

第3章 リスクプレミアムを考慮した事業評価手法の高度化に関する調査

3-1. 研究の概要

(1) 研究の背景と目的

自然災害の生起頻度は稀少であるが、一度災害が生じれば、多くの家計や企業・組織が同時に被災し被害規模が巨大になる危険性がある。このように同時性・巨大性をもつカストロリスクである水害リスクを効果的に軽減するためには、堤防やダム治水施設の整備を行う治水事業に代表されるリスクコントロール手法と水害保険等によるリスクファイナンス手法の双方が必要であり、水害リスクの軽減には、リスクコントロール技術とリスクファイナンス技術を同時に考慮したリスクマネジメント体系を確立することが重要である。

治水事業の経済的便益の評価方法の統一的な考え方を取りまとめるために、2000年5月に「治水経済調査マニュアル(案)¹⁾」(以下、マニュアルという。)が国土交通省によって策定された。マニュアルでは、治水事業の便益算出において、期待被害軽減額そのものを便益と捉えている。期待被害額を用いた経済便益評価方法は、単純に言うと、リスクが小規模かつ独立に多数生起し、被害家計は税金から直接的な被害額分だけを補助されて、被災前の生活形態に戻るということを前提としている。また、保険を使って言い換えれば、家計は災害保険により自然災害による被害がフルカバーされており、被災時に災害保険により被災者が被った損害が瞬時に修復されることを前提としているとも言える。さらに保険市場において給付・反給付の法則が成立し、防災投資の経済便益が家計の支払う保険料の節約額に等しくなるという理想的な状況を想定したものである。しかし、自然災害リスクについては、被害のカストロフ性や復興資金市場の借入れ制約の問題等を無視することができない。そのため、被害が保険によってフルカバーされ、保険市場において給付・反給付の法則が成立しているというような仮定は現実的でなく、費用対便益分析を巨大性・集合性を持つ災害リスクの軽減を目的とする防災投資の経済評価に用いることには限界がある。

これらの課題に対して、横松・小林²⁾は水害リスクに直面する家計の長期的な消費・資産形成と損害保険の購入行動を表す動学的消費モデルを定式化し、リスクプレミアムを考慮した治水事業の便益評価方法を提案している。しかし、水害による資産被害額は同じでも、被災者の収入や資産によって、また被災地域の経済力や地域における被災者の割合等によって、被災後の資産回復・形成過程が大きく異なってくる。また一方、治水施設のように全体としてのリスクを低下させるプロジェクトについては、リスクプレミアムを考慮する必要があると言われている³⁾。

横松・小林モデルでは、家計が将来の所得を担保として、復旧のための資金を借り入れることができない状況を想定している。ところが、現実には、家計が水害により被災した場合には、復旧資金を確保するために、保険金、自己資金のみならず、金融機関からの借入を利用することも可能である。将来の所得を担保にして、一時的に流動性資産を確保することにより、家計は被災資産を復旧することができ、資産の利用による効用を享受できる。しかしながら、実際には家計の借入は無限ではなく、将来獲得できるとされる所得を全て担保として、借り入れることはできない。そのために、家計の生涯効用を最大化するために必要な復旧資金が必ずしも全額調達できるとは限らない。このような、復旧資金の不足に伴う効用の低下は、これまでの研究では指摘されてこなかった水害の被害であり、防災事業の投資便益に考慮されるべきプレミアムであると言える。

さらに、地震や水害のような自然災害の被害は、経済的な被害のみならず、精神的な被害も極めて深刻である。阪神淡路大震災では、心的外傷後障害(post traumatic stress disorder: PTSD)がマスコミ等で大きく取り上げられ、世間の注目を浴びた。2002年に中央ヨーロッパを襲ったエルベ川の大規模な洪水や2004年12月にインドネシア・ス

マトラ島沖でおきた地震・津波による災害では、教師や子供に対する精神的ケアの必要性や、外国人の出身国における精神的フォローの必要性が指摘された。水害による精神的被害の内容としては、1)資産や家財を失ったことによるショックや今後の生活の悩み、2)避難所生活における不安感・疲労感(特に高齢者の方の被害が多い)、3)水害後の清掃活動による疲労感、4)学校の教科書や衣類、家族や友人にもらった大事なものを失った子供のパニック症状、5)再び水害に遭うかもしれないといった不安などが指摘されている。これら災害特有の精神的苦痛は甚大であり、Greenら⁴⁾や Tunstall⁵⁾らは一般家庭においては物的被害よりも精神的被害のような無形のものの方が重要であるとしている。

このように、地震や水害に伴う人々が受ける精神的被害については、これまでも数多くの指摘がされてきたにも関わらず、その経済評価の方法論が確立されていないこともあり、これまでの防災事業の費用便益分析では、精神的被害の軽減効果を考慮してこなかった。

このような背景に基づき、国民生活の豊かさや安全・安心を確保する防災事業の効果を適正に評価するという観点から、近年、治水事業の実施等によって氾濫域の居住者等が「被災する」という不安感が緩和されたり、被災後に必要な借入ができないに伴う復旧が遅延することによる損失を軽減する効果等、これまでの事業評価では表されていない効果を示すことが求められている。

平成16年2月に策定された公共事業評価の費用便益分析に関する技術指針(以下、「技術指針」)においても、このような観点から、防災事業のリスク評価において事業の効果を計測する考え方として、リスクプレミアムの考え方を導入し、1)仮想的市場評価法(CVM)を用いた支払い意思額による計測、2)保険市場データを用いた計測等の手法が示されている。このような考え方による事業評価が実施されるためには、従来の治水経済調査マニュアルの考え方に基づく期待被害額に加えて、地域全体としての防災事業に対する支払い意思額を把握することが必要となり、具体的には、保険プレミアムの援用手法、CVM等による支払い意思額の把握手法、またはこれに替わる合理性を持った理論モデルの適用について、現地特性を踏まえた実務的運用手法の開発のための基本理論の検討・整理が必要となっている。

そこで、本受託研究では、治水事業評価における災害リスクへの対応に関する経済価値の定義、公共経済学等の理論体系をもとにした事業評価のための理論の構築、実証データに基づく便益計測の手法についての理論的検証を行うものであり、公共経済学の立場から防災事業の社会的意義に関する規範を示すものである。

(2) 研究の位置付けと概要

① リスクプレミアムと防災投資効果

横松・小林モデルでは、危険回避的な家計によるリスクフェアでない災害保険の購入行動モデルを定式化し、家計の災害リスクの下での資産形成行動や防災投資の経済効果を計測する手法を提案した。伝統的な防災投資の費用便益分析においては、期待被害額の軽減効果を用いて防災投資の経済便益を評価する。期待被害額を用いて防災投資の経済便益を評価することは、小規模で各家計に独立に到着する被害をリスクフェアな災害保険により完全にカバーしうる状態を想定している。リスクファイナンス市場が発展すれば、災害保険料をある程度低減できよう。しかし、災害リスクは保険会社にとってもやはり大きなリスクであり、保険料には期待保険金支払額に加えて保険会社のリスクプレミアムが含まれる。このとき家計にとって災害保険は割高な商品となりフルカバーの災害保険を購入しようとするインセンティブは存在しない。災害による被害が災害保険によりフルカバーされていない以上、家計は事前に期待被害額で評価される以上の心理的コスト(負の効用)を負担することになる。そのため、防災投資の便益には、「事後的な被害の軽減効果」が保険でカバーしきれない資産の減少リスクを軽減する効果を含んでいる。一方、災害保険市場の発展によって災害リスクがより広い範囲でシェアされるようになると、防災投資は災害時に

保険金を供給する安全地域の主体にも影響を及ぼすことになる。災害リスクのリスクファイナンスは同質なリスク下にある主体のみの間でリスクをプールする仕組みではない。このとき、防災投資の費用便益分析では「最終的に誰に損失が帰着するのか」という問題を避けて通ることができない。

ところが、横松・小林モデルにおいて使用している災害保険のリスクプレミアムを考慮した防災投資効果の評価モデル(以下、リスクプレミアムモデル)では、いくつかの単純化がなされている。そのために、実際には評価すべき災害リスクによる被害を評価することができず、実際に生じている防災事業の便益を見落とすことになる。本研究では、リスクプレミアムモデルで仮定された条件を緩和することにより、リスクプレミアムを考慮した防災投資の経済効果を評価する手法を提案する。

② 流動性制約と防災投資効果

リスクプレミアムモデルでは、家計は返済が可能な範囲で自由に借入を行うことが許されている。換言すれば、無限の時間軸を考慮したリスクプレミアムモデルでは、家計はある上限のもとで永久に借換えを続けることができることになっている。このような環境では、家計は被災直後に大規模な借入を行って、家屋や家財を再建したり、消費の減少を最小限に抑えたりすることができる。しかしながら、現実には貸し手と借手の間の情報の非対称性など、さまざまな理由によって、家計の借入には制約が課される。フォワード・モーゲージによる通常のローン契約においては、負債返済の原資には家計が每期獲得する現金収入、給与所得等のキャッシュフローが充てられる。当該ローンによって購入した不動産は抵当には入れられるものの、はじめから抵当不動産の売却益に依存した返済計画は認められない場合が多い。よって借入の規模は、現有の預金や将来の給与所得の範囲内の中に制約される。

災害により家計が負債契約を完済していない家屋を喪失した場合、被災後には負債が残ることになる。家計が獲得できるキャッシュフローに対して初期負債契約における負債残高が多ければ、家計は住宅再建に関わる追加的な負債契約を締結することが不可能となる。その結果、家計は被災時点において、従前の生活状況を復元するために十分な資金を調達することができなくなる。そうであっても、住宅は生存には不可欠な財であるため、家計は制約の範囲で何らかの住環境を確保せざるを得ない。このため、家計にとって借家に移住することが実現可能な選択肢となる場合が多い。しかし、ひとたび選択された住居は、就業や学校、コミュニティの問題などによって、貯蓄が増えてきたところで簡単に変更できるものではない。それによって被災直後に選んだ低いサービスレベルの住宅での生活が長い期間継続することになる。あるいは、被災した住宅や家財の復旧のために、必要な資金を調達できず、完全に復旧できないまま、生活を送ることを余儀なくされることもあり得る。このようなリスクを不可逆な住環境の喪失リスクと呼ぶこととする。

本研究では、以上のような現実的な条件を踏まえて、従来指摘されてこなかった不可逆な住環境の喪失リスクを軽減することによる防災投資効果を評価するための手法について提案を行う。

③ 精神的被害と防災投資効果

横松・小林のリスクプレミアムモデルの研究では、危険回避的な家計の効用関数を仮定して検討を行っており、家計のリスクに直面した状況に対する回避選好を表現することができる。従って、このリスクプレミアムモデルを用いた検討では、家計の選好が瞬間的な消費と物的資産に対する効用として表現されているので、仮にフルカバーの保険を家計が購入した場合には、実際に災害が生起したとしても、家計が受ける事後的な被害はゼロとして評価されることになる。しかしながら、実際には、物的資産に対してフルカバーの保険がかけられており、物的な資産が瞬間的に復旧したとしても、被災家計は思い出の品を喪失する悲しみ、被災後の掃除による疲労、再度災害に対

する恐怖感や不安感といった精神的な苦痛等を感じると想定され、やはり被災者にとって精神的な被害を避けることはできない。

リスクプレミアムモデルでは、このような再度災害への精神的な不安といった精神的被害の大きさを評価することができない。したがって、本研究では、浸水に伴う精神的な被害の構造について分析を行うとともに、精神的被害の軽減効果を計測するための手法について提案を行う。

④ 研究の内容

以上のような本研究の立場を踏まえて実施した検討内容は、以下に示すとおりである。

3-2. の治水事業に関する経済調査の概要と技術的変遷及び課題においては、治水経済調査が行われるようになってから2000年に治水経済調査マニュアル(案)として改定されるまでの技術的な内容の変遷について簡単な整理を行うとともに、現在の治水整備の水準と今後の社会的な変化を勘案し、適正な治水事業の評価を行うために検討が必要な課題について考察を行った。この結果、まず一点目に、現在の治水経済調査マニュアルでは、浸水被害発生時点の家屋や家財等の所有物の被害を被害額として取り扱っているが、人々に治水事業の効果を適切に伝えるためには、そのような直接的な被害が被災

家計の生活にどのような変化を及ぼすかといった被災の有無による終端効用の変化を被害として捉え、直接被害額の算定から横松・小林の研究成果を踏まえて、効用次元での被害額の算定が必要であることを指摘した。二点目には、大規模災害時には家計の属性(年収、金融資産所有額、年齢等)によって、被災家計が復旧資金の調達が行えない可能性(流動性制約に直面する可能性)があり、また、復旧資金調達の可否にかかわらず復旧までに長期間を要する可能性があるので、そのような流動性制約の有無及び復旧時間を考慮した被害額の算定を行う必要があることを指摘した。三点目には、物的な被害が保険や援助金等で補償されたとしても残る思い出の品等の喪失による精神的な苦痛、再度災害への不安や恐怖等の精神的な被害の構造や被害額に関する検討が不可欠であることを指摘した。

3-3. の家計の流動性制約と防災投資の経済効果では、3-2. で指摘した治水経済調査マニュアル(案)の課題である流動性制約と復旧時間を考慮した被害額の算定を行うにあたって必要となる流動性制約判定モデルと復

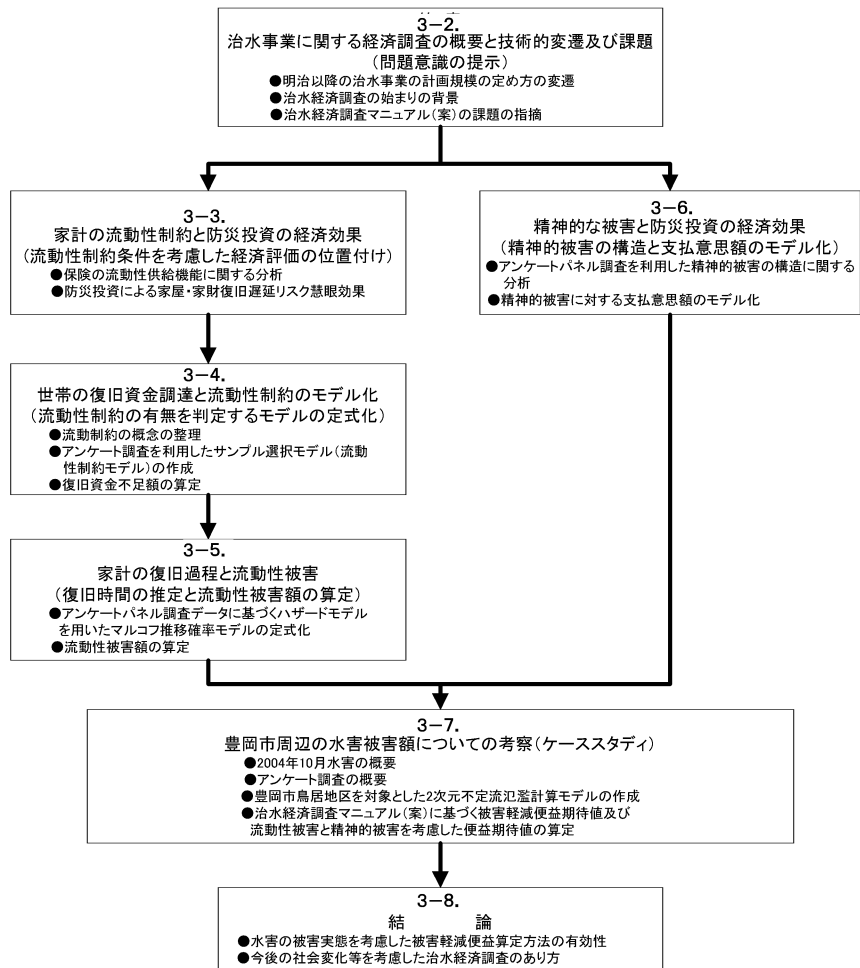


図-3.1.1 本研究の構成と概要

旧過程モデルの定式化を行う前に、流動性制約が家計の厚生に与える影響について明らかにするとともに、防災投資による家計の家財復旧遅延リスクの軽減効果を評価する方法について検討を行い、家計の家屋・家財復旧遅延リスクを考慮した防災投資の経済効果について考察を行った。

3-4. の世帯の復旧資金調達と流動性制約モデルでは、流動性制約の概念を明確にするとともに、流動性制約の有無を判定するモデルの定式化を行うために、平成 16 年 10 月（2004 年 10 月）に生じた台風 23 号による兵庫県豊岡市の水害を対象として、被災世帯の復旧資金の調達状況と流動性制約に関する実態を分析し、ショートサイド原則に基づいたサンプル選択モデルの作成を行った。さらに、被災世帯の復旧資金の調達状況に関するアンケート調査結果から得られるミクロデータを用いて、水害後に世帯が直面した流動性制約の実態を明らかにした。また、流動性制約モデルを用いて、被災世帯の復旧資金に関する流動性制約について分析を行った。

3-5. の家計の復旧過程と流動性被害では、被災後の復旧に要する時間を推算するモデルの定式化を行うために、豊岡市を対象に実施したアンケートパネル調査により得られる復旧度情報を利用して、被災世帯の復旧過程のマルコフ推移確率を推定し、復旧完了までの世帯の復旧過程を表現した。このモデルの定式化を行うにあたっては、各世帯の世帯属性を考慮したうえで復旧過程をハザードモデルにより表現するとともに、推定されたハザードモデルに基づいてマルコフ推移確率を推定する方法を用い、流動性制約に直面した世帯の流動性被害額を推計した。

3-6. の精神的な被害と防災投資の経済的効果では、精神的被害の構造と精神的な被害額を算定するために、豊岡市を対象に実施したアンケートパネル調査により得られる精神的被害の内容と支払意思額及び浸水時の浸水深データを用いて、精神的被害の構造と支払意思額について分析を行った。なお、分析を行うにあたっては、因子分析と重回帰分析を用いた精神的被害に対する支払意思額の定式化と共分散構造モデルを用いた精神的被害の構造と支払意思額の定式化を行い、両手法とも精神的被害額として世帯当り 4 万円程度の精神的な被害があることを確認した。

3-7. の豊岡市周辺の水害被害額についての考察（ケーススタディ）では、2004 年 10 月に生じた円山川の氾濫による被害の概要について整理を行うとともに、3-3. から 3-6. の流動性被害及び精神的被害の内容や構造を把握するために実施したアンケートパネル調査の概要について説明を行った。また、3-3. から 3-6. の研究によって得られた流動性制約モデル、復旧モデル、精神的被害モデルを用いて、アンケート調査の対象地域の一つである豊岡市の鳥居地区を対象に被害軽減便益の算定を行った。なお、被害軽減算定便益の算定を行うにあたっては、新たに鳥居地区を対象とした 50m メッシュの 2 次元不定流氾濫解析モデルを構築し、2004 年 10 月洪水の再現を行ってモデルの再現性を確認するとともに、治水経済調査マニュアル（案）を用いて年当りの期待被害怪訝額の算定を行い、流動性被害と精神的被害の大きさについて比較検討を行った。

3-8. の結論では、上述した一連の研究によって得られた結果を基に、治水経済便益評価手法の方向性について論じ、水害時の被害実態を反映した今後の治水経済調査のあり方について論じた。

3-2. 治水事業に関する経済調査の概要と技術的変遷及び課題

本研究は、治水事業における便益評価のあり方についての方向性を示すものであるため、ここでは、今後の社会変化の動向を踏まえた治水経済便益の評価手法の方向性について整理を行う。

(1) 治水経済調査のはじまりと現状

建設省では水害被害推計のための調査方法を確立するため、昭和32年諫早市における集中豪雨、昭和33年狩野川台風、昭和34年伊勢湾台風及び昭和35年チリ地震津波による水害被害を対象としてモデル的にこれらの水害による被害調査を行い、昭和36年に現在の水害統計調査の母体となる調査要綱を策定した。

この調査要綱策定以降は、水害統計調査要綱に基づく「水害実態調査」及び「水害資料調査」により、昭和44年まで水害被害額の把握を行い、昭和45年にそれまでの調査要綱の改正を行い、現在の水害統計調査要綱が確立されている。

一方、治水経済調査については、水害統計調査を踏まえ、昭和36年「治水経済調査方針及びとりまとめ方法」及び昭和37年「水害区域資産等調査要綱」により実施されてきたが、昭和45年に整理統合されて「治水経済調査要綱」が策定された。

この治水経済調査要綱策定以降では、昭和60年に氾濫計算手法の進歩等を背景として、氾濫計算の技術的な事項について改定を行っている。

この後に、公共事業の事業評価必要性の高まりにあわせて、国土交通省では全省的に適用する事業評価の考え方をまとめるとともに、各局に対して各局所管事業に適用する事業評価の技術的な基準についてとりまとめることを求め、河川局では平成12年に治水経済調査マニュアル（案）^{8）}を改定し、現在に至っている。

この治水経済調査マニュアル（案）検討の際に、家屋や家財の被害率の改定が同時に行われ、治水経済調査マニュアル（案）改定当時の水害被害の実態を反映した被害率の設定が行われた。なお、被害額算定の基となる家屋や家財の評価額を、実施の水害では被害にあった家財等を新規に購入する家計が多いことや公共土木施設等被害の算定では再調達価格となっていることなどから再調達価格に変更を行っている。

また、総便益算定の際に用いられる社会的割引率を事業の性質（安全基盤の整備、快適基盤の整備、活力基盤の整備等の種別）にかかわらず国土交通省統一で4%としたことから、治水事業のような社会の安全基盤整備にかかる事業が不当に低く評価されることを懸念し、この種事業にはリスクプレミアムが存在し、事業評価の際にはリスクプレミアムを含んだ評価が行えることを文献等を基として記述したが、その率などについては明確な記述がされていない。

(2) 治水経済調査の基本的な考え方

治水事業の経済効果は、氾濫原内資産の被害防止効果等のストック効果と事業実施に伴うフロー効果とに大別されるが、治水施設のストック効果について評価することを基本としている。

ストック効果は、洪水氾濫による直接的・間接的な洪水氾濫被害防止効果及び治水安全度の向上に伴う土地利用の高度化等の高度化効果があるが、現在のところ、被害防止効果についても全てを計測できるわけではなく、ましてや、治水施設の整備に伴う高度化便益を計測することは他の社会資本整備の効果を分離する必要もあることから技術的に容易ではなく、また、被害防止効果と完全に切り離して、純粋な高度化便益分を把握することは困難であることから、治水経済調査では、治水事業の経済効果のうち被害防止効果を便益として把握することを基本としている。

なお、治水経済調査では、表-3.2.1に掲げる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防止効果を便益として評価することとしており、一般資産被害額については、家屋や家財等を再調達する場合が多いことから、実際に人々が水害被害を回復するために支出する額に近い再調達価格を基に直接的な被害額を算定することとしている。なお、治水経済調査では、被害を受けた家屋・家財等の資産等は水害以前の水準に瞬時に回復することを前提として、年当たりの期待被害額の算定を行うこととしている。言い換えれば、水害被害額の補償と治水施設の整備のどちらが経済的であるかを比較しているにすぎない。

（３）技術の発達と治水経済調査の変化

体系的な治水計画が策定されるようになってから、治水計画の計画規模は、計画策定時の国家の経済状況を基に決められていたが、戦後、予算制度が単年度に変更されるなどの制度の変化と治水計画規模の検討を行うための流出計算や確率計算技術の進歩を背景として、戦後の荒廃する国土を復興するための社会資本整備の優先順位を決める（主張する）必要性などから、理論的な治水計画規模の決定の考え方が示されるに至った。社会システムと治水計画策定に関する技術的な進歩が、治水事業の論理的な計画規模決定を促したとも言え、社会と技術のパライダイムシフトが事業評価の変化を生んでいるといえよう。

図-3.2.1 には、水害統計調査が実施されてからの水害被害額の推移を示した。戦後の大きな水害を受けて着実に堤防やダム等の治水施設の整備が実施されたため、水害の被害額は減少してきているようにも見える。このような水害被害額の推移を見て、年間に約2兆円の治水投資を行うよりも水害被害額が年間6,000億円程度であれば、水害保険等のリスクファイナンス手法により水害被害を救済する政策に転換すべきとの議論も生まれてきている。

表-3.2.1 治水経済調査マニュアル（案）における便益算定項目

分類					効果（被害）の内容
被害防止便益	直接被害	資産被害抑止効果	一般資産被害	家屋	居住用・事業用建物の被害
				家庭用品	家具・自動車等の浸水被害
				事業所償却資産	事業所固定資産のうち、土地・建物を除いた償却資産の浸水被害
				事業所在庫資産	事業所在庫品の浸水被害
				農漁家償却資産	農漁業生産に係わる農漁家の固定資産のうち、土地・建物を除いた償却資産の浸水被害
				農漁家在庫資産	農漁家の在庫品の浸水被害
			農産物被害		浸水による農作物の被害
			公共土木施設等被害		公共土木施設、公益事業施設、農地、農業用施設の浸水被害
		人身被害抑止効果			人命損傷
	間接被害	稼働被害抑止効果	営業停止損失	家計	浸水した世帯の平時の家事労働、余暇活動等が阻害される被害
				事業所	浸水した事業所の生産の停止・停滞（生産高の減少）
				公共・公益サービス	公共・公益サービスの停止・停滞
		事後的被害抑止効果	応急対策費用	家計	浸水世帯の清掃等の事後活動、飲料水等の代替品購入に伴う新たな出費等の被害
				事業所	家計と同様の被害
				国・地方公共団体	家計と同様の被害および市町村等が交付する緊急的な融資の利子や見舞金等
			交通途絶による波及被害	道路、鉄道、空港、港湾等	道路や鉄道等の交通の途絶に伴う周辺地域を含めた波及被害
			ライフライン切断による波及被害	電力、水道、ガス、通信等	電力、ガス、水道等の供給停止に伴う周辺地域を含めた波及被害
			営業停止波及被害		中間製品の不足による周辺事業所の生産量の減少や病院等の公共・公益サービスの停止等による周辺地域を含めた波及被害
		精神的被害抑止効果	資産被害に伴うもの		資産の被害による精神的打撃
			稼働被害に伴うもの		稼働被害に伴う精神的打撃
			人身被害に伴うもの		人身被害に伴う精神的打撃
			事後的被害に伴うもの		清掃労働等による精神的打撃
			波及被害に伴うもの		波及被害に伴う精神的打撃
		リスクプレミアム			被災可能性に対する不安
高度化便益					治水安全度の向上による地価の上昇等

※色付けした部分は、マニュアル（案）において具体的な便益算定手法が記述されているもの。

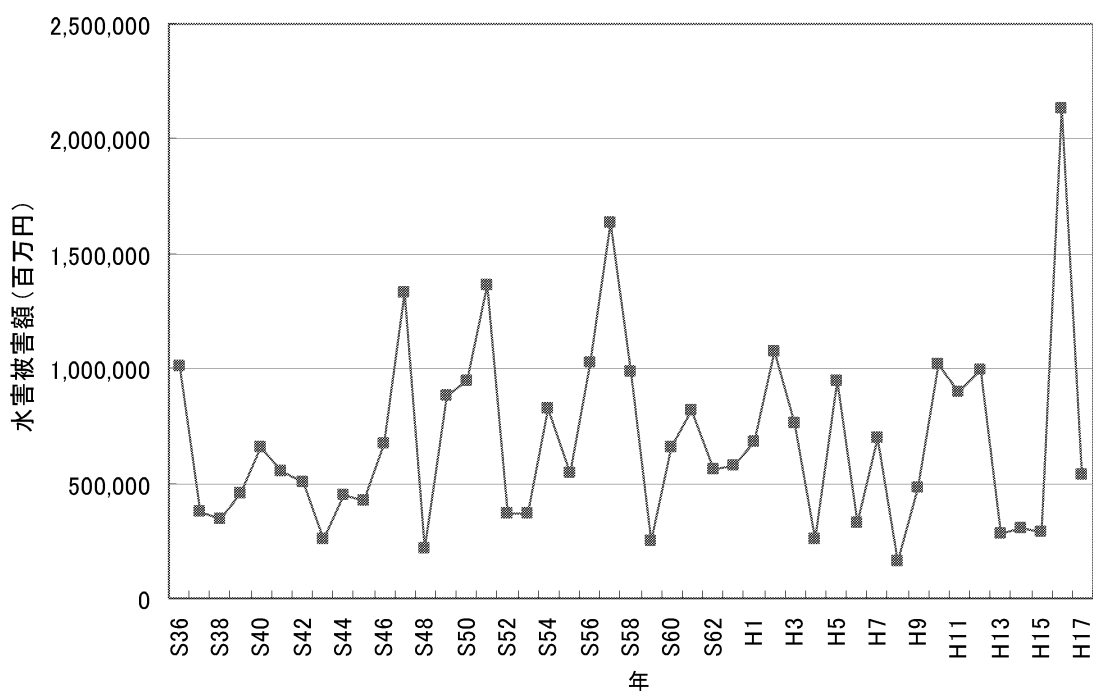


図-3.2.1 水害被害額の経年変化

しかしながら、平成 16 年度のように 10 個の台風が日本本土に上陸し、治水施設の整備規模以上の洪水に見舞われると大きな水害が発生することは自明である。また、水害に遭遇する頻度が減少してきているが故に、人々の水害に対する耐性は低下しており、現在の治水経済調査で考えているような被害だけではなく、より大きな被害を発生させる可能性が高まっている。

安全で安心な豊かな社会の形成に向けて、社会資本の安全基盤を担う治水施設の整備の効果を適正に評価し、着実な整備を行うためには、水害による物的な被害だけではなく、人が感じている日常の効用が水害に遭遇することによって低下するような現象を適切に治水経済調査に取り込んで評価していく必要がある。

換言すれば、高齢化成熟社会への転換という社会のパラダイムシフトを受けて、治水経済調査もそれに対応するものとして、その改定を行っていく必要がある。

（４） 現行治水経済調査の課題

今後の高齢化成熟社会への変化を踏まえて、適切、的確な治水事業の評価を行うためには、治水事業の中へ効用評価を取り入れるなどを行ってリスクプレミアムの評価を行うとともに、水害による社会や個人資産の形成の変化等を適切に見込んで水害の影響を評価していく必要があり、以下に示すような課題を解決していく必要がある。

① 防災事業におけるリスクプレミアムの導入

現在の治水経済調査は、前述したように、被災後に瞬時に被災前の状態に復旧することを前提として評価を行っている。これは、治水経済調査が、治水事業の妥当性を評価することを目的としている故に、家屋・家財等の直接的な被害額と治水事業費の大きさを比べることに主眼をおいていることによる。換言すれば、国が全額被害補償を行うのと堤防やダムなどの治水施設をつくることのどちらが安いかを比べ、堤防やダムなどの治水施設を作ることが安い場合（ $B/C > 1$ ）に治水事業の妥当性が説明されるという発想に基づいている。

しかしながら、制度として被災額を全額補償されるような制度は存在しないので、個人は個人それぞれの浸水に関するリスクを適正に評価し、必要に応じて適切なカバー率の災害保険に加入しているのが現状である。

治水経済調査マニュアルにおいても、治水事業のような社会の安全基盤を整備する事業については、他の事業と同じような社会的割引率を用いるのではなく、低い社会的割引率を用いるか、リスクプレミアムの考え方を導入する必要があると記述されている。

リスクプレミアムは、直接被害額の期待値と人々がその施設整備によって軽減される効用次元での被害額の期待値の比であるので、横松・小林の研究成果を応用して効用次元での被害軽減額の算定を行うなどして、治水経済調査に用いるリスクプレミアムを定め行く必要がある。但し、リスクプレミアムは、治水施設の整備水準が向上していくと変化するものであるので、単に画一的なリスクプレミアムの値を示すだけでなく、その考え方と算定の方法論を提示する必要がある。

上述したようなことを勘案すると、治水事業をはじめとして、防災事業の適正な評価を行うためには、単に直接的な被害額だけを評価するのではなく、被災者の生活への影響、満足度の変化を評価する必要があり、施設の整備水準に応じた効用次元での被害を適正に評価することが必要である。特に、高度経済成長期が終焉し、高齢化成熟社会へと変化している社会の現状を勘案すると、早急に評価方法を変更する必要性が高いと思われる。

② 水害と被害等の時系列的関係（流動性制約と災害復旧過程の考慮）

治水経済調査においては、所有資産の再調達価格のみで水害被害額を評価することとしているため、概念的には水害後直ちに元の生活・社会経済活動状況に戻れることを前提として水害被害額の評価をしていることになる。しかしながら、現実的には水害から通常的生活・社会経済活動に戻るまでには、水害の規模によっても異なるが相当の時間が必要であり、図-3.2.2に示すような元に戻れない被害が生じている可能性がある。

このような災害からの復旧時間は、災害規模が小さい場合には、評価上無視し得る程度のものであると考えられるが、災害規模が大きくなるほど長くなり、評価上も無視し得ないものであると考えられる。換言すると、まだまだ不十分であるとは言え、ある程度の治水安全度が確保されている現状では、大規模な災害しか起こらない可能性が高く、大規模災害の不可逆的な被害を適正に評価しないと、事業の必要性が十分に説明できない可能性もあるということである。

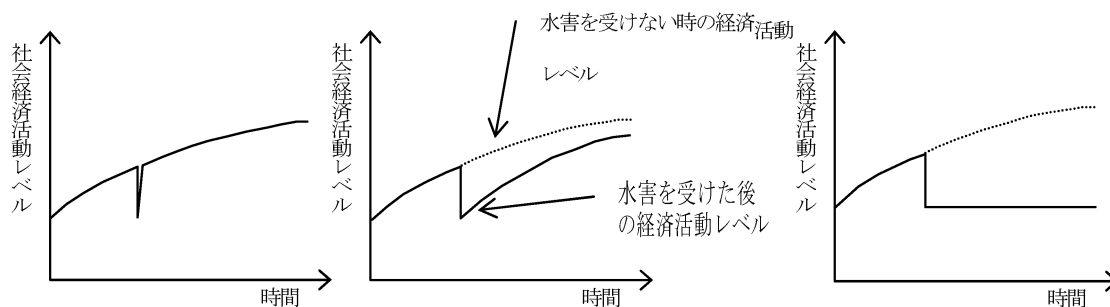


図-3.2.2 水害から通常の社会経済活動に戻るまでの時間について

また、水害によって生じる直接的被害額は同じであっても、被災者の有する資産や所得、被災地域の経済力や都市部・農村部といった地域特性、さらには地域における被災者の割合等によって、水害から通常の社会経済活動に戻るために要する時間が大きく異なってくる。このため、災害復旧資金の不足等（流動性制約）による復旧遅延等の被害（流動性被害）を適正に評価する方法について検討することが急務となっている。

③ 精神的な被害額の算定

水害は物的な被害だけでなく、再度災害への不安、浸水による生命的な危機感等の心理的・精神的な被害をもたらすことは言われているものの⁹⁾、精神的な被害の構造やその定量的な評価は行われていない。

これらの精神的な被害は、浸水が発生する時間等によっても異なるが、被災者に被災時の状況を想定できないことがその一因であるとも考えられる。また、一方今後の治水事業の展開を勘案すると、堤防やダムなどのハードな治水施設の整備だけでなく、洪水予警報の充実やハザードマップの整備等のソフト施策も重要になってくることが想定され、これらの施策の経済的な評価を行うことも必要になる。

上述のようなことを勘案すると、精神的な被害の構造を分析し、その被害額の定量化を図り、効果的な治水施策の展開につなげていくことが重要である。

3-3. 家計の流動性制約と防災投資の経済効果

(1) 流動性被害と貯蓄の流動性プレミアム

図-3.3.1 に各状態間の効用水準の差を示す。そして災害被害を、被災しなかった状態における効用水準と、被災した状態における効用水準の差によって定義する。ある時点で災害リスクが判明し、それによって物的資産を担保とした借入が不可能となった環境では、災害被害は $W(U, 0)$ と被災後の効用水準 $W(U, 1)$, $W(U, 1')$, $W(U, 2')$ との差によって測られると考える。なお、ここでは $W(U, 0) \geq W(U, 1)$ の関係を想定とすることとし、それを保証するために借入可能額 l について $l \leq z - y$ を仮定する。先述の仮定(2.16)と併せて、以下のように l の範囲を限定する。

$$z - w - y \leq l \leq z - y \quad (2.19)$$

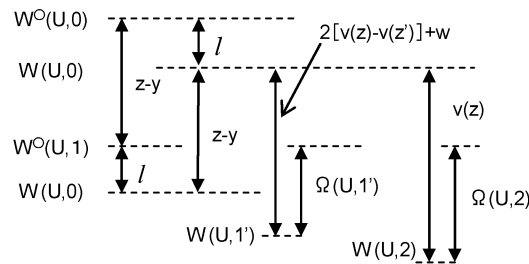


図-3.3.1 効用水準と被害の関係

まず、第1期に家財を最適な水準に復旧することが可能な家計の被害は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} W(U, 0) - W(U, 1) \\ = W^o(U, 0) - W^o(U, 1) = z - y \end{aligned} \quad (2.20)$$

すなわち被害は借入が可能な場合と同様となり、その大きさは $(z-y)$ となる。本モデルでは家財が2期間の耐久性をもち、被災する場合にも家計は既に家財を1期間使用した後であるため、被害は単純に z にはならない。また、第1期に最適な水準への復旧が可能な家計にとっての借入の機会の価値は、

$$W^o(U, 0) - W(U, 0) = W^o(U, 1) - W(U, 1) = l \quad (2.21a)$$

$$EW^o(U, 1) - EW(U, 1) = l \quad (2.21b)$$

すなわち被災しなかった状態、被災した状態ともに消費を借入可能額 l だけ増加させることができる効用に相当する。当然、事前の期待効用で評価した場合にも借入の価値は l に等しくなる。

一方、第1期に家財を最適な水準に復旧することができない家計について、被害は以下のように与えられる。

$$W(U, 0) - W(U, 1') = 2\{v(z) - v(z')\} + w \quad (2.22a)$$

$$W(U, 0) - W(U, 2) = v(z) \quad (2.22b)$$

いま、家計が災害後に借入を行うことができたとしたら回避できた被害を「流動性被害」と定義し、 $\Omega(U, 1')$, $\Omega(U, 2')$ により表記しよう。すなわち上式(2.22a)(2.22b)を分解することによって、 $\Omega(U, 1')$, $\Omega(U, 2')$ を以下のように定義する。

$$\begin{aligned}
& W(U, 0) - W(U, 1') \\
&= \{W(U, 0) - W^\circ(U, 1)\} + \{W^\circ(U, 1) - W(U, 1')\} \\
&= \{W(U, 0) - W^\circ(U, 1)\} + \Omega(U, 1')
\end{aligned} \tag{2.23a}$$

$$\begin{aligned}
& W(U, 0) - W(U, 2) \\
&= \{W(U, 0) - W^\circ(U, 1)\} + \{W^\circ(U, 1) - W(U, 2)\} \\
&= \{W(U, 0) - W^\circ(U, 1)\} + \Omega(U, 2)
\end{aligned} \tag{2.23b}$$

図-3.3.1 に各項の関係を示す。それらは以下の大きさをもつ。

$$W(U, 0) - W^\circ(U, 1) = z - y - l \tag{2.24a}$$

$$\Omega(U, 1') = 2\{v(z) - v(z')\} + w + y - z + l \tag{2.24b}$$

$$\Omega(U, 2) = v(z) + y - z + l \tag{2.24c}$$

例えば、家財を第1期に最適水準に復旧するための最小限の借入のみ許される場合、すなわち $l = z - w - y$ であるとき、流動性被害は以下の大きさをもつ。

$$\Omega(U, 1') = 2\{v(z) - v(z')\} \tag{2.25a}$$

$$\Omega(U, 2) = v(z) - w \tag{2.25b}$$

一方、借入が不可能な環境の下で、第1期に状態 $(U, 1)$ となる家計と、状態 $(U, 1')$ 、 $(U, 2)$ となる家計の厚生之差について考えよう。いま、第1期の期初における貯蓄をそれぞれに該当する家計について $w_1 (\geq z - y)$ 、 $w_{1'} (\bar{z} - \leq w_1, < z - y)$ 、 $w_2 (< \bar{z} - y)$ の貯蓄を保有しているものとしよう。また便宜上、期待効用水準をそれぞれ $EW(U, 1 : w_1)$ 、 $EW(U, 1' : w_{1'})$ 、 $EW(U, 2 : w_2)$ と表すこととする。期待効用水準の差はそれぞれ以下のように表される。

$$\begin{aligned}
& EW(U, 1 : w_1) - EW(U, 1' : w_{1'}) \\
&= (w_1 - w_{1'}) + p[2\{v(z) - v(z')\} - (z - z')] \\
&= (w_1 - w_{1'}) + \Theta(U, 1') \\
& EW(U, 1 : w_1) - EW(U, 2 : w_2) \\
&= (w_1 - w_2) + p[v(z) - z + y] \\
&= (w_1 - w_2) + \Theta(U, 2)
\end{aligned} \tag{2.26a}$$

以上のように期待効用水準の差は貯蓄の差 $(w_1 - w_{1'})$ 、 $(w_1 - w_2)$ に止まらない。そこで $\Theta(U, 1')$ 、 $\Theta(U, 2)$ を、「貯蓄の流動性プレミアム」と呼ぶこととしよう。貯蓄の流動性プレミアムは、流動性制約の下の家計が、被災直後の最適復旧を可能にするまで貯蓄を増加させるときに、増加額 $(w_1 - w_{1'})$ 、 $(w_1 - w_2)$ に追加して得られる効用を意味する。貯蓄の流動性プレミアム $\Theta(U, 1')$ 、 $\Theta(U, 2)$ は災害の生起確率 p の増加関数であり、さらに $\Theta(U, 1')$ は水準 z' と z の間の家財の限界効用の増加関数である。

(2) 保険の流動性供与機能

① 保険の流動性供給機能

本節では家計が保険を利用することができるケースについて考えよう．ここでは保険数理上公正なフルカバー保険を対象とする．すなわち保険料が pz ，被災時の保険金が z の保険システムを仮定する．家計が第 0 期に，図-3.3.1 の時点 D に保険を購入するとき，第 0 期末の預金残高 $\tilde{w}$ は次式で与えられる．

$$\tilde{w} = w - pz \quad (2.27)$$

ここでも家計は借入を行うことができないと仮定する．よって保険を購入する家計は貯蓄残高 w について以下の条件を満たさなければならない．

$$w > pz \quad (2.28)$$

換言すると，貯蓄から保険料を支払うことができない家計は保険を買うことができない．表-3.3.1 に保険を購入するケースにおける家財の復旧・買い換え過程を示す．状態 (I, 0) は被災しなかった場合，状態 (I, 1) は被災後に保険金によって瞬時に家財を復旧できた場合を表している．

表-3.3.1 家財の復旧・買い換え過程（保険購入時）

(I, 0)	1	2	3	4	5
預金	$\bar{w}+1$	$\bar{w}+2y$	y	$2y$	y
家財	z^2	z^1	z^2	z^1	z^2
消費	0	$\bar{w}+2y-z$	0	$2y-z$	0
(I, 1)					
預金	$\bar{w}+y+z$	$\bar{w}+2y$	z	y	z
家財	z^1	z^2	z^1	z^2	z^1
消費	0	$\bar{w}+3y-z$	0	$2y-z$	0

事後の効用水準，事前の期待効用水準はそれぞれ以下のように与えられる。

$$W(I, 0) = 2v(z) + w + 2y - (1 + p)z \quad (2.29a)$$

$$W(I, 1) = 2v(z) + w + 3y - (1 + p)z \quad (2.29b)$$

$$\begin{aligned} EW(I, 1) &= (1 - p)W(I, 0) + pW(I, 1) \\ &= 2v(z) + w + (2 + p)y - (1 + p)z \end{aligned} \quad (2.29c)$$

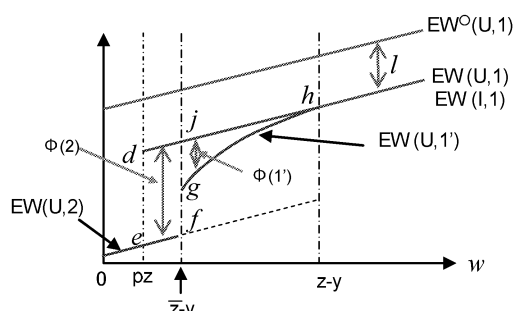


図-3.3.2 預金と効用水準の関係 ($p\bar{z} \leq \bar{z} - y$ の場合)

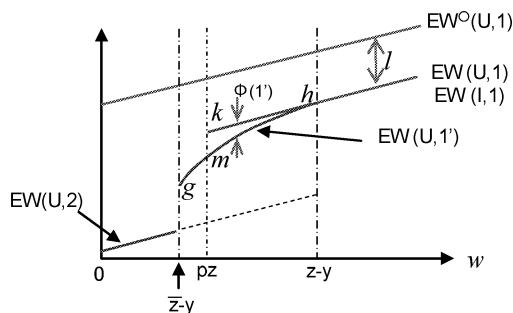


図-3.3.3 預金と効用水準の関係 ($\bar{z} - y < pz$ の場合)

以下の関係が成立していることがわかる。

$$EW(U, 1) = EW(I, 1) > EW(U, 1') > EW(U, 2) \quad (2.30)$$

証明を付録1)に示す。また図-3.3.2, 図-3.3.3は以上の関係を図示している。貯蓄残高 w によって第1期に家財を最適な水準に復旧できる家計にとっては、保険を購入することによって期待効用は増加しない。理由は公正な保険システムによって保険料と保険金が期待値のクラスにおいて相殺され、家計は消費に関して線形効用を有しているため、平均保存的な分散の縮小は期待効用を増加させることにならないためである。また、凹関数により評価される家財の効用についても、状態 $(U, 1)$ では被災の有無に関わらず家計は常に $v(z)$ の効用を得ることができるため、ここでも保険システムによる状態の変動の減少機能は必要とされないためである。従って状態 $(U, 1)$ に該当する条件(2.9)の家計にとっては保険を購入することと購入しないことは無差別となる。

それに対して、保険がない環境において状態 $(U, 1')$, $(U, 2)$ に追いやられる家計にとって保険は価値をもつ。条件(2.28)を考慮すると、保険によって期待効用水準が上昇する家計は以下の範囲の貯蓄をもつ家計である。

$$pz \leq w < z - y \quad (2.31)$$

すなわち保険を購入するに足る貯蓄をもち、その一方で貯蓄と第1期の給与所得のみでは最適水準の家財を購入することができない家計が該当する。上記の範囲の預金 w をもつ家計は、図-3.3.2, 図-3.3.3において、期待効用水準をそれぞれ線分 dh , 線分 kh にシフトさせることができる。保険の効果は以下のように表される。

$$\begin{aligned} \Phi(1') &= EW(I, 1) - EW(U, 1') \\ &= p[2\{v(z) - v(z')\} - (z - z')] \end{aligned} \quad (2.32a)$$

$$\begin{aligned} \Phi(2) &= EW(I, 1) - EW(U, 2) \\ &= p\{v(z) - (z - y)\} \end{aligned} \quad (2.32b)$$

保険がない環境において状態 $(U, 1')$, $(U, 2)$ にある家計は、事後の家財の水準に関する変動のリスクに曝されて

いる。保険を購入すれば、事後の家財の効用は $v(z)$ の水準で一定となる。よって家計は被災時に保険金として得た流動性によって、家財効用の変動を消失させることができる。 $\Phi(1')$ 、 $\Phi(2)$ を図-3.3.2、図-3.3.3 に示す。保険の効果は、保険がなければ復旧を遅延せざるをえない家計において大きくなることがわかる。保険が家財復旧遅延回避効果をもつことがわかる。いま、家計が預金水準 w のみによって異質であり、 w が一様に分布しているものと仮定しよう。このとき保険の効果は、図-3.3.2 ($p\bar{z} \leq \bar{z} - y$) のケースでは領域 $defgh$ の面積で表され、図-3.3.3 ($\bar{z} - y < p\bar{z}$) のケースでは領域 kmh の面積で表される。

② リスクプレミアムと保険の流動性プレミアム

伝統的な保険の機能は、将来起こりえる状態間の変動の減少による期待効用水準の増加にある。保険料が公正である場合、保険によって富の期待値を保存したまま分散を減少させることによって、凹関数の効用関数によって富を評価する危険回避的な家計は効用が増加する。その効用の増分を金銭単位で評価したものが通常、「リスクプレミアム」と呼ばれており、保険に対する（保険料に追加した）支払い意思額とも解釈される。

それに対して、本モデルの構造は以下のような特徴をもつ。本モデルでは消費と家財による2価の直接効用関数を用いている。さらに準線形効用関数を仮定しているため、家計は消費に関してはリスク中立的、家財の利用に関してはリスク回避的と想定されている。このような場合、家計はリスクを家財から消費に移転させることを望む。しかしながら、流動性制約によって、貯蓄が少ない家計は消費のみにリスクを帰着させることが不可能な状況におかれることになる。そして、保険が導入されると、家計は家財の効用の変動を消失させることができる。このとき家計は平常時の家財水準を犠牲にせずに、被災時の家財水準を平常時に一致させることができる。家財のみに関しては、平均保存的な分散の縮小ではなく、平均値も保険を購入しないときの平常時の水準に一致させることを実現している。家計が流動性制約下にあるとき、この機能は十分な貯蓄によって果たされるが、それをもたない家計にとっては保険によって代替されることになる。

ここで以下のように保険の機能を整理しよう。本モデルの設定より、家計は任意の資金 x によって、市場を通じて消費の効用 J か、家財の効用 $2v(x)$ を獲得できる。すなわち市場では消費の効用 J と家財の効用 $2v(x)$ が金銭単位において等価となっている。ただし準線形効用関数を用いる場合には、消費の効用はそもそも金銭単位で評価されているので、ここでは家財の効用を金銭単位に変換することを考える。そこで、以上の関係を用いて、家財の効用を金銭のクラスに写像する関数を $M(\cdot)$ と表そう。上記の設定より以下の関係が成立する

$$M(2v(z)) = z \quad (2.33)$$

ただし、消費の効用に対しては $M(z) = z$ であり、また $M(\cdot)$ は線形写像であると考え。いま、式(2.32a) (2.32b) に $M(\cdot)$ を適用することにより、保険の効果 $\Phi(1')$ 、 $\Phi(2)$ は以下のように金銭評価されることがわかる。

$$\begin{aligned} M(\Phi(1')) &= p[2\{M(v(z)) - M(v(z'))\} - (z - z')] \\ &= 0 \end{aligned} \quad (2.34a)$$

$$\begin{aligned} M(\Phi(2)) &= p\{M(v(z)) - (z - y)\} \\ &= p\{y - \frac{z}{2}\} > 0 \end{aligned} \quad (2.34b)$$

式(2.34b)の不等号は仮定(2.7)に従う。よって、保険による状態 $(U, 1')$ から状態 $(I, 1)$ への移行は、家財の効用のリスクを消費の効用に移転させたことによる効用単位の増加のみであると解釈できる。すなわち伝統的な保険の価値である「リスクプレミアム」の獲得として説明される。それに対して、保険による状態 $(U, 2)$ から状態 $(I, 1)$ への

移行は、資産(金銭単位)を増加させる価値をもつことがわかる。このような保険の価値を「保険の流動性プレミアム」と呼ぶこととしよう。再び保険の効果 $\Phi(2)$ を分解すると以下のようになる。

$$\Phi(2) = p\{v(z) - \frac{z}{2}\} + p\{y - \frac{z}{2}\} \quad (2.35)$$

右辺の第1の中括弧が「リスクプレミアム」に、第2の中括弧が「保険の流動性プレミアム」に相当する。以上のように、状態(U, 2)にある家計が保険を購入したとき、効用の増分としてのリスクプレミアムと同時に、資産の増分としての「保険の流動性プレミアム」を獲得することになる。一方、条件(2.28)を満たさずに、保険を購入できない家計にとっては、依然として家計は家財復旧遅延リスクを保有することになる。通常の保険を購入できない家計に与えられるファイナンス戦略については、既にマイクロ・インシュランス等の方法が提案されているが、理論的に精緻な分析が進んでいるとはいえず今後の重要な課題である。なお、本分析を保険料が集合リスクに対するプレミアムや取引手数料等の付加保険料を含む場合や、部分カバー契約が与えられる場合に拡張しても、保険は部分的に流動性供与機能をもつことを容易に示すことができる。

(3) 防災投資による家財復旧遅延リスクの軽減効果

防災投資の経済便益を、被災確率 p の減少による期待効用の増分により定義する。本モデルでは準線形効用関数を仮定しているため、期待効用水準やその増分は金銭単位をもつ。各家計にとっての防災投資便益の構造は、家計がおかれている借入可能性や保険の購入可能性に依存する。

防災投資により被災確率が $dp(<0)$ の変化を受けると考える。他のパラメータは変化しないと仮定する。このとき、流動性制約に直面しない家計、預金のみで家財を最適な水準に復旧させることができる家計、保険を購入する家計が享受する防災投資便益は次式で与えられる。

$$\begin{aligned}
 dEW^\circ(U, 1) &= dEW(U, 1) = dEW(I, 1) \\
 &= -(z - y) \cdot dp \\
 &= -\{W^\circ(U, 0) - W^\circ(U, 1)\} \cdot dp \\
 &= -\{W(U, 0) - W(U, 1)\} \cdot dp
 \end{aligned} \tag{2.36}$$

すなわち、上記の3つの経済状態にある家計にとっての防災投資便益は等しく、その絶対値は流動性制約に直面しない家計や借入を必要としない家計の被害の期待値に等しい。防災投資便益は期待被害軽減額に一致する。

一方、状態 $(U, 1')$ にある家計にとっての防災投資便益は以下のように与えられる。

$$\begin{aligned}
 dEW(U, 1') &= -\{W^\circ(U, 0) - W^\circ(U, 1) + \Pi(U, 1')\} \cdot dp \\
 &= -[2\{v(z) - v(z')\} + w] \cdot dp
 \end{aligned} \tag{2.37a}$$

$$\begin{aligned}
 \Pi(U, 1') &= \Omega(U, 1') - l \\
 &= 2\{v(z) - v(z')\} - (z - z') > 0
 \end{aligned} \tag{2.37b}$$

式(2.37b)の不等号の証明を付録2)に示す。以上のように、家財を最適水準に復旧できない家計の防災投資便益は期待被害軽減額を上回る。そして防災投資便益に含まれるプレミアム $\{-\Pi(U, 1') \cdot dp\}$ は流動性被害 $\Omega(U, 1')$ の軽減額に関連している。なお式(2.37b)の2行目に示すように $\Omega(U, 1')$ は1とは独立となる。そして $\{-\Pi(U, 1') \cdot dp\}$ は効用単位の「リスクプレミアム」である。同様に、状態 $(U, 2)$ にある家計が得る防災投資便益は以下のように与えられる。

$$\begin{aligned}
 dEW(U, 2) &= -\{W^\circ(U, 0) - W^\circ(U, 1) + \Pi(U, 2)\} \cdot dp \\
 &= -v(z) \cdot dp
 \end{aligned} \tag{2.38a}$$

$$\begin{aligned}
 \Pi(U, 2) &= \Omega(U, 2) - l \\
 &= v(z) + y - z = \{v(z) - \frac{z}{2}\} + \{y - \frac{z}{2}\} > 0
 \end{aligned} \tag{2.38b}$$

家財の復旧が遅延する家計の防災投資便益についても、期待被害軽減額にプレミアム $\{-\Pi(U, 2) \cdot dp\}$ が加えられることになる。そして $\{-\Pi(U, 2) \cdot dp\}$ は効用単位の「リスクプレミアム」 $[-\{v(z) - \frac{z}{2}\} dp]$ と、資産としての「流動性プレミアム」 $[-\{y - \frac{z}{2}\} dp]$ の双方を含んでいる。また、当初は保険を購入することができなかったが、防災投

資によって保険を購入することができるようになる家計も存在する。そのような家計は、預金 w について以下の条件を満たしている。

$$w < pz \quad \text{かつ} \quad w > (p + dp)z \quad (dp < 0) \quad (2.39)$$

すなわち災害の発生確率 p の減少によって保険料を支払えるようになる家計は、状態が $(U, 1')$ ないし $(U, 2)$ から状態 $(I, 1)$ にシフトすることになる。防災投資便益は次式のように表される。

$$\begin{aligned} \Delta EW(1') &= EW(I, 1, p + dp) - EW(U, 1', p) \\ &= -\{W^\circ(U, 0) - W^\circ(U, 1)\} \cdot dp + \Phi(1', p) \end{aligned} \quad (2.40a)$$

$$\begin{aligned} \Delta EW(2) &= EW(I, 1, p + dp) - EW(U, 2, p) \\ &= -\{W^\circ(U, 0) - W^\circ(U, 1)\} \cdot dp + \Phi(2, p) \end{aligned} \quad (2.40b)$$

$\Phi(1', p)$ 及び $\Phi(2, p)$ は保険の効果であり、式(2.32a) (2.32b)により表される。また $(U, 1', p)$, $(I, 1, p + dp)$ は各関数において、確率にそれぞれ $p, p + dp$ を採用していることを意味している。防災投資によって保険料率が減少し、それによって家計が保険を購入できるようになる場合、防災投資便益には保険が不可能であることによる流動性被害を消去する効果が含まれることになる。換言すると、防災投資は保険の流動性供与機能の価値を補完する。

また、預金 w が式(2.39)の範囲にある家計に焦点をあて、保険が存在する場合の防災投資便益と、存在しない場合の防災投資便益を比較する。

$$\begin{aligned} \Delta EW(1') - dEW(U, 1') \\ &= \Phi(1', p) - \Pi(U, 1') \cdot (-dp) \\ &= [2\{v(z) - v(z')\} - (z - z')]\{p - (-dp)\} \end{aligned} \quad (2.41a)$$

$$\begin{aligned} \Delta EW(2) - dEW(U, 2) \\ &= \Phi(2, p) - \Pi(U, 2) \cdot (-dp) \\ &= \{v(z) - (z - y)\}\{p - (-dp)\} \end{aligned} \quad (2.41b)$$

すなわち、防災投資前の災害の発生確率 p と、防災投資による確率の減少 $(-dp)$ の大小関係に依存する。よって、リスク p が大きな地域ほど、保険の導入を併せることによって、防災投資効果をより大きくすることができる。

(1) 豊岡における復旧資金の調達状況

アンケート調査は、破堤によって大きな被害を受けた図-3.4.1に示した豊岡市庄境地区、出石町鳥居地区、日高町赤崎地区（いずれの地区も現在は豊岡市となっている。）の3地区で、地元自治体の協力を得て873の家計を対象としてパネル調査を3回にわたって行った。



世帯は損壊した家屋や家財を復旧するために資金を調達する。本研究では、復旧資金の調達方法として、1) 自己資金、2) 保険金、3) 行政からの援助、4) 金融機関からの借り入れ、5) 親戚、知人からの借金、6) その他、を考慮した。これらの中で、もっとも基本となる調達手段は、自己資金の切り崩しである。そこで、アンケート調査では、世帯の金融資産の保有残高に関する質問を行っている。

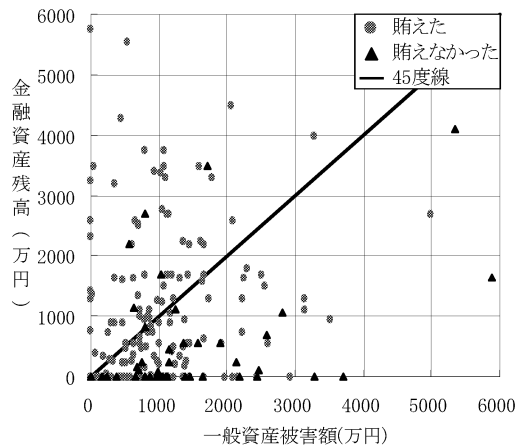


図-3.4.2 一般資産被害額と金融資産の関係

N=202

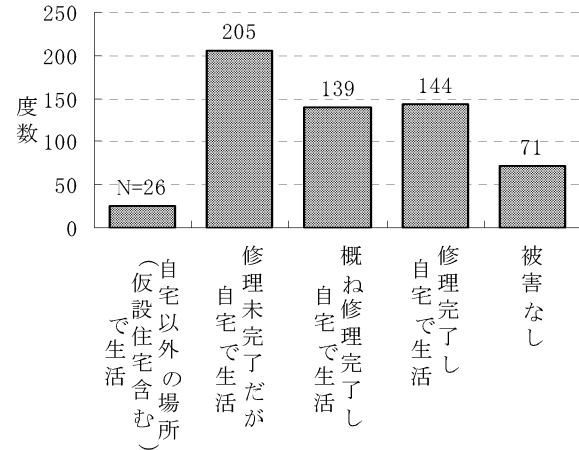


図-3.4.3 被災後5ヶ月後の家屋の復旧状況

N=486

図-3.4.2は、質問回答世帯が被災した一般資産被害額と金融資産の保有状況の関係を示している。質問回答世帯の一般資産被害額の平均値は1,416万円である。図-3.4.2に示すように、45度線の下方に位置する世帯では、金融資産の保有残高を超える一般資産被害額が発生している。これらの被災世帯が損壊した家屋、家財を復旧するためには、保険金の受け取り、金融機関の借り入れ等、外部資金を投入することが必要となる。あるいは、損壊した家屋、家財を事前の水準まで回復させることを断念せざるを得ない場合も起こりえる。さらに、アンケート調査では、世帯の復旧資金の調達状況についても質問している。アンケート回答世帯のうち、274世帯が復旧資金の調達状況に関する詳細な質問項目に答えている。これらの回答世帯の内、33%の世帯が、「調達できた復旧資金額では水害による被害の復旧を賄えない」、もしくは、「今後の復旧資金調達の目途がたたない」と回答している。図-3.4.2には、対象世帯が十分な復旧資金が賄えたかどうかについても併記している。当然のことながら、45度線より下方に位置する世帯では、復旧資金が賄えなかったと答えた割合が多くなっている。さらに、45度線より上方に位置する世帯も、子供の教育等のため流動性を保有しておく必要がある世帯では、金融資産のすべてを復旧に投入できるわけではない。このため、復旧資金を賄えなかったと答えた世帯も存在する。

図-3.4.3は、水害発生から約5ヶ月経過した平成17年3月16日現在における被災世帯の家屋の復旧状況を示している。この時点で、質問回答世帯(418世帯)の中で、依然として26世帯が、仮設住宅や親戚の家等、自宅以外の場所における生活を余儀なくされている。さらに、205世帯が自宅で生活をしているものの、家屋の修繕、修理が終了していないと答えている。

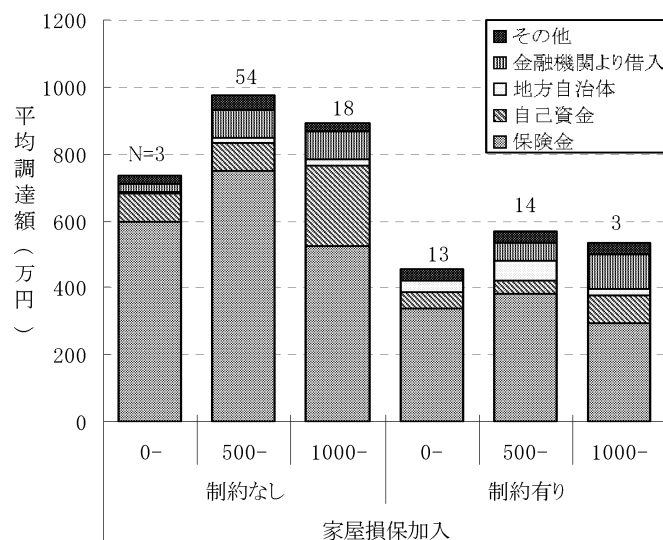


図-3.4.4 復旧資金調達状況と復旧資金の過不足
(保険金給付世帯限定) N=145

図-3.4.4, 図-3.4.5 に, 1 世帯当たりの復旧資金の平均調達額を示している. これらの図では, 調達手段ごとの平均調達額も示している. このうち, 図-3.4.4 は, 家屋損害保険より保険金の給付を受けた世帯の復旧資金の調達状況を示している. 図の横軸は, 世帯の年収を示している. さらに, 被災世帯に対して, 調達した復旧資金で, 「予定した家屋, 家財の復旧費用を全額賄えたかどうか」について質問しており, この質問に対し, 「調達した資金で復旧費用を全額賄えた」と答えた世帯と, 「全額は賄えなかった」と答えた世帯に分類した. 同図に示すように, 保険給付を受けた世帯では, 保険金が調達資金の過半数を占めている. しかし, 保険金の給付を受けても, 「賄えなかった」と回答した世帯が 30 世帯存在している. これらの世帯では, 保険金のみでは必要調達額を調達できていない. これより, 世帯は保険により損失をフルカバーするという, full insurance 仮説^{14) - 16)}は成立しないことが理解できる. さらに, 「賄えなかった」と回答した世帯の調達可能額は, 「賄えた」と回答した世帯よりも少ない. また, 「賄えなかった」と回答した世帯の平均保険金は, 「賄えた」と回答した世帯よりも少ない. 一方, 年収と平均調達額の関係に関しては, 「賄えた」と回答した世帯では, 年収が多くなるほど自己資金による調達額が増加している. しかし, 年収と平均調達額の間には, 強い相関関係を見出しにくい.

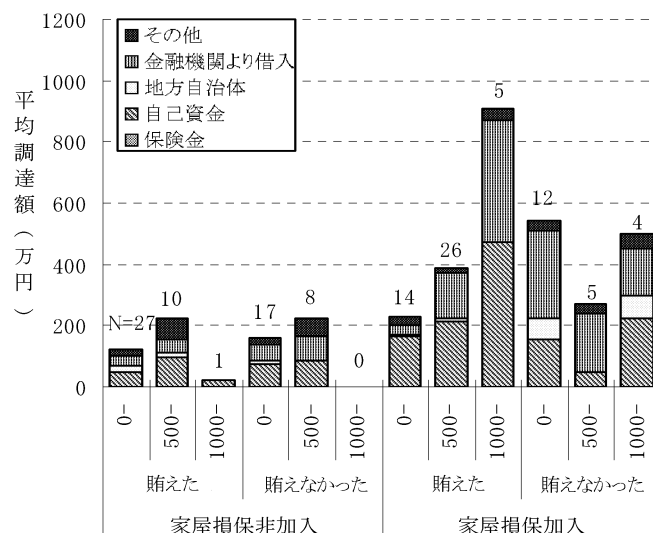


図-3.4.5 復旧資金調達状況と復旧資金の過不足

(保険金非給付世帯限定) N=129

図-3.4.5 は、家屋損害保険金が給付されていない世帯の復旧資金の調達状況を示している。その中には、はじめから保険に加入していない世帯と、保険に加入していたが、平成 16 年 3 月 16 日現在で保険金の給付を受けていない世帯が存在する。同図の中で、保険金支出は自動車保険等、家屋損害保険以外の保険金の平均受取額を表している。家屋損害保険に非加入の世帯が、復旧のために調達できた復旧資金はおおむね 200 万円以下である。一方、家屋損害保険に加入しながらも、保険金給付がない世帯における復旧資金の平均調達額は図-3.4.4 と比較して、低い水準にとどまっている。ただし、「賄えた」と回答した世帯に関しては、年収が増加するほど自己資金による平均調達額は増加している。

これら 2 つの図より、家屋損害保険加入者のうち、「賄えた」と回答した世帯の資金調達額の内訳をみると、保険金が半分を占めていることがわかる。保険金の給付が、流動性制約を回避する効果を発揮している。しかし、保険金給付を受けながら、「賄えなかった」と回答した世帯も存在する。また、保険金の給付を受けないに関わらず、「賄えた」と回答した世帯もある。これらの世帯は、そもそも被害額が小さかったか、あるいは自己資金等により必要調達額を調達できたと考えられる。以上の点を考慮すると、水害保険に入っていないながら流動性制約を受ける世帯や、水害保険に入っていないが流動性制約を受けない世帯の存在を説明することができる。つまり、水害被災時に流動性制約に直面する可能性が低い世帯とは、必要調達額が小さく、被災時に流動性を確保できる世帯である。十分な資産を被災前に保有している世帯は、被災直後においても十分な流動性を保有しており、流動性制約下に陥るリスクをヘッジすることが可能である。一方、水害被災時に流動性制約に直面する可能性が高い世帯とは、必要調達額が大きいか、被災直後に保険金、自己資金で必要調達額を調達できず、かつ十分な資金の借入れができない世帯である。

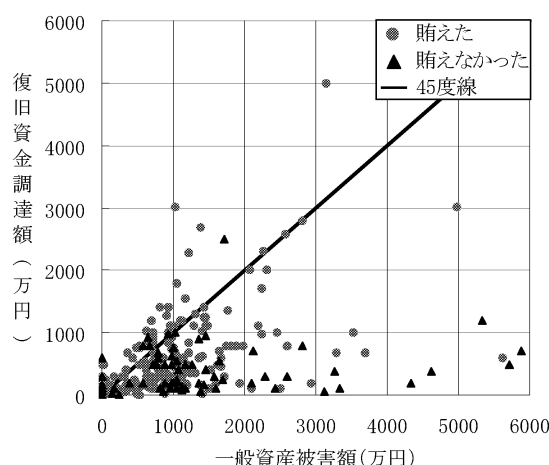


図-3.4.6 一般資産被害額と普及資金調達額 N=266

最後に、図-3.4.6 は被災世帯が被った一般資産被害額と、世帯がアンケート調査において回答した復旧資金調達額の関係を示した結果である。一般資産被害額の算定にあたっては、アンケート調査で把握した家財・家屋の被災状況に基づいて、損壊・喪失した資産の再調達価額を推計している。図中の45度線より下に位置する世帯は、復旧のために調達した資金が被害金額よりも小さいことを意味している。特に、一般資産被害額の大きい世帯ほど、従前の状況に復旧できない傾向が読み取れる。なお、アンケート調査では、復旧資金を調達できないことにより生じた生活パターンの変化を自由回答様式で質問している。被災世帯の中には、水害後に生活をコンパクトにする、子供や孫の教育方針を変更するなど、人生設計を変更すると回答した世帯も少なくない。あるいは、これまで実質的にほとんど利用していなかった家財が損壊したため、買い直す必要がないと答えた世帯もある。被災世帯の中には、必要復旧調達額が一般資産被害額を超えている世帯もある。このような世帯がすべてその理由を回答をしているわけではないが、当初より家屋の改築等を予定していた等、の理由をあげている世帯が存在する。同図には、予定した復旧資金を調達できたか否かという質問の回答についても併せて表記している。復旧資金調達額が一般資産被害額に達していないにも関わらず、多くの世帯が必要な復旧資金を調達できたと回答している。

3-4.(2)において、流動制約仮説として提示したように、大半の被災世帯の必要調達額が、資産損失額よりも小さくなっている。このように、被災した世帯は、必ずしも従前の資産を回復するわけではなく、獲得可能な生涯所得や現有の資産状況を考慮して望ましい資産の回復水準を決定していることが理解できる。以上の結果より、被災世帯の一般資産被害額と必要調達額は一致しないという作業仮説1を棄却できないと考える。しかし、作業仮説2に関しては、一般資産被害額だけでなく、多様な世帯属性の影響を受けており、図-3.4.6 から一般的な傾向を判断することは難しい。そこで、以下では、流動性制約モデルを用いて、世帯の流動性制約のメカニズムを分析する。

(2) 流動性制約モデルの検討

① 流動性制約仮説

被災後の世帯の流動性制約を分析する上で、「被災世帯が復旧資金を必要調達額の水準まで十分に調達できたかどうか」という点が重要となる。しかし、アンケート調査により観察可能なデータは、被災後に被災世帯が支出した復旧費用であり、それは世帯が調達できた資金を表している。ところが、被災世帯の必要調達額 C と調達可能額 L を同時に観測することは困難である。このため、必要調達額 C と調達可能額 L の大小関係を直接比較して、被災世帯が流動性制約に直面しているかどうかを判定することは不可能である。米国のマイクロデータを用いた流動性制約の分析事例^{6), 7)}では、資産所得比率の高い世帯を流動性制約のない世帯の候補とすることが一般的に行われている。ところが、Jappelli¹³⁾が指摘するように、資産所得比率の大きい世帯は、必要調達額も大きくなるのが普通であり、資産所得比率を用いて流動性制約の有無を判定する方法には問題が残されている。本研究では、4.2.3 で言及した流動性制約仮説に基づいて、以下のような仮定を置く。

- 被災後の所得、資産の保有残高を所与として、望ましいと考える家屋、家財等の水準に回復するために必要となる資金額を必要調達額 C とする。したがって、必要調達額が、水害により損失した一般資産被害額に一致する保証はない（作業仮説1）。
- 流動性制約に直面しない被災世帯が調達した復旧資金 z は必要調達額 C に等しい。一方、流動性制約に直面する世帯が調達した復旧資金 z は、調達可能額 L に一致する（作業仮説2）。
- アンケート調査では、世帯が流動性制約を受けているかどうかを判断するために、調達した資金で被害の復旧を賄えたかどうかを尋ねている。「賄えた」と回答した世帯は流動性制約に直面していない。「賄えなかった」と回答した世帯は流動性制約に直面していると考え（外的基準）。

本研究では、アンケート調査において流動性制約の有無を直接質問しているため、流動性制約の有無を判断する外的基準に関する情報を、以下で定式化する流動性制約モデルの推計に用いることが可能である。

② モデルの定式化

被災世帯 i ($i=1, \dots, I$) の属性を x_i と表そう。世帯 i の被災後の必要調達額 C_i を、

$$C_i = C_i(x_i) = x_i \beta' + \varepsilon_1^i \quad (3.1)$$

ただし、 $x_i = (x_i^1, \dots, x_i^M)$ は、世帯 i の必要調達額を説明する世帯属性ベクトル、 $\beta = (\beta^1, \dots, \beta^M)$ 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。一方、世帯が調達可能な資金額の上限值 L_i を、

$$L_i = L(y_i) = y_i \gamma' + \varepsilon_2^i \quad (3.2)$$

と表そう。ここに、 $y_i = (y_i^1, \dots, y_i^N)$ 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ることが自然である。ここで、2つの確率誤差項 $\varepsilon_1^i, \varepsilon_2^i$ は、2次元正規確率密度関数、

$$\psi(\varepsilon_1^i, \varepsilon_2^i) = \frac{1}{2\pi\sigma_1\sigma_2\sqrt{1-\rho^2}} \cdot \exp \left[-\frac{1}{2(1-\rho^2)} \cdot \left\{ \left(\frac{\varepsilon_1^i - \mu_1}{\sigma_1} \right)^2 - 2\rho \cdot \frac{\varepsilon_1^i - \mu_1}{\sigma_1} \cdot \frac{\varepsilon_2^i - \mu_2}{\sigma_2} + \left(\frac{\varepsilon_2^i - \mu_2}{\sigma_2} \right)^2 \right\} \right] \quad (3.3)$$

に従うと考えよう。ただし、 μ_1, μ_2 は、それぞれ確率誤差項 $\varepsilon_1^i, \varepsilon_2^i$ の期待値、 σ_1^2, σ_2^2 は確率誤差項の分散である。また、 ρ は確率誤差項の相関係数である。必要調達額モデル(3.1)と調達可能額モデル(3.2)に定数項が含まれている。そこで、確率誤差項の同時正規確率密度関数(3.3)を正規化するために $\mu_1 = \mu_2 = 0$ を仮定する。必要調達額モデル、調達可能額モデルは、貨幣単位で表現されており、確率誤差項 $\varepsilon_1^i, \varepsilon_2^i$ を基準化できない。

つぎに、世帯 $i (i=1, \dots, I)$ の復旧資金調達額を z_i で表そう。作業仮説1より、復旧資金調達額が一般資産被害額に一致する保証はない。そのために、アンケート調査では、一般資産被害額の調査と併せて、復旧資金調達額を同時に調査している。また、作業仮説2より、2つの排他的な事象が生起しうる。すなわち、世帯が流動性制約に直面しない場合、世帯は必要調達額 C_i を調達できる。しかし、世帯が流動性制約に直面する場合、必要調達額 C_i のすべてを調達することができない。世帯が調達できる復旧資金は L_i となる。したがって、世帯が実際に調達した復旧資金 z_i は、

$$z_i = \begin{cases} C_i & C_i \leq L_i \text{ の時} \\ L_i & C_i > L_i \text{ の時} \end{cases} \quad (3.4)$$

と表される。すなわち、世帯の復旧資金の調達額に流動性制約が存在する場合、世帯が調達した復旧資金は調達可能額に一致する。一方、必要調達額が流動性制約以下の場合、世帯は必要調達額を調達することができる。ここで、調達額 z_i のみが観測可能であることを考えよう。 $C_i \leq L_i$ が成立する場合には、 C_i が観測可能であるが、 L_i は観測可能ではない。一方、 $C_i > L_i$ が成立する時には、 L_i が観測可能であるが、 C_i は観測可能ではない。すなわち、復旧資金調達額は、必要調達額と調達可能額という2つの価額の中で小さい価額に一致するというショートサイド原則が成立する。なお、ショートサイド原則(3.4)のため、流動性制約に直面する ($C_i > L_i$ が成立する) 世帯のみ調達可能額が観測される。換言すれば、調達可能額モデルは、流動性制約に直面した世帯のデータのみに基づいて推計されることとなる。したがって、流動性制約モデルを用いて、データが観測されない(被害額が少なく流動性制約に直面しない) 世帯の調達可能額を推定する場合、推定結果の精度に関して吟味が必要となる。

以上で定式化した流動性制約モデルは、サンプルセ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クションモデルと同様の構造を有している。ただし、標準的な Tobit モデル^{17), 18)}とは異なり、1) サンプルセクションメカニズム(3.4)が、不均衡モデル¹⁹⁾と同様のショートサイド原則^{20), 21)}で表現されていること、2) 確率誤差項 $\varepsilon_1^i, \varepsilon_2^i$ の間に相関関係が存在すること、3) サンプルセ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。このため、Tobit モデルの推計方法を拡張し、以上の特性を考慮できるような推計方法を適用することが必要となる。

③ モデルの推計方法

世帯 $i (i=1, \dots, I)$ のデータ $\bar{\omega}_i = (\bar{\delta}_i, \bar{z}_i, \bar{x}_i, \bar{y}_i)$ が利用可能であると考えよう。ただし、 $\bar{\delta}_i$ は、世帯 i が流動性制約に直面しているか否かを表すダミー変数、

$$\delta_i = \begin{cases} 1 & C_i > L_i \text{の時} \\ 0 & C_i \leq L_i \text{の時} \end{cases} \quad (3.5)$$

であり、世帯が流動性制約に直面する場合に値1を、そうでない場合に値0をとる。記号 $\bar{\cdot}$ は実測値であることを表す。記述の便宜を図るために、未知パラメータ $\beta, \gamma, \sigma_1, \sigma_2, \rho$ を一括して $\zeta = (\beta, \gamma, \sigma_1, \sigma_2, \rho)$ と表記しよう。

この時、世帯データの実測値 $\bar{\omega}_i = \{\bar{\omega}_i (i=1, \dots, I)\}$ が同時に生起する確率密度関数（尤度関数）は、

$$\begin{aligned} \mathcal{L}(\bar{\omega}, \zeta) = & \prod_{i=1}^I \left\{ \int_{\varepsilon_1^i}^{\infty} \psi(\varepsilon_1^i, \bar{\varepsilon}_2^i) d\varepsilon_1^i \right\}^{\bar{\delta}_i} \\ & \cdot \prod_{i=1}^I \left\{ \int_{\bar{\varepsilon}_2^i}^{\infty} \psi(\bar{\varepsilon}_1^i, \varepsilon_2^i) d\varepsilon_2^i \right\}^{1-\bar{\delta}_i} \end{aligned} \quad (3.6)$$

と表せる。ただし

$$\bar{\varepsilon}_1^i = \bar{z}_i - \bar{x}_i \beta' \quad (3.7a)$$

$$\bar{\varepsilon}_2^i = \bar{z}_i - \bar{y}_i \gamma' \quad (3.7b)$$

である。若干の計算により確率密度関数 $\psi(\varepsilon_1^i, \varepsilon_2^i)$ は、

$$\psi(\varepsilon_1^i, \varepsilon_2^i) = \phi\left(\frac{\varepsilon_1^i}{\sigma_1}\right) \phi(s_i) \quad (3.8a)$$

$$= \phi\left(\frac{\varepsilon_2^i}{\sigma_2}\right) \phi(t_i) \quad (3.8b)$$

と表される。ただし、 $\phi(t_i)$ は標準正規確率密度関数である。また、

$$\bar{s}^i = \frac{-\rho\sigma_2\bar{\varepsilon}_1^i + \sigma_1\bar{\varepsilon}_2^i}{\sqrt{1-\rho^2\sigma_1\sigma_2}} \quad (3.9a)$$

$$\bar{t}^i = \frac{\sigma_2\bar{\varepsilon}_1^i - \rho\sigma_1\bar{\varepsilon}_2^i}{\sqrt{1-\rho^2\sigma_1\sigma_2}} \quad (3.9b)$$

である。したがって、尤度関数(3.6)は、

$$\begin{aligned} \mathcal{L}(\bar{\omega}, \zeta) = & \prod_{i=1}^I \left[\{1 - \Phi(\bar{t}^i)\} \phi\left(\frac{\bar{\varepsilon}_2^i}{\sigma_2}\right) \right]^{\bar{\delta}_i} \\ & \cdot \prod_{i=1}^I \left[\{1 - \Phi(\bar{s}^i)\} \phi\left(\frac{\bar{\varepsilon}_1^i}{\sigma_1}\right) \right]^{1-\bar{\delta}_i} \end{aligned} \quad (3.10)$$

と表せる対数尤度関数は、

$$\begin{aligned}
\ln \mathcal{L}(\bar{\omega}, \zeta) = & \sum_{i=1}^I \bar{\delta}_i \left[\ln \phi \left(\frac{\bar{z}_i - \bar{y}_i \gamma'}{\sigma_2} \right) \right. \\
& + \ln \left\{ 1 - \Phi \left(\frac{(\sigma_2 - \rho \sigma_1) \bar{z}_i - \sigma_2 \bar{x}_i \beta' + \rho \sigma_1 \bar{y}_i \gamma'}{\sqrt{1 - \rho^2 \sigma_1 \sigma_2}} \right) \right\} \Big] \\
& + \sum_{i=1}^I (1 - \bar{\delta}_i) \left[\ln \phi \left(\frac{\bar{z}_i - \bar{x}_i \beta'}{\sigma_1} \right) \right. \\
& + \ln \left\{ 1 - \Phi \left(\frac{(\sigma_1 - \rho \sigma_2) \bar{z}_i + \rho \sigma_2 \bar{x}_i \beta' - \sigma_1 \bar{y}_i \gamma'}{\sqrt{1 - \rho^2 \sigma_1 \sigma_2}} \right) \right\} \Big]
\end{aligned} \tag{3.11}$$

となる．対数尤度関数(3.11)を最大にするようなパラメータ値 ζ の最尤推定量は，

$$\frac{\partial \ln \{\mathcal{L}(\bar{\omega}, \hat{\zeta})\}}{\partial \zeta_m} = 0, \quad (m = 1, \dots, M + N + 3) \tag{3.12}$$

を同時に満足するようなパラメータ $\hat{\zeta} = (\hat{\beta}, \hat{\gamma}, \hat{\sigma}_1, \hat{\sigma}_2, \hat{\rho})$ として与えられる．対数尤度関数は大域的凹性が保証されないため，複数の極大解を有している．このため，通常のニュートンラフソン法を用いることはできない．そこで，パラメータ ρ, σ_1, σ_2 に関する格子点を定義し，格子点の各点において残りのパラメータ β, γ に関して対数尤度関数の最大値を求める．その上で，パラメータ ρ, σ_1, σ_2 に関する格子点探索を行い大域的な最大値を求めた．さらに，パラメータの漸近的な共分散行列の推定量 $\hat{\Sigma}(\hat{\zeta})$ は，

$$\hat{\Sigma}(\hat{\zeta}) = \left[\frac{\partial^2 \ln \{\mathcal{L}(\bar{\omega}, \hat{\zeta})\}}{\partial \zeta \partial \zeta'} \right]^{-1} \tag{3.13}$$

と表すことができる．ただし，上式(3.13)の右辺は $\partial^2 \ln \{\mathcal{L}(\bar{\omega}, \zeta)\} / \partial \zeta_l \partial \zeta_m$ を (l, m) 要素とする $(M+N+3) \times (M+N+3)$ 次のFisher 情報行列の逆行列である．

④ モデルの推計結果

アンケート調査票では、被災世帯の流動性制約の有無を把握するために、

●質問項目 1：「調達した復旧資金額で被害の復旧を全て賄えたか否か」

●質問項目 2：「予定復旧資金調達先（資産売却、金融機関からの借り入れ、めどが立たない）と調達金額」

という 2 つの質問項目を設けている。このうち、質問項目 1 に対して、「賄えない」を回答した世帯は、流動性制約に直面している。一方、「賄えた」と回答した世帯は、流動性制約に直面していないと考えた。なお、質問項目 1 に対して無回答の世帯のうち、質問項目 2 において「予定調達先のめどが立たない」と回答した世帯も、流動性制約に直面しているサンプルに加えた。いずれの質問項目に対しても無回答、不明回答であるサンプルは、分析対象から除外した。この結果、650 サンプルのうち、流動性制約に直面しているか否かを定義できるサンプル数は 431 となる。そのうち、流動性制約に直面しているサンプル数は 148 (34. 3%) となる。

表-3.4.1 世帯の属性変数

アンケート調査では、表-3.4.1 に示すような世帯の属性変数を調査している。これらの属性変数の組み合わせに対して流動性制約モデルを推計した。モデルの推計精度（尤度比， t -値），および符号条件を考慮して、最終的に流動性制約モデルでとりあげる説明変数を決定した。これらの属性変数のうち、被災世帯の必要調達額を推計するために用いる説明変数として，1) 一般資産被害額，2) 被害額流動性比，3) 保険カバー率が採用された。一般資産被害額は，損失・損壊した資産の再調達価額を表している。一般資産被害額は，家屋被害額と家財被害額の総和を意味する。このうち，家屋被害額に関しては，被災世帯の家屋延べ床面積に平成 15 年兵庫県家屋評価額 15.2（万円/㎡）を乗じることにより家屋価額を算出するとともに，各家屋ごとの浸水深に応じた被害率を乗じて算定した。本実態調査では合計 46 項目にわたる家財と 21 項目にわたる農業・畜産関係資産の損失・損壊の状態を調べている。被災世帯の家財の損失・損壊実態に基づいて，逸失した家財の再調達価額を算出し，その総和を一般資産被害額とした。①に示したように，世帯は損失・損壊した資産のすべてを再調達するわけではない。このため，一般資産被害額と必要調達額が一致する保証はないが，一般資産被害額が大きければ被害額も大

T23号以前の浸水経験等	・ T23号以前の浸水経験（回数、被害程度、予想有無、自衛策有無）
T23号での浸水状況、被害状況	・ 自宅の浸水深 ・ 土砂堆積状況 ・ 家屋被害程度 ・ 家財別被災状況
T23号での農業・畜産被害状況	・ 農地の被害程度 ・ 農業器具の被害状況 ・ 農業・畜産施設の被害状況 ・ 農作物・在庫品の被害状況
清掃、片付け	・ 清掃・後片付けの日数および必要人員 ・ 清掃活動や飲料水等の代替用品の出費
身体・仕事・子供への影響	・ 身体的な被害の有無、内容、通院日数 ・ 仕事を、誰が、何日休んだか ・ 学校を、誰が、何日休学したか
復旧過程の状況	・ 家屋復旧状況（類似する復旧程度を選択） ・ 家財復旧状況（類似する復旧程度を選択） ・ 家屋・家財の今後の復旧予定（復旧完了日数、予定日時）
水害前の資産内容	・ 預金額 ・ 有価証券額 ・ 生命保険の積立金 ・ 損害保険の積立金 ・ JA共済の積立金 ・ 自宅、自宅の土地以外の不動産、信託評価額 ・ ローン担保資産の被害状況 ・ 延べ床面積 ・ 土地の坪数 ・ 住宅の築年数
保険	・ 保険に入っていたか否か ・ 火災保険か住宅総合保険か共済か ・ 新品価格で評価する特約有無 ・ 保険のカバー率 ・ 満期の有無 ・ 保険料 ・ 保険金受取額
将来計画	・ 住宅の変更・継続 ・ 住宅を替える場合、持家、借家の選択（転居時期、予定時期） ・ 新しい住宅の取得価額ないし家賃 ・ 調達先（自己資金・借入・保険金等） ・ 調達先別調達額 ・ 調達資金の過不足 ・ 不足の場合、今後資金調達予定
フェースシート	・ 性別 ・ 年齢 ・ 職業 ・ 被災時住居形態（持家、借家、移住年数） ・ 世帯人員数 ・ 年収 ・ 水害後の年収減少額

きくなり、必要調達額は大きくなる。次に、被害額流動性比は、一般資産被害額と復旧のための流動性資金の比率を表している。流動性資金は、世帯が復旧のために自己調達できる流動性の上限值を表しており、被災年度における世帯年収と金融残高で構成される。被害額流動性比が大きくなれば、損壊した資産の中で、復旧できない資産の割合が増加するため、必要調達額が小さくなる。なお、本研究では、世帯の金融資産残高を、世帯の預金残高と保有する有価証券の時価総額を用いて定義している。最後に、保険カバー率（「保険給付金額/一般資産被害額」）は、給付された保険金額が一般資産被害額に占める割合を用いて定義している。高い復旧水準を望む世帯ほど保険カバー率は大きくなることが予想される。このため、保険カバー率が大きいほど必要調達額は大きくなる。

一方、調達可能額を推計するために採用した説明変数は1) 金融資産残高、2) 土地資産価額、3) 保険金給付額である。世帯が保有する金融資産は、世帯の復旧のための重要な資金源である。金融資産残高が大きいほど自己資金による復旧資金の調達可能額は大きくなる。

表-3.4.2 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	6.886 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	0.050 2.243
保険金給付額 (y_3)	γ_3	1.141 10.813
相関係数	ρ	-0.10 —
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、 $\sigma_1=0$ 、 $\sigma_2=0$ という帰無仮説定義できないためt値が記載されていない。

また、金融資産残高が大きいほど、金融機関からの借り入れも容易になる。つぎに、土地資産価額は宅地資産価額と田畑山林資産価額の和を意味する。世帯が保有する宅地面積に基準地価を乗じることにより宅地価額を算定した。なお、対象地域における基準地価の平均値は 3.56 (万円/㎡) である。田畑、山林資産価額は、世帯が保有する田畑、山林面積に田畑山林価格を乗じて算定している。なお、調査田畑平均価格は田畑で 0.0781 (万円/㎡)、用材林地価格薪炭林地価格で 0.0050 (万円/㎡) となっている。土地資産は非流動性資産であり、水害による物的な被害は発生しない。しかし、土地資産を流動化するためには時間を要する。さらに、対象地域では水害後地価の一時的な下落が発生しており、土地資産の一部を売却し、復旧資金を工面した世帯は多くない。むしろ、世帯が担保物件となっていない土地資産を保有している場合、土地資産を担保にすることにより、借り入れによる調達可能額を大きくすることができる。このように考えれば、土地資産価額が大きい世帯ほど、流動性制約を緩和することが可能である。最後に、保険金給付額は保険により給付された保険金額を表している。保険金給付額が大きいほど調達可能額は大きくなる。なお、回収されたサンプルにはいくつかの欠損データが含まれているためにデータの補完を

行った。金融資産残高の欠損データについては、全サンプルを流動性制約有無、世帯主年齢、世帯年収、家屋築年数により区分し、各区分の平均値により金融資産残高の欠損データを補完した。また、土地資産価額については、全サンプルを自宅延べ床面積別に区分し、各区分の土地資産価額の平均値によりデータを補完した。最後に一般資産被害額については、全サンプルを浸水深、自宅延べ床面積別に区分し、各区分の一般資産被害額の平均値によりデータを補完している。

流動性制約モデルの推計結果を表-3.4.2 に示した。流動性制約モデルでは、調達可能額モデルと必要調達額モデルが同時に推計される。まず、必要調達額モデルでは、説明変数として、一般資産被害額、被害額流動性比、保険カバー率が選択された。住居形態（持ち家または借家ダミー）に関しては有意な結果が得られなかったため、最終的には説明変数から除外した。一般資産被害額は正で有意であり、一般資産被害額が大きいほど必要調達額が増加する。また、その係数は1を下回っており、世帯は物的資産の被害を全て復旧する意思があるとはいえない。また、被害額流動性は負で有意であり、年収、金融資産に対して被害額が大きいほど必要調達額が減少する。すなわち、被害額が年収、金融資産に対して大きい場合、復旧の遅れを回避するために復旧水準を低下せざるを得なくなり、必要調達額が減少すると解釈できる。保険カバー率は正で有意であり、保険カバー率が大きいほど必要調達額が大きくなる。これは、保険カバー率の大きい世帯ほど、被災前の水準に近い、より高い復旧水準を望むため、必要調達額が大きくなる。

つぎに、調達可能額モデルの推計結果をとりあげよう。調達可能額を説明する変数として、金融資産残高、土地資産額、保険給付金額が選ばれた。世帯の年収は有意な説明力を持たないため、最終的に説明変数としては選ばれていない。金融資産残高は正で有意であり、金融資産が多くなるほど調達可能額が増加するという結果を得ている。この結果は、金融資産残高が大きくなるほど、自己資金による調達額が大きくなることと、より多くの借り入れによる調達が可能になるという効果により説明できる。土地資産に関する係数は正で有意であり、土地資産を持つほど調達可能額が増加するという結果となっている。土地資産の大きさは世帯の資産的余裕を表す指標となりうる。すなわち、大きな土地資産を保有する世帯は、資産的余裕のない世帯に比べ、一般資産被害のうち、生活水準の低下を蒙る被害の割合は相対的に小さなものとなる。また、土地資産自体は非流動性資産ではあるが、土地資産は水害による直接的被害を受けない資産である。そのため、土地資産を持つ世帯は、土地を担保とした借り入れが可能であり、調達可能額も大きくなる。このことは、金融資産、土地資産が、予期せぬ流動性需要に対する保険機能を果たしていることを示唆している。保険金給付額は正で有意であり、保険金給付額が大きいほど調達可能額が増加する。調達可能額モデルにおいて、金融資産残高、土地資産額が説明変数として選択されたことは特筆すべきだろう。世帯は水害や地震、火災やその他の事故等、多様なリスクを抱えている。これらの事態に遭遇する確率は確かに存在するが、これらの事象が同時に生起する確率は極めて小さい。そのために、世帯は特定のリスクのみをヘッジする保険に加入するだけでなく、流動性補給機能を持つ金融資産、土地資産を保有することにより、予期せぬリスクによる不可逆な生活水準の低下リスクをヘッジをしている。

なお、以上の推計結果の中で、保険金給付額が説明変数として選択されていることには留保すべき点がある。保険金給付額は、世帯が効用最大化行動として選択した結果であり、本来内生変数として取り扱うべき変数である。保険金給付額を説明する外生変数と、本研究で取り上げた説明変数の間に相関関係が存在する場合、推計結果に内生性による推計バイアスが発生する可能性がある。内生性バイアスを処理するためには、水害保険に関する需要関数を同時推計する方法が考えられる。このような内生性の問題に関しては、本研究の域を超えており今後の課題としたい。

(3) モデルを用いた流動性制約に関する考察

まず、流動性制約に陥っている世帯の期待不足調達額を推計しよう。アンケート調査の結果より復旧資金調達額に関する情報が入手可能である。したがって、流動性制約に直面している世帯（ $\delta_i=1$ ）に関しては、復旧資金調達額 $\bar{z}_i$ が調達可能額 L_i に一致する。

すなわち、式(3.7b)より、確率誤差項 ε_2^i は確定値 $\bar{\varepsilon}_2^i$ となる。一方、必要調達額モデルに含まれる確率誤差項 ε_1^i の値を確定的に把握できない。しかし、流動性制約に直面しているという事実より、確率誤差項 ε_1^i は条件 $\varepsilon_1^i \geq \bar{\varepsilon}_1^i = \bar{z}_i - \bar{x}_i \beta'$ を満足する。以上の情報を用いれば、流動性制約に直面する世帯 i の不足調達額 $E[G(\bar{x}_i, \bar{y}_i : \bar{z}_i)]$ の期待値は、

$$\begin{aligned} E[G(\bar{x}_i, \bar{y}_i : \bar{z}_i)] &= \frac{\int_{\bar{\varepsilon}_1^i}^{\infty} \xi(\bar{x}_i, \bar{y}_i, \varepsilon_1^i, \bar{\varepsilon}_2^i) \psi(\varepsilon_1^i | \bar{\varepsilon}_2^i) d\varepsilon_1^i}{\int_{\bar{\varepsilon}_1^i}^{\infty} \psi(\varepsilon_1^i | \bar{\varepsilon}_2^i) d\varepsilon_1^i} \\ &= \bar{x}_i \beta' - \bar{y}_i \gamma' - \bar{\varepsilon}_2^i + \frac{\int_{\bar{\varepsilon}_1^i}^{\infty} \varepsilon_1^i \psi(\varepsilon_1^i | \bar{\varepsilon}_2^i) d\varepsilon_1^i}{\int_{\bar{\varepsilon}_1^i}^{\infty} \psi(\varepsilon_1^i | \bar{\varepsilon}_2^i) d\varepsilon_1^i} \end{aligned} \quad (3.14)$$

と表すことができる。ただし、 $\xi(\bar{x}_i, \bar{y}_i, \varepsilon_1^i, \varepsilon_2^i) = \bar{x}_i \beta' - \bar{y}_i \gamma' + \varepsilon_1^i - \varepsilon_2^i$ である。アンケート調査において、流動性制約に直面したと回答した世帯のそれぞれに対して、式(3.14)を用いて期待不足調達額を求めた。

図-3.4.7は、以上で求めた期待不足調達額の分布状況を表す。アンケート回答世帯のうち、流動性制約に直面する世帯の期待不足調達額の平均値は252万円となる。流動性制約に直面した世帯の期待不足調達額と、世帯年収の関係を分析した結果、世帯年収の少ない世帯で、期待不足調達額は世帯年収を上回る、またはそれに匹敵することが明らかとなった。このことから、世帯年収の少ない世帯では深刻な流動性制約に直面していることが明らかとなった。なお、流動性制約に直面している世帯の平均世帯年収は426万円であり、世帯年収に対する期待不足調達額の値は決して小さいとはいえない。

対象地域における水害の規模が変化すれば、流動性被害を被る世帯の割合（以下、流動性被害率と呼ぶ）、および被災世帯の期待不足調達額は変化する。そこで、以下では、一般資産被害額の変化が、流動性被害率、期待不足調達額に及ぼす影響について、分析を行った。

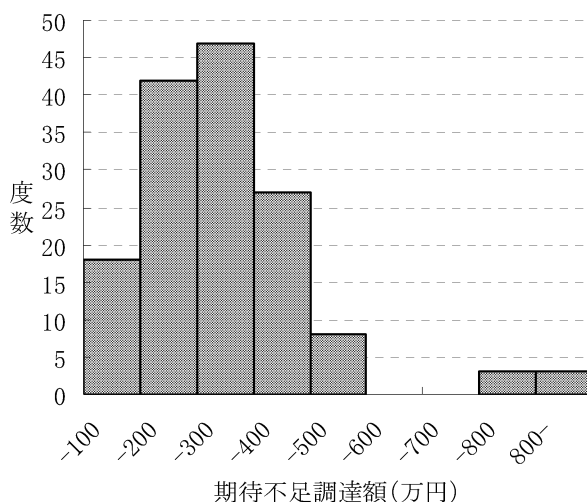


図-3.4.7 期待不足調達額の分布 N=148

先の豊岡水害において流動性制約に陥った世帯に関しては、確率誤差項 ε_2^i が確定値 $\bar{\varepsilon}_2^i$ であると考えよう。流動性制約に直面しない世帯に関しては確率誤差項 ε_1^i が確定値 $\bar{\varepsilon}_1^i$ であるとする。そこで、アンケート回答世帯集合 Ω を互いに排他的な2つの集合、

$$\Omega_1 = \{i \in \Omega | \bar{\delta}_i = 1\} \quad (3.15a)$$

$$\Omega_2 = \{i \in \Omega | \bar{\delta}_i = 0\} \quad (3.15b)$$

に分割しよう。 Ω_1 は、本水害で流動性制約に直面した世帯の集合を、 Ω_2 は、流動性制約に直面しなかった世帯の集合を表す。集合 Ω_1 に属する世帯に関しては $\bar{\varepsilon}_2^i$ が、集合 Ω_2 に属する世帯に関しては $\bar{\varepsilon}_1^i$ が既知である。ここで、必要調達額モデルに含まれる説明変数のうち、(他の説明変数を実測値に固定しながら)一般資産被害額、被害額流動性比のみが $\bar{x}_1^i(\kappa) = \kappa \bar{x}_1^i$ 、 $\bar{x}_2^i(\kappa) = \kappa \bar{x}_2^i$ と変化した場合を考えよう。ただし、 κ はパラメータである。また、 $\bar{x}_1^i$ 、 $\bar{x}_2^i$ を新しい数値 $\bar{x}_1^i(\kappa)$ 、 $\bar{x}_2^i(\kappa)$ に置き換えた説明変数ベクトルを $\bar{x}_i(\kappa)$ と表そう。

まず、属性 $\bar{x}_i(\kappa)$ 、 $\bar{y}_i$ を有する世帯 i が、今回の水害で流動性制約に直面したケース $i \in \Omega_1$ を考えよう。世帯 i は $\kappa=1$ の場合に流動性制約に直面しているため、 $\kappa>1$ の場合には、確率1で流動性制約に直面する。一方、 $\kappa<1$ の場合には、 $\varepsilon_1^i > -\bar{x}_1(\kappa)\beta' + \bar{y}_i\gamma' + \bar{\varepsilon}_2^i$ のとき流動性制約に陥る。世帯 i が $\kappa=1$ の場合に流動性制約に陥ることから、 $\varepsilon_1^i > -\bar{x}_1(1)\beta' + \bar{y}_i\gamma' + \bar{\varepsilon}_2^i$ が成立している。したがって、 $\kappa(<1)$ の場合に、世帯 $i(i \in \Omega_1)$ が流動性制約に直面する流動性被害率 $\rho^1(\bar{x}_i(\kappa), \bar{y}_i)$ は、世帯 i が $i \in \Omega_1$ であることを所与とした条件付き確率として表される。以上を整理して、流動性被害率は、

$$\rho^1(\bar{x}_i(\kappa), \bar{y}_i) = \begin{cases} \frac{\int_{\eta_1(\bar{\varepsilon}_2^i: \kappa)}^{\infty} \psi(\varepsilon_1^i | \bar{\varepsilon}_2^i) d\varepsilon_1^i}{\int_{\eta_1(\bar{\varepsilon}_2^i: \kappa=1)}^{\infty} \psi(\varepsilon_1^i | \bar{\varepsilon}_2^i) d\varepsilon_1^i} & (\kappa < 1 \text{ の時}) \\ 1 & (\kappa \geq 1 \text{ の時}) \end{cases} \quad (3.16)$$

と表される。ただし、 $\eta_1(\bar{\varepsilon}_2^i: \kappa) = \bar{z}_i - \bar{x}_i(\kappa)\beta'$ である。

一方、属性 $\bar{x}_i(\kappa)$ 、 $\bar{y}_i$ を有する世帯 i が、今回の水害で流動性制約に陥らなかったケース $i \in \Omega_2$ を考えよう。世帯 i は $\kappa=1$ の場合に流動性制約に陥らなかったため、 $\kappa<1$ の場合には、流動性制約に陥る確率は0である。一方、 $\kappa>1$ の場合には、上記と同様の考え方にしたがって、 $\kappa(>1)$ の場合に、世帯 $i(i \in \Omega_2)$ が流動性制約に直面する流動性被害率 $\rho^2(\bar{x}_i(\kappa), \bar{y}_i)$ は、世帯 i が $i \in \Omega_2$ であることを所与とした条件付き確率として表される。以上を整理して、

$$\rho^2(\bar{x}_i(\kappa), \bar{y}_i) = \begin{cases} 0 & (\kappa \leq 1 \text{ の時}) \\ \frac{\int_{\eta_2(\bar{\varepsilon}_1^i: \kappa=1)}^{\eta_2(\bar{\varepsilon}_1^i: \kappa)} \psi(\varepsilon_2^i | \bar{\varepsilon}_1^i) d\varepsilon_2^i}{\int_{\eta_2(\bar{\varepsilon}_1^i: \kappa=1)}^{\infty} \psi(\varepsilon_2^i | \bar{\varepsilon}_1^i) d\varepsilon_2^i} & (\kappa > 1 \text{ の時}) \end{cases} \quad (3.17)$$

と表される。ただし、 $\eta_2(\bar{\varepsilon}_1^i: \kappa) = \bar{x}_i(\kappa)\beta' - \bar{y}_i\gamma' + \bar{\varepsilon}_1^i$ である。

さらに、属性 $\bar{x}_i(\kappa)$ 、 $\bar{y}_i$ を有する世帯の中で、流動性制約に陥った世帯が調達できない不足調達額 $G(\bar{x}_i(\kappa), \bar{y}_i)$ を、世帯の必要調達額 $C(\bar{x}_i(\kappa))$ と調達可能額 $L(\bar{y}_i)$ の差を用いて、

$$G(\bar{x}_i(\kappa), \bar{y}_i) = \max\{C(\bar{x}_i(\kappa)) - L(\bar{y}_i), 0\} \quad (3.18)$$

と定義しよう。

したがって、不足調達額の期待値 $E[G^k(\bar{x}_i(\kappa), \bar{y}_i)] (i \in \Omega_k, k=1, 2)$ は、

$$\begin{aligned}
& E[G^1(\bar{\mathbf{x}}_i(\kappa), \bar{\mathbf{y}}_i)] \\
&= \begin{cases} \frac{\int_{\eta_1(\bar{\varepsilon}_2^i; \kappa)}^{\infty} \xi(\bar{\mathbf{x}}_i(\kappa), \bar{\mathbf{y}}_i, \varepsilon_1^i, \bar{\varepsilon}_2^i) \psi(\varepsilon_1^i | \bar{\varepsilon}_2^i) d\varepsilon_1^i}{\int_{\eta_1(\bar{\varepsilon}_2^i; \kappa=1)}^{\infty} \psi(\varepsilon_1^i | \bar{\varepsilon}_2^i) d\varepsilon_1^i} & (\kappa < 1 \text{ の時}) \\ \frac{\int_{\eta_1(\bar{\varepsilon}_2^i; \kappa=1)}^{\infty} \xi(\bar{\mathbf{x}}_i(\kappa), \bar{\mathbf{y}}_i, \varepsilon_1^i, \bar{\varepsilon}_2^i) \psi(\varepsilon_1^i | \bar{\varepsilon}_2^i) d\varepsilon_1^i}{\int_{\eta_1(\bar{\varepsilon}_2^i; \kappa=1)}^{\infty} \psi(\varepsilon_1^i | \bar{\varepsilon}_2^i) d\varepsilon_1^i} & (\kappa \geq 1 \text{ の時}) \end{cases} \\
& \quad (i \in \Omega_1 \text{ の時}) \tag{3.19}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& E[G^2(\bar{\mathbf{x}}_i(\kappa), \bar{\mathbf{y}}_i)] \\
&= \begin{cases} 0 & (\kappa \leq 1 \text{ の時}) \\ \frac{\int_{\eta_2(\bar{\varepsilon}_1^i; \kappa)}^{\eta_2(\bar{\varepsilon}_1^i; \kappa=1)} \xi(\bar{\mathbf{x}}_i(\kappa), \bar{\mathbf{y}}_i, \varepsilon_1^i, \varepsilon_2^i) \psi(\varepsilon_2^i | \bar{\varepsilon}_1^i) d\varepsilon_2^i}{\int_{\eta_2(\bar{\varepsilon}_1^i; \kappa=1)}^{\infty} \psi(\varepsilon_2^i | \bar{\varepsilon}_1^i) d\varepsilon_2^i} & (\kappa > 1 \text{ の時}) \end{cases} \\
& \quad (i \in \Omega_2 \text{ の時}) \tag{3.20}
\end{aligned}$$

と表すことができる。ただし、 $\xi(\bar{\mathbf{x}}_i(\kappa), \bar{\mathbf{y}}_i, \varepsilon_1^i, \varepsilon_2^i) = \bar{\mathbf{x}}_i(\kappa)' \beta' - \bar{\mathbf{y}}_i' \gamma' + \varepsilon_1^i - \varepsilon_2^i$ である。

また、属性 $\bar{\mathbf{x}}_i(\kappa)$ 、 $\bar{\mathbf{y}}_i$ を有する世帯 i が、調達する必要調達額 $C'(\bar{\mathbf{x}}_i(\kappa))$ を、

$$C'(\bar{\mathbf{x}}_i(\kappa)) = \max\{C(\bar{\mathbf{x}}_i(\kappa)), 0\} \tag{3.21}$$

と定義すれば、必要調達額の期待値 $E[C'(\bar{\mathbf{x}}_i(\kappa))]$ ($i \in \Omega_k$; $k=1, 2$)は、

$$\begin{aligned}
& E[C'^1(\bar{\mathbf{x}}_i(\kappa))] \\
&= \frac{\int_{\eta_1(\bar{\varepsilon}_2^i; \kappa=1)}^{\infty} C'(\bar{\mathbf{x}}_i(\kappa)) \psi(\varepsilon_1^i | \bar{\varepsilon}_2^i) d\varepsilon_1^i}{\int_{\eta_1(\bar{\varepsilon}_2^i; \kappa=1)}^{\infty} \psi(\varepsilon_1^i | \bar{\varepsilon}_2^i) d\varepsilon_1^i} \\
& \quad (i \in \Omega_1 \text{ の時}) \tag{3.22}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& E[C'^2(\bar{\mathbf{x}}_i(\kappa))] \\
&= \frac{\int_{\eta_2(\bar{\varepsilon}_1^i; \kappa=1)}^{\infty} C'(\bar{\mathbf{x}}_i(\kappa)) \psi(\varepsilon_2^i | \bar{\varepsilon}_1^i) d\varepsilon_2^i}{\int_{\eta_2(\bar{\varepsilon}_1^i; \kappa=1)}^{\infty} \psi(\varepsilon_2^i | \bar{\varepsilon}_1^i) d\varepsilon_2^i} \\
& \quad (i \in \Omega_2 \text{ の時}) \tag{3.23}
\end{aligned}$$

と表せる。このとき、各世帯ごとに、 $\rho^1(\bar{\mathbf{x}}_i(\kappa), \bar{\mathbf{y}}_i)$ 、 $E[G^1(\bar{\mathbf{x}}_i(\kappa), \bar{\mathbf{y}}_i)]$ 、 $E[C'(\bar{\mathbf{x}}_i(\kappa))]$ を求めることができる。さらに、対象地域で集計化することにより、

$$\rho(\kappa) = I^{-1} \sum_{k=1}^2 \sum_{i \in \Omega_k} \rho^k(\bar{\mathbf{x}}_i(\kappa), \bar{\mathbf{y}}_i) \tag{3.24a}$$

$$E[G(\kappa)] = I^{-1} \sum_{k=1}^2 \sum_{i \in \Omega_k} E[G^k(\bar{\mathbf{x}}_i(\kappa), \bar{\mathbf{y}}_i)] \tag{3.24b}$$

$$E[C'(\kappa)] = I^{-1} \sum_{k=1}^2 \sum_{i \in \Omega_k} E[C'^k(\bar{\mathbf{x}}_i(\kappa), \bar{\mathbf{y}}_i)] \tag{3.24c}$$

を求めることができる。ただし、 I^{-1} は、集計の対象とした世帯数の逆数を表している。

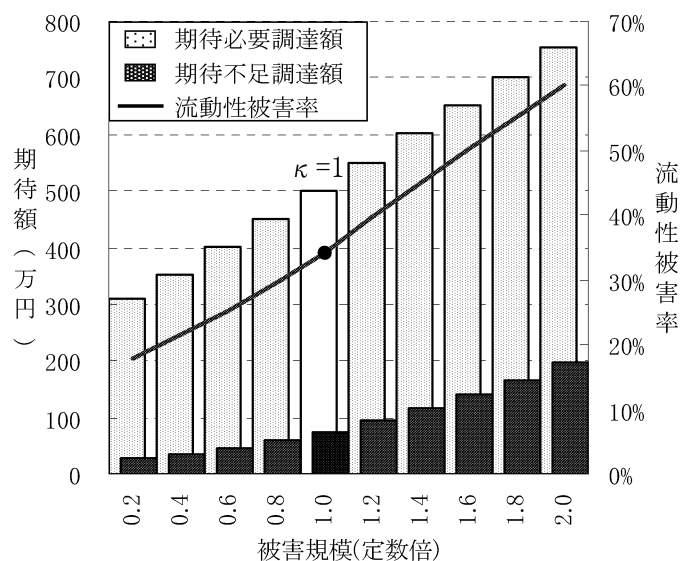


図-3.4.8 流動性被害率と期待不足調達額、期待必要調達額 N=431

図-3.4.8 は、すべての世帯に対して κ が一律に変化した場合を想定し、全サンプルの平均的な流動性被害率 $\rho(\kappa)$ と期待不足調達額 $E[G(\kappa)]$ 、期待必要調達額 $E[C'(\kappa)]$ を求めた結果を示している。

$\kappa=1$ の場合の流動性被害率は、今回の水害における実態を示している。一般資産被害額が今回の水害の2倍となれば、流動性被害率は今回の水害の約2倍の60%となり、期待不足調達額は約200万円程度となることがわかり、浸水被害の規模が大きくなると地域にとって致命的な影響を与えることがわかる。なお、で言及したように、必要調達額モデルに適用範囲が存在し、被害額の小さい世帯の期待不足調達額の推定精度に限界がある。そこで、 κ の値に関する感度分析を行う際、被害額が床上浸水以下の被害に相当する場合、流動性被害は発生しない ($E[G(\kappa)]=0$) と想定している。

以上では、すべての世帯の一般資産被害額を一律に変動させた簡単な感度分析を試みた。しかし、水害規模による流動性被害の実態を詳細に検討するためには、氾濫シミュレーションにより個別世帯の浸水深を推定し、水害規模に応じた一般資産被害額を算定することが必要となる。その検討は、3-7. のケーススタディにおいて実施し、一般資産被害額の期待値と流動性被害の期待値について比較検討を行う。

3－5. 家計の復旧過程と流動性被害

(1) 実態調査概要

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棟という被害が生じた。

豊岡市域の氾濫地域のうち豊岡市庄境地区、鳥居地区及び赤崎地区では、破堤氾濫によって大きな被害が生じた。実態調査は、破堤氾濫が生じた3地区を分析対象として選定し、アンケート調査、ヒアリング調査を通じて豊岡水害による被害状況と復旧過程に関する情報を収集することを目的としている。実態調査は、京都大学大学院工学研究科小林潔司研究室が主体となり、水害が発生した約5ヵ月後の平成17年3月、約17ヵ月後の平成18年3月、約2年後の平成18年11月の計3回にわたって実施した。

アンケート調査では、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5ヵ月後の復旧状況、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、復旧状況等、広範囲の項目にわたり情報を収集している。

ここで、調査結果に基づき、アンケート回答世帯の平均的な属性についてとりまとめておく。年齢構成のうち、50歳以上が約66%を占めており、比較的高齢者層が多い地域である。世帯人員数の平均は3.1人であり、75%の世帯が一戸建て(持ち家)に住み、17%の世帯は二戸建て(借家)または賃貸マンション・アパートに住んでおり、持ち家比率の大きい地域である。また、世帯の年収分布は、200万円代にピークが存在する。世帯年収が400万円未満である世帯が約40%を占めることを考慮すれば、対象地域では平均年収の少ない世帯が占める割合が多いことが理解できる。世帯年収と世帯主年齢のクロス分析を行った結果、世帯年収が500万円未満であり、世帯主年齢が60歳以上である世帯がもっとも多いことが明らかとなった。さらに、世帯年収と職業のクロス分析を行った結果、低所得者層は主として年金生活者および若者が占めていることが判明した。

推計に用いるデータは、アンケート調査結果に基づいて表-3.5.1に示した復旧度を定義する。なお、同一家計で家屋と家財の復旧状況が異なる場合には、復旧が遅れている状態に着目して当該家計の復旧度を定義した。その結果、家計ごとに復旧状態を復旧度3～復旧度1という3つの復旧度を用いて評価する。さらに、3回のアンケート調査結果から得られた復旧履歴データを用いて多段階指数ハザード関数のパラメータを推定した。家計属性を表す特性変数を x^k として、データの利用可能性を考慮して $x_1^k=1$: 定数項、

表-3.5.1 復旧度3段階評価基準

復旧度	判断基準
1	浸水被害時の状況からほとんど変化なし、 または、生活に不自由を強いられている
2	浸水前の状況には戻っていないが、概ね復旧完了
3	復旧完了し、浸水前の状況に戻っている

注) 被災時点と変化がないという状態をレーティング1に、以降復旧が進行するほどレーティング番号が大きくなるように復旧度が表記されている。

x_2^k :第1回調査時点における流動性制約の有無を示すダミー変数（有のとき1，無のとき0）， x_3^k :被害額流動性比を採用した．ここで，第1回調査時点における流動性制約の有無を示すダミー変数は，被災後約5ヵ月後に実施した第1回調査の時点で家計が流動性制約に直面しているかどうかを表している．すなわち，第1回調査時点で，「復旧資金を賄えたかどうか」という質問に対し，「賄えた」と回答した家計は流動性制約に直面しておらず，「賄えなかった」と回答した家計は流動性制約に直面していると判断した．この定義により，第1回調査時点で約33%の家計が流動性制約に直面していたことが判明した．被害額流動性比は，一般資産被害額／(家計年収+金融資産残高)で定義され，一般資産被害額と復旧のための流動性資金の比率を表している．流動性資金は，家計が復旧のための自己調達できる流動性の上限値を表しており，被災年度に調達できる年収と金融資産残高で構成される．被害額流動性比が大きくなれば，損壊した資産の中で，復旧できない資産の割合が増加するため復旧が遅延する．2つの調査時点におけるデータが完備している合計532個のサンプルデータを用いて多段階指数ハザードモデルを推計した．なお，特性変数である被害額流動性比については，対象とする523個のサンプル中の最大値を用いて規格化している．

(2) 推定結果

上記のデータセットに基づいて，多段階指数ハザードモデルを推定した．当初， $\beta_{i,1}, \beta_{i,2}, \beta_{i,3}$ ($i=1,2$)という，合計6個のパラメータすべてを用いて指数ハザードモデルを推定したが，符号条件や t -値が低いパラメータが存在した．そのため，説明変数 x_2^k, x_3^k の有無を変更した組み合わせのそれぞれに対して多段階指数ハザードモデルを推定した．その中で，符号条件を満足し，かつ説明変数の説明力に関する仮説を有意水準5%の t -検定で棄却されないような説明変数の組み合わせを抽出し，対数尤度(4.31)がもっとも大きくなるような説明変数の組み合わせを選択した，表-3.5.2には以上の手順で推定した指数ハザードモデルのパラメータの最尤推定値 $\hat{\beta}$ を示している．同表には各説明変数の t -値を示している．

流動性の有無を示すダミー変数に対するパラメータは負の値を示しており，流動性制約を受けた家計は受けなかった家計に比して，復旧が遅いことを示している．また，被害額流動性比についても負で有意であることから，被害額が年収，金融資産に対して大きい場合には，復旧資金に充当する当面の流動性資金が不足するために，復旧が完了するまでに時間を要すると解釈できる．推定した多段階指数ハザードモデルを用いてマルコフ推移確率行列を求めることができる．本研究で提案した方法論に基づけば，各サンプルごとにマルコフ推移確率行列を求めることができる．このようにして推定したマルコフ推移確率行列は膨大な量に及ぶため，第1回調査時点の流動性制約有無家計別に，平均化操作により求めたマルコフ推移確率行列を表-3.5.3に示す．

表-3.5.2 指数ハザードモデルの推計結果

復旧度	定数項 $\beta_{i,1}$	流動性制約有無 $\beta_{i,2}$	被害額流動性比 $\beta_{i,3}$
1	2.133 (9.335)	-0.688 (-2.303)	-
2	0.456 (9.081)	-0.250 (4.226)	-0.615 (-2.039)

注) 括弧内は t -値を表す

表-3.5.3 推計結果（推移確率行列； $z=1$ ）

復旧度	流動性制約がある家計			流動性制約がない家計		
	1	2	3	1	2	3
1	0.236	0.701	0.064	0.118	0.665	0.216
2	0	0.868	0.132	0	0.649	0.351
3	0	0	1	0	0	1

マルコフ推移確率行列を用いて、平均的な復旧の進展を表す復旧期待値パスを定義することができる。期待値パスは、ある復旧度から期待復旧度継続期間 RMD_i^* が経過すると次の復旧度に推移するように、家計の平均的な復旧の進展過程を描いたグラフを意味する。図-3.5.1 には、流動性制約に直面する家計の被害額流動性比をサンプル平均 3.81 に設定したベンチマークケース（以下、BM ケースと表す）における家計の復旧期待値パスを示している。同様に、流動性制約に直面しない家計の被害額流動性比をサンプル平均の 1.32 に設定した復旧期待値パスも示している。同図には、流動性制約に直面する家計とそうでない家計のそれぞれに対して、期待ハザード率 $E[\theta_i]$ 、及び式(4.30)より求めた家計の期待復旧度継続期間 $E[RMD_i^*]$ を求めた結果を示している。流動性制約の有無に関わらず、被災後 1 年以内に復旧度が 1 から 2 へ回復している。しかし、復旧度が 3 にまで回復するのに、流動性制約が存在しない家計では約 2 年を有している。流動性制約が存在する場合には、約 7 年も必要となる予測結果が得られている。図-3.5.1 には、BM ケースに対して被害額流動性比を 2 倍にした場合、0.5 倍にした場合の復旧期待値パスも示している。同図に示すように、流動性制約に直面しない家計では、被害額流動性比の変化は復旧期間にほとんど影響を与えていない。一方、流動性制約に直面した家計では、被害額流動性比の変化が復旧期間に大きく影響を与えており、流動性資金不足により復旧が大きく遅延する状況を理解できる。図-3.5.2 は、被災後の経年的な家計の復旧度分布を表している。時間が経過するにつれて、復旧が完了した復旧度 3 の家計が示す割合が増加する。しかし、流動性制約に直面した家計については長期的に復旧度 2 に留まる割合が多いことが分かる。

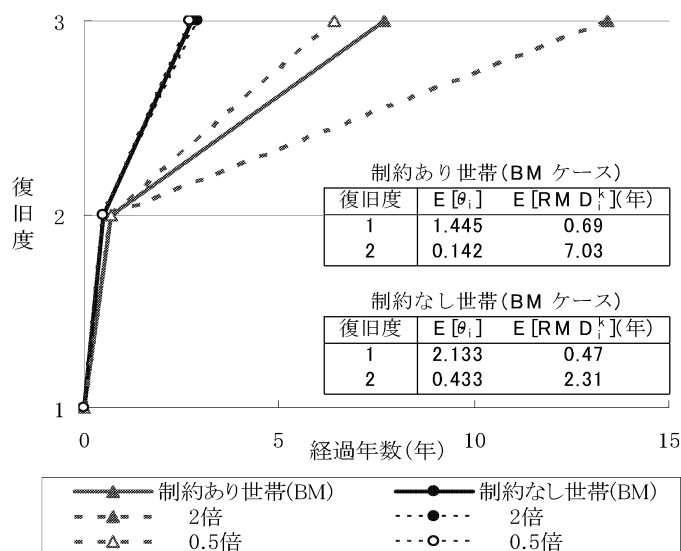


図-3.5.1 復旧期待値パス

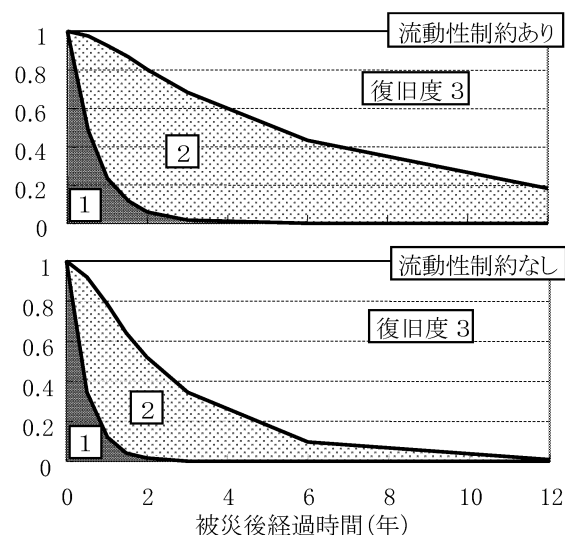


図-3.5.2 復旧度分布の経年変化

3－6．精神的な被害と防災投資の経済的効果

(1) 緒言

水害によって被災した家計は、物的な資産の損失にとどまらず、精神的にも大きな苦痛を受ける。中には、精神的なショックのために、日常生活への復帰が困難になるようなケースも珍しくはない。つまり、災害発生の可能性を軽減する防災投資は、物的資産の被害を軽減するだけでなく、精神的な苦痛を回避する効果も必要とされる。1999年に作成された現在提案されている治水関連事業の経済便益評価マニュアルである「治水経済調査マニュアル（案）¹⁾」では、治水事業が被災家計の受ける精神的な苦痛といった被害を軽減する効果を有することに言及している。しかし、まだその経済的評価の方法論については、議論が進展していない。

そこで、本研究では、共分散構造モデル²⁾を用いて、被災家計が被る精神的被害の構造を明らかにした上で、CVMを用いて、治水整備事業による精神的被害を軽減便益として計測する方法論を提案する。

(2) 調査・検討方法

被災家計は、ライフライン供給の停止、復旧作業のための過剰労働等、平常時とは全く異なる環境下での生活を余儀なくされる。人間は、日常の安定的な生活によって、無意識のうちに安心感を得ているが、被災時には日常と異なる環境への適応を強要される。このことから、被災家計はさまざまな不快感を抱く。本研究では、精神的被害を、災害に伴う生活環境の変化に伴って発生する不快感の総体として定義する。

水害による精神的被害を経済学的に評価するためには、被災家計のストレスの形成による厚生水準の低下を計測することが必要となる。家計の厚生水準の大きさは、所得水準と水害に対するストレスの大きさによって決定されと考えよう。換言すれば、厚生水準は、所得水準及びストレスの大きさに対する被災家計の選好を反映している。ここで、精神的被害と、精神的影響を表すストレスを区別することが必要である。ストレスは、水害による被災という外的な要因によって、家計が生理的に防衛手段として形成するものであり、それ自体は被験者の選好を反映したものではない。しかし、被災家計が形成したストレスに対して家計は不快感を認知するようになる。被災家計がストレスに対して不快感を認知したとき、家計の厚生水準が低下することになり、結果的に精神的被害が発生することになる。本研究では、CVMにより精神的被害に関する支払い意思額を計測するが、計測された支払い意思額は、所得水準とストレスの大きさに対する家計の選好を反映している。

本研究では精神的被害を把握するため、二段階の方法をとって分析することとした。第一段階では、心理分析に一般的に用いられる因子分析³⁾を用いて、精神的被害を構成する因子について分類するとともに、精神的被害を無くするための支払意思額と分析された因子負荷量を用いて重み付けした精神的被害項目のスコア及び浸水深の関係を重回帰分析によって求め、浸水深と精神被害額の関係を求めた。また、この支払意思額の経年的な変化と構造についても分析を行った。

第二段階の検討では、精神的被害の構造を詳細に分析するために、共分散構造分析を用いた分析を行った。被災家計によるストレスの生産構造を共分散構造モデルによって表現する。後述するように、被災家計が自己生産したストレスは、共分散構造モデルにおける構成概念によって表現されることになる。

共分散構造分析（MIMICモデル）

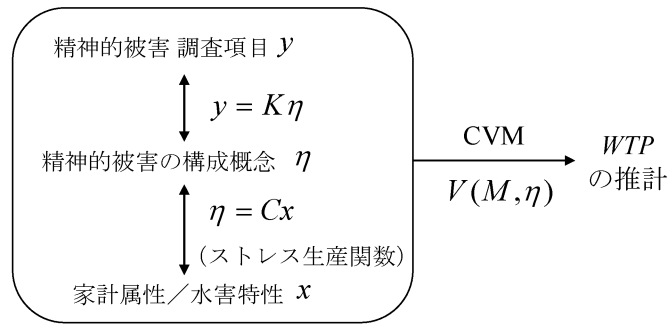


図-3.6.1 共分散構造モデルにおける精神的被害の概念図

家計は、自己生産したストレスに対して選好を持ち、その結果が精神的被害として現れる。すなわち、ストレスが大きくなるほど、家計はより多くの不快感を抱くことになる。その結果、家計の厚生水準は低下し、精神的被害も大きくなる。なお、ストレス生産関数を、家計が被災という負の要素を投入し、負の財としてのストレスを生産する家計生産関数⁴⁾と解釈することも可能である。前述のようにストレスは、家計が自己防衛的に生産するものであり、ストレス生産関数は家計の生理的反応を表したものである。仮に、家計が水害によるストレスを軽減するために予防的措置を講じる場合、これらの投入要素もストレス生産関数に生産要素として含めることも可能である。

(3) 円山川流域における精神的被害の実態調査

① 調査概要

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（図-3.6.2に×印で破堤地点を示す）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。

本実態調査は、破堤氾濫が生じた3地区を分析対象として選定し、アンケート調査、ヒアリング調査を通じて豊岡水害による被害状況と復旧過程に関する情報を収集することを目的としている。実態調査は、京都大学大学院小林研究室が主体となり、水害が発生した約5ヵ月後の平成17年3月16日（確定申告終了後）から10日間にわたって実施した。本実態調査では、家計の資産状況、復旧資金と調達可能性という極めて個人的な情報を収集することを目的としている。アンケート調査を効果的に実施するためには、実施主体と被災家計との信頼関係を築く必要がある。このため、3地区のそれぞれの自治会との協働作業を通じてアンケート調査票を作成

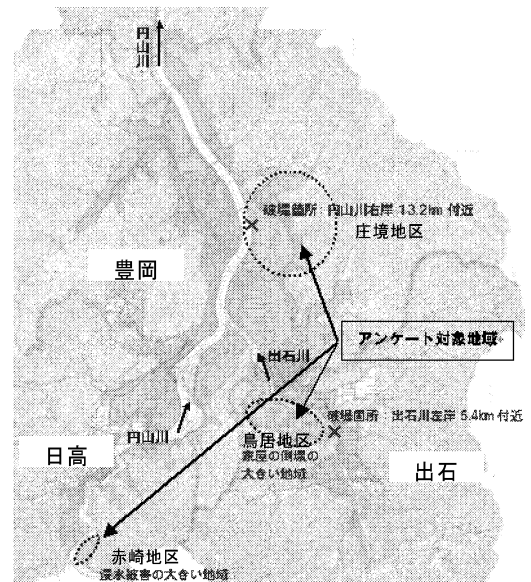


図-3.6.2 円山川周辺の浸水範囲と調査地域

した。アンケート調査票の配布にあたっては、地元自治会の全面的な協力を頂いている。その結果、対象地域のうち、豊岡市梶原地区・上庄境地区、日高町赤崎地区では、非被災家計を含めて全家計に対して実態調査を実施した。一方、出石町、豊岡市中庄境地区・本章境地区では、水害により被害を被った家計のみを対象に調査を実施した。879 家計に対してアンケート調査票を配布し、訪問回収を実施した。対象地域では、高齢化が進展しており、アンケート調査票に対して直接回答が困難な家計に対しては、聞き取り調査を実施している。有効回答サンプル数は 650（回収率約 74%）である。アンケート調査では、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 5 ヶ月後の復旧状況、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、復旧資金と調達先等、広範囲の被災項目（表-3.6.1 参照）にわたり情報を収集している。なお、対象地域では、現地での復旧を断念し、すでに別の地域に移住した家計が存在するが、該当家計の意向もあり、移住した家計に関する追跡調査は実施していない。

なお、精神的被害に対する支払意思額の変化等を追跡するという観点から、水害後の精神的被害の状況（第 1 回目：5 ヶ月後、第 2 回目：17 ヶ月後、第 3 回目：25 ヶ月後）について同様の定点調査を行った。

表-3.6.1 水害における精神的被害項目

不安や精神的な被害	非常に強く感じた	強く感じた	少し感じた	あまり感じなかった	全然感じなかった
(1)洪水による生命の危機や負傷に対する恐怖感	1	2	3	4	5
(2)家族や知人の安否に関する心配	1	2	3	4	5
(3)水防活動や浸水する前における家財の移動による疲労感	1	2	3	4	5
(4)雨量の状況、河川の増水や避難に関する情報の不足による不安	1	2	3	4	5
(5)自宅が浸水するかどうかの不安	1	2	3	4	5
(6)避難所生活の疲れ・ストレス	1	2	3	4	5
(7)家屋・家財・自動車・バイク等の資産を失ったことによる苦痛	1	2	3	4	5
(8)日ごろ、特に大切にしていたもの（思い出の品や貴重品）を失ったことによるショック	1	2	3	4	5
(9)レジャー等の余暇活動や地域活動、平時の家事活動ができないことによる不満	1	2	3	4	5
(10)清掃や片付けによる疲労感	1	2	3	4	5
(11)余計な出費（代替用品等）による家計の苦しさ	1	2	3	4	5
(12)ゴミ等による周辺の環境の不快感	1	2	3	4	5
(13)道路や鉄道、バス等の公共交通機関が使用できないことによる不自由	1	2	3	4	5
(14)ライフライン（電力・ガス・水道）の停止による不自由	1	2	3	4	5
(15)食料品や日常生活用品の不足による不自由	1	2	3	4	5
(16)子供の勉強が遅れる心配	1	2	3	4	5
(17)いつになったら普通の生活に戻れるかといった不安	1	2	3	4	5
(18)再び水害が起こるのではないかとといった不安	1	2	3	4	5
(19)今までのような近所付き合いができなくなったことへの不満（心苦しい等）	1	2	3	4	5
(20)水害前のような生活に戻れない不満や不安	1	2	3	4	5
(21)水への恐怖を感じるようになった	1	2	3	4	5
(22)引越を考えるようになった	1	2	3	4	5

(4) 因子分析法を用いた精神的被害の分析

本研究では、アンケート調査により得られた被害項目を因子分析し、水害による精神的不安・恐怖等の被害要因を分類することによって、水害によってもたらされる世帯の精神的被害構造を分析した。さらに、精神的被害の大きさに深く関係すると考えられる浸水深と精神的被害の大きさ（因子スコア）の関係について検討し、精神的被害額の大きさと浸水深の関係を表す構造モデルを作成している。そのために、世帯の精神的被害を回避するための支払意志額について、浸水深の関数である精神的被害因子を説明変数とする重回帰分析モデルを作成した。

① 精神的被害の構造

浸水被害による精神的な被害を把握するため、調査対象家計の世帯主に台風 23 号によって受けた精神被害の内容について、「洪水による生命の危機や負傷に対する恐怖感」、「日ごろ、特に大切にしていたもの（思い出の品や貴重品）を失ったことによるショック」などの 22 の項目を列挙し、それぞれの項目について、受けた被害の大きさを「非常に強く感じた」「強く感じた」「少し感じた」「あまり感じなかった」「全然感じなかった」の五段階の評価を行ってもらった。

このアンケート結果を基に表-3.6.2 に示したような基準で因子分析を行い、図-3.6.3 に示すような因子の解釈および各項目の関連性を示したパス図を得ることができた。

この精神的被害の因子分析によって、精神的被害の内容として、①思い出などの喪失による精神的苦痛、②水害時の恐怖・危機感の 2 つがあることが分かった。

表-3.6.2 因子分析手法

内容		手法	備考（棄却条件等）
変数の選択		質問項目 22 個	因子抽出で因子への影響が小さい場合は項目を削除
因子抽出法	因子数	固有値 1.25 以上	
	手法	重み付けのない最小 2 乗法	• 手法の差異をチェックする。 • 因子への寄与が小さい項目については、因子負荷量 (R_w) を棄却基準に用いる。 • 棄却基準: $R_w < 0.30$, または 0.30 以上のものが 2 項目以上にわたっている項目
	回転方法	プロマックス回転 (斜交回転)	
因子の解釈		因子に対応する項目等から因子名をつける	

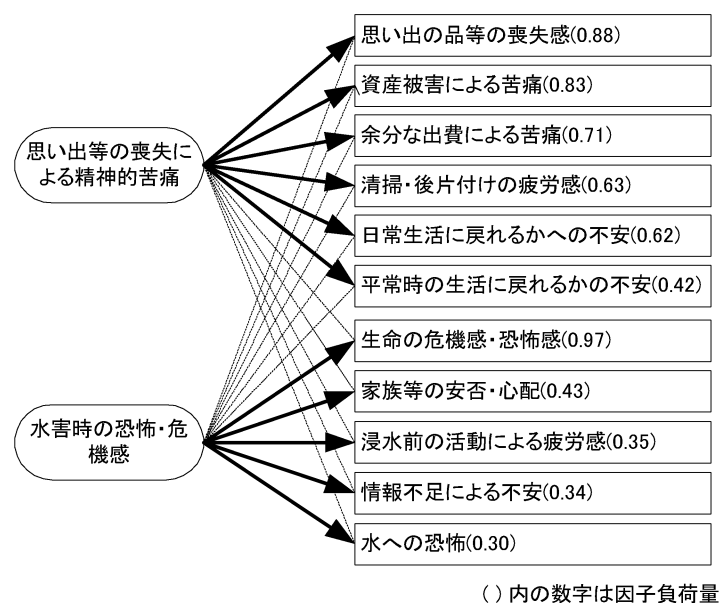


図-3.6.3 精神的被害の因子分析のパス図

この精神的被害を構成する因子項目ごとに、各サンプルの浸水深との関係を整理し、不安・恐怖・苦痛等の大きさが浸水深によりどのように変化するかについて分析した。

精神的被害の大きさとして因子スコアを用い、その因子スコアと浸水深の関係について回帰式を求めた。この結果、思い出などの喪失による精神的苦痛（因子スコア： x_1 ）、水害時の恐怖・危機感（因子スコア： x_2 ）の大きさと浸水深 h (cm) の関係は、(1)式及び(2)式に示すように求められた。

$$x_1 = 3.70 \ln(h) \quad (\text{相関係数} : 0.984) \quad (1)$$

$$x_2 = 2.86 \ln(h) \quad (\text{相関係数} : 0.970) \quad (2)$$

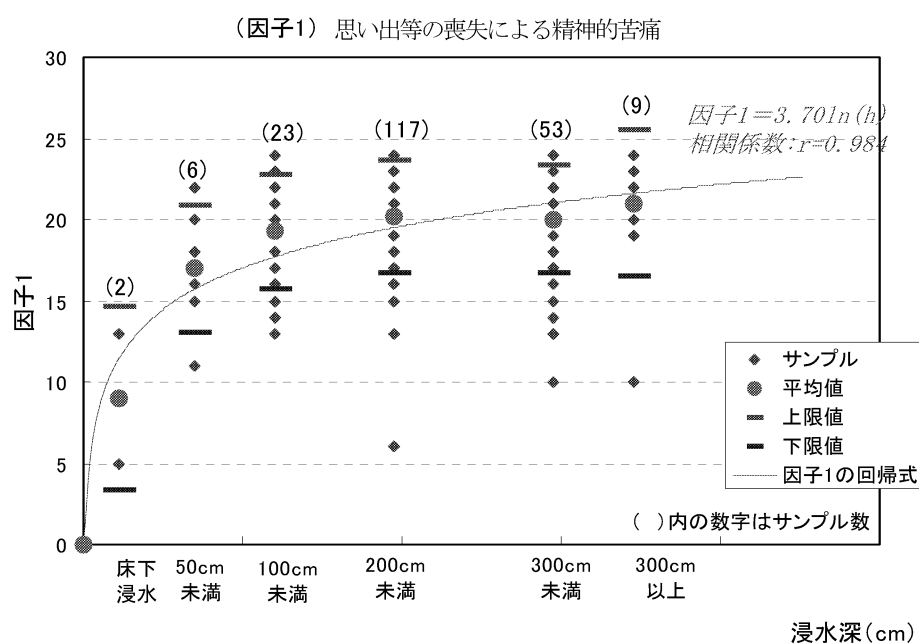


図-3.6.4 因子1と浸水深の関係

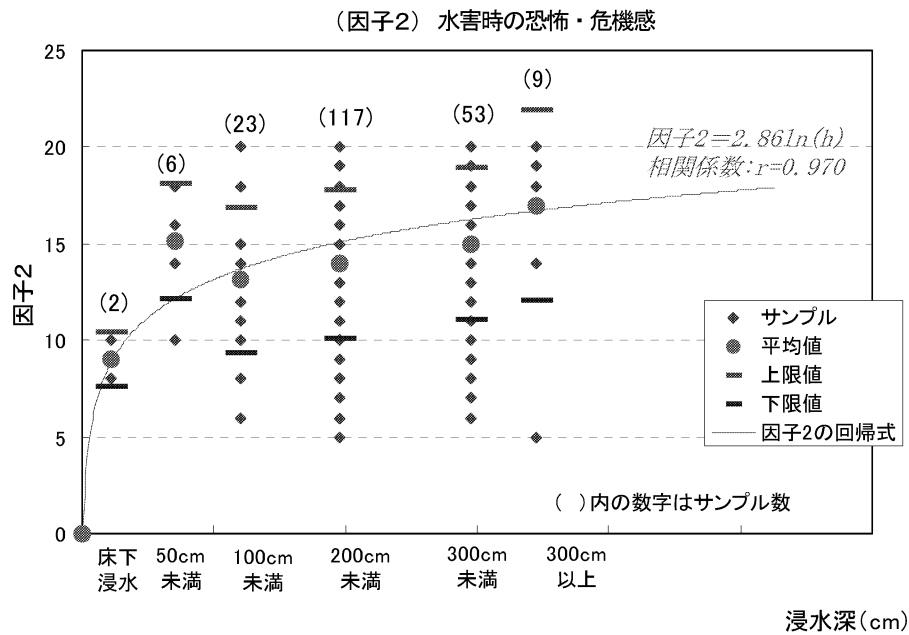


図-3.6.5 因子2と浸水深の関係

② 精神的被害構造のモデル化

アンケートでは、物的な被害が保険等によりすべて補償されるとしても、精神的被害が残ると回答した家計は93%であった。この精神的被害から開放される安心感を金で買えるとしたら、毎年いくら支払ってもよいかとする支払意思額（WTP）をダブルバウンド方式で質問しているので、そのデータを用いて賛同曲線を作り、ランダム効用モデルを用いて平均値等の算定を行った。

WTP は世帯の収入によっても変化するが、ここでは平均的なものとして取り扱い、図-3.6.6 に示したように、因子分析で整理した二つの因子スコアと WTP の重回帰分析を行った。この結果、(3)式に示したように、思い出などの喪失による精神的苦痛について1,080、水害時の恐怖・危機感について1,895 という偏回帰係数を得ることができた。

$$WTP(\text{円/年}) = 1080x_1 + 1895x_2 \quad (3)$$

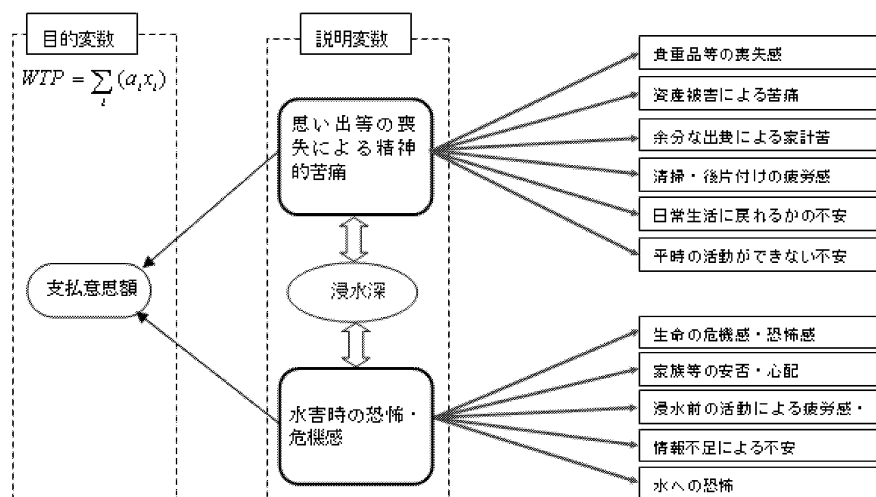


図-3.6.6 モデル化の概念図

モデルの適合度は $R^2=0.533$ とある程度大きく、各変数のF値(t値の二乗)は2.0以上、有意水準(棄却基準は0.05以下)は若干大きい、WTPを説明する変数として意味のある数値を示していると考えられる。

この(3)式と前述の(1)式及び(2)式から、精神的被害額と浸水深の関係が図-3.6.7に示すように求められる。

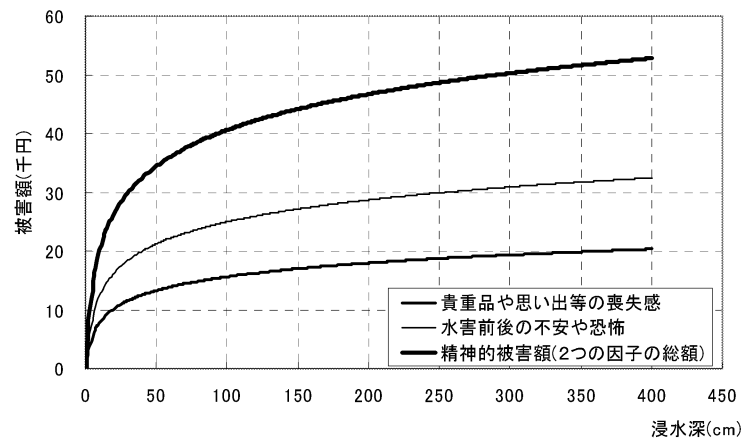


図-3.6.7 浸水深と精神的被害額の関係

この関係から、アンケート対象地域である豊岡市の周辺の精神的被害に対する平均的な支払意思額を算定すると、思い出などの喪失による精神的苦痛について約 18,000 円、水害時の恐怖・危機感について約 29,000 円となる。水害時の恐怖感に関する支払意思額が思い出の喪失による支払意思額よりも 11,000 円程度高くなり全体で 47,000 円程度である。これを被害額換算(年当たりの支払意思額を年率 4%で現在価値化する)にすると、1 家計当たりで約 122 万円となり、一般資産被害額(家屋や家財被害の合計値)の約 7%程度の被害額となる。

③ 精神的被害構造の時間的な変化

精神的被害構造の時間的な変化と支払意思額の時間的な変化について調査を行うために、第 1 回目と同様に精神的被害の内容と支払意思額についてアンケート調査を行った。但し、例えば、「家族や知人の安否に関する心配」などの水害直後にしか発生しないような精神的な精神的被害項目は除外してアンケート調査を実施した。

なお、検討の対象とした世帯のサンプルは、第 1 回調査～第 3 回調査すべてに回答した世帯のみを対象としたため、有効サンプル数は、114 世帯である。

図-3.6.8 に精神的被害に関する因子負荷量の変化を示したが、第 1 回調査と第 2 回調査を比較すると、第 1 回調査では、因子 1 として今まで蓄積してきた「思い出の品等の喪失による精神的苦痛」及び因子 2 として「水害時の恐怖・危機感」により精神的被害が大別できたが、第 2 回調査結果の因子付加量の変化から因子 1 として「日常生活に戻れるかへの不安」「平時の活動ができない不安」の割合が大きくなり、因子 2 として「情報不足による不安」「水への恐怖」の割合も増加している。いずれも時間が経過することにより、水害を受けた時点の明確なイメージが崩れ、輪郭の不明瞭な漠然とした再度災への不安感へと構造変化してきていると捉えられる。

なお、第 2 回調査と第 3 回調査の因子負荷量を比較するとほとんど変化はないが、因子の大きさを示す固有値で比較すると、因子 2 の「水害への漠然とした不安・恐怖」は、時間が経つにつれて大きくなっており、被害構造は徐々に変化していると考えられる。

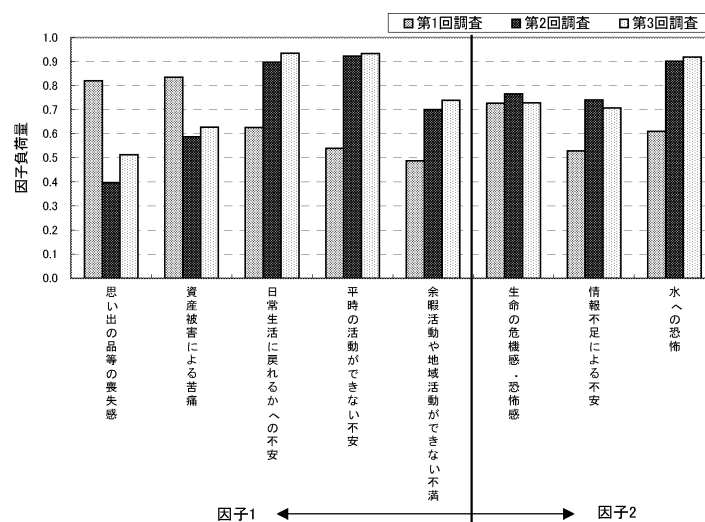


図-3.6.8 第1～3回調査の精神的被害構造と因子負荷量の関係

第2回調査と第3回調査の結果についても、第1回調査と同じように重回帰分析を用いた精神的被害構造のモデル化を行い、浸水深と精神的被害額の関係について関係式を求めて被害額の算定を行い、表-3.6.3 に平均的な被害額の変化を示した。

表-3.6.3 精神的被害額の変化

精神的被害の因子	第1回調査 平成17年3月	第2回調査 平成18年3月	第3回調査 平成18年11月
	被害額 円／(年・世帯)	被害額 円／(年・世帯)	被害額 円／(年・世帯)
(因子1) 思い出等の喪失や生活レベルの低下による精神的苦痛	31,100	28,900	10,500
(因子2) 水害時や水害への漠然とした不安・恐怖	17,900	31,300	39,200
計	49,000	60,200	49,700

第1回調査と第2回調査の支払意思額の大きさを比べると、因子1についてはほとんど変化せず、因子2は大きくなる傾向を示している。また、第2回調査と第3回調査を比較すると、因子1は減少し、因子2は逆に大きくなる。この理由として、水害による生活レベルの低下といった被害は、時間とともにその生活に慣れ、被害は時間とともに減少すると考えられるが、不安・恐怖といった被害は、大雨や洪水が来るたびに当時の水害が頭によぎり、なかなか頭や体から消えない、または忘れることができないものと考えられる。

以上のようなことから、因子1に分類される「思い出の喪失等による精神的苦痛、生活レベルの低下による精神的苦痛」は、資産が有している効用を計測したものに近く、資産被害の一部であると捉えることが可能であり、それ故に時間的に減衰し小さくなると考えられ、因子2に分類される「水害時の恐怖・生命の危機感、再度災害への不安」が精神的被害の主たるものであると捉えることが合理的であると思われる。また、その被害額は約40,000円／(年・世帯)である。

(5) 精神的な被害の捉え方と算定方法に関する考察

① 精神的被害の定義

精神的被害の発生構造を図-3.6.1に示すような共分散構造モデルで表現しよう。図中の構成概念 $\eta = (\eta^1, \dots, \eta^n)$ は、水害により発生したストレスを意味している。ストレスは1つだけでなく、複数の構成概念で表現される場合もある。家計属性や水害の程度により家計が生産するストレスの内容は異なる。共分散構造モデルの中で、モデル $\eta = Cx$ は、家計・水害属性 $x = (x^1, \dots, x^x)$ に基づいて、ストレスの発生内容や程度を表現するストレスの自己生産関数を表している。被災家計が生産したストレスは観測不可能であり、観測可能な精神的被害の調査項目 $y = (y^1, \dots, y^y)$ を通じて、観測方程式 $\eta = Ky$ を通じて観測される。

いま、ある家計 i が水害によりストレス η_i を生産したと考えよう。災害の有無の状態に関する家計 i の間接効用関数は、平常時の所得水準 M_i とストレス η_i に依存すると考え、 $V_i(M_i, \eta_i)$ と定義する。さらに、被災家計が被る精神的被害のみを計測するために、被災家計は損失した資産を回復するために補償金、保険金が給付されると考えよう。この時、被災後においても従前の所得水準が補償され、精神的被害のみを受けると考えた場合の家計 i の期待効用水準 EV_i を

$$\begin{aligned} EV_i(M_i, \eta_i) \\ = (1 - p_i)V_i(M_i, 0) + p_iV_i(M_i, \eta_i) \end{aligned} \quad (5.1)$$

と定義する。ただし、 p_i は、治水事業を実施しない場合、被災家計 i が再び同規模の水害が発生すると考える主観確率⁵⁾を表している。つぎに、治水事業により、水害が発生する確率をゼロにすることができると考えよう。この時、水害によりストレス η_i を生産した家計の、治水事業の実施に対する支払い意思額は、

$$EV_i(M_i - WTP(M_i, \eta_i), \eta_i) = V_i(M_i, \eta_i) \quad (5.2)$$

を満足するような $WTP(M_i, \eta_i)$ として定義できる。本研究では、以上で定義した支払い意思額を精神的被害と呼ぶこととする。

以上の支払い意思額の定義に関して、留意すべき点が2点ある。第1に、支払い意思額の定義式(5.2)の両辺に、平常時における所得水準 M_i が用いられている点である。すなわち、水害においても、平常時における所得が維持されていることを前提としている。すなわち、精神的被害は、水害により発生する直接的被害であるが、精神的被害には資産の喪失による効用水準の低下は含まれない。したがって、CVMにより精神的被害を経済評価する場合、アンケート調査の被験者が資産の喪失により減少した所得水準が、給付金や保険金により平常時の水準に回復されるというシナリオを明確に認識しておくことが必要である。第2に、本研究でとりあげる実証分析では、現実には豊岡水害において被災した家計が生産したストレス η_i を用いている点である。過去に水害を経験しない家計が、ストレス η_i を正確に認識できるとは限らない。このため、水害に対する精神的被害の計測結果は、被験者の被災の経験や知識に高度に依存することになる。また、同一の被災家計であっても、時間の経過によってストレスの内容や程度は、その内容が増幅されたり、あるいは減少する可能性がある。それに応じて、家計が表明する精神的被害額も時間とともに、変化することになる。

② モデルの推計

前節に示した因子分析を用いた精神的被害額の算定では、精神的被害の構造の分析に曖昧性が残るので、本節では、豊岡水害による被災家計の精神的被害の構造を、共分散構造モデルの1つである MIMIC モデル (Multiple Indicator Multiple Cause Model) を用いて定式化する。MIMIC モデルでは、図-3.6.1 に示すように、複数の観測変数によって構成概念 (潜在変数) が規定され、その構成概念が複数の観測変数の原因となっていると考える。構成概念は実際には観測されないが、観測変数間に相関をもたらず潜在的な共通原因を表している。このように、構成概念の存在を仮定することにより、各被災家計が被った精神的被害の構造を明示的に表現することが可能になる。

豊岡水害に関する実態調査の結果、回収した 650 サンプルが全ての設問に回答しているわけではない。さらに、MIMIC モデルの推計結果を用いて CVM 分析を行うことから、サンプルとして採用したものは、1) CVM に関する設問に回答しているもの、2) 年齢・職業・住居形態・家計人数・年収に関する設問のすべてに回答しているものとした。この結果、MIMIC モデル、および CVM モデルの推計の双方に、同時に利用可能な総サンプル数は 389 個である。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、そのなかからもっと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。その結果、図-3.6.9 に示すような MIMIC モデルが、最終的に選択された。その結果、水害が家計にもたらすストレスを表す構成概念として、1) 「生活レベルの低下に伴う精神的苦痛」2) 「再度の被災への恐怖・危機感」の2つが抽出された。同図中には、各パラメータ値および対応する t 値が記載されている。これより、すべての変数に対して t 値は 2.0 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。

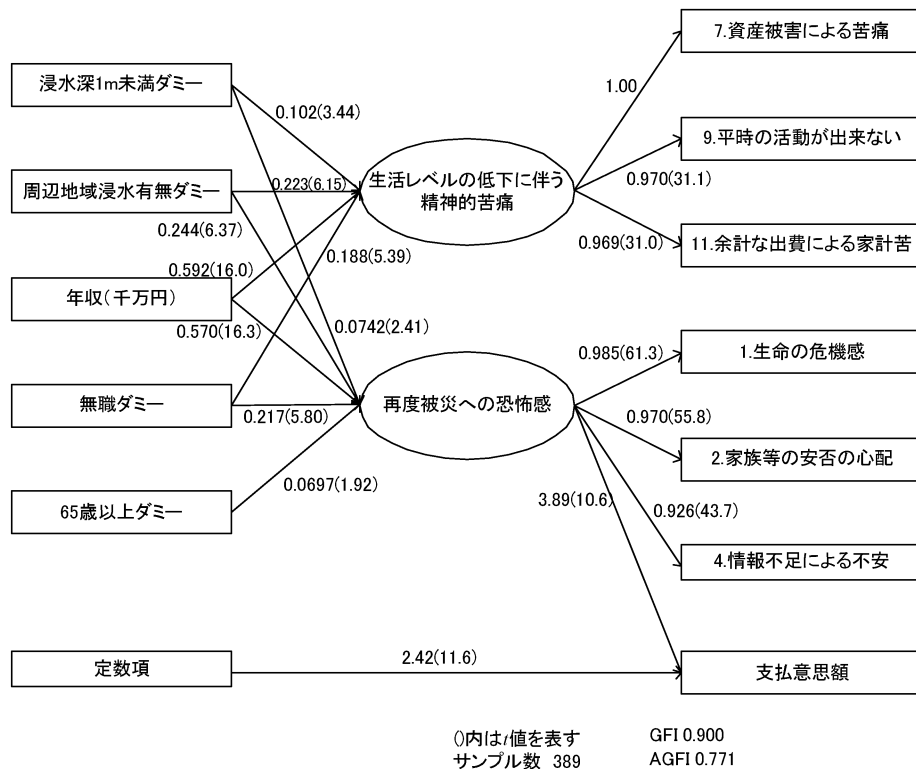


図-3.6.9 精神的被害の構造モデル

③ 支払意思額の推計

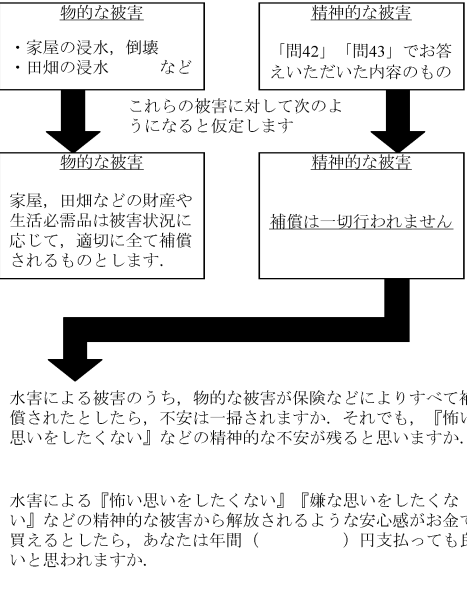
図-3.6.10 に示すようなアンケートシートを作成し、二段階二項選択法 (double-bounded dichotomous choice) により、被災家計の精神的被害を軽減するための WTP (willingness to pay, 支払い意思額) を尋ねた。本調査で尋

ねた WTP は、精神的被害を軽減することによる補償オプション価値を示している。防災投資を行わない場合に被る精神的な被害のシナリオを明確に定義するために、台風 23 号で受けた精神的な被害を再度経験することを前提とした。また、アンケート調査では、精神的被害に限定して支払い意思額を求めるために、水害により喪失した資産は、すべて給付金、保険金等により補償されることを前提としている。

図-3.6.11 には、各被災家計の支払い意思額（精神的被害額）の推計値の分布状態を示している。支払い意思額は、1 年当たり約 2 万円から 7 万円の範囲で分布している。以上の 1 年当たりの支払い意思額の平均値を求めると 44,679 円となる。また、支払い意思額の中央値は 44,398 円である。以上の支払い意思額は、資産被害とは独立して発生する精神的被害額を表している。これより、豊岡水害で被災家計が被った精神的被害は、決して少ない金額ではなかったことが理解できる。

以下の質問は精神的な被害や症状に関する**仮想的な質問**です。
仮に、台風23号と同じような水害が再び起こり、「問42」、
「問43」でお答えいただいた精神的な被害や症状を経験すると
想定してお答え下さい。

台風23号と同じような水害が再び起こると想定すると、以下の
2つの被害が発生すると考えられます。



注) 「問 42」「問 43」は表-3.6.2 に示す精神的被害の強さについて質問した設問番号である。

図-3.6.10 CVM 調査票

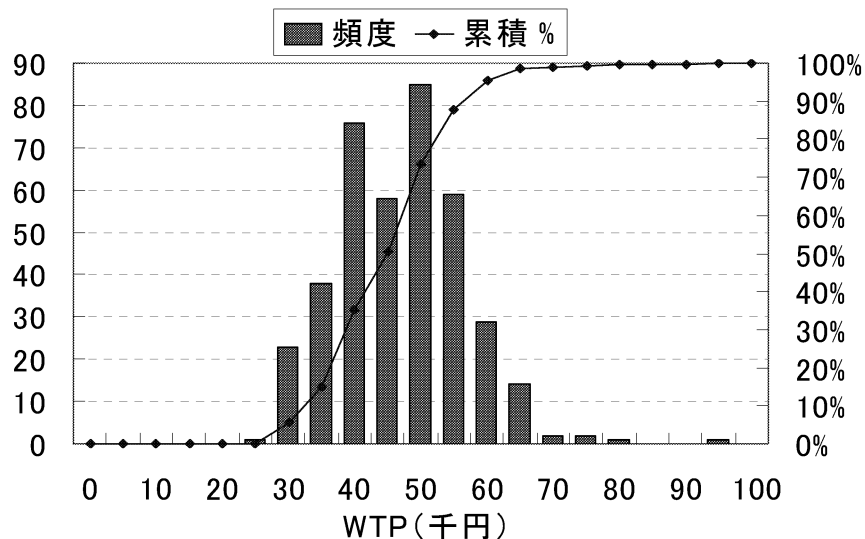


図-3.6.11 WTP の分布状況

(6) 結 言

本研究では、水害による被災家計が被る精神的被害を因子分析法と CVM 及び共分散構造モデルと CVM を用いて検討を行い、両手法とも精神的被害は再度災害への不安が大きな比重を占め、被害額として約 40,000 円/世帯程度であることが判明した。また、水害による精神的被害構造を詳細に分析できる共分散構造モデルを用いた支払意思額の分析では、個人属性（図-3.6.9 の左側の項目）が支払い意思額に及ぼす影響が無視できないことが分り、特に、年収が高い家計や高齢者ほど、精神的被害を軽減するために必要な措置に対する支払意思額が大きいことがわかるなどの特徴的な結果が得られた。

上述したようなことから、因子分析法によって大まかな精神的被害の構造と支払意思額の把握は可能であるものの、詳細な精神的被害の構造について分析するためには、共分散構造モデルを用いた分析を行うことが望ましいことが分る。また、精神的被害の構造を普遍化し、精神的被害額を算定するためには、豊岡の調査事例だけでなく他の地域の水害を対象とした継続的な研究が必要であると思われる。なお、このような研究を継続することによって、精神的被害の構造が明確になり、ハード施設整備の経済的な効果だけでなく、今まで経済的な効果が計測されてこなかったソフト対策の経済的な効果も計測できるようになると推察されるので、継続的な研究の意味は大きいと思われる。

今回の共分散構造モデルを用いた分析では、浸水深に対する影響が見られなかったもので、この影響についても他の事例を分析して、継続的な検討を行うことが望ましいのではないかとと思われる。但し、精神的被害を軽減するための支払意思額は、被災前の補償オプション価値を表しており、事前に浸水深が想定できない段階では、浸水深の影響を受けないとの考え方もあるので、被災シナリオの設定と支払意思額の関係についても併せて整理を行うことが重要である。

また、因子分析法による分析では、水害後の時間経過によって精神的被害の構造が変化する傾向が見られたので、共分散構造モデルを用いて精神的被害額の計測結果の時間的安定性等に関する分析を蓄積していくことも必要であると考えられる。

3－7．豊岡市周辺の水害被害額についての考察

(1) 緒 言

3－6．までにおいて、流動性被害の評価手法及び精神的被害の構造と評価手法について考察を行った。ここでは、それらの手法を適用した治水経済便益の評価を行うための流動性被害と精神的被害についてのケーススタディを行い、既往の治水経済調査の結果と比較することにより、本研究の意義について考察を行うこととする。

(2) 2004 年円山川水害の概要

① 台風 23 号の概要と円山川の被害状況

10 月 13 日にマリアナ諸島近海で発生した台風 23 号は、18 日に超大型で強い勢力を保ちながら沖縄の南海上を北上し、20 日 13 時頃大型で強い勢力のまま高知県土佐清水市付近に上陸した後、18 時前大阪府泉佐野市付近に再上陸した。この台風によって円山川流域では、立野地点上流域の流域平均雨量が 242mm を記録するなど戦後最大規模の豪雨となった。出水により、円山川右岸 13.2km 付近において長さ 150m にわたる破堤、出石川左岸 5.4km 付近において長さ 100m にわたる破堤が発生し、豊岡市（旧豊岡市、旧城崎町、旧日高町、旧出石町）は甚大な被害を受けた。

表-3.7.1 に豊岡市の浸水被害状況を示す。

表-3.7.1 豊岡市の一般被害状況

旧市町 村名	浸水面積 (ha)	人的被害（人）			住家被害（戸）					
		死者	負傷者		全壊	大規模 半壊	半壊	一部 損壊	床上 浸水	床下 浸水
			重傷	軽傷						
豊岡市	2,420	1	19	27	231	849	2,081	200	278	2,208
城崎町	232				1	6	139	21	125	311
日高町	644	2	3		55	143	287	8	66	475
出石町	717	2	1	1	34	77	130	21	53	145
計	4,083	5	23	28	321	1,075	2,637	250	522	3,139

平成 17 年 3 月 31 日現在（兵庫県調べ）

② 豊岡市周辺の過去の水害被害の概要

豊岡市周辺の過去の大きな水害被害を整理したものが表-3.7.2である。また、図-3.7.1にアンケート調査で得られた過去の水害経験回数を示す。

表-3.7.2 円山川流域の水害実績

洪水年月日	発生原因	立野水位 (m)	浸水面積 (ha)	被災家屋棟数 (棟)
S34. 9. 26	伊勢湾台風	7. 42	16, 926	16, 833
S36. 9. 16	第2室戸台風	6. 86	2, 303	1, 483
S40. 9. 10	台風23号	6. 47	7, 208	7, 382
S40. 9. 15	秋雨前線	5. 26		
S41. 9. 22	前線	4. 90	752	530
S46. 9. 6	前線	5. 29	250	103
S47. 7. 12	前線・台風6号	6. 75	1, 715	749
S47. 9. 17	台風20号	6. 32	1, 036	1, 138
S51. 9. 10	台風17号	6. 92	2, 153	3, 022
S54. 10. 19	台風20号	6. 74	185	610
S57. 8. 2	台風10号・低気圧	5. 60	871	203
S58. 9. 28	台風10号・秋雨前線	5. 67	1, 492	181
S62. 10. 17	台風19号	6. 13	447	338
H 2. 9. 20	秋雨前線・台風19号	7. 12	2, 051	2, 930
H 6. 9. 30	台風26号	5. 08	179	127
H16. 10. 19	台風23号	7. 97	4, 083	7, 944

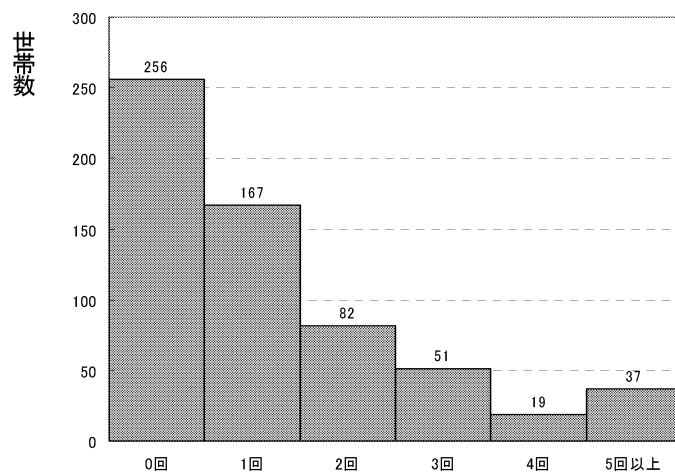


図-3.7.1 アンケート調査結果による過去の浸水経験回数(総数 N=612)

(3) アンケート調査の概要

① アンケート調査の目的

(i) 目的

毎年全国各地で発生する洪水被害の調査については、水害統計調査並びに水害実態調査が国土交通省河川局により体系的に実施されている。

しかし、これまでの水害被害調査では、家屋家財の被害についてはその被害の復旧に要する費用を調査するにとどまっている。しかし、被害復旧については時間を要し復旧するまでの間において様々な不便や生活水準の低下が生じる。また、復旧に要する費用を全て調達できるとは限らず、資金が不足する場合には復旧が長期にわたり、場合によっては完全に復旧しないこともある。さらに、被災者の精神的被害については被災直後の恐怖や不安と被災から時間がたった時点での精神的不安には違いがあると想定される。そこで、被害の復旧過程とそれを左右する資金調達状況ならびに精神的被害に関する WTP を追跡的なアンケート調査により把握することとした。

(ii) 対象地区

復旧に要する費用を調達できないことによる被害（流動性被害）や精神的被害は、被害の大きさ並びに年収や過去の水害経験等の世帯属性に左右されることが考えられる。そこで、平成 16 年 10 月台風 23 号による円山川水害での浸水区域の中から、浸水の特徴が異なる 3 地区を対象としてアンケート調査を行うこととした。

円山川右岸豊岡市梶原・庄境地区は円山川右岸堤防の破堤により大規模な浸水が生じた地区であり、支川の六方川の内水氾濫により過去度々浸水が生じている。このため、過去の浸水を教訓に本地区では多くの家屋が嵩上げされている。円山川上流右岸赤崎地区は堤防越水により 2 m 以上の浸水が生じた地区であり、過去にも伊勢湾台風等により浸水被害を受けている。また、出石川左岸鳥居地区は出石川左岸堤防の破堤により浸水した区域であり、大規模被害にあった世帯の割合が大きいことから判るように、対象 3 地区の中では氾濫外力のもっとも大きかった地区である。

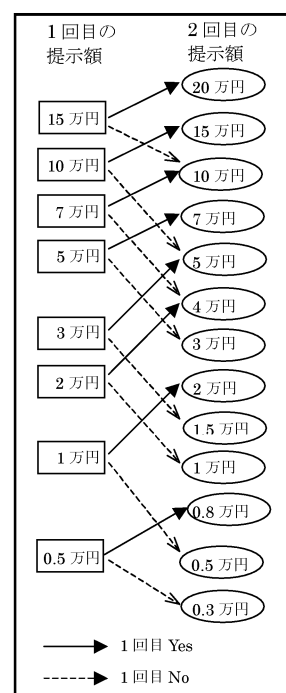
(iii) 調査方法

第一回目のアンケート調査項目は次のようであり、精神的被害項目ごとの大きさに関する質問と精神的被害を回避できる仮想的な保険への WTP を問う質問を設定した。

- ① 今水害より前の水害経験と水害への備え
- ② 今水害での浸水状況、家屋・家財・農機具等の被害状況
- ③ 被害復旧状況、身体・仕事等への影響
- ④ 今水害直前の保有資産状況（金融資産、不動産、保険、ローン・担保）
- ⑤ 調達先別被害復旧資金と水害保険への WTP
- ⑥ 転居の場合の予定（転居先、費用等）
- ⑦ 精神的被害の要因・程度とその回避のための WTP
- ⑧ フェイスシート

調査票については、各地区でプレ調査を実施した上で回答しづらい質問や誤解を生む表現等を修正して作成した。また、WTP については回答バイアスを小さくする

<ダブルバウンド形式の回答金額>



ため、ダブルバウンド形式の回答金額を設定した。調査票は各地区の自治会を通じて基本的に全世帯へ配布し、個別に配布先を訪問して回収した。回収時に第2、3回調査への協力を要請し、協力が得られる世帯をパネル調査の対象とした。

第1回調査は水害発生後5ヶ月が経過した平成17年3月に、第2、3回調査はそれぞれ1年5ヶ月、2年3ヶ月が経過した平成18年3月、同11月に実施した。

② アンケート調査結果の概要

(ア) 回収状況

第1回アンケート調査の調査票配布世帯数は3地区合計924であり、有効回答数は650であった。回収率は70%であり、この種のアンケート調査としては高い回収率であった。これは、自治会を通じた調査方法をとったことと調査員が直接訪問回収したことが主な理由と考えられる。

第2回調査では、第1回調査で回収された650世帯を対象に調査票を配布し、390世帯（回収率60%）から有効回答を得た。また、第3回調査も第1回調査で回収された650世帯を対象とし、380世帯（回収率58.5%）から有効回答を得た。

(イ) 第1回調査結果

アンケート調査では、家屋被害に関して家屋の浸水深と延べ床面積の回答を得ている。被害額を直接回答してもらうことも考えられるが、被災者が被害額を把握していたとしてもそれは修理費や改築費であり、必ずしも被害を受けた家屋資産とは一致しない。そこで、上記の回答をもとに、床面積に兵庫県 averages な建築単価を乗じて家屋資産額を求め、治水経済調査で用いられている浸水深別被害率を乗じて家屋被害額を算出した。

また、家財の被害については、家財の所有数量と水害によって失った数量、修理した数量を品目ごとに調査しているので、平均的な家財の単価を用いて再調達価格で家財被害額を算出した。

これらを合計した一般資産被害額は、床下世帯で平均124万円、回答がもっとも多かった床上100～200cmの世帯で平均1,589万円、全体平均で1,827万円であった。

表-3.7.3 アンケート調査結果をもとに推計した家計の一般資産被害（家屋、家財）

単位（千円）	床下	床上 50cm 未満	床上 100cm 未満	床上 200cm 未満	床上 300cm 未満	床上 300cm 未満	全体
家屋被害	829 (18)	3310 (25)	4323 (51)	7261 (288)	14566 (110)	20258 (21)	8649 (513)
家財被害	366 (17)	2594 (25)	5897 (51)	8701 (283)	15900 (108)	17149 (21)	9726 (505)
一般資産被害	1244 (17)	5905 (25)	10220 (51)	15889 (283)	30116 (108)	37407 (21)	18266 (505)

() はサンプル世帯数

(注) 家屋被害、家財被害、一般資産被害ともに、アンケート調査の有効回答をもとに集計（平均）したものである。一般資産被害（家屋と家財の合計被害）は家屋、家財の両者について回答のあったものを対象としており、サンプルの違いにより合計と異なる数値となっている。

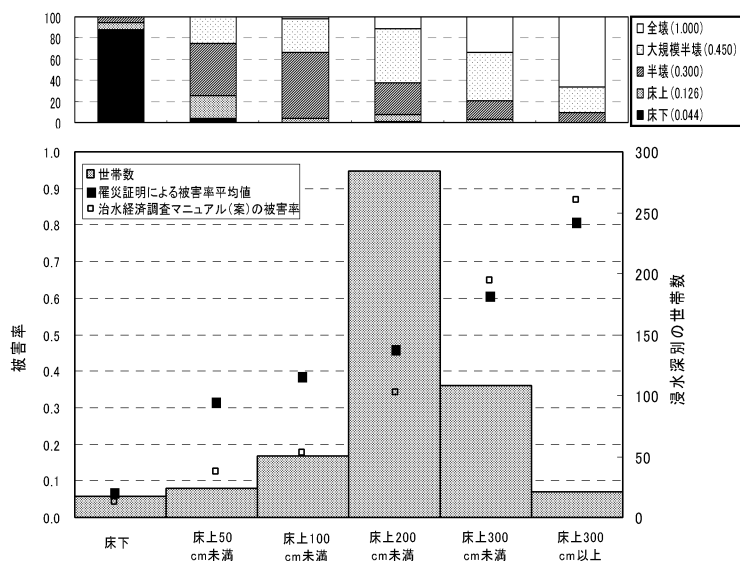


図-3.7.2 アンケート結果による浸水深分布と家屋被害率

水害から約5ヶ月経った時点での復旧状況をみると、全体の45%の世帯で家屋復旧が完了しておらず、約1割の世帯では復旧の目途がたっていない状況であった。家財は家屋よりも復旧が遅れており、53%がまだ復旧しておらず、15%が復旧の目途がたっていないという結果が得られた。家財については必要なものから買い揃えることから、復旧が長期化するものと考えられる。

復旧資金と調達先を調べると、一世帯当たりの平均調達額は保険加入世帯で648万円、非加入世帯で188万円であった。保険加入世帯では保険金が平均360万円であり、全調達額の56%を占めており、復旧費用として保険が大きく機能していることがわかる。なお、調達額は前述の被害額を下回っているが、これは、半数近くの家が復旧していないこと、その復旧のレベルも被災前より低いところに置いている可能性があることを示唆している。

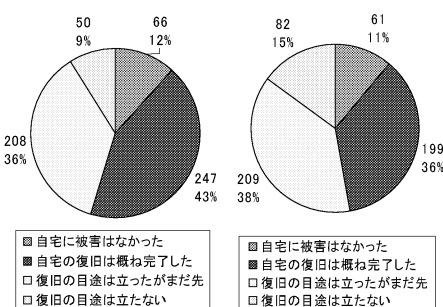


表-3.7.4 復旧に要する調達資金と借入先（単位：万円）

	自己資金	金融機関	親戚	友人	勤め先会社	地方自治体	保険金	その他	合計
保険加入者	122	117	18	3	2	20	360	6	648
保険未加入者	111	33	18	0	2	16	0	8	188

(ウ) 第2, 3回調査結果

各回の調査結果を横並びで比較できるか否かをみるために、年齢、年収、浸水深についてサンプル分布を調べた。第2, 3回調査でわずかに高齢世帯の占める割合が大きくなっているが、分布性状は概ね同じであり、母集団に大きなずれはない。

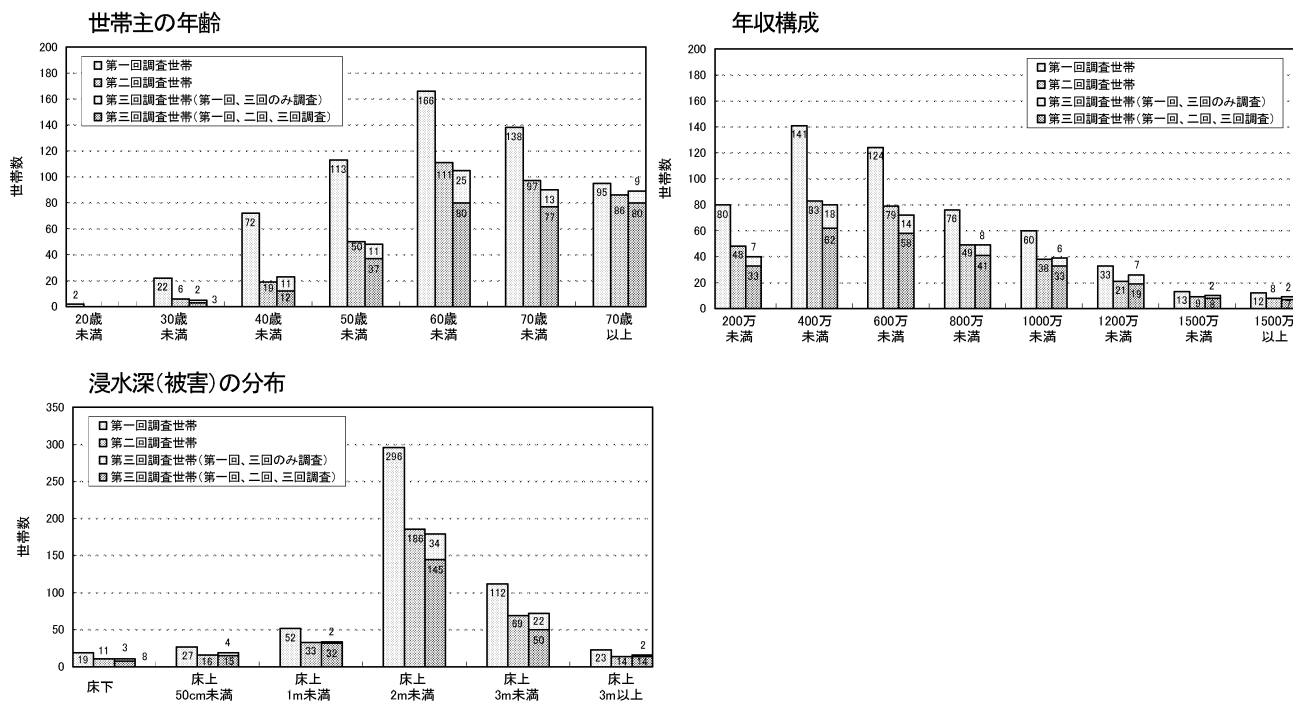


図-3.7.4 第1回調査～第3回調査の世帯属性

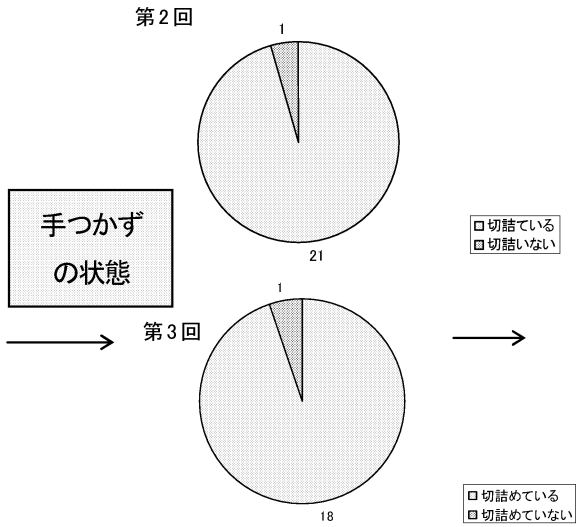
第2, 3回アンケート調査では、家屋、家財の復旧状況について、「水害前を100%としたときの現在の割合」を質問している。その結果、家屋は両調査ともに平均が62%、家財は第2回調査が62%、第3回調査が69%であった。いずれにおいても、何とか生活できる状態まで回復すれば、そこから先の復旧はかなり時間がかかる一方、生活費等他の支出のために復旧水準を落としているものと推察される。

図-3.7.5 は家財の復旧が「手つかずの状態」、「生活できるまでに復旧」、「浸水前とほぼ同じまで復旧」の世帯ごとの支出状況等を整理したものである。

復旧が遅い世帯ほど支出を切り詰めている世帯の割合が大きくなっている。その内訳についてみると、「教育貯蓄」と「装飾趣味」は復旧状況に関わらず切り詰めている世帯の割合が大きく、「保険蓄財」、「レジャー」は復旧の遅い世帯ほど切り詰めていることが判る。このことは水害を受けることにより水害前と同じような生活を営むことができず、余暇活動等の生活レベルが低下していることを示している。なお、生活を切り詰めていると回答した世帯の年間消費減少額の平均は、第2回調査が116.7万円、第3回調査が136.4万円であった。

第1回調査結果をもとに、精神的被害の大きさを構成する要因を分析した結果、「喪失感」と「不安・恐怖」の2つの因子が抽出された。この因子分類別に項目ごとの精神的被害の第1回調査から第2回調査の変化を整理したものが図-3.7.6である。「大きくなった」と「小さくなった」を比べると、「喪失感」を構成する項目では「小さくなった」とする回答が多いのに対し、「不安・恐怖」では「生命の危機感」以外の2項目で「大きくなった」とする回答が多くなっている。第3回目プレ調査におけるヒアリングにおいても、水害直後は茫然自失の状況が続き、時間が経つにつれて将来への漠然とした不安が大きくなったとする意見があり、上記の調査結果と附合している。

生活費・貯蓄の状態



消費活動を切り詰めている内容と水害前を 100%とした時の現在の状態

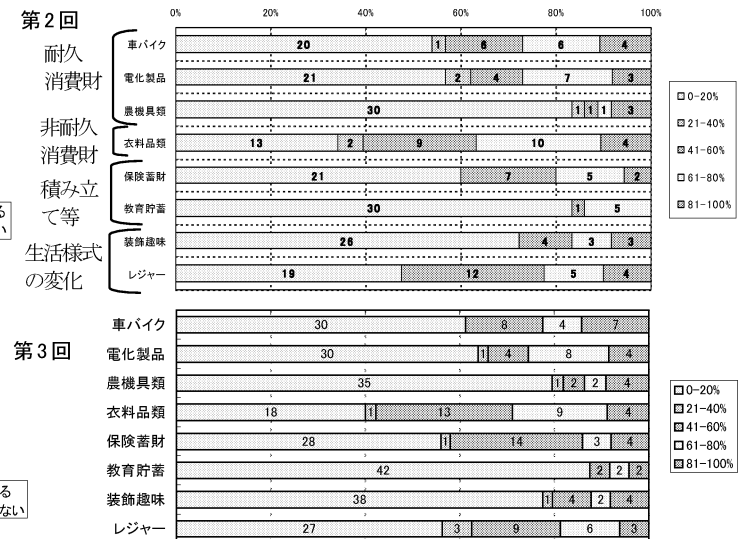
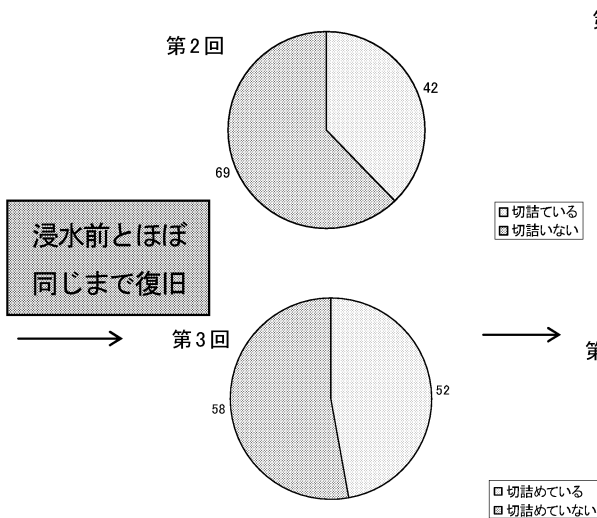
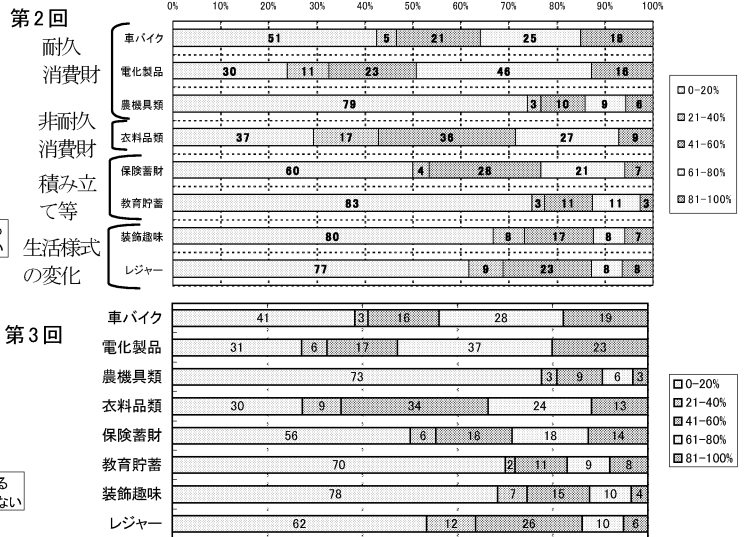
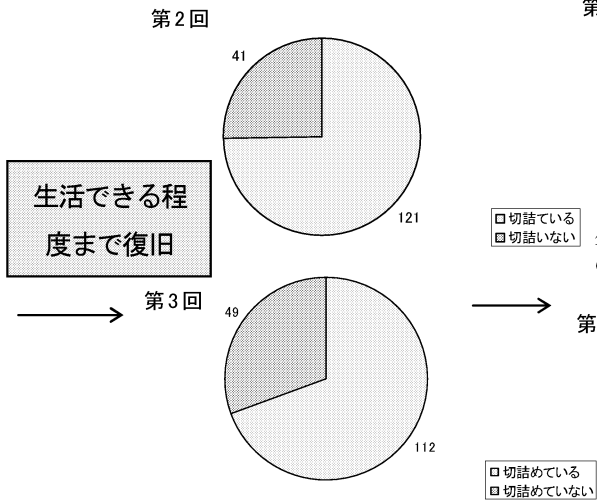
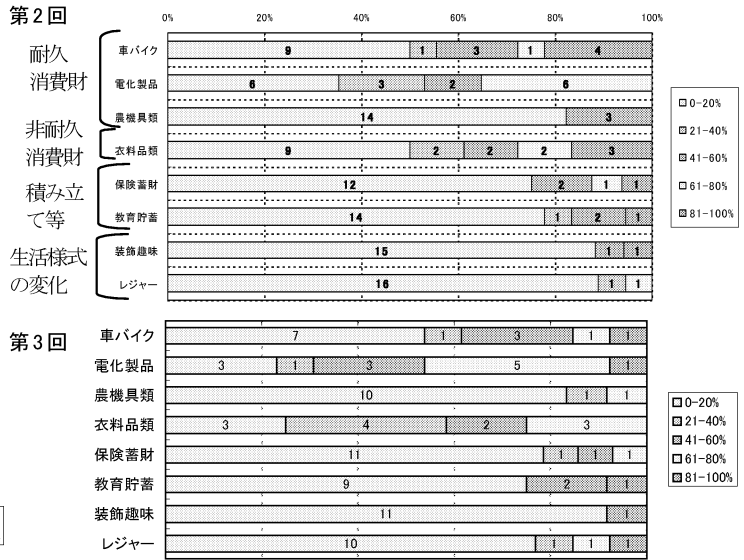


図-3.7.5 第2, 3回調査の世帯の消費活動状況

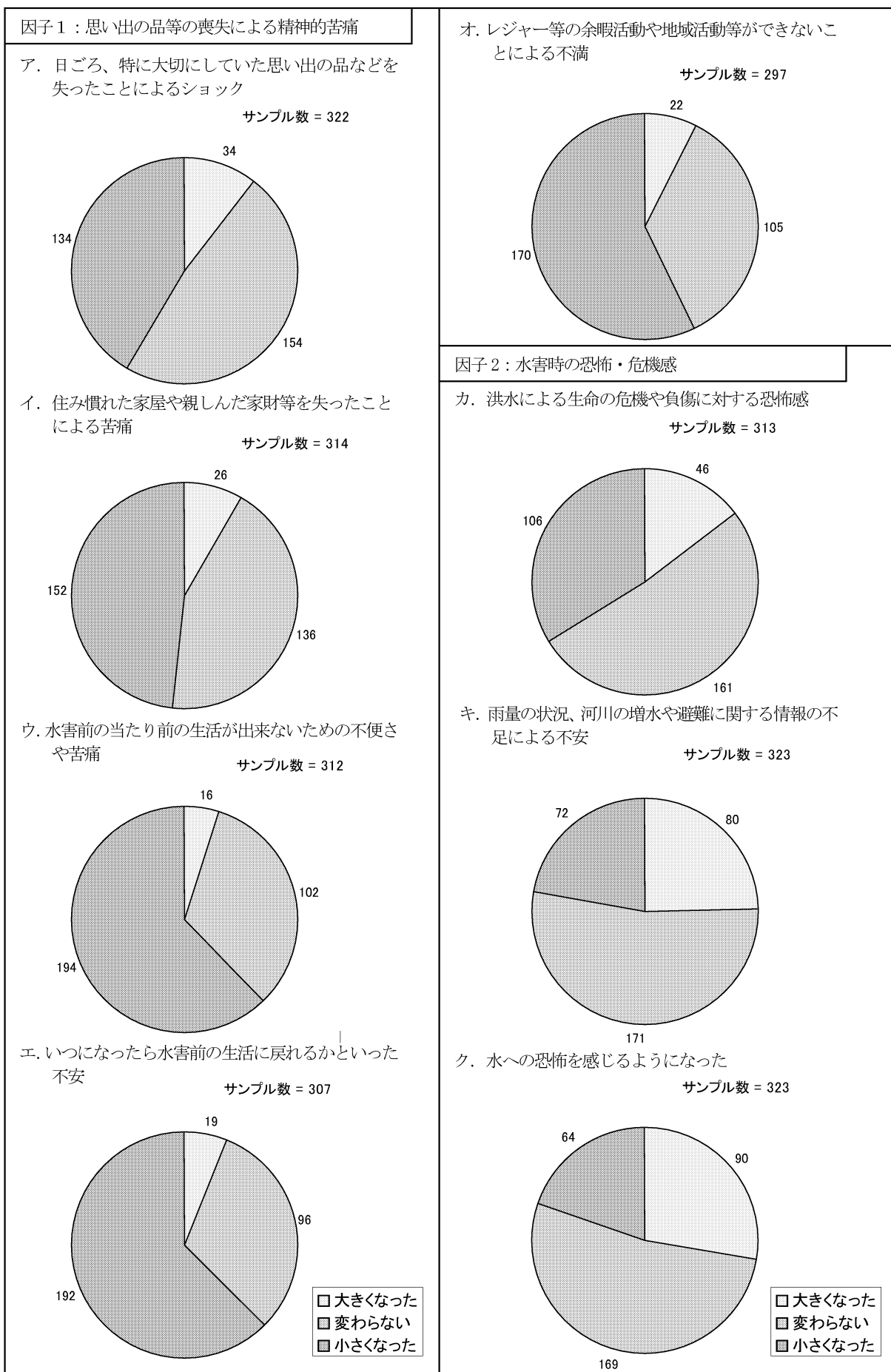


図-3.7.6 第2回調査の精神的被害の時間変化

(4) 鳥居地区を対象とした家計の水害被害額の算定

① 2004 年台風 23 号による氾濫状況の再現

2004 年台風 23 号において、破堤氾濫により大きな被害を生じた円山川支川出石川左岸の鳥居地区を対象に、氾濫シミュレーションを行い当時の氾濫状況の再現性を検討した。

(ア) 計算条件の概要

表-3.7.5 に本モデルの概要と計算条件等を示す。河道水位の算定方法は一次元不定流計算とし、対象範囲は、上流端を出石川 7.6km 地点の弘原地点、下流端を円山川合流点としている。なお、上流端流量は実績のハイドログラフを与え、下流端水位は円山川本川で別途、当時の洪水の再現性を検討した計算水位結果を与えている。また、氾濫流の挙動解析には平面 2 次元解析手法を用いた。

破堤条件（破堤地点は 5.4km）は、円山川堤防調査委員会報告書（H17.3）の結果を引用し、破堤時刻及び破堤幅を実績値で与えるものとした。この際、破堤幅の進行速度については、氾濫シミュレーションマニュアル（案）を参考に、瞬時に最大破堤幅の 1/2 が破堤し、その後 1 時間かけて最大破堤幅まで一定速度で拡大するようにした。また、その他氾濫原の粗度係数等についても同様に氾濫シミュレーションマニュアル（案）に準拠した。

なお、当時の水害では、対象地域はポンプ等の排水施設がないため大雨による内水氾濫が生じている。このため、本来ならば内水解析を行い外水氾濫と合わせた解析手法が望まれるが、ここでは、当時の 2 日間雨量を流出高換算し内水量を考慮するものとした。

表-3.7.5 モデルの概要と計算条件

項目			設定方法
計算手法	河道 (河川水位の算定)		一次元不定流計算による水位流量を用いる.
	氾濫原 (浸水深・流速の算定)		平面二次元不定流 ・50m メッシュのデカルト座標系 ・メッシュ数は1825 個
	破堤流量		破堤地点における河川水位と背後の堤内地水位及び破堤敷高との関係から本間の越流公式を用いて算定. 正面越流と横越流の破堤地点に分類し, 横越流の場合には河床勾配により破堤流量を補正.
外力条件	洪水	円山川	実績の流量 (弘原地点) を上流端に与えた.
	洪水調節施設		なし
	上流部の越水氾濫		考慮する. 越水 (溢水) 氾濫が生じる場合には, 下流への流量が氾濫に応じて低減する.
河道条件	河道	出石川	平成7 年測量河道
	河道の洪水追跡		上流部において流量が最大流下能力以上となった箇所からは, 越水 (溢水) 氾濫を考慮し, その場合, 下流への流量低減についても考慮する. また, 越水・破堤により氾濫した流量が河川に戻る場合には, それを河道の一次元不定流計算に考慮する.
	上流端		出石川: 7.6km
	下流端水位		円山川合流点の不定流計算水位を与えた
	粗度		河道計画における低水路粗度 (合成粗度が算出されていない)
氾濫原条件	メッシュ分割		50m (3 次メッシュの縦横各 20 等分)
	メッシュ地盤高		レーザプロファイラによる 2m メッシュ地盤高を計算メッシュの 50m メッシュの平均地盤高に変換
	土地利用		1/2, 500 地形図より判読 (地目分類は, 宅地農地・道路・その他) (10 段階)
	建物占有率		1/2, 500 地形図より判読 (10 段階)
	盛土		大きな盛土構造物がないため考慮していない.
	水路		考慮しない
	排水施設		排水施設がないため考慮していない
破堤条件	粗度係数		水深と建物占有率を考慮した粗度. (「氾濫シミュレーションマニュアル」に記載)
	最大破堤幅		約 100m (破堤時刻は, 10/20 23:20 頃との証言あり)
	破堤の時間進行		破堤は瞬時に最大破堤幅の 1/2 が破堤し, その後 1 時間かけて最大破堤幅まで拡大する. 破堤幅の拡大速度は一定. (マニュアル)
	破堤敷高		高水敷高と堤内地盤高のどちらか高い方
	破堤部の越流量		破堤部からの越流量は, 本間の越流公式を用いる.
内水	破堤地点	出石川	左岸 5.4km (実際破堤した箇所)
	雨量		2 日間雨量を流出高に換算した.

※破堤条件は, 円山川堤防調査委員会報告書 (H17.3) の結果を用いた.

(イ) 数値解析手法

i) 汜濫流の挙動解析

汜濫流の追跡計算は、汜濫挙動が検討可能な二次元不定流解析を基本とする。基礎式は、式(5.1)の連続式と式(5.2)、(5.3)の運動量保存式である。

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (5.1)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uM) + \frac{\partial}{\partial y}(vM) = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{1}{\rho} \tau_{bx} \quad (5.2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uN) + \frac{\partial}{\partial y}(vN) = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{1}{\rho} \tau_{by} \quad (5.3)$$

ここに、 h ：水深、 H ：水位、 g ：重力加速度、 ρ ：水の密度、 $M=uh$ ： x 方向流量フラックス、 $N=vh$ ： y 方向流量フラックス、 u ： x 方向流速、 v ： y 方向流速、 τ_b ：流水に働く底面摩擦力でマニング式を用いると

$$\tau_b = \rho g n^2 \sqrt{(u^2 + v^2)} \cdot u / h^{1/3} \quad (5.4)$$

上記計算は、staggered-scheme を用い時間積分には Leap-Flog 法を適用し、空間差分においては、移流項は風上差分、他は中央差分としている。

ii) 1次元不定流による河道洪水追跡

河道の1次元流れ（不定流）の基礎式は式(5.5)の連続式と式(5.6)の運動量保存式である。

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (5.5)$$

$$\frac{1}{g} \cdot \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{v^2}{2g} \right) + \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{n^2 |v| v}{R^{4/3}} = 0 \quad (5.6)$$

ここに、 v ：平均流速、 H ：水位、 R ：径深、 g ：重力加速度、

A ：断面積、 Q ：流量= $A \cdot v$ 、 t ：時間、 x ：距離、

q ：単位長さ当たりの流入量

iii) 越流、破堤流量

① 正面越流の場合、本間の公式を用いて越流量を算出する。

$$\text{完全越流 } (h_2/h_1 < 2/3) \text{ の時} \quad Q = 0.35 \times h_1 \sqrt{2gh_1} \times B \quad (5.7)$$

$$\text{潜り越流 } (h_2/h_1 \geq 2/3) \text{ の時} \quad Q = 0.91 \times h_2 \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \times B \quad (5.8)$$

ただし、 h_1 、 h_2 は破堤敷高から測った水深で、高い方を h_1 、低い方を h_2 とする。

② 横越流の場合、以下の公式を用いて越流量を算出する。

本間の公式による流量を Q_0 とし、河床勾配を I とすると越流量 Q は以下で表される。ただし、 $\cos$ のカッコ内の単位は $^\circ$ である。

・ 破堤に伴う汜濫流量 Q

$$Q/Q_0 = (0.14 + 0.19 \times \log_{10}(1/I)) * \cos(48 - 15 \times \log_{10}(1/I)) \quad (5.9. a)$$

$I > 1/1580$

$$Q/Q_0 = 0.14 + 0.19 \times \log_{10}(1/I) \quad 1/1580 \geq I > 1/33600 \quad (5.9.b)$$

$$Q/Q_0 = 1 \quad 1/33600 \geq I \quad (5.9.c)$$

・ 溢水に伴う越流量Q

$$Q/Q_0 = \cos(155 - 38 \times \log_{10}(1/I)) \quad I > 1/12000 \quad (5.10.a)$$

$$Q/Q_0 = 1 \quad 1/12000 \geq I \quad (5.10.b)$$

(ウ) 上下流域境界条件の流量・水位ハイドロと破低流量，地盤高

流量は水位流量関係式から算出している。下流端水位は，上記に示したように別途，当時の洪水の再現性を検討した計算水位結果を用いている。なお，対象洪水の流量規模は，概ね $W=1/40$ 程度の洪水であった。

標高については，2mメッシュのレーザプロファイラデータを用いて，50mメッシュの平均地盤高を作成した。

(エ) アンケート調査

氾濫シミュレーションによる氾濫状況の再現性を検証するに当たって，その検証データは，湧川らのアンケート調査による世帯の浸水深の結果を比較し評価するものとした。サンプル数は 90 世帯であった。

(オ) 検証結果

計算条件を下に氾濫シミュレーションを行い，実績値との比較を行った。再現性の検証項目は，氾濫ボリュームの 1 つの検証目安となる河道の痕跡水位と上記の氾濫原の実績浸水深である。

河道縦断水位の比較

図-3.7.7 に河道の痕跡水位と再現計算による最大水位を示す。これより，計算水位と痕跡水位は合致していることがわかる。

浸水深の比較

図-3.7.8 (1) に氾濫計算による最大浸水深を，図-3.7.8 (2) にアンケート調査による実績の浸水深と計算による最大浸水深の比較を示す。なお，実績の浸水深は，アンケート調査において一定の浸水深幅で調査している（治水経済調査マニュアル（案）の被害率の浸水深範囲）ため浸水深ランクで表示している。

図-3.7.8 (2) より，計算浸水深と実績値は概ね良好な結果と言える。しかし，図中で浸水深が実績値と整合していない世帯が若干みられるが，これは，50mメッシュというマクロな地形形状で表現している等の計算スケールの問題と考えられる。しかしながら，全体的な結果は良好なことからもその影響は小さく，当時の氾濫状況を再現できていると言える。

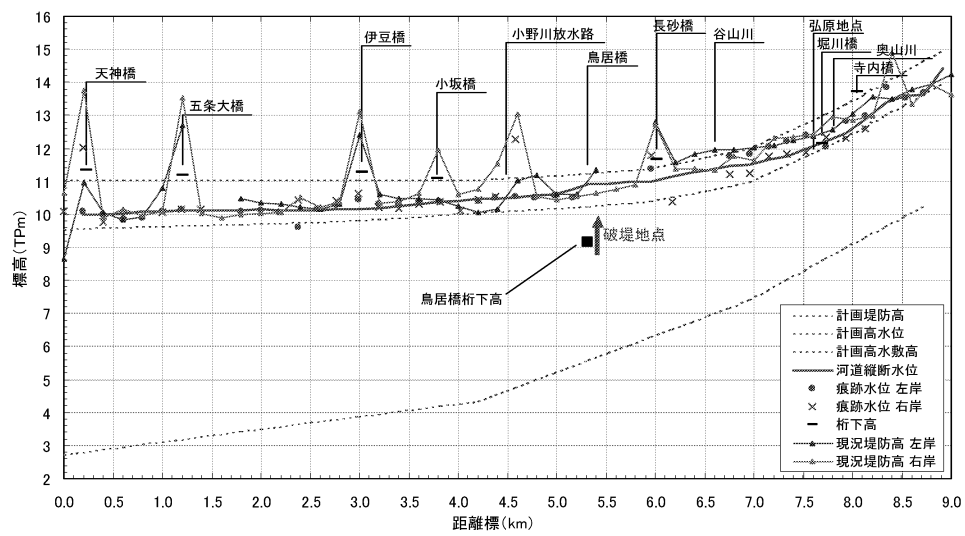


図-3.7.7 痕跡水位と計算結果による河道縦断最大水位の比較

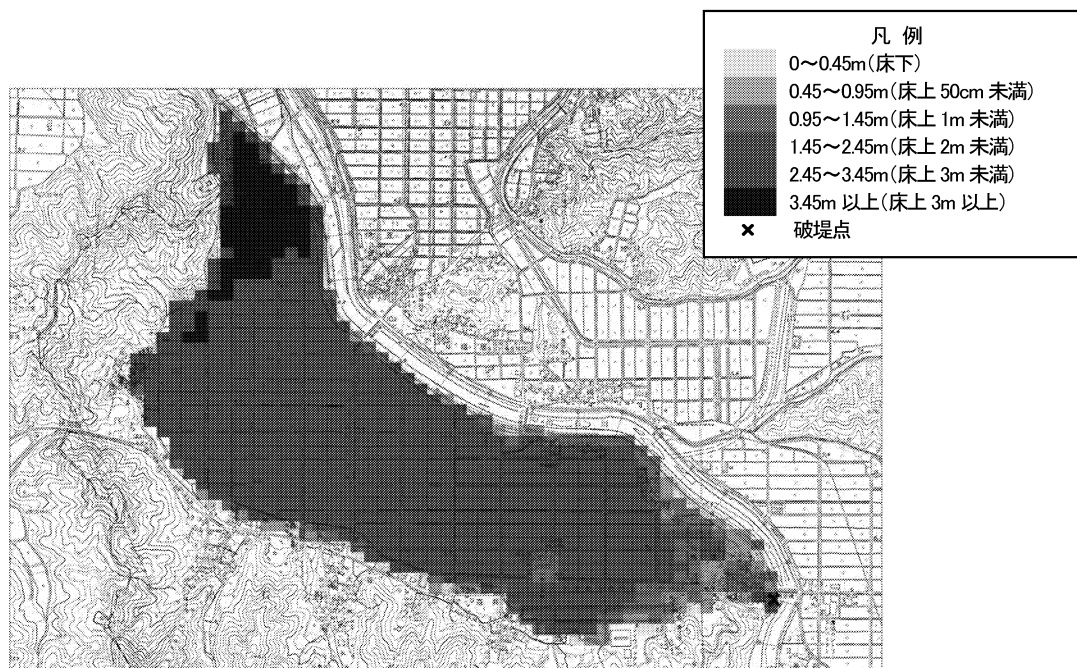


図-3.7.8 (1) 氾濫計算による最大浸水深

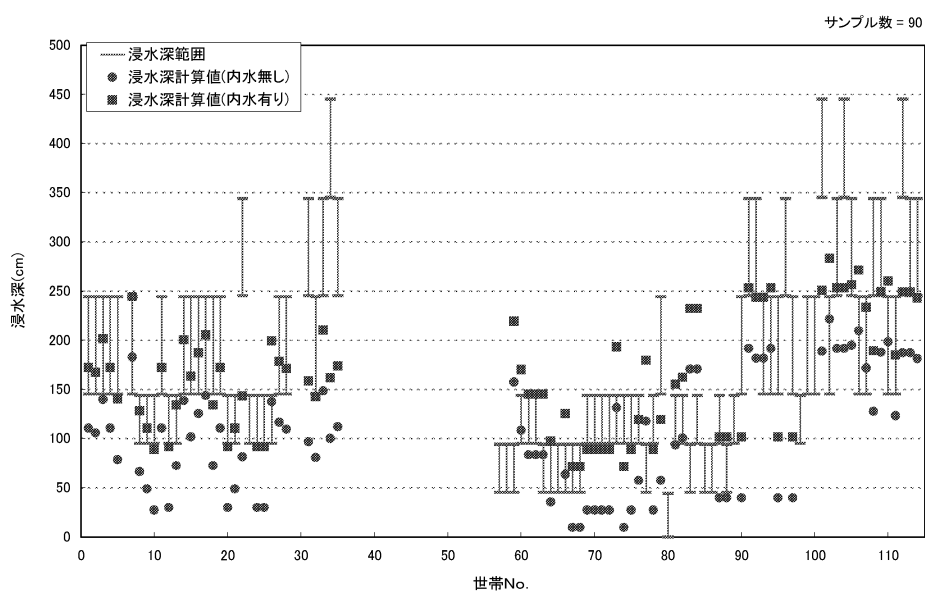


図-3.7.8(2) アンケート調査世帯の浸水深と計算による最大浸水深の比較

② 治水経済調査マニュアル（案）を用いた家計の水害被害額の算定

現在の治水経済調査マニュアル（案）では、家計における被害額は、主に家屋・家財の一般資産被害額として算定されている。ここでは、現行マニュアル（案）の評価手法に従って前節で検証した出石地区の氾濫計算結果から家計における一般資産被害額を算出する。また、現行マニュアル（案）と実際の被害額との間に乖離があると、実態に即した評価とならないことから、アンケート調査で回答された被害額とを比較し、その妥当性を検証した。

（ア）現行マニュアル（案）による一般資産被害額の算定方法

現行マニュアル（案）の家計の一般資産被害額は、家屋被害額と家財被害額の合計で評価されており、その算定方法は以下に示す通りである。

家屋被害額＝家屋資産額×被害率	(5. 11. a)
家財被害額＝家財資産額×被害率	(5. 11. b)

ここで、家屋資産については、平成 12 年国勢調査データを下に 1km メッシュの延床面積と兵庫県 1m²当たりの評価額 (150.6 千円) から資産額を算定し、50mメッシュの宅地の土地利用分布から家屋資産を振り分け算定した。世帯数は対象地域の鳥居地区全体の世帯を対象とした。また、家財資産は、平成 12 年国勢調査データを下に 1km メッシュの世帯数と現行マニュアル（案）の 1 世帯当たりの家財評価額 (14,927 千円/世帯) から資産額を算定し、上述の家屋資産と同様に 50mメッシュの宅地の土地利用分布から家財資産を振り分け算定した。

なお、家屋及び家財の被害率に関しては、下表に示す現行マニュアル（案）の浸水深別の被害率を用いる。なお、鳥居地区の地盤勾配は概ね 1/1000 程度であることから B グループの被害率を用い、浸水深は 7.4.1 に示した再現計算によるアンケート世帯位置のものを抽出し被害率を算定するものとした。

表-3.7.6 浸水深ごとの家屋被害率

浸水深 地盤勾配	床下	床上					土砂堆積 (床上)	
		50cm 未満	50～ 99	100～ 199	200～ 299	300cm 以上	50cm 未満	50cm 以上
Aグループ	0.032	0.092	0.119	0.266	0.580	0.834	0.43	0.785
Bグループ	0.044	0.126	0.176	0.343	0.647	0.870		
Cグループ	0.050	0.144	0.205	0.382	0.681	0.888		

A : 1/1000 未満, B : 1/1000～1/500, C : 1/500 以上

表-3.7.7 浸水深ごとの家財被害率

浸水深	床下	床上					土砂堆積 (床上)	
		50cm 未満	50～ 99	100～ 199	200～ 299	300cm 以上	50cm 未満	50cm 以上
被害率	0.021	0.145	0.326	0.508	0.928	0.991	0.50	0.845

（イ）アンケート調査世帯の一般資産被害額算定方法

アンケート調査で世帯の一般資産被害額を算定する方法の 1 つとして、修理費用及び新規購入費等の要した費用を上乗せする方法が考えられる。しかしながら、それらを全て見積もることは困難と考えられる。そこで、家屋及び家財の被害額の算定方法は、それぞれ式(5. 11. a)、式(5. 11. b)を用いて評価する。ただし、資産額の評価は、

アンケート調査で得られたものを最大限に利用し、被害率に関しても実績の浸水深から算定することで被害額を評価するものとした。

家屋資産は、アンケートで調査した家屋の延べ床面積と兵庫県の 1㎡当たりの評価額を用いて以下のように算定した。家財資産については、上記に示した現行マニュアル（案）の 1 世帯あたりの家財評価額を用いて、アンケートで調査した 1 世帯あたりの人数と兵庫県の 1 世帯あたりの構成人数で評価額を推定した。

家屋資産＝家屋の延べ床面積×1㎡当たりの評価額（150.6 千円）
(5. 12. a)

家財資産額＝1 世帯あたりの評価額（14,927 千円/世帯）

×（アンケート調査世帯人数／兵庫県 1 世帯あたりの人数＝2.67 人）
(5. 12. b)

H15 日本統計年鑑

（ウ）比較結果

アンケート調査では、各世帯を対象としているが、現行マニュアル（案）では、統計マクロデータを用いたメッシュデータを用いるため、浸水深の比較は可能であるが、資産評価額を個別の家屋に割り振けることは困難であり、各世帯毎の被害額を個別に比較検討することは困難である。従って、両者の被害額の比較については鳥居地区氾濫原全体を対象とし比較するものとした。

表-3.7.8 に、現行マニュアル（案）に基づく家計の被害額推定結果とアンケート調査結果を示す。これより、現行マニュアル（案）に基づいた家計の一般資産被害額は、アンケート調査で得られた一般資産被害額とほぼ同程度の被害額となっており、現行マニュアル（案）の被害額算定方法の適用性の高さが確かめられた。

表-3.7.8 現行マニュアル（案）の被害額推定結果とアンケート調査結果の比較

(単位：千円)

手法	家屋被害額	家財被害額	一般資産被害額
現行マニュアル（案）に基づく方法	8940	9167	18107
アンケート調査	6398	11683	18080

③ 治水経済調査マニュアル（案）を用いた家計の年平均期待被害額の算定

鳥居地区を対象に、治水経済調査マニュアル（案）を用いて家計の年平均期待被害額の算定を行う。

i) 計算条件

流量ハイドログラフは、「円山川浸水想定区域図作成（その2）業務報告書 平成15年3月 豊岡河川国道事務所」で示されている昭和54年10月型の弘原地点の確率規模別流出計算ハイドログラフを用いて、 $W=1/10, 1/20, 1/30, 1/50, 1/70, 1/100$ の計6ケースとした。破堤条件および資産評価方法等については現行マニュアル（案）に準拠した。

ii) 算定結果

図-3.7.10, 11に確率規模ごとの鳥居地区1世帯当たりの一般資産被害額と区間確率被害額を示す。これより、 $W=1/20$ の規模の流量が無害流量となる。鳥居地区全体の1世帯当たりの年平均期待被害額は約21万9千円である。この被害額は、同地区の実績の年平均被害額（約22万2千円）と一致しており、現行マニュアル（案）の計測精度は高いと言える。

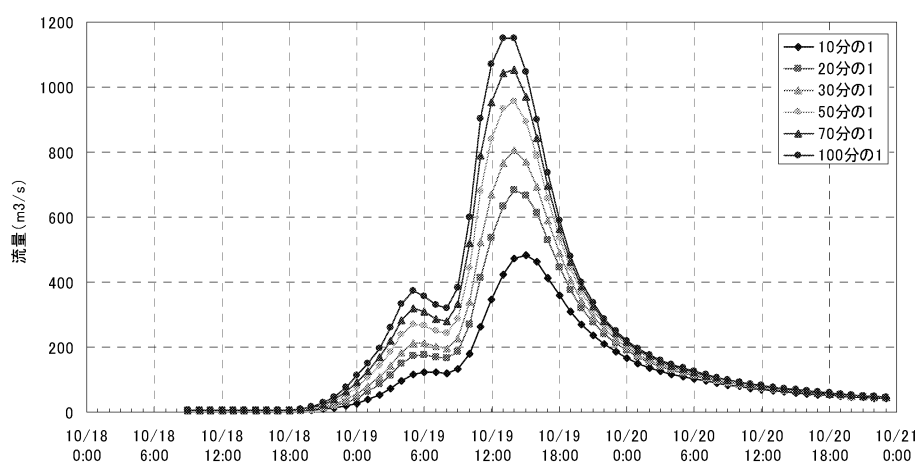


図-3.7.9 弘原地点の確率規模別流出ハイドログラフ

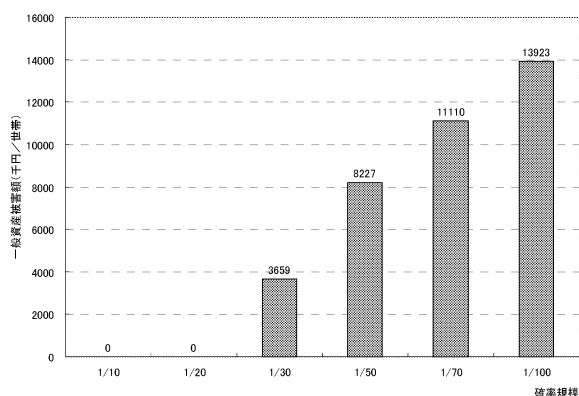


図-3.7.10 1世帯当たりの一般資産被害額

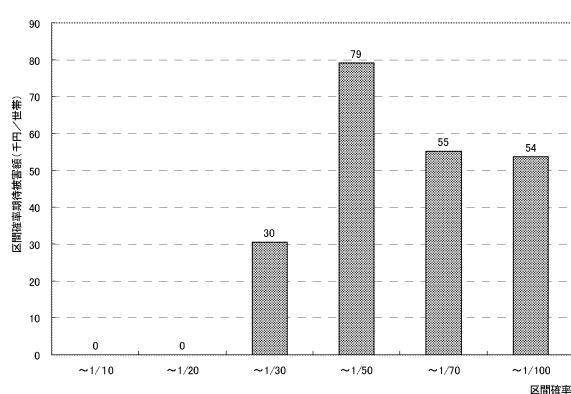


図-3.7.11 1世帯当たりの期待被害額（区間確率）

(5) 水害遭遇家計のリスクプレミアムと流動性被害に関するケーススタディ

① 水害遭遇家計における流動性制約

流動性被害の算定には、流動性制約を受ける世帯の割合（これを流動性被害率という）を求める必要がある。流動性被害率が把握できれば、流動性制約モデルを用い流動性制約に直面する場合としない場合それぞれの洪水確率規模ごとの期待不足調達額を算定する。そのうえで、全ての確率規模の洪水について制約有無別の年間期待不足調達額を算出し、これに流動性被害率を重みとして加重平均することにより、対象地域の 1 世帯あたりの年間期待不足調達額を算定できる。これができるば、ハザードモデルにより対象地域のマクロデータを用いて地域の復旧過程の推移確率を推計し、地域の 1 世帯あたりの期待流動性被害額を算出することができる。

i) アンケートデータによる地域（出石地区）の期待不足調達額算定結果

アンケートデータを用いた地域（出石地区）の 1 世帯の期待不足調達額の算定方法は上に記述した通りとした。まず、本水害で流動性制約に直面した世帯と直面しなかった世帯それぞれについて、流動性制約モデル式を用い、水害確率規模毎の各世帯の期待不足調達額を算定した。その上で、全ての確率規模の水害が発生する場合を考慮した、制約有無別の各世帯の年間期待不足調達額を算出した。その結果を、流動性被害率による重み付けの下で集計し、対象地域の 1 世帯あたりの年間期待不足調達額とする方法を採用した。

集計に当たり、考慮した点は以下の通りである。

- ・ 確率規模 1/20 以下（被害が小さい）は無害流量とする。
- ・ 確率規模毎の一般資産被害額は、氾濫解析により得られる浸水深に応じた被害率を、家屋・家財資産価額（家屋述べ床面積・世帯人数より算出）に乗じることで算出する。
- ・ アンケート回答値より、アンケート対象全世帯の本水害による流動性被害率は 1/3（制約あり世帯数:制約なし世帯数=1:2）である。
- ・ 地域の集計期待不足調達額は、本水害で流動性制約に直面した世帯の平均期待不足調達額と、流動性制約に直面しなかった世帯の平均期待不足調達額を、それぞれ重み 1、重み 2（上述の流動性被害率より）の下で加重平均をとったものとする。
- ・ 区間確率ごとの期待不足調達額は、隣り合う確率規模毎の期待不足調達額の平均値に、区間確率を乗じることで算出する。
- ・ 年間期待不足調達額は区間確率ごとの期待不足調達額の総和とする。

以上の算定方法に従い、出石地区について、流動性制約モデルによる期待不足調達額を推計可能な 36 サンプルについて期待不足調達額を推計した結果、出石地区の 1 世帯あたりの確率規模毎期待不足調達額、及び年間期待不足調達額は以下の通りとなった。図-3.7.12 は台風 23 号による水害（今水害）における流動制約有無（アンケート回答値）別の、世帯の確率規模毎期待不足調達額を示している。今水害の確率規模は概ね 1/30 相当であり流動性制約を受けなかった世帯が全体の 2/3 ほどあった。しかし、図-3.7.12 に示すようにそのような世帯でも 1/70 以上の洪水では流動性制約が生じることが判る。

図-3.7.13 は図-3.7.12 の結果について加重平均（アンケート回答値より全サンプル流動性制約割合、制約あり：なし=1:2、であることから、今水害流動性制約あり世帯の結果を重み 1、今水害流動性制約なし世帯の結果を重み 2 とした）をとったものである。

図-3.7.14 は台風 23 号による水害（今水害）における流動性制約の有無（アンケート回答値）別の、世帯の区

間確率毎期待不足調達額を示している。図-3.7.15 は図-3.7.14 の結果について加重平均（今水害流動性制約あり世帯の結果の重みを1，今水害流動性制約なし世帯の結果の重みを2として加重平均したもの）をとったものである。図-3.7.15 には，加重平均をとった区間確率毎期待不足調達額の総和である，出石地区の1世帯あたりの期待年間不足調達額の値についても併せて表記している。推計の結果，出石地区の1世帯あたりの期待年間不足調達額は6.9万円であることが明らかとなった。この結果を基に期待流動性被害額を算定するためには，世帯の復旧過程の推移確率を推計することが必要となる。

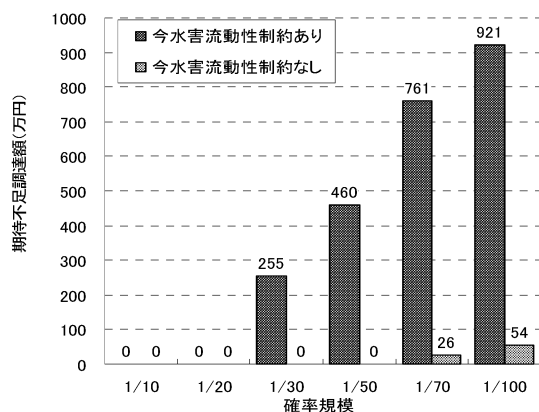


図-3.7.12 確率規模毎期待不足調達額 N=36

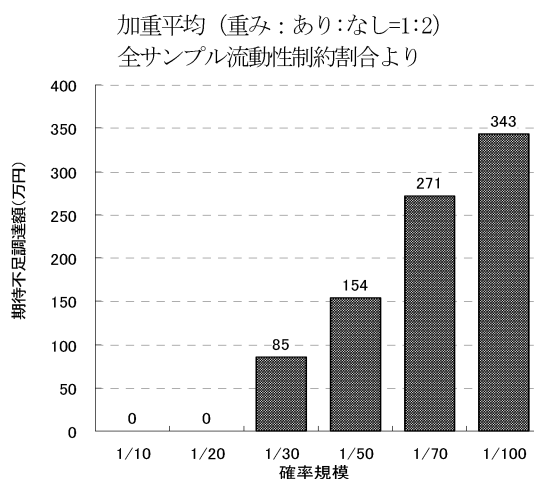


図-3.7.13 加重平均確率規模毎期待不足調達額

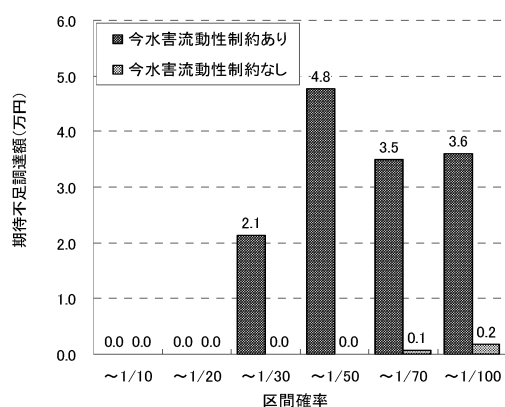


図-3.7.14 区間確率毎期待不足調達額 N=36

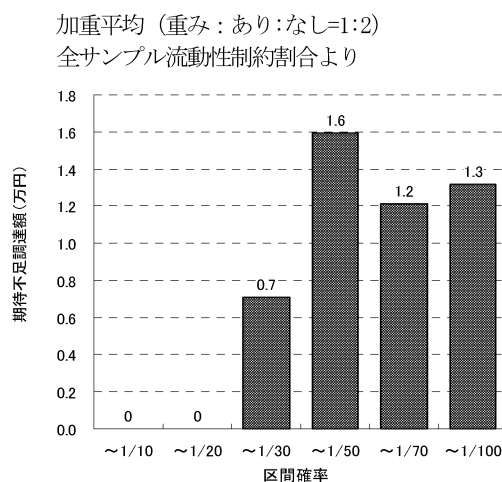


図-3.7.15 加重平均区間確率毎期待不足調達額 N=36

② リスクプレミアムと流動性制約に関する考察

i) 伝統的リスクプレミアム

横松・小林モデルによる伝統的リスクプレミアムの算定方法を示せば次のとおりである。

家計の効用は、Cobb-Dauglas 型の効用関数を仮定する。

$$u(c(t), s(t)) = a \ln c(t) + (1-a) \ln s(t) \quad (5.13)$$

$c(t)$ は時刻 t における消費額、 $s(t)$ は物的資産額を表す。また、 a は家計の、消費と物的資産の間の選好特性を表すパラメータである。

個々の家計のパラメータ a は、

$$a = \frac{1}{(r + \delta + \varepsilon \overline{\mu\alpha})s/c + 1} \quad (5.14)$$

ただし、 r は利子率、 δ は減耗率、 ε は保健市場のリスクプレミアム（マークアップ率＝保険料／期待被害額）である。上記のように $\overline{\mu\alpha}$ は期待被害率、すなわち被害率の年期待値を表す。

家計は自身が直面するリスクが被害率 $\overline{\mu\alpha}$ の 1 種類であるかのように認知して保険行動を決定すると仮定する。このとき家計が選択する保険カバー率は以下の条件式によって与えられる。

$$\beta = 1 - \frac{(\varepsilon - 1)(r + \delta + \varepsilon \overline{\mu\alpha})}{\varepsilon \alpha \rho (1 - a)} \quad (5.15)$$

ただし $\overline{\alpha}$ は平均被害率を表す。また、ここでは堤防を整備することによって、期待被害率 $\overline{\mu\alpha}$ の換算の際に含められている全てのランク j の洪水を防ぐことができると考える。このとき保険を購入する家計の防災投資に対する支払意思額（WTP）は以下のように表される。

$$WTP = \frac{1}{\rho} \{ \varepsilon \beta \overline{\mu\alpha} s + \varepsilon (1 - \beta) \overline{\mu\alpha} s \} = \frac{\varepsilon \overline{\mu\alpha} s}{\rho} \quad (5.16)$$

中辺の第 1 項は「資産の高度化効果」を、第 2 項は「事後的被害の減少効果」を表す。ただし ρ は時間選好率、 β は式(5.15)で与えられる最適カバー率を表す。

一方、保険を購入しない家計に関しては、上記の式(5.15)によって最適保険カバー率 $\beta \leq 0$ で与えられる。本ケーススタディではそのような家計の支払い意思額を以下のように導出する。まず式(5.15)に $\beta = 0$ を代入して ε について解き、解 ε_c を「限界マークアップ率」と呼ぶ。すなわち ε_c は次の 2 次方程式を満たす正の方の解である。

$$\frac{(\varepsilon_c - 1)(r + \delta + \varepsilon_c \overline{\mu\alpha})}{\varepsilon_c \overline{\alpha} \rho (1 - a)} = 1 \quad (5.17)$$

簡単な計算により、 $\varepsilon_c \geq \varepsilon$ （等式は $\beta = 0$ のとき成立）の関係を確認することができる。そして次式により、保険を購入しない家計の防災投資に対する支払い意思額 WTP_c を得る。

$$WTP_c = \frac{\varepsilon_c \overline{\mu\alpha} s}{\rho} \quad (5.18)$$

全ての効果が「事後的被害の減少効果」に相当する。

なお、本検討では、 $S/C=7.775$ 、 $\varepsilon=2.18$ 、 $\rho=1.00$ 、 $\delta=0.000$ 、 $r=0.04$ を使用した。

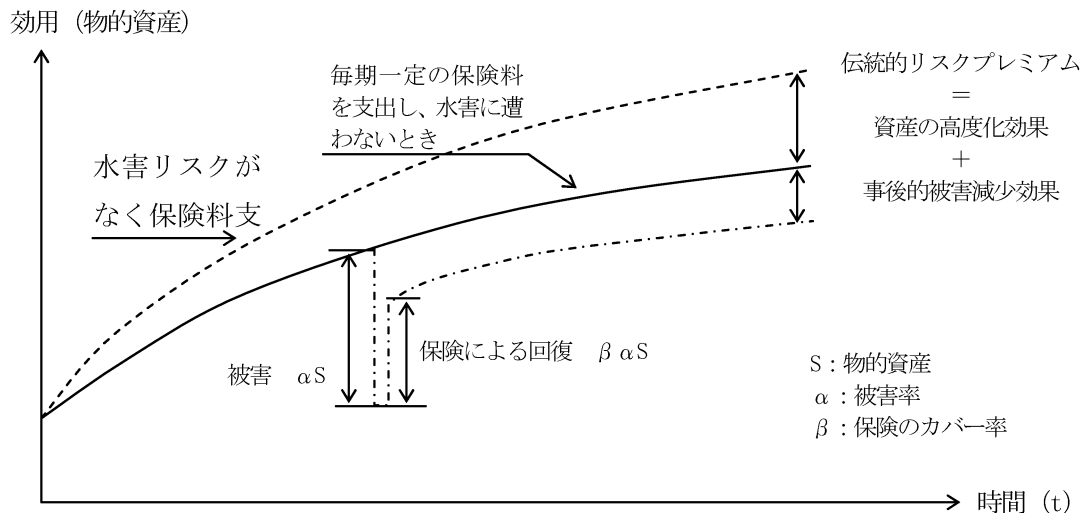


図-3.7.16 伝統的リスクプレミアム

③ リスクプレミアムと流動性被害

伝統的リスクプレミアムは、損害保険のマークアップ率 ε で表現でき、 $\varepsilon = 2.18$ と整理できた。このマークアップ率と治水経済調査マニュアル（案）を用いて算定した一般資産被害額から伝統的リスクプレミアムを整理すると約 22 万円となる。

一方、流動性被害は、被災世帯の所有する金融資産などの属性によって復旧が長期化することにより、復旧しない資産から得られていた便益（効用）が低下する被害を表わしていることから、ここでは伝統的リスクプレミアムとは別に整理している。

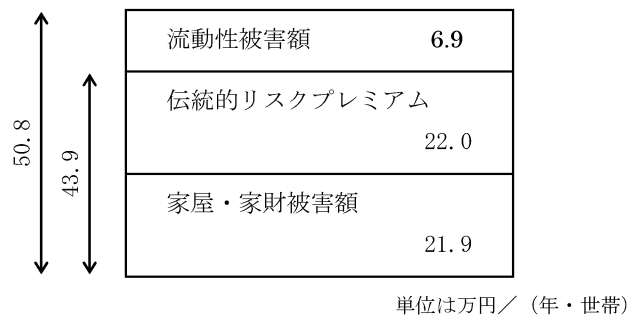


図-3.7.17 アンケート世帯の平均被害額（期待値）の構成

④ 精神的被害の年平均期待被害額の算定

7.4. で検討した確率規模毎の氾濫計算結果を用いて、家計の年平均期待精神的被害額を算定する。

i) 手法

3-6. では、再度災害への不安が精神的被害の大きな比重を占めていること、また、精神的被害を軽減するための支払意志額は、被災前の補償オプション価値を表していることを述べてきた。ここでは、上記の検討結果を踏まえて、因子分析から推定された第3回調査結果の被害計測式（式（5.19））を用いて被害額を計測する。ここで、第3回調査結果を用いる理由としては、調査時期が被災後2年1ヶ月経過しており、家計は水害後の恐怖を抱えているというよりはむしろ再度災害に対する不安を抱える時期と考えられるため最終調査期間の結果を用いる。また、式（5.19）の右辺第1項は、「生活レベルの低下による精神的苦痛」を表現しているが、3-4（4）に述べたよ

うに支払意思額の中に「水害により喪失した資産額は保障される」という仮定を十分認識しているとは限らないため、式 (5.19) の第2項のみを対象とし、算定式は式 (5.20) で評価するものとした。なお、被害額算定にあたっては社会的割引率4%で現在価値化している。

$$d = 1995 \ln(h) + 7436 \ln(h) \quad (5.19)$$

$$D = \sum \left(\frac{1}{\rho} \times 7436 \ln(h) \right) \cdot p_i \quad (5.20)$$

ここに、

d : 第3回調査結果の精神的被害額の推定式

h : 浸水深(m)

D : 年平均期待精神的被害額(円/年)

ρ : 0.04(社会的割引率)

p_i : 浸水発生の確率

i

ii) 結果

図-3.7.18, 19に確率規模ごとの鳥居地区1世帯当たりの精神的被害額と区間確率の精神的被害額を示す。この結果を用い、鳥居地区の年平均世帯の精神的被害額を算定すると約2万1千円となる。これは直接被害の約1割程度のオーダーである。現行マニュアル(案)では家計の精神的被害は年便益に加算されていない。今後、他の地域においても精神的被害算定手法の高度化を検討するとともに、家計の直接被害やリスクプレミアムとの関係を調査し、家計の年便益評価を行う必要がある。

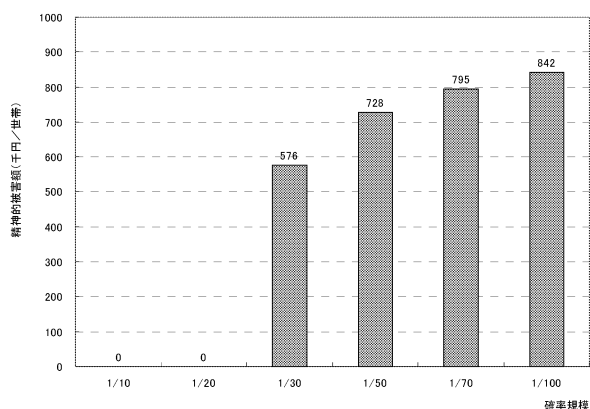


図-3.7.18 1世帯当たりの精神的被害額

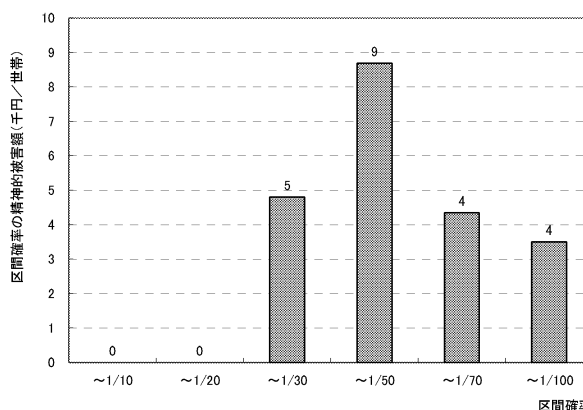


図-3.7.19 1世帯当たりの期待被害額(区間確率)

(6) 結 言

豊岡市の鳥居地区(旧出石町)を対象とした家計の一般資産被害、伝統的リスクプレミアム、流動性被害、精神的被害の年平均期待被害額を整理すると図-3.7.20に示すとおりである。ここで、精神的被害は、リスクプレミアムに含まれないが家計の被害額に新たに加算されたものであるため示している。

伝統的リスクプレミアムは、従来から損害保険市場のマークアップ率 ε で表現でき、保険加入・未加入者の平均は $\varepsilon = 2.18$ である。このマークアップ率と治水経済調査マニュアル(案)を用いて算定した一般資産被害額から伝統的リスクプレミアムを整理すると約22万円となる。

一方、流動性被害は3-3.でその被害の定義を行ったが、被災世帯の所有する金融資産などの属性によって復旧が長期化することにより、復旧しない資産から得られていた便益(効用)が低下する被害を表わしておりリスクプレミアムの構成要因である。ここでは、伝統的リスクプレミアムとは別に整理しており、その期待被害額は約6万9千

円である。

また、精神的被害については、3－6．で検討した因子分析の重回帰式から、再度災害への不安が精神的被害の大きな比重を占めていることを考慮して確立規模ごとの精神的被害額を算定した。この結果、年平均期待被害額は約2万1千円となった。

現行の治水経済調査マニュアル（案）では、家計の年平均被害額は伝統的リスクプレミアムと一般資産被害額の和で評価されてきた。本研究では、家計は水害被害を受け復旧が長期化することにより、復旧しない資産から得られていた便益（効用）が低下する被害を流動性被害と定義し、リスクプレミアムの構成要素の一つと位置づけた。これによる家計の年平均被害額は約50万8千円となり、1割程度大きく評価されることを示した。さらに、精神的被害の年平均被害額も加算すると約52万9千円となり、実際の家計に生じる被害額を評価した。

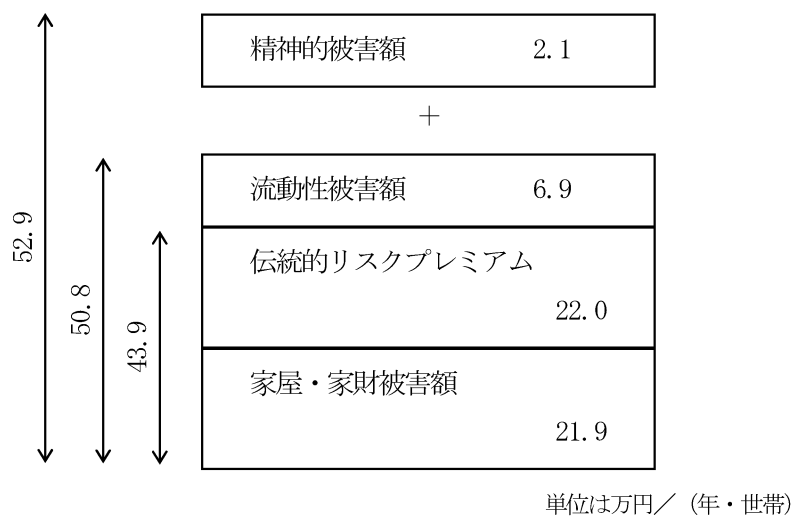


図-3.7.20 家計の年平均期待被害額の構成

3-8. 結 論

(1) 本研究の結論

本研究では、治水経済便益の評価手法の高度化に資するため、現在の治水経済調査マニュアル（案）では便益として捉えきれていない流動性被害と精神的被害に焦点をあてて、平成 16 年 10 月に大きな水害被害を受けた円山川沿川の氾濫地域を対象としたアンケートパネル調査を実施し、流動性被害と精神的被害の評価手法について研究を行った。

まず、3-2. では治水経済調査の歴史的な変遷をについて述べるとともに、水害の被害実態を踏まえた正確な水害被害を計測するための現在の治水経済調査マニュアル（案）の課題について整理を行い、(1)被害算定におけるリスクプレミアムの未考慮、(2)流動性被害並びに復旧時間の未考慮、(3)精神的被害の未考慮の 3 点を当面解決すべき大きな課題であるとした。

流動性被害については、今までにこのような概念の被害について研究を行った事例がないこと、横松・小林の研究において述べられている防砂事業におけるリスクプレミアム（伝統的リスクプレミアム）と流動性被害の関係について整理を行う必要があったことから、流動性被害の概念や定義・構造から研究を始めなければならなかった。3-3. に示したように、流動性被害は伝統的リスクプレミアムには含まれず伝統的なリスクプレミアムに上乗せして実態被害を捉える必要があることを証明することができた。また、流動性被害を抑制するために既存の損害保険制度が有効に働く可能性が高いことについても証明することができ、流動性被害の概念を入れた経済的な評価を行うことによって、家計にはマネジメントできない被害を政府による防災投資が減少させる役割をもっているというシナリオを明らかにすることができた。

流動性被害を算定するためには、被災した家計が流動性制約に直面するか否かを判定する流動性制約モデルの定式化と今後の所得等を考慮して設定される復旧レベルに到達するまでの時間（復旧時間）を推算するモデルの定式化が必要であった。

このため、流動性制約に直面するかどうかを判定する流動性制約モデルについて、3-4. において検討を行い、水害被害を復旧するために必要となる必要調達額モデルと調達可能額モデルの二つを用い、各家計の属性に応じた必要調達額と調達可能額を比べることによって、流動性制約に直面するか否かの判定とともに流動性被害額の算定を行うことが可能であることを証明した。なお、必要調達額は、一般資産被害額、被害額流動性比（＝一般資産被害額/（世帯年収＋金融資産残高））、保険カバー率（保険給付金額/一般資産被害額）の三つで説明され、調達可能額は、金融資産残高、土地資産価額、保険金給付額の三つで説明される。

流動性被害を受けた家計が被災前に近い状況にまで復旧する時間を推定については、3-5. において検討を行ったが、アンケートパネル調査を利用してモデルの定式化を行い、指数ハザードモデルを用いた復旧期間の推定を行うことが可能であることを明らかにした。また、流動性制約に陥る家計で被害額流動性比（＝一般資産被害額/（世帯年収＋金融資産残高））が高い家計ほど普及に要する時間が長くなることを明らかにした。

この二つのモデルを用いることによって、流動性制約と復旧時間を考慮した流動性被害の被害額の算定を行うことが可能となり、水害による一般資産被害額が大きく、復旧のために使用できる金融資産等が少ない家計は流動性被害が大きなものとなることを明らかにした。この両モデルを使用することによって、家計や地域の経済力に応じた真の水害被害額（ここでは、一般資産被害額＋流動性被害額をいう。）を評価することが可能となり、現在まで効率性の概念として使用されていた B/C という指標に公平性の概念を幾分かでも加味することが可能になったものと推量している。また、この評価手法の導入は、今後想定される高齢化社会の進展を踏まえると、治水事業の社会資本整備事業としての性格を明確にし、他の事業との比較や整備優先順位を検討する上での重要な指標になるものと考えている。

精神的被害については、精神的被害項目を列挙し、それらの積み上げ方式による被害額算定についての末次らの既

往研究はあるものの、精神的被害の構造を明確にするとともに、その支払意思額を被害額として算定した事例はなく、本研究は精神的被害についての先鞭を付けたものと考えられる。精神的被害の構造を明らかにするため、当初、因子分析と重回帰分析を用いた検討を行ったが、この検討では、精神的被害の構造として、(1)思い出の品等の喪失による精神的な被害と(2)再度災害への不安・恐怖という二つの要素が抽出され、(1)の思い出の品等の喪失による精神的な被害は時間経過とともに大きく減衰するものであることがわかった。しかしながら、因子分析を用いた評価手法では、精神的な被害というよりも資産が有している効用の一部を精神的な被害として捉えている可能性があったので、共分散構造モデルを用いた精神的被害の構造に関して詳細な検討を行った。この結果、精神的被害の内容として因子分析と同じように二つの要素が抽出されるものの再度災害への不安・恐怖が大きな比重を占めることが明らかとなり、精神的被害としては再度災害への不安・恐怖を被害として評価することが妥当であるとの結論を得た。

また、本研究において導出した被害評価手法を用いて豊岡市の鳥居地区を対象としたケーススタディを実施し、従来の治水経済調査マニュアル（案）によって算出される年当りの被害軽減額と流動性被害及び精神的被害を考慮した年当りの被害軽減額の算定を行った。この結果、流動性被害と精神的被害は、従来の洪水被害軽減額の約40%にもなることが分り、決して無視し得ない額であることが判明した。また、伝統的なリスクプレミアムを考慮した総便益は、従来の洪水被害軽減便益の約2.4倍程度となることが分った。但し、今回提示した手法は、豊岡市を対象としたアンケート調査を用いて検討し、ケーススタディを行っていることから、豊岡市にのみ適用可能な手法であるともいえるため、今後は、本研究成果の考え方や手法を基に全国的な展開を図り、流動性被害算定手法及び精神的被害算定手法の精緻化と一般化を図っていく必要がある。

上述したように、今後、流動性被害算定手法及び精神的被害の算定手法の精緻化と一般化を図っていく必要があるものの、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く、特に、本研究で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治水事業の評価に変えていくことが重要であり、早急な治水経済調査マニュアル（案）の改定が必要であると思われる。

(2) 今後の課題と検討の方向性

水害や地震災害等の大規模な自然災害は、災害地域に居住する人々の災害後の人生を大きく変化させる可能性が高い。しかしながら、現在までに検討されている被害算定手法は、災害前後の社会構造や所有資産が変化しないことを前提として、換言すれば、災害直後に元の社会構造や生活スタイルに戻ることを前提として、元にもどるための復興費用を被害額として捉えているにすぎない。

流動性被害の検討でも示したように、ある災害規模を境として流動性被害が発生し、大きくなるように、本来、災害による影響・被害は、ある被害規模を境として不連続なものになると想像される。これが、災害のカタストロフ性と呼ばれているものであるが、このような被害規模の不連続性を扱った研究は、今までになく、今回の研究がその最初の道筋を示したものと自負している。

治水事業についてみれば、戦後の荒廃した国土を襲った大規模な災害から計画的な河川改修が実施され、不十分ではあるものの一定の治水水準が確保され、頻繁な外水氾濫による被害は減少してきているが、その反面、氾濫原に居住する人々の浸水被害に対する耐性は過去と比べて著しく低下している。今後、大規模な水害が発生した場合には、上述したような社会構造や生活スタイルを大きく変化させる浸水被害となる可能性が高いこと、高齢化社会が進行している現実等を勘案すると、災害のカタストロフ性について研究を重ね、適切な予防措置がとれるように準備を行っておくことが望ましく、本研究がそのベンチマークとなることを期待している。

参考文献（3章）

（3－1．関連）

- 1) 旧建設省河川局：治水経済調査マニュアル(案)，2000
- 2) 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，Vol. 660/IV-49，2000.
- 3) 例えば，野口悠紀雄：公共経済学，日本評論社，1998.
- 4) Green C. Hand Penning-Rowse I. E. C: Evaluating the Intangible Benefits and Costs of a Flood Alleviation Proposal, Journal of the Institute of Water Engineers and Scientists, 1986.
- 5) Tunstall S. and Bosman-Aggrey P., Waltham and Thornwood Essex: An assessment of the effects of the flood of 29th July, 1987 and the benefits of flood alleviation, Flood Hazard Research Centre, 1988.

（3－2．関連）

- 1) 稲田 裕：河川計画の発展－主として計画高水流量について，水利科学第4巻第3号，pp. 84～85
- 2) 治水経済調査マニュアル(案)，平成11年(1999)
- 3) 栗城稔，今村能之，小林裕明：水害の精神的影響の経済的評価，自然災害科学，Vol. 15-3, pp. 231-240, 1997.

（3－3 関連）

- 1) 小林潔司，横松宗太：災害リスクマネジメントと経済評価，土木計画学研究・論文集，Vol. 19, No. 1, 招待論文，pp. 1-12, 2002.
- 2) 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.
- 3) Fisher, I.: The Nature of Capital and Income, New York and London: The Macmillan, Co., 1906.
- 4) Phelps, E. S.: The accumulation of risky capital: A sequential utility analysis, Econometrica, Vol. 30, pp. 729-743, 1962.
- 5) Yaari, M. E.: Uncertain lifetime, life insurance, and the theory of the consumer, Review of Economic Studies, Vol. 32, pp. 137-150, 1965.
- 6) Richard, S. F.: Optimal consumption, portfolio and life insurance rule for an uncertain lived individual in a continuous-time model, Journal of Financial Economics, Vol. 2, pp. 187-203, 1975.
- 7) Diamond, P. A. and Mirrlees, J. A.: Insurance aspects of pensions, In: Wose, D. A. (ed.): Pensions, Labor, and Individual Choice, The University of Chicago Press, 1985.
- 8) Green, J. R.: The riskiness of private pensions, In: Wose, D. A. (ed.): Pensions, Labor, and Individual Choice, The University of Chicago Press, pp. 53-84, 1985.
- 9) Friedman, B. M. and Warshawsky, M. J.: The cost of annuities: Implications for saving behavior and bequests, The Quarterly Journal of Economics, Vol. 105, pp. 135-154, 1990
- 10) Johansson, P.-O. and Löfgren, K. G.: Wealth from optimal health, Journal of Health Economics, Vol. 14, pp. 65-79, 1995.
- 11) 横松宗太，小林潔司：防災投資による非可逆リスクの軽減効果に関する経済便益評価，土木計画学研究・論文集，No. 16, pp. 393-402, 1999.

（3－4 関連）

- 1) 小林潔司, 横松宗太: 災害リスクマネジメントと経済評価, 土木計画学研究・論文集, Vol. 19, No. 1, 招待論文, pp. 1-12, 2002.
- 2) 柳川範之: 契約と組織の経済学, 東洋経済新報社, 2000.
- 3) Tobin, J.: Money, Credit, and Capital, The McGraw Hill, 1998, 藪下史郎他訳: トービン金融論, 東洋経済新報社, 2003.
- 4) 斎藤誠, 柳川範之: 流動性の経済学, 東洋経済新報社, 2002.
- 5) 大西正光, 横松宗太, 小林潔司: 流動性リスクと地震保険需要, 土木学会論文集, No. 793/IV-68, pp/105-120, 2005.
- 6) Zeldes, A.P.: Consumption and liquidity constraints: An empirical investigation, Journal of Political Economy, Vol. 97, pp. 305-346, 1989.
- 7) Paxson, C.: Borrowing constraints and portfolio choice, The Quarterly Journal of Economics, pp. 535-543, 1990.
- 8) Hayashi, F.: The effect of liquidity constraints on consumption: Across-sectional analysis, The Quarterly Journal of Economics, pp. 183-206, 1985.
- 9) Maki, A.: Liquidity constraints: Across-section analysis of the housing purchase behavior of Japanese households, The Review of Economics and Statistics, Vol. 75, pp. 429-437, 1993.
- 10) 新谷元嗣: 日本の消費者と流動性制約〜クレジット情報を用いた検証, 大阪大学経済学, Vol. 44, pp. 41-56, 1994.
- 11) 松浦克己, 白石小百合: 資産選択と日本経済, 東洋経済新報社, 2004.
- 12) 澤田康幸, 清水谷諭: 阪神淡路大震災による被害に対して人々はどう対処したのか, CIRJED discussion Papers, 2005.
- 13) Jappelli, T.: Who is credit constrained in the U.S. economy, The Quarterly Journal of Economics, Vol. 105, pp. 219-234, 1990.
- 14) 小林潔司, 湧川勝己, 田中勉, 幸弘美, 肥田幸子: 壊滅的洪水リスクの回避と費用便益分析, 河川技術論文集, 第8巻, pp. 161-166, 2002.
- 15) Sawada, Y. and Shimizutani, S.: Are people insured against natural disasters? Evidence from the Great Hanshin - Awaji (Kobe) Earth quake in 1995, CIRJE Discussion Papers, 2005.
- 16) Kohara, M, Ohtake, F. and Saito, M.: A test of the full insurance hypothesis: The case of Japan, Journal of the Japanese and International Economics, Vol. 16, pp. 335-352, 2002.
- 17) Tobin, J.: Estimation of relationships for limited dependent variables, Econometrica, Vol. 26, pp. 24-36, 1958.
- 18) Gourieroux, C.: Econometrics of Qualitative Dependent Variables, Cambridge University Press, 2000.
- 19) 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.
- 20) Bowden, R. J.: The Econometrics of Disequilibrium, North-Holland, 1978.
- 21) Quandt, R. E.: The Econometrics of Disequilibrium, Blackwell, 1988.
- 22) 旧建設省河川局: 治水経済調査マニュアル(案), 2000

(3-5 関連)

- 1) 貝戸清之, 阿部允, 藤野陽三: 実測データに基づく構造物の劣化予測, 土木学会論文集, No. 744/IV-61, pp. 29-38,

2003.

- 2) 鍵本広之, 佐藤道生, 川村満紀: アルカリシリカ反応により劣化した施設の劣化度評価と細孔溶液分析による劣化進行の予測, 土木学会論文集, No. 641/V-46, pp. 241-251, 2002.
- 3) 津田尚胤, 貝戸清之, 青木一也, 小林潔司: 橋梁劣化予測のためのマルコフ推移確率の推定, 土木学会論文集, No. 801/I-73, pp. 69-82, 2005.
- 4) Lee, T. C., Judge, G.G., and Zellner, A.: *Estimating the Parameters of the Markov Probability Model from Aggregate Time Series Data*, Amsterdam, North-Holland, 1970.
- 5) Lancaster, T.: *The Econometric Analysis of Transition Data*. Cambridge University Press, 1990.
- 6) Gourieroux, C.: *Econometrics of Qualitative Dependent Variables*, Cambridge University Press, 2000.
- 7) Tobin, J.: Estimation of relationships for limited dependent variables, *Econometrica*, 26, pp. 24-36, 1958.
- 8) Amemiya, T. and Boskin, M.: Regression analysis when the dependent variable is truncated lognormal, with an application to the determinants of the duration of welfare dependency, *International Economic Review*, Vol. 15, p. 485, 1974.
- 9) 磯田和男, 大野豊: 数値計算ハンドブック, オーム社, 1990.

(3-6 関連)

- 1) 国土交通省河川局: 治水経済調査マニュアル (案), 2000.
- 2) 例えば, 豊田秀樹: 共分散構造分析[入門編], 朝倉書店, 1998.
- 3) 因子分析法通論: 浅野長一郎, 共立出版, 1972
- 4) Rosen, S.: Hedonic prices and implicit markets: Product differentiation in pure competition, *Journal of Political Economy*, Vol. 82, pp. 34-55, 1974.
- 5) Auscombe, F. J. and Aumann, R. J.: A definition of subjective probability, *Annals of Mathematical Statistics*, Vol. 43, No. 1, pp. 199-205, 1963.

(3-7 関連)

- 1) 栗城稔, 今村能之, 小林裕明: 水害の精神的影響の経済的評価, 自然災害科学, Vol. 15-3, pp. 231-240, 1997.
- 2) 群馬大学工学部社会環境デザイン工学科災害社会工学研究室: 平成 12 年 9 月東海豪雨災害に関する実態調査調査報告書, 2001. 11