

リスクを意識した治水技術体系の展望と課題

河川研究部長

藤田 光一

リスクを意識した治水技術体系の展望と課題

河川研究部長 藤田 光一

1. 要旨

あるレベルまでの安全を確保できる施設群を整備するという施策体系については、その効果・実績が顕著であるとともに、限界も認識されるようになった。次に進むべき方向として、従来の施策群を包含しつつ「国土が抱えているリスクを踏まえた総合的減災という施策体系への移行」があるが、その実現は、机上の議論が活発になされるのに比して、様々な重い課題を背負う。このことは、国や地域のありように本質的な転換を促す側面も持ちうる。本講演は、こうした認識の下、リスクをより強く意識した体系への展開がいよいよ重要な技術政策課題になってきている背景と理由を述べ、一方、実務への定着という観点から、それが魔法の杖でもないことも示しながら、治水分野を例に、リスクを土台においた施策体系が実のあるものとなるための要諦と隘路突破のための具体的な技術課題を述べる。これにより、従来の施策群を包含しつつリスクを土台にした防災・減災に向かうことの展望を述べ、「想定外に備えること」の難しさの克服に関する議論への一助とすることをねらう。なお本講演では、技術的手順の細部の説明に立ち入ることはせず、方向性の議論に資する内容に絞る。

2. 「リスクを意識すること」の基本的方向性

本講演の内容を理解していただくには、「リスクを意識すること」の意味合いの基本部分の共有化が大事なので、最初にその点を明確にしておく。本講演では、以下のように表現されるリスクを前提として、話を進める。

リスク→【ハザード（害的事象）の発生】@【それが起こったときに生じる被害】

記号@は、「掛け算」あるいは「組み合わせでの評価」を表す。@には、「防災・減災施策の効果」やハザードに曝される側の「脆弱性」が組み込まれる。同じ規模の洪水が発生してもダムや堤防などの防災施設の整備が進んでいれば、堤防を越えての氾濫の生起頻度あるいは程度が減ぜられ、また、洪水氾濫に備えた対策が適切に講じられていれば、同じ規模の氾濫に対する被害は減ぜられ、逆に無防備な状態であると被害は大きくなる。こうしたことが@に反映される。

ハザードの発生・程度は、しばしば「その規模以上の洪水発生は百年に1回の確率以下」というように生起確率と関連づけて表現されるので、

$$\text{リスク} = [\text{生起確率}] \times [\text{想定被害}]$$

と定義され、期待値として表現されることも多い。ただし、かけ算の結果だけを用いることには、後ほど4. 3. 4で述べるように課題があるので、リスクを議論するときは、こ

うした算術を機械的に採用するのではなく、ハザードの発生と生じる被害との全体的関係を基本にすることが重要である。

被害については、治水経済調査を通じて算出される被害額が代表的な指標として従来から用いられてきた。加えて最近では、直接的な経済被害額だけでなく、間接的な経済被害、さらには、より広義の間接被害を評価することの重要性が強く認識されている。このような被害の性質については、4. 1で再度触れる。また、文字通り致命的な被害を表す指標として想定死者数を取りあげることが水害分野についても見られるようになった。こうした取り組みの代表例としては、ハリケーン・カトリーナがもたらした激甚な災害を受けて米国陸軍工兵隊が主導したIPETレポート（Final Report of the Interagency Performance Evaluation Task Force: Performance Evaluation of the New Orleans and Southeast Louisiana Hurricane Protection System、2009；http://www.usace.army.mil/CECW/Pages/ipetrep_final.aspx）においてなされた様々な条件での死者数想定や、我が国の内閣府中央防災会議が設置している「大規模水害対策に関する専門調査会」による荒川等での大規模氾濫がもたらす被害想定での検討があげられる（中央防災会議 大規模水害対策に関する専門調査会 報告：首都圏水没～被害軽減のために取るべき対策とは～、平成22年4月；http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/suigai/100402/100402_shiryu_2.pdf）。後者において合わせて行われている地下鉄への氾濫水の広範な侵入・浸水過程の再現は、間接被害の想定につながる一例と言える。

以上からもわかるように、リスク表現を構成する要素のうち被害については、直接経済被害額などの代表的な指標1つで行うよりも、質の異なる複数の評価軸での想定に基づき、多角的・総合的な観点から行うことが重視されていく方向にあると感じられるし、そうした方向が今後の治水に関わる技術政策の体系としても適切ではないかと講演者は考えている。この点については4. 1でさらに論じる。

このように表現されるリスクを、もっとも単純な形で例示したのが図-1（左）中の太実

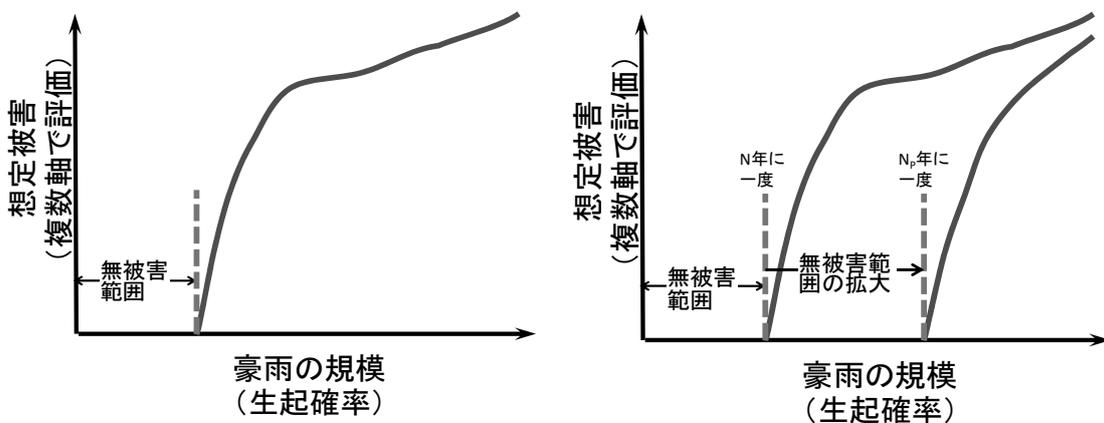


図-1 リスクを総体的に表す曲線（想定被害～豪雨規模関係図）と無被害範囲
 ※右は、河川整備の進捗による曲線と無被害範囲の変化を説明したもの

線である。この線で表される被害（想定）～豪雨規模（生起確率と概ね一対一の関係）の関係性を全体的に右下方に抑制し、適切にコントロールすることが、リスクを土台にした防災・減災の基本になる。

一方、河川整備すなわち河川および河川沿いで種々の施設整備（ダム建設や堤防築造、河道改修、遊水池建設など）を中心に進められる治水の取り組みは、この図の中で縦軸と太破線の間隔すなわち「無被害の範囲」を所定の目的に向かって広げていく営為あるいは氾濫被害の発生頻度を低下させる営為と表現される（図-1（右）参照）。太破線の横軸上の位置は、対応する生起確率（以後、簡単のため「N年に1度の豪雨規模」と表現）以下の豪雨による洪水であれば、堤内地への氾濫が起こらないように河川が整備できていることを示し、この位置を河川整備における治水の長期的目標である「 N_p 年に一度の豪雨規模」まで右にシフトさせていくことが、河川整備の完遂に当たる。したがって河川整備を通じた治水安全度向上は、リスク全体の抑制・コントロールにおける一側面と見ることができ。ただし、図-1中の無被害範囲の拡大あるいは氾濫被害発生頻度を低下させることの重要性は、我が国においては今後もしばらくは変わらないと見るべきである。このことについては3. 2で再び言及する。

3. 被害発生頻度を低下させる施策の意義と課題

3. 1 施策の成り立ちの経緯¹⁾

自然に形成された沖積河川の流路は、一般に、平均年最大流量程度（生起確率で言うと2～3年に一回の頻度に対応）の洪水を満杯状態で流す容量を有している。したがって、その流量を超える洪水が発生すれば、洪水は流路に隣接して広がる沖積平野に溢れ出す。沖積平野がそうした洪水氾濫によって運ばれた土砂で形成された地形であることを考えれば、溢れ出した洪水が沖積平野に大きく広がり、浸水させる性質を持つことは容易に理解される。

稀とは言えないこうした沖積平野での洪水氾濫は、しかし、沖積平野の人間による利用がなされていないか、なされていても自然の洪水氾濫と親和的であるなら、自然事象と捉えれば事足りる。一方、沖積平野の利用が広がり、その形態が高度化して洪水氾濫との親和性を失うにつれ、洪水氾濫のハザード（危険要素）としての側面が強まっていく。急峻な山地が国土面積の7割近くを占め、また平坦地に占める沖積平野の割合が大きい我が国においては、国土開発が沖積平野利用の拡大・高度化とそれへの依存度増大を主軸になされたと言え、我が国の人口の半分、資産の3/4が沖積平野に依存するに至り、これに対応して洪水氾濫に対する許容度も一貫して低下してきた。

こうした基本的潮流の下、沖積平野への洪水氾濫の頻度・度合を低下させる営為が古くから積み重ねられてきたのは必然であった。氾濫の頻度・程度を低下させるには、大きく分けて、1)洪水の流量を減らす、2)氾濫せずに川だけで流せる洪水流量を増大させる、3)氾濫から防がれるエリアを増やす、の3つの手段がある。1)は、山地部（ダム）や平野部（遊水池）に洪水を一時的に貯留し洪水のピーク流量を減少させる方法、放水路開削によ

って洪水流量自体を分けてしまう方法などに分かれ、2)も、自然に形成された流路の断面積を掘削により大きくする方法、蛇行河川の短絡化によって河川の勾配を大きくする方法、流路の両脇に堤防を築く方法、などに細分されていく。3)としては、地先堤防、輪中堤や二線堤など、氾濫の影響を受けにくいエリアを逐次確保・拡大する方法が代表的である。

時代とともに人間が投入できる力が増大していく過程で、また、沖積平野をなるべく広く自由に使いたいという人々のニーズが大きくなる中、選択される手法もそれに応じたものに変化していき、その規模も大きくなった。特に、明治以降の機械力の本格導入と治水技術の急速な向上によって、前述の1)と2)を中心とする氾濫頻度を低下させることを主軸とした河川整備が我が国の各河川水系で精力的に進められ、今日に至っている。

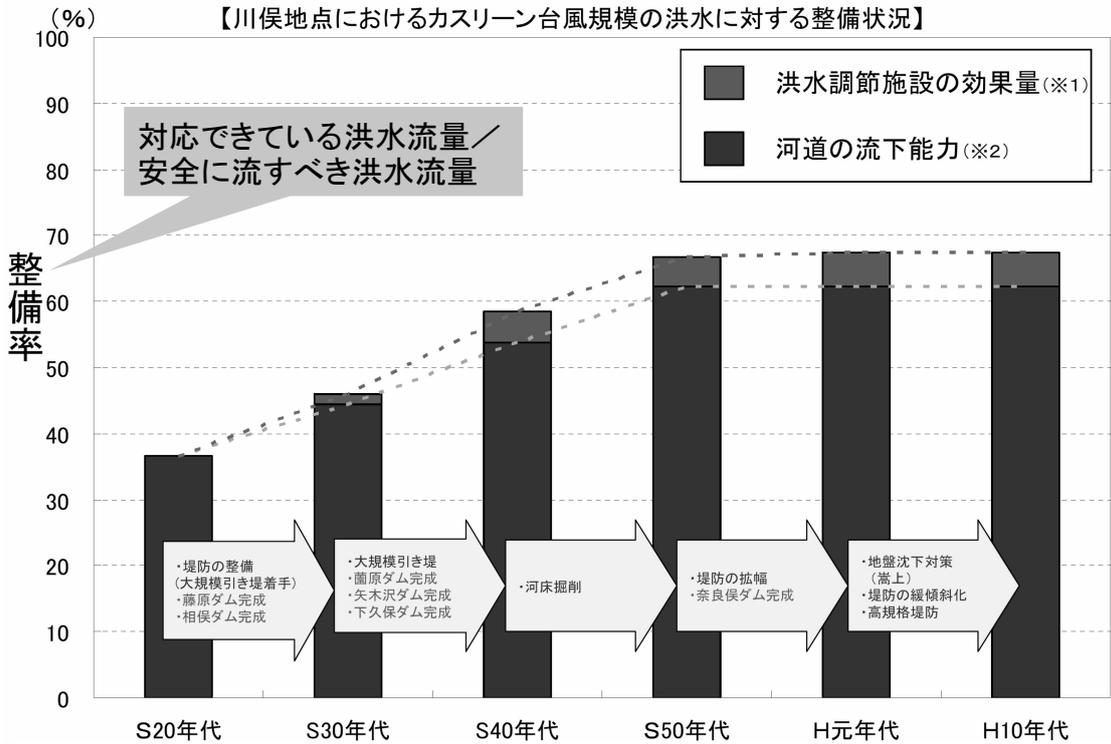
3. 2 我が国における進捗段階について

こうした河川整備の積み重ねにより、我が国において、それが無かった場合に比して氾濫被害の発生頻度が大幅に低下してきたことは周知のことである。その一方で、今日においてもなお、多くの河川で、河川整備における治水目標の安全度には到達しておらず、目標安全度と現状との間には相当の隔たりがあることも認識されなければならない。我が国の洪水氾濫に対する政策を議論する上で、先進諸国に比べ必ずしも高くない目標安全度を持ちながら、いまだ安全度向上の過程にあるという状況を捉えておくことは重要である。

オランダにおいては、法律により定められた防御レベルは250年～1250年～10000年に1回であり、ライン川水系など重要な河川の防御レベルは1250年に1回とされ、近年観測された大きな洪水流量に対応して増やされた計画洪水流量（気候変動影響とは別）に対応した河川整備が2015年に完了すれば、再びこの防御レベルに到達する見込みである。米国の河川での目標防御レベルは状況により異なるが、氾濫危険度が100年に1回を越える場所については洪水保険加入が求められることとなり、また連邦政府の政策として、重要な施設は氾濫の危険性が500年に1回以下の場所にすることが提示されている（いずれも、日米英蘭四カ国共同報告書：Flood risk management approaches –as being practiced in Japan, Netherlands, United Kingdom, and United States, 2011：<http://www.iwr.usace.army.mil/docs/iwrreports/2011-R-08.pdf> における各国の洪水リスクの特性比較表から）。

一方、我が国においては、100～200年に1回の豪雨が長期的な河川整備上の治水目標となり、これに対する進捗率は全体的に高くない。このことを具体的に説明するために、利根川水系川俣地点における治水整備率の近年70年の推移を図-2に示す。ここで治水整備率とは、整備目標とした確率規模の降雨時における洪水流量に対する、河道改修による流下能力の向上とダムなど洪水調節施設による流量低減によって対応済みとなった流量の割合として算定される指標である。近年20年は主に堤防強化を行っていたため治水整備率としては効果が現れていないが、こうした構造物の信頼性を高める整備も含めて着実に治水安全性が向上させてきている。しかし治水整備率は今後とも向上させる必要があり、整備を完遂させるには過去の治水整備率の「伸び」から見て数十年以上を要すると推定される。この間に地球温暖化が顕在化して降水量が増加すれば、当初と同一の目標到達までの時間

整備状況 利根川における治水事業の効果(川俣地点:群馬県明和町)



※1 洪水調節施設の効果量は、利根川の長期的な治水施設の整備目標である200年に1回の頻度で発生する洪水時における現況の洪水調節施設の全効果量と全洪水調節容量の比率により、各年代において完成している洪水調節容量から算出。「200年に1回の頻度で発生する洪水」が、30年の間に発生する確率は14%
 ※2 河道の流下能力は現況河道の流下能力と流下断面積の比率により、各年代の河道の流下断面積から算出

図-2 利根川(川俣地点)の治水整備率の経年変化

※内閣府中央防災会議 第四回大規模水害対策に関する専門調査会 資料7より抜粋・一部加筆：http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/suigai/4/shiryou_7.pdf

が逃げ水のようにさらに延びる可能性が出てくる。この点において、我が国の状況は、洪水に対する防護施設が既に完成している流域における適応策や、これから本格的な地域開発並びに治水整備等が同時に進行する流域における適応策のあり方とは質的に異なることを理解しなければならない。

3. 3 特徴と課題

以上から浮かび上がってくる我が国における氾濫被害の発生頻度を低下させる施策の特徴を、一つの切り口から捉えると次のようになる。

- 日本の国土の諸条件が厳しいことも原因となって、現状と設定した(長期的)治水目標との間に依然大きなギャップが存在する。このため、今後とも河川整備の重要性が高い。しかし、財政的制約も相まって、整備の完了までに相当長期間を要する状況にある。
- このため、(長期的)治水目標に向かって“じっくり着実かつ的確に”河川を整備していくことが基調となり、それは、今しばらくは“整備途上が常態”となることを意味

する。

- ・ 不幸にして、施設の対応能力を上回る豪雨および洪水が起こると、洪水氾濫の発生は必至で、それはしばしば激甚な災害をもたらす。
- ・ 被害が発生した後は、いわゆる災害復旧により「今回の災害に耐えるための河川整備」が迅速に実施され、結果として、被災河川において治水目標への接近速度が一気に向上することになる。たとえば、本年7月の新潟・福島豪雨災害の状況を見ても、平成16年7月新潟・福島豪雨による災害を受けて実施された災害復旧等の河川改修の効果は、豪雨発生時の危機管理対応の適切さとともに顕著であった。
- ・ 施設の対応能力を上回る豪雨の発生の背景は、多くの場合「整備途上」であるが、近年は、雨の降り方の強大化も一因と考えるべきとの議論もある。いずれにしても、全体的趨勢としては、災害の発生を受けて、災害復旧を迅速・的確に行うことや河川改修の一層の推進による治水安全度の全体的底上げの重要性が強調される。

こうした中で、「施設整備で洪水を防ぎきれない可能性」、「堤防溢水・決壊で何が起こるか」を考慮した取り組みが、被害発生頻度を抑制するための（狭義の）河川整備と並行して検討され実施されてきたことも、強調しておかなくてはならない。

現在においても、まして治水技術が不十分な時代においてはなおのこと、洪水氾濫を完全に防ぐことは不可能であり、その時代の実行可能性に合った形で、生じた洪水氾濫に対する様々な対応法が工夫されてきた。江戸時代における水塚はその代表例であり、水防団は、やや性質は違うが、洪水発生時の緊急対応という点では同種に数えることができる。

このような対応能力は、近代的な国レベルでの治水が進捗するにつれ、その成果として氾濫頻度がそれなりに減少するにつれて低下し、社会全体としては能動的な氾濫軽減策への依存度が高まるという経過をたどっている。このような状況の下で、ひとたび洪水氾濫が起こったときの脆弱性が看過できないレベルまで高まったとの懸念から、同じ洪水氾濫であっても被害が減ぜられ、回復が早まる方策を再構築することの必要性が認識され、それに向けた取り組みもある程度行われるようになった。今から四半世紀近く前の昭和62年という段階での河川審議会答申「超過洪水及びその推進方策について」は、大都市地域の大河川において、計画高水位を上回る、またはそのおそれのある洪水すなわち超過洪水等に対して、破堤による壊滅的な被害を回避するための超過洪水対策及びその推進方策についての諸問題を審議した結果を提示したものであり、高規格堤防の整備という施設面での対策をはじめ、通常の改修方法によらず地域の選択により土地の有効利用を図りつつ住宅等を洪水から防御するための水防災対策、閉鎖型氾濫地域における土地利用及び建築方式の設定、氾濫流の制御、洪水氾濫時における警戒避難体制の強化を提示し、重要な画期をなすものとなっている。

その後、高規格堤防の整備や水防災対策の実施に関わる制度が確立した（高規格堤防については、昨今の厳しい財政状況の中、「事業仕分け」において完成までに多くの費用と時間を要する等の指摘をうけて、平成24年度概算要求までに事業スキームの抜本的見直しを行っている）。また、洪水氾濫に関するハザードマップの整備と活用、ITを活用した災害危険情報提供システム、洪水予警報の高度化などをはじめ、多方面での施策展開がなされ、

今後さらに充実していくものと期待される。平成 21 年度からは、いわゆるゲリラ豪雨による災害対策として、適切な水防活動や河川管理を行うために X バンドマルチパラメータレーダの整備が進められ (<http://www.river.go.jp/xbandradar/>)

(<http://www.nilim.go.jp/lab/kikou-site/20study/data/data2.pdf>)、人口の集中する都市部におけるゲリラ豪雨監視体制がより一層強化されつつある。氾濫危険域を有する自治体の首長や水防団に提供される洪水氾濫の危険性に関する情報提供や助言は、水防活動や自治体から住民への避難指示・勧告の判断を着実に支えている。

このように、施設整備による氾濫被害の発生頻度の抑制が進められるのと同時、減災のための絶えざる努力がなされていることを理解しつつ、さらに一層の減災を推進させるという観点からは、次のようなことに目を向けることが改めて重要になっていると講演者は感じている。

- ・ 「施設整備で洪水を防ぎきれない可能性」、「堤防溢水・決壊で何が起こるか」については、依然として、“別世界”と考えがちな傾向が残っているのではないかと？
- ・ こうしたリスクに関する情報がまだまだ粗く、流域住民との共有もさらに進める余地があるのではないかと？
- ・ 頭ではわかっている、考える外力が「治水目標の洪水規模まで」になりがちで、「想定範囲」に無理に“ふた”をかぶせる傾向から脱し切れていないのではないかと？
- ・ 治水の進展を「施設整備の進捗度」を主体に測る傾向がまだ残り、流域が抱えている危険性への対処が「被害→施設整備の要望→対応」のパターンに偏りがちではないかと？ もちろん施設整備の効力は大きく、その重要性については論を俟たないものの、施策遂行のベストミックスという点で、さらの改良すべき点があるのではないかと？
- ・ 地球温暖化による気候変動が「施設整備で洪水を防ぎきれない可能性」を広げると懸念され、気候変動影響の不確実性も相まって、施設整備による水害発生頻度抑制の効果がやや鈍る、あるいは不確定な環境になりつつあるのではないかと？

2005 年に起こったハリケーン・カトリーナがもたらした災害、そして本年 3 月 11 日の東日本大震災は、施設整備の効果と限界、それを十分理解した上での減災施策の重要性を改めて見せつけたものと言える。上記の河川審議会答申にある以下の文言

「治水事業は、従前より一定程度の規模の洪水を対象としその氾濫の防止に必要な計画を策定して、これに基づき河川工事を実施するという方法により進められている。しかしながら、洪水は自然現象である降雨に起因するものである以上、極めて規模の大きな洪水、したがって計画の規模を上回る洪水が発生する可能性は、常に存在している。」

(傍点は講演者) は重い。

4. 流域が抱えるリスクの全容に立脚した防災・減災検討についての考察

4. 1 期待できそうなこと

第 2 章でその概略を示したようなフレームすなわち「(想定)被害～豪雨規模(生起確率)の関係性を全体的に右下方に抑制し(図-1)、適切にコントロールする」を、今後も引き続き

重要な施設整備と適切に組み合わせて適用することが、3章で述べた課題への取り組みにどのように作用するかを、まずは期待の面から考えてみたい。以下、期待できそうなことを列挙する。

- ① 被害～豪雨規模の全体的関係を表すという趣旨から、図-1の横軸について、河川整備における治水目標を上限にするというような縛りは無く、通常、それを超えた範囲まで伸ばすことになる。したがって、少なくとも治水が対象とするハザード（豪雨）について、想定の上限を設けることは原則的に無くなり（後ほど述べるように、技術的克服すべき課題は少なくないが）、検討において外力に関する「想定外」が生じにくい方法論であると言える（被害のシナリオについての想定外は別としても）。
- ② 前述の河川整備による「無被害の範囲」の拡大（あるいは災害発生頻度の抑制）と、豪雨規模がそれを上回った際の被害の起こり方をコントロールする方策を一体的に検討することができる。
- ③ 様々な施策を上記②の目的に結集させ、それらが無被害範囲の拡大を含むリスクの抑制・コントロールにどうつながるかを表現することで、それら施策群を統合的に評価することがずっと行いやすくなる可能性を持つ。原理的には、ハード的施策であれソフト的施策であれ、また、施設の改修・築造であれ管理・運営であれ、その実施効果が最後は流域住民の第一の関心に直結するリスクとして表現されるので（それを実務に耐えるレベルで可能にするための技術的検討はまだ多く残されているが）、性格の大きく異なる施策群を同じ土俵で扱う可能性が拡大する。
- ④ 上記③は、災害の起こり方を少しでも好ましい形にさせる施策をどん欲に取り込み評価する気運の醸成に繋がり、ひいては施策の選択肢の拡大につながる可能性を秘める。ソフト施策についても、やりようによっては、リスク減少への効き具合を、たとえば施設整備と同じ土俵に乗って吟味できるようになり、それだけにソフト的施策推進の真剣度を一層増すことや、また実効性をさらに向上させるきっかけになる可能性がある。
- ⑤ 図-1の縦軸（被害想定）を複数用意することで、多面的な態様を示す水害を一面的に捉えてしまう愚を避け、被害の総合的な特性をも理解した上での施策検討を行う可能性を担保できる。たとえば、直接被害額に加え、死者数の想定を行うことは、「せめて命だけは」の施策をより具体的に検討することや、それと被害額軽減の方策との関係性を知ることの出発点になりうる。
- ⑥ 2. で述べたように、リスクは、ハザードだけでなく、それに曝される側の状況にも左右される。このことは、リスクの評価においては、原理的には、被害を受ける可能性のある流域の諸状況が脆弱性を含め反映されることを意味する。さらにこのことは、リスク評価のやり方次第で、たとえば、流域人口減少やその空間分布の変化、経済活動の変質など、対象流域を特徴づける将来に向けての基調的变化を考慮できる可能性を示唆する。

なお、⑥の期待は、経済や流域開発の急進展の時代が終わり、また、河川整備の進捗に

より氾濫被害頻度の抑制が一定の進展を見せた状況において重要性を増すものといえる。治水整備のレベルが低く、洪水氾濫の危険性が高く、これから急発展を迎えるような地域に関しては、流域状況を踏まえたリスク動向に関する検討をきめ細かく行うというようなプロセスを経ないでも、緊急度が高いことが明確な「氾濫被害頻度低減」を主軸に施策を展開していくという方式も合理性を持つ。

さてここで、上記⑤に述べた多軸評価の重要性に関係して、洪水被害の多面性についてさらに言及しておきたい¹⁾。洪水氾濫は、深い水没や水流に巻き込まれることにより溺死など生命の危険もたらし、一旦その危険から逃れても、浸水が長期にわたる孤立状態を作ることになれば、孤立者の健康に深刻な影響をもたらさう。氾濫流は条件によって人々が避難している建物などを流失させる場合があり、こうなると致命度は非常に高くなる。氾濫流による建物や耕作地表土の流失など、人間が依って立つ基盤の喪失が大きな影響をもたらすのはもちろんのこと、浸水だけであっても、居住環境、産業活動などに大きなダメージが加わり、その回復に時間と労力、金銭的負担、精神的ストレスが生じる。

氾濫はまた、我々が深く依存している様々な社会・経済システムを機能不全に陥らせる危険性を持つ。そのような被害は、土地利用別の“単位面積当たり”あるいは“浸水深の関数”でカウントできそうな上述のような被害とは、その性質を異にする。代表的なものとして、電気、ガス、水道などの基幹インフラの機能不全が挙げられる。また、発電機や電子基板を持つ情報機器など、浸水に弱い重要施設が一貫して増え、それらが浸水可能標高に設置されていることが少なくない。このため、「システムの機能不全」の可能性は根深く広がっていると見え、洪水氾濫が高度な都市機能、経済システムにも甚大な影響を及ぼす可能性を否定できない。地下鉄に代表されるように、特に都市部において地下への依存度は高まっており、これも大規模水害時の脆弱性を増大させている可能性がある。以上のようなシステム群の機能不全が大規模に起こると、全体として、社会・経済に長期にわたり大きな影響をもたらされると懸念される。

以上のように、洪水氾濫がもたらす災害の態様は、不変でも一様なものでもなく、軽微なものから深刻なものまで様々である。直接的な経済被害額だけでなく、幅広い視点から経済面を含む間接的な被害を想定する工夫を重ねることで、こうした災害の実相を正面から捉えていくことが大切である。リスクの評価においては、氾濫がもたらす被害の持つこうした多面性に十分留意することが大事であり、何か1つの評価軸でリスクコントロールを行えば全体像が見えるというような機械的な発想は避けるべきである。リスクを表す“曲線”がある意味では明解に見えるので、その活用の際には、そのような発想に誘導されやすいことに予め留意しておく必要がある。

4. 2 手法という側面での課題

前節に述べた期待を実際のものとするには、取り組むべきいくつかの技術的課題がある。ここでは、リスク評価の技術手法全体を見わたしての技術課題というよりも、その長所を十二分に活かすために準備しておかなければならないことは何か？ 技術的に挑戦すべきことはないか？ という観点から、課題を述べてみたいと思う。

4. 2. 1 不確実性を持つ施策の効果評価

リスク（豪雨規模～想定被害の関係）を好ましい形でコントロールすることに使えるあらゆる施策群を投入するという前述④の期待を実際のものであることと関係して、効果発揮について若干の不確実性を伴う手段であっても、総体的に効果が有意と判断できれば、積極的に導入を検討していくという考え方が有用となる可能性がある。従来の施設整備においては、所定の設定条件の下、（ほぼ）100%の信頼性で発揮されるとできる効果に基づいて施設の評価、計画、設計を行うことが通常であった。これは、施設の効果を決定論的な数字で表す限り、たとえば、その量の効果発揮の可能性が70%というような技術検討の枠組みは受け入れがたく、また、こうした範囲にまで施設整備の評価を広げてしまうと、施設が発揮する防災効果について誤ったメッセージ（安全の範囲に対する過大な評価）を流域住民等に与える懸念が拭えないからである。そもそも、社会基盤の整備に対して、効果発揮が七分三分というような状況にまで踏み込んで投資効果を認定することは根本的に馴染まないという考え方も根強く、説得力を持つ。

その一方、最終的な施策群適用の効果検討をリスクの低減という観点からも捉えていくという状況を考えると、そもそもリスクが確率的表現を内包しているため、その効き具合が確率的に表現されるような施策の評価との親和性が高くなる。すなわち、リスクのコントロールという考え方の導入は、不確実性を伴う施策の導入の検討を行いやすくするという面を持つと言えそうである。

多目的ダムの洪水調節において降雨予測を活用するという方法を例にあげて、具体的イメージを提示してみる。なお、この方法自体はまだ研究段階であり、すぐに普遍的な手法として実用化できる段階にはないが、考え方の整理に有用なので、ここで取り上げている。降雨予測が、x 時間先からの大規模豪雨の襲来を指し示す局面を考える。利水のために貯留していた水を事前に放流することでダムの洪水調節容量を緊急的に増やすことができ、これによって洪水調節（洪水ピーク流量の低減）の能力を引き上げることが期待できる。一見すると、これは、運用の工夫で洪水調節容量を増大させたこと等価と思えるが、効果発揮に不確実性を伴うことが認識すべき大事なポイントとなる。すなわち、「豪雨が来る」という予測が空振りになった場合に、利水分の水を無駄に放出してしまうことを意味し、その後の水利用において当該ダムの利水機能を予定外に下げってしまうことになる。一方、豪雨が発生した場合に、「豪雨が来る」との予測が十分にはできなかった場合には、事前放流は行えず、洪水調節は通常操作を前提にした量となる。後者すなわち豪雨予測ができなかった場合には、事前放流による洪水調節容量の増加は無いことを意味し、また、降雨予測の精度が向上したとしても豪雨予測的中率が100%になることはないであろうことを考えると、上記のような洪水調節容量の増強策は、その効果発揮に一定の不確実性を伴うことが理解される。降雨予測を用いる方式で得られる最良あるいは最頻の効果量を治水策の前提にしてしまうと、所定の効果が得られないケースが一定の確率で生じることになる。ゆえに、発揮される効果量に不確実性が伴うわけである。前者のケースは、この方式が利水上のリスクを一定程度持ち込むことを意味する。以上から、降雨予測を活用した洪水調節は、その本来目的である洪水調節容量の増強についても、副作用である利水上の支障発

生についても、それぞれ確率的な取り扱いが必要となり、不確実性を考慮したメリット・デメリットの総合的評価が施策採択の判断を行う上で必須となる。

以上のような性質を持つ施策に対して、100%確実に発揮できる効果量でしか評価できないとなると、そうした施策の採択は自動的に忌避されることになる。一方、リスクを総合的にコントロールするという考え方を併用するのであれば、上述の効果発揮の不確実性が最終的なリスク評価に反映できるので、少なくとも入り口で施策の選択肢から外れることにはならない。この意味で、リスクのコントロールは不確実性を含む施策との親和性が高いと言えそうである。もちろん、親和性が高いことが、実際にそうした施策を採用することに直結するわけではなく、4. 3. 5で再度議論するような問題を十分踏まえる必要がある。

4. 2. 2 河道や構造物の維持管理の効果評価

過度に堆積した土砂の除去、樹木伐採、堤防の草刈り、護岸や根固めの状態監視を踏まえた補修や更新などの維持管理は、一義的には、治水上の安全度を一定以上に保持するために行われるものである。その一方、たとえば、堤防を嵩上げすることで氾濫の危険が高まる水位を引き上げて、氾濫の生起頻度を下げるといったケースと異なり、維持管理の実施を防災効果に直接的・定量的に結びつけることが意外に難しい。このことが、維持管理の重要性を世の中から見てもわかりにくくさせている一因と思われる。たとえば定期的な堤防の草刈りは、点検時の異常発見のために必須であり、また、高頻度の草刈りが密で空間的に均一な根毛層をもつ草本の安定的生育を促し、それが耐侵食能の向上に寄与することが知られている。堆積傾向が強い、あるいは樹木の生長が早い河道区間で適切な河積および樹木状況のモニタリングを行い、流下能力の低下が許容範囲を逸脱する前に適切なタイミングで掘削や樹木の伐採管理を行うことで、氾濫危険度を一定以下に抑えることができると期待される。護岸・根固めを対象にした維持管理も、最終的には洗掘・侵食による破堤の可能性を十分なレベルで抑制することを目指している。

しかし、こうした維持管理の1つ1つの行為が積み重なって、全体として氾濫生起頻度の低下にどのようにつながるかを評価する方法は確立されていない。維持管理は、ある治水機能の時間変化の仕方をコントロールするものであり、機能のレベルを一段上げるような整備とは性格を異にし、決定論的な表現で維持管理と機能向上との関係を記述するのが難しいのである。そうした中で、やはり確率的な表現法を介在させると、維持管理の方法の違いによる氾濫生起確率の違いなどが表現できるようになり、そのことはそのままリスクの評価にもつながっていく可能性がある。

このように、維持管理の効果評価は、リスク（豪雨規模～想定被害の関係）のコントロールと親和性が高いと言えそうである。したがって、維持管理の効果を定量的に、かつ確率を導入して評価する方法が適切に得られれば、維持管理の取り組みの評価について従来よりもわかりやすい議論を行うことにつながると期待でき、逆に、そうした技術開発が大事と言うことになる。

4. 2. 3 人や社会のハザードへのレスポンスの表現、それへの施策効果の反映

4. 1の⑥で述べたように、リスクの評価においては、リスクにさらされる側の状況が自ずと組み込まれることになる。これは、ハザードに対する人々や社会システムの応答をリスク評価に組み込みやすいとも、さらには、そうした特長を活かすことが求められているとも言える。

内閣府中央防災会議が設置した「大規模水害対策に関する専門調査会」による荒川等の大規模氾濫がもたらす被害想定での検討においては（2. で紹介したもの）、想定死者数が洪水規模（その生起頻度でも表現され、当該水系の河川整備の長期的治水目標である 1/200（200年に1回）より低い 1/1000まで対象にしている）によってどう変わるかに加えて、それに与える避難率や排水ポンプの稼働状況、救援活動の状況というファクターの影響まで調べている。このことは、同じハザードでも、想定死者数という最も重要な指標の1つについて、ハザードへの応答の仕方では被害程度が有意に変わること、したがって、「応答の仕方」の予測あるいは想定はリスク評価の重要な部分を占めること、であるがゆえに、応答の仕方をより適切にする方策が重要な減災施策検討のターゲットになることを、ケーススタディを通じて定量的にも示すものと言える。ひとたび大規模な河川氾濫が起これば（高潮による海からの氾濫はさらに激甚な結果をもたらすが）数百万規模の人々に被害が及ぶと言う点で、我が国の首都圏の低平地と同様の状況を持つオランダにおいては、被害想定において避難状況をどのように設定すべきか、その数値と施策との関係をどのように設定すべきかが、大きな技術政策上の論点になっているという。

上記のことは、逆に言えば、リスク評価において、ハザードに対する人々やコミュニティー、社会システムなどの応答を表現できるようにする技術（それもなるべく具体的に、定量的に）のさらなる進展が、リスクを意識して防災・減災施策を検討することのメリットを得る上で、非常に重要であることを示している。そして、そのような検討が本格的に進んだ暁には、予警報と避難に代表される人々の行動やそれを支える社会システムというソフト的な施策が、今まで以上に重い部分を防災・減災施策において受け持つことになる。それは、ソフト施策が名実ともに補助的・補完的な手段を超えることを意味し、それへの期待とともに重みも大きいと講演者は感じている。

4. 2. 4 外力に対する構造物の応答を表現する方法

今までも述べてきたように、施設によって洪水氾濫自体の生起頻度を自然状態のそれよりもはるかに低下させることの重要性は論を俟たない。そうした施設は、一定以下の外力に対して十分な確実性をもって所定の機能を発揮するように造られ、それが維持されるように管理されることが基本となる。また、必要に応じて、それを超える外力の作用時に大きな問題が生じないという要件が付与されることもある。ただし、前者の達成の工学的厳格性や後者の有無は、当該施設の性格や設置条件、整備の歴史的経緯、技術的難易度、設計・管理・建設に関わる諸条件の設定のしやすさなどによって変わってくる。いずれにしても、「施設を造る」という局面を主対象に、様々な技術的検討や判断、経験の積み重ねを経て現在の技術体系に至っている。

こうした機能を持つ施設をリスク評価において扱う際には、今度は、その「壊れ方」あるいは「機能喪失」の表現が求められる（「リスク」の評価であるから当然である）。すなわち、当該施設の機能発揮の対象となる外力範囲の上限を超える状況に至るまでの幅広い外力を設定し、その作用下での施設の耐え方、壊れ方を最低限の工学的妥当性をもって設定し、機能喪失の可能性と喪失時のハザードの増大を見積もることが求められる。それが工学的な手法に比較的忠実であるにせよ、長年の経験に裏打ちされた形状規定のようなものであるにせよ、一般に、確実に機能を発揮するものを造るための判断は、壊れ方を表現する技術判断との間に大きなギャップを持つ。

このギャップをどのように埋めて、施設の機能喪失状況をリスク評価にどう取り込んでいくかは、河川整備が一定の進捗段階にある我が国において、施設の機能喪失のプロセスがハザード（氾濫の量・形態など）に大きく影響するだけに、リスク評価全体の正否を左右する。また、そのギャップの埋め方を理解しておくことは、リスク評価の使い方を無軌道にしないための重要なポイントとなる。

以上の技術的検討内容に関連して、防災・減災施設群のシステムとしての総体的な機能発揮・喪失に関わる挙動を分析することも大事な課題になる。一般に個々の施設（ユニット）が集合して1つのシステムとして機能を発揮する状況では、個々の施設（ユニット）の機能発揮にかかわる信頼性などがシステムとしてのそれと異なってくる可能性がある。こうした観点から、施設群がシステムとして所定の機能を果たすものになっているかを検討・確認することも今後大事になっていく。

4. 2. 5 低頻度事象を定量的に扱う手法

リスクの評価においては、施設整備にかかわる治水目標に比較して相当に低頻度の事象を、生起確率などにより定量的に表現することになる。観測データの存在する期間を考えたとしても、こうした低頻度事象の取り扱いにおいては、いくつかの仮定に基づくモデルを介在させた外挿的手法を用いざるを得ない。設定する低頻度事象の生起確率がどのような信頼性を持っているのか？ 非常に低頻度の事象になると、そもそも確率現象として捉えることが本質的に妥当なのか？などの問いが出てくる。リスクの評価においては、こうした技術的課題を常に念頭に置きながら、より合理性のある手法の検討を進めるとともに、便宜的な取り扱いという側面が残るのであれば、そうしたことにかかわる限界も踏まえた活用法をさぐっていくというスタンスを保持することが求められる。

4. 3 実施という側面での課題

さて、前節で述べたような期待を実際のものとするための技術的課題とは別に、リスクを意識した技術施策検討を行うことについての実施面での課題が存在する。こうした課題を直視して1つ1つ対応をしっかりと考え決めていかないことには、リスクの評価というアプローチが実務への適用という点で消化不良となるか、その反対に、リスクに着目するというアプローチに対する万能幻想にとらわれてしまうことになるのではと懸念する。こうした認識から、以下5つに分けて課題を論じてみたい。

4. 3. 1 施策検討・遂行に関する思考の慣性

たとえば、仮に、「なぜ河川整備における治水目標以上の洪水規模（低頻度洪水）を検討対象にするのか?」「“計画”でオーソライズされている範囲で検討すべき」というような考えがあって、それに忠実であろうとするならば、それはリスクの評価とは根本的に相容れないことになる。リスクを検討する際には、施設整備の目標外力を上限にすることに合理性はないからである。

このことは、次の議論すなわち「確実な答えが用意できていない領域の議論をするのは控えるべき」という考えと関係を持っているかもしれない。この議論は確かに重みがあって、危険性だけを種々分析し情報提供していく一方、また、その情報が具体的かつ直接的なもの（要は生々しいもの）になるほど、こうした懸念が高まると言える。しかし、この懸念だけで歩みを止めることと、起こりうる危険性を適切な形で共有しながら、幅広い対応策を検討していく方向のどちらを指向するかという問いを設定すれば、今日においては後者という選択も有力ではないかと講演者は考えている。そのためにも、リスク評価における必要な精度や信頼性を確保すること、そして、リスクに関する情報をどのように共有し、活用するかについての方途、リスクコミュニケーションを充実させていく検討が本分野においても益々重要になる。

4. 3. 2 短絡的レスポンス

今まで述べてきたような流れの話に対して、1つの反応として、「河川整備から流域対策、ソフト施策、氾濫許容へ移行する時代になった」あるいは「河川整備を卒業してソフト施策に移行することが解答だ」というようなことが出てくるとすれば、いささか短絡的ではないだろうか。大事なことは、性質の異なる多様な施策群のベストミックスを追求することであると講演者は考える。特に、施設整備を軸とした施策とソフト的（非構造的）施策とを代替関係にあると捉えるのは、誤った議論に導くことにつながり、注意すべきである。このことは以下のことからよく理解できよう。

施設整備により氾濫被害の生起頻度を下げる効果は一律に発揮される。施設整備の対応範囲内であれば、それが無かったら氾濫を起こしていた洪水が起こっても氾濫が起こらないのであるから、その効果が万人に、防御されている氾濫原に一律に及ぶのは当然である（ただし、ひとたび施設の対応能力を超える洪水が発生すれば、大きな被害が発生することになるが）。一方、たとえば、予警報に基づく適切な避難体制、避難をしやすい住まい方などの様々な工夫を施したとして、安全な避難を100%完遂することは簡単な目標設定ではない。災害時要援護者のことを考えればわかるように、ハザードが作用した時の対応には差が生じやすい。人的被害は、被災する人それぞれの状態が結果の良否を大きく左右する側面を持つ。ソフト的な対応策は、その根本的性質から、一律な効果発揮に課題があることを直視した上で、その短所の最小化も含めて一層の工夫を重ねながら促進を図っていくことが肝要である。

逆に、「一刻も早く河川整備を！」「この堤防を高くして！」「流域に負担を強いる前に、まず河川管理者の責務である治水目標の達成を早期に行ってください。」というような応答があるとすれば、それも課題のある考え方と言えるのではないか？ 施設整備を基軸とする施策群とソフト的施策群とは、もはや後者が前者に従属する、あるいは補助・補完する関係にあるのではなく、かといって、前者（の一部）を後者が代替する関係にあるものでもなく、相互に補完する関係にあると見るべきであると講演者は考える。そして、賢い相互補完のやり方を俯瞰的に検討する上で、リスクの評価が役立つと考えるべきであろう。今後進めていく施設整備とその能力を超えた洪水襲来時のソフト的な施策の準備・遂行をどのように組み合わせ行っていくべきか？という問いにきちんと答えるためにも、リスクの評価は役割を発揮する可能性を持っているはずである。

4. 3. 3 リスク情報を活用しようとするマインド

リスクを意識した施策検討を行っていく過程では、従前よりも実態に即したきめの細かいリスクに関する情報が提示され、共有化され、それが適切な施策検討と実施の土台として活用されて行く方向となろう。その一方で、特に洪水の氾濫による災害については、その起こり方の場所的違いが大きい傾向をとくに持つ。リスクが有意な偏在性を持つということである。仮に、そうした情報が、技術の進歩等によって高い解像度・精度・信頼度で得られるようになると、その時点での相対的に氾濫被害が起こりやすく、あるいは大きくなりやすい場所と、そうでない場所の違いが見えやすくなるかもしれない。その違いは、ある一面から見れば不平等と捉えられるかもしれない。しかしそれは、歴史的に培われた治水の知恵の残滓ということを超えて、ことによると今なお存置すべき治水システムの要諦となっているかもしれない。

確かに、氾濫生起頻度を所定のレベル以下に低下させることを目標に、河川整備が着実に進められるようになり、前述のように、その低下の効果は最終的には一連区間において等しく達成されるから、それへの強い期待の下、目下のリスク偏在は早晚解消されるものと捉えられていたかもしれない。しかし、財政的事情もあり、通常の河川整備の進捗速度が著しく向上する状況は今後考えにくいことから、また、前項で述べたように、施設整備とその対応能力を超えた際のソフト的施策が相互補完的な関係になるべきとするならば、現下のリスクは、その場所的違いも含め、防災・減災の施策検討上改めて重要な意味を持つことになる。そうした状況において、技術の進歩を通じてリスクについてより高い解像度・精度・信頼度を持つ情報が得られるようになると、その今日的活かし方が問われることになるのではないか？ その時に我々は、それを賢い防災・減災施策への組み上げに向けて使いこなすことができるであろうか？ その組み上げにおいて社会的合意形成の新たな道筋を見いだすことはできるであろうか？ そうした問いを、リスク評価というアプローチは惹起するものと言える。

リスクに関する情報の充実を“社会的安定剤の失効”とだけ結びつけて（そうした側面があることは確かで、それに対して必要な慎重さを持つべきであるが）議論の範囲を最初から狭めてしまう考え方をとる限り、あるいは具体的なリスク情報に言及せずに、理念的

にしか「新たな治水施策としての氾濫許容」を語らないような態度の下では、リスクの評価というアプローチを採用することの意義が薄いと講演者は考える。そうした意味で、このアプローチは、ある種の覚悟を我々に問うものと言えそうである。

4. 3. 4 許容リスクの設定

リスクを評価するアプローチを活かすなら、許容できるリスクのレベルを設定することが施策展開上の流れではないか？との議論が出てこよう。従来行われてきた河川整備において、水系毎などに長期的な治水目標としての洪水規模（生起頻度に対応）を設定している。氾濫頻度の抑制についてこうした国としての目標設定があるのであるから、リスクについても、同様の設定がなされることで体系だった施策遂行につながるのではないか？という考えである。

実際、米国やオランダでは、そうした方向での施策検討の議論がなされている。たとえば米国においては、陸軍工兵隊が、許容リスクの考え方を踏まえ、それを堤防システム管理（広義）に反映させるためのガイドラインにできないか検討を行っている（ただし、結論はまだ出ていないようである）。2010年3月にワシントンDCで陸軍工兵隊が主催したワークショップ“Exploration of Tolerable Risk Guidelines for Levee Systems”において、その動向が詳しく論じられている（<http://www.nfrmp.us/docs/10-R-8.pdf>）。オランダにおいては、洪水防御に関して2050年を見据えた国としての新たな基準を検討しており（まだ検討中で確定はしていない）、その中では今のところ、費用便益分析とともにリスクが基準の柱になっている。これら両国の検討に共通しているのは、人命の損失をリスク評価の主軸の1つに据えていること、それを個人単位のリスク（Individual risk：ある人がある場所で、対象とする種別のハザード（たとえば洪水）により死亡する確率であり、全ての人にとっての基本的・共通的なリスクの尺度となるもの）と社会的影響度に関わるリスク（Societal risk：1つの洪水ハザードで死亡する人の総数に関係する指標であり、被害の社会的インパクトの大きさを測る尺度となるもの）の両面から考慮しようとしていることである。

このうち社会的影響度に関わるリスクについては、F-N図において許容範囲が表現される。F（通常縦軸にとる）はFrequency すなわち当該ハザードが生じる頻度を、N（通常横軸にとる）はNumber of potential fatalities すなわち1つの洪水ハザードによって死亡すると想定される人の総数を表し、FとNの関係を示したのがF-N図である（図-3参照）。社会的影響度に関わるリスクの許容値は、ふつう右肩下がりの線、すなわち一回の洪水による想定死者数が大きくなるほど、発生頻度Fが小さくなければならないと設定される。たとえば、100人であれば200年に1回以下、10000人であれば1万年に1回以下というように、である。さらには1回の想定死者数に上限を設ける考え方もある。

個人単位のリスクにせよ社会的影響度に関わるリスクにせよ、上記は生起頻度そのものに許容上限値を設けようとするものである。これによって、超低頻度のハザードに至るまで[Σ(想定被害×生起確率)]の計算を機械的に行い、∞(想定被害)×ほぼ零(生起確率)という実態性に疑問を生じるような計算の袋小路に入ることは一応避けられている。前述のように超低頻度事象の生起確率の評価自体には技術的な課題は残り、超低頻度領域

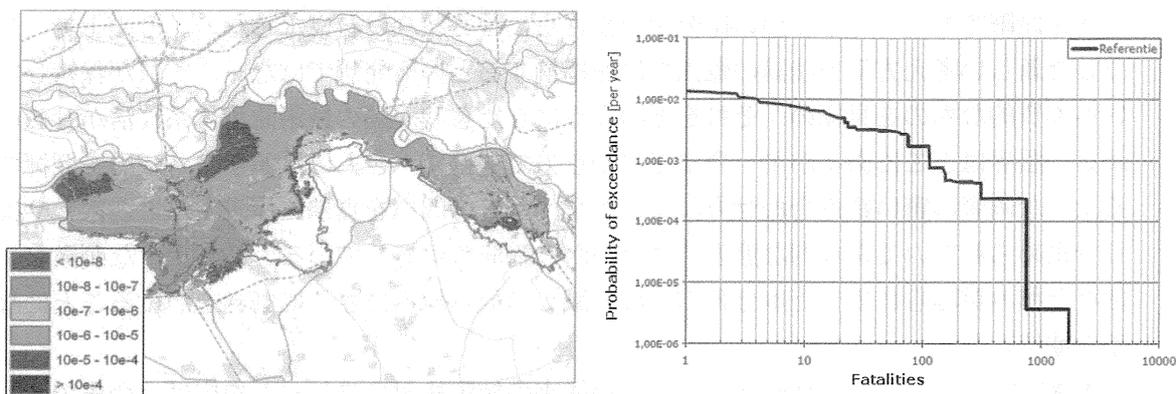


図-3 個人単位のリスク（左：年当たりの死亡確率の平面分布）と社会的影響度に関わるリスク（F-N図：右）の計算例

※前述（3. 2）の日米英蘭四カ国共同報告書より抜粋（Figure 4）：オランダのムーズ川沿いの堤防防御エリアに関する計算例

での許容上限値設定の妥当性をどのように担保するかについての議論はあるものの、1つのフレームのたたき台として、少なくとも考える梃子になると言えそうである。

我が国において、死亡確率や総死者数の想定を正面から取り上げて施策検討に用いることには抵抗感が多いかもしれない。手法の精度や信頼性の面からも、すぐに実際の施策適用の議論を始めるというような段階には至っていない。その上で、抽象的な議論を繰り返すことがもたらす課題を考えると、研究段階として、このようなフレームの是非や適用性を吟味することには、リスク評価の技術的レベルアップを並行して取り組むならば、一定の意義があると講演者は感じている。

4. 3. 5 不確実性を持つ施策の受け入れ

前節4. 2. 1で述べた「不確実性を持つ施策」については、その効果評価に関わる技術的課題が克服されたとしても、それに対する社会的理解がないと実践は難しいかもしれない。防災や減災に関わる社会基盤を構成する施設に対して、（ある部分の）効果発揮に不確実性を伴い、期待される最大の効果と、条件が整わなかった場合（一定の可能性で起こる）に発揮される効果に差が生じるような施設、しかしこの最大効果は、こうした不確実性を取り込まない方法による場合に比べて有意に大きい施設、こうした施設を社会的にどう評価していくか？が課題になる。現在の様々な制度は、所与の条件での確実な効果発揮を前提として成り立っているように見える。被害低減のチャンスを目一杯追求することにリスク評価を役立てたいという態度をとるならば、こうした性質を持つ施設の受け入れ方を合わせて検討しておくことが必要となる。

5. おわりに

リスクの評価に立脚した治水に関わる施策検討というフレームは、総じて、すぐに全面的に実務に適用するような段階にはなく、その意義・効用と限界・副作用をしっかりと吟味

すべき段階であり、そのための研究が今後さらになされなければならない。その上で、こうした新しい考え方や方法論の難点だけを指摘するという発想ではなく、それが保持している本質的なものを見極め、それをどのようにしたら我が国の技術政策体系に活かせるのか？ 限界はどこにあるか？ 今までのやり方で保持すべきものは何か？ 威力を発揮するような両者の賢い組み合わせ方はないか？ などの問いを真摯に探求することは、やはり今求められている基本的な態度ではないかと講演者は感じている。そのような刺激が、営々と積み重ねられてきた本分野の防災・減災の取り組みにさらに磨きをかけることになると期待したい。

本講演では、リスクの評価という視点が従来の施策検討のフレームを広げ、今までカバーできていなかった範囲を新たに見られるようにする可能性を述べてきた。しかし、それで全てが見通せるわけではない。被害想定シナリオが違っていれば、リスクの評価は実態とずれてくる。2つのハザードの作用が重なるような複合災害も、そのような視点を考慮した分析を行わない限り、そのリスクを適切に評価することはできない。リスクを把握するという道具を活かせるかどうかは、その使い手にかかっている。

【参考文献】

- 1) 藤田光一：災害対策全書 第1巻 災害概論（共著）、自然災害、洪水、公益財団法人 ひょうご震災記念21世紀研究機構 災害対策全書編集企画委員会／編集・発行、2011.