

TISM (Total Interpretive Structural Modeling) を 用いた構造モデルの特徴

八 木 英 一 郎*

Characteristics of Structural Modeling using Total Interpretive Structural Modeling (TISM)

Eiichiro YAGI

Abstract

When dealing with complex problems, there is a model called a structural model that captures the essence of the problem from the properties of specific elements and their interrelationships. In a structural model, the relationships between constituent elements are represented geometrically and are intended to be visually appealing in order to grasp the overall problem structure. While various structural models have been proposed, Interpretive Structural Modeling (ISM) is widely known and used. Although ISM is an old method proposed in the 1970s, it has been used in various fields for a long time. Recently, Total Interpretive Structural Modeling (TISM), a revised model of ISM, has been proposed and applied to various cases. This paper outlines the structural models by ISM and TISM. It clarifies the characteristics of TISM, particularly in comparison with ISM.

目次

1. 目的
2. 構造モデル
3. ISM
4. TISM
5. TISM と ISM との比較・検討
6. 結論と今後の課題

*所属：東海大学経営学部経営学科

1. 目的

複雑な問題を扱う際、問題の本質を特定の要素の性質とその相互関係から捉えるモデルとして、構造モデルと呼ばれるモデルがある。構造モデルにおいては、構成要素間の関係を幾何的に表現し、視覚に訴えることで問題構造全体を把握することを目的としている。これまでに様々な構造モデルが提唱されているが、その中の代表的な構造モデルであり、様々な場面で用いられているものとして ISM (Interpretive Structural Modeling : [1] ~ [4] など) がある。ISM は1970年代に提案された古い手法であるが今世紀に入っても様々な場面で用いられている (例えば [6] ~ [12])。近年、ISM を改良した構造モデルとして TISM (Total Interpretive Structural Modeling : [13]) が提案され、様々な事例 (例えば [14] ~ [17]) に対して適用されている。本稿では TISM について概説し、特に ISM との比較して、その特徴を明確にする。

2. 構造モデル

2.1 構造モデルとは

構造モデル ([18] ~ [20] 参照) では、対象を構成する要素を定義し、要素間の関係を規定することにより、対象の構造を有向グラフとして表現する。要素および要素間の関係の意味の定義により、さまざまな場面で用いることができる。例えば、要素を問題群とし、要素間の関係を「要素 a は要素 b を悪化させる」とすれば、得られる図は問題樹木となる。また、要素を問題の解決法とし、要素間の関係を「要素 a は要素 b を促進する」とすれば、得られる図は解決法樹木となる。要素を目的とし、要素間の関係を「要素 a は要素 b を支援する」とすれば得られる図は目的体系を表す。構造化モデル作成のための手法は要素間関係の性質の定義により、様々な手法が提案されている (2.2参照)。

構造モデル作成の一般的な手順は次のようになる。

まず、前準備として、対象とする問題を定め、構造モデル作成に参加するメンバーを決める (以降、この参加メンバーを「作成者」と呼ぶ)。

1. 問題を構成する要素を設定する。

このとき発想法と呼ばれる手法を使うと、さまざまな角度から検討ができる。発想法にはブレインストーミング、KJ 法、5W1H 法、マトリックス法、シネクティック法、水平思考法、NGT 法などがある ([21] [22])。

2. 要素間の関係の定義

対象とする問題にそって要素間の関係（例えば、「ある要素」が「他の要素」に影響する（を促進する，より好む，を支援する，など）を定義する。

3. 作成者の判断に基づき要素間の関係を定める。

すべての要素間の関係を一対比較により定めていく。一般に，この過程は2つの要素を提示しそれらの要素間の関係を尋ねるという形式を取る。これは2要素の比較ならば容易であり，また，部分的な要素間の比較から全体像を図示し提示することで，作成者自身も把握していなかった関連を明確化させる場合があるからである。一方，要素数が増えると定めなければならない要素間の関係数も増えてくる（要素数が n 個なら定めなければならない関係の数は $n(n-1)$ 個と急増する）。

4. 構造モデルの作成

得られた関係をもとに要素を階層化し，有向グラフとして表現した構造モデルを作成する。

作成された構造モデルの検討を行うことで対象となる問題に対する理解を深める。構造モデルは作成するだけではなく，作成したモデルの意味を理解し検討を行うことで，対象をより深く理解し把握することが目的となる。

2.2 構造モデリング手法の分類

構造モデルを作成する構造モデリング手法に関する研究は，要素間の関係の扱い方により

1. 関係を「ある」「なし」で扱う手法（ISM など）
2. 関係の強さを多値で扱う手法（DEMATEL（[23] [24] など参照）
3. 関係のあいまいさを扱う手法（FSM（[25] 参照）

などと分類できる。この中で関係を「ある」「なし」で扱う手法では，ISM をはじめとして，構造モデル作成の際の作成者に対する負担をコンピュータを用いて軽減するための手法に関する研究がなされている（2.4参照）。一方，関係の強さを多値で扱う DEMATEL においては，得られた構造モデルを解釈するための方法が中心となっており，構造モデル作成に関するものは少ない。また，FMS では閾値を導入し様々な構造モデル描くことで，知見を得ることが中心となっており，得られた関係をすべて描画するという視点は含まれていない。

また，要素間の関係に推移性を仮定することができるか否かという点でも分類することができる。

様々な手法の中からどの手法を用いるかは，扱う問題の性質や構造モデルを作成する目的を考え，ケースバイケースで判断しなければならない。この時注意すべき点としては，

- 要素間の関係の大きさ・曖昧さを扱う必要があるのか
- 作成者は関係の大きさ、あるいは、曖昧さを答えることができるのか
- 推移性を仮定して問題ないか

などが考えられる。

3. ISM

3.1 ISM の概要

ISM (Interpretive Structural Modeling) は Warfield の提案した構造モデルであり、要素間の関係の有無をもとに構造モデルを作成する。基本的には全要素間の一対比較を行い、各要素間の関係の有無を定め、これをもとに有向グラフとして構造モデルを作成していく。なお、関係の有無を判定する際に作成者の負担を減らすために、要素間の関係に推移性を仮定し、要素間の関係を推定することにより、必要な回答数を減らすアルゴリズムを含める場合もある (例えば [3])。推移性とは、「要素 a から要素 b への関係が成り立ち、要素 b から要素 b から要素 c への関係が成り立つとき、要素 a から要素 c への関係が成り立つ」、ことである (例えば「a を b より好み、b を c より好むならば a を c よりも好む」)。この推定を行うためには、コンピュータ・プログラムにより要素間の一対比較を対話的に行う必要があるため、単純な一対比較の結果をもとに可到達行列を作成することで代替することも多い (例えば [4])。また、一対比較の得られた結果を、相互に影響を与えている関係 (ループ) を構成している要素をひとまとめにして階層化し、推移性によって推定できる関係を削除してシンプルな構造モデルとして表現するためのアルゴリズムも含まれている。

3.2 ISM の手順

ISM の手順については様々な文献 ([1] ~ [4] など) で紹介されているが、以下では [4] に基づき、2.1 で示した構造モデル作成の手順に従い、その概要を示す。

1) 問題を構成する要素を設定する

ISM を実施する要素群をリストアップし、設定する。先に述べた通り、このリストアップには発想法を用いることが多い。

2) 要素間の「関係」の定義

3) 要素間関係の有無を定める

要素間において定義された関係が認められるか否かを判断し、定めていく。

4) 構造モデルの作成

- 1 : 定められた関係をもとに、関係がある場合は 1、ない場合は 0 とした要素間の 2 値行列を作成する
- 2 : 2 値行列をべき乗し、可到達行列を求める。なお、この時の行列演算はブール演算で行う。
- 3 : 要素の可到達集合、先行集合を求め、要素の階層化（レベル分け）を行う。
- 4 : 縮約（ループを構成している要素は 1 つのものとする）を行う。
- 5 : 骨格化（他の関係から推移性により推測できる関係を除去し、シンプルな構造モデルとする）を行う。
- 6 : 構造モデルを描画する。

得られた構造モデルをモデル作成者にフィードバックし、必要ならば 1) 2) 3) に戻り再度構造モデルを作成する。

3.3 ISM から派生した構造モデル

FISM (Flexible Interpretive Structural Modeling : [26] [27] [28] 参照) は、ISM をより柔軟に運用するため、大内等によって提案された。FISM では要素間の関係を答る際に生成されつつある構造モデルの確認を行い、対話的に構造モデルを作成することをねらっている。このために、「要素間の関係のランダムな入力」「関係の変更」「要素の追加、削除、統合」などを可能とするアルゴリズムを提案している。FISM のアルゴリズムについては興味深い点が多いが、その実行においてはコンピュータプログラムによる対話型のインターフェースを構築することが不可欠であり、実施に際してはこの点が弱点となる。

4. TISM

4.1 TISM の概要

TISM (Total Interpretive Structural Modeling : [13]) は ISM の弱点を解消するために Sushil により提案された。ISM での要素間の関係の表現は設定された要素間の関係と向きに限定され、その背後にどのような事柄があるかまでは表現されておらず、作成した構造モデルの解釈が難しくなる場合がある。TISM では要素間に関係がある場合、その「関係がある」ことの背後にある事柄（理由・背景・方法など）についても作成者に記述させることで、この点の解消を狙っていると考えられる。また、作成者は直接的な関係のみを設定し、その後推移性により得られる関係を提示し、その関係が成り立つか否かを作成者に

判断させる。成り立つと判断すると、その関係についても、理由・背景・方法などを記述する。このことで、作成者が考えを深めざるを得なくさせている。

4.2 TISM の手順

TISM の手順を以下に示す。なお、原論文 ([13]) では9つのステップで説明しているが、本稿では3のISMとの比較のため、2.1で示した手順に従って示す。また、原論文では字体による区別を行っている部分があるが、より明確化するために一部については原論文と表記法を変えている。

1. 問題を構成する要素を設定する。
2. 要素間の関係の定義
3. 作成者の判断に基づき要素間の関係を定める。

すべての要素間の関係を一対比較により定めていく。この時に、関係が「ある」と判定した場合は、その理由・背景・方法などを記述する。

4. 構造モデルの作成

- 1 : 定められた関係をもとに、関係がある場合は1、ない場合は0とする要素間の2値行列を作成し、それを元に推移性による生じる間接的な関係を検討する。ある推移的な関係を構造モデルに表現すべき「強い推移性」(significant transitive)と判断した場合は、それについても理由・背景・方法などを記述する。
- 2 : 要素の階層化(レベル分け)を行う (ISM に同じ)。
- 3 : 構造モデルを描画する。構造モデルには要素名だけではなく、要素間の関係の理由・背景・方法なども含めて表示する。

3.3 TISM の例

「リーン生産実現のための生産現場革新に必要な事柄」というテーマを設定し、要素として「1 : リーン生産」「2 : 標準作業」「3 : 適正在庫」「4 : プル生産」「5 : 不良ゼロ」「6 : 改善」「7 : 5S」の7要素を取り上げる。また、要素間の関係は「ある要素が他の要素に影響する」と定義する。

要素間の関係を尋ねた結果の一部を表1に示す。表1における「関係」の欄が1と表示されている要素間関係が直接「ある」と判定した関係となる。なお、本例の場合、判定しなければならない要素間関係は $7 \times (7-1) = 42$ となるが、紙幅の都合もあり表1では一部のみを示している。

関係の「1」は直接判定した関係を、「T」は「強い推移性」を示す

直接判定した結果を2値行列にしたものを図1に示す。これをもとに可到達行列を作成

影響元	→ 影響先	関係	理由・背景・方法などを記入
2：標準作業	→ 1：リーン生産		
1：リーン生産	→ 2：標準作業		
3：適正在庫	→ 1：リーン生産	T	リーン生産の推進へ
1：リーン生産	→ 3：適正在庫		
3：適正在庫	→ 2：標準作業		
2：標準作業	→ 3：適正在庫		
4：プル生産	→ 1：リーン生産	1	需要に沿ったリーン生産の実現
1：リーン生産	→ 4：プル生産		
4：プル生産	→ 2：標準作業		
2：標準作業	→ 4：プル生産	1	作業時間確定により生産計画確立
4：プル生産	→ 3：適正在庫	0	
3：適正在庫	→ 4：プル生産	1	需要に沿った在庫コントロールが可能
5：不良ゼロ	→ 1：リーン生産	0	
1：リーン生産	→ 5：不良ゼロ	0	

表1 TISMにおける関係の判定（一部のみ抜粋）

し、得られた推移的な関係の中で作成者が「強い推移性」と判定したもの図1に加えたものが図2となる（強い推移性は図中では「T」と表示）。

強い推移性が判定された関係について、理由・背景・方法などを記入する（表1で「関係」においてTと示した部分）。これらをもとに「理由・背景・方法などを記入した行列（Interpretive matrix：図3）を作成し、図2と図3をもとに（2つ合わせて Interaction matrix と称す）構造モデル（図4）を作成する。TISMの構造モデルにおいては、直接的な関係は実線で、強い推移性による関係については破線で表示している。また、構造モデルの描画には Graphbiz¹⁾を用いている（以下で示す他の構造モデルについても同じ）。

	1: リー ン生産	2: 標準 作業	3: 適正 在庫	4: プル 生産	5: 不良 ゼロ	6: 改善	7: 5S
1: リーン生産	-	0	0	0	0	0	0
2: 標準作業	0	-	0	1	1	0	1
3: 適正在庫	0	0	-	1	0	0	0
4: プル生産	1	0	0	-	0	0	0
5: 不良ゼロ	0	0	1	1	-	0	0
6: 改善	0	0	1	0	1	-	1
7: 5S	0	1	1	0	0	0	-

図1 2値行列

	1: リー ン生産	2: 標準 作業	3: 適正 在庫	4: プル 生産	5: 不良 ゼロ	6: 改善	7: 5S
1: リーン生産	-	0	0	0	0	0	0
2: 標準作業	0	-	0	1	1	0	1
3: 適正在庫	T	0	-	1	0	0	0
4: プル生産	1	0	0	-	0	0	0
5: 不良ゼロ	0	0	1	1	-	0	0
6: 改善	0	T	1	T	1	-	1
7: 5S	0	1	1	0	T	0	-

Tは「強い推移性」を示す

図2 最終的な要素間関係

5. TISM と ISM との比較・検討

ISM との比較を考える際に、前節で示した「リーン生産の生産現場導入」に関する構造モデルを ISM で表現したものを図6に示す。この構造モデルは図1で示した2値行列を3.2で示した ISM の手順に従い得られる骨格行列（図5）から作成した。

ISM による構造モデルでは最下層の要素から最上層の要素まで順々に関係が生じるように読み取ることができるが、TISM による構造モデルで示された通り、実際には複雑に絡み合っていることがわかる。TISM では間接的な関係を推移的な関係として構造モデル

に明示できるため、より深い知見が得やすいと考える。また、相互に影響し合っている要素（例では「2：標準作業」と「7：5S」）についても、ISM ではまとめて1つのものとして表示することが多い²⁾が、TISM ではそれぞれの要素に対しての関係のみを表示し、作成者の考えを明確に示すことができる。このようにTISM では、ISM では取り扱わなかった要素間関係に関する情報（理由・背景・方法など）や、無視しえない間接的な関係を「強い推移性」として表現することでより対象に関する情報を表現でき、それにより得られる知見も増えるものと考えられる。

また、上記の例では7要素で構造モデルを作成したが、より広く深い知見を得るために要素数を増やし13要素としてTISMの構造モデルを作成したものが図7となる。この例においては図1に示すような2値行列を作成するためには $13 \times (13-1) = 156$ 回の対比較を行う必要があり、それに加えて演算で生じる推移的な関係についても構造モデルに表示すべき「強い推移性」であるか否かを判定しなければならず、また構造モデルに表示する関係については「理由・背景・方法など」も記述しなければならない。これは作成者が関係の設定を行う際に自分の考えを深めるきっかけとなるが、一方で大きな負担となり、この面から考えるとTISMであつかうことのできる要素数には上限が生じてくる（実際に論文におけるTISMの事例を見ると要素数は概ね10以内となっているようである）。ISMに

	1: リーン生産	4: ブル生産	3: 適正在庫	5: 不良ゼロ	2: 標準作業	7: 5S	6: 改善
1: リーン生産	—	—	—	—	—	—	—
4: ブル生産	需要に沿った リーン生産の 実現	—	—	—	—	—	—
3: 適正在庫	リーン生産の 推進へ	需要に沿った在庫コ ントロールが可能	—	—	—	—	—
5: 不良ゼロ	—	不良品の影響を考慮 しなくてよい	不良により生じ る在庫減	—	—	—	—
2: 標準作業	—	作業時間確定により 生産計画確立	—	標準化によ り不良低減	—	標準作業確立 により 5S が 進む	—
7: 5S	—	—	5S により在庫 の混乱を回避	5S により 不良減少へ	5S により標準 作業の確立へ	—	—
6: 改善	—	ブル生産の実現へ	在庫作業の改善 による適正化	改善により 不良低減へ	標準作業の確立 へ	改善により 5S を進める	—

図3 事例における要素間の関係（interpretive matrix）

においては、一対比較の段階で要素間の推移性を仮定することができるため、コンピュータ・プログラミングが必要ではあるが、推移性により既に設定された関係から推定される一対比較の質問を省略することにより、作成者の負担を減らすことができる。しかしTISMでは一対比較の段階では推移性の仮定はつかっていないので、扱うことのできる要素数という点についてはISMの方が勝ると考えられる。

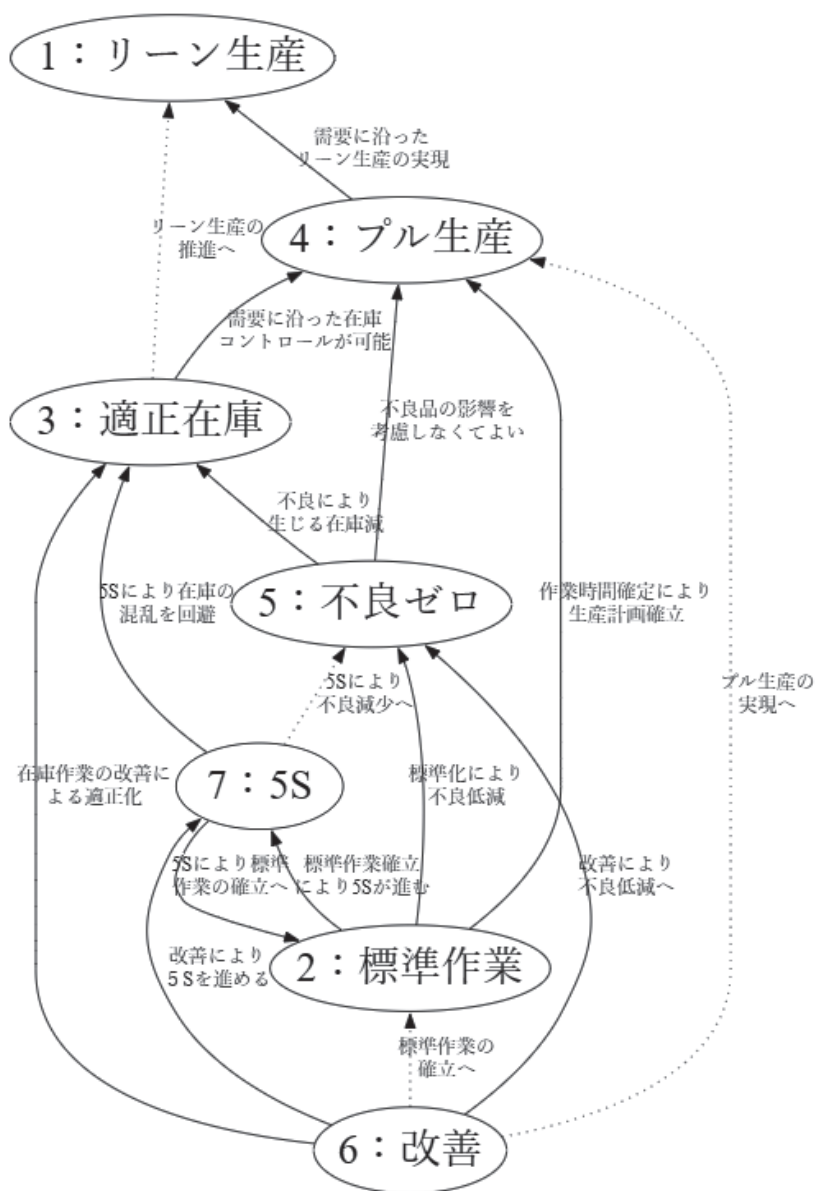


図4 TISMによる構造モデル

	1 : リーン生産	4 : プル生産	3 : 適正在庫	5 : 不良ゼロ	2 : 標準作業 7 : 5S
1 : リーン生産	-	0	0	0	0
4 : プル生産	1	-	0	0	0
3 : 適正在庫	0	1	-	0	0
5 : 不良ゼロ	0	0	1	-	0
2 : 標準作業 7 : 5S	0	0	0	1	-
6 : 改善	0	0	0	0	1

図5 図1の2値行列から作成されるISMの骨格行列

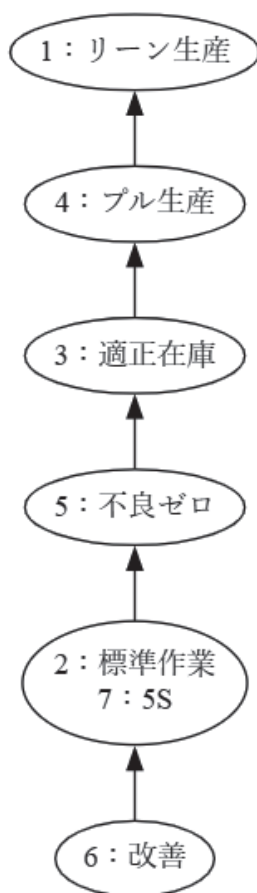


図6 ISMによる構造モデル

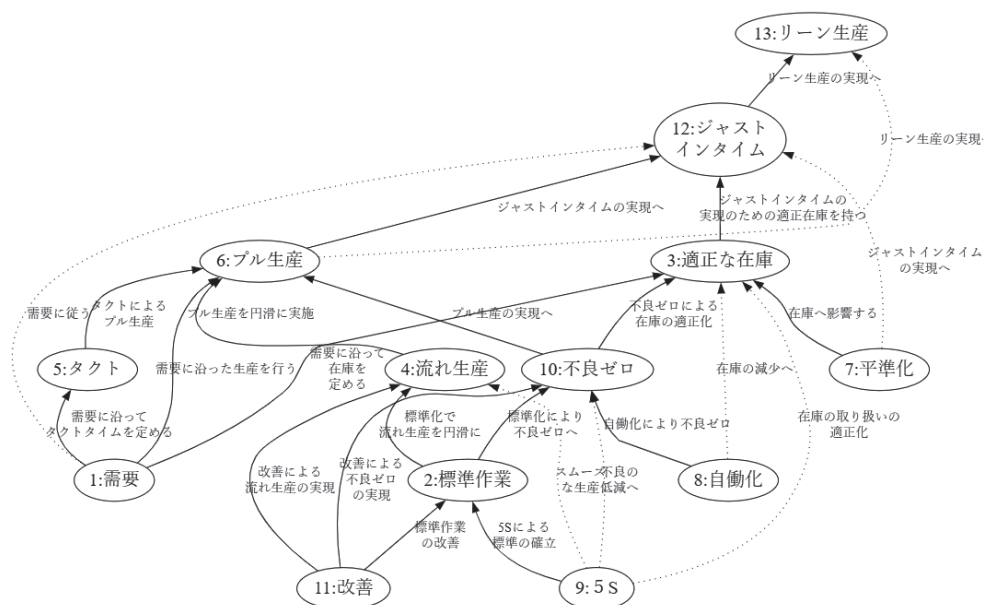


図7 TISM による構造モデル (要素数を13要素に増加)

6. 結論と今後の課題

本稿では TISM とその元となっている ISM を比較し、その特徴などを考察した。TISM は関係の設定の際にその理由・背景・方法などを記載させることで、ISM よりも作成者の考えを深め、より深い知見が得られると考えられる。一方、要素数が増えると急速に判定しなければならない要素間の一対比較の数が増えるため、作成者の負担が増すことになり、この点が TISM の弱点であると考えられる。

また、TISM の要素間関係を 0～1 の範囲に拡張した Fuzzy TISM ([29] [30] など)、構造モデル作成後の分析手法の MICMAC (Matriced Impacts Croises-Multiplication Applique and Classment) 分析 ([10] ～ [12] など) も用いられているが、これらについては本稿で触れることができなかったため、今後の課題としたい。

註

- 1) Graphviz: グラフ作成ソフトウェア <https://graphviz.org/> 参照。図4・図6・図7は同ソフトウェアを用いて作成している。
- 2) 一部の文献においては ISM においても相互影響を明示している。

参考文献

- [1] 寺野寿郎:「システム工学入門—あいまい問題への挑戦」, 共立出版, pp103-120, (1985)
- [2] 樫木義一, 河村和彦編:「参加型システムズ・アプローチ」, 共立出版, pp33-75, (1981)
- [3] 石谷久, 石川真澄: 社会システム工学, 朝倉書店, pp11-31, (1992)
- [4] 赤城新介:「システム学入門—エンジニアリングシステムの解析と計画」, 共立出版, pp20-25, (1992)
- [5] 澤口学: 日本企業が抱えるモノづくりに関する課題と今後の MOT 教育のあり方—モノづくりに関する調査を通して—, 技術と経済, 技術と経済, No.512, 2009年10月号, pp.48-57, (2009)
- [6] 豊田武俊, 堀井秀之: 構造モデル手法の社会問題への適用—原子力発電所トラブル隠しを題材に—, 社会技術研究論文集, Vol.1, pp16-24, (2003)
- [7] Mohd Nishat Faisal, D.K. Banwet and Ravi Shankar: Supply chain risk mitigation: modeling the enablers, Business Process Management Journal, Vol. 12 Iss 4 pp. 535-552, (2006)
- [8] 木見田康治, 渡辺健太郎, 三輪洋靖, 下村芳樹: サービス現場教育のための従業員参加型の技能構造化プロセス, 精密工学会誌, Vol.82, No.6, pp602-607, (2016)
- [9] Jharkharia, Shankar: IT enablement of supply chains: modeling the enablers, International Journal of Productivity and Performance Management, Vol. 53 No. 8, pp. 700-712, (2004)
- [10] Raj, Attri, Jain: Modelling the factors affecting flexibility in FMS, International Journal of Industrial and Systems Engineering, Vol. 11, No. 4, pp350-374, (2012)
- [11] Jaina, Phogatb, Ajmerac, Sirvib: Modeling the Barriers of Indian Healthcare Supply Chain Management Using ISM, International Journal of Supply and Operations Management, Vol.9, Issue 3, pp.321-337, (2022)
- [12] Małjurek, Interpretive structural modelling of inter-agency collaboration risk in public safety networks, Quality & Quantity, Vol.56, pp.1193-1221, (2022)
- [13] Sushil: Interpreting the Interpretive Structural Model, Global Journal of Flexible Systems Management, Vol.13, No.2, pp87-106, (2012)
- [14] Jena, Fulzele, Gupta, Sherwani, Shankar, Sidharth: A TISM modeling of critical success factors of smartphone manufacturing ecosystem in India, Journal of Advances in Management Research, Vol. 13 No. 2, pp. 203-224, (2016)
- [15] Yadav, Sushil: Total interpretive structural modelling (TISM) of strategic performance management for Indian telecom service providers, International Journal of Productivity and Performance Management, Vol. 63 No. 4, pp. 421-445, (2014)
- [16] Jena, Sidharth, Thakur, Pathak, Pandey: Total Interpretive Structural Modeling (TISM) :approach and application, Journal of Advances in Management Research, Vol. 14 No. 2, pp. 162-181, (2017)
- [17] Sindhwani, Malhotra: A framework to enhance agile manufacturing system A total interpretive structural modelling (TISM) approach, Benchmarking: An International Journal, Vol. 24 No. 2, pp. 467-487, (2017)
- [18] 樫木義一, 河村和彦編: 前掲書 pp33-36
- [19] 寺野寿郎: 前掲書, pp29-31
- [20] 赤城新介: 前掲書, p132-143

- [21] 樫木義一, 河村和彦編: 前掲書, pp19-27
- [22] 寺野寿郎: 前掲書, pp56-78
- [23] 樫木義一, 河村和彦編: 前掲書, pp77-128
- [24] 寺野寿郎: 前掲書, pp120-126
- [25] 天笠美知夫: システム構成論, 森山書店, (1986)
- [26] 大内東, 加地郁夫: 擬順序関係の含意を求める効率的アルゴリズム, 電気学会論文誌 C, pp16-22, 106巻6号, (1986)
- [27] A. Ohuchi and I. Kaji: Correction Theory and Procedure for Flexible Interpretive Structural Modeling, IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics, Vol.SMC-19, No.4, (1989)
- [28] 大内東, 水野誠, 岡野雅一: FISM による集团合意形成支援: 新規事業開発への利用, オペレーションズ・リサーチ, pp31-35, 11月号, (1991)
- [29] Mohanty, Shankar: Modelling uncertainty in sustainable integrated logistics using Fuzzy-TISM, Transportation Research Part D: Transport and Environment, Vol.53, Pages 471-491, (2017)
- [30] Khatwani, Singh, Trivedi, Chauhan: Fuzzy-TISM: A Fuzzy Extension of TISM for Group Decision Making, Global Journal of Flexible Systems Management, DOI 10.1007/s40171-014-0087-4, (2014)