

長崎県各地域の沿岸漁業における漁獲物構成と生態系影響の長期変化

池戸蒼真*, 清田雅史

Long-term changes in catch compositions and ecosystem impacts of local fisheries in Nagasaki Prefecture

Soma IKEDO* and Masashi KIYOTA

Abstract

This paper aims to understand the long-term change and current status of fisheries in eight subregions of Nagasaki Prefecture on the basis of catch statistics from 1965 to 2018. Total catch amounts generally decreased after 2000 in all subregions. The cluster analysis of average catch compositions revealed three clusters (Iki and Tsushima; Seihi, Hokusho and Goto; Ariake bay, Omura bay and Tachibana bay) characterized by dominant fisheries and catch species. Four ecosystem indicators, i.e., species diversity index, Mean Trophic Level of Catch (MTLc), Primary Production Required (PPR) and Loss in Secondary Production (LSP), were analyzed to visualize the subregional differences in ecosystem changes and fishery impacts. The species diversity index and MTLc did not show clear decreasing trends in any subregions. The scatter plots of log transformed PPR and LSP were informative in demonstrating the expanding/contracting trends of catches and/or shifts in trophic position of the fishery removals. These results, combined with the information obtained through the interview with local fishermen, suggest that recent reduction of fishery catch in Nagasaki prefecture was not caused by shrinking fishing efforts but by reduced productivity of the coastal ecosystems.

Key words: 沿岸漁業 Coastal fishery, 生態系指標 Ecosystem indicator, 種多様度 Species diversity, 漁獲物平均栄養段階 Mean trophic level of catch

長崎県の海面漁業漁獲量は 1976 年の 953,247t をピークとしてそれ以降は減少し, 2017 年には 317,069 t と最盛期の 1/3 ほどにまで落ち込んでいる。¹⁾ 世界に目を向けても漁獲量は 1990 年以降頭打ちとなり, 養殖業以外の漁業は伸び悩みが顕在化している。FAO によると 2015 年には世界の海洋水産資源のうち 33 % が過剰利用または枯渇状態とされ,²⁾ その背景には乱獲による海洋生態系の劣化や気候変動が影響していることが考えられる。漁業活動の影響は海洋生態系に壊滅的な影響を与え, 過剰な漁獲, 混獲・投棄による資源の枯渇や, 漁具による環境改変によって生物多様性の減少や生態系の構造変化・機能低下を招くことが世界的に指摘されている。例を挙げると, Pauly et al.³⁾ は漁業が長寿命・高次栄養段階の大型魚類から獲りつき, 短寿命・低次栄養段階の浮魚へと漁獲対象が移行すると発表した。また Worm et al.⁴⁾ は, 2048 年までに全ての資源が崩壊すると予測し, Christensen et al.⁵⁾ は世界で肉食性魚類のバイオマスが 100 年

間で 1/3 まで減少し, 特に最近 40 年間でバイオマスが 55 % 減少していると報告した。しかし, これらの研究は FAO の水産統計などに基づき, 全球もしくは大洋スケールで議論されることがほとんどで, 地域漁業と生態系の長期変化を具体的に精査した例はまだ数が乏しい。特に日本では漁業協同組合 (以下漁協とする) という漁民の共同組織によって, 地域ごとに特色のある管理運営がなされており, 欧米諸国とは漁業管理の体系が大きく異なる。日本の漁協をベースとした漁業のマネジメントは, 中緯度地域の小規模な沿岸漁業の管理に有効であると言われている。⁶⁾ また漁業を適切に管理するためには, 気候変動と人間活動に起因する生態系の変化の理解が必要条件であることが指摘されている。⁷⁾ 我が国固有の漁協ベースのマネジメントの有効性を確認し, 資源回復と漁業振興を図る上では, 地域スケールでの漁業の長期変化と生態系影響の定量的評価が必要と考えられる。

以上の背景から本研究では, 漁獲統計データに

基づいて長崎県の各小海区の漁業の特徴を示し、過去から現在までの生態系の変化と、過去と比較した現在の状況を明らかにすることを目的とした。これまでの水産資源評価では単一魚種に着目して、系群ごとに資源状態とその変化を論じることが多かった。しかし、実際の海洋では各種資源は捕食・被食関係や生息域などを通じて他種と相互作用をもちながら生存しており、単一魚種の資源評価だけでは生態系の状態を理解することはできない。そのため、本研究では生態系という観点から指標値を用いて小海区ごとに漁獲統計データを分析し、漁業や漁獲の変遷が生態系に与える影響について調べた。生態系指標として漁獲物の多様度指数、栄養段階構成、漁獲を支えるために必要な基礎生産量、高次捕食者への生産損失を用い、これら指標の経年変化について確認した。さらに小海区ごとの結果を海区間比較することにより小海区の漁業の特徴や変化の原因について考察した。

材料と方法

解析に利用したデータ

九州農政局が集計した長崎県農林水産統計年報に含まれる海面漁業生産量・魚種別漁獲量統計データのうち、1965年から2018年の54年分のデータを解析に利用した。長崎県周辺海域は統計上、沿岸漁業組合の地域範囲を原則的な区分基準として、地理的条件や漁業の特徴から a) 壱岐海区、b) 対馬海区、c) 西彼海区、d) 五島海区、e) 北松海区、f) 長崎有明海区、g) 橘湾海区、h) 大村湾海区の8つの小海区に分類されている。本研究では地域ごとの生態系の経年変化を分析するために、この小海区別魚種別漁獲量データを使用した。ただしこの統計情報は属人統計であり、海区外での漁獲も含むことに留意が必要である。また、統計データの性質上、該当する調査客体が少ない場合には秘密保護の観点から数値が秘匿されるが、その場合は該当する漁獲量を0とみなして解析に利用した。

解析手法

初めに漁獲物の特徴に応じて各小海区をグループ分けするため、小海区ごとに魚種別漁獲量の全年度平均値を求め、規準化した値を基に、Ward法によるクラスター解析を実施した。また魚種別漁獲量データから、各小海区の魚種別漁獲量の経年変化についても調べた。

続いて漁業による生態系への影響の解析を試みた。生態系を的確に捉えるには構成種の現存量、生

産量、捕食被食関係といった生態特性値が重要であるが、これらを推定する際に必要となる詳細なデータを過去に遡って取得することは困難である。そこで詳細な生態系分析の代用として、限られた情報から生態系の状態をモニタリングするツールである生態系指標を用いた。本研究では魚種別漁獲量と文献から得られる補足的生物情報を用いて算出することのできる生態系指標として、i) 多様度指数、ii) 漁獲物平均栄養段階 (Mean Trophic Level of Catch, 以下 MTLc とする)、iii) 基礎生産要求量 (Primary Production Required, 以下 PPR とする)、iv) 二次生産損失量 (Loss in Secondary Production, 以下 LSP とする) の4つの生態系指標を用いた。各指標の計算方法を以下に説明する。

i) 多様度指数

本研究では Chung et al.⁸⁾ の大村湾の生態系に関する研究を参考に、漁獲物の種の豊富さと種組成の均等さを示す指標として、魚種別漁獲量に Shannon-Wiener の多様度指数 H' を適用した。

$$H' = - \sum_{i=1}^i p_i \ln p_i$$

p_i は小海区別全漁獲量に対して種 i が占める割合である。

ii) MTLc

漁獲種の栄養段階を漁獲量で重み付け平均した値で、漁業が生態系のどの栄養段階を中心に利用しているかを表す指標となる。本研究では、漁業は経済価値の高い高次栄養段階の魚種から選択的に漁獲することで順に枯渇させ、生態系の食物網構造の低次化 (MTLc の低下) を招くと提唱した Pauly³⁾ の Fishing down 現象が長崎県の各小海区でも発生しているか検証するために用いた。次式から求める。

$$MTLc = \sum_{i=1}^i \frac{C_i \cdot TL_i}{C_i}$$

C_i は種 i の漁獲量、 TL_i は種 i の栄養段階を表す。また計算に利用した魚種ごとの栄養段階 (TL) は Froese, R. and D. Pauly. Editors. 2022. FishBase. World Wide Web electronic publication. www.fishbase.org, version (02/2022) より引用した。また、計算の過程で得られる各年各小海区の栄養段階別漁獲量を0.5の階級幅で集計し、3Dヒストグラムとして図示した。農林水産統計では漁獲量が少ない魚種は、「その他の魚種」としてまとめられているが、

TL=3.5 と仮定して計算した。

iii) PPR

漁業が生態系から取り上げた漁獲物の量を、それを生産するために必要な基礎生産量に換算した値である。以下の式より計算される。

$$PPR = \sum_i C_i \times TE^{(1-TL_i)}$$

TEは転換効率を表す。PPR が高いほど漁獲が多量の基礎生産によって支えられていることを表し、エコロジカルフットプリント⁹⁾の観点から、漁業が海域一次生産に与える負荷を示す指標となる。各栄養段階間の転換効率は Pauly and Christensen¹⁰⁾にならない、栄養段階にかかわらず一律 TE=0.1 と仮定した。

iv) LSP

漁業によって漁獲物が生態系から取り除かれることにより、それより高い栄養段階における潜在的な生産の損失量を示す値である。¹¹⁾

$$LSP = \int_{TLc}^{\infty} Y_c TE^{\tau-MTLc} d\tau = -\frac{PPR TE^{MTLc-1}}{\ln TE}$$

MTLcは漁獲物平均栄養段階、PPRは基礎生産要求量である。LSPは漁獲による高次捕食者の餌損失を積分した値であり、この値が高いほど漁獲が高次捕食者に与える影響が大きいことを表す。

Libralato¹¹⁾らはこの値を対象海域の基礎生産量(P₁)で除算し、基礎生産に対する二次生産損失の割合を生態系指標 L-index とした。

$$L = \int_{TLc}^{\infty} \frac{PPR}{P_1} TE^{t-MTLc-1} TE^{t-MTLc} dt = -\frac{PPR TE^{MTLc-1}}{P_1 \ln TE}$$

本研究では各年各小海区のP₁を推定することができなかつたため、LSPを高次栄養段階への負荷量の指標として使用した。さらに縦軸にLSP、横軸にPPRをとって各小海区の経年変化を散布図として表した。この散布図は原点からの距離が漁獲によって生態系が受ける負荷の大きさを表し、図の上方に行くほど高次捕食者への負荷が大きくなり、右側に行くほど基礎生産への負荷が大きくなることを示す。

以上の方法で得られた小海区ごとの生態系指標に基づき小海区間で比較検証を行った。また小海

区LSP/PPRの海区间比較の際には、PPRとLSPの相対関係の地域差を明瞭にするため対数をとって図示し、95%確率楕円を示した。また同時に長崎県下各漁業協同組合へ漁業の実態についてのヒアリング調査を行い、解析結果の解釈に副次的に利用した。

統計解析には統計解析フリーソフト R 4.1.0 (R Core Team 2018) を使用した。

結果

小海区の漁業の特徴

魚種別漁獲量の平均値からクラスター解析を行った結果、長崎の小海区は大きく3つのクラスターに分類された (Fig. 1)。クラスター1には対馬海区と壱岐海区が含まれ、クラスター2は西彼海区、北松海区、五島海区が、クラスター3は長崎有明海区、大村湾海区、橘湾海区が該当する。

クラスター1は後述するようにスルメイカ (*Todarodes pacificus*) の漁獲量が卓越し、主にイカ釣りを中心に操業している地域である。クラスター2は主に大・中型まき網、小・中型まき網や以西底曳き網によってマアジ (*Trachurus japonicus*)、サバ類 (*Scomber japonicus*, *S. australasicus*) などを主に漁獲している。クラスター3は陸に囲まれた湾状の海域であり、小・中まき網でマイワシ (*Sardinops melanostictus*) やカタクチイワシ (*Engraulis japonicus*) を漁獲し、その他小型底曳き網などで多数の魚種を少量漁獲している。

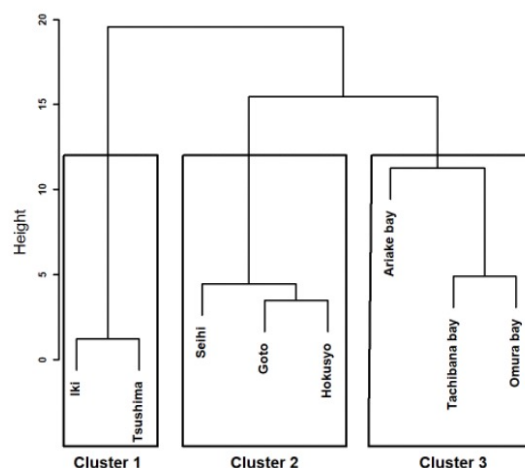


Fig. 1. A dendrogram showing the result of a cluster analysis classifying eight subregions of Nagasaki prefecture based on mean catches per fish species.

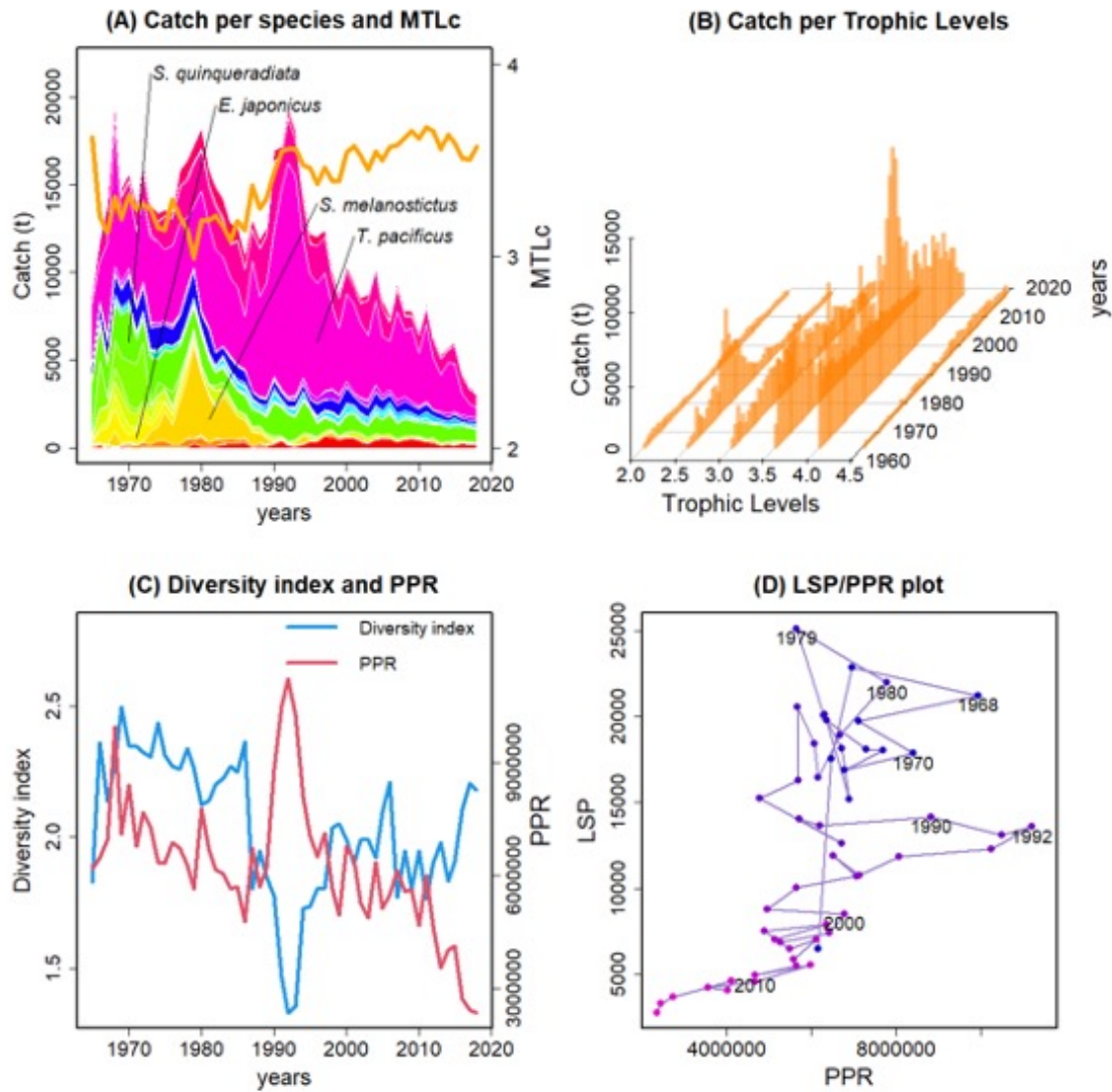


Fig. 2. Long-term changes in catch per species and MTLc (A), catch per trophic levels (B), diversity index (H') and PPR (C), the relationship between PPR and LSP (D) in Iki subregion.

小海区ごとの漁獲の長期変化

a) 壱岐海区 (Fig. 2)

壱岐海区の漁獲量は1968年に21,979 tで最大となり、1980年、1992年にもそれぞれマイワシとスルメイカの漁獲増加によりピークを示したが、1994年以降は減少し2017年は3,502 tである。スルメイカ漁獲量は1990年頃から爆発的に増加し、1992年には13,000 tに達したが、その後は大幅に減少した (Fig. 2A)。栄養段階別漁獲量はアジ類、サバ類が該当するTL=3.5の階級とスルメイカの該当するTL=4.0 (3.75~4.25) の階級で漁獲量が多い (Fig. 2B)。MTLcは1970年から1980年代は3.2前後と低く、1990年以降は3.5程度まで上昇して

いる (Fig. 2A)。これは1980年代のマイワシの大量発生が終息して以降、スルメイカ (TL=3.8)、ブリ (*Seriola quinqueradiata*, TL=4.0) の占める割合が大きくなったことに起因する。多様性指数は、1992年前後の低下を除いて、ほぼ横ばいである (Fig. 2C)。LSP/PPRでは1970年から1980年にかけてはLSPが高く、1990年代にはPPRが高い状態にあった。近年では漁獲量の減少を反映してLSP、PPRともに低下している (Fig. 2D)。

b) 対馬海区 (Fig. 3)

対馬海区の漁獲量は1968年に44,926 tで最大となり、2017年は13,659 tと最小である。本海区は魚種別漁獲量の中でスルメイカが占める割合が高

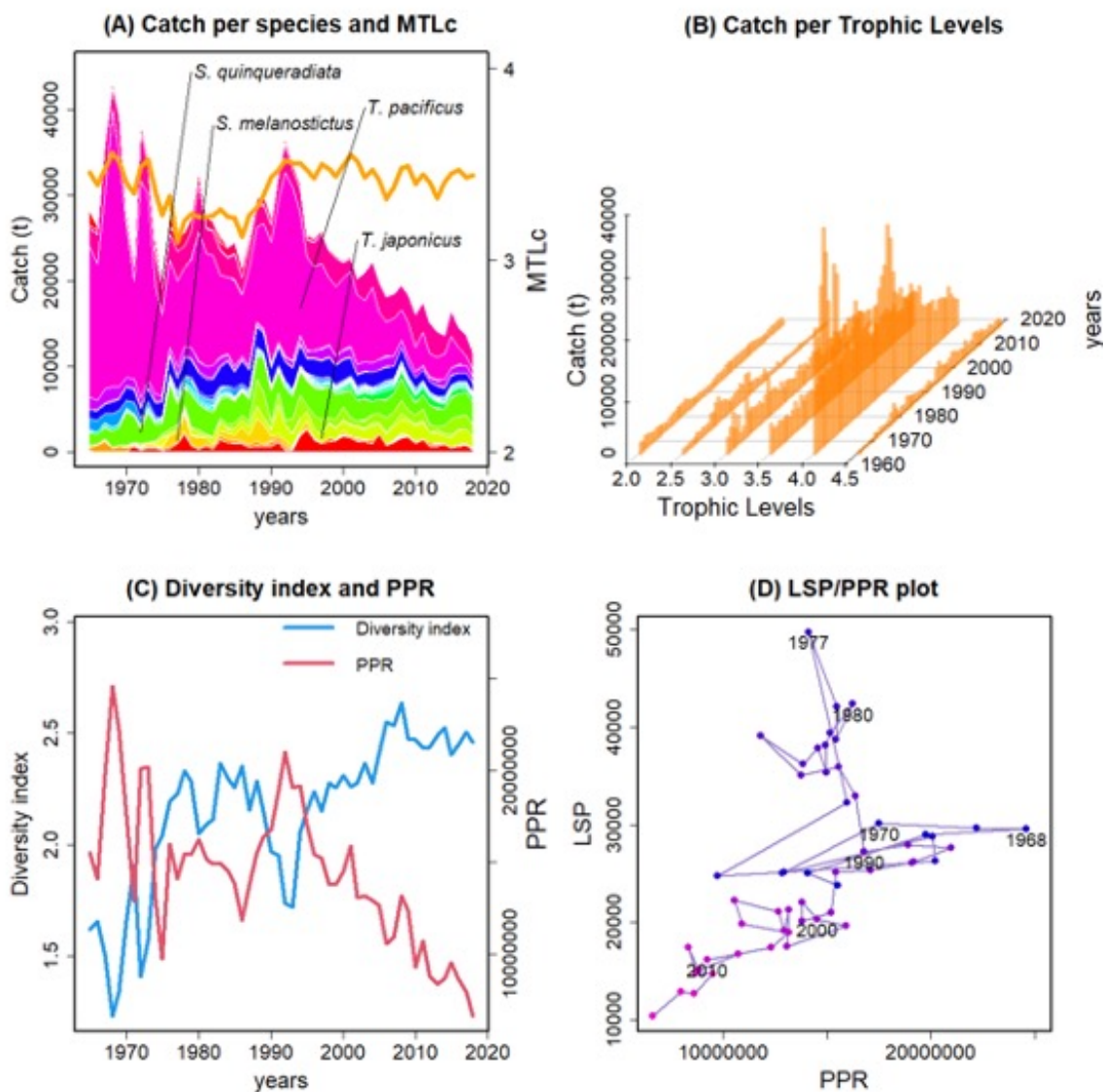


Fig. 3. Long-term changes in Catch per species and MTLc (A), Catch per Trophic level (B), Diversity index (H') and PPR (C), the relationship between PPR and LSP (D) in Tsushima subregion.

く、スルメイカの漁獲量は 1965 年から 1975 年にかけて高い状態にあり、1974 年から 1988 年にかけて落ち込んだ。その後、1989 年から 1991 年にかけて再度増加したが、1992 年以降は減少を続け、それに伴い海区全体の漁獲量も縮小した (Fig. 3A)。栄養段階別漁獲量もスルメイカの該当する TE=4.0 (3.75 ~ 4.25) の階級が卓越している (Fig. 3B)。MTLc はほぼ一定であり、漁獲対象の栄養段階低次化は認められなかった (Fig. 3A)。多様性指数は 1965 年から 2017 年にかけて上昇傾向を示しており、これは全体の漁獲量に対するスルメイカ漁獲量の割合が減少し種組成の一様度が高まっていることを反映している (Fig. 3C)。LSP/PPR の経年変化では、1960 年代後半に PPR が高まり、その後 1980

年頃にかけて LSP が高まった。近年では PPR, LSP ともに縮小している (Fig. 3D)。

c) 西彼海区 (Fig. 4)

西彼海区の漁獲量は 1960 年代には 250,000 t を超える高い水準にあり、1970 年に 329,314 t で最大となった。その後、1976 年に 200 海里排他的経済水域の導入によって 220,672 t まで急速に減少した後、さらにマイワシの漁獲量減少を反映して 1980 年代後半から 2000 年にかけて減少を続け、2000 年以降は 40,000 t 前後の水準で横ばいである。1970 年代の漁獲の主体はマアジ、サバ類などで、1979 年頃からはマイワシが大きな割合を占めたがその後縮小し、2000 年以降は全ての種の漁獲が低水準と

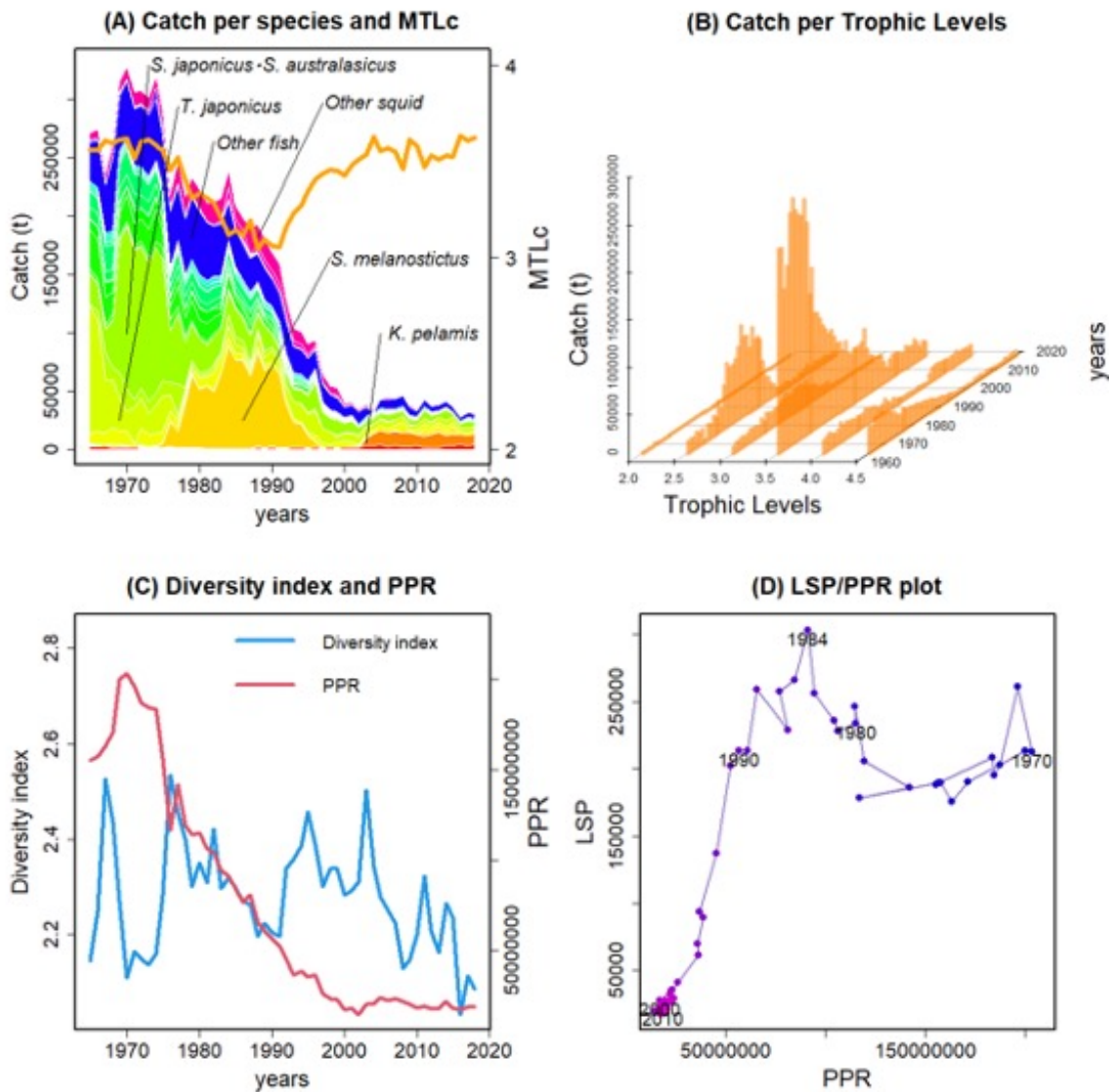


Fig. 4. Long-term changes in catch per species and MTLc (A), catch per trophic levels (B), diversity index (H') and PPR (C), the relationship between PPR and LSP (D) in Seihai subregion.

なった。MTLc はマイワシの漁獲量と逆の関係にあり 1980 年代には大きく低下したが、2000 年以降は 3.5 前後で安定している (Fig. 4A)。栄養段階別漁獲量は、TL=3.5 のマアジ、サバ類主体の漁獲から 1970 年代から 1980 年代には TL=2.5 のマイワシ中心に変化したことを示した (Fig. 4B)。一方、多様度指数をみるとほぼ横ばいである (Fig. 4C)。LSP/PPR は独特のパターンを示し、当初から PPR、LSP ともに高く 1969 年から 1975 年にさらに PPR が増大した。その後 LSP は維持したまま PPR が縮小し、1990 年以降は漁獲量の急激な減少に伴い PPR、LSP ともに低下した (Fig. 4D)。この推移は東シナ海における公海漁業の拡大と衰退を反映している。

d) 五島海区 (Fig. 5)

五島海区は 1970 年代後半から漁獲量が急増し 1979 年には 292,512 t の漁獲をあげるなど 1990 年代後半まで高い漁獲量を維持していたが、1996 年から急速に減少し 2017 年には 76,359 t まで縮小した。魚種別漁獲量はマアジ、ムロアジ類 (*Decapterus muroadsi*, TL=3.4)、サバ類など小型浮魚類が占める割合が高いが、カタクチイワシの漁獲は少ない (Fig. 5A)。また、栄養段階別にみると TL=2.5 (マイワシなど)、TL=3.5 (マアジ、サバ類など) の漁獲が大半を占める (Fig. 5B)。MTLc はマイワシの漁獲が増大した 1980 年代に低下しているがそれ以降は横ばいであり (Fig. 5A)、多様度指数は 2.4 付近

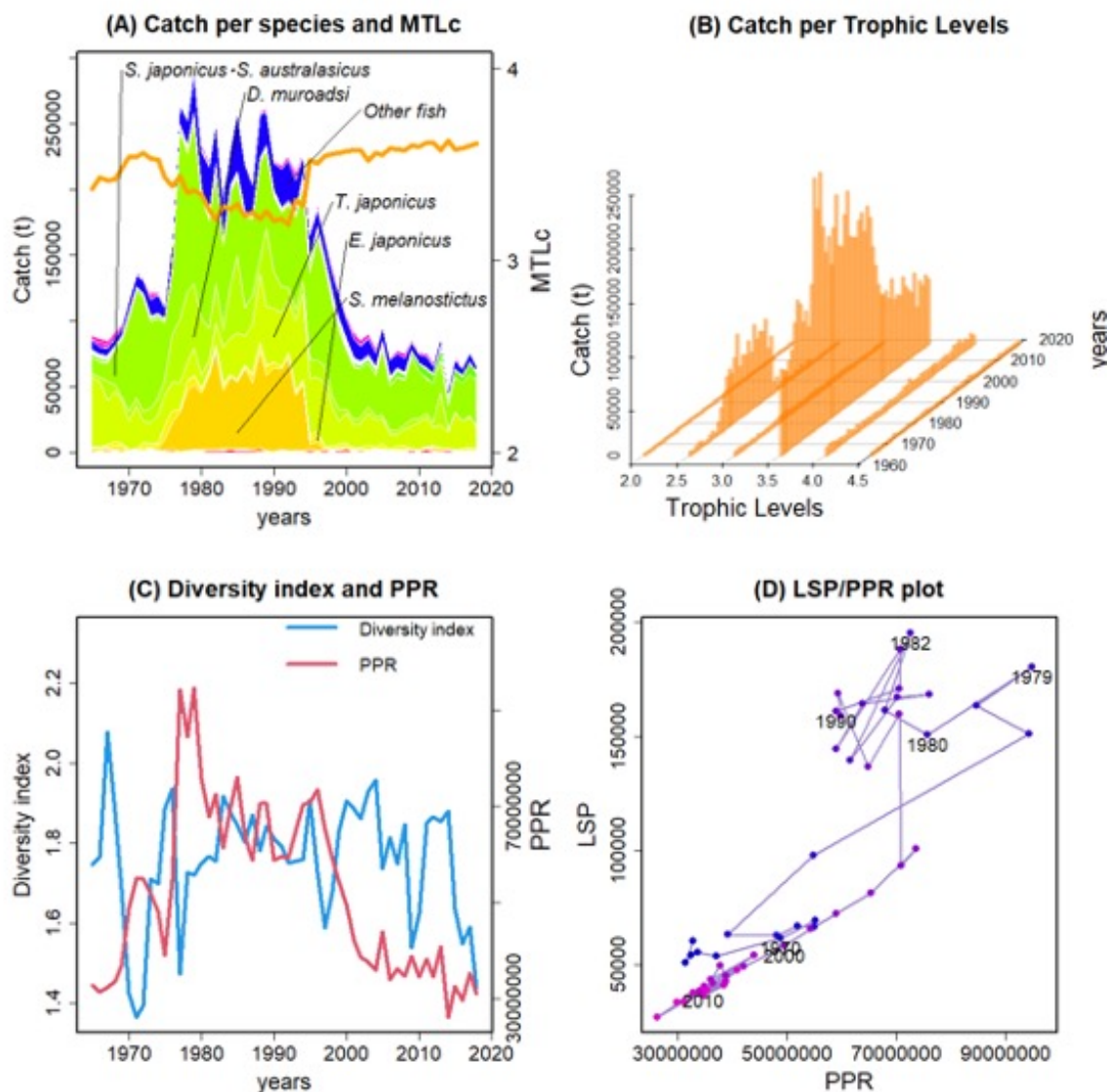


Fig. 5. Long-term changes in catch per species and MTLc (A), catch per trophic levels (B), diversity index (H') and PPR (C), the relationship between PPR and LSP (D) in Goto subregion.

で横ばいとなっている (Fig. 5C)。LSP/PPR は右上から左下へと対角方向の変化を示しており、1980年代・1990年代には PPR, LSP ともに高い状態であったが、2000年以降どちらも縮小している (Fig. 5D)。

e) 北松海区 (Fig. 6)

北松海区の漁獲量は 1960年代から 1970年代にかけてサバ類の漁獲量とともに増加し、1988年にはマイワシの増大により 382,120 t と最大になった。1990年代には急速に漁獲量が減少したが 2000年以降は横ばいで、2017年の漁獲量は 170,021 t である (Fig. 6A)。栄養段階別漁獲量から TL=2.5 の階級 (マイワシ, カタクチイワシなど) と TL=3.0 の

階級 (サバ類, マアジなど) で卓越しており、小型浮魚の漁獲が大きいことわかる (Fig. 6B)。MTLc は 1980年代の低下を除いて横ばいであり (Fig. 5A), 多様性指数は 1970年から 1990年までに比べて、2000年以降は高い水準にある (Fig. 6C)。LSP/PPR の経年変化をみると 1960年代はどちらも低い状態から始まり、1970年代にはサバ類, マアジの漁獲増加を反映して PPR が増加し、1980年代にはマイワシの漁獲増大により LSP が増加した。2000年以降は PPR, LSP どちらも低い状態にある (Fig. 6D)。

f) 長崎有明海区 (Fig. 7)

長崎有明海区の漁獲量は比較的小さく、年変動が大きい特徴があり、1970年代は 10,000 t 前後で

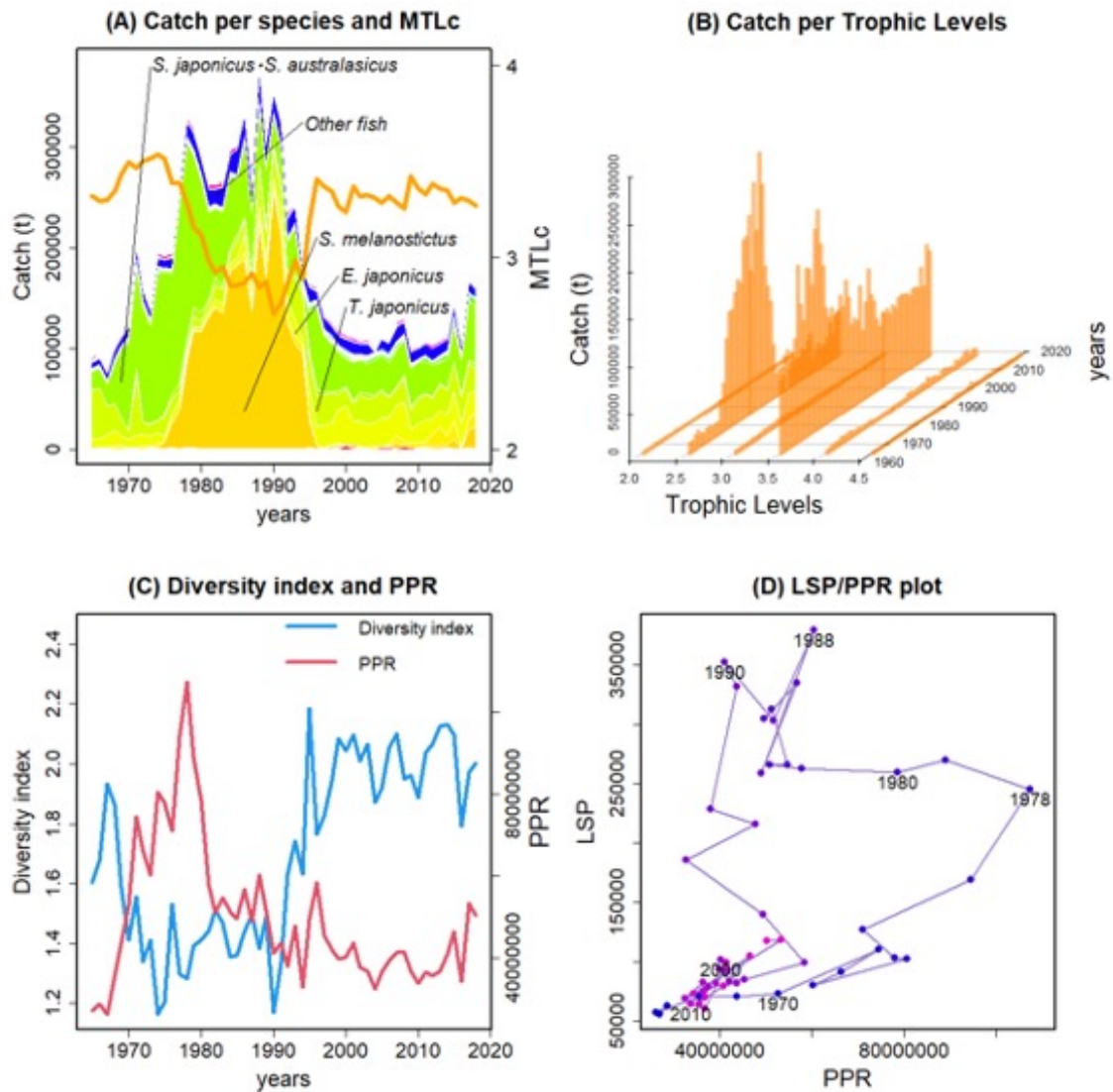


Fig. 6. Long-term changes in catch per species and MTLc (A), catch per trophic levels (B), Diversity index (H') and PPR (C), the relationship between PPR and LSP (D) in Hokusyo subregion.

1979年には最大の23,679 tを記録したが、1990年以降は急速に減少し、2017年は1,422 tであった。魚種別漁獲量を見るとその他の魚種 (TL=3.5として計算)、その他貝類 (TL=2.0、本海区ではサルボウガイ、*Anadara kagoshimensis*が主体と考察される)の占める割合が高い。1965年から1992年まではその他貝類の漁獲が1,000~11,000 tほどあったが、近年は4 t程度とほとんど漁獲されていない。1990年から2000年にかけてはスルメイカの漁獲が増えたが、2000年以降は減少した。MTLcは貝類の漁獲減少を反映して1990年から2000年にかけて増加している (Fig. 7A)。栄養段階別漁獲量から幅広い栄養段階の漁獲物を利用していることがわかる (Fig. 7B)。また、多様度指数は高くほぼ横ばいで

ある (Fig. 7C)。LSP/PPRプロットを見ると1970年代にはLSP、PPRとも中程度の値であったが1980年代にPPRが増加し、その後は徐々にLSPが低下し1996年以降は全体的な漁獲の減少を反映してPPRが低下している (Fig. 7D)。

g) 橘湾海区 (Fig. 8)

橘湾海区の漁獲量は1980年代半ばまで拡大傾向にあり1984年には34,640 tと最大になったが、1987年から顕著な縮小傾向を示し、2017年は10,034 tである。魚種別漁獲量を見ると、漁獲はマイワシ、カタクチイワシに大きく依存しており、MTLcも1994年まではMTLc=2.7程度である (Fig. 8A)。栄養段階別漁獲量を見るとマイワシ・カタクチイワシが

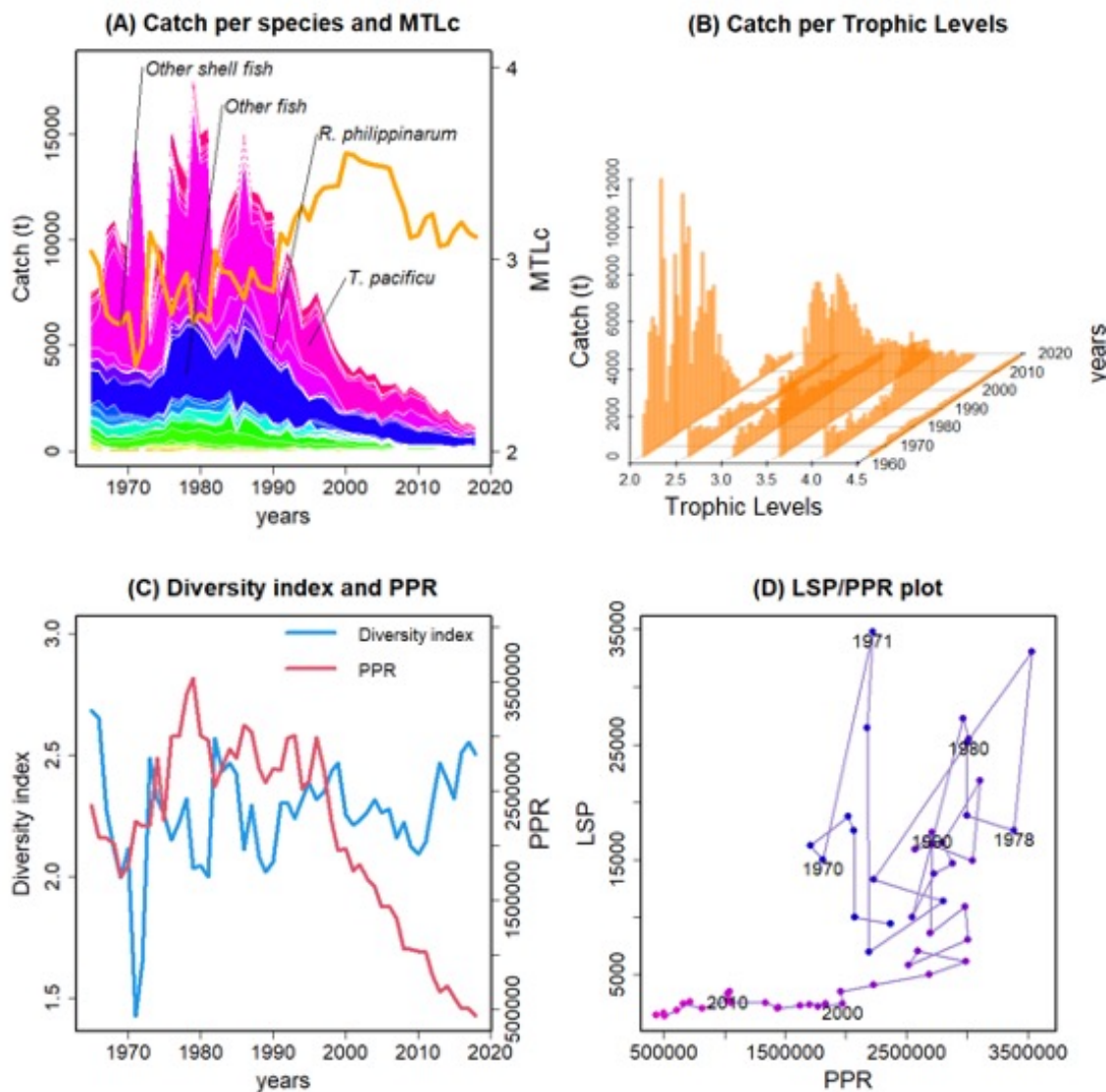


Fig. 7. Long-term changes in Catch per species and MTLc (A), Catch per Trophic level (B), Diversity index (H') and PPR (C), the relationship between PPR and LSP (D) in Ariake bay subregion.

含まれる TL=2.5 の階級と、サバ類・その他魚種が含まれる TL=3.5 の階級で漁獲量が高い (Fig. 8B)。多様性指数は 1960 年代には低い値を示したが、カタクチイワシ・マイワシの漁獲割合の低下を反映して 1970 年代以降は上昇した (Fig. 8C)。LSP/PPR のプロットは漁業の拡大と縮小の過程を反映し、左下から始まって 1970 年代、1980 年代に右上に上昇したのち、1980 年代には PPR が縮小、さらに 1990 年代、2000 年代にかけては LSP が縮小した (Fig. 8D)。

h) 大村湾海区 (Fig. 9)

大村湾海区の漁獲量は 1960 年代から 1970 年代は比較的高く、1971 年では 14,119 t で最大となっ

た。その後減少し 1980 年代にはマイワシの漁獲増加により若干持ち直したものの 4,000 t 前後の水準となり、さらに 2000 年代後半から減少傾向が続き、2017 年は 1,618 t となった (Fig. 9A)。本海区は漁獲量のうちその他の魚種の占める割合が高く、これは大村湾が四方を陸に囲まれた閉鎖的な湾であり、雑多な魚種を少量ずつ獲りあげるような漁業を行なっていることに起因する。それ以外では主にカタクチイワシを漁獲しているため MTLc は比較的低位で安定している。栄養段階別漁獲量でも TL=2.5 (マイワシ、カタクチイワシなど)、TE=3.5 (その他の魚類など) が卓越しており、近年ではすべての栄養段階で漁獲量が落ち込んでいる (Fig. 9B)。多様性指数は高くほぼ一定の値を示す (Fig.

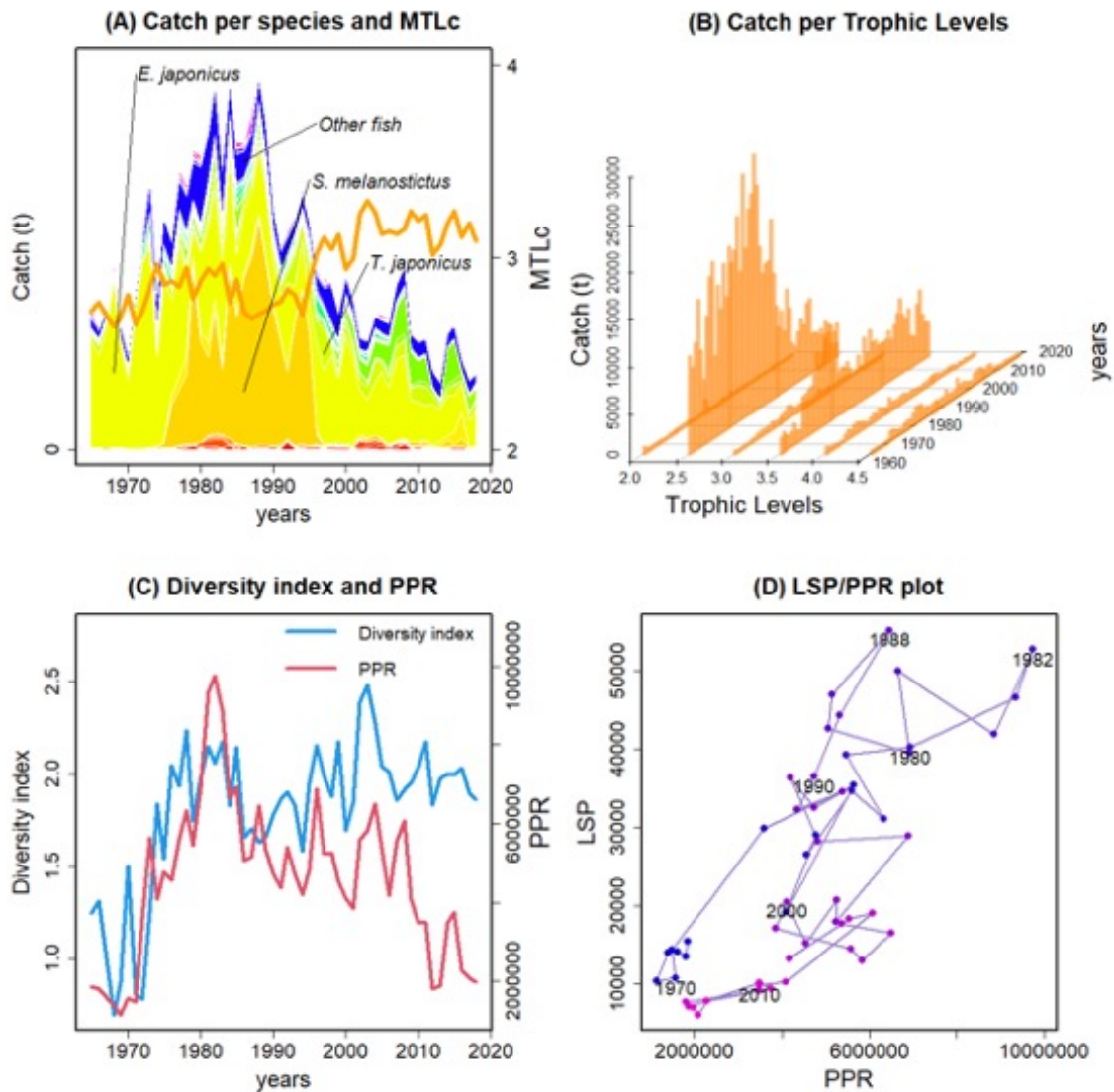


Fig. 8. Long-term changes in Catch per species and MTLc (A), Catch per Trophic level (B), Diversity index (H') and PPR (C), the relationship between PPR and LSP (D) in Tachibana bay subregion.

9C)。LSP/PPRは1965年から1971年まで大きく右上に振れた後、1970年代にLSP、PPRともに低下し、1980年代以降は年々縮小を続けていることがわかる (Fig. 9D)。

小海区間での生態系指標の比較

多様性指数を各年度の値を基に小海区間で比較したところ、西彼海区、大村湾海区、長崎有明海区では高い値であり、北松海区、橘湾海区、五島海区では低く、壱岐海区、対馬海区はその中間程度であった (Fig. 10)。

MTLcを比較すると、大村湾海区、橘湾海区、長崎有明海区の3海区ではほかの海区と比較して低い値となった。MTLcの経年変化を見ると壱岐海区、対馬海区、北松海区、西彼海区、五島海区では高い

状態から1980年から1990年にかけて低い状態にシフトし、その後1990年代から2000年の間に元の高い状態に変化している。橘湾海区、長崎有明海区では1990年代まで低水準で横ばいであり、1990年から2000年にかけて増加した。大村湾海区では1970年代後半から1980年にかけて一度大きく減少したが、その後は明瞭な変化はなく微増した。全海区を通してMTLcの明瞭な減少は検出されなかった。

$\ln(LSP) / \ln(PPR)$ の海区間比較 (Fig. 11) から、LSP、PPRが高い値をとる西彼海区、北松海区、五島海区は図の右上に重なって位置し、またLSP、PPRともに小さい長崎有明海区、橘湾海区、大村湾海区も近接していた。壱岐海区、対馬海区はその中間に分布するが、対馬海区のほうがLSP、PPRともに

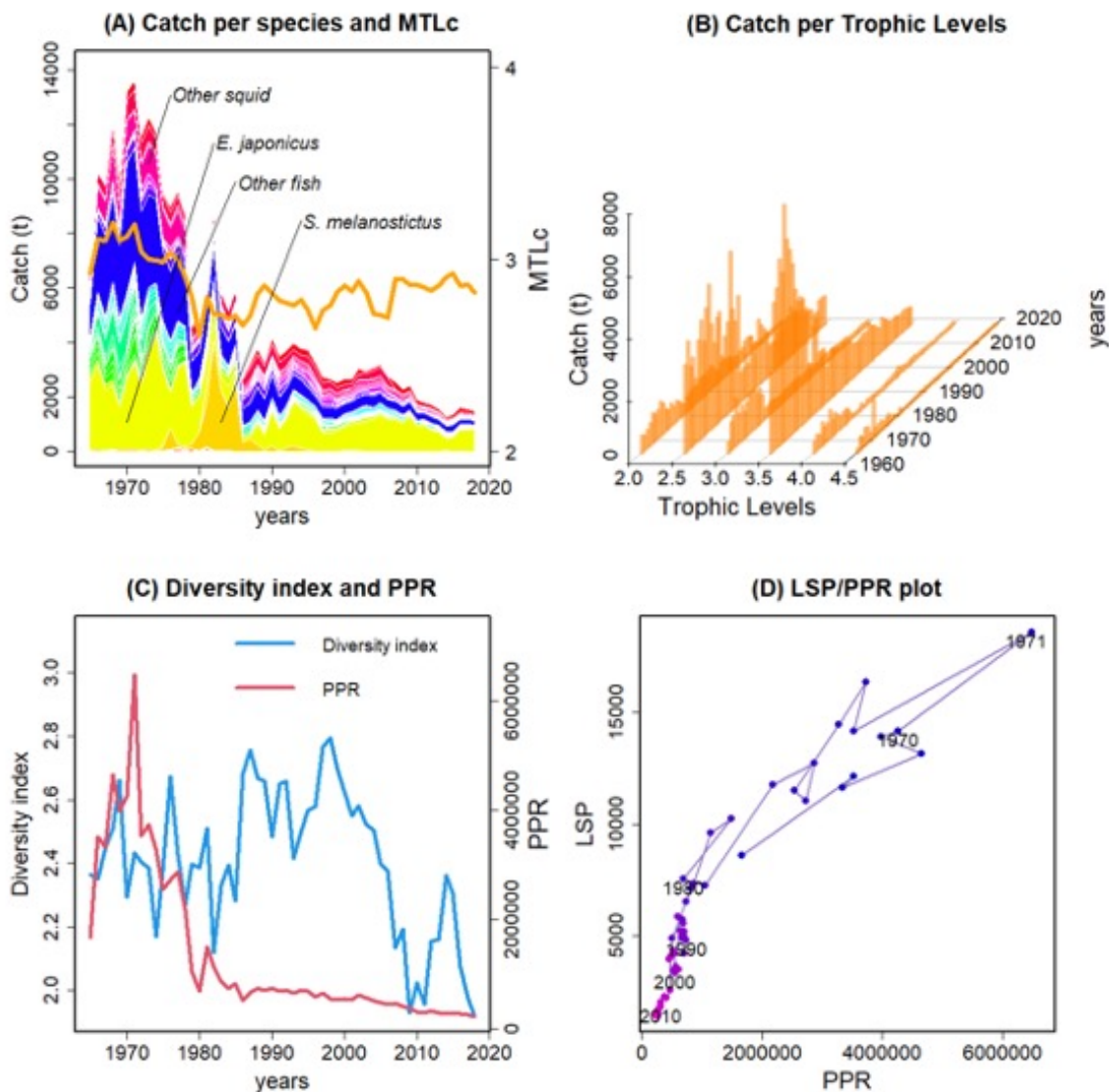


Fig. 9. Long-term changes in Catch per species and MTLc (A), Catch per Trophic level (B), Diversity index (H') and PPR (C), the relationship between PPR and LSP (D) in Omura bay subregion.

高く西彼海区との類似性を示しており、一方杓岐海区は長崎有明海区、橘湾海区と類似する。また長崎有明海区、橘海区、大村湾海区の MTLc が他の海区に比べ低いことを反映して、PPR に対する LSP の値がやや高くなった。

考察

本研究では、漁獲統計を基に i) 多様度指数, ii) MTLc, iii) PPR, iv) LSP という 4 つの生態系指標を用いて各小海区の漁業と生態系の変遷を調べた。

多様度指数は、マイワシやスルメイカなど漁獲の大部分を占める優占種の卓越度の変化に応じて増減し、それ以外には各小海区における特筆すべき経年変化は検出されなかった。一方、多様度指数

を小海区間で比較すると、地域ごとの漁獲特性の違いを数値化することができた (Fig. 10)。多様度指数が低い五島海区、北松海区はマアジ、サバ類を対象とした大・中型まき網、中・小型まき網の漁獲が大きな割合を占めることを反映し、また橘湾海区では中・小型まき網等によるカタクチイワシ、マイワシの漁獲が他の漁種に比べ格段に大きいことを反映した。一方多様度指数の高い長崎有明海区、大村湾海区は多様な小規模漁業を抱える海区であり、卓越した漁獲対象種をもたないことを反映した。このように漁獲統計に基づく多様度指数は海区内の経年変化では漁獲物の均等度の指標となり、海区間比較では卓越する魚種や漁業種類の有無を反映した指標となった。漁獲統計の属人統計としての特性や種解像度の粗さから、生態系の多様性

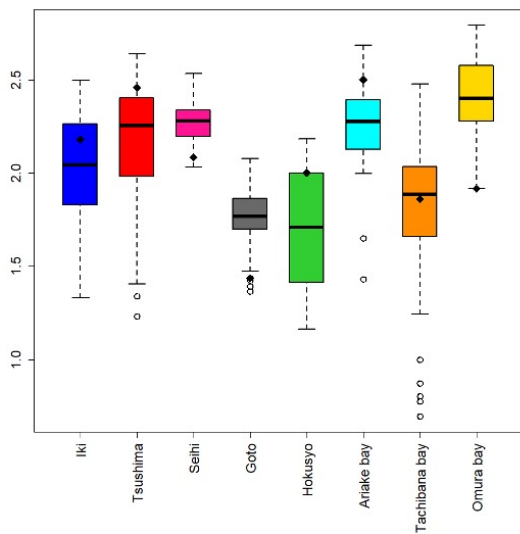


Fig. 10. Boxplots showing variations of species diversity index of catches by subregion. The rhomboidal marks(◆) indicate the values for 2018 fishing year.

を示す値としては必ずしも十分ではないと考えられる。

MTLcについては、小海区ごとに経年変化を観察した結果、1980年代のマイワシ(TL=2.43)の漁獲量増大とその後の縮小を反映した変動が多く的小海区で認められた。壱岐海区、対馬海区、西彼海区、五島海区、北松海区、橘湾海区、大村湾海区でMTLcが増加に転じた時期はその海区でマイワシの漁獲量が急減した時期と一致する。マイワシは他のプランクトン食性の小型浮魚類に比べると鰓耙が細かく、大型の植物プランクトンを直接摂餌できるため栄養段階がTL=2.5と低い。また、マイワシとカタクチイワシはレジームシフトと呼ばれる数十年規模の大幅な環境変動によって魚種交代を起こすことが知られており¹²⁾、水温が低いレジームにおいて漁獲物中のマイワシの割合が大きくなるとMTLcが低下する関係が認められた。例外として長崎有明海区ではマイワシの漁獲とは関係なく1991年以降MTLcが上昇している。これはその他貝類の漁獲減少を反映したものであり、原因として海底底質の泥化や貧酸素水塊の発達や赤潮の発生などが挙げられており、諫早湾干拓事業との関連性も示唆されている。¹³⁾ 以上のように長崎県周辺の多くの小海区ではマイワシ、カタクチイワシや貝類など低次栄養段階の卓越種の増減によってMTLcの大きな上昇や下降が起こることが確認された。一方、Paulyが指摘した高次捕食者からの連鎖的な乱獲(Fishing down現象)のような高次捕食者の減少に起因するMTLcの低下は検出されなかった。日本周辺ではFishing down現象が起こって

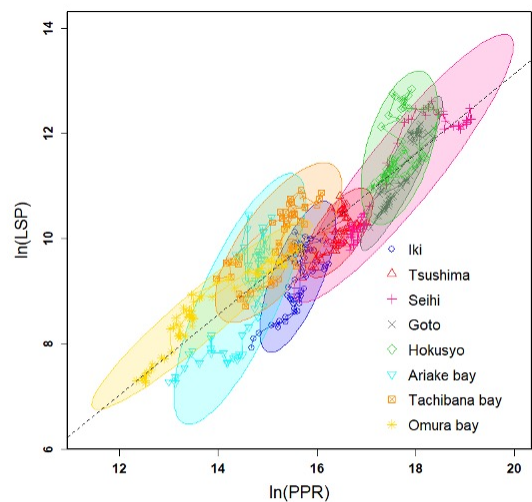


Fig. 11. Long-term changes and subregional differences in the relationship between $\ln(\text{LSP})$ and $\ln(\text{PPR})$. Oval areas demonstrate 95% ranges for the subregions, and the dashed line represents the regression line for all subregions.

いないとする指摘は他の論文でもなされており、本報はそれらを支持する結果となった。¹⁴⁻¹⁵⁾ このようにMTLcは漁獲物構成の大まかな特徴を示す指標としては一定の価値があるが、漁獲量の変動が大きい低次栄養段階生物の影響を強く受けるため、漁獲が生態系に与える影響を示す指標としては不十分であった。

PPRとLSPを利用した $\ln(\text{LSP})/\ln(\text{PPR})$ の散布図(Fig. 11)では、長崎有明海区、橘海区、大村湾海区では漁獲量が他地域に比べ相対的に小さいことから図の左下に分布し、内湾でのマイワシ、カタクチイワシを対象とした中・小型まき網や採貝など低次栄養段階を利用した漁業が主体となることを反映してPPRに対するLSPが他海区と比較してやや高く位置する傾向がみられた。一方西彼海区、北松海区、五島海区は大・中型まき網、中・小型まき網船団を有し、広い海区でマアジ、サバ類など高次捕食者を対象として多量の漁獲を揚げることから $\ln(\text{LSP})/\ln(\text{PPR})$ の散布図では図の右上に分布した。壱岐海区、対馬海区はスルメイカを対象とした沿岸イカ釣りで中程度の漁獲を揚げていることを反映して図の中央付近に集まった。また全小海区で共通して漁獲量の減少が起こっており、海区内では2000年以降から近年になるほどPPR、LSPともに低下し図の左下方向に移動した。この漁獲量の減少理由については生態系の現存量や生産性の低下による漁業資源の枯渇と資源保全を意図した取り控えや就労者の不足などに起因する漁業の縮小の2通りの可能性が考えられるが、この図表から判断することはできないため別情報に基

づいた考察が必要となる。そこで長崎県下 17 カ所の漁協へヒアリング調査を実施して漁業と漁獲の推移について説明を求めた。その結果多くの漁協で共通して、「ここ 20 年の間に急激に魚が捕れなくなった」、「昔は沿岸まで魚が寄ってきていたが、今では遠くまで船を出さないと獲れなくなった」、「船を出しても魚が獲れず、獲れても価格が安いため儲けが出ない」という所感を聞くことができ、長崎県内各地の漁業は 20 世紀後半のように魚が獲れず、生産性が低下した状態にあるという印象を持っていることが確認できた。以上から 2000 年以降の長崎県の漁獲量減少は獲り控えではなく生態系の生産力の低下に起因する漁業資源の縮小によるものと推察される。 $\ln(LSP) / \ln(PPR)$ の散布図は各小海区の漁獲の拡大、縮小と高次栄養段階と低次栄養段階のどちらを主に生態系から取り上げているか同時に読み取れるメリットがあり、小海区ごとの漁業の特徴と漁獲対象の変遷をよく反映した。ただし漁獲が生態系に及ぼす負荷を示す指標としては有用だが、海区の生態系の状態そのものを表す指標としては不十分であった。

2000 年以降の漁獲量減少は長崎県内のすべての小海区で起こっており、本研究での解析結果だけではなく漁業従事者からも魚がいなくなったという感想が多数寄せられており、生態系の生産力の低下による水産資源の悪化が示唆されたが、その原因究明には至らなかった。本研究では Fishing down 現象のような高次捕食者からの段階的な漁獲量減少は確認できなかったが、長崎県ではいりこ原料、一本釣り用の餌や養殖飼料としてカタクチイワシやマイワシの需要が高く、中位栄養段階の小型浮魚の漁獲が多いことから餌魚 (forage fish) の漁獲過多による生態系の生産力の低下が起こっている可能性も考えられる。小型浮魚をまき網などにより大量に取り上げた結果、それを餌とする高次捕食者が減少し生態系全体が縮小していく現象が世界的に指摘されており、¹⁶⁾ その可能性も考慮しながら今後さらに詳細な減少要因の検討を続けていくことが必要である。

本研究では漁獲統計の解析を通して長崎県の 8 小海区それぞれの漁業の特徴と変遷を明らかにすることができた。国や地方自治体による漁業の状況の把握や管理施策の立案においては長崎県全体や東シナ海区といった大きな海域で漁獲をまとめて論じられることが多いが、長崎県内でも小海区ごとに全く異なる性質を持つ漁業が営まれ漁獲の増減パターンも異なることがわかり、漁業の実態

把握や有効な漁業振興施策には地域スケールでの漁業の状態分析が必要であることが示唆された。また本研究で用いた生態系指標は小海区の特徴づけに役立ち、特に LSP/PPR の散布図では漁獲が生態系に与える負荷の大きさを総合的に示していることから他の指標より情報量が優れていた。しかしすべての指標で生態系の状態をよく反映しているとはいえず、不十分な面もあった。この一因として、日本の漁業は低次栄養段階から高次捕食者まで多様な魚種を同時に利用しており、MTLc のような単純な生態系指標では生態系の状態が検出されにくいことが挙げられる。さらには日本の漁獲統計は魚種の分類が細分化されておらず、特に近年は統計の簡素化によってさらに魚種の統合が進み大分類にまとめられていること、また属人統計であり所属する小海区と実際に操業している海域が異なる場合があることも、漁獲統計から算出した指標が生態系の状態を表す指標として不十分であった一因と考えられる。FAO の漁獲統計や県単位、大海区単位での漁獲統計を基に生態系指標を算出した場合にも同様の問題が発生するため、特に日本のように多魚種を利用する中緯度地域の漁業データの解釈には注意が必要である。本研究では魚種ごとの栄養段階や転換効率などの各種生態系特性値は文献情報を参考に設定した。生態系特性値は海域によっても差異があると考えられるため、より頑健な結果が求められる場合には各種の食性や生態学的効率の調査を実施することが望ましいが、利用できる情報やコストに制約がある場合には文献情報を基にした近似的な値で代用することで一定の効果が見込めることが示された。

生態系の状態をより正確にモニタリングするには政府の開示する統計情報の解像度では不鮮明であり、漁協や市場、水産会社の所有する詳細な操業データの掘り起こしや漁業者へのヒアリング調査など現場の実態調査と漁獲物の栄養段階構造や種間関係を組み込んだ高度な指標の開発が課題である。そして小海区や浜ごとといった地域スケールでの生態系評価や漁業評価を行い、それらを基に地域の漁業の特徴に密接した資源管理方法や漁業振興施策を検討する順応的管理プロセスが今後重要になると考える

謝 辞

本研究を進めるにあたって大変お世話になった、はまげん (株) の石谷誠氏・野瀬瑠美氏、漁協ヒアリング調査にご協力いただいた島原漁協・大村湾漁協・新三重漁協・館浦漁協・佐世保漁協・相浦漁

協・みなと漁協・福田漁協・西彼南部漁協・瀬川漁協・針尾漁協・橘湾漁協・平戸漁協・九十九島漁協・西彼町漁協・有川町漁協・奈留町漁協・五島漁協の皆様にご心より感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 長崎県. 長崎県水産振興基本計画 令和3年度-7年度. 2021.
- 2) FAO. FAO yearbook of fishery and aquaculture statistics. 2019.
- 3) Pauly D, Christensen V, Dalsgaard J, Froese R, Torres F. Fishing down marine food webs. *Science*. 1998; 279: 860-863.
- 4) Worm B, Barbier EB, Beaumont N, Duffy JE, Folke C, Benjamin S, Jackson JBC, Lotze HK, Micheli F, Palumbi SR, Sala E, Selkoe KA, Stachowicz JJ, Watson R. Impact of diversity loss on ocean ecosystem services. *Science*. 2006; 314: 787-790.
- 5) Christesen V, Coll M, Piroddi C, Steenbeek J, Buszowski J, Pauly D. A century of fish biomass decline in the ocean. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 2014; 512: 155-166.
- 6) 牧野光琢. 現在の漁業管理制度. 水産総合研究所叢書 日本漁業の制度分析漁業管理と生態系保全 恒星社厚生閣, 東京. 2013; 78-91.
- 7) Kirby RR, Beaugrand G, Lindley J. Synergistic Effects of Climate and Fishing in a Marine Ecosystem. *Ecosystems*. 2009; 12: 548-561.
- 8) Chung S, Suzuki H, Kasai A, Nakata H. 2014. The response of fish communities to climate and human-induced changes inferred from fishery landings in an enclosed bay. *Estuaries Coast*. 2015; 38: 1365-1375.
- 9) Wackernagel M, Rees W. Fun with footprints: methods and real-world applications, In: Wackernagel M, Rees W (eds). *Our ecological footprint: reducing human impact on the earth*. New Society Publishers, London. 1996; 61-124. (ワケナゲル M, リース W. 和田喜彦, 池田真里 (訳). 楽しいフットプリント: 方法と現実社会への応用. 「エコロジカル・フットプリント: 地球環境維持のための実践プランニング・ツール」合同出版株式会社, 東京. 2004; 107-198.)
- 10) Pauly D, Christensen V. Primary production required to sustain global fisheries. *Nature*. 1995; 374: 255-257.
- 11) Libralato S, Coll M, Tudela S, Palomera I, Pranovi F. Novel index for quantification of ecosystem effects of fishing as removal of secondary production. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 2008; 355: 107-129.
- 12) 川崎 健. レジーム・シフト論. 地学雑誌. 2010. 119: 482-488.
- 13) 東幹 夫, 深沢南己, 山野紗希, 佐藤慎一, 市川敏弘, 佐藤正典, 松尾匡敏. 諫早湾潮止め後 20年間の有明海底生動物群集変化の総括的研究—有明海保全生態学研究グループ—. 自然保護助成基金助成成果報告書. 2020; 28: 1-10.
- 14) Yonezaki S, Kiyota M, Okamura H. Long-term ecosystem change in the western North Pacific inferred from commercial fisheries and top predator diet. *Deep-Sea Res. II*. 2015; 113: 91-101.
- 15) 松田裕之. 生物多様性条約とその観測ネットワークの取り組みにおける水産関係の問題点. 日本水産学会誌. 2009; 75: 935-936.
- 16) Hilborn R, Hirborn U. Ecosystem impacts of fishing, In: Hilborn R, Hirborn U (eds). *Overfishing: what everyone needs to know*. Oxford University Press, New York. 2012; 110-121. (ヒルボーン R, ヒルボーン U. 市野川桃子, 岡村 寛 (訳). 漁獲が生態系に与える影響. 「乱獲: 漁業資源の今とこれから」東海大学出版部, 神奈川. 2015; 113-122.)