

藻場管理手法開発事業

漁場環境科 石川 徹、田井野 清也、荻田 淑彦

I 事業概要

1 背景

高知県では近年、アワビ、ウニ等の磯根資源の餌料となり、藻体も乾燥品として流通している重要な水産資源のカジメ類藻場の減少が報告されている¹⁾。特に、平成9年には手結に約50haのカジメ藻場が存在していたが²⁾、平成10年夏以降、手結を含む土佐湾東部でカジメ藻場が急激に消失した。これにより、アワビを中心とした採介藻漁業が大きなダメージを受け、手結漁協では2トン近くあったアワビの漁獲量は皆無となっている。

このカジメ類藻場の大規模な消滅について、県内での知見は少なく原因についても明らかにされていない。

県下では造成試験が繰り返されたが³⁾⁴⁾、成功した事例は少なく、成功事例でも10年程度で消失している⁵⁾。この主要因としてウニや藻食性の魚類による食害⁶⁾があげられているが、特に魚類の食害については知見も少なく、具体的な対応策がない。このため、カジメ類藻場の回復を目指し、消滅原因の究明や魚類からの食害防御に関する調査、研究、知見の収集が求められている。

2 研究対象域

研究対象域は以下の海域である。

高知県香美郡夜須町手結地先

高知県幡多郡大方町田野浦地先

高知県香美郡夜須町手結住吉漁港内

高知県幡多郡佐賀町佐賀漁港内

3 事業項目と実施期間および概略

当該事業は以下の3項目について、記載した年次に個々の課題に取り組んだ。

(1) 藻場の変動要因の解明

カジメ群落の消失した高知県香美郡夜須町手結地先（以下手結）およびカジメ群落の維持されている高知県幡多郡大方町田野浦地先（以下田野浦）に

おける環境要因と生物相を比較した。

1) 水質環境調査（平成12～14年度）

水温、塩分、溶存酸素量、SS、COD、栄養塩濃度、クロロフィル-a量

2) 海藻群落特性調査（平成12～14年度）

海藻相、底生動物相、魚類相

(2) 藻場造成手法の検討

藻食性魚類からの食害に対抗するために種苗の大量生産と食害防御法について検討した。

1) 着生基質の検討（平成12年度）

カジメ種苗を効率よく着生させる基質の検討をした。詳細は平成12年度高知県水産試験場事業報告書に掲載した。

2) カジメ種苗に対する人工海藻を用いた藻食性魚類からの食害防御（平成13～14年度）

人工海藻を障害物として移植藻体の周りに配置し、その効果をみた。

3) カジメ種苗に対するホンダワラ類との混植による藻食性魚類からの食害防御（平成13～14年度）

ホンダワラ類を障害物として移植藻体の周りに配置し、その効果をみた。

(3) 藻場管理手法の検討

1) 魚類による食害量の推定（平成13年度）

カジメの現存する田野浦海域での魚類による食害量を推定した。詳細は平成13年度高知県水産試験場事業報告書に掲載した。

2) 環境に適応したカジメの形質の検討（平成13～14年度）

田野浦に生育するカジメに共通した形質を調べた。

3) 田野浦における大型褐藻現存量の推定（平成14年度）

田野浦のカジメとホンダワラ類の現存量を推定した。

Ⅱ 事業内容

1 藻場の変動要因の解明

藻場の衰退した手結と維持されている田野浦の水質環境と海藻群落特性を比較し、藻場の変動要因を解明することを目的とした。

(1) 水質環境調査

1) 調査日

定期水質環境調査の実施日を表1に示した。

表1 調査実施日

	手結	田野浦
平成12年度	H12.6.2	H12.6.6
	H12.9.6	H12.8.22
	H12.12.5	H12.11.30
	H13.2.15	H13.2.14
平成13年度	H13.7.19	H13.8.9
	H13.10.31	H13.10.24
	H14.2.21	H13.12.5
		H14.3.20
平成14年度	H14.5.20	H14.8.1
	H14.9.12	H14.10.17

2) 調査地点

詳細は平成13年度高知県水産試験場事業報告書に掲載した。

3) 方法

詳細は平成12、13年度高知県水産試験場事業

報告書に掲載した。

特に、水温については長期的、広域的に判断するため定期水質環境調査、連続水温調査（平成12年6月～平成15年1月、30分間隔）、定線水温調査、定地水温調査について比較検討した。

4) 結果および考察

ア 手結と田野浦の水質環境

連続水温調査期間中の手結（6.3m層）および田野浦（2.0m、4.5m層）の月平均水温の推移を図1に示した。

手結の6.3m層は13.9～29.6℃の範囲で推移し、平均水温は21.8℃であった。田野浦の2.0m層は14.1～29.8℃の範囲で推移し、平均水温は21.8℃であった。4.5m層はデータの欠測部分が多かったが14.0～29.7℃の範囲で推移し、平均水温は20.9℃であった。

平成12年6月から平成14年10月までの手結（6.3m層）および田野浦（2.0m、4.5m層）における塩分、DO、SS、COD、栄養塩濃度（T-N、T-P、NH₄-N、NO₂-N、NO₃-N、PO₄-P、SiO₂-Si、DIN、DON、DOP）、クロロフィル-a量の平均値と範囲を表2に示した。

全ての項目について両海域で大きな差は認められなかった。

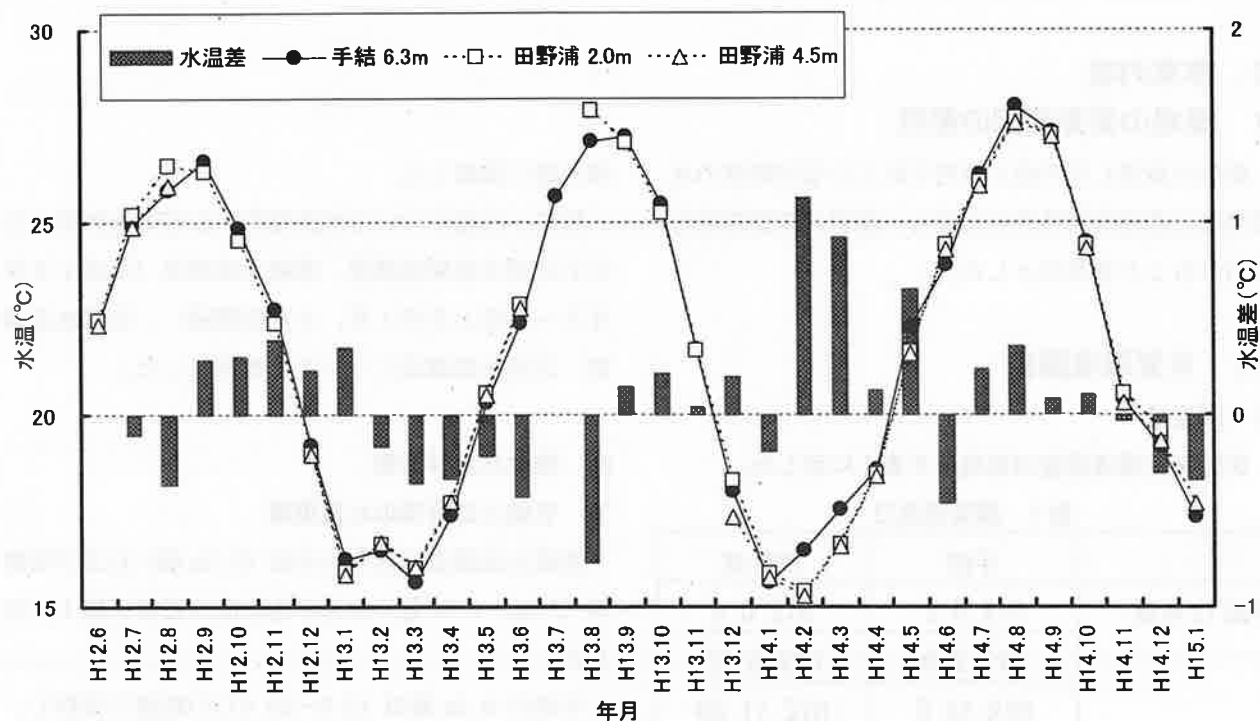


図1 手結（6.3m層）および田野浦（2.0m、4.5m層）の月平均水温の推移と比較
水温差は手結から田野浦の平均値を引いた値を示す。

2 水質環境調査結果

	手結			田野浦		
	平均値	範囲		平均値	範囲	
塩分	33.8	32.9	～ 34.6	33.7	33.0	～ 34.6
DO (mg/l)	7.2	6.5	～ 8.9	7.1	5.8	～ 8.2
SS (mg/l)	16.7	15.1	～ 18.8	16.5	13.7	～ 20.7
COD (mgO ₂ /l)	0.74	0.21	～ 1.71	0.86	0.08	～ 1.81
T-N (μg・at/l)	7.20	6.02	～ 9.16	6.93	5.20	～ 8.63
T-P (μg・at/l)	0.18	0.07	～ 0.32	0.18	0.12	～ 0.26
NH ₄ -N (μg・at/l)	0.66	0.40	～ 1.02	0.69	0.26	～ 1.41
NO ₂ -N (μg・at/l)	0.23	0.11	～ 0.37	0.25	0.14	～ 0.35
NO ₃ -N (μg・at/l)	0.83	0.28	～ 2.65	0.71	0.07	～ 2.59
PO ₄ -P (μg・at/l)	0.08	0.04	～ 0.23	0.09	0.05	～ 0.14
SiO ₂ -Si (μg・at/l)	4.34	1.63	～ 6.82	4.93	1.65	～ 8.55
DIN (μg・at/l)	1.71	0.86	～ 3.75	1.65	0.77	～ 3.56
DON (μg・at/l)	5.49	4.96	～ 6.11	5.27	4.43	～ 6.77
DOP (μg・at/l)	0.10	0.02	～ 0.14	0.09	0.00	～ 0.15
クロロフィル-a (μg/l)	1.2	0.4	～ 2.9	0.9	0.4	～ 1.3

塩分、DO（溶存酸素量）、SS、COD、栄養塩類、クロロフィル-a 量については手結と田野浦で差が認められず、これらの水質項目では両地区のカジメ群

落の変動を説明できなかった。しかし、水温変動を長期的、広域的に見ていくと両地区で特徴的な差異が認められた。

手結と田野浦（2層平均）の月平均水温を比較すると、平成12年9月～平成13年1月、平成13年9～12月、平成14年2～5月、平成14年7～10月の間に手結が高くなり、特に、平成14年2～3月にかけて手結側が約1℃高くなった(図1)。さらに、水温が高くなった期間、最大温度差、平均水温のどれをみても手結が高い。手結の観測層は田野浦より1.8～4.3m深いことを考えても(夏季に表層と5m層では1℃程度の差が生じる)、手結の水温は田野浦より幾分高いことが分かる。

土佐湾沿岸定線調査における最沿岸部の定点での水温測定結果を用いて、それらの平年値(昭和50～平成14年の平均値)からの偏差を5年間

隔で示したものが図2である。昭和50年代前半には高知周辺では最も低かった手結の水温は、近年上昇幅が大きいこと、また、田野浦は現在最も水温が低く、手結と比較して田野浦の水温上昇幅が小さかったことが分かる。

また、土佐湾の東西(平成13年度高知県水産試験場事業報告書に記載した海区分け)で水温の上昇を比較すると、手結の位置する東部は田野浦の位置する西部に比べ、藻場の衰退した平成7年から平成11年の期間に、冬と春季の水温上昇が0.5℃大きかった(図3)。

これらから、手結の水温が田野浦に比べて高く特に冬季の水温上昇が大きかったことが分かる。

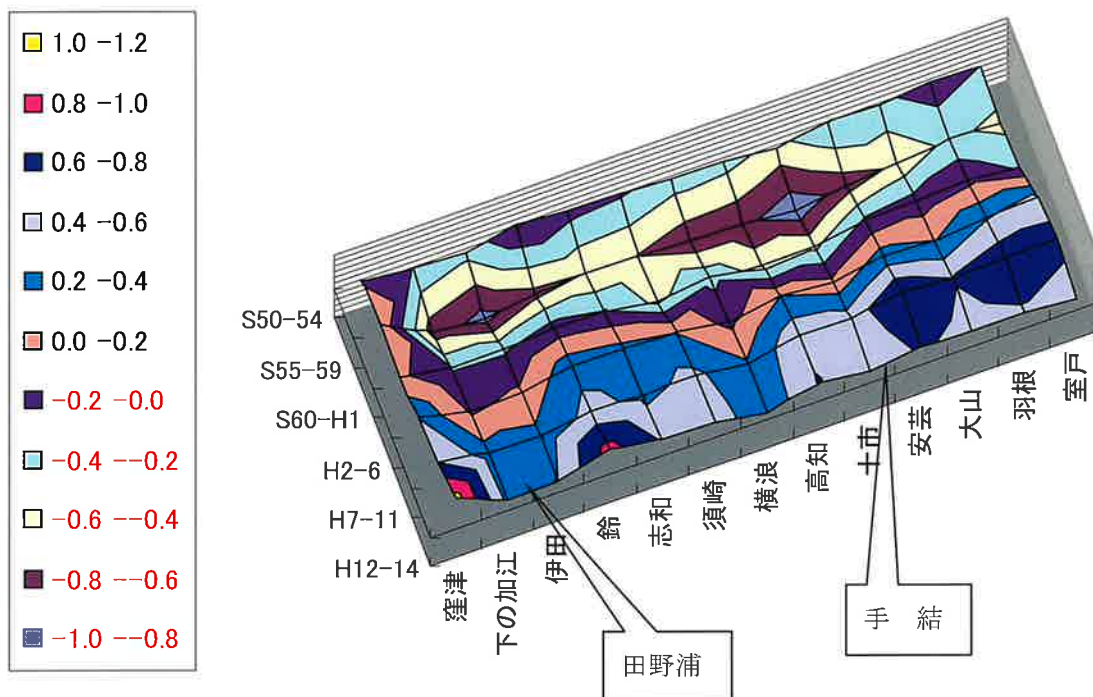


図2 沿岸定点における定線水温調査5年間隔の偏差(各調査点共通)

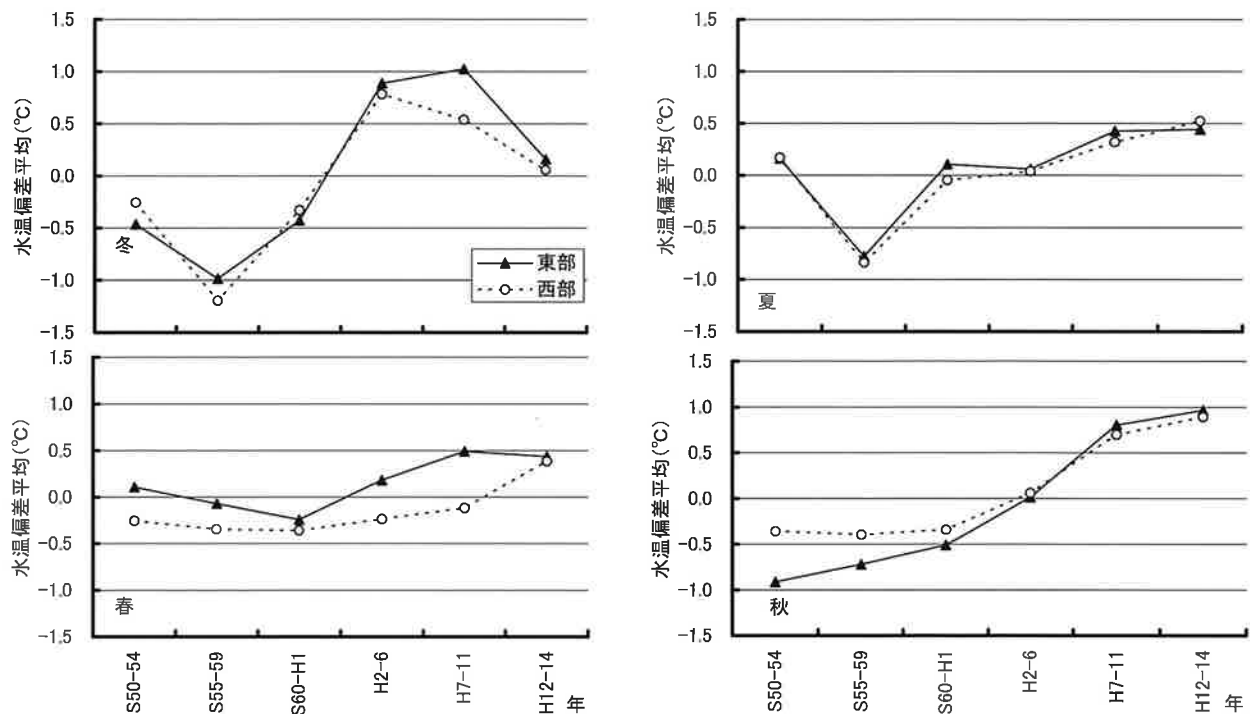


図3 定線水温調査における季節別水温上昇の東西比較

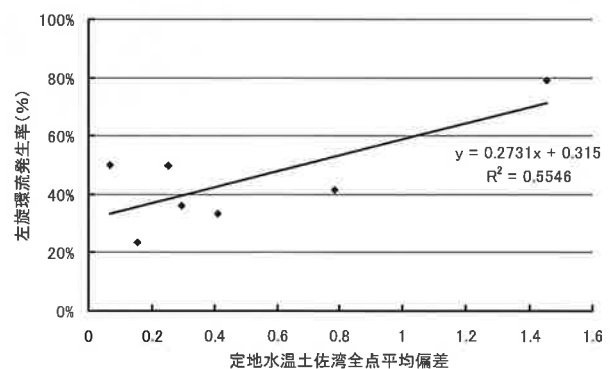
イ 土佐湾の東側の水温が高くなることについて

土佐湾内の水温を上昇させる要因の一つとして、黒潮からの暖水波及が考えられる。藤本⁷⁾は土佐湾内の表層流の流動パターンを5つのタイプに分けている。①左旋環流型(発生率23%) ②分流型(発生率17%) ③右旋環流型(発生率3%) ④込みシオ型(発生率2%) ⑤沖出し流型(発生率30%)がそれである。岡村⁸⁾は近年この流動パターンに変化が生じているとし、80年代後半の藤本の解析結果に比べ90年代後半は左旋環流型の発生率が63.3%と増えており、その他については分類不能(発生率23.3%)、右旋環流型(発生率6.7%)、左右分離型(発生率3.3%)と報告している。

左旋環流は室戸岬側から入り込み土佐湾沿岸を反時計回りに流下するが、この過程で沿岸水と混合し徐々に黒潮分支流の影響が弱められる。実際に、連続水温調査期間中に手結が1℃程度高くなった平成14年2～3月にかけては強い左旋環流が発生していた(第5管区海上保安本部の海洋速報より)。

また、サンプルが少なく補足的ではあるが定地水温の土佐湾内の定点について年平均偏差と左旋環流

の発生率についてみると(図4)、($n=7$, $R=0.55$)左旋環流の発生率が高まると水温が高くなる傾向が見られた。このように左旋環流の発生が土佐湾東部での水温上昇に関与していると考えられた。

図4 左旋環流発生率と定地水温全点偏差の相関
(第5管区海上保安本部の資料より)

ウ カジメが衰退した時期の水温について

手結では、平成10年から11年にかけて急激にカジメ藻場が消滅したが、この期間土佐湾では異常高水温が発生していた。定地水温調査の平年値(S40～H10年の平均)との偏差の経年変化を見ると、平

成10年は土佐湾内平均で約1.3℃前後高く、これは観測史上で最も高い値である(図5)。沿岸水温は一般的に気温との関連が深いとされる。気象庁アメダスのデータのうち土佐湾沿岸部に位置する佐賀、高知、安芸の年平均気温を見ると、平成10年は気温も平年値より1℃以上高かった。また、もう一つの水温上昇の要因である黒潮の影響について見ると平成10年から11年は黒潮流軸の水温も著しく高く(図6)、土佐湾沿岸の水温上昇が局所的ではなく、広範囲に発生したものと考えられる。

カジメは水温が28℃を超えるとその光合成量が負に変わるとされている⁹⁾。また、11～12月の水温が個体の成熟や次の年に萌出する幼芽の個体数を左右するとの報告¹⁰⁾もあり、水温の異常な上昇がカジメに大きな影響を与えると考えられる。また、冬季の水温上昇は底生動物や藻食性魚類の活性を高めたり、摂食期間を長くさせてよりカジメにダメージを与えたこととも考えられる。

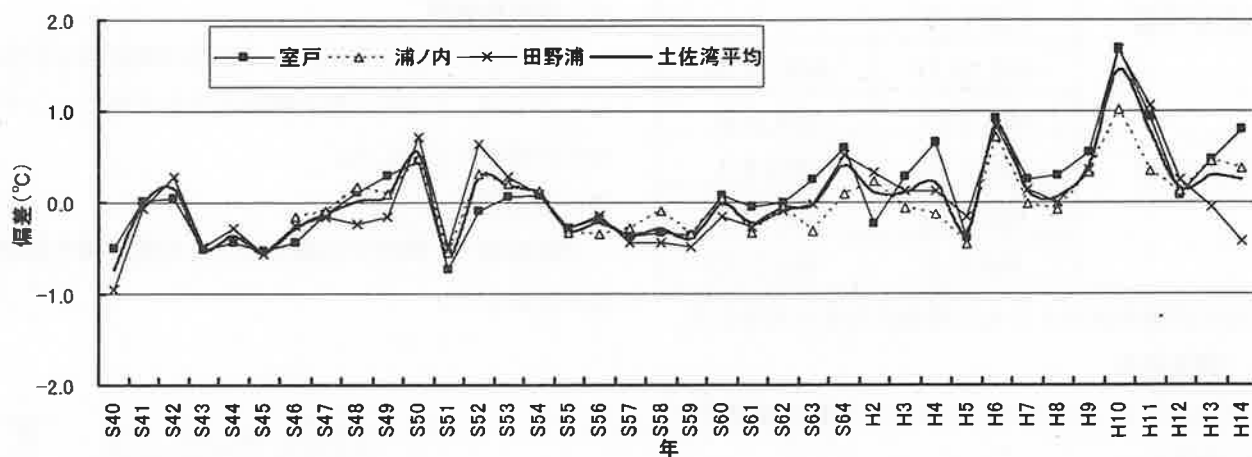


図5 高知県における年別平均水温の偏差の推移(定地水温調査)

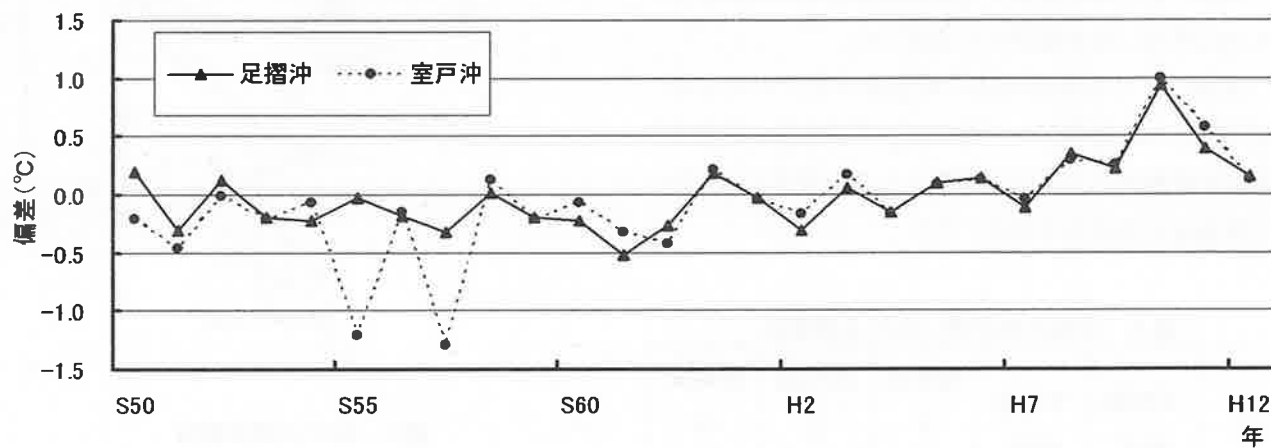


図6 足摺岬沖と室戸岬沖の黒潮流軸水温の推移

(2) 海藻群落特性等

1) 調査日

定期観察調査および裸地面形成を実施した日を表3に示した。

表3 定期観察調査および裸地面形成実施日

	手結	田野浦
平成12年度	H12. 6. 2※	H12. 6. 6※
	H12. 9. 6※	
	H12. 12. 5	H12. 11. 30※
	H13. 2. 15※	H13. 2. 14※
平成13年度	H13. 7. 12	
	H13. 10. 31	H13. 10. 12
	H14. 2. 21	H14. 3. 21
平成14年度	H14. 5. 20	H14. 8. 1
	H14. 9. 12	H14. 10. 30
	H15. 2. 5	H15. 1. 15

※は定期観察調査とともに裸地面形成を実施した。

2) 調査地点

詳細は平成13年度高知県水産試験場事業報告書に掲載した。

3) 方法

手結、田野浦両海域での海藻群落特性を把握するために表4に示す観察区を設定した。

水深による生物相の違いを把握するために上部観察区と下部観察区を、着生面の更新時期における違いを把握するために裸地面1～3を設定した（以下裸地面は形成月で表記した）。

表4 手結と田野浦における観察区

	上部観察区 水深	下部観察区 水深	裸地面1 形成月 ／水深	裸地面2 形成月 ／水深	裸地面3 形成月 ／水深
手結	3.5m	6.3m	9月／ 5.2m	12月 ／5.2m	2月／ 5.2m
田野浦	1.0m	3.7m	6月／ 2.7m	11月 ／2.7m	2月／ 2.7m

ア 海藻相

各観察区における海藻を緑藻、小型単年生褐藻、小型多年生褐藻、大型褐藻、小型紅藻、有節石灰藻、無節石灰藻のタイプ別に分け、その被度を記録し、大型海藻については個体密度を計数した。特に、カジメについては側葉を持つものを成体、側葉を持たない笹の葉状の個体を幼芽として計測した。また、カジメの形態的特徴を把握するために上部観察区と下部観察区で成体に個体標識し茎径、茎長、藻長、最大側葉長、最大側葉幅、根径の変化を調べた（図7）。

イ 底生動物相

各観察区における貝類、ウニ類等は個体数を計数し、サンゴ、カイメン等の群体となるものについてはその被度を記録した。

ウ 魚類相

試験海域で、調査中に観察された魚類の種と個体数を計数した。

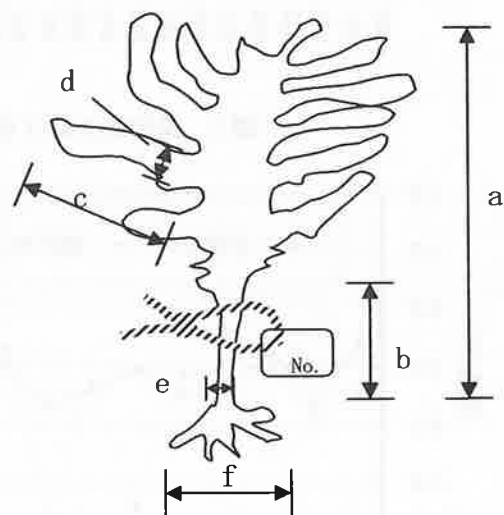


図7 カジメ測定部位

a:藻長、b:茎長、c:最大側葉長、
d:最大側葉幅、e:茎径、f:根径

4) 結果および考察

ア 海藻相

調査期間中の手結と田野浦における各観察区のタイプ別藻類の被度の推移を表5に示した。

手結ではほぼ全ての調査回次を通じて無節石灰藻、有節石灰藻の被度が高く、次いでシマオオギ等の小型多年生褐藻が多くなった。その他の種については、調査開始時に若干のカジメとホンダワラ類の幼体が認められたこと、9月と12月に形成した裸地面では2月にフクロノリの一時的な繁茂が見られたことを除いて大きな変化はなく、観察区別に見ると上部観察区(3.5m層)では有節石灰藻の被度が

高い傾向が見られた。

田野浦ではほぼ全ての調査回次を通じてカジメ、ヨレモクモドキ等の大型褐藻の被度が高く、小型海藻ではホソバノトサカモドキ等の小型紅藻、無節石灰藻の被度が高かった。その他についてはあまり大きな変化はなく、各観察区別に大きな差は見られなかった。

表5 手結と田野浦における各観察区のタイプ別出現藻類被度(%)の推移

手結

観察区	上部観察区						下部観察区						9月裸地面						12月裸地面						2月裸地面										
水深(m)	3.5						6.3						5.2						5.2						5.2										
	緑藻	小型単年生褐藻	小型多年生褐藻	大型褐藻	小型紅藻	有節石灰藻	無節石灰藻	緑藻	小型単年生褐藻	小型多年生褐藻	大型褐藻	小型紅藻	有節石灰藻	無節石灰藻	緑藻	小型単年生褐藻	小型多年生褐藻	大型褐藻	小型紅藻	有節石灰藻	無節石灰藻	緑藻	小型単年生褐藻	小型多年生褐藻	大型褐藻	小型紅藻	有節石灰藻	無節石灰藻	緑藻	小型単年生褐藻	小型多年生褐藻	大型褐藻	小型紅藻	有節石灰藻	無節石灰藻
H12.6.2	2	0	2	1	7	81	0	0	1	6	1	6	15	26																					
H12.9.6	0	0	0	0	1	86	0	0	0	15	0	3	11	40																					
H12.12.5	0	0	1	0	1	75	10	0	0	10	0	1	60	0	0	0	12	0	0	15	60														
H13.2.15	0	1	3	0	1	75	5	0	5	11	0	1	31	25	0	20	26	0	1	6	20	0	50	5	0	0	5	5							
H13.7.12	0	0	1	0	25	65	0	0	0	51	0	2	11	25	0	0	41	0	1	36	10	0	0	21	0	2	21	20	0	0	21	0	0	2	10
H13.10.31	0	0	10	0	1	66	10	0	0	30	0	1	20	40	0	0	30	0	1	10	50	0	0	15	0	1	6	70	0	0	26	0	1	2	70
H14.2.21	0	1	2	0	2	90	1	0	0	15	0	3	31	45	0	1	12	0	0	31	40	0	2	2	0	0	36	40	0	1	17	0	1	40	30
H14.5.20	0	0	1	0	17	46	30	0	0	35	0	5	35	20	0	0	16	0	3	30	30	2	0	22	0	3	21	35	0	0	36	0	3	18	25
H14.9.12	0	0	0	0	0	85	2	0	0	20	0	0	25	35	0	0	25	0	0	16	30	0	0	10	0	0	16	40	0	0	25	0	0	16	45
H15.2.5	0	2	1	0	6	82	6	0	0	14	0	3	51	30	0	0	21	0	2	33	25	0	5	6	0	2	31	40	0	1	22	0	1	47	25

田野浦

観察区	上部観察区						下部観察区						6月裸地面						11月裸地面						2月裸地面					
水深(m)	1						3.7						2.7						2.7						2.7					
	緑藻	小型単年生褐藻	小型多年生褐藻	大型褐藻	小型紅藻	有節石灰藻	無節石灰藻	緑藻	小型単年生褐藻	小型多年生褐藻	大型褐藻	小型紅藻	有節石灰藻	無節石灰藻	緑藻	小型単年生褐藻	小型多年生褐藻	大型褐藻	小型紅藻	有節石灰藻	無節石灰藻	緑藻	小型単年生褐藻	小型多年生褐藻	大型褐藻	小型紅藻	有節石灰藻	無節石灰藻		
H12.6.6	1	0	6	21	62	0	10	1	0	2	41	34	2	20																
H12.11.30	1	0	2	21	53	0	15	0	0	1	41	28	1	20	0	0	7	10	6	2	55									
H13.2.14	1	1	12	35	35	2	20	1	0	3	36	39	1	20	1	1	30	25	11	2	25	1	30	11	6	15	1	25		
H13.10.12	1	0	11	20	46	1	15	1	0	1	25	42	0	15	1	0	17	25	28	1	30	1	0	22	15	52	0	10		
H14.3.21	1	1	11	25	37	6	15	5	1	3	26	27	2	35	1	1	7	35	25	2	25	1	1	11	35	35	2	20		
H14.8.1	0	0	6	26	37	0	30	1	0	6	31	30	1	30	0	0	2	20	20	5	50	0	0	2	51	19	1	30		
H14.10.30	1	0	2	22	46	12	20	1	0	2	22	38	6	25	0	0	6	26	22	7	30	1	0	1	41	33	8	25		
H15.1.15	0	1	2	31	48	16	6	1	1	12	21	24	4	35	1	0	11	50	10	11	20	1	1	6	45	28	8	20		

調査期間中の田野浦における各観察区のカジメおよびホンダワラ類の個体数の推移を表6に示した。

カジメは水深の浅い上部観察区(1m層)で、成体が14個体/㎡程度の密度で推移し、幼芽の加入も最大96個体/㎡と多かった。

下部観察区(3.7m層)では調査開始時に成体が48個体/㎡と非常に密度が高かったが、その後徐々に減少し平成15年1月の最終調査では9個体/㎡となった。幼芽の加入は最大で84個体/㎡と多か

った。

6月形成裸地面(2.7m層)では平成13年10月以降に成体が観察され、徐々に加入個体を増やし平成15年1月には14個体/㎡となり、幼芽の加入は最大38個体/㎡であった。

11月裸地面(2.7m層)では平成13年10月以降に成体が観察され、平均34個体/㎡と各観察区中で最も多く、大きな変動はなかった。幼芽の加入は最大72個体/㎡であった。

2月裸地面(2.7m層)では平成13年10月以降に成体が観察され、平均6個体/m²と各観察区中で最も少なく、幼芽の加入も最大6個体/m²と各観察区中で最も少なかった。時期的にみると、平成13年2月は全観察区を通じ最も幼芽の加入が多かった。

ホンダワラ類については上部観察区(1.0m層)では平成12年11月の観察開始からヨレモクモドキが平均で12個体/m²が観察され、平成15年1月にはヤツマタモクの加入も認められた。

下部観察区(3.7m層)ではヨレモクモドキが平均3個体/m²と各観察区中で最も少なかった。

6月裸地面(2.7m層)ではヨレモクモドキが平均41個体/m²と各観察区中で最も多く、平成15年1月にはヤツマタモクが加入した。

11月裸地面(2.7m層)ではヨレモクモドキが平均8個体/m²であり最終調査時にはヤツマタモクが加入した。

2月裸地面(2.7m層)ではヨレモクモドキが平均33個体/m²観察され、平成15年1月にはヤツマタモク、トゲモクも加入した。時期的には季節的消長はあるものの概ねホンダワラ類の個体数は増加傾向にあった。

表6 田野浦における各観察区のカジメおよびホンダワラ類個体数の推移

カジメ

観察区	上部観察区			下部観察区			6月裸地面			11月裸地面			2月裸地面		
水深(m)	1			3.7			2.7			2.7			2.7		
	成体	幼芽	計	成体	幼芽	計	成体	幼芽	計	成体	幼芽	計	成体	幼芽	計
H12.6.6	19		19	48		48									
H12.11.30	13		13	38		38	0		0						
H13.2.14	12	96	108	32	84	116	0	20	20	0	72	72			
H13.10.12	13		13	15		15	4		4	28		28	5		5
H14.3.21	12	36	48	15	68	83	4	38	42	32	13	45	4	5	9
H14.8.1	14	10	24	12	0	12	5	20	25	34	3	37	6	6	12
H14.10.30	16	2	18	9	4	13	14	7	21	39	2	41	8	0	8
H15.1.15	14	0	14	9	6	15	14	12	26	35	8	43	6	0	6

ホンダワラ類

観察区	上部観察区			下部観察区			6月裸地面			11月裸地面			2月裸地面		
水深(m)	1			3.7			2.7			2.7			2.7		
	ヨレモクモドキ	ヤツマタモク	トゲモク	ヨレモクモドキ	ヤツマタモク	トゲモク	ヨレモクモドキ	ヤツマタモク	トゲモク	ヨレモクモドキ	ヤツマタモク	トゲモク	ヨレモクモドキ	ヤツマタモク	トゲモク
H12.11.30	4	0	0	3	0	0	18	0	0						
H13.2.14	10	0	0	1	0	0	30	0	0	4	0	0			
H13.10.12	5	0	0	0	0	0	15	0	0	5	0	0	5	0	0
H14.3.21	15	0	0	1	0	0	57	0	0	25	0	0	43	0	0
H14.8.1	15	0	0	2	0	0	51	0	0	5	0	0	29	0	0
H14.10.30	22	0	0	10	0	0	59	0	0	6	0	0	39	0	0
H15.1.15	14	7	0	5	0	0	55	7	0	2	5	0	48	11	4

調査期間中の田野浦における上部観察区と下部観察区のカジメの形態的追跡調査結果を図8に示した。

藻長は、上部観察区(1m)では全ての調査回次を通して200mm前後と経時的な変化は見られなかった。下部観察区(3.7m)のものは観察開始時には290～820mmの範囲で推移し、両観察区間で有意な差が認められた(Mann-Whitney's U test $p<0.01$)。

中央葉長は藻長から茎長を引いた中央葉の長さであり、各観察区で藻長と同様の傾向を示したが両観察区間での差は検出されなかった。

茎長は、上部観察区で全ての調査回次を通して50mm前後、下部観察区では200mm前後で推移し、経時的な変化はともになく、両観察区間で有意な差が見られた(Mann-Whitney's U test $p<0.01$)。

茎径は、上部観察区で全ての調査回次を通して9mm前後、下部観察区では12mm前後で推移し、経時的な変化はともになく、両観察区間で有意な差が見られ(Mann-Whitney's U test $p<0.01$)、茎長と同様の傾向を示した。

最大側葉長は、上部観察区で180～300mmの範囲、

下部観察区で270～550mmの範囲で推移し、両観察区間で有意な差が見られた(Mann-Whitney's U test $p<0.01$)。経時的な変化では上部観察区の最大値が平成14年8月に見られたのに対し、下部観察区では平成14年3月が最大となった。

最大側葉幅は、上部観察区で12～27mmの範囲、下部観察区で12～20mmの範囲で推移し、両観察区間での差は検出されなかった。経時的には上部観察区で平成13年10月に最大値を示したのに対し、下部観察区では平成15年1月に最大値を示した。

平均根径は、上部観察区で70～90mmの範囲、下部観察区で100～120mmの範囲で推移し、両観察区間で有意な差が見られた(Mann-Whitney's U test $p<0.01$)。

個体数は、上部観察区で7～16個体の範囲、下部観察区で9～15個体の範囲で推移し、両観察区間で有意な差は検出できなかった。経時的には上部観察区が平成14年10月に最大値を示したのに対し、下部観察区では平成13年10月に最大値を示した。

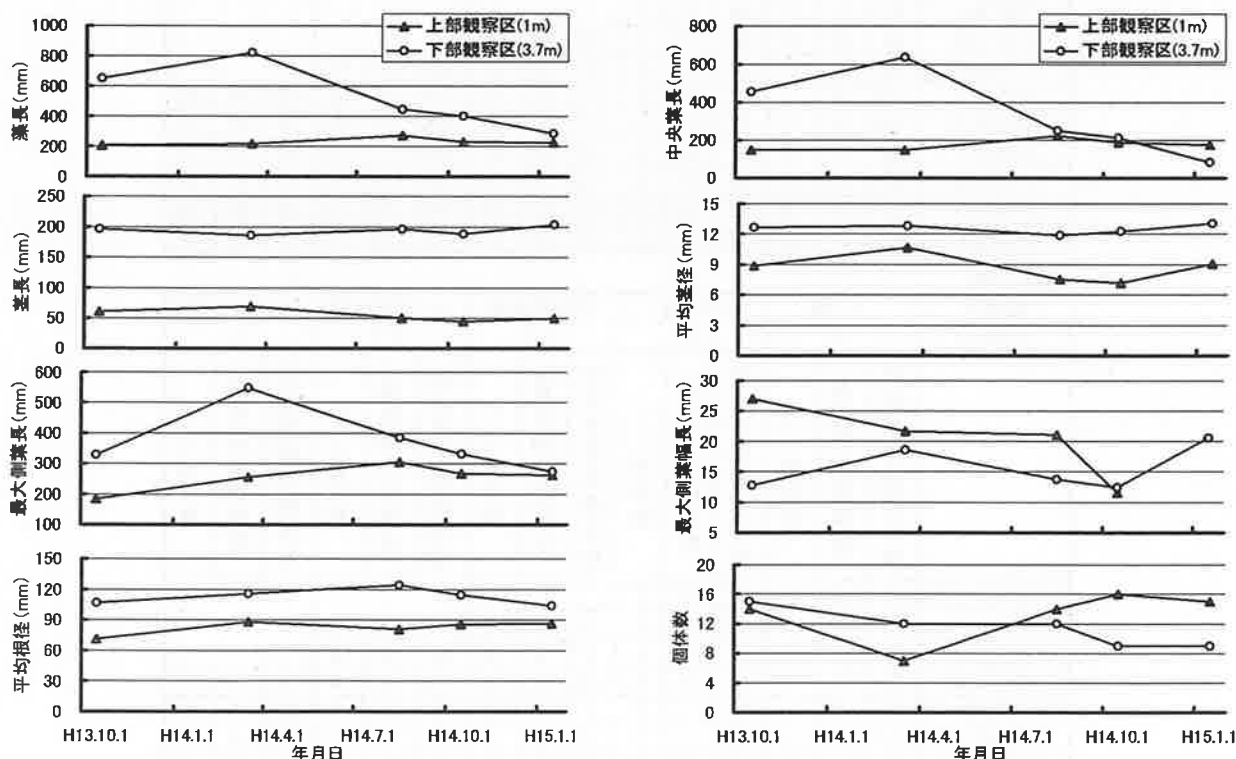


図8 田野浦における上部観察区と下部観察区のカジメ形態の推移

イ 底生動物相

調査期間中の手結と田野浦における各観察区の底生動物個体数の推移を表7に示した。

手結では観察区別で見ると、裸地面形成区で全ての底生動物の個体数が高い値で推移した。特に多い個体はフトコロガイ、ナガウニ、タワシウニで数十～百個体程度観察された。時期的には、観察開始当初はムラサキウニ、ナガウニ、タワシウニが数個体観察されるのみであったが、その後全ての底生動物の個体数が増加した。

田野浦では、調査期間を通してフトコロガイ、ムラサキウニを中心に数個体～十個体程度見られる

程度であり、観察区や時期的にあまり大きな変化は見られなかった。

調査期間中の手結と田野浦における各観察区の底生動物の被度の推移を表8に示した。

手結のサンゴ等の群体で固着する底生動物は、イソカイメン科とミドリイシ科のものが中心で、被度は数%～10%までであり、観察区や時期による大きな変化は見られなかった。田野浦のサンゴ等の群体で固着する底生動物は、平成14年8月から観察されたがダイダイイソカイメンを中心とし数%程度が観察されるにとどまった。

表7 手結と田野浦における各観察区の底生動物個体数

手結

定点	上層			下層			9月裸地面			12月裸地面			2月裸地面		
水深(m)	3.5			6.3			5.2			5.2			5.2		
	総底生動物個体数	藻食動物個体数	ウニ個体数	総底生動物個体数	藻食動物個体数	ウニ個体数	総底生動物個体数	藻食動物個体数	ウニ個体数	総底生動物個体数	藻食動物個体数	ウニ個体数	総底生動物個体数	藻食動物個体数	ウニ個体数
H12.6.2	6	6	6	2	2	2									
H12.9.6	81	3	2	44	17	7									
H12.12.5	64	12	10	27	11	7	102	36	31						
H13.2.15	48	6	6	27	9	8	62	55	49	90	72	72			
H13.7.12	101	16	12	51	15	6	117	82	75	128	75	66	102	49	45
H13.10.31	146	16	12	62	28	21	153	96	92	166	118	110	84	43	37
H14.2.21	95	13	10	67	29	19	120	68	63	150	117	110	95	37	30
H14.5.20	38	22	21	49	25	16	176	143	125	163	123	118	85	45	39
H14.9.12	31	17	16	49	32	13	86	73	68	150	130	126	49	41	29
H15.2.5	27	17	17	34	25	22	119	99	97	179	152	145	73	52	48

田野浦

観察区	上層			下層			6月裸地面			11月裸地面			2月裸地面		
水深(m)	1			3.7			2.7			2.7			2.7		
	総底生動物個体数	藻食動物個体数	ウニ個体数	総底生動物個体数	藻食動物個体数	ウニ個体数	総底生動物個体数	藻食動物個体数	ウニ個体数	総底生動物個体数	藻食動物個体数	ウニ個体数	総底生動物個体数	藻食動物個体数	ウニ個体数
H12.6.6	0	0	0	4	4	3									
H12.11.30	6	4	3	6	6	6	13	1	0						
H13.2.14	5	2	2	6	6	6	6	4	0	20	6	5			
H13.10.12	30	2	2	12	6	5	12	3	0	15	6	4	8	3	2
H14.3.21	12	1	1	5	2	2	7	1	0	7	1	1	10	1	0
H14.8.1	14	3	3	7	3	3	19	2	0	11	2	1	16	4	1
H14.10.30	5	2	2	7	3	3	0	0	0	7	1	1	6	2	0
H15.1.15	0	0	0	3	0	0	0	0	0	4	3	0	0	0	0

表 8 手結と田野浦における各観察区の底生動物被度 (%) の推移

手結

観察区	上層	下層	9月 裸地面	12月 裸地面	2月 裸地面
水深(m)	3.5	6.3	5.2	5.2	5.2
H12.6.2	2	1			
H12.9.6	7	5			
H12.12.5	10	4	1		
H13.2.15	7	7	1	0	
H13.7.12	7	6	0	1	30
H13.10.31	7	1	2	2	2
H14.2.21	6	1	2	7	0
H14.5.20	3	2	2	10	3
H14.9.12	6	4	3	7	2
H15.2.5	2	5	5	1	1

田野浦

観察区	上層	下層	6月 裸地面	11月 裸地面	2月 裸地面
水深(m)	1	3.7	2.7	2.7	2.7
H12.6.6	0	0			
H12.11.30	0	0	0		
H13.2.14	0	0	0	0	
H13.10.12	0	0	0	0	0
H14.3.21	0	0	0	0	0
H14.8.1	1	1	0	0	0
H14.10.30	0	1	0	0	0
H15.1.15	2	0	0	0	1

ウ 魚類相

調査期間中の手結と田野浦における魚類観察状況を表 9 に示した。

手結ではタカノハダイ、ソラスズメダイ等が高頻度で観察され、藻食性魚類はブダイ、ニザダイが観

察された。時期的な変化は調査回次の透明度により大きく左右されたため不明である。

田野浦ではササノハベラ等が高頻度で観察され、藻食性魚類はアイゴ、ブダイ、ニザダイが観察された。時期的な変化は手結と同様に不明である。

表 9 手結と田野浦における魚類観察状況

手結

	総 類観 察魚 数	種 類数	類藻 個食 体性 数魚
H12.6.2	199	15	13
H12.9.6	263	25	33
H12.12.5	259	14	0
H13.2.15	36	4	0
H13.7.12	34	9	0
H13.10.31	15	5	0
H14.2.21	51	9	0
H14.5.20	154	16	10
H14.9.12	161	16	20
H15.2.5	53	3	0

田野浦

	総 類観 察魚 数	種 類数	類藻 個食 体性 数魚
H12.6.6	181	12	3
H12.11.30	112	9	50
H13.2.14	9	3	0
H13.10.12	28	7	0
H14.3.21	19	4	0
H14.8.1	47	11	6
H14.10.30	155	15	40
H15.1.15	29	4	0

エ 手結の海藻群落特性について

手結の海藻群落特性は無節石灰藻、有節石灰藻を中心とするいわゆる磯焼け状態であった。アミジグサ科のシワヤハズ等の食害耐性が強いとされる種が加入しているが、観察期間中それら以外の海藻の入植は認められなかった。底生動物の密度は非常に高く、藻食性の種ではナガウニ、タワシウニの個体数が多かった。

藻食性の魚類についてはブダイ、ニザダイが観察され、平成13年度に行った移植試験ではブダイによる著しい食害を受けた。手結では貧海藻と高食圧のバランスの崩れた状態が持続している。なお、観察区付近の消波ブロックの潮間帯に比較的大型の紅藻が生育しているが、波浪が強いため食害を免れたと推察される。また、着生面を競合するサンゴ等は観察期間中に特に増加する傾向はなく、土佐湾の他の海域で散見されるサンゴ礁の発達は起こっていない。

オ 田野浦の海藻群落特性について

田野浦では大型褐藻のカジメとホンダワラ類を主とする藻場が形成されている。6、11、2月に裸地面を形成し、その後の遷移を観察した結果では、カジメの成熟期に当たる11月に形成したものはカジメが優占するのに対し、それ以外の時期ではヨレモクモドキに変遷し、着生面更新時期により植生が異なった。裸地面の形成から2年経過する中で、ホンダワラ類は種類、個体数ともに増加しており、水温の上昇傾向に伴って優占種がホンダワラ類に移行している可能性が考えられる。ただし、このホンダワラ類の増加は、カジメにとって食圧の分散等の影響も与えることから藻場の安定的な存在に寄与していると考えられた。

カジメは深所で個体数が減少傾向にあり、近年の水温上昇の中で相対的に光合成量が減少し、到達光量の少ない深所のものから脱落しているのではないかと考えられた。カジメは成体の密度低下による光条件の変化等により新規個体の加入が増加する¹¹⁾¹²⁾とされているが、今回の調査からはカジメ成体の密度低下による新規加入個体の増加は観

察されなかった。翌年のカジメ幼体の萌出に適した水温帯は $18.5 \sim 21.0^{\circ}\text{C}$ ¹⁰⁾と考えられているが、平成12年の11～12月の平均水温は $19.0 \sim 22.4^{\circ}\text{C}$ 、平成13年は $18.3 \sim 21.6^{\circ}\text{C}$ とやや高かったことが萌出数に影響したのではないかと考えられた。

田野浦の底生動物は、手結と比較すると相対的に個体数は少なかった。これについては、現在田野浦周辺海域でウニ漁業が営まれていることによると考えられる(図9)。ただし近年は、ウニの漁獲量が減少しており、他海域のウニを移植して回収することが行われている。これについては、食圧の増加により田野浦のカジメ藻場を衰退させるおそれもあり、移植方法や是非についての検討が必要である。

藻食性の魚類についてはブダイ、ニザダイ、アイゴが観察された。特にアイゴについては群で行動し、1カ所あたりの摂食量が他魚種より大きいと考えられるため、今後の動向には注意が必要である。

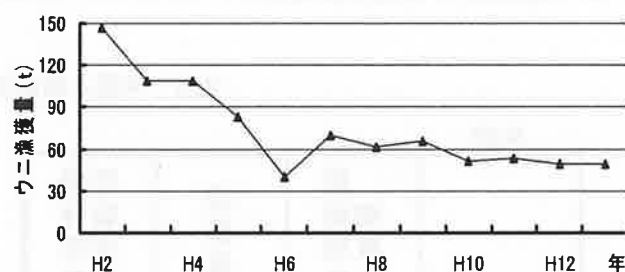


図9 田野浦におけるウニの漁獲量の推移

(3) 土佐湾におけるカジメ藻場の変動要因

本試験から藻場の変動要因に関する幾つかの知見を得ることができた。

まず、平成10年を中心起こった土佐湾東部での大規模なカジメ藻場の消失原因についてである。これは、この時期に起こった異常高水温に起因するものと考えられた。また、水温は土佐湾東部が西部より高かったことが推測され、このこと

がカジメ藻場の消失が東部に限定された原因と考えられた。特に、土佐湾東部の水温上昇は、カジメの翌年の萌出個体数に影響するとされる冬季に著しかった。この東部の水温上昇は、土佐湾内に発生する左旋環流に起因すると考えられたが、まだデータは少なく今後も検討が必要であろう。

一方、田野浦のカジメが維持されている要因については、田野浦周辺海域でウニの採捕が盛んであることや、田野浦の藻場にホンダワラ類が多く混在することにより食圧が低減された可能性がある。

次に、手結における磯焼けの持続要因についてである。手結では、調査開始時の平成12年6月には小規模ながらカジメの生育が確認されてい

る。しかし、同年9月にカジメが消滅すると、それとともにウニ類を中心とする底生動物の量が急増し、現在もこの状態が持続している。現在、生育する種は食害に強いとされる種ばかりであり、食圧と海藻の現存量のバランスが崩れ新規個体が入りにくい状況になっている。また、定着性が強いとされるブダイの食害も確認され、これらの食圧が磯焼け状態を持続させていると思われる。

現在の土佐湾の水温は10年以上前に比べると高い水準ではあるが、手結でも藻場が維持されていた時期の水温である。このため、食圧を減少させることにより海藻類の現存量がある程度確保できれば、カジメ藻場が回復する可能性があると考えられた。

2 藻場造成手法の検討

(1) カジメ種苗に対する人工海藻を用いた藻食性魚類からの食害防御

1) 目的

平成13年度に行った同試験（一、二期試験）では移植藻体の上方の防御に食害防御効果が有るとの示唆を得た。これを更に確認するため追試験を行った。

2) 試験期間

三期試験は平成14年9～10月、四期試験は平成14年10～11月に行った。

3) 試験海域

高知県香美郡夜須町手結住吉漁港内の水深2～3mの砂礫底を試験海域とした（図10）。



図10 調査海域

4) 方法

ア 移植種苗

移植に用いたカジメの成体および幼芽は高知県幡多郡大方町田野浦地先から採取してきたものと、これを母藻としてフリー培養¹³⁾等で種苗生産したものをを用いた。

イ 移植方法

移植方法を図11に模式的に示した。

カジメの幼芽を厚さ1cmの杉板にステップルで打ち込み、この板を建材用コンクリートブロックにゴムバンドで固定した（三～四期）。

ウ 試験区

試験区の概要を表10に、また、試験区を図12に模式的に示した。

各試験区はカジメを移植した建材用コンクリートブロック（20cm×39cm×10cm）8枚（4枚×2列）を用いて構成し、これを以下の5種類の方法で被覆した。

三期および四期の試験区は、全側面を人工海藻で覆った四面区、人工海藻を間隔の広い（80cm）ドーム状にし、全側面と上方を遮蔽した広五面区（三期のみ）、人工海藻を間隔の広い（80cm）ドーム状にし、縦二面と上方を遮蔽した広三面区（四期のみ）、人工海藻を間隔の狭い（20cm）ドーム状にし、二面と上方を遮蔽した狭三面区、人工海藻を上部が重ならないように短くし（60cm）五列の人工海藻で縦二面を遮蔽した狭二面区を設定した。

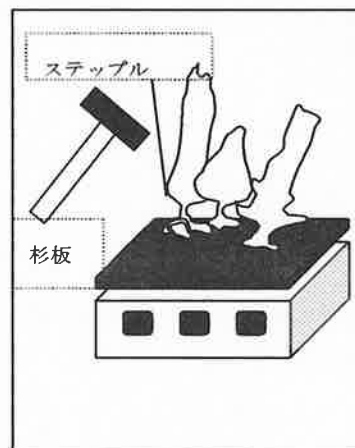


図11 移植方法

エ 観察方法

移植後、1～2週間おきにスクーバ潜水により各試験区の生残個体数、仮根部直上から葉部先端までの藻長の計測、および食害の状況等について観察した。

オ 連続水温観測

試験期間中、試験海域で、データロガー（オンセット社製）を用いて30分おきに水温の測定を行った。

カ 食害状況観察

四期試験中の平成14年10月22～23日にかけて、試験区周辺に水中ビデオカメラを設置し、

24時間観察した。

表 10 試験区の概要

試験期	試験区	遮蔽部位					人工藻体長
		二方	(間隔)	全側面	(間隔)	上方	
三、四	四面区			○	80cm		100cm
三	広五面区			○	80cm	○	100cm
四	広三面区	○	80cm			○	100cm
三、四	狭三面区	○	20cm			○	100cm
三、四	狭二面区	○	20cm				60cm

三、四期

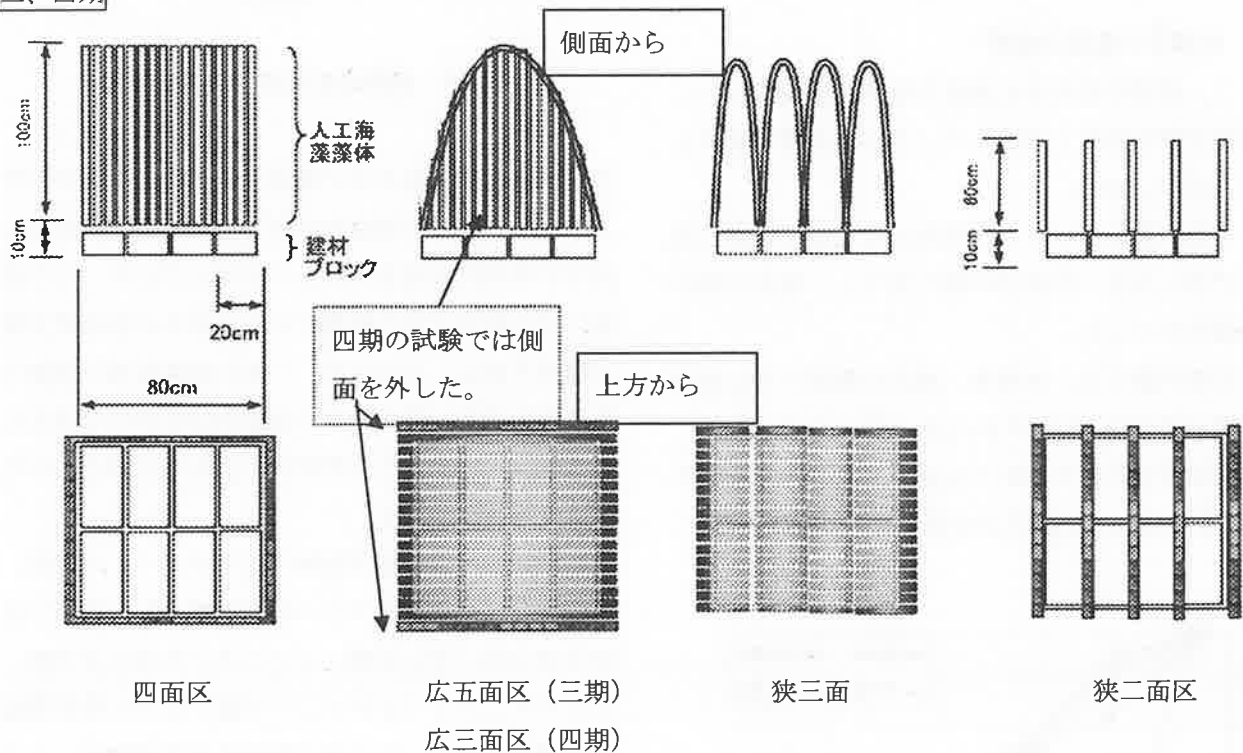


図 12 三、四期の試験区

5) 結果および考察

ア 水温環境

平成13年8月11日～10月4日、平成13年11月13日～平成15年2月5日までの水温の日平均値の推移を示した(図13)。

水温は12.2℃～30.0℃の範囲で推移し、平均水温は21.3℃であった。

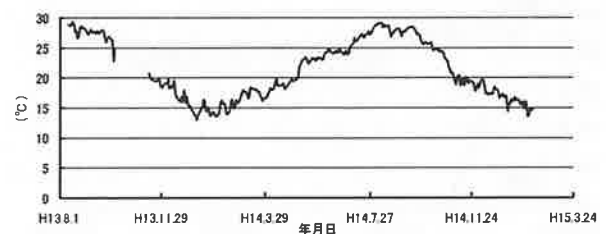


図 13 住吉漁港内における日平均水温の推移

特に、連続水温調査期間中のカジメの光合成量が負に変わるとされる 28°C ⁹⁾を超えていた時間は1096時間と長期間であった(図14)。

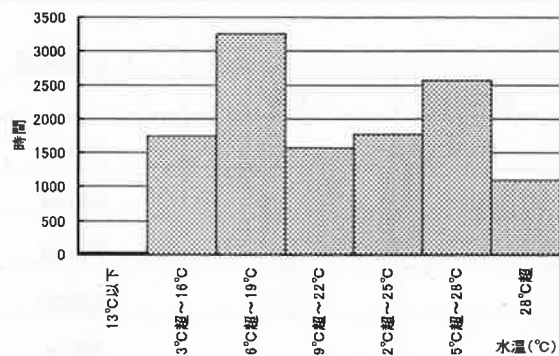


図14 住吉漁港内における水温帯別の累積時間

イ 生残率と藻長の推移

三、四期の生残率と藻長の推移(藻長については測定開始時を100%としたときの変化率)を示した(図15、16)。

三期試験における、生残率は広五面区 $\geq$ 狭二面区 $\geq$ 狭三面区 $>$ 四面区の順で低下し、藻長も同様の傾向を示した。

四期試験では、生残率、藻長の推移ともに試験区間に大きな差は見られなかった。その中では、狭三面区でわずかながら他区より高い値で推移する傾向にあったが、大きな差は見られなかった。

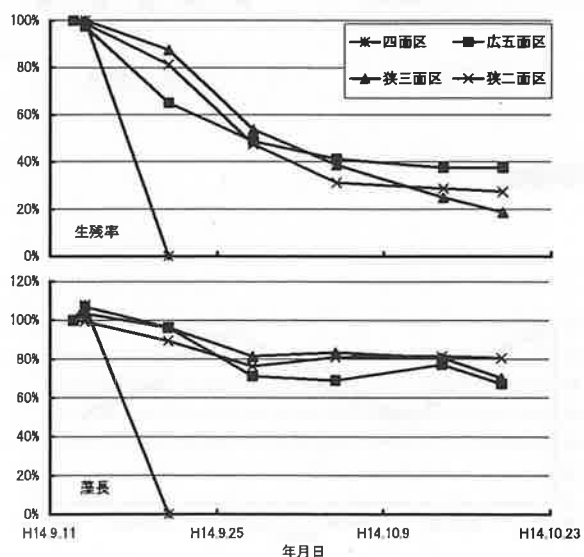


図15 三期の生残率と藻長の推移

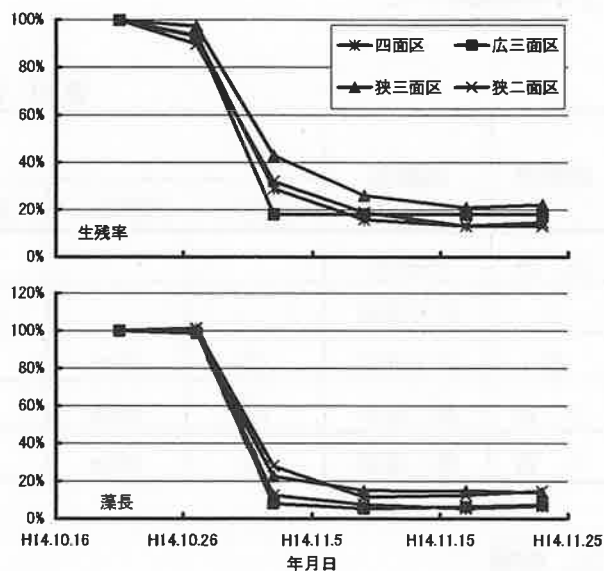


図16 四期の生残率と藻長の推移

ウ 試験期間中のカジメ藻体の脱落要因等について

生長率と藻長の推移を比較すると生残率の急激な低下の時期には藻長も大きく減少しており、その表面には比較的大型の魚類によると考えられる摂食痕が観察された。このため、一連の試験を通し急激な生残率の低下、藻長減少の主要原因は生理的な要因による枯死というよりも食害によるものと考えられた。

エ 食害種について

試験区の付近で底生動物ではクボガイ、ホヤ類、ヤドカリ類、ムラサキウニ等が観察され、魚類ではオニオコゼ、ギンポ類、ゴンズイ、スズメダイ類、ニザダイ、ネンブツダイ、ハゼ類、ヒラメ等が調査中に観察された。ウニ等の匍匐性の食害種は、人工海藻が障害となって侵入できないこと、また、調査時に試験区周辺で発見した場合には駆除したことから、これらによる食害はなかったと判断された。また、摂食の状況は直立した幼芽の上部がかじりとられているので、魚類が食害種であると考えられた。四期試験中には試験区に水中ビデオカメラを設置し24時間観察したが、食害の現場を観察することは出来なかった。また、観察された魚類の中で藻食性のものはニザダイのみであったが、藻体に残った摂食痕は直径2cmを超えるものも多く、中山・新井の報

告¹⁴⁾等を踏まえると摂食痕はブダイである可能性が高かった。また、昨年度本事業で行った、手結の魚類における食害に関する調査ではブダイによる食害が確認されているので、本試験の場合もブダイによる食害と考えられた。

オ 人工海藻を設置することによる食害防御効果について

一期～四期までの全回次（一、二期試験は平成13年度高知県水産試験場事業報告書に掲載）について検討すると、複数の回次にわたり生残率が高いものは、五面区や狭三面区で、ともに移植藻体の上方を遮蔽しているものであった。生残率の低い区は、対照区と四面区であり、側面だけの遮蔽（間隔も80cmと広い状態）は食害防御効果が見られなかった。また、縦二面のみの遮蔽でも間隔が密であればある程度の食害防御効果が表れており、魚類に対してはその摂食行動等を阻害できる藻体上方の遮蔽と遮蔽物（人工海藻）の間隔が重要であると考えられた。一期試験の狭二面区では間隔が20cmの箇所と40cm

の箇所と前者の生残率が高かったことから20cm前後までは間隔が密であるほど食害防御効果が高いと推測された。ただし、二期試験では食害種がアメフラシであったが、この種に対しては人工海藻による遮蔽は全く効果がなく、一期試験では高い生残を示した五面区でも、食害のひどい藻体には10個体程度のアメフラシがとりついていて、これは、アメフラシが浮遊と匍匐の両面の移動形態を持つためと考えられる。また、四期試験では人工海藻の短い狭二面区が他区に比較して若干生残率が低く、人工海藻の長さも防御効果に関係すると考えられたが、試験回数も少なくいため今後の検討を要する。

各回次で食害の程度も異なり、四期試験では二週目に全ての試験区で50%以上の藻体が食害を受けた。これは群による食害と推測され、このように藻食魚類が群で行動する場合、人工海藻の遮蔽効果には限界がある。藻場造成が単独の手法で成功する例は少なく、想定される条件に対応した手法（食害種の漁獲等）¹⁵⁾を組み合わせる必要がある。

(2) カジメ種苗に対する他の海藻との混植による藻食性魚類からの食害防御

1) 目的

本試験では高知県沿岸で生息域を拡大しているホンダワラ類²⁾との混植によってカジメと藻食性魚類との接触率を少なくすることによる食害防御効果を把握する。また、カジメとホンダワラ類の移植に対しての木材礁の有効性をあわせて検討する。

2) 試験期間

試験期間は平成14年3月～平成15年1月の間で、表11に示す日程で実施した。

表11 試験日程

作業工程	実施日
カジメ種系移植	H14.3.3
フリー培養カジメ移植	H14.5.24
ホンダワラ類移植	H14.6.6
観察、水質調査	H14.8.9
観察、水質調査	H14.9.26
観察、水質調査	H14.10.24
観察、水質調査	H14.11.29
観察、水質調査	H15.1.31

3) 試験海域

高知県幡多郡佐賀町佐賀漁港内で実施した(図17)。

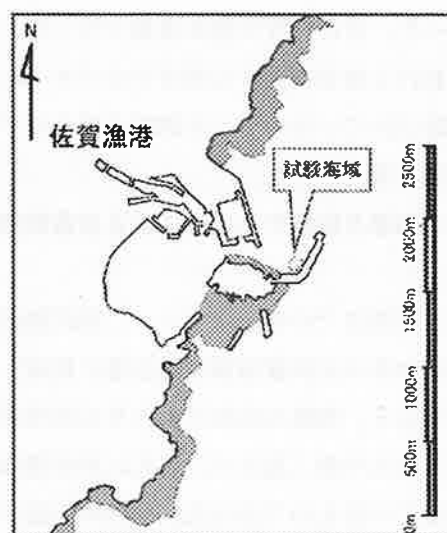


図17 試験海域（網掛け部は岩礁帯を示す）

4) 方法

ア 移植藻体

カジメ幼芽は高知県幡多郡大方町田野浦から採取してきたものを母藻として種系およびフリー培養で種苗生産した。

ホンダワラ類は高知県幡多郡大方町上川口および田野浦周辺の海域で採集されたトゲモク、ノコギリモク、ヒラネジモク、マメタワラ、ヨレモクモドキ等を用いた。

イ 移植方法

藻体の移植方法を図18に模式的に示した。港内に既設された木材礁にステップル、又釘等で藻体の仮根部を固定した。

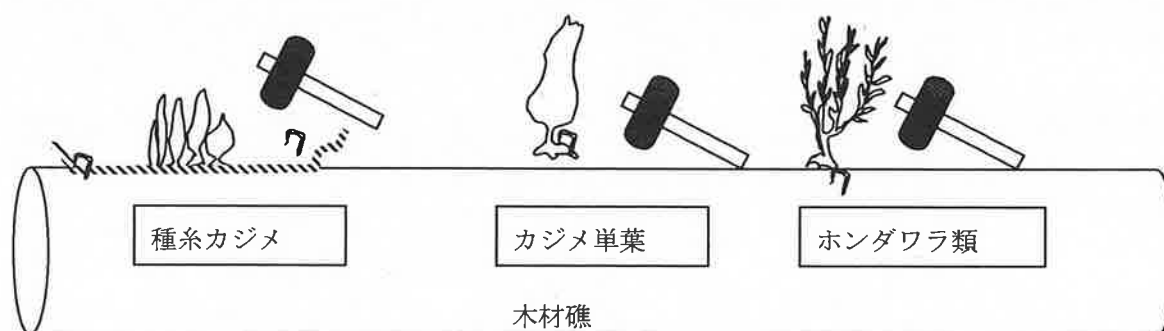


図18 藻体の移植方法

ウ 試験区

木材礁（混植区と非混植区について）を図 19 に模式的に示した。

エ 観察方法

移植後、約 1 ヶ月おきにスクーバ潜水により各試験区の個体数、仮根部直上から葉部先端までの藻長の計測、および食害の状況等を観察した（ただし、藻長が 1cm を下回るものについては着生個体として

計測しなかった）。

オ 連続水温観測

試験期間中の水温を試験海域で、データロガー（オンセット社製）を用いて 30 分おきに記録した。

カ 栄養塩濃度

木材からの栄養分の溶出を確認するために、ケーソンのコンクリート部の直上水、木材礁の直上水を数回採取し栄養塩濃度を分析した。

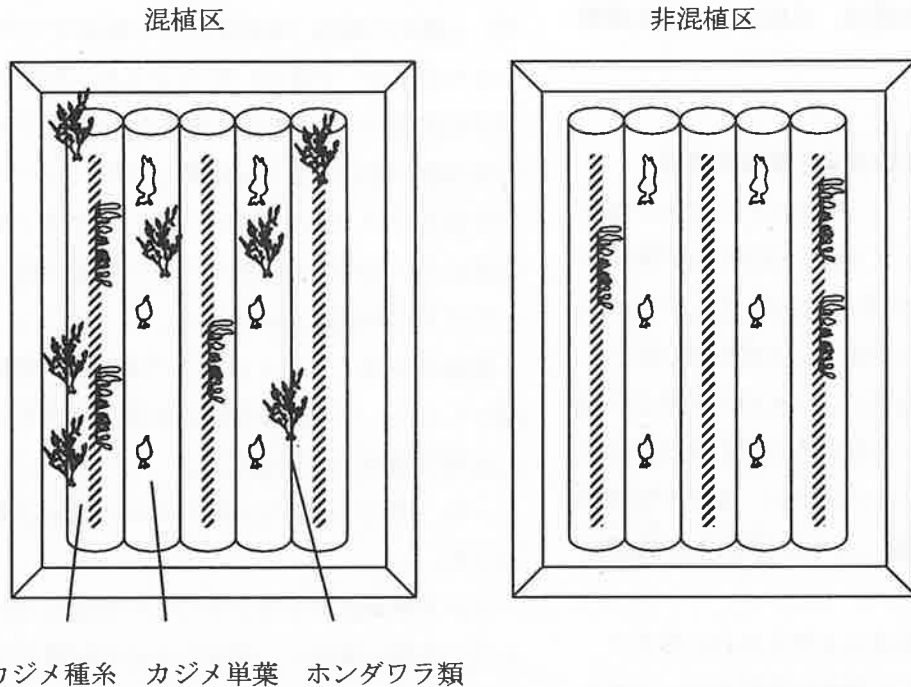


図 19 木材礁

5) 結果および考察

ア 環境条件

試験期間中の平成 14 年 3 月 3 日から平成 14 年 9 月 26 日までの日平均水温の状況を図 20 に示した。

この期間、水温は 16.6℃～29.2℃の範囲で推移し、平均水温は 24.9℃であった。

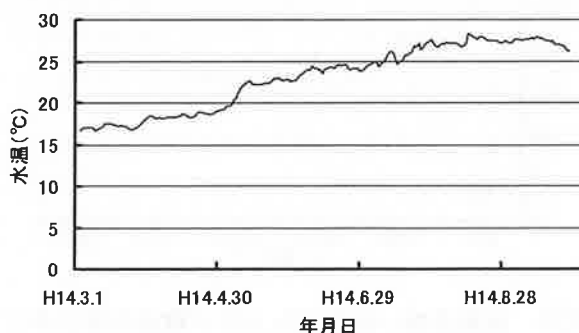


図 20 佐賀漁港内における日平均水温の推移

連続水温が観測されていた期間に同様のデータが採取された地点間で比較するために佐賀、住吉、田野浦、手結における水温帯別の累積時間を図 21 に示した。

当該試験海域はカジメの光合成量が負に変わるとされる 28℃⁹⁾を超える時間が 107 時間と最も短かった。

これは佐賀漁港が伊与木川の河口を囲むような形で建設されており、近年水温が高めに推移している外洋水の影響が河川水により緩和されたためではないかと考えられた。

なお、塩分、栄養塩濃度、CODはカジメ藻場の存在する田野浦と比較して相違はなかった。

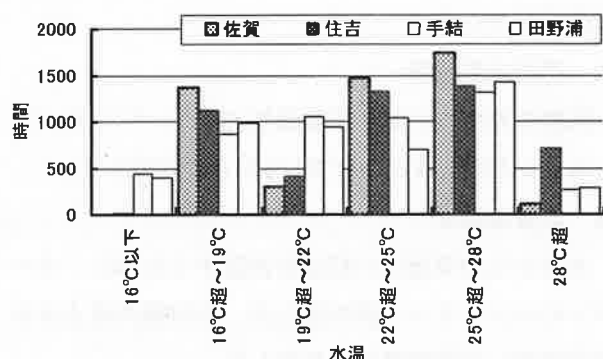


図21 佐賀、住吉、田野浦、手結における水温帯別の累積時間

イ 混植によるカジメの着生率と藻長の推移

混植の有無によるカジメの着生率と藻長の推移を図22に示した。ホンダワラ類と混植した試験区では平成14年9月まで大きな変化は見られなかったが、10月の食害により8%まで着生率が低下した。その後、冬季には食害に合うものの生長点が残っていた個体が再生し、これを含め着生率は30%程度まで回復した。混植しない区では、食害の程度がひどく再生した個体を除くと全ての個体が脱落した。

藻長の推移は両区で平成14年10月に大きく低下し、その後、再生した個体が現れたが、これらは食害を免れた個体に比べ藻長が短かった。混植区で食害による脱落を免れた個体は、その後緩やかに伸長し、平成15年1月には70%程度になった。

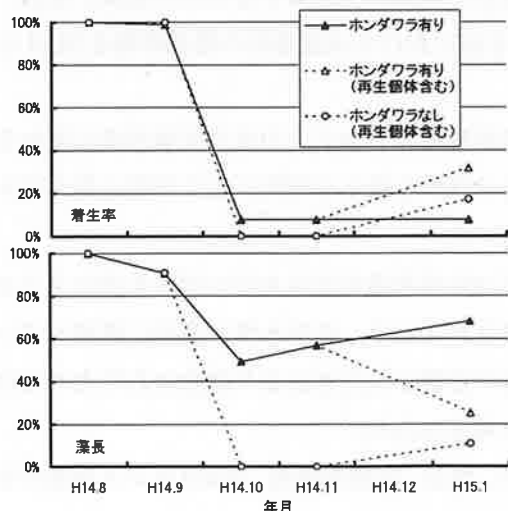


図22 混植の有無によるカジメの着生率と藻長の推移

ウ 木材礁の各移植藻体の着生率と藻長の推移

平成14年3月に樹皮有り無し各木材礁に50mのカジメ種系を金属釘で打ち付け、5月から計測を開始した。また、同時期にフリー培養したカジメ単葉をステップルで固定し計測を開始した。

カジメ種系とカジメ単葉(フリー培養)の着生率(調査開始時の個体数を100%とし各調査回次に木材礁上に着生している藻長1cm以上の個体数の割合)と藻長の推移(測定開始時の藻長を100%としたときの変化率)を図23、24に示した。平成14年9月まで樹皮のない木材礁に打ち付けたカジメ種系は90%程度の高い着生率で推移したが、10月に著しい食害を受け、5%まで低下した。その後、冬季には食害に合うも生長点が残っていた個体が再生し、着生率は30%程度まで回復した。

藻長は平成14年10月まで減少し60%程度に減少したが、その後緩やかに伸長し平成15年1月には80%程度まで回復した。

一方、樹皮の有る木材礁にカジメ種苗は着生しなかった。

カジメ単葉をステップルで打ち付けた方は、両区ともに急激に減少し、樹皮の有る木材礁で平成14年9月まで、樹皮のない木材礁で平成14年10月までに全て脱落した。

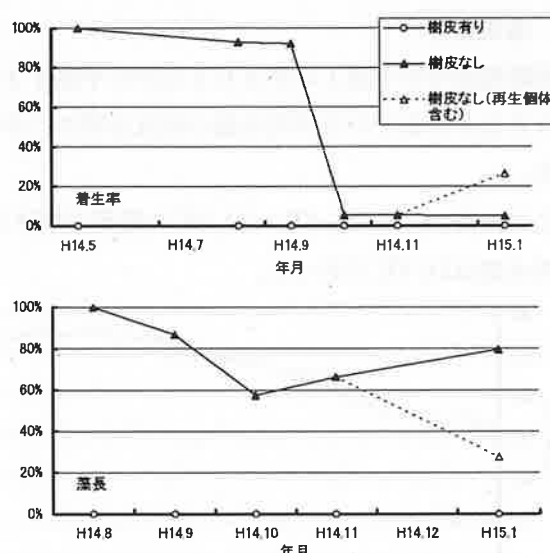


図23 基質の違いから見たカジメ種系の着生率と藻長の推移

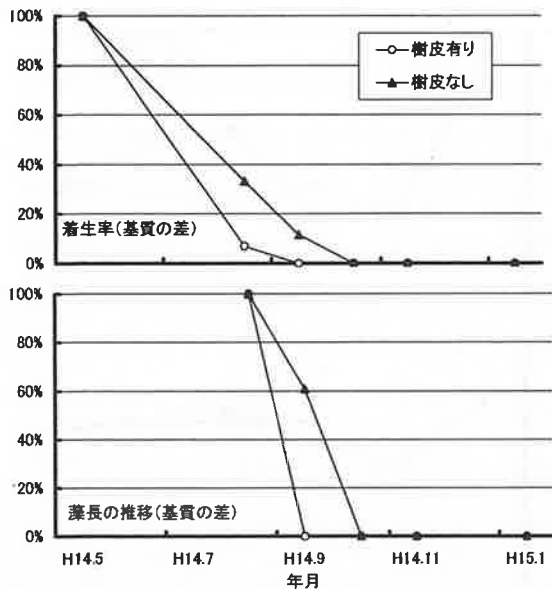


図24 基質の違いから見たカジメ単葉（フリー培養）の着生率と藻長の推移

基質の違いから見たホンダワラ類の着生率と藻長の推移を図25に示した。平成14年3月にトゲモクを、平成14年6月にノコギリモク、ヒラネジモク、マメタワラ、ヨレモクモドキを各木材礁にステップ等で取り付けた。

樹皮のない木材礁でのホンダワラ類の着生率は平成14年8月の計測開始を100%とすると平成15年1月まで緩やかに低下し、その時点でも60%の個体が着生していた。着生した個体はトゲモクとノコギリモクで後者がその大半を占めた。藻長は平成14年10月が最大を示し、150%まで生長した。その後緩やかに減少し、平成15年1月の観察でも100%を割ることはなかった。

樹皮の有るものについては、平成15年1月まで徐々に低下し40%が生残した。着生した個体は樹皮のないものと同様で、藻長は全回次を通してあまり大きな変化はなかった。

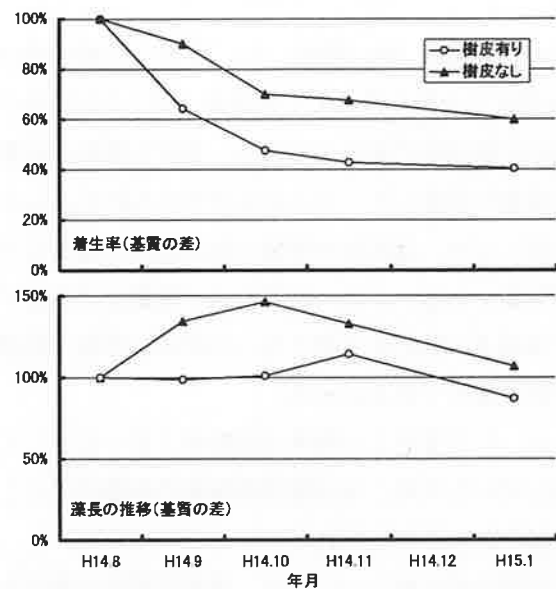


図25 基質の違いから見たホンダワラ類の着生率と藻長の推移

エ 魚類の食害について

平成14年の佐賀漁港内では9月以降から魚類による摂食圧が高まった。その原因として周辺に分布していたアントクメが消失したためと考えられる。被食された時期とその程度からアントクメ≧カジメ>ホンダワラ類の順で嗜好度が下がると考えられた。

周囲で観察された藻食性魚類はブダイとニザダイであるが、特にブダイは9月以降藻場礁付近で頻繁に観察された。ただし、ブダイの藻食性が強いのは水温18℃付近とされており¹⁶⁾、当該海域でその水温となる11月以降に食害が発生しなかったため食害種の断定にはまだ検討を要する。

オ 混植による食害防御効果について

ホンダワラの数量に限りがあったため、均一にカジメ種苗を被覆することができず、カジメは大部分が食害を受けた。食害による脱落を免れた箇所は、ホンダワラ類の仮根部と仮根部の間の直線上に位置し、特にホンダワラ類の間隔が20cm前後の条件であった。

カ 木材藻場礁の有効性について

各移植藻体は木材礁に釘で打ち付けた後も仮根部は生長しており数ヶ月後には自力で木材上に活着し

た。

カジメ種系を 50m 移植して、着生した種系長は 1.4m 程度で全体の数%でしかなかった。これはカジメ種系の移植時にゆるみが生じ、木材と種系との摩擦で種苗が脱落したことによると考えられた。この点に関しては、金属釘の種類や固定箇所の増加で対応が可能である。フリー培養カジメ単葉は打ち付けると木材上に横たわる形となったため、浮泥の沈積をまねき着生できなかった。

また、一旦着生した個体は試験終了まで安定して固着していたため、木材礁は海藻類の移植手段として有効であると考えられた。

木材礁の耐久性については、調査期間中に数度台風の接近があったが木材礁の破損はなく、強度に問題はなかった。平成15年1月31日の観察を終えた時点で木材の表面には小孔が多数存在し一見スポンジ状に見えたが、木材の固定力に問題があるほどではなく1年間は耐久性が期待できるが、その後は劣化破損の可能性がある。

また、試験期間中に、ケーソンのコンクリート直上と木材礁の木材直上での栄養塩（T-N、T-P）の推移を図26に示した。T-Nはコンクリート直上で6.7～7.1 $\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$ で推移し、平均値は7.0 $\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$ であった木材直上では6.6～9.7 $\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$ で推移し、平均値は7.7 $\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$ であった。

T-P はコンクリート直上で 0.26～0.27 $\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$ で推移し、平均値は0.27 $\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$ であった。木材直上では0.20～0.31 $\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$ で推移し、平均値は0.26 $\mu\text{g}\cdot\text{at}/\text{l}$ であった。

木材礁の設計段階では木材からの栄養分の供給が企図されていたが、今回の調査からはその効果を確認することは出来なかった。

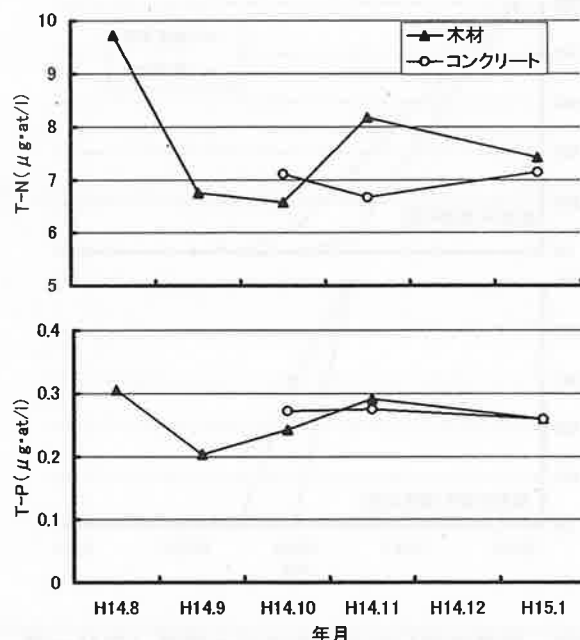


図26 コンクリート直上と木材礁の木材直上での栄養塩（T-N、T-P）濃度の推移

(3) 藻場造成手法の検討

本試験を通じて藻食性魚類からの食害防御について幾つかの知見を得ることができた。

まず、移植藻体の防御のための障害物の配置方法についてである。障害物の配置条件として①移植藻体上方の遮蔽、②移植藻体を囲む遮蔽物の間隔が狭い方がよいとの結論を得ることができた。これは、藻類の摂食行動に起因すると考えられ、伊豆ではブダイがカジメを摂食するとき、藻体周囲を周回して上方からかじる行動が報告¹⁵⁾されている。今回試験を行った住吉、佐賀両海域とも食害原因種は特定できなかったがブダイである可能性が高く、少なくとも今回得られた結果は、これらの行動を阻害すると考えられた。また、障害物の配置は視覚的に藻体を隠し、藻食魚類からの発見も妨げることになる。この両面が上の結果つながったと考えられる。

次に、ホンダワラ類との混植が食害防御につながることである。実用面で人工海藻を食害防御に用いることはコスト面から考えて厳しい。実用面においては、ホンダワラ類を障害物として用いることが妥当であろう。前出の障害物の配置に関する条件は、

ホンダワラ類との混植時にも類似する結果が得られ、その有効性が示唆された。現在、土佐湾ではホンダワラ類が増加する傾向にある。このようなホンダワラ類が一定の密度を持って分布する海域に、有用海藻であるカジメ等の種苗を供給し、魚類からの食害

を軽減することで藻場造成の可能性が高まると考えられた。前章でも述べたとおり田野浦もまた、ホンダワラ類とカジメが混在する海域である。この藻場における種の多様性が、今後の藻場造成・管理に大きく影響するであろう。

3 藻場の維持管理法の検討

(1) 生残しやすいカジメの形質についての検討

1) 目的

田野浦のカジメ群落は現在日本の最も南に存在する群落の一つであり、言い換えれば日本で最も高温にさらされている群落の一つと考えられる。田野浦のカジメには、これまでの観察結果から、他の海域や以前の高知のカジメに比べ茎が短くなる傾向が窺われた。また、現地でウナギメと呼ばれる細い側葉を多く持つ個体が増えている等の情報を得ている。これは、側葉数を増やすことにより食害によるダメージを軽減できる可能性がある。これらを高温や食害に対する馴化の一要素と考え、このことを検証するためにカジメ新生個体を標識追跡し生残個体の特徴から田野浦のカジメにどのような生存戦略が働いているのかを把握することを目的として行った。

2) 方法

前出、1-(2)の田野浦の裸地面3箇所に加したカジメ新生個体のうち側葉を有する約1年程度経過したもの個体標識を付け藻長、茎長、中央葉幅、最大側葉長、最大側葉幅、茎径（長径および短径の平均）、根径（長径および短径の平均）を追跡

し、生残個体と脱落個体の形質を比較した（図7）。

3) 結果および考察

脱落が認められたのは6月裸地面で2個体、11月裸地面で6個体、2月裸地面で1個体であった。生残個体と脱落個体（脱落直前）の測定結果を表12に示した。

茎長については、脱落個体と生残個体間よりも、それぞれの観察区毎の違いが大きくあらわれた。これは密度の影響によると考えられ、11月形成裸地面のように個体密度の高い区では茎長が長くなる傾向が見られ、光量に関する競合のため茎部の伸長が促進されたと考えられた。平成14年度は比較的水温が高めに推移したが脱落率は裸地面形成月による差が見られず、この調査からは茎の短いものが有意に生残しているという現象は確認できなかった。また、側葉の幅を示す最大側葉幅についても、特に差は認められず、ウナギメという個体が有意に生残しているとは考えられなかった。

調査期間中カジメ個体の脱落数が少なく十分な比較ができなかった。しかし、茎の短いカジメ藻場が唯一県内で存続している現実から、結論を得るには、まだ検討の余地がある。

表12 田野浦におけるカジメの脱落個体と生残個体の脱落直前測定結果（単位：cm）

		藻長	茎長	中央葉幅	最大側葉長	最大側葉幅	平均茎径	平均根径
脱落	平均値	34.3	7.8	4.6	24.8	1.8	0.9	7.9
	標準偏差	12.0	3.5	1.4	9.1	0.6	0.2	2.2
	標本数	9	9	7	9	9	9	9
生残	平均値	36.8	7.6	4.3	26.9	1.7	0.9	8.0
	標準偏差	11.4	4.8	1.1	11.4	0.5	0.3	2.6
	標本数	52	52	40	52	52	52	52

脱落個体の値は脱落直前の測定結果を用いた。

(2) 田野浦周辺海域における大型褐藻現存量の推定

1) 目的

今後、田野浦のカジメ藻場を維持管理していくためには現存量の把握が不可欠である。平成9年以降藻場の範囲や現存量の推定²⁾に類する調査は行われておらず、これを把握するため本調査を行った。

2) 方法

平成14年8月22日に予備調査として大方町井ノ岬地先から中村市名鹿地先までの海岸線を連続的に船上目視と潜水観察し、カジメの分布域を海上保安庁の5万分の1の海底地形図第6357号にプロットした。

平成15年2月14日には一定の規模でカジメが認められた大方町入野地先から中村市平野地先までの海岸線を12の区画に分割し、区画の中心に当たる位置に岸から沖へのラインを設定した。このラインについてDLで1.5m、4.5m、7.5m、10.5m、13.5mとなる箇所では1㎡のカジメの個体数及びホンダワラ類の個体密度を計測した。このうちカジメについては季節的な差異をできるだけ小さくするため調査時期に最も近い平成15年1月15日のサンプルの平均個体重を用い、海域全体での現存量を推定した。また、各ラインでカジメとホンダワラ類の最大分布水深を計測した。この水深を分布外縁域として5万分の1の海底地形図第6357号に落とし込み藻場面積を求めた。

3) 結果および考察

調査結果の概要を表13にカジメの分布域を図38に示した。

カジメは水深0～12m前後まで分布し、0.2～13個体/㎡が観察され、最も密度の高い区画は田野浦漁港周辺であった。ホンダワラ類はノコギリモク、ヤツマタモク、ヨレモクモドキ、ヒラネジモク、不明種の計5種が観察され分布水深は0～9m前後であった。個体密度は1～41個体/㎡観察され、最

も密度の高い海域は双海崎周辺であった。

表13 調査結果の概要

	カジメ	ホンダワラ類
分布面積	136ha	99ha
最大分布深度	12m	9m
現存量	874t (平均個体重 116g)	測定せず
現存個体数	754万個体	1436万個体

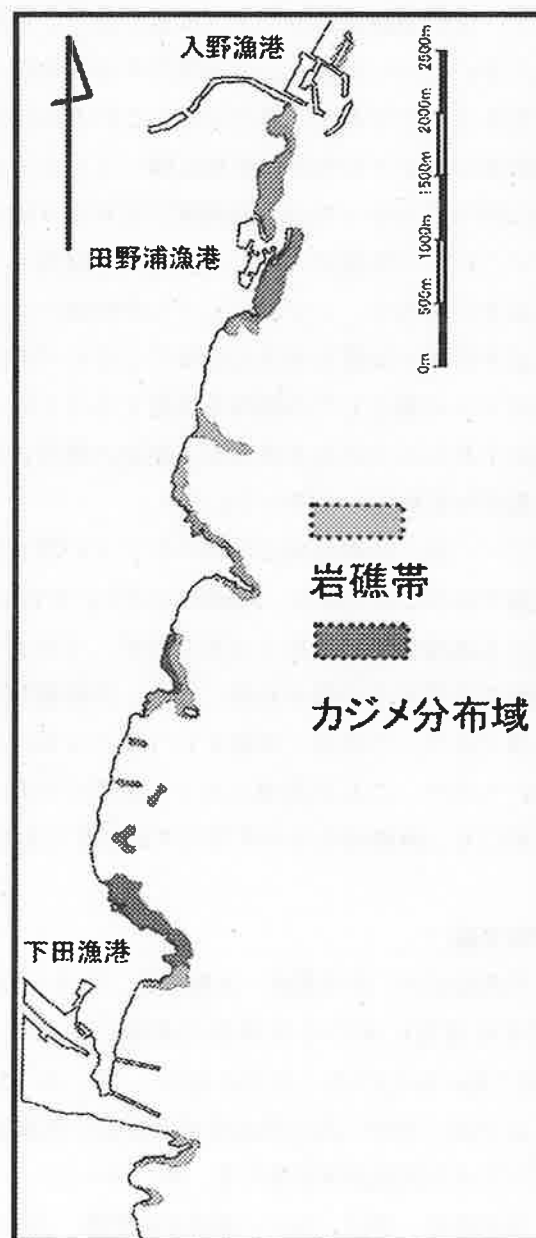


図27 カジメ分布域

平成9年度の調査結果では田野浦周辺海域のカジメ藻場（アラメ場）は103haであった²⁾。今回の調査では136haなので約30haほど増えたことになる。しかし、これは調査方法の違いもあり単純に比較できないが、少なくとも田野浦周辺の藻場が減少していない事が確認できた。今後、より精度の高い調査を継続して行うことで、藻場の維持管理に必要な基礎資料を整備していく必要がある。

(3) 藻場管理手法の検討

本試験から、今後の田野浦周辺海域における藻場の維持管理に関する若干の知見が得られた。

まず、田野浦海域のカジメには茎が短く、側葉が細く多いといった幾つかの特徴的な形質を持つものがあることである。残念ながらこれらの形質が田野浦のカジメの生存に有利に働いているとの結論は得られなかったが、他海域ではあまり例を見ないこれらの形質についてこれからも検討していく必要があろう。いずれにしても田野浦のカジメは日本沿岸では最も南方に分布するものである。このカジメの種としての動向を把握することは、水温が上昇しつつある本県沿岸の藻場の維持に関して重要な意味合いを持つであろう。

もう一つは、田野浦周辺海域のカジメの現存量を把握できたことである。連続的ではないが100haを超える藻場は本県沿岸では類を見ず、今後もその動向を把握する必要がある。また、田野浦周辺の海域ではウニの放流と回収という新たな試みが行われており、これが藻場に与える影響を把握するためにも、継続的なモニタリングが必要である。

参考文献

- 1) 芹澤如比古・井本善次・大野正夫、2000：土佐湾手結地先における大規模な磯焼けの発生。*Bull. Mar. Sci. Fish., Kochi Univ.*、20、29-33
- 2) 浦吉徳、1999：高知県沿岸域の藻場分布調査。高知県水産試験場事業報告書、95、106-119
- 3) 溝渕勝宣、1984：カジメ藻場造成試験。高知県水産試験場事業報告書、82、1-8
- 4) 岡村雄吾、1992：人工海中林造成試験。高知県水産試験場事業報告書、88、1
- 5) 織田純生・村上幸二・黒岩隆・角原美樹雄、1997：生物モニタリング調査（漁場保全対策推進事業）。高知県水産試験場事業報告書、93、274-309
- 6) 大野正夫・笠原均・井本善次、1983：土佐湾産カジメ類の生理生態学的研究Ⅱ。成体からの移植実験。高知大・海洋生物研報、5、65-75
- 7) 藤本実、1987：土佐湾に出現する海水流動の型と流れの安定度。海と空、62、127-140
- 8) 岡村雄吾、2002：海洋構造変動パターン解析技術開発試験事業報告書。高知県、425-426
- 9) Serisawa, Y., 1999 : Comparative study of *Ecklonia cava* Kjellmann (Laminariales, Phaeophyta) growing in different temperature localities with reference to morphology, growth, photosynthesis and respiration Ph.D Thesis, Tokyo University of Fisheries, 133p.
- 10) 山内信・上出貴士・堀木信男・加来靖弘・小川満也・翠川忠康、2000：藻場の変動要因の解明に関する研究。太平洋中部域のカジメ藻場（和歌山県）。カジメ・クロメの生育特性、和歌山12-19
- 11) 林田文郎、1986：カジメの群落生態学的研究—Ⅲ。—カジメ群落の構造について—。東海大学紀要海洋学部、22、159-169
- 12) 前川行幸、1990：カジメ海中林の構造と更新過程。沿岸海洋研究ノート、27、2、157-166
- 13) 徳島県水産試験場、2000：新しいワカメの種苗生産マニュアル。—フリー配偶体を使った種苗生産—、1-42
- 14) 中山恭彦・新井章吾、1999：南伊豆・中木における藻食性魚類3種によるカジメの採食。藻類 *Jpn. J. Phycol. (Sôru)*、47、105-112
- 15) 森田和利、2002：榛南地区のサガラメ、カジメ群落の復活を目指して。～藻食性魚類アイゴの捕獲に取り組んで～。漁村、66(9)、22-26
- 16) 木村創、1994：養殖ヒロメにおける魚類の捕食。和歌山水試研報、26、12-16