

第2章 低頻度メガリスク型沿岸域災害対策についての基本的な考え方

1 低頻度メガリスク型沿岸域災害の定義

沿岸域を襲う津波・高潮等は、津波の原因となる地震想定の不確実性、高潮を生起する確率評価に用いられる過去の台風データの制約、地球温暖化による影響などから、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）を上回る可能性がある。このような計画外力を上回る巨大津波・高潮が発生する確率は低いが、一度発生するとその被害は未曾有のものとなることが予想され、低頻度ながら被害リスクが大きい災害となる。本報告では、このように事象の発生確率は低いが、大規模災害となる可能性を有する沿岸域災害を「低頻度メガリスク型沿岸域災害」と定義する。

ただし、どのくらいの被害規模をもってメガリスク災害と定義するのか、明確な基準はないが、ハリケーン・カトリーナや台風 MAEMI の後、米国も韓国も 100 年に一度の災害に対する対策を実施している。日本の河川整備においては、大都市部の河川については 150～200 年に 1 度の災害に対応できる計画を策定している。これらの事例が被害規模の目安となるものと考えられる。

2 過去の主なメガリスク型沿岸域災害

過去に発生した主なメガリスク型沿岸域災害は表 2-1 の通りである。諸外国では、2004 年 12 月に発生したインド洋大津波や 2005 年 8 月に発生したハリケーン・カトリーナによる大規模災害が発生している。我が国においては、明治三陸地震による津波被害や伊勢湾台風による高潮災害のような大規模災害は長い間発生していないが、被害軽減施設（堤防や護岸）の老朽化や地震を伴う複合型災害、地球温暖化による海面水位の上昇等様々な災害リスクを含めて、大規模災害が発生する可能性は否定できない状況にあると考えられる。ここでは、本研究のきっかけとなった、インド洋大津波及びハリケーン・カトリーナを事例として紹介し、被害の甚大さと我が国が教訓とすべき事項を整理する。

表 2-1 過去に発生した主なメガリスク型沿岸域災害

発生時期	災害名	概要
1854 年 12 月 24 日	安政南海地震	震度 6 相当の揺れ 津波の高さは 4～11m
1896 年 6 月 15 日	明治三陸地震	震度 4 相当の揺れ 津波の最大高さは 38.2m 犠牲者約 22,000 人
1934 年 9 月 21 日	室戸台風	気圧 911.9mb 死者数 2,702 人 住宅被害（全壊、流出、半壊、一部損壊） 92740 棟
1959 年 9 月 27 日	伊勢湾台風	死者・行方不明 5,098 名 推計被害額 5,512 億円

1960年5月23日	チリ地震津波	Mw9.5の地震 津波の高さは1~4m 死者・行方不明142名（日本）
1961年9月15~17日	第二室戸台風	中心気圧900hPa未満 最大瞬間風速84.5m/s以上 死者194人 住宅全壊15,238棟
2003年9月12日	台風MAEMI（韓国）	死者・行方不明者130人 被害総額約4兆8000億ウォン 特に馬山市、釜山市で高潮による被害が甚大
2004年12月26日	スマトラ島沖地震津波 （インド洋津波）	Mw9.3の地震 死者数22万人以上
2005年8月25日	ハリケーン・カトリーナ	勢力はカテゴリー3 避難者数200万人 死者数1,863人 被害額84,645百万ドル
2008年5月2~3日	サイクロン・ナルギス （ミャンマー）	中心気圧962hPa 被災者240万人 死者84,537人 被害総額約1.7兆米ドル
2010年2月27日	チリ中部沿岸の地震	Mw8.8の地震 死者数279人以上

2-1 インド洋大津波¹⁰⁾

(1) 概要

2004年12月26日に発生したスマトラ島沖地震は、マグニチュードが9.1~9.3、震源域の大きさは長さ約1,200km×幅約150kmとされている。高さ10mを越える津波が数回にわたりインド洋沿岸諸国に押し寄せた。特に、震源域に近いインドネシア・バンダアチェ西部海岸ではこれまで確認されているもので20mを超える津波の痕跡が9箇所見つかっており、うち3箇所は30mを超えている。最大の津波痕跡は海拔34.9mである。産業技術総合研究所が公表している震源と津波の到達時間を図2-1示す。死者・行方不明者は、インドネシア、スリランカ、インド、タイ、モルディブ等の各国にまたがり、22万人以上にものぼっている。世界的に著名なマリリゾートが被災地に含まれていたため、被災国の住民だけではなく世界中からの観光客も数多く被害に遭遇している。

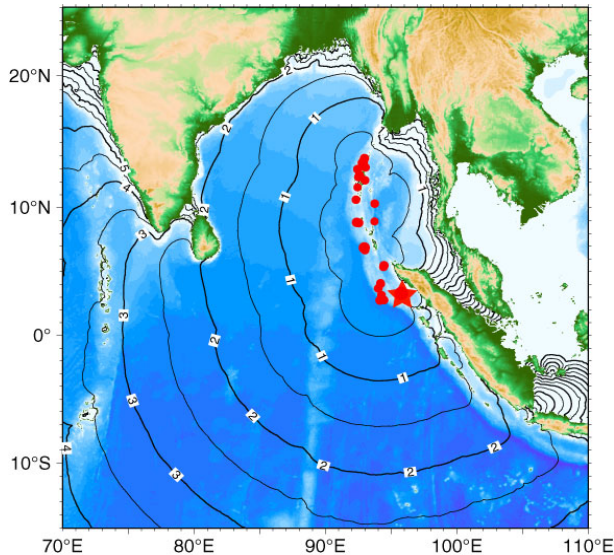


図 2-1 インド洋大津波の到達時間¹⁾



写真 2-1 係留場所から3km移動したパワーブ
ラント（インドネシア，港湾空港技術研究所提供）

（2）教訓

1) 人的被害が大きかった要因

人的被害が大きかった要因として第一にあげられるのは、防御されていない海岸近くの低平地に人々が居住するという災害に脆弱な地域構造の場所を巨大津波が襲ったことである。

次にあげられるのは、地震を感じた震源近くのスマトラ島北部地域の人々に津波が来襲する、避難しなければならぬという意識が無かったことである。また、スリランカなどで大きな被害を引き起こした要因は、広域的な津波警報のシステムがなく、政府も住民も津波が来ると意識すら無い状態で津波に襲われたことである。

2) 被害形態

①津波による海岸・地盤の洗掘・流出

海岸の大規模な洗掘により海岸地形が大きく変化した箇所が多く確認されている。また、海岸近くの集落で建物が基礎から押し流され、集落ごと跡形も無くなった事例もある。

②津波漂流物

港湾等に係留されていた船舶等が陸上に流出し、建物を破壊するという従来から考えられていた被害形態（写真 2-1）に加え、陸上の破壊された家屋や自動車などを巻き込んだ流れが市街地を襲い、人的・物的被害を拡大するという被害形態が確認された。

③防波堤・港湾構造物、マングローブ等による津波の減衰効果

近接する箇所では、港湾や漁港などの防波堤の背後とそうではない箇所では津波による陸上建築物の被害が大きく異なっている場合があることが確認されている。岸壁など垂直壁を持つ構造物の背後やマングローブ林のある沿岸部でも津波のエネルギーが減殺されたと考えられる現象が確認されている。

2-2 ハリケーン・カトリーナ

(1) 概要

ハリケーン・カトリーナは、2005年8月29日、中心気圧が918haという猛烈な勢力を維持したまま、アメリカのミシシッピ川河口付近に上陸した。このハリケーンによる高潮と高波は、ニューオーリンズ市街地やメキシコ湾沿岸地域に希にみる大規模な被害をもたらした。被害額は米国史上最大(84,645百万ドル)を記録した。死者1,863人、行方不明者705人、避難者数は約200万人、倒壊家屋数は21万5000軒以上であった。

1) 高潮による被災

ニューオーリンズ市及びその周辺地帯は、メキシコ湾に繋がる湖や運河・水路に発生した高潮による堤防の破堤、越流により広範囲に浸水した。ニューオーリンズの市街地は、大部分がいわゆるゼロメートル地帯である。湖と繋がる運河が破堤し、湖の高潮が破堤箇所から一気に氾濫したことによりニューオーリンズ市内の約80%が浸水し、甚大な被害を引き起こした。写真2-2は、破堤箇所後の家屋が流出、破壊されている状況の一例である。写真2-3は、ニューオーリンズ市南東郊外の被災状況である。家屋が高潮で押し流され、ミシシッピ川の堤防で止まっている。メキシコ湾で発生した高潮が、海岸堤防を越流して陸地を浸水させ、さらにミシシッピ川に流れ込んでいたと考えられる。

大規模な浸水の原因は、大きく2つに分けることができる。第一の原因は、堤防が越波等により決壊したことである。これは、主にニューオーリンズ市内(市街地)の被災原因である。第二の原因は、防護施設の計画水準を上回る大規模な高潮だったことである。これは、主に市街地に対して郊外部の被災原因である。これら以外に排水ポンプを稼働させることができず内水が氾濫したことも原因の一つである。



写真2-2 高潮で流出した家屋(国総研撮影)



写真2-3 ニューオーリンズ市内の
破堤箇所周辺(国総研撮影)

2) 高波による被災

ミシシッピ州を中心とするメキシコ湾に直接面する沿岸地域では、3~7mと考えられる高潮偏差と、それに加わる高波によって、海岸線から200~300mの範囲で家屋が破壊され、約1kmまで浸水した。これらの地域は人工海浜の背後に道路を挟んで郊外型の住宅、別荘等が立地するという土地利用で、

海岸に高潮・高波防護のための堤防はない。高潮時に高波で下から衝撃的な波力が作用したことが原因と考えられる、橋桁落下被害も発生した。海岸に係留したバージが、高潮と高波によって岸に打ち上げられ、陸上の建物に衝突し、建物を破壊する被害も発生している。

(2) 教訓

1) 我が国の学ぶべき点

カトリーナによる災害からは、①想定を上回る高潮による災害の状況を考えておくこと、②防災施設の破壊とそれに伴う災害の拡大を考慮しておくこと、③災害時や災害後の防災担当者の行動がそうした災害の状況に十分対応したものになっていることの重要性、④防御システムの性能・信頼性をモニタリング・評価し、適切な対応が取れる状態を持続させることなど、我が国の学ぶべきことは非常に多く、教訓を迅速に施策に反映させることが重要である。

一方、我が国において今後検討すべき高潮・高波災害とカトリーナの被害の違いを明確に意識しておくことも重要である。いわゆるゼロメートル地帯の状況など社会的状況、堤防などの構造物の計画手法などの違い、国・地方政府の役割の違いなども含め、得られた教訓を整理することが必要である。

2) 復興状況

国総研沿岸海洋研究部では、ハリケーン直後の2005年10月と2006年5月にニューオリンズの被災地を調査した。写真2-4は運河の堤防が破堤した箇所背後の同じ場所で撮影した写真である。堤防はより強固な構造で再建されている。しかし、破堤箇所背後は今も無惨に破壊された住宅がそのまま残され、住民も戻っていない。

予め、復旧・復興のプロセスも視野にいれた対策が必要であり、地域経済や雇用を如何に確保するのか、コミュニティの復興支援策は如何にあるべきかなど、大きな課題が残されている。



写真2-4 ニューオリンズ Inner Harbor Navigation Channel 破堤箇所背後の状況

(国総研撮影)

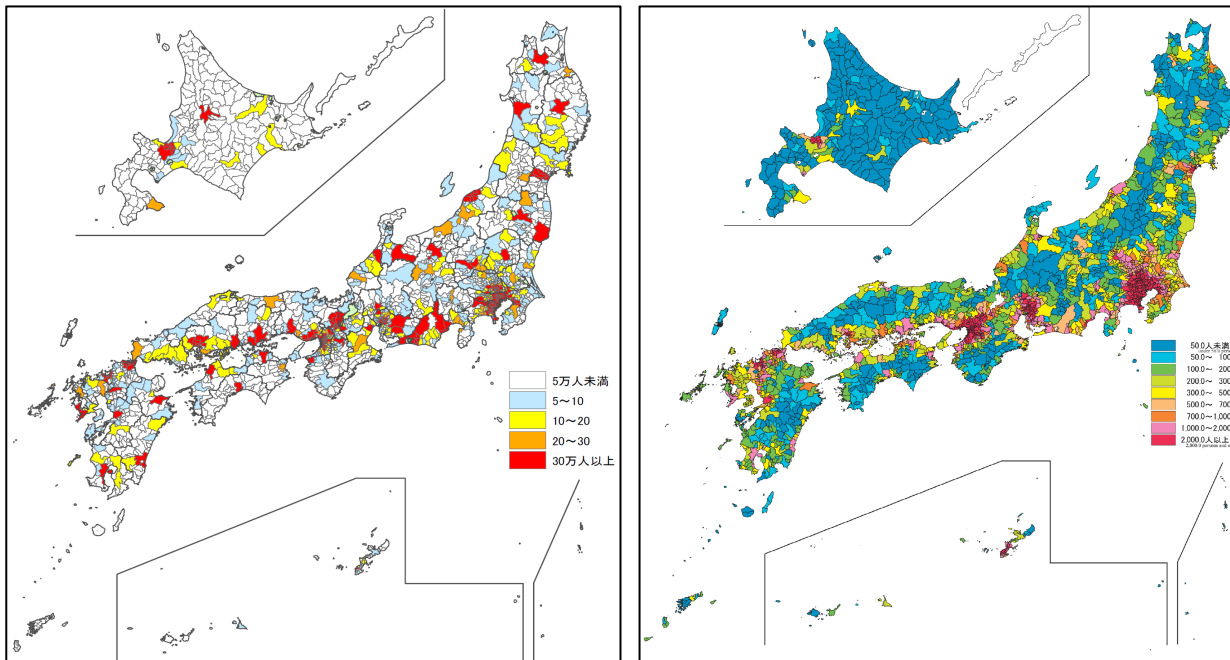
3 我が国における津波・高潮による災害リスク

ここでは、我が国における資産の集積状況や地震・津波や高潮の災害リスク等を整理することにより、我が国における低頻度メガリスク型災害対策の必要性について、言及する。

3-1 我が国における資産の集積状況

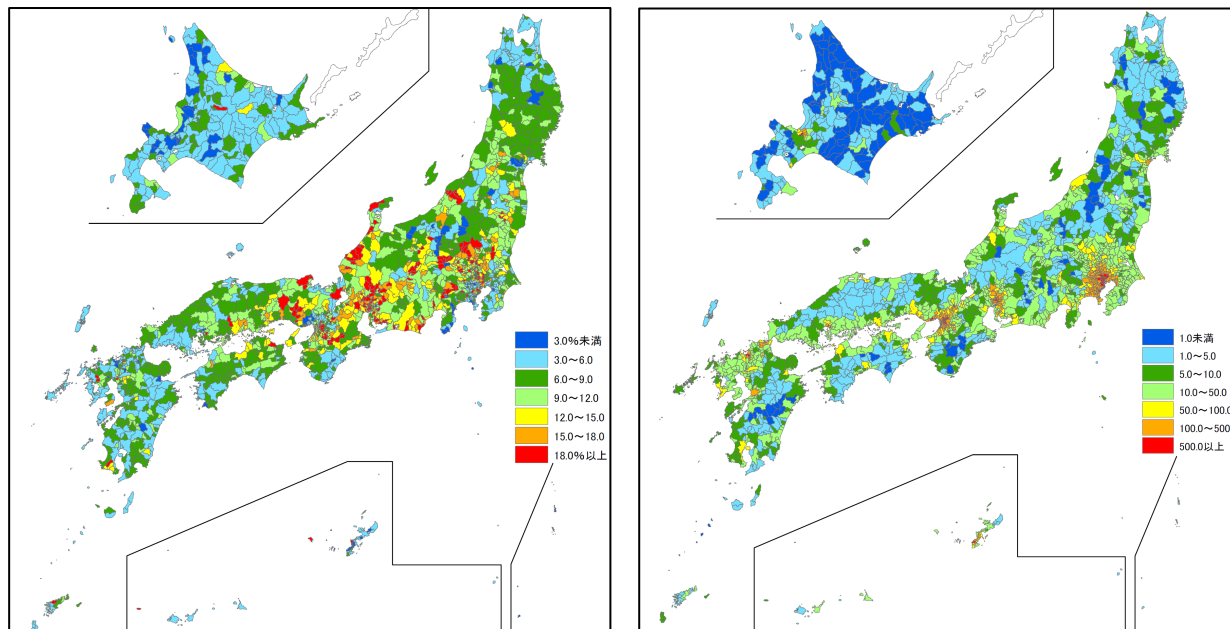
図2-2は、総務省統計局によって整理された我が国の人口分布である。関東から近畿地方の太

平洋沿岸にかけての三大都市圏（東京、中部、近畿）において人口が集積している。また、図2-3は、我が国の事業所数であり、人口分布と同様に三大都市圏の太平洋沿岸に事業所が集中している。このように、我が国においては沿岸域に人口や資産が集中しており、津波や高潮による被害を受けやすい状況にあると考えられる。



資料：総務省統計局

図2-2 我が国の人口分布（左：5万人以上市町村（2008年），右：人口分布（2000年））



資料：総務省統計局

図2-3 2006年時点の我が国の事業所数（左：製造業事業所の割合，右：1km²事業所密度）

3-2 地震及び津波による災害リスク

表2-2は、地震調査研究推進本部事務局（文部科学省研究開発局地震・防災研究課）による地

震発生可能性の長期評価である²⁾。

この長期評価によれば、今後 30 年以内に津波を伴う可能性のある海溝型地震が発生する確率は、宮城県沖地震が 99%、想定東海沖地震が 87%、東南海地震が 60～70%、南海地震が 60%程度、三陸沖北部 90%程度などとなっており、三陸沿岸及び関東から九州にかけての太平洋沿岸においては大規模な地震・津波災害のリスクが非常に大きい。

表 2-2 海溝型地震の長期評価の概要（抜粋）（算定基準日 2010 年 1 月 1 日）²⁾

領域または地震名		長期評価で予想した地震規模(マグニチュード)		地震発生確率		
				10年以内	30年以内	50年以内
南海トラフの地震（注3）	南海地震	8.4前後	同時8.5前後	10～20%	60%程度	80～90%
	東南海地震	8.1前後		20%程度	60～70%	90%程度以上
三陸沖から房総沖にかけての地震	三陸沖北部	8.0前後		ほぼ0～0.5%	0.3～10%	30～50%
	固有地震以外のプレート間地震	7.1～7.6		60%程度	90%程度	-
	宮城県沖	7.5前後	連動8.0前後	70%程度	99%	-
	三陸沖南部海溝寄り	7.7前後		40%程度	80～90%	90～98%
	茨城県沖	6.7～7.2		0.01～0.8%	90%程度以上	-
千島海溝沿いの地震	十勝沖	8.1前後	連動8.3程度	ほぼ0%	0.2～2%	20～30%
	根室沖	7.9程度		4%～9%	40%程度	80%程度
	色丹島沖	7.8前後		7～10%	50%程度	80～90%
	択捉島沖	8.1前後		10～20%	60%程度	80～90%
	ひとまわり小さいプレート間地震	十勝沖・根室沖	7.1前後	40%程度	80%程度	90%程度
	色丹島沖・択捉島沖	7.1程度	60%程度	90%程度	90%程度以上	
	沈み込んだプレート内のやや浅い地震	8.2前後		10%程度	30%程度	50%程度
沈み込んだプレート内のやや深い地震	7.5程度		30%程度	70%程度	80%程度	
日向灘および南西諸島海溝周辺の地震	安芸灘～伊予灘～豊後水道のプレート内地震	6.7～7.4		10%程度	40%程度	50%程度
	日向灘のひとまわり小さいプレート地震	7.1前後		30～40%	70～80%	80～90%
	与那国島周辺の地震	7.8程度		10%程度	30%程度	40%程度
相模灘トラフ沿いの地震	大正型・元禄型関東地震以外の南関東のM7程度の地震	6.7～7.2程度		30%程度	70%程度	90%程度
東海地震		8程度			87%(参考値)	

3-3 高潮による災害リスク

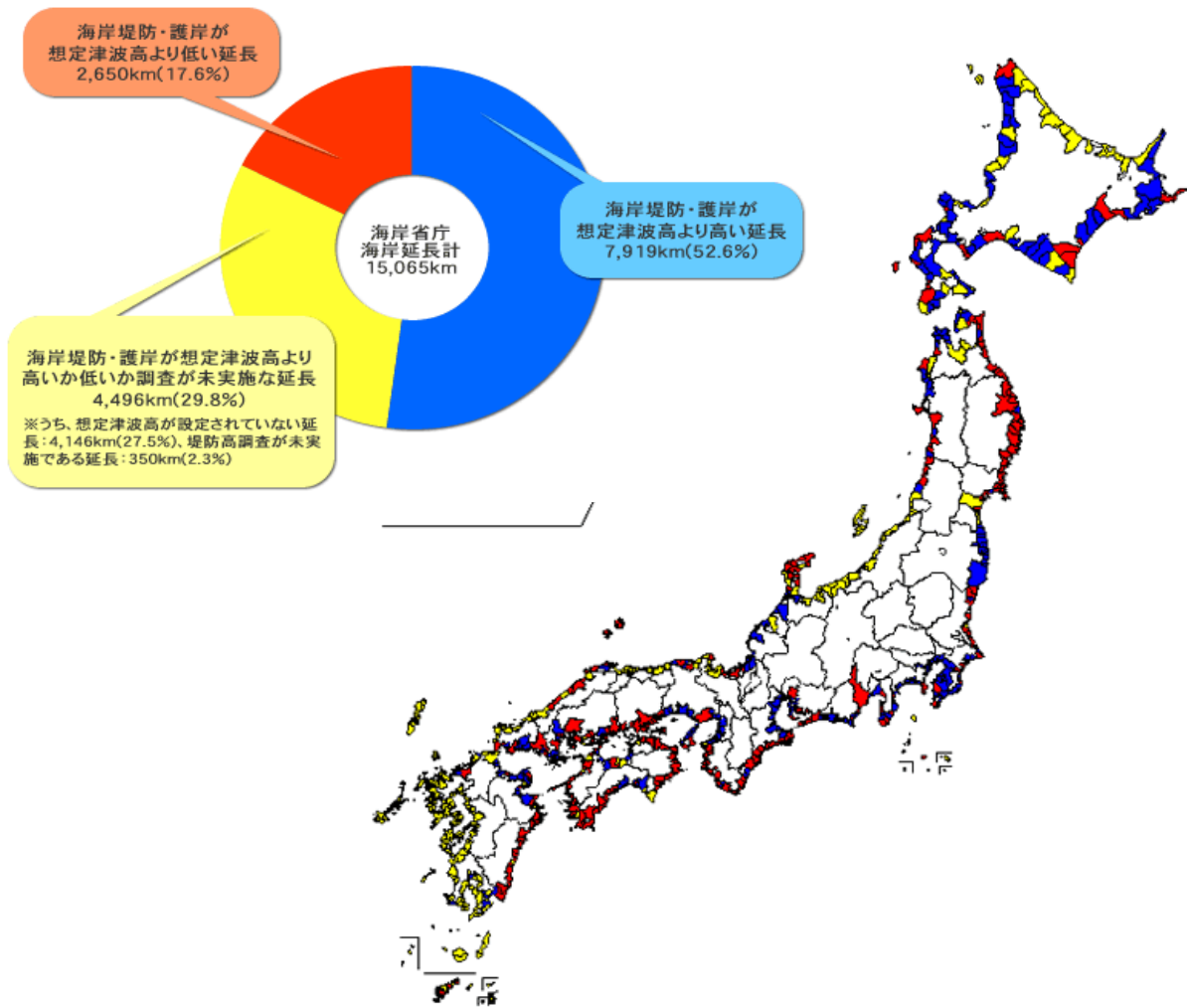
我が国においては、1959年の伊勢湾台風が我が国最大の高潮災害であり、死者・行方不明者が5,000人を越えるなどの被害が生じた。この伊勢湾台風を契機に我が国の高潮対策が本格的に進められてきた。近年においては、三大都市圏における被害は発生していないもの、四国、九州、瀬戸内海沿岸地域において、高潮による被害が生じている（表2-3）。

表2-3 近年発生した主な高潮災害^{3) 4)}

名称	発生年月日	被害地域
室戸台風	1934年09月21日	<ul style="list-style-type: none"> 大阪湾，最大偏差2.9m 死者2,702名，行方不明者334名，負傷者14,994名，住宅全壊38,771棟，半壊49,275棟など
周防灘台風	1942年08月27日	<ul style="list-style-type: none"> 周防灘，最大偏差1.7m 死者891名，行方不明者1,438名，負傷者1,438名，住宅全壊33,283棟，半壊66,486棟など
枕崎台風	1945年09月17日 ～09月18日	<ul style="list-style-type: none"> 鹿児島湾，瀬戸内海，最大偏差2.0m（鹿児島） 死者2,473名，行方不明者1,283名，負傷者2,452名，住家損壊58,432棟，浸水273,888棟など（理科年表，河川局HPより）
キティ台風	1949年08月31日 ～09月01日	<ul style="list-style-type: none"> 東京湾，最大偏差1.4m（東京） 死者135名，行方不明者25名，負傷者479名，住家全壊3,733棟，半壊13,470棟，床上浸水51,899棟，床下浸水92,161棟など（消防白書より）
ジェーン台風	1950年09月03日 ～09月04日	<ul style="list-style-type: none"> 大阪湾，最大偏差2.4m（大阪） 死者398名，行方不明者141名，負傷者26,062名，住家全壊19,131棟，半壊101,792棟，床上浸水93,116棟，床下浸水308,960棟など（消防白書より）
伊勢湾台風	1959年09月26日 ～09月27日	<ul style="list-style-type: none"> 伊勢湾，最大偏差3.55m（名古屋） 死者4,697名，行方不明者401名，負傷者38,921名，住家全壊40,838棟，半壊113,052棟，床上浸水157,858棟，床下浸水205,753棟など（消防白書より）
第2室戸台風	1961年09月15日 ～09月17日	<ul style="list-style-type: none"> 大阪湾，瀬戸内海，最大偏差2.6m（大阪） 死者194名，行方不明者8名，負傷者4,972名，住家全壊15,238棟，半壊46,663棟，床上浸水123,103棟，床下浸水261,017棟など（消防白書より）
台風8513号	1985年08月30日	<ul style="list-style-type: none"> 有明海，最大偏差1.0m 死者3名，負傷者16名，住宅半壊589棟など
台風9918号	1999年09月21日 ～09月25日	<ul style="list-style-type: none"> 八代海，最大偏差3.9m 死者・行方不明者36名，負傷者1,077名，住家全壊343棟，半壊3,629棟，一部損壊107,634棟，床上浸水4,947棟，床下浸水14,697棟など（防災白書より）
台風0416号	2004年08月27日 ～08月31日	<ul style="list-style-type: none"> 瀬戸内海，最大偏差1.37m（宇野港） 死者14名，行方不明者3名，負傷者260名，住家全壊51棟，半壊205棟，一部損壊9,921棟，床上浸水14,456棟，床下浸水31,764棟など（消防白書より）
台風0418号	2004年09月04日 ～09月08日	<ul style="list-style-type: none"> 瀬戸内海沿岸，西日本から北日本にかけての日本海側沿岸など，最大偏差2.13m（大浦，佐賀県） 死者43名，行方不明者3名，負傷者1,399名，住家全壊144棟，半壊1,506棟，一部損壊63,343棟，床上浸水1,328棟，床下浸水19,758棟など（消防白書より）
台風0423号	2004年10月18日 ～10月21日	<ul style="list-style-type: none"> 土佐湾，最大偏差2.53m（室戸岬） 死者95名，行方不明者3名，負傷者721名，住家全壊907棟，半壊7,929棟，一部損壊12,514棟，床上浸水13,341棟，床下浸水41,006棟など（消防白書より）

3-4 海岸保全施設等の整備状況

平成16年5月に国土交通省河川局が海岸管理者を対象に行った調査結果⁵⁾では、予想津波高を上回る堤防・護岸の割合は全国で約53%にすぎず、約18%が想定津波高より低く、また約30%の海岸堤防・護岸においては調査が行われていない状況である(図2-5)。また、施設の老朽化や耐震対策などの問題があるとともに、設計外力を大きく上回る外力には対応できないことが予想される。



堤防高さ状況(津波対策)

- : 全ての海岸堤防・護岸が想定津波高より高い市町村
 - : 想定津波高が設定されていない、あるいは一部でも海岸堤防・護岸が想定津波高より高いか低いか調査が未実施の箇所のある市町村
 - : 一部でも海岸堤防・護岸が想定津波高より低い箇所のある市町村
- ※ 海岸沿い市町村単位で色分けしています。
 ※ 無着色は海岸保全区域がない市町村です。
 ※ ■市町村の中には■に該当する海岸堤防が一部含まれている場合もあります。

図2-5 わが国における津波・高潮防護施設の整備状況⁵⁾

4 低頻度メガリスク型沿岸域災害対策の方向性

4-1 我が国における低頻度メガリスク型沿岸域災害対策の必要性

我が国では、「3-2 地震及び津波による災害リスク」で示したように、東海、東南海・南海地震、日本海溝・千島海溝周辺地震等の巨大地震の発生切迫性が指摘されている。これらの地震に伴う津波による被害想定が公表されているが、被害想定は震源の設定など一定のシナリオに基づくもので、この被害想定を上回る規模の災害が発生する可能性がある。

気候変動に関する政府間パネル（IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change）は21世紀末には海面水位が0.18mから0.59m上昇すると予測している⁶⁾。海面水位上昇は高潮・津波に対する沿岸域の脆弱性を増大させる。気候変動・地球温暖化は海面水位上昇だけではなく、台風の強さの増加、大型化、発生頻度、我が国への来襲頻度の変化等を招く可能性がある。想定津波より低い堤防も多く、施設の老朽化や耐震対策などの問題があるとともに、設計外力を大きく上回る外力には十分対応できないことが予想される。

また、「2 過去の主なメガリスク型沿岸域災害」で示したように、インド洋大津波とハリケーン・カトリーナの被害事例や我が国を含む過去の事例から、改めて、低頻度メガリスク型災害対策の被害や人々の生活・社会経済活動に及ぼす影響の甚大さがわかる。我が国における沿岸域とりわけ三大湾に資産が集中している状況を考慮すれば、万が一、メガリスク型沿岸域災害が発生した場合には、甚大な被害が想定され、社会・経済への影響も計り知れないものになる可能性もある。これらは、メガリスク型沿岸域災害対策を検討することの緊急性・必要性を裏付けるものである。

4-2 低頻度メガリスク型沿岸域災害対策の方向性

(1) 多様な効用を有する対策の必要性

日本学術会議の答申⁷⁾においては、巨大災害への対応の基本的考え方は、「予想を超える自然現象による災害への対応」、「設計値を超える外力への対応」であるとして、被害を無くすのではなく、いかに最小化するかという視点を求めている。

低頻度メガリスク型沿岸域災害に対して、従来からのハード対策に頼るのでは投資額が莫大なものとなる。仮に、低頻度メガリスク型沿岸域災害に対して各種のハード対策を施しても、巨大災害が生起しない間は減災の効果が発現されず余計な施策・無駄な投資との批判を受けるおそれがある。そこで、本報告では、将来、現行の対策の防護水準を超える外力による巨大災害が発生した際に「備えを怠っていた」と後悔しない、と同時に、施設や装置の供用期間に災害が生起しなくても「無駄な投資をした」と後悔しないことを目指すNo-Regret-Policy（後悔しない政策）—巨大災害時に減災効果があり、平常時にも社会的効用がある対策—を提案する。（詳しくは第4章参照）

(2) 施設の減災効果を考慮した災害対策の必要性

具体的な対策として岸壁、上屋・倉庫等の既存港湾施設、第一線に立地する建物、森林・植林・植栽による津波等のエネルギーの減殺、到達時間の遅延効果によるもの、また、臨海部遊休地の利用転換や再開発時に防潮機能・避難場所としての機能を有するプロムナードや緑地を配置する、減災を考慮した土地利用の規制・誘導措置の導入等土地利用計画、配置計画によるものが想定される。（対策のイメージは図1-1のとおり。第一線に立地する建物等の減災効果については、第3参照。）

(3) 地域住民等との合意形成の必要性

なお、低頻度なリスクに対する対策としては、保険などのようなリスク移転の有効性が指摘されているが、被害と社会経済への影響の甚大さを考慮すれば、行政としては、リスク移転ではなく、減災対策のようなリスク低減を図っていく必要がある。また、低頻度メガリスク型沿岸域災害は、被害規模が甚大で関係者も非常に多いことから、行政のみではなく、地域や民間企業と協力して対応を図っていく必要がある。（詳しくは第5章参照）

(4) 統合的マネジメントの必要性

ハリケーン・カトリーナの事例では、災害を大きくした原因の1つに、堤防の決壊が指摘されている。我が国の海岸保全施設においても、施設の老朽化や耐震性の問題も指摘されている。このような状況を踏まえた対策を検討する必要がある。具体的には、海岸保全施設の危険度の評価と背後地域の脆弱性の評価を統合したマネジメントのしくみを構築する必要がある。（詳しくは第6章）

参考文献等

- 1) 産業技術総合研究所：AIST TODAY Vol. 5-2 2005年2月
- 2) 地震調査研究推進本部事務局：ホームページ「海溝型地震の長期評価の概要」
- 3) 建設省河川局防災課海岸室監修：海岸ハンドブック1997
- 4) 気象庁：ホームページ「災害をもたらした気象事例」
- 5) 国土交通省河川局：堤防高さの整備状況に関する調査 平成2004年5月
- 6) IPCC：第1作業部会第4次評価報告書政策決定者向け要約（SPM）2007年2月（気象庁による翻訳資料）
- 7) 日本学術会議：答申「地球規模の自然災害の増大に対する安全・安心社会の構築」2007年5月
- 8) 小田勝也：インド洋大津波・ハリケーンカトリーナを踏まえた津波・高潮対策 平成18年度 港湾空港技術振興会講演会 2006年7月
- 9) 小田勝也・岡本修：低頻度巨大津波・高潮（メガリスク型沿岸域災害）に備える 国総研アニュアルレポート2007 P14-15 2007年5月
- 10) 樋口嘉章・小田勝也：巨大高潮・津波災害に備えるー低頻度メガリスク型沿岸域災害対策に関する研究のSCOOPER 国土技術政策総合研究所資料 No. 418 P41-56 2007年11月