【土木計画学研究・論文集　No.17　2000年9月】

リスク認知のバイアスが災害危険度情報の提供効果に与える影響に関する分析*

Information Provision and Risk Perception on Fatal Disaster Risk in a Monocentric City *

山口 健太郎**，多々納 裕一***，岡田 憲夫 ***

By Kentaro YAMAGUCHI **, Hirokazu TATANO *** and Norio OKADA ***

1. はじめに

自然災害による被害の程度は、災害危険度に依存して異なったものとなる。したがって、災害に対して安全な都市の形成のためには、ハード的な防災対策とともに、災害危険度の高い地域から事前に人命・資産を分散させておくようなソフト的な防災対策を講じておくことが有効であると考えられる。

防災上望ましい土地利用を実現するためには、個々の経済主体が立地選択時に、都市内の土地の位置と災害危険度に関する知識を持っていることが重要となる。近年以上のような観点から、ハザードマップ等に代表される、都市内における災害危険度の分布を示す情報（以下「災害危険度情報」と呼ぶ）を作成・提供することの必要性が高まっている。経済主体は、災害危険度の空間的分布に関する信念に基づいて、立地選択を行う。この際、災害危険度情報の提供は、各主体の信念の更新を促し、結果として立地選択を誘導する働きを持つ。このように災害危険度情報の提供は、その土地の災害危険度に応じた経済活動や施設の再配置を促す効果を潜在的に有しているのである。したがって、災害危険度情報の提供は防災上安全な都市を形成する上で、極めて本質的な施策であると考えられる。

以上のような観点から、これまでにも災害危険度情報の提供効果は理論的に分析されており、例えばBernknopf *et al.*[1)]や山口ら[2)]は、多くの場合においてその提供は、より望ましい土地利用を実現するという結論を導いている。

しかしながら、災害危険度情報の提供が必ずしも情報の受け取り手の正確なリスク認知を導くとは限らないということも指摘されている[3)4)5)6)]。情報が提示する客観的なリスク水準と、家計がその情報を利用することによって主観的に認知するリスク水準とのかい離を、リスク認知のバイアスと呼ぶ。このリスク認知のバイアスは、各主体の立地選択行動に影響し、災害危険度情報の提供効果を不十分なものとしてしまうことが予想される。

以上のような観点から本研究では、災害リスクに関する認知バイアスが、災害危険度情報の提供下における都市の土地利用状態や、各主体の厚生に与える影響について、理論的な分析を行う。さらにその結果を踏まえ、家計が災害リスク認知に関してバイアスを有する場合に、最適な土地利用状態を実現させるための施策について、理論的な検討を行う。

2. 分析の枠組み

(1) 災害危険度情報の提供下における家計の居住地選択行動

本研究では、災害危険度情報の提供下における家計の居住地選択行動を規定する必要性がある。

災害危険度情報が利用可能である場合、家計は土地の位置と災害危険度の関係を認知した上で居住地選択を行うことができる。この場合、家計が形成する期待効用は、消費パターンのみならず、土地の災害危険度にも依存して決定される。

しかしながら実際には、災害危険度情報の提供が、家計の正確なリスク認知を導くとは限らないであろう。情報が利用可能であっても、家計にリスク認知のバイアスが存在する場合には、情報が提示する客観的な災害危険度と、家計が主観的に認知する土地の災害危険度とは一致しない。そのため、リスク認知のバイアスは、家計の居住地選択行動に影響し、結果的に土地利用の均衡状態に影響を及ぼすことが予想される。そのため本研究では、家計が情報を利用することによって認知する主観的なリスク水準を規定する必要がある。

Viscussiは、Bayesの学習過程モデルに基づき、個人が情報を利用することによって認知する主観的なリスク水準は、その個人が情報を利用する以前に認知していたリスク水準と、情報が提示するリスク水準との線形結合として表現できることを示した[5)]。本研究でもViscussiと同様の視点に立ち、家計は提供された情報をもとに、情報提供前の災害危険度に関する信念を更新するものとする。本研究における家計の居住地選択行動は、以上のようなリスク認知の下での、予算制約にしたがった期待効用の最大化行動として記述することとする。

また通常、不確実性下における家計の居住地選択行動

*キーワーズ：防災計画，住宅立地，土地利用，計画情報
**正員 (株) 三菱総合研究所 公共計画部
(〒100-8141 東京都千代田区大手町 2-3-6，Tel 03-3277-0712，Fax 03-3277-3460)
***正員 工博 京都大学防災研究所
(〒611-0011 宇治市五ケ庄，Tel 0774-38-4035，Fax 0774-38-4044)

は、家計が将来にわたって得ることのできる（純）所得が不確実である下での期待効用最大化行動として記述される[7)8)9)]。しかしながら、災害時において受け取ることのできる所得と、平常時において受け取ることのできる所得とに関する効用を考慮することによって、災害リスク下の家計の居住地選択行動を分析することは適当であるとは言い難い。むしろ、このような想定のもとで家計が得ることのできる効用は状況依存的であろう[10)]。そこで本研究における家計は、都市の状況（災害時の状態または平常時の状態）に依存したアメニティ水準に関する効用を享受すると仮定する。

(2) 情報提供の効率性評価の視点

不確実性下のプロジェクト評価を行う際には、プロジェクトの実施前後における期待効用の変化に基づいて便益が定義され、プロジェクトの効率性に関する判断が加えられる。ここで、本研究のように災害危険度情報に対する認知バイアスの問題を議論する際には、主観的なリスク認知に基づく効用水準（主観的効用水準）と、実際に家計が享受できる厚生水準（以下、「客観的厚生水準」と呼ぶ）とを区別することが必要となる。

家計の居住地選択行動は主観的なリスク認知に基づいて行われる。このため、結果として達成される均衡効用水準や地代の空間分布もまたこの主観的なリスク認知に依存する。均衡においては、個々の家計の効用水準は均衡効用水準に等しいが、これはあくまで家計の主観的な認知としてそうであるということに過ぎない。個々の家計が等しい効用水準にあると認知していても、災害危険度情報が提示するリスク水準（以下、「客観的リスク水準」と呼ぶ）と、その情報を利用して家計が主観的に認知するリスク水準とが異なる場合には、地区ごとの客観的厚生水準は異なる。

著者らは、災害危険度情報の提供効果を分析するために客観的厚生水準を用いた評価の必要性を指摘してきた[2)]。いま、災害危険度に関するリスク認知は等しいが、客観的リスクの異なる２つの家計を想定しよう。立地均衡において、各々の家計は主観的には等しい厚生水準を享受していることとなる。しかしながら、実際には客観的リスクが高い家計の厚生は客観的リスクが低い家計の厚生よりも低い厚生水準を享受しているはずである。したがって、規範的に災害危険度情報提供の効果を論じる場合には、主観的な効用水準を直接用いるよりも、個々の家計の客観的なリスクを反映した厚生水準を用いることが適当であろう。本研究では著者らが提案してきた客観的厚生水準の評価法を、リスク認知のバイアスがある場合にも適用可能なように修正し、これを家計の厚生の評価指標として用いることとする。

(3) 均衡土地利用と最適土地利用

災害危険度情報の提供が最も効率的となるのは、情報の提供によって、災害リスク下の都市における最適な土地利用状態が達成されるときである。しかしながら、災害危険度情報の提供によって導かれる土地利用の均衡状態は、必ずしも最適な土地利用状態であるとは限らない。したがって災害危険度情報提供の効率性を議論するためには、災害リスク下の都市における最適な土地利用状態を規定し、均衡土地利用状態とのかい離を明らかにする必要がある。

都市経済学の分野では、最適土地利用状態を、社会的厚生関数を最大化するような土地利用状態であるとして規定することが多かった[13)14)15)]。しかし、このような社会的厚生水準の最大化による最適土地利用の規定は、都市内の各家計に対して立地地点に応じて異なった厚生水準を割り当ててしまい、結果的に等質な家計を不平等に取り扱うことを根拠に、最適土地利用を規定する最も相応しい方法ではないとされる[16)17)]。

このような問題を解決するためには、最適土地利用状態を都市の余剰最大化問題（Herbert=Stevens モデル[18)]）の解として規定することが有効であるとされる。このモデルは、各家計に同等の目標厚生水準を保証しながら都市の余剰を最大化する問題として記述される。

本研究では、最適土地利用状態をこの Herbert = Stevens モデルに基づいて規定する。すなわち、災害リスクに直面した都市の最適な土地利用状態は、都市の期待余剰を最大化する問題の解として規定することとする。ここで目標とする厚生水準は、前節で述べた客観的な厚生水準を用いることにする。これは先述したように、主観的効用水準の均等化を図っても、実際に家計が享受できる厚生の水準は異なるためである。客観的な厚生水準を用いることによって、はじめて等質な家計を平等に扱うことが可能となるのである。

本研究では、以上のように規定される最適土地利用状態を導出することにより、災害リスクに直面している都市にいかなる政策を導入すれば、競争的土地市場メカニズムを通じて最適土地利用状態が実現可能であるかということについて考察する。

3. リスク認知のバイアスを考慮した災害危険度情報の提供効果分析

(1) モデル化の前提条件

本研究では幅hの線形都市を想定し、CBD（中心商業地区）を挟んでS地区、F地区という災害に対する脆弱性が異なる2つの地区が存在するものとする（図-1）。家計が災害時に実際に被災するか否かは、地区ごとによって異なる災害に対する脆弱性に依存するものとする。ここで、S地区は災害に対して強い地域であり、S地区内に居住する家計は、災害時にも実際に被災する可能性は無いものとする。一方、F地区は災害に対して脆弱な地域であり、F地区内に居住する家計は、地区内のどこに居住しようと、

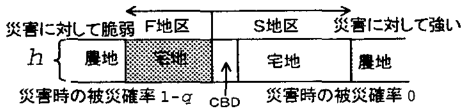

図-1:想定する都市の形状

災害時において $1-q$ の確率で被災するものとする[1]。

また本研究では、閉鎖都市モデルを用いて分析を行う。すなわち、家計数 N は一定であり、家計は外部都市との移動が不可能であると仮定する。さらに土地の所有形態は不在地主モデルを想定する。都市内に居住するすべての家計は、十分密に発達した交通機関によって都市中心部に位置するCBDに通勤するものとする。また本研究は、住宅系の土地利用を対象とするのでCBDの被災は想定しないものとする。さらに家計は均質な選好を有し、単位期間に同一額の(名目)所得を得ているものとする。

(2) 居住地選択行動モデル

a) 災害危険度情報の提供と家計のリスク認知

情報が利用不可能な場合、家計は都市内の土地の異質性を考慮することができない。したがって家計は、都市内の地点においても、災害時には $1-\alpha$ の確率で被災するという予測を行うものとする。

いま都市内の土地の位置と災害危険度との関係を示す情報が提供されたとし、情報を利用する家計の主観的なリスク認知を、ViscussiのProspective Reference Theory Model[5]にしたがって定式化する。このモデルでは、情報を利用した家計が、災害時に実際に被害を受けると主観的に予測する被災確率は、家計が情報を利用する以前に認知していた主観的な被災確率 $1-\alpha$ と、情報が提示する客観的な被災確率0または$1-q$との線形結合として表現することにする。τ を家計の情報に対する主観的な信頼度とすると、家計が災害時にも「被災せずに済む」と予測する条件付き主観確率 $Q_\delta(\tau;\alpha,q)$ は、以下のように定義できる。

$$Q_\delta(\tau;\alpha,q)=\begin{cases}1-\frac{(1-\alpha)+\tau\cdot 0}{1+\tau}=\frac{\alpha+\tau}{1+\tau} & (\delta=S)\\ 1-\frac{(1-\alpha)+\tau(1-q)}{1+\tau}=\frac{\alpha+\tau q}{1+\tau} & (\delta=F)\end{cases} \tag{1}$$

ここで下付き添え字 δ は土地が $\delta\ (=S\ (F))$ 地区内に位置することを示す。式(1)はBayes学習によってリスク認知が更新されることを意味しているが、その導出に着いては付録Aに示す。

$\tau=0$ のとき、すなわち家計が情報を全く信頼しない場合、$Q_\delta(0;\alpha,q)=\alpha$ であり、この場合情報が提供されようとも家計は初期信念的なリスク認知を変更しようとはしない。またこれは、情報が利用不可能な場合に相当する。一方、家計が情報を完全に信頼する場合 ($\tau\to\infty$) には、$Q_S(\infty;\alpha,q)=1$、$Q_F(\infty;\alpha,q)=q$ となり、情報を利用した家計の主観的な認知リスクは客観的なリスク水準に一致する。したがって、リスク認知のバイアスは、客観的な被災確率0 ($1-q$) と、主観的な被災確率 $1-Q_S(\tau;\alpha,q)$ ($1-Q_F(\tau;\alpha,q)$) の差として表される。τ が0に近くなるほど(大きくなるほど)、リスク認知のバイアスの程度は大きくなる(小さくなる)と解釈できる。都市内における家計は、平常時にはアメニティ水準 e_0 を得ることができ、被災時にはアメニティ水準 e_1 を得ることができるものとする。ここで**2.(1)**でも述べたように、家計が得ることのできる効用水準は都市のアメニティ水準に関する状況依存的な関数として定義する。したがって、家計は土地を s、合成財を z 消費することによって、平常時は $u(s,z,e_0)$ (>0) なる効用を得ることができるものとするが、災害時は $u(s,z,e_1)$ $(<u(s,z,e_0))$ なる効用を甘受しなければならないものとする。ここで、災害による被害は人命を脅かすほど甚大なものであるものとし、$u(s,z,e_1)=0$ とする。

いま、単位期間内にそのような災害が生起する確率 p (以下「災害生起確率」と呼ぶ) はすべての家計にとって共有知識であるとする。このとき、情報に対する主観的な信頼度が τ である家計が、情報提供下における地区 δ、CBDからの距離 r において形成する主観的期待効用 $EU_\delta^\tau(s,z,r)$ は、以下のように与えられる。

$$EU_S^\tau(s,z,r,\tau)=\big(1-p+Q_S(\tau;\alpha,q)p\big)u(s,z,e_0) \tag{2}$$

$$EU_F^\tau(s,z,r,\tau)=\big(1-p+Q_F(\tau;\alpha,q)p\big)u(s,z,e_0) \tag{3}$$

b) 家計の居住地選択行動

家計は地区 δ において期待効用を最大化するように居住地選択行動を行うものとする。

$$\begin{aligned}&V_\delta^\tau(R_\delta^\tau(r),y-tr)\\&=\{\max_{s,z}EU_\delta^\tau(s,z,r,\tau)\mid R_\delta^\tau(r)s+z+tr=y\}\end{aligned} \tag{4}$$

ここで $R_\delta^\tau(r)$ は、家計の情報に対する主観的な信頼度が τ である場合の位置 (δ,r) における地代である。また t は単位距離・単位期間あたりの通勤費、y は単位期間あたりの所得である。式(4)の1階条件を解けば、家計の情報に対する主観的な信頼度が τ である場合の位置 (δ,r) における土地・合成財の需要 $(s_\delta^\tau,z_\delta^\tau)$ は、τ,δ に依存しない関数 $\hat{s}(\cdot),\hat{z}(\cdot)$ を用いて以下のように表すことができる。

$$s_\delta^\tau=\hat{s}(R_\delta^\tau(r),Y),\ z_\delta^\tau=\hat{z}(R_\delta^\tau(r),Y) \tag{5}$$

ここで $Y\equiv y-tr$ である。位置 (δ,r) に居住する家計の主観的な厚生水準(均衡効用水準)は式間接効用値 $V_\delta^\tau(R_\delta^\tau(r),Y)$ として与えられる。また家計の居住位置の選択は $\max_{\delta,r}V_\delta^\tau(R_\delta^\tau(r),Y)$ の解 $(\delta^*,r_{\delta*}^\tau)$ として与えられる。

[1]本研究の論点は、家計のリスク認知バイアスが、災害危険度情報提供の効果に与える影響を構造的に把握することである。そのためには、家計のリスク認知バイアスをモデル上に明示的に反映させること以外は、可能な限り簡略な分析の枠組みを想定しなければならない。そうすることにより、家計のリスク認知バイアスと災害危険度情報の提供効果との関係を、より際立たせた形で分析を行うことが可能となるのである。したがって本研究では、都市の形状を線形、また被災リスクを離散的な被災確率で与えるという単純な想定の下で分析を行った。無論、都市形状を特定化しない、または被災リスクの異なる場所が混在する場合を想定する等、より現実に即した想定の下で分析することも可能である。例えばFrame[9]は、都市内に混在する被災リスクを、位置によって異なる(被災)確率分布の形で外生的に与えることによって分析を行っている。しかしながら、このような想定の複雑化は、本研究で得られる結論の本質に影響を及ぼすものではない。

(3) 土地利用均衡モデル

以下では都市経済的なアプローチを用いて、均衡土地利用状態の記述を行う。均衡効用水準 u を所与とすれば、都市内の地代 $\Psi^\tau_\delta(r,u;p,q,\alpha,\tau)$ は、次式を満たすように決定される。

$$\Psi^\tau_\delta(r,u;p,q,\alpha,\tau)=\max_{z,s}\left\{\frac{Y-z}{s}\,\middle|\,EU^\tau_\delta(s,z,r,\tau)=u\right\} \quad (6)$$

都市内の土地は最も高い地代を付ける活動に利用されるものとすれば、均衡における都市内の地代 $R^\tau_\delta(r)$ は、農業地代を R_A とすると以下のように表される。

$$R^\tau_\delta(r)=\max\{\Psi^\tau_\delta(r,u^\tau;p,q,\alpha,\tau),R_A\} \quad (7)$$

ここで均衡効用水準 u^τ は関数 $V(R^\tau_\delta(r),Y)$ を用いて、以下のように表現できる。

$$u^\tau=V^\tau_S(\Psi^\tau_S(r,u^\tau;p,q,\alpha,\tau),Y) \quad (8)$$
$$u^\tau=V^\tau_F(\Psi^\tau_F(r,u^\tau;p,q,\alpha,\tau),Y) \quad (9)$$

ここで式(8)(9)は、間接効用関数 $v(R^\tau_\delta(r),Y)\equiv V^\tau_\delta(\Psi^\tau_\delta(r,u^\tau;p,q,\alpha,\tau),Y)/(1-p+Q_\delta(\tau;\alpha,q)p)$ を用いて、以下のように表現できる。

$$u^\tau=(1-p+Q_S(\tau;\alpha,q)p)v(\Psi^\tau_S(r,u^\tau;p,q,\alpha,\tau),Y) \quad (10)$$
$$u^\tau=(1-p+Q_F(\tau;\alpha,q)p)v(\Psi^\tau_F(r,u^\tau;p,q,\alpha,\tau),Y) \quad (11)$$

式(10)(11)を$\Psi^\tau_\delta(r,u^\tau;p,q,\alpha,\tau)$について解けば、均衡地代はソローの付け値関数[17] $\psi(u,Y)$ を用いて以下のように表現できる。

$$\Psi^\tau_S(r,u^\tau;p,q,\alpha,\tau)=\psi\left(\frac{u^\tau}{1-p+Q_S(\tau;\alpha,q)p},Y\right) \quad (12)$$
$$\Psi^\tau_F(r,u^\tau;p,q,\alpha,\tau)=\psi\left(\frac{u^\tau}{1-p+Q_F(\tau;\alpha,q)p},Y\right) \quad (13)$$

また地区 δ における都市境界距離を $\bar{r}^\tau_\delta$ とすると、

$$\Psi^\tau_S(\bar{r}^\tau_S,u^\tau;p,q,\alpha,\tau)=\Psi^\tau_F(\bar{r}^\tau_F,u^\tau;p,q,\alpha,\tau)=R_A \quad (14)$$

が成り立つ。ただし $\bar{r}^\tau_\delta\geq 0$ である。いま都市の形状は線形を仮定しているから、単位距離・都市の幅 h 当たりの家計数は $h/\hat{s}(\Psi^\tau_\delta(r,u^\tau),Y)$ となる。すなわち均衡土地利用状態における都市内の全家計数は以下のように表すことができる。

$$N=\sum_{\delta=S,F}\int_0^{\bar{r}^\tau_\delta}\{h/s(\Psi^\tau_\delta(r,u^\tau;p,q,\alpha,\tau),Y)\}dr \quad (15)$$

これらを解くことで均衡効用水準 u^τ、都市境界距離 $\bar{r}^\tau_\delta$、均衡付け値 $\Psi^\tau_\delta(r,u^\tau;p,q,\alpha,\tau)$ が内生的に決定される。

(4) 立地均衡に関する比較静学分析

ここでは、災害危険度に関する情報提供と、その情報に対する家計の主観的な情報信頼度が土地市場に及ぼす影響に関して考察を行う。まず、情報提供下における均衡値代について、以下の補題が成立する。

補題 1 任意の r,u^τ,p,q,α,τ に関して

$$\Psi^\tau_S(r,u^\tau;p,q,\alpha,\tau)\geq\Psi^\tau_F(r,u^\tau;p,q,\alpha,\tau) \quad (16)$$

となる。ただし等号成立は $1-p+\frac{\alpha+\tau}{1+\tau}p=1-p+\frac{\alpha+\tau q}{1+\tau}p$ のときである。

（証明） $1-p+\frac{\alpha+\tau}{1+\tau}p\geq 1-p+\frac{\alpha+\tau q}{1+\tau}p$ と式(10)(11)、および $\partial v(R(r),Y)/\partial R(r)<0$ であるから、$\Psi^\tau_S(r,u^\tau;p,q,\alpha,\tau)\geq\Psi^\tau_F(r,u^\tau;p,q,\alpha,\tau)$ である。（証明終わり）

これは情報提供下において、CBDから等距離のS地区とF地区の均衡地代を比較すれば、S地区の均衡地代の方が高くなることを示している。また等号成立は $\tau p(1-q)=0$ のときである。これは、1) 家計が情報を全く信頼しない場合、2) 災害が生起する可能性がない場合、3) 災害が生起しても実際に被災する可能性がない場合のいずれかであり、このとき両地区の地代分布は同一になる。

次に、地区ごとの均衡地代と家計の情報に対する主観的信頼度に関して以下の補題を得ることができる。

補題 2

$$\frac{d\Psi^\tau_S(r,u^\tau;p,q,\alpha,\tau)}{d\tau}\geq 0,\ \frac{d\Psi^\tau_F(r,u^\tau;p,q,\alpha,\tau)}{d\tau}\leq 0 \quad (17)$$

ただし等号成立は $p(1-q)(q-\alpha)=0$ のときである。

（証明） 均衡土地利用状態において、均衡効用水準 u^τ は距離 r に関して一定でなければならない。式(4)を r に関して微分すると以下の関係が得られる。

$$\frac{\partial V^\tau_\delta(\Psi^\tau_\delta,Y)}{\partial R^\tau_\delta}\frac{\partial\Psi^\tau_\delta(r,u^\tau)}{\partial r}-\frac{\partial V^\tau_\delta(\Psi^\tau_\delta,Y)}{\partial Y}t=0 \quad (18)$$

ここでRoyの恒等式より

$$-\frac{\partial V^\tau_\delta(\Psi^\tau_\delta,Y)/\partial R^\tau_\delta}{\partial V^\tau_\delta(\Psi^\tau_\delta,Y)/\partial Y}=s(\Psi^\tau_\delta(r,u^\tau),Y) \quad (19)$$

なる関係が得られるから、式(18)(19)より

$$\frac{1}{s(\Psi^\tau_\delta(r,u^\tau),Y)}=-\frac{\partial\Psi^\tau_\delta(r,u^\tau)}{\partial r}\frac{1}{t} \quad (20)$$

となる。式(15)に(20)を代入すると、都市内の全家計数は以下のように表すことができる。

$$N=\frac{h}{t}\{\Psi^\tau_S(0,u^\tau;p,q,\alpha,\tau)+\Psi^\tau_F(0,u^\tau;p,q,\alpha,\tau)-2R_A\} \quad (21)$$

閉鎖都市を考慮しているので、式(21)に関して以下が成立する。

$$\begin{aligned}\frac{dN}{d\tau}&=\frac{h}{t}\left\{\frac{d\Psi^\tau_S(0,u^\tau;p,q,\alpha,\tau)}{d\tau}+\frac{d\Psi^\tau_F(0,u^\tau;p,q,\alpha,\tau)}{d\tau}\right\}\\&=\frac{h}{t}\left\{\frac{\partial\psi(\frac{u^\tau}{1-p+\frac{\alpha+\tau}{1+\tau}p},y)}{\partial u}\frac{\partial}{\partial\tau}\left(\frac{u^\tau}{1-p+\frac{\alpha+\tau}{1+\tau}p}\right)\right.\\&\left.+\frac{\partial\psi(\frac{u^\tau}{1-p+\frac{\alpha+\tau q}{1+\tau}p},y)}{\partial u}\frac{\partial}{\partial\tau}\left(\frac{u^\tau}{1-p+\frac{\alpha+\tau q}{1+\tau}p}\right)\right\}\equiv 0\end{aligned} \quad (22)$$

$p(1-q)(q-\alpha)\neq 0, 0<\alpha<1$ という一般的なケースにおいて、式(22)に関して付録Bより以下が成立する。

$$\frac{\partial}{\partial\tau}\left(\frac{u^\tau}{1-p+\frac{\alpha+\tau}{1+\tau}p}\right)<0,\ \frac{\partial}{\partial\tau}\left(\frac{u^\tau}{1-p+\frac{\alpha+\tau q}{1+\tau}p}\right)>0 \quad (23)$$

一般に $\partial\psi(u,Y)/\partial u<0$ であることが知られているから[17]、以下が成り立つ。

$$\frac{d\Psi^\tau_S(r,u^\tau;p,q,\alpha,\tau)}{d\tau}=\frac{\partial\psi(\frac{u^\tau}{1-p+\frac{\alpha+\tau}{1+\tau}p},Y)}{\partial u}\frac{\partial}{\partial\tau}\left(\frac{u^\tau}{1-p+\frac{\alpha+\tau}{1+\tau}p}\right)>0 \quad (24)$$

$$\frac{d\Psi^\tau_F(r,u^\tau;p,q,\alpha,\tau)}{d\tau}=\frac{\partial\psi(\frac{u^\tau}{1-p+\frac{\alpha+\tau q}{1+\tau}p},Y)}{\partial u}\frac{\partial}{\partial\tau}\left(\frac{u^\tau}{1-p+\frac{\alpha+\tau q}{1+\tau}p}\right)<0 \quad (25)$$

また $p(1-q)(q-\alpha)=0$ のとき、情報提供は家計のリ

スク認知の形成に影響を与えない。したがってこのとき、均衡地代は τ に関して変化しない。　　　（証明終わり）

これは、情報提供下におけるS地区の均衡値代は家計の情報に対する主観的信頼度の増加に伴って増加し、F地区の均衡値代は家計の情報に対する主観的信頼度 τ の増加に伴って減少することを示す。また $p(1-q)(q-\alpha) \neq 0, 0<\alpha<1$ 、すなわち災害が生起しない場合、災害時にも実際に被災する可能性がない場合、客観的なリスク認知と初期信念的なリスク認知との間にかい離が存在しないいずれかの場合、均衡地代は τ に関して変化しない。

ここで、$\tau=0$ の場合の均衡地代 $\Psi_\delta^\tau(r,u^\tau;p,q,\alpha,0) \equiv \Psi^0(r,u^0)$ であるから、補題1、補題2より以下の命題を得る。

命題 1　**不在地主所有の下での閉鎖都市モデルを想定した場合、災害危険度情報の提供下における都市内の均衡地代は、S地区では家計の情報に対する主観的信頼度 τ の上昇に伴って増加し、F地区では減少する。家計が情報を全く信頼しない場合（$\tau=0$）、均衡地代の分布はS・F両地区において均一である。したがって、任意の r,p,q,τ における均衡付け値の大小関係は以下のようになる。**

$$\Psi_F^\tau(r,u^\tau;p,q,\alpha,\tau) \leq \Psi^0(r,u^0) \leq \Psi_S^\tau(r,u^\tau;p,q,\alpha,\tau) \quad (26)$$

(5) 情報提供の効率性評価モデル

a) 客観的厚生水準

以下では情報提供が家計にもたらす便益を規定するために、情報提供下における家計の客観的な厚生水準の規定を行う。情報提供下のS地区における家計は確率1で $u(s_S^\tau, z_S^\tau, e_0)$ なる客観的厚生水準を得ることができる。またF地区の家計は、$(1-p+pq)$ の確率で $u(s_F^\tau, z_F^\tau, e_0)$ なる客観的厚生水準を得ることができる。したがって、式(10),(11)を参照することにより、間接効用関数 $v(R(r),Y)$ を用いて、1家計あたりの客観的な厚生水準 w_δ^τ を以下のように規定することができる。

$$w_\delta^\tau(\Psi_\delta^\tau(r,u^\tau;p,q,\alpha,\tau),Y) = \begin{cases} v(\Psi_S^\tau(r,u^\tau;p,q,\alpha,\tau),Y) & (\delta=S) \\ (1-p+pq)v(\Psi_F^\tau(r,u^\tau;p,q,\alpha,\tau),Y) & (\delta=F) \end{cases} \quad (27)$$

ここで式(27)に注目すると以下が成立する。

$$w_S^\tau(\Psi_S^\tau(r,u^\tau;p,q,\alpha,0),Y) \geq w_F^\tau(\Psi_F^\tau(r,u^\tau;p,q,\alpha,0),Y) \quad (28)$$

また $\tau \to \infty$ のとき、式(10)(11)より、

$$w_S^\tau(\Psi_S^\tau(r,u^\tau;p,q,\alpha,\tau),Y)|_{\tau\to\infty} = w_F^\tau(\Psi_F^\tau(r,u^\tau;p,q,\alpha,\tau),Y)|_{\tau\to\infty} = u^\tau|_{\tau\to\infty} \quad (29)$$

となり、両地区の客観的厚生水準は等しくなる。一般に $\partial v(R(r),Y)/\partial R(r) < 0$ であることが知られているから [17]、式(24)(25)(27)より以下が成立する。

$$\frac{dw_S^\tau}{d\tau} = \frac{\partial v(\Psi_S^\tau(r,u^\tau;p,q,\alpha,\tau),Y)}{\partial R(r)} \frac{\partial \Psi_S^\tau(r,u^\tau;p,q,\alpha,\tau)}{\partial \tau} < 0 \quad (30)$$

$$\frac{dw_F^\tau}{d\tau} = \frac{\partial v(\Psi_F^\tau(r,u^\tau;p,q,\alpha,\tau),Y)}{\partial R(r)} \frac{\partial \Psi_F^\tau(r,u^\tau;p,q,\alpha,\tau)}{\partial \tau} > 0 \quad (31)$$

以上を取りまとめると、以下の命題を得ることができる。

命題 2　**家計にリスク認知のバイアスが存在する場合、均衡土地利用状態における1家計あたりの客観的な厚生水準には地区ごとのかい離が見られ、F地区に比してS地区の客観的厚生水準の方が高くなる。また、客観的厚生水準のかい離は 家計の情報に対する主観的な信頼度の増加によって平準化される傾向にあり、家計が情報を完全に信頼する場合、両地区の客観的厚生水準は等しくなる。**

b) 帰着便益

以下では災害危険度情報の提供が各主体にもたらす便益を計量化するための指標を定義する。

等価的オプションプライス (OP_δ^τ)

情報提供が家計にもたらす便益を等価的オプションプライス OP_δ^τ で計量する。家計にリスク認知のバイアスが存在する場合の等価的オプションプライスは、情報提供前の土地利用状況において、情報提供後の客観的厚生水準を達成するために必要な所得の増加量として規定できる。

$$w_\delta^\tau(\Psi^0(r,u^0), Y+OP_\delta^\tau) = w_\delta^\tau(\Psi_\delta^\tau(r,u^\tau;p,q,\alpha,\tau),Y) \quad (32)$$

いま、情報提供下のS地区において家計が得ることのできる客観的厚生水準と、ゼロ情報下のS地区において得ることができる客観的厚生水準の差 dw_S^τ について、$\Psi_S^\tau(r,u^\tau;p,q,\alpha,\tau) \geq \Psi^0(r,u^0)$ であることより、以下の関係が成り立つ。

$$dw_S^\tau = w_S^\tau(\Psi_S^\tau(r,u^\tau;p,q,\alpha,\tau),Y) - w_S^\tau(\Psi^0(r,u^0),Y) = v(\Psi_S^\tau(r,u^\tau;p,q,\alpha,\tau),Y) - v(\Psi^0(r,u^0),Y) \leq 0 \quad (33)$$

等価的オプションプライス OP_S^τ は、$dw_S^\tau=0$ を満たす間接効用値 $v(\Psi^0(r,u^0),Y+dY_S^\tau)$ の dY_S^τ として与えられ、$v(R(r),Y)$ は Y に関して増加することが知られている [17] から、

$$dY_S^\tau(r;p,q,\alpha,\tau)|_{dw_S^\tau=0} = OP_S^\tau(r;p,q,\alpha,\tau) \leq 0 \quad (34)$$

となることがわかる。同様に、F地区に対する等価的オプションプライス OP_F に関して以下が成立する。

$$OP_F^\tau(r;p,q,\alpha,\tau) \geq 0 \quad (35)$$

以上より次の命題を得る。

命題 3　**災害危険度情報の提供は、S地区の家計には非正、F地区の家計には非負の便益をもたらす。**

以上により定義される等価的オプションプライスの社会的集計値 SOP^τ は、ゼロ情報下における都市の幅 h 、単位距離当たりに居住する家計数が $h/s(\Psi^0(r,u^0),Y)$ であることから以下のように規定できる。

$$SOP = \sum_{\delta=S,F} h \int_0^{\bar{r}_\delta^\tau|_{\tau=0}} \frac{OP_\delta^\tau(r;p,q,\alpha,\tau)}{s(\Psi^0(r,u^0),Y)} dr \quad (36)$$

総差額地代 (TDR^τ)

不在地主の厚生は、情報提供による総差額地代の増分 $dTDR^\tau$ で計ることにする。

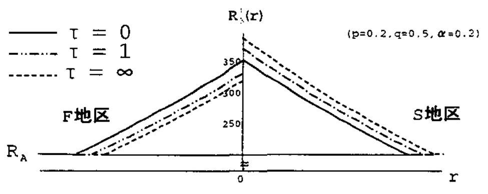

図-2：均衡値代分布と情報の主観的信頼度との関係

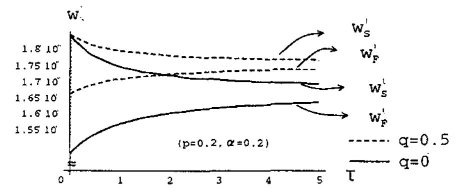

図-3：客観的な厚生水準と情報の主観的信頼度との関係

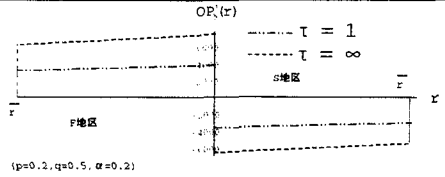

図-4：等価的オプションプライス

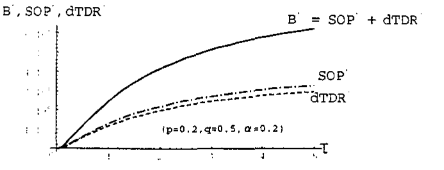

図-5：各帰着便益と情報の主観的信頼度との関係

$$dTDR^{\tau} = TDR^{\tau} - TDR^{\tau}|_{\tau=0} \tag{37}$$

$$\text{where } TDR^{\tau} = \sum_{\delta=S,F} \int_0^{\bar{r}_\delta^{\tau}} h\{\Psi_\delta^{\tau}(r, u^{\tau}; p, q, \alpha, \tau) - R_A\}\, dr$$

総便益 (B^{τ})

以上より災害危険度に関する情報提供によって生じる便益 B^{τ} を以下のように規定する。

$$B^{\tau} = dTDR^{\tau} + SOP^{\tau} \tag{38}$$

以上の式(36)〜(38)によって定義される値の各符号を解析的に決定することは困難である。したがってそれらの各符号に関しては、数値計算を行うことによって考察することにする。

(6) 数値計算事例

図-2〜5は、効用関数を $u(s,z,e_0) = s^a z^b (>0)$、$u(s,z,e_1) = 0$（コブ＝ダグラス型）に特定化し、家計の情報に対する主観的信頼度 τ が、競争的土地市場にどのような影響を与えるかということを、数値計算を行うことによって明らかにしたものである。ただし各パラメータは、$a = 0.5$、$b = 1$、$y = 20$万円/月、$R_A = 2.0 \times 10^8$円/km^2、$t = 300$円/km/月、$N = 100$万人、$h = 1$km としている。また、図-2、4、5では $p = 0.2, q = 0.5, \alpha = 0.2$ とし、図-3では $p = 0.2, \alpha = 0.2$ とした[2]。

図-2は、均衡地代 $R_\delta^{\tau}(r)$ が τ に関してどのように変化するかを示す。τ の増加にしたがってS（F）地区の地代は増加（減少）し、したがってS（F）地区の都市境界距離は τ の増加とともに増加（減少）することが確認できた。これは、リスク認知のバイアスが、情報提供の有する防災上望ましい土地利用状態への誘導効果を阻害していることを示す。

図-3は、1家計あたりの客観的な厚生水準 w_δ^{τ} と家計の情報に対する主観的な信頼度 τ との関係を示す。情報提供下における地区ごとの客観的厚生水準にはかい離が見られ、S地区の客観的な厚生水準はF地区のそれに比して高くなっている。しかしながら τ が増加するにしたがい、両地区の客観的厚生水準は平準化されていくことが確認できる。

図-4は、CBDからの距離 r と等価的オプションプライス OP_δ^{τ} の関係を示している。災害危険度に関する情報の提供によってもたらされる1家計当たりの客観的な厚生水準の変化を貨幣換算すると、S（F）地区では非正（非負）となる傾向が見て取れる。また、家計のリスク認知バイアスの程度の増加は、情報提供がS（F）地区の家計にもたらす非正（非負）の便益を大きく（小さく）していることがわかる。

図-5は家計の情報に対する主観的な信頼度 τ と各帰着便益との関係を示している。数値計算の結果、災害危険度情報の提供によってもたらされる各帰着便益はすべて非負となる傾向が見て取れ、またそれらは家計の情報に対する主観的な信頼度 τ に関して単調増加する傾向が見て取れる。逆に言えば、家計の情報に対する主観的信頼度が小さい、すなわち家計のリスク認知のバイアスが大きくなるほど、災害危険度情報の提供がもたらす総便益が小さくなる傾向にあることがわかる。

4. 競争的土地市場を通じた最適土地利用状態の実現可能性に関する分析

(1) 災害リスクに直面している都市における最適土地利用状態の規定

前章では、家計のリスク認知のバイアスが、災害危険度情報の提供が有する防災上望ましい土地利用への誘導効果や、各主体に帰着する便益を制限してしまうことが示された。このような結果に着目すれば、家計のリスク認知のバイアスが、競争的土地市場を通じた最適土地利用状態の競争的実現を阻害する要因となることが予想される。そのため本章では、災害リスクに直面している都市における最適土地利用状態を規定した上で、情報提供下における均衡土地利用状態との相違を比較する。その結果にしたがって、リスク認知のバイアスが、最適土地利用状態の競争的実現に対してどのような障害となっているかということについて分析を行う。ここで**2.(3)**で述べたように、災害リスク下における最適土地利用状態をHerbert=Stevensモ

[2] この場合の災害生起確率 p は、単位期間すなわち「将来1ヶ月の間に甚大な被害を及ぼす災害が生起する確率」であり、$p = 0.2$ という設定は現実的に考えれば非常に高い値である。しかしながらここでは、できるだけ明確に数値計算結果を捉えるため、敢えて高い値を設定した。

デルに基づいて規定する。しかしながら、本研究の枠組みにおいてHerbert=Stevensモデルをそのまま援用すると、最適土地利用状態において、地区ごとの家計について主観的な厚生水準は一致するが、客観的厚生に関しては異なった水準を与えてしまうことに留意する。

また、本研究で考慮する災害被害は、F地区において被災する家計の厚生水準をゼロにしてしまうほど甚大なものを仮定している。したがって、被災時におけるF地区は、いかなる消費機会が与えられようとも居住地として選択されることはない。そのためF地区の余剰は平常時のみ、すなわち $1-p+pq$ の確率でもたらされるものとする。

以上の議論より、災害リスク下における都市の最適土地利用状態を、「等客観的厚生水準制約付きの期待余剰最大化問題」の解として規定することとする。この最適土地利用状態は、以下の問題を解くことによって求められる。

$$\max_{\tilde{r}_\delta, n_\delta(r), s_\delta(r)} \{\mathcal{S}_S + (1-p+pq)\mathcal{S}_F\} \tag{39}$$

$$\text{s.t.} \ \sum_\delta \int_0^{\tilde{r}_\delta} h/s_\delta(r)dr = N, \ w_S = w_F = \tilde{w} \tag{40}$$

$$\text{where} \ \mathcal{S}_\delta = \int_0^{\tilde{r}_\delta} [Y - Z_\delta(s_\delta(r), w_\delta) - R_A s_\delta(r)] n_\delta(r) dr$$

ここで $\mathcal{S}_\delta, \tilde{r}_\delta, Z_\delta(s_\delta(r), w_\delta), n_\delta(r), s_\delta(r)$ は各々、地区 δ の余剰、都市境界距離、合成財消費、人口密度、敷地規模である。また $\tilde{w}$ は、客観的な目標厚生水準であり、外生的に与えられるものとする。合成財消費 $Z_\delta(s_\delta(r), w_\delta)$ は、$w_\delta = u(s_\delta(r), z_\delta(r), e_0)$ を $z_\delta(r)$ について解いた解となる。

(2) 最適土地利用状態の実現可能性に関する考察

競争的土地市場を通した最適土地利用状態の実現可能性に関して、以下の命題が成り立つ。

命題 4　家計のリスク認知が正確であれば、所得税（または補助金）政策を導入することにより、目標とする客観的な厚生水準に対する最適土地利用状態が競争的土地市場を通じて実現可能である。しかしながら、家計にリスク認知のバイアスが存在する場合、災害リスク下の最適土地利用状態が競争的土地市場を通じて実現する可能性はない。

（証明）　ここで、目標とする客観的な厚生水準 $\tilde{w}$ に関する最適土地利用状態を競争的に達成するために導入されるペナルティを G_δ^τ と表すことにしよう。このとき任意の人口 N、客観的厚生水準 $\tilde{w}$ に対する最適土地利用状態は、以下のような補償均衡の条件式を満たすはずである。

$$R_\delta^\tau(r) = \begin{cases} \psi(Y - G_\delta^\tau, \tilde{w}) & (r \leq \tilde{r}_\delta^\tau) \\ R_A & (r \geq \tilde{r}_\delta^\tau) \end{cases} \tag{41}$$

$$s_\delta^\tau(r) = s(Y - G_\delta^\tau, \tilde{w}) \quad (r \leq \tilde{r}_\delta^\tau) \tag{42}$$

$$n_\delta^\tau(r) = \begin{cases} h/s(Y - G_\delta^\tau, \tilde{w}) & (r \leq \tilde{r}_\delta^\tau) \\ 0 & (r \geq \tilde{r}_\delta^\tau) \end{cases} \tag{43}$$

$$\sum_\delta \int_0^{\tilde{r}_\delta^\tau} \frac{h}{s(Y - G_\delta^\tau, \tilde{w})} = N \tag{44}$$

ここで $R_\delta^\tau(r)$ は所与の地代である。このとき、各地区の主観的な厚生水準 $\tilde{u}_\delta^\tau$ は、間接効用関数 $v(R(r), y-tr)$ を用いることによって、それぞれ

$$\tilde{u}_S^\tau = \Big(1 - p + \frac{\alpha+\tau}{1+\tau}p\Big) v(\psi(\tilde{w}, Y - G_S^\tau), Y - G_S^\tau) \tag{45}$$

$$\tilde{u}_F^\tau = \Big(1 - p + \frac{\alpha+\tau q}{1+\tau}p\Big) v(\psi(\tilde{w}, Y - G_F^\tau), Y - G_F^\tau) \tag{46}$$

と表せる。したがって両地区における客観的厚生水準 w_δ は、以下のようになる。

$$w_S = v(\psi(\tilde{w}, Y - G_S^\tau), Y - G_S^\tau) \tag{47}$$

$$w_F = (1-p+pq) v(\psi(\tilde{w}, Y - G_F^\tau), Y - G_F^\tau) \tag{48}$$

最適土地利用状態において、制約条件式(40)より、以下の等式が成立する。

$$\tilde{w} = v(\psi(\tilde{w}, Y - G_S^\tau), Y - G_S^\tau) \tag{49}$$

$$= (1-p+pq) v(\psi(\tilde{w}, Y - G_F^\tau), Y - G_F^\tau) \tag{50}$$

最適土地利用状態において式(49)(50)が成立するためには、式(45)(46)を用いることによって、以下が成立しなければならない。

$$\begin{aligned} &\tilde{u}_S^\tau \\ &= \Big(1 - p + \frac{\alpha+\tau}{1+\tau}\Big)(1-p+pq) v(\psi(\tilde{w}, Y - G_F^\tau), Y - G_F^\tau) \\ &= \frac{(1-p+\frac{\alpha+\tau}{1+\tau}p)(1-p+pq)}{1-p+\frac{\alpha+\tau q}{1+\tau}p} \tilde{u}_F^\tau \end{aligned} \tag{51}$$

したがって、以下の関係が成り立つ。

$$\tilde{u}_S^\tau \left\{ \begin{matrix} \geq \\ = \\ < \end{matrix} \right\} \tilde{u}_F^\tau$$

$$\iff (1-p+pq)\Big(1-p+\frac{\alpha+\tau}{1+\tau}p\Big) \left\{ \begin{matrix} \geq \\ = \\ < \end{matrix} \right\} 1-p+\frac{\alpha+\tau q}{1+\tau}p \tag{52}$$

等号成立は $\tau \to \infty, q = 1, p = 0$ のときである。$q \neq 1$ または $p \neq 0$、すなわち都市内に災害被災リスクが存在し、家計にリスク認知のバイアスが存在する場合には、両地区における主観的な厚生水準は等しくならず、このとき土地利用は均衡しない。

次いで、均衡土地利用状態が同時に最適土地利用状態となり得る可能性について考察しよう。ここで、均衡土地利用状態においては両地区の均衡効用水準 u^τ は等しくなければならず、以下が成立する。

$$u^\tau = \Big(1 - p + \frac{\alpha+\tau}{1+\tau}p\Big) v\Big(\psi\Big(\frac{u^\tau}{1-p+\frac{\alpha+\tau}{1+\tau}p}, Y\Big), Y\Big) \tag{53}$$

$$= \Big(1 - p + \frac{\alpha+\tau q}{1+\tau}p\Big) v\Big(\psi\Big(\frac{u^\tau}{1-p+\frac{\alpha+\tau q}{1+\tau}p}, Y\Big), Y\Big) \tag{54}$$

このとき、両地区における客観的厚生水準 w_δ^τ は、

$$w_S^\tau = v\Big(\psi\Big(\frac{u^\tau}{1-p+\frac{\alpha+\tau}{1+\tau}p}, Y\Big), Y\Big) \tag{55}$$

$$w_F^\tau = (1-p+pq) v\Big(\psi\Big(\frac{u^\tau}{1-p+\frac{\alpha+\tau q}{1+\tau}p}, Y\Big), Y\Big) \tag{56}$$

となる。式(53)～(56)から、

$$\begin{aligned} w_S^\tau &= \frac{1-p+\frac{\alpha+\tau q}{1+\tau}p}{1-p+\frac{\alpha+\tau}{1+\tau}p} v\Big(\psi\Big(\frac{u^\tau}{1-p+\frac{\alpha+\tau q}{1+\tau}p}, Y\Big), Y\Big) \\ &= \frac{1-p+\frac{\alpha+\tau q}{1+\tau}p}{(1-p+pq)(1-p+\frac{\alpha+\tau}{1+\tau}p)} w_F^\tau \end{aligned} \tag{57}$$

となり、このとき以下の関係が成り立つ。

$$w_S^\tau \begin{Bmatrix} \geq \\ < \end{Bmatrix} w_F^\tau$$

$$\Longleftrightarrow 1-p+\frac{\alpha+\tau q}{1+\tau}p \begin{Bmatrix} \geq \\ < \end{Bmatrix} (1-p+pq)\big(1-p+\frac{\alpha+\tau}{1+\tau}p\big) \quad (58)$$

等号成立は $\tau \to \infty, q=1, p=0$ のときである。$q \neq 1$ または $p \neq 0$ 、すなわち都市内に災害被災リスクが存在し、家計にリスク認知のバイアスが存在する場合には、両地区における客観的な厚生水準は等しくならず、このとき制約式(40)が満たされず、最適土地利用状態は実現されない。　　　　　　　　　　　　　　　(証明終わり)

(3) 家計の地区間移動の規制を考慮した最適土地利用に関する考察

前節において、最適土地利用状態が同時に均衡土地利用状態となり得ない理由は、リスク認知のバイアスの存在下では、たとえ両地区の客観的な厚生水準が等しくなっても、地区ごとの主観的な厚生水準がかい離しており、したがって地区間の人口移動を生じてしまうからである。

ここでは以上の点に着目し、家計の地区間の人口移動を規制するような施策の導入を考慮する。この場合の最適土地利用状態は、地区ごとの余剰最大化問題として、以下のように定式化できよう。

$\delta = S$:

$$\max_{\tilde{r}_S, n_S(r), s_S(r)} \mathcal{S}_S, \ \text{s.t.} \int_0^{\tilde{r}_S} \frac{h}{s_S(r)} dr = N_S \quad (59)$$

$\delta = F$:

$$\max_{\tilde{r}_F, n_F(r), s_F(r)} \mathcal{S}_F, \ \text{s.t.} \int_0^{\tilde{r}_F} \frac{h}{s_F(r)} dr = N_F = N - N_S \quad (60)$$

人口の配分が $(N_S, N_F(=N-N_S))$ であるとき、地区ごとの余剰の最大値を $\tilde{\mathcal{S}}_\delta(N_\delta)$ とおけば、都市の期待余剰 $E\mathcal{S}(N_S, N_F)$ は以下のように表すことができる。

$$E\mathcal{S}(N_S, N_F) = \tilde{\mathcal{S}}_S(N_S) + (1-p+pq)\tilde{\mathcal{S}}_F(N_F) \quad (61)$$

したがって最適土地利用状態は、$E\mathcal{S}(N_S, N_F)$ を最大化するような $(N_S, N_F) = (\tilde{N}_S, \tilde{N}_F)$ について、式(59)～(60)を解くことによって導出できる。

Fujitaに従えば[17]、これらの問題に対する解は、人口 $(\tilde{N}_S, \tilde{N}_F)$ について以下の補償均衡条件式を満たす。

$$\tilde{R}_\delta(r) = \begin{cases} \psi(Y - \tilde{G}_\delta, \tilde{w}) & (r \leq \tilde{r}_\delta) \\ R_A & (r \geq \tilde{r}_\delta) \end{cases} \quad (62)$$

$$\tilde{s}_\delta(r) = s(Y - \tilde{G}_\delta, \tilde{w}) \quad (r \leq \tilde{r}_\delta) \quad (63)$$

$$\tilde{n}_\delta(r) = \begin{cases} h/s(Y - \tilde{G}_\delta, \tilde{w}) & (r \leq \tilde{r}_\delta) \\ 0 & (r \geq \tilde{r}_\delta) \end{cases} \quad (64)$$

$$\int_0^{\tilde{r}_\delta} \frac{h}{s(Y-\tilde{G}, \tilde{w})} = N \quad (65)$$

ここで $\tilde{G}_\delta$ は地区 δ において目標とする客観的な厚生水準 $\tilde{w}$ が課税前所得 y 、人口 $(\tilde{N}_S, \tilde{N}_F)$ のもとで、地区内において競争的に達成されるように決定されるペナルティであり、地区 δ 内の全ての家計について一律に課される。また $\tilde{R}_\delta(r)$ は最適土地利用における地代分布、 $\tilde{s}_\delta(r)$ は敷地規模、 $\tilde{n}_\delta(r)$ は人口分布である。したがって、S地区において、競争的土地市場を通じた最適土地利用状態を達成するためには、人口を $\tilde{N}_S$ に固定した上で、目標とする客観的な厚生水準に応じたペナルティ $\tilde{G}_S$ をS地区内の家計に課し、S地区内の均衡土地利用状態を実現させれば良い。

F地区においても同様に、人口を $\tilde{N}_F\ (= N - \tilde{N}_S)$ に固定した上で、目標とする客観的な厚生水準に応じたペナルティ $\tilde{G}_F$ をF地区内の家計に課し、F地区の均衡土地利用状態を実現させれば良い。

このように、地区ごとに最適化を図れば、都市全体の最適土地利用状態を競争的に達成することが可能である。この結果は、認知リスクのバイアスが存在する状況においても、例えば他地区からの転入（転出）障壁を設けたり（$\tilde{N}_\delta$ の固定)、土地利用管理を行う（$s(\psi(Y-G_\delta), w)$ の管理）などの都市計画的な施策と所得税（または補助金）政策を併せて講じることにより、最適土地利用状態が競争的に実現できる可能性があることを示唆している。

ここで最適敷地規模 $\tilde{s}_\delta(r)$ は、**3.(3)** と同様にして以下のように表すことができる。

$$\tilde{s}_S(r) = \hat{s}(\psi(\tilde{w}, Y - \tilde{G}_S), Y - \tilde{G}_S) \quad (66)$$

$$\tilde{s}_F(r) = \hat{s}(\psi(\frac{\tilde{w}}{1-p+pq}, Y - \tilde{G}_F), Y - \tilde{G}_F) \quad (67)$$

また地区別にペナルティ $\tilde{G}_\delta$ を課した場合の、情報提供下における地区別の（競争的）均衡敷地規模 $s_\delta^\tau(r; \tilde{G}_\delta, \tilde{N}_\delta)$ は、以下のように表せる。

$$s_S^\tau(r; \tilde{G}_S, \tilde{N}_S) \quad (68)$$

$$= \hat{s}(\psi(\frac{u^\tau(\tilde{G}_S, \tilde{N}_S)}{1-p+\frac{\alpha+\tau}{1+\tau}p}, Y - \tilde{G}_S), Y - \tilde{G}_S) \quad (69)$$

$$s_F^\tau(r; \tilde{G}_F, \tilde{N}_F) \quad (70)$$

$$= \hat{s}(\psi(\frac{u^\tau(\tilde{G}_F, \tilde{N}_F)}{1-p+\frac{\alpha+\tau q}{1+\tau}p}, Y - \tilde{G}_F), Y - \tilde{G}_F) \quad (71)$$

このとき、各地区における家計の主観的な厚生水準に着目すれば、式(66)～(71)を比較することにより、家計の地区間移動を制限した場合の最適土地利用状態における均衡効用水準に関して、以下の等式が成り立つ。

$$u_S^\tau(\tilde{G}_S, \tilde{N}_S) = \big(1-p+\frac{\alpha+\tau}{1+\tau}p\big)\tilde{w} \quad (72)$$

$$u_F^\tau(\tilde{G}_F, \tilde{N}_F) = \frac{1-p+\frac{\alpha+\tau q}{1+\tau}p}{1-p+pq}\tilde{w} \quad (73)$$

これらの大小関係を比較すると以下の関係が導かれる。

$$1-p+pq \begin{Bmatrix} \leq \\ > \end{Bmatrix} \frac{q-\alpha}{1-\alpha}$$

$$\Longleftrightarrow u_S^\tau(\tilde{G}_S, \tilde{N}_S) \begin{Bmatrix} \geq \\ < \end{Bmatrix} u_S^\tau(\tilde{G}_F, \tilde{N}_F) \quad (74)$$

これは、家計の地区間移動を制限した最適土地利用状態においては、多くの場合地区ごとの主観的な厚生水準にかい離が生じてしまうことを示している。

従来都市経済学の分野では、補助金や所得税政策といった経済的なインセンティブの変化を家計に与えることによって、都市の土地利用の最適化を行うことが可能とされてきた。しかしながら本研究のように、家計の災害被害に対するリスク認知にバイアスが存在するような場合においては、土地利用が最適な状態であっても、地区ごとの家計の主観的な厚生水準がかい離してしまうため、競

争的土地市場を通じた最適土地利用の実現は不可能であることが示された。したがってリスク認知のバイアスの存在下において最適土地利用状態を競争的に実現するためには、例えば 1) 他地区からの転入（転出）障壁を設ける、2) または適正な敷地規模の管理を行う等の都市計画的な政策と所得税（または補助金）政策を併せて講じることが必要となることがわかる。

5. 結論

本研究では都市経済学的アプローチを用いることにより、家計のリスク認知のバイアスが、災害危険度情報の提供効果にどのような影響を与えるかということについて分析を行った。それにより、以下のような結論を得た。

1. 災害危険度情報が利用可能であれば、家計が情報を全く信頼しない場合以外は、防災上安全な地区の均衡地代は災害危険度の高い地区の均衡地代よりも高くなり、その居住地面積も広くなる。さらに家計のリスク認知が正確なものに近づくほど、これらの傾向はより顕著になる。逆に言えば、家計の情報に対する主観的信頼度の減少、すなわち家計のリスク認知のバイアスの増加は、災害危険度情報が有する、防災上望ましい土地利用への誘導効果を限られたものに不十分してしまう可能性があると考えられる。

2. 家計にリスク認知のバイアスが存在する場合には、地区ごとの客観的厚生水準にかい離が見られる。またこのとき、家計の情報に対する主観的信頼度が小さい、すなわち家計のリスク認知のバイアスが大きいほど、地区ごとの客観的厚生水準のかい離は大きい。家計のリスク認知が正確なものに近づくほど、客観的な厚生水準のかい離は平準化される傾向にある。

3. コブ＝ダグラス型の効用関数に特定化した上で数値計算を行うと、災害危険度情報の提供によって各主体に帰着する便益は全て非負となった。しかしながらリスク認知のバイアスの増加は、情報提供によって生じる総便益を減少させる傾向が見て取れた。

4. 家計のリスク認知が正確であれば、任意の目標（客観的）厚生水準に対する最適土地利用状態が、適当な所得税（または補助金）政策の導入下における競争的土地市場を通じて実現可能である。しかしながら、リスク認知のバイアスの存在下では、たとえ両地区の客観的な厚生水準が等しくなっても、地区ごとの主観的な厚生水準がかい離しているため土地利用は均衡せず、災害リスク下の最適土地利用状態が競争的土地市場を通じて実現する可能性はない。

5. リスク認知のバイアスの存在下において最適土地利用状態を競争的に実現するためには、例えば、他地区からの転入（転出）障壁を設ける、または適正な敷地規模の管理を行う等の都市計画的な施策と所得税（または補助金）政策を併せて講じることが必要である。

しかしながら本研究においては、情報構造が完全である場合のみを考慮している。現実の災害危険度情報の構造は、不完全である場合が多いことが考えられる。このような情報構造の違いは、家計の居住地選択に影響を与えることが予想される。また、都市内にディベロッパーの存在を考慮した場合、情報の非対称性やモラルハザード等の問題を取り上げる必要があろう。より現実に即した検討を行うために、今後は以上の点に着目した研究を進めていきたいと考える。

[付録 A] Bayes 理論を用いたリスク認知過程のモデル化

ここでは、水害に関するリスク認知過程を例に挙げよう。いま、事前に水害に遭遇する確率が平均的に α であると考えている主体が、自己の経験を通じて ξ 年のうち κ 回水害に遭遇するという情報を得たとしよう。このとき事後的に認知される水害の遭遇確率の平均値 Q（認知リスク）を求める。

ξ 年のうち κ 回水害に遭遇する確率 $P(\kappa|\theta)$ は真の遭遇確率を θ とすると次の二項分布に従う。

$$P(\kappa|\theta) = \binom{\xi}{\kappa}\theta^{\kappa}(1-\theta)^{\xi-\kappa} \tag{75}$$

ここで、主体は θ の値を知らない。彼が知っているのは ξ 年の内 κ 回水害に遭遇するリスクにさらされているという経験的事実のみであり、彼はこの事実をもとに θ の値を推定しようとするとしよう。いま、主体が未知母数 θ な事前分布が次のベータ分布に従うと想定しているとしよう。

$$f(\theta) = \frac{\Gamma(a+b)}{\Gamma(a)\Gamma(b)}\theta^{a-1}(1-\theta)^{b-1} \tag{76}$$

このとき主体が先験的に持っている水害に遭遇するリスクは、次のような θ の期待値として与えられる。

$$\alpha = \int_0^1 \theta f(\theta)\,d\theta = \frac{a}{a+b} \tag{77}$$

Bayes の定理により、ξ 年に κ 回水害に遭遇するリスクにさらされているという経験をした後には、主体はその経験をもとに θ の分布を $f(\theta|\kappa)$ に更新することができる。

$$\begin{aligned} f(\theta|\kappa) &= P(\kappa|\theta)f(\theta)\Big/\int_0^1 P(\kappa|\theta)f(\theta)\,d\theta \\ &= \frac{\Gamma(a+b+\xi)}{\Gamma(a+\kappa)\Gamma(b+\xi-\kappa)}\theta^{a+\kappa-1}(1-\theta)^{b+\xi-\kappa-1} \end{aligned} \tag{78}$$

したがって、情報を得た後に認知する水害に遭遇するリスクは次のような θ の期待値として与えられる。

$$Q = \int_0^1 \theta f(\theta|\kappa)\,d\theta = \frac{\gamma\alpha+\xi q}{\gamma+\xi} \tag{79}$$

ただし、$\gamma = a+b$、$q = \kappa/\xi$ であり、客観的なリスクを与えている。$\lim_{\xi\to\infty} Q = q$ である。いま、$\tau = \xi/\gamma$ とおくと、τ は事前の認知リスク α に対する客観リスク q の信頼度（客観リスクの主観的信頼度）に関する主観的な評価値を表わすと解釈できる。したがって、客観リスク

を情報として得た後に形成される事後の認知リスク Q は次式で与えられる。

$$Q=\frac{\alpha+\tau q}{1+\tau} \tag{80}$$

したがって観察の結果、事後的に認知された水害に遭遇する確率（認知リスク）は、情報を得る前の事前の認知リスク α と客観リスク q の線形結合で与えられることが分かる。

[付録 B] 式(23)の導出

以下では $p(1-q)(q-\alpha)\neq 0\,,\,0<\alpha<1$ という一般的な状況を考える。

$$\frac{\partial}{\partial\tau}\left(\frac{u^\tau}{1-p+\frac{\alpha+\tau}{1+\tau}p}\right) =\frac{\frac{\partial u^\tau}{\partial\tau}\left(1-p+\frac{\alpha+\tau}{1+\tau}p\right)-u^\tau\frac{1-\alpha}{(1+\tau)^2}p}{\left(1-p+\frac{\alpha+\tau}{1+\tau}p\right)^2} \tag{81}$$

$$\frac{\partial}{\partial\tau}\left(\frac{u^\tau}{1-p+\frac{\alpha+\tau q}{1+\tau}p}\right) =\frac{\frac{\partial u^\tau}{\partial\tau}\left(1-p+\frac{\alpha+\tau q}{1+\tau}p\right)-u^\tau\frac{q-\alpha}{(1+\tau)^2}p}{\left(1-p+\frac{\alpha+\tau q}{1+\tau}p\right)^2} \tag{82}$$

以下では分子のみの符号を調べることにする。

$$\frac{\partial u^\tau}{\partial\tau}\frac{1+\tau}{u^\tau}\left\{\begin{matrix}\geq\\<\end{matrix}\right\}\frac{(1-\alpha)p}{1+\tau-p+\alpha p}\equiv X_1\Longleftrightarrow(81)\left\{\begin{matrix}\geq\\<\end{matrix}\right\}0$$

$$\frac{\partial u^\tau}{\partial\tau}\frac{1+\tau}{u^\tau}\left\{\begin{matrix}\geq\\<\end{matrix}\right\}\frac{(q-\alpha)p}{1-p+\tau-p\tau+\alpha p+\tau pq}\equiv X_2$$

$$\Longleftrightarrow(82)\left\{\begin{matrix}\geq\\<\end{matrix}\right\}0 \tag{83}$$

ここで

$$X_1\left\{\begin{matrix}\geq\\<\end{matrix}\right\}X_2$$

$$\Longleftrightarrow(1-p+\tau-p\tau+p\alpha+p\alpha\tau)(1-q)\left\{\begin{matrix}\geq\\<\end{matrix}\right\}0 \tag{84}$$

であり、左辺>0であるから、$q-\alpha>0$ のとき $X_1>X_2>0$ である。次に $q-\alpha<0$ のとき、$X_1\geq 0$, $X_2<0$ であることから $X_1\geq 0>X_2$ である。したがって $X_1>X_2$ である。ここで一般に $\partial\psi(u,Y)/\partial u<0$ であることが知られているから[17]、式(22)を満足するためには、$X_1>\frac{\partial u^\tau}{\partial\tau}\frac{1+\tau}{u^\tau}>X_2$、すなわち(81) <0 かつ(82) >0 でなければならない。このとき、$\frac{dN}{d\tau}=\frac{h}{t}\{(-)\cdot(-)+(-)\cdot(+)\}$ となり、常に式(22)を満たすように u^τ が τ に関して変化するであろうことがわかる。したがって、$p(1-q)(q-\alpha)\neq 0, 0<\alpha<1$ のとき、(81) <0 かつ(82) >0 であることが証明された。

参考文献

1) Berknopf, R.L., D.S. Brookshire, M. McKee and D.L. Soller : Estimating the Social Value of Geologic Map Information: A Regulatory Application, *Journal of Environmental Economics and Management*, 32, pp.204-218, 1997.
2) 山口 健太郎, 多々納 裕一, 田中 成尚, 岡田 憲夫： 単一中心都市における甚大な災害リスクに関する情報の提供効果に関する分析, 土木計画学研究・論文集, No.16, pp.333-340, 1999.
3) 東京大学新聞研究所編： 地震予知と社会的反応, 東京大学出版会, 1979.
4) Fischhoff, B., S. Lichtenstein, P. Slovic, S. L. Derby and R. Keeney , Acceptable Risk , Cambridge; Cambridge University Press, 1981.
5) Viscussi, K. W. : Fatal Tradeoffs: Public and Private Responsibilities for Risk, New York: Oxford University Press, 1992.
6) Viscussi, K. W. : Rational Risk Policy, Oxford: Clarendon Press, 1998.
7) DeSalvo, J.S. and L.R. Eeckhoudt : Household Behavior under Income Uncertainty in a Monocentric Urban Area, *Journal of Urban Economics*, **11**, pp.98-111, 1982.
8) Zenou, Y. and L. Eeckhoudt : Bid Rents under Unemployment Risk: Delayed versus Timeless Uncertainty, *Journal of Urban Economics*, **42**, pp.42-63, 1997.
9) Frame, D.E. : Housing, Natural Hazards, and Insurance, *Journal of Urban Economics*, **44**, pp.93-109, 1998.
10) Viscussi, K. W. and W. Evance : Utility Functions that Depend on Health Status: Estimates and Economic Implications, *American Economic Review*, 80(2), pp.353-374, 1980.
11) 多々納裕一：不確実性下のプロジェクト評価, 土木計画学研究・論文集, No.15, pp.19-30, 1998.
12) 上田孝行：防災投資の便益評価ー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.
13) Dixit, A. K. : The Optimum Factory Town, *Bell Journal of Economics and Management Science*, 4, pp.637-651, 1973.
14) Oron, Y., D. Pines and E. Shesinski : Optimum vs. Equilibrium Land Use Pattern and Congestion Toll, *Bell Journal of Economics and Management Science*, 4, pp.619-636, 1973.
15) Riley, J, G. : Optimal Regidential Density and Road Transportration, *Journal of Urban Economics*, 1, pp.230-248, 1974.
16) Mirrlees, J. A. : The Optimum Town, *Swedish Journal of Economics*, 74, pp.114-35, 1972.
17) Fujita, M. : Urban Economic Theory, Cambridge; Cambridge Univercity Press, 1989.
18) Herbert, J. D. and B. H. Stevens : A Model of the Distribution of Residential Activity in Urban Areas, *Journal of Regional Science*, 2, pp.21-36, 1960.

リスク認知のバイアスが災害危険度情報の提供効果に与える影響に関する分析

山口 健太郎, 多々納 裕一, 岡田 憲夫

本研究では都市経済学的アプローチを用いて、リスク認知のバイアスが災害危険度情報の提供効果に与える影響について分析を行った。災害危険度情報を利用した家計が主観的に認知するリスク水準は必ずしも正確なものになるとは限らない。したがって本研究では、そのような認知バイアスを明示的に考慮した上で家計の居住地選択行動をモデル化し、バイアスの程度によって異なる均衡土地利用状態を導出した。それらの結果を比較することにより、認知バイアスの存在下では、家計のリスク認知が正確な場合と比して災害危険度情報の提供効果が制限されていることや、認知バイアスが最適土地利用状態の競争的実現を阻害していること等を示した。

Information Provision and Risk Perception on Fatal Disaster Risk in a Monocentric City

By Kentaro YAMAGUCHI, Hirokazu TATANO and Norio OKADA

The paper analyzes effects of information provision in terms of vulnerability against disaster. It is assumed that perceived risks are not always rigorous even after precise information in terms of vulnerability against disaster is provided to households. Models of residential choice behavior under provision of the information, that differs with respect to bias level in risk perception, are formulated. By comparing equilibrium land use patterns and welfare levels of households, we examine the influence of biases in risk perception on effect of information provision.