

# 水産資源管理談話会報

第44号

(財)日本鯨類研究所 資源管理研究センター

2010年 9月

翻訳・公表希望者は以下の手続きとり、著者の許可を得た上で  
翻訳・公表する。

1. 翻訳・公表希望者は文章（FAX、手紙）で著者、表題および  
会報の号を明記し、資源管理談話会事務局を通じて要請し、  
著者の許可を得て翻訳・公表する。
2. 翻訳公表物を資源管理談話会事務局に送付する。

## 目 次

お知らせ

低次生態系モデルNEMUROの開発の歴史 伊藤進一 . . . 1

海洋低次生態系の温暖化に対する応答 橋岡豪人 . . . 21  
~ NEMUROによる予測 ~

北西太平洋におけるJARPNI I データを用いた 森 光代 . . . 37  
EwE型生態系モデル構築の試み

## 北西太平洋における JARPNII データを用いた EwE 型生態系モデル構築の試み

森光代<sup>1)</sup>、渡邊光<sup>2)</sup>、袴田高志<sup>1)</sup>、田村力<sup>1)</sup>、小西健志<sup>1)</sup>、村瀬弘人<sup>1)</sup>、松岡耕二<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(財)日本鯨類研究所、<sup>2)</sup>遠洋水産研究所

### 1. 背景

#### 1 - 1. 北西太平洋での鯨類捕獲調査の歴史

国際捕鯨委員会 (IWC) から日本政府への特別許可による北西太平洋鯨類捕獲調査 (JARPN: The Japanese Whale Research Program under Special Permit in the western North Pacific) は 1994 年から 1999 年にかけて行われた。JARPN の当初の目的は、北太平洋ミンククジラ (以下、ミンククジラ) の系群構造を明らかにすることであり、1996 年からはミンククジラの摂餌生態の予備調査も新たな目的として加えられた。JARPN の主な成果は二つあり、一つはミンククジラのオホーツク海 - 西太平洋系群(O 系群)に亜系統群が存在する可能性を破棄したこと (しかし、O 系群とは異なる W 系群の存在は破棄できなかった) もう一つはミンククジラの主要な餌生物は日本の主要な漁獲対象魚種であるサンマやカタクチイワシであり、ミンククジラによる推定消費量は、それらの漁業の漁獲量に匹敵することを明らかにしたことである。この調査プログラム終了後の課題としては、北太平洋沖合水域に O 系群とは異なる系群(W 系群)が存在する可能性を検証することや、調査海域を拡大し、計量魚探装置やトロール網、CTD などの海洋物理環境観測機器を用いた鯨類の餌環境調査も行うことにより、鯨類の分布、回遊パターンを餌料環境、海洋物理環境と関連づけて理解すること等が挙げられた (IWC 2001)。これらの課題は鯨類の資源量推定精度の向上や、その生態学的役割をより深く理解するうえで重要であると考えられる。

このような課題に対処するべく始まったのが JARPNII と呼ばれる第二期の調査であり、2000-2001 年の 2 年間の予備調査を経て、2002 年より本格調査が行われている。JARPNII の総合目標は「北太平洋(特に日本の排他的経済水域 (EEZ)内)の鯨類を含む水産資源の保全と持続可能な利用に貢献すること」であり、この目標達成のため、以下に示す三つの目的が掲げられた：

#### (1) 鯨類の摂餌生態と鯨類分布域の生態系に関する調査

(具体的には、鯨類による餌生物種の摂取量の推定、鯨類の餌嗜好性、生態系モデルの構築)

(2) 化学物質汚染が鯨類および海洋生態系に与える影響のモニタリング

(3) 系群構造のさらなる解明(対象鯨種は、ミンククジラ、ニタリクジラ、イワシクジラ、マッコウクジラ)

これに基づき、国際捕鯨委員会が設定したミンククジラの管理海区である 7,8,9 海区(図 1)において、目視採集調査を行い、ミンククジラを沖合域で 100 頭、沿岸域で 120 頭、ニタリクジラ、イワシクジラ、マッコウクジラを沖合域でそれぞれ 50 頭、100 頭、10 頭ずつ捕獲することとなった。このような調査から得られる情報量は膨大であり、生態系モデル構築にあたって重要な情報となる鯨類および餌生物の資源量、鯨類の餌組成、鯨類の餌や場所に対する嗜好性、捕食量、生物学的特性値などについての貴重な情報が得られる。本稿では、JARPNII の目的の一つである生態系モデルの構築に関してさらに詳しく紹介する。

#### 1 - 2. 生態系モデル構築の背景と目的

生態系モデルの構築が始まった背景は主に 3 つある。一つは、近年の日本周辺の漁業資源の枯渇と漁獲高の減少である。日本政府が公表した白書(1999)によれば、日本の漁獲高はここ 20 年で半以下となっており、1988 年には約 1300 万トンであったものが、1998 年には 670 万トンとなった。このような減少にともない、1999 年に水産庁は、日本の EEZ 内における漁業資源の科学に基づいた管理と持続可能な利用を最優先にする行動計画を策定した。また、漁業資源の主要な減少要因としては、漁業による過剰漁獲や環境(水温)の変化があげられ、さらには海産哺乳類を含む捕食者各種による漁業資源への捕食の影響も懸念された。これと関連して、二つ目の背景は、海産哺乳類と漁業との餌生物を巡る競合の可能性が問題視されるようになったことである。Tamura and Ohsumi (2000) は、世界の鯨類による年間の餌生物消費量は、世界の漁業による海洋での漁獲量の約 3~5 倍であるとの推定値を発表し、鯨類の水産資源への影響は無視できない可能性を指摘した。また、JARPN の調査からは道東のサンマ漁場に数多くのミンククジラが分布しているのが確認され、サンマを巡ってミンククジラと漁業が競合している可能性も指摘された。さらに、JARPNII の予備調査などにより、ミンククジラだけでなくニタリクジラやイワシクジラもカタクチイワシを数多く捕食していることがわかり、これら鯨類の捕獲がサンマやカタクチイワシなどの漁業資源に与える影響、さらにはその漁業に及ぼす影響の評価に関心が集まるようになった。

三つ目の背景としては、生態系を考慮した漁業管理（EAF：Ecosystem Approach to Fisheries）の重要性が強く世界的にも提唱されるようになったことがある。その背景には、漁業がその漁獲対象種以外の種やその生態系に及ぼす影響（例：延縄漁業による海亀・海鳥類の混獲、深海トロールによる珊瑚礁の破壊など）が問題視されるようになったことや、単一種資源動態モデルから計算される最大持続生産量（MSY：Maximum Sustainable Yield）に対する批判（例：サンマを餌とするミンククジラの MSY は、餌であるサンマの漁獲圧によっても左右されることが予測され独立には決められない）（松田 2004）などがある。また、2002 年に南アフリカのヨハネスブルクで開かれた持続可能な開発に関する世界首脳会議では、EAF を 2010 年までに適用することを奨励することが合意された（WSSD 2002）。

このような背景の下に始まった生態系モデル構築の第一段階としての目的は主に三つある。一つ目の目的は、鯨類の捕獲が漁業資源に与える影響を評価すること、二つ目の目的は、漁業による餌生物の漁獲が鯨類に与える影響を評価すること、そして三つ目の目的は、単一種の動態のみを考慮した場合の MSY と、生態系による相互作用を考慮した場合の各種の MSY の違いを評価することである。また将来的には、北西太平洋における鯨類や魚類の生態系を考慮した持続的管理に役立たせることを目的としている。

## 2. 生態系モデルの構築

### 2-1. 二つの生態系モデル

生態系モデルと一言で言っても図 2 に一例を示すように様々なものがある。高次捕食者に加え、環境要因や低次生産者もモデルで考慮するのかしないのか、構成種の年齢や体長組成は考慮するのかしないのか、また各種の空間的な分布の違いは考慮に入れるのか入れないのか等で構築するモデルの構造は大きく変わってくる。どのようなモデルを構築するかは、その目的や利用可能なデータの種類や量によっても変わってくるが、FAO (2008) は生態系に基づく漁業管理のための生態系モデリングに関するワークショップのレポートの中で次のように述べている：「生態系モデルの構築にあたっては、たった一つの正解のモデルなどは存在せず、様々な不確実性に対応するため、タイプの異なるいくつかのモデルを構築し、結果を比較検討することが重要である」。これを受けて、JARPNII の沖合域においてはタイプの異なる二つの生態系モデルを構築し、結果を比較検討し総合的な評価を行っていくこととなった。具体

的には、生態系全体のつながりを大きくとらえ低次生産者から高次捕食者まで数多くの生物を含む EwE (Ecopath with Ecosim) 型の動的システムモデル (Christensen *et al.* 2005) と、興味対象としている種や相互作用関係に主眼を置き、その他のものは一定あるいは確率的に変動するなどと仮定する MRM (Minimum Realistic Model) 型の動的複数種モデルの二つである。表 1 にはこの二つの生態系モデルの特徴や違いなどを纏めている。本稿では筆者が直接関わっている EwE 型の生態系モデルの進捗について報告する。

## 2-2. EwE 型の生態系モデル

### 2-2-1. EwE の基本式およびエコパスから得られた結果

生態系モデルを構築するにあたりまずは、モデルが対象とする海域を特定する必要がある。理想的なモデル対象海域は、捕獲対象鯨種の主要な摂食餌域およびその餌生物の分布域をカバーする海域であるが、図 1 の 7,8,9 海区以外は実データが非常に不足している。また、オホーツク海や沿岸域の生態系は 7,8,9 海区などの沖合生態系とは異なる生態系である。よって、モデル構築第一段階では沿岸域を除く 7,8,9 海区を対象に生態系モデルを構築することとした。そして、モデル構築第二段階以降で今後の課題 4)にも示してある他の海区への回遊等の影響も考慮していくこととする。

EwE はエコパスと呼ばれる静的なモデルと、エコシムと呼ばれる動的なモデルの二つのモデルから成り立っており、それぞれは別のものである。エコパスの基本式は、以下のように表される：

$$P_i = Y_i + M2_i + E_i + BA_i + P_i \cdot (1 - EE_i) \quad (1)$$

ここで  $P_i$  は  $i$  種の生産量、 $Y_i$  は  $i$  種の捕獲量、 $B_i$  は  $i$  種のバイオマス、 $M2_i$  は  $i$  種が捕食される総捕食量、 $E_i$  は  $i$  種の移出量、 $BA_i$  は  $i$  種のバイオマスの蓄積量(次年の資源重量の増加分または減少分)、 $M0_i = P_i \cdot (1 - EE_i)$  は  $i$  種の捕食と漁獲以外の要因による死亡量(ここで  $EE_i$  は  $i$  種の生産量のうちで捕食や漁獲等によって利用される部分の割合)を表す。さらに、 $i$  種を捕食する捕食者  $j$  の数が  $n$  種いたとすると、 $i$  種が捕食される総捕食量は  $M2_i = \sum_{j=1}^n Q_j \cdot DC_{ji}$  のように表される。ここで、 $Q_j$  は  $j$  種の捕食率、 $DC_{ji}$  は捕食者  $j$  の胃内容物のうち  $i$  種が占める割合を示す。式(1)は少し変形を加えることで次式のように書き表すことができる：

$$B_i \cdot \left(\frac{P}{B}\right)_i - \sum_{j=1}^n B_j \cdot \left(\frac{Q}{B}\right)_j \cdot DC_{ji} - \left(\frac{P}{B}\right)_i \cdot B_i \cdot (1 - EE_i) - Y_i - E_i - BA_i = 0 \quad (2).$$

モデルで考慮する全ての種について、バイオマス、生産量、捕食率、餌組成、漁獲率などのデータを集め、上記(2)式に代入し、ある期間での生態系のバイオマスの流れは全体としてつりあっているととして全ての構成種についての連立方程式を解くことで未知なパラメータ(多くの場合は  $EE$ )が推定される。この未知なパラメータが推定されると、エコパスにある様々な機能を用いて、各種の栄養段階や種間でのエネルギーのフローを図示することが出来、これによって視覚的に生物同士のつながりを理解することが出来る(詳細は Christensen *et al.* 2005)。今回は、全ての種において  $BA_i = 0$  とし、中深層性イカ類以外は  $EE$  を未知数として推定した。中深層性イカ類においてはバイオマスを未知数として推定を行った。

表 2.1-2.3 は本モデルの構成種(30 種)とそれぞれの種における入力データの例<sup>1</sup>を示す。また、表 3 にはエコパスのマスバランスが成り立つパラメータ値を示す。図 3 には、エコパスから推定された食物網と各生物の栄養段階を示す。エコパスではミクスト トロフィック インパクト (MTI: Mixed Trophic Impact) という機能を用いて、ある種のバイオマスの微少な増加が生態系内の他の種のバイオマスに与える影響なども評価することも出来る(詳細は Christensen *et al.* 2005)。図 4 は、本モデルにおける MTI の結果でありこれにより、ある種の漁獲が他種に及ぼす影響を暫定的に評価することが出来る。これをみると、サンマのバイオマスの微少な増加はミンククジラのバイオマスに正の影響を与え、またカタクチイワシのバイオマスの微少な増加はミンク、ニタリ、イワシクジラ、カツオなどのバイオマスに正の影響を与える。さらにマッコウクジラのバイオマスの微少な増加は餌であるアカイカや中深層性イカ類のバイオマスに負の影響を与える。ここで注意しなければならないのは、この結果はエコパスの釣り合いが実現されている期間のみに当てはまる結果であり、長期に渡る影響評価はここでは出来ないという点である。よって、次式のような計算式からなるエコシムを用いて時間的な資源の変動を計算し、様々な漁獲シナリオの元での漁業が生態系に与えるインパクト等々を評価していくことになる。

$$\frac{dB_i}{dt} = g_i \cdot \sum_j Q_{ji} - \sum_j Q_{ij} + I_i - (M_i + F_i + e_i) \cdot B_i \quad (3)$$

ここで、 $g_i$  は純成長効率(P/Q)、 $Q_{ij}$  は種  $i$  が種  $j$  に食べられた量、 $I_i$  は移入量、 $M_i$  は自然死亡率、 $F_i$

<sup>1</sup> ここで例と言っている理由は、本解析(講演)を行った時点ではまだ JARPNII 調査に基づく最新のデータが解析途中で入手できなかったため、暫定的なデータを用いているためである。よって本稿で紹介する結果は今後最新データに基づき再計算した場合、改訂される可能性がある。

は漁獲死亡率,  $e_i$  は移出率,  $B_i$  は種  $i$  のバイオマスである. ここで  $Q_{ij}$  はさらに次式で表される:

$$Q_{ij} = \frac{a_{ij} \cdot v_{ij} \cdot B_i \cdot B_j \cdot T_i \cdot T_j \cdot S_{ij} \cdot M_{ij} / D_j}{v'_{ij} + v_{ij} \cdot T_i \cdot M_{ij} + a_{ij} \cdot M_{ij} \cdot B_j \cdot S_{ij} \cdot T_j / D_j} \quad (4)$$

ここで  $a_{ij}$  は捕食者  $j$  の被食者  $i$  に対する餌有効探索率,  $v_{ij}$  は捕食者  $j$  の被食者  $i$  が利用できない状態から利用できる状態への移行率,  $v'_{ij}$  は捕食者  $j$  の被食者  $i$  が利用可能な状態から利用できない状態への移行率,  $B_j$  は捕食者  $j$  のバイオマス,  $T_i$  は被食者  $i$  の相対的な摂食率,  $T_j$  は捕食者  $j$  の相対的な摂食率,  $S_{ij}$  はユーザーによって定められた季節的あるいは長期に渡る強制関数,  $M_{ij}$  は mediation に関する強制関数,  $D_j$  は捕食者  $j$  の処理時間の関数である. ここで言う mediation とは, ある種が他の種の隠れ家を間接的に提供したりするような効果のことである. 例えば, 植物プランクトンによる底生植物の日陰効果等がある場合は, 植物プランクトンのバイオマスが増加するにつれて底生植物に負の影響を与えるなどの mediation に関する強制関数を自分で設定する必要がある.

## 2-2-2. 捕獲シナリオ

前節で説明したモデルを用いて鯨類の捕獲が漁業に与える影響を評価するため、次のような二つの捕獲シナリオを考える。

JARPNII 捕獲対象四鯨種 (ミンク、イワシ、ニタリ、マッコウクジラ) を今後 50 年間:

- 1) それぞれを全く捕獲しなかった場合とバイオマスの 4% の割合で捕獲した場合、
- 2) 4 種共に全く捕獲しなかった場合とバイオマスの 4% の割合で捕獲した場合

で他の漁獲対象種の漁獲量に与える影響を評価する (ここで他種の漁獲努力量は現状維持とする)。

## 2-2-3. エコシムから得られた結果

図 5 にミンククジラのみバイオマスの 4% (初年度は 440 頭に相当) の割合で捕獲した場合と捕獲しなかった場合の他の種の漁獲量の変化率を示す。上段の図は  $v_{ij}$  (移行率) の不確実性による違いも示しており、 $v_{ij}=1$  はボトムアップ型の生態系を仮定した場合、 $v_{ij}=2$  はボトムアップもトップダウンも同じくらいの強さで働いていると仮定した場合、 $v_{ij}=5$  はトップダウン型の生態系を仮定した場合の結果を示している。また、下段の図は捕食関数の不確実性による違いを示しており、図 6 に示すような Holling のタイプ 1、タイプ 2、タイプ 3 のような代表的な捕食関数による結果の違いを示している。これによれば、ミンククジラを毎年バイオマスの 4% 捕獲していった場合、全く捕獲しなかった場合と比べてサ

ンマの漁獲量は 50 年後に 2~15% (1 万~8 万トン) ほど増加するという結果になった。

図 7 にイワシクジラのみバイオマスの 4% (初年度は 280 頭に相当) の割合で捕獲した場合と捕獲しなかった場合の他の種の漁獲量の変化率を示す。これによれば、カツオおよびカタクチイワシの漁獲量が 50 年で約 1 万~2.5 万 t ほど増加するという結果になった。この値はカツオに関しては現在の漁獲量の 8~20% 増、カタクチイワシに関しては 3~8% 増に値する。

図 8 にニタリクジラのみバイオマスの 4% (初年度は 120 頭に相当) の割合で捕獲した場合と捕獲しなかった場合の他の種の漁獲量の変化率を示す。ニタリクジラの捕獲が生態系に及ぼす影響はイワシクジラのそれよりも小さく、カツオおよびカタクチイワシの漁獲量が 50 年で 3 千~1 万トンほど増加するという結果である。カツオが増加するのは間接効果の影響であり、カタクチイワシはイワシクジラ、ニタリクジラおよびカツオの主要な餌であり、カタクチイワシが増えるためにカツオも増えるという仕組みである。

図 9 にマッコウクジラのみバイオマスの 4% (初年度は 2000 頭に相当) の割合で捕獲した場合と捕獲しなかった場合の他の種の漁獲量の変化率を示す。この捕獲が生態系に及ぼす影響は大きく、ヨシキリザメ、アカイカ、シマカツオの漁獲量がそれぞれ 3 千~2 万トンほど増加しうる。この値はヨシキリザメに関しては現在の漁獲量の 20~140% 増、アカイカに関しては 15~100% 増、シマカツオに関しては 8~50% 増に値する。マッコウクジラはヨシキリザメを直接は捕食していないが、マッコウクジラおよびヨシキリザメの主要な餌である中深層性イカ類が増加するため、間接効果でヨシキリザメのバイオマスも増加している。

図 10 に 4 鯨種共にバイオマスの 4% の割合で捕獲した場合と捕獲しなかった場合の他の種の漁獲量の変化率を示す。さきほどのマッコウクジラの影響が卓越しているが、ピンナガの漁獲量は最大で 1.3 万トン (現行の漁獲量の 34% 増)、カツオの漁獲量は最大で 3.8 万トン (32% 増)、アカイカの漁獲量は最大で 2 万トン (100% 増)、カタクチイワシの漁獲量は最大で 5.6 万トン (17% 増)、サンマの漁獲量は最大で 6.9 万トン (14% 増) 50 年間で増加するという結果になった。

#### 2-2-4. 種の相互作用を考慮した場合と考慮しなかった場合の MSY の違い

図 11 は EwE から計算される種の相互作用を考慮した場合と考慮しなかった場合の MSY の違いを各漁獲対象種について示している。種の相互作用を考慮しなかった場合の MSY は次のように計算される：

興味対象種 1 種のみ漁獲死亡率 ( $F$ ) を長期 (1000 年以上) に渡って少しずつ上げていき (他の種のバイオマスはエコパス値のまま固定) 漁獲量が最大になる  $F$  を  $F_{MSY}$  とし、そのときの漁獲量を  $MSY$  とする。一方、種の相互作用を考慮した場合の  $MSY$  は上記とほぼ同様の手順で計算されるが、他の種の  $F$  は上記で計算された  $F_{MSY}$  を用いる。図 11 をみると、ミンククジラ、ニタリクジラ、イワシクジラなど高次の捕食者の  $MSY$  は、種の相互作用を考慮した場合のほうが考慮しなかった場合と比べて低く計算されることがわかり、これは餌生物の漁獲や他の種による捕食の影響を考慮に入れたためである。Walters *et al.* (2005) も述べているように、種の相互作用を考慮しない場合 (例えば単一種資源動態モデル) から計算される高次の捕食者の  $MSY$  は、その餌生物の漁獲や他の種による捕食が大きい場合は過大評価になりがちであり、注意が必要である。

#### 2-2-5. 今後の展望

以上の結果は本稿 5 ページの脚注にもあるように、暫定的な結果であり、今後最新のデータに基づく解析により値が変化することが予想されることに注意していただきたい。しかし、考慮した鯨種や捕獲シナリオに関わらず共通に言えることは、鯨類の捕獲が漁業に与える影響は、生態系のトップダウンやボトムアップの強さおよび仮定する捕食関数の形によって変化するということである。また本結果で興味深かったのは、これらの不確実性を考慮しても、主要な漁獲対象種に及ぼす影響が正の影響から負に変わる場合が見られなかったことであり、これは鯨類の捕獲が程度の差こそあれ、漁獲対象種の漁獲量に正の影響を与えうることを示唆している。さらに、こういった生態系モデルを構築することによって得られる主な成果としては、間接効果を考慮した上での鯨類の捕獲が漁業に与える影響 (あるいは漁業が鯨類に与える影響) を定量的に評価することが出来ること、また データが不足しており推定が困難な中深層性イカ類などのバイオマスについて定量的な知見を提供出来ることなどがあげられる。

最後に、本モデルの今後の課題を 4 点ほどあげる。

- 1) 捕食者によっては成長段階の一部のみを捕食するものもいるため、カタクチイワシおよび表層性イカ類については二つの成長段階に分けて解析する。
- 2) レジームシフトなど大きな環境の変化がモデル結果に及ぼす影響も検討する。
- 3) 本稿 2 ページで紹介した MRM 型のモデル結果との比較検討を行う。

- 4) ミンククジラの雌の大半はオホーツク海で捕食活動を行っており、またミンククジラ、イワシクジラ、ニタリクジラは実際にはもっと広い海域で捕食活動を行っている。このような、モデル対象海域外への回遊等の影響の検討を行う。

### 3. 謝辞

本文をまとめるにあたり、貴重なご助言を賜った元東京水産大学教授北原武博士に心よりお礼申し上げます。

### 4. 参考文献

- International Whaling Commission (IWC). 2001. Report of workshop to review the Japanese Whale Research Programme under Special Permit for North Pacific Minke Whales. *J. Cetacean Res. Manage.* (Suppl.) 3:377-413.
- Government of Japan 1999. Annual report on the trends of fisheries. Fisheries Agency, 284pp.
- Tamura, T. and Ohsumi, S. 2000. Regional assessments of prey consumption by marine cetaceans in the World. Paper SC/52/E6 presented to the IWC Scientific Committee, May 2000 (unpublished). 42pp.
- 松田裕之(2004)『ゼロからわかる生態学』共立出版, 東京
- WSSD (World Summit on Sustainable Development). (2002) World summit on sustainable development: plan of implementation. IUCN document. 54pp.
- Plagányi, É. E. 2007. Models for an ecosystem approach to fisheries. *FAO Fisheries Technical Paper*. No. 477. Rome, FAO. 2007. 108p.
- FAO 2008. Fisheries management. 2. The ecosystem approach to fisheries. 2.1 Best practices in ecosystem modeling for informing an ecosystem approach to fisheries. *FAO Fisheries Technical Guidelines for Responsible Fisheries*. No. 4, Suppl. 2. Add. 1. Rome, FAO. 78p.
- Christensen, V., Walters, C. J. and Pauly, D. (2005) Ecopath with Ecosim: a user's guide, November 2005 Edition. Fisheries Centre, University of British Columbia, Vancouver, Canada. 154pp.
- Walters, C. J., Christensen, V., Martell, S. J., and Kitchell, J. F. 2005. Possible ecosystem impacts of applying MSY policies from single-species assessment. *ICES Journal of Marine Science*, 62: 558-568.

表 1. EwE 型モデルと MRM 型モデルの比較。

モデルの分類	MRM (Minimum realistic models)	EwE(Ecopath with Ecosim)
特徴	興味対象としている種や相互関係に主眼を置く	生態系全体のつながりを大きくとらえる
モデルで考慮する種あるいはグループの数	少ない	多くの種を含むことが出来、多くの場合30種/グループ程
低次生産/基礎生産	多くの場合一定、あるいは確率的に変動すると仮定	他の高次の種同様、動態を単純にモデル化
体長・年齢構成の考慮	種数が少ない分、ほとんどの構成種について考慮	全ての構成種で考慮することは可能だが、種数が多い分、ほとんどの場合は一部の構成種のみについて考慮
環境・物理的な影響	特に考慮せず	長期・短期的な物理的・環境的な影響を強制関数として与えることが可能
必要なデータ量	興味対象種については多くのデータが必要だが、種数が少ない分、全体としては必要なデータ量は少ない	種数が多い分、それなりにデータ量は多い
その他	原因と結果の結びつきの理解が容易であるが、思わぬ間接効果があった場合には対応が出来ない	思わぬ間接効果があった場合にも対応可能。しかし系が複雑になる分、原因と結果の結びつきの理解が難しい

表 2.1 ECOPATH 構成種と用いたインプットデータ (バイオマス、P/B、Q/B、EE)

	日本語名	英名	Habitat area (fraction)	Biomass in hab.area (t/km <sup>2</sup> )	Production/ biomass (/year)	Consumption/ biomass (/year)	Ecotrophic efficiency
1	ミンククジラ	Minke whale	1	0.019	0.120	5.20	
2	ニタリクジラ	Bryde's whale	1	0.016	0.100	4.38	
3	イワシクジラ	Sei whale	1	0.052	0.060	4.16	
4	その他のヒゲクジラ	Other baleen whales	1	0.068	0.057	3.80	
5	マッコウクジラ	Sperm whale	1	0.342	0.102	4.20	
6	ツチクジラ	Baird's beaked whale	1	0.025	0.110	5.53	
7	コビレゴンドウ	Short-finned pilot whale	1	0.009	0.100	7.42	
8	アカボウクジラ科	Ziphiidae	1	0.027	0.100	7.06	
9	その他のハクジラ類	Other toothed whales	1	0.040	0.100	11.03	
10	オットセイ	Northern fur seal	1	0.002	0.235	39.03	
11	海鳥類	Marine birds	1	0.004	0.100	54.57	
12	ビンナガ	Albacore	1	0.040	0.430	1.94	
13	メカジキ	Sword fish	1	0.007	0.600	2.05	
14	カツオ	Skipjack tuna	1	0.079	0.600	6.00	
15	ヨシキリザメ	Blue shark	1	0.016	0.390	3.10	
16	ネズミザメ	Salmon shark	1	0.005	0.390	5.10	
17	ハダカイワシ類	Lanternfish	1	5.405	1.340	13.35	
18	アカイカ	Neon flying squid	1	0.097	3.200	10.80	
19	表層性イカ類	surface squid	1	0.081	3.200	10.80	
20	中深層性イカ類	mid-deep water squid	1		2.560	10.80	0.9
21	サバ類	Mackerel	1	0.257	1.080	3.60	
22	シマカツオ	Pacific pomfret	1	0.136	0.750	3.75	
23	マイワシ	Sardine	1	0.041	0.770	2.60	
24	カタクチイワシ	Anchovy	1	1.730	1.110	14.04	
25	サンマ	Pacific saury	1	1.610	0.720	10.00	
26	植物プランクトン	Phytoplankton	1	26.580	194.360	-	
27	オキアミ類	Euphausiids	1	40.670	2.555	12.05	
28	(鯨の餌となる)カイアシ類	Copepods eaten by whales	1	21.297	5.000	10.00	
29	(その他の)カイアシ類	Other Copepods	1	21.297	5.000	10.00	
30	デトライトス	Detritus	1	132.900	-	-	

表 2.2. ECOPATH に用いた餌組成に関するインプットデータ。

	Prey / Predator																													
日本語名	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	27	28	29		
英名																														
1 ミンククジラ																														
2 ニタリクジラ																														
3 イロシクジラ																														
4 その他のヒゲクジラ																														
5 マッコウクジラ																														
6 ツチクジラ																														
7 コビレゴンドウ																														
8 アカボウクジラ科																														
9 その他のハクジラ類																														
10 オットセイ																														
11 海鳥類																														
12 ビンナガ																														
13 メカジキ																														
14 カッコ																														
15 ヨシキリザメ																														
16 ネズミザメ																														
17 ハダカイワシ類									0.30	0.49	0.12	0.19	0.01		0.02		0.28	0.44		0.02	0.03									
18 アカイカ					0.11		0.11				0.12	0.35	0.12		0.12		0.01			0.01	0.04									
19 表層性イカ類	0.02				0.07	0.02	0.82	0.07	0.38		0.16	0.24	0.05	0.20	0.81		0.27	0.01		0.02	0.47									
20 中深層性イカ類					0.81	0.02	0.01	0.81		0.16	0.15	0.15		0.55	0.04		0.20	0.15		0.01	0.22									
21 サバ類		0.01							0.04	0.12	0.12																			
22 シマガツオ											0.12	0.05		0.07																
23 マイワシ																														
24 カタクチイワシ	0.32	0.59	0.47	0.05				0.15			0.12	0.49		0.82	0.00		0.15	0.20		0.10	0.01									
25 サンマ	0.35			0.05	0.05						0.12									0.02	0.03									
26 植物プランクトン																							0.70							
27 オキアミ類	0.17	0.35	0.23	0.65				0.03			0.12	0.07	0.09			0.24	0.00	0.20	0.60	0.50	0.00		0.70		0.12	0.26	0.26			
28 (鯨の餌となる)カイアシ				0.24	0.25											0.18			0.20	0.15		0.15	0.40	0.24	0.09					
29 (その他の)カイアシ類																0.36			0.20	0.15		0.15	0.40	0.09						
30 デトリタス																														
Import	0.14	0.05	0.01		0.01	0.96	0.17	0.01	0.15	0.31		0.10	0.20	0.04	0.15	0.22	0.08			0.02	0.19				0.26					
Sum	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

表 2.3. ECOPATH に用いた漁業に関するインプットデータ (単位は t/km<sup>2</sup>/year)

	日本語名	英名	Whaling	Fishery
1	ミンククジラ	Minke whale	0.0004	
2	ニタリクジラ	Bryde's whale	0.0003	
3	イワシクジラ	Sei whale	0.0007	
4	その他のヒゲクジラ	Other baleen whales	0	
5	マッコウクジラ	Sperm whale	6.84674E-05	
6	ツチクジラ	Baird's beaked whale	0.0003	
7	コビレゴンドウ	Short-finned pilot whale	1.98195E-05	
8	アカボウクジラ科	Ziphiidae	0	
9	その他のハクジラ類	Other toothed whales	0.0004	
10	オットセイ	Northern fur seal		0
11	海鳥類	Marine birds		0
12	ビンナガ	Albacore		0.014
13	メカジキ	Sword fish		0.0008
14	カツオ	Skipjack tuna		0.043
15	ヨシキリザメ	Blue shark		0.0050
16	ネズミザメ	Salmon shark		0.0014
17	ハダカイワシ類	Lanternfish		0
18	アカイカ	Neon flying squid		0.007
19	表層性イカ類	surface squid		0.032
20	中深層性イカ類	mid-deep water squid		0
21	サバ類	Mackerel		0.084
22	シマガツオ	Pacific pomfret		0.0136
23	マイワシ	Sardine		0.014
24	カタクチイワシ	Anchovy		0.119
25	サンマ	Pacific saury		0.176
26	植物プランクトン	Phytoplankton		0
27	オキアミ類	Euphausiids		0
28	(鯨の餌となる)カイアシ類	Copepods eaten by whales		0
29	(その他の)カイアシ類	Other Copepods		0
30	デトライトス	Detritus		0

表 3. ECOPATH のマスバランスが成り立つパラメータ値。ここで灰色に網掛けしている部分は、マスバランスによって推定された値。

	日本語名	英名	Trophic level	Biomass (t/km <sup>2</sup> )	Production/ biomass (/year)	Consumption/ biomass (/year)	Ecotrophic efficiency	Production/ consumption
1	ミンククジラ	Minke whale	3.92	0.019	0.120	5.20	0.175	0.023
2	ニタリクジラ	Bryde's whale	3.72	0.016	0.100	4.38	0.187	0.023
3	イワシクジラ	Sei whale	3.59	0.052	0.060	4.16	0.224	0.014
4	その他のヒゲクジラ	Other baleen whales	3.23	0.068	0.057	3.80	0.000	0.015
5	マッコウクジラ	Sperm whale	4.30	0.342	0.102	4.20	0.002	0.024
6	ツチクジラ	Baird's beaked whale	4.50	0.025	0.110	5.53	0.109	0.020
7	コビレゴンドウ	Short-finned pilot whale	4.88	0.009	0.100	7.42	0.022	0.013
8	アカボウクジラ科	Ziphiidae	4.30	0.027	0.100	7.06	0.000	0.014
9	その他のハクジラ類	Other toothed whales	4.39	0.040	0.100	11.03	0.050	0.009
10	オットセイ	Northern fur seal	4.08	0.002	0.235	39.03	0.000	0.006
11	海鳥類	Marine birds	4.46	0.004	0.100	54.57	0.000	0.002
12	ピンナガ	Albacore	3.99	0.040	0.430	1.94	0.814	0.222
13	メカジキ	Sword fish	4.97	0.007	0.600	2.05	0.071	0.293
14	カツオ	Skipjack tuna	4.00	0.079	0.600	6.00	0.907	0.100
15	ヨシキリザメ	Blue shark	4.53	0.016	0.390	3.10	0.801	0.126
16	ネズミザメ	Salmon shark	4.86	0.005	0.390	5.10	0.718	0.076
17	ハダカイトワシ類	Lanternfish	3.06	5.405	1.340	13.35	0.310	0.100
18	アカイカ	Neon flying squid	4.33	0.110	3.200	10.80	0.755	0.296
19	表層性イカ類	surface squid	3.89	0.350	3.200	10.80	0.971	0.296
20	中深層性イカ類	mid-deep water squid	3.11	0.997	2.560	10.80	0.900	0.237
21	サバ類	Mackerel	3.32	0.257	1.080	3.60	0.399	0.300
22	シマガツオ	Pacific pomfret	4.62	0.136	0.750	3.75	0.399	0.200
23	マイワシ	Sardine	2.30	0.041	0.770	2.60	0.443	0.296
24	カタクチイワシ	Anchovy	3.04	1.730	1.110	14.04	0.966	0.079
25	サンマ	Pacific saury	3.12	1.610	0.720	10.00	0.250	0.072
26	植物プランクトン	Phytoplankton	1.00	26.580	194.360	-	0.033	-
27	オキアミ類	Euphausiids	2.18	40.670	2.555	12.05	0.368	0.212
28	(鯨の餌となる)カイアシ類	Copepods eaten by whales	2.00	21.297	5.000	10.00	0.686	0.500
29	(その他の)カイアシ類	Other Copepods	2.00	21.297	5.000	10.00	0.771	0.500
30	デトリタス	Detritus	1.00	132.900	-	-	0.123	-

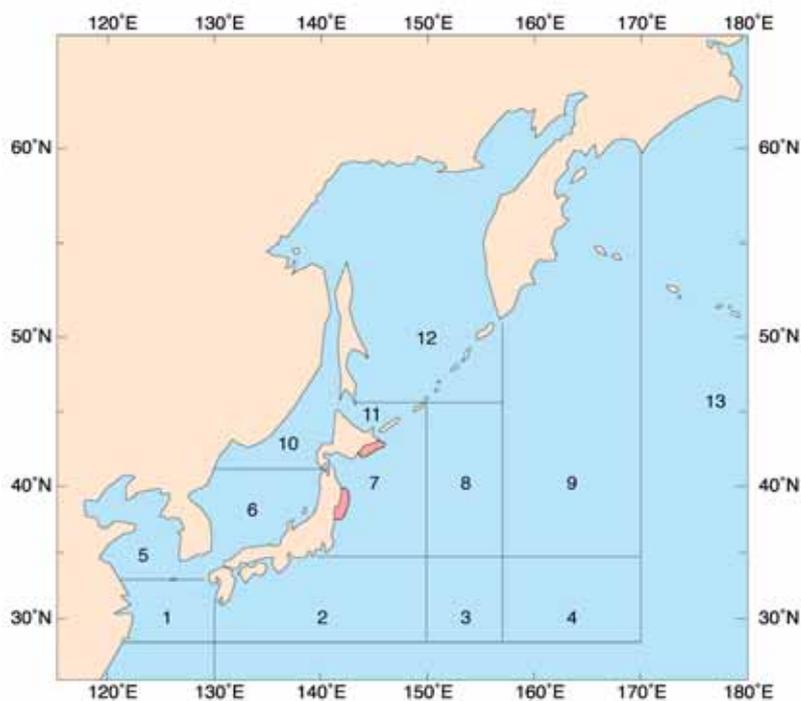


図 1. JARPNII 調査海域。このうち 7,8,9 海区を重点的に調査を行っている。

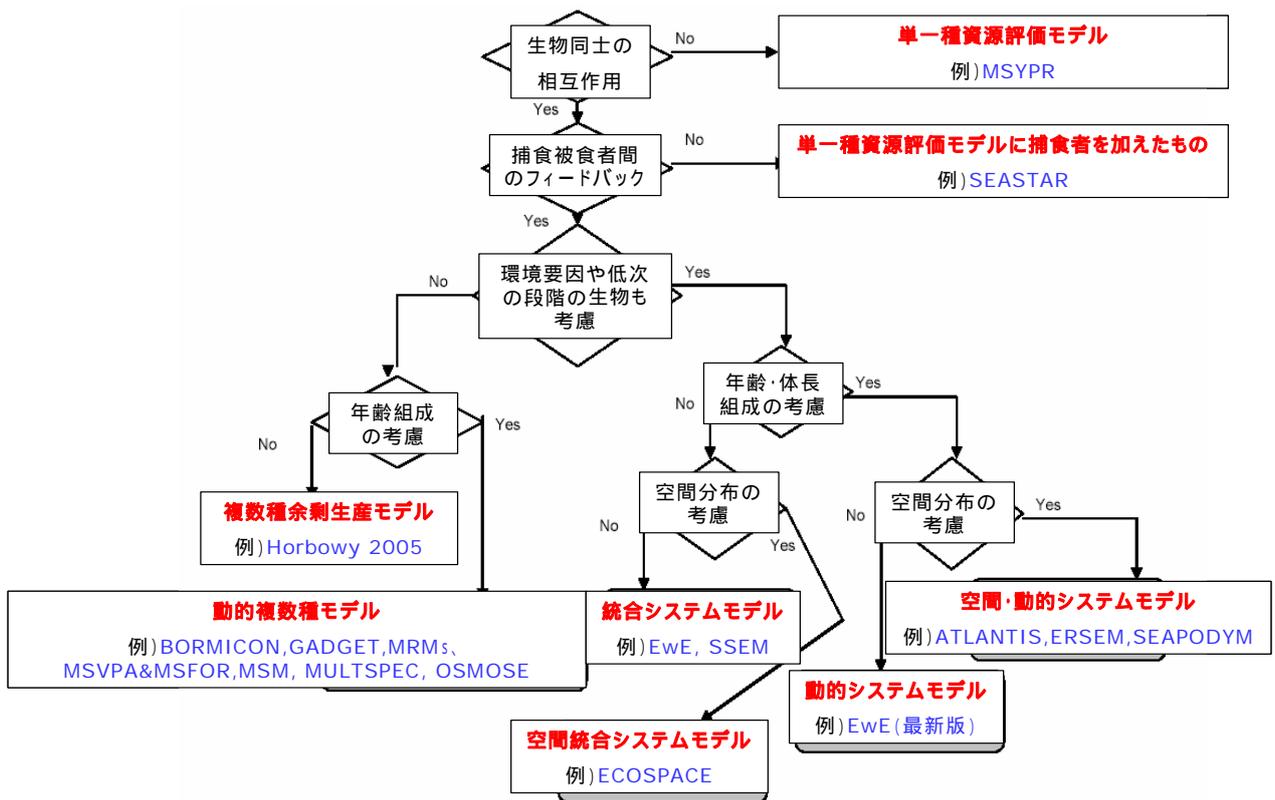


図 2 . 様々な生態系モデル ( Plagányi 2007 図 1 を改変)。

栄養段階

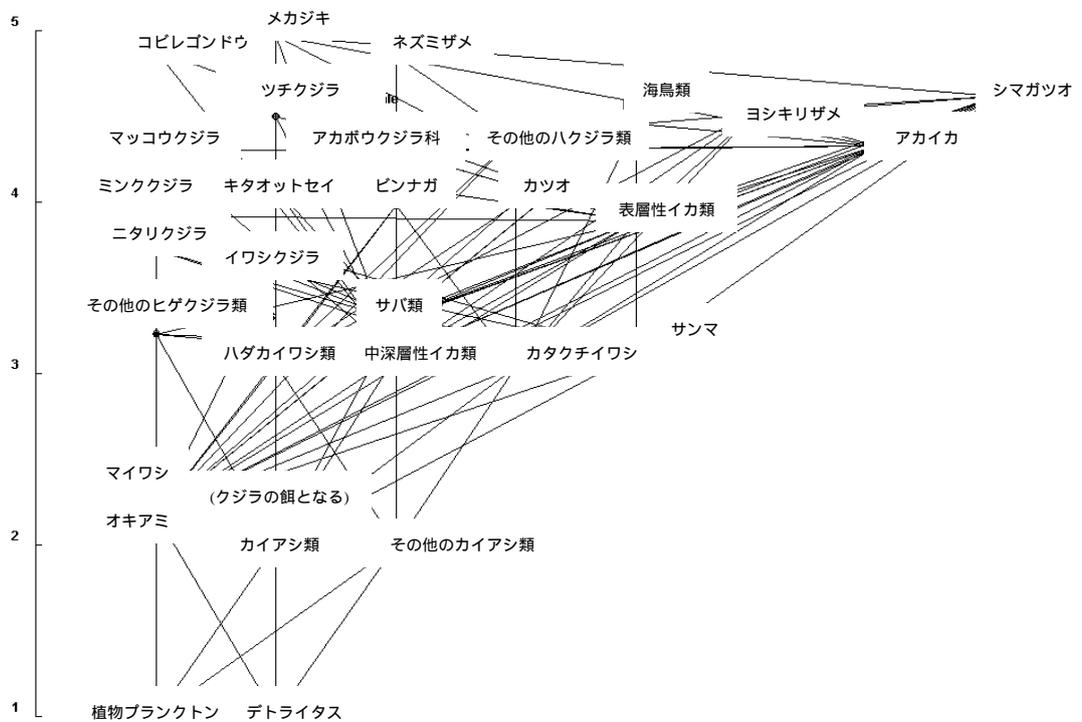


図 3. ECOPATH から推定された食物網と各生物の栄養段階。

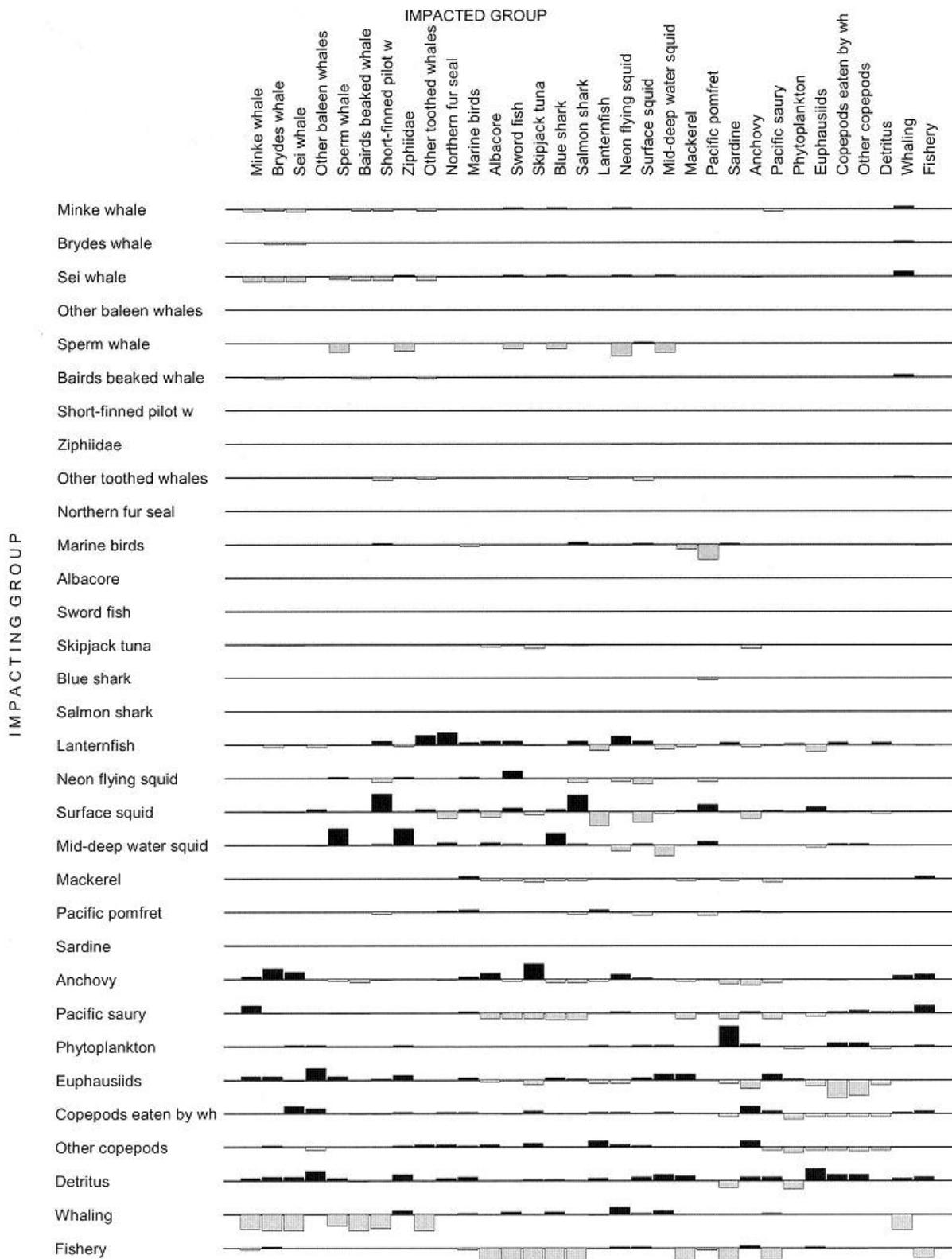


図 4. MTI(ミクストロフィックインパクト)の結果。縦軸の種の微少な増加が横軸の種に与える影響 (上向き of 棒は正、下向き of 棒は負の影響を示す)。

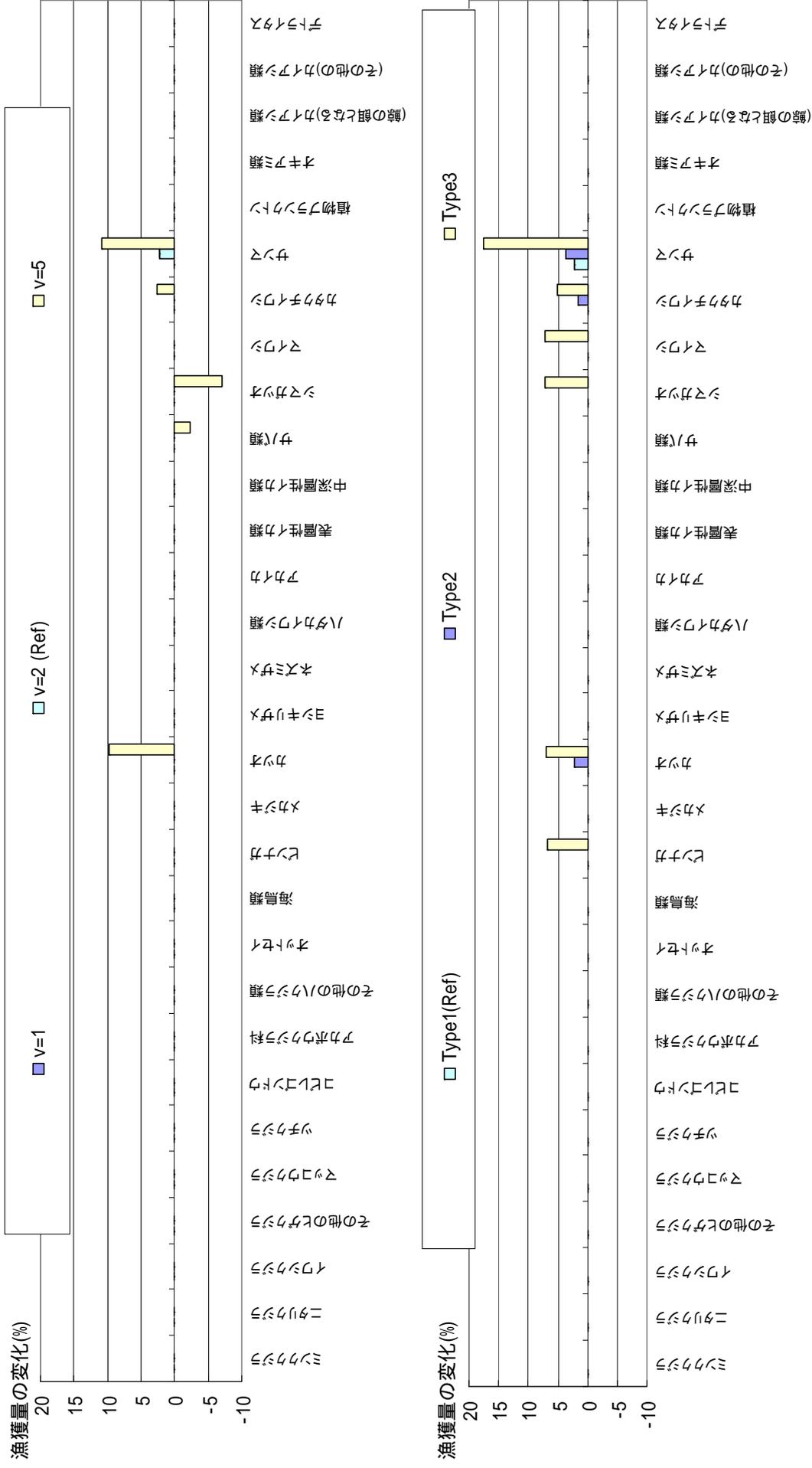


図 5. ミンケガタの捕獲がない場合とミンケガタの個体数の 4% (初年度は 440 頭に相当) を捕獲した場合の他の種の漁獲量の変化 (%)。上段の図は、vulnerability(v) パラメータによる違いを、下段の図は捕食関数の変化による違いを示す。

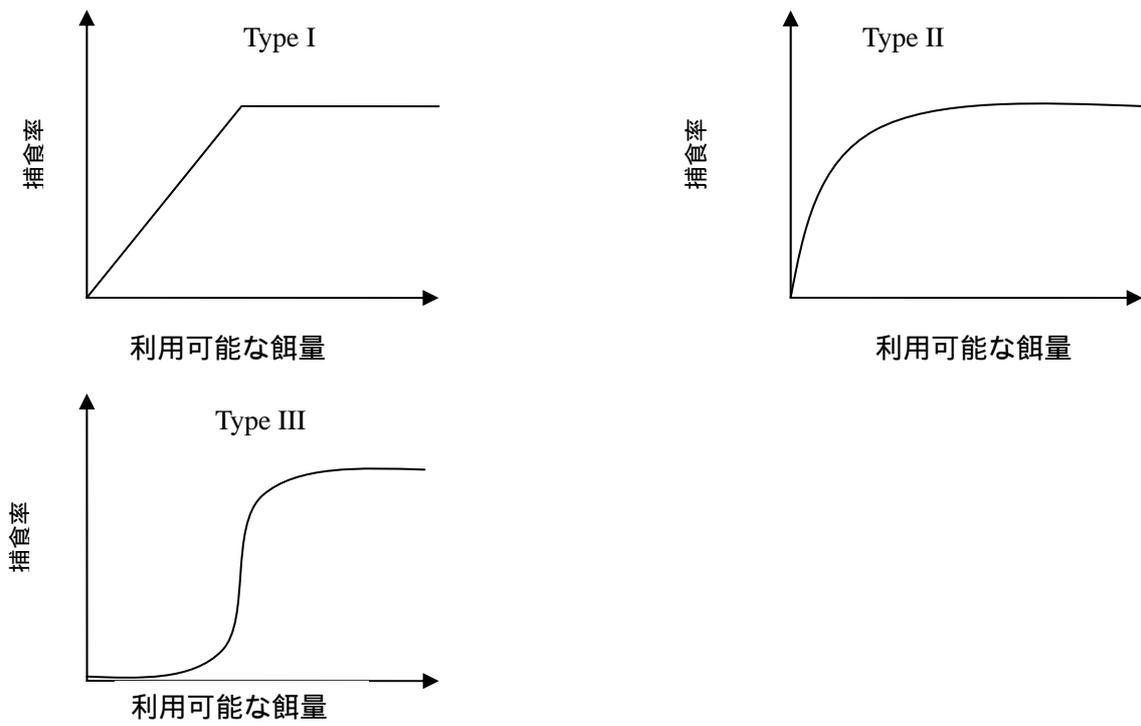


図 6 . 様々な捕食関数 (Holling Type I, II, III) .

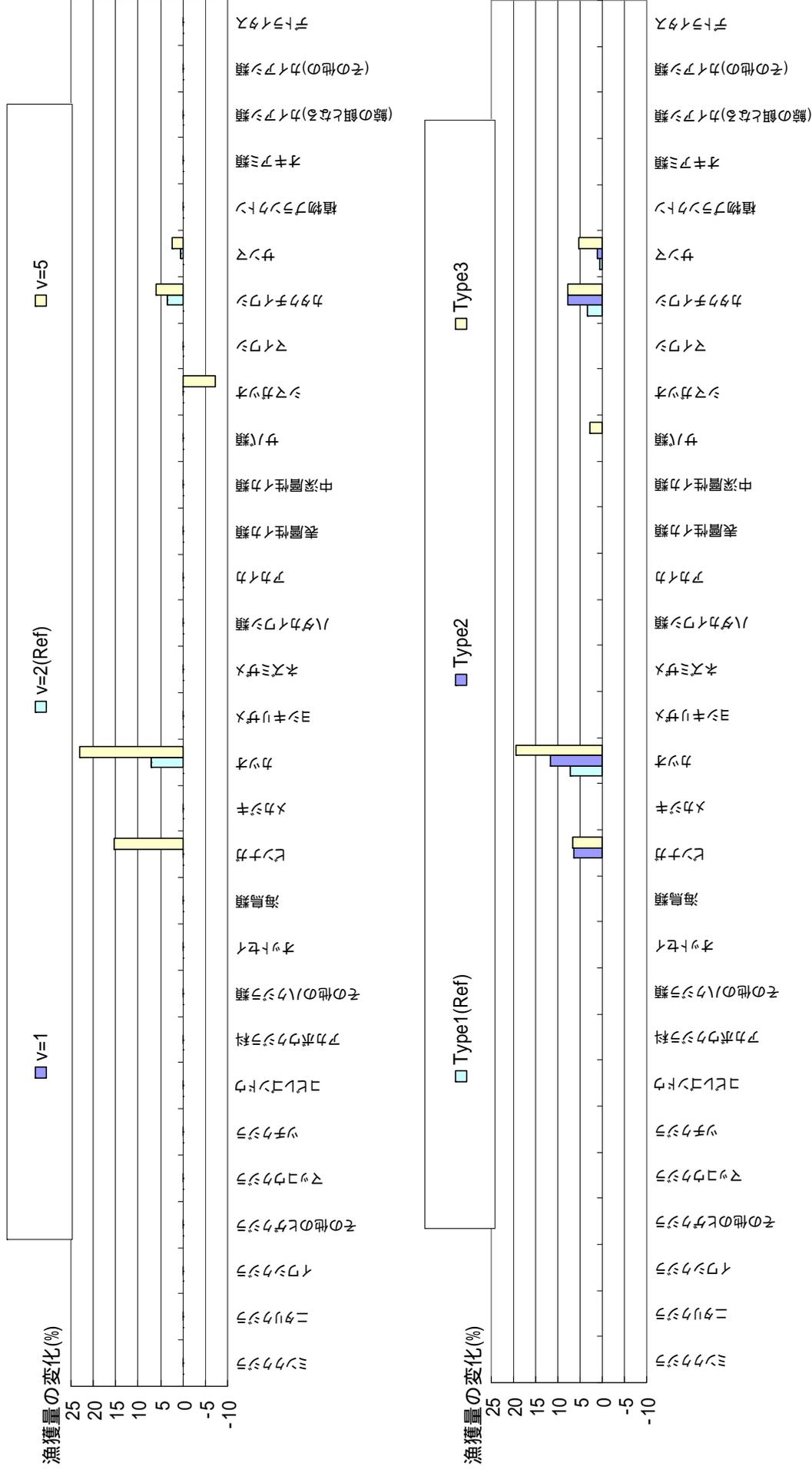


図7. イワシクダシの捕獲がない場合とイワシクダシの個体数の4%(初年度は280頭に相当)を捕獲した場合の他の種の漁獲量の変化(%). 上段の図は、vulnerability(v)パラメータによる違いを、下段の図は捕食関数の変化による違いを示す。

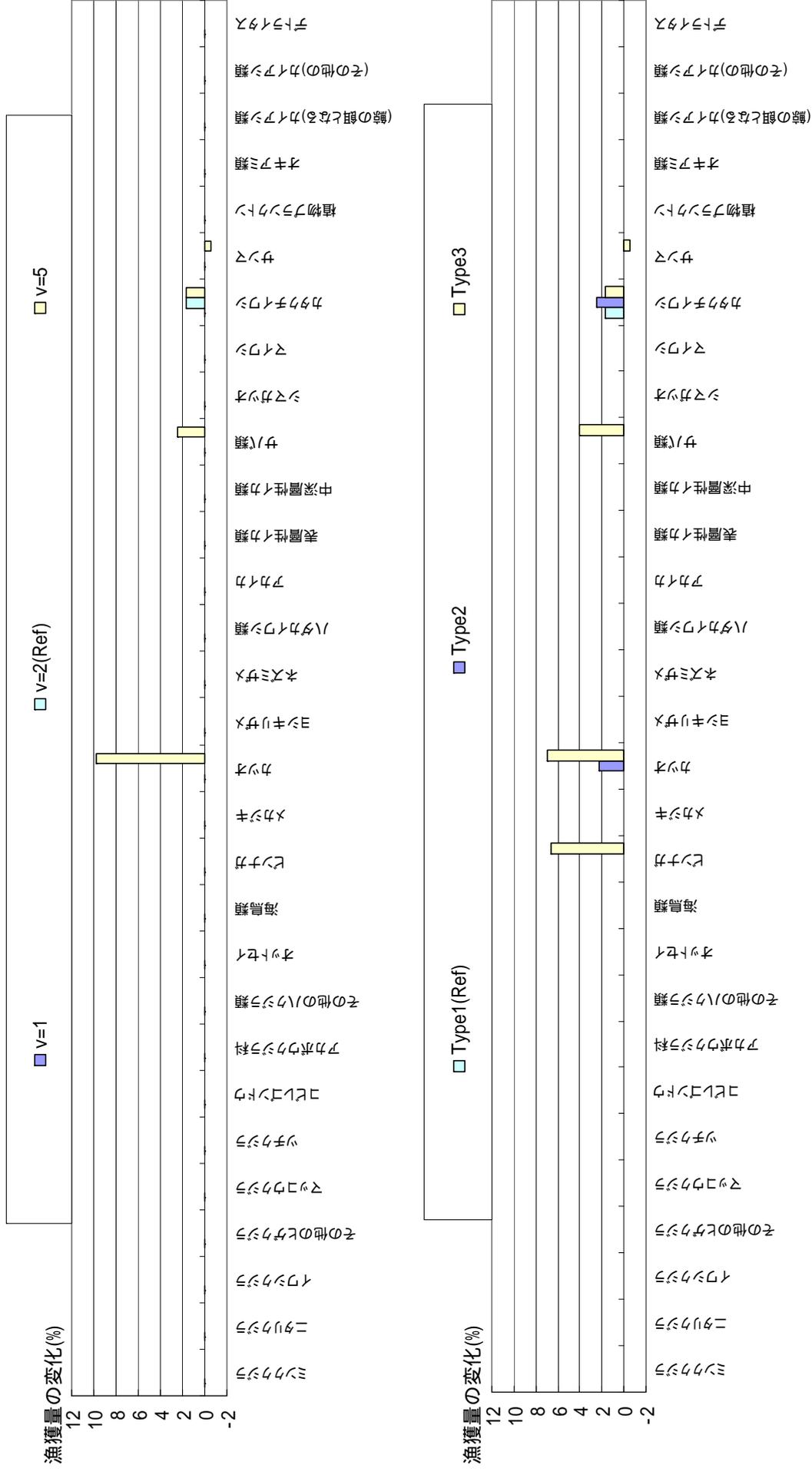


図8. ニタリクジラの捕獲がない場合とニタリクジラの個体数の4%（初年度は120頭に相当）を捕獲した場合の他の種の漁獲量の変化（%）。  
 上段の図は、vulnerability(v)パラメータによる違いを、下段の図は捕食関係の変化による違いを示す。

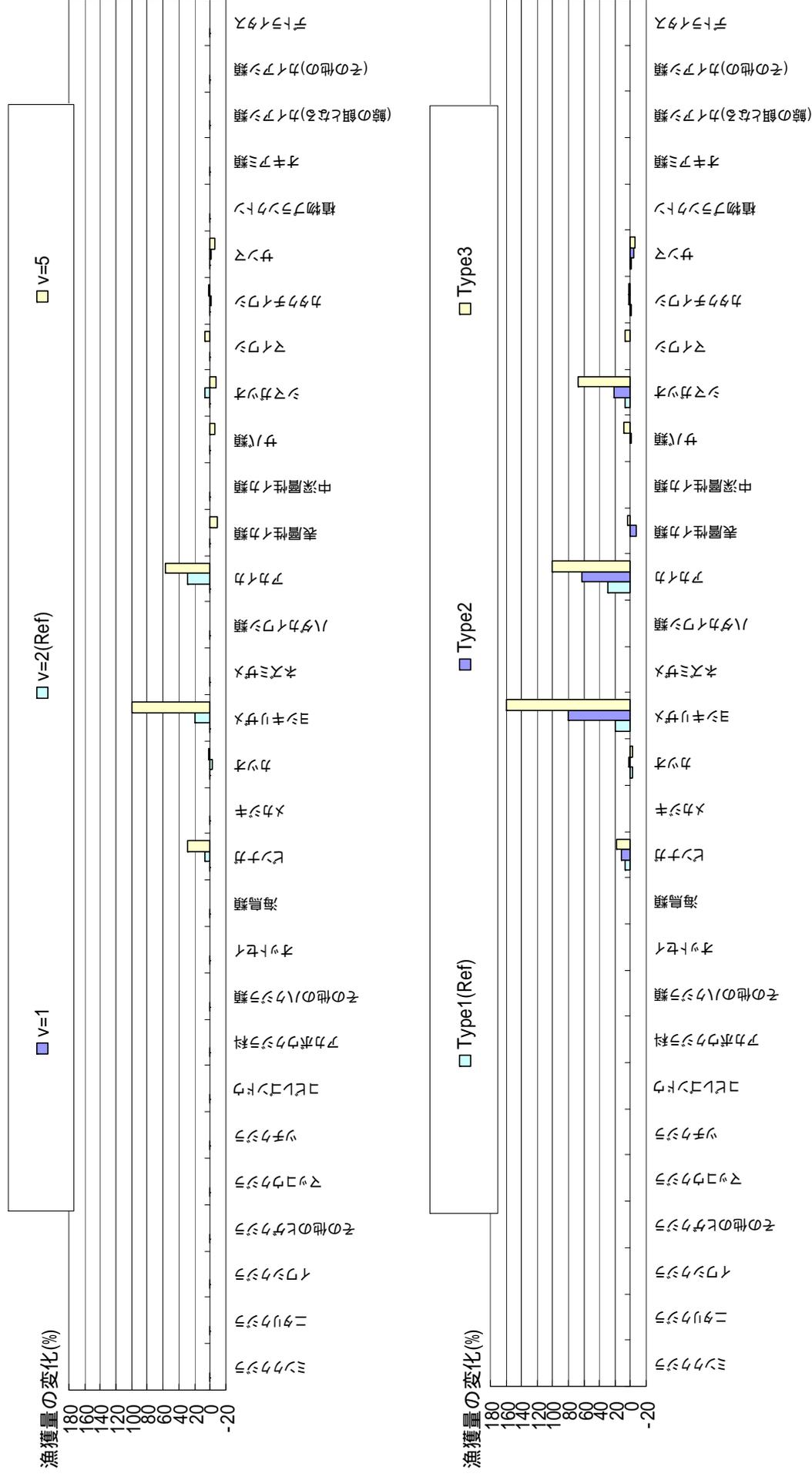


図9. マッコウクジラの捕獲がない場合とマッコウクジラの個体数の4%（初年度は2000頭に相当）を捕獲した場合の他の種の漁獲量の変化(%)。上段の図は、vulnerability(v)パラメータによる違いを、下段の図は捕食関係の変化による違いを示す。

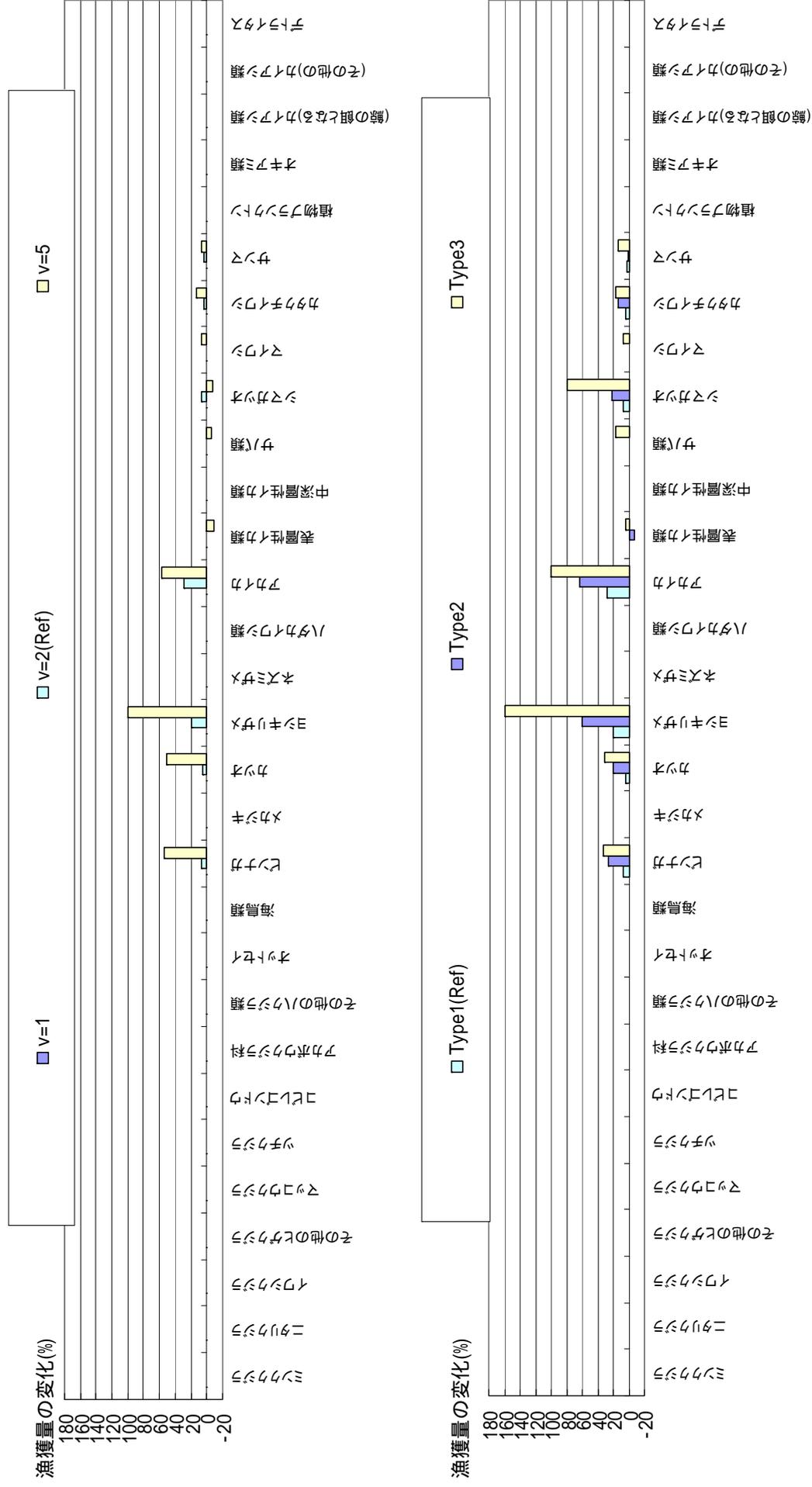


図 10. JARPN2 捕獲対象 4 鯨種 (ミンク、イワシ、マッコウ) の捕獲がない場合と JARPN2 捕獲対象 4 鯨種の個体数の 4% を捕獲した場合の他の種の漁獲量の変化 (%)。上段の図は、vulnerability(v) パラメータによる違いを、下段の図は捕食関係の変化による違いを示す。

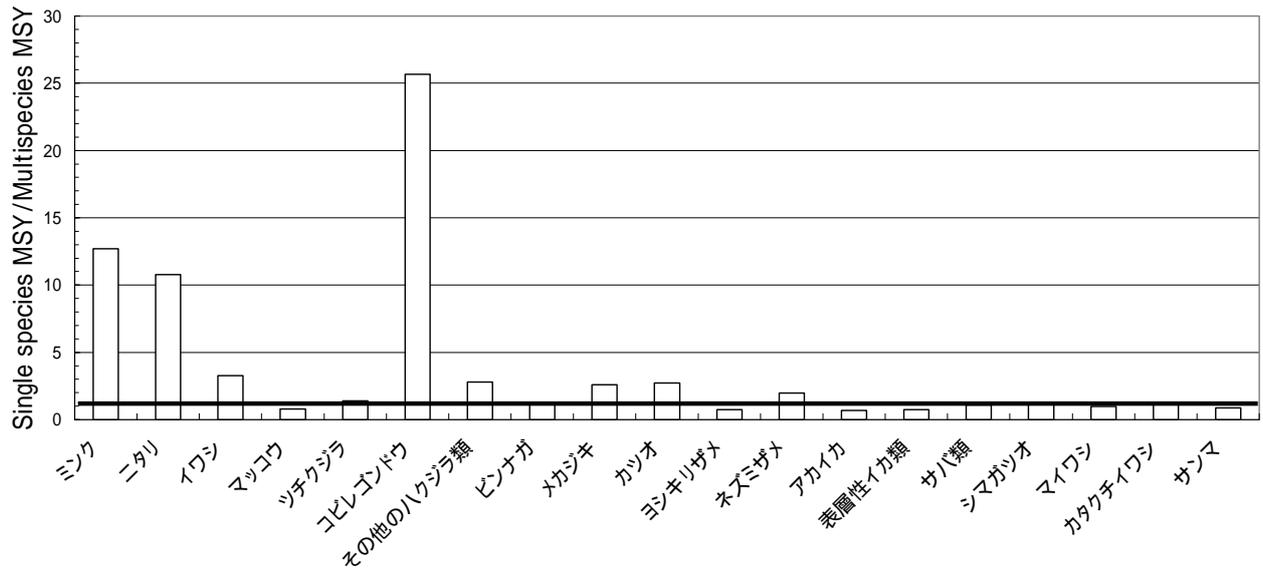


図 11. 種間の相互作用を考慮しなかった場合の MSY と種の相互作用を考慮に入れた場合の MSY との比。