

最近の国内外の洪水災害の概況と特徴

Recent Flood Events and Their Characteristics

砂 田 憲 吾

Kengo SUNADA

1. はじめに

地域の地理的条件を受けて洪水が発生し、社会的条件を反映して災害が生ずる。最近でも、国の内外において激しい洪水災害が起きている。わが国では昨 1998 年 8 月末に台風 4 号に刺激された前線性の豪雨により南東北・北関東地域に大きな洪水が発生した。内水被害の大きかった郡山では同年 7 月に土木学会水理委員会ほかが主催した“第 3 回水シンポジウム”の直後であり、洪水災害への備えの心を新たにしたばかりで、いつ発生するか分からない災害というものを象徴的に示す結果となった。また、9 月には秋雨前線による豪雨により高知県中部地域にも大きな洪水氾濫が発生している。一方、中国では同じく 98 年 7 月、8 月に約 50 年ぶりと言われる巨大な洪水が長江で生じた。そこには、厳然として圧倒的な自然の営為がある一方、災害の契機となったり、その拡大をもたらしたりする人間社会の構造とその変化も無視できないようである。本年 99 年度の水工学に関する夏期研修会（A コース）の総合テーマは「異常気象と水災害・・その実態と対策」である。水工学に与えられた基本的な課題として水防災のための学術・技術の進展があらためて求められており、この研修会がそうした決意を促す契機になればと企画された。昨年のこの研修会（A コース）のテーマは「新しいパラダイムの水工学」であった。水工学の新しい理念を打ち立てる一方で、人々の安全を守るべき水工学の使命も着実に果たされる必要がある。

本稿ではひとまず最近 10 年間の洪水災害を対象としてその状況を振り返り、各災害の特徴を調べてみる。この場合、この間に起きた洪水災害の全てを網羅的に表にして示したり、統計的的平均的な傾向を把握するのは現象把握の観点からは適当とは言えない。ここでは、社会的に大きな関心を持たれた主な洪水を中心に、その概況をあらためて考察し、現象発生のポイント、水文・気象条件の検証を行い、全体像を認識し、社会的背景にも触れ洪水災害の特徴を抽出してみたい。洪水災害の概略については例年開かれている「河川災害に関するシンポジウム」の講演集を中心にまとめている。これらの報告は毎年の災害に対して、比較的早い時期に行われた災害の現地調査に基づいており、各報告者による印象深い状況説明と明快な考察を理解することが適当と考えられた。これらの著者・報告者にはその貴重な結果の提示に感謝し、敬意を表したい。始めに、さまざまな条件のもとに生じた国内外の洪水災害の状況を理解し、続いてそれらの特徴を相互に比較しながら全体をあらためて考察する。最後に、災害科学・防災工学に資するために学会や研究者・技術者のとるべき方向・新たな立場についても考えてみる。

2. 洪水災害の事例と概況

(1) 89 年 8 月豪雨による千葉県水害¹⁾

千葉県において、1989 年 7 月 31 日夕方から降りだした雨は、8 月 1 日の 9 時から 11 時にかけてピークに達し、総雨量が君津市 523mm を記録したのをはじめ、富津市で 400mm、市原市、天津小湊町で 300mm を上回る等、県南部から県北東部にかけて多量の降雨があった。この豪雨の時間最大雨量は、鹿野山の 91mm/h

吉岡¹⁾は、この災害は房総丘陵に特に多量の降雨がほぼ均等に発生し、一宮川を中心に、養老川、湊川など放射状とまではいかなくても扇状に広がった本川、支川からの出水が平地部に集中したことにより、河川流量が短時間に増水し、下流都市域低平地への氾濫につながったものと推察している。

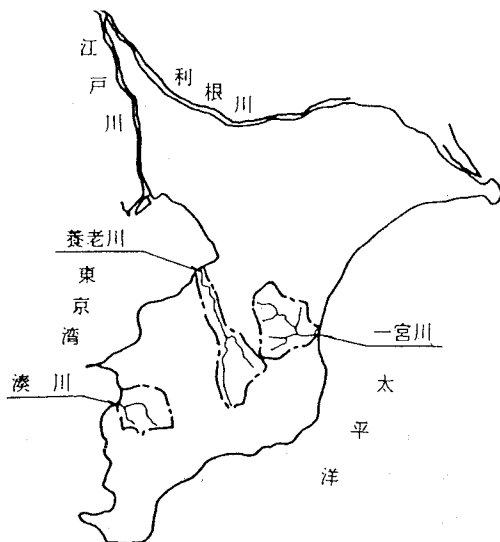


図-1 89年豪雨により被害を受けた主な河川¹⁾

(2) 90 年 7 月豪雨による九州中北部の災害^{2), 3)}

戸以上、床上・床下浸水家屋 44,500 戸余りという激甚な災害をもたらした。300 名以上の死者を出した 1982 年の長崎災害に較べると人命の損害は 1/10 以下となっはいるものの、被災地域の広さと被害の多様性、被害額の大きさなどの点から、九州北部としては 1953 年の西日本水害（通称 28 災）以来の災害といわれている。図-2 に佐賀平野における主な浸水域を示す。

佐賀県の六角川流域に降った1990年7月2日の雨は、日雨量で佐賀地方気象台観測史上第2位、60分最大雨量は第3位と、「28災」に次ぐ記録的な豪雨であった。しかも、同日5時～8時の3時間雨量が168mmにも達するなど、平野部における内水の排水能力を大きく上回る集中豪雨であったことが、甚大な洪水被害の生じた最大の原因とされた。さらに渡辺³⁾は災害の背景を以下のように分析している。すなわち、この流域が、その地盤が非常に軟弱な「ガタ土」と呼ばれる粘土層が数十メートルにも及ぶのが国営の超軟弱地盤地帯となっている。このため、築堤、河道掘削後の河道安定に長時間を要し、この水系の整備率は完成堤で9%、暫定堤で35%となっている。流域は山が浅く有効なダム地点もなく洪水調節が困難で、洪水災害が内水型であることを考慮すると、連続堤築堤及び遊水地等による洪水氾濫の防止と同時に、内水排水路の整備や機械排水による内水対策事業が進められる必要がある。特に、佐賀市中心市街地の内水災害に関しては、十間堀川を始めとする雨水排水路が未整備であったことが主因の一つとされた。近年における都市開発の進展に見合う排水事業が平行して行われておらず、都市開発によってクリークの閉塞、暗渠化が進行するなど排水能力はかえって減少しているが現状がある。

熊本県黒川支川古恵川では、その源流部にはいたるところに山腹崩壊が見られたが、土石流は砂防ダムや勾配急変点に大量の巨礫を堆積させたため、巨礫は下流には到達していない。しかし、側岸侵食によって大量の立木が取り込まれ流木となって流下し、土石流と流木の直撃・氾濫により一の宮町を中心に百数十戸の家屋が倒壊し、8名の人命が失われた。図-3に

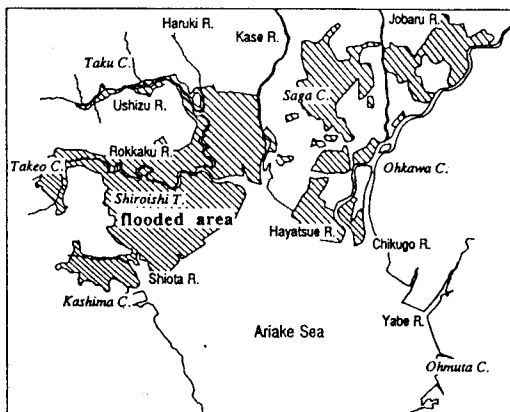


図-2 佐賀平野の浸水図³⁾

の宮土木事務所における累加雨量と降雨強度が示されている。現地踏査より、古恵川本川には 32 基の床固め・砂防ダムの存在が確認されたが、そのうち 12 基が大きく破損していた。平野²⁾により、規模の大きい砂防ダムには大量の土砂礫が堆積しており、充分にその機能を発揮したと考えられている。また、規模は小さいが、昭和初期（7～10 年頃）に最上流部に設置された石積みの床固め工群は全然破損しておらず、今回も効果があったとされた。これに対して、破壊したダムの多くは昭和 30 年代に築造された石積みダムで、既堆積土砂を流出させており、災害を助長した可能性がある。破壊したダムのなかには嵩上げされているものもあった。既設の、特に昭和 20～30 年代の、砂防ダムについては安全性についてチェックが必要と考えられた。

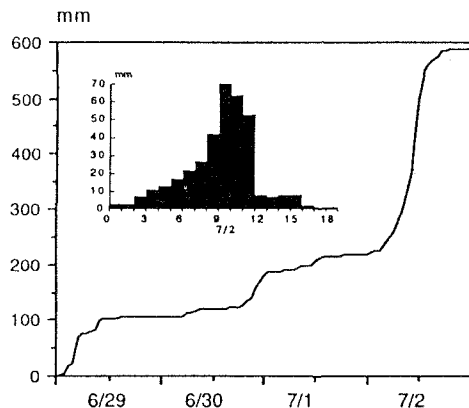


図-3 一の宮における累加雨量と降雨強度²⁾

(3) 90 年 9 月 19 号台風による洪水災害⁴⁾

1990 年 19 号台風は、日本列島を縦断する近年にない大型のきわめて強い台風であった。この台風は、丁度列島上に停滞していた秋雨前線を刺激し、各地で記録的な豪雨をもたらした。このため九州から東北にかけての広い範囲で強風・洪水・土砂災害が発生した。この台風の経路は本土上陸までは 1961 年 9 月の第 2 室戸台風ときわめて類似したものであった。また、列島付近には、9 月 11 日から 9 月 20 日まで秋雨前線が停滞しており、豪雨の発生し易い状況であった。被害の概況としては、人的被害：死者 41 人（鹿児島 13 人、岡山 10 人、愛媛 4 人）、負傷者 114 人（鹿児島 29 人、愛知 18 人）、建物被害：全壊 155 棟（鹿児島 91、栃木 33）、半壊 364 棟（鹿児島 258、三重 39）、床上浸水 7,195 棟（岡山 2,810、兵庫 1,644）、床下浸水 33,822 棟（兵庫 9,069、岡山 4,675）などである。

この洪水災害の特徴としては名合ら⁴⁾により以下のような点が指摘されている。1) 大河川の直轄区間においては、各地で警戒水位を超えるような出水をみたが、水防活動等により越水・破堤に至ったものはなく、この区間の河道災害は比較的少なかった。2) 降雨の特徴として、総雨量が多かったことに加え、50mm/h 程度の強雨が 3～4 時間以上継続している地域が多く、中小河川においては、越水・破堤した箇所が多発した。破堤による氾濫地域では、氾濫流の流速、含有土砂等により、被害の様相は通常の内水湛水の場合に較べてきわめて激しいことが再認識された。3) 金剛川水系の災害に見られるように、ダムによる洪水調節、関連事業等を含めた総合的な河川改修が進められていた地域では、今回の大出水に対してもほとんど被害がなかった。

(4) インドネシアの河川災害の特徴⁵⁾

ここでは、個別の事例としてではなく、わが国と同様な急峻な地形を持つインドネシアにおける河川災害の特徴が濱守によりまとめられている⁵⁾ので紹介する。まずインドネシアの河川の一般的な特徴としては、地形の若さを反映して土砂流出量が多いことである。すなわち、1) 活火山を水源に持つ河川の上流域では、火山の爆発による噴出物および堆積物の二次的流出による土砂供給が盛んである。2) 活火山以外の山地に発する河川流域でも、森林の伐採、焼畑を含む山地の耕作、河谷の側方侵食による土砂生産が多い。3) 山麓付近にはしばしば天井川がみられる。4) 大河川の本流はかなり上流部までこう配が緩く、蛇行が発達し、支川の合流点等にしばしば自然の遊水池または沼沢地がみられる。5) 河口部では堆積が盛んで、河道は沖に向かって成長し続け、ある限度に達すると閉塞し、流路変転を繰り返している。

こうした河川の特徴に対応して、次のような形態の洪水が多く発生する。すなわち、1) 火山の噴火による堆積物が豪雨により一時に土石流となって流下し、その通過地に激甚な被害を及ぼす。2) 火山噴出物による河道の閉塞により洪水が溢流し、流域外に流路を求めて流下する。3) 堆砂による河床上昇のため溢水、または天井川が破堤する。4) かんがい用溜池の決壊による洪水。5) 本川の背水による支川合流部の氾濫。6) 流下能力を越える洪水の氾濫。7) 河口の前進または埋塞による流下能力減による氾濫。これらの洪水による被害の形態および程度は地域によって異なる。たとえば、ジャワ島は非常に人口稠密なうえに、高床式住居を造る習慣がないため農村でも床上浸水が多い。外領では都市郡を除けば高床式住居が多いので、農村の洪水被害の殆どは農作物の減収で占められ治水の経済効果が高く算定されない傾向にある。人命の被害は火山地帯の土石流によるものが多い。中・下流部では高い連続堤（の破堤）が少ないため、洪水の氾濫は多いが人命の損失は少ない。

(5) 1993 年ミシシッピ川大洪水⁶⁾

ミシシッピ川上流域における 1993 年 6 月から 8 月にかけての大洪水は、ミネソタ州南部、ウイスコンシン州南西部、アイオワ州、イリノイ州西部、ミズーリ州北部、ノースダコタ州南部、サウスダコタ州東部、ネブラスカ州、カンザス州の 9 州に及び、米中西部に米国洪水史上最大の被害をもたらした。資産被害だけでも 100 億ドルを超えると見込まれている。死者は 47 名に達し、7 万人の人々が住居を失った。被害は農業、工業の広範囲に及び、総浸水面積は 69,000km²といわれている。木下⁶⁾により以下のような気象的背景、洪水の状況が示されている。

本洪水の原因は、冬の広範囲にわたる深い積雪で土中の水分が多いところに、多雨の気象状況が米中西部の上流域に 6 か月以上停滞したことである。この気象状況はコロラド州中央から北東に向かってカンザス州、ウイスコンシン州北部に広がった東に流れるジェットストリームに起因する。このジェットストリームによって、春から夏にかけて前線の収束域が中西部上流域を横断して形成された。メキシコ湾からの湿った暖かい空気がこのジェットストリームに沿って北上し、カナダ中央からの冷たい空気が衝突した。この結果不安定な大気が春から夏にかけて居座った。9 州の年平均降水量は 762 mm 強であるが、ノースダコタ州中南部の約 406 mm からミズーリ州南部の約 1,016 mm と場所によって大きく異なる。1993 年の 1 月から 3 月にかけての降水量は平年よりわずかに多い程度であったが、4 月に状況が変化した。4 月の降水量は、ウイスコンシン州の一部とミズーリ州において、平年のほ

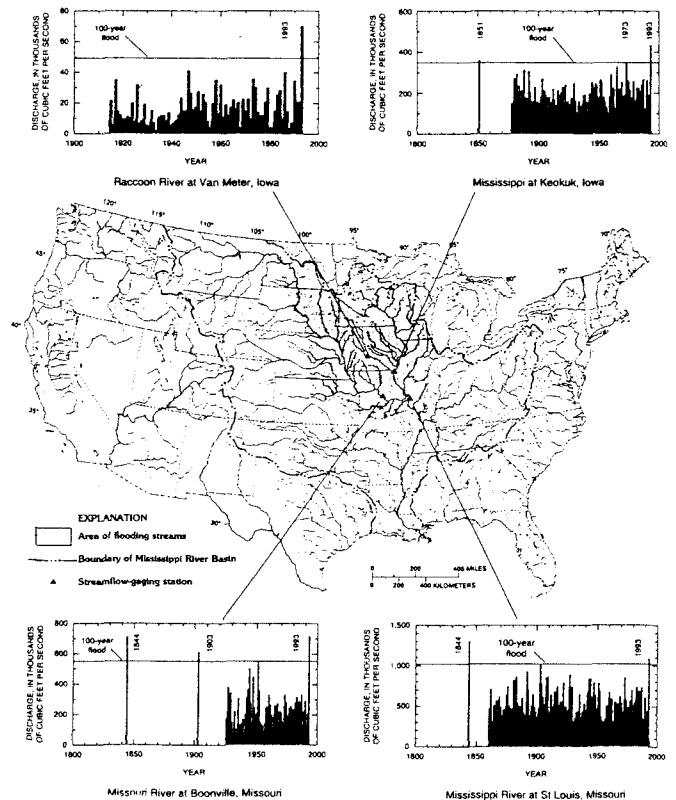


図-4 既往各年最大流量と 1993 年最大流量
(出典：USGS, 1993)⁶⁾

ば2倍であった(9州の他の大部分の地域は平年値をわずかに上回った程度)。5月になるとサウスダコタ州南東部からアイオワ州、そしてカンザス州東部にかけて平年の約2倍以上の降雨が発生した。ほとんどの地域で1961年から1990年までの平年の7か月雨量の150~200%に達した。

洪水の状況として、ミシシッピ川の流量は、アイオワ州の南端ケックで7月10日に流量12,400m³/sを記録し既往最大となった。これによりミシシッピ川はアイオワ州ダヴェンポートからミズーリ州セントルイスの間が増水し、セントルイス地点の流量は7月20日に一旦ピークに達した。ミズーリ川でも最高記録又は既往最高に近い流量を記録し、ミズーリ州ハーマンでは7月31日にピーク21,000m³/sを記録した。このミズーリ川のピークがミシシッピ川のセントルイス地点で第二のさらに大きなピークを引き起こし、8月1日に100年確率洪水をやや上回る30,700m³/sを記録した。ミシシッピ川のオハイオ川合流点直上流のイリノイ州テーベでは8月7日に大洪水のピークとなったが、合流点より下流では大した洪水とならなかった。図-4は代表地点における今回の洪水の最大流量を示している。米地質調査所(U. S. Geological Survey)が集計した洪水地域の154ヶ所の流量観測地点のうち45ヶ所で100年確率洪水を超えた。工兵隊の調べによると、ごく小規模の堤防を除けば、今回の洪水で災害宣言をされた郡全体に1,576の堤防があり、そのうち概ね1,082の堤防で破堤や越水等の損傷を受けた。農地の広範囲にわたる被害はこうした堤防の越水又は破堤によるものであり、都市部が被災したのは洪水防護施設の不備によるものであったといわれている。

(6)1993年豪雨による鹿児島県下の河川災害^{7), 8)}

平成5年の夏、鹿児島県下は豪雨・台風の来襲が相次ぎ、冷夏となり、鹿児島地方気象台の年雨量4,022mm、7月の雨量1,054.5mmはいずれも最大記録を示した。鹿児島県中央部の鹿児島市及び郡山町に降った雨は、県庁所在地の中心部を直撃、甲突川は8月6日と9月3日に氾濫、大惨事となった。図-5に8月5~6日の等雨量線図を示す。150年間健在で歴史的土木構造物であった市内の五石橋の内、二石橋流失は未曾有の雨量を象徴する。鹿児島県の調べでは平成5年の夏・豪雨による死者120名、被害額2811億円に達した。

この豪雨災害の特徴と問題点としては、鹿児島市街部を流れる甲突川を中心に、疋田⁷⁾により以下のように総括されている。1) 鹿児島市は県人口の約1/3(約54万人)を占める一局集中の過密都市である。人口の密集した県庁所在地を直撃した家屋の浸水は市民にとって経験のない氾濫であった。二級河川における豪雨災害時の情報伝達や避難誘導の方法が問題になった。2) 平成5年の鹿児島市の雨量は史上最高である。鹿児島地方気象台のアメダス雨量観測網にない甲突川中流の郡山町役場で時間雨量99.5mmを記録、下流の鹿児島地方気象台の63.5mmよりかなり大きいく、局地的な雨量情報の活用が問題となった。3) 150年間健在の歴史的土木構造物であり、甲突川に架けられた現存する六つの石橋の内、新上橋と国内最長五径間の武之橋が流失。市民運動の形で、玉江橋より下流の五石橋の文化財としての現地保存と治水のための石橋撤去が意見対立した。4) 甲突川改修の年間予算は2億円程度である。現況の流下可能流量約300m³/sの約2倍の流量がピーク時に出水し氾濫した。5) 鹿児島市周辺は大部分火山灰土壌のシラス台地で、中小河川のピーク流量を求める合理式の流出係数は他地域に較べてかなり小さく、計画流量の算定根拠が問題視された。この点については、これまで、合理式のピーク流出係数は、山地河川で0.75~0.85、シラス地帯の畑地では0.2~0.35とされている。8.6水害の甲突川の玉江橋地点で痕跡水位や中流の郡山町役場のハイレトグラフを用い、総合単位図により流出係数を逆算すると0.45程度となる。本来シラス台地の浸透能はかなり大きく、表面流出は起りに

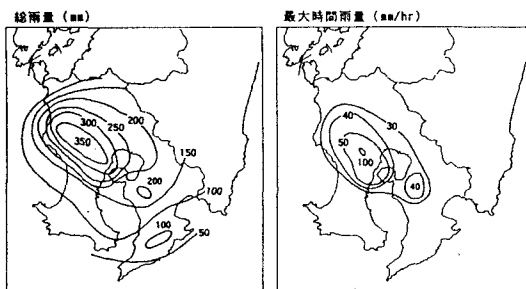
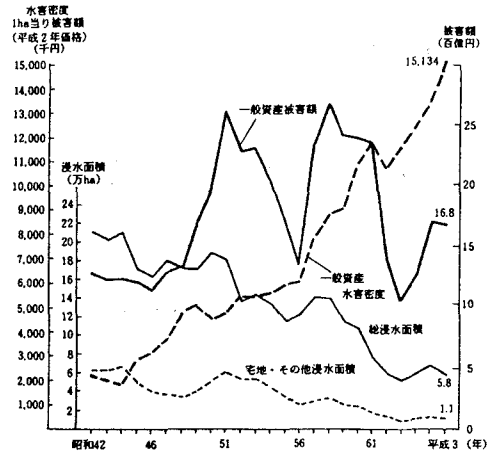


図-5 1993年8月5-6日の等雨量線図⁸⁾

くい。この平成5年は梅雨期間が8月まで延長する長期降雨となったために、甲突川中流域のシラス台地の浸透能が大幅に低下し、9月3日の台風13号では流出係数が1.0に近くなったと推察されている。

(7) 1993年台風11号による首都圏水害⁹⁾

平成5年8月27日中型で並の勢力を持つ台風11号は千葉県九十九里浜付近で首都圏をかすめ、1日雨量としては観測史上第3位の記録的な大雨（東京都大手町）や、最大風速30m/sにも及ぶ強風により、東日本全域において多大な被害をもたらした。なかでも、首都圏の中心である東京都、千葉県及び埼玉県の中小都市河川流域において家屋の浸水等の資産被害が生じたばかりでなく主要道路が冠水し、さらに、JR・地下鉄駅構内への雨水侵入によりこれらの交通機能が概ね2日間にわたってマヒするなどの支障が生じ、日頃から指摘されている「水害に弱い大都市」の実態を露呈する形となった。図-6には都市域の資産の集積と共に単位面積当たりの水害被害額が増加していることが示されている。台風11号による被害は死者2名、負傷者4名で、家屋の全半壊が25棟、関東地方の床上浸水4,552戸、床下浸水22,270戸となった。金尾⁹⁾によれば水害の状況等は以下のようなものである。



注) 一般資産被害被害額及び水害密度は、営業停止損失を含む。

図-6 一般資産水害密度の推移⁹⁾

神田川流域の中野区住民約2,000世帯に対して避難勧告が発令され、流域の浸水家屋は3,000戸を超えた。千葉県北西部を流れる水害常襲河川の真間川及びその支川である国分川・大柏川については、この台風によっても大規模な浸水被害が発生、流域の松戸市、市川市の住民が避難し、消防当局による救助活動も行われた。埼玉県南部地域では、新河岸川、伝右川及び辰井川等が相次いで溢水氾濫し、川口市、越谷市など50市町において浸水被害が生じた。特に新河岸川流域の朝霞市では河川の決壊に備えて避難勧告が発令された。

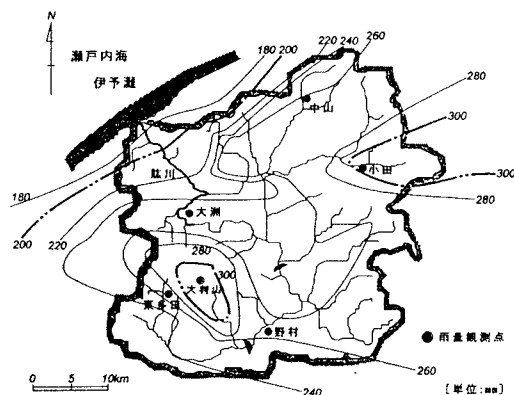
一方、これまでの治水事業による被害軽減効果も、以下のように確実に現れている。すなわち、今回の台風11号（降雨確率1/11）とほぼ同じ規模であった平成3年9月の台風18号（降雨確率1/12）の出水時に比べ、今回の台風では、綾瀬川本川の流下能力の増大とともに綾瀬川放水路の一部完成がなされており、中川への洪水流分派により綾瀬川本川の洪水負担が軽減されていたことが知れた。さらに、平成3年3月に目黒川中流部に総貯水量5.5万m³の船入場調節池が完成し、今回の11号では平成元年の集中豪雨を上回る雨量規模（総雨量345mm）ではあったが、その貯留効果が発揮され溢水による浸水被害は生じなかった。

(8) 1995年7月の肱川河川災害¹⁰⁾

今回の豪雨をもたらしたのは梅雨前線の停滞であった。山陰沖にあった梅雨前線が南下し、北九州から北四国を横断し東京を結ぶ線付近に停滞した。これに伴い肱川流域では7月3日未明より降り始めた強い雨は4日の午前中まで断続的に降り続き、午後には雨足が弱まったのち5日朝まで降雨が続いた。7月2日から4日までの3日間の総降雨量は、大判山および小田で300mmを超え、平野部の大洲での降雨は最小であるが、それでも242mmである。図-7はこの間の総雨量についての流域の等雨量線図であり、ほぼ流域全域でまんべんなく豪雨が降ったことがわかる。

出水状況としては、7月3日の午後3時頃指定水位2.80mを超えた水位は急上昇し、午後5時40分頃警戒水位3.80mに達し、午後10時頃警戒水位を90cm上回る4.70mでピークとなり、その後やや低下するが4日の午前3時頃から再び上昇し始め、4日の午前10時30分には警戒水位より2m以上高い5.84mのピー

ク水位を示した。その後水位は徐々に低下し、午後 8 時頃丸 1 日ぶりに警戒水位を下回った。洪水波形は 2 つのピークを持つが、後の方のピーク流量が特に大きく、最大流量は約 $3,100\text{m}^3/\text{s}$ であった。大洲平野直上流部の鹿野川ダムへの流入量とダムからの放流量の経時変化によれば、最大流入量 $1,021\text{m}^3/\text{s}$ に対し放流量が $764\text{m}^3/\text{s}$ で洪水量を最大で $257\text{m}^3/\text{s}$ 低減している。また、最大放流量は $776\text{m}^3/\text{s}$ であるが、下流の大洲地点の最大流量 $3,100\text{m}^3/\text{s}$ に対して 25%あり、残りの 75% は小田川や河辺川など鹿野川ダムより下流の流域からの流出となっている。小田川流域からの流出が大きかったことが今回の出水の特徴といえるが、それに隣接する越水した矢落川自体の流量も大きかったことが推測された。鈴木ら¹⁰⁾は、この水害の特徴を以下のよう
に考察している。



図一七 肱川流域の主要雨量観測所と等雨量
(3 日間総雨量) 線図¹⁰⁾

$1,210\text{km}^2$ の流域面積を持つ肱川であるが、流域の形状は放射状をなし比較的大きな支川が流域の中央で合流し、盆地である大洲平野に出水が集中する形態をしている。建設省では今回の災害を受けて肱川上下流間で治水安全度の均衡をとった対策として平成 7 年 7 月洪水程度の規模の洪水（確率年 $1/15$ ）に対して、肱川・矢落川からの越水による家屋浸水をなくすため、未改修堤防を暫定的に嵩上げする計画を立てている。河口部では、上流部で堤防が嵩上げされると、梅雨前線や台風の来襲による降雨に伴う洪水流量の増大に伴い河口砂州の崩壊の頻度が高くなることが懸念されるとしている。なお、砂州は天然の消波構造物である。砂州の狭小化あるいは消滅といったことが生ずると、護岸近傍では波高が増大し、強制碎波による飛沫量の増大といったことも心配されている。

(9) 1995 年 7 月豪雨による北陸地方の河川災害¹¹⁾

平成 7 年 7 月 11 日から 12 日にかけて北陸地方の関川・姫川・黒部川流域では、停滞した梅雨前線により観測史上最大規模の強い降雨があり、姫川・関川では観測史上最大規模流量の洪水となり、山腹崩壊、河岸侵食、破堤、氾濫などにより家屋の全半壊、道路・鉄道の途絶、孤立地区の発生、田畑の流失など社会的に大きな災害となった。被害は新潟県、長野県、富山県にまたがり行方不明者 1 名、重傷者 1 名、家屋の全壊 68 棟、半壊 122 棟、床上浸水 816 棟、床下浸水 3,392 棟と最近の北陸地方の主な水害にならぶ災害であった。

平成 7 年 7 月 11 日日本海域に停滞していた梅雨前線に太平洋高気圧側から暖かい湿った空気が流れ込み、北陸に豪雨が集中、さらに翌 12 日にも本州中部まで南下した梅雨前線の活発化により降雨があった。降雨の分布図からは、平成 7 年 7 月 11 日 0 時から 12 日 18 時までの降水量で、黒部川右岸、姫川左岸流域に降雨が集中していることがわかる。図一八は対象降雨の総降水量分布を姫川・関川流域で見たもの（姫川流域では 7 月 10 日 10 時から 13 日 10 時まで、関川流域では 7 月 10 日 1 時から 12 日 24 時までの総雨量）で、図の斜線は流域平均（それぞれ約 390mm 、 220mm で観測史上最高）を越える領域を示す。雨量強度のコンターも図一八の総雨量コンターとほぼ相似で、流域最大ではそれぞれ 120mm/h 、 60mm/h 程度に達している。

流量特性として、黒部川、姫川、関川の基準点でのピーク流量はそれぞれ約 $2,400\text{m}^3/\text{s}$ （愛本）、 $2,900\text{m}^3/\text{s}$ （山本）、 $2,600\text{m}^3/\text{s}$ （高田）であった（計画高水流量はそれぞれ約 $6,200\text{m}^3/\text{s}$ 、 $5,000\text{m}^3/\text{s}$ 、 $3,700\text{m}^3/\text{s}$ ）。これらの地域は昭和 44 年 8 月に集中豪雨（黒部川ではこの出水で観測史上最大流量 $5,700\text{m}^3/\text{s}$ を記録している）で大きな被害を受けているほか、姫川では昭和 8 年 7 月に、関川では昭和 57 年 9 月に観測史上（昭和 45 年以降）最大の流量（それぞれ $2,150\text{m}^3/\text{s}$ 、 $2,530\text{m}^3/\text{s}$ ）を記録している。姫川・関川では観測史上最大を上回

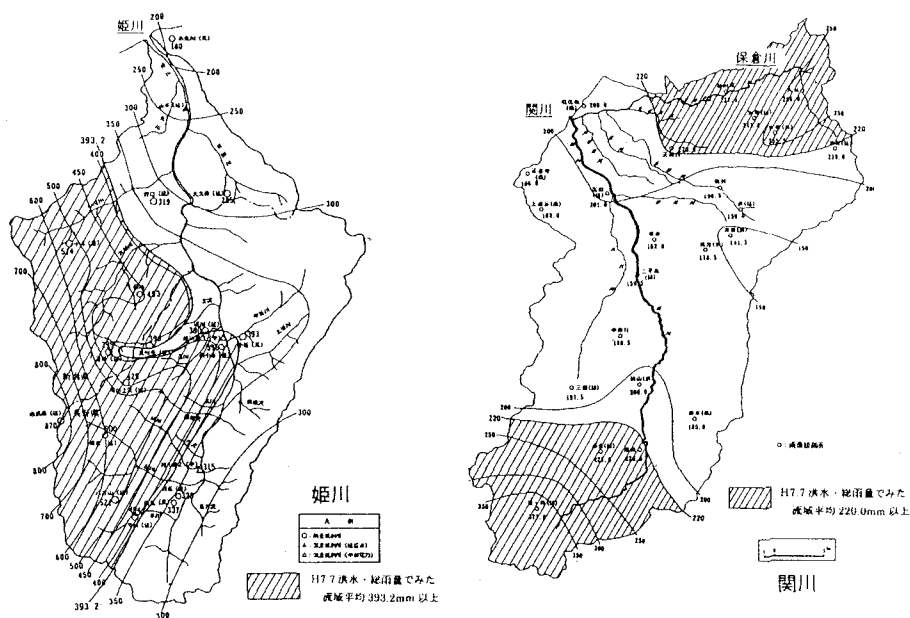


図-8 対象降雨総降水量の空間分布（姫川と関川の比較）¹¹⁾

るかその程度の規模のものであった。これに対し、黒部川では雨量規模は昭和 44 年出水と変わらないにもかかわらず、基準点流量では相当下回っている。

芦田ら¹¹⁾は、河川特性と災害概要から、今回の洪水災害は次の 4 つの視点から考察できるものと考えた。1) 上流部での大量の土砂生産について、近年、急流河川の多くは砂防工事の進展、貯水池での土砂抑止さらに砂利採取で河床低下の傾向にあり、護岸、水制や橋脚の局所洗掘災害などが出水時の懸念となってきた。ところが、今回のような集中豪雨では溪流からの土石流の流入、山付き河岸の大規模崩壊からの流入などで流送能力以上の供給土砂のため上流部で急激な河床上昇が見られたことが、今回の災害の大きな特徴となっている。また、山腹崩壊によって樹木群が河道内に滑り込んできて、あるいは土石流に破壊された樹木群が流木化し、下流に大量に流下することとなった。2) 中流部の河岸侵食について、関川では中流部河川の両側に沖積平地が発達、宅地や耕作地として造成、利用されている。こうした中流域では一旦護岸が破壊されると側岸侵食が容易に進行し、とくに湾曲部、蛇行部では外岸への拡幅が進行した。3) 扇状地急流河川の災害について、ここでは扇状地築堤区間部を対象とし、堤防とその護岸災害と洪水流について考察する。こういう区間では、疎通能力不足よりも、側岸侵食、護岸基礎の局所洗掘が破堤の主因である。北陸急流河川は練石張の護岸構造を採用して側岸侵食に備えており、また近年の河床低下傾向に対する対策として低水護岸の根継ぎ、根固、根固水制の強化をしてきている。にもかかわらず姫川では直轄区間において 2 箇所破堤し、また護岸の破壊が生じた。4) 下流部の氾濫については、下流緩流域では河道の流水断面が充分でなく洪水時の災害は溢流氾濫、内水排除能力不足によることが多い。放水路掘削・拡幅のための引堤などの抜本的対策、あるいは上流での施策（ダム・遊水池）によって河道負担流量減を図るしかないと考えられた。

(10) 1997 年 7 月 オーデル川の洪水氾濫^{12), 13)}

1997 年 7 月・チェコ共和国に 2 度にわたって降った大雨は・チェコ国内に源を発するオーデル川、エルベ川、ドナウ川、そしてポーランド南部に源を発するヴィスワ川など多くの河川に洪水をもたらした。中で

も上流域が降雨域とほとんど重なっていたオーデル川（ポーランド名：オドラ川）で発生した洪水は非常に大きなものであり、その流域のほとんどを含むポーランド南東部に甚大な被害をもたらした。暫定的な見積もりによれば、ポーランドにおける今回の洪水の再起こ率は 1000 年に一度その他の地域でも 100 年に一度程度といわれている。

洪水の直接の原因となったのはチェコ共和国内に降った 2 度の大雨である。2 度の大雨の内、1 度目は 1997 年 7 月 4 日から 9 日まで、2 度目は 7 月 17 日から 21 日まで降り続いた。図-9 はこのうち 7 月 3 日～8 日までの総雨量の分布を示したものである。2 度の降雨はどちらも次に述べるような特徴的な気象状況の下で引き起こされている。西ヨーロッパ上空に北極方面から巨大な寒気団が進入すると、北部イタリアに低気圧帯が形成される。この低気圧帯は北東方向にヨーロッパを横切るように移動するが、その際地中海地域から湿った暖かい海気団を連行する。海気団と寒気団の接する前縁部には停滞前線が形成され、前線付近では広範囲にわたって大量の降雨が長期間継続する。特にズデーテン山脈付近は地形の影響によって記録的な大雨となることが、これまでも数十年に一回程度の頻度で起こっている。今回の大雨はこのような気象状況が短期間の内に 2 度発生するという、極めてまれなケースであった。井上^{12), 13)} により、洪水発生と被害の状況の一部が次のように報告されている。

チェコ共和国内では、洪水の影響は全部で 34 地域の 538 都市に及んだ。洪水の直接的な被害は 600 億クロンに達した（1 クロンは 4 円程度）。社会基盤における被害としては、総延長 946km の線路が被害を受け、13 の駅、26 の橋が閉鎖された。高速道路網は 1,850km にわたって被害を受けた。また 851 の橋が被害を受けたが、そのうち 48 の橋が完全に破壊され、415 箇所が閉鎖となっている。ポーランドのクウォツコは、1 千メートル内外のズデーテン山脈に三方を囲まれたチェコ共和国との国境近くの小さな町である。1 度目の降雨域の中心近くに位置しており、洪水初期の最も早い時期に被害を受けた山地域に位置する町である。洪水は警報通り 7 月 7 日（月）にやってきた。大雨によって増水したニサ・クウォツカ川は、まず最初に山間にある木々や橋、道路を濁流で押し流し、ズデーテン山麓の村々に大きな被害を与えた。ポーランドのヴロツワフはオーデル川河畔に位置する人口 68 万人の国内で 3 番目に大きな都市であり、今回の洪水によって最も大きな被害を受けた街の一つである。ヴロツワフに洪水波が到達したのは 7 月 11 日から 12 日にかけての夜間であった。最初に破堤したのはヴロツワフから 20km ほど上流の地点であった。最初、一線堤を三個所にわたって破堤させた洪水は、2km 近く離れた二線堤を超えそのすぐ近くに位置していた村を飲み込んだ。水位は 2m に達し、夜間であったこともあって付近の住民たちを混乱に陥れた。ドイツでは、今回の洪水ではフランクフルト・オーデルのすぐ上流で破堤による氾濫が発生した。これによってオーデル川ナイス川合流点に位置するノイツツェレ（Neuzelle）低地およびそのすぐ下流のツイルテンドルフ（Ziltendorf）低地が水没した。

今回の洪水被害がこれほど甚大なものとなった原因と、オーデル川が有する問題点として次のようなことが挙げられた。1) 異常に多かった雨量：今回の洪水が大きな被害をもたらした最も大きな原因は、非常に強い降雨が 10 日間ほどの間隔で 2 度続いたことである。これら 2 度の降雨によって 7 月の総雨量は 600mm 近くに達した地域もある。この雨量は通常の 7 月の 5 倍であり、通常の年間雨量をも超える量であった。2) 通信関連のインフラ整備の遅れ：今回の洪水災害では上流から下流への情報の伝達に問題があったといわれ

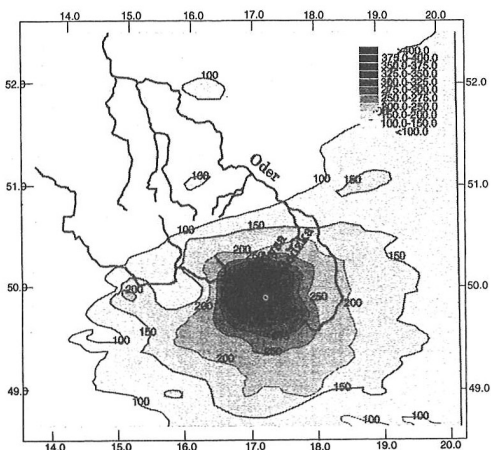


図-9 1997 年 7 月 3 日 20 時～7 月 8 日 20 時の
総雨量の分布（単位は mm）¹²⁾
（横軸：経度、縦軸：緯度、）

ている。最初に洪水に襲われた山地域からヴロツワフなど下流に位置する都市へ、またヴロツワフからさらに下流のポーランドドイツ国境付近へ洪水に関する十分な情報が伝わっていなかった。3) 複雑な社会背景：オーデル川流域は複雑な歴史を有しており、現在の住民はすべて 1945 年以降、旧ポーランド東部から移住してきた人々であり、今回のような洪水に対して、現在の住民が十分な知識を有していなかったことが、特に山間部での避難の遅れにつながり、多くの人命を失うことにつながったのではないかと考えられた。4) 流域全体を見通した洪水計画の欠如：社会体制が変化して間もない今、オーデル川流域全体を見通す洪水計画はいまだ存在していない。オーデル川は国際河川であり、しかも非常に複雑な歴史を有する地域を流れる河川である。今後オーデル川の洪水計画作成のために発足することになっている、チェコ・ポーランド・ドイツによるオーデル川委員会に期待したい。

(11) 1997 年 7 月豪雨による出水市の土石流災害¹⁴⁾

鹿児島県出水市の北部を流れる針原川は、流域面積 1.55km²、流路延長 2.3km の小河川で、災害発生当時は準用河川であったが、災害 2 ヶ月後の 1997 年 9 月 3 日に二級河川に指定された。1997 年 7 月上旬、九州地方は停滞した梅雨前線の影響で大雨となっていたが、出水市では 7 月 7 日午前 0 時から 10 日午前 0 時までの 3 日間の雨量がアメダス出水局で 397mm（出水浄化センターでは 532mm）に達した。図-10 に累加雨量と降雨強度を示す。9 日は 10 時頃から断続的に強い降雨があり、10 日未明針原川で土石流が発生した。針原川では、97 年 10 月完工予定の砂防ダムが建設中で、本体はほぼ完成していたが、ダムの上流約 400m 付近の右岸山腹が崩壊し、針原川に流入して土石流となった。土石流は砂防ダムを乗り越えて同市境町針原地区を直撃したため、死者 21 名、住家の全壊 18 棟など激甚な災害が発生した。土石流の流況について平野ら¹⁴⁾ は以下のように示している。

土石流の流下状況は次のようである。建設中の砂防ダムは、堤高 14m、堤長 85m、計画貯砂量 22,000m³ で本体はほぼ完成していた。崩壊はダムの上流約 400m の右岸山腹斜面で発生し、崩壊土砂は針原川に流入後川沿いに流下した。一部は砂防ダムで捕捉されたが、残りは砂防ダムを越えて直進し、針原地区の集落を襲った。崩壊前の山腹の平均勾配は 26° で、崩壊幅は約 70m、崩壊長は約 70m、崩壊土量は 16 万 m³ で、そのうち 15 万 m³ が流下し、砂防ダム上流区間に 7 万 m³、砂防ダム下流域に 8 万 m³ それぞれ堆積した。

今回の災害の特徴は、土石流の前兆と思われる現象が住民によって感知されていたこと、しかし、それが住民の避難行動に結びつかず、多くの犠牲者を出してしまったことである。針原地区の住民は河川の氾濫には関心が深く、災害の前日には多くの人が川や砂防ダムを見回りに行っている。しかし、23 時頃には雨も止み河川の水位も低下していたので、安心して帰宅し、1 時間程後に土石流に襲われた。針原川が土石流危険溪流に指定されたいにもかかわらず、土石流のことが住民の念頭になかったことは、防災に関する情報伝達の問題点を浮き彫りにしたものであるとされている。

崩壊のメカニズムと崩壊土砂が流動化して土石流になる過程については、災害直後から諸説があり未だ明らかではないとし、平野らは、これらに参与した河川の水量を定量的に見積もるために流出解析を行った。その結果、針原川流域の到達時間の平均値は 1 時間程度であること、土石流発生時には砂防ダムの貯水量は溜池にあった水の数%に過ぎなかったこと、したがって、土石流先端部により押し出された水や、崩壊土砂の流動に寄与した地表水の大部分は溜池の水であったこと、などを結論付けている。

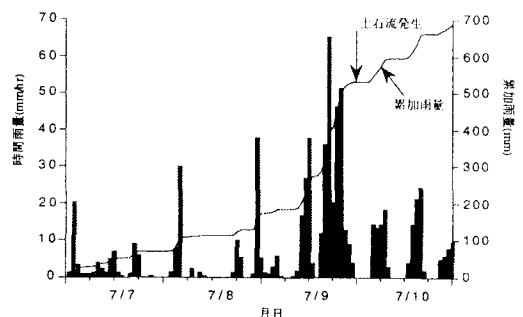
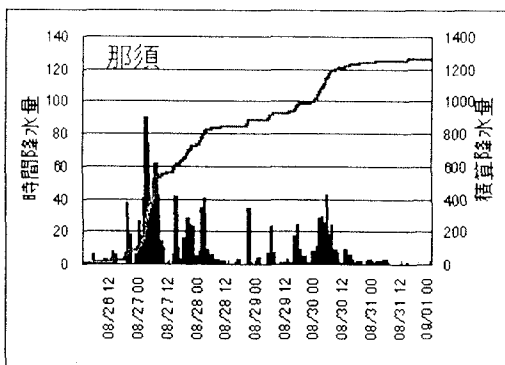
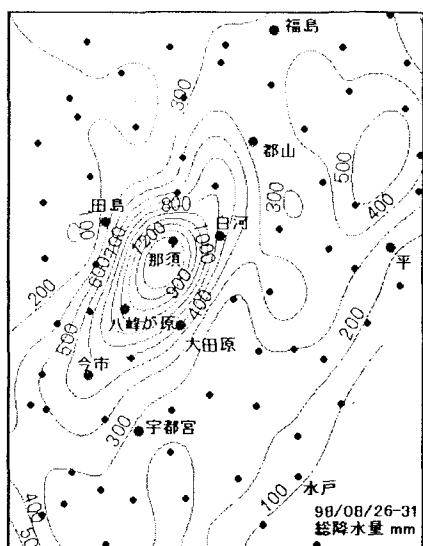


図-10 累加雨量と降雨強度（出水浄化センター）¹⁴⁾



アメダス総降水量分布
 図-11 アメダス総降水量分布と那須地点における時間降雨量ならびに積算降雨量時系列¹⁵⁾

(12) 1998 年 8 月豪雨による東北・北関東洪水災害^{15), 16), 17), 18)}

1998 年（平成 10 年）は、国内外においていくつもの未曾有の豪雨・洪水災害が発生した。8 月 26 日から 31 日にかけて、本州南方太平洋沖に停滞した台風 4 号によってもたらされた暖かく湿った空気が、日本列島に停滞していた前線に入り込み、南東北・北関東を中心に豪雨・洪水災害を引き起こした。福島県内で死者 11 名、栃木県内では死者 5 名、行方不明者 2 名にのぼり、洪水流量・氾濫の規模、道路・鉄道・農地等の被害も甚大なものであった。今本ら¹⁵⁾、高柳¹⁶⁾、真野ら¹⁷⁾により、災害の概要が以下のように報告されている。

まず降雨の状況として、8月26日から31日にかけて、栃木県・福島県を中心に記録的な豪雨が発生した。特に、栃木県那須町では、最大時間雨量が90mmに達し、また連続雨量が年間平均降水量の3分の2を超えるなど、記録的な豪雨となった。その要因としては、25日ごろから関東・東北地方にかけて前線が停滞し、そこに台風4号が接近してきたことにともない、南から湿った風が吹き込んだこと、また、その南風が栃木県北部の山地にぶつかり、上昇気流が発生して強い雨を降らせたことなどが報告されている。図-11は、那珂川流域を含む領域における雨量観測所及び8月26日から31日までのアメダス総降水量分布と、那須で観測された時間雨量の時系列データを示している。8月26日降り始めから31日降り終わりまでの総雨量をまとめたものである。広範囲に強い雨が継続して降ったことがわかる。

那珂川上流域における災害では、栃木県北部那須町を流れる余笹川等がほぼ全川にわたって氾濫し、死者・行方不明者 7 名、家屋や水田の流出など甚大な被害が発生した。ライフラインが随所で切断され、那須町、黒磯市を中心に被災地ではピーク時で約 4,000 人が避難生活を強いられた。JR 東北本線の黒田原－豊原間で大規模な斜面崩壊が発生して 9 月 25 日まで不通となった。被災世帯数は 759 世帯、被災者数は 2,716 人であって、那須町人口約 27,600 の 10 分の 1 が被災したことになる。この豪雨災害は、他の地域でもしばしばあるように、深夜突然襲ってきたものであるため、スムーズな初動体制の立ち上げや災害情報の収集伝達の方法に課題を残したとされる。

那珂川下流域における河川出水・浸水状況は次のとおりである。上述の集中豪雨によって那珂川は急激に増水し、多くの水位観測所で警戒水位を超えた。水戸市水府橋水位観測所では、8月27日16時に警戒水位の4mを超える4.20mに達し、さらに28日10時30分には8mを、11時30分には計画高水位8.15mを超えて、14時には最高水位8.43mを記録した。8月29日13時には一旦警戒水位を下回ったものの、再び水

位が上昇し、30日20時30分には8.20m となって、計画高水位を二度にわたって超える洪水となった。図-12 は、水府橋水位観測所で観測された水位のハイドログラフである。実線の矢印は洪水警報が出された時刻、点線の矢印は洪水注意報が出された時刻を示している。今回の出水が昭和 61 年の洪水と比較して特徴的なのは、水位のピークが二つあることである。一回目の出水で水位が 4.5m を超えた 28 日の 0 時 40 分には、「那珂川の水府橋の水位は 28 日 6 時頃には 8.0~8.5m の水位が予想されます。」という警報が出され、4 時 30 分には水戸市によって約 39,400 人に対して避難勧告が出された。この避難勧告は、29 日 10 時にはいったん解除されたが、二回目の出水時には 30 日の午前 8 時 15 分に「那珂川の水府橋の水位は 30 日 15 時頃には 8.0m を超える水位が予想されます。」という内容の警報が出されたあと、10 時 30 分に再び避難勧告が出され、13 時には避難指示に強められた。さらに 20 時 50 分には「那珂川の水府橋の水位はピークに近づきつつあり、30 日 22 時頃には 8.4m 程度の水位で推移すると予想されます。」という三度目の警報が出された。この二つ目のピーク前後には、かなりの緊迫感があったことが窺われる。

阿武隈川での状況は以下のようなものである。阿武隈川流域における、8 月 26 日から 31 日まで 6 日間の総降雨量の分布によると、那須山地の東側で総降雨量の最大が 1,200mm を越えているが 1,000mm を越える範囲は比較的狭いこと、また標高のあまり高くなくところに雨の中心があることが知れた。全体的にみると、那須山地から吾妻山にかけての山沿いで雨量が多く、次いで阿武隈高地で多く降っている。中央の盆地部分や蔵王山周辺では比較的雨量が少ない。雨の中心域を流れる阿武隈川支川の堀川の破堤や支川中流部での土砂災害が発生したのは、27 日の早朝 4 時から 5 時にかけてのことである。27 日の午後になって再び強い雨が降り始め、28 日の未明まで続いている。その後しばらく小康を保った後、30 日に再び強い雨が降っている。全体で 3 つくらい雨のかたまりが見られ総降雨量で 1,250mm に達している。図-13 は最大雨量が観測された福島県西郷村真船における積算雨量と降雨強度の時系列を示す。

郡山周辺では次のようなことがあった。須賀川では 2 つの洪水ピークとも本川堤防の計画高水位（HWL：7.915m）を越えたが、1.2m の余裕高により越流を免れている。越流は破堤に結びつくが、本川の水位が高くないときに堤防の洗掘が見つかった事例が報告された。郡山市笹川地区では、最初の洪水のピークを過ぎ水位が下がってきた 28 日の 14：20 に、本川左岸の堤防表法先で洗掘が発見された。これは、堤体内にしみ込んだ浸透水が原因と推測されている。強い雨のかたまりが次々に生まれ、流域を移動しながら雨を降らせた結果、多量な浸透水により生じたものと考えられる。洗掘が発見されて、シート張り、木流し、岩石投入などの水防活動が開始され、最終的には根固めブロックと大型連結ブロック張りにより復旧している。最初の洪水に近接して同規模の第 2 の洪水が通過したことを考えると、非常に危険な状態が続いたことになり、水防活動の恩恵には大きいものがある。

郡山市内で本川右岸に合流する大滝根川には三春ダムがあり、1998 年 4 月より運用を開始している。三春ダムで流量調節をした場合としなかった場合の 2 ケースの流出計算を行い、ダム貯水池による調節効果が調べられた結果、洪水の両ピーク付近の流量が抑えられていたことがわかる。ダムの調節流量は本川の流量に比べると小さいように見えるが、このときの本川の水位や、本川沿の各地での稼働していたポンプによる内水排除流量との関係を考えてみる必要がある。阿武隈川中流の本川に沿う地域では、内水により各地で湧水したが、多くの排水ポンプが稼働し、被害を比較的小さなものに留めていた。阿武隈川での出水の特徴をまとめると次のようなる。

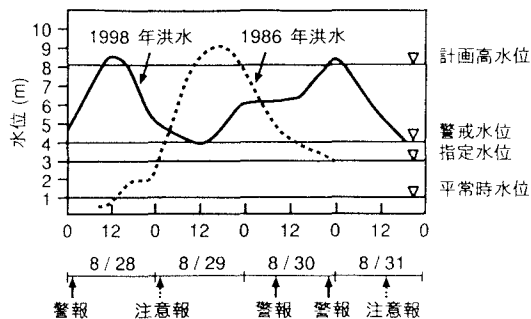


図-12 水府橋観測所水位ハイドログラフ¹⁵⁾

1) 雨の量が多いことに加えて、流出率が高かったことが洪水を大きくした。2) 郡山笹川地区では、洪水の低減期に堤防洗掘が発見された。長時間の高水位により堤体に侵入した最速水が原因と考えられ、堤防の浸透特性と強度の関係が調べられる必要がある。3) 郡山周辺では、2 つの洪水ピークとも計画高水位近くに達し、水防活動や三春ダムの洪水調節が大きな役割を果たした。4) 堀川の阿武隈川合流地点で破堤し、白河市五番町川原地区が冠水し、大量の土砂堆積と局所洗掘が生じた。

なお、今回の郡山の豪雨災害において、住民の避難行動の実態と問題点について、片田ら¹⁹⁾がアンケート調査に基づいて詳細な考察を行っている。

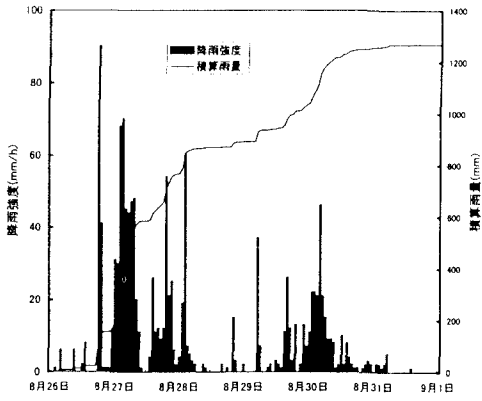


図-13 福島県西郷村真船における降雨記録¹⁷⁾

(13)1998 年 9 月豪雨による高知水害^{20) 21)}

平成 10 年 9 月 24 日正午頃から 25 日の早朝にかけて、高知県の中部地域は秋雨前線の影響によって猛烈な雨に見舞われた。高知市では、24 日 21 時からの 1 時間に 112.5mm、同日の日雨量が 628.5mm といずれも高知地方気象台の観測史上最大を記録し、降り始めからの総雨量が平年の 1/3 に相当する 900mm もの豪雨を経験した。図-14 は 24 日 6 時から 24 時間の等雨量線を示している。高知市では、排水ポンプをフル稼働させて浸水の防御に努めたが、豪雨は想定をはるかに上回る強さであったため、市内の各所で道路冠水や浸水被害が続出した。高知市東部では、浦戸湾に注ぎ込む国分川の中・下流部において、堤防の決壊や越流が 24 日 22 時頃から始まった。国分川沿いの一部周辺住民は、広報車の呼びかけに応じて夜中の混乱の中を避難したが、大半の住民は急激な浸水の中に取り残される格好で住家に留まり、不安な一夜を過ごすこととなった。夜が明けたときには一面に氾濫水面が広がり、高知市面積の約 16%にあたる 27km² が水没した。浸水や土砂崩れによって交通網も各所で寸断され、産業および市民生活に大きな支障を及ぼした。とくに JR 土讃線は、繁藤―土佐山田間の山腹部において路盤が流出し不通の状態が長く続いたが、平成 10 年末に再開にこぎつけた。高知県災害対策本部のまとめによると、県内の水害被害は、死者 8 名、家屋の全半壊 44 戸、床上浸水 13,442 戸、床下浸水 10,235 戸、公共施設・工業・農業等の被害額は 686 億円にも達し、県内過去最悪の水害となった。

大年ら²⁰⁾はこの災害を次のように総括している。高知県では、来るべき南海地震に対する関心が高いことに加え、ここ 20 数年来大きな水害に見舞われていなかったこともあって、水害に対する油断があったことも否定できない。水防計画上の問題点として以下の 4 点が指摘される。1) 24 日の夕刻 16 時～17 時にかけてそれまでの降雨が小降りになったことによって、降雨は終息したのではないかという安堵感が防災体制にゆめを生じさせ、県市ともに初動の遅れが否定できない。2) 初期の水防活動のあり方を含め、水防本部と水防管理団体との連携および責任分担が十分でなかった。3) 水防本部―支部―水防管理団体間の情報伝達が十分機能しなかつ

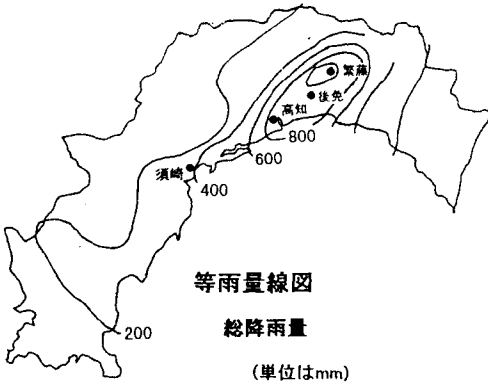


図-14 高知県下の 24 時間等雨量線図²⁰⁾
(1998.9.24～25)

たことから、住民への情報提供も不十分となった。その結果、自主的に避難した住民は少なく、大半の住民は住居に留まることになった。4) 避難誘導について、救命救助の通報を入手しても動きがとれなかったり、避難路自体に問題があったり、指定避難場所が浸水しているという混乱があった。

(14) 1998 年長江・松花江の洪水^{22), 23), 24), 25), 26)}

1998 年中国の長江では 7 月から 8 月にかけて 8 つのピークからなる 1954 年以来の大洪水に襲われた。加えて、北東部の松花江でも既往最大といわれる洪水により大きな被害を受けた。ここでは長江での洪水を中心に、その概要と特徴をまとめてみる。

長江の洪水はこれまでに発生した洪水のパターンをもとに大きく次のように 3 つに分類されている。

- ①全流域型：長江の全流域に洪水が発生するもので大洪水になる。
- ②区域型：上流域あるいは中流域など、限られた区域にのみ洪水が発生するタイプ。
- ③局地型：支川域など極めて限定された地域に突発的に発生し、土石流なども起こる。

これらの洪水パターンは雨量とその地域分布に依存する。98 年洪水は 54 年洪水、31 年洪水について 3 度目の全流域型洪水であった。98 年大洪水を引き起こした原因は欧亜大気還流異常によるものであった。

・降雨特性と洪水の発生過程

例年より早くから降雨が多く、特に、高水期の 6～8 月の降雨は通常の範囲を超えたものであり、その特徴は 2 度の梅雨、強、大、長、広と表現されている。すなわち、6 月中旬から始まる通常の梅雨期が終わったかにみえた 7 月下旬、7 月 21 日～31 日にかけて中下流域に 2 度目の梅雨といえる天気状況が生じた。また、降雨強度が強く、降雨量が大きく、降雨期間が長くしかも降雨域が広がったということである。この点は雨期がいつまでも続き、明瞭な梅雨明けがないまま夏を迎えた我国の 98 年梅雨と同じである。降雨の経過を詳細に見ると、6 月中旬に長江中下流域は梅雨に入り、東西に伸びる強雨域が停滞し、ポーヤン湖、洞庭湖周辺に降雨の中心があり周辺で 1,600mm を超える雨が降ったところもあった。白塔河上清站では累積雨量が 1,115mm に達し、700mm を超える観測所 10 箇所、400mm を超える観測所が 45 箇所もあった。このため、2 つの湖の水系では歴史的な洪水となり、6 月 28 日以降長江本川中下流の監利以下全川で警戒水位を超えた。6 月 28～29 日に三峡付近に強い雨が降り、7 月 1 日も再び大雨が降ったため宜昌以下の全川で警戒水位を超え、監利、九江で歴史的洪水となり、螺山、湖口、大通で史上 2 番目の高水位を記録した。7 月中旬以降、降雨域は長江上流域および漢江中上流域に移った。その後、7 月 16 日～31 日にかけて中下流域に 2 度目の梅雨といえる天気状況が生じた。宜昌では 7 月 18 日に $56,400\text{m}^3/\text{s}$ 、7 月 25 日には $52,000\text{m}^3/\text{s}$ を記録し、西洞庭湖で歴史的洪水水位を記録した。長江本川の洪水と洞庭湖水系の洪水が重なり、本川の洪水水位は上昇し、石首、監利、螺山、九江、湖口で歴史上最高水位を記録し、武漢、黄石、安慶、大通で史上 2 番目の水位を記録した。8 月上旬になると雨域は上流域に移動し、8 月 8 日に宜昌で 4 回目のピークが発生し、流量 $61,500\text{m}^3/\text{s}$ を記録した。8 月中旬には三峡、青江流域に雨が降り、上流からの洪水と重なり 8 月 12 日、16 日には 5、6 回目のピークが発生し、それぞれピーク流量 $63,000\text{m}^3/\text{s}$ 、 $63,600\text{m}^3/\text{s}$ を記録した。この間の宜昌、沙市観測所での水位流量の変化は図-16、17 に示すようである。

・54 年洪水との比較から見た 98 年洪水の特徴

54 年洪水と 98 年洪水は、洪水原因としては基本的には同じであり、大気循環パターンは類似している。た

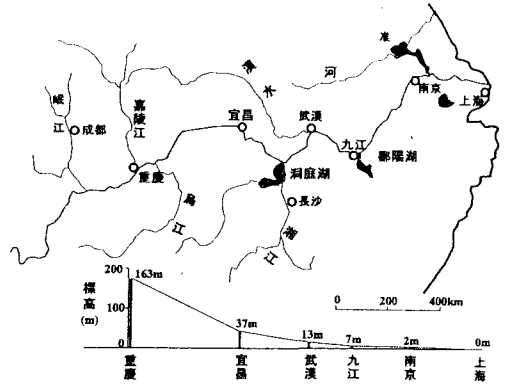


図-15 長江の概要（中・下流部）²⁶⁾

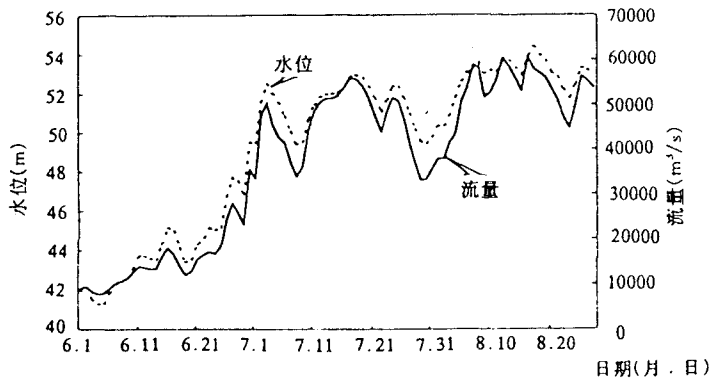


図-16 宜昌観測所における水位、流量変化 (1998 年 6 月 1 日～8 月 27 日) ²²⁾

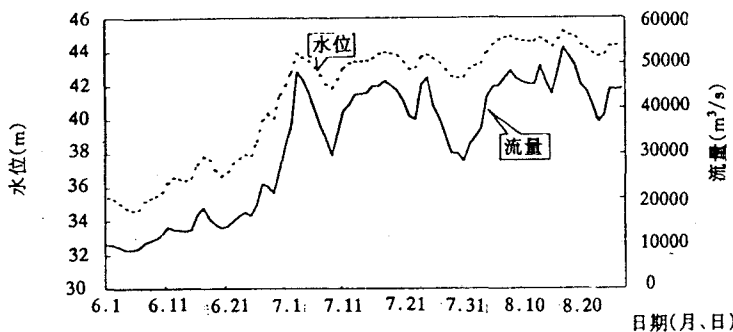


図-17 沙市観測所における水位、流量変化 (1998 年 6 月 1 日～8 月 27 日) ²²⁾

だし、降雨中心が異なり、54 年は長江と淮河の中央付近に降雨中心があったが、98 年は長江の南にあった。表-1 は主な観測点での最高水位と最大流量を 54 年と 98 年で比較したものである。表からは、98 年洪水はピーク流量は小さかったものの洪水水位は高く総流量も多かったことが分かる。流域平均雨量は 54 年で 706mm、98 年は 670mm と総雨量もやや小さかった。しかし、表に示した本流だけでなく 19 支川のうち 14 支川で 54 年洪水時の水位を上回った。

・ 1998 年洪水で 1954 年洪水より水位が高かった原因

98 年洪水で 54 年洪水より水位が高くなった原因として、1) 湖面積の減少、2) 森林伐採の影響、3) 堤防の決壊が少なかった、4) 分洪区を利用しなかった、5) 河床の上昇に伴う流積の減少による疎通能力の低下などが指摘された。表-2 は宜昌から大通までの間の湖面積を 1954 年と 1998 年で比較を示したものである。また、表-3 は洞庭湖とポーヤン湖の湖面積および容量の変化を示したものである。表から分かるように耕地拡大のために干拓が行われ長江流域全体で湖面積は 54 年の半分以下となっており、洞庭湖、ポーヤン湖の貯水容量も大幅に減少しておりこれが原因の一つと考えられている。森林伐採の影響については大雨が一度であれば森林による抑制効果も期待されるが、降雨が 2 波、3 波と来ると抑制効果は期待出来ないかもしれない。森林の効果については試験地で検討中とされている。

堤防の決壊については、分洪区の利用と同じ意味で関連する。54 年に比べ堤防の強度が高まり決壊が少なかったため河道を流れる流量が増加した。また、分洪区を利用した分洪も 54 年には 1000 億 m^3 が分洪されたが 98 年では 100 億 m^3 に過ぎなかった。このため本流の水位の増加に寄与したと考えられる。河床変動に伴う洪水疎通能力の低下については洞庭湖の出口から武漢に至る河道の流下能力の低下が洞庭湖区域の

表-1 最高水位と最大流量の比較

観測所名	1998 年		1954 年	
	最高水位 (m)	最大流量 (m ³ /s)	最高水位 (m)	最大流量 (m ³ /s)
宜 昌	54.5	63,600	55.73	66,800
螺 山	34.95	68,600	33.17	78,800
漢 口	29.43	72,300	29.93	76,100
大 通	16.31	82,100	16.64	92,600

表-2 1954 年と 1998 年の湖面積の比較 単位: km²

	宜 昌－ 連花糖	連花糖－ 漢 口	漢 口	漢 口－ 九 江	九 江－ 大 通	合 計
1954 年	4155	2453	612	1120	7019.8	15409.6
1998 年	2691	0	0	0	3904	6605

表-3 洞庭湖、ポーヤン湖の湖面積、容量の経年変化

	洞庭湖		ポーヤン湖	
	面積(km ²)	容積(億 m ³)	面積(km ²)	容積(億 m ³)
1949 年	4350	293	5200	
1954 年	3915	268	5050	323
1971 年	2820	188		
1977 年	2740	178	3840	262
1995 年	2623	167	3583	248.9

洪水水位が高くなった一因と考えられている。また、最後に今回の洪水はピーク流量で評価すれば 1/10 以下であるが、30 日流量で評価すると 1/100 以上の確率の洪水であること、5 年に 1 度は地域性洪水が発生し、30 年～100 年に一度は流域性洪水が発生していることが認識された。

松花江の洪水については、早川らにより以下のように報告されている²⁴⁾。1998 年夏の洪水は 6 月半ばから 8 月末まで長期間続いた大量の降雨があったことと、各支川からの洪水ピークが一致したことが主要な原因として挙げられている。8 月下旬に至ってピーク流量が観測され、哈爾濱では 8 月 22 日に 17,300m³/s が観測され、これは 150 年確率流量だとされている。黒竜江流域で数百郷、4000 村が被害を受け、130 万 ha の耕地と養魚池を含む 200 万 ha が冠水した。避難人口は被災者も含めると 200 万人で、被災者は移住したが、大半は戻っている。嫩江では数ヶ所で越水したが、堤防の完全破壊はほとんどない。チチハルから松花江上流にかけての洪水は主に内水排除ができずに生じている。松花江は 23 の大貯水池を含む 1,500 の貯水池で 264 億 m³ の洪水調節容量を持っているが、このうち 50 億 m³ の洪水調節で 14 市と 2,800 万 ha の耕地を守ったとされている。

3. 洪水災害の特徴のまとめ

前章では、決して十分ではないが、最近 10 年の国内外の主な洪水災害の概況がまとめられた。地域や状況によりそれぞれに条件は異なるが、いくつかの共通した特徴もみられる。ここでは個別に生じた災害事例を縦系として、それらの特徴を横系として総括してみる。

洪水災害の特徴を構成する条件は大きく 4 つに分類されよう。第一番目はやはり第一原因としての降雨の発生条件である。豪雨をもたらした条件が地球温暖化の影響であり、ひいては人間活動の影響と考えられる場合もあるが、基本的には大気循環に関わる不可避な自然条件といえる。第二番目は降水を受け取る流域の自然地理的・河川流域の形態的な条件で、いわば流域地形や形状などに起因する条件である。第三番目は人間社会の関与により、河道状況、土地利用状態、河川管理施設の状態が直接関わる条件であり、後に示されるようにこの条件は極めて大きな意味をもつ。第四番目は生じた災害の程度をいかに軽減できるかにかかわる防災情報や水防や避難などのソフト面からの対応の条件と考えられる。以下に、先の洪水災害事例をもとにこれらの条件を検証する。

(1) 圧倒的な降雨量

地球上の平均的なコラム水蒸気量をそのまま降水量にすれば、40～70mm 程度である。ところが、災害をもたらした降雨条件では時間雨量 100mm、日雨量 600mm、一雨雨量 500～1000mm などの事例がしばしばみられている。しかも、そうした降雨状況が長時間、長期間継続する状況はまさに自然条件というべきほかはない。大陸の内陸部でもそのような状況が生じ、時間的空間的に拡大して、それぞれに災害の規模が広がられている。問題となるのは、先のいくつかの事例で見られたように、降雨の山が二つ、三つと襲来し、地表面を十分飽和状態にしてその後の有効降雨を極めて大きいものになっている。島嶼国のわが国では強雨・多量の降雨条件は今後もいずれかの地域で必ず発生することになる。当然のことながらこのことを前提に考える必要がある。

(2) 流域の自然条件

長期に多量の降雨は前線性や台風性の降雨に多い。特に前者の場合、豪雨はかなり広い範囲に生じ、流域の地形的な条件も問題となる。千葉県一宮川や、愛媛県肱川では降雨は広範囲に流域にほぼ一応に降っている。これらの河川はいわゆる放射状の形状をした流域を持ち、本来洪水の集中しやすい傾向にあった。単に地点の降雨情報だけでなく、その範囲や本・支川網を考慮に入れたいわゆる面積降雨の特性を把握しておくことが重要と考えられる。流域の完全な自然条件とは言えないかもしれないが、上流・中流部において河川側岸部に存在する樹木は側岸斜面の崩壊や側岸部の侵食に伴い、多量の流木の供給源になり得る。流木は群となって流下し、狭窄部や構造物に阻止され、河道を閉塞させて後続の流水や土砂をダムアップさせる危険がある。河川の計画ではこのような状況を予め考慮にいれておく必要がある。加えて、今日全国の河川では河道内の植生の繁茂が著しく、しかも樹林化が進行している。中小の出水ではこれらの樹林は破壊され流去することはないが、極めて大きな洪水ではこれらの大規模な流木化も懸念される。

(3) 社会条件と確かな河川の管理

最近 10 年の一部の河川災害を眺めたただけであるが、河川の管理がそのまま災害の危険の程度を増大させている例が数多くみられた。例えば、熊本の古恵川では、上流部のある時期に作られた石積の砂防ダムは破壊されやすく災害を助長しており、その一方で、別の大型のダムは機能を発揮していることが知れた。また、一級の大河川直轄区間に比べ県管理区間や二級河川での破堤が目立ち、それらが相対的に急流区間が多いことから被害の甚大さに繋がる結果となっていることが再認識された。長江の場合には解放後の干拓による耕地拡大が急ピッチで進行し、沿川の湖面積の著しい減少をもたらし、それらによる遊水効果がなくなり、結果として長江本川の水位が上昇している。さらに、社会的な条件にも関係するが、分洪区（大規模な遊水池）

への人の移住が何十万の単位で生じており、安易に分洪区への洪水の分流はできなかった経緯がある。そのために、長江水位はさらに上昇せざるを得なかったのである。国内で言えば、資産の増加が進む大都市では相変わらず水害に脆い様子を示しているが、防災施設は着実に効果を示しているだけに、雨水浸透・排除の合理的な計画の実現が望まれる。低平地域の佐賀平野などでは、地盤の弱さから築堤整備が遅れているが、都市化がそれに追い討ちをかけるように、開発による暗渠化など雨水の排水をより困難なものにしているようである。

(4) 情報伝達のあり方

オーデル川では河川の流域全体の計画などがなされずに悲惨な結果となったが、そのことは洪水の予測や警報などの情報伝達の不備にも繋がった。さらに、新規に移入してきた住民はもとより現地の事情に疎く、災害の拡大に繋がったようだ。従来からその地域に住んでいても、しばらく経験しないことによって、油断が生じているのは大きな問題である。高知の水害では、水防団体間の情報伝達でさえ不十分であったために、住民の安全な避難などについて大きな課題を残している。

本研修会では、特に現象の解明と地域の防災の視点から、まず上記の4つの側面それぞれについて最新の話題が講義される。すなわち、地球規模の水循環から見た豪雨、降雨による土石流の発生と流動機構、洪水流と土砂水理、危機管理のための氾濫原管理と防災の課題についてである。加えて、渇水時の水資源確保や河口部塩水問題に関しても講義される。

4. おわりに 一新たな水防災に向けて

これまでのところ、災害の防止や軽減に関する研究は必ずしも飛躍的な進歩をとげにくい状況があった。理由として個別で単一の現象の解明が進んでもそれらの積み重ねで生ずる事象全体の記述や予測に繋がりにくいことなどなどがあげられる。例えば生起した氾濫の再現にしても、現象の複雑さに加えて計算に用いる包括的なデータ収集が困難であり、その解析結果を一般的に今後の研究に反映させることも容易ではない。防災の研究進展のためには、研究者による現地調査に加えて、これまで以上に積極的な実務者からの支援も不可欠である。さらに、各種の多くのデータがより手軽に利用できる仕組みも整えられる必要がある。

課題は大きく、短时日のうちに乗り越えられる性質のものではないが、以上の視点を踏まえて水災害への対策を支援する学術・技術の進展のために、学会・研究者・技術者がめざすべき方向とした以下のようなことが考えられる。

1) 現場や実務の技術支援

わが国の大河川水系直轄区間の洪水災害が相対的に減少した²⁷⁾からといって、全ての地域で災害が少なくなっているわけではない。今回の事例で特徴づけられたように、2級河川、県管理の区間では相変わらず激甚な災害が発生している。河川の管理技術、緻密な防災技術がさらに高められる必要がある。思い返して見よう。玉井が指摘する²⁸⁾ように、わが国における水工学の揺籃の時代100年前を振り返れば、学術・技術の対象と成果の検証には絶えず現場・実務があった。今、あらためて研究者の現場・実現象の理解を進め、問題解決型の姿勢を打ち出すことが必要で、洪水を始めとする災害の防止・軽減に積極的に参画する意義は、水資源の有効な利用や河川環境の保全に貢献するのと同様に大きい。

2) 流域管理・水防災と地域計画との連携

流域水系を一貫した水循環・水管理・土砂管理についての認識が高まり、議論や研究の方向も考えられつつある。これをさらに進めて、より現実的かつ社会的な取り組みとして地域の計画に位置付けることも必要である。水理委員会では土木計画学研究委員会との共同企画で、99年度土木学会年次講演会の折に研究討論会(座長:福岡捷二広島大学教授)を開催することになっている。そこでは、洪水・土砂災害の軽減のために、施設や構造物などのいわゆるハードな対策のみならず、被害要因の緩和や被害拡大を防ぐための都市計

画や地域計画のあり方、情報伝達の方法、効果的な避難方法などのソフトな対策のあり方が話題提供されることになっており、有意義な議論になることが期待される。

3) 災害データの提示とデータベースの充実

筆者は以上に加えて、データの有効かつ合理的な開示と利用がさらに重要と考えている。災害のメカニズムの解明、防災対策の最新状況については本研修会で別に詳しくとりあげられている。災害の過程についての定量的な資料がその後の解析や防災対策に有効であることは論をまたない。現在でも、世界中での生起水害一覧表などの資料はすでに多くの Web サイトで提供が行われている²⁹⁾し、一部の水理・水文学的データについては災害資料センターや個別の研究者のいわば小集団的な努力でデータベース化が進められている。今後はそうした定量的な災害情報について、学会、国、地方公共団体が組んでの大型かつ効率的なデータベースの構築ないしはネットワーク化が望まれる。そのためには、災害報告や調査結果、さらにはデータベース化の技術そのものも相応の業績として評価されるよう、学会などの指導性も必要と考えられる。

4) 国際規格の防災技術を。

災害防止のための技術的な基準づくりはわが国に課せられた使命とも言える。急峻で、時として熱帯地方に匹敵する強雨を受け、稠密な人口と資産をもつわが国は防災技術の先進国でもある。井上¹²⁾はオーデル川の災害を機に、複雑で困難な河川の管理技術に日本の知識をもっと応用すべきと述懐しているが、アジア地域の河川については従来から提唱されていることでもある。折しもいろいろな分野で急激なグローバル化の波を受けている時である。池田が強調する³⁰⁾ように、わが国が営々と築き上げてきた技術体系が国際的に認知されるか、存続し得るかどうかが問われている。そうした潮流を確かに受け止め、国際的な規格化の枠組みをリードするような気概を持って、わが国が先頭に立って防災のための学術・技術に貢献すべき時と考える。

ここでは、さまざま洪水災害の概況と特徴を理解し、今後進めるべき学術・技術の方向に触れてみた。水災害の軽減に向けて、研究者・技術者がいかにして社会の要請に応えられるかを考える契機になればと期待している。

謝辞

本稿をまとめるに当たり、オーデル川水害調査に関する資料等を別途提供された東北大学の泉典洋助教授に感謝の意を表します。また、災害の状況・特徴を報告された「河川災害に関するシンポジウム」講演集の著者各位に感謝します。

参考文献

- 1) 吉岡和徳：千葉県下における平成元年 7 月 31 日～8 月 1 日豪雨災害，平成元年度河川災害に関するシンポジウム，pp.1-26，1990。
- 2) 平野宗夫：1990 年 7 月豪雨による阿蘇地方の土砂災害について，平成 2 年度河川災害に関するシンポジウム，pp.1-13，1991。
- 3) 渡辺訓甫：1990 年 7 月豪雨による佐賀平野の水害について，平成 2 年度河川災害に関するシンポジウム，pp.14-28，1991。
- 4) 名合宏之・村本嘉雄：1990 年 19 号台風による洪水災害について，平成 2 年度河川災害に関するシンポジウム，pp.29-51，1991。
- 5) 濱守 厚：インドネシアの河川災害と対策に，平成 3 年度河川災害に関するシンポジウム，pp.33-46，1992。
- 6) 木下誠也：1993 年ミシシッピ川洪水について，平成 5 年度河川災害に関するシンポジウム，pp.42-48，1994。
- 7) 疋田 誠：1993 年豪雨による鹿児島県下の河川災害，平成 5 年度河川災害に関するシンポジウム，pp.18-25，1994。
- 8) 下川悦郎・地頭蘭隆：1993 年豪雨による鹿児島県下の土砂災害，平成 5 年度河川災害に関するシンポジウム，

- pp.9-17, 1994.
- 9) 金尾健司：台風 11 号による首都圏水害について，平成 5 年度河川災害に関するシンポジウム，pp.34-41, 1994.
 - 10) 鈴木幸一・伊福 誠：平成 7 年 7 月の肱川河川災害，平成 7 年度河川災害に関するシンポジウム，pp.17-35, 1996.
 - 11) 芦田和男・辻本哲郎：H.7.7.11-7.12 豪雨による北陸地方河川の災害特性，平成 7 年度河川災害に関するシンポジウム，pp.37-58, 1996.
 - 12) 井上和也・Herath, A. Srikantha・泉 典洋：オーデル川の洪水氾濫について，平成 9 年度河川災害に関するシンポジウム，pp.1-18, 1998.
 - 13) 井上和也・Herath, A. Srikantha・泉 典洋：1997 年オーデル川の洪水氾濫に関する調査，21 世紀に向けての川づくり，第 5 回河川整備基金助成事業成果発表会報告書，河川環境管理財団，pp.83-97, 1998.
 - 14) 平野宗夫・橋本晴行：97 年 7 月豪雨による鹿児島県出水市の土石流災害，平成 9 年度河川災害に関するシンポジウム，pp.31-46, 1998.
 - 15) 今本博健ほか：1998 年 8 月豪雨による那珂川の水害について，平成 10 年度河川災害に関するシンポジウム，pp.1-10, 1999.
 - 16) 高柳淳二：余笹川の集中豪雨災害，河川，No.631, pp.32-34, 1999.
 - 17) 真野 明・今村文彦・高橋迪夫：1998 年 8 月豪雨による阿武隈川の水害調査，平成 10 年度河川災害に関するシンポジウム，pp.11-20, 1999.
 - 18) 真野 明ほか：1998 年南東北・北関東の集中豪雨災害に関する調査研究，平成 10 年度科学研究費補助金（基盤研究（B）（1））研究成果報告書，258p., 1999.
 - 19) 片田敏孝：平成 10 年 8 月末集中豪雨災害における郡山市内の要介護高齢者の非難行動に関する調査報告書，群馬大学工学部建設工学科都市工学講座，41p., 1999.
 - 20) 大年邦雄・松田誠祐・村上雅博：平成 10 年 8 月高知水害の調査研究，平成 10 年度河川災害に関するシンポジウム，pp.29-35, 1999.
 - 21) 村上雅博：高知 '98 水害，土木学会誌，Vol.84, Mar., pp.35-38, 1999.
 - 22) 砂田憲吾・宇治橋康行・張昇平・近藤昭彦・菅和利・姚華夏：揚子江流域における 1998 年洪水被害状況の視察と関連データの収集—大陸型洪水・渇水の研究，pp.37-86, 平成 10 年度文部省科学研究費補助金(国際学術研究(共同研究・研究代表者：竹内邦良)課題番号 10044342) 研究成果報告書，1999.
 - 23) 玉井信行：1998 年長江洪水について，平成 10 年度河川災害に関するシンポジウム，pp.37-51, 1999.
 - 24) 土木学会水理委員会・河川環境管理財団・北陸建設公済会：1998 年長江・松花江の洪水に関する国際シンポジウム講演集，p.180, 1999.
 - 25) 植田 彰：1998 年の長江（揚子江）大洪水について，河川，10 月号，pp.73-81, 1998.
 - 26) 早瀬吉雄：インターネットによる中国 1998 年洪水と治水史の検証，水文・水資源学会誌，12(1), pp.53-59, 1999.
 - 27) たとえば，牛山素行：近年の水害の特徴とその防災力向上に関する研究，信州大学農学部演習林報告，第 33 号，pp.14-20, 1997.
 - 28) 玉井信行：環境概念を軸とした河川工学について，第 34 回水工学に関する夏期研修会講義集（A コース），土木学会水理委員会，pp.A-6-1-A-6-17, 1998.
 - 29) たとえば，Dartmouth Flood Observatory：Flood archives，<http://www.dartmouth.edu/artsci/geog/floods/>
 - 30) 池田駿介：土木学会が危ない，土木学会誌，Vol.83, Nov., pp.17-24, 1998.