

環境効率性の有用性に関する一考察¹ - 石炭火力発電所プロジェクトのケース・スタディによる検証 -

著者	蠣崎 廣義
出版者	法政大学大学院
雑誌名	大学院紀要 = Bulletin of graduate studies
巻	66
ページ	85-97
発行年	2011-03-31
URL	http://doi.org/10.15002/00007595

環境効率性の有用性に関する一考察¹

石炭火力発電所プロジェクトのケース・スタディによる検証

政策科学研究科 政策科学専攻
博士後期課程2年 嶋崎 廣義

はじめに

“ Our Common Future (ブルントラント報告書)” は、地球環境の将来を憂いて、‘ 持続可能な開発 (sustainable development)’ の概念を提唱した。これは、‘ 将来世代がそのニーズを充足する能力を損なうことなく、現在世代のニーズを満たすような開発 ’ と定義され、この定義のみが引用されることが多いが、さらに続けて、世界の貧困層の “ ニーズ ” が最優先されるべきであり、 現在と将来世代のニーズを満たすために、技術と社会が環境の能力に課することには限界があるという二つのキーワードが含まれていると述べられている (WCED1987, p.43)。

しかし一方で、開発途上国の貧困解消のためには、少なくとも年3%の経済成長が必要であるとし、同時に、工業化諸国が年3~4%の経済成長率で世界経済を牽引していく必要があるとしている (WCED1987, p.50~51)。したがって、同報告書が提唱する “ 持続可能な開発 ” の実現のためには、環境と経済の調和ある発展が求められているのである。

“ 持続可能な開発 ” の解釈については、様々な議論が展開されている。同じ国連機関である国連環境計画は他の機関との共著の中で “ 持続可能な開発 ” を、「人々の生活の質的改善を、その生活の支持基盤となっている各生態系の収容能力の限界内で生活しつつ達成すること (UNEP他(1992))。」とし、ブルントラント報告書の主張を人間中心主義とすれば、どちらかといえば環境中心主義の定義をしている。一方、そもそも「発展は持続的ではない (S.ラトゥーシュ2010, p.80)」として、“ 持続可能な開発 ” という言葉自体が、“ 暗い光 ” というように二律背反 (同書, p.64)」であると主張する ‘ポスト開発学派’ の経済学者もいる。しかしながら本稿においては、ブルントラント報告書の問題提起を支持し、その定義に準拠するものとする。

持続可能な開発の実現のためには、「貧困が開発を促し、その開発が環境を破壊し、それが貧困を生む (植田1996, p.63)」という悪循環を断つことが必要であり、エネルギー環境学²の視点による3E (Economy, Energy, Environment) のトリレンマ (trilemma) が最大の克服すべき課題となろう。すなわち、経済 (Economy) の発展には、エネルギー (Energy) を必要とし、これが環境 (Environment) の破壊をもたらすという三者択一の窮境である。

開発途上国の経済開発には、言うまでもなく、エネルギーが不可欠である。IEAによる世界の燃料別エネルギー需要の見通しによれば、2030年においても、再生不能資源である化石燃料は、現在とほぼ同じの約80%を占めるものと見られている (資源エネルギー庁, 2007)。したがって、化石燃料に依存する開発途上国のエネルギー政策が、地球環境破壊をもたらすという理由から、持続可能性 (sustainability) がないと否定することは非現実的であろう。そこで、持続可能な開発を目的とする政策が、その目的を達成した否かを検証するための指標が必要となると考える。

2006年に刊行された “ Sustainable Development Indicators in Ecological Economics ” (Philip Lawn, 2006) は、エコロジカル経済学における持続可能な開発の指標に関わる論文を編集したものであるが、その中で「環境効率性指標は、持続可能な開発の目標を具体的な測定単位への変換する方法の一つである (Nigel Jollands 2006a, p.317)」とされている。また、小幡範雄(2010)は、「環境効率(性)は環境と経済のバランスを考えた指標であり、いづれにしても、環境の評価と経済の価値が1つの式で捉えられることになった。(p.22)」と一定の評価を示してい

¹ 本稿は、2005年に本学修士課程環境マネジメント研究科に提出した修士論文を基に、修正・加筆したものである。

² 濱川・西川・辻(2001) p.4。なお、出典においては「トリレンマ」を「3すくみ問題」としている。しかし、“trilemma”の邦訳は、「三刀論法；三者択一を迫られた窮境」(『リーダーズ英和辞典第2版』2002, 研究社)となっているので、本稿においてはこれを採用した。

る。本稿は、環境効率性の政策評価指標としての有用性を考察し、開発途上国の石炭火力発電所のケ - ス・スタディによって検証するものである。

1. 先行研究のレビューによる環境効率性の定義と問題点

1.1 環境効率性の意味

環境効率性の概念は、S.シャルテガーとA.シュトルムによって1989年に最初に提唱され、その後1992年に世界環境経済人協議会(World Business Council for Sustainable Development : WBCSD)の刊行物(“ Changing Course: A global business perspective on development and the environment. ”)によって、企業の持続可能性を示す指標として公表されて以来、世界的に広く使用されるようになった(Ehrenfeld, J.2005, p. 6)。

環境効率性は、‘eco-efficiency’の最も一般的な邦訳語であり、その他に、エコエフィシエンシー、環境経済効率性、あるいはエコ・エフィシアンシー(宮崎修行2001及びS.シャルテガー他2003)等様々ある。

接頭辞である‘eco-’はギリシャ語に由来し、古くから‘economy’のように使われていたが、最近の辞書³では‘ecology’あるいは‘ecological’を意味するものとされている。一方、‘efficiency’については、機械の生産性に関わるもの、経済に関わるもの、環境に関わるもの等に使われており、実例としては、‘technical efficiency’, ‘production efficiency’, ‘allocative efficiency’, ‘intertemporal efficiency’, ‘profit efficiency’, ‘x-efficiency’, ‘scale efficiency’, ‘managerial efficiency’, ‘thermodynamic efficiency’, ‘ecological efficiency’(以上Nigel Jollands 2006)等が挙げられる。さらに、‘energy efficiency’, ‘system efficiency’, ‘recycling efficiency’, ‘consumption efficiency’, ‘cost efficiency’, ‘utilisation efficiency’, ‘land use efficiency’, ‘Pareto efficiency’,等々と実に様々な使い方があり。しかし、“thermodynamic efficiency”の様に「比率」で表せるものから、‘Pareto efficiency’の様に「比率」では表せないものまであって、その意味は一様ではない。

1.2 環境効率性の定義

Journal of Industrial Ecologyに掲載されたKuusmanen, T. (2005)の論文は、エコノミストの立場から、環境効率性の計測と分析を論じているが、その中で、「環境効率性とは、‘より少ないものからより多くのものを得ること(doen more with less)’であり、すなわち、最小限の自然資源と環境悪化によって、経済的なアウトプットを生産することを意味する。(p.15)」と述べている。また、Ehrenfeld, J. (2005)は、「環境効率性は、基本的には、定量化された経済的付加価値と定量化された環境負荷の比率である。(p.6)」と定義している。

WBCSDは、「環境効率性は、生産物あるいはサービスの価値とエコロジカルな側面とを効率性の指標に統合するものとし、さらに、資源の使用と排出による環境に及ぼす影響を最小化して、環境負荷を最小化することによって、生産物あるいはサービスの価値を最大化することを意味する。(WBCSD 1999, p.6)」と定義している。そして、WBCSDは、環境効率性を推定するための式として、次式を開発している。

$$\text{環境効率性} = \text{生産物あるいはサービスの価値} / \text{環境影響}(\text{environmental influence}) \quad (\text{式1})$$

一方、S.シャルテガーは、環境会計論における企業活動の統合的評価手法として環境効率性の概念の理論化を図り、‘eco-efficiency’を‘economic-ecological efficiency」と定義した上で、企業活動の「付加価値と環境負荷の間の比率、あるいは経済的なパフォーマンス指標とエコロジカルなパフォーマンス指標の比率(S.シャルテガー他2003, p.444)」として、環境効率性を次式のように表している。

$$\text{環境効率性} = \text{付加価値} / \text{環境負荷}(\text{environmental impact}) \quad (\text{式2})$$

また、環境効率性の解釈は、分母と分子を入れ替えて、経済の視点から見るとあるいは環境の視点から見るかによって、表1のように4つの基本型に分類される(Huppes, G. and Ishikawa, M. 2005c, p.45)。

³ 「Collins English Dictionary(2003)」、「The Oxford Dictionary of Current English(2001)」及び「リーダーズ英和辞典第2版(2002)」

表1 環境効率性の4つの基本型

	製品あるいは生産中心	環境インパクト中心
経済÷環境	環境インパクト1単位当りの 生産価値、または環境生産性	環境改善1単位当たりの費用、 または環境改善費用
環境÷経済	生産価値1単位あたりの環境 インパクト、または環境度	費用1単位当たりの環境改善、 または環境費用有効度

出所：Huppes, G and Ishikawa, M.(2005c), p.45

上記の諸定義は、いずれも産業界における企業の持続可能性を示す指標としての環境効率性の定義であるといえるが、「環境効率性の明確な概念あるいは基準については、まだ一般的なコンセンサスは得られていない。(Kuosmanen, T. 2005, p.15)」というのが実情である。

1.3 環境効率性の問題点

先行研究のレビューによって明らかになった環境効率性に関わる問題点の主なものは、以下のとおりである。Ehrenfeld, J. (2005)は、「環境効率性の概念の実際的なそして理論的重要性は、持続可能な開発、環境そして経済学の3つの軸のうち2つ軸に沿ってパフォーマンスを結びつける能力にある。しかし、環境効率性には、公平や他の社会的側面に関わる論点は含まれていない。(p.6)」と指摘している。この点に関して、Brattebø H. (2005)は、「環境効率性が、持続可能性に挑むためには、環境的側面、経済的側面及び可能な限り社会的側面を含むフレームワークを構築する必要がある。(p.10)」と主張している。また、Nigel Jollands (2006a)は、「環境効率性指標が政策提言の価値を高めるためには、環境効率性が何を意味するのかを明確にすることが重要であり、さらに環境効率性指標の意味を明確にする必要がある。(p.338)」と結論付けている。

一方、Journal of Industrial Ecologyに掲載されたKuosmanen, T. (2005)の論文は、エコノミストの立場から、環境効率性の計測と分析を論じており、その計測に係る問題点として、次の諸点を挙げている(p.16-18)。第1は、経済的インパクトの評価の問題であり、通常、それは容易な作業であると考えられ勝ちであるが、機会費用の問題、サンクコストの取り扱い等考慮すべき問題が多い。第2は、将来世代にわたる製品のライフサイクルにわたる環境インパクトの評価の問題である。第3は、将来に起こるインパクトの割引率の問題であり、長期間に発生する経済的な費用・便益および環境インパクトについては現在価値に割り引く必要があるが、この問題は環境経済学においても多くの論争がある。第4は、異なる環境インパクトを単一の環境負荷指標として統合化する問題であり、環境インパクトには、市場価格のような明白な価値評価基準がないので、元来、同一基準では計れない。しかし、最近では、これを人々の支払い意思額(willingness to pay)によって推計するCV法(contingent valuation method)等の適用の研究が進んでいる。

本稿においては、上記の環境効率性を巡る諸問題のうち、Kuosmanen, T. (2005)によって提起された第4の問題点の「異なる環境インパクトを単一の環境負荷指標として統合化する問題」を検討することとする。

2. 環境負荷の定量化手法の理論的系譜

2.1 環境負荷の定義

環境⁴負荷(environmental load)の定義については様々な議論がある。環境用語辞典(2010)によれば、「環

⁴ 環境の定義については学問的立場の相違によって様々である。環境経済学の立場からは、「人間をとりまき、それと相互作用を及ぼし合うところの外界であり、人間の生存・生活の条件を形成している。(植田和弘1996,p.4)」というのが代表的な答えであろう。いわば「環境」に対する人間中心主義の見方である。環境倫理学の中でも非人間中心主義の学派は、「自然の内在的価値を積極的に認める(岩佐茂編2008, p.109)」立場であり、また、「動物やその他の自然物や自然全体にそれ自身の価値や権利を認めよう(丸山徳次他編2004, p.6)」とする考え方をとる。この中間的な見方が、エコロジカル経済学(ecological economics)の立場であろう。Common, M. and Stiglitz, S. (2005)によれば、「エコロジカル経済学は、「経済システムと生態系システムとの相互関係を研究するものである(p.1)」としており、「経済は、環境の内部に位置づけられている(p.1)」と見ている。

環境負荷'は、「自然環境に与える物質的な負荷のこと (p.84)」と定義されており、人間活動によるものとともに天然由来の有機物、火山性ガス等も含まれている。わが国の環境基本法第二条において「環境負荷」は、「人の活動により環境に加えらるる影響であって、環境の保全上の支障の原因となるおそれのあるものをいう。」と定義されている。ただし、同法において、「環境」の定義は明確にされていないが、第四条において、「環境の保全は、・・・・・・環境への負荷の少ない健全な経済の発展を図りながら持続的に発展することができる社会が構築されることを旨とし、」とされており、「環境」という言葉に、自然環境とともに人間社会環境が含まれているものと解釈される。類似の言葉としては、環境影響(environmental influence)あるいは環境インパクト(environmental impact)があるが、基本的な使い方はほぼ同じである。本稿において環境負荷を、わが国の環境基本法に倣って、「政策実施のためのプロジェクト(プログラム)によって、そのライフ期間中に環境に加えらるる影響であって、環境保全上の支障の原因のおそれのあるもの」と定義する。環境負荷を定量化し、統合化する試みは、環境会計論におけるエコバランス理論に始まり、LCAを中心とする流れに繋がっていくが、次項においては、エコバランス理論の理論的系譜を中心に概観する。

2.2 エコバランス理論による環境負荷の定量化

環境会計論におけるエコバランス理論は、物量的ないし係数的エコバランスを利用する「新たな環境会計(宮崎2001, p.399)」であって、「環境負荷を数量化する(R.ミューラー=ヴェンク他1996, p.125)」というR.ミューラー=ヴェンクの考案によるエコロジー簿記から発展したものである。なお、エコバランスとは、「エコロジカルに評価された物質エネルギーバランスを意味する。(R.ミューラー=ヴェンク他1996, p.6)」とされている。

環境負荷の定量化について、宮崎(2001)によれば、「エコロジー簿記では、・・・・企業による環境負荷の個々のカテゴリーを・・・・相応する物量単位によって測定する。・・・・この環境負荷量に各勘定に属する等価係数(Aek)を掛けることにより、計算単位(RE)として加重して算定する。(p.407~p.408)」としており、個々の環境負荷は、次のように表わされる。

$$\text{環境負荷種類}i\text{についてのRE(計算単位)での負荷} = \text{物量単位での数量}i \times \text{Aeki} \quad (\text{式}3)$$

これらのREを合計すると企業の環境総負荷の数値が求められることになる。ここで、等価係数(Aek)は、「質的に異なる環境負荷を相互に比較可能にするエコロジカルな稀少性の尺度であり、この大きさが大きいほど環境は危機的状態にある。(宮崎2001, p.409)」とされる。なお、「エコロジカルな稀少性(環境稀少性)」は、「ある特定の環境負荷種類について、あるいは特定の環境負荷を被る環境財について、関連する空間領域における当該種類のすべての環境負荷の合計の現在の大きさと、許容できる状態から許容できない状態へと当該環境財を導くような、環境負荷の危機的大きさととの間の関数(宮崎2001, p.409)」と定義されている。このR.ミューラー=ヴェンクの基本的な考え方は、以下のBUWAL SR297およびJEPiXの理論において継承されている。なお、R.ミューラー=ヴェンク他(1996)は、「環境負荷」とは、「自然環境のなんらかの部分にマイナスと判断される変化を引き起こす人間活動(p.19)」と定義している。

2.3 BUWAL SR297による環境負荷の定量化

スイス環境森林景観庁(BUWAL)は、1990年にR.ミューラー=ヴェンクのエコロジー簿記の手法を応用してBUWAL SR133を開発し、さらにこれを継承・発展させて1998年にBUWAL SR297を公表した。宮崎(2001)によれば、これは、R.ミューラー=ヴェンクの等価係数をエコファクターとして開発・改良した手法であり、つぎのような線形関数式による公式を採用している(p.470)。

$$\text{エコファクター} = \frac{1}{Fk} \times \frac{F}{Fk} \times C \quad (\text{式}4)$$

ここで、F : 実際フロー
Fk : 危機的フロー

C : 単位補整係数

なお、上式4におけるF(実際フロー)は、利用可能な最新のデータから求められ、Fk(危機的フロー)は、スイスの法律、規則や条令で定められた保護目標値(汚染の限度値)となっている。また、上式4の第1項は、Fk(危機的フロー)で正規化(あるいは標準化)を行ない、第2項は、Fk(危機的フロー)とF(実際フロー)の比率でウェイト付けしていると考えられている(宮崎2001, p.470)。

このように、自然環境への種々様々な環境負荷を、「エコロジカルな希少性の概念」に基づいて標準化し、「一般に利用可能なウェイティング・ファクターによって評価する」という考え方は、今日ではSETAC(1993)によって、「目標への距離法(Distance-to-Target-Method)」と呼ばれている(宮崎2001, p.470)。この理論は、次項で述べるJEPIXに継承されている。

2.4 JEPIXによる環境負荷の定量化

JEPIX(Environmental Policy Priorities Index for Japan: 環境政策的優先度指数日本版: 2003年)は、ミュラー＝ヴェンクの提唱した「環境希少性」の概念を基本として、BUWAL SR297の手法を継承し、かつ環境容量や環境受容能力などの「自然科学的コモンセンス」をベースとしつつも、各国の国内的環境法、環境政策、国際環境条約、協定・勧告などの「社会科学的合理性」に基づく環境影響評価を追究するものである(JEPIX 2003)。

JEPIXプロジェクトは、1995年より宮崎修行(現国際基督教大学教養学部教授)とC.シーゲンターラー(Claude Siegenthaler: 現法政大学人間環境学部助教授)が中心となって開発され、2001年より、経済産業省の外郭団体である科学技術振興財団の「環境格付研究(社会技術研究推進プロジェクト)」の一部として採択され、環境経営学会/環境経営格付機構受託研究として実施されている。

JEPIXにおける環境希少性評価手法の基礎概念は、目標までの距離(Distance to Target)、すなわち、環境政策と実際の環境状態の乖離を、物質のフローデータに基づいて評価することである。JEPIXにおいて、各物質の単一の環境影響指数としての「仮想単位」である環境影響エコポイント(EIP: Environmental Impact Point)は、次のように算定される。

$$\text{各物質の環境影響エコポイント} = \text{物質毎のエコファクター} \times \text{総排出量} \quad (\text{式5})$$

ここで、エコファクターは、BUWAL SR297の式4と同型の次の公式で算定される。

$$\text{エコファクター} = \frac{1}{Fk} \times \frac{F}{Fk} \times C \quad (\text{式6})$$

ここで、F : 実際フロー

Fk : 目標フロー

C : 単位補整係数で10の12乗

なお、実際フロー(F)は、年間の公表された実際フローであり、国レベルあるいは地域レベルでの統計から算定される。目標フロー(Fk)は、年間の政治的目標フローデータであり、国の法律、規制値、国際条約および政府発行の白書等から算定される。すなわち、上式の第2項は、実際フローと目標フローとの比率を考慮して物質が重み付けされているので、実際フローと目標フローの比が目標までの距離を示すことになっている。

JEPIXのエコファクターは、2003年3月に公表されたJEPIX2005年版案において、対象となる環境側面を12の項目⁵に特定して分類され、この分類の中で約1,050の環境汚染物質のエコファクターについて算定されている

⁵ 温室効果ガス(GHG)による地球温暖化; オゾン層破壊ガス(ODG)によるオゾン層破壊; ダイオキシンを含む有毒物質による有害化学物質; 光化学オキシダントによる大気汚染防止; 窒素酸化物(NOx)による大気汚染防止; SPM10による大気汚染防止; 生物化学的酸素要求量(BOD)による河川水質; 科学的酸素要求量(COD)による湖と閉鎖性海域の水質; 窒素(N)による湖と閉鎖性海域の水質; 燐(P)による湖と閉鎖性海域の水質; 埋立地容量による廃棄物管理および 道路交通騒音による騒音公害

(末尾の付表1参照)。JEPIXを利用することの利点は、その算定方法の容易さと同時に、環境負荷の統合的数値化によって環境汚染物質の環境負荷の相対的評価が可能となる点にある。

2.5 本稿における環境効率性の定義式

本稿において、環境効率性の定義を、前項1.2のEhrenfeld, J. (2005)に準拠して、「定量化された経済的付加価値と定量化された環境負荷の比率」としつつ、WBCSDの提唱する式(1)および、シャルテガーの提唱する式(2)を参考にして、政策実施のためのプロジェクトあるいはプログラムの評価指標としての定義式を次式のとおりとする。

$$\text{環境効率性} = \text{プロジェクト(プログラム)の純現在価値} / \text{プロジェクト(プログラム)の総環境負荷} \quad (\text{式7})$$

上式(8)における純現在価値は、プロジェクト(プログラム)・ライフ期間中に各年に発生するプロジェクト(プログラム)の総便益から、プロジェクト(プログラム)の総費用を減じた純便益の割引現在価値の合計値とする。なお、純現在価値の算出方法は、一般的な費用便益分析論等で論じられているので、本稿においては敢えて言及しない。

上式8における総環境負荷は、プロジェクト(プログラム)・ライフ期間中に各年に発生する環境負荷量の合計値で、JEPIXのエコファクターを用いて環境要素項目(環境汚染物質)ごとに次式によって算定した合計値とする。

ただし、総環境負荷は物理量であるため、本稿においては割引かないものとする。

$$\text{環境負荷量} = \text{エコファクター}(EIP) \times \text{環境汚染物質の年間排出量}(kg) \quad (\text{式8})$$

次項においては、上記のように定義した環境効率性の有用性を、ケース・スタディによって検証する。

3. 石炭火力発電所プロジェクトのケース・スタディ

3.1 ケース・スタディの目的

化石燃料の消費によって排出される硫黄酸化物及び窒素酸化物は、酸性雨の原因となっており、火力発電所が設置される当該国の環境問題のみならず、国境を越えた地球環境問題である。わが国においては火力発電所の建設に際し設置者は、大気汚染防止法による環境基準を遵守するため、排煙脱硫装置および排煙脱硝装置を設置している。しかし、開発途上国の火力発電所建設計画においては、排煙脱硫・脱硝装置のコスト負担が大きいため、電気集塵機の設置以外の排煙対策が殆んど取られていないのが実情である。このような状況に鑑み、本分析は、世界銀行の審査報告書(WB, 1997)に基づく中国の石炭火力発電所プロジェクトをケース・スタディとして、排煙脱硫装置及び排煙脱硝装置を設置しない計画案と設置する代替案の比較検討を行って、環境効率性に拠る評価に有用性があるかどうかを検証することを目的とする。

3.2 プロジェクトの背景と概要

中国北部のA地域は、同国にあっても非常に重要で急速に発展している工業・商業基地である。このため、同地域の急速な経済発展を支える電力供給の確保が喫緊の課題であった。しかし、同地域は水資源および石炭資源が希少であるため、電力発電のポテンシャルが非常に低い。このため、過去10年間に於ける同地域の電力供給は、もっぱら近隣のB地域からの配電に依存せざるを得なかった。しかし、A地域は、鉄道の輸送力の限界と環境問題のため火力発電所の建設が不可能であった。このため、中国政府は近隣のB地域において、石炭炭鉱に隣接する山元発電所を新設してA地域の急増する電力需要に対処することとした。

1995年に中国政府は、独自に世界銀行方式に則って可行性研究(フィージビリティ調査)を実施し、石炭火力発電所建設計画案を策定した。同フィージビリティ調査による計画案は、B地域に、60万kwの発電機を2基

建設し、粉塵処理としては電気集塵機を設置するが、排煙脱硫および脱硝装置の設置は考慮されていなかった。中国政府は、当時外貨不足のため、建設資金を世界銀行からの融資に依存することとし、世界銀行は、中国政府の策定したフィージビリティ調査に基づいて審査を行うと同時に、別途、環境影響評価を行った。

世界銀行はこれらの報告書の結果を踏まえて中国政府との契約交渉に入ったが、借款条件において双方合意に達することが出来ず、契約交渉は不調となった。このため、中国政府は、日本政府に円借款供与を要請し、これを受けて、日本政府は、中国における火力発電所の石炭燃焼によって排出される窒素酸化物及び硫酸酸化物が、日本での酸性雨の最大の原因となっているとして、排煙脱硫および脱硝装置の設置を円借款供与の条件として提案した。しかし、中国政府は、借款額と維持管理費の増大を理由に日本案に反対の立場を崩さず、借款交渉は暗礁に乗り上げた。

3.3 費用便益分析による評価

3.3.1 費用便益分析の前提条件

中国政府のフィージビリティ調査の計画案では、以下の前提条件の下で費用便益分析が行われている。なお、世界銀行による電力プロジェクトの経済分析においては、平均電気料金が消費者の実支払い額としての経済的便益とされており、消費者は実支払い額以上の消費者余剰を享受するものと想定されている。

1) 発電所の諸元

原動力の種類：気力

発電所の出力：120万kw (60万kw × 2基)

年間利用率：80%

年間発電電力量：約74億kWh

排煙脱硫装置：なし

排煙脱硝装置：なし

集じん装置：電気式 (計画処理率：99.8%)

燃料の種類：石炭

燃料の主成分：硫黄分(0.8%)、窒素分(1.8%)、灰分(16%)

2) 経済的費用の算定 (1995年価格)

総投資額：6,440.4百万元

年間維持管理費：総投資額の3%

年間燃料費：総投資額の7%

建設工事期間：6年間

3) 経済的便益の算定

年間販売電力量：最大7,060百万kWh

実支払い額 = 平均電気料金/kWh = 0.33元/kWh (1997年時点)

ただし、平均電気料金 = 全国電気料金収入 / 全国販売電力量により算出。

経済的便益 = 実支払い額 × 年間販売電力量

4) 分析期間等

プロジェクト・ライフ：25年間

分析対象期間：1997年～2025年

割引率：12%

外貨交換比率：1 US\$ = 8.3元 = 120円 (1997年時点)

3.3.2 計画案の費用便益分析結果

前項3.3.1の前提条件に基づく計画案の費用便益分析によって、計画案は割引率12%の条件下で純現在価値が2,318.87百万元を示し、経済的内部収益率 (EIRR) が18.9%を示したことから、経済的効率性の面からはフィ

ージブルであるという評価がなされた（WB 1997）。

3.4 環境効率性による評価

本稿では前項 3.3 の費用便益分析の結果を基に、計画案に対して排煙脱硫および脱硝装置を設置した場合の代替案を設定し、前項 2.5 の式 7 に示した環境効率性に拠って計画案と代替案の比較検討を行った。

3.4.1 計画案の環境側面

環境影響評価調査に基づき、排煙対策をしない場合の計画案の環境負荷量は、東京電力（1999）の環境影響評価書に拠る発電出力量が120万kwと同一であることから、これを参考にして以下のとおりに想定した。

- 1) 煤煙排出量
 - 硫酸化物：6,450kg/h
 - 窒素酸化物：1,450kg/h
 - 煤塵：65,000kg/h
- 2) 二酸化炭素排出量：158万トンのC/年
- 3) 石炭灰：1,300トンの日

3.4.2 環境対策別の代替案の設定

上記 3.4.1 の環境側面に対する対策別に代替案を設定し、計画案と比較すると表 1 のとおりとなる。

表 1 代替案の設定と環境対策の比較

環境側面	計画案	代替案 I	代替案 II
①硫酸化物	排煙脱硫装置なし	排煙脱硫装置あり	排煙脱硫装置あり
②窒素酸化物	排煙脱硝装置なし	排煙脱硝装置なし	排煙脱硝装置あり
③煤塵	電気集塵機あり	電気集塵機あり	電気集塵機あり
④二酸化炭素	対策なし	対策なし	対策なし
⑤石炭灰	採炭跡地に埋め戻し	採炭跡地に埋め戻し	採炭跡地に埋め戻し

3.4.3 環境対策の計画処理率の設定

表 1 に基づく環境対策別の環境負荷の計画処理率を、東京電力（1999）を参考に表 2 のとおりに設定する。

表 2 代替案の環境負荷の計画処理率の設定

環境側面	計画案	代替案 I	代替案 II
①硫酸化物	0%	96.1%	96.1%
②窒素酸化物	0%	0%	87.0%
③煤塵	99.8%	99.8%	99.8%
④二酸化炭素	0%	0%	0%
⑤石炭灰	100%	100%	100%

3.4.4 環境対策に基づく年間環境負荷量の推計

上記 3.4.1 で予測された計画案の環境負荷量に対して環境対策を実施した場合の各案の年間環境負荷量を推計すると、表 3 のとおりとなる。なお、年間環境負荷量は以下の算出式で算出した。

$$\text{年間環境負荷量} = \text{時間当たり排出量} \times 24\text{h} \times 365\text{日} \times \text{年間利用率} \times (1 - \text{計画処理率})$$

表3 環境対策後の年間環境負荷量の推計 (単位:トン)

環境側面	計画案	代替案 I	代替案 II
①硫黄酸化物	45,202	1,763	1,763
②窒素酸化物	10,162	10,162	1,321
③煤塵	911	911	911
④二酸化炭素	1,580,000	1,580,000	1,580,000
⑤石炭灰	0	0	0

3.4.5 年間総環境負荷の算出

JEPIXのエコファクターに基づいて、各案の年間総環境負荷を算出すると表4に示すとおりとなる。なお、合計値は、2009年以降の完全稼動時のものである。

表4 環境対策後の年間総エコポイントの推計

環境側面	エコファクター EIP/kg	計画案		代替案 I		代替案 II	
		環境負荷量 トン	エコポイント EIP×10 ⁶	環境負荷量 トン	エコポイント EIP×10 ⁶	環境負荷量 トン	エコポイント EIP×10 ⁶
		①硫黄酸化物 (SO ₂)	104	45,202	4,701	1,763	183
②窒素酸化物 (Nox)	676	10,162	6,869	10,162	6,869	1,321	893
③煤塵 (SPM)	5,053	911	4,603	911	4,603	911	4,603
④二酸化炭素 (CO ₂)	0.98	1,580,000	1,548	1,580,000	1,548	1,580,000	1,548
合計			17,722		13,204		7,228

3.4.6 プロジェクト・ライフの総環境負荷

各案の年間総環境負荷は、2001年から2008年までの期間は発売電力量の増加に比例して増加するものとし、各案のプロジェクト・ライフ25年間における総環境負荷(総エコポイント)算出すると表5のとおりとなる。

表5 プロジェクト・ライフの総環境負荷

	計画案	代替案 I	代替案 II
総環境負荷(単位:EIP×10 ⁶)	422,590	314,856	172,355
相対的比率(計画案を1とする)	1.00	0.75	0.40

同表における各案のプロジェクト・ライフにおける合計値としての総環境負荷を比較すると、次の点が明らかとなった。

環境対策として電気集塵機のみが設置される計画案に比して、排煙脱硫装置が設置される代替案は、総環境負荷が25%削減されることを示している。

さらに、排煙脱硫および脱硝装置が設置される代替案は、計画案に比して、総環境負荷が60%削減されることを示している。

3.4.7 追加される環境保全コストの推計

代替案においては、排煙脱硫および脱硝装置が設置されることになるので、これに伴って、費用項目として設置費用および維持管理費用が環境保全コストとして追加されなければならない。日本の中国に対する円借款事業において火力発電所建設計画に携わったことのある公害防止機器メーカーに対して実施したヒアリング調査によれば、排煙脱硫および脱硝装置の設置費と維持管理費に係る算定基礎数値（1997年時点）は以下のとおりである。

排煙脱硫装置の設置費の発電機容量kw当たりの原価：350元 / kw

排煙脱硝装置の設置費の発電機容量kw当たりの原価：同上

排煙脱硫装置に係る維持管理費の発電所年間維持管理費に対する割合：6%

排煙脱硝装置に係る維持管理費の発電所年間維持管理費に対する割合：同上

上記の算定基礎数値によって、代替案の排煙対策に係る環境保全コストを算出すると、以下のとおりとなる。

排煙脱硫装置の設置費：350元/kw × 120万kw = 420百万円

排煙脱硝装置の設置費：同上

排煙脱硫装置に係る年間維持管理費：193.21百万円 × 6% = 11.59百万円

排煙脱硝装置に係る年間維持管理費：同上

上記のデータに基づき、代替案 および代替案 の環境保全コストの年間費用を算出すると表6のとおりとなる。

なお、排煙脱硫装置の設置は、発電所建設工事期間の第3年次とし、排煙脱硝装置については第4年次とした。

表6 代替案 および代替案 の環境保全コスト

(単位:百万円)

年次	代替案 I		代替案 II	
	設置費	年間維持管理費	設置費	年間維持管理費
1999	420	0	420	0
2000	0	0	420	0
2001	0	5.8	0	11.6
2002	0	11.6	0	23.2
{	{	{	{	{
2025	0	11.6	0	23.2

3.4.7 環境効率性の推計

表7の環境保全コストの増加分を含めて代替案 および代替案 の純現在価値及びEIRRを再計算した結果は、表7に示すとおりとなる。さらに、計画案および代替案 と代替案 の純現在価値の環境効率性を推計した結果も、同表に示すとおりである。

表7 環境効率性の比較

		(単位)	計画案	代替案 I	代替案 II
純現在価値 (NPV)	A	(百万円)	2,319	2,037	1,781
総環境負荷 (EIP)	B	(EIP) × 10 ⁶	422,590	314,856	172,355
環境効率性	A/B		0.005	0.006	0.01
EIRR			18.9%	17.8%	16.9%

表7によれば、代替案は計画案に比べて排煙脱硫装置の設置による環境コストの増大にも関わらず、環境保全効果としての硫酸化物削減による総環境負荷の減少が大きいため、環境効率性が約20%の増大を示している。すなわち、総環境負荷1単位当たりの純現在価値が約20%増大したことを意味する。さらに、代替案は計画案に比べて、排煙脱硫および脱硝装置の設置による環境保全コストの増大によって、EIRRが計画案に比べて数値が低くなっている。しかし、環境保全効果としての硫酸化物と窒素酸化物の削減による総環境負荷の減少が大きいため、環境効率性が約2倍の数値を示している。すなわち、総環境負荷1単位当たりの純現在価値が、約2倍となったことを意味する。

3.5 ケース・スタディ結果のまとめ

以上の分析結果から、石炭火力発電所プロジェクトの評価に環境効率性の評価基準を導入することによって、環境保全コストの増大とそれによる環境保全効果の増大の影響の関係が定量的に評価できることが明らかとなった。すなわち、排煙脱硫および脱硝装置を設置した場合（With Case）には、設置しない場合（Without Case）に比べて、環境保全効果すなわち硫酸化物および窒素酸化物の排出量が削減され、環境効率性の算定式（前項2.5式7）の分母の総環境負荷は減少する。一方、分子の純現在価値は、With Caseにおいては、環境保全コストとしての排煙脱硫および脱硝装置の設置費用および維持管理費用が増大する。したがって、環境保全コストが増大するため、プロジェクト便益である電力料金の値上げによって売電収入を増加する必要が生ずる。この場合に、前項3.4.7で示したように、排煙脱硫および脱硝装置の設置の必要性が、環境効率性の指標によって説明でき得るという適用可能性を示している。

おわりに

今後の研究課題としては、先行研究のレビューによって明らかになった環境効率性に関わる以下の諸問題に取り組んでいきたいと考えている。

[1] 環境効率性の計測に関わる問題

経済的インパクトの評価の問題

ライフサイクルにわたる環境インパクトの評価の問題

将来に起こる環境インパクトの割引率の問題

異なる環境インパクトを単一の環境負荷指標として統合化する問題

[2] 環境効率性のフレームワークの構築

環境的側面、経済的側面及び可能な限り社会的側面を含むフレームワークの構築

以上

参考文献

- Brattemo, H. (2005), " Toward a Methods Framework for Eco-efficiency Analysis? ", *Journal of Industrial Ecology*, Fall2005, Vol. 9 Issue 4 , p. 9 -11
- Common, M. and Stigl, S. (2005), *Ecological Economics: An Introduction*, Cambridge: Cambridge University Press
- Ehrenfeld, J. (2005), " Eco-efficiency. Philosophy, Theory, and Tools " , *Journal of Industrial Ecology*, Fall2005, Vol. 9 Issue 4 , p. 6 - 8
- Ekins, P. (2005), " Eco-efficiency. Motives, Drivers, and Economic Implications " , *Journal of Industrial Ecology*, Fall2005, Vol. 9 Issue 4 , p.12-14
- Ewbank Preece (1993), " Feasibility Study for Banjarmasin Coal Fired Steam Power Plant Project " , Ewbank Preece in association with Pratama Widya Engineering Services
- 濱川圭弘・西川禧一・辻毅一郎共編（2001）『エネルギー環境学』オーム社
- Huppes, G. and Ishikawa, M. (2005a), " Why Eco-efficiency? " , *Journal of Industrial Ecology*, Fall2005, Vol. 9 Issue 4 , p. 2 - 5
- Huppes, G. and Ishikawa, M. (2005b), " A Framework for Quantified Eco-efficiency Analysis " , *Journal of Industrial*

- Ecology*, Fall2005, Vol. 9 Issue 4 , p25-41
- Huppes, G. and Ishikawa, M. (2005c), " Eco-efficiency and Its Terminology " , *Journal of Industrial Ecology*, Fall2005, Vol. 9 Issue 4 , p.43-46
- 岩佐茂編 (2008) 『環境問題と環境思想』 創風社
- JEPIX (2003) 『科学技術振興プロジェクト団報告書 環境パフォーマンス評価指数 (JEPIX) 環境政策・法令に基づく日本版エコファクターの開発』 環境経営学会 / 環境経営格付機構
- 宮崎修行 (2001) 『統合的環境会計論』 創成社
- Kuosmanen, T. (2005), " Measurement and Analysis of Eco-efficiency: An Economist ' s Perspective " , *Journal of Industrial Ecology*, Fall2005, Vol. 9 Number 4, pp.15-18
- 環境用語辞典 (2010) 第3版 (ハンディー版) 共立出版株式会社
- 丸山徳次他編 (2004) 『岩波応用倫理学講義 2 環境』 岩波書店
- Nigel Jollands (2006a), " Getting the most out of eco-efficiency indicators for policy " , in Philip A. Lawn, *Sustainable development indicators in ecological economics*, pp.317-325, Edward Elgar Publishing
- Nigel Jollands (2006b), " Concepts of efficiency in ecological economics: Sisyphus and the decision maker " , *Ecological Economics* 56(2006), p.359-372)
- 小幡範雄 (2010) 「 エントロピーと環境効率からみた持続可能な社会の指標に関する考察 」 『政策科学17巻特別号、Mar.2010』 (インターネットダウンロード)
- Philip Lawn (2006), *Sustainable Development Indicators in Ecological Economics*, Cheltenham: Edward Elgar Publishing
- PULN (1994), " Environmental Impact Assessment of Banjarmasin Mine Mouth Coal Steam Power Plant " , Perusahaan Umum Listrik Negara
- R.ミュラー = ヴェンク他 (1996) 『企業のエコバランス 環境会計の理論と実際 』 (宮崎修行訳) 白桃書房
- SETAC (Society of Environment Toxicology and Chemistry) (1993), *A Conceptual Framework for Life Cycle Impact Assessment*
- S.シャルテガー他 (2003) 『現代環境会計 問題・概念・実務』 (宮崎修行監訳) 五紘舎
- S.ラトウーシュ (2010) 『経済成長なき社会発展は可能か? - <脱成長> と <ポスト開発> の経済学』 (中村佳祐訳) 作品社
- 資源エネルギー庁 (2007) 『日本のエネルギー2007』 経済産業省資源エネルギー庁パンフレット (インターネットダウンロード)
- 東京電力 (1999) 『広野火力発電所5・6号機環境影響評価書』
- 植田和弘 (1996) 『環境経済学』 岩波書店
- UNEP他 (1992) 『かけがえのない地球を大切に - 新・世界環境保全戦略』 小学館
- WBSCD (1999), *Eco-efficiency Indicators & Reporting*, WBCSD Working Group on Eco-efficiency Metrics & Reporting (Geneva)
- WB(the World Bank) (1997), *Staff Appraisal Report, China, Inner Mongolia (Tueoketuo) Thermal Power Project*, Infrastructure Operations Division, China and Mongolia Department, East Asia and Pacific Regional Office
- WCED (1987): the World Commission on Environment and Development, *Our Common Future*, Oxford: Oxford University Press

付表1 JEPIXのエコファクター

環境側面項目	年間の政治的 目標フロー	年間の(公表) 実際)フロー	エコファク ター (E I P)	単位
1.温室効果ガス (GHG)	1,155,000,000,000	1,314,000,000,000	0.98	EIP/kg(CO ₂)
2.オゾン層破壊物質 (ODS)	2,902,777	3,617,180	429,282	EIP/kg(R11のODP換算 値)
3.有毒化学物質 (ベンゼン、ダイオキシン等)	7,986,677,544.54	16,454,961,481.506	258	EIP/kg(ジクロロベンゼン換算)
4.光化学オキシダント (PCOP)	711,447,591	1,097,247,394	2,168	EIP/kg(エチレン換算量)
5.窒素酸化物 (NOx)	1,718,437,282	1,996,000,000	676	EIP/kg(NOx)
6.浮遊粒子状物質 (SPM10)	225,871,208	257,812,500	5,053	EIP/kg(SPM10)
7.生物化学的酸素要求 量(BOD)	7,747,307,454	10,149,742,537	169	EIP/kg(BOD)
8.科学的酸素要求量 (COD)	409,398,049	548,374,285	3,272	EIP/kg(COD)
9.窒素(N)	216,688,759	374,372,191	7,973	EIP/kg(N)
10.磷(P)	18,299,597	28,272,854	84,428	EIP/kg(P)
11.廃棄物	36,000,000,000	76,035,456,500	58.67	EIP/kg(埋立)
12.道路交通騒音	2,618,929,088,433.10	3,843,396,910,000.000	0.56	EIP/騒音 km
*硫黄酸化物 (SOx)	104	EIP/kg(SOx)

(出所)「科学技術振興プロジェクト団報告書：環境パフォーマンス評価係数 (JEPIX)」

環境経営学会／環境経営格付機構、2003年3月