

課題名	S-3 脱温暖化社会に向けた中長期的政策オプションの多面的かつ総合的な評価・予測・立案手法の確立に関する総合研究プロジェクト 4. ITの産業構造に与える影響に関する研究 -IT社会のエコデザイナー-
課題代表者名	藤本 淳 (東京大学先端科学技術研究センター)

研究体制

(1) 2050年サービス・ビジネスの概要に関する研究 (東京大学)

(2) 産業構造に与えるITの影響に関する研究 (独立行政法人産業技術総合研究所)

(3) 産業におけるIT活用による環境影響評価に関する研究 (日本電信電話株式会社)

研究概要

1. はじめに (研究背景等)

低カーボン社会の実現においては、技術開発だけでなく、社会システムやライフスタイルの変革が不可欠であり、さらに社会全体でこれらの調和を図ることが必要である。このような中、技術進展が著しい情報技術は、社会システムやライフスタイルを低エネルギー消費型に導き、さらに地球温暖化防止に有効な技術の適切な普及・活用に寄与する可能性がある。初年度は、2020年を対象に、代表的な情報技術 (IT) システムの各産業分野でのエネルギー消費に与える影響を体系化し、CO₂排出削減効果を見積もった。平成17年度は、バック・キャスト手法における望ましい未来社会像 (脱温暖化) を、市民および各分野の専門家の意見アイディア、映画やアニメに描かれている社会像を幅広く収集、整理し、創造性開発手法を用いて、“生活シーン”を中心に、文章とイラストで描いた。平成18年度は、17年度の成果を書籍として出版するとともに、2050年わが国の主力になっている推定されるサービス産業を抽出・体系化し、専門家へのヒアリングによりその内容を具体化、2050年におけるワークスタイルを叙述的に描写した。本年度はサービス産業を、経済モデルによる試算および個別サービスでの評価等により定量的に表現するとともに、IT普及が産業構造変化に及ぼす影響をCO₂排出量の面から明らかにした。IT進展が産業構造へ与える影響に関して、国内に限定すればサービス産業の拡大 (エネルギー多消費産業や製造業の飽和や減少) により、産業のエネルギー消費量が減少する可能性が高い。しかし、グローバルな視点から産業構造への影響を考えると、途上国の経済発展を加速し、エネルギー消費をトータルとして増大させる可能性もある。

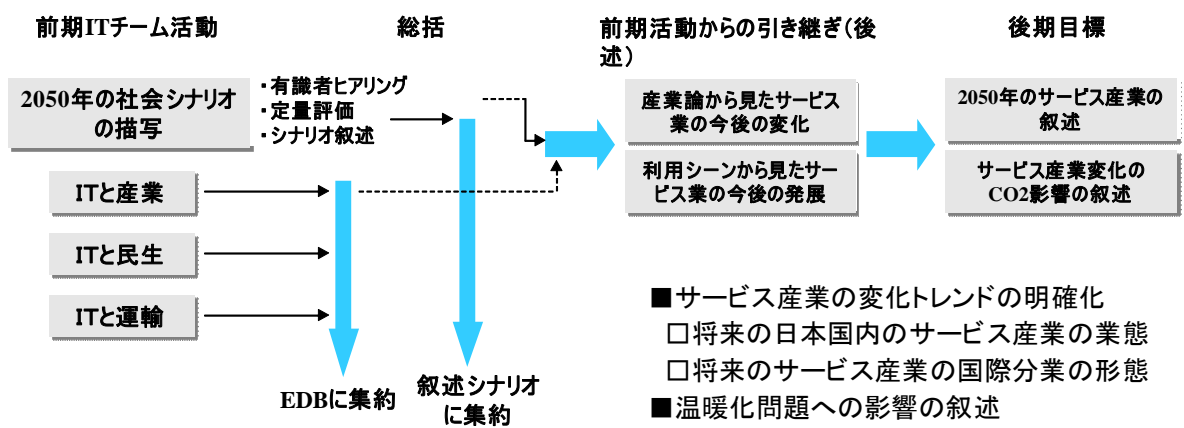


図1 本サブテーマの全体スキーム

2. 研究目的

低カーボン社会実現での鍵となる「人の環境意識と行動」、「生活スタイル (移動のエコデザイン)」、および「産業活動」の領域に関して、実態的な調査によるITの環境影響評価を基に、情報技術の進展を考慮して、低カーボン社会へ移行するためのIT活用方法と期待される効果を明らかに

する。さらに、これら知見を総合して、低カーボン社会を支えるIT基盤のあり方を提示し、実現するために必要な技術および普及面での課題を明らかにする。また、2050年脱温暖化IT社会像を描き、その社会像を広くアピールすることで、市民の脱温暖化社会の形成への参加を促すことを目的とする。社会像の描画においては、発想レベルで描いた社会像に、フォーキャスティングの手法で進めている“産業/移動/市民の環境意識”の領域でのIT普及によるエネルギー消費量の定量評価の結果を反映する。

3. 研究の方法と結果

(1) 2050年サービス・ビジネスの概要に関する研究

2050年我が国のサービス産業を含む産業像を考察するには、オフショアやアウトソーシングの形で国際分業が進みつつある状況から明らかなように、各国の経済連関を考慮する必要がある。そこで我が国と密接な関係にある米国と、今後経済の大きな発展が見込まれる中国とインドを含めた4ヶ国において、マクロ経済・産業構造・エネルギー需要等を、シミュレーションモデルを用いて2050年まで試算した。マクロ経済の実績データには、日本・米国ではエコノメイト・データベース、中国とインドでは世界銀行のWDIを用いた。エネルギー需要の実績データには、経済産業省の総合エネルギー統計とIEAのエネルギー・バランス表を用いた。日本の試算では、総務省の産業連関表(1990、1995年、2000年)を利用して(産業部門：52部門)、EU法を用いて2050年までの産業連関表を推定した。IT部門の変化を見るため、IT機器関連(半導体製造装置、パソコン・電子計算機、通信機械、電子部品など)とIT関連サービス(電気通信、その他の通信サービス、放送、調査情報サービスなど)、およびIT革新の影響が強く出るサービス部門(広告、その他の対事業所サービスなど)を細かく分類し試算した。他の国の産業連関表にはGTAP6(産業部門：31部門)を使用した。世界貿易は2005-2030年で年率3.1%の伸び、2030-2050年で年率2.8%の伸びと推定した。原油価格は徐々に上昇と仮定し、2030年で83.8ドル/バレル、2050年で102.2ドル/バレルとした。我が国の人口は国立社会保障・人口問題研究所(2006年12月推定)の中位値を、他の国の人口には、国連のWorld Population Prospectsの推定を用いた。試算は、世界経済が波乱のない相似的な拡大を今後半世紀にわたって続けた場合(為替レート、石油価格の高騰、環境政策など急激な変化がない)の結果であり、現在進みつつあるIT普及の影響がある程度、包含されている。

1) 2050年日本の産業像に関する研究

GDPの平均成長率は、2000-2010年で1.5%、2010-2030年で1.0%、2030-2050年で0.2%(1985-2000年の平均成長率が2.4%)となった。ちなみに2050年の実質GDPは737兆円(2000年価格)、しかしGNPは830兆円(同)となり、約100兆円の海外投資収益が得られる(これによって消費はかさ上げされる)。マクロモデルから求めた最終需要を利用して、2050年までの産業構造の推移を求めた。試算結果を見やすくするため、業種を11部門に集約した形で示したのが、表1である。個別に見ると、IT機器やITサービス部門の拡大が大きく、逆にその他サービス、建設、その他製造業の縮小が目立っている。ちなみにその他サービスの中では、卸小売と飲食店が縮小する。ITサービス、医療保険社会保障、およびその他サービスを“サービス産業”と定義して求めたサービス産業の生産額変化を図2に示す。就業者の推移では、2000年に5,155万人だった就業者数は、2050年には3,440万人に縮小する。これは人口の高齢化の影響である。なお15-64歳人口に占める就業者人口の割合は、2000年で約6割が2050年で約7割となる。これは高齢者の労働参加が増えることを想定しているからである。図3はサービス産業での就業者人口の推移である。2050年には約8割がサービス産業に従事していることになる。以上の本分析では、IT革新によるアウトソース化の影響を考慮に入れている。

マクロモデルより、GDP、消費、住宅建築戸数、一般物価などを求め、また産業連関表よりエネ多消費産業(鉄鋼、エチレン、セメントなど)の生産量を求める。さらに原油価格や為替レートなどの想定を置いて、部門別最終需要を求め(産業、家庭、業務、運輸)、さらに転換部門(発電、石油精製など)を考慮したうえで一次エネルギー需要を求め、それから各種エネルギーの輸入量やCO₂排出量(エネルギー起源)を求めた。2050年のエネ最終需要は13,376PJで2000年の15,982PJより2割弱低下する。ちなみに総合エネ調のレファレンスケース(2030年、2005年3月発表)では425百万KLである。当方の試算では2030年の値は406百万KLであった。2050年の部門別シェアを見ると、産業の低下(2000年47%が2050年に41%)、家庭部門の上昇(2000年13%が2050年に15%)、業務部門の上昇(2000年15%が2050年に22%)、運輸部門の低下(2000年24%が2050年に22%)となる。産業部門でのエネルギー消費の低下は、サービス化が影響していると考えられる。

2) グローバルな産業変化に関する研究

中国のGDPは、2010年代に米国に肩を並べ、2050年には米国の2倍以上となる。一方、インドも拡大を続け、2050年には米国のGDPに匹敵する規模となる(図4)。

図5は、二酸化炭素排出量の比較である。中国のCO₂排出量は2050年に61億トン(炭素換算)となる。2006年実績が7.6億トンだから、格段の対策が採られなければ、中国のCO₂排出量は約8倍に増えることになる。エネルギー需要に比べてCO₂排出量の伸びが高いのは、民生分門における再生不能エネルギーへの転換、発電における石炭火力の比重上昇などによる。ちなみに世銀の予測値は2050年に36億トンであり、当方の数字の約6割の水準にとどまる。インドのCO₂排出量は2050年に27億トン(炭素換算)となる。アメリカの2050年値が29億トンだから、インドの排出量は2050年にアメリカと肩を並べることになる。世銀のインドの2050年値は16億トンである。これは政策込みの数字だと考える。

表1 生産額の集約表

	10億円、2000年価格									
	1990	2000	2010	2030	2050	90/00	00/10	10/30	30/50	
一次産業	18,824	15,748	14,697	12,134	8,440	-1.77	-0.69	-0.95	-1.80	
エネルギー消費	61,198	60,353	61,176	61,205	60,872	-0.14	0.14	0.00	-0.03	
エネルギー関連産業	23,356	32,272	35,558	39,849	37,750	3.29	0.97	0.57	-0.27	
IT機器	23,185	41,205	64,835	131,941	212,202	5.92	4.64	3.62	2.40	
自動車	38,029	37,276	39,390	40,194	38,339	-0.20	0.55	0.10	-0.24	
その他機械	55,471	50,115	52,324	49,922	39,994	-1.01	0.43	-0.23	-1.10	
その他製造業	116,450	102,823	100,361	90,032	68,421	-1.24	-0.24	-0.54	-1.36	
建設	92,849	77,311	72,310	67,746	46,708	-1.81	-0.67	-0.33	-1.84	
ITサービス	18,608	39,755	52,304	91,505	124,119	7.89	2.78	2.84	1.54	
医療・保健・社会保障	32,527	48,239	55,476	76,650	99,818	4.02	1.41	1.63	1.33	
その他サービス	372,416	442,767	484,509	532,910	498,072	1.75	0.91	0.48	-0.34	
合計	852,914	947,862	1,032,939	1,194,087	1,234,735	1.06	0.86	0.73	0.17	

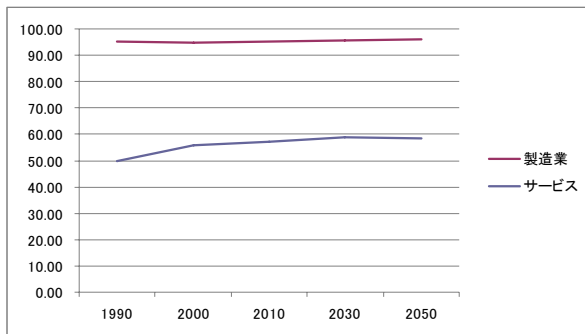


図2 生産額の推移

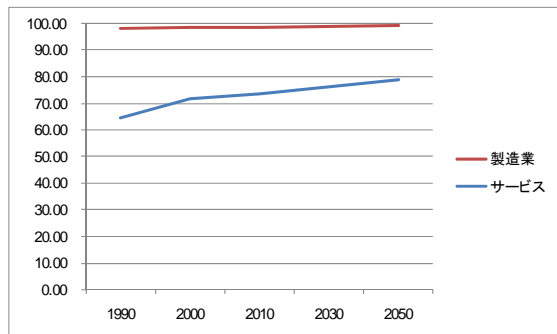


図3 就業人員の推移

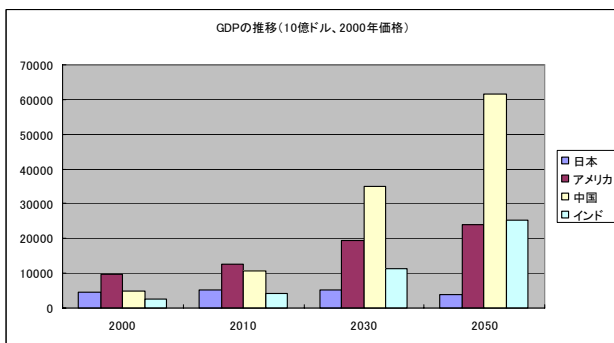


図4 各国のGDPの推計

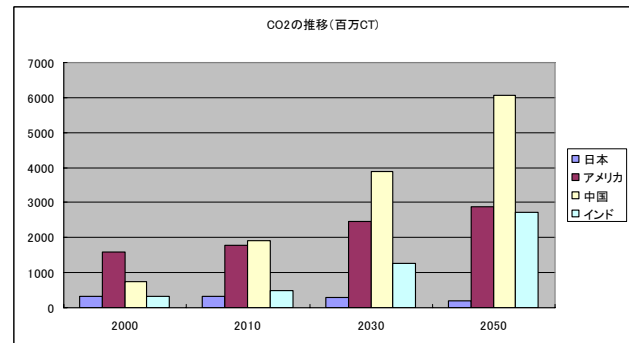


図5 各国のCO2排出量の推計

(2) 産業構造に与えるITの影響に関する研究

1) ITの国際産業構造への影響に関する研究

ITの国際産業構造への影響とそれに伴うCO₂量への影響の可能性を検討するために、1990年代の繊維とエレクトロニクス産業の日本、米国、中国における生産額とCO₂排出量の推移を集計し分析した。産業が発展し、先進国から途上国に移転して、国際分業体制も変化する中で、双方合計の産業のCO₂効率は向上する傾向が見られるが、移転元ではCO₂効率向上が頭打ち化し、移転先では元々のCO₂効率が悪く、双方でCO₂効率の更なる向上が課題になる。IT化による国際分業の更なる深化を世界全体のCO₂効率の改善に結びつけるために、移転元、移転先双方でのCO₂効率改善が課題になる。

2) ITを活用した低炭素型産業実現のための施策パッケージ (LCSナビゲーションシステム)

ITを活用したCO₂削減の方策として、消費者にCO₂やその低減法の情報を提供してCO₂低減行動を促すシステム(LCS(Low-Carbon-Society)ナビゲーションシステム)を提案し、その普及施策を検討した。システム実現のための技術的な障壁は大きくはなく、既存技術とその延長で実現可能と考えられる。一方で、その普及のためには低価格、手軽さ、利便性、娯楽性等が必要であり、これらの要件が満たされれば、10年程度の比較的短期間での普及浸透が可能であり、普及は民間主導で実現し、政府の費用負担は最小限で済む可能性がある。

(3) 産業におけるIT活用による環境影響評価に関する研究

平成19年度では、前期3ヵ年(平成16年度～平成18年度)で検討した、SCM(supply chain management)を中心としてITを活用することによりサプライチェーンが最適化され、産業が効率化されることによるCO₂排出削減効果の研究成果を、施策パッケージ(policy package)提言としてとりまとめた。

さらに平成19年度から後期2ヵ年として、ICTを活用した「サービサイジング(servicizing)」の実現可能性と環境影響を検討する。今年度は、サービサイジングに関する海外動向調査を実施した。さらにサービサイジングの幾つかの事例に関してCO₂排出削減ポテンシャル量を推計した。

1) ITを活用した低炭素型産業実現のための施策パッケージ

本概要では、施策パッケージで検討・提案した結論のみを以下に記す。

① 全体最適化

H16年度やH17年度の調査により、在庫という観点から大型小売店や大手製造(アセンブリ)メーカーがSCMに取り組んで自社の在庫を少なくした結果、卸売りなどの川上側や中小企業に在庫が増えており、現状でのサプライチェーンは最適化されていない。特に(大型)卸売業の在庫量は年々増加している。日本では、メーカーと小売の板挟みに合う形で、卸売りが在庫リスクと発注業務を負担している。自己に所有権のない在庫管理は等閑になりやすく、(メーカーや)小売の手元にある卸が所有権をもつ在庫を、適切に管理することは困難である。サプライチェーンとしての全体最適化のためには、在庫のリスクを適切に分配する商慣習の見直しが必要である。

② 中小企業へのICTシステムの普及

H17年度の調査により、SCMシステムやERPなどは中小企業になかなか普及していないのが現状である。企業ITシステム構築は高価であり、ITシステムのパッケージ化などによる廉価版のSCMや、ASP(Application Service Provider)やSaaS(software as a service)などによるSCMなどのICTシステム共有利用による投資費用の分散化が必要である。

③ 国際標準化

企業連携を進展させるために、企業内/企業間のインターフェースEDIを国内外で統一化させなければならない。日本の競争力を維持・向上させるためにも、ITU(International Telecommunication Union:国際電気通信連合)やIEC(International Electrotechnical Commission:国際電気標準会議)などの国際標準化機関に、日本で開発したICTを標準化させる戦略的な取り組みが必要である。例えば、日本が展開しているRosetta Net(XMLベースの企業間標準インターフェースを定める国際標準化団体)などのさらなる飛躍と支援が必要である。

④ 社会システムの変革

ITシステム導入の目的は、経営効率をアップさせ収益を向上させることにある。今後は環境効率を経営指標に用いるような政策ならびに企業カルチャーの変革が必要である。

⑤ 新たなICTシステムのためのR&D

現在、PLM(Product Lifecycle Management:製品ライフサイクル管理)やCPC(Collaborative Product Commerce:協調的製品商取引)などの新たなグランドデザインが提唱されていたり、次世代SCMと呼ばれているCPFR(Collaborative Planning Forecasting and Replenishment)などのビジネスモデルも開発されている。今後このような新しいグランドデザインやビジネスモデルに関しても環境保全という視点を取り入れ、さらなる産業効率化を進展させるITシステム開発をする必要がある。

⑥ サプライチェーン全体最適のための企業連携

サプライチェーンに関するR&Dを進行させると共に、現在のSCMのスキームでどのようにサプライチェーン全体を最適化するかを、国全体で考える必要がある。日本企業は、これまで欧米で開発されたSCMソリューションの導入に悉く失敗している。例えばECR(Efficient Consumer Response;効率

的な消費者対応)のような、メーカーと流通業者が連携してサプライチェーンの全体最適化を進めようとするSCMのスキームは、米国では1993年に食料品業界を中心に始まり、その後、約40カ国の先進諸国に活動が広がった。しかしながら、日本ではサプライチェーンの全体最適化という総論では一致するものの、競合他社との標準化や共同化が狙上にあがる各論では反対意見が続出する。改革のリスクと報酬を取引先と分け合う成果配分や情報共有への疑心暗鬼も根強い。先進国の中でECRの推進団体をもたないのは、現在日本だけである。このように各企業が連携し、サプライチェーンの全体最適化に関する推進団体を支援しながら、国内で牽制し合うのではなく、協調しながらの連携が必要である。これは日本の国際競争力を向上させるためにも必要であると考えられる。

2) サービスライジングに関する海外動向調査

サービスライジングという概念は欧米から発信(ヨーロッパでは、サービスライジングPSS (product service system) と呼ばれている)され、欧米や国際機関で研究されている。そこで、最新動向を調査するため、以下の有識者にヒアリングを実施した。

- Martin Charter教授 (University College for Creative Arts)
- Arpadhorvath氏 (Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, Berkeley)

本調査により、サービスライジングの環境影響評価事例として、携帯電話によるTV会議や電子新聞などを検討していることが分かった。

3) サービスライジングのCO₂削減ポテンシャル量の推計

「サービスライジング」という、これまで製品として販売していたものをサービス化して提供することにより、製品の利用率の向上、寿命までの製品利用、脱製品化などの効果が期待できる。今年度は、サービスライジングの以下の事例に関してCO₂排出削減ポテンシャル量を推計した。

- カーシェアリングおよびカープール
- 電子図書サービス
- 電子ニュース配信
- 音楽配信サービス
- 二次電池のトータルマネジメント・サービス

各種統計資料や経済産業省「グリーン・サービスライジング事業」の実施例などから、上記の事例に関して、日本全体に浸透した場合の最大CO₂排出削減量を推計した。表2に推計結果を示す。

表2 サービスライジングによる最大CO₂排出削減量

サービスライジング	効果	最大CO ₂ 排出削減量 (万t-CO ₂)
カーシェアリング/ カープール	車両削減	4,420
	車利用削減	121
電子図書	書籍、書店・図書館削減	2,800
オフィスPC	HDDの集約化、消費電力低減	584
電子ニュース	新聞、配達、店舗削減	25
音楽配信	CD、販売店削減	25
二次電池	リサイクル・リユースによる有効利用	22

4. 考察

IT進展が産業構造へ与える影響に関して、国内に限定すれば、サービス産業の拡大(エネルギー多消費産業や製造業の飽和や減少)により、産業のエネルギー消費量が減少する可能性が高い。これは、マクロ評価および個別のアプリケーションの評価結果が示している。しかしグローバルな視点で考えると、ITはアウトソーシングやオフショア化を加速し、これにより中国やインドなどのBRICs諸国の経済が拡大する。産業が発展し、先進国から途上国に移転して国際分業体制も変化する中で、過去の例を見ると、双方を合わせた産業のCO₂効率は向上する傾向が見られるが、移転元ではCO₂効率向上が頭打ち化し、移転先では元々のCO₂効率が悪く、さらに需要が増加する状況下では、その絶対値は増加する傾向にある。IT化による国際分業の更なる深化を世界全体のCO₂効率の改善に結びつけるために、移転元、移転先双方でのCO₂効率改善が課題になる。IT革命の産業構造へ与える影響は、グローバル視点からはプラスとは言えない。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

これまでに影響が不明瞭であった、IT革命による産業構造変化がエネルギー消費に与える影響を定量的に評価した。また、アウトソースやオフショアなど国際分業の変化とCO₂排出の関係に関わる統計データを整備した。LCSシステムの普及の要件を検討した。

(2) 地球環境政策への貢献

- 1) 低炭素社会に向けた12の方策に、2つの方策（「見える化」で賢い選択、滑らかで無駄のない物流）を提案した。
- 2) 地球温暖化問題への対応に向けたICT政策に関する研究会報告書（平成20年4月、総務省）の作成に貢献した（本調査の試算結果が、参考資料の1に採用されている）。今後、2050年産業像についてまとめた出版を通じて、成果の広報・普及に努める。

6. 研究者略歴

テーマ代表者：藤本 淳

1955年生まれ、広島大学大学院環境科学研究科修了、工学博士、現在、東京大学先端科学技術研究センター 特任教授

主要参画研究者

(1)：藤本 淳（同上）

(2)：松本 光崇

1972年生まれ、京都大学工学部卒業、東京工業大学博士課程修了、学術博士、現在、独立行政法人産業技術総合研究所先進製造プロセス研究部門研究員

(3) 1)：西 史郎

1957生まれ、大阪大学理学部卒業、現在、日本電信電話株式会社 NTT情報流通基盤総合研究所 環境経営推進プロジェクト マネージャ

2)：中村 二郎

1964生まれ、大阪大学大学院工学研究科修士課程修了、現在、日本電信電話株式会社 NTT情報流通基盤総合研究所 環境エネルギー研究所 環境アセスメントシステムグループ グループリーダー、工学博士

3)：折口 壮志

1971生まれ、東京大学大学院工学系研究科博士後期課程修了、現在、日本電信電話株式会社 NTT情報流通基盤総合研究所 環境経営推進プロジェクト 研究主任、工学博士

7. 成果発表状況

(1) 査読付き論文

- 1) 藤本淳、松本光崇、折口壮志、西史郎、植田秀文、端谷隆文：「エコデザインによる情報技術の低炭素社会実現への貢献」、地球環境、12(2)、209-218、2007

(2) 査読付論文に準ずる成果発表

- 1) 室田泰弘、藤本淳：「中国20年代には成長率1.4%に、急速な高齢化、元高、原油高騰で急ブレーキ」、エコノミスト、2007年10月8日号、88-94、2007