

○
愛媛大農 小川 滋・岡山県 藤野和博

1. はじめに

わが国における明治以降の治水政策は、連続堤、高堤防、大ダムなどにあらわれる治水技術の急速な発展により、明治以前と著しく異なる変化をとげたが、これはさらに大都市周辺の都市河川災害の頻発と共に新しい治水理念を生み出した。これらの変遷過程は、不連続な過程を含んだ現象として整理されるであろう。また、自然災害現象は、ある許容限界以上の自然力で破壊的大災害となる。これらの不連続現象に対してカタストロフィーモデルを応用することにより、治水政策および自然災害について、その要因関係、変化の過程および将来予測についての説明を試みた。

2. 自然災害のカタストロフィーモデル

自然災害をシステムとした場合、生活組織・空間場が入力である外力によって破壊され災害が出力されると考えることができる。この場合に、災害の規模としての社会的な損失の大小は、外力、治水設備等の場の条件によって変化すると考えられる。その条件によっては、外力の増大に対して、小災害から大災害に不連続に変化したりあるいは、小災害のままであったりするであろう。これを、カタストロフィー論的にいえば、システムの結果（状態変数、 x ）としての災害の大小は、原因（コントロール変数、 y ）によって示すことができ、コントロール面での点が与えられると、状態変数のみによる関数形が定まり、その関数の最小値を与える状態変数に対応するシステムの状態としてあらわれるということになる¹⁾。ところで、コントロール変数をいくつとるかによって、初等カタストロフィー（4個以下）のモデルが異なる。ここでは、単純に自然災害を2個のコントロール変数で考えることにする。すなわち、災害は、外力とシステム場の抵抗力の相対的關係によって生じると考えられ、その差が大きければ、大災害となると考えられる。また、高橋によると²⁾、拡大要因としての低湿地帯、危険地帯の土地の高度利用などが社会現象としてあげられ、これを促進させたものとして、連続高堤防などの治水施設があると考えられる。それゆえ、コントロール変数として、外力を平常要因とし、治水事業の進展度を分裂要因とする図-1に示すようなカスプのカタストロフィーモデルを作成した。ここで、平常要因とは、状態変数を増加させる変数（外力大→災害大）であり、分裂要因とは、その状態を分極させる要因のことである。すなわち、治水事業の進展により、ある限界までは、小災害でおさえられていても、ある限界をこえ

3. モデルの要因と仮定

自然災害の外力としては、一次的な降雨、またそれが変換された流量などがあるが、ここでは、洪水災害を考えることとして、洪水流量（ a ）を外力としてもちいる。この洪水流量が、河川

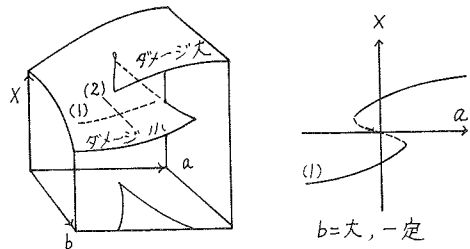


図-1 自然災害のカタストロフィーモデル

の許容流量を越せば、洪水災害が発生すると考える。また、分裂要因としての治水事業の進展度は、治水事業費の積算を治水粗資産（ b ）と考え、これをもちいる。また、災害の状態としての社会的損失は、流域内の総資産に対する水害被害額の比、すなわち、水害被害率（ x ）であらわした。つぎに、モデルの作成にあたっては、次のような仮定をおこなっている。仮定1： b が小のとき、 a の増加と共に x が増加する。仮定2： b が大のとき、 a が中規模の場合は、 x が大であったり、小であったりする。仮定3： b が大で、 a が大規模のときは、大災害となる。仮定4： b が大で、 a が小規模のとき、 x は小である。また、コントロール変数により決定される状態は、遅れの規約に従うと仮定する。

4. モデルの適用

4-1. 重信川流域 重信川流域においては、昭和18年に大災害が発生しているが、それ以後は大災害は、発生していない。また、現状は、治水事業の進展度もかなり大きいことを考慮して、昭和50年から58年の水害資料³⁾をもとにモデルの適用をおこなう。外力の規模としては、最大流量、治水事業の進展度として昭和20年以降の河川改修事業費の積算を用いた。社会的損失については、流域内総資産の経時算定が困難のため、松山市の市民所得（市内純生産）に対する水害被害額を用いた。水系別被害率と洪水流量との関係は、図-2に示すように、両対数での関係が良好である。幹川被害率との関係も同様であった。しかし、洪水流量は基準点最大で $1000\text{ m}^3/\text{s}$ 程度であり、計画洪水流量 $2900\text{ m}^3/\text{s}$ と比較してかなり小さい値である。それゆえ、図-2の関係は、仮定4の部分を示していると考えられる。また、計画洪水流量を越す流量での災害は、当然大災害になると予想されるので、図-1のモデルを時系列的に重信川に適用すると、図-3のように考えることができるであろう。図-3のコントロール平面の斜線部分が、カスプの部分であり、この限界を越えるところでカタストロフィー的ジャンプが生じる。また、昭和18年の大災害は、図-3に示すように、当時は許容洪水流量も小さいところでカタストロフィー的ジャンプが生じる曲線（1）で示すことができ、現在は（2）の状態であり、さらに将来は、（3）となることが予想される。

4-2. 吉野川 吉野川流域については、昭和38年から58年の水害統計より幹川および直轄管理区間における水害被害率を、県民所得をもちいて算定した。外力としては、水害発生期間における最大日雨量、2日雨量期間雨量、流量には基準点岩津における最大日平均流量、最大2日平均流量を用いた。水害被害率と外力との関係は、雨量では期間雨量が、流量では図-4に示すように最大2日平均流量との両対数での相関が高い。これらの関係は、やはり、図-1における曲線（1）のダメージ小の部分

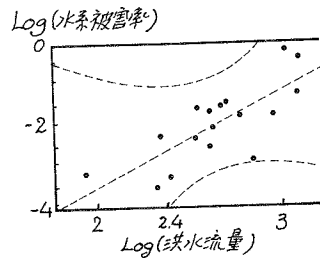


図-2 水系別水害被害率と洪水流量との関係（重信川）

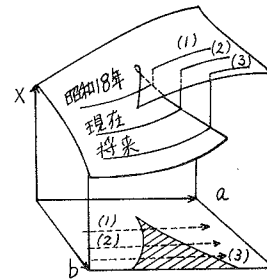


図-3 重信川における洪水災害のカタストロフィー

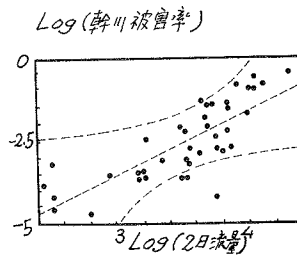


図-4 幹川被害率と2日流量との関係（吉野川）

であるといえるであろう。次に、直轄管理区間の河川改修事業費の積算と、社会的損失として、幹川の被害率を取り上げ、図-1の曲線(2)の関係をみてみる。ただし、外力を一定にするために最大2日流量を3段階にわけて関係をとった。図-5、図-6にその関係を示すが、小流量では正、中・大流量では負の関係がみられるが、いずれも高い相関ではない。全体として流量規模の小さい範囲なのであろうが、流量の大きいところでの負の傾向は、治水事業の進展と共に、とくに、外力の大きいときに効果が現れることを示唆しているように思われる。

ここで、分裂要因としての治水事業の進展と市民所得との関係を見てみる。図-7に松山市の市民所得と重信川の治水事業費の積算との関係を示すが、両者は極めて高い相関を示している。ここで、治水事業費の積算は、一応、治水粗資産と考えられるであろうから、市民所得を流域の土地生産性を示すと考えれば、治水事業の進展と共に、土地利用の高度化が進んだといえるであろう。このことは、治水事業の進展と共にゲームポテンシャルが上がるということになる。それゆえ、図-1の曲線(2)は単調な減少だけでなく、複雑に変化すると考えられる。しかしながら、市民所得は土地生産性のみで決まるわけでもないであろうし、公共事業である治水事業によって経済効果があらわれているとも考えられるのでさらに検討する必要がある。

5. 治水政策のカタストロフィーモデル

日本における治水政策は、洪水氾濫(遊水)策と河道流下策に大別できるであろう。前者は、古来多用された治水策であり、後者は、現代に発展してきた政策である。また、最近では、土地の利用管理、あるいは警戒避難などのソフトな治水策も出現してきている。そこで、これらの治水策の変遷についてカタストロフィーモデルで説明し、将来的展望をおこなうこととする。まず、結果としての治水政策を洪水遊水策から河道流下策へ向かうとして弱い政策(氾濫策)から強い政策(洪水制御策)を行動軸(x)として与える。次に、治水政策を決定するコントロール要因のうち、平常要因として土地の生産性を、分裂要因に災害の危険度をとることにする。すなわち、土地の生産性はそれが高度化すると、治水政策として洪水制御の強い政策へと向かうという意味で平常要因とみることができる。また、災害の危険度は、種々の評価方法が考えられるが、歴史的展開の説明のために、人的、社会

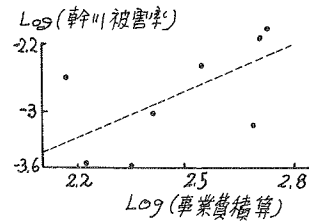


図-5 2日流量2700~3400 m³/sの被害率と事業費積算

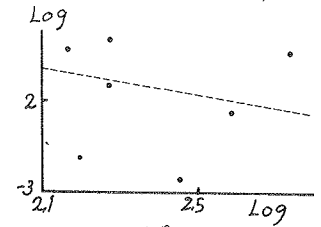


図-6 2日流量3900~4700 m³/sの被害率と事業費積算

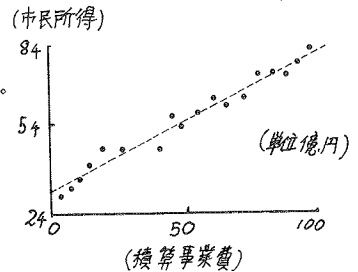


図-7 市民所得と河川改修事業費

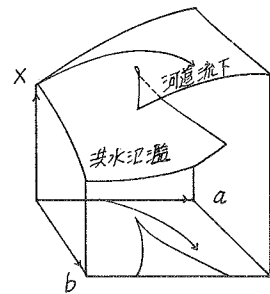


図-8 治水政策のモデル

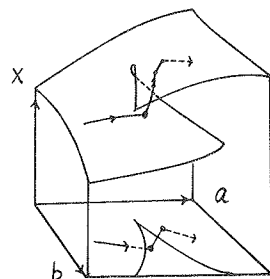


図-9 政策転換のカタストロフィー

的側面での評価として人口、資産、経済活動に対する脅威を考え、それが増大することによってシステムとしての治水政策が、氾濫政策と制御政策の二つに分裂させられるという意味で分裂要因とみることができる。また、日本における治水事業は、流域の開発と共に進展してきており、開発によって土地の生産性が高まれば、治水政策が制御へと強められ、さらにそれによって流域内への人口、資産の流入が起こり災害の危険度が増大するという関係で発展してきたといえる。そこで、図-8に示すようなカスプのモデルによって政策の変遷過程を説明できるであろう。すなわち、土地の生産性の増大と共に洪水制御政策に徐々に移行し、流域の総合開発から多目的開発時代となり、現在の災害の危険度の増大となっているといえるであろう。

さて、氾濫政策から制御政策へのカタストロフィーは、流域の社会的、自然的条件によって生じると考えられる。これについて、吉野川中流域（池田から岩津までの区間）を例としてみる。図-9に示すように、昭和40年代まで遊水地として機能していた中流域は、上流部に早明浦ダムの完成によって、洪水調節による流下流量の計画が可能となったため、危険度は減少し、その結果、カタストロフィー的に連続堤防の建設、すなわち制御策に転換したと考えることができる。また、将来、遊水地は、土地の生産性が急速に上昇し災害の危険度が増大するであろう。

次に、河道流下策から複合政策へのカタストロフィーは、近年における鶴見川等の都市河川においてみることができる。このような河川では、制御策のみでは危険度が増大するばかりであり、これに代わる政策として、流域の土地利用管理を含めた総合的な政策が登場した。すなわち、旧来の遊水地、水害防備林等の治水理念が見直されており、その意味で複合政策といえるであろう。これは、新たにバイアス要因として開発性、バタフライ要因として土地利用管理を考えたモデルで説明できるであろう。図-10に、そのモデルを示すが、図は開発性が0、土地利用管理が正の状態でのシステムを示している。○点は、土地の生産性、および災害の危険度の高い制御策の行き詰まった状態を示しており、これを打開するためにコントロール要因として土地利用管理が加わることにより、複合政策の曲面が出現することになる。土地利用管理によって制御政策が弱められる一方、複合政策のポケットが広がり、●点でカタストロフィーをおこして複合政策へ転換する。鶴見川では、このような転換が起こったと考えられるが、各河川については、自然的、社会的特性を十分検討する事によってこのモデル上での位置、あるいは要因の効果等が判定されるであろう。

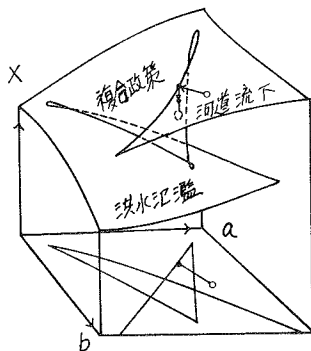


図-10 複合政策へのカタストロフィー

6. おわりに

これらの、カタストロフィーモデルは、さらに詳しく要因間の関係など検証していく必要がある。しかし、一応、ここでは最初の試みとして、自然災害と治水政策について、その現象の本質的な関係の説明をおこなったものである。

参考文献(1) 例えば、野口広；カタストロフィーの理論，講談社，1982。

(2) 高橋浩一郎；災害論，東京堂出版，1977。

(3) 建設省；水害統計，昭和36年-昭和52年。