

環境分析用産業連関表

産業研究所環境問題分析グループ

池田明由 篠崎美貴
菅 幹雄 早見 均
藤原浩一 吉岡完治

慶應義塾大学産業研究所

慶應義塾大学産業研究所

KEOモノグラフシリーズ No. 7

産業研究所経済部門は‘Keio Economic Observatory’と名付けられている。‘observatory’とは通常天文台とか気象台のような自然現象の観測のための研究施設を指すが、あえてこの部門を‘observatory’と名付ける理由は、われわれが経済学を経験科学として扱うことを欲するからである。それによって、どのようなイデオロギーからも完全に切り離された形で、他の物理的経験科学の諸理論と同等なものとしての経済理論を使用することによって経済現象を客観的に分析したいからである。KEOモノグラフ・シリーズはこの精神を世に示すために企画された。われわれは本シリーズの一巻であるこの書物が経験科学としての経済学の明白な一例を提供するものであることを希望している。

慶應義塾大学産業研究所

Keio Economic Observatory

目次

序章	1
1 緒言	1
2 持続的発展と世界経済	2
3 経済発展と環境負荷の相関:現状分析	2
4 環境改善技術への期待:代替技術の環境評価	4
第1章 環境分析用産業連関表の作成	7
1 はじめに	7
2 1990年環境分析用産業連関表の概要	8
3 1990年環境分析用産業連関表の作成方法	11
4 推計結果—'85年表と'90年表の比較—	28
第2章 生産誘発によるCO₂排出量	33
1 分析のねらいと方法	33
2 生産活動に伴うCO ₂ 排出量の計算	34
第3章 環境家計簿作成のためのCO₂排出点数表	53
1 国民1人当りのCO ₂ 排出量	53
2 環境家計簿作成のためのCO ₂ 排出点数表	58
第4章 省エネルギー住宅の分析	79
1 はじめに	79
2 省エネルギー住宅化のシミュレーション分析	81
3 省エネルギー住宅化による総合効果	92
4 おわりに	95
第5章 電力生産によるCO₂排出	99
1 はじめに	99
2 発電プラント建設データの概要	100
3 CO ₂ 排出量の計測	106
4 総合効果の評価	113

5	結びにかえて	115
第6章	鉄くず・高炉スラグ・フライアッシュのリサイクル	127
1	はじめに	127
2	鉄鋼, セメント, 電力産業のプロダクト・マテリアル・フロー	128
3	モデル	128
4	シミュレーション	138
5	おわりに	153
第7章	故紙リサイクルの分析	155
1	はじめに	155
2	紙・パルプ部門の生産フロー	156
3	故紙リサイクルのモデル	159
4	CO ₂ 排出波及効果の分析	165
5	価格波及効果の分析	169
6	おわりに	174
第8章	自動車の LCA	175
1	はじめに	175
2	LCA 計算で扱う範囲	176
3	計測結果のまとめ	177
第9章	森林の CO₂吸収量推計のための基礎データ	191
1	はじめに	191
2	世界の森林の概要	192
3	森林ストック表の作成	194
4	おわりに	203

一般に自然権 Jus Naturale とよぶ自然の権利とは各人(各国)がかれ自身の自然すなわちかれ自身の生命を維持するためにかれ自身の欲するままにかれ自身の力もちうるという、各人(各国)の自由である。 p.208...

自然的には各人(各国)は、あらゆるものごとに対して権利をもつ。そして、人間の状態(地球環境の状態)は各人の各人に対する戦争の状態であるから、...そこにはいかなる人にとっても、自然が通常、人々にたいしていきるのをゆるしている時間を、いきぬくことについての保証はありえない。 p.209...

権利の相互的な譲渡は、人々が契約とよぶものである。 p.213...

さらに契約者の一方が、かれがなすべきこととして契約されたその物をひきわたして、相手がある定められた期間ののちにそのなすべきことをおこなうのにまかせ、そのあいだ相手を信頼するとしよう。そのばあいその契約は相手の側については約束または信約(条約)とよばれる。あるいは、双方が、現在契約して今後実行するとしよう。この場合は将来実行すべき者は、信頼されているのであり、かれの実行は約束の遵守とよばれる。 p.214...

保留されるならば、人類の平和を阻害するような諸権利をわれわれが第三者に譲渡すべきことを義務づける。...すなわち人々(国々)はむすばれた信約(条約)を実行すべきだというのであって、それがなければ信約は無駄であり空虚な語にすぎない。 p.228...

正義のみなもとはこの自然法に存する。なぜなら、信約がまず存在していなかったところでは、いかなる権利も譲渡されていなかったわけであり、あらゆる人はあらゆる物に対して権利をもつからである。したがっていかなる行為も不正義ではありえない。 p.228...

それゆえに、正義および不正という名辭が、その地位をもちいるためには、そのまえにそこになんらかの強制力があって、人々が信約破棄(条約破棄)から期待する利益よりもおおきな罰により、かれらに平等に信約履行を強制しなければならず、かつまた、人々が相互の信約によって、かれらが放棄する普遍的権利のかわりに獲得する、所有権(環境権)を維持しなければならない。そのような物は、コモン・ウェルス(地球規模のコモン・ウェルス)の樹立以前には存在しないのである。 p.229...

ホブズ『リヴァイアサン(一)』水田洋訳、岩波書店、1978年19刷。
Hobbes.T., *Leviathan, or the Matter, Forme, & Power of a Common-Wealth Ecclesiastical and Civil.*1651. より

序章

池田明由 篠崎美貴
菅 幹雄 藤原浩一
早見 均 吉岡完治

1 緒言

地球環境問題に対する社会科学の見方は、基本的には17世紀以来変わっていない。市民国家の成立に貢献した社会科学のグランド・デザインは、現在でも色あせずに生き生きとしている。その理由は、人類の性向(propensity)が変わっていないのか、社会科学が進歩しなかったのかは分からない。そして冒頭に示したホブス『リヴァイアサン』からの引用は地球環境問題を考えるうえで、社会科学が提示するもっとも貴重な言葉であると我々は思っている。

古典的公害問題は、局所的かつ被害が明確ということから、加害者と被害者がはっきりと分かり、それに対する国や地方自治体の対処も容易であった。裁判で被害者を認定し、新たな加害者を未然に防止するための排出規制などが有効な方法であった。しかし、国境を越えた酸性雨や、温暖化ガス問題など、現代の地球環境問題では話が変わってくる。なにしろ、全ての人々、国々が加害者であり同時に被害者であるといつてよい。そして根本的解決は、我々の生活、経済活動をストップするしかない、ということにもなりかねない。また、被害が明確でなく実感がわからないから、だらだらとこのままの状況を進めていきやすい、という特徴を持っている。このことから、現代地球環境問題への対処は、人々間で、また国々間で「総論賛成」「各論反対」の泥沼に陥りやすい。

地球環境問題に人類がどう対処すべきかについては、まず社会科学のグランド・デザインにふりかえることが混乱を避けるために必要であろう。『リヴァイアサン』の文章であえて「各人」という箇所を「各国」に、「信約」を「条約」に、また「コモン・ウェルス」を「地球規模のコモン・ウェルス」というふうに変えてみた。そのことによって我々のスタンスがより明確になったと思う。後は環境問題に関する哲学に多くを言及する必要はないと思うのである。自然科学、社会科学に関係なく我々に必要なものは「我々の生活が環境負荷にどのように影響を及ぼしておるのか」を地道に実証分析し、その情報を人々に提供するにあり、地球環境条約の基礎資料を作っていくことである。本書は、未完ながらそのような姿勢で行なってきた実証分析集である。

2 持続的発展と世界経済

持続的発展 (Sustainable Development) というキャッチフレーズが、近年いろんな場所で使われている。あまりにも有名なので場合によって、てまえかつてな解釈で使われることもあるので、少しこのフレーズの原点に戻ってみよう。ノルウェーの首相、ブルントラントが1987年にまとめた報告書に端を発しているが、それは「持続可能な発展とは将来の世代の欲求を満たしつつ現代の世代の欲求を満足させるための発展」とされている。したがって現代の世代が天然資源を使い尽くしてしまったり、地球環境を急激に悪化させてしまったのでは、それは満たされない。また、旧東欧諸国や発展途上国の一部の経験からしても経済が発展しないと環境保全対策などに投資予算が回らないわけであるから、豊かな経済でなければ持続的発展は達成できない。つまり環境保全なくして経済発展なし、経済発展なくして環境保全なし、「地球環境保全と経済発展は車の両輪」という考え方になる。

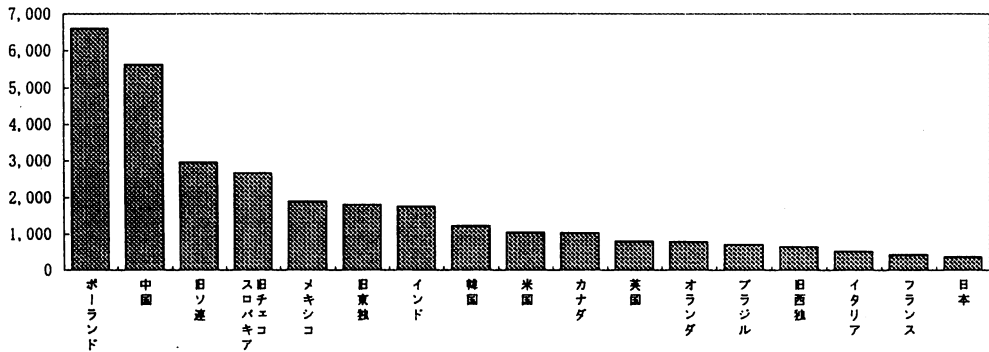
産業革命以来の歴史をみると、一人当たりの生産物の上昇は労働生産性の上昇によって達成されてきた。その裏に資源エネルギーの大量消費を伴っていたことは紛れもない事実である。今でも一人当たりの国内総生産 (GDP) の高い国では途上国と比較すると一人当たりのエネルギー消費は圧倒的に高いわけであるから、持続的発展などは一種の絵に描いた餅とみるむきも多いわけである。

過去の経験をこのように、マクロ的に見ると経済発展とエネルギーの大量使用は相関を持ち、地球環境とはトレードオフになっている。それを真正面から受け止めてしまうと、地球環境保全の世界各国の合意は達成されるすべもない。一人当たり国内総生産 (GDP) が1000ドル以下の発展途上国にとっては、やはり日々の暮らし向きの改善がまず第一の課題である。彼らにとっては一人当たりのGDPが、1万ドル以上の先進国は羨望的になる。しかも、そのような先進国が延々と天然資源エネルギーを消費し地球環境を悪化させてきたことも事実であるから、「我々は経済発展に専心する。先進国はその余剰で環境保全に心がけなさい。地球環境への賠償は先進国が行なってしかるべきだ。」という考え方になってしまい、全世界が一致して地球環境対策にあたるということができない。それでは全世界が同席しなくても、それぞれの国々が汚染因子を下げる枠組みをつくれればよいではないか、と考えられる。しかし、現在のグローバル化した経済では、ある国で環境規制が厳しくても、別の規制の緩い国で汚染因子をたくさん流し生産活動をするということになる。したがって、地球環境の枠組みに対して全世界をまず同席させることが重要であり、そのために「持続的発展」というフレーズは極めて重要な役割を果たしたのである。

3 経済発展と環境負荷の相関:現状分析

経済発展した国ほどエネルギーの使用量が多く、環境に与える負荷もまた大きいという現状が事柄の一面を伝えていることに疑いを持つ人はいない。ただし、忘れてはならない現状のもう一つの側面として、エネルギー利用の経済的効率の問題がある。同じものを生産するのに先進国と発展途上国ではどれだけのエネルギー利用効率が違うかということである。

ここでは化石エネルギーの消費と極めて相関が高く、かつ地球温暖化の主要因であるCO₂と比較して

(単位：百万 t - CO₂/ドル)

(備考) 日本開発銀行「調査」第144号、「国際統計月報」、「世銀アトラス」より作成。

経済価値一単位当たりの二酸化炭素発生量は、各国別にみると大きな格差がある。先進諸国間でも単位当たりでは3倍に達することが示されている。

図1: 国内総生産当たりの二酸化炭素発生量 (CO₂換算トン/ドル)

みよう。どれだけのものを生産したかという指数については国内総生産(GDP)を用いることにする。国内総生産には農産物や工業製品のようなものだけではなく、医療・教育などのサービス活動や商業・流通などの第三次産業の活動も含まれている。上記のようにして得られた二酸化炭素(CO₂)の発生量を国内総生産で割った値を図1に示してある。図にはOECD諸国と旧東欧圏の国々が描かれているが、国内生産一単位当たりで二酸化炭素の発生量を比較すると、非常に大きな格差があることに気づく。ポーランドや中国で1ドルの価値を生み出すのに5500g以上の二酸化炭素を発生させる一方で、日本では370gの二酸化炭素しか発生させない。実に15倍の格差が存在しているわけである。

あるいは同じ先進国でも米国と日本では3倍の格差がある。このような国間の格差は、工夫によっては世界全体の二酸化炭素発生量を低下できることを暗示しているともいえよう。そこでさらに詳細に何が原因かを調べてみる必要がある。

第一に考えられることは、一国の産業構造である。国内生産一単位当たりの二酸化炭素の発生量(発生係数)が大きい国は、エネルギー多消費型の産業に偏っている側面がある。米国と日本を比較すると、米国の方がサービス産業化が進んでいるので、これだけがその要因と考えるわけにはいかない。

第二に考えられることは、使用するエネルギーの種類である。より炭素含有率の高い石炭を主としたエネルギー源とする国は確かに高い発生係数になりうる。典型的には中国や旧東欧諸国である。しかし先進諸国のように石油中心のエネルギー構成の国でもまだ差がある。

第三には一単位の生産を行なうのに必要なエネルギーの量(エネルギー効率)が違うという問題がある。

日本では二度にわたる石油危機で省エネルギー投資が行われてきた。企業経営としては、石油の値段が上がっても別のコスト、たとえば労働コストを下げることであれば、同じ利益が得られるので、これらの投資の一部は労働の節約に用いられていることは確かである。それでも国際間で比較すると低い二酸化炭素発生係数を実現している日本では、その効果があったと考えることができる。

このような国際間の格差をより正確に把握しようとする、個別の財・サービスについてどのような発生係数になっているかをより綿密に調べる必要がある。そこで、製品別にどれだけ二酸化炭素を誘発する量が異なるかを日本のデータで見たのが第2章と第3章の分析である。第2章は、生産活動にともなって発生するCO₂の負荷を分析したものであり、第3章は消費活動にともなって発生するCO₂の負荷を分析したものである。これを見て驚くことは、発生係数の格差である。第一に同じ食品でも酪農と漁業では7倍も発生量が異なることである。漁船による重油の消費が負荷を高めている原因である。第二に同じ製造業製品でもセメントとカメラでは58倍も異なることである。

このように環境負荷の発生という問題は、同じ日本でしかも同じ製造業でも作る製品によって極端な違いがでてくる性質のものだということは非常に重要な認識である。なぜならば、新製法などで技術的に代替することによって同じ機能を実現するにも、数十倍も環境負荷が異なる可能性があるからである。しかも第二次産業から第三次産業あるいは第一次産業へといった大規模な産業構造の変化よりも、むしろ第二次産業内での格差も無視できないほど大きいという事実である。持続的発展がなにか大転換によってのみ実現できるという考えをこの事実は否定している、そう解釈できるのである。

4 環境改善技術への期待:代替技術の環境評価

ここでは、シミュレーション結果による二酸化炭素の削減効果の要約を述べることにしよう。国ごとに汚染因子発生量やエネルギー効率の大きな違いがあること、さらには同じ国で同じ産業内でも非常に大きな汚染因子発生係数に格差があることが明らかになってきた。このことから製品の代替や新製法によってごわずかではあるけれども無視できない改善を積み重ねていくことで、持続的発展が実現できる見通しがついてきたわけである。

経済政策的側面からすれば、しばしば環境税の導入によって化石燃料の消費を抑える政策を考えたり、排出権を発行することで排出総量の規制をする政策の効果を論じている。しかし、これらの政策を各国ばらばらに行っていたのでは、規制の弱い国に生産拠点を移すというような歪みが発生することは避けられない。自動車の排ガス規制のように新技術の発展を誘発する効果は、フロン規制など限られた領域には有効である。

規制をすると違反がおきるので、それを監督するのにコストがかかる。監督が容易な限られた製品や分野ならば、有効性はあるといえるかもしれない。規制を導入するかどうか、どのような規制を行なうかなどの決定事項を審議しているうちに貴重な時間を浪費するだろう。まして世界中の国が関係する持続的発展のシナリオは、東アジアの諸国など急成長をとげている国々がすでに化石燃料を大量消費しはじめており、それほどゆとりのある問題ではなくなっている。

化石燃料の消費のようにあらゆる製品や経済活動に付随していることがらに関しては、どこの国でも受け入れやすく、だれも損はしない新技術の開発によって達成する道を探ったほうが効果的であろう。しかも、比較的容易でこれまでの技術の組み合わせによって二酸化炭素の削減を達成できる例から紹介しよう。

第4章は、省エネ住宅を建設した際に追加的に発生する二酸化炭素の量と住宅に居住することで削減できる量をそれぞれ計算したものである。省エネ住宅とは断熱材を増やし、窓ガラスを多層にするといっただけのものである。省エネ住宅によって年間一戸当たり586.7kgの二酸化炭素削減効果があることが示されている。すべての家屋に適用されるとすると、全発生量の2.2%程度のボリュームになる。さらに業務用家屋にも適用されるとより大きな削減効果が期待できる。2%程度の削減は、第9章の分析によれば日本の森林が1年間に吸収する二酸化炭素の量の1/5程度ということになり、小さいけれども無視できない大きさであることがわかるだろう。

第5章、電力の分析では、微粉炭(石炭)火力、LNG火力、石油火力と原子力のCO₂負荷を、建設に必要なエネルギー・資材を含めて評価したものである。やはり、CO₂という観点からだけだと、原子力の負荷がもっとも低くなる。それは建設よりも運用に必要なエネルギーが大きいためである。地球環境という問題をCO₂という軸だけで評価してよいものか、安全性はどうなるのかという疑問が浮かぶであろう。それはここでの研究だけでは解決しない問題である。

第6章では、鉄くず・高炉スラグ・フライアッシュのリサイクルについて述べる。CO₂固定発生源の3大部門、鉄鋼、セメント、電力は、今後も基礎設備産業として依然として重要であることには変りない。これら3大固定発生源産業のCO₂排出を削減するために、個別産業ではなく複数の産業のシステムとして、どれだけの省エネルギーが可能であるかということに注目した。資本設備の更新から発生する鉄くず、銑鉄生産の副産物である高炉スラグ、電力生産の副産物であるフライアッシュを有効利用することによって、いったいCO₂をどれだけ削減することが出来るのか計算してみた。

第7章は、故紙のリサイクルを分析している。リサイクルは有効かという問題を分析するには、これまで見過ごされてきた領域まで評価の対象とする必要がある。第一に故紙を収集する際の自動車から排出されるCO₂である。第二に故紙のリサイクルに必要な原燃料とバージンパルプから紙を作るために必要な原燃料では異なることがある。第三に紙はゴミとして処理されるとゴミ発電のエネルギー源になりうることである。ここでは第二までの領域をカバーした分析を行っている。その結果、CO₂という観点からは故紙利用の方が環境負荷は小さいことがわかる。その理由は、パルプ廃液を燃料として再利用する際のCO₂負荷が大きいためである。ただしリサイクル紙はパルプ廃液がエネルギーとして使えなくなるために重油を利用する比率が高くなる。したがって故紙を使うと石油多消費タイプの技術になることがわかる。

第8章は、自動車のLCA(Life Cycle Assessment)分析を行っている。LCAは土から生まれて土にかえるまでの製品の環境負荷を計測する評価方法である。その領域は、工場の建設、原料の採掘・運搬輸送、部品製造への多段階的波及、運用、保守、廃棄、リサイクルにまでわたっている。ここでは廃棄、リサ

イクル以外の領域はすべてカバーした分析を行っている。その結果は、製造段階では電力、輸送などのどの段階でも投入されるジェネラルインプットの環境負荷が大きいことがわかった。全体としては、走行によるCO₂の排出が大きい。このようなトータルな分析から、どの分野での技術革新が環境負荷を低減するのに効果的かが一目でわかるようになる。

第9章では森林の成長によるCO₂吸収量の推定作業について述べる。今後行う予定であるCO₂吸収を含めた各種シミュレーションでは、樹種別、樹齢別、地域別の森林存在量とそれぞれに対応するCO₂吸収量を推定する必要があると考えられるからである。この作業は未だ途上にあるが現在の作業が完了したところまでを紹介したいと思う。ここではFAO、林野庁の推定をもとにわが国の森林ストックについて世界の森林との比較および属性別分布を示している。

今後さらに分析したい技術もある。たとえば、バイオテクノロジーとマルチメディア社会がある。たとえばバイオテクノロジーは、農業関係あるいは化学でも医薬品の製造に近いアクティビティである。これらの産業活動からは、さきに見たように二酸化炭素の発生量は少ないものである。あるいはマルチメディア社会と環境持続的発展は両立するものだろうか？情報関連機械については、半導体や電子計算機などは低い発生係数である。これに加えてもっとも発生係数の低い活動として電子計算機・同関連機器賃貸業がある。100万円の価値を産み出すのに315kgしか二酸化炭素を誘発しない。通信サービスも低い排出係数で593kgである。これは低いほうから7番目の産業活動である。まだ現状では、バイオテクノロジーやマルチメディアが進んだ産業・社会というものがどのようなものか想像の域をでないが、現在の類似産業の環境負荷係数からすると、負荷の著しく低い産業群であるということが出来る。どのような技術が有効かについては、経済システム全体で評価して決めなければならない。そのためにわれわれの研究が役立つことを期待している。

以上、本著をまとめるにあたっての基本スタンスと分析の概要をかいつままで述べてきたが、序章を終えるにあたって研究を支援してくださった方々に一言感謝を述べたい。慶應義塾大学産業研究所の先生方、特に辻村江太郎先生、小尾恵一郎先生、尾崎巖先生、岩田暁一先生、黒田昌裕先生には貴重な批判と示唆を受けており、現在の研究はこれに負うところがきわめて大きい。また、膨大なデータ収集とコンピューター計算に際しては平成3-4年度文部省科学研究費補助金、重点領域研究『高度技術社会のパースペクティブ』からの援助、旭硝子財団研究助成金、鹿島学術振興財団研究助成金の援助を受けている。記して謝意を表したい。

第1章

環境分析用産業連関表の作成

1 はじめに

経済活動とエネルギー消費や大気汚染の関係を分析するために、産業連関分析の手法は有効であると考えられる。もともと産業連関表は、ある産業の生産活動がその中間財消費を通じて、ほかの産業とどのように関係しているかを、直接効果だけでなく間接効果までも含めて分析するのに用いられてきた。のちにみるように、環境問題を考察する上でもこのような直接・間接効果を視野に入れた分析視点が大変重要である。環境分析用産業連関表（環境I/O）は、そのような分析のために従来データの対象範囲をひろげて作成した表であり、これまでに1985年と1990年の表が完成している。環境I/Oのおもな特徴点は、つぎの2点である。

第1に、産業別・エネルギー品目別にエネルギー消費量と大気汚染物質排出量を推計していることである。産業部門数は1985年表で406部門、1990年表で405部門と産業連関表の基本分類ベースである。このような詳細な産業分類でデータを作成したことが、技術者からの省エネ的・環境負荷削減的な技術的情報をシミュレーションの中に取り込むことを可能にした。エネルギー品目数は1985年表で47品目、1990年表で50品目である。エネルギー品目の中には、LNGや高炉ガス、転炉ガスなどの副生ガスのように、政府が公表している産業連関表の物量表にはないが、省エネ技術の評価に不可欠な品目がある。大気汚染物質数は SO_x 、 NO_x 、 CO_2 の3種類であるが、現在のところ1990年表では CO_2 の作成が完了している。

第2に、 CO_2 排出量を単にエネルギー品目別のエネルギー消費量と炭素含有量から割り出したのではないことである。すなわち、個別産業の生産プロセスに関する情報に基づいて、その産業の CO_2 排出量をより正確に推計する方法を工夫している。例えば、エネルギー・マテリアルの燃焼した比率を計算して CO_2 排出量をもとめている部門もあれば、炭素バランス（エネルギー・マテリアルとして投入された炭素量と製品やガスとして産出された炭素量のバランス）を計算して CO_2 排出量をもとめている部門もある。

本章の構成は以下のようにになっている。まず第2節で1990年環境I/Oの概要を説明する。第3節では環境I/Oの作成方法について説明する。最後に第4節では、1990年環境I/Oの推計結果を示すとともに1985年環境I/Oとの比較を行う。

表1 1990年環境分析用産業連関表のエネルギー品目一覧

名称	物量単位	物量単位当 たり発熱量	熱量単位当たり CO ₂ 排出量	炭素含有率
石灰石	t			0.120
フライアッシュ	t			
高炉スラグ	t			
原料炭	t	7,600Mcal/t	363.000kg-CO ₂ /Gcal	
一般炭	t	6,074Mcal/t	379.280kg-CO ₂ /Gcal	
原油	kl	9,250Mcal/kl	286.403kg-CO ₂ /Gcal	
天然ガス	1000m ³	9,800Mcal/1000m ³	206.763kg-CO ₂ /Gcal	
LNG	t	13,000Mcal/t	206.763kg-CO ₂ /Gcal	
揮発油	kl	8,400Mcal/kl	280.793kg-CO ₂ /Gcal	
ジェット燃料油	kl	8,700Mcal/kl	281.050kg-CO ₂ /Gcal	
灯油	kl	8,900Mcal/kl	284.093kg-CO ₂ /Gcal	
軽油	kl	9,200Mcal/kl	287.430kg-CO ₂ /Gcal	
A重油	kl	9,300Mcal/kl	290.070kg-CO ₂ /Gcal	
B・C重油	kl	9,800Mcal/kl	299.933kg-CO ₂ /Gcal	
ナフサ	kl	8,000Mcal/kl	278.850kg-CO ₂ /Gcal	
液化石油ガス	t	12,000Mcal/t	250.543kg-CO ₂ /Gcal	
改質生成油	kl	8,000Mcal/kl	318.743kg-CO ₂ /Gcal	
炭化水素油	t	9,800Mcal/t	318.743kg-CO ₂ /Gcal	
石油系炭化水素ガス	1000m ³	9,400Mcal/1000m ³	318.743kg-CO ₂ /Gcal	
石油コークス	t	8,500Mcal/t	389.107kg-CO ₂ /Gcal	
コークス	t	7,200Mcal/t	451.000kg-CO ₂ /Gcal	
コークス炉ガス	1000m ³	4,800Mcal/1000m ³	188.600kg-CO ₂ /Gcal	
高炉ガス	1000m ³	800Mcal/1000m ³	910.800kg-CO ₂ /Gcal	
転炉ガス	1000m ³	2,000Mcal/1000m ³	767.100kg-CO ₂ /Gcal	
電気炉ガス	1000m ³	2,000Mcal/1000m ³	767.100kg-CO ₂ /Gcal	
炭鉱ガス抜きガス	1000m ³	8,600Mcal/1000m ³	210.400kg-CO ₂ /Gcal	
コールタール	t	7,660Mcal/t	432.250kg-CO ₂ /Gcal	
粗ベンゾール	t			0.923
銑鉄	t			0.040
粗鋼（転炉）	t			0.003
粗鋼（電気炉）	t			0.003
銑くず	t			0.040
鋼くず	t			0.003
事業用電力	百万kwh	860kcal/kWh		
自家発電	百万kwh	860kcal/kWh		
廃熱発電	百万kwh	860kcal/kWh		
都市ガス	1000m ³	10,000Mcal/1000m ³	213.950kg-CO ₂ /Gcal	
熱供給	百万kcal			
パルプ黒液	絶乾t	3,000Mcal/絶乾t	394.203kg-CO ₂ /Gcal	
一般廃棄物	t	1,580Mcal/t	353.300kg-CO ₂ /Gcal	
廃材	絶乾t	4,000Mcal/絶乾t	322.300kg-CO ₂ /Gcal	
紙屑	t	4,490Mcal/t	378.619kg-CO ₂ /Gcal	
木屑	t	4,200Mcal/t	404.762kg-CO ₂ /Gcal	
廃油	t	6,450Mcal/t	449.612kg-CO ₂ /Gcal	
廃プラ	t	7,726Mcal/t	336.526kg-CO ₂ /Gcal	
汚泥	t	3,500Mcal/t	314.286kg-CO ₂ /Gcal	
廃タイヤ	t	7,726Mcal/t	336.526kg-CO ₂ /Gcal	
高炉ダスト	t			0.300

2.1 金額表

図1の中のAの部分は部門間の取引関係を生産者価格表示の金額で示しており、われわれはこれを金額表とよんでいる。金額表は、1990年産業連関表の取引基本表から集計したものである。集計方法については第3.1節で説明する。

2.2 物量表

図1の中のBの部分は、50種類のエネルギーについて各部門が消費した量を物量単位（t,kl,1000m³など）で示した表であり、われわれはこれを物量表とよんでいる。政府が公表している産業連関表にも付帯表として、物量表がある。われわれの物量表は、政府の公表した物量表にあるエネルギー品目についてはそのデータをそのまま使用し、ない品目についてはその他の統計資料から推計した表である。その他の統計資料から推計した方法や資料出所については第3.2節で述べる。物量表に表示されているエネルギー・マテリアルの種類は表1のとおりである。物量表には、石炭、LNG、原油、石油製品、石炭製品といったエネルギーのほかにマテリアルも表示されている。例えば、石灰石、高炉ダスト、銑鉄、粗鋼（転炉）、粗鋼（電気炉）、銑くず、鋼くずはエネルギーではなく、炭素収支計算を行うために必要なマテリアルである。また、一般廃棄物、産業廃棄物（廃材、動植物性残さ、紙屑、木屑、繊維屑、廃油、廃プラ、汚泥）、廃タイヤといった廃棄物も表示されている。さらに、フライアッシュ、高炉スラグはCO₂排出量の推計には関係ないが、第6章のシミュレーションに必要なマテリアルである。

2.3 熱量表

図1の中のCの部分は熱量表である。熱量表とは、50種類のエネルギーについて各部門が消費した量を熱量単位で示した表である。50種類のエネルギーの種類および名称は物量表と同じである。熱量の単位としてはTcal（テラ・カロリー）を用いている。熱量表の作成方法については第3.3節で説明する。

2.4 CO₂発生量表、CO₂控除量表、CO₂排出量表

この3つの表のうち、CO₂発生量表、CO₂控除量表はCO₂排出量の推計に必要な表である。そこでCO₂排出量の推計手順にあわせて、この3つの表の関係を説明する。まず、投入されたエネルギー・マテリアルの炭素分がすべてCO₂になったと想定してCO₂発生量を推計する。これが図1の中のDの部分であり、これをわれわれはCO₂発生量表とよんでいる。次に、CO₂発生量のうち実際にはCO₂にならなかった分（控除）を推計する。これが図1の中のEの部分であり、これをわれわれはCO₂控除量表とよんでいる。最後に、CO₂発生量から控除分を差し引いて、CO₂排出量を推計する。これが図1の中のFの部分であり、これをわれわれはCO₂排出量表とよんでいる。以上の表の作成方法については第3.4節で説明する。

3 1990年環境分析用産業連関表の作成方法

1990年環境I/Oの作成フローを図2に示した。まず、1990年産業連関表の取引基本表を集計して、金額表を作成する。次に物量表を作成し、それに基づいて熱量表、CO₂発生量表を作成する。その次に「燃焼比率方式」と「炭素収支表方式」という2つの方法でCO₂控除表を作成する。最後にCO₂発生量表とCO₂控除量表からCO₂排出量表を推計する。第3節では環境I/Oの作成方法について説明する。第3節の構成は以下のようになっている。まず、第3.1節では金額表の作成方法について説明する。第3.2節では物量表の作成方法について説明する。第3.3節では熱量表の作成方法について説明する。第3.4節ではCO₂発生量表、CO₂控除量表、CO₂排出量表の作成方法について説明する。

3.1 金額表の作成方法

金額表は、1990年産業連関表の取引基本表から集計して、作成したものである。金額表と取引基本表の部門分類の対応関係について説明する。まず、取引基本表の部門数は列部門が411、行部門が527である。取引基本表の各部門にはそれぞれコードがつけられており、列コードは6ケタの数字、行コードは7ケタの数字である。行コードの上から6ケタの数字が同じ行部門を統合すると部門数は407になる。すなわち表のサイズは列部門数が411、行部門数が407になる。この列411部門の中の399部門は、行407部門の中の399部門に1対1で対応している。列部門の残りの12部門を6部門に統合して405部門とし、行部門の残りの8部門を6部門に統合して405部門とした。これが環境I/Oの部門分類である。このような統合を行った部門の環境I/Oと取引基本表の部門分類の対応は表2のとおりである。左側に環境I/Oの部門分類のコードと名称を、それに対応する取引基本表の部門分類のコードと名称を右側に示した。例えば、環境I/Oの野菜部門は、取引基本表の野菜（露地）部門と野菜（施設）部門を統合したものであることが示されている。

3.2 物量表の作成方法

石灰石、原料炭、一般炭、原油、揮発油、ジェット燃料油、灯油、軽油、A重油、B・C重油、ナフサ、液化石油ガス、コークス、銑鉄、粗鋼（転炉）、粗鋼（電気炉）、事業用電力、都市ガス、熱供給の19種類のエネルギー品目の部門別消費量については、政府が公表している産業連関表の物量表の値をそのまま環境I/Oの物量表に使用した。しかし、これらのエネルギー品目以外は、その他の統計資料を使用して部門別消費量を推計した。推計に使用した統計資料には、政府が公表している産業連関表の取引基本表、「石油等消費構造統計年報」、「鉄鋼統計年報」、「石油等消費動態統計年報」、「エネルギー生産・需給統計年報」、「ガス事業所統計年報」、「電力需給の概要」、「国民衛生の動向」、「気候変動に関する国際連合枠組条約」に基づく日本国報告書がある。これらの統計資料を、環境I/Oの物量表のどこの部分の推計に使用したのかを示したのが図3である。図3をみながら、物量表の部分別に作成方法を説明していこう。

表2 統合を行った部門の環境I/Oと取引基本表の部門分類の対応

環境I/Oの部門分類		取引基本表の部門分類	
符号	名称	符号	名称
列部門			
011300	野菜	011301	野菜（露地）
		011302	野菜（施設）
031100	沿岸・沖合・遠洋漁業	031101	沿岸漁業
		031102	沖合漁業
		031103	遠洋漁業
031200	内水面漁業・養殖業	031201	内水面漁業
		031202	内水面養殖業
261101	銑鉄	261101	銑鉄
271109	その他の非鉄金属地金	271109	その他の非鉄金属地金
511100	事業用電力	511101	事業用原子力発電
		511102	事業用火力発電
		511103	水力・その他の事業用発電
行部門			
011300	野菜	011300	野菜
031100	沿岸・沖合・遠洋漁業	031100	海面漁業
031200	内水面漁業・養殖業	031200	内水面漁業・養殖業
261101	銑鉄	261101	銑鉄
		261201	鉄屑
271109	その他の非鉄金属地金	271109	その他の非鉄金属地金
		271201	非鉄金属屑
511100	事業用電力	511100	事業用電力

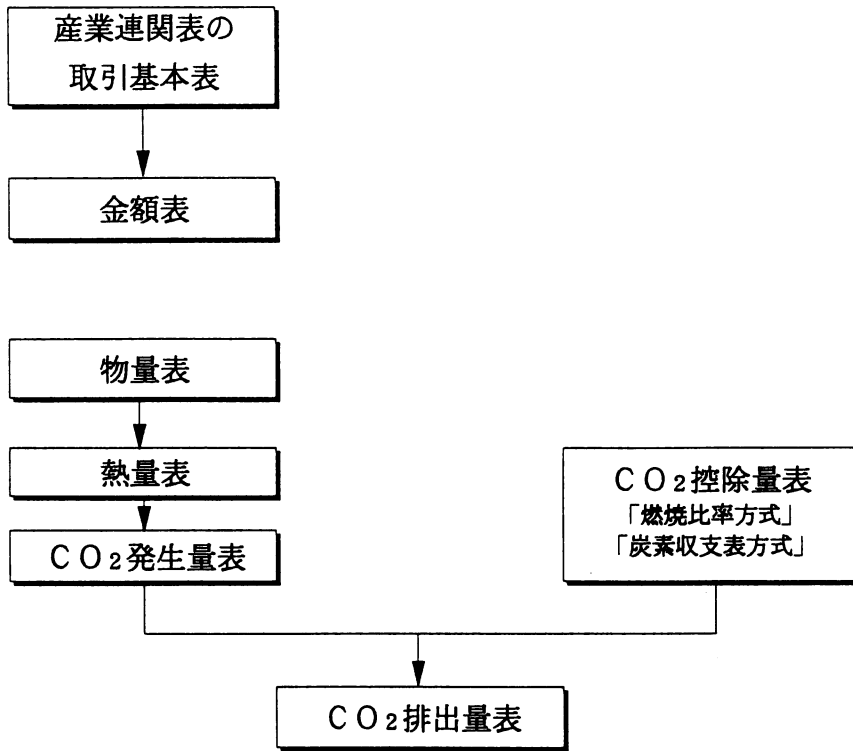


図2 1990年環境分析用産業連関表の作成フロー

エネルギー品目名	部門	農林漁業部門	鉱業部門	製造業部門	膨らみ部 3部門	石油製品 部門 1.0部門	鉄鋼 部門 1.0部門	サービス・その他の部門	電力 部門	都市ガス 部門	産業物産部 2部門
原料炭 一般炭 原油					産業連関表・物量表						
天然ガス LNG					産業連関表・取引差本表 〔3.1.1 節で説明〕						
揮発油 ジェット燃料油 灯油 軽油 A重油 B・C重油 ナフサ 液化石油ガス コークス コールタール 事業用電力 自家発電 都市ガス 熱供給					産業連関表・物量表						
改質生成油 液化水素油 石油系炭化水素ガス 石油コークス コークス炉ガス 高炉ガス 転炉ガス 電気炉ガス 炭酸ガス抜きガス					〔石油等消費構造統計年報〕 〔第3.1.2 節で説明〕	エネルギー 生産 統計 年報 供給	石油 消費 動態 統計 年報		電力 供給 の 概要	ガス 事業 統計 年報	
炭材 バルブ部炭											
一般炭素物 紙質 木屑 炭油 炭プラスチック 汚泥											

図3 物量表作成に用いた資料の出所

3.2.1 産業連関表の取引基本表からの推計

天然ガス、LNGの2種類のエネルギー品目の部門別消費量は、政府が公表している産業連関表の取引基本表から推計した。推計手順を説明すると以下のようになる。まず、取引基本表には天然ガス部門がある。この天然ガス部門には天然ガスだけでなく、LNGも含まれている。取引基本表には、天然ガス部門の各部門への産出額だけでなく、各部門への産出額のうち輸入分がどれくらいであるかも示されている。現在、日本ではLNGは生産されておらず、すべて輸入されている。逆に、天然ガスの輸入はされていない。したがって、取引額表に示されている天然ガス部門の各部門への産出額のうち、輸入分はLNG、国産分は天然ガスであることになる。そこで、取引額表に示されている各部門への産出額のうち輸入分をLNG単価で割ってLNG消費量を計算し、国産分を天然ガス単価で割って天然ガス消費量を計算した。

LNGの単価の計算にあたっては、LNGの大口需要先である都市ガス部門のLNG消費量が「ガス事業統計年報」に記載されている都市ガスのLNG消費量に一致するように、そしてLNGの消費量合計が「日本貿易統計月表」に記載されているLNG輸入量に一致するように設定した。天然ガスの単価は産業連関表の「部門別品目別国内生産額表」に記載されている単価を用いた。物量表の推計に用いたLNGと天然ガスの単価を表3に示した。

表3 物量表の推計に用いたLNGと天然ガスの単価

都市ガス部門のLNG単価	25,376 円/t
その他の部門のLNG単価	29,230 円/t
天然ガスの単価	37,467 円/1000m ³

3.2.2 『石油等消費構造統計年報』からの推計

改質生成油、炭化水素油、石油系炭化水素ガス、石油コークス、コークス炉ガス、高炉ガス、転炉ガス、電気炉ガス、炭鉱ガス抜きガス、パルプ黒液の10種類のエネルギー品目の工業部門の消費量は、「石油等消費構造統計年報」から推計した。工業部門に限定されるのは、「石油等消費構造統計年報」のカヴァレッジが鉱工業部門に限られており、農林水産業、サービス業、都市ガス、発電、廃棄物処理の産業に関しては調査がないためである。また工業部門のなかでも、産業連関表の鉄鋼10部門については、「石油等消費構造統計年報」ではなく、「鉄鋼統計年報」と「石油等消費動態統計年報」から消費量を推計した。同様に紙・パルプ部門については「石油等消費動態統計年報」から推計し、石油製品部門については「エネルギー生産・需給統計年報」から推計した。これらについては後節で説明する。

「石油等消費構造統計年報」の中で推計に使用したのは「産業別統計表」である。「産業別統計表」には、(1)燃料別の受入、発生・回収又は生産・消費、払出、在庫、(2)電力の購入、自家発電、消費及び

販売が記載されている。さらに(1)の燃料別の消費の内訳は原料用、ボイラ用、直接加熱用、その他用に分かれている。

『石油等消費構造統計年報』の産業分類は工業統計の産業分類に基づいており、産業連関表の部門分類とは異なっている。『石油等消費構造統計年報』の産業分類別エネルギー消費量のデータを、産業連関表の部門分類にあわせて組み替えた。その作業手順は以下のとおりである。

- I. 工業統計の産業分類を産業連関表の部門分類へ組み替えるためのコンバータを作成する。
- II. 工業統計の産業分類別の（自家発電用を含む）エネルギー消費量、（自家発電用を含む）ボイラ用エネルギー消費量、自家発電量をコンバータにしたがって産業連関表分類へ組み替える。
- III. 産業連関表の部門分類に組み替えされたボイラ用エネルギー消費量、自家発電量から自家発電用エネルギー消費量を推計する。
- IV. 推計された自家発電用エネルギー消費量を、産業連関表の自家発電部門のエネルギー消費量にまとめて計上する。この段階で、産業連関表の部門分類への組み替えが完了する。

各段階の作業内容についてはそれぞれ詳しい説明を要するので、以下小節にわけて説明する。

I. コンバータの作成

工業統計の産業分類と産業連関表の部門分類のコンバータは、『1990年産業連関表 計数編(2)』の末尾に記載されている「産業連関表—工業統計(産業)コード対応表」を使用した。「産業連関表—工業統計(産業)コード対応表」から作成したコンバータの形式は、図4に示されている。図4を縦方向に見ていくと産業連関表の各部門分類には、工業統計のどの産業分類が対応しているか、またその製品出荷額の何%が格付られているのか示されている。たとえば第*i*列目を縦方向に見ていくと、産業連関表の第*i*部門には、工業統計の第1産業の製品出荷額のうち S_{1i} %, 第2産業の S_{2i} %が格付られているということがわかる。ここで S_{ki} は、工業統計の第*k*産業の製品出荷額のうち、産業連関表の第*i*部門に格付られる割合(単位:%)を示す。

産業連関表の部門分類

		1	2	...	...	i	...	...	n	
石油等消費構造統計	石	1	S_{11}	S_{12}	...	...	S_{1i}	...	...	S_{1n}
	油	2	S_{21}	S_{22}	...	...	S_{2i}	...	...	S_{2n}
	等	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	消	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	費	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	統	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	計	k					S_{ki}			
	造	⋮								
	業	⋮								
	分	⋮								
	類	⋮								
	計	m	S_{m1}	S_{m2}	...	...	S_{mi}	...	...	S_{mn}

図4 コンバータの形式

II. 『石油等消費構造統計年報』のデータの産業連関表分類への組み替え

工業統計の産業分類別のエネルギー消費量のデータをコンバータにしたがって産業連関表分類へ組み替える。組み替えは次式のように行う。

$$E_{ji}^T = \sum_k \Phi_{jk}^T \cdot \frac{S_{ki}}{100}$$

Φ_{jk}^T : 第k産業（工業統計の産業分類）への第jエネルギー品目の消費量（自家発電用を含む）

E_{ji}^T : 第i部門（産業連関表の部門分類）への第jエネルギー品目の消費量（自家発電用を含む）

また、『石油等消費構造統計年報』では各産業のエネルギー消費量の用途別内訳（原料用、ボイラ用、直接加熱用、その他用）も示されている。用途別内訳のうちボイラー用エネルギー消費量についても、コンバータにしたがって産業連関表分類へ組み替える。組み替えは次式のように行う。

$$E_{ji}^b = \sum_k \Phi_{jk}^b \cdot \frac{S_{ki}}{100}$$

Φ_{jk}^b : 第k産業（工業統計の産業分類）への第jエネルギー品目のボイラー用エネルギー消費量（自家発電用を含む）

E_{ji}^b : 第i部門（産業連関表の部門分類）への第jエネルギー品目のボイラー用エネルギー消費量（自家発電用を含む）

また、『石油等消費構造統計年報』には各産業の自家発電量も記載されている。自家発電量についても、コンバータにしたがって産業連関表分類へ組み替える。組み替えは次式のように行う。

$$Q_i = \sum_k \Psi_k \cdot \frac{S_{ki}}{100}$$

Ψ_k : 第k産業（工業統計の産業分類）の自家発電量

Q_i : 第i部門（産業連関表の部門分類）の自家発電量

なおこの集計には、次のような仮定がおかれている。すなわち、ある工業統計の産業分類で生産された財は、それがどの産業連関表部門分類に格付られたとしても、エネルギー消費係数が同じという仮定である。これをいいかえると、ある産業（工業統計分類）で生産されたすべての商品（産業連関表部門分類）は同じエネルギー消費係数を持つということになり、よく産業技術仮定と呼ばれる仮定に類似している。このような仮定が現実妥当的かどうかについては議論の余地があるが、しかしこれに代わる統一的な情報がなかったためこの方法を用いた。

III. 自家発電用エネルギー消費量の推計

上のように組み替えされた『石油等消費構造統計年報』のデータは、自家発電に使われたエネルギー消費分について補正を行う必要がある。というのは『石油等消費構造統計年報』では各産業のエネルギー消費量の中に自家発電のために使われた分も含まれている。それに対して産業連関表では各部門が行った自家発電活動を、その部門の主たる生産活動とは区別し自家発電部門という独立の部門分類を設けている²。つまり『石油等消費構造統計年報』は自家発電分込みで推計されているエネルギー消費量から、自家発電分を除く必要があるわけである。

自家発電（火力）の発電プロセスは、ボイラへのエネルギー消費 → 蒸気発生 → 蒸気タービンの回転 → 発電ということになる。このような発電プロセスを念頭において、自家発電用エネルギー消費量を以下のように計算した。まず『石油等消費構造統計年報』から、工業統計の各産業分類の自家発電用エネルギー消費量を次式で計算する。

$$E_{ji}^a = \frac{\epsilon \cdot Q_i}{\sum_j (\delta_j \cdot E_{ji}^b)} \cdot E_{ji}^b$$

E_{ji}^a : 第 i 部門への第 j エネルギー品目の自家発電用エネルギー消費量

ϵ : 電力 1kWh あたり発熱量 (= 860 kcal/kwh)

δ_j : 第 j エネルギー品目の物量単位あたり発熱量

ϵ と δ_j はそれぞれ、電力と第 j エネルギー品目の単位物量あたり発熱量であり、計算に用いた値は表 1 に示したとおりである。

IV. 自家発電用を除くエネルギー消費量の推計

最終的に産業連関表の第 i 部門と自家発電部門への第 j エネルギー品目の（自家発電用を除く）エネルギー消費量が、次のように求められる。

$$E_{ji} = E_{ji}^T - E_{ji}^a$$

$$E_j^s = \sum_i E_{ji}^s$$

E_{ji} : 第 i 部門での第 j エネルギー品目の消費量（自家発電用を除く）

E_j^s : 自家発電部門での第 j エネルギー品目の消費量

²いわゆる、産業連関表における 1 産業 1 アクティビティの仮定である。

3.2.3 『鉄鋼統計年報』、『石油等消費動態統計』からの推計

改質生成油、炭化水素油、石油系炭化水素ガス、石油コークス、コークス炉ガス、高炉ガス、転炉ガス、電気炉ガス、炭鉱ガス抜きガス、コールドール、粗ベンゾールの鉄鋼10部門への消費量は、『鉄鋼統計年報』と『石油等消費動態統計年報』から推計した。『鉄鋼統計年報』以外に『石油等消費動態統計年報』も必要である理由は、『石油等消費動態統計年報』の機械器具部門が、産業連関表の鑄鍛工製品に分類される製品を作っているからである。『石油等消費構造統計年報』を用いなかったのは、産業連関表の鉄鋼部門の分類概念と工業統計の鉄鋼産業の分類概念のギャップが特に大きいからである。例えば、産業連関表の鉄鋼部門の分類では、銑鉄、粗鋼、圧延、…という具合に生産工程別あるいは財別の分類概念がとられているが、工業統計の鉄鋼産業の分類では、高炉による製鉄業、高炉によらない製鉄業、…というように、事業所別あるいは生産主体別の概念となっている。この場合、『産業連関表—工業統計(産業)コード対応表』に基づく、先のコンバータを用いる推計を行うとおおきなバイアスをうむ結果となる。そこで産業連関表の部門分類への組み替えは表4の対応関係に従って行った。表5は鉄鋼10部門のエネルギー消費量の推計結果である。表5は鉄鋼部門のエネルギー消費量をオリジナルの段階、産業連関表の部門分類へ組み替えした段階に分けて示している。

表4 原データの項目と産業連関表の部門分類の対応関係

原データ	項目	産業連関表の部門への格付け
『鉄鋼統計年報』	焼結用 ペレット用 銑鉄用	銑鉄部門に統合
	製鋼用(転炉)	粗鋼(転炉)部門に格付け
	製鋼用(電気炉)	粗鋼(電気炉)部門に格付け
	鍛鋼用 鑄鋼用	鑄鍛鋼部門に統合
	圧延鋼管用	熱間圧延鋼材、鋼管、冷間仕上鋼材に分割
	発電・ボイラ用	発電用とボイラ用に分割 ¹⁾ 発電用を自家発電に格付け ボイラ用を産業連関表の鉄鋼10部門に配分 ²⁾
	その他の鉄鋼部門	めっき鋼材に格付け
	コークス製造部門	石炭製品部門に格付け
『石油等消費動態統計年報』 機械器具部門	銑鉄鑄物 可鍛鑄鉄	鑄鉄品及び鍛工品部門に格付け
	生産工程以外	発電用、ボイラ用、コークス製造用 ³⁾ に分割 ボイラ用を鉄鋼10部門に配分 発電用を自家発電部門、コークス製造用を石炭製品部門に格付け

- 1) 配分比率は『石油等消費構造統計年報』「蒸気受け払い表」による0.552を用いた。
- 2) 配分は各部門の電力消費量に比例させた。
- 3) 配分比率は鉄鋼統計による。

表5 鉄鋼10部門のエネルギー消費量

部門名称	コークス炉ガス 1000m ³	高炉ガス 1000m ³	転炉ガス 1000m ³	電気炉ガス 1000m ³	炭化水素油 t	石油コークス t	タール t
『鉄鋼統計(1990年)』,『石油等消費動態統計(1990年)』の段階							
焼結用	160,594	38,771	27,493	3,091	0	0	1,696
ベレット用	62,986	0	0	0	0	0	0
鉄鉄用	1,745,895	29,379,448	1,398,306	0	0	22,813	115,730
フェアラロイ用	2,892	4,213	0	23,467	0	9,964	3
製鋼用(転炉)	301,969	2,687	3,404	0	0	0	0
製鋼用(電気炉)	27,043	122	863	0	0	16,036	0
鍛鋼用	25,144	872	5,522	0	0	0	0
鋳鋼用	4,262	0	0	0	0	45	0
圧延鋼管用	4,425,675	1,731,350	1,213,645	0	0	0	13,596
発電・ボイラー用	1,397,742	33,629,105	1,793,047	19,020	0	0	7,606
その他の鉄鋼部門	498,865	506,736	36,315	0	0	64	0
コークス製造部門	2,103,161	15,560,425	273,753	0	109,920	268,170	84740
機械器具(鉄鉄鑄物)	1,360	9	0	0	0	1,461	0
機械器具(可鍛鑄鉄)	0	0	0	0	0	12	0
機械器具(鋳鍛造品)	946	0	0	0	0	0	0
機械器具(その他)	203,180	1,923,811	0	0	0	0	0
計	10,961,714	82,777,549	4,752,348	45,578	109,920	318,565	223,371
産業連関表の部門分類へ変換した段階							
鉄鉄	2,014,559	30,483,238	1,480,447	3,671	0	22,813	117,658
フェアラロイ	42,613	942,543	48,147	23,978	0	9,964	207
粗鋼(転炉)	353,182	1,212,492	65,481	658	0	0	263
粗鋼(電気炉)	188,180	3,806,693	196,184	2,072	0	16,036	829
熱間圧延鋼材	2,694,783	4,669,735	884,950	2,001	0	0	8,601
鋼管	403,848	699,819	132,621	300	0	0	1,289
冷間仕上鋼材	1,598,297	2,769,657	524,871	1,187	0	0	5,101
めっき鋼材	519,374	991,215	61,174	264	0	64	105
鋳鍛鋼	42,106	300,887	20,916	163	0	45	65
鑄鉄品及び鍛工品(鉄)	62,665	1,448,225	74,310	788	0	1,473	315
鉄鋼10部門計	62,665	1,448,225	74,310	788	0	1,473	315
自家発電	816,319	19,284,047	989,494	10,496	0	0	4,197
石炭製品	2,225,789	16,168,996	273,753	0	109,920	268,170	84,740
計	10,961,714	82,777,549	4,752,348	45,578	109,920	318,565	223,371

紙・パルプ3部門のパルプ黒液、廃材の消費量は「石油等消費動態統計」の「指定生産品目別統計」から推計した。紙・パルプ3部門とはパルプ、洋紙・和紙、板紙部門である。表6はパルプ黒液についての推計結果、表7は廃材についての推計結果を示している。表の第1列は、環境I/Oの紙・パルプ部門名称を示している。第2列は、自家発電用を含む消費量を示しており、これは「石油等消費動態統計」に記載されている数字である。第3列は、消費量のうち自家発電用に使用された比率を示しており、われわれはこれを自家発電比率と呼んでいる。そして自家発電比率 γ_k^p は、「石油等消費動態統計年報」の「燃料受払表」と「蒸気受払表」に基づいて次のように計算した。

$$\gamma_k^p = \frac{F_k^{pb}}{F_k^p} \cdot \frac{BP^s}{BP}$$

- γ_k^p : 紙・パルプ部門における第kエネルギー品目の自家発電比率
- F_k^p : 「石油等消費動態統計年報」燃料受払表における紙・パルプ部門の第kエネルギー品目受け入れ量
- F_k^{pb} : 同じく第kエネルギー品目のボイラ用受け入れ量
- BP : 「石油等消費動態統計年報」蒸気受払表における紙・パルプ部門の蒸気受け入れ量
- BP^s : 同じく自家発電・その他用蒸気受け入れ量

表6 紙・パルプ3部門のパルプ黒液消費量（単位：絶乾t）

部門名称	消費量（自家発電用を含む）	自家発電比率	自家発電用消費量	消費量（自家発電用を除く）
パルプ	66,132	0.123	8,144	57,988
洋紙・和紙	65,340	0.165	10,777	54,562
板紙	9,149	0.149	1,360	7,788

表7 紙・パルプ3部門の廃材消費量（単位：絶乾t）

部門名称	消費量（自家発電用を含む）	自家発電比率	自家発電用消費量	消費量（自家発電用を除く）
パルプ	1,444	0.123	178	1,266
洋紙・和紙	1,978	0.165	326	1,652
板紙	1,353	0.149	201	1,152

ここでパルプ黒液と廃材の自家発電比率は同じであると想定した。第4列は、第2列の数字と第3列の数字をかけたもので、自家発電用消費量を示している。第5列は、第2列の数字から第4列の数字を引いたもので、自家発電用を除く消費量を示している。計算された自家発電用エネルギー消費は、物量表の自家発電部門に上乘せした。

3.2.4 『エネルギー生産・需給統計年報』からの推計

石油製品部門の、炭化水素油、石油コークス、石油系炭化水素ガス消費量を「エネルギー生産・需給統計年報」から表8のように推計した。表の第1列は、エネルギー品目の名称を示している。第2列は、消費量の単位を示している。第3列は、自家発電用を含む消費量を示しており、これは「エネルギー生産・需給統計年報」の「石油製品製油所受払」の精製用エネルギー消費に記載されている数字である。第4列は、消費量のうち自家発電用に使われた比率を示しており、われわれはこれを自家発電比率と呼んでいる。そして自家発電比率 γ_k^r は、「石油等消費動態統計年報」の「燃料受払表」と「蒸気受払表」に基づいて次のように計算した。

$$\gamma_k^r = \frac{F_k^{rb}}{F_k^r} \cdot \frac{B^{rs}}{B^r}$$

- γ_k^r : 石油製品部門における第kエネルギー品目の自家発電比率
 F_k^r : 「石油等消費動態統計年報」「燃料受払表」における石油製品部門の第kエネルギー品目受け入れ量
 F_k^{rb} : 同じく第kエネルギー品目のボイラ用受け入れ量
 B^r : 「石油等消費動態統計年報」「蒸気受払表」における石油製品部門の蒸気受け入れ量
 B^{rs} : 同じく自家発電・その他用蒸気受け入れ量

表8 石油製品部門の炭化水素油、石油コークス、石油系炭化水素ガス消費量

部門名称	単位	消費量（自家 発電用を含む）	自家発電 比率	自家発電 用消費量	消費量（自家 発電用を除く）
炭化水素油	t	57,805	0.260	15,058	42,747
石油コークス	t	27,040	0.262	7,073	19,967
石油系炭化水素ガス	1000 ³	7,636,605	0.053	402,159	7,234,446

第5列は、第3列の数字と第4列の数字をかけたもので、自家発電用消費量を示している。第6列は、第3列の数字から第5列の数字を引いたもので、自家発電用を除く消費量を示している。計算された自家発電用エネルギー消費は、物量表の自家発電部門に上乗せした。

3.2.5 『電力需給の概要』からの推計

事業用電力部門のコークス炉ガス、高炉ガス、転炉ガスの消費量は、「電力需給の概要」の「コークス炉ガス使用実績」、「高炉ガス使用実績」、「天然ガス・転炉ガス使用実績」に記載されている数字を用いた。

表9 事業用電力部門の石炭ガス消費量

コークス炉ガス 1000m ³	コークス炉ガス(雑用) 1000m ³	高炉ガス 1000m ³	転炉ガス 1000m ³
2,800,042	1640	38,452,885	1,001,345

3.2.6 『ガス事業統計年報』からの推計

都市ガス部門のコークス炉ガス、石油系炭化水素ガスの消費量は、「ガス事業統計年報」の「製造」のガス購入量全国合計から推計した。「ガス事業統計年報」には都市ガス部門のガス購入量が熱量単位で表示されている（表10の第1列）。第2列は物量1単位あたりの発生熱量を示している。第3列は第1列の数字を第2列の数字で割って、物量単位にしたものである。

表10 都市ガス部門のコークス炉ガス、石油系炭化水素ガス消費量

	ガス消費量 (熱量単位) (百万 kcal)	物量1単位あたり 発生熱量 (kcal/m ³)	ガス消費量 (物量単位) (1000m ³)
コークス炉ガス	1,727,508	4,800	359,898
石油系炭化水素ガス	3,016,682	9,400	320,924

3.2.7 『国民衛生の動向』、『「気候変動に関する国際連合枠組条約」に基づく日本国報告書』からの推計

一般廃棄物、産業廃棄物（廃材、動植物性残さ、紙屑、木屑、繊維屑、廃油、廃プラ、汚泥）、廃タイヤといった廃棄物の焼却処理量は「国民衛生の動向」、『「気候変動に関する国際連合枠組条約」に基づく日本国報告書』から推計した。焼却された廃棄物の量は表11のとおりである。このうち一般廃棄物の値は、厚生省「国民衛生の動向」に基づいて平成2年度の1日あたり焼却処理量(100,482t/日)を365倍したものである。また産業廃棄物については、焼却処理量が明らかな紙屑、木屑、廃油、廃プラスチック、汚泥をとりあげたが、それらの量は環境庁より入手した『「気候変動に関する国際連合枠組条約」に基づく日本国報告書』から平成2年度の数値を得た。産業連関表との対応は、一般廃棄物を廃棄物処理（公営）部門に、産業廃棄物を一般廃棄物を廃棄物処理（産業）部門に格づけた。

表11 廃棄物の焼却処理量

	焼却処理量 (t)	格付た部門
一般廃棄物	36,675,930	廃棄物処理（公営）
産業廃棄物		
紙屑	104,000	廃棄物処理（産業）
紙屑	104,000	廃棄物処理（産業）
木屑	899,000	廃棄物処理（産業）
廃油	984,398	廃棄物処理（産業）
廃プラスチック	752,964	廃棄物処理（産業）
汚泥	4,839,596	廃棄物処理（産業）

3.3 熱量表の作成方法

熱量表は、物量表に表2のエネルギー品目別物量単位あたり発熱量を用いて熱量換算して推計する。表2の係数の出所は一般廃棄物、産業廃棄物、廃タイヤ以外は「石油等消費構造統計年報」である。一般廃棄物および産業廃棄物の係数の出所は厚生省のデータであり、廃タイヤの係数は廃プラスチックと同じ値を想定したこの熱量表は物量表を単純に熱量換算したものである。このほかにわれわれは、実際に燃焼されたエネルギーの熱量表や一次エネルギーベースの熱量表も作成している。

3.4 CO₂発生量表、CO₂控除量表、CO₂排出量表の作成方法

ここではCO₂関係の3つの表（CO₂発生量表、CO₂控除量表、CO₂排出量表）について、作成方法を説明する。まず作業内容を要約すると以下のとおりである。

1. 熱量表に表2のエネルギー品目別熱量単位あたりCO₂排出量をかけて、CO₂発生量表を計算する。
2. CO₂控除量表を計算する。
3. CO₂発生量表とCO₂控除量表からCO₂排出量表を計算する。

CO₂控除量表の推計作業は、2種類の方法がある。一つは投入されたエネルギー・マテリアルの炭素分のうち、CO₂にならなかった分を推計して、これを控除量とする方法である。もうひとつの方法は産出物にふくまれる炭素分を推計して、これを控除量とする方法である。われわれは前者の方法を「燃焼比率方式」、後者の方法を「炭素収支表方式」とよんでいる。どちらの方法を適用したほうが推計作業が容易であるかは、部門によって異なる。ほとんどの部門は「燃焼比率方式」を適用して推計したほうが容易であり、「燃焼比率方式」を適用した部門数は内生405部門のうち400部門である。「炭素収支表方式」を適用した部門数は残りの5部門である。後者の方法を適用したのは、炉ガスが回収されたり、製品や副産物の組成中に燃料中の炭素分が組み込まれたりする部門である。具体的な部門名は石炭製品、銑鉄、粗鋼（転炉）、粗鋼（電気炉）、都市ガス部門である。

3.4.1 「燃焼比率方式」による推計

ここでは「燃焼比率方式」によるCO₂控除量の推計について説明する。「燃焼比率方式」を適用した部門数は400部門であるが、部門によって推計に利用した資料の出所が異なっている。石油化学製品9部門、アンモニア部門の燃焼比率は「化学統計年報」から推計した。石油製品部門の燃焼比率は「エネルギー生産・需給統計年報」から推計した。残りの389部門のうち、非工業部門については燃焼比率を1（全て燃焼）と想定し、工業部門については「石油等消費構造統計年報」から推計した。また、燃焼比率を想定してあてた部門がある。燃焼比率を想定してあてたエネルギーもある。コークス炉ガス、高

炉ガス、転炉ガス、電気炉ガス、炭鉱ガス抜きガス、揮発油、軽油、廃棄物関係の燃焼比率はどの部門で使われた場合でも1（全て燃焼）と想定した。

3.4.1.1 『石油等消費構造統計年報』からの推計

『石油等消費構造統計年報』では工業統計の産業分類別エネルギー品目別に、エネルギー消費総量とその目的別内訳（原料用、ボイラ用、直接加熱用、その他用）が記載されている。用途別内訳のうち原料用エネルギー投入量について、第2節と同様に変換する。変換は次式のように行う。

$$E_{ji}^m = \sum_k \Phi_{jk}^m \cdot \frac{S_{ki}}{100}$$

Φ_{jk}^m : 第k産業（工業統計の産業分類）への第jエネルギー品目の原料用エネルギー投入量

E_{ji}^m : 第i部門（産業連関表の部門分類）への第jエネルギー品目の原料用エネルギー投入量

産業連関表の部門別燃焼比率を次のように定義した。ただし、 E_{ji} は第i部門（産業連関表の部門分類）への第jエネルギー品目の（自家発電用を除く）エネルギー投入量である。

$$\mu_{ji} = 1 - \frac{E_{ji}^m}{E_{ji}}$$

この燃焼比率を用いて、最終的にCO₂排出量は次のように計算できる。

$$C_{ji}^d = (1 - \mu_{ji}) \cdot C_{ji}^g$$

$$C_{ji} = C_{ji}^g - C_{ji}^d$$

C_{ji}^g : 第i部門に投入された第jエネルギー品目からのCO₂発生量

C_{ji}^d : 第i部門に投入された第jエネルギー品目からのCO₂控除量

C_{ji} : 第i部門に投入された第jエネルギー品目からのCO₂排出量

3.4.1.2 『化学統計年報』からの推計

石油化学製品9部門およびアンモニア部門の燃焼比率は、『化学統計年報』の「石油等消費統計」に基づいて燃焼比率を計算した。石油化学製品9部門とは石油化学基礎製品、石油化学系芳香族製品、脂肪族中間物、環式中間物、合成ゴム、熱硬化性樹脂、熱可塑性樹脂、高機能性樹脂、その他の合成樹脂である。石油化学9部門のエネルギー品目別燃焼比率は同じであると想定した。それらの結果は、表12、表13のとおりである。表の第1列はエネルギー品目を示し、第2列は単位を示している。第3列は原料用を含む消費量、第4列は原料用消費量を示しており、これらは『化学統計年報』の「石油等消費統計」に記載されている数字である。第5列は推定された燃焼比率であり、第4列の数字を第3列の数字で割って、1から引いた値である。

表 12 石油化学製品 9 部門の燃焼比率

	単位	消費量（原料 用を含む）	原料用 消費量	燃焼比率
灯油	kl	869,415	809,666	0.069
ナフサ	kl	27,776,209	27,776,197	0.000
液化石油ガス	t	3,954,767	3,552,595	0.102
改質生成油	kl	7,862,303	7,862,303	0.000

表 13 アンモニア部門の燃焼比率

	単位	消費量（原料 用を含む）	原料用 消費量	燃焼比率
天然ガス	1000m ³	226,453	138,250	0.389
ナフサ	kl	219,906	189,404	0.139
液化石油ガス	t	288,347	231,802	0.196

3.4.1.3 『エネルギー生産・需給統計年報』からの推計

石油製品部門の部門の燃焼比率は、『エネルギー生産・需給統計年報』の「石油製品製油所受払」に基づいて燃焼比率を計算した。それらの結果は表 14 のとおりである。

表 14 石油製品部門の燃料比率

	単位	消費量（原料 用を含む）	原料用 消費量	燃焼比率
一般炭	t	38,704	34,991	0.90
灯油	kl	649,693	5,965	0.01
軽油	kl	816,378	62	0.00
ナフサ	kl	328,891	164,765	0.50
石油コークス	t	176,071	19,967	0.11
液化石油ガス	t	259,247	12,323	0.05

注) 消費量には自家発電用は除かれている。

3.4.2 「炭素収支表方式」による推計

石炭製品、鉄鉄、粗鋼（転炉）、粗鋼（電気炉）、都市ガスの 5 部門については、個別に炭素収支表を作って炭素の受け渡し状況を調べ、最終的な CO₂ 排出量を推計した。炭素収支表とは、ある部門の投入要素中に含まれる炭素量と産出品目中に含まれる炭素量を、貸借対照表のような形に整理したものである。そして対照表の両方がちょうどバランスする量の CO₂ が排出されたと考える。

炭素収支表は、次の手順で作成される。

1. 各部門の投入要素と産出品目（副産物をふくむ）のうち炭素を組成中に含む物質をピックアップする。

2. それらの物質の投入量と産出量を物量で明らかにする.

3. 各物質の炭素含有量に基づき、それを炭素の投入と産出の関係に置き換える.

ここでは、例として鉄部門の炭素収支表を表15に示す.

表15 鉄部門の炭素収支表

	投入炭素量		産出炭素量	
	(単位：t-C)	(%)	(単位：t-C)	(%)
石灰石	1,481,471	3.50	0	0.00
原料炭	198,731	0.47	0	0.00
一般炭	1,560,452	3.68	0	0.00
天然ガス	708	0.00	0	0.00
灯油	26	0.00	0	0.00
A重油	881	0.00	0	0.00
B・C重油	12,583	0.03	0	0.00
液化石油ガス	4,038	0.01	0	0.00
石油コークス	20,578	0.05	0	0.00
コークス	31,785,325	75.06	0	0.00
コークス炉ガス	497,384	1.17	0	0.00
高炉ガス	6,057,629	14.30	24,549,319	57.97
転炉ガス	619,446	1.46	0	0.00
電気炉ガス	1,536	0.00	0	0.00
コークス	106,246	0.25	0	0.00
鉄	0	0.00	3,209,273	7.58
鉄くず	422	0.00	0	0.00
鋼くず	21	0.00	0	0.00
都市ガス	212	0.00	0	0.00
高炉ダスト	0	0.00	361,043	0.85
CO ₂ 排出量			14,228,053	33.60
計	42,347,688	100.00	42,347,688	100.00

4 推計結果—'85年表と'90年表の比較—

'90年環境I/Oの推計結果を'85年の結果と比較しながら説明する。図5ではそれぞれの年次について基本部門分類別に推計したCO₂排出量を、統合分類に集計して図示した。またこれらの詳しい数字は表16の通りである。それによると、'90年のわが国のCO₂排出量は12億t(CO₂換算値)で、'85年の10億tに対して1.2倍の伸びである。内訳をみてみよう。表17には両年の5大CO₂排出部門を示したが、それらは両年とも電力・ガス・熱供給、運輸、鉄鋼、窯業・土石製品、民間消費であり変わっていない。ただし民間消費からの排出が'85年には9千万t(9%)であったのが'90年には1億2千万t(10%)とのび、排出順位も5位から3位になっている。またこれら5大排出部門からの排出構成比は、'85年には72%であったが'90年には69.8%に低下している。つまり'85年から'90年にかけて、CO₂排出量は全般的に上昇したがその上昇率はCO₂排出5大部門よりも非5大部門で高かったということである。

そこで部門別に'85年から'90年にかけてのCO₂排出の伸び率を表18でみてみると、伸び率のもっとも大きかったのは不動産の4.26倍、つづいて石油石炭製品部門で3.4倍、建設1.68倍となっている。不動産や建設はそのCO₂排出が全体に占める割合はそれぞれ1%以下で小さい。しかし'85年から'90年といえばバブル経済の時期であり、建設投資が盛んに行われていたことを考えると、そうした経済現象と連動してCO₂排出も変化していることが観察されるので興味深い現象といえる。

5大排出部門について両年の伸び率をみてみると、民間消費からの排出が'85年から'90年に1.33倍伸びているほか、運輸と電力・ガス・熱供給はそれぞれ1.25倍となっている。それに対して、製造業のなかの主要CO₂排出部門である鉄鋼業は'85年には1億2千万tを排出していたのが'90年には1億tと20%ていど排出量を減らしている。また窯業・土石製品からの排出は横ばいである。このように、'85年から'90年にかけて製造業からのCO₂排出よりも非製造業からの排出のほうが増加したといえそうである。ほかに製造業関係では、繊維製品からの排出が0.7倍、電気機械、輸送機械からの排出は横ばいといった状況である。電気機械、輸送機械のこの間の成長率を考えると、CO₂の伸びがこのように押さえられていることは注目できるだろう。

ところで、製造業についてもう少し詳しくみてみるとCO₂排出の両年間の伸びが大きいのはその他製造業の1.5倍、金属製品が1.08倍、一般機械が1.26倍、食料品が1.2倍であり、一般機械を除けばいずれも労働集約的で零細な事業所の多い産業である。また一般機械も機械産業の中ではもっとも零細事業所の比率が高いことが知られている。以上をまとめると'85年から'90年にかけてCO₂排出量は増加したが、それは経済の状況と大きく関係していそうである。そして製造業よりは非製造業から、製造業の中では大規模工場よりは零細工場からのCO₂排出が増え、また民間消費活動からのCO₂排出比率も増加している。よく日本の省エネ対策やCO₂削減対策はもう行き着いているといわれるが、ここでの大まかな観察をみるかぎり、まだ目の行き届かない面が残されているように思われる。今後このような分析をさらに詳細に行うことによって、CO₂削減の可能性を探っていくことが重要であろう。

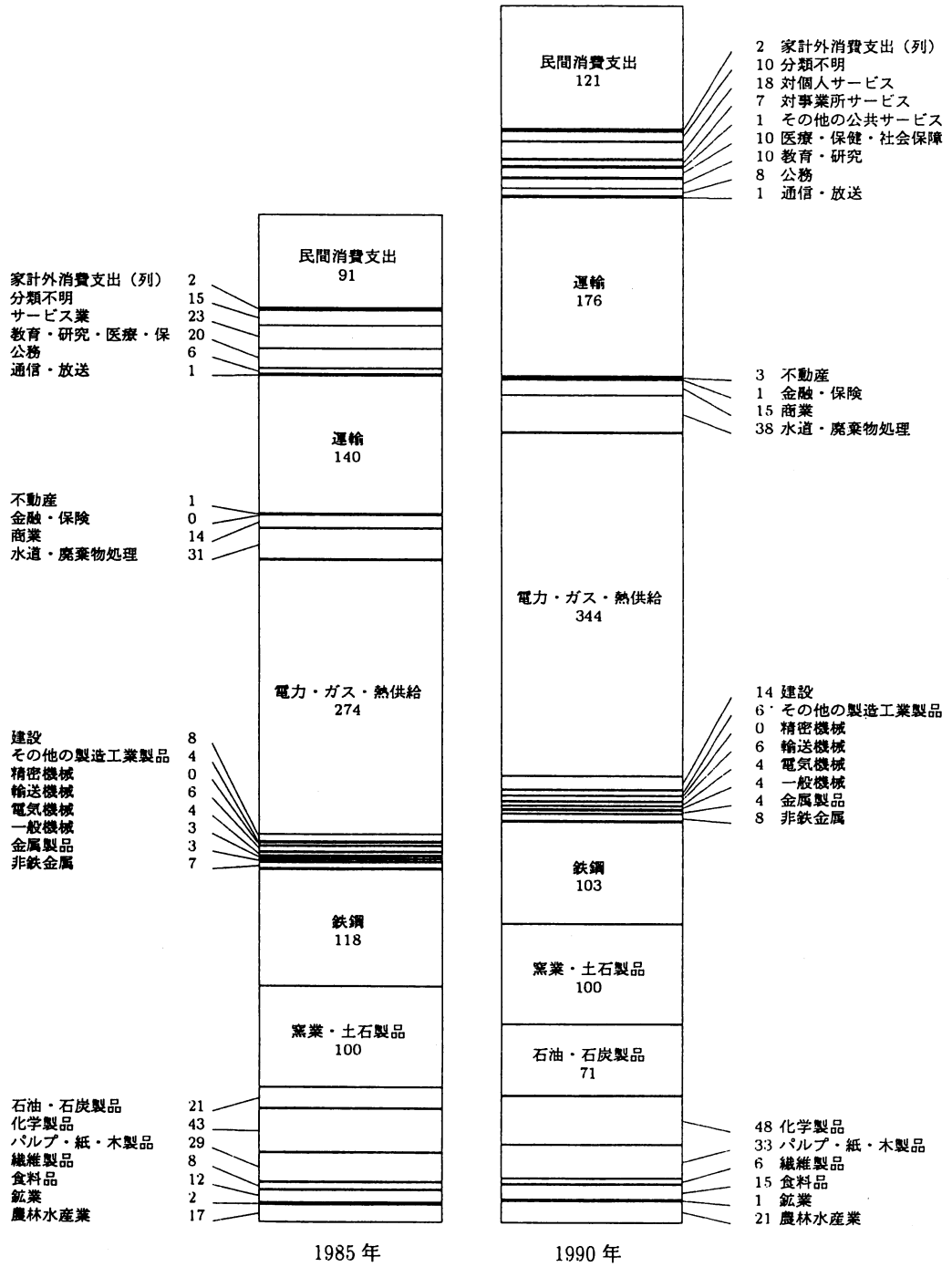


図 5: 1985年,1990年部門別 CO₂排出量 (単位: 百万 t-CO₂)

表16 1985, 1990年部門別CO₂排出量

	1985年		1990年		90年/85年
	t-CO ₂		t-CO ₂		
農林水産業	16,575,111	1.65%	21,468,558	1.78%	1.30
鉱業	1,573,311	0.16%	1,001,905	0.08%	0.64
食料品	12,326,194	1.23%	14,774,059	1.22%	1.20
繊維製品	8,155,985	0.81%	5,647,960	0.47%	0.69
パルプ・紙・木製品	29,222,979	2.91%	33,302,488	2.76%	1.14
化学製品	43,424,009	4.32%	48,061,048	3.98%	1.11
石油・石炭製品	21,134,899	2.10%	71,471,925	5.92%	3.38
窯業・土石製品	99,666,530	9.93%	99,920,296	8.27%	1.00
鉄鋼	117,924,949	11.74%	102,816,256	8.51%	0.87
非鉄金属	6,652,346	0.66%	7,941,813	0.66%	1.19
金属製品	3,417,445	0.34%	3,704,775	0.31%	1.08
一般機械	3,113,420	0.31%	3,930,165	0.33%	1.26
電気機械	3,606,137	0.36%	3,768,901	0.31%	1.05
輸送機械	5,903,833	0.59%	5,631,881	0.47%	0.95
精密機械	345,642	0.03%	374,826	0.03%	1.08
その他の製造工業製品	3,778,015	0.38%	5,632,768	0.47%	1.49
建設	8,481,310	0.84%	14,230,270	1.18%	1.68
電力・ガス・熱供給	274,190,816	27.31%	343,721,751	28.46%	1.25
水道・廃棄物処理	31,384,710	3.13%	37,632,144	3.12%	1.20
商業	13,861,711	1.38%	15,026,567	1.24%	1.08
金融・保険	366,003	0.04%	756,436	0.06%	2.07
不動産	746,585	0.07%	3,181,844	0.26%	4.26
運輸	140,424,276	13.98%	175,918,336	14.56%	1.25
通信・放送	834,270	0.08%	922,587	0.08%	1.11
公務	5,608,659	0.56%	7,776,031	0.64%	1.39
教育・研究・医療・保健	20,376,663	2.03%	10,459,722	0.87%	0.51
サービス業	23,318,246	2.32%	35,399,008	2.93%	1.52
医療・保健・社会保障			9,782,488	0.81%	
その他の公共サービス			1,122,314	0.09%	
対事業所サービス			6,595,515	0.55%	
対個人サービス			17,898,691	1.48%	
分類不明	15,027,208	1.50%	10,480,589	0.87%	0.70
家計外消費支出(列)	2,017,622	0.20%	2,106,132	0.17%	1.04
民間消費支出	90,661,916	9.03%	120,839,568	10.00%	1.33
国内生産額	1,004,120,801	100.00%	1,207,900,609	100.00%	1.20

表 17 CO₂排出構成比上位5部門

順位	'85年		'90年	
	部門名称	構成比	部門名称	構成比
1位	電力・ガス熱供給	27.3%	電力・ガス熱供給	28.5%
2位	運輸	14.0%	運輸	14.6%
3位	鉄鋼	11.7%	民間消費支出	10.0%
4位	窯業・土石製品	10.0%	鉄鋼	8.5%
5位	民間消費支出	9.0%	窯業・土石製品	8.3%

表 18 CO₂排出伸び率上位10部門

順位	部門名称	伸び率
		('90年/'85年)
1位	不動産	4.26
2位	石油・石炭製品	3.38
3位	金融・保険	2.07
4位	建設	1.68
5位	サービス業	1.52
6位	その他製造工業製品	1.49
7位	公務	1.39
8位	民間消費支出	1.33
9位	農林水産業	1.30
10位	一般機械	1.26

第2章

生産誘発によるCO₂排出量

1 分析のねらいと方法

財・サービスが1単位需要されると生産活動、流通活動によってCO₂が排出される。財・サービスの需要は誘発された需要を考慮すると経済活動全体に波及し、それとともにCO₂も波及された生産主体から排出されることになる。生産活動がもたらすCO₂による環境負荷を評価するためには経済活動全体から発生するCO₂を集計することが望ましい。環境分析用産業連関表の最も基本的な応用として、このようなCO₂の誘発発生量を推計することが本章のねらいである。環境分析用産業連関表の作成とそれに基づくモデル分析は20年前にレオンティエフの先駆的研究に遡ることができる¹。また我が国ではその考え方にそくした形で通産省が1973年の環境分析用産業連関表を作成している²。その際のアプローチは、財・サービスを作る生産活動と生産に付随する公害防除活動をアクティビティーとして分割するという意欲的なものであった。ただ我々はこのようなアプローチはとらなかった。その理由は以下の2点にある。

(A) 既存の産業連関基本表では生産活動と公害防除活動がこみになって投入構造を記述している。それらを分割する信頼性のある統計がないこと。特に我々が採用した基本表レベルでは分割が不可能に近い。

(B) 例えばSO_xについては、セメント製造、石炭ガス生産等をみれば、生産活動そのものが脱硫活動を含んでおり、もともと生産活動と公害防除活動を区分することが不可能に近いものがある。また、本章で中心に述べるCO₂排出については既存の防除活動が存在しないし、エネルギーの節約等は一種の排出量を低下させる活動であるが、それは生産活動から分離できるものではない。

¹Leontief, W.W. [1970] "Environmental Repurcussions and the Economic Structure : an input-output approach" *Review of Economics and Statistics*, Vol.52, No.3, pp.262-271.

²通商産業省調査統計部統計解析課 [1976] 『昭和48年産業公害分析用産業連関表作成および分析結果報告書』

2 生産活動に伴う CO₂排出量の計算

経済全体のサイズとエネルギー消費の関係は、産業連関的に考えると、直接的なエネルギーの消費以外にも多段階にわたって波及効果があらわれる。これを少し詳しく説明しよう。

普通、一国の経済活動のサイズは、一年間の財・サービスの消費、投資や輸出量の総量、いわゆる最終需要 (GDE) で測られる。CO₂はそれらを消費する段階、およびそれらを生産する段階において排出される。たとえば、都市ガスを考えてみた場合、暖房等のために都市ガスを燃やすことで CO₂が発生する。これに加えて、第一に都市ガスを生産する過程で、第二に都市ガスのもとになる原材料を調達する過程でもエネルギーが消費され CO₂が排出される。このような連鎖の総合計が、家計の都市ガス消費に関連した CO₂の排出量である。産業連関分析のオープンモデルでは、こうした直接・間接の生産活動に依存して誘発される CO₂の排出量の計算を容易に行うことができる。

この生産活動と CO₂負荷の関係をあきらかにするモデルを解説しよう。各財サービスの最終需要が産業連関的の中間投入波及を通じて、生産波及がどれだけになるかは、通常のオープンモデルの次式がベースとなる。

$$\mathbf{x} = \left(\mathbf{I} - \left(\mathbf{I} - \hat{\mathbf{M}} \right) \mathbf{A} \right)^{-1} \left(\left(\mathbf{I} - \hat{\mathbf{M}} \right) \mathbf{f}_d + \mathbf{e} \right) \quad (1)$$

ただし、

- \mathbf{x} : 国内生産額ベクトル
- \mathbf{I} : 単位行列
- $\hat{\mathbf{M}}$: 輸入係数を対角化した行列
- \mathbf{A} : 投入係数行列
- \mathbf{f}_d : 国内最終需要額ベクトル
- \mathbf{e} : 輸出ベクトル

である。この式にもとづき、我々は国産品単位当りの国内 CO₂排出量を次のように計算した。

$$\mathbf{C}_j^P = \left(\mathbf{c}^P \left(\mathbf{I} - \left(\mathbf{I} - \hat{\mathbf{M}} \right) \mathbf{A} \right)^{-1} + \mathbf{c}^J \right) \mathbf{f}_j^P \quad (2)$$

ただし、

$$\begin{aligned}
 c_j^P & : \text{第}j\text{部門の国内生産額1単位あたりCO}_2\text{排出量} \\
 f_j^P = \begin{pmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix} & \leftarrow j : j\text{部門のみを1, それ以外を0とするベクトル} \\
 c^P & : \text{生産単位あたりCO}_2\text{排出量ベクトル} \\
 c^f & : \text{第}j\text{財を1単位燃焼させたときに排出されるCO}_2\text{排出量ベクトル}
 \end{aligned}$$

である。この(2)式が生産者向情報の基本式となっている³。この基本式に基づいた計算結果の一部を紹介しよう。

表 1: 生産一単位当たり誘発CO₂排出量 (単位: kg/百万円) 上位 20 部門

code	部門名	排出量合計	生産過程での排出量	消費過程での排出量
211101	石油製品 (オイルコークス)	324,308	3,200	321,108
212101	石炭製品 (コールタール)	270,064	37,425	232,639
212101	石炭製品 (コークス)	199,267	37,425	161,842
071101	一般炭	163,668	6,598	157,070
072101	原油	160,998	2,656	158,342
212101	石炭製品 (粗ベンゾール)	144,493	37,425	107,068
071101	原料炭	142,246	6,598	135,648
211101	石油製品 (C重油)	132,062	3,200	128,862
211101	石油製品 (B重油)	115,902	3,200	112,702
211101	石油製品 (A重油)	108,036	3,200	104,836
211101	石油製品 (ナフサ)	107,268	3,200	104,068
211101	石油製品 (LPG)	102,586	3,200	99,386
211101	石油製品 (ジェット燃料)	98,315	3,200	95,115
211101	石油製品 (灯油)	96,998	3,200	93,798
252101	セメント	84,844	84,844	0
511104	自家発電	84,548	84,548	0
073101	天然ガス	74,513	2,711	71,802
212101	石炭製品 (コークス炉ガス)	72,735	37,425	35,310
212101	石炭製品 (練炭)	71,304	37,425	33,879
212101	石炭製品 (豆炭)	64,265	37,425	26,840

このように経済のサイズを決める最終需要 (GDE) 一単位当たりで見ると、財やサービスの違いによって、CO₂の直接・間接の排出量が大きく異なることが推測できる。ここでは最終需要として財・サービ

³ここで、パラメータ扱いをした投入係数 A 、輸入係数 \hat{M} 、CO₂排出係数 c^P 、 c^f について若干言及しておこう。我々は、基本表 405 部門でこのモデルを用い、生産物単位当りのCO₂負荷を考えるが、部門分割がこのレベルになると問題が生じる。実際問題としては、各種エネルギー間の代替性、サンク・コストの存在、副産物の課題と、安定的パラメータとしてそれらを扱うには問題が多い。したがって、以降の節での結果は、観測年 1990 年の各財の平均単位当りCO₂負荷を計算しているにすぎない。その結果が現在でもスタビリティを持っているかは、別の検証課題であることに注意されたい。

表 2: 生産一単位当たり誘発 CO₂排出量 (単位: kg/百万円) 下位 20 部門

code	部門名	排出量合計	生産過程での 排出量	消費過程での 排出量
851202	ニュース供給・興信所	765	765	0
822102	人文科学研究機関（国公立）★★	747	747	0
021101	育林	745	745	0
851902	法務・財務・会計サービス	737	737	0
641102	不動産賃貸業	677	677	0
732103	有線放送	676	676	0
822104	人文科学研究機関（非営利）★	667	667	0
731201	国内電気通信	634	634	0
114101	たばこ	628	628	0
641101	不動産仲介・管理業	622	622	0
821101	学校教育（国公立）	618	618	0
851301	物品賃貸業（除貸自動車）	604	604	0
851901	建物サービス	603	603	0
621202	損害保険	597	597	0
851401	貸自動車業	532	532	0
717903	水運付帯サービス（産業）	450	450	0
621101	金融	444	444	0
621201	生命保険	423	423	0
642101	住宅賃貸料	306	306	0
851904	労働者派遣サービス	116	116	0

スを一単位消費するのに発生する CO₂排出量を（2）式にもとづいて計算しよう。

表 1 および表 2 はそれぞれ、誘発された CO₂排出量の多い上位 20 部門と下位 20 部門を掲げている⁴。尚、詳しい 405 部門の計算結果は付表 1 に示した。また同表では誘発排出量の内訳として生産過程での排出量と最終消費での排出量が示されている。表 1 をみると、オイルコークス、一般炭、原油といったエネルギーが目立つ。これはエネルギー物質の生産一単位あたり誘発 CO₂排出量の中に最終消費過程での排出量も含むためである。表 2 は生産一単位あたり誘発 CO₂排出量の少ない 20 部門である。労働者派遣サービスや住宅賃貸料といったサービス業の排出量が少ないことがわかる。表 1 と表 2 から誘発された CO₂の排出量は部門間で非常に大きな隔たりがあることが観察できる。同じ 100 万円相当の生産を行った場合の排出量であるけれども、オイルコークスは 324 トンもの CO₂を排出するのに対し、労働者派遣サービスは 116kg しか排出しない。同じ 100 万円でも労働者派遣サービスに比べ 2796 倍もの CO₂を排出していることになる。

このように部門が異なると、同じ 100 万円という経済価値を創造するのにも、CO₂が排出される量は 100 倍以上も異なってしまう。計算結果をみると、単価の安い商品を生産している部門の誘発 CO₂の排出量が大きくなる傾向にある。しかし、単価は経済メカニズムで決定されるので、結局のところ、この

⁴原油、原料炭、オイルコークス、コールタール、は最終需要では消費されない中間需要であるが、あたかも最終需要で消費されているという観点で計算されている。

ような部門でのエネルギー生産性を上昇させる技術開発を積極的に行うことが決め手となるといえよう。また、自部門でエネルギー生産性を上昇させて排出量を減らすばかりでなく、エネルギー生産性の低い部門からの投入を減らすことも同時に重要であることをうかがわせる。つぎに、おもな部門別に誘発されたCO₂排出量を図示すると図1から図8になる。図では排出量のオーダーが異なる部門については表示方法をかえて示してある。図1および図2はエネルギー関連のCO₂誘発を示している。図1はエネルギー関連鉱業の生産と最終消費により誘発されるCO₂の排出量の合計が示されている。ただし、最終需要段階で発生する分はグレーの棒グラフで示されている。

図2は石油・石炭製品の生産と最終消費により誘発されるCO₂の排出量である⁵。消費過程での排出量を含めると、石油・石炭製品による誘発CO₂排出量は多くなる。このことは先に示した表1からもわかる。図2をみるとコールタール、コークス、一般炭のCO₂排出量が目立っており、排出量はそれぞれ270トン、199トン、164トンである。

図3は農業、林業、漁業、畜産製品の生産による誘発CO₂排出量である。これらの中でCO₂排出量が多いのは沿岸・沖合・遠洋漁業のは8.3トン程度である。肉類をみると、肉鶏は2.1トン、豚は1.7トン、肉用牛は1.2トンの排出となっている。肉類と比べると沿岸・沖合・遠洋漁業は4倍から6倍の排出であることがわかる。漁業関係のCO₂排出量が多いのは漁船が燃料として重油を消費していることが主要因である。

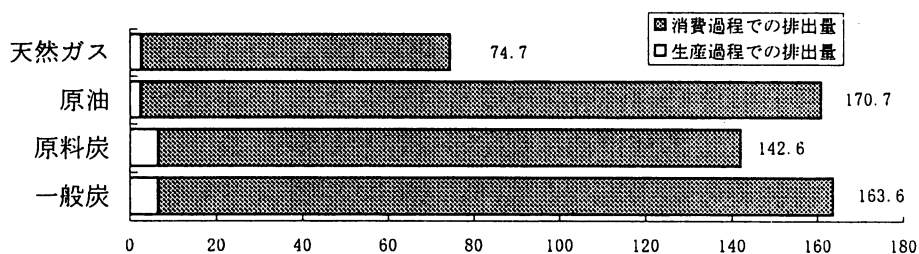
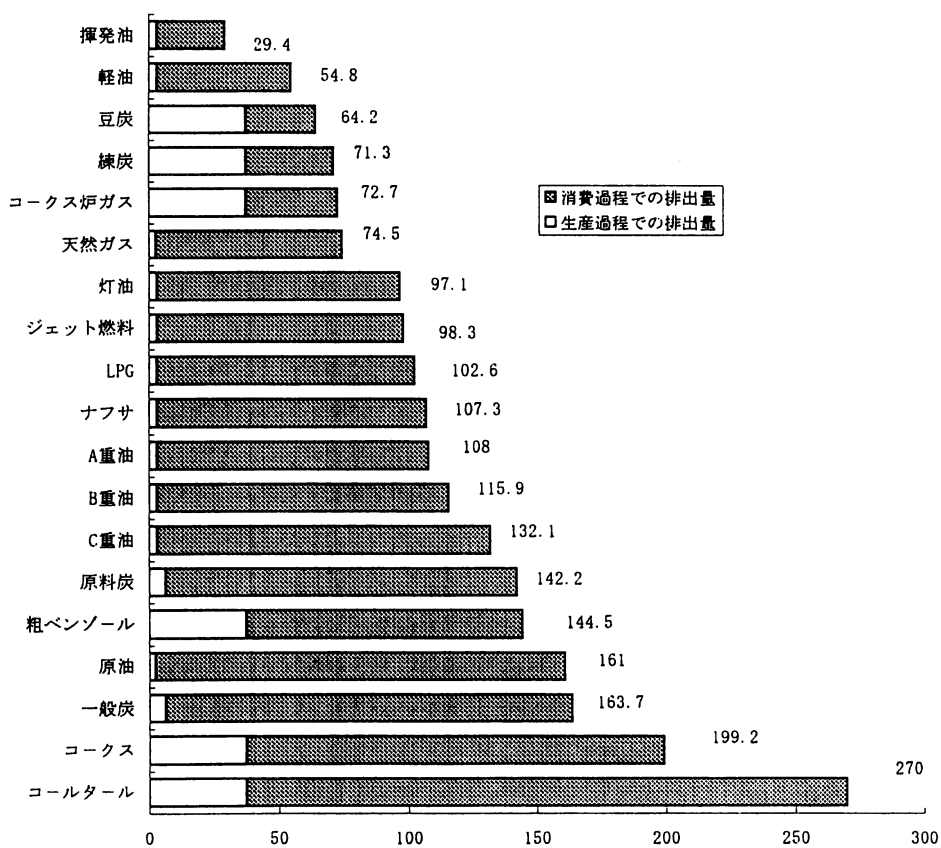
森林は光合成によってCO₂を吸収しているが、森林をつくる時、すなわち育林活動から745kgのCO₂が排出されている。ここでは生物の光合成・呼吸からのCO₂排出・吸収は考慮されていない。

図4は、食料品の生産により誘発されるCO₂の排出量である。一見して、塩の生産が非常に多くのCO₂を排出することがわかる。塩100万円からは約30トンのCO₂が排出されている。塩は食品に使われるだけでなく、ソーダ工業で主に使われる。例えば、ソーダ工業ではナトリウム系統の素材と塩素系統の素材を分割して提供するというかたちでガラスから塩素漂白剤に至る広い産業の素原材料として使われている。

図5は繊維、パルプ、紙および化学製品の生産により誘発されるCO₂の排出量である。繊維関係では化学繊維紡績糸の誘発CO₂排出量が5.7トンで、多く排出されることが観察できる。これは人絹糸・スフからの誘発CO₂排出量が大きいためである。天然の糸である綿糸、毛糸の排出量は2.8トン程度であるのに対して、人工の糸である化学繊維紡績糸は5.7トンで、天然の糸の2倍の排出量である。

紙・パルプ製品は非常に多くCO₂を誘発することがわかる。紙は流通過程を経て、オフィスに使われたり、新聞、出版などの製造製品と広義のサービス供給に波及効果をもたずである。しかし、新聞、出版・製本での100万円当たりの誘発CO₂排出量は3トンから4トンで、10トン以上の排出量をもつ製紙関連製品にくらべ低くなっている。

⁵石炭製品は原料炭、一般炭、コークス、粗ベンゾール、コールタール、コークス炉ガスから構成されている。また石油製品は液化天然ガス、揮発油、ジェット燃料、灯油、軽油、A重油、B重油、C重油、ナフサ、液化石油ガスから構成されている。最終消費の計算の際には一般炭、原料炭、原油、液化天然ガスについては輸入単価を、その他については国産単価を使用した。

図1: エネルギー関連鉱業の誘発CO₂排出量 (トン/百万円)図2: 石油・石炭製品によるCO₂排出量 (トン/百万円)

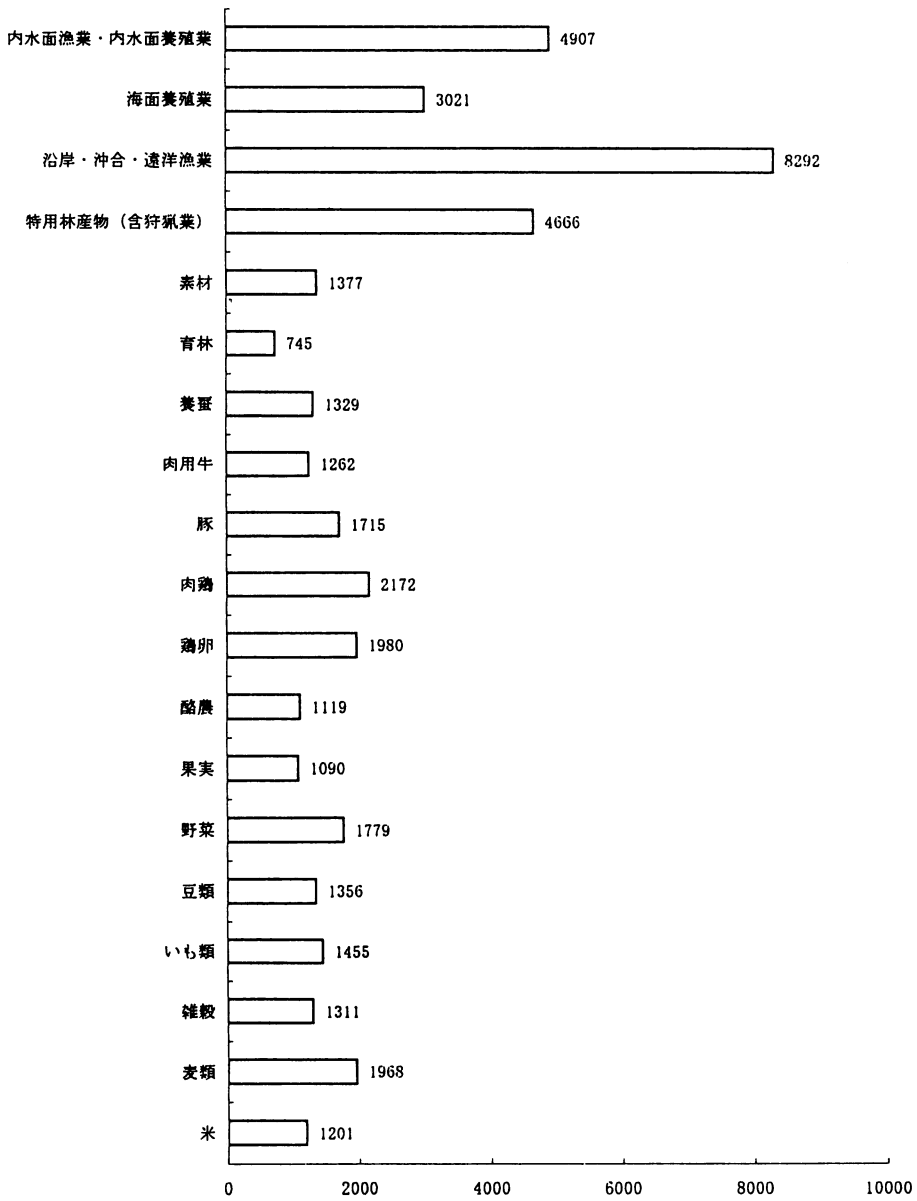


図3: 農業・林業・漁業・畜産製品の生産による誘発CO₂排出量 (kg/百万円)

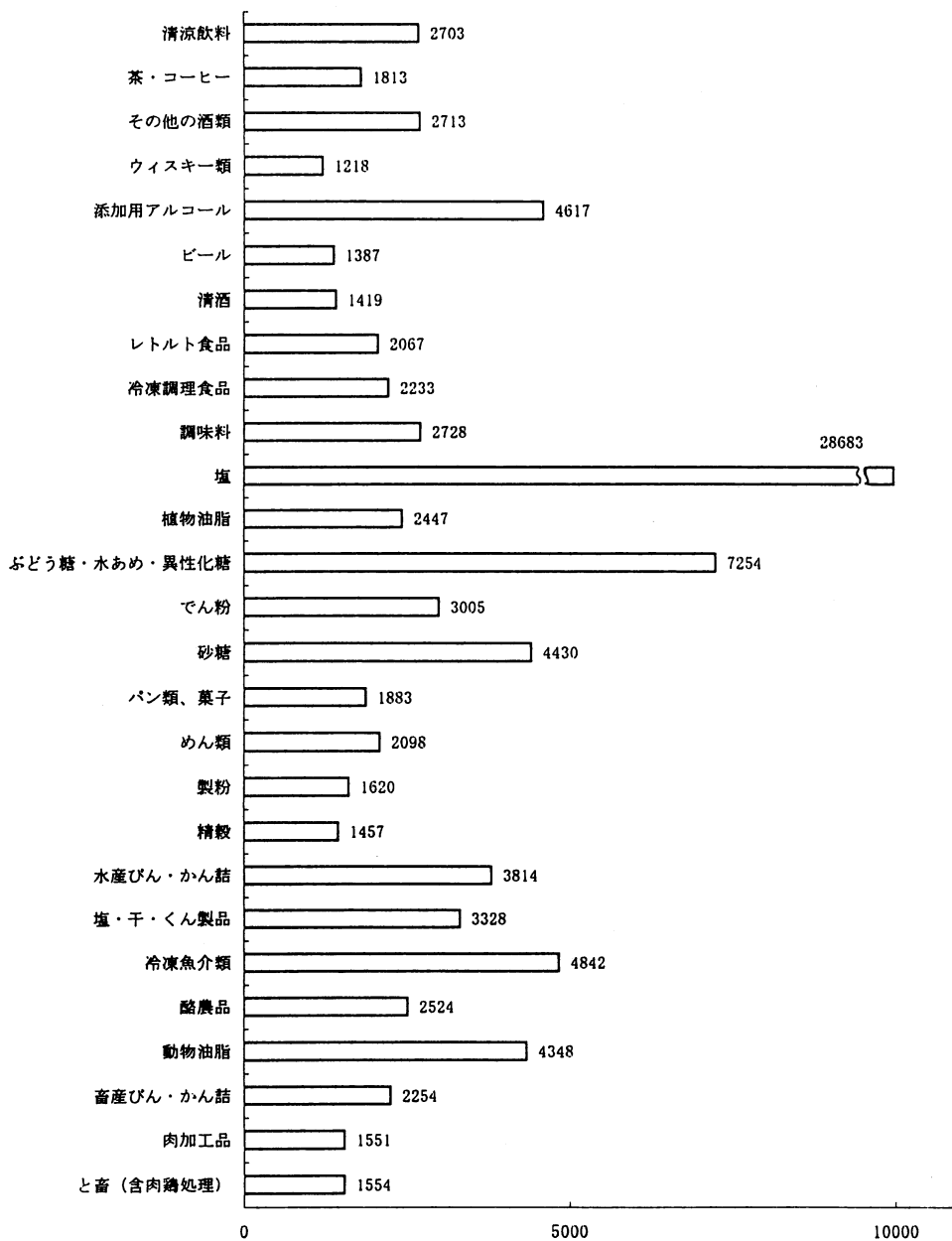


図4: 食料品生産による誘発CO₂排出量 (kg/百万円)

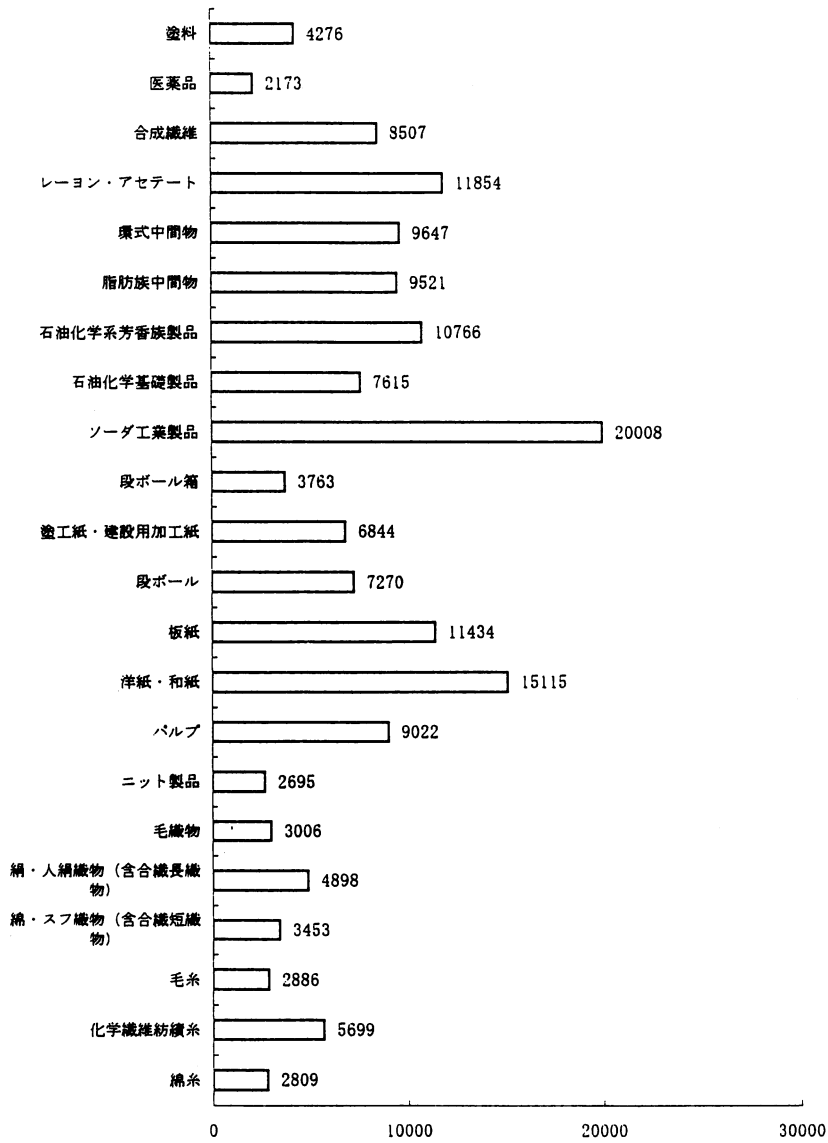


図5: 繊維・紙・パルプ・化学製造品の生産による誘発CO₂排出量 (kg/百万円)

図6は窯業土石、鉄、非鉄などの生産により誘発されるCO₂の排出量である。同図ではセメント(84.9トン)と銑鉄・鉄屑(42トン程度)が非常に大きな値を示している。しかし、セメントも生コンクリート(21.7トン)やセメント製品(9トン)というように高付加価値化がすすむにつれ、100万円単位あたりのCO₂誘発排出量は下がっている。同じ現象は、銑鉄・鉄屑から鋼管、鋼材になるとほぼ3分の1(16.5から11.5トン)程度に減少し、さらに金属製品になるとその3分の1(4から5トン)に減っている。トン当たりの単価がわかる銑鉄・鉄屑ではほぼ1トン3から4万円であるが、鋼材になると1トン10万円以上になる。鋼材でも銑鉄でも加工度が上がるにつれて重さあたりのCO₂誘発量は増えるが素材に加えられる付加価値の大きさが金額当りの誘発排出量を小さくしているのである。同様にアルミニウムについても、アルミニウム地金では5.6トン排出するが、アルミ圧延製品では2.7トンとほぼ2分の1程度にとどまっている。

図7は機械関連で、一般機械、電気、精密機械の生産により誘発されるCO₂の排出量である。機械製品は、誘発CO₂排出量はかなり平均化している。特に、電気、精密機械ではばらつきが小さい。一般機械ではベアリング、機械工具、ポンプなどが比較的多量のCO₂を誘発している。これらは同じ100万円当たりで金属製品とさほど違いのない4トンから5トンの排出量である。一般機械のなかでは産業用ロボットが2.0トンと小さく、これは電気機械並である。電気機械類では、100万円当たり2から2.7トンの誘発CO₂排出量であるが、精密機械類では1.4から1.8トンの幅になる。

図8は運輸関連の活動(自動車輸送、鉄道、海運、航空)により誘発されるCO₂の排出量である。このなかで特に100万円当たりの誘発CO₂排出量が多いのは自家輸送(旅客、貨物とも)と船舶による輸送(外洋、沿海・内水面とも)である⁵。この表は需要金額あたりの誘発排出量なのでエネルギー効率が悪いのか、単価が高いのか識別できない。そこでキロ・トンペースで比較した表をつくってみた。(表3参照)

表3: 輸送機関別国内貨物輸送トンキロあたりCO₂排出量(CO₂換算トン)

輸送機関	輸送トンキロあたりCO ₂ 排出量
鉄道	24,694
自動車(営業用)	208,312
自動車(自家用)	505,658
内航海運	50,562
航空	2,472,632

データ出所：平成4年版『運輸経済統計要覧』

⁵ 運輸部門の生産額は運賃が計上されている。しかし自家輸送部門は生産額と中間投入合計額が一致しており付加価値部分がないことに注意すべきであろう。

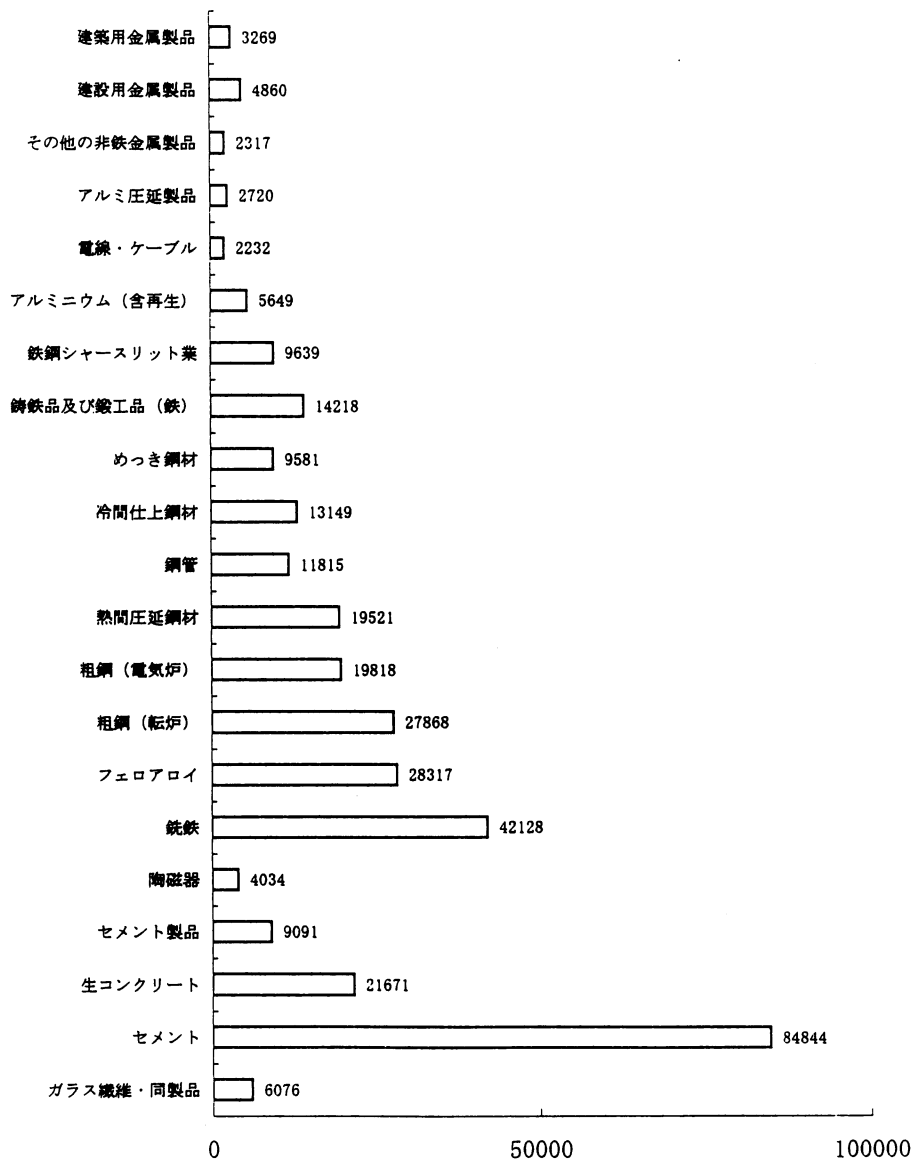


図6: 窯業, 鉄鋼製品, 非鉄金属によるCO₂排出量 (kg/百万円)

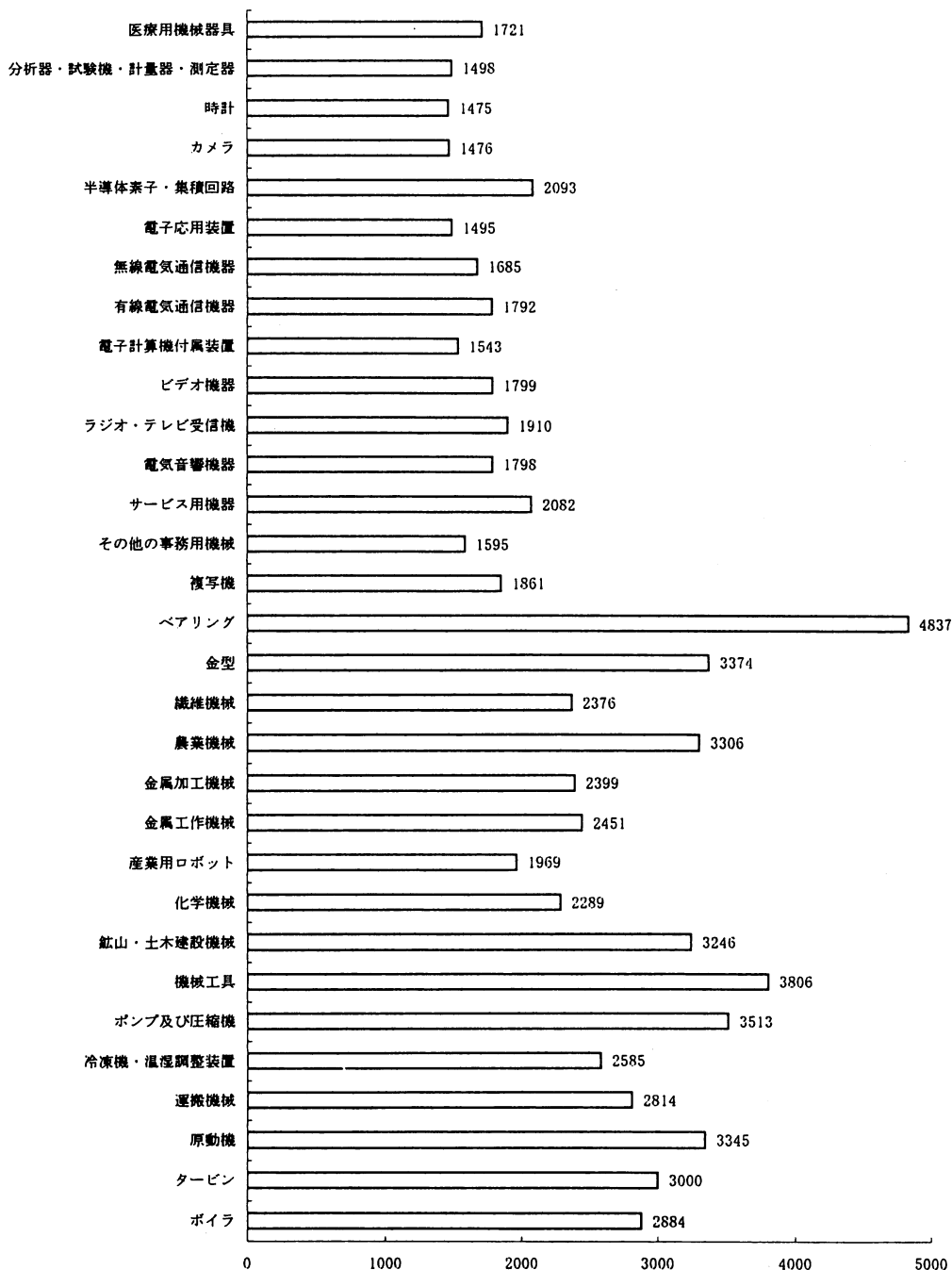


図7:機械関連製品によるCO₂排出量
(kg/百万円)

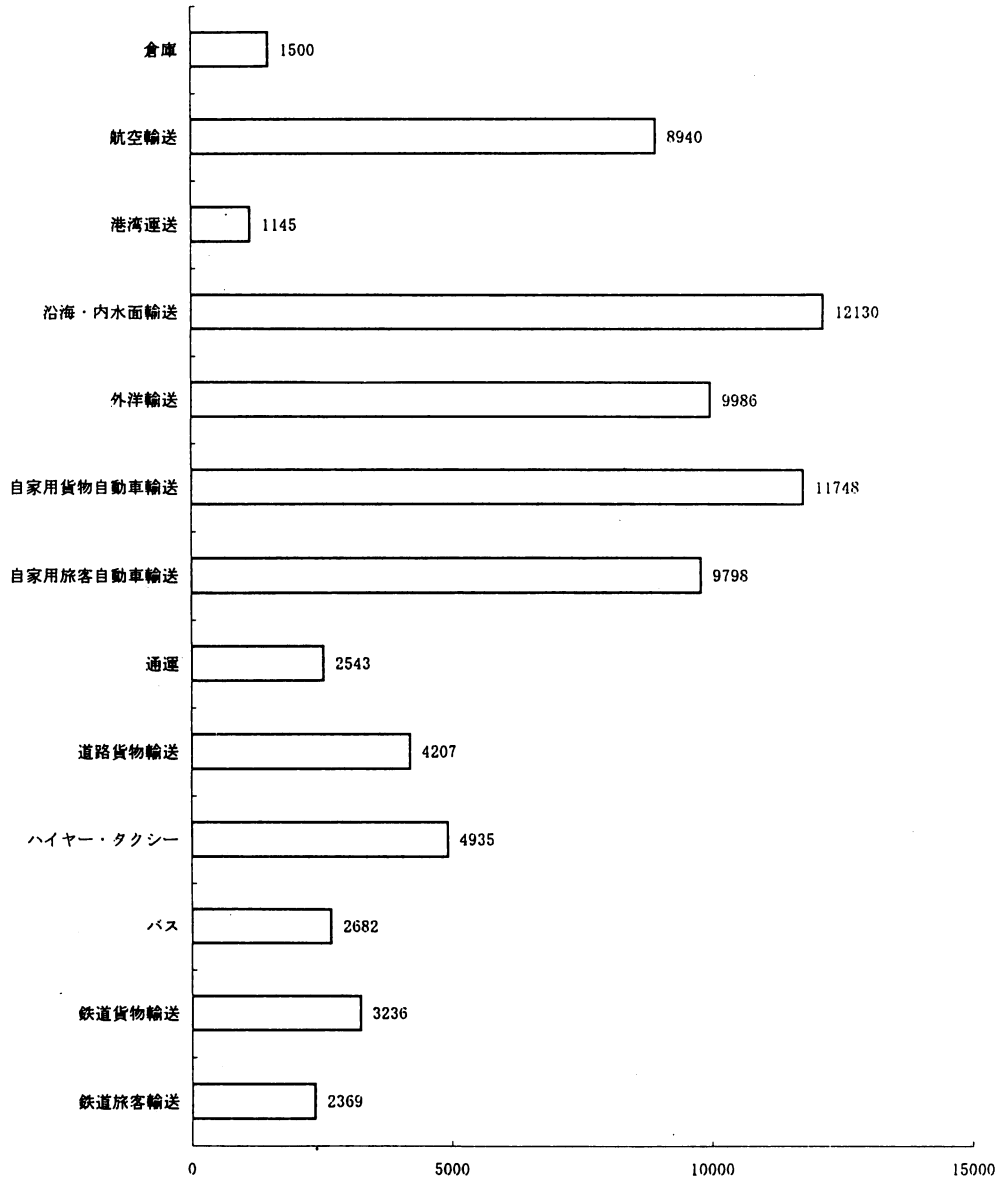


図8: 運輸関連の活動による誘発CO₂排出量 (kg/百万円)

付表 1: 財・サービズ別 1 単位あたり誘発 CO₂ 排出量

(単位: kg-CO₂/1980 年生産者価格表示百万円)

部門符号	部門名	計	生産過程	最終消費過程	部門符号	部門名	計	生産過程	最終消費過程
0111-01	米	1,201	1,201	0	0622-02	砕石	4,811	4,811	0
0111-02	麦類	1,968	1,968	0	0629-09	その他の非金属鉱物	4,862	4,862	0
0111-03	雑穀	1,311	1,311	0	0711-01	原料炭	142,246	6,598	135,648
0112-01	いも類	1,455	1,455	0	0711-01	一般炭	163,668	6,598	157,070
0112-02	豆類	1,356	1,356	0	0721-01	原油	160,998	2,656	158,342
0113-00	野菜	1,779	1,779	0	0731-01	天然ガス	74,513	2,711	71,802
0114-01	果実	1,090	1,090	0	1111-01	と畜(含肉鶏処理)	1,554	1,554	0
0115-01	砂糖原料作物	1,470	1,470	0	1112-01	肉加工品	1,551	1,551	0
0115-02	飲料用作物	1,557	1,557	0	1112-02	畜産びん・かん詰	2,254	2,254	0
0115-09	その他の食用耕種作物	1,109	1,109	0	1112-03	動物油脂	4,348	4,348	0
0116-01	飼料作物	1,399	1,399	0	1112-04	酪農品	2,524	2,524	0
0116-02	蕎麦たばこ	1,393	1,393	0	1113-01	冷凍魚介類	4,842	4,842	0
0116-03	種苗	1,408	1,408	0	1113-02	塩・干・くん製品	3,328	3,328	0
0116-04	花き・花木類	2,941	2,941	0	1113-03	塩・干・くん製品	3,814	3,814	0
0116-09	その他の非食用耕種作物	1,236	1,236	0	1113-04	ねり製品	2,704	2,704	0
0121-01	酪農	1,119	1,119	0	1113-05	魚油・魚かす	6,003	6,003	0
0121-02	鶏卵	1,980	1,980	0	1113-09	その他の水産食品	2,845	2,845	0
0121-03	肉鶏	2,172	2,172	0	1114-01	精穀	1,457	1,457	0
0121-04	豚	1,715	1,715	0	1114-02	製粉	1,620	1,620	0
0121-05	肉用牛	1,262	1,262	0	1115-01	めん類	2,098	2,098	0
0122-01	養蚕	916	916	0	1115-02	パン類	1,883	1,883	0
0131-01	獣医薬	1,329	1,329	0	1115-03	菓子類	2,063	2,063	0
0131-02	農業サービズ(除獣医薬)	3,119	3,119	0	1116-01	農産びん・かん詰	2,804	2,804	0
0211-01	育林	745	745	0	1116-02	農産保存食料品(除びん・かん詰)	1,875	1,875	0
0212-01	素材	1,377	1,377	0	1117-01	砂糖	4,430	4,430	0
0213-01	特用林産物(含狩猟業)	4,666	4,666	0	1117-02	でん粉	3,005	3,005	0
0311-00	沿岸・沖合・遠洋漁業	8,292	8,292	0	1117-03	ぶどう糖・水あめ・異性化糖	7,254	7,254	0
0311-04	海面漁業	3,021	3,021	0	1117-04	植物油類	2,447	2,447	0
0312-00	内水面漁業・内水面養殖業	4,907	4,907	0	1117-05	塩	28,683	28,683	0
0611-01	鉄鉱石	6,532	6,532	0	1117-06	調味料	2,728	2,728	0
0612-01	非鉄金属鉱物	4,332	4,332	0	1119-01	冷凍調理食品	2,233	2,233	0
0621-01	石灰石	4,939	4,939	0	1119-02	レトルト食品	2,067	2,067	0
0621-09	その他の窯業原料鉱物	4,776	4,776	0	1119-03	そう菜・すし・弁当	1,948	1,948	0
0622-01	砂利・採石	3,986	3,986	0	1119-09	その他の食料品	2,181	2,181	0
					1121-01	清酒	1,419	1,419	0

付表1: (つづく) 財・サービス別1単位あたり誘発CO₂排出量
(単位: kg-CO₂/1990年生産者価格表示百万円)

部門符号	部門名	計	生産過程	最終消費過程	部門符号	部門名	計	生産過程	最終消費過程
1121-02	ビール	1,387	1,387	0	1711-03	金属製家具・装備品	2,954	2,954	0
1121-03	添加アルコール	4,617	4,617	0	1811-01	パルプ	9,022	9,022	0
1121-04	ウィスキー類	1,218	1,218	0	1812-01	洋紙・和紙	15,115	15,115	0
1121-09	その他の酒類	2,713	2,713	0	1813-01	板紙	11,434	11,434	0
1129-01	米・コーヒ-	1,813	1,813	0	1813-02	段ボール	7,270	7,270	0
1129-02	清涼飲料	2,703	2,703	0	1813-03	塗工紙・複設用加工紙	6,844	6,844	0
1129-03	粟米	4,338	4,338	0	1821-01	段ボール箱	3,763	3,763	0
1131-01	飼料	1,911	1,911	0	1821-09	その他の紙製容器	4,390	4,390	0
1131-02	有機質肥料(除別掲)	2,380	2,380	0	1829-01	紙製衛生材料・用品	4,159	4,159	0
1141-01	たばこ	628	628	0	1829-09	その他のパルプ・紙・紙加工品	4,810	4,810	0
1511-01	製糸	1,827	1,827	0	1911-01	新聞	3,702	3,702	0
1511-02	絹糸	2,809	2,809	0	1911-02	印刷・製版・製本	2,974	2,974	0
1511-03	化学繊維紡績糸	5,699	5,699	0	1911-03	出版	2,663	2,663	0
1511-04	毛糸	2,886	2,886	0	2011-01	アンモニア	15,895	15,895	0
1511-09	その他の紡績糸	3,024	3,024	0	2011-02	単質肥料	9,011	9,011	0
1512-01	絹・スフ織物(含合繊短繊維)	3,453	3,453	0	2011-03	複合肥料	5,877	5,877	0
1512-02	絹・人絹織物(含合繊長繊維)	4,898	4,898	0	2021-01	ソーダ工業製品	20,008	20,008	0
1512-03	毛織物	3,006	3,006	0	2029-01	硫酸	3,857	3,857	0
1512-09	その他の織物	3,390	3,390	0	2029-02	無機顔料	6,873	6,873	0
1513-01	ニット製品	2,695	2,695	0	2029-03	圧縮ガス・液化ガス	11,788	11,788	0
1514-01	染色整理	5,536	5,536	0	2029-09	その他の有機化学工業製品	10,820	10,820	0
1519-01	絹・綿	4,503	4,503	0	2031-01	石油化学基礎製品	7,615	7,615	0
1519-02	じゅうたん・床敷物	3,888	3,888	0	2031-02	石油化学系芳香族製品	10,766	10,766	0
1519-03	繊維製衛生材料	2,128	2,128	0	2032-01	脂肪族中間物	9,521	9,521	0
1519-09	その他の繊維工業製品	3,100	3,100	0	2032-02	環式中間物	9,647	9,647	0
1521-01	衣服	2,056	2,056	0	2033-01	合成ゴム	9,846	9,846	0
1522-01	その他の衣服・身の回り品	1,729	1,729	0	2039-01	コーラ・ビール製品	21,499	21,499	0
1529-01	製綿・寝具	2,317	2,317	0	2039-02	メタン誘導品	9,016	9,016	0
1529-09	その他の繊維既製品	1,954	1,954	0	2039-03	油脂加工製品	4,498	4,498	0
1611-01	製材	1,175	1,175	0	2039-04	可塑剤	7,089	7,089	0
1611-02	合板	2,150	2,150	0	2039-05	合成染料	8,431	8,431	0
1611-03	木材チップ	1,298	1,298	0	2039-09	その他の有機化学工業製品	6,956	6,956	0
1619-09	その他の木製品	1,516	1,516	0	2041-01	熱硬化性樹脂	6,004	6,004	0
1711-01	木製家具・装備品	1,725	1,725	0	2041-02	熱可塑性樹脂	9,227	9,227	0
1711-02	木製建具	1,918	1,918	0	2041-03	高性能樹脂	6,205	6,205	0

付表 1: (つづく) 財・サービス別 1 単位あたり誘染 CO₂ 排出量
(単位: kg-CO₂/1990 年生産者価格表示百万円)

部門符号	部門名	計	生産過程	最終消費過程	部門符号	部門名	計	生産過程	最終消費過程
2041-09	その他の合成樹脂	10,005	10,005	0	2411-01	革製履物	1,246	1,246	0
2051-01	レヨン・アセテート	11,854	11,854	0	2412-01	製革・毛皮	2,033	2,033	0
2051-02	合成繊維	8,507	8,507	0	2412-02	かばん・袋物・その他の革製品	1,730	1,730	0
2061-01	医薬品	2,173	2,173	0	2511-01	板ガラス・安全ガラス	5,510	5,510	0
2071-01	石けん・合成洗剤・界面活性剤	4,125	4,125	0	2512-01	ガラス繊維・同製品	6,076	6,076	0
2071-02	化粧品・歯磨	1,922	1,922	0	2519-09	その他のガラス製品	6,512	6,512	0
2072-01	化粧料	4,276	4,276	0	2521-01	セメント	84,844	84,844	0
2072-02	印刷インキ	3,782	3,782	0	2522-01	生コンクリート	21,671	21,671	0
2073-01	写真感光材料	3,463	3,463	0	2523-01	セメント製品	9,091	9,091	0
2074-01	医薬類	3,767	3,767	0	2531-01	陶磁器	4,034	4,034	0
2079-01	火薬類	3,403	3,403	0	2539-01	耐火物	7,101	7,101	0
2079-02	セラチン・接着剤	4,354	4,354	0	2599-02	その他の建設用土石製品	8,874	8,874	0
2079-09	その他の化学最終製品	4,306	4,306	0	2599-03	炭素・黒鉛製品	8,352	8,352	0
2111-01	揮発油	29,423	3,200	26,223	2599-04	研磨材	4,750	4,750	0
2111-01	ジェット燃料	98,316	3,200	95,116	2599-09	その他の炭素・土石製品	23,292	23,292	0
2111-01	灯油	96,998	3,200	93,798	2611-01	鉄鉄	42,128	42,128	0
2111-01	軽油	54,816	3,200	51,616	2611-02	フェロロイ	28,317	28,317	0
2111-01	A 重油	108,036	3,200	104,836	2611-03	粗鋼(転炉)	27,868	27,868	0
2111-01	B 重油	115,902	3,200	112,702	2611-04	粗鋼(電気炉)	19,818	19,818	0
2111-01	C 重油	132,062	3,200	128,862	2621-01	熱間圧延鋼材	19,521	19,521	0
2111-01	ナフサ	107,268	3,200	104,068	2622-01	鋼管	11,815	11,815	0
2111-01	LPG	102,586	3,200	99,386	2623-01	冷間仕上鋼材	13,149	13,149	0
2111-01	オイルコークス	324,308	3,200	321,108	2623-02	めっき鋼材	9,581	9,581	0
2121-01	コークス	199,267	37,425	161,842	2631-01	鋼線鋼	8,545	8,545	0
2121-01	練炭	71,304	37,425	33,879	2631-02	鋼鉄管	10,982	10,982	0
2121-01	豆炭	64,265	37,425	26,840	2631-03	鋼鉄品及び鍛工品(鉄)	14,218	14,218	0
2121-01	粗ベンゾール	144,493	37,425	107,068	2649-01	鉄鋼シャースリット業	9,639	9,639	0
2121-01	コールタル	270,064	37,425	232,639	2649-09	その他の鉄鋼製品	8,197	8,197	0
2121-01	コークス炉ガス	72,735	37,425	35,310	2711-01	鋼	3,275	3,275	0
2121-02	舗装材料	3,676	3,676	0	2711-02	鉛(含再生)	15,607	15,607	0
2211-01	プラスチック製品	3,850	3,850	0	2711-03	亜鉛(含再生)	11,063	11,063	0
2311-01	タイヤ・チューブ	4,976	4,976	0	2711-04	アルミニウム(含再生)	5,649	5,649	0
2319-01	ゴム製履物	1,898	1,898	0	2711-09	その他の非鉄金属地金	3,171	3,171	0
2319-02	プラスチック製履物	2,792	2,792	0	2721-01	電線・ケーブル	2,232	2,232	0
2319-09	その他のゴム製品	3,022	3,022	0	2722-01	伸縮品	2,546	2,546	0

付表1: (つづく) 財・サービス別1単位あたり誘致CO₂排出量
(単位: kg-CO₂/1990年生産者価格表示百万円)

部門番号	部門名	計	生産過程	最終消費過程	部門番号	部門名	計	生産過程	最終消費過程
2722-02	アルミ圧延製品	2,720	2,720	0	3211-01	電気音響機器	1,798	1,798	0
2722-03	非鉄金属錬造品	3,028	3,028	0	3211-02	ラジオ・テレビ受信機	1,910	1,910	0
2722-04	核燃料	1,499	1,499	0	3211-03	ビデオ機器	1,799	1,799	0
2722-09	その他の非鉄金属製品	2,317	2,317	0	3211-09	その他の民生用電気機器	2,260	2,260	0
2811-01	建設用金属製品	4,860	4,860	0	3212-09	磁気テープ・フレキシブルディスク	2,495	2,495	0
2812-01	建築用金属製品	3,269	3,269	0	3311-01	その他の電気音響機器部品・付属品	1,719	1,719	0
2891-01	ガス・石油機器及び暖房機器	4,177	4,177	0	3311-02	電子計算機本体	1,359	1,359	0
2899-01	ボルト・ナット・リベット及びスプリング	5,180	5,180	0	3321-01	電子計算機付属装置	1,543	1,543	0
2899-02	金属製容器及び製缶板金製品	4,441	4,441	0	3321-02	有線電気通信機器	1,792	1,792	0
2899-03	配管工事用製品・粉末冶金製品・道具類	3,539	3,539	0	3321-02	無線電気通信機器	1,685	1,685	0
2899-09	その他の金属製品	3,701	3,701	0	3331-01	その他の電気通信機器	1,700	1,700	0
3011-01	ホイラ	2,884	2,884	0	3331-01	電子応用装置	1,495	1,495	0
3011-02	タービン	3,000	3,000	0	3332-01	電気計測器	1,500	1,500	0
3011-03	原動機	3,345	3,345	0	3341-01	半導体素子・集積回路	2,093	2,093	0
3012-01	運搬機械	2,814	2,814	0	3359-01	電子管	3,131	3,131	0
3013-01	冷凍機・送風調整装置	2,585	2,585	0	3359-09	その他の電子・通信機器部品	1,727	1,727	0
3019-01	ポンプ及び圧縮機	3,513	3,513	0	3411-01	回転電気機械	2,692	2,692	0
3019-02	ミシン・毛糸手織機械	2,850	2,850	0	3411-02	開閉制御装置及び配電盤	2,124	2,124	0
3019-03	機械工具	3,806	3,806	0	3411-03	その他の送配電機器	2,942	2,942	0
3019-09	その他の一般産業機械及び装置	2,880	2,880	0	3411-09	その他の産業用重電機器	2,241	2,241	0
3021-01	鉱山・土木建設機械	3,246	3,246	0	3421-01	その他の産業用重電機器	2,290	2,290	0
3022-01	化学機械	2,289	2,289	0	3421-02	電池	3,353	3,353	0
3023-01	産業用ロボット	1,969	1,969	0	3421-03	電球類	2,454	2,454	0
3024-01	金属工作機械	2,451	2,451	0	3421-04	配線器具	1,966	1,966	0
3024-02	金属加工機械	2,399	2,399	0	3421-04	内燃機関電装品	2,161	2,161	0
3029-01	農業機械	3,306	3,306	0	3421-05	その他の軽電機器	2,108	2,108	0
3029-02	繊維機械	2,376	2,376	0	3511-01	乗用車	2,514	2,514	0
3029-03	食料品加工機械	2,660	2,660	0	3521-01	トラック・バス・その他の自動車	2,626	2,626	0
3029-09	その他の特殊産業機械	2,183	2,183	0	3521-01	二輪自動車	2,555	2,555	0
3031-01	金型	3,374	3,374	0	3541-01	自動車用内燃機関・同部品	3,554	3,554	0
3031-02	ヘアリング	4,837	4,837	0	3541-02	自動車用内燃機関・同部品	2,698	2,698	0
3031-09	その他の一般機械器具及び部品	3,495	3,495	0	3611-01	自動車部品	3,069	3,069	0
3111-01	複写機	1,861	1,861	0	3611-02	船舶	3,789	3,789	0
3111-09	その他の事務用機械	1,595	1,595	0	3611-02	その他の船舶	2,219	2,219	0
3112-01	サービス用機器	2,082	2,082	0	3611-03	船舶用内燃機関	3,399	3,399	0

付表1: (つづく) 財・サービス別1単位あたり誘発CO₂排出量
(単位: kg-CO₂/1990年生産者価格表示百万円)

部門符号	部門名	生産過程	最終消費過程	部門符号	部門名	生産過程	最終消費過程	計	生産過程	最終消費過程
3611-10	船舶修理	3,603	0	5111-04	自家発電	84,548	0	84,548	0	0
3621-01	鉄道車両	3,956	0	5121-01	都市ガス	21,539	1,651	21,539	1,651	19,888
3621-10	鉄道車両修理	4,271	0	5122-01	熱供給業	10,439	0	10,439	0	0
3622-01	航空機	1,513	0	5211-01	上水道・簡易水道	3,482	3,482	3,482	3,482	0
3622-10	航空機修理	783	0	5211-02	工業用水	2,567	2,567	2,567	2,567	0
3629-01	自転車	1,886	0	5211-03	下水道★	5,951	5,951	5,951	5,951	0
3629-09	その他の輸送機械	3,364	0	5212-01	廃棄物処理(公営)★★	21,118	0	21,118	0	0
3711-01	カメラ	1,476	0	5212-02	廃棄物処理(産業)	8,551	0	8,551	0	0
3711-09	その他の光学機械	1,911	0	6111-01	卸売	895	895	895	895	0
3712-01	時計	1,475	0	6112-01	小売	1,383	1,383	1,383	1,383	0
3719-01	理化学機械器具	1,702	0	6211-01	金融	444	444	444	444	0
3719-02	分析器・試験機	1,498	0	6212-01	生命保険	423	423	423	423	0
3719-03	医療用機械器具	1,721	0	6212-02	損害保険	597	597	597	597	0
3911-01	玩具	1,952	0	6411-01	不動産仲介・管理業	622	622	622	622	0
3919-01	運動用品	2,653	0	6411-02	不動産賃貸業	677	677	677	677	0
3919-02	楽器	1,603	0	6421-01	住宅賃貸料	306	306	306	306	0
3919-03	筆記具・文具	1,818	0	7111-01	鉄道旅客輸送	2,369	2,369	2,369	2,369	0
3919-04	身辺細貨品	2,220	0	7112-01	鉄道貨物輸送	3,236	3,236	3,236	3,236	0
3919-05	骨・わら加工品	1,657	0	7121-01	バス	2,682	2,682	2,682	2,682	0
3919-06	武器	1,157	0	7121-02	ハイヤー・タクシー	4,935	4,935	4,935	4,935	0
4111-01	その他の製造工業製品	1,944	0	7122-01	道路貨物輸送	4,207	4,207	4,207	4,207	0
4111-02	住宅建築(木造)	2,770	0	7122-02	通運	2,543	2,543	2,543	2,543	0
4112-01	住宅建築(非木造)	1,882	0	7131-01	自家用旅客自動車輸送	9,798	9,798	9,798	9,798	0
4112-02	非住宅建築(非木造)	2,765	0	7132-01	自家用貨物自動車輸送	11,748	11,748	11,748	11,748	0
4121-01	建設備修	2,010	0	7141-01	外洋輸送	9,986	9,986	9,986	9,986	0
4131-01	河川・下水道・その他の公共事業	2,759	0	7142-01	沿海・内水面輸送	12,130	12,130	12,130	12,130	0
4131-02	農林関係公共事業	2,828	0	7143-01	港湾運送	1,145	1,145	1,145	1,145	0
4131-03	電力施設建設	3,932	0	7151-01	航空輸送	8,940	8,940	8,940	8,940	0
4132-01	鉄道軌道建設	3,926	0	7161-01	倉庫	1,500	1,500	1,500	1,500	0
4132-02	電力施設建設	4,116	0	7171-01	小包	1,892	1,892	1,892	1,892	0
4132-03	電気通信施設建設	3,906	0	7179-01	道路輸送施設提供	1,073	1,073	1,073	1,073	0
4132-09	その他の土木建設	2,408	0	7179-02	水運付帯サービス(公営)★★	1,794	1,794	1,794	1,794	0
5111-00	事業用発電	3,592	0	7179-03	水運付帯サービス(産業)	450	450	450	450	0
		23,952	0	7179-05	航空付帯サービス(国公営)★★	1,870	1,870	1,870	1,870	0
		23,952	0		航空付帯サービス(産業)	1,041	1,041	1,041	1,041	0

付表1: (つづく) 財・サービス別1単位あたり誘発CO₂排出量
(単位: kg-CO₂/1990年生産者価格表示百万円)

部門符号	部門名	最終消費過程	生産過程	部門符号	部門名	生産過程	最終消費過程	部門符号	部門名	生産過程	最終消費過程	計	生産過程	最終消費過程
7179-09	旅行・その他の運輸付帯サービス		907	8511-01	広告	907	0	8511-01	情報サービス	1,857	0	1,857	0	0
7311-01	郵便		822	8512-01	ニュース供給・興信所	822	0	8512-01	ニュース供給・興信所	798	0	798	0	0
7312-01	国内電気通信		634	8512-02	物品賃貸業(除貸自動車)	634	0	8512-02	物品賃貸業(除貸自動車)	765	0	765	0	0
7312-02	国際電気通信		766	8513-01	貨自動車業	766	0	8513-01	貨自動車業	604	0	604	0	0
7319-09	その他の通信サービス		776	8514-01	自動車修理	776	0	8514-01	自動車修理	532	0	532	0	0
7321-01	公共放送		1,143	8515-10	機械修理	1,143	0	8515-10	機械修理	1,750	0	1,750	0	0
7321-02	民間放送		1,023	8516-10	建物サービス	1,023	0	8516-10	建物サービス	1,602	0	1,602	0	0
7321-03	有線放送		676	8519-01	法律・財務・会計サービス	676	0	8519-01	法律・財務・会計サービス	603	0	603	0	0
8111-01	公務(中央)★★		1,565	8519-02	労働者派遣サービス	1,565	0	8519-02	労働者派遣サービス	737	0	737	0	0
8112-01	公務(地方)★★		1,301	8519-03	土木建築サービス	1,301	0	8519-03	土木建築サービス	1,091	0	1,091	0	0
8211-01	学校教育(国公立)★★		618	8519-04	その他の対事業所サービス	618	0	8519-04	その他の対事業所サービス	116	0	116	0	0
8211-02	学校教育(私立)★		1,056	8519-09	映画制作・配給業	1,056	0	8519-09	映画制作・配給業	901	0	901	0	0
8213-01	社会教育(国公立)★★		2,312	8611-01	映画館	2,312	0	8611-01	映画館	1,125	0	1,125	0	0
8213-02	社会教育(非営利)★		1,780	8611-02	劇場・興行場	1,780	0	8611-02	劇場・興行場	2,163	0	2,163	0	0
8213-03	その他の教育訓練機関(国公立)★★		2,973	8611-03	遊戯場	2,973	0	8611-03	遊戯場	1,272	0	1,272	0	0
8213-04	その他の教育訓練機関(産業)		2,587	8611-04	遊園地	2,587	0	8611-04	遊園地	1,744	0	1,744	0	0
8221-01	自然科学研究機関(国公立)★★		1,790	8611-05	競輪・競馬等の競走場・競技団	1,790	0	8611-05	競輪・競馬等の競走場・競技団	1,001	0	1,001	0	0
8221-02	自然科学研究機関(非営利)★		914	8611-06	運動競技場・公園・遊園地	914	0	8611-06	運動競技場・公園・遊園地	1,237	0	1,237	0	0
8221-03	自然科学研究機関(非営利)★		667	8611-07	興行団	667	0	8611-07	興行団	1,069	0	1,069	0	0
8221-04	人文科学研究機関(非営利)★		1,724	8611-09	その他の娯楽	1,724	0	8611-09	その他の娯楽	1,130	0	1,130	0	0
8221-05	自然科学研究機関(産業)		860	8612-01	喫茶店	860	0	8612-01	喫茶店	1,859	0	1,859	0	0
8221-06	人文科学研究機関(産業)		2,079	8612-02	一般飲食店(除喫茶店)	2,079	0	8612-02	一般飲食店(除喫茶店)	1,543	0	1,543	0	0
8311-01	医療(国公立)★★		1,330	8612-03	遊興飲食店	1,330	0	8612-03	遊興飲食店	1,167	0	1,167	0	0
8311-02	医療(非営利)★		2,079	8613-01	旅館・その他の宿泊所	2,079	0	8613-01	旅館・その他の宿泊所	1,903	0	1,903	0	0
8311-03	医療(産業)		1,763	8619-01	洗濯・洗滌・染物業	1,763	0	8619-01	洗濯・洗滌・染物業	1,871	0	1,871	0	0
8312-01	保健衛生(国公立)★★		1,006	8619-02	美容業	1,006	0	8619-02	美容業	1,089	0	1,089	0	0
8312-02	保健衛生(非営利)★		1,823	8619-03	美容業	1,823	0	8619-03	美容業	948	0	948	0	0
8312-03	保健衛生(産業)		1,557	8619-04	写真業	1,557	0	8619-04	写真業	4,640	0	4,640	0	0
8313-01	社会保険事業(国公立)★★		1,397	8619-05	各種修理業(除別掲)	1,397	0	8619-05	各種修理業(除別掲)	2,393	0	2,393	0	0
8313-02	社会保険事業(非営利)★		1,408	8619-06	個人教授所	1,408	0	8619-06	個人教授所	2,063	0	2,063	0	0
8313-03	社会福祉(国公立)★★		1,119	8619-07	事務用品	1,119	0	8619-07	事務用品	1,057	0	1,057	0	0
8313-04	社会福祉(非営利)★		1,227	8619-08	その他の対個人サービス	1,227	0	8619-08	その他の対個人サービス	1,367	0	1,367	0	0
8411-01	対企業民間非営利団体		1,287	8900-00	分類不明	1,287	0	8900-00	分類不明	4,389	0	4,389	0	0
8411-02	対企業民間非営利団体(除別掲)★		1,013	9000-00		1,013	0	9000-00		4,099	0	4,099	0	0

第3章

環境家計簿作成のためのCO₂排出点数表*

1 国民1人当たりのCO₂排出量

いったい諸々の財・サービスを国民が消費したり、投資したりするとき、それらはどの程度CO₂排出に寄与しているのでしょうか。各生産過程の間接効果をも考慮して、CO₂の排出をあらためてみ直してみよう。

図1は、最終需要から誘発されたCO₂排出量の構成を示している。これは我が国のCO₂総排出量12億トンが、どの最終需要部門によって誘発されたものであるか、その内訳を表したものである。これによれば、家計消費に誘発されるCO₂排出量は、5億7302万トンで47%になっている。その他をみると固定資本形成（公的+民間）からの誘発は3億5131万トンで29%、輸出からは1億1753万トンで15%が排出されている。このように家計消費によって誘発されるCO₂排出量は総排出量の約半分である。そこで家計消費活動にもとづくCO₂の排出をさらに詳しくみてみよう

図2は、国民1人あたりの家計消費支出から誘発されたCO₂排出量の構成が示されており、その費目分類はSNAの家計の最終消費支出の目的別分類にしたがっている¹。この結果にもとづけば、1990年に1人の国民の消費によって、4.88トンのCO₂の排出が誘発されたことが分かる。1人あたりの消費額は197万円であるから、1万円あたり約25kgの排出量ということになる。また1人あたり消費による誘発CO₂排出量の内訳は、家賃・水道・光熱費が一番多く1349kg、全体の28%をしめている。次に多いものは、交通・通信費で1092kg、23%になっている。3番目に多いのは、食料・飲料・煙草費で739kg、16%をしめている。この3つの費目で全体の6割強の排出量ということになる。

次に示す表1は、このようなCO₂排出量と家計消費支出額の構成を対比したものである。この表にもとづけば、食料・飲料・煙草費、家賃・水道・光熱費などにみられるように消費額の高い費目がCO₂排出量も高いということが大まかにみうけられる。しかし、詳細にみると、その構成比はだいぶ異なっている。まず、家賃・水道・光熱費であるが、CO₂排出量では28%とトップになっている。同費目は消費額の構成比で見ると19%で、食料・飲料・煙草費と並んで第1位である。また、交通・通信費はCO₂排出量では23%と第2位だが、消費の構成比は12%で第5位である。逆に、消費ウェイトの相対的に高いサー

*本稿は1997年9月16日に修正された。

¹この計算に使用した消費コンバーターは、慶應義塾大学桜本光教授に負っている。

ビス関連の支出（医療・保険費、交通・通信費、レクリエーション・娯楽・教育費）は、CO₂排出量でみると相対的に少ない費目となっていることもみのがせない。

表1 費目別誘発

SNA 8 費目分類	誘発 CO ₂ 排出量		消費額	
	kg/人	%	万円/人	%
第1 費目 食料・飲料・煙草費	739	15%	38	19%
第2 費目 衣服・履き物費	239	5%	14	7%
第3 費目 家賃・水道・光熱費	1349	28%	37	19%
第4 費目 家具・家庭器具・雑費	218	4%	8	4%
第5 費目 医療・保健費	363	7%	20	10%
第6 費目 交通・通信費	1092	23%	23	12%
第7 費目 レクリエーション・娯楽・教育費	454	9%	28	14%
第8 費目 その他	425	9%	29	15%
計	4879	100 %	197	100 %

注) 値はすべて四捨五入されている。

次の図3は品目別の国民1人あたり誘発CO₂排出量を示しており、その値が相対的に大きい品目を中心に405品目の中から主な品目をピックアップしている。図3に登場しない品目については参考として付表1に示されている。ここでは図3と、先に示した図2を交互にみて、費目別、品目別の特徴を整理しよう。

まず図2によると、(1)食料・飲料・煙草費からは739kg/人（全費目合計に対して15%を占める）のCO₂排出が誘発されている。次に図3をみると食料・飲料・煙草費のうち最も誘発排出量が多い財といえば、冷凍魚介類であり、およそ102kg/人である。その他にも精穀（米）、野菜、酪農品、と畜といった品目が相対的に上位にくる。以下の費目も同様な手順でみていこう。(2)衣服・はきもの費は239kg/人（5%）である。この費目の中で最も排出量が多い品目といえば、衣服であり146kg/人である。その他にもニット製品が51kg/人となっている。衣服は405財のうち、エネルギー財以外では2番目に大きく、この値が後で出てくる乗用車145kg/人よりも大きいことに驚かされる。(3)家賃・水道・光熱費は1349kg/人（28%）と8費目中最も大きい。この費目のうち最も排出量が多い品目は、事業用発電で684kg/人であり、石油製品（LPGと灯油）378kg/人、都市ガス161kg/人がこれに続く。電力が家賃・水道・光熱費による排出量全体の約5割を占めていることに注目されたい。(4)家具・家庭器具・雑費による排出は218kg/人（4%）である。主な品目をみると木製家具・装備品が14kg/人、プラスチック製品が20kg/人、洋紙・和紙が13kg/人である。(5)医療・保健費による1人あたり誘発CO₂排出量は363kg/人（7%）である。ここでは医療（産業）の1人あたり排出量が187kg/人であり全財・サービスの中で4番目に多いという特徴がある。(6)交通・通信費による誘発排出は1092kg/人（23%）であり、8費目中、家賃・水道・光熱費に次いで大きい値である。交通・通信費が誘発するCO₂排出には、乗用車（家計が購入した乗用車等の生産に関わるCO₂）と、石油製品（揮発油と軽油：その乗用車にガソリンをいれて運行した場合のCO₂）があり、それぞれ145kg/人、562kg/人で

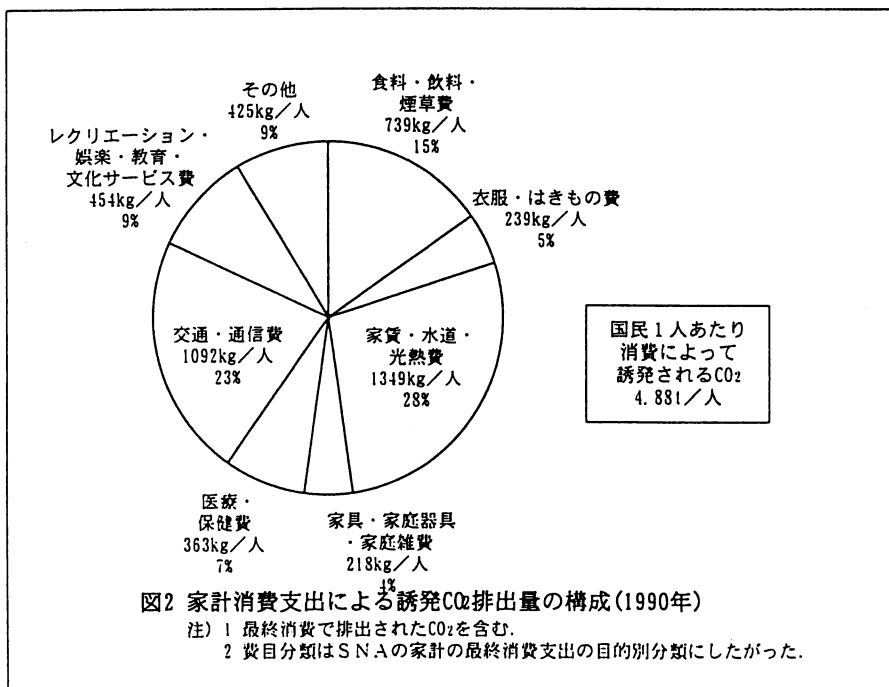
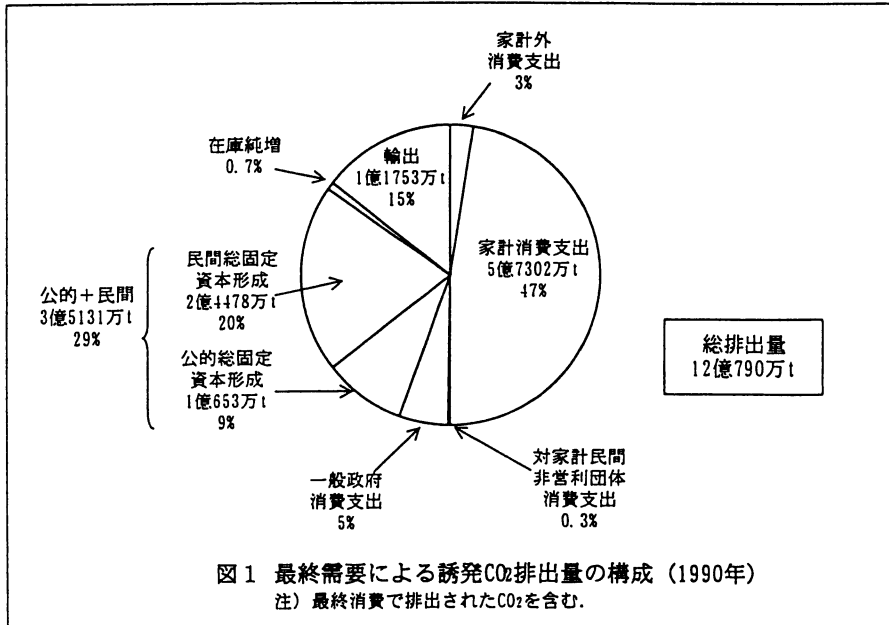
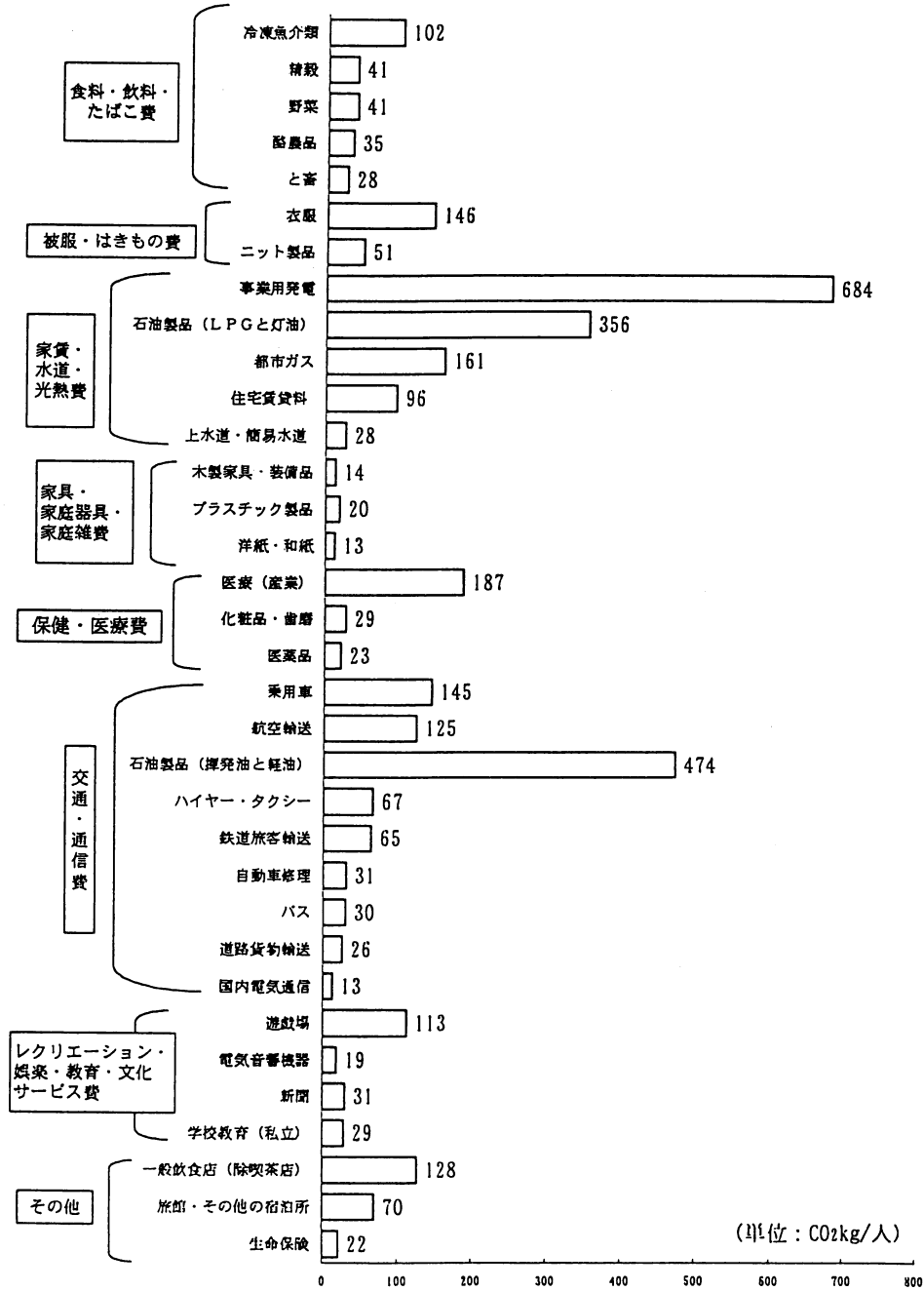


図3 品目別国民一人当たりCO₂排出量



※1人あたり排出量の相対的に大きい品目を中心に主な品目をピックアップして表示した

ある。乗用車の燃料消費から排出されたCO₂は乗用車生産時の排出の約4倍となっていることに注意されたい。つまり、自動車生産によるCO₂排出量は無視できないけれども、自動車を動かすときの燃料によるCO₂排出量は格段に多いわけである。とかく、われわれはエネルギー節約という耐久財を長く使うことに目を配りがちである。しかし自動車のように技術革新が進む財では、むしろエネルギー効率を上昇させるような技術革新を追求していく方向も考えられることを示唆している。(7)レクリエーション・娯楽・教育・文化サービス費は454kg/人(9%)である。主な品目をみてみると遊戯場が113kg/人、学校教育(私立)が29kg/人、新聞が31kg/人となっている。(8)その他を構成する財は、大部分がサービスであり、それらの利用による排出は、全体で425kg/人(9%)となっている。そのうち、一般飲食店の128kg/人、旅館・その他の宿泊所の70kg/人が相対的に大きい。

ここで、以上の計算に用いられたモデルの内容を以下で解説しておこう。本章で用いられる計算の基本式は次式のとおりである。

$$C_j^C = (c^p (I - (I - \hat{M}) A)^{-1} + c^f) f_j^C \tag{1}$$

ただし、

- C_j^C : j 財の購入者価格単位当りの消費による誘発CO₂排出量
- f_j^C : j 財の購入者価格単位当り生産者価格評価消費額と
運賃・商業マージンからなるベクトル
- C_j^p : j 財生産1単位あたりCO₂排出量ベクトル
- $c^p = [C_j^p] \quad (j = 1, \dots, 405)$: c^p を要素とする行ベクトル
- C_j^f : j 財が1単位燃焼させたときに排出されるCO₂の量
- $c^f = [C_j^f] \quad (j = 1, \dots, 405)$: c^f を要素とする行ベクトル
- $cons_j$: j 財の購入者価格単位当り生産者価格評価消費額
- $margin_j$: j 財の購入者価格単位当り商業マージン(2形態)
- $freight_j$: j 財の購入者価格単位当り運賃(7形態)

である。そして、 f_j^C は次のようにベクトル表示される。

$$f_j^C = \begin{pmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ cons_j \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ margin_j \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 0 \\ freight_j \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix}$$

また第2節の「CO₂排出点数表」の計算方法も先にここで紹介しておくことにしよう。まず、各j財を1990年に1万円購入したときに、財の生産・流通・消費の過程で、直接間接に誘発されるCO₂排出量を計算した。

$$C_j^{FC} = (c^p(I - (I - \hat{M})A)^{-1} + c^f)FC_j^h \quad (2)$$

C_j^{FC}	: j財の国民1人あたりの消費額(1990年)による誘発CO ₂ 排出量(CO ₂ 換算kg/1人)
C_j^p	: 生産量1万円当たりのCO ₂ 排出係数を示す行ベクトル (CO ₂ 換算kg/1万円:1990年生産者価格表示)
A	: 405部門の投入係数行列
\hat{M}	: 輸入係数を角化した行列
I	: 単位行列
C_j^f	: 燃料消費による家計内CO ₂ 排出係数を示す行ベクトル (CO ₂ 換算kg/1万円:1990年生産者価格表示)
FC_j^h	: j財の国民1人あたり1990年生産者価格評価消費額と 運賃・商業マージンからなるベクトル
$Cons_j$	: j財の国民1人あたり生産者価格評価消費額
$Margin_j$	: j財の国民1人あたり商業マージン(2形態)
$Freight_j$	: j財の国民1人あたり運賃(7形態)

ただし、 FC_j^h は次のようにベクトル表示される。

$$FC_j^h = \begin{pmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ Cons_j \\ 0 \\ \vdots \\ Margin_j \\ Freight_j \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix}$$

以上の1990年購入者価格表示1万円あたりの誘発CO₂排出量を、CO₂1kgを1点として点数表示した。

2 環境家計簿作成のためのCO₂排出点数表

ここでは環境保全のための1つの指標として「CO₂排出点数表」を提示してみよう。この表を利用すれば、われわれが日常無意識に消費しているいろいろな財が、具体的にどの程度のCO₂排出をもたらすかを知ることになる。また、この表を用いることによって、各家計は、あたかも家計簿に商品別の支出額

を記入するように、CO₂の排出量を記録できる。そして排出を抑制するには、どの財の消費を控え、替わりにどの財を使うようにすれば良いかを、この「排出点数表」を参考にして、検討できるであろう。

排出点数表を目的別・品目別に整理したのが表2である。同表では、目的別にどのような商品の排出点数が相対的に高いか低いかわ、どのような商品の消費から多くのCO₂が排出されるかをまとめている。

表2にしたがって、費目別に財の排出点数を詳しくみてみよう。また品目によっては見方に注意を要するものがあるので、それについて解説をしよう。

まず、食料・飲料・煙草費では、塩の排出点数が201点で圧倒的に高いことに驚くであろう²。これに対して砂糖は3点であるから「砂糖と塩では、塩の方が点数が高い」ということになる。ただし国民1人あたりでみると砂糖は3kg/人、塩は2kg/人であるから砂糖の消費の方からより多くのCO₂排出がなされている。次に気づく点は、内水面養殖業³、沿岸・沖合・遠洋漁業（52点）の点数が高いことである。それに対して、と畜（肉）は14点、肉加工品は15点と相対的に低く、「肉と魚では、魚の排出点数が高い」傾向がみられる。これは漁業では漁船を動かすのに重油を燃焼させるが、その際にCO₂が排出されているからである。また、農産品の中では、野菜の排出点数が相対的に高く（16点）、精穀、いも類、果実、豆類の順（15点～13点）に低くなる。野菜が相対的に高くなるのは温室栽培で保温のためにエネルギーを消費することが関係している。このように魚も野菜もそれを捕獲し、栽培するためにはエネルギーは必要なことが点数に現れている。

衣服・はきもの費に属する財の排出点数は、10点から30点前後の間にある。図3でみたように衣服は国民1人当たり排出量では146kg/人と相対的に大きかったが、排出点数で見ると17点と相対的に低い。このように国民1人あたり排出量が相対的に大きい品目が、必ずしも排出点数が高いとは限らない。

排出点数が100点以上の品目は相対的に点数が高い品目であるとみなすとすれば、食料・飲料・煙草費および衣服・はきもの費は100点以上の品目は1つしかなく、相対的に点数の低い品目グループであったといえよう。これに対して次の家賃・水道・光熱費に属する品目の排出点数は10品目中8品目が100点以上であり、同費目は相対的に点数が高い品目グループであるといえよう。石炭（1424点）、LPG（706点）、灯油（578点）、都市ガス（190点）など家庭内での燃焼からCO₂が排出されるエネルギーに対して、電力（240点）のように、それを消費することによって家庭内ではCO₂が排出されることはないが、家庭外（発電所）でCO₂が排出されているエネルギーがあることに注目していただきたい。

次に家具・家庭器具・家庭雑費では、ほうろうなどの窯業製品（179点）と鉄製品及び鍛冶品（鉄）（126点）の排出点数がとくに高い。また、この費目に含まれる財は、ガラスなどの窯業製品、染料、接着剤などの化学製品、工具、配管設備品、暖厨房機器などの金属機械製品といった、重化学工業製品が多く、全体的に排出点数が相対的に高い。

²塩の排出点数が高いこと理由は、現在の塩の製法にある。塩は、全供給量のうちの2割弱が国産塩であるが、それは、海水をイオン交換膜法と呼ばれる方法で蒸留して生産される。これには、大量の電力が必要である。残り8割強は、輸入原塩が、溶解後、精製加工されるが、その場合には、大量のB重油を用いる。このように現在の製塩アクティビティは、著しくエネルギー多消費型の化学工業であるため、塩の排出点数が高くなると考えられる。

³公共の内水面における養殖活動をさす。

表2:家計消費部門の需要1単位あたり誘発CO₂排出量(1点=1kg(CO₂換算)/万円)

第1費目 食料・飲料・煙草費	
100点以上	塩(201点)
50点以上	ぶどう糖・水あめ・異性化糖, 沿岸・沖合・遠洋漁業
40点以上	冷凍魚介類
30点以上	動物油脂, 内水面漁業・内水面養殖業, 特用林産物(含狩猟業) 砂糖, 水産びん・かん詰, 製米
20点以上	でん粉, 塩・干・くん製品, 清涼飲料, 農産びん・かん詰, その他の水産食品, ねり製品, その他の酒類, 海面養殖業 調味料, 植物油脂, 酪農品
10点以上	その他の食料品, 畜産びん・かん詰, 冷凍調理食品, めん類 そう菜・すし・弁当, レトルト食品, 菓子類, 鶏卵, 農産保存食料品(除びん・かん詰) パン類, 茶・コーヒー, 製粉, 野菜 清酒, 肉加工品, いも類, ビール, 精穀, と畜(含肉鶏処理), 豆類, ウィスキー類 果実, その他の畜産, 酪農, たばこ
第2費目 衣服・はきもの費	
20点以上	絹・人絹織物(含合繊長織物), じゅうたん・床敷物, その他の繊維工業製品 ニット製品, 綿・スフ織物(含合繊短織物), その他の織物, 毛糸 各種修理業(除別掲), プラスチック製履物, 毛織物
10点以上	ゴム製履物, 衣服, 身辺細貨品, その他の衣服・身の回り品 その他の対個人サービス, 革製履物, 個人教授所
第3費目 家賃・水道・光熱費	
100点以上	石炭(1424点), 石油製品(LPG)(706点), 石油製品(灯油)(578点) 石炭製品(練炭)(539点), 石炭製品(豆炭)(490点) 事業用発電(240点) 都市ガス(190点) 熱供給業(104点)
30点以上	上水道・簡易水道(35点)
10点以上	住宅賃貸料(3点)
第4費目 家具・家庭器具・家庭雑費	
100点以上	その他の窯業・土石製品(179点), 鋳鉄品及び鍛工品(鉄)(126点)
50点以上	洋紙・和紙, セメント製品, その他の建設用土石製品
40点以上	合成染料
30点以上	ボルト・ナット・リベット及びスプリング, ゼラチン・接着剤 金属製容器及び製缶板金製品, その他のバルブ・紙・紙加工品 研磨材, 板ガラス・安全ガラス, 紙製衛生材料・用品, 特用林産物(含狩猟業) 網・網, その他の化学最終製品, 配管工事付属品・粉末冶金製品・道具類, その他のガラス製品, 塗料
20点以上	ガス・石油機器及び暖房機器, ポンプ及び圧縮機, 陶磁器, プラスチック製品, 絹・人絹織物(含合繊長織物) 電池, その他の金属製品, 非鉄金属鑄造品, 農薬, 建築用金属製品, その他の織物 その他の一般機械器具及び部品, アルミ圧延製品, 各種修理業(除別掲), 電球類, 電気照明器具) じゅうたん・床敷物, ミシン・毛糸手編機械, その他のゴム製品, 金属製家具・装備品, その他の繊維工業製品 その他の紡績糸, 機械工具, 綿・スフ織物(含合繊短織物), その他の製造工業製品
10点以上	毛織物, 洗濯・洗張・染物業, 有機質肥料(除別掲), 配線器具, 製綿・寝具 機械修理, 身辺細貨品, 電気照明器具, かばん・袋物・その他の革製品, 木製家具・装備品 その他の繊維既製品, 飼料, その他の木製品, その他の対個人サービス, 分析器・試験機・計量器・測定器 量・わら加工品, 個人教授所, 土木建築サービス, 損害保険

表2：家計消費部門の需要1単位あたり誘発CO₂排出量（つづき）
（1点=1kg(CO₂換算)/万円）

第5費目 医療・保健費	
30点以上	石けん・合成洗剤・界面活性剤
20点以上	その他のゴム製品, 医療（非営利）
10点以上	保健衛生（非営利）, 医療（産業）, 繊維製衛生材料 その他の光学機械, 化粧品・歯磨, 医薬品, 保健衛生（産業）, 医療（国公立）

第6費目 交通・通信費	
100点以上	石油製品（軽油）(364点), 石油製品（揮発油）(199点), 沿海・内水面輸送
50点以上	外洋輸送, 航空輸送
40点以上	ハイヤー・タクシー, 道路貨物輸送
30点以上	鉄道貨物輸送, タイヤ・チューブ
20点以上	バス, 鉄道旅客輸送, その他の輸送機械, その他のゴム製品 自動車部品, 二輪自動車, トラック・バス・その他の自動車, 各種修理業（除別掲）
10点以上	乗用車, 自動車修理, 自転車, その他の電子・通信機器部分品 倉庫, 道路輸送施設提供
0点以上	その他の通信サービス, 国際電気通信, 郵便, 国内電気通信, 損害保険

第7費目 レクリエーション・娯楽・教育・文化サービス費	
40点以上	複合肥料
30点以上	その他のパルプ・紙・紙加工品 紙製衛生材料・用品, 獣医薬 その他の教育訓練機関（国公立）, その他の紙製容器
20点以上	陶磁器, 印刷・製版・製本, その他の教育訓練機関（産業） 写真感光材料, 段ボール箱, 新聞, 社会教育（国公立）, 出版, 映画館, その他の製造工業製品, その他の船舶 磁気テープ・フレキシブルディスク, 各種修理業（除別掲）, 花き・花木類
10点以上	運動用品, その他の民生用電気機器, 社会教育（非営利） 遊戯場, レコード, 玩具, その他の光学機械, 有線電気通信機器 ラジオ・テレビ受信機, 機械修理, 無線電気通信機器, その他の電気音響機器部分品・付属品 かばん・袋物・その他の革製品, 楽器, その他の対個人サービス カメラ, 電子計算機付属装置, 種苗, 写真業, ビデオ機器, 電気音響機器 劇場・興行場, 電子計算機本体, 運動競技場・公園・遊園地 その他の食用耕種作物, 個人教授所, その他の娯楽 興行団, 映画制作・配給業, 学校教育（私立）, 公共放送

第8費目 その他	
100点以上	競輪・競馬等の競走場・競技団, 有線放送 物品賃貸業（除貸自動車）, 学校教育（国公立）, 廃棄物処理（公営）
50点以上	廃棄物処理（産業）, 下水道
40点以上	浴場業, 道路貨物輸送, 分類不明
30点以上	その他のパルプ・紙・紙加工品, 紙製衛生材料・用品
20点以上	その他の非鉄金属地金, 葬儀業, その他の製造工業製品, 各種修理業（除別掲）
10点以上	電気照明器具, 旅館・その他の宿泊所, 一般飲食店（除喫茶店） こん包, 筆記具・文具, 公務（中央）, 身辺細貨品, かばん・袋物・その他の革製品, 喫茶店 その他の事務用機械, その他の対個人サービス, 小売, 時計, 複写機, 公務（地方） 遊興飲食店, 社会福祉（非営利）, 個人教授所, 理容業, 社会福祉（国公立）
0点以上	対家計民間非営利団体（除別掲）, 美容業, その他の対事業所サービス 卸売, ニュース供給・興信所, 情報サービス, 法務・財務・会計サービス, 建物サービス 損害保険, 貸自動車業, 生命保険, 金融, 旅行・その他の運輸付帯サービス, 不動産仲介・管理業,

次の医療・保健費の排出点数は相対的に低い点数の財が多い。同費目の中で、最も排出点数が高い品目は石鹸であるが、それでも排出点数は31点である。また医療サービスの国民1人当たり排出量が他の品目と比べて、相対的に大きいことは前に述べたが、排出点数としては13点～21点であり、相対的には小さい。ただし医療サービスについては、後で出てくる教育サービス、廃棄物処理サービスと同様に家計が直接負担しているのではなく、間接的に公的部門を通じて負担しているという点があり、この点数にはその分が含まれていないことに注意されたい。

交通・通信費には、(1)家計が購入する輸送機械(乗用車、トラック、二輪自動車等)に関する排出点数と、(2)それら輸送機械を動かすための燃料である軽油、揮発油の排出点数、および、(3)鉄道、船舶等の輸送サービスを利用した場合の排出点数がある。軽油、揮発油の点数がそれぞれ364点、199点であり他の品目と比べて相対的に大きい。輸送サービスに属する品目も外洋輸送(100点)、航空輸送(89点)が相対的に大きい。乗用車からの排出に関してみるときは上の(1)車と(2)燃料を両方ともあわせて計算し、それと輸送サービスと比較する方法が考えられる。これとハイヤー・タクシー(49点)、バス(27点)、鉄道(24点)の比較をすることは「自家用車に乗るか、タクシーに乗るか、バスに乗るか、鉄道に乗るか」を消費者が選択するときの情報としても利用されよう。

レクリエーション・娯楽・教育費では、複合肥料の排出点数が最も高く、42点である。これは園芸で利用される肥料であるが、草花に与える肥料からまわりまわってCO₂が排出されることなど思いもしない人が多いであろう。そのほか、紙製品、獣医業の排出点数(30点～40点)が相対的に高めである。これに対して排出点数が相対的に低い財としては、物品賃貸業、国公立の学校、有線放送がある⁴。

その他費目では廃棄物処理(公営)、廃棄物処理(産業)の排出点数がそれぞれ211点、86点と他の品目と比べて相対的に高いことが注目される。廃棄物の排出点数については、リサイクルしたらどうなるか、ゴミを燃やした熱を利用して発電したらどうなるかなど、処理の仕方によって別々に点数を計算することが望まれよう⁵。

以上、排出点数表の主な特徴をみてきたが、その詳細については付表2に示されているので、それを参照されたい。付表2ではkg/万円単位で表示されているが、ここでは1kg/万円=1点で換算している。これはそのまま点数に読み替えられる。点数表の利用者は消費支出額に点数をかけることによって、自己の消費活動から誘発されるCO₂を簡単に知ることができるであろう。

⁴ただし、国公立学校の点数が相対的に低いことについては、結果の読みとりには注意を要する。たとえば、私立の学校の排出点数は、11点で国公立の約2倍である。これには、国公立の学校にかかる経費は家計が全額負担するのではなく、政府によってかなりの負担がされていることが関係する。

⁵ここでゴミ処理費用1万円あたりの排出点数が、公営と産業でこのような開きをもつということは、わが国のゴミ処理制度のあり方に対して問題を提起しているように思われる。わが国では、ゴミ処理費用は地方自治体によって負担されており、家計に負担が生ずるのは、特別の場合に限られるからである。

付表1 国民一人あたり誘発CO₂排出量

第1費目	食料・飲料・煙草費					
コード	部門名	合計	生産過程	流通過程 (商業)	流通過程 (運輸)	家計内 排出量
		kg/人	kg/人	kg/人	kg/人	kg/人
1113-01	冷凍魚介類	101.82	87.00	11.06	3.76	0.00
1129-02	清涼飲料	55.15	45.47	6.77	2.91	0.00
1115-03	菓子類	54.08	38.56	12.87	2.64	0.00
0113-00	野菜	41.06	27.30	10.76	3.00	0.00
1114-01	精穀	40.62	34.25	5.86	0.50	0.00
1112-04	酪農品	34.37	26.65	5.91	1.81	0.00
1119-09	その他の食料品	30.58	25.87	3.90	0.81	0.00
1113-02	塩・干・くん製品	28.81	23.88	4.08	0.85	0.00
1111-01	と畜(含肉鶏処理)	27.66	17.85	8.90	0.91	0.00
1117-06	調味料	26.46	19.90	5.72	0.83	0.00
1113-09	その他の水産食品	26.06	21.20	3.63	1.23	0.00
1141-01	たばこ	24.77	13.69	9.16	1.93	0.00
1115-02	パン類	22.76	16.58	5.42	0.76	0.00
1121-02	ビール	21.67	14.68	5.07	1.92	0.00
1115-01	めん類	18.42	14.03	3.68	0.71	0.00
1119-03	そう菜・すし・弁当	16.51	12.64	3.58	0.30	0.00
0311-00	沿岸・沖合・遠洋漁業	15.57	13.36	1.66	0.55	0.00
1121-09	その他の酒類	15.09	11.95	2.46	0.69	0.00
0114-01	果実	13.74	6.86	5.29	1.59	0.00
1116-02	農産保存食料品(除びん・かん詰)	12.96	9.70	2.67	0.60	0.00
1112-01	肉加工品	12.37	8.73	3.00	0.64	0.00
1113-04	ねり製品	12.08	10.34	1.26	0.48	0.00
1129-01	茶・コーヒー	11.47	7.88	3.17	0.42	0.00
0213-01	特用林産物(含狩猟業)	9.98	8.41	1.19	0.38	0.00
0311-04	海面養殖業	9.85	6.98	2.38	0.49	0.00
1121-01	清酒	8.84	5.76	2.29	0.79	0.00
1121-04	ウイスキー類	6.81	4.65	1.62	0.54	0.00
0312-00	内水面漁業・内水面養殖業	5.78	4.87	0.74	0.17	0.00
0121-02	鶏卵	5.40	4.33	0.97	0.11	0.00
1116-01	農産びん・かん詰	4.64	3.87	0.58	0.20	0.00
1117-04	植物油脂	4.52	3.25	0.98	0.29	0.00
1113-03	水産びん・かん詰	4.05	3.54	0.38	0.13	0.00
1117-01	砂糖	3.05	2.45	0.45	0.15	0.00
1119-01	冷凍調理食品	2.98	2.30	0.58	0.10	0.00
0112-01	いも類	2.00	1.25	0.50	0.25	0.00
1112-02	畜産びん・かん詰	1.93	1.53	0.30	0.10	0.00
1117-05	塩	1.56	1.53	0.02	0.01	0.00
1119-02	レトルト食品	1.56	1.17	0.34	0.06	0.00
1114-02	製粉	0.712	0.477	0.155	0.080	0.000
1129-03	製氷	0.644	0.520	0.112	0.012	0.000
1117-02	でん粉	0.189	0.163	0.013	0.013	0.000
1117-03	ぶどう糖・水あめ・異性化糖	0.085	0.081	0.003	0.001	0.000

注)1人あたり排出量が1以上の品目については小数点第2位まで、1未満の品目については第3位まで表示。

付表1 国民一人あたり誘発CO₂排出量(つづき)

第1費目 食料・飲料・煙草費 (つづき)						
コード	部門名	合計	生産過程	流通過程 (商業)	流通過程 (運輸)	家計内 排出量
		kg/人	kg/人	kg/人	kg/人	kg/人
0121-09	その他の畜産	0.043	0.018	0.018	0.007	0.000
0121-01	酪農	0.033	0.033	0.000	0.000	0.000
0112-02	豆類	0.031	0.025	0.005	0.001	0.000
1112-03	動物油脂	0.021	0.018	0.002	0.001	0.000
第1費目合計		738.76	565.60	139.48	33.69	0.00
第2費目 衣服・はきもの費						
コード	部門名	合計	生産過程	流通過程 (商業)	流通過程 (運輸)	家計内 排出量
		kg/人	kg/人	kg/人	kg/人	kg/人
1521-01	衣服	145.88	82.90	58.58	4.40	0.00
1513-01	ニット製品	51.00	41.48	8.29	1.22	0.00
2411-01	革製履物	9.14	5.08	3.44	0.63	0.00
2319-02	プラスチック製履物	8.45	6.05	2.07	0.33	0.00
1522-01	その他の衣服・身の回り品	7.98	4.87	2.80	0.32	0.00
8619-09	その他の対個人サービス	3.66	3.66	0.00	0.00	0.00
8619-08	個人教授所	3.58	3.58	0.00	0.00	0.00
2319-01	ゴム製履物	3.47	2.03	1.27	0.17	0.00
3919-04	身辺細貨品	1.99	1.42	0.30	0.28	0.00
1519-02	じゅうたん・床敷物	1.16	0.83	0.31	0.02	0.00
1512-02	絹・人絹織物(含合繊長織物)	1.15	0.83	0.30	0.02	0.00
1512-03	毛織物	0.472	0.300	0.163	0.009	0.000
1512-01	綿・スフ織物(含合繊短織物)	0.404	0.282	0.113	0.009	0.000
1511-04	毛糸	0.324	0.254	0.058	0.012	0.000
1519-09	その他の繊維工業製品	0.137	0.109	0.025	0.003	0.000
8619-07	各種修理業(除別掲)	0.131	0.131	0.000	0.000	0.000
1512-09	その他の織物	0.118	0.081	0.035	0.002	0.000
第2費目合計		239.05	153.90	77.73	7.42	0.00
第3費目 家賃・水道・光熱費						
コード	部門名	合計	生産過程	流通過程 (商業)	流通過程 (運輸)	家計内 排出量
		kg/人	kg/人	kg/人	kg/人	kg/人
5111-00	事業用発電	683.97	683.97	0.00	0.00	0.00
2111-01	石油製品(LPGと灯油)	377.51	17.23	2.96	1.31	356.00
5121-01	都市ガス	161.06	14.06	0.00	0.00	147.00
6421-01	住宅賃貸料	96.21	96.21	0.00	0.00	0.00
5211-01	上水道・簡易水道	27.55	27.55	0.00	0.00	0.00
0711-01	石炭	1.02	0.02	0.00	0.00	1.00
2121-01	石炭製品(練炭)	0.86	0.77	0.01	0.00	0.08
5122-01	熱供給業	0.47	0.47	0.00	0.00	0.00
第3費目合計		1348.65	840.28	2.97	1.32	504.08

付表1 国民一人あたり誘発CO₂排出量(つづき)

第4費目 家具・家庭器具・家庭雑費

コード	部門名	合計	生産過程	流通過程 (商業)	流通過程 (運輸)	家計内 排出量
		kg/人	kg/人	kg/人	kg/人	kg/人
2599-09	その他の窯業・土石製品	45.67	44.81	0.54	0.32	0.00
2211-01	プラスチック製品	19.99	15.31	3.45	1.23	0.00
8619-01	洗濯・洗張・染物業	18.44	18.44	0.00	0.00	0.00
1711-01	木製家具・装備品	14.03	8.46	5.20	0.36	0.00
1812-01	洋紙・和紙	12.72	11.81	0.66	0.26	0.00
2079-09	その他の化学最終製品	12.62	10.57	1.80	0.26	0.00
1529-09	その他の繊維既製品	10.93	6.30	4.41	0.22	0.00
1529-01	製綿・寝具	9.52	5.46	3.86	0.21	0.00
2899-09	その他の金属製品	6.98	5.41	1.38	0.20	0.00
3919-09	その他の製造工業製品	5.89	4.29	1.23	0.37	0.00
2891-01	ガス・石油機器及び暖厨房機器	5.75	4.72	0.95	0.08	0.00
1519-02	じゅうたん・床敷物	4.65	3.33	1.24	0.07	0.00
2531-01	陶磁器	3.77	3.05	0.62	0.09	0.00
8619-09	その他の対個人サービス	3.66	3.66	0.00	0.00	0.00
8619-08	個人教授所	3.58	3.58	0.00	0.00	0.00
1131-01	飼料	2.94	1.29	1.25	0.40	0.00
1512-02	絹・人絹織物(含合織長織物)	2.68	1.95	0.70	0.04	0.00
3421-02	電池	2.59	2.17	0.39	0.04	0.00
3421-03	電球類	2.55	1.98	0.52	0.05	0.00
1829-01	紙製衛生材料・用品	2.17	1.85	0.17	0.14	0.00
3919-04	身辺細貨品	1.99	1.42	0.30	0.28	0.00
2899-03	配管工事付属品・粉末冶金製品・道具類	1.96	1.67	0.17	0.13	0.00
3421-01	電気照明器具	1.75	1.42	0.29	0.04	0.00
2319-09	その他のゴム製品	1.69	1.25	0.34	0.10	0.00
6212-02	損害保険	1.69	1.69	0.00	0.00	0.00
3719-02	分析器・試験機・計量器・測定器	1.61	0.79	0.78	0.04	0.00
2519-09	その他のガラス製品	1.49	1.00	0.40	0.08	0.00
2812-01	建築用金属製品	1.42	1.12	0.24	0.05	0.00
1619-09	その他の木製品	1.41	0.83	0.44	0.14	0.00
2412-02	かばん・袋物・その他の革製品	1.40	0.88	0.41	0.10	0.00
1829-09	その他のバルブ・紙・紙加工品	1.13	0.95	0.11	0.06	0.00
1512-03	毛織物	1.10	0.70	0.38	0.02	0.00
1512-01	綿・スフ織物(含合織短織物)	0.943	0.658	0.264	0.021	0.000
3019-02	ミシン・毛糸手編機械	0.719	0.617	0.083	0.019	0.000
1711-03	金属製家具・装備品	0.662	0.534	0.110	0.018	0.000
3421-04	配線器具	0.628	0.493	0.125	0.010	0.000
2722-02	アルミ圧延製品	0.610	0.540	0.057	0.013	0.000
1519-09	その他の繊維工業製品	0.549	0.434	0.101	0.014	0.000
0213-01	特用林産物(含狩猟業)	0.525	0.442	0.063	0.020	0.000
8516-10	機械修理	0.432	0.432	0.000	0.000	0.000

付表1 国民一人あたり誘発CO₂排出量(つづき)

第4費目 家具・家庭器具・家庭雑費(つづき)

コード	部門名	合計	生産過程	流通過程	流通過程	家計内
				(商業)	(運輸)		排出量
		kg/人	kg/人	kg/人	kg/人	kg/人
1131-02	有機質肥料(除別掲)	0.396	0.176	0.124	0.096	0.000
3019-01	ポンプ及び圧縮機	0.295	0.258	0.033	0.005	0.000
8619-07	各種修理業(除別掲)	0.280	0.280	0.000	0.000	0.000
1512-09	その他の織物	0.274	0.188	0.081	0.005	0.000
2074-01	農薬	0.258	0.201	0.053	0.005	0.000
2899-02	金属製容器及び製缶板金製品	0.224	0.197	0.019	0.009	0.000
3919-05	畳・わら加工品	0.211	0.117	0.082	0.012	0.000
2511-01	板ガラス・安全ガラス	0.196	0.157	0.034	0.006	0.000
2072-01	塗料	0.195	0.160	0.031	0.004	0.000
1519-01	綱・網	0.176	0.153	0.020	0.003	0.000
1511-09	その他の紡績糸	0.170	0.141	0.025	0.004	0.000
2079-02	ゼラチン・接着剤	0.094	0.089	0.004	0.002	0.000
2523-01	セメント製品	0.090	0.081	0.007	0.002	0.000
3019-03	機械工具	0.056	0.037	0.018	0.001	0.000
2039-05	合成染料	0.024	0.020	0.004	0.000	0.000
8519-03	土木建築サービス	0.019	0.019	0.000	0.000	0.000
3031-09	その他の一般機械器具及び部品	0.017	0.013	0.004	0.000	0.000
2599-04	研磨材	0.017	0.013	0.002	0.002	0.000
2599-02	その他の建設用土石製品	0.015	0.013	0.002	0.000	0.000
2631-03	鑄鉄品及び鍛工品(鉄)	0.009	0.009	0.000	0.000	0.000
2899-01	ボルト・ナット・リベット及びスプリング	0.005	0.004	0.001	0.000	0.000
2722-03	非鉄金属鑄造品	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000
第4費目合計		217.88	178.65	33.58	5.66	0.00

第5費目 医療・保健費

コード	部門名	合計	生産過程	流通過程	流通過程	家計内
				(商業)	(運輸)		排出量
		kg/人	kg/人	kg/人	kg/人	kg/人
8311-03	医療(産業)	187.12	187.12	0.00	0.00	0.00
8311-02	医療(非営利)	76.96	76.96	0.00	0.00	0.00
8311-01	医療(国公立)	35.04	35.04	0.00	0.00	0.00
2071-02	化粧品・歯磨	29.47	20.61	8.21	0.65	0.00
2061-01	医薬品	22.68	13.50	8.51	0.67	0.00
2071-01	石けん・合成洗剤・界面活性剤	8.58	7.26	1.20	0.12	0.00
3711-09	その他の光学機械	2.07	1.47	0.52	0.08	0.00
1519-03	繊維製衛生材料	0.595	0.353	0.182	0.060	0.000
2319-09	その他のゴム製品	0.282	0.208	0.057	0.017	0.000
6212-02	損害保険	0.201	0.201	0.000	0.000	0.000
8312-03	保健衛生(産業)	0.151	0.151	0.000	0.000	0.000
8312-02	保健衛生(非営利)	0.052	0.052	0.000	0.000	0.000
第5費目合計		363.19	342.92	18.68	1.59	0.00

付表1 国民一人あたり誘発CO₂排出量(つづき)

第6費目 交通・通信費		合計	生産過程	流通過程 (商業)	流通過程 (運輸)	家計内 排出量
コード	部門名					
		kg/人	kg/人	kg/人	kg/人	kg/人
2111-01	石油製品(揮発油と軽油)	561.50	55.17	9.49	4.20	492.64
3511-01	乗用車	145.31	106.25	35.08	3.99	0.00
7151-01	航空輸送	124.81	124.81	0.00	0.00	0.00
7121-02	ハイヤー・タクシー	67.35	67.35	0.00	0.00	0.00
7111-01	鉄道旅客輸送	65.27	65.27	0.00	0.00	0.00
8515-10	自動車修理	31.48	31.48	0.00	0.00	0.00
7121-01	バス	30.47	30.47	0.00	0.00	0.00
7122-01	道路貨物輸送	26.23	26.23	0.00	0.00	0.00
7142-01	沿海・内水面輸送	14.81	14.81	0.00	0.00	0.00
7312-01	国内電気通信	12.62	12.62	0.00	0.00	0.00
3521-01	トラック・バス・その他の自動車	8.14	6.54	1.38	0.22	0.00
7179-01	道路輸送施設提供	6.89	6.89	0.00	0.00	0.00
3531-01	二輪自動車	3.87	3.16	0.59	0.13	0.00
3629-01	自転車	3.06	1.78	1.16	0.12	0.00
2311-01	タイヤ・チューブ	2.40	1.88	0.40	0.13	0.00
7311-01	郵便	2.30	2.30	0.00	0.00	0.00
6212-02	損害保険	1.97	1.97	0.00	0.00	0.00
2319-09	その他のゴム製品	0.846	0.624	0.172	0.050	0.000
3359-09	その他の電子・通信機器部分品	0.385	0.279	0.093	0.013	0.000
7141-01	外洋輸送	0.357	0.357	0.000	0.000	0.000
7312-02	国際電気通信	0.294	0.294	0.000	0.000	0.000
7319-09	その他の通信サービス	0.181	0.181	0.000	0.000	0.000
3541-03	自動車部品	0.163	0.119	0.042	0.003	0.000
8619-07	各種修理業(除別掲)	0.108	0.108	0.000	0.000	0.000
7112-01	鉄道貨物輸送	0.098	0.098	0.000	0.000	0.000
7161-01	倉庫	0.055	0.055	0.000	0.000	0.000
3629-09	その他の輸送機械	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000
第6費目合計		1110.96	561.08	48.39	8.84	492.64
第7費目 レクリエーション・娯楽・教育・文化サービス費		合計	生産過程	流通過程 (商業)	流通過程 (運輸)	家計内 排出量
コード	部門名					
		kg/人	kg/人	kg/人	kg/人	kg/人
8611-04	遊戯場	112.72	112.72	0.00	0.00	0.00
3211-09	その他の民生用電気機器	62.85	47.32	14.28	1.25	0.00
1911-01	新聞	31.03	21.81	8.54	0.68	0.00
8211-02	学校教育(私立)	29.14	29.14	0.00	0.00	0.00
3211-01	電気音響機器	19.34	14.21	4.53	0.60	0.00

付表1 国民一人あたり誘発CO₂排出量(つづき)

第7費目 レクリエーション・娯楽・教育・文化サービス費 (つづき)

コード	部門名	合計	生産過程	流通過程	流通過程	家計内
		kg/人	kg/人	(商業) kg/人	(運輸) kg/人	排出量 kg/人
8611-05	競輪・競馬等の競走場・競技団	17.71	17.71	0.00	0.00	0.00
8611-06	運動競技場・公園・遊園地	17.46	17.46	0.00	0.00	0.00
1911-03	出版	14.92	11.99	2.68	0.25	0.00
3211-03	ビデオ機器	13.63	9.33	3.73	0.57	0.00
8213-04	その他の教育訓練機関(産業)	13.27	13.27	0.00	0.00	0.00
3911-01	玩具	12.72	8.85	3.35	0.53	0.00
0116-04	花き・花木類	12.85	9.02	3.46	0.37	0.00
3911-02	運動用品	11.74	8.45	2.94	0.35	0.00
3211-02	ラジオ・テレビ受信機	11.02	8.36	2.30	0.36	0.00
8611-09	その他の娯楽	5.37	5.37	0.00	0.00	0.00
3212-01	磁気テープ・フレキシブルディスク	5.25	4.31	0.82	0.12	0.00
8619-05	写真業	5.03	5.03	0.00	0.00	0.00
2073-01	写真感光材料	4.62	3.58	0.92	0.12	0.00
7321-01	公共放送	4.00	4.00	0.00	0.00	0.00
8619-09	その他の対個人サービス	3.66	3.66	0.00	0.00	0.00
8619-08	個人教授所	3.58	3.58	0.00	0.00	0.00
8513-01	物品賃貸業(除貸自動車)	3.38	3.38	0.00	0.00	0.00
3711-09	その他の光学機械	3.10	2.20	0.78	0.12	0.00
3212-09	その他の電気音響機器部品・付属品	2.96	2.23	0.64	0.09	0.00
3711-01	カメラ	2.92	1.85	0.91	0.16	0.00
8211-01	学校教育(国公立)	2.80	2.80	0.00	0.00	0.00
3919-02	レコード	2.44	1.79	0.55	0.11	0.00
0131-01	獣医薬業	2.42	2.42	0.00	0.00	0.00
3919-01	楽器	2.08	1.09	0.91	0.09	0.00
8611-02	映画館	2.00	2.00	0.00	0.00	0.00
1911-02	印刷・製版・製本	1.89	1.74	0.13	0.03	0.00
3311-02	電子計算機付属装置	1.67	1.20	0.42	0.05	0.00
3311-01	電子計算機本体	1.54	1.02	0.47	0.05	0.00
2412-02	かばん・袋物・その他の革製品	1.40	0.88	0.41	0.10	0.00
3321-01	有線電気通信機器	1.36	1.07	0.26	0.04	0.00
3611-02	その他の船舶	1.08	1.01	0.03	0.03	0.00
8516-10	機械修理	0.917	0.917	0.000	0.000	0.000
8213-01	社会教育(国公立)	0.906	0.906	0.000	0.000	0.000
1829-01	紙製衛生材料・用品	0.867	0.740	0.070	0.057	0.000
3919-09	その他の製造工業製品	0.841	0.612	0.176	0.053	0.000
8611-03	劇場・興行場	0.751	0.751	0.000	0.000	0.000
8213-02	社会教育(非営利)	0.732	0.732	0.000	0.000	0.000
0116-03	種苗	0.698	0.327	0.341	0.031	0.000
1821-09	その他の紙製容器	0.675	0.505	0.132	0.038	0.000
8611-07	興行団	0.620	0.620	0.000	0.000	0.000

付表1 国民一人あたり誘発CO₂排出量(つづき)

第7費目 レクリエーション・娯楽・教育・文化サービス費 (つづき)

コード	部門名	合計	生産過程	流通過程		家計内 排出量
				(商業)	(運輸)	
		kg/人	kg/人	kg/人	kg/人	kg/人
1829-09	その他のパルプ・紙・紙加工品	0.451	0.381	0.045	0.025	0.000
2531-01	陶磁器	0.419	0.339	0.069	0.010	0.000
8619-07	各種修理業(除別掲)	0.225	0.225	0.000	0.000	0.000
3321-02	無線電気通信機器	0.224	0.180	0.037	0.007	0.000
7321-03	有線放送	0.191	0.191	0.000	0.000	0.000
2011-03	複合肥料	0.167	0.125	0.017	0.025	0.000
1821-01	段ボール箱	0.062	0.044	0.016	0.003	0.000
8611-01	映画制作・配給業	0.031	0.031	0.000	0.000	0.000
0115-09	その他の食用耕種作物	0.012	0.008	0.002	0.001	0.000
8213-03	その他の教育訓練機関(国公立)	0.012	0.012	0.000	0.000	0.000
第7費目合計		453.74	393.49	53.94	6.31	0.00

第8費目 その他

コード	部門名	合計	生産過程	流通過程		家計内 排出量
				(商業)	(運輸)	
		kg/人	kg/人	kg/人	kg/人	kg/人
8612-01	一般飲食店(除喫茶店)	127.70	127.70	0.00	0.00	0.00
8613-01	旅館・その他の宿泊所	70.19	70.19	0.00	0.00	0.00
6212-01	生命保険	22.08	22.08	0.00	0.00	0.00
5211-03	下水道	15.61	15.61	0.00	0.00	0.00
3919-04	身辺細貨品	15.95	11.34	2.39	2.23	0.00
8612-03	遊興飲食店	15.08	15.08	0.00	0.00	0.00
8411-02	対家計民間非営利団体(除別掲)	14.66	14.66	0.00	0.00	0.00
8619-04	浴場業	14.18	14.18	0.00	0.00	0.00
8612-02	喫茶店	13.44	13.44	0.00	0.00	0.00
5212-02	廃棄物処理(産業)	13.00	13.00	0.00	0.00	0.00
2412-02	かばん・袋物・その他の革製品	11.18	7.06	3.32	0.80	0.00
8619-03	美容業	10.44	10.44	0.00	0.00	0.00
8619-06	葬儀業	9.37	9.37	0.00	0.00	0.00
3712-01	時計	7.07	4.98	1.90	0.19	0.00
8619-02	理容業	6.33	6.33	0.00	0.00	0.00
5212-01	廃棄物処理(公営)	5.59	5.59	0.00	0.00	0.00
6211-01	金融	4.70	4.70	0.00	0.00	0.00
2711-09	その他の非鉄金属地金	4.87	4.20	0.58	0.10	0.00
8112-01	公務(地方)	4.07	4.07	0.00	0.00	0.00
6112-01	小売	4.03	4.03	0.00	0.00	0.00
8619-09	その他の対個人サービス	3.66	3.66	0.00	0.00	0.00
8619-08	個人教授所	3.58	3.58	0.00	0.00	0.00
6411-01	不動産仲介・管理業	3.48	3.48	0.00	0.00	0.00
7171-01	こん包	3.45	3.45	0.00	0.00	0.00
8313-04	社会福祉(非営利)	3.25	3.25	0.00	0.00	0.00
7122-01	道路貨物輸送	2.91	2.91	0.00	0.00	0.00

付表1 国民一人あたり誘発CO₂排出量(つづき)

第8費目 その他(つづき)		合計	生産過程	流通過程	流通過程	家計内
コード	部門名			(商業)	(運輸)	排出量
		kg/人	kg/人	kg/人	kg/人	kg/人
3919-03	筆記具・文具	2.50	1.80	0.61	0.10	0.00
8313-03	社会福祉(国公立)	1.85	1.85	0.00	0.00	0.00
8519-09	その他の対事業所サービス	1.69	1.69	0.00	0.00	0.00
3919-09	その他の製造工業製品	1.68	1.23	0.35	0.11	0.00
1829-01	紙製衛生材料・用品	1.30	1.11	0.10	0.09	0.00
8111-01	公務(中央)	1.26	1.26	0.00	0.00	0.00
7179-09	旅行・その他の運輸付帯サービス	1.21	1.21	0.00	0.00	0.00
9000-00	分類不明	0.855	0.855	0.000	0.000	0.000
3111-09	その他の事務用機械	0.780	0.598	0.155	0.028	0.000
1829-09	その他のパルプ・紙・紙加工品	0.677	0.572	0.068	0.037	0.000
8519-02	法務・財務・会計サービス	0.590	0.590	0.000	0.000	0.000
8514-01	貸自動車業	0.284	0.284	0.000	0.000	0.000
3421-01	電気照明器具	0.194	0.158	0.032	0.004	0.000
6111-01	卸売	0.162	0.162	0.000	0.000	0.000
6212-02	損害保険	0.161	0.161	0.000	0.000	0.000
8512-02	ニュース供給・興信所	0.125	0.125	0.000	0.000	0.000
8619-07	各種修理業(除別掲)	0.117	0.117	0.000	0.000	0.000
3111-01	複写機	0.016	0.002	0.014	0.000	0.000
8512-01	情報サービス	0.003	0.003	0.000	0.000	0.000
8519-01	建物サービス	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000
第8費目合計		425.31	412.12	9.52	3.67	0.00

付表2 購入者価格1万円あたり誘発CO₂排出量

第1費目 食料・飲料・煙草費		合計	生産過程	流通過程 (商業)	流通過程 (運輸)	家計内 排出量
コード	部門名	kg/万円	kg/万円	kg/万円	kg/万円	kg/万円
1117-05	塩	201	197	3	1	0
1117-03	ぶどう糖・水あめ・異性化糖	61	58	2	1	0
0311-00	沿岸・沖合・遠洋漁業	52	44	5	2	0
1113-01	冷凍魚介類	37	31	4	1	0
1112-03	動物油脂	35	31	3	2	0
0312-00	内水面漁業・内水面養殖業	35	30	5	1	0
0213-01	特用林産物(含狩猟業)	35	29	4	1	0
1117-01	砂糖	33	26	5	2	0
1113-03	水産びん・かん詰	32	28	3	1	0
1129-03	製氷	31	25	5	1	0
1117-02	でん粉	27	24	2	2	0
1113-02	塩・干・くん製品	27	22	4	1	0
1129-02	清涼飲料	24	20	3	1	0
1116-01	農産びん・かん詰	24	20	3	1	0
1113-09	その他の水産食品	24	20	3	1	0
1113-04	ねり製品	24	21	3	1	0
1121-09	その他の酒類	23	18	4	1	0
0311-04	海面養殖業	23	16	5	1	0
1117-06	調味料	22	16	5	1	0
1117-04	植物油脂	21	15	5	1	0
1112-04	酪農品	21	17	4	1	0
1119-09	その他の食料品	20	17	3	1	0
1112-02	畜産びん・かん詰	20	16	3	1	0
1119-01	冷凍調理食品	19	15	4	1	0
1115-01	めん類	19	14	4	1	0
1119-03	そう菜・すし・弁当	18	13	4	0	0
1119-02	レトルト食品	18	14	4	1	0
1115-03	菓子類	18	13	4	1	0
0121-02	鶏卵	18	14	3	0	0
1116-02	農産保存食料品(除びん・かん詰)	17	13	4	1	0
1115-02	パン類	17	13	4	1	0
1129-01	茶・コーヒー	16	11	5	1	0
1114-02	製粉	16	11	4	2	0
0113-00	野菜	16	11	4	1	0
1121-01	清酒	15	9	4	1	0
1112-01	肉加工品	15	11	4	1	0
0112-01	いも類	15	9	4	2	0
1121-02	ビール	14	10	3	1	0
1114-01	精穀	14	12	2	0	0
1111-01	と畜(含肉鶏処理)	14	9	5	0	0
0112-02	豆類	14	11	2	0	0
1121-04	ウイスキー類	13	9	3	1	0
0114-01	果実	13	6	5	1	0
0121-09	その他の畜産	12	5	5	2	0
0121-01	酪農	11	11	0	0	0
1141-01	たばこ	8	5	3	1	0

付表2 購入者価格1万円あたり誘発CO₂排出量(つづき)

第2費目 衣服・はきもの費

コード	部門名	合計	生産過程	流通過程 (商業)	流通過程 (運輸)	家計内 排出量
		kg/万円	kg/万円	kg/万円	kg/万円	kg/万円
1512-02	絹・人絹織物(含合織長織物)	28	20	7	0	0
1519-02	じゅうたん・床敷物	25	18	7	0	0
1519-09	その他の繊維工業製品	24	19	4	1	0
1513-01	ニット製品	23	19	4	1	0
1512-01	綿・スフ織物(含合織短織物)	23	16	6	1	0
1512-09	その他の織物	22	15	7	0	0
1511-04	毛糸	22	17	4	1	0
8619-07	各種修理業(除別掲)	21	21	0	0	0
2319-02	プラスチック製履物	21	15	5	1	0
1512-03	毛織物	20	13	7	0	0
2319-01	ゴム製履物	17	10	6	1	0
1521-01	衣服	17	9	7	1	0
3919-04	身辺細貨品	16	12	2	2	0
1522-01	その他の衣服・身の回り品	16	10	5	1	0
8619-09	その他の対個人サービス	14	14	0	0	0
2411-01	革製履物	13	7	5	1	0
8619-08	個人教授所	11	11	0	0	0

第3費目 家賃・水道・光熱費

コード	部門名	合計	生産過程	流通過程 (商業)	流通過程 (運輸)	家計内 排出量
		kg/万円	kg/万円	kg/万円	kg/万円	kg/万円
0711-01	石炭	1,424	40	3	6	1,375
2111-01	石油製品(LPG)	706	21	4	2	679
2111-01	石油製品(灯油)	578	21	4	2	551
2121-01	石炭製品(練炭)	539	298	2	2	237
2121-01	石炭製品(豆炭)	490	298	2	2	188
5111-00	事業用発電	240	240	0	0	0
5121-01	都市ガス	190	17	0	0	173
5122-01	熱供給業	104	104	0	0	0
5211-01	上水道・簡易水道	35	35	0	0	0
6421-01	住宅賃貸料	3	3	0	0	0

第4費目 家具・家庭器具・家庭雑費

コード	部門名	合計	生産過程	流通過程 (商業)	流通過程 (運輸)	家計内 排出量
		kg/万円	kg/万円	kg/万円	kg/万円	kg/万円
2599-09	その他の窯業・土石製品	179	175	2	1	0
2631-03	鋳鉄品及び鍛工品(鉄)	126	124	1	1	0
1812-01	洋紙・和紙	93	87	5	2	0
2523-01	セメント製品	58	52	5	1	0
2599-02	その他の建設用土石製品	52	46	5	1	0
2039-05	合成染料	44	36	7	1	0
2899-01	ボルト・ナット・リベット及びスプリング	39	34	4	1	0
2079-02	ゼラチン・接着剤	39	37	2	1	0
2899-02	金属製容器及び製缶板金製品	37	32	3	1	0
1829-09	その他のバルブ・紙・紙加工品	37	31	4	2	0
2599-04	研磨材	36	28	4	3	0

付表2 購入者価格1万円あたり誘発CO₂排出量(つづき)

第4費目 家具・家庭器具・家庭雑費(つづき)

コード	部門名	合計	生産過程	流通過程 (商業)	流通過程 (運輸)	家計内 排出量
		kg/万円	kg/万円	kg/万円	kg/万円	kg/万円
2511-01	板ガラス・安全ガラス	35	28	6	1	0
1829-01	紙製衛生材料・用品	35	30	3	2	0
0213-01	特用林産物(含狩猟業)	35	29	4	1	0
1519-01	網・網	34	30	4	1	0
2079-09	その他の化学最終製品	32	27	5	1	0
2899-03	配管工事付属品・粉末冶金製品・道具類	31	26	3	2	0
2519-09	その他のガラス製品	31	21	8	2	0
2072-01	塗料	31	25	5	1	0
2891-01	ガス・石油機器及び暖房機器	30	25	5	0	0
3019-01	ポンプ及び圧縮機	29	25	3	0	0
2531-01	陶磁器	29	24	5	1	0
2211-01	プラスチック製品	29	22	5	2	0
1512-02	絹・人絹織物(含合繊長織物)	28	20	7	0	0
3421-02	電池	27	22	4	0	0
2899-09	その他の金属製品	27	21	5	1	0
2722-03	非鉄金属鑄造品	27	25	2	0	0
2074-01	農薬	27	21	6	0	0
2812-01	建築用金属製品	26	20	4	1	0
3031-09	その他の一般機械器具及び部品	25	18	6	0	0
2722-02	アルミ圧延製品	25	22	2	1	0
1519-02	じゅうたん・床敷物	25	18	7	0	0
3019-02	ミシン・毛糸手編機械	24	21	3	1	0
2319-09	その他のゴム製品	24	18	5	1	0
1711-03	金属製家具・装備品	24	20	4	1	0
1519-09	その他の繊維工業製品	24	19	4	1	0
1511-09	その他の紡績糸	24	20	4	1	0
3019-03	機械工具	23	15	8	0	0
1512-01	綿・スフ織物(含合繊短織物)	23	16	6	1	0
3919-09	その他の製造工業製品	22	16	5	1	0
1512-09	その他の織物	22	15	7	0	0
8619-07	各種修理業(除別掲)	21	21	0	0	0
3421-03	電球類	21	16	4	0	0
3421-01	電気照明器具	20	17	3	0	0
1512-03	毛織物	20	13	7	0	0
8619-01	洗濯・洗張・染物業	19	19	0	0	0
1131-02	有機質肥料(除別掲)	19	9	6	5	0
3421-04	配線器具	17	14	3	0	0
1529-01	製綿・寝具	17	10	7	0	0
8516-10	機械修理	16	16	0	0	0
3919-04	身辺細貨品	16	12	2	2	0
2412-02	かばん・袋物・その他の革製品	16	10	5	1	0
1711-01	木製家具・装備品	16	9	6	0	0
1529-09	その他の繊維既製品	16	9	6	0	0
1131-01	飼料	16	7	7	2	0
1619-09	その他の木製品	15	9	5	2	0
8619-09	その他の対個人サービス	14	14	0	0	0
3719-02	分析器・試験機・計量器・測定器	14	7	7	0	0
3919-05	量・わら加工品	13	7	5	1	0

付表2 購入者価格1万円あたり誘発CO₂排出量(つづき)

第4費目 家具・家庭器具・家庭雑費(つづき)

コード	部門名	合計	生産過程	流通過程 (商業)	流通過程 (運輸)	家計内 排出量
		kg/万円	kg/万円	kg/万円	kg/万円	kg/万円
8619-08	個人教授所	11	11	0	0	0
8519-03	土木建築サービス	11	11	0	0	0
6212-02	損害保険	6	6	0	0	0

第5費目 医療・保健費

コード	部門名	合計	生産過程	流通過程 (商業)	流通過程 (運輸)	家計内 排出量
		kg/万円	kg/万円	kg/万円	kg/万円	kg/万円
2071-01	石けん・合成洗剤・界面活性剤	31	26	4	0	0
2319-09	その他のゴム製品	24	18	5	1	0
8311-02	医療(非営利)	21	21	0	0	0
8312-02	保健衛生(非営利)	18	18	0	0	0
8311-03	医療(産業)	18	18	0	0	0
1519-03	繊維製衛生材料	18	11	5	2	0
3711-09	その他の光学機械	17	12	4	1	0
2071-02	化粧品・歯磨	17	12	5	0	0
2061-01	医薬品	17	10	7	1	0
8312-03	保健衛生(産業)	16	16	0	0	0
8311-01	医療(国公立)	13	13	0	0	0
6212-02	損害保険	6	6	0	0	0

第6費目 交通・通信費

コード	部門名	合計	生産過程	流通過程 (商業)	流通過程 (運輸)	家計内 排出量
		kg/万円	kg/万円	kg/万円	kg/万円	kg/万円
2111-01	軽油	364	21	4	2	337
2111-01	揮発油	199	21	4	2	172
7142-01	沿海・内水面輸送	121	121	0	0	0
7141-01	外洋輸送	100	100	0	0	0
7151-01	航空輸送	89	89	0	0	0
7121-02	ハイヤー・タクシー	49	49	0	0	0
7122-01	道路貨物輸送	42	42	0	0	0
7112-01	鉄道貨物輸送	32	32	0	0	0
2311-01	タイヤ・チューブ	32	25	5	2	0
7121-01	バス	27	27	0	0	0
7111-01	鉄道旅客輸送	24	24	0	0	0
3629-09	その他の輸送機械	24	19	5	0	0
2319-09	その他のゴム製品	24	18	5	1	0
3541-03	自動車部品	23	17	6	0	0
3531-01	二輪自動車	22	18	3	1	0
3521-01	トラック・バス・その他の自動車	22	18	4	1	0
8619-07	各種修理業(除別掲)	21	21	0	0	0
3511-01	乗用車	20	15	5	1	0
8515-10	自動車修理	18	18	0	0	0
3629-01	自転車	16	9	6	1	0
3359-09	その他の電子・通信機器部分品	16	12	4	1	0
7161-01	倉庫	15	15	0	0	0

付表2 購入者価格1万円あたり誘発CO₂排出量(つづき)

第6費目 交通・通信費 (つづき)

コード	部門名	合計	生産過程	流通過程		家計内 排出量
				(商業)	(運輸)	
		kg/万円	kg/万円	kg/万円	kg/万円	kg/万円
7179-01	道路輸送施設提供	11	11	0	0	0
7319-09	その他の通信サービス	8	8	0	0	0
7312-02	国際電気通信	8	8	0	0	0
7311-01	郵便	8	8	0	0	0
7312-01	国内電気通信	6	6	0	0	0
6212-02	損害保険	6	6	0	0	0

第7費目 レクリエーション・娯楽・教育・文化サービス費

コード	部門名	合計	生産過程	流通過程		家計内 排出量
				(商業)	(運輸)	
		kg/万円	kg/万円	kg/万円	kg/万円	kg/万円
2011-03	複合肥料	42	31	4	6	0
1829-09	その他のパルプ・紙・紙加工品	37	31	4	2	0
1829-01	紙製衛生材料・用品	35	30	3	2	0
0131-01	獣医薬	31	31	0	0	0
8213-03	その他の教育訓練機関(国公立)	30	30	0	0	0
1821-09	その他の紙製容器	30	23	6	2	0
2531-01	陶磁器	29	24	5	1	0
1911-02	印刷・製版・製本	27	25	2	0	0
8213-04	その他の教育訓練機関(産業)	26	26	0	0	0
2073-01	写真感光材料	26	20	5	1	0
1821-01	段ボール箱	26	18	6	1	0
1911-01	新聞	25	18	7	1	0
8213-01	社会教育(国公立)	23	23	0	0	0
1911-03	出版	23	18	4	0	0
8611-02	映画館	22	22	0	0	0
3919-09	その他の製造工業製品	22	16	5	1	0
3611-02	その他の船舶	22	21	1	1	0
3212-01	磁気テープ・フレキシブルディスク	22	18	3	1	0
8619-07	各種修理業(除別掲)	21	21	0	0	0
0116-04	花き・花木類	21	15	6	1	0
3911-02	運動用品	20	14	5	1	0
3211-09	その他の民生用電気機器	19	14	4	0	0
8213-02	社会教育(非営利)	18	18	0	0	0
8611-04	遊戯場	17	17	0	0	0
3919-02	レコード	17	12	4	1	0
3911-01	玩具	17	12	4	1	0
3711-09	その他の光学機械	17	12	4	1	0
3321-01	有線電気通信機器	17	13	3	0	0
3211-02	ラジオ・テレビ受信機	17	13	4	1	0
8516-10	機械修理	16	16	0	0	0
3321-02	無線電気通信機器	16	13	3	0	0
3212-09	その他の電気音響機器部分品・付属品	16	12	3	0	0
3211-03	ビデオ機器	16	11	4	1	0
3211-01	電気音響機器	16	12	4	0	0
2412-02	かばん・袋物・その他の革製品	16	10	5	1	0
3919-01	楽器	15	8	6	1	0
8619-09	その他の対個人サービス	14	14	0	0	0

付表2 購入者価格1万円あたり誘発CO₂排出量(つづき)

第7費目 レクリエーション・娯楽・教育・文化サービス費 (つづき)						
コード	部門名	合計	生産過程	流通過程 (商業)	流通過程 (運輸)	家計内 排出量
		kg/万円	kg/万円	kg/万円	kg/万円	kg/万円
3711-01	カメラ	14	9	4	1	0
3311-02	電子計算機付属装置	14	10	4	0	0
0116-03	種苗	14	6	7	1	0
8619-05	写真業	13	13	0	0	0
8611-03	劇場・興行場	13	13	0	0	0
3311-01	電子計算機本体	13	9	4	0	0
8611-06	運動競技場・公園・遊園地	12	12	0	0	0
0115-09	その他の食用耕種作物	12	9	2	2	0
8619-08	個人教授所	11	11	0	0	0
8611-09	その他の娯楽	11	11	0	0	0
8611-07	興行団	11	11	0	0	0
8611-01	映画制作・配給業	11	11	0	0	0
8211-02	学校教育(私立)	11	11	0	0	0
7321-01	公共放送	11	11	0	0	0
8611-05	競輪・競馬等の競走場・競技団	10	10	0	0	0
7321-03	有線放送	7	7	0	0	0
8513-01	物品賃貸業(除貸自動車)	6	6	0	0	0
8211-01	学校教育(国公立)	6	6	0	0	0

第8費目 その他						
コード	部門名	合計	生産過程	流通過程 (商業)	流通過程 (運輸)	家計内 排出量
		kg/万円	kg/万円	kg/万円	kg/万円	kg/万円
5212-01	廃棄物処理(公営)	211	211	0	0	0
5212-02	廃棄物処理(産業)	86	86	0	0	0
5211-03	下水道	60	60	0	0	0
8619-04	浴場業	46	46	0	0	0
7122-01	道路貨物輸送	42	42	0	0	0
9000-00	分類不明	41	41	0	0	0
1829-09	その他のパルプ・紙・紙加工品	37	31	4	2	0
1829-01	紙製衛生材料・用品	35	30	3	2	0
2711-09	その他の非鉄金属地金	27	23	3	1	0
8619-06	葬儀業	24	24	0	0	0
3919-09	その他の製造工業製品	22	16	5	1	0
8619-07	各種修理業(除別掲)	21	21	0	0	0
3421-01	電気照明器具	20	17	3	0	0
8613-01	旅館・その他の宿泊所	19	19	0	0	0
8612-01	一般飲食店(除喫茶店)	19	19	0	0	0
7171-01	こん包	19	19	0	0	0
3919-03	筆記具・文具	18	13	4	1	0
8111-01	公務(中央)	16	16	0	0	0
3919-04	身辺細貨品	16	12	2	2	0
2412-02	かばん・袋物・その他の革製品	16	10	5	1	0
8612-02	喫茶店	15	15	0	0	0
3111-09	その他の事務用機械	15	12	3	1	0
8619-09	その他の対個人サービス	14	14	0	0	0

付表2 購入者価格1万円あたり誘発CO₂排出量(つづき)

第8費目 その他 (つづき)

コード	部門名	合計	生産過程	流通過程 (商業)	流通過程 (運輸)	家計内 排出量
		kg/万円	kg/万円	kg/万円	kg/万円	kg/万円
6112-01	小売	14	14	0	0	0
3712-01	時計	14	10	4	0	0
3111-01	複写機	14	2	12	0	0
8112-01	公務(地方)	13	13	0	0	0
8612-03	遊興飲食店	12	12	0	0	0
8313-04	社会福祉(非営利)	12	12	0	0	0
8619-08	個人教授所	11	11	0	0	0
8619-02	理容業	11	11	0	0	0
8313-03	社会福祉(国公立)	11	11	0	0	0
8411-02	対家計民間非営利団体(除別掲)	10	10	0	0	0
8619-03	美容業	9	9	0	0	0
8519-09	その他の対事業所サービス	9	9	0	0	0
7179-09	旅行・その他の運輸付帯サービス	9	9	0	0	0
6111-01	卸売	9	9	0	0	0
8512-02	ニュース供給・興信所	8	8	0	0	0
8512-01	情報サービス	8	8	0	0	0
8519-02	法務・財務・会計サービス	7	7	0	0	0
8519-01	建物サービス	6	6	0	0	0
6411-01	不動産仲介・管理業	6	6	0	0	0
6212-02	損害保険	6	6	0	0	0
8514-01	貸自動車業	5	5	0	0	0
6212-01	生命保険	4	4	0	0	0
6211-01	金融	4	4	0	0	0

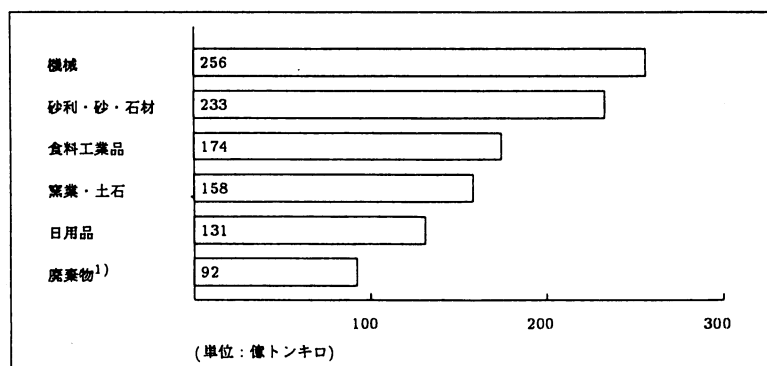
第4章

省エネルギー住宅の分析

1 はじめに

第1章の推計結果に基づけば、1985年のわが国のCO₂排出量は10億トン程度（CO₂換算値）である。そのうち建設業によるCO₂排出量は850万トンで、全排出量の0.84%と比較的小さな割合であり、建設業は環境問題ではあまり目立たない産業であるかのようである。しかし、振り返ってみると、建設業はすそ野の広い産業である。第1に、環境問題の大きな柱である自動車貨物輸送については、建設資材、土木機械、土砂をトラックやダンプカーで運搬する際にエネルギーが使われる。例えば、1年あたりの自動車貨物輸送量を品目別に比較してみると、砂利や廃土砂、機械、窯業・土石製品など建設業に関係している品目のキロ・トンベースの輸送量が多い（図1）。

第2に、建設業では建設資材としてセメントや金属製品などエネルギー集約度の高い（従ってCO₂排出的な）製品が使われる。



注：1) 廃棄物の中には、廃土砂が含まれる

データ出所：「陸運統計要覧」（1991年）

図1：品目別自動車貨物輸送量（上位6品目を示した）

表 1: 建設業への主要インプットの生産による CO₂排出量(直接・間接の排出を含む)
(単位: kg-CO₂/1985 年生産者価格 100 万円)¹⁾

建設業へのインプット名称	国内排出量 (除輸入分)	全排出量 (含輸入分)	全排出量 の順位
	$[I - (I - M)A]^{-1}$	$[I - A]^{-1}$	(406 部門中)
砂利・採石	4,220	4,761	120
砕石	5,379	6,068	81
製材	1,081	1,706	345
合板	1,855	2,555	264
塗工紙・建設用加工紙	7,229	8,347	61
プラスチック製品	3,401	4,230	150
板ガラス・安全ガラス	6,163	6,847	71
ガラス繊維・同製品	7,528	8,367	60
セメント	76,423	77,782	1
生コンクリート	18,984	19,722	10
セメント製品	15,304	15,965	16
熱間圧延鋼材	16,544	18,918	12
アルミ圧延製品	4,454	8,515	57
建設用金属製品 ²⁾	5,119	5,940	83
建築用金属製品 ³⁾	3,837	5,114	107
ガス・石油・暖房機器	5,296	6,267	79
電気照明器具	3,237	3,943	170
廃棄物処理(公営)	18,835	19,018	11
廃棄物処理(産業)	9,803	10,013	45
道路貨物輸送	3,770	4,130	158
自家用貨物自動車輸送	10,664	11,965	29

注: 1) G D E 100 万円当たりの平均的な CO₂排出量は 3030kg である。

2) 建設用金属製品にはビルの鉄骨などが含まれる。

3) 建築用金属製品には住宅のアルミサッシなどが含まれる。

例えば、建設業に対する主要インプット 100 万円当たりの生産から誘発される CO₂排出量(単位: CO₂換算 kg)をみていただきたい(表 1)。表の右端の全排出量中の順位で示されるとおり、ここであげた財のほとんどが誘発排出量のランキング上位 3 分の 1 の中に入っている。セメントの第 1 位をはじめ、生コンクリート、産業廃棄物処理(公営)、熱間圧延鋼材などの順位が特に高い。また 1985 年の G N E 100 万円当たりの平均 CO₂排出量 3,030kg と比べても、表 1 のインプット財による値は大きくなっている。平均値を下回るのは製材と合板だけである。このように建設業は、すそ野を考えると地球環境問題に大きく関連している。もっとも、建設業が経済の基盤をつくる産業であることは疑いない。また環境整備にも、省エネルギーや大気汚染防止などの投資活動にも建設業のあり方が重要な役割を果たすことは疑いない。

したがって、建設業を縮小させるのではなく、“環境にやさしい”方向に体質改善させることが重要な課題であろう。この体質改善を考える上では、主として2つの方向性を考えるべきである。第1点は、建設活動自体から直接間接に生ずる環境汚染を減らす方向である。第2点は、建設業の生産物、つまり住宅やオフィス・ビルなどがいったん稼働したばあいに、いかに省エネルギーが達成できるか、いかにすれば、いかに“環境にやさしい”生産物を造るかという方向である。本章で取り上げる課題は、そのうち後者に焦点が当てられる。

省エネルギー住宅については、従来、大手プレハブ・メーカーやゼネコンによって、試案が示されてきた。しかし、一般にはあまり着目されてこなかった理由は、省エネルギー住宅が全体としてどのような効果を環境にもたらすかが、必ずしも明確ではなかったからであろう。すなわち、「たしかに、省エネ住宅を作ることはできる。しかし、その住宅をつくるために、おおくのエネルギーが必要とされ、結局、全体としての省エネ効果は、あやしいのではないか」という、疑問がめぐわれなかった。本章の目的は、このような疑問に答えることにある。そのために住宅の実験データと'85年環境分析用産業連関表にもとづき分析を試みた¹。

省エネルギー住宅によって、電力、都市ガス、灯油などの家庭の経常的なエネルギー消費はおさえられ、1年当たりのCO₂排出量は減少するであろう。他方、省エネルギー住宅にするためには、あらたに住宅の断熱性を改善する必要がある。これらの財に対するあらたな需要は、直接間接的なCO₂排出増を誘発する効果を持つ。この排出増分を住宅の耐用年数で割り引き、経常的な排出減少分と比較すれば、省エネ住宅化がCO₂の排出に及ぼす総合効果を評価できるであろう。

2 省エネルギー住宅化のシミュレーション分析

本節では、住宅設計技術者の実験データをもとに、われわれの作成した環境分析用産業連関表を用いて、省エネルギー住宅化が環境に及ぼす影響の総合的な試算を行う²。現在のところこれらの試算は、既存のプレハブ住宅の省エネルギー化の効果に限られており、オフィス・ビルなどについては今後への課題となっている³。

2.1 省エネルギー住宅化に必要な資材の生産によるCO₂排出

住宅の省エネ化には、さまざまな工夫が考えられている。たとえば、太陽温水器やヒートポンプシステム⁴や排熱回収システムは、クリーンなエネルギーの利用方法と考えられている。建物の断熱性や気密性が高められれば、冷暖房の熱効率の上昇により省エネができる。また、住宅内の機器（照明器具、

¹'90年表の作成が未完であったので、'85年表の結果を用いている。'90年表での試算は今後の課題となっている。この処理の仕方は第5章も同様である。

²本節で用いた省エネルギー住宅に関するデータは、(株)ミサワホーム総合研究所環境エネルギー研究室によるものを基礎としている。

³オフィス・ビルに関する専門的な実験データについて、ご教示いただければ幸いである。

⁴大気中に含まれる熱エネルギーを取得し、暖房・給湯に利用するシステムである。

冷暖房設備など)をエネルギー効率の良い物に置き換えることも考えられる。ここではそのうち実施が比較的容易な、住宅の高断熱・高気密化の効果に着目したシミュレーション分析を行う。

表2には、断熱性・気密性の強度が異なる2つの改良型住宅のケースが示されている。住宅の高断熱・高気密化は、断熱材を壁面、床、天井に装着する事、窓を多重ガラス(ペアガラス)化する事、現在アルミが中心の窓枠やドアの素材を工夫する事などで達成される。プレハブ住宅の場合では、従来型の住宅を表2の点で変更することによって、高断熱高気密化することができる。表2からわかるように、住宅の高断熱高気密化のための主な変更点としては、断熱材の使用量の増加、窓枠とドアのアルミ素材から樹脂または木素材への変更、窓ガラスの重層化がある。これらの変更によって、高断熱高気密化の指標である熱損失係数⁵は、従来の2.9 kcal/m²h°Cから、ケース1で1.2 kcal/m²h°C、ケース2で0.8 kcal/m²h°Cまで低下している。

表 2: 高断熱高気密住宅の仕様

	ケース1	ケース2
外壁	断熱材(グラスウール100mm)をいれる	断熱材(グラスウール100mm + スタイロフォーム50mm)をいれる
窓	窓枠を樹脂素材にする ふつうのペアガラスを使う	窓枠を木素材にする 熱反射材をコーティングしたペアガラスを使う
ドア	木素材にする	木素材にする
熱損失係数	1.2 kcal/m ² h°C	0.8 kcal/m ² h°C

省エネ住宅を造るときのCO₂排出量の計算手順は以下のとおりである。まず、住宅設計技術者の実験データに記載されている、省エネ住宅化に必要な資材量に建設資材の単価をかけて資材額をもとめる。次に、環境分析用産業連関表から財別のCO₂排出係数(単位:kg/百万円)を得る。最後に、資材額にCO₂排出係数をかけてCO₂排出量をもとめる。単価、資材量、資材額、CO₂排出係数、CO₂排出量の順に計算結果を示していこう。

表3は住宅建設資材の単価を示している。第1列、第2列は、省エネ住宅化に必要な部位と資材の名称を、住宅設計技術者の実験データに記載されているとおりの名称で示している。第3列は、第2列の名称の資材が産業連関表の部門分類のどの部門に対応しているかを示している。第4列は資材単価を示している。第5列は、第4列の資材単価のデータ出所を示している。

表4は住宅を1戸建設するのに必要な建設資材量を、従来型住宅と省エネ住宅(2ケース)の場合に分けて示している。表に示されているのは省エネ住宅に関連する部位のみであり、その他の部位に関しては従来型も省エネ型も使用されている資材は変わらないものとしている。

⁵住宅全体から逃げる熱量を、床面積1平方メートル、1時間、家屋内外温度差1度当たりの大きさを示した指標である。この値が小さいほど、高断熱高気密住宅であることを示す。

表 3: 住宅建設資材の単価

部位名称	資材名称	I/O Code	単価 ¹⁾	データ出所
天井	グラスウール	2512-011	312 円/kg	産業連関表
外壁	木材	1611-011	47,425 円/m ³	産業連関表
	グラスウール	2512-011	312 円/kg	産業連関表
	スタイロフォーム	2211-013	14,539 円/m ³	産業連関表
床	木材	1611-011	47,425 円/m ³	産業連関表
	グラスウール	2512-011	312 円/kg	産業連関表
窓	アルミニウム	2722-021	118,300 円/m ³	ミサワホーム
	樹脂	2211-014	109,000 円/m ³	ミサワホーム
	木材	1611-011	54,500 円/m ³	ミサワホーム
	ガラス	2511-011	79,500 円/m ³	産業連関表
ドア	アルミニウム	2722-021	118,300 円/m ³	ミサワホーム
	木材	1611-011	47,425 円/m ³	産業連関表
	グラスウール	2512-011	312 円/kg	産業連関表

注：1)1985年生産者価格表示。

表 4: 住宅を1戸¹⁾建設するのに必要な建設資材量

部位名称 ²⁾	資材名称	資材量		
		従来型住宅	省エネ住宅	
			ケース1	ケース2
天井	グラスウール	31.0kg	198.6kg	298.0kg
外壁	木材	7.3m ³	7.87m ³	7.87m ³
	グラスウール	72.5kg	232.7kg	232.7kg
	スタイロフォーム	0.0m ³	0.0m ³	10.9m ³
床	木材	3.5m ³	3.81m ³	4.44m ³
	グラスウール	31.0kg	91.6kg	215.0kg
窓	アルミニウム	0.24m ³	0m ³	0m ³
	樹脂	0.00m ³	0.48m ³	0.00m ³
	木材	0.00m ³	0.00m ³	0.94m ³
	ガラス	0.07m ³	0.14m ³	0.21m ³
ドア	アルミニウム	0.006m ³	0.000m ³	0.000m ³
	木材	0.00m ³	0.01m ³	0.01m ³
	グラスウール	0.00kg	0.06kg	0.06kg

データ出所：ミサワホーム。

注：1) 建物面積 125m²の住宅を想定している。

2) 省エネ住宅に関連する部位のみ計上している。

表 5: 住宅を1戸¹⁾建設するのに必要な建設資材額²⁾

部位 名称 3)	資材名称	資材額				
		従来型 住宅	省エネ住宅		従来型との差	
			ケース1	ケース2	ケース1	ケース2
天井	グラスウール	9,672 円	61,963 円	92,976 円	+52,291 円	+83,304 円
外壁	木材	346,202 円	373,235 円	373,235 円	+27,032 円	+27,032 円
	グラスウール	22,620 円	72,602 円	72,602 円	+49,982 円	+49,982 円
	スタイロフォーム	0 円	0 円	158,474 円	0 円	+158,474 円
床	木材	165,987 円	180,689 円	210,567 円	+14,702 円	+44,579 円
	グラスウール	9,672 円	28,579 円	67,080 円	+18,907 円	+57,408 円
窓	アルミニウム	28,392 円	0 円	0 円	-28,392 円	-28,392 円
	樹脂	0 円	52,320 円	0 円	+52,320 円	0 円
	木材	0 円	0 円	51,230 円	0 円	+51,230 円
	ガラス	5,565 円	11,130 円	16,695 円	+5,565 円	+11,130 円
ドア	アルミニウム	710 円	0 円	0 円	-710 円	-710 円
	木材	0 円	474 円	474 円	+474 円	+474 円
	グラスウール	0 円	19 円	19 円	+19 円	+19 円
資材額合計		588,821 円	781,012 円	1,043,352 円	+192,191 円	+454,532 円
1年当りの資材額		29,441 円	39,051 円	52,168 円	+9,610 円	+22,727 円

注：1) 建物面積 125m²の住宅を想定している。

2) 1985 年生産者価格表示。

3) 省エネ住宅に関連する部位のみ計上している。

表 5 のデータは、表 3 の住宅建設資材の単価に表 4 の資材量をかけて推定したものである。表 5 によれば住宅の高断熱高気密化によって追加的に必要な資材額は、住宅 1 戸当たりケース 1 で 19 万 2191 円、ケース 2 で 45 万 4532 円である。住宅の耐用年数を 20 年⁶として 1 年当たりの数字に割り引くと、ケース 1 が 9610 円/年、ケース 2 が 2 万 2727 円/年と小さな金額であることに驚く⁷。

ところで、住宅の高断熱高気密化が環境に与える影響はどうであろうか。グラスウールや樹脂の追加的消費は、環境を汚染するあらたな要因をつくりだしてはいないであろうか。省エネ住宅化に必要な資材投入によって、CO₂の排出がどれだけ余計に誘発されるかを計算した。計算は表 5 で示した品目別の資材投入額（生産者価格表示）に、各財の CO₂排出係数をかけることによって行った。ここで各財の CO₂排出係数とは、それぞれの財を 100 万円（生産者価格）ずつ生産して消費する過程で直接・間接に排出される CO₂の総量を示す値である。

⁶住宅設計技術者が想定する 20 年という耐用年数は、住宅が老朽化して使えなくなる平均年数というわけではない。一般的には、住宅がまだ使用可能であっても建て替え・新築が行われている。これは、子供の成長や世代交代などによって間取りの変更が必要となるためである。20 年というのは、このようなケースも平均化した設定であるので、物理的な耐用年数よりは短いであろう。

⁷もともと、この額には建設業者の付加価値分（研究開発費、人件費など）や資材の現場までの運搬費などは含まれていない。従って、この追加金額を支払うだけでは、建設業者に省エネ住宅を生産するインセンティブが働かないであろう。それゆえ、省エネ住宅化に実際にかかる費用はこれより大きな値になると予想される。しかし、その金額が余りに大きくなりすぎると、消費者サイドに省エネ住宅化のインセンティブが働かなくなるかもしれない。この点、数字の読みとりには注意する必要がある。

CO₂排出係数の計算式はつぎのとおりである。

$$C_j = c^p \cdot (I - A)^{-1} f_j + c^f \cdot f_j$$

- C_j : j 財 100 万円の消費による誘発 CO₂
 c^p : 生産量 100 万円当たりの CO₂ 排出係数を示す行ベクトル
 (単位: CO₂ 換算 kg/100 万円: 1985 年生産者価格表示)
 A : 406 部門の投入係数行列
 I : 単位行列
 c^f : 燃料の最終需要による CO₂ 排出係数を示す行ベクトル
 (単位: CO₂ 換算 kg/100 万円: 1985 年生産者価格表示)
 f_j : j 財 1 単位 (100 万円) を示す列ベクトル
 (第 j 要素を 1 その他の要素を 0 とする列ベクトル)

表 6には、各資材の CO₂ 排出係数 (CO₂ 換算 kg/1985 年生産者価格 100 万円) が示されている。

表 6: 住宅建設資材の CO₂ 排出係数

部位 名称	資材名称	I/O Code	CO ₂ 排出係数 (単位: kg ¹ /百万円 ²)
天井	グラスウール	2512-011	7,528.3 kg/百万円
外壁	木材	1611-011	1,080.6 kg/百万円
	グラスウール	2512-011	7,528.3 kg/百万円
	スタイロフォーム	2211-013	3,400.5 kg/百万円
床	木材	1611-011	1,080.6 kg/百万円
	グラスウール	2512-011	7,528.3 kg/百万円
窓	アルミニウム	2722-021	4,453.8 kg/百万円
	樹脂	2211-014	3,400.5 kg/百万円
	木材	1611-011	1,080.6 kg/百万円
	ガラス	2511-011	6,163.4 kg/百万円
ドア	アルミニウム	2722-021	4,453.8 kg/百万円
	木材	1611-011	1,080.6 kg/百万円
	グラスウール	2512-011	7,528.3 kg/百万円

注: 1)CO₂ 換算値。

2)1985 年生産者価格表示。

表 7には、住宅を 1 戸建設するのに必要な建設資材の生産による CO₂ 排出量をまとめてある。表 7は、表 6の CO₂ 排出係数を表 5の資材額にかけたものである。表 7によると、省エネ住宅の建設資材の生産は従来型住宅より多くの CO₂ 排出を誘発する。省エネ住宅化による CO₂ の排出増分は、ケース 1 で住宅 1 戸当たり 1041kg、ケース 2 で 2047kg である。

表 8は住宅の耐用年数を 20 年として、表 7の 1 年あたりに換算したものである。表 8によると、1 年・1 戸当たりの CO₂ 排出増分は、ケース 1 が 52kg、ケース 2 が 102kg となる。CO₂ 排出増分の内訳をみ

表 7: 住宅建設資材の生産による CO₂排出量¹⁾(1 戸²⁾あたり)

部位 名称 3)	資材名称	CO ₂ 排出量				
		従来型 住宅	省エネ住宅		従来型との差	
			ケース 1	ケース 2	ケース 1	ケース 2
天井	グラスウール	72.81kg	466.48kg	699.95kg	+393.66kg	+627.14kg
外壁	木材	374.11kg	403.32kg	403.32kg	+29.21kg	+29.21kg
	グラスウール	170.29kg	546.57kg	546.57kg	+376.28kg	+376.28kg
	スタイロフォーム	0.00kg	0.00kg	538.89kg	0.00kg	+538.89kg
床	木材	179.37kg	195.25kg	227.54kg	+15.89kg	+48.17kg
	グラスウール	72.81kg	215.15kg	505.00kg	+142.34kg	+432.18kg
窓	アルミニウム	126.45kg	0.00kg	0.00kg	-126.5kg	-126.5kg
	樹脂	0.00kg	177.91kg	0.00kg	+177.91kg	0.00kg
	木材	0.00kg	0.00kg	55.36kg	0.00kg	+55.36kg
	ガラス	34.30kg	68.60kg	102.90kg	+34.30kg	+68.60kg
ドア	アルミニウム	3.16kg	0.00kg	0.00kg	-3.16kg	-3.16kg
	木材	0.00kg	0.51kg	0.51kg	+0.51kg	+0.51kg
	グラスウール	0.00kg	0.14kg	0.14kg	+0.14kg	+0.14kg
計		1,033.30kg	2,073.93kg	3,080.18kg	+1,040.63kg	+2,046.87kg

注: 1) CO₂換算値。2) 建物面積 125m²の住宅を想定している。

3) 省エネ住宅に関連する部位のみ計上している。

表 8: 住宅建設資材の生産による CO₂排出量¹⁾(1 年²⁾・1 戸³⁾あたり)

部位 名称 4)	資材名称	1 年あたり CO ₂ 排出量				
		従来型 住宅	省エネ住宅		従来型との差	
			ケース 1	ケース 2	ケース 1	ケース 2
天井	グラスウール	3.64kg	23.32kg	35.00kg	+19.68kg	+31.36kg
外壁	木材	18.71kg	20.17kg	20.17kg	+1.46kg	+1.46kg
	グラスウール	8.51kg	27.33kg	27.33kg	+18.81kg	+18.81kg
	スタイロフォーム	0.00kg	0.00kg	26.94kg	0.00kg	+26.94kg
床	木材	8.97kg	9.76kg	11.38kg	+0.79kg	+2.41kg
	グラスウール	3.64kg	10.76kg	25.25kg	+7.12kg	+21.61kg
窓	アルミニウム	6.32kg	0.00kg	0.00kg	-6.32kg	-6.32kg
	樹脂	0.00kg	8.90kg	0.00kg	+8.90kg	0.00kg
	木材	0.00kg	0.00kg	2.77kg	+0.00kg	+2.77kg
	ガラス	1.71kg	3.43kg	5.14kg	+1.71kg	+3.43kg
ドア	アルミニウム	0.16kg	0.00kg	0.00kg	-0.16kg	-0.16kg
	木材	0.00kg	0.03kg	0.03kg	+0.03kg	+0.03kg
	グラスウール	0.00kg	0.01kg	0.01kg	+0.01kg	+0.01kg
計		51.67kg	103.70kg	154.01kg	+52.03kg	+102.34kg

注: 1) CO₂換算値。

2) 住宅の耐用年数を 20 年と想定している。

3) 建物面積 125m²の住宅を想定している。

4) 省エネ住宅に関連する部位のみ計上している。

るとこの排出増は主として、断熱材(グラスウール、スタイロフォーム)の使用量の増加によってもたらされている。その大きさは、1年当たりケース1で45.6kg、ケース2で99kgである。一方、窓枠やドアの素材が従来のアルミから樹脂または木材に代替されるが、その1年当たりの効果は、ケース1では2.4kgの増加、ケース2では3.7kgの減少となっている。

2.2 省エネルギー住宅で消費されるエネルギーによるCO₂排出

本節では、省エネ住宅に人が住むときに消費されるエネルギー量の観点から、その環境への効果を概観する。高断熱高気密化によって熱損失が著しく改善されるので、暖冷房に必要なエネルギー消費がかなり節約されると予想される。それによるCO₂排出のマイナス効果は、前節のプラス効果をどこまで相殺できるであろうか。これらの比較によって、省エネ住宅化が環境に及ぼす影響を総合的に評価できるであろう。設計技術者はプレハブ住宅での家庭のエネルギー消費熱量を、用途別に表9のように計算している。

表9: 住宅¹⁾1戸²⁾当たり1年間の用途別エネルギー消費量〔設計技術者の想定〕

用途	従来型 住宅	省エネ住宅		前提条件
		ケース1	ケース2	
給湯	6,000Mcal	6,000Mcal	6,000Mcal	年間平均して40度の湯を1日650l使用。 設定温度22度、11～3月の毎日全室24時間暖房。 設定温度26度、6～9月の毎日全室24時間冷房。 年間平均して1日1.7kwhを消費。
暖房	16,480Mcal	6,200Mcal	4,130Mcal	
冷房	15,660Mcal	5,400Mcal	3,600Mcal	
その他	3,030Mcal	3,030Mcal	3,030Mcal	
合計	41,170Mcal	20,630Mcal	16,760Mcal	

注：1) 住宅は東京と同様の気候地域に立地していると仮定している。また、家庭内の照明機器や電化製品のために使われた電力は、全て熱放出されるものとして、暖冷房の負荷を計算している。

2) 建物面積125m²の住宅を想定している。

表9によれば住宅の断熱性・気密性を高めることによって、暖冷房用のエネルギー消費が軽減される。その場合の軽減率は、実験結果に基づくものである。試算結果によると、家庭のエネルギー消費量は、従来型の41,170 Mcal/年に対して、ケース1が20,630 Mcal/年(従来型の50.1%)、ケース2が16,760 Mcal/年(同40.7%)と大幅に減少している。そのうち暖冷房用のエネルギー消費量は従来型の32,140 Mcal/年に対して、ケース1が11,600 Mcal/年(従来型の35.8%)、ケース2が7,730 Mcal/年(同23.9%)である。ただし、表9のエネルギー消費量は暖冷房を期間中全室で24時間稼働させるという想定で計算されているので、実際の統計データとは異なっている。

表9は実験的に試算されたマイナス効果であるが、実際の家庭のエネルギー消費量でみるとどうであろうか。表10には、実際の家庭用エネルギー消費の統計データに基づく計算結果をまとめた⁸⁾。表10には、1990年の1年間に家庭が消費したエネルギー量の全国平均が用途別に示されている⁹⁾。

⁸⁾ 家庭で消費されるエネルギー量に関するデータは、住環境計画研究所編『家庭用エネルギー統計年報』より得た。

⁹⁾ これは、全国全世帯の平均値である。したがって、1戸建て住宅と集合住宅とのちがいが(集合住宅のエネルギー消費量は1戸建て住宅の約3分の2である)、北海道の住宅と九州の住宅との違い、世帯人数の違いなども、平均化されている。

表 10: 家庭の用途別エネルギー消費量
 (実際の家庭用エネルギー消費の統計データに基づく値)

用途	全国平均	省エネ住宅	
		ケース 1	ケース 2
給湯	3,571.0Mcal	3,571.0Mcal	3,571.0Mcal
暖房	2,660.0Mcal	1,000.7Mcal	666.6Mcal
冷房	198.0Mcal	68.3Mcal	45.5Mcal
その他	3,399.0Mcal	3,399.0Mcal	3,399.0Mcal
合計	9,828.0Mcal	8,039.0Mcal	7,682.1Mcal

データ出所：全国平均の計数は『家庭用エネルギー統計年報』(1990年)による。

省エネ住宅の計数は、設計技術者の想定と『家庭用エネルギー統計年報』

のデータから我々が推定したものである。

表 10によると全国的な家庭用エネルギー消費の平均は 9,828 Mcal/年・戸であり、これは従来型のプレハブ住宅に対する想定約 4 分の 1 である。両数値の差は主として暖冷房用エネルギー消費量の差に起因しているが、暖房用の全国平均は 2,660 Mcal/年・戸、冷房用の全国平均は 198 Mcal/年・戸となっている¹⁰。

実際の家庭用エネルギー消費をもとに、省エネ住宅の効果を計算したのが表 10の省エネ住宅のエネルギー消費の欄である。この計算でも、高断熱高気密化により前の場合と同じ軽減率で、暖冷房用エネルギー消費が節約されるものとした。

表 10によると、家庭用エネルギー消費の全国平均は、1990年の 9,828 Mcal/年に対して、ケース 1の住宅が普及すると 8,039 Mcal/年(1990年値の 81.8%)に、また、ケース 2が普及すると 7,682 Mcal/年(同 78.2%)に減少する。

ところでこのような省エネ住宅化によって家計のエネルギー支出額はどれだけ節減されるであろうか。また家計のエネルギー消費が誘発する CO₂排出はどの程度削減されるであろうか。そこで全国平均的なエネルギー消費パターンを持つ家計を想定し、それについてこれらの効果を試算してみよう。

¹⁰ 試算値と統計データのちがいを比較してみよう。統計データは試算の想定に対して、暖房を 11 月から 3 月までの期間半分の部屋で 1 日 7.8 時間、また冷房を 7 月と 8 月の毎日 4 分の 1 の部屋で 1 日 2.4 時間稼働させていることに相当する。

試算で取り上げたのは、表10で示したようなエネルギー消費パターンを持つ家計である。まず始めに、これらの用途別に集計されたエネルギー消費熱量を、5種類の燃料種別に集計しなおした。その計算にあたっては、『家庭用エネルギー統計年報』から得られた表11のような変換マトリックスを用いた。表11は、家計におけるエネルギー消費熱量構成を用途別・燃料種別に示した表である。

表11: 家計における用途別・燃料種別エネルギー消費熱量構成

用途	電気	都市ガス	LPG	灯油	石炭	合計
給湯	0.075	0.491	0.246	0.188	0.000	1.000
暖房	0.093	0.115	0.045	0.745	0.002	1.000
冷房	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000
照明・その他	0.716	0.144	0.140	0.000	0.000	1.000

データ出所：『家庭用エネルギー統計年報』（1990年）

表12は、表10と表11のデータから計算された、家計の燃料種別のエネルギー消費量（住宅1戸、1年間当たり）をまとめたものである。

表12: 家計の燃料種別エネルギー消費量 (Mcal/1戸・1年)

エネルギー名称	全国平均	省エネ住宅	
		ケース1	ケース2
電力	3,147 Mcal	2,863.2 Mcal	2,809.4 Mcal
都市ガス	2,546 Mcal	2,354.5 Mcal	2,315.9 Mcal
LPG	1,475 Mcal	1,400.8 Mcal	1,385.8 Mcal
灯油	2,655 Mcal	1,418.0 Mcal	1,169.0 Mcal
石炭	5 Mcal	2.5 Mcal	2.0 Mcal
計	9,828 Mcal	8,039.0 Mcal	7,682.1 Mcal

こうして求めた家計の燃料種別エネルギー消費量に、それぞれの熱量単位当たり価格(1985年生産者価格)をかければ、家計の燃料種別エネルギー消費金額が導かれる。ここで各燃料種の価格には表13の値(1985年生産者価格)を用いた。

表 13: エネルギー種別熱量単位当たり価格¹⁾

エネルギー種	熱量単位当たり価格 ¹⁾
電力	283.09 円/10 ⁴ Kcal
都市ガス	144.76 円/10 ⁴ Kcal
L P G	52.78 円/10 ⁴ Kcal
灯油	62.09 円/10 ⁴ Kcal
石炭	18.69 円/10 ⁴ Kcal

注: 1)1985年生産者価格表示。

表14は、表12と表13のデータから計算された、家計の燃料種別のエネルギー消費金額(住宅1戸、1年間当たり)をまとめたものである。表14をみると、全国平均的なエネルギー消費パターンを持つ家計の場合、省エネ住宅化による1戸当たりのエネルギー節約額は、ケース1で1万8883円/年(1574円/月)、ケース2では2万2591円/年(1882円/月)となっている。1985年の産業連関表の家計消費支出を総人口でわると、国民1人当たりの消費額は154万円、家計1戸(平均人員4人と仮定)当たりでは618万円である。したがって、省エネ住宅化によるエネルギー消費額の減少によって、家計1戸の全消費額の0.3%~0.4%が節約されたことになる。

表 14: 住宅の1戸当たり年間エネルギー消費額

エネルギー名称	消費額				
	全国平均	省エネ住宅		全国平均との差	
		ケース1	ケース2	ケース1	ケース2
電力	89,089 円	81,055 円	79,532 円	8,034 円	9,557 円
都市ガス	36,856 円	34,084 円	33,526 円	2,772 円	3,330 円
L P G	7,785 円	7,393 円	7,314 円	392 円	471 円
灯油	16,486 円	8,805 円	7,258 円	7,681 円	9,227 円
石炭	9 円	5 円	4 円	5 円	6 円
計	150,224 円	131,341 円	127,634 円	18,883 円	22,591 円

さらに各燃料種別の消費金額にそれぞれの単位金額当たりのCO₂排出係数をかければ、家計のエネルギー消費が誘発するCO₂排出量(CO₂換算kg)を計算できる。ここでもちいたCO₂排出係数は表15のとおりである。

表 15: エネルギー種別 CO₂排出係数¹⁾

エネルギー種	(単位: kg ²⁾ /百万円 ³⁾)
電力	19,379.5 kg/百万円
都市ガス	18,241.1 kg/百万円
LPG	49,676.8 kg/百万円
灯油	45,355.8 kg/百万円
石炭	202,052.1 kg/百万円

注: 1) 排出係数の計算方法は前節の注を参照。

2) CO₂換算値。

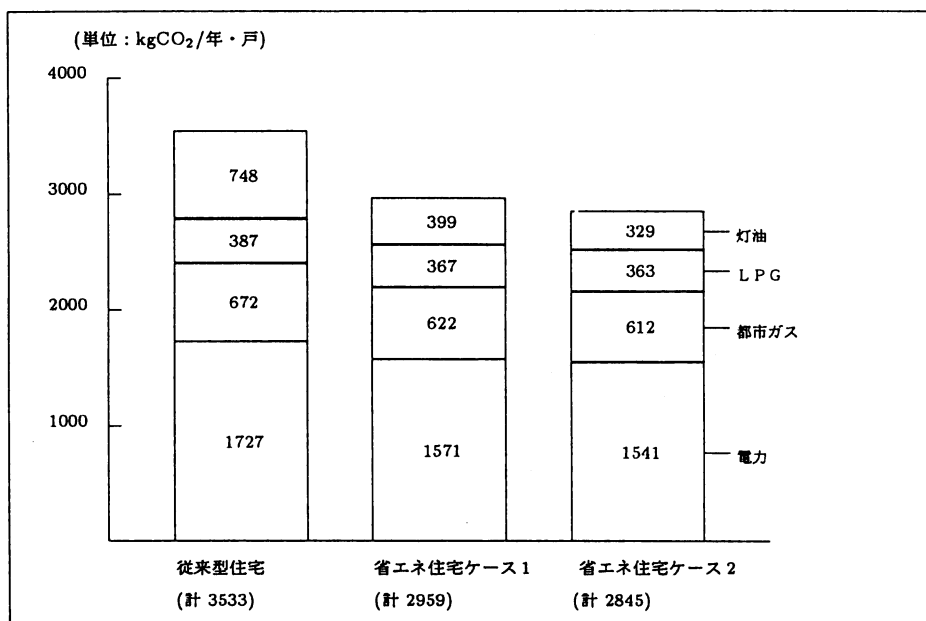
3) 1985年生産者価格表示。

表16は家計のエネルギー消費による1戸当たり年間CO₂排出量を示している。表16をみると、CO₂の誘発排出量は、ケース1で575kg/年・戸、ケース2で689kg/年・戸と、省エネ住宅化する前の排出量の16%~20%が抑制される。

表 16: 住宅のエネルギー消費による1戸当たり年間CO₂排出量

エネルギー名称	CO ₂ 排出量				
	全国平均	省エネ住宅		全国平均との差	
		ケース1	ケース2	ケース1	ケース2
電力	1,726.50kg	1,570.80kg	1,541.29kg	155.70kg	185.20kg
都市ガス	672.29kg	621.72kg	611.54kg	50.57kg	60.75kg
LPG	386.71kg	367.25kg	363.33kg	19.46kg	23.38kg
灯油	747.72kg	399.36kg	329.21kg	348.36kg	418.51kg
石炭	1.89kg	0.95kg	0.76kg	0.94kg	1.13kg
計	3,535.11kg	2,960.08kg	2,846.13kg	575.03kg	688.98kg

このように計算されたCO₂の排出削減量は、現状をどの程度改善するかを考えてみよう。われわれの推計に基づけば、1985年に1人の国民の消費が誘発したCO₂排出量は3.9tであった。したがって、1戸(平均人員4人)あたりの消費から誘発されるCO₂排出量は15.6t程度と見積もられる。それゆえ省エネ住宅化によって削減されるCO₂の排出量は、現状の3.6%~4.4%ということになる。



*上から順に灯油, LPG, 都市ガス, 電力の消費によって誘発された CO₂排出量.

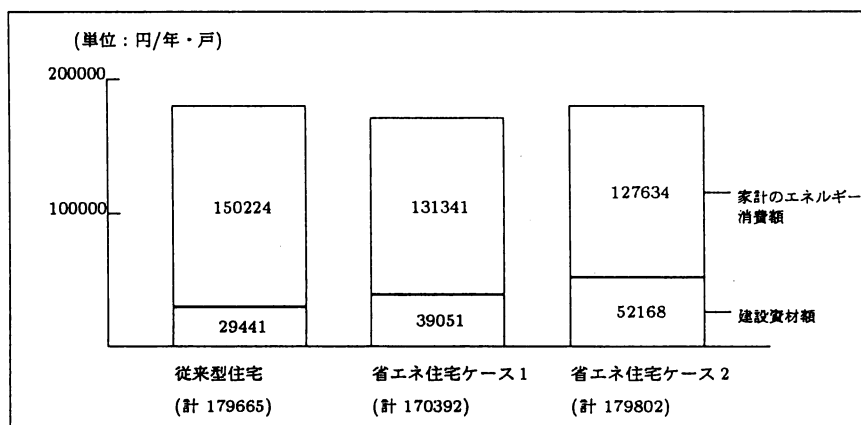
図 2: 住宅のエネルギー消費による CO₂排出量

図 2は従来型住宅, 省エネ住宅ケース 1 またはケース 2 において家計のエネルギー消費によって誘発された CO₂排出量を燃料種別に図示したものである。図 2の棒グラフはそれぞれ 4つの部分に区切られている。4つの部分は上から順に, 灯油, LPG, 都市ガス, 電力の消費によって誘発された CO₂排出量を示している。図 2によれば灯油の消費に誘発された CO₂排出量の削減が最も大きく, 次に電力の消費に誘発される CO₂排出量の削減が大きい。

3 省エネルギー住宅化による総合効果

前節では, 省エネ住宅を造る時の効果と住む時の効果をそれぞれ検討した。本節ではこれら二つの効果を合成し, 省エネ住宅化の総合効果について考えてみたい。

全国平均的なエネルギー消費パターンを持つ家計が省エネ住宅化した場合を考えよう。その時, その家計の支出金額や CO₂排出量は省エネ住宅を造るときの効果と住むときの効果をあわせると, どのように変わるであろうか。それを示すのが図 3と 4である。



*上：家計のエネルギー消費額，下：建設資材額

図3：省エネ住宅化による一戸当たり年間支出金額

図3には、従来型住宅と省エネ住宅を1戸建設するのに必要な資材額と、従来型住宅と省エネ住宅に住む家計が1戸当たり1年間に支出するエネルギー消費支出額、およびそれらを総合した支出額が示されている¹¹。

図3の棒グラフはそれぞれ2つの部分に区切られている。下の部分は住宅を1戸建設するのに必要な資材額を示しており、上の部分は家計のエネルギー消費支出額を示している。

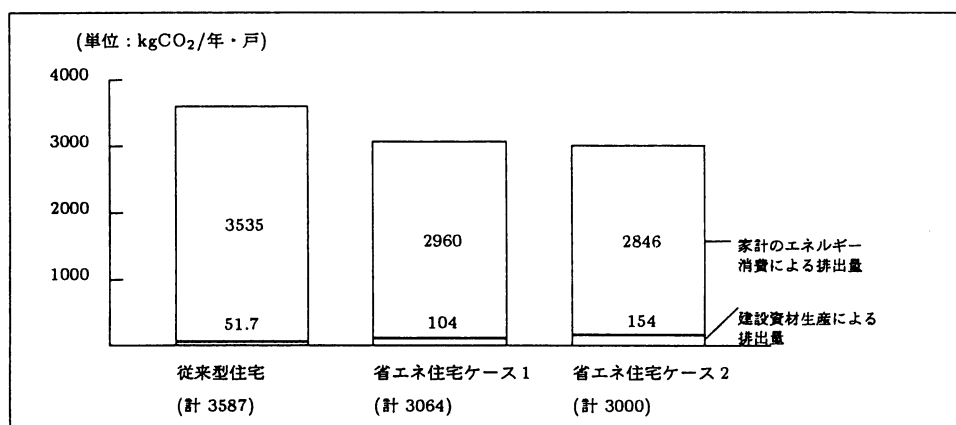
図3をみると、家計1戸当たり1年間のエネルギー消費支出額は従来型住宅の15万224円に対して省エネ住宅のケース1が13万1341円、ケース2が12万7634円となっており、省エネ住宅の方が少ない。一方、住宅を1戸建設するのに必要な資材額は従来型住宅の2万9441円に対して省エネ住宅のケース1が3万9051円、ケース2が5万2168円となっており、省エネ住宅の方が多し。総合した支出額でみると、従来型住宅の17万9665円に対して省エネ住宅のケース1が17万391円、ケース2が17万9802円となっており、省エネ住宅のケース1の場合は9274円少ないのに対し、ケース2の場合には137円ほど多い¹²。

図4は、従来型住宅と省エネ住宅を1戸建設するのに必要な資材の生産によるCO₂排出量と、従来型住宅と省エネ住宅に住む家計が1戸当たり1年間に消費するエネルギーによるCO₂排出量、およびそれらを総合した排出量が示されている¹³。

¹¹ 省エネ住宅に関連する資材のみ。また、耐用年数を20年として1年当りに換算した額である。

¹² しかし、暖冷房の使用頻度が高まり家計のエネルギー消費額が上昇するにつれて、支出額の節約効果が大きくなることに注意されたい。

¹³ 省エネ住宅に関連する資材の生産による誘発排出量のみ。また、耐用年数を20年として1年当りに換算した額である。



* 上: 家計のエネルギー消費からの CO₂ 排出量, 下: 建設資材生産からの CO₂ 排出量

図 4: 省エネ住宅化による一戸当たり年間 CO₂ 排出量

図 4 の棒グラフはそれぞれ 2 つの部分に区切られている。下の部分は住宅を 1 戸建設するのに必要な資材の生産による CO₂ 排出量を示しており、上の部分は家計のエネルギー消費による CO₂ 排出量を示している。

図 4 をみると、家計が 1 戸当たり 1 年間に消費するエネルギーによる CO₂ 排出量は従来型住宅の 3535kg に対して省エネ住宅のケース 1 が 2960kg、ケース 2 が 2846kg となっており、省エネ住宅の方が少ない。一方、住宅を 1 戸建設するのに必要な資材の生産による CO₂ 排出量は従来型住宅の 52kg に対して省エネ住宅のケース 1 が 104kg、ケース 2 が 154kg となっており、省エネ住宅の方が多い。総合した排出量をみると省エネ住宅の排出量はどちらのケースでも従来型住宅より少ない。例えば、従来型住宅の排出量合計は 3587kg であるが、省エネ住宅化はケース 1 で 3064kg、ケース 2 で 3000kg である。つまりケース 1 で 523kg、ケース 2 で 587kg の CO₂ 排出が削減されることになる。

最新の統計では日本の住宅数はおよそ 3741 万戸と報告されている¹⁴。これにはさまざまな型式の住宅が含まれているであろうが、いまもし例にあげたプレハブ住宅と同様の省エネ化が全ての住宅で進んだとしてみよう。すると、日本の全家計の支出による CO₂ の誘発排出が 1 年間に 1957 万 ~ 2196 万トン削減される計算である。

また支出額でみると、ケース 1 の場合に日本全体で 3479 億円の支出削減効果がある¹⁵。このように省エネ住宅化は、家計の支出による CO₂ の誘発排出に対して大きな削減効果をもつことが確認される。

¹⁴ 『住宅統計調査報告』(1988 年)における居住世帯ありの住宅数。

¹⁵ 同様にケース 2 の場合の費用増を日本全体で計算すると 52.4 億円となる。

しかもそのためにあらたにかかる費用はほとんどなく、むしろ支出を抑制する効果すら期待できる。つまりこの種の省エネ住宅の実現化は、エコロジーとエコノミー双方の観点からまことに好ましいということになる。省エネ住宅化によってCO₂の誘発排出量が大きく削減されるのは、それに必要な建築資材によるCO₂排出増分が少ない一方で、家計のエネルギー消費によるCO₂排出が著しく削減されるからである。図5にケース2の省エネ住宅化をした場合に起きる、CO₂排出の増加と減少の関係を示した。

それによれば断熱材を強化したり、ガラスを2重化したりすることによるCO₂の排出増分は106kg/年・戸にすぎない。しかしこれらの変更により住宅の断熱性や気密性がたかまると、暖冷房用エネルギー消費をおおきく節減できるので、家計のエネルギー消費からのCO₂排出が689kg/年・戸だけ減少する。さらに窓枠やドアの素材の変更（アルミから木材への変更）によってもCO₂排出が3.7kg減少するので、削減されるCO₂排出量は全部で692.7kg/年・戸となる。これは先の排出増分の6.5倍にあたる大きさである。このように、総合的には1戸当たり年間586.7kgのCO₂排出が削減されることになる。

支出面では、省エネ住宅化による効果がCO₂排出の場合ほど大きくない。また実際に省エネ住宅を造るときには、ここでとりあげた資材費用のほかに、建設業者に対する付加価値（研究開発費用、人件費等）が支払われなければならないなどの問題がある。従ってこれらの金額まで考慮すれば、省エネ住宅の支出面の節約効果はさらに小さくなるかも知れない。しかし省エネ住宅化は、住宅を造るときに誘発されるCO₂排出の小さな増加によって、住宅に住むときの誘発排出を大きく削減できるという特徴を持つ。そのことにより日本のCO₂排出量が現状の2.0～2.2%削減できるという事実を見逃すことはできない。とくに「持続可能な成長」の実現にむけて省エネ住宅化をすすめていくことが重要であろう。

4 おわりに

本論ではプレハブ住宅を例にとり、省エネルギー住宅化による効果を造るときと住むときにわけて考察した。

前節でみたように、省エネ住宅化によって日本全体で1年間に排出される全CO₂の2.0～2.2%が削減される。しかもそれが表3のような比較的単純な建築素材の変更によって達成されていることに驚かされる。省エネ住宅化によるCO₂の削減政策というと実現が難しそうな印象がある。しかし既存の住宅をすべて建て替えなくても、断熱材の強化をするなどの簡単な補修工事で、省エネ化の実行はある程度可能と考えられる。それゆえ、全住宅を省エネルギー化することによってCO₂排出を削減するという政策は、それほど夢物語ではなさそうである。また、省エネ住宅化は快適な生活を維持しながらこのような削減効果を得られるという特徴を持つ。

このことは、環境保全活動を長期的に持続させていく上では見逃すことのできない点であるように思われる。すでに建築基準の改正により、新築住宅の高断熱高气密化は義務づけられてきている。今後はさらに既存の住宅に対しても省エネ化が促進されることが望まれる。そのためには、断熱材のとりつけなどにかかる費用負担をできるだけ少なくするための、適切な政策誘導が必要であろう。

省エネ住宅を造るときの効果

省エネ住宅に住むときの効果

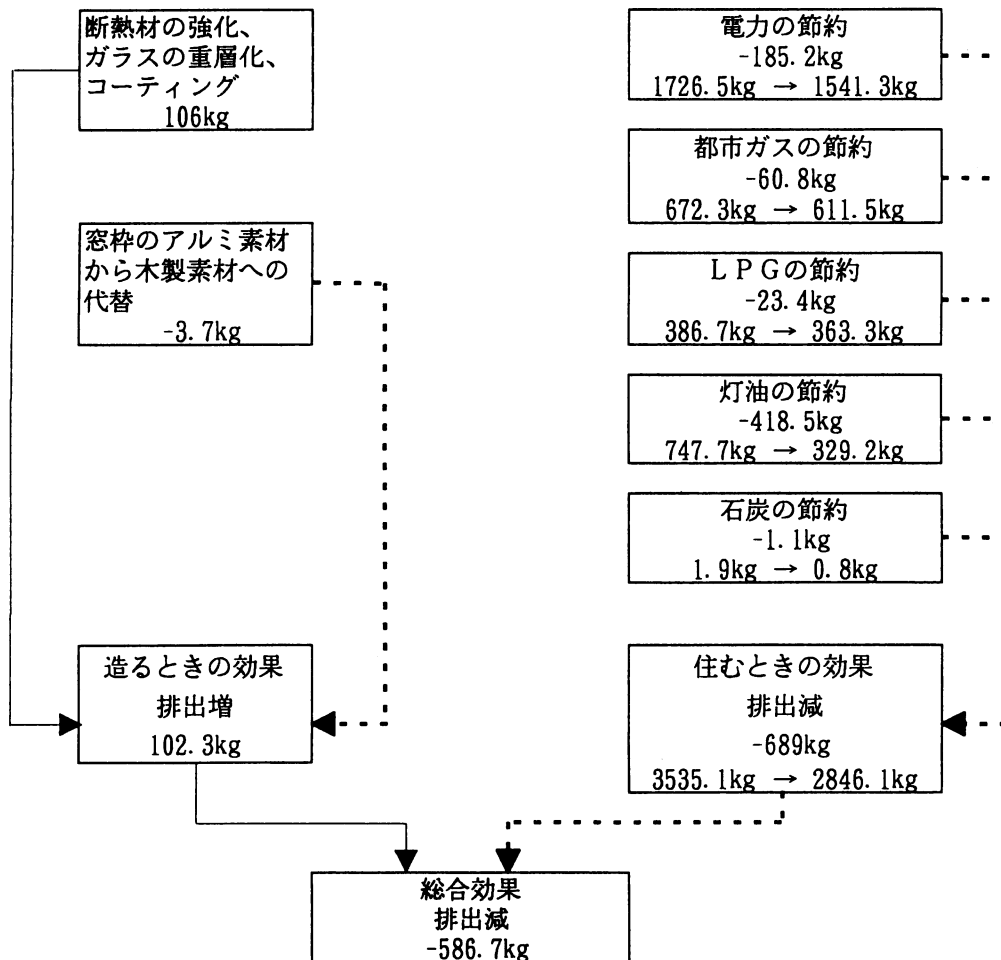


図5 省エネルギー住宅への移行によるCO₂排出の総合効果

- 注: 1) ケース2への移行による1年・1戸当たり排出量(単位: CO₂換算kg)の変化。
 2) 実線は排出を増加させるプロセス、点線は排出を減少させるプロセスであることを示す。
 3) 造るときの効果は耐用年数20年で割り引いた値である。

ここでとりあげたのは、プレハブ住宅の断熱性や気密性をあげることによる省エネ効果だけに過ぎない。しかしそれだけでも、日本全体のCO₂排出の2%程度を削減できる。さらに省エネ住宅化にはほかにさまざまな新技術が考えられており、そのいくつかはすでに実用段階に入っている。それらによる効果をも考慮すれば、省エネ住宅の有効性はさらに増加するであろう。

また住宅だけでなく事務所や店舗などのビル建物についても、省エネ化がすすめられるとすればどうであろうか。環境分析用産業連関表によれば、1985年に事務所や店舗で使われたエネルギーは、家庭のエネルギー消費の1.1倍と計算される¹⁶。事務所や店舗でも建物の省エネ化がすすむことにより、業務用エネルギー消費が節約されると考えてみよう。いまおおまかに、事務所や店舗の建物でもプレハブ住宅の場合と同じ省エネ化の効果があると仮定する。するとこれらのエネルギー消費の節約により、CO₂の排出量がさらに2.2%程度削減されることになる。従って家庭用と業務用をあわせれば、日本全体で現状の4.2%程度のCO₂排出が削減される計算である。もちろんこれはあくまで試算にすぎないが、省エネ住宅化の実現がかかる課題に関してきわめて有効な手段であることは疑いなかろう。

¹⁶環境分析用産業連関表の部門別エネルギー消費熱量表によれば、ガソリン・軽油を除く家庭のエネルギー消費が300Pcalであるのに対し、サービス関連部門（大分類20～22、24～29部門）の値は、318Pcalである。

第5章

電力生産によるCO₂排出*

1 はじめに

地球温暖化の主要因CO₂排出の問題を考える場合、電力生産の排出軽減が重要なかなめであることは誰しも認めるところであろう。また第1章で述べたように、1985年の我が国のCO₂総排出量は10億トン/年程度(CO₂換算値)となる。そのうち事業用発電部門は24,000万トン/年あまりと実に4分の1になっていることになる。ちなみに我々の基本分類で、次にCO₂排出量の多いのは、家計消費支出部門の9,100万トン/年、鉄鉄部門の7,300万トン/年、セメント部門の5,500万トン/年となっている。今後電力生産のありかたが重要なかなめであることは疑いない¹。我が国のCO₂排出は'85年10億トン/年から、'90年12億トン/年に増加しているが、その主要因は電力需要増加に依存することが大きい。したがって、現在電力はエネルギーの中心的位置を占め、ありとあらゆるものをつくるのに利用されている。我々がありとあらゆるものを需要すると、その間接効果で電力を需要していることになる。今回はこの電力生産に焦点を当て、いったい1単位の電力生産にいったいどれくらいの財やエネルギーが使われ、究極的にいったいどれくらいのCO₂が排出されているかを計算してみよう。

電力はいわゆる川上産業の最たるものである。したがって電力生産に要する石炭や重油などの燃焼から誘発されるCO₂排出を計算すれば、誘発される年々のCO₂排出量は、産業連関表分析を用いなくとも比較的容易に推定できる。しかし電力生産におけるCO₂排出はそれにとどまらない。そのためには建物・機械など諸々の資本設備が必要であるし、プラントをつくるためには間接効果を経てCO₂が排出されるのである。この2つを計測しないと意味のないものになってしまう。この後者の課題は特に、産業連関分析がなければ推定は困難であろう。そのため産業連関分析に通曉した者と工学・発電技術に通曉した者が共同研究することによってこの総合効果を推定することになった。第1ステップとして火力・原子力発電のCO₂排出量の計算ができあがったので、ここに発表する。以下、分析の結果の主だったものをここにまとめておこう。

*この章の内容は電力中央研究所内山洋司氏、本藤祐樹氏との共同研究の成果をまとめたものである。特に発電プラント建設のデータは内山洋司氏に負っている。また'90年表の作成が未完成であったので、'85年表の結果を用いている。

¹これは基本分類(441部門)における産業分割の序列である。ちなみに、鉄鉄、粗鋼、鋼材、鋳造品等を含めたいわゆる鉄鋼産業部門では約1億トン程度の排出量である。またセメント、生コンクリート、セメント製品を含めたいわゆるセメント産業部門では6,200万トンのCO₂を排出している。

まず第一に、電力生産の経常運転による CO₂ 排出量であるが、もし 1985 年の我が国の事業用発電の供給をすべてまかなった場合、石炭火力発電では 65,534 万トン、石油火力発電の場合では 45,257 万トン、LNG 火力発電の場合では 33,734 万トン、原子力発電の場合では 1,031 万トン程度の CO₂ が排出されると推定される。第二に、発電プラント建設による CO₂ 排出量については、もし 1985 年の我が国の事業用発電の供給をすべてまかなうだけの発電プラントを新しく建設した場合、石炭火力発電では 1 年当たり 175 万トン、石油・LNG 火力発電では 107 万トン、原子力発電では 174 万トン程度の CO₂ が排出されると推定される²。

その結果、両者の総合効果は石炭火力発電では 65,709 万トン程度、石油火力発電では 45,363 万トン、LNG 火力発電では 33,841 万トンになる。総じて火力発電の総合効果は経常運転による CO₂ 排出量とほぼ変わらない値となっている。他方、原子力発電の総合効果は 1,204 万トンとプラント建設による CO₂ 排出量のウェイトが高いが、火力発電より大幅に CO₂ 排出量は小さく推定されている。このように原子力発電の CO₂ 排出量は極めて小さく計測されるが、これはあくまで CO₂ 負荷だけの計測をしている点に注意されたい。安全対策や廃棄物処理の課題が別途残されているわけであるから、この推定結果に基づいて原子力発電の有効性を推奨するという短絡的なやり方はもっとも慎むべきである。

2 発電プラント建設データの概要

この分析において、発電プラント運転による経常的なエネルギーから誘発される CO₂ 排出を、どの範囲まで対象としているかを示すために、図 1 で発電プラントの経常運転による生産フローを示した。石炭、原油、天然ガスの採掘アクティビティはほとんどが海外で生産されるが、いわゆる $[I - A]^{-1}$ 型のレオンティエフ逆行列を用いて、あたかも日本国内で生産されたとして計算される。また、LNG の液化アクティビティは国内に存在していないので計算に含まれない。原子力発電の核燃料については、採掘、精錬・フッ化、濃縮、廃炉、S.F. 貯蔵アクティビティが、国内に存在していないのでそれらは計算に含まれない。また、海外からの輸送活動に基づく CO₂ 排出量も計算に含まれない。

電力生産における CO₂ 総合負荷を評価する場合、発電プラントの経常運転により誘発される CO₂ 排出のみならず、その生産設備を作るために必要なマテリアルからの間接効果を考えなければならない。しかし、電力生産に要する諸々の生産設備をどこまで勘案するかは、極めて恣意的と言わざるおえない。例えば港湾設備や道路、石油や LNG の備蓄、原子力の燃料リサイクル設備など、範囲は数限りなく広がってしまう。そこで我々が今回の試算のために用いた設備に関する想定は、発電プラントに限ることにした。この点に関連して生産設備がどの範囲までかを次の表 1 で示しておこう。なおこのような各種設備の中から問題の性質上、敷地の購入費及び敷地の整備費用、労務費は除外している。また、発電プラントに限ったことから、防波堤等の基本的な港湾設備、道路、石油・LNG 備蓄設備、ウラン濃縮設備、再処理設備、などが分析の対象外となっている。

² 耐用年数を土木 50 年、建物 30 年、機械 30 年と想定し、稼働率を 70% と想定している。

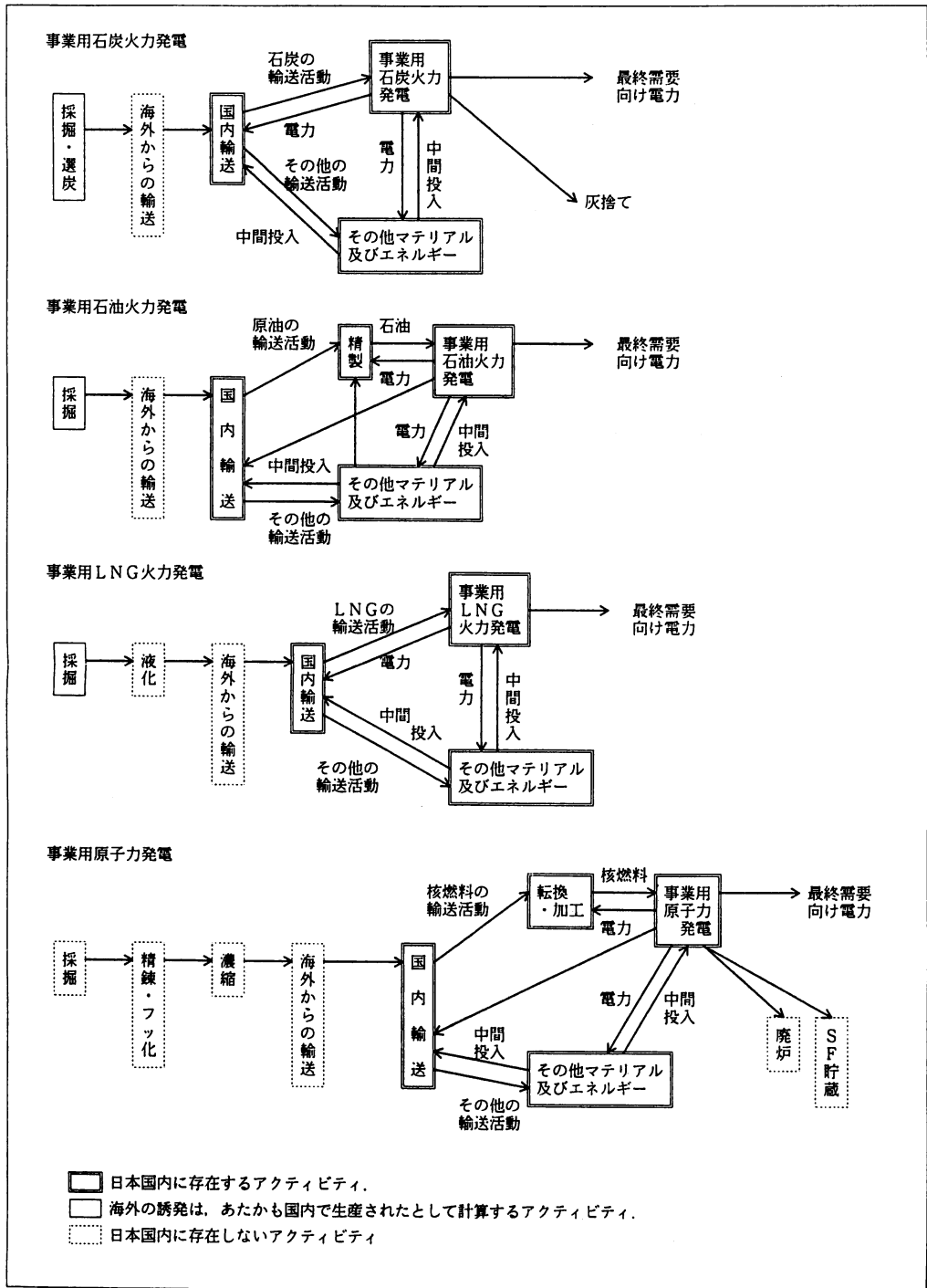


図1 発電プラントの経常運転による生産フロー

表 1 試算における電力設備の範囲

屋外設備
主要発電建屋
管理事務建屋
付属建屋, 補助建屋, タービン建屋
ボイラ設備, ガスタービン及び HRSG, 原子炉蒸気供給系
ボイラ補機設備, ガスタービン及び HRSG 補機設備,
原子炉蒸気供給補助系
燃料取扱及び貯蔵設備
煙突設備
集塵設備
脱硫・脱硝設備
タービン発電機
タービン発電機補機設備
循環水設備 (復水器を含む)
水処理設備
廃液処理設備, 廃棄物処理設備
付属電気設備
発電所付属機器

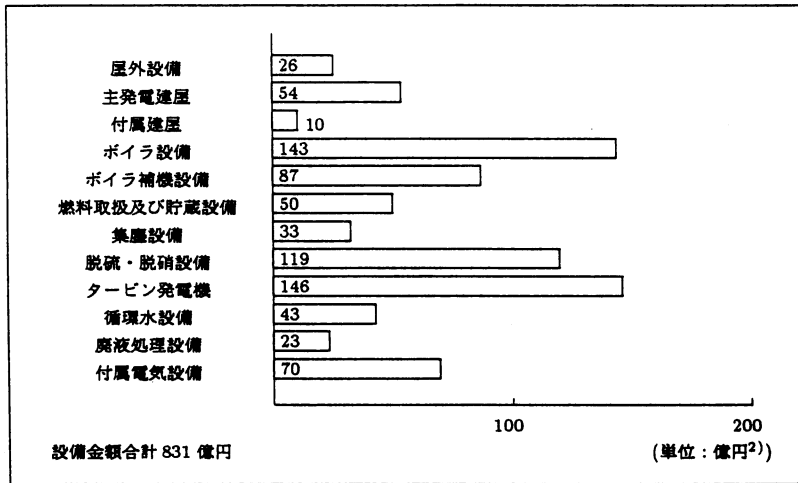
発電プラント建設のデータについては LNG 火力発電・微粉炭火力発電・加圧水型原子力発電の 3 種類のプラントについて入手した。発電プラントのデータはアメリカ合衆国のデータしか入手できなかった。このアメリカ合衆国のデータを PEP COST INDEX の購買力平価で 1984 年の円に換算している³。

以下、微粉炭火力・LNG 火力・原子力発電プラントの設備金額の内訳を紹介しよう。図 2 は微粉炭火力発電の主要設備金額を示している。なお、この設備金額合計は発電容量 650MW のプラントに対応して 830 億円程度の金額になっており、発電容量 1MW 当たりでみると 1 億 2 千万円になる⁴。設備の主な内訳を設備金額の大きいものから順にあげると、タービン発電機、ボイラ設備が 140~150 億円、脱硫・脱硝設備が 120 億円、ボイラ補機設備が 90 億円、付属電気設備金額が 70 億円程度となっている。ちなみに、産業連関表部門格付けでは化学機械 (部門符号 3022-011) が 200 億円、発電機器 (部門符号 3411-011) が 150 億円、ボイラー・タービン (部門符号 3011-011) が 140 億円程度である。このプラントの一つの特徴は石炭火力発電ということから、脱硫・脱硝設備金額が全体約 15% を占めていることである。詳細は付表 1 を参照されたい。

次に LNG 火力発電プラント (発電容量 530MW) の主要設備金額を図 3 で示している。この設備の金額合計は、ほぼ 480 億円となっており、発電容量 1MW 当たり 9 千万円になる。微粉炭火力発電と比較すると若干、発電容量が小さいがほぼ 6 割の金額で設備が作れることになる。設備の主な内訳を設備金

³なおその詳細は、内山洋可 [1985]「主要発電技術のプラント建設コスト」(財)電力中央研究所を参照して頂きたい。

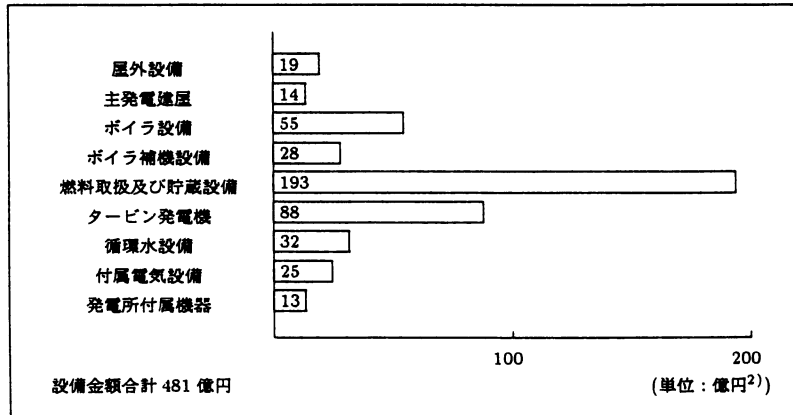
⁴1984 年購入者価格表示である。



注: 1) 発電容量 650MW(送電端).

2)1984 年購入者価格表示.

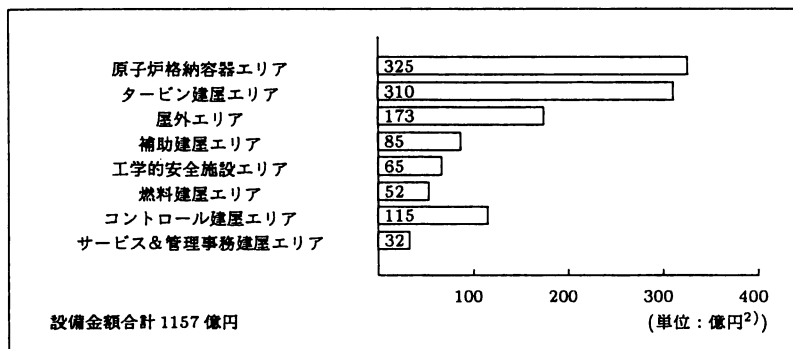
図 1: 微粉炭火力発電プラント¹⁾の主要設備金額



注: 1) 発電容量 530MW(送電端).

2)1984 年購入者価格表示.

図 2: LNG 火力発電プラント¹⁾の主要設備金額



注: 1) 発電容量 1150MW (送電端).

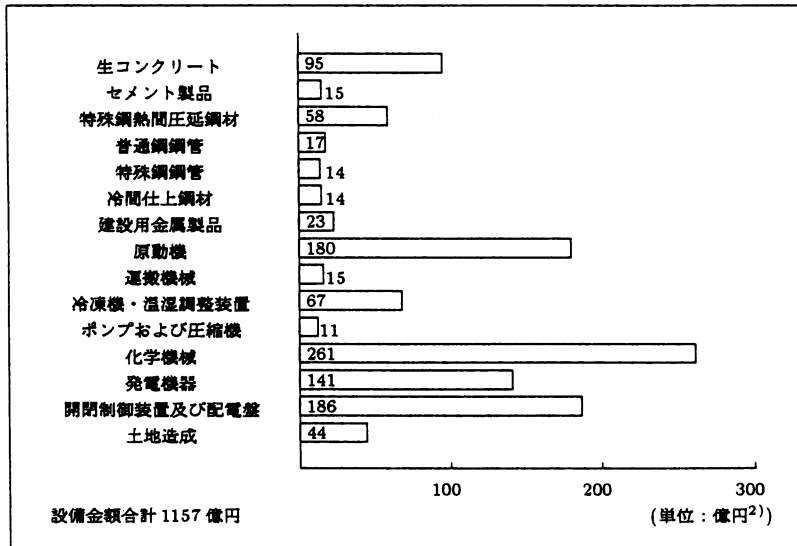
2) 1984 年購入者価格表示.

図 3: 加圧水型原子力発電プラント¹⁾の各エリアの設備金額

額の大きいものから順にあげると、燃料取扱設備および貯蔵設備が 190 億円、タービン発電機が 90 億円、ボイラ設備が 60 億円、循環水設備、ボイラ補機設備、付属電気設備が 30 億円程度となっている。ちなみに、産業連関表部門格付けでは化学機械(部門符号 3022-011)が 210 億円、発電機器(部門符号 3411-011)が 90 億円、ボイラー・タービン(部門符号 3011-011)が 50～60 億円である。この設備の特徴は LNG 火力発電ということから脱硫設備がないことである。しかし脱硫設備を除いても発電容量 1MW 当たり換算して、約 15% 安上がりになることになる。詳細は付表 2 を参照されたい。

次の加圧水型原子力発電プラントは 8 つのエリアから構成されている。まず図 4 を見ていただきたい。このプラントは設備容量 1150MW と先の 2 つのプラントと比較するとほぼ倍の発電容量サイズであり、その設備金額合計が 1157 億円となっている。設備容量 1MW 当たりになおすと 1 億円/MW になり、おおざっぱに LNG 火力発電と微粉炭火力発電の中間に位置している。後に示すが、1MW 当たり発電プラント生産による CO₂ 排出量は原子力発電が 1 番多い。それは資本財のウェイト構成の違い、特に原子力発電プラントがコンクリートや鉄鋼を多く使用していることによるものである。エリア別の設備金額を比較すると、原子炉格納容器エリアとタービン建設エリアの金額がそれぞれ 300 億円程度と大きい。残りは屋外エリアが 170 億、コントロール建屋が 110 億円程度となっている。各エリアはさらに詳細な分類項目がある。付表 4 は、それらの分類項目を産業連関表の部門に格付け、まとめたものである。

図 5 は産業連関表部門格付けで加圧水型原子力発電プラントの設備額を示している。これによると、化学機械が 260 億円、開閉装置及び配電盤、原動機が 180 億円、発電機器が 140 億円、生コンクリート・セメント製品が 110 億円、鉄鋼が 100 億円程度となっている。設備額合計の 15% 以上の 180 億円を原動機が占めているが、これは原子炉のことである。産業連関表では原子炉が原動機部門(部門符号



注: 1) 発電容量 1150MW(送電端).

2) 1984 購入者価格表示.

図 4: 加圧水型原子力発電プラント¹⁾の主要設備金額

3011-021) に格付けされている。

石油火力発電プラントについては、IEA の勧告により現在はプラントが建設されておらず、石油火力発電プラントの建設データの入手は困難である。米国の天然ガス火力の調査によると、石油火力発電プラントはLNG火力発電プラントとほぼ同等であるので、それを利用することにした。ただし、LNG火力発電プラントには脱硫設備はいらないが、石油火力発電プラントには脱硫設備が必要であり、我々は石油火力プラントの評価をLNG火力発電プラントで代用するが、その点注意を要する。

3 CO₂排出量の計測

3.1 プラント建設におけるCO₂排出量

このような発電プラントの建設において、直接間接にCO₂がどれだけ排出されるかを計算しよう。以下の式は、通常のオープンI-Oモデルの算定式を示している。

$$C_k^p = e[I - A]^{-1} f_k$$

C_k^p	$k=1, \dots, 3$	: プラント建設によるCO ₂ 排出量
e		: CO ₂ 排出係数ベクトル (行ベクトル)
A		: 投入係数行列
f_k	$k=1, \dots, 3$	: プラント建設ベクトル (列ベクトル)
		($k=1$:LNG火力, $k=2$:石炭火力, $k=3$:原子力)

我々はこのようなプラントの各々を最終需要ベクトルにみだててCO₂排出誘発量を計算した。ここで投入係数は既存の1985年投入係数を用いていることに注意されたい。つまりこの計算では、水力から原子力を含む既存の発電プラントで、それぞれのプラントをつくる時のCO₂排出量を計算しているわけである。オルタナティブなシミュレーションも考えられるが、今回は我が国が今後そのようなプラントをつくるとすればどうなるか、という観点から評価をくだそうとしているわけである。その一連の計算結果の詳細は、付表5～付表8に示されている。

図6を見ていただきたい。微粉炭火力発電プラントでは1基当たり36～37万トン程度、LNG火力発電プラントでは18～19万トン程度、原子力発電プラントでは65万トン程度のCO₂を排出するという結果が出ている。プラントの設備金額1億円当たりで見ると、微粉炭火力発電プラントでは430～450t、LNG火力発電プラントでは370～400t、原子力発電プラントでは560tのCO₂が排出されると推定される。

プラントの中身の性質からいうと、図7のように微粉炭火力発電プラントのタービン発電機には140億円もの設備金額がかかっているが、それからのCO₂排出量は5万トン程度と推定される。これに対して、主発電建屋には50億円とタービン発電機の3分の1程度の設備金額しかかかっていないのに、それからのCO₂排出量は7.5万トンであると推定され、タービン発電機より多く推定されている。これは主発電建屋により多くのコンクリート、鉄鋼を使用するためである。

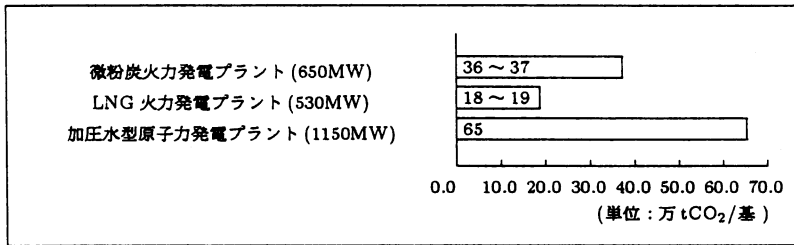
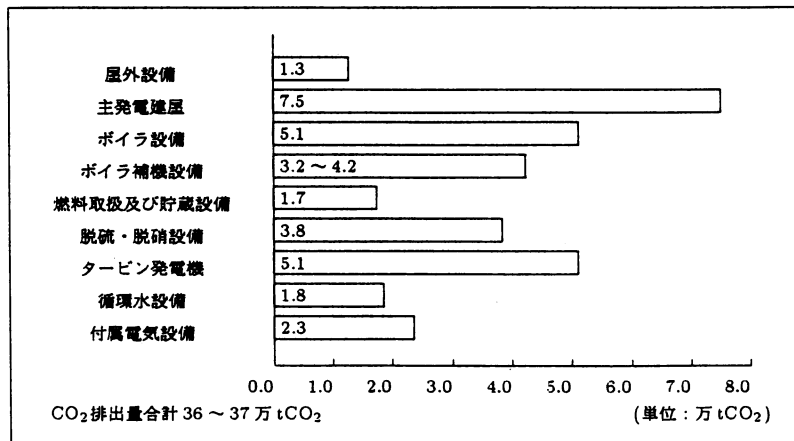
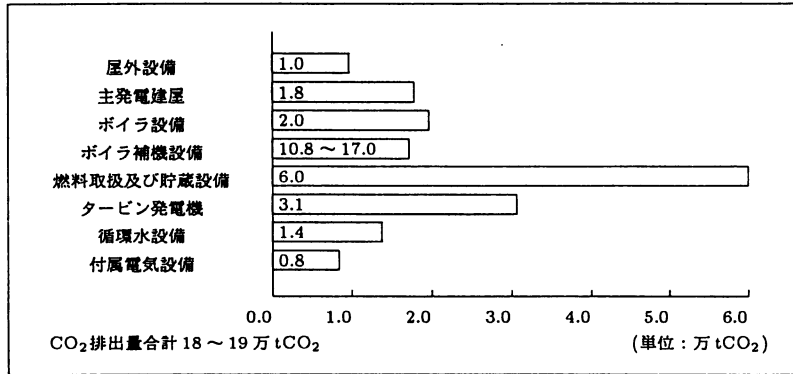


図5: 発電プラントの建設によるCO₂排出量 (1基当たり)



注: 1) 発電容量 650MW(送電端).

図6: 微粉炭火力発電プラント¹⁾の主要設備の建設によるCO₂排出量



注: 1) 発電容量 530MW(送電端).

図 7: LNG 火力発電プラント¹⁾の主要設備の建設による CO₂排出量

また図 8 のように LNG 火力発電プラントでは燃料取扱設備及び貯蔵設備からの CO₂排出量が 6 万トンと推定されており、発電プラント全体の CO₂排出量 18 ~ 19 万トンの 3 分の 1 になっている。

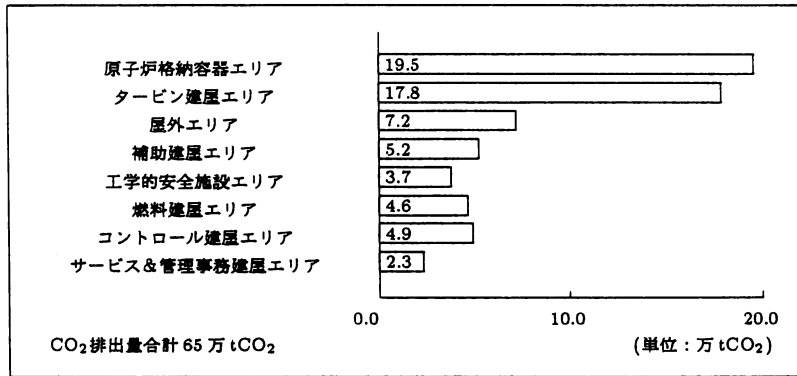
図 9 は加圧水型原子力発電プラントの各エリアの建設による CO₂排出量が示されている。原子炉格納容器エリアの建設による CO₂排出量が 19.5 万トン、タービン建設エリアの建設による CO₂排出量が 17.8 万トンと推定されており、両者の合計は発電プラント全体の建設による CO₂排出量 65 万トンの半分を占めている。

図 10 は加圧水型原子力発電プラントの主要設備の建設による CO₂排出量が産業連関表の部門格付けで示されている。生コンクリート・セメント製品からの CO₂排出量が 16.6 万トン、鉄鋼からの CO₂排出量 15.8 万トンと推定されており、両者からの CO₂排出量合計は発電プラント全体の建設による CO₂排出量の半分を占めている。これに対してコンクリートと鉄鋼の使用額合計は約 200 億円であり、発電プラント全体の設備額約 1200 億円の 6 分の 1 程度であるにすぎない。

図 6 では、発電プラント 1 基当たりの CO₂排出量の推定結果を示した。それでは、発電容量 1MW 当たりで比較するとどうであろうか。図 11 には、発電容量 1MW 当たりの CO₂排出量が示されている。原子力発電プラントと微粉炭火力発電プラントが発電容量 1MW 当たり約 570t/MW でほぼ似ている。そして、LNG 火力発電プラントが圧倒的に少なく約 350t/MW である。

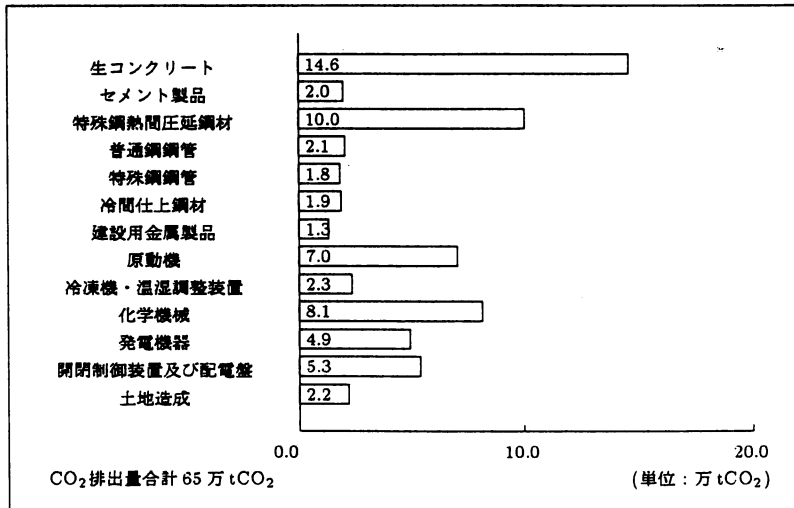
3.2 経常運転による CO₂排出量

これらの発電プラントが稼働した場合には経常的にエネルギーやマテリアルが消費される。その結果、まわり回って CO₂が排出される。次に、このような経常運転による CO₂排出量を計測してみよう。1985 年産業連関表では基本分類においても、発電アクティビティが火力発電・原子力発電・水力その他事業



注: 1) 発電容量 1150MW(送電端).

図 8: 加圧水型原子力発電プラント¹⁾の各エリアの建設による CO₂排出量



注: 1) 発電容量 1150MW(送電端).

図 9: 加圧水型原子力発電プラント¹⁾の主要設備の建設による CO₂排出量

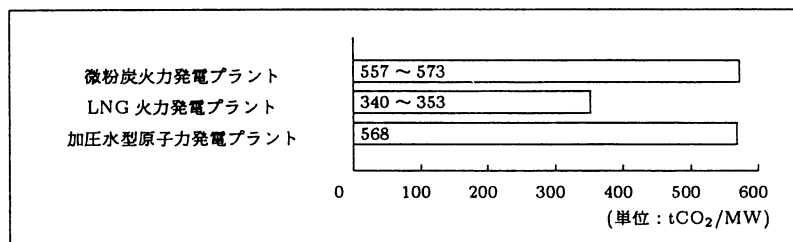


図 10: 発電プラントの建設による CO₂排出量 (発電容量 1MW 当たり)

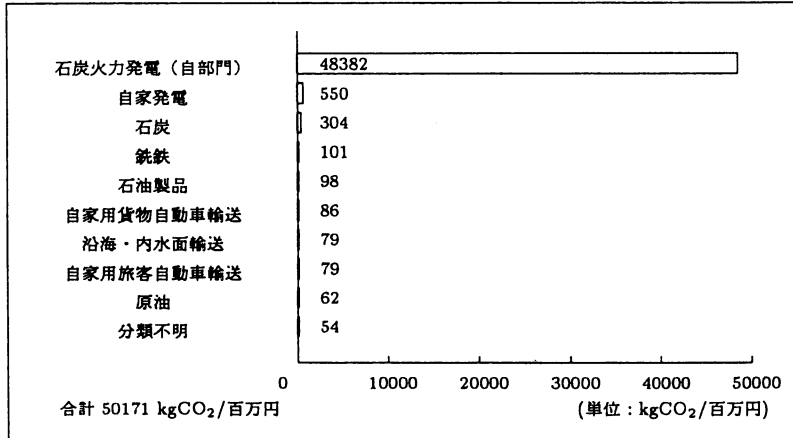
用発電の3つに分割されているにすぎない。我々はその内訳である微粉炭火力・LNG火力・石油火力・原子力発電の評価をしたいわけである。そのため、我々は次のような作業仮説を建てて分析を進めた。第一に中間投入のエネルギー以外のマテリアルについては、微粉炭火力・LNG火力・石油火力発電は共通であるとした。ここで取り扱う原子力発電プラントは加圧水型であるが、我が国のその他の原子力発電技術のミックスが1985年産業連関表にのっている。そこで各種原子力発電プラントの方法についても投入係数は共通であるとした。第二に投入エネルギーについては『電力需給の概要』の「汽力発電用燃料計画」に基づいて投入係数を算定した⁵。第三に既存の産業連関表では核燃料は固定資本形成に計上され、中間投入には計上されていない。これは産業連関表の作成趣旨からはもっともなことであるが我々のシミュレーションには不適切である。そのため、原子力発電については核燃料の経常消費分を別途『電力事業便覧』の「会社用原子力発電用燃料実績」に基づいて算定した。

このような作業仮説のもとで、各発電方式ごとに投入係数を入替え、電力が1単位需要されることによって誘発される経常的なCO₂排出量を、次のような方式に基づいて計算した。

$$C_k^d = e_k^d [I - A_k]^{-1} \begin{pmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix} \leftarrow \text{事業用電力部門}$$

- C_k^d (k=1, ..., 4) : 電力1単位の需要によるCO₂排出量
 e_k^d (k=1, ..., 4) : CO₂排出係数ベクトル(行ベクトル)
 A_k (k=1, ..., 4) : 投入係数行列
 (k=1:LNG火力, k=2:石炭火力, k=3:石油火力, k=4:原子力)

⁵このとき、石油火力発電に石油製品だけでなくコークス炉ガスが投入され、石炭火力発電に石炭だけでなく重油が投入され、LNG火力発電にガスだけでなく重油、原油、ナフサが投入されていることに注意されたい。



注: 1) 誘発の上位10アクティビティと合計を示している。

図 11: 石炭火力発電の電力1単位当たりCO₂排出量

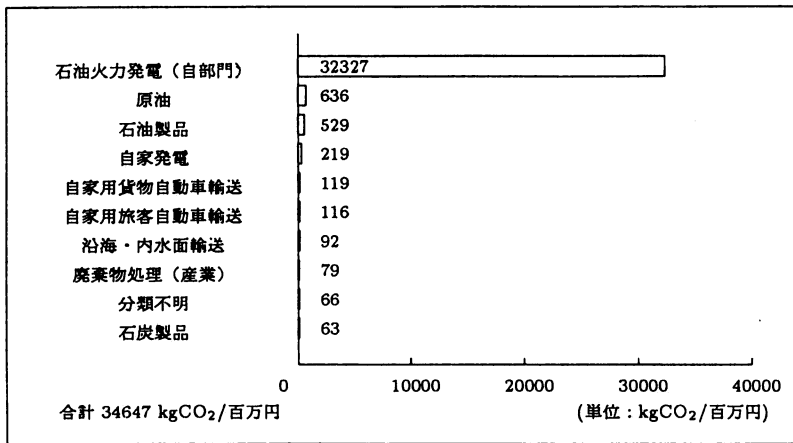
図 11～図 14 には、各々プラントの電力1単位当たりCO₂排出量と、その内訳が、上位10部門に限って示されている。図では、合計が電力1単位当たりCO₂排出量を示している。この結果について若干の解説をしよう。

まず、図 11 を見ていただきたい。経常運転でCO₂排出量の一番多いのは石炭火力発電であり、電力百万円当たり50t(1,222g/kWh)のCO₂が排出される。その内訳は石炭火力発電アクティビティが48t/百万円(1,178g/kWh)であり、ほとんどが発電の過程でCO₂排出をしていることが明らかになった。若干、自家発電および石炭部門からCO₂排出がされる⁶。これは、石炭部門では炭鉱ガス抜きガスを燃料にして自家発電をしているためである。

次に、図 12 を見ていただきたい。2番目に経常運転でCO₂排出量の多いのは石油火力発電であり、電力百万円当たり35t(844g/kWh)のCO₂が排出される。その内訳は石油火力発電アクティビティが32t/百万円(787g/kWh)であり、石炭火力発電と同じく、ほとんどが発電の過程でCO₂排出をしている。燃料を生産している石油製品、原油部門からの排出の合計は1t/百万円(28g/kWh)である。

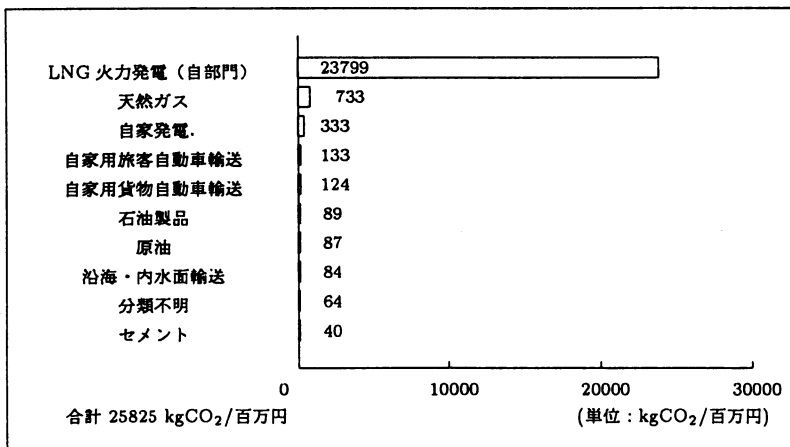
次に、図 13 を見ていただきたい。3番目に経常運転によるCO₂排出量の多いのはLNG火力発電であり、電力百万円当たり26t(629g/kWh)のCO₂が排出される。その内訳はLNG火力発電アクティビティ

⁶ここで第7位に沿海・内水面79kg/百万円(2g/kWh)とごく値が入っている。それでは、外洋輸送からの排出はどうなっているのか、という疑問がでてくるが、実は国内の産業連関表を使うという特徴上、原料調達の外洋輸送が計算されていないことに注意されたい。これらは国際産業連関でないと扱えない。



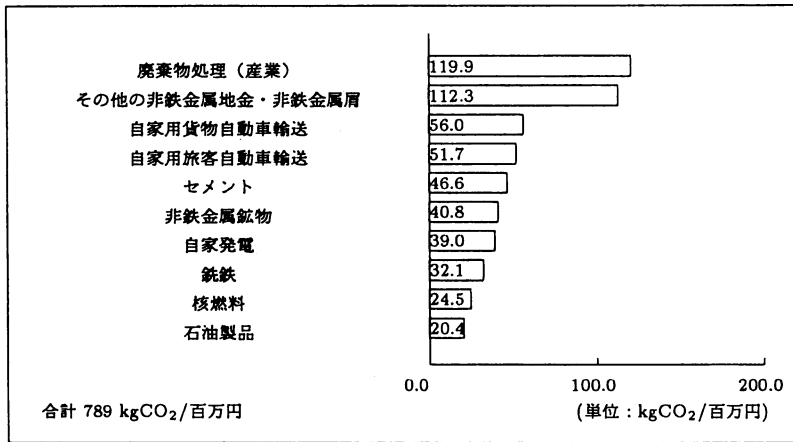
注：1) 誘発の上位 10 アクティビティと合計を示している。

図 12: 石油火力発電の電力 1 単位当たり CO₂排出量



注：1) 誘発の上位 10 アクティビティと合計を示している。

図 13: LNG 火力発電の電力 1 単位当たり CO₂排出量



注: 1) 誘発の上位10 アクティビティと合計を示している。

図 14: 原子力発電の電力1単位当たりCO₂排出量

が24t/百万円(580g/kWh)であり、やはりほとんどが発電の過程でCO₂排出をしている。天然ガス部門ではガスで自家発電をしているため、自家発電部門からの排出が3番目にくる。

最後に、図14を見ていただきたい。原子力発電の経常運転によるCO₂排出量は789kg/百万円(19g/kWh)であり、ほとんど出ないことに注目されたい。その内訳を見ると1番多いのが廃棄物処理(産業)部門からのCO₂排出で120kg/百万円(3g/kWh)、2番目に多いのがその他の非鉄金属地金・非鉄金属部門からのCO₂排出で112kg/百万円(3g/kWh)である。その他の核燃料部門から25kg/百万円(1g/kWh)のCO₂が排出されており、原子力発電の経常運転によるCO₂排出量の17%程度がウラン生産によって排出されている。

4 総合効果の評価

前節では各種発電形態に応じて、またプラント建設、経常運転別にCO₂排出量を計算してきた。この節では、その結果に基づいて総合効果を評価したい。まずプラント建設におけるCO₂排出量であるが、LNG火力発電プラントと石油火力発電プラントはほぼ同等の設備であると想定する。このことによって、4種類の発電形態別にプラント建設によるCO₂排出量が出てくる。またプラントがどれだけの耐用年数をもっているか、どれだけの稼働率で運転されるのかが分からなければ1年当たりの評価はできない。第一に耐用年数については、プラントのライフサイクル評価を考えた場合、実勢の耐用年数で評価することが望ましいことから、実勢の平均耐用年数を使用した。実勢の平均耐用年数は土木50年、建築物30年、機械30年である。法定耐用年数に基づけば土木35年、建築物20年、機械15年であるが、

表 3: 電力百万円当たり CO₂排出量 (単位:kgCO₂/百万円)

	経常運転による CO ₂ 排出量	プラント建設による CO ₂ 排出量 ¹⁾	総合効果
事業用発電平均	20,544	不明	不明
LNG 火力発電	25,825	82	25,907
石炭火力発電	50,171	134	50,304
石油火力発電 ²⁾	34,647	82	34,728
原子力発電	789	133	922

注:1) 稼働率を 70%, 送電損失率を 6%と想定している。また、耐用年数を土木 50 年、建物 30 年、機械 30 年と想定している。
2) 石油火力発電プラントの建設には脱硫設備を含んでいない。

表 4: 電力 1kwh 当たり CO₂排出量 (単位:gCO₂/kWh)

	経常運転による CO ₂ 排出量	プラント建設による CO ₂ 排出量 ¹⁾	総合効果
事業用発電平均	500	不明	不明
LNG 火力発電	629	2	631
石炭火力発電	1,222	3	1,225
石油火力発電 ²⁾	844	2	846
原子力発電	19	3	22

注:1) 稼働率を 70%, 送電損失率を 6%と想定している。また、耐用年数を土木 50 年、建物 30 年、機械 30 年と想定している。
2) 石油火力発電プラントの建設には脱硫設備を含んでいない。

この数値はあくまで税法上の数値であり、実勢を反映しない。しかし、もし読者が法定耐用年数を勘案した CO₂排出量を求めたいならば、この結果をほぼ倍にすればよいと考えていただきたい。第二に、稼働率の想定であるが、全て一律に 70%稼働率を想定した。これらの点も稼働率を変えた結果を見なければその修正を読者がしていただきたい。この 2 つの想定のもとでプラント建設の年当たり CO₂排出量が計算される。それに前節の経常運転による排出量を加えることによって総合評価ができあがる。

表 2 は電力百万円当たり CO₂排出量を示している。石炭火力発電では百万円当たり 50t、石油火力発電では 35t、LNG 火力発電では 26t、原子力発電では 1t の CO₂が排出されると推定される。

表 3 は電力 1kWh 当たり CO₂排出量を示している。石炭火力発電では 1kWh 当たり 1,225g、石油火力発電では 846g、LNG 火力発電では 631g、原子力発電では 22g の CO₂が排出されると推定される。

このような単位当たり CO₂排出量の結果に基づいて、もし我が国の事業用発電の供給を発電形態別にすべてまかなった場合、どれだけの CO₂が排出されるかを計算してみよう。その結果が表 4、図 17 に示されている。

表 4 に基づけば、微粉炭火力発電では 65,709 万トン、石油火力発電では 45,363 万トン、LPG 火力発

表 5: 総合効果¹⁾: 経常運転・建設によるCO₂排出量(万 tCO₂/年)

	実績	LNG 火力発電	石炭火力発電	石油火力発電 ³⁾	原子力発電
経常運転による CO ₂ 排出量	26,836	33,734	65,534	45,257	1,031
プラントの建設による CO ₂ 排出量	不明	107	175	107	174
総合効果	不明	33,841	65,709	45,363	1,204

注:1) 日本の電力生産をすべてまかなった場合に、発電プラントの建設・経常運転によって直接・間接に排出されるCO₂排出量。
 2) 産業連関表によれば、1985年の日本の事業用電力部門の生産数量は536,369 [百万 kWh]である。
 3) 石油火力発電プラントの建設には脱硫設備を含んでいない。

電では33,841万トンのCO₂排出量になる。これらは1985年の実績値26,836万トンより大幅に上回っている。また我が国の1985年の年間総排出量10億トンから見ても、相当大きな数字である。他方、原子力発電ではCO₂排出量が1,204万トン程度と大幅に小さい値を示している。

5 結びにかえて

我々はこのような形で各種火力・原子力発電のCO₂排出量の推定を行った。その結果によれば、原子力発電はCO₂排出削減の観点からすると大変効果のあるテクノロジーであることになる。また紙面の都合上发表しないが、有限の化石資源利用の観点からも、NO_x、SO_x排出抑制の観点からも原子力発電は効果のあるテクノロジーであることは容易に推測される。しかし、周知のように、安全性や廃棄物再処理の極めて困難な課題が山積みされていることを忘れてはならない。世界的に見れば、原子力発電は残念ながら、導入すべきか否かという状況を乗り越えて、特に発展途上国で未解決のまま、既成事実がどんどん先行していくような状態である。したがって早急かつ重点的な安全性や廃棄物処理の研究が緊急課題と言えそうである。

我が国は統計大国といわれているが、我が国のプラントに関するデータが入手できなかったことは極めて残念である。そのため我々はアメリカ合衆国のデータからCO₂排出の評価を行った。その意味で、ここで発表するものは限られた条件付の結論であることを、断っておかねばならない。もし、かあるプラント情報が我が国でも公開されるならば、より精度の高い分析に進めるであろう。

(単位：万t-CO₂/年)

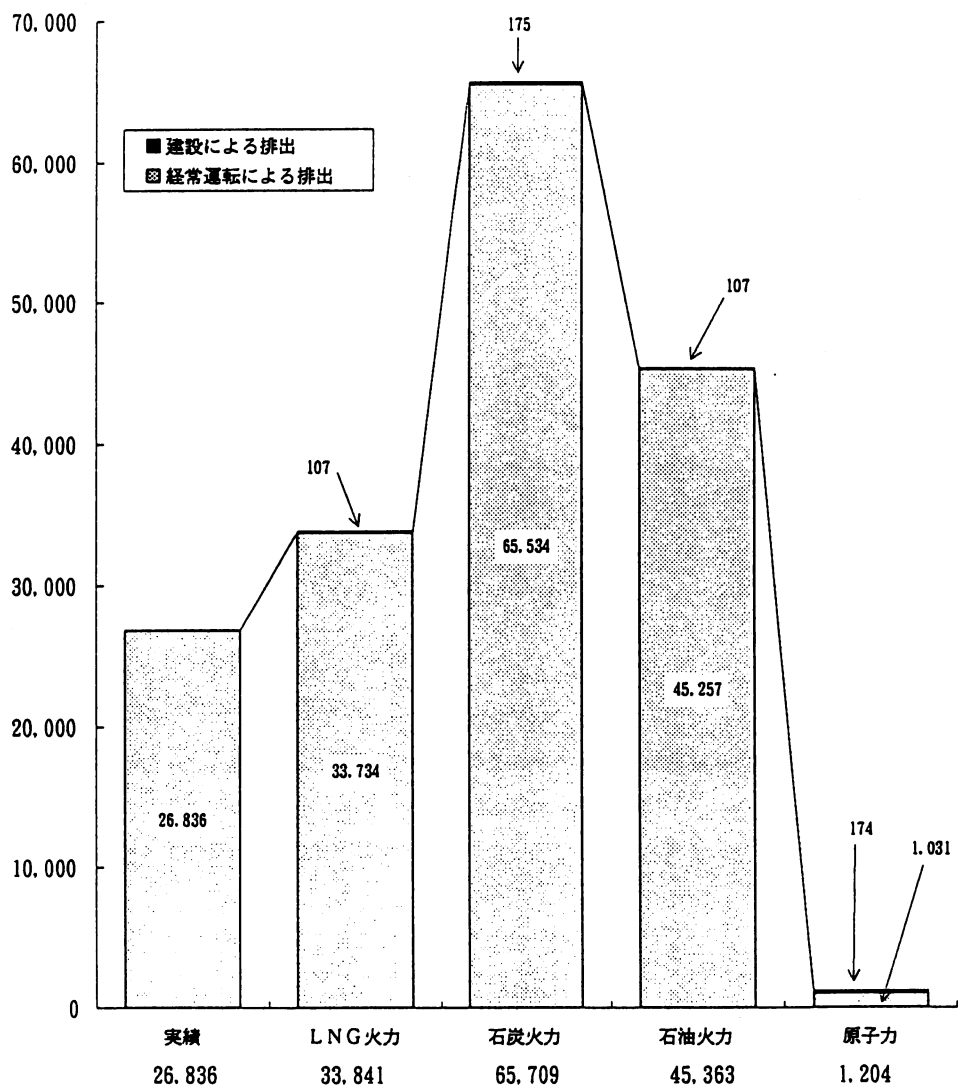


図16 総合効果：発電プラントの経常運転・建設による二酸化炭素排出量

注：1) 我が国の事業用電力供給を発電形態別にすべてまかなった場合の誘発排出量。
 2) 海外における誘発排出分を含む。

付表1: 微粉炭火力発電プラント(650MW)の設備金額(1985年価格評価百万円)

項目	対応する I-O 部門	計	素材	流通過程費用		
				卸・小売	運輸	
屋外設備		4495-00	2550.7	2550.7	0.0	0.0
主発電建屋	コンクリート	2522-011	429.7	319.6	59.5	50.6
	鉄鋼・鉄骨架構	2621-016	3585.6	3210.6	256.9	118.1
	屋根工事 ¹⁾	2072-011	27.0	22.8	3.8	0.4
		2079-099	27.0	27.0	0.0	0.0
		2523-011	27.0	21.9	3.0	2.2
		2812-011	27.0	24.1	1.9	1.0
	側壁工事 ¹⁾	2072-011	95.7	80.8	13.4	1.4
		2079-099	95.7	95.7	0.0	0.0
		2523-011	95.7	77.5	10.6	7.6
		2812-011	95.7	85.4	6.8	3.4
	サービス機器 ¹⁾	3013-011	189.4	165.4	22.0	2.0
		3031-099	189.4	171.7	15.3	2.4
		3421-011	189.4	162.9	25.0	1.5
その他	4022-10	317.4	317.4	0.0	0.0	
小計		5391.5	4782.8	418.3	190.4	
付属建屋	コンクリート	2522-011	225.4	167.6	31.2	26.5
	鉄鋼・鉄骨架構	2621-016	228.9	205.0	16.4	7.5
	屋根工事 ¹⁾	2072-011	17.5	14.8	2.5	0.3
		2079-099	17.5	17.5	0.0	0.0
		2523-011	17.5	14.2	1.9	1.4
		2812-011	17.5	15.6	1.3	0.6
	側壁工事 ¹⁾	2072-011	9.1	7.7	1.3	0.1
		2079-099	9.1	9.1	0.0	0.0
		2523-011	9.1	7.4	1.0	0.7
		2812-011	9.1	8.1	0.7	0.3
	サービス機器 ¹⁾	3013-011	80.0	69.9	9.3	0.8
		3031-099	80.0	72.5	6.5	1.0
		3421-011	80.0	68.9	10.5	0.6
その他	4022-10	232.5	232.5	0.0	0.0	
小計		1033.3	910.7	82.5	40.0	
ボイラ設備		3011-011	14296.6	13718.3	423.6	154.7
ボイラ補機設備	配管・弁・サポート ²⁾	2211-012	1065.2	994.2	55.6	15.4
		2622-011	1065.2	930.2	74.6	60.4
		2622-012	1065.2	1065.2	0.0	0.0
	その他 ¹⁾	3019-011	3797.4	3337.2	421.2	39.0
		3022-011	3797.4	3356.5	398.6	42.4
	小計(配管・弁・サポートが2211-011に対応する場合)		8660.1	7687.9	875.4	96.9
	小計(配管・弁・サポートが2622-011に対応する場合)		8660.1	7623.8	894.4	141.9
小計(配管・弁・サポートが2622-012に対応する場合)		8660.1	7758.9	819.8	81.4	
燃料取扱及び貯蔵設備	石炭取扱設備	3012-011	5009.8	4370.4	596.8	42.7
	燃料油設備	3012-011	30.1	26.2	3.6	0.3
	小計		5039.9	4396.6	600.4	42.9
<p>*注:1) 分類内訳が不明である。しかし、金額、CO₂排出量の観点から見て、その配分がマイナーと思われるので、均等割りを行った。 2) 分類内訳が不明であり、金額的に見ても大きいので、上限・下限を算定すべく各々の内部項目がすべてであるという想定で3つのケースの計算を行った。</p>						

付表1: (つづき) 微粉炭火力発電プラント(650MW)の設備金額(1985年価格評価百万円)

項目	対応する I-O 部門	計	素材	流通過程費用		
				卸・小売	運輸	
煙突設備	2523-011	590.2	478.0	65.2	47.0	
集塵設備	3022-011	3267.0	2887.7	342.9	36.5	
脱硫・脱硝設備	構造物	4022-10	555.2	555.2	0.0	0.0
	脱硫装置	3022-011	9318.0	8236.0	978.0	104.0
	石灰石取扱設備	3012-011	1583.9	1381.7	188.7	13.5
	石灰石荷揚げ設備	3012-011	441.7	385.3	52.6	3.8
	建屋サービス機器 ¹⁾	3013-011	10.6	9.3	1.2	0.1
		3031-099	10.6	9.6	0.9	0.1
	3421-011	10.6	9.2	1.4	0.1	
		11930.7	10586.4	1222.8	121.6	
タービン発電機	3411-011	14565.9	11118.9	3327.7	119.3	
タービン発電機補機設備	配管・弁・サポート ²⁾	2211-012	74.4	69.4	3.9	1.1
		2622-011	74.4	64.9	5.2	4.2
		2622-012	74.4	74.4	0.0	0.0
	その他 ¹⁾	3019-011	405.2	356.1	45.0	4.2
		3022-011	405.2	358.2	42.5	4.5
			884.8	783.7	91.4	9.8
		884.8	779.2	92.7	12.9	
		884.8	788.7	87.5	8.7	
循環水設備	復水器系	3019-011	1564.3	1374.7	173.5	16.1
	循環水系	3019-011	2746.5	2413.6	304.7	28.2
	小計		4310.8	3788.3	478.2	44.3
水処理設備	配管・弁・サポート ²⁾	2211-012	29.5	27.5	1.5	0.4
		2622-011	29.5	25.7	2.1	1.7
		2622-012	29.5	29.5	0.0	0.0
	その他	3022-011	825.8	729.9	86.7	9.2
			855.3	757.4	88.2	9.6
			855.3	755.6	88.7	10.9
		855.3	759.4	86.7	9.2	
廃液処理設備	3022-011	2347.0	2074.5	246.3	26.2	
付属電気設備	開閉装置	3411-021	803.2	685.7	110.0	7.5
	変圧器	3411-031	1269.5	1194.6	65.5	9.3
	発電設備	3411-031	461.1	433.9	23.8	3.4
	コントロールセンター	3311-011	95.0	76.4	18.0	0.6
	計器・制御装置	3411-021	1378.6	1176.9	188.9	12.8
	ケーブル	2721-013	838.4	689.4	140.5	8.6
	ケーブルトレイ	2899-099	207.4	202.2	2.8	2.5
	その他	3411-021	1911.1	1631.5	261.8	17.8
		6964.3	6090.6	811.3	62.4	
発電所付属機器	配管・弁・サポート	2622-011	30.8	26.9	2.2	1.7
	その他	3411-021	397.1	339.0	54.4	3.7
			427.9	365.9	56.6	5.4
			427.9	365.9	56.6	5.4
		427.9	365.9	56.6	5.4	
プラント合計(配管・弁・サポートが2211-011に対応する場合)		83116.2	72978.5	9130.6	1007.1	
プラント合計(配管・弁・サポートが2622-011に対応する場合)		83116.2	72908.2	9151.6	1056.5	
プラント合計(配管・弁・サポートが2622-012に対応する場合)		83116.2	73056.4	9069.6	990.2	

付表2: LNG火力発電プラント(530MW)の設備金額(1985年価格評価百万円)

項目	対応する I-O 部門	計	素材	流通過程費用		
				卸・小売	運輸	
屋外設備		4495-00	1930.7	1930.7	0.0	0.0
主発電建屋	コンクリート	2522-011	158.2	117.7	21.9	18.6
	鉄鋼・鉄骨架構	2621-016	792.0	709.2	56.8	26.1
	屋根工事 ¹⁾	2072-011	7.3	6.1	1.0	0.1
		2079-099	7.3	7.3	0.0	0.0
		2523-011	7.3	5.9	0.8	0.6
		2812-011	7.3	6.5	0.5	0.3
	側壁工事 ¹⁾	2072-011	7.7	6.5	1.1	0.1
		2079-099	7.7	7.7	0.0	0.0
		2523-011	7.7	6.3	0.9	0.6
		2812-011	7.7	6.9	0.6	0.3
	サービス機器 ¹⁾	3013-011	47.9	41.8	5.6	0.5
		3031-099	47.9	43.4	3.9	0.6
		3421-011	47.9	41.2	6.3	0.4
	その他	4022-10	203.9	203.9	0.0	0.0
小計		1357.7	1210.4	99.3	48.1	
管理事務建屋		4022-20	480.1	480.1	0.0	0.0
付属建屋	コンクリート	2522-011	23.4	17.4	3.2	2.8
	鉄鋼・鉄骨架構	2621-016	21.5	19.3	1.5	0.7
	屋根工事 ¹⁾	2072-011	0.5	0.4	0.1	0.0
		2079-099	0.5	0.5	0.0	0.0
		2523-011	0.5	0.4	0.1	0.0
		2812-011	0.5	0.5	0.0	0.0
	側壁工事 ¹⁾	2072-011	0.4	0.3	0.1	0.0
		2079-099	0.4	0.4	0.0	0.0
		2523-011	0.4	0.3	0.0	0.0
		2812-011	0.4	0.4	0.0	0.0
	サービス機器 ¹⁾	3013-011	4.9	4.3	0.6	0.1
		3031-099	4.9	4.4	0.4	0.1
		3421-011	4.9	4.2	0.6	0.0
	その他	4022-10	23.6	23.6	0.0	0.0
小計		87.0	76.6	6.7	3.7	
ボイラ設備		3011-011	5480.4	5258.7	162.4	59.3
ボイラ補機設備	配管・弁・サポート ²⁾	2211-012	684.1	638.5	35.7	9.9
		2622-011	684.1	597.4	47.9	38.8
		2622-012	684.1	684.1	0.0	0.0
	その他 ¹⁾	3019-011	1079.0	948.3	119.7	11.1
		3022-011	1079.0	953.7	113.3	12.0
	小計(配管・弁・サポートが2211-011に対応する場合)		2842.2	2540.5	268.6	33.1
小計(配管・弁・サポートが2622-011に対応する場合)		2842.2	2499.4	280.9	61.9	
小計(配管・弁・サポートが2622-012に対応する場合)		2842.2	2586.1	232.9	23.1	

*注:1) 分類内訳が不明である。しかし、金額、CO₂排出量の観点から見て、その配分がマイナーと思われるので、均等割りを行った。
2) 分類内訳が不明であり、金額的に見ても大きいので、上限・下限を算定すべく各々の内部項目がすべてであるという想定で3つのケースの計算を行った。

付表2: (つづき) LNG火力発電プラント(530MW)の設備金額(1985年価格評価百万円)

項目	対応する I-O 部門	計	素材	流通過程費用		
				卸・小売	運輸	
燃料取扱及び貯蔵設備	LNG取扱設備	3022-011	19263.3	17026.4	2021.8	215.1
	燃料ガス設備	3022-011	59.1	52.2	6.2	0.7
	小計		19322.4	17078.7	2028.0	215.7
煙突設備		2523-011	22.4	18.1	2.5	1.8
タービン発電機		3411-011	8751.0	6680.1	1999.2	71.7
タービン発電機補機設備	配管・弁・サポート ²⁾	2211-012	66.8	62.3	3.5	1.0
		2622-011	66.8	58.3	4.7	3.8
		2622-012	66.8	66.8	0.0	0.0
	サービス機器	3411-011	3.5	2.7	0.8	0.0
	その他 ¹⁾	3019-011	212.8	187.0	23.6	2.2
		3022-011	212.8	188.1	22.3	2.4
	小計(配管・弁・サポートが2211-011に対応する場合)		495.9	440.1	50.2	5.6
小計(配管・弁・サポートが2622-011に対応する場合)		495.9	436.1	51.4	8.4	
小計(配管・弁・サポートが2622-012に対応する場合)		495.9	444.6	46.7	4.6	
循環水設備	スクリーン設備	3019-011	228.1	200.4	25.3	2.3
	復水器系	3019-011	1153.8	1013.9	128.0	11.9
	取水及び排水系	3019-011	1812.3	1592.6	201.0	18.6
	小計		3194.1	2807.0	354.3	32.8
水処理設備		3022-011	310.5	274.4	32.6	3.5
廃液処理設備		3022-011	20.9	18.4	2.2	0.2
付属電気設備	閉閉装置	3411-021	118.6	101.2	16.2	1.1
	変圧器	3411-031	644.6	606.6	33.3	4.7
	変電設備	3411-031	106.3	100.0	5.5	0.8
	コントロールセンター	3311-011	77.9	62.6	14.7	0.5
	計器・制御装置	3411-021	861.5	735.5	118.0	8.0
	ケーブル	2721-013	204.2	167.9	34.2	2.1
	ケーブルトレイ	2899-099	50.4	49.1	0.7	0.6
	その他	3411-021	394.8	337.1	54.1	3.7
小計		2458.3	2160.1	276.7	21.5	
発電所付属機器	配管・弁・サポート ²⁾	2211-012	6.9	6.4	0.4	0.1
		2622-011	6.9	6.0	0.5	0.4
		2622-012	6.9	6.9	0.0	0.0
	その他	3411-021	1338.6	1142.8	183.4	12.5
	小計(配管・弁・サポートが2211-011に対応する場合)		1345.5	1149.2	183.7	12.6
	小計(配管・弁・サポートが2622-011に対応する場合)		1345.5	1148.8	183.9	12.9
小計(配管・弁・サポートが2622-012に対応する場合)		1345.5	1149.7	183.4	12.5	
プラント合計(配管・弁・サポートが2211-011に対応する場合)			48099.2	42123.1	5466.4	509.6
プラント合計(配管・弁・サポートが2622-011に対応する場合)			48099.2	42077.6	5480.0	541.6
プラント合計(配管・弁・サポートが2622-012に対応する場合)			48099.2	42173.7	5426.9	498.6

付表3: 加圧水型原子力発電プラント(1150MW)の設備金額
(1984年価格評価百万円)

項目	計	素材	流通過程費用	
			卸・小売	運輸
原子炉格納容器エリア	32521.0	29887.4	1952.9	680.7
タービン建屋エリア	30955.0	25616.1	4824.8	514.1
屋外エリア	17333.0	15585.0	1546.0	202.0
補助建屋エリア	8538.0	7266.3	989.7	282.0
工学的安全施設エリア	6515.0	5608.6	716.3	190.1
燃料建屋エリア	5190.0	4358.8	572.5	258.7
コントロール建屋エリア	11480.0	9789.0	1481.2	209.8
サービス&管理事務建屋エリア	3176.0	2763.7	334.9	77.4
計	115708.0	100874.8	12418.4	2414.7

付表4: 加圧水型原子力発電プラント(1150MW)の設備金額
(1984年価格表示百万円)

部門名, 符号	計	素材	流通過程費用	
			卸・小売	運輸
2072-011 塗料	235.5	199.0	33.1	3.4
2079-099 その他の最終化学製品(除別掲)	235.5	235.5	0.0	0.0
2522-011 生コンクリート	9470.0	7042.3	1312.1	1115.6
2523-011 セメント製品	1452.5	1176.4	160.5	115.6
2621-016 特殊鋼熱間圧延鋼材	5815.0	5206.8	416.7	191.5
2622-011 普通鋼鋼管	1721.7	1503.4	120.6	97.7
2622-012 特殊鋼鋼管	1363.5	1363.5	0.0	0.0
2623-011 冷間仕上鋼材	1411.0	1305.2	63.6	42.2
2631-021 鋼鉄管	25.0	22.7	1.9	0.3
2811-011 建設用金属製品	2256.0	2092.8	120.1	43.2
2812-011 建築用金属製品	235.5	210.3	16.8	8.4
3011-021 原動機	17964.0	17348.2	504.4	111.4
3012-011 運搬機械	1522.0	1327.7	181.3	13.0
3013-011 冷凍機・温湿調整装置	6694.0	5845.7	778.1	70.2
3019-011 ポンプおよび圧縮機	1126.7	990.1	125.0	11.6
3022-011 化学機械	26108.2	23076.5	2740.2	291.5
3031-099 その他の一般機械器具及び部品	739.0	670.0	59.8	9.2
3411-011 発電機器	14081.0	10748.7	3216.9	115.4
3411-021 開閉制御装置及び配電盤	18643.0	15915.4	2554.0	173.6
3411-099 その他の産業用重電機器	48.0	40.6	7.1	0.3
3719-011 理化学機器器具	31.5	28.7	2.5	0.4
3719-021 分析器・試験機・計量器・測定器	31.5	27.3	3.8	0.4
4022-10 SRC工場	109.0	109.0	0.0	0.0
4495-00 土地造成	4389.0	4389.0	0.0	0.0
エリア合計	115708.0	100874.8	12418.4	2414.7

付表 5: 微粉炭火力発電プラント (650MW) の建設によるCO₂排出量 (単位: tCO₂)

項目	対応する I-O 部門	計	素材生産 排出量	流通過程排出量		
				卸・小売	運輸	
屋外設備		4495-00	12660.2	12660.2	0.0	0.0
主発電建屋	コンクリート	2522-011	6613.8	6303.2	101.4	209.1
	鉄鋼・鉄骨架構	2621-016	61630.6	60745.2	437.7	447.7
	屋根工事 ¹⁾	2072-011	133.3	125.2	6.5	1.6
		2079-099	156.5	156.5	0.0	0.0
		2523-011	363.5	349.4	5.1	9.0
		2812-011	130.7	123.4	3.3	4.0
		側壁工事 ¹⁾	2072-011	471.9	443.2	22.9	5.7
	側壁工事 ¹⁾	2079-099	554.2	554.2	0.0	0.0
		2523-011	1287.1	1237.2	18.0	31.9
		2812-011	462.8	437.0	11.6	14.1
		サービス機器 ¹⁾	3013-011	657.8	612.1	37.5	8.2
サービス機器 ¹⁾	3031-099	793.6	758.9	26.1	8.6	
	3421-011	376.8	329.2	42.5	5.1	
	その他	4022-10	1254.1	1254.1	0.0	0.0
小計		74886.6	73428.8	712.7	745.1	
付属建屋	コンクリート	2522-011	3468.9	3306.0	53.2	109.7
	鉄鋼・鉄骨架構	2621-016	3935.0	3878.5	27.9	28.6
	屋根工事 ¹⁾	2072-011	86.3	81.1	4.2	1.1
		2079-099	101.4	101.4	0.0	0.0
		2523-011	235.5	226.3	3.3	5.8
		2812-011	84.7	79.9	2.1	2.6
		側壁工事 ¹⁾	2072-011	44.9	42.2	2.2	0.5
	側壁工事 ¹⁾	2079-099	52.7	52.7	0.0	0.0
		2523-011	122.5	117.8	1.7	3.0
		2812-011	44.0	41.6	1.1	1.3
		サービス機器 ¹⁾	3013-011	277.9	258.6	15.8	3.5
サービス機器 ¹⁾	3031-099	335.4	320.7	11.0	3.6	
	3421-011	159.2	139.1	18.0	2.2	
	その他	4022-10	918.6	918.6	0.0	0.0
小計		9867.0	9564.5	140.6	161.9	
ボイラ設備		3011-011	50986.0	49630.1	721.7	634.1
ボイラ補機設備	配管・弁・サポート ²⁾	2211-012	4374.2	4212.1	94.7	67.4
		2622-011	12740.1	12381.2	127.2	231.7
		2622-012	14179.0	14179.0	0.0	0.0
	その他 ¹⁾	3019-011	16247.6	15369.7	717.7	160.1
		3022-011	11803.9	10954.2	679.1	170.6
	小計 (配管・弁・サポートが2211-011に対応する場合)		32425.7	30536.1	1491.5	398.2
	小計 (配管・弁・サポートが2622-011に対応する場合)		40791.6	38705.1	1523.9	562.5
小計 (配管・弁・サポートが2622-012に対応する場合)		42230.5	40503.0	1396.8	330.8	
燃料取扱及び貯蔵設備	石炭取扱設備	3012-011	17240.0	16049.4	1016.8	173.8
	燃料油設備	3012-011	103.5	96.3	6.1	1.0
	小計		17343.4	16145.7	1022.9	174.8
煙突設備		2523-011	7941.0	7633.3	111.1	196.6
集塵設備		3022-011	10155.2	9424.2	584.2	146.8

*注:1) 分類内訳が不明である。しかし、金額、CO₂排出量の観点から見て、その配分がマイナーと思われるので、均等割りを行った。
2) 分類内訳が不明であり、金額的に見ても大きいので、上限・下限を算定すべく各々の内部項目がすべてであるという想定で3つのケースの計算を行った。

付表5: (つづき) 微粉炭火力発電プラント(650MW)の建設によるCO₂排出量(単位:tCO₂)

項目	対応するI-O部門	計	素材生産 排出量	流通過程排出量		
				卸・小売	運輸	
脱硫・脱硝設備	構造物	4022-10	2193.8	2193.8	0.0	0.0
	脱硫装置	3022-011	28964.1	26879.1	1666.3	418.7
	石灰石取扱設備	3012-011	5450.4	5074.0	321.5	54.9
	石灰石荷揚げ設備	3012-011	1520.1	1415.1	89.7	15.3
	建屋サービス機器 ¹⁾	3013-011	36.9	34.4	2.1	0.5
		3031-099	44.6	42.6	1.5	0.5
		3421-011	21.2	18.5	2.4	0.3
小計		38231.1	35657.5	2083.4	490.2	
タービン発電機	3411-011	50847.7	44738.0	5669.7	440.0	
タービン発電機補機設備	配管・弁・サポート ²⁾	2211-012	305.3	294.0	6.6	4.7
		2622-011	889.3	864.2	8.9	16.2
		2622-012	989.7	989.7	0.0	0.0
	その他 ¹⁾	3019-011	1733.8	1640.2	76.6	17.1
		3022-011	1259.6	1169.0	72.5	18.2
	小計(配管・弁・サポートが2211-011に対応する場合)		3298.8	3103.1	155.7	40.0
	小計(配管・弁・サポートが2622-011に対応する場合)		3882.8	3673.3	157.9	51.5
小計(配管・弁・サポートが2622-012に対応する場合)		3983.2	3798.8	149.1	35.3	
循環水設備	復水器系	3019-011	6693.0	6331.4	295.6	66.0
	循環水系	3019-011	11751.0	11116.2	519.1	115.8
	小計		18444.1	17447.5	814.7	181.8
水処理設備	配管・弁・サポート ²⁾	2211-012	121.1	116.6	2.6	1.9
		2622-011	352.6	342.7	3.5	6.4
		2622-012	392.4	392.4	0.0	0.0
	その他	3022-011	2566.9	2382.1	147.7	37.1
	小計(配管・弁・サポートが2211-011に対応する場合)		2688.0	2498.7	150.3	39.0
	小計(配管・弁・サポートが2622-011に対応する場合)		2919.5	2724.8	151.2	43.5
小計(配管・弁・サポートが2622-012に対応する場合)		2959.3	2774.5	147.7	37.1	
廃液処理設備	3022-011	7295.5	6770.4	419.7	105.5	
付属電気設備	開閉装置	3411-021	2303.2	2088.9	187.5	26.7
	変圧器	3411-031	5233.7	5085.8	111.6	36.3
	変電設備	3411-031	1900.9	1847.2	40.5	13.2
	コントロールセンター	3311-011	223.7	190.9	30.6	2.2
	計器・制御装置	3411-021	3952.9	3585.2	321.8	45.9
	ケーブル	2721-013	3367.1	3093.7	239.4	34.0
	ケーブルトレイ	2899-099	1006.6	991.9	4.7	9.9
	その他	3411-021	5480.0	4970.3	446.1	63.6
	小計		23468.0	21854.0	1382.2	231.8
発電所付属機器	配管・弁・サポート	2622-011	368.2	357.8	3.7	6.7
	その他	3411-021	1138.6	1032.7	92.7	13.2
	小計(配管・弁・サポートが2211-011に対応する場合)		1506.8	1390.5	96.4	19.9
	小計(配管・弁・サポートが2622-011に対応する場合)		1506.8	1390.5	96.4	19.9
	小計(配管・弁・サポートが2622-012に対応する場合)		1506.8	1390.5	96.4	19.9
プラント合計(配管・弁・サポートが2211-011に対応する場合)			362045.2	342482.6	15556.8	4005.9
プラント合計(配管・弁・サポートが2622-011に対応する場合)			371226.6	351447.9	15592.4	4186.2
プラント合計(配管・弁・サポートが2622-012に対応する場合)			372805.7	353421.0	15452.8	3931.9

付表6: LNG火力発電プラント(530MW)の建設によるCO₂排出量(単位:tCO₂)

項目	対応する I-O 部門	計	素材生産 排出量	流通過程排出量			
				卸・小売	運輸		
屋外設備	4495-00	9583.0	9583.0	0.0	0.0		
主発電建屋	コンクリート	2522-011	2435.1	2320.8	37.4	77.0	
	鉄鋼・鉄骨架構	2621-016	13613.9	13418.4	96.7	98.9	
		屋根工事 ¹⁾	2072-011	35.9	33.7	1.7	0.4
			2079-099	42.1	42.1	0.0	0.0
			2523-011	97.8	94.1	1.4	2.4
			2812-011	35.2	33.2	0.9	1.1
	側壁工事 ¹⁾	2072-011	38.2	35.9	1.9	0.5	
		2079-099	44.9	44.9	0.0	0.0	
		2523-011	104.2	100.2	1.5	2.6	
		2812-011	37.5	35.4	0.9	1.1	
	サービス機器 ¹⁾	3013-011	166.2	154.7	9.5	2.1	
3031-099		200.6	191.8	6.6	2.2		
3421-011		95.2	83.2	10.7	1.3		
その他	4022-10	805.5	805.5	0.0	0.0		
小計		17752.4	17393.7	169.1	189.6		
管理事務建屋	4022-20	1872.2	1872.2	0.0	0.0		
付属建屋	コンクリート	2522-011	360.4	343.4	5.5	11.4	
	鉄鋼・鉄骨架構	2621-016	369.9	364.6	2.6	2.7	
		屋根工事 ¹⁾	2072-011	2.6	2.5	0.1	0.0
			2079-099	3.1	3.1	0.0	0.0
			2523-011	7.2	6.9	0.1	0.2
			2812-011	2.6	2.4	0.1	0.1
	側壁工事 ¹⁾	2072-011	2.0	1.9	0.1	0.0	
		2079-099	2.4	2.4	0.0	0.0	
		2523-011	5.6	5.4	0.1	0.1	
		2812-011	2.0	1.9	0.1	0.1	
	サービス機器 ¹⁾	3013-011	17.0	15.8	1.0	0.2	
		3031-099	20.5	19.6	0.7	0.2	
		3421-011	9.7	8.5	1.1	0.1	
その他	4022-10	93.4	93.4	0.0	0.0		
小計		898.4	871.8	11.4	15.2		
ボイラ設備	3011-011	19544.5	19024.8	276.7	243.1		
ボイラ補機設備	配管・弁・サポート ²⁾	2211-012	2809.2	2705.1	60.8	43.3	
		2622-011	8181.9	7951.4	81.7	148.8	
		2622-012	9106.0	9106.0	0.0	0.0	
	その他 ¹⁾	3019-011	4616.7	4367.3	203.9	45.5	
		3022-011	3354.1	3112.6	193.0	48.5	
	小計(配管・弁・サポートが2211-011に対応する場合)		10780.0	10185.0	457.7	137.3	
小計(配管・弁・サポートが2622-011に対応する場合)		16152.7	15431.3	478.6	242.8		
小計(配管・弁・サポートが2622-012に対応する場合)		17076.8	16585.9	396.9	94.0		
*注:1) 分類内訳が不明である。しかし、金額、CO ₂ 排出量の観点から見て、その配分がマイナーと思われるので、均等割りを行った。							
2) 分類内訳が不明であり、金額的に見ても大きいので、上限・下限を算定すべく各々の内部項目がすべてであるという想定で3つのケースの計算を行った。							

付表6: (つづき) LNG火力発電プラント(530MW)の建設によるCO₂排出量(単位:tCO₂)

項目	対応する I-O 部門	計	素材 生産 排出量	流通過程排出量			
				卸・小売	運輸		
燃料取扱及び貯蔵設備	LNG 取扱設備	3022-011	59877.8	55567.4	3444.7	865.6	
	燃料ガス設備	3022-011	183.7	170.5	10.6	2.7	
	小計		60061.5	55737.9	3455.3	868.3	
煙突設備		2523-011	301.2	289.5	4.2	7.5	
タービン発電機		3411-011	30548.6	26878.0	3406.3	264.3	
タービン発電機補機設備	配管・弁・サポート ²⁾	2211-012	274.2	264.0	5.9	4.2	
		2622-011	798.6	776.1	8.0	14.5	
		2622-012	888.8	888.8	0.0	0.0	
	サービス機器	3411-011	12.3	10.8	1.4	0.1	
	その他 ¹⁾	3019-011	910.5	861.3	40.2	9.0	
		3022-011	661.5	613.8	38.1	9.6	
	小計(配管・弁・サポートが2211-011に対応する場合)			1858.4	1750.0	85.6	22.9
	小計(配管・弁・サポートが2622-011に対応する場合)			2382.9	2262.1	87.6	33.2
小計(配管・弁・サポートが2622-012に対応する場合)			2473.1	2374.8	79.6	18.6	
循環水設備	スクリーン設備	3019-011	975.9	923.1	43.1	9.6	
	復水器系	3019-011	4936.5	4669.8	218.1	48.7	
	取水及び排水系	3019-011	7754.0	7335.0	342.5	76.4	
	小計		13666.3	12928.0	603.7	134.7	
水処理設備		3022-011	965.1	895.6	55.5	14.0	
廃液処理設備		3022-011	64.8	60.2	3.7	0.9	
付属電気設備	閉閉装置	3411-021	340.0	308.4	27.7	3.9	
	変圧器	3411-031	2657.5	2582.4	56.7	18.4	
	発電設備	3411-031	438.2	425.9	9.3	3.0	
	コントロールセンター	3311-011	183.4	156.5	25.1	1.8	
	計器・制御装置	3411-021	2470.4	2240.6	201.1	28.7	
	ケーブル	2721-013	820.1	753.5	58.3	8.3	
	ケーブルトレイ	2899-099	244.6	241.0	1.1	2.4	
	その他	3411-021	1132.1	1026.8	92.2	13.1	
	小計		8286.3	7735.0	471.5	79.7	
発電所付属機器	配管・弁・サポート ²⁾	2211-012	28.2	27.2	0.6	0.4	
		2622-011	82.1	79.8	0.8	1.5	
		2622-012	91.4	91.4	0.0	0.0	
	その他	3411-021	3838.4	3481.4	312.5	44.6	
	小計(配管・弁・サポートが2211-011に対応する場合)			3866.6	3508.6	313.1	45.0
	小計(配管・弁・サポートが2622-011に対応する場合)			3920.6	3561.2	313.3	46.1
小計(配管・弁・サポートが2622-012に対応する場合)			3929.8	3572.8	312.5	44.6	
プラント合計(配管・弁・サポートが2211-011に対応する場合)			180049.3	168713.2	9313.7	2022.4	
プラント合計(配管・弁・サポートが2622-011に対応する場合)			186000.4	174524.3	9336.8	2139.3	
プラント合計(配管・弁・サポートが2622-012に対応する場合)			187023.9	175803.1	9246.4	1974.4	

付表7: 加圧水型原子力発電プラント(1150MW)の建設によるCO₂排出量
(単位: tCO₂)

項目	計	素材生産 排出量	流通過程排出量	
			卸・小売	運輸
原子炉格納容器エリア	194988.4	188880.9	3327.4	2780.2
タービン建屋エリア	178069.2	167846.4	8220.5	2002.2
屋外エリア	71851.2	68426.4	2634.0	790.8
補助建屋エリア	52155.8	49322.9	1686.3	1146.6
工学的安全施設エリア	37455.0	35458.9	1220.4	775.7
燃料建屋エリア	46274.7	44239.4	975.5	1059.8
コントロール建屋エリア	49018.9	45673.3	2523.7	821.9
サービス&管理事務建屋エリア	22805.1	21927.4	570.6	307.0
計	652618.4	621775.7	21158.5	9684.2

付表8: 加圧水型原子力発電プラント(1150MW)の建設によるCO₂排出量
(単位: tCO₂)

部門名, 符号	計	素材生産 排出量	流通過程排出量	
			卸・小売	運輸
2072-011 塗料	1161.6	1091.1	56.3	14.1
2079-099 その他の最終化学製品(除別掲)	1364.2	1364.2	0.0	0.0
2522-011 生コンクリート	145752.2	138907.6	2235.6	4609.0
2523-011 セメント製品	19541.7	18784.5	273.4	483.8
2621-016 特殊鋼熱間圧延鋼材	99951.1	98515.1	709.9	726.1
2622-011 普通鋼鋼管	20590.8	20010.7	205.6	374.5
2622-012 特殊鋼鋼管	18149.0	18149.0	0.0	0.0
2623-011 冷間仕上鋼材	18845.5	18573.8	108.3	163.3
2631-021 鋼鉄管	333.8	329.1	3.3	1.3
2811-011 建設用金属製品	12813.3	12434.2	204.6	174.5
2812-011 建築用金属製品	1139.2	1075.8	28.7	34.7
3011-021 原動機	70279.0	68964.3	859.4	455.3
3012-011 運搬機械	5237.6	4875.8	308.9	52.8
3013-011 冷凍機・温湿調整装置	23252.8	21637.4	1325.7	289.8
3019-011 ポンプおよび圧縮機	4820.5	4560.1	212.9	47.5
3022-011 化学機械	81154.3	75312.4	4668.7	1173.2
3031-099 その他の一般機械器具及び部品	3097.2	2961.7	102.0	33.5
3411-011 発電機器	49154.9	43248.6	5480.9	425.3
3411-021 開閉制御装置及び配電盤	53457.0	48484.7	4351.5	620.7
3411-099 その他の産業用重電機器	158.8	145.6	12.0	1.1
3719-011 理化学機器器具	76.3	70.5	4.2	1.5
3719-021 分析器・試験機・計量器・測定器	72.4	64.3	6.5	1.7
4022-10 SRC工場	430.7	430.7	0.0	0.0
4495-00 土地造成	21784.4	21784.4	0.0	0.0
エリア合計	652618.4	621775.7	21158.5	9684.2

第6章

鉄くず・高炉スラグ・フライアッシュのリサイクル

1 はじめに

我々の環境分析用産業連関表の結果に基づけば、CO₂固定発生源の3大部門、鉄鋼、セメント、電力のCO₂排出ウェイトは、我々の詳細な表では45%を保っており、依然として大きいことには変りない。また我が国は将来、情報化社会に移行するといわれているが、そのためのインフラを建設するためにも、これら3つの産業は基礎設備産業として依然として重要であることには変りない。したがって、これら3大固定発生源産業のCO₂排出を削減することは、我が国のCO₂排出安定化に重要であることも変りないわけである。ただ、これらの産業は第1次石油危機以降、個別に省エネルギーを徹底してきた産業でもある。副産物の廃ガス、余剰蒸気の利用は各産業で徹底して利用されてきており、諸外国と比較すると、もはや改善の余地が無いほど省エネルギーが進行してきている。そこで我々は個別産業ではなく複数の産業のシステムとして、どれだけの省エネルギーが可能であるかということに関心を持った。また、高度経済成長期に蓄積された設備は更新期を迎えつつあり、鉄くずが大量に発生することが予想される。本稿の目的は鉄くず、高炉スラグ、フライアッシュの利用をミックスして、どれだけの省エネルギー・環境負荷削減効果があるのかということシミュレーションすることである。3大固定発生源の副産物やくずを有効利用することによって、いったいCO₂をどれだけ削減することが出来るのであろうかに答えてみたい。

このような分析を行うためには経済分析者だけでなく、技術に通暁した研究者との共同研究が必要になる。我々は1990年環境分析用産業連関表を作成すると同時に、文教大学藤井美文教授、東京水産大学石川雅紀助教授と共同研究を行った。本稿の結果はその共同研究グループの成果でもある。つづく第2節では我々が当面関心を持つ、鉄鋼、セメント、鉄鋼産業のプロダクト・マテリアル・フローを紹介する。それらを引き継いで産業連関分析に組み込むには副産物を陽表的にとらえること、エネルギーの代替が分析可能なようにすることが必要である。第3節では当面関心となる部門に関してそれらを含めた分析方法を紹介する。第4節ではそのシミュレーション結果を紹介する。

2 鉄鋼，セメント，電力産業のプロダクト・マテリアル・フロー

まず、我々のシミュレーションとの関連で鉄鋼，セメント，電力産業のプロダクト・マテリアル・フローを解説しよう。図1は1990年の状況を示している。図中の[A]のあたりをみていただきたい。鉄鉄部門では鉄鋼石とコークスなどが投入されることによって、主産物である鉄鉄が8000万t生産される。同時に発生する副産物は高炉ガスは1200億 m^3 、高炉スラグは2600万t発生していると推定される。これらの副産物がシミュレーションに関連する。高炉ガスは有効利用されており、電力部門では600億 m^3 燃やされている([B])。高炉ガスは有効利用されているので、化石燃料の節約になっている([C])。高炉スラグはセメント原料として利用することができる([D])。高炉スラグを利用すると焼成工程を経ないでセメントが生産できるので、これがエネルギー節約の重要な要因になる。しかし、発生量の59%しか利用されていない¹。原子力発電から水力発電まで色々なアクティビティから電力が生産されるが、そのなかの石炭火力発電ではフライアッシュが同時に発生する([E])。フライアッシュは高炉スラグと同様にセメント原料として利用することができ、焼成工程を経ないでセメントが生産できるので、これもエネルギー節約の重要な要因になる。しかし、発生量の6%しか利用されていない²。鉄鋼製品は主に鉄鉄→転炉→熱間圧延鋼材という一貫した工程で生産されるが、市中鉄くずを利用した電気炉でも生産される([F])。鉄くずにはインプラント鉄くずと市中鉄くずがある。インプラント鉄くずは製鉄所内で発生する、混入物のない鉄くずである。したがって、インプラント鉄くずの利用は鉄鋼製品の質を落さない³とされる。他方、市中鉄くずは混入物があり、電気炉を用いた鉄鋼製品は用途が限られる。市中鉄くずは電気炉以外にも、転炉に25%まで³組み入れることも理論上は可能である。しかし、その製品の用途はやはり質の問題で用途が限られている。

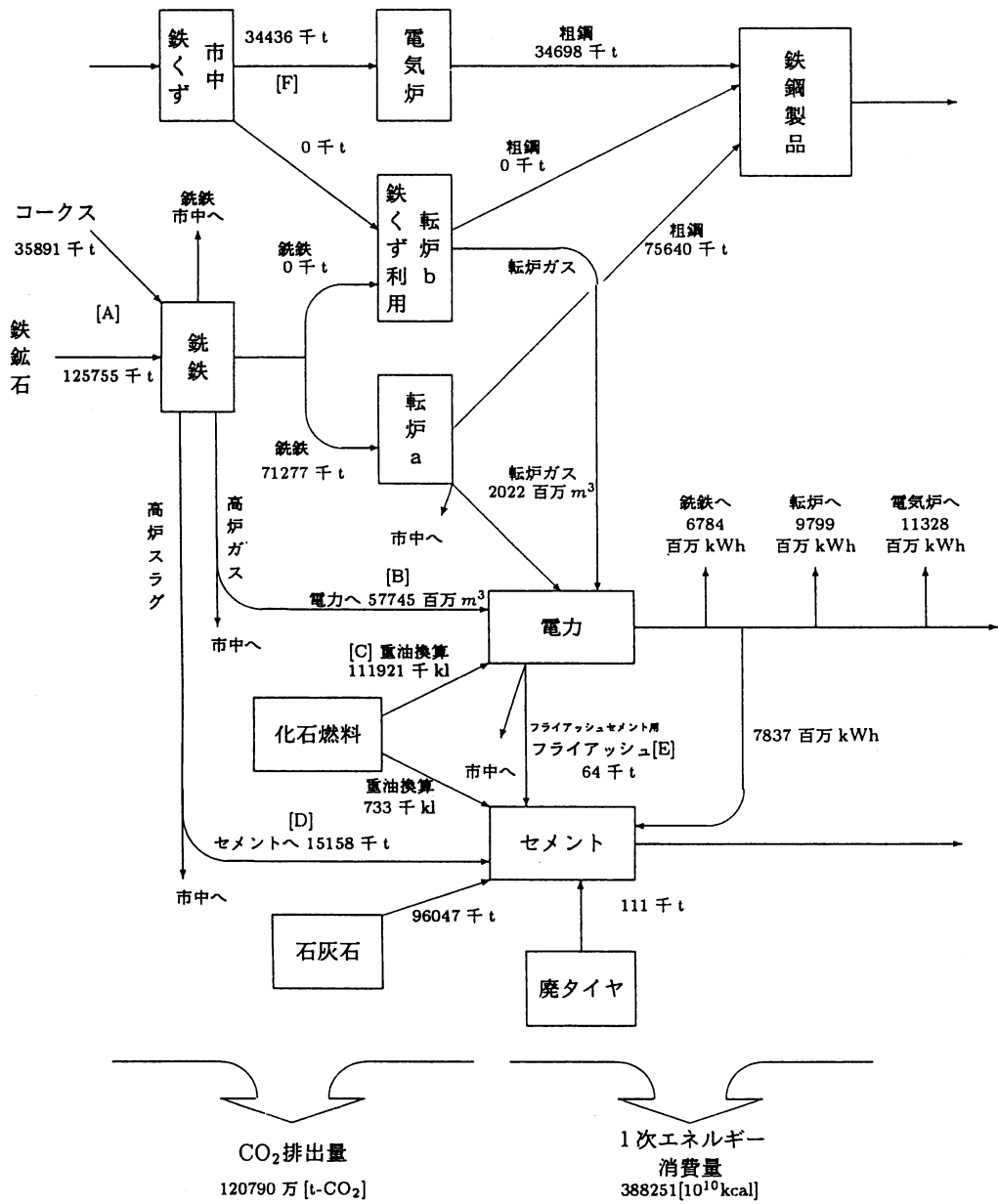
3 モデル

鉄鋼，セメント，電力産業を中心とするくず・副産物利用の分析を行うにあたって問題となることが3点ある。第1に、結合生産の問題である。生産にともなって発生した副産物を利用するという事は、一つの生産活動単位(アクティビティ)から複数の財を生産(結合生産)するという事である。第2に、代替可能性の問題である。例えば、フライアッシュと、高炉スラグを原料に生産された高炉水砕スラグと、主に石灰石を原料に生産されたクリンカーはセメントの原料として代替可能性がある。したがって、セメント部門の生産関数では、フライアッシュ・高炉水砕スラグ・クリンカーを代替的に扱うことが必要になる。第3に、複数のアクティビティから一つの財が生産されることも存在する。例えば、熱間圧延鋼材は(1)鉄鉄→粗鋼(転炉a)→熱間圧延鋼材(転炉a)、(2)市中鉄くず→粗鋼(電気炉)→熱間圧延鋼材(電気炉)、(3)鉄鉄、市中鉄くず→粗鋼(転炉b)→熱間圧延鋼材(転炉b)と

¹残りは道路の路盤材等に利用されている。

²1990年時点でセメント産業が利用したフライアッシュは32万tである。そのうち26万tがクリンカー生産に利用され、6万tがフライアッシュセメント生産に利用された。クリンカー生産に利用された分については、利用率から除いて計算している。

³1990年時点で転炉に投入された鉄くずは7%である。



※数字は投入量を表す。

図 1: 鉄鋼, セメント, 電力産業のプロダクト・マテリアル・フロー

いった3つの異なる生産工程から作られる。電力も火力、水力、原子力発電等の様々な異なるアクティビティから生産される。以上の問題のため、1アクティビティ・1財のモデルではこの分析を扱えない。

そこで我々は環境分析用産業連関表をさらに拡張し、図2のような構成を持つシミュレーション用産業連関表を作成した。シミュレーション用産業連関表の特徴としてまず第1に挙げられるのは、メイン部門とサブ部門に分かれていることである。鉄鋼、セメント、電力など、シミュレーションの主役となる部門を集めたのがサブ部門である。ここでは部門分類をより細分化することによって、代替的なマテリアルやエネルギーの投入を記述するのである。サブ部門の名称一覧は表1, 2, 3に示す。高炉ガスなど市場で取引されていない財については物量単位で表示している。他方のメイン部門は、農林水産業からサービスに至る、このシミュレーションでは脇役となる部門を集めている。ここはもとの産業連関表がそのまま組み込まれている。第2の特徴として挙げられるのは、財のサブ部門（副産物）の投入と発生を分けて記述したことである。第3の特徴として挙げられるのは、追加的ストック増という部門を新しくつくったことである。シミュレーションにおいて、くず・副産物に余剰が発生した場合、追加的ストック増は正の値になる。例えば、高炉スラグ、フライアッシュはこのケースが起こりうる。過去に蓄積されたストックを取り崩す場合は負の値になる。例えば、鉄くずはこのケースが起こりうる。くず・副産物が有効利用されている場合は0の値になる。例えば、高炉ガス、コークス炉ガス、転炉ガス、電気炉ガス、パルプ黒液、廃熱発電がこのケースにあたる。第4の特徴として挙げられることは、アクティビティのサブ部門の数（19個）と財のサブ部門（主産物）の数（17個）が一致していないことである。そのためシミュレーションにあたっては、通常のレオンティエフ逆行列は使えない。

次に、鉄くず・高炉スラグ・フライアッシュ利用のシミュレーション・モデルについて説明しよう。以下の説明の変数は図2に対応している。上付き添え字はメイン、サブ部門の区別を表しており、下付き添え字はメイン、サブ部門の中での部門番号を表している。まず、シミュレーション・モデルの生産関数について説明する。シミュレーション・モデルの生産部門は全部で410部門ある。そのうちメイン部門の391部門は完全補完の生産関数で記述される。メイン部門第*n*部門の生産関数を表したのが次式である。ただし左辺は産出を表し、右辺は投入を表す。

$$x_n^1 = \min \left[\underbrace{\frac{1}{a_{i,n}^{11}} X_{i,n}^{11}}_{\text{メイン}}, \underbrace{\frac{1}{a_{l,n}^{21}} X_{l,n}^{21}}_{\text{サブ(主)}}, \underbrace{\frac{1}{a_{m,n}^{31}} X_{m,n}^{31}}_{\text{サブ(副)}} \right] \quad (i = 1 \dots 391, l = 1 \dots 19, m = 1 \dots 11) \quad (1)$$

この式で $a_{i,n}^{11}$, $a_{l,n}^{21}$, $a_{m,n}^{31}$ は中間投入係数であり、固定投入係数扱いをしている。さらに副産物の発生が次式のように表される。ただし、左辺は副産物の発生、右辺は主産物の産出を表す。

$$\underbrace{X_{m,n}^{41}}_{\text{サブ(副)}} = a_{m,n}^{41} x_n^1 \quad (m = 1 \dots 11) \quad (2)$$

この式で $a_{m,n}^{41}$ は副産物発生係数であり、固定発生係数扱いをしている。

財部門		アクティビティ部門		最終需要	スト 追加的 増	輸出	輸入	国内生産	
		メイン部門	サブ部門						
		1.....391	1.....19						
メイン部門	1 ⋮ 391	X^{11}	X^{12}	f^1	0	exp^1	imp^1	x^1	
	サブ部門 (主産物)	1 ⋮ 17	X^{21}	X^{22}	f^2	0	exp^2	imp^2	x^2
	サブ部門 (副産物の投入)	1 ⋮ 11	X^{31}	X^{32}	f^3	s	exp^3	imp^3	x^3
	サブ部門 (副産物の発生)	1 ⋮ 11	$-X^{41}$	$-X^{42}$	$-f^4$	0	0	0	$-x^3$
粗付加価値		v^1	v^2						
国内生産		x^1	z						
エネルギー種別 エネルギー消費量		1 ⋮ 48	E^1	E^2	E^f				
エネルギー種別 CO ₂ 排出量		1 ⋮ 48	C^1	C^2	C^f				

図 1: シミュレーション用産業連関表

表 1 : アクティビティのサブ部門の名称一覧

1	鉄鉄	
2	粗鋼 (転炉 a)	従来の転炉.
3	粗鋼 (電気炉)	
4	粗鋼 (転炉 b)	現在まだ存在していない新しいアクティビティであり、従来の転炉とは異なって、市中鉄くずを 25% 投入して粗鋼を生産.
5	熱間圧延鋼材 (転炉 a)	粗鋼 (転炉 a) を原料にして熱間圧延鋼材を生産.
6	熱間圧延鋼材 (電気炉)	粗鋼 (電気炉) を原料にして熱間圧延鋼材を生産.
7	熱間圧延鋼材 (転炉 b)	粗鋼 (転炉 b) を原料にして熱間圧延鋼材を生産.
8	クリンカー	主として石灰石を原料にしてセメントの原料を生産.
9	高炉水砕スラグ	主として高炉スラグを原料にしてセメントの原料を生産.
10	セメント	
11	自家発電	
12	事業用発電	
13	原油	
14	天然ガス	
15	石炭	
16	石油製品	
17	石炭製品	
18	都市ガス	
19	石灰石	

表 2 : 財のサブ部門 (主産物) の名称一覧

1	鉄鉄	
2	粗鋼 (転炉 a)	
3	粗鋼 (電気炉)	
4	粗鋼 (転炉 b)	
5	熱間圧延鋼材	
6	クリンカー	セメントの原料. 主として石灰石よりつくられる.
7	高炉水砕スラグ	セメントの原料. 主として高炉スラグよりつくられる.
8	セメント	
9	自家発電	
10	事業用発電	
11	原油	
12	天然ガス	
13	石炭	
14	石油製品	
15	石炭製品	
16	都市ガス	
17	石灰石	

表 3 : 財のサブ部門 (副産物) の名称一覧

1	高炉スラグ	鉄鉄生産の副産物. セメントの原料等に利用される.
2	高炉ガス	鉄鉄生産の副産物. 燃料として利用される.
3	コークス炉ガス	コークス生産の副産物. 燃料として利用される.
4	転炉ガス	粗鋼生産の副産物. 燃料として利用される.
5	電気炉ガス	粗鋼生産の副産物. 燃料として利用される.
6	インプラント鉄くず	製鉄所内で発生する鉄くず.
7	市中鉄くず	鉄くず回収業者を通じて収集される鉄くず.
8	廃熱発電	クリンカー生産の廃熱を利用して発電される電力のことであり、クリンカー部門の副産物.
9	フライアッシュ	石炭を燃焼したときに発生する石灰灰. 電力生産の副産物. セメントの原料等に利用される.
10	廃タイヤ	燃料として利用される.
11	パルプ黒液	パルプ生産の副産物.

サブ部門 19 部門のうち 15 部門は完全補完の生産関数で記述される。サブ部門第 n 部門の生産関数を表したのが次式である。

$$z_n = \min \left[\underbrace{\frac{1}{a_{i,n}^{12}} X_{i,n}^{12}}_{\text{メイン}}, \underbrace{\frac{1}{a_{l,n}^{22}} X_{l,n}^{22}}_{\text{サブ(主)}}, \underbrace{\frac{1}{a_{m,n}^{32}} X_{m,n}^{32}}_{\text{サブ(副)}} \right] \quad (i = 1 \dots 391, l = 1 \dots 19, m = 1 \dots 11) \quad (3)$$

この式で $a_{i,n}^{12}$, $a_{l,n}^{22}$, $a_{m,n}^{32}$ は中間投入係数であり、固定投入係数扱いをしている。副産物の発生は次式のように表される。

$$\underbrace{X_{m,n}^{42}}_{\text{サブ(副)}} = a_{m,n}^{42} z_n \quad (m = 1 \dots 11) \quad (4)$$

この式で $a_{m,n}^{42}$ は副産物発生係数であり、固定発生係数扱いをしている。

しかし、サブ部門 19 部門のうち 4 部門はこれとは異なっている。例えば、事業用電力部門の生産関数では、石油製品、高炉ガス、コークス炉ガス、転炉ガスといった 4 つの中間投入物が完全代替で記述されている。その他の中間投入物については完全補完で記述されている。これを式で表すと次式になる。

$$\underbrace{z_{12}}_{\text{事業用発電}} = \min \left[\underbrace{\frac{1}{a_{i,12}^{12}} X_{i,12}^{12}}_{\text{メイン}}, \underbrace{\frac{1}{a_{l,12}^{22}} X_{l,12}^{22}}_{\text{サブ(主)}}, \underbrace{\frac{1}{a_{m,12}^{32}} X_{m,12}^{32}}_{\text{サブ(副)}}, \right. \\ \left. \underbrace{\lambda_{14,12}^{22} X_{14,12}^{22}}_{\text{石油製品}} + \underbrace{\lambda_{2,12}^{32} X_{2,12}^{32}}_{\text{高炉ガス}} + \underbrace{\lambda_{3,12}^{32} X_{3,12}^{32}}_{\text{コークス炉ガス}} + \underbrace{\lambda_{4,12}^{32} X_{4,12}^{32}}_{\text{転炉ガス}} \right] \quad (i = 1 \dots 391, l = 1 \dots 13, 15 \dots 19, m = 1, 5 \dots 11) \quad (5)$$

この式で $\lambda_{14,12}^{22}$, $\lambda_{2,12}^{32}$, $\lambda_{3,12}^{32}$, $\lambda_{4,12}^{32}$ はエネルギー換算の係数であり、完全代替を表現している。副産物の発生は次式のように表される。

$$\underbrace{X_{m,12}^{42}}_{\text{サブ(副)}} = a_{m,12}^{42} z_{12} \quad (m = 1 \dots 11) \quad (6)$$

同様に、自家発電部門の生産関数では、石油製品、高炉ガス、コークス炉ガス、転炉ガス、電気炉ガス、パルプ黒液といった 6 つの中間投入物が完全代替で記述されている。その他の中間投入物については完全補完で記述されている。これを式で表すと次式になる。

$$\underbrace{z_{11}}_{\text{自家発電}} = \min \left[\underbrace{\frac{1}{a_{i,11}^{12}} X_{i,11}^{12}}_{\text{メイン}}, \underbrace{\frac{1}{a_{l,11}^{22}} X_{l,11}^{22}}_{\text{サブ(主)}}, \underbrace{\frac{1}{a_{m,11}^{32}} X_{m,11}^{32}}_{\text{サブ(副)}}, \right. \\ \left. \underbrace{\lambda_{14,11}^{22} X_{14,11}^{22}}_{\text{石油製品}} + \underbrace{\lambda_{2,11}^{32} X_{2,11}^{32}}_{\text{高炉ガス}} + \underbrace{\lambda_{3,11}^{32} X_{3,11}^{32}}_{\text{コークス炉ガス}} + \underbrace{\lambda_{4,11}^{32} X_{4,11}^{32}}_{\text{転炉ガス}} + \underbrace{\lambda_{5,11}^{32} X_{5,11}^{32}}_{\text{電気炉ガス}} + \underbrace{\lambda_{11,11}^{32} X_{11,11}^{32}}_{\text{パルプ黒液}} \right] \quad (i = 1 \dots 391, l = 1 \dots 13, 15 \dots 19, m = 1, 6 \dots 10) \quad (7)$$

この式で $\lambda_{14,11}^{22}, \lambda_{2,11}^{32}, \lambda_{3,11}^{32}, \lambda_{4,11}^{32}, \lambda_{5,11}^{32}, \lambda_{11,11}^{32}$ はエネルギー換算の係数であり、完全代替を表現している。副産物の発生は次式のように表される。

$$\underbrace{X_{m,11}^{42}}_{\text{サブ(副)}} = a_{m,11}^{42} z_{11} \quad (m = 1 \dots 11) \quad (8)$$

また、クリンカー部門の生産関数でも自家発電と廃熱発電、石油製品と廃タイヤがといった4つの中間投入物がそれぞれ完全代替で記述されている。その他の中間投入物については完全補完で記述されている。これを式で表すと次式になる。

$$\underbrace{z_8}_{\text{クリンカー}} = \min \left[\underbrace{\frac{1}{a_{i,8}^{12}} X_{i,8}^{12}}_{\text{メイン}}, \underbrace{\frac{1}{a_{l,8}^{22}} X_{l,8}^{22}}_{\text{サブ(主)}}, \underbrace{\frac{1}{a_{m,8}^{32}} X_{m,8}^{32}}_{\text{サブ(副)}}, \right. \\ \left. \underbrace{\lambda_{9,8}^{22} X_{9,8}^{22}}_{\text{自家発電}} + \underbrace{\lambda_{8,8}^{32} X_{8,8}^{32}}_{\text{廃熱発電}} + \underbrace{\lambda_{14,8}^{22} X_{14,8}^{22}}_{\text{石油製品}} + \underbrace{\lambda_{10,8}^{32} X_{10,8}^{32}}_{\text{廃タイヤ}} \right] \\ (i = 1 \dots 391, l = 1 \dots 8, 10 \dots 13, 15 \dots 19, m = 1 \dots 7, 9, 11) \quad (9)$$

この式で $\lambda_{9,8}^{22}, \lambda_{8,8}^{32}$ は kWh 換算の係数、 $\lambda_{14,8}^{22}, \lambda_{10,8}^{32}$ はエネルギー換算の係数であり、完全代替を表現している。副産物の発生は次式のように表される。

$$\underbrace{X_{m,8}^{42}}_{\text{サブ(副)}} = a_{m,8}^{42} z_8 \quad (m = 1 \dots 11) \quad (10)$$

さらに、セメント部門の生産関数ではクリンカー、高炉水砕スラグ、フライアッシュといった3つの中間投入物が完全代替で記述されている。その他の中間投入物については完全補完で記述されている。これを式で表すと次式になる。

$$\underbrace{z_{10}}_{\text{セメント}} = \min \left[\underbrace{\frac{1}{a_{i,10}^{12}} X_{i,10}^{12}}_{\text{メイン}}, \underbrace{\frac{1}{a_{l,10}^{22}} X_{l,10}^{22}}_{\text{サブ(主)}}, \underbrace{\frac{1}{a_{m,10}^{32}} X_{m,10}^{32}}_{\text{サブ(副)}}, \right. \\ \left. \underbrace{\lambda_{6,10}^{22} X_{6,10}^{22}}_{\text{クリンカー}} + \underbrace{\lambda_{7,10}^{22} X_{7,10}^{22}}_{\text{高炉水砕スラグ}} + \underbrace{\lambda_{9,10}^{32} X_{9,10}^{32}}_{\text{フライアッシュ}} \right] \\ (i = 1 \dots 391, l = 1 \dots 5, 8 \dots 19, m = 1 \dots 8, 10, 11) \quad (11)$$

この式で $\lambda_{6,10}^{22}, \lambda_{7,10}^{22}, \lambda_{9,10}^{32}$ は重量換算の係数であり、完全代替を表現している。副産物の発生は次式のように表される。

$$\underbrace{X_{m,10}^{42}}_{\text{サブ(副)}} = a_{m,10}^{42} z_{10} \quad (m = 1 \dots 11) \quad (12)$$

次に販路構成の方程式について説明しよう。メイン部門の販路構成は次のように表される。

$$\mathbf{A}^{11} \mathbf{x}^1 + \mathbf{A}^{12} \mathbf{z} + \mathbf{f}^1 + \mathbf{exp}^1 - \mathbf{imp}^1 = \mathbf{x}^1 \quad (13)$$

A^{11} , A^{12} は中間投入係数行列である。サブ部門（主産物）の販路構成は次のように表される。

$$A^{21}x^1 + A^{22}z + B^{24}y + f^2 + \text{exp}^2 - \text{imp}^2 = x^2 \quad (14)$$

A^{21} , A^{22} は中間投入係数行列である。 B^{24} は0,1を要素とする行列である。 y は、上の生産関数に含まれる代替可能な変数（すなわち $X_{14,12}^{22}$, $X_{2,12}^{32}$, $X_{3,12}^{32}$, $X_{4,12}^{32}$, $X_{14,11}^{22}$, $X_{2,11}^{32}$, $X_{3,11}^{32}$, $X_{4,11}^{32}$, $X_{5,11}^{32}$, $X_{11,11}^{32}$, $X_{9,8}^{22}$, $X_{14,8}^{22}$, $X_{8,8}^{32}$, $X_{10,8}^{32}$, $X_{6,10}^{22}$, $X_{7,10}^{22}$, $X_{9,10}^{32}$ ）およびインプラント鉄くず、市中鉄くず、高炉スラグ、フライアッシュの追加的ストック増、そして後に出てくる変数 D^1 , D^2 , D^3 といった24個の変数を要素とするベクトルである。サブ部門（副産物）の販路構成は次のように表される。

$$A^{31}x^1 + A^{32}z + B^{34}y + f^3 + \text{exp}^3 - \text{imp}^3 = x^3 \quad (15)$$

A^{31} , A^{32} は中間投入係数行列である。 B^{34} は0,1を要素とする行列である。サブ部門（副産物）の発生構成は次のように表される。

$$A^{41}x^1 + A^{42}z + f^4 = x^3 \quad (16)$$

A^{41} , A^{42} は副産物発生係数行列である。

z と y の関係については、上の生産関数から、以下の5本の方程式が与えられる。

$$\underbrace{z_{12}}_{\text{事業用発電}} = \underbrace{\lambda_{14,12}^{22} X_{14,12}^{22}}_{\text{石油製品}} + \underbrace{\lambda_{2,12}^{32} X_{2,12}^{32}}_{\text{高炉ガス}} + \underbrace{\lambda_{3,12}^{32} X_{3,12}^{32}}_{\text{コークス炉ガス}} + \underbrace{\lambda_{4,12}^{32} X_{4,12}^{32}}_{\text{転炉ガス}} \quad (17)$$

$$\underbrace{z_{11}}_{\text{自家発電}} = \underbrace{\lambda_{14,11}^{22} X_{14,11}^{22}}_{\text{石油製品}} + \underbrace{\lambda_{2,11}^{32} X_{2,11}^{32}}_{\text{高炉ガス}} + \underbrace{\lambda_{3,11}^{32} X_{3,11}^{32}}_{\text{コークス炉ガス}} + \underbrace{\lambda_{4,11}^{32} X_{4,11}^{32}}_{\text{転炉ガス}} + \underbrace{\lambda_{5,11}^{32} X_{5,11}^{32}}_{\text{電気炉ガス}} + \underbrace{\lambda_{11,11}^{32} X_{11,11}^{32}}_{\text{パルプ黒液}} \quad (18)$$

$$\underbrace{z_8}_{\text{クリンカー}} = \underbrace{\lambda_{9,8}^{22} X_{9,8}^{22}}_{\text{自家発電}} + \underbrace{\lambda_{8,8}^{32} X_{8,8}^{32}}_{\text{鹿熱発電}} \quad (19)$$

$$\underbrace{z_8}_{\text{クリンカー}} = \underbrace{\lambda_{14,8}^{22} X_{14,8}^{22}}_{\text{石油製品}} + \underbrace{\lambda_{10,8}^{32} X_{10,8}^{32}}_{\text{鹿タイヤ}} \quad (20)$$

$$\underbrace{z_{10}}_{\text{セメント}} = \underbrace{\lambda_{6,10}^{22} X_{6,10}^{22}}_{\text{クリンカー}} + \underbrace{\lambda_{7,10}^{22} X_{7,10}^{22}}_{\text{高炉水砕スラグ}} + \underbrace{\lambda_{9,10}^{32} X_{9,10}^{32}}_{\text{フライアッシュ}} \quad (21)$$

我々はさらにシナリオを想定した。我々が想定したシナリオは以下のとおりである。電力部門に投入される高炉ガスの事業用電力部門と自家発電部門への配分比率は固定する。コークス炉ガス、転炉ガスについても同様に想定する。これを以下の式のように表す。

$$\underbrace{D^1}_{\text{高炉ガス}} = \underbrace{X_{2,11}^{32}}_{\text{自家発電へ}} + \underbrace{X_{2,12}^{32}}_{\text{事業用発電へ}} \quad (22)$$

$$\underbrace{X_{2,12}^{32}}_{\text{事業用発電へ}} = \beta_1 \underbrace{D^1}_{\text{高炉ガス}} \quad (0 < \beta_1 < 1) \quad (23)$$

$$\underbrace{D^2}_{\text{コークス炉ガス}} = \underbrace{X_{3,11}^{32}}_{\text{自家発電へ}} + \underbrace{X_{3,12}^{32}}_{\text{事業用発電へ}} \quad (24)$$

$$\underbrace{X_{3,12}^{32}}_{\text{事業用発電へ}} = \beta_2 \underbrace{D^2}_{\text{コークス炉ガス}} \quad (0 < \beta_2 < 1) \quad (25)$$

$$\underbrace{D^3}_{\text{転炉ガス}} = \underbrace{X_{4,11}^{32}}_{\text{自家発電へ}} + \underbrace{X_{4,12}^{32}}_{\text{事業用発電へ}} \quad (26)$$

$$\underbrace{X_{4,12}^{32}}_{\text{事業用発電へ}} = \beta_3 \underbrace{D^3}_{\text{転炉ガス}} \quad (0 < \beta_3 < 1) \quad (27)$$

セメントへ投入される高炉水砕スラグ、フライアッシュの構成比を次式のように与える。

$$\lambda_{7,10}^{22} \underbrace{X_{7,10}^{22}}_{\text{乾燥スラグ}} = \gamma_1 \underbrace{z_{10}}_{\text{セメント}} \quad (0 < \gamma_1 < 1) \quad (28)$$

$$\lambda_{9,10}^{32} \underbrace{X_{9,10}^{32}}_{\text{フライアッシュ}} = \gamma_2 \underbrace{z_{10}}_{\text{セメント}} \quad (0 < \gamma_2 < 1) \quad (29)$$

これらのシナリオによって8本の方程式が追加される。以上の方程式(13本)により、 z と y の関係は次式のように表される。

$$B^{52}z = B^{54}y \quad (30)$$

この式で B^{52} は $\gamma_i, 0, 1$ を要素とする行列であり、 B^{54} は $\lambda_{ij}^k, \beta_i, 0, 1, -1$ を要素とする行列である。

アクティビティのサブ部門と財のサブ部門(主産物)は、熱間圧延鋼材部門を除いて、1対1の対応をしている。アクティビティの熱間圧延鋼材部門と財の熱間圧延鋼材部門(3部門)との対応は次式のように表される。

$$\underbrace{z_6}_{\text{熱間圧延(電気炉)}} = \alpha_1 \underbrace{x_5^2}_{\text{熱間圧延}} \quad (0 < \alpha_1 < 1) \quad (31)$$

$$\underbrace{z_7}_{\text{熱間圧延(転炉b)}} = \alpha_2 \underbrace{x_5^2}_{\text{熱間圧延}} \quad (0 < \alpha_2 < 1) \quad (32)$$

そしてアクティビティのサブ部門と財のサブ部門(主産物)の国内生産額のバランスは次式のように表される。

$$Gx^2 = z \quad (33)$$

この式で G は $\alpha_i, 0, 1$ を要素とする行列である。

以上の443本⁴の方程式をまとめると次式のようになる。

$$\begin{pmatrix} \mathbf{A}^{11} & \mathbf{A}^{12}\mathbf{G} & 0 & 0 \\ \mathbf{A}^{21} & \mathbf{A}^{22}\mathbf{G} & 0 & \mathbf{B}^{24} \\ \mathbf{A}^{31} & \mathbf{A}^{32}\mathbf{G} & 0 & \mathbf{B}^{34} \\ \mathbf{A}^{41} & \mathbf{A}^{42}\mathbf{G} & -\mathbf{I} & 0 \\ 0 & -\mathbf{B}^{52}\mathbf{G} & 0 & \mathbf{B}^{54} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{\mathbf{x}^1}{\mathbf{x}^2} \\ \frac{\mathbf{x}^3}{\mathbf{y}} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{\mathbf{f}^1}{\mathbf{f}^2} \\ \frac{\mathbf{f}^3}{\mathbf{f}^4} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{\mathbf{exp}^1}{\mathbf{exp}^2} \\ \frac{\mathbf{exp}^3}{0} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \frac{\mathbf{imp}^1}{\mathbf{imp}^2} \\ \frac{\mathbf{imp}^3}{0} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\mathbf{x}^1}{\mathbf{x}^2} \\ \frac{\mathbf{x}^3}{0} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (34)$$

ここで輸入係数 m_i^1, m_i^2, m_i^3 の定義を

$$m_i^1 = \frac{\mathbf{imp}_i^1}{\sum_{j=1}^{391} X_{ij}^{11} + \sum_{j=1}^{19} X_{ij}^{12} + f_i^1} \quad (i = 1 \dots 391) \quad (35)$$

$$m_i^2 = \frac{\mathbf{imp}_i^2}{\sum_{j=1}^{391} X_{ij}^{21} + \sum_{j=1}^{19} X_{ij}^{22} + f_i^2} \quad (i = 1 \dots 17) \quad (36)$$

$$m_i^3 = \frac{\mathbf{imp}_i^3}{\sum_{j=1}^{391} X_{ij}^{31} + \sum_{j=1}^{19} X_{ij}^{32} + f_i^3} \quad (i = 1 \dots 11) \quad (37)$$

とすると、上の式は次式のように表すことができる。

$$\begin{pmatrix} (\mathbf{I} - \hat{\mathbf{m}}^1)\mathbf{A}^{11} & (\mathbf{I} - \hat{\mathbf{m}}^1)\mathbf{A}^{12}\mathbf{G} & 0 & 0 \\ (\mathbf{I} - \hat{\mathbf{m}}^2)\mathbf{A}^{21} & (\mathbf{I} - \hat{\mathbf{m}}^2)\mathbf{A}^{22}\mathbf{G} & 0 & (\mathbf{I} - \hat{\mathbf{m}}^2)\mathbf{B}^{24} \\ (\mathbf{I} - \hat{\mathbf{m}}^3)\mathbf{A}^{31} & (\mathbf{I} - \hat{\mathbf{m}}^3)\mathbf{A}^{32}\mathbf{G} & 0 & (\mathbf{I} - \hat{\mathbf{m}}^3)\mathbf{B}^{34} \\ \mathbf{A}^{41} & \mathbf{A}^{42}\mathbf{G} & -\mathbf{I} & 0 \\ 0 & -\mathbf{B}^{52}\mathbf{G} & 0 & \mathbf{B}^{54} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{\mathbf{x}^1}{\mathbf{x}^2} \\ \frac{\mathbf{x}^3}{\mathbf{y}} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{(\mathbf{I} - \hat{\mathbf{m}}^1)\mathbf{f}^1 + \mathbf{exp}^1}{(\mathbf{I} - \hat{\mathbf{m}}^2)\mathbf{f}^2 + \mathbf{exp}^2} \\ \frac{(\mathbf{I} - \hat{\mathbf{m}}^3)\mathbf{f}^3 + \mathbf{exp}^3}{\mathbf{f}^4} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\mathbf{x}^1}{\mathbf{x}^2} \\ \frac{\mathbf{x}^3}{0} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (38)$$

ただし、 $\hat{\mathbf{m}}^1, \hat{\mathbf{m}}^2, \hat{\mathbf{m}}^3$ は輸入係数を対角要素とし、非対角要素を0とする行列である。

逆行列をとることにより、モデルは次式のように解かれる。

$$\begin{pmatrix} \frac{\mathbf{x}^1}{\mathbf{x}^2} \\ \frac{\mathbf{x}^3}{\mathbf{y}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{I} - (\mathbf{I} - \hat{\mathbf{m}}^1)\mathbf{A}^{11} & -(\mathbf{I} - \hat{\mathbf{m}}^1)\mathbf{A}^{12}\mathbf{G} & 0 & 0 \\ -(\mathbf{I} - \hat{\mathbf{m}}^2)\mathbf{A}^{21} & \mathbf{I} - (\mathbf{I} - \hat{\mathbf{m}}^2)\mathbf{A}^{22}\mathbf{G} & 0 & -(\mathbf{I} - \hat{\mathbf{m}}^2)\mathbf{B}^{24} \\ -(\mathbf{I} - \hat{\mathbf{m}}^3)\mathbf{A}^{31} & -(\mathbf{I} - \hat{\mathbf{m}}^3)\mathbf{A}^{32}\mathbf{G} & \mathbf{I} & -(\mathbf{I} - \hat{\mathbf{m}}^3)\mathbf{B}^{34} \\ -\mathbf{A}^{41} & -\mathbf{A}^{42}\mathbf{G} & \mathbf{I} & 0 \\ 0 & \mathbf{B}^{52}\mathbf{G} & 0 & -\mathbf{B}^{54} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} \frac{(\mathbf{I} - \hat{\mathbf{m}}^1)\mathbf{f}^1 + \mathbf{exp}^1}{(\mathbf{I} - \hat{\mathbf{m}}^2)\mathbf{f}^2 + \mathbf{exp}^2} \\ \frac{(\mathbf{I} - \hat{\mathbf{m}}^3)\mathbf{f}^3 + \mathbf{exp}^3}{\mathbf{f}^4} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (39)$$

⁴ メイン部門の販路構成 391 本、サブ部門（主産物）の販路構成 17 本、サブ部門（副産物）の販路構成 11 本、サブ部門（副産物）の発生構成 11 本、完全代替の生産関数 5 本、シナリオ 8 本の合計。

4 シミュレーション

4.1 高炉スラグ利用率の変更によるCO₂排出量、エネルギー消費量減少効果

第2節で示したように、高炉で鉄鉄を生産すると、同時に副産物の高炉スラグが発生する。この高炉スラグはセメント生産のCO₂負荷、エネルギー負荷を減らす貴重な原材料となる。1990年時点に高炉スラグ発生量の59%はセメント生産に利用された。所与の最終需要のもとで、その利用率を上昇させることによってCO₂排出量、1次エネルギー消費量がどれだけ減少するかをシミュレーションしてみよう⁵。図3は関連する主だったアクティビティについて、マテリアル・エネルギー・フローがどのように動くかを示したものである。1990年時点に鉄鉄は8000万t生産された。同時に高炉スラグは2600万t発生し、そのうち59%の1500万tがセメント生産に利用された。図中の[A]と印がつけられた箇所を見ていただきたい。高炉スラグの利用率を69%に変更すると、利用量は1800万tになることが分かる([A])。その結果、焼成工程を経た中間生産物であるクリンカーの生産が減ることから、セメントの石灰石投入量が3.42%減少する([B])。また、セメントの化石燃料投入量が3.82%減少し([C])、電力投入量も1.98%減少する([D])。トータルとしてみるとCO₂排出量は0.18%減少し([E])、1次エネルギー消費量は0.05%減少する([F])。

高炉スラグ利用率をもう少し動かしてみよう。図4は高炉スラグ利用率を69%、79%、89%、100%に変更したときのCO₂排出量減少効果を示したものである。これをみると高炉スラグ利用率を10%ポイント増やすと排出量が約200万t減少する。そして、高炉スラグをフルにセメントに利用すると排出量が約900万t(0.71%)減少する。

図5は高炉スラグ利用率を同じように69%、79%、89%、100%に変更したときの1次エネルギー消費量減少効果を示したものである。これをみると高炉スラグ利用率を10%ポイント増やすと消費量が約193[10¹⁰kcal]減少する。そして高炉スラグをフルにセメントに利用すると消費量が約793[10¹⁰kcal](0.20%)減少する。

われわれは同様の計測を1985年表を用いて行っている⁶。1990年表によるシミュレーション結果と1985年表による結果および高炉スラグ利用率を用いることで、5年間で高炉スラグ利用によるCO₂削減が生じたのか、明らかにすることができる。まず、1985年表によるシミュレーション結果を概観しよう。図6は、1985年表によるセメントの原料に占める高炉スラグの比率と日本の総CO₂排出量の関係のシミュレーション結果である。横軸はセメントの原料に占める高炉スラグの比率を、縦軸はそれに対応する1985年の最終需要により誘発される日本の総排出量である。シミュレーション結果によれば1985

⁵ 石炭・原油・天然ガス・LNG・水力発電・原子力発電の消費合計を1次エネルギー消費量とする。電力をカロリー換算する際の発生熱量は水力発電が860[kcal/kWh]、原子力発電が2250[kcal/kWh]とした。電力消費量には自家消費、送配電ロス分は含まれない。「総合エネルギー統計」の1次エネルギー供給は(1)輸入された石油製品を含めている。(2)水力発電のカロリー換算の発生熱量を2250[kcal/kWh]としている。(3)電力部門の自家消費、送配電ロス分も含めているという点で概念が異なり、30%程度大きい値になる。

⁶ 吉岡完治, 早見 均, 池田明由, 藤原浩一, 菅幹雄「環境分析用産業連関表の応用(4)―高炉セメント利用のすすめ―」『イノベーション&I-Oテクニク』第4巻第3,4号, 1993年10月。

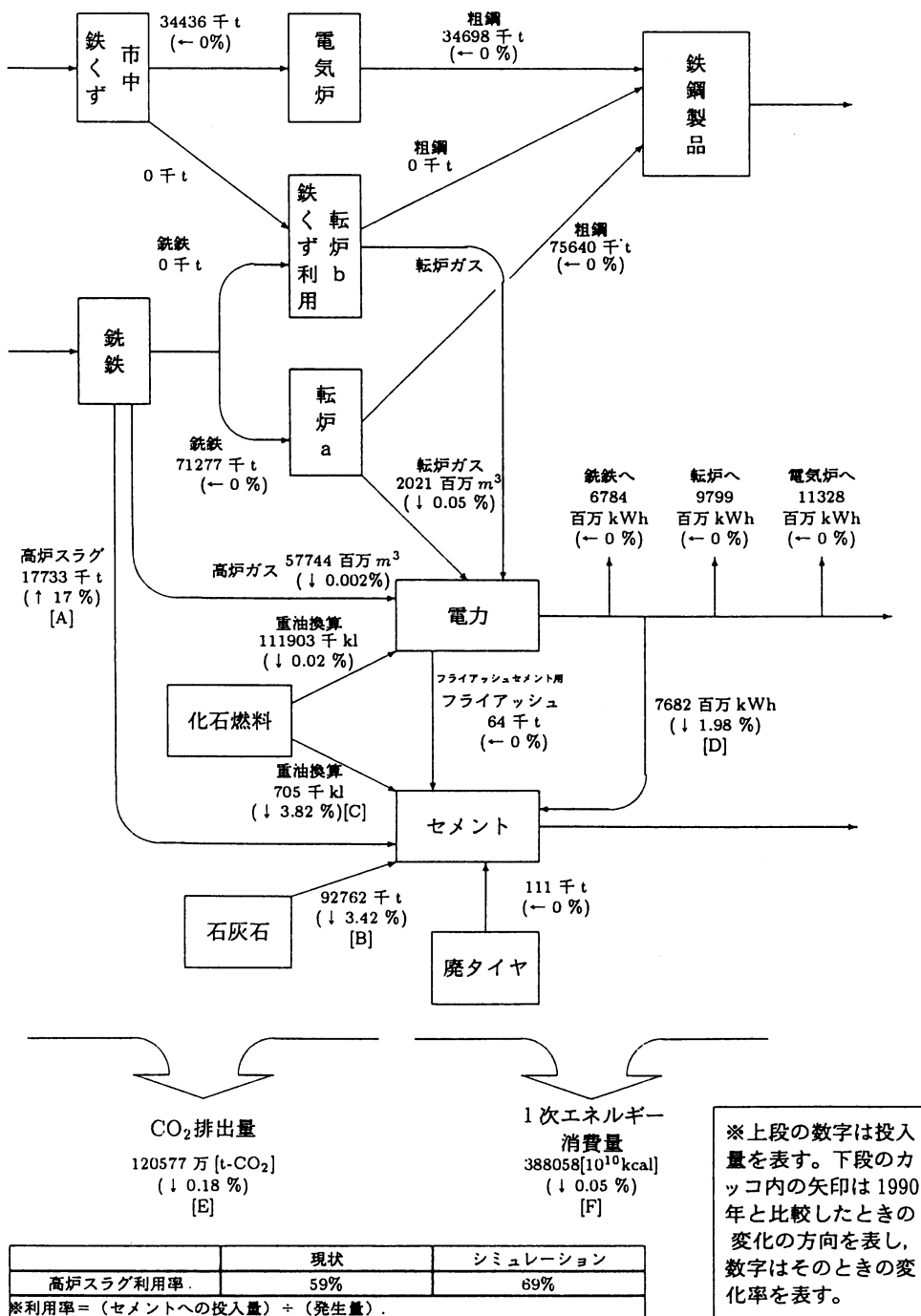


図3: 高炉スラグ利用率の変更による主要部門のマテリアル・エネルギー・フローの変化

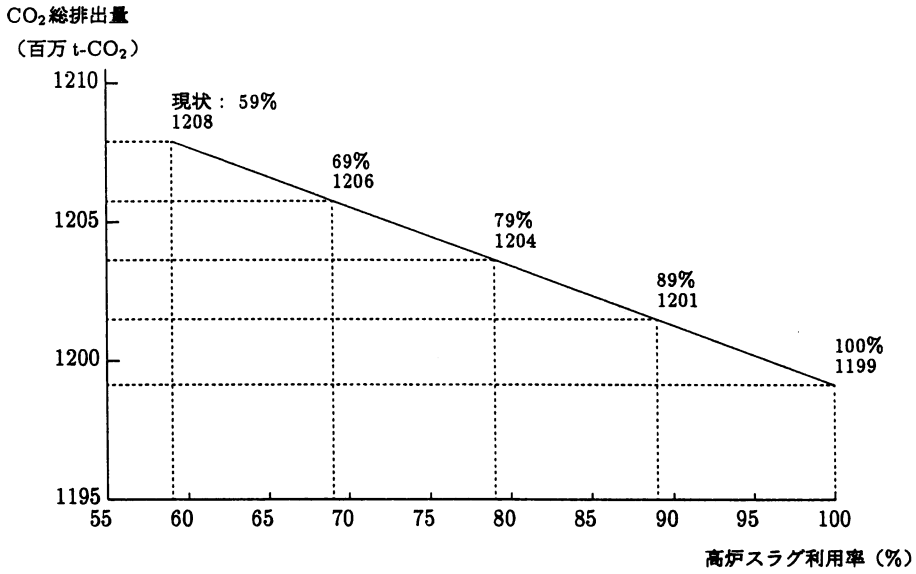


図 4: 高炉スラグ利用率の変更による CO₂排出減少効果

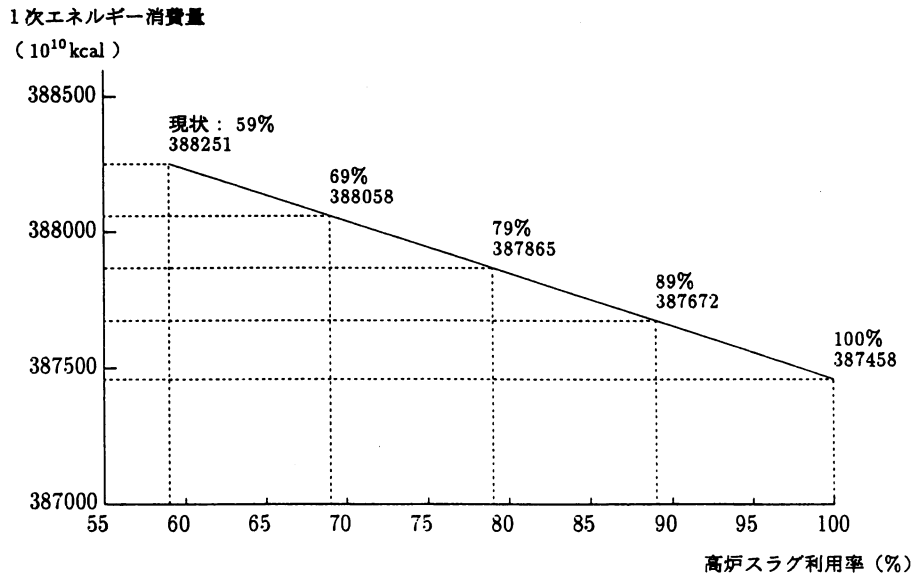


図 5: 高炉スラグ利用率の変更による 1次エネルギー消費減少効果

年の場合、高炉スラグを一切原料として用いず石灰石のみを原料とした場合のCO₂排出量は年間10億2000万tである。一方1985年はセメントの原料に占める高炉スラグの割合は約11.8%⁷であった。図6のA点は1985年時点のCO₂排出量を表し、総CO₂排出量は約10億1200万tという結果であった。これはまったく高炉スラグを使用しない場合に比較して約700万t、0.69%のCO₂削減が生じていたことになる。図6のB点は1985年に発生した高炉スラグを全て利用した場合を示しており、そのときの総CO₂排出量は約10億t弱という結果であった。1990年のセメントの原料に占める高炉スラグの比率は59%であった。1985年と比較して約48%増加し、高炉スラグ利用によるセメント生産が着実に進んだことがわかる。

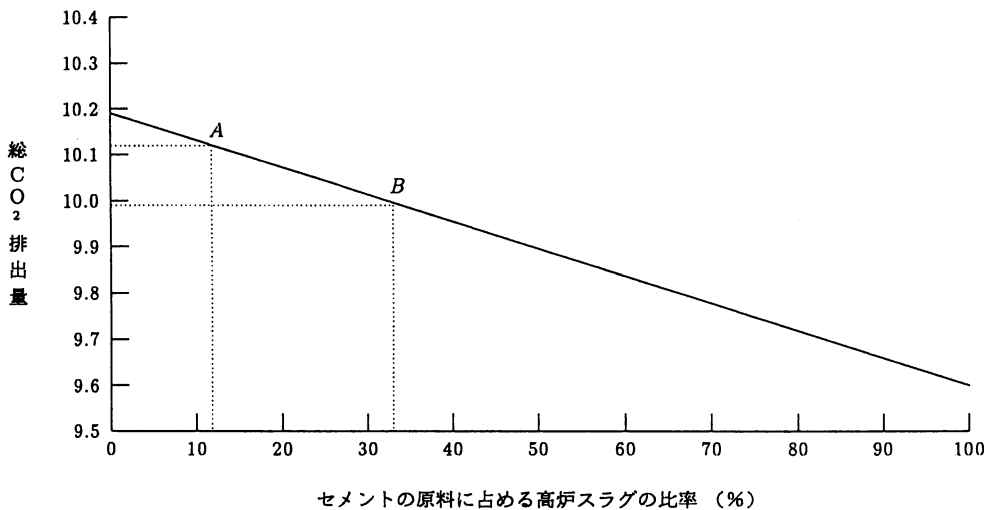


図6: 高炉スラグ利用によるCO₂削減効果 (1985年表の結果を用いたケース)

4.2 フライアッシュ利用率の変更によるCO₂排出量、エネルギー消費量減少効果

第2節で示したように、石炭火力発電所で石炭を燃焼させると、同時に副産物のフライアッシュが発生する。高炉スラグと同じようにフライアッシュはセメント生産のCO₂負荷、エネルギー負荷を減らす原材料となる。1990年時点にフライアッシュ発生量の6%がセメント生産に利用された。所与の最終需要のもとで、その利用率を上昇させることによってCO₂排出量、エネルギー消費がどれだけ減少するかをシミュレーションしてみよう。図7は関連する主だったアクティビティについて、マテリアル・エネ

⁷ 普通ポルトランドセメントの増量剤として使用された分を含む。

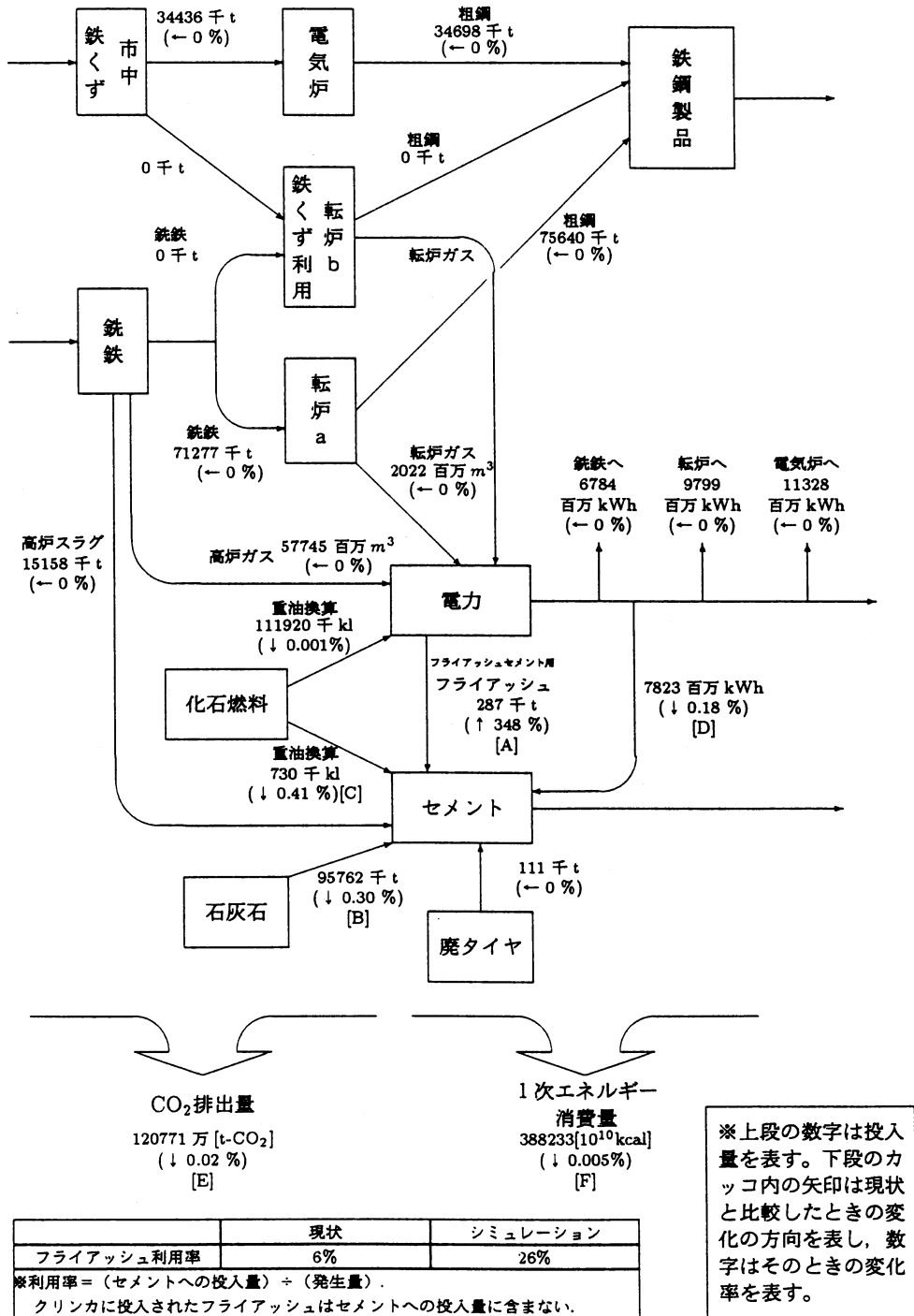


図 7: フライアッシュ利用率の変更による主要部門のマテリアル・エネルギー・フローの変化

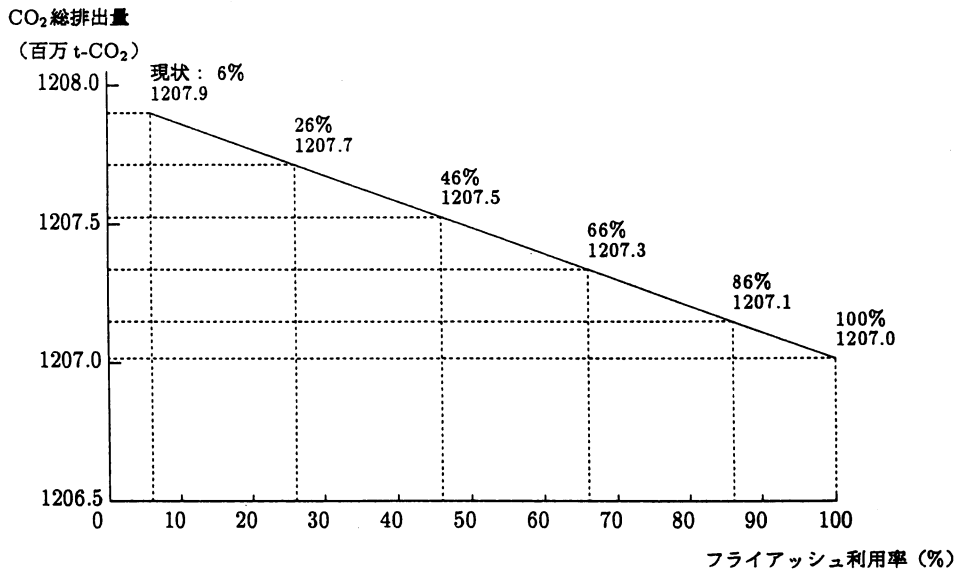


図 8: フライアッシュ利用率の変更による CO₂排出減少効果

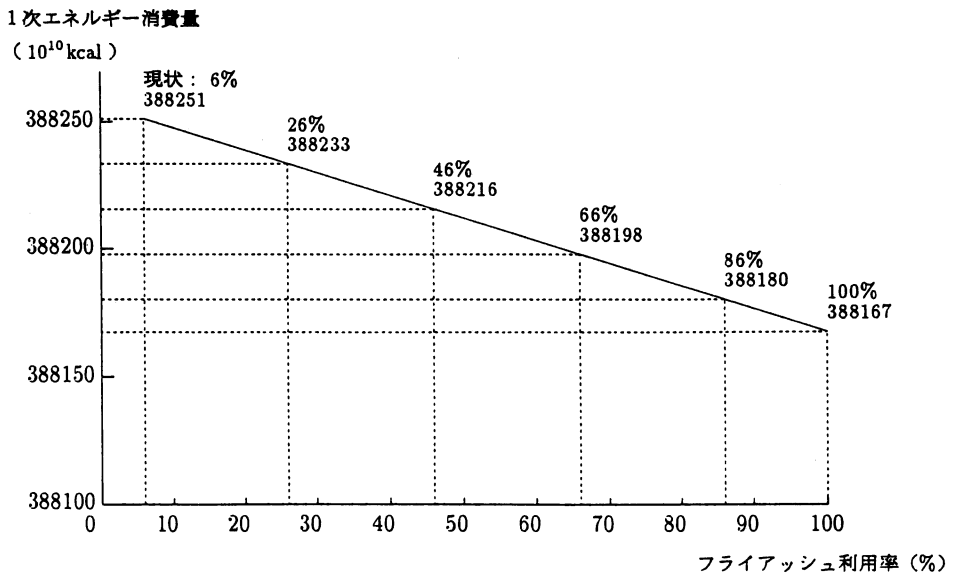


図 9: フライアッシュ利用率の変更による 1次エネルギー消費減少効果

ルギー・フローがどのように動くかを示したものである。1990年時点に電力は7500億kWh⁸生産され、フライアッシュは111万t発生した。そのうち6%にあたる6万tがセメント生産に利用された。フライアッシュの利用率を26%に変更すると、利用量は28万tになる([A])。フライアッシュとクリンカーの代替により、セメントの石灰石投入量が0.30%減少する([B])。また、セメントの化石燃料投入量が0.41%減少し([C])、電力投入量も0.18%減少する([D])。トータルとしてみると、CO₂排出量は0.02%減少し([E])、1次エネルギー消費量は0.005%減少する([F])。

フライアッシュ利用率をもう少し動かしてみよう。図8はフライアッシュ利用率を26%、46%、66%、86%、100%に変更したときのCO₂排出量減少効果を示したものである。これをみるとフライアッシュ利用率を20%ポイント増やすと排出量が約20万t減少する。そして、フライアッシュをフルにセメントに利用すると排出量が約90万t(0.07%)減少する。

図9はフライアッシュ利用率を同じように26%、46%、66%、86%、100%と動かしてみたときの1次エネルギー消費量減少効果を示したものである。これをみるとフライアッシュ利用率を20%ポイント増やすと消費量が約18[10¹⁰kcal]減少する。そして、フライアッシュをフルにセメントに利用すると消費量が約84[10¹⁰kcal](0.02%)減少する。

4.3 鉄くずの利用によるCO₂排出量、エネルギー消費量減少効果

市中鉄くずを原料として利用することによって、鉄鋼生産のCO₂負荷、エネルギー負荷が減少する効果を見てみよう。まず、所与の最終需要のもとで、主に鉄くずを原料とする電気炉のシェアを増やし、主に銑鉄を原料とする転炉a(従来の転炉)のシェアを減らすシミュレーションをしてみよう。図10は関連する主だったアクティビティについて、マテリアル・エネルギー・フローがどのように動くかを示したものである。1990年に電気炉の粗鋼生産量は3400万tであり、粗鋼生産シェアは31%であった。電気炉の粗鋼生産シェアを36%に上げると生産量が15%増加し4000万tになる([A])。市中鉄くず投入量も15%増加し4000万tになる([B])。転炉aから電気炉へ代替した結果、転炉aの生産が7.17%減少する([C])。転炉鋼の原料である銑鉄の生産量も7.17%減少する([D])。そして電力部門の高炉ガス投入量は6.12%減少し([E])、転炉ガス投入量は19%減少する([F])。他方、電力投入量についてみると、銑鉄部門は4.53%減少し([G])、転炉部門は7.16%減少し([H])、電気炉部門は15%増加する([I])。電力部門は高炉ガス・転炉ガス投入の減少を補うため、化石燃料の投入を0.60%増加させる([J])。トータルとしてみると、CO₂排出量は0.49%減少し([K])、1次エネルギー消費量は0.57%減少する([L])。

電気炉シェアをもう少し動かしてみよう。図11は電気炉シェアを36%、41%、46%、51%に変更したときのCO₂排出量減少効果を示したものである。これをみると電気炉シェアを5%ポイント増やすと排出量が約600万t減少する。そして電気炉シェアを51%に変更すると排出量が約2400万t(1.95%)減少する。

⁸産業連関表によれば事業用電力の生産量は6674億kWhであり、『電力需給の概要』によれば自家発電の生産量は856億kWhである。

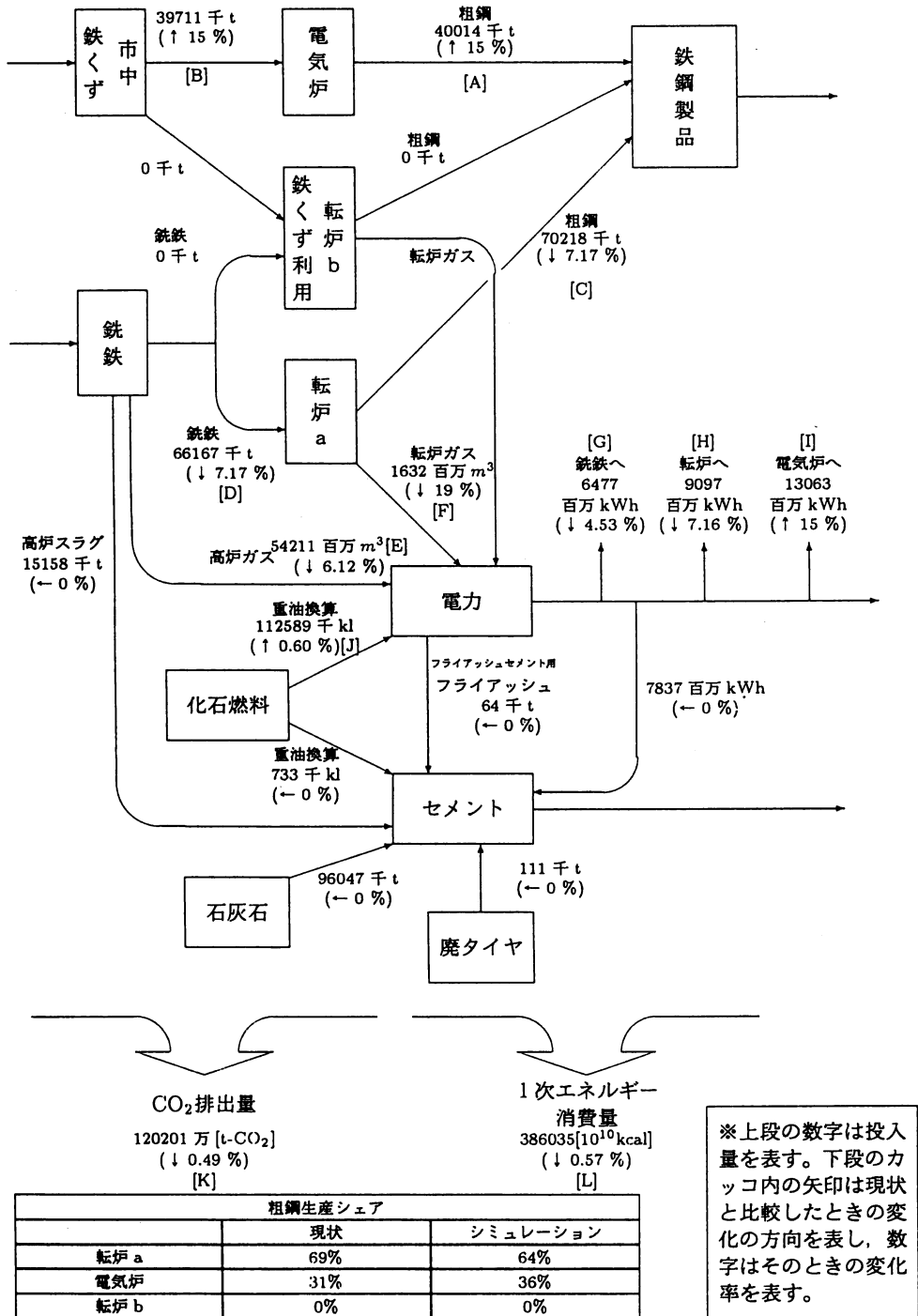
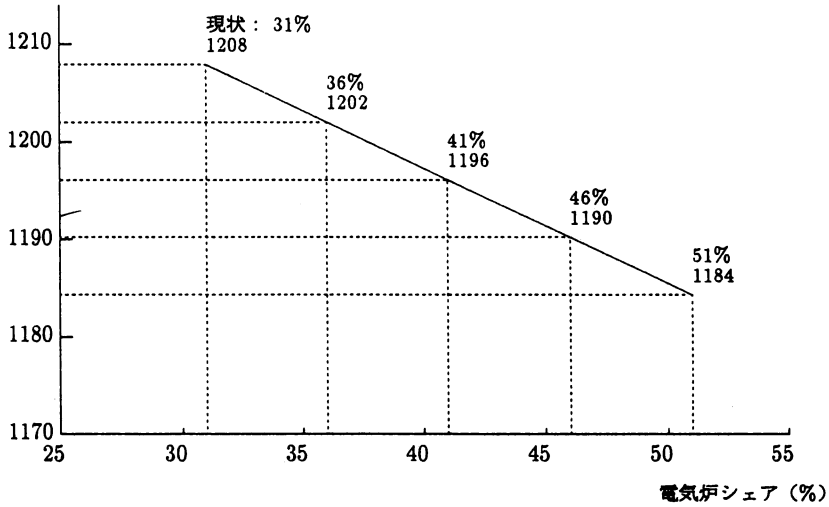


図 10: 鉄くず利用のシミュレーション (その 1): 粗鋼生産シェアの変更による主要部門のマテリアル・エネルギー・フローの変化

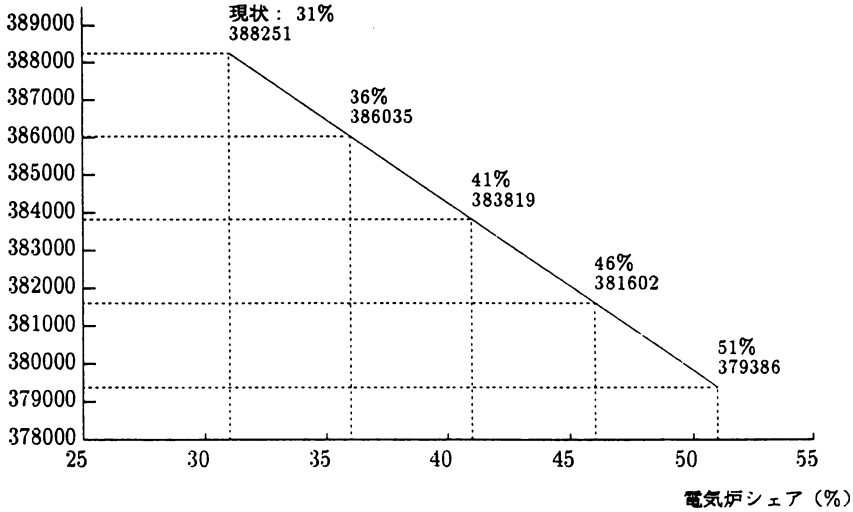
CO₂総排出量
(百万 t-CO₂)



※ 転炉 a シェア = 100% - 電気炉シェア. 転炉 b シェア = 0%.

図 11: 鉄くず利用のシミュレーション (その 1): 粗鋼シェアの変更による CO₂排出減少効果

1次エネルギー消費量
(10¹⁰ kcal)



※ 転炉 a シェア = 100% - 電気炉シェア. 転炉 b シェア = 0%.

図 12: 鉄くず利用のシミュレーション (その 1): 粗鋼シェアの変更による 1次エネルギー消費減少効果

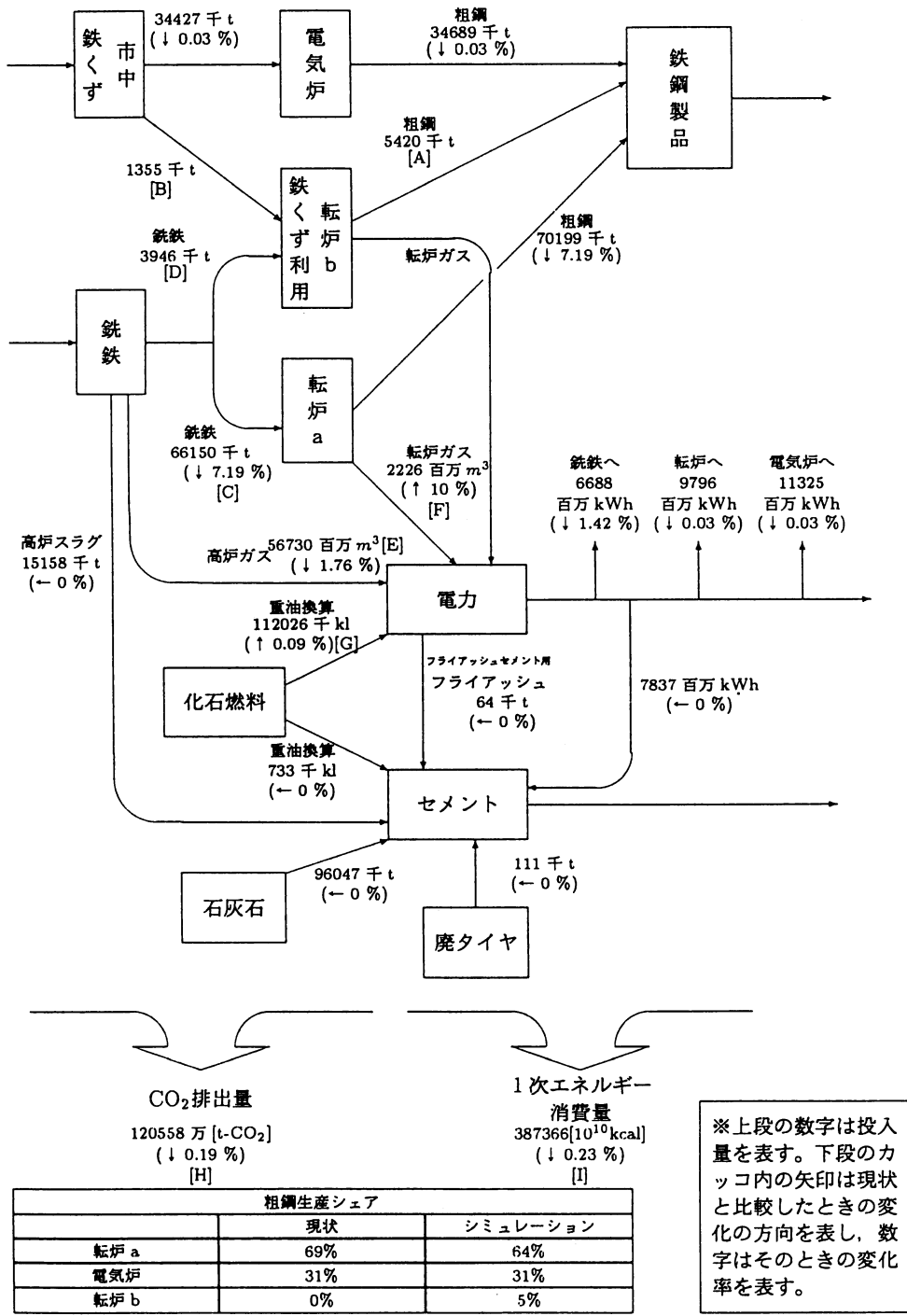


図 13: 鉄くず利用のシミュレーション (その2): 粗鋼生産シェアの変更による主要部門の材料・エネルギー・フローの変化

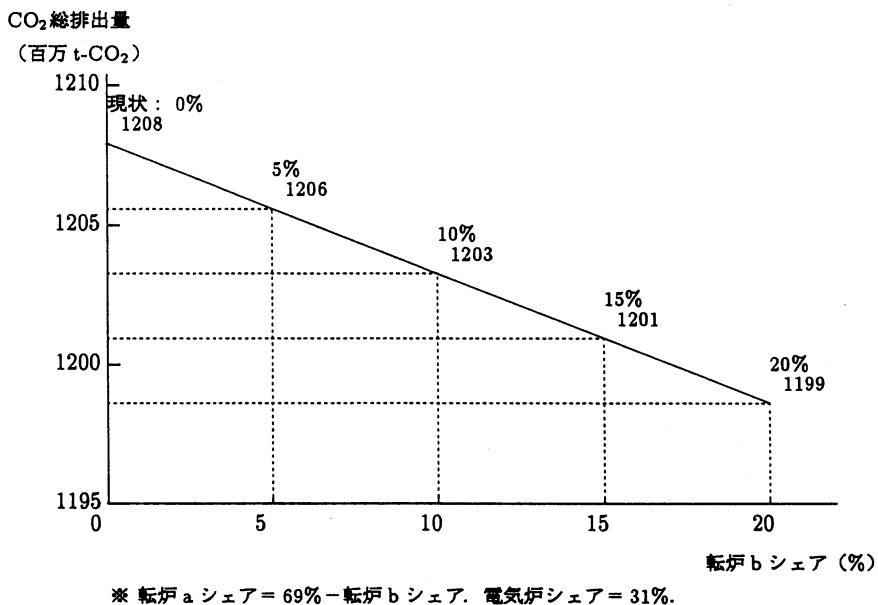


図 14: 鉄くず利用のシミュレーション (その 2): 粗鋼シェアの変更による CO₂排出減少効果

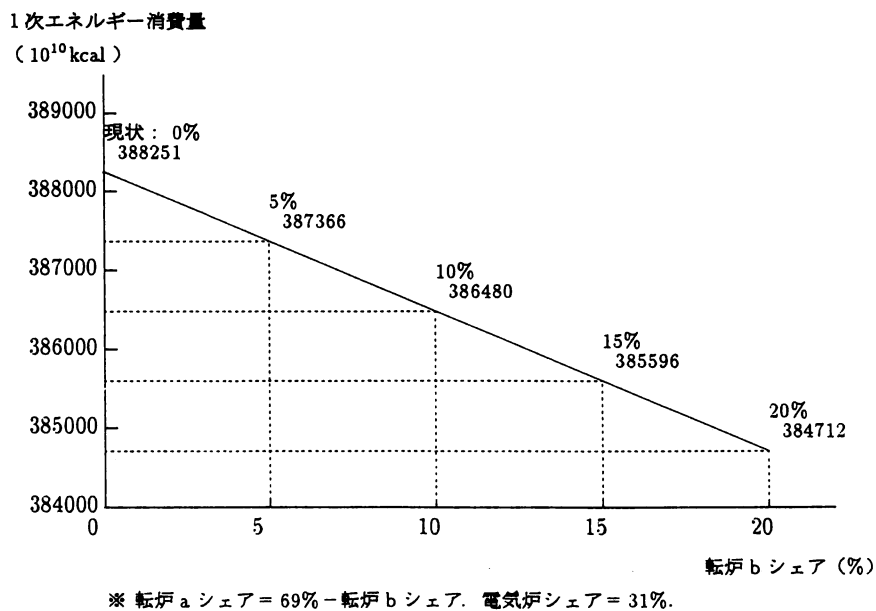


図 15: 鉄くず利用のシミュレーション (その 2): 粗鋼シェアの変更による 1次エネルギー消費減少効果

図12は同じように電気炉シェアを36%, 41%, 46%, 51%に変更したときの1次エネルギー消費量減少効果を示したものである。これをみると電気炉シェアを5%ポイント増やすと消費量が約2216[10¹⁰kcal]減少する。そして電気炉シェアを51%に変更すると消費量が約8865[10¹⁰kcal](2.28%)減少する。

次に転炉b(市中鉄くずを25%投入する転炉)のシェアを増やし、そのぶん転炉a(従来の転炉)のシェアを減らすことによってCO₂排出量, エネルギー消費がどれだけ減少するかをシミュレーションしてみよう。図13は関連する主だったアクティビティについて, マテリアル・エネルギー・フローがどのように動くかを示したものである。1990年の転炉bの粗鋼生産量はゼロである。転炉bの粗鋼生産シェアを500万tに上げると([A]), 市中鉄くず投入量は100万tになる([B])。転炉aへの銑鉄投入量が7%減少するが([C]), 他方転炉bへの銑鉄投入量が400万t増加する([D])。そして電力部門の高炉ガス投入量が1.76%減少する([E])。粗鋼を1単位生産するときに発生する転炉ガスの量は転炉b部門の方が転炉a部門よりも大きい。そのため転炉ガスの発生量が増大し, 電力部門の転炉ガス投入量は10%増加する([F])。電力部門は高炉ガス投入量の減少, 転炉ガス投入量の増加を受けて, 化石燃料投入量を0.09%増加させる([G])。トータルとしてみると, CO₂排出量は0.19%減少し([H]), 1次エネルギー消費量は0.23%減少する([I])。

転炉bシェアをもう少し動かしてみよう。図14は転炉bシェアを5%, 15%, 20%, 25%と動かしてみたときのCO₂排出量減少効果を示したものである。これをみると転炉bシェアを5%増やすと排出量が約200万t減少する。そして転炉bシェアを20%に変更すると排出量が約900万t(0.77%)減少する。

図15は同じように転炉bシェアを5%, 15%, 20%, 25%と動かしてみたときの1次エネルギー消費量減少効果を示したものである。これをみると転炉bシェアを5%増やすと消費量が約885[10¹⁰kcal]減少する。そして転炉bシェアを20%に変更すると消費量が約3539[10¹⁰kcal](0.91%)減少する。

4.4 総合効果

ここまでの各シミュレーションの結果を表4にまとめよう。

表4: 各シミュレーションのCO₂排出量, 1次エネルギー消費量減少率

	CO ₂ 排出量 減少率	1次エネルギー 消費量減少率
高炉スラグをフルに利用	0.71%	0.20%
フライアッシュをフルに利用	0.07%	0.02%
電気炉の粗鋼生産シェアを51%に変更	1.95%	2.28%
市中鉄くずを25%投入する転炉の粗鋼生産シェアを20%に変更	0.77%	0.91%

ここまでのシミュレーションでは高炉スラグ利用率, フライアッシュ利用率, 粗鋼生産シェアを同時に変更してはいない。例えば, 高炉スラグ利用率を変更するシミュレーションのときは, フライアッシュ利用率, 粗鋼生産シェアを1990年時点のまま一定とした。それでは, 高炉スラグ・フライアッシュ利用率や粗鋼生産シェアを同時に変更したら, どれくらいCO₂排出量や1次エネルギー消費量が減少する

だろうか。高炉スラグとフライアッシュをフルに利用し、同時に電気炉シェアを51%に変更した場合を考えてみよう。単独シミュレーションを単純に積み上げて計算するとCO₂排出量は、

$$0.71\% + 0.07\% + 1.95\% = 2.73\%$$

減少することになる。1次エネルギー消費量も同様に単純に積み上げて計算すると、

$$0.20\% + 0.02\% + 2.28\% = 2.50\%$$

減少することになる。しかし、電気炉のシェアを増やすと高炉スラグの発生量が減るわけであるから、同時に動かしてシミュレーションした減少率は、単独シミュレーションの単純な積み上げ計算による減少率よりも小さくなるであろう。

そこで、高炉スラグとフライアッシュをフルに利用し、同時に電気炉シェアを51%に変更する総合効果のシミュレーションを行った。図16は、関連する主だったアクティビティについて、マテリアル・エネルギー・フローがどのように動くかを示したものである。まずCO₂排出量をみると2.43%減少となっており([A])、単独シミュレーションを積み上げた減少率2.73%と比較すると小さい。同様に1次エネルギー消費量の減少率をみると2.42%となっており([B])、単独シミュレーションを積み上げた減少率2.52%と比較すると小さい。これは銑鉄需要量の30%減少([C])による高炉スラグ発生量の減少が大きく影響している。高炉スラグの発生量は1990年時点で2600万tであるが、このケースでは2100万tにまで減少している。セメントの原料に利用できる高炉スラグが約400万tも減少したためである。

次に、高炉スラグとフライアッシュの利用率を100%に変更し、同時に転炉bシェアを20%に変更する総合効果のシミュレーションを行った。図17は、関連する主だったアクティビティについて、マテリアル・エネルギー・フローがどのように動くかを示したものである。単独シミュレーションの積み上げならばCO₂排出量は、

$$0.71\% + 0.07\% + 0.77\% = 1.55\%$$

の減少になるが、総合効果のシミュレーションの結果は1.47%減少([A])になり、小さい。同様に1次エネルギー消費量についても単純に積み上げて計算すると、

$$0.20\% + 0.02\% + 0.91\% = 1.13\%$$

減少することになるが、総合効果のシミュレーションの結果は1.11%減少([B])になり、やはり小さい。このケースも銑鉄需要量の変化([C],[D])による高炉スラグ発生量の減少が大きく影響している。高炉スラグの発生量は1990年時点で2600万tであるが、このケースでは2400万tに減少している。

シミュレーション(1)の電炉51%のケースより、(2)の転炉b+電炉51%のケースの方がCO₂削減率が小さくなっているが、(1)のケースより(2)のケースの方がスクラップ投入が小さいことに注意されたい。

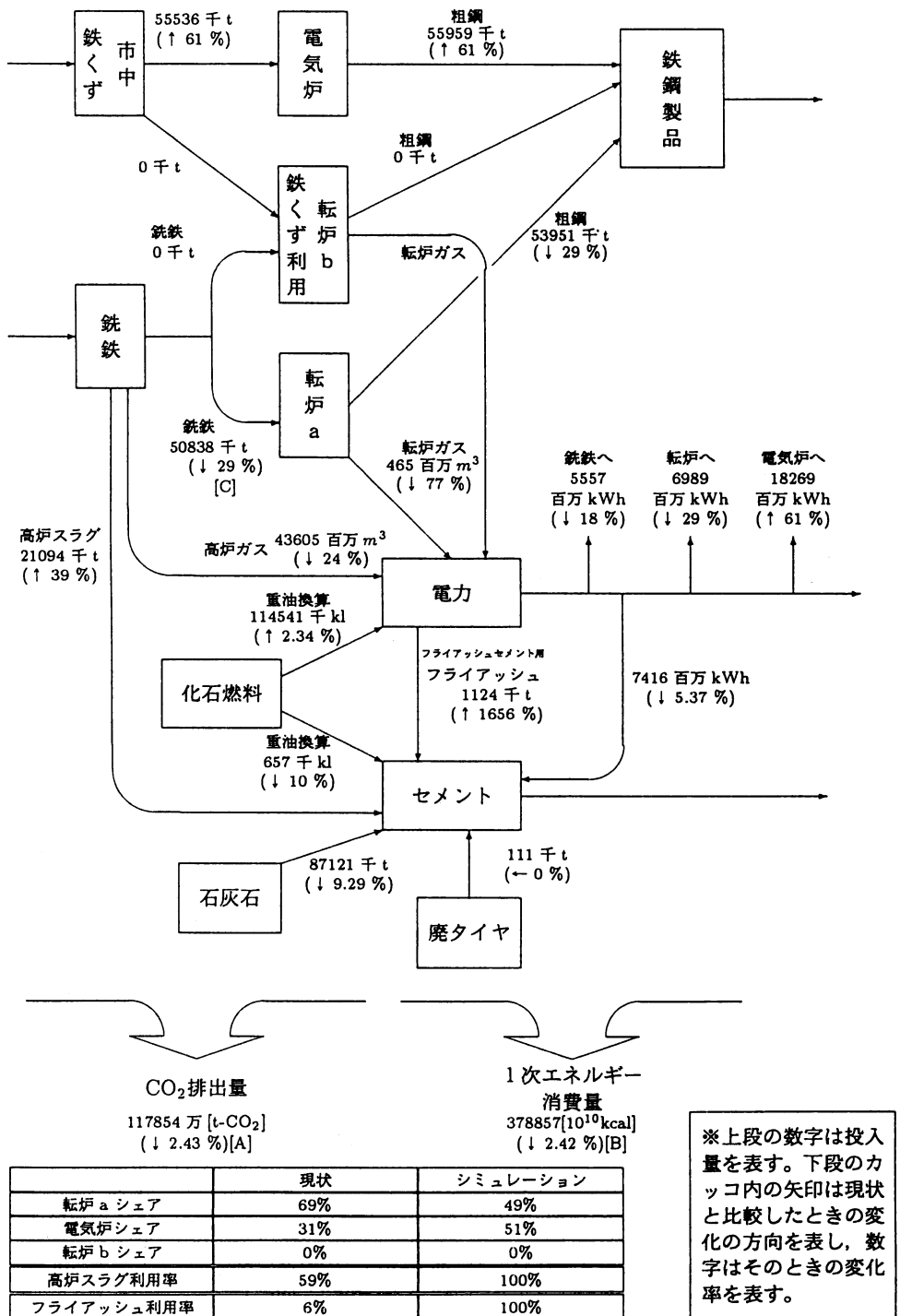


図 16: 総合効果のシミュレーション結果 (その 1): 主要部門のマテリアル・エネルギー・フローの変化

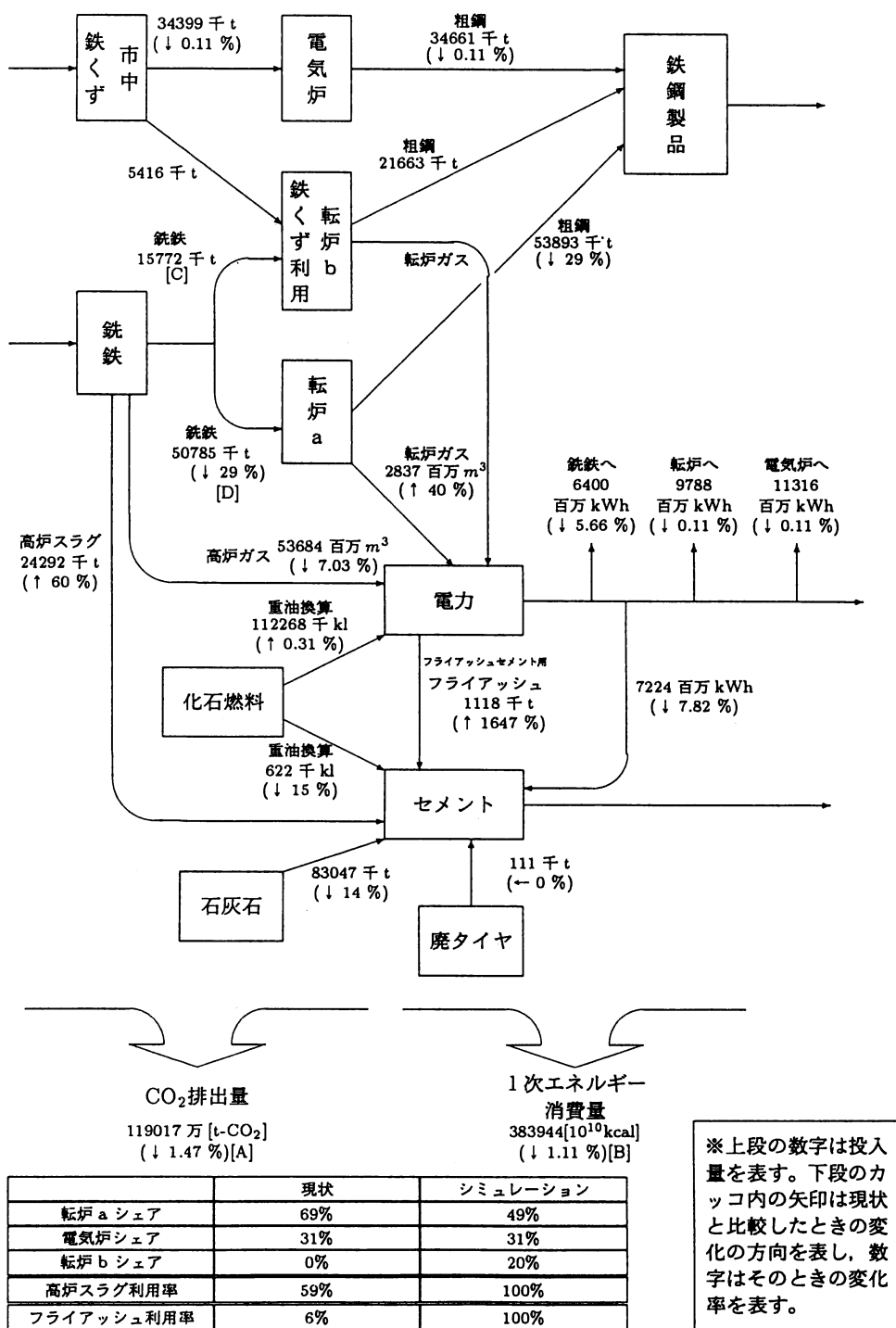


図 17: 総合効果のシミュレーション結果 (その 2): 主要部門のマテリアル・エネルギー・フローの変化

5 おわりに

以上、3大固定発生源の副産物利用がどの程度のCO₂排出減少・省エネあるのかをシミュレーションしてきた。要点を整理すると、まず単独シミュレーションについては、

1. 高炉スラグをフルに利用するとCO₂排出量が0.71%減少し、1次エネルギー消費量は0.20%減少する。
2. フライアッシュをフルに利用するとCO₂排出量が0.07%減少し、1次エネルギー消費量は0.02%減少する。
3. 電気炉の粗鋼生産シェアを1990年時点の31%から51%に変更するとCO₂排出量が1.95%減少し、1次エネルギー消費量は2.28%減少する。
4. 市中鉄くずを25%投入する転炉の粗鋼生産シェアを1990年時点の0%から20%に変更するとCO₂排出量が0.77%減少し、1次エネルギー消費量は0.91%減少する。

という結果になった。また、同時に動かしたシミュレーションについては、

1. 高炉スラグとフライアッシュをフルに利用し、電気炉の粗鋼生産シェアを1990年時点の31%から51%に変更するとCO₂排出量が2.43%減少し、1次エネルギー消費量は2.42%減少する。
2. 高炉スラグとフライアッシュをフルに利用し、市中鉄くずを25%投入する転炉の粗鋼生産シェアを1990年時点の0%から20%に変更するとCO₂排出量が1.47%減少し、1次エネルギー消費量は1.11%減少する。

という結果になった。

このように副産物の利用によるCO₂排出減少効果は、日本の総排出量約12億tの2.43%ほどであることが明らかになった。1990年レベルに総排出量を安定化するという国際的合意を守るという観点からも、また1985年から1990年にかけての5年間に我が国のCO₂排出が20%増大したことから、この2.43%という値は微々たる効果であるという主張も成り立つ。他方で日本の森林が吸収するCO₂は年間約1億t強である。したがって、副産物の利用によるCO₂排出減少効果は日本の森林を30%造るのと同じくらいの効果に等しいというふうにみれば大きい効果とも言える。したがって、この種の副産物が利用されないのはどこがボトルネックになっているのか注意深く調べてみることを示唆している結果といえよう。

第7章

故紙リサイクルの分析*

1 はじめに

この章では故紙リサイクルの分析を取り上げよう。現在、故紙リサイクルに多くの人々の関心が集まっている。その理由のひとつに、廃棄物一般の問題として、廃棄処分場の問題がある。工場地や住宅地や農地として使用することができる土地を廃棄処分場として使用することは社会的なコストが大きい。しかし、故紙リサイクルは紙ゴミを減らす効果があるかもしれないが、他の環境負荷を増大させるかもしれない。

まず第1に、故紙をリサイクルするためには、故紙を収集・運搬しなければならない。故紙を収集・運搬する過程では、貨物自動車を動かすために燃料が燃やされ、CO₂が排出されている。もし、故紙リサイクル率を上昇させたときに、故紙1単位当たりの輸送エネルギー消費量が増大するならば、CO₂排出量は増大するのではなからうか。第2に、木材からパルプを生産する際には副産物としてパルプ黒液が発生するが、故紙から紙を生産する場合にはパルプ黒液は発生しない。故紙リサイクルはパルプ黒液の発生量を減らすであろう。パルプ黒液はボイラー用燃料として投入されており、化石燃料と代替性を有する。もし、パルプ黒液の投入量の減少を補うために化石燃料の投入量が増加するならば、CO₂排出量は増大するのではなからうか。さらには、こうした副産物発生量の減少、化石燃料投入量の増大は紙のシャドウ・プライスを上昇させてしまうのではないか。

故紙リサイクルは紙ゴミという廃棄物を減らす一方で、CO₂排出量を増加させてしまうのではなからうか。また紙の単価を上昇させてしまうのではなからうか。われわれはこのような疑問を持ったので、故紙リサイクルがCO₂排出と紙のシャドウ・プライスに及ぼす効果を分析した。

故紙リサイクルに人々の関心が集まっている理由には、森林資源の枯渇性の問題もあるだろう。森林の再生力を越えて、伐採がされるならば森林はいずれ消滅してしまうのは明らかである。故紙リサイクルによって森林資源の枯渇を防ぐことを期待している人もあろう。しかし、森林資源の枯渇を防ぐことは植林を進めることによっても可能である。木はある程度まで成長するとCO₂をほとんど吸収しなくなることが知られている。したがって、ある樹齢に達したら伐採して、そのあと植林をした方がCO₂とい

*この章の内容は東京水産大学石川雅紀氏との共同研究の成果をまとめたものである。また'90年表の作成が未完成であったので、'85年表の結果を用いている。

う観点では吸収効果大きい。故紙リサイクルか植林かという問題に関しては、森林によるCO₂吸収量の推定が無視できない。現在のところ、われわれは森林によるCO₂吸収の推定（第9章参照）に取り掛かった段階であり、研究途上である。

最後に、分析に使用したデータについて説明しよう。分析の基礎となったデータは環境分析用産業連関表である。今回の分析に使用したのは、これをさらに拡張した表である。主要な拡張箇所は、9つの部門を新しく設けたことである。9つの部門とは、製紙パルプ部門、溶解パルプ部門、故紙パルプ部門、故紙回収部門、故紙自家用貨物自動車輸送部門、4つの紙・パルプ自家発電部門の9部門は、これによって、故紙リサイクルの詳細な記述が可能になった。

2 紙・パルプ部門の生産フロー

紙・パルプ部門の生産フローについて簡単に説明しよう。図1は、紙・パルプ部門の生産フローを表している。紙の原料であるパルプには、木材チップや素材（丸太）を原料に製造されるヴァージンパルプと、故紙を原料に製造される故紙パルプがある。ここでの故紙パルプとは、故紙を処理（離解、脱墨）して紙の原料として利用できるようにしたものを目指す。ヴァージン・パルプは、主として紙の原料になる製紙パルプと、主としてレーヨンの原料になる溶解パルプに分けられる。木材チップの副産物が廃材であり、パルプ黒液はヴァージンパルプの生産に伴い発生する副産物である。ただし、故紙パルプの生産工程からパルプ黒液は発生しない。製紙パルプ、故紙パルプを原料にして洋紙・和紙および板紙が生産される現状において、紙の生産に投入される製紙パルプと故紙パルプの比率はほぼ1対1である。さらに板紙は段ボールへと加工される。

図2は、紙・パルプ部門のエネルギー・フローを表している。紙・パルプ部門の生産工程に投入されるエネルギーは電力と蒸気（熱供給）である。紙・パルプ部門は自家発電と事業用電力からの購入電力で電力をまかなっている。自家発電は余った蒸気を紙・パルプの生産工程に送っているこのアクティビティを、通常の熱供給と区別するために、自家熱供給と呼ぶことにする。紙・パルプの生産工程では自家発電から送られてくる蒸気だけでなく、化石燃料を燃やして発生させた蒸気を使用している。自家発電では、廃材、パルプ黒液、そして石油製品（重油）を燃料として燃やしている。

図3は、故紙回収活動のフローを表している。故紙は家計消費支出部門などで発生し、故紙パルプ部門に投入される。故紙回収部門は商業マージン部門であり、故紙回収は故紙パルプ部門に投入される。故紙の収集・運搬をおこなう故紙自家用貨物自動車輸送は、故紙回収部門に投入される。故紙自家用貨物自動車輸送部門では軽油を燃料として投入し、貨物自動車を動かしている。

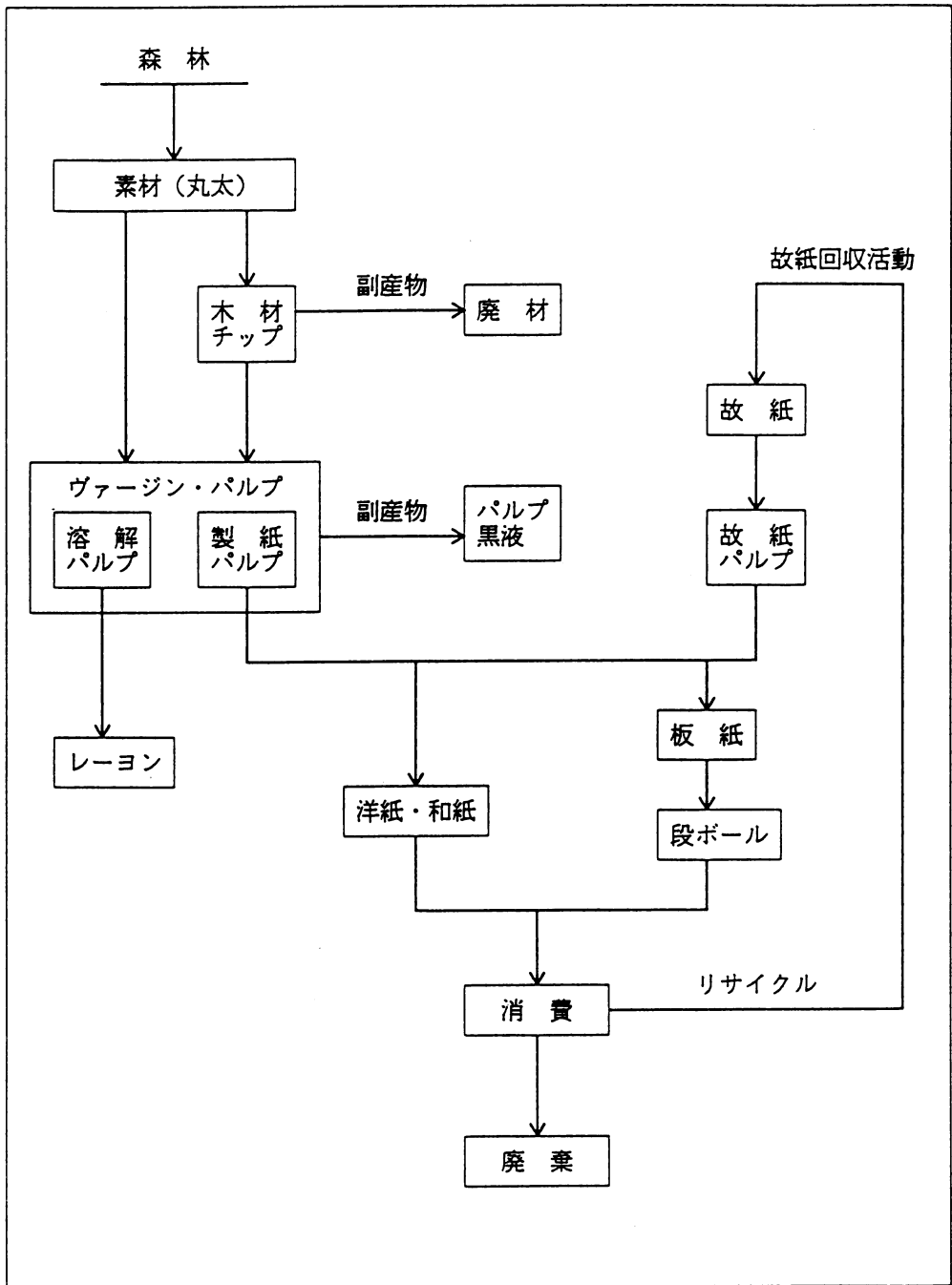


図1 紙・パルプ部門の生産フロー

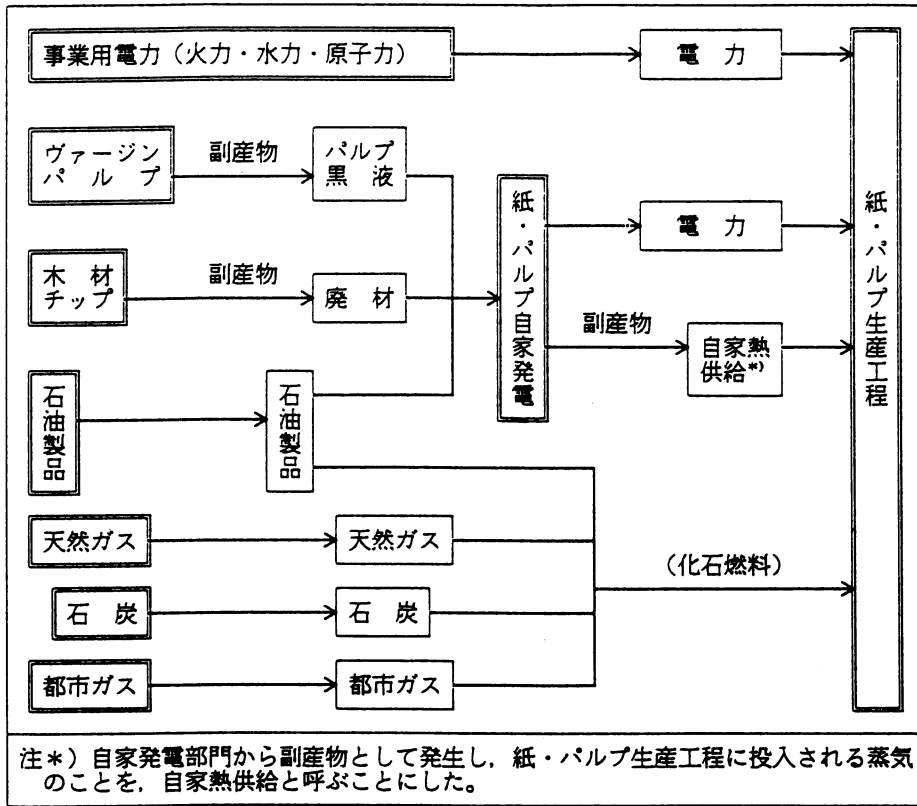


図2 紙・パルプ部門のエネルギー・フロー

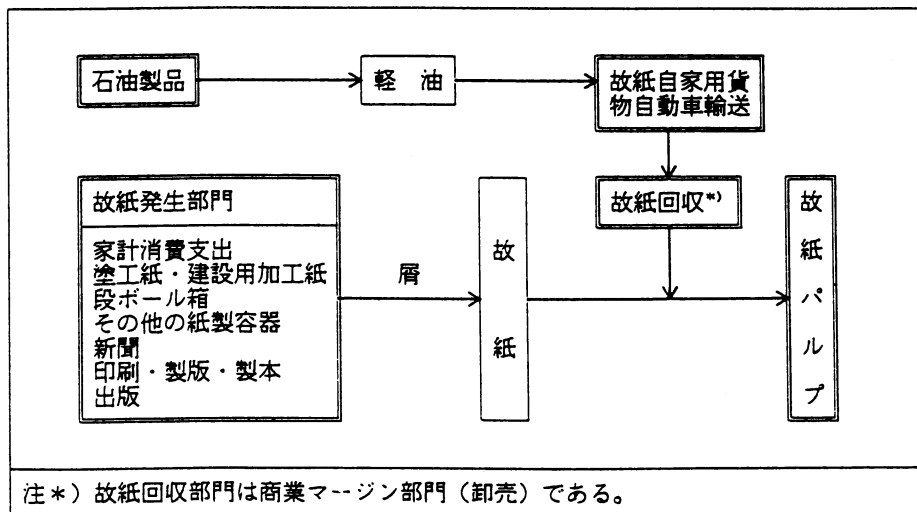


図3 故紙回収活動のフロー

3 故紙リサイクルのモデル

所与の最終需要のもとで洋紙・和紙部門の故紙パルプ比率を上げたときに、各部門のCO₂排出量がどのように変化するかを考えてみよう。

- 故紙パルプはヴァージン・パルプよりもエネルギー消費原単位が小さいので、パルプ生産のエネルギー消費量は減少する。
- 故紙の回収率を上げると、製紙パルプの生産量が減少し、廃材、パルプ黒液の発生量が減少する。自家発電部門は廃材、パルプ黒液投入量の減少を補うために化石燃料の投入量を増大させる。
- 故紙回収率を上昇させると、故紙1単位の回収に必要なエネルギー消費量が変化する。

このような複雑な生産活動を記述するためには、従来よりも細かいレベルの分類による分析が必要であろう。しかし、詳細な部門分類について相対価格の変化による資源配分を記述しようとすれば、推定するパラメーターの数が非常に多くなる。それらを回帰分析によって推定しようとすれば、データの制約から自由度が足りなくなる問題が起こる。したがって、現状の経済活動の平均と環境破壊の関係を分析するためには、形態が単純であり、経験的な統計的測定が可能であるという点で1アクティビティ・1商品、固定投入係数の生産関数が適しているといえよう。

ところが、リサイクルのシミュレーションにおいては、1アクティビティ・1商品、固定投入係数の生産関数の約束ごとが満たされない。まず第1に、リサイクルが結合生産の典型的な例である。リサイクルとは各部門の生産活動により発生した物を再利用することである。例えば、ヴァージン・パルプとパルプ黒液、木材チップと廃材、自家発電と自家熱供給が結合生産される。第2に、リサイクルされた財は、新しく生産された財と代替性を有する。例えば、故紙リサイクルでは、故紙パルプは製紙パルプと、自家発電が事業用電力と、パルプ黒液、廃材、自家熱供給（蒸気）が化石燃料と代替性を有する。このように代替技術があり、結合生産が存在する場合に、1アクティビティ・1商品、固定投入係数の生産関数で記述するのは無理がある。この章では、結合生産と代替可能性を記述できるような生産関数を扱う。

故紙リサイクルに関連するアクティビティは、次のような26本の生産関数で表される。右辺は投入を表し、左辺は生産を表している。右辺は、通常のレオンティエフ型生産関数として知られているものである。左辺は生産フロンティアを表しており、このように記述すれば、片方の財が余っていて、捨てられているケースについても表現できるという点で便利である。例えば、段ボール部門についてみよう。段ボール部門は、洋紙・和紙、板紙、事業用電力、段ボール自家発電、段ボール自家熱供給、石油製品、都市ガス、その他を投入し、段ボールと故紙を生産している。事業用電力と段ボール自家発電、段ボール自家熱供給と石油製品と都市ガスは足し算で表現されているが、これは完全代替を表している。

1. 段ボール部門

$$\max \left[\underbrace{x_1}_{\text{段ボール}}, \mu_{8,1} \underbrace{X_{8,1}}_{\text{故紙}} \right] = \min \left[\underbrace{\lambda_{3,1} X_{3,1}}_{\text{洋和紙}}, \underbrace{\lambda_{2,1} X_{2,1}}_{\text{板紙}}, \underbrace{\lambda_{19,1} X_{19,1} + \lambda_{11,1} X_{11,1}}_{\text{事業電力}}, \underbrace{\lambda_{15,1} X_{15,1} + \lambda_{24,1} X_{24,1} + \lambda_{20,1} X_{20,1}}_{\text{段ボール自家熱供給}}, \underbrace{f(X_{27,1})}_{\text{その他}} \right]$$

段ボール部門とは、主に板紙を材料にして段ボール原紙を生産する部門である。段ボール部門で生産された段ボール原紙は、段ボール箱部門へと送られる。生産過程では副産物として故紙が発生する。これは、紙の形を整えるために発生した切れ端のことである。段ボール部門では、段ボール自家発電からの電力と熱（蒸気）を投入している。

2. 板紙部門

$$\underbrace{x_2}_{\text{板紙}} = \min \left[\underbrace{\lambda_{3,2} X_{3,2}}_{\text{洋和紙}}, \underbrace{\lambda_{4,2} X_{4,2} + \lambda_{6,2} X_{6,2}}_{\text{製紙パルプ}}, \underbrace{\lambda_{5,2} X_{5,2}}_{\text{故紙パルプ}}, \underbrace{\lambda_{19,2} X_{19,2} + \lambda_{12,2} X_{12,2}}_{\text{溶解パルプ}}, \underbrace{\lambda_{16,2} X_{16,2} + \lambda_{21,2} X_{21,2} + \lambda_{22,2} X_{22,2} + \lambda_{24,2} X_{24,2} + \lambda_{20,2} X_{20,2}}_{\text{事業電力}}, \underbrace{f(X_{27,2})}_{\text{板紙自家発電}}, \underbrace{\lambda_{17,2} X_{17,2} + \lambda_{21,2} X_{21,2} + \lambda_{22,2} X_{22,2} + \lambda_{24,2} X_{24,2} + \lambda_{20,2} X_{20,2}}_{\text{板紙自家熱供給}}, \underbrace{\lambda_{18,2} X_{18,2} + \lambda_{21,2} X_{21,2} + \lambda_{22,2} X_{22,2} + \lambda_{24,2} X_{24,2} + \lambda_{20,2} X_{20,2}}_{\text{石炭}}, \underbrace{\lambda_{22,2} X_{22,2} + \lambda_{24,2} X_{24,2} + \lambda_{20,2} X_{20,2}}_{\text{天然ガス}}, \underbrace{\lambda_{24,2} X_{24,2} + \lambda_{20,2} X_{20,2}}_{\text{石油製品}}, \underbrace{\lambda_{20,2} X_{20,2}}_{\text{都市ガス}}, \underbrace{f(X_{27,2})}_{\text{その他}} \right]$$

板紙部門は、主に故紙パルプを原料に板紙を生産する部門である。板紙部門においては、製紙パルプと故紙パルプの比率が2:7であり、これ以上故紙パルプの比率を上げることは難しいといわれている。板紙部門では、板紙自家発電からの電力と熱（蒸気）を投入している。

3. 洋紙・和紙部門

$$\underbrace{x_3}_{\text{洋和紙}} = \min \left[\underbrace{\lambda_{4,3} X_{4,3} + \lambda_{6,3} X_{6,3}}_{\text{製紙パルプ}}, \underbrace{\lambda_{5,3} X_{5,3}}_{\text{故紙パルプ}}, \underbrace{\lambda_{19,3} X_{19,3} + \lambda_{13,3} X_{13,3}}_{\text{溶解パルプ}}, \underbrace{\lambda_{17,3} X_{17,3} + \lambda_{21,3} X_{21,3} + \lambda_{22,3} X_{22,3} + \lambda_{24,3} X_{24,3} + \lambda_{20,3} X_{20,3}}_{\text{事業電力}}, \underbrace{f(X_{27,3})}_{\text{洋紙自家発電}}, \underbrace{\lambda_{17,3} X_{17,3} + \lambda_{21,3} X_{21,3} + \lambda_{22,3} X_{22,3} + \lambda_{24,3} X_{24,3} + \lambda_{20,3} X_{20,3}}_{\text{洋紙自家熱供給}}, \underbrace{\lambda_{21,3} X_{21,3} + \lambda_{22,3} X_{22,3} + \lambda_{24,3} X_{24,3} + \lambda_{20,3} X_{20,3}}_{\text{石炭}}, \underbrace{\lambda_{22,3} X_{22,3} + \lambda_{24,3} X_{24,3} + \lambda_{20,3} X_{20,3}}_{\text{天然ガス}}, \underbrace{\lambda_{24,3} X_{24,3} + \lambda_{20,3} X_{20,3}}_{\text{石油製品}}, \underbrace{\lambda_{20,3} X_{20,3}}_{\text{都市ガス}}, \underbrace{f(X_{27,3})}_{\text{その他}} \right]$$

洋紙・和紙部門は主に製紙パルプを原料に洋紙・和紙を生産する部門である。洋紙・和紙部門においては、製紙パルプと故紙パルプの比率が7:2であり、故紙パルプの比率を上げる余地はある。洋紙・和紙部門では、洋紙・和紙自家発電からの電力と熱（蒸気）を投入している。

4. 製紙パルプ部門

$$\max \left[\underbrace{x_4}_{\text{製紙パルプ}}, \mu_{25,4} \underbrace{X_{25,4}}_{\text{黒液}} \right] = \min \left[\underbrace{\lambda_{23,4} X_{23,4}}_{\text{素材}}, \underbrace{\lambda_{7,4} X_{7,4}}_{\text{木材チップ}}, \underbrace{\lambda_{19,4} X_{19,4} + \lambda_{14,4} X_{14,4}}_{\text{事業電力}}, \underbrace{\lambda_{18,4} X_{18,4} + \lambda_{21,4} X_{21,4} + \lambda_{22,4} X_{22,4} + \lambda_{24,4} X_{24,4} + \lambda_{20,4} X_{20,4}}_{\text{パルプ自家熱供給}}, \underbrace{\lambda_{21,4} X_{21,4} + \lambda_{22,4} X_{22,4} + \lambda_{24,4} X_{24,4} + \lambda_{20,4} X_{20,4}}_{\text{石炭}}, \underbrace{\lambda_{22,4} X_{22,4} + \lambda_{24,4} X_{24,4} + \lambda_{20,4} X_{20,4}}_{\text{天然ガス}}, \underbrace{\lambda_{24,4} X_{24,4} + \lambda_{20,4} X_{20,4}}_{\text{石油製品}}, \underbrace{\lambda_{20,4} X_{20,4}}_{\text{都市ガス}}, \underbrace{f(X_{27,4})}_{\text{その他}} \right]$$

シミュレーションでは、製紙パルプに占める機械パルプと化学パルプの構成が変化しないと想定しているので、製紙パルプ部門は、素材（丸太）と木材チップを原料に製紙パルプを生産する部門である。製紙パルプは大きく分けて、機械パルプと化学パルプがある。機械パルプは素材（丸太）を砥石で削るようして生産される。化学パルプは主に木材チップを原料にして、化学的な処理をして生産される。よって、素材と木材チップは代替関係にはない。製紙パルプ部門の生産工程では、副産物としてパルプ黒液が発生する。製紙パルプ部門では、パルプ自家発電からの電力と熱（蒸気）を投入している。

5. 溶解パルプ部門

$$\max \left[\underbrace{x_5}_{\text{溶解パルプ}}, \underbrace{\mu_{25,5} X_{25,5}}_{\text{黒液}} \right] = \min \left[\underbrace{\lambda_{23,5} X_{23,5}}_{\text{素材}}, \underbrace{\lambda_{7,5} X_{7,5}}_{\text{木材チップ}}, \underbrace{\lambda_{19,5} X_{19,5} + \lambda_{14,5} X_{14,5}}_{\text{事業電力}}, \underbrace{X_{14,5}}_{\text{パルプ自家発電}}, \right. \\ \left. \underbrace{\lambda_{18,5} X_{18,5}}_{\text{パルプ自家熱供給}} + \underbrace{\lambda_{21,5} X_{21,5}}_{\text{石炭}} + \underbrace{\lambda_{22,5} X_{22,5}}_{\text{天然ガス}} + \underbrace{\lambda_{24,5} X_{24,5}}_{\text{石油製品}} + \underbrace{\lambda_{20,5} X_{20,5}}_{\text{都市ガス}} ; f(X_{27,5}) \right]$$

溶解パルプ部門は、素材（丸太）と木材チップを原料にレーヨン原料となる溶解パルプを生産する部門である。生産工程では、副産物としてパルプ黒液が発生する。製紙パルプ部門では、パルプ自家発電からの電力と熱（蒸気）を投入している。

6. 故紙パルプ部門

$$\underbrace{x_6}_{\text{故紙パルプ}} = \min \left[\underbrace{\lambda_{8,6} X_{8,6}}_{\text{故紙}}, \underbrace{\lambda_{9,6} X_{9,6}}_{\text{故紙回収}}, \underbrace{\lambda_{19,6} X_{19,6} + \lambda_{13,6} X_{13,6}}_{\text{事業電力}}, \underbrace{X_{13,6}}_{\text{洋和紙自家発電}}, \underbrace{\lambda_{12,6} X_{12,6}}_{\text{板紙自家発電}}, \right. \\ \left. \underbrace{\lambda_{17,6} X_{17,6}}_{\text{洋和紙自家熱供給}} + \underbrace{\lambda_{16,6} X_{16,6}}_{\text{板紙自家熱供給}} + \underbrace{\lambda_{21,6} X_{21,6}}_{\text{石炭}} + \underbrace{\lambda_{22,6} X_{22,6}}_{\text{天然ガス}} + \underbrace{\lambda_{24,6} X_{24,6}}_{\text{石油製品}} + \underbrace{\lambda_{20,6} X_{20,6}}_{\text{都市ガス}} ; f(X_{27,6}) \right]$$

故紙パルプ部門は、故紙を処理する部門である。具体的な処理は、不要物の取り除き・脱墨・漂白である。脱墨工程で電力をかなり投入するが、熱（蒸気）はあまり必要としない。故紙パルプ部門は、洋紙・和紙自家発電と板紙自家発電の2部門からの電力と熱（蒸気）を投入している。

7. 木材チップ部門

$$\max \left[\underbrace{x_7}_{\text{木材チップ}}, \underbrace{\mu_{26,7} X_{26,7}}_{\text{素材}} \right] = \min \left[\underbrace{\lambda_{23,7} X_{23,7}}_{\text{素材}}, \underbrace{\lambda_{19,7} X_{19,7}}_{\text{事業電力}}, \underbrace{\lambda_{24,7} X_{24,7}}_{\text{石油製品}}, \underbrace{\lambda_{20,7} X_{20,7}}_{\text{都市ガス}} ; f(X_{27,7}) \right]$$

木材チップ部門は素材を原料に、木材チップを生産する部門である。素材とは丸太のことであり、それを砕いてチップにする。生産工程では、副産物として廃材が発生する。これは、丸太の一番外側のチップにならない部分のことであり、パークとも呼ばれる。

8. 故紙部門

$$\underbrace{-x_8}_{\text{故紙}} = \underbrace{X_{8,1}}_{\text{故紙}} + \underbrace{X_{8,2}}_{\text{故紙}}$$

故紙部門は副産物としてのみ発生する部門である。主な発生部門は、家計消費支出部門である。

9. 故紙回収部門

$$\underbrace{x_9}_{\text{故紙回収}} = \min \left[\underbrace{\lambda_{10,9} X_{10,9}}_{\text{自家輸送}}, \underbrace{\lambda_{19,9} X_{19,9}}_{\text{事業電力}}, \underbrace{\lambda_{24,9} X_{24,9}}_{\text{石油製品}}, \underbrace{\lambda_{20,9} X_{20,9}}_{\text{都市ガス}} ; f(X_{27,9}) \right]$$

故紙回収部門は、故紙を回収する部門であり、もとの産業連関表では卸売部門に格付けられている、いわゆる商業マージン部門である。故紙回収部門は故紙自家用自動車輸送を投入する。

10. 故紙自家用自動車輸送部門

$$\underbrace{x_{10}}_{\text{故紙輸送}} = \min \left[\underbrace{\lambda_{19,10} X_{19,10}}_{\text{事業電力}}, \underbrace{\lambda_{24,10} X_{24,10}}_{\text{石油製品}}, \underbrace{\lambda_{20,10} X_{20,10}}_{\text{都市ガス}} ; f(X_{27,10}) \right]$$

故紙自家用自動車輸送部門とは、故紙を回収するために投入した自動車輸送活動をする部門である。もとの産業連関表では、自家用自動車輸送部門に格付けられていた。故紙回収のために使用した自動車用燃料はこの部門に投入される。

11. 段ボール自家発電部門

$$\max \left[\underbrace{x_{11}}_{\text{段ボール自家発電}}, \mu_{15,11} \underbrace{X_{15,11}}_{\text{段ボール自家熱供給}} \right] = \min \left[\lambda_{24,11} \underbrace{X_{24,11}}_{\text{石油製品}} + \lambda_{25,11} \underbrace{X_{25,11}}_{\text{黒液}} + \lambda_{26,11} \underbrace{X_{26,11}}_{\text{廃材}} ; f(\underbrace{X_{27,11}}_{\text{その他}}) \right]$$

段ボール自家発電部門は、石油製品（重油）、パルプ黒液、廃材を燃料にして自家発電を行う部門である。電力生産の副産物として、熱（蒸気）が発生するので、これを段ボール部門へ送る。

12. 板紙自家発電部門

$$\max \left[\underbrace{x_{12}}_{\text{板紙自家発電}}, \mu_{16,12} \underbrace{X_{16,12}}_{\text{板紙自家熱供給}} \right] = \min \left[\lambda_{24,12} \underbrace{X_{24,12}}_{\text{石油製品}} + \lambda_{25,12} \underbrace{X_{25,12}}_{\text{黒液}} + \lambda_{26,12} \underbrace{X_{26,12}}_{\text{廃材}} ; f(\underbrace{X_{27,12}}_{\text{その他}}) \right]$$

板紙自家発電部門は、石油製品（重油）、パルプ黒液、廃材を燃料にして自家発電を行う部門である。電力生産の副産物として、熱（蒸気）が発生するので、これを板紙部門、故紙パルプ部門へ送る。

13. 洋紙・和紙自家発電部門

$$\max \left[\underbrace{x_{13}}_{\text{洋紙自家発電}}, \mu_{17,13} \underbrace{X_{17,13}}_{\text{洋紙自家熱供給}} \right] = \min \left[\lambda_{24,13} \underbrace{X_{24,13}}_{\text{石油製品}} + \lambda_{25,13} \underbrace{X_{25,13}}_{\text{黒液}} + \lambda_{26,13} \underbrace{X_{26,13}}_{\text{廃材}} ; f(\underbrace{X_{27,13}}_{\text{その他}}) \right]$$

洋紙・和紙自家発電部門は、石油製品（重油）、パルプ黒液、廃材を燃料にして自家発電を行う部門である。電力生産の副産物として、熱（蒸気）が発生するので、これを洋紙・和紙部門、故紙パルプ部門へ送る。

14. パルプ自家発電部門

$$\max \left[\underbrace{x_{14}}_{\text{パルプ自家発電}}, \mu_{18,14} \underbrace{X_{18,14}}_{\text{パルプ自家熱供給}} \right] = \min \left[\lambda_{24,14} \underbrace{X_{24,14}}_{\text{石油製品}} + \lambda_{25,14} \underbrace{X_{25,14}}_{\text{黒液}} + \lambda_{26,14} \underbrace{X_{26,14}}_{\text{廃材}} ; f(\underbrace{X_{27,14}}_{\text{その他}}) \right]$$

パルプ自家発電部門は、石油製品（重油）、パルプ黒液、廃材を燃料にして自家発電を行う部門である。電力生産の副産物として、熱（蒸気）が発生するので、これを製紙パルプ部門、溶解パルプ部門へ送る。

15. 段ボール自家熱供給部門

$$\underbrace{-x_{15}}_{\text{段ボール自家熱供給}} = \underbrace{X_{15,11}}_{\text{段ボール自家熱供給}}$$

段ボール自家熱供給部門は副産物としてのみ発生する部門である。段ボール自家発電部門から発生する。

16. 板紙自家熱供給部門

$$\underbrace{-x_{16}}_{\text{板紙自家熱供給}} = \underbrace{X_{16,12}}_{\text{板紙自家熱供給}}$$

板紙自家熱供給部門は副産物としてのみ発生する部門である。板紙自家発電部門から発生する。

17. 洋紙・和紙自家熱供給部門

$$\underbrace{-x_{17}}_{\text{洋紙・和紙自家熱供給}} = \underbrace{X_{17,13}}_{\text{洋紙・和紙自家熱供給}}$$

洋紙・和紙自家熱供給部門は副産物としてのみ発生する部門である。洋紙・和紙自家発電部門から発生する。

18. パルプ自家熱供給部門

$$\underbrace{-x_{18}}_{\text{パルプ自家熱供給}} = \underbrace{X_{18,14}}_{\text{パルプ自家熱供給}}$$

パルプ自家熱供給部門は副産物としてのみ発生する部門である。パルプ自家発電部門から発生する。

19. 事業用電力部門

$$x_{19} = \min \left[\underbrace{\lambda_{19,19} X_{19,19}}_{\text{事業電力}}, \underbrace{\lambda_{21,19} X_{21,19}}_{\text{石炭}}, \underbrace{\lambda_{22,19} X_{22,19}}_{\text{天然ガス}}, \right. \\ \left. \lambda_{24,19} \underbrace{X_{24,19}}_{\text{石油製品}}, \lambda_{20,19} \underbrace{X_{20,19}}_{\text{都市ガス}}; f(X_{27,19}) \right]$$

20. 都市ガス部門

$$x_{20} = \min \left[\lambda_{19,20} \underbrace{X_{19,20}}_{\text{事業電力}}, \lambda_{21,20} \underbrace{X_{21,20}}_{\text{石炭}}, \lambda_{22,20} \underbrace{X_{22,20}}_{\text{天然ガス}}, \right. \\ \left. \lambda_{24,20} \underbrace{X_{24,20}}_{\text{石油製品}}, \lambda_{20,20} \underbrace{X_{20,20}}_{\text{都市ガス}}; f(X_{27,20}) \right]$$

21. 石炭部門

$$x_{21} = \min \left[\lambda_{19,21} \underbrace{X_{19,21}}_{\text{事業電力}}, \lambda_{21,21} \underbrace{X_{21,21}}_{\text{石炭}}, \lambda_{24,21} \underbrace{X_{24,21}}_{\text{石油製品}}, \right. \\ \left. \lambda_{20,21} \underbrace{X_{20,21}}_{\text{都市ガス}}; f(X_{27,21}) \right]$$

22. 天然ガス部門

$$x_{22} = \min \left[\lambda_{19,22} \underbrace{X_{19,22}}_{\text{事業電力}}, \lambda_{21,22} \underbrace{X_{21,22}}_{\text{石炭}}, \lambda_{22,22} \underbrace{X_{22,22}}_{\text{天然ガス}}, \right. \\ \left. \lambda_{24,22} \underbrace{X_{24,22}}_{\text{石油製品}}, \lambda_{20,22} \underbrace{X_{20,22}}_{\text{都市ガス}}; f(X_{27,22}) \right]$$

23. 素材部門

$$x_{23} = \min \left[\lambda_{19,23} \underbrace{X_{19,23}}_{\text{事業電力}}, \lambda_{24,23} \underbrace{X_{24,23}}_{\text{石油製品}}, \lambda_{20,23} \underbrace{X_{20,23}}_{\text{都市ガス}}; f(X_{27,23}) \right]$$

24. 石油製品部門

$$x_{24} = \min \left[\lambda_{19,24} \underbrace{X_{19,24}}_{\text{事業電力}}, \lambda_{22,24} \underbrace{X_{22,24}}_{\text{天然ガス}}, \lambda_{24,24} \underbrace{X_{24,24}}_{\text{石油製品}}, \right. \\ \left. \lambda_{20,24} \underbrace{X_{20,24}}_{\text{都市ガス}}; f(X_{27,24}) \right]$$

25. パルプ黒液部門

$$-x_{25} = \underbrace{X_{4,25}}_{\text{黒液}} + \underbrace{X_{5,25}}_{\text{黒液}}$$

パルプ黒液は副産物としてのみ発生する部門である。製紙パルプ部門と溶解パルプ部門から発生する。

26. 廃材部門

$$\underbrace{-x_{26}}_{\text{廃材}} = \underbrace{X_{7,26}}_{\text{廃材}}$$

廃材は副産物としてのみ発生する部門である。木材チップ部門から発生する。

このような生産関数を用いたモデルとして、線型計画モデルの手法を適用することができる。しかし故紙リサイクルの場合、現実妥当性のあるアクティビティ水準を求めるためには、先に示された26部門の生産関数から制約式を構成するだけでは不十分である。非現実的なアクティビティ水準が選択されないように、資本設備の制約、輸送問題の制約などが詳細に分かっていなければならない。ところが、企業単位でこれらの制約を詳細に明らかにすることはできても、国単位で明らかにすることは難しい。例えば、自家発電の地域的分布と、自家発電からの電力を使用する生産設備の地域的分布は乖離があるはずである。北海道の自家発電で発電した電力を、九州まで送電することはまずないであろう。このような制約を記述するためには、全国の事業所の発電設備とそれらの事業所間の送電能力についての詳細なデータが必要になる。しかし、そのようなデータを収集し整理することは、膨大な作業となるであろう。

ここでは故紙リサイクル・モデルの中に、現実妥当性があると思われるシナリオを入れることにより、制約式の数を増やして、各部門の生産量や投入構成を一意に決定することにした。筆者が考えたシナリオは以下の通りである。

シナリオ1 パルプ黒液や廃材は発生した場所で燃やして電力や蒸気を回収するのが効率が良い。特に、パルプ黒液は輸送が物理的に困難であるから、発生した場所から輸送をして、他の場所で燃やすことなどまずない。そこで、パルプ黒液や廃材の産出構成比は固定的であると想定した。

シナリオ2 自家発電は事業用電力より安価であるから、紙・パルプ産業は自家発電能力の限界まで発電を行っている。そこで、シミュレーションにおける紙・パルプ自家発電部門の生産量は、一定であると想定した。

シナリオ3 基準ケースにおける紙・パルプ自家発電の産出構成比は、地理的な要素を反映していると考えられる。そこで、紙・パルプ自家発電の産出構成比は固定的であると想定した。

シナリオ4 洋紙・和紙部門に投入される故紙/パルプ比率を上げていくにつれて製紙/パルプ生産量は減少する。そのため、製紙/パルプ部門では、パルプ自家発電から送られてきた電力や蒸気が余ってしまうケースがある。その場合は、余った電力は事業用電力に売電し、余った蒸気は生産に使用しないように記述した¹。

¹このように想定した理由は、産業連関表の熱供給業の生産規模が136(10¹⁰ kcal)程度と小さいため、余った蒸気を熱供給部門に販売するように記述すると、熱供給業に与える影響が大きすぎるからである。

シナリオ5 紙・パルプ部門に投入される化石燃料（石炭，天然ガス，石油製品，都市ガス）の相対的な投入構成が変わらないとする。

これらのシナリオは紙・パルプ関連部門の国内生産額と代替可能な中間投入要素を変数とする数式で表すことができる。紙・パルプ関連部門の国内生産額ベクトルを x^2 ，代替可能な中間投入要素からなるベクトルを z ，定数からなるベクトルを y とすると，上のシナリオは次のような数式で表される。

$$B^{3,2}x^2 + B^{3,3}z = y$$

ただし， $B^{3,2}, B^{3,3}$ は係数行列である。

このとき需給バランス式は次のように表される。

$$A^{1,1}x^1 + A^{1,2}x^2 + f^1 = x^1$$

$$A^{2,1}x^1 + A^{2,2}x^2 + B^{2,3}z + f^2 = x^2$$

ただし， f^1 は紙・パルプ関連部門以外の部門の最終需要額ベクトル， f^2 は紙・パルプ関連部門の最終需要額ベクトル， x^1 は紙・パルプ関連部門以外の部門の国内生産額ベクトル， $A^{1,1}, A^{1,2}, A^{2,1}, A^{2,2}$ は固定投入係数行列である。また， $B^{2,3}$ は係数行列である。

$B^{3,3}$ に逆行列が存在するとすると，

$$z = -(B^{3,3})^{-1} B^{3,2}x^2 - (B^{3,3})^{-1} y$$

となる。これを需給バランス式に代入すると，

$$A^{2,1}x^1 + (A^{2,2} - B^{2,3}(B^{3,3})^{-1} B^{3,2})x^2 + f^2 - (B^{3,3})^{-1} y = x^2$$

所与の最終需要による誘発生産額は以下のように表される。

$$\left(\begin{array}{c|c} I - A^{1,1} & -A^{1,2} \\ \hline -A^{2,1} & I - (A^{2,2} - B^{2,3}(B^{3,3})^{-1} B^{3,2}) \end{array} \right)^{-1} \left(\begin{array}{c} f^1 \\ f^2 - (B^{3,3})^{-1} y \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} x^1 \\ x^2 \end{array} \right)$$

4 CO₂排出波及効果の分析

ここでは，新しく生産された原材料である製紙パルプから，リサイクルされた原材料である故紙パルプに代替したときに，各部門のCO₂排出量に与える影響について述べる。

まず，紙生産に投入された製紙パルプと故紙パルプの比率を変更するシミュレーションを行った。これをケースAと呼ぶ。基準ケースの製紙パルプと故紙パルプの比率はだいたい1対1である。ケースAでは故紙パルプの比率を5%ポイントずつ増やして計算を行った。

つぎに、故紙 1t 当りの輸送エネルギー消費量を変更するシミュレーションを行った。これをケース B と呼ぶ。故紙を回収・輸送するアクティビティは

1. 家庭から回収し問屋まで輸送するアクティビティ
2. 問屋から工場まで輸送するアクティビティ

の 2 つに分かれている。われわれがこの分析で使用した故紙リサイクル分析用産業連関表では、前者は故紙自家用貨物自動車輸送部門にあたり、後者は道路貨物輸送部門に含まれる。シミュレーションで変更したのは、前者のアクティビティの単位あたりエネルギー消費量である。

故紙回収率を上げたときに故紙 1t 当りの輸送エネルギー消費量がどれくらいになるのかを知るためには、回収ルートや、回収する故紙の種類、故紙の発生量の地理的な分布、故紙回収アクティビティの地理的な分布について詳細な情報が必要であるだろう。しかし、われわれはこうした情報について、わずかな情報しか入手できなかった。ケース B では故紙回収率を上げると故紙 1t あたりの輸送エネルギー消費量が増えることを想定し、これを基準ケースの 2 倍、4 倍、6 倍、…に想定し計算を行った。

シミュレーションの一覧は以下の通りである。

表 1: CO₂排出波及効果のシミュレーション一覧

	紙生産に投入された 製紙パルプと 故紙パルプの比率	故紙 1t 当りの 輸送エネルギー 消費量	故紙 1t 当りの 輸送距離 ²⁾
基準ケース	52:48	121 Mcal/t	60km/t
ケース A1	48:52	242 Mcal/t	60km/t
ケース A2	42:58	242 Mcal/t	60km/t
ケース A3	37:63	242 Mcal/t	60km/t
ケース A4	33:67	242 Mcal/t	60km/t
ケース A5	28:72	242 Mcal/t	60km/t
ケース A6	24:76	242 Mcal/t	60km/t
ケース B1	28:72	242 Mcal/t	60km/t
ケース B2	28:72	483 Mcal/t	120km/t
ケース B3	28:72	725 Mcal/t	240km/t
ケース B4	28:72	966 Mcal/t	480km/t
ケース B5	28:72	1,208 Mcal/t	600km/t
ケース B6	28:72	1,449 Mcal/t	720km/t

注 1) ケース A5 はケース B1 に相当する。

2) 注) 自家用貨物自動車のエネルギー消費原単位を 2013(kcal/tkm) と想定した。

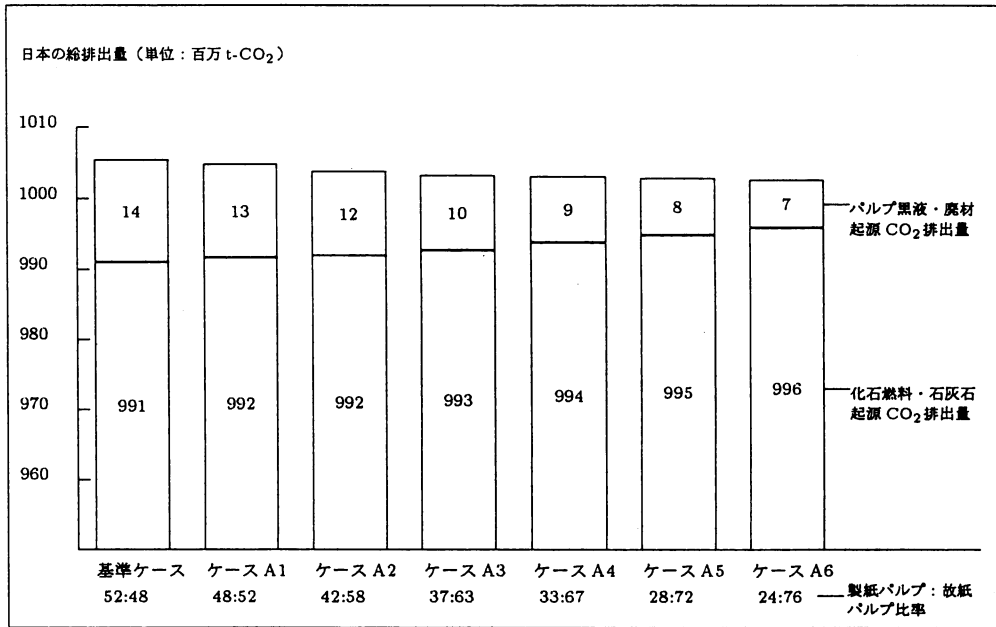


図 4: 紙の生産に投入された製紙パルプと故紙パルプの比率を変えたときの CO₂ 排出量

まず、ケース A の計測結果について検討しよう。ケース A は、紙生産に投入された製紙パルプと故紙パルプの比率を変更するシミュレーションである。図 4 は、ケース A の計測結果を図で表したものである。図の棒グラフは、日本の CO₂ 総排出量を表している。棒グラフの上の部分は、パルプ黒液・廃材起源の CO₂ 排出量を表している。棒グラフの下部分は、化石燃料・石灰石起源の CO₂ 排出量を表している。図 4 を見ると、紙の生産に投入された故紙パルプの比率が上がるにつれて CO₂ 総排出量が減少していくという結果になっている。CO₂ 排出起源別に見ていくと、故紙パルプの比率が上がるにつれてパルプ黒液・廃材起源の CO₂ 排出量も減っていき、化石燃料・石灰石起源の CO₂ 排出量は増えていく結果になっている。化石燃料・石灰石起源の CO₂ 排出は、太古の生物が長い年月にわたって固定化した炭素を短期間に大気に放出してしまうという意味で、その環境に及ぼす影響が心配されている。これに対して、パルプ黒液・廃材はバイオマス燃料であり、パルプ黒液・廃材起源の CO₂ 排出は、我々が生きる間に森林が固定化した炭素を大気に放出している。したがって、適切な植林が行われるならば、バイオマス燃料起源の CO₂ 排出の環境に及ぼす影響は無視しても良いとする考え方がある。この考え方からすると、故紙リサイクルは地球温暖化について逆効果である。

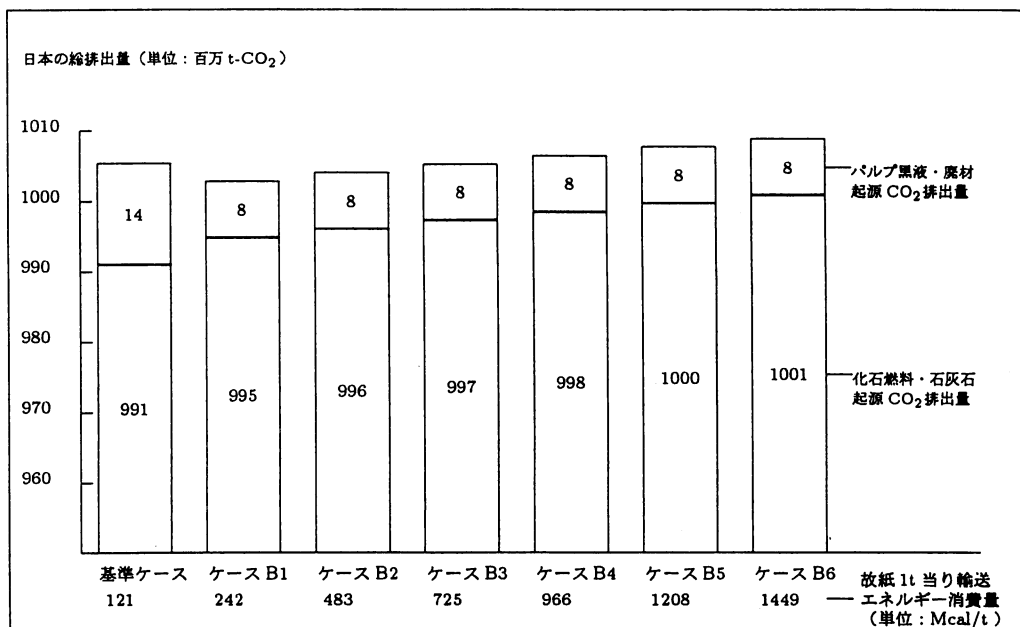


図 5: 故紙 1t 当りの輸送エネルギー消費量を変えたときの CO₂ 排出量

次に、ケース B の計測結果について検討しよう。ケース B は、故紙 1t 当りの輸送エネルギー消費量を変更するシミュレーションである。図 5 は、ケース B の計測結果を図で表したものである。図の棒グラフは、CO₂ 総排出量を表している。棒グラフの上の部分は、パルプ黒液・廃材起源の CO₂ 排出量を表している。棒グラフの下部分は、化石燃料・石灰石起源の CO₂ 排出量を表している。図 5 を見ると、故紙 1t 当りの輸送エネルギー消費量が増えるにつれて CO₂ 総排出量が増加していき、ついには 725(Mcal/t) を越えると、基準ケースの排出量を越えてしまうという結果になっている。輸送距離がこれほど長くなることはまず無いであろうから、故紙のリサイクルは CO₂ 排出量を削減する効果があるといえそうである。

5 価格波及効果の分析

ここでは、新しく生産された原材料である製紙パルプから、リサイクルされた原材料である故紙パルプに代替したときに、各産業の費用構成を通じて紙のシャドウ・プライスに及ぼす影響について述べる。

第 j 部門の費用バランス式は次のように表される。

$$p_j x_j = \sum_i^n p_i a_{ij} x_j + p_{Z_j} Z_j + p_{L_j} L_j + p_{K_j} K_j + tax_j \quad (j = 1, \dots, n)$$

ただし、

p_j	: 第 j 部門の価格
a_{ij}	: 中間投入係数
x_j	: 第 j 部門の生産量
p_{Z_j}	: 第 j 部門の故紙価格
Z_j	: 第 j 部門の故紙投入量
p_{L_j}	: 第 j 部門の賃金率
L_j	: 第 j 部門の労働投入量
p_{K_j}	: 第 j 部門の資本の単位費用
K_j	: 第 j 部門の資本投入量
tax_j	: 第 j 部門の純間接税額

である。生産額 $p_j x_j$ に占める各費用の実質シェアを次のように定義する。

$$S_{Z_j} = \frac{Z_j}{x_j}, S_{L_j} = \frac{L_j}{x_j}, S_{K_j} = \frac{K_j}{x_j} \quad (j = 1, \dots, n)$$

さらに、純間接税率 t_j を次のように定義する。

$$t_j = \frac{tax_j}{p_j x_j - tax_j} \quad (j = 1, \dots, n)$$

$$tax_j = \frac{t_j}{1 + t_j} p_j x_j \quad (j = 1, \dots, n)$$

各費用の実質シェアと純間接税率を用いて第 j 部門の費用構成を表すと、次のようになる。

$$p_j = \sum_i p_i a_{ij} + p_{Z_j} S_{Z_j} + p_{L_j} S_{L_j} + p_{K_j} S_{K_j} + \frac{t_j}{1 + t_j} p_j \quad (j = 1, \dots, n)$$

$$\left(\frac{1}{1 + t_j} \right) p_j = \sum_i p_i a_{ij} + p_{Z_j} S_{Z_j} + p_{L_j} S_{L_j} + p_{K_j} S_{K_j} \quad (j = 1, \dots, n)$$

v_j を以下のように定義する。

$$v_j = p_{Z_j} S_{Z_j} + p_{L_j} S_{L_j} + p_{K_j} S_{K_j} \quad (j = 1, \dots, n)$$

これらをベクトルや行列で表すと、次のようになる。

$$A = \begin{pmatrix} & \vdots & \\ \dots & a_{ij} & \dots \\ & \vdots & \end{pmatrix}, p = \begin{pmatrix} p_1 \\ \vdots \\ p_n \end{pmatrix}, v = \begin{pmatrix} v_1 \\ \vdots \\ v_n \end{pmatrix}, T = \begin{pmatrix} \frac{1}{1+t_1} & & 0 \\ & \ddots & \\ 0 & & \frac{1}{1+t_n} \end{pmatrix}$$

$$Tp = A'p + v$$

$$[T - A']p = v$$

$$p = [T - A']^{-1}v$$

ただし、 A' は投入係数行列 A の第 (i, j) 要素を第 (j, i) 要素に変換した転置行列である。シミュレーションでは、それぞれのケースごとに投入係数行列 \hat{A}' を推定し、これを価格モデルに代入して価格波及効果を求める。すなわち、

$$\hat{p} = [T - \hat{A}']^{-1}v$$

によって計算する。

製紙パルプから生産した紙から、故紙パルプから生産した紙（再生紙）への代替のシミュレーションを考えるとときに問題となるのは、再生紙はどうしても白色度が劣ることである。再生紙の白さは、原料となる故紙の質に依存する。より印刷のされていない白い故紙で作った再生紙ほど白くなる。また、質の劣る故紙であっても、質がそろっていれば白い再生紙ができる。あるいは、製紙パルプを混ぜることによって白くすることも行われている。現状の故紙パルプの投入構成は、新聞紙用に生産された故紙パルプの投入構成を強く反映している。そのため、製紙パルプから生産された白い紙から新聞用紙程度の白さの再生紙への代替というシミュレーションをすることになる。これに対して、もっと白い再生紙への代替というシミュレーションも考えられる。その場合、質の高い故紙を集めなければならない、回収にかかる費用が高くなる。さらには、脱墨や漂白の設備も高度なものになるので、故紙処理にかかる費用も高くなる。そこで、もっと白い再生紙への代替というシミュレーションとして、故紙価格²を外生的に変化させるシミュレーションを行った³。

以上のように価格波及効果では、大きく分けて2つのシミュレーションを行った。ひとつは、製紙パルプから生産された白い紙から新聞用紙程度の白さの再生紙への代替というシミュレーションである。これをケースCと名づけた。もうひとつは、製紙パルプから生産された白い紙から白色度の高い再生紙への代替というシミュレーションである。これをケースDと名づけた。さらに、故紙1t当りの輸送エネルギー消費量を2倍、4倍、6倍、…と変更した。シミュレーションの一覧は以下の通りである。

² 故紙が発生した場所での単価。

³ 具体的にどれくらい上げるのかは、以下のようにして考えた。現状において、故紙パルプ生産1単位あたりの生産費用は51円/kg。故紙価格は1.5円/kgとしている。ここで、白色度の高い再生紙を生産する場合に、故紙パルプ生産1単位あたりの生産費用が20円増えて、71円/kgになると想定した。そして、故紙単価を22円/kgとした。

表 2: 価格波及効果のシミュレーション一覧

	紙生産に投入された 製紙パルプと 故紙パルプの比率	故紙 1t 当りの 輸送エネルギー 消費量	故紙価格
基準ケース	52:48	121Mcal/t	1.5 円/kg
ケース C1	28:72	242Mcal/t	1.5 円/kg
ケース C2	28:72	483Mcal/t	1.5 円/kg
ケース C3	28:72	725Mcal/t	1.5 円/kg
ケース C4	28:72	966Mcal/t	1.5 円/kg
ケース C5	28:72	1208Mcal/t	1.5 円/kg
ケース C6	28:72	1449Mcal/t	1.5 円/kg
ケース D1	28:72	242Mcal/t	22.0 円/kg
ケース D2	28:72	483Mcal/t	22.0 円/kg
ケース D3	28:72	725Mcal/t	22.0 円/kg
ケース D4	28:72	966Mcal/t	22.0 円/kg
ケース D5	28:72	1,208Mcal/t	22.0 円/kg
ケース D6	28:72	1,449Mcal/t	22.0 円/kg

まず、ケースCの計測結果について検討しよう。ケースCは、製紙パルプから生産された白い紙から新聞用紙程度の白さの再生紙への代替というシミュレーションである。図6は、ケースCの計測結果を図で表したものである。図にプロットされた点は、紙のシャドウ・プライスを表している。図6を見ると、リサイクルによって紙のシャドウ・プライスが下落することになっている。これは、製紙パルプから生産された白い紙から新聞用紙程度の白さの再生紙へ代替しているため、紙の質も低下しているからである。しかし、故紙1t当りの輸送エネルギー消費量を増やしていくと、シャドウ・プライスも上昇し、725(Mcal/t)以上である場合は基準ケースを上回る。

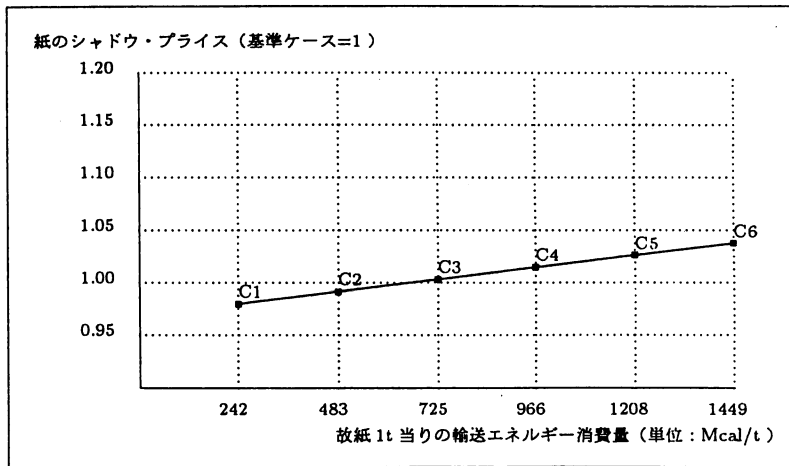


図 6: 新聞用紙程度の白さの再生紙へ代替したときの紙のシャドウ・プライス

つぎに、ケースDの計測結果について検討しよう。ケースDは、製紙パルプから生産された白い紙から白色度の高い再生紙への代替というシミュレーションである。図7は、ケースDの計測結果を図で表したものである。図にプロットされた点は、紙のシャドウ・プライスを表している。図7を見ると、リサイクルによって紙のシャドウ・プライスが上昇する。さらに、故紙1t当りの輸送エネルギー消費量が725(Mcal/t)以上である場合は、基準ケースの1.1倍になった。

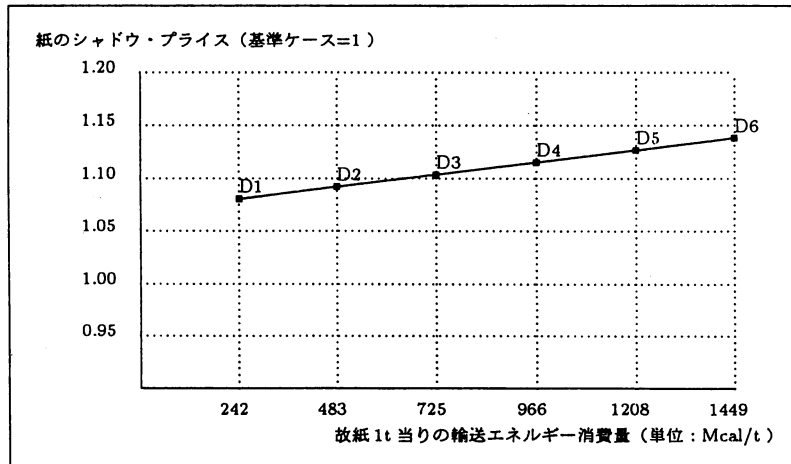


図7: 白色度の高い再生紙への代替したときの紙のシャドウ・プライス

6 おわりに

以上の結果をまとめると次のようになる。

1. 紙の生産に投入された製紙パルプと故紙パルプの比率を変えるシミュレーションを行った結果、故紙リサイクルはCO₂排出量全体を減らす効果はあるが、パルプ黒液・廃材起源のCO₂排出量を減らし、化石燃料起源のCO₂排出量を増やす効果があることが明らかになった。すなわち、リサイクルをすればするほど化石燃料の消費量は増大し、その燃焼によるCO₂排出量も増大していくことになる。
2. 故紙1t当りの輸送エネルギー消費量を変えるシミュレーションを行った結果、故紙1t当りの輸送エネルギー消費量が725(Mcal/t)を越えると基準ケースのCO₂排出量を上回ることが明らかになった。故紙1t当りの輸送エネルギー消費量725(Mcal/t)は貨物自動車の輸送距離に換算すると、だいたい360kmに相当する。輸送距離がこれほど長くなることはまず無いであろうから、故紙のリサイクルはCO₂排出量を削減する効果があるといえそうである。
3. リサイクルによって紙のシャドウ・プライスがどのように変化するか、というシミュレーションも行った。現状では再生紙は主に新聞紙として使用されているが、新聞紙程度の白さの再生紙へ代替するのであれば、紙のシャドウ・プライスは現状より下降するという結果になった。しかし、故紙1t当りの輸送エネルギー消費量が725(Mcal/t)を越えると現状より上昇するという結果になった。

一方で、廃棄物を捨てる場所・空間は限られており、処分場は足りない状態であるといわれる。紙ゴミを減らすことは、重要な問題となっている⁴。そこで考えられるのは、紙を燃やして発電することである。つまり、回収した故紙を燃やして電力で回収すれば、それだけ化石燃料の消費量を減らせる、というわけである。また、木はある程度まで成長すると、CO₂をほとんど吸収しなくなることが知られている。したがって、ある樹齢に達したら伐採して、そのあと植林をした方がCO₂吸収効果は大きい。さらに、伐採した木材で紙を生産し、紙を使用した後は燃やして電力として回収するのである。植林やゴミ発電をも含めた、このような広範囲なリサイクル・システムを考えることが重要であると思われる。

⁴この点に関しては、環境庁 森田恒幸氏より指摘されたことである。

第8章

自動車のLCA

1 はじめに

Life Cycle Analysis(LCA)は、ある製品の生涯「土から生まれて土に戻るまで」にどれだけの環境負荷を与えているかを計算する分析である。このような分析が必要な理由は、資源の枯渇や環境問題は世界全体でとりあげるべき課題だからという単純なものである。国内だけで省エネ効率的でクリーンにしていたとしても、他国で汚染や温暖化物質が多く排出されるものを生産していたのでは、地球全体としてはマイナスになる可能性がある。その点を明確な基準によって評価し、製品のクオリティーとして認識しようではないかという発想がLCAの基本である。

LCAは、便宜的に三つに分類されることがある。第一が、現状把握である。現存する製品の生涯にわたり必要とされる物質・エネルギーの波及を計算するもので、これはインベントリー分析と呼ばれている。第二は、インベントリーで明らかになった物質やエネルギーの生産・消費で発生する環境負荷因子にはどのようなものがあり、それらを集計したり評価する方法に関する分析である。これはインパクト分析と呼ばれている。第三は、新製品がどれだけの環境負荷を究極にもたらすかを評価しようというものである。これはインプルーブメント分析と呼ばれている。

本章ではLCAのインベントリーを産業連関表を用いて分析することを目的としている。インパクトとしては例示的にCO₂を取り上げている。産業連関分析を用いる方法はトップダウン方式として定着しつつある¹。したがって、ここでは産業連関表の基本表では分析できない部分についての拡張点を以下に解説することにしてしよう。

1. 既存の産業連関表では乗用車が1セクターで捉えられている。われわれは推定の限界に留保しつつ、乗用車の投入産出構造を(a)軽乗用車、(b)小型乗用車、(c)普通乗用車の3つに分けてLCA計算が可能になるようにした。同様に自動車車体を(d)乗用車車体、(e)その他車体の2つに分けた。同様に自動車部品を(f)自動車部品、(g)小型車ノックダウンセット、(h)普通車ノックダウン

¹産業連関分析とLCAの分析方法については、吉岡・早見[1994]「環境分析用産業連関表のLCAへの適用」『日本の科学と技術』vol.35,no.273,1994年夏,pp.38-43などを参照のこと。

セット,(i) その他ノックダウンセットの4つに分けた。同様に自動車用内燃機関・同部分品を(j) 自動車用ガソリン機関,(k) 自動車用ディーゼル機関,(l) その他内燃機関部分品の3つに分けた。

2. 自動車の(1)生産工程からの波及に加えて、(2)自動車生産のための資本設備からの波及、(3)自動車補修・補填部品からの波及、(4)走行からの波及を加える。
3. 外洋輸送からの波及をより精度高いものにした。外洋輸送からのCO₂負荷はどの財が必要されるかによってずいぶん違うものである。例えば、自動車走行から波及する外洋輸送はガソリン消費、原油消費ということから、サウジアラビアのラスタヌラ港のウェイトが高いであろうし、自動車生産工程からの外洋輸送波及は鉄鋼、電力を経由して鉄鉱石、原料炭消費ということからオーストラリアのダンピア港やヘイポイント港のウェイトが高いということであろう。われわれは細かい輸入品目別に港からの距離までを算定するというLCAインベントリーを推定した。

この章のトップダウンLCA分析では、例えば電気自動車ならどうなのか、燃費効率を上げた新型自動車ならどうなのか、というようなインプルーブメント分析には及ばなかった。しかし、資本財建設から運用までの比較的守備範囲の広い範囲でトップダウンLCA分析の先鞭をつけたことは意義あることと思う。もちろん、トップダウン・インベントリーの基礎となる既存の産業連関表に問題がないわけではない。その信頼性の検討は今後の課題であるが、少なくともこの種の計算が比較的ハンディーにできることが実証されたわけであるから、逆にその産業連関の精度向上がLCAを広める上でも重要であると考えられる。

2 LCA計算で扱う範囲

自動車のCO₂負荷をLCA計算する際の守備範囲を解説しよう。図1はここでの計算範囲を示している。自動車生産のCO₂負荷といえば、まずアSEMBル・ラインのエネルギー負荷が目につく。その次に各種自動車部品をつくるための化石燃料使用によるCO₂負荷があるだろう。さらにまわりまわってトータルのCO₂負荷がどうなるか、という課題がこれまでしばしばおこなわれてきたLCA計算の守備範囲であった。われわれの結果では、生産者価格百万円あたりの自動車が約3トンのCO₂を排出することが導かれている。

自動車をつくるために必要な鉄鉱石、原油、石炭、生ゴムなどの輸入原料を輸送するために、船でエネルギーが消費される。そのことによってどれだけのCO₂が排出されるのか、海外でそれをつくるときにどれだけのCO₂負荷をあたえたのかを計算している。これが第1の拡張点である。

第2の拡張点は、自動車を生産するためには、その粗原材料のみならず、機械・建物などの生産設備を必要とする。その生産設備は長い耐用年数があるわけだが、それをつくるときにもCO₂が排出される。この資本財生産のCO₂が排出にも計算を拡大する。

第3の拡大点は自動車の運用にまで及んだことである。1年間1万Km走行の想定のもとで燃料消費を考える。そこから発生するCO₂に加えて、燃料を生産するためのCO₂誘発計算を行う。自動車の運用

によってタイヤや部品の磨耗やエンジン・オイルの消耗がある。

以上の点については、ここで扱うことができた。しかし、自動車のLCAを考えると、部品の廃棄やリサイクルから生じるCO₂負荷がある。今回は資料の都合上、そこまでは追えなかった。

3 計測結果のまとめ

ここで集約した結果から要点を整理しておこう。表3～5は軽乗用車、小型乗用車、普通乗用車にわけて1台・1年あたりのCO₂負荷を示したものである。その1台・1年あたりの換算については、表1、表2で示すような、換算ルールを想定して作成されたことに注意されたい。

1. 軽乗用車1台・1年あたりのCO₂負荷は3.3トン程度である。そのうち走行の燃料からのCO₂負荷が2.4トン程度と群を抜いており、つづいて軽乗用車生産のためのマテリアル波及が0.7トン程度となっている。軽乗用車1台の生産のためには2.9トンのCO₂を排出するが、4年間の経済的耐用年数を想定することによって、このような数字になる。
2. 小型乗用車と普通乗用車1台・1年あたりのCO₂負荷をみると、小型乗用車は4.7トン程度、普通乗用車は6.6トン程度となっている。そのうち走行の燃料にもとづくCO₂波及が両者とも群を抜いている。また乗用車の生産から生じるCO₂負荷がその次にくるのは軽乗用車と同じ結果になっている。
3. 次に3つの車種の負荷をより詳細にみるため、さらにどの段階で負荷がでているかを詳しくした表3～5をみてみよう。3つの車種とも走行の燃料からのCO₂負荷が多いが、そのウェイトは軽乗用車が73%、小型乗用車が75%、普通乗用車が77%と車種が大型化するほど、走行の燃料からの負荷のシェアが高まっていることも見逃せない。表1の換算ルール表に示すとおり軽乗用車では燃費15km/l、小型乗用車では燃費10km/l、普通乗用車では燃費7km/lの想定のもとでの結果であるが、さほど不自然な想定であるわけではないから、車は大型化するに従って走行の燃料からのCO₂負荷が大きいといえそうである。
4. 補修・補填部品について3つの車種のCO₂負荷を比較してみると、そのウェイトは軽乗用車が2.7%、小型乗用車が3.1%、普通乗用車が4.1%と走行の燃料のCO₂負荷と同様に、車種が大型化するほどCO₂負荷のシェアが高まっている。これは生産工程からのCO₂負荷のウェイトが軽乗用車が22%、小型乗用車が20%、普通乗用車が17%と車が大型化するにしたがって小さくなることから、車は大型化するに従って生産工程からのCO₂負荷は小さくなるが、補修・補填部品のCO₂負荷が大きくなるといえそうである。
5. 軽乗用車は1台1年あたり3.3トンのCO₂負荷をもたらすと先に述べたが、そのうち国内でのマテリアル波及からのCO₂負荷が2.4トンと大きい。つづいて、輸入品にもとづく外洋輸送からのCO₂負荷0.7トン程度となっている。

表 1: 想定された換算ルール : 1

車種	耐用年数	単価 (産業連関表の生産者価格)	燃費	補修・補填 部品費	走行距離
軽乗用車	4年	686,464 円/台	15 km/l	17,451 円/年	1万 km/年
小型乗用車	5年	1,178,705 円/台	10 km/l	29,965 円/年	1万 km/年
普通乗用車	7年	2,123,253 円/台	7 km/l	53,977 円/年	1万 km/年

表 2: 想定された換算ルール : 2 (乗用車の生産設備の耐用年数)

財の品目	耐用年数	財の品目	耐用年数	財の品目	耐用年数	財の品目	耐用年数
建設	27年	繊維製品	3年	家具	4年	金属製品	5年
一般機械	8年	電気機械	8年	自動車	4年	その他輸送機械	7年
精密機械	4年	その他製造品	7年				

注) 慶應義塾大学黒田研究室の推計した減価償却率を用いて計算した。

6. 同様のことが小型乗用車、普通乗用車にもみられる。すなわち小型乗用車で4.7トンのうち1トン普通乗用車で6.6トンのうち1.4トンと外洋輸送が国内のマテリアル生産によるCO₂負荷の次にきている。

以上が要約である。

これらの結論は既存の産業連関表と追加資料にもとづく1次推定にすぎず、これからあまりに詳細なファイナディングを導くことは危険がともなうが、少なくとも次のようなことはいえそうである。つまり、乗用車が1年1万km走行すると、軽乗用車では3.3t、普通乗用車では6.6tものCO₂を排出する。これは日本の国民一人あたりCO₂排出量10t/人に比すと相当な量であることがいえる。また、CO₂負荷のうち生産からよりも運用、とりわけガソリン消費にまつわるCO₂排出が75%強と多いことがいえる。そして、この傾向は乗用車が大型化するほど高まるといえそうである。

表3 軽乗用車1年・1台あたりCO₂負荷

	生産		運用		計
	生産工程	資本設備	補修・補填	走行の燃料	
1台・1年あたりCO ₂ 排出量(単位: kg-CO ₂)					
国内のエネルギー・マテリアル波及による排出	482	42	57	1,810	2,391
外洋輸送による排出	157	16	18	472	662
海外のエネルギー・マテリアル波及による排出	90	7	12	90	199
計	729	64	87	2,372	3,252
列構成比(単位: %)					
国内のエネルギー・マテリアル波及による排出	66.2%	65.0%	66.3%	76.3%	73.5%
外洋輸送による排出	21.5%	24.6%	20.3%	19.9%	20.3%
海外のエネルギー・マテリアル波及による排出	12.3%	10.4%	13.4%	3.8%	6.1%
計	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
行構成比(単位: %)					
国内のエネルギー・マテリアル波及による排出	20.2%	1.7%	2.4%	75.7%	100.0%
外洋輸送による排出	23.7%	2.4%	2.6%	71.3%	100.0%
海外のエネルギー・マテリアル波及による排出	45.3%	3.4%	5.8%	45.5%	100.0%
計	22.4%	2.0%	2.7%	73.0%	100.0%

表4 小型乗用車1年・1台あたりのCO₂負荷

	生産		運用		計
	生産工程	資本設備	補修・補填	走行の燃料	
1台・1年あたりCO ₂ 排出量(単位:kg-CO ₂)					
国内のエネルギー・マテリアル波及による排出	627	57	99	2,715	3,499
外洋輸送による排出	207	22	30	708	966
海外のエネルギー・マテリアル波及による排出	117	9	20	136	282
計	951	88	149	3,558	4,746
列構成比(単位:%)					
国内のエネルギー・マテリアル波及による排出	66.0%	65.0%	66.3%	76.3%	73.7%
外洋輸送による排出	21.7%	24.6%	20.3%	19.9%	20.4%
海外のエネルギー・マテリアル波及による排出	12.3%	10.4%	13.4%	3.8%	5.9%
計	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
行構成比(単位:%)					
国内のエネルギー・マテリアル波及による排出	17.9%	1.6%	2.8%	77.6%	100.0%
外洋輸送による排出	21.4%	2.2%	3.1%	73.3%	100.0%
海外のエネルギー・マテリアル波及による排出	41.5%	3.3%	7.1%	48.2%	100.0%
計	20.0%	1.9%	3.1%	75.0%	100.0%

表5 普通乗用車1年・1台あたりのCO₂負荷

	生産		運用		計
	生産工程	資本設備	補修・補填	走行の燃料	
1台・1年あたりCO ₂ 排出量(単位:k g-CO ₂)					
国内のエネルギー・マテリアル波及による排出	741	74	178	3,879	4,871
外洋輸送による排出	284	28	54	1,011	1,377
海外のエネルギー・マテリアル波及による排出	134	12	36	194	376
計	1,158	114	268	5,083	6,623
列構成比(単位:%)					
国内のエネルギー・マテリアル波及による排出	64.0%	65.0%	66.3%	76.3%	73.5%
外洋輸送による排出	24.5%	24.6%	20.3%	19.9%	20.8%
海外のエネルギー・マテリアル波及による排出	11.6%	10.4%	13.4%	3.8%	5.7%
計	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
行構成比(単位:%)					
国内のエネルギー・マテリアル波及による排出	15.2%	1.5%	3.7%	79.6%	100.0%
外洋輸送による排出	20.6%	2.0%	3.9%	73.4%	100.0%
海外のエネルギー・マテリアル波及による排出	35.7%	3.1%	9.6%	51.6%	100.0%
計	17.5%	1.7%	4.1%	76.7%	100.0%

表 6: (つづき) 小型乗用車百万円あたり生産からのCO₂排出量 (単位: kg-CO₂)

直接間接合計	間接9次効果		間接8次効果		間接7次効果		間接6次効果	
事業用発電	9.2	19.2	36.3	61.1	48.8	61.1	265.7	185.1
鉄鉄	854.4	16.2	29.5	48.8	47.3	48.8	2845.6	2845.6
事業用発電	8.5	13.3	28.7	47.3	29.2	47.3	2845.6	2845.6
自家発電	6.3	10.9	18.2	29.2	6.6	29.2	2845.6	2845.6
石炭製品	6.1	2.2	3.9	6.6	6.3	6.6	2845.6	2845.6
鉄鉄 (鉄屑)	213.9	2.2	3.0	6.3	4.7	6.3	2845.6	2845.6
鉄鉄品及びびん工品 (鉄)	114.3	1.6	2.8	4.7	4.4	4.7	2845.6	2845.6
運輸貨物輸送	80.2	1.4	2.4	4.4	4.4	4.4	2845.6	2845.6
自家用貨物自動車輸送	79.9	1.4	2.3	4.4	3.5	4.4	2845.6	2845.6
小型乗用車	65.8	1.1	2.0	3.5	3.1	3.5	2845.6	2845.6
組鋼 (鉄屑)	58.7	1.1	1.9	3.1	2.7	3.1	2845.6	2845.6
石炭製品	57.6	0.8	1.5	2.7	2.2	2.7	2845.6	2845.6
自家用旅客自動車輸送	52.3	0.8	1.5	2.2	2.0	2.2	2845.6	2845.6
旅客バス、安全ガラス	50.0	0.7	1.2	2.0	1.9	2.0	2845.6	2845.6
自家用貨物自動車輸送	46.0	0.7	1.2	1.9	1.8	1.9	2845.6	2845.6
その他の事業・土石製品	45.2	0.6	1.0	1.8	1.7	1.8	2845.6	2845.6
舟艇・和紙	41.8	0.6	1.0	1.7	1.6	1.7	2845.6	2845.6
治海・内水面輸送	41.5	0.5	0.9	1.6	1.6	1.6	2845.6	2845.6
石油化学系芳香族製品	38.4	0.5	0.9	1.6	1.5	1.6	2845.6	2845.6
石油化学系芳香族製品	36.7	0.5	0.8	1.5	1.4	1.5	2845.6	2845.6
熱可塑性樹脂	36.4	0.5	0.8	1.4	1.4	1.4	2845.6	2845.6
企業内研究開発	35.6	0.4	0.8	1.4	1.4	1.4	2845.6	2845.6
航空輸送	29.2	0.4	0.7	1.4	1.3	1.4	2845.6	2845.6
アルミニウム (含再生)	26.6	0.4	0.7	1.3	1.3	1.3	2845.6	2845.6
航空輸送	26.4	0.4	0.7	1.3	1.2	1.3	2845.6	2845.6
分選不明	23.6	0.4	0.7	1.2	1.2	1.2	2845.6	2845.6
沖原仕上げ	23.2	0.4	0.7	1.2	1.1	1.2	2845.6	2845.6
アエロロイ	21.5	0.3	0.7	1.1	1.1	1.1	2845.6	2845.6
熱可塑性樹脂	21.2	0.3	0.6	1.1	1.1	1.1	2845.6	2845.6
船 (含再生)	21.0	0.3	0.6	1.1	1.0	1.1	2845.6	2845.6
その他の無機化学工業製品	20.4	0.3	0.6	1.0	1.0	1.0	2845.6	2845.6
熱可塑性樹脂	19.2	0.3	0.6	1.0	0.9	1.0	2845.6	2845.6
アルミニウム (含再生)	19.2	0.3	0.6	1.0	0.9	1.0	2845.6	2845.6
船舶加工	19.5	0.3	0.6	1.0	0.9	1.0	2845.6	2845.6
タイヤ	17.7	0.3	0.6	1.0	0.8	0.9	2845.6	2845.6
その他の非鉄金属製品	17.4	0.2	0.5	0.9	0.8	0.8	2845.6	2845.6
ソーダ工業製品	16.4	0.2	0.5	0.8	0.8	0.8	2845.6	2845.6
プラスチック製品	15.4	0.2	0.5	0.8	0.8	0.8	2845.6	2845.6
自家発電	14.5	0.2	0.5	0.8	0.8	0.8	2845.6	2845.6
自家発電	13.1	0.2	0.5	0.8	0.8	0.8	2845.6	2845.6
非鉄金属製品	12.6	0.2	0.5	0.8	0.8	0.8	2845.6	2845.6
その他の無機化学工業製品	12.1	0.2	0.5	0.8	0.8	0.8	2845.6	2845.6
セメント	10.9	0.2	0.5	0.8	0.8	0.8	2845.6	2845.6
重油 (含再生)	10.1	0.2	0.5	0.8	0.8	0.8	2845.6	2845.6
重油 (含再生)	10.0	0.2	0.5	0.8	0.8	0.8	2845.6	2845.6
その他の合金材料	9.6	0.2	0.5	0.8	0.8	0.8	2845.6	2845.6
ハイヤー・タクシー	9.2	0.2	0.5	0.8	0.8	0.8	2845.6	2845.6
その他のゴム製品	9.1	0.2	0.5	0.8	0.8	0.8	2845.6	2845.6
ハイヤー・タクシー	8.7	0.2	0.5	0.8	0.8	0.8	2845.6	2845.6
めっき材料	8.3	0.2	0.5	0.8	0.8	0.8	2845.6	2845.6
めっき材料	8.2	0.2	0.5	0.8	0.8	0.8	2845.6	2845.6
内装樹脂製品	186.6	0.2	0.5	0.8	0.8	0.8	2845.6	2845.6
その他	43.5	82.9	3084.7	3001.7	265.7	265.7	3157.0	3157.0
合計	3127.2	3084.7	3001.7	3001.7	265.7	265.7	3157.0	3157.0

表7: (つづき) 乗用車百万円あたり乗用車生産設備の生産からのCO₂排出量 (単位: kg-CO₂)

直接間接合計			
間接6次効果	間接7次効果	間接8次効果	間接9次効果
3.5	1.5	0.6	0.3
2.5	1.2	0.5	0.2
2.0	0.9	0.3	0.2
1.4	0.7	0.3	0.1
0.2	0.1	0.8	0.4
0.2	0.1		
0.2	1.3		
0.1			
0.1			
0.1			
0.1			
1.6			
59.4	59.4	59.4	59.4
38.8	38.8	38.8	38.8
31.4	31.4	31.4	31.4
16.3	16.3	16.3	16.3
7.2	7.2	7.2	7.2
7.3	7.3	7.3	7.3
6.8	6.8	6.8	6.8
5.8	5.8	5.8	5.8
3.7	3.7	3.7	3.7
4.2	4.2	4.2	4.2
3.1	3.1	3.1	3.1
3.2	3.2	3.2	3.2
3.1	3.1	3.1	3.1
3.0	3.0	3.0	3.0
3.0	3.0	3.0	3.0
2.4	2.4	2.4	2.4
2.2	2.2	2.2	2.2
1.9	1.9	1.9	1.9
1.5	1.5	1.5	1.5
1.4	1.4	1.4	1.4
1.3	1.3	1.3	1.3
1.3	1.3	1.3	1.3
1.2	1.2	1.2	1.2
0.9	0.9	0.9	0.9
0.9	0.9	0.9	0.9
0.9	0.9	0.9	0.9
0.8	0.8	0.8	0.8
0.8	0.8	0.8	0.8
0.7	0.7	0.7	0.7
0.6	0.6	0.6	0.6
0.6	0.6	0.6	0.6
0.6	0.6	0.6	0.6
0.5	0.5	0.5	0.5
0.5	0.5	0.5	0.5
0.5	0.5	0.5	0.5
0.5	0.5	0.5	0.5
0.4	0.4	0.4	0.4
0.4	0.4	0.4	0.4
0.4	0.4	0.4	0.4
0.4	0.4	0.4	0.4
16.4	16.4	16.4	16.4
282.2	282.2	282.2	282.2
12.5	5.8	2.7	1.3
272.8	278.6	281.2	282.6
合計	合計	合計	合計

表 8: (つづき) 走行 10,000km, 燃費 10km/l の場合のガソリン消費・生産からの CO₂ 排出量
(単位: kg-CO₂)

削減6次効果		削減7次効果		削減8次効果		削減9次効果		削減削減合計	
燃料	1.4	燃料	1.2	石油製品	0.7	石油製品	0.2	石油製品	2615.2
事業用発電	1.1	石油製品	0.8	事業用発電	0.4	事業用発電	0.1	事業用発電	66.7
自家発電	0.7	事業用発電	0.7	燃料	0.3	自家発電	0.1	自家発電	52.9
石油製品	0.6	自家発電	0.4	自家発電	0.2	燃料	0.1	石油・内水運送	18.3
組網(配網)	0.2	フェロアロイ	0.1	その他計	0.6	その他計	0.3	原油	17.1
フェロアロイ	0.2	その他計	1.0					自動車用発電機	10.2
燃料・和紙	0.1							自家用貨物自動車	7.9
石油製品	0.1							小売	7.6
組網(電気網)	1.3							運輸貨物輸送	6.6
その他計								石油製品	5.6
								セメント	5.1
								燃料・和紙	3.6
								燃料・和紙	3.3
								高度物処理(産物)	2.8
								航空輸送	2.6
								分類不明	2.5
								和紙	1.8
								ハイヤー・タクシー	1.3
								その他の買入・土石製品	1.2
								企業内研究開発	0.9
								燃料	0.7
								組網(配網)	0.7
								組網(配網)	0.7
								冷間仕上輸送	0.6
								金属製容器及び圧入製品	0.5
								不動産賃貸業	0.5
								石油化学基礎製品	0.5
								印刷紙中間物	0.5
								フェロアロイ	0.5
								その他の対象業所サービ	0.4
								熱体給電	0.4
								バス	0.4
								熱可塑性樹脂	0.4
								ソーダ工業製品	0.4
								組網(電気網)	0.4
								めっき輸送	0.3
								下水排水	0.3
								その他の高度化学工業製品	0.3
								運送	0.3
								港河運送	0.3
								高度物処理(公営)水	0.3
								環式中間物	0.2
								亜鉛(含再生)	0.2
								銅製品及び銅工品(鉄)	0.2
								アルミニウム(含再生)	0.2
								情報サービ	0.2
								建設増修	0.2
								その他の化学基礎製品	0.2
								石油化学系芳香族製品	0.2
								その他計	5.8
合計	5.8	合計	4.2	合計	2.1	合計	1.0	合計	2850.7
削減	2842.7	削減	2846.8	削減	2849.0	削減	2850.0	削減	2850.7

表9: (つづき) 小型乗用車1台・1年あたり補修・補填部品生産からのCO₂排出量
(単位: kg-CO₂)

間接6次効果		間接7次効果		間接8次効果		間接9次効果		直接間接合計	
事業用発電	0.8	事業用発電	0.4	事業用発電	0.2	事業用発電	0.1	事業用発電	30.3
石炭製品	0.7	石炭製品	0.4	石炭製品	0.2	石炭製品	0.4	自家発電	9.7
鉄鉄	0.5	自家発電	0.3	鉄鉄	0.1	その他計		石炭製品	8.1
自家発電	0.5	鉄鉄	0.2	その他計	0.1			タイヤ・チューブ	6.2
石炭製品	0.1	その他計	0.6					合成ゴム	5.0
その他計	1.1							石炭製品	4.4
								鋼鉄品及び雑工品(鉄)	3.6
								造船貨物輸送	3.5
								船(貨物)	3.2
								石油化学等遊離製品	2.5
								その他の化学等遊離製品	2.2
								自家用貨物自動車輸送	2.0
								自家用旅客自動車輸送	1.9
								船舶・内水運送	1.8
								陸揚陸中開物	1.5
								洋紙・和紙	1.4
								その他の窯業・土石製品	1.2
								ソーラー工業製品	1.1
								アルミニウム(貨物)	1.1
								その他の非鉄金属合金	1.0
								その他の有機化学工業製品	1.0
								航空輸送	0.9
								分類不明	0.9
								織物中開物	0.9
								船舶圧縮機材	0.9
								塩類(鉱石)	0.8
								企業内研究開発	0.8
								熱可塑性樹脂	0.7
								電機材料	0.7
								陶瓦	0.7
								その他の有機化学工業製品	0.6
								フクロロポリ	0.6
								石油化学等遊離製品	0.6
								非鉄金属開物製品	0.5
								電池	0.5
								亜鉛(含再生)	0.5
								農業用炭酸(農業)	0.5
								片断仕上開材	0.5
								樹脂(電気用)	0.5
								自動車部品	0.4
								その他	0.4
								内装部開物製品	0.4
								ハイパー・タック	0.3
								その他のゴム製品	0.3
								パ	0.3
								その他の合成樹脂	0.3
								その他計	0.3
								その他計	6.4
合計	3.7	合計	1.9	合計	1.0	合計	0.5	合計	118.8
累積	115.1	累積	117.0	累積	118.0	累積	118.5	累積	118.8

第9章

森林のCO₂吸収量推計のための基礎データ

1 はじめに

本章では、環境分析用産業連関表（90年表）と対応させて森林セクターを拡充する試みを示している。地球規模の気象変動という周知の課題を考える際に、経済活動によるCO₂の排出の基礎データだけではなく、特に森林の成長によるCO₂吸収のデータが必要と考えたからである。ここではそのためのデータベースの1つとしての森林ストックの測定について報告する。

第1章の推定に基づけば我が国のCO₂排出量は1990年で年間12億トン（CO₂換算）程度と推定される。また我が国の森林の存在量から簡易推定をするとCO₂の年間吸収量は3000万トンから2億トンと大幅に異なっている。例えば森林総合研究所の推定によれば1億9800万トン（CO₂換算値）である¹。一方われわれは以下に示す2つの方法でCO₂吸収量の簡易推定を行っている。第1の方法は1年間の重さの増加をあらわす純生産量（日本国内合計値）を用いた推定である。すなわち、まず樹木の純生産量と非リター率をかける²。次にセルロースの分子量に占めるセルロースの炭素分を計算し、純生産量とリター率をかけた計算値にかけるという方法である。この方法によれば森林によるCO₂吸収量は1億2000万トン（CO₂換算値）である。第2の推定方法は以下のとおりである。まず樹種別に成長曲線を推定し、森林成長量を計算する。つづいて森林成長量と森林存在量とをかける。第2の推定方法で吸収量を推定した場合は3000万トン（CO₂換算値）となる。このように推定方法によって森林の吸収量は非常に異なってしまう。

また森林総合研究所の推定とわれわれの簡易推定（第1の方法）は日本全体の吸収量を推定しているが、われわれの産業連関分析との対応で考えるともう少し詳細な情報が必要になる。すなわち、CO₂吸収を含めた各種シミュレーションでは、最低限、樹種別、樹齢別、地域別の森林存在量とそれぞれに対応するCO₂吸収量を推定する必要があると考えられる。本章は第1次接近としてできあがった森林セクターのデータに基づき、我が国の森林の状況を解説することを目的としている。本章では世界の森林の1990年での状況をFAOのデータをもとに紹介し、つづいて林野庁のデータをもとに日本の森林の属性別分布を紹介する。

¹環境庁編『環境白書』平成4年版

²非リター率とは落ち葉や落枝にならない比率である

2 世界の森林の概要

森林セクターのデータから導いたおもだった結果を海外データ（FAO）との関連で要約しておこう。

FAOの統計によると世界の森林面積は4030万km²(1990年)であった。一方、日本の森林面積は25万km²で、この数値は世界の森林の約0.6%を占めている。また、世界の森林率（世界の陸地面積に対する森林面積の割合）は31%であり、日本の森林率は66%から67%である。アジア地域の森林率は20%（アジア地域42ヶ国の平均値）であるので日本はアジアの中に位置しながら、南米並み（南米地域の平均は47%）の森林率を有していることがわかる。

2.1 森林によるCO₂吸収量

IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)によれば全陸上植物が光合成によって1年間に同化する量は炭素量で614億トンである。また、土壌などの呼吸により600億トンが放出されている。したがって年間14億Cトン（これを二酸化炭素に換算すると51億トン）が固定されていると考えられる。

ところで環境白書（平成4年版）によると1989年に世界の化石エネルギー消費による排出量は炭素換算でおよそ59.7億トンと推定されている。したがって、その差45億トンが大気中に放出されていることになる。

2.2 森林面積について

FAOの統計によると1990年の世界の森林面積はおよそ4030万km²（40億3000万ha）である。この数値は日本の総陸地面積の109倍、日本の森林面積合計の161倍に相当する大きさである。また森林率で表すと約31%となる。森林率とは森林面積が土地面積に占める割合である。式で表わすと

$$\text{森林率} = \frac{\text{森林面積}}{\text{土地面積}}$$

となる。

次にFAOの分類にしたがって先進国（41ヶ国）と発展途上国（170ヶ国）に分けたとき、それぞれの森林面積合計はそれぞれ2100km²,1900km²である。（表1）この値をそれぞれの土地面積,5500km²,7600km²で除した森林率は34.6%,28%である（表1）。

2.3 1人あたり森林面積の比較

今度は森林面積を人口で割った、1人あたりの森林面積で比べてみよう。1990年の森林面積は40億3000万ha、人口はおよそ53億人であった。したがって1人あたりの森林面積は0.76haである。（表1）先進国と発展途上国とに分類した時では、先進国1.52haに対して、発展途上国は0.53haで先進国のわずか $\frac{1}{3}$ である。

表1 世界の森林状況

	世界合計			
	先進国	発展途上国		
		日本		
森林面積 (単位: 万Km ²)	4030	2100	25	1900
森林率 (単位: %)	31	34.6	66	28
1人あたり森林面積 (単位: ha)	0.76	1.52	0.2	0.53

FAO "YEARBOOK PRODUCTION 1991"

2.4 世界の森林面積の推移

さきに1990年の森林面積をみた。ここでは15年前まで溯って、森林面積がどのように移り変わってきたかを見てみよう。

1975年の森林面積は4168万km²(41億6800万ha)であったから、15年間で世界の森林面積は140万km²減少したことになる。すると、1年あたりの平均減少面積は9.3万km²である。

ところで先に示したような1990年の森林面積と同年のCO₂吸収量から単位面積あたりの吸収量が計算できる。すなわち、1万km²あたりの吸収量は4.0943 × 10⁶トンであるから、9.3万km²の吸収量は38.077トンである³。したがって、1975年から1990年までの期間において森林面積の減少によって、1年あたり平均38.1トン(CO₂換算値)の吸収が失われていることになる⁴。15年間の累積値としてみると571.5トンである。

2.5 森林率の推移

1990年世界全体の森林率は1975年の32%に比べて1%ポイント減少している。森林率の減少幅が最も大きいのは1975年から1980年までの5年間で0.6%ポイント減少しているがその幅は年々小さくなっている。

先進国、発展途上国別の森林率を比べると1985年から1990年の間に先進国の森林面積が増加しているため、両者の乖離は大きくなっている。

2.6 1人あたり森林面積

今度は先進国と発展途上国別に1人あたり森林面積を比べてみよう。先進国は1975年から1990年までの15年間に0.15ha減少しているのに対し、発展途上国では0.25haの減少である。先進国の中で最も減少

³世界の森林が吸収した二酸化炭素の量はCO₂換算にすると165億トンである。

⁴この計算では、減少面積の生態系タイプ(たとえば、熱帯多雨林、温帯林)の分布が、地球全体の生態系タイプの面積分布と同じになると仮定している。

面積が大きいのはオセアニアで3haの減少, 発展途上国の中では近東が5ha減少している。日本でも1人あたり森林面積は0.02ha減少している。

2.7 発展途上国と先進国で森林の破壊率

1980年から1985年までの発展途上国の森林破壊率は0.75%で最も高い数値であった。森林破壊率とは各期の森林減少面積を各期首の森林面積で除した割合を示す。これを式で表すと

$$D^t = \frac{(Sa^{t+1} - Sa^t)}{Sa^t}$$

ただし

D^t : t期の森林破壊率
 Sa^t : t期の森林面積
 Sa^{t+1} : t+1期の森林面積

と計算される。近年(1985年から1990年)は0.6%で破壊率は減少傾向にある。一方先進国は森林面積が増大しているので1980年から1985年, 1985年から1990年いずれもマイナスの値となっている。詳細は表にまとめてある。

表2 世界の森林状況の推移

	1975~1980	1980~1985	1985~1990
先進国	0.69%	-0.91%	-0.8%
発展途上国	2.4%	2.55%	2.2%

FAO, "YEARBOOK PRODUCTION 1991"

3 森林ストック表の作成

3.1 基本的データの内容

森林のCO₂吸収量の推計方法の概略は以下の通りである。

吸収量は樹種別, 樹齢別, 地域別に推定する。

吸収量を計算するためには森林のストックの大きさと, 森林ストック1単位あたりどれだけCO₂を吸収するかを知る必要がある。したがってまず, 樹種別, 樹齢別, 地域別に既存の森林ストック表と吸収係数表を作成する。(図1)

森林ストック表の単位は重さの単位で作成するのが自然であろう。というのは, たとえば本数単位とすると同じ樹齢, 同じ樹種であっても1本あたりのおもさ, 面積のばらつきが大きすぎてしまうからである。ただし, データの制約のために体積のデータからの推計が必要になる。また, 森林ストック表は既存の森林ストックに植林, 伐採, 間伐等を考慮して時点別に作成する。

吸収係数表は森林ストック1トンに対する吸収量を表にしたものである。すなわち, この表は樹齢k年, 樹種i, 地域jでは1トンあたり何程吸収するか推計したものである。樹木の成長曲線の推定を行うことに

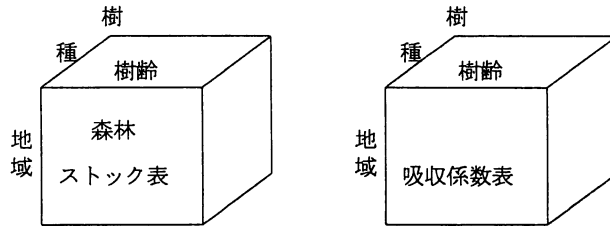


図1 森林セクターの付帯表

よって吸収係数表を作成する。したがって成長曲線は樹種別、樹齢別、地域別に行いたい。

CO₂吸収量の推定は森林ストック表と吸収係数表をかけたものとしてあらわすことができる。

したがって環境分析用産業連関表を用いて、たとえば政府が自然資本の投資（植林）をして森林ストックが増えたときに、CO₂排出量からCO₂吸収量を引いた、ネットの排出量がどれだけ減るかがわかる。さらに、植林をしたいところにはどの樹種が適しているのか、どのような密度管理などをすればよいのか知ることができよう。

3.2 データの作成

森林ストック表は森林の大きさを重量（トン）単位で表したもののだが、林野庁の統計データには重量で表したものはない。そこで森林面積や体積のデータから重量単位での推定をしなければならない。森林面積のデータと体積のデータは林野庁『森林資源現況』から入手することができる。そこで、このデータ（体積）を重量に換算する単位として容積密度数が必要になる⁵。重量単位の1990年時点で現存する森林ストックを推定するには以上の資料で十分である。しかし森林ストック表は伐採や間伐、植林による森林増減のデータを加えて時系列のバランスシートデータに相当する表にしたいと考えている。したがって、伐採、間伐、植林のデータも必要となる。またシミュレーションによっては重量単位でなく、本数単位に換算した方が便利な場合が考えられる。そのためには立木密度のデータが必要である⁶。

巻末の表（「森林ストック表作成のためのデータベース一覧」）はこれまでに集まったデータがどの樹種についてあるのか、また、どの地域についてそのデータはあるのか、いつ調査したものかなどがあらわされており、○印は現在入手できるデータベースである。時系列で森林ストック量の推計をするためには、伐採量や間伐量、造林量のデータが必要となる。伐採量のデータは都道府県別には伐採面積をha単位で

⁵容積密度数とは室温でのかさ比率のことである。

⁶立木密度とは1haあたり、木が植えてある度合のことで、単位は[本/ha]で表される。

示した『林業生産統計年報』,材積量(体積)を1000m³の単位で示した『国有林野事業統計』の2種類がある。高知営林局が独自にアンケート調査したものとして伐採性向を示したものがある⁷。

巻末の表は針葉樹のデータベースであるが,広葉樹についても同じような表を作成した。これらの表をみると○印が少なく,データの入手が困難であることがわかる。

以下ではわが国の森林の分布を調べるのに用いたデータ『森林資源現況』を簡単に解説しよう。『森林資源現況』では日本の森林を人工林と天然林に分けたときのそれぞれのデータが示されている。人工林については,都道府県別,樹種別,齢級別(17齢級)面積と蓄積(体積)が総数,国有林,民有林別になっている⁸。樹種は針葉樹総数,広葉樹総数で大別されている。針葉樹総数がさらにスギ,ヒノキ,日本マツ,カラマツ,その他の針葉樹に分類されている。「その他の針葉樹」に分類される種類はそれぞれの植生によって,地域ごとに異なっている。

天然林については都道府県別,齢級別(17齢級)面積と蓄積が,総数,林野庁所管国有林,民有林別になっている。面積については都道府県別,齢級別のデータしか与えられておらず,体積については都道府県別,齢級別体積と都道府県別,樹種別体積の2種類が与えられている。いずれにしてもこのデータを森林ストック表の作成に使うには,樹種別,齢級別のデータを推定しなければならない。天然林の地域別,樹種別,樹齢別体積を推定する際に以下の方法を用いた。

すなわち,天然林の都道府県別・樹種別体積データから各都道府県ごとに樹種別シェアを計算し,それに齢級別・都道府県別蓄積量のデータをかけて天然林の蓄積データを作成した。

森林ストック表は最終的にはおもさで測られるので,人工林と天然林の蓄積合計値に容積密度をかけて重さの単位のストック表を作成した。

『森林資源現況』のデータは齢級別に分かれているので,1年ごとのデータにするには齢級内の年について補間する推定を行わなければならない。この推定にはスプライン補間法を用いた。こうして得られた森林ストックデータから日本の森林の属性別重量分布を概観してみよう。

3.3 わが国の状況

3.3.1 日本の森林面積及び森林率の比較

1975年の日本の森林面積は2503万haであった。1990年は2510.5万haであったから7万5000ha増加していることになる。日本の森林率は15年前とほとんど変わらず66%程度である。日本の木材製品需要から考えると,この数値は異常に高いといえるのではないか。

世界の木材製品貿易量は1億3020万m³あり,そのうち製材・合板用丸太は7297万m³で,世界の木材貿易量の7%を占めている。また,パルプ用材は5260万m³,薪炭材は455万m³である。

一方,日本の木材製品貿易量は用材で5132万m³である。これは世界の貿易量の5%を占める。また,薪炭材は48万m³,製材・合板用丸太は3221万m³,パルプ用材は1912万m³であり,いずれも輸入上位国となっ

⁷伐採性向 = $\frac{\text{伐採材積}}{\text{伐採前の全材積}}$

⁸国有林とは林野庁所管のもの民有林とはそれ以外のもの

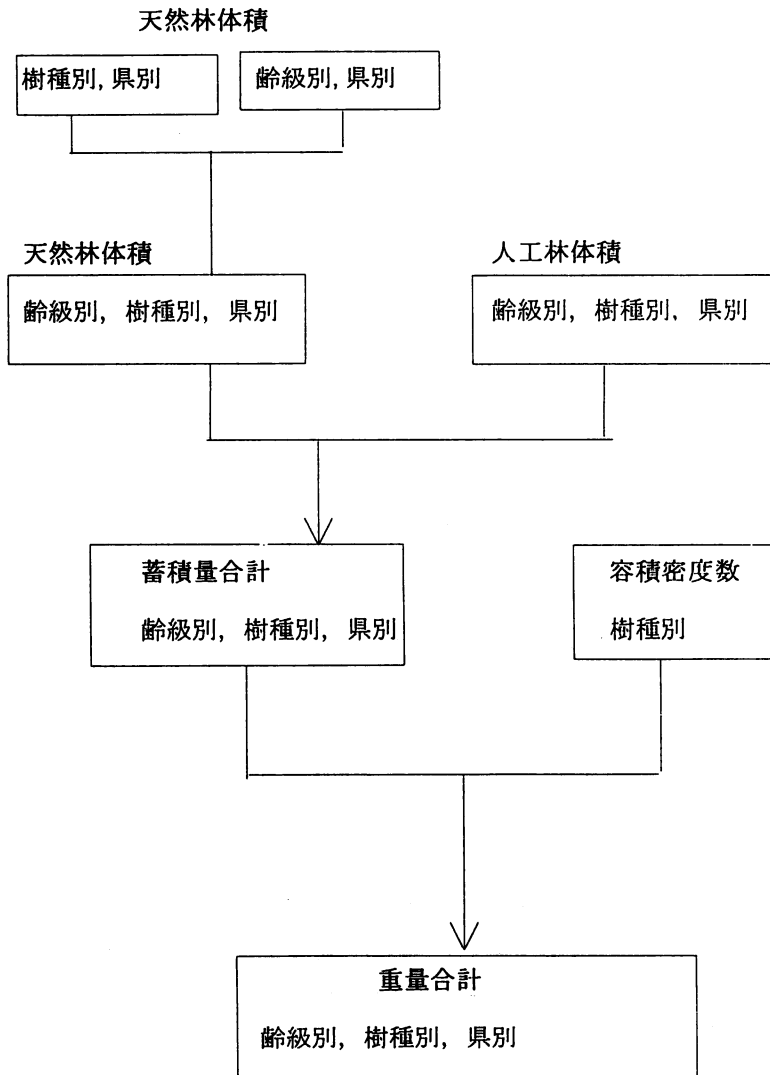


図2：データの作成方法

ている⁹。

3.3.2 日本の森林面積

日本は総陸地面積約37万8000km²で、そのうちの森林面積は25万km²であるから森林率は66.7%となり世界第16番目に森林率が高いと推定されている。日本の森林は世界の森林面積の0.6%を占めている。日本の林野面積のうち人工林は10万km²で林野面積全体の41.7%、日本全土の26.3%にあたる。一方これを体積で測ると、31億3600万m³あり、そのうち人工林は16億m³、およそ51%である。人工林比率は1985年の人工林比率と比べると、45.4%から51.0%と約6%増加している。

3.4 地域分布

この節では日本全体を、おおよその気候区分にのっとり12の地域にわけたとき地域的な分布を調べる。樹木の成長には気温と降雨量が影響すると考えて分類した。それぞれの地域の気候の特徴を簡単に

表 1: 地域区分

北海道地方	北海道
両羽地方	青森県, 秋田県, 山形県
北陸地方	新潟県, 富山県, 福井県, 石川県
山陰地方	鳥取県, 島根県,
近畿内陸地方	滋賀県, 京都府, 奈良県
中央高地	福島県, 栃木県, 群馬県, 山梨県, 長野県, 岐阜県
三陸地方	岩手県, 宮城県
東海地方	茨城県, 埼玉県, 千葉県, 東京都, 神奈川県, 静岡県, 愛知県
瀬戸内地方	大阪府, 兵庫県, 岡山県, 広島県, 香川県, 愛媛県, 大分県
南海地方	三重県, 和歌山県, 高知県, 徳島県, 宮崎県, 鹿児島県
北九州地方	山口県, 福岡県, 佐賀県, 長崎県, 熊本県
南西諸島	沖縄県

述べる。

まず北海道地方だが、冬非常に寒く夏は涼しいという特徴がある。また両羽地方、北陸地方、山陰地方は雪が多く、三陸地方は冬は寒いが雪は少ない地方である。東海地方は冬は晴天が多く寒さは厳しくない。瀬戸内地方は年間を通じて比較的雨の少ない地方である。南海地方は冬は温暖で、夏は雨が多く、北九州地

⁹茅陽一『ひと目でわかる地球環境データブック』オーム社

方は冬の寒さは厳しくないが曇りのことが多い。そして南西諸島は冬暖かく、夏は暑く、雨の多い地方でもある。ただし京都府、奈良県、滋賀県は山陰にも、瀬戸内にも南海にも東海にも属さない気候をもつ地域であるので近畿内陸地方として別計した。

日本における地域分布は図2のとおりである。これは人工林と天然林の面積を合計したものである。北海道が最も多く2億4900万トン、南西諸島が最も少なく500万トンであった。森林面積の最も多かった北海道地方は南西諸島の50倍の重量を有する。

図3は地域別の森林率をグラフにしたものである。森林率が最も高かったのは山陰地方の約73.3%で、最も低かったのは東海地方の39.7%であったが、東京などを含む東海地方と南西諸島の40%程度で著しく低かったのをのぞけば、他の地方は日本全体の平均値に近い値になった。

3.5 樹種分布

次に日本ではどの種類の樹木が多いのか調べてみよう。(図4参照)

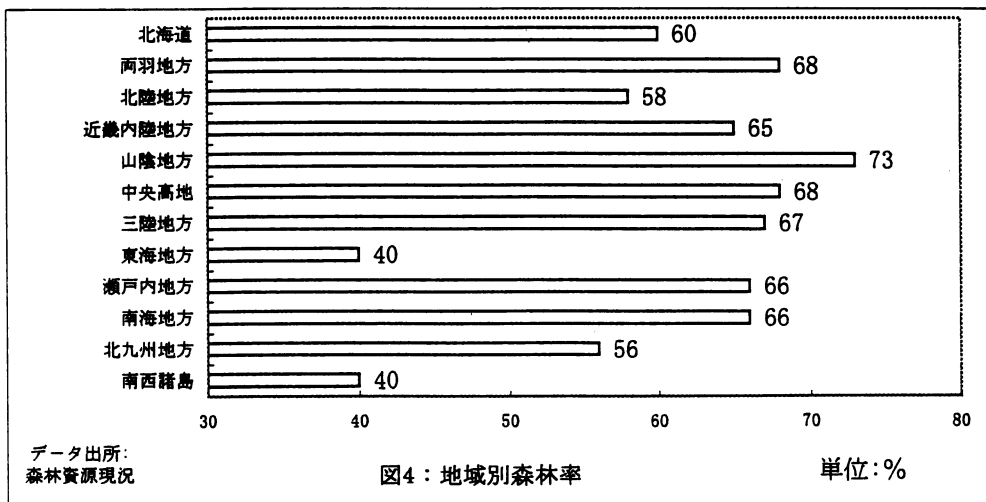
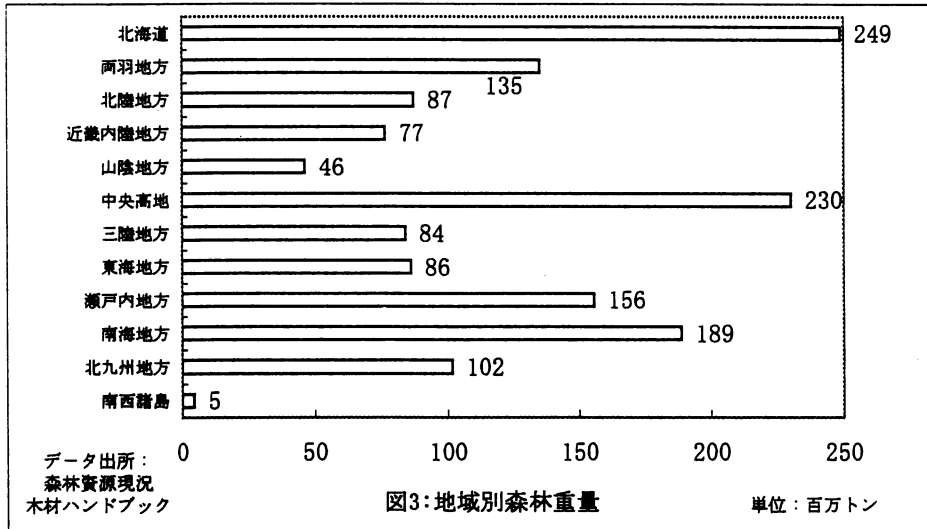
まず、針葉樹と広葉樹に分けたとき、広葉樹重量5億4000万トンに対して、針葉樹7億6000万トンと針葉樹のほうが大きい重量をしめている。針葉樹をさらにスギ、ヒノキ、マツ類(アカマツ、クロマツ)、カラマツ、その他の針葉樹に分けたときのそれぞれの重量を比べたものが図5である。最も重量が大きかった樹種はスギで約3億トン、次いでマツ類1億3400万トン、ヒノキ1億トンと続く。

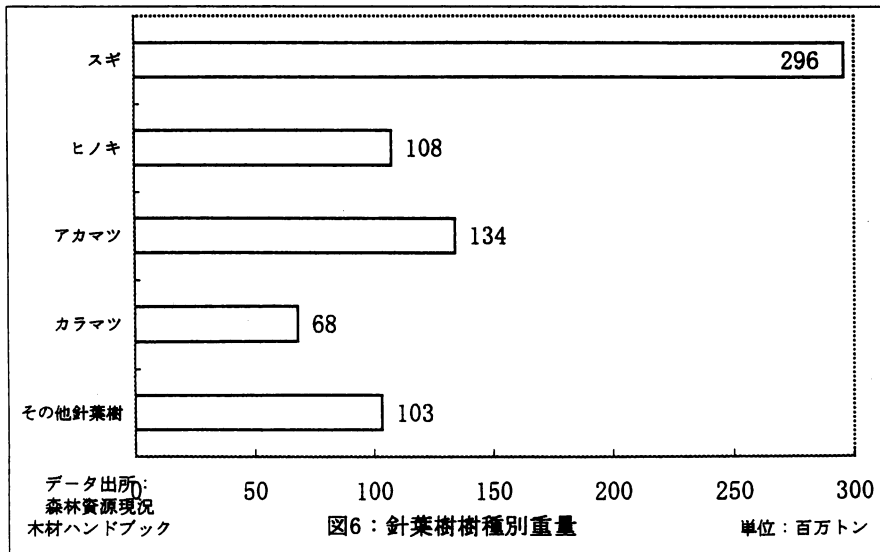
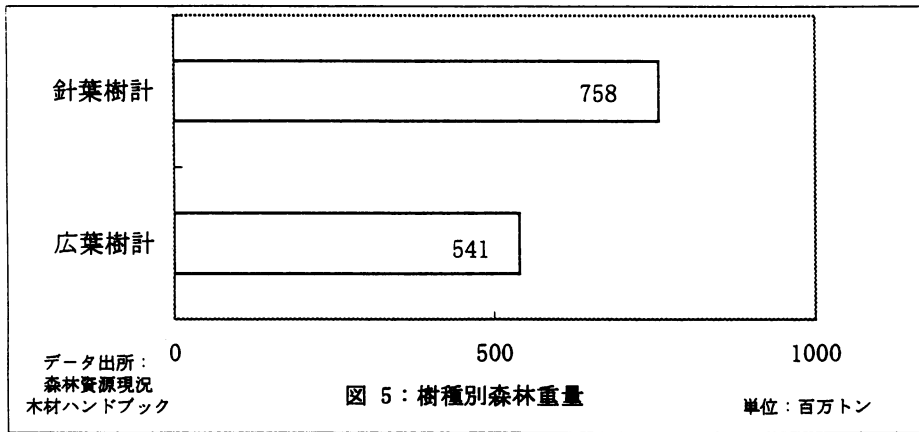
スギは日本特産で本州中南部(智頭、吉野、北山、天竜、西川、山武、秋田)、四国(魚梁瀬、久万、木頭)、九州(蝕肥、日田、小国)、屋久島などに多い。柱、桁、長押、などの建築用材として主に用いられ、他に桶や箆にまではば広く加工されてきた¹⁰。またスギは木造建築に適していることなどから積極的な植林がなされてきた。スギの人工林蓄積は天然林蓄積の182.1倍であることからもいかに植林が積極的に行われてきたかがわかる。

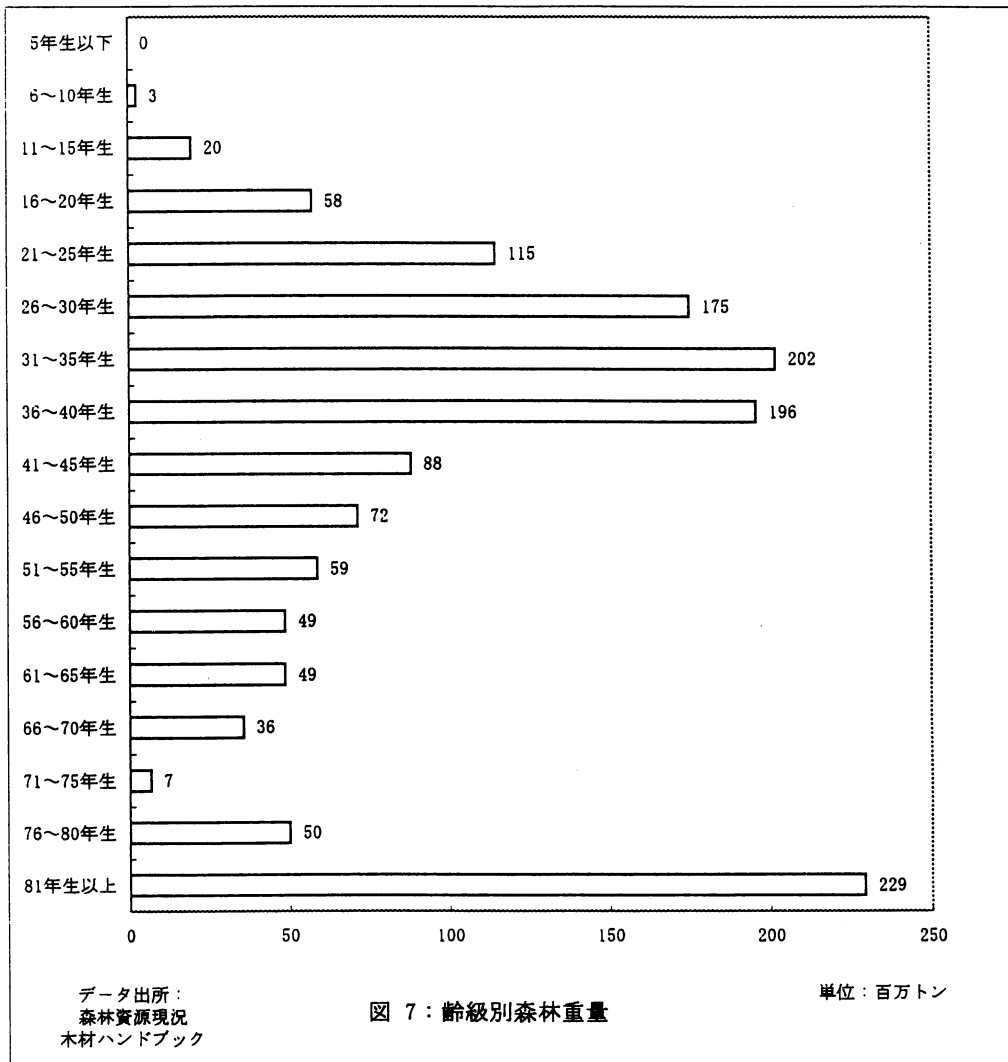
3.6 齢級分布

図6は齢級別にみた分布を示している。ここで齢級とは樹齢を5年ごとにわけた級のことである。したがって、樹齢5年生以下を第1齢級、6年から10年までを第2齢級という。樹齢81年以上が最も多く2億3000万トン、次いで樹齢31年生から36年までが2億トンであった。また最も重量が少なかったのは樹齢71~75年生(15齢級)で700万トンであった。

¹⁰菅原聡『人間にとって森林とは何か―荒廃をふせぎ再生の道を探る―』、上村武『木材の実際常識』







4 おわりに

本節では環境分析用産業連関表の森林セクター作成に必要なデータを簡単に解説し、日本及び世界の森林の現状を観察してきた。その結果をまとめると以下ようになる。

1. 世界では総面積のおよそ30%の森林があり、そのうち日本は世界で16番目に森林面積が多い国である。
2. 15年前と比べて、先進諸国では森林面積が増加しているのに対し、発展途上国ではたいへんな勢いで減少している。
3. 世界の森林によるCO₂吸収量は二酸化炭素に換算して51億トンで、日本の吸収量は5150万トンと推定されている。
4. 森林の地域分布は北海道が最も多く、南西諸島が最も少なかった。
5. 森林率を計算したときは東海地方、南西諸島が40%程度と少なく、山陰地方は最も多く73%であった。
6. 樹種分布では蓄積重量およそ13億トンのうち、針葉樹が7億5400万トンで、全体の58%を占める。また針葉樹の中ではスギが最も多い。
7. 齢級分布をみると樹齢81年生以上が最も多く(2億3000万トン)、次いで樹齢31年から35年となっている。

森林セクターは、これまでの環境分析用産業連関表に樹木による吸収量を示した森林セクターの表を付帯表としてつけ加え、経済活動によるCO₂排出と森林資源によるCO₂吸収と同時併記して産業連関表を拡大することを目的としている。したがって、今後はこれらのデータを用いて地域別・樹種別・樹齢別吸収曲線を推定するなど、さらに細かく分析して各種シミュレーションを行いたい。

表 3: 森林ストック表作成のためのデータベース一覧（針葉樹）

	出典	単位	杉	檜	日本マツ	唐松	蝦夷松	樺	サワラ	ひば	針葉樹計
面積	樹種別, 齢級別, 地域別面積	ha	○	○	○	○	○				○
	樹種別, 地域別面積	ha	○	○	○	○					○
	樹種別, 地域別面積	千立米	○	○	○	○					○
体積	樹種別, 地域別面積	千立米	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	樹種別材積	千立米	○	○	○	○	○	○	○	○	○
立木密度	林分子種収獲差		○	○	○	○	○				○
	密度管理図		○	○	○	○					
伐採	森林伐採面積	ha									○
	伐採材積	千立米	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	伐採性向			○							
間伐	主要樹種別素材生産量	千立米	○	○	○	○	○	○			○
	間伐面積	ha									
造林	人工造林面積	ha	○	○	○	○				○	

注 1: 日本マツとはアカマツとクロマツを示す。

表3: (つづき) 森林ストック表作成のためのデータベース一覧(広葉樹)

橡	楮	アナ	栗	檜	樺	楓	科木	タモ	樺	桂	タブノキ	センノキ	広葉樹計	地域	調査時点	樹齢別
○		○											○	都道府県	H3	13 齢級
													○	都道府県	H2.3.31	17 齢級
													○	都道府県	H2.3.31	17 齢級
○	○	○	○	○	○	○	○						○	都道府県	H2.4.1	
														営林局	H2.4.1	
														営林局	H1.12.31	
													○	都道府県	H4.12.31	
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	都道府県		
														高知営林局		
○	○	○											○	都道府県	H1.12.31	
														都道府県		
													○			

環境分析用産業連関表 改訂版

1996年3月31日 初版発行

2000年3月31日 3版発行

発行者 慶應義塾大学産業研究所

所長 吉岡完治

〒108-8345 東京都港区三田2-15-45

TEL 〔代表〕(03)3453-4511



CALAMVS GLADIO FORTIOR