ海	5,208	4,831	190	1,576	1,174	64	1.2	1.3	1.4
瀬戸内海	2,749	2,501	173	1,361	1,056	50	1.3	1.4	1.1
太平洋南	976	1,051	20	604	640	6	0.8	1.0	0.6
太平洋中	2,371	2,067	71	1,215	1,151	29	1.2	1.5	1.2
太平洋北	8,625	6,382	113	1,003	1,418	20	1.9	1.8	1.9

注) 幾何平均の標準偏差は、対数変換時の値を表す。

表 VI-4 各海区のアラメ・カジメ場における葉上動物平均現存量の算定結果

(平均現存量: g/m²)

海区	単純平均			二次平均			幾何平均		
	全量	餌料生物	選好性	全量	餌料生物	選好性	全量	餌料生物	選好性
日本海北	44	44	6	20	20	3	30	30	5
日本海西	126		91	14		4	26		12
瀬戸内海	47	44	14	24	31	8	26	27	8
太平洋中	230	84	25	126	47	8	86	36	9

(標準偏差)

海区	単純平均			二次平均			幾何平均		
	全量	餌料生物	選好性	全量	餌料生物	選好性	全量	餌料生物	選好性
日本海北	48	48	6	8	8	1	1.0	1.0	0.8
日本海西	223		174	15		3	2.1		2.2
瀬戸内海	55	41	16	18	22	6	1.2	1.2	1.0
太平洋中	358	122	50	189	56	6	1.5	1.4	1.2

注) 幾何平均の標準偏差は、対数変換時の値を表す。

表 VI-6 各海区のガラモ場における葉上動物平均現存量の算定結果

(平均現存量: g/m²)

海区	単純平均			二次平均			幾何平均		
	全量	餌料生物	選好性	全量	餌料生物	選好性	全量	餌料生物	選好性
日本海西	148	124	38	84	47	13	77	63	16
東シナ海	105		19	44		20	16		15
瀬戸内海	76	62	32	41	24	15	28	15	8
太平洋南			15			15			11
太平洋中	64	31	5	37	22	2	50	28	4
太平洋北	97			47			47		

(標準偏差)

海区	単純平均			二次平均			幾何平均		
	全量	餌料生物	選好性	全量	餌料生物	選好性	全量	餌料生物	選好性
日本海西	156	146	58	74	40	10	1	1	1
東シナ海	140		12	83		8	2		1
瀬戸内海	118	122	65	47	36	20	1	2	2
太平洋南			14			14			1
太平洋中	51	18	4	24	10	1	1	1	1
太平洋北	137			34			1		

注) 幾何平均の標準偏差は、対数変換時の値を表す。

表 VI-7 各海区のコンブ場・アマモ場における葉上動物平均現存量の算定結果

(平均現存量: g/m²)

海区	単純平均			二次平均			幾何平均		
	全量	餌料生物	選好性	全量	餌料生物	選好性	全量	餌料生物	選好性
日本海北	111	111	11	112	112	9	109	109	10
瀬戸内海	12	13	5	6	7	3	7	8	4

(標準偏差)

海区	単純平均			二次平均			幾何平均		
	全量	餌料生物	選好性	全量	餌料生物	選好性	全量	餌料生物	選好性
日本海北	25	25	4	19	19	2	0	0	0
瀬戸内海	16	17	5	4	4	1	1	1	1

注 1) 幾何平均の標準偏差は、対数変換時の値を表す。

注 2) 日本海北区はコンブ場、瀬戸内海区はアマモ場の現存量を表す。

VI.1.3 現地調査結果

(1) 現地調査によって補充した標本数

現地調査によって補充した標本データの数は、表 VI-7 に示したとおりであった。

表 VI-7 現地調査によって補充した標本数

餌料種類	海区	現地調査	
		総標本数	総検体数
底生生物	日本海西	32	128
	瀬戸内海	48	192
	太平洋南	16	48
	太平洋中	16	48
	計	112	416
付着生物	日本海西	18	130
	瀬戸内海	16	120
	太平洋南	8	40
	太平洋中	10	50
	計	52	340
葉上動物	日本海西	12	42
	瀬戸内海	12	42
	太平洋南	6	18
	太平洋中	6	18
	計	36	120

注) 検体数は補充したデータ数、標本数は検体から得られた年平均現存量

(2) 現地調査による餌料生物平均現存量の精査

既往知見において実施した水深別の餌料生物平均現存量の比較について、現地調査においても検討を行った。また、既往知見において算定した餌料生物平均現存量の精査を行った。

1) 水深別の餌料生物平均現存量の比較検討

現地調査における水深別の底生生物平均現存量、付着生物平均現存量の比較を図 VI-2 に示した。

浅場から水深 30m 程度の範囲における餌料生物平均現存量は、①底生生物では多毛類や貝類、②付着生物では貝類やフジツボ類の出現状況によって大きく異なった。

水深とこれら生物の出現状況との関係性については、各海域で一貫しておらず、前述の既往知見の水深比較と同様に不明瞭であった。

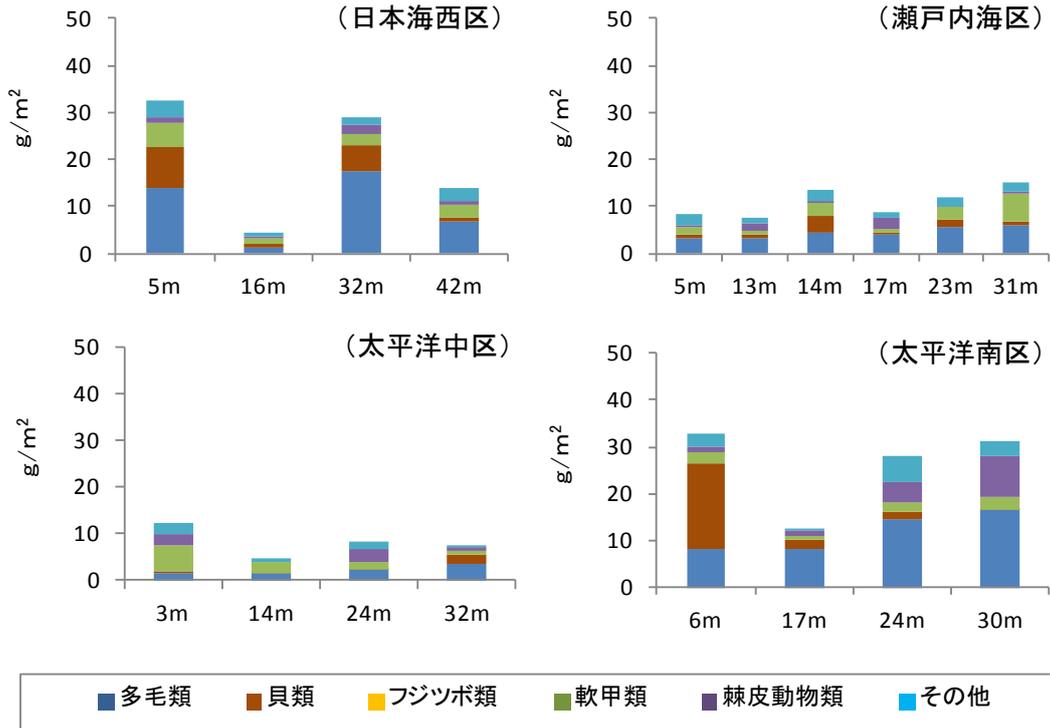


図 VI-8 現地調査における底生性餌料生物平均現存量の水深比較

注) ここでの現存量は、湿重量 1g 以上のウニ類等の個体を除く

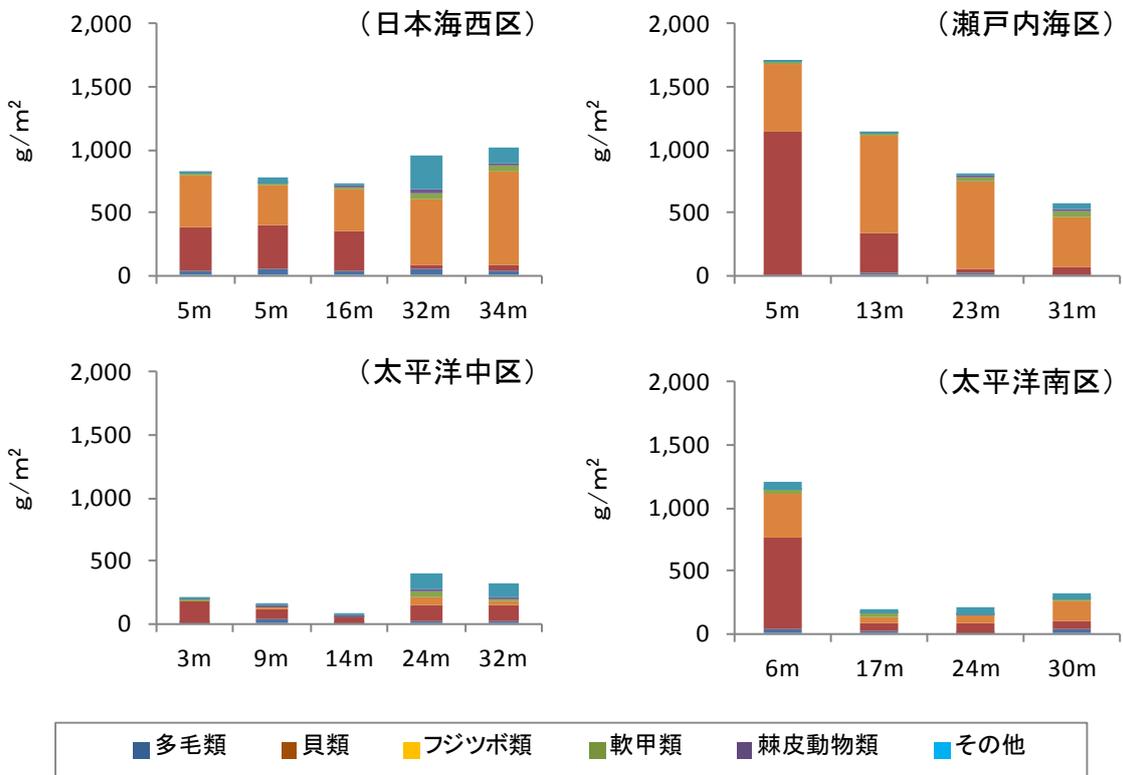


図 VI-9 現地調査における付着性餌料生物平均現存量の水深比較

注) ここでの現存量は、湿重量 1g 以上のカキ類等の個体を除く

2) 餌料生物平均現存量の精査

既往知見で算定した各方法の餌料生物平均現存量と現地調査における平均現存量との比較を、図 VI-9 及び VI-10 に示した。

既往知見と現地調査の平均現存量を比較すると、両者の差が±50%の範囲に収まるケースは、単純平均では2ケース、二次平均及び幾何平均では5~6ケースであり、後者の算定方法が現地調査結果に類似する確率が高いと考えられた。

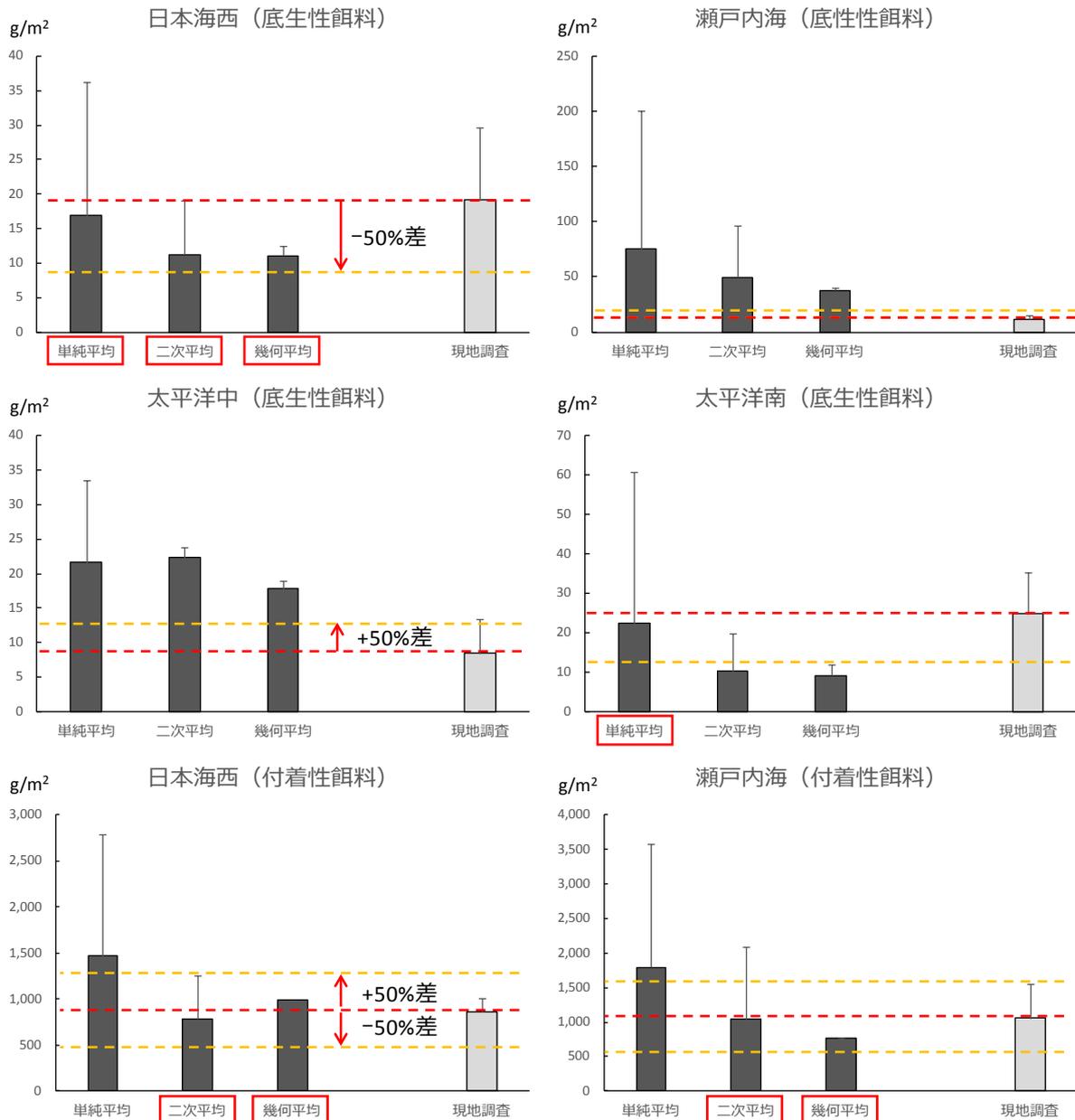


図 VI-9 既往知見の各算定方法における餌料生物平均現存量と現地調査結果との比較 (その1)

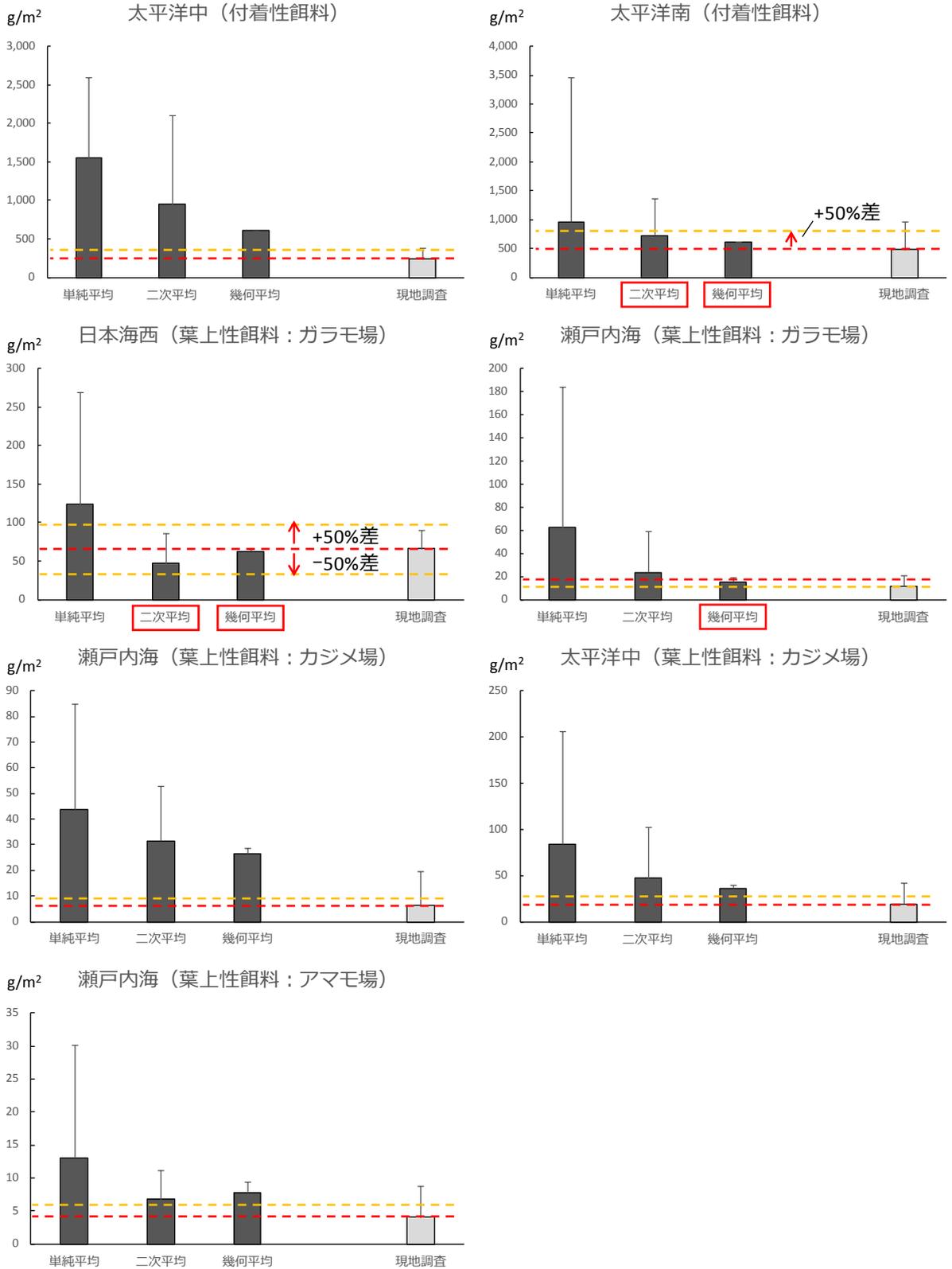


図 VI-10 既往知見の各算定方法における餌料生物平均現存量と現地調査結果との比較 (その2)

単純平均で求めた餌料生物平均現存量は、突出したデータの存在によって過大評価になる恐れがあることを「VI. 1. 2 餌料生物平均現存量（原単位）の算定及び比較検討結果」の項で述べた。

この単純平均の過大評価については、現地調査結果との精査においても、値が高くなるケースが多く、同様であると考えられた。

一方、現地調査結果との精査において、類似するケースがやや多かった二次平均と幾何平均については、データのばらつきが一定程度抑えられ、且つ過小評価の恐れを回避できる二次平均が原単位化の算定手法として望ましいと考えられた。その理由は、以下のとおりであった。

前述の現地調査の水深比較で、群体性のフジツボ類や比較的重量が大きい貝類等の出現状況の違いによって、現存量が大きく異なることが判った。これら出現種の現存量は、①各海域の幼生密度の違いで異なったり、②幼生の移送速度等の海況の違いで同一の海域であっても場所によって差がみられたりする可能性が高い。そのため、大海区区分で原単位化を図る本検討においては、一定のデータのばらつきは単純に無視できないと考えられ、二次平均による算定手法が適正であると判断された。

VI. 1. 4 餌料生物平均現存量に係る原単位の設定

以上の検討結果から、餌料生物平均現存量に係る原単位の設定は、下記の条件で求めることにした。

- ① 水深による類型化は、各海域の環境条件で変化するために一律に設定できない。そこで、全層の平均値を現存量として設定する。
- ② 原単位設定に係る海域区分は、データの欠落が少なく、且つ海洋・気象条件や生物相の地理的区分をおおよそ網羅できる「水産行政等で広く用いられる大海区」とする。
- ③ 原単位の算定方法は、各海区の既存データの変動（ばらつき）を一定量考慮することができる二次平均を採用する。

既往知見で得られたデータに、現地調査の結果データを補充し算定した餌料生物平均現存量の原単位は、表 VI-9 に示したとおりとなった。

表 VI-9 海区別の餌料生物平均現存量（年平均）一覧

		現存量単位：g/m ²			
餌料生物	海区	全生物	餌料生物	選好性餌料生物	
底生生物	北海道太平洋北	191.3	177.0	17.8	
	北海道日本海北	91.7	81.9	6.1	
	日本海北	28.2	22.1	8.3	
	日本海西	15.9	14.4	8.7	
	東シナ海	41.1	20.5	8.2	
	瀬戸内海	39.9	32.2	12.9	
	太平洋南	21.5	21.2	9.3	
	太平洋中	13.6	8.9	4.0	
	太平洋北	160.9	160.0	159.2	
付着生物	北海道太平洋北	1,468	1,240	11.9	
	北海道日本海北	609.0	121.9	5.0	
	日本海北	2,092	1,308	9.5	
	日本海西	1,998	1,586	32.1	
	東シナ海	1,796	1,370	19.9	
	瀬戸内海	1,739	1,136	25.6	
	太平洋南	1,445	1,171	19.8	
	太平洋中	1,615	945.0	22.5	
	太平洋北	988.7	565.6	5.8	
葉上動物	北海道太平洋北	-	-	-	
	北海道日本海北	コンブ場	1.4	1.4	1.4
		ワカメ場	6.5	6.5	4.4
	日本海北	コンブ場	112.0	112.0	8.9
		ワカメ場	20.2	20.2	3.0
	日本海西	カジメ場	32.5	28.0	7.1
		ガラモ場	80.3	56.1	15.4
		アマモ場	30.9	6.9	2.2
	東シナ海	カジメ場	-	-	10.3
		ガラモ場	44.0	-	20.0
	瀬戸内海	カジメ場	18.3	21.2	6.7
		ガラモ場	39.0	17.6	14.0
		アマモ場	5.8	5.8	2.4
	太平洋南	カジメ場	139.2	87.9	9.9
		ガラモ場	68.1	59.7	8.0
		アマモ場	22.9	22.9	4.0
	太平洋中	カジメ場	51.5	41.7	6.7
		ガラモ場	37.1	24.0	4.0
アマモ場		22.9	22.9	4.0	
太平洋北	ガラモ場	46.7	-	-	
	アマモ場	21.9	-	-	

注1) 表中の餌料生物は、全生物から餌の価値として低い海綿動物やコケムシ類を除く生物。

選好性餌料生物は、餌料生物のうち多毛類や軟甲類を表す。

注2) 底生生物の平均現存量は、主に魚礁等の施設整備前の現存量データから求めた値であるため、整備後の底生生物生産量としては過小評価の恐れがあり、留意する必要がある。

VI.2 新たな便益算定方法の検討

VI.2.1 水産環境整備の理念

平成22年12月に「水産環境整備の基本方針」がとりまとめられ、その推進に向けた取り組みがスタートした。

水産環境整備の理念は、「環境基盤の重視」及び「点から空間へ」の視点を軸として、生態系全体の生産力の底上げを目指すことにある。

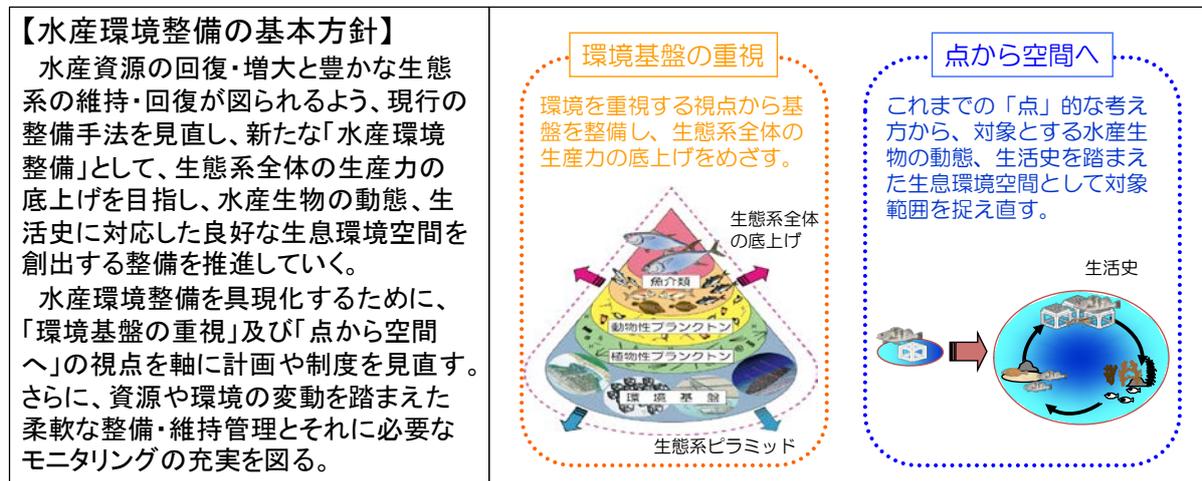


図 VI-11 水産環境整備の基本方針（概要）

VI.2.2 水産環境整備に係る事業評価の考え方と適用範囲

(1) 水産環境整備と従来の漁場整備との違い

従来の漁場整備は、対象魚種の生産量の増加が目標であり、その範囲は点（事業実施箇所）であり、対象種は特定の水産有用種であった。

一方、水産環境整備では生態系全体の生産力の底上げが目標であることから、その範囲は空間であり、対象種も生態系を構成する生物全体となった。

こうした目標や対象種の違いから、評価方法についても、新たな手法の検討が求められている。

表 VI-10 従来型の漁場整備と水産環境整備の違い

	従来型事業	水産環境整備
目標	対象魚種の生産量の増加	生態系全体の生産力の底上げ
対象種	特定種 (水産有用種)	複数種 (生態系を構成する生物全体)
範囲	点(事業の実施箇所)	空間(湾、灘など生活史全体)
整備内容	魚礁、増殖場の整備等	生息環境空間の包括的な改善・修復・創出
評価方法	対象種の漁獲量等	従来型の評価に加えて、生態系ピラミッドの他の階層に着目した評価

(2) 新たな評価手法の考え方

従来の漁場整備における具体的な評価手法は、生態系ピラミッドの頂点である有用魚種を対象に、①魚礁タイプでは漁獲原単位等を用いた生産量増加効果、②増殖礁タイプでは餌料生物による魚体重増加（増肉）による生産量の増大効果や幼稚魚収容量から得られる期待漁獲量などによって評価してきた。この手法は、新たな評価手法が確立されていない現行の水産環境整備においても、適用されている。

しかし、水産環境整備の評価手法において、「環境基盤の重視」を図りつつ「生態系全体の生産力の底上げ」を目標とする場合には、本来、生態系ピラミッドの低次の段階で定量的指標を設定することが望ましいと考えられる。

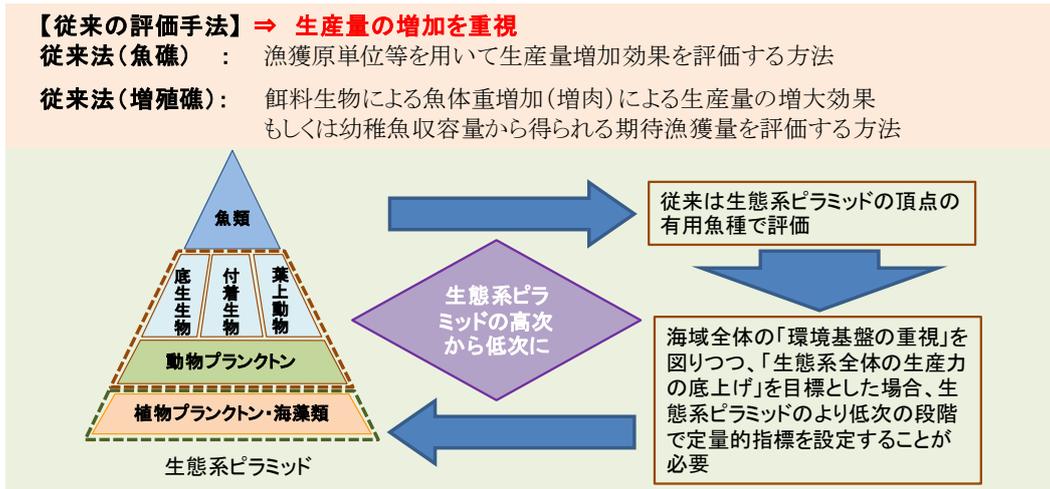


図 VI-12 従来の漁場整備における評価手法とその課題

そこで、生態系ピラミッドの低次における餌料生物（底生生物、付着生物、葉上動物）を定量的指標に設定し、その生物を直接貨幣化することで評価することにした。

なお、ここで生態系ピラミッドの低次に位置する植物プランクトンや動物プランクトンについては、漁場施設由来の定量データの取得が困難であるため、対象から除外した。

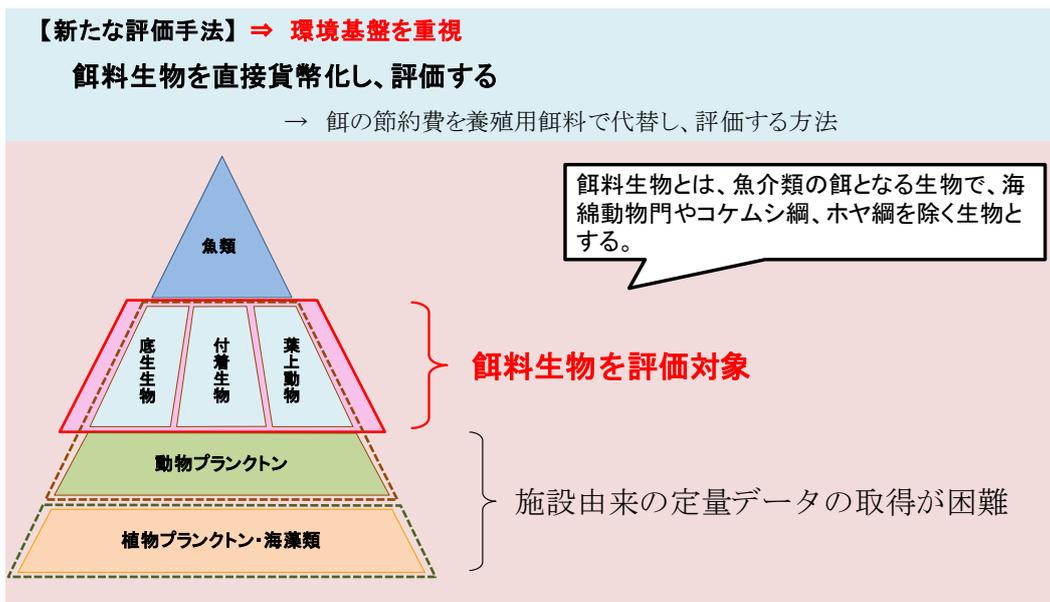


図 VI-13 新たな評価手法の考え方

(3) 新たな評価手法の適用範囲

新たな評価手法の適用範囲の考え方は、以下の図に示したとおりである。



範囲	評価方法
漁獲が期待できる空間 【魚礁型】	漁獲原単位等による従来法による評価
稚魚・若齢魚等の育成空間 (漁獲が期待できない空間) 【増殖礁型】	新たな評価(餌料生物の直接貨幣化)

図 VI-13 新たな評価手法の適用範囲の考え方

VI.2.3 新たな評価手法の便益算定方法

新たな評価（以降、餌料生物直接貨幣化法と称す）の便益算定方法は、以下のとおりである。

$$\text{年間便益額(円/年)} = \text{餌料生物年間生産量 (kg/年)} \times \text{餌の価値 (円/kg)}$$

ここで、餌料生物年間生産量は、下記の式で求める。

$$\text{餌料生物年間生産量 (kg/年)} = \text{餌料生物平均現存量 (kg/m}^2\text{)} \times \text{回転率} \times \text{事業量 (m}^2\text{)}$$

ここでの回転率は、既往文献 41 事例を調査した結果の平均値「3」と設定する⁵⁾。なお、ホンダワラ類（ガラモ場）などのように、一時期だけ現存量が高くなる藻場で葉上動物の

年間生産量を求める場合は、回転率を「1」と設定する（一世代で餌料生物が消失すると仮定）。

餌の価値は、養殖用餌料の単価で代替する。一般に、養殖用餌料として、下表の3つが魚種や状況に応じて使用されている。ここでは、このうち餌料生物と重量基準が同様であり、且つ対象とする魚種が多く汎用性が比較的高いモイストペレットの単価を設定する。

表 VI-11 主な養殖用餌料の種類とその重量基準

① 小魚をそのまま餌とする生餌(マグロ類等)	→ 重量基準:湿重量
② 養殖現場で、生餌と魚粉等の粉末配合餌料、必要に応じて餌料添加物等を混ぜて粒状に成型したモイストペレット(MP,ブリ類・マダイ等)	→ 重量基準:湿重量
③ 工場で配合餌料に栄養剤等を混ぜたあと、高圧下で乾燥した多孔質ペレットとして成型したエクストルーデッドペレット(EP,マダイ・ギンザケ等)	→ 重量基準:乾重量

(水産白書2013)

モイストペレットの単価の一例を、表 VI-12 に示した。

モイストペレットの単価は、およそ 100～130 円の範囲にあると考えられる。

なお、近年、生餌や魚粉の単価が高騰していることから、単価の年変動には留意する必要がある。

表 VI-12 モイストペレットの単価

県	対象魚種	単価(円/kg)	索引
三重県	マダイ	122円/kg	宮本・土橋,2013 ⁶⁾
愛媛県	マダイ	104～124+ α 円/kg	愛媛県水産研究センター聞き取り (α はビタミン類等の添加剤費:1kgあたり5円程度)
	ブリ類	97～105+ α 円/kg	
鹿児島県	ブリ類	109～119+ α 円/kg	鹿児島県聞き取り(α はビタミン類等の添加剤費)

注) 愛媛県及び鹿児島県の聞き取りによる単価は、一般的な養殖業者における費用

VI.2.4 便益の試算

ここで、新たな評価手法による便益について、水産環境整備事業の事例（仮定）をもとに試算することにした。また、従来の評価の考え方による便益試算も、比較のために行った。

(1) 試算に係わる前提条件

便益の試算に用いた水産環境整備事業の前提条件は、図 VI-14 に示したとおりである。

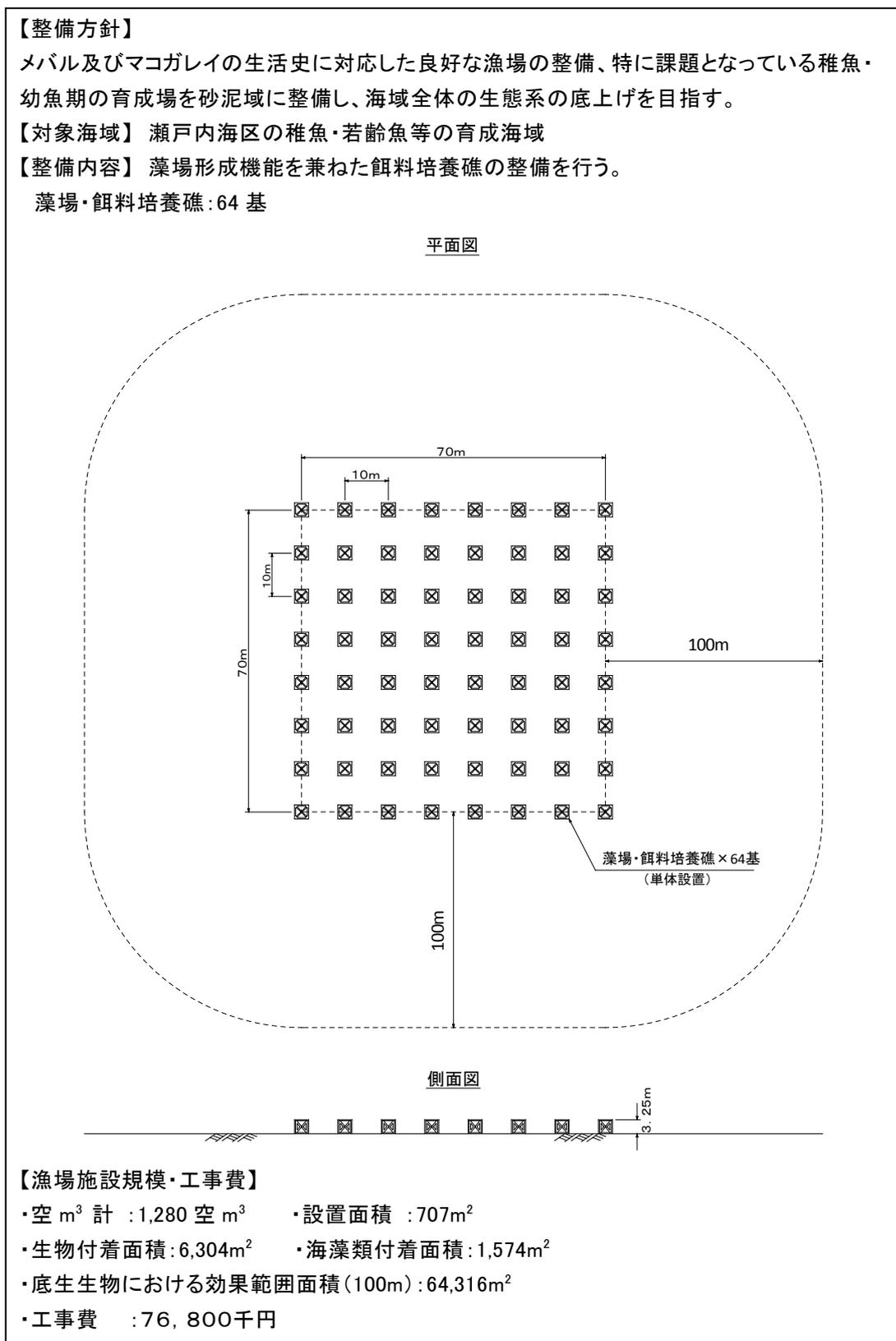


図 VI-14 便益試算に用いる水産環境整備事業の事例 (仮定)

ここで、底生生物における効果範囲面積を 100m とした理由は、下記のとおりである。

平成 28 年度の本業務において現地調査を行ったところ、設置後 10 年以上経過した鋼製魚礁の 50m 以内の範囲と 100m 以遠の範囲における底生生物平均現存量が前者で 3 倍高いことが判った（後述の図 VI-15 参照）。既往文献（人工魚礁漁場造成計画指針）においては、魚礁による底生魚類の効果範囲は 200m 程度であると報じられていることから、ここでは中間値の 100m を効果範囲として設定した。

(2) 試算に係わる便益項目（期待される効果）

前述の水産環境整備事業の事例において期待される効果（便益項目）は、表 VI-13 に示したとおりである。

従来の評価では、対象種ごとの幼稚魚育成効果や魚体重の増加効果を、海域全体の生態系の底上げを図る効果として考え、便益を算定する。

一方、新たな評価では、幼稚魚を含めた魚類の餌となる生物（底生生物・付着生物・葉上動物）が環境基盤を重視した整備によって増加する効果を、海域全体の生態系の底上げを図る効果として考え、便益を算定する。

なお、藻場や底生生物・付着生物・葉上動物の増加による水質浄化効果については、両評価において対象となる。

表 VI-13 水産環境整備事業の事例（仮定）において期待される効果

（従来の評価）

効果項目	対象魚種	内容
幼稚魚育成効果	メバル	礁体への大型海藻の着生によるメバル幼稚魚の育成効果
	マコガレイ	礁体設置による底生生物の増加によるマコガレイ幼稚魚の育成効果
魚体重増加効果	上記以外の魚類全般	礁体に付着する餌料生物による魚体重の増加効果

（新たな評価）

効果項目	対象魚種	内容
餌料生物増加による直接効果	メバル・マコガレイ幼稚魚を含む魚類全般	環境基盤を重視した整備によって増加した餌料生物の増加効果

（両者共通の評価）

効果項目	対象種	内容
水質浄化効果	大型海藻類	藻場の増加による水質浄化効果
	底生・付着・葉上動物	底生生物・付着生物・葉上動物等の一次消費者の増加による水質浄化効果

(3) 各効果項目における便益算定方法及び試算例

1) 従来の評価方法（幼稚魚育成効果・魚体重増加効果）による便益試算例

① 幼稚魚育成効果

【メバル】

礁体への大型海藻類の着生は、メバル幼稚魚の隠れ場や餌場としての育成効果が期待できる。

効果の定量化は、現地調査によって把握した幼稚魚尾数、もしくは大型海藻類に付着する葉上動物の年間生産量から幼稚魚収容尾数を推定し、その後の生残率や漁獲率等の資源特性値を乗じて期待漁獲量を求める方法（以降、生残解析と称す）で行う。

試算例を、以下の表に示す。

ここでの幼稚魚尾数は、魚礁メーカーが独自に現地調査で得た値を用いることにした。

VI-14 メバルの幼稚魚育成効果に関する試算例

礁体1基あたりのメバル幼稚魚尾数(A)	1,200 尾/基	平成28年に愛媛県の増殖礁で把握された魚礁メーカーの調査データ
設置基数(B)	64 基	想定値
総幼稚魚尾数	76,800 尾	(A) × (B)
自然死亡率	漁獲前	0.300
	漁獲開始	0.218
漁獲率(漁獲開始2歳)	0.443	既往知見等 ※平成元年広域型増殖場造成事業調査報告(香川県水産試験場,1990年)

年(年齢)	自然死亡率	漁獲率	資源尾数	自然死亡尾数	漁獲尾数	体重 ^{注1} (g/尾)	漁獲量(kg)
0			76,800				
1	0.300		53,760	23,040		33	
2	0.218	0.443	18,224	11,720	23,816	63	1,500
3	0.218	0.443	6,178	3,973	8,073	92	743
4	0.218	0.443	2,094	1,347	2,737	114	312
5	0.218	0.443	710	456	928	130	121
6	0.218	0.443	240	155	315	141	44
7	0.218	0.443	82	52	106	149	16
期待漁獲量(C) (kg)							2,736

メバル平均単価(D)	949 円/kg	兵庫・岡山・香川の主要漁協の5ヶ年平均単価
漁業所得率(E)	0.46	瀬戸内海区(5t未満):平成27年度漁業経営調査報告
年間便益	1,194,373 円/年	(C) × (D) × (E)

注1) 体重は、横川ら(1992)⁷⁾から求めた年級別オス・メス体重の平均値

【マコガレイ】

礁体を設置することで底生生物が増加し、マコガレイ幼稚魚の育成が促進される効果が期待できる。

効果の定量化は、現地調査によって把握した幼稚魚尾数の増加量、もしくは礁体設置後の底生生物の選好性餌料年間生産量から幼稚魚収容尾数を推定し、生残解析によって期待漁獲量を求める方法で行う。

試算例を、以下の表に示す。

ここでの幼稚魚尾数は、選好性底生生物年間生産量から幼稚魚尾数を推定した値を用いることにした。

VI-15 マコガレイの幼稚魚育成効果に関する試算例

選好性底生生物 生産量 ^{注1} ①	餌料利用量 ^{注2} ②=①×期間率×利用率	餌料同化量 ^{注3} ③=②×餌料転換効率	1尾あたりの 成長量 ^{注4} ④
77.4 g/m ²	8.60 g/m ²	1.118 g/m ²	1.8 g/尾

単位面積当たりの マコガレイ幼稚魚尾数(A)	0.621 尾/m ²	上記の③÷④	
底生生物効果範囲面積(B)	64,316 m ²	想定値	
総幼稚魚尾数	39,940 尾	(A) × (B)	
自然死亡率	漁獲前	0.28	既往知見等 ※辻野ら,1997年 ^{注5}
	漁獲開始	0.35	
漁獲率(漁獲開始2歳)	0.42		

年 (年齢)	自然 死亡率	漁獲率	資源 尾数	自然 死亡尾数	漁獲 尾数	体重 ^{注5} (g/尾)	漁獲量 (kg)
0			39,940				
1	0.28	0.42	28,757	11,183	12,078	51	616
2	0.35	0.42	6,614	10,065	2,778	155	431
3	0.35	0.42	1,521	2,315	639	247	158
4	0.35	0.42	350	532	147	312	46
5	0.35	0.42	80	123	34	352	12
6	0.35	0.42	18	28	8	375	3
7	0.35	0.42	4	6	2	389	1
期待漁獲量(C) (kg)							1,267

マコガレイ平均単価(D)	1,161 円/kg	兵庫・岡山・香川の主要漁協の5ヶ年平均単価
漁業所得率(E)	0.46	瀬戸内海区(5t未満):平成27年度漁業経営調査報告
年間便益	676,654 円/年	(C) × (D) × (E)

注1) 選好性底生生物生産増加量は、本調査で設定した原単位より求めた値である。

注2) 餌料利用量の期間率は、2ヶ月/12ヶ月=0.17と仮定した。また、利用率は2/3とした⁵⁾。

注3) 餌料同化量の餌料転換効率は、0.13とした⁵⁾。

注4) マコガレイは全長50mm程度(体重約1.8g)に成長すると増殖場を離れると仮定した。

注5) 自然死亡率、漁獲率、体重は、辻野ら(1997)⁸⁾を参照。

なお、選好性底生生物生産量は、以下の式及び条件にて求めた。

$$\text{年間生産量} = \text{年平均現存量} \times \text{回転率} = 25.8 \times 3 = 77.4$$

ここで、回転率は「3」とした⁵⁾。年平均現存量については、施設整備による増加量で評価する必要があることから、以下の式で算定した値を用いることにした。

$$\text{年平均現存量} = \text{整備区の年平均現存量} - \text{対照区の年平均現存量} = 38.7 - 12.9 = 25.8$$

整備区及び対照区の年平均現存量は、本調査で設定した瀬戸内海区の前単位（底生生物の選好性餌料平均現存量）から求めることにした。

原単位で設定した底生生物の年平均現存量は、主に施設整備前の現存量データを用いて算定した値である。そのため、対照区の年平均現存量に近いと考えられた。また、前述の底生生物の効果範囲において魚礁から50m以内の範囲では、現存量が100m以遠の3倍に及ぶことから、下記のとおり仮定した。

$$\begin{aligned} \text{整備区の年平均現存量} &= 3 \times \text{原単位（底生生物の選好性餌料平均現存量）} = 3 \times 12.9 \\ &= 38.7 \end{aligned}$$

$$\text{対照区の年平均現存量} = \text{原単位（底生生物の選好性餌料平均現存量）} = 12.9$$

② 魚体重増加効果

設置した礁体の構造部材などに付着する餌料生物や、その周辺で増加する底生性の餌料生物を摂餌することにより、その海域に生息・来遊する魚類全般の魚体重が増加する。

効果の定量化は、餌料生物の年間生産量に餌料利用率や餌料転換効率を乗じることによって求めることができる。

試算例を、以下の表に示す。

ここで底生生物における餌料生物年平均現存量は、選好性餌料生物を除く値を用いる。また、葉上動物の餌料生物年平均現存量については、ここでは扱わないことにする。これらデータを除く理由は、前述の幼稚魚育成効果においてこれら餌料生物が利用されるためである（二重計上回避）。

VI-16 魚体重の増加効果に関する試算例

餌料生物 年平均 現存量	底生生物(A)	38.6 g/m ²	本調査によって得られた餌料生物の原単位より算定
	付着生物(B)	1,136 g/m ²	本調査によって得られた餌料生物の原単位
回転率(C)		3	水産基盤整備事業費用対効果分析のガイドライン-参考資料-(水産庁,2017年) ⁵⁾
事業量	底生生物効果範囲(D)	64,316 m ²	想定値
	生物付着面積(E)	6,304 m ²	想定値
餌料生物年間生産量(F)		28,932 kg	$[(A) \times (D)] + [(B) \times (E)] \times (C) \div 1000$
餌料利用率(G)		2/3	水産基盤整備事業費用対効果分析のガイドライン-参考資料-(水産庁,2017年) ⁵⁾
餌料転換効率(H)		0.13	
魚体重増加量(I)		2,507 kg	$(F) \times (G) \times (H)$
魚類全般の平均単価(J)		336 円/kg	兵庫・岡山・香川の主要漁協の5ヶ年平均単価
漁業所得率(K)		0.46	瀬戸内海区(5t未満):平成27年度漁業経営調査報告
年間便益		387,482 円/年	$(I) \times (J) \times (K)$

なお、餌料生物年平均現存量は、本調査で設定した瀬戸内海区の前単位を用いることにした。また、底生生物の前単位については、主に施設整備前の現存量データを用いて算定

した値であることから、前述の「マコガレイ幼稚魚育成効果」と同様の考え方で求めた値（ただし、選好性餌料生物年平均現存量分を除く）を用いることにした。

2) 新たな評価方法（餌料生物直接貨幣化）による便益試算例

設置した礁体やその周辺で増加した餌料生物によって、海域全体の生態系の底上げを図る効果が期待できる。

効果の定量化は、餌料生物の年間生産量に餌の価値を乗じることで求めることができる。試算例を、以下の表に示す。

ここで、餌の価値は、一般的な養殖用餌料であるモイストペレットの価格で代替する。

VI-16 魚体重の増加効果に関する試算例

餌料生物 年平均 現存量	底生生物(A)	64.4 g/m ²	本調査によって得られた餌料生物の原単位より算定
	付着生物(B)	1,136 g/m ²	本調査によって得られた餌料生物の原単位
	葉上動物(C)	21.2 g/m ²	本調査によって得られた餌料生物の原単位(カジメ場の値を用いる)
回転率(D)		3	水産基盤整備事業費用対効果分析のガイドライン-参考資料-(水産庁,2017年) ⁵⁾
事業量	底生生物効果範囲(E)	64,316 m ²	想定値
	生物付着面積(F)	6,304 m ²	想定値
	海藻類付着面積(G)	1,574 m ²	想定値
餌料生物年間生産量(H)		34,010 kg	$[(A) \times (E)] + [(B) \times (F)] + [(C) \times (G)] \times (D) \div 1000$
餌の価値(I)		122 円/kg	宮本・土橋, 2013 ⁶⁾
年間便益		4,149,219 円	(H) × (I)

なお、餌料生物年平均現存量は、本調査で設定した瀬戸内海区の前単位を用いることにした。また、底生生物の前単位については、主に施設整備前の現存量データを用いて算定した値であることから、前述の「マコガレイ幼稚魚育成効果」と同様の考え方で求めた値を用いることにした。

3) 両者共通の評価（水質浄化効果）に係わる便益試算例

① 藻場の増加による水質浄化効果

設置した礁体に藻場が形成されることで、海中の窒素を除去する効果が期待できる。

効果の定量化は、整備によって増加した藻場の生産量に、海藻に含まれる窒素含有率を乗じることで処理量を求めることができる。

試算例を、以下の表に示す。

ここで、増加する藻場はカジメ場（クロメ）とする。また、窒素の処理費用は、水産基盤整備事業費用対効果分析ガイドライン-参考資料-⁵⁾を参照した。

VI-17 藻場の増加による水質浄化効果の試算例

1基あたりの年間最大現存量 (クロメ) (A)	11.3 kg dw/基	平成20-21年に愛媛県の増殖礁で把握された魚礁メーカーの調査データ
年間生産量/最大現存量 比率 (B)	1.2	水産基盤整備事業費用対効果分析のガイドライン-参考資料-(水産庁,2017年) ⁵⁾
事業量 (C)	64 基	想定値
藻場の増加生産量 (D)	868 kg dw/年	(A) × (B) × (C)
クロメの窒素含有率 (E)	1.84 %	吉田ら, 2001年 ⁹⁾
藻場増加による窒素処理量(F)	16.0 kg/年	(D) × (E) ÷ 100

処理量あたりの年間経費(G)	24,779 円/kg・年	水産基盤整備事業費用対効果分析のガイドライン-参考資料-(水産庁,2017年) ⁵⁾
年間便益	396,464 円/年	(F) × (G)

② 一次消費者の増加による水質浄化効果

礁体の設置に由来して増加する底生生物・付着生物・葉上動物等の一次消費者が、生体内に窒素等の有機物を長期固定することで、水質を浄化する効果が期待できる。

効果の定量化は、整備によって増加した一次消費者の現存量に含まれる窒素含有量を処理量と考え、算定する。

試算例を、以下に示す。

なお、一次消費者の増加による水質浄化効果は、整備後の時間の経過とともに生物現存量が平衡状態で一定水準に落ち着くことから、本効果は計測期間中の1回のみ発現することにする（水産基盤整備事業費用対効果分析のガイドライン-参考資料-⁵⁾）。

VI-18 一次消費者の増加による水質浄化効果の試算例

単位面積 あたりの 年平均 現存量	底生生物(A)	79.8 g/m ²	本調査によって得られた全生物の原単位より算定
	付着生物(B)	1,739 g/m ²	本調査によって得られた全生物の原単位
	葉上動物(C)	18.3 g/m ²	本調査によって得られた全生物の原単位(カジメ場)
事業量	底生生物効果範囲(D)	64,316 m ²	想定値
	生物付着面積(E)	6,304 m ²	想定値
	海藻類付着面積(F)	1,574 m ²	想定値
一次消費者年平均現存量(G)		16,124 kg	$[(A) \times (D) + \{(B) \times (E)\} + \{(C) \times (F)\}] \div 1000$
一次消費者(オキアミ類)窒素含有率(H)		2.00 %	水産基盤整備事業費用対効果分析のガイドライン-参考資料-(水産庁,2017年) ⁵⁾
一次消費者による窒素処理量(I)		322 kg/年	(G) × (H) ÷ 100

処理量あたりの年間経費(J)	24,779 円/kg・年	水産基盤整備事業費用対効果分析のガイドライン-参考資料-(水産庁,2017年) ⁵⁾
年間便益	7,978,838 円/年	(I) × (J)

ここで、単位面積あたりの一次消費者の年平均現存量は、本調査で設定した瀬戸内海区
の原単位（底生生物・付着生物・葉上動物の全生物現存量）を用いることにした。また、底
生生物の原単位については、主に施設整備前の現存量データを用いて算定した値であるこ
とから、前述の「マコガレイ幼稚魚育成効果」と同様の考え方で求めた値を用いること
にした。

(4) 年間便益の試算結果

従来の評価の考え方で試算した効果項目別の年間便益額は、表 VI-19 に示したとおりに
なった。

表 VI-19 従来の評価の考え方で試算した年間便益額

便益項目	年間便益額 (千円/年)
メバル幼稚魚育成効果	1,194
マコガレイ幼稚魚育成効果	677
魚体重の増加効果	387
藻場による水質浄化効果	396
一次消費者による水質浄化効果	7,979
合計	10,633

一方、新たに検討した評価の考え方で試算した効果項目別の年間便益額は、表 VI-20 に
示したとおりになった。

新たに検討した評価の考え方による年間便益額の合計は、従来の評価の考え方に比べて
約 1.2 倍高い値を示した。

表 VI-20 新たに検討した評価の考え方で試算した年間便益額

便益項目	年間便益額 (千円/年)
餌料生物直接効果	4,149
藻場による水質浄化効果	396
一次消費者による水質浄化効果	7,979
合計	12,524

(5) 総便益額及び B/C の試算結果

次に、年間便益額から求めた総便益額及び B/C の試算結果を、表 VI-21 及び表 VI-22 に
示した。

従来の評価の考え方で試算した総便益額の合計は 53,577 千円であり、費用対効果 (B/C)
は 0.70 と 1 を下回った。

一方、新たに検討した評価の考え方で試算した総便益額の合計は 86,282 千円であり、費
用対効果 (B/C) は 1.12 と 1 を上回ることができた。

表 VI-21 従来の評価の考え方で試算した総便益額及び B/C

項目		金額(千円)
総費用	事業費	76,800
総便益	メバル幼稚魚育成効果	20,650
	マコガレイ幼稚魚育成効果	11,709
	魚体重の増加効果	6,693
	藻場による水質浄化効果	6,849
	一次消費者による水質浄化効果	7,676
	計	53,577
費用対効果(B/C)		0.70

表 VI-22 新たに検討した評価の考え方で試算した総便益額及び B/C

項目		金額(千円)
総費用	事業費	76,800
総便益	餌料生物直接効果	71,757
	藻場による水質浄化効果	6,849
	一次消費者による水質浄化効果	7,676
	計	86,282
費用対効果(B/C)		1.12

(6) 総括

生態系全体の生産力の底上げを目指す水産環境整備の事業範囲は、対象魚種等の生活史全域に及ぶ。

対象魚種等の漁獲が期待できる海域における漁場整備については、従来どおり漁獲原単位を用いた生産量増加効果によって評価が得られる。

しかし、対象魚種の育成場（漁獲が期待できない）など環境基盤が重要となる海域においては、従来の魚体重増加（増肉）効果や幼稚魚育成効果（以降、従来の増殖効果と称す）等の評価では、生態系の上位に位置する一部の魚類の評価に留まるため、費用対効果が十分に得られないと考えられた。

そこで、生態系ピラミッドの魚類の下位に位置する餌料生物を直接貨幣化し、生態系の底上げ効果を直接的に評価する方法を考案した。その結果、従来の増殖効果の考え方に比べて、費用対効果が得られやすくなった。このことから、新たな評価法を用いることで、特に漁獲が期待できない育成場など環境基盤を重視した整備において一定の評価を得ることができると考えられた。

VI.3 漁場施設における餌料生物現地調査マニュアル（暫定版）の作成

VI.3.1 マニュアルの構成

水産環境整備事業においては、資源や環境の変動を踏まえた柔軟な整備・維持管理と、それに必要なモニタリングの充実を図ることが重要とされている。

しかし、現在、漁場施設における餌料生物に係る現地調査の方法については、標準化が図られておらず、課題となっている。

そこで、マニュアルは、餌料生物（底生生物・付着生物・葉上生物）に係る調査方法の標準化を目的に以下の内容で構成した。また、水産環境整備は、P D C Aサイクルに従って事業を進めることが求められることから、それに沿って構成した。

(マニュアルの構成)

1. 目的
2. 餌料生物とは
3. 現地調査の項目及び内容
4. 現地調査の計画
5. 採集方法
6. 分析方法
7. 調査結果の整理と活用方法

VI.3.2 本調査の現地調査等の結果の反映

マニュアルでは、前述した餌料生物平均現存量の原単位化の結果や、新たな評価手法の考え方等の結果も反映させた。

また、本調査の現地調査等で得られた結果についても反映させることにした。マニュアルに反映させた主な結果を、以下に示した。

【調査結果①：調査時期及び回数の設定】

本調査の既往知見調査や現地調査で得られた季節別の餌料生物現存量には、季節の変動がみられた。このことから、餌料生物に係る調査は、原則、季節毎に年4回実施するのが望ましいと考えられた。また、四季と二季（夏・冬）の現存量の年平均を比較すると、各地区ともに大きな差には至らなかった。そのため、四季にわたる調査が困難な地域においては、最低でも高水温期と低水温期の年2回調査を実施するのが望ましいと考えられた。

表 VI-23 調査季における餌料生物現存量の変動と年平均の比較
(底生生物)

単位: g/m²

海区	地区	四季		二季(夏・冬)	
		平均	幅	平均	幅
北海道日本海北	宗谷	60	49~67	62	61~64
日本海西	油谷	30	25~35	31	26~35
瀬戸内海	三ツ頭	59	52~67	64	61~67
	三原	170	37~232	125	37~214
	家島	11	4~20	7	4~10
東シナ海	有明海	139	51~272	161	51~272

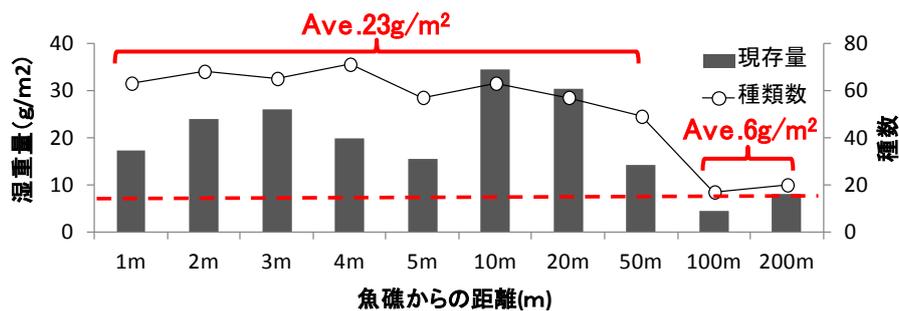
(付着生物)

単位: g/m²

海区	地区	四季		二季(夏・冬)	
		平均	幅	平均	幅
日本海西	油谷	6,337	4,241~8,165	4,918	4,241~5,595
瀬戸内海	家島	1,163	482~2,654	1,699	743~2,654
東シナ海	対馬東	1,603	988~2,334	2,164	1,994~2,334
太平洋中	紀北	290	226~370	316	262~370

【調査結果②：底生生物効果範囲】

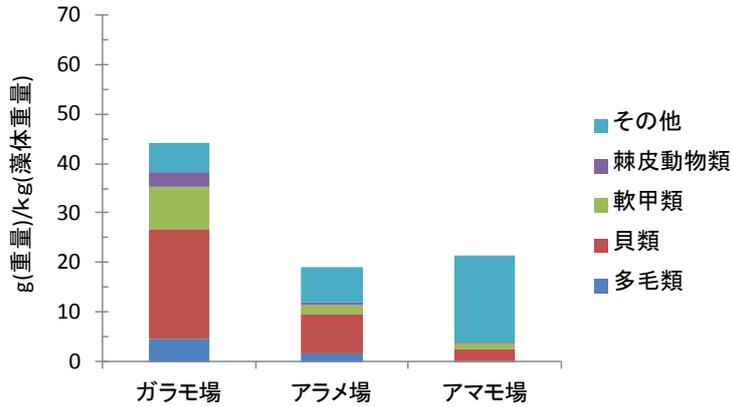
魚礁等の底生生物に係る効果範囲を調査した結果、50m 範囲内の現存量が 100m 以遠の範囲より約 3 倍高いことが判った。そのため、底生生物調査における対照区の設定については、底生生物の効果範囲を把握した上で検討するのが望ましいと考えられた。また、事業評価の精度向上を図る上でも、底生生物の効果範囲を調査・把握することは重要と考えられた。



VI-15 距離別底生生物現存量

【調査結果③：藻場タイプ別の葉上動物現存量の比較】

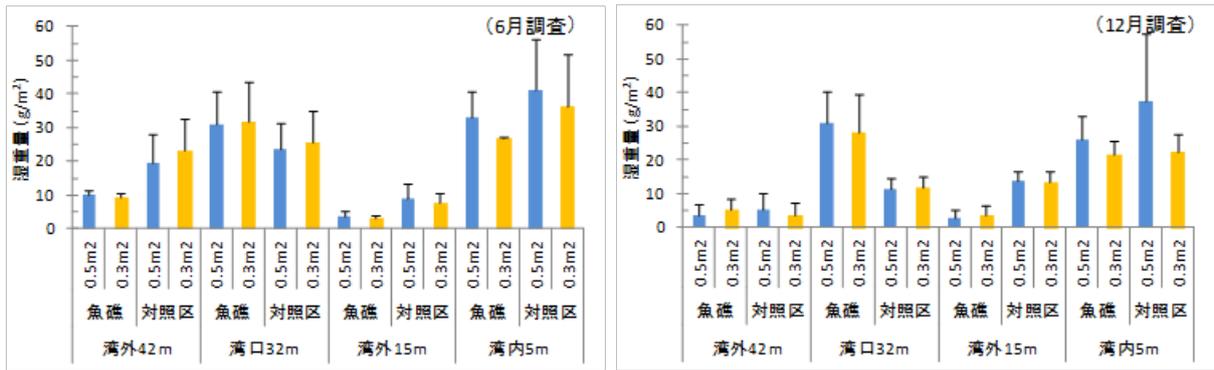
本調査の現地調査で得られた藻場タイプ別の餌料動物現存量をみると、ガラモ場で現存量が高いことが判った。このことから、葉上動物の現地調査は、藻場タイプ別に調査地点を設定する必要があると考えられた。



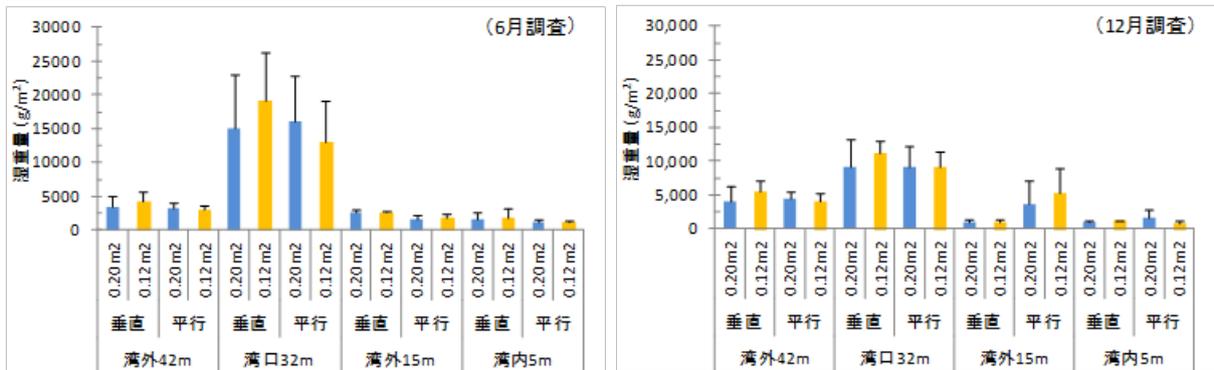
VI-16 藻場タイプ別の葉上動物現存量

【調査結果④：採集面積の設定について】

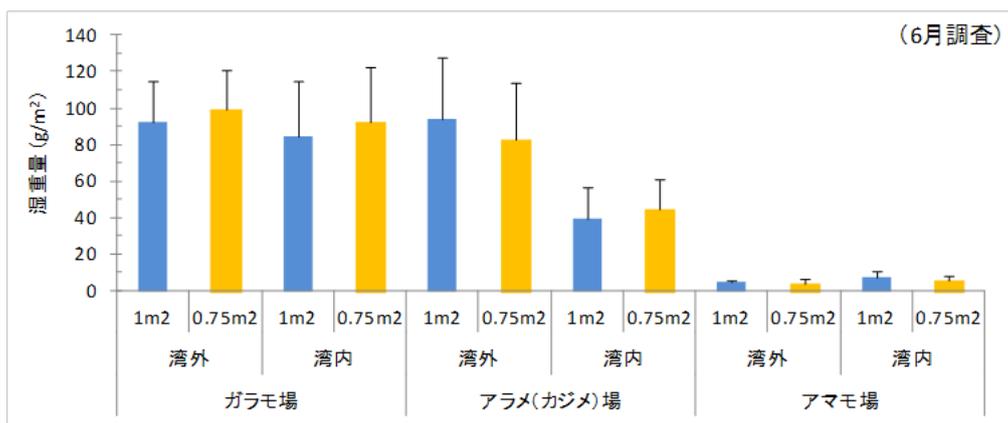
餌料生物の採集面積について現地調査結果を用いて比較検討した結果、①底生生物では 0.3m^2 ($22\text{cm} \times 22\text{cm} \times 6$ 回)、②付着生物では 0.2m^2 ($20\text{cm} \times 20\text{cm} \times 5$ 箇所)、③葉上動物では 0.75m^2 ($50\text{cm} \times 50\text{cm} \times 3$ 箇所) 以上とするのが望ましいと考えられた。



VI-17 採集面積別の底生生物現存量の比較



VI-18 採集面積別の付着生物現存量の比較



VI-19 採集面積別の葉上動物現存量の比較

VII 考察

VII.1 餌料生物平均現存量の原単位化

水産環境整備事業では、生態系ピラミッドの各段階で効果算定が可能な増殖効果を適正に把握し、事業効果をより正確に評価する必要がある。とりわけ、漁場施設の環境基盤としての事業効果の検討が必要であり、事業により発現する餌料生物等の低次生物生産の把握は重要な調査課題となっている。

現在、水産環境整備事業に係る事前評価では、海域や水深による標準的な原単位がないため、個別事業ごとに餌料生物量を計測している場合が多く、整備の効率化やその精度に課題がある。

そこで、本調査において、既往知見及び現地調査によって餌料生物平均現存量の原単位化を検討した結果、大海区毎に原単位を設定することができた。

水産環境整備事業は、計画(Plan)－実施(Do)－検証・評価(Chek)－改善(Action)というPDCAサイクルに従って進めることが求められている。設定した原単位は、このサイクルのうちの計画における事前評価における基礎資料としての活用が期待できる。また、検証・評価における比較検討資料などにも利用でき、これをもって整備の効率化や精度の向上が図れると考える。

現行の水産基盤整備事業水産基盤整備事業費用対効果分析のガイドライン（水産庁漁港漁場整備部, 2017）⁵⁾ においては、①漁場施設の整備によって増加した餌料生物による魚類の増産効果（魚体重増加による生産量増加）、②漁場施設の整備によって増加した一次消費者（底生動物・附着生物・葉上動物）水質浄化効果の定量化の試算例が示されている。また、魚礁・増殖礁への木材利用の手引き（水産庁漁港漁場整備部, 2015）¹⁰⁾ においては、選好性餌料生物による幼稚魚育成効果の定量化が示されている。

環境基盤を重視した水産環境整備事業においては、これら効果の定量化やその精度の向上が求められる。本調査において設定した餌料生物平均現存量の原単位は、これら評価の定量化や精度の向上に貢献すると考える。

VII.2 新たな便益算定方法の検討

水産環境整備の理念は、「環境基盤の重視」及び「点から空間へ」の視点を軸として、生態系全体の生産力の底上げを目指すことにある。

従来の漁場整備は、対象魚種の生産量の増加が目標であり、その範囲は点であり、対象種は特定の水産有用種であった。一方、水産環境整備では生態系全体の生産力の底上げが目標であることから、その範囲は空間であり、対象種も生態系を構成する生物全体となった。こうした目標や対象種の違いから、評価方法についても、新たな手法の検討が求められている。

そこで、生態系ピラミッドの魚類の下位に位置する餌料生物を直接貨幣化し、生態系の底上げ効果を直接的に評価する方法を検討した。

水産環境整備事業において、対象魚種等の漁獲が期待できる海域における漁場整備については、従来どおり漁獲原単位を用いた生産量増加効果による評価が適切と考える。

しかし、対象魚種の稚魚・若齢魚の育成場など環境基盤を重視した整備については、従来の増殖効果（魚体重増加効果や幼稚魚育成効果）等の評価の考え方では、試算の結果、費用対効果が十分に得られないと考えられた。一方、本調査で検討した餌料生物直接貨幣化法によって試算したところ、便益額が従来の増殖効果により高く見積もられ、費用対効果が得られやすい結果となった。

従来の増殖効果の考え方は、生態系ピラミッドの上位に位置する対象魚類の増産効果を定量化するものであり、生態系の一部の評価に留まっている。このことは、水産環境整備の理念である生態系全体の生産力の底上げ効果としては、過小評価につながる恐れがある。そのため、水産環境整備における稚魚・若齢魚の育成場など環境基盤を重視した漁場整備については、生態系ピラミッドの魚類の下位に位置する餌料生物の増加効果を直接貨幣化し、沿岸域の生態系全体の底上げ効果を評価する本手法の活用が望まれる。

VII.3 漁場施設における餌料生物現地調査マニュアル（暫定版）の作成

水産環境整備事業においては、資源や環境の変動を踏まえた柔軟な整備・維持管理と、それに必要なモニタリングの充実を図ることが重要とされている。しかし、現在、漁場施設における餌料生物に係る現地調査の方法については、標準化が図られておらず、課題となっている。

そこで、餌料生物に関する事業評価のための現地調査方法の標準化を目的とする「漁場施設における餌料生物現地調査マニュアル（暫定版）」を作成した。

今後、マニュアルを各自治体の漁場整備関連の担当官に配付・普及することで、現在、個別に実施されているモニタリング方法の標準化が図られ、調査結果及び事業評価の精度の向上が期待できると考える。

VIII 摘要

VIII.1 餌料生物平均現存量の原単位化

【まとめ】

- ・ 既往知見の収集・整理及び現地調査結果によって、底生生物・付着生物・葉上動物における大海区別の餌料生物平均現存量の原単位を設定した。
- ・ 本調査で得られた餌料生物現存量の原単位は、①水産環境整備事業の事前評価における基礎資料、②事後評価に関する比較検討資料等への活用が期待される。

【課題】

- ・ 餌料生物現存量は、対象となる海域の補償深度や幼生密度、移送速度に依存しており、各海域の環境条件によって変化すると考えられる。しかし、現在、蓄積されている既往知見等のサンプル数では環境条件による類型化が難しく、課題となった。
- ・ 現在、水産環境整備に関連するマスタープランづくりが各都道府県で検討されており、既に事業を展開する自治体も複数みられるようになってきている。
- ・ 今後、これら事業において更なるデータの蓄積が図られると予想されることから、これらデータによってサンプル数をより充実させる必要がある。また、データの蓄積が図れば、海域や水深など環境条件を類型化した原単位の再検討を進め、精度を高める必要がある。

VIII.2 新たな便益算定方法の検討

【まとめ】

- ・ 生態系全体の生産力の底上げを目指す水産環境整備の事業範囲は、対象魚種等の生活史全域に及ぶ（点から空間へ）。
- ・ 対象魚種等の漁獲が期待できる海域における漁場整備については、従来どおり漁獲原単位を用いた生産量増加効果による評価によって費用対効果が得られると考えられた。
- ・ しかし、対象魚種の育成場（漁獲が期待できない）など環境基盤が重要となる海域においては、従来の増殖効果の評価では、費用対効果が十分に得られないと考えられた。
- ・ 一方、新たに検討した餌料生物直接貨幣化法については、従来の増殖効果の評価に比べて費用対効果が得られやすくなった。
- ・ 以上の結果から、新たな評価法を用いることで、特に漁獲が期待できない育成場など環境基盤が重要となる海域で一定の評価が得られると考えられた。

【課題】

- ・ 本年度検討した新たな評価手法によって試算した費用対効果分析は、漁場施設における底生生物効果範囲を100m、代替財をモイストペレットに設定し、その単価を122円/kgに設定することで得られたものである。
- ・ 底生生物効果範囲については、①既往知見が少ないこと、②海域条件や事業規模などで範囲が変化する可能性があることから、各海域の事業にて個別に知見を蓄積する必要がある。
- ・ 代替材については、現在、養殖餌料がモイストペレットからエクストルーデッドペレット（EP）に移行しつつあることから、将来的には餌料の栄養価による評価が求められる。養殖餌料の栄養価については、餌料メーカー等からタンパク質含有量などの情報が

得られれば、判明するものと思われる。付着生物等の餌料生物の栄養価（NやPの含有量）については、現在、知見が少なく、今後データの蓄積が必要である。

- ・従来の漁場施設の評価においては、水産加工業や流通業に対する漁業外産業などの付加的効果も検討されている。新たな評価手法である「餌料生物直接貨幣化法」においても、餌を施設まで輸送するコストの削減など付加的効果があると考えられる。こうした付加的効果についても、今後検討し、評価の適正化を図る必要がある。

（餌の輸送コスト削減効果の一例）

マダイ養殖やブリ養殖で多く使用される5～10トンの漁船（118PS/隻）で、餌を漁場施設まで往復1時間で運搬するケースでは、年間便益が339,415円/年（漁船用推進機関の標準燃料消費率=0.17kg/PS・h、A重油単価56.4円、従事日数300日）となる。

VIII.3 漁場施設における餌料生物現地調査マニュアル（暫定版）の作成

【まとめ】

- ・餌料生物に関する事業評価のための現地調査方法の標準化を目的とする「漁場施設における餌料生物現地調査マニュアル（暫定版）」を作成した。
- ・今後、マニュアルを各自治体の漁場整備関連の担当官に配付・普及することで、現在、個別に実施されているモニタリング方法の標準化が図られ、調査結果及び事業評価の精度の向上が期待できると考える。

【課題】

- ・作成したマニュアルは、暫定版である。今後、各自治体の担当官にマニュアルを配付し、その内容、使いやすさについて意見を聞き、より適切で判りやすいマニュアルを目指す必要がある。
- ・本調査で得られた餌料生物平均現存量の原単位など、新たな情報が更新された場合には、適宜マニュアルの改定版を作成する必要がある。

IX 引用文献

- 1) JIFIC, 2015 : 漁場整備の効果原単位の開発報告書
- 2) 宇野木・久保田, 1996 : 海洋の波と流れの科学, 東海大学出版会, 東京都, p205
- 3) 西村三郎, 1981 : 地球の海と生命, 海鳴社, 東京都, p242-246
- 4) 井上勲, 2006 : 藻類 30 億年の自然史, 東海大学出版会, 神奈川県, p73
- 5) 水産庁漁港漁場整備部, 2017 : 水産基盤整備事業費用対効果分析のガイドラインー参考資料ー
- 6) 宮本・土橋, 2013 : ドライペレットからモイストペレットへの転換によるマダイ養殖餌料コスト削減効果, 三重水研報 22 号, 三重県, p25-29
- 7) 横川・井口・山賀, 1992 : 播磨灘南部沿岸海域におけるメバルの年齢, 成長, 及び肥満度, 水産増殖 40 巻 2 号, p235-240
- 8) 辻野・安部・日下部, 1997 : 大阪湾におけるマコガレイの漁業生物学的研究, 大阪水試研報 (10), p29-50
- 9) 吉田・内村・吉川・寺脇, 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, 瀬戸内水研報 No. 3, p53-61
- 10) 水産庁漁港漁場整備部, 2015 : 魚礁・増殖礁への木材利用の手引き, p22-23