【土木計画学研究・講演集 No.15(1) 1992年11月】

多目的意思決定手法による高速道路路線の建設優先順位決定に関する研究＊

A Study on Determining the Prierities of Expressway Construction Using Multi Criteria Decision Making Model

木下栄蔵＊＊
By Eizo KINOSHITA

Roads are the most universal and basic traffic facilties indispensable to daily life and industrial activities. Roads improvement and maintenance in Japan,however,is far behind and speeding up of it is necessary from various viewpoints.Planning and construction of expressways are specially urgent. It is desirable to evaluate the priorities of expressways in the network and construct them in order from one required most urgently to carry forward effective construction using limited resources effectively.

My study pertains to the procedure of deciding the construction priorities of expressways in various standpoint using multicriteria decision making model (Analytic Hierarchy Process).

１．はじめに

高速道路の建設・計画にあたっては、複数個の路線を対象とする場合、どの路線から建設することが望ましいか、ということが大きな問題として提起される。この、望ましいという命題は、その人の所属する立場によって支配されるであろうし、個人的な主観や価値観によっても異なる。特に、価値観の多様化がみられる現代社会においては、しばしば、対立という現象になって現われる場合が多い。例えば、特定の地域サービスとして望まれる路線の採算性は、必ずしも良いとは限らないし、又、利用交通量が多く採算性の良い路線は沿線地域に対して交通公害を発生することになる。

＊　キーワード：多目的意思決定手法、ＡＨＰ手法
＊＊正会員　工博　神戸市立工業高等専門学校
教授土木工学科（〒６５１－２１　神戸市西区学園東町８－３）

すなわち、ある目的水準を上げようとすると他の目的水準が下がるといったコンフリクトが生ずる。このコンフリクトをいかに処理して、総合的にバランスのとれた決定を行うかが重要な課題となる。多目的意思決定モデルは、まさに、このような多目的システムに対するシステム科学的手法である。

ところで、この種のモデルとして、多目的線形計画法、目標計画法、ＤＥＡ（Data Envelopment Analysis）、多属性効用理論等が考えられる。しかし、この種のモデルを社会システムの中で適用するには人間的価値判断をどのように科学的手法の中に取り入れるかが重要な点になる。

一方、このような観点から Thomas L,Saaty は、「階層分析法（ＡＨＰ）[1]」という不確実な状況や多様な評価基準における意思決定手法を提唱した。この手法は、問題の分析において、主観的判断とシステムアプローチをうまくミックスした問題解決型意思決定手法の１つである。

そこで木下は、ＡＨＰによる道路の整備優先順位の決定に関する分析[2]を行っている。即ち、ＡＨＰとＩＳＭとの組合せによる分析、ＡＨＰにおける費用／便益分析・感度解析等である。しかし、課題として他の手法との比較や幹線道路における分析を提案している。そこで木下は、ＡＨＰによる高速道路路線の建設優先順位決定に関する分析[3]を行っている。ここでは、ＡＨＰと線形計画法との比較分析、並びに不完全一対比較行列における間接的な近似法（固有値法）を紹介している。しかし、次に以下のような課題が考えられる。即ち、ＡＨＰ手法において、各評価項目間、各評価対象間、あるいは、評価項目（レベル２）と評価対象（レベル３）の間に従属性がある場合（従来は独立と考えていた）、さらに階層構造を feedback Systemとして考える場合について検討しなければならない。

そこで、本研究では、ＡＨＰの有しているこのような課題を解決するための具体的手法を高速道路路線の建設優先順位決定問題を例として提案するものである。ただし、ＡＨＰ手法の概要と数学的背景については、文献２）と文献３）を参照願いたい。

２．Inner Dependence

本章では、同一レベルにある要素に従属関係がある場合（ inner dependence 図１）で、特に各評価項目間のみに相互影響があるケースを取り上げる。各評価対象間に相互影響のある場合は、別の機会に検討するものである。

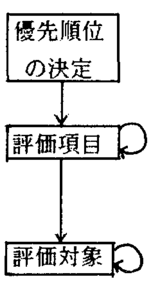

図１　階層構造

さて、本研究における評価対象は、高速道路の仮想の５路線（ただし、本稿で対象とする高速道路は都市内高速道路とする）とし、評価項目は、次の５項目とする。すなわち、（Ｉ）国幹道の補完・アクセス機能、（Ⅱ）地域サービス機能、（Ⅲ）物資流動円滑機能、（Ⅳ）投資効率、（Ｖ）利用効率である。ただし、各評価項目の詳しい内容は、文献３）を参照願いたい。

ところで、ケーススタディのため、仮想の５路線に対する各評価項目の評価値は表１に示すように設定した。

表－１　各路線の評価値

路線番号	（Ｉ） 百台	（Ⅱ） 百台	（Ⅲ） 百台	（Ⅳ） 台／億円	（Ｖ） 百台／km
1	130	330	40	40	60
2	80	180	30	45	55
3	90	140	20	60	45
4	40	120	20	55	30
5	250	200	280	70	65

さて、Saaty・Takizawa はＡＨＰにおける inner dependenceの考え方を文献４）に示している。そこで、本稿では、高速道路路線の建設優先順位決定問題を例にして、各評価項目のみに相互影響がある場合の具体的な計算法を以下に提案するものである。

（ＳＴＥＰ１）

各評価項目が独立であると仮定して、これらの重要度の一対比較を行う。（表２）

表２　評価項目間の一対比較

	（Ｉ）	（Ⅱ）	（Ⅲ）	（Ⅳ）	（Ｖ）
（Ｉ）	1	1	4	2	3
（Ⅱ）	1	1	3	1	4
（Ⅲ）	1/4	1/3	1	1/2	1/3
（Ⅳ）	1/2	1	2	1	2
（Ｖ）	1/3	1/4	3	1/2	1

この結果、各評価項目の重みは次のようになる。

$$W_A^T = (0.319, 0.289, 0.075, 0.198, 0.119)$$

従って、建設優先順位の決定に最も影響する評価項目は、５つの項目うち、（Ｉ）国幹道の補完・アクセス機能の項目であり、３２％弱の影響力を持つことがわかった。以下、（Ⅱ）地域サービス機能の項目、（Ⅳ）投資効率の項目と続くことがわかる。

（ＳＴＥＰ２）

各評価項目に関する各評価対象の評価を行う。すなわち、各評価項目ごとの各路線の評価値（表１）の比をとることにより各評価対象の一対比較を行った。さて、これら５つの一対比較マトリックスの紹介は省略するが、これらの結果により各評価項目ごとの５路線の評価の重みが計算される。（表３）

表３　各評価対象の重み

	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ
1	.339	.051	.111	.171	.352
2	.100	.219	.079	.171	.114
3	.045	.470	.069	.197	.042
4	.119	.200	.069	.197	.083
5	.397	.080	.672	.264	.409
	W_{B1}	W_{B2}	W_{B3}	W_{B4}	W_{B5}

（ＳＴＥＰ３）

各評価項目間に従属関係があり、この従属関係を図に示す。

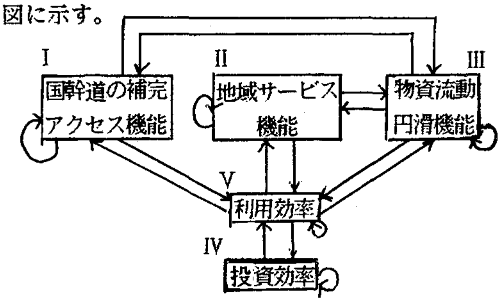

図２　評価項目間の影響図

図２は、影響を与えるものを始点、受けるものを終点とする矢印で表わしている。例えば、（Ⅰ）→（Ⅲ）の矢印は、国幹道・アクセス機能を良くすれば物質流動も円滑になるという意味である。

そして、評価項目（Ⅰ）国幹道の補完アクセス機能は、この評価項目（Ⅰ）だけでなく、（Ⅲ）物質流動円滑機能、（Ⅴ）利用効率の項目からも影響を受けていることがわかる。これらの影響の強さを一対比較した結果は、表４に示す通りである。ただし、このマトリックスの数字の意味は、表１と同じく従来のＡＨＰと同じである（文献３参照）。

表４　(Ⅰ)の影響度の一対比較

(Ⅰ)	Ⅰ	Ⅲ	Ⅴ
Ⅰ	1	4	6
Ⅲ	1/4	1	2
Ⅴ	1/6	1/2	1

この結果、評価項目（Ⅰ）に与える影響の重みは次のようになる。

W^T = (0.701,0.193,0.106)

ところで、評価項目（Ⅱ）と（Ⅳ）は、（Ⅰ）に影響を与えないので、それらを含んだ評価項目（Ⅰ）の影響ベクトルW_{C1} は次のようになる。

W_{C1}^T = (0.701,0,0.193,0,0.106)

次に、評価項目（Ⅱ）から（Ⅴ）までの影響度の一対比較の結果は、表５に示す通りである。

表５　影響度の一対比較

(Ⅱ)	Ⅱ	Ⅲ	Ⅴ
Ⅱ	1	4	6
Ⅲ	1/4	1	2
Ⅴ	1/6	1/2	1

(Ⅲ)	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅴ
Ⅰ	1	1	1/3	6
Ⅱ	1	1	1/3	6
Ⅲ	3	3	1	4
Ⅴ	1/6	1/6	1/4	1

(Ⅳ)	Ⅳ	Ⅴ
Ⅳ	1	1/4
Ⅴ	4	1

(Ⅴ)	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ
Ⅰ	1	1	3	1	1/3
Ⅱ	1	1	3	1	1/3
Ⅲ	1/3	1/3	1	1/3	1/4
Ⅳ	1	1	3	1	2
Ⅴ	3	3	4	1/2	1

そして、これら４つのマトリックスより、評価項目（Ⅱ）～（Ⅴ）の影響ベクトルW_{C2} ～ W_{C5} が得られる。これらの結果をW_{C1} とともに整理すると表６に示すようになる。

表６　評価項目間の影響マトリックス

	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ
Ⅰ	.701	.0	.227	0	.170
Ⅱ	.0	.701	.227	0	.170
Ⅲ	.193	.193	.486	0	.065
Ⅳ	.0	.0	.0	.2	.324
Ⅴ	.106	.106	.060	.8	.271
	W_{C1}	W_{C2}	W_{C3}	W_{C4}	W_{C5}

（ＳＴＥＰ４）

ＳＴＥＰ１とＳＴＥＰ３より、従属関係を考慮した各評価項目の重み（W_D）を計算する。例えば、影響マトリックスW_C を

W_C = (W_{C1}, W_{C2}, W_{C3}, W_{C4}, W_{C5})

とすると、

$W_D = W_C \cdot W_A$　（１）

となる。

本稿の例の場合

$$W_D = \begin{array}{c} \mathrm{I} \\ \mathrm{II} \\ \mathrm{III} \\ \mathrm{IV} \\ \mathrm{V} \end{array} \begin{bmatrix} 0.701 & 0 & 0.227 & 0 & 0.170 \\ 0 & 0.701 & 0.227 & 0 & 0.170 \\ 0.193 & 0.193 & 0.486 & 0 & 0.065 \\ 0 & 0 & 0 & 0.2 & 0.324 \\ 0.106 & 0.106 & 0.060 & 0.8 & 0.271 \end{bmatrix}$$

$$\times \begin{bmatrix} 0.319 \\ 0.289 \\ 0.075 \\ 0.198 \\ 0.119 \end{bmatrix} = \begin{array}{c} \mathrm{I} \\ \mathrm{II} \\ \mathrm{III} \\ \mathrm{IV} \\ \mathrm{V} \end{array} \begin{bmatrix} 0.261 \\ 0.240 \\ 0.161 \\ 0.078 \\ 0.260 \end{bmatrix}$$

となる。この結果、建設優先順位の決定に最も影響を与える評価項目は、（Ｉ）国幹道の補完・アクセス機能の項目であり、２６％強の影響力を持つことがわかった。以下（Ｖ）利用効率の項目、（II）地域サービス機能の項目で、それぞれ２６％、２４％の影響力を持つことが示された。

（ＳＴＥＰ５）

ＳＴＥＰ２とＳＴＥＰ４より、評価項目間に従属関係がある場合の各評価対象の総合評価の重み（W_E）を計算する。例えば、各評価項目に関する各評価対象の評価マトリックスW_Bを

$$W_B = (W_{B1}, W_{B2}, W_{B3}, W_{B4}, W_{B5})$$

とすると

$$W_E = W_B \cdot W_D \qquad (2)$$

となる。

一方、各評価項目が独立な場合（従来のＡＨＰ手法）の各評価対象の総合評価の重み（W_E^*）は

$$W_E^* = W_B \cdot W_A \qquad (3)$$

となる。

その結果、W_E, W_E^* は表７に示すようになり、優先順位は、W_Eにおいて ５ ＞ １ ＞ ３ ＞ ２ ＞ ４、W_E^*において ５ ＞ １ ＞ ３ ＞ ４ ＞ ２ となった。

表７

W_E

路線NO	総合評価値
5	0.354
1	0.223
3	0.162
2	0.134
4	0.127

W_E^*

路線NO	総合評価値
5	0.295
1	0.207
3	0.199
4	0.150
2	0.149

３．Outer Dependence

本章では、評価項目（レベル２）と評価対象（レベル３）の間に従属性がある場合（outer dependence 図３）を取り上げる。

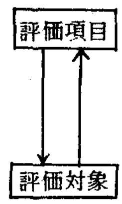

図３ Outer Dependence

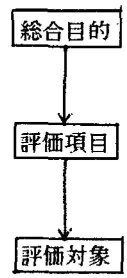

図４ 従来のＡＨＰ

さて、Saaty はＡＨＰにおける outer dependence の考え方と手法を文献５）に示している。この手法の考え方の特徴は、各評価項目の重みが、総合目的より一意的に決定される（従来のＡＨＰ手法 図４）のではなく、各評価対象毎に決定され、それらが異なってもよい点にある。実際、社会現象を分析する際、各評価項目の重みは、各評価対象に共通したものではなく、各評価対象毎に異なる場合も多々あると思われる。そこで、以下 outer dependence における Saaty の方法を紹介する。

（ＳＴＥＰ１）

各評価項目毎（$i = 1, \cdots n$）の各評価対象（$j = 1, \cdots m$）の評価を行う。そのために、各評価項目毎に各評価対象の一対比較を行い、評価ベクトル（W_{Fi}）を計算する。この結果、評価マトリックス（W_F）は次のようになる。

$$W_F = (W_{F1}, \cdots, W_{Fi}, \cdots W_{Fn}) \quad (4)$$

ただし、この計算は、従来のＡＨＰ手法と同じである。

（ＳＴＥＰ２）

各評価対象毎に各評価項目の重みを決定する。そのために、各評価対象毎に各評価項目の一対比較を行い、重みベクトル（W_{Gj}）を計算する。この結果、重みマトリックス（W_G）は次のようになる。

$$W_G = (W_{G1}, \cdots, W_{Gj}, \cdots W_{Gm}) \quad (5)$$

（ＳＴＥＰ３）

評価項目と評価対象の関係を１つのマトリックスで表現する Super-Matrix を用いて、各評価項目の重みと、各評価対象の総合評価値を求める。ところで、Super-Matrix は次のように表現される。

$$W = \begin{array}{c c} & \begin{array}{cc} \text{評価項目} & \text{評価対象} \end{array} \\ \begin{array}{c} \text{評価項目} \\ \text{評価対象} \end{array} & \left[\begin{array}{cc} 0 & W_G \\ W_F & 0 \end{array} \right] \end{array} \quad (6)$$

そして、（６）式のWはマルコフ性があり、この推移確率行列は、次のような極限確率行列に収束することが示されている。

$$\lim_{k \to \infty} W^{2K+1} = W^* \quad (7)$$

ただし、

$$W^* = \begin{array}{c c} & \begin{array}{cc} \text{評価項目} & \text{評価対象} \end{array} \\ \begin{array}{c} \text{評価項目} \\ \text{評価対象} \end{array} & \left[\begin{array}{cc} 0 & W_G^* \\ W_F^* & 0 \end{array} \right] \end{array} \quad (8)$$

となる。そして、W_F^* は、総合評価マトリックスであり次のようになる。

$W_F^* = (W_{F1}^*, \cdots, W_{Fi}^*, \cdots W_{Fn}^*)$ （９）

一方、W_G^* は、評価項目の重みマトリックスであり、次のようになる。

$W_G^* = (W_{G1}^* \cdots, W_{Gj}^* \cdots W_{Gm}^*)$ （10）

また、（９）式、（10）式の評価ベクトル、重みベクトルは、それぞれ

$W_{F1}^* = \cdots = W_{Fi}^* = \cdots = W_{Fn}^*$ （11）

$W_{G1}^* = \cdots = W_{Gj}^* = \cdots = W_{Gm}^*$ （12）

となり、（11）式が各評価対象の総合評価値を示し、（12）式が各評価項目の重みを表わしている。

以上の計算法を本稿の例に当てはめると以下のようになる。

（ＳＴＥＰ１）

評価マトリックスW_F は、２章の表３と同じであり、この場合は、$W_F = W_B$ となる。

（ＳＴＥＰ２）

例えば、評価対象１に関する各評価項目間の一対比較を表８とすると、W_{G1} ＝（0.106, 0.036, 0.330, 0.330, 0.198）となる。

表８　路線１に関する評価項目間の一対比較

1	I	II	III	IV	V
I	1	3	1/3	1/3	1/2
II	1/3	1	1/8	1/8	1/7
III	3	8	1	1	2
IV	3	8	1	1	2
V	2	7	1/2	1/2	1

次に、評価対象２から評価対象５に関する各評価項目間の一対比較を行い、（結果は省略）、W_{G2} からW_{G5} までを求める。これらの結果を、W_{G1} とともに整理すると表９に示すようになる。ただし、表８に示すような一対比較は、各路線特性を反映させて行った。

表９　重みマトリックス（W_G）

	1	2	3	4	5
I	.106	.182	.045	.098	.392
II	.036	.532	.455	.428	.119
III	.330	.074	.095	.166	.359
IV	.330	.099	.256	.199	.063
V	.198	.113	.149	.109	.067
	W_{G1}	W_{G2}	W_{G3}	W_{G4}	W_{G5}

（ＳＴＥＰ３）

W_F，W_G を（６）式に代入し、Super Matrix W（１０×１０の正方行列）を作成する。そして（７）式のような極限確率行列W^* を求める。その結果、総合評価マトリックスW_F^* と評価項目の重みマトリックスW_G^* は、それぞれ表１０、表１１に示すようになった。従って、高速道路路線の建設優先順位は、５ ＞ ３ ＞ １ ＞ ２ ＞ ４ ＞ となった。また、高速道路路線の建設優先順位決定に最も影響する評価項目は、５つのうち、（II）地域サ

表10　総合評価マトリックス（W_F^*）

	I	II	III	IV	V
1	.180	.180	.180	.180	.180
2	.141	.141	.141	.141	.141
3	.191	.191	.191	.191	.191
4	.138	.138	.138	.138	.138
5	.350	.350	.350	.350	.350
	W_{F1}^*	W_{F2}^*	W_{F3}^*	W_{F4}^*	W_{F5}^*

表11　評価項目の重みマトリックス（W_G^*）

	1	2	3	4	5
I	.204	.204	.204	.204	.204
II	.269	.269	.269	.269	.269
III	.237	.237	.237	.237	.237
IV	.172	.172	.172	.172	.172
V	.119	.119	.119	.119	.119
	W_{G1}^*	W_{G2}^*	W_{G3}^*	W_{G4}^*	W_{G5}^*

ービス機能の項目であり、２７％弱の影響力を持つことがわかった。以下、（Ⅲ）物質流動円滑機能の項目、（Ⅰ）国幹道の補完・アクセス機能の項目で、それぞれ２４％弱、２０％強の影響力を持つことが示された。

4．Feedback System

本章では、３章で紹介した Saaty による ＡＨＰ における outer dependence の手法を拡張し、feedback system における計算法を提案するものである。

さて、多目的意思決定モデルとして社会システム（交通計画・土木計画等）を捉えるとき、評価項目、評価対象だけでなく、シナリオの設定も必要である。さらに、このシナリオの設定が、総合目的から一意的に決定されるのでなく、各評価対象毎に決定され、それらが異なっている場合を想定する。このようなシステムを feedback system と名付けるが、このシステムのスケルトンは、図５に示す通りである。

そこで、次に、ＡＨＰにおける feedback system を分析するための具体的手法を高速道路路線の建設優先順位決定問題を例として提案するものである。

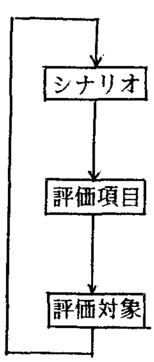

図５　Feedback System

（ＳＴＥＰ１）

何種類かのシナリオを設定する。この場合、Ｘ，Ｙの２つとする。そして、各シナリオ毎に評価項目の一対比較を行い、各評価項目の重みを求める。さて、シナリオＸに関する一対比較は２章表２とする。従ってその重みベクトルは、

$$W_X^T = (0.319, 0.289, 0.075, 0.198, 0.119)$$

となる。

一方、シナリオＹに関する重みベクトルは、

$$W_Y^T = (0.103, 0.145, 0.309, 0.187, 0.256)$$

とする。ただし、シナリオＹに関する一対比較表は省略する。この結果、重みマトリックス（W_H）は次のようになる。

$$W_H = (W_X, W_Y) \qquad (13)$$

（ＳＴＥＰ２）

各評価項目毎（ｉ＝１，…５）の各評価対象（ｊ＝１，…５）の評価を行う。この結果、評価マトリックス（W_I）は次のようになる。

$$W_I = (W_{I1}, W_{I2}, W_{I3}, W_{I4}, W_{I5}) \quad (14)$$

この例の場合、W_I は２章表３と同じであり、$W_I = W_B$ となる。

（ＳＴＥＰ３）

各評価対象毎の各シナリオ（Ｘ，Ｙ）の重みを決定する。そのために、各評価対象毎に各シナリオの一対比較（掲載省略）を行い、重みベクトル（W_{Jj}）を計算する。この結果、重みマトリックス（W_J）は以下のようになるとする。

$$W_J = \begin{array}{c} \\ X \\ Y \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccccc} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \end{array} \\ \begin{bmatrix} 0.4 & 0.6 & 0.7 & 0.5 & 0.3 \\ 0.6 & 0.4 & 0.3 & 0.5 & 0.7 \end{bmatrix} \end{array} \quad (15)$$

（ＳＴＥＰ４）

シナリオと評価項目並びに評価対象の関係を１つのマトリックスで表現する Super-Matrix を用いて、各シナリオの重み、各評価項目の重み、さらに各評価対象の総合評価質を求める。ところで、この場合、Super-Matrix は次のように表現される。

$$W = \begin{array}{r} \\ \text{シナリオ} \\ \text{評価項目} \\ \text{評価対象} \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccc} \text{シナリオ} & \text{評価項目} & \text{評価対象} \end{array} \\ \begin{bmatrix} 0 & 0 & W_J \\ W_H & 0 & 0 \\ 0 & W_I & 0 \end{bmatrix} \end{array} \quad (16)$$

ところで、$W = (w_{k\ell})$ とすると、$w_{k\ell} = w_k / w_\ell$，$w_{\ell m} = w_\ell / w_m$ であることから、$w_{k\ell} \times w_{\ell m}$ は w_k / w_m の間接的な近似（長さ２のパスに沿った近

似）になっている。そこで行列Wを２乗したものの（k，m）要素$w_{km}^{(2)} = \Sigma w_{k\ell} \times w_{\ell m}$ は、長さ２までのすべてのパスに沿った比率w_k / w_m の間接的な近似の和である。

$$
W^2 = \begin{array}{r} \\ \text{シナリオ} \\ \text{評価項目} \\ \text{評価対象} \end{array}
\begin{array}{c} \begin{array}{ccc} \text{シナリオ} & \text{評価項目} & \text{評価対象} \end{array} \\
\begin{bmatrix} 0 & W_J \cdot W_I & 0 \\ 0 & 0 & W_H \cdot W_J \\ W_H \cdot W_I & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{array} \quad (17)
$$

同様にして、長さ３（省略）、長さ４までのすべてのパスに沿った比率の間接的な近似は以下のようになる。

$$
W^4 = \begin{array}{r} \\ \text{シナリオ} \\ \text{評価項目} \\ \text{評価対象} \end{array}
\begin{array}{c} \begin{array}{ccc} \text{シナリオ} & \text{評価項目} & \text{評価対象} \end{array} \\
\begin{bmatrix} 0 & 0 & W_J^2 \cdot W_I \cdot W_H \\ W_H^2 \cdot W_J \cdot W_I & 0 & 0 \\ 0 & W_I^2 \cdot W_H \cdot W_J & 0 \end{bmatrix} \end{array} \quad (18)
$$

この結果、W^{3n+1}（nは整数）が（１６）式と同じ形のマトリックスであることがわかった。従って、$W^{3n+1} = (W_{k\ell}^{(3n+1)})$ は、長さ（３ｎ＋１）までのすべてのパスに沿った間接的な比率を考慮した重みである。しかも、これらのゾーン毎（シナリオ、評価項目、評価対象毎）の列ベクトルは同じ値に収束することがわかった。

従って、W^{3n+1}の極限確率行列を計算すると

$$
\lim_{n \to \infty} W^{3n+1} = W^{*} \quad (19)
$$

となる。ただし、

$$
W^{*} = \begin{array}{r} \\ \text{シナリオ} \\ \text{評価項目} \\ \text{評価対象} \end{array}
\begin{array}{c} \begin{array}{ccc} \text{シナリオ} & \text{評価項目} & \text{評価対象} \end{array} \\
\begin{bmatrix} 0 & 0 & W_J^{*} \\ W_H^{*} & 0 & 0 \\ 0 & W_I^{*} & 0 \end{bmatrix} \end{array} \quad (20)
$$

となる。この例の場合、W_H^{*} の計算結果は、

$$
W_H^{*T} = \begin{bmatrix} .201 & .211 & .202 & .192 & .194 \\ .201 & .211 & .202 & .192 & .194 \end{bmatrix}
$$

となり、建設優先順位決定に最も影響する項目は、（Ⅱ）地域サービス機能の項目であり、２１％強の影響力を持つことがわかった。また、W_I^{*}の計算結果は、

$$
W_I^{*} = \begin{array}{c} \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \end{array}
\begin{array}{c} \begin{array}{ccccc} \mathrm{I} & \mathrm{II} & \mathrm{III} & \mathrm{IV} & \mathrm{V} \end{array} \\
\begin{bmatrix} .202 & .202 & .202 & .202 & .202 \\ .137 & .137 & .137 & .137 & .137 \\ .168 & .168 & .168 & .168 & .168 \\ .134 & .134 & .134 & .134 & .134 \\ .359 & .359 & .359 & .359 & .359 \end{bmatrix} \end{array}
$$

となり、建設優先順位は、５　＞　１　＞　３　＞　２　＞　４　となった。さらに、W_J^{*} の計算結果は、

$$
W_J^{*} = \begin{bmatrix} .455 & .455 & .455 & .455 & .455 \\ .545 & .545 & .545 & .545 & .545 \end{bmatrix}
$$

となり、シナリオXの重みは45.5％、シナリオYの重みは54.5％であることがわかった。

さて、最後にこの Super-Matrix を用いて、従来のＡＨＰ手法を解析してみよう。まず、総合目的から見たシナリオの重みをW_Kとし、各シナリオから見た各評価項目の重みマトリックスをW_Lとして、各評価項目から見た各評価対象の評価マトリックスをW_Mとする。そして、総合目的、シナリオ、評価項目、評価対象の関係を１つのマトリックスで表現する。Super-Matrixを用いて、各評価対象の評価値を求める。この場合、Super-Matrixは次のように表現できる。

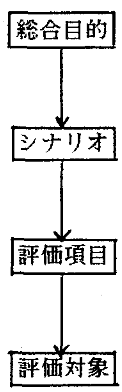

図６　従来のＡＨＰ

$$
W = \begin{array}{r} \\ \text{総合目的} \\ \text{シナリオ} \\ \text{評価項目} \\ \text{評価対象} \end{array}
\begin{array}{c} \begin{array}{cccc} \text{総合目的} & \text{シナリオ} & \text{評価項目} & \text{評価対象} \end{array} \\
\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ W_K & 0 & 0 & 0 \\ 0 & W_L & 0 & 0 \\ 0 & 0 & W_M & I \end{bmatrix} \end{array} \quad (21)
$$

ところで、（21）式は、次のような極限行列W^{*}に収束することがわかった。

$$W^{\infty} = W^{*} \qquad (22)$$

ただし、

$$W^{*}=\begin{array}{r} \\ \text{総合目的} \\ \text{シナリオ} \\ \text{評価項目} \\ \text{評価対象} \end{array}\begin{array}{c} \begin{array}{cccc}\text{総合目的}&\text{シナリオ}&\text{評価項目}&\text{評価対象}\end{array}\\ \left[\begin{array}{cccc}0&0&0&0\\0&0&0&0\\0&0&0&0\\W_K\cdot W_L\cdot W_M & W_L\cdot W_M & W_M & I\end{array}\right]\end{array} \qquad (23)$$

となる。そして、$W_K \cdot W_L \cdot W_M$は総合目的から見た各評価対象の総合評価値であり、$W_L \cdot W_M$は、各シナリオから見た各評価対象の評価値である。

この例の場合、$W_K^T = (0.4, 0.6)$とし、$W_L = W_H$，$W_M = W_I$として計算すると、

$$(W_K \cdot W_L \cdot W_M)^T = (.202\ .136\ .165\ .132\ .365)$$

となり、総合評価値から見た選考順序は 5 ＞ 1 ＞ 3 ＞ 2 ＞ 4 となる。また、

$$(W_L \cdot W_M)^T = \begin{bmatrix} .207 & .149 & .199 & .150 & .295 \\ .199 & .127 & .142 & .121 & .411 \end{bmatrix}$$

となり、シナリオXから見た選考順序は 5 ＞ 1 ＞ 3 ＞ 4 ＞ 2 となり、シナリオYから見た選考順序は、5 ＞ 1 ＞ 3 ＞ 2 ＞ 4 となる。

5．おわりに

本研究においては、ＡＨＰの有している種々の課題を解決するための具体的手法を高速道路路線の建設優先順位決定問題を例として以下の要点で提案した。

（１）同一レベルにある要素に従属関係がある場合（inner dependence）で、特に各評価項目間のみに相互関係があるケースの具体的な計算法を提案した。

（２）評価項目と評価対象の間に従属性がある場合（outer dependence）における Saaty の計算法を紹介し、具体的な計算を行った。

（３）（２）の Saaty の手法を拡張し、feedback system における具体的な計算法を提案した。

（４）（２）の Saaty の手法を拡張し、従来のＡＨＰ手法に Super-Matrix を用いる具体的な計算法を提案した。

また、今後の課題として次の２点が考えられる。

（１）同一レベルにある要素に従属関係がある場合（inner dependence）で、特に各評価対象間に相互影響がある場合について検討しなければならない。

（２）ＡＨＰ手法の一対比較値は、線形尺度を用いているが、指数関数値やファジイな値を用いる場合について検討しなければならない。

最後に、本研究において、有益な御助言を頂いた Pittsburgh 大学 Saaty 教授に感謝の意を表す次第である。

〔参考文献〕

1）T.L.Saaty ： “The Analytic Hierarchy Process”,Mc Grau-Hill,1980

2）木下栄蔵：「階層分析法による道路の整備優先順位の決定に関する研究」，交通工学，Vol25,NO2,pp9-16,1990.3

3）木下栄蔵：「階層分析法による高速道路路線の建設優先順位決定に関する研究」，交通工学，Vol26,NO6,pp21～27,1991.11

4）Saaty·Takizawa：“Dependence and Independence”，European Journal of Operational Research，1986

5）T.L.Saaty：“Inner and Outer Dependence in AHP” University of Pittsburgh ，1991