

人工海底マウンド漁場における 魚礁効果の算定方法について

A STUDY ON METHOD FOR ESTIMATING EFFECT OF ARTIFICIAL REEF ON ARTIFICIAL MARINE RIDGE

峰 寛明¹・山内繁樹²・横山善勝³・櫻井 泉²・藤井淳夫⁴
Hiroaki MINE, Shigeki YAMAUCHI, Izumi SAKURAI and Atsuo FUJII

¹株式会社 エコニクス (〒004-0015 札幌市厚別区下野幌テクノパーク1丁目2番14号)

²北海道立中央水産試験場 (〒046-8555 北海道余市郡余市町 浜中町238)

³元北海道立中央水産試験場 (〒046-8555 北海道余市郡余市町 浜中町238)

⁴正会員 株式会社 エコニクス (〒004-0015 札幌市厚別区下野幌テクノパーク1丁目2番14号)

The artificial marine ridge is expected on its gathering effect. In this paper, the method of estimation the economic effect of the ridge from the characteristic of fish species and economic point of view.

The shape of the ridge was assumed, and a ratio of gathering quantity with and without the ridge was estimated. Quantity with the ridge is estimated multiplying fish density at planed site by the ratio. An amount of the effort and a total fish catch that satisfied constant CPUE were obtained. It is suggested that estimated catch satisfies expected CPUE.

Key Words : artificial fish reef, artificial marine ridge

1. はじめに

人工海底マウンドは湧昇流を発生させ、沖合に肥沃な水塊を形成する事が目的であるが、平坦な砂泥底に設置された海底マウンドは擬似岩礁域を創出し、魚礁効果を発揮する事も期待されている。

これまで、魚礁の効果に対する定量的検討は、魚礁の数量単位である空 m^3 当りの生物収容量が一定であるとの考え方から魚礁効果を算定している。

しかし、魚礁設置による効果は、魚礁への魚類の増集、増集魚に対する漁獲努力の移動、漁獲生産として発現されるものであり、このそれぞれを要素として評価する必要がある。さらに、人工海底マウンドのような形状の魚礁については、その形状も考慮して効果を推定する必要がある。

このため、沖合人工海底マウンド設置後に形成される漁場に対する魚類の増集量を推定し、さらに増集量に対して経済的な面も考慮した漁獲量を算定する手法を検討開発したので報告する。

2. 効果の算定方法

(1) 算定対象と基本フロー

人工海底マウンドは、図-1 に示すような、三角柱と円錐を組み合わせた形状であり、今回対象としたマウンドは表-1 に示すように峰間距離 75m, 円錐部半径 30m, 高さ 15m である。マウンド部の容積は

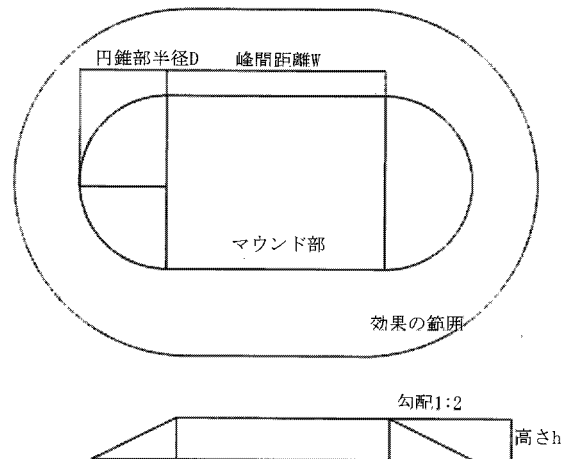


図-1 海底マウンドの形状

およそ 7 万 m^3 である。

北海道における魚礁効果の対象魚種はソイ、メバル等の岩礁性魚類とカレイ、ヒラメ等の底生性魚類であり、ブリ、アジ等の表中層性魚類は含まれず(小川¹⁾)、漁業種は刺し網が多い。さらに、本研究で想定している人工海底マウンドの高さは 15m であることから、対象魚種は刺し網で漁獲される魚種とした。

表-1 海底マウンドの諸元

部 位	記号	値
高 さ	h	15m
峰 間 距 離	W	75m
円 錐 部 勾 配	h/D	1/2
円 錐 部 半 径	D	30m

なお、人工海底マウンドには湧昇効果による魚類生産の増加効果、特に表中層魚への効果もあると考えられているが、これについては本研究では扱わないこととする。

魚礁効果の算定では、マウンド設置後に得られる魚獲量を推定する事が重要であるが、その手順は図-2に示すとおりである。

まず、造成前の漁場において、マウンドのない海底面における魚群密度を調査する。ここではこの魚群密度を「平坦地密度」と呼ぶ。

次に既存の魚礁漁場において、魚礁周辺における魚群の分布を刺網調査から推定し、一定の範囲における平坦地密度に対する比(以降、「蛸集比」と呼ぶ)として求めておく。

最後に平坦地密度に蛸集比を乗じる事により、造成後漁場における蛸集量を求め、さらに造成予定地における漁業実態を考慮して、漁獲可能な努力量を求め、総漁獲量を推定する。

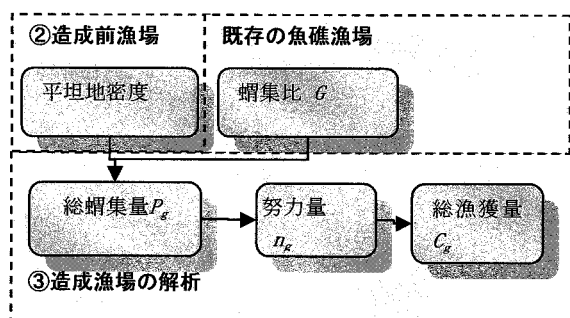


図-2 魚礁効果の算定フロー

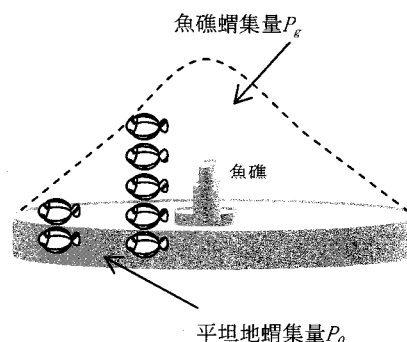
(2) 蛸集量の推定方法

a) 基本的な考え方

人工海底マウンド事業は北海道ではまだ事例がないため、現地における蛸集状況を直接測定することによって魚礁への蛸集量を推定することはできない。そのため、蛸集量は既存の魚礁における調査から推定する必要がある。

魚礁への蛸集量は、元の資源量、魚礁の規模、魚種、海域の水底質や流動によって左右されるが、山内²⁾は魚礁本来の影響による分布は距離によるものが大きい事を明らかにしている。そこで、既存魚礁の調査から、元の資源量と蛸集の強度を異なるパラメータとする分布関数を構築することとし、図-3に示すように、蛸集の強度を元の資源量に対

する比として無次元化することによって、造成予定地での平面の絶対量がわかれば、蛸集量が推定できると考えた。



$$\text{蛸集比} = \frac{\text{魚礁蛸集量 } P_g + \text{平坦地蛸集量 } P_0}{\text{平坦地蛸集量 } P_0}$$

図-3 蛸集比算定の考え方

蛸集比算定のための、既存魚礁における蛸集量の推定方法は、図-4に示すように、魚礁からの距離に対応する魚群密度分布を推定し、これを一定の範囲で魚礁の周りに積分することによって求める。

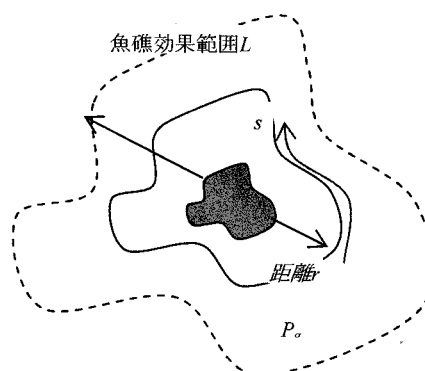


図-4 蛸集量推定の考え方

ここで、魚群の密度は魚礁からの距離 r によって求めることができると仮定すれば、蛸集量 P_g は(1)式のように定義できる。

$$P_g = \int_0^L \int_0^{R(r)} g(r) ds dr \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここで r : 魚礁からの距離 (m), s : 距離 r の軌跡上の位置 (m), $R(r)$: 距離 r における s の周長 (m), L : 魚礁効果の範囲 (m), P_g : 蛸集量 (尾 day⁻¹), $g(r)$: 魚群密度 (尾 m⁻¹ day⁻¹) である。

なお、本研究では、海底マウンドの効果として底刺し網で漁獲される魚類を対象としていることから、水深方向への積分は行わない。

b) 用いたデータ

既存漁場における蛸集量の推定のために、山内²⁾が

魚礁性を検定した魚種から横山³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾が北海道余市町および島牧村で実施した刺し網による漁獲試験結果を使用した。試験操業の実施方法を表-2 に示した。造成予定地における平坦地密度を求めるための調査として、表-3 に示すように、苫小牧沖で刺し網調査を実施した。

表-2 既存漁場における試験操業の実施方法

年	実施月	
	島牧	余市
1967	-	2, 3
1983	6, 7, 8	-
1984～1988	5, 6, 7, 8	-

いずれの実施月も操業は1回

魚礁規模は、島牧 2,500 空^m3、余市 3,000 空^m3

刺し網長は、島牧 2,000m、余市 1,850m

表-3 造成予定地における試験操業の実施方法

項 目	内 容
実施場所	苫小牧沖水深80m
実施時期	2006年11月
使用漁具	漁業者が使用する底刺し網
述べ刺し網長	810m

c) 魚群密度分布曲線とパラメータ

魚群密度関数は、距離と共に魚群密度が変化する曲線である。一般的に、魚礁に集まる魚は魚種によって特定の距離を保って蟄集する事が多いことから、本研究では(2)式のような対数正規分布を用いた。

$$g(r) = \frac{f_{total}}{\sqrt{2\pi}\sigma_g r} e^{-\frac{(\log_{10}(r)-u)^2}{2\sigma_g^2}} + f_0 \quad \dots (2)$$

この関数は図-5 に示すような形状をしており、ここで f_{total} は距離方向への累積魚群密度、 u は分布の中心距離の対数、 σ_g は分布の標準偏差、 f_0 は平坦地密度である。

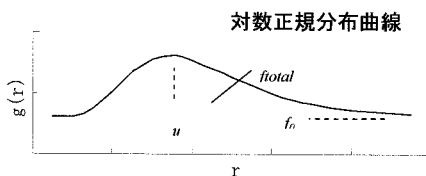


図-5 魚群密度関数の一般的な形状

d) 総蟄集量の推定方法(積分方法)

図-6 のように、魚礁が線形で長さが無限に長く先端部の魚群形状が無視できるような魚礁について考える。ここではこれを「線形魚礁」と呼ぶ事にす

る。線形魚礁の蟄集量は効果の範囲までの積分値に魚礁の長さ H を乗じる事により(3)式のように求める事ができる。

$$P_{gr} = H \int g(r) dr \quad \dots (3)$$

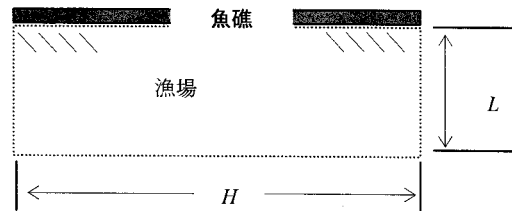


図-6 線形魚礁漁場の模式図

図-7 のように、魚礁が点もしくは大きさを持つ円の場合はこれを「円形魚礁」と呼ぶ事にする。円形魚礁では魚礁群の平面形状が円形または扇形になるため、(4)式のように先に個々の距離における魚群密度を円周方向に積分する。

$$P_{gc} = \int_0^L \int_0^{\theta(r_0+r)} g(r) ds dr \quad \dots (4)$$

$$= \int_0^L \theta(r_0 + r) g(r) dr$$

ここで θ : 円形魚礁の円弧角(rad), r_0 : 魚礁の半径(m)である

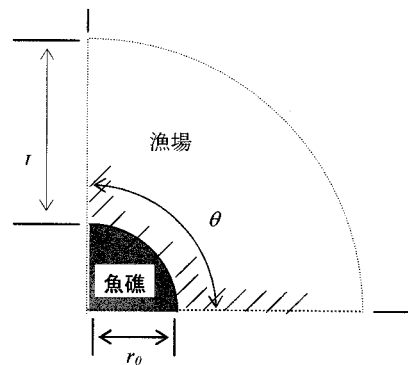


図-7 円形魚礁漁場の模式図

図-1 で示した形状の人工海底マウンドにおける蟄集量は、線形魚礁と円形魚礁の組み合わせとして(5)式のように求めた。

$$P_g = P_{gr} + P_{gc}$$

$$= 2W \int g(r) dr$$

$$+ \int 2(D+r)\pi g(r) dr \quad \dots (5)$$

$$= 2 \int (W + (D+r)\pi) g(r) dr$$

(3)式、(4)式、(5)式とも関数の積分については解

析解が求められないため、ここではRomberg積分を用いた。

(3) 漁獲量の算定方法

魚礁効果の指標は経済的価値に換算する必要があるため漁獲量であらわすのが妥当である。これまで魚群密度の増加量を漁獲量の増加として扱ってきた。すなわち努力量に比例して漁獲量が増える考え方である。しかし、隻数や網の敷設範囲すなわち努力量密度の増加に伴って、努力量当たりの漁獲量は減るのが一般的である。特に魚礁漁場という狭い範囲ではその傾向が高いと考えられる。

そのため漁獲量の推定には、漁獲効率を考慮した計算式(例えば田中⁸⁾)を用いることとする。一般的に、資源量に対する漁獲量を示す方程式は、漁獲係数を用いた Russell の漁獲方程式として(6)式のように示される。

$$C = P_0(1 - e^{-F}) \quad \dots \dots \dots (6)$$

ここで C : 漁獲量, P_0 : 初期資源量, F : 漁獲係数である。この F は漁獲効率と漁獲努力量の積であるから、新たな魚礁漁場における漁獲量は、(6)式と同様に次の(7)式のように表される。

$$C_g = P_g(1 - e^{-q_g n_g})$$

$$Et = \frac{C_g}{P_g} = (1 - e^{-q_g n_g}) \quad \dots \dots \dots (7)$$

ここで C_g : 造成後漁場の1日当たり漁獲量 (kg day⁻¹), P_g : 造成後漁場の1日当たり蛸集量 (kg day⁻¹), n_g : 造成後漁場の1日当たり漁獲努力量 (unit day), q_g : 造成後漁場の漁獲効率 (unit⁻¹ day⁻¹), Et : 漁獲率(-), である。また努力量の単位(unit)は(隻)である。(7)式の関係を図に示したものが図-8である。

魚礁漁場を造成した場合、一定以上の努力量になると努力量あたりの漁獲量は造成前の漁獲量(既存漁場の漁獲量)よりも低くなり、これ以上の努力量の増加は起きなくなる。従って、平衡点では努力量あたり漁獲量が造成漁場と既存漁場で等しくなる。

このことから次の(8)式のように n_g が導かれる。

$$\frac{P_g(1 - e^{-q_g n_g})}{n_g} = \frac{C_g}{n_g} = \frac{C_f}{n_f} \quad \dots \dots \dots (8)$$

ここで C_f/n_f : 既存漁場の努力量あたり漁獲量 (kg unit⁻¹ day⁻¹), n_f : 造成前漁場の努力量 (unit day) である。

つまり、対象漁場と既存漁場における漁獲量が得られ、造成後における蛸集量を求めることができれば、造成漁場における漁獲量を求める事ができる。

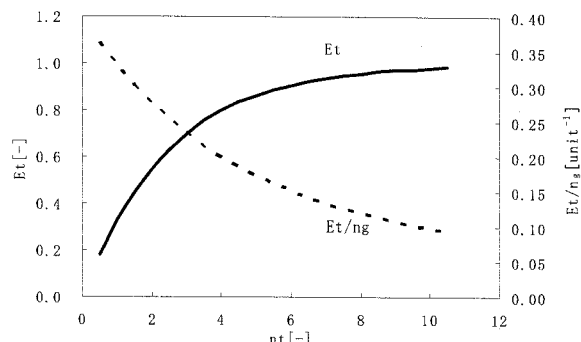


図-8 努力量と漁獲量の関係
 Et は漁獲率(漁獲量 C_g / 蛸集量 P_g)を示す。

3. 算定結果

(1) 魚群密度分布の推定結果

魚群密度分布関数は、横山³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾が島牧、余市で行ってきた魚礁周辺での刺し網試験の結果をもとに、魚種毎に魚群密度関数を当てはめた。

調査回によって魚群密度のパラつきが大きいため、最小二乗法では殆ど収束しなかった。そのため、曲線推定の最適化の方法は最尤法を用い、パラメータの探索方法についてはシンプレックス法を用いた。

当てはめの例としてマガレイの分布と魚群密度関数の形状を図-9に示す。また、魚種毎に得られたパラメータの一覧を表-4に示す。

パラメータのうち 10^4 値が小さいほど分布の中心が魚礁に近い事を示している。表はこの 10^4 の小さい順に魚種を並べてある。

10^4 が近い魚種はヒラメ、シマソイ、クロソイ、エゾメバルなどで中心の値は100m~200m程度の距離にある。その次にはクロガシラガレイ、マガレイなどがみられ、中心は400m~1000m程度の位置にあった。カジカ類は 10^4 が大きく分布の中心は1,500m程度離れた位置にあった。また同じエゾメバルでも島牧と余市では異なる値となった。

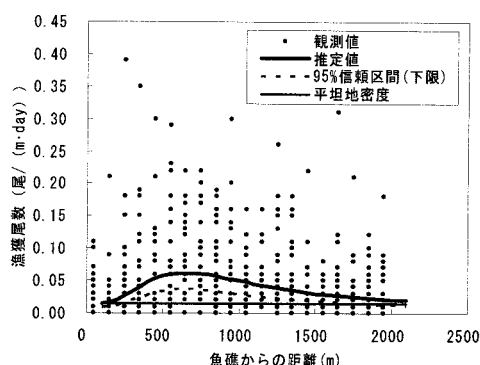


図-9 推定した魚群密度関数の例

表-4 魚群密度関数のパラメータ一覧(対数正規分布曲線)

和名(地域)	f_{total}	10^u	σ_g	f_0	$Y(Q)$
ヒラメ(島)	0.1365	142.40	0.052	0.00065	0.43
シマソイ(島)	0.4452	159.41	0.078	0.00010	0.36
クロソイ(島)	0.3130	191.69	0.121	0.00010	0.32
エゾメバル(島)	0.6495	168.50	0.077	0.00021	0.46
ホシザメ(島)	0.2502	173.11	0.121	0.00032	0.37
キツネメバル(島)	0.2510	217.96	0.094	0.00012	0.32
クロガシラガレイ(島)	0.2921	404.48	0.031	0.00613	1.22
エゾメバル(余)	9.0452	381.04	0.040	0.00559	1.55
トクビレ(余)	3.3240	444.41	0.051	0.00876	1.55
エゾアイナメ(余)	3.3240	444.41	0.051	0.00876	1.55
マガレイ(島)	5.1779	876.45	0.059	0.01516	1.75
ツマグロカジカ(島)	0.5435	1477.59	0.039	0.00000	0.64
ニジカジカ(島)	0.6618	1692.61	0.039	0.00051	0.75

*パラメータの単位

 f_{total} :(尾/(unit・day)), 10^u :(m), σ_g :(尾/(m・day)), f_0 (平坦地密度):(尾/(m・day))

(2) 蛸集比の推定結果

(3)式, (4)式を用いて, 島牧, 余市における線形魚礁, 円形魚礁の蛸集量を推定した結果を表-5に示す。蛸集量は平坦地蛸集量に対する比として示した。

表-5 線形, 円形魚礁における蛸集量

魚種名	平坦地密度 P_0 ($\times 10^{-3}$ 尾/(m・day))	蛸集比 (P_0+P_0/P_0)	
		(線形)	(円形)
クロガシラガレイ	6.131	1.22	1.07
ニジカジカ	0.515	5.79	7.50
ヒラメ	0.652	1.78	1.09
マガレイ	15.156	2.40	2.16
クロソイ	0.127	7.82	2.15
キツネメバル	0.134	6.39	1.99
シマソイ	0.125	14.33	3.18
エゾメバル	6.245	9.80	4.94

蛸集比は 1.07~7.50 の間にあり, ニジカジカが最も高い蛸集比を示した。また線形魚礁と円形魚礁の蛸集比を比較すると, ニジカジカを除く全ての魚種で線形魚礁の方が大きかった。これは漁場の中で, 魚群密度の中心が魚礁近くにあるためであると思われる。

この蛸集比と造成予定地における刺し網調査の結果から, 海底マウンドへの蛸集量を推定した。造成予定地において出現した種についての蛸集比が求められていない種については, 生態的に近隣の種のものを用いた。その結果, 推定される蛸集量は表-6に示すように 21,423kg/(漁場・日), となった。聞き取りおよび産地の魚価から推定した限界水揚げ量から, 漁獲量は 1,546.5kg/(隻・日)であると推定された。魚種毎の総漁獲量を表-7に示す。

表-6 海底マウンドへの蛸集量の推定結果

魚種名	平坦地密度(f_0) (g/m)	平坦地蛸集量(P_0) (kg/(漁場・日))	蛸集比(G) (-)	造成漁場の総蛸集量(P_g) (kg/(漁場・日))
ヒレグロ	0.9	72.0	1.08	78
トゲカジカ	23.0	1,792.8	7.41	13,286
ホッケ	16.1	1,256.6	2.22	2,787
マダラ	1.5	118.8	2.22	263
ソウハチ	17.0	1,325.6	1.13	1,497
マツカワ	0.2	18.5	2.18	40
イシガレイ	0.9	73.0	2.18	159
アサバガレイ	9.5	743.5	2.18	1,618
オヒョウ	0.7	50.8	2.18	111
ババガレイ	9.3	727.6	2.18	1,584
計	79	6,179.2		21,423

表-7 海底マウンド漁場での漁獲量の推定結果

魚種名	日あたり総漁獲量 P_g (kg/(漁場・日))	隻あたり漁獲量 P_g/n_g (kg/(隻・日))
ヒレグロ	16.3	5.6
トゲカジカ	2,781.4	959.1
ホッケ	583.5	201.2
マダラ	55.1	19.0
ソウハチ	313.4	108.1
マツカワ	8.4	2.9
イシガレイ	33.3	11.5
アサバガレイ	338.7	116.8
オヒョウ	23.2	8.0
ババガレイ	331.5	114.3
計	4,485.0	1,546.5

4. 考察

魚群密度分布関数の推定では、魚群の分布を示す 10° がヒラメ、ソイ、メバル類で小さく、カレイ類がそれに続き、カジカ類が最も遠いことを示していた。従来魚礁に集まる魚は魚礁への依存性から数パターンに分類されており、ソイ、メバル類は魚礁の極近くにいて、いわゆる「II 型」に属している⁹⁾。

それに対しカジカ類は、魚礁周辺の海底に位置する、いわゆる「IV 型」に属しており、今回の魚群密度分布関数の推定結果と概ね同様の傾向を示していた。本調査のカレイ類についての記載はないが、食性から考えるとムシガレイと同じ IV 型と考えてよいと思われる。

5. おわりに

鰐集量の規模を示す f_{total} について、今回は島牧、余市の例から平均的な値を得ているが、魚類の分布は魚礁の形状のみならず規模や複数設置する場合の配置間隔によっても異なると思われる。山内ら¹⁰⁾は、先の島牧、余市におけるデータを再解析し、魚礁の規模の増加に伴い、効果の範囲も膨張する事を明らかにしている。今後は魚群分布関数のパラメータにこれら魚礁規模や間隔を盛り込み、推定精度を向上させる事が課題であると考えている。

謝辞：本研究を進めるにあたり、石炭灰利用人工海底マウンド研究会には多くの助言を頂いた。また苫小牧漁業協同組合佐竹博英氏はじめ関係諸氏に多大な協力を頂いた。ここに深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 小川良徳：魚礁と鰐集魚。人工魚礁，佐藤修編，日本水産学会監修，水産学シリーズ，恒星社厚生閣，東京，pp. 33-45, 1984.
- 2) 山内繁樹・峰 寛明・横山善勝・金田友紀：人工魚礁における魚類分布の定量的表現による魚礁の効果範囲の推定，水産工学会学術講演論文集，印刷中，2007.
- 3) 横山善勝：大型魚礁設置事業効果認定指定（昭和 37～39 年度総括）調査伊達及び余市沖合魚礁における漁獲量及び魚礁調査，昭和 37～39 年度 大型魚礁設置事業・漁場改良造成事業（並型魚礁）効果調査報告書，pp. 41-135, 1966.
- 4) 横山善勝：大型魚礁設置事業効果認定特別調査（昭和 41 年度）人工魚礁の効果調査 大型魚礁における漁獲調査 調査地 余市町沖合，昭和 41 年度 漁場改良造成事業・大型魚礁設置事業効果調査報告書，pp. 103-119, 1967.
- 5) 横山善勝：昭和 58 年度 大型魚礁効果調査報告書 調査地 島牧村，昭和 58 年度 魚礁設置事業効果調査報告書並びに増殖場造成事業（小規模）効果調査報告書，pp. 1-28, 1984.
- 6) 横山善勝：大型魚礁設置事業効果認定特別調査 人工魚礁の効果調査 調査地 北後志海域沖合，昭和 47 年度大型魚礁設置事業効果調査報告書，pp. 1-27.
- 7) 横山善勝：大型魚礁効果調査報告書 調査地 島牧村，昭和 55 年度魚礁設置事業効果調査報告書，pp. 23-58, 1981.
- 8) 田中昌一：水産資源学総論，恒星社厚生閣，pp. 1-381, 1985.
- 9) (財)漁港漁場漁村技術研究所：人工魚礁 ARTIFICIAL FISH REEF，pp. 1-62, 2004.
- 10) 山内繁樹，峰 寛明，櫻井 泉，横山善勝：魚類分布の定量的表現による魚礁の効果範囲の推定と考察，投稿中.