

産業連関法によるLCAにおける環境負荷の 上限・下限を与える簡便法

近藤康之¹

¹非会員 博士(社会経済) 早稲田大学助教授 政治経済学術院 (〒169-8050 東京都新宿区西早稲田 1-6-1)
E-mail: ykondo@waseda.jp

産業連関表はLCAにおいて広く応用されているが、そこで用いられる数理モデルは伝統的な産業連関モデルとは異なるものであることが多い。そのため、いわゆる「川下」への効果(評価対象製品の普及に起因する間接効果)を不適切に無視してしまうという欠点を持つ。この種の間接効果は、汎用機器・素材、標準化された部品などについては大きいと考えられる。本研究においては、シミュレーションによってこの種の間接効果がどの程度大きいを示す。さらに、普及率の変化に沿って原単位を推計するための簡便法を提案する。

Key Words : input-output analysis, indirect effect, lower and upper bounds

1. はじめに

産業連関表を用いたライフサイクルアセスメント(LCA)は、標準的な方法のひとつとして普及しており、economic input-output life-cycle assessment (EIO-LCA)、混合LCA (hybrid LCA) の名で知られている^{1),2),3)}。とくに、産業連関表をバックグラウンドデータとして利用する混合LCAは、プロセスデータのみに基づく積み上げ法と比較して、システム境界を拡張するための費用対効果に優れた方法であると認められている(拡張される点だけでなく、明確にされる点も重要である)⁴⁾。

LCAへの産業連関表の応用とシステム境界の拡張は、産業連関分析の基本的性質である、「川上」への波及効果の捕捉と密接に関連している。このことは、数学的には、レオンチェフ逆行列の級数展開(べき展開)として表される。しかし、「川上」の重要性が認められていることに比べて、評価対象製品・システムの普及のもたらす効果など、「川下」への効果は十分に考慮されているとは言いがたい。本稿の目的は、産業連関表を用いたシミュレーションによって「川下」への効果の程度を考察し、さらに、「川下」への効果と普及率を考慮して原単位を求める簡便法を提案することである。

2. 混合LCAのモデル

記号の紹介も兼ねて、産業連関分析と混合LCAの基本モデルについて簡単に述べる(産業連関分析の詳細については、例えば中村⁵⁾、宮沢⁶⁾などを参照されたい)。以下の混合LCAのモデルについての記述は、Joshi¹⁾に多くを負っている。

(1) 基本モデル

産業部門数を n とし、 $n \times 1$ の生産量ベクトルを x 、 $n \times n$ の投入係数行列を A 、 $n \times 1$ の最終需要ベクトルを f と書く。需給均等式 $x = Ax + f$ の解 x は、均衡数量を与える：

$$x = (I_n - A)^{-1}f = Bf. \quad (1)$$

ここで、 I_n は n 次の単位行列である。 $B = (I_n - A)^{-1}$ はレオンチェフ逆行列と呼ばれ、適当な条件の下で次のようにべき展開される。

$$B = I_n + A + A^2 + A^3 + \dots \quad (2)$$

したがって、均衡数量 x は、最終需要 f 、 f の生産に必要な中間投入 Af 、 Af の生産に必要な中間投入 A^2f 、 A^2f の生産に必要な中間投入 A^3f 、と続く無限級数の和として解釈される。いわゆる「川上」への波及効果の総計である。

例えば二酸化炭素排出量などの、環境負荷排出量を考える。 $1 \times n$ の単位生産あたり環境負荷排出量ベクトルを r とすると、最終需要 f に起因する環境負荷は、

$$e = rx = r(I_n - A)^{-1}f = rBf \quad (3)$$

として求められる。

評価対象製品が第 n 部門の生産物であるとする。1単位の生産によって直接・間接に誘発される環境負荷排出量、すなわち原単位を求めるため、最終需要ベクトルを、

$$f = \begin{bmatrix} 0_{n-1} \\ f_n \end{bmatrix} \quad (4)$$

と定義する。ここで、 0_{n-1} は $(n-1) \times 1$ の零ベクトル

である。これを用いて、原単位 δ は、

$$e = rBf = (rB)_n \times f_n = rB_{\cdot,n} \times f_n, \quad (5)$$

$$\delta = \frac{e}{f_n} = (rB)_n = rB_{\cdot,n} \quad (6)$$

により求められる。ここで、 $(rB)_n$ は $1 \times n$ ベクトル rB の第 n 要素、 $B_{\cdot,n}$ は $n \times n$ 行列 B の第 n 列からなる $n \times 1$ ベクトルである。下付き添字“ $\cdot$ ”は、第 1 要素から第 n 要素を並べたベクトルであることを表す。

このモデルは、Joshi¹⁾ の分類におけるモデル I である。

(2) 評価対象製品を仮想的な新製品と見なすモデル

評価対象製品は新製品であり、既存の 1 から n までの産業部門では生産されないと仮定し、評価対象製品は第 $n+1$ 部門で生産されるとする。

評価対象製品 1 単位の生産に伴って発生する環境負荷を g 、1 単位の生産に必要な第 i 部門の生産物を h_i 、($i = 1, \dots, n$) とし、これらを並べた $n \times 1$ のベクトルを h と書く。新製品である評価対象製品を含めた $n+1$ 部門の産業連関モデルは、次のように記述される。

$$\bar{r} = \begin{bmatrix} r & r_{n+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r & g \end{bmatrix}, \quad (7)$$

$$\bar{A} = \begin{bmatrix} A & a_{\cdot,n+1} \\ a_{n+1,\cdot} & a_{n+1,n+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & h \\ 0_n^T & 0 \end{bmatrix}, \quad (8)$$

$$\bar{f} = \begin{bmatrix} f \\ f_{n+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0_n \\ f_{n+1} \end{bmatrix}. \quad (9)$$

たかだか数百部門しかない産業連関表の 1 部門ではなく、LCA で評価対象とする第 $n+1$ 部門については、自部門投入（自己投入）について $a_{n+1,n+1} = 0$ と仮定することは妥当と言えよう。他方、 $a_{n+1,\cdot} = 0_n^T$ と仮定できるのは最終製品などに限定されるから、これは一般には非現実的な仮定である。この非現実的な仮定を含むことが、このモデルの主たる特徴である。

これらを用いて、原単位 δ は次のように求められる。

$$\bar{e} = \bar{r}\bar{x} = \bar{r}(\bar{I}_{n+1} - \bar{A})^{-1}\bar{f} \quad (10)$$

$$= \begin{bmatrix} r & g \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B & Bh \\ 0_n^T & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0_n \\ f_{n+1} \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$= (rBh + g) \times f_{n+1}, \quad (12)$$

$$\delta = \frac{\bar{e}}{f_{n+1}} = rBh + g. \quad (13)$$

上で、 $a_{n+1,\cdot} = 0_n^T$ と仮定することが非現実的であると述べた。これは、評価対象製品の他部門による投入係数であるから、いわゆる「川下」への効果の入口に相当する部分である。これをゼロと仮定しているために、このモデルは「川下」への効果を捕捉することができないという欠点を持つ。他方、各部門の原単位 rB を一度求めておけば、評価対象製品ごとに h, g を置き換えるだけで原単位が求められ、逆行列演算を要しないという意味で、容易に利用可能である。

このモデルは、Joshi¹⁾ の分類におけるモデル II である。

(3) 既存産業部門を分割するモデル

評価対象製品が既存の第 n 産業部門に含まれているとする。評価対象製品以外からなる新たな第 n 部門を定義し、評価対象製品を第 $n+1$ 部門とする。分離された第 $n+1$ 部門、再定義された第 n 部門を含む $n+1$ 部門の産業連関モデルは、次のように記述される。

$$\hat{r} = \begin{bmatrix} \hat{r}_1 & \cdots & \hat{r}_{n-1} & \hat{r}_n & \hat{r}_{n+1} \end{bmatrix}, \quad (14)$$

$$\hat{A} = \begin{bmatrix} \hat{a}_{11} & \cdots & \hat{a}_{1,n+1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \hat{a}_{n+1,1} & \cdots & \hat{a}_{n+1,n+1} \end{bmatrix}, \quad (15)$$

$$\hat{f} = \begin{bmatrix} f \\ f_{n+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0_n \\ f_{n+1} \end{bmatrix} = \bar{f}. \quad (16)$$

$(\hat{A}, \hat{r})$ で表される $n+1$ 部門表の第 n 部門、第 $n+1$ 部門を統合すると、 (A, r) で表される n 部門表が得られるから、これらの係数のあいだには、次の関係が成り立つ。

$$\hat{a}_{ij} = a_{ij}, \quad \hat{r}_j = r_j \quad (i, j = 1, \dots, n-1), \quad (17)$$

$$\hat{r}_{n+1} = g, \quad \hat{a}_{i,n+1} = h_i \quad (i = 1, \dots, n), \quad (18)$$

$$\hat{a}_{nj} + \hat{a}_{n+1,j} = a_{nj} \quad (j = 1, \dots, n-1), \quad (19)$$

$$(1-s)\hat{a}_{jn} + s\hat{a}_{j,n+1} = a_{jn} \quad (j = 1, \dots, n-1), \quad (20)$$

$$(1-s)\hat{r}_n + s\hat{r}_{n+1} = r_n, \quad (21)$$

$$(1-s)(\hat{a}_{nn} + \hat{a}_{n+1,n}) + s(\hat{a}_{n,n+1} + \hat{a}_{n+1,n+1}) = a_{nn}. \quad (22)$$

ここで s は、元の（分割前の）第 n 部門の生産額に占める評価対象の第 $n+1$ 部門の構成比である。

以上より、

$$\hat{r} = \begin{bmatrix} r_{-1} & \hat{r}_n & g \end{bmatrix}, \quad (23)$$

$$\hat{A} = \begin{bmatrix} A_{-1} & \hat{a}_{-1,n} & h_{-1} \\ \hat{a}_{n-1} & \hat{a}_{nn} & h_n \\ \hat{a}_{n+1,-1} & \hat{a}_{n+1,n} & 0 \end{bmatrix}. \quad (24)$$

ここで、下付き添字“ -1 ”は、第 1 要素から第 $n-1$ 要素を並べた行列・ベクトルを表す。

これらを用いて、原単位 $\hat{\delta}$ は次のように求められる。

$$\hat{e} = \hat{r}\hat{x} = \hat{r}(\hat{I}_{n+1} - \hat{A})^{-1}\hat{f}, \quad (25)$$

$$\hat{\delta} = \frac{\hat{e}}{f_{n+1}}. \quad (26)$$

前節のモデルとの重要な相違は、一般に $\hat{a}_{n+1,\cdot} \neq 0_n^T$ であり、「川下」への効果を捕捉可能な点にある。

評価対象製品を除いて再定義された第 n 部門の投入係数は、評価対象製品（第 $n+1$ 部門）の投入係数 h が得られることを前提とすれば、(20) により容易に求められる。他方、(19) の関係が明らかだとは言え、「川下」を捕捉する投入係数を推計することはそれほど容易で

はない。また、評価対象製品の普及率の変化を考慮すれば、 a_{nj} を $\hat{a}_{n,j}$, $\hat{a}_{n+1,j}$ に分割する作業は、現状値の推計ではなく予測であるから、より困難な作業であると考えられる。

このモデルは、Joshi¹⁾ の分類におけるモデル III である。

3. モデルの誤差

最も簡単なモデル I では、比較対照としている複数の製品が同一の産業部門に属するために、原単位が等しくなってしまう、そもそも比較の意味が無いという問題が生じ得る。モデル II は、直接の排出係数 g と産業連関分析による修正項 rBh の和として原単位 δ が求められるため、適用が容易で広く普及している。モデル III は、逆行列演算を要するだけでなく、評価対象製品の普及の程度について推計が困難であったり、ユーザに判断が求められることから、広く普及しているとは言い難い。しかし、新製品・新技術の開発・評価を行う場合は、その普及を期待していると思われるから、モデル II よりもモデル III の適用が推奨される。

モデル III を適用すべきところにモデル II を適用した場合の誤差の程度を考察するため、産業連関表⁷⁾と二酸化炭素排出係数のデータ⁸⁾を用いたシミュレーションを行う（本稿執筆時点での最新の産業連関表は平成12年表であるが、環境負荷データ⁸⁾の利用可能な平成7年表を用いる）。

基本分類（列 403 × 行 519）は行・列部門数が異なる非正方表であるため、文献⁸⁾と同様の方法で部門を統合して正方化した。ただし、仮説部門である古紙、鉄屑、非鉄金属屑は内生部門から除外した。環境負荷は二酸化炭素排出を用いる。

正方化された基本分類（397 部門）の各部門を LCA における評価対象製品（またはプロセス）、統合中分類（93 部門）を代替可能な製品群、統合大分類（32 部門）をシミュレーションのための産業連関表の部門と見なす。例えば、基本分類「0111-01 米」を評価対象製品とすると、同部門を含めて 28 部門が大分類「01 農林水産業」に属するため、モデル II, III において $n = 397 - 28 + 1 = 370$ とする。第 n 部門は大分類「01 農林水産業」とし、その他の基本分類 369 部門を第 1 部門から第 $n - 1$ 部門とする。また、「0111-01 米」に対応する中分類「01 耕種農業」に属する 13 部門は、互いに代替可能な製品であると見なす。

既述のように、LCA における評価対象製品に関して自部門投入（自己投入）が非ゼロとは考えにくいので、正方化された基本分類について、内生部門の取引額表（生産者価格評価表）の対角要素をゼロで置き換える。

表-1 モデル II の誤差に関するシミュレーションの主な結果

評価対象部門		誤差率 [%]		
符号	部門名	(0)	(1)	(2)
1521-01	織物製衣服	-14.37	-16.08	2.41
2061-01	医薬品	-8.73	-6.92	-2.23
2522-01	生コンクリート	-8.69	-10.41	2.11
2523-01	セメント製品	-5.91	-6.21	0.38
2611-03	粗鋼（転炉）	0.00	-17.45	19.84
2621-01	熱間圧延鋼材	-5.10	-18.82	18.56
2623-01	冷間仕上鋼材	-4.79	-8.73	4.60
2649-01	鉄鋼シャースリット業	-5.77	-7.82	2.24
3511-01	乗用車	-4.7	-15.55	13.92
平均		-0.29	-0.48	0.22
10%刈り込み平均		-0.11	-0.17	0.05
分位点 最小値		-14.37	-18.82	-2.23
第 1 四分位		-0.14	-0.23	-0.02
中央値		0.00	-0.01	0.00
第 3 四分位		0.01	0.03	0.06
最大値		3.22	3.7	19.84

注：(0), (1), (2) は、それぞれ δ , $\delta^{(1)}$, $\delta^{(2)}$ の δ に対する誤差率。2 つの誤差率 (1), (2) の絶対値の少なくとも一方が 5% より大きい部門を表掲した。

これに合わせて行和である国内生産額も修正した表（競争輸入形式）を用いる。

モデル III と比較してモデル II には、第 n 部門に評価対象の第 $n + 1$ 部門が統合されている、「川下」への効果が捕捉されない、という相違点がある。それぞれの相違点の影響を考察するため、次のような 2 通りの中間的なモデルを用いる。第 1 は、第 n 部門には第 $n + 1$ 部門が統合されているが、「川下」への効果は捕捉できるモデルである。

$$\tilde{A}^{(1)} = \begin{bmatrix} A_{-1} & a_{-1,n} & h_{-1} \\ \hat{a}_{n,-1} & \hat{a}_{nn} & h_n \\ \hat{a}_{n+1,-1} & \hat{a}_{n+1,n} & 0 \end{bmatrix}, \quad (27)$$

$$\tilde{r}^{(1)} = \begin{bmatrix} r_{-1} & r_n & g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r & g \end{bmatrix} = \tilde{r}. \quad (28)$$

第 2 は、「川下」への効果は捕捉できないが、第 n 部門に第 $n + 1$ 部門が統合されていないモデルである。

$$\tilde{A}^{(2)} = \begin{bmatrix} A_{-1} & \hat{a}_{-1,n} & h_{-1} \\ a_{n,-1} & a_{nn} & h_n \\ 0_{n-1}^T & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad (29)$$

$$\tilde{r}^{(2)} = \begin{bmatrix} r_{-1} & \hat{r}_n & g \end{bmatrix} = \tilde{r}. \quad (30)$$

シミュレーションの結果は表-1 の通りである。モデル III による原単位 δ を基準とし、 δ , $\delta^{(1)}$, $\delta^{(2)}$ の δ に対する誤差率を求めた。ただし、

$$\tilde{e}^{(k)} = \tilde{r} (I_{n+1} - \tilde{A}^{(k)})^{-1} \tilde{f}, \quad (31)$$

$$\hat{\delta}^{(k)} = \frac{\tilde{e}^{(k)}}{f_{n+1}}, \quad (32)$$

である。大分類と基本分類の一致する 2 部門（「8900-00 事務用品」「9000-00 分類不明」）をのぞく 395 部門に

ついで誤差率を求めたところ、 δ と $\delta^{(1)}$ の相関係数は 0.789 で正の相関があり、 $\delta^{(1)}$ と $\delta^{(2)}$ の相関係数は -0.823 で負の相関がある。 δ と $\delta^{(1)}$ の分布が大きく左に歪んでいるのに対して、 $\delta^{(2)}$ の分布は大きく右に歪んでいる。

部門統合による誤差率 $\delta^{(1)}$ と比べれば「川下」への影響を補足しないことによる誤差率 $\delta^{(2)}$ は大きくない。しかし、約 5% にあたる 19 例で誤差率が 1% を超えており、無視し得ない影響が見られる。したがって、関連するプロセスに関する詳細なデータ収集を優先させつつ、データ集約的でない簡便な方法を採用するなどして「川下」への効果をも捕捉することが推奨される。

4. 普及率の変化

(1) 普及率が 100% の場合についてのシミュレーション

上で用いた『川下』への効果は捕捉できないが、第 n 部門に第 $n+1$ 部門が統合されていないモデル」に基づく原単位 $\delta^{(2)}$ は、評価対象製品の普及率が 0% のときのモデル III に基づく原単位とも解釈できる。普及率の変化の影響を評価するために、次のような普及率が 100% のときのモデルを考える。

$$\tilde{A}^{(3)} = \begin{bmatrix} A_{-1} & \hat{a}_{-1,n} & h_{-1} \\ a_{n,-1} - c_{-1} & a_{nn} - c_n & h_n \\ c_{-1} & c_n & 0 \end{bmatrix}, \quad (33)$$

$$\tilde{r}^{(3)} = [r_{-1} \quad \hat{r}_n \quad g] = \tilde{r}. \quad (34)$$

ここで、 $c = [c_{-1} \quad c_n]$ は、第 n 部門の生産物の投入 a_{nn} のうち、評価対象製品で代替可能な部分である。

基本分類の部門を評価対象製品、同部門と共通の統合中分類の合計を代替可能な部分として、普及率が 100% のときの原単位 $\delta^{(3)}$ を求めた。シミュレーションの結果は表-2 の通りである。パルプ・紙や鉄鋼といった、総需要に占める中間需要の割合の高い部門で、普及率の影響が大きいことが分かる。また、普及率が 0% の場合と 100% の場合の原単位の乖離率 $(\delta^{(2)} - \delta^{(3)}) / ((\delta^{(2)} + \delta^{(3)}) / 2)$ が、全体の約 14% にあたる 55 例で 1% を超えている。

(2) 普及率を考慮して原単位を求める簡便法

普及率が 0% の場合と 100% の場合の原単位の乖離の見られる例があることから、0% と 100% のあいだの普及率に対しても原単位を推計することが求められる。これに対応するため、次のような係数行列で表されるモデルを考える。

$$\tilde{A}^{(4)} = \begin{bmatrix} A_{-1} & \hat{a}_{-1,n} & h_{-1} \\ a_{n,-1} - pc_{-1} & a_{nn} - pc_n & h_n \\ pc_{-1} & pc_n & 0 \end{bmatrix}, \quad (35)$$

$$\tilde{r}^{(4)} = [r_{-1} \quad \hat{r}_n \quad g] = \tilde{r}. \quad (36)$$

表-2 普及率の変化に関するシミュレーションの主な結果

評価対象部門		変化率 [%]	
符号	部門名	(2)	(3)
1117-03	ぶどう糖・水あめ・異性化糖	-0.14	4.90
1811-01	パルプ	-1.84	3.39
1812-01	洋紙・和紙	-0.67	3.19
2611-03	粗鋼（転炉）	19.84	-8.63
2611-04	粗鋼（電気炉）	1.05	-5.61
2621-01	熱間圧延鋼材	18.56	7.78
2622-01	鋼管	0.40	-8.37
2623-01	冷間仕上鋼材	4.60	-2.02
2623-02	めっき鋼材	0.35	-7.93
3511-01	乗用車	13.92	10.70
3521-01	トラック・バス・その他の自動車	3.46	0.39
平均		0.22	0.03
10%刈り込み平均		0.05	0.01
分位点	最小値	-2.23	-8.63
	第 1 四分位	-0.02	-0.11
	中央値	0.00	0.00
	第 3 四分位	0.06	0.09
	最大値	19.84	10.70

注：(2)、(3) は、それぞれ $\delta^{(2)}$ 、 $\delta^{(3)}$ の δ に対する変化率。2 つの変化率 (2)、(3) の絶対値の少なくとも一方が 3% より大きい部門を表掲した。

ここで、 p は評価対象製品の普及率 ($0 \leq p \leq 1$) である。普及率が 0% ($p = 0$) のとき、 $\tilde{A}^{(4)}$ は $\tilde{A}^{(2)}$ に一致し、普及率が 100% ($p = 1$) のとき、 $\tilde{A}^{(4)}$ は $\tilde{A}^{(3)}$ に一致する。

ここで、 p を現実の普及率としても、必ずしも $\tilde{A}^{(4)}$ は $\hat{A}$ に一致しない点に注意を要する。現実には、評価対象製品と代替可能な製品群の投入に占める評価対象製品の投入の割合は、各部門ごとに異なる。この現実を反映した投入係数行列が $\hat{A}$ である。これに対して、 $\tilde{A}^{(4)}$ においては、評価対象製品の投入の割合は全部門に共通に p としている。この意味で、 $\tilde{A}^{(4)}$ で表されるモデルに基づいて普及率の影響を考慮する方法は簡便法である。

基本分類の部門を評価対象製品、同部門と共通の統合中分類の合計を代替可能な部分として、普及率 p が 0%、25%、50%、75%、100% のときの原単位 $\delta^{(4)}$ を求めた。シミュレーションの結果は表-3 の通りである。同表には、普及率が 0% と 100% のときの乖離率が 3% を超えるものを表掲した。僅かではあるが、普及率の上昇に伴う原単位の増加率（の絶対値）が減減する非線形の関係が見られる。

5. まとめ

本稿では、産業連関表をバックグラウンドデータとして用いる混合 LCA について、シミュレーションにより「川下」への効果の大きさを評価した。部門統合による誤差よりも、「川下」への効果を無視することによる誤差の方が小さい傾向が見られたが、その効果自体は無

表-3 普及率の変化に沿って推計される原単位についてのシミュレーションの結果

評価対象部門		普及率ごとの原単位 [t-C/百万円]				
符号	部門名	0%	25%	50%	75%	100%
1117-03	ぶどう糖・水あめ・異性化糖	2.032	2.058	2.084	2.109	2.134
1811-01	バルブ	2.948	2.991	3.032	3.069	3.105
1812-01	洋紙・和紙	2.377	2.402	2.425	2.448	2.469
2611-03	粗鋼（転炉）	2.237	2.084	1.946	1.820	1.705
2611-04	粗鋼（電気炉）	2.294	2.246	2.206	2.172	2.143
2621-01	熱間圧延鋼材	4.359	4.248	4.145	4.050	3.962
2622-01	鋼管	2.887	2.817	2.752	2.691	2.635
2623-01	冷間仕上鋼材	3.263	3.207	3.154	3.104	3.056
2623-02	めっき鋼材	2.798	2.733	2.673	2.618	2.567
3511-01	乗用車	0.864	0.857	0.851	0.845	0.840
3521-01	トラック・バス・その他の自動車	0.772	0.765	0.759	0.754	0.749

視し得ないほどの大きさである。とくに、汎用機器・素材、標準化された部品など、総需要に占める中間需要の割合の大きい製品については、この効果は大きいと考えられる。「川下」への効果は評価対象製品の普及率と密接な関連があるので、普及率の変化に伴って原単位も変化するを考慮し、これに対応した原単位を推計するための簡便法を提案した。今後は、産業連関表データに基づくシミュレーションではなく、LCAの事例研究へ提案した方法を適用して、その妥当性を検証したい。

謝辞： 本研究の遂行にあたり、早稲田大学特定課題研究費 2004A-018 の助成を受けた。

参考文献

- 1) Joshi, S.: Product environmental life-cycle assessment using input-output techniques, *J. Ind. Ecol.*, Vol. 3, No. 2-3, pp. 95-120, 2000.
- 2) Hendrickson, C., Horvath, A., Joshi, S. and Lave, L.: Economic input-output models for lifecycle assessment, *Environ. Sci. Technol.*, Vol. 13, No. 4, pp. 184A-191A, 1998.
- 3) Suh, S.: Input-output and hybrid life cycle assessment, *Int. J. LCA*, Vol. 8, No. 5, p. 257, 2003.
- 4) Suh, S., Lenzen, M., Treloar, G. J., Hondo, H., Horvath, A., Huppes, G., Joliet, O., Klann, U., Krewitt, W., Moriguchi, Y., Munksgaard, J. and Norris, G.: System boundary selection in life-cycle inventories using hybrid approaches, *Environ. Sci. Technol.*, Vol. 38, No. 3, pp. 657-664, 2004.
- 5) 中村慎一郎：Excel で学ぶ産業連関分析，エコノミスト社，2000.
- 6) 宮沢健一：産業連関分析入門，第7版，日本経済新聞社，2002.
- 7) 総務庁：平成7年（1995年）産業連関表：総合解説編，全国統計協会連合会，1999.
- 8) 南齋規介，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（3EID）：LCAのインベントリデータとして，国立環境研究所地球環境研究センター，2002.

A SIMPLE METHOD FOR OBTAINING THE LOWER AND UPPER BOUNDS OF ENVIRONMENTAL EMISSIONS IN A CLASS OF ECONOMIC INPUT-OUTPUT LIFE-CYCLE ASSESSMENT

Yasushi KONDO

The economic input-output (EIO) technique has played an essential role in the field of life-cycle assessment (LCA) in a so-called hybrid manner. However, EIO has not yet been so popular in its conventional form by which any downstream repercussion is fully accounted for. In other words, in accordance with the classification of models of EIO-LCA of products by Joshi (2000, *Journal of Industrial Ecology*), the model that regards the product of interest as a new hypothetical industry sector has been used more widely than the model that disaggregates an existing sector in which the product of interest is aggregated. The former model may inappropriately ignore an indirect effect which is caused by the spread of the product; the ignored indirect effect should be large for intermediate goods such as all-purpose machinery and standardized parts. In this regard, I present a simulation study to show how large the ignored indirect effect is and then propose a simple method for obtaining the lower and upper bounds of estimated environmental emissions in the case where the ignored indirect effect is accounted for based on uncertain data.