

# 洪水の諸相とエネルギー

Some Aspects of Floods and Energy

藤 田 裕 一 郎\*

Yuichiro Fujita

## 1. はじめに

洪水は、多量の降雨や融雪などによって河川の流量や水位が上昇し、周辺の土地に水が溢れていく現象であり、同じ原因によって湖沼の水位が上昇したり、低平地に水が溢れていく現象も含んでいる。しかし、陸地に水が押し寄せる現象でも、台風やサイクロンなどによって引き起こされる高潮とは区別される。高潮は、台風などの接近に伴う気圧低下で通常数10cm まで海面が上昇するとともに、海からの強風によって海水が吹寄せられ、時には数mを越える潮位上昇となって海岸地帯に襲撃するものである。一方、洪水は、空気中の水蒸気が凝結して落下する降雨や山塊を覆う積雪が融けて流れ出す融雪のように、高い位置に在った水が地形の低位部に集中して発生する。

洪水と高潮は、ともに水災害の代表的な原因であるが、後者では、風から運動エネルギーを取得した海水が、海岸地帯でかなりの部分を位置エネルギーに変換して陸地に進入していき、人を押し流したり、家屋や構造物を破壊して、地域社会に壊滅的な被害を引き起こす。1991年4月、バングラデシュ国東南部を襲ったサイクロンによる高潮によって13万人以上の死者・行方不明者が出たこと<sup>1)</sup>は記憶に新しい。

これに対し、洪水では、降雨や融雪の強度、範囲、継続時間のような気象条件に支配される入力条件と、主に地形的に定まる場の条件によって、水の位置エネルギーの状況が変化し、それに依って現象は種々の様相を呈する。例えば、大量の水の入力が地形の高位部になされるか低位部になされるかによって、洪水の形態は大きく異なる。前者の場合には、「水は低きにつく」の言葉の通り、洪水は、位置エネルギーを運動エネルギーに変換しながら消費していく過程で、土砂を

移動・堆積して地形を改変するという、極めて重要な作用を流域に及ぼす。一方、後者の場合には、緩慢な水位上昇を伴う水の貯溜によって周辺に潤いを与え、生物にとって良好な環境をもたらすこともある。

こうした、自然現象としての洪水と人間の営みとの接点で洪水災害が生じ、人間活動の進展に伴って、洪水災害の様相は同一地域であっても歴史的に変化することになる。従来から、洪水のエネルギーは各河川の包蔵水力の一部もしくは大部分として評価されてきている。しかしながら、筆者はその詳細には明るくないので、以下では、洪水の持つエネルギー自体には余り触れず、洪水の諸側面のうち、洪水の原因、洪水災害とその防御、洪水とエネルギーとの関連などについて、国内外の最近の話題も交えながら述べてみたい。

## 2. 洪水と洪水災害

### 2.1 洪水の原因

洪水の原因には、降雨や融雪のようなほぼ自然現象と考えられるものと溜池やダム貯水池の建造に伴って生じる人為的なものがある。

流域における降雨は、斜面の凹地に集まり、ついで樹枝状に分れた河道網に流れ込み、それに沿って合流を繰り返して洪水流を形成する。また、山地の積雪は、気温の上昇や降雨によって融解し、同様の合流過程を経て洪水流となるが、雨水による洪水に比して、毎年の季節変化に応じて規則的に発生する。

一方、人為的な洪水には、ダム本体の破壊によって発生したもの<sup>2)</sup>やダム貯水池の湛水時に生じた大規模な地すべりによってもたらされたもの<sup>3)</sup>が知られている。ダム破壊の原因には、大量の流入水による越流決壊の他に、堤体あるいは基礎地盤の強度不足、それらの経年的劣化や進行性破壊、漏水やパイピング、地震などがある。ダム決壊による洪水流は、段波と呼ばれる、水位・流量の鋭い立ち上がり部分を有する洪水波の急激な伝播で特徴付けられる。大ダムの短時間の決

\* 京都大学防災研究所助教授  
〒611 宇治市五ヶ庄

壊は大きな破壊力を持った高い段波を形成する。

自然に形成されたダム湖の破壊による洪水も全く類似の流れを下流にもたらす。こうした自然ダム湖の主なものには、豪雨や地震などによって発生した山腹崩壊の土砂が山間の河道を堰き止めた land slide dam<sup>1)</sup>、火山の噴出物が河道を堰き止めた所謂堰止め湖、また、氷河の堆石（モレーン）が側方の谷を堰き止めた氷河湖<sup>2)</sup>がある。それらはいずれも人造ダムよりも本質的に脆弱な材料と構造の堤体を有しているため、堤体規模が非常に大きい場合を除いて、極めて不安定である。自然ダムの決壊原因も、人造ダムの場合と基本的に同じであるが、land slide dam では越流侵食と漏水・パイピングが、ネパールで近年問題となっている氷河湖の決壊ではモレーンに混じっていた氷塊の融解による堤体の強度低下とパイピングが主である。

河川の水位を上昇させる原因には、流量の増加以外に、河床の上昇、河幅の減少、流下物の局所的堆積による堰き止めなどが挙げられる。また、降雨などの入力条件が同一でも、場の条件が都市化のような流域の開発などによって変化していれば、流量は大きく増加することが経験的・理論的に明らかにされている<sup>3)</sup>。

なお、洪水は河川以外の土地にも水を溢れさせ、こうした溢水現象が洪水と呼ばれることもあるが、それには氾濫という語が適切であると思われる。

## 2.2 洪水災害の諸相

河道を流下する洪水は流路の状況に応じて溢れながら土砂を運び、河岸を侵食する傍らで土砂を堆積し、河道を変遷させて、沖積地を形成する。人間活動の及んでいない地域でこうした現象が生じて、それは災害を引き起こすことはない、あるいは災害としては認識されない。しかし、水が人間の生活・生産にとって不可欠の物質であるだけに、河川の周辺には古くから人々が住み着き、河川水を利用しながら、農地を開発するなど活動の範囲を広げてきた。その一方で洪水は、河道の近くに集積した資産や生活基盤を破壊し、人命を奪う災害を引き起こしてきた。この洪水災害を防止・軽減するために、人々は堤防を築き、生産力の発達とともにそれを強化してきたが、常にそれを上回る洪水外力によって災害を被っていることを繰り返している。

このように、沖積地では、洪水防御構造物として堤防が一般的であるために、それによって土地を生活・生産の場である堤内地と河川の側である堤外地に二分し、上流からの洪水のように河川を流れる水を外水、堤内地の降雨による地表水を内水と呼んで区別し、洪

水氾濫も外水氾濫と内水氾濫に分けている。

我が国の河川は、世界的に見れば決して大きくないが、洪水時には、毎秒数千 $m^3$ から1万 $m^3$ を越えるような流量を海に流し、同時に、大量の土砂や、多くの場合山間部からの流木も流送する。これらが洪水災害を激化させたり、その様相を複雑にしている。

例えば、熊本市を流れる白川では、豪雨の度に阿蘇外輪山の流域から「ヨナ」と呼ばれる火山灰堆積土砂を有明海まで運んでおり、最近でも出水後に河道を埋塞した大量の「ヨナ」が除去されている。1953年の梅雨前線性豪雨では既往最大の洪水となり、熊本市は、ほとんどの橋が水流と流木によって落橋・流失し、中心部が水浸しになるばかりではなく、随所に1m以上の厚さで「ヨナ」が堆積・残存するという未曾有の災害に見舞われ、その除去のために災害復旧は著しく困難なものになったことが報告されている。

1983年の集中豪雨によって、島根県西部の三隅川では、山際から山際の谷一面にわたって流下する大洪水が発生し、堤内水深は3,4mにも達し、谷底平地の地形が一変するような被害を受けた。そこでも、無数に発生した山腹凹地の崩壊と土石流によって多量の微細土砂が河道に運び込まれ、それは僅か2,3時間の洪水ピークの間を下流の緩勾配区間に輸送されて田畑に厚く堆積した。この洪水災害では、同時に表層崩壊によって多量の流木も発生し、三隅町三隅地区を初め、多くの地区で市街地や農地に流木が残存し、復旧時には家屋の廃材とともにその処理に多大の労力が割かれた。

大分県竹田市で一級河川大野川に合流する玉米川では、1990年に北中部九州を襲った集中豪雨によって、三隅川の場合と同様に、山腹に無数の表層すべりが生じて10万本以上の流木が河道に流入した。しかし、谷底平地が狭かったために、多くのものが瀬戸内海に流出して、船舶の航行や漁業に被害をもたらしている。

以上の降雨から短時間で急激に流出してしまう洪水は flash flood と呼ばれ、大陸でも地形の比較的急な地域では集中豪雨によって生じる。しかし、大河川では、洪水の流量や期間は我が国の河川の数倍から数十倍になるので、災害の様相は非常に異なっている。

こうした大河川が合流してベンガル湾に注ぐバングラデシュでは、ガンジス河、ブラマプトラ河及びメグナ河の3流域におけるモンスーン期の降雨によって、毎年1か月程度は国土の20%前後が水没するような洪水に見舞われている。とくに、1987年の洪水では国土の40%以上<sup>7)</sup>が、また、1988年の洪水では、ガンジス

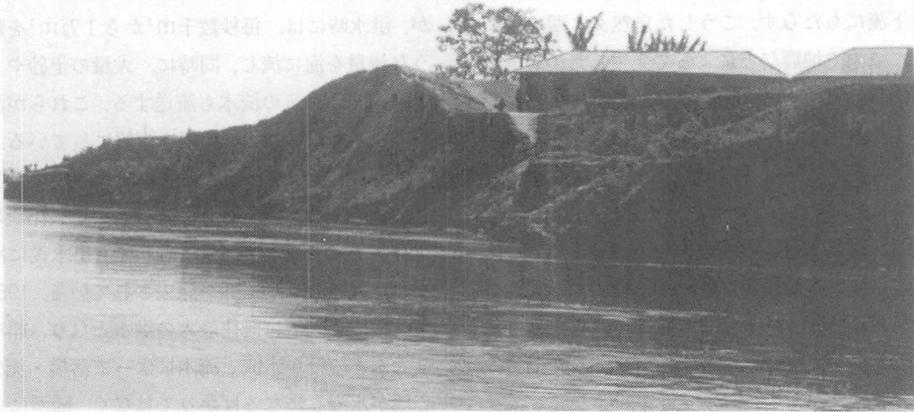


写真 侵食された河岸と堤防

河とブラマプトラ河の出水ピークが重なったために、史上最大級の洪水位となって、国土の約70%が浸水したと報告されている。その災害救援と洪水対策がときのアルシュ・サミットの話題として取上げられ、国際的な課題となったことはよく知られている<sup>8)</sup>。

洪水が長期間にわたるので、河道には一部に流送土砂が堆積して新しい土地が形成されるが他方では河岸が大きく侵食され、豊かな農地や居住地が流失して、住んでいた農民は生産手段の土地と住居を失ってしまう。農地や市街地を浸水から守るために堤防は築かれているが、近くに河岸侵食が及ぶとかなり背後に新しい堤防が建造される。こうしてそれまで守られていた農地は、上の写真のように以前の堤防が侵食を受けて流失すると堤外地となり、非洪水期には耕作は可能であるが、洪水時には新堤に河岸侵食が及ぶのを遅らせるための削り代となる。それまで堤内にあって通常の洪水では外水氾濫に曝されなかった土地に居住していた人々も洪水期になると、追われるようにして新堤の斜面に掘立て小屋を作って住み着いたり、大都市のスラムに流入せざるをえなくなる。

類似の状況は、1洪水期で幅数100m以上にも及ぶような激しい河岸侵食を生じる河川の場合には、他の国でもかなり生起していると思われる。

このような洪水災害の状況を改善するためには、河岸侵食を防止・軽減する方策を講じることが必要である。しかしながら、大規模な侵食が生じる河岸では、洪水時の斜面先端水深が20mを越えることも稀ではなく、一方、河岸及び河床を構成する土砂は、遠くヒマラヤ山中から延々と運ばれ、ベンガル湾に厚く堆積し

た、直径0.2mm以下の非粘着性の微細砂であって、容易に洗掘・侵食される材料である。河岸・河床材料が良好な場合でも、長期間の洪水に対して、20m以上の河岸斜面を侵食から確実に防護する構造物を設計することは難しく、現在模索中の課題でもある。

また、 Bangladesh に洪水をもたす河川流量の9割以上は同国を取り巻くインドからの流入水であり、メグナ河流域のように、流域界と全く一致していない不自然な国境線もあって、洪水対策を極めて難しいものになっている。これは、日本国内ではまず意識することのない国際河川の困難な問題である。

流域面積1,000m<sup>2</sup>の河川は日本では大の下もしくは中の上の規模となるが、中国は、それ以上の河川が5,800以上もあるといわれている<sup>9)</sup>。その中国では、近年長江（揚子江）流域を中心に、広い地域が立て続けに洪水災害に見舞われている<sup>9~11)</sup>。

1988年には、5月に福建省、6月に広東省、浙江省などの南部で洪水が発生し、7、8月に長江を挟む湖南・湖北両省から北部の黒竜江省、吉林省、陝西省、山西省、甘粛省で洪水等の水災害が相次ぎ、黒竜江省は新中国建国以来の被害を受けたといわれる。さらに、8月末から9月中旬にかけて長江中・上流部に豪雨が続き、湖南・湖北両省の平野部が洪水となり、洞庭湖は1か月近く氾濫して農業に大被害が生じた。

1989年には、6月末から7月初めに長江下流域の江西省と浙江省は豪雨に見舞われ、多数の河川が氾濫して大きな被害を生じた。直後の7月10日前後には長江上流部の四川省が50年に1度と推定される大豪雨に見舞われ、下流域を遙かに上回る大被害が発生した。さ

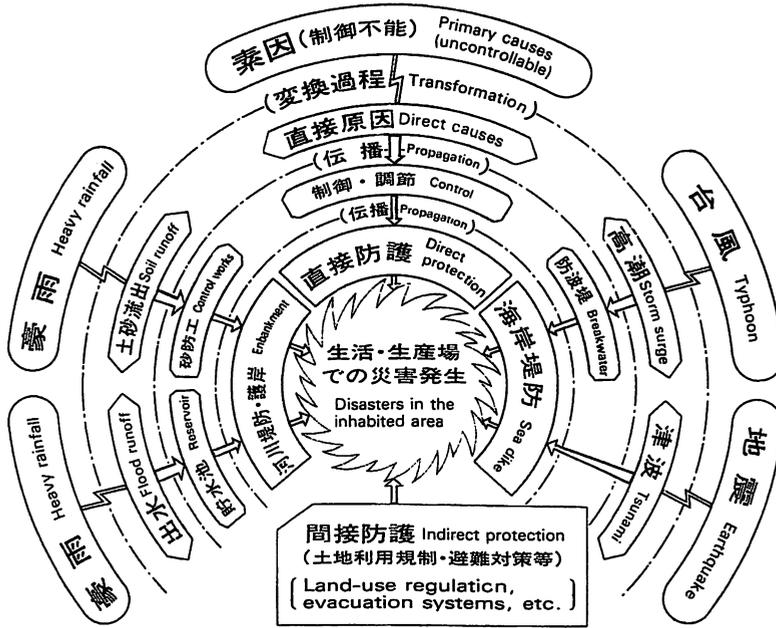


図-1 水災害の発生過程

らに、7月20日前後には、台風8、9号が広東省や浙江省に上陸し、両省と近隣の福建省に多大の人的・経済的被害をもたらした。江蘇省、河北省、吉林省などでも6、7月に豪雨による洪水災害に見舞われている。

1990年にも6月に湖南省で多量の降雨による被害があったが、1991年には、長江沿いの、安徽省、江蘇省、河南省、上海市、浙江省、湖北省及び湖南省に1989年を凌ぐ大水害が発生している。5月から降り続いた雨に加えて6月に豪雨が発生し、淮河が氾濫して流域の各地で農作物に壊滅的な被害が生じ、浙江省の太湖では既往最高水位を記録して、周辺の都市が約1か月にわたって浸水被害に見舞われ、全土では工業生産を中心にGNPの5%に達するような膨大な被害を生じた。

このように、中国では、国土が広く、河川や流域が多様であるために、ある程度以上の降雨があれば洪水災害が発生している。同国は、目覚ましい経済成長を遂げているが、治水への関心や投資を充実させる社会的余裕が充分ではなく、河川管理システムの整備も端緒についたばかりであって<sup>12)</sup>、これらが洪水による人的・経済的被害を助長していると思われる。一方、我が国では洪水災害についての関心が一般に高く、実際の防止施策は建設省が中心となって立案・実施している。

2.3 洪水災害の発生過程とその防御

防災対策の講じられた場合の洪水災害などの水災害

の発生過程は図-1<sup>13,14)</sup>のようである。素因である自然現象の豪雨から、変換過程の流出過程を経て洪水流が形成される。洪水流は、ダム貯水池や疏通能力の向上した改修河道のような調節・制御構造物によって規模を調整された後、生活・生産の場を直接防護する河川堤防や護岸に作用する。堤防・護岸が堅固で破壊されず、洪水流の侵入や河岸の侵食を防止して、人間活動が影響を受けなければ、災害非発生となる。

現在のところ、可能最大洪水を予測する力学的手法は見出されておらず、このため、河川が安全に処理する洪水の規模、すなわち洪水防御計画の規模は、観測期間の長い過去の降雨観測資料の極値統計に基づいた確率評価となっている<sup>15)</sup>。その規模は、平均的に見て何年かに1回来るような洪水という発生頻度の逆数で表現され、その河川の氾濫防御対象区域の社会経済的重要性と氾濫時の想定被災度 (damage potential) に基づいて、例えば大都市に壊滅的被害をもたらす可能性のある大河川であれば200年というように決定されている。降雨資料を統計処理して求めたこの計画降雨から、観測結果によって検証された予測モデルを用いて流出解析と洪水流解析を行い、河道における流れの水利諸量を評価して対策工を検討・設計する。

図-2は計画規模と洪水対策のあり方を説明したものであって<sup>16)</sup>、計画規模までの洪水については完全に防止するように、十分な容量をもった河道やダム貯水池

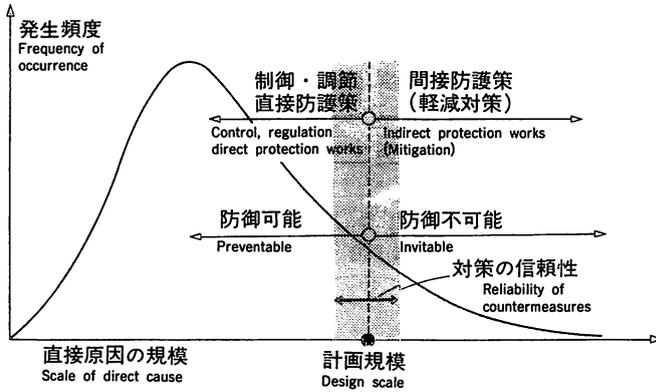


図-2 計画規模と治水対策のあり方

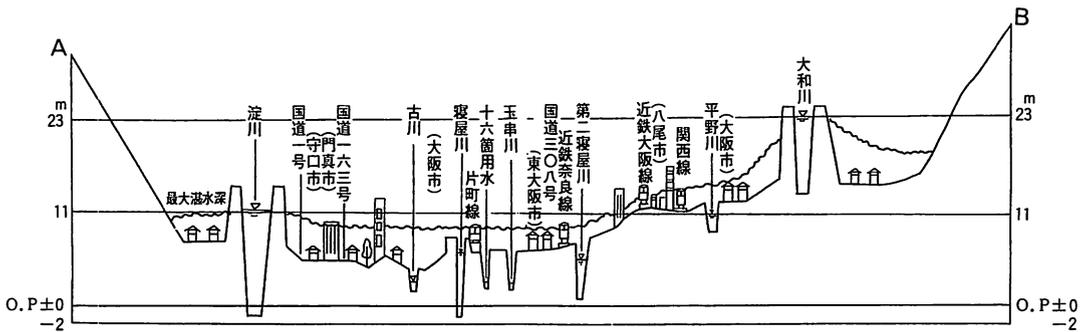


図-3 計画洪水位，最大浸水位と地盤高の例

のような調節・制御構造物と堤防・護岸のような直接防護構造物を整備すべきであり、一方、計画規模を越える洪水、すなわち超過洪水については、主として土地利用規制や避難対策のような間接的な対策で対処する必要のあることを示している。しかし、長年月をかけ、歴史的に築かれてきた河川堤防の強度や河道の疏通能力などの評価には不確定の要素があって、洪水災害の直接対策の総合的強度にはばらつきが避けられない。したがって、計画に対応した河川改修が完成していても、計画規模以下の洪水による決壊に直面する可能性も皆無とはいえない。このような事態に有効に対処するためにも、上記の間接対策の洪水氾濫時を想定した地域社会の基盤整備を怠ってはならない。また、現在、建設省で直接管理している一級河川でも、洪水防御計画に対応した整備率は、1992年開始の第八次治水五箇年計画終了時でも69%<sup>16)</sup>といわれ、一般的に河道は暫定的な安全度しか有していないので、この面でも間接的な洪水災害対策は重要である。

同時に、確率的な計画設定は、河道が超過洪水に曝される危険性を常に内包していることを示唆している。我が国の沖積地にある大都市の地盤高は、図-3のよう

に、計画洪水位よりも非常に低い<sup>17)</sup>。このため、一度超過洪水によって防災構造物が破壊されると、直前まで支えられていた洪水外力が極めて大きいものであるだけに、生活・生産の場は壊滅的な打撃を受けることになる。こうした事態を避けるために、超過洪水対策も検討されており、越流が生じても切れにくくするような、河川堤防の高規格化も実施に移されている。

また、高密度に開発された流域の河川では、河道を広げ、洪水調節ダムを設けるような従来の洪水対策を講じることが事実上不可能であるために、流域全体で洪水を処理して河道への負担を少なくするとともに、処理し切れない部分は、水害保険などで対処するような面的かつ複合的な総合治水対策がとられている。洪水の自然排水が困難な低平地の河川でも、同様の視点に立った総合的な治水対策が実施されている。

#### 2.4 洪水流と洪水氾濫の予測

前節の対策の基礎となる洪水の予測は、その発生過程に対応して、つぎの4つに分けられる。

- (1) 降雨の短時間予測
- (2) 雨水流出の予測
- (3) 洪水流の予測

#### (4) 氾濫過程の予測

(1) の降雨の短時間予測とは、レーダー雨量計でモニターされる雨域の移動と地上の観測値を地形情報と結び付けた数値モデルを用いて、2～数時間後における対象流域の降雨強度と分布を予測し、治水ダム貯水池(群)の最適操作による洪水制御を行おうとするものである。レーダー雨量計の建造に伴って、現在盛んに研究が進められ、実用化が図られている。

(2) の雨水流出の予測は、我が国では洪水災害の頻発した1950年代から、洪水流量の時間的変化(hydrograph)をより正確に予測するために、精力的な研究が開始され、その成果として、(総合)単位図法、流出関数法、タンクモデル法、特性曲線法などが提案され、それぞれ実測値で詳しく検証されてきた。現在では具体的な問題に応じて最適の予測方法が用いられている。

(3) の洪水流の水位・流速の予測は、洪水追跡(flood routine)と呼ばれ、流水の持つ位置と運動のエネルギーを河道横断面について積分したエネルギー方程式及び質量を同様に積分した連続式の2式が用いられる。計算機の発達以前は、基礎式が双曲型の偏微分方程式となるので、特性曲線を用いた図式解法が行われていたが、今日では数値解析が普通であって、基礎式を保存系に書き換えて計算するLax-Wendroff法がよく用いられている。

(4) の洪水の堤内地における氾濫過程の予測には、水深と流速ベクトルを計算する必要があるので、基礎式は、普通エネルギー方程式ではなくて、水深平均した2次元の運動量方程式と連続式である。実際の数値解析では、計算機の容量と速度から決まる限られた数の格子点で地形を適切に反映し、基礎式では記述できない氾濫水の先端や地形の不連続点での流水挙動をモデルに合理的に取り込まねばならない。また、計算に不安定が生じず、かつ解が鈍らないように運動量方程式に含まれる移流項を取り扱うことも重要である。近年では、平面的な河床変動の予測を目的として、同じ基礎方程式系が河道内の流れを解くために用いられている。因みに、河床変動は、河床形状の連続方程式と河床構成土砂の輸送方程式(流砂量式)に平面流れの解析結果を代入して河床を変形をさせ、その河床について流れを解く、の繰り返し計算によって予測される。

### 3. 洪水とエネルギー

通常の河道では、洪水流の平均流速が毎秒10mに達することはないので、洪水の持つ運動エネルギーは高

さに変換して2～3mである。したがって、洪水のエネルギーはそれが存在する高さで表される位置エネルギーと見なしてよい。既に述べたように、沖積地における洪水のエネルギー消費過程は、それが土砂を輸送し地形を変化させていく過程である。1960年代に、アメリカ合衆国の河川地形学者<sup>10)</sup>は、このような河川の作用と熱機関の仕事との間にアナロジーを想定し、熱力学の考え方を河川の作用に拡張して、河川地形の変化の一般則を導き出そうとした。確かに高い位置にある水は、Carnotが説明に用いたように、高い温度の熱量と同様に利用しやすいが、河川のようなオープンかつ地形と相互作用するシステムへの拡張には無理があり、理論は難解であった。

いずれにせよ、洪水のエネルギーを利用しようとするれば、それを流域の高い位置に留めておくことが必要である。最も直接的な方法はダム貯水池の建設であり、周知の通り、我が国でも多くの発電用ダムが建造されてきた。洪水エネルギーを完全に利用しようとする、生起確率が何10年に1回というような大洪水でも丸抱えにし、経年貯溜して利用できるような膨大な貯水容量のダムが必要である。このような貯水池では、洪水をほぼ自由に制御できるので、下流域の洪水災害を激減することもできる。しかしながら、我が国のように、急な河道勾配で降雨の集中する国土では、こうした貯水池を建造することは事実上不可能であって、治水・利水のダム利用は通常トレード・オフの関係にある。

これに対して、中国の黄河上流部に建設された龍羊ダム貯水池はかなりの洪水を丸抱えでき、前述の近年相次いだ洪水災害を大いに軽減したといわれている<sup>9)</sup>。また、昨1992年第7期全国人民代表大会第5回会議で建設の決定された長江中流部の三峡ダムは貯水容量が393億 $m^3$ といわれ、単純には105,000 $m^3/s$ の既往最大洪水を4日以上貯め込むことが可能で、240万kw級火力発電所7つ分の発電容量が見込まれている<sup>10)</sup>。

一方、こうした巨大な構造物は環境に与える影響が大きければかりでなく未知の面もあって、三峡ダムでもそれが懸念されている。ダムのような巨大構造物によらなくても、山地部の林相を良好に保てば、降水を高い位置に留めることができるといわれている。良好な林相の山地は洪水流出を緩和し、水源としても極めて有用である。しかし、エネルギー利用の面では流下に伴う損失が大きく不利であることは否めない。

洪水災害は水の溢れる災害と構造物の壊れる災害とに分けられる。干拓地のように海面下の場合や外水位

が高く水門を閉じる場合には、内水や氾濫水の出口が無くなるので外部からエネルギーを導入したポンプ排水が行われる。主要地域の排水ポンプ容量は大型化して $100\text{m}^3/\text{s}$ クラスも稀ではなく、洪水時には多量のエネルギーが消費される。また、構造物に破壊を免れさせるためには、強度を高くするか、洪水に力を作作用させないようにする必要がある。幸い、海は電気におけるアースと同じように、無限に洪水の質量とエネルギーを受容してくれるので、滑らかな境界面の直線河道で洪水を流下できれば理想的である。しかし、河道の底面は通常流送土砂で構成された移動床であり、底面での水流の作用応力（河床せん断力）が限界値を越えれば土砂は移動を始める。移動する河床面は流れとの相互作用で砂州のような様々な形態を生じ、それによって流れは発散・集中するため、滑らかな境界や直線的な平面形状は維持されなくなり、河川らしい景観を醸し出す。河川の近辺に人間の生命や資産が集積されてくると、こうした河川本来の動きを資材やエネルギーを投入して制約していかざるを得ない。これらは、洪水災害防止のためのエネルギー消費であり、その量は一般に河川の規模と正の相関にあるが、その詳細はケースバイケースのため一概にはいえない。

#### 4. おわりに

洪水は、地震・噴火あるいは台風などの他の自然災害と比較すると、遥かに利用しやすいエネルギーを持っており、実際にそれはダム貯水池の建設によって利用されている。それは洪水災害の防止・軽減とも密接に繋がっているが、現在では、こうしたダム貯水池も環境に与える影響の面から、建設は国内・国外を問わず困難になっている。洪水自体は自然現象ではあるが、人々が河川や湖沼と係わりを持つようになると、それは洪水災害として認識され、その防止・軽減に努力やエネルギーが払われるようになる。戦争などによって社会的・経済的に余裕がなくなり、洪水現象に留意できず対策がおろそかになると大きな被害を受ける。また、開発途上国では洪水災害が社会・経済の進展を妨げる要因の一つとなっており、その防止・軽減に向けて我

が国も多くで海外援助を行っている。最近、こうした面にも関心を持っていかねばならないと感じている。

#### 参考文献

- 1) 河田恵昭；1991年バングラデシュの高潮氾濫災害，平成3年度河川災害に関するシンポジウム(1992)，47～60。
- 2) Serafim, L. J.(ed.) ; Safety of Dams, Proc. Int'l Conf. Safety of Dams (1984), A.A.Balkema.
- 3) Horn, B., Scott, M. ; Geological Hazard (1975), Springer-Verlag.
- 4) 高橋 保, 中川 一；自然ダムの越流決壊によって形成される洪水の予測, 京都大学防災研究所年報, 第35号 B-2 (1992), 231～248.
- 5) 山田知充；ネパールヒマラヤの氷河湖決壊洪水, 河川, No.553, 4/8 (1992), 126～137.
- 6) 角屋 睦；都市化と流出, 角屋睦教授退官記念論文集 (1992).
- 7) 村本嘉雄編著；1987年モンスーン季の豪雨によるバングラデシュの洪水氾濫災害の調査研究, 文部省科学研究費突発災害調査研究成果 No.B-62-5 (1988).
- 8) 中尾忠彦；バングラデシュ・フラッドアクションプランの近況, 河川, No.546, 4/1 (1992), 85～91.
- 9) 稲田修一；中国の今年の洪水状況, 河川, No.521, 1/12 (1989), 26～31.
- 10) 建設省河川局防災課災害対策調査室；今年の世界の自然災害, 河川, No.533, 2/12 (1990), 44～49.
- 11) 劉 樹坤；私信 (1992).
- 12) 稲田修一；中華人民共和国河川管理条例の発布, 河川, No.511, 1/2 (1992), 74～79.
- 13) 石原安雄；水害の特性, 水災害の科学 (矢野勝正編著；1971) 技報堂, 33～47.
- 14) 京都大学防災研究所研究紹介 (1992).
- 15) 建設省河川局監修；改訂建設省河川砂防技術基準(案)計画編 (1986), 山海堂.
- 16) 松田芳夫；今後の河川整備の方向, 河川, No.553, 4/8 (1992), 5～9.
- 17) 勸河川情報センター；第8次治水事業五箇年計画主要課題と整備方向 (1992).
- 18) Leopold, L. B., Langbein, W. B. ; The Concept of Entropy in Landscape Evolution, US Geolog. Survey Prof. Paper 500-A (1962).
- 19) 永田敏治；中国大陸のあるところの見聞録—上海・長江・葛洲ダム・三峡ダム—, 京都大学防災研究所技術部通信, No.11, (1993).