

# ヨーロッパにおける新石器時代移行への農耕民族と狩猟・採集民族の現象数理的考察

メタデータ	言語: eng 出版者: 公開日: 2018-07-31 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: カビール, ムハンマド ハマユン メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10291/19583">http://hdl.handle.net/10291/19583</a>

2018年1月26日

## 「博士学位請求論文」審査報告書

審査委員（主査） 総合数理学部 専任教授

氏名 小川 知之 ㊞

（副査） 総合数理学部 専任准教授

氏名 ギンダー エリオット ㊞

（副査） 武蔵野大学工学部 特任教授

氏名 三村 昌泰 ㊞

（副査） National Taiwan University

Department of Mathematics Professor

氏名 Chiun Chuan Chen ㊞

1 論文提出者 氏名 Kabir Muhammad Humayun

2 論文題名

（欧文題） Model-aided understanding of farmers and hunter-gatherers  
in the Neolithic transition in Europe

（欧文訳） ヨーロッパにおける新石器時代移行に現れる農耕民族と狩猟採集民族  
のモデル解析

3 論文の構成

本論文の構成は以下の通りである。

1 Introduction (はじめに)

2 Motivation (動機)

2.1 Existing Models of Neolithic transition (新石器時代移行の既存モデル)

- 3 A farmers and hunter-gatherers model including farming technology effect  
(農業技術効果を考慮している農耕民族-狩猟採集民族モデル)
  - 3.1 A three-component reaction-diffusion model of farmers and hunter-gatherers  
(農耕民族-狩猟採集民族の3変数モデル)
- 4 Asymptotic behavior of solutions of the initial and boundary value problem (IBVP)  
(初期・境界値問題の解の漸近挙動)
  - 4.1 Non-negative spatially constant equilibria of the system (3.6)  
(システム(3.6)の非負空間一様平衡解)
  - 4.2 Asymptotic behavior of solutions of the IBVP (IBVP 解の漸近挙動)
- 5 Transient behavior of solutions of the IBVP (初期・境界値問題の解の遷移挙動)
  - 5.1 Expanding pattern of farmers in two-dimensions  
(2次元での農耕民族の拡大パターン)
  - 5.2 Spreading of farmers in one-dimension (1次元での農耕民族の拡大)
  - 5.3 Dependence of the farming technology  $\gamma$  on the spreading velocity  
(農業技術の拡大速度への依存性)
- 6 Existence of traveling wave solutions by solving the IBVP  
(初期・境界値問題より進行波解の存在)
  - 6.1 The Fisher-KPP equation (Fisher-KPP 方程式)
  - 6.2 Original farmers and hunter-gatherers system (2.5)  
(既存の農耕民族-狩猟採集民族系)
  - 6.3 Existence of traveling wave solutions of (6.1) by solving the IBVP  
(初期・境界値問題より(6.1)の進行波解の存在)
  - 6.4 Relation between spreading velocity of the IBVP and minimal velocity of traveling wave solutions for three component system  
(初期・境界値問題の拡大速度と最小速度との関係)
  - 6.5 Traveling wave solutions of the limiting system as  $\gamma \rightarrow 0$   
( $\gamma \rightarrow 0$ の極限系の進行波解)
  - 6.6 Traveling wave solutions of the limiting system as  $\gamma \rightarrow \infty$   
( $\gamma \rightarrow \infty$ の極限系の進行波解)
- 7 Radial symmetry-breaking of expanding patterns in  $\mathbb{R}^2$   
(2次元全平面における拡大パターンの軸対称性破れ)
  - 7.1 Dependence of the farming technology parameter  $\gamma$  on expanding patterns of farmers  
(農業技術パラメーターの拡大パターンへの依存性)
  - 7.2 Features of radial symmetry-breaking of the expanding patterns of farmers  
(農耕民族の拡大パターンの軸対称性破れの特徴)

- 7.3 Dependency of radial symmetry-breaking of expanding patterns on  $m$  in  $P_m(F; F_c^*(\gamma))$  (拡大パターンの軸対称性破れの  $m$  への依存性)
- 7.4 Planar stability of traveling wave solutions of (6.1)  
(6.1)の進行波解のプラナー安定性)
- 7.5 Several types of two-dimensional propagating waves  
(いくつかのタイプの2次元伝搬波)
- 8 Limiting system of  $(F_1, F_2, H)$  system as  $\varepsilon \rightarrow 0$  ( $(F_1, F_2, H)$ 系の $\varepsilon \rightarrow 0$ 極限系)
  - 8.1 Traveling wave solutions of (8.7) and (8.8)  
(系 (8.7)と(8.8)の進行波解の存在)
  - 8.2 Convergence of the solution  $((F_1^{a, \varepsilon}, F_2^{a, \varepsilon}, H^{a, \varepsilon})(z), c_{a, \varepsilon}^*)$  to  $((F^a, H^a)(z), c_{a, 0}^*)$  as  $\varepsilon \rightarrow 0$   
( $\varepsilon \rightarrow 0$ での $((F_1^{a, \varepsilon}, F_2^{a, \varepsilon}, H^{a, \varepsilon})(z), c_{a, \varepsilon}^*)$  の  $((F^a, H^a)(z), c_{a, 0}^*)$ への収束性)
  - 8.3 Convergence of the solution  $((F_1^{a, \varepsilon}, F_2^{a, \varepsilon}, H^{a, \varepsilon})(z), c_{a, \varepsilon}^*)$  to  $((F_1^\varepsilon, F_2^\varepsilon, H^\varepsilon)(z), c_{0, \varepsilon}^*)$  as  $a \rightarrow 0$   
( $a \rightarrow 0$ での $((F_1^{a, \varepsilon}, F_2^{a, \varepsilon}, H^{a, \varepsilon})(z), c_{a, \varepsilon}^*)$  の  $((F_1^\varepsilon, F_2^\varepsilon, H^\varepsilon)(z), c_{0, \varepsilon}^*)$ への収束性)
  - 8.4 Convergence of the solution  $((F^a, H^a)(z), c_{a, 0}^*)$  to  $((F, H)(z), c_0^*)$  as  $a \rightarrow 0$   
( $a \rightarrow 0$ での $((F^a, H^a)(z), c_{a, 0}^*)$  の  $((F, H)(z), c_0^*)$  への収束性)
- 9 Concluding remarks (結語)
  - 9.1 Conclusions (結論)
  - 9.2 Future directions (これからの方向性)
  - A. Global existence and uniqueness of solutions of  $(F_1, F_2, H)$  system  
( $(F_1, F_2, H)$ 系の大域解の存在と一意性)
  - B. A numerical approach to obtaining traveling wave solutions  
(進行波解に対する数値的手法)
  - C. Traveling wave solutions of the original  $(F, H)$  system (元の $(F, H)$ 系の進行波解)
  - D. Finite volume method for (8.9) ((8.9)に対する有限体積法)

#### 4 論文の概要

約1万年、ヨーロッパ全土は狩猟採集民族で占められていた。その中で、イスラエルの小さな村において農業を営む民が現われた。いわゆる、農耕民族の出現である。その結果、狩猟採集民族は農耕民族と出会うことになり、徐々に狩猟採集民族から農耕民族へと取って代わられていったのである。興味深いことに、地理的に空間非一様性の強いヨーロッパ大陸において農耕民族がほぼ一定の速度で拡大していったことが報告されたのである。「農耕民族は、なぜほぼ一定の移行速度でヨーロッパ全土に拡大していった

のであろうか」というのは自然な疑問であろう。本論文はこの問題に対して、モデリングとその解析という現象数理学から解明することが研究動機となっている。

第1章では、上述したような問題の背景と、それに対する数理モデルからのアプローチの先行研究を紹介している。農耕民族の密度を変数に持つFisher-KPPモデルや、農耕民族と狩猟採集民族の相互作用をモデル化した2変数反応拡散系があげられる。ところが、これらのモデルでは一定の移動速度で進む進行波解が得られるものの、実証データから得られる移動速度と大きく食い違い、謎になっているということが述べられる。

第2章では、上述したような新石器時代移行に対してすでに提案されている数理モデルを詳細に紹介している。ところが、これらの進行波解の最小速度が実証データから得られる移動速度よりかなり大きく、この食い違いを埋めるために数理モデルを改良して進行速度を低下させるような効果が何なのかという問題を提起する。

第3章では、本論文で提案する3変数反応拡散系が導出される。これは、既存の農耕民族と狩猟採集民族の相互作用をモデル化した2変数反応拡散系に対して、農耕民族を定住タイプ(F1)と移動タイプ(F2)の二つに分けて得られる。定住タイプと移動タイプは同じ農耕民族で、状況に応じて転換すると考える。農耕技術の進歩が進めばより定住タイプに転換しやすいと考えるのは自然であろう。

第4章では、上記の3変数反応拡散系の2次元領域での数値シミュレーション結果を紹介する。初期条件として、狩猟採集民族が占めている領域に、コンパクトなサポートをもつ小さな農耕民族を与えて、最終的に農耕民族が占拠していく様子が農耕技術の程度によらずに確認される。

第5章では、同じ2次元領域でのシミュレーションから農耕民族の拡大していく様子が次第に回転対称に近づくこと、さらにフロントの進行速度も一定値に近づきそれが空間1次元問題の進行波の速度に近づくことが確認された。また、農耕技術の高度化に従い、速度が低下することも確認された。

第6章では、1次元の初期値境界値問題を数値的に解くことにより、進行波の最小速度を求めている。さらに農耕技術の両極限状態で方程式を縮約することで、最小速度を理論的に求め、それが、農耕技術の進歩による速度の低下と整合性があることも示した。

第7章では、再び2次元シミュレーションを行い、農耕技術の進歩や転換率によって、回転対称な拡大解が不安定化することがあることを調べている。

第8章において、3変数モデルにおいて転換速度などの極限をとって得られる縮約方程式に関して議論している。

第9章では、今後の研究の方向性などを議論している。

最後に、付録AからDにおいて、本文中で述べるには煩雑な証明や数値計算手法を与えている。

## 5 論文の特質

本論文は農耕民族の拡大による新石器時代への移行という問題を、数理モデルから考察したもので、現象数理学の可能性を広げる果敢なアプローチである。すなわち古代人類学、数理生態学、数学解析、偏微分方程式の数値計算法など、幅広い知識を融合して得られた結果得られたもので数理と他分野の融合研究としての価値が高い。新石器時代への移行が農耕民族と狩猟採集民族の相互作用による進行波であるという解釈を一步進めて、農耕民族に移動タイプと定住タイプとがあるという味方を提供し、そのモデルによって農耕民族の拡大速度が農業技術の進歩に単調減少に依存することを明らかにした。

## 6 論文の評価

本論文の成果は、新石器時代への移行という問題を、数理モデルから考察した重要な試みであり、数理と他分野の融合研究である。従来の農耕民族と狩猟採集民族の相互作用による2変数反応拡散系モデルにおいて農耕民族に移動タイプと定住タイプとがあるという味方を加味して3変数反応拡散系を提案し、それによって農耕民族の拡大速度を数理モデルから説明できなかったという謎を解消した。数理モデルをより受け入れられるものに改良したことにより、新たな古代人類学的な知見も得られることが期待される。また、本論文で得られた知見は解析的に重要な問題も示唆しており、反応拡散方程式論の新しい研究の方向性を見出した点も高く評価できる。

## 7 論文の判定

本学位請求論文は、先端数理科学研究科において必要な研究指導を受けたうえに提出されたものであり、本学学位規程の手続きに従い、審査委員全員による所定の審査及び最終試験に合格したので、博士（数理科学）の学位を授与するに値するものと判定する。

以 上