

修士論文

摂動法を用いた産業連関分析の感度解析

1p ~ 94p 完

平成 12 年 2 月 10 日 提出

指導教官 酒井 信介 教授

86195 丹野 史朗

# 目次

記号表	8
第 1 章 序論	9
1.1 研究の背景	10
1.2 LCA の概要	10
1.2.1 インベントリ (LCI) 分析手法	11
1.2.2 産業連関表を用いたインベントリ分析	12
1.2.3 LCA における感度解析の必要性	13
1.2.4 摂動法と確率有限要素法	14
1.3 本研究の目的	15
1.4 本論文の構成	16
第 2 章 産業連関表を用いたインベントリ分析	17
2.1 緒言	18
2.1.1 マトリクス、ベクトルの表記法について	18
2.2 産業連関分析の基礎	19
2.2.1 産業連関表	19
2.2.2 投入係数行列	20
2.2.3 逆行列係数表	21
2.3 産業連関分析の LCI への応用	23
2.3.1 環境負荷排出原単位	23
2.3.2 製品製造時の国内環境負荷排出量	24
2.3.3 産業連関法の行列表示	24
2.4 結言	25

第 3 章 最終需要、直接排出強度の変動による影響	26
3.1 緒言	27
3.2 最終需要の変動による影響	27
3.2.1 環境負荷排出量 $L$ の変動	27
3.2.2 環境負荷排出量 $L$ に対する感度	28
3.2.3 感度 $s_{f,i}$ のマトリクス表示	28
3.3 直接排出強度の変動による影響	29
3.3.1 環境負荷排出量 $L$ の変動	29
3.3.2 環境負荷排出量 $L$ に対する感度	30
3.3.3 感度 $s_{d,i}$ のマトリクス表示	31
3.4 7部門縮約産業連関表を用いての検証	32
3.4.1 環境負荷排出原単位、国内環境負荷総排出量の算出	32
3.4.2 最終需要の変動による国内環境負荷総排出量の変動	34
3.4.3 直接排出強度の変動による国内環境負荷総排出量の変動	35
3.5 結言	35
第 4 章 投入係数の変動に対する感度解析の定式化	36
4.1 緒言	37
4.2 環境負荷排出量 $L$ の変動	37
4.3 環境負荷排出量 $L$ に対する感度	39
4.4 環境負荷変動の近似式	40
4.5 投入係数を変動させる際の仮定	41
4.6 仮定 1 の場合	42
4.6.1 感度の成分表記	42
4.6.2 感度のマトリクス表示	43
4.6.3 環境負荷変動の高精度近似	45
4.6.4 環境負荷変動の線形性	47
4.7 仮定 2 の場合	48
4.7.1 感度の成分表記	48
4.7.2 感度のマトリクス表示	49
4.7.3 環境負荷変動の高精度近似	50
4.8 7部門縮約産業連関表を用いての検証	51

---

4.8.1	仮定 1 の場合	51
4.8.2	仮定 2 の場合	54
4.8.3	考察	56
4.9	結言	57
第 5 章 平成 2 年度産業連関表を用いた感度解析		58
5.1	緒言	59
5.2	最終需要の変動に対する感度解析	60
5.3	直接排出強度の変動に対する感度解析	63
5.4	投入係数の変動に対する感度解析	66
第 6 章 結論		72
6.1	結論	73
付録 A 最終需要の変動に対する感度 (上位 100 部門)		74
A.1	CO <sub>2</sub> 排出量	74
A.2	エネルギー消費	74
A.3	SO <sub>x</sub> 排出量	74
A.4	NO <sub>x</sub> 排出量	74
付録 B 直接排出強度の変動に対する感度 (上位 100 部門)		79
B.1	CO <sub>2</sub> 排出量	79
B.2	エネルギー消費	79
B.3	SO <sub>x</sub> 排出量	79
B.4	NO <sub>x</sub> 排出量	79
付録 C 投入係数の変動に対する感度 (上位 100 部門)		84
C.1	CO <sub>2</sub> 排出量	84
C.2	エネルギー消費	84
C.3	SO <sub>x</sub> 排出量	84
C.4	NO <sub>x</sub> 排出量	84
あとがき		89

---

著者近影 . . . . .	91
----------------	----

## 図目次

4.1	$a_{22}$ 、 $a_{44}$ 、 $a_{32}$ 要素が変動するときの $\text{CO}_2$ 発生量の変動	53
4.2	$a_{22}$ 要素が変動するときの $\text{CO}_2$ 発生量の変動	55
5.1	最終需要に対する感度	60
5.2	直接排出強度の変動に対する感度	63
5.3	投入係数の変動に対する感度 (仮定 1)	66
5.4	$a_{177,179}$ 、 $a_{270,270}$ 、 $a_{166,167}$ 要素が変動するときの $\text{CO}_2$ 発生量の変動	68
5.5	投入係数の変動に対する感度 (仮定 2)	69
	著者近影	91

## 表目次

2.1	マトリクス・ベクトル表記の規約	18
2.2	産業連関表の構造	19
3.1	部門一覧	32
3.2	7部門 CO <sub>2</sub> 直接排出強度	32
3.3	7部門投入係数表	32
3.4	7部門逆行列係数表	33
3.5	7部門 CO <sub>2</sub> 排出原単位	33
3.6	7部門最終需要	33
3.7	7部門最終需要に対する感度 (直接法)	34
3.8	7部門最終需要に対する感度 (摂動法)	34
3.9	7部門直接排出強度に対する感度 (直接法)	35
3.10	7部門直接排出強度に対する感度 (摂動法)	35
4.1	$t_{ij}$ の各要素	56
5.1	最終需要の変動に対する感度	61
5.2	直接排出強度の変動に対する感度	64
5.3	投入係数の変動に対する感度 (仮定 1)	67
5.4	投入係数の変動に対する感度 (仮定 2)	70
5.5	投入係数の CO <sub>2</sub> 発生量に対する感度値	71
A.1	最終需要に対する CO <sub>2</sub> 排出量の感度 (上位 100 部門)	75
A.2	最終需要に対するエネルギー消費の感度 (上位 100 部門)	76
A.3	最終需要に対する SO <sub>x</sub> 排出量の感度 (上位 100 部門)	77
A.4	最終需要に対する NO <sub>x</sub> 排出量の感度 (上位 100 部門)	78

---

B.1	直接排出強度に対する CO <sub>2</sub> 排出量の感度 (上位 100 部門) . . . . .	80
B.2	直接排出強度に対するエネルギー消費の感度 (上位 100 部門) . . . . .	81
B.3	直接排出強度に対する SO <sub>x</sub> 排出量の感度 (上位 100 部門) . . . . .	82
B.4	直接排出強度に対する NO <sub>x</sub> 排出量の感度 (上位 100 部門) . . . . .	83
C.1	投入係数に対する CO <sub>2</sub> 排出量の感度 (上位 100 部門) . . . . .	85
C.2	投入係数に対するエネルギー消費の感度 (上位 100 部門) . . . . .	86
C.3	投入係数に対する SO <sub>x</sub> 排出量の感度 (上位 100 部門) . . . . .	87
C.4	投入係数に対する NO <sub>x</sub> 排出量の感度 (上位 100 部門) . . . . .	88



## 記号表

- $A$  投入係数マトリクス
- $I$  単位マトリクス
- $B$  逆行列係数マトリクス
- $d$  環境負荷直接排出強度ベクトル
- $t$  環境負荷排出原単位ベクトル
- $S_a$  投入係数の変動に対する感度マトリクス
- $s_d$  直接排出強度の変動に対する感度ベクトル
- $s_f$  最終需要の変動に対する感度ベクトル

# 第 1 章

## 序論

## 1.1 研究の背景

地球環境保全は今や人類存亡に係わる全世界共通の最重要課題である。人類社会において「持続的発展」を可能にするためには、製品や財・サービスのライフサイクルを通じての環境への負荷を把握することが不可欠である。

近年、持続的発展の実現に向けた環境影響評価手法の一つとして、LCA(Life Cycle Assessment:ライフサイクル環境影響評価)が注目を集め、ISO(International Standardization Organization:国際標準化機構)において、14040 シリーズとしてその標準化作業が進められるとともに、わが国でも国公立の研究機関や民間企業での調査・研究が活発になっている。

## 1.2 LCA の概要

LCA とは、ある製品について、そのライフサイクルの始めから終わりまで (原料の取得から製造、加工、運搬、使用、再生、廃棄、処理・処分にいたる一生) の間に発生する環境への負荷 (資源・エネルギー消費量、固形廃棄物発生量、大気汚染物質排出量、水質汚濁物質排出量など) を定量的に列挙し評価する方法である。従来の環境負荷分析では、ある製品の使用時なら使用時、廃棄時なら廃棄時のみと限定した条件での負荷が議論されていたのに対し、ある製品なら製品の係っている総ての負荷を考慮して評価しようとするもので、まさに、現在の広範に広がった環境問題に対応し得る評価方法だと言える。

LCA は方法論としてまだ確定的なものとはなっていないが、ISO14040 に準拠して、実施手順として次の 4 ステップが定められている。

### 1. 目的と範囲の設定 (GSD:Goal and Scope Definition)

はじめに、LCA を実施する目的と範囲を明確にすることが重要である。LCA の結果は、これらの設定によって多様な結果を産む。その結果は設定した範囲でのみ有効なものであり、それを利用する際にはこれらの前提条件を踏まえた上で行う必要がある。

### 2. インベントリ分析 (Life Cycle Inventory Analysis)

LCA 対象となる製品やサービスに関して、地球環境への入出力を定量化するために、投入される資源やエネルギー (インプット) 及び生産または排出される製

品・排出物 (アウトプット) のデータを収集し、1. で設定した範囲・システムを通じて積算するフェーズである。

### 3. インパクト分析 (Life Cycle Impact Analysis)

インパクト分析は、地球環境への影響という視点からインベントリーの数値を分析する作業であり。方法論的に、クラシフィケーション (classification:分類)、キャラクターゼーション (characterization:特性値化)、ウエイティング (weighting:重み付け) という方法がとられる。クラシフィケーションは、様々な環境排出物を地球温暖化、オゾン層破壊、人体毒性などの環境影響の種類に応じて類別化することであり、キャラクターゼーションでは、それぞれの類別化された項目毎にパラメーター化して数値的に表すことである。また、ウエイティングとはインベントリ分析で得られたデータをもとに作成された製品の物量単位での環境負荷に、何らかの評価数値を掛け合わせて、個々ばらばらの環境負荷数値を各環境評価カテゴリー (地球温暖化、海洋汚染、など) で通算し、意思決定者にとって理解しやすいデータに変換する手続きである。

### 4. インタープリテーション (Interpretation)

その名のとおりインベントリ分析やインパクト分析の結果を解釈し、結論や勧告を導き出すフェーズである。また、GSD に従ってインベントリ分析やインパクト分析の結果が解釈され、結果の完備性 (completeness)、信頼性 (reliability)、一貫性 (consistency) のチェックが行われる。また、環境負荷低減のためのインプルーブメント分析が行われる。

本研究では、特に、インベントリ分析およびインタープリテーションを取り扱う。

## 1.2.1 インベントリ (LCI) 分析手法

インベントリ分析には、大別して積み上げ法 (プロセス法) と産業連関法の 2 つがある。

### 1. 積み上げ法

積み上げ法とは、ライフサイクルをその各段階毎のプロセスに分解し、各プロセスごとに環境負荷データを収集し、ライフサイクル内の全プロセスについて足しあわせを行うという手法である。

環境負荷の度合が各プロセスごとに明確で、その後の改善方法を検討することが容易である反面、各プロセスごとの調査項目に限界があり、調査方法によってデータのばらつきが大きい。

## 2. 産業連関法

産業連関法とは、政府から発行（日本では、総務庁を中心に 5 年毎に調査、発行）される「産業連関表」を使い、部門間の金額ベースを基準に、原材料やエネルギーがどのようにして調査対象製品に分配されてきたのかをたどって分析していく方法である。

全ての産業を網羅しているため、ある製品ごとに直接・間接の波及効果を含めたインベントリが比較的容易に算出できる反面、産業連関表に取り入れられている項目が約 500(部門) と少ないために、個々の工業製品や技術を分析するには不十分であり、新技術やリサイクルのように、産業連関表に取り入れられていない分野のものに関しては分析ができない。

### 1.2.2 産業連関表を用いたインベントリ分析

産業連関表自体は、1 年間に取引された集計データに過ぎないが、逆行列計算を行うことにより、あらゆる産業への「間接的な生産波及効果」を算出することができる。このように、個々の製造プロセスごとの環境負荷を実態調査するのではなく、日本の産業構造から割出した平均値により、客観的な評価を行うことができる。

以下に産業連関表の長所と短所をまとめる。

#### [長所]

- ・国内における全産業の情報が網羅されており、間接的波及効果を考慮した評価が可能。
- ・データの信頼性、透明性に優れる。
- ・投入材料/エネルギーの数量のみで算出可能。
- ・詳細な工程分析が不要。
- ・計算に使用される情報は、全て国内における公的なデータなので国内ならばどこでも利用が可能。

#### [短所]

- ・国外情報が評価の中に入らないため国外で製造される製品の環境負荷の評価ができな

い。

- ・国内の平均データのため企業間における素材ベースでの比較ができない。
- ・数百種類の分類にかぎられるため詳細部品への展開ができない。
- ・単独では、精細な環境影響評価には至らない。
- ・5年ごとの統計データのため、新産業/新素材は分析できない。

### 1.2.3 LCA における感度解析の必要性

1.2節で述べたように、インタープリテーションのフェーズでは、環境負荷を低減させるために、インプルーブメント分析が行われる。インプルーブメント分析とは、素材の選択や設計、運用の方法、輸送、廃棄の方法などの変更による環境負荷改善の方向を明らかにすることである。

そのためには、インベントリ分析、インパクト分析の結果から、どのプロセスのどの項目が重要なのかを特定する必要がある。

重要事項の特定には以下の手法が用いられる。

#### 1. 項目の整理、再配列

インベントリーなどのデータを、ライフステージやカテゴリごとにまとめて、読みやすいスプレッドシート型に表す作業である。

#### 2. パーセント表示による寄与率の表示

項目の整理、最配列を行っても、絶対数値だけが並んでいたのでは桁数に大きな違いでもない限りどこが重要なのか一目でわかりにくい。そのために、それぞれの数値をパーセントで表わし寄与率を明確にする手法である。

#### 3. 優勢分析

優勢分析 (Dominant Analysis) とは、システムの中で最大の環境負荷を出しているプロセスを見出す分析である。具体的には、プロセス  $j$  における環境負荷項目  $k$  の排出量を  $d_{kj}$  とし、 $d_{kj}$  を要素とするマトリクス  $D$  で表す。ここで環境負荷項目  $k$  に注目して  $D$  から  $k$  行を抜き出したベクトル  $d_k$  として取り出す。この  $d_k$  の最大要素となるプロセス  $j$  をそれぞれの環境ストレス因子  $k$  に対して見出すことが LCA での優勢分析であり、多くのストレス因子に対して優勢となるプロセス  $j$  が LCA で重要なプロセスとして指摘される。

#### 4. 感度解析

優勢分析は最大の環境負荷をもたらしているプロセスを見出す、最大の環境負荷のプロセスがそのまま最大の改善効果を引き出す対象とは限らない。例えば原料の海洋輸送プロセスが最大の環境負荷を出している場合でも、海洋輸送設備の環境負荷を下げるよりも原料を減らす方が効果を上げる場合が多々ある。そのような効果の高い部分を見出すのが、感度解析 (Sensitivity Analysis) である。限界分析 (Marginal Analysis) と表現される場合もある。感度解析では各パラメータを微小変動させた場合に、環境負荷に与える変化の割合がどのくらいあるかを調べる。感度解析はこれらの数値を計算し、その最大の要素を見出す作業であり、これにより当該システムで最も効果的に環境負荷を低減し得る方向性を示していくことができるようになる。

従来 of 産業連関表を用いたインベントリ分析では、以下のような問題点があった。

- 研究機関が公表している排出原単位を利用してインベントリ分析を行うのみ。
- 環境負荷排出量の大きい部門 (産業) の特定はできるが、改善すべき方向は知ることができない。

具体的な例として、産業連関法を用いてインベントリ分析を行った結果、発電産業の CO<sub>2</sub> 排出量が大きいことがわかったとする。次のステップとして、インベントリ分析の結果を踏まえて、環境負荷排出量の改善を図ることになるが、その際、最終的な結果からだけでは、

「発電産業の CO<sub>2</sub> 排出量が大きい→発電産業での化石燃料消費を少なくすれば良い」という直接的な分析はできるが、

「電力を大量に使用する産業は→例えばアルミ精錬産業?」「アルミ素材を大量に使用する産業は→??」

のように、間接的な波及効果を含めた改善評価を行うことは困難である。このような問題の解決のためには、各要素が環境負荷量に及ぼす影響の程度、すなわち感度を算出することが、有効であると考えられる。

#### 1.2.4 摂動法と確率有限要素法

Bellman の提案した摂動法 [6] は、本問題のように期待する系から若干の変動があったときの出力の変動を近似的に評価する目的には有効な方法である。この方法の利点

は、一度係数マトリックスの逆マトリックスを評価しさえすれば、系の微小変動に伴う出力の変動を容易に予測できることである。摂動法はもともとは非線形問題を解くに当たっての有力な手段として提示されたものであるが、中桐・久田はこの方法を確率構造系に適用し、構造系が確率的に変動する場合の出力の変動の評価をするのに有効であることを多くの問題に対して実証し、確率有限要素法として体系付けた [7]。一方で、LCA における感度解析の問題も、係数マトリックスの要素の微小変動に伴う出力である環境負荷の変動を評価する問題であるから、摂動法の応用が可能であることが期待される。

### 1.3 本研究の目的

本研究では、LCA のインベントリ分析において、産業連関法に基づくインベントリ分析手法を採用し、摂動法の LCA における感度解析への応用について検討する。また、パラメータの変動に伴う環境負荷変動の予測などの手法について検討する。

各手法の定式化の後、例題に適用し妥当性の検証を行った後、平成 2 年度産業連関表について適用し、本研究で提言する手法の有用性を示す。



## 1.4 本論文の構成

本論文の構成を以下に挙げる。

第 1 章 序論 では、LCA における基礎的事項と、LCA の現状の問題点について概説し、本研究の目的を示す。

第 2 章 産業連関表を用いたインベントリ分析 では、本研究の前提となる、産業連関表を用いたインベントリ分析の手法について解説する。

第 3 章 最終需要、直接排出強度の変動に対する感度解析の定式化 では、摂動法を用いて、最終需要、直接排出強度の変動に対する感度解析の定式化を行う。また、縮約産業連関表を用いて、その正当性を検証する。

第 4 章 投入係数の変動に対する感度解析の定式化 では本研究の中心となる摂動法による感度解析の定式化を行い、その応用として、環境負荷変動の計算法についても定式化を行う。また、縮約産業連関表を用いて、解析例も示す。

第 5 章 平成 2 年度産業連関表に対する感度解析 では、第 5 章までに定式化した手法を用いて、実際に公開された平成 2 年度産業連関表への適用例を示す。

第 6 章 結論 では、本研究で得られた結論を総括する。

## 第 2 章

# 産業連関表を用いたインベントリ分析

## 2.1 緒言

本章では、本研究の前提となる、産業連関表を用いたインベントリ分析の手法について解説する。

### 2.1.1 マトリクス、ベクトルの表記法について

以下、行列、ベクトル表記を多数用いるが、原則として太字の大文字はマトリクス、太字の小文字はベクトル、細字は大文字、小文字に関わらずスカラーを表す。 $T$  は転置を表すものとする。一般に、任意の行列  $M$  について、 $(M^T)^{-1} = (M^{-1})^T$  なる関係があるので、簡略化のため、これを  $M^{-T}$  と表すことにする。また、成分表記をする際の括弧については、マトリクスは  $[ \quad ]$ 、列ベクトルは  $\{ \quad \}$ 、行ベクトルは  $[ \quad ]$  を用いることにする。

$A$	マトリクス
$d$	ベクトル
$X_{ij}$	スカラー
$M^T$	$M$ の転置
$M^{-T}$	$(M^T)^{-1} = (M^{-1})^T$
$[ \quad ]$	マトリクスの成分表記
$\{ \quad \}$	列ベクトルの成分表記
$[ \quad ]$	行ベクトルの成分表記

表 2.1: マトリクス・ベクトル表記の規約

## 2.2 産業連関分析の基礎

### 2.2.1 産業連関表

産業連関表は、日本の全産業について、各産業間の経済活動を金額により表し、関連付けたものである。その構造を表 (2.2) に示す。産業連関表の横の行は需要部門 (買

		中間需要						最終需要	輸入	産出高
		産業 1	産業 2	...	産業 $j$	...	産業 $n$			
中間 投 入	産業 1	$X_{11}$	$X_{12}$	...	$X_{1j}$	...	$X_{1n}$	$F_1$	$-M_1$	$X_1$
	産業 2	$X_{21}$	$X_{22}$		$\vdots$		$\vdots$	$F_2$	$-M_2$	$X_2$
	$\vdots$	$\vdots$		$\ddots$	$\vdots$		$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
	産業 $i$	$X_{i1}$	...	...	$X_{ij}$	...	$X_{in}$	$F_i$	$-M_i$	$X_i$
	$\vdots$	$\vdots$			$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
	産業 $n$	$X_{n1}$	$X_{n2}$	...	$X_{nj}$		$X_{nn}$	$F_n$	$-M_n$	$X_n$
付加価値		$V_1$	$V_2$	...	$V_j$	...	$V_n$			
産出高		$X_1$	$X_2$	...	$X_j$	...	$X_{nn}$			

表 2.2: 産業連関表の構造

い手)を表し、縦の列は供給部門 (売り手)を表す。 $i$ 行目を横に見て行くと、産業  $X_{ij}$  は産業  $j$  が生産物を  $X_j$  だけ生産する際に産業  $i$  に  $X_{ij}$  だけ支払った (投入した) ことを表す。逆に考えると、 $X_{ij}$  は産業  $i$  の総需要  $X_i$  のうち、産業  $j$  から  $X_{ij}$  だけの需要があったことを示している。また、 $F_i$  は産業  $i$  に対する最終需要、 $M_i$  は産業  $i$  の需要のうち輸入によって賄われる (つまり国内で製造しない) ことを示している。また、 $V_i$  は産業  $i$  の製品に対する付加価値を表している。また、総需要  $X_i$  と総生産  $X_j$  は  $i = j$  であれば等しい。

## 2.2.2 投入係数行列

先ほどの産業連関表の成分  $X_{ij}$  を産業  $j$  の総生産  $X_j$  で除した値  $a_{ij}$  を考える。 $a_{ij}$  は産業  $j$  の生産物を単位量生産するのに必要な産業  $i$  への投入量を表し、投入係数と呼ぶ。投入係数  $a_{ij}$  は産業  $j$  の総生産  $X_j$  に占める第  $i$  財購入額の割合を示している。つまり、ある生産量  $p_j$  が与えられた場合、その生産に必要な産業  $i$  への中間投入は  $a_{ij}p_j$  で表す事ができる。式 (2.1) に示すように、 $a_{ij}$  は  $n \times n$  の正方行列を構成し、投入係数マトリクスと呼ばれる。

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & & \vdots \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

産業連関表の関係を投入係数を用いて表すと、式 (2.2) のようになる。

$$\begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_i \\ \vdots \\ X_n \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1j} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & & a_{2j} & & \vdots \\ \vdots & & \ddots & \vdots & & \vdots \\ a_{i1} & \cdots & \cdots & a_{ij} & \cdots & a_{in} \\ \vdots & & & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & \cdots & a_{nj} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_i \\ \vdots \\ X_n \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} F_1 - M_1 \\ F_2 - M_2 \\ \vdots \\ F_i - M_i \\ \vdots \\ F_n - M_n \end{pmatrix} \quad (2.2)$$

式 (2.2) をベクトル、行列を用いて表し、さらに変形すると式 (2.5) を得る。

$$\mathbf{x} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{f} - \mathbf{m} \quad (2.3)$$

$$(\mathbf{I} - \mathbf{A})\mathbf{x} = \mathbf{f} - \mathbf{m} \quad (2.4)$$

$$\mathbf{x} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}(\mathbf{f} - \mathbf{m}) \quad (2.5)$$

ただし、 $\mathbf{x}$ 、 $\mathbf{f}$ 、 $\mathbf{m}$  は次のように表すものとし、それぞれ算出高ベクトル、最終需要ベクトル、輸入ベクトルと呼ぶことにする。

$$\mathbf{x} = \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_n \end{pmatrix} \quad \mathbf{f} = \begin{pmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \vdots \\ F_n \end{pmatrix} \quad \mathbf{m} = \begin{pmatrix} M_1 \\ M_2 \\ \vdots \\ M_n \end{pmatrix} \quad (2.6)$$

産業  $i$  に需要が生じた場合、その需要を満たすための生産を受けて、他の産業  $j$  の需要を生じ、さらにその需要を満たすための生産を受けて、産業  $k$  の需要を生じ、間接的にあらゆる産業へ需要が波及して行く。式 (2.5) は、ある最終需要  $f$  が与えられたとき、これを満たすための国内各産業の波及効果を含めた生産高が  $x$  であることを示している。

### 2.2.3 逆行列係数表

ここまで、 $x$ 、 $f$  は既知の量であり、産業連関表で与えられていたが、投入係数行列  $A$  が国内の産業構造を表していると考え、各産業の生産量からは独立に与えられているものとする、任意の  $x$ 、 $f$  について式 (??) を用いて考察を行う事ができる。

例えば、任意の最終需要  $f$  (ここでは簡単のため輸入を無視する) を満たすために、各部門がどれだけの生産  $x$  を行うかの計算は次のように考える。まず、最初に各部門は最終需要  $f$  を直接満たすための生産  $x(1) = f$  を行わなければならない。次に、生産  $x(1)$  を行うために必要な生産 (中間投入)  $x(2)$  が必要であり、 $X(2) = Ax(1) = Af$  となる。同様に、 $X(3) = Ax(2) = A^2x(1) = A^2f$  となり、この作業を繰り返し行うことにより、最終需要  $f$  を満たすのに必要な生産  $x$  は次式で求める事ができる。

$$x = \sum_{r=1}^{\infty} x(r) = f + Af + A^2f + A^3f + \dots \quad (2.7)$$

ここで、

$$\sum_{i=1}^n a_{ij} < 1 \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (2.8)$$

であるから、 $I$  を単位行列として、

$$(I - A) = I + A + A^2 + \dots + A^r + \dots \quad (2.9)$$

となり、式 (2.7) は次式のように変形できる。

$$x = (I - A)^{-1}f \quad (2.10)$$

式 (2.10) は、輸入を無視した形式であるが、輸入を考慮した場合は、式 (2.5) と同じ結果を得る。

このように、最終需要  $f$  を満たす、波及効果を考慮にいれた総生産  $x$  は、投入係数行列  $A$  から逆行列  $(I - A)^{-1}$  を計算する事によって求められる。 $(I - A)^{-1}$  は  $A$  と同

じ  $n \times n$  のマトリクスであり、

$$(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} = \mathbf{B} = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \cdots & b_{1j} & \cdots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & & b_{2j} & & \vdots \\ \vdots & & \ddots & \vdots & & \vdots \\ b_{i1} & \cdots & \cdots & b_{ij} & \cdots & b_{in} \\ \vdots & & & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{n1} & \cdots & \cdots & b_{nj} & \cdots & b_{nn} \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

と表すと、 $b_{ij}$  は部門  $j$  の単位生産額の最終需要を満たすために必要な、波及効果を含めた、部門  $i$  の究極的な最終生産量を表している。 $f$  の第  $j$  要素を 1 として、他の要素は 0 としてやれば、各部門の誘発生産高  $x$  は

$$\mathbf{x} = \begin{Bmatrix} b_{1j} \\ b_{2j} \\ \vdots \\ b_{nj} \end{Bmatrix} \quad (2.12)$$

となる。

## 2.3 産業連関分析の LCI への応用

前節では経済学で使われる産業連関分析について説明した。本節では産業連関分析の LCA への応用について説明する。

### 2.3.1 環境負荷排出原単位

産業連関表とは別に、石油消費構造統計表などの統計資料を用いることにより、産業  $i$  の直接の環境負荷の排出量を知ることができる。これを各産業の国内生産額  $X_i$  で割ることで、各産業  $i$  の単位生産額あたりの環境負荷の直接排出強度  $d_i$  が求まる。先ほどの逆行列係数の  $ij$  成分  $B_{ij}$  は産業  $j$  に 1 単位の需要増加があったときの産業  $i$  の誘発生産量を表しているの、産業  $j$  が最終需要を 1 単位生産する際の波及効果も含めた環境負荷の総排出量  $t_j$  は次式で求めることができる。

$$\begin{aligned} t_j &= b_{1j}d_1 + b_{2j}d_2 + \cdots + b_{ij}d_i + \cdots + b_{nj}d_n \\ &= \sum_i b_{ij}d_i \end{aligned} \quad (2.13)$$

さらに、一括表記したベクトル

$$t = \begin{Bmatrix} t_1 \\ t_2 \\ \vdots \\ t_n \end{Bmatrix} \quad (2.14)$$

は、次式によって求めることができる。

$$t = B^T d \quad (2.15)$$

$t$  は通常環境負荷排出原単位と呼ばれている。今までの研究で求められた排出言単位のうち、代表的なものを以下に示す。

- 昭和 60 年産業連関表から算出された CO<sub>2</sub> 排出原単位  
(社) 日本建築学会算出
- 平成 2 年産業連関表から算出された CO<sub>2</sub>、SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub> 排出原単位  
金属材料技術研究所 原田幸明氏算出
- 昭和 50、55、60、平成 2 年産業連関表から産出された CO<sub>2</sub> 排出原単位  
環境庁 国立環境研究所 地球環境センター産出



### 2.3.2 製品製造時の国内環境負荷排出量

LCA を行う系の内部で、 $\mathbf{p}$  の需要があったとする。この需要を満たすための国内の生産活動を通じて排出される環境負荷の総量  $L$  は、次の式で求めることができる。

$$L = t_1 p_1 + t_2 p_2 + \cdots + t_j p_j + \cdots + t_n p_n \quad (2.16)$$

$t_j$  は先ほどの環境負荷排出原単位であり、 $n$  は産業の数を表す。

### 2.3.3 産業連関法の行列表示

以上のことを踏まえて、産業連関法による環境負荷排出量の評価を行列表示することを考える。まず、環境負荷排出原単位は、

$$\mathbf{b}_j = \begin{Bmatrix} b_{1j} \\ b_{2j} \\ \vdots \\ b_{nj} \end{Bmatrix} \quad \mathbf{d} = \begin{Bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \vdots \\ d_n \end{Bmatrix} \quad (2.17)$$

とおくと、式 (2.16) は次のようになる。

$$t_j = \mathbf{b}_j^T \mathbf{d} \quad (2.18)$$

また、

$$\mathbf{p} = \begin{Bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ \vdots \\ p_n \end{Bmatrix} \quad \mathbf{t} = \begin{Bmatrix} t_1 \\ t_2 \\ \vdots \\ t_n \end{Bmatrix} \quad (2.19)$$

とすると

$$\mathbf{t} = \begin{Bmatrix} \mathbf{b}_1^T \mathbf{d} \\ \mathbf{b}_2^T \mathbf{d} \\ \vdots \\ \mathbf{b}_n^T \mathbf{d} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \mathbf{b}_1^T \\ \mathbf{b}_2^T \\ \vdots \\ \mathbf{b}_n^T \end{Bmatrix} \mathbf{d} = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{21} & \cdots & b_{n1} \\ b_{12} & \cdots & \cdots & \vdots \\ \vdots & \cdots & \cdots & \vdots \\ b_{1n} & \cdots & \cdots & b_{nn} \end{bmatrix} \mathbf{d} = \mathbf{B}^T \mathbf{d} \quad (2.20)$$

と表されるので、

$$\begin{aligned} L &= t_1 p_1 + t_2 p_2 + \cdots + t_n p_n \\ &= \mathbf{t}^T \mathbf{p} \\ &= (\mathbf{B}^T \mathbf{d})^T \mathbf{p} \\ &= \mathbf{d}^T \mathbf{B} \mathbf{p} \end{aligned} \tag{2.21}$$

$$= \mathbf{d}^T (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \mathbf{p} \tag{2.22}$$

日本国内の経済活動による、環境負荷の総排出量は  $\mathbf{p} = \mathbf{f}$  次式で表すことができる。

$$L = \mathbf{d}^T (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \mathbf{f} \tag{2.23}$$

$$= \mathbf{d}^T \mathbf{B} \mathbf{f} \tag{2.24}$$

## 2.4 結言

本章では、本研究の前提となる、産業連関表を用いたインベントリ分析の手法について解説した。各データをマトリクス表記すると、産業連関表を用いたインベントリ分析は、次の 2 つの式に集約されることを示した。。

$$\mathbf{t} = \mathbf{B}^T \mathbf{d} \tag{2.25}$$

$$L = \mathbf{t}^T \mathbf{p} \tag{2.26}$$

## 第 3 章

# 最終需要、直接排出強度の変動による 影響

### 3.1 緒言

## 3.2 最終需要の変動による影響

産業連関分析をインベントリ分析に適用することで、間接的波及効果を含めた評価が可能になる。しかし、持続的発展のためには、環境負担性の評価だけでなく、評価を反映した改善を行う必要がある。特に、最終需要の変動が、環境負荷総排出量に及ぼす影響度を客観的に表すことができれば、消費者の側から効率的に改善を図ることが可能となる。そこで、本節では最終需要の変動が環境負荷総排出量に及ぼす影響について考察する。

### 3.2.1 環境負荷排出量 $L$ の変動

最終需要  $f$  の期待値  $\bar{f}$  に対して、 $i$  番目の要素  $f_i$  が  $\Delta f_i$  だけ変動したときに、評価される環境負荷  $L$  に及ぼす変動  $\Delta L_f$  を摂動法を用いて誘導する。期待値  $\bar{f}$  に対する環境負荷の解を  $L_0$  とすると、

$$L_0 = t^T \bar{f} \quad (3.1)$$

を満足する。摂動法では、期待値  $\bar{f}$  からのずれを、1 次変動率  $f^I$  を用いて次式のように表現する。

$$\Delta f = \frac{\partial}{\partial f_i} f = f^I \Delta f_i \quad (3.2)$$

$f_i$  が他の要素に影響を及ぼさず、独立に変動するとすると、

$$f^I = e_i \quad (3.3)$$

となる。ここで、 $e_i$  は、 $i$  番目の要素だけが 1 である  $n$  次元単位ベクトルである。変動後の最終需要ベクトル  $f$  は、 $f^I$  を用いて次式のように表される。

$$f = f_0 + \Delta f = f_0 + \Delta f_i e_i \quad (3.4)$$

従って、最終需要  $f$  の  $i$  番目の要素  $f_i$  が  $\Delta f_i$  だけ変動したときに、評価される環境負荷  $L_f$  と、その変動  $\Delta L_f$  は、次式のように求めることができる。

$$\begin{aligned} L_f &= t^T f \\ &= t^T (f_0 + \Delta f) \\ &= t^T f_0 + t^T \Delta f \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= L_0 + \Delta f_i t^T e_i \\
&= L_0 + \Delta f_i t_i
\end{aligned} \tag{3.5}$$

$$\Delta L_f = L_f - L_0 = \Delta f_i t_i \tag{3.6}$$

### 3.2.2 環境負荷排出量 $L$ に対する感度

最終需要  $f$  の期待値  $\bar{f}$  に対して、 $f$  の  $i$  番目の要素  $f_i$  が  $\Delta f_i$  だけ変動したときに、評価される環境負荷  $L$  に及ぼす影響度評価を前節の結果に基づき定式化する。いま、 $\Delta f_i$  の変動によって環境負荷排出量が  $L_0$  から  $\Delta L_f$  だけ変動したときの影響度評価の指標として次式で表される感度を用いる。

$$s_{f,i} = \frac{\Delta L_f / L_0}{\Delta f_i / f_i} \tag{3.7}$$

この指標は  $f_i$  の変動率に対する  $L$  の変動率の割合を表し、プロセス法を用いた感度解析で、Heijungs[5] の用いたものと同様である。式 (3.6) を用いると、感度  $s_{f,i}$  は次式のように表される。

$$s_{f,i} = \frac{f_i}{L_0} t_i \tag{3.8}$$

この式から明らかな通り、 $s_{f,i}$  は  $t$  が一度計算されていれば、用意に評価できる量であり、 $f$  を直接変動させることなく求めることが可能である。

### 3.2.3 感度 $s_{f,i}$ のマトリクス表示

式 (3.8) で表される感度  $s_{f,i}$  を、一括表示したベクトル  $s_f$  を次式で定義する。

$$s_f = \begin{Bmatrix} s_{f,1} \\ s_{f,2} \\ \vdots \\ s_{f,n} \end{Bmatrix} \tag{3.9}$$

式 (3.8) の表現は、 $f$  や  $t$  の成分から計算する形で表記されているため、式 (3.9) の  $s_f$  の全成分を計算するためには多くの成分計算が必要になる。そこで、 $s_f$  が  $f$  や  $t$  の陽な形で表記されていれば、計算回数も少なく済み、効率的である。

$$s_f = \frac{1}{L_0} \begin{Bmatrix} f_1 t_1 \\ f_2 t_2 \\ \vdots \\ f_n t_n \end{Bmatrix} = \frac{1}{L_0} \begin{bmatrix} F_1 & & & \\ & F_2 & & \\ & & \ddots & \\ & & & F_n \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} t_1 \\ t_2 \\ \vdots \\ t_n \end{Bmatrix} = \frac{1}{L_0} \mathbf{F}_{diag} \mathbf{t} \tag{3.10}$$

ただし、 $F_{diag}$  は次式で定義される対角行列である。

$$F_{diag} = \begin{bmatrix} F_1 & & & \\ & F_2 & & \\ & & \ddots & \\ & & & F_n \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

この式から明らかな通り、本定式化によれば  $s_{f,i}$  は  $t$  が計算されていれば容易に評価でき、さらに、式 (3.10) のような単純なマトリクスの演算で求めることができることがわかる。

### 3.3 直接排出強度の変動による影響

産業連関分析をインベントリ分析に適用する際には、産業連関表（逆行列係数表）とともに、直接排出強度データを石油消費構造統計表などから算出することになる。排出強度は様々な仮定を前提に算出されており、仮定の仕方によっては、排出原単位はもちろん、最終的な環境負荷総排出量の評価に大きな影響を及ぼすことが予想される。そこで、本節では直接排出強度の変動が、環境負荷総排出量に及ぼす影響について考察する。

#### 3.3.1 環境負荷排出量 $L$ の変動

直接排出強度  $d$  の期待値  $\bar{d}$  に対して、 $d$  の  $i$  番目の要素  $d_i$  が  $\Delta d_i$  だけ変動したときに、評価される環境負荷  $L$  に及ぼす変動  $\Delta L_d$  を摂動法を用いて誘導する。期待値  $\bar{d}$  に対する排出原単位を  $t_0$  とすると、式 (??) より、

$$t_0 = B^T \bar{d} = (I - A)^{-T} \bar{d} \quad (3.12)$$

ここで、任意の行列  $M$  に対して、を満足する。摂動法では、期待値  $\bar{d}$  からのずれを、1次変動率  $d^I$  を用いて次式のように表現する。

$$\Delta d = \frac{\partial}{\partial d_i} d = d^I \Delta d_i \quad (3.13)$$

$d_i$  が他の要素に影響を及ぼさず、独立に変動するとすると、

$$d^I = e_i \quad (3.14)$$

となる。ここで、 $e_i$  は、 $i$  番目の要素だけが1である  $n$  次元単位ベクトルである。変動後の直接排出強度ベクトル  $d$  は、 $d^I$  を用いて次式のように表される。

$$d = \bar{d} + \Delta d = \bar{d} + \Delta d_i e_i \quad (3.15)$$

最終需要  $d$  の  $i$  番目の要素  $d_i$  が  $\Delta d_i$  だけ変動したときに評価される環境負荷排出原単位  $t_d$  は次式のように求めることができる。

$$\begin{aligned} t_d &= (I - A)^{-T} (\bar{d} + \Delta d_i e_i) \\ &= (I - A)^{-T} \bar{d} + (I - A)^{-T} \Delta d_i e_i \\ &= t^0 + (I - A)^{-T} \Delta d_i e_i \end{aligned} \quad (3.16)$$

さらに、環境負荷発生量  $L_d$  と変動量  $\Delta L_d$  は次式のように求めることができる。

$$\begin{aligned} L_d &= t_d^T f \\ &= \{t^0 \bar{d} + (I - A)^{-T} \Delta d_i e_i\}^T f \\ &= \{(t^0)^T f + \{(I - A)^{-T} \Delta d_i e_i\}^T f \\ &= L_0 + \Delta d_i e_i^T (I - A)^{-1} f \\ &= L_0 + \Delta d^T B f \end{aligned} \quad (3.17)$$

$$\begin{aligned} \Delta L_d &= \Delta d^T B f \\ &= \Delta d_i e_i^T B f \end{aligned} \quad (3.18)$$

### 3.3.2 環境負荷排出量 $L$ に対する感度

直接排出強度  $d$  の期待値  $\bar{d}$  に対して、 $d$  の  $i$  番目の要素  $d_i$  が  $\Delta d_i$  だけ変動したときに、評価される環境負荷  $L$  に及ぼす影響度評価を前節の結果に基づき定式化する。いま、 $\Delta d_i$  の変動によって環境負荷排出量が  $L_0$  から  $\Delta L_d$  だけ変動したときの影響度評価の指標として次式で表される感度を用いる。

$$s_{d,i} = \frac{\Delta L_d / L_0}{\Delta d_i / d_i} \quad (3.19)$$

この指標は  $d_i$  の変動率に対する  $L$  の変動率の割合を表し、(3.2.2) 節で用いたものと同じである。式 (3.18) を用いると、感度  $s_{d,i}$  は次式のように表される。

$$s_{d,i} = \frac{d_i}{L_0} e_i^T B f \quad (3.20)$$

この式から明らかな通り、 $s_{d,i}$  は  $B$  が一度計算されていれば、容易に評価できる量であり、 $d$  を直接変動させることなく求めることが可能である。

3.3.3 感度  $s_{d,i}$  のマトリクス表示

式 (3.20) で表される感度  $s_{d,i}$  を、一括表示したベクトル  $s_d$  を次式で定義する。

$$\mathbf{s}_d = \begin{Bmatrix} s_{d,1} \\ s_{d,2} \\ \vdots \\ s_{d,n} \end{Bmatrix} \quad (3.21)$$

式 (3.20) の表現は、 $\mathbf{d}$  や  $\mathbf{B}$  の成分から計算する形で表記されているため、式 (3.21) の  $s_d$  の全成分を計算するためには多くの成分計算が必要になる。そこで、 $s_d$  が  $\mathbf{d}$  や  $\mathbf{B}$  の陽な形で表記されていれば、計算回数も少なく済み、効率的である。

$$\begin{aligned} \mathbf{s}_d &= \frac{1}{L_0} \begin{Bmatrix} d_1 \mathbf{e}_1^T \\ d_2 \mathbf{e}_1^T \\ \vdots \\ d_n \mathbf{e}_1^T \end{Bmatrix} \mathbf{c} \mathbf{B} \mathbf{f} \\ &= \begin{bmatrix} d_1 & & & \\ & d_2 & & \\ & & \ddots & \\ & & & d_n \mathbf{e}_1^T \end{bmatrix} \mathbf{c} \mathbf{B} \mathbf{f} \\ &= \frac{1}{L_0} \mathbf{D}_{diag} \mathbf{B} \mathbf{f} \end{aligned} \quad (3.22)$$

ただし、 $\mathbf{D}_{diag}$  は次式で定義される対角行列である。

$$\mathbf{D}_{diag} = \begin{bmatrix} d_1 & & & \\ & d_2 & & \\ & & \ddots & \\ & & & d_n \end{bmatrix} \quad (3.23)$$

この式から明らかな通り、本定式化によれば  $s_{d,i}$  は  $\mathbf{B}$  が計算されていれば容易に評価でき、さらに、式 (3.23) のように簡潔なマトリクスの演算の形で表現することができる。



### 3.4 7部門縮約産業連関表を用いての検証

本節では、前節までに導いた式の正当性を検証する。投入係数などの産業連関データは文献 [13]、直接排出強度データは文献 [11] に記載されている値を引用した。また、検証する際には、環境負荷の変動量と感度の値について、各要素を直接変動させた場合と、摂動法を用いて誘導した式を用いて計算した場合の比較を行った。

#### 3.4.1 環境負荷排出原単位、国内環境負荷総排出量の算出

部門コード	部門名
部門 1	農林水産業
部門 2	鉄鋼
部門 3	機械
部門 4	その他鉱工業
部門 5	電力・ガス・熱供給
部門 6	商業・運輸
部門 7	その他

表 3.1: 部門一覧

部門コード	[t/百万円]
部門 1	1.0878
部門 2	3.6682
部門 3	0.0852
部門 4	1.1320
部門 5	25.3510
部門 6	1.5828
部門 7	0.3394

表 3.2: 7部門 CO<sub>2</sub> 直接排出強度

	部門 1	部門 2	部門 3	部門 4	部門 5	部門 6	部門 7
部門 1	0.1294	0	0	0.0689	0	0.0001	0.0033
部門 2	0	0.5015	0.0441	0.0227	0	0.0003	0.0066
部門 3	0.0047	0.0004	0.3384	0.0024	0	0.0065	0.0215
部門 4	0.1588	0.0897	0.1113	0.3439	0.1917	0.0581	0.1318
部門 5	0.0029	0.0366	0.0093	0.0187	0.0039	0.0107	0.0099
部門 6	0.0716	0.0628	0.0606	0.0815	0.0341	0.09	0.0525
部門 7	0.0538	0.0581	0.1105	0.0888	0.203	0.2087	0.1564

表 3.3: 7部門投入係数表

CO<sub>2</sub> 直接排出強度、投入係数表、逆行列係数表を表 (3.2)~表 (3.4) に示す。また、式 (2.15) を用いて求めた排出原単位を表 (3.5) に示す。

	部門 1	部門 2	部門 3	部門 4	部門 5	部門 6	部門 7
部門 1	1.1758	0.0311	0.0306	0.1312	0.0314	0.0154	0.0274
部門 2	0.0188	2.0279	0.1559	0.0797	0.0227	0.0148	0.0336
部門 3	0.0158	0.0129	1.5245	0.0166	0.0127	0.0220	0.0431
部門 4	0.3358	0.3802	0.3717	1.6457	0.3812	0.1781	0.2864
部門 5	0.0135	0.0865	0.0318	0.0387	1.0163	0.0194	0.0207
部門 6	0.1341	0.1951	0.1665	0.1798	0.0952	1.1371	0.1063
部門 7	0.1501	0.2524	0.3003	0.2431	0.3135	0.3096	1.2565

表 3.4: 7 部門逆行列係数表

部門コード	[t/百万円]
部門 1	2.3347
部門 2	10.4909
部門 3	2.3275
部門 4	3.6480
部門 5	26.5701
部門 6	2.6722
部門 7	1.6010

表 3.5: 7 部門 CO<sub>2</sub> 排出原単位

部門コード	[百億円]
部門 1	17794483
部門 2	26679700
部門 3	132552540
部門 4	178924359
部門 5	15313720
部門 6	124998710
部門 7	375950526

表 3.6: 7 部門最終需要

また、最終需要を表 (3.6) に示す。以上のデータをもとに式 (2.24) を用いて算出した、国内の最終需要を満たすための生産活動による CO<sub>2</sub> 総排出量を次式に示す。

$$L = 1.190 \times 10^5 [\text{t}]$$

### 3.4.2 最終需要の変動による国内環境負荷総排出量の変動

式 (3.7)、式 (3.9) で定義される感度ベクトルについて、最終需要ベクトルの各要素を直接変動させて算出したもの (直接法) と、式 (3.8) を用いて算出したもの (摂動法) をそれぞれ表 (3.7)、表 (3.8) に示す。直接法については、各要素を期待値の前後  $\pm 1\%$  変動させて求めた。

部門コード	感度
部門 1	0.0096
部門 2	0.0143
部門 3	0.1653
部門 4	0.1973
部門 5	0.1030
部門 6	0.1588
部門 7	0.3517

表 3.7: 7 部門最終需要に対する感度 (直接法)

部門コード	感度
部門 1	0.0096
部門 2	0.0143
部門 3	0.1653
部門 4	0.1973
部門 5	0.1030
部門 6	0.1588
部門 7	0.3517

表 3.8: 7 部門最終需要に対する感度 (摂動法)

直接法、摂動法それぞれで求めた感度の値は完全に一致しており、これは式 (3.8)、式 (3.10) の妥当性を示している。

### 3.4.3 直接排出強度の変動による国内環境負荷総排出量の変動

式 (3.19)、式 (3.21) で定義される感度ベクトルについて、直接排出強度ベクトルの各要素を直接変動させて算出したもの (直接法) と、式 (3.20) を用いて算出したもの (摂動法) をそれぞれ表 (3.9)、表 (3.10) に示す。

部門コード	感度
部門 1	0.0231
部門 2	0.0974
部門 3	0.0102
部門 4	0.2177
部門 5	0.3593
部門 6	0.1799
部門 7	0.1124

表 3.9: 7 部門直接排出強度に対する感度 (直接法)

部門コード	感度
部門 1	0.0231
部門 2	0.0974
部門 3	0.0102
部門 4	0.2177
部門 5	0.3593
部門 6	0.1799
部門 7	0.1124

表 3.10: 7 部門直接排出強度に対する感度 (摂動法)

直接法、摂動法それぞれで求めた感度の値は完全に一致しており、これは式 (3.8)、式 (3.10) の妥当性を示している。

## 3.5 結言

本章では、産業連関表を用いたインベントリ分析 (LCI) の感度解析に、摂動法の適用を行うことにより、最終需要、直接排出強度を直接変動させることなく、環境負荷総排出量の感度が求められることを示した。また、7 部門縮約産業連関表を用いて、誘導した式の妥当性を確かめることができた。

## 第 4 章

# 投入係数の変動に対する感度解析の定式化

## 4.1 緒言

産業連関分析をインベントリ分析に適用することで、間接的波及効果を含めた評価が可能になる。前章では、最終需要、直接排出強度の変動が、環境負荷総排出量に及ぼす影響について定式化し、消費者の側から効率的に改善を図るための指標を提案した。

本章では、財・サービスの生産段階、つまり各部門(産業)間の取り引きの変動が、環境負荷総排出量に及ぼす影響について定式化する。

## 4.2 環境負荷排出量 $L$ の変動

産業連関表を用いた LCI 分析手法は、次の 2 つの式に集約される。

$$t = B^T d \quad (4.1)$$

$$L = t^T p \quad (4.2)$$

式 (4.1) を変形して書き直すと次のようになる

$$(I - A)^T t = d \quad (4.3)$$

式 (4.3) の投入係数マトリクス  $A$  の期待値  $\bar{A}$  に対して、 $A$  の  $ij$  要素  $a_{ij}$  が  $\Delta a_{ij}$  だけ変動するとき、式 (4.3) で、評価される環境負荷排出量  $L$  に及ぼす変動  $\Delta L_{a_{ij}}$  を摂動法を用いて誘導する。式 (4.3) において、期待値  $\bar{A}$  に対する排出原単位ベクトルの解を  $t^0$  とすると、

$$(I - \bar{A})^T t^0 = d \quad (4.4)$$

を満足する。摂動法では、期待値  $\bar{A}$  からのずれを、1 次変動率  $A^I$  を用いて次式のように表現する。

$$\begin{aligned} A &= \bar{A} + \Delta A \\ &= \bar{A} + \frac{\partial}{\partial a_{ij}} A \Delta a_{ij} \\ &= \bar{A} + A^I \Delta a_{ij} \end{aligned} \quad (4.5)$$

$$\Delta A = \frac{\partial}{\partial a_{ij}} A = A^I \Delta a_{ij} \quad (4.6)$$

従って、ずれを含む系に対する  $t$  の解は

$$(I - \bar{A} - A^I \Delta a_{ij})^T t = d \quad (4.7)$$

を解くことにより得られる。いま、式 (4.7) の近似解が、 $\Delta a_{ij}$  の級数形として

$$\mathbf{t} = \mathbf{t}^o + \mathbf{t}^I \Delta a_{ij} + \mathbf{t}^{II} \Delta a_{ij}^2 + \cdots + \mathbf{t}^N \Delta a_{ij}^n + \cdots \quad (4.8)$$

と書けるものとする、これを式 (4.7) に代入して、

$$(\mathbf{I} - \bar{\mathbf{A}} - \mathbf{A}^I \Delta a_{ij})^T (\mathbf{t}^o + \mathbf{t}^I \Delta a_{ij} + \mathbf{t}^{II} \Delta a_{ij}^2 + \cdots + \mathbf{t}^N \Delta a_{ij}^n + \cdots) = \mathbf{d} \quad (4.9)$$

$$(\mathbf{I} - \bar{\mathbf{A}}^T - (\mathbf{A}^I)^T \Delta a_{ij}) (\mathbf{t}^o + \mathbf{t}^I \Delta a_{ij} + \mathbf{t}^{II} \Delta a_{ij}^2 + \cdots + \mathbf{t}^N \Delta a_{ij}^n + \cdots) = \mathbf{d} \quad (4.10)$$

$$\begin{aligned} & (\mathbf{I} - \bar{\mathbf{A}}^T) \mathbf{t}^o + \left( -(\mathbf{A}^I)^T \mathbf{t}^o + (\mathbf{I} - \bar{\mathbf{A}}^T) \mathbf{t}^I \right) \Delta a_{ij} + \\ & \left( -(\mathbf{A}^I)^T \mathbf{t}^I + (\mathbf{I} - \bar{\mathbf{A}}^T) \mathbf{t}^{II} \right) \Delta a_{ij}^2 + \cdots + \left( -(\mathbf{A}^I)^T \mathbf{t}^{N-1} + (\mathbf{I} - \bar{\mathbf{A}}^T) \mathbf{t}^N \right) \Delta a_{ij}^n + \cdots = \mathbf{d} \end{aligned} \quad (4.11)$$

を得る。 $\Delta a_{ij}$  の 0 次項、1 次項、2 次項 ... について両辺を比較することにより、

$$\begin{aligned} 0 \text{ 次項} & \quad (\mathbf{I} - \bar{\mathbf{A}}^T) \mathbf{t}^o = \mathbf{d} \\ 1 \text{ 次項} & \quad -(\mathbf{A}^I)^T \mathbf{t}^o + (\mathbf{I} - \bar{\mathbf{A}}^T) \mathbf{t}^I = \mathbf{o} \\ 2 \text{ 次項} & \quad -(\mathbf{A}^I)^T \mathbf{t}^I + (\mathbf{I} - \bar{\mathbf{A}}^T) \mathbf{t}^{II} = \mathbf{o} \\ & \quad \vdots \\ n \text{ 次項} & \quad -(\mathbf{A}^I)^T \mathbf{t}^{N-1} + (\mathbf{I} - \bar{\mathbf{A}}^T) \mathbf{t}^N = \mathbf{o} \end{aligned} \quad (4.12)$$

つまり、排出原単位の確定項  $\mathbf{t}^o$ 、1 次変動率  $\mathbf{t}^I$ 、2 次変動率  $\mathbf{t}^{II}$  ... は

$$\begin{aligned} \mathbf{t}^o &= (\mathbf{I} - \bar{\mathbf{A}}^T)^{-1} \mathbf{d} \\ \mathbf{t}^I &= (\mathbf{I} - \bar{\mathbf{A}}^T)^{-1} (\mathbf{A}^I)^T \mathbf{t}^o \end{aligned} \quad (4.13)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{t}^{II} &= (\mathbf{I} - \bar{\mathbf{A}}^T)^{-1} (\mathbf{A}^I)^T \mathbf{t}^I \\ & \quad \vdots \\ \mathbf{t}^N &= (\mathbf{I} - \bar{\mathbf{A}}^T)^{-1} (\mathbf{A}^I)^T \mathbf{t}^{N-1} \end{aligned} \quad (4.14)$$

のように求めることができる。以上により、排出原単位  $\mathbf{t}$  の変動  $\Delta \mathbf{t}$  は

$$\Delta \mathbf{t} = \mathbf{t}^I \Delta a_{ij} + \mathbf{t}^{II} \Delta a_{ij}^2 + \cdots + \mathbf{t}^N \Delta a_{ij}^n + \cdots \quad (4.15)$$

によって求まり、さらに環境負荷発生量  $L$  の変動  $\Delta L$  は次式で求められる。

$$\Delta L = \Delta \mathbf{t}^T \mathbf{p} \quad (4.16)$$

### 4.3 環境負荷排出量 $L$ に対する感度

投入係数マトリクス  $A$  の要素  $a_{ij}$  が  $\Delta a_{ij}$  変動した時、環境負荷発生量  $L$  に及ぼす影響度評価を定式化する。感度の近似評価を行うことが目的であるから、 $\Delta L$  の1次の変動率の項まで評価するものとする。式 (4.15) において  $t$  の変動  $\Delta t$  を1次の項で打ち切り、式 (2.59) に注意して整理していくと、次のようになる。

$$\begin{aligned}
 \Delta t &= t^T \Delta a_{ij} \\
 &= (I - \bar{A}^T)^{-1} (A^I)^T t^0 \Delta a_{ij} \\
 &= \left( (I - \bar{A})^{-1} \right)^T (A^I)^T t^0 \Delta a_{ij} \\
 &= \bar{B}^T (A^I)^T t^0 \Delta a_{ij}
 \end{aligned} \tag{4.17}$$

ただし、

$$\bar{B} = (I - \bar{A})^{-1} \tag{4.18}$$

とした。したがって、

$$\begin{aligned}
 \Delta L &= \Delta t^T p \Delta a_{ij} \\
 &= \{ \bar{B}^T (A^I)^T t^0 \}^T p \Delta a_{ij} \\
 &= t^{0T} A^I \bar{B} p \Delta a_{ij} \\
 &= t^{0T} \Delta A^I \bar{B} p
 \end{aligned} \tag{4.19}$$

と求めることができる。ここで、次式で表される感度を考える。

$$s_{a,ij} = \frac{\Delta L_a / L_0}{\Delta a_{ij} / \bar{a}_{ij}} \tag{4.20}$$

感度  $s_{a,ij}$  は、投入係数行列の  $ij$  要素  $a_{ij}$  の変動率に対する環境負荷発生量  $L$  の変動率の割合を表す。式 (4.17) より、感度  $s_{a,ij}$  は式 (4.21) のように表される。

$$s_{a,ij} = \frac{a_{ij}}{L_0} t^{0T} \Delta A^I \bar{B} p \tag{4.21}$$

この式から明らかな通り、 $s_{a,ij}$  は  $\bar{B}$  が一度計算されていれば、容易に評価できる量であり、 $a_{ij}$  を直接変動させることなく求めることが可能である。



## 4.4 環境負荷変動の近似式

投入係数マトリクス  $A$  の  $ij$  要素  $a_{ij}$  が  $\Delta a_{ij}$  だけ微小変動したときの、環境負荷総排出量  $L$  の変動の第1次近似  $\Delta L$  は式 (4.20) によって、簡便に評価できることを示したが、摂動法を用いると、数回の繰り返し計算をする事により、 $L$  の高精度近似解が得ることができることを示す。

### $n$ 次変動率 $t^N$ の誘導

式 (4.13)~式 (4.14) より、 $n$  次変動率  $t^N$  を誘導する。 $n$  次変動率  $t^N$  は、以下のように変形すると、次式のように  $t^0$  を用いて表現することができる。

$$\begin{aligned}
 t^N &= (\mathbf{I} - \bar{\mathbf{A}}^T)^{-1} (\mathbf{A}^I)^T t^{N-1} \\
 &= ((\mathbf{I} - \bar{\mathbf{A}}^T)^{-1} (\mathbf{A}^I)^T)^n t^0 \\
 &= ((\mathbf{I} - \bar{\mathbf{A}}^{-1})^T (\mathbf{A}^I)^T)^n t^0 \\
 &= (\bar{\mathbf{B}}^T (\mathbf{A}^I)^T)^n t^0 \\
 &= ((\mathbf{A}^I \bar{\mathbf{B}})^T)^n t^0
 \end{aligned} \tag{4.22}$$

すなわち、排出原単位の変動  $\Delta t$  の  $n$  次近似式  $\Delta t^{(n)}$  は、式 (4.15) より、

$$\Delta t^{(n)} = \sum_{l=1}^n t^l \Delta a_{ij}^l \tag{4.23}$$

$$= \sum_{l=1}^n ((\mathbf{A}^I \bar{\mathbf{B}})^T)^l t^0 \Delta a_{ij}^l \tag{4.24}$$

と表すことができる。

また、環境負荷の変動  $\Delta L$  の  $n$  次近似式  $L^{(n)}$  は、式 (4.16) より、

$$\Delta L^{(n)} = \sum_{l=1}^n t^{0T} (\mathbf{A}^I \bar{\mathbf{B}})^l \mathbf{f} \Delta a_{ij}^l \tag{4.25}$$

と表すことが可能である。

## 4.5 投入係数を変動させる際の仮定

最終需要、直接排出強度と異なり、投入係数には式 (4.26) で表されるような、列の和が (付加価値係数を含めて) 1 である、という拘束条件があるので、変動させる際には注意を要する。

$$\sum_i a_{ij} + v_j = 1 \quad (4.26)$$

そこで、本研究では以下の 2 つの場合を仮定し、それぞれについて定式化と考察を進めて行く。

1.  $ij$  要素を独立に変動させた場合。

本来は  $ij$  要素が独立に変動することはあり得ないが、 $ij$  要素の変動分をすべて付加価値の変動で相殺するとしたことに相当する。

2.  $ij$  要素の変動分を同列の他の要素を変動させて打ち消し、列方向の総和を一定に保った場合。

他の要素は投入係数の大きさに比例して変動させる。

どちらの場合も式 (4.27) で表される、投入係数行列の変動率  $\mathbf{A}^I$  の表現が異なるだけで、投入係数行列の変動  $\Delta \mathbf{A}$  を用いての摂動展開は可能である。

$$\Delta \mathbf{A} = \frac{\partial}{\partial a_{ij}} \mathbf{A} \Delta a_{ij} = \mathbf{A}^I \Delta a_{ij} \quad (4.27)$$

仮定 1 の場合

$$\mathbf{A}^I = \frac{\partial}{\partial a_{ij}} \mathbf{A} = \begin{bmatrix} & & j \text{ 列} & & \\ & & \vdots & & \\ i \text{ 行} & \dots & 1 & \dots & \\ & & \vdots & & \end{bmatrix} \quad (4.28)$$

仮定 2 の場合

$$\mathbf{A}^I = \frac{\partial}{\partial a_{ij}} \mathbf{A} = \frac{1}{1 - a_{ij}} \begin{bmatrix} & & j \text{ 列} & & \\ & & -a_{1j} & & \\ & & -a_{2j} & & \\ & & \vdots & & \\ i \text{ 行} & \dots & 1 - a_{ij} & \dots & \\ & & \vdots & & \\ & & -a_{nj} & & \end{bmatrix} \quad (4.29)$$

次節から、それぞれの場合について感度  $s_{a,ij}$  を成分表記し、可能なら簡潔なマトリクス表記することを試みる。

## 4.6 仮定 1 の場合

### 4.6.1 感度の成分表記

式 (4.15) で得られる  $\Delta t$  を転置すると、

$$\begin{aligned}
\Delta t^T &= (\bar{\mathbf{B}}^T (\mathbf{A}^I)^T t^o)^T \Delta a_{ij} \\
&= t^{oT} \mathbf{A}^I \bar{\mathbf{B}} \Delta a_{ij} \\
&= [t_1^o \ t_2^o \ \cdots \ t_n^o] \begin{bmatrix} & & & j \text{ 列} \\ & & & \vdots \\ & & & 1 \\ i \text{ 行} & \cdots & & \cdots \\ & & & \vdots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{b}_{11} & \bar{b}_{12} & \cdots & \bar{b}_{1n} \\ \vdots & & & \vdots \\ \vdots & & & \vdots \\ \bar{b}_{n1} & \cdots & \cdots & \bar{b}_{nn} \end{bmatrix} \Delta a_{ij} \\
&= [0 \ 0 \ \cdots \ t_i^o \ \cdots \ 0] \begin{bmatrix} \bar{b}_{11} & \bar{b}_{12} & \cdots & \bar{b}_{1n} \\ \vdots & & & \vdots \\ \vdots & & & \vdots \\ \bar{b}_{n1} & \cdots & \cdots & \bar{b}_{nn} \end{bmatrix} \Delta a_{ij} \\
&= [t_i^o \bar{b}_{j1} \ t_i^o \bar{b}_{j2} \ \cdots \ t_i^o \bar{b}_{jn}] \Delta a_{ij} \\
&= [\bar{b}_{j1} \ \bar{b}_{j2} \ \cdots \ \bar{b}_{jn}] t_i^o \Delta a_{ij} \tag{4.30}
\end{aligned}$$

を得る。これと式 (4.16) から環境負荷発生量の変動  $\Delta L_a$  は

$$\begin{aligned}
\Delta L_a &= \Delta t^T \mathbf{p} \\
&= t_i^o \Delta a_{ij} (\bar{b}_{j1} p_1 + \bar{b}_{j2} p_2 + \cdots + \bar{b}_{jn} p_n) \\
&= t_i^o \Delta a_{ij} \sum_{l=1}^n \bar{b}_{jl} p_l \tag{4.31}
\end{aligned}$$

と求めることができる。したがって、感度  $s_{a,ij}$  の成分表記は式 (4.33) のように表される。

$$s_{a,ij} = \frac{\Delta L_a / L_0}{\Delta a_{ij} / \bar{a}_{ij}} \tag{4.32}$$

$$= \frac{\bar{a}_{ij}}{L} t_i^o \sum_{l=1}^n \bar{b}_{jl} p_l \tag{4.33}$$

## 4.6.2 感度のマトリクス表示

式 (4.33) より、感度  $s_{a,ij}$  を一括表示したマトリクス  $S_a$  を次式で定義する。

$$S_a = \begin{bmatrix} s_{a,11} & s_{a,12} & \cdots & s_{a,1n} \\ s_{a,21} & & & \vdots \\ \vdots & & & \vdots \\ s_{a,n1} & \cdots & \cdots & s_{a,nn} \end{bmatrix} \quad (4.34)$$

感度マトリクス  $S_a$  を求めることにより、環境負荷の変動に大きく影響を及ぼす産業間の取り引きが、一目で把握することが可能になる。しかし、式 (4.33) の表現は、 $A$  や  $B$  の成分から計算する形で表記されているため、全成分を式 (4.33) を用いて計算することは多くの計算が必要になる。 $S_a$  が  $A$  や  $B$  の陽な形で表されていれば、計算回数も少なく済み、効率的である。以下、 $S_a$  を  $A$  や  $B$  の陽な形で表すことを試みる。式 (4.33) を以下のように変形し、式 (4.35) を得る。

$$\begin{aligned} s_{ij} &= \frac{\bar{a}_{ij} t_i^o}{L_0} [\bar{b}_{j1} \bar{b}_{j2} \cdots \bar{b}_{jn}] \begin{Bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ \vdots \\ p_n \end{Bmatrix} \\ &= \frac{\bar{a}_{ij} t_i^o}{L_0} [0 \ 0 \ \cdots \ 1 \ \cdots \ 0] \begin{bmatrix} \bar{b}_{11} & \bar{b}_{12} & \cdots & \bar{b}_{1n} \\ \bar{b}_{21} & & & \vdots \\ \vdots & & & \vdots \\ \bar{b}_{n1} & \cdots & \cdots & \bar{b}_{nn} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ \vdots \\ p_n \end{Bmatrix} \\ &= \frac{a_{ij} t_i^o}{L_0} e_j^T \bar{B} p \\ &= \frac{a_{ij} t_i^o}{L_0} e_j^T c \\ &= \frac{a_{ij} t_i^o}{L_0} c_j \end{aligned} \quad (4.35)$$

ただし  $e_j$  は  $n$  次元単位ベクトルであり、

$$c = \bar{B} p \quad (4.36)$$

とした。式 (4.35) により、式 (4.34) は次のように変形することができる。

$$\begin{aligned}
 \mathbf{S} &= \frac{1}{L_0} \begin{bmatrix} a_{11}t_1^o c_1 & a_{12}t_1^o c_2 & \cdots & \cdots & a_{1n}t_1^o c_n \\ a_{21}t_2^o c_1 & & & & \vdots \\ \vdots & & a_{ij}t_i^o c_j & & \vdots \\ \vdots & & & & \vdots \\ a_{n1}t_n^o c_1 & \cdots & \cdots & \cdots & a_{nn}t_n^o c_n \end{bmatrix} \\
 &= \frac{1}{L_0} \begin{Bmatrix} t_1^o \\ t_2^o \\ \vdots \\ t_n^o \end{Bmatrix} [c_1 \ c_2 \ \cdots \ c_n] * \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & & & \vdots \\ \vdots & & & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \\
 &= \frac{1}{L_0} \mathbf{t}^o \mathbf{c}^T * \mathbf{A} \\
 &= \frac{1}{L_0} \mathbf{t}^o \mathbf{B} \mathbf{p}^T * \mathbf{A} \tag{4.37}
 \end{aligned}$$

ただし、\* は次式で定義されるマトリクスの演算子である。

$$\begin{aligned}
 [z_{ij}] &= [x_{ij}] * [y_{ij}] \tag{4.38} \\
 z_{ij} &= x_{ij} y_{ij}
 \end{aligned}$$

式 (4.37) で表されるように、感度マトリクス  $\mathbf{S}_a$  は簡単なマトリクスの計算で求めることが可能である。しかも、従来の手法では感度マトリクスの全ての要素を求める際には、要素の数だけ (平成 2 年度産業連関表では  $405 \times 405$  回、およそ 16 万回) の逆行列係数の計算が必要であったが、摂動法を用いた本定式化では、期待値についての逆行列係数  $\bar{\mathbf{B}}$  を一度求めるだけで感度マトリクスの全成分を計算することが可能である。

## 4.6.3 環境負荷変動の高精度近似

環境負荷の変動  $\Delta L$  の  $n$  次近似式  $L^{(n)}$  は、 $A^I$  を用いて式 (4.25) のように表すことができるが、 $A^I \bar{B}$  について、成分計算をすることで、閉じた形式で表現できることを示す。

$$\begin{aligned}
 A^I \bar{B} &= \begin{bmatrix} & & j \text{ 列} & & \\ & & \vdots & & \\ i \text{ 行} & \cdots & 1 & \cdots & \\ & & \vdots & & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{b}_{11} & \bar{b}_{12} & \cdots & \bar{b}_{1n} \\ \vdots & & & \vdots \\ \vdots & & & \vdots \\ \bar{b}_{n1} & \cdots & \cdots & \bar{b}_{nn} \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} \bar{b}_{j1} & \bar{b}_{j2} & \cdots & \bar{b}_{jn} \end{bmatrix} i \text{ 行}
 \end{aligned} \tag{4.39}$$

したがって、 $((A^I \bar{B})^T)^n$  は式 (4.41) のように表すことができる。

$$\begin{aligned}
 ((A^I \bar{B})^T)^2 &= \begin{bmatrix} \bar{b}_{j1} \\ \bar{b}_{j2} \\ \vdots \\ \bar{b}_{jn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{b}_{j1} \\ \bar{b}_{j2} \\ \vdots \\ \bar{b}_{jn} \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} \bar{b}_{j1} \bar{b}_{ji} \\ \bar{b}_{j2} \bar{b}_{ji} \\ \vdots \\ \bar{b}_{jn} \bar{b}_{ji} \end{bmatrix} \\
 &= \bar{b}_{ji} (A^I \bar{B})^T
 \end{aligned} \tag{4.40}$$

$$((A^I \bar{B})^T)^n = \bar{b}_{ji} \begin{bmatrix} \bar{b}_{j1} \\ \bar{b}_{j2} \\ \vdots \\ \bar{b}_{jn} \end{bmatrix} \tag{4.41}$$

式 (4.41) の結果を用いると、 $n$  次変動率  $t^N$  は式 (4.42) のように表される。

$$t^N = ((A^I \bar{B})^T)^n t_0$$

$$\begin{aligned}
&= \bar{b}_{ji}^{n-1} \begin{bmatrix} \bar{b}_{j1} \\ \bar{b}_{j2} \\ \vdots \\ \bar{b}_{jn} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} t_1^0 \\ t_2^0 \\ \vdots \\ t_n^0 \end{Bmatrix} \\
&= \bar{b}_{ji}^{n-1} \begin{Bmatrix} \bar{b}_{j1} t_i^0 \\ \bar{b}_{j2} t_i^0 \\ \vdots \\ \bar{b}_{jn} t_i^0 \end{Bmatrix} \\
&= \bar{b}_{ji}^{n-1} t_i^0 \begin{Bmatrix} \bar{b}_{j1} \\ \bar{b}_{j2} \\ \vdots \\ \bar{b}_{jn} \end{Bmatrix} \\
&= \bar{b}_{ji}^{n-1} t_i^0 (\mathbf{e}_j^T \bar{\mathbf{B}})^T \\
&= \bar{b}_{ji}^{n-1} t_i^0 \bar{\mathbf{B}}^T \mathbf{e}_j \tag{4.42}
\end{aligned}$$

これを式 (4.15) に代入して、 $\Delta \mathbf{t}$  の  $n$  次近似解  $\Delta \mathbf{t}^{(n)}$  として次式が得られる。

$$\begin{aligned}
\Delta \mathbf{t}^{(n)} &= \sum_{l=1}^n \mathbf{t}^l \Delta a_{ij}^l \\
&= \sum_{l=1}^n \bar{b}_{ji}^{l-1} t_i^0 \bar{\mathbf{B}}^T \mathbf{e}_j \Delta a_{ij}^l \\
&= t_i^0 \bar{\mathbf{B}}^T \mathbf{e}_j \sum_{l=1}^n \bar{b}_{ji}^{l-1} \Delta a_{ij}^l \\
&= t_i^0 \Delta a_{ij} \bar{\mathbf{B}}^T \mathbf{e}_j \sum_{l=1}^n (\bar{b}_{ji}^{l-1} \Delta a_{ij})^{l-1} \\
&= t_i^0 \Delta a_{ij} \bar{\mathbf{B}}^T \mathbf{e}_j \frac{1 - (\bar{b}_{ji} \Delta a_{ij})^n}{1 - \bar{b}_{ji} \Delta a_{ij}} \tag{4.43}
\end{aligned}$$

この式で、 $|\bar{b}_{ji} \Delta a_{ij}| < 1$  の条件を満たす範囲では、

$$\begin{aligned}
\Delta \mathbf{t} &= \lim_{n \rightarrow \infty} \Delta \mathbf{t}^{(n)} \\
&= \frac{t_i^0 \Delta a_{ij}}{1 - \bar{b}_{ji} \Delta a_{ij}} \bar{\mathbf{B}}^T \mathbf{e}_j \tag{4.44}
\end{aligned}$$

となる。式 (4.44) は、 $a_{ij}$  の微小変動  $\Delta a_{ij}$  に伴う環境負荷原単位の高精度近似解を与える。一方、対応する環境負荷総排出量  $L$  の変動  $\Delta L$  は式 (4.16) に代入することにより、

$$\Delta L = \Delta \mathbf{t}^T \mathbf{p} = \mathbf{p}^T \Delta \mathbf{t}$$

$$= \frac{t_i^0 \Delta a_{ij}}{1 - \bar{b}_{ji} \Delta a_{ij}} \mathbf{p}^T \bar{\mathbf{B}}^T \mathbf{e}_j \quad (4.45)$$

と閉じた形で解を求めることができる。式(4.45)の計算は、1次変動率を評価する式(4.20)と比較しても特別に計算量は多くなく、しかもより高精度の環境負荷総排出量の変動値を評価できるという利点がある。

#### 4.6.4 環境負荷変動の線形性

投入係数マトリクス  $\mathbf{A}$  の  $ij$  要素  $a_{ij}$  が  $\Delta a_{ij}$  だけ微小変動したときの、環境負荷総排出量  $L$  の変動の高精度近似式(4.45)  $\Delta L$  は、 $\bar{b}_{ji} = 0$  の時には、

$$\Delta L = t_i^0 \Delta a_{ij} \mathbf{p}^T \bar{\mathbf{B}}^T \mathbf{e}_j \quad (4.46)$$

となり、線形となる。つまり、感度解析の結果のみから環境負荷変動の予測を行うことができる。一方、 $\Delta L$  は、 $\bar{b}_{ji} \neq 0$  の時には、非線形であるので、環境負荷変動の様子を式(4.45)を用いて計算する必要がある。

また、投入係数マトリクス  $\mathbf{A}$  の  $ij$  要素  $a_{ij}$  が  $\Delta a_{ij}$  だけ微小変動したときの、環境負荷総排出量  $L$  の変動  $\Delta L$  は式(4.15)より、次のように表せる。

$$\begin{aligned} \Delta L &= \mathbf{p}^T \Delta \mathbf{t} \\ &= \mathbf{p}^T (\mathbf{t}^I \Delta a_{ij} + \mathbf{t}^{II} \Delta a_{ij}^2 + \mathbf{t}^{III} \Delta a_{ij}^3 + \dots) \\ &= \mathbf{p}^T \mathbf{t}^I \Delta a_{ij} + \mathbf{p}^T \mathbf{t}^{II} \Delta a_{ij}^2 + \mathbf{p}^T \mathbf{t}^{III} \Delta a_{ij}^3 + \dots \\ &= \mathbf{p}^T (t_i^0 \bar{\mathbf{B}}^T \mathbf{e}_j) \Delta a_{ij} + \mathbf{p}^T (\bar{b}_{ji} t_i^0 \bar{\mathbf{B}}^T \mathbf{e}_j) \Delta a_{ij}^2 + \mathbf{p}^T (\bar{b}_{ji}^2 t_i^0 \bar{\mathbf{B}}^T \mathbf{e}_j) \Delta a_{ij}^3 \dots \\ &= t_i^0 \sum_{l=1}^n p_l \bar{b}_{jl} \Delta a_{ij} + \bar{b}_{ji} t_i^0 \sum_{l=1}^n p_l \bar{b}_{jl} \Delta a_{ij}^2 + \bar{b}_{ji}^2 t_i^0 \sum_{l=1}^n p_l \bar{b}_{jl} \Delta a_{ij}^3 \dots \end{aligned} \quad (4.47)$$

ここで、

$$L_{ij}^I = t_i^0 \sum_{l=1}^n p_l \bar{b}_{jl} \quad (4.48)$$

とおくと

$$\Delta L = L_{ij}^I \Delta a_{ij} + \bar{b}_{ji} L_{ij}^I \Delta a_{ij}^2 + \bar{b}_{ji}^2 L_{ij}^I \Delta a_{ij}^3 \quad (4.49)$$

のように書き表すことができる。 $L_{ij}^I$  を  $L$  の1階感度と呼ぶ。式(4.49)より、 $\bar{b}_{ji}$  と  $L_{ij}^I$  は非線形性の度合いを表していると言える。





と求めることができる。したがって、感度  $s_{a,ij}$  の成分表記は式 (4.54) のように表される。

$$s_{a,ij} = \frac{\Delta L_a / L_0}{\Delta a_{ij} / a_{ij}} \quad (4.53)$$

$$= \frac{1}{L_0} \frac{a_{ij}}{1 - a_{ij}} t_{ij} \sum_{l=1}^n b_{jl} p_l \quad (4.54)$$

#### 4.7.2 感度のマトリクス表示

4.6.2節と同様に、感度  $s_{a,ij}$  を一括表示したマトリクス  $S_a$  を  $A$  や  $B$  の陽な形で表すことを考える。式 (4.54) を以下のように変形し、式 (4.55) を得る。

$$\begin{aligned} s_{a,ij} &= \frac{1}{L_0} \frac{a_{ij}}{1 - a_{ij}} t_{ij} \sum_{l=1}^n b_{jl} p_l \\ &= \frac{1}{L_0} \frac{a_{ij}}{1 - a_{ij}} t_{ij} e_j^T B p \\ &= \frac{1}{L_0} \frac{a_{ij}}{1 - a_{ij}} t_{ij} e_j^T c \\ &= \frac{1}{L_0} \frac{a_{ij}}{1 - a_{ij}} t_{ij} c_j \end{aligned} \quad (4.55)$$

ただし、

$$c = Bp \quad (4.56)$$

とおいた。式 (4.55) により、感度マトリクス  $S_a$  は次のように変形することができる。

$$\begin{aligned} S &= \frac{1}{L_0} \begin{bmatrix} \frac{a_{11}}{1-a_{11}} t_{11} c_1 & \frac{a_{12}}{1-a_{12}} t_{12} c_2 & \cdots & \cdots & \frac{a_{1n}}{1-a_{1n}} t_{1n} c_n \\ \frac{a_{21}}{1-a_{21}} t_{21} c_1 & & & & \vdots \\ \vdots & & a_{ij} t_{ij}^0 c_j & & \vdots \\ \vdots & & & & \vdots \\ \frac{a_{n1}}{1-a_{n1}} t_{n1} c_1 & \cdots & \cdots & \cdots & \frac{a_{nn}}{1-a_{nn}} t_{nn} c_n \end{bmatrix} \\ &= \frac{1}{L_0} \begin{bmatrix} \frac{a_{ij}}{1-a_{ij}} t_{ij} \end{bmatrix} * \begin{Bmatrix} 1 \\ \vdots \\ \vdots \\ 1 \end{Bmatrix} [c_1 \ c_2 \ \cdots \ c_n] \end{aligned} \quad (4.57)$$

ただし、 $*$  は次式で定義されるマトリクスの演算子である。

$$[z_{ij}] = [x_{ij}] * [y_{ij}] \quad (4.58)$$

$$z_{ij} = x_{ij} y_{ij}$$

### 4.7.3 環境負荷変動の高精度近似

投入係数マトリクス  $\mathbf{A}$  の  $ij$  要素  $a_{ij}$  が  $\Delta a_{ij}$  だけ微小変動したときの、環境負荷の変動  $\Delta L$  の  $n$  次近似式  $L^{(n)}$  は、 $\mathbf{A}^I$  を用いて式 (4.25) のように表すことができる。仮定 2 の場合は、成分計算を簡便な形で表現することは困難であるが、式 (4.25) をもとに数回の繰り返し計算を行う事により、容易に高精度近似解が得られる。

## 4.8 7部門縮約産業連関表を用いての検証

### 4.8.1 仮定1の場合

#### 感度マトリクス

式(4.32)、式(4.34)で定義される感度マトリクスについて、投入係数マトリクスの各要素を直接変動させて算出したもの(直接法)を、式(4.59)と式(4.60)に、式(4.37)を用いて算出したもの(摂動法)をそれぞれ式(4.61)に示す。式(4.59)、式(4.60)は、各要素を期待値の前後にそれぞれ $\pm 10\%$ 、 $\pm 1\%$ 変動させた場合の感度である。

#### $\pm 10\%$ 直接変動させた場合

$$\begin{bmatrix} 0.0064 & 0 & 0 & 0.0309 & 0 & 0.0000 & 0.0026 \\ 0 & 0.1412 & 0.0556 & 0.0458 & 0 & 0.0004 & 0.0229 \\ 0.0002 & 0.0000 & 0.0948 & 0.0011 & 0 & 0.0017 & 0.0166 \\ 0.0123 & 0.0087 & 0.0488 & 0.2420 & 0.0099 & 0.0241 & 0.1592 \\ 0.0016 & 0.0258 & 0.0297 & 0.0955 & 0.0015 & 0.0323 & 0.0871 \\ 0.0041 & 0.0045 & 0.0194 & 0.0419 & 0.0013 & 0.0273 & 0.0465 \\ 0.0018 & 0.0025 & 0.0212 & 0.0273 & 0.0046 & 0.0380 & 0.0829 \end{bmatrix} \quad (4.59)$$

#### $\pm 1\%$ 直接変動させた場合

$$\begin{bmatrix} 0.0064 & 0 & 0 & 0.0309 & 0 & 0.0000 & 0.0026 \\ 0 & 0.1398 & 0.0556 & 0.0458 & 0 & 0.0004 & 0.0229 \\ 0.0002 & 0.0000 & 0.0946 & 0.0011 & 0 & 0.0017 & 0.0166 \\ 0.0123 & 0.0087 & 0.0488 & 0.2413 & 0.0099 & 0.0241 & 0.1592 \\ 0.0016 & 0.0258 & 0.0297 & 0.0955 & 0.0015 & 0.0323 & 0.0871 \\ 0.0041 & 0.0045 & 0.0194 & 0.0419 & 0.0013 & 0.0273 & 0.0465 \\ 0.0018 & 0.0025 & 0.0212 & 0.0273 & 0.0046 & 0.0380 & 0.0829 \end{bmatrix} \quad (4.60)$$

#### 摂動法を用いた場合

$$\begin{bmatrix} 0.0064 & 0 & 0 & 0.0309 & 0 & 0.0000 & 0.0026 \\ 0 & 0.1398 & 0.0556 & 0.0458 & 0 & 0.0004 & 0.0229 \\ 0.0002 & 0.0000 & 0.0946 & 0.0011 & 0 & 0.0017 & 0.0166 \\ 0.0123 & 0.0087 & 0.0488 & 0.2413 & 0.0099 & 0.0241 & 0.1592 \\ 0.0016 & 0.0258 & 0.0297 & 0.0955 & 0.0015 & 0.0323 & 0.0871 \\ 0.0041 & 0.0045 & 0.0194 & 0.0419 & 0.0013 & 0.0273 & 0.0465 \\ 0.0018 & 0.0025 & 0.0212 & 0.0273 & 0.0046 & 0.0380 & 0.0829 \end{bmatrix} \quad (4.61)$$

上の3つの感度マトリクスを比較すると、変動率が10%の場合の感度マトリクスの2,2要素や3,3要素は摂動法を用いた場合と差が生じているが、変動率を1%にした場合の感度マトリクスは、全く同じものになっている。摂動法を用いて求めた感度は、式(4.32)において、 $\Delta a_{ij} \rightarrow \infty$ の極限をとったものであることを考えると、当然の結果

であり、式 (4.33)、式 (4.37) の妥当性を示している。また、感度を求める際に計算時間を計測したところ、以下の結果が得られた。ただし、 $7 \times 7$  の規模マトリクスでは、摂動法を用いた逆行列計算の際に計算時間が 0[clock] となってしまうため、逆行列の計算の際に遅延を生じさせる処理を施した。

摂動法	100[clock]	0.10[second]
直接法	5270[clock]	5.27[second]

計算時間は、計算機の実環境によって左右されるので、一概には比較できないが、摂動法を用いた場合、直接法と比べておよそ  $1/50$  の時間で済んでいる。産業連関分析の計算の中で、逆行列の計算が占める割合が大きいことを考えると、逆行列の計算回数を減らすことは、感度解析を効率良く行うために極めて有効であると言える。

### 環境負荷変動の高精度近似

式 (4.45) の妥当性を検証するため、 $a_{22}$ 、 $a_{44}$ 、 $a_{32}$  が微小変動するときの環境負荷総排出量  $L$  の変動の評価精度を調べる。ここでは、環境負荷項目として、 $\text{CO}_2$  を取り上げる。

計算結果を図 (4.1) に示す。実線、点線、一点鎖線は、式 (4.45) による評価 (Perturbation Method) であり、それぞれ  $a_{22}$ 、 $a_{44}$ 、 $a_{32}$  が微小変動するときの  $L$  の変動を示す。●、▲、及び、■ は、直接計算に基づく結果 (Direct Method) を表し、それぞれ  $a_{22}$ 、 $a_{44}$ 、 $a_{32}$  が微小変動するときの  $L$  の変動を示す。両手法での計算結果が良く一致していることから、 $\Delta a_{ij}$  が十分小さい範囲 (条件  $|\bar{b}_{ji}\Delta a_{ij}| < 1$  を満足する範囲) では、式 (4.45) を用いることにより、高精度な近似解を得ることができる。

また、各要素の  $b_{ji}^{-1}$  と  $L$  の一階感度の値  $L_{ij}^I$  は以下のものである。

要素	2, 2	4, 4	3, 2
$s_{ij}$	0.1397	0.2412	0.00002
$a_{ij}$	0.5015	0.3439	0.0004
$\bar{b}_{ji}$	2.0279	1.6457	0.1559
$L_{ij}^I$	$3.32 \times 10^8$	$4.48 \times 10^8$	$7.35 \times 10^7$

感度  $s_{ij}$  の値は、原点における接線の傾きを表し、 $\bar{b}_{ji}$ 、 $L_{ij}^I$  は非線形性の度合を表す。 $s_{32}$  の値はほとんど 0 に等しく、 $\bar{b}_{23}$  の値も小さいため、 $a_{32}$  の変動量に関わらず、環境負荷総排出量  $L$  にほとんど影響を及ぼさないことがわかる。一方、 $a_{22}$  と  $a_{44}$  を比較すると、感度は 44 要素の方が大きい、 $\bar{b}_{22}$  と  $\bar{b}_{44}$  では 22 要素の方が大きいので、であ

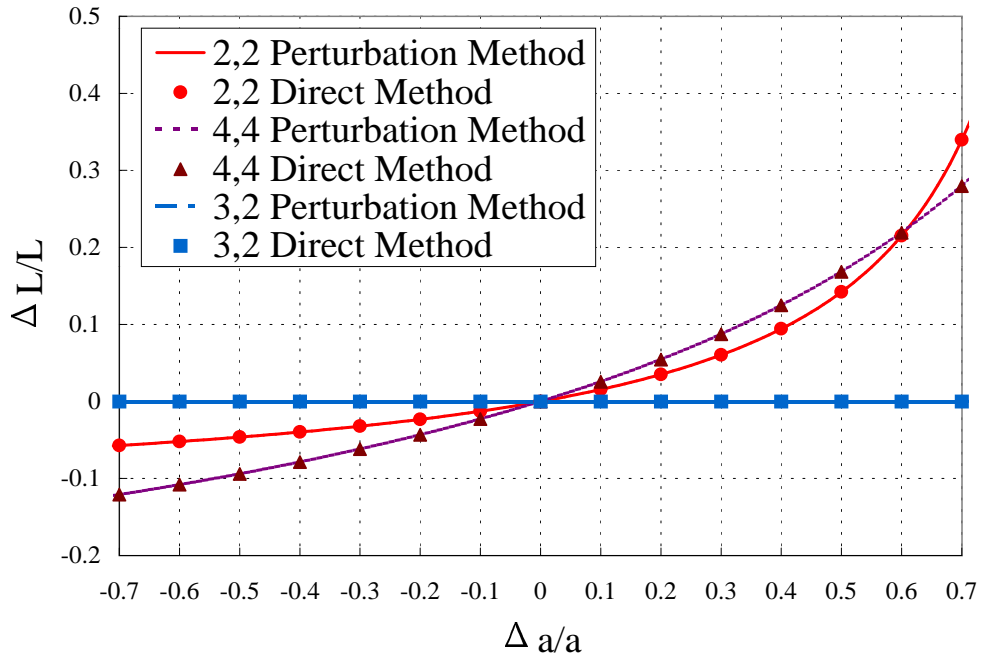


Fig 4.1:  $a_{22}$ 、 $a_{44}$ 、 $a_{32}$  要素が変動するときの  $\text{CO}_2$  発生量の変動

るので、 $a_{22}$  が微小変動するときの  $L$  の変動の方が、 $a_{44}$  が微小変動するときの  $L$  の変動より非線形性が強いことが読み取れる。

つまり、式 (4.45) を用いることにより、感度解析だけでは分からない、非線形性を考慮した変動量が予測できることになる。

## 4.8.2 仮定2の場合

## 感度マトリクス

式 (4.32)、式 (4.34) で定義される感度マトリクスについて、投入係数マトリクスの各要素を直接変動させて算出したもの (直接法) を、式 (4.62) と式 (4.63) に、式 (4.37) を用いて算出したもの (摂動法) をそれぞれ式 (4.64) に示す。式 (4.62)、式 (4.63) は、各要素を期待値の前後にそれぞれ  $\pm 10\%$ 、 $\pm 1\%$  変動させた場合の感度である。

$\pm 10\%$  直接変動させた場合

$$\begin{bmatrix} 0.0034 & 0 & 0 & -0.0027 & 0 & 0.0000 & 0.0012 \\ 0 & 0.0956 & 0.0457 & 0.0356 & 0 & 0.0003 & 0.0203 \\ 0.0001 & 0.0000 & 0.0028 & -0.0001 & 0 & 0.0009 & 0.0077 \\ 0.0096 & -0.0084 & 0.0210 & 0.1106 & 0.0081 & 0.0179 & 0.1197 \\ 0.0016 & 0.0199 & 0.0274 & 0.0881 & 0.0014 & 0.0313 & 0.0838 \\ 0.0023 & -0.0074 & 0.0033 & 0.0025 & 0.0007 & 0.0177 & 0.0258 \\ 0.0004 & -0.0086 & -0.0098 & -0.0174 & 0.0013 & 0.0150 & 0.0202 \end{bmatrix} \quad (4.62)$$

$\pm 1\%$  直接変動させた場合

$$\begin{bmatrix} 0.0034 & 0 & 0 & -0.0026 & 0 & 0.0000 & 0.0012 \\ 0 & 0.0978 & 0.0457 & 0.0356 & 0 & 0.0003 & 0.0203 \\ 0.0001 & 0.0000 & 0.0050 & -0.0001 & 0 & 0.0009 & 0.0078 \\ 0.0096 & -0.0083 & 0.0211 & 0.1138 & 0.0082 & 0.0179 & 0.1199 \\ 0.0016 & 0.0199 & 0.0274 & 0.0881 & 0.0014 & 0.0313 & 0.0838 \\ 0.0023 & -0.0074 & 0.0033 & 0.0026 & 0.0007 & 0.0178 & 0.0259 \\ 0.0004 & -0.0086 & -0.0096 & -0.0172 & 0.0014 & 0.0153 & 0.0208 \end{bmatrix} \quad (4.63)$$

摂動法を用いた場合

$$\begin{bmatrix} 0.0034 & 0 & 0 & -0.0026 & 0 & 0.0000 & 0.0012 \\ 0 & 0.0980 & 0.0457 & 0.0356 & 0 & 0.0003 & 0.0203 \\ 0.0001 & 0.0000 & 0.0052 & -0.0001 & 0 & 0.0009 & 0.0078 \\ 0.0096 & -0.0083 & 0.0211 & 0.1141 & 0.0082 & 0.0179 & 0.1200 \\ 0.0016 & 0.0199 & 0.0274 & 0.0881 & 0.0014 & 0.0313 & 0.0838 \\ 0.0023 & -0.0074 & 0.0033 & 0.0027 & 0.0007 & 0.0178 & 0.0259 \\ 0.0004 & -0.0086 & -0.0096 & -0.0171 & 0.0014 & 0.0153 & 0.0208 \end{bmatrix} \quad (4.64)$$

上の3つの感度マトリクスを比較すると、変動率が10%の場合の感度マトリクスの3,3要素や6,4要素は摂動法を用いた場合と比較的大きな差が生じているが、変動率を1%にした場合の感度マトリクスは、より近い値になっている。摂動法を用いて求めた感度は、式 (4.53) において、 $\Delta a_{ij} \rightarrow \infty$  の極限をとったものであることを考えると、当然の結果であり、式 (4.33)、式 (4.37) の妥当性を示している。

## 環境負荷変動の高精度近似

式 (4.45) の妥当性を検証するため、 $a_{22}$  が微小変動するときの環境負荷総排出量  $L$  の変動の評価精度を調べる。ここでは、環境負荷項目として、 $\text{CO}_2$  を取り上げる。

計算結果を図 (4.2) に示す。

実線、点線、一点鎖線、二点鎖線は、それぞれ摂動法を用いた式 (4.25) による評価 (1 次近似、2 次近似、3 次近似、4 次近似) であり、●は、直接計算に基づく結果を表す。図 (4.2) より、近似の次数を上げるにより、近似の精度が向上することがわかる。次数を上げることによる繰り返し計算の負荷は、逆行列の計算負荷と比較して小さいため、環境負荷変動の近似予測の手法としては、有効である。

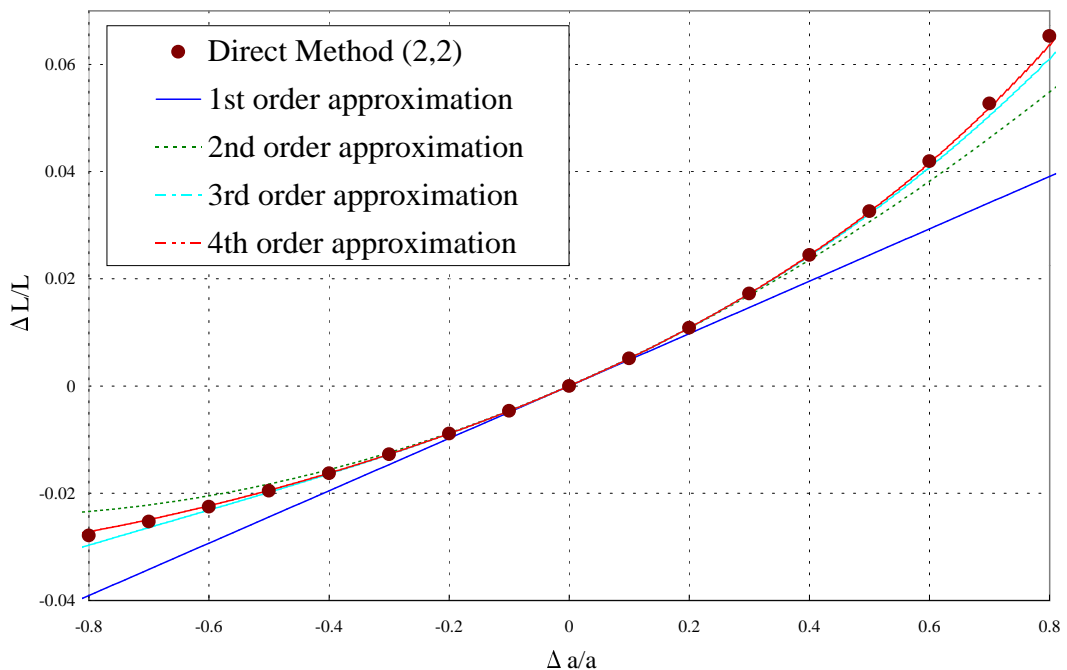


Fig 4.2:  $a_{22}$  要素が変動するときの  $\text{CO}_2$  発生量の変動



## 4.8.3 考察

仮定 1 の下で、式 (4.35)、式 (4.37) を用いて得られた感度マトリクス  $S_{a_1}$  と、仮定 2 の下で、式 (4.54)、式 (4.57) を用いて得られた感度マトリクス  $S_{a_1}$  では、以下に示すように、異なる結果が得られた。

- $S_{a_1}$  の各成分は、 $S_{a_1}$  の成分よりも小さくなる。
- $S_{a_1}$  は全ての成分が正の値だったのに対して、 $S_{a_2}$  には負の値が現れる。

式 (4.55) で用いられている、 $L_0$ 、 $\bar{a}_{ij}$ 、 $\bar{b}_{jl} p_l$  はいずれも正の値であるため、式 (4.51) で表される  $t_{ij}$  の符号によって  $L$  の変動  $\Delta L$  の符号が決定される。式 (4.51) の右辺の表す意味を考えると、第 1 項は  $ij$  要素を  $\Delta a_{ij}$  だけ増加させることによる、環境負荷排出量の増加分であり、第 2 項は、列の和を一定に拘束する際に、 $ij$  要素以外を減少させたことによる、環境負荷排出量の減少分である。

	部門 1	部門 2	部門 3	部門 4	部門 5	部門 6	部門 7	排出原単位
部門 1	1.088	-4.488	0.092	-0.181	1.116	1.245	1.073	2.335
部門 2	9.244	3.668	8.249	7.975	9.272	9.402	9.229	10.491
部門 3	1.081	-4.495	0.085	-0.189	1.108	1.238	1.066	2.327
部門 4	2.401	-3.175	1.406	1.132	2.429	2.559	2.387	3.648
部門 5	25.323	19.747	24.328	24.054	25.351	25.481	25.309	26.570
部門 6	1.425	-4.150	0.430	0.156	1.453	1.583	1.411	2.672
部門 7	0.354	-5.222	-0.641	-0.915	0.382	0.512	0.339	1.601
$\sum_k t_k^0 \bar{a}_{kj}$	1.247	6.823	2.242	2.516	1.219	1.089	1.262	

表 4.1:  $t_{ij}$  の各要素

表 (4.1) に、 $t_{ij}$  の各要素と、式 (4.51) の右辺第 1 項である排出原単位  $t_i$ 、さらに、右辺第 2 項である  $\sum_k t_k^0 \bar{a}_{kj}$  の数値を示す。もともと排出原単位の値が小さい産業 (農林水産業、その他など) は、式 (4.51) の右辺第 1 項の値が小さいため、電力・ガス・熱供給のような、排出原単位の値が大きい産業との取引を減少させることにより、トータルの環境負荷が減少することが見て取れる。

## 4.9 結言

本章では投入係数の変動が、環境負荷変動量に及ぼす影響を、摂動法を用いて定式化した。本定式化の特徴は、環境負荷変動量は逆行列を一度求めるだけで算出可能である点である。

実際の産業連関表は  $405 \times 405$  およそ 16 万個の要素を持っており、感度マトリクスを算出する際の、要素に直接ずれを与えては、その都度逆行列を計算する従来の手法は非現実的であるが、本章で提案する手法を用いることにより、大幅に計算効率の改善をはかることができた。

また、仮定 1 の場合には、環境負荷変動量  $\Delta L$  の高精度近似解を、 $\Delta a_{ij}$  の閉じた形で表現することを示した。

## 第 5 章

### 平成 2 年度産業連関表を用いた感度解析

## 5.1 緒言

前章までの定式化に基づき、平成 2 年度産業連関表を用いたインベントリ分析について、感度解析手法の適用を試み、検証を行う。

平成 2 年度産業連関表は、列部門が 411、行部門が 527 であるが、本藤らの手法 [8] により統廃合し、最終的に列部門、行部門ともに 405 部門として解析を行った。部門別直接排出量は、文献 [8][9] のデータを用いる。

本藤らは、排出原単位の推計方法は、国外で誘発される排出量の取り扱い方法によって、以下の 3 通りに分類されるとしている。

1. 国外で生産した財・サービスの生産時の環境負荷を無視
2. 国外で生産した財・サービスを、全て国産と仮定
3. 国外で生産した財・サービスについて、実態を反映させる

ここでは全ての財・サービスは国産であるとした場合について、感度解析を行った結果を示す。また、環境負荷項目として、CO<sub>2</sub> 排出量だけでなく、エネルギー消費、SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub> 排出量についても評価を行った。

## 5.2 最終需要の変動に対する感度解析

表 (??) は、最終需要の変動に対する CO<sub>2</sub> 発生量の感度値の計算結果のうち、絶対値の大きなものから順に、30 項目を列挙したものである。表には部門名を付記してあり、比較のために、エネルギー消費、SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub> 排出量についての感度も併せて示してある。また、図 (5.1) には、この結果を折れ線グラフにしたものを示す。

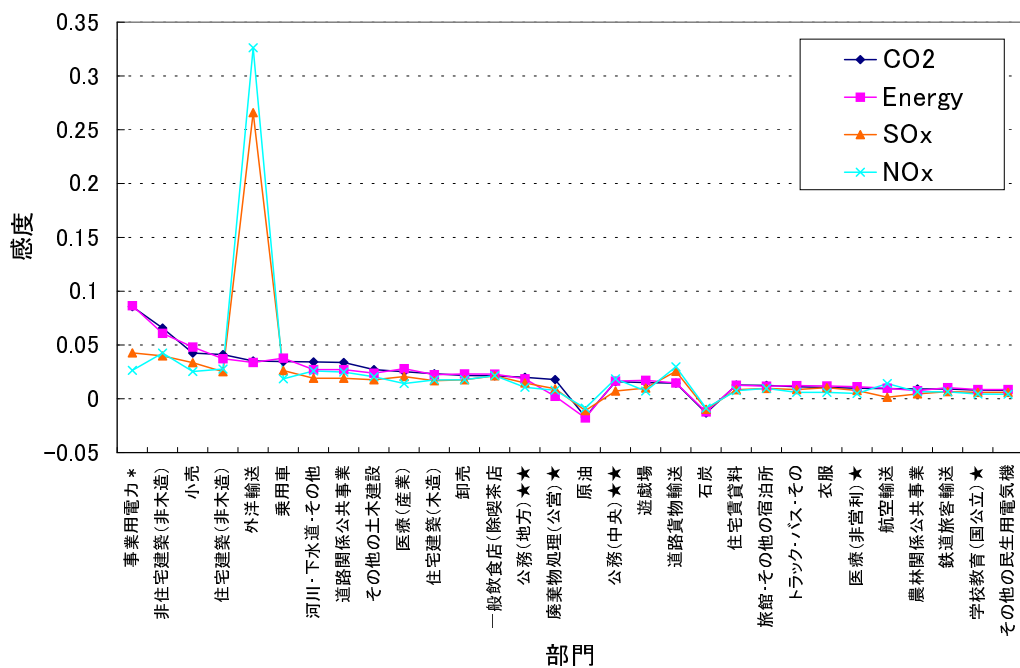


Fig 5.1: 最終需要に対する感度

表 (5.1) と図 (5.1) から、明らかな通り、CO<sub>2</sub>、エネルギー消費に関しては、電力事業の需要の変動が、最も影響を及ぼすことが分かる。発電事業は大量の CO<sub>2</sub> を発生するので、予想できた結果であるが、建築業の需要の変動が及ぼす影響が、思いの他高いことが読み取れる。

部門名	CO2	Energy	SOx	NOx
事業用電力*	0.0856	0.0865	0.0426	0.0263
非住宅建築（非木造）	0.0657	0.0608	0.0397	0.0425
小売	0.0424	0.0480	0.0335	0.0254
住宅建築（非木造）	0.0411	0.0373	0.0252	0.0276
外洋輸送	0.0351	0.0336	0.2659	0.3263
乗用車	0.0345	0.0378	0.0263	0.0186
河川・下水道・その他	0.0343	0.0271	0.0190	0.0259
道路関係公共事業	0.0337	0.0271	0.0191	0.0248
その他の土木建設	0.0271	0.0238	0.0177	0.0204
医療（産業）	0.0251	0.0280	0.0207	0.0141
住宅建築（木造）	0.0232	0.0223	0.0168	0.0175
卸売	0.0217	0.0231	0.0176	0.0176
一般飲食店（除喫茶店）	0.0213	0.0228	0.0212	0.0215
公務（地方）★★	0.0199	0.0185	0.0146	0.0106
廃棄物処理（公営）★	0.0178	0.0022	0.0092	0.0079
原油	-0.0170	-0.0179	-0.0110	-0.0088
公務（中央）★★	0.0158	0.0164	0.0071	0.0185
遊戯場	0.0149	0.0171	0.0099	0.0072
道路貨物輸送	0.0144	0.0147	0.0254	0.0297
石炭	-0.0133	-0.0123	-0.0098	-0.0088
住宅賃貸料	0.0127	0.0126	0.0083	0.0075
旅館・その他の宿泊所	0.0124	0.0117	0.0095	0.0096
トラック・バス・その 衣服	0.0112	0.0121	0.0086	0.0060
医療（非営利）★	0.0105	0.0118	0.0103	0.0059
航空輸送	0.0098	0.0112	0.0076	0.0050
農林関係公共事業	0.0094	0.0097	0.0013	0.0142
鉄道旅客輸送	0.0091	0.0075	0.0046	0.0064
学校教育（国公立）★	0.0090	0.0104	0.0066	0.0064
その他の民生用電気機	0.0079	0.0086	0.0059	0.0044
	0.0079	0.0085	0.0059	0.0041

表 5.1: 最終需要の変動に対する感度

また、表 (5.1) および図 (5.1) は消費者の側からの国内 CO<sub>2</sub> 排出量、エネルギー消費量を軽減する方法として、電力の節約をすることは最も効果的であることを定量的に示している。また、土木・建築業の感度も比較的大きい値を示しているため、需要を押さえる、すなわち建造物の耐用年数を伸ばすことも、効果的であると言える。

一方、環境負荷項目として、SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub> に注目すると、外洋輸送産業が飛び抜けて影響が大きい。これは、SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub> の直接の排出量が、ほとんど外洋輸送産業によるものであり (国内総排出量のうち外洋輸送が占める割合が SO<sub>x</sub> は 26%、NO<sub>x</sub> は 31%)、SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub> に関しては、外洋輸送産業だけに注目すれば良く、用いられる燃料の変更や、燃費の良い船舶の開発などが望まれる。

### 5.3 直接排出強度の変動に対する感度解析

表 (5.2) は、最終需要の変動に対する CO<sub>2</sub> 発生量の感度値の計算結果のうち、絶対値の大きなものから順に、30 項目を列挙したものである。表には部門名を付記しており、比較のために、エネルギー消費、SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub> 排出量についての感度も併せて示してある。また、図 (5.2) には、この結果を折れ線グラフにしたものを示す。

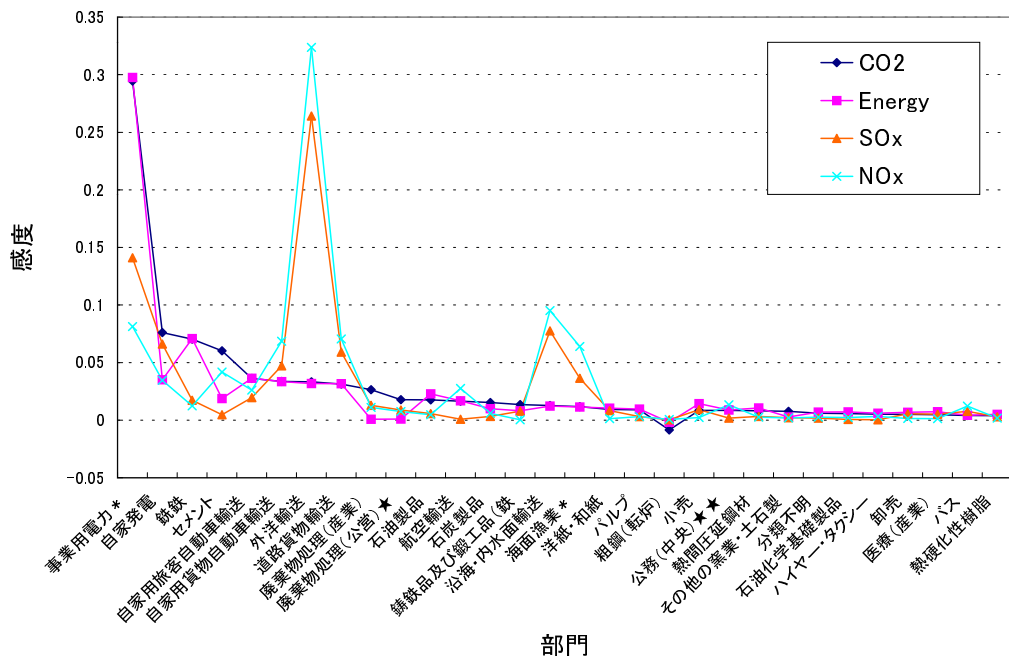


Fig 5.2: 直接排出強度の変動に対する感度

表 (5.2) と図 (5.2) から、明らかな通り、CO<sub>2</sub>、エネルギー消費に関しては、電力事業の需要の変動が、飛び抜けて大きい影響を及ぼすことが分かる。また、上位に並ぶ産業部門は CO<sub>2</sub> 排出に深く関係することが予測できるが、表 (5.2)、図 (5.2) をみると、妥当な結果が得られたと言える。

一方、環境負荷項目として、SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub> に注目すると、前節と同様に、外洋輸送産業が飛び抜けて影響が大きく、沿海・内水面輸送産業も大きい。



部門名	CO <sub>2</sub>	Energy	SO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>
事業用電力*	0.2944	0.2976	0.1410	0.0813
自家発電	0.0760	0.0351	0.0661	0.0346
銑鉄	0.0703	0.0709	0.0172	0.0123
セメント	0.0602	0.0187	0.0048	0.0418
自家用旅客自動車輸送	0.0361	0.0363	0.0196	0.0261
自家用貨物自動車輸送	0.0337	0.0335	0.0472	0.0685
外洋輸送	0.0333	0.0317	0.2641	0.3237
道路貨物輸送	0.0314	0.0316	0.0591	0.0704
廃棄物処理（産業）	0.0264	0.0007	0.0128	0.0110
廃棄物処理（公営）★	0.0177	0.0010	0.0088	0.0074
石油製品	0.0176	0.0228	0.0057	0.0046
航空輸送	0.0165	0.0168	0.0008	0.0275
石炭製品	0.0153	0.0099	0.0033	0.0059
鑄鉄品及び鍛工品（鉄）	0.0135	0.0081	0.0078	0.0003
沿海・内水面輸送	0.0127	0.0123	0.0775	0.0952
海面漁業*	0.0117	0.0114	0.0363	0.0640
洋紙・和紙	0.0093	0.0103	0.0083	0.0013
パルプ	0.0089	0.0096	0.0031	0.0031
粗鋼（転炉）	-0.0086	-0.0019	0.0004	0.0006
小売	0.0085	0.0142	0.0090	0.0022
公務（中央）★★	0.0084	0.0087	0.0017	0.0133
熱間圧延鋼材	0.0081	0.0106	0.0032	0.0026
その他の窯業・土石製	0.0076	0.0028	0.0021	0.0019
分類不明	0.0060	0.0069	0.0018	0.0026
石油化学基礎製品	0.0057	0.0071	0.0006	0.0022
ハイヤー・タクシー	0.0052	0.0060	0.0003	0.0033
卸売	0.0051	0.0069	0.0056	0.0014
医療（産業）	0.0046	0.0074	0.0052	0.0013
バス	0.0041	0.0041	0.0076	0.0122
熱硬化性樹脂	0.0039	0.0050	0.0030	0.0018

表 5.2: 直接排出強度の変動に対する感度

また、CO<sub>2</sub> 排出量とエネルギー消費に関する感度、および SO<sub>x</sub> と NO<sub>x</sub> に関する感度は似たような傾向が見て取れる。本番の LCA に備えての予備的調査、製品設計段階での LCA 評価など、それほど精度を要求しない場面、CO<sub>2</sub> 発生量、SO<sub>x</sub> 発生量のみに着目して評価を行うことにより、効率的にインベントリ分析を行う事が可能である。

直接排出強度は、環境負荷排出原単位の算出など、産業連関表を用いたインベントリ分析を行う際に重要な位置を占めている。すなわち、直接排出強度  $d$  の変動に対して感度の大きい部門に関しては、特に精度の高いデータを用いる必要がある。

### 5.4 投入係数の変動に対する感度解析

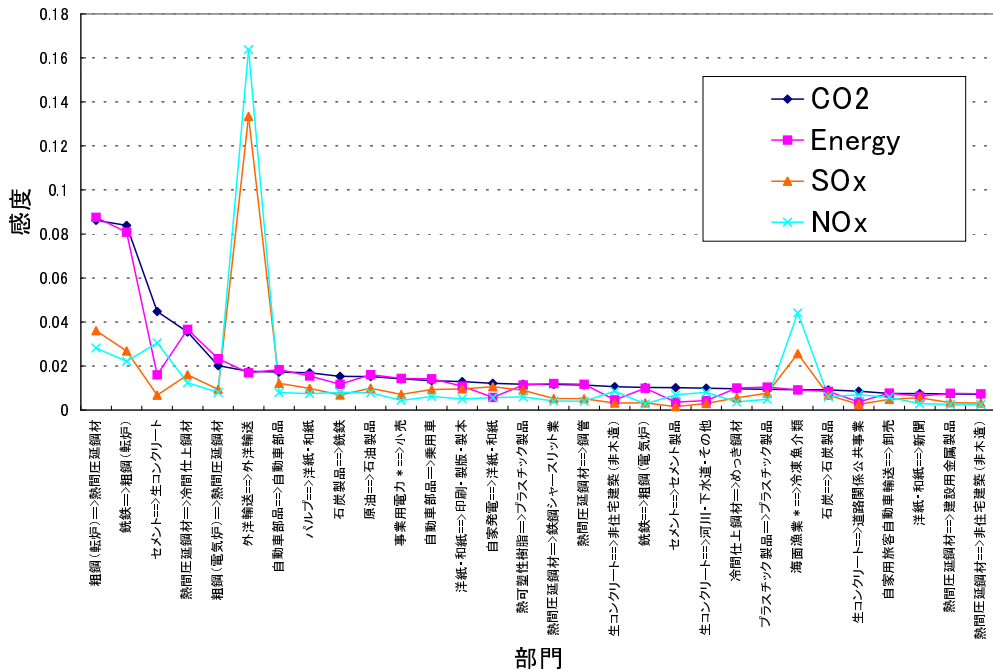


Fig 5.3: 投入係数の変動に対する感度 (仮定 1)

表 (5.3) は、国内 CO<sub>2</sub> 排出量の投入係数の変動に対する感度値を、式 (4.33) を用いて求めた結果のうち、値の大きなものから順番に 30 項目を列挙したものである。

表には、投入元産業部門、投入先産業部門を付記してある。また、図 (5.3) には、この結果をグラフにしたものを示す。この結果から以下のことが分かる。

- 上位に並ぶ、産業部門間の取引関係は、CO<sub>2</sub> 排出に深く関係することが予測されるものである。感度値が大きくなることは妥当である。
- 感度値が上位のものの中には、粗鋼部門や熱間圧延鋼材部門など、製鉄に関係した産業部門が数多く含まれており、これらの部門の投入係数の変動は、CO<sub>2</sub> 排出量の変動に大きく影響することがわかる。が予測されるものである。感度値が大きくなることは妥当である。

順位	投入元	投入先	感度値
1	粗鋼（転炉）	熱間圧延鋼材	0.0862
2	銑鉄	粗鋼（転炉）	0.0839
3	セメント	生コンクリート	0.0448
4	熱間圧延鋼材	冷間仕上鋼材	0.0354
5	粗鋼（電気炉）	熱間圧延鋼材	0.0202
6	外洋輸送	外洋輸送	0.0176
7	自動車部品	自動車部品	0.0172
8	パルプ	洋紙・和紙	0.0169
9	石炭製品	銑鉄	0.0153
10	原油	石油製品	0.0152
11	事業用電力*	小売	0.0142
12	自動車部品	乗用車	0.0133
13	洋紙・和紙	印刷・製版・製本	0.0129
14	自家発電	洋紙・和紙	0.0121
15	熱可塑性樹脂	プラスチック製品	0.0117
16	熱間圧延鋼材	鉄鋼シャースリット業	0.0116
17	熱間圧延鋼材	鋼管	0.0113
18	生コンクリート	非住宅建築（非木造）	0.0106
19	銑鉄	粗鋼（電気炉）	0.0102
20	セメント	セメント製品	0.0101
21	生コンクリート	河川・下水道・その他	0.0099
22	冷間仕上鋼材	めっき鋼材	0.0097
23	プラスチック製品	プラスチック製品	0.0094
24	海面漁業*	冷凍魚介類	0.0092
25	石炭	石炭製品	0.0091
26	生コンクリート	道路関係公共事業	0.0085
27	自家用旅客自動車輸送	卸売	0.0075
28	洋紙・和紙	新聞	0.0075
29	熱間圧延鋼材	建設用金属製品	0.0074
30	熱間圧延鋼材	非住宅建築（非木造）	0.0071

表 5.3: 投入係数の変動に対する感度 (仮定 1)

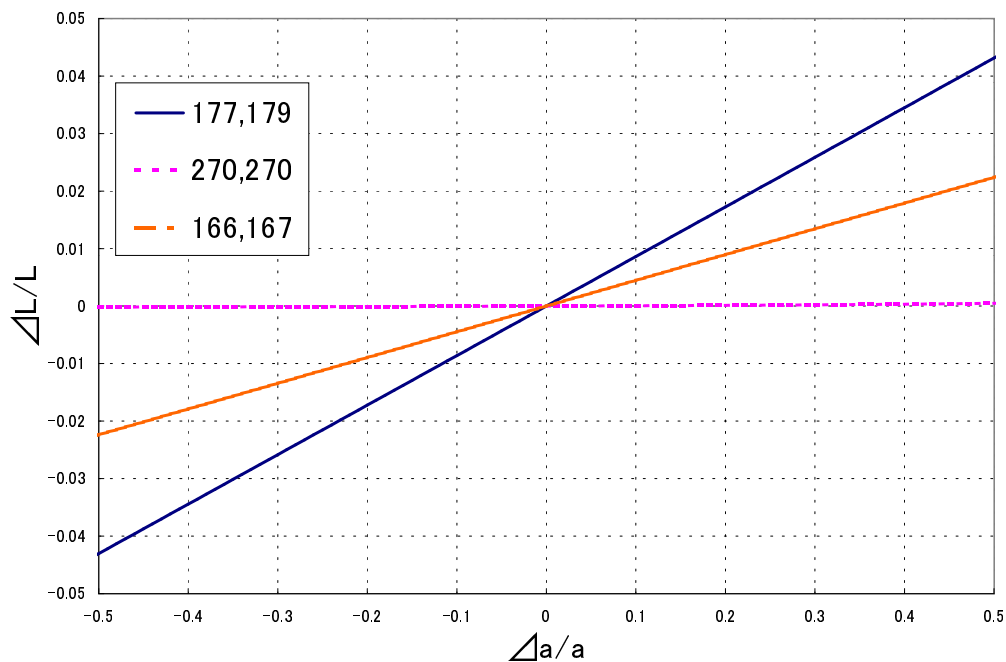


Fig 5.4:  $a_{177,179}$ 、 $a_{270,270}$ 、 $a_{166,167}$  要素が変動するときの  $\text{CO}_2$  発生量の変動

- 感度値の最大値は 0.08 程度の値である。つまり、投入係数の変動率に対して、最大で約 1 桁小さな変動率の割合で、 $\text{CO}_2$  総排出量が変動する。この値は  $\text{CO}_2$  の変動率を見積もる際の目安にすることができる。

また、 $a_{177,179}$ 、 $a_{270,270}$ 、 $a_{166,167}$  の変動に対する環境負荷変動を、式 (4.45) を利用して計算した結果を図 (5.4) に示す。実線、点線、一点鎖線は、式 (4.45) による評価 (Perturbation Method) であり、それぞれ  $a_{177,179}$ 、 $a_{270,270}$ 、 $a_{166,167}$  が微小変動するときの  $L$  の変動を示す。

表 (5.4) は、国内 CO<sub>2</sub> 排出量の投入係数の変動に対する感度値を、式 (4.54) を用いて求めた結果のうち、値の大きなものから順番に 30 項目を列挙したものである。

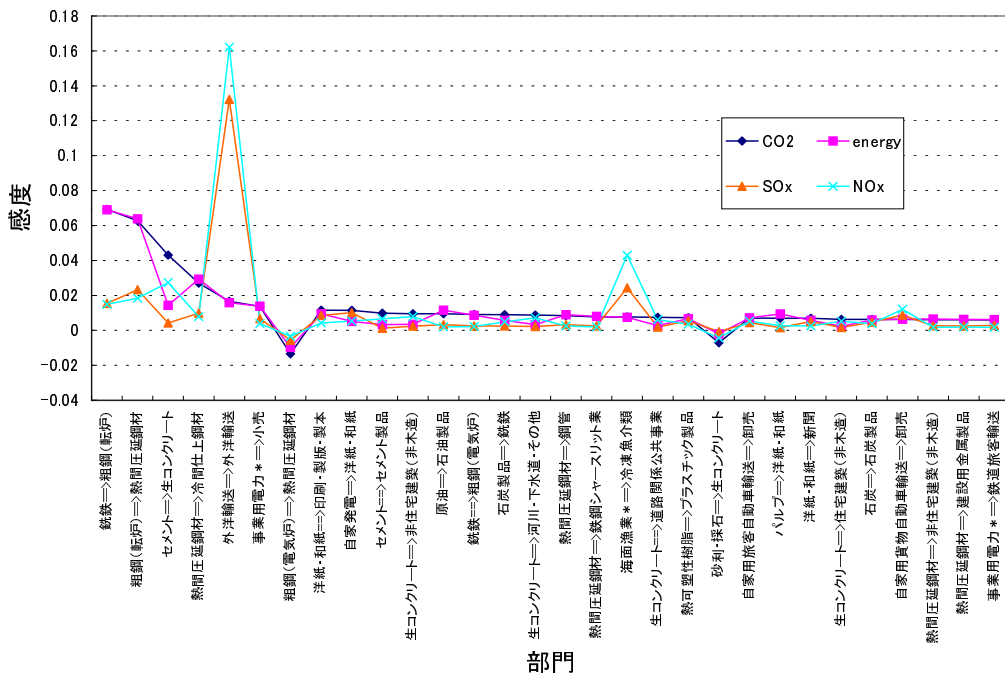


Fig 5.5: 投入係数の変動に対する感度 (仮定 2)

式 (4.33)、式 (4.54) を用いて、環境負荷 CO<sub>2</sub> に対する感度マトリクスを計算し、感度の大きい順に並べたものが表 (5.5) である。仮定 1 と仮定 2 で求めた感度とを比較すると、一見して分かる通り、仮定 2 の方が値が小さくなっており、部門によっては負の値になっている。この理由を考察するため、5 位の粗鋼 (電気炉) 部門から熱間圧延鋼材部門への投入を取り上げる。粗鋼 (転炉) 製造部門と粗鋼 (電気炉) の排出原単位を比較すると、それぞれ 29.4、11.2[t/百万円] と前者の方が大きい。仮定 2 で求めた場合、粗鋼 (電気炉) 部門から熱延鋼材部門への財の投入が増加することによる環境負荷の増加分よりも、粗鋼 (転炉) 部門から熱延鋼材部門への財の投入が減少することによる環境負荷の減少分が多いためであると考えられる。粗鋼 (電気炉) はスク

順位	投入元	投入先	感度値
1	銑鉄	粗鋼（転炉）	0.0693
2	粗鋼（転炉）	熱間圧延鋼材	0.0628
3	セメント	生コンクリート	0.0431
4	熱間圧延鋼材	冷間仕上鋼材	0.0271
5	外洋輸送	外洋輸送	0.0167
6	事業用電力*	小売	0.0137
7	粗鋼（電気炉）	熱間圧延鋼材	-0.0134
8	洋紙・和紙	印刷・製版・製本	0.0116
9	自家発電	洋紙・和紙	0.0115
10	セメント	セメント製品	0.0098
11	生コンクリート	非住宅建築（非木造）	0.0095
12	原油	石油製品	0.0095
13	銑鉄	粗鋼（電気炉）	0.0091
14	石炭製品	銑鉄	0.0090
15	生コンクリート	河川・下水道・その他	0.0088
16	熱間圧延鋼材	鋼管	0.0084
17	熱間圧延鋼材	鉄鋼シャースリット業	0.0077
18	海面漁業*	冷凍魚介類	0.0077
19	生コンクリート	道路関係公共事業	0.0075
20	熱可塑性樹脂	プラスチック製品	0.0072
21	砂利・採石	生コンクリート	-0.0070
22	自家用旅客自動車輸送	卸売	0.0070
23	パルプ	洋紙・和紙	0.0069
24	洋紙・和紙	新聞	0.0069
25	生コンクリート	住宅建築（非木造）	0.0063
26	石炭	石炭製品	0.0063
27	自家用貨物自動車輸送	卸売	0.0063
28	熱間圧延鋼材	非住宅建築（非木造）	0.0061
29	熱間圧延鋼材	建設用金属製品	0.0061
30	事業用電力*	鉄道旅客輸送	0.0060

表 5.4: 投入係数の変動に対する感度 (仮定 2)

ラップの投入量が多いことを考えると、リサイクルの有効性を定量的に表していると考えられる。

順位	投入元	投入先	仮定 1	仮定 2
1	粗鋼（転炉）	熱延鋼材	0.0862	0.0628
2	銑鉄	粗鋼（転炉）	0.0839	0.0693
3	セメント	生コン	0.0448	0.0431
4	熱延鋼材	冷間仕上鋼材	0.0354	0.0271
5	粗鋼（電炉）	熱延鋼材	0.0202	-0.0134
6	外洋輸送	外洋輸送	0.0176	0.0167
7	自動車部品	自動車部品	0.0172	0.0009
8	パルプ	洋紙・和紙	0.0169	0.0069
9	石炭製品	銑鉄	0.0153	0.0090
10	原油	石油製品	0.0152	0.0095
11	事業用電力	小売	0.0142	0.0137
12	自動車部品	乗用車	0.0133	0.0035
13	洋紙・和紙	印刷製版製本	0.0129	0.0116
14	自家発電	洋紙和紙	0.0121	0.0115
15	熱可塑性樹	プラスチック	0.0117	0.0072

表 5.5: 投入係数の CO<sub>2</sub> 発生量に対する感度値



## 第 6 章

### 結論

## 6.1 結論

本研究では、産業連関法による LCA の感度解析に摂動法の適用を行うことにより、以下の応用を容易に行えることを示した。

- 環境負荷変動の 1 次近似を求めることにより、感度マトリクスの誘導を行った。
- 環境負荷変動の高精度近似評価式を、閉じた形で定式化した。環境負荷変動の 1 次近似を求めることにより、感度マトリクスの誘導を行った。

これらの応用例は、期待値について、環境負荷発生量の算出の際に求める逆行列を用いて評価することができ、直接変動させる場合と比較して、極めて少ない計算負荷で評価することが可能である。

本研究で提言した手法を用いて、平成 2 年度産業連関表 (7 部門表、405 部門表) を用いた実際のインベントリ解析に適用することにより、本手法の妥当性、有用性を示すことができた。

## 付録 A

# 最終需要の変動に対する感度 (上位 100 部門)

A.1 CO<sub>2</sub> 排出量

A.2 エネルギー消費

A.3 SO<sub>x</sub> 排出量

A.4 NO<sub>x</sub> 排出量

順位	部門	感度	順位	部門	感度
1	事業用電力*	0.0856	51	熱間圧延鋼材	0.0044
2	非住宅建築（非木造）	0.0657	52	精穀	0.0043
3	小売	0.0424	53	鋼管	0.0043
4	住宅建築（非木造）	0.0411	54	鋼船	0.0043
5	外洋輸送	0.0351	55	学校教育（私立）★	0.0043
6	乗用車	0.0345	56	ハイヤー・タクシー	0.0043
7	河川・下水道・その他	0.0343	57	電子計算機本体	0.0042
8	道路関係公共事業	0.0337	58	冷間仕上鋼材	0.0042
9	その他の土木建設	0.0271	59	ビデオ機器	0.0042
10	医療（産業）	0.0251	60	自動車修理	0.0041
11	住宅建築（木造）	0.0232	61	下水道★★	0.0039
12	卸売	0.0217	62	有線電気通信機器	0.0039
13	一般飲食店（除喫茶店）	0.0213	63	その他の一般産業機械	0.0039
14	公務（地方）★★	0.0199	64	バス	0.0038
15	廃棄物処理（公営）★	0.0178	65	その他の非鉄金属地金	-0.0037
16	原油	-0.017	66	銃鉄	-0.0036
17	公務（中央）★★	0.0158	67	運搬機械	0.0035
18	遊戯場	0.0149	68	上水道・簡易水道	0.0035
19	道路貨物輸送	0.0144	69	野菜*	0.0034
20	石炭	-0.0133	70	鉄鉱石	-0.0034
21	住宅賃貸料	0.0127	71	廃棄物処理（産業）	0.0033
22	旅館・その他の宿泊所	0.0124	72	非鉄金属鉱物	-0.0032
23	トラック・バス・その	0.0112	73	塩・干・くん製品	0.0032
24	衣服	0.0105	74	運動競技場・公園・遊	0.0032
25	医療（非営利）★	0.0098	75	電子応用装置	0.0032
26	航空輸送	0.0094	76	酪農品	0.0032
27	農林関係公共事業	0.0091	77	対家計民間非営利団体	0.0032
28	鉄道旅客輸送	0.009	78	新聞	0.0032
29	学校教育（国公立）★	0.0079	79	電気音響機器	0.0031
30	その他の民生用電気機	0.0079	80	めっき鋼材	0.0031
31	電子計算機付属装置	0.0078	81	沿海・内水面輸送	0.0031
32	鉱山・土木建設機械	0.0072	82	その他の食料品	0.0031
33	医療（国公立）★★	0.0068	83	生命保険	0.0029
34	遊興飲食店	0.0067	84	プラスチック製品	0.0029
35	開閉制御装置及び配電	0.006	85	その他の輸送機械	0.0028
36	清涼飲料	0.0058	86	金属加工機械	0.0028
37	金型	0.0057	87	化粧品・歯磨	0.0028
38	その他の特殊産業機械	0.0056	88	喫茶店	0.0027
39	菓子類	0.0051	89	自動車車体	0.0027
40	冷凍魚介類	0.0051	90	木製家具・装備品	0.0027
41	バルブ	-0.005	91	都市ガス	0.0027
42	ポンプ及び圧縮機	0.0049	92	その他の水産食品	0.0026
43	自動車部品	0.0048	93	調味料	0.0026
44	鉄道軌道建設	0.0048	94	その他の製造工業製品	0.0026
45	金属工作機械	0.0048	95	分類不明	-0.0026
46	電力施設建設	0.0046	96	洗濯・洗張・染物業	0.0024
47	ニット製品	0.0045	97	ラジオ・テレビ受信機	0.0024
48	アルミニウム（含再生）	-0.0045	98	無線電気通信機器	0.0024
49	天然ガス	-0.0045	99	半導体素子・集積回路	0.0024
50	石油製品	0.0044	100	フェロアロイ	-0.0024

表 A.1: 最終需要に対する CO<sub>2</sub> 排出量の感度 (上位 100 部門)

順位	部門	感度	順位	部門	感度
1	事業用電力*	0.0865	51	下水道★★	0.0047
2	非住宅建築 (非木造)	0.0608	52	アルミニウム (含再生)	-0.0046
3	小売	0.0480	53	鋼船	0.0046
4	乗用車	0.0378	54	学校教育 (私立) ★	0.0046
5	住宅建築 (非木造)	0.0373	55	パルプ	-0.0046
6	外洋輸送	0.0336	56	鉄鉱石	-0.0046
7	医療 (産業)	0.0280	57	熱間圧延鋼材	0.0046
8	河川・下水道・その他	0.0271	58	有線電気通信機器	0.0045
9	道路関係公共事業	0.0271	59	自動車修理	0.0045
10	その他の土木建設	0.0238	60	鋼管	0.0045
11	卸売	0.0231	61	電力施設建設	0.0044
12	一般飲食店 (除喫茶店)	0.0228	62	冷間仕上鋼材	0.0044
13	住宅建築 (木造)	0.0223	63	その他の非鉄金属地金	-0.0041
14	公務 (地方) ★★	0.0185	64	その他の一般産業機械	0.0041
15	原油	-0.0179	65	鉄道軌道建設	0.0039
16	遊戯場	0.0171	66	バス	0.0039
17	公務 (中央) ★★	0.0164	67	電子応用装置	0.0037
18	道路貨物輸送	0.0147	68	非鉄金属鉱物	-0.0037
19	住宅賃貸料	0.0126	69	酪農品	0.0036
20	石炭	-0.0123	70	運搬機械	0.0036
21	トラック・バス・その	0.0121	71	電気音響機器	0.0036
22	衣服	0.0118	72	野菜*	0.0035
23	旅館・その他の宿泊所	0.0117	73	その他の食料品	0.0035
24	医療 (非営利) ★	0.0112	74	鉄	-0.0035
25	鉄道旅客輸送	0.0104	75	塩・干・くん製品	0.0034
26	航空輸送	0.0097	76	対家計民間非営利団体	0.0033
27	電子計算機付属装置	0.0091	77	運動競技場・公園・遊	0.0033
28	学校教育 (国公立) ★	0.0086	78	プラスチック製品	0.0032
29	その他の民生用電気機	0.0085	79	めっき鋼材	0.0031
30	農林関係公共事業	0.0075	80	生命保険	0.0031
31	医療 (国公立) ★★	0.0075	81	木製家具・装備品	0.0030
32	鉱山・土木建設機械	0.0074	82	都市ガス	0.0030
33	遊興飲食店	0.0072	83	半導体素子・集積回路	0.0030
34	開閉制御装置及び配電	0.0064	84	沿海・内水面輸送	0.0030
35	清涼飲料	0.0064	85	喫茶店	0.0030
36	その他の特殊産業機械	0.0060	86	その他の輸送機械	0.0030
37	菓子類	0.0059	87	金属加工機械	0.0029
38	金型	0.0056	88	自動車車体	0.0029
39	天然ガス	-0.0055	89	調味料	0.0029
40	冷凍魚介類	0.0052	90	化粧品・歯磨	0.0029
41	自動車部品	0.0051	91	新聞	0.0028
42	石油製品	0.0050	92	無線電気通信機器	0.0028
43	ニット製品	0.0050	93	その他の水産食品	0.0028
44	電子計算機本体	0.0050	94	その他の製造工業製品	0.0028
45	上水道・簡易水道	0.0050	95	パン類	0.0027
46	金属工作機械	0.0049	96	ラジオ・テレビ受信機	0.0027
47	ハイヤー・タクシー	0.0048	97	フェロアロイ	-0.0027
48	精穀	0.0048	98	分類不明	-0.0026
49	ビデオ機器	0.0048	99	競輪・競馬等の競走場	0.0025
50	ポンプ及び圧縮機	0.0048	100	化学機械	0.0025

表 A.2: 最終需要に対するエネルギー消費の感度 (上位 100 部門)

順位	部門	感度	順位	部門	感度
1	外洋輸送	0.2659	51	調味料	0.0034
2	事業用電力*	0.0426	52	自動車部品	0.0034
3	非住宅建築 (非木造)	0.0397	53	自動車修理	0.0033
4	小売	0.0335	54	電子計算機本体	0.0032
5	乗用車	0.0263	55	ビデオ機器	0.0032
6	道路貨物輸送	0.0254	56	電力施設建設	0.0032
7	住宅建築 (非木造)	0.0252	57	ポンプ及び圧縮機	0.0031
8	一般飲食店 (除喫茶店)	0.0212	58	有線電気通信機器	0.0031
9	医療 (産業)	0.0207	59	金属工作機械	0.0031
10	道路関係公共事業	0.0191	60	その他の非鉄金属地金	-0.0030
11	河川・下水道・その他	0.0190	61	バルブ	-0.0029
12	その他の土木建設	0.0177	62	鉄道軌道建設	0.0029
13	卸売	0.0176	63	銅	-0.0028
14	沿海・内水面輸送	0.0171	64	学校教育 (私立) ★	0.0028
15	住宅建築 (木造)	0.0168	65	鋼船	0.0026
16	公務 (地方) ★★	0.0146	66	ねり製品	0.0026
17	冷凍魚介類	0.0129	67	喫茶店	0.0026
18	原油	-0.0110	68	石油製品	0.0026
19	衣服	0.0103	69	非鉄金属鉱物	-0.0025
20	遊戯場	0.0099	70	その他の一般産業機械	0.0025
21	石炭	-0.0098	71	パン類	0.0024
22	旅館・その他の宿泊所	0.0095	72	冷間仕上鋼材	0.0024
23	廃棄物処理 (公営) ★	0.0092	73	天然ガス	-0.0024
24	トラック・バス・その	0.0086	74	新聞	0.0024
25	住宅賃貸料	0.0083	75	電気音響機器	0.0024
26	医療 (非営利) ★	0.0076	76	その他の製造工業製品	0.0024
27	公務 (中央) ★★	0.0071	77	木製家具・装備品	0.0024
28	塩・干・くん製品	0.0071	78	そう菜・すし・弁当	0.0024
29	清涼飲料	0.0067	79	めん類	0.0023
30	鉄道旅客輸送	0.0066	80	電子応用装置	0.0023
31	バス	0.0062	81	プラスチック製品	0.0023
32	菓子類	0.0060	82	化粧品・歯磨	0.0023
33	遊興飲食店	0.0060	83	運搬機械	0.0022
34	医療 (国公立) ★★	0.0059	84	運動競技場・公園・遊	0.0022
35	学校教育 (国公立) ★	0.0059	85	対家計民間非営利団体	0.0022
36	その他の民生用電気機	0.0059	86	鋼管	0.0021
37	電子計算機付属装置	0.0058	87	生命保険	0.0020
38	野菜*	0.0058	88	ビール	0.0020
39	下水道★★	0.0055	89	上水道・簡易水道	0.0020
40	その他の水産食品	0.0052	90	熱間圧延鋼材	0.0020
41	鉱山・土木建設機械	0.0048	91	タイヤ・チューブ	0.0020
42	農林関係公共事業	0.0046	92	その他の輸送機械	0.0019
43	酪農品	0.0045	93	その他の教育訓練機関	0.0019
44	ニット製品	0.0044	94	たばこ	0.0019
45	開閉制御装置及び配電	0.0044	95	その他の酒類	0.0019
46	精穀	0.0041	96	無線電気通信機器	0.0019
47	アルミニウム (含再生)	-0.0039	97	ラジオ・テレビ受信機	0.0019
48	その他の食料品	0.0039	98	めっき鋼材	0.0018
49	その他の特殊産業機械	0.0039	99	花き・花木類	0.0018
50	金型	0.0035	100	その他の教育訓練機関	0.0018

表 A.3: 最終需要に対する SO<sub>x</sub> 排出量の感度 (上位 100 部門)

順位	部門	感度	順位	部門	感度
1	外洋輸送	0.3263	51	ニット製品	0.0025
2	非住宅建築 (非木造)	0.0425	52	非鉄金属鉱物	-0.0024
3	道路貨物輸送	0.0297	53	アルミニウム (含再生)	-0.0024
4	住宅建築 (非木造)	0.0276	54	その他の非鉄金属地金	-0.0023
5	事業用電力*	0.0263	55	金型	0.0023
6	河川・下水道・その他	0.0259	56	自動車修理	0.0023
7	小売	0.0254	57	ビデオ機器	0.0023
8	道路関係公共事業	0.0248	58	その他の食料品	0.0023
9	冷凍魚介類	0.0217	59	電子計算機本体	0.0022
10	一般飲食店 (除喫茶店)	0.0215	60	自動車部品	0.0022
11	沿海・内水面輸送	0.0209	61	バルブ	-0.0022
12	その他の土木建設	0.0204	62	酪農品	0.0022
13	乗用車	0.0186	63	天然ガス	-0.0021
14	公務 (中央) ★★	0.0185	64	学校教育 (私立) ★	0.0021
15	卸売	0.0176	65	石油製品	0.0021
16	住宅建築 (木造)	0.0175	66	有線電気通信機器	0.0021
17	航空輸送	0.0142	67	喫茶店	0.0021
18	医療 (産業)	0.0141	68	金属工作機械	0.0021
19	塩・干・くん製品	0.0109	69	ポンプ及び圧縮機	0.0020
20	公務 (地方) ★★	0.0106	70	そう菜・すし・弁当	0.0019
21	旅館・その他の宿泊所	0.0096	71	鋼船	0.0019
22	バス	0.0094	72	調味料	0.0018
23	石炭	-0.0088	73	木製家具・装備品	0.0018
24	原油	-0.0088	74	対家計民間非営利団体	0.0018
25	廃棄物処理 (公営) ★	0.0079	75	運動競技場・公園・遊	0.0018
26	その他の水産食品	0.0077	76	生命保険	0.0018
27	住宅賃貸料	0.0075	77	その他の一般産業機械	0.0017
28	遊戯場	0.0072	78	電子応用装置	0.0017
29	農林関係公共事業	0.0064	79	電気音響機器	0.0017
30	鉄道旅客輸送	0.0064	80	その他の製造工業製品	0.0016
31	トラック・バス・その	0.0060	81	運搬機械	0.0016
32	衣服	0.0059	82	鋼管	0.0016
33	遊興飲食店	0.0055	83	化粧品・歯磨	0.0016
34	医療 (非営利) ★	0.0050	84	冷間仕上鋼材	0.0016
35	学校教育 (国公立) ★	0.0044	85	非住宅建築 (木造)	0.0016
36	電子計算機付属装置	0.0042	86	熱間圧延鋼材	0.0015
37	その他の民生用電気機	0.0041	87	下水道★★	0.0015
38	医療 (国公立) ★★	0.0041	88	プラスチック製品	0.0015
39	精穀	0.0040	89	身辺細貨品	0.0015
40	清涼飲料	0.0035	90	パン類	0.0015
41	ねり製品	0.0034	91	新聞	0.0014
42	鉄道軌道建設	0.0034	92	廃棄物処理 (産業)	0.0014
43	菓子類	0.0032	93	都市ガス	0.0014
44	鉱山・土木建設機械	0.0032	94	分類不明	-0.0014
45	電力施設建設	0.0030	95	めん類	0.0014
46	開閉制御装置及び配電	0.0029	96	鉄鉱石	-0.0014
47	海面養殖業	0.0028	97	ラジオ・テレビ受信機	0.0014
48	その他の特殊産業機械	0.0027	98	上水道・簡易水道	0.0013
49	ハイヤー・タクシー	0.0027	99	洗濯・洗張・染物業	0.0013
50	野菜*	0.0026	100	その他の輸送機械	0.0013

表 A.4: 最終需要に対する NO<sub>x</sub> 排出量の感度 (上位 100 部門)

## 付録 B

### 直接排出強度の変動に対する感度 (上位 100 部門)

B.1 CO<sub>2</sub> 排出量

B.2 エネルギー消費

B.3 SO<sub>x</sub> 排出量

B.4 NO<sub>x</sub> 排出量



順位	部門	感度	順位	部門	感度
1	事業用電力*	0.2944	51	熱可塑性樹脂	0.0018
2	自家発電	0.0760	52	その他のガラス製品	0.0018
3	鉄鉄	0.0703	53	その他の教育訓練機関	0.0017
4	セメント	0.0602	54	自動車部品	0.0017
5	自家用旅客自動車輸送	0.0361	55	アンモニア	0.0017
6	自家用貨物自動車輸送	0.0337	56	染色整理	0.0017
7	外洋輸送	0.0333	57	旅館・その他の宿泊所	0.0016
8	道路貨物輸送	0.0314	58	プラスチック製品	0.0015
9	廃棄物処理 (産業)	0.0264	59	陶磁器	0.0015
10	廃棄物処理 (公営) ★	0.0177	60	その他の食料品	0.0014
11	石油製品	0.0176	61	学校教育 (国公立) ★	0.0014
12	航空輸送	0.0165	62	住宅賃貸料	0.0013
13	石炭製品	0.0153	63	遊興飲食店	0.0013
14	鑄鉄品及び鍛工品 (鉄)	0.0135	64	亜鉛 (含再生)	0.0012
15	沿海・内水面輸送	0.0127	65	住宅建築 (非木造)	0.0012
16	海面漁業*	0.0117	66	フェロアロイ	0.0012
17	洋紙・和紙	0.0093	67	不動産賃貸業	0.0012
18	パルプ	0.0089	68	建設補修	0.0012
19	粗鋼 (転炉)	-0.0086	69	粗鋼 (電気炉)	0.0012
20	小売	0.0085	70	鉄道旅客輸送	0.0011
21	公務 (中央) ★★	0.0084	71	洗濯・洗張・染物業	0.0011
22	熱間圧延鋼材	0.0081	72	セメント製品	0.0011
23	その他の窯業・土石製	0.0076	73	医療 (国公立) ★★	0.0011
24	分類不明	0.0060	74	土木建築サービス	0.0011
25	石油化学基礎製品	0.0057	75	その他の建設用土石製	0.0011
26	ハイヤー・タクシー	0.0052	76	鋼管	0.0010
27	卸売	0.0051	77	その他の鉄鋼製品	0.0010
28	医療 (産業)	0.0046	78	合成ゴム	0.0010
29	バス	0.0041	79	学校教育 (私立) ★	0.0010
30	熱硬化性樹脂	0.0039	80	農林関係公共事業	0.0010
31	企業内研究開発	0.0037	81	浴場業	0.0009
32	公務 (地方) ★★	0.0035	82	花き・花木類	0.0009
33	板紙	0.0034	83	清涼飲料	0.0009
34	下水道★★	0.0031	84	都市ガス	0.0009
35	一般飲食店 (除喫茶店)	0.0031	85	板ガラス・安全ガラス	0.0009
36	遊戯場	0.0030	86	特用林産物 (含狩猟業)	0.0009
37	その他の無機化学工業	0.0028	87	合成繊維	0.0009
38	河川・下水道・その他	0.0027	88	アルミニウム (含再生)	0.0009
39	冷間仕上鋼材	0.0025	89	酪農品	0.0009
40	石油化学系芳香族製品	0.0025	90	その他の教育訓練機関	0.0008
41	道路関係公共事業	0.0024	91	衣服	0.0008
42	脂肪族中間物	0.0023	92	鑄鍛鋼	0.0008
43	環式中間物	0.0021	93	その他の化学最終製品	0.0008
44	その他の対事業所サー	0.0021	94	非鉄金属鑄鍛造品	0.0008
45	非住宅建築 (非木造)	0.0021	95	その他の金属製品	0.0007
46	医療 (非営利) ★	0.0020	96	その他の有機化学工業	0.0007
47	ソーダ工業製品	0.0019	97	菓子類	0.0007
48	めっき鋼材	0.0019	98	米	0.0007
49	野菜*	0.0019	99	乗用車	0.0007
50	その他の土木建設	0.0018	100	鑄鉄管	0.0007

表 B.1: 直接排出強度に対する CO<sub>2</sub> 排出量の感度 (上位 100 部門)

順位	部門	感度	順位	部門	感度
1	事業用電力*	0.2976	51	その他の土木建設	0.0024
2	鉄鋼	0.0709	52	その他の金属製品	0.0024
3	自家用旅客自動車輸送	0.0363	53	めっき鋼材	0.0022
4	自家発電	0.0351	54	染色整理	0.0022
5	自家用貨物自動車輸送	0.0335	55	熱可塑性樹脂	0.0022
6	外洋輸送	0.0317	56	不動産賃貸業	0.0022
7	道路貨物輸送	0.0316	57	学校教育(国公立)★	0.0022
8	石油製品	0.0228	58	アンモニア	0.0021
9	セメント	0.0187	59	建設補修	0.0020
10	航空輸送	0.0168	60	合成繊維	0.0020
11	小売	0.0142	61	圧縮ガス・液化ガス	0.0020
12	沿海・内水面輸送	0.0123	62	その他の食料品	0.0020
13	海面漁業*	0.0114	63	その他のガラス製品	0.0020
14	熱間圧延鋼材	0.0106	64	半導体素子・集積回路	0.0020
15	洋紙・和紙	0.0103	65	粗鋼(転炉)	-0.0019
16	石炭製品	0.0099	66	フェロアロイ	0.0019
17	パルプ	0.0096	67	その他の電子・通信機	0.0019
18	公務(中央)★★	0.0087	68	陶磁器	0.0019
19	鋳鉄品及び鍛工品(鉄)	0.0081	69	野菜*	0.0019
20	医療(産業)	0.0074	70	住宅建築(非木造)	0.0018
21	石油化学基礎製品	0.0071	71	遊興飲食店	0.0017
22	分類不明	0.0069	72	その他の教育訓練機関	0.0017
23	卸売	0.0069	73	乗用車	0.0017
24	企業内研究開発	0.0063	74	自動車用内燃機関・同	0.0017
25	ハイヤー・タクシー	0.0060	75	アルミニウム(含再生)	0.0016
26	鉄道旅客輸送	0.0059	76	医薬品	0.0016
27	公務(地方)★★	0.0057	77	医療(国公立)★★	0.0015
28	遊戯場	0.0053	78	衣服	0.0015
29	熱硬化性樹脂	0.0050	79	印刷・製版・製本	0.0015
30	プラスチック製品	0.0049	80	その他の有機化学工業	0.0015
31	一般飲食店(除喫茶店)	0.0049	81	学校教育(私立)★	0.0014
32	粗鋼(電気炉)	0.0046	82	セメント製品	0.0014
33	板紙	0.0045	83	都市ガス	0.0014
34	下水道★★	0.0042	84	鋼管	0.0014
35	バス	0.0041	85	住宅賃貸料	0.0014
36	自動車部品	0.0039	86	洗濯・洗張・染物業	0.0014
37	上水道・簡易水道	0.0038	87	酪農品	0.0014
38	冷間仕上鋼材	0.0037	88	農林関係公共事業	0.0013
39	河川・下水道・その他	0.0037	89	合成ゴム	0.0013
40	非住宅建築(非木造)	0.0036	90	菓子類	0.0013
41	ソーダ工業製品	0.0036	91	板ガラス・安全ガラス	0.0012
42	医療(非営利)★	0.0033	92	土木建築サービス	0.0012
43	脂肪族中間物	0.0033	93	清涼飲料	0.0012
44	道路関係公共事業	0.0031	94	その他の建設用土石製	0.0011
45	石油化学系芳香族製品	0.0030	95	その他の化学最終製品	0.0011
46	環式中間物	0.0030	96	浴場業	0.0011
47	その他の無機化学工業	0.0028	97	鋳鍛鋼	0.0011
48	旅館・その他の宿泊所	0.0028	98	道路輸送施設提供	0.0011
49	その他の窯業・土石製	0.0028	99	その他のゴム製品	0.0011
50	その他の対事業所サー	0.0027	100	建築用金属製品	0.0010

表 B.2: 直接排出強度に対するエネルギー消費の感度 (上位 100 部門)

順位	部門	感度	順位	部門	感度
1	外洋輸送	0.264051376	51	分類不明	0.00177565
2	事業用電力*	0.140989328	52	公務(中央)★★	0.00171702
3	沿海・内水面輸送	0.077515467	53	セメント製品	0.001701462
4	自家発電	0.066109607	54	その他のゴム製品	0.001667781
5	道路貨物輸送	0.059104438	55	その他のガラス製品	0.001608508
6	自家用貨物自動車輸送	0.047189733	56	板ガラス・安全ガラス	0.001525406
7	海面漁業*	0.036329203	57	調味料	0.001521269
8	自家用旅客自動車輸送	0.019576825	58	ぶどう糖・水あめ・異	0.001494895
9	鉄鉄	0.01721886	59	亜鉛(含再生)	0.001494756
10	廃棄物処理(産業)	0.012802653	60	鑄鍛鋼	0.001486625
11	小売	0.009036093	61	耐火物	0.001458013
12	廃棄物処理(公営)★	0.008760073	62	レーヨン・アセテート	0.001447215
13	洋紙・和紙	0.008284544	63	医療(国公立)★★	0.001407668
14	鑄鉄品及び鍛工品(鉄)	0.007766361	64	自動車部品	0.001380067
15	バス	0.007640238	65	その他の教育訓練機関	0.001358264
16	下水道★★	0.006735632	66	その他の酒類	0.001294918
17	石油製品	0.005677283	67	フェロアロイ	0.001268665
18	卸売	0.005563872	68	河川・下水道・その他	0.001227661
19	板紙	0.005495076	69	非鉄金属鑄鍛造品	0.001205411
20	医療(産業)	0.005211765	70	植物油脂	0.001182889
21	野菜*	0.005148657	71	菓子類	0.001155677
22	企業内研究開発	0.004915151	72	一般飲食店(除喫茶店)	0.001151758
23	冷間仕上鋼材	0.004905107	73	道路関係公共事業	0.001116062
24	セメント	0.004754162	74	ビール	0.00110436
25	公務(地方)★★	0.004199071	75	その他の建設用土石製	0.001084186
26	染色整理	0.004130262	76	陶磁器	0.001048987
27	脂肪族中間物	0.003491796	77	合成繊維	0.001044506
28	銅	0.00327446	78	海面養殖業	0.001044159
29	石炭製品	0.003267017	79	特用林産物(含狩猟業)	0.001033887
30	熱間圧延鋼材	0.003167394	80	衣服	0.000963012
31	パルプ	0.003092155	81	めん類	0.000956226
32	プラスチック製品	0.002959791	82	アルミニウム(含再生)	0.000945447
33	熱硬化性樹脂	0.002955858	83	非住宅建築(非木造)	0.000918614
34	その他の食料品	0.002824903	84	その他の化学最終製品	0.000911019
35	熱可塑性樹脂	0.002759695	85	建設補修	0.000885205
36	酪農品	0.002710679	86	内水面漁業・養殖業*	0.000881643
37	合成ゴム	0.002615161	87	広告	0.000878013
38	タイヤ・チューブ	0.002490837	88	学校教育(国公立)★	0.000858803
39	その他の教育訓練機関	0.002342033	89	塩	0.00084345
40	環式中間物	0.002330634	90	旅館・その他の宿泊所	0.000824177
41	その他の無機化学工業	0.00232266	91	航空輸送	0.000776832
42	ソーダ工業製品	0.002255219	92	住宅賃貸料	0.000773282
43	遊戯場	0.002226932	93	その他の金属製品	0.000703646
44	港湾運送	0.00221687	94	学校教育(私立)★	0.00062166
45	清涼飲料	0.002135632	95	不動産賃貸業	0.000621104
46	医療(非営利)★	0.002114882	96	紙製衛生材料・用品	0.000597414
47	砂糖	0.002108198	97	その他の合成樹脂	0.000593603
48	その他の窯業・土石製	0.002060665	98	石油化学基礎製品	0.000564939
49	鉄道旅客輸送	0.002041496	99	アンモニア	0.00056457
50	花き・花木類	0.001895084	100	遊興飲食店	0.000564096

表 B.3: 直接排出強度に対する SO<sub>x</sub> 排出量の感度 (上位 100 部門)

順位	部門	感度	順位	部門	感度
1	外洋輸送	0.323725086	51	その他の無機化学工業	0.000757459
2	沿海・内水面輸送	0.095203945	52	ソーダ工業製品	0.000749745
3	事業用電力*	0.081302953	53	染色整理	0.000748512
4	道路貨物輸送	0.070436446	54	野菜*	0.000732112
5	自家用貨物自動車輸送	0.06847878	55	非住宅建築(非木造)	0.000726809
6	海面漁業*	0.063963189	56	その他の土木建設	0.000709019
7	セメント	0.04176987	57	陶磁器	0.000675423
8	自家発電	0.03463119	58	通運	0.000614046
9	航空輸送	0.027500537	59	医療(非営利)★	0.000586968
10	自家用旅客自動車輸送	0.026075018	60	鉄道貨物輸送	0.000580404
11	公務(中央)★★	0.013302349	61	プラスチック製品	0.000579312
12	銑鉄	0.01230683	62	自動車部品	0.000578002
13	バス	0.012232896	63	粗鋼(転炉)	0.000574251
14	廃棄物処理(産業)	0.010982074	64	合成ゴム	0.000568953
15	廃棄物処理(公営)★	0.007432789	65	その他の対事業所サー	0.000567427
16	石炭製品	0.005855391	66	ガラス繊維・同製品	0.000564947
17	鉄道旅客輸送	0.004901625	67	遊興飲食店	0.000557695
18	石油製品	0.004638422	68	その他の食料品	0.000557641
19	港湾運送	0.00443883	69	その他の教育訓練機関	0.000541258
20	ハイヤー・タクシー	0.003271506	70	石炭	0.000528543
21	パルプ	0.003060245	71	フェロアロイ	0.00049783
22	その他のガラス製品	0.002997281	72	めっき鋼材	0.000478292
23	分類不明	0.002573726	73	その他の建設用土石製	0.000463055
24	熱間圧延鋼材	0.002568024	74	建設補修	0.000462552
25	石油化学基礎製品	0.00221348	75	合成繊維	0.000461606
26	小売	0.002207966	76	住宅建築(非木造)	0.000454889
27	板ガラス・安全ガラス	0.002123726	77	航空機	0.000446008
28	海面養殖業	0.002082644	78	板紙	0.00040757
29	その他の窯業・土石製	0.001853221	79	複合肥料	0.00038461
30	熱硬化性樹脂	0.001811934	80	アルミニウム(含再生)	0.000383396
31	内水面漁業・養殖業*	0.001764441	81	タイヤ・チューブ	0.000374248
32	粗鋼(電気炉)	0.001561081	82	農林関係公共事業	0.000372569
33	旅館・その他の宿泊所	0.001405224	83	学校教育(国公立)★	0.0003416
34	卸売	0.00138064	84	花き・花木類	0.000336795
35	一般飲食店(除喫茶店)	0.001300155	85	酪農品	0.000336099
36	洋紙・和紙	0.001252071	86	特用林産物(含狩猟業)	0.000329627
37	医療(産業)	0.001251789	87	清涼飲料	0.000328897
38	アンモニア	0.001192952	88	鋼管	0.000327942
39	脂肪族中間物	0.001151431	89	医療(国公立)★★	0.000320345
40	公務(地方)★★	0.001141556	90	住宅賃貸料	0.000319465
41	河川・下水道・その他	0.001089183	91	不動産賃貸業	0.000318661
42	石油化学系芳香族製品	0.001006075	92	その他の化学最終製品	0.000314983
43	下水道★★	0.001002418	93	洗濯・洗張・染物業	0.000305351
44	環式中間物	0.000994689	94	乗用車	0.000302543
45	道路関係公共事業	0.000964865	95	鋳鉄品及び鍛工品(鉄)	0.000301321
46	企業内研究開発	0.000918858	96	学校教育(私立)★	0.000295985
47	遊戯場	0.000871874	97	炭素・黒鉛製品	0.000290295
48	冷間仕上鋼材	0.000836464	98	その他の教育訓練機関	0.000265228
49	熱可塑性樹脂	0.000820277	99	耐火物	0.000261785
50	セメント製品	0.00078565	100	鋳鍛鋼	0.000260074

表 B.4: 直接排出強度に対する NO<sub>x</sub> 排出量の感度 (上位 100 部門)

## 付録 C

### 投入係数の変動に対する感度 (上位 100 部門)

C.1 CO<sub>2</sub> 排出量

C.2 エネルギー消費

C.3 SO<sub>x</sub> 排出量

C.4 NO<sub>x</sub> 排出量

順位	投入元部門	投入先部門	感度	順位	投入元部門	投入先部門	感度
1	粗鋼（転炉）	熱間圧延鋼材	0.0862	51	事業用電力*	公務（地方）★★	0.0052
2	鉄鉄	粗鋼（転炉）	0.0839	52	自家発電	粗鋼（転炉）	0.0052
3	セメント	生コンクリート	0.0448	53	石油化学基礎製品	熱可塑性樹脂	0.0049
4	熱間圧延鋼材	冷間仕上鋼材	0.0354	54	自家発電	熱間圧延鋼材	0.0048
5	粗鋼（電気炉）	熱間圧延鋼材	0.0202	55	事業用電力*	粗鋼（電気炉）	0.0048
6	外洋輸送	外洋輸送	0.0176	56	アルミニウム（含再生	アルミ圧延製品	0.0048
7	自動車部品	自動車部品	0.0172	57	新聞	広告	0.0047
8	パルプ	洋紙・和紙	0.0169	58	自動車部品	自動車修理	0.0047
9	石炭製品	鉄鉄	0.0153	59	自家用貨物自動車輸送	小売	0.0046
10	原油	石油製品	0.0152	60	事業用電力*	熱間圧延鋼材	0.0046
11	事業用電力*	小売	0.0142	61	生コンクリート	その他の土木建設	0.0044
12	自動車部品	乗用車	0.0133	62	建築用金属製品	非住宅建築（非木造）	0.0044
13	洋紙・和紙	印刷・製版・製本	0.0129	63	自家発電	パルプ	0.0043
14	自家発電	洋紙・和紙	0.0121	64	事業用電力*	卸売	0.0042
15	熱可塑性樹脂	プラスチック製品	0.0117	65	脂肪族中間物	脂肪族中間物	0.0042
16	熱間圧延鋼材	鉄鋼シャースリット業	0.0116	66	自動車用内燃機関・同	自動車用内燃機関・同	0.0041
17	熱間圧延鋼材	鋼管	0.0113	67	廃棄物処理（産業）	公務（地方）★★	0.0041
18	生コンクリート	非住宅建築（非木造）	0.0106	68	その他のパルプ・紙・	事務用品	0.0039
19	鉄鉄	粗鋼（電気炉）	0.0102	69	石油化学基礎製品	脂肪族中間物	0.0038
20	セメント	セメント製品	0.0101	70	セメント製品	河川・下水道・その他	0.0038
21	生コンクリート	河川・下水道・その他	0.0099	71	熱硬化性樹脂	プラスチック製品	0.0038
22	冷間仕上鋼材	めっき鋼材	0.0097	72	鉄鉄	鋳鉄品及び鍛工品（鉄	0.0037
23	プラスチック製品	プラスチック製品	0.0094	73	石油製品	自家用貨物自動車輸送	0.0036
24	海面漁業*	冷凍魚介類	0.0092	74	天然ガス	事業用電力*	0.0036
25	石炭	石炭製品	0.0091	75	その他の電子・通信機	その他の電子・通信機	0.0036
26	生コンクリート	道路関係公共事業	0.0085	76	事業用電力*	自動車部品	0.0036
27	自家用旅客自動車輸送	卸売	0.0075	77	米	精穀	0.0036
28	洋紙・和紙	新聞	0.0075	78	石炭	事業用電力*	0.0035
29	熱間圧延鋼材	建設用金属製品	0.0074	79	冷間仕上鋼材	その他の金属製品	0.0034
30	熱間圧延鋼材	非住宅建築（非木造）	0.0071	80	鉄鉱石	鉄鉄	0.0034
31	生コンクリート	住宅建築（非木造）	0.0070	81	事業用電力*	ソーダ工業製品	0.0033
32	建設用金属製品	非住宅建築（非木造）	0.0070	82	パルプ	板紙	0.0033
33	冷間仕上鋼材	鉄鋼シャースリット業	0.0069	83	熱間圧延鋼材	道路関係公共事業	0.0033
34	自家用貨物自動車輸送	卸売	0.0067	84	事業用電力*	一般飲食店（除喫茶店	0.0032
35	事業用電力*	鉄道旅客輸送	0.0063	85	石油化学系芳香族製品	環式中間物	0.0032
36	事業用電力*	医療（産業）	0.0062	86	自動車車体	乗用車	0.0032
37	事業用電力*	企業内研究開発	0.0062	87	絹・人絹織物（含合繊	衣服	0.0032
38	熱間圧延鋼材	住宅建築（非木造）	0.0062	88	建築用金属製品	住宅建築（非木造）	0.0031
39	医薬品	医療（産業）	0.0061	89	自家発電	ソーダ工業製品	0.0031
40	板紙	段ボール	0.0060	90	洋紙・和紙	事務用品	0.0031
41	建設補修	住宅賃貸料	0.0059	91	自家発電	板紙	0.0031
42	事業用電力*	上水道・簡易水道	0.0057	92	事業用電力*	圧縮ガス・液化ガス	0.0031
43	鋳鉄品及び鍛工品（鉄	自動車部品	0.0057	93	石油製品	石油化学基礎製品	0.0031
44	自動車用内燃機関・同	乗用車	0.0056	94	自家発電	鉄鉄	0.0031
45	事業用電力*	遊戯場	0.0055	95	自家発電	鉄道旅客輸送	0.0031
46	段ボール	段ボール箱	0.0055	96	セメント製品	道路関係公共事業	0.0030
47	石油製品	自家用旅客自動車輸送	0.0053	97	事業用電力*	医療（非営利）★	0.0030
48	自動車部品	トラック・バス・その	0.0053	98	自家発電	セメント	0.0030
49	事業用電力*	プラスチック製品	0.0053	99	自家発電	脂肪族中間物	0.0030
50	自家用旅客自動車輸送	小売	0.0052	100	生コンクリート	建設補修	0.0029

表 C.1: 投入係数に対する CO<sub>2</sub> 排出量の感度（上位 100 部門）

順位	投入元部門	投入先部門	感度	順位	投入元部門	投入先部門	感度
1	粗鋼（転炉）	熱間圧延鋼材	0.0876	51	自家用貨物自動車輸送	小売	0.0047
2	銑鉄	粗鋼（転炉）	0.0808	52	事業用電力*	熱間圧延鋼材	0.0046
3	熱間圧延鋼材	冷間仕上鋼材	0.0366	53	自動車用内燃機関・同	自動車用内燃機関・同	0.0046
4	粗鋼（電気炉）	熱間圧延鋼材	0.0233	54	生コンクリート	非住宅建築（非木造）	0.0046
5	自動車部品	自動車部品	0.0183	55	鉄鉱石	銑鉄	0.0045
6	外洋輸送	外洋輸送	0.0169	56	天然ガス	事業用電力*	0.0044
7	原油	石油製品	0.0161	57	鋳鉄品及び鍛工品（鉄	自動車部品	0.0044
8	セメント	生コンクリート	0.0160	58	生コンクリート	河川・下水道・その他	0.0043
9	パルプ	洋紙・和紙	0.0154	59	その他の電子・通信機	その他の電子・通信機	0.0043
10	事業用電力*	小売	0.0143	60	事業用電力*	卸売	0.0043
11	自動車部品	乗用車	0.0142	61	新聞	広告	0.0042
12	熱間圧延鋼材	鉄鋼シャースリット業	0.0120	62	石油化学基礎製品	脂肪族中間物	0.0042
13	熱間圧延鋼材	鋼管	0.0117	63	脂肪族中間物	脂肪族中間物	0.0042
14	石炭製品	銑鉄	0.0117	64	石油製品	自家用貨物自動車輸送	0.0041
15	熱可塑性樹脂	プラスチック製品	0.0114	65	熱硬化性樹脂	プラスチック製品	0.0041
16	洋紙・和紙	印刷・製版・製本	0.0108	66	米	精穀	0.0037
17	プラスチック製品	プラスチック製品	0.0104	67	生コンクリート	道路関係公共事業	0.0037
18	冷間仕上鋼材	めっき鋼材	0.0100	68	その他のパルプ・紙・	事務用品	0.0036
19	銑鉄	粗鋼（電気炉）	0.0099	69	事業用電力*	自動車部品	0.0036
20	海面漁業*	冷凍魚介類	0.0091	70	セメント	セメント製品	0.0036
21	石炭	石炭製品	0.0084	71	銑鉄	鋳鉄品及び鍛工品（鉄	0.0036
22	自家用旅客自動車輸送	卸売	0.0077	72	石油化学系芳香族製品	環式中間物	0.0035
23	熱間圧延鋼材	建設用金属製品	0.0076	73	冷間仕上鋼材	その他の金属製品	0.0035
24	熱間圧延鋼材	非住宅建築（非木造）	0.0074	74	石油製品	石油化学基礎製品	0.0034
25	建設用金属製品	非住宅建築（非木造）	0.0073	75	建築用金属製品	住宅建築（非木造）	0.0034
26	冷間仕上鋼材	鉄鋼シャースリット業	0.0072	76	絹・人絹織物（含合繊	衣服	0.0034
27	自家用貨物自動車輸送	卸売	0.0068	77	自動車車体	乗用車	0.0034
28	医薬品	医療（産業）	0.0066	78	熱間圧延鋼材	道路関係公共事業	0.0034
29	事業用電力*	鉄道旅客輸送	0.0064	79	事業用電力*	ソーダ工業製品	0.0034
30	熱間圧延鋼材	住宅建築（非木造）	0.0064	80	事業用電力*	一般飲食店（除喫茶店	0.0033
31	事業用電力*	医療（産業）	0.0063	81	石炭	事業用電力*	0.0033
32	自動車用内燃機関・同	乗用車	0.0063	82	フェロアロイ	粗鋼（転炉）	0.0032
33	事業用電力*	企業内研究開発	0.0063	83	フェロアロイ	粗鋼（電気炉）	0.0032
34	洋紙・和紙	新聞	0.0063	84	事業用電力*	圧縮ガス・液化ガス	0.0031
35	石油製品	自家用旅客自動車輸送	0.0060	85	生コンクリート	住宅建築（非木造）	0.0031
36	事業用電力*	上水道・簡易水道	0.0058	86	アルミ圧延製品	建築用金属製品	0.0030
37	建設補修	住宅賃貸料	0.0058	87	パルプ	板紙	0.0030
38	自家発電	洋紙・和紙	0.0057	88	事業用電力*	医療（非営利）★	0.0030
39	自動車部品	トラック・バス・その	0.0056	89	鉄鋼シャースリット業	金属製容器及び製缶板	0.0030
40	事業用電力*	遊戯場	0.0056	90	自動車修理	自家用旅客自動車輸送	0.0029
41	板紙	段ボール	0.0056	91	鉄鋼シャースリット業	建設用金属製品	0.0029
42	石油化学基礎製品	熱可塑性樹脂	0.0054	92	石油製品	事業用電力*	0.0029
43	自家用旅客自動車輸送	小売	0.0054	93	環式中間物	熱可塑性樹脂	0.0029
44	事業用電力*	プラスチック製品	0.0053	94	石油製品	道路貨物輸送	0.0029
45	事業用電力*	公務（地方）★★	0.0053	95	自家用貨物自動車輸送	砕石	0.0028
46	段ボール	段ボール箱	0.0051	96	高機能性樹脂	プラスチック製品	0.0028
47	自動車部品	自動車修理	0.0050	97	めっき鋼材	金属製容器及び製缶板	0.0028
48	アルミニウム（含再生	アルミ圧延製品	0.0049	98	自動車部品	自動車車体	0.0028
49	事業用電力*	粗鋼（電気炉）	0.0048	99	事業用電力*	冷間仕上鋼材	0.0028
50	建築用金属製品	非住宅建築（非木造）	0.0047	100	自家用貨物自動車輸送	砂利・採石	0.0027

表 C.2: 投入係数に対するエネルギー消費の感度（上位 100 部門）

順位	投入元部門	投入先部門	感度	順位	投入元部門	投入先部門	感度
1	外洋輸送	外洋輸送	0.1334	51	自動車部品	自動車修理	0.0033
2	粗鋼（転炉）	熱間圧延鋼材	0.0361	52	絹・人絹織物（含合織）	衣服	0.0033
3	銑鉄	粗鋼（転炉）	0.0269	53	熱間圧延鋼材	非住宅建築（非木造）	0.0032
4	海面漁業*	冷凍魚介類	0.0257	54	海面漁業*	その他の水産食品	0.0032
5	熱間圧延鋼材	冷間仕上鋼材	0.0159	55	生コンクリート	非住宅建築（非木造）	0.0032
6	自動車部品	自動車部品	0.0121	56	事業用電力*	鉄道旅客輸送	0.0032
7	自家発電	洋紙・和紙	0.0106	57	その他のパルプ・紙・	事務用品	0.0031
8	原油	石油製品	0.0099	58	事業用電力*	医療（産業）	0.0031
9	パルプ	洋紙・和紙	0.0098	59	鋳鉄品及び鍛工品（鉄）	自動車部品	0.0031
10	洋紙・和紙	印刷・製版・製本	0.0096	60	建築用金属製品	非住宅建築（非木造）	0.0031
11	粗鋼（電気炉）	熱間圧延鋼材	0.0094	61	事業用電力*	企業内研究開発	0.0031
12	自動車部品	乗用車	0.0093	62	石油製品	自家用旅客自動車輸送	0.0031
13	自家用貨物自動車輸送	卸売	0.0090	63	沿海・内水面輸送	事業用電力*	0.0030
14	熱可塑性樹脂	プラスチック製品	0.0090	64	生コンクリート	河川・下水道・その他	0.0030
15	プラスチック製品	プラスチック製品	0.0076	65	自動車用内燃機関・同	自動車用内燃機関・同	0.0030
16	事業用電力*	小売	0.0071	66	海面漁業*	塩・干・くん製品	0.0029
17	石炭製品	銑鉄	0.0068	67	熱硬化性樹脂	プラスチック製品	0.0029
18	セメント	生コンクリート	0.0067	68	事業用電力*	上水道・簡易水道	0.0029
19	石炭	石炭製品	0.0067	69	熱間圧延鋼材	住宅建築（非木造）	0.0028
20	沿海・内水面輸送	道路貨物輸送	0.0066	70	沿海・内水面輸送	石油製品	0.0028
21	自家用貨物自動車輸送	小売	0.0063	71	事業用電力*	遊戯場	0.0027
22	板紙	段ボール	0.0059	72	自家発電	ソーダ工業製品	0.0027
23	段ボール	段ボール箱	0.0056	73	自家用貨物自動車輸送	非住宅建築（非木造）	0.0027
24	冷間仕上鋼材	めっき鋼材	0.0056	74	沿海・内水面輸送	生コンクリート	0.0027
25	洋紙・和紙	新聞	0.0055	75	自家発電	板紙	0.0027
26	熱間圧延鋼材	鉄鋼シャースリット業	0.0052	76	自家発電	銑鉄	0.0027
27	熱間圧延鋼材	鋼管	0.0051	77	自家発電	鉄道旅客輸送	0.0027
28	銅	電線・ケーブル	0.0050	78	その他の電子・通信機	その他の電子・通信機	0.0026
29	医薬品	医療（産業）	0.0049	79	冷凍魚介類	一般飲食店（除喫茶店）	0.0026
30	自家用旅客自動車輸送	卸売	0.0049	80	事業用電力*	プラスチック製品	0.0026
31	自家発電	粗鋼（転炉）	0.0045	81	石炭	事業用電力*	0.0026
32	自家発電	熱間圧延鋼材	0.0042	82	事業用電力*	公務（地方）★★	0.0026
33	アルミニウム（含再生）	アルミ圧延製品	0.0042	83	自家発電	セメント	0.0026
34	沿海・内水面輸送	自家用旅客自動車輸送	0.0041	84	自家発電	脂肪族中間物	0.0026
35	冷凍魚介類	塩・干・くん製品	0.0041	85	生コンクリート	道路関係公共事業	0.0026
36	沿海・内水面輸送	自家用貨物自動車輸送	0.0040	86	染色整理	絹・人絹織物（含合織）	0.0025
37	自動車用内燃機関・同	乗用車	0.0040	87	高機能性樹脂	プラスチック製品	0.0024
38	建設補修	住宅賃貸料	0.0040	88	アルミ圧延製品	建築用金属製品	0.0024
39	冷間仕上鋼材	鉄鋼シャースリット業	0.0040	89	自家発電	熱可塑性樹脂	0.0024
40	建設用金属製品	非住宅建築（非木造）	0.0039	90	事業用電力*	粗鋼（電気炉）	0.0024
41	自家用貨物自動車輸送	砕石	0.0038	91	自家発電	石油製品	0.0023
42	自家発電	パルプ	0.0037	92	洋紙・和紙	事務用品	0.0023
43	自動車部品	トラック・バス・その	0.0037	93	銅	伸銅品	0.0023
44	自家用貨物自動車輸送	砂利・採石	0.0036	94	事業用電力*	熱間圧延鋼材	0.0023
45	新聞	広告	0.0036	95	建築用金属製品	住宅建築（非木造）	0.0022
46	脂肪族中間物	脂肪族中間物	0.0034	96	アルミニウム（含再生）	非鉄金属鋳造品	0.0022
47	自家用旅客自動車輸送	小売	0.0034	97	フェロアロイ	粗鋼（転炉）	0.0022
48	熱間圧延鋼材	建設用金属製品	0.0033	98	自動車修理	自家用旅客自動車輸送	0.0021
49	米	精穀	0.0033	99	フェロアロイ	粗鋼（電気炉）	0.0021
50	銑鉄	粗鋼（電気炉）	0.0033	100	自動車車体	乗用車	0.0021

表 C.3: 投入係数に対する SOx 排出量の感度（上位 100 部門）



順位	投入元部門	投入先部門	感度	順位	投入元部門	投入先部門	感度
1	外洋輸送	外洋輸送	0.1637	51	洋紙・和紙	新聞	0.0029
2	海面漁業*	冷凍魚介類	0.0442	52	セメント製品	河川・下水道・その他	0.0028
3	セメント	生コンクリート	0.0305	53	鉄鉄	粗鋼（電気炉）	0.0027
4	粗鋼（転炉）	熱間圧延鋼材	0.0282	54	冷凍魚介類	ねり製品	0.0026
5	鉄鉄	粗鋼（転炉）	0.0221	55	冷間仕上鋼材	鉄鋼シャースリット業	0.0026
6	熱間圧延鋼材	冷間仕上鋼材	0.0124	56	熱間圧延鋼材	建設用金属製品	0.0026
7	自家用貨物自動車輸送	卸売	0.0123	57	石油製品	自家用旅客自動車輸送	0.0026
8	自家用貨物自動車輸送	小売	0.0086	58	自動車用内燃機関・同	乗用車	0.0025
9	生コンクリート	非住宅建築（非木造）	0.0085	59	アルミニウム（含再生	アルミ圧延製品	0.0025
10	粗鋼（電気炉）	熱間圧延鋼材	0.0081	60	熱間圧延鋼材	非住宅建築（非木造）	0.0025
11	沿海・内水面輸送	道路貨物輸送	0.0081	61	海面漁業*	海面養殖業	0.0025
12	石炭製品	鉄鉄	0.0080	62	自家用貨物自動車輸送	住宅建築（非木造）	0.0025
13	生コンクリート	河川・下水道・その他	0.0080	63	道路貨物輸送	非住宅建築（非木造）	0.0025
14	自動車部品	自動車部品	0.0079	64	自動車部品	トラック・バス・その	0.0024
15	原油	石油製品	0.0079	65	自家発電	粗鋼（転炉）	0.0024
16	パルプ	洋紙・和紙	0.0074	66	石炭	事業用電力*	0.0023
17	セメント	セメント製品	0.0069	67	生コンクリート	建設補修	0.0023
18	生コンクリート	道路関係公共事業	0.0069	68	段ボール	段ボール箱	0.0023
19	冷凍魚介類	塩・干・くん製品	0.0068	69	板紙	段ボール	0.0022
20	自動車部品	乗用車	0.0061	70	自家発電	熱間圧延鋼材	0.0022
21	石炭	石炭製品	0.0060	71	建築用金属製品	非住宅建築（非木造）	0.0022
22	熱可塑性樹脂	プラスチック製品	0.0060	72	セメント製品	道路関係公共事業	0.0022
23	自家用旅客自動車輸送	卸売	0.0058	73	砂利・採石	生コンクリート	0.0022
24	生コンクリート	住宅建築（非木造）	0.0057	74	自家用貨物自動車輸送	生コンクリート	0.0022
25	自家発電	洋紙・和紙	0.0056	75	石油化学基礎製品	熱可塑性樹脂	0.0022
26	海面漁業*	その他の水産食品	0.0055	76	熱間圧延鋼材	住宅建築（非木造）	0.0022
27	自家用貨物自動車輸送	碎石	0.0052	77	自動車部品	自動車修理	0.0021
28	海面漁業*	塩・干・くん製品	0.0051	78	新聞	広告	0.0021
29	沿海・内水面輸送	自家用旅客自動車輸送	0.0050	79	脂肪族中間物	脂肪族中間物	0.0021
30	洋紙・和紙	印刷・製版・製本	0.0050	80	セメント製品	非住宅建築（非木造）	0.0021
31	自家用貨物自動車輸送	砂利・採石	0.0050	81	港湾運送	外洋輸送	0.0021
32	沿海・内水面輸送	自家用貨物自動車輸送	0.0049	82	自家用旅客自動車輸送	非住宅建築（非木造）	0.0020
33	プラスチック製品	プラスチック製品	0.0049	83	自家発電	パルプ	0.0020
34	冷凍魚介類	一般飲食店（除喫茶店	0.0044	84	自家用貨物自動車輸送	その他の土木建設	0.0020
35	事業用電力*	小売	0.0044	85	海面養殖業	その他の水産食品	0.0020
36	熱間圧延鋼材	鉄鋼シャースリット業	0.0041	86	事業用電力*	鉄道旅客輸送	0.0020
37	自家用旅客自動車輸送	小売	0.0041	87	自家用貨物自動車輸送	住宅建築（木造）	0.0019
38	熱間圧延鋼材	鋼管	0.0040	88	生コンクリート	農林関係公共事業	0.0019
39	建設補修	住宅賃貸料	0.0039	89	事業用電力*	医療（産業）	0.0019
40	沿海・内水面輸送	事業用電力*	0.0037	90	自家用貨物自動車輸送	道路関係公共事業	0.0019
41	自家用貨物自動車輸送	非住宅建築（非木造）	0.0037	91	事業用電力*	企業内研究開発	0.0019
42	冷間仕上鋼材	めっき鋼材	0.0037	92	熱硬化性樹脂	プラスチック製品	0.0019
43	航空輸送	卸売	0.0036	93	自動車用内燃機関・同	自動車用内燃機関・同	0.0019
44	生コンクリート	その他の土木建設	0.0036	94	その他の電子・通信機	その他の電子・通信機	0.0019
45	医薬品	医療（産業）	0.0034	95	生コンクリート	住宅建築（木造）	0.0018
46	沿海・内水面輸送	石油製品	0.0034	96	廃棄物処理（産業）	公務（地方）★★	0.0018
47	沿海・内水面輸送	生コンクリート	0.0033	97	事業用電力*	下水道・簡易水道	0.0018
48	米	精穀	0.0032	98	自家用貨物自動車輸送	河川・下水道・その他	0.0017
49	建設用金属製品	非住宅建築（非木造）	0.0031	99	石油製品	自家用貨物自動車輸送	0.0017
50	海面漁業*	一般飲食店（除喫茶店	0.0030	100	道路貨物輸送	住宅建築（非木造）	0.0017

表 C.4: 投入係数に対する NOx 排出量の感度 (上位 100 部門)

あとがき

## 謝辞

本研究は、酒井信介教授の御指導のもとに行われました。研究室に配属されて以来3年間、本研究論文の作成を始め、学生生活の上で、酒井教授には多大な心配をおかけし、また幾多の親切な指導をして頂きました。先生に対する感謝は言葉には尽きません。本当にありがとうございました。

また、電力中央研究所の本藤さん

助手の高野さんには、研究会を通して、様々な助言を頂きました。本当にありがとうございました。

また、泉さんには、論文やアブストのチェック、発表の練習に夜遅くまでつきあって頂くなど、本当に親身に指導して頂きました。本当にありがとうございました。酒井・泉研となる日を楽しみにしています。

技官の浅川さんには、研究生活全般に渡って大変親切にして頂きました。これほど、のびのびと研究室生活を送れたのも、浅川さんのおかげだと思っています。ありがとうございました。

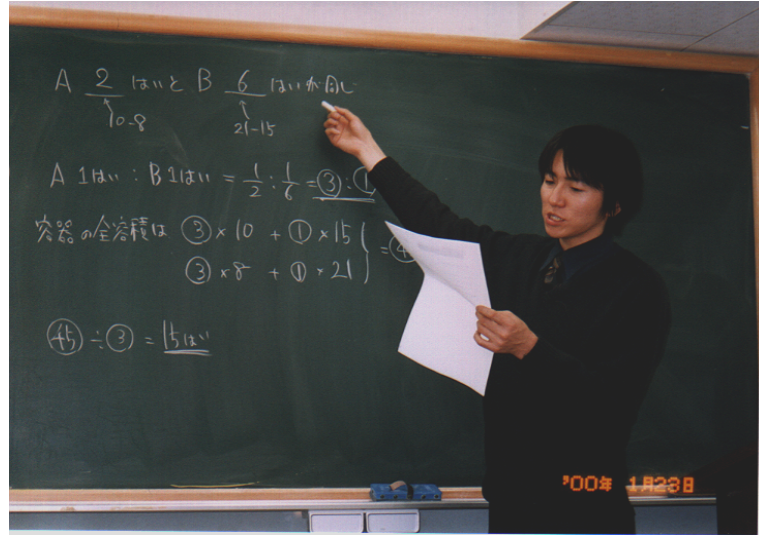
アジムさんには、計算機環境をはじめ、プログラムのことなど、色々なことを教えて頂きました。ありがとうございました。

同期の山際君とは、共に計算機環境を構築したり、研究の合間にくだらない話が出てきて、楽しかったです。夜を徹した作業の中、修論を書き上げることができたのも、彼の励ましのお蔭だと思っています。お互い進む道は違いますが、がんばりましょう。今後の活躍を期待しています。

修士1年の小野君、橋鷹君、4年生の瀬川君、原君、山口君、柴田さん短い間でしたが、楽しい研究室生活を送ることができました。ありがとう。特に、瀬川君には、研究テーマが同じLCAであったこともあり、いろいろ助けて頂きました。ありがとう。

ここに名前のあることのできなかつた方々も含め、酒井信介研究室にいる間にお世話になった方々に、改めてお礼を申し上げ、これを持って謝辞に代させていただきます。

## 著者近影



## 著者近影

## 参考文献

- [1] Koji YOKOYAMA Shinsuke SAKAI, Kohmei HALADA. Sensitivity analysis in lca using perturbation method. In *Proc. 3rd Inter. Conf. EcoBalance*, pages 55–58, 1998.
- [2] Koji YOKOYAMA Shinsuke SAKAI. Sensitivity analysis in lca using perturbation method. In *Proc. 4th Inter. Conf. ECOMATERIALS*, page 307, 1998.
- [3] 横山 晃治. ライフサイクルアセスメントにおける感度及び不確定性解析, 1998.
- [4] 丹野史朗 酒井信介, 本藤祐樹. 摂動法の導入による産業連関分析の感度解析. In 第 16回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集, pages 77–72, 2000.
- [5] R. Heijungs. A generic method for the identification of options for cleaner products. In *Proc. 4th Inter. Conf. ECOMATERIALS*, pages 69–81. Ecological Economics, 1994.
- [6] R Bellman. *Perturbation Techniques in Mathematics, Physics, and Engineering*. Rinehart and Winston, 1964.
- [7] 中桐・久田. 確率有限要素法入門. 培風館, 1985.
- [8] 内山洋司 本藤祐樹, 外岡豊. 産業連関表を用いたわが国の生産活動に伴う環境負荷の実態分析. Technical report, 電力中央研究所, 6 1998.
- [9] 内山洋司 本藤祐樹, 外岡豊. エネルギー・資源, volume 20. 1 1999.
- [10] 内山洋司 本藤祐樹, 外岡豊. 産業連関表を用いたわが国の生産活動に伴う環境負荷の実態分析-データ集-. Technical report, 電力中央研究所, 6 1998.

- 
- [11] 内山洋司 本藤祐樹, 西村一彦. 産業連関分析による財・サービス生産時のエネルギー消費量と CO<sub>2</sub> 排出量-産業連関表の lca への適用について-. Technical report, 電力中央研究所, 5 1996.
- [12] 宮沢健一, editor. 経済学入門シリーズ 産業連関分析入門. 日本経済新聞社.
- [13] LCA 実務入門編集委員会, editor. *LCA* 実務入門. 社団法人 産業環境管理協会.
- [14] 中野親徳 土居英二, 浅利一郎. はじめよう 地域産業連関分析. 日本評論社.
- [15] 通産省工業技術院 資源環境技術総合研究所, editor. 地球環境・エネルギー最前線 . 森北出版.

以上

1～94 ページ 完

修士論文

平成 12 年 2 月 10 日 提出

86195 丹野 史朗