Economic Bulletin of Senshu University
Vol.46, No.3, 105-114, 2012

《研究ノート》

進化経済学「原論」の構築（続）[1]

吉田 雅明

前稿[2]では進化経済学を体系的に提示するという観点から，『進化経済学　基礎』（赤本）にしたがってその基本了解を解説した。すなわち，不可逆的時間下に有限能力の主体が活動していること経済社会の基本的属性とし，基本的属性から派生する概念を加えて基礎概念を規定し，これを前提とする経済社会のシステムモデルを構築し，そのシステムのとる状態として，制度および進化を定義した。ここにいたって，制度生成や社会進化と考えられる社会現象の事例記述の段階から進んで，進化経済学は社会を認識するための独自の体系的なフレームワークを持つことができる。それに続くべき作業は，基本了解を表現するための適切なツールを選択した上での，基本モデルの構築作業であり，そこではじめてシステムの振舞いを具体的に論じることが可能になる。

本稿は赤本５章で示された進化経済学の基本モデルを解説し，その経済学的含意と拡張の手順を明らかにすることを目的とする。

1．エントリーモデルⅠ

赤本５章で導入したのは，バッファつき定型行動をとる主体が不可逆時間下で相互作用を行うことによって展開する系がどのように振舞うのかを理解するためのエントリーモデルである。

本来，進化経済学が扱おうとする系は，個々の主体にとっては全体を見渡すことなど不可能なくらいに巨大・複雑なものである。その中で個々の主体は他者の行動パターンを学習し，模倣することによって共有される行動パターンとしての「制度」が生まれる。しかるにこの赤本のモデル（エントリーモデルⅠとする）は，主体数２，しかも学習も限定的な形でしか入らない。これほど最終目標から離れて単純なところからモデル構築を始める理由は，不可逆時間下で定型行動主体が構成する相互作用系の振舞いの特徴をできるだけ簡潔に示すためである。それは経済学が慣れ親しんできた最適化均衡システムとは大きく異なり，また，学習を含まない場合でもかなり複雑な振舞いを見せる。

1–1．定型行動の活動水準の調整出力はどう変わるか

さて，定型行動とは，「条件**A**が成立するときには行動Ｂを実行する」というタイプの行動をいうが，不可逆時間下で結果は取り消し不

可能であるとはいえ，パターン化された行動自体は繰り返されるものであるため，以下では単に「行動Ｂを実行する」のではなく，「行動Ｂの活動水準を調整する」ものとしてモデルを構築する。したがって，まず表現されるべき定型行動は，「条件**A**が成立するときには行動Ｂの活動水準の調整を実行する」という調整行動になる。ここで前件部の「条件**A**が成立する」という部分を，主体が受け取る入力情報を１元化し，それが条件充足基準Sとの大小関係によって「成立する」か否かを判定するものとしよう。すると，出力があるパターン化された行動の活動水準調整は上方にも下方にも行われるが，これは大小関係とプラス／マイナス調整を対応させれば一括して表現できる。

一方，入力情報としてx_1，x_2，・・・，x_nのn個の情報があったとしよう。それらを一元化するというのは，それぞれの情報を重視する度合いに応じて加重平均を取ることで表現する。すなわち，入力情報のそれぞれに対応するウェイトをw_1，w_2，・・・，w_nとして，$w_1x_1+w_2x_2+\cdots+w_nx_n=\sum_{i=1}^{n}w_ix_i$を一元化された入力情報とするのである。これを条件充足基準Sと比べて非負ならば＋１，負ならば－１の調整シグナルを与える関数をf( )とし，それに調整係数aを掛けたものを調整出力とすると，この主体の調整出力yは次のように定式化できる。

$$y=a\mathrm{f}\left(\sum_{i=1}^{n}w_ix_i-S\right) \tag{1}$$

グラフに描けばfig. 1のようになる。

もしも横軸にこのシステム内部からの情報入力$\sum_{i=1}^{n}w_ix_i$をとるならば，階段関数の閾値はS（この図では０）となり，グラフはSが大きいほど右に移動する。

さて，進化経済学の想定する主体はこのような定型行動主体であるため，調整行動の結果がその主体にとって最適な状態である保証はなにもない。すなわち直面している状況に対して最も望ましい対応をとれていないのが通常であるから，そのような状態にあっても直ちにその主体の存続が脅かされないための装置－これを「バッファ」と名付けた概念で捉えることにする－がなければいけない。バッファ概念が具現化した例をあげると，商店の営業活動における在庫，支払いと受け取りを含む取引活動における貯蓄，大きな感情変化を伴うコミュニケーションにおける気持ちのゆとり，などがある。これらの装置があるために，入力情報による刺激の大きさが小さくてノイズと判別しにくいときに，当面の出力調整を見送ることが可能になるという「バッファ効果」が生まれる。この点を

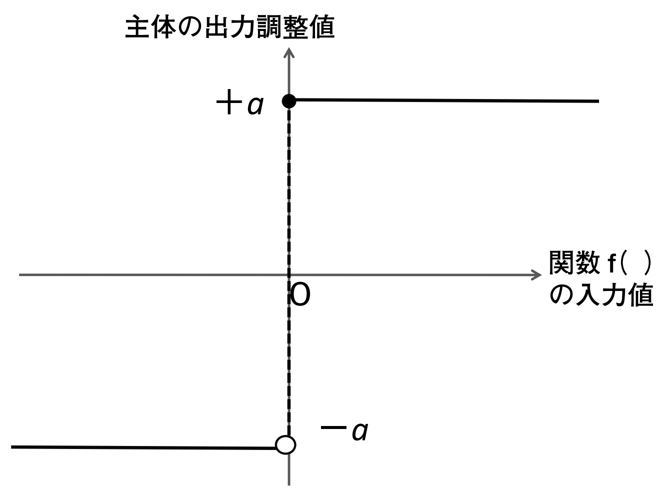

fig. 1　調整出力関数

考慮し，$\boldsymbol{S}$ との大小関係の判別において，$\pm\beta$ の範囲までのギャップであれば調整出力を０とする帯域を導入するならば，先ほどの図は fig. 2 のようになる。

1-2.　２主体出力調整の相互作用系の振る舞い

では，このような主体が２人いて，互いに相手の調整出力を自らの入力情報として自らの調整出力を決定するならば，系の振舞いはどうなるだろうか。$\boldsymbol{S}=0$，$\mathbf{A}=1$ のケースで考えてみよう。fig. 2を主体１の調整出力決定グラフとして読むならば，横軸は主体２の調整出力ということになり，直前の主体２の調整出力（Ⅱ（⓪）とする）に対応する主体１の調整出力を縦軸に読み取ることができる（これをⅠ(①)とする)。主体２の調整出力決定も同じ図で表されるので，横軸にⅠ（①）をとれば，主体２の次の調整出力を縦軸に読み取ることができる(これをⅡ(②)とする)。さらに横軸にⅡ(②)を

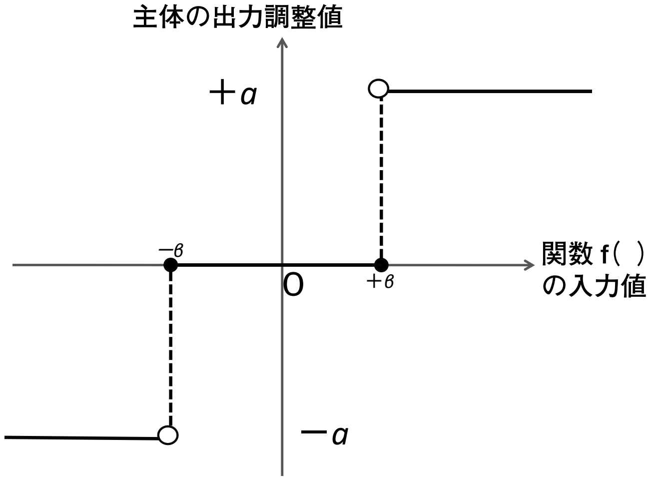

fig. 2　バッファつき調整出力関数

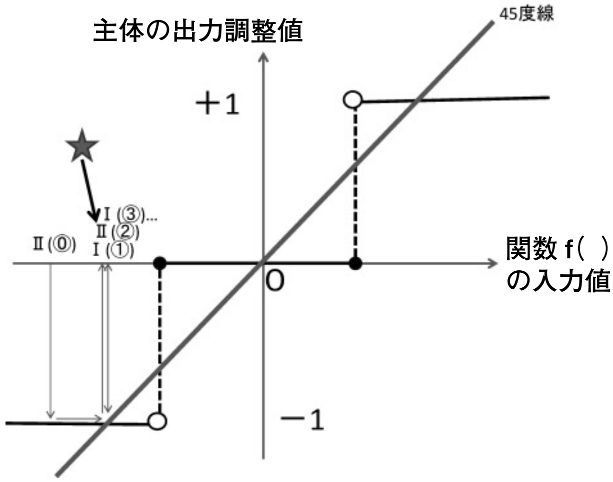

fig. 3　２主体調整出力相互作用系の振舞い

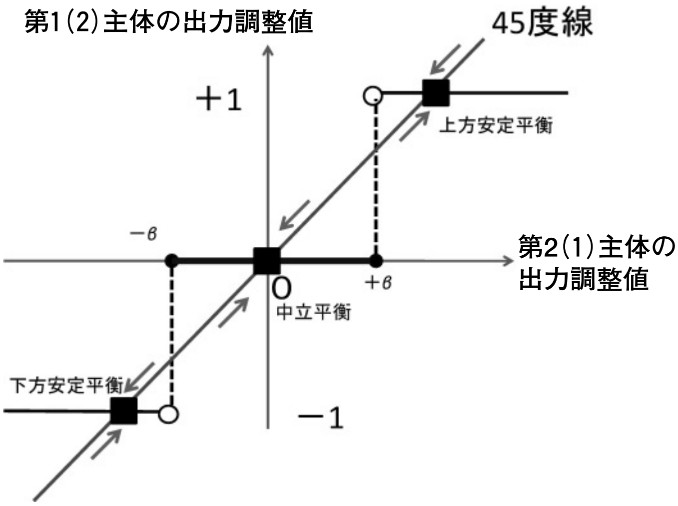

fig. 4　2主体調整出力相互作用系の平衡

とれば…と続けていけば，各主体の出力調整の行方を追っていくことができるが，その様子はグラフに45度線を加えればわかりやすい。グラフの値をそのまま横軸に移し替えるには，その値を通る水平線と45度線の交点で折り返して横軸を見ればよいからである。

たとえばfig. 3のⅡ(⓪)から始めるならば，主体１の調整出力も，主体２の調整出力も横軸の★印のところに落ち着く。一度で平衡点に到達するのは，階段関数でモデル化したからであり，充足基準を満たすか否かの度合いを±１と０ではなく，その中間の実数値もなめらかにとることができるシグモイド関数でモデル化するならば，もう少し回数がかかるが，考察の仕方は同じである。出発点をいろいろな値にとって見れば，単純な相互作用系はfig. 4のように３つの平衡点をもちうることがわかる。

なお，ここまでは $S=0$ として作図したが，$S>0$ であればその大きさだけグラフは右にシフトする。S が十分大きくなれば，平衡点は「下方安定平衡」のみになる。また，$S<0$ であればグラフはその大きさだけ左にシフトし，それが十分大きければ平衡点は「上方安定平衡」のみになる。５章のモデルでは入力情報の中に，相互作用系のモデルに登場する主体の調整出力以外の条件，つまり外部刺激の変化分という環境条件の変化 ΔZ も入っているが，条件充足基準とは違ってプラスの項なので，これがプラス方向への変化ならばグラフは左へ，マイナス方向への変化ならばグラフは左というように，S とは逆の動きをすることになる。

1–3. 定型行動の活動の絶対水準はどう動くか

以上の考察で，２主体相互作用系での主体の「調整出力」がどうなるかということがわかった。では，活動の絶対水準はどう変わっていくだろうか。

進化経済学の想定する主体は，目（情報収集）・頭（情報処理）に加えて手（作用）についても能力有限であるから，１回の調整可能量が限られていることに加えて，活動可能水準にも上限と下限がある。たとえば，企業であれば金額で考えても物量で考えても，現状の設備や資金繰りの範囲に縛られる生産容量を超えて生産活動を活発化させることはできないし，その一方で，損益分岐点[3]を下回って生産活動を続けていると負債がかさんで倒産してしまう。個

人の消費活動でも，もし生活必需品に関して考えてみれば，そこに飽和する上限と最低限度の生活維持のための下限がある。すると，２主体相互作用系のモデルに戻ってみれば，いずれかの主体の調整行動を受けての調整出力が上方安定平衡にあれば，いずれの主体も活動水準を活発化させつづける結果，やがていずれかの主体が活動上限に到達し，それ以上の上方調整ができなくなると調整出力を０とせざるを得ず，それを受けて他の主体も調整出力を０に戻すため，両者はこの活動水準にとどまることになる。逆に下方安定平衡にあれば，いずれの主体も活動水準を低下させつづけ，同様の推論によりやがて活動下限に達してそこにとどまることになる。

しかし中立平衡にあるときは，お互いに調整出力を行わないのであるから，それ以前の活動水準にそれぞれとどまるはずである。活動水準自体は活動上限から下限の間のどこでもかまわない。そこでいかなる主体の思いつきの行動調整も，そのサイズが±βに収まるときは，他方の主体は中立的になって何らの調整行動も起こさず，それを受けての元の主体もそれ以上調整出力を行わず，以下調整行動は中立平衡，活動水準はたまたまいきついた先の状態にとどまることになる。したがって，それぞれの主体について活動水準の上限と下限の間のすべての水準の組み合わせが，活動水準の平衡となりうることがわかる。

1-4.「学習」の導入

ここまではいずれの主体も最初に設定された行動ルールにしたがって調整出力を行うだけであった。そこで自らの状況を評価して行動ルールを変化させるルール，すなわちメタ行動ルールのかたちで「学習」を導入してみよう。

if　活動水準が上限にある
　then　条件充足基準を上方調整する
　　else if　活動水準が下限にある
　　　then　条件充足基準を下方調整する
end if

という条件充足基準を変更する行動ルールの導入である。たとえば消費活動が上限で続けられ，飽和状態が続いたら次第に条件充足基準が高まっていき，以前は出力の上方調整を行っていた水準の刺激（所得増加や新製品の発表など）に反応しなくなり，また一方，消費活動が下限で続けられ飢餓状態が続いたら次第に条件充足基準が低くなり，以前なら下方調整を行っていたような水準の刺激に反応しなくなる，といった行動ルールの変更である。

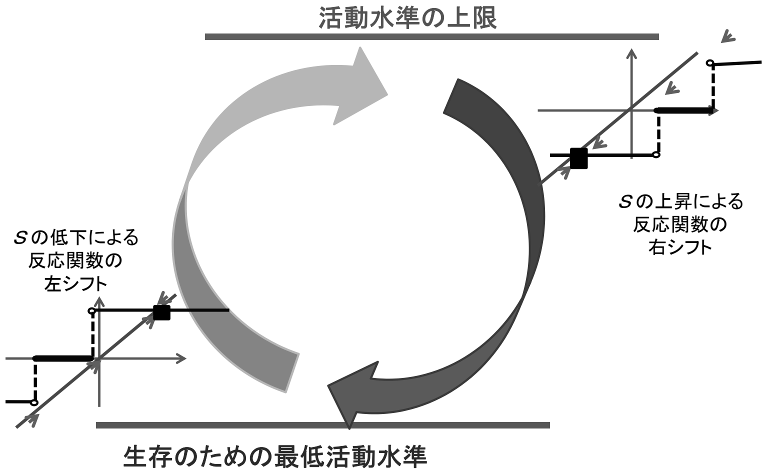

fig. 5　状況変化による充足基準変化によって生じる活動水準のサイクル

すると，1-2節で言及したように，反応関数が S の上昇に対して右にシフト，低下に対して左シフトし，活動上限にあっては水準の下方調整，活動下限にあっては上方調整が行われるようになり，fig. 5のようなシステム中の主体の活動水準にサイクル運動がみられるようになる。

やはり同箇所で触れたように，外部刺激水準の変化によっても反応関数は（逆方向であるが）シフトするので，同様の動きが生じる。これは，人々の定型行動のパターンの変化速度が十分遅く，システムの大まかな振舞い方が把握できていて，環境に働きかける適切な手段があるという条件つきで，システムを制御すること－経済政策の可能性を示唆している。

2．エントリーモデルⅠの経済学的含意

ここまではif－thenルールにしたがう２主体からなる相互作用系の振舞いを確認したのだが，抽象的表現ではその経済学的含意はわかりにくいかもしれない。そこで経済モデルとしての具体例を示しておこう。

（例）　**進化経済学的なマクロ経済学入門**（赤本７章４節）

社会の所得を生み出す生産部門として，消費財および資本財の２部門を考える。資本財部門の生産水準は環境条件として所与とし，消費財部門の生産水準を決定する企業家群と給与所得家計群という，２主体の相互作用系を構築する。２主体は次のような定型行動を行う。

主体１：消費財生産企業家グループ

if　今期売上高（消費支出額）

≠前期生産費×（１＋正常マークアップ率）

then　今期生産費を売上高に合わせて調整：雇用量もそれに合わせて調整

主体２：給与所得家計グループ

if　今期所得≠想定所得

then　次期消費支出額を所得の変化方向に合わせて調整

ここで，主体１の売上高は，主体２の消費支出高（前期所得を反映）に等しい。また，家計の想定所得は前期所得のこととし，これは主体２の所得は，主体１の生産量に合わせて変化する雇用量と，環境条件としての資本財生産企業家群の雇用量によって決まる。消費支出額の調整量は，今期所得と想定所得のギャップの０から１までの間の一定率とする。また，正常マーク

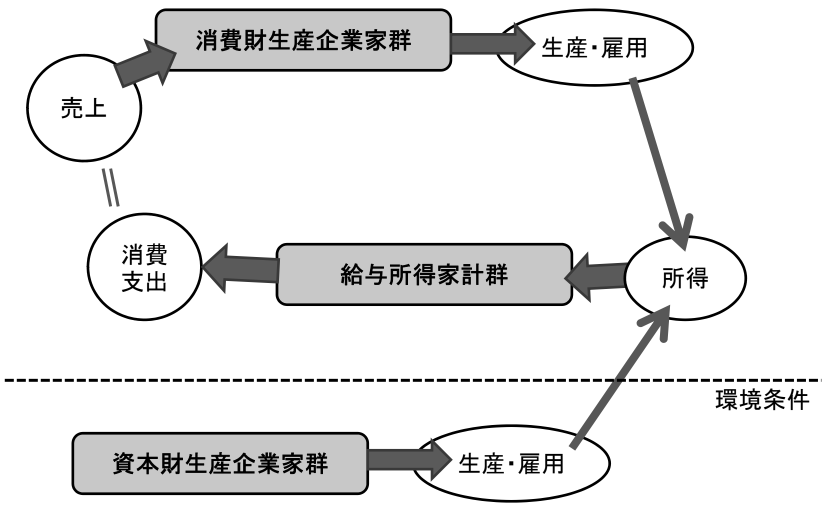

fig. 6　エントリーモデルⅠの応用：有効需要の原理

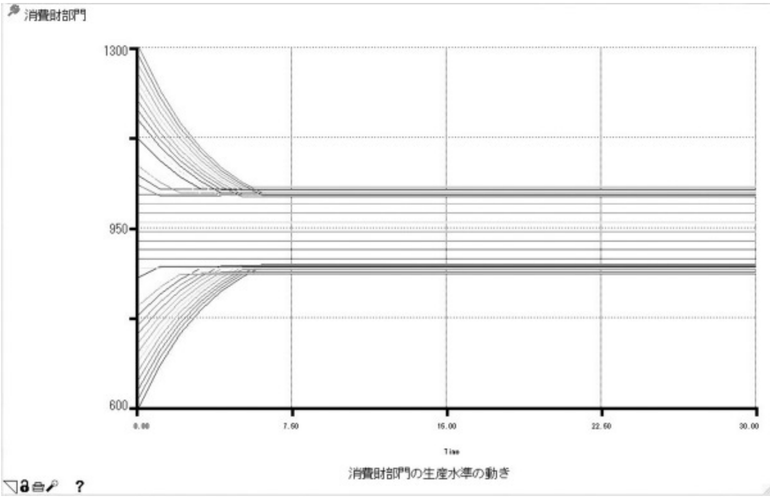

fig. 7　応用例の計算結果

アップ率も生産費に占める給与支払いの割合も一定とする。すると fig. 6のような相互作用系が構成される。

では具体的に計算してみよう。消費額調整の所得変化に対する割合80%，正常マークアップ率20%，生産費中の給与率90%は２生産部門共通，資本財生産企業家群の生産額は200で一定とした上で，消費財生産企業家群の生産水準の様々な初期値に対し，fig. 7はその後の経路を示している。生産水準が１つの値に収束しないのは±20以下の売上と（生産費＋正常マークアップ分）のギャップに対して生産調整を行わないようバッファを設定したからである。この平衡帯の位置は資本財生産企業家群の生産額によって上下する。

なお，各主体が１自然人や１組織ではなくグループなのは，同種類の定型行動をとっていると見なされるグループを，入力・出力のタイミングもシンクロしているものと見なし，グループをあたかも１主体のように取り扱っているからである。グループ内の多数の主体による相互作用，非同期の入力・出力を考慮するためには，統計力学を用いて代表値（平均値など）に着目したマクロ入出力関数を構築する手順が必要になる。

3．エントリーモデルⅡ

エントリーモデルⅠでは，主体数を２に限っていたため，システムの振舞いを見ることは容易であった。しかし，進化経済学が扱おうとする系は１主体が見渡すことのできないくらい大規模な多主体系である。では主体数を一般の n としても何かいえるだろうか。

式(1)に戻って考えてみよう。まず調整出力の平衡状態では，$\boldsymbol{x}_i(t+1)=\boldsymbol{x}_i(t)$ がすべての i について成り立っている。$\boldsymbol{x}_i$ の値は $\boldsymbol{x}_j$（$j=1, \cdots, n$）に依存して更新されるのであるから，それらを評価するウェイトは，平衡状態と整合的でなければならない。ひとまず $\boldsymbol{S}=0$ とし，調整出力がプラスかマイナスかという点だけに注目するならば，平衡状態での全主体の調整出力で構成されベクトル $\boldsymbol{x}^*$ として，第 i 主体が第 j 主体の調整出力を受け取る際のウェイト w_{ij} が $\boldsymbol{x}^*_i \cdot \boldsymbol{x}^*_j$ と同符号であればよい。それは，$\boldsymbol{x}^*_i=+1$ であるとき，調整出力が -1 の主体にはマイナスの係数を掛けプラスの入力値とし，$+1$ の主体にはプラスの係数を掛けてプ

ラスの入力値とすれば，それらの加重和である $\sum_{i=1}^{n} w_i x_i$ の値は必ずプラスになるし，$x^*_i = -1$ であるときは，調整出力が－１の主体にはプラスの係数を掛けてマイナスの入力値とし，＋１の主体にはマイナスの係数を掛けてマイナスの入力値となるので $\sum_{i=1}^{n} w_i x_i$ の値は必ずマイナスになるからである。

このようなウェイトが与えられているとき，t 時点の調整出力ベクトル $\boldsymbol{x}(t)$ が $\boldsymbol{x}^*$ に一致しているならば当然 $t+1$ 時点以降も調整出力ベクトルは $\boldsymbol{x}^*$ のままにとどまる。それだけでなく，要素の値が $\boldsymbol{x}^*$ と異なっている場合，つまりとりうる要素の値は±１なので逆符号の場合が混じっていても，それがあまり多くなければ，$\sum_{i=1}^{n} w_i x_i$ の符号は対応する $\boldsymbol{x}^*$ の各要素と同じになるため，やはり各要素は $\boldsymbol{x}^*$ に一致するように更新される。もしウェイトの絶対値がすべて等しいならば，$\boldsymbol{x}^*$ と $\sum_{i=1}^{n} w_i x_i$ の符号が一致するかどうかは単純に一致している要素数が一致していない要素数を上回っているか否かに依存するため，要素の値が異なっていてもそれが半数未満ならば，やはり符号は一致する。もしも半数を超えているならば，符号はすべて逆になり要素の値は $-\boldsymbol{x}^*$ に一致するように更新される。

ここまでは，１組の平衡状態ベクトル $\pm\boldsymbol{x}^*$ があるとして，それと整合的なウェイト行列 W を考えた上で，平衡状態とは異なる $\boldsymbol{x}(t)$ から $\pm\boldsymbol{x}^*$ のいずれかへ向かうことを見た。しかし，このような相互作用系がもちうる平衡状態は１組とは限らない。それは複数組の平衡状態を系がもつことと整合的なウェイトを構成しうるか，どのようなウェイトを与えれば複数組の平衡を持ちうるのかを考えればわかる。いま仮に２組の平衡状態，$\pm\boldsymbol{x}^{*1}$，$\pm\boldsymbol{x}^{*2}$ があって，それぞれに対して上で見たような整合的なウェイト行列 W_1，W_2 を計算する。ただし，すべての要素の絶対値は同じものとする。その上で，$W_1\boldsymbol{x}(t) + W_2\boldsymbol{x}(t)$ の符号によって $\boldsymbol{x}$ を更新する。このとき，もし $\boldsymbol{x}^{*1}$ に一致する $\boldsymbol{x}(t)$ から始めると，第二項は部分的にしか一致していないために第一項よりも絶対値が小さくなり，全体は第一項の符号と一致するため，以後 $\boldsymbol{x}^{*1}$ の状態が続き，それは $\boldsymbol{x}^{*2}$ についても同様である。また，要素の値の一致数でみたときに $\boldsymbol{x}^{*2}$ よりも $\boldsymbol{x}^{*1}$ に近い $\boldsymbol{x}(t)$ から始めると，各要素は $\boldsymbol{x}^{*1}$ に一致するように更新される。つまり，２組の安定的な平衡状態を持つシステムが構成されるのである。

この推論はさらに多くの平衡状態を想定して行うことができるが，どこまで数を増やすことができるかは主体数に依存している。10に満たない主体数で平衡を２つ以上想定してウェイトを決め，適当な初期状態から始めてみればわかることだが，いくつかの初期状態からは最初に想定していない平衡状態（メタ平衡）で止まってしまう。最初に想定した平衡状態に安定的に状態が更新されるためには，平衡状態のおよそ７～10倍の数の主体がなければいけないことが，ホップフィールドネットワークの研究から知られている[4)]。しかし，進化経済学の当初の想定通りに大規模な数の主体を考えるならば，fig. 7A 図のような収束マップが描かれることになる。$\boldsymbol{x}(t)$ は要素の不一致数（ハミング距離）のより小さい平衡状態に向けて更新されることになる。

ここまではバッファを入れない状態のエントリーモデルⅠを多主体に拡張してきたのだが，バッファを考慮すれば結論はどう変わるだろうか。バッファがある場合，大きなプラスもしくはマイナスの刺激に対しては調整出力が行われるが，その値が０に近いと調整出力は行われない。fig. 8A 図の中に点線で示された境界線付近では，境界線を挟んだ複数の平衡状態の要素が一致しているときは更新シグナルは強化されるが，異なるときには更新シグナルは０に近くてバッファに吸収されるため要素の更新は行われない。すなわち，fig. 8B のように，いずれの想定された平衡にも向かわないグレーのゾーン

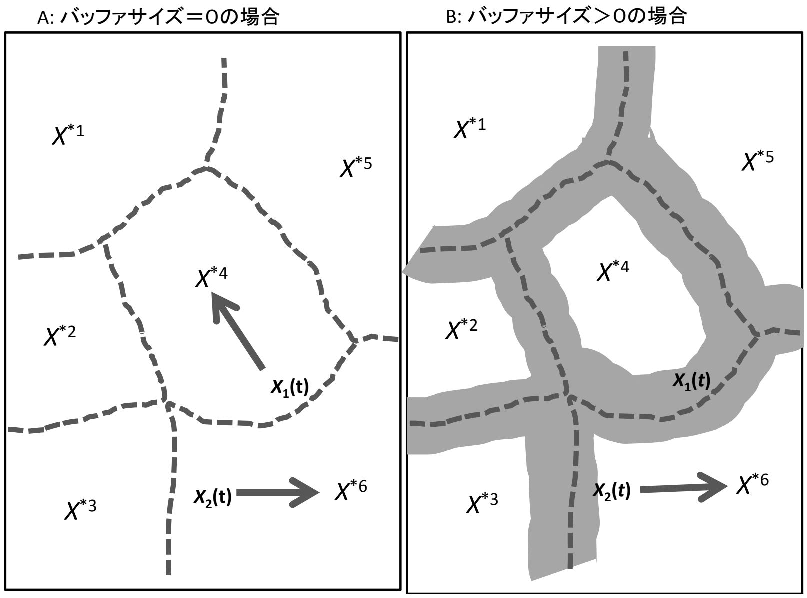

fig. 8　多主体相互作用系の振舞い

が現れることになる。

ここまで多主体相互作用系の振舞いを考察してきたが，このような振舞いは行動調整にあたって他者の調整出力を参照する際のウェイト行列Wに依存している。ウェイト行列Wは定型行動の行動パターンそのものに由来しているのであるから，社会の構成員がそれぞれどのように動いていくのかは，人々の行動パターンが規定しているfig. 8のような更新方向を表すランドスケープと，最初にどのような調整行動が行われていたか（$\boldsymbol{x}(t)$ がどの位置にあるか）によって決まることになる。

その上で，fig. 5で見たように主体の一部が活動水準の上限もしくは下限に到達することで行動パターンの修正を行えば，Wが変化するため，それまでの動きを規定していたランドスケープそのものが変容することになる。もしそれが大規模なものであれば，人々の動き方自体が大幅に変わってしまう。ここにいたって,「進化」がついに進化経済学の理論的視界に登場するのである。

4. 中間的まとめ

本稿では進化経済学のエントリーモデルを紹介した。それは不可逆時間下，多数の定型行動主体によって構築される相互作用系の振舞いを把握するためのモデルである。各主体は自らの定型行動を関連するローカルな情報を取り入れて調整していく。調整のための条件充足基準も各主体がそれぞれ持つ。そこには通常の経済学における「価格」のようなグローバルな調整シグナルは存在しえない。なによりも人々の実行可能な行動を反映したウェイト行列が調整行動の方向を決めているのである。そして，システムが平衡状態にある／なしに関わらず，行動は実際に行われ，それがシステムの状態を規定するモデルであればこそ，私たちの社会において現実に生じている様々な問題の生起のメカニズムを正面から理解する手がかりとなる。しかしながら，赤本の多くの記述で言及した複製子のコピーから生まれる制度変容のダイナミクスはここではまだ含まれておらず，それは応用事例

の提示とともに次の段階（緑本）の作業となる。

注

1）本稿は平成22年度専修大学個別研究助成による研究の成果の一部である。

2）専修経済学論集第108号 pp. 103－111

3）ここでいう「損益分岐点」は通常の経済学の文脈でいう損益分岐点ではなく，会計学で想定される損益分岐点であることに注意。価格ではなく売上高とそれに伴う生産活動に注目したときの損失と利益の境界である。赤本6. 6. 4節参照。

4）J. Hertz 他（1991）訳書 pp. 21－27の解説が親切である。

参考文献

西部忠・吉田雅明編集代表『進化経済学　基礎』，日本経済評論社，2010

J.Hertz, A.Krogh and R.G.Palmer, *Introduction to the Theory of Neural Computation*, Addison-Wesley Publishing，1991（笹川辰弥・呉勇訳『ニューラルコンピュータ　統計物理学からのアプローチ』トッパン，1994）