

洪水氾濫による精神的被害及び流動性被害の研究 — 浸水被害実態の治水経済調査への反映を目指して —

Study on psychological damage and impact of liquidity constraints caused by floods
- For economic survey on flood control to reflect the actual inundation damage -

湧川勝己¹・小林潔司²・幸弘美³・矢野定男¹・伊藤弘之⁴

Katsumi WAKIGAWA, Kiyoshi KOBAYASHI, Hiromi YUKI, Sadao YANO and Hiroyuki ITOH

¹正会員 (財) 国土技術研究センター調査第一部 (〒105-0001 東京都港区虎ノ門3-12-1)

²正会員 工博 京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻 (〒615-854 京都市西京区京都大学桂)

³正会員 (株) 東京建設コンサルタント環境防災部 (〒170-0004 東京都豊島区北大塚1-15-6)

⁴正会員 工修 国土交通省国土技術政策総合研究所 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1)

It was proved that there were liquidity constraints depending on the amount of damages in property incurred by the affected households in relation to their financial assets. A method is proposed to estimate the duration of post-flood recovery required to calculate the amount of the loss from liquidity constraints. With regard to psychological damage, the relationship between the depth of inundation and the magnitude of the psychological damage, and its temporal change are considered in the calculation. As a result, it was found that psychological damages consist of the damage that fades over time, and the one that affects the victim for a long period. A method to quantify the damage based on this constitution is also proposed. In this study, a direction is presented for future economic survey on flood control to evaluate the effectiveness of flood control measures that cannot be estimated by conventional methods focused on property damages. In addition, the considerations for obtaining more accurate information on flood damages are also pointed out.

Key Words : flood control economy survey, cost-benefit analysis, psychological damage, liquidity suffering

1. はじめに

治水事業の経済性についての検討を行う技術的なマニュアルとして、治水経済調査マニュアル(案)(平成17年4月)¹⁾が国土交通省河川局より出されている。このマニュアルにおいては、洪水氾濫による直接的・間接的な被害のうち、現段階で経済的に評価可能な被害の防止効果を便益として評価することとなっている。

この治水経済調査マニュアルにおいては、浸水による被害額を再調達価格で評価することとしており、概念的には水害後直ちにもとの資産保有状況に戻れることとしている。しかしながら、水害によって生じる直接的資産被害額は同じであっても、被災者の有する資産や所得によっては、全ての被災者が被災後直ちにもとに資産保有状況に戻れるとは限らない。むしろ、被災後の資産復旧の状況は、図-1に示すように被災前の資産保有状況(A_0)に戻るのではなく、金融資産の保有状況や被災後の生涯所得等を勘案して被災後の所得や資産から得られる効用を最大限にするような資産復旧レベル(A_3)を被災者が設定し、ある時間(T)をかけて復旧活動を行う

ことが多いと考えられる。

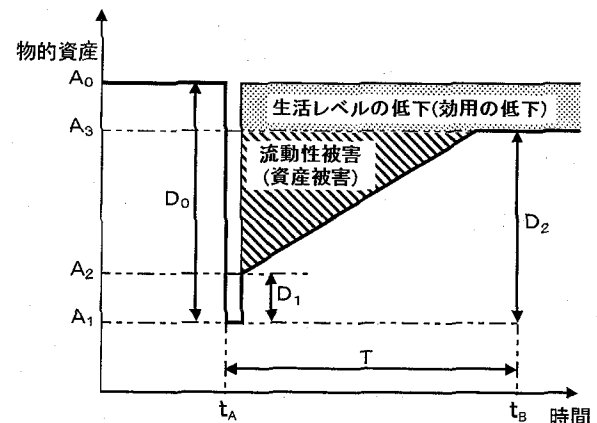


図-1 被災後の物的資産の復旧状況イメージ

また、治水経済調査マニュアルにおいて、精神的な被害を治水事業の間接的な効果として捉えられているものの、算定の具体的な手法については述べられていない。

治水事業による経済的な効果を不足なく把握するためには、直接的な資産被害を把握するだけでなく、復旧過程を考慮した資産被害(以下、流動性被害という。)

や精神的な被害を算定する手法を開発し、的確な経済効果の把握を行う必要がある。

本報告においては、今後の治水経済調査マニュアルの高度化を目指し、流動性被害及び精神的被害の把握手法と手法の適用性について、平成16年10月台風23号によって大きな浸水被害を受けた円山川流域を対象として検討した結果を述べる。

2. 水害による被害の実態（水害被害の構造）

平成16年10月の台風23号は、円山川の基準地点立野上流において12、24時間雨量としては戦後最大、2日雨量においても戦後3位となる非常に大きな降雨をもたらし、流量としては過去最大であった伊勢湾台風時の洪水流量を越える最大のものとなった。

この洪水によって、円山川立野大橋付近及び出石川鳥居橋付近において破堤氾濫が生じるとともに、沿川のいたる箇所でも越水氾濫や内水氾濫が生じ、兵庫県但馬地域において死者7名、重傷者23名、軽傷者28名、家屋の損害率が50%以上の全壊家屋333棟、家屋の損害率が40%～50%以上の大規模半壊家屋1,082棟、家屋の損害率が20%～40%以上の半壊家屋2,651棟、一部損壊及び床上浸水837棟という大きな浸水被害が生じた。

これらの氾濫地域のうち破堤氾濫によって大きな被害が生じた豊岡市庄境地区、鳥居地区及び浸水深が大きかった赤崎地区を対象として、浸水による資産被害と復旧過程及び精神的被害の有無を把握し、流動性被害と精神的被害の構造と算定手法に関する検討を行うため、3回にわたるアンケート調査を実施し、約400の家計から連続的な回答を得ることができた。

アンケートでは、台風23号による浸水被害以前の浸水経験の有無、台風23号による浸水で受けた家屋等の資産被害の内容、水害後の復旧状況（5ヶ月後、17ヶ月後、25ヶ月後）、浸水被害による身体的な影響、台風23号による浸水被害以前の資産保有状況と損害保険への加入の有無、復旧資金と調達先、浸水によって受けた不安感や精神的苦痛・症状、保険への支払意思額について約50の項目について質問している。

この浸水によるアンケート調査回答家計の被害額（家屋被害と家財被害の合計値）の平均は、1,826万円であったが、図-2に示したように調査対象家計の内の約1/3が被害額（復旧のための必要調達額）よりも復旧のために用意できる資金（調達可能額）が下回り、被災前の状況に完全に復旧できない状態（流動性被害が発生している状態）にあることが分った。

また、家屋や家財等の物的な被害が全て経済的に補償されたとしても精神的な被害は残るかとの質問に対しては、図-3に示したように3回の調査とも精神的な被害が残ると90%以上の家計が答えており、浸水による生命の

危機感等の精神的被害も無視し得ないものであると考えられる。

また、水害後25ヶ月経過した状態での浸水地域のアンケート回答家計の家屋・家財の復旧率は約76%となっており、水害前の状態に完全には戻っていない。

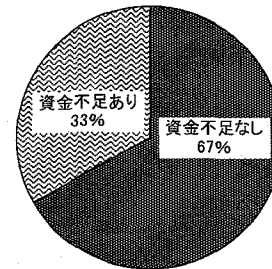


図-2 流動性被害発生の有無

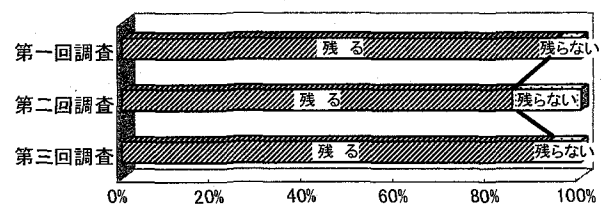


図-3 精神的被害が発生した家計の割合

3. 流動性被害の実態と被害額の推計方法

(1) 復旧過程のモデル化

流動性被害の概念については、前報²⁾で述べたので、その概念に基づいて復旧過程をモデル化することとする。

豊岡水害における水害後の現実的な資産被害の復旧状況を見てみると、図-1に示したように、必ずしも被災前の資産保有状況 (A_0) に戻すのではなく、金融資産の保有状況や被災後の生涯所得等を勘案して被災後の所得や資産から得られる効用を最大限にするような資産復旧レベル (A_3) を被災者が設定し、ある時間 (T) をかけて復旧活動を行うことが多い。流動性被害は、この図に示した復旧のための必要調達額 (D_2) に水害後の調達可能額 (D_1) が及ばず、災害復旧レベルに至るまでに長時間（例えば、一年以上）を要する場合に、資産被害の一部として被害が発生したものとして捉える。なお、災害前の資産レベルと目標復旧資産レベルとの差 ($=A_0-A_3$) に伴って発生する被害は、効用次元での被害として捉え、流動性被害とは別のものとして考えることとする。

この流動性被害額を算定するためには、必要調達額 (D_2) と調達可能額 (D_1) を算定する必要があるが、本研究では、アンケート調査の結果を基に流動性制約モデルの作成を行い、流動性被害発生の有無と不足調達額 ($=D_2-D_1$) の算定を行った。また、被災の後に目標復旧レベルに到達する時間 (T) 並びにその過程をハザードモデルを用いたマルコフ推移確率モデルを用いて推算し、

流動性被害額の算定を行った。

(2) 流動性制約モデル

豊岡におけるアンケート調査結果を用いて定式化した流動性制約モデルは、サンプルセレクションメカニズムを有する連立方程式モデルであり、Tobitモデルを代表とするサンプルセレクションモデルと同様の構造をしている。但し、標準的なTobitモデル^{3,4)}とは異なり、1) サンプルセレクションメカニズムが、不均衡モデル⁵⁾と同様のショートサイド原則^{6,7)}で表現されていること、2) 確率誤差項 ε_1^i と ε_2^i の間に相関関係が存在すること、3) サンプルセレクションに関する外的基準が利用可能であるという特性を有している必要があることから、Tobitモデルを拡張して上記の三つの特性を考慮できるように必要調達額 (C_i) と調達可能額 (L_i) を以下のように定式化した。

$$C_i = C_i(x_i) = x_i \beta^i + \varepsilon_1^i \quad (1)$$

$$L_i = L(y_i) = y_i \gamma^i + \varepsilon_2^i \quad (2)$$

ただし、 $x_i = (x_i^1, \dots, x_i^N)$ は、世帯 i の必要調達額を説明する世帯属性ベクトル、 $\beta = (\beta^1, \dots, \beta^N)$ はパラメータベクトルである。記号「 $'$ 」は転置を表す。 ε_1^i は観測不可能な属性に関する確率誤差項である。 $y_i = (y_i^1, \dots, y_i^N)$ は、調達可能額を説明する世帯属性ベクトル、 $\gamma = (\gamma^1, \dots, \gamma^N)$ はパラメータベクトル、 ε_2^i は確率誤差項である。確率誤差項 ε_1^i と ε_2^i は、ともに分析者に観測できない世帯属性を表す確率変数であり、互いに強い相関があると考えられる。

表-1 流動性制約モデルのパラメータ推計結果

変数	パラメータ	t-値
必要調達額モデル		
定数項(x_0)	β_0	0.912 2.754
一般資産被害額(x_1)	β_1	0.253 9.663
被害額流動性比(x_2)	β_2	-0.119 -2.458
保険カバー率(x_3)	β_3	6.686 14.007
調達可能額モデル		
定数項(y_0)	γ_0	2.415 5.777
金融資産残高(y_1)	γ_1	0.252 5.884
土地資産価額(y_2)	γ_2	0.05 2.243
保険金給付額(y_3)	γ_3	1.141 10.813
相関係数	ρ	-0.1 -
標準偏差	σ_1	1.91 -
標準偏差	σ_2	2.29 -
初期対数尤度		-1326.637
対数尤度		-305.236
自由度調整済み尤度比		0.739

注)被害額流動性比は、一般資産被害額/(世帯年収+金融資産残高)で定義される。説明変数の単位は、調達額、一般資産被害額、金融資産残高、土地資産価額、保険金給付額は100万円である。なお、分散 σ_1 、 σ_2 に関しては $\sigma_1=0$ 、 $\sigma_2=0$ という帰無仮説が定義できないためt値が記載されていない。

アンケート調査の結果を用いてパラメータの推計を行った結果を表-1に示した。

このモデルを用いて豊岡市の鳥居地区における流動性制約に伴う不足調達額を算定した結果を図-4示した。同図からは、今回の洪水では流動性制約に陥らなかった家計においても1/70の洪水規模においては流動性制約に陥ることが分る。なお、流動性被害の期待値は約5万円程度となった。

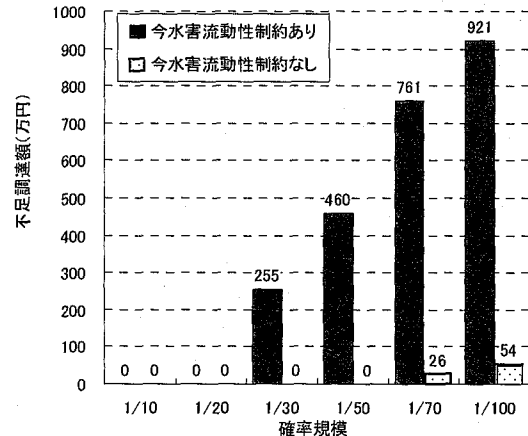


図-4 流動性被害による不足調達額

(3) 流動性被害の推計方法

前節までの検討において流動性制約による調達不足額の期待値は算定しようが、復旧に要するまでの時間が分らないと流動性被害額を算定することは困難である。このため、復旧に要する時間(復旧過程)についてアンケート調査結果を用いて、1) 対象とするサンプルが有する個別情報に基づいて世帯復旧のハザードモデル^{8,9)}を推定し、2) その結果を用いてマルコフ推移確率を推定するという2段階の推定法を用いることにした。

なお、復旧度については、アンケート調査結果を基に、復旧度1:浸水被害時の状況からほとんど変化無し、又は生活に不自由を強いられている、復旧度2:浸水前の状況に戻っていないが、概ね復旧は完了、復旧度3:復旧完了し、浸水前の状況に戻っている、の3段階に分類して復旧に要する期間を推定した。

その推定した結果は図-5に示すとおりである。流動性制約が生じない家計において完全復旧までに約2年、流動性制約が生じる家計において完全復旧に約8年を要すると算定された。

この結果から、1) 復旧度2から復旧度3に推移する時点を復旧完了時点とする、2) 家計の資産復旧過程は線形であり図-5のとおりである、3) 資産の耐用年数は22とする、4) 復旧遅延による期待逸失効用は、家計の期待不足調達額を耐用年数(22年)で除したものであるとするという4つの仮定において、

期待流動性被害額

$$= (\text{期待年間逸失効用} \times \text{復旧度1の期待期間}) + 1/2 (\text{期待年間逸失効用} \times \text{復旧度2の期待期間}) \quad (3)$$

として、豊岡市の鳥居地区における流動性制約に伴う被害額を算定すると、図-6のようになり、流動性制約に陥っている家計で平均66万円、流動性制約に陥っていない家計を含める全サンプルで平均20万円となった。

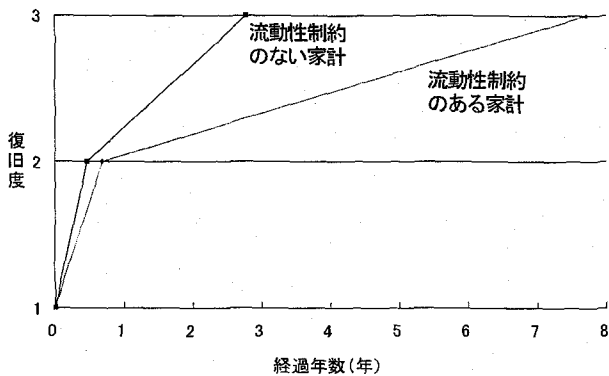


図-5 ハザードモデルを用いて推定される復旧期間

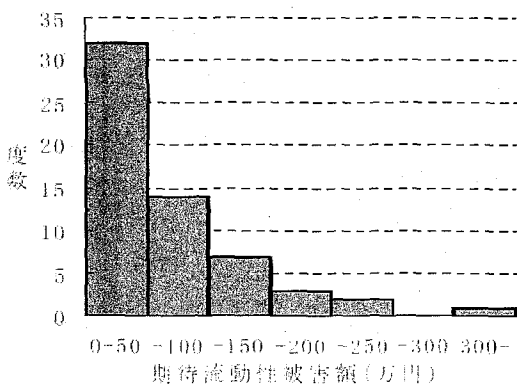


図-6 流動性被害の分布

4. 精神的被害の構造と被害額の推計方法

前報²⁾では洪水の精神的影響項目を因子分析し、抽出された因子の大きさ(因子スコア)と浸水深の関係および因子スコアと精神的被害回避のための支払意思額(=被害額)の関係を分析し、浸水深から精神的被害額を推計する方法を提案した。

しかし、精神的被害の発生構造は種々の要因の複雑な因果関係によって構成されている。前報のようなマクロな捉え方により推計された被害額は、発生構造に着目したアプローチの異なる手法による推計と比較検証する必要がある。また、精神的被害の発生構造は時間とともに変質し、被害額も変化する可能性がある。そこで本研究では、共分散構造モデルを用いて精神的被害の発生構造をモデル化し、そこでモデル化される構成概念から被害額を推計し、前報の結果と比較した。さらに、第2回、3

回アンケート調査結果をもとに、被害構造、被害額の変化の分析を試みた。

(1) 前報の精神的被害の概要

前報で行った因子分析、重回帰分析による主要な結果を列挙すれば次のとおりである。

- ・精神的被害項目ごとにその大きさを5段階評価で聞いた結果を用いて因子分析を行ったところ、「思い出等の喪失による精神的苦痛」(因子1)と「水害時の恐怖・危機感」(因子2)の2つが抽出された。
- ・因子スコアと浸水深および被害額の関係から浸水深を変数とするWTPの推計式を導き、調査対象家計の平均的な被害額を算出すると4.7万円/(世帯・年)となった。

(2) 共分散構造モデルによる精神的被害額の推計

本研究では図-7に示すような共分散構造モデル(MIMICモデル)¹⁰⁾を用いて精神的被害の発生構造を表現し、図中の「構成概念」を用いて被害額を推計するという方法を採用した。

精神的被害の発生構造として網羅的にMIMICモデルを構成し、その中から最も推計精度が高くなるような変数とモデル構造を最終的に選択した(図-8)。その結果、前報の因子分析結果と類似した精神的被害調査項目が抽出され、水害が家計にもたらすストレスを表す基本概念として「生活レベルの低下に伴う精神的苦痛」(構成概念1)と「被災への恐怖・危機感」(構成概念2)が抽出された。なお、図中には各パラメータのt値も示しているが、すべて2以上であり有意水準95%で説明変数の説明力を保証できる。

共分散構造分析(MIMICモデル)

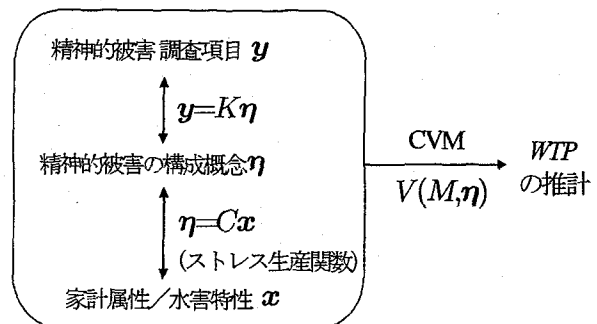


図-7 本研究における精神的被害の概念図

次に被災家計の精神的被害額を表すWTPを次のランダム支払意思額モデルを用いて推計した。

$$WTP_i = b_0 + b_1 \eta_i^1 + b_2 \eta_i^2 + \varepsilon_i \quad (4)$$

ただし、 b_0 、 b_1 、 b_2 は未知パラメータ、 ε_i は平均0、分散 σ^2 のロジスティック分布に従う世帯*i*の確率変数である。

ここで、生活レベルの低下による精神的苦痛 η^1 を抑

止するための支払意思額の中には、水害により喪失した資産額も含まれ資産被害額の二重計算となる可能性がある。アンケート調査では資産被害はすべて給付金、保険金等で補償されること（金銭的補償仮定）を前提としたが、回答がその前提を理解したものとなっているかどうか問題となる。

表-2にはモデルの推計結果を示している。

表-2 ランダム支払意思額モデルの推定結果

モデル1		
説明変数	パラメータ値	t値
定数項 b_0	2.44	11.9
生活レベルの低下 b_1	-0.636	-0.886
再被災への不安感 b_2	5.02	7.11
モデル2		
定数項 β_0	2.42	11.6
再被災への不安感 β_2	3.89	10.6
サンプル数	389	
対数尤度	-681.0	
尤度比	0.315	
平均値	44,679円	
中央値	44,398円	

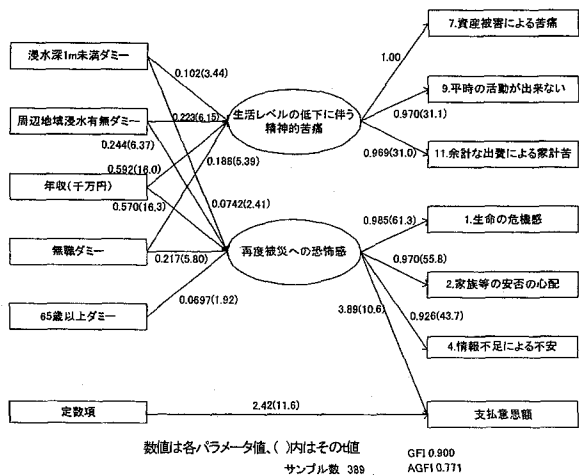


図-8 精神的被害の構造モデル (モデル2)

もし、被災家計が金銭的補償仮定を十分認識していたとき、被災家計の精神的被害は構成概念2のみを用いて評価できるはずである。すなわち、支払意思額モデルにおいて、 $b_1=0$ の帰無仮説が成立しなければならない。 b_1 の最尤推計値は-0.636と十分小さいが、t値は-0.886であり、帰無仮説を有意水準1%で棄却できない。但し、 b_1 に比べて b_2 が大きく、再被災への不安感だけで支払意思額を説明できる。

そこで、モデル2として η^1 を除いたモデルを考えた。

$$WTP_i = \beta_0 + \beta_2 \eta_i^2 + \varepsilon_i \quad (5)$$

表-2に示すモデル2の推計結果は、パラメータの符号条件を満足している。このモデルにより、各調査対象家計の支払意思額を推計すると、1年当たり約2万円から7万円の範囲で分布し、平均値は44,679円、中央値は44,398円と、前報での解析による被害額に近い値となった。

(3) 精神的被害構造、支払意思額の時間変化

第2回及び第3回アンケート調査結果をもとに因子分析を行った結果、第1回アンケート調査結果による分析結果と比べて「余分な出費による苦痛」が除かれ、「思い出の品等の喪失感」や「資産被害による苦痛」の因子スコアが小さくなり、「日常生活に戻れるかへの不安」や「平時の活動ができない不満」が逆に大きくなった。

図-9は第1~3回調査すべてに回答した世帯のみを対象（有効サンプル数114）に行った因子分析から得られた精神的被害項目ごとの因子スコアを比較したものである。因子1では資産被害に関する項目から生活レベルに関する項目へとスコアがシフトしており、因子2では「情報不足」や「水の恐怖」が大きくなっている。

この結果をもとに、被害額推計式を定式化した（図-10）。図中に示した推計式を見て分かるように、因子1による被害額は時間の経過による減衰が著しく、因子2による被害額は徐々に増加している。

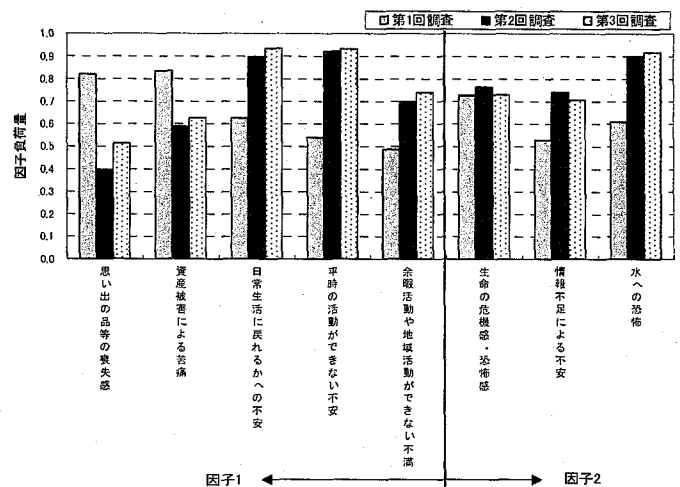


図-9 第1~3回調査の精神的被害構造と因子負荷量の関係

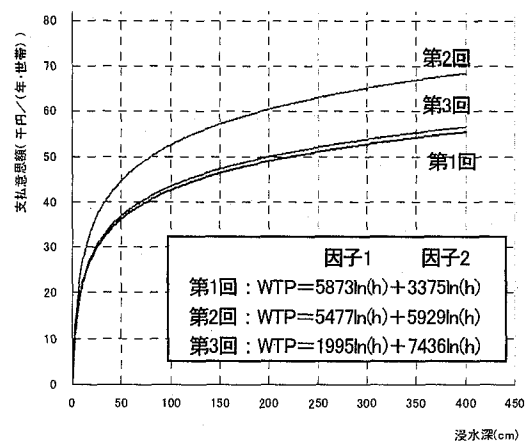


図-10 精神的被害推計式

5. 新たな概念を導入した被害額の算定

ここでは、流動性被害や精神的被害といった新たな被害概念を導入し、治水経済調査に用いる期待被害額の試算を行った結果について述べる。対象地区は鳥居地区を含む出石川下流左岸域である。

(1) 期待被害額の算定

対象氾濫原を50mメッシュに分割し、2次元不定流解析法を用いて氾濫解析を行った。

まず、平成16年水害の再現計算を行い、河道水位、浸水区域、浸水深が良好に再現できることを確認したうえで、1/10～1/100の6段階の確率規模ごとに、家屋・家財被害額を算出し、家屋・家財の期待被害額を求めた。

また、各洪水規模の家屋・家財被害に対して、3.で述べた方法により流動性制約を受ける家計とその被害額を算出した。これを期待値処理し、流動性被害の期待被害額を算出した。

さらに、各洪水規模の浸水深から年当たりの精神的被害額を第2回調査結果による推定式をもとに算出し、年率4%で現在価値化した被害総額を算出した。これを期待値処理し、精神的被害の期待被害額を算出した。

(2) リスクプレミアムの算定

横松・小林¹¹⁾は、家計がCobb=Douglas型効用関数を有する場合を仮定し、防災投資に対応する家計の支払意思額が一般資産の期待被害額に損害保険のマークアップ率(=損害保険会社の保険金支払額/保険料収入)を上限とする限界マークアップ率を乗じたものになることを示している。この支払意思額から期待被害額を引いたものをここでは伝統的リスクプレミアム(TRP)と呼ぶ。TRPは、図-1で示した生活レベルの低下に相当する被害を捉えたものであり、横松・小林による方法で算出した。

(3) 期待被害額の構成

以上、期待被害額を世帯平均で示すと、1)家屋・家財の被害額が15.2万円/年、2)流動性被害額が4.8万円/年、3)伝統的リスクプレミアムが22.5万円/年、4)精神的被害額が2.5万円/年となった。

今回のアンケート調査では、水害保険への支払意思額を調査しているが、その支払意思額の平均値は40万円/年であり、上記の被害額の合計値とほぼ同額となった。これは、潜在的に住民が物的な損失だけでなく、生活への影響(効用の変化)を合わせて評価を行っていることを示すものであり、効用次元での事業評価の重要性を示唆しているものと思われる。

6. 結論(治水経済調査の高度化に向けて)

本稿では、従来の水害統計において考慮されてこなかった精神的被害と流動性被害という2つの被害概念に

ついて提案した。また、アンケート調査結果に基づいて両被害の規模の程度を試算した。それらを実務の治水経済調査へ導入するためには、データの入手方法や計算方法に幾つかの技術的な改善を施す必要がある。とりわけ両被害ともに、正確な計算を実施するためには被災者の生活の精神的・物的復興に関する長期的な将来シナリオを必要とする。よって、調査方法と資産復旧モデルの双方が精緻化されない限り、算定結果は概算に止まらざるをえない。しかし、そうであっても、本研究が指摘する流動性被害と精神的被害を今後の被害算定に導入することの意義は小さくない。

今までの治水経済調査では、主に家屋や家財等の物的資産の直接被害軽減額を便益として治水事業の効果を計測してきたが、高齢化が急速に進行している社会状況等を勘案すると、浸水という現象が被災者のその後の生活にどのような影響を与えるかといった観点から治水事業の便益を捉える必要性が高い。特に、提案したような流動性被害や精神的被害を便益評価の中に加えることは勿論のこととして、効用を物差しとした事業評価に変えていくことが重要である。

参考文献

- 1) 国土交通省河川局：治水経済調査マニュアル(案)，平成17年4月
- 2) 湧川勝己，小林潔司，幸弘美，伊藤弘之：洪水氾濫による精神的被害と流動性被害に関する研究，河川技術論文集，第12巻，pp.175-180，2006。
- 3) Tobin, J.: Estimation of relationships for limited dependent variables, *Econometrica*, Vol. 26, pp. 24-36, 1958.
- 4) Gourieroux, C.: *Econometrics of Qualitative Dependent Variables*, Cambridge University Press, 2000.
- 5) 奥村誠，吉川和広，園田稔康：地域構造が変動する都市圏の不均衡モデルによる分析，土木学会論文集，No. 476/IV-21, pp. 37-46, 1993.
- 6) Bowden, R. J.: *The Econometrics of Disequilibrium*, North-Holland, 1978.
- 7) Quandt, R. E.: *The Econometrics of Disequilibrium*, Blackwell, 1988.
- 8) Lancaster, T.: *The Econometric Analysis of Transition Data*, Cambridge University Press, 1990.
- 9) Gourieroux, C.: *Econometrics of Qualitative Dependent Variables*, Cambridge University Press, 2000.
- 10) Rockafellar, R. T.: Saddlepoints of Hamiltonian Systems in convex Lagrange problem shaving Nonzerodiscount rate, *Journal of Economic Theory*, Vol. 12, pp. 71-113, 1976.
- 11) 横松宗太，小林潔司：防災投資による物的被害リスクの軽減便益，土木学会論文集660/IV-49, pp. 111-123, 2000.

(2007.4.5受付)