

沿岸災害に対するリスク評価とマップ作成について —津波を中心として—

今村 文彦*・金田 資子*・早川 哲史*

1. はじめに

最近の我が国では、洪水ハザードマップの義務化、地震発生時の長期評価報告や国の地震津波評価部会の算出結果の公表など新しい防災に対する情報提供が行われている。過去の実績や将来の予測される災害などを目で見えるようにする動きであり、従来の施設整備などハード中心の対策を補間するさらに情報の重点を増すように変化しつつあり、行政や住民の意識高揚に役立っている。実際、宮城県沖においては、この20年以内に発生する確率が80%以上と非常に高い危険性が指摘されて、緊急に今後の防災体に対する取り組みの必要性が叫ばれている。

このように、従来の被害を受けてからの復興対策という我が国の防災対策から予想される被害に対する事前の防災対策への大きな転換期になっているが、実質的なこの対策の中心は自治体・住民でありそこでは大きな2つの課題があると考えている。1つは、事業を進める際の被害の推定と対策の効果の定量的な評価(便益評価)、もう1つは、地域住民への防災意識の向上である。双方の課題を解決するための共通問題があり、それは、過去および将来での被害・リスク推定の考え、その定量的な評価手法、および住民等に提供する手段と内容が最も重要となる。本文は、この分析・評価方法とマップ作成について述べるものである。

現在、沿岸災害に関連しては、防災に関する地図が作成・公表・利用されているが様々

な名称や内容がある。代表的なものとしては、

- ・浸水マップ(地図)
- ・ハザードマップ(地図)・災害マップ(地図)
- ・リスクマップ(地図)・危険度マップ(地図)
- ・防災マップ(地図)

がある。最近では、名前と内容が混乱しているケースもあり、何を対象としているかを定義し、適切な名称で使用する必要があると思っている。水災害を中心とするが、簡潔に定義できる部分を整理したい。

①浸水マップ:水害を考えた場合に、「浸水」はハザード(自然災害外力)の1つの項目となる。通常は、浸水の定義の通りに、地盤高さ基準から浸水域の高さ(レベル)であるが、水面のレベル(平均海面などの基準からの高さや来襲時の水面レベル)を示す場合もあるので注意が必要である。なお津波の場合に「津波高さ」と広く使っている言葉があるが、これには、逆月上高さ(浸水域境界での地盤高からの高さ)、最高水位、海域での最大波高(平常潮位から山までの高さ)、と混同して使いやすい。本来の定義から言えば、「津波高さ」は、潮汐成分を取り除いた水面から津波が到達したレベルまでの高さである。防災対策を立案する際には、津波高さの情報より、現在の地形でどこまで浸水するかという情報の方が利用しやすいことが多い。海域では、波の山と谷の差を最大全振幅といい、津波予報時の津波高さは、その半分として扱っている。このように津波について様々な定義があり、他の災害についても同様である。高さの基準、水面の高さ、波の高さを表現する方法が様々ながあるので、必ず定義が必要である。

*東北大学大学院工学研究科災害制御研究センター

②ハザードマップ：自然災害現象が持つ外力であり、被害を引き起こす要因となる。水災害の場合には、浸水高さは代表的なものであるが、流速、流体力（波力）なども考えられる。現象の到達する時間や最大値の出現時間なども項目として入れることが出来る。

③災害マップ：自然外力が防災力（強度）を上回った時に被害が発生するので、ハザードの評価と伴に災害発生の基準値が必要となる。被害規模・程度は、その地点での土地利用などに応じて変化する。これらはハザードによる直接被害であり、人的被害、家屋・建物被害、インフラ・沿岸施設被害、農業・水産被害などとなる。これ以外に、間接的に生じるものとして、サービス営業被害、火災、インフラ施設破損による影響被害、交通被害などは、被害の発生状況や被害状況が複雑であり、評価することが現在のところ大変難しい。

④リスク（危険度）マップ：リスクの概念は損失の生じる確率をリスクと定義する場合（岡田，1985）もあるが、ここでは、発生確率だけでなく、その時に生じる損失（被害）を考慮して、双方を乗じた主体リスクを定義したい。被害は金額などの統一した尺度で表現できると総合化できるが、一般には、様々な価値基準があり難しい場合がある。その場合は、相対的な危険階級などを定義して、評価するものもある（本文の4. で具体的に紹介する）。

⑤防災マップ：予想される被害やリスクに対して低減または防止する情報を含めたものを防災地図としたい。避難経路・場所、防災施設、などを書き入れる必要がある。これらの情報は、地域や住民により内容が多種多様で、重要度も異なるために、ワークショップなどを通じて、地域で作成することが望ましい。

以上、まだ部分的な範囲しか扱っていないと思われるが、さらに、言葉の定義と内容を整理し確認していく必要がある。以下より、地図情報に必要な重要項目であるリスク、ハザードマップ作成の事例、などを紹介したい。

2. リスク分析の基本的な考え

2.1 リスクとは

ハザード（危険要素）は、化学的、生物学的あるいは物理学的な行為の主体の中にまたは状態の中に本来備わっている特性であり、リスクをもたらす主体である。（リスク）＝（起こる確率）×（ハザードの引き起こす影響の大きさ）、と定義することがよいと考える。現在までに、このリスク分析は図-1に示すような段階を経て行われることが望ましいと考えられている。

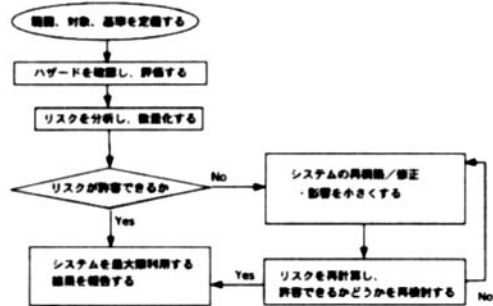


図-1 ハザード分析および安全確保に対するリスク管理のモデル

2.2 リスク分析の基本

“リスク分析”とはリスクの種類や要因、特性を評価する過程のことであり、最終的に事象の起こり易さや損害の大きさという点での経済的な損失、人間への損害、環境への損害などを測るもので、次のような段階で行われる。

- ①リスク選別：最悪の結果の大きさにより、選別を行う。
- ②リスク調査：被害を生み出すシステムについて、改善の緊急性により選別を行う。
- ③リスクの評価：ハザードを確認する。影響分析と発生確率あるいは頻度の計算を通してリスクを数量化する。

総合的な過程として、リスクを数量化する。

- ④リスクを決定し、報告する

2.3 ハザード管理と評価

ハザードをすべて取り上げ、それを無くすことは出来ないで、リスクを管理していく必要がある。リスク管理は3つの基本的な段階によって成り立つ。

- ①ハザードを確認する：何が、なぜ悪いのか
- ②ハザードを評価する：どのくらい起こり易いのか、どのくらいの影響をもたらすのか
- ③ハザードを管理する：ハザードに対して何ができるのか

この管理の中心となるのがハザード評価である。ハザード評価はリスク分析の最初の段階と定義される。ここで、ハザード評価に用いられる手法が以下のように提案されている。

- ①What-if/Checklist・・・考えられる事象をすべてあげ、それぞれについて“もし～ならどうなるか”を考える
- ②Fault-tree Analysis (FTA)・・・樹形図を用いて、事象の原因を探る（結果から原因を探る）
- ③Event-tree Analysis (ETA)・・・樹形図を用いて、ある現象が何を引き起こしうるかを探る
- ④Cause-Consequence Analysis・・・fault-treeとevent-treeを合わせたもの。災害の影響とそれらの根本的な原因との間の

関係を示す

- ⑤Human Reliability Analysis・・・人の行動が及ぼす要因を組織的に評価する

事例として、津波災害の場合を以下で紹介する。

①定性的な被害程度の分類

津波による被害は、津波規模（津波高）・形態やその浸水深により被害程度が異なる。これを首藤（1982）が表-1にあるように区分し、様々な被害の発生基準を整理している。

②定量的な評価方法

小谷ら（1998）や金田・今村（2002）は、人的被害と建物被害に限定するが、シミュレーションによる津波の浸水・流れの推定値に表-2にまとめるような被害発生の基準を比較して被害の有無を判断し、さらにGISデータを用いて、各地点での対象数を求めて浸水域で積分していく方法を提案している。なお、人的被害については、浸水深で50cm以上の場合に歩行困難として人的被害が発生すると仮定している。ただし、この条件は時間帯により異なり、夜間の場合には、室内にいる割合が多くなるので、見直す必要がある。さ

表-1 津波強度による津波形態と被害程度の分類（首藤，1992）

津波強度	0	1	2	3	4	5
津波波高 (m)	1	2	4	8	16	32
津波形態						
・緩斜面	・岸で盛り上がる	・沖でも水の壁	・先端の砕波が増える	・第1波巻き波砕波		
・急斜面	・速い潮汐	・速い潮汐				
木造家屋	部分的破壊	全面破壊				
石造家屋	持ちこたえる		全面破壊			
鉄・コン・ビル	持ちこたえる		全面破壊			
漁船		被害発生	被害率50%	被害率100%		
防潮林	被害軽減, 漂流物阻止, 津波軽減		部分的被害 漂流物阻止	全面的被害 無効果		
養殖筏	被害発生					
沿岸集落		被害発生	被害率50%	被害率100%		

表-2 家屋破壊基準 (松富・首藤, 1994)

家屋の種類	本研究での対応分類	流速 (m/sec)	抗力 (tf/m)
鉄筋コンクリート造	高層建築物地区	10.2以上	16.9以上
コンクリート・ブロック造	密集した居住地区	10.2	16.9
木造	閑散とした居住地区	4.2	1.06

らに、人的被害推定には、避難という効果を入れないと大きく変化することが報告されており (河田, 1997), 大きな課題となっている。

③地震動も考慮したシナリオによる人的被害評価方法

津波の大部分は地震により発生するため、地震動も被害推定に入れる必要がある。また、被害推定を行う際に避難行動による効果を考

慮することは不可欠であるが、住民の意識、情報、発生時期、各地における避難体制によって避難行動の実態が大きく変化することが考えられる。早川・今村 (2002) は過去の津波来襲時の行動記録より数量化I類を用いて、住民意識や発生時期の異なる条件下における地震の揺れ、警報の発令、津波の到達による避難行動の開始率を表-3のように求めた。これを利用し、発生時間帯や地震動・津

表-3 早川・今村 (2002) による避難開始率の算出結果

設定条件				避難開始率 (%)			
震度	場所	経験	時間	地震(b1)	警報(b2)	津波	残り
大	危険	被害あり	夜間	76.8	15.6	3.8	3.8
大	危険	被害あり	昼間	71.1	20.3	7.0	1.6
大	危険	津波あり	夜間	57.0	21.2	8.5	13.3
大	危険	津波あり	昼間	51.3	25.6	16.3	6.8
大	危険	認識なし	夜間	28.9	11.7	20.6	38.8
大	危険	認識なし	昼間	23.2	15.1	40.8	20.9
大	安全	被害あり	夜間	67.9	17.8	5.3	9.0
大	安全	被害あり	昼間	62.2	22.2	10.7	5.0
大	安全	津波あり	夜間	48.1	19.5	8.5	24.0
大	安全	津波あり	昼間	42.4	23.4	19.6	14.5
大	安全	認識なし	夜間	20.0	3.7	16.5	59.8
大	安全	認識なし	昼間	14.3	6.7	41.9	37.1
小	危険	被害あり	夜間	32.6	29.3	22.0	16.0
小	危険	被害あり	昼間	26.9	34.1	34.8	4.2
小	危険	津波あり	夜間	12.8	22.3	30.6	34.3
小	危険	津波あり	昼間	7.1	26.8	52.0	14.2
小	危険	認識なし	夜間	0.0	0.0	42.7	57.3
小	危険	認識なし	昼間	0.0	0.0	74.1	25.9
小	安全	被害あり	夜間	23.7	24.2	23.3	28.8
小	安全	被害あり	昼間	18.0	28.6	40.7	12.7
小	安全	津波あり	夜間	3.9	13.3	28.2	54.6
小	安全	津波あり	昼間	0.0	17.0	54.4	28.6
小	安全	認識なし	夜間	0.0	0.0	29.6	70.4
小	安全	認識なし	昼間	0.0	0.0	61.0	39.0

表-4 人的被害を推定する算出フロー

		①影響津波	影響人口 ①を考慮して算出 (a)	②地震動による破壊	③地震直後の避難			④津波警報発表後の避難			⑤津波による破壊	人的被害
					要避難時間 (T1)分	避難開始率 (b1)	人的被害(c) (a)×(100%-b1)×Heavyside(到達時間-T1)	要避難時間 (T2)分	避難開始率 (b2)	人的被害(d) (a)×(100%-b2)×Heavyside(到達時間-T1)		
早朝・深夜	屋内	1m以上		家屋破壊あり	52			60			すでに破壊100%	
		1m以上		家屋破壊なし	42			50			半壊50%	
		1m以上		家屋破壊なし	42			50			全壊100%	
昼間	屋内	1m以上		家屋破壊あり	32			40			すでに破壊100%	
		1m以上		家屋破壊なし	22			30			半壊50%	
		1m以上		家屋破壊なし	22			30			全壊100%	
	屋外	0.5m以上			17			25			100%	
夜間	屋内	1m以上		家屋破壊あり	32			40			すでに破壊100%	
		1m以上		家屋破壊なし	22			30			半壊50%	
		1m以上		家屋破壊なし	22			30			全壊100%	

各地域 (算出する場合に自力での行動はとれないために避難時間を多くする)

Heavyside関数がゼロ以上の値を持つときに1とする。これは各地域毎に算出

各地での要避難時間と津波到達時間の差で算出

破壊程度で屋内に残った状態で津波来襲を受けた場合の犠牲者数を算出

50%か100%かの2段階とする

波力による家屋被害についても考慮した表-4に示す津波による人的被害の推定方法を提案する。

ここではまず津波の再現計算を行い、陸域への浸水による影響を受けると考えられる人口(以下、影響人口とする)を求める(a)。この影響人口に地震動による破壊や地震発生直後の避難行動、津波警報発令直後の避難行動、さらには津波波力による家屋の倒壊による影響をモデル化することを考える。基本的には各地域における津波の到達時間と要避難時間との差によって人的被害を算出することとする。ただし、津波の到達時間に関しては津波の再現計算によってある程度正確に算出することが可能であるが、要避難時間の推定はきわめて難しいといえる。そこで、ここでは表-5のように家屋の破壊程度や災害発生の時間帯、地震の発生から警報の発令までに要する時間などを仮定して設定した。これらの値の設定方法についてはさらなる検討を要する。

2.4 発生確率および頻度の算定

リスク評価の際に、最も重要な項目が、起

表-5 要避難時間の推定基準

地震動の継続時間：2分
気象庁からの津波警報：10分
屋外へ出る時間：起きている場合5分、 就寝している場合25分
避難所への移動時間：自分で行動15分、 怪我などして自力で歩行不能25分

り易さ(likelihood)の数量的な予測を与えることである。発生頻度が高い事象に関しては、統計的な手法が適用可能であるが、低い場合には扱いが難しい。

「起り易さ」=「発生確率(ある期間間隔で起こる確率)」または「頻度(ある期間内に起こった回数)」

過去のデータから「起り易さ」を求める手法は以下の流れで行われる。

Step1:背景を明確にする・・・分析されるべき事象について明確に定義する

Step2:もとになるデータを検討する・・・過去のデータを参照

Step3:データが適用できるかをチェックする・・・様々な変化による影響を取り除く

Step4:事象の起りやすさを計算する

Step5: 頻度の値を有効なものにする・・・同類の事象のデータと比較する

この方法では、データが十分にあれば、はっきりとした概観がわかるが、データが不足していると適切な結果が出なかったり、妥当な結果を得るためにかなりの経験や判断力が必要になる。

地震による津波などは、ある程度の発生頻度があるので、このデータに基づいて、平均発生年、標準偏差、が得られる。ここで、その分布が対数正規分布を有する確率変数とすると、前回の発生した年からの経過年数で(図-2中の現在の時間)、 t 年以内に発生する確率は、現在の超過確率に対する現在から t 年後の期間の確率(図-2中の赤斜線部)の比として求まる。

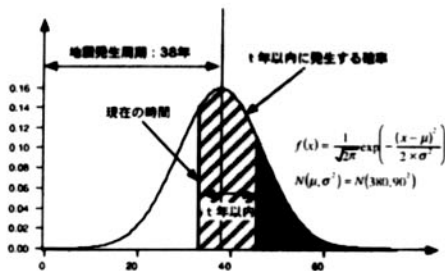


図-2 地震の確率密度関数と発生確率の関係

2.5 影響分析

次に必要なのが、影響分析であり、事象の引き起こす影響の大きさをモデルにより決定する。影響の大きさの表し方としては:

- ①人間に対する影響・・・けがが人や死亡者数
- ②構造物に対する影響・・・金銭的な損失と構造物の損害の程度

に大きく分けられ、モデル化に用いられる手法としては、

①direct effect models・・・結果がyes/noで表される場合

②probit methods・・・結果がyes/noでは表せない場合

がある。ここでは、影響を過大評価しないよ

うなモデルを使うことが重要である。

2.6 リスクの決定と報告

リスクに関する情報は意志決定を促進させるようなものでなければならない。すなわち、以下の事柄を考慮に入れなければならない。

- ①ユーザーの需要
- ②ユーザーの知識
- ③結果を伝えることの有効性
- ④まだ明らかになっていない事柄
- ⑤比較するもの

また、それぞれのハザードに対してリスクを測るための共通のリスク指標が必要である。リスク指標 (risk indices) は、絶対的あるいは相対的な意味で用いられる。しかし、それぞれのリスクのレベルを十分に区別するものではないし、リスクの分布を十分に知らせるものではない。

報告すべき情報としては

- ①個人に対するリスクと社会に対するリスク
 - ②相対的なリスクと絶対的なリスク
 - ③モデルや条件設定、データの不確実性
- である。特に、③の明示は重要である。

最後に、リスク分析において、大切な項目がデータソースの整備である。以下に主な項目を挙げておく。

①過去のデータ・・・原因、結果、起こる割合

②環境に関するデータ

③人口に関するデータ・・・被害に遭う集団の種類、人口密度、昼間および夜間人口

④気象に関するデータ・・・潮汐

⑤地理的データ・・・土地利用、沿岸の構造物の有無

⑥地形に関するデータ・・・陸上地形、海底地形、海岸形状など

3. 米国での沿岸ハザードマップの事例

3.1 沿岸災害

以下に、米国沿岸で対象とされているハザードを紹介する (Monmonier, 1997)。

(a) 津波

アメリカにおいては、すべての沿岸において津波の危険性があるわけではなく、主にアラスカやハワイ、その他の太平洋側の州がこの危険性が高い。津波は、海底での鉛直方向の断層の動きだけではなく、海底地滑り、海岸近くの火山の噴火などによって生じる一連の波であり、ハワイ諸島での大規模地滑りや火山、アラスカでの地震動による岩盤落下や地滑りによる津波が比較的多い。米国での津波の規模は遡上高さによって評価されている。1946年の津波の時にはハワイの沿岸で30feet (1feet=0.3m) 以上遡上した。頻度は小さいが、甚大な被害をもたらすものである。

(b) 台風時の大波

太平洋沿岸やメキシコ湾沿岸では、台風の際の大波が脅威となる。暴風雨時に生じる3~10feetの高さの大波が内陸にも被害を生じている。この大波は、激しい低気圧が中心に向かって水を吸い上げる、および風によって運ばれた波が砂浜に乗り上げるという2つの力から生み出される。台風は北回帰線の南側の大西洋上で発生する。

(c) *northeasters*

ニューイングランド地方の沿岸では、*northeasters*が大きな被害をもたらす。*northeasters*は強い風と長期間の大雨をもたらしながらゆっくりと移動する暴風雨で、中南部の州の上空にある低気圧から発生して東に進み、その後海岸沿いに北に進む。サイズが大きい、速度が遅い、頻繁に起こるという理由からかなりの砂浜浸食がある。

(d) 海岸線の後退

沿岸域では、温暖化に伴う海岸線の後退も問題である。これも沿岸の都市には重大なハザードである。

3.2 危険度のマッピング

沿岸災害としては3.1であげたものがあるが、これらは原因や影響が異なるため、全国的な概要を簡潔に作るのは難しい。これをマッピングした例が図-3であるが、この図の問題点は、一般の人にとってはバンドが多

くて見にくい図であるということである。そこで、全体的な危険度評価のみをさらに簡単に記したのが図-4であるが、この図についてもいくつかの問題点がある。

①リスクの大きさの説明は正確に理解されるのか

②地図が“最も危険な”を表しているだけであることが理解されるか?

という疑問があるので、ただ簡略化すればよいわけではないということがわかる。

以下にハザードマップ作成時に重要な項目を挙げる。

(a) 地図のスケールと情報量

小さなスケールの地図の場合、沿岸に働く力や地域による違いを見るには役立つが、水

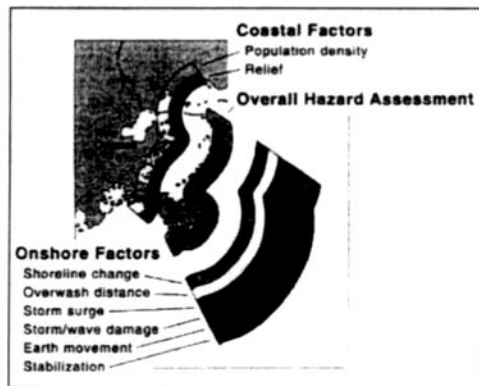


図-3 米国地質調査所 (The U.S. Geological Surver) が作成したcoastal hazard map (1 : 7,500,000 map)

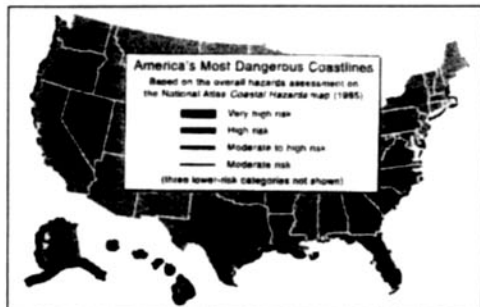


図-4 沿岸でのハザードを1つの指標で単純化した地図

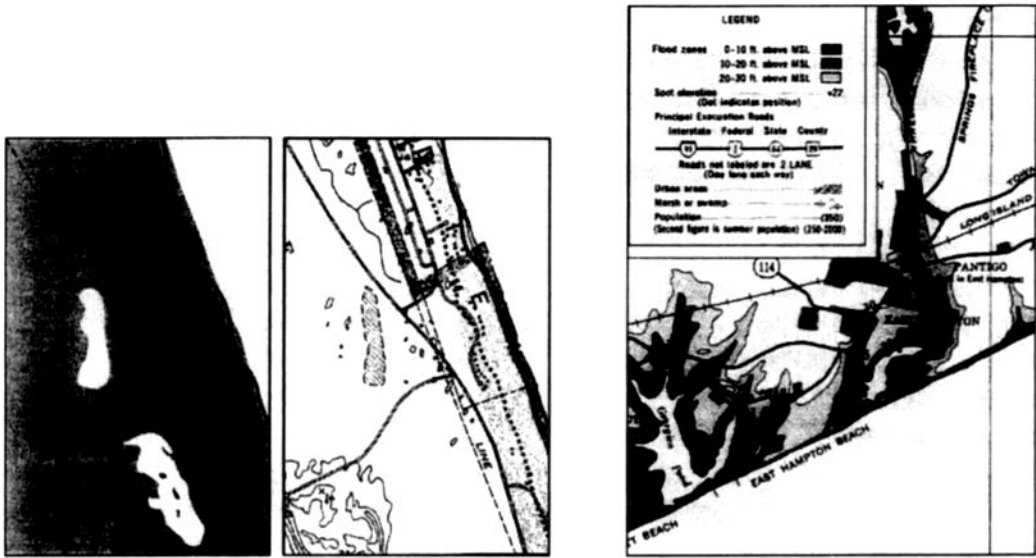


図-5 沿岸にハザードの他にどのような情報を載せるべきか考えるべきである
最も単純な場合 (左), 土地利用を考慮した場合 (中央), 避難道路情報も入れた場合 (右)

位が変化したときの自分たちの住んでいる場所への影響がわからない。したがって、大きなスケール (1:24,000から1:125,000程度)の地図がよいといえる。この時、図中にいろいろな情報を書くことができるが、わずかな情報のみしか書かない場合もある (図-5)。

(b) 浸水域の推定

水害の危険地域の推定では浸水域であるかどうか大きな問題である。多くの場合、地盤高のみで浸水域であるかどうかの線引きが行われてきた。しかし、この方法は局地的な外力の増幅が考慮に入られていないため、より正確な線引きを行うために、コンピュータシミュレーションによる推定浸水域を用いることが多くなった。外力の大きさのカテゴリごとの推定浸水域から危険度を指定している。

(c) 海岸線に関する情報

海岸線に関する情報としては、後退の方向および速度と海岸線の状態である。これを図示しとして提示しているのが図-6である。

危険度マップ作成の問題点と注意点を以下に整理する。

①決まった規格が整備されていない (目的



図-6 沿岸侵食の程度まで入れたハザードマップ

詳細性と単純化をうまく調和させている

と地域により工夫されている)

②危険地区に住む人たちの利害関係の問題 (プライバシーの保護)

③危険度マップは絶対ではない (自然現象は不確実性を常に有する)

指標の具体例については、4. で紹介する。

3.3 津波避難マップの提示・提供

ハワイではマップの必要なものは、地域住民だけでなく観光客などの沿岸利用者となる。そのために、ホテルなどの宿泊施設などに設置された電話帳に津波避難マップを載せている。電話帳は、ほとんどすべての家庭やオフィス、ホテルの部屋に配布され、かつ毎年新しいものに更新するという点で、避難マップを載せるのには有効な手段である。

一般的の津波避難マップには以下の事柄が書かれている。

- ①浸水域、主要道路、目印となるもの
- ②準備しておくべきこと
- ③危険区域外に住む人へのアドバイス
- ④地域の警報システムについての説明

津波の到達まで十分に時間がある場合、マップを用いて、危険な場所から完全に避難することができる。

4. 危険度指標と災害（リスク）マップについて

4.1 導入

防災対策・都市計画の立案においての問題点は、意志決定者が与えられた津波の安全性（危険性）の概念と経済的な問題を比較し評価するフレームワークがないことである。浸水範囲と波高に基づいて決められたガイドラインにおける境界は多くの不確実性に基づく予想であるハザードのみを表示しているため、被害やリスクなどの情報がない。対策・計画立案に際して意志決定者が必要とするのはこのような情報である。

「危険度」を被害の生じやすさとして用いる場合、津波危険度は、冒頭述べたように単に波高や浸水深でのハザードで評価できるものではなく、その発生頻度、土地利用、価値（地域の発展の度合い）、防災力によっても変化する。海岸地域を利用するためには、危険地域内での利用を割り付けするための地域的な基準や指標を開発する必要がある。すべてを網羅的に評価することは大変困難であるので、いくつかの利用区分により単純に積算できるようにした指標が提案されており TSI

(Tsunami Susceptibility Index) がその 1 つである (Urban Regional Research, 1982)。

4.2 TSI (津波危険度指標)

TSIの開発に際しては以下の仮定に基づいて開発が行われた。

- ①危険度は、自然現象の大きさと人間が危険地域の利用度合の関数である。
- ②津波は人命と財産の両方に対して被害を生じさせる。人命への被害は財産へのものより高い対価が与えられる。
- ③海岸地域の合理的な利用には、いくらかのリスクが伴う。
- ④危険の程度は、利用密度、海岸への依存性、人命や財産の損失の可能性などに依存する。これに基づき、危険度指標を以下で定義した。

$$TSI = P \Sigma H$$

P: 自然的災害要因の大きさ

H: 人間の利用状況を表す利用指数

TSIの値が小さいほどその地域の危険度は小さいことを表す。TSIには絶対的な基準値というものはなく、それぞれの行政区で基準値を定め、その範囲に収まるように土地利用の割付を行うというものである。

TSIの一番の利点は、土地利用計画の立案者が安全性の概念と経済的な問題を比較する合理的方法であるということである。ただし、要因の大きさと利用指数を明確に示す必要がある。

4.3 TSIの計算

(a) 自然的災害要因 P

100年確率の遡上高さ、もしくは過去の記録の中で最も大きい遡上高さをfeetの単位で表した値を用いる。

(b) 利用指数 H

海岸地域での利用形態ごとに H の値を決める。ここで、人命損失の可能性も考慮に入れて得点化する必要があるが、人の命の価値を計るのは困難であるため、今回の指標には取り入れていない。H の値は、利用形態ごとに、合計収入によって評価される値と地域住民の要求の調整といった地域社会の価値観によっ

て決めることができる。Hの評点の例を挙げる。

それぞれの利用形態についてのHの評点は、その地域の住民の基準に基づいて決められるものであり、危険区域内においてHの評点の総合ΣHを出す。このPとΣHの積により、TSIが計算される。即ち、Pの評点が大きくても経済的利用がなされていない(ΣHが0)場合はTSIも0になり、Pの評点が小さくても経済的利用が大きい場合はTSIは大きくなる。

表-6 経済的な重要性を考慮に入れた利用指数H値

1	Port	10point
2	Tourism	10
3	Commercial fishing	10
4	Recreational fishing	5
5	Other recreational activities	5
6	Industrial plants	10
7	Mariculture	10
8	Sewage disposal	5
9	Power plants	10
10	Other (residential, retail, office, warehouse)	10

4.4 適用例 (米国アラスカ州コディアック Kodiak)

ここでは、実際に、アラスカ州の津波危険度の評価を行ったコディアックでの事例を紹介する。Pの評価値；最大遡上高さは1964年のKodiakのWoman's Bayでの21feet

Hの評価値；ΣH=140 (表-7 参照)

$$\rightarrow TSI = 21 \times 140 = 2,940$$

ここで、住居・学校・小売店・オフィス・レストランを禁止すれば、ΣHが65点減少して75点となり、TSI=1,575点となる。港の周りの産業や漁業など、不可欠な経済活動を維持していくことを考えると、妥当な値である。このように、土地利用計画を考える際の利用形態の選定を行うための定量的な指標として

表-7 沿岸での土地の依存性による利用指数H値

Essential	5point
Highly Desirable	10
Desirable	15
Beneficial	20
Immaterial	25

表-8 アラスカ州コディアックでの利用指数H値の例

Use	Value	Rationale
PORT	5	Kodiak is a port city and the port facilities are essential.
HOTELS	0	No hotels are located within the tsunami zone.
MARINAS	10	The small boat harbor serves as a marina.
COMMERCIAL FISHING	5	Kodiak has numerous canneries and is a center of commercial fishing.
RECREATIONAL FISHING	0	The small boat harbor is also the center of recreational fishing activities.
RESIDENTAL HOUSES	25	At least two apartment buildings are within the tsunami zone.
SCHOOL	30	A school is located in the tsunami zone.
HOSPITALS	0	There are no hospital in the tsunami zone.
RETAIL STORES	20	The downtown shopping area was built in tsunami experience zone.
WAREHOUSES	10	Warehouses are associated with the port.
SWAGE TREA TMENT PLANTS	0	No treatment plant is located in tsunami experience zone.
PARKS AND OPEN SPACE	0	None in the inundation zone.
COMMERCIAL	25	Several office buildings are in the hazard zone.
RESTAURANTS	10	One or more restaurants are located in the shopping area.
AIRPORTS	0	The airports is not located within hazard zone.

用いることができる。

5. おわりに

本論では、最近、作成・公開されているハザードマップ図に関連して被害・リスク推定の基本的な考え及び米国での沿岸防災を中心とした紹介を行った。いずれも、我が国が今後、ハザードマップ等を作成する場合の基準づくりに参考になる内容であると考えている。ハザード評価においては解析モデルや現象に内在する不確実性の取り扱い、リスク評価においては低頻度災害に対する発生確率の算出方法、があるが、様々の要素に置ける不確実性と誤差は、積極的に開示して得られた結果だけではなく信頼性や精度も議論し、合意形成を行う必要があると考える。最後に、多層構造での多様なハザードとリスクを総合化する指標は必要であるが、普遍的な手法や合理的な理論はいまだ研究の途上であると言える。

参 考 文 献

- 岡田憲夫 (1985)：, 災害のリスク分析の見方, 土木学会「土と防災セミナー」講習会テキスト, 昭和60年7月。
- 河川情報センター (1997)：洪水ハザードマップ作成要領, 解説と運用, 建設省河川局治水課監修, 平成9年1月, 179p.
- 河田恵昭 (1997)：大規模地震災害による人的被害の予測, 自然災害科学, 第16号, pp.3-13.
- 国土庁・消防庁・気象庁 (1997)：津波災害予測マニュアル, 平成9年3月, 104p.

- 小谷美佐・今村文彦・首藤伸夫：GISを利用した津波遡上計算と被害推定法, 海岸工学論文集, 第45巻, pp.356-360, 1998.
- 首藤伸夫 (1987)：津波災害の変遷, 東北大学工学部津波防災実験所研究報告, 第4号, pp.1-41.
- 津波対策推進マニュアル検討委員会 (2002)：津波対策推進マニュアル検討報告書, 平成14年3月, 162p.
- 土木研究所, リスクマネージメントとしての水防災, 土木研究所資料, 第3076号, 114p.
- 松富英夫・首藤伸夫 (1994)：津波の浸水深, 流速と家屋被害, 海岸工学論文集, 第41号, pp.246-250.
- 早川哲史・今村文彦：津波発生時における避難行動開始モデルの提案とその適用, 自然災害科学, Vol. 20, NO. 2, pp.51-66, 2002.
- Kolluru,R., S.Bartell, R.Pitblado, and S.Stricoff (1996)：SAFETY RISK ANALYSIS ANDPROCESS SAFETY MANAGEMENT, Risk assessment and management Handbook, McGrawHill Pub. Co. pp.8.3-8.53.
- Monmonier,M. (1997)：Uncertain Shores：CARTGRAPHS OF DANGER Mapping Hazard in America, pp.65-87.
- Urban Regional Research (1982)：Regional Land Use Allocation Method：Land Management Guidelines in Tsunami Hazard Zones, prepared for the National Science foundation, pp.140-155