

低頻度メガリスク型沿岸域災害対策の 多様な効用とその評価手法に関する研究

DIVERSITY OF UTILITIES AND EVALUATION METHOD OF COUNTERMEASURES AGAINST INFREQUENT MEGA-RISK TYPE COASTAL HAZARDS

鈴木武¹・岡本修²・川崎栄久³・木俣順⁴

Takeshi SUZUKI, Osamu OKAMOTO, Teruhisa KAWASAKI and Jun KIMATA

¹正会員 博(工) 国土交通省 国土技術政策総合研究所 (〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1)

²正会員 工修 港湾空港技術研究所 (前国土技術政策総合研究所) (〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1)

³正会員 博(工) 財団法人沿岸技術研究センター (〒102-0092 東京都千代田区隼町3-16)

⁴正会員 工修 中央復建コンサルタンツ株式会社 (〒533-0033 大阪市東淀川区東中島4-11-10)

Although the frequency of so called Infrequent Mega-Risk Type Coastal Hazards is supposed to be very low, the damage induced by them may be serious and widespread once they occur. It is difficult to evaluate properly the effect of investment for such disasters because of their extremely low frequency.

To introduce an idea called "No-Regret-Policy" to Infrequent Mega-Risk Type Coastal Hazards, this research revealed diversity of utilities of countermeasures based on the idea. Furthermore quantitative evaluation methods of the diverse utilities and optimal investment level for the large-scale disasters were investigated.

Key Words : *Infrequent Mega-Risk Type Coastal Hazards, disaster planning, public works assessment, theory of planning methods, diversity of utilities*

1. 研究の目的

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など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。このような巨大災害は、2004年のインド洋大津波や2005年のハリケーン・カトリ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。このような特色を有する沿岸域災害への対策は、その効果を発現する機会が極端に少ないため、従来の評価法では投資効果が低位となる。

本研究では、上に述べた特色を持つ低頻度メガリスク型沿岸域災害への対策のあり方として「後悔しない政策」という概念を導入し、それに伴う多様な効用とその評価手法を提案する。その上で、この型の災害対策投資の可能性について検討を行う。

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

低頻度メガリスク型沿岸域災害は、計画外力を上回る津波・高潮災害であるため、通常災害で想定さ

れている人的被害や家屋・事業所等の資産被害の他、通常の災害に対しては十分防護されている臨海部の都市インフラ(道路、鉄道、電力、ガス、通信、上下水道)においても脆弱部からの想定外の浸水等によってインフラ供給者・利用者に被害を生じさせる。

例えば、道路については、図-1に示すように海水の流入、漂流物の流入によって脆弱部に直接被害が発生、インフラ供給者には道路を使える状態にするためのコスト増、利用制限による収入減少、道路交通に対する信頼性低下といった被害が発生する。

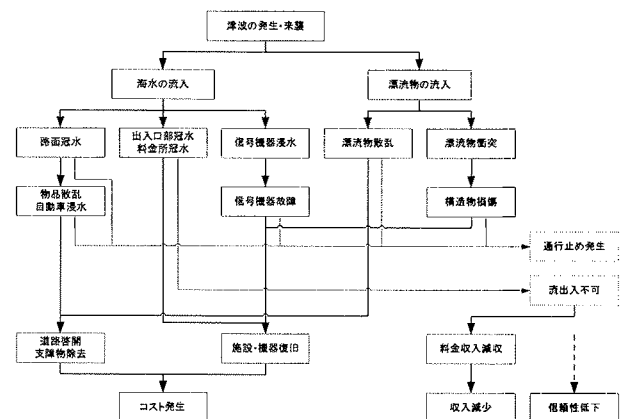


図-1 供給者サイドにおける被害の波及(道路の例)

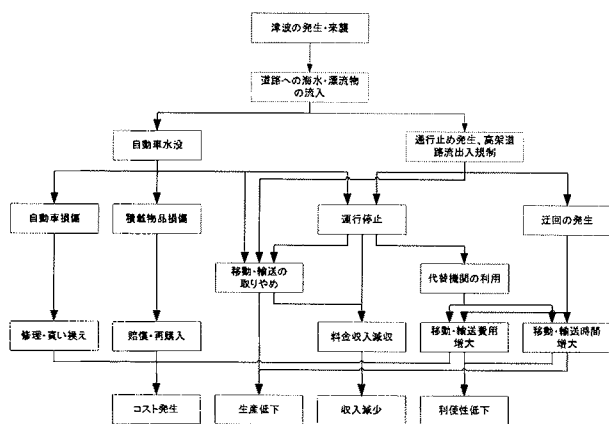


図-2 利用者サイドにおける被害の波及（道路の例）

一方、インフラ利用者には、図-2に示すように道路への海水・漂流物の流入による自動車の水没などの直接被害が発生するとともに、自動車・物品損傷に対するコスト増、通行止めの発生や高架道路の流入規制による迂回等のコスト増、生産低下の発生、運送事業者の利用制限による収入減少、一般利用者の利便性低下といった被害が波及する。

他の都市インフラに関しても同様に供給者及び利用者に被害が発生し、その影響は図-3に示すように社会経済活動に波及する。臨海部に経済機能が極度に集積している我が国では、このような波及により、甚大な被害に拡大することが危惧される。

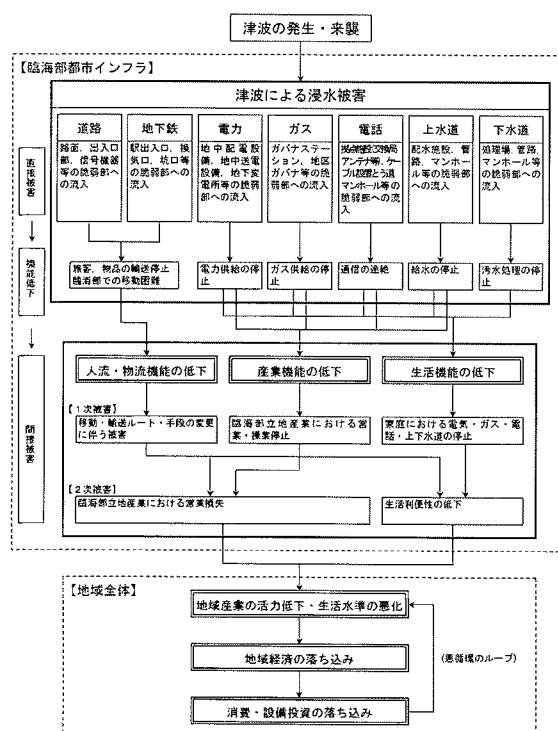


図-3 大規模津波災害のインパクトフロー

(2) 低頻度メガリスク型沿岸域災害対策の課題

災害対策の実施とは、図-4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。



図-4 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」という条件付の関係であり、災害対策の効果は、災害が発生して初めて発現する確率現象である。災害対策の効果は「将来に起こるもの(将来事象)」ではなく、防護便益(災害対策の効果)は一般的に、式(1)のように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¹⁾²⁾。

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

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で甚大な被害を完全に防護($D_w = 0$)する場合、莫大な投資が必要であることは容易に想起される。一方、現行の投資評価における投資限界は、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年後とした場合、式(1)によるとその防護便益 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。その程度の投資では、 $D_w = 0$ とする対策が望めないことは容易に分かる。

一方で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も懸念される。つまり、現行の評価手法に基づけば、低頻度メガリスク型沿岸域災害に対する対策実施は極めて困難であると言わざるを得ない。

3. 後悔しない政策(No-Regret-Policy)の導入とその多様な効用

(1) No-Regretな沿岸域災害対策の考え方

低頻度メガリスク型沿岸域災害は、一旦発災するとその被害は甚大であり、地域社会に致命的なダメージを与えかねない。そのため、対策推進は不可欠であり、それを実現するためには、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法が必要である。ここでは、新たな沿岸域災害対策の考え方として、表-1に示す「後悔しない政策 (No-Regret-Policy)」を提案する。

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No-Regret-Policyという考え方に基づく対策案は、巨大災害時には減災効果を発揮するだけでなく、図-4の③→④での条件付の関係をゆりめ、平常時にも社会的効果を有する対策となる。

No-Regret-Policyに基づく低頻度メガリスク型沿岸域災害対策は、対策により整備する施設を「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」に分けた場合、表-2のような対策と位置づけられ、具体的には、図-5のような施設整備の姿が考えられる。

表-2 低頻度メガリスク型沿岸域災害対策としての No-Regret-Policy

- ・ 防災を主機能とする施設：平時も経済的効用有り(災害時は減災効果発揮)
(具体例：防潮堤・防波堤等に賑わい空間の創出など平常時における多様な効用を付与)
- ・ その他の施設：巨大災害時には減災効果を発揮(平常時は経済的効用有り)
(具体例：エネルギーの減殺、到達時間の遅延、防潮、避難場所確保などを目的とした岸壁、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)

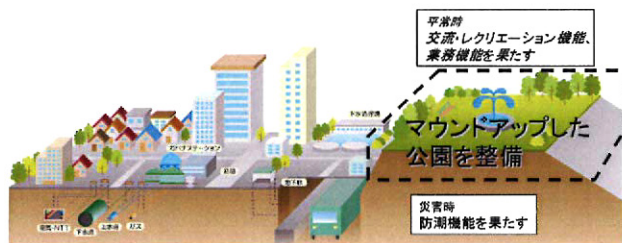


図-5 No-Regret な沿岸域災害対策の実施例

(2) No-Regretな沿岸域災害対策の多様な効用

図-3で整理したように低頻度メガリスク型沿岸域災害の被害は、浸水域だけでなく広く地域全体に波及する。また、表-2に示したようにそれに対するNo-Regretな沿岸域災害対策は、災害時の減災効果だけでなく、平常時の経済的効果も併せ持ったものとして考えている。従って、投資効果として評価すべき効果項目は、以下のa)に示すこれまで津波・高潮対策の効果に加え、b)～d)といった効果も含むよう空間的、時間的に拡張する必要がある。

a) 一般的な津波・高潮対策の効果

最も基本となる効果は、一般的な海岸事業の効果である浸水域における資産、人的被害の軽減(防護効果)である。これは災害時に発現する効果である。

b) 港湾整備と一体となった津波・高潮対策の効果

港湾整備と一体となった津波・高潮対策とは、防潮エリアの防護に加え、港湾地域における浸水被害や流出・漂流被害の軽減にも寄与する対策である。

港湾地域の直接被害を軽減することにより港湾機能の低下とそこから波及する物流機能、人流機能、産業機能などの低下といった間接被害を軽減することが出来る。災害時における港湾機能の確保は、災害後の地域経済への悪影響の軽減にも効果がある。

c) No-Regretな沿岸域災害対策の効果

No-Regretな対策の災害時の効果は、都市インフラの想定外浸水被害を軽減する効果である。都市インフラは経済活動の基盤である各種の都市機能を支えるものであり、これらの軽減は、災害後の地域経済への悪影響の軽減にも効果がある。

また、No-Regretな対策は、津波・高潮の減災機能を有する再開発・遊休地利用・賑わい空間創出など平常時も効用を有する対策を想定している。そのため、これらの対策実施により業務機会の拡大や交流機会の増大といった平常時の効果が発現し、来訪者の増加や地域経済の拡大が生じる。

d) 防災投資による平常時の効果

防災投資により地域の災害リスクが低減する。このことにより、土地資産価値が向上、企業等の独自・個別対策費用・保険料が節約され、立地や産業活動が活性化し、地域経済への好影響が期待される。これらも防災投資による平常時の効果と言える。

e) 多様な効用のまとめ

No-Regretな沿岸域災害対策のこのような多様な効用は、図-6のようにまとめることが出来る。図-7に示すように、これらの効用は災害時に発現するものと平常時に発現するものに大別される。

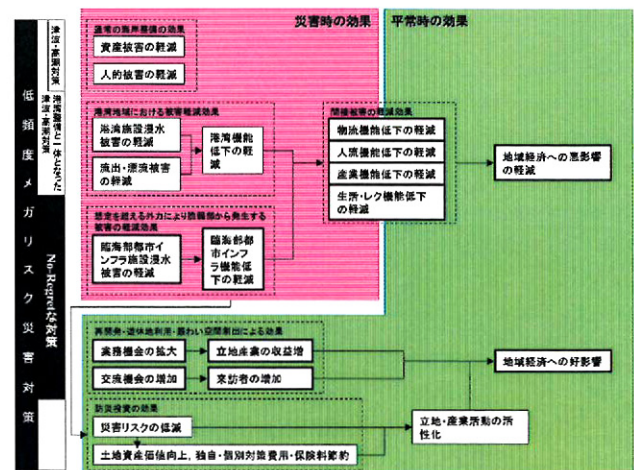


図-6 No-Regret な沿岸域災害対策の多様な効用

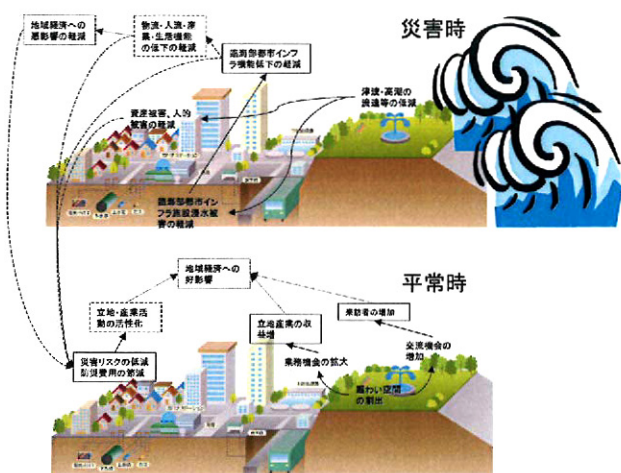


図-7 マウンドアップした緑地を水際線に整備した場合の多様な効用の発現イメージ

ただし、低頻度メガリスク型沿岸域災害の被害は通常の災害と比較して広域に及ぶため、その効果も通常の災害よりも広域で発生することに留意が必要である。

4. 多様な効用を有するNo-Regretな沿岸域災害対策の評価手法の検討

(1) 災害時の減災効果と平常時の経済的効果を併せ持つ対策の評価の考え方

評価には、その評価観点により様々な方法が考えられる。公共事業は、現時点では、効率性を評価観点として、費用対効果によって評価されている。低頻度メガリスク型沿岸域災害特有の観点に合致した評価の観点についても模索していく必要があるが、ここでは従前の考え方との整合性も踏まえ、費用対効果を評価の観点とする。

費用対効果による評価は、対策によって得られる効果がそれに要する費用を上回るかどうかで対策の有効性を評価する。従って、災害時の減災効果と平常時の経済的効果を併せ持つ対策の評価式は、式(2)で表現できる。

$$\sum_{t=t_0}^T \{ (Bt_{\text{災害時}} \times P(t) + Bt_{\text{平常時}}) / (1+i)^t \} \geq C \quad (2)$$

$$Bt_{\text{災害時}} = Bt_{\text{直接被害}} + Bt_{\text{波及被害}}$$

ここで、

$Bt_{\text{直接被害}}$: 災害時の人命・資産・施設被害軽減額

で、式(1)の $\{D_{w0} - D_w\}$ にあたる。

$Bt_{\text{波及被害}}$: 災害時のインフラ関連波及被害軽減額

$Bt_{\text{平常時}}$: 平常時の消費者余剰の増分等

(2) No-Regretな沿岸域災害対策の評価手順

多様な効用を有するNo-Regretな対策の投資効果の評価は表-3のような手順で行うものとする。

表-3 多様な効用の評価手順

- ①メガリスク型沿岸域災害（想定外力）が発生した場合の被害想定：シミュレーション等により、対策未実施時（without時）の浸水域、水位、流速等を算定（想定外力であるため、通常は被害が生じなくても脆弱部から被害発生）
- ②対策メニューの設定：被害を低減でき、かつ平常時の効用がある対策を設定
- ③減災効果の算定：シミュレーション等により、対策実施（with時）による水位・流速等の低減効果を算定
- ④災害時の被害軽減効果の算定：with時とwithout時の直接被害、間接被害、波及被害を算定
- ⑤平常時効用の算定：来訪者の増加、地域経済への効果を算定
- ⑥防災投資による効果の算定：対策実施によるリスクの低減、防災費用の節減、立地・産業活動の活性化、波及効果を算定
- ⑦災害時便益と平常時便益の総和の算定：割引率と発生確率を想定した災害時便益と平常時便益の総和を算定（ただし便益には重複計上にならない効果のみ計上）
- ⑧費用便益分析の実施：費用と便益を比較

(3) 多様な効用の計測方法の検討

これまでの公共投資の評価マニュアル¹⁾²⁾において防災投資の効用とは、対策による災害時の被害軽減額とされている。これらのマニュアルにおける評価では、主に港湾や背後の直接被害を対象に被害軽減額を算定し、災害時の効用としてとらえている。

No-Regretな沿岸域災害対策では、都市インフラへの影響や平常時の効用も評価する必要がある。都市インフラへの影響や平常時の効用について評価方法を拡張する必要がある。

a) 災害時の減災効果の計測方法

災害時の減災効果は、直接被害の軽減効果である人的被害、資産被害、施設被害の軽減と波及被害の軽減効果である都市インフラ利用者、供給者の被害の軽減である。without時及びwith時におけるこれらの被害額は表-4のような計測方法で算定することができ、その差が対策実施による被害軽減額である。

表-4 災害時の被害額の計測方法

項目	算定式
直接被害	
人的被害	人的被害量×人的被害単価
資産被害	資産額×被害率
施設被害	施設資産額×被害率
波及被害	
インフラ利用者被害	機能低下影響量×影響単価
インフラ供給者被害	対応必要量×対応単価

b) 平常時の経済的効果の計測方法

平常時の経済的効果は、業務機会の拡大や交流機会の拡大による立地産業の収益増や来訪者の増加による経済効果であり、その効用額は表-5のような計測方法で算定することができる。

表-5 平常時の経済的効果の計測方法

項目	算定式
業務機会の拡大	立地産業の収益増
交流機会の拡大による来訪者の増加	業務施設等の整備面積×賃料
	来訪者の効用の増大
	来訪者数×効用単価
	来訪者による消費の拡大
	来訪者数×1人あたり消費額

c) 防災投資による効果の計測方法

防災投資による効果は、災害リスクの低減による地域住民・企業等の防災費用の節約と土地資産価値

の向上であり、その効用額は表-6のような計測方法で算定することができる。

表-6 防災投資による効果の計測方法

項目	算定式
災害リスクの低減による防災費用の節約	独自・個別対策の整備費用
土地資産価値の向上	被災地域総資産額×保険料率
	被災地域総土地面積×平均地価

d) 便益と費用の総和の算定方法

社会的割引率を用い、供用期間における便益と費用の総和を算定する。ただし、災害時の減災効果については、災害の発生確率を乗じた期待値として総和を算定する。また、社会的割引率については、これまでの手法との整合性を踏まえ4%として算定する。

(4) 多様な効用の算定と投資限界に関する試験検討

本研究で提案する評価手法を用いてモデル地区におけるNo-Regretな対策の多様な効用について試算し、低頻度メガリスク型沿岸域災害に対する防災投資の投資限界について検討する。

a) モデル地区の施設配置

モデル地区として図-8に示すような仮想的な臨海部の地区を設定する。

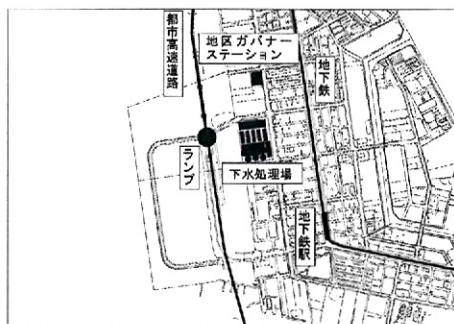


図-8 モデル地区の施設配置

職住が混合する都市部で、前面には未活用の埋立地が存在する。地区内を都市高速が通過しており、地区へのアクセスの関係上埋立地で平面に接しており、ラングが設置されている。幹線道路には地下鉄が敷設されており、地区内に地下鉄駅がある。地区のガス供給を担うガバナーステーションがあり、当該地区の250世帯、220事業所に供給している。地区を含む背後圏4,500haを計画面積とした下水処理場があり、計画人口700千人の汚水処理を担っている。

b) メガリスク型沿岸域災害による浸水及び被害の想定

計画外力以上の津波・高潮が発生した場合の浸水想定とそれに伴い想定される被害を図-9に示す。

地区内の一部では、2mを超える想定外の浸水が発生する。そのため、浸水域では通常の津波・高潮災害の被害である浸水による人的被害、家屋・家庭用品・事業所資産被害だけでなく、都市インフラも脆弱部からの浸水等により施設・機器の直接被害が発生すると想定される。都市インフラの被災により、

道路・鉄道については地区へのアクセスや通過交通、ガスについては地区への供給、下水道については当該地区に加え処理対象の背後圏にも影響を与える。

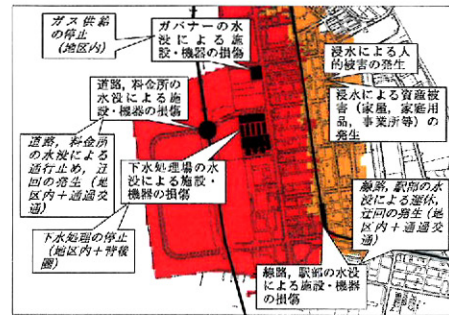


図-9 without時の被害想定

c) 対策の設定

b)で想定した被害に対して減災効果を有するとともに、平常時も経済的効果を有する対策として、図-10のように前面の未活用の埋立地にマウンドアップした緑地を整備するものとする。

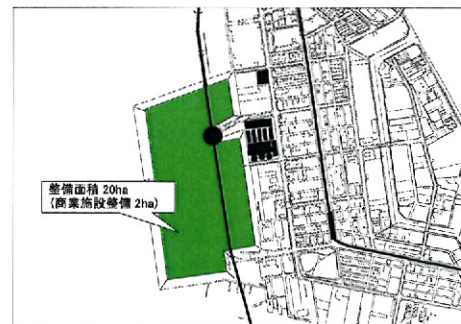


図-10 対策案

緑地の整備面積は20ha、その中に2haの商業施設の整備を行う。背後地への浸水は完全には防げないが、マウンドアップにより浸水深、流速の低下に効果があるものとする。

d) 対策実施時における浸水及び被害の想定

c)で設定した対策を実施した場合の浸水想定とそれに伴い想定される被害を図-11に示す。

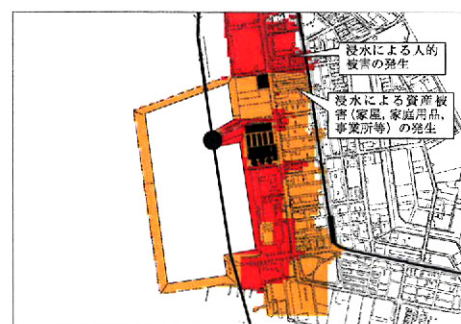


図-11 with時の被害想定

地区内の一部では、2mを超える浸水が発生するが、その範囲は縮小する。そのため、浸水による人的被害、家屋・家庭用品・事業所資産被害は減少し、都

市インフラの直接被害、機能低下も生じないと想定される。

e) 対策効果の計測

(3)で検討した計測方法を用いて対策の効果を計測した結果を表-7に、その際の効果の発現イメージを図-12に示す。

表-7 対策効果の試算結果

項目		算定結果
災害時	直接被害の軽減	人的被害の軽減 2,712 百万円
		資産被害の軽減 4,182 百万円
		施設被害の軽減 21,050 百万円
	波及被害の軽減	インフラ利用者被害軽減 1,690 百万円
		インフラ供給者被害軽減 38 百万円
平常時	業務機会の拡大	立地産業の収益増 363 百万円/年
	交流機会の拡大による来訪者の増加	来訪者の効用の増大 24 百万円/年
		来訪者による消費の拡大 8 百万円/年
	防災費用の節約	保険料の削減 4 百万円/年
		399 百万円/年

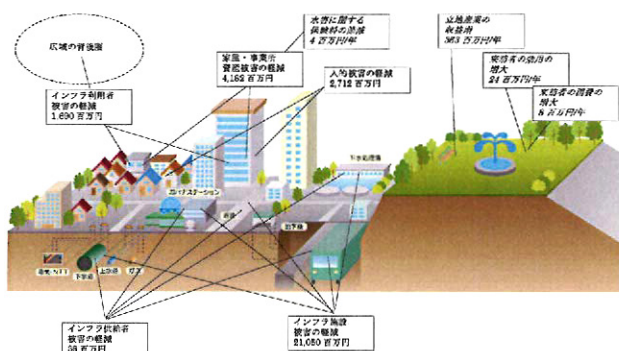


図-12 対策効果の発現イメージ

f) 便益の総和（投資限界）の試算

d)で算定した効果を式(2)に代入し、低頻度メガリスク型沿岸域災害対策の投資限界を試算する。

ここでは、災害の発生確率として①南海地震の長期評価確率（図-13）を用いて設定した場合と②1/200と想定した場合の2ケースについてケーススタディーを実施する。

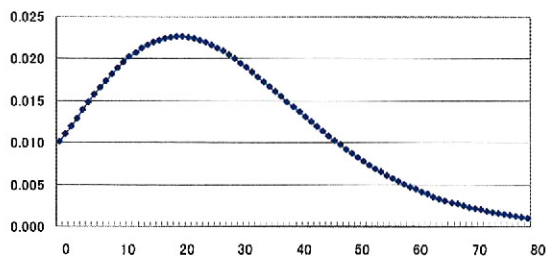


図-13 長期評価に基づくパラメータを用いた地震発生確率（南海地震）

社会的割引率 i を4%、供用開始 t_0 を11年後、供用終了 T を t_0 から50年後として便益額を計算した結果を表-8に、対象とする効果項目の範囲を変えて投資限界を整理した結果を表-9に示す。

①の場合、従来の資産被害のみでは投資限界は約15億円だが人的被害、施設被害に拡張することにより約98億円、さらに波及被害も含めると約104億円

まで投資可能となる。そして平常時の便益も加えると約180億円の投資が可能となる。

②の場合、従来の資産被害のみでは投資限界は約4億円まで低下する。波及被害まで含めると約28億円まで投資可能となるが、①の約1/4に過ぎない。一方、平常時の便益も加えると約105億円の投資が可能となる。従って、発生確率が低い災害に対する対策では平常時の効果の確保が重要であるとともに、その需要予測は慎重に行う必要があると言える。

表-8 供用期間に発生する総便益の試算結果

項目		①南海地震発生確率	②1/200年発生確率
災害時の効果	直接被害	1,466 百万円	899 百万円
	資産被害	950 百万円	259 百万円
	施設被害	7,377 百万円	2,010 百万円
	インフラ利用者被害	592 百万円	161 百万円
	インフラ供給者被害	13 百万円	4 百万円
平常時の効果	業務機会拡大	6,932 百万円	6,932 百万円
	交流機会拡大による来訪者増加	458 百万円	458 百万円
	来訪者による消費拡大	153 百万円	153 百万円
	防災費用節約	76 百万円	76 百万円
	保険料低減	76 百万円	76 百万円
合計		18,018 百万円	10,453 百万円

表-9 発生確率と効果項目の範囲による投資限界のケーススタディー

ケース	従来評価手法評価(資産被害)	左記+人的・インフラ被害評価	左記+波及被害評価	左記+平常時便益評価
①南海地震発生確率	1,466 百万円	9,793 百万円	10,398 百万円	18,018 百万円
②1/200年発生確率	899 百万円	2,668 百万円	2,383 百万円	10,453 百万円

5. 結論

新たな沿岸域災害対策の考え方として、低頻度メガリスク型沿岸域災害の特性を踏まえたNo-Regret Policyを提案した。また、No-Regretな沿岸域災害対策は、平常時の経済的効果も含めた多様な効用を併せ持つものであることを示した。そして、このような多様な効用を定量的に評価するための計測方法を提案した。ケーススタディーでは、多様な効用まで評価を拡張した場合、従来評価と比較して投資限界が10倍以上向上する可能性もあることを示した。

低頻度メガリスク型沿岸域災害対策は、本来、壊滅的被害を防ぐための減災対策である。そのため、自ずと事前のハード対策には限界があり、発災後のダメージコントロールによる被害の最小化、早期の復旧といったBCPの視点に立った対策なども合わせて実施していくことが重要である。

参考文献

- 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.
- 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.
- 小田勝也，岡本修，木俣順，高木真志，高尾秀樹，岡良，川崎榮久：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，第38回土木計画学研究発表会・講演集，CD-ROM，2008.