HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	漁業LCA研究の現状と課題
Author(s)	藤森, 康澄
Citation	日本LCA学会誌, 14(3), 213-218 https://doi.org/10.3370/lca.14.213
Issue Date	2018-07
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/71349
Type	journal article
File Information	Fishery-LCA(fujimori).pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

漁業 LCA 研究の現状と課題

Status and problems of fishery LCA studies

藤森康澄*

*北海道大学　大学院水産科学研究院

Yasuzumi FUJIMORI*

*Faculty of Fisheries Sciences, Hokkaido University

概要

この数十年の間、世界の水産物の需要の増加とともに漁業生産量は大幅に増加している。その結果、現在、多くの地域の水産資源は一様に減少傾向にある。このような状況を背景として、水産資源の管理手法は制度、技術の両面にわたり大きく進展してきた。こうした管理の対象は、もちろん対象となる水産資源とそれを生産する漁業であり、いかに資源量を把握して再生産を維持しながら漁獲を行うかが管理方策の主体とされてきた。しかし、近年の生産量の増大にともなう加工、流通の量と範囲の拡大は、海面のみならず陸上におけるエネルギー消費、廃棄物に関わる漁業の環境影響の考慮の必要性を高め、新たな管理の考え方が議論されるようになった。こうしたことから、2000 年以降、LCA の手法を用いた養殖業、漁業を対象とした研究が徐々に増えてきている。さらに、近年では、陸上から漁業資源とそれをとりまく海洋生態系にわたる総合的な環境影響評価の可能性についても言及されている。本稿では、漁業の抱える問題を整理したうえで漁業 LCA 研究の現状を紹介するとともに、その課題について考察する。

キーワード：水産資源、持続可能性、混獲・投棄、漁業 LCA

Synopsis

Over the last decades, the fishery production has increased remarkably as the global demand expands. As a result, fisheries resources in many areas are now shows a downward trend. To cope with this situation, the methods of fishery resource management have made great progress both in system and technology under the policy of how to catch fish maintaining reproduction. However, in recent years the enlargement of processing volume and distribution range has increased the necessity of considering the environmental impact of fishery such as energy consumption and waste on sea as well as land. With this situation, the updating of management concept has been discussed and the research on aquaculture and fishery using LCA is gradually increasing after 2000. Furthermore, in recent years, the possibility of evaluation of comprehensive environmental impact to marine ecosystem including fishery resources are mentioned. This article presents various problems of fishery and shows discussion on the status of fishery LCA studies.

Keywords: Fisheries resource, Sustainability, Bycatch/Discards, fishery LCA

１．はじめに

世界における水産物の需要はおよそこの 50 年間で急激に増加しており、その生産量は漁業、養殖業を合わせるとおよそ 2 億トンに達し（図 1)、1 人当たり年間の水産物消費量は 20kg を上回る状況にある [1)]。こうした需要の増加は、多くの地域において水産資源の減少を引き起こしており、その 5 割以上は過剰に漁獲され、そのうち 2 割以上は枯渇あるいは崩壊の危機に直面していると推測されている [2)]。さらに、こうした資源への人為的インパクトは、対象となる資源をとりまく海洋生態系や環境へも様々な形で影響を及ぼしており、資源減少の間接的要因を作り出している。本来、水産資源は鉱物や化石燃料などの減耗性資源とは異なり再生産可能であり、過渡な漁獲を行わなければ永続的に利用可能な資源である。しかし、そのような水準を維持できている水産資源は現在世界中を見渡してもほとんど見当たらない。このような状況はすでに 1960 年代後半から予見されており、1970 年代に入り国連が中心となって沿岸国による関係水域の管理と遠洋漁業の制限の必要性から 200 海里漁業水域あるいは経済水域の設定が議論されるようになった。この議論の中、米国では 1976 年に漁業保存・管理法（マグナソン・スティーブンス法）が成立した。一方、わが国では、1983 年の第 1 回全国漁協大会において 200 海里体制下の漁業の在り方として資源管理型漁業が提唱されその推進が図られている。

このように 1970 年代後半から 1980 年代は世界的に資源管理型漁業の黎明期と言える。しかし、世界の水産物需要が高まるなか、依然として不合理漁獲（過剰投資による漁獲、小型魚の漁獲や過剰漁獲などを意味する）は多くの地域で続いており、そうした状況の中、国連食糧農業機関(Food and Agriculture Organization; FAO)は、1992 年にメキシコ（カンクン）で開催された「責任ある漁業のための国際会議」において、資源の持続的利用のための行動規範(Code of Conduct for Responsible Fisheries)[3)]を提案した。この規範は、過剰漁獲の抑制、対象資源の保存・管理といった漁業と資源の直接的な管理だけではなく、加工・流通および増養殖の開発促進における環境への配慮など、水産業における生産から流通にわたる環境影響にも及んでおり、その後の世界各国における資源管理において一つの理念として機能している。実際に米国は乱獲防止・回復・持続的漁業の推進を目的として 1996 年にマグナソン・スティーブンス法を改正している（2006 年にさらに改正)。また、我が国においても、2001 年に水産基本法が制定され、水産資源の適切な管理と持続的利用および環境・生態系保全への配慮が政策の前提とされるとともに、その対象が加工・流通も含めた水産業全般であることが明記された。こうした状況を背景として、2000 年以降、漁業の環境影響は、海洋生態系のみならず陸上におけるエネルギー消費、廃棄物の問題も含め広くとらえられるようになり、LCA 手法を用いた環境影響評価に関する研究は 2000 年以降増え始めた。また、近年では、陸上の環境から海洋生態系を含めた漁業生産の過程全般にわたる総合的な環境影響評価についても議論されている。

2. 漁業の持続可能性と環境影響

2.1 漁業の持続可能性

理想的な漁業あり方は、資源の再生産による増加分だけを利用するということであり、この再生産量に見合った漁獲量を最大持続生産量(Maximum Sustainable Yield; MSY)と呼んでいる。わが国も含め多くの国では、MSY の水準を維持して持続的な漁業生産を実現するため、主要魚種に対して漁獲可能量(Total Allowable Catch; TAC)を設定している。もちろん、こうした設定は対象資源の量が把握されてはじめて可能となる。そのため、各国の関係機関は、経年的な魚種ごとの水揚げ量の調査、調査船による資源量調査などにより得られるデータをもとに資源量の把握に努めている。しかし、資源の動態は漁業のみに影響されるわけではなく、環境の影響を強く受けるため、安定した精度で資源量を把握することは非常に難しい。さらに、陸上の問題がそうであるように、経済活動と環境保全は常にトレードオフの関係にあり、経済主導により漁獲可能量が設定される場合、資源枯渇のリスクを取り払うことはできない。現実に、多くの漁業において MSY 水準が維持されておらず、過剰漁獲あるいはそれに近い状況が生じている。漁業の持続を図るには、一定の資源量を担保する必要があることは言うまでもないが、それ以前に資源の回復を図る必要に迫られている地域は少なくない。

資源の維持あるいは回復には多大な努力と労力が必要であるが、現代における漁業の持続可能性とは、単に資源の維持と持続的利用のみを意味するのではなく、漁業による海洋から陸上にかけての環境、漁業及びそれに関係する地域の持続性をも含むものであり、海洋生態系と人間社会とのバランスの上に成立するものと考えられている。実際に、近年の漁業・資源管理の在り方においては、これらの多様な要因とその相互関係を包含するエコシステム管理(Ecosystem Based Management; EBM)[4)]が通念とされている。

2.2 混獲と投棄

多くの漁業では漁獲対象ではない生物も漁獲されてしまう。このような漁獲を混獲と呼んでおり、世界中でその解決に努力が注がれている。混獲とは、主に、1)商業対象種の未成魚、すなわち子供の漁獲、2)商業利用できない生物の漁獲（海鳥や小型鯨類などの海洋生物の混獲も含む）を意味する。このうち、1)は成長して親になる個体を減らしてしまうため成長乱獲とも呼ばれる。これを避けるためには、成熟した個体のみを対象として一度は産卵させてから漁獲することが最低限の条件となる。そのため、多くの地域では TAC の対象となる主要魚種については、漁獲できる個体サイズ（最小水揚げ体長）が規制されていることが多い。しかし、例えば EU などでは、こうした規制体長以下の個体や、漁獲の許可を得ていない魚種などの混獲物、さらには、対象種であっても価値の低い魚種が洋上で頻繁に投棄されるという状況が生じていた。こうした投棄は、1992-2001 年の間、世界の年間総漁獲量の 8%（730 万トン）にのぼっていたと報告されている [5)]。表 1 に同報告で示された世界の主要漁業における投棄量データのうち値が顕著に多いものを示した。投棄

はエビトロール、底曳き網でとりわけ多く、特に、エビトロールの水揚げ量は底曳き網の1割にも満たないものの、投棄量は同等であり、結果として投棄率は6割を超えている。これは、魚類に比べてサイズの小さいエビを漁獲するために目の細かい網を用いることによる。一度船上に揚げられた魚は弱ってしまうため、すぐに投棄されたとしても多くの個体は死に至る。投棄するしないは別としても、未成魚の混獲によって生み出される資源の将来的損失は、漁業の潜在的収益を大きく減少させてしまう。一方、2)に示す混獲は、対象資源へ直接的なダメージを与えるわけではないが、食物連鎖における捕食－被捕食関係のバランスの変化などを通して当該海域の生態系へ影響を与え、結果的に対象資源の量や構造に変化を生じさせていく。このため、未成魚や非商業対象種を可能な限り混獲しないようにするための漁具改良や混獲防止装置(Bycatch Reduction Device; BRD)の開発などの技術的対策[6]、漁期や禁漁区・保護区設定などの制度的アプローチが長年にわたり行われてきた。こうした努力により現在、混獲・投棄量は世界的に減少傾向にあるものの、問題の完全な解消には至っていない。

2.3　漁業による環境への直接的影響

漁業は生物資源へのダメージを通して生態系に影響を及ぼすことは先述の通りであるが、漁業の実施自体が環境に物理的な影響を与えることも早くから報告されている[7]。特に、海底を擦るように操業される底曳き網（図2）では、網自体はもちろんのこと、網を開口させるために用いられるオッターボードと呼ばれる金属製の板や索具類が海底上で引きずられるため、魚類の棲み処となっている岩礁を壊したり、海底表面あるいは土壌中に生息する小型生物の生息環境を破壊したりする恐れがある。海底に生息する生物は、底生魚の餌資源であることが多いため、間接的にこれらの魚類の餌環境を劣化させ、その成長に影響を及ぼす可能性が指摘されている[8-11]。このように、海底の物理環境の破壊もまた生態系のバランスを崩し、結果的に資源の量や構造に影響を及ぼしている。最近の研究では、底曳き網が通過した場所における動物相のバイオマスの減少は6 - 41%であり、回復には1.9 – 6.4年が必要と報告されている[11]。一方、低頻度での操業は海底の攪拌によりかえって餌環境を改善する可能性があるとする意見もあるが[6]、いずれにしても、同じ場所で高い頻度で底曳き網が継続使用されれば、回復の機を待たずしてその場所の動物相は破壊されてしまうだろう。もちろん、最近では対策も進められてきており、オッターボードを直接海底に設置させないための工夫や、索具が海底を擦る面積をできる限り縮小する工夫などが行われてきている[12,13]。

3. 漁業を対象としたLCA研究

3.1　これまでの研究の流れ

農業を含む食品産業を対象としたLCA研究は1990年代から始まっているが、養殖業・漁業に焦点を当てた研究が行われるようになったのはここ10年程度の間である。養殖に関しては、異なる養殖システムや手法の比較について多くの研究がこれまで行われてきてい

る[14,15]。漁業に関する研究では、主に漁業生産に要するエネルギーに焦点を当てて、漁業間での操業の効率を比較したものが多く、環境負荷に言及はしてるものの初期の研究では漁具や漁船などの燃料以外に投入される物質までを含めたライフサイクルが考慮されていない場合も多い[16,17]。ちなみに、国内においては渡邊ら(2006)がイカ漁業を対象として行った研究が先鞭と思われるが、同研究では基本的なLCA解析の方法に準じて漁業に投入される物質全般に関するインベントリ分析を通し、イカ釣り漁業と定置網漁業による環境負荷の比較が行われている[18]。このような漁業を対象とした解析で必要となるインベントリは、産業連関表などにおいて一般的に得られるものは少なく、ほとんどは現場データの積み上げによらなければならない。このため、データの収集に多くの労力と時間が必要となる。こうしたことも漁業に関してライフサイクル全般にわたる研究が少ない原因と思われるが、水産分野における環境影響評価の必要性の高まりとともに研究事例は増えつつある。例えば、Farmery et al.(2015)は、オーストラリア北部のエビ漁業について、漁獲から冷凍加工、流通までの過程の評価を行い、地球温暖化に対しては漁業による影響が大きく、生態毒性に対しては加工・貯蔵段階が重要であることを示した[19]。また、Verones et al.(2017)は、タイの小規模漁業を対象として漁業種ごとの環境影響を比較している[20]。

このような水産分野におけるLCA手法の導入は、漁業を客観的に俯瞰してその合理性を評価するための方向性を明確にしつつある。これまでに述べたように、漁業による環境影響はCOxやNOxなどの大気環境あるいは陸上環境への影響ばかりでなく、資源や海底に与える直接的影響にまで及ぶ（図 3）。そのため、水産分野を対象とした環境影響評価を行う研究者達は、漁業を対象としたLCAには、こうした海洋領域における環境要因の考慮が不可欠であるとともに、陸上から海洋にわたる総合的評価が漁業管理の発展につながると述べている[21]。ただし、このことは初期の研究においても言及されており、実際に、Thrane(2004)[17]やZiegler(2008)[22]は、海底影響、混獲などの要因の重要性を説明し、評価に含めることを提案していた。ただし、その研究においては記述的あるいは定性的な評価にとどめている。しかしながら、次節に示すように、近年では試行的ではあるもののこれらの要因を定量的に扱おうとする研究も増えてきており、今後の研究の発展に期待が持たれている。

3.2. 漁業LCAの課題と展望

漁業LCAの対象領域は極めて広範である。漁業生産段階だけを捉えても、その分析には多大な時間と労力が必要であることは前項で述べたとおりである。この漁業生産段階に関わる要因全般については、Vázquez-Rowe et al.(2012)が細かにレビュー[23]しているので、ここでは海洋環境に関わる部分のうちでもその定量が難しい過剰漁獲や混獲・投棄および海底影響について、これまでの研究を参照しながら考察する。

これらの要因は、当然、陸上での要因とは異なるライフサイクルに属すため、例えば、「魚1kgを生産するための環境負荷」というように機能単位を等しくすることは可能かもしれないが、その評価は、「陸上（大気）環境」、「資源環境（過剰漁獲、混獲・投棄）」、「海洋環境

（海底影響）」、を 3 つの評価軸として個々の尺度で行い、総合的に判断しなければならない。そのためには、生物資源、海底影響に関するカテゴリーを設け、魚種・漁業種ごとの影響程度を定めていく必要がある。いずれの要因も、どのように特性化するかという点で十分な吟味が必要である。

過剰漁獲と混獲・投棄　例えば、過剰漁獲については、Emanuelsson et al.(2014)が理論的に推定される MSY と現状の漁獲量との差をもとに、潜在的損失を表す指標として LPY (Lost Potential Yield) [24]を提案しており、実際に欧州のいくつかの漁場における主要魚種の数値を比較している。この LPY は、資源状態の特性を標準化して比較できるという点で非常に参考になるものと考えられる。しかし、MSY の理論値を得るには資源に関わる諸々の情報が必要となるので、この指標をすぐに適用できる地域や魚種は限られるだろう。また、実際には魚類資源の状態は時間とともに変動するため、こうした指標は少なくとも毎年更新される必要がある。そのような時間による変動を考慮した例としては、Ramos et al.(2011)の研究があげられる [25]。同研究では、資源管理において用いられる漁獲死亡係数（資源量のうち漁業によって間引かれる量を相対的に表す係数）などの特性値の年変動や資源量の変動にともなう TAC の割当量の変化も考慮して解析を行っており、新しい手法の方向性を示す研究として期待されるものである。

混獲・投棄　混獲・投棄については、Vázquez-Rowe et al.(2014)が世界の漁獲量・混獲量をもとに推計されている FAO による漁業種別投棄率 [4]を基準として推定する指標値 GDI (Global Discard Index) [26]を提案している。ただし、この指標値の計算には対象とする漁業における投棄量データが必要であり、そのような情報が得られていない場合には当然求めることはできない。実際に信頼できる精度で経年的に投棄量が把握されている漁業は、欧州や北米の主要漁業についてのみであり、ほとんどの漁業では不明な場合が多い。また、単一魚種を対象とする漁業であるか、アジア地域に多く見られる複数魚種を対象とする漁業であるか、によっても適用の可能性は変わってくるだろう。後者の地域では、漁獲されたものは大抵利用されているため、投棄量自体は多くない場合もある。したがって、過剰漁獲も含めてどのような要因を LCA に加味するかは地域の特性も考慮したうえで検討する必要がある。

漁具による海底影響　海底影響については、底曳き網ではその指標として網が海底を掃過した面積を用いる例が多い [27]。しかし、同じ漁具であっても、場所や底質が異なる場合、動物相や海底表面の物理的ダメージの違いによって影響の程度は異なってくる。したがって、掃過面積以外にも操業頻度と海底の生物量の関係 [28]などを加味したうえで標準化する必要がある。しかし、このような定量化には多くの情報が必要である。漁業の実態は非常に複雑である。また、当然であるが、単独の研究者でカバーできる範囲は限られる。特に、資源を含めた海洋環境に関わる領域において必要となる情報は多岐にわたるため、少なくとも資源研究者との情報交換や協力は必須である。

4. おわりに

現在、漁業生産においては、省エネルギー化や省力化を含めた生産効率の向上とともに資源や生態系への影響を考慮した環境効率の在り方が世界的に問われるようになってきている[29]。LCA はまさにそのような要求に対応した評価のフレームワークとして最も適した手法であると考えられる。しかし、漁業を対象とする LCA 研究は発展途上にあり、特にわが国では事例研究も非常に少なく、概念としても広く知られているとは言えない状況にある。今後、漁業 LCA の意義と有用性を漁業、資源分野の研究者により広く知ってもらうことはもちろん、議論し、協働するための環境構築が進むことに期待したい。

参照文献

1) FAO (2016) : The State of World Fisheries and Aquaculture, FAO, Rome, 200pp.
2) Froese R., Zeller D., Kleisner K., Pauly D. (2012) : Marine Biology, 159, 1283-1292
3) FAO (2012): Code of Conduct for Responsible Fisheries, FAO, Rome, 91pp.
4) Long R.D., Charles A., Stephenson R.L. (2015): Marine Policy, 57, 53-60
5) Kelleher K. (2005): FAO Fishereis Techinical Paper, 470, 131pp.
6) Kennelly S. (2007): Springer, The Netherlands, 289pp.
7) Groot S.J. (1984): Ocean Management, 9,177-190
8) Hiddink J.G., Rijnsdorp A.D., Piet G. (2008) : Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 65, 1393-1401
9) Shephard S., Brophy D. (2010) : Marine Biology, 157, 2375-2381
10) Hiddink J.G., Johnson F., Kingham R. Hinz H. (2011) : Journal of Applied Ecology, 48, 1441-1449
11) Hiddink J.G., Jennings S., Sciberras M., Szostek C.L., Hughes K.M., Ellis N., Rijnsdorpe A.D., McConnaughey R.A., Mazor T., Hilborn R., Collie J.S., Pitcher C.R., Amoroso R.O., Parma A.M., Suuronen P., Kaiser M.J. (2017) : Proceedings of the National Academy of Sciences, 114, 8301-8306
12) Valdemarsen J.W., Jorgensen T., Engas A. (2007) : FAO Fishereis Techinical Paper, 506, 29pp.
13) McHugh M.J., Broadhurst M.K., Sterling D.J. (2017): Reviews in Fish Biology and Fisheries, 27, 111-134
14) Wilfart A., Prudhomme J., Blancheton J., Aubin J. (2013): J. Environment Management, 121, 96-109
15) Badiola M., Basurko O.C., Gabiña G., Mendiola D. (2017): J. Cleaner Production, 157, 155-166
16) Tyedmers P. (2001): The Fishereis Center Report, 9, 12-34
17) Thrane M. (2004): J. Industrial Ecology, 8, 223-239
18) 渡邊一仁，田原聖隆，藤森康澄，清水　晋，三浦汀介 (2006): 環境科学会誌，19, 15-24
19) Farmery A., Gardner C., Green B.S., Jennings S., Watson R.(2015): J. Cleaner. Production, 87,

96-104

20) Verones F., Bolowich A.F., Ebata K., Boutson A., Arimoto T., Ishikawa S. (2017): Cogent Environmental Science, 3, 1387959, https://doi.org/10.1080/23311843.2017.1387959
21) Ziegler F., Hornborg S., Green B.S., Eigaard O.R., Farmery A.K., Hammar L., Hartmann K., Molander M., Parker R.W.R., Hognes E.S., Vazquez-Rowe I., Smith A.D.M. (2016): Fish and Fisheries, 17, 1073-1093
22) Ziegler F., Valentinsson D. (2008): Int. J. Life Cycle Assessment, 12: 487-497
23) Vazquez-Rowe I. Hospido A., Moreira M.T., Feijoo G. (2012): Trends in Food Science & Technology, 28, 116-131
24) Emanuelsson A., Ziegler F., Pihl L., Sköld M., Sonesson U. (2014): Int. J. Life Cycle Assessment, 19, 1156-1168
25) Ramos S., Vázquez-Rowe I., Artetxe I., Moreira M.T., Feijoo G., Zufía J. (2011): Int. J. Life Cycle Assessment, 16, 599-610
26) Vázquez-Rowe I., Moreira M.T., Feijoo G. (2012): Int. J. Life Cycle Assessment, 17, 535-549
27) Ziegler F., Valentinsson D. (2008): Int. J. Life Cycle Assessment, 13: 487-497
28) Johnson A.F., Gorelli G., Jenkins S.R., Hiddink J.G., Hinz H. (2014): Proceedings of the Royal Society of London B, 282, 20142336, http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2014.2336
29) Jacobsen N.S., Burgess M.G., Andersen K.H. (2017): Fish and Fisheries, 18, 199-211

表1 世界の主要漁業における水揚げ量と投棄量 (Kelleher, 2005)

漁業種類	水揚げ量（トン）	投棄量（トン）	投棄率	投棄率範囲
エビトロール	1,126,267	1,865,064	62.3	0 - 96
底曳き網	16,050,978	1,704,107	9.6	0.5 - 83
マグロ等高度回遊性魚類を対象としたはえ縄	1,403,591	560,481	28.5	0 - 40
中層トロール	4,133,203	147,126	3.4	0 - 56
まき網（マグロ，カツオ）	2,673,378	144,152	5.1	0.4 - 10

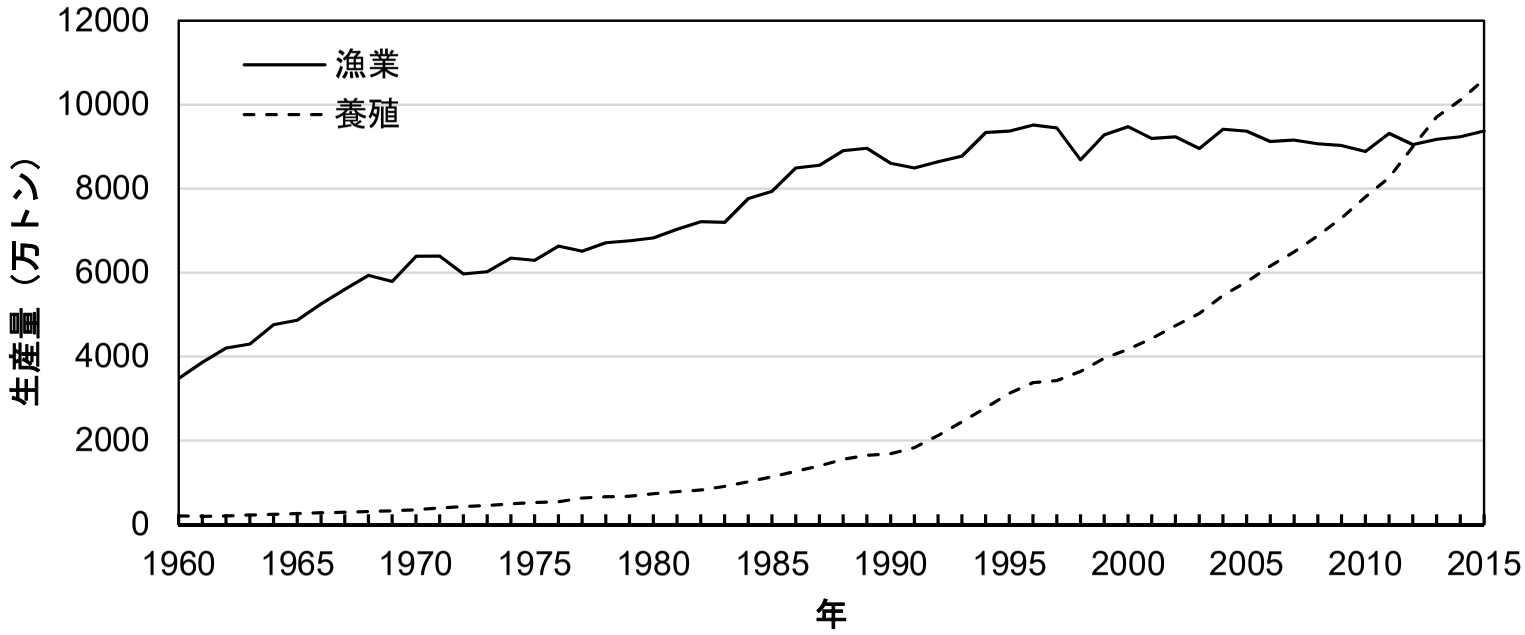
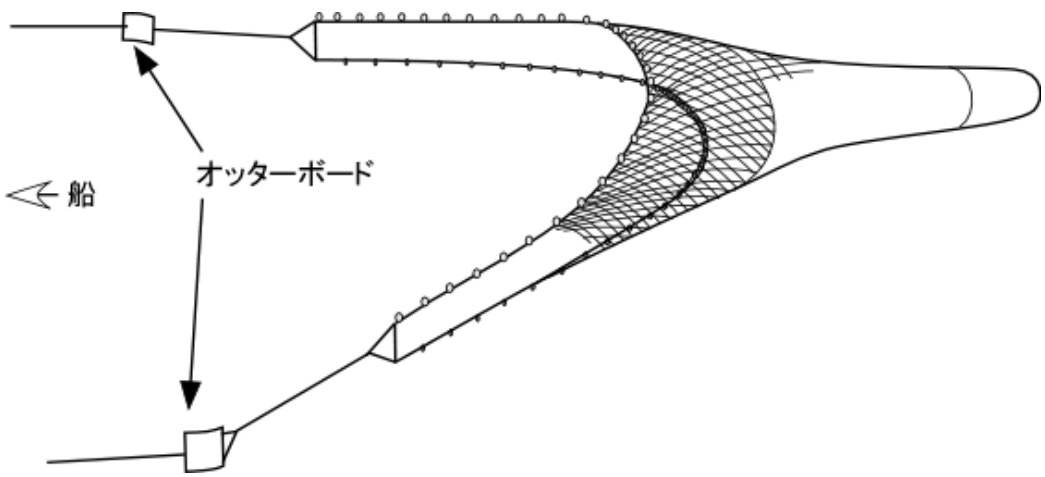


図1　世界における漁業・養殖生産量の推移（FishStat, FAO）



(a)底曳き網



(b)欧州の小型底曳き網で用いられる
オッターボード

図 2 底曳き網の概要とオッターボード

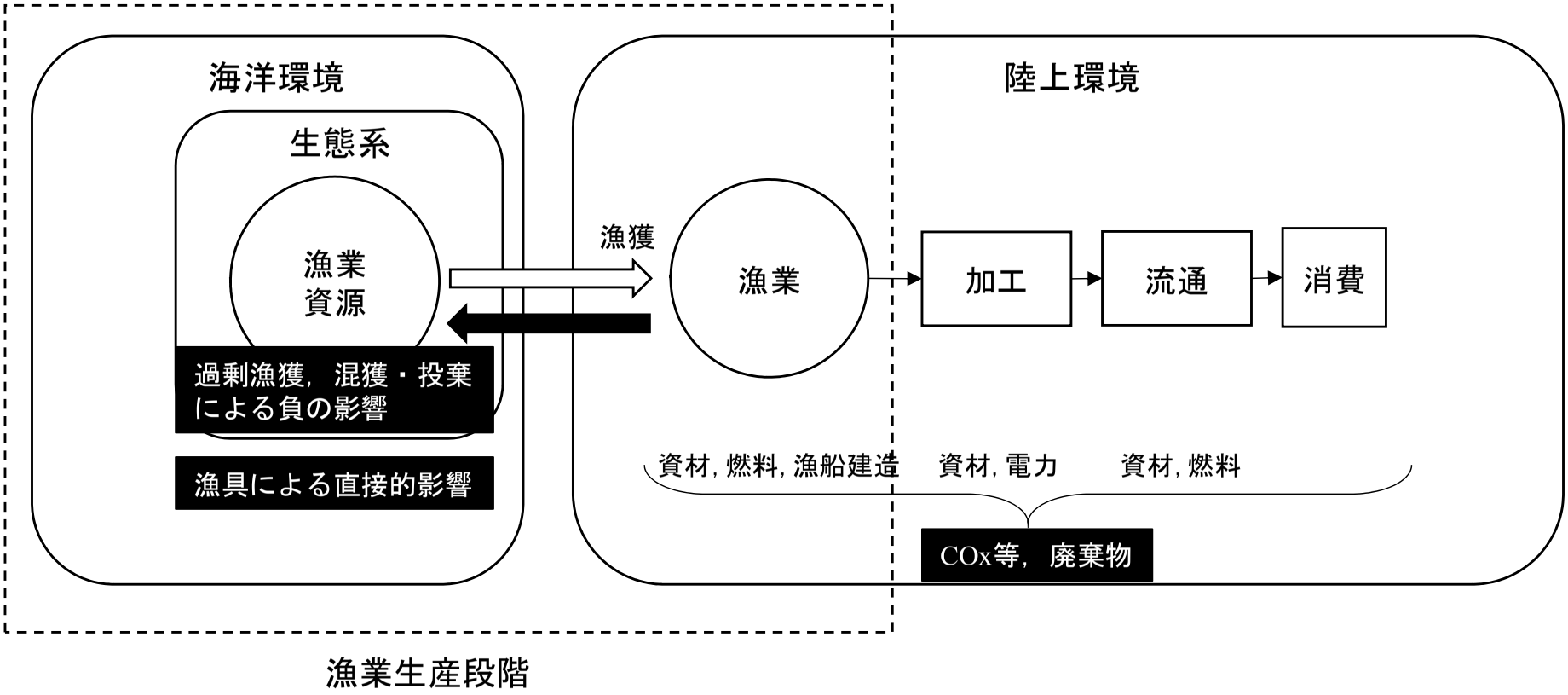


図3　漁業の生産過程と環境影響