

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	エージェント・モデリングによる人類学・考古学の仮説生成に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	坂平文博
Author(English)	Fumihira Sakahira
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10867号, 授与年月日:2018年3月26日, 学位の種類:課程博士, 審査員:寺野 隆雄,出口 弘,三宅 美博,小野 功,石井 秀明,吉川 厚
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10867号, Conferred date:2018/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Type(English)	Doctoral Thesis

エージェント・モデリングによる
人類学・考古学の仮説生成に関する研究

総合理工学研究科
知能システム科学専攻
坂平 文博

概要

本論文では、人類学・考古学の研究手法における仮説生成と仮説検証における新しいアプローチとして、エージェント・モデリングを用い、仮説の生成とセットとなる仮説の検証について、どのような資料があれば検証できるのかを提示する。

第1章において、「序論：研究目的、研究の領域と課題、本研究の問題」として、本論文のアウトラインを示す。従来、人類学・考古学の研究手法は、遺物や遺構を対象とした分析的手法による仮説の生成と検証を行ってきた。しかしながら、分析的手法は、人類学・考古学的資料が乏しい時代や地域においては仮説の生成や仮説検証に資する考古資料の提示が難しい。また、仮説生成では研究者の経験的に得られる知見や他の学問領域での事例や理論等の範囲外を認識することや、仮説検証では複数の異なる種類の資料間の整合を取ることが容易ではない。

第2章において、「関連研究：エージェント・モデリングを用いた人類学・考古学研究」として、このような分析的手法に対称にある構成論的手法としてのシミュレーションを用いた研究のひとつとして、近年盛り上がりを見せるエージェント・モデリングを用いた人類学・考古学の研究事例のなかで、現在の主流となっている研究を紹介する。これらの研究は、社会単位と経験的データから古環境変数を含むいくつかのパラメータを用いて、ある地域の人口動態に影響を与える要因を調べたものである。具体的には、各パラメータの組み合わせに基づいたシナリオに対しシミュレーションを行い、考古学的記録に最も整合性のあるシミュレーション結果に対応するシナリオの各パラメータの組み合わせを見つけるものである。

第3章において、「本研究の手法：本研究と関連研究との差分、独自性」として、現在の主流となっている関連研究の研究手法上の課題点を指摘し、本研究の提案手法との差分を明示する。具体的には、現在の主流となっている関連研究は、歴史的変化に係る過去の人類の進化において重要な役割を果たした意思決定要因を探る研究であり、仮説の生成とその仮説の考古学的な検証方法を提示することは難しい。それに対して、本研究は、エージェント・モデリングを用いて、人類学・考古学的物的資料が乏しい時期の仮説の生成を行い、さらには、その仮説の検証方法として、どの時期にどのような考古資料があれば、検証できるのかを提示する。

第4章において、「有効性の例示その1：弥生農耕文化の主体の問題」として、提案手法を用いて、人類学・考古学で見解が分かれる弥生農耕文化の主体の問題について取り扱う。シミュレーション結果から、弥生農耕文化の主体は渡来人ではなく、弥生時代初期においては縄文人であったとする仮説を生成し、その仮説を検証できる考古資料として、弥生時代初期の遺跡から縄文人の特徴を示す人骨と農耕文化を示す遺物が共伴されることを提示した。また、弥生農耕文化の主体の問題に付随する渡来人集団の性比の問題についても、一夫多妻婚の下での渡来人集団は男性主体であったとする仮説を生成し、その仮説を検証できる考古資料として、渡来人の直接の子孫の人骨からの父系遺伝するY染色体の多様性が低いことを提示した。

第5章において、「有効性の例示その2：中世沖繩の人口置換の問題」として、追加の例示として、提案手法を用いて、人類学的・考古学的に大きな変化が見られた中世沖繩の人口置換の問題について取り扱う。シミュレーション結果から、中世沖繩のグスク時代に起こった人口爆発と農耕文化の普及過程に関して、一夫多妻婚の下で、農耕文化は急速に在地系の人々にも広がり、グスク時代初期においては

在地人によって実行されていたという仮説を生成し、その仮説を検証できる考古資料として、グスク時代の開始直後に在地人の子孫であることを示す形質を残す人骨と農耕文化を示す遺物が共伴されることを提示した。また、農耕文化に関連する土器様式の拡散過程に関して、一夫多妻婚の下で、グスク時代の本土系様式の土器の比率の高さには、農耕文化の急速な普及が必要とするが、本土系様式の土器は本土系の人々によって保持され、在地系の人々には普及しなかったという仮説を生成し、その仮説を検証できる考古資料として、グスク時代の開始前後に在地系の子孫であることを示す形質を残す人骨と在地系様式の土器が共伴されることを提示した。

第6章において、「**結論：まとめ、今後の課題**」として、第4章と第5章の成果を整理し、人類学・考古学の研究手法として、エージェント・モデリングを用い、仮説の生成とセットとなる仮説の検証について、どのような資料があれば検証できるのかを提示するという本論文の目的が達成できたことを確認する。最後に、本論文の提案手法の課題として、留意点とともに、本シミュレーションモデルの問題と、提案手法自体の制限の問題について考察する。

目次

1. 第1章：序論「研究目的、研究の領域と課題、本研究の問題」	1
2. 第2章：関連研究「エージェント・モデリングを用いた人類学・考古学研究」	5
3. 第3章：本研究の独自性「本研究と関連研究との差分、独自性」	8
4. 第4章：有用性の例示その1「北部九州における弥生農耕の主体の問題」	13
4.1. 背景と問題設定	13
4.2. シミュレーションモデル	15
4.2.1. エージェントと属性変数	15
4.2.2. ステップと実行順序	17
4.2.3. デザインコンセプト	17
4.2.4. サブモデル	18
4.2.5. 初期設定	19
4.2.6. シミュレーションケース数と評価指標	21
4.3. シミュレーション結果と考察	23
4.3.1. 初期渡来人の初期空間配置	23
4.3.2. 婚姻制度と農耕文化の伝播速度	25
4.3.3. 渡来人集団の性比の問題	29
4.3.4. 弥生農耕文化の主体の問題	35
4.4. 仮説検証が可能な考古資料の提示	36
5. 第5章：有用性の例示その2 中世沖縄の人口置換の問題	38
5.1. 背景と問題設定	38
5.2. シミュレーションモデル	38
5.2.1. エージェントと属性変数	38
5.2.2. ステップと実行順序	40
5.2.3. デザインコンセプト	41
5.2.4. サブモデル	43
5.2.5. 初期設定	44
5.2.6. シミュレーションケース数と評価指標	45
5.3. シミュレーション結果と考察	46
5.3.1. 農耕文化の伝播速度による総人口の違い	46
5.3.2. 農耕文化の伝播速度による本土系形質の比率と <i>mtDNA</i> ハプログループ <i>D4</i> の頻度の違い	47
5.3.3. 土器様式の拡散パターンの違い	50
5.4. 仮説検証が可能な考古資料の提示	54
6. 第6章：結論 まとめ、今後の課題	55

6.1. 本論のまとめ.....	55
6.2. 今後の課題	58
引用文献	62
業績目録	66

1. 第1章：序論「研究目的、研究の領域と課題、本研究の問題」

本研究の目的は、人類学・考古学の研究手法における仮説生成と仮説検証における新しいアプローチの提示することである。具体的には、エージェント・モデリングを用いることで、仮説の生成と対をなす仮説の検証について、どの時期にどのような考古資料があれば検証できるのかを提示する。

人類学と考古学は、人骨、建物の跡である遺構、土器や石器等の人工遺物、人類の生活に関係した動物や植物の遺体等の物的資料の研究を通して、人類の歴史を再構築する研究分野である。そのなかでも人類学は人類そのものの遺物である人骨、考古学は人類の生活に関係した遺物・遺体を主に扱う。

そのために、人類学・考古学は、『発掘事実を単にそのまま記載するのではなく、考古資料にパターンを突き止め、パターンを究明することによって過去を説明するものがある』（安斎, 1994）、また、『遺物自体に意味はないのである。だからこそ、その配置によって、方法的に認識が、そして過去の解明が可能となる』（安斎, 1995）とされている。つまり、人類学・考古学研究は、パターンについての認識方法が重要となる。

人類学・考古学の研究手法においては、ホパー（1961）が「演繹的で仮説構築可能なもの、反証可能」でない歴史研究を批判したことを受けて、人類学・考古学においても、実証主義、仮説演繹法と言われる科学的研究方法が取られている（Watson et al. 1971; 安斎, 1994）。これを簡単に説明すると、豊富な物的資料を対象に分析的手法により仮説が生成され、そこから仮説と考古学的経験則を整合的・統一的に説明するためにモデルが立てられ、さらにそれらを検証するために必要な作業仮説が立てられる。そして、その作業仮説に従った物的資料の発見や分析により、元の仮説が検証されている（安斎, 2004）というものである（安斎, 1994; 2004）（図 1-1）。

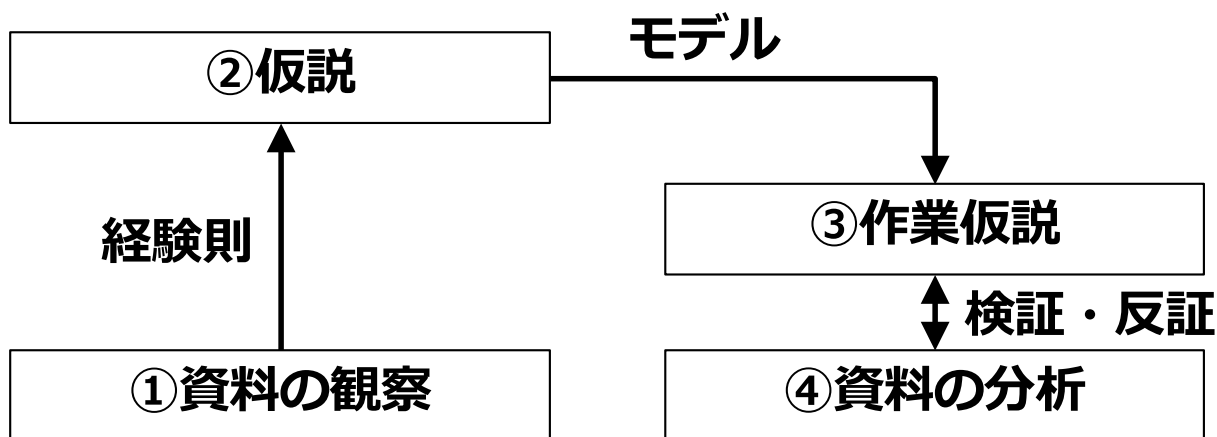


図 1-1 考古学における仮説演繹法的研究

しかしながら、これら仮説と作業仮説の生成において、『今でも想定も再現もできず、(中略)、知覚対象たり得ない事実を、いかにして、いかなる条件下で、考古学者は認識しえるのか?』（安斎, 1995）という問題は、認識方法の問題として、課題となる。

この研究手法上の認識方法について、現代の考古学者らは、ルイス・ビンフォードら（Binford, 1968 など）のプロセス考古学（ニューアケオロジー）における「中範囲理論（Middle Range Theory）」を重要視している。その理論とは、「静態的な物質的痕跡を、それらを残した過去の人々の行為の動態的

プロセスとの間を橋渡しする理論」(安齋, 1995)である。もう少し平易な表現だと、人間行動と考古学的事実の因果関係に、二つ以上の変数群の間に見いだされる規則性を説明しようとする法則(安齋, 1994)を示す。そして、プロセス考古学(ニューアケオロジー)では、考古資料と行為を橋渡す仮説に、民族学、民俗学の知見を援用している。その後、プロセス考古学(ニューアケオロジー)に対しては、歴史の捉え方としての批判はあるが、研究方法のフレームは現在でも有効であり、仮説と作業仮説の生成において民族学、民俗学の知見が多く採用されている(図 1-2)。

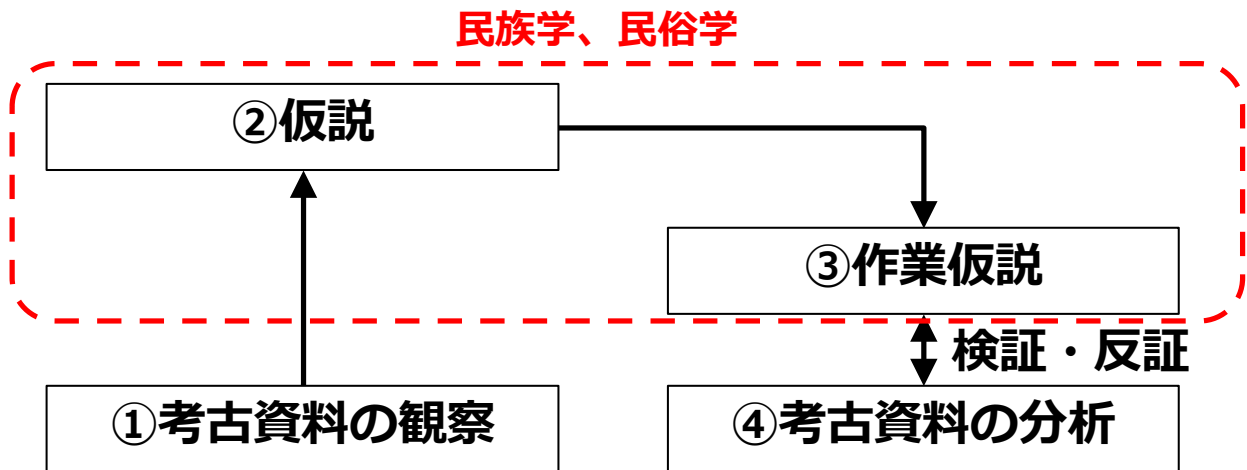


図 1-2 民族学、民俗学の知見の援用

しかしながら、それでもなお、民族学、民俗学の記述の範囲外の仮説と作業仮説の生成は難しいことは言うまでもない。また、このような分析的手法には、仮説生成と仮説検証において次のような問題がある。まず初めに、人類学・考古学的資料が乏しい時代や地域においては仮説の生成が難しい問題がある。さらには、たとえ仮説が立てられたとしても、その仮説について、どのような作業仮説を立て、検証すれば良いのか難しいという問題がある。

一方で、シミュレーションを用いた人類学・考古学研究は、構成論的手法により、「中範囲理論」を補強することができると考えられる(図 1-3)。これらを簡単に説明すると、コンピュータ上で仮想的に過去の事象を再現し、その時に何が起こっていたかを解明する手法である。つまり、シミュレーションの利点として、考古学者の認識の外の事象を抽出できることにある。例えば、従来のような分析的手法の場合、①近年の発掘調査で蓄積された膨大な量、異なる考古資料間の整合性を取るのが難しい、②資料は常に追加手・更新される可能性がある。つまり前提が変わる。③文化や遺伝子の拡散などには非線形問題がある。そして④同じ前提条件でも、起きている可能性のある事象は無限であるという問題にアプローチすることが難しいが、シミュレーションであれば容易である。

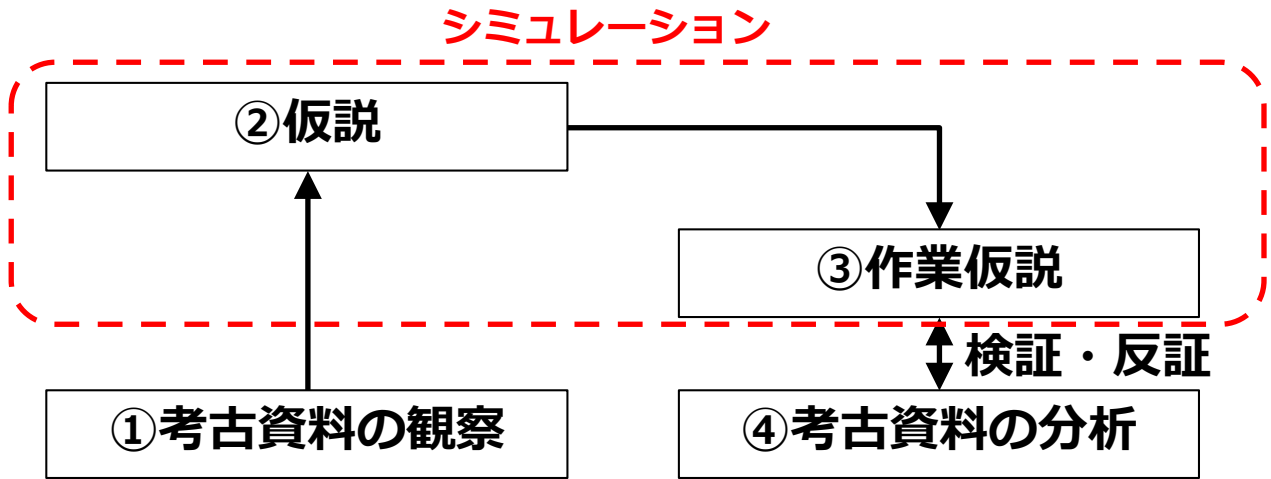


図 1-3 シミュレーションを用いた人類学・考古学研究

それらシミュレーションのなかでも、特に、エージェントベース・モデリングは、Epstein (2006) が『エージェントベース・モデリングは、データ収集をガイドし、中間範囲を操作し、理論と資料の間にある、可能性を持った様々なつながりの妥当性を評価することができる』と言及し、さらに、人類の歴史は過去の人間の意思決定を行った結果としての行動の積み重ねであるため、エージェント・モデリングによるシミュレーションと相性が良いと考える。エージェント・モデリングによるシミュレーション、つまり、エージェントベース・シミュレーションとは、エージェントと呼ばれるコンピュータ上の行動主体（人や世帯、集落を模していることが多い）が、他のエージェントの動きや周囲の環境を認識し、それらの情報に基づいて、一定のルールのもとで、各々のエージェントが同時進行的に自律的に行動し、他のエージェントや環境と相互作用し、人工社会を形成するシミュレーションである (Dean et al., 2000; Epstein and Axtell, 1996; Kohler et al 2000, 2005; Lansing 2002)。

エージェント・モデリングを用いた考古学研究としては、古代アナアジ族の人口動態の要因を検証する研究 (Axtell et al., 2002; Dean et al., 2000) が有名であり、同様のアプローチを採用した類似研究も数多い。この類似研究は、エージェント・モデリングを用いた考古学研究の約 30%を占めるとされており (Wendy et al., 2016)、現在の研究の主流と言っても良い。

しかしながら、これらの研究は、歴史的変化に係る過去の人類の進化に重要な役割を果たした意思決定要因を探る研究であり、仮説の生成と仮説の考古学的な検証方法を提示する研究ではない。そのため、依然として、前述した仮説生成と仮説検証に関する問題は残ったままである。

そこで、これら問題に対して、本論文において、エージェント・モデリングを用いて、人類学・考古学的資料が乏しい時代・地域における問題に対する仮説の生成を行い、さらには、その仮説の検証方法として、どの時期にどのような人類学・考古学的資料があれば、検証できるのかを提示する。

このアプローチの有用性を示すための実例研究として、人類学・考古学的資料が乏しいために人類学・考古学で見解が異なっているテーマとして、「北部九州における弥生農耕の主体の問題」と「中世沖縄の人口置換の問題」に対し、仮説に生成と仮説を検証できる考古資料の提示をセットで行う。

本論文の構成として、第 2 章では、関連研究として、エージェント・モデリングを用いた人類学・考古学研究について現在の主流の研究内容を紹介する。第 3 章では、本研究の独自性として、第 2 章を踏

またうえで、本論文で提案する手法と関連研究との差分を整理し、独自性を明確にする。第4章では、この本論文の提案手法の有用性を示すための実例研究として、「北部九州における弥生農耕の主体の問題」について、エージェント・モデリングを用いた成果を論じる。第5章では、第4章と類似問題での汎用性を検証するため、追加の実例研究として、「中世沖縄の人口置換の問題」について、エージェント・モデリングを用いた成果を論じる。第6章では、結論として、本研究のまとめと今後の課題について述べる。

2. 第2章：関連研究「エージェント・モデリングを用いた人類学・考古学研究」

人類学・考古学研究において、従来から行われている、遺物や遺構を対象とした分析的手法の他に、構成論的手法のひとつとしてシミュレーションを用いた研究がある。これらを簡単に説明すると、コンピュータ上で仮想的に過去の事象を再現し、その時に何が起こっていたかを解明する手法である。

人類の歴史は、過去の人類が環境との関わり合いのなかで意思決定を行った結果としての行動が罪貸さなかつたものであるため、特に、エージェント・モデリングによるシミュレーションと相性が良いと考える。エージェント・モデリングによるシミュレーション、つまり、エージェントベースシミュレーションとは、エージェントと呼ばれるコンピュータ上の行動主体（人類学・考古学での適用では、古代人や世帯、集落を模していることが多い）が、他のエージェントの動きや周囲の環境を認識し、それらの情報に基づいて、一定のルールのもとで、各々のエージェントが同時進行的に自律的に行動しながら、他のエージェントや環境と相互作用し、人工社会を形成するシミュレーションである（Dean et al., 2000; Epstein and Axtell, 1996; Kohler et al., 2000, 2005; Lansing, 2002）。特に、エージェントの行動モデルが数学的記述ではなく、what-ifに基づくルールベースの記述であるため、民族誌の知見から得られる生活行動モデルや、研究者の仮説としての意思決定モデルをシミュレーションに反映することが容易であることと、地理的環境に対する古代人や世帯、集落の所在地を反映した空間的な概念を取り入れることが容易であり、人類学・考古学研究に適用しやすいと考える。また、仮説検証の方法としても、エージェントベースシミュレーションは、データ収集をガイドし、中間範囲を操作し、理論と資料の間にある、可能性を持った様々なつながりの妥当性を評価することができる（Epstein, 2006）。

このようなエージェント・モデリングを用いた考古学研究としては、アリゾナ州ロングハウスバレーの800年から1350年までの古代アナアジ族の人口動態の要因を検証する研究（Axtell et al., 2002, Dean et al., 2000）が最も有名である（図 2-1）。この研究は、社会単位と経験的データから古環境変数を含むいくつかのパラメータを用いて、ロングハウスバレーの人口動態に影響を与える要因を調べたものである。各パラメータの範囲について不確実性があるため、それら各パラメータの組み合わせに基づいたシナリオを作成し、シナリオを元にシミュレーションを行う。そのシミュレーション結果として、考古学的記録に最も整合性のあるシナリオを構成している各パラメータの組み合わせを、最適化計算により探索的に見つけるものである。

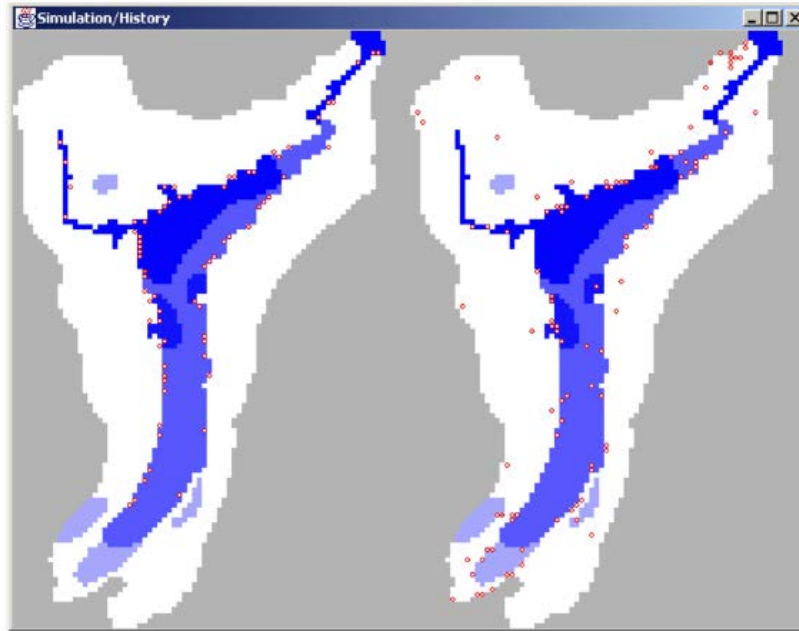


図 2-1 シミュレーション結果からの古代アナサジ族の居住地分布（左）と考古学的記録からの実際の居住地分布の比較（Wendy et al., 2016 から転載）

これらの研究は汎用性の高さから、その後多くの類似研究を生み出した。例えば、Christiansen and Altaweel, 2005, 2006; Dean et al., 2000; Gumerman et al., 2003; Heckbert, 2013; Johnson et al., 2005; Kohler et al., 2000, 2007, 2012; Murphy, 2012; Varien et al., 2007; Wilkinson et al., 2007a, b; Wu et al., 2011 などは、同様のアプローチを用いて他の時代や他の地域で適用したものや、シミュレーションモデルをさらに発展させて社会構造の変化要因を解明しようとしたものである。

これら類似研究は、エージェント・モデリングを用いた考古学研究の約 30%を占めるとされており（Wendy et al., 2016）、現在のエージェント・モデリングを用いた人類学・考古学研究の主流と言っても良い。他には、Brantingham の石原材料調達モデル（Brantingham, 2003）のように、仮説となる行動（意思決定）モデルの結果が、考古学的事実と一致するかどうかを検証するものが 15%を占める（Wendy et al., 2016）。つまり、これらの研究の目的は、考古学的データに基づくシナリオをシミュレートして、時系列の考古学的データセットに最も適合する環境的・社会的要因を検証することである。

このような関連研究は、複雑系の研究拠点であるサンタ・フェ研究所がある北米の研究コミュニティによって始められた。その土台には、北米の考古学研究にはおいて、前述したように、研究者の知覚対象外の過去の事実を如何に認識するのかをいう実証主義的研究手法の問題に対して、1970年代に、民族誌に一般システム論や統計学を合わせた、いわゆる「中範囲理論」（安斎, 1995）のような構成論的手法を取り入れた新しい考古学の動きであったニューアーケオロジー運動が起こった場所でもあったことから、エージェント・モデリングを用いた人類学・考古学研究とも親和性が高かったことが考えられる。

一方で、ヨーロッパの研究コミュニティにおいても、2014年にヨーロッパ社会シミュレーション学会（ESSA）の分科会として開催された SPUHH（SIMULATING THE PAST TO UNDERSTAND

HUMAN HISTOR) においても、具体的事例を対象とした研究の多くは、これら関連研究と同様のアプローチであった (Barceló and Castillo, 2016)。

3. 第3章：本研究の独自性「本研究と関連研究との差分、独自性」

前章で紹介した関連研究の多くは、歴史的変化に係る過去の人類の進化において重要な役割を果たした意思決定要因を探る研究であり、仮説の生成と仮説の考古学的な検証方法を提示する研究ではない。そのため、依然として、第1章で言及した仮説生成と仮説検証に関する問題は残ったままである。

そこで、これら問題に対して、本論文において、エージェント・モデリングを用いて、人類学・考古学的資料が乏しい時代や地域における問題に対する仮説の生成を行い、さらには、その仮説の検証方法として、どの時期にどのような考古資料があれば、検証できるのかを提示する（図 3-1）。

具体的には、人類学的・考古学的資料の欠落から、どのような社会的現象が起こっていたのかわからないという問題に対して、欠落の前時代の人類学的・考古学的事実を入力データとし、欠落の後時代の人類学的・考古学的事実を制約条件として、エージェントベースシミュレーションによって、欠落の時代で行った過去の社会現象を再現する。エージェントベースシミュレーションは内部に偶然性が組み込まれているシミュレーションモデルであることが多いため、エージェントの行動ルールの実行順などの偶然性に起因するエージェント同士の相互作用によって、同一の入力データに対する結果でも、異なる様相のシミュレーション上の過去の社会現象、言い換えるならば、異なるシナリオを生み出すことがある。これらのシナリオのなかから制約条件を満たすシナリオを基にして、そのシナリオのなかでどのような社会現象が起こっていたのかを詳細に観察することで、問題に対する仮説を生成する。

ここまでなら、関連研究のターゲットが過去の人類の意思決定要因の解明であるのに対して、本研究は過去の社会事象そのものの解明であるという違いがあるが、歴史的事実に沿うシミュレーションを行うことで、過去にどのようなことがあったかを再現する構成論的手法を採用する点では類似している。

しかしながら、本論文の提案手法の独自性はこの先のアプローチにある。つまり、過去の社会現象についての仮説に対して、エージェントモデリングの利点であるエージェントに様々な属性を多重に付与できることを活かして、古代人を模したエージェントに人類学的形態、DNA、生業文化、土器文化などの属性を付与し、シナリオシミュレーション結果として出力されるエージェントの各属性の構成比を時系列で観察することで、それら属性の拡散の組み合わせのパターンに基づいて、仮説を検証できる資料の提示ができる。

そして、最も重要なこととして、この作業において、シミュレーションから生成される仮説に対して、現実の発掘調査からの反証可能性を担保することが可能となっている。

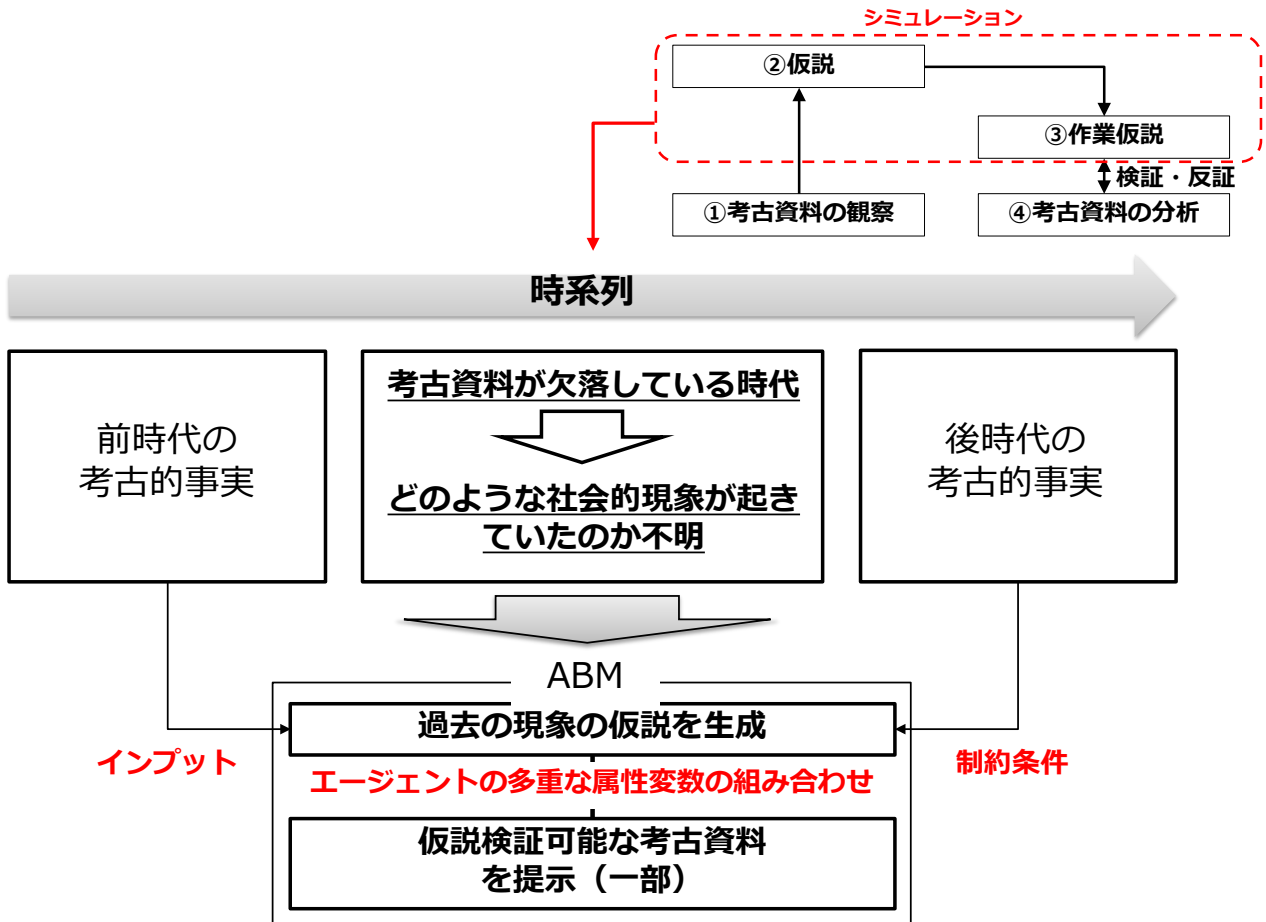


図 3-1 提案手法のフレームワーク

本提案手法のエージェント・モデリングを用いるにあたっての具体的な手順については以下に示す。

- ① 人類学と考古学で見解が異なる、資料間が一見整合性が見えないテーマに焦点を当てる
- ② 上記を解決するに当たって、最低限、必要な構成要素を検討する
- ③ 上記を踏まえたルールと、考古資料に基づくインプットと制約条件をエージェントの属性変数として付与した、エージェントモデルを作成する
- ④ 考古資料に基づくインプットと、それ以外は可変パラメータを組み合わせるケースを作り、多数ケースに対して、エージェントシミュレーションを多数回試行を行う
- ⑤ 制約条件を満たすシミュレーションケースを抽出する
- ⑥ 上記のケースにパラメータが異なるものが複数ある場合、そのケース間で、エージェントが持つ属性変数の時系列の相違を見つける
- ⑦ 属性変数は考古資料に準拠しているため、属性変数に相違のある時期に該当する考古資料が仮説検証可能な考古資料となる

上記①における「人類学と考古学で見解が異なる、資料間が一見整合性が見えないテーマ」については、具体的には、遺伝子と文化の分布の相違である場合を想定している。つまり、ある地域やある時代について、人そのものである人類学的形態から類推される過去の状況と、人が製作および使用した土器

や石器の分布から類推される過去の状況が異なっている場合である。加えて、従来は、遺伝子については遺伝子が発現する表現型としての人骨の形態がすべてであったが、近年は分子生物学の技術の進展により、遺跡から出土する人骨の遺伝子そのもの、つまり DNA を分析することが可能となっている。

DNA のなかには、細胞内小器官であるミトコンドリア DNA のように人類学的形態として観察で見ることができない情報も含まれていることから、より多角的な情報を提供することが可能となっている。このような状況のなかで、遺伝子や DNA の分布は生殖による伝播、つまり親から子への垂直伝播であるのに対して、土器や石器の分布は垂直伝播の他に、人と人の交流による同時代間の水平伝播となるため、これらの伝播速度の違いから、人類学的形態から類推される過去の状況と、考古学的記録から類推される過去の状況が異なることがある。そのような状況の具体例については、第 4 章および第 5 章において詳細に説明する。このような問題に対して、エージェント・モデリングは特に有効な手法であると考えられる。前述したように、エージェントに、人類学的形態、DNA、生業文化、土器文化などの様々な属性を付与することで、シナリオシミュレーション結果において各属性の拡散に基づいた仮説を生成し、さらに、各属性の拡散の組み合わせパターンに基づいて、検証できる資料の提示ができる。

また、上記において、本提案手法の反証可能性については、手順が示すように、いくつかの段階がある。シミュレーションはパラメータの組み合わせやシミュレーションモデルで内生される偶然性によって、仮説の元となる膨大な数のシナリオが生成させる（ここで生成されるシミュレーションは仮説とは定義しない）。これら膨大な数のシナリオから、仮説を絞り込んでいくにあたって、段階ごとに反証可能性を確認していく。これらを整理すると、次のようになる。

第 1 段階：上記⑤で示すように、人類学的・考古学的事実を制約条件として、それら事実と合わないシナリオを排除する。具体的には、シミュレーションから生成される膨大な数のシナリオのなかから、それぞれのシナリオが、ある時代のある地域の人類学・考古学記録に基づく既知の事実を再現されているかどうかを確認する。再現されていないシナリオは反証される。これら反証に用いられる既知の人類学・考古学事実としては、例えば、ある時代のエージェントの空間的分布や、ある時代のエージェントの属性変数の構成比が想定される

第 2 段階：上記⑥および⑦について、ここで示す段階と後述する段階の 2 つに分かれる。具体的には、前段階において、ある時代のある地域の人類学・考古学記録に基づく既知の事実を再現していたシナリオについて、前段階での反証に用いた以外の人類学・考古学記録に基づく既知の事実に基づいて、より妥当なシナリオを残し、妥当でないシナリオは排除する。ここで用いられる人類学・考古学記録に基づく既知の事実は具体的な指標のような確固にまでにはなっていないものであり、状況証拠に類するものである。より平易な表現で言えば、他の状況証拠から類推して、「そうであった」可能性がより低いシナリオを排除して、より高いシナリオを残す。

第 3 段階：この最後の段階が、本提案手法の長所である。最後に残ったシナリオの各属性の拡散の組み合わせパターンに基づいて、検証できる資料を提示する。本研究では、この段階まで絞り込まれたシナリオを仮説とする。属性変数に相違のある時期に該当する考古資料である、つまり相違点を検証ポイントしているため、あるシナリオの検証資料は他のシナリオの反証資料となる。この段階では、机上のシミュレーション結果による反証と離れて、将来の発掘調査や資料分析による反証である。そして、シ

シミュレーション結果から生成された仮説に対して、発掘調査や資料分析において、どのような資料が検証になるのかを示唆するものである。

以上のように、エージェント・モデリングを用いて、人類学的・考古学的資料が乏しい時期の仮説の生成を行い、さらには、その仮説の検証方法として、どの時期にどのような考古資料があれば、検証できるのかを提示することが本論文の独自性であるが、この提案手法が人類学・考古学の研究手法にもたらす有用性について、次のように整理することができる（図 3-2）。

まず、成果については、前述したように、関連研究は歴史的变化に係る過去の人類の進化において重要な役割を果たした意思決定要因のなかでどのようなパラメータが効いていたかを解明するものである。一方で、本論文の提案手法の成果は、仮説の生成とセットとなる仮説の検証について、どのような資料があれば検証できるのかを提示することである。

また、人類学・考古学研究のなかでのエージェント・モデリングの方法については、繰り返しになるが、関連研究は人類学的・考古学的資料に基づく歴史的事実を入力データとして、シナリオシミュレーションを行い、歴史的事実に沿うシミュレーション結果において、意思決定要因のなかのどのパラメータが効いていたかという知見を得るものである。一方で、本論文の提案手法は、人類学的・考古学的資料に基づく歴史的事実を入力データとして、シナリオシミュレーションを行うところまでは同じであるが、歴史的事実に沿うシミュレーション結果において、どのような社会現象が起こっていたかを詳細に観察し、問題に対する仮説を生成するとともに、その仮説の検証方法として、どの時期にどのような考古資料があれば、検証できるのかを提示する。

さらに、以上のことから従来の人類学・考古学研究との関係をまとめると、関連研究はシミュレーションが研究のアウトプットや出口になっているのに対して、提案手法は仮説の検証方法として、どの時期にどのような考古資料があれば検証できるのかを提示することで、新たな遺跡の発掘や遺物や遺構の分析を導く作業仮説となることで、シミュレーションが研究のインプットや入口になることができる。このような活用方法は、考古学の中位の理論（安齋, 2004）を補強することができ、研究において再検証可能なサイクルを回すこと、つまり、サイエンスとしての研究の質の向上に貢献することができる。

	Artificial Anasazi ABMなどの研究	本研究
成果	どのパラメータが効いていたのか	仮説に生成と仮説を検証しうる考古資料の提示
方法	考古学資料→シミュレーション→知見	考古学資料→シミュレーション→仮説とそれを検証しうる考古資料の提示
従来の考古学研究との関係	考古学研究はシミュレーションのインプット	シミュレーションが考古研究のインプットになる

図 3-2 提案手法の有用性

4. 第4章：有用性の例示その1 「北部九州における弥生農耕の主体の問題」

本章では本論文の提案手法の有用性を示すための実例研究として、「北部九州における弥生農耕の主体の問題」について、エージェント・モデリングを用いた成果を論じる。

4.1. 背景と問題設定

人類史上、狩猟採集民と農耕民との接触がその地の人口動態に影響を与えた事例は数多い。日本においては、農耕文化という生産基盤を背景とする弥生文化の「主体」がどういう集団であったかという問題に結びつけられて議論され、人類学・考古学上の重要な未解決テーマのひとつである。

弥生時代（紀元前約 300 年～紀元約 250 年）は、日本において稲作農耕が始まった時代であったとされている。弥生文化は、その前時代の縄文時代（紀元前約 14,000 年～紀元前約 300 年）の狩猟採集文化に中国大陸及び朝鮮半島から渡来した農耕文化が合わさった結果として成立したものである。人類学的形態学の研究によると、弥生時代の人骨と縄文時代の人骨の間では大きな違いがあり、中国大陸及び朝鮮半島からの遺伝的影響が明らかであるため、この農耕文化は中国大陸及び朝鮮半島からの移民、つまり渡来人によって導入されたとされる。

このように農業が社会経済基盤である弥生文化の確立には渡来人の存在が重要であったが、その詳細については、日本の人類学及び考古学においては不明なままである。具体的には、渡来人の出身地、渡来人集団の人口、渡来人集団の性別、弥生農耕文化の主体についての問題が不明である。

これまでの人類学的及び考古学的研究は、朝鮮半島が渡来人の出身地であったことを示しているが、渡来人集団の人口の規模については、大きかったとする説と小さかったとする説がある。前者については、前述したように弥生時代の人骨が縄文時代の人骨と大きく違い、弥生人が中国大陸及び朝鮮半島からの遺伝的影響を受けていることから、遺伝的影響を与えるくらいには渡来人の人口規模が大きいという考えに基づいている。Hanihara (1987) は、1000 年の期間における渡来人集団の人口の合計は、その後の期間における推定母集団の逆算に基づいて約 310 万人に及ぶと推定している。一方で、後者については、弥生時代前期（紀元前約 300 年から紀元約 200 年）では、土器や石器に縄文時代の特徴的な様式を有しているという事実に基づいている。つまり、弥生時代初期という短い時間で土器や石器の様式を変えるほどには、渡来人集団の人口は十分に大きくはなかったと考えられている。

渡来人集団の性比については、男性が主体であったと想定されている（金関, 1976）。この想定は、前述したように、弥生時代前期において、土器や石器の特徴が縄文時代の様式を保っていたという事実に基づく。都出（1982）は弥生時代に土器が女性によって作られたと述べている。この言及は土器が女性によって作られたことを示す広範な民族誌に基づいている（Murdoch and Provost, 1973）。このため、日本の考古学において土器は古くから女性によって作られてきたとされ、縄文時代から弥生時代に土器の特徴を変えるほどには、渡来人集団の女性の数は十分ではないと考えられてきた。つまり、渡来人集団が男性主体であれば、渡来人集団の人口規模が大きくても、弥生時代前期には土器や石器の特徴において急激な変化がなかった十分な理由と考えられる。

最後に、最も重要な問題として、弥生時代の農業文化の確立には多数を占める縄文人と少数と想定される渡来人のどちらが「主体」的な役割を果たしたかについては、長い間論争されてきた（藤尾, 1999）。この論争には、「在地の縄文系弥生人が新たな文化として農耕文化を受容して、弥生文化の「主体」となった(縄文人「主体」説)」と「体系的な農耕文化を携えて渡来し、定住した渡来系弥生人がそのまま増加して、弥生文化の「主体」となった(渡来人「主体」説)」の2つの説（片岡と飯塚, 2006）が議論されてきた。なお、本論文では「縄文系弥生人」という表現は、縄文人の遺伝的影響を受け、縄文人と人類学的形質に類似する人々を示す。一方、「渡来系弥生人」という表現は、中国大陸及び朝鮮半島からの渡来人の遺伝的影響を受け、渡来人と人類学的形質に類似する人々を示す。この論争において、弥生人時代の縄文系弥生人と渡来系弥生人の人口推移を調べるのが重要となるが、日本における農耕文化の初源池である北部九州において農耕開始期に当たる縄文時代晩期（紀元前約 1000 年～紀元前約 300 年）から弥生時代前期（紀元前約 300 年～紀元約 200 年）にかけての人骨資料が欠落している。

中橋と飯塚（1998）は、北部九州の弥生時代中期の甕棺埋葬者を判別分析した結果、渡来系弥生人の比率が 80%を占める可能性を指摘し、さらに、弥生時代中期までの人口動態について数理モデルを用いて説明した。渡来系弥生人と縄文系弥生人の人口増加率に差を設けた場合、少数の渡来系弥生人でも数百年後に渡来系弥生人が多数を占める可能性を示している（中橋と飯塚, 1998, 2008）。つまり、従来の研究とは対照的に、これらの研究は、小さな初期において渡来人集団が小さくても、弥生時代の人骨が縄文時代の人骨から大きな違う人類学的形質を持つ理由の説明を可能とした。片岡と飯塚（2006）も、住居跡のプランや立地、集落構成から、その住人を縄文系弥生人か渡来系弥生人を仮定し、人口増加率を推定した。その結果、渡来系弥生人単独でも人口転換が発生するとし、渡来系弥生人だけでも農耕文化の主体者になり得るとした。

これら研究は、数理モデルによって定量的にアプローチすることで、客観性が高い結果を提示した点で特筆に値する。しかしながら、これらの研究は、縄文人及び渡来人の集団がお互いに隔離されたモデルが前提とされている、または、縄文系弥生人と渡来系弥生人の混血集団を想定しても、混血集団の規模は小さいうに、その集団における縄文系弥生人の比率を低く見積っている。集団間の通婚や文化交流接触を妨げる思想的・地理的な隔絶がなく、任意に交配や接触が可能と考えるならば、これらの前提は不自然である。また、出生率は生業文化によって異なるため（Bentley et al., 1993）、人口増加率も生業文化と密接に関係していると考えられるが、これら研究においては、形質と生業文化が分離されておらず、文化の伝播が考慮されていない。そのため、これら研究は、農耕文化（弥生文化）の「主体」という問題に対して本質的に取り扱うことが難しい。

さらに、渡来人集団の性比は依然として未解決の重要な問題となっている。前述のように、土器や石の道具は主に女性が作った（都出 1982）と仮定して場合、弥生時代前期の土器や石器に、縄文時代の特徴が残っていることは、渡来人集団が男性主体であったとする仮説（金関, 1976）の根拠になっている。つまり、これは、縄文時代の女性が土器を作成した場合、渡来人の男性と在地の縄文人の女性と交配したことを意味する。中橋と飯塚（1998, 2008）は、在地の縄文人と渡来人の混在集団の女性の大多数が在地の縄文人女性であると計算している。しかし、これらの研究は、そもそもこの混合集団の規模を小さいことを前提としているため、渡来人集団全体の性比を推定することができない。さらに、渡来人集団が男性主体であるという仮説は、縄文人の母系遺伝するミトコンドリア DNA (mtDNA) のハ

プロタイプ頻度が、中国大陸及び朝鮮半島からの遺伝的影響のある弥生時代の人のものと大きく異なることを示す研究（篠田, 2006）と一見整合しないように見える。縄文人と弥生人の間の mtDNA のハプロタイプ頻度を変えるには、渡来人集団の女性の比率が低い状態からでは困難であると考えられる。つまり、弥生時代前期の土器や石器に縄文時代の特徴を保持していたという事実と、縄文人と弥生人の間の mtDNA のハプロタイプ頻度に大きな変化があったという事実は対立しているように見える。したがって、従来の静的な数理モデルの適用では、渡来人集団の性比の問題を解決することは困難と考えられる。

そこで、本研究では、中橋と飯塚（1998, 2008）が開発した数理モデルを用いずにエージェントデリングを用いて、これらの問題を検討する。具体的には、（1）九州北部に多数の縄文人と少数の渡来人が共存している状態から、（2）300年後、渡来系弥生人の形質を持つ人々が全人口の80%を占めるようになる状態の場合に、（3）農業文化の普及と形質遺伝子の拡散のモデルに、（4）土器の様式と mtDNA の遺伝をのルール加えて、弥生農業文化の主体の問題と渡来人集団の性比の問題について、仮説の生成とそれら仮説を検証できる考古資料の提示を行う。

4.2. シミュレーションモデル

本シミュレーションモデルの記述は、ODD(Overview, Design concept, and Details) プロトコル（Grim et al., 2006, 2010）に基づいた。これは、エージェントベースモデルが再現性に欠けるという批判に応え、説明の標準化と完全性の向上を目的としたものである。

4.2.1. エージェントと属性変数

エージェントは古代人とし、エージェントは以下の属性変数を保有する。

4.2.1.1. ID と空間位置

エージェントは、個別の「ID」番号と 50セル×50セルの空間上の位置（「X」, 「Y」）に関する情報を持っている。このシミュレーション空間は、日本列島全体ではなく、北部九州地域を表している。北部九州地域は稲作が最初に導入された場所であり、その後、急速に他地域に広がる。本シミュレーションモデルでは、空間は非常に抽象的であり、実際の地理空間に直接関連していない。また、本研究は、中橋と飯塚（1998, 2008）との比較のために、農耕文化と形質遺伝子との間の相対的拡散を議論することに焦点を当てている。したがって、このような抽象的な空間でも問題を議論するのに十分であると考えられる。さらに、後述するようにシミュレーションモデルにおける農耕文化の普及速度は、農耕文化の導入率と範囲によって決定される。そのため、この空間の広さは、農耕文化の普及速度が目安とする程度になるような広さとしている。

4.2.1.2. 性別

「男性」または「女性」とする。

4.2.1.3. 余命と年齢

エージェントは作成された(産まれた)時点で、死亡率の確率分布に基づき「余命」を持っており、「年齢」が「余命」を超えた場合、そのエージェントは死亡する(削除される)。死亡率の確率分布については、縄文人の死亡率 (Nagaoka et al., 2008) に、近年までの乳幼児死亡率である 20% を反映したものを作成した。なお、弥生人の死亡率に関しては、縄文人と大きな差はないと仮定し、同じものを採用している。

4.2.1.4. 生業文化

「狩猟採集」または「農耕」とする。縄文時代晩期から弥生時代前期における気候の寒冷化が、狩猟採集からの農耕への食料生産システムの転換の契機になった (宮本, 2009) と仮定して、生業文化は「狩猟採集」から「農耕」へと変化するものとする。しかしながら、この逆である「農耕」から「狩猟採集」への転換は根拠となる文献がないため、考慮していない。

4.2.1.5. 婚姻制度

後述する形質遺伝子の配布方法として定義し、「一夫一妻」または「一夫多妻」とする。縄文時代の婚姻制度は不明であるが、弥生時代の婚姻制度については、当時の日本の風俗を記したとされる魏志倭人伝のなかで、「身分の高い人は4~5人、一般身分の人でも2~3人の妻を持つものがある」という記述があることから、弥生文化において一夫多妻婚が存在したことが推察される。縄文時代に一妻多夫婚が存在していた可能性もなくはないが、中橋と飯塚 (1998, 2008) の数理モデルは、縄文人は一夫一妻婚と仮定している。したがって、本研究はそれら関連研究の比較研究であるために、縄文人は一夫一妻婚と仮定した。

本研究においては、「一夫多妻婚」には、複数の妻を持つことができる食料の余剰が必要であると考え、高い食料生産力を持つ「農耕文化」を同時に保有している場合のみ、「一夫多妻婚」を行うこととする。なお、婚姻制度は、父親から継承するものと仮定する。

4.2.1.6. 形質遺伝子

形質的特徴を決定する遺伝子である。本来は複数の遺伝子が複雑に関係して形質的特徴を決定していると考えられるが、本シミュレーションでは簡便化して、中橋と飯塚 (1998, 2008) と同様に、主要な1対の対立遺伝子から構成されるものと仮定する。対立遺伝子は、「縄文系遺伝子(J)」と「渡来系遺伝子(T)」からなる。新しくエージェントを作成する(子供を産む)場合、その新規エージェント(子供)は、父親となる男性エージェントと母親となる女性エージェントからランダムに1つずつ形質遺伝子を受け継ぐ。その組み合わせは、縄文系遺伝子型「JJ」、渡来系遺伝子型「TT」、混血遺伝子型「JT」のいずれかになる。この遺伝子型に従い、縄文系弥生人か渡来系弥生人のどちらかに分類されるものとする。遺伝子型「JJ」は縄文系弥生人、遺伝子型「TT」は渡来系弥生人とする、混血遺伝子型「JT」は特定の比率で渡来系弥生人とし、それ以外は縄文系弥生人とする。

4.2.1.7. mtDNA ハプログループ

「マクロハプログループ N」または「マクロハプログループ M」とする。細胞内小器官のミトコンドリア DNA (mtDNA) は母系遺伝する。また、出土人骨からの抽出が比較的容易である。そのため、mtDNA 分析は古代人類の母系起源を調べるのに有効な方法である。東アジアの人々の mtDNA は、マクロハプログループ N とマクロハプログループ M の 2 つのグループに大別される (Kivisild et al., 2002; Kong et al., 2003)。最近、日本において古人骨の mtDNA 分析の結果がまとめられており、mtDNA マクロハプログループの N と M の頻度は、縄文時代と弥生時代の人々で大きな違いを示している (篠田, 2006)。具体的には、縄文時代の人々では、mtDNA マクロハプログループ N 及び M の頻度はそれぞれ約 50%であった。対照的に、弥生時代の人々では、mtDNA マクロハプログループ N 及び M の頻度は、それぞれ約 20%及び約 80%であった。本シミュレーションモデルでは、新しいエージェント (子) が作成された (生まれた) 時、新しいエージェントは、母親となったエージェントの mtDNA マクロハプログループを継承する。

4.2.1.8. 土器様式

「縄文系」または「渡来系」とする。本シミュレーションモデルでは、便宜上、土器様式を「縄文系」と「渡来系」に 2 つに限定した。本来、土器様式は連続的に変化するものと考えられるが、本シミュレーションモデルでは、どちらの様式の要素が支配的かということに焦点を当てたために、変数を 2 つに限定している。したがって、これらの 2 つの様式の区別は不連続なものであることを意味するものではない。

弥生時代において、女性が土器製作者だったという言及 (都出, 1982) は、広範な民族誌 (Murdoch and Provost, 1973) に基づくものである。そのため、日本の考古学では、昔から女性が土器を製作していたことが一般的に認められている。さらに、田中と小沢 (2001) は、弥生時代に集団内の垂直伝達過程を通じて文化的拡散がどのように起こったかを議論した。これらの文献の記述に基づいて、本シミュレーションモデルでは、母親の土器様式を継承した新しいエージェント (子供) は、母親の持つ土器様式を継承する。

4.2.2. ステップと実行順序

1 ステップを 1 年とする。エージェントの行動ルールは、後述する「農耕文化の伝播」「婚姻」「移動」の 3 つのサブモデルから構成されており、1 ステップ内で、この順番でそれぞれのサブモデルが実行される。また、エージェントの実行順序は、毎ステップ、ランダムである。

4.2.3. デザインコンセプト

ODD プロトコルの 11 個のコンセプトのうち、本シミュレーションモデルにおいて該当する 7 個について、表 4-1 に記載した。本シミュレーションモデルはシンプルなものであるため、本章のモデルの記述と OOD デザインコンセプトを用いて、モデルの再現性を確保した。

表 4-1 デザインコンセプト

No.	デザインコンセプト	要素
1	基本原則 (Basic Principles)	<p>農耕文化が伝播するなかで、生業文化に応じた人口増加率のもとで形質遺伝子とミトコンドリアDNA、土器様式の拡散とを取り扱う</p> <ul style="list-style-type: none"> ・生業文化の伝播に関しては、感染症のモデル(SI model)に準ずる ・人口増加に関しては、マルサスの人口増加モデルに準ずる ・形質遺伝子に関しては、メンデルの遺伝の法則に準ずる
2	創発 (Emergence)	<p>農耕文化の伝播と遺伝子の拡散によって農耕文化保有者の各系統の子孫の構成比、各土器様式の比率、ミトコンドリアDNAマクロハプログループの頻度の変化が創発する</p>
3	適用 (Adaptation)	<ul style="list-style-type: none"> ・自分の周囲に農耕文化保有者がいた場合、特定の農耕導入率で、自分の生業文化を農耕に変化する
4	感知 (Sensing)	<ul style="list-style-type: none"> ・農耕文化の伝播ルールにおいて、自分の周囲に農耕文化を保有するエージェントがいるかどうか判定する ・婚姻ルールにおいて、自分の周囲に女性エージェントがいるかどうか判定する
5	偶然性 (Stochasticity)	<ul style="list-style-type: none"> ・余命の付与 ・開始時のエージェントの空間上の座標位置 ・開始時のミトコンドリアDNAマクロハプログループ ・農耕文化導入率に従い、生業文化が農耕に変化するかどうか ・婚姻する場合の女性エージェントの選出 ・子供の性別 ・子供が両親の一对の形質遺伝子のどちらを受け継ぐか ・移動ルールでのランダムな方向
6	集団 (Collectives)	<p>狩猟採集民と農耕民を属するエージェント数をもとに、それぞれに応じた人口増加率に従い、新規に作成するエージェント数を決定する</p>
7	観察 (Observation)	<ul style="list-style-type: none"> ・渡来系弥生人の比率 ・農耕文化の普及率 ・農耕文化保有者の各系統の子孫の構成比 ・渡来系様式の土器の普及率 ・ミトコンドリアDNAマクロハプログループMの頻度

4.2.4. サブモデル

4.2.4.1. 農耕文化の伝播ルール

農耕文化の伝播は、移動や移住による「周囲のエージェントからの伝播」と「親からの継承」によって行われる。「周囲のエージェントからの伝播」は、簡便な感染症モデル (susceptible infectious (SI) model) に従い、自分の生業文化が「狩猟採集」であった場合、特定の半径のセルの範囲内に存在する「農耕」を保有するすべてのエージェントから、特定の農耕導入率に従い、自分の生業文化が「農耕」となる。「親からの継承」は、後述する婚姻ルールにおいて、新しくエージェントを作成した(子供を産

む) 場合、その新規エージェント(子供)は、父親または母親の生業文化を継承する。シミュレーションは、父親からの継承、母親からの継承のそれぞれのパターンに対して行う。

4.2.4.2. 婚姻ルール

男性エージェントと女性エージェントの婚姻によって新規エージェントを作成する(子供を産む)。男性エージェントが自分の周囲3セルの女性エージェントをランダムに選び出し、女性エージェントの保有している生業文化の人口増加率に応じた、その年の増加分だけ、新規エージェントが作成される(子供が産まれる)。子供は、母親となった女性エージェントと同じ座標位置に作成される。子供は50%の確率で男女に振り分けられ、年齢0歳と余命を持っている。子供の「形質遺伝子」に関しては、父親となった男性エージェントと母親となった女性エージェントからランダムにひとつずつ受け継ぐ。前述したように、「生業文化」に関しては父親または母親から、「婚姻制度」に関しては父親から継承する。また、子供は、母親からの土器様式と mtDNA マクロハプログループを継承する。なお、男性エージェントが「農耕文化」を保有しており、かつ、「一夫多妻婚」を保有している場合のみ、人口増加数の範囲内において、当該男性エージェントは3人の女性エージェントと婚姻できることとする。

4.2.4.3. 移動ルール

移動や移住するものと考え、空間上をステップ毎にランダムな方向に1セル移動する。

4.2.5. 初期設定

4.2.5.1. シミュレーション期間

弥生時代初期から弥生時代中期に相当する300年間(300ステップ)とする。これは、中橋と飯塚(1998)の代表的なケース[図7, 表3: No. 10](以降、「代表的ケース」と称す)で採用されている値である。最新のAMS (Accelerator Mass Spectrometry) 炭素年代測定の結果では、弥生時代の開始が従来よりも500年程遡るといふ説もあるが、明確な結論には至っていない。そのため、本論文では、人口転換にとってより厳しい条件となる300年間とする。

4.2.5.2. 生業文化に基づく人口増加率

農耕民が狩猟採集民よりも高い人口増加率を持つ設定とする。これらの人口増加率は、中橋と飯塚(1998)の代表的ケースの人口増加率を採用したパターン1と、中橋と飯塚(1998, 2008)で採用されている値のなかで、最も低い値を採用したパターン2の2パターンをシミュレーションする。

- パターン1「狩猟採集民：年0.1%の比率で人口が増加する。農耕民：年1.3%の比率で人口が増加する」
- パターン2「狩猟採集民：年0.1%の比率で人口が増加する。農耕民：年0.5%の比率で人口が増加する」

4.2.5.3. 農耕文化の伝播速度

本シミュレーションモデルの農耕文化の伝播速度は、「伝播するセルの範囲」と「農耕導入率」から構成される。「伝播するセルの範囲」に関しては、お互いが接触し文化交流される距離に相当し、「狭

い（1セル）」「中程度（3セル）」「広い（5セル）」の3段階を仮定した。また、「農耕導入率」に関しては、農耕文化の導入の難易度に相当し、「不可能（0%）」「難しい（0.1%）」「中程度（0.5%）」「容易（1%）」の3段階を仮定した。この難易度は、農耕文化自体の難易度ではなく、新しい文化として農耕文化を受け入れ易い環境や文化を持っていたかどうかを示す。これらの組み合わせでの農耕文化の伝播速度は、目安として「伝播するセルの範囲」が「狭い（1セル）」、「農耕導入率」が「難しい（0.1%）」の場合において、ほとんどエージェントが「農耕文化」を保有するのにおよそ300年を要する設定とした。

4.2.5.4. 生業文化の親からの継承

生業文化の親からの継承は不明である。したがって、父親または母親からの継承それぞれの場合、シミュレーション結果にどの程度影響されたかを調べるために、以下の2つのケースをシミュレートした。

- パターン1「父親：新しいエージェント（子供）が父親のエージェントから生業文化を継承する」
- パターン2「母親：新しいエージェント（子供）が母親のエージェントから生業文化を継承する」

4.2.5.5. 初期渡来人と初期縄文人が保有する属性変数

シミュレーション開始時において、初期縄文人と在地の初期渡来人が存在する。

- 初期縄文人
 - 形質遺伝子：JJ
 - 生業文化：狩猟採集
 - 婚姻制度：一夫一妻
 - 土器様式：縄文系様式
 - mtDNA マクロハプログループ：篠田（2006）を参照に、50%がマクロハプログループNを、50%がマクロハプログループMを有する
- 初期渡来人
 - 形質遺伝子：TT
 - 生業文化：農業
 - 婚姻制度：シミュレーションのケースによって「一夫一妻」か「一夫多妻(3人)」のいずれかのパターンとする
 - 土器様式：渡来系様式
 - mtDNA マクロハプログループ：62.5%がマクロハプログループM、37.5%がマクロハプログループNを有する。渡来人のmtDNAのハプログループ頻度は不明である。しかしながら、渡来人が朝鮮半島を経て北部九州に移住したと考えられるため、本研究では、渡来人のmtDNAのマクロハプログループの頻度を現在の朝鮮半島のもの（篠田, 2006）と同じであると仮定している。

4.2.5.6. 初期渡来人と初期縄文人の空間上の初期配置

初期渡来人は、最初期においては北部の沿岸域から集団として渡来し、移住していったと仮定する。そのために、本研究ではシミュレーション開始時の初期渡来人の空間上の分布を1カ所に設定した。この仮定が、シミュレーション結果へ与える影響を検証するため、開始時において、初期渡来人と初期縄文人の空間上の初期配置に関しては、以下の2パターンをシミュレーションする。

- パターン1：集中分布「初期縄文人はランダムに均一配置されている。一方、初期渡来人は北部の沿岸部から渡来し、移住していくと仮定し、空間の上辺の中央(X座標：25, Y座標：50)に配置する」
- パターン2：均一分布「初期渡来人、初期縄文人ともに、ランダムに均一配置する」

4.2.5.7. 初期縄文人と初期渡来人のエージェント数

中橋と飯塚(1998)の「代表的ケース」におけるシミュレーション開始時の初期渡来人と初期縄文人の比率である1:9を参考に、初期渡来人200エージェント、初期縄文人1,800エージェントとする。

4.2.5.8. 初期渡来人の性比

前述したように、初期渡来人が男性主体の集団ではなかったかという可能性が指摘されている(金関, 1976)。そこで、渡来集団の性比を検討するために、初期渡来人の性比を以下の3パターンとする。なお、初期縄文人の男性と女性の性比は同じとした。

- パターン1：男女同数：「男性100エージェント、女性100エージェント」
- パターン2：男性優占：「男性150エージェント、女性50エージェント」
- パターン3：男性寡占：「男性175エージェント、女性25エージェント」

4.2.5.9. 形質遺伝子が混血遺伝子「JT」のエージェントを渡来系弥生人と判定する比率

形質遺伝子が混血遺伝子「JT」の場合、特定の比率で渡来系弥生人とする。その比率については、以下の2パターンとする。パターン1では、少しでも渡来人形質を持つ人を渡来系弥生人であるという前提に基づいて、渡来系弥生人と判定する。

- パターン1「100%の比率で渡来系弥生人とする」
- パターン2「50%の比率で渡来系弥生人とする」

4.2.6. シミュレーションケース数と評価指標

前述のパラメータ(表4-2, 表4-3)のパターンを組み合わせせた440ケースに、中橋と飯塚(1998)の単純増加モデルの「代表的ケース」(縄文系弥生人の人口増加率：0.1%, 渡来系弥生人の人口増加率：1.3%, 初期渡来人の人口比：10%)を加えた合計441ケースに対して行った。この単純増加モデルは、縄文人と渡来人の間に自由交配と農耕文化の伝播はないという想定で、各集団内で個別に増加したという仮定に基づくモデルである。なお、表4-2, 表4-3は、各パラメータについて、①現在、見解が分かっているもの、②現在、そもそも不明なもの、見解がないもの、③人類学・考古学記録に基づくもの、に分けて示した。

シミュレーション試行は、「農耕民の人口増加率：1.3%」と「初期渡来人の初期配置パターン：均一」の組み合わせについては、計算コストの問題から1回としたが、それ以外のケースは、各10回とした。これら10回試行の乱数シードは、ケース間で同じものを使用している。

本研究の主な評価指標は、「全エージェントにおける渡来系弥生人の比率」とする。弥生時代中期において、渡来系弥生人の比率が80%以上と報告されているため（中橋と飯塚, 1998）、300年(300ステップ)後の段階で、渡来系弥生人の比率が80%以上に近い値になっているかがひとつの目安となる。そのため、ケース毎の各試行において、「渡来系弥生人の比率」について言及する。

また、渡来系弥生人の比率が80%以上となるシミュレーションケースでは、弥生農業文化の主体の問題を検討するために、「農業文化普及率」と「農業文化保有者の子孫の構成比」の時系列で例示する。

さらに、渡来人の性比を検討するため、mtDNAのマクロハプログループMの頻度と渡来系様式の土器の普及率を調べた。弥生時代の人々のmtDNAのマクロハプログループMの頻度が約80%であること（篠田, 2006）を考慮して、300年後のmtDNAのマクロハプログループMの頻度が高いかどうかを判断する。また、土器様式に関して、弥生時代初めには縄文系様式が残っていたが、弥生時代中期には渡来系様式が卓越したと想定される。そのため、300年後の渡来系様式の土器の比率が高いかどうかを判断する。

表 4-2 農耕文化の伝播と渡来人集団に関するパラメータ

パラメータ	値
農耕文化の伝播範囲	[狭い: 1セル], [中程度: 2セル], [広い: 3セル]
農耕文化の導入率	[不可: 0%], [難しい: 0.1%], [中程度: 0.5%], [易しい: 1.0%]
渡来人の性比と初期人口	[同数: 100, 100], [男性主体: 150, 50], [ほとんど男性: 175, 25]

	現在、見解が分かれているもの
	現在、そもそも不明なもの、見解がないもの
	人類学・考古学記録に基づくもの

表 4-3 その他パラメータ

パラメータ	値
シミュレーション期間	300年(ステップ)
狩猟採集文化の人口増加率	[年0.1%]
農耕文化の人口増加率	[年1.3%], [年0.5%]
農耕文化の両親からの継承	[父親], [母親]
渡来人の婚姻制度	[一夫一妻婚], [一夫多妻婚]
縄文人の婚姻制度	[一夫一妻婚]
渡来人の空間的分布	[均一に分布], [集中的に分布]
縄文人の空間的分布	[均一に分布]
縄文時の性比と初期人口	[900, 900]
混血個体を渡来系弥生人とする割合	[100%], [50%]
渡来人のミトコンドリアDNAの頻度	マクロハプログループM62.5%, N37.5%
縄文人のミトコンドリアDNAの頻度	マクロハプログループM50%, N50%

	現在、見解が分かれているもの
	現在、そもそも不明なもの、見解がないもの
	人類学・考古学記録に基づくもの

4.3. シミュレーション結果と考察

441 ケースのうち、300 年後の渡来系弥生人の比率が 80%を超えるものは、111 ケースであった。中橋と飯塚（1998）の単純増加モデルの「代表的ケース」に準拠する設定においては、当然のことながら、300 年後の渡来系弥生人は 79.8% に達する。このケースは、両集団間で交雑も生業文化の伝播もなかった状況に相当する。

以降の節では、両集団間に交雑及び生業文化の伝播がある場合における、初期渡来人の初期空間配置、初期渡来人の婚姻制度、農耕文化の伝播速度の違い、渡来人の性比による結果について述べる。したがって、本論文では、「生業の親からの継承：母親」「混血個体を渡来系弥生人とする比率：100%」のケースについて述べる。

4.3.1. 初期渡来人の初期空間配置

初期渡来人も初期縄文人と同じく空間上に均一に分布する場合、300 年後の渡来系弥生人の比率は、どのケース、どの試行においても、人口転換の目安である渡来系弥生人の比率が 80%には及ばない(図 4-1, 図 4-2)。また、全体的には、農耕普及速度が比較的遅い方(例えば、伝播するセルの範囲が「狭い」、農耕導入率が「難しい」)が渡来系弥生人の比率が高く、速い方(例えば、伝播するセルの範囲が「広い」、農耕導入率が「容易」)が渡来系弥生人の比率が低い傾向があることがわかった。

一方、初期渡来人が集中分布する状態においては、人口転換の目安である渡来系弥生人の比率が 80%に達するケースがある(図 4-3, 図 4-4)。これらは、すべて一夫多妻婚のケースである。これらの詳細については、以降の説で述べる。初期渡来人が均一に分布する場合に人口転換が起こらない理由として、農耕文化の伝播拠点がいくつもの地点に存在することになり、縄文系弥生人への農耕文化伝播が早い時期に行われると、縄文系弥生人も農耕文化の人口増加率に従い、人口が増加するからである。そのため、農耕民の人口増加率が異なる場合でも同様の結果となる(図 4-1, 図 4-2)。人口転換を起こすためには、最初期の段階においては、渡来人がお互いに密集した状態で定住し、縄文集団との接触は近隣の一部のみの状態が必要であった可能性が考えられる。

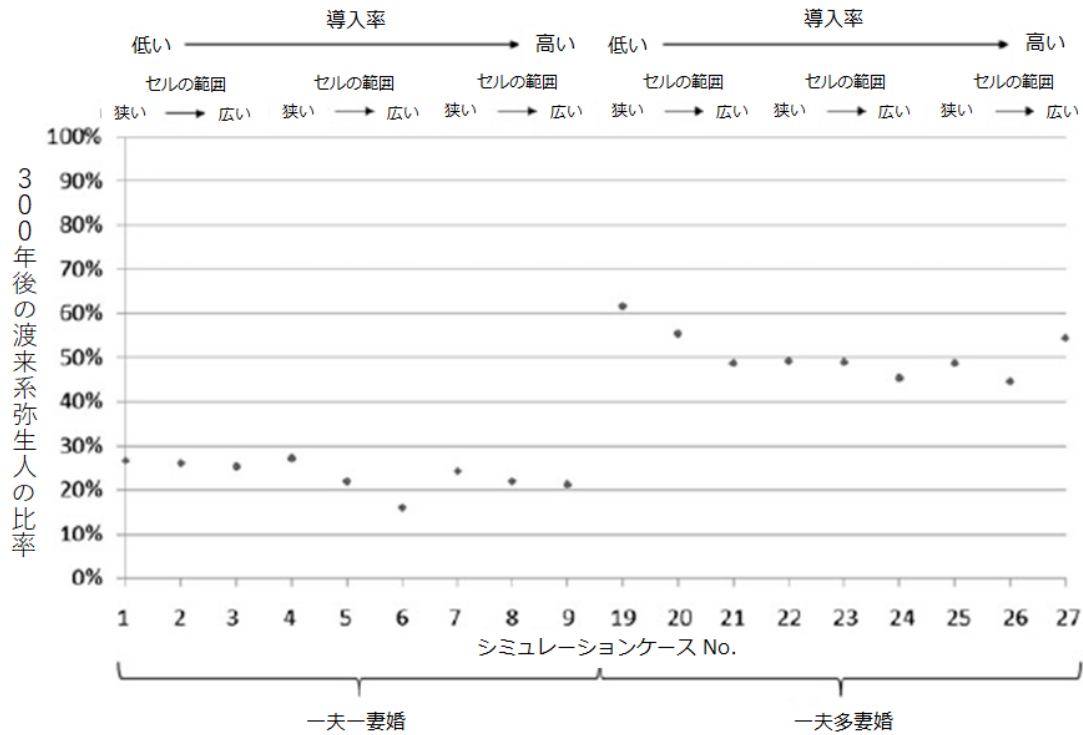


図 4-1 300年後の渡来系弥生人の比率（渡来人の初期空間配置：分散，農耕民の人口増加率：年1.3%，渡来人の性比：男女同比）

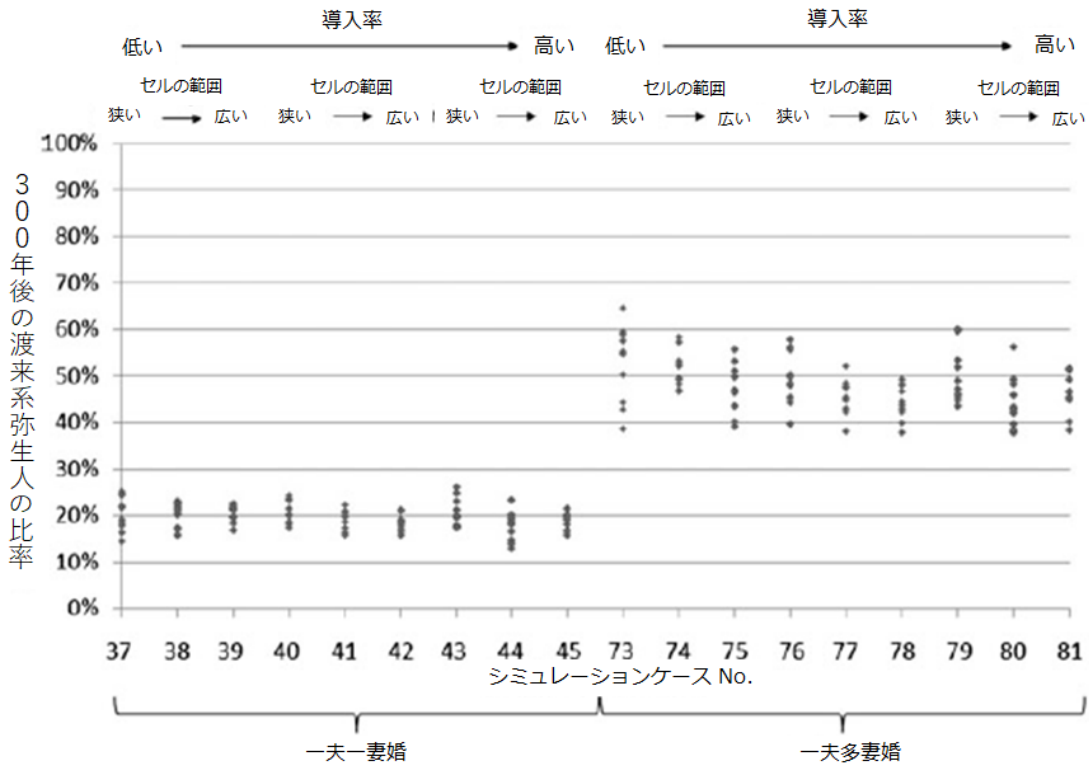


図 4-2 300年後の渡来系弥生人の比率（渡来人の初期空間配置：分散，農耕民の人口増加率：年0.5%，渡来人の性比：男女同比）

4.3.2. 婚姻制度と農耕文化の伝播速度

4.3.2.1. 一夫一妻婚で生業文化の周囲からの伝播の場合

初期渡来人が集中分布する状態で、婚姻制度は一夫一妻婚で、周囲から農耕文化が伝播する場合の300年後の渡来系弥生人の比率は、どのケースにおいても、人口転換の目安である渡来系弥生人の比率が80%には及ばない(図 4-3: No. 37-45, 図 4-4: No. 55-63)。その理由は、前節と同様である。なお、これらの場合も、全体的に、農耕普及速度が比較的遅い方が渡来系弥生人の比率が高く、速い方が渡来系弥生人の比率が低くなることがわかった。なお、本論文のシミュレーションケースにないが、婚姻が集団内で優先的に行われると仮定した場合でも、形質遺伝子の拡散が集団内に閉ざされた状態で農耕文化が縄文系弥生人に伝播するため、やはり人口転換は起こらない。

4.3.2.2. 一夫多妻婚で生業文化は親から継承のみの場合

初期渡来人が一夫多妻婚を保有していた状況で、周囲からの農耕文化の伝播がなく、農耕文化は親からのみ継承される場合の300年後の渡来系弥生人の比率は、農耕民の人口増加率が0.5%と低い場合でも、80%に達するケースが見られた(図 4-4: No. 64)。多妻婚を想定した場合、人口転換が起こる可能性があると考えられる。当時はまだ農業技術が成熟していないことを考えると、農耕の1.3%の人口増加率の想定は高すぎると考えられるかもしれない。したがって、これらの結果は、農耕の人口増加率が低くてもであっても、人口置換が起こることを示している。さらに、前述のように、弥生時代開始が従来よりも500年早いという仮説の場合でも、人口増加率が低くても人口置換が起こる可能性を残している。

しかし、これらのケースでは、農業文化は父親や母親からのみ継承されていたため、農業文化の普及率は300年後には非常に低い(約25%)。さらに、これらの農業者の子孫の構成比は、移民、あるいは移民と縄文人の両方から構成されていた。これらの事例は、移民が農業文化の確立において形式的役割を果たしたという最初の仮説として示唆している。

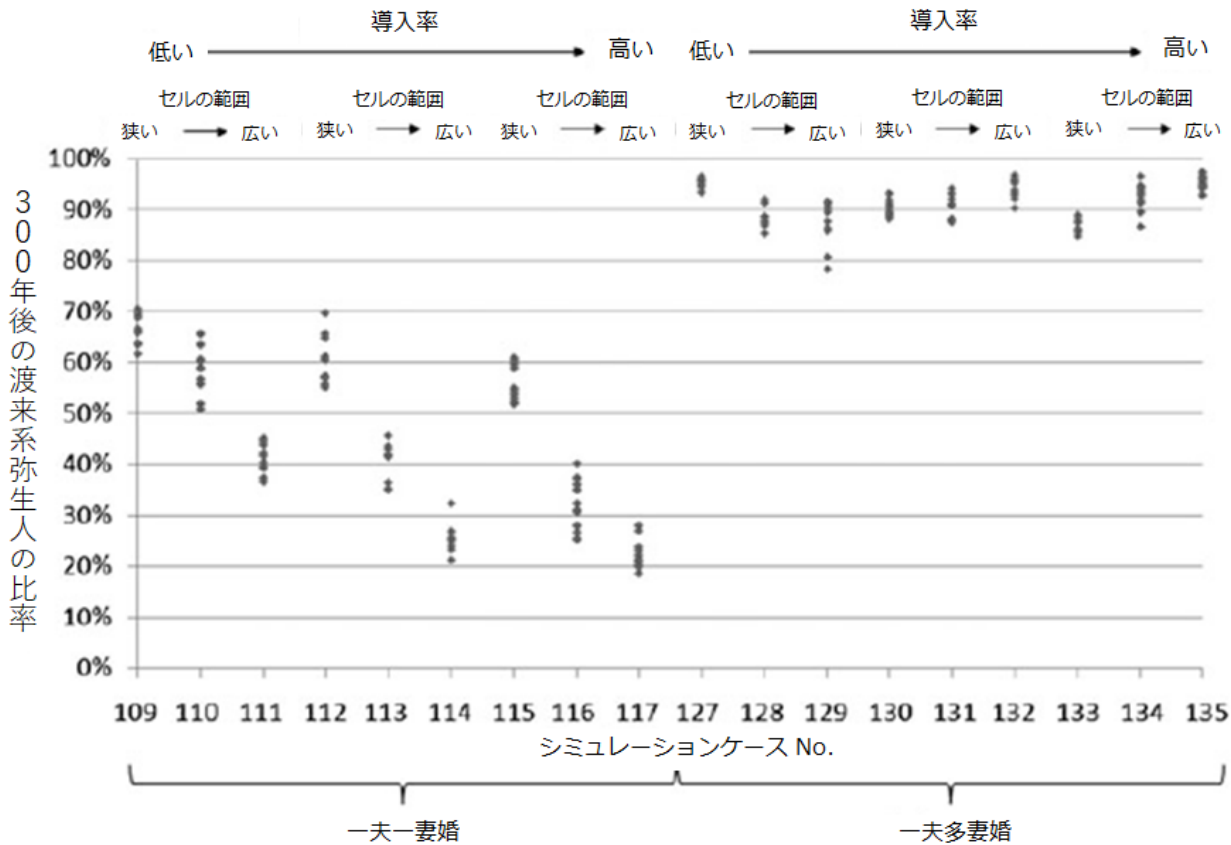


図 4-3 300年後の渡来系弥生人の比率（渡来人の初期空間配置：集中，農耕民の人口増加率：年1.3%，渡来人の性比：男女同比）

4.3.2.3. 一夫多妻婚で周囲からの農耕文化の伝播を仮定した場合

初期渡来人が一夫多妻婚を保有していたという状況は、前節と同じだが、農耕文化が親からのみではなく、周囲からも伝播するとした場合の渡来系弥生人の比率は、農耕伝播の速度によって変わる。農民の人口増加率が0.5%の場合、農耕伝播の速度が比較的遅いケースでは、渡来系弥生人の比率が80%に及ばないケースがある(図4-4)。一方で、農耕伝播の速度が非常に速いケースでは、80%に達する。農耕民の人口増加率がより高い1.3%の場合(図4-3)は、農耕文化の伝播速度に関わらず80%に達するが、それでも、やはり農耕文化の伝播速度が速い方が、遅い方よりも、300年後の渡来系弥生人の比率が高い。

これらのことは、一夫多妻婚の場合では、農耕文化が普及する場合、広く普及する方が人口置換を起こしやすいことが示す。その原因は、農耕文化の伝播と一夫多妻婚の広がりには時間差があり、その差がその後の縄文系弥生人と渡来系弥生人の比率に影響を与えたと考えられる。つまり、最初期の段階においては、渡来系弥生人はお互いが密集した状態のため、渡来系弥生人同士で人口を増加させるが、その過程において、農耕文化は周囲の縄文系弥生人に伝播する。しかしながら、婚姻制度は父親からのみの継承のため、依然、渡来系弥生人内で維持される。そして、周囲の縄文系弥生人が農耕文化に変わった後、その母数となる人口の多さと農耕文化の高い人口増加の状況下で、多妻婚文化によって渡来系遺伝

子が優先的に拡散されるため、渡来系弥生人が増加する。つまり、渡来系遺伝子がより拡散するためには、渡来系弥生人の近隣に高い人口増加率の農耕文化の個体が多く存在することが必要である。

これらのケースの農耕文化保有者の各系統の子孫の構成比（図 4-6, 図 4-7）について、農耕伝播の速度が遅く、人口転換を起こしにくいケースにおいては、最初期の渡来系子孫を挟んで、その後わずかの間に縄文系子孫に移行するが、その後すぐに、混血によって両系の子孫が占めるようになる。これらの場合において、農耕文化の「主体」は、ほぼ全期間において、渡来系系弥生人となる。

一方で、農耕伝播の速度が非常に速く、人口転換を起こしやすいケースにおいては、最初期こそ渡来系遺伝子型(TT) 個体のみであるが、すぐに縄文系遺伝子型(JJ) 個体が多数を占め、その後、婚姻によって混血遺伝子型(JT) 個体に移行していく(図 4-8)。この結果は、農耕文化が縄文系弥生人に広く普及した場合でも、人口転換が起こりうる可能性を示したものとなる。これらの場合において、農耕文化の「主体」は、初期においては、縄文系弥生人となる。

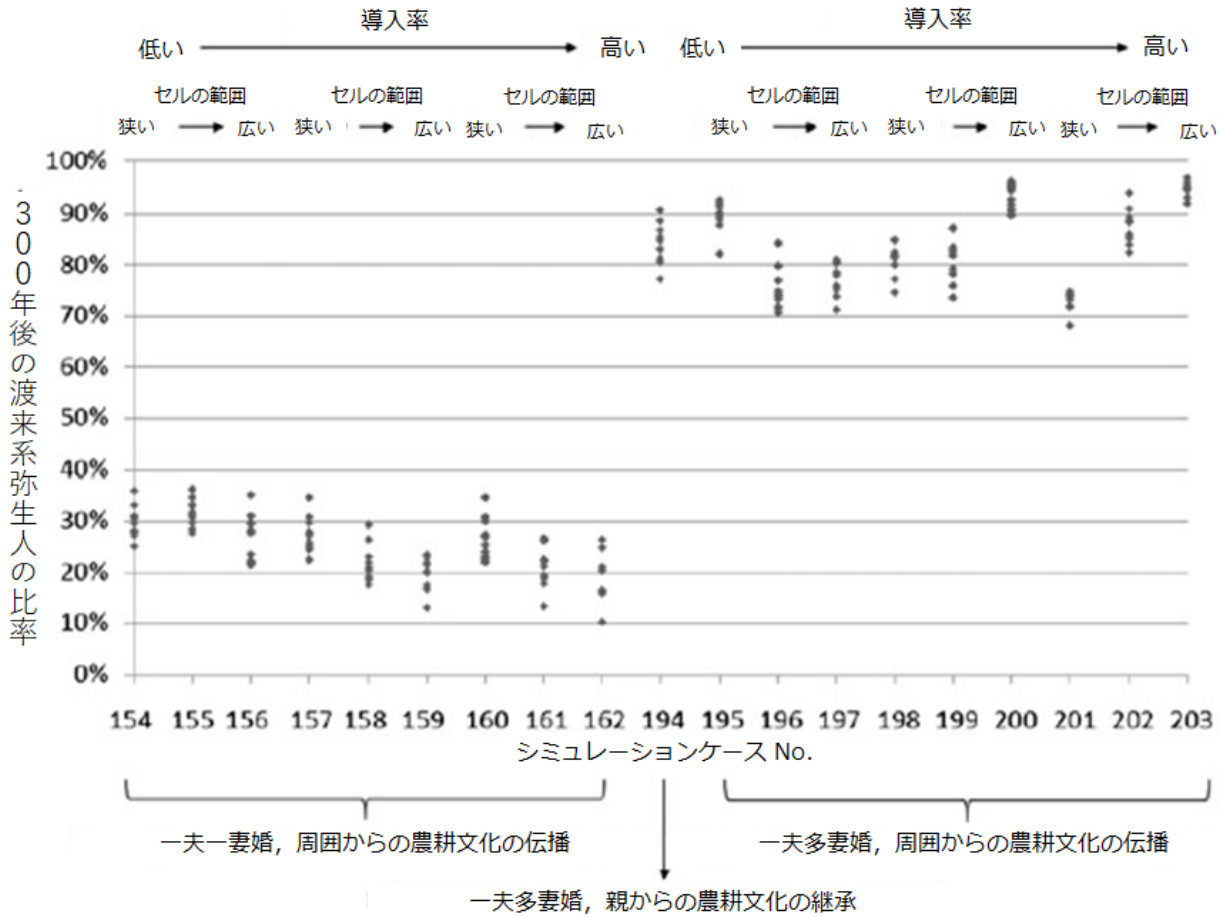


図 4-4 300年後の渡来系弥生人の比率（渡来人の初期空間配置：集中，農耕民の人口増加率：年0.5%，渡来人の性別：男女同比）

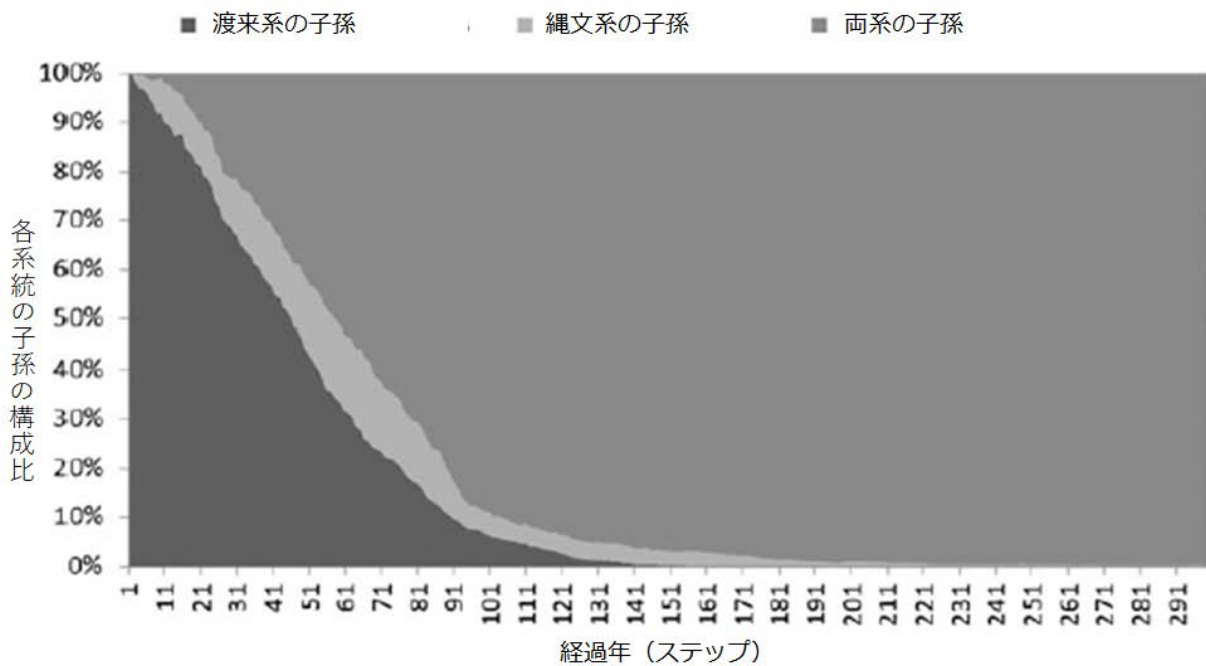


図 4-5 農耕文化の伝播速度が遅いケース（No. 196）の農耕文化保有者の構成比

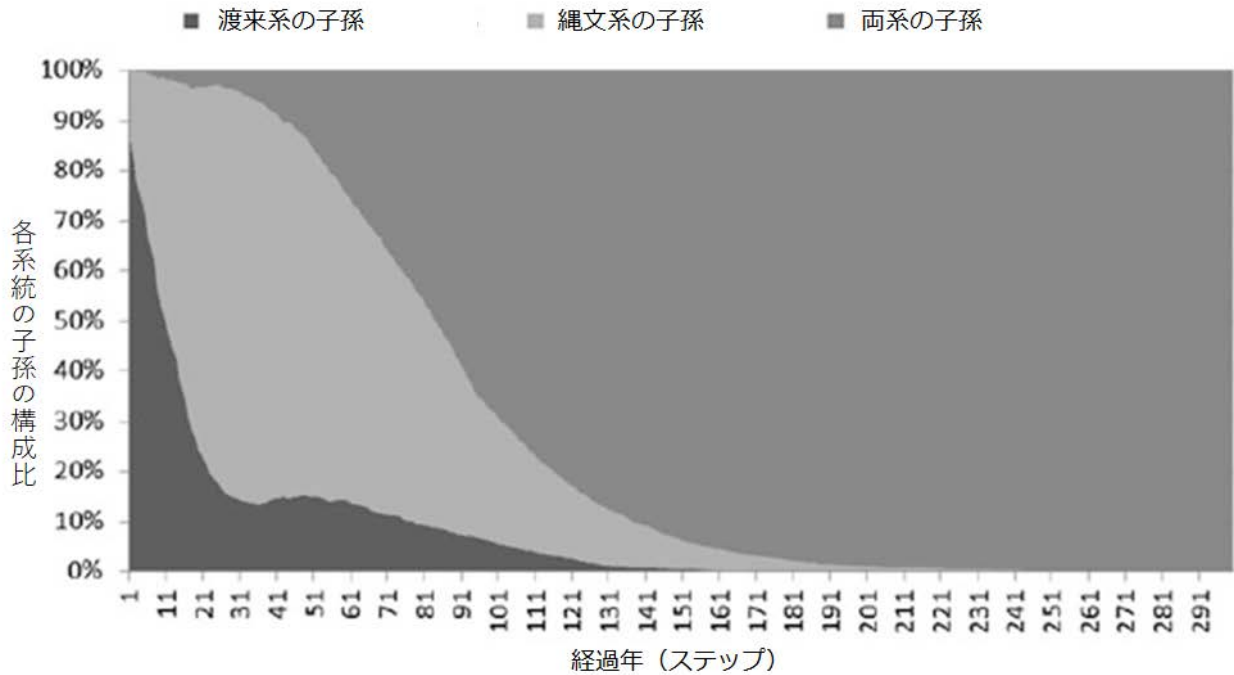


図 4-6 農耕文化の伝播速度が速いケース (No. 203) の農耕文化保有者の構成比

4.3.3. 渡来人集団の性比の問題

全体的に、渡来人集団が男性主体のケースでは、男女同数のケースよりも、300年後の渡来系弥生人の比率が若干高い値を示している（図 4-3; No. 127–135, 図 4-4; No. 95–203, 図 4-7, 図 4-8）。なお、これらの結果は、農耕の人口増加率の違いや農耕文化の継承元の違いの間では違いがみられなかった。しかし、300年後の渡来系様式の土器の比率に関しては、男性主体のケースはより低い値を示した（図 4-9, 図 4-10, 図 4-11）が支配的であることには変わりならず、渡来人集団に女性が少ない場合でも、渡来系土器が支配的になる可能性があることを示した。本シミュレーションモデルでは、土器様式の垂直伝達のみを考慮したが、水平方向の伝達も考慮するならば、渡来系様式の土器はより広く普及することであることは容易に想像できる。

さらに、mtDNA マクロハプログループの頻度に関しては、渡来人集団が男性主体のケースの場合と、男女同数の場合（図 4-12, 図 4-13, 図 4-14）との間に明確な差異はみられなかった。この原因は、mtDNA マクロハプログループの頻度は、ランダムな遺伝的浮動の影響を強く受けているためである。逆に、これらの結果は、渡来人集団が男性主体のケースであった場合でも、母系遺伝の mtDNA のハプログループ頻度が大きく変化し得ることを示す。つまり、渡来人女性の比率が女性全体の 10 分の 1 であったとしても、人口増加の過程で mtDNA のマクロハプログループの頻度が大きく変わることを示す。

つまり、渡来人集団の性比については、渡来系土器の比率や mtDNA ハプログループの頻度の結果は、渡来人集団の性比について明確な結論を導くまでには至らないが、300年後の渡来系弥生人の比率においては渡来人集団が男性主体であった仮説を支持している。ただし、本シミュレーションモデルは、土器様式の伝播については、母親からの垂直伝播のみ想定おり、水平伝播は考慮に入れていない。したがって、渡来人集団に男性主体で、かつ、土器様式が母親からの垂直伝播のみを想定した場合で

も、渡来系様式の土器の比率が高くなるという知見が得られた。なお、土器様式の伝播については不明な点が多く、本シミュレーションモデルでは不十分であるため、今後改良の余地が残されている。

以上を総合的に判断すると、本シミュレーション結果は、渡来人集団が男性主体であったことを支持している。

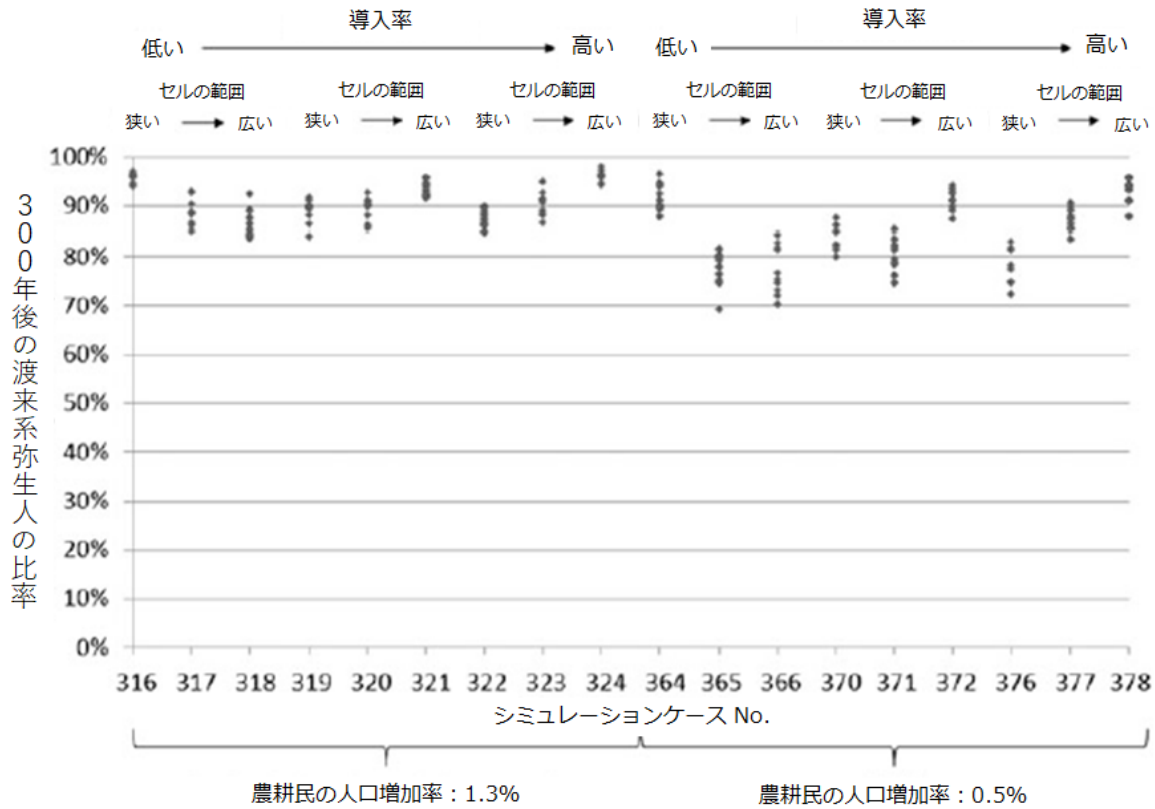


図 4-7 300年後の渡来系弥生人の比率（渡来人の性比：男性優占）

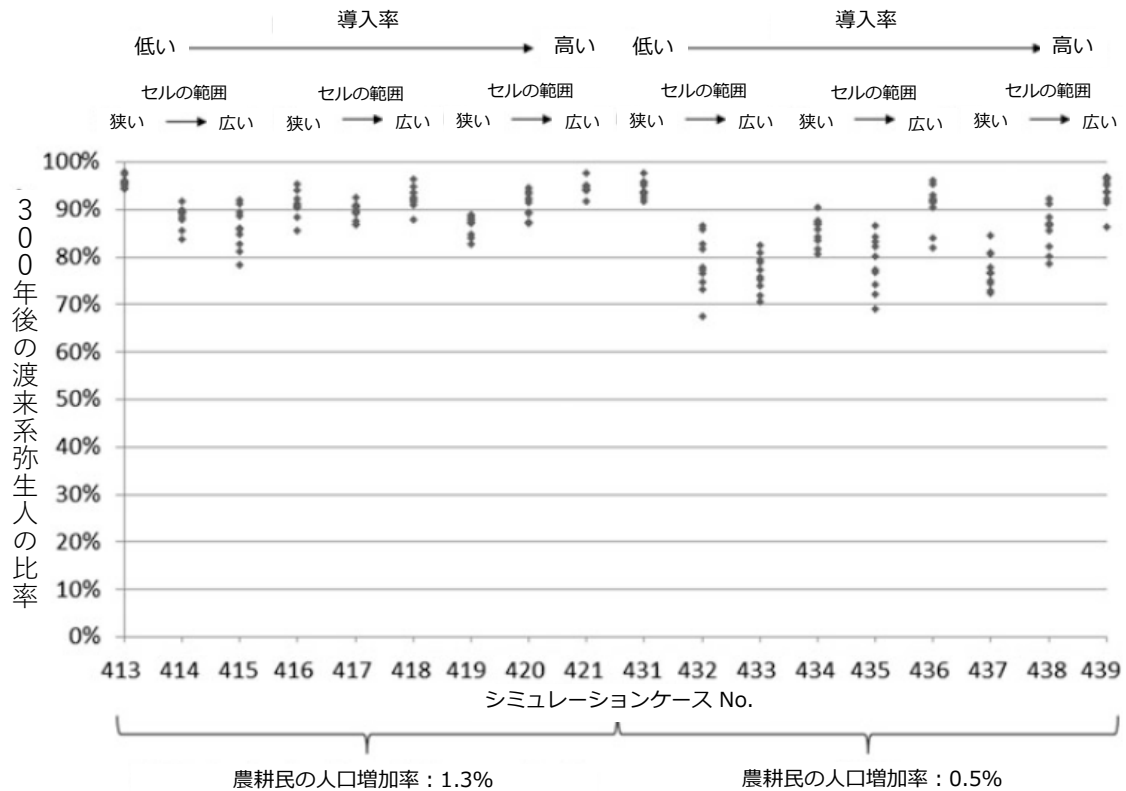


図 4-8 300年後の渡来系弥生人の比率（渡来人の性比：男性寡占）

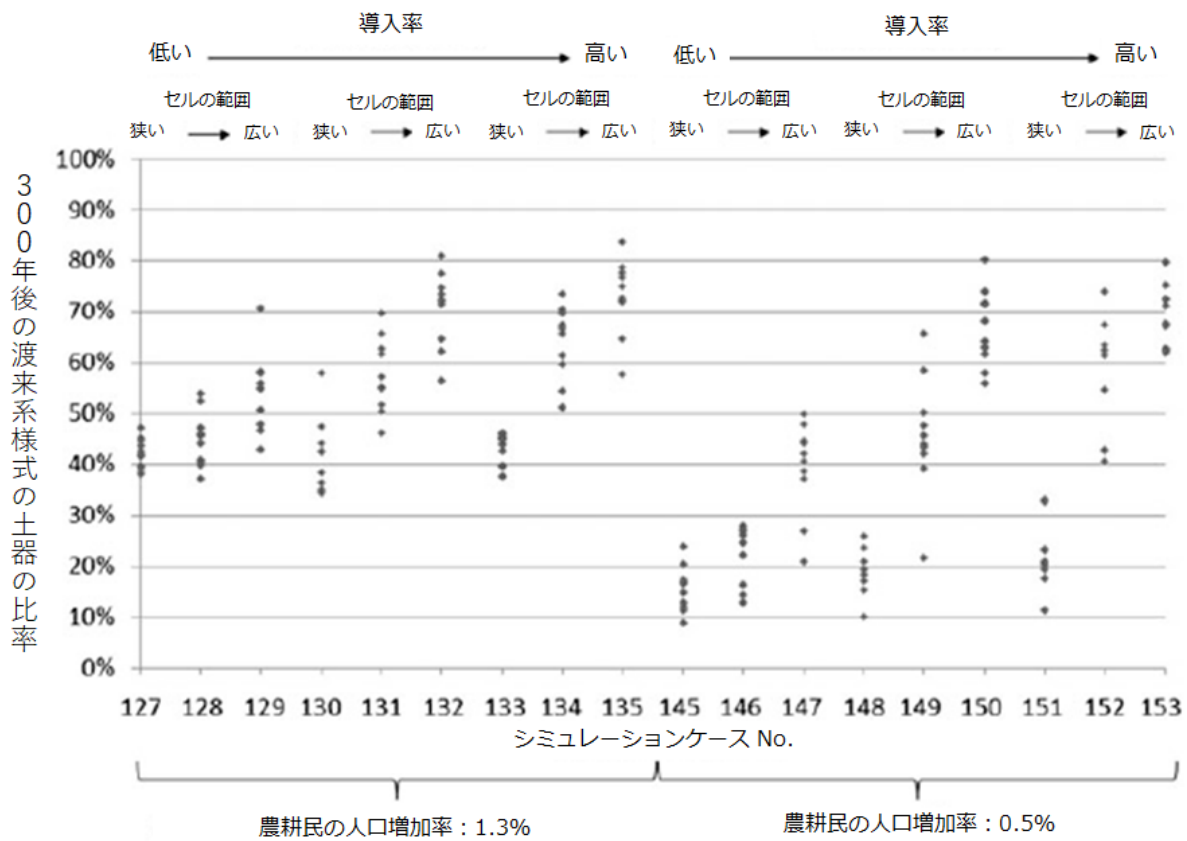


図 4-9 300年後の渡来系様式の土器の比率（渡来人の性比：男女同比）

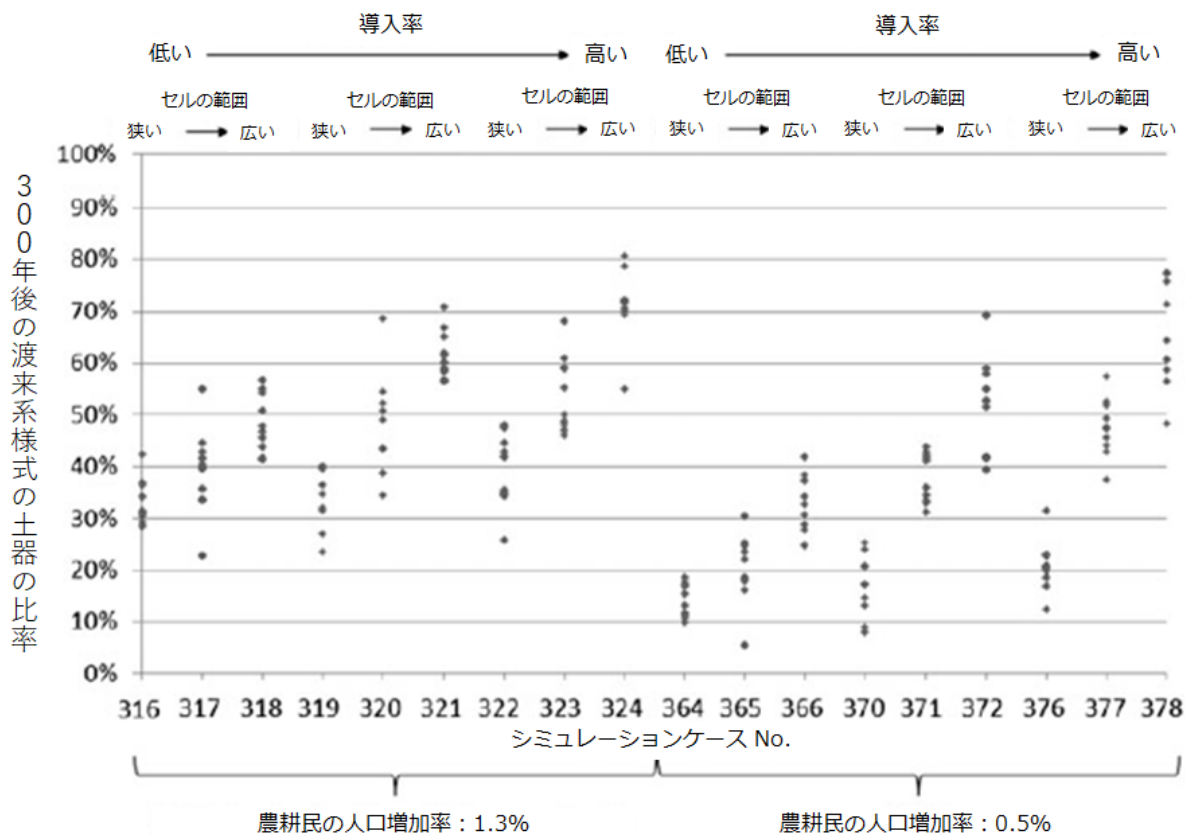


図 4-10 300年後の渡来系様式の土器の比率（渡来人の性比：男性優占）

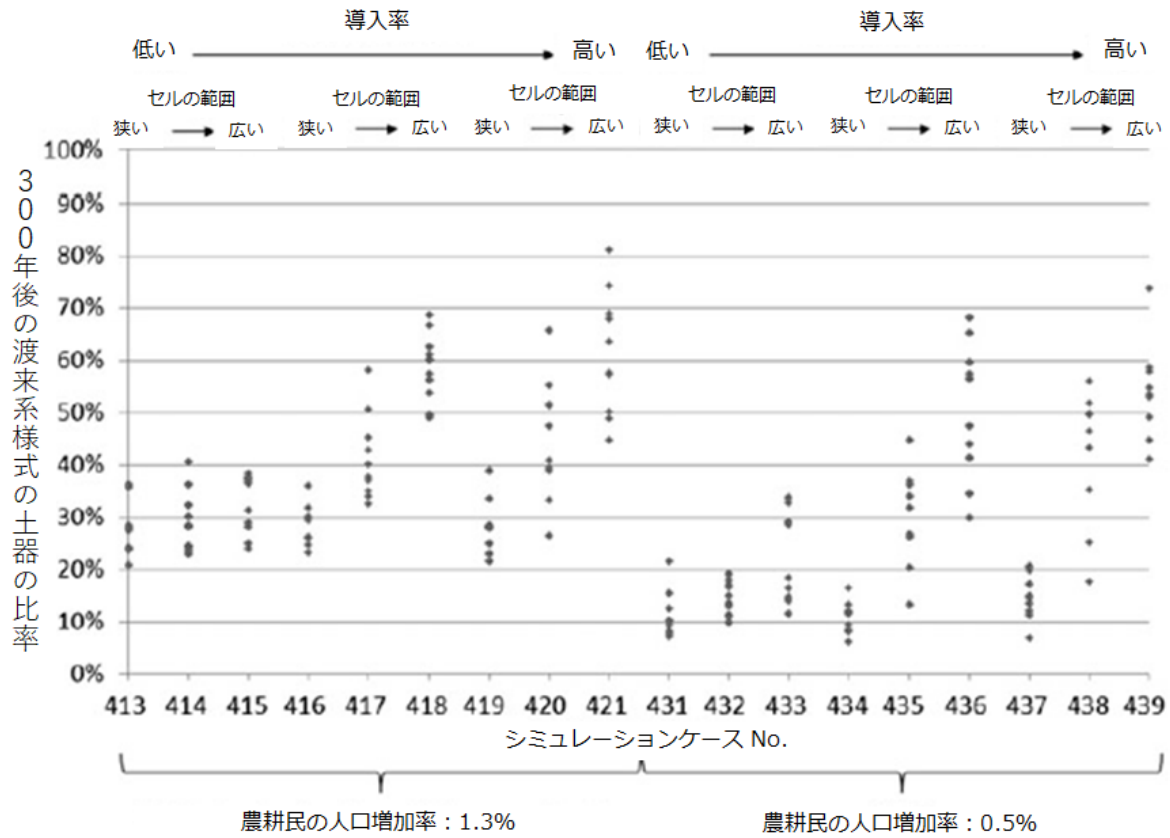


図 4-11 300年後の渡来系様式の土器の比率（渡来人の性比：男性寡占）

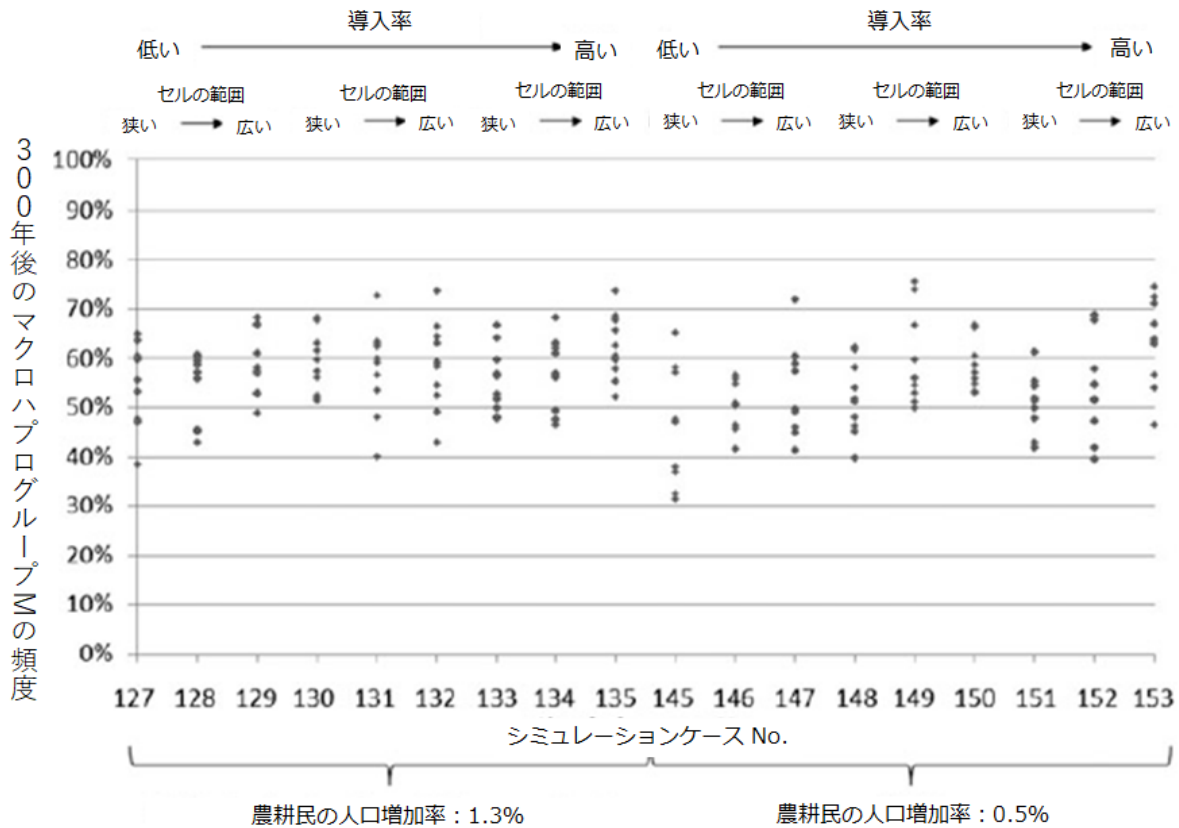


図 4-12 300年後のマクロハプログループ M の頻度（渡来人の性比：男女同比）

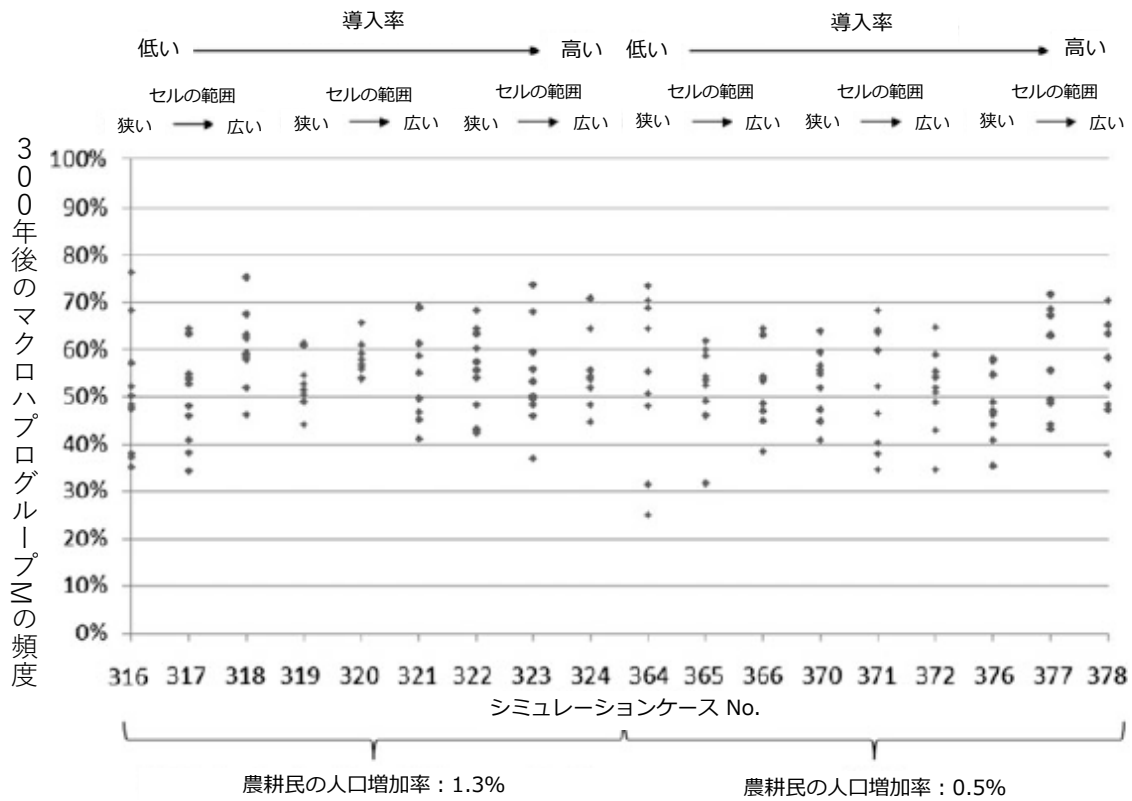


図 4-13 300年後のマクロハプログループ M の頻度（渡来人の性比：男性優占）

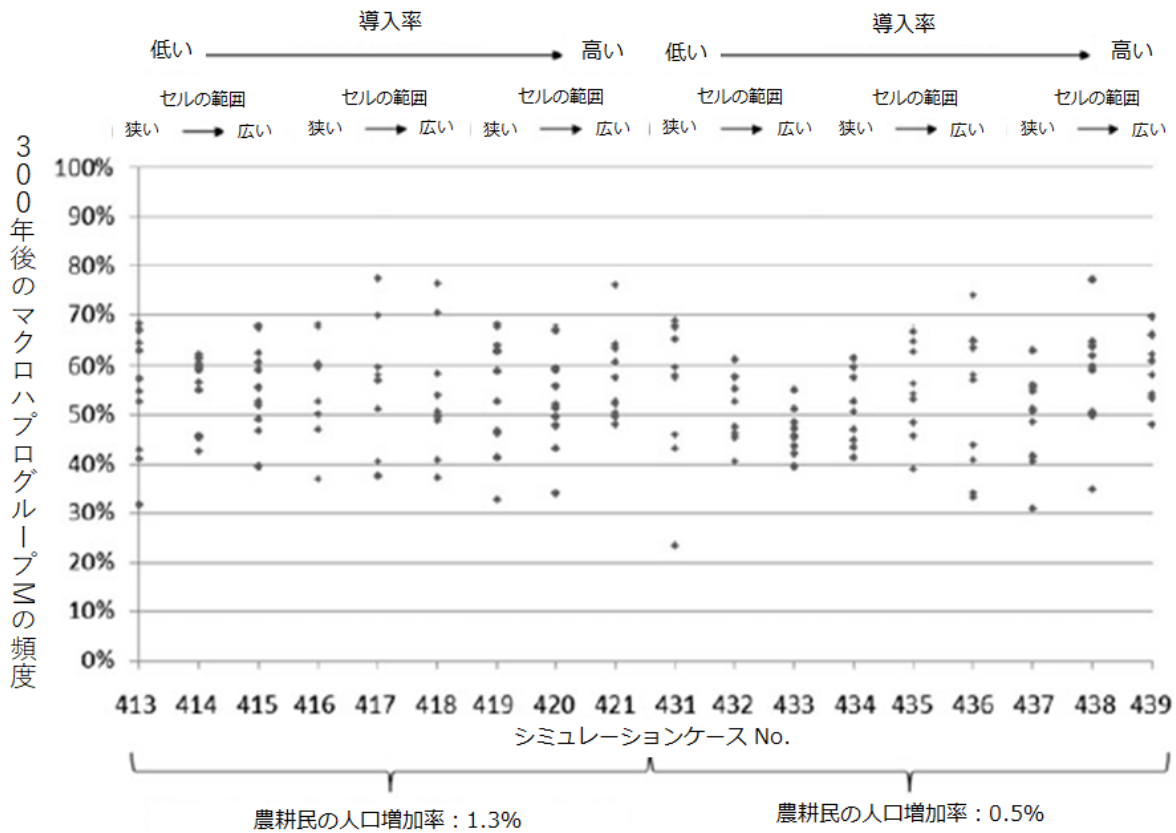


図 4-14 300年後のマクロハプログループ M の頻度（渡来人の性比：男性寡占）

4.3.4. 弥生農耕文化の主体の問題

弥生農耕文化の主体の問題について、本シミュレーション結果は、3つの可能性のあるケースを示した。第1のケースは、農耕文化は両親からのみ継承する場合に、農耕文化保有者は早い段階で渡来人の直接の子孫化のままで、その後も渡来人の子孫であった。この場合、渡来人が農耕文化の主体と言える。第2のケースでは、農耕文化は両親からの継承の他にも近隣からも伝播するが、その伝播速度が緩やかな場合、農耕文化保有者は早い段階で渡来人の直接の子孫化のままで、一時期だけわずかに縄文人の子孫となるが、その後すぐに両方の子孫になる。この場合、第一のケースと同じく、渡来人が農耕文化の主体と言える。最後のケースは、農耕文化の伝播速度が非常に速い場合、農耕文化保有者は最初期こそ渡来人の直接の子孫であったが、その後の初期の段階で縄文人の子孫が大半を占める。この場合、他のケースとは異なり、農耕文化の確立には上記の段階において縄文人の果たした役割が大きい、つまり、縄文人が農耕文化の主体と言える。

これら3つの可能性のあるケースのうち、現在の人類学的・考古学的事実と不整合が最も少ないものは、最後のケースである。まず、第1のケースでは、農業普及率が低すぎるので排除される。北九州地方で農業文化の普及が始まったことを考えると、日本の農耕初現地で普及率が低いことは考えにくい。そして残された第2、第3のケースを比較すると、農耕の人口増加率が高く、農業文化の伝播速度に関係なく、300年後の渡来系弥生人の比率が高い。一方で、農耕の人口増加率が低い場合では、農業文化の伝播速度が遅いケースのなかには、300年後の渡来系弥生人の比率が80%に達しない試行が出ている。前述のように当時は農業技術が成熟していない可能性を考慮すると、農耕の人口増加率として1.3%と高すぎる可能性がある。

したがって、これらのことを考慮すると、最後のケースが最も可能性として有りうるものとして考えられる。さらに、300年後の渡来系様式の土器の比率では、農耕文化の伝播速度が速いケースの方が、遅いケースよりも高い値を示した(図 4-9, 図 4-10, 図 4-11)。

そして、本シミュレーション結果は、中橋と飯塚(1998; 2008)の「少数の渡来人でも遺伝学的側面から人口転換が起る」という枠組みのなかでも、藤尾(1999)が言及している「農耕化社会は縄文人と弥生人の双方が生活集団を作ることからはじまった共同行為であった」ということが整合できることを示した。

4.4. 仮説検証が可能な考古資料の提示

本章では、シミュレーション結果の挙動に影響を及ぼす要因を理解するために、簡便なシミュレーションモデルと設定による結果によって、縄文時代晩期に多数の縄文人と少数の渡来人がいる状況から、数百年後に渡来系弥生人が多数を占めるようになったことを示すなかで、いくつかの仮説を生成した。

渡来人集団の居住地については、渡来人集団の人口密度が高く近隣の縄文人の一部だけが彼らと接触したという仮説である。渡来人集団の性比については、男性主体であったとする仮説である。そして、弥生農業文化の確立において主体的な役割を果たしたのは、初期において縄文人であったという仮説である。なお、渡来人集団の居住地については、渡来人のみの植民地の存在を示す考古学的証拠はない

(中橋と飯塚, 1998; 藤尾, 1999)。しかし、この仮説に関する本シミュレーションの結果は、縄文人の人口密度が非常に低いことによって説明できる(片岡と飯塚, 2006)。また、縄文人の人口自体も、遺跡数が少ないことからわかるように大幅に減少していた可能性がある(小山, 1984)。

本シミュレーションモデルでは、前章に示したように、エージェントに、遺伝子や文化などの多重の属性を付与することで、それら属性の相対的な拡散度合いを追跡することが可能である。つまり、各仮説についても属性の相対的な拡散度合いが情報として存在していることになる。

そのため、各仮説について、いつ、どこに、どのような属性の組み合わせが存在するのか、逆に言えば、いつ、どこに、どのような属性の組み合わせがあれば、その仮説が検証できるのかを提示できる。

本章において、それらを具体的に示せば、農耕文化の主体の問題に関し、シミュレーションから生成された縄文人が主体であったとする仮説に対しては、農耕文化保有者の子孫構成比をみると、初期において農耕保有者の大部分が縄文人であったことがわかる。つまり、この仮説は、弥生時代初期に、縄文人が農耕文化を持っていたことを示している。そして、逆に言えば、この仮説の検証には、弥生時代初期の遺跡から縄文人の特徴を示す人骨と農耕文化を示す遺物(農耕器具)が共に発掘されること(共伴)が見つかれば、この仮説が検証できる。現時点で、農耕器具ではないが、九州北部の大友遺跡では朝鮮半島式の墓から縄文人の特徴を示す人骨が発掘されている。また、渡来人集団が男性主体であったとする仮説については、渡来初期に該当する縄文晩期において、渡来人の直接の子孫の人骨からの父系遺伝する Y 染色体の多様性を調べることで検証可能である。現在、DNA 分析技術の進展により、細胞内に多数のコピーがある mtDNA だけでなく、一対しかない核染色体の DNA も分析可能になりつつある。今度、分析事例が蓄積することで、渡来人もしくはその近い子孫と想定される集団の父系の多様性が判明することが期待される。

最後に、留意点として、この研究で検討された仮説は、いくつかの可能性の一部でしかない。本シミュレーションの結果は、いくつかの前提に基づいたモデルの適用によって生成され、一部のシミュレーションパラメータは中橋と飯塚(1998, 2008)に基づくものであった。土器様式は母系に継承され、縄文時代の婚姻制度は一夫一妻婚であり、一夫多妻婚は生産性の高い農業を必要とし、文化伝達は感染症の SI モデルに準拠した非常に単純なパターンに基づいていた。これらの結果は、異なる仮定を使用した場合に変更される可能性がある。これらの仮定は、今後の議論としてさらに議論を必要とする。さらに、私たちのシミュレーションの前提条件である 300 年後の渡来系弥生人の比率は、中橋と飯塚

(1998)の結果によるものである。したがって、これらの研究で使用された判別式が異なれば、本研究の結果も異なる解釈を必要であろう。また、人口置換は、人口増加率の違いに加えて、疫病や戦争によ

っても引き起こされることに留意する必要があります。しかし、これら起こった可能性を支持する考古学的証拠は存在しないため（中橋と飯塚, 1998）、本シミュレーションモデルでは考慮しなかった。

5. 第5章：有用性の例示その2 中世沖縄の人口置換の問題

本章では、追加の例示として、日本列島南部の沖縄本島における狩猟採集と農耕文化の接触の事例を扱う。

5.1. 背景と問題設定

沖縄本島において農耕文化は11世紀のグスク時代直前の9世紀から10世紀に導入されたと考えられる(高宮, 2002)。これは、9世紀の遺跡から発掘された穀物の発見によって支持されている。そして、この農耕の突然の開始は、農耕文化を携えた集団の移住によるものだと考えられている。

これを支持するように、人類学的及び考古学的に、グスク時代の前後には大きな違いがみられる。第一に、人口の爆発があったとされている。グスク時代は、それ以前の時代である貝塚時代に比べて、約7倍の遺跡が発見されている(高宮, 2005)。つまり、グスク時代に農耕が始まったため、人口が増加したと考えられる。第二に、グスク時代前後の人々で形質人類学的に大きな違いがみられる。グスク時代以前の人々の頭骨は高さが低く小さい顔であったが、グスク時代の人々の頭骨は重厚で高く長くて狭い顔である(安里と土肥, 2011; 土肥, 1998; 土肥ほか, 1997)。この形質人類学的変化も日本本土からの農耕民の移民による人口置換の結果であると考えられている。第三に、日本本土から移民の証拠として、グスク時代の人々の人骨からの古代ミトコンドリア DNA (mtDNA) の研究がある(Shinoda et al., 2013)。日本本土で頻度が高い mtDNA ハプログループ D4 が、グスク時代の人々でも頻度が高いという共通点がみられる。最後は、土器様式に大きな違いがみられる。グスク時代には、グスク時代以前の在地系の特徴を有する土器様式から、グスク時代には日本本土の土器様式に影響を受けた流通品の模倣土器が広く普及するようになる(宮城, 2011)。

しかしながら、それぞれの様相においては、これだけの大きな変化があったにも関わらず、農耕導入後のこれら変化の過程、つまりそれぞれがどのように組み合わせり変化したのか不明である。

そこで、本章においては、この農耕導入後の人類学的及び考古学的変化についての仮説生成と仮説検証可能な考古資料の提示について、エージェントベース・モデルリングを適用する。本章のシミュレーションモデルは、前章のシミュレーションモデルと同様の農耕文化の伝播ルール、形質遺伝子の拡散ルール、mtDNA の拡散ルール、土器の垂直伝播ルールの他に、土器様式の水平伝播のルールを新たに追加している。

5.2. シミュレーションモデル

前章と同様に、本シミュレーションモデルの記述は、ODD (Overview, Design concepts, and Details) プロトコル (Grimm et al., 2006; Grimm et al., 2010) にしたがっている。

5.2.1. エージェントと属性変数

エージェントは古代人とし、エージェントは以下の属性変数を保有する。

5.2.1.1. ID と空間位置

エージェントは、個別の「ID」番号と 50セル×50セル の空間上の位置(「X」,「Y」)に関する情報を持っている。このシミュレーション空間は沖縄本島を表している。前章と同様に、本シミュレーションモデルでは、空間は非常に抽象的であり、実際の地理空間に直接関連していない。なぜなら、農耕文化と形質遺伝子との間の相対的拡散を議論することに焦点を当てている。したがって、このような抽象的な空間でも問題を議論するのに十分であると考えられる。さらに、シミュレーションモデルにおける農耕文化の普及速度は、農耕文化の導入率と範囲によって決定される。そのため、この空間の広さは、農耕文化の普及速度が目安とする程度になるような広さとしている。

5.2.1.2. 性別

「男性」または「女性」とする。

5.2.1.3. 余命と年齢

前章と同様に、エージェントは作成された(産まれた)時点で、死亡率の確率分布に基づき「余命」を持っており、「年齢」が「余命」を超えた場合、そのエージェントは死亡する(削除される)。死亡率の確率分布については、縄文人の死亡率 (Nagaoka et al., 2008) に、近年までの乳幼児死亡率である 20%を反映したものを作成した。なお、弥生人の死亡率に関しては、縄文人と大きな差はないと仮定し、同じものを採用している。

5.2.1.4. 生業文化

前章と同様に、「狩猟採集」または「農耕」とする。これは、グスク時代以前の貝塚時代後期における狩猟採集の食料獲得の困難さが、狩猟採集からの農耕への食料生産システムの転換の契機になった (高宮, 2002) と仮定して、生業文化は「狩猟採集」から「農耕」へと変化するものとする。しかしながら、この逆である「農耕」から「狩猟採集」への転換は根拠となる文献がないため、考慮していない。

5.2.1.5. 婚姻制度

前章と同様に、「一夫一妻」または「一夫多妻」とする。貝塚時代及びグスク時代の婚姻制度は不明であるが、日本本土の弥生時代 (紀元前約 300 年から紀元約 250 年) の婚姻制度については、当時の日本の風俗を記したとされる魏志倭人伝のなかで、「身分の高い人は4~5人、一般身分の人でも2~3人の妻を持つものがある」という記述があることから、弥生文化において一夫多妻婚が存在したことが推察される。そのため、その他の通説から鑑みて、一夫多妻婚は弥生時代から近世初頭にかけて日本本土に広く普及していたと考えられる。「一夫多妻婚」には、複数の妻を持つことができる食料の余剰が必要であると考え、高い食料生産力を持つ「農耕文化」を同時に保有している場合にのみ、「一夫多妻婚」を行うこととする。なお、婚姻制度は、父親から継承するものと仮定する。

5.2.1.6. 形質遺伝子

形質的特徴を決定する遺伝子である。本来は複数の遺伝子が複雑に関係して形質的特徴を決定していると考えられるが、本シミュレーションでは簡便化して、前章と同様に、主要な1対の対立遺伝子から構成されるものと仮定する。対立遺伝子は、「在地系遺伝子(N)」と「本土系遺伝子(M)」からなる。新しくエージェントを作成する(子供を産む)場合、その新規エージェント(子供)は、父親となる男性エージェントと母親となる女性エージェントからランダムに1つずつ形質遺伝子を受け継ぐ。その組み合わせは、在地系遺伝子型「NN」、本土系遺伝子型「MM」、混血遺伝子型「NM」のいずれかになる。本章においては、形質に少しでも本土系の要素がみられる場合は本土系形質の人々と仮定するため、混血遺伝子型「NM」は本土系形質の人々とする。

5.2.1.7. mtDNA ハプログループ

「ハプログループ D4」、「ハプログループ M7a」または「その他のハプログループ」とする。細胞内小器官のミトコンドリア DNA (mtDNA) は母系遺伝する。また、出土人骨からの抽出が比較的容易である。そのため、mtDNA 分析は古代人類の母系起源を調べるのに有効な方法である。グスク時代の mtDNA ハプログループの頻度では、在地系と考えられる M7a の頻度が 28.6%であった。一方で、日本本土で頻度が最も高い D4 の頻度は 35.7%であった (Shinoda et al., 2013)。本シミュレーションモデルでは、新しいエージェント(子)が作成された(生まれた)時、新しいエージェントは、母親となったエージェントの mtDNA マクロハプログループを継承する。

5.2.1.8. 土器様式

「在地系」または「本土系」とする。本シミュレーションモデルでは、前章と同様に、便宜上、土器様式を「在地系」と「本土系」に2つに限定した。本来、土器様式は連続的に変化するものと考えられるが、本シミュレーションモデルでは、どちらの様式の要素が支配的かということに焦点を当てたために、変数を2つに限定している。したがって、これらの2つの様式の区別は不連続なものであることを意味するものではない。日本本土の弥生時代において、女性が土器製作者だったというしたという言及(都出, 1982)は、広範な民族誌(Murdok and Provost, 1973)に基づくものである。そのため、日本の考古学では、昔から女性が土器を製作していたことが一般的に認められている。したがって、したがって、本シミュレーションモデルでは、母親の土器様式を継承した新しいエージェント(子供)は、母親の持つ土器様式を継承する。この母親から垂直伝播に加えて、土器様式の急速な変化には、垂直伝播だけでなく、水平伝播も検討する必要がある。したがって、後述するように、垂直伝播に加えて水平伝播もシミュレーションモデルに加えて、試行する。なお、水平伝播は可逆性を有するものとする。つまり、在地系様式から本土系様式だけでなく、その逆である本土系様式から在地系様式にも変化するものとする。

5.2.2. ステップと実行順序

前章と同様である。1 ステップを1年とする。エージェントの行動ルールは、後述する「農耕文化の伝播」「婚姻」「移動」の3つのサブモデルから構成されており、1ステップ内で、この順番でそれぞれのサブモデルが実行される。また、エージェントの実行順序は、毎ステップ、ランダムである。

5.2.3. デザインコンセプト

本章のシミュレーションモデルにおいても、前章と同様に、ODD プロトコルの 11 個のコンセプトのうち、本シミュレーションモデルにおいて該当する 7 個について、表 5-1 に記載した。本シミュレーションモデルはシンプルなものであるため、本章のモデルの記述と OOD デザインコンセプトを用いて、モデルの再現性を確保した。

表 5-1 デザインコンセプト

No.	デザインコンセプト	要素
1	基本原則 (Basic Principles)	<p>農耕文化が伝播するなかで、生業文化に応じた人口増加率のもとで形質遺伝子とミトコンドリアDNA、土器様式の拡散とを取り扱う</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 生業文化の伝播に関しては、感染症のモデル(SI model)に準ずる ・ 人口増加に関しては、マルサスの人口増加モデルに準ずる ・ 形質遺伝子に関しては、メンデルの遺伝の法則に準ずる
2	創発 (Emergence)	<p>農耕文化の伝播と遺伝子の拡散によって、総人口、農耕文化保有者の各系統の子孫の構成比、各土器様式の比率、ミトコンドリアDNAマクロハプログループの頻度の変化が創発する</p>
3	適用 (Adaptation)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 自分の周囲に農耕文化保有者がいた場合、特定の農耕導入率で、自分の生業文化を農耕に変化する ・ 自分の周囲に異なる様式の土器保有者がいた場合、特定の土器様式導入率で、自分の土器様式を変化させる
4	感知 (Sensing)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 農耕文化の伝播ルールにおいて、自分の周囲に農耕文化を保有するエージェントがいるかどうか判定する ・ 土器様式の伝播ルールにおいて、自分の周囲に異なる様式の土器を保有するエージェントがいるかどうか判定する ・ 婚姻ルールにおいて、自分の周囲に女性エージェントがいるかどうか判定する
5	偶然性 (Stochasticity)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 余命の付与 ・ 開始時のエージェントの空間上の座標位置 ・ 開始時のミトコンドリアDNAマクロハプログループ ・ 農耕文化導入率に従い、生業文化が農耕に変化するかどうか ・ 土器様式導入率に従い、土器様式が変化するかどうか ・ 婚姻する場合の女性エージェントの選出 ・ 子供の性別 ・ 子供が両親の一对の形質遺伝子のどちらを受け継ぐか ・ 移動ルールでのランダムな方向
6	集団 (Collectives)	<p>狩猟採集民と農耕民を属するエージェント数をもとに、それぞれに応じた人口増加率に従い、新規に作成するエージェント数を決定する</p>
7	観察 (Observation)	<ul style="list-style-type: none"> ・ エージェント総数 ・ 本土系形質の人々の比率 ・ 農耕文化の普及率 ・ 農耕文化保有者の各系統の子孫の構成比 ・ 本土系様式の土器の普及率 ・ 本土系様式の土器保有者の各系統の子孫の構成比 ・ ミトコンドリアDNAハプログループD4の頻度

5.2.4. サブモデル

5.2.4.1. 農耕文化の伝播ルール

前章と同様に、農耕文化の伝播は、移動や移住による「周囲のエージェントからの伝播」と「父親からの継承」によって行われる。「周囲のエージェントからの伝播」は、簡便な感染症モデル

(susceptible infectious (SI) model) に従い、自分の生業文化が「狩猟採集」であった場合、特定の半径のセルの範囲内に存在する「農耕」を保有するすべてのエージェントから、特定の農耕導入率に従い、自分の生業文化が「農耕」となる。「父親からの継承」は、新しくエージェントを作成した(子供を産む)場合、その新規エージェント(子供)は、父親の生業文化を継承する。前章において両親それぞれからの継承を試行してみた結果を比較したが大きな差がみられなかったため、本章では父親からの継承のみ試行する。

5.2.4.2. 土器様式の伝播ルール

土器様式は、母系からの継承である垂直伝播と近隣のエージェントからの水平伝播を通じて、拡散するものとする。前述のように、広範な民族誌 (Murdoch and Provost, 1973) に基づき、弥生時代には土器製作者は女性であったという想定 (都出, 1982) は、日本の考古学では一般的に認識されている。したがって、本シミュレーションモデルでは、垂直伝達は母親となるエージェントからの継承とする。

一方、水平伝播は可逆的なものとしている。つまり、在地系様式から本土系様式への変化だけでなく、本土系様式から在地系様式への変化もする。水平伝播のルールは、農耕文化の水平伝播のルールと同様に、自分の周囲の特定の半径のセルの範囲内 (1セル[狭い]、3セル[中程度]、5セル[広い]) に存在する自分とは異なる「土器様式」を保有するすべてのエージェントから、特定の土器様式の導入率 (0%[不可能]、0.1%[難しい]、0.5%[中程度]、1.0%[容易]) に従い、自分の土器様式を変更する。

本研究では、土器様式の伝播ルールについて、(1) 母親からの垂直伝播パターンと、(2) 垂直伝播と水平伝播パターンの2つの拡散パターンを試行する。

5.2.4.3. 婚姻ルール

前章と同様に、男性エージェントと女性エージェントの婚姻によって新規エージェントを作成する(子供を産む)。男性エージェントが自分の周囲3セルの女性エージェントをランダムに選び出し、女性エージェントの保有している生業文化の人口増加率に応じた、その年の増加分だけ、新規エージェントが作成される(子供が産まれる)。子供は、母親となった女性エージェントと同じ座標位置に作成される。子供は50%の確率で男女に振り分けられ、年齢0歳と余命を持っている。子供の「形質遺伝子」に関しては、父親となった男性エージェントと母親となった女性エージェントからランダムにひとつずつ受け継ぐ。前述したように、「生業文化」に関しては母親から、「婚姻制度」に関しては父親から継承する。また、子供は、母親からの「生業文化」と土器様式、mtDNAハプログループを継承する。なお、男性エージェントが「農耕文化」を保有しており、かつ、「一夫多妻婚」を保有している場合のみ、人口増加数の範囲内において、当該男性エージェントは3人の女性エージェントと婚姻できることとする。

5.2.4.4. 移動ルール

前章と同様である。移動や移住するものと考え、空間上をステップ毎にランダムな方向に1セル移動する。

5.2.5. 初期設定

5.2.5.1. シミュレーション期間

グスク時代の開始からグスク時代の終わりに相当する400年間(400ステップ)とする。

5.2.5.2. 生業文化に基づく人口増加率

中世沖縄において農耕民の人口増加率が狩猟採集民よりも高かった。前述したように、グスク時代はグスク時代以前の貝塚時代に比べて7倍の遺跡が発見されており、グスク時代に人口爆発したと考えられている。このことを踏まえて、400年間に7倍に人口が増加したことから逆算して、本シミュレーションモデルの農耕文化の人口増加率は年0.6%とした。一方、貝塚時代に人口が増加していないことを考慮し、狩猟採集民の人口増加率は年0.0%と仮定した。

5.2.5.3. 農耕文化の伝播速度

前章と同様に、本シミュレーションモデルの農耕文化の伝播速度は、「伝播するセルの範囲」と「農耕導入率」から構成される。「伝播するセルの範囲」に関しては、お互いが接触し文化交流される距離に相当し、「狭い(1セル)」「中程度(3セル)」「広い(5セル)」の3段階を仮定した。また、「農耕導入率」に関しては、農耕文化の導入の難易度に相当し、「不可能(0%)」「難しい(0.1%)」「中程度(0.5%)」「容易(1%)」の3段階を仮定した。この難易度は、農耕文化自体の難易度ではなく、新しい文化として農耕文化を受け入れ易い環境や文化を持っていたかどうかを示す。これらの組み合わせでの農耕文化の伝播速度は、目安として「伝播するセルの範囲」が「狭い(1セル)」、「農耕導入率」が「難しい(0.1%)」の場合において、ほとんどエージェントが「農耕文化」を保有するのにおよそ400年を要する設定とした。

5.2.5.4. 土器様式の伝播パターン

前述したように、不明な点が多い土器様式の伝播パターンの違いが土器の普及率に与える影響を検討するために、本章では2つのパターンについて試行する。

- パターン1：垂直伝播のみ「母親からの垂直伝播のみによって、土器様式が拡散する」
- パターン2：垂直伝播と水平伝播「母親からの垂直伝播に加えて、周囲のエージェントからの水平伝播によって、土器様式が拡散する。なお、前述したように、この水平伝播は可逆的、つまり、在地系様式から本土系様式への変化だけでなく、その逆である本土系様式から在地系様式にも変化する」

5.2.5.5. 土器様式の伝播速度

農耕文化の伝播速度と同様に、本シミュレーションモデルの土器様式の伝播速度は、「伝播するセルの範囲」と「土器様式導入率」から構成される。「伝播するセルの範囲」に関しては、お互いが接触し

文化交流される距離に相当し、「狭い(1セル)」「中程度(3セル)」「広い(5セル)」の3段階を仮定した。また、「土器様式導入率」に関しては、土器様式の導入の難易度に相当し、「不可能(0%)」「難しい(0.1%)」「中程度(0.5%)」「容易(1%)」の3段階を仮定した。

5.2.5.6. 初期在地人と初期移住民が保有する属性変数

シミュレーション開始時において、初期在地人の初期移住民が存在する。

- 初期在地人
 - 人口：1,800 エージェント
 - 性比：男女同比率
 - 形質遺伝子：NN
 - 空間配置：50セル×50セルの空間上にランダムな分散配置
 - 生業文化：狩猟採集
 - 婚姻制度：一夫一妻
 - 土器様式：在地系様式
 - mtDNA ハプログループ：0.0%がハプログループ D4 を有し、47%がハプログループ M7a を有し、残り 53%がその他ハプログループを有する。これらの値は、Shinoda and Doi (2008)、Shinoda et al.(2012; 2013)を参考に、日本本土由来のハプログループ D4 以外の頻度を計算した
- 初期移住民
 - 人口：200 エージェント
 - 性比：男女同比率
 - 形質遺伝子：MM
 - 空間配置：空間の上辺中央[X：25、Y：50]に配置
 - 生業文化：農耕
 - 婚姻制度：一夫多妻
 - 土器様式：本土系様式
 - mtDNA ハプログループ：坂平 (2007) の日本本土の中世人の mtDNA の頻度を参考に、53.0%がハプログループ D4、7.0%はハプログループ M7a、残り 40.0%がその他ハプログループを有する

5.2.6. シミュレーションケース数と評価指標

シミュレーションケース数は、前述のパラメータのパターンを組み合わせた 180 ケースである (表 5-2, 表 5-3)。なお、これら表の各パラメータについて、①現在、見解が分かっているもの、②現在、そもそも不明なもの、見解がないもの、③人類学・考古学記録に基づくもの、に分けて示した。各ケースにおいては、エージェント数が 200 から 100 倍の 20,000 に増える可能性がある。この場合、計算コストが非常に大きいため、試行回数は各ケース 10 回とした。これら 10 回試行の乱数シードは、ケース間で同じものを使用している。計算効率の改善は今後の課題である。

本シミュレーション結果の主な評価指標は、400年後のエージェントの総数、本土系形質を持つ人々の比率、mtDNA ハプログループ D4 の頻度、及び本土系様式の土器の比率である。

エージェントの総数については、シミュレーションケース間で、400年後にどの程度人口が増加したかを調べた。本土系形質を持つ人々の比率については、80%以上を人口置換の目安として採用した。mtDNA ハプログループ D4 の頻度については、Shinoda et al. (2013) を参考に、35%を人類学的事実に沿った値とみなす。これらの人類学的・考古学的事実に沿う条件を満たしたケースについて、農耕文化を推進した集団はどのような系統の人々だったかを調べるために、農業文化保有者の各系統の子孫の構成比の時系列で示した。

また、土器様式の伝播パターンについて議論するために、「垂直伝播のみの場合」と「垂直伝播と水平伝播の場合」の各ケースにおいて、本土系様式の土器の比率がどの程度高いかを調べた。そのなかから、本土系様式の土器の比率が約80%以上のケースについて、本土系様式の土器所有者の各系統の子孫の構成比を時系列に示すことで、本土系様式の土器がどのように拡散したのかを検討する。

表 5-2 農耕文化の伝播と土器様式の伝播に関するパラメータ

パラメータ	値
農耕文化の伝播範囲	[狭い: 1 セル], [中程度: 2 セル], [広い: 3 セル]
農耕文化の導入率	[不可: 0%], [難しい: 0.1%], [中程度: 0.5%], [易しい: 1.0%]
農耕文化の両親からの継承	[父親], [母親]
土器様式の伝播範囲	[狭い: 1 セル], [中程度: 2 セル], [広い: 3 セル]
土器様式の導入率	[不可: 0%], [難しい: 0.1%], [中程度: 0.5%], [易しい: 1.0%]

	現在、見解が分かれているもの
	現在、そもそも不明なもの、見解がないもの
	人類学・考古学記録に基づくもの

表 5-3 その他のパラメータ

パラメータ	値
シミュレーション期間	400年 (ステップ)
狩猟採集文化の人口増加率	[年0.0%]
農耕文化の人口増加率	[年0.6%]
本土人の婚姻制度	[一夫一妻婚], [一夫多妻婚]
在地人の婚姻制度	[一夫一妻婚]
本土人の空間的分布	[集中的に分布]
在地人の空間的分布	[均一に分布]
本土人の性比と初期人口	[同数: 100, 100]
在地人の性比と初期人口	[900, 900]
本土人のミトコンドリアDNAハプログループの頻度	D4: 53%, M7a: 7%, and another haplogroup: 40%
在地人のミトコンドリアDNAハプログループの頻度	D4: 0%, M7a: 47% and another haplogroup: 53%

	現在、見解が分かれているもの
	現在、そもそも不明なもの、見解がないもの
	人類学・考古学記録に基づくもの

5.3. シミュレーション結果と考察

5.3.1. 農耕文化の伝播速度による総人口の違い

総人口、つまり、エージェントの総数は、農耕文化の伝播速度によって異なる結果を示した。農耕文化の伝播速度が速い（例えば、伝播するセルの範囲が広い[5セル]、農耕導入率が容易[1%]）ケース

は、農耕文化の伝播速度が遅い（例えば、伝播するセルの範囲が狭い[1セル]、農耕導入率が難しい[0.1%]）ケースよりも400年後の総人口が多い（図5-1）。このことから、グスク時代の人口爆発は、農耕文化の迅速かつ広範な普及が原因であるという仮説が生成される。

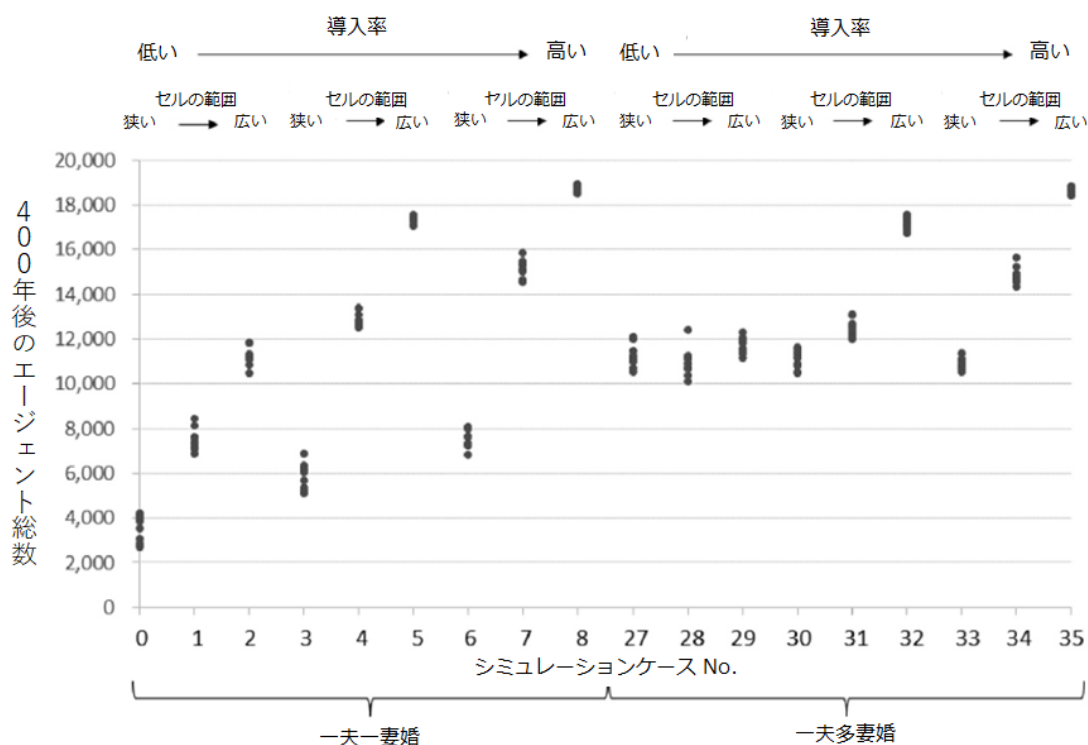


図 5-1 農耕の伝播速度による総人口の違い

5.3.2. 農耕文化の伝播速度による本土系形質の比率と mtDNA ハプログループ D4 の頻度の違い

5.3.2.1. 一夫一妻婚のケース

一夫一妻婚のすべてのケースと試行で、400年後の本土系形質を持つ人々の比率は人口置換の目安である80%と mtDNA ハプログループ D4 の頻度35%に達しなかった（図5-2）。そのなかでも、農耕文化の伝播速度が遅いケース（例えば、伝播するセルの範囲が狭い[1セル]、農耕導入率が難しい[0.1%]）では、400年後の渡来系形質の人の比率と mtDNA ハプログループ D4 の頻度が比較的高い。逆に、農耕文化の伝播速度は速いケース（例えば、伝播するセルの範囲が広い[5セル]、農耕導入率が容易[1%]）では、400年後の渡来系形質の人の比率と mtDNA ハプログループ D4 の頻度が低い。なぜなら、農耕文化が初期の段階で在地民に拡散した場合、在地民の人口も農耕文化の人口増加率で増加するからである。

5.3.2.2. 一夫多妻婚のケース

一夫多妻婚のケースでは、400年後の本土系形質を持つ人々の比率と mtDNA ハプログループ D4 の頻度は、農耕文化の伝播速度によって異なる（図5-2）。農耕文化の伝播速度が遅いケースのなかでは、いくつかのケースにおいて、400年後の本土系形質を持つ人々の比率は人口置換の目安である80%

と mtDNA ハプログループ D4 の頻度 35% に達しなかった。それらとは対照的に、農耕文化の伝播速度が速いケースのなかでは、多くのケースにおいて、400 年後の本土系形質を持つ人々の比率は人口置換の目安である 80% と mtDNA ハプログループ D4 の頻度 35% に達した。これらの結果は、一夫多妻婚の場合、農耕文化の普及によって人口置換が促進されたことを示している。その原因は、前章と同様に、農耕文化の伝播と一夫多妻婚の広がりには時間差があり、その差がその後の在地系形質の人々と本土系形質の人々の比率及び mtDNA ハプログループ D の頻度に影響を与えたと考えられる。つまり、最初期の段階においては、本土系形質の人々はお互いが密集した状態のため、本土系形質の人々同士で人口を増加させるが、その過程において、農耕文化は周囲の在地系形質の人々に伝播する。しかしながら、婚姻制度は父親からのみの継承のため、依然、本土系形質の人々内で維持される。そして、周囲の在地系形質の人々が農耕文化に変わった後、その母数となる人口の多さと農耕文化の高い人口増加の状況下で、多妻婚文化によって本土系形質遺伝子が優先的に拡散されるため、本土系形質の人々が増加する。また、この人口増加を背景に、mtDNA ハプログループ D4 の人々も増加する。つまり、本土系形質遺伝子と mtDNA ハプログループ D4 がより拡散するためには、本土系形質の人々の近隣に高い人口増加率の農耕文化の個体が多く存在することが必要である。グスク時代に一夫多妻婚そのものがあるかどうか不明であるが、本シミュレーション結果は、本土系形質遺伝子と mtDNA ハプログループ D4 が結果的に優先的に拡散するような婚姻制度が存在した可能性を示唆している。

5.3.2.3. 農耕文化の主体の問題

グスク時代の農耕文化の拡散過程について議論するために、農耕文化をけん引した人々、つまり前章と同じ言葉を使うならば、農耕文化の主体はどのような系統の人々であったかを調査した。

農耕文化の伝播速度が遅いケースでは、農耕文化保有者の子孫の構成比は、初期に本土系子孫が卓説した直後にわずかに在地系子孫を経由するが、その後は混血の結果として両方の子孫がほとんどすべてを占めるようになる（シミュレーションケース No. 29; 試行 7, 図 5-3）。これらの結果は、グスク時代、農耕文化は主に本土人によって行われたことという仮説を生成する。

これらとは対照的に、農耕文化の伝播速度が速いケースでは、最初期こそ本土人であるが、その後すぐに在地人が大半を占め、後は混血の結果として両方の子孫がほとんどすべてを占めるようになる（シミュレーションケース No. 35; 試行 9, 図 5-4）。これらの結果は、たとえ農耕文化が在地人に広く拡散したとしても、人口置換が起こる可能性が高いことを示しており、この場合にグスク時代の農耕文化は主に在地人によって行われたことという仮説を生成する。

これらの2つの仮説はどちらも可能性があるが、前述したように述べたように、グスク時代の人口爆発の原因が農耕文化の急速かつ広範な普及にあることを考慮すると、より蓋然性があるのは、後者の農耕文化の伝播速度が速く、在地人が農耕文化の主体であったとする仮説である。

以上を要約すると、本シミュレーション結果は、人口爆発と農業文化の拡散過程について、次の仮説を生成した。（1）農耕文化は本土人によって導入されたが、在地人の中で急速に普及した。（2）グスク時代の人口爆発は農耕文化の急速な普及が引き起こした。（3）人口爆発に伴って、本土系形質遺伝子及び mtDNA ハプログループ D4 を優先的に拡散させるような一夫多妻婚のような婚姻制度を通して人口置換が起こった。

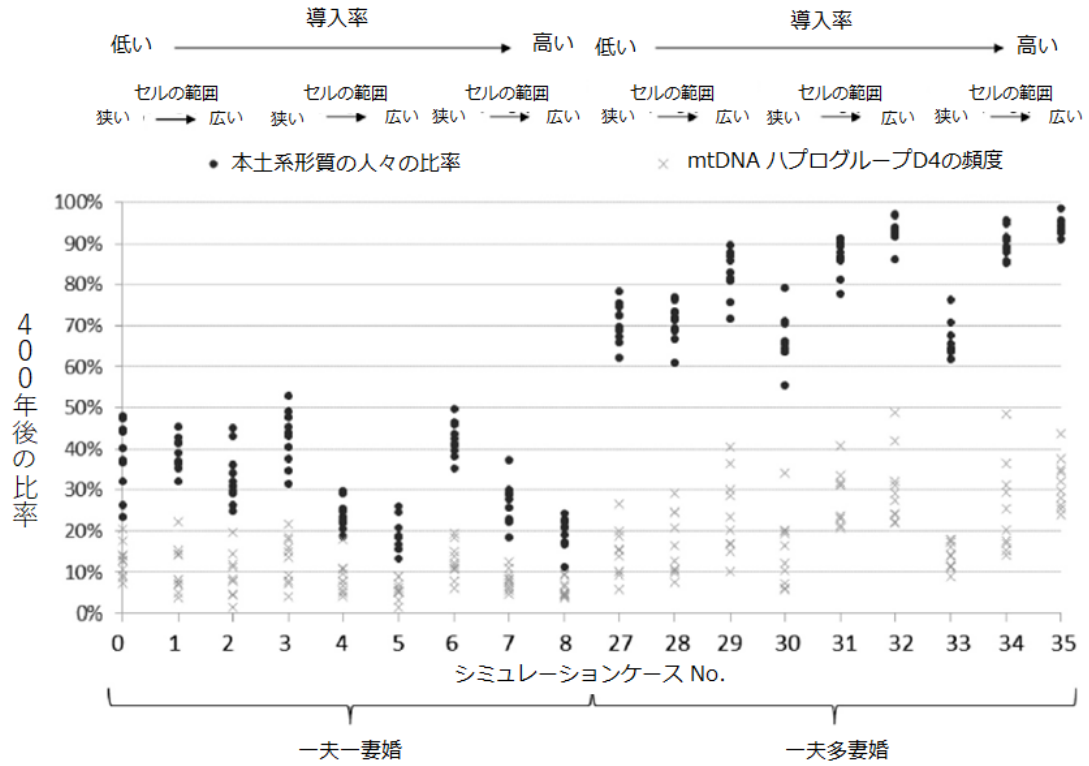


図 5-2 婚姻制度と農耕の伝播速度による本土系形質の比率と人々と mtDNA ハプログループ D4 の頻度の違い

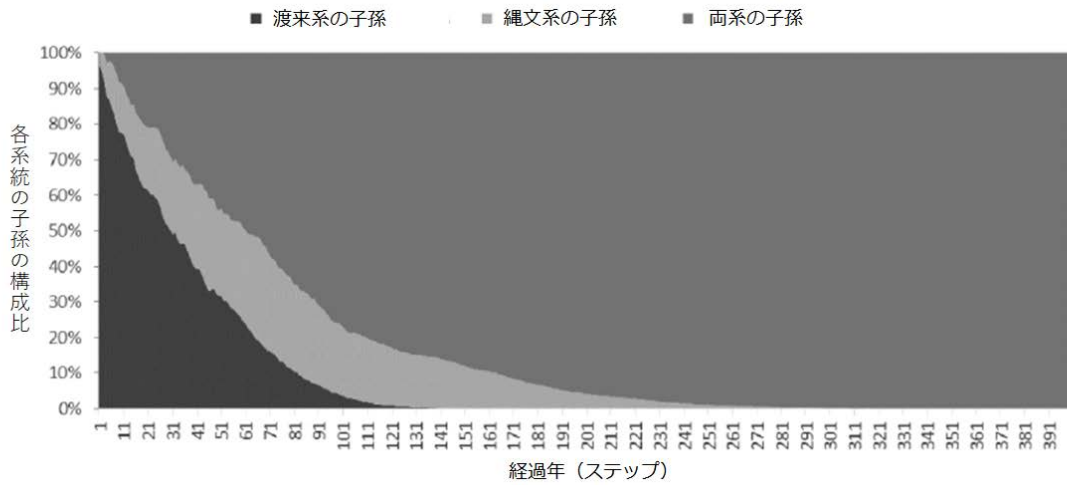


図 5-3 農耕文化の伝播速度が遅いケース (No. 29, 試行 7) の農耕文化保有者の構成比

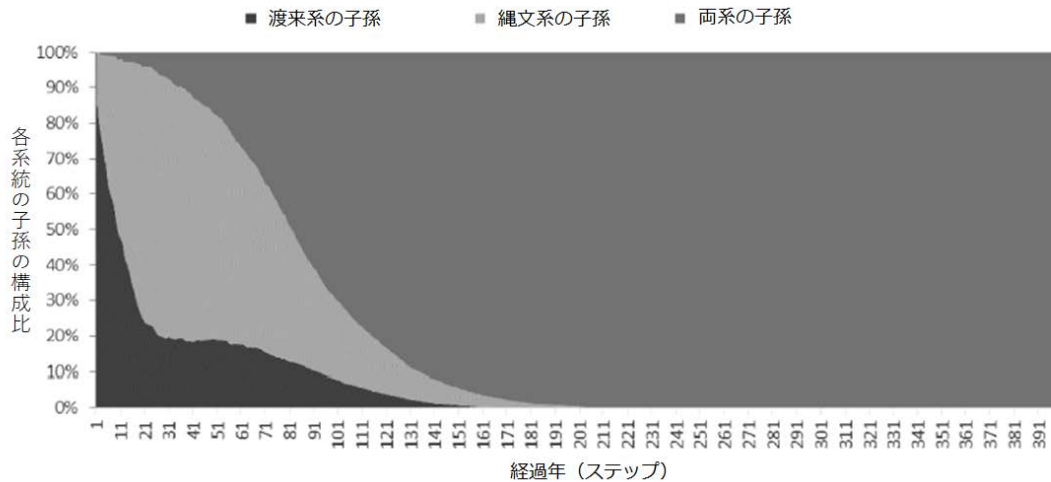


図 5-4 農耕文化の伝播速度が速いケース (No. 35, 試行 9) の農耕文化保有者の構成比

5.3.3. 土器様式の拡散パターンの違い

5.3.3.1. 垂直伝播のみの場合

一夫多妻婚のケースでは、垂直伝播のみであっても、農耕文化の伝播速度は速いケース（例えば、伝播するセルの範囲が広い[5セル]，農耕導入率が容易[1%]）の方が、農耕文化の伝播速度は遅いケース（例えば、伝播するセルの範囲が狭い[1セル]，農耕導入率が難しい[0.1%]）の方よりも、本土系様式の土器の比率が高い（図 5-5）。その理由としては、最初期の段階において本土人内の多妻婚によって本土人の女性人口が増えた後、人口爆発に伴い、増加した本土人女性との婚姻によって本土系様式の土器も広く拡散するからであると考えられる。これらの結果は、農業文化の伝播速度が速く、農耕文化の主体は在地人であったとする仮説を裏付けている。また、この場合の土器の拡散過程については、本土系様式の土器は主に本土人によって保有されており、垂直伝播のために在地人には普及していなかったという仮説が生成される。

5.3.3.2. 垂直伝播と水平伝播の場合

一夫多妻婚で土器様式の伝播速度が遅い場合は、垂直伝播の効果の方が水平伝播よりも強いため、本土系様式の土器の普及率が高い（図 5-6, シミュレーションケース No. 194）。その理由は前節と同一である。また、400年後の本土系様式の土器の比率は、農耕文化の伝播速度によって変わる。農耕文化の伝播速度が速いケースの本土系様式の土器の移民様式の比率は、農耕文化の伝播速度が遅いケースよりも高い（図 5-6）。これらの結果は、垂直伝播のみの結果と同じ傾向にある。したがって、今回、垂直伝播と垂直水平伝播の違いは、結果に対してあまり重要ではないようである。

しかしながら、土器様式の伝播速度が速いケースでは、土器様式の変化が可逆性的のために、確率的に本土系様式の土器の比率が支配的になる試行や逆に消滅する試行がみられる。つまり、農耕文化と土器様式の伝播速度が速いケースでは、初期設定では農耕文化と本土系土器はともに初期本土人によって保持されているものであるが、シミュレーションが進むにつれ、農耕文化の普及率の高さとは逆に、土器様式の拡散は偶然性が働いている。

これらのケースの土器の拡散過程を調べると、土器様式の伝播速度の遅い場合（図 5-7）でも速い場合（図 5-8）でも、本土系様式の土器の保有者には、在地系の人々は少なかったことがわかる。

以上を要約すると、本シミュレーション結果は、土器の拡散過程について、次の仮説を生成した。

（1）400年後の本土系様式の土器の比率が高くなるためには、一夫多妻婚と急速な農業文化の普及が必要である。このことは、土器様式の変化は農耕文化と不可分であるという仮定（新里, 2002）を支持している。（2）そのような状況では、本土系様式の土器は、農耕文化の保有者とは異なり、主に本土系の人々によって保有されていて、在地の人々には広く普及していなかった。

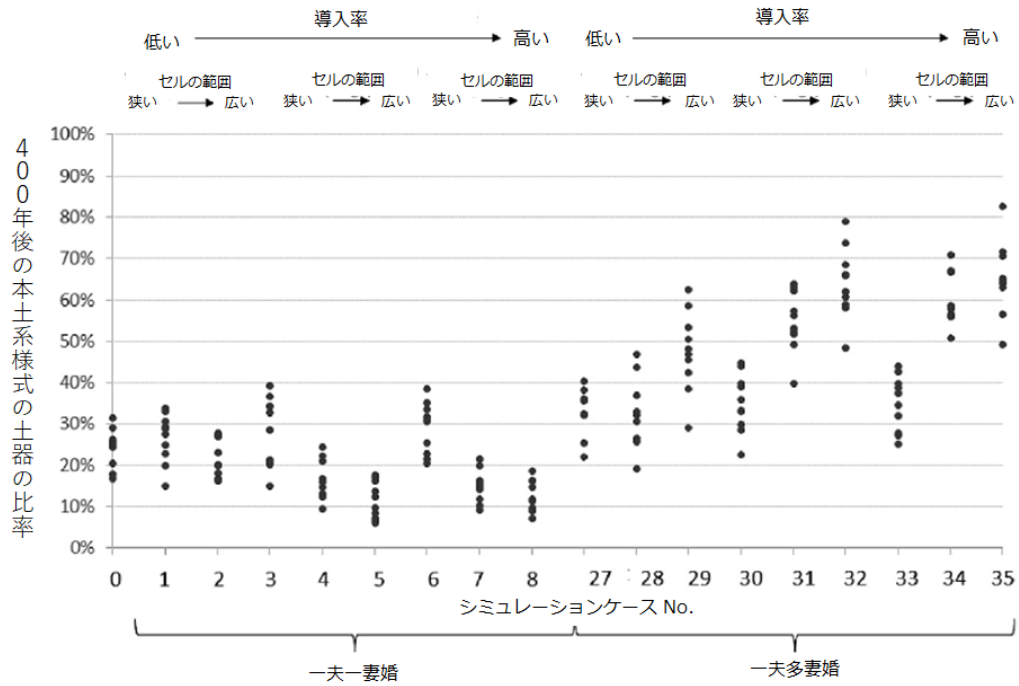


図 5-5 土器様式の垂直伝播における農耕の伝播速度による本土系様式の土器の比率

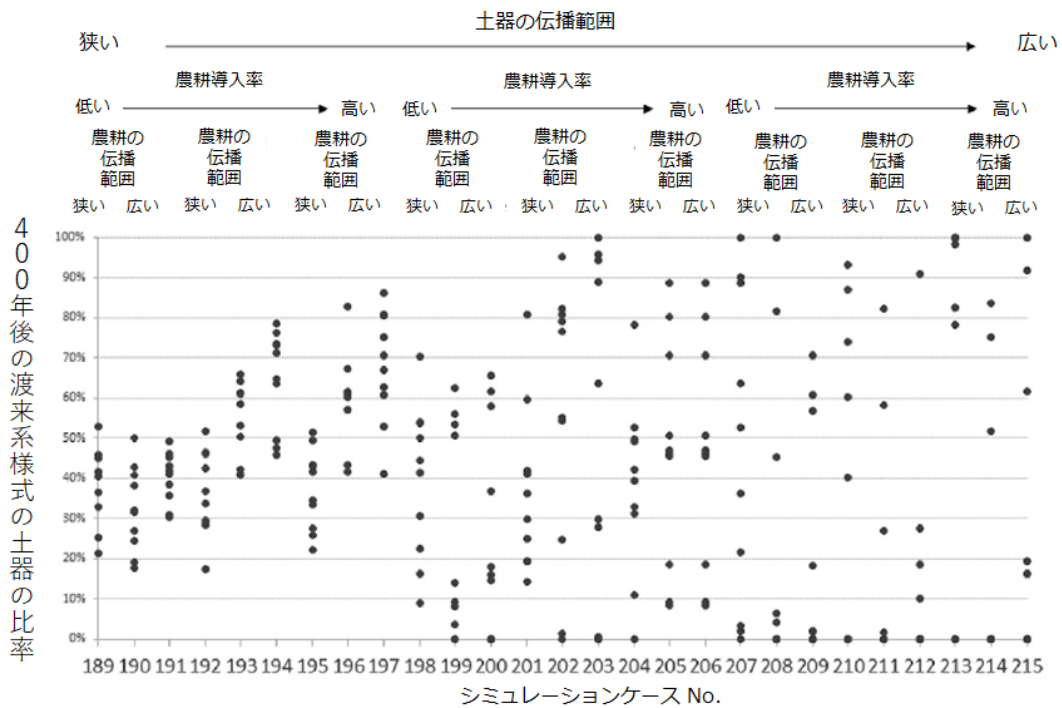


図 5-6 一夫多妻婚のケースにおける土器様式の垂直水平伝播における農耕の伝播速度による本土系様式の土器の比率

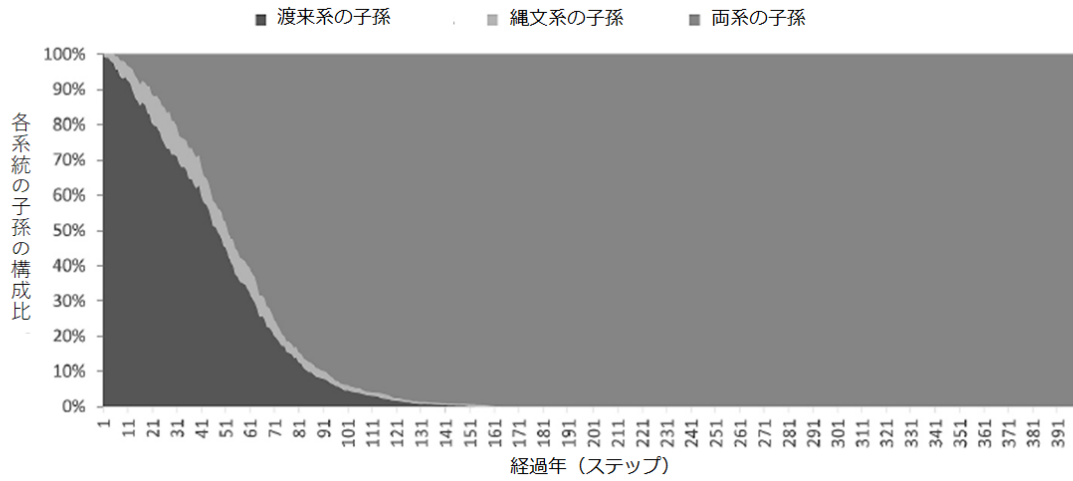


図 5-7 農耕文化の伝播速度が速く、土器様式の伝播速度が遅いケース (No. 194, 試行 9) の本土系様式土器の保有者の構成比

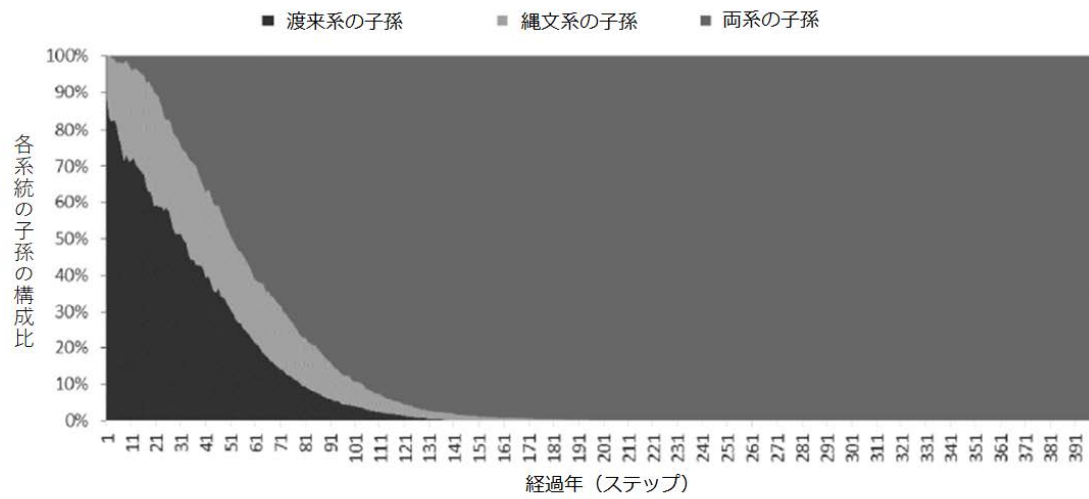


図 5-8 農耕文化の伝播速度が速く、土器様式の伝播速度が速いケース (No. 215, 試行 7) の本土系様式土器の保有者の構成比

5.4. 仮説検証が可能な考古資料の提示

本章では、中世沖縄における人口爆発、農耕文化の普及過程、土器様式の拡散過程について、エージェント・モデリングにより仮説を生成した。これら仮説は、前章と同様に、エージェントに多重な属性の不要が可能なエージェント・モデリングだからこそ、生成されると同時に検証可能な考古資料の提示が可能となる。

具体的には、人口爆発と農耕文化の普及過程に関して、一夫多妻婚の元で、農耕文化は急速に在地系の人々にも広がり、初期の段階で在地人によって実行されていたという仮説は、グスク時代の開始前後に在地人の子孫であることを示す形質を残す人骨と農耕文化を示す遺物の共伴によって、検証可能である。

さらに、土器様式の拡散過程に関して、一夫多妻婚の元で、400年後の本土系様式の土器の比率の高さには、農耕文化の急速な普及が必要とし、本土系様式の土器はほとんどが本土系の人々によって保持され、在地系の人々には普及しなかったという仮説は、グスク時代の開始前後に本土系の子孫であることを示す形質を残す人骨と在地系様式の土器の共伴によって、検証可能である。

6. 第6章：結論 まとめ、今後の課題

6.1. 本論のまとめ

本論文において、人類学的・考古学的資料の欠落から生じる問題に対して、エージェント・モデリングを用いることで、仮説に生成と仮説を検証できる資料の提示をセットで行う方法を提案し、第4章、第5章でその有用性の例示を行った。

第4章では、「弥生農耕文化の主体の問題」について、エージェントベースシミュレーションによって、弥生農耕文化の主体は渡来人ではなく、弥生時代初期においては縄文人であったとする仮説を生成した。そして、シミュレーション結果の詳細から、その仮説を検証できる考古資料として、弥生時代初期に比定される遺跡から縄文人の特徴を示す人骨と農耕文化を示す遺物（農耕器具）が共伴されることを提示した。また、この問題に付随する「渡来人集団の性比」の問題についても、一夫多妻婚の下での渡来人集団は男性主体であったとする仮説を生成した。そして、シミュレーション結果の詳細から、その仮説を検証できる考古資料として、渡来時期とされる縄文時代晩期から弥生時代初期に比定される渡来人の直接の子孫の人骨からの父系遺伝するY染色体の多様性が低いことを提示した（図 6-1）。

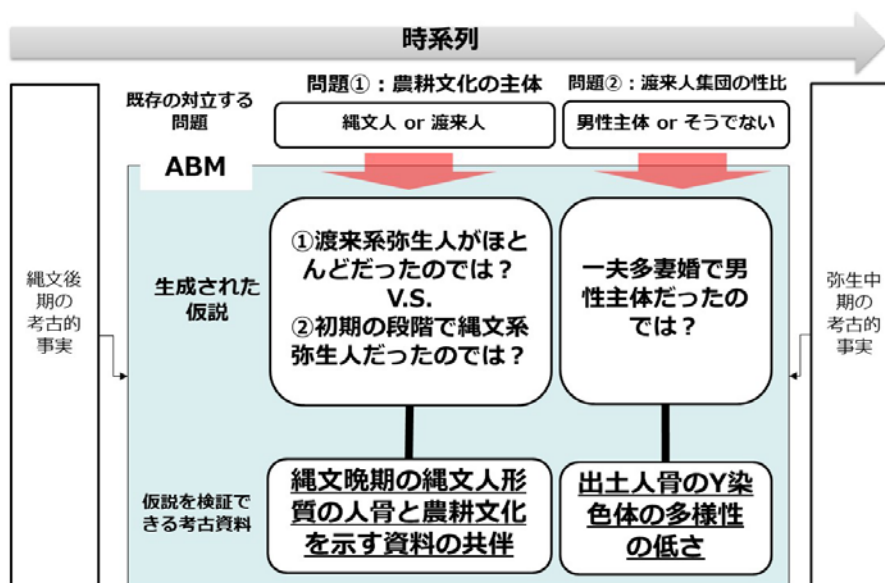


図 6-1 第4章の「弥生農耕文化の主体の問題」に対する提案手法の適用

第5章では、「中世沖縄の人口置換の問題」について、第4章で用いたシミュレーションモデルを一部改造したものをを用いて、「人口爆発と農耕文化の普及過程」に関して、一夫多妻婚の元で、農耕文化は急速に在地系の人々にも広がり、グスク時代初期の段階においては在地人によって実行されていたという仮説を生成した。そして、シミュレーション結果の詳細から、その仮説を検証できる考古資料として、グスク時代の開始前後に在地人の子孫であることを示す形質を残す人骨と農耕文化を示す遺物が共伴されることを提示した。また、これらの問題に付随する「土器様式の拡散過程」に関して、一夫多妻婚の元で、400年後の本土系様式の土器の比率の高さには、農耕文化の急速な普及が必要とし、本土系様式の土器はほとんどが本土系の人々によって保持され、在地系の人々には普及しなかったという仮説

を生成した。そして、シミュレーション結果の詳細から、その仮説を検証できる考古資料として、グスク時代の開始前後に在地系の子孫であることを示す形質を残す人骨と在地系様式の土器が共伴されることを提示した（図 6-2）。

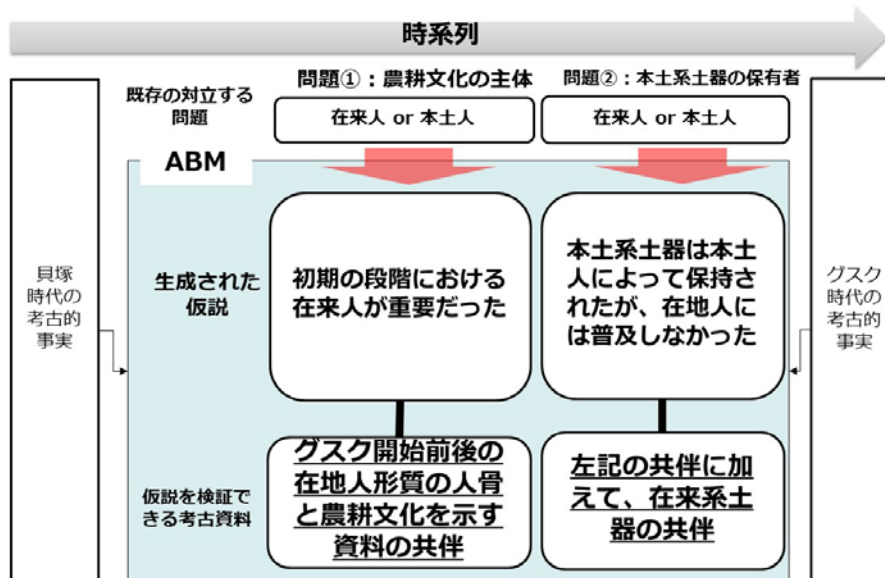


図 6-2 第 5 章の「中世沖縄の人口置換の問題」に対する提案手法の適用

第 4 章と第 5 章で例示した問題は、第 3 章の手順で示したように、問題を解くための必要最低限の要素を検討した結果、人口置換に関する遺伝子と文化の相対的な拡散のミスマッチの問題であるため、エージェントには複数の属性を付与することで解けた。

これら成果を踏まえると、人類学的・考古学的資料の欠落から、どのような社会的現象が起こっていたのかわからないという問題に対して、欠落の前時代の人類学的・考古学的事実を入力データとし、欠落の後時代の人類学的・考古学的事実を制約条件として、エージェントベースシミュレーションによって、欠落の時代で行った過去の社会現象を再現し、仮説を生成することができた。そして、それら仮説に対して、エージェントに様々な属性（形態、DNA、生業文化、土器文化）を多重に付与できるので、シミュレーション結果としてエージェントの各属性の構成比を時系列で見ることで、これら拡散の組み合わせのパターンに基づいて、仮説を検証できる資料の提示ができた。そのため、このようなエージェント・モデリングの特性を踏まえれば、本論文で示したような 2 つの時点の間の人口置換の問題だけでなく、異なる属性の資料の空間的な分布の問題も扱える。ただし、その場合は、空間的な属性が重要となる。

留意点についても、一部前述との繰り返しになるが、本論文においてシミュレーションで生成された仮説は、いくつかの可能性の一部でしかないことは言うまでもない。またいくつかの前提に基づいたモデルと入力及び制約条件の適用によって生成されたものである。例えば、土器様式は母系に継承、一夫多妻婚は生産性の高い農業が必要、文化伝達は感染症の SI モデルに準拠した非常に単純なパターンなどである。しかし、前提が異なれば、再度検討する必要があるが変更に対応できることもシミュレーションの利点である。さらに、本論文のシミュレーションモデルでは、遺伝的・文化的交流は近接を想定

している。なぜなら、考古資料が遠隔地からの出土する例はあるが、量的に文化が根付くという意味では面的な広がり限定されるからである。

以上から、上記のような一部の特定の問題についてではあるが、本論の目的である人類学・考古学の研究手法における仮説生成と仮説検証における新しいアプローチ（図 6-3）の提案することができたと言える。

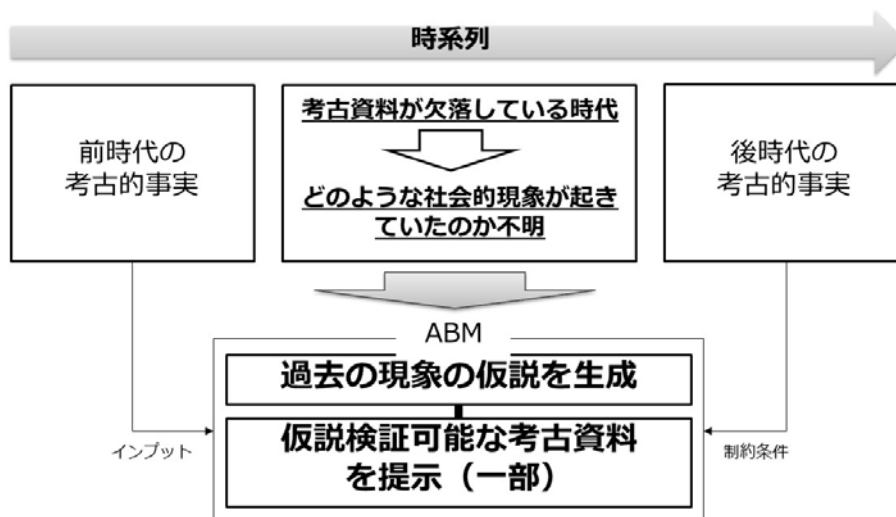


図 6-3 提案手法のフレームワーク（再掲）

6.2. 今後の課題

本論における提案手法の課題として、前述したように、適用が一部の特定の問題に限定されるという点がある。これについては、本論で採用したシミュレーションモデルの問題と、提案手法自体の制限があると考えられる。

シミュレーションモデルの課題として、本論で採用したシミュレーションモデルは、人口置換に関する遺伝子と文化の相対的な拡散のミスマッチの問題であることを踏まえ、抽象的な空間を用いているため、仮説検証の資料の属性の範囲は、「何が」、「いつ」、「どこに」あるかのうち、「どこに」の面が限定的であるという点である。

例えば、第4章の「弥生農耕文化の主体の問題」において、弥生農耕文化の主体は弥生時代初期においては縄文人であったとする仮説に対して、「何が」については「縄文人の特徴を示す人骨と農耕文化を示す遺物（農耕器具）の共伴」、「いつ」については「弥生時代初期」と提示したが、「どこに」については提示していない。敢えて言うならば、シミュレーション空間の上辺中央に相当する現実の地域、つまり、「沿岸部」としか提示できなかった。シミュレーション空間の上辺中央に相当する現実の地域、つまり、「沿岸部」としか提示できなかった。

さらに、第5章の「中世沖縄の人口置換の問題」において、人口爆発と農耕文化の普及過程に関して、一夫多妻婚の元で、農耕文化は急速に在地系の人々にも広がり、初期の段階で在地人によって実行されていたという仮説に対して、「何が」については「在地系の子孫であることを示す形質を残す人骨と農耕文化を示す遺物の共伴」、「いつ」については「グスク時代の開始前後」と提示した。また、土器様式の拡散過程に関して、一夫多妻婚の元で、400年後の本土系様式の土器の比率の高さには、農耕文化の急速な普及が必要とし、本土系様式の土器はほとんどが本土系の人々によって保持され、在地系の人々には普及しなかったという仮説に対して、「何が」については「在地系の子孫であることを示す形質を残す人骨と在地系様式の土器の共伴」、「いつ」については「グスク時代の開始前後」と提示した。しかしながら、双方とも「どこに」については、第4章と同じく、提示しておらず、敢えて言うならば、シミュレーション空間の上辺中央に相当する現実の地域、つまり、「沿岸部」としか提示できなかった。

上記の課題に対しては、今後、シミュレーションモデルの地理空間に、ある程度の属性、例えば、平地や山岳、河川部などを付与することで地理的なアクセスの困難さから、エージェントの同志の接触が一部に限定されることで、この接触がもたらす特定の社会現象が発生している地域を絞ることが可能であると考えられる。ただし、このように地理空間に属性を付与し、より具体的なシミュレーションモデルとなると、今度はそれら地理空間上で世帯や集落の居住に関するシミュレーションモデルの検討が必要になる。しかしながら、集落構成の変遷は、意思決定要素が多く、不明な面も多い。古代アナサジ族のシミュレーションモデルなどは、ネイティブアメリカンの民族誌を援用しているが、環境が異なる日本に当てはめることができず、また、日本の集落シミュレーションモデル構築の参考になるような民族誌資料は少ない。ただし、シミュレーションで解明しようとする問題の時代が、原始や古代ではなく近世及び近代のものにするならば、民族誌資料から集落のシミュレーションモデルを構築することは可能であると言える。そのため、課題についても、シミュレーションで解明とする問題の設定次第であると言える

一方で、提案手法自体の制限の問題としては、過去において情報が欠落しているところに、どのような社会現象が起こっていたのかをシミュレートするためには、入力条件と制約条件が必要であるということである。これら条件に沿うことが、現在の人間の類推によって構築されるシミュレーションモデルの妥当性の担保にもなり得る。そのためには、入力条件と制約条件として、例えば、人類学的形態、DNA、生業文化、土器文化などの状況がわかるような多面的で量的にも確保された人類学的・考古学的資料がある程度必要である。このような理由により、本論の提案手法については、適用可能な可能な問題や研究テーマが限定されている。

また、入力条件に関して、シミュレーションモデルのルールの中かで、過去の人類の意思決定行動や社会制度が不明な点については、いくつかのパターンを仮定し、制約条件に適合するパターンを実際に過去にあったであろう意思決定行動や社会制度としている。例えば、第4章では、渡来人集団の居住地や性比、農耕文化の伝播ルールとパラメータなどであり、第5章では、農耕文化と土器様式の伝播ルールとパラメータである。このようなシミュレーションモデルのルールのパターンの違いによって、シミュレーションの中かで起こる行動が異なり、その結果として生成される仮説が異なる可能性が十分にある。

さらに、この場合に、生成された仮説を検証できる考古資料の提示については、仮説に対するものだけでなく、仮定したパターンやパラメータに関するものについても、同様に、検証できる考古資料を提示する必要があると考える。そのため、何を入力条件として、何を制約条件として、何を検証しなければならないのかについて、明確な線引きが必要であるが、問題によっては不可分な部分もあり、混乱しやすい。このような適用可能な条件の詳細については、今後、他の研究テーマに対して、本提案手法を用いることを検討することで知見を蓄積し、整理していきたい。

本提案手法は入力条件と制約条件に沿った過去に起こった可能性のある社会的現象を仮説として生成し、その仮説を検証できる考古資料の提示であったが、その仮説の生成に関しては、本来はシミュレーション試行の数、つまりシナリオだけ詳細な仮説がある。今回は、それら一つ一つのシナリオについて、仮説に影響の与えるシミュレーションモデルのルールやパラメータの探索に関連する検証作業の詳細な説明は行わなかった。しかしながら、本来ならば、複数のシナリオやそこからの仮説に対して、他のシナリオや他の仮説と明確に分類できる要素をもってして、仮説を検証可能な要素となるはずである。そのためには、多数のシナリオや多数の仮説の分類に対して、どのような要素、つまりルールやパラメータが重要なのか分析を行う必要があると考える。これには、決定木やランダムなフォレストアルゴリズムや関連するルールやパラメータの組み合わせを分離できるベイジアン近似法の開発が有効である。これらについて、高度な進化アルゴリズムと高性能計算技術を用いた古代中国の歴史シミュレーション研究に関して、逆シミュレーション法を適用した研究もある (Yang et al.2012)。これらの方法は、エージェント・モデリングの人類学・考古学研究への応用を強化するという観点から有望である。これらの高度な技術の応用は、将来の研究において取り組むべき課題としたい。

最後に、現代の学問のたこつぼ化により、研究成果を社会にフィードバックすることが難しいが、その再統合のプラットフォームがエージェントベース・モデリングであると言いたい。なぜなら、本論文が示したように、エージェントベース・モデリングは、人類学・考古学の各研究者見解や各研究領域間での事実や見解の相違の整合性も検証できるからである。本論文のタイトルは、『エージェント・モデリングによる人類学・考古学の仮説生成に関する研究』となっているのも、それ故である。

そのため、本論文のように、人類学・考古学の研究者のコミットメントをより促すために、具体的に何を調べれば仮説を検証できるかというレベルまで落とし込まれていることが必要である。また、シミュレーションの妥当性のデモンストレーションのために、シミュレーションモデルが、ボトムアップ的に、未知の事実だけでなく、既知の事実を再現できることを示すことも有効である。さらには、結果（仮説と検証）だけ一人歩きを防ぐために、結果には前提条件とパラメータとセットであることも必要である。

以上のようなことを踏まえて、本研究が、人類学・考古学におけるエージェント・モデリングの活用の契機となり、将来の人類学・考古学研究の発展に貢献できることを期待したい。

謝辞

本論文の作成にあたり、多くの方々からご支援、ご助言をいただきましたこと、まずはこの場をお借りして御礼申し上げます。指導教官の東京工業大学大学院の寺野隆雄教授と吉川厚連携教授には、研究テーマの絞り込みから論文作成、学会発表など、多岐に亘るご指導を賜りました。様々な場面での確かなアドバイスを頂いたお陰で、研究生活を送ることができました。

東京工業大学大学院・寺野研究室の國上真章特別研究員には、毎週のゼミを通じて、研究を進めていく過程で多数の有益な助言を頂き、研究を導いて下さったことに深く感謝申し上げます。

勤務先の株式会社構造計画研究所の服部正太社長をはじめ、所員の方々には、博士課程に快く送り出し、支援していただきましたことに心より御礼申し上げます。

2010年の東京工業大学大学院入学以来、約8年に亘って、東京工業大学大学院・寺野研究室のメンバー各位には大変お世話になりました。様々なバックボーンを持つ皆様と、研究や日々の仕事内容などについて対話させていただくことは、大変勉強になりました。また、寺野研究室の山口ひとみさんには、事務手続き等、様々なご協力を頂きました。

これからも、寺野研究室のメンバーやOB、OGからなるコミュニティがますます発展していくことを願っております。最後に、博士課程での経験を基に、今後も研究や日常業務を通じて、研鑽を続けていく所存です。この研究活動を支えて下さったすべての皆様に、改めて感謝いたします。

2017年12月吉日

※各氏の所属，職責は2017年12月時点の表記となっております。

引用文献

- 安斎正人, 1994. 理論考古学・モノからコトへ, 柏書房, 東京.
- 安斎正人, 1995. 現代考古学の認識論 : 理論考古学と歴史・哲学. 東京大学文学部考古学研究室研究紀要 13, 1-32.
- 安斎正人, 2004. 理論考古学入門, 柏書房, 東京.
- Axtell, R.L., Epstein, J.M., Dean, J.S., Gumerman, G.J., Swedlund, A.C., Harburger, J., Chakravarty, S., Hammond, R., Parker, J., Parker, M., 2002. Population growth and collapse in a multiagent model of the Kayenta Anasazi in Long House Valley. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 99, 7275–7279.
- 安里進, 土肥直美, 2001. 沖縄人はどこから来たか (改訂版) 琉球=沖縄人の起原と成立. ボーダーインク, 那覇.
- Barceló, J.A., Castillo, F.D., 2016. Simulating the Past for Understanding the Present. A Critical Review. In: Barceló, J.A., Del Castillo, F.D., (Eds.), *Simulating Prehistoric and Ancient Worlds*. Springer, pp. 281-310.
- Bently, G.R., Jasienenska, G., Goldberg, T., 1993. Is the fertility of agriculturalists higher than that of nonagriculturalists? *Curr Anthropol* 34, 778–785.
- Binford, L., R., 1968. Some Comments on Historical Versus processual Archaeology. *Southwestern Journal of Anthropology* 24, 267-275.
- Brantingham, P.J., 2003. A neutral model of stone raw material procurement. *Am. Antiq.* 68, 487–509.
- Christiansen, J.H., Altaweel, M., 2005. Understanding ancient societies: a new approach using agent-based holistic modeling. *Struct. Dyn.: eJ. Anthropol. Relat. Sci.* 1. Article 7.
- Christiansen, J.H., Altaweel, M., 2006. Simulation of natural and social process interactions: an example from Bronze Age Mesopotamia. *Soc. Sci. Comput. Rev.* 24, 209–226.
- Dean, J.S., Gumerman, G.J., Epstein, J.M., Axtell, R.L., Swedlund, A.C., Parker, M., McCarroll, S., 2000. Understanding Anasazi culture change through agent-based modeling. In: Kohler, T.A., Gumerman, G.J. (Eds.), *Dynamics in Human and Primate Societies: Agent-Based Modeling of Social and Spatial Processes*. Oxford University Press, New York, pp. 179–206.
- 土肥直美, 1998. 南西諸島人骨格の形質人類学的考察 : 骨からみた南西諸島の人びと, 沖縄の歴史と医療史, 琉球大学医学部附属地域医療研究センター編, pp. 89–103. 九州大学出版会, 福岡.
- 土肥直美, 平田幸男, 慶覧朝盛, 泉水奏, 1997. 沖縄地方出土人骨の形態的変異性. 南西諸島出土人骨の形質人類学的・人類遺伝学的研究, pp. 9–10.
- Epstein, J. M., Axtell, R., 1996. *Growing Artificial Societies: Social Science from the Bottom-Up*. Washington D.C.: The Brookings Institution Press and Cambridge: MIT Press.
- Epstein, J.M. (Ed.), 2006. *Generative Social Science: Studies in Agent-Based Computational Modeling*. Princeton University Press, Princeton.

-
- 藤尾慎一郎, 1999. 福岡平野における弥生文化の成立過程 狩猟採集民と農耕民の集団関係. 国立歴史民俗博物館研究報告 77, 51–84.
 - Grimm, V., Berger, U., Bastiansen, F., Eliassen, S., Ginot, V., Giske, J., Goss-Custard, J., Grand, T., Heinz, S. K., Huse, G., Huth, A., Jepsen, J. U., Jørgensen, C., Mooij, W. M., Müller, B., Pe'er, G., Piuu, C., Railsback, S. F., Robbins, A. M., Robbin, M. M., Rossmanith, E., Rüger, N., Strand, E., Souissi, S., Stillman, R. A., Vabø, R., Visser, U., DeAngelis, D. L., 2006. A Standard Protocol for Describing Individual-Based and Agent-Based Models. *Ecological Modeling*, 198, 115–126.
 - Grimm, V., Berger, U., DeAngelis, D., Polhill, J.C., Giske, J., Railsback, S.F., 2010. The ODD protocol: a review and first update. *Ecol Model* 221, 2760–2768.
 - Gumerman, G.J., Swedlund, A.C., Dean, J.S., Epstein, J.M., 2003. The evolution of social behavior in the prehistoric American southwest. *Artif. Life* 9, 435–444.
 - Hanihara, K., 1987. Estimation of the number of early migrants to Japan: A simulative study. *Anthropol Sci* 95, 391–403.
 - Heckbert, S., 2013. MayaSim: an agent-based model of the ancient maya social–ecological system. *J. Artif. Soc. Soc. Simulat.* 16, 11.
 - ホッパー, K.R., 1961. 歴史主義の貧困—社会科学の方法と実践—, 久野収, 市井三郎訳, 中央公論社, 東京.
 - Johnson, C.D., Kohler, T.A., Cowan, J., 2005. Modeling historical ecology, thinking about contemporary systems. *Am. Anthropol., New Series* 107, 96–107.
 - 金関丈夫, 1976. 日本民族の起源. 法政大学出版局, 東京.
 - 片岡宏二, 飯塚勝, 2006. 数理的手法を用いた渡来系弥生人の人口増加に関する考古学的研究-弥生時代前期～中期における三国丘陵をモデルとして-. *九州考古学* 81, 1–20.
 - Kivisild, T., Tolk, H.V., Parik, J., Wang, Y., Papiha, S.S., Papiha, H.J., Villems, R., 2002. The emerging limbs and twigs of the East Asia mtDNA tree. *Mol Biol Evol* 19, 1737–1751.
 - Kohler, T.A., 2000. Putting social sciences together again: an introduction to the volume. In: Gumerman, G., Kohler, T.A. (Eds.), *Dynamics in Human and Primate Societies: Agent-Based Modeling of Social and Spatial Processes*. Oxford University Press, Oxford, pp. 1–18.
 - Kohler, T.A., Bocinsky, R.K., Cockburn, D., Crabtree, S.A., Varien, M.D., Kolm, K.E., Smith, S., Ortman, S.G., Kobti, Z., 2012. Modelling prehispanic Pueblo societies in their ecosystems. *Ecol. Model.* 241, 30–41.
 - Kohler, T.A., Gumerman, G. J., Reynolds, R. G., 2005. Simulating Ancient Societies. *Scientific American*. 293(1), 76-83.
 - Kohler, T.A., Johnson, C.D., Varien, M., Ortman, S., Reynolds, R., Kobti, Z., Cowan, J., Kolm, K., Smith, S., Yap, L., 2007. Settlement ecodynamics in the prehispanic central Mesa Verde region. In: Kohler, T.A., van der Leeuw, S.E. (Eds.), *Model-Based Archaeology of Socionatural Systems*. SAR Press, Santa Fe, pp. 61–104.
-

-
- Kohler, T. A., Kresl, J., Van West, C., Carr, E., Wilshusen, R. H., 2000. Be There Then: A Modeling Approach to Settlement Determinants and Spatial Efficiency Among Late Ancestral Pueblo Populations of the Mesa Verde Region, U.S. Southwest. In: Kohler, T.A., Gumerman, G.J. (Eds.), *Dynamics in Human and Primate Societies: Agent-Based Modeling of Social and Spatial Processes*. Oxford University Press, New York, pp. 145–178.
 - Kong, Q.P., Yao, Y.G., Sun, C., Bandelt, H.J., Zhun, C.L., Zhang, Y.P., 2003. Phylogeny of East Asian mitochondrial DNA lineages inferred from complete sequence. *Am J Hum Genet* 73, 671–676.
 - 小山修三, 1984. 縄文時代：コンピュータ考古学による復元. 中央公論社, 東京.
 - 宮城弘樹, 2011. グスク出現前後の考古学研究史とその論点の整理. *沖縄文化研究*, 37, 215–265.
 - 宮本一夫, 2009. 農耕の起源を探る—イネの来た道. 吉川弘文館, 東京.
 - Murdok, G.P., Provost, C., 1973. Factors in the division of labor by sex: a cross-cultural analysis. *Ethnology* 12(2), 203–225.
 - Murphy, J.T., 2012. Exploring complexity with the Hohokam Water Management Simulation: a middle way for archaeological modeling. *Ecol. Model.* 241, 15–29.
 - Nagaoka, T., Sawada, J., Hirata, K., 2008. Did the Jomon people have a short lifespan? Evidence from adult age-at-death estimation based on the auricular surface of the ilium. *Anthropol Sci* 116, 161–169.
 - 中橋孝博, 飯塚勝, 1998. 北部九州の縄文～弥生移行期に関する人類学的考察. *Anthropol Sci Japan Ser* 106, 31–53.
 - 中橋孝博, 飯塚勝, 2008. 北部九州の縄文～弥生移行期に関する人類学的考察(2). *Anthropol Sci Japan Ser* 116, 131–143.
 - Lansing, J. S., 2002. Artificial Societies and the Social Sciences. *Artificial Life.* 8, 279-292.
 - 坂平文博, 2007. 古代 DNA 分析による中世専業集落の形成過程の検討 —村松白根遺跡出土人骨のミトコンドリア DNA 分析. *Anthropol Sci Japan Ser* 115, 85–95.
 - Shinoda, K. and Doi, N., 2008. Mitochondrial DNA Analysis of Human Skeletal Remains Obtained from the Old Tomb of Suubaru: Genetic Characteristics of the Westernmost Island Japan. *Bull. Natl. Mus. Nat. Sci., Ser. D.*, 34, 11–18.
 - 篠田謙一, 2006. 遺伝子で探る日本人の成り立ち, 日本列島の自然史, 国立科学博物館編, 東海大学出版会, pp 296–307.
 - Shinoda, K., Kakuda, T., Doi, N., 2012. Mitochondrial DNA Polymorphisms in Late Shell Midden Period Skeletal Remains Excavated From Two Archaeological Sites in Okinawa. *Bull. Natl. Mus. Nat. Sci., Ser. D.*, 38, 51–61.
 - Shinoda, K., Kakuda, T., Doi, N., 2013. Ancient DNA Analyses of Human Skeletal Remains from the Gusuku Period in the Ryukyu Islands, Japan. *Bull. Natl. Mus. Nat. Sci., Ser. D.*, 39, 1–8.
 - 新里亮人, 2002. 滑石製石鍋の基礎的研究 -付 九州・沖縄における滑石製石鍋出土遺跡集成-先史琉球の生業と交易 -奄美・沖縄の発掘調査から-, 木下尚子編, pp. 163–190.
-

-
- 高宮広土, 2002. 狩猟採集から農耕へ : 沖縄でのケース. 国立民族学博物館調査報告, 33, pp. 257–273.
 - 高宮広土, 2005. 島の先史学—パラダイスではなかった沖縄諸島の先史時代. ボーダーインク, 那覇.
 - 田中良之, 小沢佳憲, 2001. 渡来人をめぐる諸問題. 弥生時代における九州・韓半島交流史の研究 (平成 12 年度韓国国際交流財団助成事業共同研究プロジェクト研究報告書, 3–27).
 - 都出比呂志, 1982. 原始女性と土器, 日本女性史 1, 女性史総合研究会編, pp 1–42, 東京大学出版会, 東京.
 - Varien, M.D., Ortman, S.G., Kohler, T.A., Glowacki, D.M., Johnson, C.D., 2007. Historical ecology in the mesa verde region: results from the village ecodynamics project. *Am. Antiq.* 72, 273–299.
 - Wendy H. C., J. Daniel R., 2016. Rethinking the role of Agent-Based Modeling in archaeology. *Journal of Anthropological Archaeology*, 41, 283–298.
 - Wilkinson, T.J., Christiansen, J., Ur, J., Widell, M., Altaweel, M., 2007a. Urbanization within a dynamic environment: modeling Bronze Age communities in Upper Mesopotamia. *Am. Anthropol.* 109, 52–68.
 - Wilkinson, T.J., Gibson, M., Christiansen, J., Widell, M., Schloen, D., Kouchoukos, N., Woods, C., 2007b. Modeling settlement systems in a dynamic environment. In: Kohler, T., van der Leeuw, S. (Eds.), *The Model-Based Archaeology of Socionatural Systems*. School of American Research, Santa Fe, pp. 175–208.
 - Watson, P.J., LeBlanc, S.A., Redman, C.L., 1971. *Explanation in Archaeology: An Explicitly Scientific Approach*. Columbia University Press, New York.
 - Wu, J., Mohamed, R., Wang, Z., 2011. Agent-based simulation of the spatial evolution of the historical population in China. *J. Hist. Geogr.* 37, 12–21.
 - Yang, C., Kurahashi, S., Ono, I., Terano, T., 2012. Pattern-oriented inverse simulation for analyzing social problems: family strategies in civil service examination in Imperial China. *Adv Complex Syst.* 15(7). doi:10.1142/S0219525912500385.

業績目録

(1) 査読有り学術雑誌・学術書籍

- 坂平文博, 寺野隆雄: 弥生農耕文化の「主体」は誰だったか? —人類学・考古学への エージェントベースシミュレーションの適用—, コンピュータ ソフトウェア Vol.31, No.3, 97-108, 2014.
- Fumihiko Sakahira, Takao Terano: Generating Anthropological and Archeological Hypotheses in Okinawa through Agent-Based Simulation. Journal on Policy and Complex Systems, Volume 2, No.2, pp. 67-89, Fall 2015. (doi: 10.18278/jpcs.2.2.5)
- Fumihiko Sakahira, Takao Terano: Revisiting the Dynamics Between Two Ancient Japanese Descent Groups. in Barcelo, Juan A., Del Castillo, Florencia (eds.): Simulating Prehistoric and Ancient Worlds. Springer, pp. 281-310, 2016.

(2) 査読有り国際会議の口頭発表

- Fumihiko Sakahira, Takao Terano: Rewindig the Dynamics between Two Japanese Ancient Descents -What would happen from the Jomon to the Yayoi Periods in Japan? #33, SOCIAL SIMULATION CONFERENCE 2014 (SSC'14), Barcelona, Spain, 2014.
- Fumihiko Sakahira, Takao Terano: Generating Anthropological and Archaeological Hypotheses in Okinawa through Agent-Based Simulation. Proc. CSSSA Conference 2015, Paper No. 12, pp. 1-20, Oct. 30-Nov. 1, Santa Fe, USA, 2015.

(3) 査読有り国内会議の口頭発表

- 坂平文博, 寺野隆雄: 弥生農耕文化の主体は誰だったか? —人類学・考古学へのエージェントベースシミュレーションの適用—, 合同エージェントワークショップ&シンポジウム 2013 (JAWS2013) , 2013.

(4) 査読無し国内会議の口頭発表

- 坂平文博, 寺野隆雄: エージェントベースシミュレーションで解く弥生時代の農耕化に関する問題」第 68 回日本人類学会大会, 2014.

(5) 受賞歴

- 合同エージェントワークショップ&シンポジウム 2013 (JAWS2013) 最優秀論文賞: 坂平文博, 寺野隆雄: 弥生農耕文化の主体は誰だったか? —人類学・考古学へのエージェントベースシミュレーションの適用—, 2013.