

# フィリピン・メトロマニラにおける洪水リスク減災マネジメントの多基準ギャップ解析

首都大学東京	都市環境学部	学生員	○山地 秀幸
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	R.Gilbuena
首都大学東京	都市環境科学研究科	正会員	天口 英雄
首都大学東京	都市環境科学研究科	正会員	中川 直子

## 1. はじめに

洪水リスク減災マネジメントにおいて洪水対策を実施する優先地域を判断することは、洪水対策の計画立案者にとって重要な作業となっている。また計画立案者が洪水基盤施設の建設や補修の計画を行う際、国の予算配分において定量化できる基準を必要としている。本研究で対象としたフィリピン・メトロマニラでは洪水対策は長年の懸案事項であり、これまでの政府の洪水リスク減災マネジメントによって、洪水脆弱地域が2002年ではメトロマニラ全体の20%であったものが、2008年には約4%に減少している<sup>1)</sup>。しかし、2009年9月26日、フィリピン・メトロマニラに上陸した台風 Ondoy による災害でメトロマニラの約34%が浸水し、約2億4000万ドルもの損害が生じた<sup>2)</sup>。この時、洪水基盤施設の不十分な水理的設計及び洪水予報システムや洪水警報システムの不適切なメンテナンスによって洪水の被害が拡大したことが明らかとなり、台風 Ondoy による被害を契機に、フィリピンではこれまでに行われてきた洪水リスク減災マネジメントに対して定量化できる基準が求められるようになってきている。

多基準ギャップ解析は多基準分析によるギャップ解析である。多基準分析は様々な研究分野で用いられており、例えば Wu らは堆積物による地域的な脆弱性を評価するために多基準分析を用いた<sup>3)</sup>。しかし、著者らの知る限り洪水リスク減災マネジメントに対して多基準分析が用いられた例はない。

以上の背景の下、本研究では、台風 Ondoy 災害後に行われたメトロマニラを構成する17の地方自治体のうち14の自治体を対象にしたアンケート調査に基づき、メトロマニラにおける洪水リスク減災マネジメントの多基準ギャップ解析を行った。そして本解析結果をもとに、洪水による被害を効果的に軽減する洪水対策について検討を行った。

## 2. 対象地域及び洪水リスク減災マネジメント調査

図-1 にメトロマニラを構成する17の地方自治体を示す。メトロマニラはフィリピンの首都で最も人口が多く、人口密度は18000人/km<sup>2</sup>である。また、フィリピンの政治・経済の中心であり、年間の国内総生産(GDP)の33%を担っている。2009年10月、著者らは台風 Ondoy 災害後にメトロマニラの各自治体を対象に洪水リ

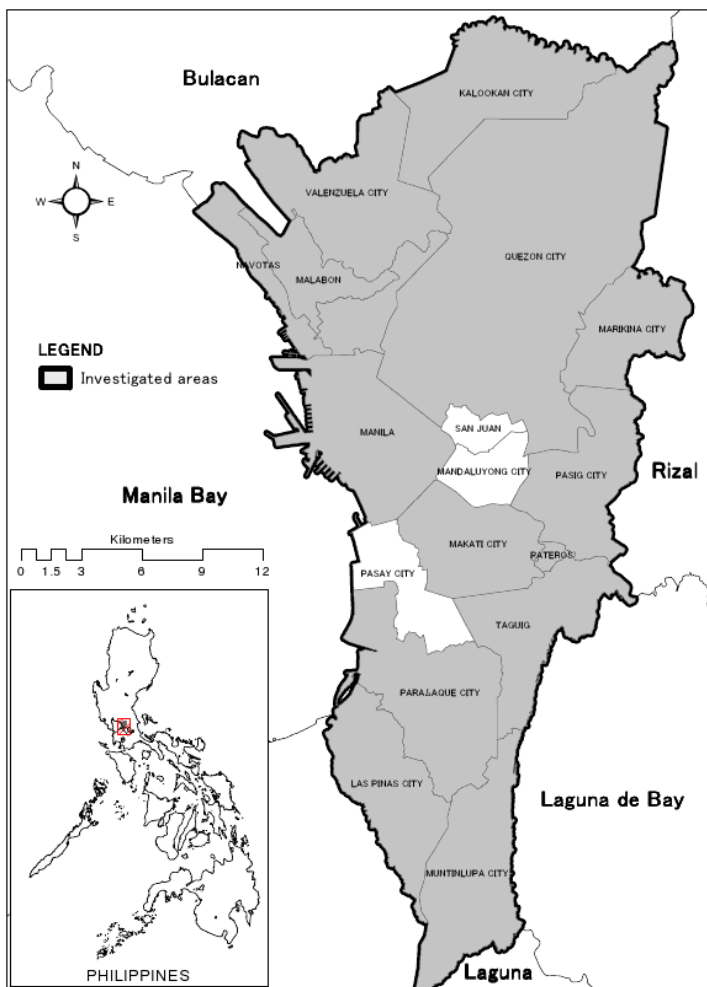


図-1 フィリピン・メトロマニラ及び対象自治体

キーワード ギャップ解析, 多基準分析, 洪水リスク減災マネジメント, 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 : yamaji-hideyuki@ed.tmu.ac.jp

表-1 各自治体の洪水リスク減災対策パフォーマンス評価値

洪水リスク減災活動 (i)	コード	洪水リスク減災対策 (j)	パフォーマンス評価 (P <sub>i,j,k</sub> )													
			Malabon City	Caloocan City	Navotas City	Valenzuela City	Makati city	Pateros	Pasig City	Taguig City	Marikina City	Quezon City	Manila City	Las Pinas City	Paranaque City	Muntinlupa City
防止	A	土地利用	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	B	洪水緩和策	0.5	0.5	1	0.5	1	0.5	0.5	1	1	0.5	0.5	0	0.5	0.5
	C	早期の洪水警報	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
準備	D	行政組織	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
	E	ハザードマップ	1	0.5	0.5	0.5	1	0.5	0.5	0.5	1	1	1	0	0.5	0.5
	F	避難と救助	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.5	1
	G	情報システム	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	H	洪水に関する教育	0.5	1	1	1	0.5	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	I	緊急時の対策	0.5	0.5	1	1	0.5	0	0.5	1	0.5	0.5	0	0.5	0.5	0.5
対応	J	警報システムの普及	0.5	1	1	1	0.5	0	0	1	0.5	1	1	1	1	0.5
	K	避難の対応	0.5	1	1	1	0.5	0	0	0.5	0.5	1	0.5	0.5	1	1
	L	非常時の対応	0	0	1	0.5	0.5	0	0.5	1	0.5	0.5	0	0	0	0.5
回復	M	復興過程	0.5	0.5	1	1	0.5	0.5	0.5	1	0.5	0.5	0.5	1	0.5	0.5

スク減災マネジメントに関する記述式のアンケート調査を行った。その結果 17 の自治体のうち、図-1 の灰色で示す 14 の自治体から回答を得た。アンケート調査の記述結果からその洪水リスク減災対策を数値化し、これを表-1 で示すようにパフォーマンス評価  $P_{i,j,k}$  ( $i$ : 洪水リスク減災活動,  $j$ : 洪水リスク減災対策,  $k$ : 地方自治体) として 3 つの数値レベル 1, 0.5, 0 で表した。「1」は洪水リスク減災対策が適切に行われている状態を示す。「0.5」は洪水リスク減災対策が行われているものの、それがまだ不十分である状態を示す。最後に「0」は洪水リスク減災対策が行われていない状態を示す。例えば、Malabon City における洪水リスク減災対策の「緊急時の対策」(コード I) のパフォーマンス評価  $P_{i,j,k}$  の値は「0.5」となっているが、これは台風 Ondoy の上陸時に緊急時の対策が行われたものの、レスキュー車両の不足、レスキュー隊員の訓練不足などの障害が発生したためである。

3. 多基準ギャップ解析

図-2 に、洪水リスク減災マネジメントを評価する場合における多基準ギャップ解析の概念図を示す。このフロー図では、まず表-2 に示すように、評価基準として「洪水リスク減災活動」をとり、そのサブ評価指標として「洪水リスク減災対策」を選択する。ここで本研究では、洪水リスク減災活動として「防止」、「準備」、「対応」、「回復」を挙げ、その具体的な対策として表-2 のコード A から M に示す洪水リスク減災対策が列挙される。次いで、活動順位に基づいて各洪水リスク減災活動及び洪水リスク減災対策に重みづけ ( $W_i$  及び  $W_{i,j}$ ) を行い、各洪水リスク減災対策を等価重み  $W_{eq,i,j}$  として数値化する。

本研究においては、著者らは活動順位に基づいた値の重み付けを提案する。すなわち、洪水リスク減災活動及び洪水リスク減災対策の時間的な活動順位に基づいてそれぞれの重み  $W_i$  及び  $W_{i,j}$  を以下の式で決定する。等価重み  $W_{eq,i,j}$  は  $W_i$ ,  $W_{i,j}$  の積

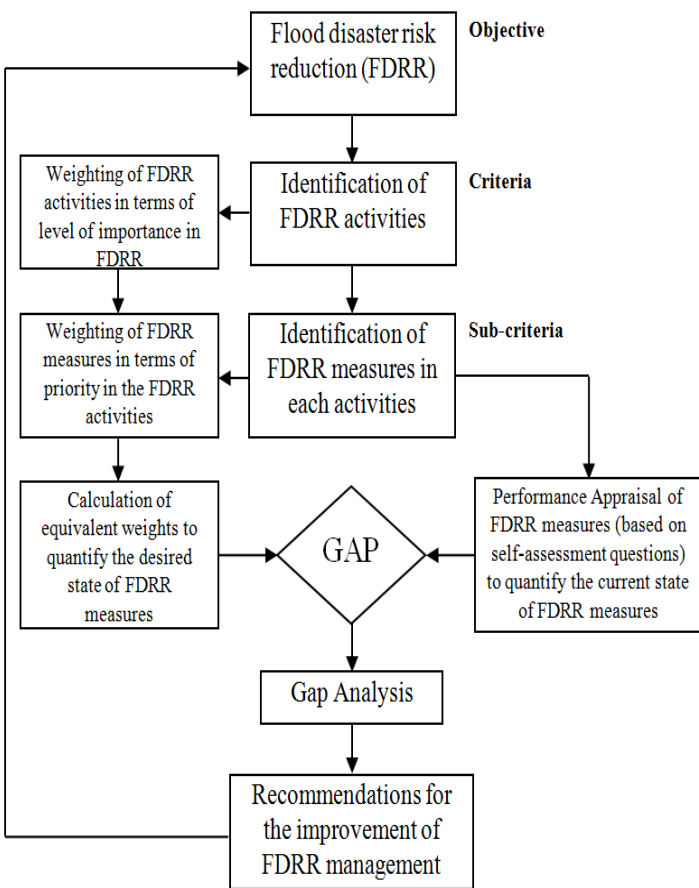


図-2 洪水リスク減災マネジメントの多基準ギャップ解析フロー図

表-2 洪水リスク減災活動及び洪水リスク減災対策

洪水リスク減災活動 (i)	活動順位 (R <sub>i</sub> )	活動重み (W <sub>i</sub> )	コード	洪水リスク減災対策 (j)	活動順位 (R <sub>i,j</sub> )	対策重み (W <sub>i,j</sub> )	等価重み (W <sub>eq,i,j</sub> )
防止	1	0.4	A	土地利用	1	0.500	0.200
			B	洪水緩和策	2	0.333	0.133
			C	早期の洪水警報	3	0.167	0.067
準備	2	0.3	D	行政組織	1	0.286	0.086
			E	ハザードマップ	2	0.238	0.071
			F	避難と救助	3	0.190	0.057
			G	情報システム	4	0.143	0.043
			H	洪水に関する教育	5	0.095	0.029
			I	緊急時の対策	6	0.048	0.014
対応	3	0.2	J	警報システムの普及	1	0.500	0.100
			K	避難の対応	2	0.333	0.067
			L	非常時の対応	3	0.167	0.033
回復	4	0.1	M	復興過程	1	1.000	0.100

として算定され、その結果を表-2に示す。

$$W_i = (n - R_i + 1) / \sum_{i=1}^n R_i \quad (1) \quad W_{i,j} = (n_i - R_{i,j} + 1) / \sum_{j=1}^{n_i} R_{i,j} \quad (2) \quad W_{eq,i,j} = W_i * W_{i,j} \quad (3)$$

ここに、 $n$ ：洪水リスク減災活動総数  $n_i$ ：各洪水リスク減災活動における洪水リスク減災対策総数  
次に、表-1で示したパフォーマンス評価  $P_{i,j,k}$ と表-2で示した等価重み  $W_{eq,i,j}$ を用いて、各自治体  $k$ の洪水リスク減災活動  $i$ 及びその対策  $j$ のギャップ値  $\Delta_{i,j,k}$ を以下の式で算定する。この場合、極端に高いギャップ値（例えば  $\Delta_{i,j,k}=1.0$ ）は地方自治体が適切に洪水リスク減災マネジメントを行っていないことを意味し逆に、 $\Delta_{i,j,k}=0.0$ は適切に洪水リスク減災マネジメントを行っていることを示している。

$$\Delta_{i,j,k} = W_{eq,i,j} - W_{eq,i,j} * P_{i,j,k} \quad (4)$$

さらに、洪水リスク減災活動  $i$ とその対策  $j$ のギャップ値を合計して各自治体のギャップ値  $\Delta_k$ を算定し、洪水リスク減災活動  $i$ とその対策  $j$ のギャップ値について平均することにより、メトロマニラ全体としての洪水リスク減災対策  $j$ のギャップ値  $\Delta_{MM,i,j}$ が求められる。

$$\Delta_k = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n_i} \Delta_{i,j,k} \quad (5) \quad \Delta_{MM,i,j} = \sum_{k=1}^N \Delta_{i,j,k} / N \quad (6)$$

ここに、 $N$ ：対象とする地方自治体の総数

#### 4. 結果と考察

表-3に多基準ギャップ解析の結果を示す。表-3より、洪水リスク減災対策における「土地利用」（コードA）のギャップ値が「0.1」と大きく、かつ全ての自治体において「0.1」となっていることが分かる。これは「土地利用」の活動順位が「1」で活動重みが「0.4」と大きく、また表-1で示す「土地利用」のパフォーマンス評価  $P_{i,j,k}$ の値が「0.5」であるからである。

図-3に、表-3で示した自治体ごとのギャップ値  $\Delta_k$ を図示した。図-3より、PaterosとPasig Cityのギャップ値は0.4より高く、またNavotas CityとTaguig Cityのギャップ値が0.2以下となっており、各自治体でギャップ値に差があることが分かる。多基準ギャップ解析で最もギャップ値が高い自治体であったPateros（ $\Delta_k=0.55$ ）について検討してみる。Paterosはメトロマニラの中で最も面積が小さい（2.1 km<sup>2</sup>）自治体であるにも関わらず、人口が62000人以上で人口密度がメトロマニラの中で2番目に高い。台風Ondoy災害時には、Paterosのほぼ全域で1~2mの浸水が発生した。Paterosにおける洪水リスク減災マネジメントの評価により、表-3で示すようにコードA・B・D・J・Kのギャップ値が他のギャップ値に比べ数値が大きいことが分かる。以上より、Paterosが行う洪水リスク減災マネジメントの問題点として、「洪水脆弱地域に住む人が多い」、「洪水リスク減災マネジメントを行う行政組織が明確に存在していない」、「洪水警報システムの普及に向けた対策をしていない」、「洪水緩和策と避難手順の指導が効率的ではない」ことが挙げられる。Paterosの次にギャップ値が大きいのはPasig Cityであるが、表-3で示すようにPasig CityにはPaterosとは違い洪水リスク減災マネジメントの行政組織がすでに存在しているため、Paterosと比べギャップ値が低くなっている。

表-3 メトロマニラ各自治体の洪水リスク減災対策ギャップ値

洪水リスク減災活動 (i)	コード	洪水リスク減災対策 (j)	ギャップ値 ( $\Delta_{i,j,k}$ )													ギャップ値 ( $\Delta_{MM,i,j}$ )			
			Malabon City	Caloocan City	Navotas City	Valenzuela City	Makati City	Pateros	Pasig City	Taguig City	Marikina City	Quezon City	Manila City	Las Pnas City	Paranaque City		Muntinlupa City		
防止	A	土地利用	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
	B	洪水緩和策	0.067	0.067	0.000	0.067	0.000	0.067	0.067	0.000	0.000	0.067	0.067	0.133	0.067	0.067	0.067	0.052	
	C	早期の洪水警報	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
準備	D	行政組織	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.086	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	
	E	ハザードマップ	0.000	0.036	0.036	0.036	0.000	0.036	0.036	0.036	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.071	0.036	0.023	
	F	避難と救助	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.029	0.000	0.002	
	G	情報システム	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	H	洪水に関する教育	0.014	0.000	0.000	0.000	0.014	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	
	I	緊急時の対策	0.007	0.007	0.000	0.000	0.007	0.014	0.007	0.000	0.007	0.007	0.014	0.007	0.014	0.007	0.007	0.007	
対応	J	警報システムの普及	0.050	0.000	0.000	0.000	0.050	0.100	0.100	0.000	0.050	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.050	0.029	
	K	避難の対応	0.033	0.000	0.000	0.000	0.033	0.067	0.067	0.033	0.033	0.000	0.033	0.033	0.000	0.000	0.000	0.024	
	L	非常時の対応	0.033	0.033	0.000	0.017	0.017	0.033	0.017	0.000	0.017	0.017	0.033	0.033	0.033	0.033	0.017	0.021	
回復	M	復興過程	0.050	0.050	0.000	0.000	0.050	0.050	0.050	0.000	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.036	
ギャップ値 ( $\Delta_k$ )			0.355	0.293	0.136	0.219	0.271	0.552	0.443	0.169	0.257	0.240	0.298	0.307	0.357	0.326			

図-4には、表-3で示した各洪水リスク減災対策に対するギャップ値 $\Delta_{MM,i,j}$ を図示している。図-4のアルファベットA~Mは表-3で示した洪水リスク減災対策のコードを示している。図-4より、「防止」、「準備」、「対応」の順にばらつきが大きいことが分かる。一番大きいギャップ値( $\Delta_{MM,i,j}=0.100$ )を示しているのは、洪水リスク減災対策のコードAすなわち「土地利用」であるが、この原因は表-3で示すように対象とした全ての自治体において、他の洪水リスク減災対策のギャップ値と比べ「土地利用」のギャップ値が大きいからである。2番目にギャップ値が高かった( $\Delta_{MM,i,j}=0.052$ )洪水リスク減災対策のは、コードBすなわち「洪水緩和策」である。これは表-3より、Las Pinas Cityにおいて効率的な洪水緩和策を実施していないことが一因となっている。逆に最もギャップ値が低かった( $\Delta_{MM,i,j}=0$ )洪水リスク減災対策はコードC「早期の洪水警報」及びコードG「情報システム」である。このことは、全ての地方自治体が地域のコミュニティに基づいた洪水警報の情報を伝える手段をもっていることを示す。洪水リスク減災活動別にギャップ値を見てみると、「対応」(▲)と「回復」(△)が他の洪水リスク減災活動と比べ、全体的にギャップ値が高いことが分かる。「対応」の場合は精度の低い洪水予報と警報システム、レスキュー隊員の不足、避難指示の伝達手段を持ちあわせていないことが原因と考えられる。「回復」の場合は災害復興のための資金不足が原因でギャップ値が高くなっている。

5. むすび

本研究ではメトロマニラにおける洪水リスク減災マネジメントを体系的・定量的に評価するために、多基準分析によるギャップ解析の手順を示すとともに、多基準ギャップ解析を適用することにより、各自治体、洪水リスク減災対策ごとにそのギャップ値を算定した。その結果、各自治体の洪水リスク減災マネジメントを定量的に評価することができ、自治体間で洪水の対応にかなりの差が生じていることが示された。また、メトロマニラ全体における洪水リスク減災対策において、洪水脆弱地域に住む人々が多いなど「土地利用」に関する対策が不十分であること、「早期の洪水警報」「情報システム」に関する対策が適切に行われていることなどが示された。

参考文献

- 1) MMDA : Map of flood prone area – CY 2002 and Map of flood prone area – CY 2008. Metropolitan Manila Development Authority Flood Control and Sewerage Management Office.
- 2) G. Rabonza, 2009: *Final report on tropical storm “Ondoy” {Ketsana} (Glide No. TC-2009-000205-PHL) and Typhoon “Pepeng” {Parma} (Glide No. TC2009-000214-PHL) (September 24-27 and September 30-October 10, 2009)*. National Disaster Coordinating Council.
- 3) T,Wu, K,Takara, Y,Yamashiki: A case study of vulnerability assessment in the sediment hazardous area by decision analysis, *Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE*, Vol.54, pp.13-18, 2010.

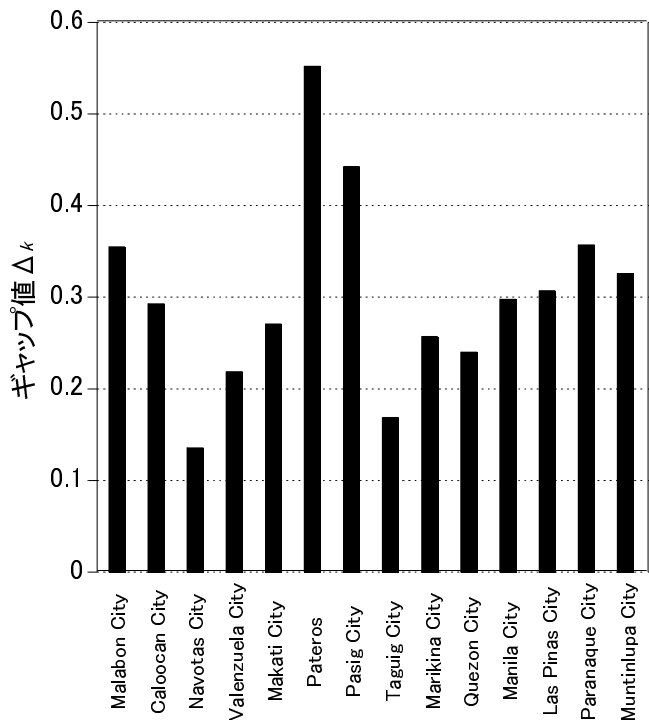


図-3 各自治体のギャップ値

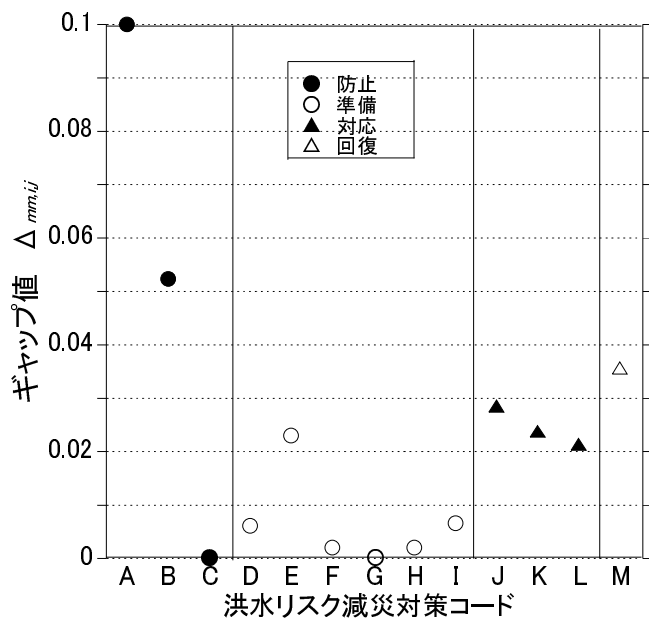


図-4 メトロマニラ全体での洪水リスク減災対策ごとのギャップ値