

# 河川災害の予知について

石 原 安 雄

## PREDICTION PROBLEM OF RIVER DISASTER

By Yasuo ISHIHARA

### Synopsis

This paper describes a flow chart of the prediction system of a river disaster, which is composed of the propagation process of rainfall, runoff and (or) flood control and the decision process of destruction of direct protection works against flood, after understanding newly the occurrence conditions of the disaster in Japan. It is pointed out that such a flow chart can be used to determine a design criterion of protection works and a planning of refuge by long-term prediction and to give flood forecasts and warnings to safeguard property and human activities against inundation by short-term prediction, but several elements and sub-systems involved in it remain unsolved.

### 1. 河川と災害

われわれが陸上で生活し、いろいろの生産活動をしていくうえで、河川とのつながりが非常に深いことはいまさらいうまでもない。人間の文化が河川の沿岸から起り、また近代の大都会も河川に沿って発達している。このようにわれわれの生活と河川とは切っても切れない関係にあるが、一方災害ということもわれわれの生活や生産活動を除外しては考えられないことというまでもない。したがって、河川災害を考察する際には、河川を地球物理的な自然現象としてとらえるだけでは不十分であって、われわれの生活や生産活動を通しての理解が必要である。

このような観点から河川とくに河道をみると、

- 1) われわれが利用する水が存在する水路
- 2) 余水を排除するための水路
- 3) 土砂の運搬路としての水路

として理解することができる。これらは人間を中心としての認識であって、河川がこうした機能をそこなわないならば、いわゆる災害は発生しないはずである。逆にいうと、上記のような河川の機能が何らかの原因によって阻害されたり、または、自然的な現象が河道の容量をこえて大規模で生じたときにのみ、われわれは災害として認識するわけである。晴天が続いて河道内の水量や水位が極端に減少したときが渇水災害であり、豪雨時に多量の水や土砂が一時に集中的に流出し、いわゆる洪水はらんが起ったときが洪水災害である。

しかしながら、われわれはこうした河川災害に対してただ手をこまねてみているのではなく、いろいろの努力をし、各種の防災対策を行ってきた。たとえば、渇水災害に対しては溜池や貯水池の建設、低水工事などを行ってきたし、洪水災害に対しては河川堤防や洪水調節池の建設や砂防工事などを行ってきた。こうした防災対策は、人間の活動の歴史的変化とともに変遷し、それとともに河川災害に対する認識の仕方も変化している。たとえば、冷害や干害は農産物の品種改良や用水設備の完備によってほとんどなくなって

きたし、洪水災害も各種の治山治水工事によってその形態が変化している<sup>1)</sup>。すなわち、人間はこうした防災対策の進展に伴って、その効果の及ぶぎりぎりの線まで活動範囲を広めていく傾向にあるので（もっともそのための防災対策ではあるが）、ひとたび異常事態が発生したときには、対策施行前には考えられなかった形態で災害が起る。塩害、内水災害、河床低下災害、人工洪水、破堤災害などである。

このように、われわれは防災対策を行ないながら災害を受けているのであって、その内容には歴史的な変遷があるにしても、われわれは何時も災害を受ける環境の中におかれているといっても過言ではないだろう。したがって、現在のところ、各種の防災対策が施された環境の中にあるわれわれの生活や生産活動が、何か異常な事態の発生によって、妨害されたり破壊されたりする事象として認識することによってはじめ、河川の災害を理解することができるといえる。

## 2. 洪水災害の発生モデル

以上、河川災害の一般的なとらえ方について考察したのであるが、著者は渇水災害や土砂災害についての知識が十分でないので、以下では余分な水の排水路としての河川を対象とし、いわゆる洪水時の水災害についてのみ述べることにする。

さて、洪水災害の予知問題を考えるに当たって、まず第一に洪水災害が実際にどのようにして発生するか、それを防止するためにどのような対策を行なっているかを明確にする必要がある。こうした関係は、洪水災害だけでなく、他の自然災害についても重要であり、また相互の比較を行なうことも、洪水災害を理解するうえに役立つはずである。こうした意味において、自然災害の発生モデルといったものについて若干ふれておく。

われわれが生活し生産活動を行なっている場は、洪水以外にも地震、高潮、火山噴火などいろいろの自然現象によって、常に災害を受ける環境にある。そうした災害に対して、いろいろの防災対策をし、また防災対策が歴史的に進展していることは、洪水災害に対するのと同様である。したがって、災害の発生モデルは時間的広がりをもって示されることとなるが、それを現時点で切断して図示したものが Fig. 1 である<sup>2)</sup>。

Fig. 1 において、災害の発生は、災害を起す自然現象がおこり、しかもそれが、制御・調節施設の能力をこえる規模であつたり、防護施設の抵抗力以上の破壊力をもっている場合であり、さらに生活・生産の場の

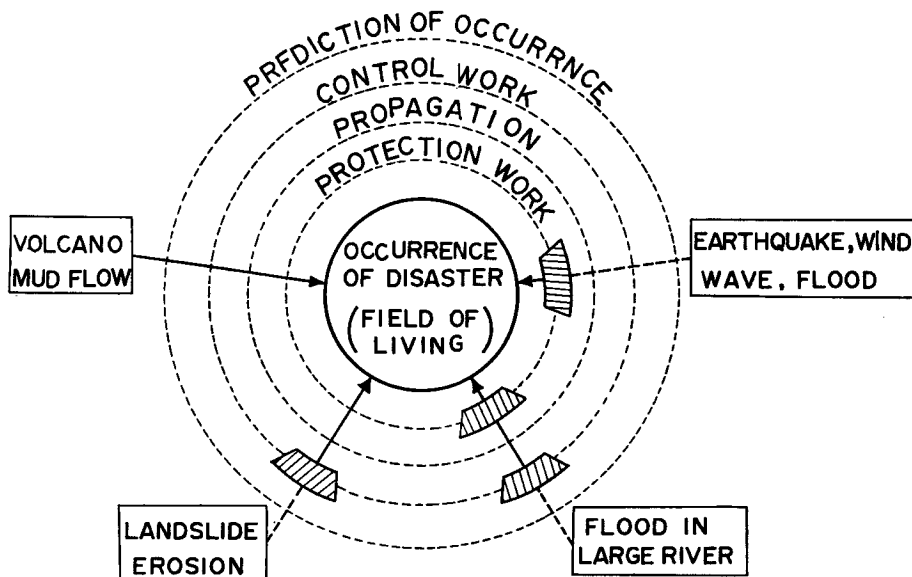


Fig. 1 Disaster model.

もつ抵抗力，すなわち災害に対して合理的に計画された配置並びに退避・避難を含めた防災活動などの減災の能力をこえて侵入した場合である。すべての自然災害の発生は，上述のように説明することができるが，そのうちで洪水災害はもっとも複雑である。

洪水災害の発生についてもう少し詳しく検討するとつぎのようである。洪水はいうまでもなく豪雨によってもたらされる。豪雨の発生とその規模を制御することは今日では不可能である。現在のところ，洪水に対して防災的手段として可能な方策は，

- 1) 発生した洪水を制御・調節すること（洪水調節池，遊水池，分水路，放水路，など），
- 2) 生活・生産の場を直接防護すること（河川堤防，内水排除ポンプ）

であり，減災の方策は，

- 3) 洪水のはらんに対して災害ができるだけ少なくなるように生活・生産の場の内部配置を行なうこと
- 4) 退避・避難を含めた広義の水防活動すること

である。これらのうち，1) は外力の制御・調節，2) は直接防護，3)，4) は間接防護である。さらに，これらの方策は機能上に差異がある。すなわち，1) はその制御・調節能力に限界があり，その限界を下まわる規模の出水に対しては完全に防災的であるが，限界を上まわる規模の出水に対してはほとんど調節を行なうことができなくて防災上は無効となってしまう。2) はこうした限界がさらにはっきりしており，堤防を越水しない規模の出水に対しては完全に災害を防止するが，越水するときにはほとんどの場合，堤防は決壊して，その防災機能は完全になくなってしまいます。これらに対して，3)，4) は完全に災害を防止することとはありえないが，どのような規模の出水に対しても災害をできるだけ軽減させるといえる。すなわち，前二者は防災的機能であり，後者は減災的機能といえる。

現在，洪水に対して以上のような方策が講じられているのであって，洪水災害はこれらの方策のもつ治水能力をこえた規模の豪雨が発生したときに発生することとなる。具体的には，

- 1) 調節不可能な規模の出水が発生したとき，
- 2) 河道の疏通能力をこえる規模の出水が流下したとき，
- 3) 不完全な水防活動，不合理な配置計画が行なわれたとき，

に洪水災害が発生し，拡大されるのである。

### 3. 洪水災害予知の内容

洪水災害の発生機構が明らかになったので，洪水災害の予知の内容を分析することができる。すなわち，第一は洪水災害の発生の予知であり第二は災害の規模の予知である。

前者は，出水の規模が防災的施設のもつ限界をこえるかこえないかの予知であり，後者はその限界をこえる大きさと，生活・生産の場における被災状況の予知である。さらに詳細に説明すると，まず豪雨の発生の予知が必要であり，ついで水源地流域からの出水の予知およびそれを洪水調節池で調節した場合の調節後の出水の予知である。ここまではいわば洪水の発生とその規模の予知ということになる。つぎに，そうした出水が有堤区間を流下したときの最大流量の予知と堤防が破壊されるかどうかの予知すなわち最終的な災害の発生の予知である。さらに，災害の発生が予測される場合にはその規模および形態の予知という段階となるわけである。

ところで，一般に予知には長期間を対象とする場合と短期間を対象とする場合とがある。洪水災害の予知問題もこの両面があることはいうまでもない。これを Fig. 1 のような災害モデルについていうと，短期の予知問題は Fig. 1 のように現時点の切断面について豪雨の発生から災害の状況までの予知であって，今日の洪水予報，洪水警報，水防活動などのための予知である。長期の予知問題は将来の災害モデルに関連するものであって，現在の防災施設のもつ能力をこえるような規模の洪水の発生頻度とか，生活・生産の場で起る災害の形態などの予知であって，将来の洪水の制御・調節容量や河道の洪水疏通能力を決定するいわゆる防災基準設定に資するためのものであり，また，生活・生産の場の配置計画や退避・避難計画などいわば減災

基準を設定するのに役立つものである。

#### 4. 洪水災害の予知システムの構成

以上は洪水災害の予知に関する一般的考察であるが、実際の河川流域を対象とした場合の予知システムがどのようなかを考察しよう。洪水災害の予知システムの特徴の一つは、河川流域内で発生する出水現象は上流側から下流側へ向う一つの流水の場を形成しており、その中に災害予知の対象地区が散在しているとい

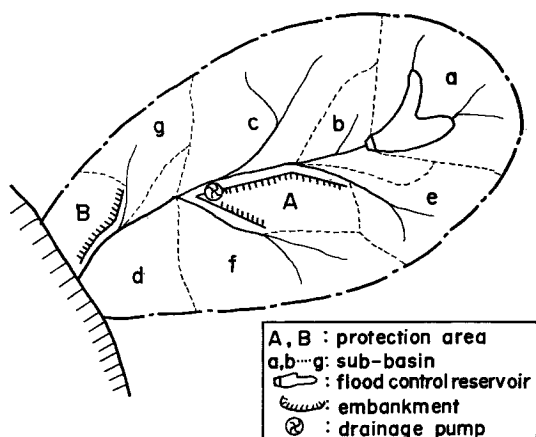


Fig. 2 Example of river basin.

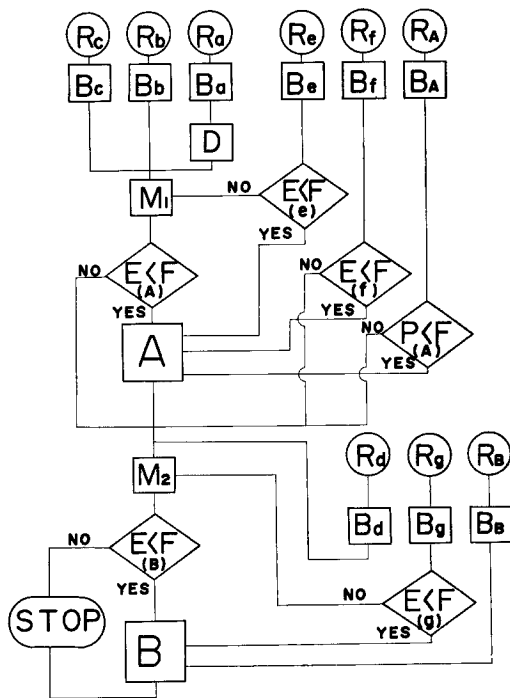


Fig. 3 Flow chart of prediction system of river disaster.

いうことである。換言すると、上流にある予知対象地区は、下流の地区で災害現象が発生しても直接的な影響を受けないが、逆に下流にある予知対象地区は、それより上流の地区での災害現象の影響を大きく受けるということである。もう一つの特徴は、ある地区を対象とする場合、その地区の災害は本川堤防の決壊時のみでなく、地区を囲んでいる支川側の破堤や地区内の内水排除の不良のときにも発生するということである。

こうした関係をさらに明確にするために、Fig. 2 に示すような河川流域の場合について考えてみよう。災害予知の対象地区をAおよびBとし、それぞれが本川および支川に面するところには堤防があり、また、A地区には内水排除のためのポンプが設置され、さらに、上流に洪水調節用の貯水池が設けられているとしよう。この河川のシステムを、上述した災害発生過程に着目して、いわば洪水災害の予知システムとしてフローチャートの形で表現すると Fig. 3 のようになる。

この図において、 $R_a, R_b, \dots$  は降雨過程、 $B_a, B_b, \dots$  は流出過程、 $D$  は調節過程、 $M_1, M_2, \dots$  は流下過程であり、また、 $E$  は堤防の対洪水抵抗力、 $F$  は洪水の破壊力、 $P$  はポンプの排水能力を示し、さらに、 $A, B$  は洪水のはらん過程を表わしている。したがって、A地区での洪水災害の発生形態としては、

1)  $b, c, e$  の小流域からの出水と、 $a$  の小流域からの出水が貯水池で調節されたものとが合流してA地区前面まで流下し、そのもつ破壊力が本川堤防の抵抗力をこえる場合、

2)  $e$  の小流域からの出水の破壊力が支川堤防の抵抗力をこえる場合、

3)  $f$  の小流域からの出水の破壊力が支川堤防の抵抗力をこえる場合、

4) A地区内の出水が排水ポンプの能力をこえる場合、の一つまたは二つ以上が組合さったものが考えられ、 ${}_4C_1+{}_4C_2+{}_4C_3+{}_4C_4=2^4-1=15$  通りの組合せがある。B地区に対しては、

1) 上流地区からの出水と  $d, g$  の小流域からの出水が合流して、その破壊力が本川堤防の抵抗力をこえる場合、

2)  $g$  の小流域からの出水の破壊力が支川堤防の抵抗力をこえる場合、  
 のいずれか、または両者が同時に発生した形態が考えられ、 $({}_2C_1+{}_2C_2) \times 16 = (2^2-1) \times 16 = 48$  通りの組合せがあることになる。

すなわち、長期の災害予知では、A地区に対しては上記の15ケースの発生頻度が、B地区では48ケースの発生頻度が問題になり、短期の災害予知では、これらすべての場合を検討したのち、どの形態の災害事象が発生するかを予知することになる。さらに、長期予知、短期予知の両者とも、災害発生時のAおよびB地区内ではなんらん状況の予測も必要なことはいうまでもない。

## 5. 部分システム特性

このような洪水災害予知のフローチャートを実際に計算するにはいろいろの基礎的知識が必要である。すなわち、まず第一に、降雨過程、流出過程、調節過程、流下過程などのような降雨、流出、流下、合流の河川学上の知識が必要となり、ついで洪水の破壊力、堤防の抵抗力、堤内地のはんらん状況などの特殊な知識も必要となる。しかしながら、洪水災害の予知問題においては、こうした個々の現象に対する知識だけでは十分ではなく、とくに短期予知に対しては予知システムとしての把握が重要である。以下では短期予知の問題にしばって説明しよう。

一般に、短期予知の効果は、予知時間と予知精度とによって判定することができる。いくら高精度の予知であっても、それが災害がおこる直前の場合には、各種の減災的活動が不可能であって、予知効果はほとんどないといえる。これに反して予知の精度が多少悪くとも、予知時間が十分ある場合には、十分な減災的活動の準備ができるので、有効な予知であるといえる。洪水災害の短期予知についても全く同様であって、広範囲の水防活動ができるように、十分な余裕時間のある予知が必要である。こうした観点から、もう少し詳しく Fig. 3 の予知システムを分析してみよう。

Fig. 3 の予知システムの中には二つの異った性格をもつ要素を含んでいる。その一つは、降雨→流出、降雨→流出→調節といったように、直接防護施設の前面にやってくる洪水の予知であり、他の一つは、洪水の破壊力と堤防の抵抗力の大小関係の判定といったように、直接防護施設の破滅の限界判定である。このような部分システムを取出したものが Fig. 4 である。

### (1) 洪水の予知

一般に、ある現象を予知するといったときの内容には、現象の発現場所、発現時刻および発現規模を含み、これらを知るためには、前駆的事象に基づく場合と伝播過程を利用する場合とがある。洪水予知問題ではほとんど伝播過程を利用しているが、時としては前駆的事象に基づかねばならないこともある。

a. 豪雨 現在の大雨警報では、地方別に数時間の将来までの豪雨を 50mm 程度の幅で通報されている。洪水災害予知からすると、これでは十分でなく、少なくとも、300~500 km<sup>2</sup> ほどの河川流域ごとに、3~5 時間程度将来の豪雨を誤差 20~30 mm 程度の精度で予知することができれば好都合である。しかし、著者は気象学のことをあまり知らないで、これ以上のことを述べるができな

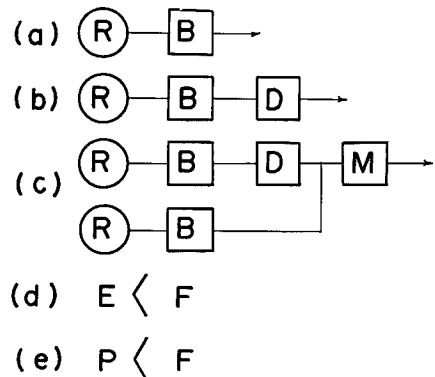


Fig. 4 Characteristic part of prediction system of river disaster.

いが、洪水の根源が豪雨であることを考え、また流域面積が小さくかつ急流であるわが国の河川の特質を思うとき、豪雨予知の進歩が洪水災害予知の発展にそのままつながるのであって、この分野の研究が大いに進展することを期待してやまないものである。

b. 洪水流出 豪雨は河川の流域に降るが、流域に降った雨水は山腹斜面を流下して河谷へ流出し、河谷の流れは互に合流して次第に洪水を形成していく。こうした過程が Fig. 4 (a) で示されているが、現象の理解とその予知法はかなり進んでおり、水文調査が進んでいる河川流域においては、降雨情報が正確に与えられれば、約10%の誤差で現象の規模を予知することができる段階にある。ただし予知時間は現象の集中時間ないしは伝播時間を利用するので、流域面積 200km<sup>2</sup> 程度で1時間、2,000km<sup>2</sup> 程度で3時間、6,000km<sup>2</sup> 程度で6時間が大略の予知時間である。ただし、これはかなり水文調査の進んだ流域においてのみ可能であって、未調査の流域に対しては現状ではほとんど無力の状態といえる。流域の地形および地質と洪水流出との関係の研究が進んでいないためであって、この点は大いに今後の研究にまたねばならない分野である。

c. 洪水調節 Fig. 4 (b), (c) で示される部分システムである。今日、多くの河川に洪水調節用貯水池が築造されているので、こうしたシステムの洪水予知が問題となる。これらは、洪水の自然の流出過程の中で人工制御を行なうのであるから、これを予知問題からいうと、洪水がどうなるかということではなくて、洪水をどうするかということ でなければならない。しかしながら、その調節容量に限界があるので、どんな規模の出水に対しても任意の調節ができるというわけにはいかない。現実には、(b) 図のような単独の調節池では一定率一定量放流方式が採用されている。この方式が調節可能な規模の出水であれば問題はないが、しかし、これを上まわる規模の出水に対してどう対処するかについては研究すべき問題が残されている。つぎに(c) 図の場合のように下流で他支川が合流している場合には、合流後の洪水の状況が好ましい状態となるように調節しなければならないし、さらに一水系に多くの貯水池がある場合には統合操作の問題がさらに複雑かつ重要となる。これらの問題についても未解決の分野が沢山残されており、今後の研究にまつべきものが多い。

d. 洪水はらん 内水問題もこの一つであるが、とくに人工を加えた土地における雨水流出問題が重要である。さらに、微地形とはらん水との関係、はらん水の挙動なども必要であり、最近自然地理学の分野で研究が進められている。

## (2) 直接防護施設の破滅判定

われわれの生活・生産の場を直接防護しているのは河川堤防と排水ポンプである。これらはある防災基準に基づいて設計施工されているので、本来的にはその基準以下の規模の出水に対しては、完全に災害を防いでくれるはずであることは前述したとおりである。したがって問題は二つあり、一つは前項で述べた洪水予知で予想される出水の規模が防災基準を超過するかどうかであり、他の一つは超過する場合にどの場所でのような形態の災害が発生するかという問題である。これらは Fig. 4 (d), (e) で示されているが、防災基準の超過の判定については、直接防護施設の設計外力と前項で述べた自然現象論的な予測値との大小関係であるので、あまり問題がない。これに反して超過災害の予知については非常に問題が多い。

a. 洪水の破壊力 直接防護施設を設計する場合にはいわゆる設計外力を定める。河川堤防に対しては水位を第一義的に考え、流水による堤防法面の浸蝕や堤体浸透を第二義的に考えて設計しているのが現状である。しかし、河道の彎曲部における側方洗掘と水位上昇、河川構造物周辺の局所流による洗掘など、未解明の問題があり、防災基準で対象とした規模より小さい出水に対して、災害が発生した例もある。こうしたことは、いわゆる洪水の破壊力についての知識の不備を意味するものであって、こうした分野の研究の発展が望まれる。

b. 堤防の抵抗力 河川堤防は防災基準で対象とした規模以下の出水に対しては十分に安全であるようにつくられなければならないことは上述したとおりである。問題は、対象洪水を上まわる規模の出水時に、どこでどんな災害が発生するかを予知することである。すなわち災害の発現場所と発現規模の予知である。こうした分野の研究は従来ほとんど行なわれていないが、著者らが水害の実態調査を行なった経験的事実から

すると、河道の彎曲部で水流が直接あたる部分、比較的桁下の標高が低い橋の直上流部、頭首工の直上流、堤防の余盛高に不同があって天端高が相対的に低い場所などに集中する傾向がみられる。これらは、河道彎曲部を除いて、治水以外の目的でつくられた構造物の周辺を意味しており、洪水災害の予知という観点から十分に検討しなければならない重大な問題と思う。

## 6. む す び

以上、洪水時の水災害を対象として、河川災害予知について、問題のとらえ方、予知システムの構成、およびその中の部分システムの性格と問題点などについて述べてきた。いうまでもなく、洪水時には水だけでなく土砂および流木なども流れてくる。したがって、河川災害の予知を水だけに着目して論ずることは片手落ちであるかもしれないが、洪水時にもっとも多量に流下する物質が水であり、さらに流出土砂や流木などは水の運搬作用として理解するならば、ここで述べた議論が必ずしも的はずれたものではないだろう。

来年もまたどこかで河川災害が発生するだろう。それはかなり確かである。それを防止軽減するための科学をわれわれは研究してきた。しかしながら、少なくとも著者は、河川災害の防止軽減問題においてわれわれの研究がどのような位置づけをなされるか十分な検討を行なったことが少なかった。今回の総括講演に際して、河川災害の予知問題の分析を通じてこうした問題を考えることができたのは非常に幸せであった。今後は河川災害の予知研究をも含めて、洪水災害の防止軽減のための科学を強力に進めていきたいと考えているものである。

## 参 考 文 献

- 1) 西川泰：最近の災害発現機構の特性について，第6回災害科学総合シンポジウム講演論文集，昭44. 10, pp.153～154.
- 2) 石原安雄：災害モデルと防災，同上，pp.151～152.