

ヒューリスティックな手法の適用性に関する考察

正員 東京工業大学 森地 茂
 〇 学生員 同 菊池 康之
 学生員 同 前田 正人

I 序

1. 研究目的

複雑なシステムを同定する方法やヒューリスティックなアプローチで解に到達する手法として、従来グラフ理論の応用をはじめ各種の試みが成されてきた。しかし、これらの研究事例は適用例として提示されるにとどまり、代替的アプローチや手法との対比でその適用メリットや限界が十分論じられていないくらいであった。また、この種の手法は、定量的システムで記述しきれない部分（計画に際し考えておくべき領域）をカバーするという意味で用いられる場合が殆んどであった。しかし、この種の手法を適用するに際して、考えておくべき領域や因果連鎖の存在に思いあたったり妥当性を考えるきっかけを得たりする事をしばしば経験する。この様な機能を正當に評価し、逆にこの様な機能から各種手法と比較検討したり新たな手法を開発する事も重要である。そこで、本研究はこの点に着目して、同一問題に各種の手法を適用しそれらの適用性を考察する事を目的としている。

2. 研究方法

今回適用した手法は、KJ法、ISM、DEMATEL法、FTA、CDAの5つである。また、適用対象は「駅前自転車置場問題」である。研究にあたっては、まず関連する現象領域、評価に際し考えるべき事項の全てをブレインストーミングにより抽出した。次に、その結果を基に、いくつかの視点から各手法の適用を試みた。さらに、それらの適用を通して浮び上がった各手法の利点と問題点を比較し、それらをいくつかの機能毎に整理して各手法の適用性を論じた。

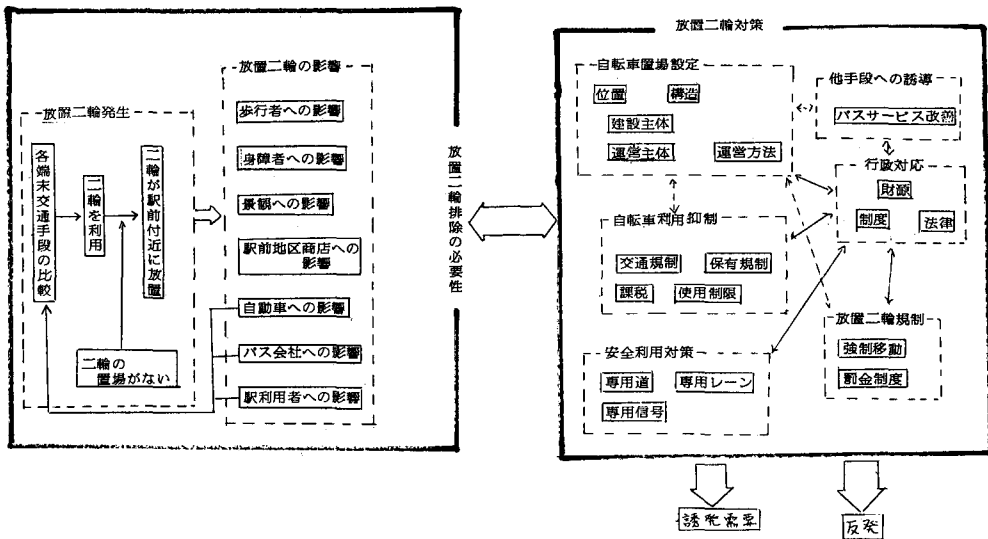
II 各手法の概要と適用概要

KJ法、ISM、DEMATEL法、FTA、CDAの概要を以下に示す。また、各手法の「駅前自転車置場問題」への適用事例は、代表的図表を示すにとどめる。

(1) KJ法

この手法は、ブレインストーミングなどで提出されたアイデアを構造化するためのものである。具体的には、カード化した要素間の親密性を評価しながらグループ化していく、それらをグラフや文章によつて

▼ 図1 KJ法 適用事例



ないでいく事により全体構造を明らかにするものである。その際には特に決めた様式がないので、必要に応じて記号等を使い構造化を進めていくという極めて柔軟な手法である。本手法の適用事例を図1に示す。

(2) ISM (Interpretive Structural Modeling)

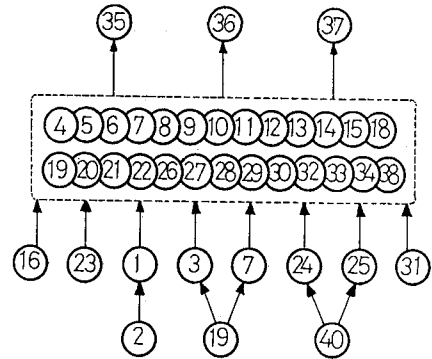
この手法は、人間とコンピュータの対話形式で各要素間の因果連鎖の有無を網羅的に調べていき構造を同定するものである。その際、推移律により質問回数を減りさせて効率化をはかっている。更に与えられた到達可能行列から、冗長な関係を排除し強連結部分をまとめて最小隣接行列を求め、グラフの簡易化を進めている。本手法の適用事例を図2に、その要素群を表1に示す。

(3) DEMATEL法 (Decision Making Trial & Evaluation Laboratory)

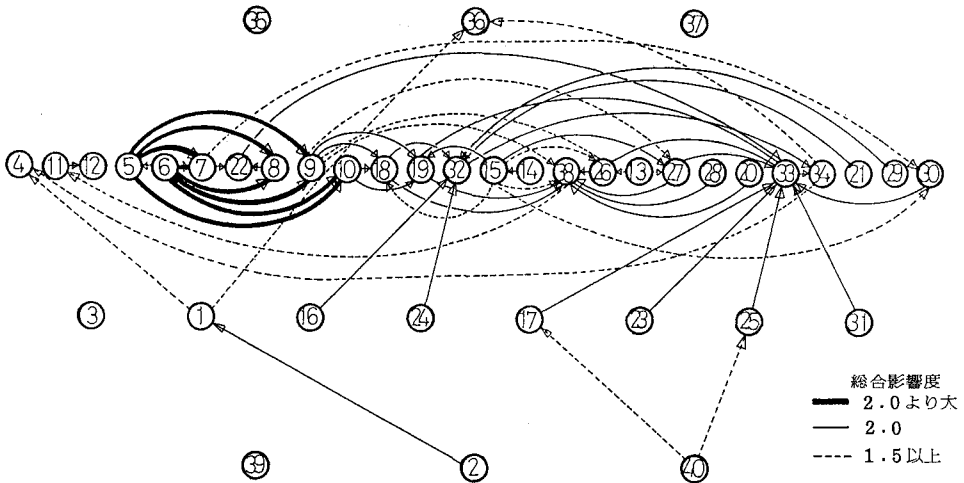
これは、問題構造を把握するための手法として開発されたものであり、アンケートを用いて構造を同定する手法として用いられているが、ここでは、計画者の意識構造を表現するために用いる事を考えている。つまり、各要素間の直接的影響度を計画者が0~4の5段階で評価し、計算機によって無限の間接的影響度を加えた総合影響行列を得る。これを用いてグラフ表示することを考える。本手法の適用事例を図3に示す。ここで用いている要素は、表1に示されるものである。図7、図8は表2で示される要素に基づいて2人の人間が評価した結果を表わしたものである。(評価者A、評価者B)

▼表1 要素表 (図2、図3に対応)

NO.	内 容	NO.	内 容
1	駅前付近に約500台の放置二輪がある。	21	通勤・通学者が車から自転車に変える。
2	二輪利用者が多い。	22	通勤・通学者が車からバイクに変える。
3	燃料代の値上がり。	23	通勤・通学者が自転車からバイクに変える。
4	放置二輪が車の通行障害になる。	24	買物客が徒歩から自転車に変える。
5	駅前付近で車の流れが悪い。	25	買物客が徒歩からバイクに変える。
6	駅前付近で車の事故が多い。	26	買物客がバスから自転車に変える。
7	車によって駅前付近に行くのに時間がかかる。	27	買物客がバスからバイクに変える。
8	車によって駅前付近に行くのに到着時間が不定期。	28	買物客がバスから徒歩に変える。
9	バスによって駅前付近に行くのに時間がかかる。	29	買物客が車から自転車に変える。
10	バスによって駅前付近に行くのに到着時間が不定期。	30	買物客が車からバイクに変える。
11	バス会社の経営が悪化する。	31	買物客が自転車からバイクに変える。
12	バスサービスが低下する。	32	自転車利用者が増える。
13	バス料金が上がる。	33	バイク利用者が増える。
14	路線が縮小する。	34	放置二輪が増える。
15	Transportation Poorが増える。	35	通勤・通学者が徒歩からバイクに変える。
16	通勤・通学者が徒歩から自転車に変える。	36	通勤・通学者がバスから自転車に変える。
17	通勤・通学者が徒歩からバイクに変える。	37	駅前付近の景観が破壊される。
18	通勤・通学者がバスから自転車に変える。	38	駅前付近の商店の営業が妨害される。
19	通勤・通学者がバスからバイクに変える。	39	バス利用者が減る。
20	通勤・通学者がバスから徒歩に変える。	40	バイクの普及



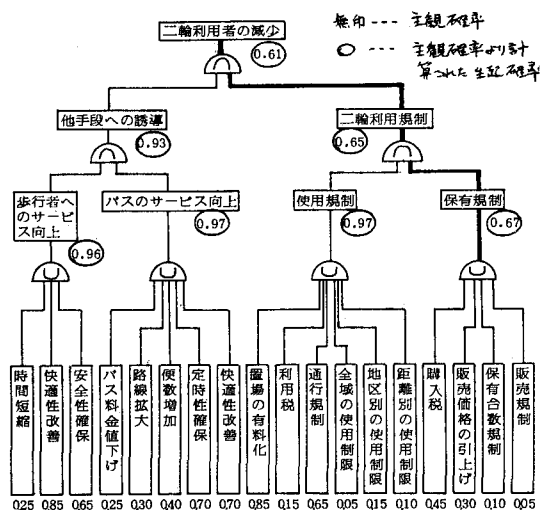
▲ 図2 ISM適用事例



▲ 図3 DEMATEL法適用事例 (1)

(4) FTA (Fault Tree Analysis) ^{文献1}

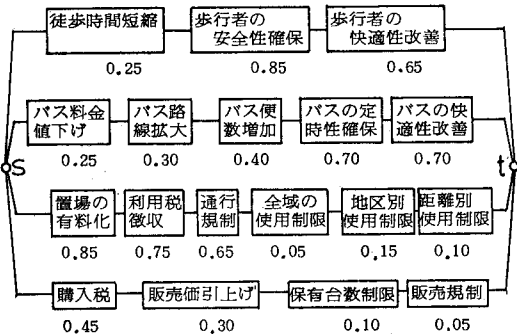
この手法は、本来システムの安全性評価のために開発されたもので、防ぎたい事故を想定して演算的解析を行なっていく。具体的には、まず、ある目標事象に到る迄の諸現象、諸代替案を抽出し、それらの因果関係をANDゲート(ある事象が起こるためには、それに続く事象の全てが起こる必要がある場合)とORゲート(ある事象が起こるためには、それに続く事象のうち一つでも起これば良い場合)によってtree状に構造化する(これをFT(Fault Tree)と呼ぶ)。FTはハオグラフと呼ばれる根源事象(これ以上対策や原因を遡るべからず、またはその必要がない事象)だけで構成されたネットワークに変換できる。これを用いると、各根源事象に計画者が主観的に生起確率を与えれば、グラフ理論の応用により目標達成確率の計算、及び重要対策案の抽出ができる。本手法の適用事例を図4、図5に示す。



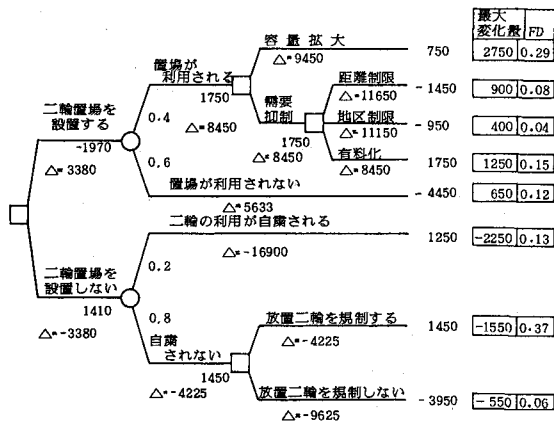
▲ 図4 FTA 適用事例 (FTグラフ)

(5) CDA (Crisis Decision Analysis) ^{文献2}

これは、特に時間的制約が大きく情報が不確実な状況下で、効率的かつ合理的な意思決定を行なうために開発された規範的な手法である。CDAは、大きく分けて次の3つのステップから成る。①まず、重要な要素の因果連鎖をTree状に構造化する。ここで要素は、現象、評価指標、政策の3つに分類される。②次に、代替案の評価のための選好関数を特定し、現象の生起確率とこの現象下での代替案を主観的に評価する。ここで、Treeの分岐点として表わされた代替案の評価値は上下限の幅をもつて表わされる。③更に、各段階において評価性により最適とされた代替案が次善の代替案に取って替わられるためには、評価値がどれだけ動かなければならないかを計算する(その値をΔで表わす)。その値と各評価値の最大変化量(MV)とを比較する事により、決定が変化する可能性の最も大きい分岐を見つけて分析を続け、評価値の推定精度を高める。④全ての枝の末端事象において、FD値(=M/V)が1.0以下になる迄分析を続ける。本手法の適用事例を図6に示す。



▲ 図5 FTA 適用事例 (S-Treeグラフ)
(数字は主観確率を示す)



▲ 図6 CDA 適用事例

III 各手法の利点と問題点の比較

各手法を「駅前自転車置場問題」に適用した結果、種々の利点や問題点が浮き上がってきた。それを各手

法毎に整理したのが表3である。更に各手法を統一的に比較するために、手法の持つ機能により、再整理したのが表4である。ここではこの種の手法の機能として次の1～5の5つを考えている。

(1) 表現機能：表現できる要素や構造が異なる様に各手法の表現に関する機能には違いがある。そこに着目して、

- ①表現可能な要素
- ②表現可能な構造
- ③不確実性
- ④表現に適する要素の数

の4つの面から整理している。

(2) 発現援助機能：計画に際して考えておくべき事を思いつかせる機能。考えるべき領域と構造を記述表現しながら種々の事を思いつく場合が多いが、どんな発現を援助するのかに注目して、

- ①新しい要素発見機能
- ②構造発見機能

の2つの面から整理している。

(3) 認識援助機能：考えるべき領域と構造を記述表現しながら、例えばある因果連鎖の妥当性を議論する場合に多い、問題に対する認識を深める機能の事。どんな認識を援助するのかに注目して、

- ①要素認識援助機能
- ②構造認識援助機能
- ③個人の認識統合化援助機能

の3つの面から整理している。

(4) 骨格構造抽出機能：全本構造の中で骨格を成す部分がどこであるかを明らかにする機能。例えば、思考領域を全本構造とする骨格構造は定量的なモデル化を行う部分に相当する。

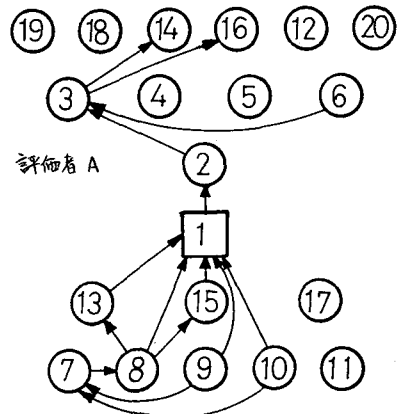
(5) コミュニケーション援助機能：上記4つがある個人の問題であるのに対し、複数の人間の合意形成の場としてシステム分析の舞台が用いられる場合が多い。そこで会議等において各手法がどんなコミュニケーションを援助するのかに注目して、

- ①認識伝達機能
- ②複数人間の認識統合化援助機能
- ③議論発散防止機能

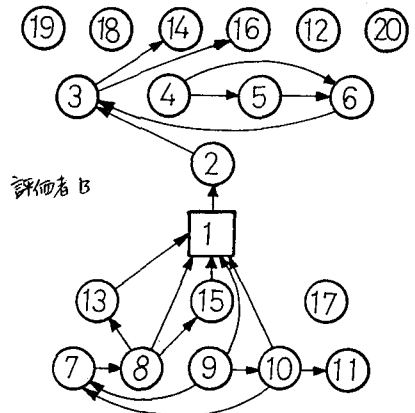
の3つの面から整理している。

▼ 表2 要素表 (図7、図8に対応)

N.O.	内 容
1	有料二輪置場を作り、放置二輪を強制移動する。
2	放置二輪が置場に移る。
3	放置二輪が減る。
4	駅前付近の車の流れがよくなり、時間がかからなくなる。 また、事故も減る。
5	バスの定時性が確保され、バス利用者が増え、バス会社の経営が改善され、サービス向上・料金値下げ等により利用者の負担が減る。
6	二輪の利用者が減る。
7	二輪の利用者が増える。
8	駅前付近に放置二輪が増える。
9	駅前付近の車の流れが悪くなり、渋滞・事故が起こり、時間がかかる。
10	バスの定時性が失われ、バス利用者が減り、バス会社の経営が悪化し、サービス低下・料金値上げ等により利用者の負担が増す。
11	Transportation Poor が発生する。
12	Transportation Poor が解消する。
13	歩行者・身障者が通りにくい。
14	歩行者・身障者が通りやすい。
15	駅前付近の景観がこわれる。
16	駅前付近の景観がよくなる。
17	駅前付近の商店の営業が妨害される。
18	駅前付近の商店の営業が妨害されない。
19	二輪による事故が増え、種々の対策が必要になる。
20	二輪による事故が減る。



▲ 図7 DEMATEL法 適用事例 (2) - A



▲ 図8 DEMATEL法 適用事例 (2) - B

▼ 表3 各手法の比較

	利 点	問 題 点
K J 法	1) 非常に柔軟な手法なので、いかなる要素構造についても整理が可能で、視覚的に表現できる。 2) グループ編成・グラフ化の過程において新しい要素の発見が期待できる。 3) グループ編成・グラフ化の過程において問題の認識が深まる。 4) 各自の認識を視覚的に表現できるのでコミュニケーションが活発になる。 5) 少数意見も尊重できる。	1) 議論が感情的になり、より 骨格も見失う危険がある。 2) 現象と定量的に表現しにくい。 3) 個人の認識の統合化を進める効果は期待できない。 4) 作業に多大な時間と手間がかかる。
I S M	1) 各要素間の因果連鎖の有無と入り方について構造を視覚的に表現できる。 2) ネットワーク表示を基盤としているので、FTA, CDA の様な Tree 構造の手法より表現できる構造に制約が少ない。 3) 推移性によって質問回数も減少できる。 4) 冗長な関係や強連鎖部分を排除するので、要素数が多くなってもグラフが乱れにくくなる。 5) 入力・出力修正と繰り返すことで学習効果が期待できる。 6) 因果連鎖の有無と「0」以外の「1」で評価するだけなので、整合性の問題が起きない。 7) 要素が限定されるので、議論の発散を防げる。 8) 利害関係者の行動を現象としてとらえる(例:「二輪利用者の二輪を盗取に致す」という要素)ことで、総合的な因果連鎖が考えられる。	1) 統合する代替案(例:「自動車置場をつくる」と「自転車置場をつくる」という2つの代替案)を同時に記述できない。 2) 利害関係者の評価(例:「放置二輪も不快に感じる」様に、その程度を明確に限定できない)要素について因果連鎖の有無も論じることが意味不明。 3) 要素間の因果連鎖強度の高低も表現できない。 4) 新しい要素の発見が期待できない。
D E M A T E L 法	1) 各要素間の相互の相対的影響と各々の総合影響行列を得られる。 2) それによって、各要素間の因果連鎖を視覚的に表現できる。 3) 小さい値を設定することで各要素間の因果連鎖強度の差を視覚的に表現できる。 4) また、それによって、重要な因果連鎖を抜き出し、基本構造を明らかにできる。 5) ネットワーク表示を基盤としているので FTA, CDA の様な Tree 構造の手法より表現できる構造に制約が少ない。 6) 要素が限定されるので、議論の発散を防げる。 7) 利害関係者の行動を現象としてとらえることで、総合的な因果連鎖が考えられる。	1) 統合する代替案も同時に記述できない。 2) 利害関係者の評価の様に、その程度も明確に限定できない要素について、因果連鎖強度を評価しても意味がない。 3) 要素数が増えれば、評価の入力に手間がかかる。グラフ化も煩雑になる。 4) 直接的影響度と間接的影響度が評価時に明確に区別できない。 5) 個人内、個人間、直接的影響度の整合性もとれない。 6) 要素数が増えれば総合影響度行列は小さくなる傾向があるので、その分は相対的な意味は少ない。 7) 新しい要素の発見が期待できない。
F T A	1) 人間の思考に比較的近い Tree 構造で FTA, STPA 法で視覚的に表現できる。 2) 計画者の計画を根拠事実と前提条件を主観的に定量的に表現できる。 3) And, Or, 両方により、全現象・代替案を同時に表現できる。 4) 与えられた根拠事実と前提条件から各要素の生起確率が算出でき、これを用いてグラフ化・マトリックス化して重要な対象群を抽出できる。 5) Tree 作成過程において、新しい要素の発見が期待できる。 6) 相対生成確率によって総合的な判断が可能。 7) 各要素確率の主観値と計算値の整合性の議論を通じて認識が深まる。	1) 計画者の計画の計画を表現できない。 2) Tree 構造をとり、且つ要素の独立性が要求されるので、フィードバックが存在する場合や異なる枝に同一要素が存在する場合、表現上の困難が生じる。 3) Tree 作成に構造に関する知識が必要。 4) 根拠事実を列挙する必要があるが、議論の発散が可能な場合がある。 5) 各根拠事実と前提条件の相対生成確率を算出する必要があるが、根拠事実の表現の詳細さのレベルはなるべく近くする必要がある。
C D A	1) 人間の思考に比較的近い Tree 構造で視覚的に表現できる。 2) 計画者の計画を現象の生起確率や結果として定量的に表現できる。 3) 現象の生起確率や結果に幅を持たせることで、不確実性を表現できる。 4) Tree を伸ばしていく過程で新しい要素の発見が期待できる。 5) 期待値の作成で、総合的な判断が可能。 6) FD 値によって必要な枝だけを伸ばすことで効率よく、議論の発散を防げる。	1) 主観的影響のフィードバックが明確でない要素に対して、要素間の関係は定量的に扱うことは無意味である。 2) Tree 構造なので、フィードバックや、同時生起の要素を直線的に引き伸ばして表現しきれない。 3) Tree 作成に構造に関する知識が必要。 4) 逆の因果関係の同定が困難。 5) 骨格構造を明らかにできない。

▼ 表4 各手法の機能別比較

	要 因	K J 法	I S M	DEMATEL 法	F T A	C D A
表現機能	表現可能な要素	制約なし	制約なし	制約なし	制約なし	同時生起する現象は、直線状に引き伸ばして表現しきれない。
	代替	制約なし	定量的代替案を同時に記述することできない	記述できない	記述できない	
	利害関係者の評価	定性的表現で記述できる	因果連鎖の有無	因果連鎖強度	各要素の生起確率による記述である。	各要素の生起確率による記述である。
表現可能な構造	表現可能な構造	制約なし	制約なし	制約なし	各要素の生起確率による記述である。	各要素の生起確率による記述である。
	不確実性	記述できない	記述できない	記述できない	フィードバック・フィードフォワード、統合が表現できない。	フィードバックは直線的に引き伸ばして記述しきれない。
	表現に制約要素数	制約なし	制約なし	制約なし	フィードバック・フィードフォワード、統合が表現できない。	フィードバックは直線的に引き伸ばして記述しきれない。
骨格構造抽出機能		なし	なし	なし	生起確率により重要な枝を抽出できる。	なし
発見機能	新しい要素発見機能	期待できる	なし	なし	期待できる	期待できる
	構造発見機能	グラフ化の過程で構造が明確化する	各要素間の因果関係を入力することで全体構造が明らかになる	各要素間の因果関係を入力することで全体構造が明らかになる	期待できる。(逆に Tree 作成過程に構造に関する知識が必要)	期待できる。(逆に Tree 作成過程に構造に関する知識が必要)
	認識深化機能	グラフ化の過程で構造が明確化する	学習効果が期待できる	学習効果が期待できる	期待できる	期待できる
認識機能	認識深化機能	なし	なし	なし	確率の整合性の議論を通じて認識が深まる。	確率の整合性の議論を通じて認識が深まる。
	個人認識の統合機能	なし	なし	なし	個人認識の統合が困難。	個人認識の統合が困難。
	個人認識の統合機能	なし	なし	なし	個人認識の統合が困難。	個人認識の統合が困難。
推測機能	認識深化機能	各々の認識を促進させる	各々の認識構造を促進させる	各々の認識構造を促進させる	各々の認識構造を促進させる	各々の認識構造を促進させる
	推測機能	少数意見も尊重できる	なし	なし	推測機能	推測機能
	議論機能	なし	要素が限定されているので議論の発散を防げる	要素が限定されているので議論の発散を防げる	議論機能	議論機能

今回は以上5つの機能について整理しているが、この他に時間概念の表現機能、操作性(簡便性)等も比較評価するための重要な尺度であろう。ここで時間概念表現機能とは、時間の経過とともに変わり、いくつ状況も表現する機能、即ち時間と如何に扱えるのか、である。ここで適用した5つの手法はいずれもその面で弱いといえる。操作性に関しては、例えばKJ法はISMに比べ明らかに操作性が劣っている様に、各手法で違いがある。しかし、操作性を良くする事は、手法を単純化しそれを用いる作業量を減じることであり、その意味で汎用性と操作性は相矛盾する傾向にある。

Ⅱ 結果のまとめと考察

各手法を「駅前自転車置場問題」に適用した結果、以下の様な結果および考察を得た。

1) この種の手法には、従来から指摘されている定量的システムでは記述しきれない部分をカバーする機能ばかりではなく、この他に、①手法の適用過程で発想・認識を深めていく機能、②複数の人間が、相互の思考内容を正確かつ効率的に認識し、合意形成を容易にする機能、の2つの機能が存在する事とそれらの重要性が指摘できる。

2) 従来、これら各手法について、適用事例があるのみでメリットや限界等の比較・検討が不十分であり、統一した比較評価が欠如していた。そのために、この種の手法の評価軸として、

- ① 表現機能
- ② 骨格構造抽出機能
- ③ 発想援助機能
- ④ 認識援助機能
- ⑤ コミュニケーション援助機能

の5つの機能を挙げた。

3) これらの評価軸による評価結果は表4に示した通りである。しかし、これはあくまで「駅前自転車置場問題」への適用のみから得られた結論であり、今後適用事例を増して検討する必要がある。

4) 各手法の比較・評価結果から考えられる適用上の留意点は、以下の通りである。

- ① DEMATEL法やISMの様に新しい要素見機能のない手法は、最初に設定される思考領域によつて結果が大きく左右されるので、発散的思

考を促進する手法や、チェックリストの存在が重要である。

- ② DEMATEL法における因果連鎖強度等の計画者の評価値は、計画者の思考を補助する効果より、個人間の認識の差異も表面化させ効率的議論を援助するのに効果があると思われる。
- ③ KJ法やDEMATEL法、ISMの様に、構造発見機能を持つ手法は、問題構造が未知な、たまりあまりに複雑で人間の思考だけではカバーしきれない場合の構造把握に有効であると思われる。
- ④ DEMATEL法やFTAの様に、骨格構造抽出機能を持つ手法は、問題の重要な点を明示的に表わせるので、集約的思考を援助する効果があると思われる。

5) 記述が冗長になることを避けたため、「駅前自転車置場問題」の具体的な要素と本論のつながりについて十分論じながら、今後は、各手法の適用事例をふやすとともに、操作性も含むより詳細な比較評価を進めることを考えている。

参考文献

- 1) 森地 茂;「Fault Tree Analysisを用いたブレーンストーミングの適用性について」第34回土木学会年次学術講演会講演概要集 1979
- 2) 前田 正人, 森地 茂, 石田 東生;「不確実情報下における意思決定プロセスに関する研究」第37回土木学会年次学術講演会講演概要集 1982.
- 3) 石田 東生, 柳川 嘉治;「都市交通管理計画に対する住民意識の分析」第14回都市計画学会学術研究発表会論文集, 1979

その他 数編