

都市洪水のリスクマネジメント

— 減災からリスクマネジメントへ —

芝浦工業大学工学部土木工学科教授 守田 優

1. はじめに

最近、リスクマネジメントという言葉がふつうに使われるようになった。このリスクマネジメントであるが、将来の不確実性をともなった損失を“リスク”として認識し、それをいかに管理するかというリスクマネジメントは、特に20世紀後半、企業経営の分野で始まったものである。すなわち企業は収益を第一に考えて行動するだけではなく、予期せぬ損失が企業の内外に発生する危険性を適切に管理していかなければならない、さもなくば倒産に追い込まれることもある、という認識をもとに、保険をはじめとする種々の手段によって危険を管理する必要性が生じてきたのである。

リスクマネジメントが、企業経営と保険の領域から始まり、やがて自然・社会事象に拡大され、その適用範囲を拡げていくなかで、自然のリスクとして人間生活と深いかかわりのある洪水と水害に関するリスク概念が形成されていった。

2. 洪水リスクマネジメントの始まり

人類は長い歴史のなかで、洪水に対して、堤防を築いたり、分水路をつくったり、氾濫原を管理したりしてさまざまな治水対策をとってきた。しかし洪水リスクが定義され、リスクの定量化とリスク管理が組織的な方法として確立してくるのは、欧米において1990年代からである。

まずアメリカでは連邦政府のもとで堤防建設のプロジェクトが進められていたが、1980年代後半、事業予算が増大するなかで、堤防高の設定について議論が持ち上がった。すなわち、計画した堤防高にさらに“余裕高”(free board)を上乗せする従来の方法に対して、工学的有効性の観点から疑問が提出されたのである。当時、河川の堤防の高さを決めるのに、ある確率降雨の規模について洪水

流量・洪水位を計算し、それをもとに治水計画を立てていた。その際、洪水位の不確実性を考慮し、それを一定の“余裕高”によって対応していた。このような従来の経験的方法に対して、米国陸軍工兵隊は、1990年代に入り、独自に洪水リスク分析の手法を開発し、実用的な段階まで研究を進めた。そして計画降雨や流出計算の不確実性を定量化し、堤防高の計画・設計の基本フレームを構築したのである。この米国陸軍工兵隊の洪水リスク分析はその後の洪水リスクアセスメントの範例となった¹⁾。

ヨーロッパでは、2002年のエルベ川、2006年のドナウ川、さらに2007年のイギリスの水害など、激甚な洪水被害を経験し、そのような一連の水害は、気候変動による洪水増加の脅威も背景に、各国政府に洪水への長期的な対応を迫った。そこでEUの国際的な連携のもとに洪水対策を進めるため、2006年、EU委員会はEU DIRECTIVE (EU指令)について合意に達し、以後、各国は連携をとりながら洪水リスクアセスメントとリスクマネジメントのプロジェクトを進めている。この洪水リスクマネジメント・プランは、洪水による浸水の頻度と被害をともに減少させることを目的としており、従来の治水施設の増強、洪水疎通能力の強化、避難警報システムの整備のみならず、氾濫原の保全、土地利用規制や洪水時の避難行動の指導など、多様な方策のポートフォリオ (組み合わせ) によって対応することとしている。こうして欧州においては、2000年代に入ってから大規模な水害を経験するなかで、従来の治水の考え方に代わる新たなパラダイムとして洪水リスクマネジメントが登場することとなったのである。

3. 洪水リスクの定義

本稿では、「洪水リスク」という言葉を用いる。これは欧米で広く使われている flood risk の訳である。ただ、洪水リスク (わが国では水害リスクと呼ばれている) の定義が不明確なまま、洪水の被害 (flood damage) と洪水リスク (flood risk) が区別されず、混同して用いられることが多い。リスクマネジメントにおける伝統的なリスクの定義は、(リスク) = (事故の被害の大きさ) × (事故の生起確率) である。右辺の被害の大きさが damage であり、リスクには生起確率がかかってくるのである。ダメージ (damage) とリスク (risk) の違いは、例えば、航空機の事故と自動車の事故を比較すればよくわかる。事故によるダメージで言えば、航空機の方が圧倒的に大きい。しかし私たちは航空機に乗ることを極端に恐れることはない。それは事故が生起する確率はきわめて小さいからである。一方、自動車事故の発生確率は航空機に比べて高いが、被害は相対的に小さい。私たちのリスク感覚では、航空機も自動車もリスクという面からそれほど大きな違いはないと感じている。私たちのリスク感覚は、リスクマネジメントの伝統的な定義を反映しているのである。この定義を踏まえると、洪水リスクの定義は以下のようになる。

$$\text{洪水リスク} = (\text{洪水の生起確率}) \times (\text{洪水による被害}) \cdots \text{①}$$

すでに述べた米国陸軍工兵隊の洪水リスク分析では、この定義のもとに、洪水被害の年平均期待値を算出し、さまざまな対策について、このリスク評価をもとに比較検討している。

ここでリスクの定義として、もうひとつ、Crichton のリスク・トライアングルを取り上げる。Crichton²⁾ は、数あるリスクの定義を踏まえた上で、1999年、簡明で包括的な定義として、図-1

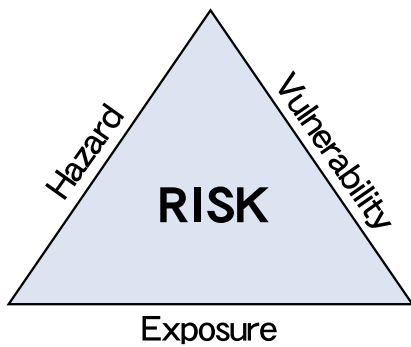


図-1 Crichtonのリスク・トライアングル

に示すリスク・トライアングルを提案した。これは、リスクを、Hazard（ハザード）、Exposure（エクスポージャー）、Vulnerability（ vulnerability ）の3つの要素からとらえるものである。Hazardは、危険原因（Peril）による被害を増加させる状態（危険状態）、Exposureは危険にさらされるもの（被災対象）、Vulnerabilityは、被害の受けやすさ（脆弱性）である。この3つの要素は、その後の洪水リスクマネジメントに受け継がれ、現在、洪水リスク論において定着している。Hazardは、すでに「ハザードマップ」という言葉で認知されている。Hazardという言葉が素直に受けとれば、「ハザードマップ」とは、豪雨によって浸水しやすい状態（危険状態）を表したものと云えよう。このCrichtonのリスク・トライアングルから、洪水リスクは以下のように定義できる。

$$(\text{洪水リスク}) = (\text{ハザード}) \times (\text{エクスポージャー}) \times (\text{脆弱性}) \dots \textcircled{2}$$

ここで洪水リスクの定義について、やや詳しく述べたのは、洪水リスクを正確に理解しないと洪水リスクマネジメントが何を目標しているのかわからなくなるからである。

4. 洪水リスクマネジメントの枠組み

洪水リスクマネジメントは、豪雨の頻度、浸水被害を受けやすい危険状態（Hazard）、浸水対象（Exposure）、浸水被害に対する脆弱性（Vulnerability）をいかに事前に予測・評価し、洪水による被害をいかに減らすかという取組みである。図-2に洪水リスクマネジメントの枠組みを示した。ここで洪水リスクマネジメントは、リスクマネジメントの一般的な枠組みに従って、リスクコント

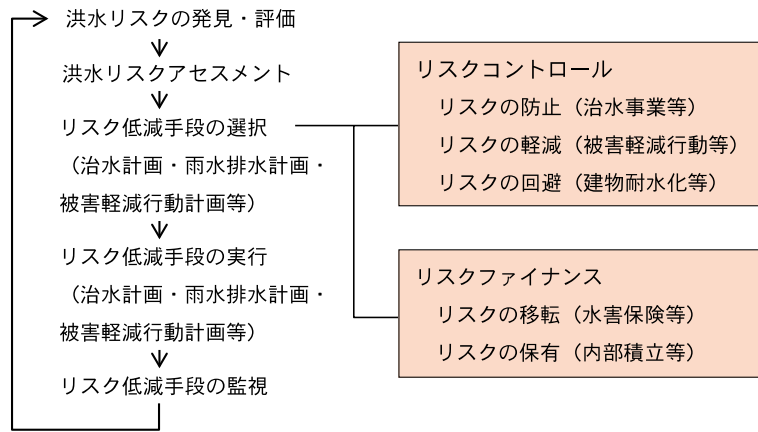


図-2 洪水リスクマネジメントの枠組み

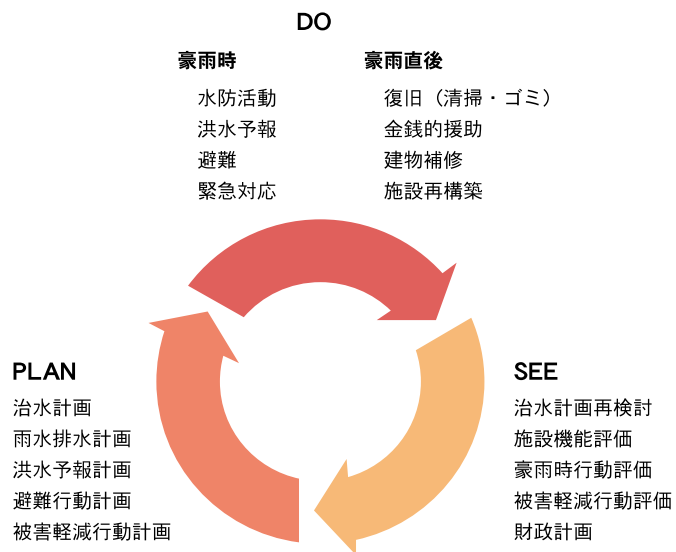


図-3 洪水リスクマネジメントのPDSサイクル

ロールとリスクファイナンスに分けられる。リスクコントロールには、リスクの防止（治水事業、雨水排水事業）、リスクの軽減（豪雨時の被害軽減行動など）、リスクの回避（建物のピロティー化など）がある。一方、リスクファイナンスは、リスクの保有（内部積立など）やリスクの移転（水害保険など）がある。

洪水リスクマネジメントは、まず洪水リスクの発見から始まる。これは、過去の水害調査、土地利用調査、被害物件の浸水脆弱性調査など、浸水可能性を高めるさまざまな要因を調べることである。つまり、Hazard × Exposure × Vulnerabilityという観点から洪水リスクを分析するのである。つぎに洪水リスクの分析結果をもとに、現状における洪水リスクを定量化する。定量化の方法は、紙面の制約からここでは詳しく述べることができないが（例えば、守田^{3, 4)}、降雨強度と確率、浸水

氾濫モデルによる浸水深の計算、さらに浸水深から被害額の算出という手順をたどる。さらに、さまざまな対策がとられた場合の洪水リスク低減効果を定量的に把握し、比較評価し（洪水リスクアセスメント）、洪水リスク低減手段を決定する。それには長期的な治水計画、雨水処理計画などのハード対策のみならず、洪水予報システムや豪雨時の被害軽減行動などソフト対策も当然含まれる。

こうしてさまざまな洪水リスク低減のためのリスクコントロールを実行し、リスクファイナンスも併用しながら、実際の豪雨時に治水対策は有効に機能したか、行政や住民の行動は適切であったか、など洪水リスク低減対策について評価を行う。

以上のような洪水リスクマネジメントの枠組みは、一方向のフローではなく、図-3に示したように、PDSサイクルと

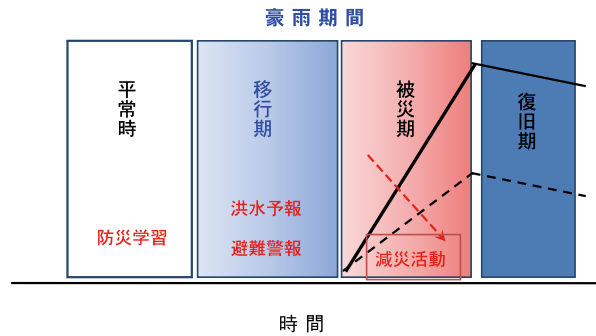
して持続的に実施していくことが、洪水リスクマネジメントの本質的な点である。これまで、とすればハード整備を主体に対策が考えられてきたが、計画-実施-評価のサイクルとしてとらえることが重要である。

5. リスクマネジメントとクライシスマネジメント

本稿で洪水リスクマネジメントを特に「都市洪水のリスクマネジメント」と言っているのは、洪水リスクマネジメントが基本的に都市流域に適用されるものと筆者は考えるからである。都市流域とは、洪水の流出機構や人口・資産の集中において流域全体が都市化した河川を指している。流域面積もせいぜい100km²程度の河川である。河川からの越水や溢水、下水道の内水氾濫を対象とする。これに比して大河川、首都圏で言えば、例えば利根川や荒川の破堤による洪水氾濫はその規模において都市河川の比ではなく、一旦、このような洪水になると、その被害は国家経済に大打撃を与えるような規模となる。洪水リスクの定義①で言えば、「洪水による被害」が定量化できないのである。このような災害は、クライシスマネジメント（危機管理）と呼ぶべきであり、通常のリスク管理とは全く次元の異なる方策がとられなければならない。

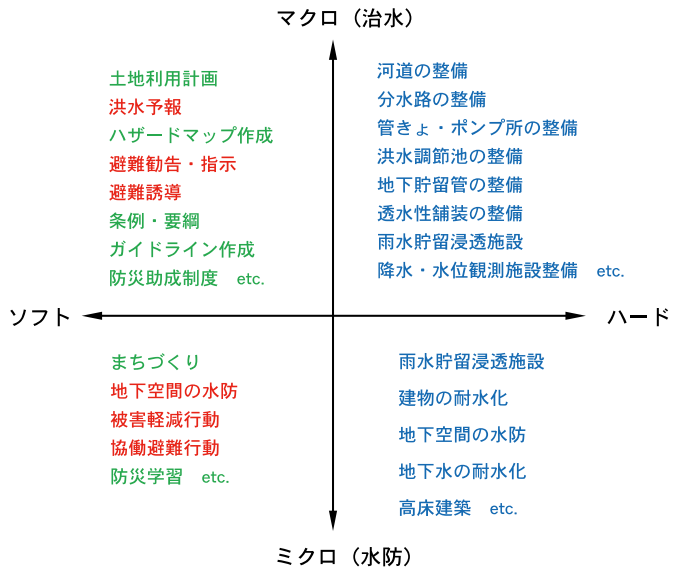
すなわち大河川の治水対策は、100年から200年という再現期間をもつ大規模な計画降雨を対象とし、堤防が決壊することなどないよう万全の対策をとる。もし万が一、決壊するようなことがあれば、洪水発生後、広範囲に及ぶ洪水氾濫流による被害の拡大をいかに防ぎ止めるか、そして国家として災害のダメージからいかに立ち直っていくかが緊急の課題となる。

クライシスマネジメントは、極論すれば、起こってはならない事象が起こった場合の危機的事象のマネジメントであり、図-3に示したように、ある頻度で生じる水害をPDSサイクルでまわしていくリスクマネジメントとは全く性格の異なるものである。ただ、住民みずからの減災行動として、避難勧告・指示に従った安全な避難行動、自主的防災学習などのソフト対策、建物の耐水化、高床建築などのハード対策は、クライシスマネジメントにおいても有効である。



*行動の選択がいかに被害を少なくするか、を心理学的・行動学的に明らかにする。

図-4 洪水マイクロマネジメント（豪雨時）の構造



*ソフト対策は、平常時（緑色）、豪雨時（赤色）で示した。

図-5 洪水リスク低減対策の体系

6. 洪水のマクロマネジメントとマイクロマネジメント

洪水リスクマネジメントは、基本的に図-3に示したサイクルで実施されるが、その実施主体を考慮して、マクロマネジメントとマイクロマネジメントに分けることができる。

まずマクロマネジメントは、行政が、マクロの観点から流域全体としてどのような治水・雨水排水計画を決定し、事業として実施するかということである。これを別の言い方で言えば、治水という言葉で当てることができる。また例えば経済学におけるマクロ経済学をイメージすることもできるだろう。一方、マイクロマネジメントは、平常時・豪雨時における行政や個々の住民がどのような行動をとるかを問題とする。これを別の言い方は水防という言葉がある。マイクロ経済学が、企業や個人の個別的経済活動を対象とするように、洪水リスクのマイクロマ

ネジメントでは、平常時・豪雨時・復旧時における行政や企業・市民の個々の被害軽減行動を扱う。

図-4に洪水マイクロマネジメントの基本構造を示した。降雨のない平常時から豪雨によって洪水が発生するまでの移行期、豪雨時の被災期、そして被災からの復旧期である。もし、効果的な減災行動がとれば洪水による被害も軽減する。ここに示した行動の流れを対象とするのがマイクロマネジメントである。

洪水リスクマネジメントは、洪水リスクを低減するため、最大の効果を発揮するようにさまざまな対策をポートフォリオとして対応するものである。図-5に洪水リスク低減対策をマクロ vs ミクロ、ハード vs ソフトの座標軸のもとで体系的に示した。一級河川の治水事業は最終的に国土交通省が責任をもつものであるが、洪水リスクマネジメントは、自治体が市民とともに進めるものである。都市によってハード整備の水準や人口・資産

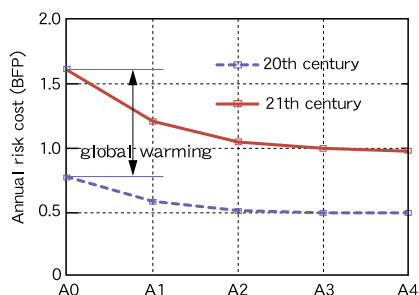


図-6 治水事業と気候変動による洪水リスクコストの変化(文献5)に加筆

の集中度は異なる。自然条件・社会条件が異なっているのである。それぞれの都市の実情にあわせて、リスク低減を最大にするポートフォリオを決定し、それをもとにリスクマネジメントのPDSサイクルを回していくことが肝要である。

7. 地球温暖化と洪水リスクマネジメント

気候変動は洪水リスクを増大させる重要なファクターである。気候変動に関する政府間パネル(IPPC)の報告書でも、地球温暖化が将来の豪雨の増加をもたらす、そのことで洪水リスクをさらに増加させることは確実である。洪水リスクの定義①においては、洪水の生起確率が大きくなるとともに、洪水の規模も増大し、それによる被害も増加すると言える。もし、気候変動によって、降雨特性が変わり、現在の治水事業の治水レベルを超える豪雨が激増するようになると、現時点において長期計画で進められている治水事業も有効性を失い、投資も無駄なものになってしまう。このように考えると、治水事業の有効性について、従来の費用便益分析だけではなく、気候変動も考慮に入れなければならない。

筆者は、東京都の神田川を対象に、気候変動による洪水リスクの増加を検討した⁵⁾。治水事業による洪水リスクの低減とその気候変動による影響を図-6に示した。横軸は洪水調節池を増加させる治水計画(A0:現在、A1~A4:1基から4基まで洪水調節池を増加させる計画)、縦軸は洪水被害の年平均期待値(金額は、BFPとして、現在の年平均治水事業費で割って無次元化してある)である。この洪水被害の年平均期待値が定量化された洪水リスク、すなわち洪水リスクコストである。また、図-6中の2本のカーブ

のうち、下のカーブが気候変動前(20世紀)、上のカーブが気候変動後(21世紀)の洪水リスクコストを表している。

気候変動の影響は、東京都の現行の計画降雨を気候変動によって補正する方法で考慮した。その詳しい方法は、筆者の著書⁴⁾、論文⁵⁾を参考にいただきたい。図-6のカーブを見ると、洪水調節池の増設によって洪水リスクコストが低減しており、洪水調節池の効果を確認することができる。特に、環状8号線地下に洪水調節池を建設するプランA1のリスク低減効果は大きい。しかし、図-6から明らかなように、その効果も気候変動によって帳消しにされてしまい、治水事業A1の低減効果よりも、気候変動によるリスク増大効果の方が上回っていることがわかる。

以上から明らかなように、今後の治水計画においては、気候変動の影響を無視することができない。

8. おわりに

戦後の日本においては、高度経済成長期、洪水による被害を出さない「防災」を目標に治水事業が実施された。しかし、阪神淡路大震災などを経験するなかで、自然災害はわれわれの防災力をはるかに上回るレベルで起こりうること、また、防災に当てる予算や資源も限られていることから、完全に被害をなくすことは不可能であるとの認識に至った。そこで、自然災害によって被害が生じてしまうことはやむをえないとしても、その被害をできるだけ減らしていくことが重要だ、という考え方に変わった。これが現在言われている「減災」である。しかし、この「減災」は、わかりやすく言えば、行政はできるだけ努力をします、ただ行政のできることに限界があります、だから、後は、市民のみなさんで共助や自助によって努力してください、というメッセージとして聞こえてくる。「防災」に自助と公助を「接ぎ木」したものと言えなくもない。

減災は、言うなれば、戦後の「防災」行政の修正として、従来の公助に対して、さらに共助・自助を加えて防災力を高めようという考え方である。これは戦後日本の防災の歴史を振り返るとき、確かに納得できる政策ではある。ただ洪水リスクという観点から考えると、防災行政が、治水事業や流域対策(総合治水)によって、ハザード(Hazard)、すなわち、浸

水しやすい状態をいかに改善していくかということに努力を集中し、流域全体の浸水脆弱性(Vulnerability)の克服という課題については行政の範囲を超える「協力要請」として位置づけてきたことは否めない。行政と市民のパートナーシップという考え方が広まりつつある現在、行政と市民が一緒になって、洪水による浸水脆弱性を克服するためのハード・ソフト対策のポートフォリオをつくり、それをPDSサイクルとしてともに押し進める時代になっていると考える。

【参考文献】

- 1) National Research Council: Risk Analysis and Uncertainty in Flood Damage Reduction Studies, Washington, D.C., National Academy Press, 2000.
- 2) Crichton, D.: Role of Insurance in Reducing Flood Risk, The Geneva Papers, 33, pp.117-132, 2008.
- 3) 守田 優:都市河川の洪水リスクの定量化とリスクアセスメントへの応用, 水循環, Vol.72, pp.18-23, 2009.
- 4) 守田 優:都市の洪水リスク解析-減災からリスクマネジメントへ, FORUM8 Publishing, 2014.
- 5) Morita, M.: Risk Assessment Method for Flood Control Planning Considering Global Climate Change in Urban River Management, IAHS Publications, No. 357, pp.107-116, 2013.