

* 本稿は、日本学術振興会科学研究費補助金学術創成「マルチエージェント・シミュレータによる社会秩序変動の研究」(課題番号10115959代表 山影進)による研究成果の一部である。

国際政治学のシミュレーション¹

山本 和也²

はじめに

社会科学でのコンピュータ・シミュレーションは、経済学などの一部を除けば、あまりなじみのない手法かもしれない。筆者が専門とする国際政治学でも、20世紀後半のコンピュータの発展と平行して、米国を中心にシミュレーションによる研究は行われてきたが、研究の主流となることはなかった。その理由は簡単であり、研究対象である国際政治は、コンピュータの中でモデル化するにはあまりにも複雑だからである。複雑だから理論化・モデル化できないというのであれば、国際政治を含む社会現象の研究では、どんなタイプであれ、そもそも理論的研究というものはいりえないことになってしまうが、ここでは、そのようなメタレベルの方法論は論じない。何はともあれ、周知のような近年の情報技術の飛躍的な進歩によって、これまでは全く不可能であった複雑な世界のシミュレーション・モデル化が少しはできるようになり、国際政治学においても、この手法が、これまでに浸透しつつある。

本稿では、第1節で、国際政治学のコンピュータ・シミュレーションの研究史を概観する。コンピュータ・シミュレーションを用いた社会科学の研究は、およそ50年の歴史を持ち、それを紹介する著作もすでにみられる³。しかし、国際政治学に限ってみれば、その研究史を体系的にまとめたものは、必ずしも多くない⁴。そこで第1節では、これまでの研究をまずは整理する。次いで、第2節で、現在のシミュレーション研究の到達点であり、国際政治学でも注目を集めつつあるマルチエージェント・シミュレーション(MA)を詳しく論じる。

1. 国際政治学シミュレーションの50年

¹ 本稿は、山本和也「国際政治学のシミュレーション--歴史と展望--」『東洋文化研究所紀要』第144冊、2003年、391-432頁を修正したものである。

² 東京大学大学院総合文化研究科・東洋文化研究所、yamamoto@ioc.u-tokyo.ac.jp

³ 社会科学全体のコンピュータ・シミュレーション史を扱った文献で、最近の動向まで扱ったものとしては、Nigel Gilbert and Klaus G. Troitzsch, *Simulation for the Social Scientist* (Buckingham: Open University Press, 1999), chap.1 がわかりやすい。国際政治学も含めて政治学全体を概観したものとしては、Paul E. Johnson, "Simulation Modeling in Political Science," *American Behavioral Scientist*, vol.42, no.10, (August 1999), pp.1509-1530 があるが、エージェント・ベース型のシミュレーションに論考を限定している。

⁴ 国際政治では、1980年代前半までを扱ったものとして、Hayward R. Alker, "Global Modeling Alternatives: The First Twenty Years," in Ward, Michael D. ed., *Theories, Models, and Simulations in International Relations: Essays in Honor of Harold Guetzkow* (Boulder: Westview Press, 1985), pp.9-37 などがある。

コンピュータ・シミュレーションの最も一般的な分類は、全パーソン・シミュレーション、パーソン・コンピュータ・シミュレーション、全コンピュータ・シミュレーションという分類方法である⁵。本稿の関心は全コンピュータ・シミュレーションにあるので、これのみを対象とすることもできるが、国際政治学のシミュレーション研究史では、パーソン・コンピュータ・シミュレーションが全コンピュータ・シミュレーションのモデル開発にも影響を与えたという経緯がある。そこで本稿では、全コンピュータ・シミュレーションだけでなく、パーソン・コンピュータ・シミュレーションも含めて論じることとする⁶。

国際政治学のシミュレーション史の流れをクロノロジカルに示したのが、図 1 である[図 1]⁷。この節では、図 1 にほぼ沿う形で、国際政治学のシミュレーションをパーソン・コンピュータ・シミュレーション、全コンピュータ・シミュレーションの古典的モデル、システム・ダイナミクス、対外政策決定過程シミュレーションの順にみていきたい。冒頭で述べたように、現在主流になりつつある MA については、節を改めて詳述する。

1.1 パーソン・コンピュータ・シミュレーション:1950 年代～1970 年代前半

ノースウェスタン大学のハロルド・ゲツコウ(Harold Guetzkow)を中心として始められた INS(Inter-Nation Simulation)は、国際関係論におけるコンピュータ・シミュレーションの起点とされている⁸。ゲツコウの指導を受けた門下生たちを中心にして、INS の改良版が次々に開発されていき、やがて INS の流れを汲む業績は SIP(Simulated International Processes)プロジェクトとして知られるようになった⁹。INS はパーソン・コンピュータ・シミュレーションであり、意思決定は実験に参加する人間が行うシミュレーションである。参加者は自由に意思決定できるのではなく、コンピュータの計算によって定められた制限の枠内で意思

⁵ かつては、マン・マシン・シミュレーションなどの言い方であったが、近年は、マン(man)は男性中心主義で好ましくないということで、本文のような表現が一般的となっている。3つのタイプのシミュレーションを比較した古典的な文献として、Hayward R Alker and Ronald D Brunner, "Simulating International Conflict: A Comparison of Three Approaches," *International Studies Quarterly*, vol.13, no.1, (March 1969), pp.70-110.がある。

⁶ 全パーソン・シミュレーションが重要でないというわけではない。全パーソン・シミュレーションは、現在でも教育用・訓練用として活用されている。大学生を対象とした最近の例としては、南野泰義・大森功一『グローバル・ゲーミング実践マニュアル: 国際関係シミュレーションに参加してみよう!』エサップ、1999 年などがある。

⁷ 図 1 は、国際政治のシミュレーション史を一見して把握できるように、便宜的に作成したものである。実際のモデルは、さまざまな要素がオーバーラップしており、このようにすっきりと分類できるものではない。Harold Guetzkow and Joseph J Valadez, "International Relations Theory: Contributions of Simulated International Processes," in Guetzkow, Harold and Joseph J Valadez eds., *Simulated International Processes: Theories and Research in Global Modeling* (Beverly Hills: Sage Publications, 1981), p203; Harold Guetzkow, "Six Continuing Queries for Global Modelers: A Self-Critique," in *op.cit.*, pp.334-337 も参照。

⁸ INS の概説書としては、Harold Guetzkow (ed.), *Simulation in Social Science: Readings* (Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1962); Harold Guetzkow, Chadwick F Alger, Richard A Brody, Robert C Noel and Richard C Snyder (eds.), *Simulation in International Relations: Developments for Research and Teaching* (Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, 1963). 日本語によるゲツコウモデルの簡単な解説については、関寛治『グローバル・シミュレーション&ゲーミング: 複雑系地球政治学へ』科学技術融合振興財団、1997 年、40-43 頁。

⁹ 最終的な成果のまとめとして、Harold Guetzkow et al., eds., (1981), *op.cit.* がある。

決定が可能となっているというのが、基本的な枠組みである。

ゲツコウ自身が心理学出身ということもあり、心理学的実験の要素を強く持っていたというのが、INS の特徴であった。例えば、INS を発展させたモデルとして、チャールズ・ハーマン(Charles F. Hermann)の危機という特殊な心理状況下における政策決定者を分析したモデルがあるが、これは SIP プロジェクトの代表的業績のひとつとされている¹⁰。INS は米国以外にも浸透し、例えば、英国のポール・スモーカー(Paul L. Smoker)は、多国籍企業などを加え、INS をより複雑にした IPS(International Processes Simulation)を開発した¹¹。また、関寛治らのモデルも INS の歴史では重要な貢献のひとつとされている¹²。関らのモデルの集大成が INS-J-E-6 であり、これは、それまでの INS 系列のモデルがヨーロッパ偏重の傾向があったのに対して、東アジアのモデル化を行ったことに特徴があった¹³。すでに述べたように、ゲツコウらの実験では社会心理学的色彩が強かったのに対して、関らの最大の目的は 1980 年前後の東アジアの国際関係の予測にあった¹⁴。

INS に始まるパーソン・コンピュータ・シミュレーションは、心理実験や予測といったある程度明確な目的を持っていたものの、コンピュータ・シミュレーションの創成期であったこともあり、実際には、手探りのなかで、あらゆる可能性が期待されていたといえる。例えば、ゲツコウは、心理学的実験だけでなく、国際関係理論の検証や学生・実務家の訓練を INS の利用可能性として挙げていた¹⁵。また、関も一方で予測を志向しながらも、実験の過程で生まれる「外交文書」の内容分析によって、政策決定者の心理、その意思決定、およびシステム動態の間の関係の解明という、「シミュレーションによる国際政治理論」の構築を試みている¹⁶。

これらの努力にもかかわらず、国際政治学におけるパーソン・コンピュータ・シミュレーションの評価は厳しいものであった。批判は、シミュレーションという手法そのものを批判する立場からシミュレーションの意義を認めながらもゲツコウ流のモデルを批判する立場まで、さまざまであった。シミュレーションを認めつつも、ゲツコウを批判した人々の主張は、ゲツコウ流パーソン・コンピュータ・シミュレーションでは、国際システムのマクロな動態に対する科学的分析には全くなっていないというものであった¹⁷。批判を行った

¹⁰ Charles F. Hermann, *Crises in Foreign Policy: A Simulation Analysis* (Indianapolis: Bobbs-Merrill, 1969).

¹¹ Paul L. Smoker, "An International Process Simulation: Development, Usage, and Partial Validation," (Ph.D Dissertation, University of Lancaster, 1968).

¹² Hayward R. Alker, (1985), *op.cit.*, p.23; Harold Guetzkow, "Simulated International Processes: An Incomplete History," in Guetzkow, Harold et al., eds., (1981), *op.cit.*, p.20.

¹³ INS-J-E-6 の実験報告については、関寛治「アジアをめぐる国際体系の変動---シミュレーションに関する中間報告」『年報政治学』1969 年 a、181-239 頁、関寛治「国際体系における貿易と通信---シミュレーションによる研究---」『国際政治』第 42 巻 1969 年 b、68-81 頁を参照。また、関のシミュレーション国際政治研究方法論を体系的にまとめたものについては、関寛治『国際体系論の基礎』東京大学出版会、1969 年、第 2 篇-第 5 篇。

¹⁴ 関、1969 年 a、前掲論文、214 頁など。

¹⁵ Harold Guetzkow, "A Use of Simulation in the Study of Inter-Nation Relations," in Guetzkow, Harold et al. eds., (1963), *op.cit.*, pp.33-37.ここで、ゲツコウはシミュレーションの多様な目的を論じている。

¹⁶ 関、1969 年 a、前掲論文、220-233 頁。

¹⁷ 例えば、Richard W. Chadwick, "Theory Development through Simulation: A Comparison and Analysis of Associations among Variables in an International System and an Inter-Nation Simulation," *International Studies*

人々からみれば・爛がアクターを演じて国際システムのシミュレーションを行っても、それは現実とはかけ離れた「遊び」にしか感じられなかったわけである。SIP プロジェクトは最終的には 1980 年代初頭に完全に終了し、パーソン・コンピュータ型モデルとしては、GSS(Global Systems Simulation)がわずかに教育・訓練目的で残ることになった¹⁸。

1.2 全コンピュータ・シミュレーション前史:1950 年代～1960 年代

1950 年代から 60 年代のシミュレーション研究は、いまみたように、パーソン・コンピュータ・シミュレーションが中心であったが、全コンピュータ・シミュレーションもいくつか行われた。代表的なモデルとしては、オリバー・ベンソン(Oliver Benson)の単純外交ゲーム(A Simple Diplomatic Game)、クラーク・アプト(Clark C. Abt)とモートン・ゴードン(Morton Gorden)の TEMPER(A Technological Economic Military Political Evaluation Routine)がある¹⁹。

単純外交ゲームは、合計 18 力国の大国とターゲット国からなる国際システムでのシステム構造(極)の変化や同盟関係の変化などを分析するモデルである。モデルの実行では、イニシエータの大国、ターゲットの小国、大国の行動レベルを実験者が最初に選択するというものであった。また、国際システムの動態を決定するプログラムは、カプラン、シェリング、ライトらの議論を参照しながら、国際政治学で比較的共有されている仮説(戦争の潜在能力としての国力、国家の行動を規定する要因としてのパワー分布など)をモデル化したものであった²⁰。

TEMPER は、間接的に INS に触発されて開発されたモデルである。TEMPER は、国家を分類したネイション・グループ、ネイション・グループをさらに西側、東側、中立の 3 つに分けるブロック、そして、ネイション・グループの一部を紛争地域とする国際システムのモデルである。このモデルも、主体であるネイション・グループが、予算決定や他のネイション・グループとの外交といった意思決定を行い、その動態をみるモデルであった²¹。

これら初期の全コンピュータ・シミュレーションは、技術的にも、膨大なコストからも大きく制約されていた。例えば、TEMPER は、数百万ドルの大規模プロジェクトであったにもかかわらず、現在の水準からすれば、きわめて単純なモデルであり、科学的知見を得

Quarterly, vol.1, (1972), pp.83-127.

¹⁸ Joseph J Valadez, "Exploring International Relations Through Organizational Theories in a Global Systems Simulation: A Training Template," in Ward, Michael D ed., *op.cit.*, pp.249-272.

¹⁹ Oliver Benson, "A Simple Diplomatic Game," in Rosenau, James N ed., *International Politics and Foreign Policy: A Reader in Research and Theory* (New York: The Free Press, 1961), pp.504-511; Oliver Benson, "Simulation of International Relations and Diplomacy," in Borko, Harold ed., *Computer Applications in the Behavioral Sciences* (Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, 1962), pp.574-595.; Clark C Abt and Morton Gorden, "Report on Project Temper," in Pruitt, Dean G and Richard C Snyder eds., *Theory and Research on the Causes of War* (Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, 1969), pp.245-262.

²⁰ 単純外交ゲームについては、Benson, 1961, 1962, *op.cit.* のほかに、モデルの解説として、Richard A Brody, "Varieties of Simulations in International Relations Research," in Guetzkow, Harold, et al eds., 1963, *op.cit.*, pp.197-200 がある。

²¹ Abt and Gorden, *op.cit.* のほか、モデルの簡略な紹介として、Alker and Brunner, *op.cit.*, pp.74-75; 関、前掲書、1969 年、126-127 頁がある。

ることには失敗であったというのが、大方の意見である。また、結果の追試が可能であることがシミュレーション研究にとっては重要であるが、TEMPER のように、巨大なプロジェクトの結果を追試すること自体、そもそも不可能であった²²。

1.3 ワールド・モデリング:1970 年代～1980 年代

ここでいうワールド・モデリングとは、狭義には、システム・ダイナミクスの流れのモデルを指すが、このほかにも、ゲッコウの INS の影響を受け、INS の全コンピュータ・シミュレーション版となったものも含めて考えることができる²³。

システム・ダイナミクスについては、すでに膨大な文献があり、ここで詳しく論じる必要はないだろう²⁴。ここでは、システム・ダイナミクスの歴史を簡単に振り返るにとどめる。システム・ダイナミクスは、ジェイ・フォレスター(Jay W. Forrester)が産業構造や都市計画の分析のために開発した手法であり、フォレスターのワールド・ダイナミクスは、これを世界システムの分析に応用したものである²⁵。簡単にいえば、人口・資源・汚染などの変数間の関係を示した微分(差分)方程式で表現された世界システムであり、これをコンピュータに計算させ、変数の変化をみることで、将来の地球を予測しようとするものであった。

1960 年代末からフォレスターは、ローマクラブの支援の下で、世界モデル版のシステム・ダイナミクスを開発し、WorldII モデルを発表した²⁶。その後 WorldIII を改良したフォレスター・メドウズ・モデル(WorldIII)のシミュレーション結果は、モデルの技術的な事柄よりも出力結果のインプリケーションを平易な言葉で書いた『成長の限界』で公表された。その悲観的な未来予測が大きな反響を呼んだのは、周知のとおりである²⁷。

フォレスター・メドウズ・モデルに対する批判を受けて、ローマクラブは、メサロビッチ・ペステル・モデルを新たに作成する。このモデルは、フォレスター・メドウズ・モデ

²² Alker, 1985, *op.cit.*, pp.23-24.

²³ ワールド・モデリングやグローバル・モデリングという言葉は、システム・ダイナミクス型の世界予測シミュレーションを批判する場合にもよく使われる。

²⁴ 周知のように、システム・ダイナミクスは、経済・環境などを含めた統合的な世界モデルであり、国際政治のモデルという限定はできないが、国際政治学やそのシミュレーションにも与えた影響は大きいので取り上げている。

²⁵ 国際政治学者による日本語の解説としては、薬師寺泰蔵『公共政策』東京大学出版会、1989 年、173-184 頁。また、宮川公男・小林秀則『システム・ダイナミクス』白桃書房、1988 年は、日本で開発されたシステム・ダイナミクス用ソフトの解説書であるが、システム・ダイナミクス自体の解説書にもなっている。システム・ダイナミクスの手法についての詳細な説明は、Jay W. Forrester, *Industrial Dynamics* (Cambridge, Mass.: MIT Press, 1961), また、フォレスターの世界モデルの詳細については、Jay W. Forrester, *World Dynamics* (Cambridge, Mass.: Wright-Allen Press, 1971) を参照。

²⁶ フォレスター直系のワールド・モデリングの歴史の概略については、Alker, 1985, *op.cit.*, pp.15-21. がよくまとまっている。World II は、Forrester, 1971, *op.cit.* のモデルである。

²⁷ Donella H. Meadows, Dennis L. Meadows, Jorgen Randers and William K. Behrens III, *The Limits to Growth* (New York: Universe Books, 1972). これに対する代表的な批判は、H.S.D. Cole, Christopher Freeman, Marie Jahoda and K.L.R. Pavitt, *Models of Doom: A Critique of The Limits to Growth* (New York: Universe Books, 1973); William D Nordhaus, "World Dynamics: Measurement without Data," *Economic Journal*, (December 1973), pp.1156-1183.

ルが世界の予測を機械的に一つだけ示したのに対して、政策担当者の介入による複数の「シナリオ」を可能にし、フォレスター・メドウズ・モデルの決定論的性格を修正しようとしたモデルであった²⁸。このほかにも、さまざまな亜種のモデルが作成されている。代表的なモデルとしては、フォレスター・メドウズ・モデル開発時期に、すでにアルゼンチンで作成され、第三世界の視点を入れたバリローチェ・モデル、日本での FUGI(Future of Global Interdependence)モデルがある²⁹。なかには、現在でもモデルを修正しながら、実験が継続されているものもある。

1970 年代後半からは、システム・ダイナミクス型モデルの影響を受けつつも、それに対する批判を背景に、システム・ダイナミクス以外の要素も採り入れた混合型のワールド・モデリングがみられた。代表的なものとしては、リチャード・チャドウィック(Richard W. Chadwick)が中心となった G-MAPP(Global Models and the Policy Process)がある。G-MAPP プロジェクトは、基本的には、1970 年代後半に英国で開発された SARUM(Systems Analysis Research Unit Model)を改良する形で進められたが、チャドウィックによれば、リチャードソン(Lewis Richardson)、ゲツコウ、フォレスター、およびピーター・ロバーツ(Peter Roberts)・キム・パーカー(Kim Parker)のマクロ経済モデルの 4 つの考えを総合したモデルであるという特徴を持っていた³⁰。

これらのシステム・ダイナミクスもしくはその影響を受けたモデルに対する批判は、機械的決定論の予測ということにあったといえる。フォレスターらのモデルは、不可避免的に到達するかにみえる悲観的な予測を示したが、技術の進歩や人口増大についての仮説を少し楽観的な関係式に置き換えたり、あるいは 2 セクター型にモデルを変えるだけで、フォレスターらのシナリオとは異なる楽観的な世界が現れることが、早い段階から指摘された³¹。このように、わずかな変更で大きく異なる結果を出力するモデルであれば、モデルの妥当性への疑問が当然生じることになる。もちろん、決定論の批判を受けて、モデル作成者らは、モデルが示した未来は必然的なものでなく、適切な政策対応が行われれば回避でき、その政策が行われるよう警告を発したに過ぎないといった反論を行ったし、すでに述べたように、予測シナリオの自由度を高めるためのメサロビッチ・ペステル・モデルのような

²⁸ Mihajlo Mesarovic and Eduard Pestel, *Mankind at the Turning Point: The Second Report to the Club of Rome* (New York: New American Library, 1974).

²⁹ バリローチェ・モデルは、正式には、a Latin American World Model という。Amilcar O. Herrera, H. Scolnik and et al D, *Catastrophe or New Society?: A Latin American World Model* (Ottawa: International Development Research Centre, 1976); 概要の説明としては、Carlos Mallmann, "The Bariloche Model," in Deutsch, Karl W, Bruno Fritsch, Helio Jaguaribe and Andrei S Markovits eds., *Problems of World Modeling: Political and Social Implications* (Cambridge: Ballinger, 1977), pp. 33-46. を参照。

FUGI モデルについては、さしあたり、FUGI モデルの一部の概略を述べている、大西昭「世界経済予測システム」『オペレーションズ・リサーチ』第 24 巻第 8 号、1979 年、479-484 頁を参照。

このほかにも、代表的なモデルとして、レオンチェフの Input/Output Model が有名である。Wassily Leontief, Anne P. Carter and Peter A. Petri, *The Future of the World Economy: A United Nations Study* (New York: Oxford University Press, 1977).

³⁰ G-MAPP については、Richard W Chadwick, "Modeling Political-Military Policy Dynamics in a Global Model," in Ward, Michael D ed., *op.cit.*, pp. 115-132; SARUM については、*Ibid.*, pp. 131-132 を参照。

³¹ Alker, 1985, *op.cit.*, pp. 16-17.

新たなモデルも作成された。しかし、モデルを修正し、システムの柔軟な適応やシミュレーションの政策補助的な性格をどれほど強めたとしても、システム・ダイナミクス型モデルの目的が未来予測にあったことには変わりなく、未来予測自体に疑問を持っている人々の批判が止むことはなかった。なかには、モデルのかたちが問題なのではなく、ワールド・モデリングという手法自体を疑問視する批判さえもみられた³²。

ところで、最初に述べたように、ワールド・モデリングの流れには、これらのシステム・ダイナミクスに触発された流れのほかに、ゲッコーウの INS から発展もしくは影響を強く受けたものがある。1970 年代前半から半ばにかけての SIPER(Simulated International ProcessER)、70 年代半ばからの SIMPEST(Simulation of Military and Political Economic and Strategic interactions)、1970 年代末から 1980 年代の GLOBUS(Generating Long-term Options By Using Simulation)が、これにあたる³³。経済・環境などが関心の中心をなしていたシステム・ダイナミクスの流れに対して、これらのモデルでは、国際政治学者が開発したことから、政治的要素が前面に出ているというのが特徴であった。

このうち、GLOBUS は、1977 年にカール・ドイッチュ(Karl W. Deutsch)のベルリン社会科学研究所(theWissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung:WZB)所長就任によって始まった約 10 年にわたる大規模プロジェクトであった³⁴。実質的な運営では、スチュアート・ブレマー(Stuart A. Bremer)が責任者となった。GLOBUS は、同じくブレマーが開発した INS の全コンピュータ版である SIPER を発展させる形で進められた。GLOBUS も、これまでのワールド・モデルと同じく、(2010 年までの)予測を主眼とし、メサロビッチ・ペステル・モデル以後のシナリオ型(例えば緊縮財政がとられた場合どうなるかなど)のスタイルであった。しかし、これまでのモデル以上に政治的要素を重視し、経済成長率や貿易量などだけでなく、例えば、民主主義国での選挙前の政府への支持、国民の現状に対する全般的満足度、さらには国内の暴力まで、予測の対象とされた。

しかしながら、GLOBUS モデルが、WorldIIIやバリローチェ・モデルなどのそれまでワールド・モデリングと同じように「ワールド・モデルの博物館」に埋もれてしまうこともよしとし、将来のコンピュータ技術の発展を期待するという最終報告書でのブレマーの結論は、GLOBUS モデルの成果が期待したものでなかったことを端的に示している³⁵。

³² システム・ダイナミクスの流れのワールド・モデリングに対する批判を要約したものとして、Hayward Alker and Ann Tickner, "Some Issues Raised by Previous World Models," in Deutsch, et al., eds., *op.cit.*, pp.24-30. を参照。本文で述べた以外の批判のタイプとしては、「世界モデルは、公害や人口過密化などの比較的富裕な人々の関心に集中し、栄養状態や政治的抑圧などの世界の大部分の人々の問題意識に対応していない」といったモデルに内包されている価値観に対するものもある。*Ibid.*, pp.28-30.

また、決定論・予測志向などのワールド・モデリング批判への反論としては、最近のものでは、Richard W Chadwick, "Global Modeling: Origins, Assessment, and Alternative Futures," *Simulation & Gaming*, vol.31, no.1, (March 2000), pp.63-70 がある。

³³ SIPER については、Stuart A. Bremer, *Simulated Worlds: A Computer Model of National Decision-making* (Princeton, N.J.: Princeton University Press, 1977); Stuart A Bremer, "The Simulated International Processer," in Guetzkow, Harold and Joseph J Valadez eds., *op.cit.*, pp.135-177. を参照。

³⁴ GLOBUS には、長大な報告書がある。Stuart A Bremer ed., *The GLOBUS MODEL: Computer Simulation of Worldwide Political and Economic Developments* (Boulder: Westview, 1987).

³⁵ *Ibid.*, pp.771-776.

ワールド・モデリングが世界モデルを作成し、世界の未来予測を行おうとしたのに対して、1970 年代初頭に始まり、70 年代半ばにはワールド・モデリングにかわって注目される別のタイプのシミュレーションが登場してくる。本稿では、これを対外政策決定・認知モデルと呼ぶことにするが、これを次にみていこう。

1.4 対外政策決定・認知モデル:1970 年代半ば～1980 年代半ば

対外政策決定過程のシミュレーションと人の認識のしくみをモデル化する認知のシミュレーションは、論理的には別のモデルである。しかし、対外政策決定過程で政策を決定するのは人であり、人は自らの認識に基づいて政策を決定するので、対外政策決定過程のシミュレーションでは、政策決定者の認知構造を少なくともモデルの一部として組み込むことが多くなる³⁶。本稿でも、便宜上、これらを区別せず、まとめて論じることとする。

ここまでみてきたタイプのシミュレーションと比較した場合、対外政策決定・認知モデルには、次のような特徴がある。第一に、ゲッコウの INS との比較では、INS が政策決定者の認知を実際の人間で行い、実験心理学的にこれを分析しようとしたのに対して、ここでの認知モデルは、政策決定者をコンピュータに組み込んだモデルとみることができる。

第二に、ワールド・モデリングとの比較では、システムに対する考え方に違いがある。ワールド・モデリングでは、現実世界そのものを参照システム(referent system)とし、モデルを構築しようとする。この場合、すべてのモデル作成者がそうであるわけではないが、システムを現実実在する実体として捉える傾向が強くなる³⁷。

これに対して、認知モデルでは、ワールド・モデリングの用法とは異なり、客観的というよりは観察者に依存する認識のシステムとして、システムの概念が使われている³⁸。広義には、世界システムなどのシステムは、観察者の主観によって認識されるものであり、同じ世界であっても観察者ごとに異なる世界システムが描かれるという意味で、システムは認識とされる。狭義には、認知構造図(Cognitive Map)の理論で用いられるものであり、観察者が過去に認知してきた出来事(政策やその結果生じた事象など)を要素(=認識された概念)とし、その出来事間の因果関係をシステム(=認知構造図)と考えるものである。これは、認識としての世界システムのさらに一部分のみをシステムとして認識者がさらに切り出したものと考えてもよいかもしれない。いずれの用法も、システムは客観的なものではなく、

³⁶ もちろん、各省庁の組織関係や利益集団のモデルのように、人の認識のモデル化に深く踏み込まない対外政策決定過程モデルもありえる。

³⁷ もちろん、ワールド・モデリングのモデル作成者が、現実世界を実体としてのシステムと捉えてモデルを作成しているのではなく、現実全体を包括的に理解するための認識手段としてのシステムをモデル化している可能性もある。しかし、ワールド・モデリングの場合には、実体と認識のどちらであっても、客観性もしくは参照システムへの妥当性が高いと作成者自身が考え、誰にでも共有される（と作成者が考える）一つの世界システムを示すのに対して、対外政策決定や認知モデルでは、個々の政策決定者の頭のなかに別々の世界システムが存在するという主観的なものとして、システムは理解される。

³⁸ システム概念の詳細については、公文俊平『社会システム論』日本経済新聞社、1978 年を参照。また、田中明彦『世界システム』東京大学出版会、1989 年、191 頁の注(2)も参照。

システムの主観性を強調していることには変わらない。

対外政策決定・認知モデルは、1970 年ころから注目され始めるが、大きく分けて、シャピロ(Michael Shapiro)、ボナム(G. Matthew Bonham)、アクセルロッドらの研究とヘイワード・アルカー(Hayward Alker)らの研究の2つの流れがある。

まず、シャピロらの研究は、認知構造図によるものである³⁹。すでに触れたように、認知構造図とは、政策決定者の頭の中にある認識の状態のことで、政策決定者によって概念化された過去の出来事が、その政策決定者の頭の中でどのような因果関係で結び付けられているかを示した図である。ある国際状況に対して、いくつかの政策オプションがあるとき、政策決定者の認知構造図を用いると、構造図のロジックから、その政策決定者がどの政策を選択するかを予測・推測できる。ボナムとシャピロは、対中東政策の専門家に対してゲーミングを行い、その結果から認知構造図を作成した。そして、その構造図をもとに、(ゲーミング後の)1970年9月の「黒い9月事件」後に実際に起こったシリアのヨルダン介入に対して、どのように大統領へ助言するかシミュレーションを行った⁴⁰。その後、どのような助言を行うかについて、(被験者であった)専門家へのインタビューも行うことで、シミュレーション結果とインタビュー結果の比較を行っている。また、山本吉宣らの国際体制研究会の研究では、中江要介外務省アジア局長へのインタビューをもとにして認知構造図を作成し、1979年の中国のベトナム進攻について、シミュレーションの結果と実際の日本の政策を比較している⁴¹。

認知構造図のシミュレーションは、現実の政策決定者の主張とある程度まで一致することが多く、まずまずの成果を上げたといっていよい⁴²。しかし、認知構造図によるシミュレーションの結果と実際の政策の完全な一致は難しいようである。例えば、ボナムとシャピロのシリア介入の研究では、シミュレーションと実際の専門家はともに、軍事的手段よりも外交的手段を優先させるという結論を出したが、具体的にどのような外交手段をとるかということでは一致しなかった⁴³。また、実際の政策では、一つの政策であっても、強硬な政策と懐柔的な政策が混合されていることがあるなど、シミュレーションと現実の一致・不一致の判断も容易ではないこと、さらに対外政策は一人あるいは特定の数人が決定するとは限らないため、モデル自体の妥当性が課題とされるなど、問題点も指摘された⁴⁴。

³⁹ 認知構造図についての教科書的説明は、薬師寺、前掲書、185-193頁。認知構造図の手法をわかりやすく解説したものとして、国際体制研究会編『認知構造図による対外政策決定分析』世界経済情報サービス、1980年、特に第3章。この著書の手法は、シャピロらのものを修正したものである。Shapiroらの手法については、George Nozicka, G. Matthew Bonham and Michael J. Shapiro, "Simulation Techniques," in Axelrod, Robert ed., *Structure of Decision: The Cognitive Maps of Political Elites* (Princeton, N.J.: Princeton University Press, 1976), pp.349-359.を参照。

⁴⁰ G. Matthew Bonham and Michael J. Shapiro, "Explanation of the Unexpected: The Syrian Intervention in Jordan in 1970," in *Ibid.*, pp.113-141.

⁴¹ 国際体制研究会編、前掲書、第1章。また、認知構造図は、現在の政策決定者だけでなく、歴史上の人物からも、議事録・会議録を用いて作成することができる。Robert Axelrod, "Decision for Neoimperialism: The Deliberations of the British Eastern Committee in 1918," in Axelrod ed., *op.cit.*, pp.77-95.

⁴² 国際体制研究会、前掲書やAxelrod, 1976, *op.cit.*では、このほかの事例も取り上げている。

⁴³ Bonham and Shapiro, *op.cit.*, p.137.

⁴⁴ 認知構造図モデルの問題点については、国際体制研究会、前掲書、第4章を参照。

過去の記憶や先例を政策決定の要素として重視するものの、認知構造図の研究とは異なる研究の流れに、アルカーらの研究がある⁴⁵。アルカーとクリステンセン(Cheryl Christensen)は、国連の紛争処理について、過去の紛争とそれへの対応を政策決定の先例とみなし、新たに生じた紛争への対応をそれに基づいて行うというモデルを作成した⁴⁶。また、ジェームス・ベネット(James Bennett)とアルカーのモデルは、単一的意思決定ではなく、安全保障、パワー、威信、富という価値を追求する複数の下部組織からなり、それを最高意思決定機関が調整するモデルを作成した。下部組織がどのような政策を提出し、また最高意思決定機関がどのような選択をするかは、各組織のその時点での対外認識や過去の経験に依存する。このモデルもアルカー・クリステンセン・モデルと同様に認識を重視しており、その延長上にあるといえる。ベネットとアルカーは、このモデルによって、19世紀の南米の国際政治の歴史を部分的にはあるが再現している⁴⁷。

ベネット・アルカー・モデルが認知・記憶モデルを組織過程や(南米の)地域国際システムに拡大したのに対して、田中明彦の CHINA-WATCHER は、対外政策決定者の思考過程のいくつかのパターンをモデル化し、どのモデルが最も妥当性を持つかを分析したモデルである⁴⁸。中国のように、一次資料に基づく通常の実証研究では政策決定過程の分析が困難な場合には、このタイプのシミュレーションは有益である。田中は、1949年から1978年にかけての中国の国際紛争認知に関するデータを使い、それを CHINA-WATCHER にかけることによって、中国がどの時期にどのような思考に基づいて対外政策をとったかを検討した。

さて、これらのアルカーらの一連の研究においても、実際の歴史とシミュレーションの出力が完全に一致することはやはり難しい。しかし、アルカーらの研究では、他のシミュレーションと比較して、歴史データを重視し、歴史や現実と照らし合わせて、モデルの妥当性を検証するというスタイルをとっている点が特徴である。国際政治学におけるシミュレーションには、確立された方法があるわけではない。言い換えれば、すでに妥当性について研究者間で了解を得ているモデルを使って予測や政策提言を行うのではなく、妥当性を持ったモデルをいかに構築するかが、少なくともとりあえずの課題の一つである。アル

⁴⁵ このタイプの研究を簡潔にまとめたものとして、Charles F Hermann and Margaret G Hermann, "The Synthetic Role of Decision-Making Models in Theories of Foreign Policy: Bases for a Computer Simulation," in Ward, *op.cit.*, pp.237-247.

⁴⁶ Hayward R Alker and Cheryl Christensen, "From Causal Modeling to Artificial Intelligence," in Lapointe, Jean and Paul Smoker eds., *Experimentation and Simulation in Political Science* (Toronto: University of Toronto Press, 1972). また、Hayward R Alker and William Greenberg, "On Simulating Collective Security Regime Alternatives," in Bohnam, G Matthew and Michael Shapiro eds., *Thought and Action in Foreign Policy* (Basel: Birkhauser Verlag, 1976). も参照。

⁴⁷ James P Bennet and Hayward R Alker, "When National Security Policies Bred Collective Insecurity: The War of the Pacific in A World Politics Simulation," in Deutsch, et al. eds., 1977, *op.cit.*, pp.215-302. また、Hayward R Alker, James P Bennet and Dwain Mefford, "Generalized Precedent Logics for Resolving Insecurity Dilemmas," *International Interactions*, vol.7, (1980), pp.165-206 も参照。このモデルでは、意思決定において認識されている地域システムまでも時間や国家ごとに異なるように設計されており、この点においてワールド・モデリング型モデルとは対照的なシステム概念である。

⁴⁸ Akihiko Tanaka, "Chinese International Conflict Behavior, 1949-1978," (Ph.D Dissertation, MIT, 1981). 概要を示したものとしては、田中明彦「政策決定のシミュレーション---中国」『国際政治』第74巻1983年、134-153頁。

カーらの研究と比較して、すでに述べた多くのワールド・モデリングは、歴史的統計データを大量に使っているものの、モデルの妥当性を歴史に照らし合わせて十分に検討することなく、予測や政策志向の分析を行ったものといえる。もちろん、アルカーらの研究方法によって、歴史との妥当性があるモデルがどれくらい構築されたかは評価が一致しないが、国際政治学のシミュレーション研究の現状を考えれば、この方法は少なくとも現実的な方法の一つといえよう。

ところで、トーマス・シュマルバーガー(Thomas Schmalberger)やアルカーらが 1990 年代から行った CEWS(Conflict Early Warning Systems)は、歴史データを重視するような発想の延長上にあるとみることができる。CEWS は、紛争予防のためのエキスパートシステムで、過去に実在した紛争をエピソードという単位に分け、さらに一つのエピソードを 6 つの紛争の発展局面(Phase)に分類し、それぞれの紛争を図式化する⁴⁹。そして、すべての紛争の図式から、ある局面から別の局面への移行についてのパターンを抽出し、現在起こっている(起こりつつある)紛争がどのパターンに一致するかを分析し、紛争がエスカレートしそうなパターンであれば、警戒するというものである⁵⁰。

最後に、学術研究を目的とした対外政策決定型シミュレーションのうち、マーク・サイモン(Marc Simon)とハーヴェイ・スター(Harvey Starr)のモデルを最近のモデルとして挙げておこう⁵¹。1990 年代半ば以降に作成されたこのモデルは、国家間の紛争だけでなく、冷戦終結後の関心を反映し、国内紛争をモデルに組み込んだ安全保障の政策決定モデルである。具体的には、まず、複数の国家と各国内部に政府にとって脅威となる反対勢力が存在する状況を設定する。各国家は、対外的・対内的脅威に対して安全保障を維持するための資源配分を行い、対外的・対内的にタカ派・ハト派のどの戦術をとるのが望ましいかを分析するものである。このモデルは、ここまでみてきた対外政策決定モデルと異なり、歴史デー

⁴⁹ エキスパートシステムとしては、リンカーン・ブルーンフィールド(Lincoln Bloomfield)らの CASCON(Computer-Aided System for Handling Information on Local Conflicts)の影響も大きいと思われる。CASCON は、現在では、対外政策決定支援ソフトとしてだけでなく、教育用としても利用されている。CASCON を体験できる教科書として、Lincoln P. Bloomfield and Allen Moulton, *Managing International Conflict: From Theory to Policy* (New York: St. Martin's Press, 1997)。また、CASCON のパイロットランの段階で紹介した代表的論文として、Lincoln P. Bloomfield and Robert Beattie, "Computers and Policy-making: The CASCON Experiment," *Journal of Conflict Resolution*, vol.15, (1971), pp.33-46。

⁵⁰ CEWS の先行モデルについてのアルカーら自身による説明は、Hayward R Alker and Thomas Schmalberger, "The Empirical Challenge of Contested Histories for Multi-Agent Modelers," Paper for delivery at the 43rd Annual Convention of the International Studies Association, New Orleans, Louisiana, 24-27, March, 2002, p.4 を参照。CEWS プロジェクトの全体像については、Hayward R Alker, Ted Robert Gurr and Kumar Rupasinghe (eds.), *Journeys Through Conflict: Narratives and Lessons* (Lanham: Rowman and Littlefield, 2001); エキスパートシステム自体については、*Ibid.*, Chapters 11, 12 を参照。

⁵¹ 断続的に拡張されてきたモデルであるが、さしあたり、次を参照。Marc V Simon and Harvey Starr, "Substitutability and the Internal-External Conflict Linkage: Modeling Policy Trade-Offs Between Security, Resources, and Strategy," Paper Presented Annual Meeting of the American Political Association, Boston MA, Aug. 29-Sept. 1, 2002。

また、対外政策過程のこのほかのモデルとしては、Richard J Stoll, "Nations at the Brink: A Computer Simulation of Governmental Behavior During Serious Disputes," *Simulation and Games*, vol.14, (1983), pp.179-200; Richard J Stoll, "Simulation Government Behavior During Disputes," in Ward, Michael D ed., *op.cit.*, pp.501-519; Michael D Ward, "Dynamic Analysis of Conflict and Cooperation: An Inquiry into the Evolution of International Interactions," in *Ibid.*, pp.439-461 などがある。

タとの結びつけは行われず、純粋な実験のスタイルをとっている。このスタイルは、次にみるマルチエージェント型モデルに比較的多く見られるスタイルであり、対外政策モデルであるものの、認知構造図やアルカーらの対外政策モデルの先行研究よりも、マルチエージェント型モデルの影響を強く受けていることがわかる。

2. マルチエージェント・シミュレーション (Agent-Based Simulations)⁵²

マルチエージェント・シミュレーション(MA)は、1980年代以降とくに盛んになり、現在では、国際政治学をはじめとするあらゆる学問領域で、最も注目されているタイプのシミュレーションである。しかし、比較的最近さかんになったため、国際政治学ではこれまで詳しく論じられることも少なかった。MAについて節を改めて論じるのは、このためである。

MAは、そのまま解釈すれば、主体(複数の主体)のシミュレーションである。国際政治学は、国家、政策決定者、組織などの主体を分析対象としているので、定義によっては、国際政治学のシミュレーションは、ほとんどがMAとなってしまう。例えば、ゲッコウのINSも実験参加者をエージェントと考えることができるし、認知構造図モデルの政策決定者もエージェントである。MAに明確な定義があるわけではないが、これまでのMAとされるモデルをみると、単に複数の主体を対象としたシミュレーションというのではなく、相互作用できるエージェントの範囲とエージェントの変化(進化)に、とくに注目したシミュレーションとして、とりあえずは考えることはできる。本節では最初に、この観点から、MAの本稿での分類基準を示し、これに基づいて国際政治学のMA进行分类しよう⁵³。

2.1 MA の分類

いま述べたように、国際政治学のMAは、「エージェントの相互作用のタイプ」と「エージェントの進化」の2つの基準で分類するとわかりやすい。表1にこれらの基準を示した。これに基づいて、国際政治学のMAのモデル进行分类したのが、図2である。

この図式では、(1)不変・ローカル型(狭義のマルチエージェントモデル)、(2)進化・グローバル型(狭義の進化モデル)、(3)進化・ローカル型(総合型マルチエージェントモデル)、(4)不変・グローバル型(その他)、の4タイプにシミュレーション・モデル进行分类している。

各モデルが何を分析対象としているかについては、「狭義の進化モデル」では、相互作用の結果現れるエージェントのミクロな状態(個々のエージェントが持つ変数の値や行動

⁵² 日本語では、マルチエージェントと表記し、英語では、Agent-Based とすることが多いが、意味は同じである。

⁵³ マルチエージェント・シミュレーションは、複雑系、セルオートマトン、遺伝的アルゴリズムなどの概念と密接な関係があるが、本稿は、科学方法論の観点からマルチエージェント・シミュレーションを論じるものではない。国際政治学のモデルの分類という本稿の目的からすれば、このような分類で十分であるので、これらの概念に必要以上に触れることはしない。

ルールの変化など) の分析が多いのに対して、その他のタイプでは、相互作用によるマクロな創発(Emergent Properties)を分析することが多い。本稿では、これら 4 つのすべてのタイプをあわせて、広義の MA と呼ぶことにする (図 1 を参照) ⁵⁴。

広義に考えれば、これら 4 分類のすべてのタイプが MA であるが、これらのなかでも、ローカルな情報によるローカルな相互作用を行い、その相互作用の結果、エージェントが模倣・学習・進化していくモデルが、最も MA らしいモデルである。ローカルな相互作用と進化をともにモデル化しているという意味で、これを便宜的に総合型マルチエージェントモデルと呼ぶことにする。以下では、主にこの分類に従いながら、マルチエージェントのモデルを個別にみていきたい。

2.2 MA の分類

国際政治学の MA の古典としては、1960 年代に着想され、1970 年代後半に論文になったブレマーとミハルカ(Michael Mihalka)のモデルがしばしば取り上げられる⁵⁵。このモデルは、98 力国が並存する国際システムにおいて、国際政治学のリアリズムの理論が主張するように、パワーに基づく領土拡大を国家が行う場合に、どのような国際秩序が生まれるかをみるシミュレーションである。1990 年ころから、ブレマー・ミハルカ・モデルは拡張され、トーマス・キューザック(Thomas Cusack)とリチャード・ストール(Richard Stoll)のモデル、檀野英次と田中明彦のモデル、ガバン・ダフィ(Gavan Duffy)のモデルが次々に作成された⁵⁶。

ところで、ブレマー・ミハルカ・モデルが MA の形式をとっているのは間違いないが、ブレマーとミハルカの意図が、どれほど複雑系などの科学方法論に触発され、このモデルを作成したかは明らかではない。というのも、論文の中でのブレマーとミハルカは、複雑系やローカルな情報・相互作用といった現在の MA で通常行われる議論を持ち出していないからである。

むしろ、彼らの論文の特徴は、(リアリズムという)記述的な国際政治理論の妥当性を検討するという目的を明示的に述べている点にある。すでにみたように、ブレマー・ミハルカ・モデル以前にも国際政治理論をモデル化したシミュレーションはみられたが、これらのモデルの多くの目的は、カプランやワイトなどのさまざまな理論を参考にしながら、現実の国際システムを表現するのにもっともらしいと思われるモデルを作成することであり、特

⁵⁴ 図 1 では、進化/GA とあるのが「狭義の進化モデル」に、狭義の MA はそのまま「狭義のマルチエージェントモデル」にそれぞれ対応する。残りの 2 つのタイプは両者とも、便宜的に進化/GA と狭義の MA の中間に示した。

⁵⁵ Stuart A Bremer and Michael Mihalka, "Machiavelli in Machina: Or Politics among Hexagons," in Deutsch, et al. eds., *op.cit.*, pp.303-337.

⁵⁶ Thomas R. Cusack and Richard J. Stoll, *Exploring Realpolitik: Probing: International Relations Theory with Computer Simulation* (Boulder: Lynne Rienner, 1990); 檀野英次・田中明彦 「国際システムの安定---コンピュータ・シミュレーションによる勢力均衡モデルの分析---」 (山本吉宣・田中明彦編『戦争と国際システム』東京大学出版会、1992 年、所収)、173-211 頁、Gavan Duffy, "Concurrent Interstate Conflict Simulation: Testing the Effects of the Serial Assumption," *Mathematical and Computer Modelling*, vol.16, (1992), pp.241-270.

定の思想を表現した国際政治理論自体を検討するという目的を持っていたわけではなかった。これに対して、ブレマー・ミハルカ・モデルは、彼らが論文中で繰り返し強調しているように、分析結果は中間報告にとどまっているものの、国際政治理論そのものの検討という目的を明確に示したモデルとして重要な貢献を行ったといえる。

とはいえ、ブレマー・ミハルカ・モデルは、1980年代後半から90年代の国際政治のマルチエージェント型モデルのさきがけであるのは間違いなく、少なくとも結果的にみれば、その後の国際政治学のシミュレーションに与えた影響は、この点の方が大きかったといえよう⁵⁷。

言及されることが少ないが、ブレマー・ミハルカ後のモデルとしては、フィリップ・シュロート(Philip A. Schrodtt)のモデルも重要である⁵⁸。このモデルでは、「ユニット」と呼ばれる単位が「タイプ」という属性を持っており、ユニット(UnitX)は隣接する別のユニットのうち、異なるタイプを持つユニット(UnitY)と紛争を行う。UnitXのタイプをTm、UnitYのタイプをTnとすると、紛争当事者である2つのユニットに隣接するユニットすべてのタイプの数を計算し、 $Tm > Tn$ のとき、UnitYのタイプはTmに、 $Tm < Tn$ のとき、UnitXのタイプがTnになる。論文中では必ずしも明示的ではないが、このように、シュロート・モデルには、セルオートマトンやライフゲームに近い発想がみられる。この点で、シュロート・モデルは、ブレマー・ミハルカ・モデルと並ぶ国際政治におけるMAの初期の業績と考えることができる。

ブレマー・ミハルカ後のもう一つの例としては、アクセルロッドの「囚人のジレンマ」実験が有名である⁵⁹。これについてはすでに多数の論評があり、改めて詳述する必要はないだろう⁶⁰。アクセルロッドは、繰り返し囚人のジレンマで、最も高得点を得ると思われる戦略を応募してもらい、総当りのリーグ戦を行うというシミュレーションを行った。2回行った結果は、いずれもアナトール・ラバポート(Anatol Rapoport)のTITFORTAT戦略が勝利し、この単純な戦略が多く複雑な戦略よりも優れていたことが驚きとされたわけである⁶¹。

囚人のジレンマ・リーグ戦の最も著名な点はこのとおりであるが、アクセルロッドは、

⁵⁷ 国際政治のマルチエージェント・シミュレーションを論じた文献は多くないが、ブレマー・ミハルカ・モデルが国際政治の古典的モデルとなっていることを指摘したものとしては、Alker and Schmalberger, 2002, *op.cit.*, p.3; 山影進「社会への新しい接近法---マルチエージェントシミュレーションへの誘い---」(山影進・服部正太編『コンピュータのなかの人工社会---マルチエージェント・シミュレーションモデルと複雑系---』構造計画研究所、2002年、所収)、11-12頁などがある。

⁵⁸ Philip A Schrodtt, "Conflict As A Determinant of Territory," *Behavioral Science*, vol.26, no.1, (January 1981), pp.37-50.

⁵⁹ 本文で述べたように、本稿では、ローカルな相互作用と進化があるモデルを最もMAらしいモデルと考えているので、アクセルロッドの総当り戦は、最もMAらしくないモデルということになる。

⁶⁰ 批判点が簡潔にまとまり、比較的最近のものであるロバート・ホフマンのものを挙げておく。Robert Hoffmann, "Twenty Years on: The Evolution of Cooperation Revisited," *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* <<http://www.soc.surrey.ac.uk/JASSS/3/2/forum/1.html>>, vol.3,no.2, (March 2000).また、山影、前掲論文、9-11頁には、実験の概要が簡潔によくまとまっている。

⁶¹ Robert Axelrod, "Effective Choice in the Prisoner's Dilemma," *Journal of Conflict Resolution*, vol.24, (1980), pp.3-25; Robert Axelrod, "More Effective Choice in the Prisoner's Dilemma," *Journal of Conflict Resolution*, vol.24, (1980), pp.379-403; これらは、Robert Axelrod, *The Evolution of Cooperation* (Basic Books, 1984), Chap.2.に再録されている。アクセルロッドは、この実験をトーナメントと呼んでいるが、リーグ戦である。

進化の考えを取り入れた議論も行っており、その後のマルチエージェントモデルの発展からすると、こちらの方が重要である⁶²。これは、世代交代をモデルに組み込んだもので、高得点を挙げた戦略は次世代に数を増やし、そうでない戦略は数が減少していくというものである。結果は、やはり TITFORTAT が生き残るというものであった。後にみるように、アクセルロッドは、この発想を拡大し、1980 年代後半の遺伝的アルゴリズムを用いた「四人のジレンマ」モデルへと発展させる。

これらの初期のモデルも、モデルの構造としてはマルチエージェント的発想をすでに持っていたが、複雑適応系(CAS)や遺伝的アルゴリズム(GA)などの言葉を用いて、MA の方法的な議論に言及することはほとんどなかった。これに対して、1980 年代後半以後のモデルは、明確にこれらの術語と技法を取り上げ、モデルを作成しているところに特徴がある。次に、先に行った分類に従って、これらのモデルをみていこう⁶³。

2.3 狭義のマルチエージェントモデル

1990 年代のこのタイプのモデルとしては、ラースーエリック・シダーマン(Lars-Erik Cederman)の EPM(Emergent Polarity Model)とアクセルロッドの朝貢モデルがある⁶⁴。シダーマンの EPM は、国家が隣接する他国と戦争を繰り返していくと、単極、双極、多極のうち、どのような状態が国際システムに現れるかをみるモデルである。したがって、このモデルは、ブレマー・ミハルカ・モデルの一連の流れに属するモデルである。しかし、キューザック・ストール・モデル、檀野・田中モデル、ダフィ・モデルが、リアリズムの国際政治理論の妥当性を検討する道具という目的から、ブレマー・ミハルカ・モデルのルールを複雑にしていたのに対して、EPM は、リアリズムの国際政治理論や現実の国際政治からかけ離れたルールの単純化をあえて行い、複雑適応系のモデルとして EPM を作成している⁶⁵。

アクセルロッドの朝貢モデルも、10 の国家を一行に並べただけの単純さを重視したモデルである。3 国の朝貢要求国が一度にランダムに選択され、それらの国家が周囲の国家に朝貢を要求する。要求された国家は、朝貢するか戦争するかを選択し、朝貢が行われれば、当事国間に朝貢関係が生まれ、戦争になれば両国ともに富を失う。これを繰り返すうちに、

⁶² *Ibid.*, pp.48-53.

⁶³ 本論の分類で「その他」にあてはまるモデルの詳述は行わない。アクセルロッドのリーグ戦については、本文でみたとおりだが、この他の代表的な例としては、図 2 に示したように、シダーマンの NCM がある。Lars-Erik Cederman, *Emergent Actors in World Politics: How States & Nations Develop & Dissolve* (Princeton: Princeton University Press, 1997), Chap.8. また、このモデルを拡張し、ローカルな関係を重視することで、より MA 的にしたものとして、光辻克馬「国民の統合と分裂---重層的な文化と政治的アイデンティティの消長」(山影進・服部正太編、前掲書、所収)、176-194 頁がある。

⁶⁴ Cederman, 1997, *op.cit.*, Chap.4; Robert Axelrod, "A Model of the Emergence of New Political Actors," in Gilbert, Nigel and Rosaria Conte eds., *Artificial Societies: The Computer Simulation of Social Life* (London: UCL Press, 1995), pp.19-39. アクセルロッドの論文は、Robert Axelrod, *The Complexity of Cooperation: Agent-Based Models of Competition and Collaboration* (Princeton: Princeton University Press, 1997), chap.6 に再録。

⁶⁵ Cederman, 1997, *op.cit.*, pp.82-91. ルールの単純化は、例えば、攻撃する国家(predator)と攻撃される国家(pre)が最初から決まっていること、行動ルールに TIT FOR TAT が用いられていること、勝敗の決定式の簡素化などである。

どのような朝貢関係が生まれるかをみるのが基本的な目的であった。

2.4 狭義の進化モデル

遺伝的アルゴリズム(GA)とは、簡単に言えば、仮想の遺伝子をシミュレーションのなかのエージェントに持たせ、世代交代を通じて、環境により適応したエージェントが生成されていく様子を分析する技法である⁶⁶。GA の基本概念としては、遺伝子コード、適合度、GA オペレータがある。遺伝子コード(GTYPE: genotype)とは、生物の染色体に相当し、ビット列で表される。適合度とは、その遺伝子コードがどの程度環境に適しているかを示す値である⁶⁷。モデルは、適合度が高いエージェントほど、次世代に多くの子孫を残しやすく設計される。GA オペレータは、生殖活動のときの遺伝の方法で、具体的には、交叉や突然変異などがある。

アクセルロッドの GA の「囚人のジレンマ」モデルは、このような GA の基本枠組みを比較的厳密に繰り返し囚人のジレンマに適用したものであり、GA を用いた最初の囚人のジレンマ実験である⁶⁸。この実験では、まず、ランダムに発生させた染色体を持つ 20 のエージェントを生成する。染色体には、過去 3 回の対戦記憶とその対戦結果から次にどの戦略をとるかが示されている。これらのエージェントを 80 年論文のリーグ戦の結果から選択した代表的な 8 つの戦略と戦わせ、高得点を挙げたエージェントの適合度が高いとした。そして、適合度の高いエージェントが確率的により多くの子孫を残すようにし、これらが交叉と突然変異などで世代交代を行っていくというのが基本モデルである。このシミュレーションでも、アクセルロッドは、TITFORTAT に類似した戦略を持つエージェントに進化していくと結論している⁶⁹。

アクセルロッドが GA の基本構造を比較的忠実に繰り返し囚人のジレンマに適用したのに対して、過去 3 回の対戦記憶で次の手が決まるなどアクセルロッドの実験を再現しつつも、GA による世代交代ではなく高得点を挙げたエージェントの戦略を単純にそのまま模倣(学習)する進化モデルを作成したのが、ビヨルン・ロンボルグ(Bjorn Lomborg)である⁷⁰。ロ

⁶⁶ 遺伝的アルゴリズムを平易に解説した著書は意外に少ない。さしあたり、伊庭斉志『遺伝的アルゴリズムの基礎 : GA の謎を解く』オーム社、1994 年を参照。遺伝的アルゴリズムの古典は、John H. Holland, *Adaptation in natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence* (Ann Arbor: University of Michigan Press, 1975)であるが、数学的にも難解なこの著作は、現在では、専門家の間でも、すべて読まれることは少ないそうである。伊庭、前掲書、25 頁。

⁶⁷ 厳密には、遺伝子コードから変換される表現型(PType: phenotype)から適応度は決まる。なお、何を持って、あるエージェントが環境により適応しているとするのかについては、常に論争となっている。

⁶⁸ Robert Axelrod, 1997, *op.cit.*, Chap.1; 初出は、Robert Axelrod, "The Evolution of Strategies in the Iterated Prisoner's Dilemma," in Davis, Lawrence ed., *Genetic Algorithms and Simulated Annealing* (London: Pitman, 1987), pp.32-41.

⁶⁹ この実験に対する批判としては、安田俊一「GA による囚人の_83W レンマ実験 --- ラマルクの手法とダーウィンの手法」『松山大学論集』第 13 巻第 2 号、2001 年、44-48 頁がある。この論文は、記憶が遺伝することと TFT に似た戦略の定義の曖昧さを批判している。

⁷⁰ Bjorn Lomborg, "Nucleus and Shield: The Evolution of Social Structure in the Iterated Prisoner's Dilemma," *American Sociological Review*, vol.61, no.2, (April 1996), pp.278-307.

ンボルグの実験の特徴は、1 シミュレーションあたり、100 万以上のエージェントによる 30 万回の繰り返しを行っていることである。マルチエージェント型モデルは、コンピュータの能力のために数を制限せざるを得ないことが多いので、この実験はそれだけでも意義があるといえるかもしれない。

モデルでは、エージェントはランダムに対戦相手を選択し、過去 3 回の対戦結果からここでの手が決定される。各ラウンドの最後に、ランダムに選択されたエージェントがランダムにもう一人を選択し、自分と選択した相手の得点を比較し、相手のほうが高ければ、相手の戦略を模倣する。アクセルロッドの実験同様、このモデルにも対戦相手や学習相手の選択に空間的な要素はない。実験結果は、初期状態ですべてのエージェントが D で始まるにもかかわらず、高い協調が生じるというものであった⁷¹。

アクセルロッドは、GA の基本構造を厳密に適用しようとしたが、現実にはもちろん、戦略が生物的な遺伝子の交叉や突然変異で受け継がれるわけではない。また、戦略は次世代に受け継がれる場合もあるが、同じエージェントが時間の経過とともに学習することもある。したがって、社会科学のような社会的文脈で GA を用いる場合には、あくまでも比喩か技術的な便宜で用いているに過ぎない。次にみる総合型マルチエージェントモデルでの進化では、このような GA をより社会現象に適した形に修正・応用したモデルが多くみられる。

2.5 総合型マルチエージェントモデル

このタイプのモデルとしては、アクセルロッドの文化伝播モデル、シダーマンのナショナリズム・モデル、シダーマンが断続的に改良し、最新バージョンではクリスチャン・グレディッチュ(Kristian Gleditsch)との共同モデルとなっているデモクラティックピース・モデルがある⁷²。文化伝播モデルは簡素化した GA のモデルであり、ナショナリズム・モデルは簡素化した GA をより政治学的に応用したモデルである。デモクラティックピース・モデルは単純に模倣するタイプの進化を国際政治学に応用したモデルである。

アクセルロッドの文化伝播モデルの基本形は、ひとつの村と考えることができるエージェントを 10×10 の平面に 100 エージェント配置する。各エージェントは固有の文化を持ち、文化は、0 から 9 までをとることができる値を 5 つ並べることで表現される(例:80425)。各エージェントは、隣接するエージェントのみと接触でき、隣接するエージェントの中から、

⁷¹ モデルには、戦略のイノベーションやノイズが入っている。詳細は、*Ibid.*, pp.285-286 を参照。また、ここでの協調とは、TIT FOR TAT の増大を意味していない。

⁷² Axelrod, 1997, *op.cit.*, Chap.7. オリジナルは、Robert Axelrod, "The Dissemination of Culture: A Model with Local Convergence and Global Polarization," *Journal of Conflict Resolution*, vol.41, (1997), pp.203-226; シダーマンのモデルは段階的に拡張されているが、ナショナリズム・モデルについては、Lars-Erik Cederman, "Nationalist Systems Change and its Geopolitical Consequences," Paper Prepared for delivery at the Annual Convention of the American Political Science Association, San Francisco, August 30-September 2, 2001; デモクラティックピース・モデルについては、Lars-Erik Cederman and Kristian Gleditsch, "Conquest and Regime Change: An Evolutionary Model of the Democratic Peace," Prepared for presentation at the Annual Meeting of the American Political Science Association, Boston, August 31, 2002 を参照。

自分の文化に近い文化列を持つエージェントとのコミュニケーションがより容易に行えるようになっている。このコミュニケーションを通じて、隣接するエージェントから文化を伝播され、その結果、どのような文化地域が生まれるかをみるのがモデルの目的である⁷³。

アクセルロッドの文化伝播モデルが、ローカルな相互作用と GA の仕組みを用いて、できるだけ単純なモデルにすることを重視しているのに対して、シダーマンの2つのモデルは、政治学的な特性を付け加えることでモデルを複雑にしている。シダーマンのナショナリズム・モデルは、フランス革命後のナショナリズムの時代を古典的な主権国家システムから国民国家システムへのシステム変化とする国際政治学の議論を前提とした上で、ナショナリズム以後の国際システムでは、ナショナリズム以前の国際システムよりも戦争被害の大きさ(severity)が大きくなったという仮説をシミュレーションによって検証しようとしたものである⁷⁴。このモデルは、エージェント間の争いについては EPM をベースとし、アクセルロッドの文化伝播モデル型の簡素化 GA を応用した文化属性をエージェントにもたせたものとなっている。また、ネイションは文化から生まれるものの、ネイションと文化は異なるという前提から、エージェントにネイションと文化の2種類の文字列を持たせるなど、MA によるナショナリズム研究にとって技術的にも重要な貢献がみられる。

デモクラティックピース・モデルも、エージェント間の紛争の基本枠組みは EPM をもとにしている。また、民主主義の伝播という点に進化をモデル化しているが、このモデルでは GA を使わず、単純に隣接国の政治体制をそのまま模倣する方法がとられている⁷⁵。モデルでは、多数の非民主主義国家と少数の民主主義国家からなる近代初頭の国際システムを想定した初期状態を設定し、カントの主張に従った場合に、実際の歴史のように、国際システムのなかで民主主義国が占める面積や数の割合が増えていくかどうかをみようとするモデルである。カントの論理をモデル化するという方法は、ブレマー・ミハルカ・モデルのリベラリズム版と考えることもできる。

モデルでは、(1)民主主義国同士は戦争をしない、(2)民主主義国が戦争に巻き込まれている場合、隣接する他の民主主義国は支援を行う(リベラル国家の集団安全保障)、(3)隣接する国家に民主主義国が多いほど、その国家は民主主義国家になりやすい(民主主義の伝播)という3つのサブルーチンを順次加えていき、3つのサブルーチンがすべて実行された場合には、理想的な「永遠の平和」(perpetual peace)が生まれる様子を示してみせている。

むすび

⁷³ Axelrod, 1997, *op.cit.*, pp.153-155.

⁷⁴ Cederman, 2001, *op.cit.*, pp.2-14, 32-36. また、ナショナリズムのマルチエージェント・シミュレーションのこの他のものとしては、Ian S Lustick, Dan Miodownik and Roy J Eidelson, "Secessionism in Multicultural States: Does Sharing Power Prevent or Encourage It?" Paper Prepared for presentation at the annual meeting of the American Political Science Association, Boston, MA, August 28-31, 2002 が興味深い。

⁷⁵ モデルでは民主主義の伝播は確率的に決定されるが、民主主義から権威主義への移行(権威主義の伝播)も、より低い確率で起こるようになっている。

ここまでみてきたパーソン・コンピュータ・シミュレーションから MA までをまとめたのが、表 2 である。本論でみてきた研究の歴史から明らかなように、国際政治学も、現在の最先端である MA による研究をいっそう進めていくべきであろう。

国際政治学の対象は、国家間関係だけではない。グローバリゼーションの現代では、国境の役割は低下しており、非国家主体が国際関係で重要になりつつあるとしばしば言われる。NGO の担い手や世界企業の企業人は、国境をこえた人間関係を形成し、この関係は、いまやグローバル化時代の世界政治の構成要因の一つとなっている。

本論では詳しく述べないが、伝統的な大国間政治ではなく、より緊密で、無数の匿名の人々のコミュニケーションで構成されるトランスナショナルな新しい国際政治研究では、MA がいっそう相応しい研究方法になる可能性を秘めている。また、最近の世界システムやマクロな歴史研究には、ディアスポラ、交易ネットワーク、移民、貨幣流通圏・・・など、MA でモデル化できそうな研究対象があふれている。

MA による社会現象分析は、まだ始まったばかりであり、方法的にも暗中模索というのが、現状であろうが、今後、いっそうの研究推進が望まれるわけである。

参考文献

Abt, Clark C. and Morton Gorden, "Report on Project Temper," in Pruitt, Dean G. and Richard C. Snyder eds., *Theory and Research on the Causes of War* (Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, 1969), pp 245-262.

Alker, Hayward and Ann Tickner, "Some Issues Raised by Previous World Models," in Deutsch, Karl W., Bruno Fritsch, Helio Jaguaribe and Andrei S. Markovits eds., *Problems of World Modeling: Political and Social Implications* (Cambridge: Ballinger, 1977), pp 17-32.

Alker, Hayward R., "Global Modeling Alternatives: The First Twenty Years," in Ward, Michael D. ed., *Theories, Models, and Simulations in International Relations: Essays in Honor of Harold Guetzkow* (Boulder: Westview Press, 1985), pp 9-37.

Alker, Hayward R., *Rediscoveries and Reformulation: Humanistic Methodologies for International Studies*, New York: Cambridge University Press, 1996.

Alker, Hayward R., James P. Bennet and Dwain Mefford, "Generalized Precedent Logics for Resolving Insecurity Dilemmas," *International Interactions*, vol.7, (1980), pp.165-206.

Alker, Hayward R. and Ronald D. Brunner, "Simulating International Conflict: A Comparison of Three Approaches," *International Studies Quarterly*, vol.13, no.1 (1969), pp.70-110.

Alker, Hayward R. and Cheryl Christensen, "From Causal Modeling to Artificial Intelligence," in Laponce, Jean and Paul Smoker eds., *Experimentation and Simulation in Political*

Science (Tronto: University of Toronto Press, 1972), pp 177-224.

Alker, Hayward R. and William Greenberg, "On Simulating Collective Security Regime Alternatives, " in Bohnam, G. Matthew and Michael Shapiro eds., *Thought and Action in Foreign Policy* (Basel: Birkhauser Verlag, 1976).

Alker, Hayward R., Ted Robert Gurr and Kumar Rupesinghe, eds., *Journeys Through Conflict: Narratives and Lessons* (Lanham: Rowman and Littlefield, 2001).

Alker, Hayward R., Ted Robert Gurr and Kumar Rupesinghe, "The Challenge of Developing Conflict Early Warning Systems: A Proposal," in Alker, Hayward R., Ted Robert Gurr and Kumar Rupesinghe eds., *Journeys Through Conflict: Narratives and Lessons* (Lanham: Rowman and Littlefield, 2001), pp 3-31.

Alker, Hayward R. and Thomas Schmalberger, "The Double Design of the CEWS Project," in Alker, Hayward R., Ted Robert Gurr and Kumar Rupesinghe eds., *Journeys Through Conflict : Narratives and Lessons* (Lanham: Rowman and Littlefield, 2001), pp 32-55.

Alker, Hayward R. and Thomas Schmalberger, "The Empirical Challenge of Contested Histories for Multi-Agent Modelers," Paper for delivery at the 43rd Annual Convention of the International Studies Association, New Orleans, Louisiana, 24-27, March, 2002.

Armstrong, John, *Nations before Nationalism*, Chapel Hill: University of North Carolina Press, 1982.

Axelrod, Robert, ed. *Structure of Decision: The Cognitive Maps of Political Elites* (Princeton, N.J.: Princeton University Press, 1976).

Axelrod, Robert, "Decision for Neoimperialism: The Deliberations of the British Eastern Committee in 1918," in Axelrod, Robert ed., *Structure of Decision: The Cognitive Maps of Political Elites* (Princeton, N.J.: Princeton University Press, 1976), pp 77-95.

Axelrod, Robert, "Effective Choice in the Prisoner's Dilemma," *Journal of Conflict Resolution*, vol.24, (1980), pp.3-25.

Axelrod, Robert, "More Effective Choice in the Prisoner's Dilemma," *Journal of Conflict Resolution*, vol.24, (1980), pp.379-403.

Axelrod, Robert, "The Emergence of Cooperation Among Egoists," *American Political Science Review* , vol.75, (1981) ,pp.306-318.

Axelrod, Robert, *The Evolution of Cooperation*, Basic Books, 1984.

Axelrod, Robert, "The Evolution of Strategies in the Iterated Prisoner's Dilemma," in Davis, Lawrence ed., *Genetic Algorithms and Simulated Annealing* (London: Pitman, 1987).

Axelrod, Robert, "A Model of the Emergence of New Political Actors," in Gilbert, Nigel and Rosaria Conte eds., *Artificial Societies: The Computer Simulation of Social Life* (London: UCL Press, 1995).

Axelrod, Robert, "The Dissemination of Culture: A Model with Local Convergence and

Global Polarization,” *Journal of Conflict Resolution*, vol.41, (1997), pp.203-226.

Axelrod, Robert, “Advancing the Art of Simulation in the Social Sciences,” in Conte, Rosaria, Rainer Hegselmann and Pietro Terna eds., *Simulating Social Phenomena* (Berlin: Springer, 1997), pp 21-40.

Axelrod, Robert, *The Complexity of Cooperation: Agent-Based Models of Competition and Collaboration*, Princeton: Princeton University Press, 1997.

Axelrod, Robert and Michael D. Cohen, *Harnessing Complexity: Organizational Implications of a Scientific Frontier*, New York: Free Press, 1999.

Axelrod, Robert and William D. Hamilton, “The Evolution of Cooperation,” *Science*, vol.221, (1981), pp.1390-1396.

Balci, O., “Validation, Verification, and Testing Techniques throughout the Life Cycle of A Simulation Study,” *Annals of Operations Research*, vol.53, (1994), pp.123-173.

Bennet, James P. and Hayward R. Alker, “When National Security Policies Breed Collective Insecurity: The War of the Pacific in A World Politics Simulation,” in Deutsch, Karl W., Bruno Fritsch, Helio Jaguaribe and Andrei S. Markovits eds., *Problems of World Modeling: Political and Social Implications* (Cambridge: Ballinger, 1977), pp 215-302.

Benson, Oliver, “A Simple Diplomatic Game,” in Rosenau, James N. ed., *International Politics and Foreign Policy: A Reader in Research and Theory* (New York: The Free Press, 1961), pp 504-511.

Benson, Oliver, “Simulation of International Relations and Diplomacy,” in Borko, Harold ed., *Computer Applications in the Behavioral Sciences* (Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, 1962), pp 574-595.

Bhavani, Ravi and David Backer, "Localized Ethnic Conflict and Genocide: Account for Differences in Rwanda and Burundi," *Journal of Conflict Resolution*, vol.44, (2000), pp.283-306.

Bloomfield, Lincoln P. and Robert Beattie, “Computers and Policy-making: The CASCON Experiment,” *Journal of Conflict Resolution*, vol.15, (1971), pp.33-46.

Bloomfield, Lincoln P. and Allen Moulton, *Managing International Conflict: From Theory to Policy*, New York: St. Martin's Press, 1997.

Bonham, G. Matthew and Michael J. Shapiro, “Explanation of the Unexpected: The Syrian Intervention in Jordan in 1970,” in Axelrod, Robert ed., *Structure of Decision: The Cognitive Maps of Political Elites* (Princeton, N.J.: Princeton University Press, 1976), pp 113-141.

Bonham, Matthew and Michael Shapiro, eds., *Thought and Action in Foreign Policy* (Basel: Birkhauser Verlag, 1976).

Borko, Harold, ed., *Computer Applications in the behavioral Sciences* (Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, 1962).

Bremer, Stuart A., *Simulated Worlds: A Computer Model of National Decision-making*,

Princeton, N.J.: Princeton University Press, 1977.

Bremer, Stuart A., "The Simulated International Processer," in Guetzkow, Harold and Joseph J. Valadez eds., *Simulated International Processes: Theories and Research in Global Modeling* (Beverly Hills: Sage Publications, 1981), pp 135-177.

Bremer, Stuart A., "The GLOBUS Model: History, Structure, and Illustrative Results," in Ward, Michael D. ed., *Theories, Models, and Simulations in International Relations: Essays in Honor of Harold Guetzkow* (Boulder: Westview Press, 1985), pp 39-77.

Bremer, Stuart A., ed., *The GLOBUS MODEL: Computer Simulation of Worldwide Political and Economic Developments* (Boulder: Westview, 1987).

Bremer, Stuart A. and Michael Mihalka, "Machiavelli in Machina: Or Politics among Hexagons," in Deutsch, Karl W., Bruno Fritsch, Helio Jaguaribe and Andrei S. Markovits eds., *Problems of World Modeling: Political and Social Implications* (Cambridge: Ballinger, 1977), pp 303-337.

Brody, Richard A., "Some Systemic Effects of the Spread of Nuclear Weapons Technology: A Study through Simulation of a Multinuclear Future," *Journal of Conflict Resolution*, vol.7, no.4(1963), pp.663-753.

Brody, Richard A., "Varieties of Simulations in International Relations Research," in Guetzkow, Harold, Chadwick F. Alger, Richard A. Brody, Robert C. Noel and Richard C. Snyder eds., *Simulation in International Relations: Developments for Research and Teaching* (Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, 1963), pp 190-223.

Cederman, Lars-Erik, "Rerunning History: Counterfactual Simulation in World Politics," in Tetlock, Philip E. and Aaron Belkin eds., *Counterfactual Thought Experiments in World Politics: Logical, Methodological, and Psychological Perspectives* (Princeton: Princeton University Press, 1996).

Cederman, Lars-Erik, *Emergent Actors in World Politics: How States & Nations Develop & Dissolve*, Princeton: Princeton University Press, 1997.

Cederman, Lars-Erik, "Back to Kant: Reinterpreting the Democratic Peace as a Macrohistorical Learning Process," *American Political Science Review*, vol.95, (2001), pp.15-31.

Cederman, Lars-Erik, "Modeling the Democratic Peace as a Kantian Selection Process," *Journal of Conflict Resolution*, vol.45, no.4 (2001), pp.470-502.

Cederman, Lars-Erik, "Nationnatisl Systems Change and its Geopolitical Consequences, first draft," Paper for delivery at the Annual Convention of the American Political Science Association, San Francisco, August 30-September 2, 2001.

Cederman, Lars-Erik, "Modeling Size of Wars: From Billiard Balls to Sandpiles," *American Political Science Review*, vol.97, no.1 (2003), pp.135-150.

Cederman, Lars-Erik and Kristian Gleditsch, "Conquest and Regime Change: An

Evolutionary Model of the Democratic Peace,” Prepared for presentation at the Annual Meeting of the American Political Science Association, August 31, 2002, Boston, 2002.

Cederman, Lars-Erik and Mohan Penubarti Rao, “Exploring the Dynamics of the Democratic Peace,” *Journal of Conflict Resolution*, vol.45, (2001), pp.818-833.

Chadwick, Richard Waller, *Developments in a Partial Theory of International Behavior: A Test and Extension of Inter-nation Simulation Theory*, Ph.D Dissertation, Northwestern University, 1967.

Chadwick, Richard W., “Theory Development through Simulation: A Comparison and Analysis of Associations among Variables in an International System and an Inter-Nation Simulation,” *International Studies Quarterly*, vol.1, (1972), pp.83-127.

Chadwick, Richard W., “Modeling Political-Military Policy Dynamics in a Global Model,” in Ward, Michael D ed., *Theories, Models, and Simulations in International Relations: Essays in Honor of Harold Guetzkow* (Boulder: Westview Press, 1985), pp 115-132.

Chadwick, Richard W., “Global Modeling: Origins, Assessment, and Alternative Futures,” *Simulation & Gaming*, vol.31, no.1 (2000), pp.50-73.

Clarke, T. Michael, Urs Luterbacher and Pierre Allan, “International Public Policy Analysis: Energy Crises and the Small State,” in Ward, Michael D. ed., *Theories, Models, and Simulations in International Relations: Essays in Honor of Harold Guetzkow* (Boulder: Westview Press, 1985), pp 79-100.

Cole, H. S. D., Christopher Freeman, Marie Jahoda and K. L. R. Pavitt, *Models of Doom: A Critique of The Limits to Growth*, New York: Universe Books, 1973.

Conte, Rosaria, Rainer Hegselmann and Pietro Terno, eds., *Simulating Social Phenomena* (Berlin: Springer, 1997).

Coplin, William D., *Simulation in the Study of Politics*, Chicago: Markham, 1968.

Crow, Wayman J, “A Study of Strategic Doctorines Using the Inter-Nation Simulation,” *Journal of Conflict Resolution*, vol.7, no.3 (1963), pp.580-589.

Cusack, Thomas R. and Richard J. Stoll, *Exploring Realpolitik: Probing International Relations Theory with Computer Simulation*, Boulder: Lynne Rienner, 1990.

檀野英次・田中明彦 「国際システムの安定---コンピュータ・シミュレーションによる勢力均衡モデルの分析---」 (山本吉宣・田中明彦編『戦争と国際システム』東京大学出版会、1992年、所収)、173-211頁。

Deutsch, Karl W., Bruno Fritsch, Helio Jaguaribe and Andrei S. Markovits, eds., *Problems of World Modeling: Political and Social Implications* (Cambridge: Ballinger, 1977).

Duffy, Gavan, “Concurrent Interstate Conflict Simulation: Testing the Effects of the Serial Assumption,” *Mathematical and Computer Modelling*, vol.16, (1992), pp.241-270.

Forrester, Jay W., *Industrial Dynamics*, Cambridge, Mass.: MIT Press, 1961.

- Forrester, Jay W., *World Dynamics*, Cambridge, Mass.: Wright-Allen Press, 1971.
- Gilbert, Nigel and Klaus G. Troitzsch, *Simulation for the Social Scientist*, Buckingham: Open University Press, 1999.
- Guetzkow, Harold, "Long Range Research in International Relations," *The American Perspective*, vol.4, no.4 (1950), pp.421-440.
- Guetzkow, Harold, ed., *Simulation in Social Science: Readings* (Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1962).
- Guetzkow, Harold, "A Use of Simulation in the Study of Inter-Nation Relations," in Guetzkow, Harold, Chadwick F. Alger, Richard A. Brody, Robert C. Noel and Richard C. Snyder eds., *Simulation in International Relations: Developments for Research and Teaching* (Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, 1963), pp 24-42.
- Guetzkow, Harold, "Simulated International Processes: An Incomplete History," in Guetzkow, Harold and Joseph J. Valadez eds., *Simulated International Processes: Theories and Research in Global Modeling* (Beverly Hills: Sage Publications, 1981), pp 13-21.
- Guetzkow, Harold, "Six Continuing Queries for Global Modelers: A Self-Critique," in Guetzkow, Harold and Joseph J. Valadez eds., *Simulated International Processes: Theories and Research in Global Modeling* (Beverly Hills: Sage Publications, 1981), pp 331-358.
- Guetzkow, Harold, Chadwick F. Alger, Richard A. Brody, Robert C. Noel and Richard C. Snyder, eds., *Simulation in International Relations: Developments for Research and Teaching* (Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, 1963).
- Guetzkow, Harold and Joseph J. Valadez, eds., *Simulated International Processes: Theories and Research in Global Modeling* (Beverly Hills: Sage Publications, 1981).
- Guetzkow, Harold and Joseph J. Valadez, "International Relations Theory: Contributions of Simulated International Processes," in Guetzkow, Harold and Joseph J. Valadez eds., *Simulated International Processes: Theories and Research in Global Modeling* (Beverly Hills: Sage Publications, 1981), pp 197-251.
- Hermann, Charles F., *Crises in Foreign Policy; A Simulation Analysis*, Indianapolis: Bobbs-Merrill, 1969.
- Hermann, Charles F. and Margaret G. Hermann, "The Synthetic Role of Decision-Making Models in Theories of Foreign Policy: Bases for a Computer Simulation," in Ward, Michael D. ed., *Theories, Models, and Simulations in International Relations: Essays in Honor of Harold Guetzkow* (Boulder: Westview Press, 1985), pp 223-248.
- Herrera, Amilcar O., H. D. Scolnik et al., *Catastrophe or New Society?: A Latin American World Model*, Ottawa: International Development Research Centre, 1976.
- Hoffmann, Robert, "Twenty Years on: The Evolution of Cooperation Revisited," *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* <<http://www.socsciresearch.com/JASSS/3/2/forum/1.html>>.

vol.3, no.2 (2000).

Holland, John H., *Adaptation in natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence*, Ann Arbor: University of Michigan Press, 1975.

Hudson, Valerie M., ed., *Artificial intelligence and international politics* (Boulder: Westview Press, 1991).

伊庭斉志『遺伝的アルゴリズムの基礎：GAの謎を解く』オーム社、1994年。

Johnson, Paul E., "Simulation Modeling in Political Science," *American Behavioral Scientist*, vol.42, no.10 (1999), pp.1509-1530.

Kirkpatrick, Grant H. and Ulrich Widmaier, "Linking Islands of Theory and Technique in Political Economy," in Ward, Michael D. ed., *Theories, Models, and Simulations in International Relations: Essays in Honor of Harold Guetzkow* (Boulder: Westview Press, 1985), pp 133-179.

国際体制研究会編『認知構造図による対外政策決定分析』世界経済情報サービス、1980年。

公文俊平『社会システム論』日本経済新聞社、1978 年。

Laponce, Jean and Paul Smoker, eds., *Experimentation and Simulation in Political Science*, Toronto: University of Toronto Press, 1972.

Leontief, Wassily, Anne P. Carter and Peter A. Petri, *The Future of the World Economy: A United Nations Study*, New York: Oxford University Press, 1977.

Leontief, Wassily and Faye Duchin, *Military Expenditures: Facts and Figures, Worldwide Implications, and Future Outlook*, Oxford: Oxford University Press, 1983.

Lomborg, Bjorn, "Nucleus and Shield: The Evolution of Social Structure in the Iterated Prisoner's Dilemma," *American Sociological Review*, vol.61, no.2 (1996), pp.278-307.

Lustick, Ian S., "Agent-based Modelling of Collective Identity: Testing Constructivist Theory," *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* <<http://www.soc.surrey.ac.uk/JASSS/3/1/1.html>>, vol.3, no.1 (2000).

Lustick, Ian S., "PS-I: A User-Friendly Agent-Based Modeling Platform for Testing Theories of Political Identity and Political Stability," *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* <<http://jasss.soc.surrey.ac.uk/5/3/7.html>>, vol.5, no.3 (2002).

Lustick, Ian S., Dan Miodownik and Roy J. Eidelson, "Secessionism in Multicultural States: Does Sharing Power Prevent or Encourage It?," Paper Prepared for presentation at the annual meeting of the American Political Science Association, Boston, MA, August 28-31, 2002.

Mallmann, Carlos, "The Bariloche Model," in Deutsch, Karl W., Bruno Fritsch, Helio Jaguaribe and Andrei S. Markovits eds., *Problems of World Modeling: Political and Social Implications* (Cambridge: Ballinger, 1977), pp 33-46.

Meadows, Donella H., Dennis L. Meadows, Jorgen Randers and William K. Behrens III,

The Limits to Growth, New York: Universe Books, 1972.

Mesarovic, Mihajlo and Eduard Pestel, *Mankind at the Turning Point: The Second Report to the Club of Rome*, New York: New American Library, 1974.

Nordhaus, William D., "World Dynamics: Measurement without Data," *Economic Journal*, (1973), pp.1156-1183.

南野泰義・大森功一『グローバル・ゲーミング実践マニュアル：国際関係シミュレーションに参加してしよう！』エサップ、1999年。

光辻克馬「国民の統合と分裂---重層的文化と政治的アイデンティティの消長」(山影進・服部正太編『コンピュータのなかの人工社会---マルチエージェントシミュレーションモデルと複雑系---』構造計画研究所(共立出版)、2002年、所収)、176-194頁。

宮川公男・小林秀則『システム・ダイナミクス』白桃書房、1988年。

Nozicka, George, G. Matthew Bonham and Michael J. Shapiro, "Simulation Techniques," in Axelrod, Robert ed., *Structure of Decision: The Cognitive Maps of Political Elites* (Princeton, N.J.: Princeton University Press, 1976), pp 349-359.

大西昭「世界経済予測システム」『オペレーションズ・リサーチ』第24巻、第8号、1979年、479-484頁。

Pruitt, Dean G. and Richard C. Snyder, eds., *Theory and Research on the Causes of War*, Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, 1969.

Raser, John R. and Wayman J. Crow, "A Simulation Study of Deterrence Theories," in Pruitt, Dean G. and Richard C. Snyder eds., *Theory and Research on the Causes of War* (Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, 1969), pp 136-149.

Rastogi, P. N., "Societal Development as the Quintessence of World Development," in Deutsch, Karl W., Bruno Fritsch, Helio Jaguaribe and Andrei S. Markovits eds., *Problems of World Modeling: Political and Social Implications* (Cambridge: Ballinger, 1977), pp 339-277.

Rosenau, James N., ed., *International Politics and Foreign Policy: A Reader in Research and Theory* (New York: The Free Press, 1961).

Rupesinghe, Kumar, David Nyheim and with Maha Khan, "A Review of Research and Practice in Early Warning and Early Response: Lessons Learned and Policy Issues," in Alker, Hayward R., Ted Robert Gurr and Kumar Rupesinghe eds., *Journeys Through Conflict: Narratives and Lessons* (Lanham: Rowman and Littlefield, 2001), pp 397-420.

Schmalberger, Thomas, "Dagerous Liasons: A Theory of Threat Relationship in International Politics," Geneva: Ph.D. dissertation, Graduate Institute of International Studies, 1998.

Schmalberger, Thomas and Hayward R. Alker, "A Synthetic Framework for Extensible Conflict Early Warning Information Systems," in Alker, Hayward R., Ted Robert Gurr and Kumar Rupesinghe eds., *Journeys Through Conflict: Narratives and Lessons* (lanham: Rowman and Littlefield, 2001), pp 318-353.

Schmalberger, Thomas and Hayward R. Alker, "Exploring Alternative Conflict Trajectories with the CEWS Explorer," in Alker, Hayward R., Ted Robert Gurr and Kumar Rupesinghe eds., *Journeys Through Conflict: Narratives and Lessons* (Lanham: Rowman and Littlefield, 2001), pp 354-394.

Schmid, Alex P., "A Comparative Look at Early Warning Indicators: PIOOM, the State Failures Project, and CEWS Cases," in Alker, Hayward R., Ted Robert Gurr and Kumar Rupesinghe eds., *Journeys Through Conflict: Narratives and Lessons* (Lanham: Rowman and Littlefield, 2001), pp 291-317.

Schrodt, Philip A., "Conflict As A Determinant of Territory," *Behavioral Science*, vol.26, no.1 (1981), pp.37-50.

関寛治『国際体系のシミュレーション---日本における二つのパイロット・ランの結果について---』外務省電子計算機室、1966年。

関寛治「国際体系における貿易と通信---シミュレーションによる研究---」『国際政治』第42巻、1969年、68-81頁。

関寛治『国際体系論の基礎』東京大学出版会、1969年。

関寛治「アジアをめぐる国際体系の変動---シミュレーションに関する中間報告---」『年報政治学』1969年、181-239頁。

関寛治『グローバル・シミュレーション&ゲーミング：複雑系地球政治学へ』科学技術融合振興財団、1997年。

Shapiro, Michael J. and G. Matthew Bonham, "Cognitive Process and Foreign Policy Decision-Making," *International Studies Quarterly*, vol.17, no.2 (1973), pp.147-174.

Simon, Mare V., "Hawks,Doves,and Civil Conflict Dynamics: A 'Strategic' Action-Reaction Model," *International Intractions*, vol.19, (1994), pp.213-239.

Simon, Mare V. and Harvey Starr, "Extraction, Allocation, and the Rise and Decline of States," *Journal of Conflict Resolution*, vol.40, (1996), pp.272-297.

Simon, Mare V. and Harvey Starr, "A Two-Level Analysis of War and Rewvolution: A Dynamic Simulation of Response to Threat," in Geva, Nehemia and Alex Mintz eds., *Decisionmaking On War and Peace: The Cognitive-Rational Debate* (Boulder: Lynne Rienner, 1997), pp 131-159.

Simon, Marc V. and Harvey Starr, "Substitutability and the Internal-External Conflict Linkage: Modeling Policy Trade-Offs Between Security, Resources, and Strategy," Paper Presented Annual Meeting of the American Political Association, Boston MA, Aug29-Sept1, 2002.

Smoker, Paul, "International Relations Simulations," *Peace Research Review*, vol.3, (1970), pp.1-84.

Smoker, Paul L., "An International Process Simulation: Development,Usage, and Partial Validation," Ph.D Dissertation, University of Lancaster, 1968.

Stoll, Richard J., "Nations at the Brink: A Computer Simulation of Governmental Behavior During Serious Disputes," *Simulation and Games*, vol.14, (1983), pp.179-200.

Stoll, Richard J., "Simulation Government Behavior During Disputes," in Ward, Michael D. ed., *Theories, Models, and Simulations in International Relations: Essays in Honor of Harold Guetzkow* (Boulder: Westview Press, 1985), pp 501-519.

Stoll, Richard J., "System and State in International Politics: A Computer Simulation of Balancing in an Anarchic World," *International Studies Quarterly*, vol.31, (1987), pp.387-402.

Tanaka, Akihiko, "Chinese International Conflict Behavior, 1949-1978," Ph.D Dissertation, MIT, 1981.

田中明彦「政策決定のシミュレーション---中国」『国際政治』第74巻、1983年、134-153頁。

Tanaka, Akihiko, "China, China-Watching, and CHIA-WATCHER," in Sylvan, Donald A and Stephen Chan eds., *Foreign Policy Decision-Making: Perception, Cognition, and Artificial Intelligence* (New York: Praeger, 1984), pp 310-344.

田中明彦『世界システム』東京大学出版会、1989年。

Valadez, Joseph J., "Exploring International Relations Through Organizational Theories in a Global Systems Simulation: A Traing Template," in Ward, Michael D. ed., *Theories, Models, and Simulations in International Relations: Essays in Honor of Harold Guetzkow* (Boulder: Westview Press, 1985), pp 249-272.

Ward, Michael D., ed., *Theories, Models, and Simulations in International Relations: Essays in Honor of Harold Guetzkow* (Boulder: Westview Press, 1985).

Ward, Michael D., "Dynamic Analysis of Conflict and Cooperation: An Inquiry into the Evolution of International Interactions," in Ward, Michael D. ed., *Theories, Models, and Simulations in International Relations: Essays in Honor of Harold Guetzkow* (Boulder: Westview Press, 1985), pp 439-461.

薬師寺泰蔵『公共政策』東京大学出版会、1989年。

山影進『対立と共存の国際理論---国民国家体系のゆくえ---』東京大学出版会、1994年。

山影進「社会への新しい接近法---マルチエージェントシミュレーションへの誘い---」(山影進・服部正太編『コンピュータのなかの人工社会---マルチエージェント・シミュレーションモデルと複雑系---』構造計画研究所(共立出版)、2002年、所収)、2-23頁。

山影進・服部正太編『コンピュータのなかの人工社会---マルチエージェント・シミュレーションモデルと複雑系』構造計画研究所(共立出版)、2002年。

構造計画研究所(共立出版)、2002年、所収)、244-252頁。

山本吉宣「戦争の研究: その系譜」(山本吉宣・田中明彦編『戦争と国際システ

ム』東京大学出版会、1992 年、所収）、9-71 頁。

山本吉宣・谷明良「認知構造図（cognitive map）：対外政策決定分析の1つの手法」
『オペレーションズ・リサーチ』第24巻、第8号、1979年、462-470頁。

山本吉宣・田中明彦編『戦争と国際システム』東京大学出版会、1992 年。

安田俊一「GA による囚人のジレンマ実験---ラマルクの手法とダーウィンの手法」
『松山大学論集』第 13 巻、第 2 号、2001 年、37-62 頁。

安田俊一「RPD における戦略の進化---GA による囚人のジレンマ実験(2)---」『松山
大学論集』第 13 巻、第 3 号、2001 年、27-43 頁。

安田俊一「記憶におけるノイズ---GA による囚人のジレンマ実験(3)」『松山大学
論集』第 13 巻、第 4 号、2001 年、173-191 頁。

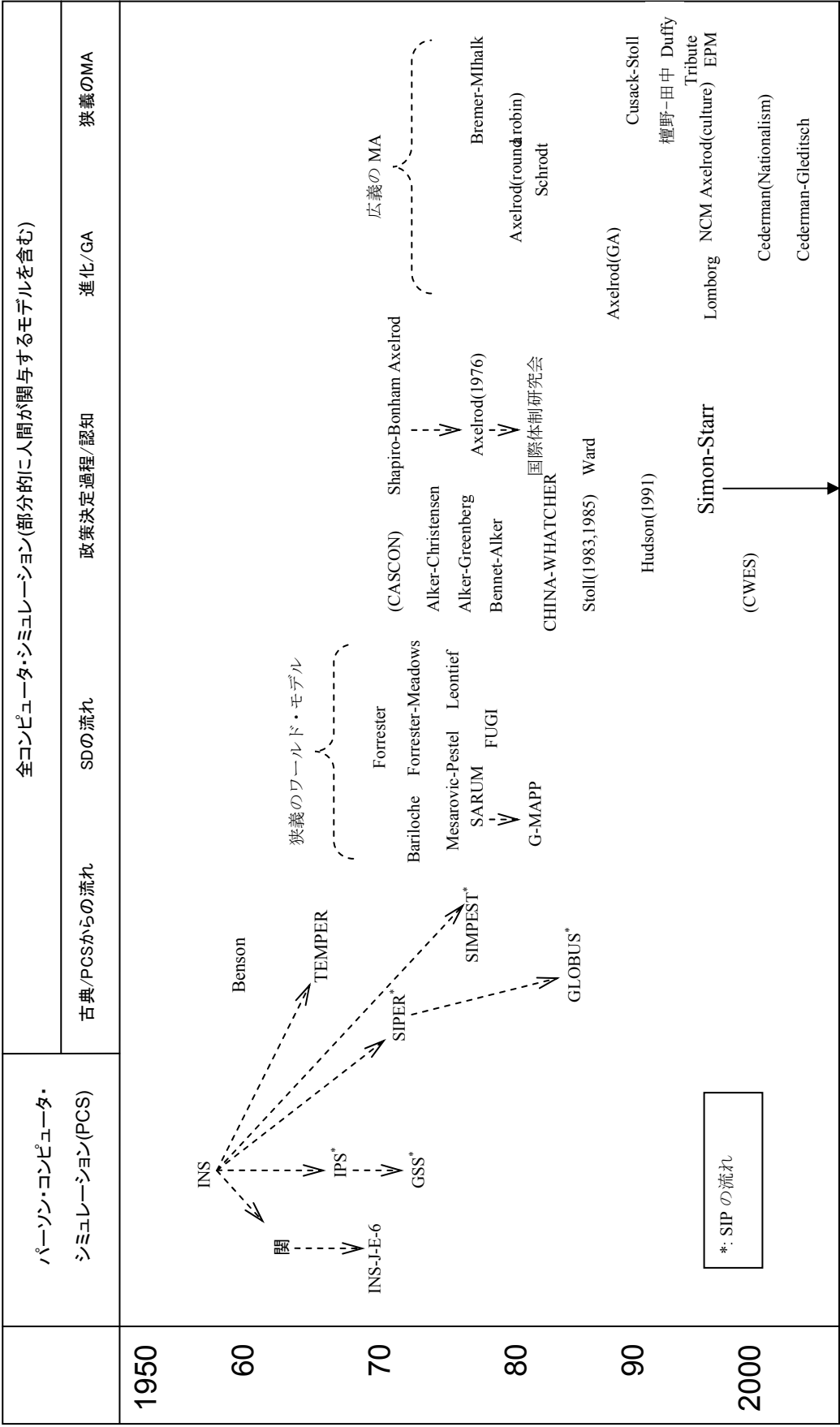


図 1 国際政治の主なシミュレーション

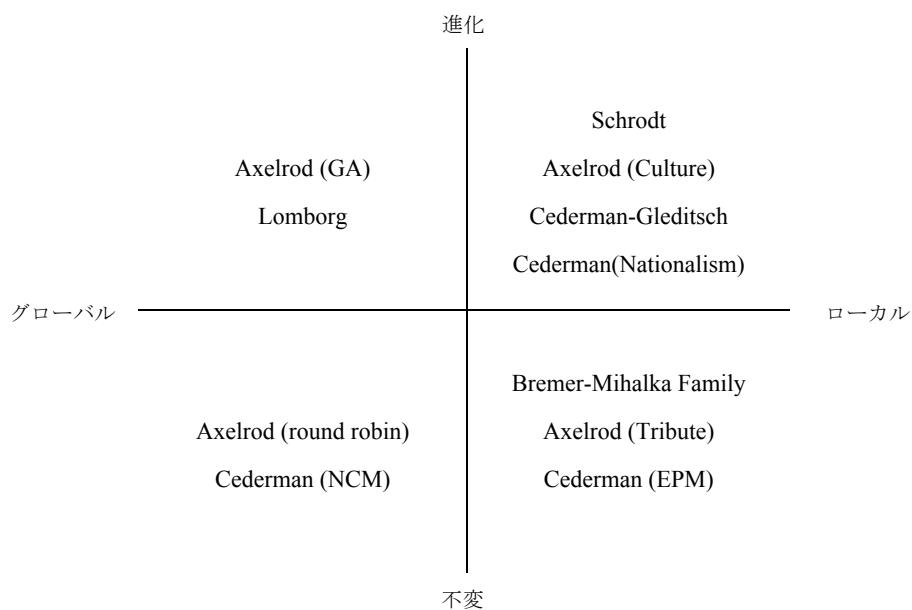


図 2 国際政治の主な MA

| 基準 | 値 | 定義 |
|----------|-------|---|
| 相互作用のタイプ | ローカル | 複数のエージェントがローカルな情報に基づいて他のエージェントとローカルな相互作用を行う |
| | グローバル | 複数のエージェントがグローバルな情報に基づいて他のエージェントと相互作用を行う |
| 進化の有無 | 進化 | 他のエージェントの属性を模倣・学習・遺伝して、もともと持っていなかった属性を持つようになる |
| | 不変 | 他のエージェントからの属性の模倣・学習・遺伝がない |

表 1 MA を分類する基準

| シミュレーションのタイプ | | 目的 | | 具体的モデル |
|--------------|---------------|-----|--------------------------------|----------------|
| 1 | 世界システムのモデル化 | 1-1 | 世界の予測 | ワールド・モデリング |
| 2 | 政策決定過程のモデル化 | 2-1 | 社会心理学的実験 | INS |
| | | 2-2 | 政策決定者の認知構造から政策の予測 | 認知構造図 |
| | | 2-3 | 出力結果と歴史データの比較によるモデル妥当性の検討と歴史解釈 | アルカー型対外政策過程モデル |
| 3 | 国際政治理論のモデル化 | 3-1 | 記述的な国際政治理論の妥当性の検討 | ブレマー・ミハルカ型モデル |
| 4 | 実験的世界による証明・発見 | 4-1 | 人工世界の中から法則や規則性の発見 | マルチエージェント型モデル |
| 5 | 教育・訓練・意思決定支援 | 5-1 | 学生や外交官の意思決定の教育・訓練 | CASCON |
| | | 5-2 | 政策決定における補助 | CASCON/CEWS |

表 2 国際政治のシミュレーションの目的と具体的モデル