

特集「持続可能な世界へのLCAの貢献」

解説

持続可能な発展に寄与するエネルギー利用を考える

本藤 祐樹

Think Energy Use Contributing to Sustainable Development

Hiroki HONDO

Synopsis: Energy is essential for sustainable development, while the inappropriate use of energy may hamper sustainable development. The present paper discusses energy use from the perspective of sustainable development. In general, such discussion focuses on the following main two issues: “what should we do to ensure that low-income population satisfies their basic energy requirements?” and “what should we do to minimize environmental impacts associated with energy use in order to meet the needs of the future generation?” The present paper proposes and discusses the “third” aspects of energy use to contribute sustainable development.

Keywords: Capital stock; life cycle thinking; happiness; photovoltaic power generation; sustainability

1. 持続可能な発展とエネルギー

持続可能な発展にはエネルギーが不可欠である。しかし、その無秩序な利用は持続可能な発展を妨げるであろう。本稿では、持続可能な発展という観点から、エネルギー利用について考察してみたい。

持続可能な発展という概念については多くの定義が提示されており（Pearce et al. 1994）、その概念を厳密に定義することは困難である。本稿では、その定義に関する論考は他に譲り、いわゆるブルントラント報告（UN 1987）の定義に従って話を進める。ブルントラント報告では、持続可能な開発とは、「将来世代が自らの欲求を充足する能力を損なうことなく、現代世代の欲求を満たすこと」としている。

エネルギーは様々な欲求を満たすために不可欠な要素であることは誰しもが認めるであろう。しかし、未だ世界にはエネルギーへのアクセスが不十分な地域、そして適切なエネルギーサービスが供給されていない地域が存在する。持続可能な発展には、途上国を中心として健康で安全な生活をするという現代世代の欲求を満たすために必要十分なエネルギーの供給が求められ、それに向けた援助や仕組み作り、政策が必要となる（UN 2000）。

他方で、増大するエネルギー消費は、化石燃料を始めとした再生不可能な資源消費の増大や環境負荷の増大を通して、持続可能な発展を妨げるかもしれない。先進国では、

既に多大なエネルギーを消費しており、エネルギー利用が持続可能な発展を妨げるという側面に着目しなければならない。例えば現代世代による原油の過度な消費は将来世代の欲求を満たせないかもしれないし、温暖化問題は廃棄物のシンクとしての自然環境を食い潰してしまう点で将来世代の欲求を満たす能力を剥奪するかもしれない。現代世代は、それを回避すべく、エネルギー利用の効率化や新たな技術開発、さらには教育などの取り組みが求められる。

このように、持続可能な発展とエネルギー利用の関係についての議論や取り組みは、上述した二つの側面に焦点があてられることが多い。端的に言い表すと「低所得層の人々にエネルギーを必要十分に供給するためにはどうしたら良いのか？」そして「エネルギー利用に伴う負の影響を最小化するためにはどうしたら良いのか？」という二つの問題である。本稿では、エネルギー利用に伴う「新たな価値」の創出という、持続可能な発展に寄与する第三の側面を考えてみたい。

2. エネルギー利用に伴う負の影響の最小化

第三の側面について考える前に、「エネルギー利用に伴う負の影響を最小化するためにはどうしたら良いのか？」という問題がこれまで、どのように検討されてきたかを簡単に振り返ってみる。

この問題に対しては、ライフサイクルアセスメント

(LCA) もしくはライフサイクル思考に基づく分析や評価が力を発揮してきた。特に発電技術の環境影響に関しては、広い意味でのライフサイクル思考（太陽エネルギー学会 2008）に基づく数多くの評価や分析がなされてきた。典型的な例として、石油危機を契機に盛んに実施されたエネルギー収支分析（Chapman 1975）、地球温暖化問題に焦点を当てたライフサイクルGHG排出分析（内山、山本 1992, Hondo 2005, Weisser 2007）、発電がもたらす複数の環境負荷に伴う外部性を明らかにした外部性評価（Bickel and Friedrich 2005, ORNL 1994）などが挙げられる。

エネルギー収支分析は、発電のために直接間接に投入されたエネルギー量に比して、十分な電力を生み出すことが出来るかという観点から、様々な発電技術の評価がなされた。1970年代には、化石燃料を用いた発電技術の代替技術として有望視された、原子力や再生可能エネルギーに関して特に精力的な研究が進められた。例えば原子力発電に関しては、Chapman（1975）によるエネルギー収支分析が広く知られている。

ライフサイクルGHG排出分析は、1990年前後から今日まで世界各国で継続的になされており、我が国でも先進的な取り組みとして、内山、山本（1992）による研究が挙げられ、2000年に入ってからHondo（2005）による分析結果が報告されている。2007年には最近の主たるLC-GHG分析に関する研究をレビューした論文が公表された（Weisser 2007）。

発電技術の外部性評価の代表的な取り組みであるExternE（Bickel and Friedrich 2005）では、環境負荷に伴う外部性に加え、原子力発電も含めて過酷事故による外部性も考慮されている。つまり、環境負荷だけではなく、より広い範囲のマイナスの影響（外部不経済）をリスク論に基づいて取り込んでいることがExternEのひとつの特徴である。

このように、ライフサイクル思考に基づく評価や分析は、持続可能な発展につながるエネルギー利用の負の影響（外部不経済）に重点をおき、その最小化にむけた対策をとるために有効な情報を提供してきた。

3. エネルギー利用による欲求の充足と資本の利用

3.1 エネルギー利用によって満たされる基本的欲求

先に示したブルントラント報告の持続可能性の定義に戻ろう。この定義では「欲求を満たす」とあるが、どのような欲求かは明記されていない。しかし、常識的に考えて、幸せな生活をおくるための様々な欲求と理解して良いだろう。持続可能な発展をすべての人々が幸せになるための道筋と理解するのであれば、幸せな生活のために満たされるべき欲求のうち、エネルギー利用によって充足できるものは何であろうか。ここでは心理学者であるMaslowによる基本的欲求を出発点とする。

Maslowは、人間の動機づけに関する理論を定式化する上で、基本的欲求として5種の欲求を取り上げている（Maslow 1987）。表1に示すように、5種の基本的欲求は低次から高次なものに階層化されている。低次な欲求とは人間の生存に直接関わる衣食住など基礎的な、より物質的な欲求であり、高次な欲求とは集団への所属や自尊心など緊急性の低い、より精神的な欲求である。

幸せな生活のためには一定の物質的な豊かさは不可欠であり、それは比較的低次な欲求を充足することに相当する。具体的には、十分な食事をとることであり、安全で快適な住宅に住むことなどである。そして、このような欲求を満たすために、電力やガスなどのエネルギーが貢献する。つまり、エネルギーは食事の調理、快適な住宅環境、建造物の建設、人や物の移動など物質的な欲求を満たすことを可能にする。他方で、エネルギー利用は自己実現や承認の欲求など高次な欲求を満たすことには一見関係しないようである（実は、このことが後述する第三の側面に関係する）。

3.2 基本的欲求を充足する源泉としての資本ストック

ブルントラント報告の持続可能性の定義では「自らの欲求を充足する能力を損なうことなく」とある。このことは、上述した基本的欲求を満たすために必要な有形無形のを生み出す源泉を保全することと理解できる。では、保全すべき源泉とは何か。言うまでもなく、第一の源泉は自然資本である（図1）。空気や水がなければ私たちは生きる

表1 マズローによる5種の基本的欲求

↑ ↓	高次	自己実現の欲求	例えば理想的な母親になりたいなど、よりいっそう自分自身であろうとし、自分になり得るものになろうとする欲求
		承認の欲求	自尊心を持ちたい、他者からの尊敬を受けたい、地位や名声を得たいなど、自分自身そして他人から自分が価値ある存在として認められ、尊重されることを求める欲求
		所属と愛の欲求	友人や家族など愛情に満ちた人間関係や、所属する集団や家族における自分の位置を得たいとする欲求
		安全の欲求	生活における安全性や安定性、平穏な家庭、病気や失業に対する保障、良い健康状態の維持、快適な生活環境、事故に遭わないことなど、安全で秩序だった状態を得ようとする欲求
	低次	生理的欲求	食事、睡眠、排泄など、生命の維持に直結する根源的な欲求

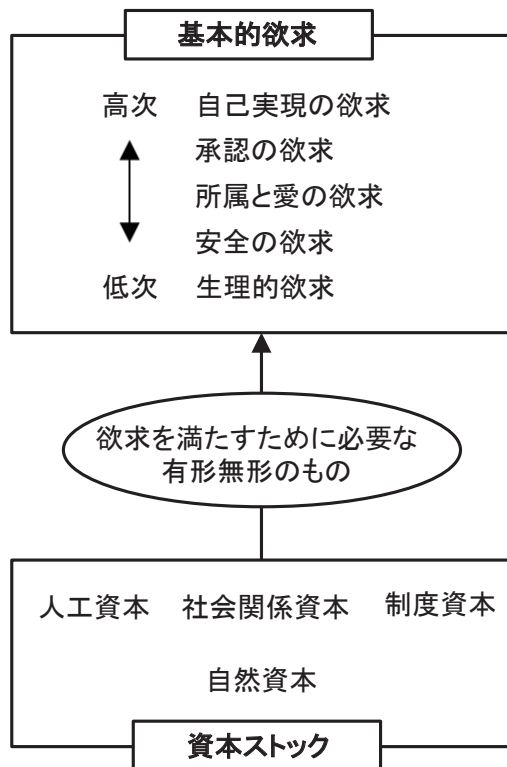


図1 基本的欲求と資本ストック

ことさえ出来ない。生きるための生理的な欲求を始めとして、安全や快適さなどの様々な欲求を満たすために、私たちは、空気、水、植物、原油、鉱石など地球上に存在する様々な資源の集合体である自然資本を利用し、現実にはそのストックを取り崩してきた。第二に、自然資本を利用して構築された人工資本（例えば、鉄道、道路、発電所）もまた様々な欲求を満たすための源泉である。本稿では、これら二種の目に見える資本に加えて、目に見えない資本として、制度資本と社会関係資本を加える。ここで、制度資本とは社会に存在する保険医療制度や義務教育制度などフォーマルな制度やルールを意味し、社会関係資本とは地域の人的ネットワークや互惠関係などインフォーマルなルールや社会の有り様を示している（宇沢 2000）。これら目に見えない資本の分類に関しては様々な議論があり（佐藤 2002）、そもそも資本と言えるのかという批判もあるが、ここでは、基本的欲求を満たす無形の必要物を生み出す源泉として提示している。

私たちが欲求を満たすためにエネルギーを利用する際には、電気や灯油などとして供給される必要があり、またそれらを必要な形態（動力、光、熱など）に変換するために機器（自動車、照明器具、エアコンなど）も必要である。さらにエネルギー供給は種々の制度にも支えられている。つまり、私たちがエネルギーを利用するために必要となる、それら有形無形の価値あるものはすべて、四種の資本を源泉としており、その中でも自然資本は根本的な源泉といえる。

3.3 エネルギー、基本的欲求、資本ストック—3者の関係—

第1章の冒頭で述べたことを再掲する。「持続可能な発展にはエネルギーが不可欠である。しかし、その無秩序な利用は持続可能な発展を妨げるであろう。」持続可能な発展とエネルギーの関係を示す二つの側面を、基本的欲求と資本ストックという概念を用いると以下のように表現できる。

幸せな生活を送るには、必要な基本的欲求のうち比較的 low 級の欲求（衣食住や安全、健康など）を満たす必要があり、そのためには、資本ストックという源泉からエネルギーを取り出し消費することが不可欠である。他方、源泉から取り出されるエネルギー量が過大であると、例えば化石燃料資源の過度の消費や地球の浄化能力を超えた二酸化炭素の排出などがもたらされ、自然資本ストックの過度の減耗をもたらす、将来世代の幸せな生活のために必要な自然資本ストックを残せないことになる。

それ故に、エネルギー利用に起因する環境負荷の低減を通して、将来世代も自然資本ストックを源泉として欲求を充足できるように、自然資本ストックの保全が求められている。つまり、自然資本から「使える」エネルギー（電力や灯油など）を取り出す方法や技術を工夫して自然資本ストックの減少や劣化を防ぐことが求められる。（それ故に、2章で述べたように、ライフサイクル思考に基づく分析や評価が必要となる。）

ではエネルギーの利用は、ジュール (Joule) で測られる直接的なエネルギー価値によって比較的 low 級の欲求を満たすだけなのか。またエネルギーの利用は、自然資本ストックの減少や劣化を引き起こすだけなのだろうか。

次章では分散型エネルギー技術の利用が間接的に、高次の欲求を満たす可能性や、資本ストックの蓄積や質の変化につながる可能性を持つことを述べる。

4. エネルギー利用による高次の欲求の充足と資本の蓄積

4.1 分散型電源のポテンシャル

日本のみならず先進各国では、太陽光発電 (PV) システムやコジェネレーションシステムなど分散型電源が注目され、その導入が促進されている。分散型電源は、二酸化炭素の排出削減をはじめとして、前章で述べた自然資本ストックの劣化を和らげる技術として期待されている。この点に加えて、最近、住宅など需要家に設置された分散型電源が人々の意識や行動に与える影響に注目が集まりつつある。分散型電源の購入／設置後にエネルギーや環境に係わる意識や行動が高まる現象が観察され、いくつかの調査結果や研究成果が2000年頃から報告されてきた。

以下では、既往の調査や分析について簡単に紹介した後、このような現象を、先に示した図1に基づいて考えてみる。

4.2 PVシステム設置後の意識・行動変化

Haas et al. (1999) は、オーストリアの21世帯を対象として、PVシステム購入後における電力消費量の変化について1999年に報告している。PVシステムを購入した世帯のうち、購入前に電力消費量が少なかった世帯は購入後に消費量を増加させ、逆に、購入前に電力消費量が多かった世帯は購入後に消費量を減少させる傾向にあったと述べている。しかし、Haas et al. (1999) の中心は、PVシステム購入に影響を与える要因の分析にあり、購入前後の電力消費量の変化については簡単に触れられているだけで、その変化の理由やメカニズムに関する検討はない。

日本でも2000年頃、PVシステムの設置後に、設置世帯の節電や省エネに関する意識が高まったり、行動が生じたりする可能性が報告されている（住環境計画研究所 2001, 再生可能エネルギー推進市民フォーラム西日本 2002）。住環境計画研究所（2001）による調査では、設置後におけるエネルギー・環境問題に関する意識変化について質問紙調査が実施され、設置後において意識が全般的に高まった可能性を指摘している。他方でHaas et al. (1999) と同様に、省エネ行動が生じる理由やメカニズムについては触れられていない。

PVシステム設置後における環境配慮行動の発現／変容メカニズムの解明が、本藤、馬場（2004a）や本藤、馬場（2008）によって初めて取り組まれた。2003年に長野県飯田市のPV設置世帯を対象に実施された質問紙調査（137世帯の回答）に基づき、PVシステムへの意識が、個々人のエネルギー・環境問題に関する関心度や知識量を増加させ、環境配慮行動の向上を導くという可能性が示されている。また、PVシステムの設置は、環境配慮行動に関する家庭内コミュニケーションの増加をもたらし、それもまた環境配慮行動の向上に寄与している可能性も示されている。そして、このような変化の源は、「電力の生産と消費の連携」を意識させ、「自然エネルギーを見える形で直接利用する」というPVシステムの技術特性である可能性を指摘している。

英国においてもほぼ同時期にBahaj and James (2007) やKeirstead (2007) が、分散型電源の存在がエネルギーの消費と生産の結びつきを喚起することによって、意識や行動を変化させる可能性を示唆している。しかし、Bahaj and James (2007) は、PVシステムが設置されている公営住宅に住む9世帯の電力データを収集し分析しているが、その仮説を実証するには至っていない。他方で、Keirstead (2007) は、PV設置世帯に対する質問紙調査（91世帯の回答）とインタビュー調査（63世帯の回答）の結果に基づき、PV設置後に大きく節電した世帯は、節電しなかった世帯に比べて、発電の生産と消費への意識が増加してい

ることを示している。なお両者とも、設置世帯のエネルギー・環境問題に関する関心や知識、コミュニケーションなどの変化には着目していないようである。

また、PVシステムのように「目に見える」ものが身近に存在することの重要性は、Bahaj and James (2007) や本藤、馬場（2008）に加えて、Dobbyn and Thomas (2005) によっても指摘されている。

さて上記では、PVシステム設置後に世帯の電力／エネルギー消費量が減少すると述べたが、世帯によっては逆に設置後に増加する場合もある（本藤、馬場 2004b, Keirstead 2007, Haas et al 1999, Dobbyn and Thomas 2005, Bahaj and James 2007）。増加する直接的な原因のひとつに、設置後の家庭における家電製品の急増が挙げられている（Bahaj and James 2007, Keirstead 2007）。

4.3 エネルギー利用の第三の側面

PVシステム設置後における意識や行動の変化を手がかりとして、図1に示す基本的欲求と資本の概念に基づき、持続可能な発展におけるエネルギー利用の第三の側面について考察する。

(1) PVシステムの購入や設置が、自負心や自尊心、他人から認められたいなどの承認の欲求を満たしている可能性がある。住環境計画研究所（2001）の調査によると39%（127世帯中）のPV設置世帯が「パネルを誇らしい」と感じると回答している。また、本藤、馬場（2004b）の調査では、PV設置世帯の33%（123世帯中）が、PVシステムを設定して良かった点として「環境に良い行動をとっている誇りや自負心が持てた」ことを挙げており、インタビュー調査でも、「PVシステムを設置したことで、環境に貢献しているという“誇り”のような感覚を多くの設置者が感じているようである（本藤、馬場 2004b）」と同様の結果が得られている。

(2) PVシステムの購入や設置が、自らは環境に配慮した人でありたい（あるべきだ）という自己実現の欲求を発生させ、そのことが省エネなどの環境配慮行動を発生させている可能性がある。中学校に設置したPVシステムの影響について分析した研究では、設置校の生徒の中に「自分の学校がエコスクールである」という一種の「誇り（プライド）」を生じさせ、そのことが節電や省エネなどの環境配慮行動を促した可能性を指摘している（野田、本藤 2011）。また上記（1）で言及した承認の欲求もまた、環境配慮行動の実施を通して、さらに満たされるかもしれない。このように高次の欲求の充足は、自然資本を維持する方向に作用する可能性があることが指摘される。

(3) PVシステムの設置後における節電行動や環境配慮行動の向上は、家族という集団への帰属の欲求を満たそうと

する行動である可能性がある。本藤、馬場 (2008) は、PV システムの設置は、環境配慮行動に関する家庭内コミュニケーションの増加をもたらし、それが環境配慮行動の向上を促していることを見出している。環境配慮行動に関する家庭内の規範が強化され、それにあわせた行動をとることが、家族の一員であるという欲求を満たしているとも解釈できる。家庭という狭い社会における規範ではあるが、社会関係資本の増大と理解することが出来る。またそのような規範が、地域コミュニティへ広がる可能性についても検討されている (本藤 2006)

(4) 過去の検討例は見あたらなかったが、分散型電源を通じたエネルギー (発電) システムへの消費者の関与や参加が、やはり高次の欲求を高める可能性がある。スイスを対象として、直接民主制による参政権が充実していればいほど、また共同体の自律性が高ければ高いほど、人々の主観的な幸福は増大しているという知見が得られている (フライ、スタッツァー 2005)。エネルギー (発電) システムは社会の基盤であり、それへの参加や関与もまた高次の欲求を満たす可能性がある。そして、このことは、集中型の大規模電源と一方的な高压送電という従来型のインフラやそれを支える制度の変更を求めるため (Bergman and Eyre 2011)、制度資本や社会関係資本の増加や変化をもたらすかもしれない (本藤 2011)。

上述したように、エネルギー利用は副次的に自尊心や自己実現など高次の欲求を生み出したり満たしたりする可能性がある。加えて、それらの欲求の発生や充足は、欲求を充足するための源泉である資本を逆に増加させる可能性がある。持続可能な発展とエネルギー利用の関係を考える際には、このような第三の側面があることを指摘しておきたい。

5. 今後に向けて

(1) ライフサイクル思考に基づくエネルギー利用の持続可能性の評価

エネルギー利用の持続可能性を評価そして分析するために、ライフサイクル思考に基づく手法、例えばエネルギー収支分析、LCCO₂排出分析、外部性評価などが適用されてきた。一単位のエネルギーあたりの環境負荷を推計する方法が用いられてきたのは、一般に、エネルギー利用を通じた欲求の充足は、自然資本を劣化させるという前提に基づいているからである。この前提は、衣食住に直接係わるような低次の欲求に関しては妥当であり、これらの分析や評価は価値ある情報を提供する。しかし本稿で指摘したように、エネルギー利用は副次的に自己実現や自尊心など高次の欲求を満たす可能性がある。このことは、持続可能な発展が幸せな生活への道筋と考えるならば、それに寄与す

るものである。さらに、高次の欲求の副次的な発生や充足は、環境配慮行動の向上を通じた自然資本の劣化の防止、そして制度など無形の資本の増大や改善をもたらす可能性がある。それ故に、エネルギー自体がもつジュール (Joule) ではかれる価値だけではなく、ライフサイクル全体にわたる副次的な価値の発生についても目を向けて、その価値を評価することが必要である。

(2) 分散型電源の導入に関する社会的な評価

これまでも分散型電源の導入に関する分析や評価は精力的に行われている。主たる関心は、太陽光発電やコジェネレーションなどの導入に伴う環境負荷の低減と、それらの円滑な導入と普及に向けた方策の検討である。他方で、分散型電源の導入が人々の意識や行動、ひいては社会システム全体に与える影響、すなわち導入後にもたらす社会的な影響については関心が薄いようである。しかし、本稿で述べたように、分散型電源の導入は高次の欲求の発生や充足をもたらす可能性がある。さらに、そのことは、持続可能な社会の構築において不可欠である有形無形の資本の質と量に影響する可能性がある。特に我が国では東日本大震災そして福島原発の重大事故をうけて、今後のエネルギー選択において消費と需要を近づける分散型電源は重要な役割を演じるであろう。それ故に、分散型電源の導入や普及による社会的な影響の評価に今後、力を注ぐことが肝要である。

謝辞

持続可能な発展に係る既往研究など貴重な情報を横浜国立大学の森泉由恵氏から戴いた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- Bahaj A.S., James P.A.B. (2007): Renewable and Sustainable Energy Reviews, 11 (9), 2121-2136
- Bergman N., Eyre N. (2011): Energy Efficiency, 4, 335-353
- Bickel P., Friedrich R. (2005): Extern E—Externalities of Energy—Methodology 2005 Update, European Commission
- ブルーノ・S・フライ, アロイス・スタッツァー, 沢崎冬日 (訳), 佐和隆光 (監訳) (2005): 幸福の政治経済学, ダイヤモンド社, 東京, 294
- Chapman P. F. (1975): Energy Policy, 3 (4), 285-298
- Dobbyn, J., Thomas, G. (2005): Seeing the light: the impact of micro-generation on our use of energy. Technical Report, Sustainable Development Commission, London
- Haas R., Ornetzeder M., Harnetner K., Wroblewski A.,

- Hubner M. (1999): Solar Energy, 66 (3), 183-191
- 本藤祐樹, 馬場健司 (2004a): 第32回環境システム研究論文
発表会講演集, 東京, 349-358
- 本藤祐樹, 馬場健司 (2004b): 太陽光発電システムの設置に
伴う意識と行動の変化に関する基礎調査 - 飯田市を
事例として -, 電力中央研究所研究調査資料, Y03919,
32
- Hondo H. (2005): Energy, 30 (11-12), 2042-2056
- 本藤祐樹 (2006): 第22回エネルギーシステム・経済・環境
コンファレンス講演論文集, 東京, 133-136
- 本藤祐樹, 馬場健司 (2008): エネルギー・資源学会論文誌,
29(1), 15-21
- 本藤祐樹 (2011): 日本エネルギー学会誌, 90(7), 670-672
- 住環境計画研究所 (2001): 太陽光発電モニター事業調査報
告書 (最終版), 154
- Keirstead J. (2007): Energy Policy, 35 (2007), 4128-4141
- Maslow A. (1987): Motivation and Personality, Third
Edition, HarperCollins Publishers, U.K., 293
- 野田肇, 本藤祐樹 (2011): エネルギー・資源学会論文誌,
32(1), 1-7
- Oak Ridge National Laboratory (ORNL) (1994): Fuel
Cycle Externalities: Analytical Methods and Issues,
Oak Ridge National Laboratory, TN 37831
- Pearce D. W., Barbier E. B., Markandya A. 和田憲昌 (訳)
(1994): 新しい環境経済学, ダイヤモンド社, 東京, 206
- 再生可能エネルギー推進市民フォーラム西日本, (2002):
2001年度事業報告書, 再生可能エネルギー推進市民フ
ォーラム西日本, 176
- 佐藤寛 (2002): 援助と社会関係資本—ソーシャルキャピタ
ル論の可能性, 日本貿易振興会アジア経済研究所, 東
京, 220
- 太陽エネルギー学会 (2008): 持続可能なエネルギーと
LCA, 太陽エネルギー学会, 東京, 168
- 内山洋司, 山本博巳 (1992): 発電プラントの温暖化影響分
析, 電力中央研究所研究報告Y91005, 49
- United Nations (UN), General Assembly A/RES/42/187,
Report of the World Commission on Environment
and Development, United Nationsホームページ, 入手
先 < <http://www.un.org/documents/ga/res/42/ares42-187.htm>>, (参照 2012-6-1)
- United Nations (UN) (2000): Energy and sustainable
development: key issues, United Nations, Economic
and Social Council, E/CN.17/ESD/2000/3, 13
- 宇沢弘文 (2000): 社会的共通資本, 岩波書店, 東京, 239
- Weisser D. (2007): Energy, 32(9), 1543-1559