【土木計画学研究・論文集 No.16 1999年9月】

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*

Analyzing Effect of Information Provision on Catastrophic Disaster Risk in a Monocentric City *

山口 健太郎**，多々納 裕一***，田中 成尚****，岡田 憲夫 ***

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

1. はじめに

人命・資産が過度に集中した大都市圏域では、災害に見舞われた場合の被害が甚大なものになる可能性がある。したがって都市部に対しては、そこに集積している人命および資産の保全を図るために、ハードの防災施設とともに、「災害危険度に関する情報」の提供に代表されるソフト的防災対策を講じる必要性があるものと考えられる。

ここで言う災害危険度に関する情報とは、都市内の土地の位置と災害時における被害の程度を関連付けて参照できるようにした情報を指し、例えばハザードマップなどが考えられる。災害危険度情報の提供は、家計の立地選択行動に影響を与え、防災上危険な地域への人命・資産の集積を抑制することによって、防災・減災の観点から望ましい土地利用の実現に資する可能性が高い。しかしながら、この種の情報提供は、都市内の均衡土地利用状態を変化させるために、社会的な効率性の観点からは必ずしも望ましいとは限らないであろう。したがって、災害危険度情報の作成の際には、その情報の提供が都市内の土地市場に及ぼす影響や、各主体に帰着する情報の提供便益といった「情報の提供効果」を事前に評価し、その上で情報提供が効率的であるための条件を明らかにしておくことが望ましいと考えられる。

災害危険度情報の提供問題に関しては、これまでの研究によって多くの知見が得られるに至った。片田ら[1)]は、ハザードマップの提供が、洪水発生時における個人の避難行動の意思決定に与える影響に関して実証的な分析を行っている。またBernknopf *et al.*[2)]は情報の改善による期待被害軽減額を用いて災害危険度情報の提供効果を定義し、実在のケースに適用・検討した。しかし、これらの研究は、災害危険度情報の提供が、家計の立地選択行動や土地市場に与え得る影響を把握した上で、情報提供が効率的であるための条件を解析的に検討しようとするものではない。この点を考慮するためには、情報提供下における家計の立地選択行動や土地市場の変化を、都市経済学的な理論的フレームを用いてモデル化し、その結果を厳密に検討することが必要であると考えられる。

Frame [5)]は、都市経済学的アプローチに基づいた立地均衡分析を通して、災害リスクに直面した家計の立地選択行動に関する考察を行っている。しかしながら、立地均衡分析を通して災害危険度情報の提供効果の分析を試みた研究は、今のところ見当たらない。また、災害リスクを考慮した既往の研究の多くは、家計の災害保険の購買行動に関する議論にその焦点を当てたものが多く[5)6)他]、したがって人命を脅かすほど甚大な被害を及ぼす災害については、これまであまり考慮されてこなかった。

本研究では、以上のような認識に基づき、人命を脅かすほど甚大な被害を及ぼす災害を対象とした災害危険度情報の有無に関する家計の立地行動をモデル化し、災害危険度情報の提供効果を分析する。その上で、情報提供が効率的であるための条件を考察することを目的とする。

2. モデル化の前提条件

都市内の家計数Nは一定であるとし、土地の所有形態は不在地主モデルを仮定する。一般に、都市内の土地はその位置によって災害に対する脆弱性が異なり、災害時に家計が得ることのできるアメニティ水準が異なる。家計が災害危険度に関する完全な情報を利用可能であると仮定すると、家計は災害時のアメニティ水準の違いをも考慮に入れて自らの居住地を選択できるであろう。しかしながらそのような情報が利用不可能であれば、家計は都市内のどの地点で災害時のアメニティの低下が顕著になるかという知識を得ることは困難であり、土地の災害に対する脆弱性を判定することが困難である。本研究では、このような状況の下で、災害危険度に関する情報の提供が、平常時の土地市場や各主体の厚生に及ぼす影響を解析的に明らかにしておく必要がある。このためには、少なくとも災害時のアメニティ水準が異なる地区が都市内に存在することを仮定しなければならない。

そこで本研究では幅hの線形都市を想定し、CBDを挟んでS(＝Safe)地区、F(=Failure)地区という災害時のアメニティ水準の異なる2つの地区が存在するものとする(

*キーワーズ：防災計画，住宅立地，土地利用，計画情報
**学生員 京都大学大学院工学研究科 修士課程
(〒606-8317 京都市左京区吉田本町，Tel 075-753-5070)
***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)
****正員 株式会社 日水コン
(〒532-0004 大阪市淀川区西宮原2-1-3 SORA新大阪21,
Tel 06-6398-1654，Fax 06-6350-5309)

図-1)。平常時には両地区のアメニティ水準eは等しく$e=e_0$であるが、災害時にはS地区ではアメニティ水準は低下せずe_0にとどまるのに対し、F地区ではe_1に低下するものとする。

図-1：想定する都市の形態

ここで、都市内に危険度の異なる場所が混在する場合を想定して分析することも可能である。例えばFrame [5]は都市内に混在した災害リスクの分布を位置の関数の形で外生的に与えることにより、災害リスクを考慮に入れた家計の立地選択行動や、デベロッパーの開発行動に関する分析を行っている。しかし、このような想定の違いによって本研究で得られる結論に本質的な影響はない。

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に通勤するものとし、交通はこの通勤のみに限定されるものとする。この交通機関の単位距離当たりの料金は平常時・災害時に関わらず一律である。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。

3. 居住地選択行動モデル

(1) 家計の期待効用

上述の通り、災害危険度に関する情報の提供は、人命を脅かすほど甚大な被害を及ぼす災害を対象とするものと仮定する。また、家計の立地選択行動は、予算制約下における期待効用仮説に基づいて記述する[1]。これは、家計が予算制約のもとで(期待)効用の最大化を図るように消費・立地選択を行うと描写するものであり、主に(純)所得の違いから消費・立地選択の違いを分析するものである。不確実に訪れる(災害)リスクの下における家計の行動の分析も、このような所得の不確実性を考慮することにより、ある程度可能となるであろう。例えばDeSalvo *et al.* [10]や Zenou *et al.* [11]は、失業の可能性に直面した家計の立地行動を、非失業時に受け取ることのできる所得と、失業時に受け取ることのできる失業手当を考え、失業手当をある確率(失業率)で受け取ると考えることによって分析している。また、本研究と同様災害リスクを考慮しているFrame[5]も、災害時における家計の金銭的損失を制約条件に反映させることによって分析を行っている。

しかしながら本研究のように、人命を脅かすほどの甚大な災害リスクを想定した場合、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家計の行動を分析することは不適当である。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る。そこで本研究では、先にも示したように、都市内に分布する土地はそれぞれの状況に関するアメニティ水準が異なっており、その土地に住む家計は災害などによって確率的に変動する、状況に依存したアメニティに関する効用を享受することになるものとする。

したがってここでは被災時(災害時において実際にその家計が被害を被る場合)及び平常時の家計の厚生水準を、状況依存的な効用関数を用いて表現することにする。すなわちすべての家計は、平常時にはアメニティ水準e_0を享受することができ、土地をs、合成財をz消費することによって効用$u(s,z,e_0)(>0)$を得ることができるものとする。一方被災時には、家計はアメニティ水準e_1 $(u(s,z,e_1)<u(s,z,e_0))$を甘受しなければならないものとする。本研究において想定する災害は、人命を脅かすほど甚大なものであるから、被災時に家計が得ることのできる効用は、いかなる消費機会を与えられようとも$u(s,z,e_1)=0$にとどまるものと仮定する。

いま、都市内における土地の位置はS (F) 地区内に位置することを示す$\delta=S\ (F)$、CBDからの距離rで表すことにする。また、すべての家計は災害の生起確率 p $(0\leq p<1)$ を共有情報として知っているものとするが、都市内のどの地点で災害時に被害が生じるかに関する知識は、災害危険度情報の利用可能性のみに依存するものとする。災害危険度に関する完全情報が利用可能な場合、各家計は各地区におけるアメニティの生起確率を確実に知ることができるものとする。したがって、完全情報下における家計が位置(δ,r)において、土地をs、合成財をz消費する場合の(主観的)期待効用$EU^1_\delta(s,z,r)$は、以下のように与えられる。

$$EU^1_S(s,z,r) = u(s,z,e_0) \quad (1)$$
$$EU^1_F(s,z,r) = (1-p)u(s,z,e_0) \quad (2)$$

一方、災害危険度に関する情報の提供がなければ、家計は被災時に生起するアメニティ水準の地区による違いを認識できない。いま、被災したという条件の下でアメニティ e_0 が生じると家計が予測する主観的な条件付き確率を α $(0<\alpha\leq 1)$ とすれば、このようなゼロ情報下における家計の(主観的)期待効用$EU^0_\delta(s,z,r)$は次式で与えられる。

$$EU^0_\delta(s,z,r) = (1-p)u(s,z,e_0)+p\alpha\, u(s,z,e_0)$$

[1]低頻度かつ甚大な被害を及ぼす自然災害の可能性に直面した家計の行動を、期待効用仮説を用いて記述することに関する問題点は、以前より指摘されている[7)8)]他。しかしBrookshire *et al.* [9]は、そのような分析において期待効用仮説を適用することの妥当性を、ある実例に関して行ったヘドニック・アプローチによる分析結果と、期待効用仮説に基づいた分析結果の整合性を示すことによって主張している。ただしこの場合、家計が災害リスクに関する適切な知識を得ていることが前提となっている。

$$= \quad (1-p+p\alpha)u(s,z,e_0) \qquad (3)$$
$$(\delta = S, F)$$

(2) 家計の居住地選択行動

情報構造を添え字i（$i=1$：完全情報、$i=0$：ゼロ情報）で表示し、$R^i_\delta(r)$を位置(δ,r)における地代、yを名目所得、tを単位距離当たりの通勤費であるとすると、家計の居住地選択行動は以下のように定式化できる。

$$\max_{\delta,r,s,z} EU^i_\delta(s,z,r) \quad \text{s.t.} \quad R^i_\delta(r)s+z+tr=y \qquad (4)$$

居住位置 (δ,r) における土地及び合成財の需要は以下の問題の解となる。

$$V^i_\delta(R^i_\delta(r), y-tr) = \max_{s,z} EU^i_\delta(s,z,r) \qquad (5)$$
$$\text{s.t.} \quad R^i_\delta(r)s+z+tr=y$$

問題(5)に関する1階条件は以下のように与えられる。

$$\begin{cases} \partial EU^i_\delta/\partial s = \lambda^i_\delta R^i_\delta(r) \\ \partial EU^i_\delta/\partial z = \lambda^i_\delta \\ R^i_\delta(r)s+z = y-tr \end{cases} \qquad (6)$$

ここでλ^i_δはラグランジュ乗数である。式(6)を解けば、情報構造がiである場合の位置(δ,r)における土地・合成財の需要(s^i_δ, z^i_δ)は、i,δに依存しない関数$s(\cdot),z(\cdot)$を用いて以下のように表すことができる。

$$s^i_\delta \;=\; s(R^i_\delta(r), y-tr) \qquad (7)$$
$$z^i_\delta \;=\; z(R^i_\delta(r), y-tr) \qquad (8)$$

情報構造iの下で位置(δ,r)に居住する家計の主観的な厚生水準は間接効用値$V^i_\delta(R^i_\delta(r),y-tr)$として与えられる。さらに家計の居住位置の選択は、$\max_{\delta,r}\{V^i_\delta(R^i_\delta(r),y-tr)\}$の解$(r^i_{\delta *},\delta^*)$として与えられる。

4. 土地利用均衡モデル

情報構造iの下での地点(δ,r)における付け値$\Psi^i_\delta(r,u;p)$は次式で定義される。

$$\Psi^i_\delta(r,u;p) = \max_{z,s}\left\{\frac{y-tr-z}{s} \;\middle|\; EU^i_\delta(s,z,r)=u\right\} \qquad (9)$$

すなわち付け値とは、家計がある効用水準uを達成しながら支払うことのできる最大の地代である。均衡において、都市内の土地はより高い地代を与える活動に利用されるものとすると、地代$R^i_\delta(r)$は、農業地代をR_Aとすると以下のように表される。

$$R^i_\delta(r) = \max\{\Psi^i_\delta(r,u^i;p), R_A\} \qquad (10)$$

ここで均衡効用水準u^iは、間接効用関数$v(R(r),y-tr)$を用いると、$\Psi^i_\delta(r,u^i;p) \;\geq\; R_A$を満たす$p$において以下のように表現できる。

$$\begin{aligned} u^1 &= u(s^1_S,z^1_S,e_0) = v(\Psi^1_S(r,u^1;p),y-tr) && (11)\\ &= (1-p)u(s^1_F,z^1_F,e_0) \\ &= (1-p)v(\Psi^1_F(r,u^1;p),y-tr) && (12)\\ u^0 &= (1-p+\alpha p)u(s^0_\delta,z^0_\delta,e_0) \\ &= (1-p+\alpha p)v(\Psi^0_\delta(r,u^0;p),y-tr) && (13)\end{aligned}$$

式(11)(12)(13)を$\Psi^i_\delta(r,u^i;p)$について解けば、均衡における付け値は、ソローの付け値関数$\psi(u,y-tr)$を用いて以下のように表現できる。

$$\begin{aligned} \Psi^1_S(r,u^1;p) &= \psi(u^1,y-tr) && (14)\\ \Psi^1_F(r,u^1;p) &= \psi(\frac{u^1}{1-p},y-tr) && (15)\\ \Psi^0_\delta(r,u^0;p) &= \psi(\frac{u^0}{1-p+\alpha p},y-tr) \\ &\equiv \Psi^0(r,u^0;p) && (16)\end{aligned}$$

また、地区δ、情報構造iにおける都市境界距離を$\bar{r}^i_\delta$とすると、以下が成り立つ。

$$\begin{aligned} \Psi^1_S(\bar{r}^1_S,u^1;p) &= \Psi^1_F(\bar{r}^1_F,u^1;p) = R_A && (17)\\ \Psi^0(\bar{r}^0_\delta,u^0;p) &= R_A && (18)\end{aligned}$$

式(18)より$\bar{r}^0_S = \bar{r}^0_F \equiv \bar{r}^0$となる。ただし$\bar{r}^i_\delta \;\geq\; 0$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当たりに住む家計の数$n^i_\delta(R^i_\delta(r),y-tr)$は

$$n^i_\delta(R^i_\delta(r),y-tr) = \frac{h}{s(R^i_\delta(r),y-tr)} \qquad (19)$$

となる。すなわち均衡土地利用状態において、都市内の全家計数は以下のように表すことができる。

$$N = \begin{cases} \sum_{\delta=S,F}\int_0^{\bar{r}^1_\delta}\{h/s(\Psi^1_\delta(r,u^1;p),y-tr)\}dr \\ 2\int_0^{\bar{r}^0}\{h/s(\Psi^0(r,u^0;p),y-tr)\}dr \end{cases} \qquad (20)$$

式(11)(12)(13)、(17)(18)、(20)を解くことによって、均衡効用水準u^i、都市境界距離$\bar{r}^i_\delta$、均衡付け値$\Psi^i_\delta(r,u^i;p)$が内生的に決定される。

5. 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が、平常時における土地市場に及ぼす影響に関して考察を行う。

均衡土地利用状態において、均衡効用水準u^iは距離rに関して一定でなければならない。したがって$y-tr=Y$とおき、式(5)をrに関して微分すると、

$$\frac{\partial V^i_\delta(\Psi^i_\delta,Y)}{\partial R^i_\delta}\frac{\partial \Psi^i_\delta(r,u^i;p)}{\partial r} - \frac{\partial V^i_\delta(\Psi^i_\delta,Y)}{\partial Y}t = 0 \qquad (21)$$

となり、以下の関係が得られる。

$$\frac{\partial V^i_\delta(\Psi^i_\delta,Y)/\partial R^i_\delta}{\partial V^i_\delta(\Psi^i_\delta,Y)/\partial Y}\frac{\partial \Psi^i_\delta(r,u^i;p)}{\partial r} = t \qquad (22)$$

ここでRoyの恒等式より

$$-\frac{\partial V^i_\delta(\Psi^i_\delta,Y)/\partial R^i_\delta}{\partial V^i_\delta(\Psi^i_\delta,Y)/\partial Y} = s(\Psi^i_\delta(r,u^i;p),Y) \qquad (23)$$

なる関係が得られるから、式(22)(23)より

$$\frac{1}{s(\Psi^i_\delta(r,u^i;p),Y)} = -\frac{\partial \Psi^i_\delta(r,u^i;p)}{\partial r}\frac{1}{t} \qquad (24)$$

となる。式(20)に(24)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。

$$N = \begin{cases} h\{\Psi^1_S(0,u^1;p)+\Psi^1_F(0,u^1;p)-2R_A\}/t \\ 2h\{\Psi^0_\delta(0,u^0;p)-R_A\}/t \end{cases} \qquad (25)$$

いま、情報構造$i=1$のとき、閉鎖都市を考えれば式(25)に関して以下が成立する。

$$\frac{dN}{dp} = \frac{h}{t}\left\{\frac{\partial\psi(u^1,y)}{\partial u}\frac{\partial u^1}{\partial p}\right.$$

$$+\frac{\partial\psi(\frac{u^1}{1-p},y)}{\partial u}\frac{\frac{\partial u^1}{\partial p}(1-p)+u^1}{(1-p)^2}\Bigg\}\equiv 0 \tag{26}$$

一般に$\partial\psi(U,y)/\partial U<0$だから、

$$\frac{\partial\psi(u^1,y)}{\partial u},\quad \frac{\partial\psi(u^1/(1-p),y)}{\partial u}<0 \tag{27}$$

である。したがって

$$\frac{\partial u^1}{\partial p}\frac{\frac{\partial u^1}{\partial p}(1-p)+u^1}{(1-p)^2}<0 \tag{28}$$

となる。仮に$\partial u^1/\partial p>0$であるとすれば、$u^i>0$を仮定しているので常に$dN/dp<0$となり、式(27)に矛盾する。

したがって、均衡土地利用状態が達成されるためには、

$$\partial u^1/\partial p<0, \tag{29}$$

$$\frac{\frac{\partial u^1}{\partial p}(1-p)+u^1}{(1-p)^2}>0 \tag{30}$$

であることが必要となる。式(14)より$d\Psi_S^1(r,u^1;p)/dp=\frac{\partial\psi(u^1,Y)}{\partial u}\frac{\partial u^1}{\partial p}$であるから、

$$\frac{d\Psi_S^1(r,u^1;p)}{dp}>0 \tag{31}$$

となる。また式(15)より$d\Psi_F^1(r,u^1;p)/dp=\{\partial\psi(u^1/(1-p),Y)/\partial u\}\{\partial(u^1/(1-p))/\partial p\}$であり、式(29)が成り立つならば以下が成立する。

$$\frac{d\Psi_F^1(r,u^1;p)}{dp}<0 \tag{32}$$

次に情報構造$i=0$の場合を考えよう。$i=1$の場合と同様にして、

$$\frac{dN}{dp}=\frac{2h}{t}\Bigg\{\frac{\partial\psi(u^0/(1-p+\alpha p),y)}{\partial u}\frac{\frac{\partial u^0}{\partial p}(1-p+\alpha p)-u^0(-1+\alpha)}{(1-p+\alpha p)^2}\Bigg\}\equiv 0 \tag{33}$$

したがって均衡土地利用状態が達成されるためには

$$\frac{\frac{\partial u^0}{\partial p}(1-p+\alpha p)-u^0(-1+\alpha)}{(1-p+\alpha p)^2}\equiv 0 \tag{34}$$

でなければならず、$(1-p+\alpha p)>0$、$u^0>0$、$(-1+\alpha)<0$であることから

$$\partial u^0/\partial p\leq 0 \tag{35}$$

であることが必要となる。このとき、式(34)より

$$\frac{d\Psi^0(r,u^0;p)}{dp}\equiv 0 \tag{36}$$

が成立する。

次に、家計数はαについても不変だから、以下が成り立たなければならない。

$$\frac{dN}{d\alpha}=\frac{2h}{t}\Bigg\{\frac{\partial\psi(u^0/(1-p+\alpha p),y)}{\partial u}\frac{\frac{\partial u^0}{\partial\alpha}(1-p+\alpha p)-pu^0}{(1-p+\alpha p)^2}\Bigg\}\equiv 0 \tag{37}$$

ここで式(37)が成り立つならば、

$$\frac{\frac{\partial u^0}{\partial\alpha}(1-p+\alpha p)-pu^0}{(1-p+\alpha p)^2}\equiv 0 \tag{38}$$

でなければならず、

$$\partial u^0/\partial\alpha>0 \tag{39}$$

であることが必要となる。さらに式(38)が成り立つならば以下が成立する。

$$\frac{d\Psi^0(r,u^0;p)}{d\alpha}=0 \tag{40}$$

以上より完全情報提供下における地代は、災害生起確率の上昇に伴ってS地区では増加し、F地区では減少することがわかった。また情報が利用不可能な場合、地代は災害生起確率や家計の主観的なリスク認知度αに関して変化が見られないこともわかった。次に、これら地区・情報構造別の地代の大小関係を調べよう。

$p=0$のとき、$i=0,i=1$において均衡土地利用状態を上で示したような手順に従って導出すれば、式(25)よりただちに

$$u^1|_{p=0}=u^0|_{p=0} \tag{41}$$

であることがわかる。したがって$p=0$において

$$\begin{aligned}\Psi_S^1(r,u^1;0) &= \psi(u^1|_{p=0},y-tr)\\ =\Psi^0(r,u^0;0) &= \psi(u^0|_{p=0},y-tr)\end{aligned} \tag{42}$$

であり、$p>0$において$d\Psi_S^1(r,u^1;p)/dp>0, d\Psi^0(r,u^0;p)/dp=0$だから、以下が成立する。

$$\Psi^0(r,u^0;p)\leq\Psi_S^1(r,u^1;p) \tag{43}$$

同様に$p=0$のとき、

$$\begin{aligned}\Psi_F^1(r,u^1;0) &= \psi(u^1|_{p=0},y-tr)\\ =\Psi^0(r,u^0;0) &= \psi(u^0|_{p=0},y-tr)\end{aligned} \tag{44}$$

であり、$p>0$において$\frac{d\Psi_F^1(r,u^1;p)}{dp}<0, \frac{d\Psi^0(r,u^0;p)}{dp}=0$だから、以下が成立する。

$$\Psi_F^1(r,u^1;p)\leq\Psi^0(r,u^0;p) \tag{45}$$

したがって任意のr, pに関して

$$\Psi_F^1(r,u^1;p)\leq\Psi^0(r,u^0;p)\leq\Psi_S^1(r,u^1;p) \tag{46}$$

であることがいえる。ただし等号成立は$p=0$のときである。

ここで$\frac{d\Psi(r,u)}{dr}<0$であり、また$\frac{d\Psi_F^1(r,u^1;p)}{dp}<0$であることが証明されたから

$$\Psi_F^1(0,u^1;\bar{p})=R_A \tag{47}$$

を満たす災害生起確率$\bar{p}$がただ一つ存在するはずである。災害生起確率が$p\geq\bar{p}$となった場合、$r\geq 0$において$\Psi_F^1(r,u^1;p)\leq R_A$となり、F地区は居住地として利用されなくなる。このとき、式(26)から

$$\frac{\partial u^1}{\partial p}=0 \qquad (p\geq\bar{p}) \tag{48}$$

となり、したがって$p\geq\bar{p}$において、均衡効用水準u^1はpに関して変化しないことがわかる。

以上の結果から、以下の命題を得る。

命題　不在地主所有の下での閉鎖都市モデルを想定した場合、災害危険度に関する完全情報下における都市内の均衡地代は、S地区では災害生起確率pの上昇に伴って増加し、F地区では減少する。ゼロ情報下における均衡地代は災害生起確率pや家計の主観的なリスク認知度αに関して変化せず、その分布はS・F両地区において均一である。また、任意のr,pにおける均衡付け値の大小関係は以下のようになる。

$$\Psi_F^1(r,u^1;p)\leq\Psi^0(r,u^0;p)\leq\Psi_S^1(r,u^1;p) \tag{49}$$

ただしすべての等号成立は$p=0$のときである。

6. 情報提供の効率性評価モデル

(1) 厚生水準

家計は主観的な予測をして居住地を選択する。土地利用の均衡状態は、この主観的な判断によってもたらされるため、均衡土地利用状態における厚生は家計の主観的な予測に依存する。それに対して実際に生起する災害の被害は主観的な予測に対応するのではなく、客観的な被災確率に依存する。情報が利用可能でなければ、アメニティ水準e_1の生起に関して認知される主観的リスクは、客観的リスクに一致する保証はない。

情報が利用不可能で各地点における災害危険度が判別できない場合、各家計は、S地区は実際には（確実に）安全であるにもかかわらず、災害時において低いアメニティ水準を甘受しなければならない可能性を予測し、またF地区は実際には（確実に）危険であるにもかかわらず、災害時にも平常時と変わらぬアメニティ水準を享受できる可能性を予測しながら居住地を選択するであろう。したがって、その結果形成される主観的な厚生(均衡効用水準)は、家計がその均衡土地利用状態において実際に得ることのできる客観的な厚生とは異なったものとなるのである。

ここで、災害危険度に関する情報提供の効果を評価するために、主観的な厚生と、客観的な厚生いずれに基礎を置くべきかが問題となる。本研究では公的機関による災害危険度情報提供を想定し、主として客観的な厚生をもとに分析を行う。したがって以下では客観的な厚生水準を規定する。

ゼロ情報下の均衡土地利用状態における土地消費、合成財消費をそれぞれ(s^0, z^0)とすれば、ゼロ情報下、S地区における家計は確率1で$u(s^0, z^0, e_0)$なる客観的厚生水準を得ることができる。また、ゼロ情報下、F地区における家計はそれと同等の客観的厚生水準を、被災しない場合のみ、すなわち$(1-p)$の確率で得ることができる。すなわち家計が位置(δ, r)において実際に得ることのできる（客観的）厚生を$w_\delta^i(R_\delta^i(r), y-tr)$とおけば、式(13)等を用いることにより以下が成り立つ。

$$w_S^0(R_S^0(r), y-tr) = u^0/(1-p+\alpha p) \quad (50)$$
$$w_F^0(R_F^0(r), y-tr) = (1-p)u^0/(1-p+\alpha p) \quad (51)$$

すなわち、ゼロ情報下においては、F地区に住む家計は主観値よりも低い厚生を実際（客観的）には甘受しなければならないのに対して、S地区に住む家計は主観値よりも高い厚生を得ることになる。ゼロ情報下ではS・F両地区の家計数はそれぞれ$N/2$になることに注意すると、客観的な期待効用の総和、すなわち社会的厚生水準W^0は以下のように与えられる。

$$\begin{aligned} W^0 &= \frac{N}{2}(1-p)\,u^0/(1-p+\alpha p) + \frac{N}{2}\,u^0/(1-p+\alpha p) \\ &= N\,(1-0.5p)\,u^0/(1-p+\alpha\,p) \end{aligned} \quad (52)$$

これに対して完全情報下においては、すべての家計は災害時にいずれの地区のアメニティ水準が低下するかを正しく知った上で居住地を選択するため、1家計当たりの客観的な厚生水準$w_\delta^1(R_\delta^1(r), y-tr)$は以下のように与えられる。

$$w_\delta^1(R_\delta^1(r), y-tr) = \begin{cases} u^1 & (0 \le p \le \bar{p}, \delta = S, F) \\ u_{\bar{p}}^1 & (p \ge \bar{p}, \delta = S, F) \end{cases} \quad (53)$$

このときの社会的厚生水準は$W^1 = N w_\delta^1(R_\delta^1(r), y-tr)$として与えられる。ここで$Y = y - tr$とおき、1家計当たりの客観的厚生水準$w_\delta^i$と社会的厚生水準$W^i$を間接効用関数$v(R, Y)$を用いて表すと、以下のようになる。

$$w_S^0 = v(\Psi^0(r, u^0; p), Y) \quad (54)$$
$$w_F^0 = (1-p)v(\Psi^0(r, u^0; p), Y) \quad (55)$$
$$w_\delta^1 = \begin{cases} v(\Psi_S^1(r, u^1; p), Y) \\ (1-p)v(\Psi_F^1(r, u^1; p), Y) \quad (0 \le p < \bar{p}) \end{cases} \quad (56)$$
$$W^0 = N(1-0.5p)v(\Psi^0(r, u^0; p), Y) \quad (57)$$
$$W^1 = \begin{cases} Nv(\Psi_S^1(r, u^1; p), Y) \\ N(1-p)v(\Psi_F^1(r, u^1; p), Y) \quad (0 \le p < \bar{p}) \end{cases} \quad (58)$$

いま、$p = 0$において$\Psi_\delta^1(r, u^1; 0) = \Psi^0(r, u^0; 0)$だから

$$w_\delta^0|_{p=0} = w_\delta^1|_{p=0} \quad (59)$$

である。$p > 0$において$\Psi_F^1(r, u^1; p) < \Psi^0(r, u^0; p) < \Psi_S^1(r, u^1; p)$であり、一般に$\partial v/\partial R(r) < 0$であるから、

$$w_F^0 \le w_F^1 = w_S^1 \le w_S^0 \quad (60)$$

であることがわかる。これはすなわち、F地区における1家計当たりの客観的厚生水準は情報提供によって改善されるが、S地区におけるそれは情報提供によって改善されないことを示す。特に後者は、情報提供によってS地区全体の均衡地代が($p \ne 0$において)上昇してしまうことに起因している。次に、情報構造に関する社会的厚生W^iの大小関係を調べよう。ここで式(57)(58)より、以下の関係が成り立つ。

$$\frac{v(\Psi_S^1(r, u^1; p), Y)}{(1-0.5p)v(\Psi^0(r, u^0; p), Y)} \left\{ \begin{matrix} \ge \\ < \end{matrix} \right\} 1 \Leftrightarrow W^1 \left\{ \begin{matrix} \ge \\ < \end{matrix} \right\} W^0 \quad (61)$$

すなわち、社会的厚生水準の大小関係は、完全情報下のS地区において達成される間接効用水準と、ゼロ情報下において達成される間接効用水準の、1家計当たりの平均値の大小関係によって決定される。後述の**7.**における数値分析の結果では、社会的厚生水準の大小関係が、災害生起確率と効用の土地消費量に対する弾力値の組み合わせに関してどのように変化するのかを、明快に把握することができる。

(2) 帰着便益

a) 等価的オプションプライス(OP)

不確実性下における便益評価の指標としては、様々なものが利用可能であるが[3)4)]、ここでは情報提供により各々の家計に帰着する便益を、等価的オプションプライスOPによって計量しよう。これは、上田[3)]の言うゾーン別EVと同義である。等価的オプションプライスOP_δは、情

報提供前の土地利用状況において、情報提供後の効用水準を達成するために必要な所得の増加量であり、すなわち以下の等式を解くことによって求めることができる。

$$w_\delta^0(\Psi_\delta^0(r), y + OP_\delta - tr) = u^1 \ \ (\delta = S, F) \qquad (62)$$

ここで等価的オプションプライスを用いる理由は、便益の帰着を分析するためには情報提供によって利益や不利益を被る主体を明らかにしておくことが必要であり、このために、居住地ベースで異なる便益を軽量化し得る指標が必要であると考えたからである。

いま、完全情報下のS地区において得ることができる客観的厚生水準と、ゼロ情報下のS地区において達成される土地利用状態の下で(名目)所得がdY_S増加したときの1家計当たりの客観的厚生水準の差Δw_Sは、以下のように表すことができる。

$$\begin{aligned}&\Delta w_S\\&= w_S^1(\Psi_S^1(r, u^1; p), Y) - w_S^0(\Psi^0(r, u^0; p), Y + dY_S)\\&= v(\Psi_S^1(r, u^1; p), Y) - v(\Psi^0(r, u^0; p), Y + dY_S) \qquad (63)\end{aligned}$$

等価的オプションプライスOP_Sは、$\Delta w_S = 0$のときのdY_S(所得の増分)として与えられる。$\partial v(\Psi_\delta^i, Y)/\partial R < 0, \partial v(\Psi_\delta^i, Y)/\partial Y > 0$であることより

$$dY_S(r,p)|_{\Delta w_S = 0} = OP_S(r,p) \leq 0 \qquad (64)$$

となることがわかる。同様にして完全情報下のF地区において得ることのできる客観的厚生水準と、ゼロ情報下のF地区において達成される土地利用状態の下で(名目)所得がdY_F増加したときの1家計当たりの客観的厚生水準の差Δw_Fは、以下のように表すことができる。

$$\begin{aligned}&\Delta w_F\\&= w_F^1(\Psi_F^1(r, u^1; p), Y) - w_F^0(\Psi^0(r, u^0; p), Y + dY_F)\\&= (1-p)\{v(\Psi_F^1(r, u^1; p), Y)\\&\qquad - v(\Psi^0(r, u^0; p), Y + dY_F)\} \qquad (65)\end{aligned}$$

したがって等価的オプションプライスOP_Fは

$$dY_F|_{\Delta w_F = 0}(r,p) = OP_F(r,p) \geq 0 \qquad (66)$$

となることがわかる。したがって、情報提供による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地区では負、F地区では正の便益が生じることがわかった。

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$h/s^0 = h/s(R_\delta^0(r), y - tr)$であることから以下のように規定できる。

$$SOP = \sum_{\delta = S,F} h \int_0^{\bar{r}^0} \frac{OP_\delta(y - tr, p)}{s(R_\delta^0(r), y - tr)}\, dr \qquad (67)$$

b) 総差額地代(TDR)

不在地主の厚生は以下に示す総差額地代TDRで計ることにする。

$$TDR^i = \sum_{\delta = S,F} \int_0^{\bar{r}_\delta^i} h\{\Psi_\delta^i(r, u^i; p) - R_A\}\, dr \qquad (68)$$

c) 総便益(B)

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は、等価的オプションプライスの社会的集計値SOPと情報提供によるTDRの増分の単純和として、以下のように規定する。

$$B = TDR^1 - TDR^0 + SOP \qquad (69)$$

7. 特定化モデルによる解析的分析

ここでは効用関数を$u(s, z, e_0) = s^a z^b (> 0)$、$u(s, z, e_1) = 0$（コブ＝ダグラス型）に特定化し、災害危険度情報の提供効果に関して解析的な検討を行う。

はじめに、各主体に帰着する便益の社会的集計値、さらにそれらの総和Bに関して符号を検討しよう。コブ＝ダグラス型の効用関数の下で式(62)・(68)を解けば、等価的オプションプライスOP_δ、総差額地代TDR^iは以下のようになる。

$$OP_S = \left\{\left(\frac{1 + (1-p)^{\frac{1}{a}}}{2}\right)^{\frac{a}{a+b}} - 1\right\}(y - tr) \qquad (70)$$

$$OP_F = \left\{\left(\frac{1 + (1-p)^{\frac{1}{a}}}{2(1-p)^{\frac{1}{a}}}\right)^{\frac{a}{a+b}} - 1\right\}(y - tr) \qquad (71)$$

$$\begin{aligned}TDR^1 = G&\left\{(1 + (1-p)^{\frac{1}{a}})^{\frac{a}{a+b}} + (1 + (1-p)^{-\frac{1}{a}})^{\frac{a}{a+b}}\right\}\\&+ \frac{y}{t}\frac{1}{2a+b}\left\{aNt - 2(a+b)R_A h\right\} \qquad (72)\end{aligned}$$

$$TDR^0 = G 2^{\frac{2a+b}{a+b}} + \frac{y}{t}\frac{1}{2a+b}\left\{aNt - 2(a+b)R_A h\right\} \qquad (73)$$

ただし$G = \frac{y}{t}\frac{a+b}{2a+b}R_A^{\frac{2a+b}{a+b}}\left(\frac{h}{Nt + 2R_A h}\right)^{\frac{a}{a+b}} h$である。

いま、$OP_S(r,0) + OP_F(r,0) = 0$ かつ $\partial(OP_S(r,p) + OP_F(r,p))/\partial p > 0$より、$SOP \geq 0$となる。また、$TDR^1|_{p=0} - TDR^0 = 0$ かつ $\partial(TDR^1 - TDR^0)/\partial p > 0$より、$\Delta TDR \equiv TDR^1 - TDR^0 \geq 0$となる。したがって家計の効用関数をコブ＝ダグラス型に特定化した場合には、$p \neq 0$ならばSOP、ΔTDRともに正となり、したがって総便益Bも常に正となることがわかった。

次に、$a = 0.5$、$b = 1$、$y = 20$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 という設定の下で、数値計算を行った結果を示す。

図-2は、情報構造と地代の関係を示している。この数値事例において、情報提供時には非提供時と比べてS（F）地区の地代が上昇（下落）し、都市境界距離はCBDから遠ざかる（接近する）ことが確認できた。またこれらの傾向は災害生起確率pの上昇とともに顕著になっている。さらに、災害生起確率pが、家計数Nや農業地代R_Aといった外生的な変数によって定まる確率$\bar{p} = 1 - (\frac{R_A h}{Nt + R_A h})^a$よりも高くなった場合、$R_{-1}^1(0) = R_A$となり、F地区は居住地としては利用されなくなる。

図-3は、情報構造に関するS・F両地区における1家計当たりの客観的な厚生水準を示したものである。このグラフにおいて$p = 0.2$とした。ゼロ情報下のS地区における客観的な厚生水準は、F地区のそれに比して高くなっており、したがって、ゼロ情報下においては地区ごとに客観的厚生水準のかい離が生じることが確認できる。また、完

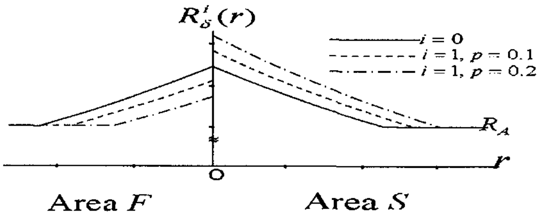

図-2:情報構造・災害生起確率と均衡地代の関係

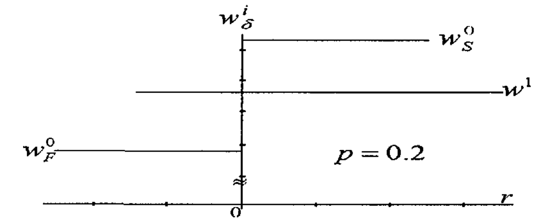

図-3:情報構造と1家計当たりの客観的な厚生水準の関係

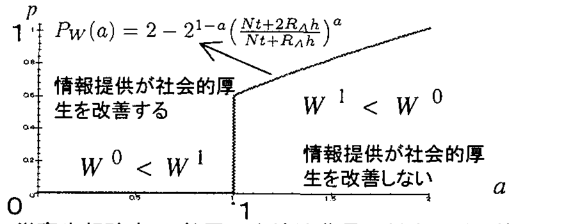

図-4:災害生起確率p、効用の土地消費量に対する弾力値 aと厚生水準 W^i の大小関係

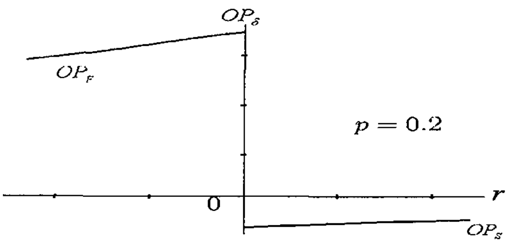

図-5:等価的オプションプライス

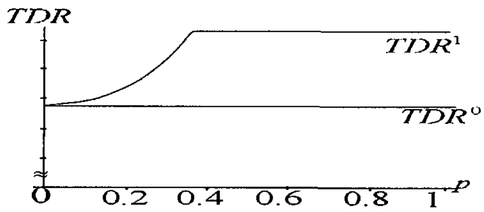

図-6:災害生起確率と総差額地代の関係

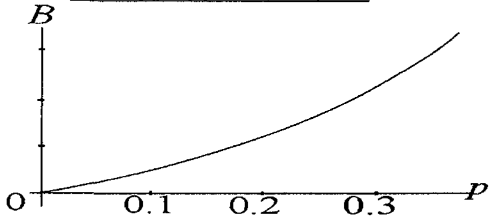

図-7:災害生起確率と便益の関係

全情報下の客観的な厚生水準はそのかい離した厚生水準の間の値をとり、災害危険度情報を提供することによってS地区における客観的な厚生水準は低下し、逆にF地区の厚生は増加することが確認できた。

図-4は、情報構造に関する社会的厚生水準の大小関係が、効用の土地消費量に対する弾力値 $a(=\frac{\partial u}{u}/\frac{\partial s}{s})$ と災害生起確率 p に関連してどのように変化するのかを示す。$a<1$ のとき、または $a>1$ の場合で災害生起確率 p が十分高いときは、情報提供時の社会的厚生が情報非提供時のそれを上回るという結果が得られた。

図-5は、CBDからの距離rと等価的オプションプライスOP_δの関係を示している。このグラフにおいて $p=0.2$ とした。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地区では負の評価、F地区では正の評価となり、それらの評価の絶対値はCBDからの距離rに関して減少することが確認できる。また、コブ=ダグラス型の効用関数に特定化した場合、$p>0$における任意のrについて$OP_F(r,p)>|OP_S(r,p)|$となり、等価的オプションプライスOP_δの社会的集計値は正になることが確認された。

図-6は、災害生起確率pと総差額地代TDRの関係を示す。$p>0$において$TDR^1>TDR^0$となっていることがわかり、不在地主に帰着する便益は災害危険度に関する情報の提供によって増加していることがわかる。いま、不在地主がすべての土地を所有しているとすると、不在地主は完全情報提供下においてゼロ情報下よりも多くの総差額地代収入を得ることができるが、仮にある不在地主の所有する土地がすべてF地区内であるならば、図-2より明らかなように、その地主が得ることのできる地代収入は災害生起確率の上昇とともに減少するであろう。したがって情報提供によって不在地主に帰着する便益の増減は土地の所有状況に依存し、S地区の土地を多く所有する地主ほどより高い便益を享受できる傾向にある。

図-7は、災害生起確率pと総便益Bの関係を示す。この数値事例では、$p\geq 0$において$B\geq 0$であり、災害危険度情報の提供が平常時の都市にもたらす総便益が正となっていることがわかる。

8. 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って、災害危険度に関する情報が利用可能な場合とそうでない場合の家計の居住地選択行動をモデル化し、立地均衡の違いを明らかにした上で、家計や不在地主に帰着する便益に対する理論的評価を試みた。それにより、以下のような知見を得た。

1. 完全情報が利用可能な場合、災害の生起確率がゼロでない限り、安全な地区の地代は災害危険度の高い地区の地代よりも高くなり、その市街地面積も広くなる。さらに災害の発生頻度が高まれば、これらの傾向はより顕著になる。一方、情報が全く利用可能でない場合には、家計は地点毎の危険度の判別ができないために、災害の頻度の増加があっても人口・資産・地代分布は均一で不変である。したがって、災害危険度に関する情報の提供は、災害危険度の高い地区への人口・資産の集積を軽減する効果があることがわかる。

2. 客観的厚生水準を用いると、一般に安全な地区の1家計当たりの厚生は、情報提供によって低下し、逆に、危険度の高い地区の家計の厚生は上昇する。これは、情報提供前の客観的厚生水準には、地区によって開きがあることによる。このように、情報提供は、客観的厚生水準を平準化する働きがある。

3. コブ=ダグラス型の効用関数を仮定すれば、情報提供によって総差額地代が上昇することがわかった。これは、完全情報下においては総差額地代が災害生起確率の上昇とともに増加するのに対して、ゼロ情報下においては全く変化しないことによる。これは、情報提供によって増加した総差額地代をもとに、新たな防災投資を行う可能性が生じることを示唆している。

4. さらに、災害危険度に関する情報の提供前と提供後の客観的な厚生水準の変化を、等価的オプションプライスの概念を用いて価格換算を行い、上記3.の結果を合わせると、平常時における災害危険度に関する情報提供の総便益は、多くの場合正となるものと考えられる。

以上に示したように本研究では、災害危険度情報の提供が、理論上において、平常時の土地市場や、各主体にもたらす便益に対して、比較的明快な効果を持ち得ることを示すことができた。しかしながら依然として、1)災害保険の可能性、2)防災技術と防災投資における個人と政府の役割、3)デベロッパーや地主が情報を秘匿してしまうインセンティヴを排除するための検討など、種々の課題が残されている。今後はこれらの問題点に基づいた検討を進めていきたいと考える。

参考文献

1) 片田敏孝, 及川 康：洪水経験と災害意識に着目した洪水ハザードマップの公表効果に関する研究, 土木計画学研究・講演集 21 (1), pp.331-334, 1998.
2) 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.
3) 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) 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.
5) Frame, D.E. : Housing, Natural Hazards, and Insurance, *Journal of Urban Economics*, **44**, pp.93-109, 1998.
6) James, D.S., C.S. Sirmance and J.D. Benjamin : Flood Insurance, Wealth Redistribution, and Urban Property Values, *Journal of Urban Economics*, **26**, pp.43-53, 1989.
7) Schoemaker, P.J.H : The Expected Utility Model: Its Variance, Purposes, Evidence and Limitations, *Journal of Economics Literature*, **20**, pp.529-563, 1982.
8) Kunruether, H : Limited Knowledge and Insurance Protection, *Public Policy*, **24**, pp.227-261, 1976.
9) Brookshire, D.S., M.A. Thayer, J. Tschirhart and W.D. Schulze : A Test of the Expected Utility Model: Evidence from Earthquake Risks, *Journal of Political Economy*, **93**, pp.369-389, 1985.
10) 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.
11) Zenou, Y. and L. Eeckhoudt : Bid Rents under Unemployment Risk: Delayed versus Timeless Uncertainty, *Journal of Urban Economics*, **42**, pp.42-63, 1997.

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

山口 健太郎, 多々納 裕一, 田中 成尚, 岡田 憲夫

災害危険度に関する情報とは、都市内の位置と災害時における被害の程度を関連付けて参照できるようにしたものである。このような情報の提供は、防災上危険な地域に対する家計の立地選択を抑制することによって、防・減災の観点から望ましい土地利用に資する可能性が高い。本研究では、人命を脅かすほど甚大な被害を及ぼす災害を対象とした災害危険度情報の有無に関する家計の立地行動をモデル化し、災害危険度情報の提供効果を分析する。その上で、情報提供が効率的であるための条件を考察することを目的とする。

Analyzing Effect of Information Provision on Catastrophic Disaster Risk in a Monocentric City

By Kentaro YAMAGUCHI, Hirokazu TATANO, Naruhisa TANAKA and Norio OKADA

With a focus on public information about amenities of a city in disaster, this paper considers effects of the information on equilibrium land use patterns and social benefits achieved in the city. In the paper, we assume a monocentric linear city in which areas have different vulnerabilities against disaster. Models of residential choice behavior under provision of perfect or null information are formulated. By comparing equilibrium land use patterns and benefits, we examine the conditions such that provision of public information improves social benefits.
