

空間的相関性が防災投資の便益に 及ぼす影響に関する研究

吉村 勇祐¹・岩田 啓孝²・多々納 裕一³

¹学生会員 京都大学大学院 情報学研究科 (〒 611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)
E-mail: yoshimura@imdr.dpri.kyoto-u.ac.jp

²学生会員 京都大学大学院 情報学研究科 (〒 611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)
E-mail: iwata@drs.dpri.kyoto-u.ac.jp

³正会員 京都大学防災研究所 教授 (〒 611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)
E-mail: tatano@imdr.dpri.kyoto-u.ac.jp

防災投資などの不確実性下のプロジェクトにおける便益の適正な評価に関して、現在、実務で行われている便益評価にリスクプレミアムを含めるべきであるという議論が積み重ねられている。そこで本研究では、空間的相関性を有する災害である洪水氾濫に対する治水事業に対し、リスクプレミアムの便益に占める割合を明らかにするため、滋賀県の湖西圏域において実データを使用し、リスクプレミアムの定量化を行った。また、リスクファイナンスを考慮する事によって、被害の空間的相関性を変化させ、リスクプレミアムがどのように変化するかについても検討した。リスクファイナンスとして政府による被害の事後的な再分配が行われる場合を考えた。

Key Words : *Spatial Correlation, Risk Premium, Benefit Analysis, GIS, Uncertainty, Flood Risk*

1. はじめに

(1) 研究背景

近年大規模な災害が多く生起し、人的・社会経済的な影響を及ぼしている。こうした被害を軽減するための効果的な施策をとることが重要になってきている。一方、財政状況は逼迫してきており、公共プロジェクトへの投資にはますます効率性の観点からの適正な評価が求められてきている。このため、防災投資に関しても、その費用便益分析の方法論の高度化が求められており、防災投資による災害リスクの軽減効果の計量化は重要な研究テーマとして探求されてきた。

現在までに防災投資などの不確実性下のプロジェクトの便益の評価方法について研究が積み重ねられてきている。これらの研究（例えば多々納¹⁾; 上田²⁾）によれば、防災投資などの不確実性下のプロジェクトの便益は、そのプロジェクトに対する事前の支払い意思額（オプション価格）で評価されるべきであるとされてきている。

しかしながら、防災投資の費用便益分析の実務の中では、伝統的に期待余剰すなわち期待被害額の減少額として便益が評価されていた。これは不確実性のある公共プロジェクトの投資に関しては、プロジェクトの便益にリスクプレミアム分を考慮しなくてよいという Arrow and Lind³⁾の指摘に基づくものである。しかし、地震に代表されるような時空間的に大きな偏りを持つ

災害に対しては、リスクの分散が十分に機能せず、全体としてリスクプレミアムが無視できないレベルで残ってしまう可能性が懸念されている。たとえば横松⁴⁾は、Arrow and Lind³⁾の結論は社会的リスクの大きさが人口から独立であるという仮定に大きく依存していることを指摘し、Arrow and Lind³⁾の定理を防災投資の便益評価に適用することの限界を指摘した。さらに横松⁴⁾は、人口が増大しても一人あたりのリスクに変化がない場合には、防災投資の便益にはリスクプレミアムの減少分が足しあわされる必要があることを示した。

(2) 本研究の視点

このような研究背景の中で本研究をどのように進めていくのかを述べる。既存の研究により被害の発生確率に明示的な空間的相関性を取り入れた場合に防災投資の便益にリスクプレミアムを考慮しなければならないことが示された。岩田⁶⁾。しかし、この理論は実データによって検証されていない。また、リスクファイナンスを行うことで、水害リスクに曝されていない家計についても、リスクをシェアすると考えると、被害の空間的相関性は、地域の家計全体に及び、広くなる。そこで、本研究では、リスクファイナンスを行わない場合と行った場合に対し、つまり、被害の空間的相関性を変化させた場合、リスクプレミアムがどのように変化するかを定量的に分析する事を目的とする。

2. 本研究の枠組み

(1) リスクファイナンスを行わない場合

家計 i の富を W_i^δ とおく。家計が直面している水害のリスクは、 ω を侵水深とすると、被害率 $r(\omega)$ とその生起確率 $F(\omega)$ で与えられるものとする。ここで、治水施設整備 $\delta = (0, 1)$ によって事象 ω の生起確率が $F_0 \rightarrow F_1$ へと変化するものとするれば、家計の厚生は $V_i^0(W_i^0) = \int_{\omega} u(W_i^0 r(\omega)) dF_0(\omega)$ から $V_i^1(W_i^1) = \int_{\omega} u(W_i^0 r(\omega)) dF_1(\omega)$ へと変化する。この家計の富の確実性等価 Ce_i を次式で定義する。

$$U(Ce_i) = \int_{\omega} u(W_i r(\omega)) dF(\omega) \quad (1)$$

いま、 ϵ を平均 0、分散 1 の確率変数とし、不確実性を k で与えるとすると、 $r(\omega) = \bar{r} + k\epsilon(\omega)$ 、 $Ce_i = W_i(\bar{r}_i - \tilde{\rho}_i(k))$ となり、

$$\begin{aligned} U(Ce_i) &= \int_{\omega} u(W_i(\bar{r}_i + k\epsilon(\omega))) dF(\omega) \\ &= u(W_i(\bar{r}_i - \tilde{\rho}_i(k))) \end{aligned} \quad (2)$$

ここで $\int_{\Omega} (W_i(\epsilon(\omega)))^2 dF(\omega) = W_i^2 \sigma_i^2 / k^2$ より、 $\tilde{\rho}$ は以下のように近似できる (付録参照)

$$\tilde{\rho}_i^*(0) = -\frac{\sigma_i^2}{k^2} \frac{u'(W_i \bar{r}_i)}{u(W_i \bar{r}_i)} W_i \quad (3)$$

確実性等価 Ce_i を 0 の周りでテイラー展開すると以下のようになる。

$$\begin{aligned} Ce_i &= W_i(\bar{r}_i - \tilde{\rho}_i(k)) \\ &\approx W_i(\bar{r}_i - \tilde{\rho}_i(0) - k\tilde{\rho}_i'(0) - \frac{k^2}{2}\tilde{\rho}_i''(0)) \\ &= W_i(\bar{r}_i + \frac{1}{2}\sigma_i^2 \frac{u'(W_i \bar{r}_i)}{W_i u(W_i \bar{r}_i)}) \end{aligned} \quad (4)$$

いま、効用関数を相対的危険回避度一定型 (CRRA) 型 $u(x) = x^{1-\gamma}/1-\gamma$ と特定化する。このとき

$$u(x) = x^{-\gamma} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} u'(x) &= -\gamma x^{-\gamma-1} \\ &= -\gamma x^{-1} u'(x) \end{aligned} \quad (6)$$

であるから

$$\gamma = -\frac{xu'(x)}{u(x)} \text{ となる.} \quad (7)$$

従って、このとき

$$\begin{aligned} Ce_i &= W_i(\bar{r}_i + \frac{1}{2}\sigma_i^2 \frac{\gamma}{W_i \bar{r}_i} W_i) \\ &= W_i(\bar{r}_i + \frac{1}{2}\sigma_i^2 \frac{\gamma}{\bar{r}_i}) \end{aligned} \quad (8)$$

よって、当該プロジェクトの便益 B は次式のように求まる。

$$\begin{aligned} B &= \sum_i \Delta Ce_i^\delta \\ &= (\sum_i \Delta W_i^\delta \bar{r}_i) \end{aligned}$$

$$+ \frac{1}{2} W_i (\sigma_i^{2(1)} \frac{\gamma}{\bar{r}_i^{(1)}} - \sigma_i^{2(0)} \frac{\gamma}{\bar{r}_i^{(0)}}) \quad (9)$$

$$= \Delta EL + \Delta \rho \quad (10)$$

(2) 政府による事後的救済が行われる場合

Arrow-Lind(1970)³⁾で議論されていた不確実な便益に相当する物は、社会全体で生じる被害である。従って、災害によって生じる社会全体の被害を政府が一端負担し、それを全家計で均等に負担するという設定を考える。今、地域全体での被害総額を L と定義しよう。 L は以下のように与えられる。

$$L = \sum W_i(1 - r_i(\omega)) \quad (11)$$

政府は、被災した各家計を一端救済し、その後、税として全家計 N から救済資金総額を均等に徴収する。徴収される金額は、 L に依存する。各家計について、事後的に徴収される税額 t は次式で与えられる。

$$t = \frac{\sum W_i(1 - r_i(\omega))}{N} \quad (12)$$

この税金を家計の被害とする、この場合の家計の富の確実性等価を CE_i とし、次式で定義する。

$$U(CE_i) = \int_{\omega} u(W_i - t) dF(\omega) \quad (13)$$

ファイナンスを行わなかった場合と同様、 ϵ 、を平均 0、分散 1 の確率変数とし、不確実性を k で与えるとすると、 $r(\omega) = \bar{r} + k\epsilon(\omega)$ 、 $Ce_i = W_i(\bar{r}_i - \tilde{\rho}_i(k))$ となり、

$$\begin{aligned} U(CE_i) &= \int_{\omega} u(W_i - \sum W_i(1 - \bar{r}_i - k\epsilon(\omega))) dF(\omega) \\ &= u(W_i - \frac{\sum W_i}{N}(1 - \bar{r}_i + \tilde{\rho}_i(k))) \end{aligned} \quad (14)$$

ここで $\int_{\Omega} (W_i(\epsilon(\omega)))^2 dF(\omega) = W_i^2 \sigma_i^2 / k^2$ より、 $\tilde{\rho}_i$ は以下のように近似できる。

$$\tilde{\rho}_i^* = -\frac{\sum W_i u'(W_i - \sum W_i(1 - \bar{r}_i))}{N u'(W_i - \sum W_i(1 - \bar{r}_i))} \quad (15)$$

確実性等価 Ce を 0 の周りでテイラー展開すると、以下のようになる。

$$\begin{aligned} Ce_i &= W_i(\bar{r}_i - \tilde{\rho}_i(k)) \\ &\approx W_i(\bar{r}_i - \tilde{\rho}_i(0) - k\tilde{\rho}_i'(0) - \frac{k^2}{2}\tilde{\rho}_i''(0)) \\ &= W_i(\bar{r}_i + \frac{1}{2}\sigma_i^2 \frac{\sum W_i}{N} \frac{u'(W_i - \frac{\sum W_i}{N}(1 - \bar{r}_i))}{u'(W_i - \frac{\sum W_i}{N}(1 - \bar{r}_i))} W_i) \end{aligned} \quad (16)$$

効用関数を CRRA 型と特定化すると、式 (7) より確実性等価は、

$$Ce_i = W_i(\bar{r}_i + \frac{1}{2}\sigma_i^2 \frac{\gamma}{\frac{\sum W_i}{N}(1 - \bar{r}_i)})$$

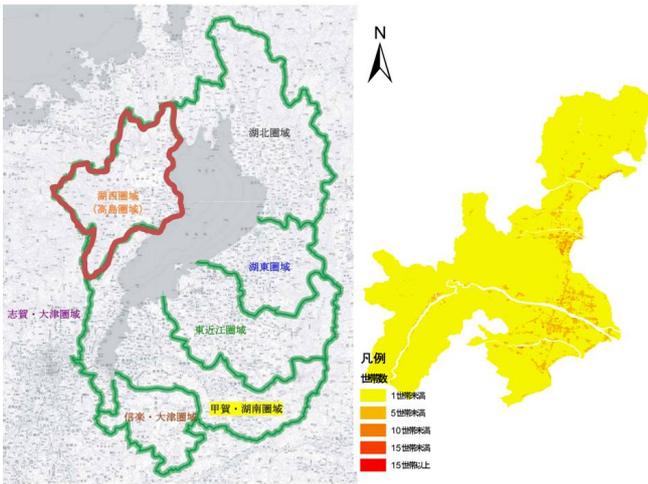


図-1 左は滋賀県における湖西圏域の位置，右は湖西における世帯数分布

$$= W_i(\bar{r}_i + \frac{1}{2}\sigma_i^2 \frac{\gamma}{\sum W_i(1-\bar{r}_i)}) \quad (17)$$

当該プロジェクトの便益 BE は次式のように求まる。

$$BE = \sum_i \Delta C e^{\delta} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} B &= \sum_i \Delta C e^{\delta} \\ &= (\sum_i \Delta W_i^{\delta} \bar{r}_i) \\ &+ \frac{1}{2} W_i (\sigma_i^2 \frac{\gamma}{\sum W_i(1-\bar{r}_i)} - \sigma_i^2 \frac{\gamma}{\sum W_i(1-\bar{r}_i)}) \quad (19) \\ &= \Delta EL + \Delta p \quad (20) \end{aligned}$$

この結果から，ファイナンスを行うと，便益の第一項である，期待被害額は変化しないが第二項であるリスクプレミアムが変化している，

(3) 対象地域

滋賀県全体を7の地区(湖西圏域(高島圏域)，滋賀大津圏域，信楽大津圏域，甲賀湖南圏域，東近江圏域，湖東圏域，湖北圏域)に分割し(図3)，250mメッシュで区切った。本研究においては，安曇川流域である湖西地域において数値計算を行った。資産はすべて治水経済調査マニュアル⁷⁾の方法に従い按分している。図3に湖西圏域における世帯数分布をしめす。

(4) 複合資産の決定

本研究では，計算簡便化のため全家計を一般家計と仮定する。一般家計とは，農漁家，事業所家計以外の家計である。複合資産 W_0 は， $W_0 = W_a + W_b$ と表すこ

とができる。 N_y をメッシュ内の世帯数とすると，以下のように表すことができる。

家屋資産：

$$W_a = a^{\alpha} \times R + \frac{\sum_i a^{\beta} \times N_y}{N} \quad (21)$$

家庭用品資産：

$$W_b = N_i \times G \quad (22)$$

上記の式(11)について， R は，滋賀県の $1m^2$ 当たりの評価額で， a^{α} は家計を有するメッシュ内の延床面積であり， a^{β} は家計を有しないメッシュ内の延べ床面積である。この延べ床面積は，一般家屋だけでなく事業所面積も含んでいるので，按分のため，第三項を共有資産としている。式(12)については， N_i は世帯数， G は世帯数に対する滋賀県の家庭用品資産評価額である。

(5) 氾濫解析

a) 水理モデル

氾濫解析により，水害リスクを評価するための水理諸量の算定には，瀧らが提案した統合水理モデルを用いた¹¹⁾。このモデルは，様々な降雨は計から内外水の区別なく流出域・河道域・氾濫域までの一連の水理減少を統合的に扱えるものである。

b) 調査対象外力

評価対象外力として，2年，10年，30年，50年，100年，200年を再現期間とする6降雨波形を流域全体に様に与えた。確率規模での浸水域の違いを載せる。(図4)降雨波形については，滋賀県降雨強度式¹³⁾を用いて継続時間を24時間とした中央集中型を採用した。降雨継続時間6時間以上(滋賀県降雨強度式の適応範囲外)の降雨波形については，彦根地方気象台の降雨データを用いて補完している。200年確率の降雨波形については，100年確率の波形を便宜的に1.2倍したものを用いた。この内，10年確率は小河川の整備目標に相当する。また，30～50年確率は中規模河川(流域面積 $50km^2$)で当面の整備目標とする戦後最大実績洪水を概ね包括する。100年確率は中規模以上の河川で将来的に目標とする整備水準であり，200年は超過外力を意図している。

c) 破堤条件

本研究の試算では，以下の3通りの破堤条件を与えた。破堤幅や破堤時間等は氾濫解析マニュアル¹⁴⁾の手法を用いて設定した。

case.1) 河道内の計算水位が堤防天端高を超えた時点で破堤が始まるシナリオ

case.2) 堤防天端高から河川管理施設等構造令に示される余分高を差し引いた高さに計算水位が達した時点で破堤が始まるというシナリオ

case.3) 河道内の計算水位によらず破堤しないというシナリオ

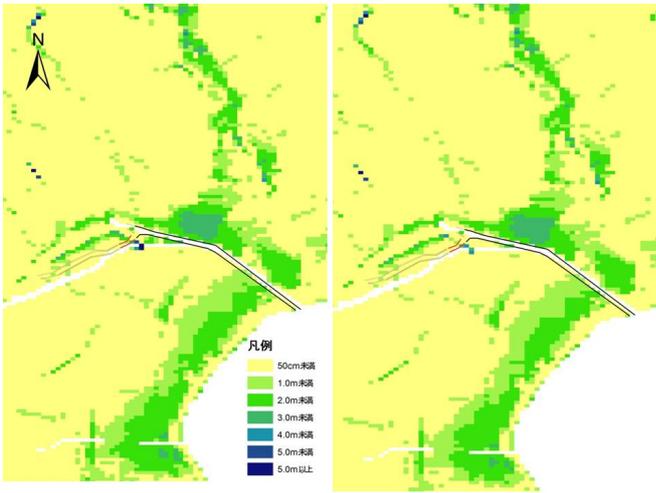


図-2 鴨川流域における 200 年確率の最高侵水深、左が対策前、右が対策後

d) 対策手法

治水事業を行うことで、被害の規模や生起確率が変化する。つまり空間的相関性が変化する。対策メニューは堤防強化、氾濫流制御施設(二線堤・輪中堤)、水害防備林、土地利用規制・建築誘導、避難行動の支援(洪水ハザードマップ、訓練)を行う。モデルは瀧ら¹¹⁾に従う。

湖西圏域においては 3 流域において対策を行っている。3 流域とは鴨川、百瀬川、石田川である。3 流域についての氾濫シミュレーション結果の侵水深を図 5,6,7 に示す。図内の線は対策箇所であり、黒線は対策済み箇所、赤線は当面の整備目標とする地域で、黄線は将来的に目標とする整備目標地点である。

(6) 効用関数

ここで、家計 i の効用関数 u は危険回避的 ($w < 0, w' > 0$) であるので、CRRA 型効用関数 $u = x^{1-\gamma}/1-\gamma$ を使用する。 $\gamma = w'/w$ は地価データを用い算出した先行研究。劉¹⁰⁾より $\gamma = 0.6553$ とする

(7) 被害率と期待被害額算出

被害率関数は、治水経済調査マニュアル⁷⁾に準拠し、表から求める。なお、家屋被害は立地している地盤勾配によって 3 グループに分けられていたが、本研究では、全てグループ B を使用した。この表では離散分布であるので、区間は最小二乗法で線形補完し用いた。

ここで、治水経済調査マニュアルにおける年平均被害軽減期待額算出方法は、本モデルでは、以下のように表現できる。

$$W_0\bar{r}(\omega) = \int_{\omega} W_0r(\omega)dF(\omega)$$

	35cm未満	50cm未満	1.0m未満	2.0m未満	3.0m未満	3.0m以上
家屋被害	0.044	0.126	0.176	0.343	0.647	0.87
家庭用品	0.021	0.145	0.326	0.508	0.928	0.991

図-3 被害率関数表 (治水経済調査マニュアル⁷⁾)

流量規模	年平均超過確率	被害額			区間平均被害額	区間確率	年平均被害額	年平均被害額の累計=年平均被害軽減期待額
		① 事業を実施しない場合	② 事業を実施した場合	③ 被害軽減額 (①-②)				
Q_0	N_0			$D_0 (=0)$	$\frac{D_0 + D_1}{2}$	$N_0 - N_1$	$d_1 = \frac{(N_0 - N_1) \times D_0 + D_1}{2}$	d_1
Q_1	N_1			D_1	$\frac{D_1 + D_2}{2}$	$N_1 - N_2$	$d_2 = \frac{(N_1 - N_2) \times D_1 + D_2}{2}$	$d_1 + d_2$
Q_2	N_2			D_2	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
\vdots	\vdots			\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
Q_m	N_m			D_m	$\frac{D_{m-1} + D_m}{2}$	$N_m - N_{m+1}$	$d_m = \frac{(N_{m-1} - N_m) \times D_{m-1} + D_m}{2}$	$d_1 + d_2 + \dots + d_m$

図-4 年平均被害軽減期待額算出表 (治水経済調査マニュアル⁷⁾)

$$= P_0 \frac{W_0r(\omega)^{\frac{1}{2}}}{2} + P_1 \frac{W_0r(\omega)^{\frac{1}{10}}}{2} \dots$$

$$= \sum_{i=1}^6 (P_i \frac{W_i^0 r_i(\omega) + W_0 r_i + 1(\omega)}{2}) \quad (23)$$

次に期待効用 Eu を求める。

$$u(Ce) = Eu(W_0\bar{r}(\omega))$$

$$= \int_{\omega} u(W_0R(\omega))dF(\omega)$$

$$= \sum P_i (\frac{u(W_0r(\omega)^i) + u(W_0r(\omega)^{i+1})}{2}) \quad (24)$$

期待効用の逆関数を取ることで、確実性等価 Ce を求める。

$$Ce = u^{-1}(Eu(W_0\bar{r}(\omega))) \quad (25)$$

リスクプレミアムを求めるには、定義より

$$W_0\bar{\rho}(\omega) = W_0\bar{r}(\omega) - u^{-1}(Eu(W_0\bar{r}(\omega))) \quad (26)$$

3. 結果と考察

地域全体での期待被害額とリスクプレミアムの和は、表 1 のようになった。各流域のリスクプレミアムの空間分布は図-10,11,12 に表す。赤いメッシュは負のリスクプレミアムを持ち、青いメッシュは濃くなるほど金額が高くなる。

負の値が生じるのは、河川整備により、氾濫域に変化が生じ、河川整備前より侵水深が高くなったメッシュであると考えられる。つまり、防災投資によって便益がマイナスとなる家計が存在する。しかし、リスクファイナンスとして、税金を回収することとすると、防災投資によって便益が得られていた家計も、負の便益を

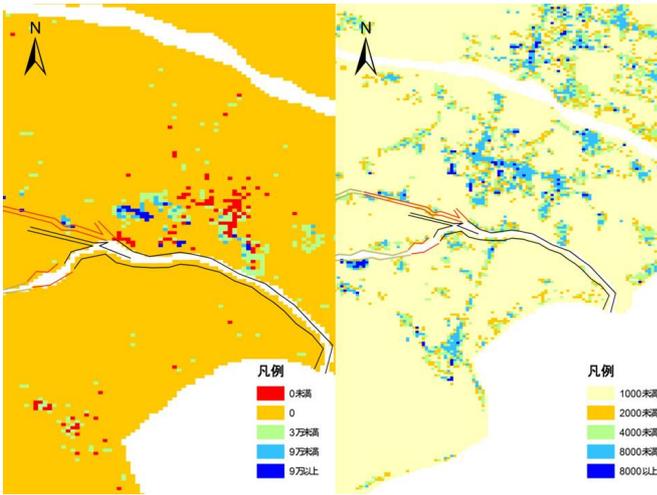


図-5 鴨川付近のリスクプレミアムの分布(左は、ファイナンスなし、右はファイナンスあり)

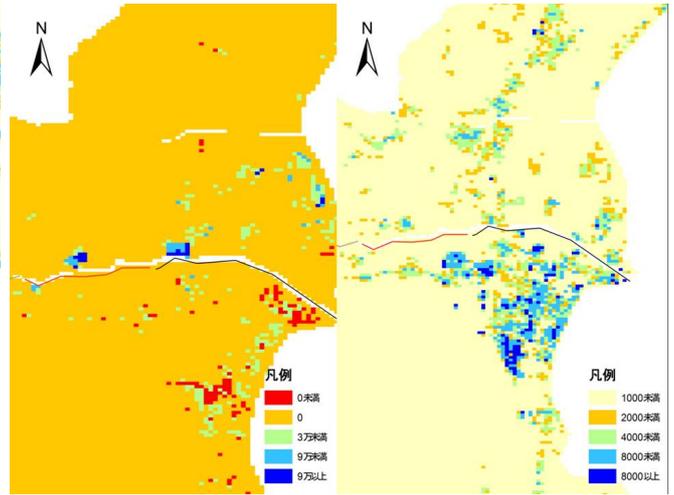


図-6 石田川川付近のリスクプレミアムの分布(左は、ファイナンスなし、右はファイナンスあり)

負っていた家計も、共にリスクを共有するので、すべての家計のリスクプレミアムは正となる。

表-1 リスクファイナンスをしない場合における各 case 推計結果(万円)

	case1	case2	case3
EL	6095	6784	5851
ρ	2508	2825	2439
$EL + \rho / EL$	1.411	1.416	1.417

表-2 リスクファイナンスをした場合における case1 のリスクプレミアムの変化(万円)

	case1	case1F
EL	6095	6095
ρ	2508	2540
$EL + \rho / EL$	1.411	1.417

計算結果の分布をみると、ファイナンスありのほうが空間的な相関性が高いことを読み取ることができる。また、ファイナンスなしでは、河川整備箇所付近のリスクプレミアムが高くなっている。

表2から読み取ることができることとして、リスクファイナンスを行うことで、リスクプレミアムが大きく変化すると、期待していたが、本ケースでは実際はとても少ないことが分かった。

これは、リスクファイナンスをしない場合での負のリスクプレミアム分が関わっているのではないかと考える。まだ、他地域での計算など検討が必要である。

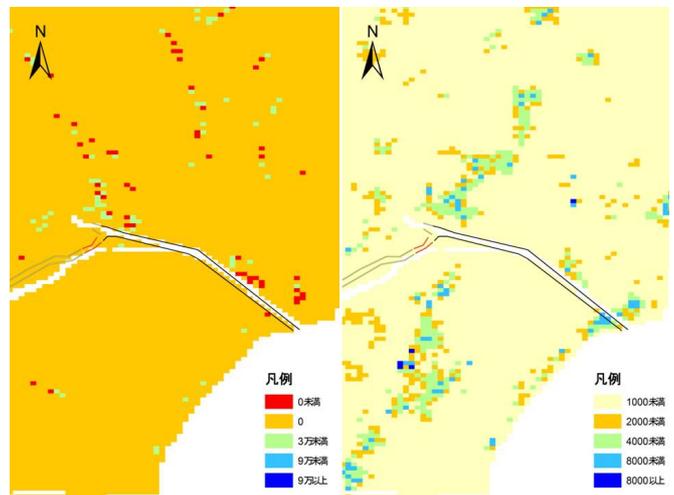


図-7 百瀬川付近のリスクプレミアムの分布(左は、ファイナンスなし、右はファイナンスあり)

結果自体を見ると1.4倍になっているので、リスクプレミアムを含める評価法を採用すると、各自治体における防災投資へのインセンティブが高まるのではないかと考えられる。

この結果は、想定していた結果と異なるものであり、なぜこのような結果になったかを十分に検討する必要がある。

4. 結語

滋賀県における湖西圏域において、異なる空間的相関性を有する場合についてリスクプレミアムの推計を行った。今後の課題として、湖西圏域以外の被害の空間的相関性が高い箇所での推計が必要であると考えら

れる。また、今回はリスクファイナンスとして、政府が全被害を補償後、税金を集めるという方式を取ったが、保険について、加入率等も含め検討する必要がある。

謝辞： 滋賀県の氾濫解析シミュレーションのデータを頂きました。関西広域連合本部事務局主査瀧健太郎様には、大変ご尽力頂きました。ここに深く感謝申し上げます。また、京都大学防災研究所の畑山満則准教授、横松宗太准教授には、多大なご助言、ご協力を頂きました。深くお礼申し上げます。

付録 I 計算過程

$\tilde{\rho}^i(0) = 0$. 両辺を k で微分して

$$\begin{aligned} 0 &= \int_{\Omega} W_i \epsilon(\omega) u'(W_i(\tilde{r}^i + k\epsilon(\omega))) dF(\omega) \\ &= -u'(W_i(\tilde{r}^i - \tilde{\rho}^i(k))) W_i(\tilde{\rho}^i)'(k) \end{aligned} \quad (I.1)$$

$k = 0$ のとき、

$$0 = u'(W_i \tilde{r}^i) W_i(\tilde{\rho}^i)'(0) \quad (I.2)$$

よって $(\tilde{\rho}^i(0))' = 0$ 更に k で両辺を微分すると、

$$\begin{aligned} &\int_{\Omega} (W_i(\epsilon(\omega)))^2 u''(W_i(\tilde{r}^i + k\epsilon(\omega))) dF(\omega) \\ &= -W_i(\tilde{\rho}^i)'(k) u'(W_i(\tilde{r}^i + \tilde{\rho}^i(k))) \\ &\quad + (W_i(\tilde{\rho}^i)'(k))^2 u''(W_i(\tilde{r}^i + \tilde{\rho}^i(k))) \end{aligned} \quad (I.3)$$

$k = 0$ のとき、

$$\begin{aligned} &\int_{\Omega} (W_i(\epsilon(\omega)))^2 dF(\omega) u''(W_i \tilde{r}^i) \\ &= -W_i(\tilde{\rho}^i)'(0) u'(W_i \tilde{r}^i) \end{aligned} \quad (I.4)$$

参考文献

- 1) 多々納裕一：不確実性下のプロジェクト評価：課題と展望，土木計画学研究・論文集，No.15, pp.19-30, 1998
- 2) 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置いて，土木計画学研究・論文集，No.14, pp.17-34, 1997
- 3) Arrow, K.J. and Lind, R.C.: Uncertainty and the evaluations of public investments, American Economic Review, Vol.53, pp.941-973, 1970
- 4) 横松宗太：カタストロフリスクと経済評価，防災の経済分析 リスクマネジメントの施策と評価，第2章, pp.22-48, 勁草書房, 2000
- 5) 小林潔司，横松宗太：カタストロフ・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
- 6) 岩田啓孝：被害の空間的相関性が防災投資の便益評価に与える影響に関する考察：京都大学工学部地球工学卒業論文，2010
- 7) 国土交通省河川局：治水経済調査マニュアル(案)，2005
- 8) 酒井泰弘：不確実性の経済学，有斐閣経済学叢書 1，1982
- 9) Christian Gollier: The Economics of Risk and Time, The MIT Press, 2001
- 10) 劉暉：地価データを用いた水害リスクプレミアムの推計に関する方法論的研究，京都大学大学院情報学研究科社会情報学専攻修士論文，2010
- 11) 瀧健太郎，松田哲裕，鶴飼恵美，藤井悟，景山健彦，江頭進治：中小河川群の氾濫域における超過洪水を考慮した減

災対策の評価方法に関する研究，河川技術論文集，第15巻, 2009

- 12) 瀧健太郎，松田哲裕，鶴飼恵美，小笠原豊，西嶋照毅，中谷惠剛：中小河川群の氾濫域における減災型治水システムの設計，河川技術論文集，第16巻, 2010
- 13) 滋賀県：設計便覧(案) 河川編, 2001
- 14) 栗城稔，末次忠司，海野仁，田中義人，小林裕明：氾濫シミュレーション・マニュアル(案)，土木研究会資料，第3400号, 1996