

招待論文

Invited Paper

関西大学 社会安全学部
教授

阪神・淡路大震災記念
人と防災未来センター長

かわた よしあき
河田 恵昭

近年の風水害の激化と 減災対策

1. まえがき

2008 年は 7、8 および 9 月に全国的に発生したゲリラ豪雨災害、2009 年はまず、7 月下旬から 8 月上旬にかけての集中豪雨災害、そして 10 月に入って台風 18 号による強風害が起こったことが、この 2 年間の風水害の特徴である。そして、大阪府庁の咲洲移転問題がきっかけとなって明らかになった、地盤沈下が止まらない人工島の高潮対策の困難さである。すでに、大阪市の大正区や港区、此花区などの旧臨海市街地は地下水くみ上げ規制の結果、ほぼ地盤沈下が沈静化しているのに対し、咲洲などの人工島は現在も地盤沈下が継続しているのである。その上、地球温暖化に伴う海面上昇と台風の巨大化が原因となる高潮の増大という新たに発生した要因によって今世紀末には合計 3m 近い地盤高の高さ不足が懸念されるのである。そこで、それらの災害によって今後、何が新たな問題点となるのか、その減災対策の考え方を示すことにしよう。

2. 多発するゲリラ豪雨災害

(1) どこでも発生するゲリラ豪雨

表 1 を見てみよう。2008 年 7、8 および 9 月に全国で発生した約 60 件のゲリラ豪雨災害の中で、住宅の浸水被害を伴った主な事例を示したものである。よく見ると、つぎのことに気がつく。

①同じ日あるいはその前後に複数の地域で発生していることが多い。地域が平面的に連続してい

るのではなくて、離散的な広域災害であるともいえる。

- ②ピンポイントの被災と言えるような局所的集中豪雨災害が多い。
- ③最大10分間雨量が14ミリ以上で被害が起こっており、日雨量は最大1時間雨量の約2倍以下であることから、極めて短時間に集中豪雨が降っていることがわかる。

番号	発生月日	発生地	10分間 雨量 mm	1時間 雨量 mm	日 雨量 mm	床上浸水 標	床下浸水 標	死者数 名	負傷者数 名
1	7月8日	富山市区	15	110	135	7	197	3	—
2	7月18日	追分県長浜市	17	84	109	11	203	—	—
3	7月28日	神戸市都賀川	17	38	49	—	8	5	—
4	7月28日	奈良市近野川	30	75	111	543	2141	—	—
5	7月28日	富山県南砺市	18	75	143	92	273	—	3
6	7月28日	京都府京丹波市	16	81	152	22	515	—	—
	小計	7月末豪雨(15日)				536	2464	6	13
7	8月5日	東京都千代田区保木	18	66	112	34	14	5	197
8	8月5日	群馬県長野原町	21	56	115	—	5	—	—
9	8月6日	大阪府枚方市	26	72	74	126	1959	—	—
10	8月14日	茨城県水戸市	20	83	86	—	13	—	—
11	8月16日	富山市区	19	33	113	90(合計)	—	—	—
12	8月19日	新潟県佐渡市	14	40	93	1	28	—	—
13	8月29日	愛知県岡崎市	31	147	264	620	705	2	—
	小計	8月末豪雨(11日)				2827	16131	3	3
14	9月3日	福島県会津若松市	21	75	76	4	39	—	—
15	9月23日	福島県大田原市	112	377	26	26	84	—	—

表1 2008年わが国で発生した主なゲリラ豪雨災害

まず、ゲリラ豪雨が発生する要因は、つぎのように考えられる。すなわち、わが国の上空に前線が停滞し、そこへ南方の台風や周辺の低気圧から暖かくて湿った空気が供給され、大気的不安定な状況が存在していることである。その中で、局所的な不安定が起こる原因は、つぎの要因が絡んでいると推定される。まず、2008年にとくに集中豪雨が多かった理由は、地上気温が非常に上昇したということである。全国的に35℃を超える地域が多かったことは記憶に新しい。熱くなった大気は軽くなって上昇する。これと前述した暖かくて湿った空気が合流するような状況で、1) 急激に冷える、あるいは、2) 近くに低温の大気が存在すると、気温の不連続面で不安定な状況が起こる。1) は山の存在であり、2) は海や湖の影響である。表1で示した被災市町村はすべてこれらの条件を満たしていることがわかる。

1) では、山に向かって暖かくて湿った風が吹き付けると斜面にそって上昇し、急激に気温が下がる。そうすると水蒸気が雲そして雨になる。この過程が急速に進むとき雷を伴う積乱雲(入道雲)が発生する。2008年8月4日に山梨県の山岳部で落雷が多発し、東京電力の約60万を数える契約件数(世帯)が停電した。2008年に、全国的に落雷が多かったのはこれが原因である。停電ど

ころか落雷による火災が発生した事例も起きている。

2) で指摘した海や湖の影響とは、つぎのメカニズムを通して顕在化する。海面や湖面に接する大気の気温は水温に支配されるから、盛夏でも30℃を超えることはない。ところが、市街地の気温は35℃から40℃近くまで加熱され軽くなって上昇する。この市街地目がけて周辺の湖や海から昼の日なかに比較的冷たい大気が供給されると、市街地上空で気温の不連続面ができる。ヒートアイランド現象がそれである。

このような条件は全国の至るところで満足される。すなわち、結論を言えば、わが国ではどこでもゲリラ豪雨は起こるということである。他人ごとではないのである。

表1の番号3の神戸市・都賀川(流域面積7.5平方キロ)の例は、ヒートアイランド、山、海、前線の組み合わせで10分間に17ミリの雨が降った。しかし、20分も続かなかった。だから1.3mの急激な増水が起こったがはん濫しなかった。写真1は事故が発生した都賀川の平時の光景で、河川敷を散歩している人たちの胸のあたりまで増水した。1998年(台風)と99年(梅雨前線)の2年連続で、神戸市・新湊川(流域面積30平方キロ)流域に豪雨があり、いずれもはん濫した。そのときの10分間、1時間、日雨量は次の通りである。ただし、括弧内の説明は、豪雨発生の前後の気象状況である。



写真-1 死者5人が発生した神戸市・都賀川の親水空間

- ・1998年9月22日(台風7号が和歌山県御坊市に上陸)
23/80/149ミリ
- ・1999年6月29日(四国沖の梅雨前線が北上)
19/67/240ミリ

中小河川といえども、はん濫を起こすには、表1も参照して（番号4の金沢市・浅野川や番号2の長浜市・米川の事例）、1時間に70ミリ程度以上、日雨量で100ミリ程度以上の降雨が必要であることもわかる。このような雨が市街地に降れば、都市河川は溢れ、川がなければ道路が川に変化して流れ下る。

さて、図1(a)と(b)を見てみよう。これらはわが国に台風が10個も上陸した2004年に1,300か所のアメダス（気象庁の設置した自動観測装置）観測点で記録を更新した観測地点の数である。この年に集中豪雨がいかにも多く発生したかがわかる。1時間雨量と日雨量のどちらも多くなる組み合わせは、ほとんどの場合、台風と秋雨前線や梅雨前線の組み合わせである。

平成16年に日雨量の記録更新をした観測地点数
(2004年1月1日～11月4日)



図1-a 2004年に記録を更新したアメダスの観測地点数
(1時間雨量)

平成16年に1時間雨量の記録更新をした観測地点数
(2004年1月1日～11月4日)



図1-b 2004年に記録を更新したアメダスの観測地点数
(日雨量)

図2は、1時間に50および100ミリ以上を観測したアメダス観測点数である。1975年から1994年までの20年間に比べて、1995年以降、急激に集中豪雨が増加していることがわかる。この

傾向は、地球温暖化によるものであるとの評価は不動のものになりつつある。

このように、集中豪雨の発生確率は着実に増加しており、したがって水害リスクも増加傾向であると断言してよい。

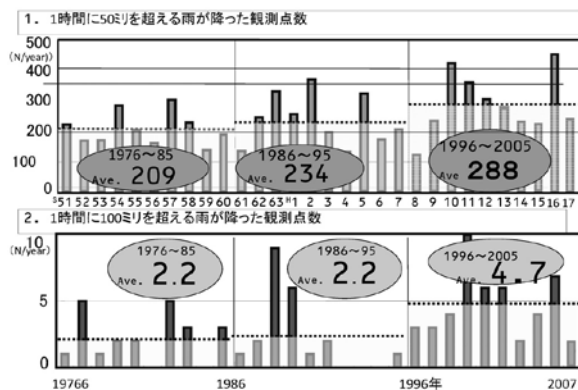


図2 1時間に50および100ミリ以上の降雨を観測した地点数の経年変化

(2) ゲリラ型都市水害の特徴

まず、「都市化」という言葉の意味を確認しておきたい。これは、従来、田畑や湿地帯あるいは丘陵地だったところが宅地造成されて、住宅地や工場団地になることを意味する。当然、道路は舗装され排水路が整備されて、そこを經由して雨水は直接、川に流れ込んだり、下水道網を通して、最終的にポンプで川や海に排水される。降った雨はほとんど地面に浸透せず、川に流れ込むわけである。都市化によって、川の洪水が変わることは容易に理解できる。

図3は、それを模式的に示したものである。都市化が進めば、洪水は都市化以前に比べて「ピークが早く出現し、ピーク流量が大きくなり、全流量が多くなる」ことがわかる。雨の降り方が昔と変わらなくても、洪水はん濫が起こる可能性が大きくなることはわかるはずである。そして、地球温暖化によって雨の降り方がより激しくなっている。すると、ますます川は危険になる。

これに輪をかけるのが、洪水はん濫常襲地域における地下空間の活用である。わが国のように、浸水危険性の高い地域で約110万平方メートルも地下空間が開発されている例は世界にない。札幌、東京、横浜、名古屋、大阪、福岡など例外なく地下空間がショッピングモール、地下鉄網、通路などに利用されている。そして、地下空間の安全性については、法的規制があるのはガス爆発事

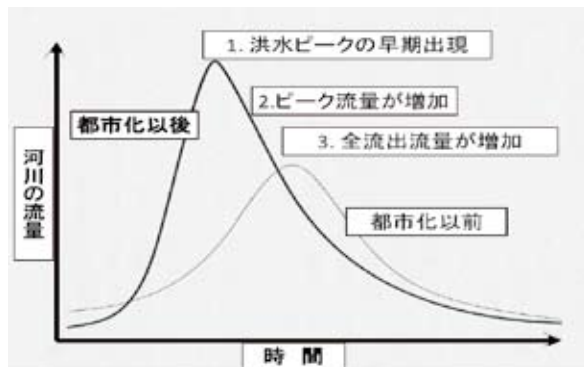


図3 都市化による河川の洪水特性の変化

故と火災発生であって、決して浸水や水没ではない。確かに、高潮の市街地へのはん濫を対象とした対策はあるが、これは台風の接近という時間的余裕があることが前提となった防災システムであって、ゲリラ豪雨のような都市水害は視野に入っていない。

もし、地下空間に水が入ることを想定しているならば、部屋のドアは内開きになっている（外開きの場合、40センチの水深では扉は成人男子が押しても開かない）とか、電気のコソントは床から30センチ以上の位置に取り付けられている（コソントが水に浸かると漏電してブレーカーが落ち、停電する）とかの配慮があるはずである。ところがそうっていない。地下空間が浸水すれば、すぐに停電する。この停電は浸水地域だけに留まらない。給電ネットワーク全体がダウンすることが必定である。1999年の豪雨で、JR博多駅の地下街が浸水したとき、これと通路でつながった周辺の12のビルのブレーカーが落ちたのは理解できるが、福岡空港のターミナルビルのブレーカーも落ちてしまった。同じ給電ネットワーク上に位置していたからである。

3. 避難が鍵を握る洪水はん濫災害

2004年7月13日に発生した新潟豪雨災害では、洪水はん濫時の避難問題の難しさが改めて明らかとなったが、2009年8月9日に発生した兵庫県佐用町のはん濫災害では、とくに避難勧告の発令のタイミングとその内容が問題であることがわかった。これをきっかけとして、避難勧告発令のタイミングについて再考する必要が出てきた。著者らが実施した現地調査結果を踏まえて、避難勧告の発令の問題を考察した。

(1) 避難準備情報の発令

実際に河川の洪水はん濫が起こる6時間前に出すことを基本とする。たとえば、2009年8月9日に台風9号に伴う洪水災害が起こった佐用町の例を示そう。図4は、佐用川の雨量と水位の時系列を示す。町内の中心部へのはん濫は午後8時から9時の間に起こったと推定されている。そして、大雨洪水警報は午後2時15分に発令されている。災害時要援護者を避難所へ避難支援する時間を考えた場合、自主防災組織などの人びとが雨中の中を車で搬送し、それを繰り返して終えるには数時間は必要であろう。高齢者の一人住まい、要介護などで寝たきりの人、母子家庭を考えると、対象者は多岐にわたる。休日や夜間の場合、避難所の開設に手間取るかもしれない。そのようなリスクを考慮しなければならない。

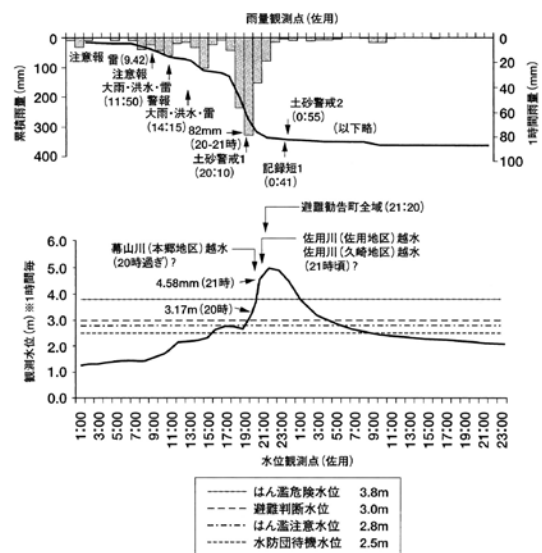


図4 佐用川の雨量と水位の時間的変化

(2) 避難勧告の発令

佐用川の場合、避難判断水位を超えたのは午後7時50分であった。8時40分にははん濫危険水位も超過した。しかし、佐用町は午後9時20分に避難勧告を出したのである。一方、佐用川の支川の幕山川は午後8時頃にははん濫していたと報告されている。これは、流域面積が約200平方キロの佐用川に対して、幕山川は数10平方キロ程度と小さいことが原因である。集中豪雨の雨域の面積は数10から数100平方キロであるから、流域面積が小さな河川ほど水位の上昇が早く出ること忘れてはいけない。この事実、小さな支川

をもつ河川の本川を対象とした場合、避難判断水位に達する時刻を考慮して避難勧告を発令するのでは、支川の流域では遅すぎることも起こることを表している。今回の場合、もし、幕山川の本郷地区で水位観測が行われていた場合、もっと早く避難判断水位に達していたということである。したがって、本川で水防団待機水位やはん濫注意水位に達した時刻に、すでに支川の流域に避難勧告を出すことも十分起こり得ると考えておく必要がある。

2010年4月から気象庁は市町村単位で警報を発令する予定であるが、地域の特性、とくに川の場合は流域面積の相違による本川と支川の出水特性の違いを事前に理解し（そこでは、土木部局と危機管理部局の情報交流が必須である）、防災関係者はその事実を避難情報の発令に生かすことが大切である。

4. 忘れてはいけない台風の暴風災害

2009年10月8日に台風18号が来襲した。愛知県に上陸し、本州をほぼ縦断して、岩手県から太平洋に抜け、北海道東部をかすめて遠ざかった。この台風で、死者5名、重軽傷者136名を数えた。これらの人的被害の大半は、暴風警報発令下での高齢者の不注意な市街地歩行や非常識な行動などによって発生したと断言できる。それは、風速20m/sの怖さを知らない、あるいは忘れていることに起因している。とくに高齢者が突風にあおられて転倒する被害が目立っている。暴風警報が出ているときは一人で外出を控えるなどの注意が必要だろう。車の運転も要注意である。台風時に雨で地盤が緩んでいるのが普通であるから、強風で街路樹は容易に倒れるし、枝も吹き飛んでくる。

また、千葉県と茨城県では竜巻による被害が発生した。台風の進路の東側で、広い平地が続いているところで発生しやすいことがわかっている。宮崎県、愛知県など、過去に一度起こった地域は要注意である。竜巻災害で注意しなければいけないことは、2006年11月7日の北海道佐呂間町若佐において9人が死亡した竜巻災害である。ここでは、工事用のプレハブ小屋が破壊されて犠牲者が出ているが、これはあくまでも仮設建物であっ

たために大きく被災した。しかし、わが国では住宅が竜巻で大破し、屋根が吹き飛ばされても中にいた人が犠牲になったという事例はない。したがって、竜巻が接近中といえども、住宅に居るときにはあわてて屋外に出ないことが大切である。

5. これからも増え続ける土砂災害

「雨さえ降れば斜面は滑る」ことを忘れないようにしよう。地球温暖化の進行とともに、時間雨量や日雨量の極値が各地で更新されてきているが、それと同時に土砂災害が増加している。図5は国土交通省がまとめた1時間50mm以上を観測した地点数と土砂災害発生数の経年変化である。明らかに両者の相関が認められる。著者らのこれまでの解析から、雨が降り始めから累積雨量が100mmを超えると、その次の1時間に50mm以上降ると、土砂災害の80%が発生することがわかっている。これまでの藤田¹⁾の大分県竹田市での調査研究から、連続雨量が500mmに達するような長雨（最大時間降雨量が30mmというようなそれほど激しい雨でなくても48時間も継続）の場合、移動深さが15mを超えるような深層崩壊の形で災害が発生していることが指摘されている。これは、長雨の状態、小降りになるとか雨が止んでも油断してはいけないという教訓を示している。一方、時間降雨量が大きければ、谷筋の堆積土や風化が進んだ地面からの1～2mの範囲で表層崩壊の形で、土石流のような災害が多発すると言われている。

集中豪雨と土砂災害の発生件数の経年変化

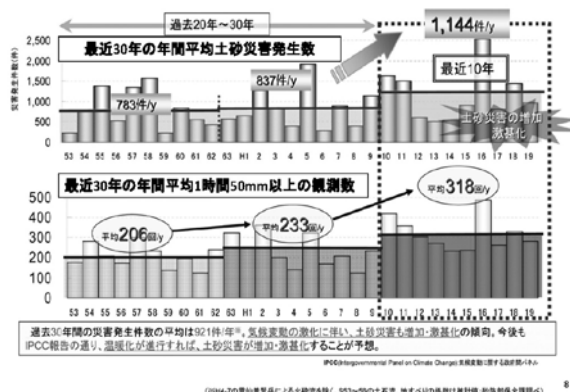


図5 1時間50mm以上を観測した地点数と土砂災害発生数の経年変化

わが国の土砂災害の危険箇所数は、土石流危険渓流が約 18 万箇所、急傾斜地崩壊危険箇所が約 33 万箇所、地すべり危険箇所が約 1.1 万箇所に達し、現在その整備率は 20%程度に留まっている。これは、整備の進捗が、新たな開発行為による危険箇所の増加に追いつかないことを示している。とくに注目しなければならないことは、現在、わが国の医療福祉施設数は約 23.1 万を数えるが、その約 13%に当たる 3 万施設が土砂災害危険地域、注意地域に立地していることである。その典型例として、2009 年 7 月 21 日に山口県防府市で発生した土石流は、特別養護老人ホーム「ライフケア高砂」を直撃し、7 名の死者が発生したことが挙げられる。しかも、この土石流と一緒に流下した巨礫は幸いにも老人ホームに衝突直前の沢筋に停止しており、もし直撃しておれば鉄筋コンクリートの建物が大破し、さらに大きな犠牲が出たものと考えられる。

土砂災害でもっとも留意しなければならないことは、雨さえ降れば斜面・崖の崩壊や土石流が発生するという事実と、これらの災害が長い期間起こっていない場所ほど危険であるという、私たちの日常の常識と逆の結果が成立しているということである。したがって、降り始めからの雨量が 100mm を超えると要注意であり、引き続き時間降雨量が 50mm に達するような豪雨下では土砂災害が起こると思えばいけない。そのことから、災害時要援護者が居住する施設では前者では避難準備情報が出たものと考え、最悪でも 2 階や 3 階の建物上部に応急的に屋内避難し、できれば車両による緊急脱出を始めるくらいの慎重さが求められる。

6. 大阪府庁の咲洲・WTC 移転問題が惹起した高潮災害

将来にわたってもっとも心配な災害である。1959 年伊勢湾台風高潮災害では、5,098 名が犠牲になり、その平均死亡率（死者数／被災地人口）が 1%であることがわかっている²⁾。この値は約 1,800 名が犠牲になった 2005 年ハリケーン・カトリナ災害（高潮偏差は 8.5m を観測し、通常の海面よりこの値だけ高くなった）におけるニューオーリンズ市の死亡率と一致している。死者の多

さと危険さが他の災害から群を抜いている。ちなみに阪神・淡路大震災の死亡率は 0.1%であった。

近年には、大規模高潮災害は発生していないが、たとえば 2004 年台風 16 号による高松の高潮災害では、既往最大だった 1961 年第二室戸台風による最高潮位を 45cm 上回り、死者 2 名、床上浸水 5,872 棟、床下浸水 16,088 棟に達し、2009 年台風 18 号では愛知県三河港で伊勢湾台風当時の最高潮位までわずか 15cm に迫り、埠頭の冠水やコンテナの移動が発生した。

今後、地球温暖化による海面上昇と台風巨大化による高潮の増大が加わり、東京、伊勢、大阪湾沿岸のゼロメートル地帯の水没危険性が年々大きくなっていくことが心配される。日本政府では、ハリケーン・カトリナ災害後わが国の高潮対策の見直しを進めており、そこでは、伊勢湾台風モデルに代わってスーパー室戸台風モデルが適用され、かつ海面上昇を考慮した計算が実施されている。その結果の一例である大阪湾の水没危険域を図 6 に示した。

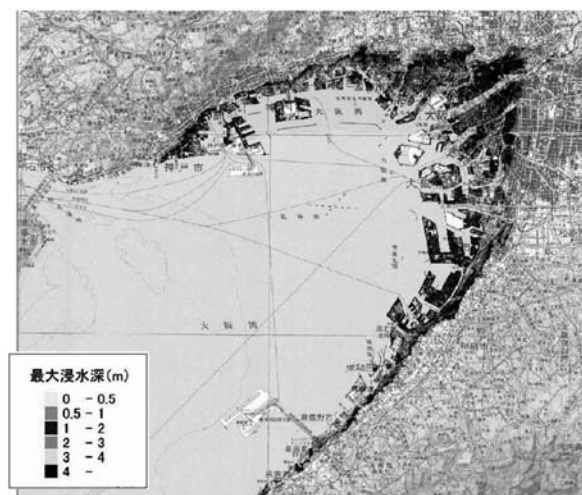


図6 大阪湾沿岸部の高潮はん濫による水没危険域

大阪港では、現在計画高潮は O.P.+5.2m であるが、今後これを 1.4m 増（海面上昇量 60cm と台風の強大化による高潮潮位の増大分 80cm の合計）の O.P.+6.6m に改定し、高潮時の波浪増大（波の周期と波高の増加）の変化の影響を考慮すれば O.P.+7.5m が必要高さとなろう。一方、人工島である咲洲^{さきしま}では、現在外周道路とその海側が平均 O.P.+4.5m、それより内部は平均 O.P.+5.5m の標高である。しかし、島全体の年間の平均沈下量は 1.46cm あり³⁾、地盤沈下が今後も継続するので、この年間沈下量を適用すれば、今世紀末には外周

部の地盤高は O.P.+3.2m、内部は O.P.+4.2m になってしまう。すなわち、現行基準の計画高潮が来襲しても地盤沈下の継続によって全島がほぼ水没する危険があり、その上、地球温暖化の影響を考慮すれば、今世紀末には外周部で 4m、内部でも 3m 以上の浸水深で水没する恐れがある。咲洲はまさに現代の「タイタニック号」である。将来必ずやってくる高潮という危険に対し、今から対策を講じないと取り返しがつかないことは明らかであろう。

朝日新聞社が 2010 年 1 月に実施した、2 年目を迎えた橋本知事による大阪府政のアンケート調査結果によれば、大阪府民の 75% が府庁の咲洲移転に賛成している。これは、将来にわたって増え続ける高潮による危険の存在を積極的に開示していない行政の責任である。マスメディアも、もっと積極的に「調査報道」する姿勢が求められる。行政が発表する内容をテレビや新聞でそのまま伝えるのであれば、それはメディアの役割を放棄していると言われても仕方がないだろう。

7. 減災対策のあり方

地球温暖化の進行に伴う異常外力への対処方法を見出さなければならない。キーワードは「減災」である。風水災害の対策の基本は、下記の通りである。

- 1) 新しい対策の施行によって、いずれの地域も現状より安全度を低下させない。

その典型例は河川改修であって、実施すれば必ず下流の流量が増える。したがって、河川改修は下流から実施することが基本である。河川の場合、上下流の利害が必ず対立し、歴史的に未だに解決していない河川が多数存在する。一級河川管理を自治体に移管したほうがよいという考え方は、歴史的に利害調整が難渋し、長期間解決できていない現状を見れば、いかに現場を知らない関係者の意見であるかがわかる。

- 2) 防災構造物の役割は、異常外力の大きさを低減させることである。

ハード対策としての防災・減災構造物は機能をもっている。この機能を発揮させるためには適切な情報、すなわちソフト対策が必要

である。阪神・淡路大震災では情報の重要性が広く認識されたことも影響している。しかし、高質かつ大量の情報があっても、それらの使い方、すなわちマネジメントができれば、災害対応は失敗する。したがって、ハードとソフト対策をいかにうまく組み合わせる減災を実現するというスマート対策 (Smart countermeasure) を一層充実させなければならない。

- 3) 被害リスクをゼロにすることはできない。

アクセプタブル (受容) リスクとトレラブル (受忍) リスクを設定して、被害を減らす具体的目標を設定する。たとえば、東京・荒川の場合、上流で 200 年確率の降雨があれば、河口から 21km 地点の右岸側で破堤するとすれば、約 1 億 2 千万トンが市街地にはん濫する。そこで、地下鉄の各地上連絡口で 1 メートルの高さの止水板を設けたと仮定すれば、地下空間に地上はん濫量の約 10% に当たる 1,200 万トンが流入することになる。これがトレラブルリスクになるかどうかは、さらに計算を進める必要がある。大阪市や名古屋市などのように洪水はん濫原に大規模な地下街や地下鉄網を有する都市では、同様の解析が必須となっている。

- 4) 防災・減災事業推進の意思決定では、人間社会の論理だけで決定してはいけない。

環境問題を考慮しなければならない防災・減災事業においては、いきなりステークホルダーに決定をゆだねてはいけない。まず、ステークホルダーが認める意思決定のルールを決める必要がある。ルールがなければ、たとえ十分な情報が提供されても意思決定は不可能である。

- 5) 防災・減災事業には、時間的制約とコストの制約がある。

制約条件がなければ、意思決定は不可能である。ただし、ステークホルダーが技術情報を正しく理解している必要がある。

地球温暖化のように、外力の変化にトレンドがある場合には、各種の減災対策が有効であるかどうかを繰り返し評価することが必要である。とくに構造物には耐用年数があり、これを視野に入れた維持・管理が必須となっている。たとえば、計

画高潮の見直しが直ちに防潮堤のかさ上げにつながるものではない。そこでは、高潮時の許容流入量（市街地が床下浸水にとどまる流量や排水に必要な日数など）などの新しい概念が必要となろう。

8. あとがき

ここで示したように、地球温暖化に伴って高潮や洪水災害が激化する環境では、現存の堤防や護岸をかさ上げすることは、経費的、時間的に困難である。このことは、被害をゼロにできないということである。被害の発生を極力少なくする減災の考え方を適用しなければならない。しかし、複数存在する減災対策案のどれを選択するか意思決定は容易ではない。とくに、環境問題が発生するところでは、いくら時間とコストをかけても最終合意に到達することは不可能であると言ってよい。したがって、対立状態になったときにどうするかを最初に決めておく必要がある。ダム問題はその典型である。ステークホルダーに合意形成に至る過程が承認されて、はじめて減災対策が事業化できるのである。

《参考文献》

- 1) 河田恵昭：都市大災害、近未来社、pp.233, 1995
- 2) 河田恵昭・後藤隆一・松尾一郎：わが国の地下街浸水事例とその対策（1）、京都大学防災研究所年報、第46巻B、pp.919-928、2003
- 3) 河田恵昭：これからの防災・減災がわかる本、岩波ジュニア新書、2008