

# マルチエージェント・シミュレーションによる液状化リスク 下の住宅立地分析

2013.3.1 於 株式会社構造計画研究所

第13回 MAS コンペティション

筑波大学大学院システム情報工学研究科 香川 涼亮

[kagawa.sk@gmail.com](mailto:kagawa.sk@gmail.com)

## 1. はじめに

2011年3月に発生した東日本大震災は広範囲にわたる津波被害のみならず、茨城県および千葉県沿岸の都市部において液状化被害をもたらした。液状化によって被災した地域と物件は再建を迫られ、今回被災しなかった地域と物件においても潜在する被害リスクの認知が深まり、需給に影響が及ぶこととなっている。

本研究で自然災害の中でも地震にともなう液状化現象を対象とする理由は、被害が人的にまでは及びにくく、物件の損壊という個人または個々の企業にとっての経済的被害を中心に考慮すればよいことによる。つまり、津波や大規模水害においては、地域全体を守るためには堤防整備等の巨額の公共投資が必要であるのに対し、液状化では住宅開発・供給者と家計という個々の主体による経済行動をもたらす結果が重要であり、その性質を分析する意義が見出せるのである。

本研究では、液状化リスクが都市の構造に与える影響を、立地選択行動が土地に関して不完全情報の状況下にある点に着目する。本研究における不完全情報とは、災害ないし液状化リスクを認識せずに立地選択を行う家計が存在することをいう。特に、リスクを正しく認識できる家計と認識できない家計の構成比率の違いが、立地選択とその結果としての都市構造にどのように影響を与えるかを、主な関心としている。

不動産取引における地震危険回避行動として、山鹿ほか(2002a)では立地の回避を取り上げ、地価および家賃への影響を調べている。結果、計測されたリスク・プレミアムが危険回避行動の理論モデルと整合的であることを指摘し、防災対策は公共事業による計画的整備よりも、リスク情報開示や保険制度の整備等の市場メカニズムを通じた対策が基本となるとしている。また同(2002b)では地震危険回避行動としての耐震投資を対象に、同様に地価および家賃への影響を調べている。

都市内における立地選択や、その結果としての都市空間構造パターンの変容については、MASによるモデル化が盛んになされている。これらのモデルの中で、エージェントが行動パターンに関して経済的な裏付けを持つものは、最近数年でようやく登場するようになった(Magliocca et al. (2011), Parker, Filatova (2008))。Caruso et al. (2007) は住民と農家の

立地選択の結果として、住宅地と農地が混在する立地の発生を示し、Ettana (2011) はサーチと価格交渉の観点を導入している。これらの研究はいずれも、個人の意思決定の結果と全体の空間構造パターンの実現を、一括したモデルの中で説明することを主眼としており、興味深い試みである。ただし現実との整合性、結果の妥当性を主張するための形式的な手続きは、従来行われている実証分析、理論分析と比べると、まだ確立されていない。

既存研究の状況をふまえて本論文では、液状化リスクが住宅供給業者の開発行動と家計の立地に与える影響を分析の対象とする。災害リスク下における立地選択行動を MAS によって分析することは、既存研究には見られない本論文独自の試みであるといえる。

## 2.1 モデルの提示

まず都市空間および液状化リスクに関する仮定を示す (図 1)。

- ・平面上に広がる都市で、左下の原点に CBD (都心) が位置する。
- ・左右、上下方向をそれぞれ 1km 刻みで正方形に区切り、 $10 \times 10 = 100$  個の区域を設定する。各区域から都心までの距離は離散的とし、区域の中央をその区域の代表地点とする。つまり、左から数えて  $i$  番目、下から数えて  $j$  番目の区域から CBD への距離  $r$  は

$$r = \sqrt{(i - 0.5)^2 + (j - 0.5)^2} \text{ km} \quad (i, j = 1, 2, \dots, 10)$$

で表される。

- ・都市空間の下側が沿岸部、上側が内陸部であると想定する。さらに空間内の土地について、デベロッパーによる液状化対策の有無を考える。対策がなされていない土地 (対策なし) では、下から数えて  $j$  番目の区域において、シミュレーションの 1 期 (ステップ) ごとに  $l = (11 - j) \%$  の確率で液状化被害を受ける。この確率  $l$  を液状化リスクとよぶ。対策がなされた土地 (対策あり) では液状化被害の影響を受けず、液状化リスクはゼロとする。

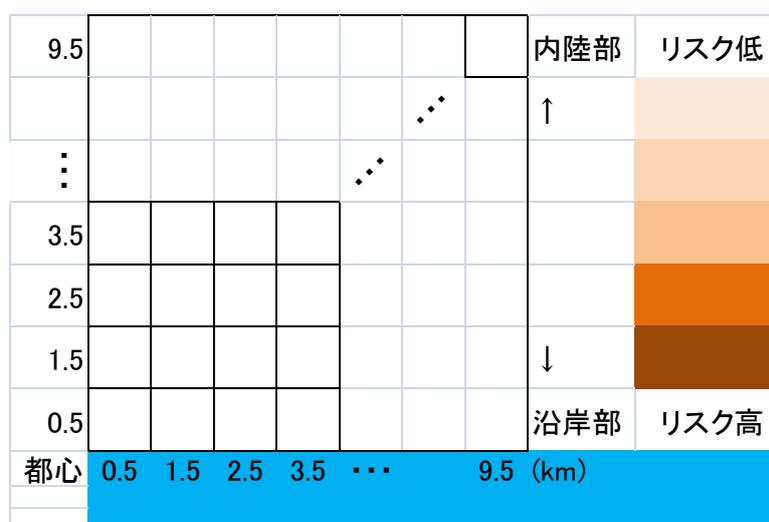


図 1 液状化リスク下の都市空間

以下ではデベロッパーと家計の行動を記述する。行動および、デベロッパーと家計の間の相互関係を図 2 で示す。

#### ①デベロッパーの住宅開発行動

- ・各デベロッパーは特定の 1 区域において住宅地を開発する。液状化対策の有無は、各デベロッパーについてあらかじめ固定されているものとする。
- ・各住宅地には、収容できる家計数に上限（キャパシティ）がある。都市全体では住民をすべて収められ、あるいは余りある数の住宅が存在する。
- ・毎期の終了時にどの家計にも住まわれなかったデベロッパーが撤退し、撤退した数と同じだけのデベロッパーが次期に新規参入し、またいずれかの区域に立地する。
- ・住宅地の家計へのオファー価格は、都心への近接性と液状化リスクが反映される。液状化対策をする場合、面積あたり一定の対策費用を上乗せする。ここで

$$\text{対策なしのオファー価格 } R_0 = 0.01(1-l)(Y-tr)$$

対策ありのオファー価格  $R_1 = 0.01(1-l)(Y-tr) + \text{対策費用}$  とする<sup>1</sup>。

#### ②家計の立地選択

- ・各家計は毎期、開発された住宅地のうち収容家計数の上限に達していないものの中から、主観的期待効用  $EU$  の高い地点を選んで居住する<sup>2</sup>。
- ・家計は情報を持つか持たないかのどちらかである。ここでいう情報とは、立地点で定まる液状化リスクと、個々の物件が液状化対策済みであるかどうかの両方を指す。情報を持つ家計は両方の情報を立地選択に用い、持たない家計はどちらの情報も利用不可能である。
- ・情報の有無に従って、家計は主観的期待効用  $EU$  を最大化する。効用関数  $u = s^a z^b$  ( $a + b = 1$ ) の下での期待効用  $EU$  を最大化する需要は、情報の有無によらず、地価  $R$  に対して  $s = a(Y-tr)/R$ ,  $z = b(Y-tr)$  であることを用いて、主観的期待効用を間接効用関数の形で表す。

情報を持たない家計は、同時に楽観的でもあり、液状化リスクをまったく考慮しない。そのため表面上の住宅価格と CBD までの距離によってのみ需要を決定する。よって任意の地価  $R$  に対し、

$$EU^0 = \left( \frac{a^a b^b}{R^a} \right) (Y-tr)$$

一方情報を持つ家計は、液状化対策がなされていない住宅を選択する場合に、液状化リスクを割り引いて期待効用を評価する。このため

---

<sup>1</sup>係数が低いほど、対策費用が後の結果に与える影響が大きくなる。

<sup>2</sup> キャパシティに達しているかどうかの判断の際、行動の順番が問題となる。本モデルにおいて家計の行動は同時ではなく、1 期に 1 家計ずつ順番に続けて行われる。行動の順番は每期ランダムに並べ替えられる。

$$EU^1 = \begin{cases} \left(\frac{a^a b^b}{R_0^a}\right)(Y - tr) \\ (1-l) \left(\frac{a^a b^b}{R_1^a}\right)(Y - tr) \end{cases}$$

と表すことができる。これらの式によって、任意の立地点、地価および液状化リスクに対する各家計の評価が示される。

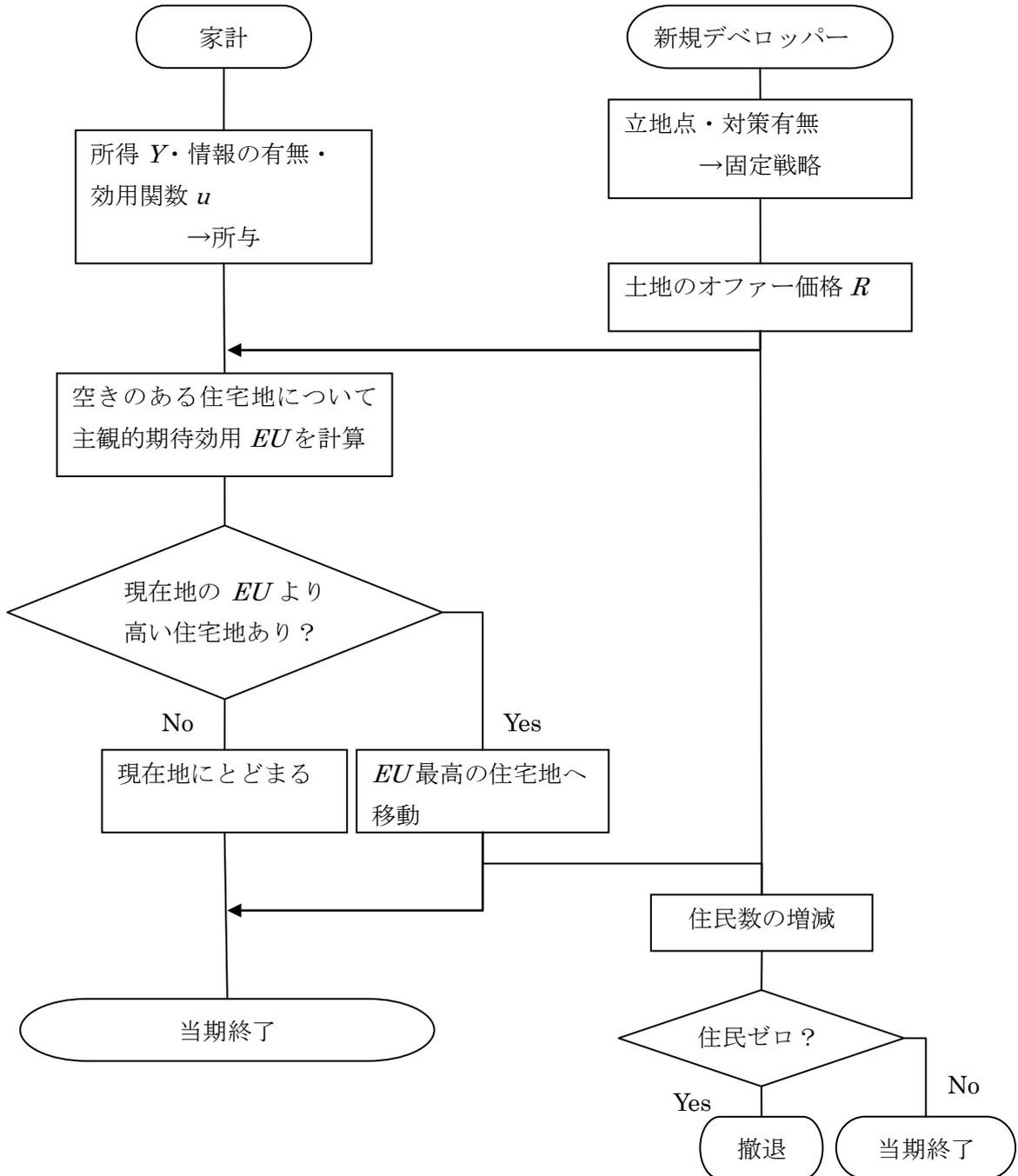


図2 デベロッパーと家計の間の相互関係

## 2.2 分析

情報普及率と対策費用の違いによる、情報を持つ家計と持たない家計の立地分布、および対策ありのデベロッパーが全デベロッパーに占める割合に着目して分析を行った。立地の傾向が見られるようになる10期経過時点进行分析対象としている。

情報普及率0%では、すべての家計が液状化リスクを認識せず、家賃と都心への近接性によってのみ立地を選択する。そのため液状化対策ありの住宅地はほとんど淘汰される。対策費用が高いほど、対策ありの住宅地が淘汰されやすく、住宅地全体における液状化対策率が低くなる(図3,4)。

情報普及率25%では、情報を持つ家計が都心近く、持たない家計が郊外部に分離して居住する。情報を持つ家計が、液状化リスクが高い沿岸部の都心寄り、対策がなされている物件を選択する(図5,6)。

情報普及率50%では、対策費用が高いほど、情報を持つ家計と持たない家計の都心と郊外への分離居住の傾向が顕著になる。ただし、情報普及率25%のときと比較して、情報を持つ家計は都心部だけでなく、リスクの低い内陸の郊外部へも立地するようになる。対策費用400円/m<sup>2</sup>では、情報を持つ家計が、液状化リスクが高い都心の沿岸部で、対策がなされている住宅地を選択する。一方対策費用600円/m<sup>2</sup>では、対策ありの物件が選ばれる代わりに、内陸の郊外部が選ばれ、液状化対策率が低くなる(図7~9)。

情報普及率75%では50%のときと比べ、対策費用が高いときにさらに内陸に立地する傾向がみられる。しかも、対策費用200円/m<sup>2</sup>から400円/m<sup>2</sup>の間で、このような傾向となっている(図10~12)。

情報普及率100%では、対策費用200円/m<sup>2</sup>のとき概ねすべての家計が対策ありの住宅地を選ぶ。しかし対策費用400円/m<sup>2</sup>のときでは対策率半数近くとなり、600円/m<sup>2</sup>では対策率30%まで下がり、内陸の郊外部に立地するようになる(図13~15)。

| パラメーター(すべて外生)    |                   |         |      |
|------------------|-------------------|---------|------|
| Y : 所得           |                   | 200,000 | 円    |
| N : 家計数          |                   | 500     |      |
| a : 効用関数 敷地面積の係数 |                   | 1/3     |      |
| b : 効用関数 合成財の係数  |                   | 2/3     |      |
| t : 交通費用         |                   | 3000    | 円/km |
|                  | デベロッパー数           | 50      |      |
|                  | デベロッパーの収容家計数上限    | 11      |      |
|                  | →都市全体の住宅地数に10%の余裕 |         |      |

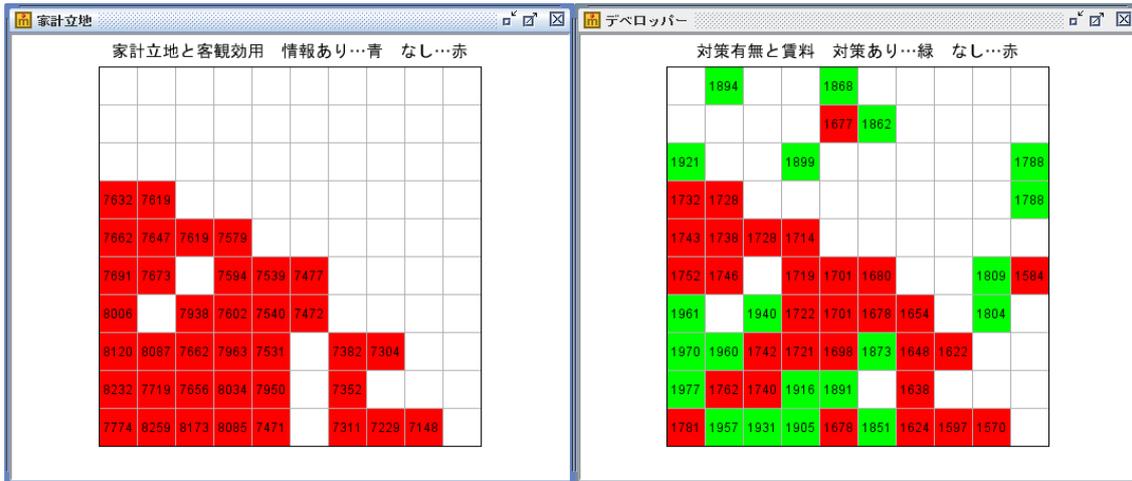


図3 情報普及率0%・対策費用200円/m<sup>2</sup>

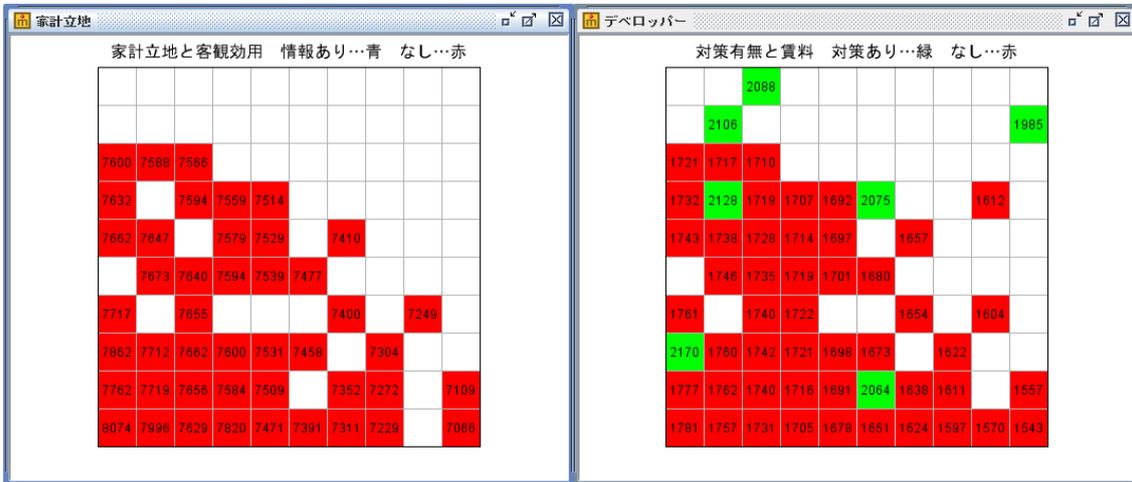


図4 情報普及率0%・対策費用400円/m<sup>2</sup>

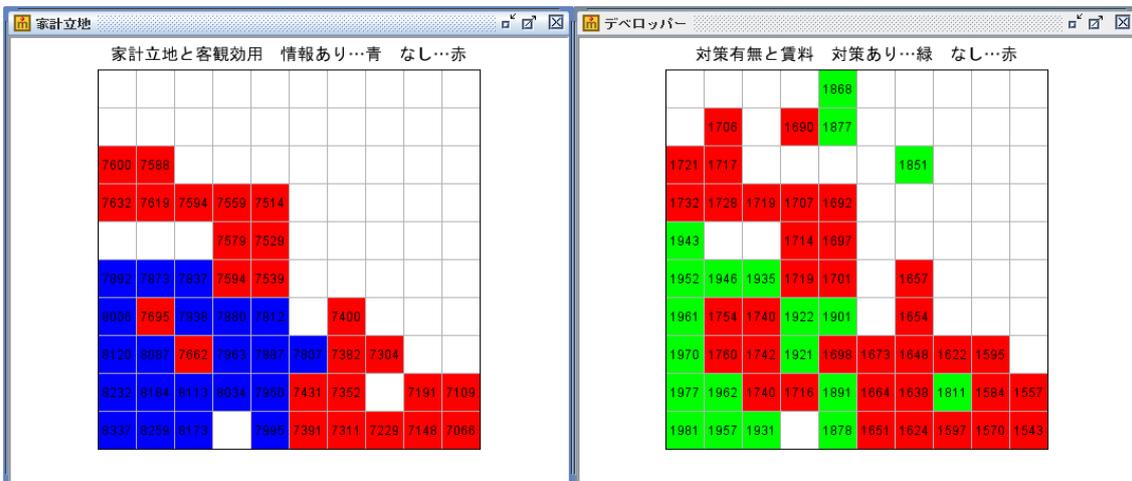


図5 情報普及率25%・対策費用200円/m<sup>2</sup>

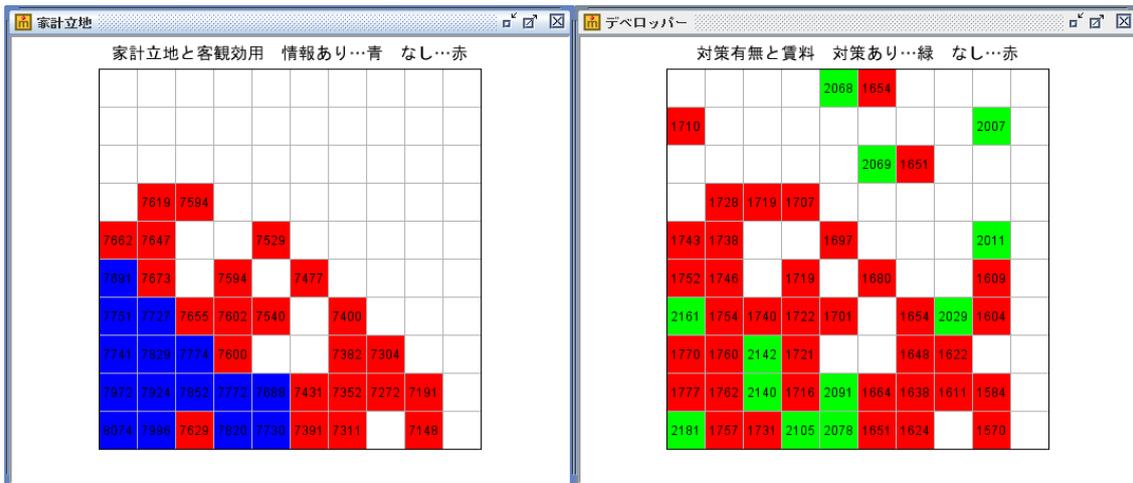


図6 情報普及率 25%・対策費用 400 円/m<sup>2</sup>

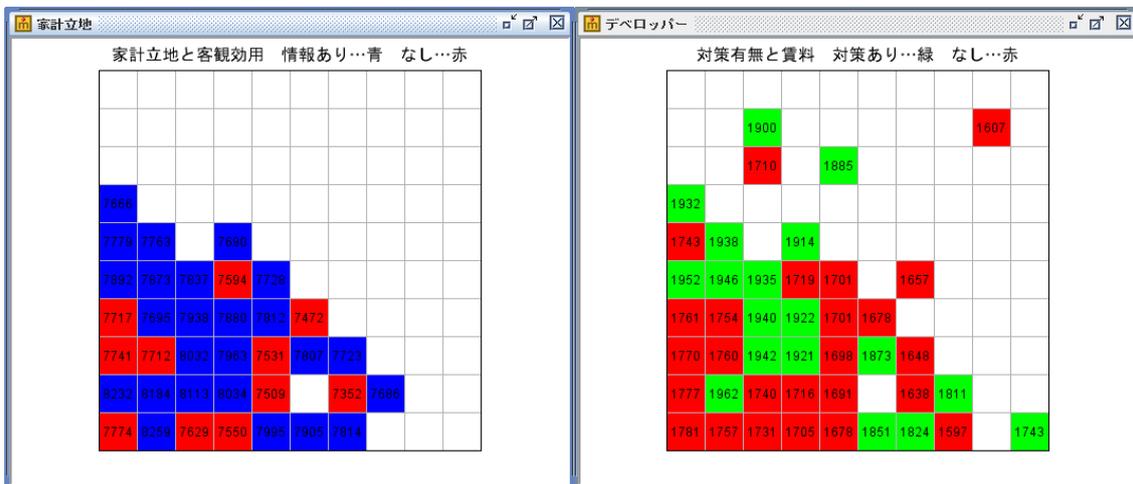


図7 情報普及率 50%・対策費用 200 円/m<sup>2</sup>

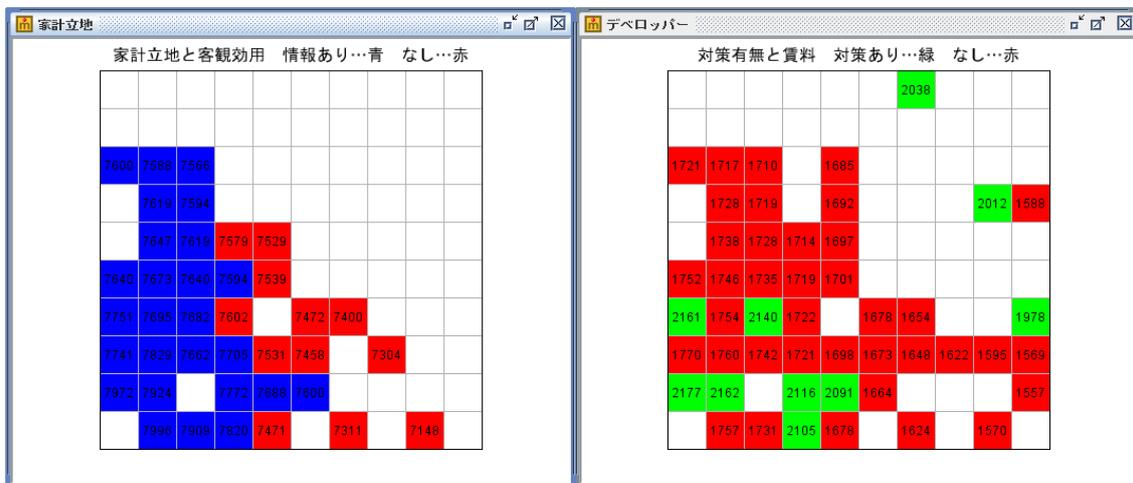


図8 情報普及率 50%・対策費用 400 円/m<sup>2</sup>

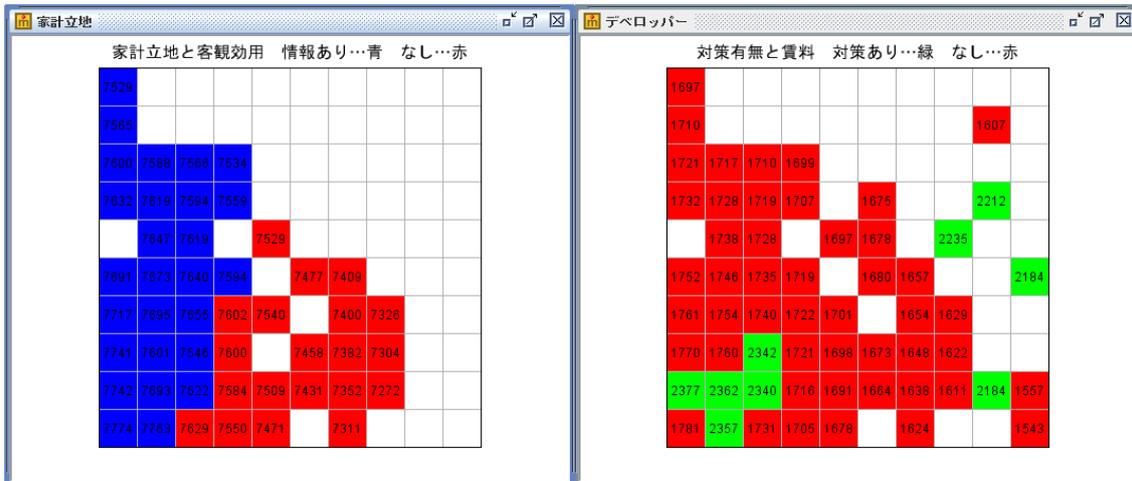


図9 情報普及率 50%・対策費用 600 円/m<sup>2</sup>

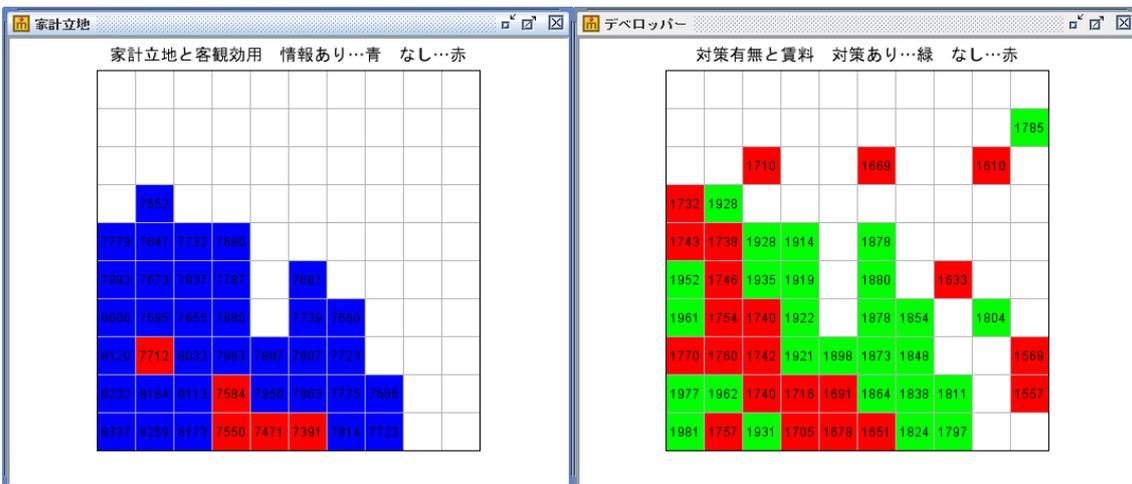


図10 情報普及率 75%・対策費用 200 円/m<sup>2</sup>

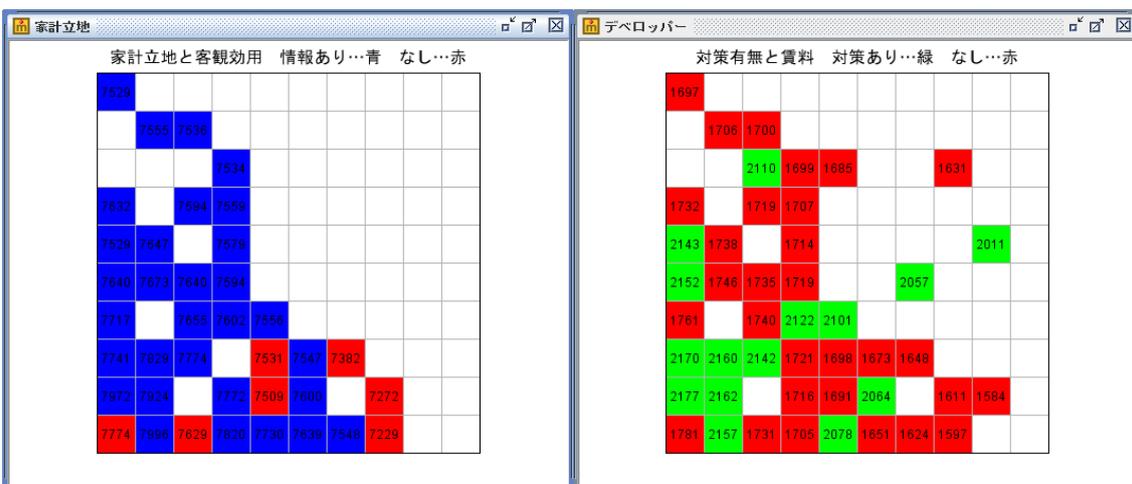


図11 情報普及率 75%・対策費用 400 円/m<sup>2</sup>

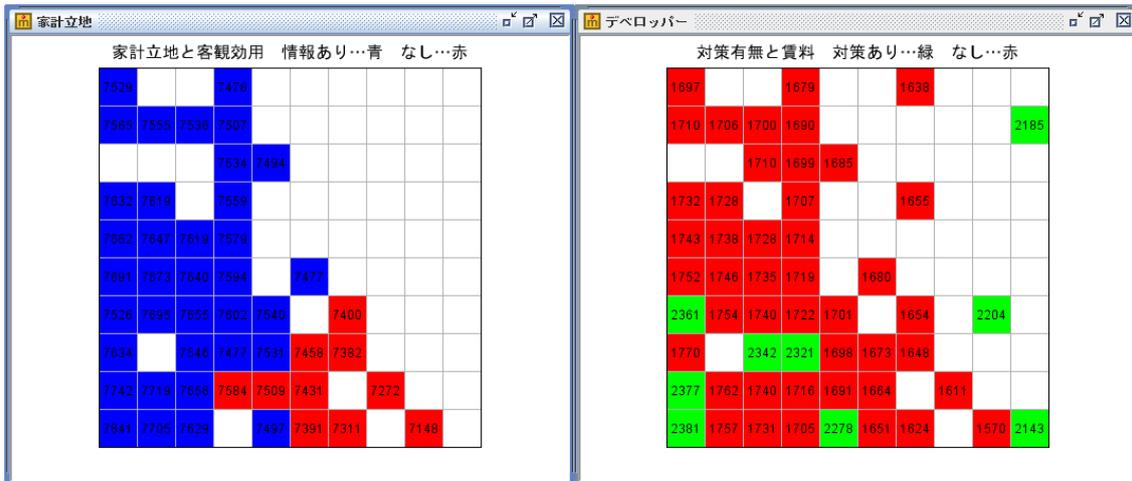


図 12 情報普及率 75%・対策費用 600 円/m<sup>2</sup>

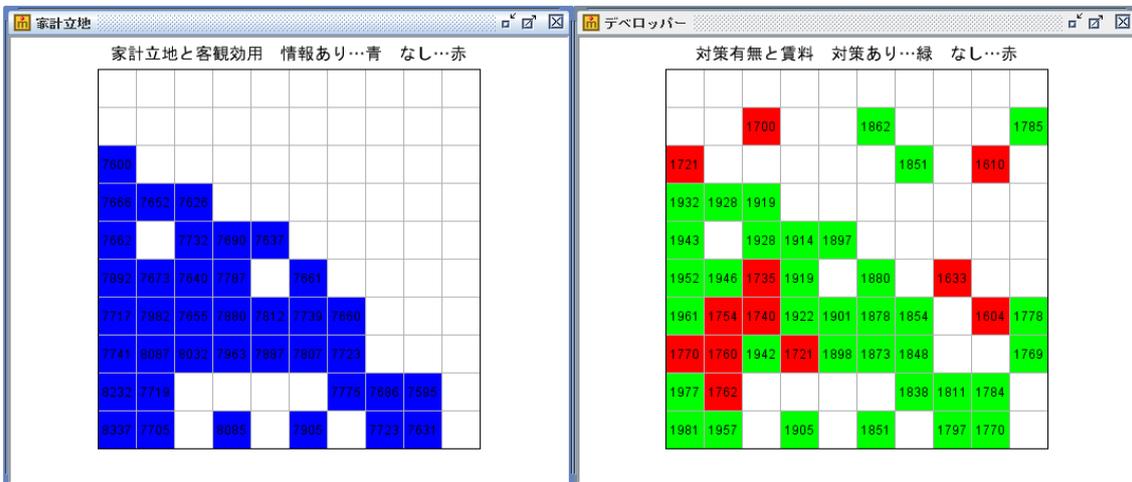


図 13 情報普及率 100%・対策費用 200 円/m<sup>2</sup>

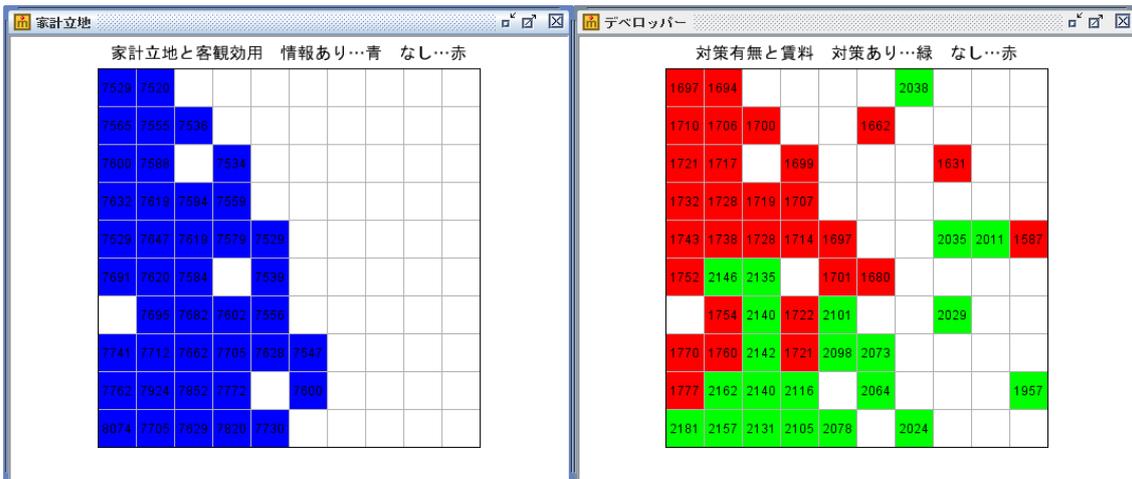


図 14 情報普及率 100%・対策費用 400 円/m<sup>2</sup>

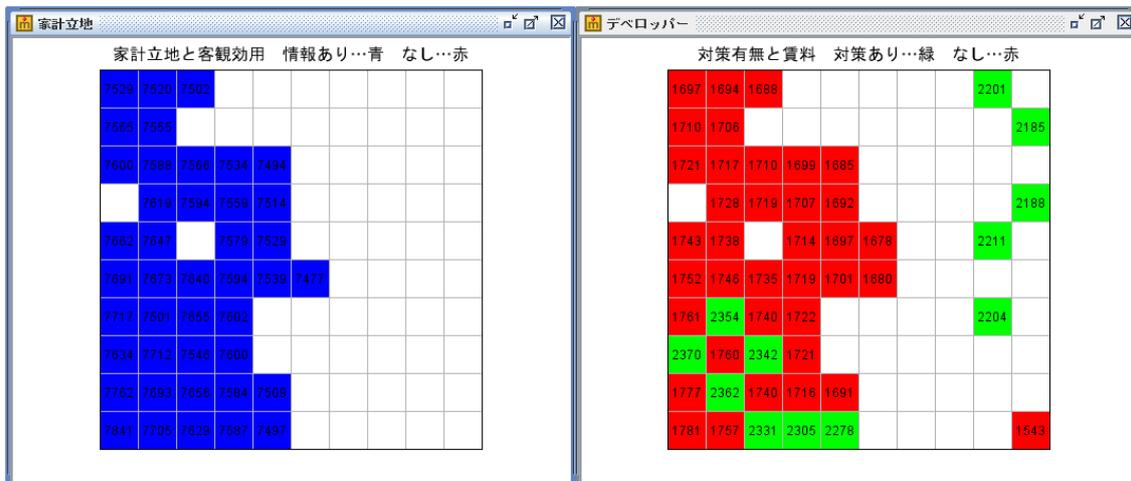


図 15 情報普及率 100%・対策費用 600 円/m<sup>2</sup>

### 3. 政策的示唆と今後の課題

分析の結果から、公共部門による情報の普及活動は、住民の安全地域への立地移動を促すのに効果的であると考えられる。この点は、防災対策は市場メカニズムによる調整を基本とすべきであるとした山鹿ほか(2002a)の見解と一致する。数値計算上では情報普及は社会的厚生改善にあまり効果がないため、情報普及のコストが、液状化のような災害による住民の予期しない経済的被害を防ぐことのメリットとどの程度見合うものなのか、検討すべきである。

本論文の分析は一時点を扱う静学的なものにとどまるので、立地決定後の移動コスト、自主的な情報取得行動などを導入して、動学的な分析に拡張することが課題として考えられる。

本論文で用いたマルチエージェント・シミュレーションは、結果が視覚的にわかりやすいため、政策意思決定への住民参加の観点からも応用が期待される。より納得でき、また政策への意識を向上させるようなモデルの表現を追求することは、社会的に意義の大きな課題であると考えられる。

## 参考文献

山鹿久木, 中川雅之, 齊藤誠 (2002a) 「地震危険度と地価形成：東京都の事例」 応用地域学研究 No.7, pp.51-62.

同 (2002b) 「地震危険度と家賃：耐震対策のための政策的インプリケーション」 日本経済研究, 第 46 号, pp.1-21.

山影進 (2010) 『人工社会構築指南 artisoc によるマルチエージェント・シミュレーション入門』(改定新版) 書籍工房早山.

Caruso, G., Peeters, D., Cavailhes, J. and Rounsevell, M. (2007) Spatial configurations in a periurban city. A cellular automata-based microeconomic model, *Regional Science and Urban Economics* 37, pp.542-567.

Ettema, D. (2011) A multi-agent model of urban processes: Modelling relocation processes and price setting in housing markets, *Computers, Environment and Urban Systems* 35, pp.1-11.

Magliocca, N., Safirova, E., McConnell, V., Walls, M. (2011) An economic agent-based model of coupled housing and land markets (CHALMS), *Computers, Environment and Urban Systems* 35, pp.183-191.

Parker, D.C., Filatova, T. (2008) A conceptual design for a bilateral agent-based land market with heterogeneous economic agents, *Computers, Environment and Urban Systems* 32, pp.454-463.