参 考 資 料

１　木材活用礁の特徴

木材流通の現状と木材活用礁の特徴を以下に示した。

(1)　木材の流通

各都道府県では地区の森林組合や都道府県の森林組合連合会と共同で、木材の利用促進に取り組んでいる。基本的には、各都道府県の森林組合連合会で木材を取り扱っており、ここを窓口として木材の入手が可能である。また、都道府県の森林組合連合会を統括する全国森林組合連合会（系統事業部）を窓口として入手することもできる（参表-1)。

木材の価格はその品質や需給関係によって相場が変動するため、森林組合連合会から見積もりを取ることになる。森林組合によってはホームページ゛に木材の規格、価格などの情報を掲載している。岩手県森林組合連合会は径 18 ㎝、長さ２ｍの皮付きスギ材の価格を１本 1,570 円としている（平成 26 年度）。

また、農林水産省の統計情報に関するホームページにおいて、木材価格統計調査で得られた都道府県別の製材用素材価格（スギ丸太等）の速報をみることができる。

木材価格は共販所等所在地での受け渡し価格で示されるのが一般的で、これに積み込み料金や共販所から木材活用礁の組み立てヤードまで運搬費が加算される。運搬費については、森と海との連携を明確なものにするためにも、林野サイドによる負担について今後検討する必要がある。

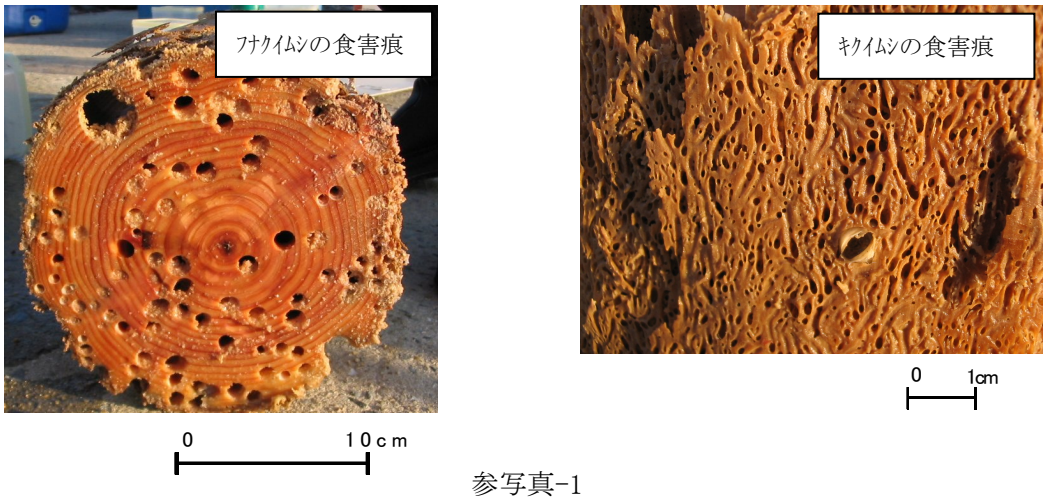
参表-1　木材の取り扱い所一覧

	事業者名	連絡先		事業者名	連絡先
あ	愛知県森林組合連合会	052-961-9156	た	千葉県森林組合連合会	043-227-8231
	青森県森林組合連合会	017-723-2657		東京都森林組合連合会	042-597-2881
	秋田県森林組合連合会	018-866-7421		徳島県森林組合連合会	088-622-8158
	石川県森林組合連合会	076-237-0121		栃木県森林組合連合会	028-637-1450
	茨城県森林組合連合会	0294-70-3620		鳥取県森林組合連合会	0857-28-0121
	岩手県森林組合連合会	019-654-4411		富山県森林組合連合会	076-434-3351
	愛媛県森林組合連合会	089-941-0164	な	長崎県森林組合連合会	095-727-1755
	大分県森林組合連合会	097-545-3500		長野県森林組合連合会	026-226-2504
	岡山県森林組合連合会	086-222-7671		奈良県森林組合連合会	0742-26-0541
	大阪府森林組合	072-698-0950		新潟県森林組合連合会	025-261-7111
	沖縄県森林組合連合会	098-888-0676	は	兵庫県森林組合連合会	078-341-5082
か	香川県森林組合連合会	087-861-4352		広島県森林組合連合会	082-228-5111
	鹿児島県森林組合連合会	099-226-9471		福井県森林組合連合会	0776-38-0345
	神奈川県森林組合連合会	046-228-1774		福岡県森林組合連合会	092-712-2171
	京都府森林組合連合会	075-841-1030		福島県森林組合連合会	024-523-0255
	岐阜県森林組合連合会	058-275-4890		北海道森林組合連合会	011-621-4293
	熊本県森林組合連合会	096-362-3291	ま	三重県森林組合連合会	059-227-7355
	群馬県森林組合連合会	027-261-0615		宮城県森林組合連合会	022-225-5991
	高知県森林組合連合会	088-855-7050		宮崎県森林組合連合会	0985-25-5133
さ	埼玉県森林組合連合会	048-822-5266	や	山形県森林組合連合会	023-688-8100
	佐賀県森林組合連合会	0952-23-4191		山口県森林組合連合会	083-922-1955
	滋賀県森林組合連合会	077-522-4658		山梨県森林組合連合会	055-273-0511
	静岡県森林組合連合会	054-253-0195	わ	和歌山県森林組合連合会	073-424-4351
	島根県森林組合連合会	0852-21-6247			
	全国森林組合連合会	03-3294-9711			

(2)　海中における木材の性状変化

①　海中用材食害虫

海中に置いた木材は、海中用材食害虫（以下、海虫類という）の食害を受け、崩壊に至る。海虫類は、フナクイムシなどの軟体動物とキクイムシなどの節足動物に大別される。フナクイムシはキクイムシに比べて体が大きく、食害が激しい。



参写真-1

ア　フナクイムシ類

□　種類

木材を食害する日本産の軟体動物（二枚貝類）としては、フナクイムシ科として 23 種、キクイガイ科として１種、ニオガイ科として 12 種が知られている[2)]。中でもフナクイムシ科及びニオガイ科の何種かは海中用材への食害が著しい。

□　体型

フナクイムシ科の外観はミミズ状を呈し、頭部に一対の貝殻を有する。体の末端に 1 対の尾栓がある。ニホンフナクイムシ（フナクイムシ）、ヤツフナクイムシは小型で体長 5～10 ㎝、直径は 5～10 ㎜である。キタオオフナクイムシは大型で体長 20～50 ㎝、直径は 10～20 ㎜であり、食害跡が大きい特徴を有する[3)]。

ニオガイ科は軟体部分が一対の貝殻で覆われ、一般的な二枚貝の形態である。カモメガイモドキは殻長 35 ㎜、殻高 15 ㎜、殻幅 15 ㎜程度の卵円錐形をしている[4)]。

ヤツフナクイムシ　　カモメガイモドキ

引用：新日本動物図鑑(中), 北隆館, 1965.[4)]

参図-1　フナクイムシ類の形状

□　地理的分布

フナクイムシ科のうち、わが国沿岸に最も広く分布しているのはフナクイムシとヤツフ

ナクイムシで、北海道から鹿児島県まで及んでいる（参表-2)。種数は本州南部で多く、水温の高い海域での活動が活発である[5)]。

ニオガイ科のカモメガイモドキは本州から九州に普通にみられる[4)]。

参表-2　主なフナクイムシ類の分布

科	学名	和名	分布
フナクイムシ	*Teredo navalis*	フナクイムシ	北海道・本州・四国・九州[3),5)]
	Lyrodus pedicellatus	ヤツフナクイムシ	北海道・本州・四国・九州[3),5)]
	Lyrodus takanoshimensis	タカノシマフナクイムシ	本州・九州[3),5)]
	Bankia bipalmulata	オオフナクイムシ	本州[3),5)]、九州[5)]
	Bankia carinata	ヤセオオフナクイムシ	本州・九州[5)]
	Bankia setacea	キタオオフナクイムシ	北海道[3),5)]
ニオガイ	*Martesis striata*	カモメガイモドキ	本州・四国・九州[3),4)]

引用：井上嘉幸（1972）[3)]、岡田要（1988）[4)]、角田邦夫・西本孝一（1979）[5)]

□　生息水深

生息水深に関しては詳しいことが分かっていないが、一般的な魚礁・増殖礁の沈設水深には普通に生息している。水深10m以浅に多いという報告がある[2)]。

□　水温

フナクイムシの生存に関する情報としては８℃以下、30℃以上で大半が斃死するという報告がある[6)]。ヤツフナクイムシの生存可能水温は10～25℃と報じられている[6)]。幼生放出の適水温に関しては、女川で 16～20℃という報告がある。また、定着・穿孔に好適な水温に関しては、25℃前後という報告がある[6)]。

□　塩分

宮城県女川産のフナクイムシの幼生は塩素量10‰（塩分18‰に相当）で変態が進行するが、穿孔は疑わしい。塩素量14‰（塩分25‰）では穿孔した。また、別の実験では塩分15‰でも２／３が穿孔した。日本産ヤツフナクイムシでは、塩素量 10‰以下では穿孔が疑わしいが、15‰で穿孔し、18‰前後が穿孔に最適であると報じられている[6)]。

□　生活史と食害

わが国では水温が 15℃を越える頃からフナクイムシの幼生が排出され始め、18℃を越えるとその数が急に増える[3)]。そのため、海中の木材は、わが国の広い地域で５月から 11 月頃までフナクイムシの食害を受ける。

フナクイムシの寿命は、長くて１年程度と考えられる。角田らの実験では多くの個体が６ヵ月は生存し続け、１年を越えて生存した個体も数個体あったと報告されている[7)]。

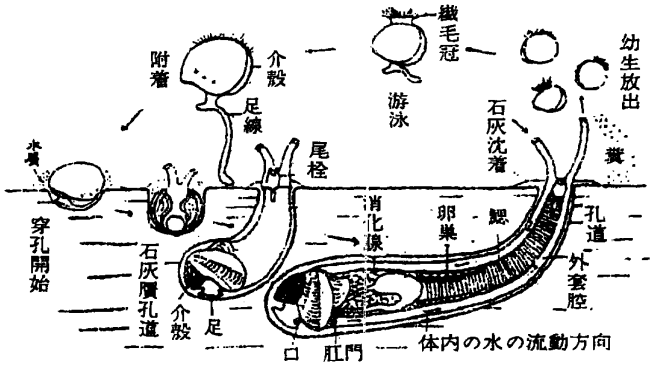
フナクイムシの産卵は、４～５週おきに３～４回産卵し総数100～500万個を生むという報告や体長３～５㎝の個体から２～５万個の幼生を得るなどの報告がある[2)]。

生まれた幼生は、20～30 日の浮遊期間を経て木材に付着し、侵入する[6)]。侵入口の大きさは径１㎜程と小さいが、成長に伴い材内部の穿孔は大きくなり、孔が隣接し蜂の巣状になる[2)]。しかし、侵入口が小さいため、外観から内部の食害程度を判断することができない。

フナクイムシの穿孔行動は、縞状の突起がある貝殻を開閉及び回転することによって木材を摩砕する。また、穿孔した孔道の内壁は石灰質で塗りつぶされる[7)]。

フナクイムシの食物は、植物プランクトンなどの微小有機物と、穿孔行動時に取り込む木粉と考えられている[9]。

近年、フナクイムシの鰓の細胞内に共生する細菌が、木材の主成分であるセルロースの分解と窒素固定を担っていることが発見された[10]。さらに、フナクイムシ自身が多様なセルラーゼ遺伝子を保有することや[11]、消化管内にセルロース分解菌が存在する可能性があることも判ってきた[12]。これら事実から、フナクイムシは、木材を確かに食物として利用していると考えられる。ただし、植物プランクトンや有機懸濁物などのろ過性食者の側面も有していることから、両食物の相対的な寄与については未だ課題となっている。



引用：木材保存学，文京出版，1982.[8]

参図-2　フナクイムシの生活模式図

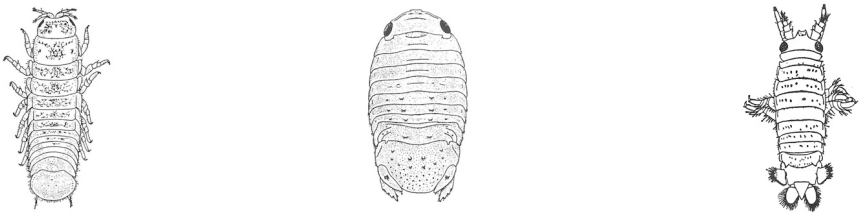
イ　キクイムシ類

□　種類

木材を食害する日本産の節足動物（甲殻類）としては、キクイムシ科、コツブムシ科、キクイモドキ科が知られている。このうち木材の食害が顕著な種として、キクイムシ科のキクイムシ、コツブムシ科のヨツバコツブムシ、キクイモドキ科のヤマトキクイモドキがいる。

□　体型

キクイムシの形態はシャコに類似する。体長 3～4 ㎜で頭部に２対の触角を有す。ヨツバコツブムシはキクイムシより遙かに大きく、体長８～15 ㎜、幅５～８㎜の大きさである。ヤマトキクイモドキはキクイムシよりやや大きい程度で、その形態はアミに類似する[13]。



キクイムシ　　ヨツバコツブムシ　　ヤマトキクイモドキ

引用：新日本動物図鑑(中), 北隆館, 1965.[4]

参図-3　キクイムシ類の形状

□　地理的分布

キクイムシの分布は極めて広く全世界に分布し、わが国の沿岸にも普通にみられる（参表-3)。ヤマトキクイモドキは比較的温暖な四国、九州地方に多くみられる[3]。

参表-3　主なキクイムシ類の分布

科	学名	和名	分布
キクイムシ	*Limnoria lignorum*	キクイムシ	本州・北海道・四国・九州[3]
コツブムシ	*Sphaeroma retrolaevis*	ヨツバコツブムシ	本州[3]
キクイモドキ	*Nippochelura brevicauda*	ヤマトキクイモドキ	本州・四国・九州[3]

引用：井上嘉幸（1972）[3]

□　水温

キクイムシは分布の北限が太平洋ではベーリング海峡に達することからして、相当な低水温に耐えうると考えられる[2]。

千葉県小湊では周年穿孔及び生存が確認されている。また、石川県七尾においても 12 月に穿孔が確認されている[2]。

□　塩分

キクイムシはフナクイムシ類に比べて低塩分に弱く、塩分 30‰以上を好む。生息下限塩分は 15‰と言われている[2]。ヨツバコツブムシは低塩分を好み河口付近に生息する[2]。

□　生活史と食害

キクイムシの産卵は水温が 14℃を越える頃から始まり、16℃を越えると活発化する。１回の産仔量は 10 匹程度であるが、親の体内で保護されて成長した後産出されるため、数週間で穿孔能力を持つ[3]。この虫はフナクイムシとともに生息している場合が多く、木材を穿孔して、それを摂餌すると同時にその穴を住居として利用する[13]。

キクイムシは木材表面に沿って穿孔し、孔道の伸張に伴い呼吸のための小孔を穿つ。食害の進行につれて孔道は徐々に内部に向かうが、木目に交叉するように穿孔が進むことはない。激しい食害を受けた木材は海綿状を呈するようになる[14]。

ヨツハコツブムシは海水中のプランクトンなどをろ過して栄養源として摂取している。木材を消化・吸収する能力はなく、住処や隠れ場所として木材に穿孔する[14]。食害はキクイムシ同様に表面から徐々に内部に向かうが、孔道は体長より長くなることはない[8]。

②　食害の制限因子

ア　海域条件

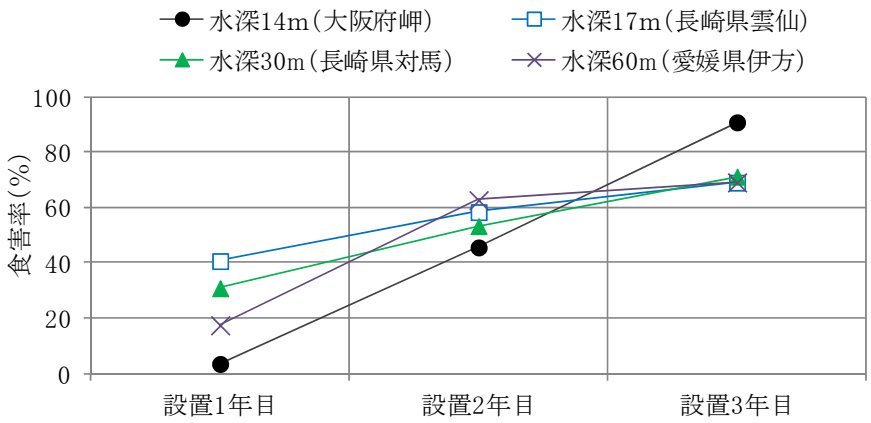
□　水深

フナクイムシの生息水深について詳しいことは分かっていないが、水深 10m以浅に多いという報告がある[2]。

また、50m以深域で食害速度が緩やかになる傾向が示唆される。山口県の水深 30m及び水深 70mの海域に設置された木材を構造部材として用いた魚礁の比較では、水深 30mでは３～５年で崩壊し、水深 70mでは５年～６年で崩壊した[15]。

ただし、異なった海域に沈設した木材の食害率の事例をみると、愛媛県伊方町の水深 60mの海域に設置した木材は、設置２年目に食害率が 60%に達した。この結果は、他県の水深 30m 以浅の食害率とあまり大差ない（参図-4)。

フナクイムシの食害速度は、50m 以深域で緩やかになると考えられるが、食害の度合いは各海域で異なると考えられる。



参図-4　木材の水深別食害率の比較

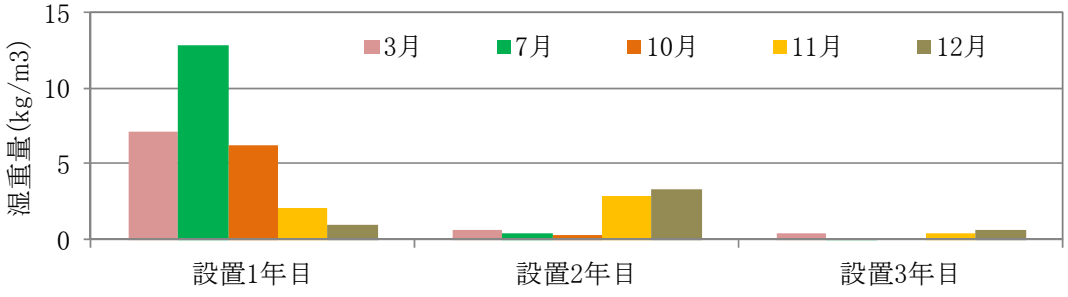
注）「平成 26 年度木材利用を促進する増殖技術開発事業」の実証事業等において長さ 2m のスギのテストピースを用いて試験された結果による

□　水温

フナクイムシ類は北海道から九州まで広く分布する。生息可能水温は、フナクイムシで８℃、ヤツフナクイムシで 10℃であることから [6]、冬季に低水温となる北海道ではフナクイムシ類による食害は著しいものではないと考えられる。北海道羽幌町では設置水深が３～５ｍと浅いにもかかわらず、木材が５年以上残存した [16]。

また、フナクイムシの幼生放出時期は春から秋にかけてである。水温が 15℃を超える頃から幼生の放出が始まり、18℃を越えるとその量が急増する [3]。

平成 22～26 年度「木材利用を促進する増殖技術開発事業」の実証事業において３～10 月に木材を沈設した地区では、フナクイムシが設置１年目に最大を示し、その後、急激に減少した。一方、11～12 月に沈設した地区では、設置１年目の現存量は少なく、２年目に最大を示した。また、３年間の総現存量は 11～12 月に沈設した地区で低く、３～10 月に沈設した地区の２/５～４/５となった（参図-5）。



参図-5　木材設置月別における海虫類（フナクイムシ等）の現存量の推移

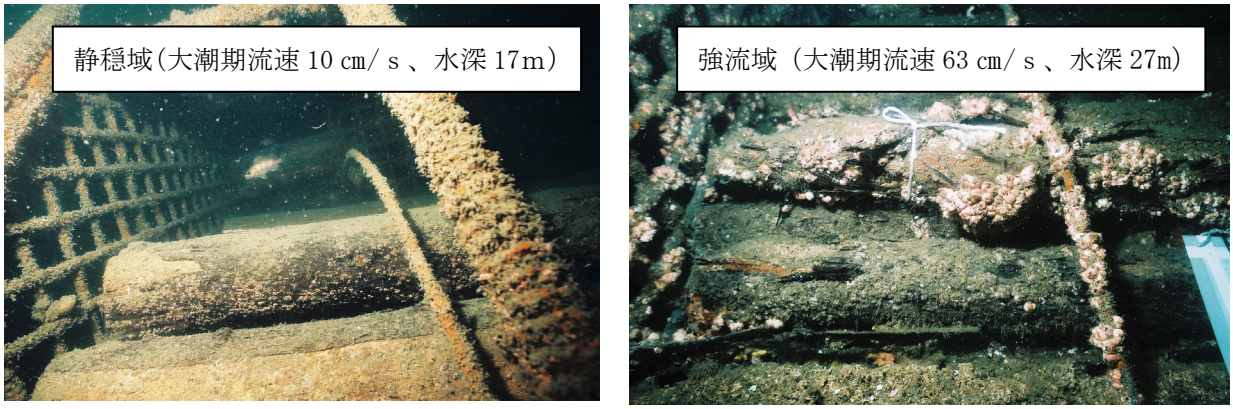
注）海虫類の現存量は、「平成 26 年度木材利用を促進する増殖技術開発事業」の実証事業等においてスギやヒノキのテストピースを用いて試験された各地区の結果の平均値

□　塩分

塩分に対してはフナクイムシ、キクイムシともかなりの低塩分に耐えることができ、一般的な魚礁・増殖礁の設置海域では塩分が食害の制限因子となる可能性は小さい。

□　流速

強流域では静穏域に比べて木材の減耗速度が速いという報告がある。山口県上関町の静穏域と強流域に沈設した魚礁では、２年後の木材の減耗状態にかなりの差がみられ、静穏域に設置した木材が殆ど減耗していないのに対し、強流域では減耗が激しかった[17]（参写真-2)。



参写真-2　流速の異なる２地点における設置２年後の減耗状況

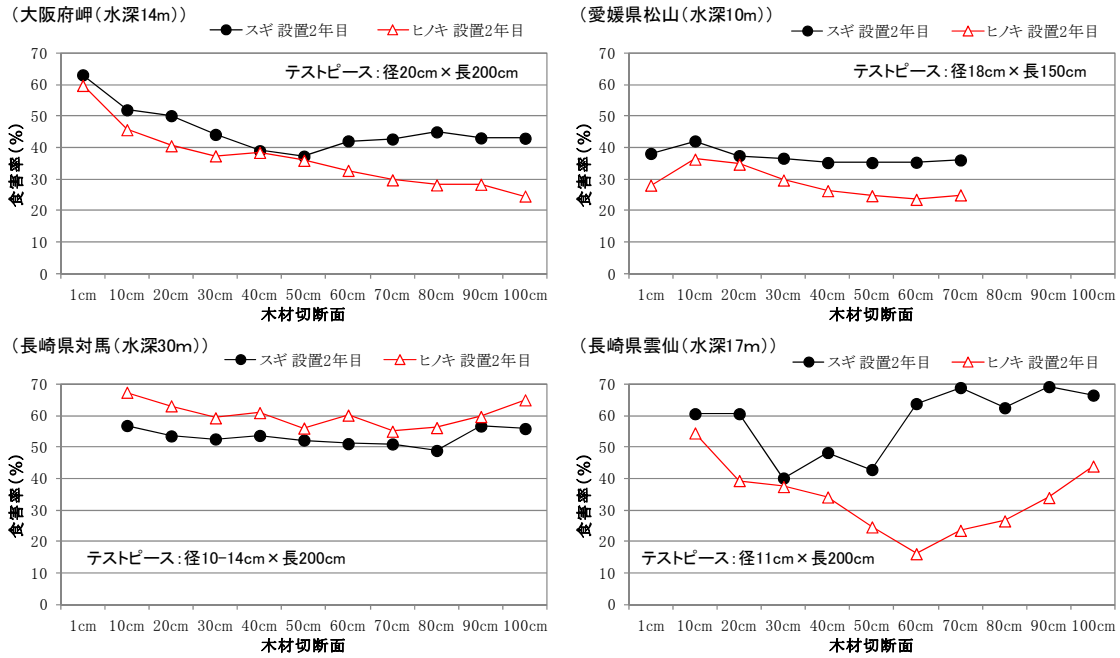
イ　樹種

間伐材の主な樹種であるスギとヒノキの食害速度は、ヒノキの方で若干遅い。

大阪府や愛媛県、長崎県雲仙の設置２年目の比較試験では、木材中央部付近の食害率がヒノキの方で低い傾向にあった。ただし、長崎県対馬のように、各断面の食害率がスギよりヒノキの方で高い結果も報告されている（参図-6)。これは、使用する木材の個体差による影響と推測される。

個体差とは、使用する木材の比重（硬さ）や化学成分含有量などの差のことである。同一の樹種であっても、比重やフナクイムシ等を忌避する化学成分含有量の差によって食害状況は異なると考えられる[18]。

スギやヒノキ以外の樹種の食害については、針葉樹では、マツ類がフナクイムシの食害を受けやすいとされている[8]。また、耐海虫性を示す木材としてはフナクイムシの殺虫成分を含有するマキ、コウヤマキや高い珪酸分を含有するチーク、ローズウッドなどがある[8]。



参図-6　スギとヒノキの食害状況の比較

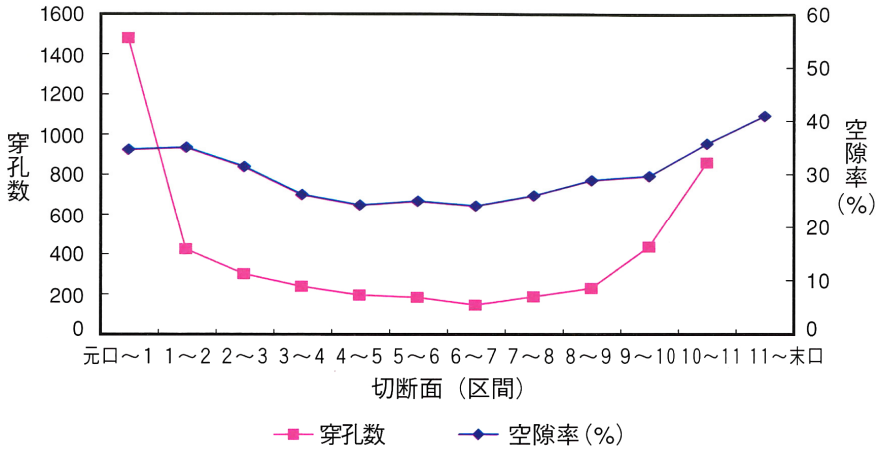
注）「平成 26 年度木材利用を促進する増殖技術開発事業」の実証事業等による 4 地区の調査結果

ウ　木材の形状

木材の食害速度は木材の長さや樹皮の有無等により異なる。

フナクイムシの多くは木口より侵入し、中央部に向けて穿孔する過程で魚類の捕食等により死亡するため、一般に中央部では木口に比べて食害が小さいと考えられる。

山口県豊浦海域に 19 ヵ月設置した長さ 1 mの木材の横断面食害率は、木口付近が 35-40%、中央部が 25%であった[15]（参図-7）。このことは、木材の長さが長いほど耐久性が高いことを示唆している。実際、豊浦海域では魚礁設置後 35 ヵ月で長さ 30 cmの木材は崩壊していたが、２mのものは堅牢であった。また、樹皮の有るものは無いものに比べて海中での寿命が１年程度長かった（参写真-3）。



引用：山口県資料[15]

参図-7　木口・末口からの距離と食害の関係

長さ 30 ㎝

長さ 200 ㎝

調査者：(財) 漁港漁場漁村技術研究所

参写真-3　長さの異なる木材の食害状況（山口県豊浦海域　35 ヵ月）

エ　耐久処理

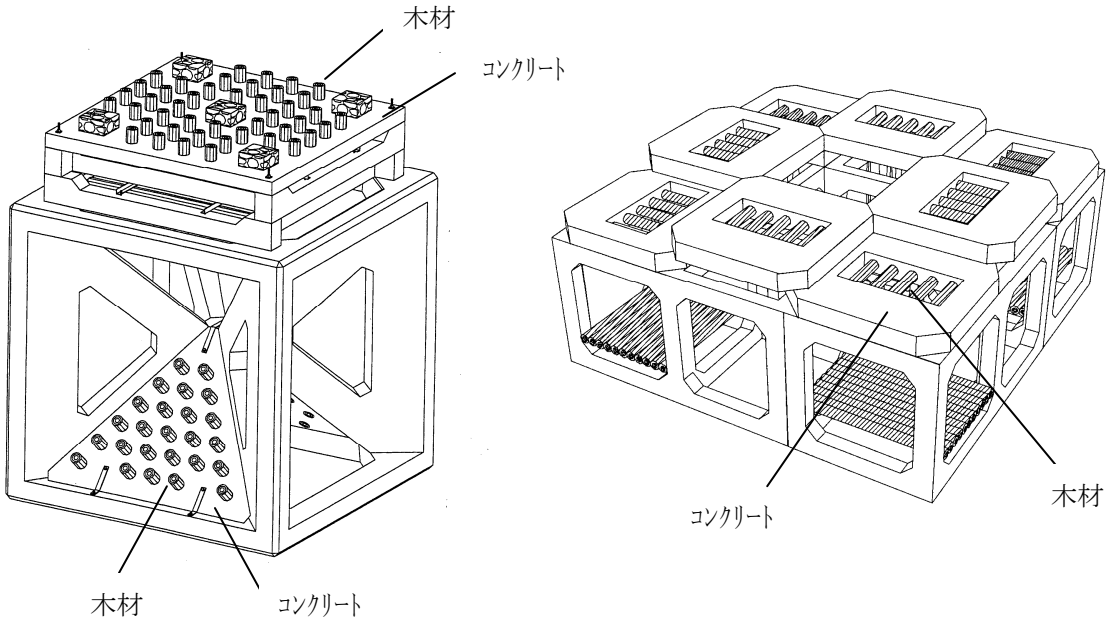
木材活用礁における木材の耐久処理として、合成樹脂の浸透、フェノール処理、木酢液への浸透、燻煙処理、炭化、セラミックス塗布、シリコン被覆、セメント被覆、焼き焦がしなどの手法が採用されている。このうち、シリコンが厚く被覆された木材では、フナクイムシに対する相応の食害防止効果が認められた。合成樹脂浸透、フェノール処理、木口をコンクリートに埋め込む方法も食害抑制効果がみられたが著しいものではなかった（参表-4）。

木材の耐久性のみを追求するのであればクレオソートが効果的であるが、環境面への配慮からその使用は限られたものとなっている。

参表-4　耐久処理と効果

事業主体（情報提供者）	処理方法	材木本数（本/基）	処理費用（円/基）	効果	
石川県	ｼﾘｺﾝ被覆	68		被覆が厚い木材では2年後もフナクイムシの食害は軽微であった。	○
高知県	合成樹脂浸透	40		11ヶ月後の断面食害率は未処理材39%に対し、15%	○
福岡県	ﾌｪﾉｰﾙ処理	136		フナクイムシの食害小	○
広和㈱	木口をｺﾝｸﾘｰﾄに埋込み	40		25ヶ月後の残存率は未処理区14%に対し、100% しかし、その後の崩壊は急激で29ヶ月後の処理区の残存率は7%	○
長崎県下県郡森林組合(若築建設)	燻煙・木酢液	10	8,800	木酢液浸透、燻煙処理、木酢液＋燻煙処理、無処理でフナクイムシの食害に明確な差はみられなかった。	×
岡部海洋ｴﾝｼﾞﾆｱﾘﾝｸﾞ㈱	ｾﾗﾐｯｸｽ塗料塗布	4		塗装による延命効果はみられなかった	×
島原市	炭化	96			
長崎市	木口塗装	96	5,961		
宮崎県	ｾﾒﾝﾄ被覆	168			
ライトンコスモ㈱	焼き焦がし	25	15,000		

注）(財) 漁港漁場漁村技術研究所が 2005 年度に実施したアンケート調査による。



参図-8　コンクリートへの木口埋め込み例

参写真-4　木口へのセメント被覆例

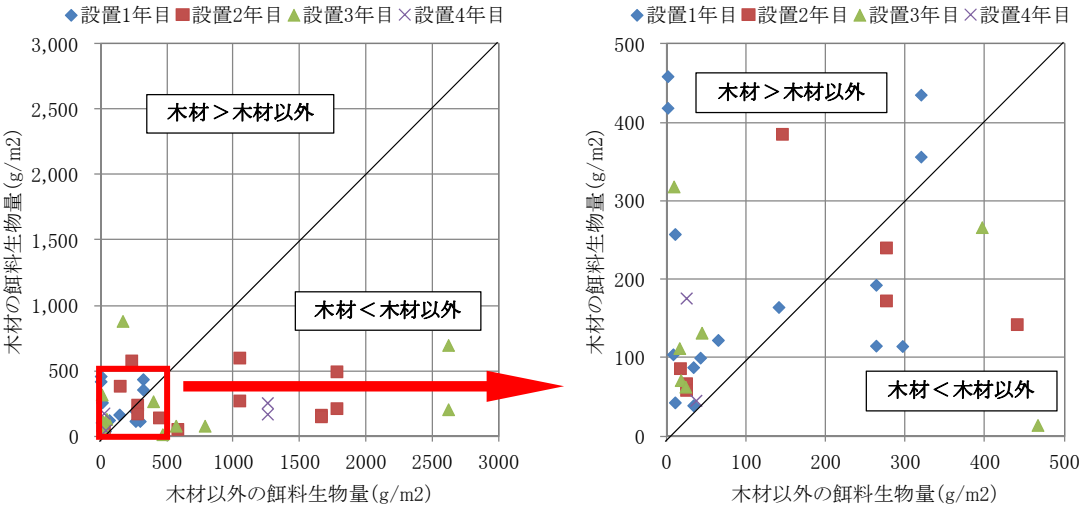
(3)　餌料生物生産における優位性

餌料生物の生産基盤として木材をみた場合、①コンクリートや鋼材等に比べて餌料生物が早期に発生する。②選好性餌料生物（多毛類・軟甲類）が多い。③他の部材ではみられないフナクイムシ等の穿孔性の生物が魚類餌料となる、などの優れた面がある。

①　餌料生物の即効性

木材における餌料生物は、コンクリートや鋼材に比べ、設置１年目に多い傾向にある。全国 11 地区の比較試験では、設置１年目に木材で餌料生物量（重量ベース）が大きく、統計的にも有意であった。一方、設置２年目以降は、両者の関係が逆転した（参図-9）。

設置１年目に木材で餌料生物が多く発生した理由は、後述のフナクイムシの出現によるところが大きい。一方、設置 ２ 年目以降は、フジツボ類や二枚貝類などの比較的大型の生物が、木材よりコンクリートや鋼材の方に多く付着したことが影響する。



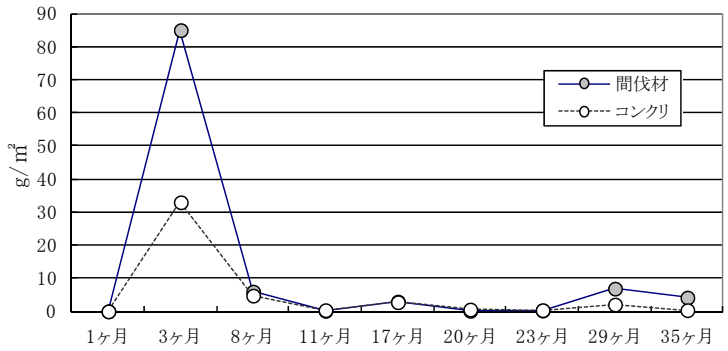
単位：g/m²

餌料生物量平均	木材	木材以外
設置1年目	200.8	120.7
設置2年目	245.6	732.6
設置3年目	227.8	2192.3
設置4年目	161.5	644.2
全体	219.4	959.8

注）平成 22～26 年度「木材利用を促進する増殖技術開発事業」の実証事業等による 11 地区（富山県魚津, 福井県小浜, 静岡県西伊豆, 三重県大紀, 三重県尾鷲, 大阪府岬, 兵庫県淡路, 島根県隠岐, 愛媛県松山, 長崎県対馬, 長崎県雲仙）の調査結果

参図-9　木材と木材以外（コンクリート・鋼材）の餌料生物量（海虫類含む）の比較

また、微細な餌料生物で重量として上がりにくいが、山口県豊浦海域では設置直後の木材で、魚類餌料として重要なヨコエビ類の大量発生がみられた（参図-10）。構造部材のコンクリートや鋼材にまだ餌料が付きにくい時期であり、木材は魚礁効果の早期発現に寄与すると考えられる。



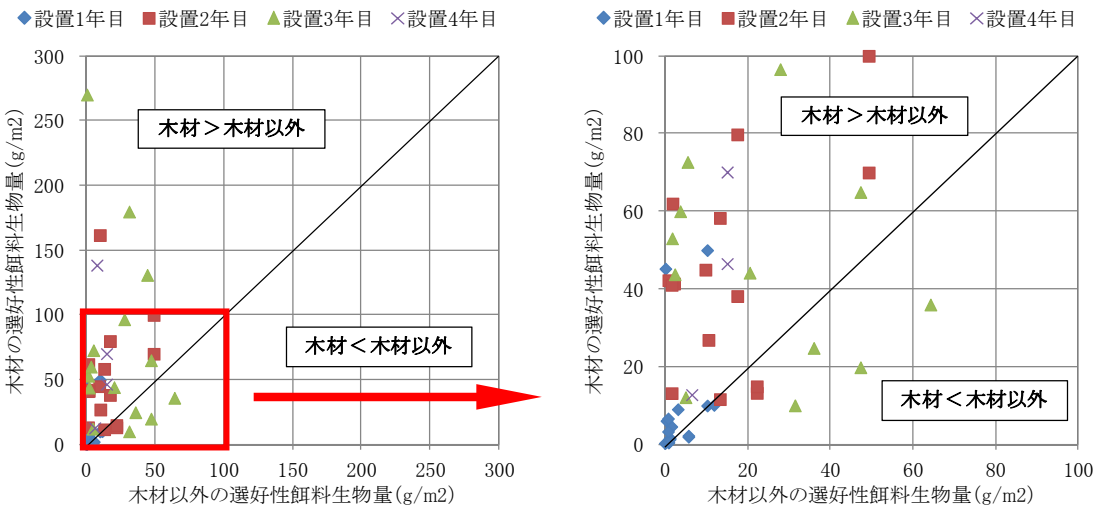
調査者：（財）漁港漁場漁村技術研究所

参図-10　端脚類（ﾖｺｴﾋﾞ・ﾜﾚｶﾗ類）現存量の推移

②　選好性餌料生物（多毛類・軟甲類）の高度生産

木材に付着する餌料生物をみると、魚類餌料として有効な選好性餌料生物が特に多い。全国 11 地区の比較試験では、コンクリートや鋼材より木材で選好性餌料生物量（重量ベース）が大きい傾向が示された。また、各地区の選好性餌料生物量から平均値を求め比較したところ、設置１年目から４年目まで常に木材で大きく、全体平均で 3.3 倍高く、統計的にも有意であった（参図-11）。

選好性餌料生物は、木材表面に付着するだけでなく、フナクイムシ等の海虫類が穿孔する孔道も利用し棲息する（参写真-5）。そのため、その現存量は、食害が進行する設置２年目以降に増加する傾向にある。



単位：g/m²

選好性付着餌料生物量平均	木材	木材以外
設置1年目	9.6	3.4
設置2年目	51.2	15.2
設置3年目	74.6	24.7
設置4年目	67.0	11.2
全体	46.3	14.0

注）平成 22～26 年度「木材利用を促進する増殖技術開発事業」の実証事業等による 11 地区（富山県魚津，福井県小浜，静岡県西伊豆，三重県大紀，三重県尾鷲，大阪府岬，兵庫県淡路，島根県隠岐，愛媛県松山，長崎県対馬，長崎県雲仙）の調査結果

参図-11　木材と木材以外（コンクリート・鋼材）の選好性餌料生物量の比較

参写真-5　フナクイムシの穿孔に棲息する選好性餌料生物

注)「平成 24 年度木材利用を促進する増殖技術開発事業」の実証事業における大阪府岬地区の調査結果

③　海虫類の生産

フナクイムシ、キクイムシの餌料としての有効性については、島根県で試験研究が行われている。魚類 29 種のうち 17 種がフナクイムシを捕食し、10 種がキクイムシを捕食しており、両種とも魚類餌料としての有効性が確認されている（参表-5)。

フナクイムシやキクイムシは、木材を栄養源として穿孔し、生息する。海虫類が魚類に餌料として活用されている事実は、木材の物質循環にも大きく寄与しているといえる。

参表-5　フナクイムシ、キクイムシの捕食状況

魚種	供試個体	捕食状況	
		フナクイムシ	キクイムシ
マダイ	多	○	○
チダイ	2	○	×
イサキ	5	○	×
マアジ	10	○	×
イシダイ	多	○	○
カワハギ	多	○	○
アイゴ	4	○	×
ネンブツダイ	6	○	○
ヨコスジフエダイ	1	○	×
オヤビッチャ	3	○	○
カイワリ	3	○	×
タカベ	5	○	○
トラギス	1	○	○
アナハゼ	1	○	○
クツワハゼ	10	○	○
カゴカキダイ	5	○	○
オハグロベラ	3	○	×

魚種	供試個体	捕食状況	
		フナクイムシ	キクイムシ
キジハタ	多	×	−
メゴチ	1	×	×
ホウボウ	1	×	×
ハリセンボン	6	×	×
ハコフグ	1	×	×
チョウチョウウオ	3	×	×
アミウツボ	1	×	−
イトヒキアジ	1	×	−
キンチャクダイ	1	×	−
タカマイ	多	×	−
オキザヨリ	1	×	−
アミモンガラ	1	×	×

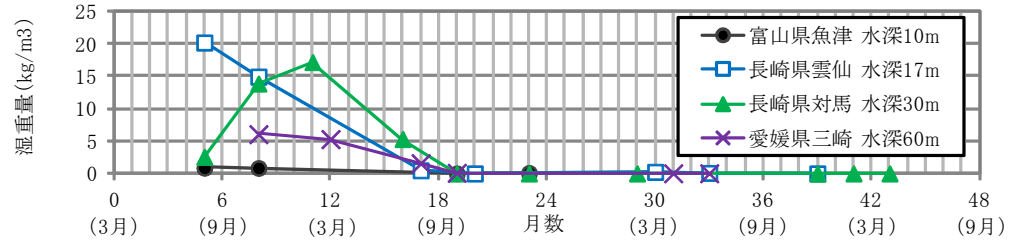
○:捕食、×:捕食せず

注)マダイ、キジハタ以外は同一水槽に混在した状態で給餌した。

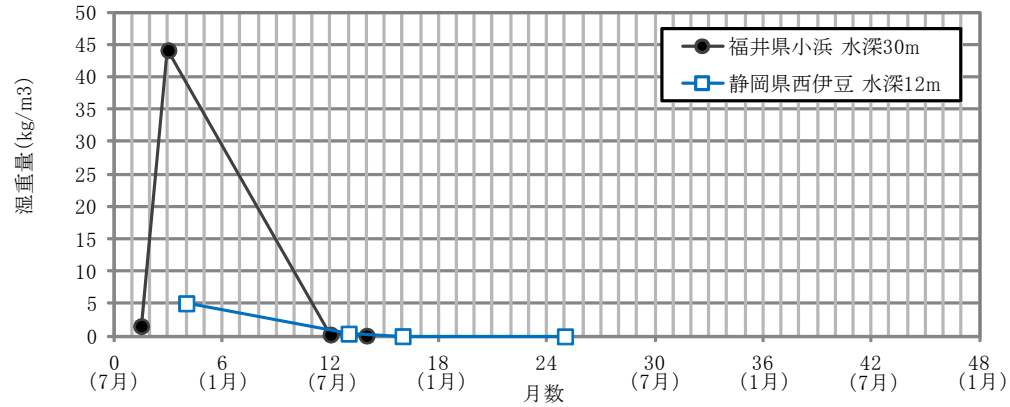
引用：島根県資料[21)] を改変

フナクイムシの現存量についての調査結果を参図-12 に示す。いずれも試験材の長さが 30 ㎝程度と短いためフナクイムシの出現期間は２年以内となっている。現存量が最大を示す月数は３～10 月沈設で１年以内、11～12 月沈設で１年以降と遅くなる。既往調査における各地区の最大現存量は、福井県小浜海域の沈設３ヵ月後の 44.2kg/m^3（水深 30m）が最も大きく、次いで長崎県対馬海域の沈設５ヵ月後の 20.2kg/m^3（水深 17m）であった。一方、最大現存量が最も小さかったのは、富山県魚津海域の沈設８ヵ月後の 0.9kg/m^3 であった。

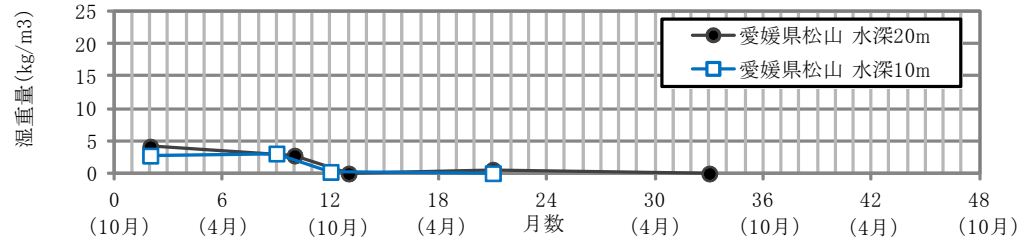
3月設置



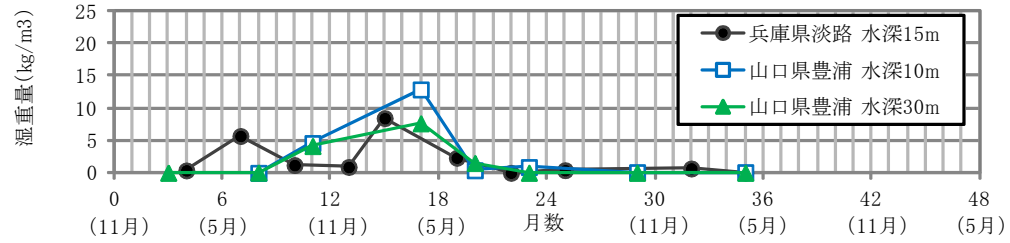
7月設置



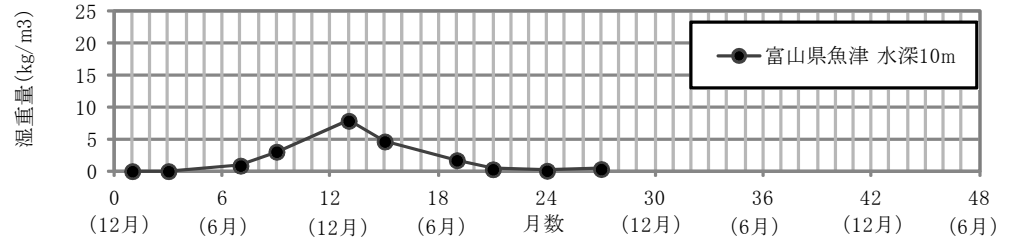
10月設置



11月設置



12月設置



参図-12　フナクイムシ現存量の推移

注）11 月沈設の山口県豊浦の結果は、(財) 漁港漁場漁村技術研究所が 2005 年度に実施したアンケート調査による。その他は、平成 22～26 年度「木材利用を促進する増殖技術開発事業」の実証事業等による各地区の調査結果。

(4)　魚類の蝟集

①　魚類の蝟集

木材活用礁の調査研究はまだ浅く、魚介類の蝟集量が海域、季節、魚礁規模等に大きく支配されることを考えると、情報量は決して十分なものではない。しかしながら、対照礁との蝟集量を比較すると、沈設２年目まで木材活用礁で多い傾向がみられる（参表-6)。

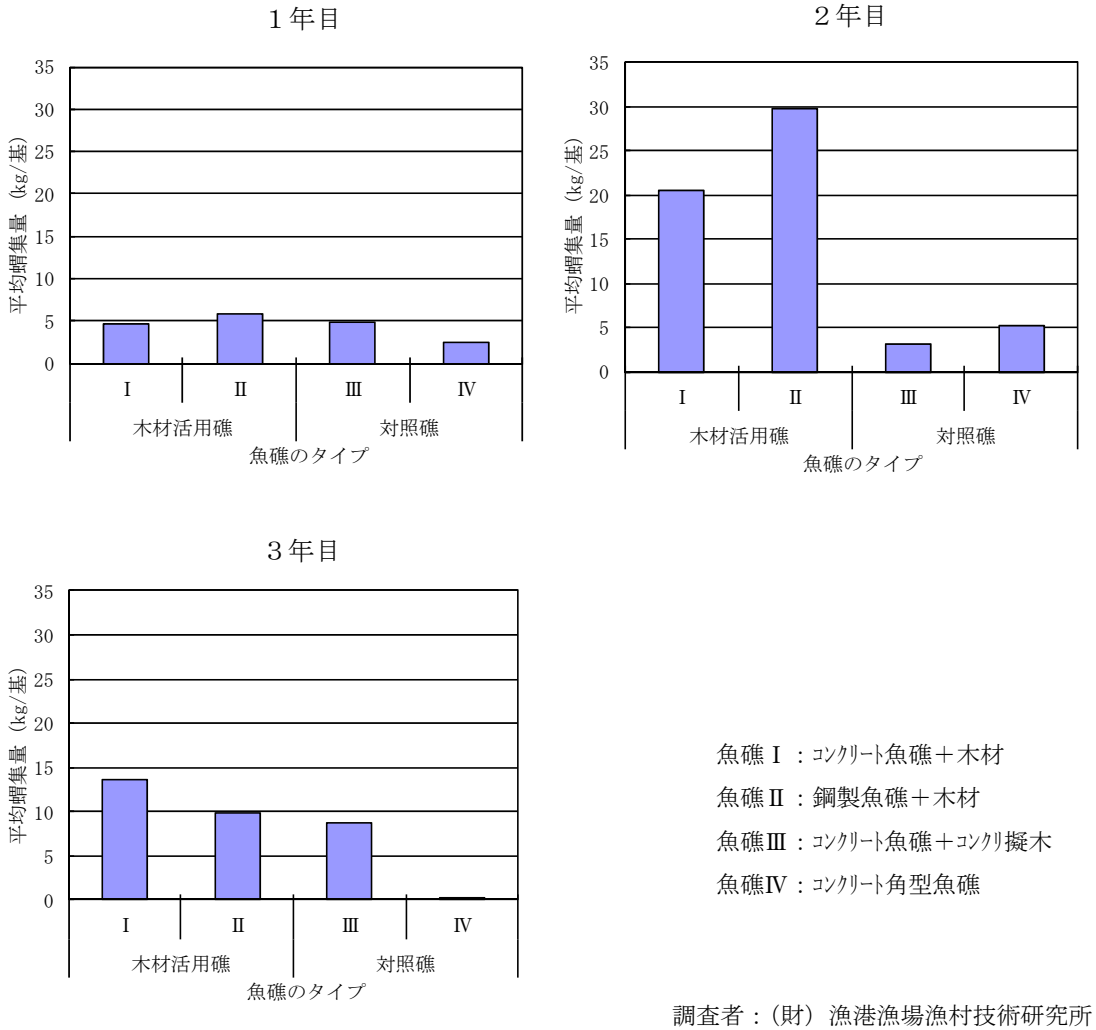
また、調査回数が比較的多い山口県豊浦や長崎県対馬市（鹿見）の事例では、沈設３年目以降も蝟集量が木材活用礁で多かった（参図-13、参図-14)。更に、長崎県対馬市（鹿見）では、マハタ、カワハギ、イシダイの蝟集量が対照礁より各年３倍以上上回る傾向が示された（参図-14)。

参表-6　木材活用礁と対照礁の蝟集量比較

単位:件

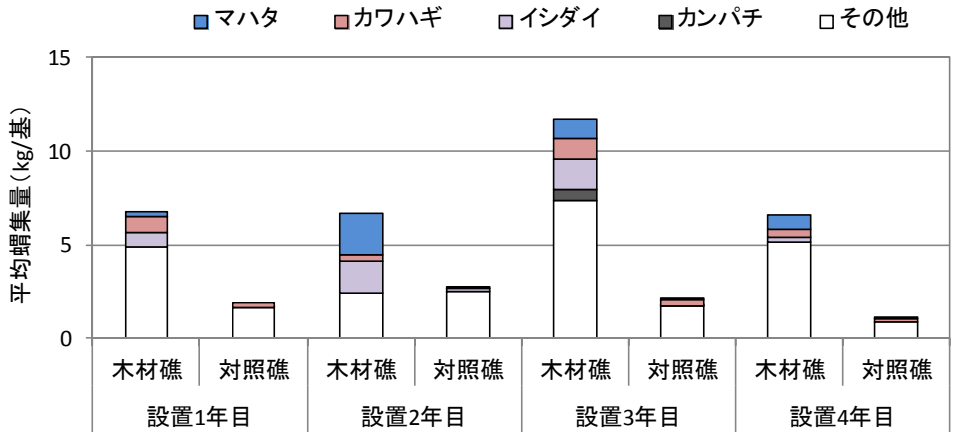
	1年目	2年目	3年目	4年目	不明	計
間伐材魚礁で多い	9	6	2	1	1	19
対照魚礁で多い	2	2	2			6
同等	3	4	1	1		9

注）（財）漁港漁場漁村技術研究所が 2005 年度に実施したアンケート調査による。



調査者：（財）漁港漁場漁村技術研究所

参図-13　木材活用礁と対照礁の蝟集量比較（山口県豊浦）

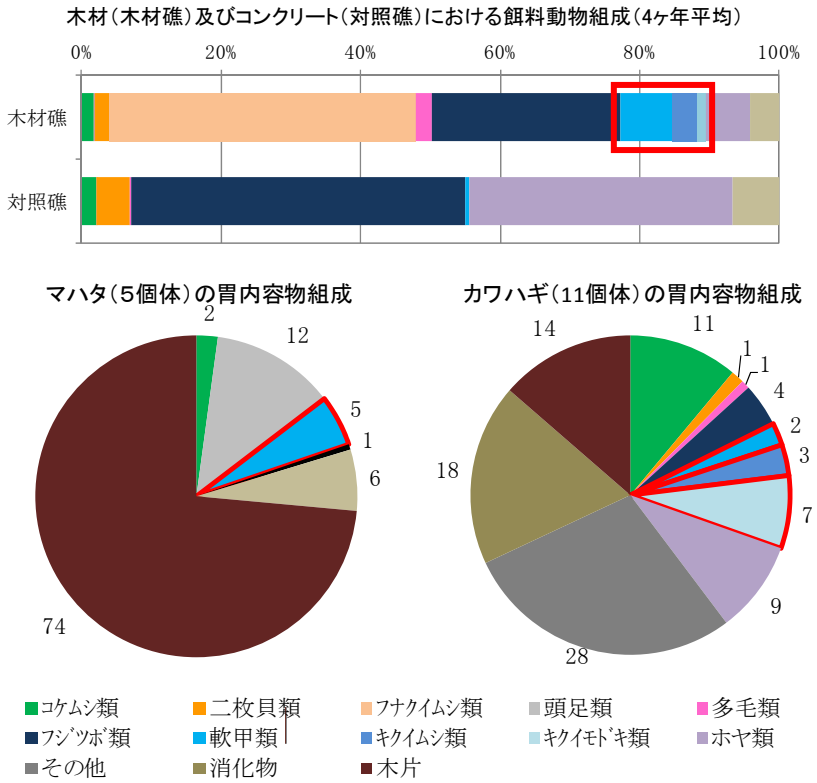


参図-14　木材活用礁と対照礁の蝟集量比較（長崎県対馬市鹿見）

注)「平成 26 年度木材利用を促進する増殖技術開発事業」の実証事業等による対馬市鹿見地区の調査結果。

②　魚類の蝟集と木材における餌料生物との関係

長崎県対馬市（鹿見）を例に魚類蝟集と餌料生物との関係を概観すると、木材活用礁で蝟集量が多かったマハタの胃内容物組成では、頭足類（タコ類）に次いで木材に多く付着する軟甲類が高い割合を示した。カワハギの胃内容物組成では、コケムシ・ホヤ類以外に木材特有のキクイムシ類やキクイモドキ類が高い割合で出現した。また、両魚種ともに、木材片が胃内容物として確認されていることから、木材の餌料生物生産の優位性が魚類の蝟集に大きく寄与したものと考えられる（参図-15)。

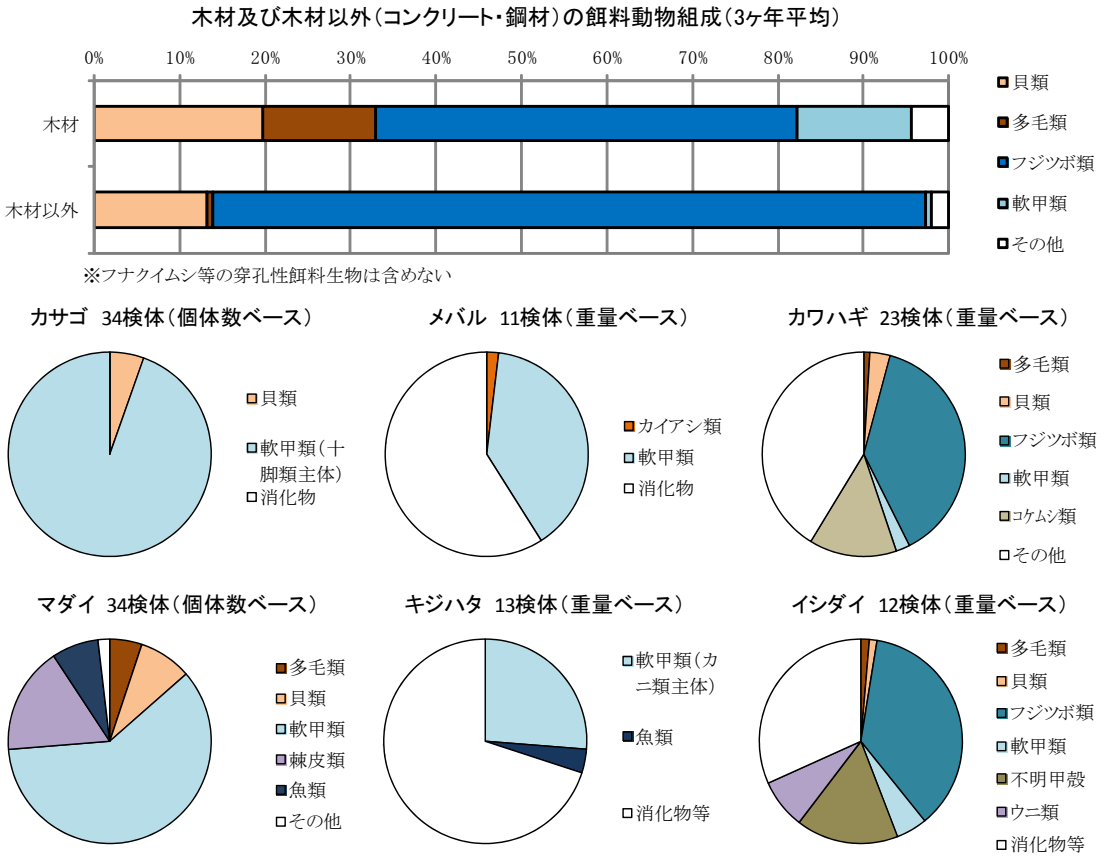


参図-15　木材等の餌料生物組成と蝟集魚胃内容物組成との関係（長崎県対馬市鹿見）

注)「平成 26 年度木材利用を促進する増殖技術開発事業」の実証事業等による対馬市鹿見地区の調査結果

次に、富山県、福井県、大阪府、愛媛県、長崎県の 5 県 7 地区で調査された蝟集魚の胃内容物組成と、木材やそれ以外（コンクリート・鋼材）に付着する餌料動物組成との関係を整理した。その結果、カサゴやメバル、マダイ、キジハタの胃内容物は、軟甲類が優占した。軟甲類は、木材で多くみられる餌料生物であり、これら魚類の餌料としての有効性が期待される。

一方、カワハギやイシダイの胃内容物は、フジツボ類の割合が高い。フジツボ類は、木材だけでなく、木材以外のコンクリートや鋼材に大量に付着することから、それらと木材を組み合わせることにより、多様な魚種の蝟集や増殖効果が期待できる（参図-16）。

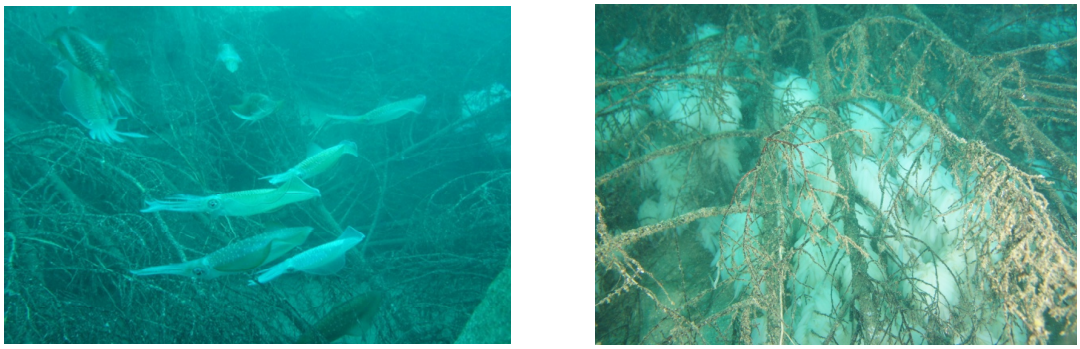


参図-16　木材等の餌料生物組成と蝟集魚の胃内容物組成との関係

注）「平成 25 年度木材利用を促進する増殖技術開発事業」の実証事業等による 7 地区（富山県魚津, 福井県福井, 福井県小浜, 大阪府岬, 愛媛県伊方, 長崎県対馬（女連）, 長崎県雲仙）の調査結果より作成

(5)　産卵場効果

枝葉付きの立木を魚礁や増殖礁に取り付けることで、アオリイカなどのイカ類の産卵が期待できる。平成 22～26 年度「木材利用を促進する増殖技術開発事業」の実証事業の調査例では、静岡県西伊豆町や三重県尾鷲市、大阪府岬町、長崎県対馬市でアオリイカの産卵が確認されている（参写真-6）。産卵は、水深 10～20m 帯に設置された枝葉付きの立木（スギやヒノキ）で行われる。産卵床となる枝葉は、１年以内に消失する。そのため、産卵場効果を継続させるには、木材を毎年交換する必要がある。



参写真-6　枝葉付き立木におけるアオリイカの産卵

注）「平成 23 年度木材利用を促進する増殖技術開発事業」の実証事業における三重県尾鷲地区の調査結果

木材活用礁における産卵場効果としては、マアジやカサゴなどの魚類の産卵やエビ類の産卵も期待されている（参写真-7）。愛媛県伊方町では、完熟卵を有するマアジや、胎仔を有すカサゴの親魚が水深 60m に沈設した木材活用礁の周辺に蝟集し、産卵･仔している可能性があると報告されている。また、富山県魚津市でも、胎仔を有するカサゴが水深 10m に沈設した木材活用礁で確認されている。汽水湖である島根県の神西湖では、木材活用礁に収容した粗朶（水深１m）でテナガエビの抱卵雌がみつかっている。

現在、木材活用礁における魚類の産卵場効果は、調査研究の日が浅く、情報量が十分でない。今後、魚類の産卵場効果の定量化に向けた調査研究を進める必要がある。

注）平成 22～26 年度「木材利用を促進する増殖技術開発事業」の実証事業等による愛媛県伊方地区（マアジ）、富山県魚津地区（カサゴ）、島根県出雲地区（テナガエビ）の調査結果

参写真-7　木材活用礁で確認された産卵個体

(6)　幼稚魚の育成効果

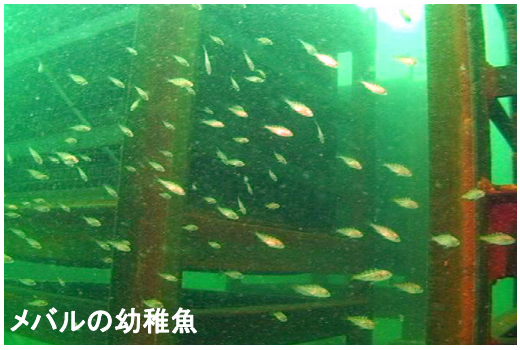
魚礁や増殖礁に木材を取り付けることによって複雑な空間が創出される（遮蔽効果）。この空間は、幼稚魚の隠れ場として機能する。また、木材に有意に付着する多毛類や小型の軟甲類（選好性餌料生物）は、幼稚魚にとって好適餌料となる。

平成 22～26 年度「木材利用を促進する増殖技術開発事業」の実証事業の調査例では、10 種の幼稚魚が木材活用礁で確認されている（参表-7）。特に、メバルやカサゴの幼稚魚が、多くの地区の 20m 以浅の木材活用礁で観察されている。その他にも、20m 以深の海域の木材活用礁では、イサキやマダイ、マハタの幼稚魚が確認されている。メバルやカサゴ、マダイ、ハタ類は、木材に多く付着する軟甲類を摂餌していると報告されていることから（p 40～41 参照）、木材活用礁の有効性が示唆される。

参表-7　木材活用礁で確認された幼稚魚

地区	水深	間伐材活用礁に蝟集した幼稚魚
沖縄県与那原町	6m	タカサゴ、メアジ、ギンガメアジ
富山県魚津市	10m	メバル
三重県大紀町	10～12m	カサゴ
大阪府岬町	13～17m	メバル、カサゴ
長崎県雲仙市	15～18m	イサキ、マダイ、カサゴ、メバル、カワハギ
福井県小浜市	25～42m	イサキ、マダイ、マアジ
長崎県対馬市	30～31m	マハタ

注）「平成 26 年度木材利用を促進する増殖技術開発事業」の実証事業等による 7 地区（富山県魚津，福井県小浜，三重県大紀，大阪府岬，長崎県雲仙，長崎県対馬，沖縄県与那原）の調査結果より作成


メバルの幼稚魚

イサキの幼稚魚

参写真-8　木材活用礁に蝟集する幼稚魚

注）「平成 26 年度木材利用を促進する増殖技術開発事業」の実証事業等による三重県大紀の調査結果

【参考】木材活用礁のその他の効果

平成 22～26 年度「木材利用を促進する増殖技術開発事業」の実証事業においては、①有用稚エビの育成効果、②木材片等が堆積することによる底生餌料生物生産効果、③機能が低下した既存漁場施設に木材活用礁を沈設することで魚類の蝟集量が増加するなどの効果、も期待されている。

沖縄県与那原町

(7)　木材の補給

木材の補給は、船上や陸上に木材活用礁を引き上げて行う方法と、潜水作業によって補給する方法に大別される。それぞれの補給方法の事例を紹介する。

①　船上補給

兵庫県あわじ市の沼島の水深 15m 海域に設置された木材活用礁は、設置海域の潮流が速いことから、潜水での木材補給が危険且つ作業効率が悪くなると考えられた。そこで、起重機船に木材活用礁を引き上げ、木材を補給する方法が検討された。

作業の工程は、①礁の引き上げ、②木材ユニットの取り外し、③台座等の洗浄、④新木材ユニットの取り付け、⑤再設置、である。また、ユニットの取り付けは、ボルト締めで行われた（参図-17）。

１日あたりの作業基数は６基で、作業船には起重機船（250t 吊）１隻、潜水士船１隻を要する。従事者数は、起重機船では運転手１名、ユニット交換作業員５名、潜水士船では潜水員２名（引き上げ・再設置補助）、上廻員２名を要する。

試験当初は、水槽実験の結果から、木材補給時の礁の引き上げに使用する起重機を 400t 吊で想定していたが、引き上げ作業前の荷重計の測定結果から 250t 吊りで作業が可能であることが判り、コストの削減につながった。

参図-17　船上補給方式の例（兵庫県あわじ市沼島）

注）平成 22～26 年度「木材利用を促進する増殖技術開発事業」の実証事業等による兵庫県あわじ市沼島地区の木材補給試験結果。

②　潜水作業による補給（蓋式補給）

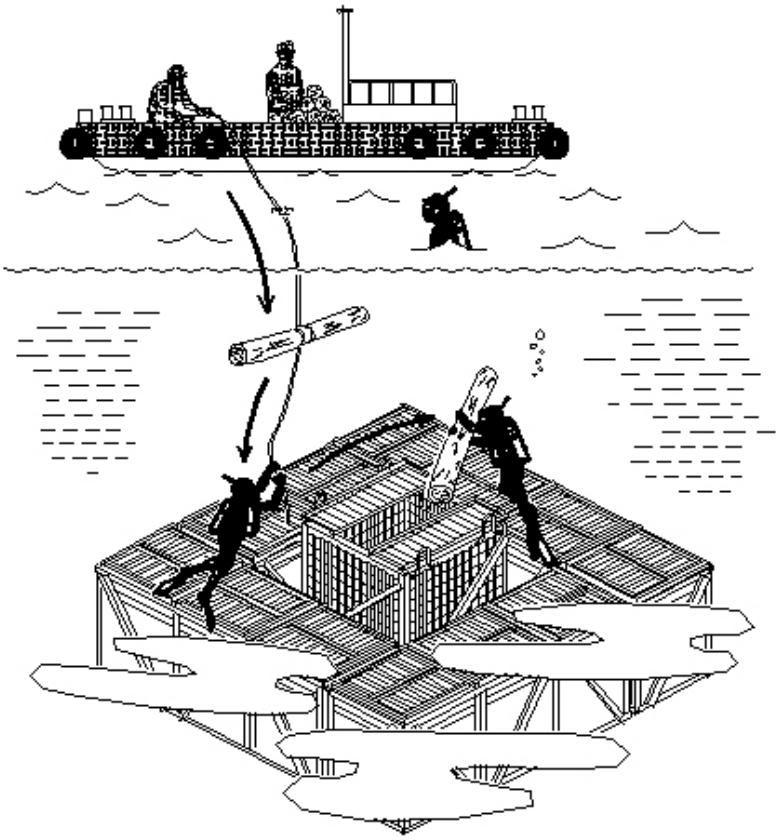
沖縄県与那原町の水深６ｍ海域に設置された木材活用礁は、設置海域が静穏で水深も浅いことから、潜水作業による木材補給の検討が行われた。

作業の工程は、①漁船等の小型作業船による木材運搬、②潜水員による木材の補給、である。船上から海中への木材の受け渡しは、ガイドロープを用いて実施された（参図-18）。

１日あたりの作業基数は４基で、作業船には小型船（漁船等）１隻、潜水士船１隻を要する。従事者数は、小型船では船上作業員３名、潜水士船では潜水員２名、上廻員１名を

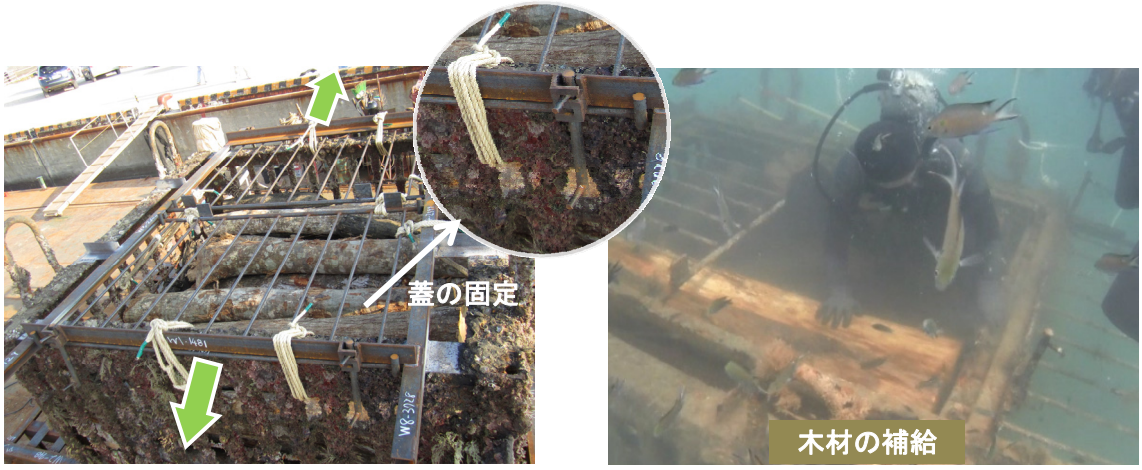
要する。

試験当初は、カゴの天端にボルト止めした蓋を取り外して木材を補給する方式を検討したが、台風の襲来で蓋が流出した。そこで、蓋の流失防止対策として、スライド式の開閉蓋に改良し、安全性及び作業効率の向上を図った（参写真-7）。



参図-18　潜水作業による蓋式補給の例（沖縄県与那原町）

注）平成 22～26 年度「木材利用を促進する増殖技術開発事業」の実証事業等による沖縄県与那原地区の木材補給試験結果。



参写真-7　スライド式の開閉蓋の外観

注）平成 22～26 年度「木材利用を促進する増殖技術開発事業」の実証事業等による沖縄県与那原地区の木材補給試験結果。

③　その他の補給

潜水作業によるその他の木材補給の事例として、ユニット式補給（長崎県雲仙市：水深15～18m）やロープ等を用いた直接補給（三重県尾鷲市：水深 20～23m）が検討されている。

ユニット式補給の方法では、交換用の木材ユニットを陸上で準備し、フロートに木材ユニットを装着して、小型船（漁船等）で設置場所まで曳航する。その後、潜水員が木材ユニットを作業船から受け取り、木材活用礁に取り付ける（参図-19）。潜水員による木材ユニットの交換は、陸上での交換作業に比べて時間を要する。このため、事業規模によっては起重機船を用いた補給が安価になる可能性があると考えられている。

参図-19　潜水作業によるユニット式補給の例（長崎県雲仙市）

注）平成 22～26 年度「木材利用を促進する増殖技術開発事業」の実証事業等による長崎県雲仙市の木材補給試験結果。

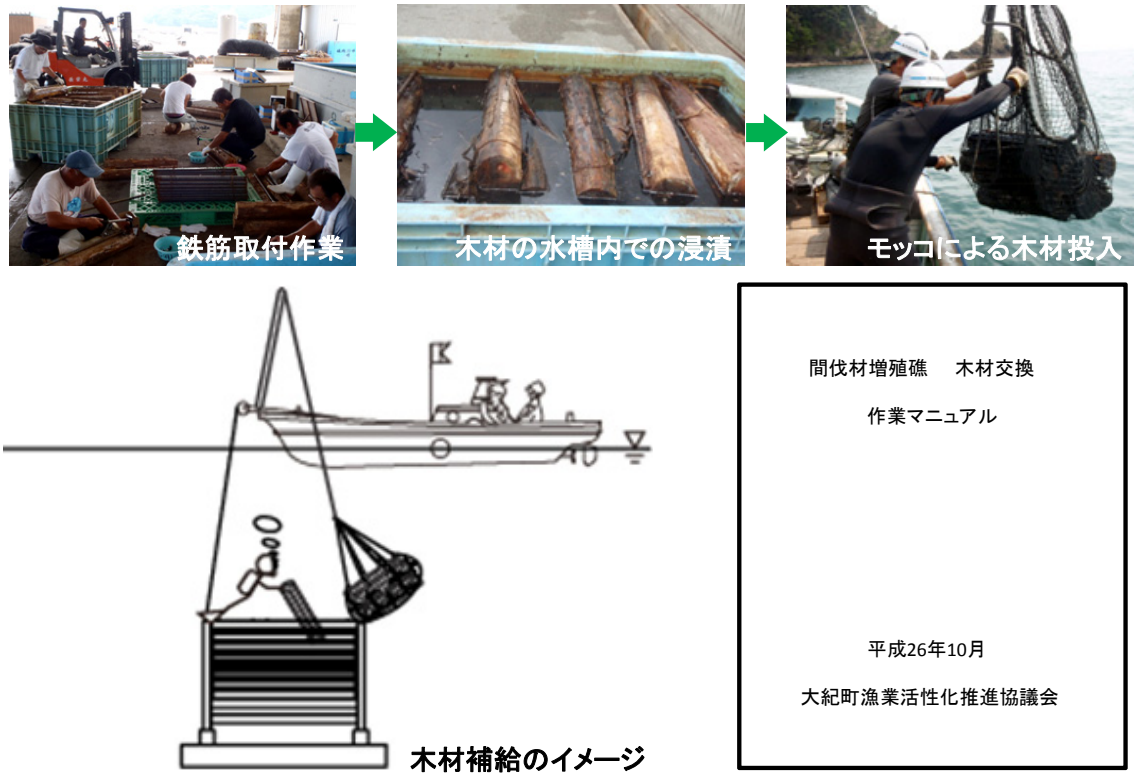
ロープ等を用いた直接補給の方法では、事前に陸上にて木材の元口付近にロープを縛る。その後、小型船（漁船等）に木材を積み込んで設置場所に運搬し、潜水員が木材活用礁に取り付けてある止め金具にロープを結び取り付ける（参図-20）。使用された枝葉付きの木材（アオリイカ産卵用）の径は 10cm 以下と細いため、食害によって木材は１年程度で脱落する。そのため、木材の補給頻度は、年１回と多い。ただし、手法が簡便なことから、地元漁業者やダイビングショップの潜水員によって木材を補給することが可能であり、今後、地域住民や学生等と連携した維持管理が期待されている。

参図-20　ロープを用いた潜水作業による直接補給の例（三重県尾鷲市）

注）平成 22～26 年度「木材利用を促進する増殖技術開発事業」の実証事業等による三重県尾鷲市の木材補給試験結果。

その他の事例として、三重県大紀町では、潜水作業によって木材を補給する前に、木材に鉄筋を釘で取り付けたり、陸上水槽に数日間木材を浸けて浮力を低減させる取り組みが実施されている。また、ロープ製の網（通称：モッコ）などを用いて、複数本の木材をま

とめて海中に沈め、効率良く木材の補給ができる工夫を漁業者の提案で行っている。更に、当該地区には、平成 25 年度に開始された水産多面的機能発揮対策事業によって藻場の保全活動を行う潜水士免許を有した漁業者がいる。そこで、木材補給に関する作業マニュアルが作成され、漁業者による木材補給の体制づくりが進められている（参図-21）。



参図-21　潜水作業による木材補給の工夫（三重県大紀町）

注）平成 22～26 年度「木材利用を促進する増殖技術開発事業」の実証事業等による三重県大紀町の木材補給試験結果。

２　便益算定の計算例

下記の計算条件の仮定をもとに、木材活用礁（魚礁型）の便益算定の計算例を示す。なお、増殖礁型の木材活用礁の便益算定については、下記の増殖効果における計算例を参照されたい。

(1)　計算条件

・事業規模　　1,200 空 m^3（並型魚礁設置事業）
・沈設魚礁　　コンクリート２ｍ角型（８空 m^3）×150 基　（耐用年数：30 年）
・木材　　魚礁１基に長さ２ｍ、径 20 ㎝の木材を９本取り付けたもの
　　木材耐用年数：５年間　（間伐材表面積：12m^2/基，体積：0.56m^3/基）

(2)　年間便益額算定項目の整理

木材活用礁の便益のうち、増産効果に係るものを参表-8 に示すとおりとした。なお、木材の蝟集効果による漁獲量の増産については、その実態が十分に把握されていないため、ここでは計上しなかった。また、漁労コスト削減効果や漁業外産業への効果の算定は、「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，平成 26 年)」を参照されたい。

参表-8　部材毎の年間便益評価項目

部　材	評価項目	
木　材	増殖効果	木材への付着餌料生物による魚体重の増加
		ﾌﾅｸｲﾑｼ等穿孔性餌料生物による魚体重の増加
		魚類及びイカ類の産卵場効果
		幼稚魚の育成効果
ｺﾝｸﾘｰﾄ	蝟集効果	魚礁設置による増産期待量

①　評価対象有用魚種

本計算例の評価対象有用魚種は以下の通りの７種である。
　マダイ、アジ、イサキ、カサゴ、メバル、ハタ類、アオリイカ

②　評価項目と評価対象有用魚種との関係整理

具体的な便益算定の前に、評価項目間の便益の二重計上を回避するため、評価項目に該当する評価対象有用魚種を整理した。

整理結果は、参表-9 に示すとおりであり、増殖効果での評価項目間の二重計上を回避するため、「魚類及びイカ類の産卵場効果」で対象としたカサゴ、アオリイカ、「幼稚魚の育成効果」で対象としたメバルは、木材の付着餌料生物を利用することにより効果が発現する「魚体重の増加」の対象から除外している。

また、蝟集効果についても、「魚類及びイカ類の産卵場効果」、「幼稚魚の育成効果」で対象とした魚種は、生残解析を用いて期待漁獲量を算定することから、蝟集魚類内での二重計上を回避するため除外している。

蝟集効果の具体的な対応としては、従来の人工魚礁の漁獲原単位（kg/空 m^3）の魚種組成から、「魚類及びイカ類の産卵場効果」、「幼稚魚の育成効果」で対象とした魚

種の組成を控除した魚種組成率を漁獲原単位に乗じた値を便益算定に用いることで対応する。

このように、評価項目に該当する評価対象有用魚種（以後、評価対象魚種）を整理した上で評価項目毎の便益算定を行う必要がある。

参表-9　評価項目と評価対象有用魚種との関係整理

部　材	評価項目		評価対象魚種
木　材	増殖効果	木材への付着餌料生物による魚体重の増加	マダイ、アジ、イサキ、ハタ類
		ﾌﾅｸｲﾑｼ等穿孔性餌料生物による魚体重の増加	マダイ、アジ、イサキ、ハタ類
		魚類及びイカ類の産卵場効果	カサゴ、アオリイカ
		幼稚魚の育成効果	メバル
ｺﾝｸﾘｰﾄ	蝟集効果	魚礁設置による増産期待量	マダイ、アジ、イサキ、ハタ類

(3)　年間便益額の算定

参表-9 で設定した評価項目と評価対象魚種との関係に基づき、各評価項目の年間便益を算定した。

①　木材付着餌料生物による魚体重の増加

木材に付着する餌料生物を摂餌することで蝟集魚の体重が増加し、このことが水揚げ金額の増加につながる。計算例を下記に示す。

評価対象魚種	マダイ、アジ、イサキ、ハタ類	
木材付着餌料現存量		
（選好性餌料現存量含む）	0.73 kg／㎡	（現地調査 結果の平均値）
木材表面積	1,800 ㎡	（12 ㎡×150 基）
回転率	3	（魚礁事業における増殖効果指標検討調査報告書）
餌料転換効率	0.128	（　同上　）
利用率	1	（　同上　）
平均魚価	560 円／kg※1	（各都道府県等の資料）
漁業所得率	0.45	（漁業経営調査報告（海区別）等）
評価対象魚種組成率	0.95 ※1	（　※１参照　）

※1　評価対象魚種組成率とは、参表-9 で設定した評価項目と評価対象魚種との関係に基づき、便益の二重計上を避けるための率であり、評価対象有用魚種の 7 種からカサゴ、アオリイカ、メバルの蝟集組成率を差し引いたものである。
平均魚価についても、カサゴ、アオリイカ、メバルを除いた魚価を用いる。

年間便益額　＝　餌料生物現存量×木材表面積×回転率×餌料転換効率×
利用率×平均魚価×漁業所得率×評価対象魚種組成率
＝　0.73×1,800×3×0.128×１×0.56×0.45×0.95
＝　121 千円／年

② フナクイムシ等穿孔性餌料生物による魚体重の増加

フナクイムシ等の餌料性については水槽実験でその有効性が確認されている。回転率、餌料転換効率等不明な点も多いが、餌料生物の一般値を用いて計算を進める。

評価対象魚種	マダイ、アジ、イサキ、ハタ類	
フナクイムシ等現存量	4.6 kg／m^3	（現地調査 結果の平均値）
木材体積	84m^3	（0.56m^3×150 基）
回転率	3	（魚礁事業における増殖効果指標検討調査報告書）
餌料転換効率	0.128	（　同上　）
利用率	1	（　同上　）
平均魚価	560 円／kg※1	（各都道府県等の資料）
漁業所得率	0.45	（漁業経営調査報告（海区別）等）
評価対象魚種組成率	0.95 ※1	（ ※１参照 ）

※1 「① 木材付着餌料生物による魚体重の増加」と同様の対応（ｐ49 参照）。

年間便益額　＝　ﾌﾅｸｲﾑｼ等現存量×木材体積×回転率×餌料転換効率×
利用率×平均魚価×漁業所得率×評価対象魚種組成率
＝　4.6×84×3×0.128×１×0.56×0.45×0.95
＝　36 千円／年

③ 産卵場効果

ここでは、カサゴ及びアオリイカの産卵場効果の計算例を示す。

ア　カサゴの産卵場効果

評価対象魚種	カサゴ	
期待漁獲量	402kg	（参表-10 を参照）
平均魚価	1,100 円／kg	（各都道府県等の資料）
漁業所得率	0.45	（漁業経営調査報告（海区別）等）

年間便益額　＝　期待漁獲量×平均魚価×漁業所得率
＝　402×1.1×0.45
＝　199 千円／年

参表-10　産卵場効果（カサゴ）の生残解析

1基あたりの産仔量(A)		90,000 尾/基	親魚蝟集量の現地調査結果より算定
事業量(B)		150 基	
産卵(仔)量		13,500 千尾	(A)×(B)
初期生残率		0.00045	既往知見等
自然死亡率	0-2歳	0.10	※初期生残率等の資源特性値は例である。各海域や周辺海域における資源特性値を引用するのが望ましい。
	2歳以上	0.10	
漁獲率	2歳以上	0.40	

年(年齢)	産卵数	初期生残率	自然死亡率	漁獲率	資源尾数	自然死亡尾数	漁獲尾数	平均体重	漁獲量(kg)
初期資源	13,500,000	0.00045			6,075				
0-1			0.10		5,468	608			
1-2			0.10		4,921	547			
2-3			0.10	0.40	2,460	492	1,968	0.087	172
3-4			0.10	0.40	1,230	246	984	0.119	117
4-5			0.10	0.40	615	123	492	0.147	72
5-6			0.10	0.40	308	62	246	0.169	42
期待漁獲量(kg)									402

※1　年齢別の平均体重は、既往知見等を引用する。

イ　アオリイカの産卵場効果

評価対象魚種　　アオリイカ
期待漁獲量　　417kg　　（参表-11 を参照）
平均魚価　　900 円／kg　　（各都道府県等の資料）
漁業所得率　　0.45　　（漁業経営調査報告（海区別）等）

年間便益額　＝　期待漁獲量×平均魚価×漁業所得率
＝　417×0.9×0.45
＝　169 千円／5 年（本便益は 5 年に 1 回発生※1）

※1　便益が 5 年に 1 回発生する理由は、アオリイカ産卵床用の枝葉の耐用年数が 1 年であり、ここでは 5 年に 1 回の頻度で枝葉を交換すると設定した。

参表-11　産卵場効果（アオリイカ）の生残解析

1基あたりの産卵数(A)	2,000 個/基	卵のう塊等の現地調査結果より算定
事業量(B)	150 基	
総産卵数	300 千個	(A)×(B)
孵化率	0.951	既往知見等
初期生残率(幼仔生残率)	0.062	※資源特性値は、例として平成13～15年度沿岸漁場整備開発調査事業(宮崎県)を参照。実際には、各海域や周辺海域における資源特性値を引用するのが、望ましい。
自然死亡率	0.084	
漁獲率	0.210	

月		産卵数	孵化率	幼仔生残率	自然死亡率	漁獲率	資源尾数	自然死亡尾数	漁獲尾数	平均体重	漁獲量(kg)
漁獲前	8	300,000	0.951				285,300				
	9			0.062			17,689				
	10			0.062			1,097				
漁獲開始以降	10				0.084	0.210	774	93	230	0.273	63
	11				0.084	0.210	546	65	162	0.439	71
	12				0.084	0.210	385	46	115	0.586	67
	1				0.084	0.210	272	33	81	0.708	57
	2				0.084	0.210	192	23	57	0.796	45
	3				0.084	0.210	135	16	40	0.852	34
	4				0.084	0.210	95	11	28	0.894	25
	5				0.084	0.210	67	8	20	0.922	18
	6				0.084	0.210	48	6	14	0.940	13
	7				0.084	0.210	34	4	10	0.951	9
	8				0.084	0.210	24	3	7	0.959	7
	9				0.084	0.210	17	2	5	0.960	5
期待漁獲量(kg)											417

※1　月別の平均体重は、既往知見等を活用する。

④　幼稚魚育成効果

木材活用礁に蝟集するメバルの幼稚魚育成効果の計算例を示す。

本便益算定に当たっては、p 22 の「③ 幼稚魚育成効果による便益」で示した通り、

ア　幼稚魚生息尾数（現地調査）
イ　幼稚魚収容尾数（推測値）

の何れかで、幼稚魚尾数を設定した上で生残解析に基づき期待漁獲量を算定する。

ア　幼稚魚生息尾数（現地調査）の場合

現地調査の結果から実在する幼稚魚尾数が把握されるため、その尾数を基に生残解析を行う。

イ　幼稚魚収容尾数（推測値）の場合

現地調査において幼稚魚の生息の把握は行えたが、尾数の推定が困難であった場合は、幼稚魚収容尾数を選好性餌料生物（多毛類・軟甲類）の現存量から推定する。

この場合、木材付着餌料現存量から幼稚魚収容尾数を換算するために用いる選好性餌料生物量を抽出することとなる。

ここで、「イ　幼稚魚収容尾数（推測値）の場合」を採用した場合に、「①　木材付着餌料生物による魚体重の増加」を算出するにあたっては、便益の二重計上の回避を行うため、木材に付着する餌料生物現存量から幼稚魚収容尾数を換算するために用いた選好性餌料現存量を差し引いて算出する必要がある。

本算定例の「幼稚魚の育成効果」は「ア　幼稚魚生息尾数（現地調査）の場合」を採用している。

以下が、「ア　幼稚魚生息尾数（現地調査）の場合」の算定例である。

評価対象魚種	メバル	
期待漁獲量	587kg	（参表-12 を参照）
平均魚価	1,100 円／kg	（各都道府県等の資料）
漁業所得率	0.45	（漁業経営調査報告（海区別）等）

年間便益額　＝　期待漁獲量×平均魚価×漁業所得率
＝　587×1.1×0.45
＝　291 千円／年

参表-12　幼稚魚育成効果の生残解析（メバル）

単位あたりの幼稚魚蝟集尾数（A）		8.437 尾/空m^3	幼稚魚蝟集量の現地調査結果より算定
事業規模（B）		1,200 空m^3	事業規模
総幼稚魚尾数		10,124 尾	（A）×（B）
自然死亡率	0-2歳	0.100	既往知見等 ※左記の資源特性値は例であり、実際には、各海域や周辺海域における資源特性値を引用するのが、望ましい。
	2歳以上	0.100	
漁獲率	2歳以上	0.400	

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	平均体重	漁獲量（kg）
0-1			10,124				
1-2	0.10		9,112	1,012			
2-3	0.10	0.4	4,556	911	3,645	0.064	232
3-4	0.10	0.4	2,278	456	1,822	0.097	177
4-5	0.10	0.4	1,139	228	911	0.124	113
5-6	0.10	0.4	569	114	456	0.144	66
期待漁獲量（kg）							587

※1　月別の平均体重は、既往知見等を活用する。

⑤　木材活用礁（構造部材）への蝟集効果

木材活用礁（魚礁型）の場合は、構造部材への蝟集効果を得ることができる。ここでは、既存の魚礁事業等で得られた県の増産期待量を用いて便益を算定する。ただし、前述の産卵場効果や幼稚魚育成効果で対象とした魚類については、便益の二重計上となることから、これら魚類の増産期待量を除くことにする。また、平均魚価についても、同様とする。

評価対象魚種	マダイ、アジ、イサキ、ハタ類	
漁獲原単位①	3.08 kg／空 m^3	（各都道府県の原単位例）
評価対象魚種組成率②	0.95	
増産期待量（①×②）	2.93 kg／空 m^3※1	
平均魚価	560 円／kg	（各都道府県等の資料）
事業量	1,200 空 m^3	（8 空 m^3×150 基）
漁業所得率	0.45	（漁業経営調査報告（海区別）等）

年間便益額　＝　増産期待量×平均魚価×事業量×漁業所得率

＝　2.93×0.56×1,200×0.45

＝　886 千円／年

※1　増産期待量は、産卵場効果及び幼稚魚育成効果で対象としたカサゴ、アオリイカ、メバルの本便益での二重計上を回避するため、各県で設定されている漁獲原単位から、評価対象となる魚種の組成率を乗じた値である（カサゴ、アオリイカ、メバルの組成を差し引いた）。

(4)　事業費

木材活用礁において、木材を補給する場合は、その費用も含めて事業費を算定する。

木材活用礁製作・沈設費（150 基）	20,850 千円
木材補給費（150 基×５回交換）	18,750 千円
	（ 25 千円/基×150 基×５回）

(5)　費用対効果の算定

木材活用礁（魚礁型）の構造部材における蝟集効果の便益発現期間は、構造部材の耐用年数である 30 年とする。また、木材付加による増殖効果の便益は、木材の耐用年数を考慮して算定する。ここでは、木材の耐用年数を考慮して５年毎に交換すると仮定し、費用を算定した。

参表-14　費用対効果の計算例

費用	費用項目		整備規模	事業費
	間伐材活用礁製作･沈設費		150基	20,850 千円
	木材交換費		150基×5回	18,750 千円
便益	評価項目			標準年間便益
	増殖効果	付着餌料生物による魚体重増加		121 千円/年
		穿孔餌料生物による魚体重増加		36 千円/年
		産卵効果	カサゴの産卵	199 千円/年
			アオリイカの産卵	169 千円/年
		幼稚魚育成効果		291 千円/年
	蝟集効果(増産期待量)			886 千円/年
	漁労コスト削減効果			200 千円/年
	漁業外産業への効果		イカ産卵効果発生年	180 千円/年
			上記以外	160 千円/年
総費用額(C)	31,666 千円		割引率を4.0%として現在価値化したもの	
総便益額(B)	35,932 千円		割引率を4.0%として現在価値化したもの	
費用対効果	B／C ＝ 35,932 ／ 31,666 ＝ 1.13			

参表-15　費用対効果算定表

単位：千円

年度			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
便益額	増殖効果	付着餌料生物による魚体重増加	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121
		穿孔餌料生物による魚体重増加	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
		小計	157	157	157	157	157	157	157	157	157	157
		カサゴ産卵効果	199	199	199	199	199	199	199	199	199	199
		アオリイカ産卵効果	169					169				
		小計	368	199	199	199	199	368	199	199	199	199
		メバル幼稚魚育成効果	291	291	291	291	291	291	291	291	291	291
		小計	291	291	291	291	291	291	291	291	291	291
	蝟集効果	礁本体による増産期待量	886	886	886	886	886	886	886	886	886	886
		小計	886	886	886	886	886	886	886	886	886	886
	漁労コスト削減効果		200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
	漁業外産業への効果		180	160	160	160	160	180	160	160	160	160
	年度合計	Bn	2,082	1,893	1,893	1,893	1,893	2,082	1,893	1,893	1,893	1,893
	割引率(4.0%)	$Rn=1/1.04^n$	1.000	0.962	0.925	0.889	0.855	0.822	0.790	0.760	0.731	0.703
	現在価値金額	TBn=Bn×Rn	2,082	1,820	1,750	1,683	1,618	1,711	1,496	1,439	1,383	1,330
	合計	B=Σ(TBn)	2,082	3,902	5,652	7,335	8,953	10,665	12,161	13,599	14,982	16,312

年度			10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
便益額	増殖効果	付着餌料生物による魚体重増加	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121
		穿孔餌料生物による魚体重増加	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
		小計	157	157	157	157	157	157	157	157	157	157
		カサゴ産卵効果	199	199	199	199	199	199	199	199	199	199
		アオリイカ産卵効果	169					169				
		小計	368	199	199	199	199	368	199	199	199	199
		メバル幼稚魚育成効果	291	291	291	291	291	291	291	291	291	291
		小計	291	291	291	291	291	291	291	291	291	291
	蝟集効果	礁本体による増産期待量	886	886	886	886	886	886	886	886	886	886
		小計	886	886	886	886	886	886	886	886	886	886
	漁労コスト削減効果		200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
	漁業外産業への効果		180	160	160	160	160	180	160	160	160	160
	年度合計	Bn	2,082	1,893	1,893	1,893	1,893	2,082	1,893	1,893	1,893	1,893
	割引率(4.0%)	$Rn=1/1.04^n$	0.676	0.650	0.625	0.601	0.577	0.555	0.534	0.513	0.494	0.475
	現在価値金額	TBn=Bn×Rn	1,407	1,230	1,182	1,137	1,093	1,156	1,011	972	934	898
	合計	B=Σ(TBn)	17,719	18,949	20,131	21,268	22,361	23,517	24,528	25,500	26,434	27,333

年度			20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
便益額	増殖効果	付着餌料生物による魚体重増加	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121
		穿孔餌料生物による魚体重増加	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
		小計	157	157	157	157	157	157	157	157	157	157
		カサゴ産卵効果	199	199	199	199	199	199	199	199	199	199
		アオリイカ産卵効果	169					169				
		小計	368	199	199	199	199	368	199	199	199	199
		メバル幼稚魚育成効果	291	291	291	291	291	291	291	291	291	291
		小計	291	291	291	291	291	291	291	291	291	291
	蝟集効果	礁本体による増産期待量	886	886	886	886	886	886	886	886	886	886
		小計	886	886	886	886	886	886	886	886	886	886
	漁労コスト削減効果		200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
	漁業外産業への効果		180	160	160	160	160	180	160	160	160	160
	年度合計	Bn	2,082	1,893	1,893	1,893	1,893	2,082	1,893	1,893	1,893	1,893
	割引率(4.0%)	$Rn=1/1.04^n$	0.456	0.439	0.422	0.406	1.000	0.375	0.361	0.347	0.333	0.321
	現在価値金額	TBn=Bn×Rn	950	831	799	768	1,893	781	683	657	631	607
	合計	B=Σ(TBn)	28,283	29,113	29,912	30,680	32,573	33,354	34,037	34,694	35,325	35,932
総　便　益　額　(B)			35,932			千円						

単位：千円

年度			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
費用	間伐材活用礁製作・設置費		20,850									
	木材交換費用							3,750				
	年度合計	Bn	20,850	0	0	0	0	3,750	0	0	0	0
	割引率(4.0%)	$Rn=1/1.04^n$	1.000	0.962	0.925	0.889	0.855	0.822	0.790	0.760	0.731	0.703
	現在価値金額	TBn=Bn×Rn	20,850	0	0	0	0	3,082	0	0	0	0
	合計	B=Σ(TBn)	20,850	20,850	20,850	20,850	20,850	23,932	23,932	23,932	23,932	23,932

年度			10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
費用	間伐材活用礁製作・設置費											
	木材交換費用		3,750					3,750				
	年度合計	Bn	3,750	0	0	0	0	3,750	0	0	0	0
	割引率(4.0%)	$Rn=1/1.04^n$	0.676	0.650	0.625	0.601	0.577	0.555	0.534	0.513	0.494	0.475
	現在価値金額	TBn=Bn×Rn	2,533	0	0	0	0	2,082	0	0	0	0
	合計	B=Σ(TBn)	26,466	26,466	26,466	26,466	26,466	28,548	28,548	28,548	28,548	28,548

年度			20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
費用	間伐材活用礁製作・設置費											
	木材交換費用		3,750					3,750				
	年度合計	Bn	3,750	0	0	0	0	3,750	0	0	0	0
	割引率(4.0%)	$Rn=1/1.04^n$	0.456	0.439	0.422	0.406	0.390	0.375	0.361	0.347	0.333	0.321
	現在価値金額	TBn=Bn×Rn	1,711	0	0	0	0	1,407	0	0	0	0
	合計	B=Σ(TBn)	30,259	30,259	30,259	30,259	30,259	31,666	31,666	31,666	31,666	31,666
総　費　用　(C)			31,666			千円						

費　用　対　効　果　(B／C)	1.13

注）アオリイカ産卵は、枝葉付き立木が1年で効果がなくなるため、初年度と交換年のみ便益を算定

参考文献

1) 林野庁編：平成 25 年度森林・林業白書，1-38，2013.
2) 馬渡静夫：海中木材食害動物とその防除の研究，水産動物の研究(1)，1-93，1950.
3) 井上嘉幸：実用木材加工全書 10　木材の劣化と防止法，森北出版，200-207，1972.
4) 岡田　要：新日本動物図鑑（中），北隆館，pp301，1988.
5) 角田邦夫・西本孝一：海面貯木場におけるフナクイムシの食害と防除(1)　フナクイムシの種類と分布，木材工業 34-7，14-16，1979.
6) 角田邦夫・西本孝一：海面貯木場におけるフナクイムシの食害と防除(3)　フナクイムシの定着期，木材工業 35-4，24-26，1980.
7) 角田邦夫・西本孝一：海面貯木場におけるフナクイムシの食害と防除(4)　フナクイムシの成長速度と木材への食害度，木材工業 35-7，25-27，1980.
8) 日本木材保存協会：木材保存学，文京出版，92-99，1982.
9) D.B.Quayle：Marine wood borers in British Columbia，Department of Fisheries and Oceans.，1992.
10) John B. Waterbury and C. Bradford Calloway and Ruth D. Turner：A cellulolytie nitrogen-fixing bacterium cultured from the gland of Deshayes in ship-worms，Science，New Series，Vol.221，No.4618，1983.
11) Honein，K.，Kaneko，G.，Katsuyama，I.，Matsumoto,M.，Kawashima，Y.，Yamada，M. and Watabe，S.：Studies on the cellulose-degrading system in a shipworm and its potential applications,Energy Procedia ,18，1271－1274，2012.
12) 井上徹志・張筱墀：フナクイムシ由来のセルロース分解菌の探索，木材保存 40-6，261-268，2014.
13) 日本木材加工技術協会木材保存部会：木材保存ハンドブック，昭晃堂，388-392，1961.
14) 屋我嗣良・河内進策・今村祐嗣：木材科学講座 12　保存・耐久性，海青社，104-107，1997.
15) 山口県間伐材魚礁利用促進協議会：山口県間伐材魚礁調査報告書，pp6，2006.
16) 菊地伸一・森満範：藻礁に利用された木材の海虫による劣化について,木材工業 53-5，218-222，1998.
17) 共英製鋼株式会社：鋼製魚礁への間伐材取り付け効果について（内部資料），1-6，2002.
18) 山田昌朗：海虫による木材の食害速度と樹種の関係について，土木学会第 65 回年次学術講演会，29-30，2010.
19) 水産庁監修：漁港漁場の施設の設計の手引き,全国漁港漁場協会，2003.
20) 林業試験場監修：改訂 3 版木材工業ハンドブック，丸善株式会社，1982.
21) 島根県：平成 17 年度水産基盤整備生物環境調査「魚礁における間伐材活用調査」，第 2 回検討委員会資料 3，2005.

－　本手引きに関する問合せ先　－

水産庁 漁港漁場整備部 整備課 設計班

〒100-8907 東京都千代田区霞が関 1-2-1

TEL 03-6744-2390　　FAX 03-3502-2668