

# 壊滅的洪水リスクの回避と費用便益分析

## MITIGATING CATASTROPHIC FLOOD RISK AND COST-BENEFIT ANALYSIS

小林潔司<sup>1</sup>・湧川勝己<sup>2</sup>・田中勉<sup>3</sup>・幸弘美<sup>4</sup>・肥田幸子<sup>4</sup>

Kiyoshi KOBAYASHI, Katsumi WAKIGAWA, Tsutomu TANAKA, Hiromi YUKI and Sachiko HIDA

<sup>1</sup>正会員 工博 京都大学教授 大学院工学研究科土木工学専攻(〒606-8501 京都市左京区吉田本町)

<sup>2</sup>正会員 (財)国土技術研究センター 調査第1部(〒105-0001 港区虎ノ門2-8-10)

<sup>3</sup>正会員 (財)国土技術研究センター 調査第1部(〒105-0001 港区虎ノ門2-8-10)  
(現 埼玉県県土整備部 河川砂防課(〒336-8501 さいたま市高砂3-15-1))

<sup>4</sup>正会員 (株)東京建設コンサルタント 技術第3部(〒171-0014 豊島区池袋2-43-1)

The paper presents an extended framework of the cost-benefit analysis for flood control projects. The recent development of financial technologies has expanded the channels of risk spreading, resulting in discounting premium rates and increasing the capacity corresponding to the large claims. The insurance premiums paid by the respective households reflect the individual willingness-to-pay for alleviating psychological burden stemmed from flood risks. In this paper, the affordable insurance premium for the people living in a model catchment area was calculated using the economic valuation methods of mitigating catastrophic risk. The benefits of flood control project can be defined by the reduction in insurance premium payment.

**Key Words :** Cost-Benefit Analysis, Risk-premium, Flood risk

### 1. はじめに

1998年、我が国では、国が関与する社会資本整備事業について、その事業実施の妥当性、効率性を事業者自らが確認し、その結果を対象事業の効果が及ぶ地域の住民をはじめ国民に広く知らせることを目的として「社会資本整備に係る費用対効果分析に関する統一運用指針(案)」が策定され、この運用指針に基づいて、それぞれの社会資本整備事業において費用対効果分析を行うことが義務付けられた。

これを契機として、1970年に策定された「治水経済調査要綱」が有する問題点を整理し、現在の社会経済情勢に適合した一般資産評価の見直し、家屋等一般資産被害率の見直しを行うとともに、事業実施のスケジュールを考慮した費用便益分析を行うことを基本とした「治水経済調査マニュアル(案)」<sup>1)</sup>(以下、マニュアル)が2000年5月に策定された。

マニュアルでは、図-1に示される治水事業効果<sup>2)</sup>の内、主として資産被害軽減効果を便益とし、氾濫解析を通じて得られる洪水規模別浸水深より被害軽減額の年期待値を算出し、治水施設完成後に毎年その効果が発生するとして治水施設整備の総便益を算出することとされている。

マニュアルでは上記の便益算出において、直接的な資

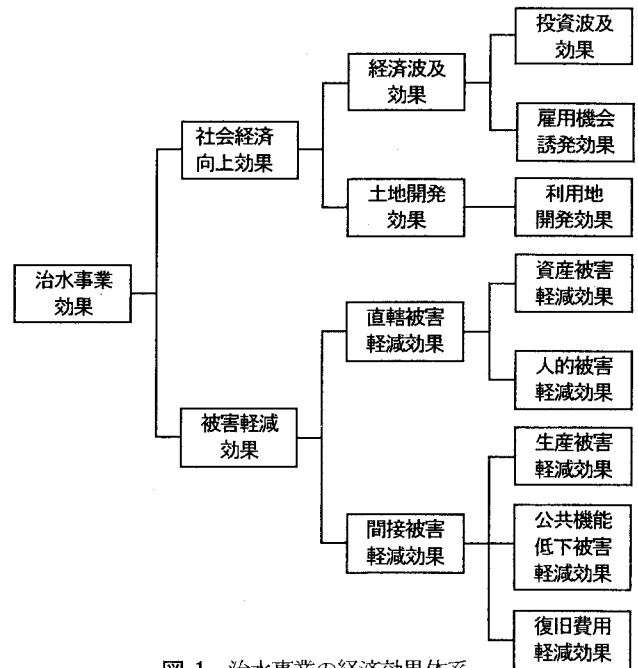


図-1 治水事業の経済効果体系

産被害は瞬時に回復することを想定し、また、期待被害軽減額そのものを便益として捉えている。

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

過程が異なってくる。また、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いわれている<sup>3)</sup>。

これらの課題に対して横松・小林<sup>4)</sup>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。

本論文では、小林らのモデルを実河川に適用し、リスクプレミアムを考慮した治水事業の経済評価のあり方について検討した結果について報告する。

## 2. リスクプレミアムの定義

いま、簡単のため資産  $s$  に対して、その家計の効用  $u(s)$  が与えられ、 $u$  は  $s$  に関して上に凸であるとする(図-2)。たとえば、この家計が2年に1回の割合で水害により全資産を失い、次の年には資産が元に戻る場合を考える。

この家計の資産の期待値  $p$  は  $p = s/2 + 0/2 = s/2$  である。一方、効用の期待値  $v$  は  $v = u(s)/2 + u(0)/2 = u(s)/2$  であり、これに対応する資産は  $u$  が上に凸であることから、図-2に示すように  $p$  よりも小さい値  $q$  となる。

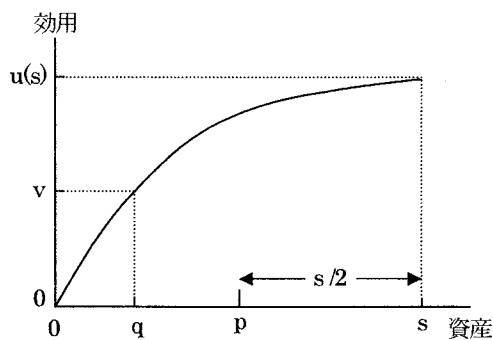


図-2 効用によるリスクプレミアムの定義

すなわち、期待効用で捉えた場合、家計の被害は  $(s-q)$  で表わされ、資産の被害  $(s-p)$  よりも  $(p-q)$  だけ大きくなる。経済的には、この被害防止に家計は  $(s-q)$  を支払うことが合理的であるといえ、その場合、水害を防止する事業の便益は  $(s-q)$  で評価されるべきである。

現行の治水経済調査では  $(s-p)$  を便益としており、効用から捉えた便益との差  $(p-q)$  をここでは治水事業のリスクプレミアムという。

## 3. 資産の形成過程を考慮した便益評価方法

横松・小林は、水害に備えて家計が水害保険に加入するとし、水害被害後の資産再形成を考慮したときの終期資産が治水施設の整備前後でどれだけ異なるかについて、家計行動モデルを通じて解析している。

### (1) 横松・小林モデルの前提

同モデルでは、以下の条件を仮定し、家計が期待生涯効用を最大化するように資産の蓄積と損害保険の購入を決定するとしている。

#### a) 家計の条件

- ①家計は一定の土地に永久に住み続ける。
- ②家計は土地の売買を行わず、毎年一定の収入を得る。
- ③家計は物的資産と金融資産の形成を通じて富の蓄積を行う。
- ④家計は毎期の消費と物的資産の利用により効用を獲得し、生涯効用を最大化するように行動する。
- ⑤家計は現時点から無限大にわたる計画視野をもつ。
- ⑥家計は災害リスクを完全に認知する。
- ⑦家計は洪水氾濫による物的資産の損害に対する損害保険を利用できる。

#### b) 資産の条件

- ⑧物的資産は水害により被害を受ける可能性のある危険資産であり、また、時間を通じて減価する。
- ⑨金融資産の利率は固定である。
- ⑩金融資産から物的資産への交換はできるが、物的資産を金融資産に交換できない。

#### c) 水害の発生条件

- ⑪洪水はランダムに発生し、浸水深に応じた被害率で物的資産に被害が生じる。
- ⑫防災投資が洪水の生起確率を制御することはない。

#### d) 損害保険の条件

- ⑬災害保険の料率には集団リスクに対するマークアップ率が加算され、保険料は期待被害額にマークアップ率を乗じた額に設定される。
- ⑭家計は被害リスクと保険料を比較し、最適なカバー率  $\beta$  (= 保険金/被害額)の保険を選択する。
- ⑮保険料は掛け捨てである。

### (2) 効用関数

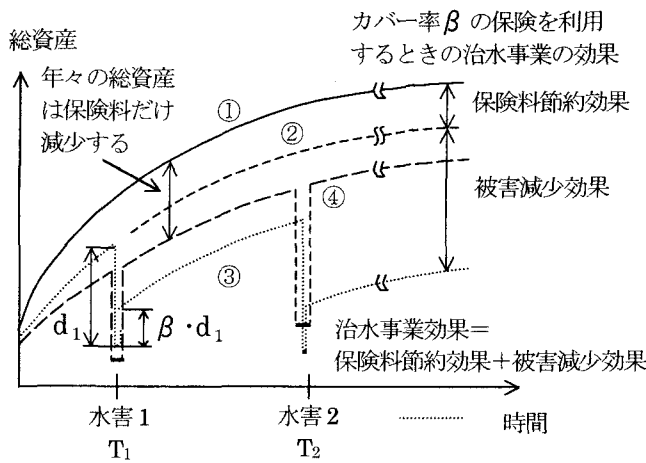
横松・小林モデルでは、上記④の効用を表わす効用関数として、次の Cobb-Douglas 型関数を仮定している。

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

ただし、 $u$  : 時点  $t$  における効用、 $c$  : 物的資産への投資を除く消費額、 $s$  : 物的資産額、 $a$  : 家計の選好特性を表すパラメータであり、最適家計行動条件により導かれる(2)式より求めることができる。

$$a = \frac{1}{(r + \delta + \varepsilon \mu \alpha) s/c + 1} \quad (2)$$

ただし、 $r$  : 利率、 $\delta$  : 減価償却率、 $\varepsilon$  : マークアップ率であり、保険料 ÷ 期待被害額、 $\alpha$  : 被害率、 $\mu$  : 被害の発生確率であり、 $\mu \alpha$  は期待被害率 (被害率の年期待値)



- ①: 災害リスクがないとき
- ②: カバー率  $\beta$  ( $0 < \beta < 1$ ) の保険に加入し、水害に遭わない場合(仮想)
- ③: カバー率  $\beta$  の保険に加入するとき
- ④: カバー率 100% の保険に加入するとき

図-3 保険の利用が可能な場合の資産形成の推移

### (3) 治水投資の便益

#### a) 保険の利用が可能な場合

前述の仮定から家計の総資産は、概念的には図-3のように推移する。資産は時刻  $T_1$  において  $d_1$  の物的被害を受けて減少するが  $\beta \cdot d_1$  の保険金を受け、その時点から再び新たな資産形成が開始される。このとき、終点時刻における①と③の資産の差が治水投資の効果となる。

また、④のラインは  $\beta = 100\%$  の保険に加入する場合を示したものである。  $T_1, T_2, \dots$  で被害を受けても、被害額と同じ保険金を得ることができる。このため、リスクのない場合との総資産の差は保険料支払いによる資産減少分のみとなる。

これらの効果は前項の仮定から導かれる(3)式によって与えられる。(3)式の右辺第1項は治水整備による「保険料節約効果」を表し、①のラインと②のラインの差に相当し、第2項は②のラインと③のラインの差である「被害減少効果」を表している。これから判るように、便益は年平均被害軽減期待額( $\overline{\mu \alpha s}$ )を  $\epsilon$  倍することにより評価できる。この  $\epsilon$  をここではマークアップ率、あるいは、便益評価におけるリスクプレミアムと呼ぶ。

$$WTP = \frac{1}{\rho} (\epsilon \beta \overline{\mu \alpha s} + \epsilon(1-\beta) \overline{\mu \alpha s}) \quad (3)$$

ただし、WTP: 住民の治水投資に対する支払い意志額、 $\rho$ : 主観的時間選好率

また最適カバー率  $\beta$  は、(4)式で計算できる。

$$\beta = 1 - \frac{(\epsilon - 1)(r + \delta + \epsilon \overline{\mu \alpha})}{\epsilon \alpha \rho (1 - a)} \quad (4)$$

ただし、 $\overline{\alpha}$ : 平均被害率(水害が発生したときの被害率の平均値)

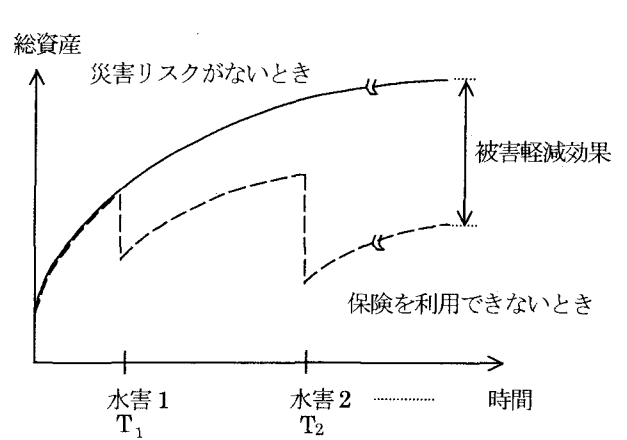


図-4 保険の利用が不可能な場合の資産形成の推移

#### b) 保険を利用できない場合

料率が高すぎて保険契約すると終期資産が減少する場合、また、水害保険が利用できない場合、総資産は図-4に示すとおりに推移し、治水事業の効果としては被害減少効果のみが現れる。この効果は、(5)式を満足する  $\epsilon_c$  と  $\beta = 0$  を(3)式に代入することにより評価できる。

$$\frac{(\epsilon_c - 1)(r + \delta + \epsilon_c \overline{\mu \alpha})}{\epsilon_c \alpha \rho (1 - a)} = 1 \quad (5)$$

## 4. ケーススタディ

### (1) 対象河川

N川を対象にケーススタディを行った。N川は、河口から約12kmにわたって築堤され、5kmの位置でH川が合流する河川で、氾濫原は、河川の堤防や山付きによって4つのブロック(氾濫ブロックA~D)に分割できる。H川沿川およびその合流点付近には資産が集中し、海岸線に沿った低地は主に水田として利用されている。

現在のN川は、一部を除き概ね20年に1度の洪水に対しては安全であり、さらに、150年に1度の洪水に対して安全となるよう、堤防の整備等が計画されている。

### (2) 氾濫解析

建設省土木研究所(現国総研)によって示されている氾濫計算手法<sup>5)</sup>に従い、河道上下流端に流量、水位ハイドログラフを境界条件として与えて河道の水位・流量を追跡し、予め設定した破堤地点の水位が破堤水位に達した以降、破堤流量を本間の公式から求め、それを境界条件として約100mのメッシュについて氾濫流の2次元平面流れを追跡した。破堤地点はマニュアルに従い、氾濫ブロックごとに最大被害を生じる1箇所を想定し、1/30~1/1000の8規模について氾濫計算を行った。図-5は1/1000規模の洪水における浸水深の分布とブロックごとの浸水深別世帯数を示したものである。

ブロック A では床下および床上 50cm 未満のランクが最も多く、全体の 8~9 割を占めている。ブロック D では浸水深の大きな世帯が多く分布する。これらに比べ、ブロック C は 1/150 でも浸水せず、1/1000 規模でも約 8 割が床下となっている。

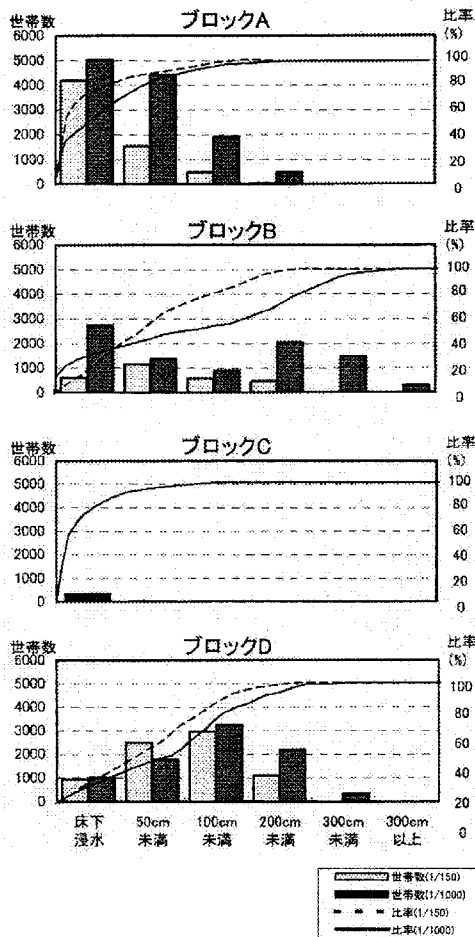
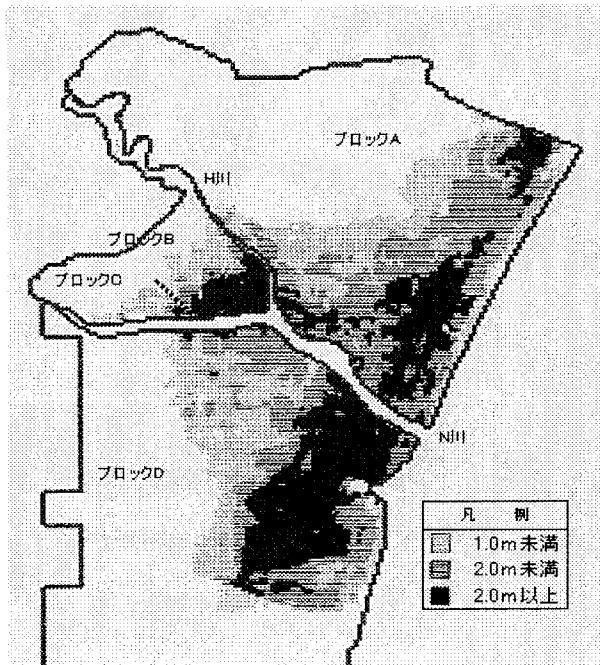


図-5 1/1000 浸水区域とブロック別浸水世帯数

### (3) 被害額

ここでは家計を対象にすることから、100mメッシュごとの世帯数と氾濫計算による浸水深をもとに、マニュアルに示された方法により家屋被害額、家庭用品被害額を算出した。家屋被害額は対象地域の一世帯当たりの平均床面積に建築単価を乗じて求めた家屋資産額に、浸水深別被害率を乗じて算出した。また、家庭用品被害額は全国平均の一世帯当たりの資産額に被害率を乗じて算出した。洪水規模ごとの被害額計算結果を表-1に示す。

この洪水規模別被害額に、洪水発生確率を乗じて積分することにより、1/1000 までの年平均期待被害額を求めると表-2のとおりである。

表-1 洪水規模別被害額(億円)

確率年	ブロック A	ブロック B	ブロック C	ブロック D	合計
5	0	0.0	0.0	0.0	0.0
30	13.7	0.0	0.0	0.0	13.7
50	78.1	13.2	0.0	249.3	340.6
70	105.4	29.9	0.0	295.6	430.9
100	106.9	89.1	0.0	353.7	549.7
150	154.6	161.7	0.0	492.1	808.4
300	185.5	466.2	0.0	574.2	1225.9
500	269.1	617.3	0.1	636.8	1523.3
1000	452.5	864.9	7.8	717.8	2043.0

表-2 年平均期待被害額 b

確率年	ブロック A	ブロック B	ブロック C	ブロック D	合計
b (億円/年)	4.4	3.3	0.0	9.3	17.0
1/1000 規模浸水世帯数	11,830	8,841	395	8,615	29,681
世帯当りの b (万円/年)	3.7	3.7	0.0	10.8	5.7

### (4) 横松、小林モデルを用いた治水便益の評価

保険を利用できる場合、利用できない場合について、(3)式に従って便益の算出を行った。

#### a) 計算条件

##### ①家計の条件

日本における各種の統計資料<sup>6)</sup>をもとに、対象地域の初期家計条件を一世帯あたり物的資産 2,970 万円、消費水準 330 万円/年等と設定した。

##### ②マークアップ率

日本では独立した水害保険制度がなく、一般には火災等の災害とセットになった住宅総合保険が普及している。また、個別には特約保険があり、主として企業が加入しているが、加入率は小さい。

これらの保険に関するマークアップ率を保険会社における近年の保険料収入と保険金支払い額<sup>7)</sup>から求めると、住宅総合保険で  $\epsilon = 1.92$ 、特約保険で  $\epsilon = 2.78$ 、両者の合

計で $\varepsilon = 2.02$ となっている。そこで、保険を利用できる場合の計算では $\varepsilon = 2$ を条件として与えることにした。

### ③計算手順

1/1000 規模までのリスクに対して、外生的に与えられるマークアップ率と期待被害率から、メッシュごとに最適カバー率 $\beta$ を(4)式から求め、 $\beta \geq 0$ ならば、(3)式からWTPを計算し、 $\beta < 0$ となったときは保険が利用できないとして、 $\varepsilon_0$ を(5)式から求め、これと $\beta = 0$ を(3)式に代入してWTPを計算した。

### b) 治水整備の効果

表-3は1/1000洪水までを対象としたときの年便益を上記の方法により求めた結果である。これによると、 $\varepsilon = 2$ の水害保険が利用できる場合の年便益は、マニュアルの1.7倍の29.3億円/年となり、その内訳は保険料節約効果が54%、被害減少効果が46%となっている。なお、全ての家計で水害保険を利用できないとした場合（マークアップ率の上限値 $\varepsilon_0$ を用いた場合）、年便益はマニュアルの7.3倍となる。

表-3 横松・小林モデルによる年便益(億円/年)

		ブロック A	ブロック B	ブロック C	ブロック D	合計	比率
マニュアル		4.4	3.3	0.0	9.3	17.0	1.0
$\varepsilon = 2$	保険節約	2.3	4.0	0.0	9.5	15.8	1.7
	被害減少	4.2	2.0	0.0	7.2	13.4	
	合計	6.5	6.1	0.0	16.7	29.3	
保険を利用できないとき		20.1	44.1	0.2	59.0	123.4	7.3

### c) 水害リスクによる便益の特徴

ブロックごとに $\varepsilon = 2$ の水害保険を前提とした便益の構成比を示すと図-6のとおりであり、水害リスクの特徴によって便益の構成が変化することが判る。

水害リスクの程度によって最適カバー率が変化することや $\varepsilon = 2$ の保険に加入しないことが経済的に合理的となる家計が存在することにより、上記の差異が現れたものである。

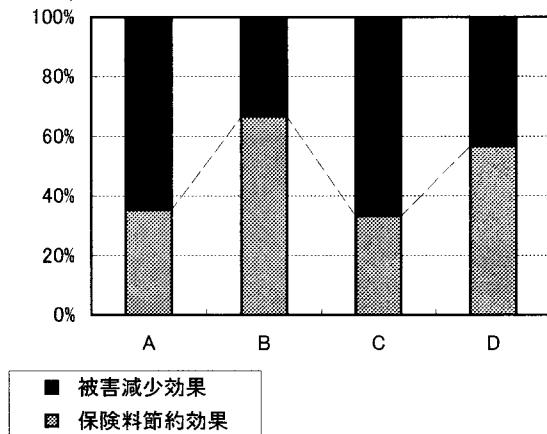


図-6 ブロックごとの年便益構成比

図-7はブロックごとの $\varepsilon = 2$ の保険に対する加入率R、カバー率Pを示したものである。なお、全体の母数は1/1000洪水での浸水世帯とし、次式より計算した。

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N n_i |_{\beta_i > 0}}{\sum_{i=1}^N n_i} \quad (6)$$

$$P = \frac{\sum_{i=1}^N \beta_i n_i}{\sum_{i=1}^N n_i} \quad (7)$$

ただし、 $i$ :メッシュを表わし、 $N$ はメッシュ数、 $n$ :世帯数、 $\beta$ :最適カバー率

これによれば、ブロックBでPが最も大きくなっており、保険料節約効果が卓越することになる。なお、現行の損害保険加入率は60~70%程度であり、ここでもブロックC以外は同程度の値となっている。

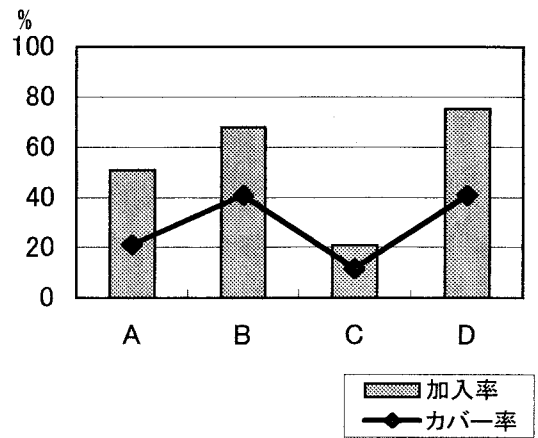


図-7 ブロックごとの加入率とカバー率

最適カバー率は  $a$ (家計の選好特性)と水害リスクを表す $\bar{\alpha}$ (平均被害率)、 $\mu \alpha$ (期待被害率)によって変化する。

図-8は当該地域の資産・消費特性 $S/C = 9$ について、(2)式の $a$ を図示したものである。 $N$ 川の場合、 $\mu \alpha$ は概ね1/100~1/1000の範囲にあり、このとき $a$ は0.7程度となる。

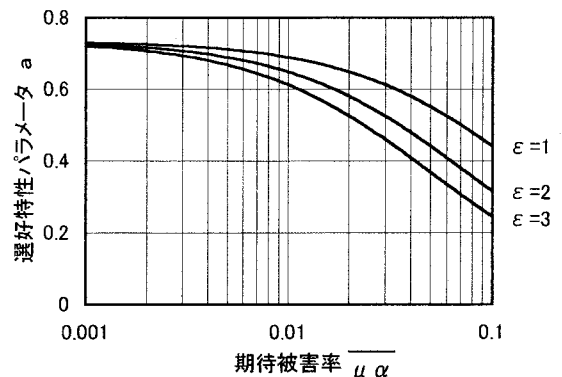


図-8 家計の選好特性を表わすパラメータ a

これに対し、N 川では  $\bar{\alpha} = 0.1 \sim 0.3$  であることから  $\bar{\alpha} = 0.2$  を条件に(5)式から  $\beta$  を求めた結果が図-9 である。 $\beta$  は  $\bar{\mu}\alpha$  によって 0.3~0.7 程度の値となり、現行保険の免責条項を加味したカバー率と類似した値となっている。

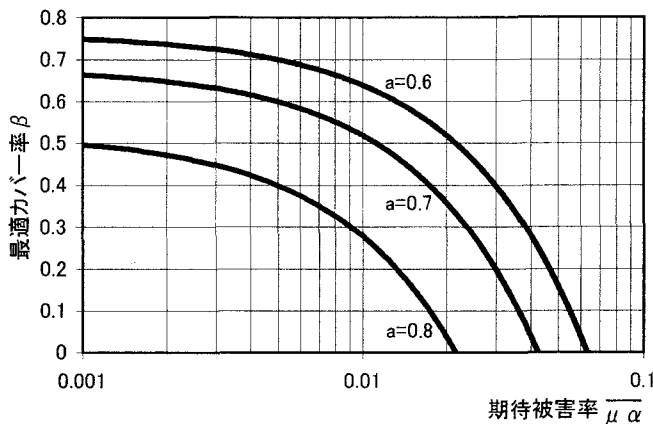


図-9 最適カバー率

## 5. 考察

### (1) モデルの有用性

繰り返し被害を受ける可能性のある資産について、従来の治水経済調査では被害を受けた資産が次の水害では回復していると仮定して期待被害額を算出し、これを治水事業の便益としている。

この仮定はいわゆる給付・反給付の原則が成立し( $\epsilon = 1$  の水害保険が存在し)、住民がフルカバー( $\beta = 1$ )の損害保険に加入することを前提としていることと同等である。災害保険市場においては給付・反給付の原則が成立せず  $\epsilon > 1$  に設定されることからみて、この仮定は現実的ではない。また、この仮定に従って計測される便益は表-3 に示したように、治水事業の経済効果を過小評価することになる。

横松・小林モデルは治水事業の投資便益が期待被害額に水害保険のマークアップ率を乗じた値となることを理論的に示したものであり、水害保険が実体として確立した場合には、便益評価において簡便で実用性の高いモデルといえる。

### (2) 地域の資産水準の差等を考慮する方法

治水事業の費用は防御目標とする洪水氾濫の規模によって変化し、その氾濫による被害額とは無関係である。したがって、資産の少ない地域では事業の経済的妥当性が成立しづらくなり、安全度に関して社会的公平性を確保する上で、従来の費用対効果(B/C)は必ずしも適切な指標となり得ない。

しかし、横松・小林モデルでは、例えば(2)式に示すような形で、地域ごとの資産等の違いを便益評価に加味できることから、B/C の指標に公平性への配慮を加えるこ

とのできる可能性がある。そこで、(5)式をもとに  $\bar{\alpha} = 0.2$ 、0.1として  $\bar{\mu}\alpha$  と S/C に応じた  $\epsilon_c$  を計算した(図-10)。S/C は地方ほど大きな値となり、たとえば、東京都は 7、島根県は 10 程度である。 $\bar{\mu}\alpha$  が同じ場合、S/C が大きいほど  $\epsilon_c$  は大きくなり、便益を高く評価すべきことが図-10 に示されている。

また、同図には S/C が同じ場合、治水安全度が向上し、 $\bar{\mu}\alpha$  が小さくなるほど  $\epsilon_c$  が大きくなり、安全度の向上に応じてプレミアムを高く評価すべきことが示されている。

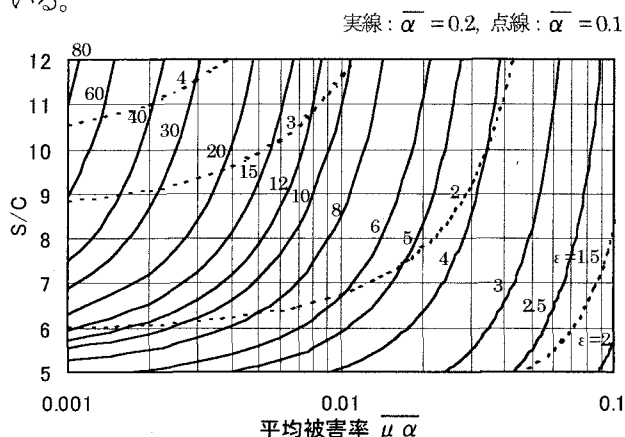


図-10 資産・消費水準 S/C と安全度  $\bar{\mu}\alpha$  に応じたリスクプレミアム

### (3) 課題

日本では現在のところ災害保険市場が未整備であり、現実の災害リスクを反映したリスクプレミアムに関する情報を市場から得ることは困難である。今後、災害保険の市場開放が急速に進むことが予想され、リスクプレミアムに関する情報が蓄積されれば、市場評価に基づいた治水事業の経済評価が可能となろう。

また、同時に住民が水害リスクを十分把握できるよう、水害の危険性や予想される被害に関して住民への情報提供が求められる。

### 参考文献

- 1) 建設省河川局、治水経済マニュアル(案)、2000.5
- 2) 宮田譲、山村悦夫、加賀屋誠一、治水事業の効果体系とその計測方法に関する研究、第 19 回日本都市計画学会学術論文集、1984
- 3) たとえば、野口悠紀雄、公共経済学、日本評論者、1998
- 4) 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、2000
- 5) 建設省土木研究所、氾濫シミュレーションマニュアル(案)、1996.2
- 6) 東洋経済新報社、地域経済総覧'02、2001
- 7) インシュランス、損害保険特集号、1998 年度版

(2002. 4. 15 受付)