

地震リスクが日本の不動産価格に与える影響¹

生藤昌子、ロジェー J. A. ラーヴェン、ヤン R. マグナス、樂園

行く川のながれは絶えずして、
しかも本の水にあらず。
よどみに浮かぶうたかたは、
かつ消えかつ結びて、
久しくとどまりたるためしなし。
世の中にある人とすみかと、
又かくのごとし。

鴨長明 (1153–1216)

1 はじめに

中世の混乱した世に生き、1185年の文治の地震や大火、飢饉などの大災害に遭遇した鴨長明は、晩年の隠遁生活で上記の名文で始まる随筆「方丈記」を執筆した。草庵で暮らす長明は、この世の全てのものがはかなく永遠ではないという仏教的無情観で大災害を語っている。同時に、人はみな少なくとも地震のあった直後は住まいや物への執着の虚しさを口にするが、日が経つと無常観も忘れて日常に戻っていく、と記している。

鴨長明が感じた日本人の災害リスクに対する態度は、統計学的・経済学的に観ると短期的・長期的な違いを示すだろうか？ Ikefuji, Laeven, Magnus, and Yue (2021) (以下、本論文) は、東京、大阪、名古屋、福岡、札幌の5都市の2006年から2015年の不動産価格のデータを用いて、地震発生 of 短期的リスクと長期的リスクに対する人々の主観的評価を分析している。本稿ではその主な分析結果を紹介したい。

本論文で検証する長期的地震発生確率とは、ある地点において想定される震度以上の揺れが今後30年間に発生するリスクについての確率を意味し、J-SHIS地震ハザードステーションから確率論的地震動予測地図データとして公表されている。一方、短期地震発生確率は今後90日以内に発生するリスクについての確率を意味し、気象庁のデータを用いて本研究において推定したものである。客観的に計測されたリスクは、人々の認知したリスクあるいは主観的リスク評価と異なる。本論文では客観確率を主観確率加重を用い変換することによってこの違いを捉え、日本の不動産価格に反映された主観的評価および客観的長期・短期地震リスクの分析を試みる。

地震は単独に発生するよりも短時間に複数の地震が発生することが多い。地震クラスターは前震、余震と本震の前後に発生したり、本震により周辺の

¹本稿は“Earthquake risk embedded in property prices: Evidence from five Japanese cities,” *Journal of the American Statistical Association*, 2021の要約である。JASA オンラインにある補足資料も参照されたい。

断層に歪みがかかることで誘発されて発生する。大きな地震が振動を励起し伝播する現象は地震励起 (seismic excitation) として知られる。地震発生確率とはこの地震波動伝播を考慮して推定される (尾形 2015)。本論文で分析する客観的地震予測も地震励起性を考慮している。

本論文は不動産の属性、立地の魅力度、マクロ経済変数、長期地震ハザードデータ及び、第3節で紹介する統計モデルと地震カタログ (発生時刻・位置・大きさなどの歴史記録) で推定した短期地震発生確率を含む大規模なパネルデータ (サンプル数 331,343) を用いる。主観確率評価の分析のために確率加重関数を考慮した不動産価格のヘドニック回帰モデルを構築し、多変量誤差構成要素構造 (multivariate error components structure) を導入した最尤推定 (maximum likelihood estimation) および分散分析手法 (variance computation procedures) にて分析する。不動産価格の地震リスクに対する補償額を識別し、不動産価格に与える短期的リスク要因と長期的リスク要因に分けることで、地震発生の客観確率と主観加重確率の影響も比較し、違いを明確にする。

主な分析結果は以下の通りである。第1に、客観的地震リスクは不動産価格に有意な負の影響を与え、想定する震度が大きいほど影響が大きくなることが示される。第2に、客観的長期地震リスクの不動産価格への影響という結果のもとでは、客観的短期リスクが追加的に与える負の影響は有意ではないが、加重した主観的短期リスクが与える負の影響は有意であるという結果が得られる。第3に、短期地震リスクへの確率加重関数はS字カーブを描くことが示される。これは多くの実験を用いた先行研究で得られる逆S字カーブの確率加重関数とは異なり、相対的に低い確率には過小評価するが、高い確率の場合は過大評価することを示唆している。この興味深い結果は、地震の常時発生確率が正の値であることに加え、特に東京では短期地震確率が分析期間中に35%以下にはならないことに関連すると思われる。参照地震確率がゼロではなく正の値を取り、人々はその参照地震確率からの一時的な乖離を過大評価する傾向を示唆していると考えられる。最後に、地震の総合リスクに対する補償額は不動産価格の対数値の平均2%に相当し、日本の中所得層の年間所得よりわずかに多い値であることが報告されている。

2 先行研究

不動産価格を分析するための標準モデルには、Rosen (1974) が発展させたヘドニック価格モデルがある。一般的なヘドニック価格モデルでは、不動産を構成する様々な属性を不動産価格の構成要素とみなしており、価格を構成する属性の選択も不動産の面積、立地、建物の建築年など一般的な住宅の属性からマクロ経済効果などの外生的な属性まで及ぶ。しかし、自然災害の不動産価格への影響を分析した既存研究は多くない。既存研究で扱われる多くのモデルは大震災が発生している・発生していないという2つの状態での、洪

水、ハリケーン・台風あるいは地震の不動産価格に与える負の影響について研究されている。

Brookshire *et al.* (1985) は、期待効用のフレームワークでヘドニック不動産価格を分析した。ロスアンジェルスとサンフランシスコでの地震のダメージに対する自己保険を調べ、消費者は地震からの安全度に関して立地を選択することを通じて自己保険の水準を選ぶことを示した。そこでは、不動産の購入者が地震リスクについて十分な情報を有するならば、比較的リスクの高い地域では不動産に対する支払い金額が低くなる。Bin and Polasky (2004) は、ハリケーン・フロイドがもたらした洪水（ノースカロライナ、1999）の前後での不動産価格に与える負の影響を推定・比較し、氾濫の起きた場所の不動産市場価格はそれ以外の不動産市場価格より割り引かれていることを明らかにした。これらの結果の再検討として Bin and Landry (2013) は、さらに2つの大きな洪水があったノースカロライナのヘドニック不動産価格を推定し、潜在的なリスクプレミアムが急速に消えることを報告している。

Kawawaki and Ota (1996) は、1995年の阪神・淡路大震災が不動産販売価格と賃貸価格に与えた影響について分析した。大震災は賃貸物件の構造と立地に関する賃貸人の選好に影響を与えるが、不動産購入者への影響は明らかでない結論づけた。Nakagawa *et al.* (2009) は、1988年に公表された東京都の地域危険度調査を用い、家計・企業の地震リスクに対するリスク回避度を分析し、地震リスクが地価へ強い負の影響を与えることを示した。顧・中川・齊藤・山鹿 (2011) は、更新された東京都の地域危険度調査を用いて更新前後の地域危険度ランキングの変化が相対地価に与える影響を分析した。相対的に安全な地域では、危険度ランキングの低下（相対的安全度の上昇）は相対地価に正の影響を与え、相対的に危険な地域では、危険度ランキングの上昇（相対的危険度の上昇）は負の影響を与えるが、ランキングの低下はほとんど影響がないことを明らかにした。Naoui *et al.* (2009) は、全国的な日本家計パネル調査と J-SHIS 地震ハザードリスクと実際に発生した地震記録を用いて個人の地震リスクについての評価を推定した。彼らは主観的リスクと客観的リスクを区別し、大震災後、不動産所有者は地震発生場所付近の不動産価値を割り引き、賃貸人は賃貸物件の価値を割り引くことを明らかにした。Hidano *et al.* (2015) は、東京都の地域危険度調査を用いて、危険度の低い地域の不動産価格は危険度が高い地域の価格よりも高くなるが、耐震性の高い新しい建築物に対する地震リスク情報の影響は限定されることを示した。2011年の東日本大震災後の家計のリスク選考の変化については Naoui *et al.* (2012) と Hanaoka *et al.* (2018) により分析されている。

3 地震励起と確率加重

人々が不動産を購入するとき、長期の地震リスクを考慮するのに加え、不動産周辺で最近発生した地震に関するニュースも影響を与えることが考えられ

る。短期的なりスクについて分析するために、点過程 ETAS モデル (Epidemic Type aftershock Sequence model) を推定し、モデルが算出した 4 半期および地域ごとの短期地震確率のパネルデータを作成する。これらの確率は各期・各地域で公表される情報としての客観的短期地震リスク評価とする。

点過程 ETAS モデルは尾形 (Ogata 1988) により提案された。1 つの地震発生から誘発されて発生する余震、つまり地震の伝播性または伝染 (epidemic) 効果および余震の時間的減衰を考慮したモデルであり、過去の履歴情報に依存する条件付強度関数を持つ。本論文では 1970 年 1 月 1 日から 2015 年 12 月 31 日の 5 都市および周辺の地震カタログを基に、5 つの各都市に対して ETAS モデルの条件付強度関数の推定を行う。次に、推定した強度関数を用いて、各都市について 90 日以内に震度 5.5 を超える地震発生確率をシミュレーションで導出する。シミュレーションの手法は Ogata (1981) に従う。得られた地震発生確率は、不動産を所有しようとする個人の地震リスク認知と解釈する。

次に、90 日以内に発生する地震確率として得られた地震励起の客観的推定に加え、2 つの確率加重関数を用いて主観評価を分析する。Tversky and Kahneman (1992) の確率加重関数:

$$w(p) = \frac{p^\psi}{(p^\psi + (1-p)^\psi)^{1/\psi}},$$

Prelec (1998) の確率加重関数:

$$w(p) = e^{-(\log p)^\psi}$$

を考える。これらの 2 種類の確率加重関数は経済学や意思決定科学 (decision science) で最も広く使われている。

4 データ

本論文で用いたデータに関する情報はかなり複雑であるため、本稿では要約する。日本の主要都市のうち地理的に離れた東京 (特別区、旧東京市)、大阪、名古屋、福岡、札幌の不動産価格に与える地震リスクの影響を分析する。各都市は区 (ward)、さらに町・村・郡あるいは町名などの行政区画に分けられ、本論文では各都市で用いるデータが属する最小区画である町・村・郡を地区 (district) と呼ぶ。不動産購入の意思決定には立地する地域の魅力度、例えば、人口・世帯、学校・社会教育施設や医療施設数、小売店・スーパーなどの数、交通事故数などの安全に関する情報も影響を与えると考えられ、区単位で得られる都道府県の社会生活統計指標 (総務省統計局) のデータを用いる。不動産価格と不動産の属性などは国土交通省の土地総合情報システムから地区単位で入手でき、種類は「宅地 (土地と建物)」、「宅地 (土地)」、「中古マンション等」と区別されている。不動産立地の最寄駅の名前と当該地

からの距離の情報を得られるが、物件を特定する正確な立地情報については得ることができない。しかし、これらの情報を用いて不動産立地の地域メッシュコードと関連づけを行うことで、地震リスクの影響を分析することができる。不動産価格に関連し、全国的に影響を与えるだろうマクロ経済変数のデータも考慮する。最後に、地震に関するデータは、前述した J-SHIS 地震ハザードステーションから確率論的地震動予測地図データと気象庁の歴史記録の地震カタログを用いる。

5 モデルと推定

被説明変数は不動産価格の対数値で、四半期 t に取引された i 地区の k タイプの不動産 h の価格は $y_{it}^{(h,k)}$ で表す。不動産市場モデルで用いられる最も一般的な分析方法はヘドニック・アプローチである。先駆者である Rosen (1974) によると、ある財・サービスの価格はそれが持つ各属性の価値の集合体とみなすことができ、各属性の（対数）価格を回帰分析で推定できる。本論文もヘドニック・アプローチを用い、不動産の（対数）価格は、不動産の大きさや建築年数などの属性、近隣環境（立地、犯罪率、学校数など）、地震リスク要因およびマクロ経済変数の影響によって決まる。都市は地区 i に対して一意に決まる $c(i)$ で表す。ただし、 $c(i)$ は 1 から 5 までの 5 つの値を取る。不動産取引が行われた時点 t に対して、第 1、第 2、第 3、第 4 の、どの四半期にあたるかを $q(t)$ で表す。ただし、 $q(t)$ は 1 から 4 までの 4 つの値を取る。観測値の数は地区や不動産の種類、どの四半期に取引されたかによって異なり、分析精度にも影響する。都市特有の違いは回帰モデルの切片のシフト $\alpha_{c(i)}$ で捉える。しかし他の全てのパラメータは都市間で同じであると仮定し、都市間の違いは全て $\alpha_{c(i)}$ で捉えることとする。

ヘドニック市場価格の回帰モデルは以下のように表すことができる。

$$y_{it}^{(h,k)} = \alpha_0^{(k)} + \alpha_{c(i)} + \gamma_{q(t)} + x_{i.}^{(k)'} \beta_1 + x_{.t}^{(k)'} \beta_2 + x_{it}^{(h,k)'} \beta_3 + r_{it}(\psi)' \beta_4 + u_{it}^{(h,k)},$$

ここで、 $x_{i.}$ は時間を通じて一定であるが、地区によって異なる魅力度指標を表すベクトル、 $x_{.t}$ は地区間で共通だが、時間を通じて変化する経済指数ベクトル、 x_{it} は地区・時間によって異なる不動産の属性ベクトル、 r_{it} は不動産の種類に対して共通の、主観的短期および客観的短期・長期確率で与えられるリスクデータとする。都市ダミー変数と四半期ダミー変数を用い、東京と第 4 四半期をゼロとする。

回帰モデルはパラメータに対して線形として表されているが、リスク変数 r_{it} が第 3 節で示したように確率加重関数に複数の ψ を持つ非線形関数となるため、主観的確率を考慮する場合は線形回帰モデルではない。

6 推定結果

本節では次の3つの問いについて検討する。(1) 客観的長期地震確率は不動産価格に影響を与えるか？(2) 客観的長期確率の効果に加え、客観的短期地震確率は不動産価格に影響を与えるか？(3) 客観的長期確率の効果に加え、短期地震確率は不動産価格に影響を与えるか？

本論文はサンプルサイズが大きく、ほとんどの推定値が通常の水準 1.96 (5%) で有意となることがある。従って推定結果についてより詳細な情報を示すために、 t -値による有意性を次のように表す。表の[‡]は $|t| \leq 1.96$ で有意とはみなさず、[†]は $1.96 < |t| \leq 4.00$ で有意とする。上付き記号が付いていない場合は $|t| > 4.0$ で有意な結果を表す。

Estimation results under various risk assumptions

	variable	LR only	LR and objective SR	Base model
<i>intercepts</i>	land & building	3.7592	4.5593	4.3812
	land only	3.5949	4.3940	4.2155
	condo	3.1025	3.9024	3.7244
<i>city dummies</i>	Osaka	-0.2273	-0.2625	-0.2615
	Nagoya	-0.3801	-0.4100	-0.4139
	Fukuoka	-0.8770	-0.9133	-0.9108
	Sapporo	-1.2050	-1.2458	-1.2388
<i>ward attractiveness</i>	immigrants	6.7245	6.7224	6.7218
	crime	-0.0437	-0.0436	-0.0436
	unemployment	-4.3360	-4.3395	-4.3399
	executives	3.3426	3.3447	3.3464
<i>economic indicators</i>	log(GDP)	0.5606	0.5220	0.5229
	log(CPI)	1.5347	1.4687	1.5030
<i>property characteristics</i>	area (m^2)	0.0025	0.0025	0.0025
	floor area (m^2)	0.0006	0.0006	0.0006
	distance to nearest station	-0.0145	-0.0145	-0.0145
	age	-0.0121	-0.0121	-0.0121
	built 1981–2000	0.1674	0.1658	0.1652
	built after 2000	0.4136	0.4126	0.4123
	structure: reinf. concrete	0.4348	0.4344	0.4343
	structure: steel	0.1867	0.1867	0.1867
	structure: wood	-0.1264	-0.1266	-0.1266
	urban control	-0.8972	-0.8967	-0.8967
	max building coverage ratio	-0.0019	-0.0019	-0.0019
	max floor area ratio	0.0004	0.0004	0.0004
<i>risk</i>	long run 45–55	-0.1433	-0.1427	-0.1427
	long run 55+	-0.5037	-0.5039	-0.5041
	short run	—	-0.0915 [‡]	-0.0514
	$\hat{\psi}$	—	—	3.74 [†]
$\Delta \log L$		-68.5	-15.8	—

第1の客観的長期地震確率の不動産価格への影響を見てみよう。‘LR only’の列の全ての推定結果は t -値の絶対値が4.0を超え(上付き記号がなく)、有

意であることを示している。ここで長期地震リスクに関して、変数 *long run 45-55*（中程度のリスク）は、JSHS が公表している今後 30 年間の震度 5 弱以上かつ震度 6 弱より小さい揺れに見舞われる確率のことである。*long run 55+*（高いリスク）は震度 6 弱以上の揺れに見舞われる確率のことである。中程度のリスクと高いリスクのどちらも不動産価格に対して負で有意である。より高いリスクはより大きな影響を示し、これは直感的な結果であると言える。

次に第 2 の問いである長期リスクの影響の下での短期地震確率と不動産価格の関係について検討する。推定結果は見出し ‘LR and objective SR’ の列に示され、リスク変数 *short run* は一見しては影響を及ぼすとは言えない。つまり、短期地震リスクと不動産価格の関係は予想通り負だが有意でない。

最後に、長期リスクの影響の下での「歪んでいる可能性のある」短期確率が不動産価格に与える影響の分析である。結果は見出し ‘Base model’ の列に報告されており、一見すると影響があるようである。短期確率が歪んで認知されると、不動産価格には有意な負の影響が表れる。

長期地震リスクと短期リスクの違いは、短期確率が加重関数を用いて確率に歪みを与えていることである。本稿で示した結果は、最尤法推計で最も高い尤度を生成する Prelec (1998) が提唱した確率加重関数を用いている²。推定された確率加重関数は S 字カーブを描き、低い確率は過小評価され、高い確率の場合は過大評価されることが示唆される。これは実験研究でしばしば確認される逆 S 字カーブの確率加重関数とは異なる結果である。この対比は地震の常時発生確率が正の値であり、地震励起によって引き起こされた短期地震確率の一時的乖離がゼロの参照確率ではなく、正の参照確率に対して評価されるためであると考えられる。これは 90 日以内の震度 5.5 を超える地震確率が分析期間中に 35% より低くならず、特に東京に当てはまる。

結論として、長期地震リスクは不動産価格に影響を与え、客観的短期地震リスクは影響はないが、歪んで認識される短期地震リスクは不動産価格に影響を与えると言える。

Selected bibliography

尾形良彦 (2015) 「地震の確率予測の研究—その展望」『統計数理』63 巻 1 号、3-27 頁。

顧濤・中川雅之・齊藤誠・山鹿久木 (2011) 「東京都における地域危険度ランキングの変化が地価の相対水準に及ぼす非対称的な影響について：市場データによるプロスペクト理論の検証」『行動経済学』第 4 巻 1-19 頁。

²Tversky and Kahneman (1992) が提唱した確率加重関数の場合の分析結果については、Ikefuji, Laeven, Magnus and Yue (2021, JASA) を参照されたい。

- Bin, O. and Landry, C. E. (2013). Changes in implicit flood risk premiums: Empirical evidence from the housing market. *Journal of Environmental Economics and Management*, 65, 361–376.
- Bin, O. and Polasky, S. (2004). Effects of flood hazards on property values: Evidence before and after Hurricane Floyd. *Land Economics*, 80, 490–500.
- Brookshire, D. S., Thayer, M. A., Tschirhart, J., and Schulze, W. D. (1985). A test of the expected utility model: Evidence from earthquake risks. *Journal of Political Economy*, 93, 369–389.
- Hanaoka, C., Shigeoka, H., and Watanabe, Y. (2018). Do risk preferences change? Evidence from the Great East Japan Earthquake. *American Economic Journal: Applied Economics*, 10(2), 298–330.
- Hidano, N., Hoshino, T., and Sugiura, A. (2015). The effect of seismic hazard risk information on property prices: Evidence from a spatial regression discontinuity design. *Regional Science and Urban Economics*, 53, 113–122.
- Ikefuji, M., Laeven, R. J. A., Magnus, J. R., and Yue Y. (2021). Earthquake risk embedded in property prices: Evidence from five Japanese cities. *Journal of the American Statistical Association*, Published online: 23 July 2021.
- Kawawaki, Y. and Ota, M. (1996). The influence of the Great Hanshin-Awaji earthquake on the local housing market. *Review of Urban and Regional Development Studies*, 8, 220–233.
- Nakagawa, M., Saito, M., and Yamaga, H. (2009). Earthquake risks and land prices: Evidence from the Tokyo Metropolitan area. *The Japanese Economic Review*, 60, 208–222.
- Naoi, M., Seko, M., and Ishino, T. (2012). Earthquake risk in Japan: Consumers’ risk mitigation responses after the Great East Japan earthquake. *Journal of Economic Issues*, 46, 519–529.
- Naoi, M., Seko, M., and Sumita, K. (2009). Earthquake risk and housing prices in Japan: Evidence before and after massive earthquakes. *Regional Science and Urban Economics*, 39, 658–669.
- Ogata, Y. (1981). On Lewis’ simulation method for point processes. *IEEE Transactions on Information Theory*, 27, 23–31.

- Ogata, Y. (1988). Statistical models for earthquake occurrences and residual analysis for point processes. *Journal of the American Statistical Association*, 83, 9–27.
- Prelec, D. (1998). The probability weighting function. *Econometrica*, 66, 497–527.
- Rosen, S. (1974). Hedonic prices and implicit markets: Product differentiation in pure competition. *Journal of Political Economy*, 82, 34–55.
- Tversky, A. and Kahneman, D. (1992). Advances in prospect theory: Cumulative representation of uncertainty. *Journal of Risk and Uncertainty*, 5, 297–323.