

24. 情報通信技術の普及が環境に与える影響に関する研究

Study on impact of information and telecommunication technology on Environment

- Case study of CO₂ emission -

藤原健史*、嶋村亮**、松岡譲*

Takeshi FUJIWARA, Ryo SHIMAMURA, Yuzuru MATSUOKA

ABSTRACT: Recently, Information Technology (IT) has spread quickly in Japan. In this study, we developed a model to estimate the influence of IT on industrial economy and to estimate the related environmental load. This model consists of two modules: input-output analysis module and energy conversion module. The former module estimates multiplied effects of adoption of IT on industry economy, and the latter module calculates CO₂ emission by using the relationship between the emission and industrial production. An IT spreading scenario including evolution of broadband network, electronic commerce (BtoB and BtoC), and telework was considered. As a result of our estimation, demand for power sector increased, and CO₂ emitted from oil products decreased due to reduction of transportation. Total CO₂ emission increased because of large amounts of demands for the power sector.

KEYWORDS: Information Technology, Input-Output table, CO₂ emission, Electronic commerce, Telework.

1. はじめに

1990年代末、情報通信技術（Information Technology、以下 IT）は産業革命に匹敵する歴史的な大転換を社会にもたらした。企業の IT 化は、当初、従来の業務を効率化させる手段として整備され始めたが、期待される改善効果が得られなかった。そして次第に IT 化は、企業の構造改革や国際競争力の強化のための手段として整備されるようになり、その結果、IT が整備された企業と未整備の企業には競争力において顕著な差が見られるようになった。IT をベースとした商取引は着実に市場規模を拡大しており、またテレワークのようにライフスタイルを変革するような就労形態が現実になりつつある。また、IT は一般消費者まで広く普及し、消費者間のコミュニケーションの手段として使われるだけでなく、インターネット上の仮想店舗は企業と消費者の直接的な取引の場として利用されている。

IT インフラの整備に目を向けると、わが国では国家戦略として平成 13 年に『e-Japan 戦略』（2001）が作成された。この政策は「5 年以内に世界最先端の IT 国家となることを目指す」を目標としており、これに基づいてブロードバンドインフラが整備された。その結果、平成 16 年 2 月に、高速インターネットアクセス網への加入可能世帯数はデジタル加入者回線（DSL）が 3,800 万世帯、ケーブルインターネットが 2,300 万世帯、超高速インターネットアクセス網（FTTH）が 1,806 万世帯となった。また、平成 15 年度末の加入可能世帯数に対するブロードバンド契約数の比率は、DSL、ケーブルインターネット、FTTH でそれぞれ約 30%、約 11%、約 6%となった。ブロードバンドはまだ低い水準であるが、今後の利用率向上の取り組みで IT 化が一層進展することが予想される。さらに、ユビキタス社会（「いつでも、どこでも、何でも、誰でも」ネットにつながる社会）の実現に向けた政策（u-Japan）もとりまとめられようとしており、IT はますます身近なものとなる方向に進んでいる。

IT の普及は、情報流通の費用と時間を劇的に削減し、高い密度の情報のやり取りを可能とする。また人の空間的な移動を減らし、世界規模で急激かつ大幅な社会経済構造の変化を生じさせる。このような IT 化の進

*京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻, Department of urban environmental engineering, Graduate School of Engineering, Kyoto University, Yoshida Honmachi, Sakyo-ku, Kyoto, Japan, 606-8501, 代表 email: takeshi@env.kyoto-u.ac.jp

**京都大学大学院工学研究科環境工学専攻、現 TIS 株式会社

展は、経済システムや一般家庭におけるライフスタイルに大きな影響を与える。したがって、その影響は環境に対して直接的・間接的に影響を与えることが予想される。

以上の背景をふまえて本研究では、わが国の IT 化によって生じる環境影響を定量的に評価することを目的とする。具体的には、1) IT 化の普及に応じたシナリオを作成し、2) シナリオ毎に IT 化が産業に及ぼす影響を推計し、3) 産業構造の変化による環境影響を評価する。IT 化の普及の度合いに応じて経済的効果どのように変化するのか、また、それが地球環境（二酸化炭素）へどのような影響を及ぼすかについて評価する。

2. 既往の研究

総務省をはじめ多くの研究所で IT の経済への影響が調査・研究されているが、IT の環境負荷削減効果を定量的に評価する試みは始まったばかりである。包括的な調査には、郵政省（現総務省郵政事業庁）電気通信審議会の試算（1998）、地球産業文化研究所（2002）、松本ら（2002）の研究がある。一部の IT 関連企業は、IT 関連機器の普及による環境負荷の評価や削減目標を示しているが、産業全体の環境への影響までは明らかにしていない。室田、高瀬ら（2001）は、米国と日本について IT 投資がエネルギー消費や環境負荷排出に与える影響を、経済モデルとエネルギーモデルを用いて分析した。また、米国について IT 投資がエネルギー原単位（エネルギー/GDP）に与える影響を検証した。その結果、IT 化によってエネルギー原単位は低下するが、IT 化による営業面積の削減効果を盛り込まないケースではエネルギー消費が増大した。吉岡ら（2004）は、IT 機器及び IT サービスの CO₂ 負荷から IT 産業がもたらす環境負荷の相対的評価を行ったところ、IT ウェイトを高めた経済成長の方が、単位 GDP あたりの CO₂ 排出量が圧倒的に小さくなった。予測では 2010 年に IT 化進展ケースでは BaU ケースより経済が約 7% 拡大、CO₂ 排出量が 3% 増加するが、生産額当たり CO₂ 排出量が約 4% 改善されるので、結果として IT 化による CO₂ 排出量の顕著な増大はないことが示された。

IT の環境影響を定量化する研究はまだ少なく、多くは IT 投資の経済影響がもたらす環境負荷の分析である。本研究では、IT への投資金額ではなく、「IT を実際に利用する」ことによって生じる産業部門への影響を定量的に表わした。また、対象を日本の産業全体とすることで、IT の環境への影響をマクロ的に捉え、IT の普及が段階的に進むときの CO₂ 環境負荷量を定量的に評価した。

3. 二酸化炭素排出量推計モデル

本研究では IT の普及とそれに伴って生じる環境負荷発生量を推計する。本研究で用いるモデルの概要を図 1 に示す。モデルは IT の普及による経済への効果を分析する産業連関分析モジュールと、各産業の生産額に応じて CO₂ 排出量を求めるエネルギー換算モジュールから構成される。

3. 1 産業連関分析モジュール

産業は相互に取引の関係を形成しながら生産活動を営んでおり、生産活動は国民経済の需要構成や、賃金・利潤などの所得に影響を与える。産業間の生産技術的な連結関係を明示し、この関係を需要の構成と所得形成に結びつけ、国民経済の構造を経済循環と、その波及という両面からとらえたものが産業連関分析である。産業連関分析では、1 つの生産要素の需要が変化したときの他の産業への需要の波及効果を推計することができる。産業連関分析には、基本となる次の 3 つの表がある。

- 1) 産業連関表：産業連関表は、一国の経済活動を産業間の連結を主軸としてマトリックス形式にまとめたものである。表の縦軸には中間投入財の供給部門と粗付加価値、横軸には財の需要部門、及び国内最終需要、輸出・輸入の列が並ぶ。表を横方向に読むと各生産物の販路の構成ないし産出の配分の構成がわかる。
- 2) 投入係数表：産業連関表の縦列に示される生産のための中間投入額をその産業の生産額で割った値であり、

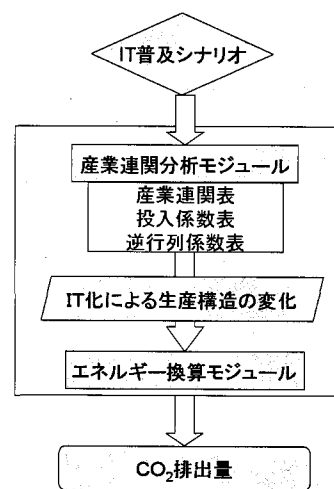


図1 モデルの流れ

その産業が生産 1 単位あたり必要とする当該産業への投入単位を示している。

3) 逆行列係数表：産業連関表において投入係数を変更した場合の波及の連鎖は次々に広がっていく。この連鎖の効果を求めた表が逆行列係数表である。産業連関表の需給バランスを式 (1) に示す。

$$X = AX + Y + E - I \quad (1)$$

ここで、 X, Y, E, I はそれぞれ生産額ベクトル、国内最終需要ベクトル、輸出額ベクトル、輸入額ベクトルである。この式で輸入額 I を固定してしまうと生産誘発効果が輸入に波及してゆかない。産業連関分析では輸入の扱いについて幾つかの方法が考えられているが、本研究では標準的な方法をとることにする。

第 i 産業における輸入係数 m_i を式 (2) に示すように定義する。

$$m_i = I_i / (\sum a_{ij} X_j + Y_i) \quad (2)$$

ここで、 I_i は第 i 産業の輸入、 Y_i は第 i 産業の国内最終需要、 a_{ij} は投入係数である。この m_i は i 商品の国内総需要に占める輸入品の割合、つまり輸入依存度を表す。この輸入係数を対角要素とする対角行列を M として、式 (2) を式 (1) に代入すると、式 (3) が得られる。

$$X = AX + Y + E - I = AX + Y + E - M(AX + Y) \quad (3)$$

式 (3) から、国内生産額を導くと式 (4) のようになる。この $[I - (I - M)A]^{-1}$ が逆行列係数表である。

$$X = [I - (I - M)A]^{-1} [(I - M)Y + E] \quad (4)$$

3. 2 エネルギー換算モジュール

本モジュールでは、産業連関分析モジュールで推計した各産業の投入・産出データをもとに、CO₂ 排出量を求める。まず、2000 年総合エネルギー統計の炭素バランス表から部門ごとのエネルギー排出量を求め、1995 年の産業連関表における当該部門のエネルギー部門へのエネルギー投入額との対応関係を定めた。そして、産業連関分析モジュールによって推計した各部門のエネルギー部門への投入額を、炭素バランス表の部門ごとに集計し、あらかじめ求めたエネルギー投入額とエネルギー排出量の対応関係から CO₂ 排出量を導き出した。なお、エネルギー部門として石炭製品、原油、石油製品、天然ガス、都市ガス、電気、蒸気・熱供給を選んだ。

3. 3 産業連関表の部門設定について

本研究では、総務省の平成 12 年産業連関表の 32 部門表をもとに、次の 2 種類の部門を追加するなどして 70 部門に詳細化した。

- 1) IT 化の設定で投入額を変化させる部門：パルプ・紙・木製品、電力・ガス・熱供給、商業、石油・石炭製品、不動産、運輸、通信・放送、対個人サービス
- 2) 炭素バランス表の部門と対応させるために詳細化した部門：鉱業、化学製品、窯業・土石製品、非鉄金属、その他の製造工業製品

32 部門産業連関表、70 部門産業連関表、炭素バランス表の間の部門対応表を作成した。

4. シナリオ設定

本研究では、IT の普及のシナリオをインターネット利用、電子商取引、テレワークのそれぞれの普及と関連付けて設定する。この中で、電子商取引 (Electronic Commerce、以下 EC) とはインターネットなどのネットワークを利用して契約や決済などを行なう取引形態をいう。従来から企業間の取引の一部は、商取引に関する情報を標準書式に統一して企業間で電子的に交換するシステム (Electronic Data Interchange、以下 EDI) を用いていたが、インターネットが一般消費者に普及するにつれて、消費者を直接対象にした EC サービスが急激に成長した。EC は取引を行う関係によって、1) 企業間取引、2) 企業・消費者間取引、3) 消費者間取引に分類されるが、本研究では 1)、2) に注目してシナリオを設定する。

IT の普及の度合いによって CO₂ 排出量を評価するため、まず基準年 (平成 12 年) の普及率を普及の第 1 段階と定め、次に近年 (平成 15 年) の普及率あるいは設定した目標普及率を普及の第 3 段階とした。した

がって、本研究は過去の普及段階あるいは実現可能な普及段階についての CO₂ 排出量の評価である。

4. 1 インターネット（ブロードバンド）の普及シナリオ

わが国のインターネット利用人口は年々増加してきた。

(図 2) e-Japan 戦略によりブロードバンドインフラが整備され、新規加入あるいはナローバンドからの利用換えが今後進むと考えられる。インターネット利用用途は、電子メールによるコミュニケーションや、商品・サービス・ニュースなどの情報入手手段としての利用が多く、次いで商品・サービスの購入に利用されている。今後は、動画や音楽データなどブロードバンド用コンテンツ利用が高くなると考えられている。情報通信白書（総務省、2004a）のインターネット利用による生活変化についてのアンケート調査では、電子メールを使ったコミュニケーションの時間が増加し、インターネットを利用した買い物や情報収集により買物時間や外出頻度が減少し、結果として読書などの趣味の時間や睡眠時間が減少したとしている。

シナリオでは、インターネットブロードバンドの普及率を、第一種、第二種電気通信事業者の事業内容（総務省、2003, 2004b）におけるデータ伝送量の割合と考えることにし、平成 12 年の 9.72% を基準として、3 段階で 13.9% に達すると設定した。インターネットやブロードバンドが普及することによって、情報サービスコストが増え、端末や通信機器への供給電力が増えると考えられる。したがって、全部門について電力部門への投入が 1.1%、通信部門への投入が 1.1% それぞれ増加すると設定した。

4. 2 企業間取引（Business to Business、以下 BtoB）

の普及シナリオ

BtoB EC は企業から企業あるいは行政機関に対する財（物品、サービス、情報等）の提供に EC を用いる取引方法である。BtoB EC のビジネスには、売り手と買い手が Web サイトなどを通してオープンな取引を行なう電子市場や、これまで企業内で抱えていた業務をネットワークを通じてアウトソーシングする ASP などがある。従来、企業や行政機関の財の調達、系列内や特定の取引先からが主であったが、インターネットを利用すれば新規取引先を開拓でき、価格や納期面で有利な調達が可能となるほか、調達品の電子データによる取引、購買プロセスの短縮化が利点として挙げられる。また、販売側にも、販売活動コストの削減、新規販売先の開拓、電子化による受注効率の上昇、顧客発注データベース利用による顧客サービスの円滑化、などの利点がある。

BtoB の市場の推計を図 2 に示す（経済産業省、2004）。2003 年は、景気低迷による情報化投資抑制の動きも見られた中で、BtoB EC 取引額は順調に拡大した。

平成 12 年度と平成 15 年度の電子商取引に関する市場規模・実態調査（経済産業省 2000, 2004）によると、平成 12 年および平成 15 年の BtoB EC の市場規模はそれぞれ 3.8% と 11.2% であった。

そこで、シナリオでは、平成 12 年の普及 3.8% を第 1 段階の普及率とし、3 段階で 11.2% に達すると設定した。また、BtoB EC の経済効果として、表 1 に示すよ

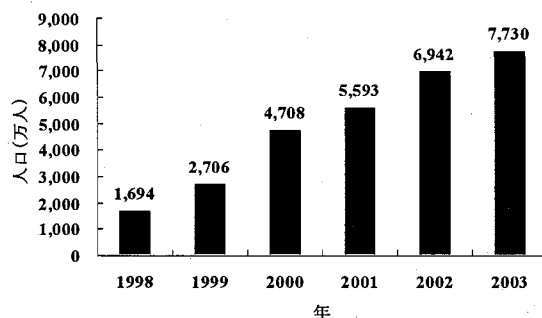


図 2 インターネットの普及率

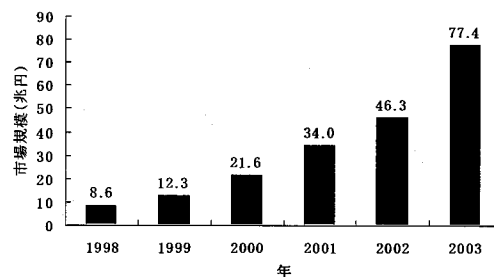


図 3 BtoB 市場の推計（経済産業省、2004）

表 1 BtoB の経済効果の設定

部門	設定
情報サービス	1.6
電力	1.6
パルプ・紙・板紙・加工紙	-1.6
不動産仲介及び賃貸	-1.6
鉄道旅客輸送、道路旅客輸送、自家輸送（旅客自動車）	-1.6

うに、1) EDI システムの利用による情報サービス費の増加、及び VAN・専用線などの従来型 EDI システムをインターネット技術へ転換する情報サービス支出の増加、2) サーバーや通信機器への電力コストの増加、3) 紙使用量の減少、4) 流通の効率化による倉庫維持費の削減、5) 営業活動削減による旅客輸送量の削減を想定した。

4. 3 企業・消費者間取引 (Business to Consumer、以下 BtoC) の普及シナリオ

BtoC EC とは、企業から個人消費者への財 (物品、サービス、情報等) の提供に EC を用いるものである。企業側には、インターネット利用による営業・広報活動費の削減、店舗運営費の削減、消費者直販による仲介費の削減、在庫管理費の削減、などのメリットがある。一方、消費者には、インターネットで商品情報の入手が容易、複数のオンライン店舗で商品・価格の比較が可能、デリバリにより来店不要、などのメリットがある。

BtoC 市場の推計を図 4 に示す (経済産業省、2004)。インターネット人口およびブロードバンド契約者数の増加もあり、BtoC 市場規模も毎年着実に増加している。BtoC の市場規模は BtoB ほどは大きくはないが、家庭におけるライフスタイルを変化させるため、その影響力は大きい。平成 12 年度および 15 年度の電子商取引に関する市場規模・実態調査によると、平成 12 年および 15 年の BtoC EC の市場規模は、それぞれ 0.26%、4.7% であった。そこでシナリオでは、この増加率を普及の 1 段階と定義する。そこで、シナリオでは、平成 12 年の普及 0.26% を第 1 段階の普及率とし、3 段階で 4.7% に達すると設定した。

BtoC EC が進展することによる経済への効果としては、表 2 に示すように、1) オンライン店舗設置による情報サービス利用の増加、2) 店舗設置費の削減、3) 店舗在庫品などの輸送削減、4) サーバー・通信機器への供給電力の増加、5) 消費者直販による卸売・小売の削減、6) 商品宅配輸送量への増加、7) 店舗に行かないことによる買物客輸送量の削減、8) 店舗に行かないことによる物品輸送量の増加、を想定した。

4. 4 テレワークの普及シナリオ

本研究ではテレワークを「IT を活用した場所と時間に制約がない柔軟な働き方」と定義する。テレワークにより、オフィスからのみアクセスできた社内情報ネットワークが外部からアクセスできるようになり、就業者は通勤から解放されて肉体的・精神的負担が軽減し、生産性・効率性が向上するとともに、自由時間が増えて仕事と生き甲斐の両立が果たせるようになる。一方、企業経営側は、生産性向上やオフィスコスト削減などの直接的効果を得るほか、従来型の組織やビジネススタイルを根本的に変革し経営強化できる可能性を得る。また社会にとっては、大都市圏への

一極集中の緩和や是正、地域活性化、雇用の創出、地球環境への負荷の軽減、女性・高齢者の社会参画など社会構造の変革等々、社会的にも大きな効果や意義がある。テレワーク白書 2003(2003)によると、2002 年の日本でテレワークを週 8 時間以上実施している雇用者は約 311 万人であり、雇用者全体の約 5.7% を占める。

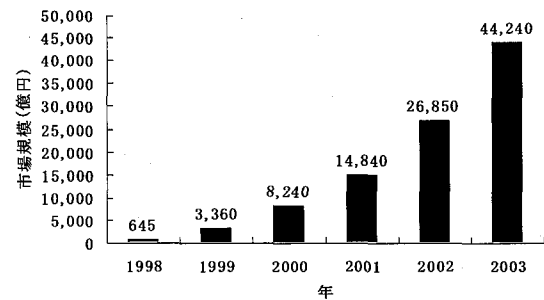


図 4 BtoC 市場の推計 (経済産業省、2004)

表 2 BtoC の経済効果の設定

部門	設定
<オンライン店舗設置による影響>	
情報サービス	0.21%
不動産仲介及び賃貸	-0.21%
鉄道旅客輸送、道路旅客輸送、自家輸送 (旅客自動車)	-0.21%
電力	0.21%
<消費者直販の増加による影響>	
小売、卸売	-0.21%
鉄道貨物輸送、道路貨物輸送、自家輸送 (貨物自動車)	0.21%
<家計における影響>	
鉄道旅客輸送、道路旅客輸送	-0.21%
鉄道貨物輸送、道路貨物輸送	0.21%

表 3 EU のテレワーカー比率

国名	テレワーカーの割合
フィンランド	10.8%
スウェーデン	8.0%
オランダ	8.3%
デンマーク	6.6%
イギリス	4.8%
ドイツ	4.4%
アイルランド	1.9%
イタリア	2.9%
フランス	2.3%
スペイン	2.0%

*テレワーク白書 2003(2003)から引用

一方、EU のテレワーカー比率は表 3 に示すようにフィンランド、スウェーデン、オランダで 8% 以上である。

シナリオ設定では、今後のテレワークの普及率は、現在の普及率から 3 段階で最も高いフィンランドの普及率 (10.8%) に達するとした。また、テレワーク普及の段階ごとの経済効果を、表 4 に示すように、1) 社外からアクセス可能とするための情報サービス利用の増加、2) 同システムへの供給電力の増加、3) 紙利用の削減、4) オフィス費の削減、5) 通勤の機会減少による旅客輸送の減少とした。

表 4 テレワークによる経済効果の設定

部門	設定
情報サービス	0.21%
電力	0.21%
パルプ・紙・板紙・加工紙	-0.21%
不動産仲介及び賃貸	-0.21%
鉄道旅客輸送、道路旅客輸送、自家輸送(旅客自動車)	-0.21%

5. 結果と考察

図 5 に IT 化の普及率の向上の各段階におけるエネルギー種別の CO₂ 排出変化量を示す。IT が普及するにつれて石油製品部門で CO₂ 排出量が減少し、蒸気・熱供給部門でも若干減少したが、電力部門での増加が顕著であるため、CO₂ 排出量の合計は増加する結果となった。

次に、第 1 段階の普及率を向上させた際の各部門におけるエネルギー部門への投入額変化量を図 6 に示す。IT 化によって、電力、通信、情報サービス部門への投入額が増加した。特に電力への投入額増加が顕著であり、電力部門からの CO₂ 排出量が多くなった。逆に投入額が減少する部門に、不動産仲介及び賃貸、各種輸送があり、これらの需要減少が石油製品の CO₂ 排出量削減をもたらした。熱部門においては、紙利用の削減及び倉庫維持費の削減によって投入量が減少し、電力需要の増加によって投入量が増加した。しかし、電力の需要に対する熱の利用は少なく、結果として蒸気・熱供給からの CO₂ 排出量は減少した。部門全体では、電力需要増加の影響が大きく、CO₂ 排出量は増加した。この差は普及の段階が上昇することによって、より顕著となった。

BtoB、BtoC、テレワークによる CO₂ 排出量変化率を図 7 に示す。どの IT 化によってもエネルギー種の変化の割合はほぼ同じであった。この中では市場規模大きな BtoB による影響が最も大きく、次にテレワークであった。

6. さいごに

本研究では、IT の普及による環境への影響を定量的に評価するためのモデルを開発した。以下に、本研究の主要な成果をまとめる。

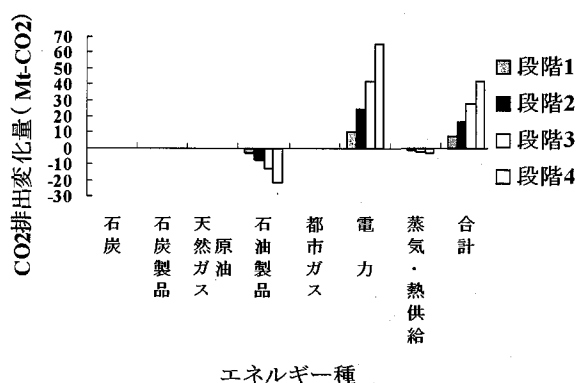


図 5 普及段階ごとのエネルギー種別 CO₂ 排出変化量

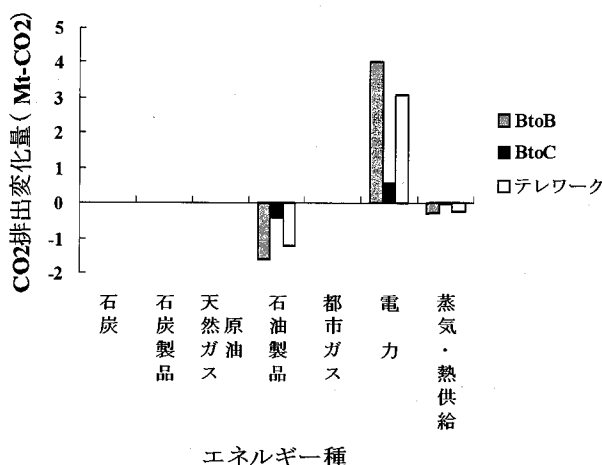


図 7 BtoB、BtoC、テレワークによる CO₂ 排出変化量

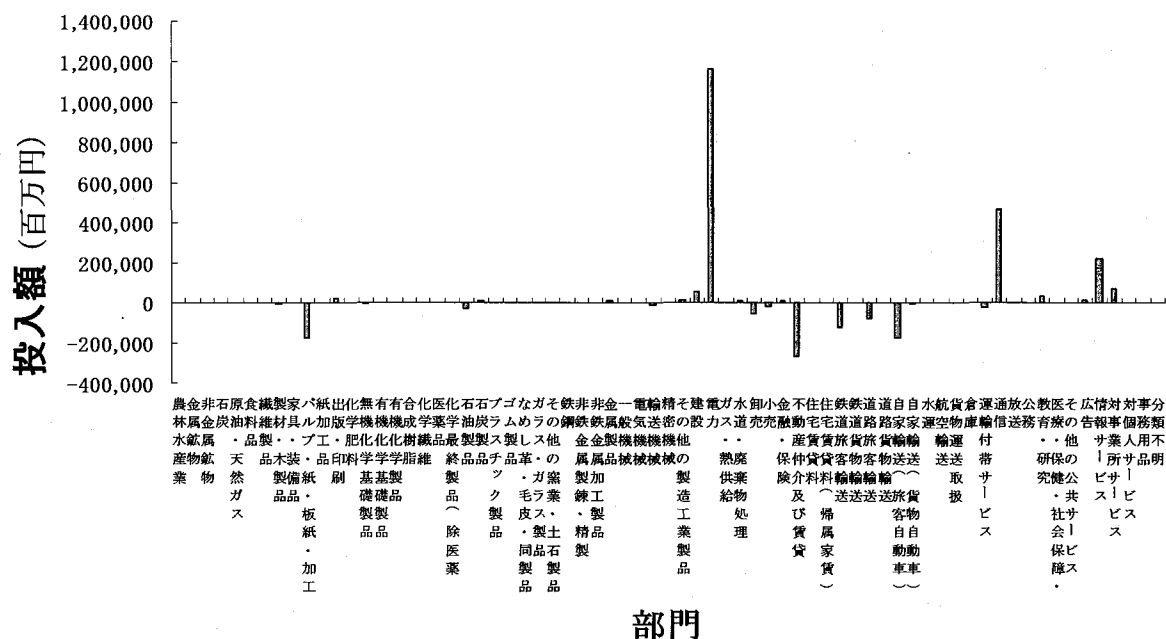


図6 IT化による各部門のエネルギー部門への投入額変化量

- 1) ITの普及シナリオから産業、家庭における投入産出額の変化を推計できる産業連関分析モジュールと、推計した投入産出額からCO₂排出量を算出できるエネルギー換算モジュールを用いることにより、ITの普及による環境への影響を定量的に評価することが可能となった。
- 2) ブロードバンド、EC、テレワークによるITの普及によって、電力需要の増加が石油製品需要の減少に勝り、CO₂排出量が大幅に増加することを示した。
- 3) 紙利用の削減や倉庫利用費削減などによる熱需要の減少は、電力需要の増加と比較してその影響は小さく、CO₂排出量削減への影響は小さいことを示した。

参考文献

- 郵政省電気通信審議会（1998）：情報通信による地球環境保全のための政策提言
- 経済産業省（2000）：平成12年度電子商取引に関する実態・市場規模調査
- 室田泰弘，高瀬香絵（2001）：IT投資のエネルギー・環境問題へのインパクト，IT革命が地球環境問題に与えるインパクト研究委員会報告書
- 松本光崇，入江康子，藤本淳（2002）：IT社会のエコデザイン，EcoDesign2002
- 地球産業文化研究所（2002）：IT革命が地球環境問題に与えるインパクト研究委員会報告書，地球産業文化研究所
- テレワーク白書編集委員会（2003）：テレワーク白書2003，日本テレワーク協会
- 総務省（2003）：平成14年度通信産業基本調査，行政
- 総務省（2004a）：情報通信白書平成16年版，行政
- 総務省（2004b）：平成15年度通信産業基本調査，行政
- 経済産業省（2004）：平成15年度電子商取引に関する実態・市場規模調査
- 高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部（2004）：e-Japan戦略
- 吉岡完治，早見均，木暮啓，柳赫（2004）：環境産業連関分析に基づくIT革命のCO₂負荷，IT革命が地球環境問題に与えるインパクト研究委員会報告書