

蓄養マグロ流通における環境負荷
 —冷凍マグロ（海上輸送）と冷蔵マグロ（航空輸送）の比較—
 Environmental Load during the Distribution of Cultured Tuna
 —Comparison of frozen tuna (marine transportation)
 and non-frozen tuna (air transportation)—

酒井 梨 鈴* †渡 辺 学** 鈴 木 徹**
 Rirei SAKAI Manabu WATANABE Toru SUZUKI

*東京海洋大学大学院海洋科学技術研究科食機能保全科学専攻（108-8477 東京都港区港南 4-5-7）
 Course of Food Science and Technology, Graduate School of Tokyo University of Marine Science and Technology
 (4-5-7, Konan, Minato-ku, Tokyo 108-8477)

**東京海洋大学海洋科学部海洋食品科学科（108-8477 東京都港区港南 4-5-7）
 Department of Food Science and Technology, Tokyo University of Marine Science and Technology
 (4-5-7, Konan, Minato-ku, Tokyo 108-8477)

Summary

Tuna is the most favorite marine products for Japanese people. Most of them are consumed as *Sashimi* in Japan, and a half of them are imported. Cold transportation technology is essential to keep freshness of tuna during the overseas transportation. In the case of transporting tuna, ship transportation in ultra low temperature such as $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ is applied and also high speed transportation even by using airplane is practically used. On the other hand, it is a fact that such transportation processes of tuna are giving huge environmental load, though it has not been so much focused. Evaluation of cold transportation technologies from this environmental viewpoint must be important in the future. In this article, we compared CO_2 emission during cold transportations of frozen tuna (marine transportation) and non-frozen tuna (air transportation) by using LCI analysis. As a result, CO_2 emission of non-frozen tuna is found to be about four times greater than that of frozen tuna. This is due to the difference in the amount of freight per transportation of the airplane and the ship.

Key words : Environmental load, Cold chain system, Refrigerated cargo carrier, Life cycle inventory analysis, Cultured tuna, Air transportation, CO_2 emission

1. 緒言

マグロは日本における水産物消費量の上位に位置する魚種である¹⁾。そのマグロの半分以上が国外からの輸入マグロで占められている。近

年では、トロを多く含んだ脂物マグロ（クロマグロ・ミナミマグロ）の輸入量が急激に増加している。特にこれらの輸入マグロの多くは蓄養マグロであり、その供給量は日本国内における脂物マグロの総供給量の3分の2に及ぶまでに

†Fax: +81 3-5463-0617 E-mail: mwat@kaiyodai.ac.jp

Paper presented at 2005 JSRAE Annual Conference, 10, 23-27, 2005, Tokyo, Japan

なっている。

刺身用のマグロの流通には、他ではまず使われることのない超低温（ -60°C 以下）での輸送が一般的に行われている。しかし、特に蓄養マグロのトロの場合、未凍結品が市場に高価格で受け入れられるという背景があり、約 0°C の冷蔵状態での航空輸送という、非常にコストのかかる方法までもが惜しみなく実用されている。いずれにせよ、これらの方法が地球環境に負荷を与えているであろうということは想像に難くない。このことは、これまであまりかえりみられることがなかったが、昨今の環境意識の高まりを考慮すれば、今後は漁業資源、エネルギー的な側面のみならず、環境的な側面にも注目した、低温輸送技術の評価が必要となってくるものと考えられる。

そこで本研究では、ケーススタディとして蓄養マグロ流通における冷凍マグロ（海上輸送）と冷蔵マグロ（航空輸送）の環境負荷の定量比較を試みた。特に、流通ルートの単純なオーストラリアの蓄養ミナミマグロを対象とした。環境負荷の指標としては CO_2 排出量に注目し、環境影響評価手法として広く用いられている LCI（ライフサイクルインベントリ）分析を行った。

2. オーストラリアの蓄養マグロ事業

蓄養マグロとは、マグロの成魚を捕獲し、イワシやサバを与えて短期間で脂ののりを良くし、捕獲時の1.5~2倍程度まで太らせたマグロのことである。なお、日本農林規格（JAS）法では、給餌した水産物はすべて「養殖」表記をするよう義務付けられているが、本稿では稚魚から育てるマグロと区別するため、「蓄養」と表記することにする。蓄養マグロ事業は、地中海、メキシコ、オーストラリアなどで行われている。

本研究で対象としたオーストラリアの蓄養事業は、南オーストラリア州のポートリンカーン沖（Fig.1）に集中していることと、法的に管理されているため毎年の生産量が一定なことから、分析が比較的容易である。

Fig.2にオーストラリアの蓄養ミナミマグロの生産および流通のフローを示す。

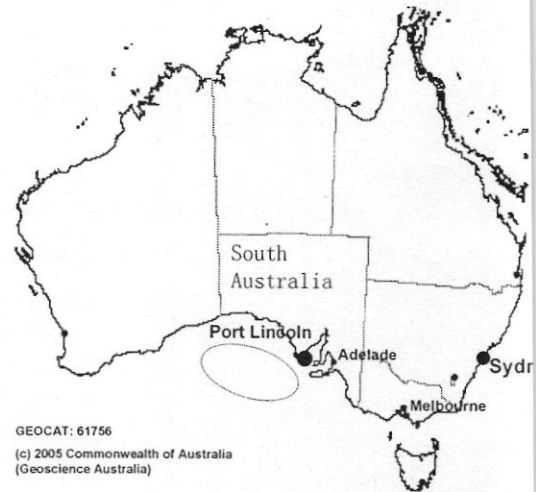


Fig.1 A map of Australia

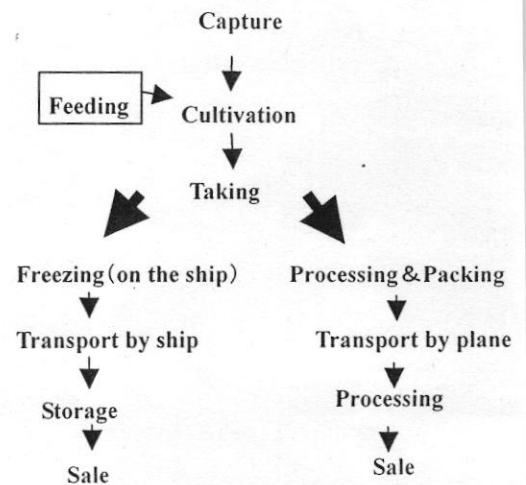


Fig.2 The supply flow of cultured Southern Bluefin Tuna in Australia

ミナミマグロは12月から3月にかけてグレート・オーストラリアン・バイトと呼ばれる海域で、平均15~20kg前後の若齢魚を捕獲する。捕獲されたマグロは、曳航生簀（直径約40m、深さ15m）で、魚体を傷つけないようゆっくりした速度で曳航し、ポートリンカーン沖の蓄養海域へと運ばれる。曳航生簀によって運搬された原魚は、1生簀あたり約1500尾収容される。餌（冷凍イワシやサバなど）は一日に2回与えられ、3~9ヶ月間蓄養し、5割~9割ほど増量させる。取り揚げの時期は4月中旬~10月中旬にかけてである。網で引き寄せたうえで、ダイバーが魚を引き寄せて素手で捕獲するか、もしくはは

網だけで捕獲する。船上に揚げられたマグロは即殺後、血抜き、脊椎の神経抜き、鰓と内臓の処理 (Gilled and Gutted, 以下 GG 処理と略す) などが行われ、氷水を張った保冷タンクへ収容されて港まで運ばれる。その後の作業は冷凍輸送と冷蔵輸送で異なっている。

2.1 冷凍輸送の現状

冷凍輸送の場合、冷凍運搬船で輸送される場合と、一旦陸揚げされて加工場で凍結され、冷凍コンテナで運ばれる場合の 2 通りがある。冷凍運搬船の場合、漁船上で洗浄・計測後、凍結・グレーズされ、日本に海上輸送される。加工場の場合は -65°C の冷凍室に運び、一晩寝かせた後グレーズをかけ冷凍コンテナで運ばれる。数年前までは、冷凍運搬船での輸送量と冷凍コンテナ船での輸送量は半々であったが、現在では冷凍運搬船での輸送の方が多くなっているとのことである。本研究では冷凍運搬船利用を取り上げた。日本に到着した冷凍マグロは各倉庫に運ばれ、時期を見て出荷される。

2.2 冷蔵輸送の現状

冷蔵輸送の場合、帰港した後に加工場で 0°C

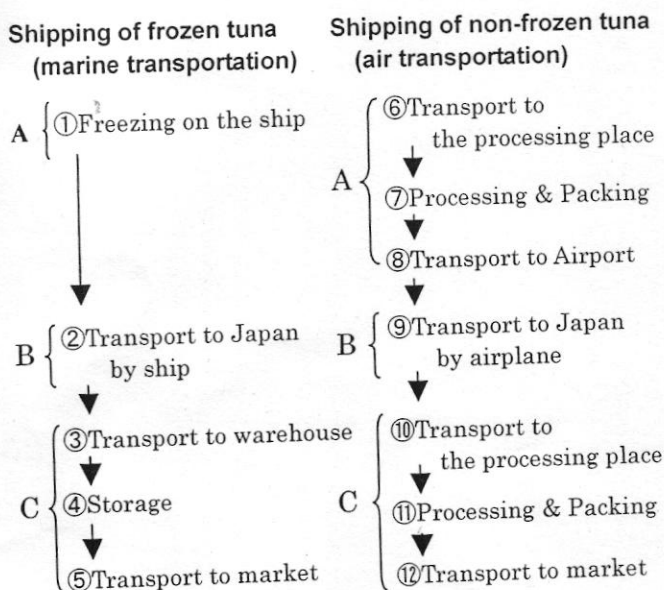


Fig.3 The basic lifecycle flow of transportation of cultured Southern Bluefin Tuna in Australia. A: process in Australia, B: from Australia to Japan, C: process in Japan

のチルド状態で洗浄、計測のあと、通常 1 尾ずつ氷を入れて箱詰めが行われる。その後冷蔵トラック便によってアデレード、メルボルン、シドニーなどの国内の拠点空港へ輸送後、日本へ空輸される。冷蔵マグロは日本 (成田) に到着後、再び加工場に運ばれ、再度氷を詰めて市場へ運ばれる。

3. ライフサイクルインベントリ分析

3.1 試算にあたっての前提条件

本試算では、輸送によって消費される燃料、電気、物質等による CO_2 排出量のみを計算対象とし、設備に内包された CO_2 はカウントしないこととした。設備である航空機、船、倉庫等は、マグロ以外の輸送・保管にも用いられるものであるから、マグロ輸送のライフサイクルを対象とした場合、設備の分を除外してもそれほど大きな影響は無いものと思われる。

また本研究では、冷蔵輸送と冷凍輸送における CO_2 排出量を比較するため、マグロを取り上げてからポートリンカーン港まで輸送してきた時点を開始とし、それ以前の蓄養工程は計算対象外とした。また、マグロが販売される場所を築地中央卸売市場とし、築地到着を終了点とした。その間の各工程を Fig.3 に示す。さらに、冷凍マグロと冷蔵マグロの輸送過程を、A: オーストラリア国内の輸送, B: オーストラリア～日本間の輸送, C: 日本国内の輸送, の 3 つに分けた。

CO_2 排出量を算出するにあたり、各業者からのヒアリング調査をもとに、各工程における詳細条件を以下のように設定した。なお、各工程番号は Fig.3 に対応している。

3.1.1 冷凍輸送 (海上輸送)

<A: オーストラリア国内の輸送>

① 船上での冷凍: マグロを -60°C まで凍結する際には、エンジンにより発電し、冷凍機を動かして凍結する。その際に消費する燃料はA重油、75 L/マグロ 1 t とした⁴⁾。

<B: 日本～オーストラリア間の輸送>

② 船舶による輸送: 日本への輸送手段は

冷凍運搬船（総トン数 1400 トン，最大積載可能量 800 トン）によるものとした。冷凍コンテナは輸送量が冷凍運搬船より少なく，また一旦陸揚げされ，加工場にて処理されるなど工程が多いため，対象外とした。ポートリンカーンから日本へは 3 週間かかるものとし，消費燃料は C 重油 5.2 kL/day，マグロ輸送量は 800 t とした⁴⁾。従ってマグロ 1 t あたりの消費量は $5.2 \times 21 / 800$ kL/t となる。

<C:日本国内の輸送>

- ③ 倉庫までの輸送：財務省の貿易統計によれば，冷凍運搬船によるオーストラリアからのミナミマグロは清水港・川崎港・横須賀港の 3 港に入ってくる。本研究では 3 港のうち，最も距離のある清水港を対象とした。また，倉庫までの距離は港から 5 km，液体窒素式冷凍車（燃費 3 km/L）で，マグロ 9 t を輸送するものとした^{5,6)}。従ってマグロ 1 t あたりの消費量は $5 \text{ km} / (3 \text{ km/L} \times 9 \text{ t})$ となる¹⁵⁾。
- ④ 保管：倉庫でマグロを保管する期間は 3 ヶ月，消費電力は 1 ヶ月で 1166 kW/マグロ 1 t とした⁵⁾。従って 4 ヶ月間では 1166×3 kW/t となる。
- ⑤ 築地までの輸送：輸送距離は 180 km，液体窒素式冷凍車で，マグロ 9 t を輸送するものとした^{5,6)}。従ってマグロ 1 t あたりの消費量は $180 \text{ km} / (3 \text{ km/L} \times 9 \text{ t})$ となる¹⁵⁾。

3.1.2 冷蔵輸送（航空輸送）

<A:オーストラリア国内の輸送>

- ⑥ 加工場までの輸送：輸送距離は 5 km，冷蔵トラックの燃費は 5 km/L，マグロの量は 3 t とした。ただし，冷蔵トラックの燃費は日本の業者からのヒアリングによるものを用い，日本国内のデータと同じものとした^{4,6)}。従ってマグロ 1 t あたりの燃料消費量は， $5 \text{ km} / (5 \text{ km/L} \times 3 \text{ t})$ となる。
- ⑦ 加工および梱包：加工場での電気使用量は現場がオーストラリアであり，ヒアリングが困難であったこと，また作業工程を調査した結果，消費電力は少ないと考えられたため，対象外とした。梱包材は一箱（マグロ 0.5 t）あたり，段ボール 4 kg，プラスチックシート（ポリプロピレン）0.6 kg，PP バンド 0.008 kg，氷 10 kg とした⁴⁾。なお，蓄冷材はすべて氷とみなした。よってマグ

Table 1 Consumption amount of sources for CO₂ emission per tuna of 1 t

process number	sources for CO ₂ emission	Consumption amount	emission factor of CO ₂
①	Fuel oil A	75 [L/t]	2.8 ¹²⁾ [kg-CO ₂ /L]
②	Fuel oil C	137 [L/t]	2.99 ¹²⁾ [kg-CO ₂ /L]
③	Light oil	0.185 [L/t]	2.64 ¹²⁾ [kg-CO ₂ /L]
④	Electric power	3498 [kWh/t]	0.436 ¹¹⁾ [kg-CO ₂ /kWh]
⑤	Light oil	6.67 [L/t]	2.64 ¹²⁾ [kg-CO ₂ /L]
⑥	Light oil	0.333 [L/t]	2.64 ¹²⁾ [kg-CO ₂ /L]
⑦	Corrugated cardboard	8[kg/t]	1.76 ¹³⁾ [kg-CO ₂ /kg]
	Plastic sheet	1.2[kg/t]	1.03 ¹⁴⁾ [kg-CO ₂ /kg]
	PP band	0.016[g/t]	1.03 ¹⁴⁾ [kg-CO ₂ /kg]
	Ice	20[kg/t]	0.56 ^{9,16)} [kg-CO ₂ /kg]
⑧	Light oil	124 [L/t]	2.64 ¹²⁾ [kg-CO ₂ /L]
⑨	Jet fuel	3125 [L/t]	2.46 ¹²⁾ [kg-CO ₂ /L]
⑩	Light oil	0.556 [L/t]	2.64 ¹²⁾ [kg-CO ₂ /L]
⑪	Ice	60[kg/t]	0.56 ⁹⁾ [kg-CO ₂ /kg]
⑫	Light oil	6.67 [L/t]	2.64 ¹²⁾ [kg-CO ₂ /L]

ロ 1 t あたり，各梱包材は（前述の量/0.5）kg/t を消費するものとした。

- ⑧ 空港までの輸送：対象区間はポートリンカーン～シドニーとした。輸送距離は 1865 km，冷蔵トラック（燃費 5 km/L）で輸送，マグロ輸送量は 3 t とした。ただし，冷蔵トラックの燃費は日本の業者からのヒアリングによる^{4,5)}。従ってマグロ 1 t あたりの消費量は $1865 \text{ km} / (5 \text{ km/L} \times 3 \text{ t})$ となる。

<B:日本～オーストラリアの輸送>

- ⑨ 航空機による輸送：出発空港をシドニー，到着空港を成田とした。シドニーから成田までの燃料消費量はジェット燃料 125 kL，全貨物量は 40 t（うちマグロ輸送量は 9 t）とした^{4,8)}。従ってマグロ 1 t あたりの消費量は $125 \text{ kL} / 40 \text{ t}$ となる。

<C:日本国内の輸送>

- ⑩ 加工場までの輸送(日本): 輸送距離 5 km, 4tトラック(燃費 3 km/L)で, マグロ輸送量は 3tとした^{5,6,8)}. 従ってマグロ 1tあたりの消費量は 5 km/(3 km/L×3 t)となる.
- ⑪ 加工および梱包: 追加した氷を 30 kg/box とした^{5,7)}. よってマグロ 1tあたりの消費量は(30 kg/box)/(マグロ 0.5 ton/box)となる.
- ⑫ 築地までの輸送: 輸送距離は 60 km, 4tトラック(燃費 3 km/L)で, マグロ 3tを輸送するものとした. 従ってマグロ 1tあたりの消費量は 60 km/(3 km/L×3 t)となる.

み取れる. 最も大きな要因は日本へ輸送する際の船と飛行機の差であることがわかる. 実際の

Table 2 Estimated amount of CO₂ emission per tuna 1t in each process

Frozen (marine transportation)			Non frozen (air transportation)		
process number	kg-CO ₂ (%)		process number	kg-CO ₂ (%)	
A	①	210(9.71)	A	⑥	0.88(0.01)
				⑦	25.2(0.31)
				⑧	327(4.04)
B	②	409(18.92)	B	⑨	7688(95.0)
C	③	0.49(0.02)	C	⑩	1.47(0.02)
	④	1525(70.53)		⑪	33.6(0.42)
	⑤	17.6(0.82)		⑫	17.6(0.2)
total		2162.1(100)	total		8093.3(100)

3.2 CO₂ 排出量への変換

以上で求められた各工程におけるマグロ 1tあたりの CO₂ 排出源の消費量[A]と, それら排出原単位[B]を Table 1 に示した. この2つの値を乗じて, マグロ 1tあたりの CO₂ 排出量を算出した (Table 2).

また Fig.4 ではマグロ 1tあたりの CO₂ 排出量に, 年毎のオーストラリアからの輸入量 (Table 3) を掛けたもの, すなわち年毎の CO₂ 排出量を示した.

4. 考察

Table 2 より, 冷蔵輸送より冷凍輸送の方が輸送の際の環境負荷が低いことが読

Table 3 Amount of cultured Southern Bluefin Tuna transported from Australia to Japan in recent 10 years (Unit: t)¹⁰⁾

Year	Frozen	Non-frozen
'93	165.2	1638.1
'94	89.0	2426.6
'95	67.5	3180.3
'96	148.2	3033.5
'97	539.0	5586.0
'98	1745.8	4510.4
'99	4686.1	2301.2
'00	5065.1	2766.5
'01	5638.8	2537.3
'02	6354.4	1869.6
'03	3560.4	2768.5
'04	6815.4	2838.9

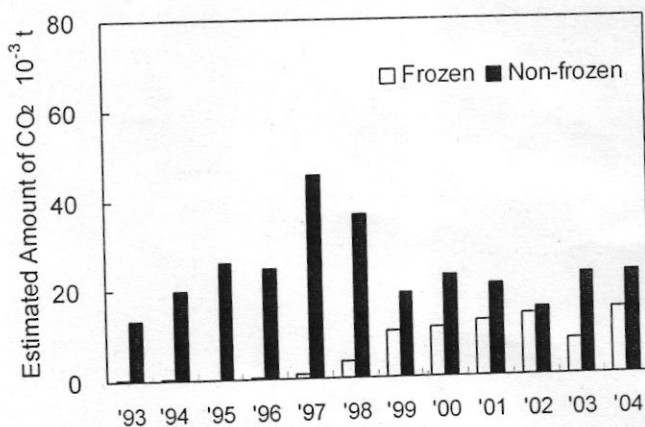


Fig.4 Amount of CO₂ emission in each year

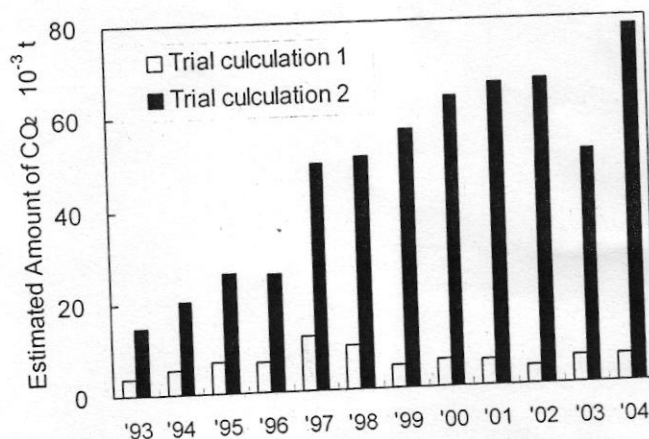


Fig.5 Estimated amount of CO₂ emission in each year

輸送量は、冷蔵輸送に比べると冷凍輸送の方が多い¹⁰⁾こと、Table 2よりジェット燃料とC重油のCO₂排出原単位に大きな差はないことから、この結果は船と飛行機との一輸送あたりの輸送可能量の違いが大きく現れているものと言える。

また、冷凍輸送の場合、最もCO₂排出量が大きかったのは倉庫に保管している工程であった。このことから、環境負荷を軽減するには、倉庫保管の工程を見直すのが最も効率的であると推測される。

また、Table 3とFig.4より、冷蔵輸送は1999年以降、冷凍輸送よりも輸送量が少なくなっているにも関わらず、CO₂排出量は冷蔵の方が大きいままであることがわかる。しかし、1999年以降、CO₂排出量が減少していることは明らかであり、この理由は冷蔵よりも冷凍による輸送量が増加したことが理由であると考えられる。

試みに、冷蔵輸送と冷凍輸送の合計量が、全て冷凍で輸送されたと仮定して、そのときのCO₂排出量を算出してみた場合(Trial calculation 1)と、全て冷蔵で輸送したと仮定した場合(Trial calculation 2)とで比較してみたところ、Fig.5のようになった。これより、冷凍輸送量の割合を増やすことで、環境負荷低減に大きく貢献し得ることがわかった。

5. 結論

オーストラリアからの蓄養マグロ輸入を対象として、冷凍輸送と冷蔵輸送による環境負荷の違いに関するLCI分析を行った。この結果、冷凍輸送は冷蔵輸送に比べて、73%程度CO₂排出量が少ないことが明らかとなり、冷蔵輸送を冷凍輸送に切り替えることは環境負荷の低減に極めて有効であることがわかった。

しかし、この結果はヒアリング調査が基となっており、オーストラリア国内の輸送に関しては、代替として日本のデータを用いるなど、限定された条件の下で算出されたものである。今回簡略化した部分を含め、さらに総合的、現実的な分析を行うためには、現状を適正に表す統計データが必要と考えられる。今後、より詳細なデータの収集と、それによる修正を行ってゆくことが必要であると考えられる。

謝辞

本研究を行うにあたって、神戸大学の石川雅紀教授にはLCI分析に関してご指導を頂きました。また、(株)日本マリンの佐藤様をはじめ、その他多くの業者の方々に貴重なデータをご提供頂きました。ここに厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 鳥居享司,日高健:オーストラリアにおけるミナミマグロ養殖業の現状と課題,地域漁業研究,(2005).
- 2) 日高健,鳥居享司:マグロの輸入状況とオーストラリアにおけるマグロ養殖業の競争優位,近畿大学中間報告書,(2003~2004).
- 3) 百野亜津子:アクアネット,9,22-27(1999).
- 4) 出村雅晴:農林金融,40-54(2004.2).
- 5) 蓄養業者からのヒアリング調査
- 6) 倉庫業者からのヒアリング調査
- 7) 運送業者からのヒアリング調査
- 8) 航空業者からのヒアリング調査
- 9) 南斎規介,森口祐一,東野達:「産業連関表による環境負荷原単位データブック(3 EID)ーLCAのインベントリデータとしてー」,独立行政法人国立環境研究所地球環境研究センター,(2002)より399部門の原単位より算出。品目は「袋詰砕氷」
- 10) 財務省:貿易統計(税関別品別国別表),(2004).
- 11) 電気事業連合会:電気事業における環境行動計画,(2004).
- 12) 環境省:平成14年度温室効果ガス排出量算定方法検討会,(2002).
- 13) 化学工業日報社:ライフサイクルインベントリ分析の手引き,(1998).
- 14) (社)化学経済研究所:基礎素材のエネルギー解析調査報告書(1993).
- 15) (社)日本ロジティクスシステム協会:二酸化炭素排出量算定ガイド(ver.1)データ収集方法事例集[輸配送/トラック輸送版],(2005).
- 16) http://www.yasuienv.net/CREST/lca-thinking/useful/lca_gen_sakusei.htm : (2005.9)

