

■ 報 文 ■

一対比較法および階層分析法(AHP)による新エネルギー技術の評価

An Evaluation of Advanced Energy Technologies by
Paired Comparison and Analytic Hierarchy Process

丹羽 富士雄*・浅野 浩志**

Fujio Niwa

Hiroshi Asano

1. はじめに

我が国の将来におけるエネルギーシステムの最適化を図る上で、新エネルギー導入の意義を体系的に分析する必要がある。エネルギー問題は、広範囲に及び、複雑で国際的な広がりを持っている。このような問題に対処するには、それぞれ関連する分野において技術開発、国際協力、国民の合意形成、適切な政策の策定等が重要である。しかし、それだけでは不十分であり、全体を眺める評価システムを確立しなければならない。そのようなシステムの確立によってはじめて、各個別開発や政策の位置付けが可能になるからである。本研究ではエネルギー評価の階層構造を設計し、それに基づいて我が国の最適エネルギーシステムの在り方を検討する。

新エネルギー技術の評価の際に次の2点が問題になる。まず、技術的要因だけでなくコストなどの経済性や新技術の導入によって発生する社会的問題など様々な側面からの検討が必要である。また、それらの要因のいずれもが不確実性やあいまいさを含んでおり、その評価が容易ではない。この種の評価に関しては、専門家の総合的・直観的な判断にゆだねざるを得ない面が多く、一対比較法を始めとする計量心理学的方法ならびに階層分析法 (Analytic Hierarchy Process, 以下 AHP と略称する) は有効な評価手法である。

2. 評価構造と評価データ

我が国のエネルギーシステムを評価するに当たって、最終目標—評価項目—評価細目—代替案の4レベルからなる階層構造を作成した(図-1)¹⁾。最終目標は「我

が国の最適エネルギーシステムの決定」である。この目標は、経済的便益、技術、セキュリティおよび環境の4項目から構成され、各項目は各々3つの評価細目から構成されるとした。代替案として新エネルギー導入型シナリオと同ゼロ型シナリオの2つを用意した。

このような階層構造の作成に当たっては、項目を整理して意味を明解にする。レベル2の各項目に属するレベル3の項目数はなるべく少なくかつ同数にする、などに留意し、また項目毎の独立性、項目全体の網羅性に配慮している。さらに、数人の専門家を対象にした予備調査を行い、その結果を参考にして階層構造を改良している。

各評価項目の内容は以下の通りである。

経済的便益

- ・コスト(固定費, 変動費): 建設費(建設期間), 用地代, システム耐用年数(減価償却, 金利), 燃料費(効率), 運転保守費, 残渣処理費, 副産物
- ・経済的波及効果: 雇用機会の創出, 地域振興や経済発展への貢献, 貿易摩擦軽減への寄与
- ・市場性: ニーズ適合性, 競合性(独占性), 成長性, 市場安定性

技術

- ・既存システムとの融合性: 既存エネルギー体系への導入の容易性
- ・利便性・快適性・信頼性: 操作・制御の容易性, 柔軟性, 無保守性, コンパクト性, 設置の容易性
- ・技術的波及効果: 科学技術への寄与, 他技術への応用可能性, 技術交流活発化への寄与

セキュリティ

- ・資源入手の安定性: 資源の賦存量, 可採年数, 地域的偏在の程度, 新規探査および開発の可能性, 対外依存度
- ・システムの冗長度: 大規模集中型か小規模分散型か(事故による影響の度合い)

原稿受理 (62/6/24)

* 筑波大学社会学系助教

〒305 茨城県つくば市天王台1-1-1

** (財)電力中央研究所経済研究所, 経済部エネルギー研究室担当研究員

〒101 東京都千代田区大手町1-6-1

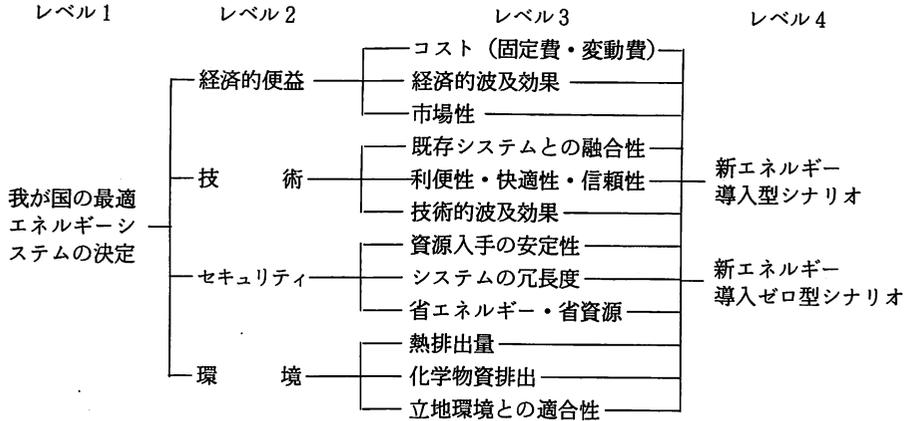


図-1 エネルギー評価の階層構造

- ・省エネルギー・省資源：エネルギー集約的か技術集約的か
 - 環境
 - ・熱排出量：排熱排出量，排熱利用の可能性，熱汚染の促進，CO₂による温室効果，それらの影響の持続性
 - ・化学物質排出：NO_x，SO_x，煤塵，放射性廃棄物等の影響，およびそれらの影響の持続性
 - ・立地環境との適合性：設備の美観や不快感，オンサイト設置の容易性，立地の地域的制約，環境保全対策の難易度，施設の安全性
- また，代替案として用意したシナリオは以下の2つである。
- 新エネルギー導入型シナリオ：(財)新エネルギー財

団による想定シナリオを含む長期エネルギー需給見通しであり，新エネルギーの導入を見込んでいる(表1)。

新エネルギー導入ゼロ型シナリオ：新エネルギーの導入を全く見込んでいないケースである。

評価者には以下のように要請した。評価項目と細目については，そのレベルに属する全項目について，その重要さを一対比較するよう求めた。代替案については，レベル3の評価細目毎に比較すると共に直接比較するよう要請した。いずれの比較においても9評点(重み付け)を用意した(図-2)。

評価は，新エネルギーに関して造詣が深いと考えられる専門家23名に依頼した。昭和61年11月にこれら対象者に調査票を配布し，回答結果を郵送してもらった。回収数は21名で，その所属は，企業10名，国公立研究

表1 評価対象シナリオ

*新エネルギー供給量内訳 (石油換算万kl)

	新エネルギー導入型シナリオ	新エネルギー導入ゼロ型シナリオ
石炭	16,000～17,000万t (20%)	17,800～19,700万t (23%)
原子力	6,200万kW (16%)	同左
天然ガス	6,400～6,600万kl (11%)	同左
水力	2,650万kW } (5%) 2,200万kW }	同左
一般水力 揚水水力		同左
石油	2.5～2.6億kl (42%)	2.8～3.0億kl (50%)
地熱*	600～700万kl (1%)	0
新燃料油 & 新エネルギー	3,500～5,500万kl (6～9%)	0
合計	6億kl程度 (100%)	同左

うち地熱	発電供給	510～610 90
	小計	600～700 (1.0)
うち新燃料油・新エネルギー・その他	太陽エネルギー	820～930 800～1,100
	熱供給 光発電 小計	1,620～2,030
	風力エネルギー	30～70
	石炭 液化油	800～1,500
	シェールオイル サンドオイル	700～1,500 50
	メタノール エタノール	220～520 40～80
	その他	170～260
	合計	3,500～5,500 (9.2)

注) 総合エネルギー調査会「長期エネルギー需給見通し」(昭和58年11月)を基に，(財)新エネルギー財団が新エネルギー供給の内訳を想定したものである。

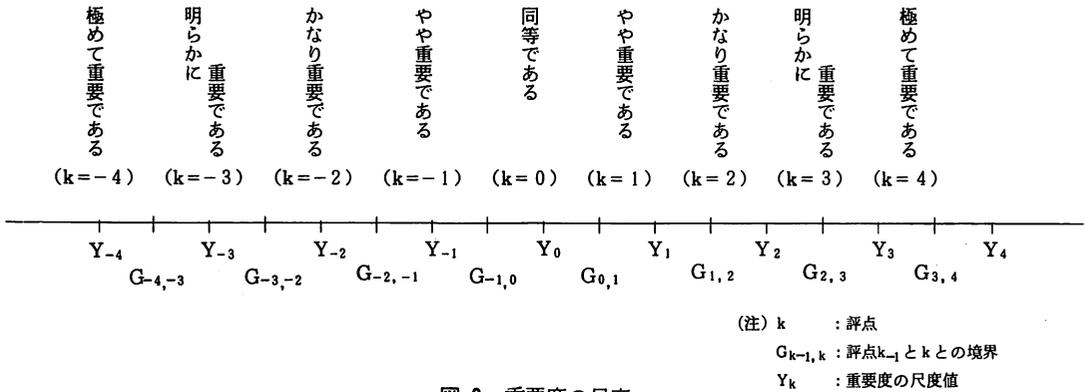


図-2 重要度の尺度

所4名, 大学4名, 研究機関4名であった。

3. 一対比較法による分析

3.1 分析の手順と尺度構成

評価データを, リッカート (R. Likert)の方法など計量心理学の手法を用いて分析する。分析手順は以下の通りである。

- a. 各評価者毎に各評点の尺度値を計算する
- b. 評価項目及び細目の尺度値を計算する
- c. 得られた尺度値を用いて, 評価者を分類する
- d. 各評価者毎に評価の矛盾を計算する
- e. 2つのシナリオの比較評価値を計算する

このうち, a. 及びb. の操作を尺度構成という。尺度構成とは, 重要性という1次元の連続軸を想定し, その軸上に各評点が並び(図-2), 評価項目及び細目もその重要度に相応する点に位置するとして, そのような尺度値を求めることである。

図に示すように, 各評点(k)は幅を持っている。リッカートの方法²⁾では, 評点に対する反応が正規分布とするとして, その境界の値($G_{k,k+1}$)を求め,次にその尺度値(Y_k)を求める。一方, 一対比較の結果は2つの項目の重要度の差と仮定し, その大きさは評点の尺度値に等しい(若干の誤差は含まれるものの)と仮定すれば, 各項目の重要度を求めることができる。なお, 後述のAHPの結果と比較するため, フェヒナーの法則 (G. T. Fechner)を援用して,

$$\text{重要度} = \sqrt{3} \text{尺度値} \quad (1)$$

とし, さらに各レベル毎の重要度の合計が1になるように規準化してある。

3.2 評価結果の比較

このようにして得られた全評価者の評価結果を表2

に示す(ただし, 第21評価者はすべての対に回答していないので, 分析から除外した)。表から, レベル2の4つの評価項目の中で, 経済的便益を最重視している評価者は8名であり, 中でも第13評価者が最も高く評価している。この評価者は経済的便益の中でも特にコストを重視しており, 技術と環境を同じ程度に低く評価している。

セキュリティを最重視する評価者は6名であり, 中でも高い評価を与えているのは第3評価者である。この評価者は評価細目では資源入手の安定性を最重視する一方, 技術的波及効果という技術評価細目を最も低く評価している。

環境を最重視しているのは10名であり, その典型例が第4評価者である。この評価者の細目についての重要度は熱排出量, 化学物質の排出, 立地環境との適合性, 資源入手の安定性, 省エネルギー・省資源等となっており, 評価項目の重視度との斉合性が高い。

3.3 評価者の分類

評価者全体の評価構造を探る目的で, 評価項目の尺度値を対象に因子分析を行った。固有値1以上の条件で因子を求めたところ, レベル2では1因子, レベル3では4因子を得た。レベル3の因子分析結果は, 評価対象者の意識構造を探るという点では興味あるものの, 評価者の分類という視点ではあいまいさが残ると判断されたので, その紹介は割愛する。レベル2の場合は, 簡単明瞭な結果が得られた。それは経済性・技術重視(因子負荷量は各0.579, 0.428)対環境・セキュリティ重視(同-0.530, -0.448)と呼べるものである。評価者はこの因子によって大きく2分されることが予想される。なお, このことは, 先に行った各評価者の項目尺度値の分析結果からも予想されることである。

表2 一対比較法による評価項目間の相対重要度

評価者 評価項目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
レベル2																				
経済的便益	0.516	0.363	0.221	0.110	0.175	0.321	0.411	0.304	0.205	0.456	0.196	0.418	0.549	0.241	0.177	0.170	0.219	0.372	0.184	0.215
技術	0.110	0.317	0.108	0.137	0.209	0.268	0.176	0.175	0.162	0.171	0.196	0.187	0.136	0.107	0.177	0.205	0.110	0.238	0.125	0.180
セキュリティ	0.164	0.192	0.451	0.335	0.251	0.224	0.290	0.189	0.316	0.118	0.196	0.122	0.211	0.326	0.323	0.214	0.206	0.238	0.345	0.363
環境	0.210	0.127	0.221	0.417	0.365	0.187	0.124	0.333	0.316	0.255	0.411	0.273	0.104	0.326	0.323	0.412	0.464	0.152	0.345	0.241
レベル3																				
コスト(固定費, 変動費)	0.167	0.128	0.093	0.046	0.041	0.142	0.114	0.054	0.071	0.121	0.055	0.145	0.165	0.100	0.065	0.042	0.108	0.210	0.070	0.059
経済的波及効果	0.115	0.110	0.049	0.056	0.050	0.063	0.049	0.055	0.047	0.058	0.053	0.046	0.111	0.059	0.047	0.054	0.054	0.090	0.117	0.057
市場性	0.092	0.142	0.083	0.051	0.051	0.093	0.118	0.080	0.051	0.160	0.063	0.075	0.065	0.082	0.068	0.061	0.055	0.106	0.071	0.107
既存システムとの融合性	0.041	0.103	0.083	0.046	0.059	0.091	0.110	0.070	0.070	0.060	0.082	0.076	0.058	0.059	0.047	0.066	0.055	0.065	0.048	0.073
利便性・快適性・信頼性	0.073	0.070	0.103	0.065	0.063	0.138	0.123	0.106	0.086	0.111	0.067	0.128	0.060	0.072	0.083	0.104	0.087	0.065	0.087	0.081
技術的波及効果	0.076	0.097	0.047	0.070	0.073	0.064	0.045	0.059	0.040	0.058	0.048	0.060	0.066	0.059	0.040	0.074	0.063	0.058	0.136	0.059
資源入手の安定性	0.094	0.064	0.146	0.108	0.083	0.115	0.091	0.094	0.134	0.064	0.096	0.052	0.134	0.117	0.101	0.153	0.076	0.068	0.084	0.112
システムの冗長度	0.080	0.045	0.095	0.086	0.109	0.055	0.090	0.046	0.062	0.067	0.067	0.062	0.071	0.111	0.084	0.066	0.061	0.053	0.044	0.068
省エネルギー・省資源	0.077	0.059	0.079	0.093	0.128	0.057	0.093	0.078	0.118	0.103	0.102	0.059	0.073	0.079	0.100	0.081	0.090	0.098	0.072	0.070
熱排出量	0.061	0.055	0.041	0.130	0.105	0.035	0.046	0.085	0.089	0.044	0.077	0.093	0.065	0.060	0.105	0.062	0.061	0.063	0.053	0.053
化学物質排出	0.062	0.057	0.095	0.130	0.118	0.058	0.063	0.184	0.143	0.058	0.133	0.086	0.069	0.060	0.142	0.110	0.145	0.063	0.150	0.164
立地環境との適合性	0.062	0.070	0.087	0.119	0.119	0.088	0.059	0.089	0.089	0.094	0.155	0.119	0.161	0.143	0.119	0.128	0.145	0.063	0.068	0.097
レベル4																				
総合評価(直接)	0.488	0.711	0.711	1.615	1.178	1.456	1.726	1.000	1.287	1.000	1.210	0.747	1.435	1.962	1.361	1.283	1.422	1.370	1.558	1.245
総合評価(合成)	0.878	0.725	0.980	1.763	1.773	1.285	1.298	1.355	1.481	0.925	1.364	0.885	1.320	1.560	1.653	1.052	1.288	1.213	1.363	1.226
評価矛盾																				
レベル2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3	0	2	2	0	0	0	0	0	4
レベル3	27	28	29	0	17	0	8	85	6	38	74	52	17	29	37	35	32	28	23	58
評価矛盾合成値	0.123	0.127	0.132	0	0.077	0	0.036	0.636	0.027	0.173	1.086	0.236	0.577	0.632	0.168	0.159	0.145	0.105	0.105	1.264

次に、クラスター分析によって評価者を分類した。その結果2つのグループができた。第1グループは第1, 2, 6, 7, 10, 12, 13, 18評価者の8名で構成される。先に紹介した典型例の第13評価者から予想されるように、このグループは経済的便益を高く評価するという特徴があり、因子分析で得られた経済性重視のグループである。

さらにこのグループには、新エネルギー導入ゼロ型シナリオを導入型シナリオよりも高く評価した4評価者のうち、第1, 2, 12評価者が含まれている。このことに見られるように、このグループは新エネルギーを低く評価する傾向が強い。すなわち、新エネルギー導入は経済的便益の点で既存エネルギーシステムに劣る、という評価が存在することが伺える。

一方、第2グループは、第3, 4, 5, 8, 9, 11, 14, 15, 16, 17, 19, 20評価者の12名で構成され、典型例の第4及び第3評価者が含まれていることから明らかに、環境とセキュリティを重視する特徴がある。これも因子分析結果と整合している。さらに、このグループはシナリオ比較で新エネルギー導入を高く評価する傾向がある。これらのことから、新エネルギー導入は環境保全とセキュリティ確保の視点から評価されていると言えよう。

3.4 評価矛盾の測定³⁾

$E_{ij} = k$ を、項目 I_i と I_j を一对比較し、評点 k を与えた評価の表現式とする(図-2参照)。今3項目に関する評価が $E_{ij} = -2$, $E_{jk} = -2$, $E_{ki} = 1$ であるとする。すると、項目 I_i と I_j の直接評価は、 I_j の方が I_i より「かなり重要である」ということで、 I_j の方が高く評価されていることになる。一方 I_k に関する I_i と I_j の間接評価は $E_{ik} - E_{jk} > 0$ であり、 I_i の方が I_j より高く評価されていることになる。このように直接評価と間接評価とが相反する判断を評価矛盾と名付ける。さらに、レベル毎に求めた判断矛盾の個数を、そのレベルに属する項目の中から3項目を選択する組み合わせの数で除して(規準化して)、レベル2と3について加算したものを評価矛盾合成値とする。各評価者の評価矛盾の測定結果を表2の下欄に示す。第11, 20評価者の評価矛盾がとび抜けて大きいことが分かる。

3.5 シナリオの比較

表2にはシナリオ比較の結果も示してある。新エネルギー導入ゼロ型シナリオを優れていると判断している人(値が1未満)は4人と少なく、新エネルギー導入型シナリオを高く評価している人(値が1超)は14

人と多い。このように両シナリオを直接比較した評点の尺度値を直接総合評価と名付けることにする。

一方、一对比較の場合と同じようにシナリオ比較の評点の重要度を計算し、総合評価を合成することができる。但し、規準化は1の意味(両システムに優劣がない)を無意味にするので行っていない。

$$\text{合成総合評価} = \sum (\text{評価細目の重要度}) \times (\text{比較評点の尺度値}) \quad (2)$$

これら2つの総合評価を比較したところ(表2参照)、20人の評価者の直接及び合成総合評価の相関係数は0.692であった。意識調査の場合これはかなり相関が高いと考えられる。すなわち、システムの総合評価の直接比較は、評価細目毎の比較値の線形結合で表現できると言える。

4. 階層分析法(AHP)による分析

4.1 階層分析法の概略

1971年にSaaty⁴⁾によって提唱されたAHPは、定量的分析の欠点を補完すると同時に、複雑な多目的システムの分析に主観的判断とシステムズアプローチをうまく混ぜ合わせた問題解決/意志決定プロセスの一つといえる。この方法は、問題解決の答えを直接与えるわけではないが、解決すべき問題あるいは選択すべき対策の分析、把握のための手法として効果的なプロセスであり、エネルギーの分野では石炭利用新発電技術⁵⁾や燃料電池システム⁶⁾、集合住宅用エネルギーシステム⁷⁾への適用が見られるが、我が国全体のエネルギーシステムへの新エネルギー技術の導入について適用した研究は報告されていない。

AHPの手順は、大きく3つのステップに分けられる。

- (1) 階層構造の作成：問題の構造化
- (2) 階層構造の各水準ごとに評価項目の重み付け
- (3) 重要度の合成

(1)は、対象とするシステムの性格、内容を把握し、それを取り巻く環境因子、システムに含まれる要素ごとにシステムを分解し、評価項目の階層構造を構築する段階である。これは、AHPの中で最も重要な位置を占め、綿密な作業を要する。

(2)は、(1)で作成した階層構造内の要素の重み付けを一对比較により行う作業である。評点として用いる数は図-2において、 $Y_{-4} = 9$, $Y_{-3} = 5.2$, $Y_{-2} = 3$, $Y_{-1} = 1.73$, $Y_0 = 1$, $Y_1 = 1/1.73$, $Y_2 = 1/3$, $Y_3 = 1/5.2$, $Y_4 = 1/9$ とする。Saatyの評点の付け方は、順序尺度の各段階に等間隔の自然数(およびその逆数)

表3 AHPによる評価項目間の相対重要度

評価者 評価項目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
経済的便益	0.543	0.452	0.212	0.045	0.108	0.360	0.437	0.336	0.132	0.604	0.173	0.475	0.575	0.245	0.125	0.151	0.197	0.363	0.132	0.230	0.112
コスト	0.250	0.099	0.124	0.010	0.015	0.188	0.176	0.111	0.086	0.286	0.044	0.269	0.336	0.110	0.040	0.040	0.143	0.216	0.020	0.055	0.092
経済的波及効果	0.120	0.057	0.029	0.021	0.038	0.063	0.049	0.092	0.017	0.032	0.018	0.052	0.161	0.044	0.028	0.040	0.027	0.060	0.087	0.038	0.010
市場性	0.173	0.296	0.060	0.014	0.055	0.109	0.212	0.133	0.029	0.286	0.111	0.155	0.078	0.091	0.057	0.070	0.027	0.087	0.024	0.137	0.010
技術	0.103	0.343	0.093	0.068	0.158	0.274	0.166	0.125	0.076	0.115	0.173	0.159	0.126	0.139	0.125	0.198	0.073	0.239	0.076	0.187	0.049
既存システムとの融合性	0.023	0.158	0.030	0.010	0.028	0.083	0.054	0.021	0.030	0.018	0.090	0.040	0.028	0.046	0.021	0.042	0.020	0.076	0.006	0.062	0.016
利便性・快適性・信頼性	0.040	0.076	0.053	0.024	0.048	0.143	0.094	0.090	0.043	0.076	0.052	0.084	0.049	0.046	0.075	0.105	0.034	0.110	0.018	0.074	0.016
技術的波及効果	0.040	0.109	0.010	0.034	0.082	0.048	0.018	0.014	0.004	0.021	0.030	0.034	0.049	0.046	0.030	0.051	0.020	0.053	0.053	0.051	0.016
セキュリティ	0.152	0.130	0.483	0.352	0.244	0.208	0.287	0.149	0.396	0.056	0.173	0.092	0.213	0.308	0.375	0.199	0.157	0.239	0.396	0.359	0.583
資源入手の安定性	0.051	0.043	0.257	0.162	0.034	0.125	0.096	0.068	0.214	0.009	0.067	0.020	0.128	0.122	0.145	0.118	0.061	0.072	0.201	0.166	0.119
システムの冗長性	0.051	0.036	0.123	0.078	0.086	0.042	0.096	0.013	0.034	0.010	0.039	0.029	0.043	0.102	0.084	0.033	0.035	0.042	0.056	0.096	0.033
省エネ・省資源	0.051	0.051	0.103	0.112	0.124	0.042	0.096	0.068	0.148	0.037	0.067	0.042	0.043	0.085	0.145	0.047	0.061	0.125	0.139	0.096	0.430
環境	0.202	0.075	0.212	0.535	0.491	0.158	0.111	0.390	0.396	0.225	0.481	0.275	0.087	0.308	0.375	0.452	0.573	0.160	0.396	0.225	0.256
熱排出量	0.067	0.025	0.054	0.208	0.164	0.017	0.025	0.068	0.079	0.023	0.065	0.088	0.028	0.083	0.080	0.079	0.050	0.053	0.050	0.039	0.069
化学物質媒出	0.067	0.025	0.113	0.208	0.164	0.052	0.043	0.295	0.238	0.058	0.135	0.061	0.040	0.083	0.199	0.237	0.261	0.053	0.260	0.117	0.171
立地環境との適合性	0.067	0.025	0.045	0.120	0.164	0.089	0.043	0.027	0.079	0.144	0.281	0.126	0.019	0.143	0.096	0.137	0.261	0.053	0.086	0.068	0.016
階層整合比	0.068	0.062	0.051	0.014	0.030	0.017	0.014	0.004	0.009	0.050	0.201	0.012	0.143	0.041	0.020	0.076	0.062	0.016	0.014	0.124	0.047

を割り当て、数量変数とみなして一対比較行列の固有ベクトルを計算しているが、これは次のような問題点を持つ。評価項目間の有意差が小さい場合、一対比較値を3とするか5にするか微妙なケースで重要度にかかなりの差が生じ、不安定である。そこで一対比較値が $\sqrt{3}$ を公比とする比尺度(例えば、やや×やや=かなり)の意味を持つように変換した。

一対比較行列の最大固有値と固有ベクトルを計算すると、固有ベクトルの成分が各評価項目の重要度を表す。同時に最大固有値をもとに一対比較の整合度、あるいは階層全体としての整合比-階層整合比-を計算することにより評価者の主観的判断の有効性がチェックされる。

(3)は、階層内の各レベルでの要素の重みを合成する作業である。階層構造のレベルkとレベルk+1の親子関係にある要素(評価項目および代替案)について、レベルk+1の要素jの合成重要度は次式によって計算される。

$$W_{k+1j} = \sum_{i \in F_j} w_{ki} v_{ij} \quad (F_j \text{は} j \text{の親要素の集合}) \quad (3)$$

w_{ki} : レベルkの要素iの重要度

v_{ij} : 親要素iに関するレベルk+1の子要素jの重要度

我々が、AHPを適用した主な理由は、次の通りである。

- (1) 対象とするシステムに関する技術的・経済的データが十分に入手できない。
- (2) 専門家の主観的評価を簡単に(安いコストで)とりいれられる。多属性効用関数法など他の多目的評価手法による分析は大変な労力、コストを要する。
- (3) AHPは評価手法の専門家以外の人にも理解が容易であり、論理の首尾一貫性に関して評価者に過度の心理的負担をかけずに済む。

4.2 評価項目の重み付け

21名の評価者が評価対象である2シナリオの比較を通じて図-1の評価項目の相対重要度を各レベルで一対比較の形で回答した評価データを分析する。

各評価者1~21の評価項目間の相対重要度を表3に示す。数値はレベル2の4つの大項目について足し合わせると1になるように標準化した重要度で、レベル3の数値は親要素の重要度をブレイクダウンしたものである。例えば、評価者4はレベル2の評価基準の中では環境因子、セキュリティ因子を重要視し、経済

性、技術的因子のウェイトは低い。階層整合比の大きさにより各評価者の主要的判断の論理一貫性を示す。値が小さいほど整合性があることを意味する。

レベル2の評価項目で各評価者の最大ウェイトに注目すると、次のようにグルーピングできる。

- (1) 経済的便益重視型 : 1, 2, 6, 7, 10, 12, 13, 18
- (2) 環境重視型 : 4, 5, 8, 9, 11, 14, 15, 16, 17, 19
- (3) セキュリティ重視型 : 3, 9, 14, 15, 19, 20, 21

注) 複数の最大ウェイトがありうるため、同一評価者が複数のグループに所属することもある。

参考までに全評価者についてレベル2の重要度を平均すると、環境 : 0.304, 経済的便益 : 0.286, セキュリティ : 0.264, 技術 : 0.146 と技術以外の3項目はほぼ同等のウェイトを持つ*。レベル3では、コスト、市場性といった経済的便益や環境因子の化学物質排出、立地環境との適合性は、それぞれ、レベル2の親要素(経済的便益、環境)と同様に重要度が大きい。一方、経済的波及効果や技術的波及効果は軽視されている。

* AHPによるグループ評価を行う際には一対比較の段階で各評価者の一対比較値の幾何平均をとる必要がある。

次に表3の結果をサンプル数21の4変量データとみなして因子分析を適用し、評価者の類型化を行う。相関行列を求めると、表4のようになる。これによると経済性とセキュリティ、経済性と環境は負の相関が強いことがわかる。この相関行列に対して主成分分析を行ってみると、因子数=2で十分である。因子数を2として主因子法を適用し、更に単純構造を得るためバリマックス回転を行うと、表5の因子負荷行列が得られる。回転後の因子負荷量に基づく解釈は次のように

表4 レベル2の評価項目に関する相関行列

	経済	技術	セキュリティ	環境
経済	1.0			
技術	0.333	1.0		
セキュリティ	-0.644	-0.445	1.0	
環境	-0.725	-0.466	0.058	1.0

表5 レベル2の評価項目に関する因子負荷行列

	第1因子	第2因子
経済	0.705	-0.566
技術	0.490	-0.512
セキュリティ	-0.045	0.992
環境	-0.999	0.008

なろう。

第1因子：経済的便益では正、環境では負になっている。経済性因子と環境因子は対極に位置する。

第2因子：経済的便益、環境とは独立にセキュリティ因子が存在する。

第1因子と第2因子の因子得点の散布図を図-3に示す。図中の数字は評価者に対応する。特に極端なサンプルは見当たらず、第1象限から第4象限まで均一に分布している。また、各評価者の専門分野を反映した類似の傾向も見られない。

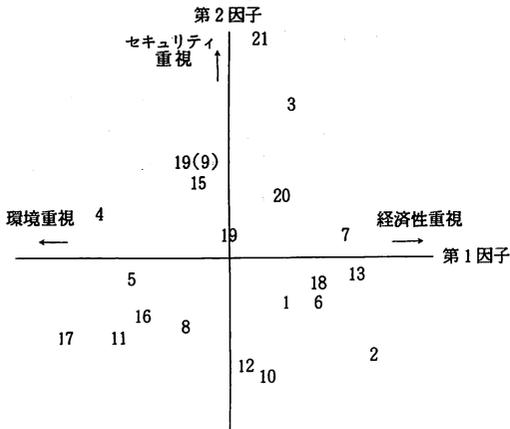


図-3 因子得点の散布図
数字1～21は評価者

4.3 シナリオ比較を通じてのエネルギーシステム評価
レベル3の各評価項目ごとにシナリオの一对比較を行う。その回答結果の度数分布から評価者間の意見のばらつきについて次の3点が指摘される。

- (1) コスト、経済的波及効果についてはほぼ評価が同じ方向であるのに対して、市場性については意見が大きく分れている。これは現在の開発状況では、新エネルギーに対する使用者の反応が見通せないためと考えられる。
- (2) 技術的要因に関する評価では、既存システムとの融合性、利便性・快適性・信頼性の点で在来型シナリオが有利となっているが、技術的波及効果の点では新エネルギー導入型シナリオが有利となっている。
- (3) セキュリティ要因、ならびに環境要因に関する評価では、全般的に新エネルギー導入型シナリオが有利となっている。

評価項目の重み付けとシナリオ回答結果からシナリオ間比較の総合評価を分析した結果を図-4に示す。新エネルギー導入型シナリオが新エネルギー導入ゼロ型

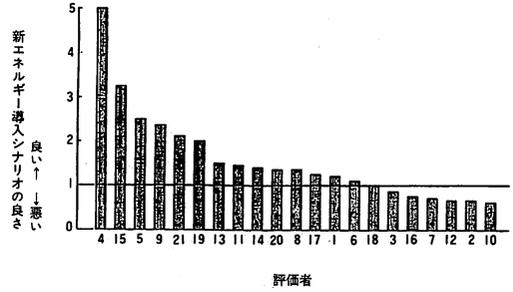


図-4 新エネルギー導入シナリオの総合評価
新エネルギー導入ゼロシナリオの良さを1とする

シナリオに比して優れている場合に1より大きい数字になっている。新エネルギー導入型シナリオが明らかに優れていると評価する評価者4からほぼ同等と評価する18まで15名が新エネルギーに対してポジティブに、3から10まで6名がネガティブに評価をしたことになる。シナリオAをポジティブに評価している4, 15, 5, 9, 21, 19は、新エネルギー導入の意義を環境およびセキュリティ面で認めている。一方、新エネルギー導入に対して消極的な1, 12, 2, 10はエネルギーシステムの評価に際してはまず経済性の有無を大前提にしている。

5. 結語

新エネルギー導入の意義を体系的に把握するために計量心理学的方法ならびにAHPを利用して、エネルギーシステムの評価構造を分析した。両手法を併用することにより、評価データの分析精度を上げ、ロバストな評価結果を得た。両手法を比較すると以下のようになる。

まず、必要な比較判断の数では、AHPの方が少なく（本調査では31回、一对比較法の方が多い（同85回）。比較回数が少ないことではAHPが優れており、比較回数が多いことにより一对比較法ではよりきめ細かい高い分析ができると言えよう。結果については両手法ともかなり似通っている。

- (1) 重要度の一致度：ほぼ同じ規準化した、レベル2の評価項目の重要度について相関係数を計算したところ、0.976を得た。両手法の結果の一致度は高い。
- (2) グルーピングの一致度：両手法でグループの数は異なるものの、AHPの環境重視型とセキュリティ重視型を一括にすれば両手法の結果は一致する。

- (3) シナリオ比較の一致度：2000年において新エネルギーが全エネルギー供給量の10%近くを担うシナリオをポジティブに評価している評価者は、新エネルギー導入の意義を環境およびセキュリティ面で認めており、新エネルギー導入に対して消極的な評価者は経済性を重視している。
- (4) 評価矛盾と階層整合比の一致度：両者の相関係数は、0.713であり、定量化のむずかしい指標としては一致度は高い。

一対比較法、AHPとも応用上の分かりやすさと手続きの簡単さを兼ね備え、今後もエネルギー・資源にかかわる様々な分野で適用され、エネルギーシステム評価手法として確立されることを期待する。

最後に有益な助言を頂いた埼玉大学室田泰弘教授をはじめとする関係各位、ならびに調査に快くご協力頂いた関係各位に深謝の意を表します。

参考文献

- 1) (財)新エネルギー財団：新エネルギー技術の企業化条件整備に関する調査研究(1986)，63～70
- 2) 高木貞二編；心理学における数量化の研究(1955)，199～204
- 3) Niwa, F; Ueberlegungen ueber Entscheidungen beim Paarvergleich mit sukzessiven Kategorien, ハイデルベルク大学博士論文(1974)，87～128
- 4) Saaty, T. L. : A Scaling Method of Priorities in Hierarchical Structures, Journal of Mathematical Psychology, Vol. 15, No. 3 (1977)，234～281
- 5) 内山洋司；新発電技術の総合評価—微粉炭火力と石炭ガス化複合発電の比較評価—，電力経済研究，No. 18 (1985)，89～106
- 6) (財)エネルギー総合工学研究所：エネルギーシステム評価手法の開発研究(第五年度版)(1985)，35～93
- 7) 辻毅一郎，朴炳植，鈴木 胖；階層分析法による高層集合住宅用エネルギーシステムの評価，エネルギー・資源，6巻，6号(1985)，63～70

