

漁業のライフサイクルアセスメント—理論と実践—

渡邊 一仁*

Life Cycle Assessment for Fisheries – Basic Concepts and Practice –

Kazuhito WATANABE*

キーワード：漁業，水産物，ライフサイクルアセスメント（LCA）

近年，地球環境問題に対する関心が高まり，持続可能な社会の構築が必要であるとの認識が広がっている。このような趨勢の中，漁業の分野においても「環境負荷」や「環境影響」という新しい視点から産業のあり方を捉え直す試みが始まっている。ライフサイクルアセスメント（Life Cycle Assessment, 以下LCA）は環境に対する影響を評価する手法として注目されているが，本稿ではLCAがどのようなものなのか，LCAで何が分かるのか，漁業への適用事例や今後の展望などを報告する。

LCAの理論的基礎

1 定量的な環境影響評価

「環境に優しい」という表現がある。この言葉は環境に良いことをしているという印象を我々に与えてくれる。この意味においては，何ら問題はない。ただし，熟考すると，ここで1つの疑問が生じてくる。いったい何が環境に優しいのか？環境と一口に言っても，その捉え方はその人の立場により千差万別である。実際のところ，「環境に優しい」と言う表現は，厳密さを欠き，具体化が難しい。そこで，このような疑問に答えるためには，「優しさ」についての定量的な判断が必要になる。定量化のためには具体化しなければならない。このため，近い概念と考

えられる「環境負荷の軽減」が，その代りとして法律文書を始めよく用いられる¹⁾。環境負荷とは，基本的には地球の大気と水と養分の循環を阻害する人為的な干渉の全てと定義される¹⁾。具体的には自然界に容易に分解されない有害物質の環境への排出，大規模な生態系の破壊，地球温暖化の原因とされる化石燃料消費などが挙げられよう。したがって，ある製品やサービスが「環境に優しい」のか否かを判断するには，その製品やサービスの具体的な環境負荷因子について，付随する排出量を計測する作業が必要となる。今後も人間社会がこの地球上で発展を続けていくには，これら環境負荷をなるべく抑えていくことが不可欠であり，そのためには，まず，人間活動が環境に与える影響を正しく把握すること，つまりは何が環境に悪いのかを我々は「知る」ことが求められる。

2 製品の一生を通じての環境負荷評価法 (=LCA)

LCAは，資源の採掘から廃棄に至るまでを含めたライフサイクル（「ゆりかごから墓場まで」という概念）において，対象とする製品やサービスに関わる物質および技術のつながりを一貫して捉え物質やエネルギーの消費量と環境への排出物質を総合的に捉えることで，その環境への影響を評価する方法である²⁻⁴⁾。

製品を例にとると，製品の一生は，生産（資源の採掘

*水産技術総合センター環境資源部

～輸入～素材製造～部品製造～組み立て)～使用～リサイクル・廃棄—となっているので、原材料の調達から、焼却等の廃棄処理で評価対象としたシステムの外に排出されるまでを対象に分析する。生産から廃棄に至るまでにどれだけの天然資源やエネルギーが投入されてきたのか、また、どれだけの大気汚染物質、水質汚染物質、廃棄物等を排出したのかを導き出し、どれだけ地球環境に影響を与えるのかを評価するのがLCAの考え方である(図1)。

LCAはライフサイクル思考に基づいて全体を検討し、様々な環境負荷をみていくことから、「全体」としての環境負荷低減に向けた解決策を提示することができる。

LCAを行う対象は、単純な製品から複雑なシステムまでLCA実施者が目的に応じて自由に設定することが可能である。このためLCAは、その結果を利用する人の立場や目的によって様々な用途があり、様々な環境分析への応用ができる。

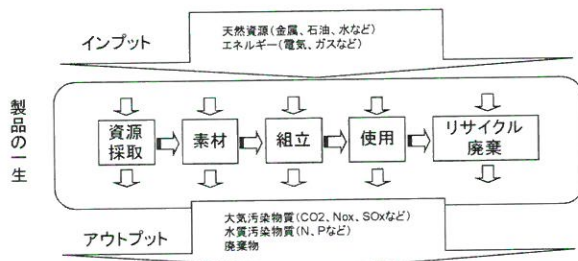


図1 LCAの考え方

3 LCAのはじまり

このようなLCAの考え方の原点は、1969年にコカコーラ社がアメリカのミッドウェスト研究所に飲料容器の調査を委託したことが最初とされている。当時、アメリカでは飲料容器の散乱対策およびリサイクルの促進が大きな社会的関心となっており、LCAはゴミ問題と省エネルギーのトレードオフを試算するための方法論として用いられた。その後、1970年代には超音速旅客機を開発すべきかどうかの検討にも利用されており、アメリカで当時進んでいたコンコルドに続く超音速機開発の中止決定に大きな役割を果たしている。日本では1993年のISO(国際標準化機構)のTC207(環境マネジメント専門委員会)によるLCA標準化作業の開始により注目が集まり、1997

年のISO14000シリーズ(別名「環境ISO」とも言われる、企業の環境負荷削減に関する国際規格)への採用が契機となって急速に普及した^{2,4)}。

4 LCAの実施手順

図2はISOによるLCA実施手法の枠組みを示したものである。LCAの手順としては、「目的と調査範囲の設定」「インベントリ分析」「環境影響評価」「結果の解釈」の4つの構成項目に分けて実施されるのが一般的である^{2,4)}。

(1) 目的と調査範囲の設定

まず、分析の用途、分析を実施する理由、結果を伝える相手の3項目を決める。LCAはその製品の全ライフサイクルについて評価可能だが、例えば、生産段階あるいは流通段階に限り、より環境負荷の少ない方法を探りたい—などの調査範囲を限定した利用(これをシステム境界の設定という)にも有効である。そのため、ライフサイクルのどの段階について調査するのかを決め、意図する用途に整合するよう評価基準(機能単位)を設定する。

(2) インベントリ分析(Life Cycle Inventory: LCI)

インベントリの原義は(商品の)明細目録のことで、LCAにおいては、投入・排出される物質の洗い出し(棚卸)を指す。各過程に投入される資源やエネルギーと、生産等で排出される環境負荷のデータを、調査・収集する。その結果を各過程で環境負荷項目(CO₂, NO_x等)ごとにまとめて、各過程の環境負荷を算出する。最後に各過程の環境負荷を足し合わせて全体の環境負荷を算出する。

(3) 影響評価(Life Cycle Impact Assessment: LCIA)

インベントリ分析で得られた環境負荷のデータから環境影響を評価する。ISOの規格において、影響評価は①影響領域の設定(どの環境問題を扱うか)、②分類化(環境

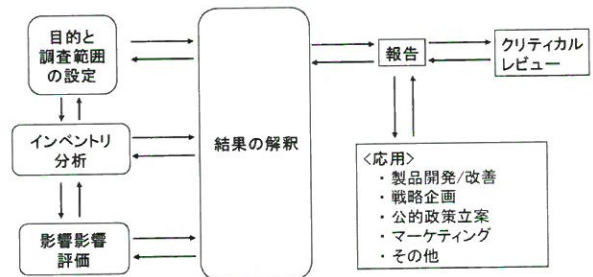


図2 ISOによるLCA実施の枠組み

負荷物質の影響領域への振り分け), ③特性化 (温暖化や酸性化などの影響領域に対する環境影響の評価), ④正規化 (及ぼす環境影響の相対的な強度を分析), ⑤グルーピング (一定条件下で類型化や定性的なランキング付与), ⑥統合化 (単一指標化) の6つのステップに分かれており, ①~③を必須要素, ④~⑥を任意項目と定めている。日本では, LCA国家プロジェクトで開発された日本版被害算定型影響評価モデル (LIME) が広く活用されている。

(4) 結果の解釈

目的および調査範囲の設定と整合性をもって, インベントリ分析や影響評価の結果から, 重大環境問題の特定やデータの評価を行い, 提言をまとめる。このまとめで報告書を作成し, 結果を相手に報告する。

5 LCAで何が分かるのか

LCAを実施することのメリットは, 製品やサービスのライフサイクルにわたる環境負荷量やそれに伴う環境影響を「数値」として定量的に知ることができる点にある。これにより, 対象となる製品やサービスが環境的に優位であるのかそうでないのかを他の製品やサービスと比較することが可能となる。また, 対象となる製品やサービスの環境効率を向上するために優先すべき事項は何なのかの有益な情報が得られる。

一方, LCAはあくまでも環境影響を総合評価するための「物差し (道具)」であることには留意しなくてはならない。したがって, その特性をよく理解したうえで活用しなければ有意義な結果が得られない。

現在までに報告されているLCAの実施状況をみると, 冷蔵庫や洗濯機等の家電製品, 複写機やパソコン等の事務機器, 自動車や鉄道, 船舶等の輸送機械, 住宅やオフィスビル等の建造物から発電や処理等の技術システム, また, 農業や林業の一次産業への適用事例など多岐にわたっている。このようにして得られた成果は自社製品 (サービス) の環境への影響を知り, 製品開発や生産プロセスの改善等, 社内での活用である。また, それらの結果をエコラベルや環境報告書などを通して外部へ公表し, 環境負荷削減の努力を訴求することに活用されている。現在では, 自動車メーカーや大手家電企業等のウェブサイトにくと, 決まってLCAの解説や対応商品の紹介がなされている。

漁業におけるLCA適用の背景と意義

日本人は動物性タンパク質の約4割を水産物に依存しており, 日本の漁業は食糧供給産業として大きな役割を担っている⁵⁾。しかしながら, 漁業を取り巻く社会状況は非常に厳しく, 国内生産量の減少, 輸入拡大に伴う魚価の低下, そして漁業者の減少・高齢化にともなう後継者問題など旧来の問題が依然として横たわっている。これらの問題に対して, FAOは1995年に「責任ある漁業のための行動規範」を発表し, 地域漁業が担う食糧供給, 水産食品の提供をいかにして維持するかという, 持続的漁業の実現に向けた包括的な内容を提唱している⁶⁾。また, 漁業の持続性という観点からは, 政策研究として漁業の発展を阻害する制約条件や漁業の現状, 将来に向けた指針を示す指標開発が盛んにおこなわれている⁷⁻¹¹⁾。一方, 水産基本法においては, 水産物の安定供給という漁業の本来的な機能に加え, 漁業の多面的機能の評価についてもその重要性が指摘されている。この多面的機能には水産政策対象の拡大による漁業の付加価値向上が意図されていることから, 社会に対する漁業の位置付けという意味での対応が大事な要素となる。このため, 漁業を産業という枠組みから俯瞰すると, 漁業も他の産業と同様に社会を構成する一部門であり, 環境問題などによって社会的な制約が生じると, 漁業活動が制限され, 漁業の価値も低下してしまう恐れがある。

2005年2月に発効した京都議定書において, 日本はCO₂をはじめとする温室効果ガスの排出量を1990年に比べて原則として6%削減するという数値目標が組み込まれた。図3より農林水産業について, 3EIDを利用した分析結果

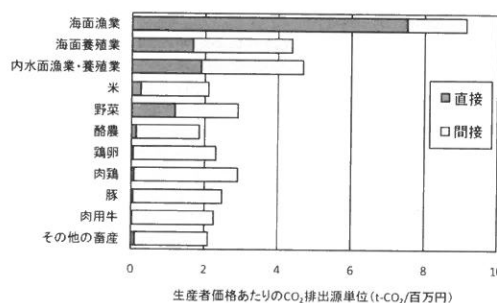


図1 農林水産分野のCO₂排出量 (海外排出含む・資本形成含む)

図3 農林水産業のCO₂排出量

をみると、海面漁業が米作、野菜、酪農、畜産などに比べて4~5倍であった¹²⁾。また、その内訳は漁業自身からの直接的なCO₂排出が70%近くを占め、米作、野菜、酪農、畜産などとは著しく傾向が異なっていた。漁業が海の産業という特殊性を考慮しても、他の一次産業とのバランス上、許容される水準まで削減されることが求められる。一方、2005年5月に発効したMARPOL条約付属議定書IVにおいては船舶エンジンから排出されるNO_x、SO_x等が規制対象となっている。NO_xにおいては、全排出量に占める船舶の寄与が大きいとの指摘もあり対策が急務となっている¹³⁾。これら環境負荷の排出規制は今後、ますます厳しくなることが予想され、漁業の分野においても、従来までの漁業が抱える諸問題に加え、新たな制約要因として環境対応が迫られるものと想定される。したがって、漁業活動にともない発生する環境負荷を事前に基礎データとして把握しておくことは対策を講じる上でも不可欠であり、漁業活動にともない発生する環境負荷が明らかにし、その影響を把握するとともに、環境負荷の低減策が検討されなくてはならない。漁業にLCAを適用する意義はまさにここにある。

漁業のLCA事例

1 既往の研究

LCAはすでに多くの産業で活用されていることは前述のとおりだが、水産業においてもLCA研究が盛んに行われはじめています。一例として、漁業ではまき網、曳網、延縄、イカ釣り漁業等が、魚種ではマグロ・カツオ類、タラ類、マアジ、ニシン、イカ類などの事例がEUや日本を中心に報告されている¹⁴⁻²¹⁾。また、LCAのうち温室効果ガスに着目して「見える化」したカーボンフットプリントや輸送段階に着目したフードマイレージなどの試算もおこなわれている²²⁻²³⁾。

2 イカ漁業の分析

それでは、漁業のLCAを具体的に考える。水産物のライフサイクルに関するプロセスの流れは、例えば「生産」、「加工」、「消費」、「廃棄」、「各プロセス間の流通」などとして図4のように表されるが、水産物におけるライフサイクルの上流となる漁業に着目して、イカを例に、イカ

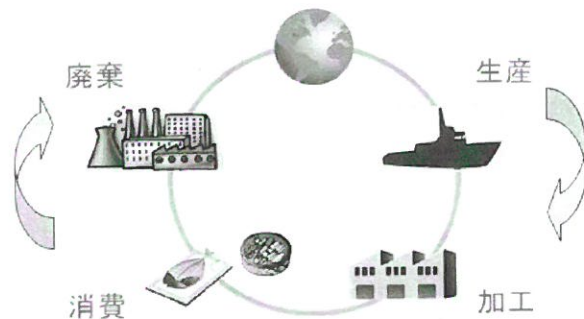


図4 水産物におけるLCAのイメージ

が漁獲されるまでにどれだけの環境負荷が排出されるのかをみることにする⁵⁾。イカの主要な漁獲手段である3つの漁法のCO₂排出量を比較する目的で実施した事例を説明する。

今回の事例として取り上げた3つの漁法は、操業形態の大きく異なる沿岸イカ釣り漁業、沖合底びき網漁業、大型定置網漁業である。対象となる漁法が決まったら、次はそれらの漁法が操業する際にどのような物質やエネルギーが使用されているのかを調べていく（インベントリ分析）。

沿岸イカ釣り漁業は集魚灯によりイカを集めて自動イカ釣り機で漁獲する漁法である。使用する漁船の大きさは9.9 tで、集魚灯の最大光力は125kW、自動イカ釣り機10台を搭載していた。

沖合底びき網漁業は漁獲対象となる魚群を見つけ、網を投入・曳網することにより対象魚種を漁獲する漁法である。使用する漁船の大きさは125 tで、漁具（網地、筋縄、曳網等）の総重量は1.6 tであった。

大型定置網漁業は一定の水面に漁具を設置して、魚群が網に入ったら漁獲する漁法である。使用する漁船は14 t、漁具（網地、側張りロープ、フロート等）の総重量は144 tであった。

また、LCAを実施するための基礎的な情報として、上記の他に、これら漁法の年間の漁獲量、漁獲魚種、漁獲金額、燃料消費量などが基礎情報として収集してある。

3 インベントリデータの蓄積—支援ソフトの活用

各漁法のCO₂排出量を分析するにあたっては、操業に係る直接的な燃料のほかに、漁船や漁具の投入による影響も計上する必要があるが、どのようにして算出すれば

漁業のライフサイクルアセスメント

良いのであろうか。例えば、漁船であれば、漁船を組み立てる前の素材構成まで遡って構成する素材ごとの重量、および組み立て時に使用する電力も考慮しなくてはならないが、船の部品といっても多種多様であり、非常に複雑で面倒な作業となってしまう。このような時にはLCA支援ソフトを利用することで負担の大幅な軽減ができる。一度調べたものはこのソフトに入れておけば、次回以降も使用できるし、あらかじめソフトに入っている素材に関するデータ（バックグラウンドデータ）を活用すれば手間もかからない。このようなLCA解析に使用できるソフトにはJEMAI-LCAやMilCA²⁴⁾などがある。一例として、今回の分析に使用した各漁法のCO₂排出原単位を表1に示す。後は、各漁法で操業するにあたって要する活動量（漁船や漁具、エネルギー等のデータ）を収集すれば計算できる。

こうして求めた3つの漁法のCO₂排出量は表2のようになる。総CO₂排出量では沖合底びき網漁業が最も大きくなったが、漁獲1tあるいは漁獲金額100万円あたりのCO₂排出量へ換算すると、イカ釣り漁業が最も大きな値となった。一方、定置網漁業は3漁法の中では最も小さな値であった。これらの漁法から漁獲されたイカは、実際には

表1 CO₂ 排出原単位

名称	総重量[kg]	[UNIT]	[kg-CO ₂ /UNIT]
イカ釣り漁業			
自動イカ釣り機(11台)	1,090	台	174.3
集魚灯(54個)	67	個	1.0
集中制御装置(1台)	140	台	163.0
安定器(22個)	288	個	15.3
パラシュートアンカー(1式)	360	式	1,710.0
合計	1,945		
イカ釣り漁船(1隻)			
		隻	41,800
大型定置網漁業			
定置用網地	37,520	kg	1.9
ロープ	2,902	kg	0.8
側張りロープ	39,656	kg	1.2
PE製フロート(1000個)	263	個	1.3
土俵・錫	63,750	kg	0.5
合計	144,091		
定置網漁船(3隻)			
		隻	59,000
曳船曳網漁業			
曳網用網地	801	kg	0.8
筋縄	802	kg	1.4
曳網	14,096	kg	1.5
ABS製フロート(144個)	259	個	4.2
沈子(994個)	373	個	0.6
金物類	123	kg	1.6
合計	16,453		
曳網漁船(1隻)			
		隻	740,000
ユーティリティ			
電力		kwh	0.45
A重油		L	3.04
軽油		L	2.74

表2 各漁法の CO₂ 排出量

項目	単位	イカ釣り漁業	沖合底びき網漁業	大型定置網漁業
総CO ₂ 排出量	t	294.9	3,055.3	87.5
漁獲1tあたりCO ₂ 排出量	t-CO ₂ /t-漁獲	2.2	0.5	0.05
漁獲金額100万円あたりCO ₂ 排出量	t-CO ₂ /百万円	14.3	9.3	0.5

漁獲海域が違うし、また、その用途も異なるため、一概に良し悪しは言えないが、環境負荷に限ってみれば、差が確認された。このような差は環境に対してどのように影響するのであろうか？図5は（独）産業技術総合研究所が開発した日本版被害算定型環境影響評価システム

（LIMEモデル）の概要である。今回調査したCO₂は、影響領域としては地球温暖化につながり、保護対象では人間の生活基盤として人間の健康や社会資産、生態系では生物多様性や一次生産量に対する被害として評価される。

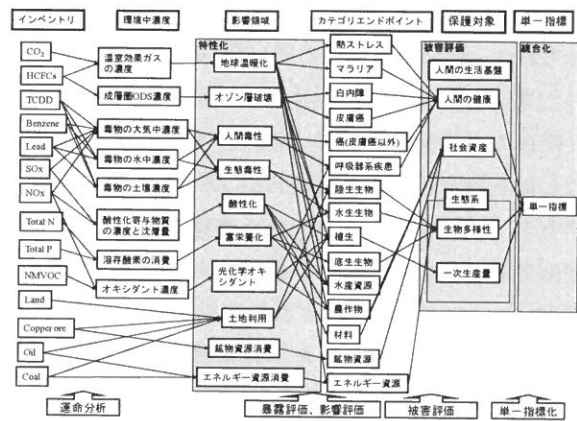


図5 影響評価の概要 (LIMEモデル)

4 結果の解釈

3漁法のCO₂排出量の違いは一体どこに原因があったのであろうか。図6は各漁業におけるCO₂の発生要因を示したものである。イカ釣り漁業と沖合底びき漁業の内訳は類似しており、ともに燃油による割合が99%と大きく、漁船によるものが1%、漁具に関してはほとんど影響がなかった。一方、定置網漁業については燃油によるものが72%、漁具が18%、漁船（主に鋼材の生産、電力の生産など）が10%となり、先の2漁法に比べ漁業設備が大きく影響していた。

最もCO₂排出の効率が悪かったイカ釣り漁業について、

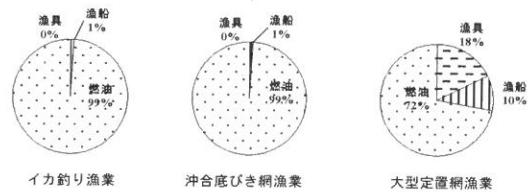


図6 漁法別の CO₂ 発生要因

燃油消費の内訳を調べてみると、3割が航走で残りの7割はメタルハライド灯をはじめとする集魚灯の使用による操業時に使われていた。一般的に、航走時の燃油消費を削減することは困難であるが、イカ釣り漁業においては操業時の燃油消費の削減によりCO₂を削減する余地がある。例えば現状の120kWから60kWに下げることによって、およそ30%程度の削減に繋がる。

漁法改善へ向けた新たな取り組みの1つとして、青色LEDを利用した集魚灯の実用化も進められている。このLED集魚灯は既存のメタルハライド灯よりも集魚力では劣るものの、燃油費を現在の約1/2程度にまで削減できるものと見込まれている²⁵⁾。例えば、LED集魚灯の使用により既存の漁獲量の約7割を漁獲し、燃油費を1/2まで削減できたものと仮定してCO₂排出に係るシミュレーションすると、CO₂排出量は1.6t-CO₂/t-漁獲となり、20%以上の削減効果と算出される。実際の計測では、LED集魚灯の製造にかかるCO₂を加味することや、集魚効果を考慮する必要があるが、こうした新技術導入の評価に対してもLCAは有効に活用できる。

5 各段階でのLCA活用法

今回の事例では、生産段階のCO₂にのみ着目して記載したが、LCAはいろいろな環境負荷に対応できる。また、今回の結果は加工段階や消費段階へ拡張していくことも可能である。例えば、イカ釣り漁業で漁獲されたイカが加工場に入り、燻製などの製品になるというシナリオであれば、燻製1袋(90g)あたりのCO₂排出量は1.4kgと試算できる。また、イカ釣り漁業で漁獲された活イカをその場で1杯食するときの環境負荷は660g、あるいは北海道で生産されたイカ1杯を東京で食べた場合の環境負荷は700gなどと求められる。

今後の展望と課題

水産分野におけるLCAの今後の展望と課題を述べて本稿のまとめとする。まずはLCAの展望についてだが、以下の活用が期待される。

①水産業全体の環境負荷改善に向けた政策的な検討利用

②環境報告書やエコラベルによる他との差別化

③消費者への商品選択における判断材料の提供

④対象とする製品・システムにおける環境負荷の現状把握あるいは改善効果の算出

⑤環境税のような新課税が導入された場合の適切な対応など

一方、これらの用途でLCAが活用できるようになるためには、解決すべき課題もある。ひとつはインベントリデータの整備である。現在、様々な分析事例の蓄積が進められているが、更なるデータの蓄積が必要である。また、今ひとつは水産業版LCAとしての評価手法の確立である。前述のLIMEモデルは非常に優れた手法であるが、水産業の分野への適用を考えると使用できるデータがほとんど無いという事実と直面する。これは、水産業のデータが整備されていないからにはほかならない。したがって、LCAを有効に利用するためには、漁業者をはじめとする水産関係者の協力が必要である。また、産業の持続性という観点からは、漁業者も従来の漁獲技術や生物資源という枠組みだけではなく、自分たちの活動が地球環境にどの程度の影響を与えているのかを知ることが不可欠である。

今後は水産の分野においても、従来までの「品質」や「コスト」に加わる新たな第3の要因として、「環境対応」が迫られてくるものと予想される。LCAはこのような時の強力な分析手法として、有効に活用できるのである。

漁業のライフサイクルアセスメント

参考文献

- 1) 未踏科学技術協会エコマテリアル研究会編 (1995), LCAのすべて, 工業技術会, p1-161.
- 2) 伊坪徳宏・成田暢彦・田原聖隆 (2007), LCA概論, 丸善株式会社, p1-305.
- 3) 稲葉敦 (2005), LCAの実務, 産業環境管理協会, p 1-302.
- 4) 伊坪徳宏・稲葉敦 (2005), ライフサイクル環境影響評価手法, 産業環境管理協会, p 1-384.
- 5) 水産庁編, 平成23年版水産白書 (2011), 農林統計出版 (東京), pp40.
- 6) 山尾政博 (2004), グローバル化のなかの漁村振興「責任ある漁業」の実現と多面的機能の発揮をめざして. 地域漁業研究44 (2), p55-74.
- 7) 国際食糧農業協会 (2001), 「世界漁業白書」国際食糧農業協会 (東京), p100-109.
- 8) Bertrand Le Gallic (2002) . Fisheries Sustainability Indicators-The OECD experience. *Joint workshop EEA-EC DG Fisheries-DG Environment on "Tools for measuring (integrated) Fisheries Policy aiming at Sustainable ecosystem"*, Brussels (Belgium) , p1-11.
- 9) Anthony T. Charles (1994) . Towards sustainability : the fishery experience. *Ecological Economics* 11, p201-211.
- 10) Tony J. Picher, David Preikshot (2001) . RAPFISH: a rapid appraisal technique to evaluate the sustainable status of fisheries. *Fisheries Research* 49, p255-270.
- 11) Luky Adrianto, Yoshiaki Matsuda, Yoshiaki Sakuma (2005) . Assessing local sustainability of fisheries system : a multi-criteria participatory approach with the case of Yoron Island, Kagoshima prefecture, Japan. *Marine Policy* 29, p9-24.
- 12) 南齋規介, 森口祐一 (2009) 産業連関表による環境負荷原単位データブック (3EID) : 2005年表 (β版), 独立行政法人国立環境研究所 地球環境研究センター, 入手先<<http://www-cger.nies.go.jp/publication/D031/index-j.html>> (参照 : 2011年12月27日) .
- 13) 船舶排ガスの地球環境への防止技術の調査委員会 (平田賢) (1998) . 船舶ガスの地球環境への影響と防止技術の調査報告書, シップ・アンド・オーシャン財団, 東京, p1-155.
- 14) Ziegler F, Nilsson P, Mattsson B and Walther Y (2003) Life Cycle Assessment of Frozen Cod Fillets Including Fishery-Specific Environmental Impacts. *Int J LCA* 8(1), 39-47.
- 15) A. Hospido and P. Tyedmers (2005) Life cycle environmental impacts of Spanish tuna fisheries. *Fisheries Research* 76 (2) , 174-186.
- 16) 南亙, 安井邦洋, 中野勝行, 金熙濬 (2004) まぐろ消費に伴う大気汚染物質LCI, 日本水産学会誌70, pp 548-554.
- 17) Ian Vazquez-Rowe, M Teresa Moreira and Gumersindo Feijoo (2010) Life Cycle assessment of horse mackerel fisheries in Galicia (NW Spain) : Comparative analysis of two major fishing methods. *Fisheries Research* 106 (3) , 517-527.
- 18) Ian Vazquez-Rowe, M Teresa Moreira and Gumersindo Feijoo (2011) Life Cycle Assessment of fresh hake fillets captured by the Galician fleet in the Northern Stock. *Fisheries Research* 110 (1) , 517-527.
- 19) J. Driscoll and P. Tyedmers (2010) Fuel use and greenhouse gas emission implications of fisheries management : the case of the new England Atlantic herring fishery. *Marine Policy* 34 (3) , 353-359.
- 20) E. Schau, H. Ellingsen, A. Endal and S. Aanonsen (2009) Energy consumption in the Norwegian fisheries. *Journal of Cleaner Production* 17 (3) , 325-334.
- 21) 渡邊一仁・田原聖隆・藤森康澄・清水晋・三浦汀介 (2006), イカ漁業のLCIと環境負荷, 環境科学会誌 19(1), p15-24
- 22) 渡邊一仁・石田理・矢野歳和・田原聖隆 (2010) 宮城県産サンマ缶詰のカーボンフットプリント. 宮城水産研報 10, 25-31.
- 23) 安藤生大, 長谷川勝男 (2011) サバ缶詰のライフサイクルCO2 (LC-CO2) の試算および環境教育教材への利用可能性ー千葉県銚子市 (2008) におけるケーススタディーー, 水産技術 3 (2) , 99-105.
- 24) 産業環境管理協会, MiLCAで見える化を, 入手先<<http://www.milca-milca.net/>> (参照 : 2012年1月4日) .
- 25) マリノフォーラム21LED集魚灯開発事業検討会. 青色発光ダイオード集魚灯の技術開発について -イカ釣り漁業が変わる- (2006) .

