

Title	制度生態系の理論モデルとその経済学的インプリケーション
Author(s)	橋本, 敬; 西部, 忠
Citation	経済学研究 = Economic Studies, 61(4): 131-151
Issue Date	2012-03-08
Type	Departmental Bulletin Paper
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/10949
Rights	Copyright (C) 2012 北海道大学大学院経済学研究科. 橋本敬, 西部忠, 経済学研究, 61(4), 2012, 131-151. 本著作物は北海道大学大学院経済学研究科の許可のもとに掲載するものです。
Description	

制度生態系の理論モデルと その経済学的インプリケーション

橋本敬

北陸先端科学技術大学院大学 (JAIST) 知識科学研究科

hash@jaist.ac.jp

<http://www.jaist.ac.jp/ks/labs/hashimoto/>

西部忠

北海道大学大学院経済学研究科

nishibe@econ.hokudai.ac.jp

<http://cc.econ.hokudai.ac.jp/>

概要

従来のゲーム理論的制度研究では、制度変化はゲーム形式の外生的変化 (North, 1990; Hurwicz, 1996) か、外生的ショックによるゲームの均衡の変化 (Lewis, 1969; Aoki, 1996; Young, 1998) とみなされてきた。これらの制度観はいずれも静的で、実際の社会で見られる内生的制度変化を取り扱うことはできない。後者のアプローチは、制度的補完性により複数の制度システムが安定的に維持されることを記述しているが、その変化はこの補完性を覆すほど大きな外生的ショックがあることにより生じるのであり、内生的変化を通じて複数制度が相対頻度を変えながら競争・共存する様態を記述できていない。本研究は、このような個体群 (ポピュレーション) の構成 = 遺伝子 (複製子としてのルール) プールの変化を伴って系統発生的に進化する制度システムを記述できるよう、リプリケータ・ダイナミクスと進化ゲーム理論の統合・拡張として制度生態系をモデル化する。制度生態系の数理モデル (Rule Ecology Dynamics, RED) では、複数ルールが行為主体に評価されながら重みを変えていくルールダイナミクスが表現される (Hashimoto and Nishibe, 2005; Hashimoto, 2006)。モデルにはルール評価のための「メタルール=主体の価値意識」が導入されており、メタルールの設定次第で実現されるゲームルールダイナミクスと主体の戦略ルールダイナミクスが変わる。こうすることで、制度をゲームルール間相互作用、ゲームルール-戦略ルール間相互作用を通じて内生的に生成・変化・消滅するものと捉えることができる。これまで、主体は最も利得の高い戦略を選択できる合理的主体を考えるなど、合理性の限界を考慮しないことが多く、限定合理性を導入する場合もその認知枠や価値は与件だったが、メタルールとして主体の認知枠や価値を表現される内部ダイナミクスを持つ主体を想定し、メゾレベルの外部ルールとしての制度とマイクロレベルの主体の内部ルールとしての戦略ルールや価値意識の間の動的相互作用を分析する点に独創性がある。このモデルでは、制度変化は、ゲームの均衡、すなわち、ゲームにおけるプレイヤーによる戦略の選択 (淘汰) として生じるのではなく、メタルールに基づくマルチゲームにおける多様なルールとしてのゲーム形式自体の消長 (淘汰) として生じると見ている。これは、経済社会進化を個体やその戦略の淘汰よりも一段上のレベルのルールや制度の淘汰と見なす進化的ア

ブローチを基盤としている (Hayek, 1967; 西部忠, 2005, 2006, 2010b) . 本稿では, このような制度生態系のモデルが経済社会の様態の記述やそれに基づく制度設計などの政策展開において, いかなる経済学的インプリケーションを持ちうるかを論じる .

1 はじめに

社会で共有された思考・行動習慣としての制度 (Veblen, 1899) は, 意識的・無意識的にかかわらず我々の振る舞いや思考をなんらかの形で統制・調節し, 社会生活を可能にする . そのような制度の多くはアプリオリに与えられるわけではなく, われわれの行動から自発的・自生的に現れる . 制度の変化は, 制度と, 制度に統制された個々人の行動の相互作用を通じて起きる, ルールダイナミクス (Hashimoto and Nishibe, 2005; Hashimoto, 2006) である .

この制度に対して, ゲーム論的観点から「ゲーム形式としての制度」(North, 1990; Hurwicz, 1996) と「戦略的予想の均衡としての制度」(Lewis, 1969; Aoki, 1996; Young, 1998) という2つの立場がある . 前者の立場では, 制度は相互作用のルールであり, プレイヤー, 選択肢, 帰結関数 (利得行列) という「ゲーム形式」によって記述され, 個人の行動はゲームにおける選択肢として表現される . この場合, ゲームの外側からゲーム形式を変更しない限り, 制度の変化は起きないことになる .

一方, 後者の立場では, 制度とはあるゲームのナッシュ均衡であり, 個人の行動はゲームにおいて戦略 (strategy) に基づいて選択された手 (move) である . そして, 成立している制度は均衡点における戦略の組み合わせにより特徴付けられる . この静学的枠組みを動学化するために進化ゲームを導入すると, 制度がない状態 (非均衡) における戦略の組から制度のある状態 (均衡) の戦略の組への時間発展として, 制度の成立を扱うことができる . しかし, 一度制度が成立すると, 均衡であるがゆえに, そこから大きく外すような外生的ショックがないかぎり制度の変化は生じない .

したがって, どちらの立場においても成立した制度は外生的な攪乱がないならば静的であり, 内生的変化を取り扱えない . そこで本稿では, 制度に対する2つのゲーム論的な見方を統合し, ルールダイナミクスを明示的に扱うための数理モデルを導入する . 制度は主体の認識・思考・行動 (ミクロ) および社会的帰結 (マクロ) との間 (メゾ) で相互作用することで生成, 維持, 変化, 消滅し, その過程で代替・補完関係を形成する . 制度には, 社会において明示的に共有化されているルールである法, 規則, 規制などの「外なる制度」と, 暗黙的に共有化されている価値, 規範, 倫理, 集合的意識などの「内なる制度」がある . 後者は, ミクロレベルの多くの主体 (相互作用子) に共有化された if-then ルール (複製子) の束である . 外なる制度と内なる制度を合わせた制度は主体に対して外部より作用するという意味で「外部ルール」, 共有化されておらず, 主体に固有な if-then ルール (複製子) は, 主体の認識・思考・行動を内部から律しているという意味で「内部ルール」と呼ぼう . 各主体 (相互作用子) は制度 (外部ルール) と制度ではない複製子 (内部ルール) に基づいて定型的に認識・思考・行動する (西部忠, 2005, 2006, 2010b)*¹ . したがって, このような主体は, 最適化を追求し実行する合理的主体ではなく, 認知・計算・実行の各面で能力に限界があり

*¹ 本論文では, 外部ルール/内部ルールと外なる制度/内なる制度の定義と区分を上記参考文献におけるものから変更した .

ながら現実の変化に適応していくような実在的な主体である。制度生態系とは、ミクロ・メゾ・マクロループが絶えず作動することによって、複数の制度が共存・生滅する過程において、制度の多様性が継続的に維持されるようなシステムを意味する(西部忠, 2005, 2006, 2010b,c,a; 橋本敬他, 2010)。このような制度の生態系を記述できる数理モデル「ルール生態系ダイナミクス (Rule Ecology Dynamics, RED)」の構築をめざす (Hashimoto and Nishibe, 2005)。

本稿で述べるモデルは、数学的には進化ゲーム理論でよく用いられるレプリケータ・ダイナミクスの拡張である。まず、外なる制度は相互作用のルールと考えゲーム形式(利得行列)で表し「ゲームルール」と呼ぶ。そして、主体の行動の型である複製子(内部ルール)はゲームの戦略で表し、「戦略ルール」と呼ぶ。さらに、複数の外なる制度が相互作用する状況を表すために、重みを伴った複数のゲームを導入する。ここで重みはゲームルールの重要性を表現するものである。個々のプレイヤーはすべてのゲームをプレイし、各ゲームにおいて重みがかかった利得を得る。戦略ルールの分布は利得に応じて時間的に変化する(進化ゲーム)。戦略ルール分布とともに、ゲームルールの重みも時間的に変化する。この変化は、利得と戦略ルール分布に応じたものである。

ゲームルールの重み変化の仕方を決めるため、新たに「メタルール」を導入する。メタルールは、ゲームルールを評価するルールであり、変化を見る対象としているゲームルールよりも基本的だと考えられるレベルのものである。こうしたメタルールは、一般には、ゲームルールのように陽表的に表現されるとは限らない、むしろ、ゲームの参加者によるゲームルールに対する評価から構成された集合的表象として陰伏的に存在していると考えらるべきであろう。すなわち、メタルールは内なる制度であり、外部ルールである。ただし、こうした評価はゲームの結果として獲得される自己の利得や効用に対する評価ではなく、ゲームルール自体に対する評価であり、いわゆる帰結主義とは異なることに注意すべきである。この点で、ここでのメタルールは、社会全体にとっての満足を功利主義的観点から評価するために各構成員の効用から構成される社会的厚生関数や、各構成員の選好から社会的選好を導き出すための何らかの集計的規則とは異なるものであるということを確認しておこう*2。またここでは、メタルールは外生的に所与としており、ルール(ゲーム)やその帰結から構成されるものとは考えていないことも確認しておこう。

*2 ルールとメタルールの関係を明示的に導入しメタルールによるルールの改変を伴うゲームは、一般に「トライアングル・ゲーム・プロセス」として理解できる(西部忠, 2006)。ここでメタルールは、第一にルールを事前的に定義し事後的な評価に基づいてルールを変更するための「定義・変更メタルール」、第二に「ゲームの結果に基づいてルールを評価するための「基準メタルール」という二重の意味を持つ。本論文のルール生態系ダイナミクスでは、メタルールはまずは「基準メタルール」の意味で捉えられている。それが、(21)で定義されるゲーム評価関数 $\lambda^g = \lambda^g(x, u^g)$ である。これに基づいて各ゲームルールについての高低の評価が下される。

一般には、こうした基準メタルールにより低く評価された(あるいは、メタルールの基準に反すると)評価されたゲームルール g は変更される。例えば、ある法律・規則が憲法違反であると判断されたならば、それは改正されるだろう。しかし、ルール生態系ダイナミクスでは、低く評価されたゲームルール g 自体が変更・修正されるのではなく、ゲームルール g の重み w^g が低下するとされている。このように、「定義・変更メタルール」は、その下で実行されるゲームルール g の重み w^g のみが変わり、ゲームルール g 自体は変化しないということを含んでいる。ただし、§??で議論する各ゲームの重みづけ平均であるトータルゲームという観点から見れば、 w^g の変化を通じてトータルゲームルール G が変化するとみなしうる。

トライアングル・ゲーム・プロセスには、メタ・メタルールによるメタルール自身の改変を伴うさらに上位のプロセスを含むことも可能である。本稿のルール生態系モデルでは、メタルールは外生的に所与と想定されており、それ自身が改訂されるプロセスは含んでいない。

メタルールの例として、市場経済という大きな原理の下で、市場の全取引高によって各市場が評価されるという考えがあるとすれば、全体としてより大きな利益を参加者に与える市場ほど高く評価されて、その重みが増していくのに対して、そうではない市場は低く評価され、その重みが減少する。このため、そこでの取引は減少し、やがてそのような市場は消滅することも余儀なくされるだろう。あるいは、功利主義や平等主義といった倫理のベースとなるような規範・価値意識もメタルールを表現する。前者では、最大多数の最大幸福にもっとも近いルールが評価を高める。後者では、人々の間でできるだけ格差がないようなルールが評価される。

ここで導入するルール生態系ダイナミクスでは、メタルールは変化しないものとして外生的に設定される。したがって、どのようなメタルールが妥当であるかは、実証的に導かれるべきである。というのも、まずは、どのようなメタルールが規範的に最も望ましいかを先験的に論じることは困難ないし不可能なことであると（アローの不可能性定理の場合のように）予想できるからである。また、メタルールは、ゲーム参加者がゲームルールについて形成する規範や価値が集合的表象として構成されるものであり、容易に明示化されないものと考えているからである。つまり、それは実証的研究を通じて見いだしていくべきものである。

また、個々のゲームルール（ゲーム形式）は変化しないが、ゲームルールに対する重みの変化を通じて、集計されたゲームとしての社会全体のルールは変化すると考えることができる。これは、ゲームルールの可塑性（変化しやすさ）には様々な程度があり、ルール可塑性には階層性があることを想定していることになる。たとえば法体系を考えてみよう。ここでは、憲法、刑法、民法、条例、…といった様々な種類のルールがある。これらは条例や民法のように変わりやすいものと刑法のように変わりにくいもの、そして、憲法のように刑法や民法よりも上位に位置し、大変変わりにくく、かつ、下位のルールの変化の仕方を規定するようなルールがある。このような可塑性の階層の中で、メタルールとは焦点をあてているレベルのルールよりも普遍性が高く変わりにくいものとみなす。たとえば、民法のレベルの変化に興味があるならば、憲法は所与で変化しないものとして扱う。

この枠組みでは、戦略ルール分布とゲームルールの重み分布の両方が変化する。また、ある均衡にとどまったり、あるいは、準安定状態としてある程度の期間続く定常状態が現れたりするだろう。準安定状態でとどまれば、均衡という意味での制度が暫定的に成立している状態と考えられる。本稿では、以下でレプリケータ・ダイナミクスからルール生態系ダイナミクスを導出し、その簡単なシミュレーション解析を示す。そして、実際の制度生態系やメタルールの例を検討し、今後の方向性と経済学的インプリケーションを議論する。

2 ルール生態系ダイナミクスの導入

ルール生態系ダイナミクスは、レプリケータ・ダイナミクスの拡張として定義される。ここでは、基礎となるレプリケータ・ダイナミクス、それを複数ゲームでの相互作用に拡張したマルチゲーム・ダイナミクス、さらに、ゲーム自体のダイナミクスを導入したルール生態系ダイナミクスへと拡張の順に説明する。

2.1 レプリケータ・ダイナミクス

社会における多くの日常的な認知・思考・行動について，人々はある種の型を持っている．これは，社会における法律・規約（外なる制度）や価値・規範（内なる制度）など人々の認知・思考・行動の範囲を外部から制約する「外部ルール」と異なり，慣習，習慣，性向，価値観におけるように，人々の認知・思考・行動が従う一定のパターンを表す「内部ルール」であり，一般には If~then... というルールの束ないしプログラムとして表現される．この型は，家族や学校における教育・伝承を通じて形成されるし，メディアや直接的相互作用を通じた模倣・学習により広まっていく．このように，認知・思考・行動の仕方は，家族，コミュニティ，学校，会社，市場，国家等の人の集まりの中で，伝播・普及して行くものである．そこでこのような「型」を複製子と考える（西部忠，2006, 2010b）．

一般に，複製子の伝播ダイナミクスはレプリケータ・ダイナミクスで記述される．これは，複製子の頻度（個体数比）の変化を記述する，

$$\dot{x}_i = x_i(u_i - \bar{u}), \quad (i = 1 \sim N) \quad (1)$$

という形の微分方程式である．ここでは， N 種の複製子がゲーム的相互作用をしていると考える． x_i は i 番目の複製子の頻度で，

$$\sum_{i=1}^N x_i = 1 \quad (2)$$

を満たすとする． u_i は i 番目の複製子が得る利得である． $E(i, j)$ を複製子 i が複製子 j との相互作用の結果獲得する利得とすると，

$$u_i = \sum_{j=1}^N E(i, j)x_j \quad (3)$$

である． \bar{u} は平均利得で，

$$\bar{u} = \sum_{i=1}^N x_i u_i = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N E(i, j)x_i x_j \quad (4)$$

である*3．

ここでは次のような単純化をしていることになる．まず，各主体はある種のゲーム的相互作用，すなわち，自分の行動の結果が他主体の行動に依存するという状況で相互作用を行っている．通常，主体は様々なゲームの中で他主体と相互作用をするのであるが，ここでは，1つのゲームをプレイしている状況だけを取り上げる．そして，各主体はそのゲームでの認知・思考・行動の型としての内部ルールを1つだけ持つとする．したがって，主体の特性は複製子である内部ルールにより

*3 $E(i, j)$ は相互作用の前に与えられている必要はなく，相互作用の結果として集計されるだけでよい．というのも，複製子は行動の型でありゲームの結果を事前に計算して行動を選ぶためのものとは考えないからである．

表現されることになる。この主体は、プレイしているゲームにおいて他主体がうまく振る舞っている、すなわち、ゲームでの利得が高いならば、その他主体が採用している複製子を模倣するようになる。したがって、個々の主体は1つの複製子により特徴づけられるが、同じ複製子は複数の主体によっても採用されうる。このようにして、成功している複製子の相対頻度は大きくなっていく。レプリケータ・ダイナミクスでは、成功の度合いに応じて模倣される度合いが増えると考えられる。より具体的には、平均よりも高い利得を持つ複製子は高い分だけ増え、平均より低い利得をもたらす複製子は減っていく。

*4

利得を決める関数（ゲームの帰結関数） $E(i, j)$ については特に指定はしない。ただ2主体がそれぞれの複製子に基づいて行動し相互作用した結果として、なんらかの帰結が得点として得られるとしているだけである。上記の例のように繰り返しゲームでもいいし、ゲーム以外の状況が前件部に入ることを許すような相互作用でもよい。たとえば、相手と一緒に活動すれば利得が高いというゲームがあり、「if 晴れ then 遊園地, else if 雨 then 部屋でテレビゲーム」という複製子を相手が持っていてよい。晴れか雨かは相手の行動に依存しない自然が決めることである。しかし、一緒に遊園地に行くかテレビゲームをするかは、相手の戦略に基づいた行動として決まるので、自分の行動の結果は相手の行動に依存する。

2.2 マルチゲーム・ダイナミクス

制度生態系は、制度が単独で存在するのではなく複数の制度が共存し相互作用しているものとして、現実社会を概念化する。すなわち、制度生態系では、各主体はただ1つのゲームをプレイするのではなく、同時に他者とさまざまなゲーム的相互作用をする存在である。このように、主体が複数のゲームを同時にプレイする状況を記述するようにレプリケータ・ダイナミクスを拡張したものが、マルチゲーム・ダイナミクスである。

ここでは、説明を分かりやすくするため、まずは2つのゲームをプレイしている状況を例示し、後にそれを一般化した形式を示す。2つのゲームの利得行列を A, B で表す。これらのゲームでは、それぞれで取り得る手の数（= 行列の rank）が違っていても良い。戦略ルールを複製子の束（個々のゲームで採用している複製子をまとめたもの）と考え次のように書く。

戦略ルール (i, j) : ゲームルール A で複製子 i を用い、ゲームルール B で複製子 j を用いる*5

*4 通常、進化ゲーム理論の文脈におけるレプリケータ・ダイナミクスの説明では、上記の「複製子」は「戦略」と書かれる。戦略 (strategy) とゲームにおける手 (move) を混同しやすいので注意が必要である。戦略とは手を選ぶための方法のことを指す。主体の場合は、複製子が戦略、行動が手に対応する。戦略（複製子）が異なっても同じ手を出す（行動をする）こともある。本稿における戦略ルールは上記の意味での戦略である。たとえば、繰り返し囚人のジレンマゲームにおける Tit for Tat という戦略は、「if 相手が前回協力 then 今回は協力, else if 相手が前回裏切り then 今回は裏切り」という if-then ルールとして表現されるが、それは主体の持つ複製子であると考えられる。具体的な手は「協力」か「裏切り」である。All-C という戦略は「if * then 今回は協力」と書くことができる。ここで * はワイルドカードで何が入ってもよい。すなわち、相手や自分のこれまでの経緯にかかわらず「常に協力する」という戦略である。この2つの戦略は、前回協力した相手に対しては同じ「手」を出す。

*5 これは戦略プロファイルとは異なることに注意。戦略プロファイルは、1つのゲームルールにおいて各プレイヤーが

そして, x_{ij} をこの戦略ルール (i, j) を取る主体の頻度 (人口比) とし ($\sum_{i,j} x_{ij} = 1$), 戦略ルール (i, j) と戦略ルール (k, l) の対戦で戦略ルール (i, j) を取る主体が得る利得を $E[(i, j), (k, l)]$ とする. すなわち,

$$E[(i, j), (k, l)] = A_{ik} + B_{jl} \quad (5)$$

である. ここでは, 2つのゲームは独立で, 各ゲームでの利得がプレイヤーの総利得に独立に寄与すると仮定している.

これらを用いて, 戦略ルール (i, j) を取る主体の頻度変化 (レプリケータ・ダイナミクス) は

$$\dot{x}_{ij} = x_{ij} \left\{ \sum_{k,l} (A_{ik} + B_{jl}) x_{kl} - \sum_{i',j'} \sum_{k,l} x_{i'j'} (A_{i'k} + B_{j'l}) x_{kl} \right\} \quad (6)$$

と書くことができる. これを整理すると,

$$\begin{aligned} \dot{x}_{ij} &= x_{ij} \left\{ \sum_{k,l} A_{ik} x_{kl} + \sum_{k,l} B_{jl} x_{kl} - \sum_{i',j'} \sum_{k,l} x_{i'j'} A_{i'k} x_{kl} - \sum_{i',j'} \sum_{k,l} x_{i'j'} B_{j'l} x_{kl} \right\} \\ &= x_{ij} \left\{ \left(\sum_{k,l} A_{ik} x_{kl} - \sum_{i',j'} \sum_{k,l} x_{i'j'} A_{i'k} x_{kl} \right) + \left(\sum_{k,l} B_{jl} x_{kl} - \sum_{i',j'} \sum_{k,l} x_{i'j'} B_{j'l} x_{kl} \right) \right\} \\ &= x_{ij} \sum_{g=1}^2 (u_{ij}^g - \bar{u}^g) \end{aligned} \quad (7)$$

となる. ここで, u_{ij}^g は戦略ルール (i, j) がゲームルール g で得る利得

$$u_{ij}^1 = \sum_{k,l} A_{ik} x_{kl}, \quad u_{ij}^2 = \sum_{k,l} B_{jl} x_{kl} \quad (8)$$

であり, \bar{u}^g はゲームルール g における平均利得

$$\bar{u}^1 = \sum_{i',j'} \sum_{k,l} x_{i'j'} A_{i'k} x_{kl}, \quad \bar{u}^2 = \sum_{i',j'} \sum_{k,l} x_{i'j'} B_{j'l} x_{kl} \quad (9)$$

である.

2ゲームの場合のマルチゲーム・ダイナミクスが式 (7) のようにシンプルに書けることから, M 個のゲームをプレイしている場合には次のように一般化できることがわかるだろう.

$$\dot{x}_{i_1 \dots i_M} = x_{i_1 \dots i_M} \sum_{g=1}^M (u_{i_1 \dots i_M}^g - \bar{u}^g) \quad (10)$$

ここで, 戦略ルール (i_1, i_2, \dots, i_M) は「ゲームルール 1 で複製子 i_1, \dots , ゲームルール g で複製子 i_g, \dots , ゲームルール M で複製子 i_M 」をプレイするという内部ルール = 複製子の束であり, その頻

選んだ戦略の組のことであり, 社会全体の状態を表す. ここでは戦略ルール (i, j) は2つのゲームルール (A と B) における1主体の行動の決め方 (内部ルール) を表現している.

度を $x_{i_1 \dots i_M}$ としている．ここでも

$$\sum_{i_1=1}^{r^1} \sum_{i_2=1}^{r^2} \dots \sum_{i_M=1}^{r^M} x_{i_1 \dots i_M} = 1 \quad (11)$$

を満たすとする．ここで， r^g はゲームルール g における選択肢の数（複製子座の数，行列表現の場合は利得行列 A^g の rank）である． $u_{i_1 \dots i_M}^g$ は戦略ルール (i_1, i_2, \dots, i_M) のゲームルール g における利得，

$$u_{i_1 \dots i_M}^g = \sum_{k_1, \dots, k_M} A_{i_g k_g}^g x_{k_1 \dots k_M} \quad (12)$$

\bar{u}^g はゲームルール g における平均利得

$$\bar{u}^g = \sum_{j_1, \dots, j_M} \sum_{k_1, \dots, k_M} x_{j_1 \dots j_M} A_{i_g k_g}^g x_{k_1 \dots k_M} \quad (13)$$

である．

2.3 ルール生態系ダイナミクス

主体が複数の制度の中で行動する社会を描き出すマルチゲームの枠組みを用いて制度を分析しようとする試みがある (Gagen, 2000, 2003; Sallach et al., 2010)．また，マルチゲームにより個々のゲームの均衡構造やダイナミクスがどう変わるかという分析も行われている (Hashimoto, 2009; Hashimoto and Aihara, 2009)．本稿で導入したマルチゲーム・ダイナミクスでは，主体は戦略ルール（内部ルール）＝複製子の束で表され，複数のゲームをプレイしている．この点でゲームルール（ゲーム形式）を制度と考える立場をとると，複数制度の中で平均利得以上の戦略ルール（複製子の束）を取る個体の相対頻度が増え，そうでない戦略ルールが衰退していく複製子群のダイナミクスを，この枠組みで見ることができだろう．しかし，ここまでの考えでは依然として制度自体は静的に取らえられている．

一方，上で述べたように，制度生態系において制度はスタティックな存在ではない．それがマイクロレベルにおける主体の認識・思考・行動とマクロレベルにおける社会的帰結との間（メソレベル）で両者を媒介し，それぞれと相互作用することで生成・変化・消滅するので，制度間の代替・補完関係を伴う生態系もそれとともに変化するものと捉える．このマイクロ・メソ・マクロループのダイナミクスを表現可能にするように，マルチゲーム・ダイナミクスをさらに拡張しよう．

その方法として，まずマルチゲームにおいて各ゲームルールが重み（加重）を持つとし，その重みが戦略ルール分布の時間発展とともに変化するというモデル化を行う．マルチゲーム・ダイナミクスの式（10）はゲームルール g の重み w^g を導入して

$$\dot{x}_{i_1 \dots i_M} = x_{i_1 \dots i_M} \sum_{g=1}^M w^g (u_{i_1 \dots i_M}^g - \bar{u}^g) \quad (14)$$

のように書き換えられる．これは戦略ルール分布のダイナミクスである．

このゲームルールの重みもダイナミクスを持つ．その変化は，各主体が利得構造（利得行列）を含むそれぞれのゲームルール（外部ルールのうちの外なる制度）をどのように評価しているかによるとする．平均より評価が高いゲームルールはその重みを増加させ，平均より低い評価のゲームルールを重みを下げる．すなわち，ゲームルールの重みのダイナミクスも，評価を通してレプリケータ系と同じように変化すると考える．このダイナミクスは

$$\tau \dot{w}^g = w^g (\lambda^g - \bar{\lambda}) \quad (15)$$

と書くことができる．ここで， λ^g がゲームルール g の評価で，

$$\bar{\lambda} = \sum_{g=1}^M w^g \lambda^g \quad (16)$$

は評価の加重平均である． τ はゲームの変化速度を決める時定数であり，個々の複製子の変化速度と全体としての制度の変化速度の比を決めるものである．なお，ゲーム g の重みは

$$\sum_{g=1}^M w^g = 1 \quad (17)$$

を満たすとする．

さて，ここでゲームの評価がどのように決まるかが問題となる．これを決めるのが先述の「メタルール」であるとわれわれは考える．すなわち，メタルールとはゲームルール自体を評価する主体の価値意識の集合的表象であり，ルール生態系ダイナミクスにおいてはゲームの評価関数として予め導入することになる．ゲーム形式（外部ルール）の評価は，そのゲームの中である戦略ルール（内部ルール）（複製子）に従って認知・思考・行動した結果として生じるであろう．したがって，ゲーム評価関数は戦略ルール・プロファイルと利得プロファイルの関数となっているべきである．すなわち，

$$\lambda^g = \lambda^g(\mathbf{x}, \mathbf{u}^g) \quad (18)$$

という形式をとる．ここで， $\mathbf{x} = (x_{1,1,\dots,1}, x_{1,1,\dots,2}, \dots, x_{r^1,r^2,\dots,r^M})$ は戦略ルール・プロファイル（各戦略の人口比のベクトル）で， $\mathbf{u}^g(\mathbf{x}) = (u_{1,1,\dots,1}^g(\mathbf{x}), u_{1,1,\dots,2}^g(\mathbf{x}), \dots, u_{r^1,r^2,\dots,r^M}^g(\mathbf{x}))$ はゲーム g における利得プロファイル（各戦略ルールの利得のベクトル）である．

以上をまとめると，ルール生態系ダイナミクス（Rule Ecology Dynamics: RED）は次の3つの式で定義される．

$$\dot{x}_{i_1 \dots i_M} = x_{i_1 \dots i_M} \sum_{g=1}^M w^g (u_{i_1 \dots i_M}^g - \bar{u}^g) \quad (19)$$

$$\tau \dot{w}^g = w^g (\lambda^g - \bar{\lambda}) \quad (20)$$

$$\lambda^g = \lambda^g(\mathbf{x}, \mathbf{u}^g) \quad (21)$$

式 (19) が主体の複製子（戦略ルール分布）の変化のダイナミクス，式 (20) がゲームの重み変化のダイナミクス，式 (21) がゲーム評価を決める式である．この枠組みの特徴を，レプリケータ・ダイナミクス，マルチゲーム・ダイナミクスとの対比で表 1 にまとめた．

表 1 3つの枠組みの比較

	レプリケータ・ダイナミクス	マルチゲーム・ダイナミクス	ルール生態系ダイナミクス
主体の特徴づけ	複製子（戦略）	複製子の組（戦略ルール）	複製子の組（戦略ルール）
プレイするゲーム	1つのゲーム	複数のゲーム	複数のゲーム
ゲームルール	重みなし	重みなし	重みあり
利得	重みなし	重みなし	重みあり
ゲーム評価	なし	なし	あり（メタルールによる）
メタルール	なし	なし	戦略ルール分布と得点分布

進化ダイナミクスにおける複製子（リプリケータ）をリプリケータ・ダイナミクスと同じく主体が使用する戦略ルール＝個体の内部ルールを表す複製子（行動の型）にとらえつつも、リプリケータ・ダイナミクスとは異なり、ゲームルール（外部ルール）自体もマルチゲームにおいて複製子（リプリケータ）に相当するものと考え、その淘汰のダイナミクスを導入したのが、ルール生態系ダイナミクスである。式(19)と(20)に見られるように、複製子は、ミクロレベルの戦略ルール（内部ルール）とメゾレベルのゲームルール（外なる制度としての外部ルール）を表す2種類があり、それぞれが異なるレベルに同時に存在している。ここでは、各主体は戦略ルールとゲームルールという2種類の複製子の乗り物（相互作用子）にすぎないとみなされている。ゲームルールという複製子の消長を決めるのが、式(21)のメタルールである。各主体は2種類の複製子の乗り物であるとはいえ、(21)のゲーム評価関数の形成に対して価値意識を媒介として集合的に関与していると考えられている。

3 ルール生態系ダイナミクスの例

前章で導入したルール生態系ダイナミクスが、実際にどのような動きを示すのかを見るため、具体的なゲームルール評価関数（メタルール）としてできるだけ単純なものを2つ紹介し、そのシミュレーションの例を示す。

3.1 メタルールの例

ひとつは平均利得型メタルールで、

$$\lambda_A^g(\mathbf{x}, \mathbf{u}) = \sum_{i_1, \dots, i_M} x_{i_1 \dots i_M} u_{i_1 \dots i_M}^g \quad (22)$$

と定義される。得られる平均利得が高いゲームルールほど高く評価するということである。これは、個々の主体の利得や個々の戦略ルールの利得ではなく、ゲームルールごとの全戦略ルールの利得の合計である。例えば、様々な規制や提供する金融商品がある複数の取引所のなかで、平均的に高い合計利益を生み出す取引所を重要視するというような金融市場におけるメタルールが想定され

る．あるいは，基数的効用を前提し，各主体の効用関数の合計で社会的厚生を表す場合もこの場合に近い．

もうひとつは逆分散型メタルールで，

$$\lambda_{IV}^g(\mathbf{x}, \mathbf{u}) = \sum_{i_1, \dots, i_M} \left\{ x_{i_1 \dots i_M} (u_{i_1 \dots i_M}^g - \bar{u}^g)^2 \right\}^{-1} \quad (23)$$

と定義される．これは，主体が得る利得の分散が大きいゲームルールほど評価を低くする．すなわち，平等主義的なメタルールである．例えば，政府が所得の再分配を通じて経済格差を是正すべきであると考えられるような社会民主主義的なメタルールが想定される．

3.2 単純化

ルール生態系ダイナミクスは戦略ルールの種類とゲームルールの2種類があるので，非常に高次元の力学系となる．ここでは上記2タイプのメタルールにおける基本的な振る舞いを見るため，枠組みにいくつか制限を設けて単純化を行う．まず，全てのゲームルールにおいて選択肢数は同じ数であるとする．ここではそれを N で表す．

$$r^g = N \quad (g = 1 \sim M) \quad (24)$$

すなわち思考・行動を決める内部ルールの複製子を「if-then」ルールで表した際の後件部で選び得る具体的思考・行動の種類は，主体が相互作用する場，すなわち，同時にプレイされるすべての要素ゲームルールにおいて同数だとする．

さらに，各主体の複製子の選び方である戦略ルールも制限し，すべてのゲームルールにおいて同一の戦略番号（行・列が同じ位置の戦略）を選ぶこととする．

$$x_{i_1 \dots i_M} = x_i \quad (25)$$

すなわち，ゲームルール1で戦略ルール1を選んでいる主体はゲームルール2でも戦略ルール1を選ぶ．戦略ルールの番号付けは任意であり，行列の行と列の同時置換に対してゲーム構造は変化しないので，「戦略ルールの番号」という点においては一般性は低下していない*6．しかし，「ゲームルール1で戦略ルール1，ゲームルール2で戦略ルール1」を取る主体と，「ゲームルール1で戦略ルール1，ゲームルール2で戦略ルール2」を取ような主体，すなわち，あるゲームルールでは同じ戦略ルールでも異なるゲームルールでは異なる戦略ルールという主体の組み合わせが共存できないという制約を課す．この制約があるということは，各主体の戦略ルール（内部ルール）には首尾一貫した慣習，習慣，癖，性向，価値などが反映されていると想定することと等しい．例えば，企業の戦略ルールは各市場で調整はできるが基本戦略ルールは同じであることや，人の性格は異なるゲームルールでまったく異なる振る舞いをするほど自由ではなくゲームルール間を貫く基本的性格があるということである．この制約は，存在可能な複製子の多様性を部分空間だけに制限すること

*6 ゲームルール1で戦略ルール1を，ゲームルール2で戦略ルール2を取る個体がいる場合，ゲームルール2の行列で1行1列と2行2列を入れ替えることで，ゲームルール2で戦略ルール1を選ぶ個体へと変換可能

になるのであるが、ルール生態系ダイナミクスの基本的な性質を知る最初のステップとしては、この部分空間でも見られるものがあるだろう。

3.3 シミュレーション結果

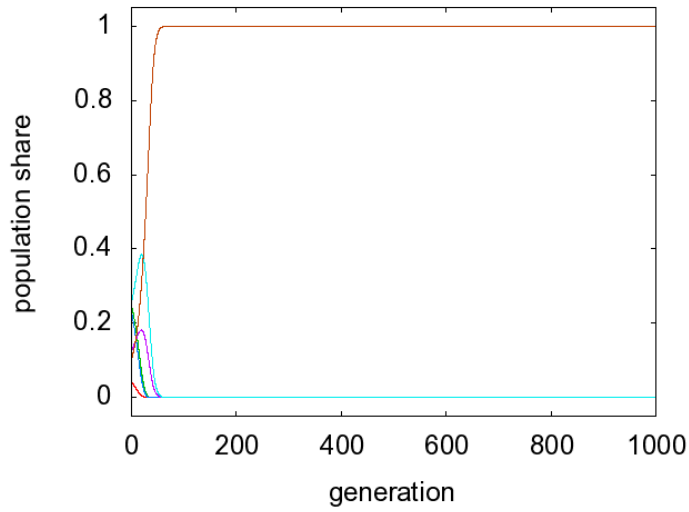
各ゲームの戦略ルール数 N ，総ゲームルール数 M を決め、要素ゲームルールをランダムに発生させる。要素ゲームルールの利得は、平均 0，分散 1 となるようにする。時定数は $\tau = 1000$ で、各個体の初期個体数は同一である。

このような設定で、まず平均利得型メタルール（式 (22)）の典型例をしめす。図 1 は、戦略数が $N = 5$ ，ゲーム数が $M = 7$ の場合の、戦略ルールの頻度分布 (a) と、ゲームルールの重みの分布 (b) の時間変化である。この場合、すぐにある一つの戦略ルールが支配的になっている。そして、それに追従するように、独占的戦略ルールが最も利得を得ることができるゲームルールが、最も成長する（重みが高くなる）。これは一種のグローバリゼーションのような現象である。

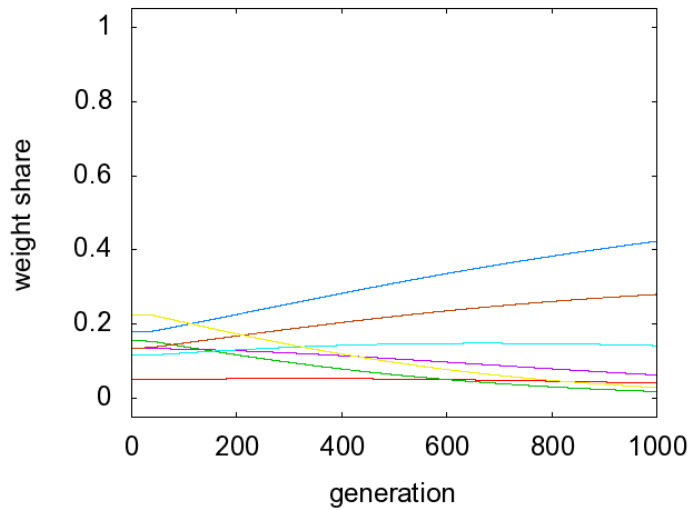
ある戦略が成功し頻度が増すことで、その戦略が得点を稼ぐことができるゲームルールが評価を高め相対的に重要視されるようになり、すると、そのゲームルールにおいて成功するその戦略が頻度を増し...、というポジティブフィードバックが生じて、このような独占にいたる。ゲームの独占化がどの程度の速度で戦略の独占化に追従するかは、時定数を決めるパラメータ τ に依存するが、戦略ルール、ゲームルールのどちらもで独占状態が生じるという結果は、平均利得型メタルールの場合にいつも起きる現象である。

次に、逆分散型メタルール（式 (23) の例を図 2 に示す。これは、 $N = 3$ ， $M = 10$ の場合である。ある戦略ルールが支配的になる期間が生じるものの、平均利得型とまったく異なり、その期間は長くは続かず、次々に支配的戦略ルールが入れ替わる。それと同様に、ゲームルールもある 1 つが支配的になる期間があり、支配的ゲームルールが次々に交代して行く。ここでは、レプリケータ・ダイナミクスの特徴であるサドル・ネットワークが形成され、交代までの期間は長くなっては行くものの、この交代現象は永続する。また、同様にこのメタルールの特徴として、社会構造の革命的变化のように支配的なゲームルールが突然変わることが挙げられる。

逆分散型メタルールの場合、あるゲームルールである戦略ルールが他よりも相対的に高得点を得ると、そのゲームルールにおける得点の分散は大きくなり、そのゲームルールの評価が下がる。したがって、多くの戦略がまんべんなく点を取れるようなゲームが重みを増すことになる。そのような「平等主義的」ゲームが支配的になり平等主義的社会が確立するかと思いきや、どのようなゲームルールでも戦略ルールごとの得点の差は必ず存在する。そして、平均より高得点の戦略ルールが増え低得点の戦略ルールが減るというレプリケータ・ダイナミクスの特徴により、得点分布の格差が拡大する。そうすると、もはやそのゲームルールでは分散が小さいということはなく、評価が下がる。そしてその時点での戦略ルールの分布に対して分散が小さいゲームルールの重みが増すことになるのであるが、同じ事が繰り返される。このように、逆分散型メタルールの下では、ゲームルール（外部ルール）と戦略ルール（内部ルール）という 2 種類の複製子が循環を形成する。戦略ルール循環がゲームルール循環に先行し、各周期はほぼ同じであるが、ゲームルールの方がより劇的に急変する。



(a)



(b)

図1 平均利得型メタルールにおける戦略ルール (a) とゲームルールの重み (b) のダイナミクスの典型例 (5 戦略ルール, 7 ゲームルール).

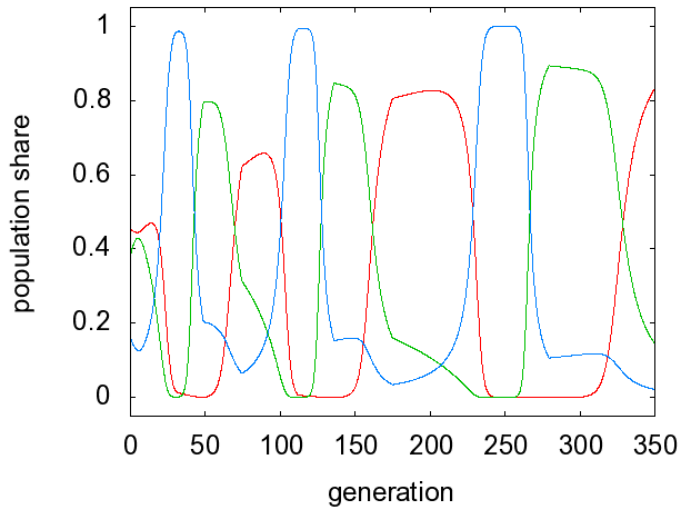
4 インプリケーション

4.1 戦略ルール (内部ルール) 複製子群とゲームルール (外なる制度としての外部ルール) 複製子群の相互作用系としてのルール生態系

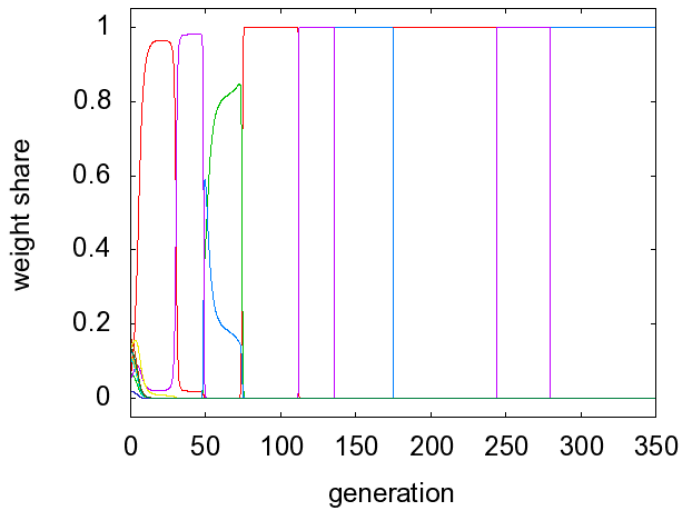
ルール生態系ダイナミクスは, 複数集団レプリケータ系の形に書くことができる. 集団 x と y の2集団レプリケータ系は, 一般に, 次のような方程式系となる.

$$\dot{x}_i = [u(x_i; \mathbf{y}) - \bar{u}(x_i; \mathbf{y})] x_i \quad (26)$$

$$\dot{y}_j = [u(y_j; \mathbf{x}) - \bar{u}(y_j; \mathbf{x})] y_j \quad (27)$$



(a)



(b)

図 2 逆分散型メタルールにおける戦略ルール (a) とゲームルール (b) のダイナミクスの典型例 (3 戦略ルール, 10 ゲームルール).

ここで, $u(x_i; \mathbf{y})$ は, 集団 x 中の i 番目の主体が, 集団 \mathbf{y} との対戦で得る利得, $\bar{u}(x_i; \mathbf{y})$ はその集団 x 中での平均である. 同様に, $u(y_j; \mathbf{x})$ は, 集団 \mathbf{y} 中の j 番目の主体が, 集団 x との対戦で得る利得, $\bar{u}(y_j; \mathbf{x})$ はその集団 \mathbf{y} 中での平均である. すなわち, ゲームの対戦は 2 集団間で行われ, その対戦の結果が自集団内で比較されて, 平均よりも高いものは増え, 低いものは減るといものである. 集団 x が集団 \mathbf{y} と相互作用する際の相互作用行列を A , 集団 \mathbf{y} が集団 x に対する相互作用行列を B として行列形式で書くと,

$$\dot{x}_i = [(A\mathbf{y})_i - x \cdot A\mathbf{y}] x_i \quad (28)$$

$$\dot{y}_j = [(B\mathbf{x})_j - \mathbf{y} \cdot B\mathbf{x}] y_j \quad (29)$$

と表現される.

ルール生態系ダイナミクスの場合について考えてみよう. まず, 戦略ルール $x_{i_1 \dots i_M}$ が要素ゲー

ムルール g で得る得点 $u_{i_1 \dots i_M}^g$ は要素ゲームルール g を表す行列を A^g とすると $(A^g \mathbf{x})_{i_1 \dots i_M}$ と書け、これを $(i_1 \dots i_M, g)$ 成分とする行列 A を定義する．また、重みを表すベクトル(重みプロファイル) $\mathbf{w} = (w^1, \dots, w^g, \dots, w^M)$ を導入することで、重みを勘案した場合の戦略ルール $x_{i_1 \dots i_M}$ の得点が、 $(A\mathbf{w})_{i_1 \dots i_M}$ 、その集団 x 内の平均が $x \cdot A\mathbf{w}$ となる．結果、式 (19) ~ (21) を次式のように書き直すことができる．

$$\dot{x}_{i_1 \dots i_M} = [(A\mathbf{w})_{i_1 \dots i_M} - x \cdot A\mathbf{w}] x_{i_1 \dots i_M} \quad (30)$$

$$\tau \dot{w}_g = [\lambda^g(\mathbf{x}, \mathbf{u}^g) - \bar{\lambda}(\mathbf{x}, \mathbf{u}^g)] w^g \quad (31)$$

このような形式より、ルール生態系ダイナミクスが、戦略ルール(内部ルール)群とゲームルール(外なる制度としての外部ルール)群の相互作用である複数集団レプリケータ・ダイナミクスとなっていることが見て取れる．すなわち、各戦略ルールはゲームルール群と相互作用し戦略ルール群の中で競争をし、各ゲームルールは戦略ルール群と相互作用しゲームルール群中で競争をし、それぞれ頻度と重みを増減させる．このように、ルール生態系ダイナミクスとは、メゾレベルに存在するゲームルール(外なる制度としての外部ルール)の複製子群とマイクロレベルに存在する戦略ルール(内部ルール)の複製子群がその乗り物である主体の認知・思考・行動を通じて相互作用し、これら2種の複製子群がその相対頻度を変化させながら消長するだけでなく、時に相互補完的・代替的な関係を形成するような共進化プロセスを記述するモデルである．

4.2 貨幣制度生態系におけるメタルール

ルール生態系ダイナミクスの視点から、制度とは、どのように理解できるのであろうか．制度とは、相対的に多くの主体(相互作用子)に安定的に共有されている複製子群(内部ルールないし外部ルール)であると定義する(西部忠, 2006, 2010b)．

ここで、「相対的に多くの主体(相互作用子)に安定的に共有されている」とは、ルール生態系ダイナミクスのモデルにおいて、ゲームルールや戦略ルールの相対頻度(重み)がある一定期間、一定値を超えていることを意味する．相対頻度(重み)の一定値は、認識関心に依じて、0.5, 0.1, 0.01 いずれでもありうるであろう．その値がどのぐらいが妥当かという問題は、どのぐらい普及している複製子を「制度」と呼ぶべきかという程度問題に帰着する．例えば、制度は1つであるべきだと考えれば、この一定値は0.5以上となるであろう．また、多くの制度の共存状態を理解することに関心があるのであれば、この一定値はもっと小さく、例えば0.1でなければならないはずである．さらに、新しい制度の生成を観察するときは、この値を0.01に設定してもよいだろう．われわれは、制度の生成、変遷、消滅や複数制度の共存を伴う経済社会進化を制度生態系として理解したいと考える．その場合には、このように広い相対頻度の範囲の複製子(ルール)について考える必要がある．共有される一定期間についても、同様に程度問題に帰着し、考えたい問題に応じて適宜設定される必要がある．

ルール生態系ダイナミクスは、2種類の複製子、すなわち戦略ルール(内部ルール)とゲームルール(外なる制度としての外部ルール)の相互作用系として捉えられた．制度生態系ダイナミクスの場合も、法、規範、規則のようなゲームルールが相対的に多くの主体に共有化されれば「外なる制

度」になり、習慣、慣習、価値のような戦略ルールが相対的に多くの主体に共有化されれば「内なる制度」になると考えている。このように複製子と同じく制度も2種類存在し、制度生態系ではそれらが相互作用することで、相互に支え合ったり、一方の変化が他方の変化を誘発したりしているということである。従来の制度観はもっぱら外なる制度だけに焦点を当てて制度を理解しようとしてきた。そのため、内なる制度の存在と役割が無視されてきた。しかし、制度生態系では、外なる制度と内なる制度の両者の相互作用のダイナミクスを理解することがとりわけ重要である。

では、複数のゲームルール（外なる制度）が補完性や代替性といった関係を持ち、相互作用しながら、主体の戦略の変化と相まって変化していくという制度生態系は、具体的にはどのようなものがあるだろうか。その例として考えられるのは、2000年代アルゼンチンの貨幣制度である。当時のアルゼンチンでは、政府の外国債デフォルトにより国家通貨ペソの信用が失墜し、基軸通貨（ドル）、国家通貨（ペソ）、債券通貨（パタコン・レコップ）、そして、地域通貨（RGT等）といった複数の貨幣が併存する時期があった（Gomez, 2009）。これら複数種貨幣は、その使用ドメインに違いがあり、各貨幣を使用する階層や各貨幣で購入（支払い）できるもの、使える市場が異なるものであった。

このように、複数の貨幣があり、それぞれがその使用域を拡大しようとしている系を考えると、貨幣という外なる制度（ゲームルール）と、複数種の貨幣に関するポートフォリオミックス設定という内なる制度（戦略ルール）という2集団が相互作用する生態系として、貨幣制度生態系を見ることができる。ここでは、貨幣という外なる制度を表す複製子にとってと同時に、貨幣に関する価値意識のような内なる制度（内部ルール）を表す複製子にとっても使用者は乗り物であり、両者はより多くの人に使ってもらうことを志向する。使用者にとって貨幣は資源であり、様々な種類の貨幣をより多く獲得したいと考える。と同時に、使用者は貨幣という制度を評価することで、メタルルールの形成に関与する主体でもある。これはまさに、式(30)(31)の形をした、制度生態系におけるゲームルールと戦略ルールという2つの異なるレベルにある複製子の相互作用ダイナミクスとなっているだろう。

4.3 貨幣制度生態系におけるメタルール

アルゼンチンを代表例とするような貨幣制度生態系において、使用者の戦略ルール（内部ルール）とともに貨幣の流通範囲や流通量は変化し、複数の貨幣が共存する制度生態系そのものが変化していく。ここで、戦略ルールに相当する内部ルールとは、主体の認知・思考・行動を決定するような習慣、性癖、ルーティン、規範、価値などからなるルールである。そして、ゲームルールであるこうした貨幣という外なる制度と貨幣ポートフォリオのような内なる制度とをともに変化させていく進化過程の根底には、人々の価値意識があるのではないだろうか。その価値意識は、貨幣制度を評価するルール、すなわち、ルール生態系ダイナミクスにおけるメタルールの役割を担うものと考えられる。各主体は、自己の内部ルール（戦略ルール）やそうした内部ルールから得られる利得（貨幣所得だけとは限らず、社会的、文化的価値も含まれる）を参照して、貨幣制度（ゲームルール）に対する評価をどの貨幣をどの程度使用するか（どのゲームに相対的に参加するか）という重みの形式で表現しているであろう。そうした重みを決定するための基準であるメタルールはどのよ

うなものだろうか．このような問題意識のもと，貨幣意識調査が行われた（小林他，2010）．

この調査では，地域通貨の運営者・発行者および参加者・利用者，金融機関に従事している者・していた者，その他（社会人・学部生・大学院生）（計 164 名）を対象にして，貨幣意識に関する全 27 の質問をランダムな順番で回答者に提示し，5 つの選択肢（強い肯定・弱い肯定・中立的・弱い否定・強い否定）から当てはまるものを選択してもらう，というものである．回答の因子分析より，「多様性」「公正」「利益志向」という 3 つの因子が浮かび上がった（小林他，2010）．

「多様性」は，「国民通貨と異なる他のお金を利用できるのがよいか」，「人々が自由にお金を創造・発行できる方がよいと思うか」，「お金の発行権を中央銀行や商業銀行だけでなく人々やコミュニティも持つべきだと思うか」といった項目が高い負荷量を示すものであり，これが第一因子であった．「公正」は，「政府が所定の年齢を超える全成人に最低限の生活のための基礎所得を一律給付すべきだと思うか」，「お金を人々の間で融通し合うことは良いことだと思うか」，「お金の貸し手は商業銀行などの金融機関でなく、政府であるべきだと思うか」など，主にお金の公平な配分に関わる項目が高い負荷量を示したものである（第二因子）．そして，「利益志向」は，「お金で何でも買える方がよいと思うか」，「お金は儲ければ儲けるほどよいと思うか」，「お金は営利目的で発行した方がよいと思うか」といった項目について高い負荷量を示した．

第 3 章の例で示したメタルールとの関係を見ると，「公正」は公平な配分を高く評価するということから結果としての平等を志向する「逆分散型メタルール」に，「利益志向」はよりお金を増やし便利に使うことに重きを置いているので，平均所得の増大を志向する経済成長主義に近い「平均利得型メタルール」に対応するものと考えられる．

上記のシミュレーション解析の結果から考えると，もし「利益志向」のメタルールを持つ人々ばかりだとすると，お金を儲けられる，なんでも購入できる一つの貨幣へと収束していくことになるだろう．これは，プラットフォーム制度である貨幣は一つの「事実上の標準」へロックインすることを示唆する，収穫逓増とネットワーク外部性に基づく標準化競争に関する議論（Arthur, 1994）と同様の予測である．もし結果としての平等を求め「公正」を志向する貨幣制度が施行されたとしても，やはりその貨幣を用いて経済活動が行われるのであれば所得の格差はどうしても生じるものであり，上記シミュレーションの結果からは，その貨幣制度は真なる公正を求めて改正され続けることとなるだろう．

では，貨幣意識調査（小林他，2010）で第一因子であった「多様性」は，ルール生態系ダイナミクスの枠組みにおけるメタルール（ゲームの評価関数）としてどのように定式化されるだろうか．たとえば，「多様性」を得点分布の幅広さと考えると，分散を用いる関数が考えられる（利得分散型メタルール）．

$$\lambda_V^g(\mathbf{x}, \mathbf{u}) = \sum_{i_1, \dots, i_M} x_{i_1 \dots i_M} (u_{i_1 \dots i_M}^g - \bar{u}^g)^2 \quad (32)$$

これは，相互作用の結果として生じる各戦略ルールの利得プロファイルが多様であることを評価するものである．一方，貨幣意識調査において「貨幣の多様性」で負荷量が高かった質問項目は，「国民通貨と異なる他のお金を利用できるのが良いか」「人々が自由にお金を創造・発行できる方がよいと思うか」「お金の発行権を中央銀行や商業銀行だけでなく人々やコミュニティも持つべきだと思うか」というものである．これは，複数の（貨幣）制度が併存することを重視するものだと解

積できるだろう．すなわち，相互作用の結果ではなく機会の多様性を評価しているものと考えべきであろう．したがって，利得プロファイルが多様であることを評価する利得分散型メタルールは，ゲームルール（外なる制度）が多様であることの間接的な結果（0次近似）としてしか使えないものである．

残念ながら，これまで定式化してきた制度生態系ダイナミクスでは，ゲームルールの多様性を直接に評価することはできない．ここで，ゲームルールの多様性を直接評価するようにルール生態系ダイナミクスの枠組みを拡張することを検討しよう．そのためには，重みプロファイル w をメタルールの評価関数に入れるように，式 (21) を次のように定義しなおさなくてはならない．

$$\lambda^g = \lambda^g(\mathbf{x}, \mathbf{u}^g, \mathbf{w}) \quad (33)$$

その上で，ゲームルールの多様性を重みの分散や平均からの距離などを勘案してゲームルールの評価を決定する関数（メタルール）を導入する．ゲームルールの多様性を重みの分散で評価する方法（重み分散型メタルール）は使えない．なぜなら

$$\lambda_{\text{WV}}^g(\mathbf{x}, \mathbf{u}, \mathbf{w}) = \sum_{g=1}^M (w^g - \bar{w}^g)^2 \quad (34)$$

という式からわかるように，これはゲームルール全体の重みプロファイルで決まるもので個々のゲームルールを評価するものにはならない（右辺では g というインデックスが消えてしまう）．すなわち，個々の貨幣制度についての評価ではなく，貨幣制度生態系全体のあり方（生態系における制度の多様性）を評価する基準となっている．そこで，ルールの評価を最高重み（ w^{MAX} とする）からの差

$$\lambda_{\text{WD}}^g(\mathbf{x}, \mathbf{u}, \mathbf{w}) = w^{\text{MAX}} - w^g \quad (35)$$

としてはどうだろうか．このメタルールでは重みが低いゲームルールを高く評価することになる．すなわち，あまり評価されていないゲームルールを評価するように働く．したがって，重みが均一化することが予想される．

あるいは，全体の分散ではなく個々のゲームルールの重みの平均との近さを評価する

$$\lambda_{\text{WD}}^g(\mathbf{x}, \mathbf{u}, \mathbf{w}) = (w^g - \bar{w}^g)^{-2} \quad (36)$$

というメタルールも考えられる．

また，貨幣意識調査から3つのメタルールが見いだされたということは，実際にはどれか1つが存在するのではなく，3つが合わさって存在していると思われる．またその配分は各個人での違いがあるだろう．実際，小林他 (2010) は，地域通貨関係者と金融関係者とで重点が異なることを示した．だとするならば，ルール生態系ダイナミクスにおいては，

$$\lambda_{\text{A}}^g(\mathbf{x}, \mathbf{u}) = \alpha \lambda_{\text{A}}^g + \beta \lambda_{\text{IV}}^g + \gamma \lambda_{\text{V}}^g \quad (\alpha + \beta + \gamma = 1) \quad (37)$$

のように，複数のメタルールを結合させたもので分析を進めなくてはならない．これらのメタルールは，分散型と逆分散型のように振る舞いの異なる関数の結合であり，そのダイナミクスは複雑なものとなるだろう．

4.4 ミクロ・メゾ・マクロ・ループとしてのルール生態系ダイナミクス

動的な社会は、次のようなミクロ・メゾ・マクロ・ループとして理解できる。すなわち、制度は、主体の認識・思考・行動（ミクロ）と社会的帰結（マクロ）を繋ぐメゾに位置し、主体の相互作用を通して生成、維持、変化、消滅する。その過程で制度間に代替・補完関係が形成される。この時、ミクロがメゾを媒介としてマクロを決定すると同時に、マクロがメゾを媒介としてミクロを決定するという、ミクロ・メゾ・マクロ・ループが作動する（西部忠, 2006）。この観点から、もう一度ルール生態系を考察してみよう。

まず、元となるレプリケータ系がどうなっていると考えられるかを図3に示す。ミクロに位置づけられる主体が持つ戦略ルール（内部ルール）群がゲームルール（外なる制度としての外部ルール）を介して相互作用し、そのマクロの社会的帰結として得点分布が形成される。レプリケータ・ダイナミクスはこの得点分布に応じて戦略ルール群の分布が変わるというものであり、ここでマクロからミクロへの規定関係が形成される。このように、ゲームルールは、ミクロとマクロを繋ぐ次元（メゾ）にあると考えられる。ゲームルール（形式）を外部ルールと見るならば、ミクロ：メゾ：マクロ = 戦略ルール（内部ルール）：ゲームルール（外なる制度としての外部ルール）：社会的帰結という対比が成立する。しかし、通常のリプリケータ・ダイナミクスではマクロからメゾへの規定関係はなく、そのためゲームの変化は生じない。したがって、ミクロ・メゾ・マクロ・ループを通して制度が生成・変化するダイナミクスは記述・分析しえない。

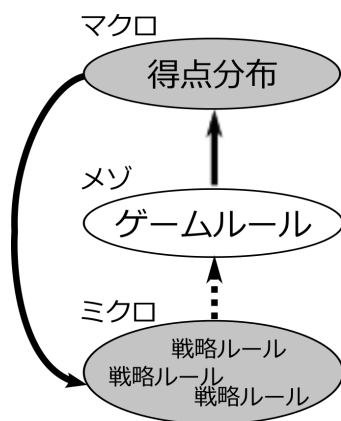


図3 レプリケータ系のミクロ・メゾ・マクロ・ループ。点線は入力，実線は作用を表す。網掛け部分は動的，白抜きは静的。

一方、戦略的予想の均衡を制度と考える立場 (Lewis, 1969; Aoki, 1996; Young, 1998) では、均衡における戦略分布が共有信念としてメゾに位置づけられることで制度となる（図4）。そして、この立場では、ミクロ、メゾ、マクロの全てが静的に維持され、マクロからミクロへの規定関係は制度の安定化・自己維持として働くことになる。

つぎに、ルール生態系におけるミクロ・メゾ・マクロ・ループのあり方を考える（図5）。ここではメタルールを導入しているため、ミクロの状態とマクロの状態がメタルールを介してゲームル

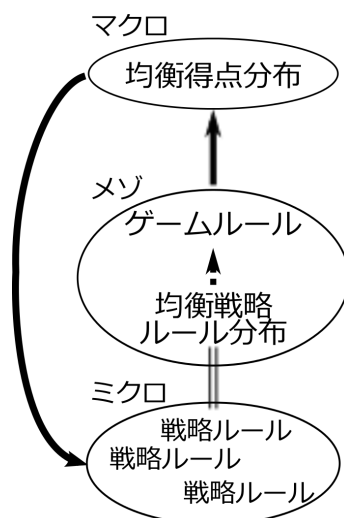


図4 均衡状態にあるレプリケータ系のマイクロ・メゾ・マクロ・ループ．点線は入力，実線は作用を表す．白抜きは静的．

ルへと作用する．したがって，マクロからメゾへの規定関係があり，マイクロからメゾへの規定関係についてはゲームルールへと入力されるパスと，マクロ状態と相まってゲームルールの評価に影響するというパスがあり，これら2つの規定関係追加されることになる．この結果，マイクロ・メゾ・マクロ・ループが形成され，ゲームルールが動的に変化するようになる．

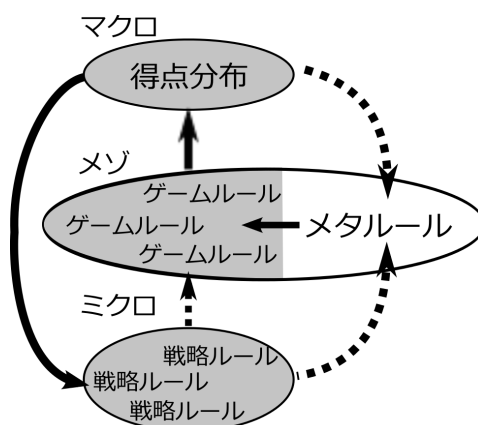


図5 ルール生態系のマイクロ・メゾ・マクロ・ループ．点線は入力，実線は作用を表す．網掛けは動的，白抜きは静的．

ルール生態系の枠組みが時間変化するゲームを持つレプリケータ系という特徴を持つことは，次のように見るとわかりやすい．複数のゲームをプレイしている主体たちが作る社会の状態を，各要素ゲームの重みつき平均で特徴づけよう．これをトータルゲームと呼び，

$$G_T = \sum_{g=1}^M w^g A^g \quad (38)$$

を導入する．ここで， A^g ($g = 1, \dots, M$) は要素ゲーム g の利得行列である．この形から明らかのように， $w^g = w^g(t)$ と時間変化するので， G_T も時間に依存する関数となる．このトータルゲームを用いて，ルール生態系における戦略ルール個体数分布のダイナミクス(19)を行列形式で表すと，

$$\dot{x} = (G_T(t)x - x \cdot G_T(t)x) x \quad (39)$$

となる．すなわち，この系は時間変化する相互作用行列 $G_T(t)$ を通じて相互作用し時間発展する戦略ルール群とゲームルール群という二重の複製子群を扱う，拡張されたレプリケータ方程式というかたちをしている．

ここでは，戦略ルールの均衡分布と同様に，ゲームルールの均衡を考えることもできる．ある戦略ルールプロファイル x の下で，ゲームルール g (トータルゲームでもよい) が、任意のゲームルール g' に対し，メタルールが

$$\lambda^g(x, u^g) > \lambda^{g'}(x, u^{g'}) \quad (40)$$

を満たすとき，ゲームルール g はあらゆるゲームルールの侵入に対し安定である．さらに，その戦略ルールプロファイル x が進化的安定戦略ルールプロファイルであるならば，ゲームルールと戦略ルールの両方で変化の誘因がない．よって，その系はゲームルールと戦略ルールの両方に関して均衡状態にある．この，進化的安定戦略ルールプロファイル x の下でのゲームルール g を進化的安定ゲーム (evolutionary stable game, ESG) と呼ぶ．

このようにルール生態系では，進化的安定ゲームルール，進化的安定戦略ルールが存在し，系全体に均衡状態が実現されているならば，ミクロ・メゾ・マクロ・ループは図6のようになり，ミクロ，メゾ，マクロが変化しない静的な状態となる．平均型メタルールのように単純なメタルールの場合はこのような均衡状態が実現されるであろうが，逆分散型メタルールのように常に他のゲームルールに侵入されるようなメタルールもある．前節で述べたように，実際の社会ではこのようなメタルールの複合が常態であり，あらゆるゲーム g' に対して $\lambda^g(x, u^g) > \lambda^{g'}(x, u^{g'})$ となるような進化的安定ゲームルールが存在することは難しいであろう．

5 結論

本稿では，進化ゲーム理論とレプリケータ・ダイナミクスの統合・拡張としてルール生態系ダイナミクスを導入し，戦略ルールとゲームルールの両方における動的な変化が実現されることを見た．これは，戦略とゲームの両者をルールという観点で一元的に取り扱うことにより，制度に対するゲーム論的な2つの見方がうまく統合されていると考えられる．実際に，逆分散型メタルールの場合のように，戦略ルールとゲームルールが準安定状態の間を断続的に変化するというダイナミクスが実現される．

ルール生態系は複数集団レプリケータ系という見方ができることから，ゲームルールも個々人の戦略ルールとの相互作用を通じて複製されていく複製子 = 外部ルールであると考えられる．そして，共有化された戦略 = 内部ルールとの複製子の二重性を扱うためには，ミクロとマクロに加えて，その間に存在しミクロとマクロを繋ぐメゾレベルを導入した，ミクロ・メゾ・マクロ・ループという概念が必要である．

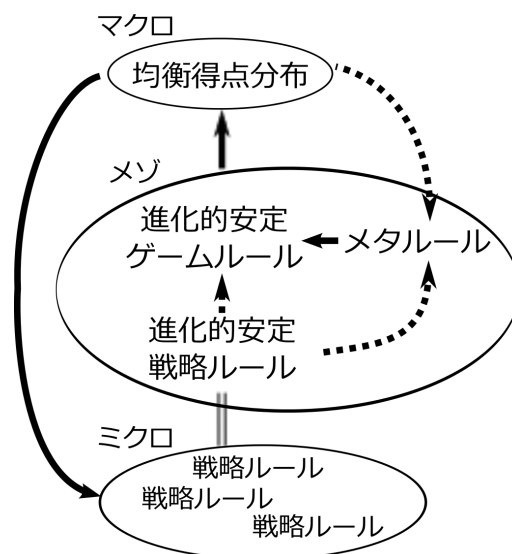


図6 均衡状態にあるルール生態系のミクロ・メゾ・マクロ・ループ。点線は入力，実線は作用を表す。白抜きは静的。

貨幣制度生態系と貨幣意識の調査結果からの考察より、「多様性」を表すメタルールを定式化し、多様性、公正、利益志向が複合したような系に対する解析をする必要があることが示された。そして、制度の多様性を直接評価するように、ルール生態系ダイナミクスの枠組み自体の拡張を検討した。さらに、これら3つのメタルールを結合した系を扱う必要がある。この系のダイナミクスの解析は今後の課題である。

メタルールは人々のゲームへの評価が重み付けとして集合的に表現されるものであり、うまく操作することは難しいだろう。また、ミクロレベルの複製子である戦略ルールは、新古典派経済学のように合理性をアприオリの前提としないならば、個々人の認知枠、習慣、ルーティン、価値により決まる内部ルールと考えることになり、それが共有化されると、内なる制度である文化、伝統、規範、社会意識（貨幣意識）になる。こうした内部ルールや内なる制度に対して意識的に働きかけ、それを変化させることは不可能ではなく、現代では喫緊の政策課題として意識されつつある。例えば、原発事故に際して人々の危機意識に働きかけ節電を促進するという政策が実行されている。しかしながら、やはり直接それらを操作することはできず、直接の設計も困難である。したがって、外部ルールであるゲーム＝外なる制度、特に貨幣制度や会計制度などのプラットフォーム制度の制度設計を通じて、こうした複製子に対しても間接的な影響を与えるのが、進化主義的制度設計（西部忠, 2006, 2010c）である。ルール生態系ダイナミクスの枠組みとその実証性を発展させ、進化主義的制度設計を行い効果を予測するシミュレーション・モデルを作っていけるだろう。

参考文献

- Aoki, M. (1996). *Toward a Comparative Institutional Analysis*. The MIT Press.
 Arthur, W. B. (1994). *Increasing Returns and Path Dependence in the Economy*. University

- of Michigan Press.
- Gagen, M. J. (2000). “Information processing in multigame environments modeling the evolution of sex via punctuated equilibria”. *Journal of Theoretical Biology*, **206**(1) pp.55–72.
- Gagen, M. J. (2003). “Multigame models of innovation in evolutionary economics”. *Game Theory and Information* 0310001, EconWPA.
- Gomez, G. M. (2009). *Argentina’s Parallel Currency: The Economy of the Poor*. Pickering & Chatto Ltd.
- Hashimoto, K. (2009). “Unpredictability induced by unfocused games in evolutionary game dynamics”. *Journal of Theoretical Biology*, **241**(3) pp.669–675.
- Hashimoto, K. and K. Aihara (2009). “Fixation probabilities in evolutionary game dynamics with a two-strategy game in finite diploid populations”. *Journal of Theoretical Biology*, **258**(4) pp.637–645.
- Hashimoto, T. (2006). “Evolutionary linguistics and evolutionary economics”. *Evolutionary and Institutional Economics Review*, **3**(1) pp.27–46.
- Hashimoto, T. and M. Nishibe (2005). “Rule ecology dynamics for studying dynamical and interactional nature of social institutions”. In *Proceedings of The Tenth International Symposium on Artificial Life and Robotics (CD-ROM)*.
- Hayek, F. A. (1967). “Notes on the Evolution of Systems of Rules of Conduct”. In *Studies in Philosophy, Politics, Economics and the History of Ideas*. University of Chicago Press.
- Hurwicz, L. (1996). “Institutions as families of game forms”. *Japanese Economic Review*, **47** pp.113–32.
- Lewis, D. (1969). *Convention*. Harvard University Press.
- North, D. C. (1990). *Institutions, Institutional Change and Economic Performance*. Cambridge University Press.
- Sallach, D. L., M. J. North, and E. Tatara (2010). “Multigame dynamics: structures and strategies”. In T. Bosse, A. Geller, and C. M. Jonker, (eds), *Proceedings of the 11th international conference on Multi-agent-based simulation*, pp. 108–120, Berlin. Springer-Verlag.
- Veblen, T. (1899). *The Theory of the Leisure Class: An Economic Study in the Evolution of Institutions*. New York: Macmillan.
- Young, H. P. (1998). *Individual Strategy and Social Structure – An Evolutionary Theory of Institutions*. Princeton University Press.
- 橋本敬・佐藤尚・西部忠 (2010). 「制度」江頭進・澤邊紀生・橋本敬・西部忠・吉田雅明 (編). 『進化経済学基礎』. 東京: 日本経済評論社, 第 4 章 5 章, pp. 88–96.
- 小林重人*・西部忠*・栗田健一・橋本敬 (2010). 「社会活動による貨幣意識の差異 - 地域通貨関係者と金融関係者の比較から - 」. 企業研究, **17** pp.73–91. *equal contribution.
- 西部忠 (2005). 「進化経済学の現在」吉田雅明 (編). 『経済学の現在 II』. 東京: 日本経済評論社, p. ?

- 西部忠 (2006). 「進化主義的制度設計におけるルールと制度」. 経済学研究 (北海道大学), 56(2).
- 西部忠 (2010a). 「四つの政策：内なる制度と外なる制度による分類」江頭進・澤邊紀生・橋本敬・西部忠・吉田雅明 (編). 『進化経済学基礎』. 東京: 日本経済評論社, 第 7 章 2 章, p. ?
- 西部忠 (2010b). 「進化-複製子と相互作用子-」江頭進・澤邊紀生・橋本敬・西部忠・吉田雅明 (編). 『進化経済学基礎』. 東京: 日本経済評論社, 第 4 章 2 章, pp. 69-81.
- 西部忠 (2010c). 「制度生態系」江頭進・澤邊紀生・橋本敬・西部忠・吉田雅明 (編). 『進化経済学基礎』. 東京: 日本経済評論社, 第 7 章 1 章, p. ?