

# Interpretive Structural Modeling 構造モデル作成ツールの提案

— Excel と DOT 言語を用いて —

八木 英 一 郎

A Proposal for Interpretive Structural Modeling Structure Model Creation Tool:  
Using Excel and DOT Language

Eiichiro YAGI

## Abstract

This paper will focus on interpretive structural modeling (ISM) which is a method to deal with various kinds of problems. However, there are two problems in its application. The first one is that the calculation algorithm for calculation processing is complicated, and the second one is that a trial and error approach is mainly used when drawing the ISM structural model. This research tries to solve these problems and propose a tool to make the ISM structural model easier. Therefore, this paper proposes a method to create an ISM structural model using Excel which is one of the most popular software and DOT language which can draw various graphs with free software.

## 1. 研究目的

Interpretive Structural Modeling (以下 ISM) は1970年代に Warfield により提案された複雑な社会問題を取り扱う構造モデルと呼ばれるタイプの手法であり、我が国には主として1970年代後半から80年代にかけて紹介された ([1] ~ [8])。ISM は当初、かつては純粋に技術的または経済的な面から解決されていた問題が、社会の複雑化に伴って社会的あるいは環境的な面への考慮を含めないと解決できなくなってきたことを踏まえ、現代社会の諸問題を問題複合体と捉え、そのような問題を取り扱うシステムズアプローチの一環として提案された。その手法としての特徴は、複数の項目を設定し、その項目間の関係の有無を作成者が定めることで構造モデルの作成を行うが、その際に項目間の関係に推移性<sup>1)</sup>を仮定することで、構造モデルの作成過程において様々な工夫を加えて、作成者の負担を軽減している。一方、手法の持つ数学的特性に着目すると、単に社会問題だけではなく様々なことがらを表現できるため、現在では ISM の適用は社会問題という枠にとらわれず、項目とその関係を構造化して示すことに有用性がある問題に対して幅広く適用されている (例えば [9] ~ [14])。もとより、経営に関連する諸問題においても適用されており、様々な論文が発表されている (例えば [15] ~ [24])。

このように様々な場面において用いられている ISM であるが、その適用に際しての問題点として次の点が挙げられる。1点目は計算処理のための演算アルゴリズムが複雑であり、項目数が数個でもさえ手計算では処理が不可能となり、プログラムを組む必要がある。2点目は ISM 構造モデルを描画する際は試行錯誤的なアプローチが中心となっている。このため一部の文献においては特定のポイントを恣意的に強調するような描画もなされており、専門家の知見を活用するという視点に立てば、このような態度が必ずしも悪いものとも言い切れないが、再現性という観点からは問題となる。本研究においては、このような問題点を解決し、ISM 構造モデルをより簡単に作成するためのツールを提案する<sup>2)</sup>。

## 2. ISM について

### 2.1 ISM と構造モデル

構造モデルとは、複雑な社会問題に対して、構成する要素間の関係をグラフ<sup>3)</sup> (有向グラフの場合が多い) で示すことにより、その本質 (構造) を見極めるためことを意図したモデルである。構造モデルを用いた問題への対処の一般的な手順は次のようになる (文献 [5] pp.36)。

- 1) 項目の抽出
- 2) 項目間の関係づけ
- 3) 構造モデル（多階層有効グラフ）の作成
- 4) モデルの解釈と検討

ISM を用いた例として，文献 [5] pp.46-49にて紹介されているものを示す。ここでは問題として「生情報を円滑に流すには何を行えば良いか」というテーマに対して，「1) 項目の抽出」として12項目の問題を取り上げ，「2) 要素間の関係づけ」として「項目 a をすれば，項目 b に著しく貢献するか」としている。次に「3) 構造モデルの作成」の結果，図1のような構造モデル（ISM モデル）が得られ，このモデルに「4) モデルの解釈と検討」として様々な解析を行っている。

現在では ISM は問題解決だけではなく，要素と要素間の関係の有無を有向グラフとして図示するための手法として用いられていることも多く，上記の手順の中の1)～3)の部分，すなわち，項目及び定義された項目間の関係を設定し，そこから多階層有効グラフとして示される ISM 構造モデルを得る部分をさして ISM の手順としているものも多い（例えば文献 [25]）。本研究においても，ISM を要素と要素間の関係の有無を有向グラフとして図示するための手法ととらえる。

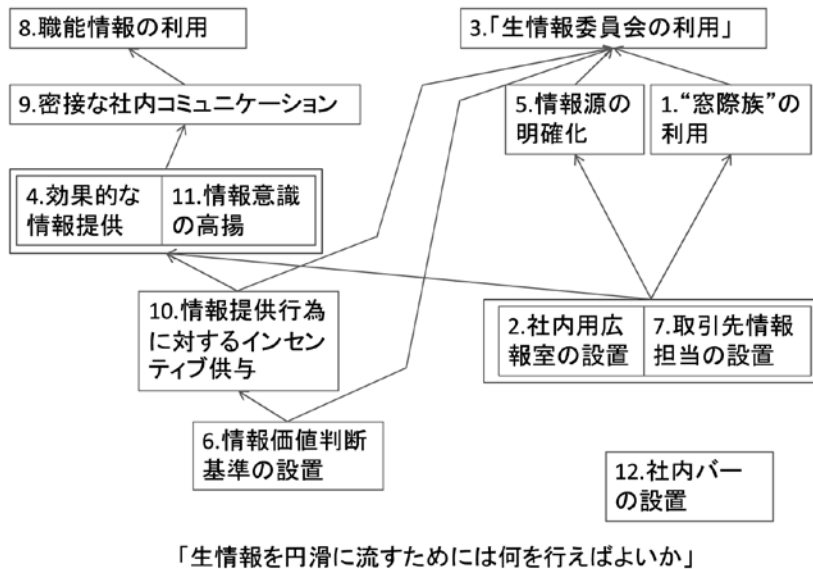


図1 ISM による構造モデルの例（文献 [5] p48を元に著者が作成）

## 2.2 ISM の手順

ISM の手順の概略を次に示す<sup>4)</sup>。

### 1) 項目，項目間関係の定義

項目を定義し，項目間の関係の意味するところを定める。

### 2) 隣接行列の作成

隣接行列とよばれる2項目間の関係の「ある」「なし」を示す行列を定める。

### 3) 可到達行列の算出

隣接行列に単位行列を加えた行列をベキ乗することで可到達行列を算出する。

### 4) レベル分割

可到達行列における入出力の情報を元に，各項目を階層にレベル分割する。

### 5) 縮約

相互関係を形成している項目（強連結成分）を算出し，まとめて一つの項目へ代替する。

### 6) 骨格化

推移性を利用して他の項目間関係から推測できる項目間関係を削除し，骨格行列を算出する。

### 7) 描画

骨格行列を元に ISM 構造モデルを描画する。

上記の手順に従った ISM の数値例を次に示す。

### 1) 項目，項目間関係の定義

項目  $S_1 \sim S_6$  までの6項目とし，項目間関係は「ある項目  $S_i$  が促進されると他の項目  $S_j$  が促進される」とする。

### 2) 隣接行列の作成

隣接行列  $A$  の要素  $a_{ij}$  を，ある項目  $S_i$  から  $S_j$  に対して関係があるとき  $a_{ij} = 1$ ，関係がないとき 0 と定める。この結果次のような隣接行列が得られたとする。

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad (\text{式1})$$

## 3) 可到達行列の算出

隣接行列  $A$  に単位行列を加え、これをべき乗することで可到達行列  $T$  を求める。

$$T = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \quad (\text{式 2})$$

## 4) レベル分割

レベル 1 :  $S_4$ , レベル 2 :  $S_3, S_5$ , レベル 3 :  $S_1, S_2, S_6$  となり, 可到達行列の行及び列の項目の並びを  $S_4, S_3, S_5, S_1, S_2, S_6$  の順に入れ替える (これを行列  $R$  とする)。

$$R = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (\text{式 3})$$

## 5) 縮約

この例ではループを形成している項目 (強連結成分) は存在しないため, この手順は省略される。

## 6) 骨格化

推移性を利用して他の項目間関係から推測できる項目間関係を削除した骨格行列  $S$  は次のようになる。

$$S = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (\text{式 4})$$

## 7) 描画

骨格行列  $S$  を元に描画を行い, ISM 構造モデルを描く。

### 3. 提案する方法

#### 3.1 ISM 実施上の問題点とその解決策

1 節で述べたように、ISM を用いた様々な事例が報告されているが、ISM を実施するためには行列演算を行わなければならない、項目数が増えるに従ってコンピュータを用いないと事実上その計算は不可能となる。このため ISM の計算を行うコンピュータプログラムも発表されているが、そもそもコンピュータプログラムを用いることの問題点として、コンピュータプログラム言語自体の変化が激しく、ある言語を用いて作成したプログラムが OS や主流となるプログラム言語自体の変化で陳腐化してしまうことが多い。現在ではエミュレータ機能などを用いて、最新のコンピュータ上で古い OS 等を実行できる環境も整ってきたが、そもそも古い OS 等を入手することは困難である。この問題を解決するため Excel を用いて ISM の演算を行うことを試みる。この際に、Excel にはマクロ機能 (VBA) が搭載されておりこれを用いれば比較的簡単にプログラミングに近いことが実行できるが、その一方でセキュリティ上の問題点となる危険性も指摘されておりマクロ機能の実行を認めていない組織も多い。このため、提案する方法ではマクロ機能は使わず、関数機能のみを用いて ISM の演算を行うことを試みる<sup>5)</sup>。

また、ISM においては最終的には骨格行列を元に ISM 構造モデルを描画し、視覚的に訴えることを目的としている。従来の研究においては、ISM 構造モデルの描画は作成者が試行錯誤的に作成しているとみられるものが多いが、近年、様々なグラフを DOT 言語として表現し、DOT 言語を元にグラフを描画するソフトウェア (Graphviz)<sup>6)</sup> がフリーソフトウェアとして提供されている。

従って Excel を用いて、隣接行列を元に骨格行列を算出し、Graphviz で ISM 構造モデルを作成するために、この結果を DOT 言語で表現することを提案する<sup>7)</sup>。

#### 3.2 提案方法のための工夫

##### 3.2.1 Excel による制約

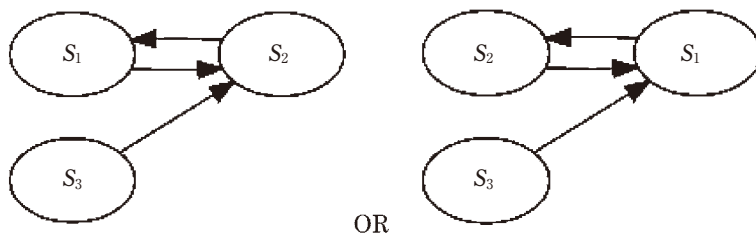
Excel を用いるために制約される点として、まず、項目数の上限値を定めなければいけないことが挙げられる。手順「4) レベル分割」においては、ある項目に入る関係と出る関係の数の比較を項目数分行わなければいけないが、マクロ機能を使わない場合 Excel において事前にセルに数式を記入しておかなければならないため、項目数に応じて記入するセルの数を変化させることができず、このため任意の項目数分のセルに記述することができない。そこで、扱うことのできる項目数の上限値を定め、その範囲内での処理を行うも

のとする（ここでは過去の論文の例などを参考に項目数の最大値は20とした）。

また、Excel の関数機能のみによる処理を行う際の制約として、繰返し処理が挙げられる。すなわち、For ~ Next に代表されるような、決められた回数の繰返し処理は簡単に扱うことができるが、Do ~ While に代表されるようなある条件を満たしている場合、反復する繰返し処理はその記述が難しい。先の ISM の手順においては手順「3）可到達行列の作成」「4）レベル分割」「5）縮約」において Do ~ While タイプの繰返し処理が用いられているが、計算効率は劣るものの、これらは全て項目数の回数繰返しを行う For ~ Next タイプの繰返し処理により同じ結果を得ることができるため、提案する方法においては For ~ Next タイプの繰返し処理として扱う。

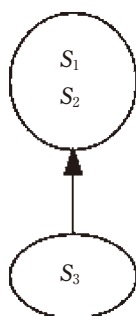
### 3.2.2 相互関係の表現

従来、相互関係を表すループの表現には決まったルールがなく、作成者がその都度、工夫して描いてきた。しかし、図2に示すように、同じ意味を持つ表現法は一通りではなく、また相互関係を持つ項目やそれらと関連している項目が増えた場合、その描画にはさらに様々な表現があり、得られた ISM 構造モデルにより解釈がぶれてくる事も考えられる。そこで、相互関係の描画では、図3に示すようにまとめて描くことで、この問題の解決を図る。



「 $S_3$ から  $S_1 \cdot S_2$ へ関係」「 $S_1$ と  $S_2$ が相互関係」

図2 従来の相互関係の表現法



「S<sub>3</sub>からS<sub>1</sub>・S<sub>2</sub>へ関係」「S<sub>1</sub>とS<sub>2</sub>が相互関係」

図3 提案方法における相互関係の表現法

### 3.3 提案方法

ISMの演算を行うためのExcelのワークシートを提案・作成した<sup>8)</sup>。提案したExcelワークシートを用いるための手順は次のようになる。

#### 1) Excelワークシートに入力

項目、項目間関係を定義し、項目間の関係を定め、定めた項目と項目間の関係を示す隣接行列をExcelのワークシートに入力する（ISMの手順1）項目、項目間関係の定義、2）隣接行列の作成に該当）。入力と同時に、可到達行列の算出、レベル分割、縮約、骨格化が行われ、DOT言語によるプログラムが得られる（ISMの手順3）可到達行列の算出、4）レベル分割、5）縮約、6）骨格化に該当）。

#### 2) ISM構造モデルの提示

得られたDOT言語のプログラムをテキストファイルとして保存し、GraphvizにてISM構造モデルを描画<sup>9)</sup>する（ISMの手順7）描画に該当）。

### 3.4 提案方法による数値例

2.2で示した数値例に対して適用したものを次に示す。

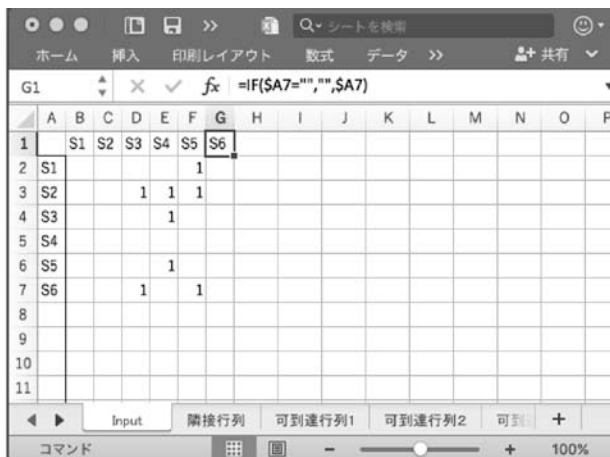
#### 1) Excelへの入力

Excelワークシートへの入力を図4に、得られた骨格行列を図5、DOT言語のプログラムを図6に示す。

#### 2) ISM構造モデルの提示

図7にGraphvizの入力ファイルを示す。これより得られるISM構造モデルを図8に示す。





\* 項目名は A 列のみ入力（1 行目は入力結果を元に表示）

図 4 提案方法における Excel への入力

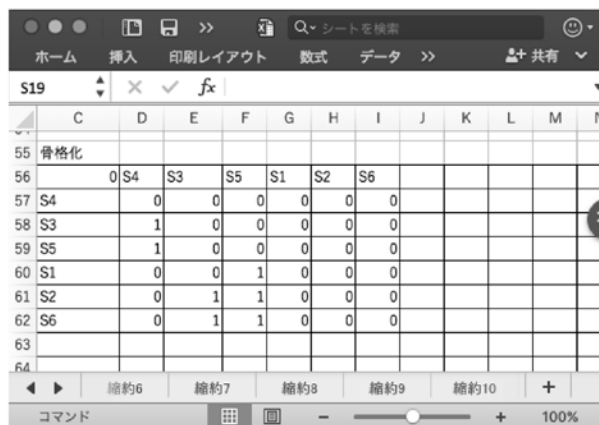


図 5 提案方法により得られた骨格行列

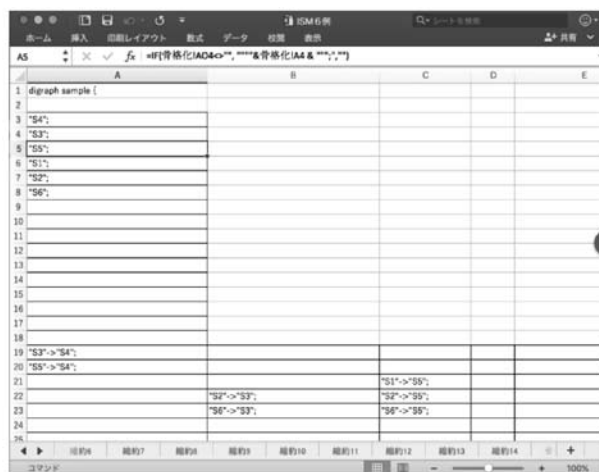


図 6 提案方法により Excel 上で作成された DOT 言語プログラム

```

ISM6例.txt
digraph sample {
  "S4";
  "S3";
  "S5";
  "S1";
  "S2";
  "S6";
  "S3"->"S4";
  "S5"->"S4";
  "S1"->"S5";
  "S2"->"S3";
  "S2"->"S5";
  "S6"->"S3";
  "S6"->"S5";
  rankdir = BT;
}

```

図7 提案方法により作成された DOT 言語プログラム  
(Graphviz の入力ファイル)<sup>10)</sup>

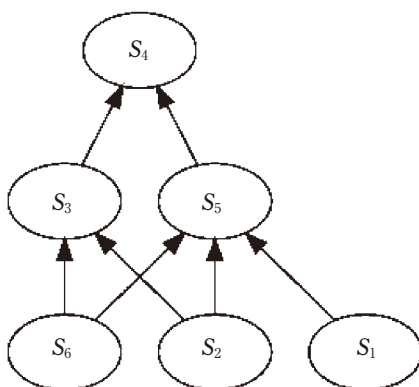


図8 数値例の ISM の結果

#### 4. 適用例

適用例として様々な文献に掲載されていた ISM 構造モデルを本方法で描画したものを図9～図12に示す。これらは、それぞれの文献に記載されている隣接行列（一部、可到達行列もある）を元に、提案方法により ISM 構造モデルを描画した。なお、該当する図の注にも示した通り、一部の長い項目名については紙幅の都合により、生成された DOT 言語に対して折り返しを行うための改行命令を追加している。これらの図の作成に要した時間はいずれも10分程度であり、その作業の中で最も時間を要するのは項目及び隣接行列の入力であった。

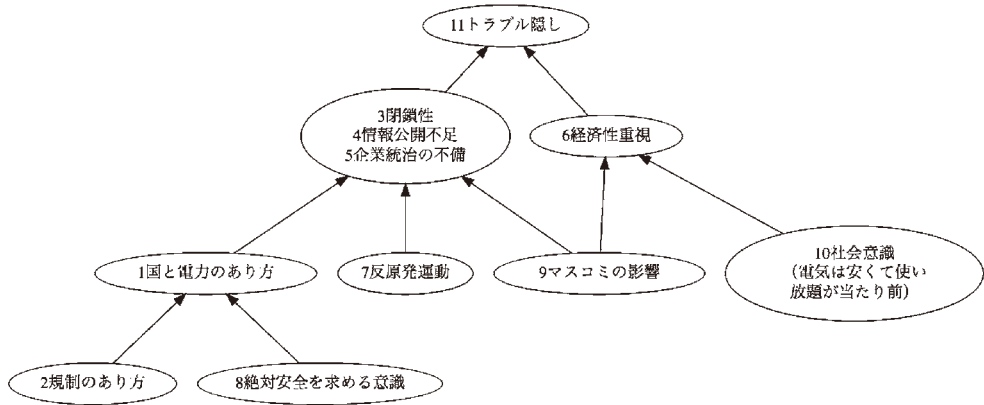


図9 原発トラブル隠しの全体像のISM 構造モデル<sup>11)</sup>  
 (文献 [10] p.20図15を元に作成)

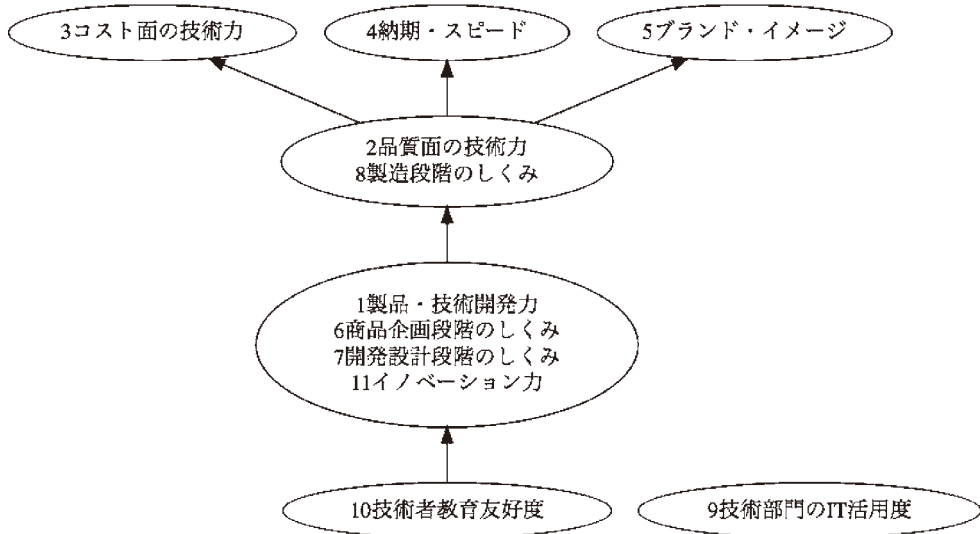


図10 経営課題 (11項目) の因果関係図のISM 構造モデル  
 (文献 [19] p.66表3を元に作成)

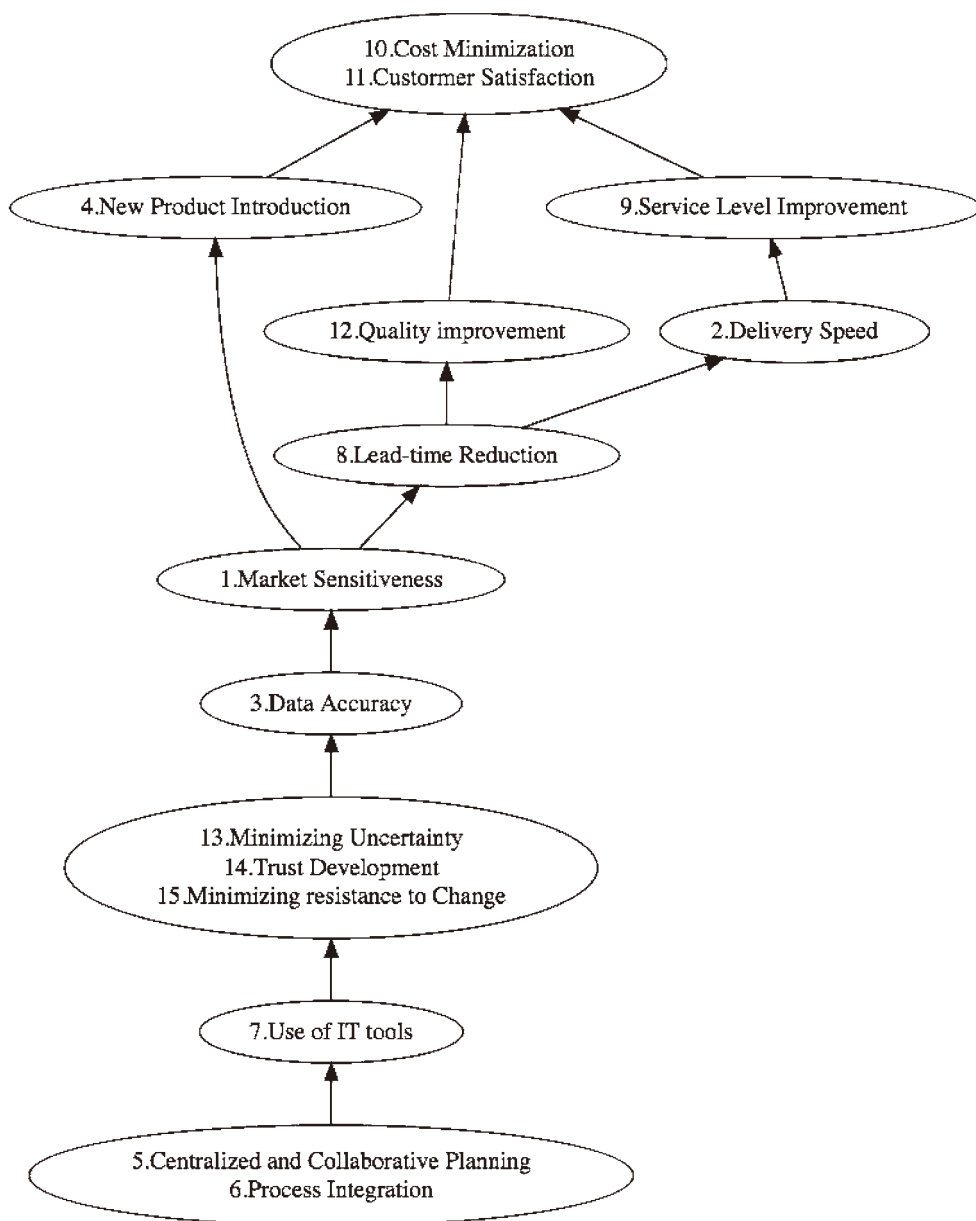


図11 The variables for improving supply chain agility after removing indirect links の ISM 構造モデル (文献 [18] pp.450 Table4を元に作成)

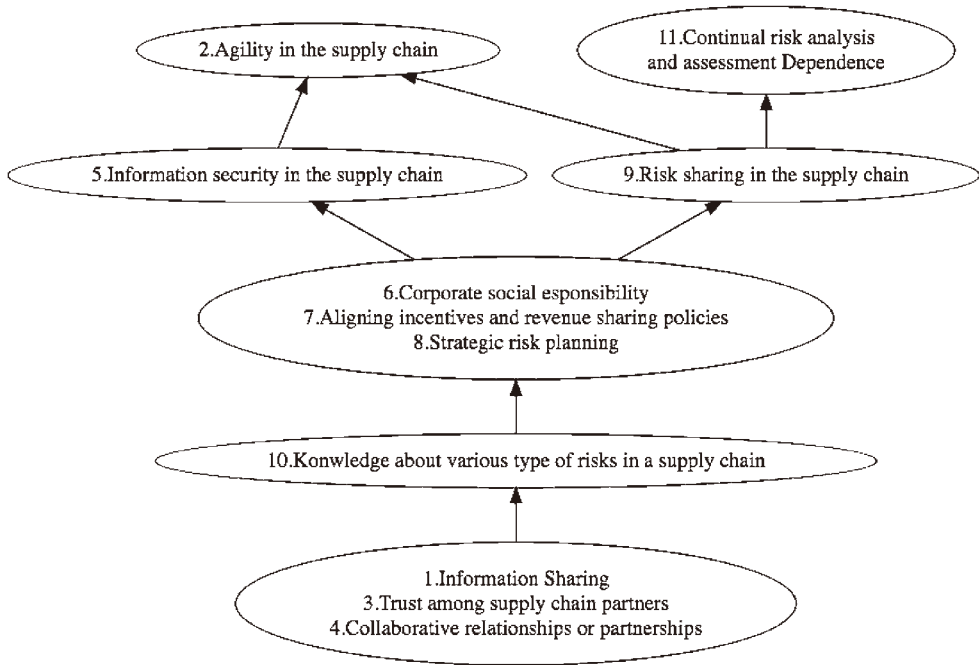


図12 risk mitigation in supply chain における ISM 構造モデル<sup>12)</sup>  
(文献 [17] p543 table II を元に作成)

## 5. 結論

ISM をより簡単に扱うため、もっとも用いられているソフトウェアの一つである Excel によりフリーソフトウェアで各種グラフの描画が可能な DOT 言語を生成して ISM 構造モデルを作成する方法を提案した。提案した方法により作成された ISM 構造モデルにおいては、描画される項目間の関係が一意に定まり、より簡単に ISM 構造モデルを作成することができる。

### 註

- 1) 推移性とは、「項目 a から項目 b への関係が成り立ち、項目 b から項目 c への関係が成り立つとき、項目 a から項目 c への関係が成り立つ」ことである（例えば「a が b より好きで b が c より好きならば a は c よりも好き」という関係が成り立つ）。
- 2) なお、インターネット上においては次のような ISM に関するソフトウェアが確認できた（2017年4月現在）。しかし、いずれにおいても、現在ではサポートが終了したソフトを使用している、描画は考慮していないなどの問題点がある。

ISM Software that you can download

<http://www.gmu.edu/depts/t-iasis/ism/ism.htm>

DOS Version

ISM 法の構造図作成プログラムの試作 (N88-Basic)

[http://www1.bbiq.jp/sekiya\\_z/report/ism91.html](http://www1.bbiq.jp/sekiya_z/report/ism91.html)

N88-Basic (互換ソフト) 用

丸山先生のデータマイニング講座「EXCELでISM (階層構造化モデル)」

[http://amcj.com/for\\_download/download.html](http://amcj.com/for_download/download.html)

チュートリアル用。7項目, Excel 計算時に手動で補正する必要あり

- 3) 本稿でグラフとは, グラフ理論におけるグラフのことを指し, 頂点 (node) と辺 (edge) により構成された図形のことを指す。
- 4) 手順3) ~ 6) の詳細な計算アルゴリズムについては [1] ~ [7] などのISMの参考文献を参照のこと
- 5) なお参考として, 文献 [26] ではExcelの関数のみを用いて様々な基本的なプログラミング (素因数分解, エラトステネスの篩など) が実施可能との報告がなされている。
- 6) Graphvizについては<http://www.graphviz.org/Home.php>を参照のこと。
- 7) なお, ISM 構造モデルの描画にDOT言語を用いることは「読書猿, “自分の理解を理解する→何をどのように分かっているかを可視化するISM 構造学習法の考え方”, <http://readingmonkey.blog45.fc2.com/blog-entry-728.html?sp>, (2017年8月閲覧)」にて述べられている。
- 8) Excel ワークシートについては [eyagi@tokai.ac.jp](mailto:eyagi@tokai.ac.jp) まで問い合わせを
- 9) ただし, 本論文のISM 構造モデルの描画は, Graphviz そのもの (Windows 版, Mac 版) ではなく, パソコン版 Chrome ブラウザの拡張機能である Dot Lang Viewer ([https://chrome.google.com/webstore/detail/dot-lang-viewer/nbcmpndcfidmedecbh1bhpoganlkbio?utm\\_campaign=en&utm\\_source=en-et-na-us-oc-webstrapp&utm\\_medium=et](https://chrome.google.com/webstore/detail/dot-lang-viewer/nbcmpndcfidmedecbh1bhpoganlkbio?utm_campaign=en&utm_source=en-et-na-us-oc-webstrapp&utm_medium=et)) を用いている。
- 10) 紙幅の都合により, 生成されたDOT言語プログラムから描画結果に影響しない空白や改行等はのぞいている。
- 11) 「10社会意識 (電気は安くて使い放題が当たり前)」については紙幅の都合により, 生成されたDOT言語プログラムに改行命令を付加している。
- 12) 「11.Continual risk analysis and assessment Dependence」については紙幅の都合により, 生成されたDOT言語プログラムに改行命令を付加している。」

## 参考文献

- [1] J. N. Warfield: “Toward Interpretation of Complex Structural Models”, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, Vol.4, No.5, pp.405-417, 1974.
- [2] David W. Malone, “An Introduction to the Application of Interpretive Structural Modeling”, *Proceedings of the IEEE*, Vol.63, No.3, pp.397-404, 1975.
- [3] 河村和彦, “複雑な社会問題を取扱う一手法: Interpretive Structural Modeling”, 計測と制御, Vol.16, No.1, pp.157-161, 1977.
- [4] 田村坦之, “構造モデリシグー理論とアルゴリズムを中心にして”, 計測と制御 Vol.18,

- No.2, pp.170-179, 1979.
- [5] 榎本義一, 河村和彦編, 参加型システムズアプローチ, 日刊工業新聞社, 1981.
  - [6] 寺野寿郎, システム工学入門, 共立出版, 1985.
  - [7] 石谷久, 石川真澄, 社会システム工学, 朝倉書店, 1992.
  - [8] 赤木新介, システム工学—エンジニアリングシステムの解析と計画—, 共立出版, 1992.
  - [9] 佐藤隆博, “ISM法による学習要素の階層的構造の決定”, 日本教育工学雑誌 4, pp.9-16, 1979.
  - [10] 豊田武俊, 堀井秀之, “構造モデル化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一”, 社会技術研究論文集, Vol.1, pp.16-24, 2003.
  - [11] 羅貞一, 岡田憲夫, “紙面会議システムで行う知識の行動化形成過程の構造化検証に関する基礎的な研究”, 京都大学防災研究所年報, 第52号 B, pp.165-172, 2009.
  - [12] 高城美穂, 前田典幸, 小林大二, “ISM法によるトラブル要因の構造化の実践的検討”, ヒューマンファクターズ Vol.17, No.2, pp.89-99, 2012.
  - [13] 鈴木貴之, 堀口由貴男, 榎木哲夫, 中西弘明, 中村哲也, 宗重倫典, 福田啓介, “構造化モデリング法を用いた列車運転士の注視行動分析”, The 29th Fuzzy System Symposium, pp.546-551, 2013.
  - [14] Md. Fahim Ansari, Ravinder Kumar Kharb, Sunil Luthra, S. L. Shimmi, S. Chatterji, “Analysis of Barriers to Implement Solar Power Installations in India Using Interpretive Structural Modeling Technique” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 27, pp.163-174, 2013.
  - [15] 笹平敏昭, “ISM適用による問題構造化とワークデザイン (WD) 技法を用いた情報化促進策—システム思考による現行 IT 政策の検証” 同志社政策科学研究 5 (1), pp.163-180, 2004.
  - [16] V. Ravi, Ravi Shankar, “Analysis of Interactions among the barriers of reverse logistics”, *Technological Forecasting & Social Change* 72, pp.1011-1029, 2005.
  - [17] Mohd Nishat Faisal, D.K.Banwet, Ravi Shankar, “Supply Chain Risk Mitigation: Modeling the Enablers”, *Business Process Management Journal*, Vol. 12 Iss 4, pp.535-552, 2006.
  - [18] Ashish Agarwal, Ravi Shankar, M.K. Tiwari, “Modeling Agility of Supply Chain”, *Industrial Marketing Management* 36, pp.443-457, 2007.
  - [19] 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2009年10月号, pp.61-70, 2009.
  - [20] Ali Diabata, Kannan Govindanb, “An Analysis of the Drivers Affecting the Implementation of Green Supply Chain Management”, *Resources, Conservation and Recycling* 55, pp.659-667, 2011.
  - [21] Sunil Luthra1, Vinod Kumar, Sanjay Kumar, Abid Haleem, “Barriers to Implement Green Supply Chain Management in Automobile Industry Using Interpretive Structural Modeling Technique-An Indian Perspective”, *Journal of Industrial Engineering and Management* 4 (2), pp.231-257, 2011.
  - [22] Sanjay Kumar1, Sunil Luthra, Abid Haleem, “Customer Involvement in Greening the Supply Chain: An Interpretive Structural Modeling Methodology”, *Journal of Industrial*

- Engineering International* 2013, 9:6, 2013.
- [23] V.G. Venkatesh, Snehal Rathi, Sriyans Patwa, "Analysis on Supply Chain Risks in Indian Apparel Retail Chains and Proposal of Risk Prioritization Model Using Interpretive Structural Modeling", *Journal of Retailing and Consumer Services* 26, pp.153-167, 2015.
- [24] 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", *精密機械工学会誌*, Vol.82, No.6, pp.602-607, 2016.
- [25] Rajesh Attril, Nikhil Dev, Vivek Sharma, "Interpretive Structural Modelling (ISM) approach: An Overview", *Research Journal of Management Sciences*, Vol.2 (2), pp.3-8, 2013.
- [26] 萩谷昌己, "Excel でプログラムを書く", <http://lecture.ecc.u-tokyo.ac.jp/~shagiya/excel.pdf>, (2017年4月閲覧)