慶應義塾大学学術情報リポジトリ
Keio Associated Repository of Academic resouces

| | |
|---|---|
| Title | 廃棄物産業連関の理論と応用 |
| Sub Title | Theory and empirical analysis of waste input-output analysis |
| Author | 中村, 愼一郎(Nakamura, Shinichiro) |
| Publisher | 慶應義塾経済学会 |
| Publication year | 2001 |
| Jtitle | 三田学会雑誌 (Keio journal of economics). Vol.94, No.1 (2001. 4) ,p.5- 22 |
| JaLC DOI | 10.14991/001.20010401-0005 |
| Abstract | |
| Notes | 小特集：地球温暖化対策および循環型社会の形成 |
| Genre | Journal Article |
| URL | https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN00234610-20010401-0005 |

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

「三田学会雑誌」94巻1号（2001年4月）

# 廃棄物産業連関の理論と応用*

中　村　慎一郎

## 1　序

廃棄物問題は究極の環境問題とも言われる。廃棄物が厄介であるのは，これが我々の経済生活に伴って不可避的に発生するためである。経済の動脈たる財生産部門に対し，廃棄物処理関連部門を指して「静脈」としたのは日本語による造語であるが，この不可避性を如実に表すものである。ところで，経済学者は従前もっぱら動脈部門における財の循環をその研究対象とし，静脈部門に対して殆ど関心を持たなかった。(1)

筆者は，ここ数年，財と廃棄物の循環を通じる動脈部門と静脈部門の間の相互連関関係を数量的に把握する手段としての廃棄物産業連関（WIO）の開発，及びその改良と応用分析に努めてきた。経済学者が産業連関分析に対する理論的な関心を失って久しいようである。しかし，廃棄物への応用を考えた場合，産業連関には理論的にも解決すべき新たな問題が生じてくる様に思われる。一方，産業連関の環境問題への実際的な応用が工学者などの経済学者以外の研究者によって近年盛んに行われている。

本稿は主に経済学的な背景を持つ読者のためにWIOの理論，計測例，及び応用例について解説したものである。2節では，WIO表の基本的な構造を物質保存則との関連で解説し，更に実際に計測された平成7（1995）年WIO表によりその具体的な数値を示す。WIO表の際だった特徴はその非正方性にあるが，これを正方化して容易に解を求める手段は用意されている。分析モデルとしてのWIOを扱うのが3節である。WIOモデルの特徴は非線形性にあるが，それ故，モデルの解は反復演算によって求められる。非線形性は廃棄物処理部門の受動的特性に起因するものである。

---

＊　本稿は近藤康之氏（富山大学）との共同研究の一部である。同研究は早稲田大学特定課題研究費（99A0502），及び日本学術振興会科学研究費補助金（基盤研究（C）11630019）の助成を受けている。

（1）［1］は貴重な例外である。

4節ではWIOの応用例と今後の課題を概観する。EOP型廃棄物処理，カスケード型リサイクル，及びライフサイクル戦略への応用例を紹介し，関連研究としてのマテリアルフロー分析に触れて稿を閉じる。

## 2　廃棄物産業連関表

### 2.1　物質保存則とその含意

物質保存則は廃棄物の量的分析を行う場合に遵守しなくてはならない基本原理である。この原理からWIOにとって重要な次の二つの含意が導かれる。一番目は廃棄物の需給に関する恒等条件である

$$\text{廃棄物排出量} = \text{再資源化量} + \text{廃棄物処理量} \tag{1}$$

廃棄物の排出量と再資源化量はもっぱら財生産（動脈）門の諸事情によって決定され，両者の差分（排出量のうちで再資源化されない残渣）が廃棄物処理量となる。この意味で廃棄物処理部門は動脈部門に対して受動的な性格を持つ。WIOにおいて（1）は廃棄物処理量を決定する重要な役割を果たしている。

二番目の重要な含意は廃棄物処理の機能に関わる物である。廃棄物処理とは所与の種類の廃棄物を他の種類の廃棄物に変換する過程である

$$\text{廃棄物}\,A \xrightarrow{\text{廃棄物処理}} \begin{cases} \text{廃棄物}\,B \\ \text{廃棄物}\,C \\ \quad\vdots \end{cases} \tag{2}$$

例えば，焼却処理とは厨芥を灰，飛灰，及び排気に変換する過程である。物質保存則から，廃棄物処理によって廃棄物を「消失」させる事は元より不可能である。(1) と組み合わせると，廃棄物処理の種類によって副次的な廃棄物処理が必要になる可能性が生じる。例えば，日本の規制によれば，焼却処理によって生じた飛灰は最終処分場での溶出を防止する観点から溶融固化，セメント固化，薬剤処理，酸またはその他溶媒による方法の何れかによる中間処理が義務づけられている。

### 2.2　マイナス投入方式との関係

従来の産業連関表は廃棄物こそ扱っていないものの，有価取り引きされている屑・副産物についてはこれを計上している。WIO表の独自性を理解するためには，その現行の産業連関表における屑・副産物の扱い方との相違点を明らかにするのが有用である。日本表を含む多くの産業連関表で用いられている屑・副産物の計上方法はマイナス投入方式（ストーン方式とも言われる）である。現

行の産業連関表が計上する屑・副産物は有価取り引きされているものであるから，一次財を代替する有用物として何れかの部門において投入されている。マイナス投入方式では，これを屑・副産物を発生する部門における代替一次財のマイナス投入として計上する。

(1) との関連で言えば，マイナス投入方式は次式で表されよう

$$\text{屑・副産物発生量} = \text{屑・副産物需要量}. \tag{3}$$

現行の産業連関表は有価物のみを扱うので，事後的には定義から屑・副産物の需給が常に均等する。換言すれば，有価取引が成立し需給が均等した屑・副産物のみを計上しているのである。従って，廃棄物処理の対象となる屑・副産物が存在する余地は除外されている。しかしながら，現実には市場条件によっては屑・副産物は有価物でなくなり，その場合廃棄物として処理・処分されなくてはならない。(3) はこの状況を除外しているので，廃棄物処理の対象となる廃棄物を扱うことが出来ないのである。

マイナス投入方式の下では，屑・副産物発生部門に対する最終需要と比べてこれが代替する一次財に対する最終需要が極めて小さな場合，後者の産出量が負値を取ってしまう可能性がある。産出量が負値を取ることは不可能なので，この点はマイナス投入方式の持つ大きな欠点とされている。産出量が負値をとるのは，(3) において需要を上回る屑・副産物の超過供給発生を防止する仕組みがないためである。需給は均衡しなくてはならないので，供給が増加すれば需要もその分増加しなくてはならず，極端な場合には代替量が一次財生産量を上回ってしまうのである。

現実には，需要を上回って供給される屑・副産物は有価物ではなくなり，廃棄物処理の対象となるので超過供給が実現することは無い。これは (1) が表していることに他ならない。負の産出量が生じる問題は，計上方法としてのマイナス投入方式そのものに原因があるのではなく，廃棄物処理を通じる需給調整機能を無視している事による，と言うべきである。より一般的に言えば，屑・副産物を含む廃棄物が有価性を失った場合を考慮していない点に従来の方式の問題があるのである。

### 2.3 平成7年度WIO表

WIO表の概念設計自体は明白かつ拡張性に富むものである [2] [3] [4]。しかし，これを実際に推定するのは容易ではない。WIO表の作成は北海道の自治体F市について筆者が行った [2] [3] が最初であり，その後，平成2年表 [5]，更に平成7年表 [6] が筆者の研究グループによって作成されている。推定作業で特に困難なのは，廃棄物に関する各種の統計資料を産業連関表の枠組みの中へ整合を保ちながら取り入れていく作業である。ちなみに，既存の産業連関表でも屑・副産物として廃棄物の内で有価取り引きされるものを計上しているため，産業廃棄物として把握されている金属屑，製鋼スラグ，古紙等について投入・発生量の整合を取る必要がある。更に，耐久財の破砕によって生じる老廃屑やプラスチックについては耐久財処理量，製品組成，及び素材回収歩

留まり等を考慮する必要がある。

最新かつ最も精巧な平成７年度 WIO 表は78産業部門，３種類の廃棄物処理部門，24種類の廃棄物，及び９種類の廃棄耐久財から構成されている。推定作業の実際は［6］に詳しいが，78産業部門にも関わらず最も仔細な基本表の水準から推定作業が行われている事を指摘しておく。この理由は，既存産業連関表における屑・副産物情報との整合を取るため，及び，廃棄物情報の制約の中で基本表における部門分類統合をなるべく避けようとしたためである。

WIO 表は政府が公表する産業連関表に基づいているが，概念上，全く使用しない部分もある。下水処理を除く廃棄物処理部門がこれに該当する。元より，WIO 表において廃棄物処理部門は廃棄物と財を繋ぐ接点として極めて重要な役割を占めており，(2) にあるように処理に伴う廃棄物の変換過程を表すことが求められている。すなわち，WIO 表における廃棄物処理部門の記述は個別の廃棄物処理工程をかなりの程度再現できるほどに詳細であり，しかも工程における物的な変換過程を記述する必要がある。これに対し，現行の産業連関表における廃棄物処理部門は，たかだか運営主体が公共団体か民間であるかによって二つに区別されているのみで，個別工程にまで遡及できるものではないし，物的な変換過程を記述するものでもない。この理由から WIO 表においては既存の廃棄物処理部門は撤去され，その代わりに WIO 表の趣旨に合う形で焼却，破砕，埋立などの個別処理工程の投入－排出関係が主に工学情報に基づいて導入された。ただし，下水処理については従来の産業連関表において既に計上されているので，これを用いる。

### 2.3.1　非正方表

表１に平成７年度 WIO 表を10産業部門，13廃棄物，３廃棄物処理部門に集約したものを示す。表の上半分は廃棄物処理部門が工程毎に記述されていることを除き，通常の産業連関表に準じたものである。この上半分部分の要素は通常の産業連関表と同様に全て価値単位（10億円単位）で表示されている。焼却部門（INC）の電力等（UTL）投入が負値（－９）を取るのは，焼却廃熱を利用した廃棄物発電量が所内電力需要を上回り，その分が外部に供給されていることを表す。これはマイナス投入方式に他ならないが，廃棄物発電量が事業電力を上回ることは考えられないので，上で指摘したこの方式の問題が生じる事はあり得ない。

表１の下半分は WIO 表に独自のものであり，財生産部門と廃棄物処理部門間の廃棄物の流れを表す。価値表示の上半分と異なり，この部分の要素は全て各廃棄物に固有の物量単位で表示される。今の場合，二酸化炭素を除いて1000トン，二酸化炭素は1000炭素トンで表示されている。二酸化炭素として計上したのは化石燃料と石灰石消費に伴う排出，最終処分場において発生するメタンガスの二酸化炭素換算分，及び化石燃料起源の製品（主にプラスチックとゴム）の焼却による分である。これに対し，厨芥や植物残渣などのバイオマス焼却により排出される部分は生態系における炭素循環で相殺されるとして計上しない。

表１の下半分の内，“廃棄物×産業部門”行列は各産業部門における廃棄物純排出量（粗排出

**表１：平成７年度ＷＩＯ表**

| | 財生産部門 | | | | | | | | | | 廃棄物処理部門 | | | FDM | TTL |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | AGR | MIN | FOO | CHE | MTL | MCN | CNS | UTL | SRV | TRN | INC | LND | SHR | | |
| AGR | 1715 | 1 | 8369 | 142 | 0 | 154 | 136 | 0 | 1097 | 2 | 0 | 0 | 0 | 4199 | 15815 |
| MIN | 0 | 3 | 8 | 726 | 49 | 2 | 800 | 42 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 23 | 1654 |
| FOD | 1265 | 13 | 15971 | 1254 | 294 | 1587 | 4248 | 138 | 16594 | 833 | 0 | 0 | 0 | 37656 | 79852 |
| CHE | 940 | 31 | 3444 | 14596 | 1246 | 6417 | 7954 | 951 | 8534 | 3557 | 46 | 12 | 3 | 12298 | 60029 |
| MTL | 23 | 28 | 1355 | 692 | 14829 | 9737 | 10369 | 29 | 870 | 105 | 0 | 0 | 0 | 4041 | 42077 |
| MCN | 84 | 12 | 261 | 103 | 125 | 40288 | 1837 | 27 | 7318 | 591 | 96 | 13 | 8 | 79693 | 130455 |
| CNS | 50 | 11 | 267 | 406 | 342 | 370 | 225 | 1141 | 4647 | 629 | 0 | 148 | 0 | 80030 | 88265 |
| UTL | 71 | 45 | 1360 | 1769 | 1198 | 1352 | 565 | 2303 | 5921 | 907 | -9 | 9 | 31 | 7760 | 23283 |
| SRV | 1500 | 207 | 10934 | 9136 | 4861 | 19789 | 14469 | 3557 | 67413 | 15075 | 0 | 0 | 7 | 280276 | 427225 |
| TRN | 728 | 408 | 3133 | 2287 | 1530 | 2755 | 5107 | 529 | 17158 | 6460 | 104 | 66 | 0 | 24533 | 64796 |
| 廃棄物純排出 | | | | | | | | | | | | | | | |
| grb | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10000 | 16000 |
| ppr | 0 | 0 | -11394 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 101 | 17829 | 6536 |
| pls | 249 | 1 | 867 | -55 | 665 | 720 | 975 | 14 | 1236 | 144 | 0 | 0 | 229 | 3341 | 8386 |
| mtl | 2 | 1 | 755 | -228 | -30536 | 9175 | 8424 | 11 | 306 | 21 | 0 | 0 | 3358 | 10679 | 1968 |
| gls | 0 | 0 | -4408 | -330 | 413 | 157 | 1758 | 56 | 4951 | 12 | 0 | 0 | 56 | 4561 | 7225 |
| wds | 19848 | 0 | 4080 | 90 | 0 | 0 | 2818 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1028 | 1023 | 28887 |
| ash | 0 | 4714 | 1206 | -10099 | 17168 | 1786 | -9001 | 4757 | 39 | 5 | 2893 | 0 | 0 | 0 | 13470 |
| sld | -5710 | 4333 | 9335 | 3112 | 1633 | 654 | 11750 | 3814 | 366 | 32 | 0 | 0 | 0 | 0 | 29319 |
| oil | 6 | 3 | 1531 | 941 | 1962 | 1831 | 87 | 20 | 988 | 160 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7528 |
| cns | 0 | 139 | 56 | 545 | 866 | 463 | 14192 | 154 | 675 | 382 | 0 | 0 | 0 | 0 | 17472 |
| blk | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3775 | 3775 |
| atm | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5020 | 5020 |
| dst | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1377 | 0 | 1377 |
| CO2 | 5496 | 210 | 11495 | 54899 | 40195 | 3528 | 4399 | 94678 | 21391 | 57073 | 3570 | 4816 | 104 | 36906 | 338759 |

出典：[6]，単位：上半分は10億円，下半分は1000トン．産業部門類は表３，廃物分類は表２を参照のこと

量－再資源化量）を表す。例えば，金属部門（MTL）は160万トンの汚泥（sld）と200万トンの廃油・廃酸・廃アルカリ（oil）を排出する一方で，3000万トンの金属屑を投入している。化学・窯業（CHE）は鉱滓・焼却灰・飛灰（ash）を実に1000万トンも利用しているが，これは主にセメント産業が高炉スラグや発電所からの石炭灰などを原材料として大量に用いているためである。下水処理と上水道は電力と共にUTLに含まれているので，これらの部門から発生する有機汚泥・無機汚泥はUTLからの汚泥（sld）9400万トンに計上されている。

表１の下半分の最終需要列（FDM）は最終需要部門（主に消費と投資）からの廃棄物純排出量を表す。厨芥（grb）から動植物残渣（wds）までの６種類の廃棄物は主に家庭から排出される一般廃棄物に対応するものである。これに対して鉱滓・焼却灰・飛灰（ash）から建設廃材（cns）までの３種類の廃棄物はもっぱら産業廃棄物であるので最終需要からの排出はない。下水汚泥は消費活動によって生じるものではあるが，それを直接排出するのは下水処理部門であるので，上で述べたよう

にUTLからの排出として計上され，最終需要からの直接的な排出としては計上されない。建設廃材も投資需要の構成要素である住宅投資や公共事業による部分が極めて大きいのではあるが，それを直接的に発生させるのは実際に事業を行う建設・土木部門であるので，CNSからの排出として計上し，最終需要からの直接的な排出としては計上しない。

最終需要部門は粗大ゴミ・廃家電（blk），廃自動車（atm）などの使用済み耐久財の唯一の排出者である。一般家庭で使用する家電品の排出をこのように計上するのは自明であろう。企業で使用している自動車などの廃棄も同様にするのは，産業連関表が設備投資需要に関する耐久財の流れを中間取引としてではなく，最終需要要素として計上する基本的な考え方に準じたものである。

WIO表を最も特徴づけるのが廃棄物処理による廃棄物変換過程（2）を表す“廃棄物×廃棄物処理”行列である。先ず，焼却部門は処理した受け入れ廃棄物を290万トンの焼却灰に変換する。同様に，破砕部門（SHR）は処理した受け入れ廃棄物を300万トンの金属屑，100万トンの木屑，及び140万トンの破砕ダストなどに変換する。埋立は最終処分であるので，その限りで廃棄物の変換は行わない。従って，二酸化炭素を除く廃棄物発生は計上されていない。実際には処理を要する侵出水が発生するのであるが，これは無視している（水処理は工程において考慮している）。

“廃棄物×廃棄物処理”行列は廃棄物処理の結果（変換結果）を表すものではあるが，個別の廃棄物処理部門の処理量を直接与えるものではないことに着目されたい。しかし，廃棄物種類毎のその行和は当該廃棄物の処理必要量を与える。これは（1）を反映した物に他ならない。すなわち，WIO表は廃棄物分析の基本原理として冒頭に掲げた（1）と（2）を基礎においているのである。

### 2.3.2 廃棄物の処理への配分

表1のWIO表は個別廃棄物についてのその処理必要量は与えるが，それが実際にどの処理に“配分”されるかは直接表していない。廃棄物を始めとする環境問題に対して産業連関表を初めて応用したのはWassily Leontiefであり［7］，その先駆性は現在においても妥当すると言える。しかしながら，この“配分”問題は［7］やその後続論文［8］，更にはこれを幾分一般化したFaye Duchin［9］の何れにおいても扱われていない。それは彼等が考察したのが，廃棄物と廃棄物処理の間に1対1の対応関係があり，従って“配分”問題が生じない場合であるからである。ちなみに，［7］は単一の廃棄物（大気汚染物質）とその除去部門からなる最も単純な場合を対象としている。［8］は複数の廃棄物を想定してはいるが，廃棄物（汚染物質）の数に等しい廃棄物処理（除去）部門があり，しかも対応関係は1対1である。［9］も同様である。WIO表に即して言うならば，Leontief等が考察の対象としたのは“廃棄物×廃棄物処理”行列が正方であり，しかも非対角要素がゼロである対角行列の場合なのである。

廃棄物と廃棄物処理の間に1対1の対応関係があるとするのは，我々が対象としている複数の廃棄物と複数の廃棄物処理方法からなる一般的な場合には妥当しない。一般に廃棄物の種類は廃棄物処理の種類よりもはるかに多いので，“廃棄物×廃棄物処理”行列の正方性は成立しない。これは

形式的に次のように説明することが出来る。ある経済に存在する全ての財から成る集合を$\Theta$とする。あらゆる財は基本的に廃棄物となる可能性を持つので，廃棄物から成る集合も$\Theta$と同様に大きいと考えることが出来る。他方，廃棄物処理を構成する財からなる集合$\Theta_1$は$\Theta$のごく一部を占めるに過ぎないのである。すなわち，$\Theta_1 \subset \Theta$であり，廃棄物処理の種類は廃棄物の種類よりも必ず少ない。正方性を成立させないもう一つの理由として，一般にひとつの廃棄物に対して複数の処理方法が適応可能である事が挙げられる。例えば，プラスチックの処理方法としては焼却の他に埋立が考えられるのである。

このようにWIO表は一般に非正方である。財と廃棄物の統合勘定としては，非正方であることは任意の数の廃棄物と廃棄物処理の計上を可能にする利点を持っている。しかし，分析的なモデルとしてこれを用いる場合，非正方性は極めて不都合である。以下では，WIO表を正方化し，分析的なモデルを得るための途を開く［2］の方法を解説する。

### 2.3.3 配分行列と正方表

ある廃棄物に施される処理，すなわち廃棄物と廃棄物処理の対応関係は国（空間）や時代（時間）によって異なるが，特定の空間と時点においては，そこにおける所与の技術と制度によって大きく規定されていると考えることが出来よう。この点に着目して，固定係数から成る配分行列$S$を用いて非正方なWIO表（“廃棄物×廃棄物処理”行列）を正方表（“廃棄物処理×廃棄物処理”行列）に変換する方法を提案したのが［2］である。

表2は2つの配分行列の実例を示したものである［4］。表左側の$S_0^T$は自治体の資料などに基づくものである。$S_0$における配分は，一般廃棄物についてプラスチックを始めとする可燃物の一部が埋立られる一方，金属などの不燃物が焼却される，と言った意味で不完全分別を表す。これに対

**表2：廃棄物の処理への配分**

| waste | | default: incomplete sorting $S_0^T$ | | | complete sorting $S_1^T$ | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | incineration | landfill | shredding | incineration | landfill | shredding |
| grb | 厨芥 | 0.90 | 0.10 | 0 | 1.00 | 0.00 | 0 |
| ppr | 紙・繊維 | 0.93 | 0.07 | 0 | 1.00 | 0.00 | 0 |
| pls | プラスチック・ゴム | 0.59 | 0.41 | 0 | 1.00 | 0.00 | 0 |
| mtl | 金属屑 | 0.01 | 0.99 | 0 | 0.00 | 1.00 | 0 |
| gls | ガラス・陶器 | 0.03 | 0.97 | 0 | 0.00 | 1.00 | 0 |
| wds | 動植物残滓 | 0.99 | 0.01 | 0 | 1.00 | 0.00 | 0 |
| ash | 灰・飛灰・鉱滓 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| sld | 汚泥 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| oil | 廃油・廃酸・廃アルカリ | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| cns | 建設廃材 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| blk | 粗大ごみ | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| atm | 自動車 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| dst | 破砕ダスト | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |

Tは転置記号である。

**表 3 ：異なる配分行列の下での部門別廃棄物純排出量**

不完全分別

| | 財生産部門 | | | | | | | | | | 廃棄物処理部門 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | AGR | MIN | FOO | CHE | MTL | MCN | CNS | UTL | SRV | TRN | INC | LND | SHR | FDM |
| INC | 19856 | 3 | -4653 | 986 | 2213 | 2306 | 3558 | 30 | 7277 | 246 | 0 | 0 | 1268 | 28776 |
| LND | -5462 | 9188 | 6680 | -7011 | -10043 | 12481 | 27446 | 8796 | 7284 | 511 | 2836 | 0 | 4882 | 18657 |
| SHR | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8795 |

完全分別

| | 財生産部門 | | | | | | | | | | 廃棄物処理部門 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | AGR | MIN | FOO | CHE | MTL | MCN | CNS | UTL | SRV | TRN | INC | LND | SHR | FDM |
| INC | 20103 | 4 | -4917 | 975 | 2626 | 2552 | 3880 | 34 | 8223 | 305 | 0 | 0 | 1358 | 32194 |
| LND | -5709 | 9187 | 6944 | -7001 | -10456 | 12236 | 27123 | 8792 | 6338 | 452 | 2836 | 0 | 4792 | 15240 |
| SHR | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8795 |

AGR：農林漁業，MIN：鉱業，FOO：食料，CHE：化学・窯業・セメント，MTL：金属，MCN：機械，CNS：建設
UTL：公益事業，SRV：サービス，TRN：輸送，INC：焼却，LND：埋立，SHR：破砕，FDM：最終需要

して，表右側の $S_1^T$ は可燃物は全て焼却，不燃物は全て埋立，の場合であるので，これを完全分別に対応する配分という事ができる。

表 2 の $S$ は 3×13 行列であるから，これを 13×13 の“廃棄物×産業部門・廃棄物処理”行列の左側から乗じで 3×13 の“廃棄物処理×産業部門・廃棄物処理”行列を得ることが出来る。変換結果を示したのが表 3 である。上半分が $S_0$ を用いた結果，下半分が $S_1$ を用いた結果である。廃棄物処理部門を列として持つ行列が変換によって正方化されている事を確認されたい。配分行列 $S$ は廃棄物を廃棄物処理へ配分するものであるから，各部門の廃棄物純排出は廃棄物処理純投入に変換される。変換後の表の行和を取ると，これは個別廃棄物処理についての処理量を与える。これは表 1 において直接得ることが出来ない量であった。WIO 表において配分行列は欠くことの出来ない重要な機能を果たすのである。焼却・埋立量が配分行列によって異なるのに対し，破砕量が一定であるのは破砕への配分が $S_0$ と $S_1$ で同一なためである。

## 3　廃棄物産業連関モデル

### 3.1　線形モデル

表 1 上半分にある産業連関行列の要素を $X_{ij}, (i=1, 10, j=1, 13)$，同下半分にある廃棄物純排出行列の要素を $W_{ij}, (i=1, 10, j=1, 13)$，財に対する最終需要を $f_X$，最終需要からの廃棄物純排出を $f_W$，産出水準の 10×1 列を $X$，そして 3×1 の廃棄物処理活動列を $Z$ でそれぞれ表すことにする。この時，以下が成立する

$$X_i=\sum_{j=1}^{13}X_{ij}+f_{X_i},\ i=1,\cdots,10, \tag{4}$$

$$W_k=\sum_{j=1}^{13}W_{kj}+f_{W_k},\ k=1,\cdots,13, \tag{5}$$

$$Z_l=\sum_{j=1}^{13}\left(\sum_k s_{lk}(W_{kj}+f_{W_k})\right),\ l=1,2,3. \tag{6}$$

ここで $s_{ij}$ は配分行列 $S$ の $i$ 行 $j$ 列要素である。

今，$a_{ij}^X, a_{ij}^Z, g_{kj}^X$ 及び $g_{kj}^Z$ を以下で与えられる投入・純排出係数としよう

$$a_{ij}^X=X_{ij}/X_j,\ (i,j=1,\cdots,10),$$
$$a_{il}^Z=X_{ij}/Z_j,\ (i=1,\cdots,10,\ l=1,\cdot,3),$$
$$g_{ij}^X=W_{ij}/X_j,\ (i=1,\cdots,13,\ j=1,\cdots,10),$$
$$g_{il}^Z=W_{ij}/Z_l,\ (i,j=1,\cdots,13,\ l=1,\cdot,3).$$

すると (4) 及び (6) を以下のように表すことが出来る

$$X_i=\sum_{j=1}^{10}a_{ij}^X X_j+\sum_{m=1}^{3}a_{im}^Z Z_m+f_{X_i},\ i=1,\cdots,10,$$

$$Z_l=\sum_{k=1}^{13}s_{lk}\left(\sum_{j=1}^{10}g_{kj}^X+\sum_{m=1}^{3}g_{km}^Z+f_{W_k}\right),\ l=1,2,3.$$

行列表記 $A_X:=[a_{ij}^X]$, $A_Z:=[a_{ij}^Z]$, $G_X:=[g_{ij}^X]$, 及び $G_Z:=[g_{ij}^Z]$ を用いて，これらの方程式を書き換え

$$\begin{pmatrix}X\\Z\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}A_0 & A_z\\ SG_0 & SG_z\end{pmatrix}\begin{pmatrix}X\\Z\end{pmatrix}+\begin{pmatrix}f_X\\Sf_W\end{pmatrix} \tag{7}$$

を得る。仮に，投入—排出係数が一定であり，更に該当する行列が逆転可能であれば，(7) を $X$ と $Z$ について以下のように解くことが出来よう

$$\begin{pmatrix}X\\Z\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}I-A_0 & -A_z\\ -SG_0 & I-SG_z\end{pmatrix}^{-1}\begin{pmatrix}f_X\\Sf_W\end{pmatrix}. \tag{8}$$

廃棄物の内，更なる処理の対象となるものを“狭義の廃棄物”，処理の対象と成らずに自然界に放出されるものを“環境負荷因子”と呼ぼう。化石燃料起源の二酸化炭素や自動車から排出される硫黄酸化物・窒素酸化物が環境負荷因子の例である。生産・処理水準と環境負荷因子排出量の関係が固定係数によってかなりの程度近似できるならば，(8) で求められる $X$，$Z$ に対応する環境負荷因子水準を容易に求めることが出来る。例えば，産業部門と廃棄物処理部門の二酸化炭素排出係数ベクトルを $e_X$，$e_Z$，最終需要部からの二酸化炭素排出量を $f_E$ とすれば，$CO_2$ 総排出量は

$$CO_2 \text{総排出量} = e_X X + e_Z Z + f_E. \tag{9}$$

として求めることが出来る。

表4は（7）右辺の第1括弧内の要素に対応する正方な投入・排出行列を示す。最下段の二酸化炭素排出係数も他の排出係数と同じ方法で求められている。これに対応するLeontief逆行列（(8)右辺第1項の括弧内要素）を求めたのが表5である。この $i$ 行 $j$ 列要素は $j$ 生産・処理部門に対する1単位の最終需要を満たすために直接・間接に必要な $i$ 生産・処理部門の生産額・処理水準を与える。WIO表に独特なのが廃棄物処理に対する直接・間接需要を与える表5最下部の3行要素である。例

**表4：WIO 投入・排出係数行列： 配分行列 $S_0$**

| | AGR | MIN | FOO | CHE | MTL | MCN | CNS | UTL | SRV | TRN | INC | LND | SHR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| AGR | 0.108 | 0.000 | 0.105 | 0.002 | 0.000 | 0.001 | 0.002 | 0.000 | 0.003 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| MIN | 0.000 | 0.002 | 0.000 | 0.012 | 0.001 | 0.000 | 0.009 | 0.002 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| FOO | 0.080 | 0.008 | 0.200 | 0.021 | 0.007 | 0.012 | 0.048 | 0.006 | 0.039 | 0.013 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| CHE | 0.059 | 0.019 | 0.043 | 0.243 | 0.030 | 0.049 | 0.090 | 0.041 | 0.020 | 0.055 | 0.001 | 0.000 | 0.000 |
| MTL | 0.001 | 0.017 | 0.017 | 0.012 | 0.352 | 0.075 | 0.117 | 0.001 | 0.002 | 0.002 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| MCN | 0.005 | 0.007 | 0.003 | 0.002 | 0.003 | 0.309 | 0.021 | 0.001 | 0.017 | 0.009 | 0.002 | 0.000 | 0.001 |
| CNS | 0.003 | 0.006 | 0.003 | 0.007 | 0.008 | 0.003 | 0.003 | 0.049 | 0.011 | 0.010 | 0.000 | 0.002 | 0.000 |
| UTL | 0.004 | 0.027 | 0.017 | 0.029 | 0.028 | 0.010 | 0.006 | 0.099 | 0.014 | 0.014 | 0.000 | 0.000 | 0.004 |
| SRV | 0.095 | 0.125 | 0.137 | 0.152 | 0.116 | 0.152 | 0.164 | 0.153 | 0.158 | 0.233 | 0.000 | 0.000 | 0.001 |
| TRN | 0.046 | 0.246 | 0.039 | 0.038 | 0.036 | 0.021 | 0.058 | 0.023 | 0.040 | 0.100 | 0.002 | 0.001 | 0.000 |
| INC | 1.26 | 0.00 | -0.06 | 0.02 | 0.05 | 0.02 | 0.04 | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.14 |
| LND | -0.35 | 5.55 | 0.08 | -0.12 | -0.24 | 0.10 | 0.31 | 0.38 | 0.02 | 0.01 | 0.05 | 0.00 | 0.56 |
| SHR | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| CO2 | 0.348 | 0.127 | 0.144 | 0.915 | 0.955 | 0.027 | 0.050 | 4.066 | 0.050 | 0.881 | 0.058 | 0.063 | 0.012 |

産業部門は10億円，廃棄物処理部門は1000トン表示。部門分類は表2，3を見よ

**表5：WIO に対応する Leontief 逆行列**

| | AGR | MIN | FOO | CHE | MTL | MCN | CNS | UTL | SRV | TRN | INC | LND | SHR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| AGR | 1.138 | 0.005 | 0.152 | 0.011 | 0.005 | 0.009 | 0.013 | 0.004 | 0.011 | 0.006 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| MIN | 0.002 | 1.003 | 0.002 | 0.017 | 0.003 | 0.002 | 0.011 | 0.004 | 0.001 | 0.001 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| FOO | 0.129 | 0.033 | 1.285 | 0.054 | 0.033 | 0.047 | 0.086 | 0.028 | 0.065 | 0.040 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| CHE | 0.113 | 0.066 | 0.105 | 1.346 | 0.083 | 0.122 | 0.154 | 0.081 | 0.048 | 0.100 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| MTL | 0.013 | 0.037 | 0.041 | 0.032 | 1.553 | 0.175 | 0.195 | 0.018 | 0.013 | 0.013 | 0.000 | 0.000 | 0.001 |
| MCN | 0.019 | 0.024 | 0.017 | 0.013 | 0.016 | 1.458 | 0.042 | 0.011 | 0.033 | 0.025 | 0.002 | 0.000 | 0.002 |
| CNS | 0.008 | 0.025 | 0.012 | 0.016 | 0.020 | 0.013 | 1.012 | 0.060 | 0.016 | 0.017 | 0.000 | 0.002 | 0.001 |
| UTL | 0.017 | 0.044 | 0.036 | 0.053 | 0.058 | 0.034 | 0.027 | 1.119 | 0.024 | 0.028 | 0.000 | 0.000 | 0.004 |
| SRV | 0.202 | 0.272 | 0.286 | 0.298 | 0.275 | 0.345 | 0.310 | 0.253 | 1.241 | 0.354 | 0.001 | 0.001 | 0.003 |
| TRN | 0.082 | 0.301 | 0.085 | 0.082 | 0.084 | 0.067 | 0.103 | 0.051 | 0.064 | 1.136 | 0.002 | 0.001 | 0.001 |
| INC | 1.43 | 0.02 | 0.13 | 0.04 | 0.09 | 0.05 | 0.07 | 0.01 | 0.03 | 0.02 | 1.00 | 0.00 | 0.14 |
| LND | -0.31 | 5.59 | 0.07 | -0.04 | -0.32 | 0.12 | 0.34 | 0.45 | 0.04 | 0.03 | 0.05 | 1.00 | 0.56 |
| SHR | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 |

産業部門は10億円，廃棄物処理部門は1000トン表示。部門分類は表2，3を見よ

えば，食料に対する10億円の最終需要は130トンの焼却と70トンの埋立を直接・間接に誘発する。これを表4の直接投入と比較すると，食料部門における10億円の生産は焼却を60トン減少させる一方で埋立を80トン必要としている。間接効果を考慮すると，食料部門は焼却節約部門ではなく，反対に焼却需要部門となるのである。

## 3.2 廃棄物処理技術の非線形性

### 3.2.1 代替性と物質保存則

上では正方化したWIO表から投入・排出係数を求め，通常の産業連関分析と形式的には全く同一の方法でLeontief逆行列を求めた。ここで前提となるのが，投入・排出係数が一定に留まるという固定係数の仮定である。固定係数の仮定が妥当か否かは分析目的に応じて実証的に判断されるべきものであって，いわゆる「代替定理」にその妥当性の根拠を求めることは出来ない。「代替定理」とは，投入要素間の代替を認めた一般的な生産関数の下で，最終需要の水準が変化したときに投入係数が変化しない条件を導こうとするものである。この条件（生産関数の一次同次性，完全競争，唯一の本源的生産物，等）が実証的な妥当性を持たないとき，「代替定理」も実証的な妥当性を持たないのである。

経済学者は産業連関分析をよく批判する。その主な理由は，価格変化を通じる代替効果を無視している，と言う点である。しかし，批判をする当の経済学者が「価格変化を通じる代替効果」に関する量的な知識を持っているわけでは決してない[(2)]。この意味で多くの場合にこの種の経済学者の批判は建設的ではない。

トランスログ関数（Cobb-Douglas関数に二次項を加えたもの）等の伸縮型生産関数を数十年間の時系列資料に当てはめ，「価格変化を通じる代替効果」を定量的に把握しようとする試みは，20年以上前からDale Jorgenson等によって行われている。慶応大学商学部の研究グループは，同様の分析作業を日本の資料について行っている［12］。しかしながら，廃棄物分析の目的に伸縮型生産関数を使用するのは適切ではない。それは伸縮型生産関数が物質保存則と抵触するためである（［11］，p.275）。物質保存則と抵触しないためには原材料等の中間財投入量と産出・廃棄物の間に恒等関係

$$\text{中間財投入量} = \text{産出量} + \text{廃棄物量} \tag{10}$$

が成立しなくては成らない。然るに，経済学における（原材料を含む）投入要素間の代替性とは産

（2） 筆者がこの「批判」を受けた最近の例は2000年9月に独国ベルリンで開かれたEGG2000＋におけるKamecke氏（フンボルト大学）である。氏によればWIOはtoo restrictiveであるが，「定量情報を提供いただきたい」との筆者の問いに対する回答は得られなかった。

出量を一定としたときに原材料を他の要素，例えば労働，で代替できるとするものであるから，物質保存則とは相容れないのである。[3] これは伸縮型生産関数のみならず，伝統的な Cobb-Douglas 関数や CES 関数にも当てはまる。物質保存則に抵触することなく代替性を導入する方法のひとつは，線形計画モデルの利用である（[11]，第7章）。

廃棄物再資源化の問題に安易に CES 関数を用いることも，物質保存則と抵触するから不適切である。これは例えば古紙リサイクル問題を分析するために製紙部門の生産関数と称して

$$\text{紙生産量}=\left(\alpha\,\text{処女パルプ投入量}^{\rho}+\beta\,\text{古紙パルプ投入量}^{\rho}\right)^{1/\rho} \tag{11}$$

と言った定式化を用いる事を指すのであるが，この定式化が物質保存則と整合を持つのは $\rho=1$ の時のみである。物質保存則を無視した廃棄物分析は無意味である。

経済学者の用いる生産関数は（11）から見られるように，要素間の対称的な代替性関係を想定している。同量の紙を産出するためには，処女パルプを増やして古紙パルプを減らすことも出来るし，その逆も同じように可能であるとするのである。しかし，廃棄物再資源化に関し，この設定は正しくない。現実には，処女パルプ等の一次財のみを用いた生産が可能であるのに対し，古紙パルプ等の再資源化財のみを用いた生産は多くの場合に困難である。すなわち，要素間の代替関係は非対称なのである。

#### 3.2.2 廃棄物処理の受動性

我々は WIO モデルにおいて固定係数の仮定を少なくとも廃棄物処理部門については用いない。これは，価格変化を通じる代替効果を考慮する，と言う経済学者の決まり文句に対応するためでは毛頭なく，「廃棄物処理が受動性を持つ」とする認識に根ざしている。廃棄物処理部門の受動性とは，これが処理対象である投入物を本来的に選り好みすることが出来す，受け入れた投入廃棄物を適正に処理するためにその工程を対応させている，という事に起因する。これに対し，通常の財生産部門では製品を能動的に生産しているのであって，この種の受動性は存在しない。[4]

廃棄物処理においては，処理対象廃棄物の特性を表すパラメータである水分・可燃分・灰分や低位発熱量についての情報が極めて重要である。それは，これらの特性パラメータが処理方法の挙動に大きな影響を持つからである。日本の一般家庭が排出する廃棄物が持つ低位発熱量は，経済成長

---

（3） この場合における原材料と他の要素との“代替”とは歩留まり向上や工程速度変化の結果であって，消費者理論におけるリンゴと梨の代替とは本質的に異なる。

（4） しかし，この種の受動性を持つのは廃棄物処理部門のみではない。ちなみに，医療（特に救急医療）及び軍事部門においても類似した受動性を見いだすことが出来る。救急医療においては，基本的に如何なる症状の搬入患者に対しても，これを健常状態に戻すことが期待されており，治療手段は患者の容態によって「受動的」に決定される。軍事行動においては，敵対する勢力を選ぶことが本来不可能であり，その意味で対抗手段（投入兵器，人員，機材，戦闘地域等）を「受動的」に決定しなくてはならない。

と共に戦後ほぼ一貫して上昇してきた。昭和35年（1960）頃の低位発熱量がようやく1000kcal/kg（[13]，p.391）であったのに対し，昭和60（1985）年には2000kcal/kg，現在では2400kcal/kg（[14]，p.15）に到っている。1000kcal/kg 程度では焼却のために助燃剤が必要であるのに対し，2400kcal/kg 水準では助燃剤が不要なことは元より，廃熱を利用した発電を行うことが出来る。すなわち，焼却工程におけるエネルギー投入係数は廃棄物が持つ低位発熱量に大きく依存するのである。低位発熱量は廃棄物組成によって変化する。例えば，容器包装リサイクルの進展如何では，紙・プラスチックの多くが焼却対象廃棄物から除かれることによる低位発熱量の低下とそれに伴う焼却炉の性能低下が危惧されている［15］。同様に灰分の変化は焼却残渣の排出原単位を変更する。

以上述べた廃棄物処理部門の受動性をモデルに反映するためには，廃棄物性状と廃棄物処理部門投入・排出の間の定量的関係，すなわち廃棄物処理部門の生産関数を把握する事が必要である。このような場合に経済学者が用いる常套手段は財務データなどを用いて回帰分析を行うことである（[12] はその例である）。しかし，財務データを用いた回帰分析で生産の技術的関係が如何ほど把握できるのかは大いに疑問である。(5) もっとも，今の場合，そのような統計解析を行う必要は無い。それは十分な工学的情報が定量的な数理モデルの形で既に存在するからである。

### 3.2.3 WIO モデルにおける反復計算過程

田中信寿と松藤敏彦を中心とする北海道大学グループによって開発された廃棄物処理モデル［16］は，WIO のために極めて有用な工学情報を与える。WIO はこのモデルを副モデルとして用いる事で，焼却・埋立・破砕などの廃棄物処理工程を記述している。図 1 は反復計算を通じる WIO モデルの解法を図示したものである。図中で $F_Z$ は北大モデルに代表される廃棄物処理の工学モデルを表している。初期値として用いる廃棄物純排出ベクトルを $W_0$ とし，上から 2 番目の矩形ブロックでこれを $F_Z$ に挿入して廃棄物処理部門の投入・排出係数行列 $A_Z$，$G_Z$ を得る。既に与えられている産業部門の投入・排出係数行列 $A_X$，$G_X$ にこれを加え，3 番目の矩形ブロックで (8) により $X$，$Z$ を求める。求められた $X$，$Z$ に対応した新しい廃棄物純排出量ベクトル $W$ が求められる。こうして求めた $W$ と初期値 $W_0$ を比較し，この相違が任意に収まるまで反復計算をして解を求めるのである。

実際の演算に若干触れておく。非線形問題を解くための反復計算は MATLAB システムを用いて行っている。ただし，現状ではヒューマン・インターフェースの観点から EXCEL をコマンド入力と結果の出力に用い，背後で MATLAB マクロを使用している。図 2 は EXCEL 上でシナリオ分析を行うために MATLAB マクロを実行しようとしているところである。これを実行すると19行目以降に解が出力されるのである。

---

(5) Edward Leamer は経済学者がよく採用するこの種の方法を「エンジン回転数にアクセルと床の間の距離を回帰して自動車工学を理解しようとする」事に等しい，としている。

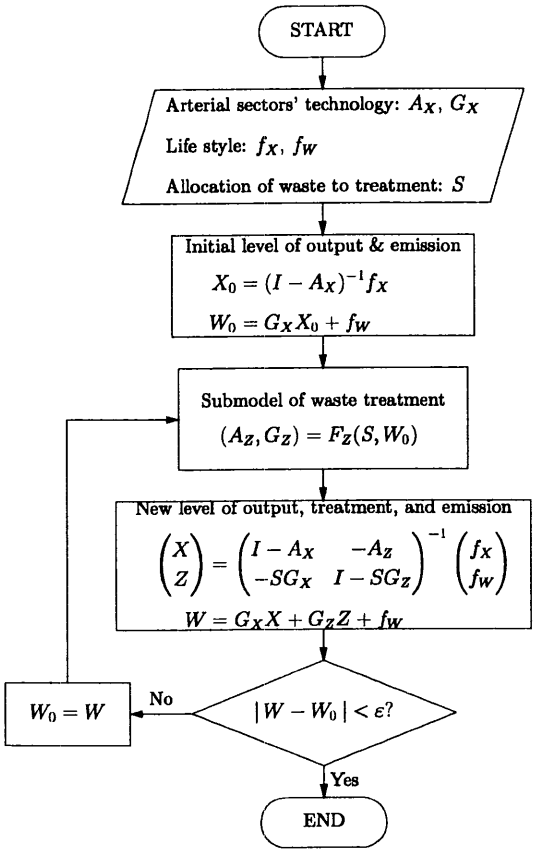


**図 1 ：WIO モデルにおける反復計算過程**

シナリオ設定画面を示すのが図 3 である。これは家電リサイクルにおける資源回収を設定しているところであるが，回収資源の投入が Gi0における正値投入，代替による一次財投入減少が A0における負値投入として表されている。シナリオを実行すると，この差分だけ投入・排出係数の値が変更され，新しく得られた投入・排出計数行列を用いた演算を行うための設定がなされるのである。

## 4　応用例の概観と今後の課題

**応用事例**　WIO の応用事例としては，大別して，① EOP 型廃棄物処理への応用，②カスケード型リサイクルへの応用，③ライフサイクル戦略とエコデザインへの応用，を挙げることが出来る。あらゆる環境分析が基本的にそうである様に，WIO を用いた分析もシナリオ分析であり，あるシナリオの下で得られた解の基準値（コントロール）に対する変化がその対象である。

①は廃棄物処理関連の設定のみを変更するものであるが，この例としては広域化廃棄物発電を評価した［17］を挙げることが出来る。日本はスイス・デンマークなどと同様に焼却率の高い国であ

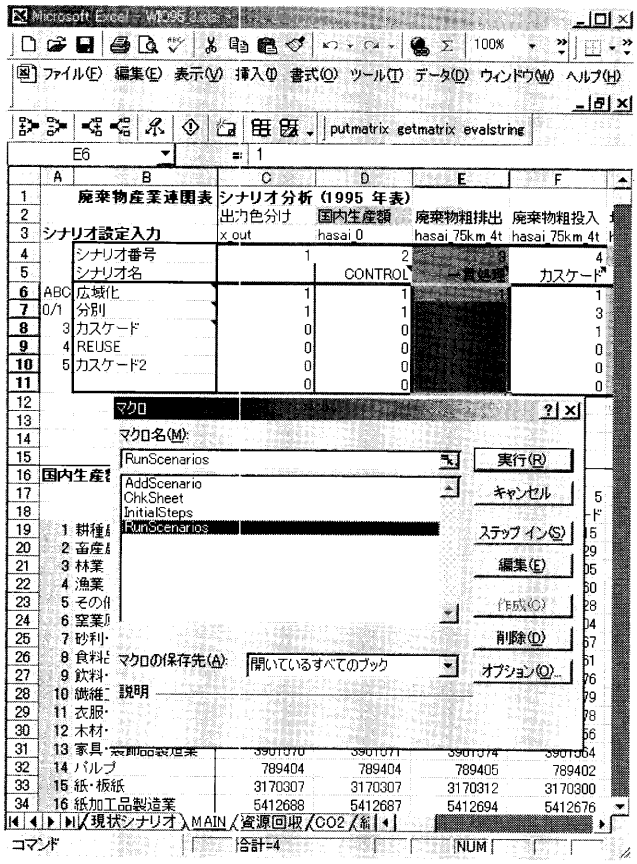


図 2 ：MATLAB インターフェース

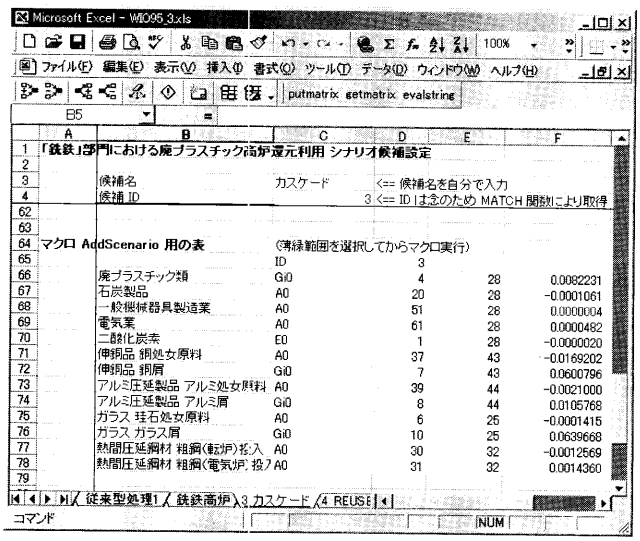


図 3 ：シナリオ設定画面

るが，自区内処理原則などの制度的要因により後者と比べて廃熱利用が進んでいないのが現状である。我が国における広域化による廃棄物発電シナリオを分析し，広域化に伴う輸送増加を勘案しても，これが温暖化ガス排出削減に有効であるという結果を得ている。

②が対象とするカスケード型リサイクルとは，廃棄物から回収した資源を元の製品に用いるのではなく，それ以外の他製品の材料として用いるものである。この場合，回収素材の品位が劣化しているため，廃棄物化以前の用途よりは低い品質の用途に用いられるのでカスケード型と呼ばれる。(6) この分析例として，厨芥処理方法としての発電付き焼却，堆肥化，及び発電付きメタン発酵を評価した［18］がある。発電付き焼却から全厨芥の35%に当たる事業系厨芥を取り出し，堆肥化・メタン発酵を行うとしたシナリオを作成した。堆肥化が焼却廃棄物の熱量増加を考慮しても廃棄物発電よりも温暖化ガスを増加させること，これに対してメタン発酵はその削減に有効である，とする結果が得られた。

以上の例が廃棄物排出形態を所与としているのに対し，③のライフサイクル戦略では製品設計・製品利用形態などの変更により，排出される廃棄物そのものも変化する場合を対象としている。ライフサイクル戦略は広汎な概念であり，易分解設計，素材統一，アップグレード対応設計，製品利用形態管理を始めとした多くの要素がその範疇となる［20］。ライフサイクル戦略はOA機器やカメラの一部がしばしば実行例として取り上げられるが，家電では未だ研究段階であり，具体的な事例は殆ど存在しないと言える。

［21］は家電における易分解性とプラスチック素材統一の効果についての試算を行っている。易分解性を行うことで，素材回収における生産性と回収歩留まりの向上が期待できる。これに併せてプラスチック素材を統一することで，使用済み製品から純度の高いプラスチックを回収することが可能になる。その結果，回収プラスチックの用途としては，販売価格（もしくは逆有償）の低い高炉還元剤などとしてでは無く，一次素材に準じたものとして閉ループでリユースすることが可能になるであろう。［21］はこの考えに沿ったシナリオを作成し，これが本年4月から完全施行された「家電リサイクル」に比べて温暖化ガスと埋立量の両方について，その削減により有効である，との結果を得た。

**関連研究としてのMFA**　関連研究についてひとつ触れておく。そのWIOとの親和性から特筆すべきものとして，マテリアルフロー分析（MFA）［23］を挙げる事ができる。MFAは天然資源採掘に伴って発生する土砂掘削量などのいわゆる「隠れた投入」又は「ecological rucksack」を経

---

（6）　回収素材の劣化・疲労は必ず生じるから［19］，その意味では全てのリサイクルはカスケード型である。ここでは，後述のリユースと区別する意味でカスケード型を用いている。両者の相違は，同一製品の生産に用いられるか否か，すなわちリサイクルが閉ループで行われるか，開ループで行われるか，に関わる物である。

済活動と関連づけようとする所に大きな特徴がある。WIO表では「隠れた投入」を計上していない。これに対してMFAでは廃棄物処理の問題を扱っていない。両者を融合して行く事で，より包括的な環境・経済勘定の開発を目指すことが出来よう［22］。

**今後の課題**　今後の課題として2点を挙げ，本稿を閉じる事にする。WIOも積み上げ法に基づく通常のLCAも，その分析は基本的に静学分析である。これに対し，家電や自動車，建築等の耐久財にあっては，その時間的な廃棄過程を把握することが，現実的な廃棄物管理政策立案に当たって極めて重要である。耐久財が廃棄物へと変化していく時間的過程を考慮したWIOの動学化は今後の大きな課題である。(7)

上で挙げたWIOの応用事例では，廃棄物処理能力などを勘案して作成したシナリオを図3にあるような形でモデルへ実装し，その解を基準値と比較している。この方法により，作成したシナリオの下で特定の政策目標（例えば最終処分場消費の削減）がどの程度達成されるか，は求めることが出来る。しかし，その解が政策目標の最適値を与える保証はない。更に，これがその他の制約条件（例えば，廃棄物処理量の非負性）に抵触しない事も保証されないので，逐一これを確認しなくてはならない。この意味で，現状のシナリオ作成は恣意的であり，一貫性に欠ける点は否めない。これを克服するには，WIOモデルを制約条件付の下で目的関数の極値を求める，という計画モデルへと再構成することが必要である。

（早稲田大学政治経済学部教授）

## 参　考　文　献

［1］細田衛士：『グッズとバッズの経済学』，東洋経済，(1999)。
［2］Nakamura, Shinichiro: "Input-Output Analysis of Waste Cycles, First International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, Proceedings," IEEE Computer Society, Los Alamitos, pp.475-480 (1999).
［3］中村愼一郎「廃棄物循環の線形経済モデル」『三田学会雑誌』92巻2号，pp.86-107（1999)。
［4］中村愼一郎「廃棄物処理と再資源化の産業連関分析」『廃棄物学会論文誌』11巻第2号，pp.84-93（2000)。
［5］中村愼一郎「廃棄物産業連関表：全国表の推定について」『早稲田政治経済学雑誌』340号，pp.171-203（1999)。
［6］近藤康之，高瀬浩二，中村愼一郎：「平成7年度廃棄物産業連関表の推定」，早稲田大学現代政治経済研究所，(2001)。
［7］Leontief, Wassily: "Air Pollution and the Economic Structure: Empirical Results of Input-Output Computations," ［10］所収, pp.273-293 (1972).

（7）　この点については［24］も参照せよ。

[8] Leontief, Wassily: "Structure of the World Economy: Outline of a Sample Input-Output Formulation," [10] 所収, pp.321-337 (1974).
[9] Duchin, Faye: "The Conversion of Biological Materials and Waste to Useful Products," *Structural Change and Economic Dynamics* 1, pp.243-62 (1990).
[10] Leontief, Wassily: *Input-Output Economics*, Oxford University Press, New York (1986).
[11] 中村愼一郎：『Excel で学ぶ産業連関分析』，エコノミスト社，(2000)。
[12] Kuroda, Masahiro, Kanji Yoshioka, and Dale W. Jorgenson: "Relative Price Changes and Biases of Technical Change in Japan," *Economic Studies Quarterly*, 35(2), pp.116-138 (1984).
[13] 溝入茂：『ごみの百年史』，学芸書林，(1988)。
[14] 『Fact Book 廃棄物基本データ集 1999』，日本環境衛生センター (2000)。
[15] 中村 一夫：「新処理技術を組み合わせたシステムの検討」，『廃棄物学会誌』，第9巻7号，pp. 496-508，(1998)。
[16] 田中信寿，松藤敏彦：「都市ごみの総合管理を支援する評価計算システムの開発に関する研究」，北海道大学大学院工学研究科廃棄物資源工学講座廃棄物処分工学分野，(1998)。
[17] 中村愼一郎：「循環型社会におけるサーマルリサイクル」，『資源環境対策』37巻5号，(2001)。
[18] 中村愼一郎，近藤康之，平井康宏：厨芥処理の LCA：廃棄物産業連関の応用，『都市清掃』54巻241号，(2001)。
[19] 武田邦彦：『リサイクル幻想』，文春新書，(2000)。
[20] 梅田靖：「ライフサイクル戦略に基づくライフサイクル設計」，シンポジウム『製品特性に応じたライフサイクル設計—多様な循環型ライフサイクル・シナリオ』，2001年精密工学会春季大会
[21] 中村愼一郎：「ライフサイクル戦略の経済性」，シンポジウム『製品特性に応じたライフサイクル設計—— 多様な循環型ライフサイクル・シナリオ』，2001年精密工学会春季大会
[22] 森口祐一：「環境・資源問題分析のための3次元物量産業連関表の試作」，国立環境研究所，社会環境システム部，(2000)。
[23] Adriaanse A. et al.: Resource Flows: the material basis of industrial economies, World Resource Institute, Washington, D.C. (1997).
[24] 中村愼一郎，「廃棄物の産業連関分析」，『廃棄物学会誌』11巻4号，pp.289-300，(2000)。