

## 「囚人のジレンマ」として解釈する車の津波避難問題と社会数値シミュレーションの試み

東北大学大学院工学研究科 学生会員 ○牧野嶋 文泰  
東北大学災害科学国際研究所 正会員 今村 文彦

### 1. はじめに

東日本大震災では、無秩序な車避難が行われたことにより、多くの場所で渋滞が発生し、また一部では甚大な人的被害を生む要因となった。東日本大震災以降、最大の津波となった2016年11月22日に福島県沖で発生したイベントでは、大きな人的・物的被害は発生しなかったものの、一部で再び深刻な渋滞が発生し、避難の教訓を残した。

こうした現象は、人々が、自らの車避難が津波災害時に社会全体の利得の低下（後続の避難を阻害するなど）を及ぼす可能性を知りながら、個人の利得（モノを多く運べる、プライバシー空間として利用できるなど）を最大化するために発生していると捉えることができ、我々は、津波災害における車避難問題が、後述する囚人のジレンマとしてとらえることが可能だと考えた。囚人のジレンマは軍備競争や環境問題など、実際の問題を考える枠組みとして広く使われているが、津波避難の問題を考えた例はこれまでにない。本稿では、津波避難における車避難の問題を囚人のジレンマとしてとらえ、人工社会の中で、その数値計算を行った結果を紹介する。

### 2. 囚人のジレンマと津波避難行動

囚人のジレンマゲームは、表-1に示した利得表に整理される。2者のプレイヤーは、協調（C）か裏切り（D）を選択することができ、その際の利得をR, S, T, Pとして示している。Tuckerが数学的な定式化を行い、 $T > R > P > S$ かつ、 $2R > T + S$ の条件が満たされている場合を囚人のジレンマと呼ぶ。各個人の合理的な選択の結果が、社会全体にとって望ましい結果に一致しないため、ジレンマと呼ばれる。

津波避難行動をこの枠組みでとらえると、Cは徒歩避難、Dは車避難と考えることができる。社会全体の利得は<C, C>で最大になるが、各個人が、それぞれの利得を最大化する結果<D, D>に陥ってしまう。実際の人間は、必ずしもここで仮定されているように合理的に行動しないことは明らかだが、このモデルは単純でありながら実際の社会をよく表現している。津波避難において、この枠組みでの利得は、例えば避難の円滑さの指標と考えることができる。

表-1 囚人のジレンマゲームの利得表

Player A/B	C	D
C	R / R	S / T
D	T / S	P / P

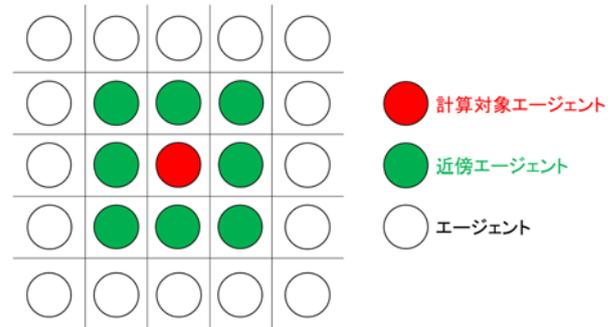


図-1 シミュレーションの概念図

### 3. 空間配置型繰り返し囚人のジレンマゲーム

コンピュータの性能向上に伴い、Axelrodをはじめとして、囚人のジレンマゲームを繰り返しシミュレートすることや、空間的に拡張して検討する試みがある。本稿では、各プレイヤーをエージェントとして人工社会のなかに表現し、空間配置型の繰り返し囚人のジレンマゲームをシミュレートし、社会全体の利得を観察する。

本稿でのシミュレーションの概念図を図-1に示す。各エージェントは、正方格子上に配置され、近傍に8エージェントが存在する。各エージェントは近傍の8エージェントと利得表に基づいてゲームを行う。利得は既往研究でよく用いられている $R=3, S=5, T=0, P=1$ を設定する。近傍で繰り返しゲームを行った後、各エージェントは近傍で最大の利得を獲得したエージェントの避難手段を調べ、次の世代で、自身の避難手段を、周囲で最大の利得を獲得した避難手段に更新する。本稿では、 $100 \times 100$ サイズの格子に配置した10000エージェントを対象とし、初期状態は全体の10%の車避難者をランダムに配置した。計算初期の状態を示したスナップショットを図-2に示す。図中の赤色のエージェントが車避難者で、緑色のエージェントが徒歩避難者を示している。計算の領域端のエージェントについては周期境界条件を適用して計算を行った。

#### 4. 数値計算結果

囚人のジレンマゲームを繰り返し、均衡状態となった人工社会の状態を図-3 に示す。最終的には車避難が卓越する状態を見ることが出来る。図-4 にエージェント避難手段の世代ごとの推移を示す。初期状態では、車避難を選択するエージェントは全体の10%だったが、周囲に多くの徒歩避難エージェントがいるため、車避難エージェントが高い利得を獲得し、周囲の徒歩避難エージェントが次の世代で、避難手段を車避難に切り替えるため、爆発的に車避難エージェントが増加する。しかし、初期条件によってサイズが異なるものの、徒歩避難のクラスターが創発し、徒歩避難エージェントの数はゼロにはならない。図-5 に、本稿の利得表に基づき計算される社会全体の利得の世代ごとの推移を示す。個人が局所的に利得を最大化することによる車避難者エージェントの卓越により、社会の総利得が低下するようすを見ることが出来る。本稿の結果では、最終的な社会全体の利得は、社会が得ることができる最大利得の37%に低下して均衡状態となった。

#### 5. おわりに

本稿では、津波避難行動における避難行動手段選択を囚人のジレンマとして解釈し、エージェントを用いた社会数値のシミュレーションを実施した。今回構築した人工社会の中で、個人が、局所的な情報のみを参照して利得を追及する結果、車避難が卓越し、社会全体の利得（避難のスムーズさ）が大きく低下することを数値的に再現した。本稿は、津波避難行動を囚人のジレンマとして解釈し、数値シミュレーションを実施した点に新規性があるが、<D,D>が卓越し、繰り返しゲームの中で社会利得が低下するという結果は、これまでの研究で明らかなるものである。また、本稿での検討では、計算対象エージェントは近傍のみを参照するという非常に単純な社会ネットワークを仮定したものである。

しかし、本稿の成果は、社会数値シミュレーションを用いて津波避難における避難手段選択において、協調（徒歩避難）が創発し、卓越するような政策などを数値的に検討できる可能性を示唆するものである。

#### 参考文献

- 1) Tucker, A.W., “The Mathematics of Tucker: A Sampler”, *The Two-Year College Mathematics Journal*, Vol. 14, No.3, pp.228-232, 1983.
- 2) Axelrod, R., “The Evolution of Cooperation”, *Basic Books*, 1987.

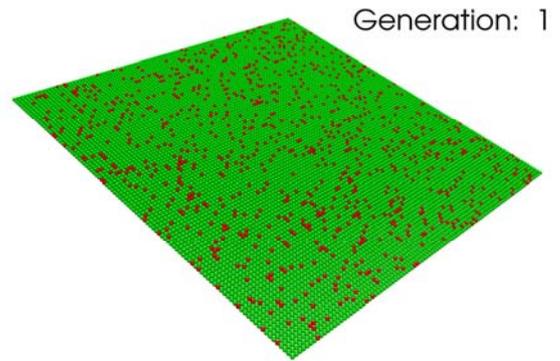


図-2 初期の人工社会の状態

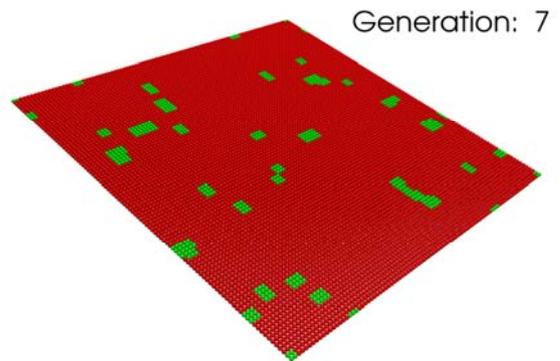


図-3 均衡状態になった人工社会の状態

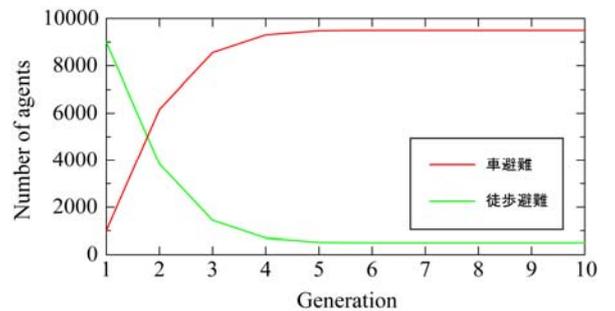


図-4 世代ごとのエージェント避難手段の推移

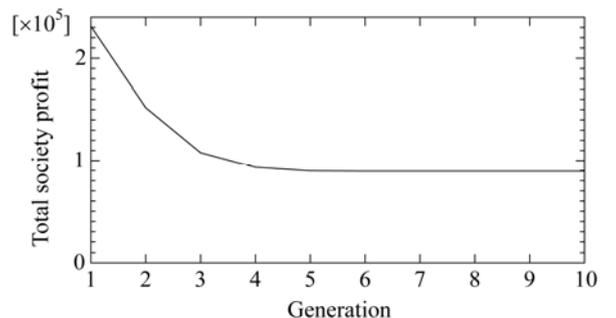


図-5 世代ごとの人工社会の総利得の推移

- 3) Nowak, M. A. & May, R. M., “Evolutionary games and spatial chaos”, *Nature* **359**, 826-829, 1992.