

# 拡張した修正 ISM 法の提案—総合洪水リスクマネジメント上のバリアー解析への適用

東京都立大学 都市環境科学研究科 学生員 ○横田 裕人

東京都立大学 都市環境科学研究科 正会員 河村 明

東京都立大学 都市環境科学研究科 学生員 Jean Margaret R. Mercado

東京都立大学 都市環境科学研究科 正会員 天口 英雄

## 1. はじめに

Interpretive Structural Modeling (以下 ISM 法) は 1973 年に Warfield によって提案され<sup>1)</sup>, 何らかの関係を有する個々の要素間の関係指標のみから, 要素間の全体的な階層構造を明らかにすることができる手法であり, 通常図-1 に示したフローチャートに従って実行され, 多くの要素が複雑に関連しあっている問題に対してその構造を可視化・解析するために用いられている. 従来の ISM 法では途中の計算過程での個々の要素同士の相互関係が明確には表現されていなかった. そこで, 著者らはフィリピン・メトロマニラにおいて総合洪水リスクマネジメント (Integrated Flood Risk Management, 以下 IFRM) の導入を妨げている種々の要因 (バリアー) を例にとり, バリアー間の影響の有無関係を途中の計算過程に表現して, バリアー間の相互影響関係を明確にし, これを修正 ISM 法として提案した<sup>2)</sup>. しかし, 修正 ISM 法を用いるには非常に煩雑な手順と手作業での数値の置き換えや確認が必要であり, 多くの時間を費やさねばならなかった. そこで本研究では, 修正 ISM 法をさらに拡張し, 拡張ブール演算を導入することにより機械的に ISM 法の演算を実行可能とするとともに, 階層関係を単純に決定し, さらにバリアー間の間接的な影響関係も階層図に加えた手法を提案する. そして本手法を上記の IFRM 上のバリアー解析に適用しその有用性について検討を行った. 本研究で適用するメトロマニラにおける IFRM 上の 12 のバリアーを表-1<sup>2)</sup>に示す. これらのバリアーの詳細については参考文献 3) を参照されたい.

## 2. 修正 ISM 法

従来の ISM 法では, 図-1 の「②可達行列 (Reachability Matrix, 以下 RM) の作成」の際に, 要素の 2 項目間に直接的な影響がある場合は「1」、無い場合は「0」とおいて初期 RM を作成していたが, これは影響を与える要素のみを考慮しており, 影響を与えられる要素が考慮されておらず, 個々の要素間の関係性が明確に表現されていない. 修正 ISM 法では, 従来通り影響を与える場合は「1」、影響関係が無い場合は「0」とおき, さらに影響を与えられる場合を「-1」とし, 相互に影響を与えあう場合は「±1」または「±1」とおくことで個々のバリアー間の相互影響関係を明確に表す初期 RM を作成した. また, いくつかの要素を経由して間接的に影響を与える・与えられるのかを明確に表現した. 修正 ISM 法の詳細やこれを用いたバリアーの解析に関しては参考文献 2) を参照されたい.

## 3. 拡張した修正 ISM 法の IFRM 上のバリアー解析への適用

### (1) 拡張ブール演算による最終 RM の作成

上述のように, 修正 ISM 法では RM の要素として影響を与えられる要素「-1」を取り入れたことにより, 「②RM の作成」の初期 RM から最終 RM を作成する手順において, 従来のようなブール演算 (表-2) を用いた機械的行列演算が困難となった. そこで, 機械的行列演算により本手順を行うために今回新たに考案したのが表-3 に示す拡張ブール演算を用いる方法である. 表-3 を用いた最終 RM の作成方法を簡単に概説すると以下ようになる. まず, 「-1」を取り入れた修正した ISM 法による初期 RM を, 従来の初期 RM (以下, 「+要素」) と新たな「-1」を含んだ初期 RM (以下, 「-要素」

表-1 抽出したバリアー

| 番号 | アスペクト                             | 記号 | バリアー         |
|----|-----------------------------------|----|--------------|
| 1  | 統治<br>(Governance)                | G1 | 組織体の過多       |
| 2  |                                   | G2 | コミュニケーション不足  |
| 3  |                                   | G3 | 予算不足         |
| 4  |                                   | G4 | 洪水制御措置の不足    |
| 5  | 社会<br>(Social)                    | S1 | 不法移民         |
| 6  |                                   | S2 | ずさんな廃棄物管理    |
| 7  |                                   | S3 | ずさんな都市計画     |
| 8  | 技術資源<br>(Technological Resources) | T1 | 技術力不足        |
| 9  |                                   | T2 | データ不足とアクセス制限 |
| 10 |                                   | T3 | 専門家不足        |
| 11 |                                   | T4 | データ処理システムの不足 |
| 12 |                                   | T5 | 洪水制御構造の悪化    |

表-2 従来のブール演算

|   |   |   |
|---|---|---|
| × | 0 | 1 |
| 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 1 |

|   |   |   |
|---|---|---|
| + | 0 | 1 |
| 0 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 1 |

表-3 拡張したブール演算

|    |   |   |    |
|----|---|---|----|
| ×  | 0 | 1 | -1 |
| 0  | 0 | 0 | 0  |
| 1  | 0 | 1 | B  |
| -1 | 0 | B | -1 |

|    |    |       |       |
|----|----|-------|-------|
| +  | 0  | 1     | -1    |
| 0  | 0  | 1     | -1    |
| 1  | 1  | 1     | ±1/±1 |
| -1 | -1 | ±1/±1 | -1    |

B…Blank

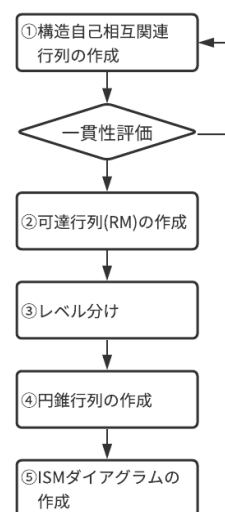


図-1 ISM 法のフロー

キーワード ISM 法, 拡張ブール演算, ISM ダイアグラム, 影響関係, バリアー

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 東京都立大学 E-mail : yokota-yuuto@ed.tmu.ac.jp

素)に分割する。次いで、「+要素」に関しては通常のブール演算(表-2)を用い、一方「-要素」については表-3の拡張したブール演算を用いて演算を進め、最終的に得られた「+要素」と「-要素」を表-3により統合することにより、最終RMを作成する。以上の拡張した修正ISM法をIFRM上の12のバリアーに適用して得られた最終RMを表-4に示す。表中の「\*」をつけた1は間接的な影響関係を表し、その数はいくつの要素を経由して影響を与えているのかを表している。

## (2) レベル分け

これまでのISM法では、「③レベル分け」を行う際、各要素において可達集合・先行集合・交差集合を抽出し、可達集合と交差集合が共通である要素をレベル $1_n$ として取り除き、残った要素で再び同じ作業を繰り返すことで順番にレベルを定めていくという複雑な手順を取っていたが、要素の数が増えてくると非常に負担となり時間もかかる。本研究では得られた最終RMから直接レベル分けを行う簡易な方法を提案する。すなわち、表-4の右端に示すように、各行の要素に対し、直接(\*をつけていない「1」)・間接(\*をつけた「1」)に関わらず影響を与える「+1」の合計数をそのままレベルとする簡易な方法である。本レベル分け手法では、影響を与える数をそのままレベルとすることで、従来のレベル分け手法と同様の結果で影響度を順位化できると同時に、大きさも示すことが可能になった。

## (3) ISMダイアグラム

従来のISMダイアグラムは、直接的な影響関係のうち、隣接するレベル間の要素と、同一レベルの要素の関係のみを矢印で結んで表記していた。拡張した修正ISMダイアグラムでは同一レベル及び隣接する上下レベルの直接関係のみならず、表-4に基づくすべての直接関係(\*をつけていない「1」要素の関係)も図-2のように示した。

さらに、拡張した修正ISMダイアグラムでは表-4の間接関係(\*をつけた「1」)においても、いくつかの要素を経由した間接関係(\*の数に相当)かを、異なる線種を用いて図-3のように表現した。

また、従来のISMダイアグラムは、レベルが低いもの、すなわち影響度が低いものを上層に、レベルが高くなるにつれて下層に配置していたが、本研究では、図-2、図-3のようにこれを一般的な感覚に合うように上下逆のピラミッド型に配置している。

図-2、図-3より、バリアー間の影響関係が詳細に表現でき、より包括的に捉えることを可能にした。

## 4. むすび

本研究では拡張した修正ISM法を提案し、フィリピン・メトロマニラにおけるIFRM上のバリアーの影響関係を例にとり、その有用性について検討した。その結果、拡張ブール演算を用いることで従来のISM法と同様に、「-1」要素を含めた機械的な行列演算によって、要素間のすべての影響関係を得られることを示した。また、非常に複雑な手順であったレベル分けを、得られた最終RMから直接求めることで簡易にした。さらに、ISMダイアグラム作成においては、すべての要素間の直接・間接の影響関係を表現することで、バリアー間の影響関係を詳細かつ包括的に捉えることを可能にした。

## 参考文献

- 1) Warfield, J.N., 1973. Binary Matrices in System Modeling. IEEE Trans. Syst. Man. Cybern. 5, pp441-449.
- 2) 横田裕人, 河村 明, Jean Margaret R. Mercado, 天口英雄 (令和2年3月5日) 総合洪水リスクマネジメント上のバリアー解析への修正ISM法の適用, 第47回土木学会関東支部研究発表会講演集, CD-ROM版 (II-52)
- 3) Kawamura, A and Mercado, J.M.R. (December 2019), Barriers to integrated flood risk management adaptation in a developing country. *International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources*, Vol.23, No.1, pp.3-5.

表-4 拡張した修正ISM法を用いた最終RMとレベル

|       | j  | 1               | 2   | 3    | 4   | 5           | 6    | 7   | 8              | 9  | 10   | 11   | 12 | レベル<br>(影響度) |
|-------|----|-----------------|-----|------|-----|-------------|------|-----|----------------|----|------|------|----|--------------|
| アスペクト | i  | 統治 (Governance) |     |      |     | 社会 (Social) |      |     | 技術資源 (Tec Res) |    |      |      |    |              |
|       |    | G1              | G2  | G3   | G4  | S1          | S2   | S3  | T1             | T2 | T3   | T4   | T5 |              |
| 1     | G1 | ±1              | 1   | 1    | 1   | 1*          | 1*   | 1*  | 1              | 1  | 1    | 1    | 1  | 12           |
| 2     | G2 | -1              | ±1  | 1    | 1*  | 1           | 1    | 1   | 1*             | 1  | 1*   | 1*   | 1* | 11           |
| 3     | G3 | -1              | -1  | ±1   | 1   | 1**         | 1**  | 1*  | 1              | 1  | 1    | 1    | 1  | 10           |
| 4     | G4 | -1              | -1* | -1   | ±1  | 1*          | 1*   | 1   | ±1*            | 1  | ±1   | ±1   | 1  | 9            |
| 5     | S1 | -1*             | -1  | -1** | -1* | ±1          | 1    | -1  | -1***          | 0  | -1*  | -1** | 0  | 2            |
| 6     | S2 | -1*             | -1  | -1** | -1* | -1          | ±1   | -1  | -1***          | 0  | -1*  | -1** | 0  | 1            |
| 7     | S3 | -1*             | -1  | -1*  | -1  | 1           | 1    | ±1  | -1**           | 0  | -1   | -1*  | 0  | 3            |
| 8     | T1 | -1              | -1* | -1   | ±1* | 1***        | 1*** | 1** | ±1             | 1  | ±1** | ±1   | 1  | 9            |
| 9     | T2 | -1              | -1  | -1   | -1  | 0           | 0    | 0   | -1             | ±1 | -1   | -1   | 0  | 1            |
| 10    | T3 | -1              | -1* | -1   | ±1  | 1*          | 1*   | 1   | ±1**           | 1  | ±1   | ±1*  | 1  | 9            |
| 11    | T4 | -1              | -1* | -1   | ±1  | 1**         | 1**  | 1*  | ±1             | 1  | ±1*  | ±1   | 1  | 9            |
| 12    | T5 | -1              | -1* | -1   | -1  | 0           | 0    | 0   | -1             | 0  | -1   | -1   | ±1 | 1            |

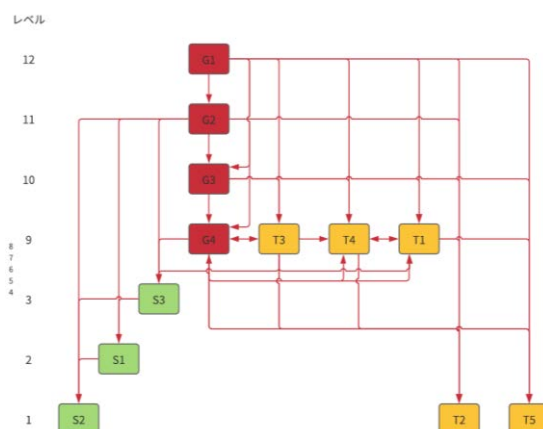


図-2 直接的な影響関係を示すISMダイアグラム

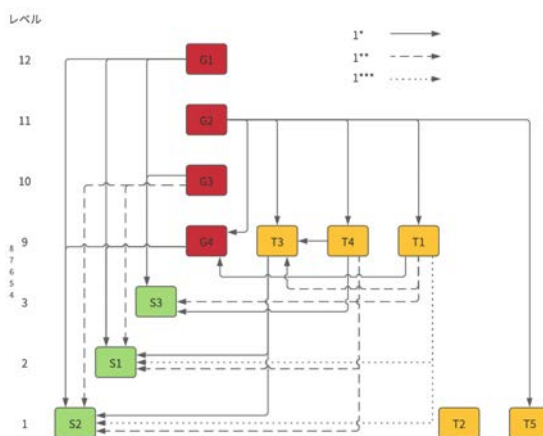


図-3 間接的な影響関係を示すISMダイアグラム