

ExternE における環境外部性評価の動向

西村 一彦

1. はじめに

欧米では、エネルギーの利用に由来する環境的、経済的影響が国境を越えた問題として認識されており、何らかの政策的介入が必要な外部性¹の問題として捉えられている。そこで、欧州委員会 (EC) と米国エネルギー省 (DOE) により、1990 年代の初頭に、共同でエネルギー利用における環境的外部性評価のプロジェクトが立ちあげられた。これは現在までに様々な形で発展してきたが、欧州におけるそれは ExternE と呼ばれている。

歴史的に見て ExternE プロジェクトは 3 つのフェーズに分けることができる。フェーズ 1 (1991~1992 年) は開始当初の EC と DOE の共同研究である。ここでの目的は 8 つの燃料 (石炭、石油、天然ガス、原子力、太陽光、風力、バイオマス、小規模水力) 及び 4 つの省エネルギー技術を評価することであった。動機は米国と欧州で若干異なり、DOE では州ごとのエネルギー選択問題の方法論を確立することにあっただのに対し、EC では統合化に向けて国境にまたがる環境問題の解決に関心が向いていた。

この共同研究を引き継ぐ形で、欧州でフェーズ 2 (1993~1995 年) 研究が続けられ、プロジェクト名も ExternE とされた。ここではフェーズ 1 で開発された方法論やデータベ

ースを活用し、「概要」「方法論」「石油とガス」「石炭」「原子力」「水力と風力」に関する 6 冊の報告書が発行された。さらにフェーズ 3 (1996~1997 年) では欧州 15 カ国が参加し、約 5MECU の予算規模で研究が続行されている。

現在 ExternE は、Core Project、National Implementation、Transport の 3 つのプロジェクトから構成されている。Core Project では評価手法の改良、適用範囲の拡大、使用可能なデータベースの整備などが行われ、National Implementation では欧州連合 (EU) 各国の核燃料サイクルに対する評価が、Transport では、輸送関連の環境外部性が主に研究されている。

以下、本論では ExternE プロジェクトの方法論に関する報告書 [2] に基づき、そこで用いられている環境外部性評価の概念や、手法を見ていくことにする。

2. 方法論

エネルギー技術の外部性評価に際し、ExternE プロジェクトでは全体として、図 1 に示すような「影響経路分析」(Impact Pathway) と呼ばれるアプローチを採用している。基本的にはまず、EMISSIONS の段階において、エネルギー技術関連に由来して排出される環境汚染物質を発生地域別に特定化する。次に DISPERSION の段階において、排出汚染物質の地理的な拡散をシミュレートする。さらに IMPACT の段階で、物理的影響を特定化し、最後に COST の段階ですべての物理的影響を貨幣換算する。

尚、以下ではこの影響経路分析に沿って方

¹ 外部性とは、分権経済が何らかの理由により、ある財の市場を開設する動機をもたない(市場が存在しない)場合に、パレート効率性が失われることを指す、というアローによる定義[4]が最も一般的である。環境外部性といった場合には、市場が存在しないのは環境汚染物質である。また一般的に外部費用とは、仮に市場が開設されたとした場合の取引額を指す。

法論を展開していくが、その際、EMISSIONS、DISPERSION、IMPACT、COSTの各段階をそれぞれ環境負荷排出量、汚染移送モデル、インパクト評価、貨幣価値換算と記すことにする。

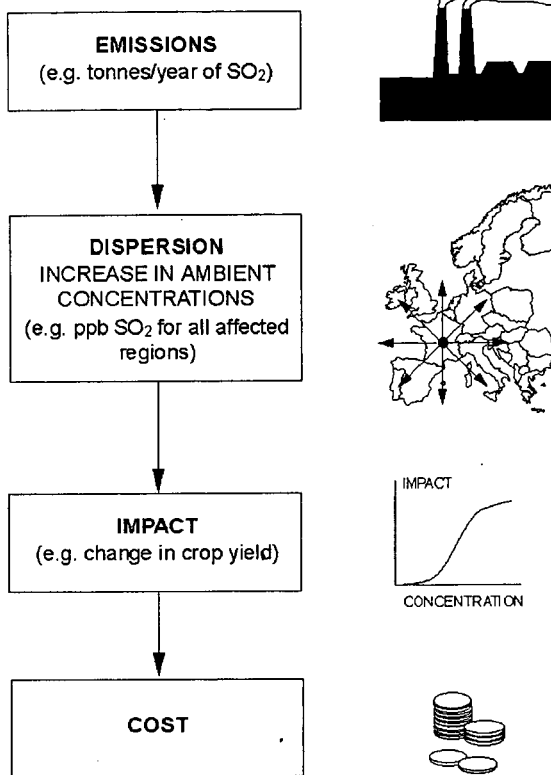


図1 影響経路分析[3]

2. 1 環境負荷排出量

さて、ExternEにおける環境負荷排出量の推定においては、ボトム・アップ・アプローチ (bottom up approach) が用いられている。これは、統計データなどの経済情報からシステムをモデル化しシミュレートするといったトップ・ダウン・アプローチに対し、技術的、工学的情報を積み上げていくことによって推定を行うことを意味している。

これは1970年代に始まったエネルギー分析 (Net Energy Analysis) に端を発するLCAアプローチに非常に近いといえる。この種の分析では分析対象の関連するプロセス

を「ゆりかごから墓場まで」溯って、各プロセスにおいて排出される環境負荷物質を積み上げていくのであるが、この積み上げを行う範囲を、ExternEでは特に、「燃料チェーン」 (fuel chain) と呼んでいる。

例えば発電における燃料チェーンには、燃料採掘、燃料輸送、プラント建設、プラント運用 (発電)、廃棄物処理、プラント廃棄などを含んでいるが、タービンや石炭輸送のワゴンの生産に用いた製鉄プラント建設のための素材の生産プロセスにおける環境負荷排出などは無視している。

このようにExternEでは、燃料チェーン以外の関連プロセスに関しては、その存在を明記しながらも適宜省略を行っている。しかしこのことは、分析対象が一般財ではなく主に発電技術であり、したがってたとえば石油火力発電のように燃料チェーンにおける環境負荷排出が、その他のプロセスのそれを2桁のオーダーで凌駕するというような場合には妥当であるといえよう。

ExternEではこのようなライフサイクル分析と同様の環境負荷の積み上げを行う一方で、環境汚染物質の発生源の地域性を重視している。すなわち、燃料チェーンの各プロセスにおいて、各環境汚染物質が、どの地域でどれくらい排出されたのかを明示的に分析しており、これが通常のLCAと大きく異なる点である。このようなサイト依存性は、後述の、人間や自然環境などの「レセプター」への影響を定量化する上で重要であり、そのことを反映しているといえよう。

したがって、ExternEで扱われている環境負荷・汚染物質は、地域環境汚染物質を多分に含んでいる。それらは具体的には大別すると、固形廃棄物、液体廃棄物、ガス状または粒子状の大気汚染物質、事故の危険、職業人の健康、騒音、その他 (電磁波、廃熱など)

といった非常に広範なものである。特に大気汚染物質（ガス状物質）としては、 NO_x 、 SO_2 、 NH_3 、 CO 、オゾン、窒化物エアロゾル、および粒子状物質（ PM_x ）などが挙げられており、これらは主に農作物や健康影響に密接にかかわっていく。

2. 2 汚染移送モデル

汚染移送モデルは、各発生源から人間や自然環境、農地などの受容者（レセプター）までの汚染物質の拡散をモデル化したものの総称である。ExternEでもっとも重要な汚染移送モデルは汚染物質の大気拡散に関するものである。これらは風による汚染物質の物理的な移送のみならず、化学変化に対しても対応している。これらはすべて欧州全土を10km四方のマスキュラに分割したユーログリッド（Eurogrid）の各セルに関する移送を考慮している。

比較的化学的に安定で、拡散の範囲が比較的小さい汚染物質の拡散に関しては、ガウス・プルーム・モデル（Gaussian Plume Model）や、統計データに基づく風況モデルが用いられている。

また拡散の範囲が広く、さらに化学反応を伴う移送モデルには、オイラー・グリッド・モデル（Eulerian Grid Model）、ラグランジ・モデル（Lagrange Trajectory Model）、ハーウェル・モデル（Harwell Trajectory Model）などが用途に応じて、適宜援用されている。これらは主に、 NO_x 、 SO_2 、及び NH_3 が大気中で HNO_3 、 H_2SO_4 、アンモニアなどに反応し、拡散する様子をモデル化するものである。

2. 3 インパクト評価

汚染移送モデルによって、各地域別の汚染発生源から、化学反応を含め、どの地域にど

のような汚染物質が移送されるかを特定化した後、その物理的影響を評価するのがインパクト評価である。このインパクトは基本的には、さまざまな汚染物質によるさまざまなレセプターの曝露応答関数（dose-response function）によって分析される。

レセプターとしては、ExternEでは大きく水系と非水系、およびそれら相互作用に分かれており、さらに、公衆健康、生態系、農作物、建築物、地球温暖化などへの影響が詳細に検討されている。ただし、騒音および美観に関しては発生とインパクトが直接的であることから、インパクト評価は行わず直接貨幣価値換算が行われる。

このうち公衆健康に関しては、非発癌性物質、放射性物質による発癌性、ダイオキシン及び重金属による発癌性、業務上の健康障害、事故といった5つの健康影響を評価している。生態系に関する影響としては、発電所設置、石炭、石灰採掘、廃棄、酸性雨及びオゾンの森林及び漁業への影響を考慮している。また、農作物への影響に関しては、酸性土壌、土壌汚染による収穫高の低下を考慮している上、特に曝露応答関数の非線形性（図参照）が考察されており、例えば少量の NO_x が収穫を上げるといったプラス効果も考慮されている。

大気汚染物質による建築物の建材への侵食・腐食影響も、ExternEでは考慮されている。考察されている建材はコンクリートからアルミニウム、亜鉛、塗料に至るまで詳細を極めており、各素材ごとに侵食・腐食の可能性のある汚染物質の曝露応答関数が推定されている。しかし、地球温暖化に関しては、現時点のExternEでは、既往の気候変動モデル（例えばCline[1]、Wigley[6]、IPCCのMAGICC、Tol[5]によるFUNDなど）を援用している。ExternEではこれらのモデルを用いて、海岸、湿地、乾燥地の喪失、人間

の移動、冷暖房のエネルギー、自然災害、疫病などの地球温暖化影響を評価している。

2.3 貨幣価値換算

ExternEの最大の特徴は、ボトム・アップ・アプローチで積み上げた極めて詳細な環境外部性要因を全て貨幣価値換算するところである。環境外部性の貨幣価値換算に関する経済学的手法は、大きく分けてアンケートによる方法、ヘドニック価格法、旅行費用法があるが、ExternEでは、アンケートによる方法を用いている。

アンケート手法は特に状況依存型価値付け法 (Contingent Valuation Method, CVM) などと呼ばれているが、そのアプローチは基本的に、アンケートに基づいて環境損害や便益に対する個人の支払意思 (Willingness to Pay, WTP) もしくは容認意思 (Willingness to Accept, WTA) を定量化することである²。ただし、ExternEでは全てWTPが用いられている。

致死性の環境汚染に関しては、CVMのみならず、危険職業の賃金などから算定された統計的生命価値 (Value of Statistical Life, VSL) が用いられている。因みにExternEで用いられているVSLは2.5-4.4MECUである。

最後に割引率の扱いについて触れておこう。ExternEでは、将来にわたる環境影響を貨幣換算する場合、現在価値換算を行なっているが、その際割引率は3%を用いることが推奨されている。これは、時間選好率と持続可能な経済成長率を考慮に入れた値であるとされている。ただし、環境影響が生態系の持続性に及ぶ場合にのみ修復費用が考慮されるべきでありその場合には0%の割引率も用いる

必要があるとしている。

3. エコセンス・モデル

エコセンス・モデルは、ExternEにおける影響経路分析において、環境負荷排出量以降の、汚染移送モデル、インパクト評価、貨幣価値換算をそれぞれ簡略モジュール化し、一つにまとめたものである。既に述べたように、環境負荷排出は個々の技術の燃料チェーンに沿って積み上げざるを得ないが、それ以外の処理に関しては、環境影響の国別評価などの際、欧州規模でデータベースを共通化される必要がある。

このエコセンスモデルは当初Stuttgart大学において開発されたが、ExternEプロジェクトで共通に利用できるようになった。エコセンスのVer. 2.0は、13種類の化学反応を含む大気汚染物質を扱うが、放射性核物質は含まれていない。エコセンス・モデルの構成は図2に示されているとおりである。

エコセンス・モデルでは、基準技術データベースとして、大気汚染拡散に関連する排出源 (発電所) の基礎データ (排ガス特性、煙突の構造など) を含んでいる。また基準環境データベースは、欧州規模の排出調査記録やレセプターの分布に関する情報を提供してい

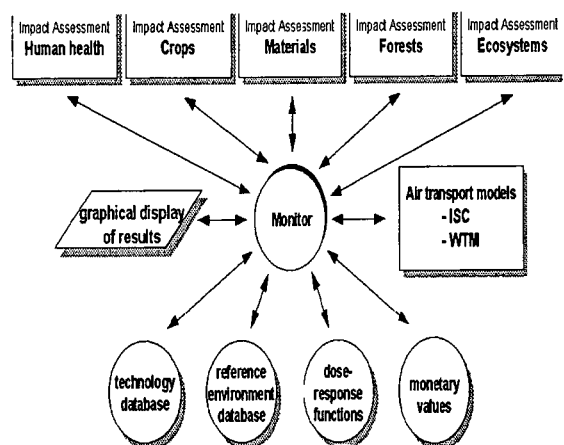


図2 エコセンス・モデル[3]

² 通常、WTAはWTPよりも数倍大きい。

る。

さらに、全ての地理情報は EUROGRID を基本とし、人口分布と農作物に関する情報は EUROSTAT REGIO を利用している。建築物侵食に関しては代表的建築物の侵食調査によるデータ蓄積が備わっており、拡散モデルに至っては欧州全土の降水量、風速、風況データに基づく 10km 四方単位のガウス・

プルーム・モデルを処理することができる。

4. 評価結果

欧州各国における外部性の評価結果を発電技術別にまとめたものを図3に示す。これによると、石炭、石油火力の外部費用が比較的大きく、天然ガス、バイオマス、原子力、がこれに続き、水力風力は非常に小さくなって

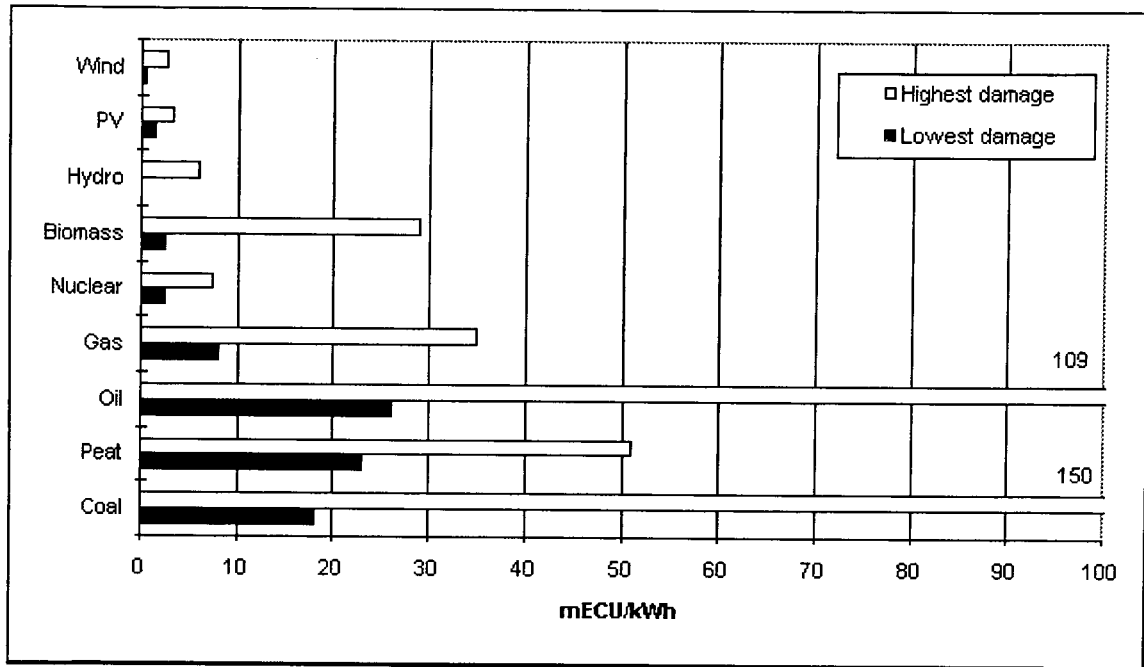


図3 欧州各国における電源別外部性の評価結果[3]

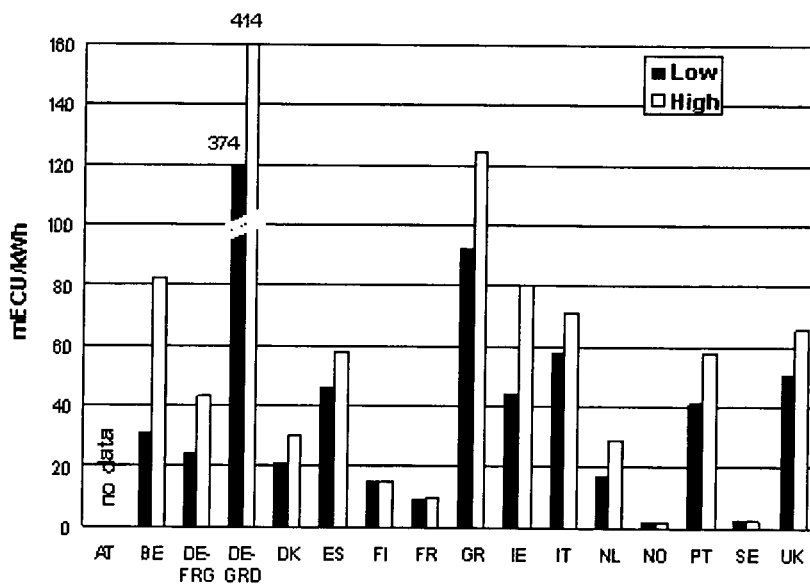


図4 欧州各国における外部性の評価結果[3]

いる傾向がわかる。但し、たとえば同じ石炭火力でも、発電技術の相違や周囲の条件の相違から、18~150mECU/kWhまでの広がりがある。汚染物質あたりの損害費用は国によって1桁以上の差がある。ExternEによると、地中海およびスカンジナビア地方は人口密度が小さいので、欧州中央部よりかなり値が小さいということである。

これに対し、国別の平均外部費用をまとめたものが図4である。ExternEによると、地球温暖化影響を除くと10~20mECU/kWhの範囲が多いということである、但し、人口密度が低く再生エネルギーの利用の進んでいるフィンランドおよび原子力の比率の高いフランスについては10mECU/kWhより小さく、褐炭火力の寄与の大きいギリシャの外部費用は100mECU/kWhを超える値になっている。多くの国では発電に伴う外部費用は地球温暖化影響を除いてGDPの1~2%の間にある。

5. おわりに

従来のLCAによる環境外部性の評価（定量化）では、CVMなどの貨幣価値換算法手法が確立されていないことから、あえて物理量を記述するのに止められていた。また、環境汚染物質の地理的移送を含めた分析までは到底至らないのが普通であった。その意味で、ともかくもこれらを含めてなお且つ、貨幣価値換算までを欧州全域に関して行なうExternEは、これまでの環境外部性評価研究の中でも群を抜いて野心的である。

しかし、汚染排出量の推定に際して、燃料チェーンというシステム・バウンダリーを限定し、間接影響を無視しているため、特に再生可能エネルギーの評価に際して過小評価となっていることは指摘しておかねばならない。また、割引率や貨幣価値換算にいたっては、

特にエコロジー派の経済学者にとって容認できないものであろう。

ただし、欧州の中のだれがだれに対してどのくらいの損害を潜在的に与えているかを明らかにする、といったExternEでの本来の目的は達成しているのではないだろうか。また、仮に貨幣価値換算が経済理論と整合的に行われるようになれば、この種の研究は、純国民福祉（NNW）の計算に使えそうである。われわれの社会が、物質的な豊かさを享受するためにどれだけの犠牲を払っているのか、はたして「実質的」に成長しているのかどうかを見極め、将来と現在に対して、効率的な投資を行う際のバックデータとしてこそ、ExternEのような研究は意味をもつのではないだろうか。

【参考文献】

- [1] Cline, W. R. (1991), *The Economics of Global Warming*, Institute of International Economics, Washington.
- [2] ExternE (1995), *Externalities of Energy*, vol. 2: Methodology, European Commission.
- [3] ExternE: <http://externe.jrc.es>
- [4] Heller, W. P. and Starrett, D. A. (1976), *On the nature of externalities*, in S. A. Y. Lin, ed., 'Theory and measurement of externalities,' Academic Press.
- [5] Tol, R. S. J. (1993), *The Climate Fund: Survey of Literature on Costs and Benefits*. Institute for Environmental Studies, Free University of Amsterdam.
- [6] Wigley, T. M. L., Holt, T. and Raper, S. C. B. (1991), *STUGE User's Manual*, University of East Anglia.

(にしむら かずひこ
電力中央研究所 経済社会研究所)