

# Fuzzy 測度を用いた社会資本の評価法に関する研究

今 尚 之

Key Words : Fuzzy 測度, AHP 手法, 社会資本, 土木構造物, 評価モデル,  
環境財, 地域計画

## 目 次

1. はじめに
2. 環境財としての社会資本
3. 社会資本評価の実際
  - (1) 社会資本にかかわる構造物の最近の評価
  - (2) 建造物などの評価の実際
4. 社会資本評価モデルへの AHP 手法の導入とその問題点
  - (1) AHP 手法の特徴
  - (2) AHP 手法の数学的背景
  - (3) 社会資本の評価における AHP 手法の問題点
5. 社会資本評価モデルへの Fuzzy 測度を用いた AHP 手法の導入
  - (1) Fuzzy 測度を用いた AHP 手法の導入
  - (2) Fuzzy 測度の定義
  - (3) 可能性測度と必然性測度
  - (4) Fuzzy 測度を用いた評価法の定式化
  - (5) Fuzzy 測度を用いた評価法の特長
6. Fuzzy 測度を用いた社会資本評価モデルの構築
  - (1) 社会資本の段階的評価と評価基準
  - (2) 北海道における鉄道隧道を例とした社会資本評価モデル
  - (3) AHP 手法による鉄道隧道の評価結果
  - (4) Fuzzy 測度を導入した AHP 手法による鉄道隧道の評価結果
7. まとめ

## 1. はじめに

現在、地域計画において、生活環境の質のより高度な充実を目指し、地域の精神文化の拠り所としてランドマーク的なモニュメントを設置し、活用する取り組みがなされている。この場合、従来は新たなモニュメントを建設することがほとんどであった。しかし、近年は、例えば小樽市の小樽運河のように、その地域の発展に貢献した社会資本の保存、活用など、地域の社会環境を生かした地域計画もまた、積極的に取り組まれるようになってきた\*。このことは、社会資本の整備において、自然環境や歴史などの文化環境が重視されてきたことや、自然や歴史、文化を活かした地域づくりに対し、住民の期待が高まっていることのあらわれともいえよう。

しかしながら橋梁や隧道、河川、海岸構造物などの土木構造物は、社会資本に直接関る構造物であることから、住居や寺院、仏閣などの一般的な建築構造物と異なり、社会性が極めて高く、規模も大きく、さらに機能の維持が必要であるなどという性格を持っている。このため、その保存、活用においては様々な問題を抱えることとなり、地域の発展に貢献した構造物の保存、活用を生かした地域計画は必ずしも順調に行われているとは言い難い。

順調に行われていない問題点として先ずあげられることは、機能の維持、高度化に伴う建替えか現在の施設を保存しながら使用するのかというコンフリクトである\*\*。機能の低下した社会資本は大部分が地域に対して負の便益を与

---

\* 古い社会資本（土木構造物）を地域のモニュメントとし地域計画において活用する事例としては、最近では長沼町での舞鶴橋の移設工事がある。舞鶴橋は長沼町と恵庭市の境界を流れる旧夕張川に1936（昭和11）年に架橋された鋼ランガーアーチ橋であるが、河川改良と治水対策のため、40m上流に1993（平成5）年に架け替えられた。長沼町ではこの橋が町の発展に貢献したこと、構造様式の美しさが評価されていることから、ながぬまコミュニティ公園のモニュメントとして移設、復元を行っている。また、北海道東部の釧路町においては釧路川の岩保木水門周辺を公園化し、昭和初期に建造された水門を公園のモニュメントとして保存することを計画している。

\*\* 近年、小樽運河に見られるように、取り壊しと保存の折衷的な計画が多く見られるようになってきた。しかし、この様な折衷案を採用することは文化財としての価値が大幅に減少することとなる。

えるものである。このため保存しつつ利用することは地域にとって負担となる例が多く見られる。

次いで、構造物が公共的な社会資本であることから経費負担を誰がするのかという問題も生じる。老朽化した構造物は必要以上に維持経費がかかる。例えば、鋼橋は錆や腐蝕を防ぐために定期的に塗装作業が必要なため、維持費用の捻出が供用上の問題となる<sup>1)</sup>。しかし、近年架橋が目立つコンクリート橋は基本的にメンテナンスフリーである。安定成長下の現在、財源の大幅な伸びが望めない現実の下では維持管理の経費負担は大きな問題である。経費の負担によって得られる便益に対する意識は肯定的なものと否定的なものに大きく別れることが予想される。したがって、十分納得の行く資料の提供と討議結果に成立した合意形成が必要であろう。

さらに、評価基準やプロセスが一定していないことも様々な問題を引き起こす要因として取り上げることができる。実際問題として、このことが現状における社会資本評価の最大のネックとなっているのである。従来の社会資本にかかわる構造物の評価では、土木、建築の専門家や郷土史の研究者など一部の専門家によって定性的な評価がなされていた。このため、評価基準や評価プロセスが曖昧となっていた。この結果、構造物がその地域のみならず全国的視野から見た時に、技術史上あるいは社会計画上意味を持つものか否かの合理的な評価が確実に行われてきたとは言い難い状況にある。この評価基準の曖昧さが先に述べた建替えのコンフリクトや財政負担の問題を引き起こす原因となっているのである。したがって、社会資本を歴史的文化的な環境を形成するものとして、その保存、活用を地域計画に組み込む場合には、合理的な合意形成がなされるように、明確な評価基準をもって社会資本を評価する必要がある<sup>2)</sup>。

また、評価対象となる構造物の選択は恣意的なものとなることが多い。このため評価対象から取りこぼされることも往々にして見られる。この場合悉皆調査を行い、できるだけもれないように調査を行ったとしても、それらに対する従来のような定性的な評価を、全ての対象物に対して実施することは物理的に困難である。このため、評価それ自体が行われずに取り壊されるケースもあ

り、地域の文化、産業にかかわる貴重な資料が失われることが数多く見られた。保存の実施に関らず社会資本に対する評価は行うべきであり<sup>3)</sup>、そのためにも簡便かつ合理的な評価手法の開発が必要である。

今後、歴史的に価値があるとされた構造物を保存し、地域のランドマークや精神文化の拠り所として、地域計画に活用していくことは従来にもましてよりいっそう取り組まれることになろう。このため、保存、活用において予想される様々なコンフリクトを解決し、限られた資源の中で保存事業化に取り組むことが必要になろう。筆者による一連の研究は、社会資本が持つ歴史的文化的環境財としての価値を定量的に把握し、地域計画案策定のために必要な情報を提供しうる評価手法の構築を行うものである。本論文では、社会資本のなかでも古い構造物は、場合によっては地域の歴史的文化的環境をより高度化する環境財であるとの認識を基礎としている。そして地域計画においてそのような社会資本を活用するために必要な、合理的な意志決定を可能とする情報の提供を目的とした評価モデルの構築について述べるものである。

本論文では、評価モデルとして AHP 評価モデルを採用し、実際の評価における評価基準の曖昧性を防ぐことに取り組んだ。さらに、AHP 評価モデルではその評価の重要度が加法的となるため社会資本のように幅広い観点から評価されるものではその評価結果が不十分であることも考えられることから、社会資本の評価に Fuzzy 測度を導入し、より幅広い評価の実施を試みたものである。

## 2. 環境財としての社会資本

日本では明治以降様々な社会資本が建造され、それらは日本の近代化に大いに貢献した。それらの大部分は、あるものは老朽化により、またあるものは機能が古くなることによって取り壊され、新しい構造物に取り替えられてきた。特に高度経済成長期では「解体即建設」<sup>4)</sup>としてあたかも古い因習を取り払うかのごとく、明治期から昭和戦前期にかけて建造された社会資本のリニューアル

ルが盛んに行われた。このため、昭和戦前期に建造された構造物が現在も機能している例が少なくなり、日本の近代化の一翼を担ったそれらを偲ぶことはおろか、その存在すら知られなくなった。

その後、オイルショック以降の低成長期においてレトロブームが生じた。それは、あまりにも急激な変化により生活環境が悪化したことに対する反動として生じたものといえよう。さらに、日本の風景を見直す風潮なども手伝い、古い街並みなどが観光資源として脚光を浴びるようになった。現在、横浜や神戸、長崎、小樽などは港街としてのエキゾチシズムと同時に、古い街並みや港湾施設を中心としたレトロな雰囲気の評価され観光名所となっている。このように、古い施設や街並みは観光行動の目的対象物となり、人間生活に直接役立つ財 (goods) として位置付けられるようになってきた。街並みや文化財、地域景観などは、人間社会の発展に伴い形成されてきた社会的環境である。これらは、歴史的、文化的なストックであり、いわゆる自然環境と共に我々を取りまく「環境」である。このことから古い社会資本の一部は環境財として捉えることが必要といえよう。

さて、歴史的な街並みの喪失や地域固有景観の喪失、さらには有形文化ストックの破壊などは一種の環境破壊とも考えられる<sup>5)</sup>。技術史上特筆すべき技術が導入され、さらに地域の生活を支え、固有な地域景観を醸しだすに至った構造物は、我々にとって重要な環境であり、その取り壊しは一種の環境破壊であるといえる。しかし、社会資本にかかわる構造物の場合、機能の維持や安全性という問題が存在する。例えば、鹿児島県の甲突川に架かる石橋群は日本における歴史的な石橋群であり、その独特なアーチ様式によって地域に固有の景観を与えている。しかし、1993 (平成5) 年の集中豪雨において川中にある橋脚が水流を妨げ洪水の引きがねとなった\*。このため現在、橋梁の架替えが検討されるに至り保存か架替えかでコンフリクトが生じている。すなわち、ここでは橋を架け替えることが生活環境を維持するために必要なことであ

\* 洪水時の水流を妨げる度合を河積阻害率という。この河積阻害率の関係から架け替えられた橋梁は数が多い。現在、北海道の鉄道橋で最長の石狩川橋梁 (1934 (昭和9) 年製) がこの河積阻害率の関係から架替えが検討されている。

ると同時に、歴史や地域文化といった生活環境を悪化させる環境破壊にもつながっているのである。そのため、問題の解決策として洪水流をバイパスさせるための地下水路の建設などが提案された。しかし、そのことに必要な経費は莫大なものとなることが予想され、地下水路が必要な施設か否か十分な討議と合意形成が必要とされている\*。その時、構造物の歴史的文化的価値を貨幣価値に置きかえるために構造物を環境財として捉え、費用便益計算を行うことが必要となろう。しかし、それ以前の問題として、その社会資本（構造物）がどのような歴史的文化的価値を保有するのか判断する必要がある。幸いにして甲突川の石橋群は技術史上の評価が与えられている。しかし、現在日本の各地に点在している構造物の多くは、基礎的なデータも集められず、それに基づいた評価もなされていない。今後数多く生じるであろうこの種の問題解決のためにも、歴史的文化的な価値を判断するための基礎的な評価情報の提供と対象となる構造物の合理的な評価モデルが必要である。

### 3. 社会資本評価の実際

#### (1) 社会資本にかかわる構造物の評価の最近<sup>6)</sup>

近年、橋梁、隧道、堤防や港湾施設など社会資本にかかわる構造物の評価を行うことが様々な立場から取り込まれるようになってきた。土木史研究の分野では小野田等により鉄道隧道の坑門意匠の評価が行われている\*\*。また、文化庁では、近代技術によって構築された社会資本施設・設備を日本の近代化過程の文化遺産として位置付け、それらの文化財指定に取り組んでおり、1993（平成5）年8月には旧信越本線碓氷峠（横川—軽井沢間）に残存するレンガ橋梁や隧道などの鉄道構造物が国の重要文化財として指定された。さらに、建設省では古い土木、建築構造物のなかで、価値があると判断されたものを地域

\* 流出した2橋は撤去され、残る3橋も平成8年度までにすべて解体撤去されることとなった。

\*\* 小野田等は、明治期の鉄道隧道の坑門意匠について加点法によって評価を行い、坑門隧道のデザイン分類とそのデザインを採用した背景について考察を行っている。

のランドマークとして保存、活用を行うことを目的として、その現況把握を行ない、評価手法や保存、活用の在り方の検討を土木学会に委託している。

このように、学術、行政の各方面から社会資本の保存、活用を視野に入れた評価が検討、実施されている。しかし、実際問題としてその評価プロセスや評価基準は試行錯誤な部分が多く、定性的な評価に頼る部分が非常に多い。今後、社会資本の歴史的な評価に対する需要はより多くなるものと考えられる。そして、誰の目によっても明らかに評価されるものから、評価が難しい建造物が対象となっていくであろう。その時には合意形成を得易い評価方法の開発が要求されよう。

## (2) 建造物などの評価の実際

現在、古い住居などが市町村レベルにおける文化財やそれに準じるものとして指定を受けて保存されることが多くなった。さらに、それらの保存を通して街並みの形成などを図る地域計画が多くなされるようになってきた。この場合、文化財などの指定に当たり建築物の評価が行われることになる。この評価は各市町村でそれぞれ独自のプロセスを経ることが多い。例えば、小樽市においては図1に示すプロセスによって歴史的建築物の評価を行ない、その結果をもとに市指定の建築物を選定している。

小樽市では建築学会に依頼し、市内の建築物を対象に所在調査を行ない、対象となされた構造物について悉皆調査を行うことから作業をはじめている。そして、悉皆調査によって所在が明かとなった構造物全てに対し、建築の専門家および市民代表から構成される専門委員会による現地調査が行われた。専門委員は現地調査時に、歴史、景観、親しみ、意匠・保全の4項目をそれぞれ5点満点の計20点満点で採点し、現地調査後、その得点表をもとに専門委員会において建築物の指定の検討が行なわれ、最終結果を取りまとめるプロセスをたどった\*。

\* この調査は小樽市の教育委員会によって行われた。社会教育課の担当者によるとこのプロセスにおける得点付は小樽市独自の考案で、専門家の意見調整容易にするために導入されたものである。しかし、実際はその得点よりも各委員の判断を優先する場面が多かったという。

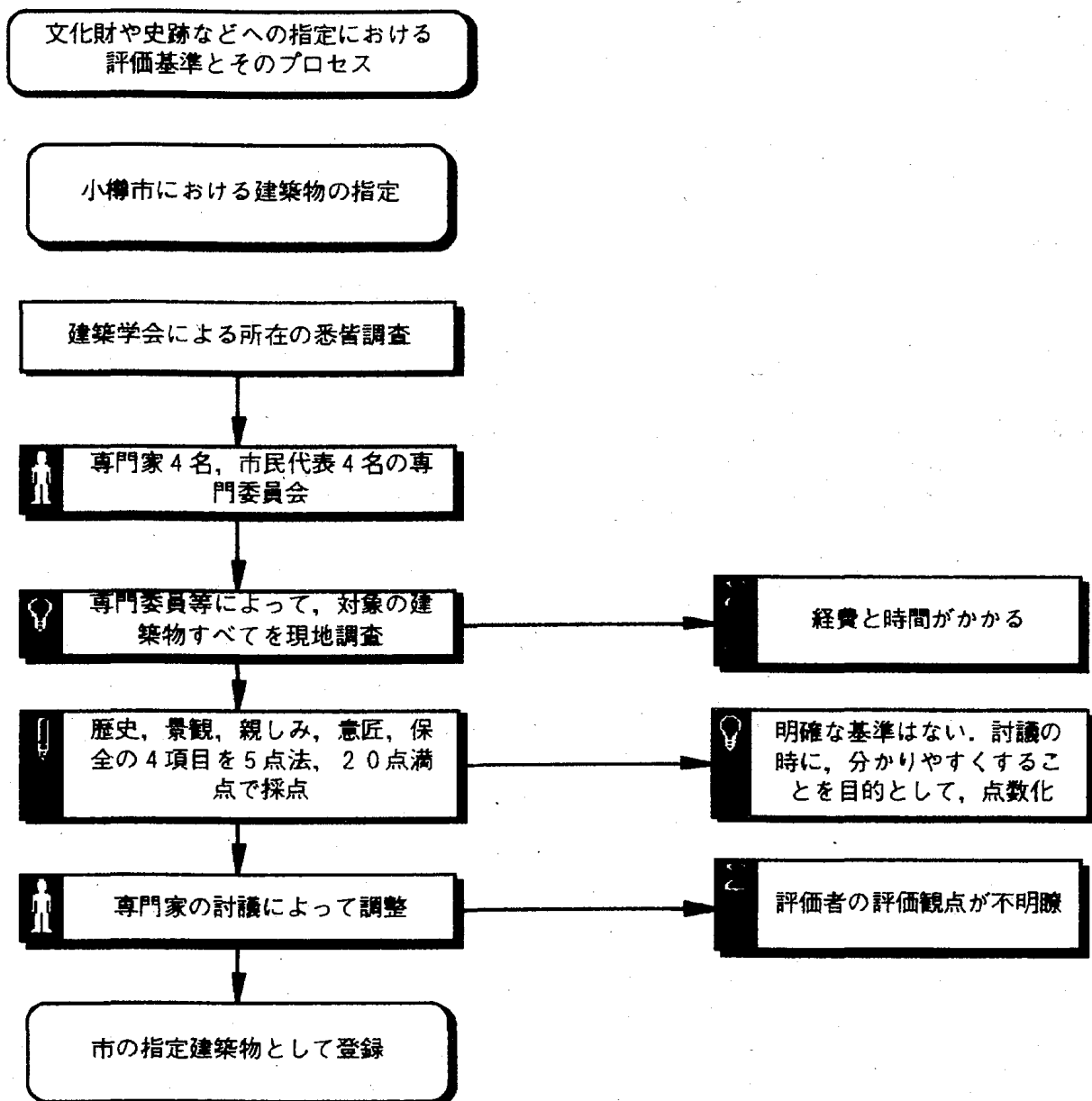


図1 小樽市における市指定建築物指定のプロセス

この一連のプロセスは指定までの調査、評価、検討の流れが比較的明瞭で、得点化により定量的な判断を可能となるプロセスである。しかし、i) 調査対象の件数が多いため時間と経費が非常にかかる。ii) 各評価項目に対する専門委員の評価基準が明確でないことから意見の調整が難しい。ことなどが問題点として指摘できる\*。

\* 実際問題として、各委員間の意見の調整に手間取り、現地調査後最終決定まで月2回、延べにして19回の審議会が持たれた。



このような問題点が生じるのは、i) 技術や意匠、時代の新旧など評価基準が多数存在し、しかも共通の尺度がない。ii) 意匠など直感的な要因がからみ、評価対象の構造が明らかでない。iii) 構造物の所在や諸元がデータベース化されていない。iv) 首尾一貫性のないデータを扱わざるを得ないために、データがないまたは取りにくい状況下において、経験やかんによる評価、判断を行う。などの諸点が存在するためである。したがって社会資本の評価ではこれらの各点に影響されない評価手法を用いる必要がある。

#### 4. 社会資本評価モデルへのAHP手法の導入とその問題点<sup>7)</sup>

##### (1) AHP手法の特徴<sup>8)</sup>

AHP手法 (Analytic hierarchy Process : 階層化意志決定法) は、サーティによって提唱された意志決定手法であり、複雑な状況下での意志決定に対してその有効性が認められ様々な場面に応用されている手法である。AHP手法では、評価基準から見た代替案の重要度 (得点) の積の和によって総合評価としている。このため要因を階層化するために評価対象それぞれの価値を構造的に把握することが可能となり、また、一対比較を用いることから定性的な要因も容易に評価できる特徴を持っている。この結果、共通尺度を持たない複数の評価基準を総合して評価でき、社会資本の様に、評価基準が多数存在し首尾一貫性にかける不確かなデータを扱うことに対して有効な評価手法と考えられる。

##### (2) AHP手法の数学的背景

各層のあるレベルの要素  $A_1, A_2, \dots, A_n$  の直上位のレベルの要素に対する重要度  $W_1, W_2, \dots, W_n$  を求めたい。この時、 $a_i$  の  $a_j$  に対する重要度を  $a_{ij}$  とすれば、要素  $A_1, \dots, A_n$  の一対比較マトリクスは  $A = [a_{ij}]$  となる。もし、 $W_1, \dots, W_n$  が既知の時、 $A = [a_{ij}]$  は以下となる。

$$A = [a_{ij}] = \begin{matrix} & A_1 & A_2 & \cdots & A_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_n \end{matrix} & \begin{pmatrix} \frac{W_1}{W_1} & \frac{W_1}{W_2} & \cdots & \frac{W_1}{W_n} \\ \frac{W_2}{W_1} & \frac{W_2}{W_2} & \cdots & \frac{W_2}{W_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{W_n}{W_1} & \frac{W_n}{W_2} & \cdots & \frac{W_n}{W_n} \end{pmatrix} \end{matrix}$$

ただし,

$$a_{ij} = \frac{W_i}{W_j}, \quad a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}} \quad W = \begin{pmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \vdots \\ W_n \end{pmatrix}$$

ところで、意志決定者の判断が完全に首尾一貫しているのならば、すべての場合の  $i, j, k$  について  $a_{ij} \times a_{jk}$  が成り立つ。

さて、この一対比較マトリクス  $A$  に重み列ベクトル  $W$  を乗じると新たにベクトル  $n \cdot W$  を得ることができる。したがって、

$$A \cdot W = n \cdot W$$

となり、この式は固有値問題

$$(A - n \cdot I) \cdot W = 0$$

に変形できる。ここで  $W=0$  が成立するためには  $n$  が  $A$  の固有値にならなければならない。この時  $W$  は  $A$  の固有ベクトルとなる。さらに  $A$  のランクは1であるから、固有値  $\lambda_i$  ( $i=1, \dots, n$ ) は一つだけが非零で他は零となる。また、 $A$  の主対角要素の和は  $n$  であるからただ一つ零でない  $\lambda_i$  を  $\lambda_{max}$  とすると

$$\lambda_i = 0, \quad \lambda_{max} = n \quad (\lambda_i \neq \lambda_{max})$$

となる。したがって、 $A_1, \dots, A_n$  に対する重みベクトル  $W$  は  $A$  の最大

固有値  $\lambda_{max}$  に対する正規化した固有ベクトル ( $\sum W_i = 1$ ) となる。

実際に複雑な状況下の問題を解決する時は  $W$  が未知であり、 $W'$  を求めなければならない。したがって上述したように  $W'$  は意志決定者の答えから得られた一対比較マトリクスより計算する。このような問題は、

$$A' \cdot W' = \lambda'_{max} \cdot W' \quad (\lambda'_{max} \text{ は } A' \text{ の最大固有値})$$

となる。したがって、上述したように  $W'$  は  $A'$  の最大  $\lambda'_{max}$  に対する正規化した固有ベクトルとなる。これにより未知の  $W'$  が求まる。

ところで実際に状況が複雑になればなるほど意志決定者の答えが首尾一貫せず整合性が低くなる。このように  $A'$  が整合しなくなるに連れて必ず  $\lambda_{max}$  は  $n$  より大きくなる。これは次に示すサティの定理により明かである。

$$\lambda_{max} = n + \sum_{i=1}^n \sum_{j=i+1}^n \frac{(W'_j \cdot a_{ij} - W'_i)^2}{W'_i \cdot W'_j \cdot a_{ij} \cdot n}$$

以上より常に  $\lambda_{max} \geq n$  が成立するので、等号は首尾一貫性の条件が満たされた時のみ成立する。これから、首尾一貫性の尺度としてコンシステンシー指数が導出される。

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

例えば  $CI = 0$  とは、完全に首尾一貫性があるということである。通常、 $CI \leq 0.1$  を有効性の限界とする。

### (3) 社会資本の評価における AHP 手法の問題点<sup>9)</sup>

#### i) 評価項目の独立性の必要性

AHP 手法では同一レベルの評価要因は互いに独立\*、もしくは独立に近い関係であることが前提とされている。評価要因が弱い従属関係にあるのならば問題は生じないが、強い従属関係にある評価要因を取り込んだ場合には、評価

\* ここでいう独立の意味は階層としての上下関係は考えられないということである。

基準の重要度の逆転現象が生じることになる。社会資本の評価に当たっては評価要因の独立性が保証されるとは限らず、むしろ互いに影響を与えあう場合が多いと考えられる。AHP手法の適用ではこの独立性の確保に慎重な検討が必要であり、評価要因の取り込みに制約が存在する。

#### ii) 評価の視点

AHP手法の最終結果である各評価対象の重要度は重み付き平均であり、平均と分散という概念で整理するならば、平均のみによる評価が行われ、分散の概念に相当する評価がなされていないことになる。そのため、評価対象の中でもいわゆる優等生的なものが採択され、一芸に秀でるようなものが採択されなかった。しかし、社会資本評価の現実を考慮するならば、平均点は低いがある評価要因に対する評価が他よりも非常に高く、また、そのことが地域にとって重要であったり、技術史上重要である構造物の存在は十分に考えらることであり、そのような構造物の取りこぼしが発生しないことが必要である。

#### iii) 評価主体が複数の場合の評価の取り扱い

社会資本の評価に当たっては、専門家や地域住民、事業者など様々な階層の評価者による検討がなされるべきである。この場合、各人、各主体により当然一対比較結果は異なりこれを何等かの方法で一つに集約する必要がある。

一番望ましい方法は全体で討議を行ない、一対比較結果に対して全体でのコンセンサスを得ることである。それが不可能であるならば、幾何平均による集約を行う必要がある。幾何平均を行うことによって、評価主体によって評価が大きく異なる場合においても等しいウェイトに近づけるような合成値を得ることが可能となる。しかしながら、大きく異なる評価を持つ評価主体の意見が結果に反映されにくい点が存在し、合意形成が得られにくい場合もある。

## 5. 社会資本評価モデルへの Fuzzy 測度を導入した AHP 手法の導入<sup>10) 11) 12)</sup>

### (1) Fuzzy 測度を用いた AHP 手法の導入

現実に社会資本を評価する段階では、必ずしも総合評価は加法的なものにな

るとは限らず、いくつかの評価基準を満たすのみで評価が高くなる場合やその逆が生じることや、評価基準の設定や追加によって選択順位の逆転が生じることなどが考えられる。また、AHP手法では評価基準の重要度の和が1となるため、測度による加法的な評価となる。社会資本のように様々な階層の人々が評価を下し最終的な合意形成を得る必要がある場合にはこのことが問題点となる。

すなわち、人間が行う主観的総合評価においては、複数の評価基準を選定した場合、複数の評価基準をまとめて取り扱った時の重要度の大きさが、個々の評価基準を独立に取り扱って和を求めた時の重要度の大きさに等しくなるとは限らない。したがって、重要度という測度において加法性( $\sigma$ :重要度(重み),  $\sigma = 1.0$ )を満足することは難しい。そのため本論文では重要度(重み)の単調増加性を考慮したFuzzy測度を用いて、評価モデルの構築を行うこととした。Fuzzy測度は可能性測度と必然性測度に分類される。このFuzzy測度を導入することにより、通常のAHP手法では考慮されない長所重視的な評価(代替的评价)や短所重視的な評価(補完的评价)を考慮した評価が可能となる。すなわち、代替的な評価はマキシマックス的な決定といえ、補完的な評価とはマキシミンの決定といえる。このことからFuzzy測度の導入により、様々な制約条件下における最適解を見出すために有益な情報を提供できることとなり、類似した評価基準の追加による評価順位の逆転現象が改善されることとなる。

## (2) Fuzzy測度の定義

Fuzzy集合がぼやけた境界を持つ概念の曖昧さを意味するのに対し、Fuzzy測度は、多くの可能性のうちいずれかであるかを特定できない曖昧さを意味するものである。例えば、Fuzzy集合では、30歳の人が $A = \{\text{若い}\}$ という集合に属することを $h_A(30) = 0.5$ と扱う。一方、Fuzzy測度では若い人が30歳であることを $P_{30}(\text{若い}) = 0.5$ と扱う。これを図示したものが図2である。

ある集合 $X = \{x\}$ において、 $X$ の任意の部分集合 $A$ (クリस्प集合)

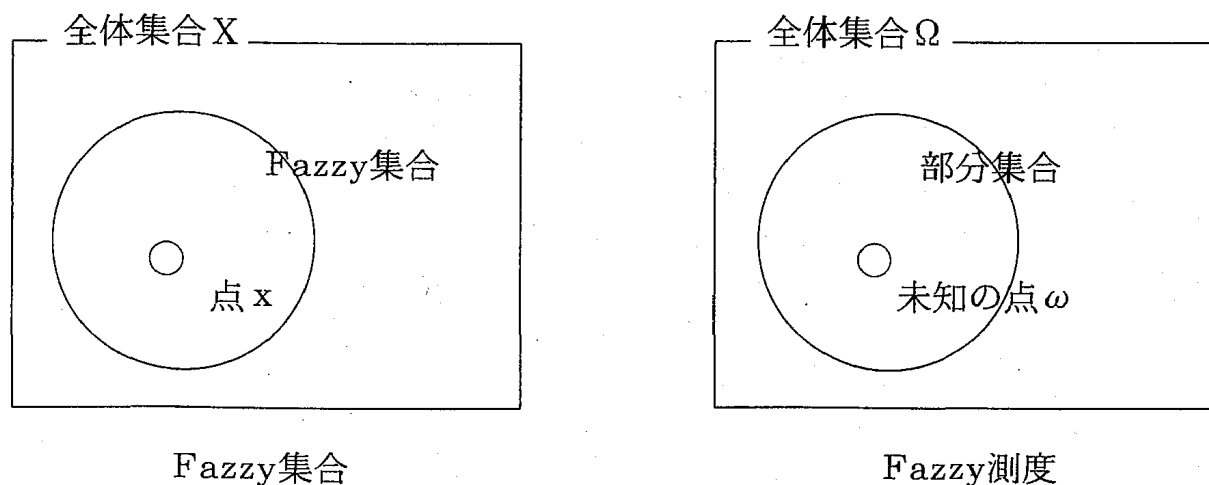


図2 Fuzzy 集合と Fuzzy 測度

を实数値区間  $[0, 1]$  内の実数値に対応付ける関数  $g$  を考える。  $X$  の全ての集合の族を  $B(X)$  とすると、  $g$  は次のように記述される。

$$g : B(X) \rightarrow [0, 1]$$

そして関数  $g$  が以下に示す条件を満たす時、これを Fuzzy 測度という。

条件1  $g(\phi) = 0, g(X) = 1$

条件2  $A \subset B$  ならば  $g(A) \leq g(B)$

条件3  $A_1 \subset A_2 \subset \dots$  または  $A_1 \supset A_2 \supset \dots$  ならば

$$\lim_{n \rightarrow \infty} g(A_n) = g\left(\lim_{n \rightarrow \infty} A_n\right)$$

Fuzzy 測度は確率測度から加法性の条件を緩めたものであり、非加法性の尺度である。そして、Fuzzy 測度において、もっとも基本的な条件は単調性である。

### (3) 可能性測度と必然性測度

Fuzzy 測度のもっとも基本的な条件は単調性であるが、一般的すぎて数学的に理論展開しにくいという面を持つ。そこで、単調性よりも強い条件を加えた Fuzzy 測度がいくつか考案されている。本研究では可能性測度と必然性測度の二つの測度を基本にして評価を行うこととした。

## i) 可能性測度

以下の公理を満たす時、集合 $\Omega$ の部分集合を区間 $[0, 1]$ の数値に対応づける集合関数 $\Pi$ を可能性測度という。

$$\Pi(\phi) = 0 \quad \Pi(\Omega) = 1$$

$$\Pi(A \cup B) = \max(\Pi(A), \Pi(B)) \quad \forall A, B \subseteq \Omega$$

このように定義された $\Pi$ が可能性測度といわれるのは次の理由による。

いま、特別な場合として、 $\Omega$ の部分集合 $B$ に対して、 $\Omega$ の任意の部分集合 $A$ を $[0, 1]$ に対応づける集合関数として

$$\Pi_B(A) = \begin{cases} 1 & A \cap B \neq \phi \\ 0 & \text{その他} \end{cases} \quad \forall A \subseteq \Omega$$

で定義すれば、 $\Pi_B$ は可能性測度の公理を満たし、可能性測度となることが分かる。ここで、 $A \cap B \neq \phi$ の場合には、集合 $B$ の要素が集合 $A$ に属することは可能であるから、 $\Pi_B(A)$ は可能性の度合\*を与えられていることが分かる。

## ii) 必然性測度

以下に示す公理を満たす時、集合 $\Omega$ の部分集合を区間 $[0, 1]$ の数値に対応づける集合関数 $N$ は必然性測度と呼ばれる。

$$N(\phi) = 0 \quad N(\Omega) = 1$$

$$N(A \cap B) = \min(N(A), N(B)) \quad \forall A, B \subseteq \Omega$$

特別な場合として $\Omega$ の部分集合 $B$ に対して $\Omega$ の任意の部分集合 $A$ を「 $[0, 1]$ 」に対応づける集合関数 $N_B$ を

$$N_B(A) = \begin{cases} 1 & B \subseteq A \\ 0 & \text{その他} \end{cases} \quad \forall A \subseteq \Omega$$

で定義すれば、 $N_B$ は必然性の公理を満たし、必然性測度となることがわかる。ここで、 $B \subseteq A$ の場合には、集合 $B$ の要素が集合 $A$ に属することは必然であるから、 $N_B(A)$ は必然性の度合\*\*を与えていることが分かる。

\* ただし、この場合は0か1かのいずれかである。

\*\* この場合も、0もしくは1のいずれかである。

## (4) Fuzzy 測度を用いた評価法の定式化

## i) 非加法的ウェイトの正規化

従来のAHP手法では,

$$(A - \lambda_{max} \cdot I) \cdot W = 0$$

$$\sum_{i=1}^n W_i = 1$$

によって重みを算出し、総合評価値を算出していた。本論文では非加法的なFuzzy 測度を用いた評価を行うために

$$(A - \lambda_{max} \cdot I) \cdot W = 0$$

$$\max (W_i) = 1$$

の両式より重みを算出する。

## ii) 説明可能度の定義

評価要因  $X_i$  が上位目的を説明できる度合を説明可能度という言葉として上述のFuzzy 測度の一つとして、本研究において定義する。説明可能度は、すなわち、あるレベルのウェイトが  $W_i = 1.0$  であれば、その評価項目が上位目的を完全に説明できるものであり、 $W_i = 0.1$  であれば0.1の度合で可能であることを示すものである。

## iii) U, L, N 評価の定式化

説明可能度を用い、可能性測度および必然性測度によって定式化された代替的な評価および補完的な評価値は、高野等によってU評価（長所重視的評価）、L評価（短所重視的評価）として再定義されており、それぞれ極端な場合マキシマックス決定、マキシミン決定である<sup>13)</sup>。図3は評価基準と説明可能度の関係を図示したものである。また、それぞれの評価値は以下の式によって計算される。

$$U(i) = \sum_{j=1}^n \Delta(j) \cdot \max f(i,k)$$

ここで、



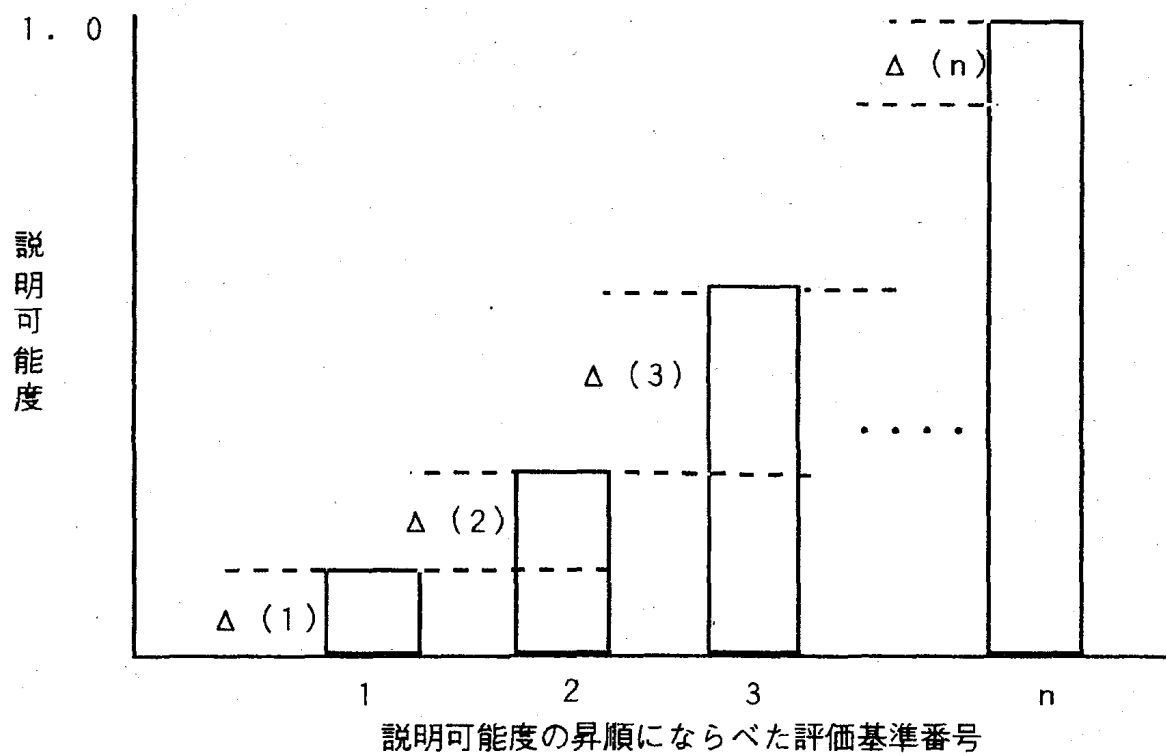


図3 評価基準と説明可能度

$U(i)$  : 代替案  $i$  の  $U$  評価値

$j$  : 評価基準の説明可能度昇順

$n$  : 評価基準の数

$E(j)$  : 評価基準  $j$  の説明可能度

$\Delta(j)$  :  $E(j) - E(j-1)$

$f(i, k)$  : 各評価基準から見た各代替案のウェイト

$k$  :  $E(k) \geq E(j)$  なる評価基準をあらわす

$$L(i) = \sum_{j=1}^n \Delta(j) \cdot \min(i, k)$$

ここで,  $L(i)$  : 代替案  $i$  の  $L$  評価値

$$L(i) = \sum_{j=1}^n \Delta(j) \cdot \text{mean}(i, k)$$

ここで、 $N(i)$  : 代替案  $i$  の  $N$  評価値

## 6. Fuzzy 測度を用いた社会資本評価モデルの構築

### (1) 社会資本の段階的評価と評価基準

既存の社会資本にかかわる構造物に対して、将来的に地域計画における保存、活用を念頭にした評価を行う場合、その評価は段階的に行われる必要がある。筆者は、構造物の評価における段階的な評価プロセスとして、図4に示すプロセスを提案した<sup>14)</sup>。この評価プロセスの第一段階では構造物の所在や基礎的なデータを収集することが重要である。この段階では、得られた定量的なデータおよび定性的なデータを得点化することによって評価対象の得点付けを行ない、序列評価を行うものである。これが図における第1次評価である。次の第2次評価では、評価基準の重要度を決定し、重要度と得点の積によってさらに順位付けを行うものである。本プロセスでは重要度の決定から得点付けまでに AHP 手法を用いる。この第一段階における第1次から第2次評価までの一連の作業によって与えられた得点をもとに、第3次評価以降の保存、活用に向けたより高度な評価を行うことになる。この第3次評価以降において、各種専門家や地域住民などがそれぞれの立場から意見を出し合い、最終的な保存、活用への方策を決定するのである。この時、合理的な意志決定がなされるためには第2次評価階以前で得られた評価結果が生かされなくてはならない。

現時点における社会資本の評価では、第2次評価階以前での評価がなされることはほとんど見られず、第3次評価以降のプロセスのみで保存に関する意志決定がなされてきた。また行われたとしてもその評価手法は定性的なものが多く評価基準が曖昧であった。このため、不透明な評価が行われたり、本来ならば評価され、将来的に地域計画に活用できるであろう構造物が評価されずに取り壊されるなどの問題が生じさせていた。このこと背景には、第1次、第2次評価段階においてできる限り簡便かつ定量的で合理的な評価手法の提案がなされていなかったことによるものと考えられる。本研究ではこの初期の段階

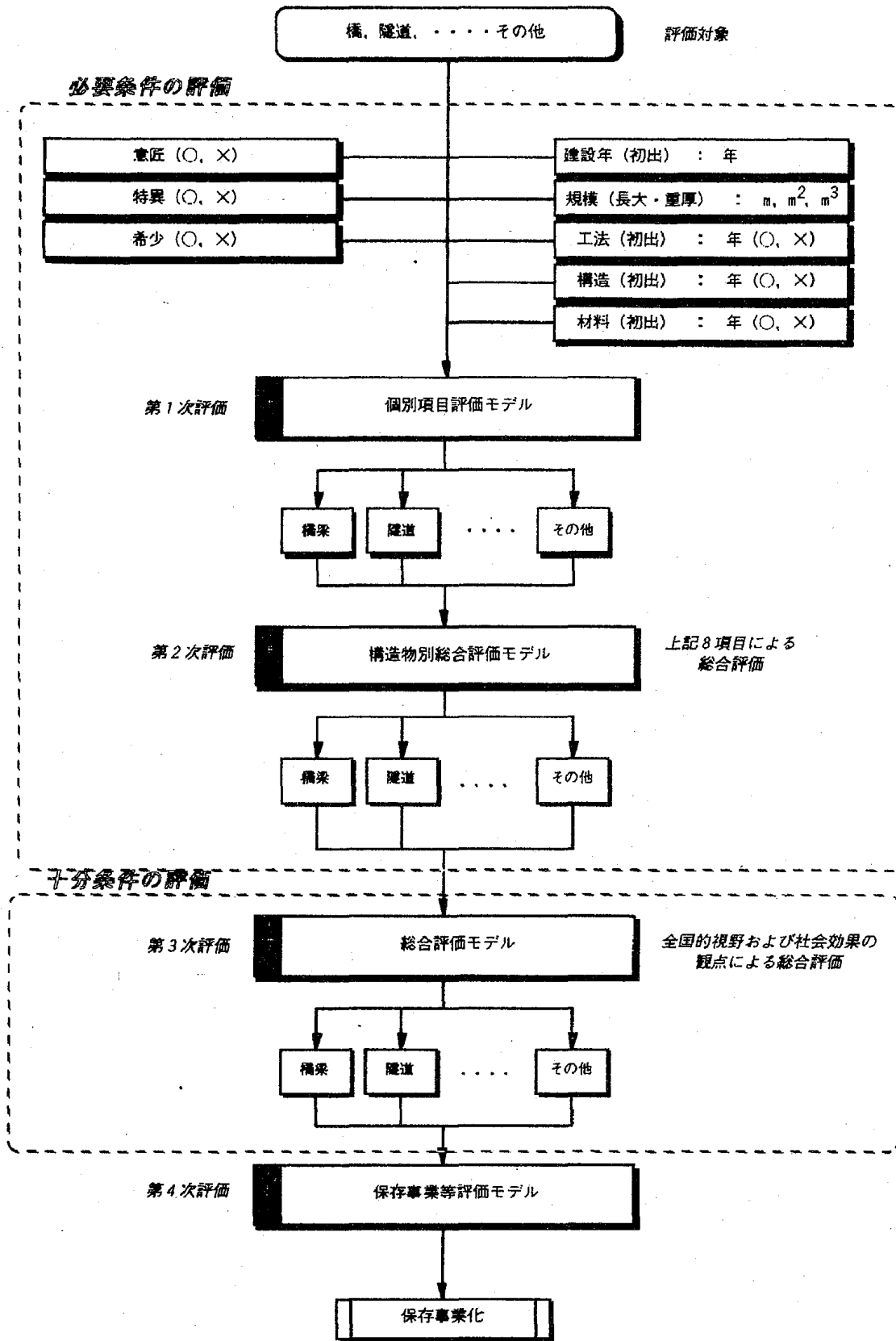


図4 社会資本評価のプロセス

の評価において AHP 手法を適用し、さらに AHP 手法における問題点を解決するために上述の Fuzzy 測度の導入を行った。

さて、社会資本にかかわる構造物の評価基準としては大別して、1) 技術、2) 意匠、3) 時間 (歴史性)、4) 社会の4項目が考えられる<sup>15)</sup>。それぞれの項目には、新工法の採用や規模の大小、装飾や見た目の洗練さなどの評価基準が含まれ、最終的にはそれらの小項目によって評価されることとなる。それらの各評価項目を図示したものが図5である。

これらの評価項目の「技術」、「意匠」、「時間」の3項目は構造物そのものにかかわる評価項目である。一方、「社会」の評価項目は構造物を社会資本としてより強く捉えた評価項目である。本論文では、第1次、第2次段階の評価では、第3次以降の評価を実施する際に必要な評価情報を作成することが目的であることから、構造物に直接関係する「技術」、「意匠」「時間」の3項目から評価を行うこととした。

## (2) 北海道における鉄道隧道を例とした社会資本評価モデル

本論文では、評価対象の社会資本として、明治期から第二次世界大戦前までに築造された北海道の鉄道隧道を選定した。

北海道は明治以降近代工学的技術によって本格的な開発がなされた土地である。特に、鉄道システムの開通によって内陸部の拓殖が進み、今日の発展を見

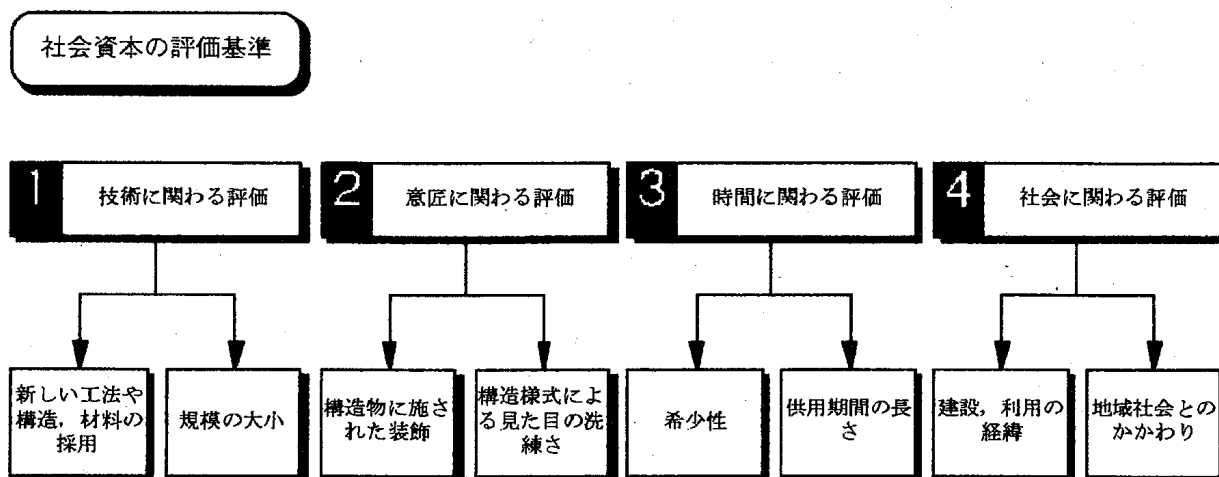


図5 社会資本の評価基準

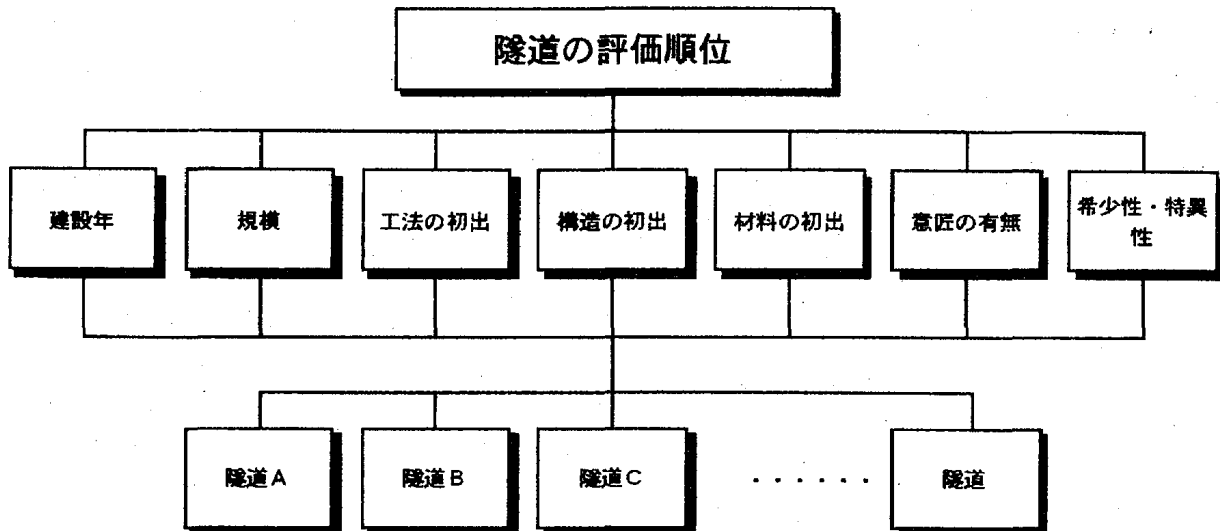


図6 北海道における鉄道隧道の評価階層図

たといってもよい<sup>15)</sup>。鉄道システムは北海道の近代化過程において極めて重要な役割を果たし、最大限の効用をなした社会資本であったといえよう。この鉄道にかかわる構造物の中でも隧道は、1880（明治13）年の幌内鉄道時代からすでに掘削されている。特に明治中期から後期に開通し、後に北海道の重要幹線となった空知太（当時）－旭川間や函館－小樽間、富良野－帯広間などでは隧道の掘削が全線の開通を左右するともまでいわれ、特に力が注がれて施工されるなど、隧道は鉄道システムの中でも極めて重要な構造物であった<sup>16)</sup>。また、明治期に施工された隧道でも現在も供用中のものがかかり存在しており、鉄道システムの開通にあわせて建設された年代が幅広く、北海道内の各地に分布していることなども選定の理由である。

この鉄道隧道について、上述の評価基準より評価基準の階層図を描いたものが図6である。技術にかかわる評価基準として「規模」「工法の初出」「構造の初出」「材料の初出」の4項目を取り上げた。また、意匠にかかわる評価基準として、「意匠の有無」を見ることとした。さらに、時間にかかわる評価基準として、「希少性・特異性」および「建設年」を評価基準として採用した。

## (3) AHP 手法による鉄道隧道の評価結果

## i) 鉄道隧道の得点化

本論文では、明治以降昭和戦前期までに建設され、現存している76の鉄道隧道を評価対象とした。評価対象の名称や所在の把握には現行のJR北海道の構造物台帳を基礎とした。供用廃止となった現存する隧道の把握には北海道鉄道百年史や札幌工務局70年史などを利用した。名称と所在が把握された隧道に対しては、各評価項目に対して文献調査を行ない、可能なものに対しては現地調査を実施した。現地調査では写真の撮影と構造、材質、意匠の確認を行い、文献調査の結果を補完した。それらの調査結果はデータベースによって整理した。データベースの出力例を表1に示す。

次に得られた調査結果をもとに隧道の得点付けを行った。建設年に関しては古い順に得点を与えたが、この時最も古い隧道が1点となるように基準化した。また規模も同様に最も長大な隧道を1点とする基準化によって得点付けを行った。また、工法、構造、材質については初出の場合には1点を与え、それ以外は0点とした。意匠、特異・希少性についても同様な得点付けを行った。このような0、1のみの得点付けでは情報の欠落が多くなる。特に、意

表1 調査データベースの出力例

番号	名称	所在市町村	名称関連	建設年	規模	工法	構造	材質	意匠	特異・希少
835	義経隧道	小樽市	幌内鉄道	1880(明治13)年	20		素掘り	素掘り	0	1
696	神居古潭隧道	旭川市	旭川サイクリングロ	1897(明治30)年	67.97		馬蹄形アーチ	煉瓦、切石	1	
640	滝の沢隧道	七飯町	函館本線	1902(明治35)年05月	147.9		馬蹄形	煉瓦	1	
652	蘭島隧道	余市町小樽市	函館本線	1902(明治35)年12月	132		馬蹄形アーチ	煉瓦	1	
725	旧新内隧道	新得町	根室本線	1902(明治35)年5月	124		馬蹄形アーチ	煉瓦、切石	1	
836	第2桃内隧道	小樽市	函館本線	1903(明治36)年	130.5		馬蹄形アーチ	煉瓦、切石	1	
838	忍路隧道	小樽市	函館本線	1903(明治36)年06月	259.1		馬蹄形アーチ	煉瓦、切石	1	
837	第3桃内隧道	小樽市	函館本線	1903(明治36)年06月	214		馬蹄形アーチ	煉瓦、切石	1	
645	第1白井川隧道	黒松内町	函館本線	1903(明治36)年11月	221.3		馬蹄形	煉瓦	0	
636	乙部隧道	浦幌町	根室本線	1903(明治36)年12月	100.6		馬蹄形アーチ	煉瓦	0	
651	稲穂隧道	共和町仁木町	函館本線	1904(明治37)年07月	1776.4		馬蹄形アーチ	煉瓦、切石	0	
650	倶知安隧道	倶知安町共和町	函館本線	1904(明治37)年10月	1012.2		馬蹄形アーチ	煉瓦、切石	0	
646	第2白井川隧道	黒松内町	函館本線	1904(明治37)年10月	594.5		馬蹄形アーチ	煉瓦	0	
649	大曲隧道	ニセコ町倶知安町	函館本線	1904(明治37)年10月	250.2		馬蹄形アーチ	煉瓦	1	
726	旧狩勝隧道	新得町	根室本線	1905(明治38)年1月	954		馬蹄形アーチ	煉瓦、切石	0	
670	峠下隧道	留萌市	留萌本線	1909(明治42)年11月	328.11		単線 甲型	煉瓦	1	
669	恵比寿隧道	沼田町留萌市	留萌本線	1909(明治42)年11月	272.44		単線 甲型	煉瓦、コンクリート	0	
839	熊碓第4隧道	小樽市	幌内鉄道	1910(明治43)年	300		馬蹄形アーチ	煉瓦、コンクリート	0	
653	張碓隧道	小樽市	函館本線	1912(大正01)年	910.9		馬蹄形アーチ	コンクリート、煉瓦	0	

表2 北海道における鉄道隧道の得点表 (一部)

名 称	建設年次	建設年点	規模点	工法点	構造点	材質点	意匠点	特異・希少
義経隧道	1880	1.00	0.01	0	1	1	0	1
神居古潭隧道	1897	0.99	0.05	0	1	1	1	0
滝の沢隧道	1902	0.95	0.32	0	0	1	1	0
蘭島隧道	1902	0.95	0.26	0	0	0	1	0
旧新内隧道	1902	0.95	0.21	0	0	0	1	0
第2桃内隧道	1903	0.88	0.25	0	0	0	1	0
忍路隧道	1903	0.88	0.61	0	0	0	1	0
第3桃内隧道	1903	0.88	0.54	0	0	0	1	0
第1白井川隧道	1903	0.88	0.55	0	0	0	0	0
乙部隧道	1903	0.88	0.16	0	0	0	0	0
稲穂隧道	1904	0.83	0.96	0	0	0	0	0
俱知安隧道	1904	0.83	0.91	0	0	0	0	0
第2白井川隧道	1904	0.83	0.80	0	0	0	0	0
大曲隧道	1904	0.83	0.59	0	0	0	1	0
旧狩勝隧道	1905	0.82	0.88	0	0	0	0	0
峠下隧道	1909	0.79	0.70	0	0	0	1	0
恵比寿隧道	1909	0.79	0.64	0	0	0	0	0
熊碓第4隧道	1910	0.78	0.66	0	0	0	0	0
張碓隧道	1912	0.72	0.87	0	0	0	0	0

匠面では Fuzzy な得点付けとなるものと考えられる。しかし、AHP 手法を用いる場合、意匠のみ別に評価しその結果を既存のモデルに組み込むことが可能であることから、今回は 0, 1 の簡略的な評価を行うこととした。表2は以上のルールによって得点化した結果の一部である。

#### ii) 評価主体による重要度の決定

社会資本の評価においては、評価主体によって評価基準に対する重要度が異なることが考えられる。第3章で述べた小樽市の市指定建築物指定時に見られるように、各々の評価主体の評価に対する姿勢が不明瞭であれば、評価の決定までに複雑な手続きが必要となる。ここでは、複数の評価主体を仮想的に決め、それぞれの重要度を計算した。実際には評価主体それぞれにアンケートを実施することも必要であるが、今回はより特徴を際立たせるために仮想的な評価主体を決定した。

評価主体としては、i) 個人的主観によるもの、ii) 意匠・特異性を重視し

表3 評価主体毎の重要度

	その1 (個人的主観)	その2 (意匠・特異性重視)	その3 (技術的特性重視)	その4 (時間的特徴重視)
$\lambda$	7.3390	7.0614	7.4007	7.0605
建設年	0.0713	0.0568	0.0336	0.4565
規模	0.3214	0.0568	0.3405	0.0568
工法の初出	0.0713	0.0568	0.1862	0.0568
構造の初出	0.0713	0.0568	0.1862	0.0568
材料の初出	0.0713	0.0568	0.1862	0.0568
意匠の有無	0.2294	0.4565	0.0336	0.0568
希少・特異性	0.1639	0.2594	0.0336	0.2594
C. I	0.0565	0.0101	0.0668	0.0101
C. R	0.0428	0.0763	0.0506	0.0076

たもの、iii) 技術的項目を重視したもの、iv) 建設年・特異性を重視したものの4評価主体を決定した。それぞれの差違は一対比較における得点付けで行った。なお、一対比較の実施により得られた重要度の差を表3に示す。また、得られた重要度と表2に示した隧道の得点の積の和を表4に示す。表4はそれぞれの評価主体毎に、最終的な評価結果の上位10位までを示したものである。この表4より、それぞれの評価主体によって評価結果の順位が異なることが分かる。この評価結果の順位の差違が従来の評価において生じていた様々な問題点を引き起こす要因であった。

さて、いずれの評価主体によっても評価されている隧道に、明治後半に掘削された旧函館本線の神居古澤隧道がある。神居古澤隧道は北海道における本格的な隧道工事の例として技術史的に高い評価を受けており、さらに坑門の意匠に優れている。また、旧函館本線が旭川市のサイクリングロードに転用されていることから原形をよく維持した保存がなされており、全国的に見ても極めて高い評価がなされている隧道である。本評価モデルでは、評価主体が異なった場合を想定したが、その結果全ての評価主体において高い評価を受けたことから、本評価モデルが有効であると考えられる。また、忍路隧道、第3桃内隧道(函館本線)、大曲隧道(石北本線)、滝の沢隧道などの明治末から大正にか



表4 北海道における鉄道隧道の評価結果

ウェイト1 (個人的主観)

名 称	ウェイト	0.071	0.321	0.071	0.071	0.071	0.229	0.164	合 計
	建設年次	建設年点	規模点	工法点	構造点	材質点	意匠点	特異・希	
峠下隧道	1909	0.056	0.224	0.000	0.000	0.000	0.229	0.000	0.510
忍路隧道	1903	0.063	0.195	0.000	0.000	0.000	0.229	0.000	0.487
緋牛内隧道	1912	0.052	0.203	0.000	0.000	0.000	0.229	0.000	0.484
大曲隧道	1904	0.059	0.190	0.000	0.000	0.000	0.229	0.000	0.479
滝の沢隧道	1902	0.068	0.101	0.000	0.000	0.071	0.229	0.000	0.470
第3桃内隧道	1903	0.063	0.173	0.000	0.000	0.000	0.229	0.000	0.466
神居古潭隧道	1897	0.070	0.017	0.000	0.071	0.071	0.229	0.000	0.459
桃内隧道	1917	0.044	0.182	0.000	0.000	0.000	0.229	0.000	0.455
礼文華山隧道	1928	0.029	0.317	0.071	0.000	0.000	0.000	0.000	0.418
石北隧道	1932	0.024	0.321	0.000	0.071	0.000	0.000	0.000	0.417

ウェイト2 (意匠・特異性重視)

名 称	ウェイト	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.457	0.259	合 計
	建設年次	建設年点	規模点	工法点	構造点	材質点	意匠点	特異・希	
神居古潭隧道	1897	0.056	0.003	0.000	0.057	0.057	0.457	0.000	0.629
滝の沢隧道	1902	0.054	0.018	0.000	0.000	0.057	0.457	0.000	0.585
忍路隧道	1903	0.050	0.034	0.000	0.000	0.000	0.457	0.000	0.541
峠下隧道	1909	0.045	0.040	0.000	0.000	0.000	0.457	0.000	0.541
第3桃内隧道	1903	0.050	0.031	0.000	0.000	0.000	0.457	0.000	0.537
大曲隧道	1904	0.047	0.034	0.000	0.000	0.000	0.457	0.000	0.537
緋牛内隧道	1912	0.041	0.036	0.000	0.000	0.000	0.457	0.000	0.534
蘭島隧道	1902	0.054	0.015	0.000	0.000	0.000	0.457	0.000	0.525
桃内隧道	1917	0.035	0.032	0.000	0.000	0.000	0.457	0.000	0.524
旧新内隧道	1902	0.054	0.012	0.000	0.000	0.000	0.457	0.000	0.522

ウェイト3 (技術項目重視)

名 称	ウェイト	0.034	0.341	0.186	0.186	0.186	0.034	0.034	合 計
	建設年次	建設年点	規模点	工法点	構造点	材質点	意匠点	特異・希	
石北隧道	1932	0.011	0.341	0.000	0.186	0.000	0.000	0.000	0.538
礼文華山隧道	1928	0.014	0.336	0.186	0.000	0.000	0.000	0.000	0.536
名雨隧道	1940	0.004	0.318	0.000	0.186	0.000	0.000	0.000	0.508
幌加内隧道	1929	0.013	0.282	0.000	0.186	0.000	0.000	0.000	0.482
網走隧道	1923	0.019	0.260	0.000	0.000	0.186	0.000	0.000	0.466
神居古潭隧道	1897	0.033	0.018	0.000	0.186	0.186	0.034	0.000	0.457
多度志隧道	1924	0.019	0.246	0.000	0.000	0.186	0.000	0.000	0.452
義経隧道	1880	0.034	0.004	0.000	0.186	0.186	0.000	0.034	0.444
中の沢隧道	1937	0.004	0.175	0.000	0.186	0.000	0.000	0.000	0.365
滝の沢隧道	1902	0.032	0.108	0.000	0.000	0.186	0.034	0.000	0.359

## ウェイト4 (建設年, 特異性重視)

名 称	ウェイト	0.457	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.259	合 計
	建設年次	建設年点	規模点	工法点	構造点	材質点	意匠点	特異・希	
義経隧道	1880	0.457	0.001	0.000	0.057	0.057	0.000	0.259	0.830
神居古潭隧道	1897	0.451	0.003	0.000	0.057	0.057	0.057	0.000	0.624
滝の沢隧道	1902	0.433	0.018	0.000	0.000	0.057	0.057	0.000	0.564
蘭島隧道	1902	0.433	0.015	0.000	0.000	0.000	0.057	0.000	0.504
旧新内隧道	1902	0.433	0.012	0.000	0.000	0.000	0.057	0.000	0.501
第3桃内隧道	1903	0.402	0.031	0.000	0.000	0.000	0.057	0.000	0.490
忍路隧道	1903	0.402	0.034	0.000	0.000	0.000	0.057	0.000	0.494
第2桃内隧道	1903	0.402	0.014	0.000	0.000	0.000	0.057	0.000	0.473
大曲隧道	1904	0.378	0.034	0.000	0.000	0.000	0.057	0.000	0.469
恵比寿隧道	1909	0.360	0.037	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.397

けて掘削された4隧道が3つの評価主体によって評価された。これらの隧道は従来評価されることのなかった隧道で、本評価モデルによって新たに評価された隧道である。

一方、北海道の鉄道史のみならず日本の鉄道史において高く評価されている隧道として旧根室本線の狩勝隧道がある。本評価モデルではいずれの評価主体によっても上位に評価されなかった。これは、昭和40年代に場所打ちコンクリートによって坑門がコンクリートで覆われてしまい、明治時代の建設当時の面影が全くなくなり、意匠点が0点となったことから評価が低くなったものと考えられる。

## iii) AHP手法の導入による得失

AHP手法を導入したことにより、評価主体毎の評価基準に対する重要度を明確にできた。このことは、複数の評価主体によって総合評価がなされる社会資本の評価では極めて重要なことである。評価者がその構造物を評価した理由が明かとなることによって合意形成が容易になるものと考えられる。また、従来の定性的な評価では、評価されることのなかった隧道が評価されたことは、AHP手法の導入がより公平な評価の一助となることを示すものである。

しかし、評価主体数が少ない場合にはこのように評価主体毎の重要度を算出しそれぞれの評価結果を比較検討することが可能であるが、評価主体数が増えた場合作業は繁雑とならざるをえない。このため、評価主体毎の重要度を一つ

にまとめることが必要となる。この場合は大きく異なる評価を持つ評価主体の意見が結果に反映されにくいことが考えられる。

また、AHP手法による評価はその重要度が重み付き平均であることからそれぞれの評価結果は平均的な評価であり、分散の概念に相当する評価はなされていない。さらに、人間が下す評価は必ずしも加法的とは限らない。このような点からもより幅広い評価が行える手法による評価の試みも必要である。

#### (4) Fuzzy 測度を導入した AHP 手法による鉄道隧道の評価結果

##### i) 説明可能度の算出

本論文では、AHP手法を用いた評価における問題点を解決するために、Fuzzy 測度を導入した AHP 手法によって (3) 節で評価を行った北海道の鉄道隧道に対して評価を試みた。

さて、Fuzzy 測度を導入した AHP 手法を行うためには説明可能度を算出する必要がある。説明可能度は各々の評価基準における重要度において、もっとも大きな値を1として基準化したものである。本論文では評価主体として (3) 節における個人的な主観による一対比較結果を対象とした。なお、表5に重要度と説明可能度を示す。

##### ii) 北海道における鉄道隧道の U, L, N 評価結果

表5に示した説明可能度と第5章(4)節で述べた U, L, N 評価式より評

表5 重要度と説明可能度

	重 要 度	説 明 可 能 度
$\lambda$	7.339	
建設年	0.071	0.222
規模	0.321	1.000
工法の初出	0.071	0.222
構造の初出	0.071	0.222
材料の初出	0.071	0.222
意匠の有無	0.229	0.714
希少・特異性	0.164	0.510

(個人的主観による鉄道隧道の評価規準に対する重要度および説明可能度)

価を行った結果、U評価、L評価それぞれにおいて上位10位にランクされた隧道を表6に示す。なお、N評価の結果は通常のAHP手法による評価結果と同じである。

表6の上段はU評価の結果である。U評価は長所重視型評価であり、マキシマックス型の評価である。評価の結果、石北隧道（石北本線）が一番高い評価を受けることとなった。次いで、礼文華山隧道、新辺加牛隧道（室蘭本線）、稲穂隧道（函館本線）が高い評価を受けている。これらの隧道はいずれも延長が1,000mを越える隧道である。特に石北隧道は戦前に掘削された鉄道隧道では道内で最長のものである。掘削時期は昭和初期と比較的新しいが、丹那隧道や上越国境での隧道掘削技術を導入して施工されるなど、北海道の鉄道技術史の中で注目されているトンネルである。このようにU評価では、延長の長い隧道が評価される傾向が見られた。

表6の下段はL評価の結果である。L評価はU評価と反対に短所重視型の評価であり、マキシミンの評価結果である。評価の結果、峠下隧道が第一番目に評価され、次いで緋牛内隧道、忍路隧道、石北隧道の順となった。

峠下隧道は明治末の留萌本線の建設に伴い掘削された隧道である。延長は1,000m以下と短いが建造当初の外観や雰囲気をよく保ち、また意匠的にも工夫が見られる点などが評価されたものと思われる。また、緋牛内隧道や忍路隧道も建設が古い隧道であり、特に忍路隧道は目立った改修や補修もなく、非常にきれいな形で明治時代の面影を伝えつつ、現在も供用されている。さらに石北隧道はU評価において一番高い評価が与えられた隧道である。以上よりL評価では時代や意匠性、規模など各種の評価点が多い隧道が高く評価される結果となった。

以上の結果に加えてN評価による評価結果をあわせることにより、さらに詳細に評価すべき鉄道隧道を幅広く選択することが可能となる。社会資本にかかわる構造物の評価では、最終的には様々な観点からの検討が必要となろう。ここでは対象となった一つ一つの構造物に対してより詳細な調査と評価が加えられることになる。そのためにも予備調査となる初期の段階での評価では、種々

表6 北海道の鉄道隧道の評価結果 (U評価, L評価による上位10位)

## U評価の結果

名称	E(0-0.2)	E(0.2-0.5)	E(0.5-0.7)	E(0.7-1.0)	U評価値
石北隧道	0.200	0.300	0.200	0.300	1.000
礼文華山隧道	0.200	0.296	0.197	0.296	0.989
新辺加牛隧道	0.195	0.292	0.195	0.292	0.974
稲穂隧道	0.192	0.288	0.192	0.288	0.961
第2静狩隧道	0.189	0.284	0.189	0.284	0.947
名雨隧道	0.200	0.280	0.187	0.280	0.947
鼠の鼻隧道	0.184	0.276	0.184	0.276	0.921
峠下隧道	0.200	0.300	0.200	0.209	0.909
倶知安隧道	0.182	0.272	0.182	0.272	0.908
第2雨竜隧道	0.179	0.268	0.179	0.268	0.895

## L評価の結果

名称	E(0-0.2)	E(0.2-0.5)	E(0.5-0.7)	E(0.7-1.0)	L評価値
峠下隧道	0.00	0.00	0.14	0.21	0.349
緋牛内隧道	0.00	0.00	0.13	0.19	0.316
忍路隧道	0.00	0.00	0.12	0.18	0.303
石北隧道	0.00	0.00	0.00	0.30	0.300
大曲隧道	0.00	0.00	0.12	0.18	0.296
礼文華山隧道	0.00	0.00	0.00	0.30	0.296
新辺加牛隧道	0.00	0.00	0.00	0.29	0.292
稲穂隧道	0.00	0.00	0.00	0.29	0.288
第2静狩隧道	0.00	0.00	0.00	0.28	0.284
桃内隧道	0.00	0.00	0.11	0.17	0.283

の評価観点を取り込んだ評価結果が情報として提供されるものでなければならぬ。本論文では Fuzzy 測度を AHP 手法に導入することを試みた。その結果、より幅広い評価結果を得ることが可能であることが確認できた。

## 7. まとめ

本論文は、近年盛んに取り組まれるようになった古い社会資本の評価に Fuzzy 測度を導入した AHP 手法の適用を試みた結果を述べたものである。

近年の価値観の多様化により古い社会資本は、生活環境をより向上する環境財として地域計画に取り込まれるようになってきた。しかしながら多くの事例においては様々なコンフリクト問題を引き起こしており、さらに、本来ならば評価されるはずの建造物が評価されずに取り壊される例も少なくない。

本論文では古い社会資本は環境財としての価値を持つものであることを指摘し、その価値を計測するためには段階的に評価を行うことが必要であることを述べた。現状では本論文が提案する第一段階での評価すら、合理的になされていない。このため本論文では、北海道における鉄道隧道を対象とし、AHP手法によってこの初期段階の評価を合理的に行うことを試みた。その結果、実際の社会資本の評価において問題となる評価主体の多様性に対し、明確な評価基準を提出することが可能となることが明かとなった。

また、AHP手法における重要度の加法性による問題点を回避するためにFazy測度を導入したAHP手法によっても評価を行った。その結果、より幅広い評価を行うことが可能となり、社会資本の評価において問題となる評価対象のもれを防ぐことに有効であることが確かめられた。

#### 謝 辞

本研究を進めるにあたり、北海道大学工学部教授佐藤馨一先生には種々ご指導をいただいた。また、北海道大学工学部助手高野伸栄先生にはFazy測度の導入において非常に有益なご教示をいただいた。さらに、北海道大学経済学部4年生河野哲也氏は議論への参加を初め現地調査の実施など本研究の遂行に大変寄与された。末筆ではありますが謝意を表します。

## 参 考 文 献

- 1) 土木学会編：『フォース橋の百年』，pp.87～89，土木学会，1992年，土木学会
- 2) 今 尚之：歴史的社會資本の評価と保存事業化の課題に関する研究，商学討究第45巻第3号，小樽商科大学，1995年
- 3) 今 尚之，中岡良司，佐藤馨一：シューパロ湖三弦トラス橋の評価と保存，土木学会北海道支部平成6年度研究発表会論文集，土木学会北海道支部，1995年
- 4) 生方幸夫：『解体屋の戦後史』，PHP 研究所，1994年
- 5) 上田和弘他：『環境経済学』，pp.4～6，有斐閣，1991年
- 6) 今 尚之：歴史的社會資本の評価と保存事業化の課題に関する研究，商学討究第45巻第3号，小樽商科大学，1995年
- 7) 木下栄蔵：『AHP 手法と応用技術』，技術総合センター，1993年
- 8) 利根 薫：『ゲーム感覚意志決定法入門－AHP 入門－』，日科技連，1992年
- 9) 高野伸栄，五十嵐日出夫：階層分析法による地区代替案の評価法に関する研究，土木計画学論文集 No.9，pp.247～249，土木学会，1991年
- 10) 今 尚之，中岡良司，佐藤馨一：土木構造物の史的評価モデルの構築に関する研究，土木計画学講演集，1995年
- 11) 日本ファジィ学会編：『講座ファジィ 6 ファジィ OR』，pp.117～118，日刊工業新聞社，1993年
- 12) 中島信之他：『社会科学の数理 ファジィ理論入門』，pp.92～105，裳華房，1994年
- 13) 高野伸栄，五十嵐日出夫：階層分析法による地区計画代替案の評価表に関する研究，土木計画学研究・論文集，Vol.9，p.250，1991年
- 14) 今 尚之：歴史的社會資本の評価と保存事業化の課題に関する研究，商学討究第45巻第3号，小樽商科大学，1995年
- 15) 今 尚之：歴史的社會資本の評価と保存事業化の課題に関する研究，商学討究第45巻第3号，小樽商科大学，1995年
- 16) 北海道鉄道管理局：『北海道鉄道百年史 上巻』，1982年