

四大文明のシミュレーション・モデルの研究

A research on a simulation model of the Four Great Ancient Civilizations

池田誠 (IKEDA MAKOTO)

東洋大学国際地域学部

e-mail address : mikeda@toyonet.toyo.ac.jp

Abstract : This article describes a study on a dynamic process model of the Four Great Ancient Civilizations. Around ten thousand years ago, mankind shifted to a cultivation cattle breeding society from a hunting collection society. After this revolution, Four Civilizations (city civilizations), Ancient Egypt, Ancient Mesopotamia, Ancient Indus and Ancient China arose. Author made a collaborated model of System Dynamics and Multi-Agent Simulation. Author added Ancient Scythian Civilization as fifth ancient civilization to the model for considering this nomad civilization influenced to other four ancient civilizations and gives significant impact for their transformation. This five regions model was based on "An ecological view of civilizations" which written by Mr. Tadao Umesao. Author tried to find emergence factors starting history of mankind using this SD model adapted Multi-Agent Simulation and Big 5 Model of psychology.

キーワード：システム・ダイナミクス、マルチエージェント、文明、地球市民社会、人類

要旨：本稿は四大文明のダイナミックな変遷プロセスを研究した小論である。おおよそ1万年前、人類は狩猟採取社会から農耕畜牧社会に移行し始め、その後数千年を経て、いわゆる四大古代文明と呼ばれるエジプト、メソポタミア、インダス、中国の文明（都市文明）が勃興した。本研究では、これらの四大文明について、システム・ダイナミクスとマルチエージェント・シミュレーションのコラボレーション・モデルを作成した。モデルでは梅棹忠夫氏の『文明の生態史観』をベースにして、文明間の相互作用をシミュレーションすることを最終的な目標として、四大文明に多大な影響を与えた草原の遊牧民であるスキタイを加えた5つの地域モデルを構築した。さらに本研究では、SD モデルにマルチエージェント・シミュレーションと心理学のビッグ・ファイブ・モデルを応用することで、黎明期における人類史の創発要因の考察も試みている。

1. 研究の目的

人類の未来を考える上でJ.W.フォレスターの『ワールド・ダイナミクス』（以下「WD」と略す。）[1]やメドウズらの『成長の限界』[2]は画期的なシミュレーション・モデルであり、筆者の研究の出発点ともなっている。

筆者の研究の全体的なパースペクティブは、図1に示すような人類全体の地球的な視野で見た社会システムの段階的な変容プロセスの解明である。その中でWDは、最も右側である1900年から2100年前後までの地球文明を考察するためのモデルの一つであると位置づけられている。これに対して本稿のモデルは図1の左側、即ち農耕文明が始まる少し前の先史時代から古代の4つの都市文明が勃興し、衰退や滅亡・変遷した時期を扱っている。

このような位置づけからみれば本研究は、次に続く中世（あるいは前近代）と近代、脱近代のモデル構築の前段であり、地球規模の社会システムの変容プロセスを考察するための基礎的な要因がどのように形成され創発してきたかを明らかにするための試論といえる。

筆者は、末武透氏と共著で「SD/STを使った文明の興亡の原因分析」2006[3]で文明のモデル化を扱ったほか、地球文明を検討する際の一つのキーファクターとなる環境問題について『環境学的マクロモデル』2006[4]として本誌に発表した。さらに、マクロ経済学的に人間や地域社会、国家などの活動を統合的に捉える産業連関表につ

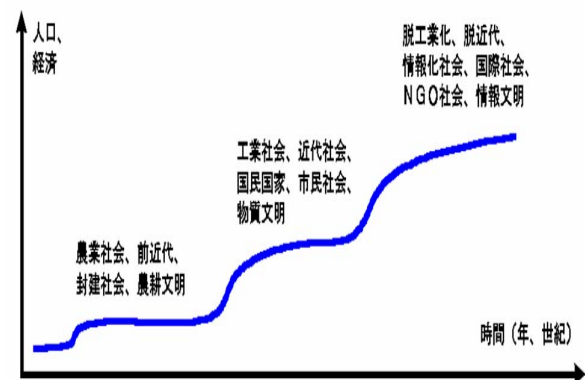


図1 人類全体の社会システムの変遷

いても 2007 年 11 月の京都での SD 学会で発表した。この間、地球文明への転換をリードする新たな主役の一つとして期待される NGO や NPO などの地球市民の活動についても地域レベルでの参加型モデリングなどを通じて ST/SD の活動を実践してきている。個人レベルのミクロな行動モデルが、マクロな政策目標（例えば国連のミレニアム開発目標 MDG s）に及ぼす影響などをモデル化する研究は末武透氏と「SD を使ったミレニアム・ゴール達成の考察」2008[5]として本誌に発表してきている。個人とグローバルな地球規模の問題群との関係というテーマは、2008 年 11 月に京都で開催された SD 学会においても、WD=SD と MAS のコラボ・モデルの可能性というテーマでの発表に繋がっている。従って、本稿はこれらの研究と密接な関連を持つ総合的な試みの一つと位置づけることができる。

本稿の「2. 先行研究の概要」では、①SD モデルとしては原俊彦氏の『先史時代のワールドモデル』[6]と、②末武透氏との共著「SD/ST を使った文明の興亡の原因分析」2006[3]を紹介するとともに、③WD から MAS との協働を課題とするに至った背景を説明し、④MAS モデルとしてはエプスタインらの『人工社会』[7]を紹介する。

また、「3. モデル化の前提条件」では、本稿における四大文明のモデル作成に関する基本的な前提条件を明らかにし、地域区分（エジプト、メソポタミア、インダス、中国の四大文明+草原遊牧文明の 5 地域モデル）の説明や、SD で気候や食糧、都市集積に伴う労働生産性などの外部条件や IO 表などの投入産出関係をモデルに取り込んでいることと併せて紹介する。「4. 人間の行動特性・人格・性格の 5 因子と文化価値」では、今回のモデル化でのユニークな試みとして、心理学的な行動特性 5 因子（ビッグ・ファイブ）のモデル化を紹介している。

「5. 文明モデルの基本指標と基本フロー」では、文明モデルの試案において、測定対象とした人口、都市化、中心産業、経済・社会・政治的な組織の性格の説明を行い、モデルの基本フローを示した。「6. 四大文明のシミュレーション」では、先史時代の人間の出生率・死亡率の推定と婚姻のルール化、文明ごとの組織（家族、企業、非営利組織、政府）の行動特性評価とその単純化について紹介する。そして、最後に「7. 結び」では、シミュレーション結果ら得られた知見と SD と MAS のモデル化に関する今後の課題と展望を整理している。

2. 先行研究の概要

2. 1 先史時代のワールドモデル

最も古い人類史を扱った SD モデルの先行研究例は、原俊彦氏の先史時代のワールドモデル[6]であろう。15,000 年前の氷河期末期からの狩猟採集社会から農耕社会への転換期をシミュレーションするモデルである。図 5 は、同著に引用されている 18,000 年前からの地球の気温変化である（本研究でも当初この気温変化を利用していたが、後述するように新しい情報に置き換えている）。12,000 年前のヤンガー・ドリラス期を経て 10,750 年前に氷河期が終了する。この頃から小麦やイネなどの野生の穀類やヤギや羊などの家畜系の小動物が出現し、狩猟採取社会から農耕牧畜社会への移行の条件が整ってくる。

このモデルでは、マルサスやチャイルドなどが提唱するような「技術革新が先行し、農耕文化が拡散していくというモデル」ではなく、全く逆のボーズラップ流の人口モデル、即ち「人口密度が上昇したことによって食物が拡大し、食糧消費の種類と食料の生産技術が変化したために農業が発生したとするモデル」を採用している。[6] (p.43) そのうえで、労働生産性や農耕適地比率などの係数を変化させてシミュレーションを実施している。

その結果は農耕革命によって狩猟採取から転換していく様子を明らかにしているが、本研究では後述するように農耕牧畜の適地と狩猟採取の適地がそれほど多くの地域で一般的に重複するとは考えられないことや、食糧の増加が人口の増加によって消費され、狩猟採取時代でも農耕牧畜時代でも食糧の充足率に大きな差異が生じていないことなどから、人口と食糧の関係からその後の技術的・社会的な変化が創発するという仮定ではなく、穀類や家畜によって食糧の長期の保存・蓄積・移動が可能になったことから、私有財産が発生し、農地の占有から所有へと生産基盤に関する社会システムそのものの変化が大きな経済的格差を生み、政治的社会的格差や支配服従関係が創発したと考える立場をとっている。

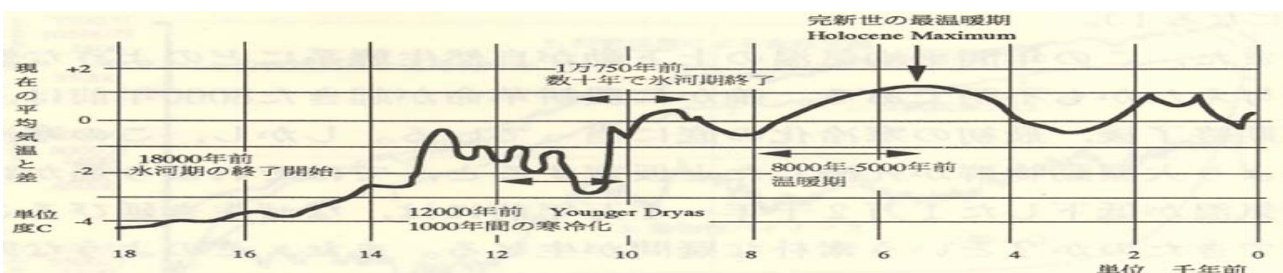


図2 先史時代の SD モデルで用いられている更新世末期からの年間平均気温の変化[6]

2. 2 文明の興亡モデル

末武透氏と筆者の「ST/SD を使った文明の興亡の分析」(2006) [3]では、様々な文明の興亡の要因を整理し、その中でイースター島の文明の興亡の歴史についてモデル化を行った。(前記の原俊彦氏のモデル以外のSDによる文明のモデルについても整理しているので参照されたい。)この論文のモデルでは「余剰食糧が富という形に変換され、工業や商業を生み出す、生み出された工業や商業が富を介して自己増殖」するモデルである。しかしながら、この時点では「富」が偏在し、支配・服従関係に転換されるメカニズムなどの分析には至っていない。

このモデルでの筆者らの関心は「共有地の資源管理問題」であり、森林が耕作地として開拓され尽くすと森林資源と新規開拓地の供給限界に至り共有資源の限界問題が惹起されるというシミュレーションを行い、その結果として、①コンフリクトは成長の限界を早め、平和共存の方が限界に達する期間を長くすることができることや、②戦争は一時的に人口を減少させ資源枯渇を回避させるが長期的には効果がないことなどを明らかにした。

この論文の最後で、文明の興亡モデルの次のステップを古代から現代につながる文明のコンセプトモデルで示し、今回の研究へとつながる示唆ともいえるが、この段階では方向性を提示しただけのものとなっていた。

2. 3 ワールド・ダイナミクス (WD) から MAS へ

SD と MAS のコラボレーション・モデルとして、2008年11月に京都のSD学会では、先進国と途上国という2部門のモデルを発表した。ここでは、紙面の都合上、2部門の世界モデルそのものの紹介は省略し、なぜWDの研究からMASをモデルに組み込むことが必要と考えるようになったかという点だけを簡潔に紹介する。

ワールドモデル[1]では、周知の通り、人口、天然資源、食糧、混雑、生活の質、資本、汚染によって1900年から1970年までの世界が再現され、おおよそ2100年までの人類の将来がシミュレーションされている。そこでは、資源の限界や食糧の限界など、一つ一つの限界を克服していても、人口の急激な減少という人類の危機を防ぐことはできないことが明らかにされた。持続可能な世界を実現するためには、人口や経済の減速が必要であるという結論は、1971年の最初のモデルから2005年の30年目の見直しを行ったメドウズらの『成長の限界』[8]モデルにおいても基本的には変化していない。当初のモデルから変化している点は、現在の人類の状態が持続可能な生態学的限界であるエコロジカル・フットポイントを超えたオーバーシュート状態であることである。それでもまだ人類には持続可能な成長に移行するチャンスは残されているとしている。そのカギは、人々がシステム思考をする能力にあるとしている。メドウズらの『成長の限界』2005[8]の第8章「いま、私たちができること」では、市民の行動や「農業革命と産業革命に学ぶ」ことが重要であると提唱している。しかしながら、一人一人の個人が歴史から学び、市民の行動が新しい地球市民社会を創発するというようなこと自体をSDあるいはWDでシミュレーションすることには無理があると言わざるを得ない。W.ザックスの『地球文明の未来学』[9]などにも指摘されるようにNGOによるグローバル・ガバナンスへの挑戦や地球市民社会の出現が期待される中で、SDとMASの協働したシミュレーションの可能性を研究課題とするに至ったことが本研究の主な背景である。

2. 4 MASによるJ.エプスタイン&R.アクステルの『人工社会』モデル (SugarScape)

マルチエージェント・シミュレーション(MAS)については、SD学会東京支部例会において①構造計画研究所によるKK-MASの紹介(開催日不明)や②蓮尾克彦氏によるSDソフトでのMASの講習会(2007年12月1日)などもあり、複雑系やMASとSDとの関連については日本支部の中でもかなり関心が持たれてきている。

MASの中で文明モデルに近い先行研究として、前ページ図3のJ.エプスタイン&R.アクステルの『人工社会』(1999) [7]があげられる。本モデルは、アリが砂糖の山の地域(シュガースケープ Sugar Scape)で、①生と死、②砂糖=食糧の成長、③財産、④ジニ系数、⑤近隣ネットワーク、⑥移動(波状の移動、季節移動)、⑦公害(負の外部性)、⑧交配、⑨文化、⑩闘争、⑪スパイス(2番目の財)、⑫取引ルール、⑬市場、⑭経済ネットワーク、⑮疾病感染、⑯免疫などをシミュレーションするモデルで「歴史の創発」を扱っている。

図3は、左から数値情報、砂糖の山とアリの位置図、戦争(赤と青の部族の戦争)、スパイスの山、免疫システムを中段左はアリの数、下段左は汚染、下段中央はローレンツ曲線の図をイメージした棒グラフ、文化タグの割合、免疫の状態を示している。本稿の文明モデルは、このようなMASモデルと前述のSDモデルの蓄積を利用・参考にしてSDとMASのコラボ型モデルとして作成している。(なお、SDとMASのコラボ型モデルについては、末武氏、中村氏と筆者の共著「SDを使ったミレニアム・ゴール達成の考察」(2008)[5]でも紹介しているので参照されたい。)

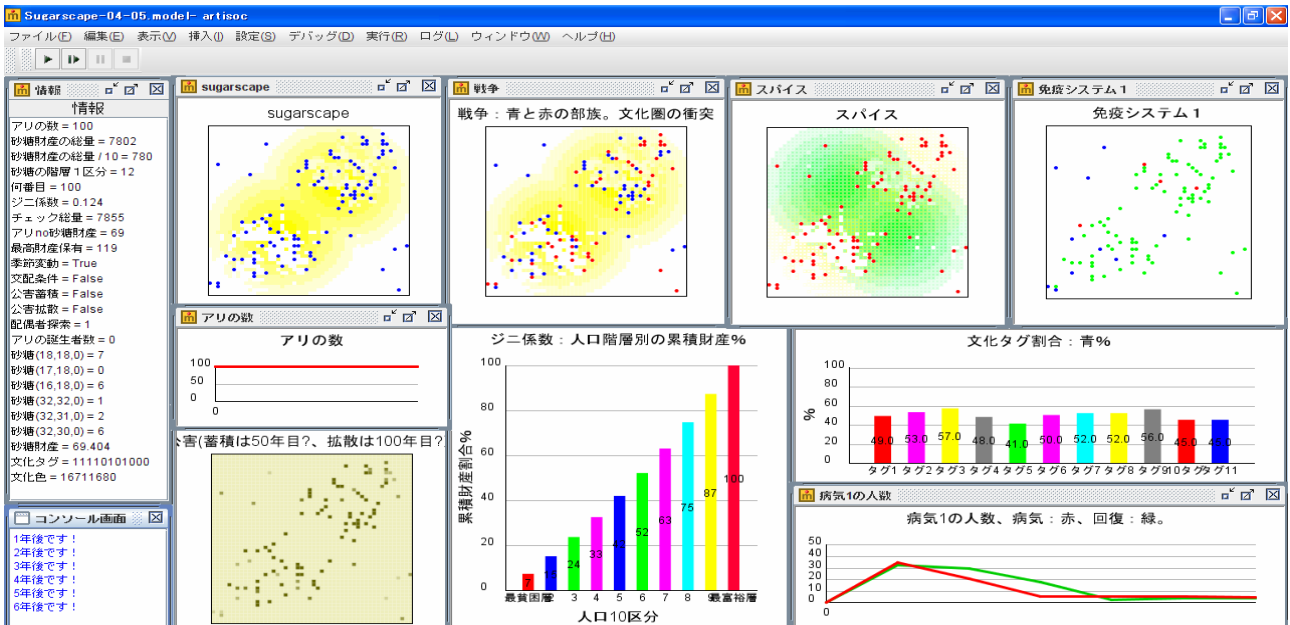


図3 『人工社会』の再現モデル（人口・戦争・2財の交換・免疫・公害・格差・文化）

3. 文明モデルの前提条件

3.1 シミュレーションの期間（1万年）

本研究の目的は、現代の人類が直面する地球規模の問題群の発生とその解決に影響を及ぼしている根本的な人間-社会システムの成り立ちとその後には創発してきた様々な社会システムの本来の性質などを明らかにすることである。そのため、人類史の最初の段階からシミュレーションすることも考えられるが、文明の成立の少し前からを対象期間とすることが最も適切であると考えた。原俊彦氏の先史時代のワールドモデル[6]では1万5千年くらい前から対象となっている。しかし、その中でも特に1万年くらい前から氷河期が本格的に終了し、イネやムギなどの穀物やヤギや羊などの家畜の出現に拠って、いわゆる農耕牧畜の普及による農業革命が様々な地域で発生した。このような農耕牧畜社会の出現によって長期的な食糧の保存や貯蔵・移動などがおこり、所有権が発生し、貧富の格差や支配服従関係など、それまでの狩猟採集社会とは全く異なる政治経済社会関係、即ち、今日的な社会システムが誕生してくる契機となっているものと考えられる。従って、本稿のモデルでは、狩猟採集社会の最後と農耕牧畜社会の黎明期、そして文明の誕生へと至る1万年前から現代までをシミュレーションの期間とすることとした。

3.2 気候の変動

この間の重要な環境条件の一つである気候について、図4の晩氷期以降の気候変動[10]を利用する。この図は、14C年代測定値に基づく平均気温の変化を示している。図4は元の図の右側部分を省略しているが、そこには諸文明と気候との関係も明示されており、シミュレーションで再現する指標を作成する上でも参考になった。先史時代のSDモデルの図2とはやや異なるが、気温の変化は地域や測定方法によっても差があり、四大文明と絞り込んでもユーラシア大陸全体の気温や気候の変化を一つの指標で表すことには限界がある。本稿では出典の新しさと四大文明との資料的な関連から見て図4をデータとして採用した。図4も詳細かつ正確とはいえないが、この点に関心のある方は安田喜憲著『気候と文明の盛衰』

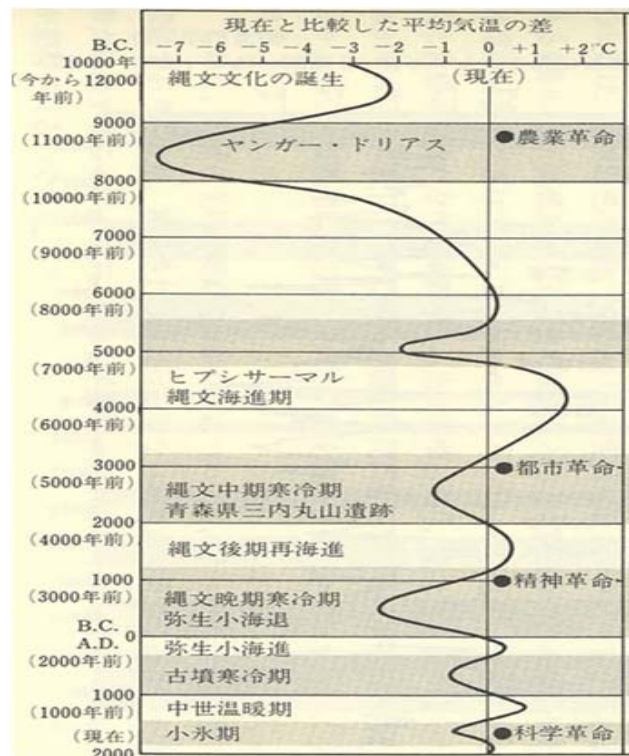


図4 晩氷期以降の気候変動（14C年代測定値）[10]

[11]などを参考にされたい。ただし、詳細になると当然のことながら地域的に限定された局所データであり、推計・測定の方法や期間も様々であるので注意が必要である。

3.3 地域の区分 (5地域)

ハンチントンの『文明の衝突』[12]のように現代の地球文明を分析するためには8つの文明圏を最初から設定する必要があるとも考えられる。しかしながら、シミュレーションの対象期間が1万年であることと、図5で見るように四大文明から交流・伝搬・変容を繰り返して、現代の地球文明が誕生してきたという歴史的なダイナミクスの観点から、シミュレーションの開始年では四大文明の地域として4区分することを本稿の研究の最初の段階では考えていた。その後、これらの4地域の交流・伝搬・変容のネットワークの基礎や軍事的な脅威となった遊牧民の存在がモデル上も重要であることに気づき、図6に示すように5番目の地域として乾燥地帯に展開した草原遊牧文明(スキタイ、後のスラブ)をモデルに導入することとした。

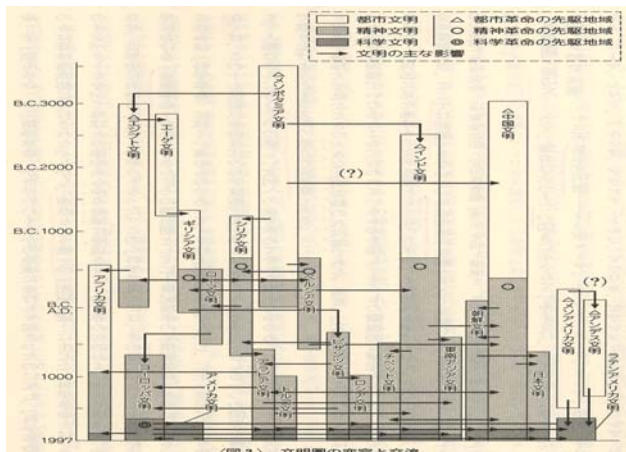


図5 文明圏の変容と交流[13]

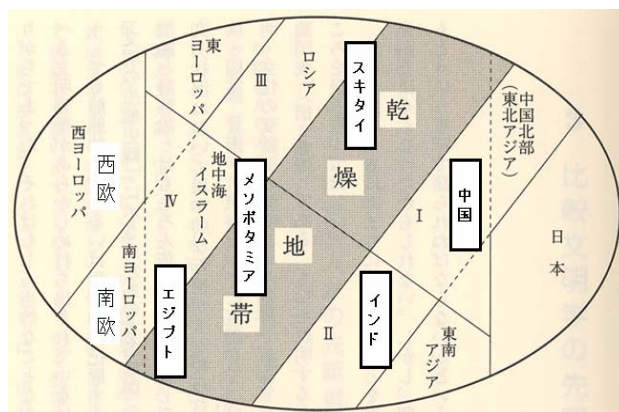


図6 四大文明+スキタイ(遊牧民)[13]

3.4 気候と文明の変遷と交流 (侵略・征服)

図4と図5を参考に、文明モデルの第一歩として、四大文明の状態全体を外観する図7を作成した。遊牧民が、気温の低下し始めた時期や気温が最低になっている時期に他の文明を侵略したり征服したりしている。モデル化の最初のステップとして、図7の侵略や攻撃の時点だけの戦争状態をモデル上で再現できないか実験した。しかし、単純に平均気温の低下で人口が急激に減少することを起因に戦争状態になるというモデルでの試行を実施してみると、歴史的に成功した大きな侵略や征服だけが図7には記載されているのではないかということ、侵略等の成否は相互の軍事的・政治経済社会的条件に依存することなどが分かった。成否の条件作りが不十分であること、図7のような長期的な平均気温の変化だけでは人口の急激な変化は生じないこと、むしろ局所的・短期的な気象変化や気象災害の発生を導入しなければならないこと、PCの能力からエージェントの人数が少ないため統計的な死亡率の指標化が容易ではないことなどの結果や知見が得られた。

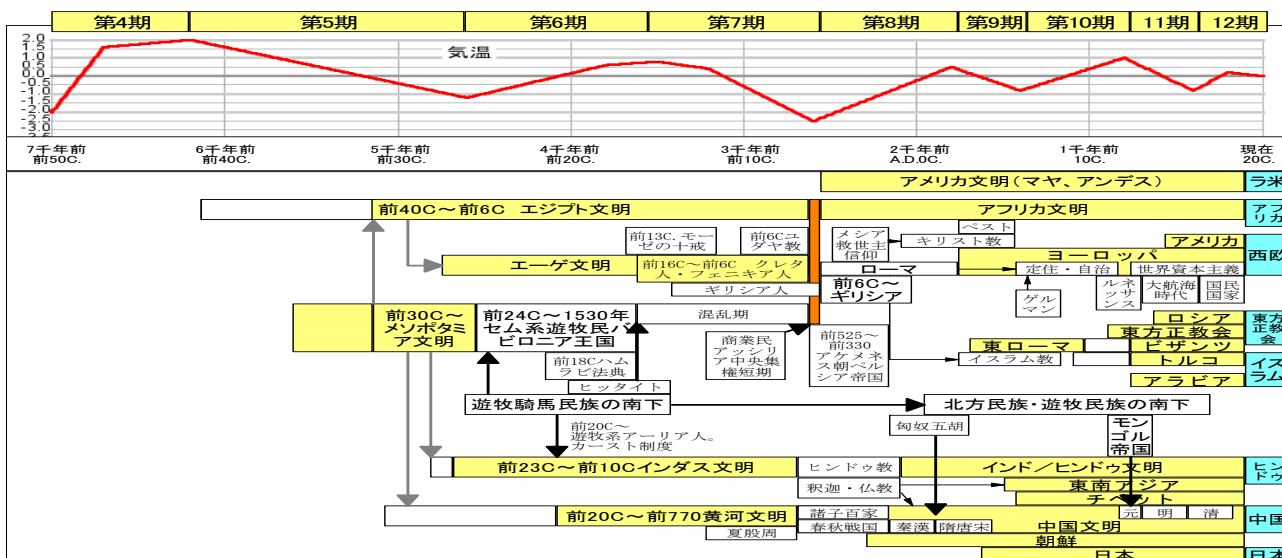


図7 四大文明の全体的な遷移と交流の状態を示す外観図 (図4、5を参考に筆者作成)

4. 人間の行動特性・人格・性格の5因子と文化価値

SD に MAS を取り込む本研究の背景として、前述の通り、一人一人の個人が歴史から学び、新しい地球市民社会やグローバル・ガバナンスの可能性が創発してくるかどうかを解明するという課題がある。このような問題意識をシミュレーションで再現するためには、人々の行動や態度・価値観などをモデル内に取り組みることが必要である。その方法については、未だに定着した方法は確立していないものといえよう。本研究では、一つの試みとして、人々の行動特性を表す心理学の5因子（いわゆる Big5）を用いて、一人一人のエージェントの行動特性や態度・価値観を表すことができるものと仮定した。

4. 1 Big Five 5 因子モデルの背景

人間の行動特性や性格に関する研究は、マズローの欲求段階やフロイトらの精神分析、クレッチマーの体格類型など色々な研究があるが、本研究で利用したモデルは特性論に基づく5因子モデルである。和田さゆり氏の『特性論とビッグファイブ』[14]を参考にまとめると、5因子モデルは、1936年に性格表現に関する自然言語を辞書から4,504語抽出・分類したオルポート＝オドバート表に端を発した特性論の研究の成果である。その後、1957～66年にキャッテルが171用語群に要約し、60クラスター、42変数を抽出した。当時の因子分析で、12種類の因子が抽出され絞り込まれた。しかし、このような60年代の特性論（性格を説明するいくつかの特性や因子があるという前提で進められる研究）に対して、一次的にはあるが70年代には状況論が台頭し、固定的な特性ではなく人間が置かれた状況によって性格は研究されるべきであるとされた。その後、再び特性論は見直され、80年代から特性と状況の両者の関係を分析する相互作用論の時代となった。そのような変遷の中でコスタ&マクレーは、パソコンの進歩とともに向上した因子分析を駆使して特性論を検証し5因子に集約して1987年にBig Fiveとして心理学会の共通了解を得た。多くの研究者によって様々な国で5因子の確認もなされてもいる。ただし、5因子の独立性（5つの因子が相互に無関係に決定されているということ）や世界的普遍性についての疑問もあり、文化的固有因子の存在もありうるということは留意点として注意が必要である。しかしながら、本研究では、このような人間の行動や性格をモデル化する重要な変数として、5因子で人類史の全ての時代・地域で共通と仮定してモデルに組み込むこととした。

4. 2 Big Five 5 因子モデルの概要

5因子モデルは表1の通りであるが、それぞれの因子にまったく異なる性格や相反する性格が含まれていることと、極端な場合には病理的な性格や行動を意味するので、文化的に相反する因子では評価が難しい面もある。例えば、日本的な情緒性や気配りや慎みは、欧米的な文化からみると好ましくない項目として位置づけられるかもしれない。本項では紙面の都合で取り上げられないが、筆者はシステム論的に5因子を中立的に定義し直して、状況と特性の組み合わせをエージェントが学習するプログラムも研究している。

	Big Five		日本版Big 5尺度FFPQ	本質	一般的特徴	病理的傾向
1	情緒安定性	N	情動性－非情動性	情動	敏感な／情緒の安定した	神経症／感情鈍磨
2	外向性	E	外向性－内向性	活動	積極性／控え目：客観／主観	無謀／臆病・気後れ
3	開放性	O	遊戯性－現実性	遊び	遊び心のある／堅実な	逸脱・妄想／権威主義
4	協調性	A	愛着性－分離性	関係	親和的／自主独立的・競争的	集団埋没／敵意・自閉
5	誠実性	C	統制性－自然性	意志	目的合理的／あるがまま	仕事中毒／無為・怠惰

表1 心理学的行動特性5因子ビッグ・ファイブモデル

原注：心理学評論,1997,p.255より引用して改変。出典：和田さゆり著「特性論とビッグファイブ」p.69[14]から引用して加筆。

このように心理学でビッグ・ファイブ (Big 5) とよばれる人格・性格の5因子をエージェントに持たせたが、その性格の形成は次のようにモデル化した。

- ①遺傳的影響を受けた気質が、両親から因子ごとに遺傳する。ただし、心理学では乳幼児の性格である「気質」については当然のことながら「言語による性格テスト」が実施できないので5因子が適用されることはない。気質と因子の関係が明らかではないので、ここでは因子をそのまま利用した。
- ②両親等によって幼児期に形成される一次的な性格、親しい人との間で表出される性格であるが、このモデルでは危機的な状況等、特別な状況でも退行現象によって表出されることがあると仮定した。
- ③教育や社会を通じて青年期に形成される二次的な性格、公的な場面で表出される性格で職業的な性格である。平常時・平和時の政治経済社会的な行動特性を表わす指標でもある。

このような3層構造で、本来は重層的・総合的に形成される5因子を簡略化してモデルに導入した。

4. 3 Big Five 5 因子モデルの応用

5 因子モデルは性格検査のための心理テストとして通常は利用される。しかし、それ以外にも職業適性検査や表 2 のように文化価値類型[15]、図 8 のような前近代と近代の文化的差異や日本と欧米の文化的差異[16]などに用いられる。本稿では、社会や国家、文明の状態を評価・判定することが可能であると仮定した。

表 2 5 因子とシュプリンガーの文化価値類型[15]

		コスタ&マクレーの5因子モデル					
		1.感情	2.活動	3.開放	4.関係	5.意志	
		+	安定性	外向性	遊戯性	協調性	統制性
		-	悲観的	主観性	経験的	自立性	無為的
シュプリンガーの文化価値類型	S D S 職業適性	現実的			++		
		研究的			++		
		芸術的			++		
		社会的	++	++	++	++	
		企業的	++	++	++		
		慣習的	+	-			+
		権力型					++
		宗教型					



図 8 T. パーソンのパターン変数を用いた 近代の歴史的推移と日米の文化的差異の検討[16]

4. 4 Big Five 5 因子モデルで社会全体の性格を判断

文明モデルのエージェントは、一人一人行動特性の 5 因子モデルを持つという前提でモデル化している。さらに、モデル化の段階で、生まれたときに持っている行動特性としての気質、幼児期に親しい人によって形成される 1 次的行動特性、青年期以降に社会的に形成される 2 次的行動特性という 3 段階で成長する「心」を持つものとした。これらの 3 段階の 5 因子をみればどのような行動特性=人格を持ったエージェントであるか、判断することが可能であるとした。また、社会や文明ごとに集計することが可能で、その社会や文明の性格的な傾向や態度・行動特性が把握できると仮定した。例えば、図 9 のようなジェンダー別 (性別) の 5 因子の変遷を見ることができる。この機能を用いて、組織エージェントごとのメンバーやリーダーの性格や態度・行動特性・価値観を 5 因子的に判断することも可能であるとしてモデル化している。

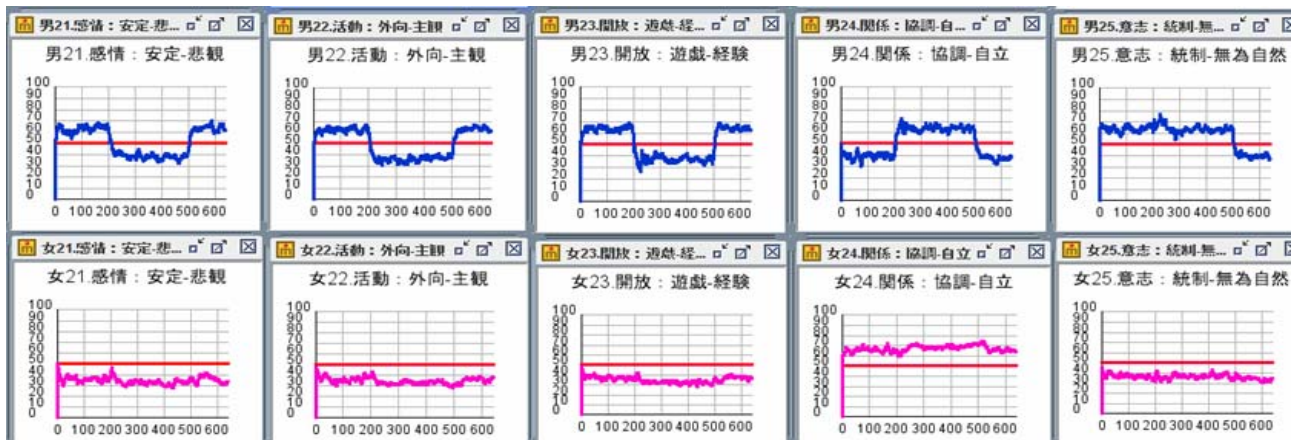


図 9 男性と女性の性格の変化

4. 5 Big Five 5 因子モデルの応用例

今回の文明モデルを作成する前段として、日本の 200 年間の社会の変化を 5 因子でモデル化した。図 10 で、上段の図の赤い折れ線は 1970 年の明治維新时期に生まれた人が 1945 年に 75 歳を迎え、1945 年に生まれた人が 2020 年に 75 歳を迎えるということを示している。このように一人一人の人生をモデル化して動かすと、年齢階層別の折れ線グラフとして中段の図のように表わすことができる。それぞれの時点ごとに 20 歳未満の未成年者 (水色)、20 歳~39 歳までの青年層 (青)、40~59 歳までの壮年層 (緑)、60 歳以上の老年層 (茶色)、全体の平均は赤い折れ線である。

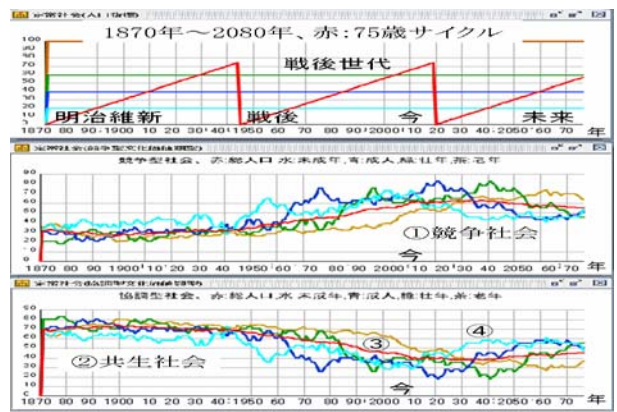


図 10 日本の 1870 年から 2080 年までの社会的行動様式の変化

このシミュレーション結果からは、近代的な個人主義や競争社会の価値観を受け入れた人々が 1970 年代ころに青年層から定着してきた様子が中段で示されている。下段では、日本らしさを表す共生社会の伝統的な地域社会を知っている高齢者が③で表示されているように最後の担い手となっている様子が明らかとなる。

このような分析を四大文明と 1 地域でシミュレーションによって再現し分析することを次章で試みている。

5. 文明モデルの基本指標と基本フロー

5. 1 文明モデルの基本指標

以上のような文明モデルで人口動態や侵略などについて検討した後で、その次のモデル化に向けて、モデル上で何を再現すると文明を再現したといえるのかという課題と、何を前提条件として外生変数化するのかという点が課題として明確になってきた。

そこで、文明＝都市化という点に着目して、「農耕文明による都市の形成とそこにおける集積の経済に基づく労働生産性の伸び」をモデルに取り込むことを検討した。図 11 はマディソンの『経済統計で見る世界経済 2000 年史』[17]から、世界の一人当たりの GDP の推移を西暦 1 年から 2001 年まで作成したものである。西暦 1 年の世界の一人当たり GDP (生産性) は、1990 年基準のゲアリー＝ケイミス国際ドルを基準に 1,000 ドル単位で表示しているので、4,000 ドルと推定されている。

他方で、都市人口の対数をとった指標 \log_{10} (都市人口) を集住係数と定義すると、ローマの人口が 100 万人程度とされているので \log_{10} (人口 100 万人) から集住係数は 6 となる。しかし、この時代のローマは例外であり、当時の世界の多くの都市地域の平均的な集住係数で 4 レベル (都市規模で 1 万人程度) に相当していたと仮定して、紀元 1 年から 1000 年までの集住係数と一人当たり GDP を相互にリンクした指標であると仮定することとした。

集住係数は、土木建築技術や測量、労役の組織化など様々な技術や知識ノウハウの集積を意味し、都市の生産性だけではなく農業の生産性も意味すると仮定した。図 12 のように狩猟採集時代のバンド社会が 30 人程度の集団であったことから、集住係数は 1 万年前の 1 からスタートして、村落規模の共同体が 100 人レベルで 2、その後人口の集積が進み 1,000 人レベルで 3、最古の都市遺跡と言われるモヘンジョダロが 3~4 万人なので 4 と推定されることとなる。本稿のモデルは試論なので、このような仮定についても今後さらに別の角度から検証していくことが必要である。本稿のモデルでは暫定的にこの指標で人口集積のメリットと都市化を表すこととした。

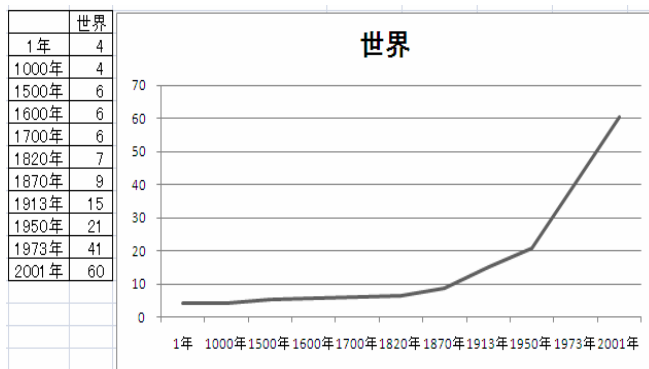


図 11 1人当たり GDP の歴史的推移, 1~2001 年[17]

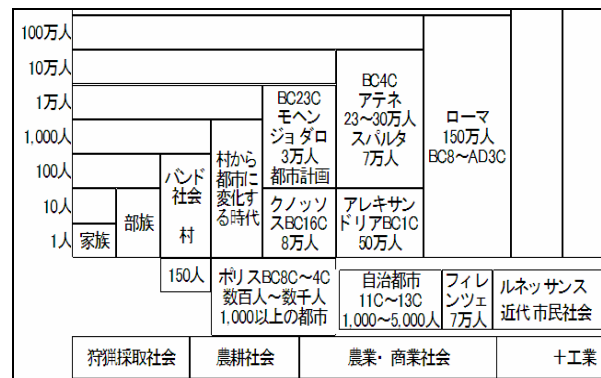


図 12 人口規模と生産性の指標化 (\log_{10} (人口)) [18]

文明モデルで、都市文明が発生してくる時期について、集住係数を用いてモデル上でも古代都市が創発してくるかということを検討する段階で新たなモデリング上の問題が発生した。その問題とは、湯浅赳夫氏の『文明の人口史』[19]の中で「アダムズによれば、『シュメール文明 [メソポタミア最初の文明] を特徴づける都市機構のきわめて大規模な発展は紀元前第四千年期の終わりの数世紀の人口増加の時代に続いてやってきている。』この時期、・・・二、三の中心都市は爆発的に急速に成長したばかりか、防衛施設、宮殿、官僚制の面で大変革が行われており、それ自体の人口増加ばかりでなく、・・・社会的分業を促進し、交易、灌漑技術の進歩・・・していた。」と述べられている。即ち、単純に気温の上昇期に農業革命が進行し、人口が増加し、人口集積も拡大し、都市が生まれたのではないのである。逆に、気温が長期的に低下する時期で、食料や人口の減少期に古代都市が誕生したのである。

人口減少期に都市化レベルで示されている都市集積をモデル内で発生させるためには、地域内で弱小都市を征

服していく統合過程が生じていることが必要となる。例えば、1,000 人程度の集落が散在する時代に、気温の低下、食糧の減少が生じる。その最中に、地域内での紛争が頻発し、小さな都市を攻撃して大きな都市にしていくには、単純に農耕社会のような農民と土地生産性に規定される社会でもモデル化は可能であると考えられるが、メソポタミアのような奴隷社会であることがモデル化の重要な条件になるものと考えられる。それは、奴隷社会の場合には戦争で勝利した都市が敗者を奴隷として連れ帰るので都市の規模が大きくなるのがモデル上でも作成可能である。しかし、奴隷制があまりみられない農耕社会の場合には戦争で勝利しても農耕地と農民はそのままの場所に残る訳で、その支配のために部下も残ることになるので分散的になるモデルになることが推測される。今回の 5 地域文明のモデルでは、5 地域に分散しているため計算能力の面から人口を大きくできないことや、時間的な制約から、このような人口減少期における都市規模の拡大現象をモデル上で再現できていない。しかし、今後のモデルの改良に際しては、メソポタミアから地中海、ヨーロッパ、アメリカへとつながる奴隷制を社会の中心にしてきた文明では、歴史的に奴隷を入手するために戦争が行われた点に留意しておくことが必要である。

以上のような検討を重ねて、文明モデルの指標として、表 3 のような生業の形態、人口、都市化、中心産業、組織の特性(経済・社会・政治)の各項目を暫定的に設定した。各項目については、『文明と環境』シリーズ[10], [20]を参照しながらそれぞれの項目を記述しているが、未確認の箇所も多く、データとの確認作業の多くは今後の課題となっている。

表 3 文明モデルで創発してることが期待される基本指標群

基本項目			エジプト文明・エーゲ海・ギリシア・ローマ・ヨーロッパ										メソポタミア文明・ベルシャ帝国・イスラム									
X	期	時期	西暦	気温	食糧	人口	都市化	注1	中心産業	経済組織2PO	社会組織3NPO	政治組織4GO	人口	都市化	注1	産業IO表	経済組織2PO	社会組織3NPO	政治組織4GO			
3	4	7,000年前	BC50C.	↗	農耕 牧畜	↗	△ 1,000人	3	農業	農耕階層 ----	多神教 ----	集権的 ----	↗	△ 1,000人	3	農業	農耕階層 ----	多神教 ----	集権的 ----			
4	5	6,200年前	BC42C.	↘	農耕 牧畜	↘	○ 1万人	4	農業	農耕階層 ----	一神教 ----	集権的 ----	↘	○ 1万人	4	農業	商業 ++++	一神教 ----	集権的 ----			
5	6	4,600年前	BC26C.	↗	農耕 牧畜	→	△	4	商業	商業 ++++	一神教 ----	集権的 ----	→	△	4	商業	商業 ++++	一神教 ----	集権的 ----			
6	7	3,500年前	BC15C.	↘	農耕 牧畜	↘	○ 十万人	5	商業	商業 ++++	一神教 ----	集権的 ----	↘	○ 十万人	5	商業	商業 ++++	一神教 ----	集権的 ----			
7	8	2,600年前	BC 6C.	↗	農耕 牧畜	↗	○ 百万人	6	商業	商業 ++++	多神教 ++++	民主共和 ++++	→	△	5	商業	商業 ++++	一神教 ----	集権的 ----			
8	9	1,800年前	AD 2C.	↘	農耕 牧畜	↘	×	5	農業	農耕階層 ----	一神教 ----	君主制 ----	↘	×	4	農業	農耕階層 ----	一神教 ----	集権的 ----			
9	10	1,400年前	AD 6C.	↗	農耕 牧畜	→	△	5	農業	農耕階層 ----	一神教 ----	君主制 ----	→	×	4	農業	農耕階層 ----	一神教 ----	集権的 ----			
10	11	800年前	AD12C.	↘	農耕 牧畜	→	×	5	農業	農耕階層 ----	一神教 ----	君主制 ----	→	×	4	農業	農耕階層 ----	一神教 ----	集権的 ----			
11	12	400年前	AD16C.	↗	農耕 牧畜	↗	○ 百万人	6	農業	農耕階層 ----	一神教 ++++	共和制 ++++	↗	△	5	農業	農耕階層 ----	一神教 ----	集権的 ----			
12		現在	AD21C.		工業		○ 千万人	7	農業 商工業	商工業 ++++	一神教 ++++	民主的 ++++		○ 百万人	6	農業 商工業	商工業 ++++	一神教 ----	民主的 ++++			

			草原遊牧文明・スキタイ・スラブ					インダス文明・ヒンドゥー・インド					長江・黄河文明・中国						
X	期	人口	注1	産業IO表	経済組織2PO	社会組織3NPO	政治組織4GO	人口	注1	産業IO表	経済組織2PO	社会組織3NPO	政治組織4GO	人口	注1	産業IO表	経済組織2PO	社会組織3NPO	政治組織4GO
3	4	↗	3	遊牧	遊牧自立 ++++	多神教 ----	合議的 ++++	↗	3	農業	農耕階層 ----	多神教 ----	集権的 ----	↗	3	農業	農耕階層 ----	多神教 ----	集権的 ----
4	5	→	3	遊牧	遊牧自立 ++++	多神教 ----	合議的 ++++	↘	4	農業	農耕階層 ----	多神教 ----	集権的 ----	↗	4	農業	農耕階層 ----	多神教 ----	集権的 ----
5	6	→	3	遊牧	遊牧自立 ++++	多神教 ----	合議的 ++++	→	4	農業	農耕階層 ----	多神教 ----	集権的 ----	→	4	農業	農耕階層 ----	多神教 ----	集権的 ----
6	7	→	3	遊牧	遊牧自立 ++++	多神教 ----	合議的 ++++	→	4	農業	農耕階層 ----	多神教 ----	集権的 ----	↗	5	農業	農耕階層 ----	多神教 ----	集権的 ----
7	8	→	3	遊牧	遊牧自立 ++++	多神教 ----	合議的 ++++	→	4	農業	農耕階層 ----	多神教 ----	集権的 ----	→	5	農業	農耕階層 ----	多神教 ----	集権的 ----
8	9	→	3	遊牧	遊牧自立 ++++	多神教 ----	合議的 ++++	↗	5	農業	農耕階層 ----	多神教 ----	集権的 ----	→	5	農業	農耕階層 ----	多神教 ----	集権的 ----
9	10	↗	4	遊牧	遊牧自立 ++++	一神教 ----	合議的 ++++	→	5	農業	農耕階層 ----	多神教 ----	集権的 ----	→	5	農業	農耕階層 ----	多神教 ----	集権的 ----
10	11	→	4	遊牧	遊牧自立 ++++	一神教 ----	合議的 ++++	→	5	農業	農耕階層 ----	多神教 ----	集権的 ----	→	5	農業	農耕階層 ----	多神教 ----	集権的 ----
11	12	↗	5	遊牧	遊牧自立 ++++	一神教 ----	合議的 ++++	→	5	農業	農耕階層 ----	多神教 ----	集権的 ----	↗	6	農業	農耕階層 ----	多神教 ----	集権的 ----
12			6	分業化 商工業	農商工業 ++++	一神教 ----	民主的 ++++	↗	7	農業 商工業	商工業 ++++	多神教 ----	民主的 ++++	↗	7	農業 商工業	商工業 ++++	多神教 ----	集権的 ----

注1：集積の経済に基づく労働生産性で、都市集積の対数に比例すると仮定して、マディソン著『経済統計で見る世界経済2000年史』[17]による集計を使用している。

注2：産業IO表は、産業連関表を意味し、各文明で中心的な役割を担っている産業を指している。本来は1次、2次、3次産業であるが分かりやすく農業や商業と表記した。文明の中心的な産業の特定には今後の研究が必要である。

注3：経済：組織2POは、組織1の家族が省略されているが、モデル上は2番目の組織として「組織2」と記載

されている。POは利益組織 Profit Organization を表している。狩猟チームから農耕集団・結社・企業など文明の中の中心的な産業組織の組織的特性を表している。例えば、農耕社会の経済組織は、その構成員の性格が周囲の環境変化に敏感で、外部条件の変化に対応するために自分の取り組みを再検討する内向的・内観的な傾向をもち、経験的で集团的であると同時に、自然に任せる部分も多いと考えられる。このような特性を5因子で示すと表のような---+-となる。農耕社会は多神教という意味で最後の要因が-で表示されているが、中央集権的な統治が基本であるという意味では最後の要因が+になる。商業社会と一神教・民主制社会が基本的なセットになるものと仮定しているが、これにも最後の要因で矛盾が含まれている。このような食い違いは、5因子の1次と2次の組み合わせを表示する必要があるが生じる。5因子の組み合わせを一次元で表示しているの、モデル上では2次元の様々なバリエーションがあるので、上記の表の作成が不十分であることをお断りしておく。なお、未確認な情報や現時点で不明な箇所をシミュレーションの便宜上想定して設定している箇所も多いので今後の研究が必要である。

注4：社会：組織 3NPOは、多神教的か一神教的な社会（一つの価値観や目的合理的な思想・宗教で統一される傾向にある社会）を示す指標とした。例：一神教でも---+と+++++がある。

注5：政治：組織 4GOは、集権的な君主制・王政で統一される傾向にあるか、民主的で共和制的な傾向にあるかを示す。商業が盛んになるには王が一人で決定するのではなく、大勢の商業者（富裕な大商人たち）によって、ある決められた時間内に様々な議論を出しつくして、意志決定を行い、その後は全員がそれに従うという行動様式が必要になるという解釈をしている。

5. 2 文明モデルの基本フロー

以上のような基本指標を表すような文明モデルの基本フローは図13に示すような因果ループとなる。その中で中心となっているのは人口モデルであり、エージェントタイプで作成している。エージェントは、①一期ごとに年を取り、②出生率・死亡率は後述のように設定した。③婚姻ルールでは近親婚を禁じた。④代謝は、日本医師会の年齢別性別の身長と消費カロリーに職業別のデータを用いて変更した。⑤文明間の移動は行わない状態でスタートしている。このような設定で、狩猟採集時代のような30人~50人程度の血縁的小集団（バンド社会）であっても、1万年の間、交配と出生を繰り返し、部族を維持できることを確認した。

このモデルを核に、気候変動で食糧が増減し、人口が増減するモデルを作成した。前章で詳しく説明したように、性格や行動特性・態度・価値観を5因子モデルとして導入した。誕生時に両親から遺伝アルゴリズムに従って気質を受け継ぎ、幼年期に親しい人々の間での行動様式などの躰を受けながら第1次的な性格を形成する。さらに青年期を通じて職業的な行動様式を親や教育などで第2次的な性格として形成する。職業適性は、食糧生産時に年齢・体力・知力などと合わさって性格的職業適性も反映した食糧の確保になり、適応過程を通じて生存や婚姻・出産に影響を及ぼす。このモデルでは性格因子を強調するために職業適性のウエイトを少しだけ高くしているが、それでも様々な適性の人や性格の人、知力・体力の人が人類の歴史を通じて生存してきており、これからもその多様性は維持されるであろうことから、職業適性が高いエージェントでも低いエージェントと比較して必ずしもそれほど有利な人生を送れる訳ではないモデルとなっている。本稿の最後に示すシミュレーション結果では計算時間を短縮するために職業適性を外している。職業と因子特性の関係は、状況と特性の組み合わせとして、それ単独でモデル化して検証しているが、多様性に富んだ結果が得られている。

都市集積による集住係数は、前述の通りである。人口を10,000人レベルでシミュレーションできるようになれば、食糧が全体として減少する中で、都市規模を拡大する勢力が発生し、その人々が新しい都市集積の時代を創っていくことをシミュレーションできるので、1地域に限定したモデルでの実験が今後の課題である。

この文明モデルで扱うエージェントは、ヒトと組織（1F：家族、2PO：営利組織、3NPO：非営利組織（宗教団体や互助組織）、4GO：統治組織（部族・共同体から都市国家や近代的国民国家））である。組織をエージェントとして表現することによって、人々の必要に応じていくつでも設置でき、必要がなくなれば廃止することもできる。組織をエージェントで表現することは適切ではないとする立場もあり別の方法を探索している。現時点で筆者は、学習された知識やルールの蓄積を担うエージェントを想定することは、組織や制度・規則のモデル化として有効であると考えている。本稿のモデルでは、家族から統治組織まで、結婚や戦争など様々な理由で改廃ができるので、実態に近い文明の組織・制度の検討が可能になるものと期待できる。なお、まだ、完全には機能していないが、それぞれの組織レベルで、経済的な側面の活動をIO表で表現できるように設定しているので、食糧の蓄積を在庫としたり、将来への投資が蓄積されたり、輸出入の代わりに交換や取引が可能である。文明間の交流をモデル化する際に、文明そのものを擬人化したりエージェント化したりして、「文明が交易や戦争を行う」と

このような過ちを防ぐことができると考えている。また、文明間の戦争で、ある文明が滅ぼされたとしても、政治的な滅亡であれば政治組織のエージェントが消滅することでモデル上は処理できる。その場合でも、滅ぼされた文明に属する大部分の人間は存続するし、もしかすると営利的な組織や非営利的な組織はそのまま存続が可能かもしれない。例えば、中国文明は遊牧民から何度も侵略を受け、支配されるが、政治エージェントとしての解体や交代であり、経済や社会はそのまま存続し、支配階級の遊牧民を取り込んでしまうこともモデル上可能となっているといえる。このようなモデルの挙動までは今回のシミュレーションに反映されていないが今後の課題である。

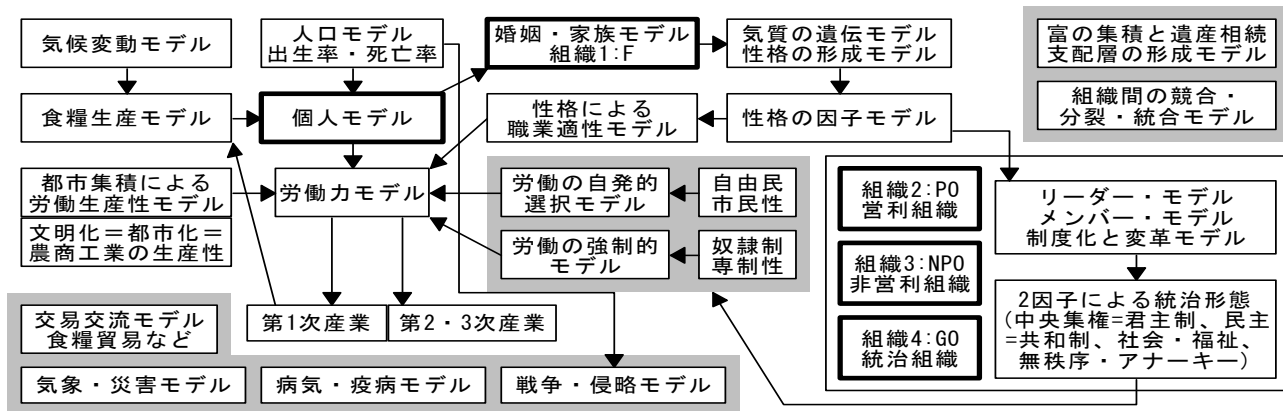


図13 文明モデルの基本フロー (筆者作成)

6. 四大文明のシミュレーション

6.1 人口モデルの具体的な設定

本稿の文明モデルの基本となる人口モデルでは出生率と死亡率を日本の1920年の5歳階級統計[21]と途上国の1950年の平均を基に推計して利用している。具体的には、図14の長期推計1では2000年と1930年の日本の出生率を15歳から49歳までの女性について各歳のデータをもとにモデル化するための近似を行っている。この推計モデルを基に図15では先史時代の人口モデルに導入する1万年前の出生率を推計している。避妊も制限もなければ高位の30人出産というレベルまで可能性はあるが、実際的には低位の10人の出産をモデルに組み込んだ。乳幼児の死亡率や一般の死亡率では図16のように日本の統計や世界の統計[21]から0~9歳までの乳幼児死亡率と、10~100歳の死亡率とを推計して、1万年前に適応可能な乳幼児死亡率の推計を行っている。これらの統計値に栄養状態=食糧の確保の能力や適性を反映して個別のエージェントの死亡率を計算している。

婚姻では同じ父母からの近親婚を禁止するルールを取り入れている。

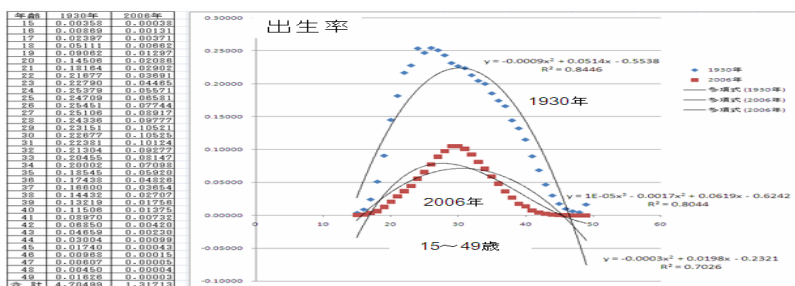


図14 出生率の長期推計1 [21]

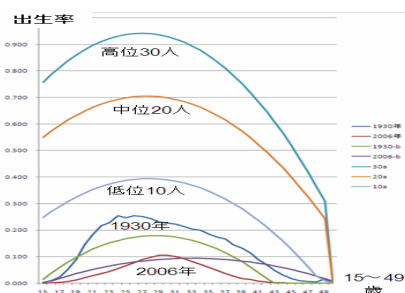


図15 出生率の長期推計2 [21]

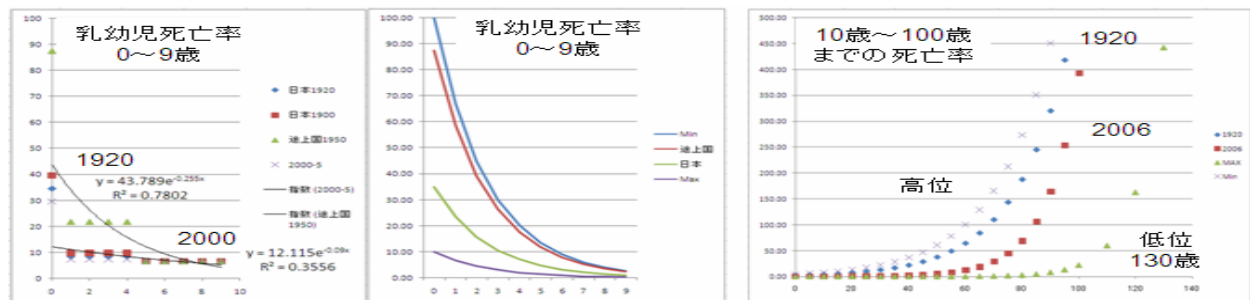


図16 死亡率の長期推計 (左: 1920年と2000年の乳幼児死亡率、中: 途上国を乳幼児死亡率の推計、右: 10~100歳) [21]

6. 2 四大文明モデルの8,000年間（紀元前だけのモデル）のシミュレーション結果

(1) シミュレーションの時間等

今回シミュレーションを行ったモデルの名称は Humanoid_01304.model であり、そのプログラムは A4 で約 80 ページ、約 3,200 行となっている。今回のシミュレーションに使用されていないプログラム部分も付けたままになっているので正味の大きさではないが、かなり大きなプログラムになっている。(モデルもワード形式で出力したプログラムも本稿と合わせて筆者のホームページでダウンロードできるので参照されたい。)

計算時間は8,000年を800ステップに短縮した状態で7時間、全体の平均では10年(1ステップ)あたり0.5分で、1,000年(100ステップ)では52.5分であるが、人口が増加している最後の7,000~8,000年目の100ステップでは120分かかっていた。モデル作成段階でこのようなシミュレーション時間は大きな障害となるので5地域ではなく1地域でモデルの挙動を確認しながら作成してきている。地域数は選択可能になっている。また、5地域が全て生き残っているケースは極めて珍しく、計算を開始して直後から3,000年くらいまでに消滅してしまう地域がかなりある。最初の3,000年は狩猟採集社会が中心で1集団(バンド社会)は30人から50人程度なので安定性が低いこともあり得るが、実際の人間の繁殖力や持続力はかなり高いと思われるので、集団的・組織的な対応がこのモデルよりも手厚くなされている可能性は高い。以上のような実行結果からモデルの挙動について、本稿のモデルでは安定性が低く、5地域が継続的に最終段階の現代にまで到達するという単純な結果も10分の1程度の割合でしかない。そのため改良すべき課題が多く残されたモデルといえる。

(2) シミュレーションの概要

図17は、モデルの地域別年齢別人口を示す基本図の一つである。8,000年のシミュレーションを行った最後の状態なので、紀元1年頃の状態を示している。

X軸の「エジ、メソ、スラ、イン、チュ」では、シミュレーションの地域を短縮形で示しているが、「エジプト、メソポタミア、スラブ、インダス、中国」を意味している。Y軸は年齢の0歳から100歳までを示している。一つ一つの点が人間一人一人を表しているのものでモデル上で表現されている人口は1,000人前後である。文明のモデル化が進めば、いずれはスーパーコンピュータの利用なども必要になってくるかもしれない。

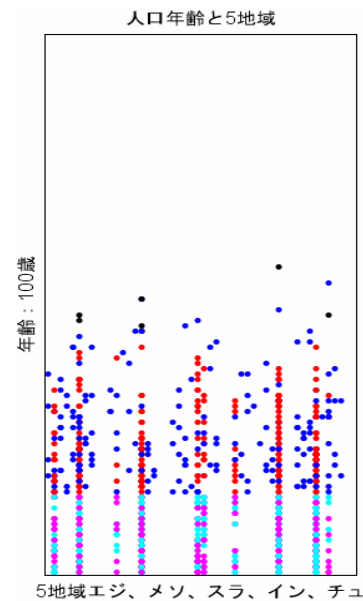


図17 基本図（地域別年齢別人口）

図18は、左から気温、人口、地域別人口、地域別死亡率を示している。地域別人口では5地域を色別の線で示しているので白黒の印刷では判別不能であるが、上の線が四大文明、4,000年以降で少し低くなっている線が遊牧民を表している。地域別死者数ではさらに判別が不能であると思うが、ここで確認できることは人口が急速に減少していてもそれほど多い死者数ではないという点である。(なお、先に紹介したホームページから本稿をダウンロードしてカラーで見て頂くことは可能である。)

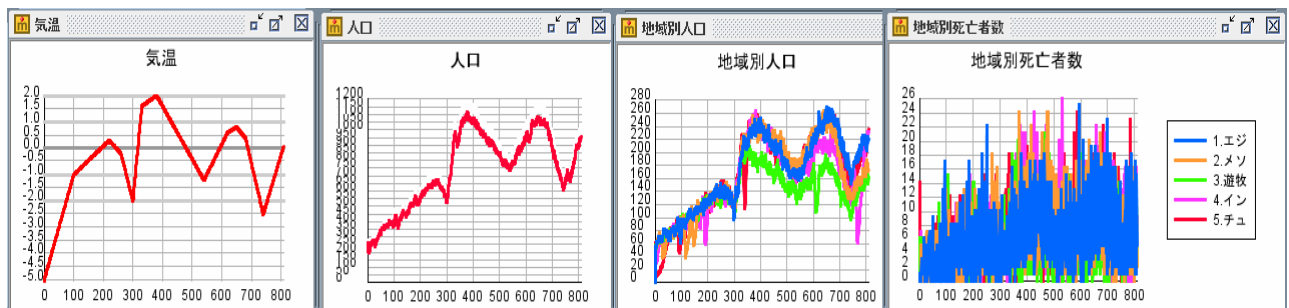


図18 四大文明モデル（期間10分の一設定1万年前から2000年前まで、左：気温、人口、地域別人口、地域別死亡率）

(3) 長期的な環境激変の死亡への影響

地域別の人口の増減と死亡者数や死亡率の傾向を見るために図19がある。死亡者数のグラフは人口の多さに比例して変化しているが、長期的な気候変動だけでは死亡者数や死亡率では著しい変化を表すような指標は見いだせなかった。そのため、人口変化の激しい13歳以下の子供の死亡率を4年間で合計して移動平均とする指標（下段）を作成した。今回のモデルでは、この指標で30%を超えた時期を戦争の可能性が高まる時期とした。短期的な気象変化（洪水や干ばつなど）を組み込むと人口がより大きく変化することが予想されるので、戦争などの指標化は容易になるが、8,000年間の超長期的な変化を再現することは難しくなることが予想される。

(4) 集住係数

既に説明したように、地域別集住係数は、 $\log_{10}(\text{人口})$ を表しており、1 は 10 人規模でバンド社会、2 は 100 人規模の村落、3 は 1,000 人規模、4 は 1 万人規模でモヘンジョダロなどの古代都市レベルを示す。本稿のモデルでは集住係数の内生化ができていないので、テーブル関数でデータとして与えている。

図 20 下段の黄緑色の遊牧地域は、紀元前には都市を形成していないと言われているのでレベル 3 で推移している。エジプトの集積が上昇しているが、エジプトからローマに展開する地中海文明の意味であり、ギリシアのアテネが 30 万人規模、ローマが 100 万人規模の都市になるので右の方でレベル 6 と最も高くなっている。

図 20 の上段の地域別人口と見比べるとそれぞれの地域の人口の傾向と一致していない。むしろ、逆の傾向にさえ見える。その理由は、繰り返しになるが、総人口が減少するような厳しい経済的・自然的条件の下で、村落や都市の統合が起こり、集積が高まったのではないかという仮説をもたらすことになる。モヘンジョダロが形成されたのは紀元前 4 千年紀の数百年といわれるが、図 20 では中央から右の人口減少期にある。環境の最も厳しい時期には遊牧民の人口減少が著しく、他の文明圏への侵略などの戦争の可能性も高まっていると推測されている。

今後のモデル化では、集住係数がモデル内で計算されて、都市集積が再現され、それぞれの都市集積に相当する生産性が文明ごとの経済活動を説明するモデルにしていくことが求められる。このようなモデル化の進め方は MAS の方法論としては適切ではないとの意見もある。もっとも単純なルールから出発して、様々な現象を説明するモデルを構築するという複雑系の発想に従えば、モデルの様々な条件をテーブル関数化して外生的に与えていく本稿のモデルは MAS からはかなり距離がある。しかし、複雑な状況におけるモデルがいきなり創発できるわけではないので、段階的にはやむを得ない暫定的な方法として筆者は位置づけている。

(5) 食糧の需給と充足率

図 21 は、左から地域別食糧供給、地域別食糧需要、地域別食糧の充足率を示している。左側の地域の食糧供給が気温と集住による規模の経済や労働生産性の高まりで上限が決まり、労働力の量で下限が決まってくるという設定のモデルになっているので、人口が著しく減少している時期には供給も減少している。中央の需要は人口によって決定される。詳しくは人口構成に従って性別年齢別に需要量が計算されている。右の図は食料の充足率を示している。人口が著しく減少するときには食糧充足率が著しく低下しており、人口が減少した結果として一時的ではあるが充足率が高まっている。これらの結果から明らかになったことは、平均気温の低下期などに人口が急激に減少するような危機的な状態が起きるのではなく、気温が上昇中で食糧が増加傾向にある時に食料の危機的な状況が生じている。このことから長期的な危機は食糧減少とは関係がないように見えること、食糧生産の増加は食料の充足率に長期的な変動を及ぼさず、常に人口の増加によって使いつくされていることが分かる。

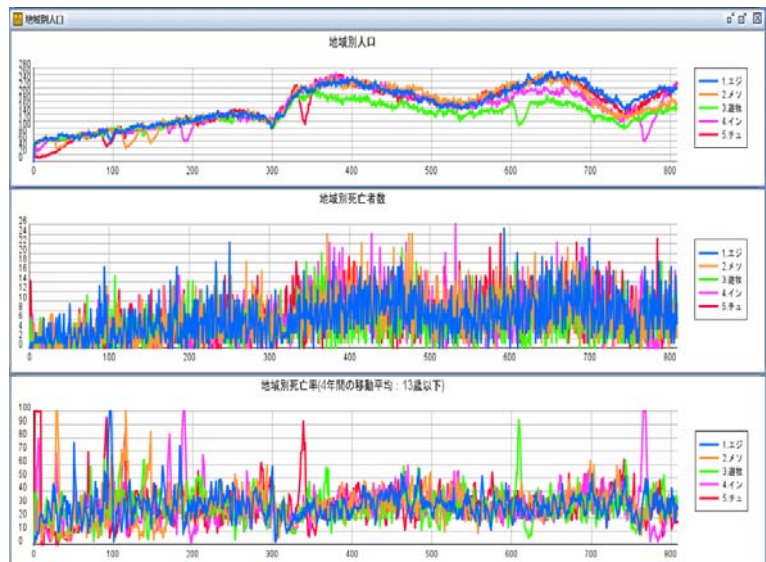


図 19 四大文明モデル (上段：地域別人口、中：地域別死亡率、下：13 才以下の 4 年間の死亡率の移動平均)

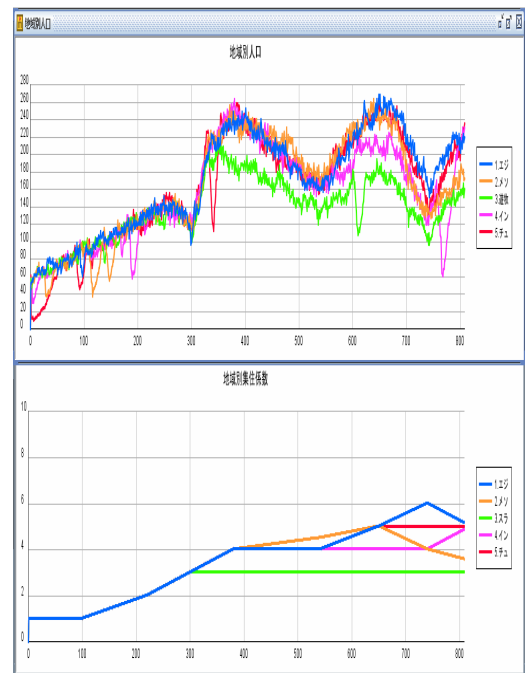


図 20 四大文明モデル (上：人口、下：集住係数)

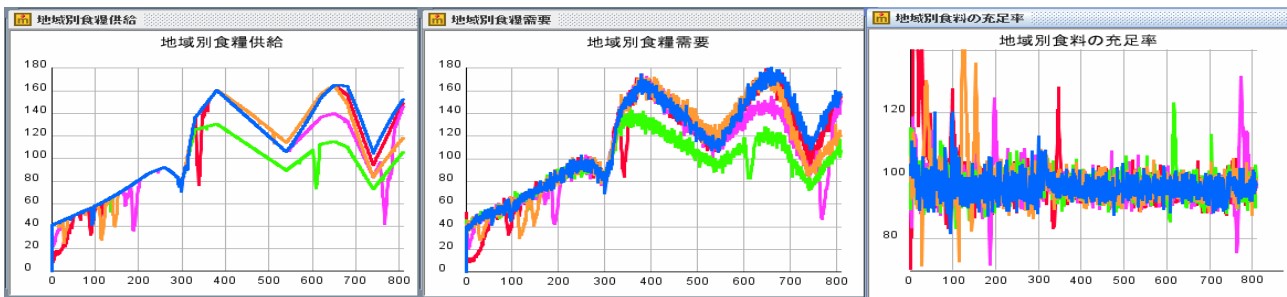


図 21 四大文明モデル (左：地域別食糧供給、地域別食糧需要、右：地域別食糧の充足率)

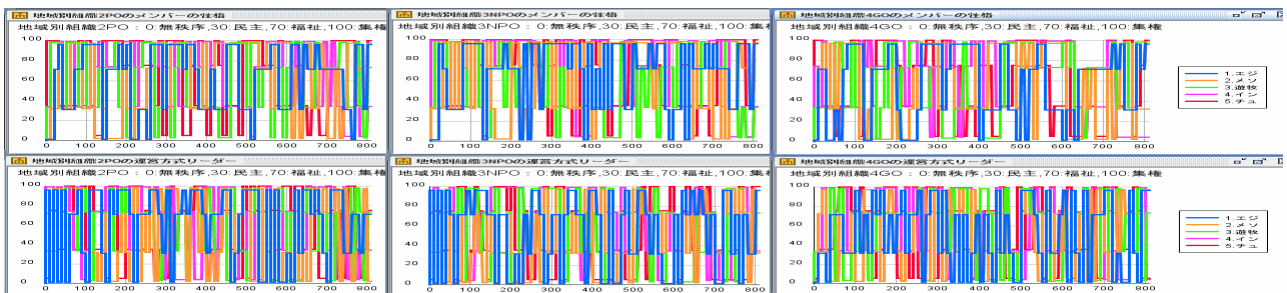


図 22 四大文明モデル (左：利益集団 P0、中：非営利集団 NPO、右：統治組織 GO の上：メンバー、下：リーダーの性格)

表 4 統治組織の性格と 5 因子

統治組織の性格と 5 因子		リーダー				
		5+	4+	4-	5-	5+
		専制集権	社会福祉	民主共和	無秩序	専制集権
メンバー	5+	専制集権	専制集権	専制集権	専制集権	専制集権
	4+	社会福祉	専制集権	共同体的	共同体的	共同体的
	4-	民主共和	専制集権	共同体的	民主共和	衆愚的
	5-	無秩序	専制集権	共同体的	衆愚的	無秩序

図 22 は地域別に左から利益集団 P0、非営利集団 NPO、統治組織 GO について上段がメンバー、下段がリーダーの性格を表示している。図が小さいためだけではなく、このままでは殆ど解読不明なので、表 4 のような合成指標を作成した。即ち、統治組織の性格をメンバーとリーダーの 5 因子の組み合わせで集約的に判断する指標である。専制君主制や中央集権的な傾向がメンバーやリーダーにある場合、その統治組織は専制的と判断し、次に社会福祉的性格・共同体的傾向がメンバーやリーダーにある場合には共同体的、民主的・共和的なメンバーとリーダーが揃ったときに初めて民主的な統治組織になるとした。無秩序・アナーキーな性格をメンバーかリーダーのどちらかが持っている場合には衆愚政治的な性格、そして最後が無秩序と分類した。この指標化の有効性についても検証が十分ではないので今後の課題である。

暫定的に、この指標を用いると図 22 の統治組織 4:GO の性格はメンバーとリーダーの性格を合成して図 23 のように少し簡略化することができる。全体的に安定しているとは言えないが、最初の狩猟採集社会では比較的地域的な特性が少なく多様な傾向がみられるが、時間が経つにつれてエジプトや中国は集権的・専制的傾向であること、メソポタミアとインダスでは無秩序な状態にもときどきなっていること、遊牧では共同体や民主的な傾向になっていることなどが分かる。

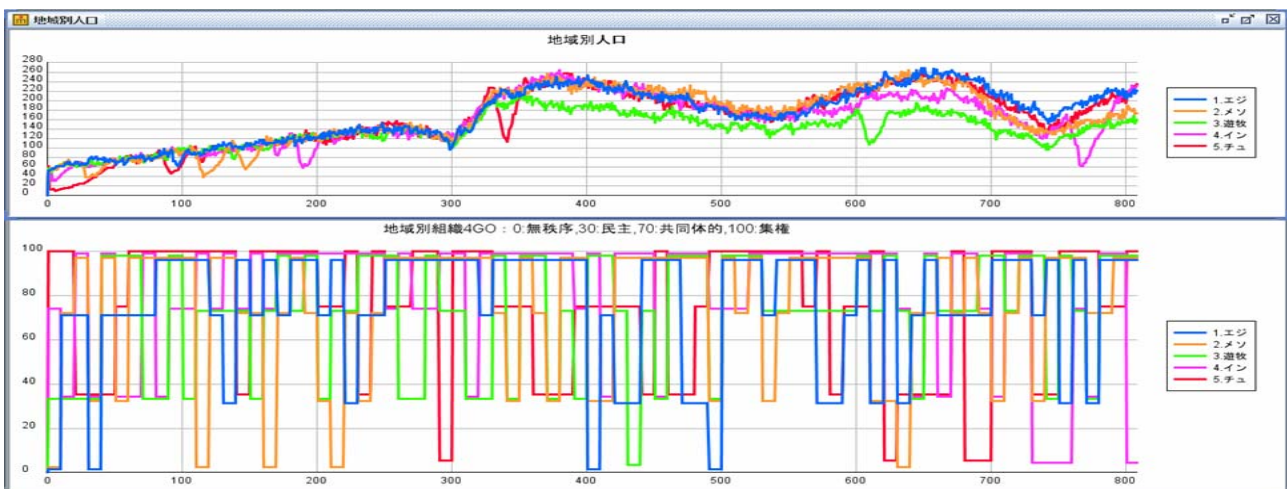


図 23 四大文明モデル (上：地域別人口、下：地域別統治組織のメンバーとリーダーの複合的性格)

7. 結び

本研究で目標として設定した表3のような四大文明の指標がシミュレーションの結果として十分に得られたとまでは言えないが、そのようなシミュレーションの可能性は多少なりとも見えてきたのではないかと考えている。また、本研究を通じて、これまでの理解とは異なる知見が得られてきたので、それらを最後に整理しておく。

(1) 組織についての考察

①家族を導入することは必須か・・・実際にモデルに家族を導入した。家族の条件は、男性が15歳になると自立心(第4因子の一)に応じて確率的に独立する。結婚すると女性が家族となる。子供が生まれ、家族の成員が増えていく。このような想定の中で、家族の中の成人、即ち両親や祖父母などが死亡していなくなると子供たちが生きて行けなくなり全員死亡するであろうという条件をおいたところ、30人くらいの部族社会では人口の持続可能性が著しく低下してしまうことが分かった。狩猟採集時代のバンド社会では、家族というまとまりがあるとしても子供は部族の共有財産というような位置づけであったことがモデル上でも推測された。

②財産は農耕時代から・・・上記の家族制度とも連動するが、狩猟採集時代のバンドで所有する食糧は「穀物や牧畜」ではないので長期の保存ができない。そのため、営利組織も狩猟や採集のための集団行動という性格だけで、資本の形成や在庫など営利組織としての機能は、この段階ではモデルを作成する上であまり意味をなさない。

③従って、狩猟採集社会では、共同体的な部族集団が形成されており、それぞれの集団の統治的な形態は集団の統治メンバーの性格傾向とリーダーの性格に左右される多様なものであったのではないかと考えられる。

(2) 土地面積と狩猟採取集団と農耕牧畜集団の関係(戦争、奴隷制)

①土地が人間を扶養する能力の空間イメージ・・・狩猟採集時代には1人の食料を供給するために10k㎡の土地面積が必要であるのに対して、農耕牧畜段階では1k㎡で200~250人と飛躍的に増大する。このような土地生産性の変化を図上でシミュレーションしようとする、狩猟採取時代を50×50=2,500k㎡の空間で再現すると250人程度の社会となる。30人程度の部族単位で移動しながら狩猟や採集を行っていたとすると1つの集団の生活圏は300k㎡

(半径10kmの円か、一辺が17kmの四角形)で、8集団程度が分散する社会である。それに対して、野生のムギやイネ、ヒツジやヤギが出現した適地で農耕牧畜が開始されると2,500分の1の空間で、これまでの狩猟採集民と同じ人数の集落が出現することとなる。このように空間的に部族や集落を配置してみると、農耕牧畜の適地

(図24の中央)とそれ以外の地域での狩猟採取とは、基本的には相互にほぼ無関係にそれぞれの生活形態を維持しながら、文化や文明の進歩が進行していたのではないかと想像することができる。

②村落から市街・城壁を有する都市の形成・・・気候や気象的な変化で食糧難に陥った方が食料を保持している集団を襲うことが考えられる。穀物や家畜など長期に食料を保存できる地域は農耕牧畜の村落であるので、襲われる集団は村落となる。そのため農耕牧畜の村落では、防衛力の増強が重要な課題になる。具体的には兵士の訓練や維持、城壁などの建築土木都市計画上の工夫などが必要になる。村落の防衛が強固になるに従い、狩猟採集民は部族単位ではなく、大部族単位を形成し、広大な地域にネットワークを形成することになるのではないかと。

③戦争の原因を全て狩猟採集民に起因すると考えることは公平を欠いているであろう。農耕牧畜の村落間でも凶作や不作など、個別に問題を抱える可能性や、水利や適地を巡る争奪戦など、村落間での紛争や戦争の危険性は、狩猟採集民との間の略奪的な紛争よりも生産様式を同じくしているためにより根本的な紛争であるとさえいえる。

そのため、多くの研究に見られるように農耕の集落が密集する大河川の流域で文明が誕生したのであろう。メソポタミア文明の初期のシュメール文明では、厳しい農耕などの労働を嫌った神が人間を作ったという奴隷的存在としての人間観はそれぞれの都市が奴隷を入手するために戦争を繰り返した。文明間・文明内の戦争の起因としてa.食糧の略奪、b.生産要素としての土地と農民の支配権(領地・領民)、c.奴隷の入手という3要因があったことは今回のモデル作成で変数化されていないが、ギリシア・ローマ文明の崩壊の一因に大量の奴隷の存在が深く関わっていたことや奴隷貿易が大航海時代以降のヨーロッパの歴史の中で果たした役割などを考慮すると、4大文明時代以降のモデル化においても重要な課題点である。また、農耕や労働に対する社会的な価値観、即ち、食糧を得る生業に関わる労働そのものを人間的な価値とするか、奴隷がすべき苦痛と見るかは、土農工商という身分制度や労働価値説などにつながる社会システムの奥が深い意味のある視点である。

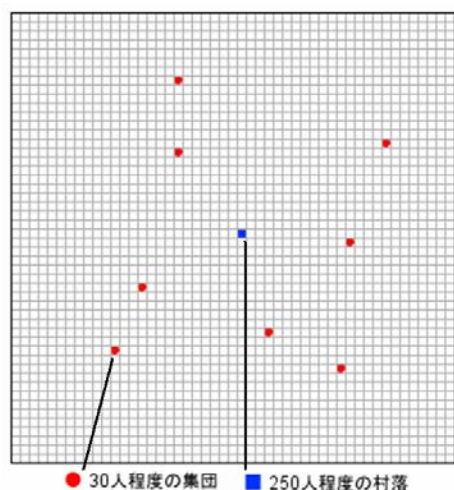


図24 土地利用と狩猟採取集団と農耕牧畜集団

(3) SDとMASのコラボ・モデルに関する考察

以上のように、SDとMASを組み合わせたモデル化を進めることで、SDでエージェントを取り巻く環境条件やエージェントの行動を制約するメカニズムとしての制度的条件などをモデル化し、エージェントの視点から見た場合の状況や問題点がモデル化の過程で多数浮かび上がってくるのが結果として得られた。これまでのMASでは交通モデルや防災避難、感染症の伝播などの物理的・地理的な空間的移動を対象とするモデルを数多く取り扱って来たのに対して、本研究で当初から意図していたようにSDによってエージェントが活動する自然・社会・経済環境などの非物理的・非地理的な条件をモデルに導入することができた点は大きな成果であったといえよう。他方で、本研究でモデルの検証が十分に行えなかったことは反省点であり、PCの能力に問題があり繰り返し実行に限界が生じたこともあるが、本稿のような大規模なモデルも基本的には一つ一つの部分モデルから構成されているので、部分モデルでの検証を積み重ねる努力も重要である。このような観点から、本稿のモデルを部分モデルに分けて検証する作業と、部分モデルから次のステップのモデルが創発してくるか否かの検証や、学習を取り入れたモデルで検証を行う手法も今後の課題として研究中である。

本稿は筆者の力不足のためSDとMASの利点を十分に活かしたモデル化になっているとはいえないが、これまでのSDのモデルの蓄積を活かしながらMASを取り込むことによる改善の余地は多いと思われるのでこれらは今後の課題としたい。

なお、ソフトの関係で、グレースケールでの印刷で図表が判別しにくい状態が多いと思われるので、改めて筆者のホームページ[22]でのカラー版でのダウンロードをお願いしてお詫びにかえさせていただきます。最後になりましたが、本研究を進める上で多くの方々、とりわけ末武透氏や中村州男氏などSDの面で、また、山影進先生[23]やゼミの諸先輩に多くの示唆やご協力を賜りましたので、感謝の意を表して結びと致します。

参考文献

- [1] J.W.フォレスト(児玉陽一訳)：ワールド・ダイナミクス，日本経営出版会，1972
- [2] D.&D.メドウズ，J.ランダース，W.W.ベアランズ三世(大来佐武郎監訳)：成長の限界，ダイヤモンド社，1972，1992
- [3] 池田誠，末武透：「SD/ST を使った文明の興亡の原因分析」，システム・ダイナミクス，システム・ダイナミクス学会日本支部 学会誌 No.5，p.107-117，2006
- [4] 池田誠：「環境学的マクロモデルのSDモデリングに関する研究」，システム・ダイナミクス，システム・ダイナミクス学会日本支部学会誌 No.5，p.97-106，2006
- [5] 池田誠，末武透，中村州男：「SD を使ったミレニアム・ゴール達成の考察」，「システム・ダイナミクス」，システム・ダイナミクス学会日本支部 学会誌 Vol.7，p.21-36，2008
- [6] 原俊彦：『情報考古学シリーズ 一先史時代ワールドモデルの構築一』，勉誠出版，2000
- [7] エプスタイン，アクステル(服部正太・木村香代子訳)：『人工社会』，構造計画研究所，1999
- [8] D. & D.メドウズ，J.ランダース(枝広淳子訳)：成長の限界 人類の選択，ダイヤモンド社，2005
- [9] W.ザックス(川村久美子・村井章子訳)：地球文明の未来学，新評論，2003
- [10] 梅原猛・伊藤俊太郎・安田善憲編集：講座[文明と環境]8 動物と文明，朝倉書店，2008
- [11] 安田善憲：気候と文明の盛衰，朝倉書店，1990
- [12] サミュエル・ハンチントン(鈴木主税訳)：文明の衝突，集英社，1998
- [13] 伊藤俊太郎編：比較文明学を学ぶ人のために，世界思想社，1997
- [14] 和田さゆり・詫間武俊・鈴木乙史・清水弘司・松井豊編：「特性論とビッグファイブ」シリーズ・人間と性格第1巻 性格の理論，ブレーン出版，p.69，2000
- [15] 無藤隆・森敏昭・遠藤由美・玉瀬耕治：心理学，有斐閣，2004
- [16] 森下伸也：社会学がわかる事典，日本実業出版社，2000
- [17] アンガス・マディソン(金森久雄監訳)：経済統計で見る世界経済2000年史，柏書房，p.408，p.411，2004
- [18] 宮崎正勝：早わかり世界史，日本実業出版社，2008
- [19] 湯浅赳夫：文明の人口史，新評論，1999
- [20] 伊藤俊太郎・安田善憲編集：講座[文明と環境]2 地球と文明の画期(新装版)，朝倉書店，2008
- [21] 国立社会保障・人口問題研究所：2000年のデータと国連統計，1920，<http://www.ipss.go.jp/syoushika/tohkei/Popular/>
- [22] 池田誠のホームページ <http://ikeda.rds.toyo.ac.jp/> または <http://www2.toyo.ac.jp/~mikeda/>
- [23] 山影進：人工社会構築指南 artisoc によるマルチエージェント・シミュレーション入門 書籍工房早山，2007