

エネルギー分析と省エネルギー

1. まえがき

石油を中心とする近代的エネルギー源は高度な生産機械や輸送機械と結びついていちじるしい経済活動の発展をもたらし、われわれの物質的な意味での生活を豊かにしている。またエネルギーに関して重要なことは労働を相当程度代替したばかりでなく旧来の人間による労働のなしえない機能をもっていることである。

それゆえエネルギー資源の物理的な不足、政治的な供給制限、高価格化は社会のあらゆる側面に影響を与える可能性をもっている。近代工業国家でありきわめて乏しいエネルギー資源しかもたないわが国の場合、このことはもっとも重要な問題の一つであろう。このような状況に対処する一つの政策としての省エネルギーは、わが国があまりにも小資源国であるために、かなり限定された機能しかもちえないが、不測の状況に対してバッファーとして役目をもっている。

現在省エネルギー問題に関してはさまざまな調査研究がなされているが、エネルギー分析的視点からの検討はもっとも基礎的な検討事項であろう。エネルギー分析とは財の生産における直接間接のエネルギー投入構造を明らかにすることであり、積み上げ計算等によって詳細なエネルギーフローを物量ベースで計測するのがその特徴である。基礎的データとして産業連関分析も利用される。

省エネルギー問題を検討するうえでエネルギー分析が必要な理由はつぎの2点にある。第1に省エネルギーを行なうにはしばしば新しい設備の設置や他の原材料の投入などが必要になるが、それ

らの製造に直接間接に必要なエネルギー量を知っておく必要がある。第2にエネルギー以外の財の消費の節減が間接的な省エネルギーをもたらすという点である。

省エネルギーには多数の方法があり、それらに関してエネルギー分析的な検討が十分なされているわけではないが、以下では一部の知られている結果を中心に省エネルギーとエネルギー分析の関係について簡単に述べよう。

2. 省エネルギーの分類と方法

もっとも素朴な意味では省エネルギーとはむだなエネルギーを省くということであって何をむだなものとするかに依存している。省エネルギーという言葉の裏にはエネルギー不足というような社会的状況のもとでは、社会全体の効用をできるかぎり最大に保つために、生産主体や消費主体にあまり大きな不利益を与えないかぎりにおいて、むだなエネルギーを省いたり、資本設備、労働、原材料とエネルギーとの代替関係を利用してエネルギーの使用形態を適正化するという政策を行なうことは望ましいことであるという意味がこめられている。それゆえ省エネルギーは単なる技術的な概念でなく社会科学的側面をもっている。

より正確に考えるならば、省エネルギーとは生産主体にとっては経済活動の水準（たとえばこれは生産額や利益によって計測するのがよいであろう）を、消費主体にとっては財の消費によって得られる総合的な効用（これの計測はむずかしい）をあまりそこなうことなしに、生産・消費のために直接・間接に要したエネルギーを削減することであると定義できよう。

しかしエネルギー不足がある程度深刻になった状況では経済活動や効用の水準を一定に保つことも困難な場合がありうる。そのような場合には社会全体の経済活動や効用が基準になり、企業の経済活動や個人の効用の水準がそこなわれる省エネルギーもあり得よう。

省エネルギー問題や省エネルギーの方法をとらえやすくするために省エネルギーをいくつかの軸によって分類しておくことと便利である。まず省エネルギーにはエネルギーの消費そのものを直接的に節減する「直接的省エネルギー」と非エネルギー的な財の消費を節減することによってエネルギー消費を間接的に減らす「間接的省エネルギー」の2種類がある。また、省エネルギーは財の生産と消費の2つの領域にかかわっており、それぞれの領域における省エネルギーは対象とするシステムの大きさによってそれぞれつぎのように分けることができる。

消費領域における省エネルギーは3つのレベルに分けるのが適当であろう。第1は財の消費量自身を全体的に削減することによって生ずる省エネルギーである。これを「消費量レベルの省エネルギー」とよぶ。しかし財全般の消費量の削減は効用水準の低下をもたらすから、どこからどこまでを省エネルギーとよぶか問題があろう。第2は個人の効用水準をほとんど変えることなく生活様式を部分的に変えることによってできる省エネルギーであり、これを「生活様式レベルの省エネルギー」とよぶ。

たとえば住宅を木造からコンクリート造りに変えることによって冷暖房用のエネルギー消費量を節減することができるが、これは通常生活様式レベルの省エネルギーである。しかしコンクリート住宅に住むことにいちじるしい不快を感ずる人にとってはこのような行為を「省エネルギー」の中に含めることはできないであろう。第3は生活様式を基本的にほとんど変えることなしに生活用具をより効率のよいものにおきかえることによって

できる省エネルギーで、これを生活用具レベルの省エネルギーとよぶ。

生産領域における省エネルギーも3つのレベルに分けて考えることができる。第1はエネルギー自体あるいはエネルギー多消費型の生産物の国内生産量を低下させることによって生ずる省エネルギーである。これを「生産量レベルの省エネルギー」とよぶ。このレベルの省エネルギーは消費量レベルの省エネルギーや産業構造、輸出入構造に直接的に関係している。第2のレベルは産業部門あるいは企業の生産量を基本的に変えることなく生産の方式のみを考えることによって行なう省エネルギーであり、これを「生産方式レベルの省エネルギー」とよぶ。第3のレベルは生産方式を基本的に変更することなく一部の生産設備をより効率のよいものにおきかえることによって行なう省エネルギーであり、これを「生産設備レベルの省エネルギー」とよぶ。

生産設備レベルよりは生産方式レベルのほうが生産方式レベルよりは生産量レベルの量がより多くの省エネルギーを行なうことができるが、省エネルギーを行なうことの困難さも同時に増大する。とくに資本主義社会における企業は特定の例外を除き需要の存在にかかわらず自己の生産量を減らすことはあまり考えられない。

またもちろん以上のような分類はある程度形式的なものであって具体的に分類を行なう際にはいろいろ問題があろう。たとえば通常の汽力発電を複合サイクルによる発電におきかえたことによる省エネルギーは生産方式レベルとも生産設備レベルとも考えられるかも知れない。

省エネルギーの方法の一部を表1にかかげる。より詳細に考えるならば生産領域における省エネルギーの方法は産業別にとりあつかうほうがよい。

また省エネルギーの方法は政策手段的には、課税や補助金などによる経済的方法、強制力をもつ法的な方法、広報や教育を通して行なう自主的な

表 1 省エネルギーの分類

		直接的省エネルギー	間接的省エネルギー
生産領域の省エネルギー	生産設備レベル	<ul style="list-style-type: none"> 熱管理法によるエネルギー管理の強化 蒸気管理, 断熱条件, 燃焼条件の改善 ボイラーの効率向上 エネルギー管理技術の指導 温排水, 加熱炉排熱の利用 回生ブレーキの使用 電解炉の大型化 エネルギー使用機器の使用合理化 エネルギー有効利用設備に対する融資 	<ul style="list-style-type: none"> 省資源型機器の使用
	生産方式レベル	<ul style="list-style-type: none"> 工場地域での熱の総合的利用 複合サイクル発電の採用 アルコア法などアルミニウム新精錬法の開発利用 アスファルトのエネルギーとしての利用 貨物輸送方式の改善 	<ul style="list-style-type: none"> 省資源型生産方式の採用
	生産レベル	<ul style="list-style-type: none"> 輸出入構造, 産業構造の変革 エネルギー消費に対する特別税 	
消費領域における省エネルギー	消費量レベル	<ul style="list-style-type: none"> 建物の冷暖房温度の規制 エネルギー消費広告の規制 電気暖房の規制 ガソリンスタンドの休日休業 エレベータの運転節減 自家用車の不使用, バスの利用 	<ul style="list-style-type: none"> 消費の抑制
	生活様式レベル	<ul style="list-style-type: none"> 住宅地域での熱の総合的利用 住宅のコンクリート化 小型乗用車の使用 セントラルヒーティングの不使用 ゴミ焼却熱の利用 	<ul style="list-style-type: none"> 住宅設備の標準化 生活用品のリサイクル
	生活用具レベル	<ul style="list-style-type: none"> 断熱材の使用 太陽熱の冷暖房への利用 エネルギー機器の使用合理化 自動車の軽量化 白熱電灯の蛍光灯化 省エネルギー型機器の使用 	<ul style="list-style-type: none"> ゴミの分別回収 省エネルギー建材の使用 家具の耐用年数の拡大

方法と分けることもできる。

省エネルギーが必要な理由は石油の高価格化や供給力の政治的な制限が将来予想されるにもかかわらず、新エネルギーの開発や原子力が思うように進展しないことにあるが、日本の場合はエネルギー資源が極端に少ないうえに、米国等に比べ家庭用の1人あたりのエネルギー消費量もそれほど多くなく、産業ももともとかなり省エネルギーを行なっていることを考えれば、省エネルギーの役割はかぎられたものであろう。

3. 直接的省エネルギーとエネルギー分析

生産過程や消費過程の使用エネルギーの効率を

上げるために設備や方式を変更すればそれらに関する直接・間接のエネルギー必要量が変化する。このためにエネルギー分析が必要になってくる。ここでは現在知られている調査研究の一部を紹介する。

その1つは資源調査会エネルギー部会による住宅の断熱材に関する調査[5]である。断熱材を利用すれば暖房条件が向上するが、断熱材を製造するためにまたエネルギーが必要である。この調査はこの点を分析したものである。

住宅に断熱材を利用したときの暖房用のエネルギー節約量は住宅の型式や地域の気象条件によってかなり異なるので、まず全国を暖房度日(単位

表 2 断熱材使用による暖房の省エネルギー効果

住宅種類	独立住宅	集合住宅(低層)	集合住宅(中高層)	
構造	木造	木造	コンクリート造	
間取り	3LDK	1DK~2DK	3DK	
延床面積(m ²)	100	35	47	
断熱材必要量(m ³)	7.1	2.3	0.7	
想定した断熱材の厚さ(mm)	30	30	10	
断熱し 材なし をい 使場 用合	暖房度日 (deg·day)	1,430	1,430	970
	単位暖房負荷 (kcal/m ² ·h·deg)	7.9	7.0	4.8
	暖房用エネルギー消費量 10 ⁶ kcal/年·戸	13.0	4.1	2.4
断熱 材し をた 使場 用合	暖房度日 (deg·day)	970	970	690
	単位暖房負荷 (kcal/m ² ·h·deg)	4.5	4.3	3.5
	暖房用エネルギー消費量 10 ⁶ kcal/年·戸	5.0	1.7	1.2
	断熱材の製造に要するエネルギー (10 ⁶ kcal/戸)	0.94	0.30	0.51
	断熱材を使用した場合の1戸 あたりの省エネルギー量 10 ⁶ kcal/30年·戸	239.1	71.7	35.5
	省エネルギー効果(%)	61	58	49

出所 [5]

注1 左記の結果は東京、大阪、広島等中程度の寒さの地域に対する計算例である。

注2 省エネルギー効果

$$= \frac{\text{断熱材の使用によって節約される正味のエネルギー量}}{\text{断熱材を使用しないときのエネルギー消費量}}$$

注3 左記の結果は延床面積の50%を24時間暖房する場合である。

degree-day) によって4つの地域A~Dに分け、また計算のためのモデル住宅は独立住宅、集合住宅(低層)、集合住宅(高層)の3つに分けている。ここでは東京、大阪、静岡、広島などを含むC地域についての計算結果を表2に示す。断熱材の製造に必要なエネルギーは住宅の30年間の暖房に要するエネルギーの0.6~1.4%にすぎない。A~Dを含む全国合計で見れば、断熱材の製造に26.7×10¹² kcal≒原油250万kl程度必要とするが、住宅の耐用年数として設定した30年間に原油にして約6億klのエネルギーを節約できるという結果になっている。

同報告書[5]は室内の冷暖房の後の排気によって捨てられる熱あるいは冷熱を回収するための全熱交換器についても調査を行なっている。

つぎに第2の事例として輸送について簡単に述べよう。輸送、とくに旅客輸送が輸送方式によっていちじるしくエネルギー消費効率が異なるのはよく知られている。図1は単に直接に消費する燃料だけを比較したにすぎず各輸送方式の設定条件も

不明だが、これによれば米国の大型車(1人乗り)がSSTよりも燃料消費効率が悪いのは驚くべきことである。大型車を普通車や小型車にきりかえるならば1台1年あたり1,000~2,000lのガソリンを節約することができる。米国の乗用車はヨーロッパや日本の車に比べ2倍のエネルギーを消費している。

輸送機関の場合も運転によって直接消費するエネルギーだけでなくそれを製造するのに直接間接に必要なエネルギーを計測する必要がある。

Beryら[6]は自動車のエネルギー分析のために鉄の製造過程におけるエネルギー投入量を計測したうえで、1台の自動車の製造に直接間接に必要なエネルギーを表3のように与えている。

日本の場合は自動車に関するエネルギーのうち走行に要するエネルギーが7割、道路の建設に必要なエネルギーが1割、自動車製造関係が2割程度とされている。日本における輸送のエネルギー分析は一部で作業が進められているものの、公表されたものはあまり見あたらない。

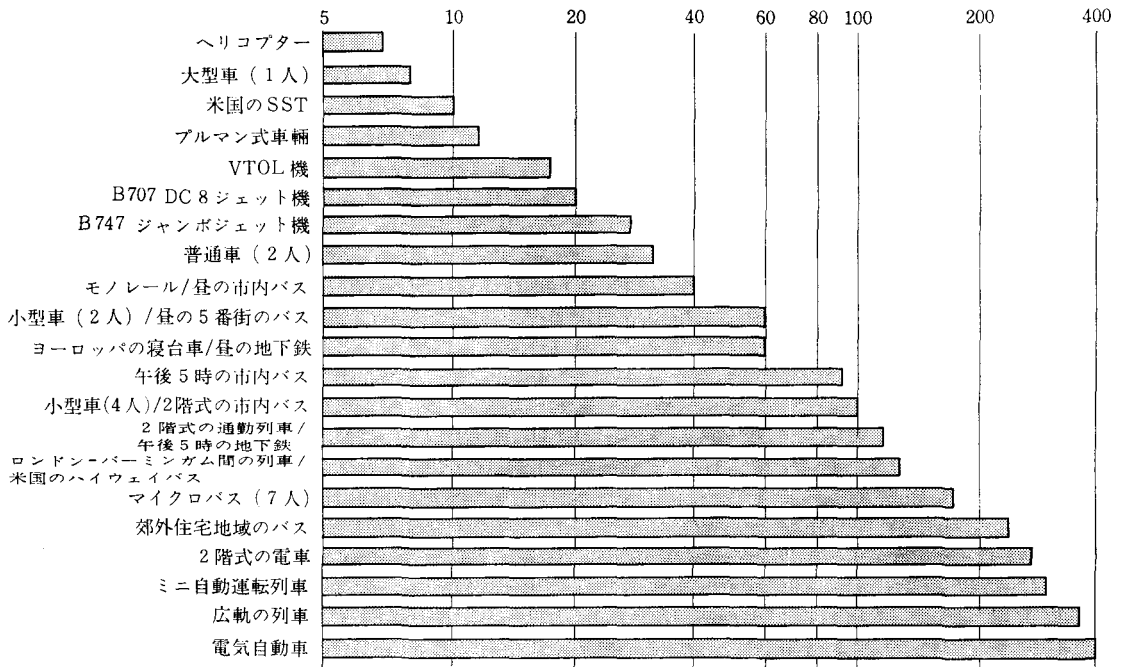


図 1 米国における種々の旅客輸送方式のエネルギー効率の比較 出所 [4]

エネルギー変換に関する問題に関しては、日本を含め各種発電方式などについて多数のエネルギー分析がなされているが[7],[8],[9],[10],[11], これらは正味のエネルギーを生産するかどうか、あるいはどの程度のエネルギー比で生産するかどうか为主要なテーマであって、省エネルギー的視点でなされたものでない。しかし同一の燃料に対する複数の発電方式の比較は省エネルギーの意味からも利用できよう。

4. 間接的省エネルギーとエネルギー分析

間接的な省エネルギーは現在のところ省エネルギー政策の中に直接含まれているわけではない。資源一般について節約を行なうことはむずかしいし、それぞれの資源には固有の問題が関係しているからである。しかしいくつかの非エネルギー的財について省エネルギー的視点から若干検討しておくことはむだではない。

最初に住宅の場合について考えよう。Gartnerら[12]は英国の公営住宅4種類(レンガヤコンク

表 3 1台の自動車の製造に必要なエネルギー(米国) 10⁴ kcal

金属材料の製造	2,252
その他の材料の製造	74
部品の製作と車体の組立て	804
原材料の輸送	56
組立てられた自動車の輸送	19
合計	3,205

出所 [6]

リート造りの55~80m²の住宅)についてかなり詳細な積み上げ計算を行ない、1戸あたり建設に必要なエネルギーは95~265GJという結果を得た。ところが1世帯で1年に使うエネルギーは一次エネルギーにして134GJ程度であり、その64%が暖房用である。この点から考えると住宅建設に要するエネルギーを節約してもその効果はあまり大きいものとはいえない。

もう1つの例として食料の場合をあげよう。米国の場合、食料システムのために直接間接に必要なエネルギーは全エネルギーの12%程度にのぼる[13]。食料の量を便宜的にカロリーで測るなら

ば、1カロリーの食料につき直接間接に必要なエネルギー（太陽エネルギーは計算に含めない）の投入量は0.02~20カロリーまで幅広く分布している。宇田川の計算[14]によれば1974年において1カロリーの米を栽培するのに2.6カロリーの投入エネルギーが必要であり、また Pimentel ら [15]によれば遠洋漁業の魚の場合にはこの数値が10をこえる。

食料の場合は味や栄養価のちがいを無視することはできないから、省エネルギー的視点のみから1つの判定を下すことはできないが、直接間接の投入エネルギー量の多い食料ほどエネルギーの高価格化などの情勢の影響を受けやすいことは事実であろう。

そのほか資源調査所では人間が一生に利用するエネルギー量が総合的なエネルギー需給構造に与える影響を分析するため、食生活、住生活、衣生活に直接間接に必要なエネルギーの詳細な計測作業を行なっている。

このほかに鉄、アルミ、銅といった金属素材の分析もそれらの単位あたりのエネルギー投入量が大きいため重要である。

間接的省エネルギーはむずかしい面が多い。財の種類が多いため省エネルギーの問題の中で1つにあつかうことはむずかしいし、それぞれの財には固有の機能がある。又重要な点は財一般の消費の削減は中短期経済的に問題があることである。

しかしエネルギー以外の財の消費はエネルギー消費を誘発するから、基本的には一般的な省資源なしに省エネルギーは行なえない。いくつかの資源についてはその資源自体の節減が重要である。

5. あとがき

エネルギー分析的な点からの省エネルギー問題の検討は省エネルギーのための直接的方法を与えるというよりは基礎的な資料を与えるにすぎないが、種々の省エネルギーの方法が十分検討されていない現状では1つの判断材料を与える有効な手

段であり、今後広範囲な分析がなされることが必要である。

参考文献

- [1] 産業部門におけるエネルギー消費効率化の定量的分析，総合研究開発機構・三菱総合研究所，昭和51年9月。
- [2] 省エネルギー技術，日本産業技術振興協会，昭和50年4月。
- [3] エネルギー有効利用のための技術的可能性に関する研究，政策科学研究所，昭和50年3月。
- [4] G. Leach : The Impact of the Motor Car on Oil Reserves, Energy Policy, Vol. 1, No. 3, 195~207, 1975.
- [5] 省資源・省エネルギーに関する調査，科学技術庁資源調査所，昭和51年10月。
- [6] M. S. Macrakis : Energy, The MIT Press, 1974.
- [7] P. F. Chapman et al. : Energy Inputs and Outputs for Nuclear Power Stations, Open University Research Report ERG 005, 1974.
- [8] P. F. Chapman : Energy Analysis of Nuclear Power Stations, Energy Policy, Vol. 3, No. 4, 285—298, 1975.
- [9] A National Plan for Energy, Development & Demonstration (ERDA 76—1), 111—116, 1976.
- [10] G. Moraw et al. : Energy Investment in Nuclear and Solar Power Plants, Nuclear Technology, Vol. 33, 174—183, 1977.
- [11] エネルギー利用構造とエネルギー収支に関する調査，政策科学研究所，昭和52年3月。
- [12] E. M. Gartner et al. : Energy Cost of House Construction, Energy Policy, Vol. 4, No. 2, 144—157, 1976.
- [13] E. Hirst : Food-Related Energy Requirements, Science, Vol. 184, 134—138, 1973.
- [14] 宇田川：水稲栽培における投入エネルギーの推定，環境情報科学，Vol. 5, No. 2, 73—79, 1976.
- [15] D. Pimentel et al. : Food Production and the Energy Crisis, Science, 182, 443—449, 1973.

さいとう・たけし 1942年生

1966年 東京工業大学電子工学科卒

1971年 同大学院博士課程修了。工学博士。

1971年 電力中央研究所入所。

エネルギー工学，システム制御，社会システムへの工学的手法の応用等に関する研究に従事。IEEE，電気学会，日本OR学会，日本理論計量経済学会会員。