

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

首都大学東京 都市環境科学研究科 学生員 ○横田 裕人

首都大学東京 都市環境科学研究科 正会員 河村 明

首都大学東京 都市環境科学研究科 学生員 Jean Margaret R. Mercado

首都大学東京 都市環境科学研究科 正会員 天口 英雄

1. はじめに

フィリピンの首都圏メトロマニラをはじめとする発展途上国の大都市においては、洪水リスクがあまり考慮されずに都市が進展拡大してきたため都市型洪水が頻発している。特に、メトロマニラは世界の都市の中でも最も洪水の影響を受けやすい都市の一つとなっており、洪水対策は長年の懸案事項となっている。洪水対策としては、世界の都市においてハードおよびソフト対策を組み合わせた総合洪水リスクマネジメント (Integrated Flood Risk Management, 以下 IFRM と記す) が導入されているが、特に発展途上国の環境下においてはそれを的確に履行することは極めて困難な状況にある。メトロマニラにおいても 2009 年に台風 Ondoy (国際名 Ketsana) により甚大な被害が発生し、これを受けてフィリピンでは 2012 年に初めて IFRM のマスタープランが策定されたものの、その具体的なハードおよびソフト対策のほとんどは、様々な理由 (バリアー) により実際には履行されず現在に至っている。メトロマニラの IFRM 上のバリアー抽出に関しては、既に著者らにより、表-1 に示す 12 のバリアーが抽出されている¹⁾。このような IFRM 上のバリアーの解析を行うことは、IFRM を履行可能なものとするために必要不可欠であると考えられるが、そのような IFRM 上の具体的なバリアーを数学的手法を用いて解析した研究はほとんど見受けられない。そこで本研究では、メトロマニラを対象に ISM (Interpretive Structural Modeling) 法²⁾を用いて IFRM 上のバリアー間の関係を解析・評価した。ISM 法は、Warfield によって提案され、多くの要因が複雑に関連しあっている問題に対し、要因間の影響関連度合いを階層化した有向グラフとして表現する手法である。本研究では IFRM 上のバリアー間の関係をより正確に表現するため、従来の ISM 法を修正した ISM 法を適用した。

表-1 抽出したバリアー

番号	アスペクト	記号	バリアー
1	(Governance) 統治	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	(Social) 社会	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	(Technological Resources) 技術資源	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

2. 修正 ISM 法

ISM 法は図-1 に示すフローチャートで行われる。赤枠で囲った手順が修正した部分である。まず、本研究では、表-1 のように抽出された 12 のバリアー間の任意の 2 つのバリアー i, j 間の相互関係 (以下の a) ~ d) の関係のうちの一つ) を判断し、「①構造自己相互関連行列 (SSIM) の作成」を行う。

- 「+」… i が j に影響を与える
- 「-」… i が j に影響を与えられる
- 「±」… i と j が互いに影響を与えあう
- 「0」… i と j が無関係である

ここでは、この判断のためにフィリピンの IFRM の専門家にアンケートを行い、さらにこれらの関係の一貫性評価を繰り返し、得られた最終 SSIM を表-2 に示す。なお、表-2 の網掛けに関しては一貫性評価の結果得られた相互関係である。

次いで、「②可達行列 (Reachability Matrix, 以下 RM) の作成」をするが、従来は最終 SSIM の記号を行列計算を行うために「+、±」は 1、「-、0」は 0 と置き換え、さらに単位行列を加えることで初期 RM を作成していた。そして、間接的な相互関係を考慮するため初期 RM をブール代数の法則に従って累乗操作を行い、それが変化しなくなったものが表-3 に示す最終 RM である。なお、表-3 の 1* がブール代数の累乗操作により得られた間接的な相互関係である。一方本研究では、「+」を 1、「±」を ±1、「-1」を -1、「0」を 0 と置き換え、さらに単位行列を加える修正した初期 RM を提案する。これにより、上記のバリアー間の相互関係 a) ~ d) 全てを表示するこ

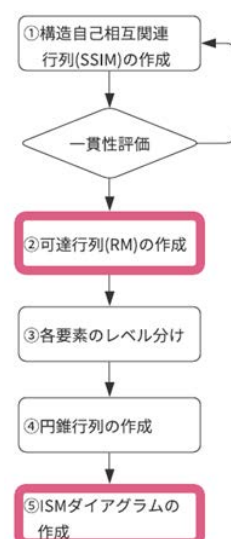


図-1 ISM 法のフロー

キーワード 修正 ISM 法, バリアー, 相互関係, 総合洪水リスクマネジメント, メトロマニラ

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

とができる。さらにバリアー間の間接的な相互関係を考慮するため、新しく組み込まれた-1, ± 1 も含めた修正ブール代数を用いて累乗操作を行い、それが変化しなくなった修正最終 RM が表-4 である。表-4 では、行列の累乗の回数分の*を付加することで、いくつかのバリアーを経由して間接的に影響を与えているのかが一目でわかるようになっている。

次に表-4 を用いて「③各バリアーのレベル分け」を行い、そして「④円錐行列の作成」をすることになるが、これらの手順については参考文献 3) を参照されたい。

最後に、得られた円錐行列を用いて「⑤ISM ダイアグラムの作成」を行う。従来の ISM 法では、影響度の最も小さいレベル I のバリアーを上層に、そしてレベルが大きくなるにつれて下層にそのバリアーを配置していたが、本研究ではこれを一般的な感覚に合うように逆に配置することとした。そして従来の ISM 法では、隣接するレベル間の要素の関係及び、同一レベルの要素の関係のみを実線の矢印で表現していたが、本研究では、直接影響を与える全ての関係を(赤色の)実線有効グラフで表現するのみならず、全ての間接影響関係についても、(黒色の)有効グラフで表現することとした。さらにこの場合、間接影響の度合いにより、有効グラフの種類を変えることとした。以上により得られた ISM ダイアグラムを図-2 に示す。

3. ISM ダイアグラムによるバリアー間の相互関係の解析

図-2 より「統治」アスペクトのバリアーは、影響レベルが高く、他のバリアーに直接・間接的に大きな影響を及ぼしていることが確認できる。中でもバリアー番号 1 (バリアー記号 G1) 「組織体の過多」からは直接影響を与える矢印(赤色)及び、1つのバリアーを経由して間接的に影響を与える矢印(黒実線)が多く出ており、他のバリアーに大きな影響を及ぼす。一方「社会」アスペクトのバリアーは、ほかのバリアーよりも直接・間接的に大きく影響を受けていることが確認できる。また、「技術資源」アスペクトのバリアーは、レベルの低いものと中間的レベルの二分され、「統治」アスペクトのバリアーから影響を受けるのみならず、「技術資源」アスペクトのバリアーと相互に影響を及ぼしあっている。

4. むすび

本研究ではフィリピン・メトロマニラを対象とし、抽出した IFRM 上のバリアーを用いて、修正 ISM 法を用いてバリアー間の直接・間接的影響関係を解析・評価した。修正 ISM 法を用いることにより、バリアー間の影響関係、間接的影響に関しては、いくつかのバリアーを経由して影響を与える・与えられるのかが一目でわかるようになった。12のバリアーに関して、ISM ダイアグラムより、「統治」アスペクトのバリアーが他のバリアーに対して最も影響を与えていること、「社会」アスペクトのバリアーは他のバリアーに比べて大きく影響を受けていること、「技術資源」アスペクトのバリアーは相互に影響を与えあっていることを確認した。

参考文献

- 1) Mercado, J.M.R., Kawamura, A and Amaguchi, H. (September 2018) Interrelationships of flood risk management barriers in Metro Manila, Philippines. *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser.G (Environmental Research)*, Vol.74, No.5, pp.I_285-I_292.
- 2) Warfield, J.N., 1973. Binary Matrices in System Modeling. *IEEE Trans. Syst. Man, Cybern.* 5, 441-449.
- 3) Mercado, J.M.R., Kawamura, A and Amaguchi, H. (2019) Hierarchical Structure of the Barriers to Integrated Flood Risk Management in Metro Manila, Philippines by Interpretive Structural Modelling Approach. *Japan Society of Civil Engineers, Ser.G (Environmental Research)*, Vol.75, No.5, pp.I_107-I_114.

表-2 最終 SSIM

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

表-3 従来の最終 RM

	j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
アスペクト		統治 (Governance)				社会 (Social)			技術資源 (Tec Res)				
i		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
2	G2	0	1	1	1*	1	1	1*	1	1*	1*	1*	1*
3	G3	0	0	1	1	1*	1*	1*	1	1	1	1	1
4	G4	0	0	0	1	1*	1*	1	1	1	1	1	1
5	S1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
6	S2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
7	S3	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
8	T1	0	0	0	1*	1*	1*	1*	1	1	1*	1	1
9	T2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
10	T3	0	0	0	1	1*	1*	1	1	1	1	1	1
11	T4	0	0	0	1	1*	1*	1*	1	1	1*	1	1
12	T5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

表-4 修正した最終 RM

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

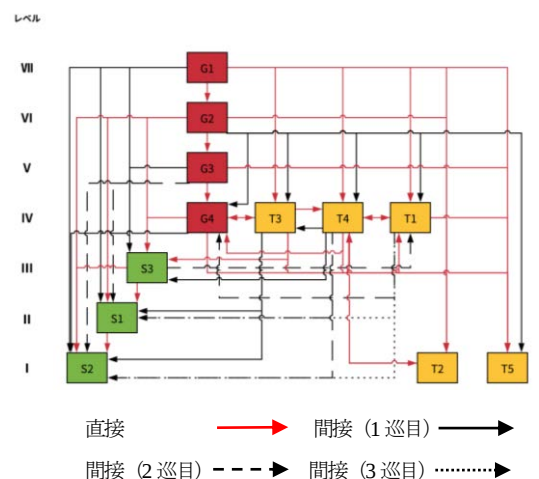


図-2 ISM ダイアグラム