

古代東アジアにおける法制度継受現象の数理進化理論的考察 -律令制の日本伝来に関して-

メタデータ	言語: jpn 出版者: 明治大学大学院 公開日: 2023-03-29 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 大塩, 浩平 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10291/00022833

古代東アジアにおける
法制度継受現象の数理進化理論的考察
—律令制の日本伝来に関して—

Mathematical Evolutionary Consideration of the Phenomenon
of Legal System Transplantation in Ancient East Asia
—Regarding the Introduction of the Ritsuryo System to Japan—

博士前期課程 民事法学専攻 2021 年度入学

大 塩 浩 平

OSHIO Kohei

【論文要旨】

本論文は、7 世紀頃における中国・朝鮮・日本を中心とした東アジアにおける法の継受現象である日本への律令制伝来について、各々の国や地域の文化的関係性に着目した数理モデルを用いて進化理論的視点から考察したものである。本研究において文化交流の視点から、中国王朝と高句麗・百濟・新羅の朝鮮三国、そして日本の 3 つの異なる法の接触に対して、反応拡散系、特に競争拡散系に基づいて解析を行なった。律令制の伝来という現象に対し、現在提唱されている中国を起源とし朝鮮三国を経由して日本まで伝来したとする「隋唐起源説」と、朝鮮三国の媒介的役割が律令制の成立要素になったとする「朝鮮三国起源説」の 2 つの比較可能な仮説について、仮説検証として数理モデルから得られる進行波の伝播速度や方向について、集団の環境収容力に着目し、実際の古代東アジア地域で起きた歴史的な現象と照らし合わせ考慮した結果、隋唐起源説が朝鮮三国起源説より妥当性があることを示した。

【キーワード】 数理進化理論、反応拡散系、法の継受現象、古代東アジア地域、律令制

1. はじめに

本研究は法制度、特に律令制の変化と日本への伝来について反応拡散系を用いた数理進化論的な視点から考察及び研究を行なったものである。法制度は国家や社会といった大小様々なコミュニティ間で模倣されるのみならず、部分的な受容や拒絶によって選択的に伝播・拡散し、その環境に適應するように変異する現象も見られることから、長期にわたりどのように文化が進化したのかを記述する文化進化や、数理モデルを用いた数理進化などの学問領域を踏まえた文脈から研究を行うことが可能となる¹。例として日本の法制史においては、体系的な法の継受現象は奈良時代と明治時代の2回行われている²。本研究では扱わないが、明治時代の法制度継受現象においては、明治維新以降近代的な法制度の確立を目指し、プロイセン王国（ドイツ帝国）のドイツ法を中心とした大陸法の影響を受けた³。さらに第二次世界大戦後のGHQの占領下においては、日本国憲法のみならず刑事訴訟法、独占禁止法といった法分野でアメリカ法の影響を受けた⁴。また近代の日本法は、統治の歴史から台湾法や韓国法の基礎ともなっている⁵。しかし、法制度は受容されるだけでなく、拒絶される状況も考えられる。有名なものとして、社会の基底構成単位である家族に関する固有法である親族法や相続法といったものは単純に受容されず、抵抗が大きいという事実がある。例として、十月革命後に西トルキスタン地方において、外来のソビエトの社会主義的婚姻法と、固有のイスラーム法が激しく対立した（福島（1968））。法制度の継受アルゴリズムは模倣や選択、変異、拡散といった地域や時代を超えたある程度の普遍性がありながら、その土地の歴史や祭祀、儀礼、文化なども絡まった特殊性、非局所的な構造を併せ持つと考えられる。このように人類が数千年か

¹ 本研究において実際の社会現象を数理モデルによってモデリングし、その方程式（系）の解の振る舞いに基づいて実現象の解釈や考察を試みるものを数理進化として考えており、集団中の文化的構成の時間変化についての研究を行う文化進化や、Spencerらが提唱した社会進化と数理進化は区別可能な程度に異なるものと捉えている。本研究においては生態学的視座から環境収容力、数理生物学/集団遺伝学的視座から適応度という概念を取り込むことによって、法の継受現象を生物学の進化の拡張型・展開型として考察を行うものとする。

² 「継受」という日本語の英訳について、他国の法制度を採用することの対訳として用いられるReception（ドイツ語でRezeption）や、相続や継承という意味でのInheritanceではなく、Transplantationを採用したのは、古代という時代設定に加えて、法の継受に対して比較法学的な文脈から単なる外国法の受容のみならず、創造性を含むものと解釈される（Béatrice（2005））という視点に基づいている。Transplantationの本来の意味である「移植」による周辺組織や周辺環境への影響という意味も含めて用いている。また、本研究では法秩序全体にわたる全面的継受と特定の法領域に限定される部分的継受、加えて立法的継受と司法的継受といった細分化されたものでなく、法の継受現象を包括的に（あるいは曖昧さを含めたまま）研究している。

³ 日本におけるドイツ憲法の影響に関しては沢木（1961）、齋藤（2011）を参照。

⁴ 日本国憲法については丹羽（2003）、刑事訴訟法については川出（2014）、反トラスト法及び独占禁止法についてはFirst（1994）を参照。

⁵ 台湾法の継受現象についてはこれまで4度行われていると考えられており、日本法の影響は民法や民事訴訟法、刑法など幅広く及んでいる（鈴木（2012））。また韓国法については、法体系や判例等日本法の影響を受けているものの、近現代においては独自の発展を遂げており、その影響は少なくなったと考えられている（高（2016））。

け変化させてきた支配構造や統治機構、紛争解決機能を進化論の視点から研究するのは、法社会学という領域にとどまらず学術的に重要であると考えられる。

しかし、上記の内容を「全て」含めた世界中のあらゆる法制度に対応可能な妥当性 (validity) かつ堅牢性 (robustness) があるモデルを構築し一般理論化するというのは、あまりに複雑であり困難である。そこで、本研究においては分析対象とする時空間要素を限定する。具体的には対象となる環境を古代東アジア地域とし⁶、中国で律令制が成立し、日本まで伝来した7世紀頃(奈良時代近傍)までを中心として、当該状況下でなぜ中国から日本へと律令制が伝播し機能するようになったのかについて、反応拡散系を用いた数理進化理論的な視点から考察した。鄭(2019)によれば、中国から朝鮮三国(新羅・百済・高句麗)を通じて日本へと伝来したルートが有力視されており、7世紀日本における律令の起源に対して「隋唐起源説」と「朝鮮三国起源説」というシンプルかつ比較可能な2つの説が考えられている。「隋唐起源説」では、朝鮮三国の文化や法制度が与えた律令制への影響は限定的であり、高句麗や百済、新羅の国々は律令制が日本へ伝来するまでの経由地として考えられている。もう一方の「朝鮮三国起源説」では、高句麗や百済、新羅といった国々が律令制へ影響を与え、該当する三国を媒介することによって律令制が変化した上で、日本まで伝来したと考えられる。本論文ではこれらの2つの説それぞれに妥当性があることを踏まえて、環境収容力、数理モデルの解析によって得られる進行波、個体学習における適応度の観点からこの現象を捉え直し、数理進化理論的な独自の考察を与えるものである。環境収容力はある環境条件(空間)の中で特定の種が維持しうる最大個体数を表している。適応度という言葉には古典的な個体適応度(fitness)として子孫をどれだけ残せるかの値、すなわち繁殖成功率としての意味と、特定の対立遺伝子を持つ他の個体まで適応度を拡張した包括適応度(inclusive fitness)という使い分けがなされるが、本研究では社会性を持つ人間の行動の進化について扱うため、個体の行動である法という高度なスキルの学習が包括適応度を増大させる方向に進化する、という立場から検討する。以下のように包括適応度を定義する⁷。

包括適応度 (F_i) = 直接的適応度⁸ (F_d) + 助けた個体の適応度の増分 (Benefit: B)

× 血縁度⁹ (relatedness: r) - 利他行動による直接的適応度の減少分 (Cost: C)

⁶ 現代東アジア地域の日本における定義として、日本外務省のODA(政府開発援助)について記載されたホームページ (https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/region/e_asia/index.html (2022年9月11日閲覧))によればインドネシアやタイなどの東南アジア地域も含めて記載されているが、本研究ではより狭い東アジアとして中国王朝(隋や唐)や朝鮮諸国(朝鮮半島を支配した国々)、そして日本(倭)に着目したため、インドシナ諸国への律令制の継受現象については本研究領域の対象外とする。ベトナムにおける律令制の影響については松尾・深沢(2016)を参照。

⁷ この表現は国立大学法人東京農工大学テニュアトラック事業 小山哲志氏の資料より引用した。

(<http://www.tenure-track-tuat.org/tenure/uploads/20161201104437.pdf> (2022年9月18日閲覧))

⁸ 直接的適応度は生殖や子供の世話による自身の繁殖成功率合いを表す。

⁹ 血縁度は個体間の遺伝子の共有度合いを表す。

Hamilton (1964) で提唱された Hamilton's Rule (ハミルトン則) によれば、 $Br - C > 0$ の時利他行動が進化することを説明した。この時自分の「利他行動に関する対立遺伝子」の包括適度度が上昇する。環境収容力が向上すれば直接的適度も向上すると考えられるが、包括適度と環境収容力については直接的な関連性はないものとして考える。

第2章では、実際の現象をこれまでの文献内容などに基づいて分析を行い、律令制の伝来がある種の「進行波」として日本まで届いた、という時空間的な変遷の説明を行う。本研究においては、朝鮮三国起源説へアプローチするため、謀反罪や窃盗罪、強盗罪、殺人罪に対する処罰規定について定めた法令に着目した¹⁰。現象の分析には、日本と中国の双方からの律令制に関する法制史に着目している。着目すべき点として、各国間の対立や協調といった相互関係に基づく政治・経済・文化的要因や、人々の往来といった人的要因を超えて高句麗→百済→新羅→日本という順番で律令が何らかの波のように伝播している、という部分である。これを詳しく分析することで、日本への律令伝来要因の分析のためのモデル化が可能になる。

第3章では、第2章での歴史的な事実を踏まえて、反応拡散系を応用したモデル化を行い、数学的な議論に加えてコンピュータを用いた計算結果を示す。この時、法という固有のスキルに着目し、文化を受容する側にも数理モデルを構築し、かつ国際秩序的な視点から律令法伝播及び拡散のダイナミクスについて考察した。本研究では方程式系の「進行波解」に注目することで、その速度や方向に着目し律令法制度継受について数理モデルの視点から解析を行った。本章において、隋唐起源説については2変数競争拡散系、朝鮮三国起源説に対しては、3変数競争拡散系に基づいた解析を行った。2変数の場合には拡散効果を無視した競争系の計算を起点として、モデルの平衡点と環境収容力の変化に着目した議論、そして競争拡散系に話を戻して文化要素の進行波の速度と進行方向について議論した。3変数の場合には、解の挙動が複雑であるため、数学の厳密な議論には踏み込まずに先行研究によって得られている理論的な結果に基づいて議論を行った。

第4章では、第3章での結果を踏まえてその数理進化理論的な解釈を行った。第2章で示した「隋唐起源説」と「朝鮮三国起源説」の妥当性と、それらを複合的に捉えた数理進化理論的な解釈を考察する。固有法と比較してより高水準な法が導入される際に、環境収容力がどのように変化したのか、歴史的な事実も踏まえて考察を行った。

2. 文献内容に基づいた律令制伝来現象の分析

日本法制史にとって、律令制の登場は日本の古代法における大きな転換点となった。日本におい

¹⁰ 律令国家というより大きな国レベル・行政レベルの枠組みで考えれば、統治組織や郡国里制、官制や司法制度、そして民衆支配のための籍帳制度（戸籍のシステムや班田収授法による耕地分配、税制としての租庸調の仕組み等）、兵役や身分制度に至るものまで、その多くは唐から持ち込まれたものであるとするのが通説である。この時点で隋唐起源説が正しく、朝鮮三国起源説は誤りではないかと推察されるかもしれないが、数理モデルを用いた数理進化論的視点から日本律令への新羅、高句麗や百済からの影響について考察の余地があるものと考えている。

て7世紀頃から律令法典が編纂・施行された。律令法導入の契機は、(1)7世紀における大化改新を中心としたヤマト朝廷内部での権力闘争という内的要因と、(2)高句麗・百済が新羅を攻撃したことを契機として、唐が高句麗遠征のために新羅・百済に兵を促し、その機に乗じて百済が新羅を攻撃する、といった朝鮮三国および唐をめぐる動乱という外的要因から生じた国際的危機の克服であった。近江令や飛鳥浄御原令(681年編纂, 689年施行)¹¹、刑部親王や藤原不比等らを中心に編纂を行った大宝律令(701年制定, 702年施行)、大宝律令を改定した養老律令(718年編纂, 757年施行)といったように、100年以上かけて律令法に基づく国家を形成した¹²。日本の律令制は天皇を君主とし、支配機構や官僚機構を編成し、戸籍や税制などを整備して人民を支配・統治する中央集権国家の基本法として制定された¹³。日本の律令は唐律令を「直接の」母体として編纂されたものであり、隋唐起源説は有力と考えられる。

一方の中国王朝や朝鮮三国の律令制の状況についてまとめておく¹⁴。古代東アジアにおいて中国王朝は文化的・軍事的に強大であった。中国における法の形成は、古くは紀元前221年の秦による中央集権国家の形成であり、その統治手段として法が重視された。しかし厳格な法治は秦の滅亡を招き、漢代には儒教の国教化と法典編纂へ利用が進められ、徳に基づく政治が法に組み込まれた。その後官人制、均田制、租庸調等の整備によって581年に中国を統一した隋律令へ至ることとなった。

朝鮮における律令制については、中国の視点から律令が中国王朝(隋と唐を仮定)から朝鮮三国へ伝播し、固有法と交雑することで成文化したという記録が残っている。最も早く到達したのは高句麗(前37年-668年)とされており、漢代の原始律令が楽浪郡(前108年-313年)・帯方郡(204年-313年)を経由して4世紀前半に伝播し、後半に慣習法を成文化している。次に、百済(前18年-660年)では3世紀前半の原始律令が帯方郡を経由して4世紀前半に伝播し、5世紀前半に成文法として頒布されている。そして新羅(前57年-935年)では漢代の原始律令が楽浪郡・帯方郡を経由、加えて3世紀前半の中国王朝の原始律令が帯方郡を経由し、さらに高句麗と百済の影響によって6世紀頃に固有法が律令的な性格を帯びることとなった¹⁵。この固有法と交雑した結果生じた律令ベースの法が果たして中国王朝由来の律令と明確に異なるものと言えるのか、そして經由するのみではなく媒介した役割が説明可能なのかというのは疑問であると同時に、この論点が

¹¹ 近江令に関しては単行法令の集成程度と考えられており、飛鳥浄御原令については『日本書紀』の記載などから体系的な法典として編纂されたものではなかったと考えられている。

¹² 日本国内では行政法規である「令」、その後刑法(刑罰法規)である「律」を編纂、施行した。律令法導入の契機を考えれば、政治的なシステムの改善を急いだと考えられる。

¹³ 日本法制史に関しては、牧、藤原(1993)や出口、神野、十川、山本(2018)を参照。

¹⁴ 中国法制史に関しては滋賀(1993, 2003)を参照。律令制に関しての内容については、井上、関、土田、青木(1976)や大津(2008, 2020)を参照。

¹⁵ 楽浪郡・帯方郡については本研究の対象外であるためあまり触れることはない。これらの地域が中国の行政組織であったため地理的な起点となって律令制が朝鮮半島の諸国へ伝播したのと考えられるが、詳細については資料が乏しく不明瞭である。

朝鮮三国起源説の妥当性の証明になると考えることができる。朝鮮三国の媒介的役割を裏付けるものとして律令の内容に目をむけると、殺人罪や窃盗罪などの民間関係の「律」における処罰規定や、官人関連の「令」には唐律令の影響や日本固有の要素が見られる反面、謀反罪や官人収賄罪など政府機関関連の「律」における処罰規定には朝鮮三国との類似性が見られる、とされている（鄭東俊（2019））。これまでの議論として、文書断簡や木簡などの史料に基づいて、百済の法制度には唐令の影響が見られることについても言及されている。日本における朝鮮三国からの影響の分析として、主に百済についての内容が多く見られ、鬼頭（1978）によれば7世紀後半における日本の官制が百済の影響を受けて成立したことや、井上（1976）は税制における7世紀中頃における百済と日本の法制度継受関係を推測している。

地理的に考えれば、西側に位置する唐（隋）からより東側に位置する国々へ徐々に律令制が広がっていった、という時空間的な変遷が見て取れる。表にまとめると以下のようになる。

国名	律令伝来時期 ¹⁶	成文化	地理	宗教
高句麗	4世紀前半	4世紀後半	朝鮮半島北部	仏教、道教等
百済	4世紀前半	5世紀	朝鮮半島南西部	仏教、儒教、道教等
新羅	6世紀前半		朝鮮半島中部以南	仏教、儒教、道教等
日本	7世紀前半	7世紀後半		仏教、（神道）等

Table1：朝鮮三国及び日本のデータ（伝来時期・地理・宗教）¹⁷



Figure1：唐・朝鮮三国・日本の周辺地図（7世紀頃）¹⁸

¹⁶ 『三国史記』によれば律令継受は最初に高句麗（373年）、次いで新羅（520年）と記されているが、本研究では表にあるような継受を想定して今後の議論を進める。

¹⁷ 朝鮮半島の人口については、『中国史書』や『東史補遺』などから推定できるものの、推定値の差が大きいため記載しなかった。また日本の人口に関しては『日本国史図』によれば聖武天皇時代の人口は4,276,800人、社会学研究所（1974）『日本列島における人口分布の長期時系列的分析：時系列推計と要因分析』によれば700年ごろの人口は5,230,000人程度という調査結果がある。

¹⁸ この地図は白地図専門店、東アジア大陸全図の白地図の一部を用いた。地域名については著者記入。（http://www.freemap.jp/item/asia/kouiki_east.html（2022年9月16日閲覧））

これらの状況を踏まえて律令制の継受現象の分析を進めるためには、律令法の根底にある表象されない概念や、漢字などの文字によって記載されたものなどの、混合的かつ多層的「情報」がどのように伝達されているかについて考える必要がある。生物進化の場合であれば遺伝によって情報が伝達される。文化形質は遺伝による情報伝達ではなく、他個体から刷り込みや条件付け、観察、模倣、直接的な教示などの社会学習 (social learning) によって情報が伝達される¹⁹。社会学習の例として、模倣は「ある個体の行動のあり様をコピーすること」と定義される (Whiten, Ham (1992))。また教示 (teaching) は 1. 個体 A が、知識を持たない個体 B がいる場合にのみ行動を変え、その際に何らかのコストを支払うか、少なくとも即時的な利益を得ることがない。2. A の行動は、B にある行動を促したり経験を与えたりする。3. それによって、B はある知識や技術を、A の行動がない場合に比べて効率的に (または早く) 獲得することができる。と定義される (Caro, hauser (1992))。これらの社会学習に該当する行動を遺伝 (replication) に相当すると考えれば、変異 (mutation) に該当するのは他個体との相互作用を伴わない個体学習 (individual learning / asocial learning) である。また選択 (selection) に該当するのは文化選択 (cultural selection) と呼ばれる。個体学習は新しい文化形質をもたらす、新しい文化形質をもたらす様な個体学習をイノベーションと呼ぶ。文化選択は他よりも高機能であるがゆえに起きる場合もあれば、学習が容易だから起こる場合もある。

律令制に関して言えば、社会性を持つ他の個体も口伝による伝承や文字を用いた文書や書物に基づいて、上記のような模倣や教示を中心に社会学習を行い「律令法スキル」を学習した方法が最も有力と考えられる。法に関わる高度な情報、法的な固有概念や思考スキルの習得といったものは、社会学習が最も効率的であると考えられるが、自らの国や地域にマッチするような法システムの設計のためには単なる社会学習ではなく、優秀な個体学習による新たな法の創造・創発や、他の個体が理解し運用できるような環境を作るための法文化選択といったものの重要となると考えられる。そのため、このような過程について、次章以降競争拡散系の決定論に基づいた数理モデルを用いて、学習に関する数理進化理論的なフレームワークで考えていくこととするが、ここまでの分析を踏まえて律令制の伝来に関して以下の仮説が成り立つと考えられる。

(仮説 1) 中国王朝から日本にかけて波状に律令システムが伝播・拡散していると仮定する。特に日本は中国王朝と朝鮮三国のような地理的な連続性がない孤立した島国であるにもかかわらず、波がほぼ同じ速度で (減速することなく) 伝播している。律令制に関連する情報の伝播や拡散は社会学習や個体学習によって生じる。ここでは、この波を進行波と呼ぶ。

(仮説 2) 進行波は律令制の成立に必要な情報によって構成されたものであり、波の形状や速

¹⁹ ここでの学習の定義は「情報の獲得全般」であり、文化形質は「刷り込みや条件付け、観察、模倣、直接的な教示の結果の如何を問わず何らかの非遺伝的なプロセスによって学習される形質」を指している (Cavalli-Sforza, Feldman (1981))。

度、方向に違いがあるものが複数存在すると考えられる。この進行波のうち、統治や支配に関しての諸機能の向上が見込まれないものや学習の難易度が高いもの等は文化選択の影響を受け不安定となり、最も安定的なもの（のみ）が継受に関わったものとする。

（仮説3）進行波は一定の速度未満であれば到達する前に消失してしまい、それ以上であれば伝播・拡散したものとする。また進行波の進行方向は中国王朝から日本への向きを正として考える。ただし日本や朝鮮から中国王朝に対して、また日本から朝鮮への律令制に関しての負の方向のフィードバックがあったという状況は仮定しない。

そこで、第3章では法を特定かつ少数の集団が持つ固有スキルとしてみなし、他のスキルとは区別して数理モデルを構成し、計算を行う。

3. 反応拡散系によるモデリングと数学的視座からの議論

第2章での内容を踏まえて、数理進化理論からの考察のために数理モデルを用いた計算を行う。数理モデルを用いる理由として、①大規模データの解析における作業量の節減、②個体数、密度といった本研究で用いる変数およびそれらの関係性など仮定の明確化、③仮説の検証、理論構築の補助、方法論の構築、などが挙げられる（田村（2020））。本研究においては、特に③の仮説検証を中心に用いる。

本研究では、律令制について政治や経済といった諸要素の中から、特に文化交流とその変化に基づいて律令制の分析を行っている。これまでは、文化の中心部から周辺に最先端の文化要素が伝播する文化伝播論が支持され研究が行われてきた。律令法については、この理論が当てはまる傾向が強いと考えられる。人々の交流や書物の往来によって異なる固有法やそれに基づいた生活習慣や文化などが接触することで、司法や立法、行政に関連する官僚や知識人などの一部の優秀な個体による個体学習のみならず、法に関連する知識や規範が社会やコミュニティ内で模倣・教示することで共有される社会学習によって法制度が継受される。この際社会学習によって、知識の共有とそれらの手続きについての理解や学習を含めて考えている。本研究において文化交流に重点を置いた理由は、文化を受容する立場の反映かつ国際秩序的な視点が必要となるからである。このような理由から、本研究では中国王朝、朝鮮三国、そして日本の3つに変数を設定し、それぞれの相互作用に対して、反応拡散系、特に競争拡散系と呼ばれる数理モデルを用いて考察した。

反応拡散系とは、空間に分布された一種あるいは複数の物質の密度が物質同士互いに変化するような局所的な反応と、物質が空間に広がる拡散の2つのプロセスによって変化する様子を数理モデル化したものである。このような空間的構造の時間変化は、発熱反応における温度分布の時間的変化や、溶液中の化学反応、生物個体群の密度変化といった様々な自然現象へ応用でき、化学や物理学のみならず、生物学や集団遺伝学といったものまで普遍的に見られる。このモデルを文化史学分

野の研究へ応用したものが若野教授らを中心とした一連の研究成果である²⁰。これらの研究では、旧石器時代のアジアを舞台に用いられているため、ここで用いられている手法をそのまま本研究にも応用するのではなく、一部を律令制の伝来状況に合わせて改造することで律令制の伝来の考察を行うものとする。文化進化プロセスである社会学習と個体学習を直接記述したのではなく、反応と拡散という簡潔な反応にこれらの解釈を付与したと考えるのが本研究で用いる数理モデルの根底にある意味である。

3.1 伝播・拡散モデリング

「隋唐起源説」および「朝鮮三国起源説」をモデル化すると以下ようになる。

・隋唐起源説（経路的役割）

中国王朝 (A) → 朝鮮三国 (IL (朝) + A → A') → 日本 (IL (日) + A' → B)

・朝鮮三国起源説（媒介的役割）

中国王朝 (A) → 朝鮮三国 (IL (朝) + A → B) → 日本 (IL (日) + B → C)

ただし、IL (朝)、IL (日) はそれぞれ朝鮮三国、日本の固有法 (Intrinsic Law) であり、「I」は一部のみが変容し、ほぼそのままのものとする。隋唐起源説では、日本まで伝来した律令制は唐や隋で発展した内容をほぼそのまま継受した形になる。本現象の挙動を記述するにあたって、該当する時間変数 t と、それに対応した次元空間変数 x を用いて、状態変数 $N_i(x, t)$, $Z_i(x, t)$ を反応拡散系で表現する。この数理モデルは、法的拘束力をもたない社会的規範を構成する要素、現代の表現として言い換えればソフトローのような違反すれば経済的・道義的な不利をもたらす要素に対して表現される総密度を表現する変数 $N_i(x, t)$ 、その中で法的拘束力を有するその国や社会において固有のスキルとして捉えることが可能な法スキル密度変数 $Z_i(x, t)$ を表す。添字 i はそれぞれ 1 (中国王朝)、2 (朝鮮三国)、3 (日本) となる。すなわち、 $N_1, N_2, N_3, Z_1, Z_2, Z_3$ の 6 本の方程式によって律令制の継受現象を数理モデルで表現する。

まず $N_i(x, t)$ ($i = 1, 2, 3$) について、社会的規範はその地域の宗教などに基づいた生活様式や文化的背景に基づいて形成されたと考え、その当該地域における環境収容力に向かって増加し続ける、言い換えれば密度が飽和状態となる値に向かって増加するが、その値を超えることができないと考える。環境収容力を K_i とした時、隋や唐を起点として高句麗・百濟・新羅や日本へ多くの文化が伝播し拡散したと考えると、以下のように数理モデルを構成する。

²⁰ 文部科学省科学研究費補助金 新学術領域研究 (研究領域提案型) である「パレオアジア文化史学」のうち、「人類集団の拡散と定着にともなう文化・行動変化の現象数理学的モデル構築」を研究計画として 2016 年から 2020 年にかけて行われた多くの研究とその成果に基づいて、本研究のモデルの構築にも応用している。

$$\frac{\partial N_1}{\partial t} = D \frac{\partial^2 N_1}{\partial x^2} + r_1 N_1 \left[1 - \frac{N_1}{K_1} \right], \quad (1)$$

$$\frac{\partial N_2}{\partial t} = D \frac{\partial^2 N_2}{\partial x^2} + r_2 N_2 \left[1 - \frac{N_2 + aN_1}{K_2} \right], \quad (2)$$

$$\frac{\partial N_3}{\partial t} = D \frac{\partial^2 N_3}{\partial x^2} + r_3 N_3 \left[1 - \frac{N_3 + bN_1 + cN_2}{K_3} \right]. \quad (3)$$

このモデルは、律令制というシステムの下地となっている人々の社会規範、宗教等に基づく価値観を構成している変数についての方程式系である。律令制について考えてみれば、新羅や日本では漢字の受容やそれに基づいた儒教や仏教等の中国文化を多く取り入れていることが明らかになっている²¹。律令制の根底となっている漢字の影響、儒家や法家の思想²²、仏教の教えなどもこちらに含まれているとして考えることが可能である²³。

方程式に含まれるパラメータについて説明する。 x の二回微分（ラプラス部分）が拡散項であり、残りの項が反応項である。このモデルにおける拡散項の D は拡散係数と呼ばれる定数であり、人間の行動のランダム性による情報の拡散を想定し、一部の人々によるルールやマナー、モラル形成とその広がりといった現象が生じるという考察が可能である。本研究において拡散の効果は異なる地域であってもある程度同じであると考え、 D は式(1)～(3)で共通と置いている。反応項における $r_1, r_2, r_3 (r_1 \geq r_2 \geq r_3)$ はそれぞれ中国王朝、朝鮮三国、日本における内的自然増加率と呼ばれる定数であり、その生物が持つ最大の繁殖増加率を表し、人口増加を考慮している。 a, b, c は種間競争係数と呼ばれる定数であり、 $a > 0, b > 0, c > 0$ とすることで外部から侵入してきた規範意識と、その土地で形成された固有の規範意識の間で相互作用が生じていると仮定する。式(2)では、朝鮮三国には中国王朝からの社会規範に関する情報が侵入・伝播してきたことを表現しており、同様に式(3)では日本に中国王朝と朝鮮三国の双方から社会規範に関する情報が流入したと想定している。本研究では、この式(1)～(3)を解析することで考察を行う。

次に $Z_i(x, t)$ ($i = 1, 2, 3$)についても同様に数理モデルを構築する。該当する国や地域で生まれた新生児や、異なる土地から移動してきた人間（ここでは例として遣隋使や遣唐使などを想定している）は、当然対応する法スキルを所持していないというのは明らかである。それらの個体が法ス

²¹ 西嶋（2000）において提唱された「東アジア世界論」に近いイメージである。古代東アジア地域として、漢字を媒介とした中国起源の儒教や仏教、そして律令を受容した地域を指す。

²² 古代中国における国家や社会秩序を維持する規範として、礼、楽、刑、兵があり、儒家の徳治主義は礼・楽を重んじ、法家は法治主義として刑・兵を重んじた。

²³ 実際の市民生活に目を向けてみれば、律令制に基づく積極的な開墾政策により耕地面積の拡大や生産量の増加、経済成長に寄与していたことも指摘されている（高島（2016））。そのため、固有スキルとみなされる変数 Z_i のみならず、より大きな集団に対しての環境収容力や適応度に影響を与えたパラメータは N_i であると考えることも可能である。

キルを獲得するには次の2つを想定する。

条件 1. 集団中の法スキルを持つ個体から模倣・教示などにより社会学習

条件 2. レート e で独自に個体学習

条件 1 に関しては、中国王朝における社会学習は式 (1) より単位個体あたりの増加率

$$r_1 \left[1 - \frac{N_1}{K_1} \right] \quad (4)$$

が N_1, Z_1 で等しくなることで表現する。朝鮮三国や日本においても式 (2), (3) から同様のよう
に考える。法スキルを持つ個体がレート g で死亡して減少するとし、条件 2 からレート e で独自
に個体学習することでスキルを習得、あるいはスキルを習得したにもかかわらず消失（忘却）する
のを以下のように表現する。

$$e(N_i - Z_i) - gZ_i \quad (5)$$

加えて Z_2 が Z_1 にレート h で変化する、そして Z_3 が Z_1 や Z_2 にレート k で変化することが想定さ
れる点である。これらの効果も含めた固有法スキル変数 $Z_i(x, t)$ についての反応拡散方程式系は次
のようになる。

$$\frac{\partial Z_1}{\partial t} = D \frac{\partial^2 Z_1}{\partial x^2} + r_1 Z_1 \left[1 - \frac{N_1}{K_1} \right] + e(N_1 - Z_1) - gZ_1, \quad (6)$$

$$\frac{\partial Z_2}{\partial t} = D \frac{\partial^2 Z_2}{\partial x^2} + r_2 Z_2 \left[1 - \frac{N_2 + aN_1}{K_2} \right] + e(N_2 - Z_2) + h(Z_1 - Z_2) - gZ_2, \quad (7)$$

$$\frac{\partial Z_3}{\partial t} = D \frac{\partial^2 Z_3}{\partial x^2} + r_3 Z_3 \left[1 - \frac{N_3 + bN_1 + cN_2}{K_3} \right] + e(N_3 - Z_3) - kZ_3(Z_1 + Z_2) - gZ_3. \quad (8)$$

変数 Z_1 が律令法を表しており、律と令のどちらも含まれたものである。

式 (6) ~ (8) は非常に複雑な方程式系であり、ある程度単純化が必要となるが本研究ではこれ
らの方程式系についての解析は行わない。注意すべき点として、(1) ~ (3) の数理モデル及び
(6) ~ (8) の数理モデルにおいて、 $N_i(x, t)$ から $Z_i(x, t)$ への影響は考慮されているものの、
 $Z_i(x, t)$ から $N_i(x, t)$ への影響は考慮されていないが、本来であればその影響も考えなくてははいけ
ない。本研究では第 4 章において式 (6) に含まれる法創造エンフォースメントレート e について
の適応度を用いた議論と、固有法から律令法へと変化するレート h, k についての考察にとどめる。

3.2 2変数競争拡散系を用いた隋唐起源説に関する考察

ここからは極端な仮説として、朝鮮諸国の律令への影響が限定的であるとする隋唐起源説の考察のため、本項では一時的に $\frac{\partial N_2}{\partial t} = 0, \frac{\partial Z_2}{\partial t} = 0, c = 0$ とし、(1), (3) の2本の方程式からなる方程式系を考える。

さらに、計算の簡略化のため拡散項 $D \frac{\partial^2 N_1}{\partial x^2}, D \frac{\partial^2 Z_3}{\partial x^2}$ を無視して考えると、式(1), (3) は次のような拡散の効果は無視した常微分方程式系に書き換えることができる。

$$\begin{cases} \frac{dN_1}{dt} = r_1 N_1 \left[1 - \frac{N_1}{K_1} \right], \\ \frac{dN_3}{dt} = r_3 N_3 \left[1 - \frac{N_3 + bN_1}{K_3} \right] \end{cases} \quad (9)$$

この方程式系(9)は、有名な競争系(拡散項が含まれていれば競争拡散系)と呼ばれる方程式系に類似している。

$$\begin{cases} \frac{dN_1}{dt} = N_1[\alpha - \beta N_1 - \gamma N_3], \\ \frac{dN_3}{dt} = N_3[\alpha' - \beta' N_1 - \gamma' N_3] \end{cases} \quad (10)$$

ただし、係数 $\alpha = r_1, \beta = \frac{r_1}{K_1}, \gamma = 0, \alpha' = r_3, \beta' = \frac{r_3 b}{K_3}, \gamma' = \frac{r_3}{K_3}$ である。この方程式系(7)の平衡点は $(N_1, N_3) = (0, 0), (K_1, 0), (0, K_3), (K_1, K_3 - bK_1)$ で4つ存在する。このうち $r_1 > 0, r_3 > 0$ から、 $(0, 0), (K_1, 0), (0, K_3)$ は全て不安定な平衡点となり、 $(K_1, K_3 - bK_1)$ は唯一の局所安定な平衡点となる²⁴。

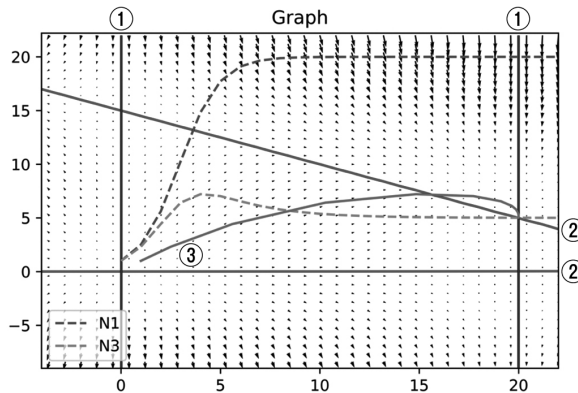


Figure2 : $\frac{dN_1}{dt}, \frac{dN_3}{dt}$ の相平面 ($r_1 = r_3 = 1, b = 0.5, K_1 = 20, K_3 = 15, \text{初期値 } N_1(x, 0) = N_3(x, 0) = 1$)

①は $\frac{dN_1}{dt} = 0$ のヌルクライン²⁵, ②は $\frac{dN_3}{dt} = 0$ のヌルクライン, ③は (N_1, N_3) の解軌道。矢印はベクトル場。

²⁴ 平衡点の計算と安定性については補足のページで説明する。またヤコビ行列と固有値の計算をせずとも、(10)における係数の条件から式(9)では内部平衡点である $(K_1, K_3 - bK_1)$ が唯一の安定な平衡点となることが示される。さらにこの時、 $(K_1, K_3 - bK_1)$ において $K_1 > 0, K_3 - bK_1 > 0$ となる(二宮(2014))。

²⁵ ヌルクラインとは時間変化する量についての微分方程式が0と等しくなるような点の集合である。

よって

$$\lim_{t \rightarrow \infty} (N_1(x, t), N_3(x, t)) = (K_1, K_3 - bK_1) \quad (11)$$

となる。(11)が示唆することは、この数理モデルに基づいて隋唐起源説が(より)正しいと仮定すれば、種間競争係数が大きい状態、すなわち中国王朝由来の社会規範が日本固有の社会規範と競合する状態となった場合、本来の環境収容力 K_3 から大きく低下してしまうということである。言い換えれば中国由来の社会規範が日本国内で増加することで固有の社会規範が消滅寸前まで減少する、というシナリオが想定される。当時の隋や唐と日本の社会水準・文化水準を比較して、 $K_3 \ll K_1$ ならばこのような状況が起り得たと考えられる。これは実際、律令制の導入により日本社会を統治するシステムの性能は大きく向上したと考えられ、導入以前のシステムの利用価値が低下し利用されなくなった結果、日本社会に大規模な変革が起きたと考えるのが隋唐起源説に基づいた考察の結果から得られるものである。

しかし $K_3 - bK_1 > 0$ から K_1 を大きくしても、 K_3 が完全に 0 となることはない。言い換えれば、完全に日本の社会規範が消滅してしまうことはなく、ニッチな領域で生存する可能性があるということでもある。実際「令」の一部には日本固有の要素が見られるとあるため、この数理モデルから得られる示唆と文献資料に記載された内容がある程度一致していることが分かる。律令制の導入により内憂外患状態が緩和され、社会の維持能力や生存能力が向上したと考えられる。隋唐起源説のように朝鮮三国の影響をあまり受けることなく日本まで律令制が伝来したとする説をより詳細にシミュレーションするため、方程式系(7)に拡散項 $D \frac{\partial^2 N_1}{\partial x^2}, D \frac{\partial^2 N_3}{\partial x^2}$ を戻して競争拡散系についての進行波解について考えてみる。

$$\begin{cases} \frac{\partial N_1}{\partial t} = D \frac{\partial^2 N_1}{\partial x^2} + r_1 N_1 \left[1 - \frac{N_1}{K_1} \right], \\ \frac{\partial N_3}{\partial t} = D \frac{\partial^2 N_3}{\partial x^2} + r_3 N_3 \left[1 - \frac{N_3 + bN_1}{K_3} \right] \end{cases} \quad (12)$$

ただし方程式系(12)は有界領域 Ω において $x \in \Omega$ であり、反射境界条件 $\frac{\partial}{\partial \nu} N_1 = \frac{\partial}{\partial \nu} N_3 = 0 (x \in \partial\Omega)$ を満たす²⁶。また初期条件は正 $N_1(x, 0) > 0, N_3(x, 0) > 0$ として考える。この時方程式系(12)も、(11)の条件を満たすことが分かっている(Mottoni (1979), Ahamed, Lazer (1989))。進行波解は形状 ϕ が時刻 t によらず一定で、一定速度 s で平行移動する解である。すなわち動座標 $z = x - st$ を用いて $(N_1(x, t), N_3(x, t)) = (U(z), V(z))$ の形の解である。進行波解の満たす方程式は

²⁶ この意味は、計算可能な情報 x は有限であり、有界な領域内で計算していることを示している。境界条件については、外向き法線微分 $\frac{\partial}{\partial \nu}$ を用いて、情報がそのまますり抜けないように境界上 $\partial\Omega$ で反射するよう設定した。

$$\begin{cases} -sU' = DU'' + r_1U \left[1 - \frac{U}{K_1}\right], \\ -sV' = DV'' + r_3V \left[1 - \frac{V + bU}{K_3}\right] \end{cases} \quad (13)$$

となる。ただし $U' = \frac{dU}{dz}$, $V' = \frac{dV}{dz}$ を置き換えたものである。このとき、先ほどの計算から $(U, V) = (0, 0)$ は不安定であり、 $(U, V) = (K_1, K_3 - bK_1)$ は安定であるから、正の初期条件 $U(0) > 0$, $V(0) > 0$ から出発した解は $(U, V) = (K_1, K_3 - bK_1)$ に漸近する。 $(U(-\infty), V(-\infty)) = (0, 0)$, $(U(+\infty), V(+\infty)) = (K_1, K_3 - bK_1)$ という条件のもと

$$s \geq s_{\min} \equiv \max \{2\sqrt{r_1D}, 2\sqrt{r_3D}\} \quad (14)$$

を満たす任意の伝播速度 s の $(0, 0)$ から $(K_1, K_3 - bK_1)$ への正の進行波が存在することが示されている。このとき、 $s < s_{\min}$ となる正の波は存在しない²⁷。

また方程式 (1) は Fisher 方程式と呼ばれ、等速進行波解

$$U(x, t) = \phi(x - st) \quad (15)$$

を持つ。この進行波の速度 s について、 $N_1 = 0$ 近傍での線形化による解析から最小速度 s_{\min} が

$$s_{\min} = 2\sqrt{r_1D} \quad (16)$$

となること、そして一般的な初期分布に対して解はこの等速進行波解に収束し、この s_{\min} に対応する速度の等速進行波解は安定であることも知られている（若野 (2016)）。 $r_1 \geq r_3$ を仮定していることから (12) と (14) は一致する。ここでの等速進行波というイメージは、律令制という大規模なシステム内にある官制や税制等の複数の要素を統合的にパッケージ化したものの伝播という形で考えている。主要な情報以外にも関連情報の伝来は進行波前後であったと考えるのが自然であるが、それらの情報の伝達速度が s_{\min} 未満ならば正の進行波（中国王朝→日本）が存在せず、かつ一般的な初期分布に対して十分な時間経過後等速進行波に収束するという数学的視座から、律令制についての情報は日本伝来までに一定速度の進行波に収束した、と推察される。現代的な概念を導入すると、第 2 章において個体学習や社会学習による情報伝達について述べたが、安定的な等速進行波状に推移・継承するためには、律令関連の知識が伝達中に減衰・消滅する、あるいは増幅による肥大化・複雑化を避けるため、情報（＝データ構造）と手続き（＝アルゴリズム）を一緒にまと

²⁷ 証明等の詳細な数学的内容については Tang, Fife (1980) や観音 (1997), 二宮 (2007) などを参照。

め、開発効率と可搬性を向上させることが律令制受容の鍵であったと考えられる²⁸。これを当時「うまくやった」人々の努力の賜物である、というのも数理モデルから得られる視点の1つである。そして環境収容力への影響に関して平均寿命と人口について考察してみると、7世紀頃の日本における平均寿命は30歳前後と推定されており（いろは出版（2016）『寿命図鑑』参照）、人口についても脚注で多少触れたように500万人程度と推定されているが、これらの数字は律令制導入前後で大きな増減は確認されていない。また世界的な平均寿命は近代以前で20歳代とされており（Maddison（2010））、近代に至るまで平均寿命はほとんど伸びがなかった。法スキルが経済や政治システムへ大きな影響を与えたとしても、個体レベルの平均寿命や人口動態には関連性があまり見られず、国際秩序的な視点から国家や社会という集団レベルの維持能力や生存能力には影響を及ぼしたと考えられる。

3.3 3変数競争拡散系を用いた朝鮮三国起源説に関する考察

次に3変数の競争拡散系に基づいて朝鮮三国起源説についての解析を行う。3変数の場合は2変数と比較して解の振る舞いが複雑であり、それゆえ第二章で述べた複数の進行波の存在について解析が非常に難しい。3種競争拡散系についての先行研究（Lorenzo（2016））によれば、以下のことが明らかとなっている。

- ①侵入種（今回は N_1 と考える）の内的自然増加率 r_1 の値に依存して競争排他、競争緩和依存が出現する。
- ②3種の競争拡散系の進行波解については r_1 が増大すると安定な進行波解と不安定な進行波解が存在する。
- ③在来2種 N_2, N_3 の進行波解は衝突して消滅する、新たなタイプの進行波解が発生する、反射して逆方向へ向かう、という3つの場合が生じる。

日本における律令に明確な朝鮮(N_2, Z_2)の影響があったと考えるならば、上記の①から競争排他的な状態ではなく競争緩和依存状態となり、前項における考察と②から安定的かつ一定の速度以上及び方向の条件を満たす進行波が中国王朝と同様に朝鮮三国から日本まで伝来したのみならず、③において N_2, N_3 （ないし Z_2, Z_3 ）の相互作用によって新たな進行波が発生した影響によって、部分的に朝鮮三国の影響が混ざり合う形で日本国内における律令制が形成された、という条件をすべて満たすようなパラメータ範囲の時、そしてその時のみ朝鮮三国起源説は矛盾なく成立と言える。仮に新たな進行波が発生するならば、その方向や速度は中国王朝由来のものと独立して、あるいはその波に飲み込まれるようにして、日本まで伝達する必要がある。しかし、第2章での史実に基づいた

²⁸ これは、コンピュータプログラミングで用いられる「カプセル化」という概念に類似している（<https://www.sophia-it.com/content/カプセル化>（2022年9月13日閲覧）参照）。

分析によれば、中国王朝から朝鮮三国を経由あるいは媒介することで日本へ律令やそれに関連する情報を伝達させたというのは間違いなく、朝鮮における法令と日本の律令との類似点はいくつか見られるものの、前項において日本の戦略としていわゆる律令情報のパッケージ化（あるいはカプセル化）により唐律令以外の法源を出来る限り取り入れることなく日本まで伝達することが、等速進行波状に伝達するための必要条件となり得たと考えられる。そのため、①の条件におけるパラメータ r_1 は競争排他的な状況を引き起こす値になったと考えるのが自然である。また③の条件については本モデルでの考慮は難しい。その理由として、まず本研究の数理モデルは日本→朝鮮三国への負の方向のフィードバックを想定しておらず、進行波同士の衝突や消滅などのケースは想定されない²⁹。加えて7世紀頃日本の先進文化輸入先が中国王朝等の特定の国以外にも多様化したのは確かであるが、新たな進行波を発生させるとなれば現代社会で言うイノベーションが起きる状況を表し、史料から「律」に関する類似が見られ処罰規定や処罰方式についての一部情報交換と受容が行われた可能性はあるが、唐律令より高水準な新しい法を作り出したなどの記述はない。そのため、朝鮮三国が日本律令成立の起源となったとは言い切れず、一部には影響があったことは認められるものの、朝鮮三国起源説は隋唐起源説に比べれば弱い主張となってしまふと考えられる。

4. 議論

本研究のような反応拡散系を応用した手法は律令制のような古代のみならず近現代の法システムにも応用可能だろうか、というのは大きな課題である。世界中の任意の場所や時間において、社会秩序の維持、侵犯者の合目的な制裁、商取引のための市場規制といったスキルが、進化論的立場から個体適応度や包括適応度の向上を目的とした、国や社会などのコミュニティの生存や維持にとって有利なものとなる高水準（高度なスキルを必要とし、かつ進化論的に優れているとみなされる）な法が、過去の風習や慣しなどに基づいた非合理的で低水準な法を駆逐する方向へ「必ず」転移すると言えるだろうか。歴史的な事実からも、いつでも新しい法律を導入し続けるといった状況はなく、それゆえ進行波や環境収容力のみでは簡単に答えは出せない。本研究では数理科学を下地として文化という集団レベルでの考察であったが、心理学や文化人類学、民族学といった個体レベルの学問の視点も必要となってくると考えられる。本研究では古代東アジアという特定の時代・地域で考察を行い、パラメータとして取りうる言語（漢字）・宗教といった他の文化要素も絞りやすかったが、現代ではグローバル化によってそのような単純な状況はほとんど存在していない。全ての情報について反応拡散系を用いるならば、パラメータが膨大になり反応項が複雑化してしまうという問題があり、このモデルを応用した研究には限界があると考えられる。本研究では高水準の律令法を中心として低水準の固有法が一部共存する状態、というのが安定した状態という結果が得られたが、これ以外にもパラメータによっては完全にとって変わられる、もしくは法の受容は起こらずに

²⁹ 境界に至るまでに消滅する、あるいは境界線上で反射した可能性はある。

完全に拒絶されるといった結果が得られると予想される³⁰。

次に第3章第1節での式(6)における法創造エンフォースメントレート e と法スキルを持つ個体と環境収容力が適応度にどのような影響を与えるかについて、具体的な計算を試みる。密度 $N_i(x, t)$, $Z_i(x, t)$ を構成する個体群をそれぞれ $n_i(x, t)$, $z_i(x, t)$ とすると、 x を固定して $t = y$ のときの個体群に対しての適応度 $A_i(y)$ は、個体群が y 年間生存する確率 $p(y)$ に対して、社会学習と個体学習による単位個体あたりの法スキル保持個体増加率 $w_i(y)$ の内積

$$A_i = \int_0^{\infty} w_i(y)p(y)dy \quad (17)$$

と定義できる。 $p(y)$ はWeibull分布³¹より m を形状パラメータ、 η を尺度パラメータとして

$$p(y) = \exp\left\{-\left(\frac{y}{\eta}\right)^m\right\} \quad (18)$$

とおく。例として A_1 を計算してみると、 $w_1(y)$ は式(6)から

$$w_1(y) = r_1 z_1 \left[1 - \frac{n_1}{K_1}\right] + E(n_1 - z_1) \quad (19)$$

とできる。 E は指数関数と区別するために大文字とした。またレート g による影響は限りなく小さいものとみなして $-gZ_1$ の項は無視した。 n_1 は式(1)から近似的にLogistic方程式の解

$$n_1(y) \approx \frac{K_1 n_0 e^{r_1 y}}{K_1 - n_0 + n_0 e^{r_1 y}} \quad (20)$$

で表すものとし、以下 $\eta = 1$, n_1 の初期値 $n_0 = 1$, $r_1 = 1$ として式(18), (19), (20)を用いて A_1 を書き下すと

$$\begin{aligned} A_1 &= \int_0^{\infty} w_1(y)p(y)dy = \int_0^{\infty} \left\{z_1 \left[1 - \frac{n_1}{K_1}\right] + E(n_1 - z_1)\right\} e^{-y^m} dy \\ &= \int_0^{\infty} \frac{z_1(K_1 - 1)(1 - E) + Ee^y(K_1 - z_1)}{K_1 - 1 + e^y} e^{-y^m} dy \end{aligned} \quad (21)$$

³⁰ パラメータによっては、 $(N_1, N_3) = (K_1, 0)$ が安定の時、中国由来の規範に完全にとって変わられる、 $(0, K_3)$ が安定の時、受容せず完全に拒絶、そして $(N_1, N_3) = (K_1, 0)$, $(0, K_3)$ が安定で $(K_1, K_3 - bK_1)$ が不安定の時双安定競争系と呼ばれ、初期値(初期状態)に依存して安定平衡点のどちらに収束するかが決まる。

³¹ Weibull分布(ワイブル分布)は機械が故障するまでの期間や生物の寿命などを分析するのに多く用いられる確率分布である(土屋(2010))。

となる。例として $m = 1$ すなわち生存確率が指数分布となるとき³²,

$$A_1 = \frac{EK_1 \log K_1}{K_1 - 1} - \frac{z_1 \log K_1}{K_1 - 1} + z_1(1 - E) \quad (22)$$

となる³³。レート E は社会規範と法的拘束力を持つあるいは実行する法スキルとの比較であり、それゆえ権力者や特定の職業・階級といった限られた範囲でしか律令法関連スキルが継承されることがなく、法が創造されることは容易ではない。そのため $E \ll 1$ とみなすことができる。また A_1 において K_1 を変数とみなして環境収容力が大きくなれば、 $\frac{K_1 \log K_1}{K_1 - 1} \rightarrow \log K_1, \frac{\log K_1}{K_1 - 1} \rightarrow 0$ となるため、適応度 $A_1 \rightarrow E \log K_1 + z_1(1 - E) \equiv E \log K_1 + z_1$ と簡潔に表現できる。これにより、この時代において、律令法スキルを所有する人が増えるほど、加えて法創造が盛んに行われるほど、中国王朝において適応度が上昇し社会や国家の維持能力が向上したということを示している。

社会規範が実際に法となる場面、あるいは他国の異なる法システムを受容する場合には、人間の経済性や効率性が反映されるはずである。すなわち、優秀な個体であれば模倣するだけでなく、実際に日本（や朝鮮三国各々）社会の実情を踏まえて、そのシステムの問題点や課題を意識し現在の政治的問題や経済的問題を克服するために個体学習や社会学習、文化選択を行うと考えるのが自然である。式 (6) ~ (8) の法スキルを持つ個体の数理モデルにおける個体学習は、その情報源への接触によって法スキルを習得・消滅するという簡潔なモデル化を行ったが、これは律令制を日本が唐から「移植した」ことで、それらをそのまま模倣するというのを中心に考えていたからである。こういった考え方は、現代におけるハードローとソフトローの考え方に通ずる。強制的な執行を実行する主体が存在しない社会規範としてのソフトローから、裁判所等が判断を示し法的拘束力があるハードローへ変更するには、処罰や制裁が人々の活動に利益あるいは損失を中心にどのような/どの程度影響を与えるか、すなわち執行費用や機会費用、情報の非対称性といった経済学的考慮も必要となる（瀬下（2006））。この範囲の研究については、本研究の反応拡散系を用いた手法では限界があるため、本論文ではここまでの考察に留める。

5. おわりに

本研究では律令制の日本伝来に関する「隋唐起源説」および「朝鮮三国起源説」についての数

³² これ以外にも m の値によって形状が異なる。 $m = 1$ のとき指数分布、 $m = 2$ のとき Rayleigh 分布である。また、 $m < 1$ のとき単調減少となる初期的な故障、言い換えれば乳幼児や子供の死亡率が高く、年齢が高くなるほど死亡率が下がるような状況であり、 $m = 1$ のとき時間に対して死亡率が一定となる偶発的な故障、そして $m > 1$ のときは単調増加となる摩耗的な故障、言い換えれば年齢が高くなるほど死亡率が大きくなる、といった分布を表している（赤澤、柳川（2010））。

³³ この計算は WolframAlpha を用いて計算した。以下の URL を参照。

https://www.wolframalpha.com/input?i=Integrate%7B%28%28%28exp%28-y%29%29*%281-E%29*z_1%28K_1-1%29%29%2BE*%28K_1-z_1%29%29+%2F+%28exp%28y%29%2BK_1-1%29%2C+%7By%2C+0%2C+%5C%5BInfinity%5D%7D%7D&lang=ja

理進化的な考察を行った。「隋唐起源説」については、環境収容力の観点から日本の社会規範が中国王朝由来の社会規範に影響を受け消滅寸前まで減少するが、完全に失われるのではなく小さい領域で生き残る可能性があるというシナリオが最も可能性が高く、これは仏教の広がりや氏族法が律令法にとって変わられてしまった歴史的経緯を説明可能である。次に進行波については、内的自然増加率と拡散係数によって速度が決定される安定した等速進行波解が存在することで、それによって律令制が日本まで伝播拡散できた理由ではないかと考えることができる。これらの理由から隋唐起源説は非常に妥当性が高いと考えられる。中国から律令というシステムが朝鮮や日本まで侵入・伝播できた理由として、文化選択に対する安定性や、社会学習や個体学習のための地理的要因や漢字などの言語的要因、法に関する情報（文書、書物、知識人等）を所持したまま人々が行き来しやすいことや、書かれた内容について解読し、それを活用することが可能であったということである。次に「朝鮮三国起源説」については、異なる3つの法システムが競争緩和依存となり、安定的な進行波が日本まで伝来したのみならず、朝鮮三国と日本の相互作用によって新たな進行波解が発生したことにより、朝鮮三国の影響を受けた日本独自の律令制が形成されたと考えられる。しかし、この条件が成り立つような内的自然増加率などのパラメータ範囲をとることは困難であると推察され、実際には朝鮮三国が起源と言えるほどの影響はなかったと考えられる。本研究では競争拡散系と呼ばれる反応拡散方程式系の一種を用いて律令制の伝播拡散について、環境収容力と方程式系の進行波解を用いた解析、そして法スキルを持つ個体と個体適応度の関係性についての計算を行った。得られる結論として、隋唐起源説の方が朝鮮三国起源説と比較して妥当性があり、日本の律令制には唐や隋の影響が強く、朝鮮の影響は限定的と推察されることが数理モデル的視点からも考察可能であることを示した。本研究の意義は、反応と拡散という簡潔なメカニズムに基づいた数理モデルを用いた手法によって、法の継受という複雑な現象の一部を解析可能であることを示したということであり、数理的手法を用いた法システムの解析にとって有益な示唆を与える論文と考えられる。

補足1：平衡点の安定性計算（二宮（2014）、柳田（2015））

平衡点は(9)から $\frac{dN_1}{dt} = 0$ かつ $\frac{dN_3}{dt} = 0$ により $(N_1, N_3) = (0, 0), (K_1, 0), (0, K_3), (K_1, K_3 - bK_1)$ の4点を求めることができ、ヤコビ行列 J は

$$J = \begin{pmatrix} r_1 - \frac{2r_1 N_1}{K_1} & 0 \\ -\frac{r_3 b N_3}{K_3} & r_3 - \frac{2r_3 N_3}{K_3} - \frac{br_3 N_1}{K_3} \end{pmatrix}$$

平衡点 $(N_1, N_3) = (0, 0)$ のとき固有値 $\lambda = r_1, r_3$ より共に正となりこの平衡点是不安定。

平衡点 $(N_1, N_3) = (K_1, 0)$ のとき固有値 $\lambda = -r_1, \left(1 - \frac{bK_1}{K_3}\right)r_3$ となり、 $K_3 - bK_1 > 0$ からこの平衡点も不安定（鞍点）。

平衡点 $(N_1, N_3) = (0, K_3)$ のとき固有値 $\lambda = r_1, -r_3$ となりこの平衡点も不安定 (鞍点)。

平衡点 $(N_1, N_3) = (K_1, K_3 - bK_1)$ のとき固有値 $\lambda = -r_1, \left(-1 + \frac{bK_1}{K_3}\right)r_3$ となり, $-K_3 + bK_1 < 0$ から局所安定となる。

補足 2: \mathbb{R} 上の進行波解の種類

一定の速度を保ったまま一定速度で進行する進行波解は波形によっていくつかのタイプに分類できる。

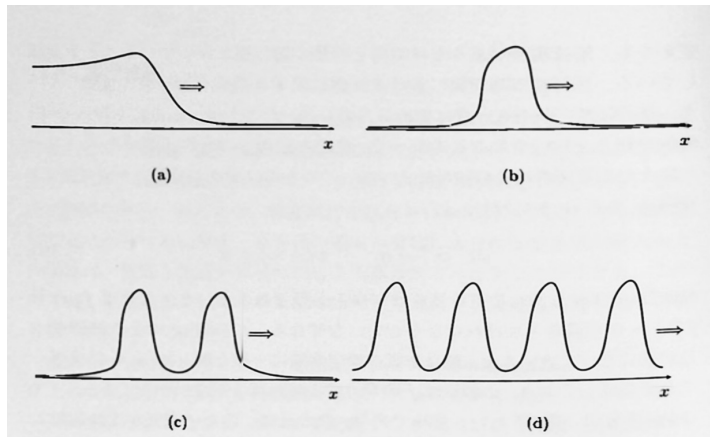


Figure 3: \mathbb{R} 上の進行波解の種類 (柳田 (2015) p.20 より引用)

\mathbb{R} 上の一次元空間であれば, 上記のような (a) フロント型進行波解, (b) パルス型進行波解 (孤立パルス解), (c) 多重パルス解, (d) 周期型進行波解, が見られる。孤立パルス解を周期的にずらし無限個重ね合わせた解を周期型進行波解とみなすことができる。高次元空間であれば, V 字状や U 字状等のより複雑な波形の進行波解が考えられる。

参考文献

- Andrew Whiten, Roger Ham (1992) *On the nature and evolution of imitation in the animal kingdom: reappraisal of a century of research*. Advances in the study of Behavior, Vol.21, pp.239-283.
- Angus Maddison (2010) *Development Centre Studies The World Economy: Volume 1: A Millennial Perspective and Volume 2: Historical Statistics*, OECD Publishing.
- Baker, G., R. Gibbons and K. J. Murphy (1994) *Subjective Performance Measures In Optimal Incentive Contract*, Quarterly Journal of Economics, Vol. 109, pp.1125-56.
- Contento Lorenzo (2016) *Two-Dimensional Behaviour of Solutions Arising in a Three-Species Competition-Diffusion System*, 明治大学先端数理科学研究科博士論文.
- Jaluzot Béatrice (2005) *Méthodologie Du Droit Comparé : Bilan et Prospective*. In: *Revue Internationale de Droit Comparé*. Vol. 57 N° 1, 2005, pp.29-48.
- Harry First (1994) 『反トラストの実施に関する教訓：合衆国と日本の比較研究』(石山卓磨訳) 早稲田大学比較法学研究所, 28 巻 1 号, 48-65 頁.

- L. L. Cavalli-Sforza, M. W. Feldman (1981) *Cultural Transmission and Evolution: A Quantitative Approach*, Princeton University Press.
- M. M. Tang and P. C. Fife (1980) *Propagation Fronts for Competing Species Equations with Diffusion*, Arch. Rational Mech. Anal., 73, pp.69-77.
- P. DE Mottoni (1979) *Qualitative Analysis for Some Quasilinear Parabolic Systems*, Institute of Math. Polish Academy Sci. Zam 190, pp.11-79.
- S. Ahamed, A. C. Lazer (1989) *Asymptotic Behavior of Solutions of Periodic Competition Diffusion System*, Nonlinear Anal. 13, pp.263-284.
- Tim M Caro, Marc D Hauser (1992) Is there teaching in nonhuman animals? The Quarterly Review of Biology, Vol.67, no.2, pp.151-174.
- W. D. Hamilton (1964) *The Genetical Evolution of Social Behavior* I, J. Theor. Biol. 7, pp.1-16.
- 青木健一 (2020) 『ヨーロッパ初期新石器時代の3集団モデル』パレオアジア文化史学計画研究 B02, 2020年度研究報告書, 1-7頁.
- 赤澤宏平, 柳川堯 (2010) 『サバイバルデータの解析 —生存時間とイベントヒストリデータ— (バイオ統計シリーズ3)』近代科学社, 64-66頁.
- 浅野啓介 (2011) 『百済の地方制度と日本』独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所, 奈良文化財研究所学報, 第87冊日韓文化財論集Ⅱ, 355-364頁.
- 井上光貞 (1976) 『日本律令の成立とその注釈書』「律令」日本思想大系3 岩波書店.
- 井上光貞・関見・土田直鎮・青木和夫 (1976) 『日本思想体系 律令』岩波書店.
- 巖佐庸 (1990) 『数理生物学入門 - 生物社会のダイナミクスを探る』共立出版.
- 大津透 (2008) 『史学会シンポジウム叢書 日唐律令比較研究の新段階』山川出版社, 219-275頁.
- 大津透 (2020) 『史学会シンポジウム叢書 日本古代律令制と中国文明』山川出版社, 213-293頁.
- 川出敏裕 (2014) 『外国法の継受という観点から見た日本の刑事訴訟法と刑事手続』早稲田大学比較法学研究 所叢書 41, 279-296頁.
- 観音幸雄 (1997) 『2種競合系の進行波について』数学 49 卷 4 号, 379-392頁.
- 鬼頭清明 (1978) 『日本の律令官制の成立と百済の官制』爾永永貞三先生退暦記念会編『日本古代の社会と経済』上, 吉川弘文館.
- 高翔龍 (2016) 『韓国法 (法律学の森) 第3版』信山社.
- 齋藤康輝 (2011) 『法の継受——日本におけるドイツ憲法』朝日法学論集第三十八号, 125-137頁.
- 沢木敬郎 (1961) 『法の継受』立教法学 3 号, 48-87頁.
- 滋賀秀三 (1993) 『中国法制史 基本資料の研究』東京大学出版会, 173-239頁.
- 滋賀秀三 (2003) 『中国法制史論集 法典と刑罰』創文社, 72-88頁.
- 鈴木賢 (2012) 『比較法学の視角から見た台湾法の特殊な位置づけ』北海道大学グローバル COE プログラム「多元分散型統御を目指す新世代法政策学」事務局, 北海道大学情報法政策学研究中心, 新世代法政策学研究, 18 卷, 293-305頁.
- 瀬下博之 (2006) 『ソフトローとハードロー ——何がソフトローをエンフォースするのか——』ソフトロー研究 = Soft law journal / 東京大学大学院法学政治学研究科 21 世紀 COE プログラム「国家と市場の相互関係におけるソフトロー・ビジネスローの戦略的研究教育拠点形成」事務局編, 6 号, 93-117頁.
- 高島正憲 (2016) 『古代日本における経済成長 ——耕地面積, 土地生産性, 農業生産量の推定——』社会経済史学, 81-4.
- 田村光平 (2020) 『文化進化の数理』森北出版.
- 土屋和人 (2010) 『Excel 関数パーフェクトマスター』秀和システム, 354-357頁.
- 鄭東俊 (2019) 『古代東アジアにおける法制度受容の研究 ——中国王朝と朝鮮三国の影響関係を中心に——』早稲田大学出版部.
- 出口雄一・神野潔・十川陽一・山本英貴 (2018) 『概説 日本法制史』弘文堂, 22-51頁.
- 中村真理, 車谷浩一 (1995) 『個体の行動戦略と集団の秩序に関する数理生物学的アプローチ』人工知能 10 (6),

- 871-879 頁.
- 西嶋定生 (2000) 『古代東アジア世界と日本』 岩波書店.
- 二宮広和 (2007) 『反応拡散方程式における進行波解と全域解』 数学 59 卷 3 号, 264-282 頁.
- 二宮広和 (2014) 『侵入・伝播と拡散方程式』 共立出版, 141-151 頁.
- 丹羽巖 (2003) 『日本国憲法とアメリカの影響』 中部大学国際関係学部, 国際関係学部紀要 30, 87-99 頁.
- 福島正夫 (1968) 『法の継受と社会 = 経済の近代化 (一)』 早稲田大学比較法学研究所, 比較法学 4 卷 1 号, 1-27 頁.
- 細野雄三 (2004) 『反応拡散系の進行波解の速度について —線形予測はいつ成り立つのか—』 岩手大学人文社会科学部, 盛岡応用数学小研究会報告集 2004, 1-8 頁.
- 細野雄三 (2004) 『伝染病伝播の反応拡散モデルについて』 応用数理 14 卷, 2 号, 137-147 頁.
- 細野雄三 (2006) 『感染症の伝播を記述する反応拡散モデルにたいする進行波解』 数理解析研究所講究録 1499 卷, 7-23 頁.
- 町田憲彦・細野雄三 (2004) 『3 種ロトカ・ボルテラ競争系の共存解の安定性と特異摂動解析』 京都産業大学論集自然科学系列 33, 23-44 頁.
- 牧英正・藤原明久 (1993) 『日本法制史』 青林法学双書, 29-108 頁.
- 松尾弘・深沢瞳 (2016) 『ベトナム・カンボジア・ラオス民法にかかる比較調査 ——インクルーシブな発展のための民法典整備の意義に関する基礎調査——』 法務省委託調査報告書, 慶應義塾大学大学院法務研究科 松尾研究室 (2016 年 3 月).
- 松家敬介 (2022) 『競争拡散系の超離散化可能な離散化で得られた偏差分方程式系の平衡解の安定性』 武蔵野大学数理工学センター紀要, 7 号, 10-20 頁.
- 柳田英二 (2015) 『反応拡散方程式』 東京大学出版会, 181-197 頁.
- 若野友一郎 (2016) 『文化の侵入伝播の等速進行波解を用いた数理解析』 パレオアジア文化史学計画研究 B02, 2016 年度研究報告書, 1-12 頁.
- 若野友一郎 (2017) 『生態学的分布拡大モデルと, その考古学的考察』 パレオアジア文化史学計画研究 B02, 2017 年度研究報告書, 1-12 頁.
- 若野友一郎 (2018) 『生態学的分布拡大モデルにおける集団間文化交流: スキル個体の密度と頻度』 パレオアジア文化史学計画研究 B02, 2018 年度研究報告書, 1-6 頁.
- 若野友一郎 (2019) 『上部旧石器の起源地が新人の起源地とは異なる場合の生態文化的分布拡大モデル』 パレオアジア文化史学計画研究 B02, 2019 年度研究報告書, 113-119 頁.
- 若野友一郎 (2020) 『生態文化的分布拡大モデル: アジアへの新人分布拡大への応用』 パレオアジア文化史学計画研究 B02, 2020 年度研究報告書, 63-70 頁.