

# 古人骨・mtDNA・民族学・考古学データを用いた 日本列島の人口動態Agent-based Simulation -弥生時代前半期の渡来人・稲作伝播を対象に-

春日 勇人 (日本人類学会会員)

WEST Stephen (岡山大学社会文化科学研究科 D3)

## 概要

弥生時代前半期における渡来人の人数と稲作伝播を対象に、古人骨・ゲノム・民族学・考古学データに基づいた人口動態Agent-based Simulation(ABS)の適用を試みた。その実験にABS機能を持つGISオープンソースソフトウェア「PAX SAPIENTICA」を使用した。過去の間人社会に関する仮説をシミュレーションの設定にし、複数のシミュレーションの比較分析によって各仮説の妥当性を評価した。

## 1. シミュレーションの構造

### 1.1. 空間

空間は本州島、四国島、九州島の全領域を扱う。グリッドの大きさがX 10496セル×Y 10496セルである。1セルは日本列島(緯度35度)では約125mである。シミュレーション空間に用いる地図状の地理情報データは「傾斜、陸地、令制国」3個である。地区は令制国で区分されている。

人間と集団が生成される条件を満たすセルを可住地とする。人間と集団は可住地以外のセルに居住できないとする。可住地の条件は陸地(海や湖川ではない土地)かつ山地ではない傾斜区分(丘陵や平地)である。農耕文化を持つ人間かつ集団は更に湖川から5km(40セル)以内とする。この条件を満たすセルを農耕可住地と呼ぶ。

### 1.2. 人間エージェント

以下の属性変数で構成されている。

- **ID:** 固有のIDを持つ。
- **所属集団:** 所属集団エージェントのID。
- **性別:** 「男性」または「女性」とする。
- **生業文化:** 「狩猟採集」または「水田稲作」とする。  
開始時のエージェントは全て狩猟採集民とし、渡来人は全て水田稲作民とする。
- **余命と年齢:** 寿命はモデル生命表を基に決定されている<sup>1</sup>。狩猟採集民の生命表は縄文人骨を基に、水田稲作民の生命表は弥生人骨を基に作成した。人骨データは九州大学の古人骨データベース<sup>2</sup>より。児童の人骨が乏しいため、民族学・歴史学からの推定<sup>3</sup>を参考に寿命を設定した。狩猟採集民のCMR(Child Mortality Rate; 15歳までの死亡率)を50%、水田稲作民のCMRを45%とした。生命表から推定

できる狩猟採集民(縄文人)の増加率は約0.1%、水田稲作民(弥生人)の増加率は約1.4%。

- **mtDNA:** 古人骨のゲノム研究に基づいて決定される。開始時のエージェントは、縄文時代における各地方のハプログループから確率的に決定される。渡来人のmtDNAは、弥生時代・古墳時代におけるアジア大陸由来のハプログループから確率的に決定される。
- **由来ゲノム:** 縄文系由来のゲノムを0.0とし、渡来系由来のゲノムを1.0とする。出生時に子供は両親の由来ゲノムの平均値を獲得する。
- **パートナー変数:** 婚姻関係のあるパートナーの変数を保持する(ID、生業文化、由来ゲノム)。

### 1.3. 集団エージェント

人間エージェントを保持する。集団は個別のIDを持ち、集団はXYZタイルに準じた座標を持つ。範囲は1セル四方(約125m四方)。100%水田稲作民の集団では最大人口は80人(唐古・鍵遺跡の人口密度)、100%狩猟採集民の集団では最大人口は最大25人(仮想)。農耕民の存在コストは1/80、狩猟採集民の存在コストは1/25とし、1を超えた場合は半分の集団が近場(同じ地域内の別セル)に移動する。

### 1.4 ステップと実行順序

初期化とstep実行の2段階。集団移動→渡来→婚姻→妊娠・出産→死亡→毎step終了、処理の順番で実行される。エージェントの実行順序は配列の先頭から探索する。1ステップを1ヶ月とする。エージェントの実行順序は、生成順である。エージェントの変数(月齢)の更新は毎ステップの終了時に行う。

エージェントの変数の更新後に、もし月齢が余命以上の場合はそのエージェントを削除する(すなわち亡くなる)。死亡したエージェントの配偶者は無配偶者となり、次のステップから再婚可能となる。また、死亡したエージェントが所属していた集団の人数を更新する。

### 1.4 初期設定

シミュレーションは前1101年に開始し、前1001年から計測開始とする。初期人口は縄文時代晩期の人口を表し、Koyama (1978)<sup>4</sup>を基に人口を推定した。47都道府県の人口推定を令制国に比例配分した。

### 1.5 サブモデル

- **渡来人:** 指定した地域(筑前)に渡来人が移住する。
- **婚姻可能年齢:** 女性は13~60歳。男性は17歳以上。
- **婚姻確率:** 鷲尾(2018)<sup>5</sup>を参考とする。
- **配偶者の選択:** 婚姻可能距離以内にランダムに決定。
- **婚姻時の移動:** 妻方居住婚率の設定に決定。
- **妊娠:** 15~50歳。婚姻率は対数正規分布とする。
- **出産:** 妊娠の10step (10ヶ月) 後に出産。

<sup>1</sup>参照資料: [github.com/stephenwest470/Remains2LifeTable](https://github.com/stephenwest470/Remains2LifeTable)

<sup>2</sup> <http://db.museum.kyushu-u.ac.jp/anthropology/>

<sup>3</sup> Volk, Anthony A., and Jeremy A. Atkinson. "Infant and Child Death in the Human Environment of Evolutionary Adaptation." *Evolution and Human Behavior* 34, no. 3 (2013): 182-92.

<sup>4</sup>Koyama, Shuzo. "Jomon Subsistence and Population." *Senri Ethnological Studies* 2 (1978): 1-65.

<sup>5</sup> 鷲尾 祐子 2018 「嘉禾四年~六年(235-237) 長沙の婚姻慣行: 婚姻と年齢」『東洋学報: 東洋文庫和文紀要』97巻1号, 1-24.

## 2. シミュレーションの実験

### 2.1. 比較対象と予想

1. 西暦50年の人口推定 予想: 59.4万人<sup>6</sup>
2. 渡来人由来変異の割合 予想: 約70%  
(弥生・古墳時代の古人骨におけるアジア大陸由来ハプログループの比率を参考に仮定)
3. 水田稲作文化の拡散 予想: Fujio (2009)<sup>7</sup>を参照。
  - 前950年に北部九州まで
  - 前750年に南九州・中国・近畿まで
  - 前600年に東海まで
  - 前380年に北陸まで (+ 北東北に)
  - 前200年に中部・関東・南関東まで

### 2.2. 変数

図1を参照。

### 2.3. 比較分析

各変数の中間値(渡来開始年=前951年)をベースモデル(B-Model)とし、一つずつ変数を変更してシミュレーションを実行した。B-Modelとの比較により、各設定の及ぼす効果が見られる。予想との比較により、各設定の妥当性を評価できる。

	人口 (万人)	渡来系	農耕文化
<b>A 予想</b> (人口は小山 1984)	59.4 ↑	70% ↑	5. 北東北まで
<b>B Base model</b>	44.4 —	62% —	4. 南東北まで
条件設定	人口 (万人)	渡来系	農耕文化
<b>渡来開始年</b> Base: 950BC			
<b>C 800BC</b>	28.5 ↓	60% ↑	3. 関東まで
<b>月間渡来人数</b> Base: 5人			
<b>D 1人</b>	17.6 ↓	39% ↓	3. 関東まで
<b>E 10人</b>	83.2 ↑	74% ↑	4. 南東北まで
<b>婚姻居住形態</b> Base: 選択			
<b>F 妻方</b>	28.0 ↓	65% ↑	4. 南東北まで
<b>G 夫方</b>	68.2 ↑	55% ↓	4. 南東北まで
<b>婚姻可能距離</b> Base: <20km			
<b>H &lt;10km</b>	33.7 ↓	68% ↑	4. 南東北まで
<b>I &lt;40km</b>	58.3 ↑	55% ↓	4. 南東北まで
<b>月間集団移動</b> Base: 0.21%			
<b>J 0.14%</b>	48.3 ↑	62% —	3. 関東まで
<b>K 0.42%</b>	53.4 ↑	53% ↓	5. 北東北まで
<b>集団移動距離</b> Base: <200km			
<b>L &lt;100km</b>	48.1 ↑	71% ↑	2. 東海まで
<b>M &lt;400km</b>	55.6 ↑	43% ↓	5. 北東北まで
<b>農耕文化継承</b> Base: 50%			
<b>N 25%</b>	11.1 ↓	45% ↓	1. 北部九州まで
<b>O 75%</b>	78.3 ↑	36% ↓	5. 北東北まで

図1 実験変数と結果

<sup>6</sup>小山 修三・杉藤 重信 1984 「縄文人口シミュレーション」『国立民族学博物館研究報告』9巻1号, 1-39.

<sup>7</sup>藤尾 慎一郎 2009 「研究の経緯と成果・課題」『国立歴史民俗博物館研究報告』第149集, 1-30.

## 3. 考察

### 3.1. 月間渡来人数

B-Modelは予想人口よりも低く、E-Modelは予想よりも高いが、月間5〜10人程度(年間60人〜120人程度)は妥当な範囲であると言えよう。より現実的な復元には、時間の経過と共に増加する渡来人数が必要であろう。

### 3.2. 渡来開始年

渡来開始年について諸説があるため、実験変数とした。

C-Modelは非現実的な人口となったが、渡来系ゲノムの比率は大きく変わらない。渡来開始年が遅くなればなるほど、より多くの渡来人数が必要になる。

### 3.3. 婚姻居住形態

妻方居住は人口増加を低下させ、渡来系ゲノム(又はmtDNA)の拡散を促す。逆もまた然りである。しかし、人口増加率の差は予想以上に大きく、結果に誤りがある可能性がある。

### 3.4. 婚姻可能距離

人口増加と結婚距離には正の相関があり、渡来系ゲノム拡散と結婚距離には負の相関がある。婚姻可能距離を限定すると、結婚できないエージェントが増え、人口増加が阻害される。

### 3.5 月間集団移動

集団の移動率は、水田稲作文化の拡散速度に影響を及ぼす。J-Model(0.14%)では稲作文化は東海まで、B-Model(0.21%)では南東北まで、K-Model(0.42%)では北東北までであった。B-Modelでは、(北東北を除いて)稲作文化の拡散は藤尾(2009)と一致するため、最も妥当であると言えよう。より現実的なシミュレーションには、意図的な移動システムが必要であろう。

### 3.6. 集団移動距離

集団移動距離を低くすれば、水田稲作の分布圏が狭くなり、渡来系ゲノムの割合が高くなる。逆もまた然りである。集団移動距離を高くすれば、より早い段階から縄文系エージェントに水田稲作が普及し、縄文系弥生人の人口が増加し、渡来系弥生人の割合が低くなる。

### 3.7. 農耕文化継承

25%では、水田稲作が北部九州から拡散せず、渡来系狩猟採集民が西日本に広がる。75%では、水田稲作が急速に普及し、縄文系弥生人が日本列島の主体となる。両方とも非現実的であるため、異なる生業文化を持つエージェントが子供を作った場合、その子供は50%の確率で稲作文化を継承すると言えよう。

## 結論

完全に予想と一致するモデルはなかったが、各変数の人口動態にもたらす効果が明らかになった。弥生時代早期から中期までの1000年間に6〜12万人程度の渡来人が日本列島に移民し、数十年間隔で行われた長距離移動、および近距離の婚姻によって水田稲作と渡来系mtDNAが拡散したと言えよう。今後、考古学の実態をより正確に実装できるように調整し、更なる人口動態に関する仮説を検証したいと考えている。

GitHub



YouTube



Details

