

# 低頻度メガリスク型沿岸域災害対策の評価手法に関する研究\*

## Evaluation Method of Countermeasures against Infrequent Mega-Risk Type Coastal Hazards\*

小田勝也\*\*・岡本 修\*\*・木俣 順\*\*\*・高木真志\*\*\*・高尾秀樹\*\*\*・岡 良\*\*\*\*・川崎栄久\*\*\*\*\*

By Katsuya ODA\*\*・Osamu OKAMOTO\*\*・Jun KIMATA\*\*\*・Msashi TAKAGI\*\*\*

Hideki TAKAO\*\*\*・Makoto OKA\*\*\*\*・Teruhisa KAWASAKI\*\*\*\*\*

### 1. はじめに

本研究の対象である低頻度メガリスク型沿岸域災害とは、海岸保全施設による防護等のハード対策で計画されている規模(計画外力)を上回る高潮・津波による災害である。このような災害事象は、2004年のインド洋大津波や2005年のハリケーン・カトリーナのように発生頻度は極めて低いものの、一度発生すると大規模で甚大な被害を生じさせる<sup>1)</sup>。このような低頻度メガリスク型沿岸域災害に対する対策は、対策効果を発現する機会も極端に少ないため、投資効果を評価しにくい対策といえる。従って、対策推進に向けては、費用対効果の向上が必要であり、災害時の減災効果だけでなく、平常時においても社会的効用も有する対策が求められる。

本論文では、上記に述べた特色を持つ低頻度メガリスク型沿岸域災害に対する対策のあり方とその評価手法について検討した結果を報告する。

### 2. 低頻度メガリスク型沿岸域災害対策の特徴と課題

#### (1) メガリスク型沿岸域災害による被災メカニズム

本研究の対象であるメガリスク型沿岸域災害は、超巨大災害であり、通常の津波・高潮災害では想定されていないような巨大な外力が発生すると考えている。このような外力が発生した場合、臨海部の都市インフラである道路、鉄道、電力、ガス、通信、上下水道において、現在の災害対策では想定していない形での被害の発生をも想定しなければならない。

図-1に示すように、まず想定を超える脆弱部からの海水や漂流物の流入により施設や機器等に直接的な被害が発生する。これらの被害は、インフラの機能低下をもたらし、利用者への影響波及を通じて臨海部における立地企業の営業損失や生活利便性の低下を引き起こす。最終的には、地域経済の落ち込みをもたらし、悪循環が加わり、臨海部に経済機能が極度に集積している我が国では、甚大な被害に拡大することが強く懸念される。

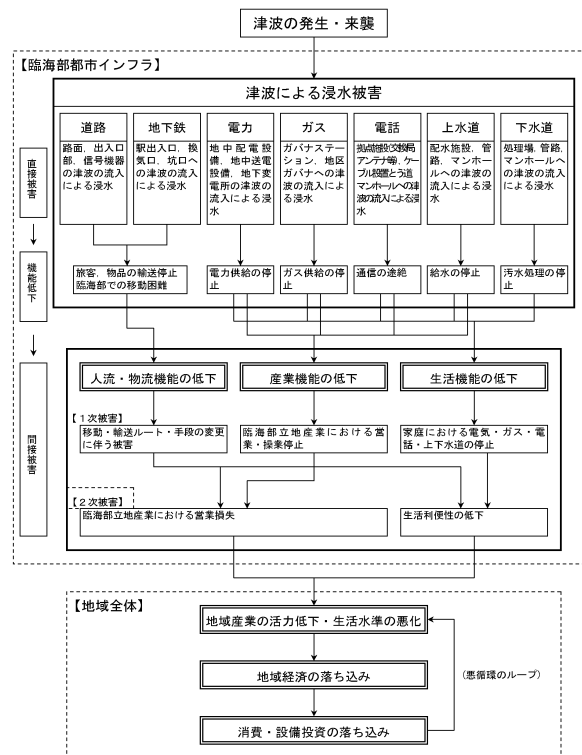


図-1 メガリスク型沿岸域災害のインパクトフロー  
(巨大津波の場合)

#### (2) 低頻度メガリスク型沿岸域災害対策の特徴と課題

災害対策の実施とは、図-2に示すように、立案した計画①を遂行②して、計画の成果③としての災害対応施設の整備や災害に強い都市構造を実現することである。しかし、災害対策において③は、あくまで手段であり、災害対策の真の目的(=計画の帰結④)は、災害時における人・財産等の被害の低減である。

\*キーワード：防災計画、公共事業評価法、計画手法論

\*\*正員、工修、国土交通省国土技術政策総合研究所

(神奈川県横須賀市長瀬3-1-1、

TEL046-844-5024、FAX046-844-5068)

\*\*\*正員、工修、中央復建コンサルタンツ株式会社

(大阪府大阪市東淀川区東中島4-11-10、

TEL06-6160-2162、FAX06-6160-1205)

\*\*\*\*正員、財団法人沿岸技術研究センター

\*\*\*\*\*正員、工博、財団法人沿岸技術研究センター

(東京都千代田区隼町3-16、

TEL03-3234-5862、FAX 03-3234-5877)



図-2 災害対策のトータルプロセス

しかし、③→④の関係は、「災害が発生した場合」という条件の関係であり、災害対策の効果は、災害が発生して初めて発現する。現行の防災投資の評価マニュアルでは、「便益は施設供用後に100%発生すると想定される」<sup>2)</sup>として災害対策の効果は「将来に生ずるもの(将来事象)」として扱っているものもある。一般的に防護便益(災害対策の効果)は、災害の発生確率と時間の経過を加味した被害軽減額の期待値で評価される<sup>3)</sup>。

$$B = \sum_{t=t_0}^T \{(D_{wo} - D_w) \times P(t) / (1+i)^t\} \quad (2.1)$$

ここで、

$B$  : 防護便益

$D_{wo}$  : 対策未実施時の被害額

$D_w$  : 対策実施時の被害額

$P(t)$  :  $t$ 年における対象災害の発生確率

$i$  : 社会的割引率

$t_0$  : 供用開始年次

$T$  : 供用終了年次(耐用年数)

低頻度メガリスク型沿岸域災害により想定される広範囲で甚大な被害を完全に防護( $D_w=0$ )しようすると、莫大な投資になる。一方、現行の投資評価における投資可能額( $C$ )は、得られる便益( $B$ )以下であることが求められている。仮に被害軽減額( $D_{wo}-D_w$ )を100、災害発生確率( $P(t)$ )を200年確率、社会的割引率を4%、供用開始( $t_0$ )を11年後、供用終了( $T$ )を $t_0$ から50年間とした場合、その防護便益( $B$ )は7.6となり、被害軽減額の10分の1も投資できないことになる。同様に1000年確率の場合は、被害軽減額の1.5%が投資限界となる。

さらに、その発生頻度は、極めて低く、「未だ来らざるもの(未来事象)」に対して莫大な投資をしても災害が生じ被害が発生しない限り防護便益は発現しないため、無駄な投資との批判が懸念される。

以上より現行の防災投資の評価手法に基づけば低頻度メガリスク型沿岸域災害への対策の実施は困難である。

### 3. No-Regret-Policyに基づく低頻度メガリスク型沿岸域災害対策の推進に向けた評価手法の検討

#### (1) No-Regretな沿岸域災害対策の考え方

しかしながら、低頻度メガリスク型沿岸域災害は、2(1)で見たように、一旦発災するとその被害は甚大であり、地域社会の致命的なダメージを防ぐための対策実施が不可欠である。それには、従来とは考え方が異なる

投資効果の評価に基づく対策の展開が必要である。本論文では、新たな沿岸域災害対策の考え方について表-1に示す「後悔しない政策(No-Regret-Policy)」の立場からの提案を試みる。

表-1 後悔しない政策(No-Regret-Policy)の考え方

- ・超過外力による巨大災害が発生しても「備えを怠っていた」と後悔しない
- ・供用期間中に災害が生じなくても「無駄な投資をした」と後悔しない

上記の考え方に基づくNo-Regret-Policyとは、巨大災害時には減災効果を発揮するだけでなく、図-2の③→④の条件的関係を平常時にまで拡大し、平常時の多様な社会的効用をも考慮することで、後悔しない意思決定をしようとするものである。それは、表-2に示すように「防災を主機能とするもの」と「それら以外の機能を主機能とするもの」から構成される総合的な社会基盤整備による減災対策と位置づけられる。

表-2 社会基盤施設整備におけるNo-Regret-Policy

- A) 防災を主機能とする施設：平常時も社会的効用あり(災害時には減災効果発揮)
- B) その他の施設：巨大災害時には減災効果を発揮(平常時は社会的効用あり)

A)は、防波堤や防潮施設等の整備であり、これらは、当然減災効果を有している。No-Regret-Policyでは、施設の供用期間中に災害が生じなくても無駄な投資にならないよう、これらに「賑わい空間の創出」など平常時における多様な効用も付加することになる。

一方、B)としては、岸壁、上屋・倉庫、建築物、森林・植林・植栽の第一線への立地、プロムナード・緑地、土地利用などの配置計画の工夫による減災機能の付与が考えられる。平常時はその施設の本来の効果を得ることが出来るとともに、災害時には津波・高潮のエネルギーの減殺、到達時間の遅延、防潮、避難場所確保などの効果が得られるものと考えられる。また、救急・救援活動拠点としての効果、復旧・復興活動拠点として効果も考えられる。

#### (2) 効果評価の定量的手法の検討

##### a) No-Regretな沿岸域災害対策の投資評価式の提案

まず、上記の対策効果(=便益)について帰着する主体別に整理した便益帰着構成表を表-3に示す。

現行の評価手法における便益の算定対象は、主に港湾や背後における家屋・家庭用品、事業所、公共施設などの資産に対する直接被害の軽減額である。

一方、表-3に示すようにNo-Regretな沿岸域災害対策の効果は、多様で平常時にも及ぶ。従って、便益算定対象も災害時の臨海部インフラ利用関連被害の軽減額と平常時の社会的効用(消費者余剰の増分等)に拡張する必要がある。これらを踏まえたNo-Regretな沿岸域災害対策の投資評価式は、式(3.1)となる。

表－３ 低頻度メガリスク型沿岸域災害に対するNo-Regretな災害対策の便益帰着構成表(案)

| 項目                | 主体           | 災害対策の<br>整備主体    | 臨海部都市インフラ<br>供給主体          | 代替・復旧セクター          | 背後地域                                                              |                                                             |                  | その他の地域           |                  | 合計    |
|-------------------|--------------|------------------|----------------------------|--------------------|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|------------------|------------------|------------------|-------|
|                   |              |                  |                            |                    | 企業                                                                | 住民                                                          | 国・自治体            | 企業               | 国民               |       |
| 1)建設費             |              | 建設費(-)<br>補助金(-) |                            |                    |                                                                   |                                                             |                  |                  |                  | (-)   |
| 2)維持管理費           |              | 管理運営費(-)         |                            |                    |                                                                   |                                                             |                  |                  |                  | (-)   |
| 3)移動・輸<br>送       | 料金収入<br>料金支出 |                  | 減収の回避(+)                   | 収入機会の喪失(-)         |                                                                   |                                                             |                  |                  |                  | ※     |
|                   |              |                  |                            |                    | 料金支出増大の回避<br>(+)                                                  | 料金支出増大の回避<br>(+)                                            |                  |                  |                  |       |
|                   |              | 輸送・移動<br>費用      |                            |                    | 輸送・移動費用増大<br>の回避(+)                                               | 輸送・移動費用増大<br>の回避(+)                                         |                  |                  |                  | (+)   |
|                   |              | 輸送・移動<br>時間      |                            |                    | 輸送・移動時間増大<br>の回避(+)                                               | 輸送・移動時間増大<br>の回避(+)                                         |                  |                  |                  | (-)   |
| 4)生産(業務)          |              |                  | 資産被害の回避(+)                 | 収入機会の喪失(-)         | 資産被害の回避(+)<br>賠償の回避(+)<br>生産低下の回避(+)<br>施設配置変更による<br>使い勝手の変化(+/-) | 就労機会喪失の回避<br>(+)                                            | 資産被害の回避(+)       |                  |                  | (+/-) |
| 5)交流・レクリエーショ<br>ン |              |                  |                            |                    |                                                                   | 交流機会の増加(+)                                                  |                  |                  |                  | (+)   |
| 6)安全              |              |                  | 復旧作業費の節約(+)<br>施設復旧費の節約(+) | 収入機会の喪失(-)         | 修理・再購入費の節<br>約(+)                                                 | 修理・再購入費の節<br>約(+)                                           | 災害対応費用の節約<br>(+) |                  |                  | ※     |
| 7)安心              |              |                  | 信頼性低下の回避(+)                |                    |                                                                   | 避難場所の確保(+)                                                  |                  |                  |                  | (+)   |
| 8)環境・生活           |              |                  |                            |                    |                                                                   | 資産被害の回避(+)<br>生活利便性低下の回<br>避(+)<br>施設配置変更による<br>住環境の変化(+/-) |                  |                  |                  | (+/-) |
| 9)地域経済            | 物価           |                  | 購入価格上昇の回避<br>(+)           |                    | 販売価格上昇の回避<br>(-)<br>購入価格上昇の回避<br>(+)                              | 購入価格上昇の回避<br>(+)                                            |                  | 購入価格上昇の回避<br>(+) | 購入価格上昇の回避<br>(+) | 0     |
|                   | 所得           |                  | 所得減の回避(+)                  | 所得増加機会の喪失<br>(-)   | 所得減の回避(+)                                                         | 所得減の回避(+)                                                   |                  | 所得減の回避(+)        | 所得減の回避(+)        | ※     |
| 10)租税             |              |                  | 法人所得・住民税支<br>出減(-)         | 法人所得・住民税支<br>出減(+) | 法人所得・住民税支<br>出減(-)                                                | 所得・住民税支出減<br>(-)                                            | 所得・住民税収増(+)      | 所得・住民税支出減<br>(-) | 所得・住民税支出減<br>(-) | ※     |
| 合計                |              |                  |                            |                    |                                                                   |                                                             |                  |                  |                  |       |

災害時の効果：減多に発現しないが、発現時の絶対量は巨大

平常時の効果：災害時以外の効果

※：代替・復旧セクターの扱い方による

$$\sum_{t=t_0}^T \{ (bt_{\text{災害時}} \times p(t) + bt_{\text{平常時}}) / (1+i)^t \} \geq C \quad (3.1)$$

$$bt_{\text{災害時}} = bt_{\text{資産被害}} + bt_{\text{利用被害}}$$

ここで、

$bt_{\text{資産被害}}$ ：災害時の資産被害軽減額

$bt_{\text{利用被害}}$ ：災害時のインフラ利用関連被害軽減額

$bt_{\text{平常時}}$ ：平常時の消費者余剰の増分等

ｂ) 臨海部インフラ利用関連被害に関する減災効果の  
定量的評価手法の検討

臨海部インフラ利用者、供給者における減災効果は、表－４に示すような１次被害算定式に基づき、対策の有無による影響量に影響量当たりの被害額単価を乗じることにより計算することができる。

表－４ インフラ利用・供給における１次被害算定式

| 主体  | 項目        | 計測方法(影響量×単価)              |
|-----|-----------|---------------------------|
| 利用者 | コスト発生     | 修理 修理費(＝修理量×単価[労賃・部品代等])  |
|     | 再購入       | 再購入費(＝購入量×単価[商品価格])       |
|     | 賠償        | 賠償額(＝損傷量×単価[補償額])         |
|     | 移動・輸送費用増大 | 移動・輸送費(＝迂回量×単価[運賃等])      |
|     | 生産低下      | 生産低下額(＝生産低下量×単価[生産単価])    |
| 供給者 | 利便性低下     | 評価低下額(＝影響対象×単価[CVMにより計測]) |
|     | コスト発生     | 作業発生 作業費(＝作業量×単価[労賃等])    |
|     | 施設復旧      | 復旧費(＝復旧量×単価[施設・設備整備費])    |
|     | 収入減少      | 減収額(＝利用減少量×単価[料金等])       |
|     | 信頼性低下     | 評価低下額(＝影響対象×単価[CVMにより計測]) |

また、図－１の地域全体への影響については、１次被害額を産業連関表の該当部門に投入することにより、その影響を計測することができる。これは、１次被害を帰着ベースで計測したものと考えられ、基本的には重複計上であるが、１次被害算定における単価が被害を適切に代表しているとは限らないため、帰着ベースで被害額で算定し、評価することにも一定の意味はあると考えられる。

ｃ) 平常時の社会的効用の定量的評価手法の検討

No-Regretによる平常時の効果は、表－３に示す施設配置変更による使い勝手や住環境の変化、交流機会の増加であり、既往の社会基盤施設整備の事業評価手法を用いて対策の有無による消費者余剰の増分等を算出することにより計算できる。

ｄ) 平常時の社会的効用を反映した投資限界の分析

前章と同様の条件の下、式(3.1)に基づき平常時の効果を加味して投資限界を試算した結果を表－５に示す。災害時の効果に対して６％の平常時の効果があれば200年確率以下の場合、被害軽減額と同額程度の投資が可能であり、７％以上があればいずれのケースも被害軽減額以上の投資が可能となる。

メガリスク型沿岸域災害による被害は、広域でかつ莫大なものとなる。仮に兆円単位とすると、その数パーセントで数十億円単位となる。一方、平常時の機能・便益は地域が限定され、これだけの便益を発現する施設・施策の想定が可能かどうかの検討は今後の課題である。

表－５ 試算結果

| 発生確率   | 割引前    |        | 割引後(50年間計) |        |        |        |
|--------|--------|--------|------------|--------|--------|--------|
|        | 災害時の効果 | 平常時の効果 | 災害時の効果     | 平常時の効果 | 投資限界   |        |
| 1/200  | 100/回  | 0/年    | (0%)       | 7.55   | 0.00   | 7.55   |
|        |        | 6/年    | (6%)       | 7.55   | 90.56  | 98.11  |
|        |        | 7/年    | (7%)       | 7.55   | 105.65 | 113.20 |
|        |        | 10/年   | (10%)      | 7.55   | 150.93 | 158.48 |
| 1/1000 | 100/回  | 0/年    | (0%)       | 1.51   | 0.00   | 1.51   |
|        |        | 6/年    | (6%)       | 1.51   | 90.56  | 92.07  |
|        |        | 7/年    | (7%)       | 1.51   | 105.65 | 107.16 |
|        |        | 10/年   | (10%)      | 1.51   | 150.93 | 152.44 |

(３) 新たな評価手法に関する模索

ａ) 新たな効果・便益のとらえ方の採用

これまで災害対策の効果は、被害軽減額と等価である

としてきた。しかし、絶対値が等値でも「被害を受ける」という負の価値と「被害を回避する」という正の価値の感じ方は大きく異なる。例えばプロスペクト理論<sup>4)</sup>では、図-3に示すように利益と損失で価値(v)の絶対値が異なる評価基準を用いる。計測したリスクの評価においてはこの考え方を援用することが考えられる。

また、被害の発生から復旧までには時間の経過が介在するため、図-4に示すように災害がなかった場合と同等の水準に戻すためには、現状復旧以上の投資が必要となる。このギャップを災害対策の投資評価に反映することについても検討が必要である。

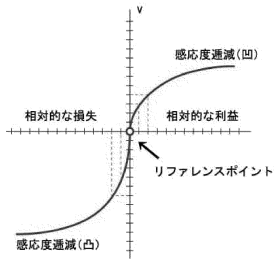


図-3 プロスペクト理論における価値関数

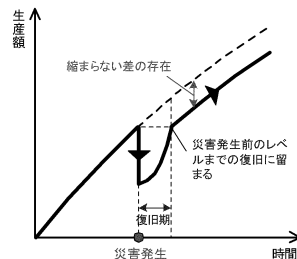


図-4 時間経過の介在

一方、図-2は、災害対策は計画を遂行(②)して初めて成果(③)や帰結(④)を得ることを示している。③→④が条件の関係であるといってもそもそも③が実現しなければ④は得ることが出来ない。つまり、対策を実施することそのものについても、後々の後悔を避けることが期待できるという効果があると考えられる。従って、対策を実施することそのものについての効果を評価する方法を開発し、評価に加えることも考えられる。

#### b) 被害額算定式・費用便益分析手法の改良

一般的に外力と被害は比例の関係と考えられ、通常の災害の範囲であるならば、過去の統計等から被害額算定式を検証することも可能である。しかし、低頻度メガリスク型沿岸域災害の場合、実績データを得ることは容易ではなく、その検証は困難である。そのため、図-5に示すように外力に対して被害が急激に甚大化する可能性も否定できない。

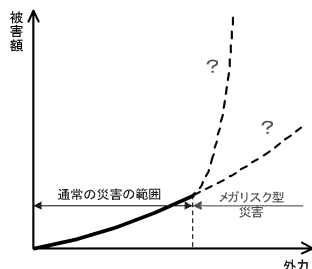


図-5 被害額算定式の関数形

また、便益算定結果は、社会的割引率やプロジェクトライフ(費用、便益の計算期間)に大きく依存するが、既往の評価手法におけるこれらの設定のNo-Regretな対策への適用性にも、課題があると考えられる。

一方、被災を受ける都市インフラが代替性を有しているものであれば、被害の波及は低減され、表-4のコスト発生に係わる被害額は代替・復旧セクターにとっては増収(正の効果)となる。費用便益分析におけるこれらの扱いについては議論のあるところである。

表-5 各インフラの代替性

| インフラ区分 | 代替性                  |
|--------|----------------------|
| 道路     | 他の経路, 他の輸送機関         |
| 鉄道     | 他の経路, 他の輸送機関         |
| 電力     | 自家発電, 蓄電他の経路, 他の輸送機関 |
| ガス     | 自家貯蔵                 |
| 通信     | 他の通信手段               |
| 上水道    | 自家貯水, 他の給水手段         |
| 下水道    | 自家処理                 |

低頻度メガリスク型沿岸域災害対策の評価においては、これらを踏まえた被害額算定式・費用便益分析手法の改良が必要であると考えられる。

#### 4. おわりに

低頻度メガリスク型沿岸域災害対策は、超過外力を対象とすることから本来、減災対策である。しかし、一旦被害が発生すると、被害の及ぶ空間的、機能的、時間的範囲は広い。

このようなローフリークエンシー・ハイインパクトな事象に対する減災対策は、地域社会の壊滅的被害を防ぐ負効用抑止型であるべきである。また現在は、費用対効果、むだの排除が求められる時代でもある。従って、防災投資とその評価について平常時と災害時概念、負効用抑止概念等から見直しを行い、新たな防災計画論を構築すべきと考える。本論文において報告した結果は、このような防災計画手法の高度化に資するものであると考えている。

#### 参考文献

- 1) 樋口嘉章, 小田勝也: 巨大高潮・津波災害に備える-低頻度メガリスク型沿岸域災害に対する研究のスコップ, 平成19年度 国土技術政策総合研究所講演会講演集, 国総研資料, No. 418, pp. 41-56, 2007.
- 2) 農林水産省農村振興局・農林水産省水産庁・国土交通省河川局・国土交通省港湾局: 海岸事業の費用便益分析指針(改訂版), pp. 15, 2004.
- 3) 国土交通省港湾局関係公共事業評価手法研究委員会: 港湾整備事業の費用対効果分析マニュアル, pp. III-9-16, 2004.
- 4) 広田すみれ, 増田真也, 坂上貴之編著: 心理学が描くリスクの世界-行動的意思決定入門-改訂版, 慶應義塾大学出版会, pp. 50-51, 2006.
- 5) 多々納裕一, 高木朗義編著: 防災の経済分析-リスクマネジメントの施策と評価, 勁草書房, 2005.