

1 はじめに：計算機実験としてのシミュレーション

社会心理学では「シミュレーション」の語を2つの意味で用いる。1つは現実を模した状況の中に人間被験者を置き、実際に行動、相互作用させることである(広瀬, 1997)。もう1つの意味は計算機実験、つまりコンピュータシミュレーションである。

広く流布した定義によれば「シミュレーションとは現実のシステムのモデルを作成しそのモデルを実験してみる過程である。シミュレーションの目的は、システムの挙動を理解すること、もしくはシステムの作動に対する各種の戦略の効果を評価することである。」(Shannon, 1975) まずわれわれは、現実の世界の中に考察の対象(target entity)を見出す(図1)。その対象の構造のモデル化がシミュレーションの前段階となる(モデル構築, modeling)。シミュレーションとはそのモデルの作動を実験し、モデルの予測を導出することである。「予測」は「帰結(consequences)」や「含意(implications)」といい換えてもよい。

モデルは「実体モデル(physical models)」と「シンボリックモデル(symbolic models)」の2つに大別できる(cf. 中西, 1977)。実体モデルとは対象と同じ/類似の素材を用いた、実体を伴うモデルである。風洞実験や水槽実験に用いる縮尺モデル(飛行機や船体の模型)がその典型である。実在モデルは縮尺モデル以外に、対象と同じ縮尺を持つ実物モデル、対象と類似した特性を持つ実体で置き換えた類推モデルがある。被験者を用いる SIMSOC 型のシミュレーションも、実際の人間を使った模型社会を用いる点で実体モデルの一種と見られる。

シンボリックモデルとは対象の構造をシンボル体系で構成したモデルである。用いるシンボル体系に応じ、シンボリックモデルを次の3つに分けることができる(Ostrom, 1988)。

第1は自然言語を用いた言語モデル(verbal models)である。人文社会科学領域での「理論」の多くは言語モデルである。言語モデルの欠点は、全体の論理的一貫性が時折不明になり、何が明示的な前提からの帰結であり、どこにアドホックな前提が入っているかが分かりづらいことである。第2のモデルは数学体系に基づく数理モデル(解析的モデル)である。計量モデルも数理モデルの一種と考えてよいだろう。

シンボリックモデルの第3は計算機のコードで記述したシミュレーションモデル(計算モデル)である。シミュレーションは一種の計算であるから、元来は計算モデルは数理モデルの派生した形態である。しかし計算モデルは必ずしも数学的な定式化を必要としない。その意味で計算モデルは別個のシンボリックモデルと位置づけることができる。

シンボリックモデルは定式化の形態に応じていくつかの次元で特徴づけることができる(近藤, 1973)。第1の次元は静的/動的という区分である。一般にモデルは動的であることが望ましいけれども、数理モデルでも比較静的な、説明力の高いモデルの数は多い。第2の区分軸はマクロ/マイクロである。マイクロなモデルは対象の構成要素の特性をモデル化して対象全体の挙動を求める。マクロなモデルは対象を集計した変数間の関係として表現する。よく用いる第3の区分は決定論的/確率的という軸であ

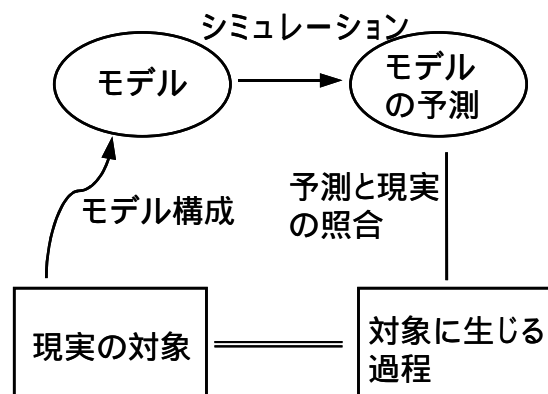


図1: シミュレーションの概念図

る。

計算モデルは多くの場合、動的でマイクロな確率的モデルということができる。まず計算モデルは原則として動的なモデルであり、連続的か離散的かは問わず、時間要素（シミュレーションクロック）を内蔵する。また、特に人工知能・人工生命の流れを汲む計算モデルは、対象の構成要素としてのマイクロなエージェントの行動特性を定式化し、対象全体の挙動をシミュレートすることが多い。つまりマイクロな構成要素から対象のマクロな特性を導こうとする（マイクロ・マクロリンク）。さらに計算モデルは何らかの確率項を含むことが多い。

もう1つ重要なモデルの次元が抽象度の次元である(Taber & Timpone, 1996)。モデルは必ず何らかの抽象を経るとしても抽象の度合いには差がある。一方ではリアリティの高いモデル、つまり現象の量的再現を目的として対象の詳細を組み込むようなモデルがある。実践的な予測に用いる計算モデルはこうしたリアルなモデルである。待ち行列や交通渋滞のシミュレーションプログラムがシミュレーション教本で事例としてよく取り上げられることは(e.g., Payne, 1982)、計算モデルが元来は実践の用途に供することを想定したことを物語る。他方で、特に人工生命のモデルなど、現実から離れた抽象的な計算モデルも多く登場するようになった。典型的には囚人のジレンマの利得構造を前提にエージェントがプレイするような計算モデルである(e.g., Nowak, May, & Sigmund, 1995)。抽象的な計算モデルはどのような効果が生じ得るか、何が均衡か、といった理論的な関心に根ざし、現象の質的再現を目指す。抽象的なモデルの存在価値は背後の理論的関心の意義に依存している。

2 実例で見るシミュレーションの適用

ここまでの論述だけでは、シミュレーションとって具体的にどのような処理をイメージすべきか迷う読者がいるかも知れない。ここで実際に研究に使われた計算モデルのうち、具体的な処理を理解しやすい単純な適用例を眺めてみよう。

2.1 何が生じるのか？

計算モデルの役割の1つはモデルに組み込んだ前提から何が生じるかを見ることにある。Linville, Fischer, & Salovey (1989)のモデルはこの点を例示する単純なモデルである。このモデルは内集団多様性知覚の再現を目指している。

内集団(in-groups)と外集団(out-groups)は異なって認知される。第1に人は内集団成員を外集団成員より好意的に認知する傾向がある(内集団びいき)。第2に人は内集団成員を外集団成員より多様だと認知する傾向がある。

後者の内集団の多様性認知傾向はいくつかの異なった過程から説明できるかも知れない。まずこの傾向は、社会的アイデンティティ理論が仮定するようなある種の動機づけに基づくかも知れない。あるいは、この傾向は内集団成員と外集団成員に人が異なった情報処理を適用する結果かも知れない。外集団には予めステレオタイプが定着している場合が多く、外集団成員の認知が stereotype-driven である可能性もあるだろう。

Linville らは、動機づけの存在や情報処理の相違といった要因によらずとも内集団成員がより多様と認知される帰結が生じる、と考えた。内集団は外集団より熟知度(familiarity)が高い、つまり接触するイグゼンプラ(成員事例)の数において内集団が外集団より高い。この熟知度

の差が多様性認知の差となると考える。

内集団のイグゼンプラには多く接するので内集団をより多様に認知する、とは、言葉でいえばその通りのような気もする。しかしこの結論は論理的にどのように導けるだろうか？ Linville らの計算モデルが検証するのはまさにこの点である。

Linville らのモデルは次のような計算手順でできている。計算は離散的な「期間」とともに進行する。1 期間で観察者に次の ~ が順におこるようにプログラムされる。

イグゼンプラの発生：1 期間に一定数のイグゼンプラを発生させる。1 つのイグゼンプラは集団属性（今は内集団と外集団）と属性（ここでは 1 属性）の 2 次元からなる。外集団成員のイグゼンプラは数が少ない。属性は 7 水準（値）からなり、確率分布には条件として対称な単峰型(Bell)、正（左）に歪んだ単峰型(Skew)、対称な双峰型(Bimodal)の 3 つが用意される。イグゼンプラは刺激強度を持つが、ここでは刺激強度は同一と仮定する。

学習：で接触したイグゼンプラは $PLearn$ の確率で長期記憶の中に貯蔵される。 $PLearn$ は極端な属性値（1 と 7）のときだけ高く（0.9）、その他の場合は一律である（0.5）。

忘却：その期間内に長期記憶に貯蔵されたイグゼンプラは一律な確率（ $PForget = 0.1$ ）で忘却される。

検索と判断：各集団を判断するときには期間の終わりで長期記憶からの検索が生じる。検索は集団所属の値（ C_i ）をプローブ(probe)とし、プローブに合うイグゼンプラは確率的に（ $PRetrieve=0.75$ ）再生される。ただし極端な属性値（1 か 7）のイグゼンプラでは再生の確率は高まる（ $PRetrieve=0.95$ ）。観察者が認識する対象集団の属性値の分布は、再生したイグゼンプラの刺激強度の和に比例すると考える。

Linville らのモデルの本質的な部分はこれだけである。導入した前提を問い詰めれば疑問の余地はあるものの、何れも常識的かつ中庸な前提に過ぎない。それでもこのモデルは内集団を多様と認知する傾向を予測している。観察者が判断する属性値の分布は、分散で見ても水準を名義的カテゴリと考えたときのバラツキの指標で見ても、確率分布の形状にかかわらず、内集団が外集団より高い。むしろ、このモデルが描く過程だけから内集団の多様性認知が生じると考えるべきではない。しかし内集団の多様性認知はこのモデルのような単純な前提だけからも生じ得ると知ることは、さらに複雑なメカニズムを研究するための前提となるだろう。

2.2 どれほど生じるか？

ある効果が生じるとして、どれほどの程度で生じるかを推論することも計算モデルの役割である。この点を示す単純なモデルに Martell, Lane, & Emrich (1996) がある。

背景となるのはジェンダーステレオタイプの評価である。ジェンダーステレオタイプは女性の能力を低く見積もらせるようなバイアスをもたらす。そこで、たとえ世の中が能力本位になり、男女に真の能力の差がないとしても、女性の社会進出は阻害されるかも知れない。ただし政策的な観点からは次のような議論があり得るだろう。女性へのバイアスは有意な効果を及ぼすとしても、過去の研究では、男女差は評価の分散の 1 ~ 5 % を説明するに過ぎない。つまり女性の不利益は意外と規模が小さい。そこで、女性の不利な立場は認めるとしてもその是正のために社会的費用の大きな措置を採用すべきだろうか？

ここで Martell らは「小さなバイアスが女性を大きく傷つける」と主張する。この主張のために次のようなシミュレーションを行った。まず 8 つの階層レベルのあるピラミッド構造の組織を仮定する。階層レベルは下から上に行くにしたがい成員規模が大きい。組織成員には評価のスコアがつく。スコアは平均 50，標準偏差 10 の正規乱数で決める。男性成員には評価スコアの分散の 1 ないし 5 % を説明する分のボーナススコアを加算する。組織内の昇進は隣接した階層レベル間で生じる。

Martell らのモデルは次の計算手順にしたがう。まず初期状態で組織のすべてのポストに組織成員を配置する。各レベルで男女は半々であり，レベルとスコアには関連がない。計算は再び離散的な期間として進行する。1 期間で次の ~ の事象が順に生起する。

退職：階層・性別とはかかわらず成員は確率 0.15 でランダムに退職する。

昇進：上のレベルから順に，1 つ下のレベルの成員をスコアの高い順に抜擢し，退職の結果生じた空席に着任させる。1 つ下の成員がいなくなればさらに下のレベルを探す。

新規雇用： の後に残った空席に新人を新規雇用する。Martell らの条件では新規雇用が生じるのは最下層レベルにおいてだけである。新規雇用される成員のスコアは初期状態と同じ条件で決まり，男女もランダムである。

終了条件：初期状態にいた成員が残っていれば ~ を繰り返す。成員がすべて入れ替わったとき計算を終了する。

図 2 は Martell らのモデルを再現したプログラムによるシミュレーション結果を示す。バイアス（スコア分散を性別が説明する程度）を 0 %，1 %，5 % にして，それぞれについて 100 試行を繰り返した結果の平均である。バイアスがあれば上位レベルに行くほど単調に女性比率が低下し，最下層では女性が多くなる。レベル間の移動（昇進）が女性に不利なフィルターとなるため，フィルターを多く経る上位レベルほど女性が少なくなる理屈である。

女性に不利なバイアスがあることが前提であることを考えれば，一見するとこのシミュレーション結果には興味深い要素はない。意義があるとすれば，言葉ではある効果が生じることが理解できるにしても，どの程度の規模で生じるかは事前には推測し難いからである。組織レベルが権力関係を反映するため，この小さなバイアスを放置すれば権力関係が男性優位に大きく傾く可能性があることをこの結果はデモンストレーションしている。

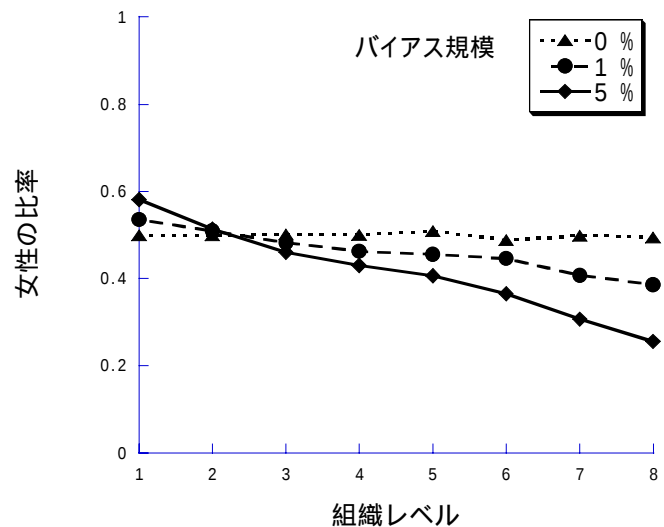


図 2：組織レベルごとの女性比率

3 シミュレーションに何ができるのか？

社会心理学の中で実験や調査の位置づけは確立している。しかしシミュレーションの位置づけにはコンセンサスがあるとはいえない。シミュレーションに過大な幻想を抱く意見もあれば，

その価値を否定する見解もある。ここでシミュレーションの性格を整理しておこう。

3.1 思考実験としてのシミュレーション

シミュレーションの基本性格としてまず次の2点を指摘できる。

(1) シミュレーションは前提が何を帰結するかを推論する思考実験である。

シミュレーションはモデルを操作した思考実験(thought experiment)に過ぎない。現実世界の経験的知見を増大させる訳ではない。モデルに組み込んだ前提が何を帰結するか、何を予測するか、何を含意するかを導くだけである。シミュレーションに価値があるのは、その背後にある理論的考察に価値を認めることができる場合だけである。

思考実験に過ぎないシミュレーションに価値があるのは次の理由による。第1に、前提を眺めただけでその帰結を正しく導くことは一般には難しいからである。当然おこると思える効果をシミュレーションが否定することもある。第2に、前提がどれほどの数の帰結を生むかは事前には分かりにくい。われわれは普通、特定の効果に対する説明としてあるモデルを考案する。しかしモデルは想定せぬ効果を導くことが多い。ある効果の説明を想定したモデルが他の多くの観測知見を同時に説明することもよくおこる。第3は、想定する効果を出現させるのにどれだけの前提が必要であるかを推定するためにシミュレーションを利用できる点である。より前提の少ない、単純で節約的なモデルを探索することをシミュレーションは容易ならしめている。第4に、確認した効果を別の状況に外挿して予測するためにシミュレーションを用いることができる。Stasser(1988)は、集団討議のモデルを作成した後、集団内に多数派とは意見を異にする少数派が存在する状況を設定し、少数派の存在が隠されたプロフィールの解消に寄与することを導いている。このように新たな状況設定での推測を許すことはシミュレーションの仮説導出能力の基礎となる。同時に、新たなアクションの効果の推定を求められる政策的企画のためにシミュレーションが貢献できる根拠になるだろう。

(2) シミュレーションは例を提示するだけであり、証明は与えない。

実験一般がそうであるように、思考実験としてのシミュレーションは主張する効果の存在を証明するものではない。例をデモンストレートするだけである。したがって計算モデルは数理モデルのような一般的な解答を与えない。一般性のある結論を出すためには解析的な証明が別途必要となるのが理屈である。

しかし、一般的な解答を与えないシミュレーションにも価値はある。第1に、シミュレーションは一般的な主張に対する反例をあげることができる。第2に、ある効果が存在する例を示せることは研究の進展にとって決定的に重要であることがある。第3に、異なった条件やパラメータの下でのシミュレーション結果の再現、あるいは感度分析(sensitivity analysis)は、シミュレーション結果の一般性に対する補強材料を提供することができる。

3.2 シミュレーションの特質

計算モデルは数理モデルほどの一般性を保障しないものの、実に多くの分野で導入され、多くの成果を生み出してきた。その背景にあるのはむしろ、計算機の性能の飛躍的向上である。が、それだけではない。主に数理モデルとの比較において計算モデルには次の利点がある。

(1) モデル構築の柔軟性

計算モデルは数理モデルに比べてモデル構築上の柔軟性が高く、それゆえ作成が容易である。

数学に長けた研究者を除けば自由にモデルを構築することはできない。特に動的なモデルを解析的に構築し解を得るのは難しい。解を求める便宜のために不自然な前提を導入することにもなりやすい。対して計算モデルの構築では、基本的なステップを想定してプログラムに置き換えるだけである。

計算モデルの柔軟性はモデル改変の容易さをもたらしている。例えば数理モデルで特定の効用関数を仮定した場合、効用関数の入れ替えは解の求め方そのものに影響を及ぼす可能性がある。対して計算モデルの場合はモジュールを入れ替えるだけである。モジュールの独立性を保持するというプログラム基準(modular programming)が一般化しているので、モジュールの入れ替えによるモデル全体への影響は通常は小さい。

(2) 言語的アイディアとの親和性

柔軟性の一側面として、言語的なアイディアを受入れやすいことも計算モデルの重要な特質である。社会科学者が考える人間の行動のメカニズムは、数式としてよりも if ...then ~ 型のルールの複合としてモデル化しやすい。また、人間行動への様々な刺激(例えば「Aさんは友人を病院に見舞った」といった情報)はビット列のコーディングが適している(e.g., Smith, 1988)。

数理モデルはその強力さと長い伝統にもかかわらず、社会科学では一部を除いてあまり普及しなかった。計算モデルは数理モデルが浸透しなかった領域で多くの適用を見出す余地がある。

(3) 導出の効率性

構築も改変も容易であるため計算モデルは含意の導出において効率的である。ささいな結果も知見と呼ぶなら、計算モデルが生み出す知見の数は必然的に多くなる。

(4) 複雑さの許容

計算モデルの明らかな利点は複雑な要因を組み込むことを許すことである。社会科学で数理モデルを作るとすれば、典型的には行為者に利得最大化原則を仮定し、少数の変数をコントロールすると仮定するだけで終わるだろう。しかし計算モデルでは行為者にも状況にも一層の複雑性を導入しても結論を出すこと自体には支障は少ない。

以上の利点は、同時に計算モデルの欠点をも準備する。ここでは次の欠点を述べておこう。

(1) 要因特定の難しさ

計算モデルはしばしば複雑な要素から成り立つ。その複雑さのゆえに、導いた効果が生じた理由が特定できなくなることがある。導いた効果はモデルにとって本質的でない計算手順や前提によって生じたかも知れない。同じ問題は数理モデルにも生じる可能性があるが、組み込んだ要因が複雑である分、計算モデルで生じる可能性が高い。

(2) ゴミの算出

計算モデルは容易に構築でき、しかも多くの結果を算出する可能性がある。この点は利点であるけれども、悪くすると安易なシミュレーションが無価値な結果を多く算出する危険もはらんでいる。特に出現した理由を特定できない結果に対してその危惧が高い。

実験や調査なら、実施すれば何らかの経験世界の知見をとどめる。しかし思考実験に過ぎないシミュレーションは、理論的な位置づけが明確でなければ全く無意味になる恐れがある。シミュレーションに対しては伝統的に、「ゴミを入力してゴミを出力するだけ(garbage in, garbage out)」という酷評がある。この酷評も根拠のないことではない。重要なのは計算モデルが事前に十分な理論的吟味を経ていることである。

3.3 シミュレーションが新たにもたらすもの

シミュレーションはいくつかの研究潮流の中で育まれてきた。その潮流の中で発達した技法とその背景となる発想を、シミュレーションを受入れた研究領域は享受している。社会心理学もその一である。以下ではそうした新たな視点をいくつか述べておこう。

(1) 知的なエージェント

社会のシミュレーションを形作る潮流に分散人工知能 (Distributed Artificial Intelligence, DAI) がある(Doran, 1996)。DAI アプローチは「知的」なエージェントが多数集まって集合的に意味のある挙動を示すことに着目する。知的とは、エージェントが知覚、計画、学習、意思決定などの能力を持つことを意味する。そのため、計算モデルの行為者 (エージェント) はより人間に近づき、何らかの認知能力を持つことが多くなった(e.g., 菅沼・中森, 2003)。例えば社会心理学における集団討議のモデル(Stasser, 1988)でも、エージェントには2.1の例の程度の記憶メカニズムが仮定されている。

(2) マルチエージェント

シミュレーションの興隆をもたらした1つの大きな潮流は複雑性研究から生まれた人工生命(ALife)である(Langton, 1989)。人工生命は生態系(ecosystems)を適用領域の1つとする(星野, 1998; Taylor & Jefferson, 1995)。その自然な拡張が人工社会(artificial societies)である(Epstein, & Axtell, 1996; Gilbert, & Conte, 1995)。人工社会はDAIなどとともに社会科学にエージェント型のモデル(agent-based models)ないしマルチエージェントシミュレーション(multi-agent simulation)のコンセプトを導入した。社会のシミュレーションにおいてセルオートマトン(CA)の定式化(エージェントをセルと見る)が多いことはその1つの現れである。

人工生命と同時に普及した重要な概念が創発(emergence)である(Gilbert, 1996)。創発とは、複数の独立したエージェントの相互作用からなるシステムにおいて、全体の挙動を指示する仕組みないしエージェントがないにもかかわらず、エージェント特性には還元できない特性(創発特性)が全体レベルで生じることを指す。ただし実際の事例では創発の判定基準はしばしば曖昧である。

創発の概念はシミュレーションの適用領域に画期的な変化を与えたというべきだろう。創発の問題はマイクロ・マクロ・リンクと等しい。シミュレーションはマイクロ・マクロリンクを体系的に分析するはじめての方法として登場したといえる。創発の概念はまた、知らず識らずのうちに社会以外の対象の認識にも影響を与えている。従来はその全体的な規制を予め仮定しがちであった認知や自己といった対象も、ユニットの相互作用から創発的に生まれると見る視点が浸透してきている。

エージェント型の計算モデルを技術的に支援しているのがプログラミング言語に導入されたオブジェクト指向性である。エージェントを独自の属性とメソッドを持つデータの集まり、つまりオブジェクトとして定義することが容易になったからである。

(3) 進化

進化も計算モデルによって導入が促進された概念である。人工生命は進化を前提にした研究であり、したがって人工社会のモデルは多くの場合進化メカニズムを内蔵する。進化は遺伝的アルゴリズム(GA)などの進化的計算によって実行される。

進化的計算ではプールされた遺伝子(多くの場合ビット列で表現される)を適応度(fitness)で評価し、再生(reproduction)において適合度の高い遺伝子が繁殖しやすくする。この繁殖

率の差(differential reproduction)からより適応した(最適に近い)遺伝子を増大させる。また、局所的均衡に陥ることを避けるために必要に応じて突然変異(mutation)や交叉(cross-over)を遺伝子に施す。典型的なマルチエージェント型の計算モデルでは、エージェントが別個の遺伝子(行動ルール、戦略)を持つと考え、相互作用を経てエージェントが得る結果(利得など)を適応度とし、より適応的な遺伝子をエージェント社会で進化させる。

注意すべきは、進化的計算は遺伝メカニズムを模してはいても、本質的には勾配法などと並ぶ数値的な最適化手法の一種であることである。マルチエージェント型のモデルでの進化的計算は、進化ゲームの意味での動的な均衡解を推論する計算上の手法である。人工社会に生じる「進化」とは均衡解に至るまでの計算上の試行錯誤の過程であり、人間社会に実際に生じる進化とは別である。

社会の計算モデルで進化を導入した意義は大きい。進化のない計算モデル(単純推論型と呼ぼう)では通常、エージェントに一定の行動ルールを与え、その帰結を導く。単純推論型ではエージェントの行動ルールは与件であり、その妥当性の根拠はモデルの外部に求めなければならない。しかし進化型のモデルでは、単純推論型ではいわば外生変数であった行動ルールを内生変数化し、行動ルールの進化と均衡状態とを同時に推論することが可能になる。このことの意味は第1に、より一般的で恣意性の少ないモデル構築が可能になったことである。第2に、社会心理学的には、人間に一定の行動ルール、あるいは利他性や親への愛着といった個人の行動特性が出現する根拠を社会のモデルから推論することが可能になったことである。進化心理学は、潜在的には計算モデルから利益を得る余地が大きい。

進化的計算にも課題がある。第1は具体的な計算手順には選択の幅があり、計算手順のいかんによって結果が異なる可能性があることである。第2は、その制約を克服する試みはあるものの、一般にはモデル構築者が予め設定した変数空間内での進化を扱うに過ぎないことである。

(4) 合成の原理

モデルは何らかの意味でいくつかの要素を合成して帰結を生み出す。したがって背後には合成の原理ととも呼ぶべきパラダイムが潜んでおり、そのパラダイムがモデル構築をガイドしている。社会科学の古典的な数理モデルはワルラス調整過程のモデルのような連立微分方程式体系を典型にいただろう。計算モデルはまた、計算に適用しやすいパラダイムを蓄えてきている。GAやCAもそのような合成の原理の一種である。

重要なパラダイムの1つにニューラルネットワークがある。ニューラルネットの考え方を継承し社会心理学にもシェアがあるのが認知心理学のコネクショニストのモデルである(McLeod, Plunkett, & Rolls, 1998)。コネクショニストのモデルにはユニット(ニューロン)間の入出力の重みづけが誤差の逆伝播(back propagation)によって調整されるとするモデル、使用される結合の重みづけが増大するとするモデルなど、いくつかのヴァリエーションがある。が、何れも何らかの学習をモデル化している。また、ニューラルネットは認知にとどまらずいろんな社会過程に適用できる可能性がある(Nowak, Vallacher, & Burnstein, 1998)。

4 社会心理学におけるシミュレーションの展開

シミュレーションが社会心理学の中でどのように導入されたかを、領域別に、特徴的な適用

例を見てみよう¹。

4.1 社会的認知

社会的認知領域では計算モデルを用いた研究例を多く見出せる。研究数自体が多いことに加え、認知心理学の計算モデルが豊富であることによるだろう。

まずあげるべきはイグゼンプラ依存型の判断のモデルである。このモデルではレコードとして発生させたイグゼンプラが一定の確率でモデルの記憶領域に貯蔵され、忘却が生じる。そして対象を判断するときにイグゼンプラが検索され、再生されたイグゼンプラに応じて対象への判断が生じる、と考える(2.1)。Linville, Fischer, & Salovey (1989)はこのモデルに基づいて内集団多様性知覚が生じ得ることを導いている。

Smith(1991)による錯誤相関(illusory correlation)のモデルはより巧妙に構築されている。錯誤相関は小集団の少数派事例が過大評価される効果を指す。このモデルは行為者の集団所属や行動記述を含むイグゼンプラをビット列で表現し、時間の経過の中でビット列の値が消える(記憶が曖昧になる)ことを許す。同様にプローブをビット列で表現し、プローブと記憶されたイグゼンプラとの類似性に応じて検索が生じることをモデルに組み込む。このモデルはHamilton型の錯誤相関を予測するとともに、第3の集団を導入すると錯誤相関が低下するといった実験知見をも再現している。ただしこのモデルでは説明できない効果の存在も指摘されている(McConnell, Sherman, & Hamilton, 1994)。

Smith(1988)は同様の記憶モデルでカテゴリー・アクセシビリティ効果をシミュレートしている。Hastie (1988)はon-lineの印象形成によって情報間にリンクができるという前提を導入することで、incongruentな情報が再生されやすい、などの対人記憶の結果を再現している。

社会的認知モデルの重点はニューラルネットワークの影響を受けたコネクショニストのモデルにある。例えばSmith, & DeCoster (1998)のモデルは平行分散処理(PDP)の考えにしたがう。40のユニットからなるネットワークは外的な刺激パタンから入力を受け取るとともに相互に入出力を授受するが、ユニットが受け取る入力の誤差(外的入力と内的入力の差)を小さくするようにユニット間の重荷づけ係数が変化するので、外的刺激のパタンを重荷づけ係数の行列が記憶することになる。このようにして曖昧な刺激をステレオタイプの的に認知したり、パタンの再学習が最初の学習より早く達成される、などの効果を説明している。また、同様のコネクショニストモデルは、ストーリーに付与する説明(Read & Marcus-Newhall, 1993)、認知的不協和低減(Shultz & Lepper, 1996)にも適用されている。

異色なのは自己(self)のCAモデル(Nowak, Vallacher, Tesser, & Borkowski, 2000)である。このモデルでは自己を構成する認知要素をセルと考え、セルの相互影響によって全体がポジティブに偏ること、ポジティブ/ネガティブなセルがそれぞれ集中すること、ネガティブな情報が入ってきてもすぐに回復すること、などの傾向を予測している。部分要素の創発性として自己の組織化を説明できることを示した点がこのモデルの意義である。

¹ より詳しい参考文献は http://homepage1.nifty.com/eiji_takagi/esp/に記載している。またHastie & Stasser(2000)が社会心理学の計算モデルをレビューしている。社会科学領域ではウェブ上で刊行されている *The Journal of Artificial and Social Simulation* が重要な情報源である(<http://jasss.soc.surrey.ac.uk/JASSS.html>)。また *American Behavioral Scientist* 誌(1999, 42)が社会科学諸領域についてのレビュー特集を組んでいる。

4.2 社会的影響

社会心理学の計算モデルで最も知名度があるのが、Nowak, Szamrei, & Latané(1990)に始まり、現在 Dynamic Social Impact Theory (DSIT)と呼ばれる一連の研究である(Latané, 1996; Nowak & Latané, 1994)。DSIT はもともと静学的な social impact の理論(Latané, 1981)を動的モデルに置き換えることを目指した。2 値的な態度を持つセル（エージェント）をCA風の格子状のセル空間に配し、セル間の相互影響の結果どのような態度の分布が動的に出現するかをシミュレートする。モデルの主な帰結は、相互影響により (1)（パラメータによっては）少数派が残存し多様性が持続される、(2) しかし多様性は減少し、初期多数派はより多数に、少数派はより少数になる（合併, Consolidation）、(3) 同じ態度のセルが空間的に近接するようになる（クラスタリング）、などである。これらの結果は空間的な配置や影響力関数などの変異の影響を受けるものの比較的頑健に成り立ち、態度が連続的であっても影響力関数によって維持される（森尾, 2003）。また経験的データと照合しても大勢では支持されている(e.g., Latané, & L'Herrou, 1996)。

4.3 集団過程

わが国のシミュレーション研究として画期的だったのは矢守・杉万 (1992), Yamori (1998) による歩行群集の解析である。このモデルでは歩行者が周囲の状況を前提に移動の方角と速度を決めると仮定し、歩行者が反対方向に流れる群集において、条件に応じて流れの列ができるというマクロなパターンが形成されることを再現している。

同様に Molnár (1996)は単純な歩行者のルール（目標に向かって自己の速度で歩く、他者や障害物と適度な距離を保つ）から、通路で双方向に進む群集が出会うときは列ができ、通路が小さいドアだけで仕切られているときは交互の通過が生じ、4 方向からの群集が出会う交差点では中心に障害物を置くことで流れが改善される、などの観測を再現している。

集団研究の中心は討議集団にあるだろう。Stasser & Taylor (1991)はモデルによく知られた知見を組み込んだ。成員の発言頻度に順位づけがある 発言すると次に発言する確率が上がる、などである。このモデルは討議の状態、例えば2 成員間で討議が続く floor 状態などの出現頻度の再現に成功している。

Stasser (1988)は集団意思決定の結果を予測する点でより野心的である。このモデルは情報の共有状態で異なる条件ごとに、成員の初期の意見分布から集団決定の結果を算出し、データの再現に成功している。例えば隠れたプロフィールがある場合に非共有情報を優先した結果になることを導く（cf. Larson, 1997）。この研究の注目すべき点は、集団過程の知見の他に成員間の影響力や記憶依存的な判断のモデルを総合していることである。

高木(1999a)は古典的実験であるコミュニケーションネットワークのモデルを作ってGAを適用し、主要な実験的知見がネットワークによる構造的制約から説明できることを示している。成員の役割分化への要請は中心性の高いネットワーク(Wheel など)で強い、課題が困難であれば中心性の高いネットワークの効率性は落ちる 観測された役割分化はモデルから再現できる、などの結果である。

ゲーム形式のモデルから好例を探すなら Flache(1996)が優れている。このモデルは集団課題について社会的手抜き（社会的ジレンマ）が内在する状況で、成員間で是認(approval)を与え

ることを許す。成員の行動は進化ではなく学習で変化する。10人集団を用いたシミュレーションでは是認が服従(集団課題への貢献)だけと交換できると仮定すると、是認と服従の交換によって高い凝集性(是認の付与)と集団制御(社会的な手抜き)が同時に生じる。ただし是認同士の交換を許せば是認し合いながら手抜きが生じる傾向がある。

集団研究は内容が多様であり過去の蓄積も多い。また社会的認知などモデルを集団状況に適用する余地も大きい。集団研究は計算モデルを適用して経過を上げる余地の高い領域である。

4.4 対人関係

カップル間で容貌の釣り合い(matching)が観測できることはよく知られている。Kalick & Hamilton (1986)はこの釣り合いが心理的要因を導入することなく、男女が単に容貌だけを手がかりにして相手を選択することで生じることをデモンストレーションする。ただしこのモデルが予測する釣り合いの程度はいろんな要因によって変化する(Aron, 1988; Kalick & Hamilton, 1988)。

高木(1992b)は相手の魅力要因に態度類似性や報償経験を追加し、恋愛関係の段階性を導入して同様のシミュレーションを実施している。このモデルが導いたのは、デート関係の崩壊率は衡平理論の仮定を導入しなくても不釣り合いな関係で高い、釣り合い傾向はより進んだ関係で強くなる、などである。また片方の性のエージェントにプロポーズ権がないとすると釣り合いは低下し、不利な性の側には恋愛に消極的な戦略が進化する、などの予測を得ている。

対人関係のシミュレーションの例は少ない。理由の1つは心理学者が対人関係をダイアドとしてだけモデル化する傾向があることだろう。また、この領域は、知見の数の割には統一的な理論が乏しい。しかし筆者の試行では、他者への好意が態度類似性知覚と報償経験から決まるとする相互作用モデルは、親密化の研究(Newcomb, 1961)に記載があった観測知見の多く(13個)を説明していた(高木, 1992a)。「近接性による相互魅力の説明力は初期に高く、以後低下する」、「人気が高いほど魅力順位の他者との一致度は高い」、などである。シミュレーションはこの領域の散在する観測知見の理論的整理に寄与する可能性が高いというべきだろう。

4.5 社会科学としての展開

社会科学に生じた近年の大きな展開は社会のシミュレーション(social simulation)ないし人工社会アプローチの出現である。これらの研究は一樣にマルチエージェント型の仕様を持ち、多くは進化を内蔵する。その目指すところは、ローカルなルールとして表現されるマイクロなエージェントから社会のマクロなパターンがいかにかに成立(創発)するかを推論することにある。

社会のシミュレーションの意義は、従来は自明な与件とされてきた社会的事実、つまり社会の構造や制度の成立根拠の解明に寄与することである。実際、この流れの研究は人間社会の協力性や利他性、親族組織、階層、規範形成、権力、分業などの出現に重要な洞察を与えている(高木, 1998, 1999b)。

社会心理学もまた、シミュレーション研究によって社会科学に共通するテーマに寄与している。例えば協力の出現(林, 1999)、交換・分配規則の根拠(竹澤・亀田, 2002)、利他性(高橋・山岸, 1996)等々の諸研究がこの傾向を代表している。ただし社会のシミュレーションの流れに属する研究は多岐にわたり、議論が進行中の論点も多い。それゆえ、以下では筆者の私見にしたがい、社会のシミュレーションが描き得る1つのシナリオを述べるにとどめよう。

出現する社会秩序には普遍的規則性がある。こうした規則性はエージェント間の要素的な協

力が社会の「自己組織化エンジン」として機能することによって出現する，というのが基本的アイデアである。要素的な協力とは，共通の効果の出現を目指す協働や社会的交換を指す。

社会的交換に注目してみよう。まず2者間の資源のやり取りとして生じる限定交換のシミュレーション（高木,2003）は，交換資源の等量性（互酬原則）の出現とともに次のような社会分化の帰結を予測している。第1に社会的交換が交換基準を共有するエージェントのクラスごとに分化すること，第2に社会的交換が所有資源階層別に分化することである。

他方，一般交換は一定の圏内で見返りを前提とせずに生じるやり取りであり，その圏内における利他性といってよい。一般交換のある基礎社会(communal societies)と呼び得る。一般交換は資源のプールを通しリスクへの緩衝装置となるため，戦略的に頑健に出現できる(Takagi, 1996)。一般交換は同時に，この基礎社会に強い排他性（集団中心主義），弱者のサポート，階層性など，基礎社会の基本特性を生み出すことが予測される。

一般交換の帰結として最も重要なのは，基礎社会にもたらされる社会的ジレンマの解決能力である(Takagi, 1999)。利他的な一般交換が選択的誘因として働き，例えば公共財への貢献が促進されることが予測できる。社会の高度な制度がある種の公共財として出現することを考えれば，一般交換はより高度な，複雑な社会秩序を準備する可能性があるといえるだろう。

6 結び

最後に社会心理学におけるシミュレーションの適用，特に我が国での展開について，筆者が抱く問題点を述べておこう。

第1に，どの課題を計算モデルに委ねるべきかは吟味が必要になるだろう。概して社会心理学の計算モデルは単純であり，計算モデルを選ぶべきか否かの点で境界的な場合が多い。シミュレーションの論文の中に，単純な確率分布を仮定すれば主要な結論を容易に導けるものを見出すこともあった。そうした場合はわざわざ計算モデルを作るまでもない。研究目的によっては数理モデルを試みるべき場合も多い。

第2は，最終的に目指す「大きなシナリオ」を示すことが重要になるだろう。シミュレーションに限らず，順列組合せ的に要因を変えて調べただけという研究は数多い。その種の研究を「手堅い研究」と評価する向きもある。しかしシミュレーションの真骨頂は先駆的なデモンストレーションにある。大きなシナリオを描き一定方向への関心を喚起することがシミュレーション研究の担うべき役割のように思える。

第3に指摘すべきは，シミュレーションによる研究が意外にも実践的ないし政策的応用を発達させなかったことである。シミュレーションはもともと実用的な用途のために開発された面がある。また，仮想状況の設定や予期せぬ効果の推測を得意とするはずなので，制度設計には適している。実践的研究として，さして学術的とも思えない調査研究等に多くの研究費が使われていることを考えると，シミュレーション研究が政策応用に進出しないのは社会的損失のように思えてならない。

シミュレーションによる政策的な貢献には2つの方法があるだろう。1つはモデルから具体的な予測を生み出す直接的な方法である。歩行群集のシミュレーションはもとは建築設計を考慮した研究であり，集団意思決定の研究なども潜在的には直接的貢献が可能かも知れない。しかしより重要なのは，抽象的なモデルが導く理論的な含意による，間接的貢献であると筆者は

思う。この形態の貢献はシミュレーション研究が質の高い理論構築に向かうことに基づく貢献である。コースの定理は元来、経済学における抽象的な理論であるけれども、この定理は排出権取引の基礎となった。協力の創発などの解明にシミュレーションで寄与した Axelrod がその知見をもとに国際政治に関与したことも記憶にとどめるべきだろう(Axelrod, 1997)。

引用文献

- Aron, A. (1988) The matching hypothesis reconsidered again: Comment on Kalick and Hamilton. *Journal of Personality and Social Psychology*, 54, 441-446.
- Axelrod, R. (1997) *The Complexity of Cooperation*. Princeton, NJ: Princeton Univ. Press.
- Doran, J., 1996, Simulating societies using distributed artificial intelligence. In K.G. Troitzsch, U. Mueller, G.N. Gilbert, & J.E. Doran (Eds.) *Social Science Microsimulation*. Berlin: Springer. See Troitzsch, Pp.381-393.
- Epstein, J.M. & Axtell, R. (1996) *Growing Artificial Societies*. Washington, DC: Brookings Institution Press.
- Flache, A. (1996) *The Double Edge of Networks*. Amsterdam: Thesis Publishers.
- Gilbert, G.N. (1996) Holism, individualism and emergent properties. In R. Hegselmann, U. Mueller, & K.G. Troitzsch (Eds.) *Modelling and Simulation in the Social Sciences from the Philosophy of Science Point of View*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, Pp.1-12.
- Gilbert, G.N. & Conte, R., (Eds.) (1995) *Artificial Societies*. London: UCL Press.
- Hastie, R. (1988) A computer-simulation model of person memory. *Journal of Experimental Social Psychology*, 24, 423-447.
- Hastie, R. & Stasser, G. (2000) Computer Simulation Methods for Social Psychology. In H. T. Reis (Ed.) *Handbook of Research Methods in Social and Personality Psychology*. Boston: Cambridge Univ Press, 85-114.
- 林直保子 (1999) 『協力行動の社会関係の基盤』, 多賀出版 .
- 広瀬幸雄 (編著) (1997) 『シミュレーション世界の社会心理学』, ナカニシヤ出版 .
- 星野力 (1998) 『進化論は計算しないとわからない』, 共立出版 .
- Kalick, S.M. & Hamilton III, T.E. (1986) The matching hypothesis reexamined. *Journal of Personality and Social Psychology*, 51, 673-682.
- Kalick, S.M. & Hamilton III, T.E. (1988) Closer look at a matching simulation: Reply to Aron. *Journal of Personality and Social Psychology*, 54, 447-451.
- 近藤次郎 (1973) 『社会科学のための数学入門』, 東洋経済新報社 .
- Langton, C.G. (1989) Artificial life. In C.G. Langton (Ed.), *Artificial Life*. Reading, MA: Addison-Wesley, Pp.1-47.
- Larson, J.R., Jr. (1997) Modeling the entry of shared and unshared information into group discussion. *Small Group Research*, 28, 454-479.
- Latané, B.(1981) The psychology of social impact. *American Psychologist* 36, 343-365.
- Latané, B.(1996) Dynamic social impact. In R. Hegselmann, U. Mueller, & K.G. Troitzsch

- (Eds.) *Modelling and Simulation in the Social Sciences from the Philosophy of Science Point of View*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, Pp.287-310.
- Latané, B. & L'Herrou, T. (1996) Spatial clustering in the conformity game: Dynamic social impact in electronic groups. *Journal of Personality and Social Psychology*, 70, 1218-1230.
- Linville, P.W., Fischer, G.W., & Salovey, P. (1989) Perceived distributions of characteristics of in-group and out-group members: Empirical evidence and a computer simulation, *Journal of Personality and Social Psychology*, 57, 165-188.
- Martell, R.F., Lane, D.M., & Emrich, C. (1996) Male-female differences: A computer simulation. *American Psychologist*, 51, 157-158.
- McConnell, A.R., Sherman, S.J., Hamilton, D.L. (1994) Illusory correlation in the perception of Groups. *Journal of Personality and Social Psychology*, 67, 414-429.
- McLeod, P., Plunkett, K., & Rolls, E.T. (1998) *Introduction to Connectionist Modelling of Cognitive Processes*. Oxford: Oxford Univ. Press.
- Molnár, P. (1996) A microsimulation tool for social force models. In K.G. Troitzsch, U. Mueller, G.N. Gilbert, & J.E. Doran (Eds.) *Social Science Microsimulation*. Berlin: Springer. See Troitzsch, Pp.155-170.
- 森尾博昭 (2003) マルチ・エージェントによる DSIT シミュレーション .『シミュレーション & ゲーミング』, 13(2), 159-168.
- 中西俊男 (1977) 『コンピュータシミュレーション』, 近代科学社 .
- Newcomb, T.M. (1961) *The acquaintance process*. New York: Holt, Rinehart & Winston.
- Nowak, A. & Latané, B. (1994) Simulating the emergence of social order from individual behaviour. In G.N. Gilbert, & J. Doran (Eds.) *Simulating Societies*. London: UCL Press, Pp.63-84.
- Nowak, A., Szamrei, J. & Latané, B. (1990) From private attitude to public opinion. *Psychological Review*, 97, 362-376.
- Nowak, A., Vallacher, R.R., & Burnstein, E. (1998) Computational social psychology: A neural network approach to interpersonal dynamics. In Liebrand, W.B.G., A. Nowak, & Hegselmann (Eds.) *Computer Modeling of Social Processes*. London: Sage, Pp. 97-125.
- Nowak, A., Vallacher, R.R., Tesser, A. & Borkowski, W. (2000) Society of self: The emergence of collective properties in self-structure. *Psychological Review*, 107, 1, 39-61.
- Nowak, M., May, R.M. & Sigmund, K. (1995) The arithmetics of mutual help. *Scientific American*, June, 50-55.
- Ostrom, T.M. (1988) Computer simulation: The third symbol system. *Journal of Experimental Social Psychology*, 24, 381-392.
- Payne, J.A. (1982) *Introduction to Simulation*. New York: McGraw-Hill.
- Read, S.J., Marcus-Newhall, A. (1993) Explanatory coherence in social explanations: A parallel distributed processing account. *Journal of Personality and Social Psychology*, 65, 429-447.
- Shannon, R.E. (1975) *System Simulation: The Art and Science*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

- Shultz, T.R. & Lepper, M.R. (1996) Cognitive dissonance reduction as constraint satisfaction. *Psychological Review*, 103, 2, 219-240.
- Smith, E.R. (1988) Category accessibility effects in a simulated exemplar-based memory. *Journal of Experimental Social Psychology*, 24, 448-463.
- Smith, E.R. (1991) Illusory correlation in a simulated exemplar-based memory. *Journal of Experimental Social Psychology*, 27, 107-123.
- Smith, E.R. & DeCoster, J. (1998) Knowledge acquisition, accessibility, and use in person perception and stereotyping: Simulation with a recurrent connectionist network. *Journal of Personality and Social Psychology*, 74, 21-35.
- Stasser, G. (1988) Computer simulation as a research tool. *Journal of Experimental Social Psychology*, 24, 393- 422.
- Stasser, G. & Taylor, L.A. (1991) Speaking turns in face-to-face discussions. *Journal of Personality and Social Psychology*, 60, 675-684.
- 菅沼成正・中森義輝 (2003) 環境認知アプローチに関する社会シミュレーション .『シミュレーション&ゲーミング』, 13(1), 32-43.
- Taber, C.S. & Timpone, R.J. (1996) *Computational Modeling*. Thousand Oaks: Sage.
- 高木英至 (1992a) 親密化の過程のコンピュータ・シミュレーション - Newcomb の知見を再現する .『日本社会心理学会第 33 回大会発表論文集』, 238-241。
- 高木英至 (1992b) 恋愛市場のコンピュータ・シミュレーション. 『埼玉大学紀要』, 28 , 55-74.
- Takagi, E. (1996) The generalized exchange perspective on the evolution of altruism. In W.B.G. Liebrand & D.M. Messick (Eds.), *Frontiers in Social Dilemmas Research*. Berlin: Springer-Verlag, Pp.311-336 .
- 高木英至 (1998) 社会秩序のシミュレーション. 『オペレーションズ・リサーチ』, 43(7), 389-394.
- 高木英至 (1999a) コミュニケーションネットワークにおける創発的集団構造 - シミュレーションによる分析. 『社会心理学研究』, 14(3), 113-122.
- 高木英至 (1999b) 社会科学におけるシミュレーション研究の現状, 『日本ファジー学会誌』, 11 , 30-42.
- Takagi, E. (1999) Solving social dilemmas is easy in a communal society. In M. Foddy, M. Smithson, M. Hogg & S. Schneider (Eds.) *Resolving Social Dilemmas*. NY: Psychology Press, Pp.33-54 .
- 高木英至 (2003) 交換基準の進化と社会分化 .『シミュレーション&ゲーミング』, 13(2), 179-187.
- 高橋伸幸・山岸俊男 (1996) 利他的行動の社会関係的基盤. 実験社会心理学研究, 36, 1-11.
- 竹澤正哲・亀田達也 (2002) 所有と分配. 佐伯胖・亀田達也(編著)『進化ゲームとその展開』, 共立出版, 129-156 頁 .
- Taylor, C. & Jefferson, D. (1995) Artificial life as a tool for biological inquiry. In C.G. Langton (Ed.), *Artificial Life: An Overview*. Cambridge, MA: The MIT Press, Pp.1-13.
- Yamori, K. (1998) Going with the flow: Micro-macro dynamics in the macrobehavioral patterns of pedestrian crowds, *Psychological Review*, 105, 530-557.

矢守克也・杉万俊夫 (1992) 横断歩道における群集流の巨視的行動パターンのシミュレーション. 『実験社会心理学研究』, 32, 129-144.