

砂防事業に関する費用便益分析について (2)

黒川興及*

前回 (64号) では

1. B/Cと費用便益分析
2. 防災事業の特性
3. 土石流対策事業の評価
4. 費用便益分析の内容

について述べました。今回は砂防事業が対象とする被害の想定について、また環境の評価等について述べることにします。しかしながら、被害については、現在「土石流災害警戒区域等における土石流災害防止対策の推進に関する法律」が来年4月からの施行を目指して、土石流・地すべり・がけ崩れの危険区域の設定および、それらの外力等について検討中です。この検討と大いに係わることになると考えていますが、ここでは従来からの考え方で述べることにします。

5. 被害軽減効果便益の期待値化

前回の4.でも述べましたように、飼料工場の例では売り上げという便益が長期間に発生し、一般に割引率を考慮した便益が毎年計上されます。砂防事業においても、その事業の効果は将来的にも発生し

ていると考え、評価対象期間が設定されているのは前回にも述べたとおりです。また、砂防施設建設後、大きな降雨が無く、土砂の生産流出現象が発生しないからといって、その施設が無駄だとは言えません。それは次のように説明されます。

土砂災害はこの評価対象期間中に確実に一定の被害をもたらすものではなく、確率的な法則によって被害が想定される「リスク」です。それ故に確率的に定まる被害額をその確率で加重平均した「期待値」で毎年の被害額とする扱いが正当化できます。

ここで、河川の洪水被害の例で、このことを説明します。河川事業では「治水経済調査要項」が昭和45年にまとめられ¹⁾、その後、治水経済調査マニュアルが作成され、洪水被害について以下に説明する手法が採用されています。²⁾

河川は、特に大河川では流量観測が長い期間なされており、水文統計解析により、各流量の年平均超過確率が分かります。その内、洪水被害を発生させない最大流量を無害流量 (Q_0) とし、それ以上の流量規模のいくつかで、各々の被害軽減額を求めます。それらの流量規模区間ごとに、区間平均被害

表-1 年平均被害軽減期待額算出表

流量規模	年平均超過確率	被害軽減額	区間平均被害額	区間確率	年平均被害額	年平均被害額の累計 =年平均被害軽減期待額
Q_0	N_0	$D_0 (= 0)$	$\frac{D_0 + D_1}{2}$	$N_0 - N_1$	$d_1 = (N_0 - N_1) \times \frac{D_0 + D_1}{2}$	d_1
Q_1	N_1	D_1	$\frac{D_1 + D_2}{2}$	$N_1 - N_2$	$d_2 = (N_1 - N_2) \times \frac{D_1 + D_2}{2}$	$d_1 + d_2$
Q_2	N_2	D_2	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Q_m	N_m	D_m	$\frac{D_{m-1} + D_m}{2}$	$N_{m-1} - N_m$	$d_m = (N_{m-1} - N_m) \times \frac{D_{m-1} + D_m}{2}$	$d_1 + d_2 + \dots + d_m$

* (財)砂防・地すべり技術センター企画部次長

に区間確率を掛けて、区間平均被害額を求めます。ある流量規模における年平均被害軽減期待額は、その流量までの区間平均被害額の累計になることが、表-1に示されています。

当然のことながら発生確率をどんどん低くすると、大きな流量になり想定被害額も大きくなりますが、治水事業として対応（ダム、堤防等のハード対策で）できるのは、限界があります。それを事業対象規模として、保全対象の重要度や、経済状況等を勘案して定められます。日本の河川事業では、河川の重要度に応じてこの計画規模が決められています。

改めて表-1を見てお分かりのとおり、河川の洪水は流量規模に応じて、計画規模の洪水（ Q_m ）まで、中小の洪水の発生を考えているということです。つまり被害が想定される洪水現象が一つではなく、大中小の洪水の発生を想定しているということです。従って、河川事業で計画規模の洪水までは防ごうとしているわけですから、その年平均被害軽減期待効果は、計画規模までの年平均被害額の累計であるということになります。

なお、もし表-1で Q_m を計画規模流量として、それを100年平均超過確率として見て、無害流量 Q_0 が10年平均超過確率である場合と、50年である場合を考えてみますと、前者の方が年平均被害軽減期待額は大きくなります。それは、10~100年でも、50~100年でも、区間平均被害（100年被害の半分になり）変わりませんが、区間の平均生起確率が前者では $9/100 (=1/10-1/100)$ になるのに対して、後者は $1/100 (=1/50-1/100)$ に過ぎないからです。

このことから便益として考えた場合、計画規模の被害が同じなら、それ以下の被害の発生頻度が高い場合の方が、被害軽減期待額が大きくなることが分かります。このように年便益としての被害軽減期待額は、その発生確率により大きく左右されることがお分かりでしょう。

6. 土砂災害の被害想定

次に河川の洪水被害に対して、砂防事業が扱う土砂災害について考えてみます。砂防事業と一口に言っても、想定する被害形態は、水系砂防、土石流、地すべり、がけ崩れが対象とする被害は各々大きく異なることは、読者の皆様も認識されているところでしょうが、事業評価の面から考えて着目すべき点を以下に示します。

1) 水系砂防が対象とする被害

これは、砂防事業が対象とする河川の上流域からの土砂流出により、下流域の河川での洪水被害を増大させる被害です。そもそも日本の砂防法はこの「治水砂防」を目的にして明治30年制定されています。³⁾

このような上流山地からの土砂流出による下流域被害というのは、今日、砂防事業の進捗に伴い、大きな被害はだんだん少なくなっています。しかしながら平成7年の北信越豪雨による姫川の災害は、このような被害が現在でも起こりうることを示しました。

水系砂防は主な水系（あるいは山系）ごとに、基本的に建設省直轄事業として対策を進めています。そのような箇所では、砂防基本計画が策定されています。現行の計画は昭和46年度に策定されている箇所が多いのですが、この手法のポイントは、次のとおりです。⁴⁾

- ・被害想定条件は計画雨量時における被害を算定する

- ・下流域への被害を考え計画対象流域の最下流端に基準地点（計画基準点）が設けられており、ここからの最大洪水流砂量を設定している

このことから、河川のように洪水確率規模ごとの被害を想定する形にはなっていません。しかしながら、物理現象としては後述の土石流、地すべり、がけ崩れとは異なり、洪水による下流域への土砂移動による被害を水系砂防は対象としているため、河川と同様な考え方で確率規模ごとの洪水被害を想定することは可能と思われます。問題は、確率規模ごとの土砂の影響をどう想定するかです。

上流域での降雨により土砂が生産され流出して、洪水とともに下流域に伝搬して行きます。従ってある地点での流量は、その上流域の降雨に規制されますから、降雨の発生確率に置き換えて評価できますが、同じ流量だからと言って同じ土砂量が流れてくるわけではありません。上流域の降雨の時空間分布、表層地質の風化ステージ、森林の状況、土地利用形態等様々な要素で、土砂の流出形態は異なります。単純に降雨確率によって下流域の土砂被害を求めることができないことは明らかです。しかしながら、上述に示した被害軽減期待額を求めるためには、計画規模以下の被害の想定を行う必要があります。基本計画手法もこの観点から工夫する必要があります。

2) 土石流による被害

土石流については、現行の河川砂防技術基準（案）では、「土石流形態の土砂流出においては、土石流が発生するかどうかの問題であり、その規模に中間段階を想定することが困難であるため、原則として想定される最大規模の土石流を対象に計画の規模を定めるものとする。」としています。この表現からも分かりますように、水系砂防と比べても、想定される土石流規模以下の土石流被害を想定することは困難です。

現在、建設省調査による土石流危険渓流は、日本全国で79,318渓流とされています。⁹⁾ これらは保全対象人家が5戸以上等の一定の条件を備えているもので、それ以外を含めるともっとたくさんの土石流の発生するおそれのある渓流はあります。

土石流の発生源による分類としては、

- ①山腹崩壊や地すべりなどに起因するもの
- ②河床や山腹（特に火山噴出物の堆積地での堆積物に起因するもの

があるとされています。⁹⁾

特に最近の土石流災害で多数の人的被害を出しています山腹崩壊に起因した土石流は、地下水の挙動によるものが多いと考えられています。そのような場合、土石流は降った降雨の規模に応じて必ず発生する、あるいは発生する土石流の規模が規定されるということはありません。それ故、降雨発生確率で土石流災害を評価するのは限界があります。

一方、②のパターンの中で活火山地域での渓流では、年に何回も土石流が発生している所があります。桜島、焼岳や、噴火直後の雲仙普賢岳では、ある程度以上の降雨があると、必ず土石流が発生しています。活火山のように土砂の供給が無尽蔵にある渓流では、降雨確率規模に従って土石流流量を求められると考えられます。しかしながら、火山活動の状況により変化する土砂の移動現象の頻度を確率評価するまでには、現在のところ至ってはいません。

以上から、評価の対象となる土石流危険渓流におきましては、発生確率に応じた土石流被害想定は困難な場合が多いと言えます。

3) 地すべりによる被害

地すべりは、がけ崩れと同様、斜面の崩壊現象です。その動きは、移動速度に違いはありますが、斜面が不安定化して移動ブロックが形成され、移動を

開始し、放置された場合にはその速度がだんだん速くなり、滑落に至るものも含めて、移動ブロックが安定するまで移動する現象です。

建設省調査で、地すべり危険箇所は日本全国で11,288箇所あります。地すべり対策事業は、農林水産省構造改善局、同林野庁所管分があり、各々4,281箇所と5,739箇所が調べられており、全部を合計しますと21,308箇所にもなります。このうち、地すべり防止法に基づき、地すべり防止区域として工事を行っている、あるいは行った箇所は各省庁合わせて6,922箇所になります。

河川に沿った地すべりが滑落した場合には、河川を堰き止め天然ダムを形成して、上流側を湛水させます。それらが放置されますと、越流やパイピング等により天然ダムが決壊して、下流に段波・洪水が及んで被害を発生させる事となります。

現在の日本では、日常人々が生活する範囲での地すべりは、地すべり観測および対策工事技術の進歩により、崩落まで見ることはほぼ無くなったと言えます（地震によるものは別です）。とにかく、人の住まない山奥を除き、地すべり変動が確認された場合には、初期の対策が施され、地すべり変動を抑制・抑止して行きます。また地すべり対策工事は、その動きに応じて、その工事を評価します。すなわち、計画安全率を達成するための全体工事計画が設定されますが、その途中で地すべり変動が収まれば、概成という判断をして、工事を中断するケースもあります。

ところが、事業評価においては、前回でも述べましたようにwith/withoutの比較を行うことになり、全く工事をやらない場合の被害を想定することになります。前述してとおり、現実には、現在の日本においては、地すべり活動を検知した場合に滑落まで放置することはあり得ないのですが、滑落まで考えた被害想定を行うことになります。このように滑落まで想定した場合、それ以下の被害の発生頻度というものを求められません。また、地すべりの性質にもよりますが、毎年少しずつ動くようなものもあり、このような地すべり地で道路の亀裂、家屋の破損等の被害がいつも発生しています。

以上、地すべりは発生確率規模に応じた被害の想定を行うのが極めて困難な現象です。

4) がけ崩れによる被害

現在、日本全国でがけ崩れの危険な箇所を急傾斜地崩壊危険箇所として、建設省調査で86,651箇所が上げられています。これも土石流危険渓流と同様、保全対象人家5戸以上等一定の要件がつけられています。しかしながら道路沿いのがけ地等を含めると、がけ崩れの危険箇所は日本全国無数になります。

がけ崩れは、上述の地すべりと同様な現象もあれば、それこそ斜面上にあった岩が落ちる落石現象も含まれます。こうなると、被害の発生確率を評価するのは、河川の流量規模ごとの発生確率を評価するような考え方では無理です。全く発想を変えて検討する必要があります。

以上、述べてきましたとおり、一口に土砂災害といっても、その被害の発生形態は一様ではありません。日常的に発生するような現象もあれば、めったに発生しない現象もあります。

このような土砂災害に対して、事業評価を行うためには、従来から主な便益として被害軽減効果を計上してきています。その上に年便益を求めることが必要となったため、被害の発生頻度に着目して被害想定を行おうとしているわけです。しかしながらここで注意しなければならないことは、被害を受ける対象についてです。

河川事業においては、洪水被害を受けても保全対象物が確実に復旧するという考え方に立ち、現状の資産の評価額を基準にしています。河川では、小さな洪水では家が流されるような被害を受けることはなく、床上浸水であったとしても畳の入れ替え程度で復旧します。また、家屋が流出するような洪水は、発生確率が小さいのが一般です。従って、めったに合わない災害を受けたということで、もとの場所に家を建て直すことは現実的です。従って、常に同じ保全対象がある状態で、様々な規模の洪水が発生することを想定しても合理的であると言えます。すなわち、100年超過確率規模の洪水が発生した翌年に、10年超過確率規模の洪水が発生することを想定することができるという考えです。

これに対して、そのような場所には本来家を建てないでしょうが、毎年のように土石流に見舞われたとしたら、住民は家を再建することはあきらめるでしょう。このような場合には、家屋資産で被害軽減期待額を出すことはできません。計画規模の被害の

みを考えていた場合には、この点は問題になりませんでした。

たとえば、がけ崩れについては過去の災害調査データから、降雨量との関係を見ますと、降雨確率にして極めて低い値でも、災害が発生しています。土砂災害が発生確率で説明することが困難なことはこれまで述べましたが、降雨を一番の誘因として発生しているため、その被害の発生を降雨確率に置き換え、従来から説明しています。そうなると、現状でがけ崩れは1年超過確率規模でも発生しているということになります。

このような場合には、年平均被害軽減期待額は1年確率から被害を想定できることになりませんが、上述したように家屋の再建が考えられない以上、このような想定はあり得ません。では、どの程度の頻度から被害を計上するかということになります。5年ごとに被害を受けることが想定されるなら、人々は住宅を再建しないでしょ。あるいは10年ならどうでしょうか。これでも頻度的に多いような気がしますが、都市近郊や山間の限られた土地なら、移転先もないので、再建する必然性は高いとして、被害の想定が許容されると思われます。

以上は、家屋を代表とする資産に対する被害を考えていますが、土砂災害は人命に与える被害が大きいのが特徴です。必ずと言っていいほど土砂災害では人的被害があります。この人的被害についてどう評価するかが課題です。家屋のように再建を条件に異なる被害確率で評価できるのとは、当然条件が異なります。

また被害の発生頻度と家屋を再建する状況について述べましたが、費用便益分析においては、対策施設により保全対象を守る費用と、移転する費用の比較が必要になります。この場合、可住地域の限られている日本の状況をよく考えて、移転の費用を評価することが必要になります。

このように、評価における土砂災害の被害想定は、災害の発生頻度を知るための現象のメカニズムの解明と、社会的ニーズ等を勘案して、本来は行う必要があります。現在、これらの被害想定については、水系砂防・土石流対策・地すべり対策・急傾斜地崩壊対策の各々について、割り切った説明を検討しています。その結果は別の機会に紹介いたします。

7. 貨幣価値のない便益について

被害軽減便益を家屋の資産等で計上する手法は、費用便益分析手法の中で「代替法」と言います。代替法は次のように説明されています。

「事業の評価を、評価対象社会資本と同様な効果を有する他の市場財で、代替して供給した場合に必要なとされる費用によって評価する方法である。評価額は、適切な代替材が存在する場合は、対象となる財・サービスを他の市場財で代替するために必要な潜在的支出額であり、対象となる財・サービスの整備が一定の被害軽減を目的とする場合には、回避される被害額となる。」⁷⁾

この代替法で求められる被害軽減便益に対して、砂防事業の環境保全効果についても着目されています。特に同じ治水事業である河川事業が「河川法」を改正して、河川環境の整備と保全を新たな河川管理の目的として加えていることもあり、費用便益分析において環境便益の計測を行う必要があります。ところが環境は代替すべき市場財がないため、その評価に対して代替法は使えません。

これらの環境便益を計測する手法の一つとしてはCVM (Contingent Valuation Method: 仮想市場法) があります。CVMは非市場財の便益を計測する手法の一つで、人々の支払い意志額 (WTP: Willingness to Pay) をアンケート調査により聞き取り計測するものです。事業実施の有無 (with/without) による変化に対する人々のWTPは、消費者余剰として事業の便益とすることができ、このように評価対象となる事業のもたらす効果に対して、受益者が対価として支払ってもよいと考える金額 (WTP) の合計値をもって評価する手法がCVMです。河川環境整備に関する評価も、現在CVMを用いて検討を進めています。

CVMではWTPが年支払い意志額として求められるので、年便益として計上されます。このことから、代替法で計上している被害軽減効果についても、今回述べたとおり、確率規模に応じた被害想定が困難で正当な年便益が求めがたいのなら、CVMで評価してしまうことも考えられます。また人的被害についても、CVMによって人命に値段をつける方法とは別の観点で評価することができます。

すなわち砂防事業の保全便益として、事業実施により人命および資産が守られ、地域が安全になるという人々の安心感向上効果として、CVMによりそ

のための人々の支払い意志額を計測する考えです。これらについての調査結果やCVMの課題等については次回に紹介します。

参考文献

- 1) 治水経済調査要項、建設省河川局河川計画課、昭和51年3月
- 2) 治水経済調査マニュアル (案)、建設省河川局、平成12年5月
- 3) 日本砂防史、全国治水砂防協会、昭和56年6月
- 4) 砂防便覧 (昭和45年版)、建設省河川局砂防部、昭和45年9月
- 5) 砂防便覧 (平成11年版)、建設省河川局砂防部監修全国治水砂防協会発行、昭和12年4月
- 6) 土石流災害、池谷浩、岩波新書、平成11年10月20日
- 7) 「社会資本整備に係る費用対効果分析に関する統一的運用指針 (案)」の策定について、建設省、平成10年6月