

魚礁における間伐材活用調査

財団法人 漁港漁場漁村技術研究所 伊藤 靖、押谷美由紀

1. 調査実施年度：平成 15 年度～平成 17 年度

2. 緒言（まえがき）：

森林の自然環境保全に果たす役割は大きく、これらの機能維持のためには間伐などの適切な森林整備が不可欠であり、加えて間伐材を有効に活用することは、循環型社会の形成を推進する観点からも重要と考えられる。

こうした背景から、魚礁事業においても間伐材を活用する動きがみられる一方で、間伐材活用魚礁の調査研究はまだ浅く、木材の効率的な活用方法や便益計算の手法が確立されていない。本調査では、これら間伐材の魚礁への活用を検討するための知見の充実に図り、間伐材活用魚礁の水産基盤整備事業における効果の算定方法を取りまとめることを目的として行った。

3. 調査方法：

(1) 現地調査

間伐材等を用いた試験礁を実海域に沈設し、追跡調査を行った。

場 所：山口県下関市豊浦小串地先 水深 10m 地点および 30m 地点

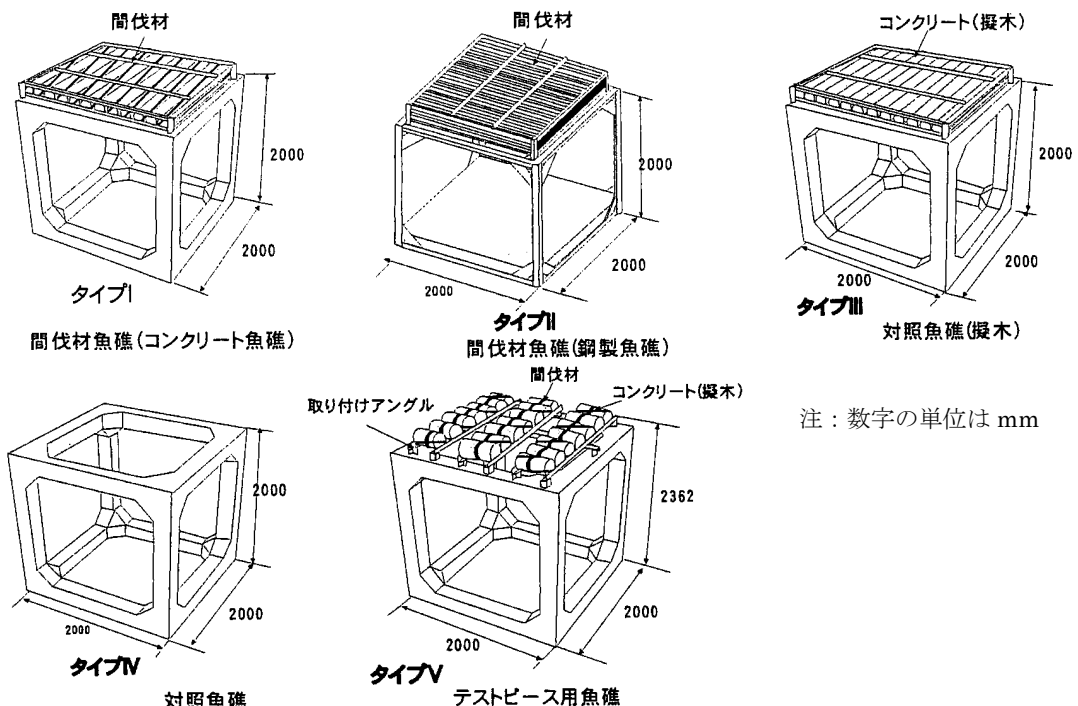
沈設時期：平成 14 年 11 月

追跡調査：平成 15 年 7、10 月 平成 16 年 4、7、10 月 平成 17 年 4、10 月

調査項目：①礁の設置状況・性状変化 ②魚類の蟄集状況 ③付着動物着生状況

④海藻類の着生状況 ⑤胃内容物等

沈設魚礁の概要：以下の 5 タイプ



(2) 事例調査

山口、島根、石川県の事例調査を含む 39 都道府県、民間 39 社に間伐材活用魚礁の構造、効果等に関するアンケートを実施した。

調査項目：①間伐材の種類、形状等 ②間伐材の性状変化 ③間伐材の餌料生産
④魚類の増集状況

4. 調査結果 および 5. 考察

調査結果及び考察を報告書（案）として以下に示す。

1 背景

(1) 間伐材利用の必要性

植栽された人工林では樹間の競争が激しくなるため、その競争を適度に緩和して材木の成長を促進させるため、形質、材質、生育の悪い木を取り除く作業を間伐という。間伐を行った森林では植栽木はもとより下草類も良く茂り、森林整備には不可欠な作業である。

森林は木材生産機能に併せて、水源涵養、土砂流出防止、CO₂ 固定などの多面的機能を有しており、林野庁はわが国の森林が有する公益的機能の評価額を 70 兆円と試算している。

これらの多面的機能が高度に発揮されるためには、間伐により森林が適切に管理される必要があり、間伐を推進することは国土保全上においても重要な課題となっている。

しかしながら、間伐材の利用が十分でない現状においては、間伐材価格の低迷等から間伐作業が敬遠される傾向にあり、間伐材の利用も併せて推進していく必要がある。

(2) 循環型社会形成への貢献

魚礁に取り付けた間伐材を起点とする物質の流れは下図に示したような、ほぼ完全な自然還元システムである。

間伐材を魚礁事業に活用することは、循環型社会に適応した行為といえる。

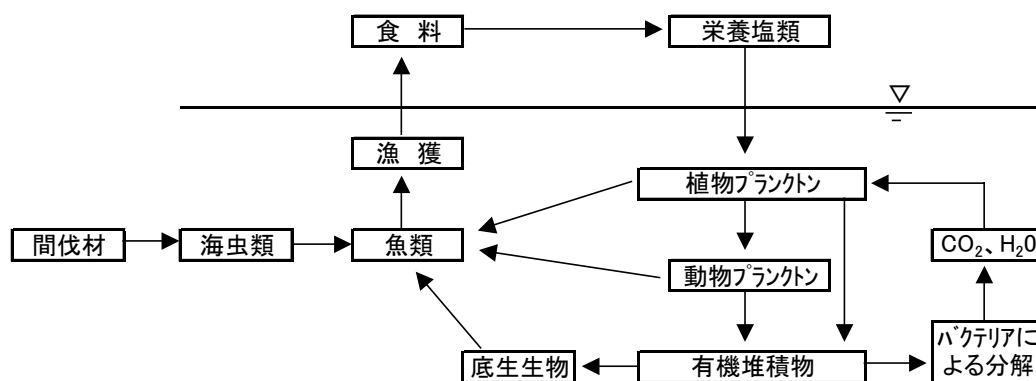


図 1 海中に設置した間伐材の物質循環

(3) 農林水産省の取り組み

平成 14 年に農林水産省が策定した「地球温暖化防止森林吸収源 10 年対策」におい

て木材の利用拡大が重要な柱として位置づけられ、間伐材の魚礁への活用がモデル的な取り組みとして進められるに至った。

2 間伐材活用の基本理念

森林が自然環境の保全に果たす役割は極めて大きく、その機能維持のためには間伐等の適切な森林整備が不可欠である。間伐材の魚礁への活用は、遮蔽効果、餌料効果等により魚礁機能の向上が期待でき、漁業振興ひいては漁業の有する公益的機能の維持に寄与する。

また、間伐材の魚礁への活用は、流域と海との包括的管理の下支えとなり、力強い農林水産業の一助となり得る。

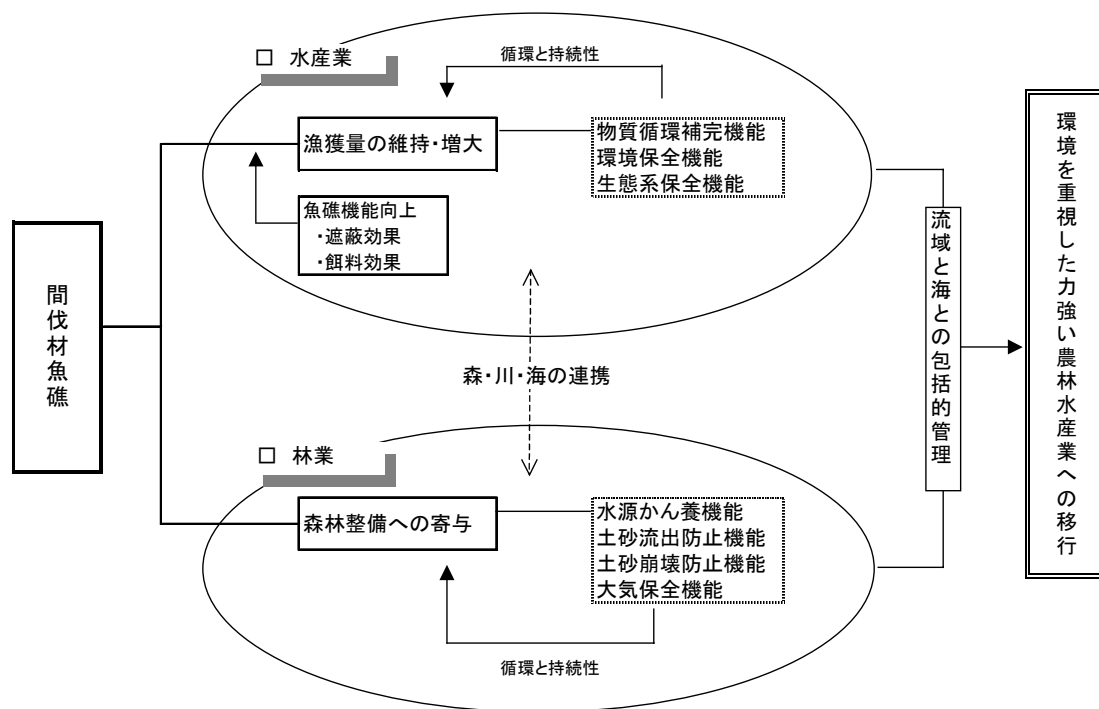


図2 魚礁における間伐材活用の基本理念

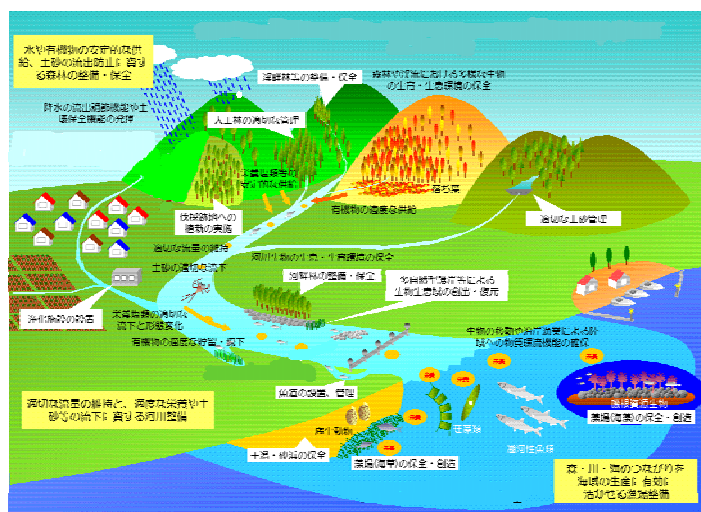


図3 森・川・海の連携イメージ

3 間伐材活用魚礁の特徴

(1) 間伐材の流通

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、間伐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間伐材を取り扱っており、ここを窓口として間伐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）を窓口としても入手することができる。

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、在庫量、年間供給可能量、乾燥状態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 cm、長さ 2 m のスギ材の価格を 1 本 1,320 円としている（平成 17 年度）。

また、全国森林組合連合会のホームページでは、全国の共販市況を見ることができる。平成 17 年 12 月から平成 18 年の共販市況は以下のとおりである。

木材価格は共販所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魚礁の組み立てヤードまで運搬費が加算される。

表 1 間伐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	0175-64-5237		東京都森林組合連合会	042-595-2841
	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	029-225-2021		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	095-822-7124
	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
	沖縄県森林組合連合会	098-888-0676		新潟県森林組合連合会	025-223-6491
か	香川県森林組合連合会	087-681-4352	は	兵庫県森林組合連合会	078-341-5082
	鹿児島県森林組合連合会	099-226-9471		広島県森林組合連合会	0847-32-8530
	神奈川県森林組合連合会	046-228-1774		福井県森林組合連合会	0776-38-0345
	京都府森林組合連合会	075-841-1030		福岡県森林組合連合会	092-712-2171
	岐阜県森林組合連合会	058-275-4890		福島県森林組合連合会	024-523-0255
	熊本県森林組合連合会	096-362-3291		北海道森林組合連合会	011-621-4293
	高知県森林組合連合会	088-822-5101	ま	三重県森林組合連合会	059-227-7355
さ	埼玉県森林組合連合会	048-822-1022		宮城県森林組合連合会	022-225-5991
	佐賀県森林組合連合会	0952-23-4191		宮崎県森林組合連合会	0982-54-3882
	滋賀県森林組合連合会	077-522-4658	や	山形県森林組合連合会	023-688-8100
	静岡県森林組合連合会	054-253-0195		山口県森林組合連合会	083-922-1955
	島根県森林組合連合会	0852-21-6247		山梨県森林組合連合会	055-273-0511
	全国森林組合連合会	03-3294-9715	わ	和歌山県森林組合連合会	073-424-4351

スギ材の共販価格(㎡あたり)

共販所	長さ(m)	径(cm)	価格(円)
盛岡共販所(岩手県)	3	16-18	9,800
	4	10-18	9,000
仙北地区協業センター (宮城県)	3	13-16	11,520
	4	8-13	11,520
天童共販所(山形県)	3	13-16	10,800
いわき木材流通センター (福島県)	3	14-16	11,800
	4	10-13	13,500
鹿沼共販所(栃木県)	3	14-18	10,990
	4	9-14	10,250
前橋共販所(群馬県)	3	14-16	9,300
新潟共販所(新潟県)	3	14-18	9,000
富山共販所(富山県)	3	16-18	9,000
	4	10-14	10,000
南信木材センター(長野県)	3	14-20	8,000
天竜共販所(静岡県)	3	16-18	13,000
	4	16-18	11,500
岐阜共販所(岐阜県)	3	16-18	13,000
御坊共販所(和歌山県)	3	14-16	11,000
益田共販所(島根県)	3	13-16	14,000
勝山共販所(岡山県)	3	14-16	12,000
	4	18-28	8,000
三次木材共販所(広島県)	3	14-16	10,150
	4	18-28	11,000
松山共販所(愛媛県)	3	13-16	12,900
	4	18-22	15,100
高知共販所(高知県)	4	13-16	9,000
浮羽共販所(福岡県)	3	14-16	11,200
	4	14-16	12,600
佐伯共販所(大分県)	3	11-13	7,000
	3	14-16	11,700
	4	14-16	8,800
都城共販所(宮崎県)	3	14-16	13,500
	4	16-22	11,500
隼人共販所(鹿児島県)	3	14-16	11,500
	3	18-22	12,100
	4	14-16	11,100
	4	18-22	11,300

ヒノキ材の共販価格(㎡あたり)

共販所	長さ(m)	径(cm)	価格(円)
いわき木材流通センター (福島県)	3	16-20	18,000
	4	18-20	23,000
鹿沼共販所(栃木県)	3	14-18	21,510
前橋共販所(群馬県)	3	14-22	18,600
南信木材センター(長野県)	3	16-18	24,000
天竜共販所(静岡県)	3	16-18	24,000
岐阜共販所(岐阜県)	3	16-18	25,300
	4	18-28	22,100
御坊共販所(和歌山県)	3	14-16	20,000
	4	20-28	18,000
勝山共販所(岡山県)	3	14-16	27,000
	4	18-28	23,000
三次木材共販所(広島県)	3	14-16	23,900
	4	18-28	21,000
松山共販所(愛媛県)	3	14-16	25,900
	4	18-22	26,800
高知共販所(高知県)	3	14-16	25,000
	4	14-16	27,500
浮羽共販所(福岡県)	4	14-16	24,000
	4	18-22	22,400
佐伯共販所(大分県)	3	14-16	13,800
	4	18-28	14,700
都城共販所(宮崎県)	3	14-16	20,000
	4	18-22	23,000
隼人共販所(鹿児島県)	3	14-16	14,800
	4	14-16	21,700
	4	18-22	21,700

(2) 海中における間伐材の性状変化

① 海中用材食害虫

海中に置いた木材は海中用材食害虫（以下海虫類と略す）の食害を受け、崩壊に至る。海虫類にはフナクイムシなど軟体動物に属するものとキクイムシなどの甲殻類に二大別される。フナクイムシはキクイムシに比べて体が大きく、食害が激しいとされている。



フナクイムシの食害痕



キクイムシの食害痕

ア フナクイムシ類

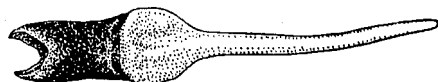
□ 種類

日本産としては、フナクイムシ科として 20 種、キクイガイ科として 4 種、ニオガイ科として 12 種が知られている。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。

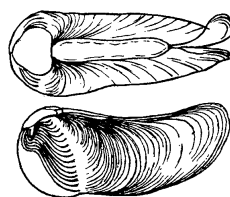
□ 体型

フナクイムシ科の外観はミミズ状を呈し、頭部に一對の貝殻を有する。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 cm、直径は 5～10 mm である。キタオオフナクイムシは大型で体長 20～50 cm、直径は 10～20 mm であり、食害跡が大きい特徴を有する。

ニオガイ科は軟体部分が一對の貝殻で覆われ、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 mm、殻高 15 mm、殻幅 15 mm 程度の卵円錐形をしている。



ヤツフナクイムシ



カモメガイモドキ

図 4 フナクイムシ類の形状

□ 地理的分布

フナクイムシ科では日本海側で福井県以南、太平洋側では茨城県以南に分布する種が多く、水温の高い海域での活動が活発である。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。

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。

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	<i>Teredo navalis</i>	フナクイムシ	北海道、本州、四国、九州
	<i>Lyrodus pedicellatus</i>	ヤツフナクイムシ	北海道、本州、四国、九州
	<i>Lyrodus pedicellatus</i>	タカノシマフナクイムシ	本州、九州
	<i>Bankia bipalmulata</i>	オオフナクイムシ	本州
	<i>Bankia carinata</i>	ヤセオオフナクイムシ	本州、四国、九州
	<i>Bankia setacea</i>	キタオオフナクイムシ	北海道、本州、四国、九州
ニオガイ	<i>Martesia striata</i>	カモメガイモドキ	本州、四国、九州

□ 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、一般的な魚礁の設置水深には普通に生息している。水深 10m 以浅域に多いという報告がある。

□ 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。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。幼生放出の適水温に関しては、女川で 15～20℃ 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。

□ 塩分

女川産のフナクイムシの幼生は塩素量 10（塩分 18 に相当）以下で変態は進行するが、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 で穿孔に成功し、18 前後が穿孔に最適であると報じられている。

□ 生活史と食害

ヤツフナクイムシは体長が 40 mm 程になると体内に成熟した卵や精子を持つようになる。受精卵はベリジャー幼生になった後、出水管から体内に吐き出され、繊毛を動かしながら潮流に乗って四方に広がる。この状態は水温が 14～18℃ の 5 月から 11 月頃まで続く。

木材に付着したフナクイムシ類は、木材を穿孔して侵入する。食物は海水中の植物プランクトンで、木材は住む場所として利用するという説と木材を主栄養減とし、窒素はプランクトンより摂取するという説の二説がある。

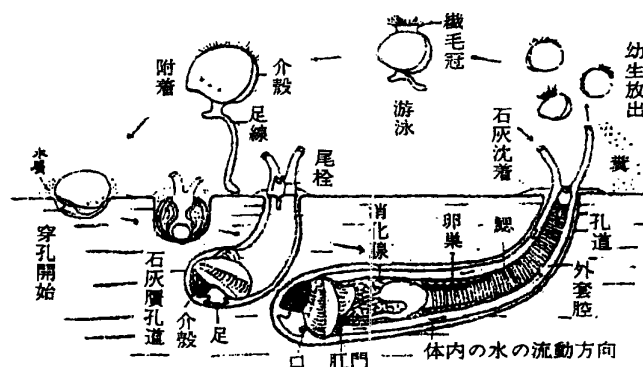


図 5 フナクイムシの生活模式図

木材への侵入口は径 1 mm ほどであるが、成長に伴い材内部の穿孔は次第に大きくなり、孔が隣接し蜂の巣状になる。しかし、穿孔口が小さいため、外観から内部の被害程度を判断することができない。フナクイムシの孔道の内壁は石灰質で塗りつぶされる特徴がある。

イ キクイムシ類

□ 種類

日本産としては、キクイムシ科、コツブムシ科、ククイモドキ科が知られている。このうち木材の被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、ククイモドキ科のヤマトククイモドキがいる。

□ 体型

キクイムシの形態はシャコに類似する。体長 3～4 mm 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 mm、幅 5～8 mm の大きさである。ヤマトク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。



キクイムシ



ヨツバコツブムシ



ヤマトククイモドキ

□ 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見られる。ヤマトククイモドキは比較的温暖な四国、九州地方に多く見られる。

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	<i>Limnoria lignorum</i>	キクイムシ	本州、北海道、四国、九州
コツブムシ	<i>Sphaeroma retrolaevis</i>	ヨツバコツブムシ	本州
ククイモドキ	<i>Nippochelura brevicauda</i>	ヤマトククイモドキ	本州、四国、九州

□ 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、相当な低温に耐えうると考えられる。

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。

□ 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 とされている。ヨツバコツブムシは低塩分を好み河口付近に生息する。

□ 生活史と食害

キクイムシの産卵は水温が 14℃ を超える頃から始まり、16℃ を超えると活発化する。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。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、それを食べると同時にその穴を住居として利用する。

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。

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、住处や隠れ場所として木材に穿孔する。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。

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 以浅域に多いという報告がある。また、山口県の水深 70m の海域で井型に簡易に組んだものが 5 年以上木材が残存している。

□ 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が、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、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 3～5 m と浅いにもかかわらず、5 年以上残存した事例がある。

□ 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腐朽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 年後の木材の腐朽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腐朽していないのに対し、強流域ではかなり腐朽していた。



流速の異なる 2 地点における沈設 2 年後の腐朽状態

イ 材種

間伐が必要な人工林の構成種である針葉樹ではマツ類がフナクイムシの食害を受けやすい。また、間伐材の発生量が多いスギとヒノキではヒノキでやや食害速度が速い傾向がみられた。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。また、比重が高い材が被害を受けにくく、このことは同一樹種の心材のほうが辺材よりも被害を受けにくいことと共通する。

7ヶ月後の穿孔数：ヒノキ 31 個>スギ 23 個（福岡県福岡市奈多）
 空隙率 35~40%に達した月数：スギ 23 ヶ月>ヒノキ 19 ヶ月（山口県下関市豊浦）

ウ 木材の加工状態

木材の減量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。

山口県豊浦海域に 19 ヶ月設置した長さ 1 m の木材の横断面空隙率は、木口付近が 35-40%、中央部が 25% であった。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 ヶ月で長さ 30 cm の木材は崩壊していたが、2 m 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 1 年程度海中での寿命が長い。

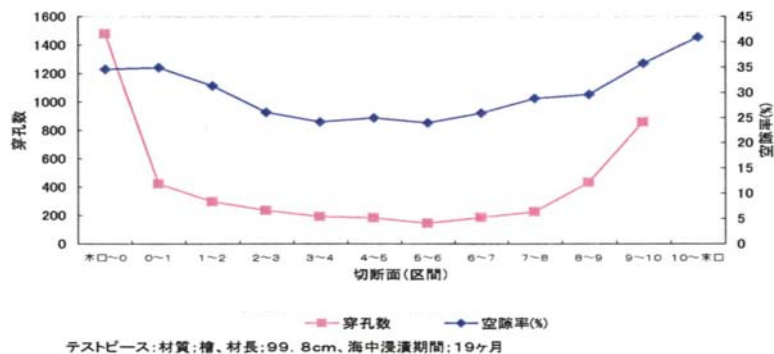


図6 木口・末口からの距離と食害程度の関係



長さ 30 cm



長さ 200 cm

図7 長さの異なる木材の腐朽状況（山口県豊浦海域 35 ヶ月）

エ 耐久処理

間伐材活用魚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。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は、フナクイムシの食害抑制効果がみられたがその効果は著しいものではない。

木材の耐久性のみを追求するのであれば、J A S（日本農林規格）で規定されている CCA（クロム・銅・ヒ素化合物）とクレオソートが効果的であるが、環境面への配慮からこれらの薬剤の使用は限られたものとなっている。また、低毒性の CCA 代替保存処理薬剤として銅・ホウ酸・アゾール系薬剤（CuAz）やアルキルアンモニウム化合物（AAC）があり、北海道立林産試験場の試験では、スギの場合 CuAz 初期吸収量が 11.4 kg/m^3 以上で少なくとも 52 ヶ月以上の海虫抵抗性を付与できることができ、 5.6 kg/m^3 でもごく軽微な食害に留めることができた。ブナの場合は 9 kg/m^3 以上の初期吸収量で食害防止効果が得られた。一方、AAC はスギに 25.9 kg/m^3 、ブナに 19.6 kg/m^3 注入しても食害がみられ、これ以上の注入量が必要としている。

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	処理費用 (円)	効果	
高知県	合成樹脂浸透	40		11ヶ月後の空隙率は未処理材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(株)	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、その後の腐朽は急激で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。	×
岡部海洋エンジニアリング(株)	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	×
石川県	シリコン被覆	68			
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(株)	焼き焦がし	25	15,000		

(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見た場合、①コンクリートや鋼材等に比べて付着性の餌料生物が多い、②ごく初期段階でヨコエビ等の有用餌料が大量に発生するなど餌料生産面で即効性がある、③他の部材ではみられない穿孔性の餌料生物が木材中で生産されるなどの優れた面がある。穿孔性の餌料生物は木材を食害し木材の寿命を短くする一方で、魚類餌料として漁業生産に貢献していると言える。

① 付着餌料生物の高度生産

山口県吉母海域での木材への生物付着量（重量ベース）は、沈設から 21 ヶ月後まで常に鋼材を上回っており、石川県能都海域においても同様の傾向がみられる。山口県豊浦海域では沈設後 11 ヶ月までは木材への付着量がコンクリートを上回ったが、20 ヶ月後以降はコンクリートのほうに多く付着する傾向がみられる。三海域とも木材に付着する餌料の大半は蔓脚類（フジツボ類）であり、種組成の面ではコンクリートや鋼材と大差ない。

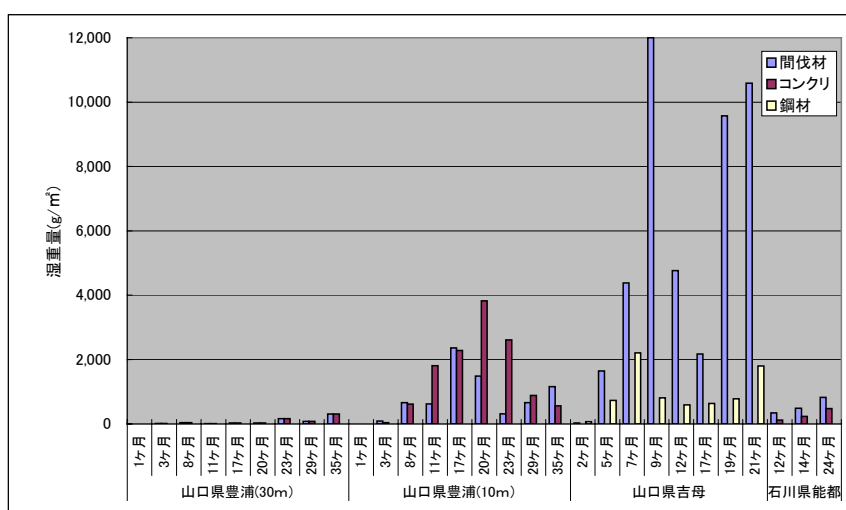


図 8 部材別の餌料生物付着量

② 餌料生産の即効性

なお、微細な餌料生物で重量として上がりにくいですが、沈設直後の木材で魚類の餌料として重要なヨコエビ類の大量発生がみられた。構造部材に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。

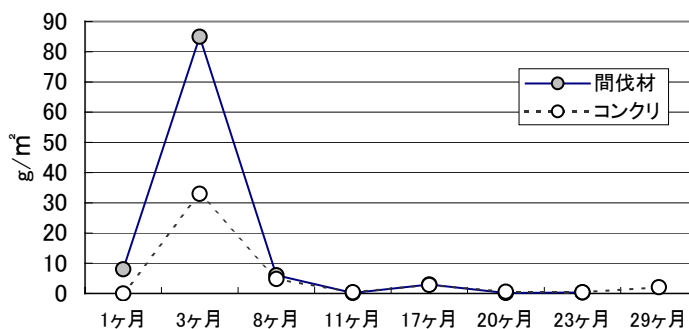


図 9 端脚類現存量の推移

③ 穿孔性餌料の生産

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た。

フナクイムシの現存量についての調査例は極めて少ない。現在知るところでは、兵庫県家島海域で沈設 12 ヶ月後に得た 25.4 kg/m^3 （水深 9 m）が最大で、山口県豊浦海域では水深 10m で 13 kg/m^3 、水深 30m で 7.6 kg/m^3 であった。

豊浦海域において、沈設 11 ヶ月後に初めて出現したフナクイムシの現存量はその後急増し、17 ヶ月後には最大に達した。しかし、減少するのも早く 29 ヶ月後にはほぼ 0 となった。

現存量がこのような急激に減少したのは、試験材が 30 cm と短く早期にフナクイムシに食べ尽くされたためと思われる。長い木材で調査が行われれば、フナクイムシの出現期間はもっと長くなった可能性はある。

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	○	×
オヤビツチャ	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。
 研究機関: 島根県水産試験場

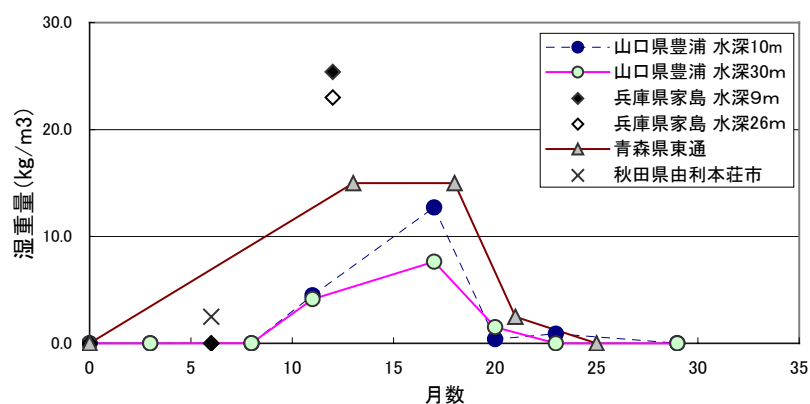


図 10 フナクイムシ現存量の推移

表 6 部材別の餌料生物付着量

山口県下関市吉母

単位: g/m²

	間伐材					鋼材				
	多毛類	蔓脚類	軟甲類	その他	計	多毛類	蔓脚類	軟甲類	その他	計
2ヶ月	0	0	4	27	31	0	0	9	59	68
5ヶ月	1	1,615	4	23	1,644	1	705	11	9	725
7ヶ月	4	3,969	1	409	4,383	2	2,155	0	49	2,206
9ヶ月	3	11,943	5	47	11,998	1	808	0	0	809
12ヶ月	6	4,726	4	24	4,760	4	564	7	15	590
17ヶ月	4	2,154	1	13	2,171	4	623	1	6	633
19ヶ月	7	7,663	5	1,898	9,573	4	769	1	5	780
21ヶ月	14	10,519	11	42	10,585	4	1,770	6	22	1,801

調査者: 山口県

石川県能都町

単位: g/m²

	間伐材					コンクリート				
	多毛類	蔓脚類	軟甲類	その他	計	多毛類	蔓脚類	軟甲類	その他	計
12ヶ月	0	293	0	46	339	1	111	1	10	122
14ヶ月	14	402	14	51	481	11	149	7	63	231
24ヶ月	5	785	1	32	823	1	310	0	165	476

調査者: 石川県

山口県下関市豊浦(水深10m)

単位: g/m²

	間伐材					コンクリート擬木				
	多毛類	蔓脚類	軟甲類	その他	計	多毛類	蔓脚類	軟甲類	その他	計
1ヶ月	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3ヶ月	1	0	86	6	92	0	1	33	0	34
8ヶ月	14	564	16	69	663	5	530	14	63	612
11ヶ月	2	612	3	2	620	3	1,776	6	19	1,804
17ヶ月	34	2,266	46	16	2,362	22	2,176	27	58	2,283
20ヶ月	6	1,466	2	9	1,483	3	3,804	13	4	3,824
23ヶ月	4	249	20	34	308	7	2,440	16	147	2,610
29ヶ月	38	515	61	46	660	24	755	16	87	882
35ヶ月	19	955	56	123	1,154	14	383	51	114	562

調査者: (財)漁港漁場漁村技術研究所

山口県下関市豊浦(水深30m)

単位: g/m²

	間伐材					コンクリート擬木				
	多毛類	蔓脚類	軟甲類	その他	計	多毛類	蔓脚類	軟甲類	その他	計
1ヶ月	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3ヶ月	0	0	10	2	12	0	0	0	2	2
8ヶ月	3	15	4	15	36	2	71	3	25	102
11ヶ月	0	4	0	1	5	1	9	3	35	48
17ヶ月	7	9	9	3	28	10	308	15	65	397
20ヶ月	1	14	3	13	31	1	46	4	12	63
23ヶ月	2	146	8	6	162	1	0	7	107	115
29ヶ月	32	6	32	9	80	17	32	10	70	129
35ヶ月	8	5	47	245	305	6	161	19	25	210

調査者: (財)漁港漁場漁村技術研究所

(4) 魚類の早期蛸集

間伐材魚礁の調査研究はまだ浅く、魚介類の蛸集量が海域、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が、対照魚礁との蛸集量を比較すると、沈設直後では間伐材魚礁に多く蛸集する傾向が窺える。

調査回数が比較的多い山口県豊浦町（調査者：漁港漁場漁村技術研究所）、山口県下関市（調査者：山口県）の事例では、間伐材魚礁で蛸集量が多い傾向が示された。

また、豊浦海域の調査では、2年目、3年目においても間伐材魚礁への蛸集量が多かった。

表 7 間伐材活用魚礁と対照魚礁の蛸集量比較

	1年目	2年目	3年目	4年目	不明	計
間伐材魚礁で多い	9	3	1	1	1	15
対照魚礁で多い	2	2	1			5
同等	2	3	1			6

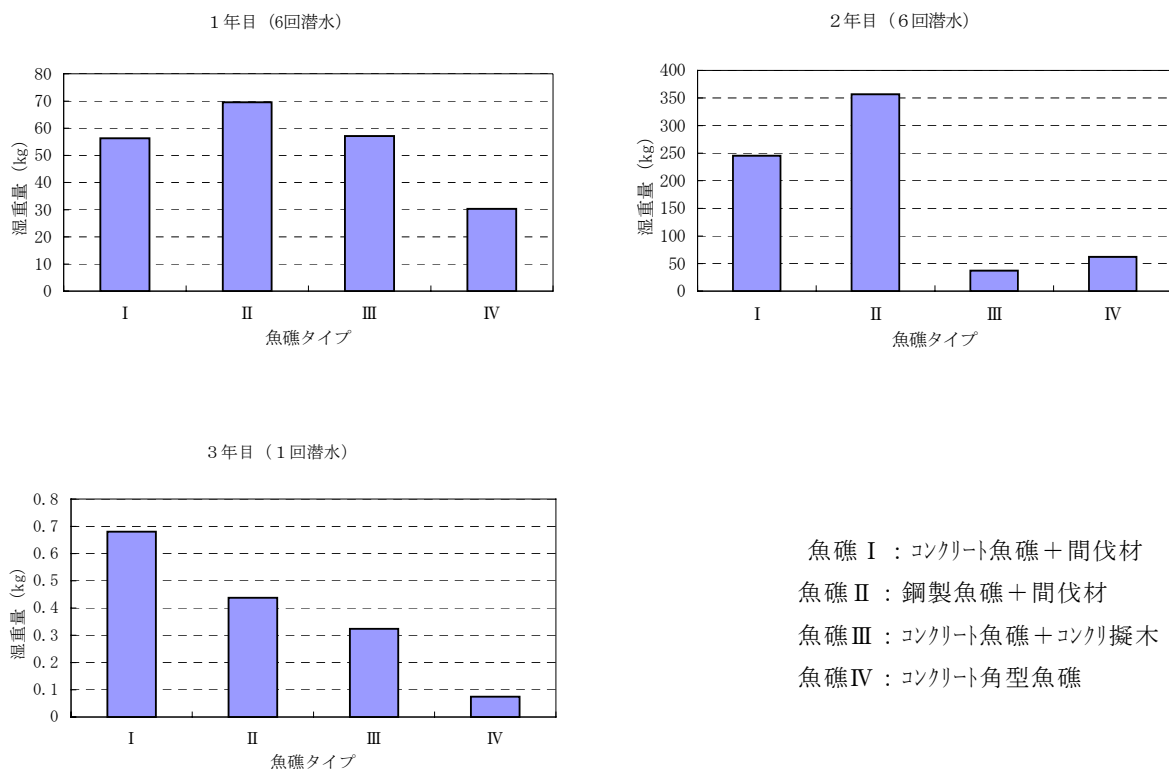


図 11 間伐材活用魚礁と対照魚礁の蛸集量比較（山口県豊浦）

4 間伐材の活用方法

(1) 基本方針

間伐材は魚礁機能の向上を目的とした機能部材として用いる。

本手引きではわが国における主要な水産関係公共事業である水産基盤整備事業で、間伐材を効率的に魚礁事業に活用するための方法を提示する。

公共事業においては、事業の経済合理性に関する評価が必要であるが、海中における間伐材の耐久性からして、これを構造部材として魚礁事業に用いた場合、経済合理性から大きく逸脱することが明白である。

よって、間伐材は魚礁の機能部材としてコンクリートや鋼材等の構造部材に取り付けることが活用の基本となる。

(2) 間伐材の選定

① 材種

魚礁に取り付ける木材の種類は、地域の間伐事情と費用対効果を併せ考え選定する。

わが国における人工林の主な樹種であるスギ、ヒノキ、マツ類は間伐材の発生量が多く、入手しやすい材種である。マツ類は海虫類の食害を受けやすいとされ、ヒノキは価格的にやや高価であるが、魚礁への間伐材利用は森林整備への貢献も念頭においたものであり、地域において森林整備の優先度の高い樹種について魚礁事業における費用対効果を併せ考え選定する。

② 形状

耐久性を考えると木材は樹皮付の長いものが望ましい。径は 15～20 cm 程度のものが供給、耐久性、施工性の面でバランスが取れている。

フナクイムシの食害を受けた木材の空隙率は、切り口付近で高く中央部で低い。これはフナクイムシが主として丸太の切り口から侵入し、木材の長さ方向に穿孔する習性を有しているためである。したがって、短い木材は短期間で食い尽くされてしまうことになる。

共販市場における丸太の取り扱い長さ（規格）は、3 m もしくは 4 m のケースが殆どであり、魚礁に活用できる木材の長さは長くても 4 m 止まりである。

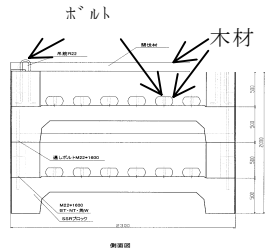
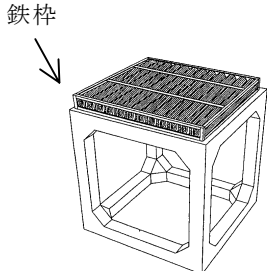
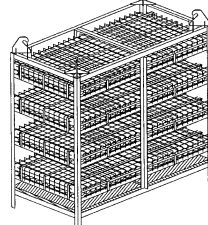
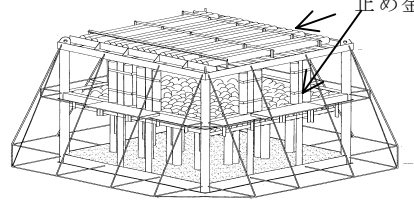
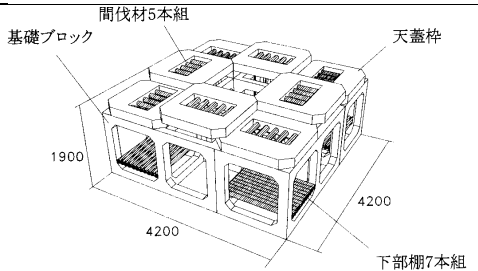
実際には取り付ける魚礁の大きさ、施工性等も関係するため、規格品を半分に切断した、1.5 m または 2 m で使用するのが一般的である。

木材の径は 15～20 cm 程度のものが、一般に供給量が多く入手しやすい。細すぎる木材は食害に対してもろく、太すぎると施工面での困難を伴う。

(3) 取り付け方法

増産対象魚種、海域条件に適合した魚礁を選定し、施工性及び間伐材付加後の費用対効果において最適な取り付け方法を選定する。

表 8 間伐材の取り付け方法

取り付け方法	姿 図
<u>ボルト止め</u> 構造部材にアンカーボルト等で木材を固定する方法で、低コストであり、木材の長さ、太さに自由度がある。ただし、海虫類の食害により木材が材端部から腐朽するため、材端部のみを固定する方法では、魚礁から脱落しやすい。	
<u>ユニット方式</u> ユニット自体が加工性の良い鋼材を使用するため、自由度がある。また組み立てヤードでの作業が軽減される。反面、木材の太さ、長さの統一が必要である。また、材端部の腐朽により木材が脱落するケースがみられるため、脱落防止のための細工が必要である。コストは高い。	
<u>カゴ方式</u> コストは高いが、木材形状の統一を図る必要がない。また、腐朽した木材であっても確実に魚礁上に留めることができる。ユニット式同様組み立てヤードでの作業は軽減される。	
<u>金具止め</u> 止め金具で木材を押さえつけ固定する方法で、コストは中程度である。木材が浮上した入り、抜け落ちないように太さの統一を図り、確実に固定する必要がある。	
<u>埋め込み方式</u> 構造部材（コンクリート）に木材を埋め込んで固定する。木口が塞がれるためフナクイムシの侵入が抑制される。コスト的には安価な部類に入るが、木材の使用量には限りがある。	

木材の浮力が消失するまで魚礁から離脱しない方法で取り付ける。

木材実質の比重は樹主によらずほぼ一定で約 1.5 を示し、これを真比重という。木材が水面に浮くのは細胞内腔や間隙などの空隙があるためである。海中に木材を一定期間沈めておくと内部の空気が浮出し、浮力は失われる。

木材の浮力が消失しないうちに魚礁から外れると、海面に浮上して船舶や漁具等に損傷を与える可能性があり極めて危険である。

木材の保管方法、個体差などによるが、海中に浸け置いた木材の浮力は 1 年以内に消失する。安全を見て浮力残存期間を 1 年と考え、最低 1 年間は魚礁から木材が離脱しないよう取り付ける必要がある。

表 9 間伐材の海中浸漬期間と浮力

海域	調査者	材種	径(cm)	水深(m)	月数	浮力	備考
山口県豊浦町	(財)漁港漁場漁村研	スギ	18-20	10	11	×	
				30	11	○	
					17	×	
島根県隠岐	島根県	スギ	19	18	10	×	
兵庫県家島	兵庫県	スギ		9	6	×	比重の差は晩材率の差と考えられる
				21	6	○	
				26	6	×	
高知県奈半利	高知県	スギ	10-16	37	4	×	
高知県高知市	高知県	ケヤキ等	15	39	1	×	未処理
					3	○	合成樹脂浸透
					10	×	〃
熊本県島原	島原市	スギ、ヒノキ	13	13-16	12	×	
熊本県不知火海	熊本県		13	15	12	×	
三重県尾鷲市	三重県			4-16	9	×	

材端部の腐朽が始まっても木材が魚礁から脱落しにくいよう取り付ける

多くの事例で木材が材端部から腐朽し始めることが確認されており、ボルト止めやユニット式のように主として材端部のみを固定する方法では、木材の崩壊前に魚礁から脱落しやすいと考えられる。

間伐材の効率的利用の観点から、材端部以外も魚礁に固定するなど、材端部が腐朽しても木材が魚礁から脱落しない措置を講じることが望ましい。



固定ユニットから脱落した木材

(4) 魚礁の安定

安定計算に用いる木材の比重は原則として実測により求めるが、全乾比重で計算して安定であればこの値を採用して良い。

魚礁は波、流れに対して安定でなければならない。魚礁の安定計算は「漁港・漁場の施設の設計の手引き」に沿って行うが、計算に必要な値として木材の比重がある。

木材の比重は、材種、径、乾燥状態により異なるため、実測（多くの場合、購入先に問い合わせれば分かる）により求めることを基本とするが、生木比重に比べて小さい値を示す全乾比重は既知であり、この値を用いて計算しても良い。

表 10 主な間伐材の全乾比重

樹 種	スギ	ヒノキ	アカマツ	カラマツ
全乾比重	0.35	0.40	0.48	0.46

(5) 耐久処理

耐久処理を施すことにより木材の寿命は若干延びるが費用も嵩む。経済性、環境への影響等についての検討結果を踏まえ、採用の可否を検討する。

① 処理の方法

海虫類の食害に対しては、CCA（クロム・銅・ヒ素化合物）とクレオソートが効果的であるが、環境面への配慮からこれらの薬剤の使用は限られたものとなっている。また、低毒性の CCA 代替保存処理薬剤として銅・ホウ酸・アゾール系薬剤（CuAz）やアルキルアンモニウム化合物（AAC）も一定の食害抑制効果がみられている。

間伐材活用魚礁で採用された手法としては、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、焼き焦がしなどがあり、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は、フナクイムシの食害抑制効果がみられたがその効果は著しいものではない。

② 経済性

耐久処理を施すことにより木材の寿命は延びるが、費用も嵩む。後述する費用対効果算定において、無処理よりも高い便益率が得られる場合でなければ、耐久処理を行う意味は小さい。耐久処理により便益率の向上を図るには、木材の耐用年数の向上が前提であり、事前の試験で耐用年数を確認する。

③ 環境への影響

処理剤は環境への影響が軽微であるものを用いる。間伐材活用魚礁では、木材を起点とする食物連鎖が形成されており、有害物質が基準を超えて生物体内に残留することがあってはならない。

(6) 沈設時期

魚礁の沈設はフナクイムシの幼生が減少局面に入る晩秋から初冬に行うのが良い。

フナクイムシの繁殖期は5～11月と言われており、活性は高水温期に高く、低水温期に低い。繁殖期が終わり浮遊幼生数が減少した時期に魚礁を沈設することにより、木材へのフナクイムシの付着量を少なくすることができる。沈設時期がフナクイムシの繁殖期の直後であれば次の幼生出現期までの期間と活性の低い期間が長期にわたることから、食害の抑制に効果的と考えられる。

(7) 適合事業

間伐材は魚介類の蛸集・増殖を目的とした漁場造成施設に活用する。藻礁としての活用は他の部材に対して優位性が見いだせず難しい。

これまでの調査研究の結果から、魚礁に取り付けた間伐材は腐朽するまでの間、魚類の蛸集及び増殖に寄与することが明らかであり、間伐材は魚礁の機能部材として積極的に活用されるべきである。

一方、藻礁の機能部材としてみた場合、樹皮の剥離や時間の経過と共に次第に崩壊していく木材への海藻の被覆度は最終的には低いとされており、現在までの調査の過程のなかでも藻場造成に特に有利であるとする結論は得られていない。また、海藻が生育する浅海域は波浪条件が厳しく物理的にも木材の活用は困難である。

5 費用対効果の算定方法

(1) 評価の基本的な方法

間伐材活用魚礁の費用対効果分析は、費用便益比較という指標により行うものである。これは、間伐材活用魚礁設置による効果を便益額という形で測定し、これと事業に要する費用との比（費用便益比率）で経済的な効果を評価するものである。

費用便益比率は、一般にわが国で様々な事業の経済効果を評価する方法として用いられている方法である。

① 費用便益比率の算定式

費用便益比率は、次の式により算定する。

$$\text{費用便益比率} = B / C$$

C : 総費用額（間伐材活用魚礁の設置に必要な費用額の総額）

B : 総便益額（間伐材活用魚礁の設置により発生する便益額の総額）

② 総費用額の算定式

総費用額は、測定期間中の各年度の費用額の和とする。このとき、各年度の費用額には割引率をかけて現在価値化する。

$$\text{総費用額 (C)} = \sum (C_n \times R_n)$$

C_n : n 年度における費用額

R_n : n 年度の割引率を考慮した係数 [$R_n = 1 / (1 + r)^n$; r = 割引率]

割引率とは？

お金は、何らかの形で使われると、何らかの新しい価値を生み出す。このことは、そのお金の価値が、新しい価値を生み出した時点で、そのお金そのものの金額に比べ、新しく生まれた価値分だけ高くなったことを意味している。

例えば、1 万円を 5 年間銀行に預けたとすると 5 年後には 1 万円 + 利子に増えていく。今の 1 万円と 5 年後の 1 万円を比べると、利子分だけ今の 1 万円の方が価値があることになる。

魚礁事業における費用便益比率の計算においては、計算の対象となる期間が 30 年間と長期にわたるため、上のことから、将来の様々な時点でのお金と現在のお金を比較する場合、その時点での金額を現在の価値に換算して、計算を進める必要があり、これを現在価値化と呼んでいる。

具体的に、将来のお金の金額を現在の価値に換算しようとするには、通常、年当たり一定の率で割り引く方法が取られている。この率のことを割引率と呼び、「水産基盤整備事業費用対効果分析のガイドライン（暫定版）」では 0.04 としている。

③ 総便益額の算定式

総便益額は、測定期間中の各年度の便益額の和とする。このとき、各年度の便益額には割引率をかけて現在価値化する。

$$\text{総便益額 (B)} = \sum (B_n \times R_n)$$

B_n : n 年度における便益

R_n : n 年度の割引率を考慮した係数 [$R_n = 1 / (1 + r)^n$; r = 割引率]

④ 分析対象期間

魚礁における構造部材の耐用年数である 30 年とする。ただし、間伐材による便益発生期間は間伐材の耐用年数（5 年）とする。

海中における木材の寿命は、海域、水深、木材の大きさ・種類により異なる。早いものでは 2～3 年で崩壊に至る事例があったが、適切な取付方法等を行うことにより沈設 5 年後程度残存することから、木材の耐用年数を 5 年とする。

また、耐久性処理の効果が確実な場合や新たに魚礁への木材補給を行う場合等は、耐用年数を実態に即して延長できる。

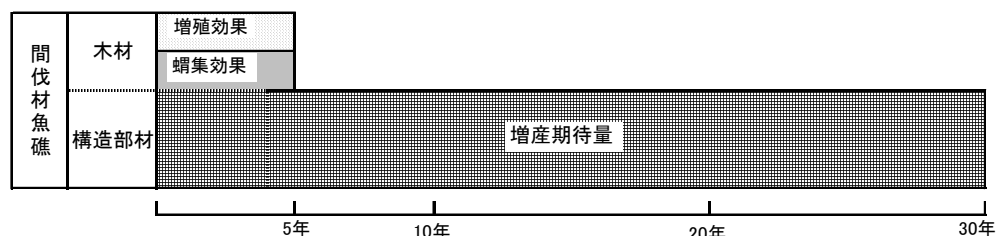
表 11 間伐材活用魚礁における木材の耐久性

海域	水深(m)	年数	材種	木材サイズ	木材の状況	出典
山口県阿武町	70	5	スギ、ヒノキ	径:15-20 長さ:150	食害を受けているが木材としての形状を留めている	山口県(2002)
山口県	10-30	5		径:15	径が5cm細くなった	山口県(2002)
北海道羽幌町	3-5	5	カラマツ、トマツ	—	欠損率36-64%	木材工業(1998)
鹿児島県出水市	27	5	テーダマツ	径:18 長さ:150	一部欠損がみられるが存在した	肥後伸夫(2001)
山口県豊浦町	10、30	3	スギ	径:20 長さ:200	残存率の高い魚礁は9割	(財)漁港漁場漁村技術研究所
島根県隠岐島	9	3	スギ	径:13-28 長さ:400	直立木の8割が倒壊	岡部海洋エンジニアリング(2005)*
島根県隠岐島	18	2年7ヶ月	スギ	径:19 長さ:200	樹皮が剥がれ、径が細るが残存	島根県(2005)*
青森県東通村	23	2年1ヶ月	スギ	径:15 長さ:20	腐朽著しく、簡単に崩れる	青森県(2005)*
大分県佐賀関町	14	2年1ヶ月	スギ	径:10 長さ:70、100	全て残存したが、その4ヶ月後には9割が崩壊	広和(株)(2005)*
北海道岩内	33~35	2	カラマツ	長さ:250	9割以上が食害軽微	北海道水試(1991)
熊本県苓北町	15~17、40	2年			破損が進行するが、残存	熊本県(1989)
大分県上浦町	33	1年11ヶ月	スギ	径:10 長さ:200	7-8割が取り付け部を残して流失	—
三重県尾鷲市	15~17	1年9ヶ月			内部スポンジ状態で残存	三重県(2005)*

注): *は(財)漁港漁場漁村技術研究所の行ったアンケート調査

(2) 便益の計測方法

間伐材活用魚礁設置による総便益を、「木材由来の餌料生物による魚類の体重増加」と「魚礁に蛸集する魚類の漁獲量（魚礁単位漁獲量）」の和と考える。また、定量化が可能であれば木材による蛸集効果も便益に加えることができる。



① 魚体重増加による便益

魚類の体重増加は漁獲金額に反映されるため、便益として扱うことが可能である。魚体重の増加による便益は次のように求めることができる。

$$\text{年間便益額（千円／年）} = \text{増加魚体重（kg／年）} \times \text{平均価格（千円／kg）} \times \text{漁業所得率}$$

- ・ 増加魚体重 = 餌料生物生産量（kg／年）×利用率×餌料転換効率
- ・ 餌料生物生産量 = 餌料生物現存量×回転率

ア 餌料生物現存量を表す基本指標

- 餌料現存量を表す基本指標は、餌料動物湿重量とする。餌料生物の原単位（換算等）に使用する単位餌料湿重量）は、木材の表面に付着する生物ではkg／表面積 m^2 、海虫類及び海虫類の孔道に生息する生物ではkg／木材体積 m^3 で表し、その合計はkg／基（魚礁1基）で表すものとする。
- 餌料の年間生産量は、簡易的には現存量×回転率（年間生産量／現存量）で算定される。餌料生物現存量のデータは現地調査により取得する。

イ 対象餌料

現存量の計測は蛸集魚類の餌料となる生物を対象に行う。特別の理由がない限り海綿動物、触手動物、原索動物を除いた生物とする。

ウ 餌料現存量の計測時期

餌料現存量は、魚礁設置後、概ね1年以上経過した後に調査する。

また、現存量は海域によっても季節的にも大きく変動するため、海域毎に四季調査を行い、年平均現存量を用いて餌料生物の年生産量を推定するのが望ましい。

エ その他の係数等

□ 利用率

木材に付着・潜入した餌料生物は全て利用される（利用可能である）とし、利

用率は1とする。

☐ 回転率

種の寿命によって異なり、寿命の短い種では4～5、長い種では2～3以下であることが知られている。既往知見の平均的な値として「平成15年度 魚礁事業における増殖効果検討調査報告書」に示された3をここでも採用する。

☐ 餌料転換効率

上記報告書に示された0.13を採用する。

☐ 平均価格

- ・平均価格は魚礁で漁獲される主要魚種の加重平均で算定する。
- ・平均価格は各都道府県の農林水産統計年報もしくは漁業・養殖業生産統計年報（農林水産省統計部）の漁獲金額を漁獲量で除して求める。
- ・漁獲量は潜水調査や漁業日誌等から得られる魚種の組成率とする。

		計	マアジ	ブリ類	マダイ	メバル
平均価格	円/kg		510	880	1800	1400
漁獲量（組成率）	kg	1.0	0.5	0.3	0.05	0.15
漁獲金額	円	829	265	264	90	210
加重平均価格	円/kg	829				

☐ 漁業所得率

各都道府県の農林水産統計年報もしくは漁業経営調査報告（農林水産省統計部）より下記の要領で計算する。

漁業所得率＝漁業所得÷漁業収入×100

漁業所得＝漁業収入－漁業支出

② 魚礁（構造部材）に蛸集する魚類の漁獲量

魚礁に蛸集する魚類を漁獲することにより発生する便益は次の通り求める。

魚礁単位漁獲量は各都道府県の魚礁事業における増産期待量とする。

年間便益額（千円／年）＝魚礁単位漁獲量（kg／空m³）×事業量（空m³）×
平均価格（千円／kg）×漁業所得率

③ 木材に蛸集する魚類の漁獲量

木材への魚類蛸集に伴う漁獲量の増産分が定量化できれば、前項と同じ方法で便益を計上しても良い。

6. 摘要

本調査の結果を「魚礁の間伐材利用の手引き」として取り纏め、関係者に配布する予定である。