HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	サブシステム化によるISMプログラム
Author(s)	山口, 忠; 加地, 郁夫
Citation	北海道大學工學部研究報告, 100, 45-49
Issue Date	1980-10-31
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/41638
Type	departmental bulletin paper
File Information	100_45-50.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

北海道大学工学部研究報告
第100号（昭和55年）

Bulletin of the Faculty of Engineering,
Hokkaido University, No. 100 (1980)

サブシステム化による ISM プログラム

山口　忠*　加地郁夫*

（昭和55年6月30日受理）

ISM Programming by Subsystemizing

Tadashi YAMAGUCHI and Ikuo KAJI

(Received June 30, 1980)

Abstract

Interpretive Structural Modeling (ISM) is a computer based technique for modeling complex systems in which structures are ill-defined or not well-known. ISM is applied to many areas, e. g. social, economic, environmental and technological systems. It has many merits and some drawbacks. One of drawbacks is the time-consuming of ISM process. To reduce this time for modeling, ISM is revised using a method we call subsystemization. In this paper, this revised ISM and the results regarding its effectiveness are described.

1. まえがき

近年システム工学の分野で微分方程式などの数式では表現のしずらいシステム（たとえば，社会システム，いくつかの問題からなる問題複合体）のモデル化手法が注目されている。この種のモデル化に対しいくつかのアプローチが提案されれいる。その1つに，J. N. Warfield らが中心になって開発した Interpretive Structural Modeling (ISM) 法というのがある[1),2)]。この手法はブール代数，グラフ論をその数学基礎として計算機との対話のもとでシステムのモデル化を行うものである。そのための計算機プログラムもいくつかの機関，研究室ですでに作成され種々の分野に応用されている。また，その使用経験から ISM のもつ長所，短所についての報告も出されている[3)]。その問題点の1つは，ISM を用いてのモデル化のさい時間が掛り過ぎる点があげられている。その1つの解決策として，サブシステム化によるモデリングという考えを取り入れてみた。

本報告は，このサブシステム化による ISM 法およびその有効性をある例を用いて調べた結果について述べるものである。

2. ISM の説明

本章では以下の議論の必要上 ISM についての概要を述べるが詳しくは文献 1) を参照されたい。ISM も含めて一般に構造化モデリングというのは，システムの構造すなわちシステムを構成する要素および要素間の関連性に重点を置いたシステムズ・アプローチの1つである。

今あるシステム（あるいは問題複合体）に対してモデル作成を行おうとしている何人かのモデ

* 電気工学科　系統工学講座

ル作成者がいる。まずはじめに各人がそのシステムに対してもっているイメージをもとに自由に議論し，そのあとそのシステムを構成している基本要素をあげ場合によっては取捨選択を行い1つの要素集合を決める。次にそれらの基本要素間の関連性をどの様な観点から考えるかの議論を行い1つの依存関係を選ぶ。この要素集合・依存関係は対象とするシステムにより様々であるが **4.** で引用しているエネルギー・システムの場合，表-1 の要素集合に対して「… は … に影響を与える」という依存関係が選ばれている。

この様にして要素集合・依存関係の決った段階から，計算機との対話のもとで各要素間の依存関係の有無を明確にし，そこに含まれる関係パターンを抽出する。この過程はデモル作成者の合意に達するまで繰り返され，最終的には今対象にしているシステムの理解の助けとなるようなモデルを作成する。

以上が計算機を用いての構造化モデルの概略であるが，次に ISM の特徴的な点と ISM プログラムについて述べる。要素集合を $S=\{1, 2, ..., n\}$ としたとき，S の要素 i, j の依存関係の有無を iRj, $i\bar{R}j$ で表わす。依存関係の成立する要素対の全体 $\{(i, j); iRj\}$ 自身も R と記される。この記法を用いて $\langle S, R\rangle$ なる2組を以下モデルと言う。R の表現方法としては，部分集合としての $R\subseteq S\times S$ のほかにプログラム上便利な2値行列，人間の視覚にうったえやすい有向グラフなどがあり ISM ではこの3通りを用いている。また，ISM を用いるさいの重要な前提条件として対象とする依存関係に対する推移性の仮定がある。すなわち，要素 i, j, k について，iRj および jRk が成立するとき，つねに iRk も成立することである。

要素集合・依存関係の選択および計算機との対話による ISM をまとめて ISM プロセスというが，全体は4つのステップからなり，とくにステップ3，4は満足のいくモデルが得られるまで反復される。

ステップ 1: 要素集合の決定
ステップ 2: S 上の依存関係を1つ決める。
ステップ 3: 計算機から「iRj ?」すなわち「要素 i は要素 j に対して依存関係をもつか ?」という形の一対比較の質問が順次提示されそれに対してモデル作成者は，Yes または No で答える。
ステップ 4: ステップ3で作られたモデル $\langle S, R\rangle$ に内在する各種の構造上の情報を抽出する。

ステップ3，4を実現するのが ISM プログラムである。これについて補足説明する。ステップ3はすべての質問が計算機側から発せられモデル作成者がそれに応答するという形で進むが，そのさい，すでに与えられている答と推移性から関係の有無の推論されるものについては質問は提示されない。推論の型としては次の3つがある：「iRj, jRk ならば iRk」，「$i\bar{R}j$, iRk ならば $k\bar{R}j$」および「$i\bar{R}j$, kRj ならば $i\bar{R}k$」である。またこの推論が出来るだけ多く適用されるような質問発生方法のアルゴリズムが考えられている[1]。

ステップ4の構造に関する情報としては，(1) 相互に依存関係をもつ極大な要素部分集合，すなわち有向グラフの用語でいう強連結成分 (2) 各強連結成分を1つの点とみての縮合グラフ (3) そのグラフから冗長な関係を除いたスケルトン・グラフおよび (4) これらの有向グラフの図的表示である。

3. サブシステム化による ISM プログラム

ISM プロセスで最も重要な点はステップ3であり，それを実現するプログラムにも種々の工夫が用いられている。その1つが，推移性を用いてのある要素対間の関係の有無の決定を行い質問回数の減少化を計っていることである。しかし，それでも「時間が掛り過ぎる」，「退屈になる」という批判がある[3]。その原因はおもに2つあると思われる。

(1) 明らかに関係のないとわかるたくさんの一対比較に応答しなければならないこと。これは，S のある部分集合 A，B を考えたとき，A，B からの各々の要素対を検討しなくても全体として A，B の間には関係が成立しないことが分るか，たとえ成立するものがあってもごく少数のような場合に起る。

(2) モデル $\langle S, R\rangle$ において R の要素数が比較的小さいとき，すなわち関係 R の成立する要素対が比較的少いときは，推移性による関係の有無の推論の適用される機会が少い。

この2つの原因のもとになる状況としては，システムの要素集合があらかじめ何らかの視点から分類ができ，分類された各クラス内では関係が比較的密で，異なるクラス間での関係は疎であるような場合が考えられる。

以上の点を考慮して，システムのサブシステム化によるモデリングということを考えた。これは全体を一度にモデル化する代り，にまず要素集合の一部に対して部分システムのモデル化を行い，そのあとでこれらのサブモデルの統合を行うものである。全体は次の5つのステップからなる。

ステップ 1: 着目する依存関係を決め，$i=1$ とする。

ステップ 2: 関心ある要素あるいは関連の深いと思われる要素をあげ，この集合を S_i とおく。

ステップ 3: S_i についてサブモデル $\langle S_i, R_i\rangle$ を作る。他のサブモデル作成の必要があれば，$i \leftarrow i+1$ として2へ戻り，そうでなければ4へ行く。

ステップ 4: サブモデル $\langle S_i, R_i\rangle$ $i=1, 2, \ldots, m$ を統合して全体モデル $\langle S, R\rangle$ を作成する。

ステップ 5: モデル $\langle S, R\rangle$ に内在する各種の構造上の情報を抽出する。

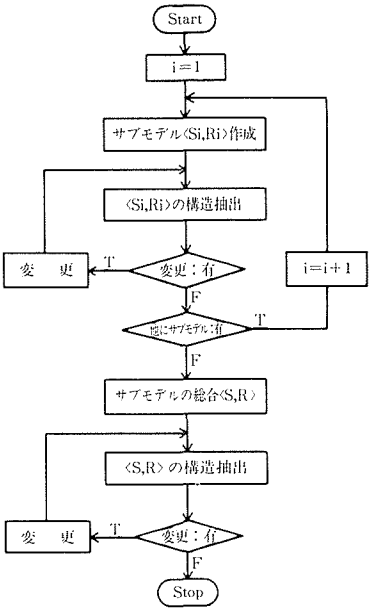


図1 サブシステム化による ISM フローチャート

ここで，ステップ4での統合とは，$S=S_1 \cup S_2 \cup \ldots \cup S_m$，$R=R_1 \cup R_2 \cup \ldots R_m \cup R'$ なる集合演算である。なお R' は異なるサブモデルの要素間の関係を表わす。

以上がサブモデル化による ISM プロセスの概要であるが，このうち S_i および R' について少し詳しく述べる。

まずステップ2での S_i の決め方についてであるが，これには何の制約もない。すなわち，取

りあげる要素はISMプロセスの開始時に完全に決ってなくプロセスの進行中に順次決めてよい。また他の S_j の要素を S_i に含めることも可能である。前者は要素の追加の自由度を増し，後者は S_i と S_j の共有要素を介して $\langle S_i, R_i\rangle$ と $\langle S_j, R_j\rangle$ の部分的統合が内部的に行われることを意味する。R' の入力方法については次のように行っている。**2.** のステップ3での入力はすべて計算機からの質問に答えるという形で行われた。その短所については先に述べた通りであるが，ここでも R_i についてはこれと同じ方法を用い，R' の入力はモデル作成者が主導権をもち，$sR't$ なる対 (s, t) を陽に与え，入力されない他の対は R' が成立しないものとして取扱っている。このことによって疎な関係の入力回数の減少化をはかっている。

先にも述べたようにISMプロセスは計算機との対話のもとで行われる。したがって上記のアルゴリズムを実現するさい考えるべき点として，入力データの変更と中間的に得られたモデルにたいする変更のことがある。一方このプログラムは，それまでに入力されたデータに依存してそのフロー，次の一対比較の質問などが順次決ってくるという性質をもっている。したがってこのようなプログラムでは，以前のデータの変更によりプログラムの後戻りの必要が生ずる。どの程度までの後戻りに対処するか・入力データの変更を許すかはプログラム作成およびモデル作成者の手間との兼合いになる。今回作成したプログラムでは，余り大がかりな後戻りを起こさない程度のデータ変更とサブモデル・全体モデルの変更の2種類を可能にした。以上述べたことをまとめて図-1にあげた。

なおプログラムは，全体の制御，サブモデルの統合，サブモデルの統合，構造情報の抽出，その他グラフ論的アルゴリズムの集りの5つのモジュールからなり，TSS用OS下で動くフォートランでコーディングされている。

4. 従来の ISM との比較例

3. で述べたISMと従来のISMとの比較のため構造のわかっている例を両プログラムに適用した結果について述べる。使用した例は文献4)に引用されているA. N. Christakisらの作成した都市交通におけるエネルギー・モデルである。要素は表-1にあげるものである。また考える依存関係 sRt は「s は t に影響を与える」という関係である。このモデルは構成ずみであるが，これと無関係に25個の要素をその内容の関連性から3つのグループにわけてみた。例えば，環境汚染関係の要素部分集合を $S_1=\{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 24, 25\}$ としてサブモデル $\langle S_1, R_1\rangle$ を作成した。ただし，このとき関係の有無はchristakis結果を用いている。以下，$S_2=\{9, 10, 11, 17, 18\}$，$S_3=\{12, 13, 14, 15, 16, 20, 21, 22, 23\}$ として，$\langle S_2, R_2\rangle$，$\langle S_3, R_3\rangle$ を

表-1 エネルギー・モデルの要素集合（4）による）

要素番号	項目	要素番号	項目	要素番号	項目
1	環境の質	10	職	19	自動車Aの数
2	光化学スモッグ	11	サービス産業	20	自動車Bの数
3	植物の被害	12	排煙税	21	自動車Cの数
4	汚染レベル 1	13	ガス税	22	電気自動車の数
5	汚染レベル 2	14	自動車Aの税金	23	高速輸送の質
6	保養地の被害	15	自動車Bの税金	24	HC 排出量
7	透視度	16	自動車Cの税金	25	NOx 排出量
8	健康の被害	17	工場の数		
9	人口	18	発電所の数		

作成し，最後に R' を入力し全体を統合した。このときの入力回数は，各サブモデルに対して，それぞれ 48，8，61 回であった。また R' については 18 回の入力であった。したがって全体としての入力回数は 135 回となる。一方，Christakis らのモデル作成での手間は不明であるが，25 個全体の要素を一度にモデル化してみた結果，189 回の入力を要した。上の 3 つのサブモデルのグラフ表現と R' の内容を付録にあげてあるが，全体モデルは文献 4) を参照されたい。なお付録の図に，要素 4, 25 および (4, 2), (25, 2) を加える必要がある。

5. むすび

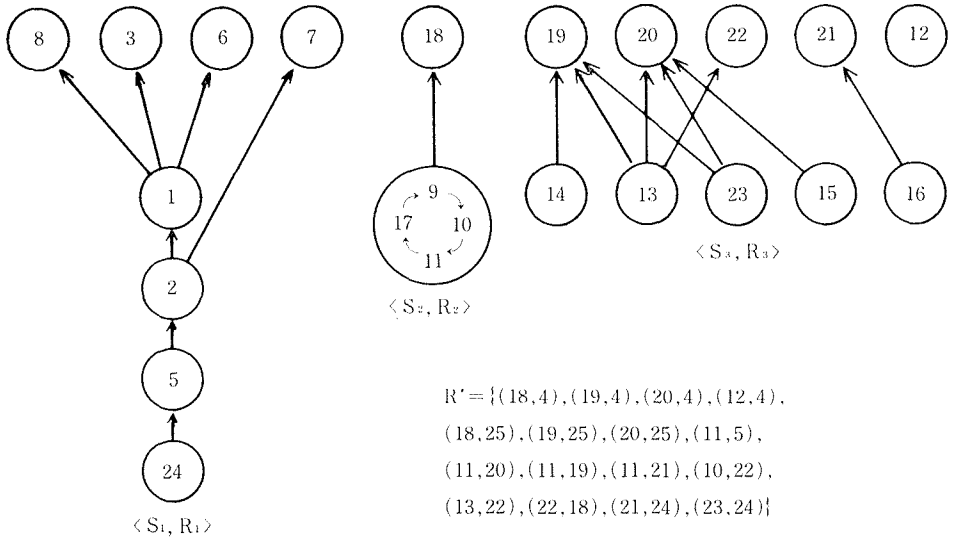
以上，サブシステム化による ISM について報告したが，そこに含まれている考えは単純であるが，いくつかの特徴をもっていると思われる。それを要約すると次のようになる：(1) サブシステム間の関係が比較的疎であるときモデル作成の手間が軽減できる。(2) 本方式での ISM プロセスではモデル作成者の注意を一部の要素に集中できる。(3) 要素集合をあらかじめ規定せずにプロセスの進行に伴って決められる。

一方，問題点としては，R' の入力の仕方が他の入力方法とは異なるため注意を要することがあげられる。しかし，上にみたようにそれに見合うだけの利点があると思われる。

参考文献

1) J. N. Warfield, Societal Systems, John Wiley and Sons, 1976.
2) J. N. Warfield, "Extending interpretive structural modeling," Proc. 7th Annual Pittsburgh Conf. Modeling and Simulation, pp. 1163-1167, April 1976.
3) R. H. Watson, "Interpretive structural modeling," Technological Fopecasting and Social Change 11, 165-185, 1978.
4) 河村和彦，"複雑な社会問題を取扱う一手法"，計測と制御，Vol. 16, No. 1, 1977.

付録



$R' = \{(18,4),(19,4),(20,4),(12,4),$
$(18,25),(19,25),(20,25),(11,5),$
$(11,20),(11,19),(11,21),(10,22),$
$(13,22),(22,18),(21,24),(23,24)\}$