

エネルギー効率の評価

The Environment on Evaluation for Available Use of Energy

伊 東 慶 四 郎*

Keishiro Ito

はじめに

近年、エネルギー問題の様相は、原油価格等市場の「相対価格関係」の激変、ニーズの多様化・高度化とエネルギー利用機器の技術革新、規制緩和とエネルギー間競争の激化、コージェネレーションの系統連係・ベストミックス化問題や都市環境適合性問題、高度情報化の進展に伴う「エネルギーと情報」のセキュリティ関連問題、地球的規模の環境問題と各国のエネルギー戦略の転換・再形成問題など、従来とは質を画するような大きな変貌を遂げつつある。

また、これら課題の性格の質的変貌は、エネルギー問題の検討に際しても、従来とは質を画するような新たな視点や枠組に基づきつつ、その検討を進める必要性を提起してきている。

このため、エネルギー効率の評価に当たっては、まず、当該評価の目的やニーズ、あるいは、当該評価対象に係わるシステムの評価環境等の再検討とその具体的分析から始める必要があるものと考えられる。

特に、市川教授は、評価の基礎論〔1〕において、次のように指摘しているが、これらは、大きく変貌しつつある今後のエネルギー問題の検討にあたっては、必要不可欠な視点であると考えられる。

(1) 価値の外在

評価とは、対象の価値を定めることである。価値は、対象固有の属性ではなく、対象の属性が、その環境と関わりあって発生する創発的性質である。

(2) 環境の同定

対象を含む大きなシステムを対象の環境と呼び、その構造（対象との関連）・属性・評価規範を明らかにすることを環境の同定と呼ぶならば、対象を評価するとは、対象の置かれている環境を同定することにほか

ならない。

以下、本稿においては、これらの点に留意しつつ、主に、エネルギー効率の評価に係わるシステムの評価環境面から、若干の考察を加えさせて戴きたい。

なお、始めに、筆者の知見との係わりで、本稿における考察の視座を、主に、地域レベルでの高次都市基盤型都市エネルギー複合供給体系のシステム計画領域におきつつ述べさせて頂くため、この点のお許しを戴きたい。

1. エネルギー効率評価の従来の視点

まず、最初に、エネルギー効率の評価ということでは従来の視点を概観させて戴くと、まず、誰しもが思い浮かべるのは、単一財生産的な要素技術や種々のエネルギー利用技術に関する熱効率の評価、すなわち、ボイラや火力発電所の熱効率、自動車や航空機の燃費効率、建物の断熱効率やエアコンの冷暖房COP、ガスコンロや瞬間湯沸器の熱効率などの評価であろう。

また、エネルギー供給技術やエネルギー経済の分野における従来の視点は、概ね、以下のようなものではないかと考えられる。

1.1 供給技術面からみた評価の視点

エネルギー供給技術の専門家の方々が、エネルギー効率の評価ということでは思い浮かべられるのは、現状並びに将来の種々のハード系要素技術やこれらの複合化技術に係わる「理論性能」、実用化技術としての現状の「定格性能や運用性能」、技術開発の「目標性能」等の熱効率面からの評価、あるいは、エネルギーシステムにおけるエネルギー有効利用の可能性と限界の解明を目的とした「エクセルギー解析」とその評価などであろう。

参考のために、これら評価対象技術としてのエネルギー供給技術を概観してみると、その「エネルギー源」、有用エネルギーへの「変換原理」、供給技術としての「ハード系アーキテクチャ」、理論的並びに実用機のエ

* (財) 政策科学研究所主任研究員

〒100 東京都千代田区永田町2丁目4-11フレンドビル

エネルギー「変換性能」、ロードマネジメント上の「経済的運用負荷帯域」、エネルギー需給バランス上の「負荷追従運用性」、各技術の「適性規模領域や立地適性」など、実に、広範かつ多岐にわたるエネルギー供給技術が、人間の経済社会活動における様々なエネルギー供給ニーズに応えるために、実用化導入され、また、近い将来、実用化導入されようとしている。

また、これら要素技術のエネルギー効率に関する技術的な評価方法は、核融合炉等の未来技術を別にすると、それぞれの分野において、今後の「技術革新の可能性とその限界の解明」等の観点から、高度に発達し整備されてきているものと考えられる。

1.2 経済社会システム面からみた評価の視点

一方、エネルギー経済やシステム分析の専門家の方々が思い浮かべられるのは、石油危機後の官民上げての省エネルギー化対策の推進や産業構造の知識集約化に伴う、単位GNP当りの一次エネルギー効率改善効果の評価であるとか、省エネルギー化対策やエネルギー需要の将来予測等に資するため、間接エネルギーを含めたエネルギー需要構造の総合的解明を目的とした、エネルギーアナリシスやライフサイクルエネルギーの評価などではなからうか。

また、燃料電池・スーパーヒートポンプ・太陽電池・高速増殖炉等の革新的エネルギー供給系諸技術の実用化導入見通しと、その普及に伴う経済社会の一次エネルギー効率向上効果の評価など、その効率評価の視点やニーズ、あるいは、対象分野等に応じ、様々な評価方法が用いられてきているものと思う。

2. エネルギーシステムをめぐる評価環境の変貌

しかし、これらエネルギー効率の評価に係わるシステムの評価環境、すなわち、近年のエネルギー問題の種々の様相は、かつての経済セキュリティ面からの石油危機への対応の段階とは、質を画するような大きな変貌を遂げつつある。

すなわち、以下に掲げる近年の典型的なエネルギー問題の種々の様相は、まず、第1に、経済社会におけるニーズの多様化・高度化、高度情報化・ネットワーク化、システムの複合エネルギー化・ハイブリッド化等の進行、第2に、国際石油市場における価格機構の作動による急激な価格崩壊とそのエネルギー需給や自然エネルギー開発に与える問題点の顕在化、第3に、各国の経済社会活動、なかでも、エネルギーシステムが及ぼす環境影響のグローバル化とその地球的規模で

の生命環境に与える影響の深刻化等を背景としており、これまでの石油危機への対応の段階とは、その性格を大きく異にしつつある。

(1) 我が国エネルギー政策の「基本理念」の転換

石油危機後の省エネルギー・石油代替化等、経済セキュリティの確保を最優先の政策目標としたエネルギー政策の段階から、セキュリティ、コスト、ニーズ適合性のバランスのとれた最適エネルギー需給構造「エネルギーベストミックス」(複合エネルギー時代)の実現を目標とした段階への移行。

(2) 世界市場の「相対価格関係」の激変とその影響

国際石油市場における原油価格の急激な低下や国際通貨レートの変動が、第一次石油危機後著しい改善傾向を示してきていた一次エネルギーの「GNP弾性値」の再上昇傾向や、世界的、特に開発途上国における再生産可能な自然エネルギー系資源の開発と利用に及ぼしてきている国際的インパクト。

(3) コージェネレーション問題をめぐる諸課題

複数財(電力と熱)生産システムとしての総合効率の評価問題、特に、ディマンドサイド面からみた「エネルギーの質と価値」の総合評価問題、ネットワーク化時代におけるコージェネの系統連係とその総合評価問題、コージェネの環境規制問題、高度情報化・ネットワーク化時代における地域レベルでの「都市エネルギーベストミックス」の形成問題など。

(4) 「エネルギーと情報」のセキュリティ関連の深化

高度情報化・国際化あるいは長寿化の進行に伴う、各経済主体内部や地域の都市システムレベル、さらには、国際的な情報ネットワークに至る種々のレベルでの「エネルギーと情報」のセキュリティインターフェースの深化と供給信頼度の向上をめぐる対処方策のあり方に係わる問題など。

(5) 「地球環境のセキュリティ」問題の深刻化

化石燃料の大量消費に伴う広域的な環境の酸性化(湖沼の死滅や森林生態系の破壊)やフロンによるオゾン層の破壊問題、さらに、人間生存環境としての地球生態系や各国の経済基盤に著しい影響を及ぼす恐れのある温暖化問題、あるいは、チェルノブイリの原発事故による広域的な放射能汚染問題など。

このため、以下、本稿では、これらのエネルギーシステムをめぐる評価環境やその基本的性格の変貌に留意しつつ、いかなる視座や枠組のもとに、エネルギー効率の評価を考えて行くべきかに関して、若干の考察や試論を展開してみたい。

3. 複数財生産システムにおける総合効率の評価

まず、第一の視座は、ニーズの多様化・高度化時代における、様々な最終エネルギー需要の質や需要特性に応じた「効用／エネルギー」面からの、種々の「エネルギー効率評価システム」の研究開発の必要性に係わるものである。

3.1 従来の技術的効率概念の適用限界と発想の転換

具体的には、エネルギーの質が基本的に異なるような「複数財の生産システム」（例えば、熱電併給システム）におけるエネルギーの総合効率評価方式は如何にあるべきかといった、従来のサプライサイド面からのみ捉えた単一財生産システムの技術的効率評価方式の「適用限界とその発想の転換」を求めてきている問題である。

すなわち、複数財生産システム〔2〕における「エネルギー総合効率」の評価〔3〕にあたっては、その「財としての質や価値」の側面から捉えた、複数エネルギー相互の変換評価が不可欠となる。

しかし、これらの質や価値の「相互変換上の判断基準」は、従来のサプライサイド面からのみ規定された、単一財生産システムに関する技術的効率概念「有用な仕事／エネルギー」の枠組みの中からは、導き出されてこない。

このため、このようなシステムにおけるエネルギー総合効率の評価上必要不可欠な、複数エネルギー（ここでは、電力と有用利用可能熱であり、かつ、後者は、副生エネルギー）相互の変換評価を可能とするためには、次のようなダイヤモンドサイド面から見た「新たな評価ロジック」が、求められてくる。

(1)まず、第1に、電力・冷熱・温熱など、最終エネルギー需要の側からみた各エネルギーの「必要品質や機能」及びこれらの「負荷パターン」の明確化。

(2)第2に、有用利用可能熱やその代替エネルギー（電力・ガス・灯油・冷房排熱・熱源水等）による、冷熱や温熱の生産上必要な「蓄熱技術を含む各種要素技術の選定」及び、これらの経済的選択運用が可能な、熱電併給システムを含む「ハイブリッドなエネルギーシステム」のモデリング。

(3)第3に、各エネルギー負荷パターン下での、システムの「負荷追従・通年経済運用シミュレーション」による、有用利用可能熱の「エネルギーとしての質」や「供給代替性の有無」等に応じた「供給負荷帯域別有効利用熱」の算定、及び、同負荷帯域別有効利用熱の

電力への「通年平均変換評価率」の算定。

(4)これらによる有用利用可能熱と代替エネルギー（電力）との、通年運用レベルでの変換評価係数の算定及び「効用／エネルギー」面からみた総合評価。

3.2 「効用／エネルギー」面からのシステムズ・アプローチ

なお、ここで留意すべき重要な点は、このようなダイヤモンドサイド面からみた「エネルギー総合効率」の評価システムの中には、そのアーキテクチャ構成上の「基本的なロジック要素」として、最終需要財としての各エネルギーの「必要品質や機能」の他、各エネルギーの負荷パターンやその重畳度といった「ロードマネジメント」や「エクセルギー環境」に係わる因子が、不可避的に入ってくる点である。

すなわち、このような最終エネルギー需要の「質や負荷特性」、システムの「エクセルギー環境」、さらに「ハイブリッドなエネルギーシステム」まで含めた、エネルギーの総合効率評価システムにおいて現れてきている「評価ロジックの性格」は、従来のサプライサイド面から規定されたハード系要素技術の効率評価システムにおいては、殆ど考えられてこなかった点である。

しかし、この「評価ロジックの性格」は、今後のニーズの多様化・高度化時代において、あるいは、地球規模の環境問題への対応など、経済社会の効用を高めつつエネルギーの有効利用を図って行く「効用／エネルギー／CO₂」の観点からみた場合、非常に重要な意義を持ってくるのではないかと考えられる。

このため、今後、経済社会の「効用／エネルギー」の向上を図る観点から、このようなダイヤモンドサイドを含めた総合的な「システムズ・アプローチ」による、種々のエネルギーシステムの総合評価作業を積極的に展開し、今後の時代が求める様々な技術開発課題の抽出やその解決に向けて、英知を結集して行く必要があるものと考えられる。

4. システムのエクセルギー環境と多目的最適化

高次都市基盤としての都市エネルギー複合供給体系面からみた第2の視座は、システムの「エクセルギー環境」とロードマネジメントやシステムの多目的最適化をも含めた実際の「エネルギー効率規定要素」に係わる視点である。

4.1 システムのエクセルギー環境と負荷特性

一般に、民生用（地域用・業務用・家庭用）の熱供

給システムが、その供給対象とする熱需要は、周囲環境温度レベル近傍での熱需要、すなわち、給湯・暖房の需要端必要温度は60℃以下、冷房は7℃前後であり、また、後者の冷房とは、熱の供給ではなく熱の回収である。

また、これらの熱需要は、季節的にも時間的にも非常に大きな負荷変動を示すのみならず、その「エクセルギーレベル」も、周囲環境温度レベルの季節的・地域的な諸条件の変化によって刻々と変動する。

一方、我が国の大都市圏都市部のように、温暖で、かつ、業務商業施設の負荷比率の高い地域においては、「高度情報化・電力シフト化」の進展とも係わり、その熱負荷パターンの「冷熱負荷卓越化」傾向や「通年化」傾向が進行しているが、このような地域の「温熱のエクセルギーレベル」は、冷房排熱その他の低温都市排熱が存在する場合、大きく低下する。

すなわち、カルノーサイクルの逆操作（ヒートポンプ）による温熱供給上のエネルギー効率が、著しく向上する。

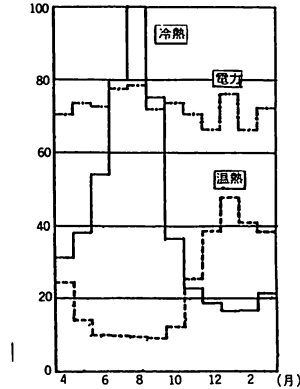
これらは、温熱供給上のエネルギー効率が、各システムの「エクセルギー環境」とその経済的利用可能性によって、すなわち、温熱の冷熱との「負荷パターン重畳度」（同時負荷比率）や「周囲環境熱源の温度レベル」、さらには、ピークかベースかといった温熱の「供給負荷帯域」によって、かなり大きく変化することを意味している。

図-1の負荷パターンは、このような「負荷パターン重畳度」や「供給負荷帯域」等に関するシミュレーションの対象事例であるが、この負荷パターンのもとでは、温熱の年間負荷の6～7割前後が、エネルギー効率の特に優れた蓄熱式冷・温熱供給型ヒートポンプシステムの経済的運用により、供給可能となる。

4.2 システムの多目的最適化とエネルギー効率

一方、このような負荷パターンのもとでは、冷熱のピーク～ミドル負荷帯域や温熱のピーク負荷帯域に対する熱供給をどのようにして行うかが、重要な課題となるが、これらは、次のような事項への対応を総合的に勘案しつつ、決定することとなる。

- (1) 系統電力や都市ガスの負荷準化。
- (2) 蓄熱式ヒートポンプシステムの経済運用。
- (3) ピーク供給力用蒸気供給式コージェネレーションの導入（年設備利用率で10～30％程度）。
- (4) ピーク供給力用熱源主機の経済運用。
- (5) コージェネレーションや熱源設備の環境影響。



----- 冷温熱年負荷比；1：0.55 -----

図-1 都市型地域熱供給事業の典型負荷パターン〔3〕

- (6) システムの冷却水条件。
- (7) 電力や冷熱の緊急時供給信頼性の確保等

このため、冷熱卓越型負荷パターンを示す地域においては、蓄熱式ヒートポンプシステムとコージェネレーションとの、ロードマネジメント面から見た適切な「供給負荷帯域の分担」やこれらの「経済的協調運用」の他、都市環境保全上の社会的要請や都市機能のセキュリティ確保への対応をめぐる、システムの「多目的最適化」やその「運用のあり方」が、システムのエネルギー効率にもかなりの影響を及ぼすこととなる。

また、このような冷熱卓越型負荷パターンを示す地域においては、「地域熱供給事業計画」面での、住居地区（温熱負荷）とのネットワーク化による熱負荷パターン上の「バランスの確保」が、コージェネレーションの導入ポテンシャルの向上や冷熱の温熱との「同時負荷率」の向上を介して、システムのエネルギー効率の向上にかなり寄与する。

5. 地球的規模の環境問題と社会的価値達成効率

第3の視座は、地球的規模の環境問題と都市エネルギー複合供給体系との係わり、特に、当該供給体系の計画の理念や目標に係わる社会的価値の側面からみた視点である〔4〕。

5.1 地球的規模の環境問題について

近年、国際的なエネルギー問題の様相は、かつての「過度の石油依存型」エネルギー需要構造を背景とした二次にわたる石油危機、すなわち、有限な石油資源の「地域的偏在」やその「政治・経済的な供給不安定性」を背景とした、各国の石油代替化や経済セキュリ

ティの確保段階から、人類生存基盤としての「地球環境のセキュリティ」の確保を基軸とした、世界的レベルでの、各国「エネルギー戦略」の総合的な見直しと再形成や、これらの「政治的実行意志」や「新たな制度的枠組」の形成問題へと、大きく変貌しつつある。

特に、昨年6月のサミット直後に、同じトロントで開催された大気環境会議では、先進諸国が、2005年までに、現状の炭酸ガス排出量の20%を一律削減する旨の提言が出されたが、この削減効果の半分は、省エネルギーで賄うことがその前提となっている。

また、本年1月末に開かれた「気象変動に関する政府間パネル (IPCC)」でのベーカー国務長官の発言によれば、「不確定な要素の全てが解明されるまで行動を待つことはできない」「フロン削減、森林の保全、エネルギー効率の向上など、他の理由からみてもやるべきであると考えられる対策は、直ちに実施すべきである」「温室効果に関する地球的な解決策は、費用効果的に、また、経済発展と安全な環境との調和を図りつつ実施すべきである」と指摘している〔5〕。

このため、この地球的規模の環境問題は、人口問題を背景とした開発途上国の「持続的開発」や「安定成長問題」と不可分な形で結び付いた、グローバルなレベルでの「人類とその生存環境」との、また、「諸国間相互」の「新たな調和や協調秩序」の形成に係わる戦略的課題として、今後のエネルギー問題の様相を大きく変貌させて行くことになるものと考えられる。

5.2 システムの社会的価値達成効率の評価

このような地球的規模の環境問題は、今後のエネルギーシステムに対し、地球生態系における「人類生存環境のセキュリティ」の確保面から、経済社会システムレベルでのパフォーマンス指標「効用/エネルギー/CO₂」の達成効率とでも言いえるような、新たな効率評価システム確立の必要性を提起してきている。

特に、温暖化問題は、CO₂等の各国政府による一律削減など、各国政府が、そのエネルギーシステム総体としてのパフォーマンスの改善に向けて、政策的な管理(制御)を行うよう求め始めてきている。

このため、今後は、経済社会システムレベルでのこれら「社会的価値の達成効率」ともいうべき、パフォーマンス指標の管理を行って行く必要が生じてくるものと考えられる。

この問題を、具体的なコージェネレーション問題領域において考えてみると、これは、コージェネレーションの系統連係時におけるネットワーク全体としての、

「エネルギー効率」や「省エネルギー性」の評価問題と、同義的かつ不可分な形で結び付いた課題であることに気づく。

また、この場合、コージェネレーションの価値達成効率の「評価関数」には、高度にネットワーク化され、有機的な広域運用が行われている系統電力の、「電源方式別運用負荷帯域」が直接的に係わってくるため、この「評価関数の値」は、コージェネレーションの「季・特別運用負荷帯域」の他、ネットワーク側の長期的な「電源構成の変化」等によって、かなり敏感な影響を受けるものとなる。

すなわち、コージェネレーションの「評価値」は、同コージェネが、ピーク～ミドル供給力として、「系統火力」の供給負荷帯域を代替するような形で運用される場合、かなり高くなり、国民経済的にみても好ましい効果をもたらす。

しかし、同コージェネが、ベース供給力として、「水力や原子力」の供給負荷帯域を代替するような形で運用される場合は、評価値は、逆に「マイナス側」にふれ、国民経済的には、かえって悪影響を及ぼすこととなる。

6. 政策の理念や目標としての社会的価値体系

近年の地球的規模の環境問題、エネルギーと情報とのセキュリティ相関問題、コージェネレーションの系統連係とそのベストミックス化問題等は、経済社会の高度情報化・ネットワーク化・グローバル化時代において、新たな公共・公益的視点からの「社会的価値の問題」が、今後の「エネルギーシステムのあり方やその存立基盤」をも左右するほど、非常に重要な課題として登場しつつあることを意味している。

特に、社会的価値の達成のあり方やその目標は、一般に、政策や計画の理念やその目標に係わる最も重要な事項である。

また、前掲の「社会的価値達成効率」とは、これらの理念や目標を、いかに効果的に達成するかといった、経済社会のマネジメントに係わる概念であり、その達成のためには、「市場機構の作動制御」にも係わる種々の政策手段の展開や制度的対応も必要となる。

このため、ここでは、政策や計画の基本に係わるこのような社会的価値体系が、高次都市基盤型都市エネルギー複合供給体系の計画領域においては、どのように構成されるものか〔3〕、簡単に見ておきたい。

(1) 人間生存環境のセキュリティの確保

- ① 都市大気環境の保全：汚染物質の低減化による大気環境基準の達成
 - ② 地域自然環境酸性化の防止：SO_x、NO_xの排出総量の低減化
 - ③ 地球的規模の人間生存環境の保全：経済社会システムレベルでの「効用／エネルギー／CO₂」の改善と向上
- (2) 都市・経済社会のセキュリティの向上
- ① 地域防災対応能力や都市機能のセキュリティの向上（電力・冷熱の自立供給機能の整備）
 - ② 各施設・地域・国・世界の各レベル情報ネットワークのセキュリティの確保
- (3) 地域レベルでの高度省エネルギー効果の発揮
- ① 冷熱や温熱の時間的・用途的・地域的多重負荷平準化効果の発揮
 - ② 種々の都市排熱や環境熱源・冷却水の有効活用
 - ③ 蓄熱式ヒートポンプシステムとコージェネレーションとのベストミックス化
- (4) 社会資本の国民経済的効率運用
- ① 都市エネルギー供給サービスの経済性の確保
 - ② 系統電力や都市ガスの負荷平準化への寄与
 - ③ 系統電力・都市ガス・上水の緊急時負荷調整ニーズへの対応性の確保

7. エネルギー効率の評価に係る今後の研究開発課題

以上の、複数財生産システムにおけるエネルギー総合効率の評価や、システムのエクセルギー環境と多目的最適化、あるいは、地球的規模の環境問題と社会的価値達成効率等に関する種々の考察結果によれば、エネルギー効率の評価システムに係る今後の研究開発課題として、次のような点が、指摘されるのではないかと考えられる。

(1) 「効用／エネルギー」面からの技術的効率の評価
まず、第1点目は、ニーズの多様化・高度化を背景とした、ダイヤモンドサイドからの種々の要求品質やロードマネジメント的要素をも内にも含みこんだ総合的なシステムズ・アプローチに基づく、種々のエネルギーシステムの「効用／エネルギー」面から捉えた「技術的総合効率」評価システムに関する研究開発である。

(2) システムの「経営効率」の総合評価

第2点目は、経済社会の高度情報化・ネットワーク化時代における、系統電力・冷熱・温熱・都市ガス・上水等の、総合的な「ロードマネジメント」の経済や

「セキュリティマネジメント」の経済、都市地域におけるシステムの「立地（空間・環境・用水）」の経済等をも含む、エネルギーシステムの「経営効率」総合評価システムに関する研究開発である。

(3) システムの社会的「価値達成効率」の評価

第3点目は、経済社会の高度情報化やネットワーク化、あるいは、人間の経済社会活動とその与える影響のグローバル化時代において、今後のエネルギーシステムのアーキテクチャやその運用のあり方に、大きな影響を及ぼしてくるであろう、社会的価値体系面から捉えた「価値達成効率」の評価システムに関する研究開発である。

(4) トライアングルの統合評価

第4点目は、これらを統合化したトライアングル的な「統合評価」システムの研究開発、並びに、これらに基づくシステムのベストミックス化や新たな協調秩序の形成に係わる社会的、制度的課題である。

8. おわりに

以上、本稿では、「エネルギー効率の評価」という与えられたテーマに対し、筆者が、比較的知見を有する、都市エネルギー供給体系のシステム計画分野から、大きく変貌しつつあるエネルギー問題を眺めつつ、若干の考察を加えさせて戴いた。

本テーマの課題領域に関しては、今後も、研究開発を進めるべき点が、数多く残されているため、種々ご助言、ご批判を賜れば、幸いである。

参考文献

- 1) 市川惇信；「評価の基礎論」『研究技術計画』Vol. 1 No. 2, 研究・技術計画学会, 1986年
- 2) 粕谷宗久；「Economies of Scopeの理論と銀行業への適用」『金融研究』Vol. 5 No. 3, 日本銀行金融研究所, 1986年7月
- 3) 伊東慶四郎；「高次都市基盤型コージェネレーションシステムの評価環境の解明とその導入可能性」『コージェネレーションハンドブック』井上書院, 1989
- 4) 環境と開発に関する世界委員会, 「地球の未来を守るために」, 福武書店, 1987年7月
- 5) 茅 陽一；「温室効果が招く地球温暖化」『エコノミスト』'89. 3. 14