

【論 説】

# ソフト面での防災活動による リスクリテラシーの向上に関する検定

石 山 健 一

## 目 次

1. はじめに
2. 洪水ハザードマップ公表とリスク認識変化に関する既往研究
3. ヘドニック・アプローチの理論的側面
4. リスクリテラシーの向上に関する仮説検定
5. おわりに

## 1. はじめに

我が国は、近年、大きな自然災害に見舞われている<sup>1)</sup>。今後、地球温暖化によって海面水温や気温が上昇し、大気中に含まれる水蒸気量も増大すれば、積乱雲やそれが集団化した台風が発達しやすくなるため、温暖化気候では豪雨災害がさらに激甚化すると予想される<sup>2)</sup>。こうした自然災害による被害を軽減するためには、ハード面での備えだけでなく、ソフト面での防災活動等にも政府や自治体が十分対応していく必要があると考えられる。

我が国のソフト面での防災活動としては、水害による被害を軽減することを目的として、1994年6月、建設省<sup>3)</sup>が自治体に洪水ハザードマップ<sup>4)</sup>の作成を要請し、その後、各自治体において洪水ハザードマップの作成・公表が進んだことが挙げられる。2021年3月には洪水ハザードマップを公表している市区町村の数は1,365となり、市区町村全体の97%にまで達した<sup>5)</sup>。このような施策によって、おそらく我が国における市民のリスクリテラシー<sup>6)</sup>は向上し、それが防災・減災に結びついていくのであろう。ただ、残

ソフト面での防災活動によるリスクリテラシーの向上に関する検定

念ながら、それをわれわれが直接確認することは簡単ではない。

仮に、リスクリテラシー向上の結果、地震や洪水といった自然災害に対するリスクを適切に評価した上で居住地を選択する傾向が強くなり、それが不動産市場に反映されるのであれば、われわれはリスク認識の変化を市場動向の変化として捉えることができるかもしれない。この可能性に関して、ここで、いくつかの文献を引用しておくべきであろう。たとえば、顧ほか(2015)は、「自然災害リスクに対する人々、企業、政府の認識や行動は、よりよい環境作りにつながり、その価値が、土地や住宅の需要活動を通じて価格に反映される」と明言している。また川脇(2007)は、その冒頭で「地震をはじめとした自然災害が不動産に与える損失は、リスクとして捉えることができ、そのリスクは市場で評価され、不動産価格に反映されている可能性がある。これは人々の自発的なリスク回避行動の存在を意味するもので、ハザードマップ等の災害危険度情報の公開など防災対策を推進していくうえでの根拠を提供するものとなる」と考察している。リスクリテラシー向上の結果か否かはさておき、災害リスクに対する認識の変化が不動産価格に影響を及ぼすというのは経済学的に興味深い現象である。

1980年代以降、災害リスクと不動産価格の間の関連性について、Brookshire *et al.* (1985) を先駆的研究として、数多くの実証研究の成果が蓄積されてきた。たとえば、Beron *et al.* (1997) は1989年10月に起きたロマ・プリータ地震<sup>7)</sup>の発生前後2時点で市場価格関数の最尤推定結果を比較することにより、地震後は住宅価格に与える地震リスクの効果が低下したことを示した。また、Bin and Polasky (2004) は、1999年9月にハリケーン・フロイドがもたらした洪水が不動産取引価格にどのような影響を及ぼしたのかを分析している。彼らは、洪水の危険性の高い土地か否か、洪水の前か後かを表す質的説明変数を含む回帰モデルを推定し、洪水リスクの高い土地の価格が平均より有意に低いこと、洪水後は価格がさらに下落したことを示した。

ところで、井上ほか(2016)によれば、水害危険性と地価の関係を分析す

ソフト面での防災活動によるリスクリテラシーの向上に関する検定  
る既往研究の前提となる考え方には、「水害危険性が地価に与える影響の大きさは水害危険性の大きさそのものによる」という考え方と、「地域住民の水害危険性に対する認識の強さによる」という考え方の二つがある<sup>8)</sup>。どちらを重視すべきかは、実際のところ、対象となる人や地域の条件次第である。人々の水害危険性に対するリスクリテラシーが一定であれば、水害危険性の大きさが地価変動の重要なファクターになり、水害危険性に変化がないとみなせる期間内であれば、危険性に対する認識の違いによる影響が顕在化するであろう。このことは、リスクリテラシー向上を検定する方法をわれわれに仄めかしているようにみえる。

以下では、我が国の水害危険性と地価の関係を分析した既往研究をいくつか取り上げ、その相違点と共通点について簡単に説明しておこう。災害リスクを表す説明変数として、市川ほか（2002）は最寄りの川までの距離、最寄りの川との標高差、標高ポイント、下水道整備ダミー、浸水歴ダミーを、寺本ほか（2008）は公示地点の標高値以外に既往最大浸水深または予想最大浸水深を、大郷（2014）は液状化しやすい地域と液状化しにくい地域のダミー変数を、森ほか（2016）は発生頻度別の最大浸水深を、そして染岡・有村（2021）は土石流・崖崩れ・津波・洪水の各リスクに対応するダミー変数を選択している。それぞれ採用された説明変数は異なっているが、それは分析対象となる地域や期間によって意識すべき災害リスクが異なることを反映しているからであろう。これらに共通点するのは、いずれもヘドニック価格関数を想定して、地価のあるいはその対数変換を被説明変数として回帰分析を行い、推定された災害リスク変数の偏回帰係数の違いを災害リスクに対する人々の認識の相違として把握することを試みている点である<sup>9)</sup>。これらの研究についてはこれ以上詳細に立ち入らないが、前の段落で述べたように、災害リスクに対する人々の認識や行動の変化、すなわち、リスクリテラシーの変化を明確に捉えるには、そのための条件が整っている必要があり、もしそうでなければ、われわれは条件が整うよう何らかの処理をしなければならぬ。

ソフト面での防災活動によるリスクリテラシーの向上に関する検定

ここで、改めて災害リスク認識の重要性について立ち返っておこう。菊池(2018)は、様々な防災活動の出発点となるのは災害リスクの適切な評価であり、防災・減災のための施策においては、正常性バイアス等、災害時の認知バイアスの特性を考慮した計画立案であること、そしてリスクリテラシーを向上させるような施策であることが求められていることに言及している。また、久保田・廣井(2019)によれば、危険な地域に住民を住まわせないための規制誘導施策の効果を高めるには、まずは、市民が災害リスクをどのように評価しているかを知ることが重要である。これらの指摘のみを考慮しても、アンケート調査等を積極的に活用し、地域住民の防災リスク認識の変化をより直接的に分析することが重要なアプローチであることが分かる。

著者の知る限り、片田ほか(1999)は情報による市民の防災意識の変化をアンケート調査によって明らかにした最初の文献の一つである。片田ほか(1999)は災害時の住民避難に関する調査によって1998年8月末郡山水害後の福島県郡山市において、洪水ハザードマップを見た住民の避難率は見ていなかった住民よりも10パーセント高く、また、避難開始のタイミングが55分早かったことを明らかにした。朝位ほか(2011)のアンケート調査でも、洪水ハザードマップ配布によって自宅でできる水害対策を実施する住民の割合が上昇したというエビデンスが得られている。これらの調査結果は、洪水ハザードマップの認知度が高まることによって、全体として住民の防災への取り組みが向上することを示唆している。この点については、我が国におけるハザードマップ活用の現状と課題を明らかにするためにも、より広範な調査の実施について検討する価値があると考えられる。当然のことながら、それはコスト面でも実行可能なものでなくてはならない。

こうした議論を背景に、本論文では、洪水ハザードマップ公表のような防災・減災のためのソフト施策が人々のリスクリテラシー向上に寄与したか否かを事後的に判定するための分析手法について、その理論的側面を再考することを試みる。本論文の構成は次の通り。第2節では、洪水ハザードマップの公表後に地域住民のリスクリテラシーが向上したというエビデンスを示し

ソフト面での防災活動によるリスクリテラシーの向上に関する検定した既往研究について概括する。続く第3節では、不動産価格と災害リスクの関係を分析するためのヘドニック・アプローチの理論的側面を、このアプローチの普及に多大な貢献を果たしたRosen（1974）に基づいて解説し、第4節では、Rosen（1974）モデルの関数型をRosen（1974）とは異なる形で特定化したEpple（1987）のアイデアを用いて、リスクリテラシーの向上という直接は観測できない変化を不動産取引情報から把握するための方法について考察する。その結果は第5節にまとめられる。

## 2. 洪水ハザードマップ公表とリスク認識変化に関する既往研究

朝位ほか（2011）が指摘しているように、洪水ハザードマップが住民の防災意識に及ぼす効果を適切に評価することは、ソフト的防災対策としてのハザードマップの有効性評価やハザードマップ配布後のケアの在り方について議論する上で重要であると考えられる。本節では、洪水ハザードマップの公表が住民の災害リスク回避行動に与える影響をアンケート調査によって明らかにした既往研究である朝位ほか（2011）について概括する。

2005年9月6日に甚大な洪水被害が発生した山口県岩国市では、錦、本郷、美川、美和各地区の錦川水系の浸水危険地点などを示した洪水ハザードマップを市が作成し、流域住民4,700世帯に配布した<sup>10)</sup>。この洪水ハザードマップ配布前後の住民の防災意識の変化を分析することを目的として、朝位ほか（2011）は、当該地域の住民を対象とするアンケート調査を実施した。洪水ハザードマップ配布前の1回目のアンケート調査票は2007年12月中旬ごろ、洪水ハザードマップ配布後の2回目のアンケート調査票は2009年2月中旬ごろ、1回目、2回目ともに対象地域の772世帯に3部ずつ、合計2,316部が配布されている。朝位ほか（2011）は、回収したアンケート回答データに対して、住民の3つの水害対策行動、すなわち、「避難場所・経路の決定」、「家族や隣人との話し合い」、「自宅でする水害対策」を被説明変数とするロジスティック回帰モデルを当てはめることにより、住民のこれら

ソフト面での防災活動によるリスクリテラシーの向上に関する検定

の防災行動実行確率のハザードマップ配布前後での変化を分析している。具体的には、「自宅でできる水害対策」を被説明変数とするロジスティック回帰モデルでは説明変数を次の四つに設定している。一つ目は、「錦川の過去の水害、錦川上流にある菅野ダムの役割、河川法の改正により住民意見を河川整備計画に取り入れていること、多自然型川づくり」といったトピックに関する知識の総合評価である。二つ目は、2005年に発生した台風14号<sup>11)</sup>による被災の有無であり、三つ目は、「錦川の水害、避難行動や水害対策、水防活動や訓練、錦川の水質や自然環境」といった項目に関する関心の高さの総合評価、そして四つ目は「家庭でできる水害対策の実施は面倒と思うか、行政に意見を述べる場にするのは面倒と思うか」という質問に対する回答の総合評価、すなわち住民の心理的負担感である。推定式を用いて洪水ハザードマップ配布前後の住民行動をシミュレートした結果から、朝位ほか(2011)は洪水ハザードマップ配布によって自宅でできる水害対策を実施する住民の割合が上昇すると結論付けた。自宅でできる水害対策の実施は、楠見(2013)が定義したリスクリテラシーの「リスクに関わる意思決定や行動」に該当する。ゆえに、朝位ほか(2011)の調査研究結果は、洪水ハザードマップ配布による当該地域の住民のリスクリテラシー向上のエビデンスとなりうる事が分かる。

リスクリテラシー向上を明らかにした朝位ほか(2011)の研究成果は非常に興味深いのが、既に洪水ハザードマップを公表している市区町村の数が1,365、全体の97%にまで達している状況<sup>12)</sup>では同様の調査を大規模に実施することは困難である。しかし、消費者のリスクリテラシーの変化も他と同様に市場価格の変動に反映されるはずであるという経済学的な見方をすれば、過去の市場取引データを用いて同様の分析を実行することができるかもしれない。この可能性について詳細に検討するために、次節では不動産価格と災害リスクの関係を分析するヘドニック・アプローチに目を向けるとしよう。

### 3. ヘドニック・アプローチの理論的側面

災害リスクが不動産市場に与える影響についてヘドニック・アプローチを用いて分析した研究は数多く存在する<sup>13)</sup>。それらの多くは災害リスクを意味する説明変数を含むヘドニック価格モデルを推定し、回帰係数の推定値の変化から住民のリスク意識の変化を捉えようとするものである。その分析結果には既に十分学術的価値があるとも考えられるが、そのような災害リスク認識変化の分析に、さらに説得力を持たせる方法を模索するために、本節の残りの部分ではヘドニック・アプローチの理論的側面について再考することしよう。

Rosen (1974) の貢献によって多くの分野で利用されるようになったヘドニック・アプローチは、キャピタリゼーション仮説<sup>14)</sup>を背景に、属性の束と、その属性の束 $z$ を持つ財の市場価格 $P$ をヘドニック価格関数 $P(z)$ で関連付け、各属性の価値を推定する分析方法である<sup>15)</sup>。この方法を用いた場合、たとえば、藤田・盛岡 (1995) が述べているように、環境価値を直接評価する方法として、土地や住宅の市場を環境市場の代理市場として土地や住宅の価格から環境の価値を計測することが可能となる<sup>16)</sup>。

ヘドニック・アプローチでは、所得水準が $y$ で、選好パラメータ $a$ を持つある消費者は、予算制約

$$P(z) + x = y \quad (1)$$

の下で、自らの効用水準

$$U(z, x; a) \quad (2)$$

を最大化するために属性の束 $z$ を持つ住宅を価格 $P(z)$ で購入し、残りをニュメレル財 $x$ にあてるという合理的選択をすると仮定する<sup>17)</sup>。関数の定義域に関しては、 $z \in R^n, x \in R$ とする。簡単のため、実関数 $U(z, x; a)$ および $P(z)$ は、それぞれ連続で滑らかであるとする。この選択問題

ソフト面での防災活動によるリスクリテラシーの向上に関する検定

$$\begin{aligned} & \max U(z, x; a) \\ & \text{s.t. } P(z) + x = y \end{aligned} \quad (2)$$

における効用最大化のための1階の必要条件を効用関数の全微分で表現すると次のようになる<sup>18)</sup>。

$$dU(z, x; a) = \sum U_{z_i} dz_i + U_x dx = 0 \quad (3)$$

ただし、 $dz_i$  はベクトル  $z$  の第  $i$  成分  $z_i$  の任意の微小な変化を表す。このとき、ニュメレール財の保有量  $x$  の微小な変化  $dx$  は任意ではなく、制約条件により

$$dx = - \sum P_{z_i} dz_i \quad (4)$$

である。なお、ヘドニック価格関数の偏導関数  $P_{z_i}$  は、 $z_i$  のヘドニック価格と呼ばれる<sup>19)</sup>。限界効用がゼロにならないことを考慮して式 (3)、(4) を整理すると、効用最大化のための1階の条件

$$\frac{U_{z_i}}{U_x} = P_{z_i} \quad (5)$$

が得られる。一方、全微分で表現した効用最大化のための2階の十分条件は、

$$d(dU(z, x; a)) = \sum \sum U_{z_i z_j} dz_i dz_j - 2 \sum \sum U_{z_i x} P_{z_j} dz_i dz_j + U_{xx} (\sum P_{z_i} dz_i)^2 < 0 \quad (6)$$

である。異なる添え字  $i, j (i \neq j)$  に対して  $U_{z_i z_j} = 0$ 、同様に  $U_{z_i x} = 0$ 、加えて、 $U_{z_i z_j} < 0, U_{xx} < 0$  であれば、この条件は満たされている。より厳密には、1階の条件が成り立つ点  $(z, x)$  で評価した式 (2) の縁つきヘッセ行列の首座小行列式  $|\bar{H}_k|$  の符号がそれぞれの符号と一致するとき、式 (6) の  $d^2U$  は負値定符号となる<sup>20)</sup>。

つづいて、所与の効用水準  $u$  および所得水準  $y$  の下で、属性の束  $z$  の住宅に選好パラメータ  $a$  を持つ消費者が支払ってもよいと考える価格の最大値を  $\theta$  としよう。この値は

$$\theta = \theta(z; u, y, a) \quad (7)$$



と書くことができる。この関数 $\theta(z; u, y, a)$ は付け値関数 (bid function) と呼ばれている<sup>21)</sup>。ここで、ある属性の束 $z^*$ に対して

$$P(z^*) = \theta(z^*; u, y, a) \quad (8)$$

が成り立っているとする。この $z^*$ がこの消費者の効用を最大化するものであるためには、市場価格関数 $P(z)$ に関して

$$P_z(z^*) = \theta_z(z^*; u, y, a) \quad (9)$$

が成り立っていないとしない。

今度は、このモデルにおける生産者について説明しよう。Rosen (1974)では長期の場合と短期の場合について考察しているが、われわれが関心するのは、洪水ハザードマップが公表される前後のような短い期間でのパラメータ $a$ の変化である。よって、ここでは短期の場合を想定し、生産者が選択できるのは販売する住宅の個数 $M$ と、その住宅の持つ属性の束 $z$ であると仮定する<sup>22)</sup>。生産者は利潤

$$\pi = P(z)M - C(M, z; \beta) \quad (10)$$

を最大化するよう、 $M$ と $z$ を選択する。ここで定数ベクトル $\beta$ は連続でなめらかな総費用関数 $C(M, z; \beta)$ のパラメータであり、その値は生産者によって異なると考えられる<sup>23)</sup>。先ほどと同様に、利潤の全微分

$$d\pi = \sum P_{z_i} M dz_i + P dM - \sum C_{z_i} dz_i - C_M dM = \sum (P_{z_i} M - C_{z_i}) dz_i + (P - C_M) dM \quad (11)$$

から利潤最大化のための1階の必要条件を求めると、

$$P_{z_i} M = C_{z_i} \quad (12)$$

$$P = C_M \quad (13)$$

が得られる<sup>24)</sup>。よく知られていることであるが、この条件式は、パラメータ $\beta$ の値がすべての生産者で共通であれば、市場価格関数は生産者の限界費用関数に等しくなることを示している<sup>25)</sup>。

属性の束 $z$ の住宅に対し、パラメータ $\beta$ を持つ生産者が利潤を達成するために提示できる価格の最小値を $\varphi$ としよう。ただし、利潤 $\pi$ は供給数量 $M$ を調整することによって達成された最大利潤であるものとする。かくて $\varphi$

ソフト面での防災活動によるリスクリテラシーの向上に関する検定

は、次のような関数として表される。

$$\varphi = \varphi(z; \pi, \beta) \quad (14)$$

この関数はオファー価格関数 (offer function) と呼ばれる。生産者が供給数量  $M$  を調整することによって利潤最大化するときの 1 階の必要条件は、

$$\frac{\partial \pi}{\partial M} = \varphi(z; \pi, \beta) - C_M(M, z; \beta) = 0 \quad (15)$$

であり、このことは、所与の利潤  $\pi$  と属性の束  $z$  に対して

$$C_M(M, z; \beta) = \frac{\pi - C(M, z; \beta)}{M} \quad (16)$$

が成り立つように  $M$  が選択されていなければならないことを意味する。また、生産者が選択する属性の束  $z^*$  が彼らの利潤を最大化するものであるためには、市場価格関数  $P(z)$  に関して

$$P_z(z^*) = \varphi_z(z^*; \pi, \beta) \quad (17)$$

が成立していなければならない。したがって、効用水準  $u^1$ 、所得水準  $y^1$ 、選好パラメータ  $a^1$  の消費者と利潤  $\pi^1$ 、生産パラメータ  $\beta^1$  を持つ生産者の間で属性の束  $z$  の住宅が価格  $P(z)$  で売買されるときには、

$$\theta(z; u^1, y^1, a^1) = \varphi(z; \pi^1, \beta^1) \quad (18)$$

$$\theta_z(z; u^1, y^1, a^1) = \varphi_z(z; \pi^1, \beta^1) \quad (19)$$

が成立していることになる。このことは、均衡価格関数  $P(z)$  が、付け値関数とオファー関数の共有する接線によって描かれる包絡線となることを意味している。

当然のことながら、市場価格関数  $P(z)$  の関数型は一般には未知である。この点に関して、Witte *et al.* (1979) は、付け値関数とオファー関数の同時推定から統計的に市場価格を推定する方法を例示した。市場価格  $P$  を各属性  $z_i$  およびその積  $z_i z_j$  で説明する回帰モデルを想定し、観測したデータから偏回帰係数を推定すれば、その予測式を偏微分することによって式 (9)、(17) の左辺の値が推定できるようになる。その推定値を被説明変数として、式 (9)、(17) の関数を推定すれば、われわれは、それぞれの属性に対する

ソフト面での防災活動によるリスクリテラシーの向上に関する検定付け値関数、オファー関数を得ることができ、かくて、水害危険性と不動産価格の関係性が明らかになる<sup>26)</sup>。

しかしながら、このアプローチには根本的な問題がある。それは、この推定には消費者と生産者に関する詳細なデータが必要であるが、それらを揃えることは一般的に困難なことである。一方、われわれは、過去の消費者の防災意識の高さという観測の困難な選好パラメータに関心がある。付け値関数を推定することによって、間接的に水害に対する安全性の評価が変化したか否かを分析することもできるが、それが消費者のリスク認識の変化によるものかどうかまでは判別できないであろう。そこで、本研究では、こうした問題を回避し、また、議論を簡単にするために、効用関数を特定化し、生産者と消費者の特性の分布について正規分布を想定するというアプローチを採択する。この大胆な単純化によってどのような帰結に至るかについては、次節で明らかにしよう。

#### 4. リスクリテラシーの向上に関する仮説検定

前節では、水害危険性と不動産価格の関係を分析する方法について説明した。本節では、様々な属性を持つ不動産の取引価格データを用いて、水害危険性に対する住宅購入者のリスク認識の変化を捉える方法について考察しよう。ここで議論の対象となるのは、水害危険性そのものが変化していない場合に、洪水ハザードマップの公表といった消費者の防災意識に影響を与えうる出来事が実際に効果を及ぼしたのか否かを判断する方法である。

簡単のため、属性  $z_1$  を洪水等水害に対する住宅の安全度を表す指標とし、をそれ以外をまとめた住宅の属性として、消費者は、予算制約

$$P(z_1, z_2) + x = y \quad (20)$$

の下で効用水準

$$u = U(z_1, z_2, x; a_1, a_2) \quad (21)$$

を最大化するように価格  $P(z_1, z_2)$  の住宅を購入すると仮定しよう。さらに、

ソフト面での防災活動によるリスクリテラシーの向上に関する検定

所得  $y$  と選好パラメータ  $a_1, a_2$  に関しては、同時確率密度関数が

$$f(y, a_1, a_2)$$

である連続型確率分布に従うと仮定しよう。ただし、パラメータ  $a_1$  は消費者の洪水等水害に対するリスク認識の高さを表すものとする。所得  $y$  に関しては、対数正規分布のような右に裾を引く非対称な分布に従うと想定しておこう。

消費者の付け値関数は次の通り。

$$\theta = \theta(z_1, z_2; y, a_1, a_2) \quad (22)$$

市場価格

$$P = P(z_1, z_2)$$

を所与とするとき、確率密度  $f(y^*, a_1^*, a_2^*)$  の消費者の効用最大化条件は、

$$P(z_1, z_2) = \theta(z_1, z_2; y^*, a_1^*, a_2^*) \quad (23)$$

$$\frac{\partial}{\partial z_1} P(z_1, z_2) = \frac{\partial}{\partial z_1} \theta(z_1, z_2; y^*, a_1^*, a_2^*) \quad (24)$$

$$\frac{\partial}{\partial z_2} P(z_1, z_2) = \frac{\partial}{\partial z_2} \theta(z_1, z_2; y^*, a_1^*, a_2^*) \quad (25)$$

である。一方、供給される住宅については、属性の束の連続型確率分布が

$$g(z_1, z_2)$$

という同時確率密度関数で表されると仮定する。この効用最大化条件を満たす  $y, a_1, a_2$  の確率分布、利潤最大化の結果としての  $z_1, z_2$  の確率分布から、任意の属性の束  $(z_1, z_2)$  を持つ住宅の価格として、需要と供給が一致する均衡価格  $P(z_1, z_2)$  が定まる。

実際、効用関数および確率分布を特定化することによって Rosen (1974) や Epple (1987) は具体的な市場価格関数を導出している。このことは、原理的には、水害リスクに対する認識の変化、すなわち選好パラメータ  $a_1$  の確率分布の変化がヘドニック価格関数の係数の変化から捉えられ得ることを示唆している。

本研究では、Epple (1987) に倣って、具体的な効用関数と確率密度関数

を次のように想定しよう。

$$U(z_1, z_2, x; a_1, a_2) = -\frac{\theta_1}{2}(z_1 - a_1)^2 - \frac{\theta_2}{2}(z_2 - a_2)^2 + x \quad (26)$$

$$f(y, a_1, a_2) = -\frac{1}{2\pi\sqrt{2\pi}\sigma_y\sigma_{a_1}\sigma_{a_2}y} \exp\left(-\frac{(\ln y - \mu_y)^2}{2\sigma_y^2} - \frac{(a_1 - \mu_{a_1})^2}{2\sigma_{a_1}^2} - \frac{(a_2 - \mu_{a_2})^2}{2\sigma_{a_2}^2}\right) \quad (27)$$

$$g(z_1, z_2) = \frac{1}{2\pi\sigma_{z_1}\sigma_{z_2}} \exp\left(-\frac{(z_1 - \mu_{z_1})^2}{2\sigma_{z_1}^2} - \frac{(z_2 - \mu_{z_2})^2}{2\sigma_{z_2}^2}\right) \quad (28)$$

各属性に関する限界効用は

$$U_{z_1}(z_1, z_2, x; a_1, a_2) = -\theta_1(z_1 - a_1) \quad (29)$$

$$U_{z_2}(z_1, z_2, x; a_1, a_2) = -\theta_2(z_2 - a_2) \quad (30)$$

であるから、任意の  $y, a_1, a_2$  に対する効用最大化条件のための 1 階の条件は、

$$P_{z_1} = -\theta_1(z_1 - a_1) \quad (31)$$

$$P_{z_2} = -\theta_2(z_2 - a_2) \quad (32)$$

となる。仮に、市場価格関数を

$$P(z_1, z_2) = \beta_1 z_1 + \beta_2 z_2 + \beta_3 z_1^2 + \beta_4 z_2^2 \quad (33)$$

と想定する<sup>27)</sup> と、効用最大化のための 1 階の条件は

$$\beta_1 + 2\beta_3 z_1 = -\theta_1(z_1 - a_1) \quad (34)$$

$$\beta_2 + 2\beta_4 z_2 = -\theta_2(z_2 - a_2) \quad (35)$$

となる。式 (34) および式 (35) を  $z_1, z_2$  について解くと、各属性に対する需要は

$$z_1 = \frac{-\beta_1 + \theta_1 a_1}{2\beta_3 + \theta_1} \quad (36)$$

$$z_2 = \frac{-\beta_2 + \theta_2 a_2}{2\beta_4 + \theta_2} \quad (37)$$

となる。ところで、あらゆる住宅( $z_1, z_2$ )に対する需要の確率密度が供給の確率密度と等しくなるためには、正規分布に従う  $z_1, z_2$  の標準化、すなわち

ソフト面での防災活動によるリスクリテラシーの向上に関する検定

$$\frac{z_1 - \mu_{z_1}}{\sigma_{z_1}} = \frac{-\beta_1 + \theta_1 a_1}{(2\beta_3 + \theta_1) \sigma_{z_1}} - \frac{\mu_{z_1}}{\sigma_{z_1}} \quad (38)$$

$$\frac{z_2 - \mu_{z_2}}{\sigma_{z_2}} = \frac{-\beta_2 + \theta_2 a_2}{(2\beta_4 + \theta_2) \sigma_{z_2}} - \frac{\mu_{z_2}}{\sigma_{z_2}} \quad (39)$$

が、正規分布に従う  $a_1, a_2$  の標準化に一致していなければならない。任意の  $a_1, a_2$  に対して

$$\frac{-\beta_1 + \theta_1 a_1}{(2\beta_3 + \theta_1) \sigma_{z_1}} - \frac{\mu_{z_1}}{\sigma_{z_1}} = \frac{a_1 - \mu_{a_1}}{\sigma_{a_1}} \quad (40)$$

$$\frac{-\beta_2 + \theta_2 a_2}{(2\beta_4 + \theta_2) \sigma_{z_2}} - \frac{\mu_{z_2}}{\sigma_{z_2}} = \frac{a_2 - \mu_{a_2}}{\sigma_{a_2}} \quad (41)$$

が成り立つ条件を式 (33) の係数について示せば、次のようになる。

$$\beta_3 = \frac{\theta_1}{2} \left( \frac{\sigma_{a_1}}{\sigma_{z_1}} - 1 \right) \quad (42)$$

$$\beta_1 = \theta_1 \left( \mu_{a_1} - \frac{\mu_{z_1}}{\sigma_{a_1} \sigma_{z_1}} \right) \quad (43)$$

$$\beta_4 = \frac{\theta_2}{2} \left( \frac{\sigma_{a_2}}{\sigma_{z_2}} - 1 \right) \quad (44)$$

$$\beta_2 = \theta_2 \left( \mu_{a_2} - \frac{\mu_{z_2}}{\sigma_{a_2} \sigma_{z_2}} \right) \quad (45)$$

効用関数と確率密度関数が式 (26)、(27)、(28) のように特定化されているならば、需要と供給の法則によって市場価格関数は式 (33) の形式となり、上記のように係数が定まると考えられる。実際のところは、観測誤差や、そもそも効用関数が式 (26) のものと異なる消費者が紛れているなど、様々な理由によって、観測される市場価格は式 (33) によって完全には説明できない。理論と現実のこのギャップを埋めるために、式 (33) を次のように修正しよう。

$$P_j = \beta_1 z_{1j} + \beta_2 z_{2j} + \beta_3 z_{1j}^2 + \beta_4 z_{2j}^2 + \varepsilon_j \quad (46)$$

ここで、簡単のために

$$\varepsilon_j \sim iidN(0, \sigma_\varepsilon^2) \quad (47)$$

とする。

洪水ハザードマップが公表される前と後で、市場で売買された住宅の属性データ ( $z_1, z_2$ ) を用いて公表前の  $\beta_1$  の最小 2 乗推定量  $\hat{\beta}_1^b$  とその標準誤差  $S_{\hat{\beta}_1^b}$ 、公表後の  $\beta_1$  の最小 2 乗推定量  $\hat{\beta}_1^a$  とその標準誤差  $S_{\hat{\beta}_1^a}$  を求めたとしよう<sup>28)</sup>。われわれは洪水ハザードマップ公表後の  $\mu_{a1}$ 、すなわち  $\mu_{a1}^b$  も、公表前の  $\mu_{a1}$ 、すなわち  $\mu_{a1}^b$  も識別することはできないが、パラメータ  $\theta_1, \mu_{z1}, \sigma_{a1}, \sigma_{z1}$  に変化がないという前提で、

$$T_0 = \frac{\hat{\beta}_1^a - \hat{\beta}_1^b}{\sqrt{S_{\hat{\beta}_1^a}^2 + S_{\hat{\beta}_1^b}^2}} \quad (48)$$

が、帰無仮説： $\mu_{a1}^b = \mu_{a1}^a$  の下で近似的に t 分布に従い、対立仮説： $\mu_{a1}^b > \mu_{a1}^a$  の下ではそれより右に分布することを利用すれば、リスクリテラシーが向上したか否かを判定することは可能である。当該期間において供給側に変化がなかったことを確認するには、従前従後の  $\mu_{z1}$  および  $\sigma_{z1}$  について検定すればよい。

市場における属性の分布に変化がなかったことが統計学的に確かめられたのであれば、式 (46) の右辺に係数ダミー  $-D_j z_{1j}$  の項を加えた

$$P_j = \beta_1 z_{1j} + \beta_2 z_{2j} + \beta_3 z_{1j}^2 + \beta_4 z_{2j}^2 + \beta_5 D_j z_{1j} + \varepsilon_j \quad (49)$$

について  $\beta_5 = 0$  か否かを上片側検定するという方法も利用できる。ダミー変数を用いた回帰分析は Suits (1957) 等によって提案され、その後、Gujarati (1970) が係数ダミーを含めた分析に拡張したという経緯がある。2つの回帰モデルを別々に推定する場合と係数ダミーを入れた回帰モデルを推定する場合とでは、推定結果は異なるかもしれない。防災意識が高まったか否かの検定における第 1 種の過誤に関しては、同じ有意水準に対して、一方の検定では対立仮説を棄却することができ、他方では対立仮説を棄却できないというケースも起こりうるが、この点については特に問題はないだろう<sup>29)</sup>。第 2 種の過誤に関しては、式 (49) の係数ダミーを入れた回帰モデルの方が、 $z_1$  の係数以外は従前従後で変化しないというより強い仮定をおいているため、

ソフト面での防災活動によるリスクリテラシーの向上に関する検定

検出力が高くなると考えられる。ただし、実際に  $\beta_1$  以外のパラメータに変化があった場合は、過誤率が上昇してしまう点には注意が必要である<sup>30)</sup>。この点を考慮した場合、比較する 2 時点のクロスセクション・データを用いた推定結果から式 (48) の統計量を求める方法が無難であるといえる。

## 5. おわりに

我が国では、1994 年以降、水害による被害を軽減することを目的として、自治体による洪水ハザードマップの作成・公表が進み、2021 年 3 月には、洪水ハザードマップを公表している自治体は全体の 97% にまで達している。洪水ハザードマップの作成・公表が進むと、その効果に関する調査研究もおこなわれるようになった。そのような調査研究を後押しすることを目的として、本研究では、洪水ハザードマップの公表のようなソフト面での防災施策に、住宅市場における消費者のリスクリテラシーを高める効果があるか否かを事後的に検定する方法について論じてきた。

本来、人々のリスクリテラシー向上を評価するには片田ほか (1999) や朝位ほか (2011) が実施したようなアンケート調査を行うべきであるが、既に発生したイベントの前後でのリスクリテラシーの変化を事後的に調査するのは簡単ではない。本研究では、消費者のリスクリテラシーの変化も他と同様に市場価格の変動に反映されるという経済学的観点から、ヘドニック・アプローチによる評価方法を模索した。このアプローチによって災害リスクと不動産価格の間の関連性について実証分析した事例は、Brookshire *et al.* (1985) をはじめとして数多く存在するが、その多くは、災害リスクを表す指標を説明変数として含み、不動産価格もしくはその対数変換を被説明変数とする回帰モデルを推定して、その偏回帰係数の変化から災害に対する人々のリスクの偏かを捉えることを試みている。

本研究では、このような分析の理論的背景について考察し、Epple (1987) の例示したモデル特定化に従えば、消費者の災害リスクに関する選好パラメ



ソフト面での防災活動によるリスクリテラシーの向上に関する検定  
ータのような実際には観察することが不可能なものについても母集団レベル  
での変化の有無を検定できることを例示した。この方法の利点は、実際に市  
場で取引された不動産の価格とその属性の束に関するデータだけで検定が実  
行できる点にある。

ただし、金本（1992）が指摘しているように、ヘドニック推定値が正確で  
あるということは一般には保証されておらず、ヘドニック・アプローチが正  
しい評価をもたらすかどうかは、長期の場合であれ、短期の場合であれ、  
様々な条件に依存する。実際、本論文で議論したリスクリテラシー向上の有  
無を検定する方法にはいくつかの前提条件がある。第一に、この方法は、ほ  
とんどの消費者の効用関数が同質であること、すなわち、関数型が同じでパ  
ラメータの値だけが異なることを前提としている。第二に、ある属性の束を  
持つ住宅の供給分布のパラメータが従前従後で不変であることも前提として  
いる。つまり、実際に供給されたことが把握されている住宅の属性や数量は  
異なっても問題ないが、供給の背後にある各企業の費用関数等のパラメ  
ータは一定でなくてはならない。第三に、本研究では、Epple（1987）に基  
づいて消費者の選好や住宅供給の確率分布、消費者の効用関数を特定化して  
いる。これは市場価格関数を特定し、リスク認識の検定方法を確立するため  
に必要な措置であった。しかし、残念ながら、これらの前提条件の現実妥当  
性について、本研究では肯定的な材料を提示することは行っていない。むしろ、  
より現実的なモデルに基づく理論展開を模索・渉獵することを今後の課題  
として挙げておくべきであろう。

## 注

- 1) たとえば、令和3年版国土交通白書2021によれば、2019年の水害被害額は2兆1,800億円となり、津波以外の水害被害額としては統計開始以来最大となっている。
- 2) このような予想については、たとえば、竹見（2017）を参照。
- 3) 建設省は2001年の中央省庁再編により、運輸省、国土庁、北海道開発庁と統合され、国土交通省となった。
- 4) 洪水ハザードマップの内容や作成方法の課題等について論じた岩井（1997）によれ

ば、建設省が作成を推進した洪水ハザードマップとは、浸水予想区域や浸水深などの危険情報を表示するだけでなく、避難場所などの避難情報を加え、住民の避難行動にも直接役立つことをも目的とした地図のことである。

- 5) 国土交通省ホームページ <https://www.mlit.go.jp/> (2021年8月20日閲覧) を参照。
- 6) 楠見 (2013) によると、大凡、リスクリテラシーとは、第一にリスクに関わる情報をマスメディアなどから獲得し、理解する能力、第二に、リスクの低減につながる政策や対処行動を理解する能力、第三にリスクに関わる意思決定や行動を起こす能力のことである。
- 7) 当時の日本の新聞記事ではサンフランシスコ地震と呼ばれていた。
- 8) 井上ほか (2016) によると、前者の考え方に基づく我が国の研究としては、たとえば、齋藤 (2005)、岩橋ほか (2006)、岡川ほか (2012) が、後者に関しては、市川ほか (2002)、寺本ほか (2008) が挙げられる。
- 9) 実際のところ、大きな災害のあった年を含む各年の地価関数について推定したものもあれば、2地域の地価関数を推定したものもあり、また、年ダミーを用いて推定したケースもある。加えて、水害リスク情報の開示が地価に影響を与えているかを確認するために地価の変動率を被説明変数として追加的に推計したものもある。
- 10) 読売新聞 2008年8月31日西部朝刊 32頁を参照。
- 11) 読売新聞 2005年9月8日西部朝刊 28頁は、この台風の影響により、9月6日の岩国市の総雨量が地方気象台観測史上最高の 295 mm を記録したことを報じている。朝位ほか (2011) は、この台風による豪雨で 2005年9月6日に山口県岩国市美川地域、錦地域など錦川中・上流域で甚大な洪水被害が発生したと説明している。
- 12) これは 2021年3月31日時点の数値である。
- 13) 近年の研究成果については、石塚・横井 (2017)、井上ほか (2018)、久保田・廣井 (2019)、染岡・有村 (2021) が詳しくまとめている。
- 14) この文脈におけるキャピタリゼーション仮説の説明としては、たとえば Kanemoto (1988) を参照せよ。
- 15) ヘドニック・アプローチに関する文献は 1920年代にまで遡ることができる。たとえば、Baranzini *et al.* (2008) は、最も古い文献の一つとして 1928年に発表された Frederick V. Waugh の回帰分析を挙げている。
- 16) 藤田・盛岡 (1997) はヘドニック・アプローチについて、多重共線性の問題に配慮した環境変数選択の制約、投機の上昇のような変動値を排除する困難性を分析データの課題として挙げている。さらに、分析上の仮定と現実妥当性に関しては、地域開放性、住民の均質性、環境変化の微小性等について慎重に検討する必要があることを指摘している。
- 17) ベクトルが具体的に何を表すかについては、たとえば、Witte *et al.* (1979) の表 4 を参照せよ。
- 18) 本論文では、属性  $z_i (i=1, 2, \dots, n)$  に関する和をとるとき、 $\sum_{i=1}^n z_i$  と書く代わりに  $\Sigma z_i$  と略記する。
- 19) たとえば Beron *et al.* (1997) を参照。

- 20) 制約条件付きの最適化問題については、たとえば Chiang and Wainwright (2005, pp. 361-362) の解説を参照せよ。
- 21) この呼び方に関しては、Beron *et al.* (1997) が Rosen (1974) の定義を参照しており、本論文でもそれに従っている。後述のオファー関数 (offer function) についても同様である。
- 22) 本稿では、簡単のため、住宅の個数は非負の整数ではなく、実数として扱う。
- 23) ベクトル  $\beta$  が具体的に何を表すかについても  $a$  と同様に、たとえば、Witte *et al.* (1979) の表 4 を参照せよ。
- 24) 2階微分は、 $d^2\pi = \sum \sum (P_{z_i z_j} M - C_{z_i z_j}) dz_i dz_j + 2 \sum (P_{z_i} - C_{z_i M}) dz_i dM - \sum C_{MM} dM^2$  となる。
- 25) たとえば清水・唐渡 (2007, 16 頁) を参照。
- 26) この方法では、説明変数と誤差の間の相関が問題となる。この点については、詳しくは Epple (1987) や清水・唐渡 (2007, 16-18 頁) を参照せよ。
- 27) これも Epple (1987) のアイデアである。前節で説明した Witte *et al.* (1979) の推定式との相違点は異なる添え字に対しての係数をゼロとおいている点であるが、Epple (1987) が示したように式 (33) はミクロ経済学の理論モデルから導かれたものである。
- 28) これらの記号表記は Beron *et al.* (1997) に因んだものである。
- 29) 有意水準が等しければ、それは、第 1 種の過誤率も等しいことを意味するからである。
- 30) これらの考察結果については、Mathematica 等による数値シミュレーションで確認することが可能である。

## 参考文献

- [1] Baranzini, Andrea, José V. Ramirez, Caroline Schaerer and Philippe Thalmann (2008) "Introduction," in *Hedonic Methods in Housing Markets*, Andrea Baranzini, José V. Ramirez, Caroline Schaerer and Philippe Thalmann (eds.), pp. 1-12.
- [2] Beron, Kurt J., James C. Murdoch, Mark A. Thayer and Wim P. M. Vijverberg (1997) "An Analysis of the Housing Market Before and After the 1989 Loma Prieta Earthquake," *Land Economics*, Vol. 77, No. 1, pp. 101-113.
- [3] Bin, Okmyung and Stephen Polasky (2004) "Effects of Flood Hazards on Property Values: Evidence Before and After Hurricane Floyd," *Land Economics*, Vol. 80, pp. 490-500.
- [4] Brookshire, David S., Mark A. Thayer, John Tschirhart and William D. Schulze (1985), "A Test of the Expected Utility Model: Evidence from Earthquake Risks," *The Journal of Political Economy*, Vol. 93, pp. 369-389.

ソフト面での防災活動によるリスクリテラシーの向上に関する検定

- [5] Chiang, Alpha C. and Kevin Wainwright (2005) “*Fundamental Methods of Mathematical Economics (Fourth Edition)*,” McGraw-Hill, Inc.
- [6] Epple, Dennis (1987) “Hedonic Prices and Implicit Markets: Estimating Demand and Supply Functions for Differentiated Products,” *The Journal of Political Economy*, Vol. 95, No. 1, pp. 59-80.
- [7] Gujarati, Damodar (1970) “Use of Dummy Variables in Testing for Equality Between Sets of Coefficients in Linear Regressions: A Generalization,” *The American Statistician*, Vol. 24, No. 5, pp. 18-22.
- [8] Kanemoto, Yoshitsugu (1988) “Hedonic Prices and the Benefits of Public Projects,” *Econometrica*, Vol. 56, No. 4, pp. 981-989.
- [9] Rosen, Sherwin (1974) “Hedonic Prices and Implicit Markets: Product Differentiation in Pure Competition,” *The Journal of Political Economy*, Vol. 82, No. 1, pp. 34-55.
- [10] Suits, Daniel B. (1957) “Use of Dummy Variables in Regression Equations,” *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 52, No. 280, pp. 548-551.
- [11] Witte, Ann D., Howard J. Sumka, and Homer Erekson (1979) “An Estimate of a Structural Hedonic Price Model of the Housing Market: An Application of Rosen’s Theory of Implicit Markets,” *Econometrica*, Vol. 47, No. 5, pp. 1151-1173.
- [12] 朝位孝二・古賀将太・榊原弘之 (2011) 「洪水経験のある住民のハザードマップ配布前後の防災意識構造の比較」土木学会論文集 B1 (水工学), Vol. 67, No. 2, 30-40 頁.
- [13] 石塚治久・横井渉央 (2017) 「東日本大震災前後の東京都における自然災害リスク情報が土地取引価格に与える影響」応用地域学研究 No. 21, 1-16 頁.
- [14] 市川 温・松下将士・椎葉充晴 (2002) 「水災害と地価の関係に関する調査研究」京都大学防災研究所年報 第 45 号 B-2.
- [15] 井上 亮・永吉真也・小森大輔 (2016) 「水害危険性が地価に与える影響の変化時点推定—地域の水害危険性認識変容の把握に向けて—」土木学会論文集 B1 (水工学) Vol. 72, No. 4, I\_1309-I\_1314.
- [16] 井上 亮・大津 颯・井内加奈子 (2018) 「水害の浸水深と住宅取引価格変化の関係分析 —ハリケーン・サンディの被災地を対象に—」土木学会論文集 B1 (水工学) Vol. 74, No. 4, I\_1315-I\_1320.
- [17] 岩井皖次 (1997) 「洪水ハザードマップ (飯山市千曲川洪水避難地図) の作成と課題」地図 Vol. 35, 25-29 頁.
- [18] 岩橋 佑・平松敏史・塚井誠人・奥村 誠 (2006) 「地価・土地利用モデルを用いた水害リスクの影響分析」土木計画学研究・論文集 No. 23, 291-297

頁.

- [19] 岡川 梓・日引 聡・小嶋秀人 (2012)「ヘドニック・アプローチによる東京都区部の洪水被害額の推計 —浸水リスク変数の内生性を考慮した分析—」環境経済・政策研究 Vol. 5, No. 2, 58-71 頁.
- [20] 片田敏孝・浅田純作・及川 康 (1999)「洪水氾濫に備える河川情報」日本災害情報学会 1999 研究発表大会論文集 No. 1, 159-166 頁.
- [21] 金本良嗣 (1992)「ヘドニック・アプローチによる便益評価の理論的基礎」土木学会論文集第 449 号, 47-56 頁.
- [22] 川脇康生 (2007)「地震リスク認識のバイアスと地価：阪神・淡路大震災被災地での実証」日本不動産学会誌 第 21 巻第 1 号, 104-115 頁.
- [23] 菊池 聡 (2018)「災害における認知バイアスをどうとらえるか —認知心理学の知見を防災減災に応用する—」日本地すべり学会誌 55 巻 6 号, 286-292 頁.
- [24] 楠見 孝 (2013)「科学リテラシーとリスクリテラシー」日本リスク研究会誌 Vol. 23, No. 1, 29-36 頁.
- [25] 久保田映希・廣井 悠 (2019)「災害リスクが関東大都市圏の賃貸住宅市場に与える影響 —賃料・専有面積による市場区分と地域間の差異に注目して—」公益社団法人 日本都市計画学会 都市計画論文集 Vol. 54, No. 3, 1153-1160 頁.
- [26] 顧 濤・中川雅之・齊藤 誠・山鹿久木 (2015)「リスク認知と居住地選択の変化」都市住宅学 88 号, 18-20 頁.
- [27] 齋藤良太 (2005)「首都圏における浸水危険性の地価等への影響」季刊住宅土地経済 2005 年秋季号, 19-27 頁.
- [28] 清水千弘・唐渡広志 (2007)『不動産市場の計量経済分析』朝倉書店.
- [29] 染岡夏樹・有村俊秀 (2021)「豪雨・土砂災害が住民の災害リスク認識に与える影響 —広島市周辺の地価に着目して—」環境科学会誌 34, 196-207 頁.
- [30] 大郷 歩 (2014)「液状化リスク認識の変化が地価に及ぼす影響」日本不動産学会誌 第 28 巻第 1 号, 80-88 頁.
- [31] 竹見哲也 (2017)「地球温暖化と台風災害」農業および園芸 92 巻 3 号, 194-204 頁.
- [32] 寺本雅子・西澤諒亮・市川 温・立川康人・椎葉充晴 (2008)「地価分析を用いた水災害リスクに対する住民意識の評価に関する研究」水工学論文集 第 52 巻, 457-462 頁.
- [33] 藤田 壮・盛岡 通 (1995)「ヘドニック価値法を用いた公園緑地の環境価値評価に関する研究」環境システム研究 Vol. 23, 64-72 頁.
- [34] 森 英高・西村洋紀・谷口 守 (2016)「水害リスク情報提示が地価の変動

ソフト面での防災活動によるリスクリテラシーの向上に関する検定

に与える影響 — 「地先の安全度マップ」を活用して— 公益社団法人 日本都市計画学会 都市計画報告集 No. 14, 276-280 頁.