

洪水による精神的被害の構造分析と その金銭的評価に関する実証的研究

PRACTICAL STUDY ON STRUCTURAL ANALYSIS AND
ECONOMIC EVALUATION OF MENTAL DAMAGE BY FLOOD

高木朗義¹・大國哲²・阪井宣行³

Akiyoshi TAKAGI, Satoshi OOKUNI and Nobuyuki SAKAI

¹正会員 博(工) 岐阜大学講師 工学部土木工学科 (〒501-1193 岐阜市柳戸 1-1)

²修(工) 中日本建設コンサルタント(株)主任 水工技術本部 (〒460-0003 名古屋市中区錦 1-8-6)

³建設省建設技官 中部地方建設局三重工事事務所 (〒514-8502 津市広明町 297)

In 1999 the new manual for economic evaluation of the flood control investment was proposed. The items of various benefit exist in this manual. However, the measurement method is not entered, just the benefit of mental damage reduction by flood control investment is entered as an item.

In this paper, we build the structure model of mental damage by using Fuzzy Structural Modeling (FSM) method, in the area which is actually suffering from flood. We measure the benefit of each item of mental damage reduction by using Contingent Valuation Method (CVM) and calculated the total amount by using the structure model. Finally, I analyze the causality between the regional characteristic and mental damage by flood.

Key Words: Mental Damage, Economic Evaluation, Structural Analysis, Fuzzy Structural Modeling, Contingent Valuation Method, Flood

1. はじめに

1999年, 治水経済調査マニュアル(案)¹⁾が作成された。このマニュアルでは, これまで²⁾計測対象とされていなかった様々な便益の項目が計上されている。しかし, 精神的被害抑止効果については項目として挙げられているのみで, その計測法までは記載されていない。一方, 研究分野に目を向けてみると, これまでに防災投資の便益評価法に関する研究が多数行われている³⁾。しかし, 既往の研究においても主に物的・人的被害の抑止便益^{4),5)}や高度化便益⁶⁾を対象としており, 精神的被害抑止便益を明示的に扱った研究は殆どない。精神的被害の経済評価に関する研究としては, 横松・小林⁷⁾や栗城ら⁸⁾の研究がある。前者は家計における動学的資産形成モデルを構築し, 資産の高度化便益と心理的被害が期待被害額に洪水保険のリスクプレミアムを乗じた値に一致することを証明している。この方法は簡便

であることから考えても有用であるが, わが国における洪水保険市場の未熟さから今のところその値を実際に計測することは困難な状況である。一方, 後者は田崎⁹⁾が開発したFSM(Fuzzy Structural Modeling)法を適用して, 世帯を対象として洪水による精神的被害の構造モデルを作成し, 被害額計測モデルを提案している。しかし, この研究においても構造モデルが実際の洪水経験者ではなく, 数人の河川技術者によって作成されている等の課題が挙げられる。

そこで本研究では, 実際の洪水被害を受けている雲出川下流域を対象として, FSM法を用いた精神的被害構造モデルを作成するとともに, 個々の精神的被害項目に対する抑止便益をCVMによって計測し, 構造モデルからその総額を推計するとした実証的分析を行った。なお, 精神的被害は世帯のみならず, 当該地域で生産活動している事業所や農家も受ける¹⁰⁾ことから三者を対象として分析を行っている。また, 過去の洪水実績

などから対象地域を12ブロックに分割して、ブロック毎に構造モデルの作成及び精神的被害抑止便益の計測を行っており、洪水経験の程度や地域性と精神的被害との関係も検討している。

2. 対象地域

本研究の対象地域は、三重県中部に位置する雲出川の下流域であり、霞堤や三角州をはじめ自然的・社会的に様々な条件を持つ区域が存在し、住民の洪水対策に対する意識や取り組みも区域によって様々である。本研究では市町界や河川までの距離等により図-1のように対象地域をA～Lの12ブロックに区分した。

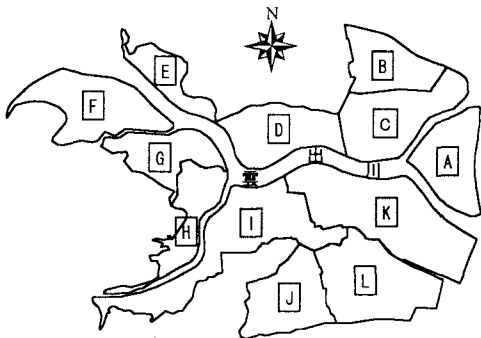


図-1 対象地域とブロック分割

3. アンケート調査

(1) アンケート調査票

必要なデータを収集するために、対象地域内の世帯、事業所、農家を対象にアンケート調査を行った。アンケートは以下の4つの項目からなる。

①回答者の属性

所有資産、所得、売上高、生産高等を調査した。

②洪水体験

洪水体験の有無、被害頻度、被害程度等を調査した。

③精神的被害項目間の関連度合

項目間の関連度合を10段階で直接評価する一対比較法により調査した。質問数は世帯で26×25、事業所、農家で15×14となる。

④精神的被害の抑止便益

精神的被害項目毎にその抑止のための支払意思額(Willing to Pay; WTP)を調査した。また、すべての精神的被害項目を抑止するために総額としていくら支払うかも直接調査した(以下、直接値と呼ぶ)。

アンケートでは洪水被害を想定する必要がある。対象地域は多くの住民が洪水被害を受けた経験があるため、仮想的なシナリオを設定すると地域特性が出にくいと思われることから本研究では敢えて仮想的なシナリオを設定せず、回答者の洪水体験を尋ね、実際の洪水体験をシナリオとして設問に回答してもらうこととした。

(2) アンケートの配布と回収

アンケートは訪問により主旨と内容を説明して配布し、郵送回収した。配布数と回収結果を表-1に示す。

表-1 アンケート配布と回収状況

	世帯	事業所	農家	計
配布数	299	150	180	629
回収数 (回収率)	286 (96%)	127 (85%)	169 (94%)	582 (93%)

4. 精神的被害構造モデル

(1) FSM法の概要と手順

複雑なシステムの構造を取り扱う1つの立場にグラフ理論的な構造モデルがある。ここでの構造化とは、ある対象システムを構成すると考えられる要因を適当な方法により抽出整理し、これらを階層化し、階層間ならびに階層に属する要因間の従属関係をグラフで表すものである。この構造モデルを作る手法として通常多く用いられるISM(Interpretive Structural Modeling)法を拡張させたものがFSM法である。ISM法では項目間の関係が0,1であるのに対し、FSM法では項目間にあいまいな2項関係を導入するとともに、演算にもあいまいな代数を利用した方法である^{9),11)}。

FSM法による構造モデルの作成手順は以下のとおりである。

- ①精神的被害項目の抽出
- ②関係行列の作成
- ③しきい値の設定
- ④ファジイ半到達行列の作成
- ⑤要因の階層分離
- ⑥構造グラフの作成

(2) 精神的被害項目の抽出

既往の水害実態調査結果や水害による被害波及関係に基づき、降雨時、浸水時、復旧時の3つの時間帯に分け、洪水発生から復旧まで時間を追いながら、世帯、事業所、農家の行動を分析することによって、洪水による精神的被害項目を抽出した。表-2～表-3に示すように世帯は26項目、事業所と農家は16項目の精神的被害項目を抽出した。抽出作業はアンケート調査前に行い、アンケートではこれらに対して質問している。

(3) 関係行列

アンケート調査結果から主体別、ブロック別および対象地域全体について精神的被害項目間の関連度合を表す関係行列を作成した。このうち対象地域全体における世帯、事業所、農家の精神的被害項目間の関連度合(値は100倍)を表した等高線図を図-2～図-4に示す。

表-2 洪水による精神的被害項目(世帯)

1. 水に流され溺れそうになったり、流れてきた物にぶつかりそうになるといった生命の危機や負傷に対する恐怖感。
2. 雨量の状況、河川の増水や避難に関する情報が不足していたことによる不安。
3. 家族や知人の安否がわからなかったことによる不安。
4. 自宅に残してきた家屋や家庭用品が無事かどうかわからないことによる不安。
5. 水防活動や家庭用品の移動による疲労感。
6. 日頃、特に大切にしているものを失ったり破損したことによるショック。
7. 室内や建物周辺の清掃やゴミの後片付けによる疲労感。
8. 清掃や後片付けに来てくれた知人や近所の人に対する気疲れ。
9. 停電による不自由。
10. ガスの供給停止による不自由。
11. 断水による不自由。
12. 電話の不通による不自由。
13. 食料品や日常生活用品の不足による不自由。
14. 食事や洗濯などの家事労働が増大したことによる疲労感。
15. 日常生活、通勤や通学の交通手段が変わったことによる不便。
16. 室内や周辺の衛生悪化による不快感。
17. 病気やけがをしたことによる精神的な影響。
18. 仕事ができないことによる心配。
19. 余計な出費で家計が苦しくなるといった不安。
20. 子供の勉強が遅れる心配。
21. 家族旅行や釣りなどレジャー機会を失ったことへの不満。
22. いつになったら普段の生活に戻れるかといった不安。
23. 避難所生活における不自由。
24. 再び洪水が起こるのではないかとといった不安。
25. 建物や土地の資産価値が低下するといった心配。
26. 今までのような近所付き合いや地域活動ができなくなったことへの不満。

表-3 洪水による精神的被害項目(事業所・農家)

1. 雨量の状況、河川の増水に関する情報が不足していたことによる不安。
2. 建物(工場、店舗や事務所)、設備、在庫品(材料、製品や商品など)などが無事かどうかわからないことによる不安。〔田畑、農機具、農作物などが無事かどうかわからないことによる不安〕
3. 浸水防止対策の準備や水防活動、製品・商品などの移動による疲労感。〔浸水防止対策の準備や水防活動、農機具などの移動による疲労感。〕
4. 建物(工場、店舗や事務所)、設備、在庫品(材料、製品や商品など)などを失ったり破損したことによるショック。〔田畑、農機具、農作物などを失ったり破損したことによるショック。〕
5. 工場、店舗や事務所の清掃やゴミの後片付けによる疲労感。〔田畑の清掃やゴミの後片付けによる疲労感。〕
6. 在庫品の不足による不自由。〔肥料や燃料などの不足による不自由〕
7. 停電、ガス(LPGを含む)の供給停止、断水、電話の不通による不自由。
8. 輸送手段が変わったことによる不便。
9. 建物内や周辺の衛生悪化による不快感。
10. 自分や従業員が病気やけがをしたことによる精神的な影響。
11. いつになったら普段の業務に戻れるのかといった不安。
12. 取引先に迷惑をかけるのではないかとといった不安。
13. 余計な出費で経営が悪化するといった不安。
14. 再び洪水が起こるのではないかとといった不安。
15. 建物や土地の資産価値が低下するといった心配。

注: [] がある要因は、事業所と農家とで表現が異なるもので、[] 内が農家における影響要因を表す。

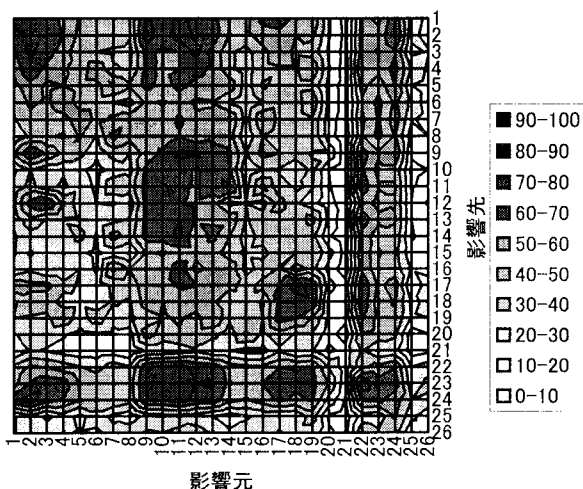


図-2 精神的被害項目の関連度合(世帯)

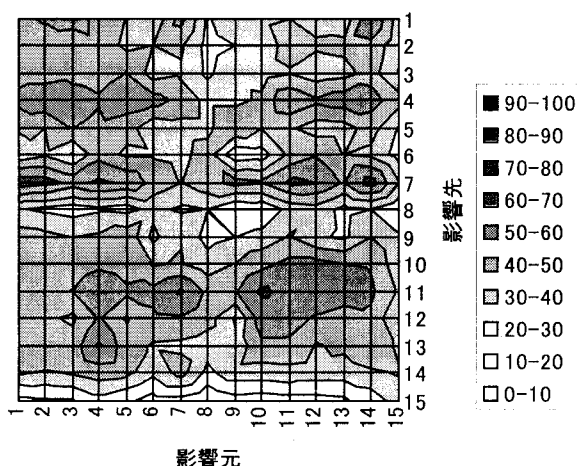


図-3 精神的被害項目の関連度合(事業所)

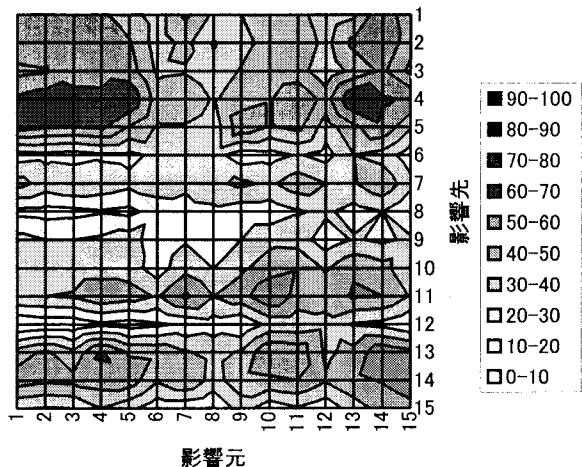


図-4 精神的被害項目の関連度合(農家)

(4) しきい値の設定

構造グラフを作成するためには、被害の波及の方向性を確保し、項目間の従属関係を明確にする必要があり、しきい値を設定しなければならない。本研究ではこのことをすべての項目間で確保するために、しきい値の設定方法を「すべての項目の従属関係が成立する最小値とする」と考えた。

この設定方法で求めたしきい値を表-4に示す。サンプル数が少ないために、値が求められなかったり、異常に大きな値となっている場合が3ケースあるが、それ以外の値は、最小0.56から最大0.84の範囲で比較的安定した値であるように思われる。また、世帯が事業所・農家に比べてやや高くなっているのは、項目数が多いことが理由の1つとして考えられる。

ただし、ファジィ半到達可能行列ではしきい値以下の関連度合がすべて0となることから、構造グラフ、最終的には精神的被害の総抑止便益の値がしきい値によって左右される。そこで、しきい値の変化に対して精神的被害の総抑止便益がどれくらい変化するかを把握するために感度分析を行った。感度分析の範囲は最大値を本研究での設定値、最小値を総抑止便益が定常になるか、直接値以下になるかのうち大きい値とし、

表-4 設定しきい値

ブロック名	世帯	事業所	農家
A	0.75	0.61	0.75
B	0.82	0.63	0.76
C	0.80	0.67	0.70
D	0.77	0.66	1.00
E	0.81	—	0.78
F	0.77	0.65	0.60
G	0.84	0.74	0.78
H	0.75	0.66	0.73
I	0.77	0.56	0.62
J	0.97	0.66	0.64
K	0.67	0.84	0.65
L	0.80	0.63	0.75
全 体	0.73	0.62	0.63

表-5 しきい値の感度分析(対象地域全体)

世帯		事業所		農家	
しきい値	便益	しきい値	便益	しきい値	便益
0.73	291	0.62	219	0.63	228
0.70	251	0.60	190	0.60	191
0.65	155	0.50	138	0.55	153
0.60	98	0.40	59	0.50	118
0.58	76	0.30	60	0.45	102
—	—	0.20	56	0.40	80

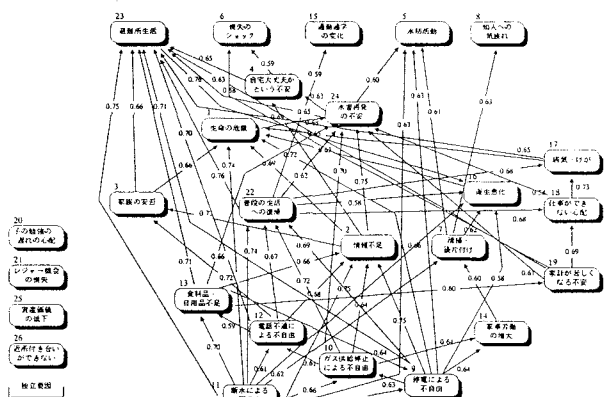


図-5 最小しきい値の構造グラフ(世帯)

その間は適当な間隔とした。感度分析の結果を表-5に示す。しきい値が小さくなるに従って項目間の関連度合が小さなものまで考慮され、関連する項目が増加するため、精神的被害の総抑止便益が小さくなっている。この場合、構造グラフがかなり複雑なものとなった。その例として世帯における最小しきい値(0.58)に対する構造グラフを図-5に示す。本研究で作成した後述の構造グラフと比べると、かなり複雑であることが直感的にわかる。本研究の目的の1つである洪水による精神的被害の構造を分析するという視点から見れば、複雑すぎて構造がよくわからないという答えにならざるを得ない。本研究ではこのようなしきい値に関する問題があることを認識した上で、今後この手法によって精神的被害を評価する際には、感度分析などによりしきい値をチェックすることが必要であることだけを示

し、しきい値を設定する具体的な方法については今後の課題としたい。

(5) 構造グラフ

構造モデルを作成するには、まず、ファジィ半到達可能行列を用いて、各影響要因を最上層レベル集合、中間層レベル集合、最下層レベル集合、独立レベル集合に分類する。次に独立な構造として表現できる部分を抽出する。さらに、最下層レベルの項目と、それが影響を及ぼす最上層レベルの項目を抽出し、中間層レベル項目との従属関係及び関連度合により各項目を線で結び、順次グラフを描く。作成した構造グラフの例として、世帯、事業所、農家の対象地域全体における構造グラフを図-6～図-8に示す。

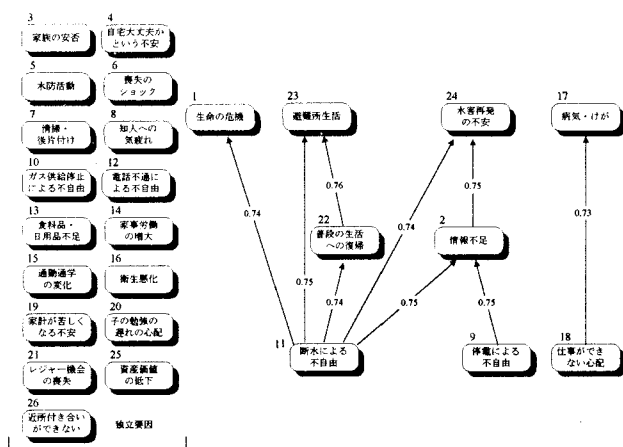


図-6 構造グラフ(世帯)

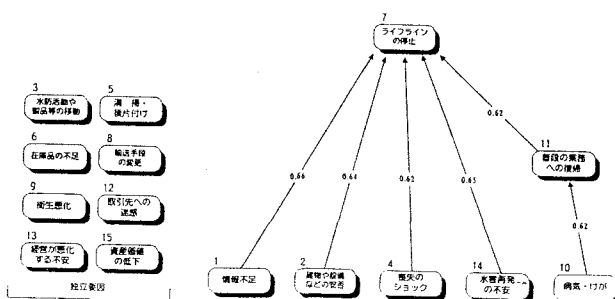


図-7 構造グラフ(事業所)

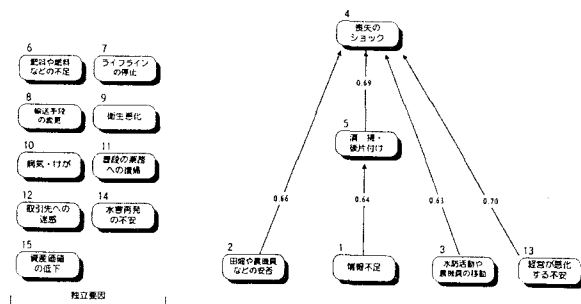


図-8 構造グラフ(農家)

5. 精神的被害抑止便益

(1) 精神的被害抑止便益総額算定式(総額算定式)

精神的被害の抑止便益の総額を算定する際、影響を及ぼしている定量的推定値は影響を及ぼした金額分に
応じて重複分として差し引くという基本的な考え方を
基に、二重計上の補正を行う。すなわち、影響元*i*の定
量的推定値*M_i*のうち、影響先*j*の定量的推定値*M_j*の中に
二重計上されている比率が*a_{ij}*であると考えて差し引く。
このとき、差し引く方が大きい場合には影響先の推定
値をゼロとする。このようにしてブロック別に総額算
定式を作成する(図-9参照)。

アンケート結果から被害項目毎の精神的被害抑止便
益をブロック別に求めるとともに、構造モデルより導
出される総額算定式を用いて、ブロック別の精神的抑
止便益の総額を算定した。

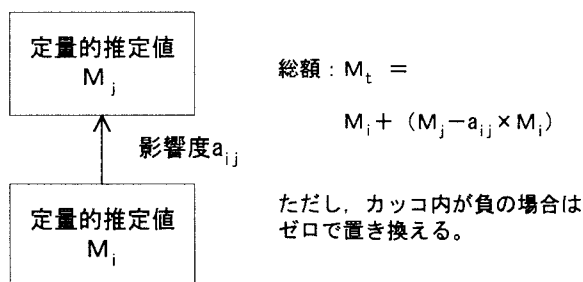


図-9 精神的被害抑止便益の総額算定式(概念)

世帯、事業所、農家における対象地域全体を例とし
て、総額算定式を以下に示す。

○世帯

$$M_t = (M_1 - 0.74M_{11}) + (M_2 - 0.75M_9 - 0.75M_{11}) \\ + M_3 + M_4 + M_5 + M_6 + M_7 + M_8 + M_9 \\ + M_{10} + M_{11} + M_{12} + M_{13} + M_{14} + M_{15} + M_{16} \\ + (M_{17} - 0.73M_{18}) + M_{18} + M_{19} + M_{20} + M_{21} \\ + (M_{22} - 0.74M_{11}) + (M_{23} - 0.75M_{11} - 0.76M_{22}) \\ + (M_{24} - 0.75M_2 - 0.74M_{11}) + M_{25} + M_{26} \quad (1)$$

○事業所

$$M_t = M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5 + M_6 + (M_7 - 0.66M_1 \\ - 0.64M_2 - 0.62M_4 - 0.62M_{11} - 0.65M_{14}) + M_8 + M_9 \quad (2) \\ + M_{10} + (M_{11} - 0.62M_{10}) + M_{12} + M_{13} + M_{14} + M_{15}$$

○農家

$$M_t = M_1 + M_2 + M_3 + (M_4 - 0.66M_2 - 0.63M_3 - 0.69M_5 \\ - 0.70M_{13}) + (M_5 - 0.64M_1) + M_6 + M_7 + M_8 + M_9 \quad (3) \\ + M_{10} + M_{11} + M_{12} + M_{13} + M_{14} + M_{15}$$

(2) 精神的被害の抑止便益の算定

(1)で作成した総額算定式を用いて、ブロック別の精
神的被害抑止便益の総額を算出した。また、被害項目
別の抑止便益はブロック毎の単純平均値を用いている。
表-6～表-8は結果をまとめたものである。最左列の数

表-6 精神的被害の抑止便益(世帯)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	全体
1	23	53	49	130	37	48	71	73	53	93	62	35	56
2	13	32	16	17	23	19	11	8	9	10	7	23	14
3	15	44	22	35	22	35	37	11	20	18	33	23	25
4	4	20	6	13	19	20	12	14	10	18	46	12	15
5	6	12	4	46	20	22	6	7	7	15	9	7	12
6	10	15	10	12	16	32	21	14	8	29	13	18	15
7	4	52	8	17	19	22	7	11	7	9	9	8	12
8	5	5	5	7	12	7	6	8	6	9	5	12	6
9	5	8	7	15	20	12	6	5	6	11	10	7	8
10	2	8	4	3	3	10	6	4	5	7	5	4	5
11	6	7	4	7	3	10	5	5	6	18	10	11	7
12	4	4	3	3	19	8	4	4	5	11	4	4	5
13	5	5	13	9	3	9	5	5	8	11	8	9	8
14	1	5	4	5	11	10	3	4	4	12	2	9	5
15	2	3	3	5	1	8	3	6	5	11	7	3	5
16	4	9	8	8	19	21	4	6	7	10	8	8	9
17	14	10	6	13	3	17	13	14	11	24	36	51	16
18	9	4	13	6	11	21	13	10	6	19	9	17	11
19	10	29	5	37	13	25	13	17	10	8	12	18	15
20	4	5	8	21	1	14	5	4	6	1	5	17	7
21	1	4	4	4	1	6	2	2	3	0	3	3	3
22	7	19	17	58	13	18	25	14	9	13	7	17	16
23	24	8	21	48	6	17	9	13	10	16	12	20	17
24	20	53	24	103	22	35	24	19	15	12	10	25	27
25	6	22	17	121	20	26	78	17	10	0	6	7	25
26	2	1	4	5	1	5	3	4	1	2	2	13	3
単純合計	202	435	285	746	335	478	392	296	248	389	339	380	348
FSM法 算定値	141	307	221	578	222	409	378	268	196	360	193	329	285
直接値	105	141	35	108	40	83	133	34	24	29	109	103	76

(単位：万円／世帯)

表-7 精神的被害の抑止便益(事業所)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	全体
1	6	9	10	1	0	10	4	3	15	3	18	13	13
2	8	6	16	6	0	11	2	3	20	5	29	14	21
3	7	29	14	6	0	9	30	3	10	3	19	7	16
4	18	19	17	10	0	25	37	9	20	8	27	20	25
5	4	6	7	6	0	4	28	2	9	5	16	3	16
6	4	4	16	3	0	35	12	1	12	3	22	7	9
7	5	20	18	1	0	16	3	8	19	4	31	3	11
8	2	3	3	1	0	20	5	2	13	1	8	3	5
9	6	17	6	1	0	17	35	4	11	1	10	2	14
10	3	12	15	5	0	28	5	2	9	1	27	8	13
11	8	33	11	5	0	22	11	3	11	1	38	9	20
12	5	30	15	8	0	22	37	1	22	1	82	5	11
13	15	14	13	1	0	3	13	2	11	1	32	6	16
14	8	18	16	3	0	2	27	2	34	1	31	7	24
15	10	3	10	1	0	1	34	2	46	1	20	14	23
単純合計	107	223	185	56	0	224	282	46	261	37	408	120	238
FSM法 算定値	92	143	145	48	0	191	221	42	205	30	346	106	219
直接値	15	33	23	30	0	43	39	9	27	10	129	15	31

(単位：万円／事業所)

表-8 精神的被害の抑止便益(農家)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	全体
1	12	35	3	4	23	10	15	37	7	4	21	27	15
2	11	52	3	7	23	10	19	254	11	7	22	24	27
3	8	22	2	5	16	13	13	160	3	4	14	16	19
4	17	68	5	13	37	11	24	174	13	4	26	18	30
5	1	37	29	4	18	7	9	231	3	4	19	9	23
6	2	35	1	0	10	4	5	4	2	1	11	2	6
7	26	3	4	1	8	6	10	2	3	2	16	14	8
8	1	3	2	5	5	0	3	2	2	1	10	5	4
9	1	37	30	1	7	11	10	213	4	2	14	11	19
10	21	38	5	0	12	5	7	27	9	3	28	19	14
11	9	38	8	3	28	7	17	185	11	2	16	20	25
12	0	8	13	0	6	2	2	3	3	1	11	7	5
13	21	38	10	2	26	11	17	36	9	4	29	16	18
14	9	35	26	4	33	22	25	192	13	3	26	29	30
15	2	28	29	5	32	12	19	204	10	4	29	22	27
単純合計	139	477	170	52	283	131	195	1723	102	45	291	238	267
FSM法 算定値	100	344	160	32	228	120	168	1456	96	40	185	150	228
直接値	35	53	29	38	84	32	34	523	32	23	37	50	81

(単位：万円／農家)

字は精神的被害項目の番号に対応している。FSM法算
定値が精神的被害抑止便益の総額である。

構造モデルを用いて算定した精神的被害の総抑止便
益は、対象地域全体で1世帯当たり285万円、1事業所
当たり219万円、1農家当たり228万円となり、同じよ

うな値となった。一方、直接値は対象地域全体で世帯76万円、事業所31万円、農家81万円となり、事業所の値が小さくなっている。本研究で作成した構造モデルが正確なものであれば、この差は洪水による精神的被害を漠然と捉えて意思決定をしているか、詳細に捉えて意思決定をしているかの違いであると考えられる。このため三者とも通常漠然と捉えて意思決定しているよりも本来はもっと抑止したいという意思が強いと考えられる。その中でも事業所は洪水による精神的被害に対する意識がより薄いと考えられる。

被害項目別に見てみると、世帯では1,3,17,25,事業所と農家は共に2,4,11,15という項目の抑止便益が大きくなっている。これらの項目はすべて生命、資産に関する項目であり、三者とも共通してこれらに対する恐怖感や不安から免れたい気持ちが強いことを示している。また、三者とも洪水の再来に対する抑止便益も大きくなっている。

ブロック別に見てみると、やはり川から離れており、洪水頻度のほとんどないブロックの便益は小さくなっている。

直接値とFSM法算定値は数值的に開きがあるが、ブロック別の傾向としては似たような傾向にある。このことは精神的被害構造モデルが正しく作成された可能性を示している。

6. 抑止便益と地域特性との関係

地域特性と精神的被害抑止便益との因果関係を世帯、事業所、農家について検討した。結果は世帯のいくつかについて図-10に示す。

この結果から以下のような傾向が示された。

- ・洪水経験の回数が多いほど抑止便益が大きい。
- ・住宅の浸水被害と抑止便益との関係はあまりない。
- ・建物被害が大きくなるほど抑止便益が大きい。
- ・洪水に対する不安や恐怖感を経験した世帯の方が抑止便益が大きい。

7. おわりに

本研究では洪水による精神的被害の構造を分析するためにFSM法を用いて構造モデルを作成するとともに、その金銭的な評価としてCVMを用いて精神的被害の抑止便益を計測した。また地域特性と精神的被害との因果関係も整理した。これにより、洪水災害に対する人の意識構造がある程度明らかになったと思われる。今後はこれらを基に効率的に精神的被害総額を軽減できるような治水方法を検討する必要がある。また、しきい値により構造モデルが変化し、それに伴って精神的被害の抑止便益の総額も変化するため、しきい値の標準的な設定基準を検討する必要がある。

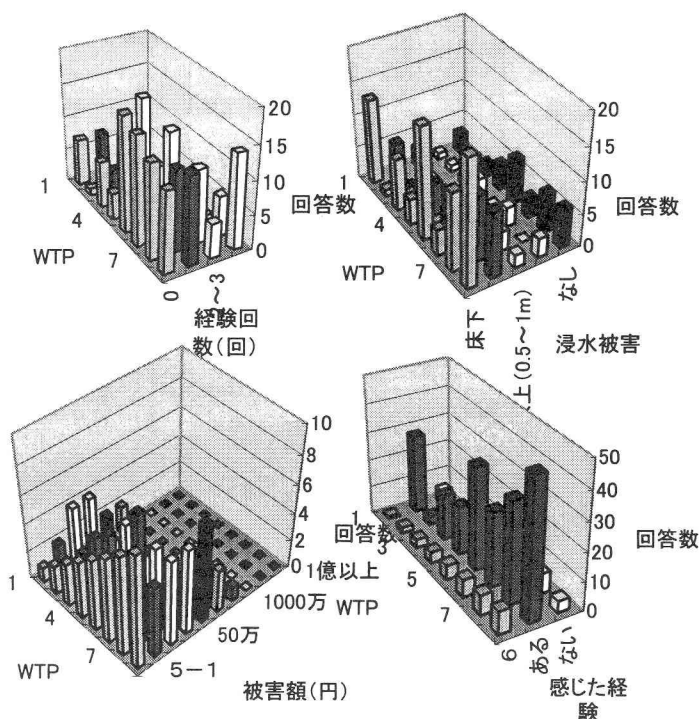


図-10 精神的被害抑止効果と地域特性との因果関係

参考文献

- 1) 建設省河川局：治水経済調査マニュアル(案)，1999。
- 2) 建設省河川局河川計画課：治水経済調査要綱，1970。
- 3) 例えば，上田孝行：防災投資の便益評価—不確実性と不均衡の概念を念頭において，土木計画学研究・論文集，No.14，pp.17-34，1997。
- 4) 横松宗太，小林潔司：カストロフ・リスクと防災投資の経済評価，土木学会論文集，No.639/IV-46，pp.39-52，2000。
- 5) 横松宗太，小林潔司：防災投資による不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。
- 6) 高木朗義，森杉壽芳，上田孝行，西川幸雄，佐藤尚：立地均衡モデルを用いた治水投資の便益評価手法に関する研究，土木計画学研究・論文集，No.13，pp.339-348，1996。
- 7) 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，ARSC全国大会，1999。
- 8) 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.15-3，1997。
- 9) 田崎栄一郎：あいまい理論による社会システムの構造化，数理科学，No.191，pp.54-66，1979。
- 10) 酒井泰弘：不確実性の経済学，有斐閣，1982。
- 11) 秋山孝正：ファジィ構造分析，秋山他著，ファジィ理論の土木工学への応用，森北出版，pp.43-48，1992。

(2000. 4. 17受付)