



SD/ST を使った文明の興亡の分析

SD/ST Model for Rises and Falls of Civilizations

池田 誠 (Makoto Ikeda)
東洋大学
iked@itakura.toyo.ac.jp

末武 透 (Toru Suetake)
KPMG 東京事務所
ts178051@yahoo.co.jp

Abstract: The reason of the rise and fall of civilizations such as Maya civilization are not clearly understand and many discussions are on going. However, by focusing on the relationship between resources such as forest and mechanism for increasing populations may provide a new perspective for this discussion. Human beings invent new technologies such as cultivation, making it possible to adapting to new environments with increased available of resources. We believe this is an important factor for the rise of civilization. Moreover, losing the balance caused by failing to adapt to environmental changes contributes to a declining civilization.

The use of SD/ST (System Dynamics/Systems Thinking) modeling has the potential for long-term simulation. We start by analyzing a combination of factors that may cause the rise and fall of civilizations with SD/ST models using these important characteristics. As an initial phase of this study, we pick up the disaster of Easter Island and considering the relation between the rise and fall of a civilization, as well as environmental conditions including "limit of growth" and "common tragedy".

キーワード：文明の興亡、イースター島の悲劇、成長の限界、資源共有の悲劇

要旨：ST/SD(Systems Thinking /System Dynamics)の大きな特徴として、長期間の状態の変化を表現できるモデルを構築し、長期的変化をシミュレーションできることが挙げられる。この特徴を生かし、マヤ文明など、その興亡が謎とされている文明の隆盛や衰退の条件を、人口増加と森林資源などの利用可能な資源の変化、新しい農耕技術などの技術発展による資源利用効率や利用可能な資源の変化の観点から、数世紀に渡るシミュレーションにより文明が興亡する際の条件の解明する研究を開始した。この研究開始に際し、比較的條件が限定されているイースター島文明の興亡を取り上げ、「成長の限界」と「資源共有の悲劇」の2条件と文明の興亡の関係を検討してみた。

1. 文明の興亡をどう捉えるか

古代メソポタミア文明、古代地中海文明、マヤ文明など人類の歴史に痕跡が残され、消滅した文明(注1)は多い。発掘調査などで、これらの文明の発達について徐々に明らかにされる一方で、その消滅の原因についてはまだそれほど明らかにはなっていない。一貫した歴史としての記録があるもの、例えば、中国文明などのように帝国という政治的体系にまで発展していったものでは、石器時代に続き、土器が現れ、農耕が現れ、都市国家から古代帝国となり、繁栄を誇るが、やがて弱体化し、周辺国から侵略され、滅びてしまうというパターンが多い。しかし、歴史を詳しく見てみると、周辺諸国からの侵略は常にあ

り、帝国が権勢を誇っていた時期にはこういった侵略は簡単に退けている。つまり、帝国の崩壊は、実は、帝国が弱体化した結果であって、周辺国からの侵略は、帝国のこの弱体化に止めを刺しただけであるとする見方ができよう。それでは、何故、帝国は弱体化するのであろうか？ これに対して、後継者争いなどの政治的な内紛がよく取り上げられている。しかし、もっと大きな原因や弱体化せざるを得ないメカニズムのようなものがあるのではないだろうか？ こういった疑問から、この研究を行うことになった。

つまり、ある環境に、ある人間の集団が適応し、新しい技術により環境に存在する資源を利用する上で効率のよいシステムを構築することに成功する。しかし、このシステムは、規模の経済を追求して成功したにも係わらず、成長しすぎると、成長の限界の壁にぶち当たり、それを打破できるだけの次の新しい技術革新ができないと、成功したそのシステムゆえに、かえって環境不適合を起す。これが古代文明の興亡と言われる現象ではないかと考えた。そして、このことを、森林資源などの古代文明が利用できた資源との関係でモデル化できないかと考えた。いわば、1970年代後半に、SD/STを広める原因ともなった、「成長の限界」のしくみが存在するのではないかと考えたわけである。従って、この研究では、「成長の限界」モデルをたたき台に、この「成長の限界」モデルで、上記の資源を有効に利用できる技術の出現による発達「成長の限界」によって発展

が止まり 衰退というプロセスが表現できるかに焦点を当てている。

2. これまでの文明の興亡に関する理論

これまでの、文明の興亡に関する説をわれわれなりに整理してみると、大まかに、表-1のように整理できるのではないかと考えられる。新技術論、環境論、戦争論など、それぞれ考古学的な裏付けとなる遺跡や発見物もあり、それぞれ説得力を持っている。また、トインビー(Toynbee, 1972)のように、環境に対する挑戦により文明が起き、環境変化に対する応戦により文明は維持され成長し、分裂により文明は

解体すると、人間の精神性を重視した考え方をする学者もいる。

しかしながら、われわれは、ここでは精神的なものを考えてはいない。また、単一の条件で文明が興亡するとも考えていない。そこには、物理的な興亡に至らせた要因があり、構造があると考え。そして、その構造は、地球規模、あるいはかなり広範囲に及ぶ変化を外部要因として、内部的な適応メカニズムがあると考え。

この考えに沿って、まず、外的要因から考えてみる。

表-1: 代表的な文明興亡の理由

区分	理由	例
(1)文明が栄えた理由		
新技術論	灌漑技術と集権による労働集約や専門化による技術集約	<ul style="list-style-type: none"> ・エジプトの古代文明は、ファラオへの集権による労働集約や灌漑技術により栄えた。 ・遊牧技術の完成により、放牧文明がユーラシアに広がった。 ・石炭、石油といった化石燃料が、科学革命により利用可能となり、西洋近代文明が栄えた。
環境論	気候変動などにより、活用できる資源が増えた。	<ul style="list-style-type: none"> ・西アジアでは、乾燥化により、小麦などの穀物生産できる草原地域が広がり、これが西アジア農耕文明成立のきっかけになった。
植民地論	先進的な文明を持った人間が、新しい開拓地に進出し、既存の文明として確立されたものを持ち込み、それをベースに新しい文明をスタートさせた	<ul style="list-style-type: none"> ・古代カンボジア王国は、インドからの植民地を中心に、古代インド文明をベースに発展した。
(2)文明が滅びた理由		
新技術論	新しい技術を持った民族に淘汰された。	<ul style="list-style-type: none"> ・農耕文化の弥生人により、狩猟生活に支えられていた縄文文化が駆逐された。 ・ヒッタイトは鉄により古代エジプトを征服した。
環境論	気候変動などの変動により、活用できる資源が枯渇。あるいは地震などの大自然災害で滅びた。	<ul style="list-style-type: none"> ・インダス文明(例えばドーラピーラー)は、ガッガル・ハークラー河の消滅により滅びた。また、楼蘭王国は砂漠化の進行により滅びた。 ・ミノア文明は、サントリニ火山爆発とそれにより引き起こされた大津波により滅んだ。
戦争論	敵対する民族や征服者の侵入を受け、滅ぼされた。あるいは、内乱で滅びた。	<ul style="list-style-type: none"> ・ジンギスカンの征服により、ミャンマーのバガン帝国は滅ぼされた。 ・インカ文明やアステカ文明は、スペイン人の征服者により破壊され、滅ぼされた。
疫病論	疫病による人口減で滅びた。	<ul style="list-style-type: none"> ・ジャマイカなどのカリブ海の島々にあったインディオ文明は、西欧人がもたらした天然痘により人口が激減し、奴隷として酷使したことと相まって先住民はほぼ全滅した。

(表は関連書籍を参考に筆者が作成)

2.1 外的要因

宇宙活動や太陽活動が変化し、その影響を受けて地球の自然環境が変動することは地球科学の分野ではよく知られていることである。まず、ミランコビッチ(Milankovitch)が発見した地球自転軸の歳差運動に伴う2.3万年、4万年、10万年の周期に同期した変動が見出される(Hays et al., 1976)。この地球時点軸の歳差運動に伴う変動に連動して、太陽輻射量が変動し、気候変動が起きていることが、海底堆積物に含まれる浮遊性有孔虫化石殻などの酸素同位体比変化によっても確かめられている。また、これ以外にも、ハインリッヒ周期やダンスガード周期、クライスバーグ周期、ヘール周期などが知られている。一番短い天体周期としては、約10年周期で起きる太陽黒点周期が知られている。そして、こういった周期が約700~800年で重なり合い、大きな波となっている。これまで知られている人類の文明の発生が、多くの場合、この時期に重なることが岸根(1990)、安田(1995)などから指摘されている。

例えば、安田(1995)によれば、BC8000~7500年頃は、完新世レジーム期となり、気候は急速に温暖化する。そして、この時期に、西アジアでは灌漑による大規模な農耕村落が出現し、神殿を核とする農耕社会が生まれている。東アジアでは、揚子江下流域の河母渡遺跡、中流域の崩頭山遺跡などでの稲作文化が発生している。伊藤(1995)はこの時期を農業革命と特徴付けている。また、西田(1992)は、日本でも、対馬暖流の流入が強まり、本格的な縄文文化が成立したとしている。

次の波のBC5500~5000年頃、気候は高温期から寒冷期に突入し、気候の砂漠化により、ステップ地帯で牧畜を主体に生活していた人々が、水を求めて大河のほとりに集中し、先住の農耕民との異文化接触により、エジプト文明、メソポタミア文明、インダス文明などの初期の都市文明が発生する。

そして、BC3000~2500年には、地球の気候は再び寒冷化し、ミケーネ文明やヒッタイト帝国が弱体化

の後、崩壊し、地中海世界をはじめとするユーラシア大陸は民族移動の波に飲まれる。この動乱の中でのヒッタイト帝国の崩壊により鉄器製造技術が拡散し、鉄器時代が始まる。BC4000年ころの古代エジプト文明の発生も含め、この時期を、伊藤(1995)は、都市革命と特徴付けている。

そして、AD1500~1800年頃には小氷期と呼ばれる寒冷期に突入し、欧州ではルネサンスと宗教革命が起き、17世紀の科学革命を核とする西洋近代文明が成立する。伊藤(1995)が科学革命と呼ぶ時期である。

もちろん、この文明周期説には反論はあるものの、安田(1995)、小泉(1995)などは、このように、地球規模のリズムから気候変動が生まれ、文明の興亡の周期性に影響を与えていると考えている。このことは、言い換えるならば、気候変動などの環境変化に対し優位性を持つ技術や生活スタイルなどを発明し、新しい環境変化に適応したのが、いわゆる文明の成立であると考えられる。

2.2 内的要因

次に、文明を支える内部メカニズムを考えてみよう。基本的には、文明は人間の活動による生成物であり、人間は、資源、特に食料となる資源を利用して生活を維持し、さらに生殖により人口増加を図ると考える。従って、資源が豊富であれば、人口が増加し、人口増加に伴い増えた人間の活動量に比例して文明が発展すると想定する。しかしながら、資源は有限であり、また、状況によっては、利用できなくなったりする。さらに、資源の利用効率を考える必要もある。

まず、気候が温暖化することは、一般的に、食物として利用できる資源が増加することと考えられる。地球が温暖化する時期に、西アジアの農耕文明などの古代文明が発生していることから、このことが裏付けられる。逆に、同じ様式で生活を営む限り、寒冷化すると食物として利用できる資源が減少し、人口減少が発生する。この際に、新しい技術が発明され、利用されると、有限の資源を有効利用できるよ

注1)「文明：ぶんめい、civilization」は、三省堂大辞林の定義では、「(1)文字をもち、交通網が発達し、都市化がすすみ、国家的政治体制のもとで経済状態・技術水準などが高度化した文化をさす。例：「オリエントの」。(2)人知がもたらした技術的・物質的所産。例：「の利器」。」のように定義されている。しかし、ここでは、厳密に(1)の定義、例えば文字の有無には拘らず、もっと広く、かつ曖昧に、人知が集約され、高度化された状態と定義している。もちろん、「文化、culture」の定義である「(1)社会を構成する人々によって習得・共有・伝達される行動様式ないし生活様式の総体。言語・習俗・道徳・宗教、種々の制度などはその具体例。文化相対主義においては、それぞれの人間集団は個別の文化をもち、個別文化はそれぞれ独自の価値をもっており、その間に高低・優劣の差はないとされる。カルチャー。(2)学問・芸術・宗教・道徳など、主として精神的活動から生み出されたもの。」とは区別して使っているつもりである。縄文文化、弥生文化など、「文化」とされているものも、文字こそ存在しなかったものの、技術水準が高度化し、プリミティブではあるが、一応、「文明」と見なせる状態であったと解釈している。イースター島などの「文化」についても同じように、ここでは「文明」とみなしている。

うになる、もしくは、新しい資源が利用できるようになり、新しい文明が発生する。

労働集約や専門分化により農耕生産性を高めたとされるエジプト文明、産業革命により、化石燃料という新しい利用可能な資源を活用することで近代文明を打ち立てることに成功した西洋近代文明は、いずれも寒冷化する時期に成立している。逆に、従来の様式で文明を維持しようとして、環境変化への適応に失敗すれば、ミケーネ文明やヒッタイト文明のように、どのように有利な地理的条件や技術的要件を備えていても滅び去ってしまう。

つまり、「気候変動などの外部変動 資源量と技術によりもたらされる利用可能な資源 それにより持続的に維持できる人口 戦争（民族移動も含む）などの外部変動」（ は影響を示す）という図式の中で、いかに人口を持続可能せしめるか、でモデル化できると考える。

こうして、ある環境に適応し、人口が安定し、増加していくと、さらなる食料確保の需要が起きる。ここで、農業化以降のことを考えると、食料増産のために開拓を行い、この農耕地の拡大を、農耕地の後背地となる森林から農耕地への転換という形で行ってきた。このことは、ヨーロッパが、ローマ時代には豊かな森で覆われていたのが、中世を通じてヨーロッパの森がほぼ開拓されつくしたことで、その間の人口増加で説明される。さらに、メソポタミア文明が、トルコやヨルダンの豊かな森林資源の搾取により成立し、その森林資源の消滅による砂漠化により文明のさらなる拡大がストップしたという考察からも裏付けられる。

森林の急激な減少は、表土流出による耕地の生産量減少や耕作地減少を招き、沼地の拡大などによる疫病の蔓延をもたらす。このような変動による文明の滅亡が、イースター島の悲劇の原因と考える学説もあり、また、古代ギリシャなどでこの現象が多発したと考えられる（安田、1996、松尾、2001）。

さらに、内部要因を詳しく見てみる。人口の増加と集中、すなわち都市文明化は、工業技術の進展を促し、例えば、農耕用鉄器の生産が農地拡大のみならず、農産物の生産性向上をもたらす。農産物の量の増大は、養える人口を増やし、さらに農地拡大や農業生産性、工業生産性を高める。また、商業（流通を含む）の発達をもたらす、この増大をさらに急速化させる。

しかしながら、森林資源を含む資源として、ある文明が確保できる量には限界がある。これは、地球規模の気候変動による資源の量及び質の変化だけではなく、敵対勢力により資源が奪われることも含まれる。さらには、これが連鎖的に発生することがあ

る。民族移動はまさにこの例であったと考えられる。

いずれにしろ、やはり外部からの変動を受け、「農業生産の向上 人口増加」というしくみを維持できなくなったことが文明の亡滅と考えられる。

3 . SD/ST モデル例

SD での関心は、環境や Forrester (1973), Meadows et al (1974, 1992) に代表される World Model の中心課題である人類の未来のように、環境や未来、開発にあり、過去の文明の興亡に焦点を当てた SD モデルを活用した研究は少ない。その中で、Coyle (2000) が Hosler et al. 1997 を元にしたマヤ文明の消滅に関するモデルを紹介している。また、原(1995)が、「先史時代ワールド・モデル」を発表していることが注目される。また、Dianna Fisher (CLE, 1992) が米国中等教育での SD 教材として開発した、イースター島の人口モデルがある。

Coyle の紹介している Hosler のモデルは、マヤ文明で、貴族が記念的建造物を建設しようとする要因が食料生産とのバランスを失わせ、マヤ文明が滅んだという仮説を、シミュレーションにより証明しようとしたものである。

また、原のモデルは、先史時代、狩猟採集文化から農耕文化に変遷していく中で人口増加の様相を中心にシミュレーションで解明したものである。

これらの研究は、文明の興亡という観点に焦点が当てられているわけではない。しかし、文明の興亡に関するストーリーがあること、人口を中心に文明の興亡を見ることの有効性について示唆を得られた点が、本研究の参考となっている。

3 . 1 コンセプト・モデル

図-1 に今回のわれわれのコンセプト・モデルを示した。3つのセクターから成るモデルとして考えている。1つは、人口に焦点を合わせたもので、ここでは「人口セクター」と称している。2番目のセクターは、富に焦点を合わせたもので、人間の活動から富が生まれ、その富が人口増加や富の増加を生み、商業活動や工業活動も係ってくる。ここでは、これを「文明セクター」と呼んでいる。そして、最後の第3番目のセクターは「森林と農耕地セクター」である。ここでは、農耕地の増減を中心に、それを森林がサポートしている。

まず「人口セクター」については、利用できる資源が十分存在する状況では、人間は増殖し、人口が増加すると仮定している。これは生物に備わっている基本的な特徴であると考えている。しかし、飢餓や疫病、戦争などで人口は減少する。われわれが採択しているモデル構造は、SD で最も良く研究されている人口モデルと同じ構造である。ただ、原(1995)

て、確率的ではあるが、勝利すれば耕作地の増加により「富」が増える。一方、負ければ耕作地が減少する。一種の攪乱要因として扱われている。また、宗教やモニュメントといった、経済活動をそれほど活性化させない活動にも「富」は消費されると考えた。厳密には、雇用効果があるので、「富」のストック形成に貢献し、また、技術を高め、工業活動や商業活動の生産性向上にも貢献するなどさまざまな影響があるのだが、ここでは無視している。

最後の「森林と農耕地セクター」では、「農耕地」と「森林」という2つのストックで構成させる構造となっている。「農耕地」は開拓により増加する。一方、砂漠化により減少する。戦争による農耕地の獲得や損失も、ある文明が利用できる農耕地の量に影響する。戦争などを原因とする人口減少による耕作地放棄も農耕地の減少に繋がる。このうち一部は森林化し、森林を増加させる。森林は、植林などで増加する部分もあるが、気候変動での温暖化が一番大きな増加原因と考えられる。逆に寒冷化で森林面積が減少する。また、開拓によっても森林面積が減少する。森林ストックが極めて大きい場合、森林ストックから耕作地ストックに耕作地が供給されるので、長期的には、耕作地は増え続ける。少なくとも、今まではこのメカニズムが可能であったのだが、現在問題になっているのは、耕作地の増加に限界があるということで、Meadowsらの「成長の限界(1972)」で明確にされたこともこのことであった。

4. 何がSD/STモデルによる解析で可能か？

4.1 イースター島のモデル

コンセプト・モデルを使った本格的な文明モデルは、池田の今後の研究を待つことにし、モデル化の端緒とするために、森林と文明の関係を、閉鎖系で、かつ事件が比較的新しく、データがある程度分かっていることから、イースター島をモデル化し、4.2で述べる、「資源共有の悲劇」と「成長の限界」注2)のシステム類型を適用し、「成長の限界」の存在するシステム環境で、「資源共有の悲劇」から戦争などのコンフリクトが発生し、それがどう「成長の限界」の到達条件や平衡化条件に影響するかの解明に繋げてみることにした。

この図-2に示したモデルは図-1に示したコンセプト・モデルをさらに単純化したものとなっている。特に、図-1の「文明セクター」の部分大幅に単純化し、人間の活動が、文化というストックであるアトラクターとして増減するとした。従って、工業活動、商業活動、「富」などの概念は全て上記の文化というアトラクターとして集約した。「人口セクター」でも、「飢餓」、「疫病」、「移民」などの要素は全て省略した。「森林と農耕地セクター」に関しても、「気候温暖化」や「気候寒冷化」、「砂漠化」などの要素は省略し、資源制約のある森林として集約した。

本研究発表は、図-1に示した本格的な文明モデルの構築着手前に予備的に分析するために行ったものであり、これまで述べてきたような形でモデルを極限までコンパクト化し、システムの基本的な振る舞いを把握したものであることを最初に断っておきたい。

4.2 イースター島の歴史

イースター島の悲劇と呼ばれる、この島の文明破壊の歴史については、いろんな文献で紹介されている。ここでは、オルリアックの「イースター島の謎」(1995)のp134-135の考古学年表を元に、湯浅(1995)等で補強しつつ、表2のようにまとめた。

この、いわゆるイースター島の悲劇と呼ばれる歴史を取り上げ、「図-2：単純化した環境と文明モデル」に示したコンセプト・モデルを構築した。このモデルは、先の図1に示したコンセプト・モデルの中での「文明セクター」での、余剰食糧が富という形に変換され、工業や商業を生み出し、生み出された工業や商業が富を介して自己増殖し、さらには人口増加や食料増加を強化するループを単純化し、文化はモニュメント(この場合はアモイ像や祭事域の整備)を生み出し、それが一種のアトラクターになり、生殖や食料の余分な獲得に有効に働くというように変えた。同じコンセプトは、マヤのモデルでも採択されている。また、コンフリクト関係も単純化し、食料が不足するとコンフリクトが発生し、文明が破壊されるとした。

注2) 資源共有の悲劇(tragedy of common)は、活用資源が共有化されている環境で、資源活用に関するコントロールが適切に機能しない場合、資源が急速に枯渇し、再生できない破壊的な状況になるシステム類型を言う。また、成長の限界は、成長に資源の制約があるため、成長を続けていけなくなるシステム類型を言う。デニス・メドーズ他による同名の著書で有名になったが、本論文では書籍の「成長の限界」とシステム類型の「成長の限界」は特に区別してはしない。

表-2：イースター島の悲劇

年代	事項
古代：西暦 400-1000(?)年	
5 世紀頃 -	第 2 波 (多分) の移民：ポリネシア系人が、イースター島に定住を開始。島民の先祖は紀元後 400 年ごろに、東南アジアから太平洋に広がったポリネシア人で、伝説では、ホツ・マツア王と 6 人の王子に率いられた 50 人が、双胴のカヌーで孤島に辿りついた。この時代、島は、現在は見られない椰子の木を含む鬱蒼とした森に囲まれていたことが、Flenley 他、イースター島でのボーリングによる堆積物採取と、花粉分析地層に残る花粉の調査によって明らかにされている (湯浅 1995、p.68)。島民は、定住後、海岸部の森から開墾を行なった。
7 世紀頃 - 開墾期：	樹木の花粉が減少し、代わってイネ科などの草の花粉が増加し始め、また、炭片も増加していることから、森が切り開かれ、耕作地になっていったことが分かる。また、この頃からモアイが作られ始めている。
中期：西暦 1000-1680(?)年	
10-11 世紀頃 - 繁栄期：	このころ、島は最盛期を迎え、少なく見積もって 6,000~8,000 人、たぶん、1~2 万人の人口に膨れ上がったと想定されている。
後期：西暦 1680-1722 年	
17 世紀頃 -	モアイ文明の消滅期：繁栄を極めていた文明は、この頃こつぜん崩壊する。その背景には、人口の増加と森林の破壊による土壌浸食、木材の不足、調理用の燃料不足、船を作る木の不足、17 世紀の寒冷期の影響による不作があったと思われる。許容量を超えた人口により食糧危機に直面し、食料をめぐる部族間の抗争 (ハウナ・モモコとハウナ・エエベの抗争) が発生し、戦乱で倒した敵をたんぱく源にする食人習慣などもこの抗争と飢餓の状況の中で生まれたと思われる。もし、まだ十分な木材があり、船を作ることができれば、島からの脱出も可能だったかも知れない。また、もっと他の島が距離的に近ければ、同じく脱出が可能だったかも知れない。
原史期 + 歴史期：西暦 1722 年 -	
1772 年 -	オランダのジェイコブ・ロゲヴィーン提督の船が島を訪れた。この時、島民は一時期の半数以下の 3,000 人ほどに減少していた。家をつくることもできなく洞窟に住み、衣類の材料に髪の毛を使うほど島内の資源は枯渇していた。
19 世紀 -	1862 年 12 月、ペルーから奴隷船が訪れ、1,000 人をさらう。この際、人口の 1/3 が殺されるか連れ去られ、老人と子供しか島には残らなかったと言われる。タヒチの司教、テパノ・ジョッサンの働きかけを受け、15 人がその後島に戻るが、天然痘と結核を持ち込み、この疫病の蔓延で、島民はわずか 111 人になってしまったという。
1888 年 -	島はチリによって併合。

(表はオルリアック及び湯浅の著書を基に筆者が整理したもの)

4.3 資源共有の悲劇と成長の限界

図-2 のモデルを使って 2 つのことをシミュレーションしてみた。基本的には閉鎖系であるので、成長の限界モデルとなっている。従って、これまでの World 3 モデルを使った研究等で良く知られていることであるが、「成長の限界」(森林が耕作地として開拓されつくされてしまうと、耕作地は、肥料に

よる生産力回復手段がないので、一方的に土地の生産性は減少し、生産資源が枯渇する)に達し、人口は減少に転じていく。仮に、モデルに存在するコンフリクトが無くとも、人口は飽和に達し、減少していく(「図3:コンフリクトが存在しない場合の人口、文明ストック、死亡率と1人当たり食料」参照)。

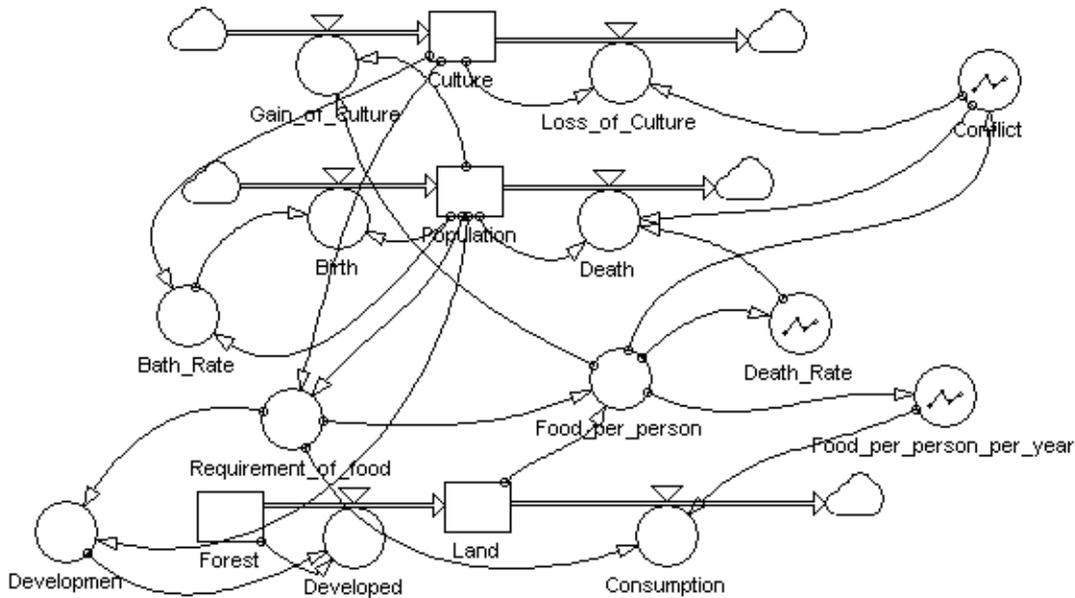
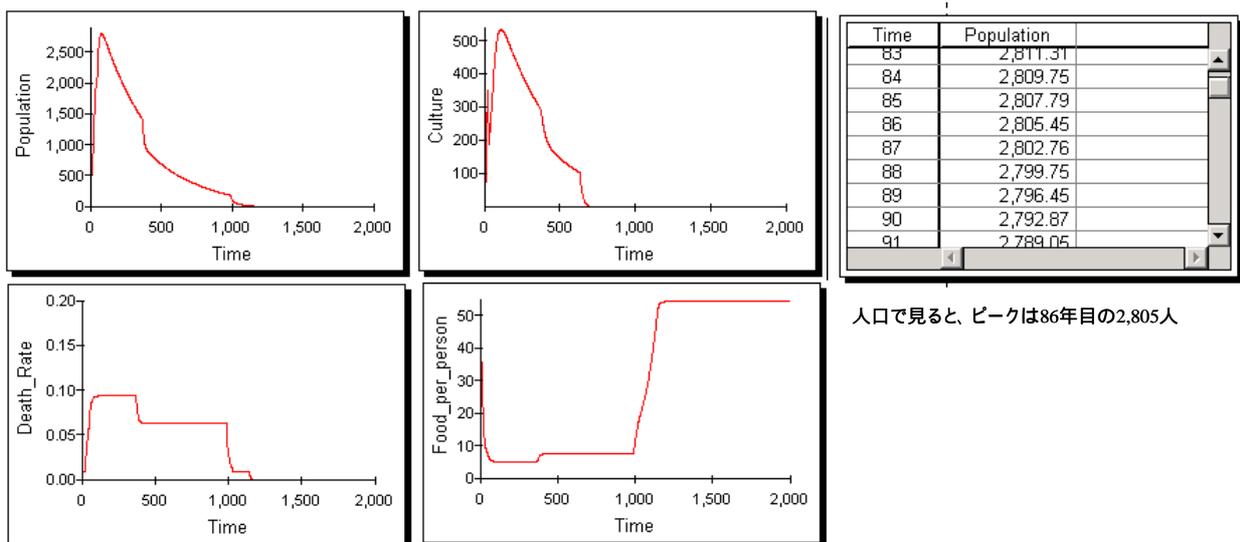


図2：単純化した環境と文明モデル

このモデル上で、コンフリクト、すなわち、部族間戦争が食料危機の状況により発生し、危機が迫れば迫るほど拡大化し、破壊も大きくなるというシナリオでシミュレーションを行うと、争いが「資源共有の悲劇」を招き、「成長の限界」に達する時間が早まる(このモデルでは時期が約 15 年早まり、最大人口も半分以下になる)ということが確かめられる。ここでは、文明は、モアイ像を作り、先祖崇拜の祭事場を整備することで、それが、アトラクターとなって、婚姻率が上がり、結果として人口増加が早まるとしている。また、人口増加とアトラクターであ

る文明の大きさがパワーとなり、開拓速度が向上し、食料が枯渇した際の食料分配要求力が大きくなるとしている。しかし、食料枯渇によりコンフリクトが発生し、戦争になった場合、勝敗は五分五分である。興味深いことに、戦争で人口が減少すると、一時的ではあるが、食料が豊かになり、結果として、また人口が増え、かくして人口は、急激に回復するので鋸波状になる。もちろん、全体としては資源もそして人口も減少している（「図4：コンフリクトが存在する場合の人口、文明ストック、死亡率と1人当たり食料」参照）。



人口で見ると、ピークは86年目の2,805人

図3：コンフリクトが存在しない場合の人口、文明ストック、死亡率と1人当たり食料（人口の単位は人、時間の単位は年）

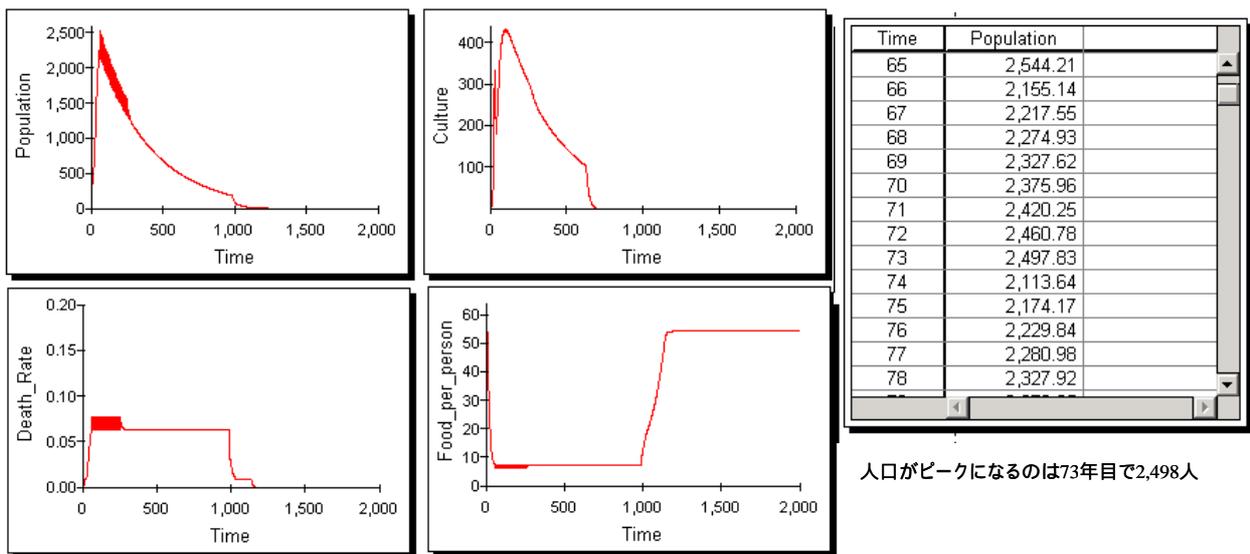


図4：コンフリクトが存在する場合の人口、文明ストック、死亡率と1人当たり食料（人口の単位は人、時間の単位は年）

この危機的状況を改善するには、基本的には成長の限界の制約から逃れるために、森林から耕地への開拓率をどこかで凍結する、あるいは人口増加に見合った適切な森林の再生産を行えばいい。あるいは、人口増加のメカニズムを抑えてしまえばいいことは言うまでもない。上記のモデルに再生のフローを追加することや人口抑制のフローを追加することで簡単にこのことを確かめられる。

4.4 モデルからの結論

先のイースター島をモデルとした資源と文明のモデルでのシミュレーションから、以下のことが確かめられた。

- ・コンフリクトは、明確な形で「資源共有の悲劇」を引き起こし、「成長の限界」に達する時期を早める。
 - 逆に、「成長の限界」となるシステムであっても、コンフリクトよりは平和共存の方が成長の限界に達するまでの時間を長らしめることができる。
 - ・戦争による人口減少は、一時的ではあるが、資源枯渇を回避させる。
- しかしながら、直ぐに人口は増加に転じ、成長の限界の構造が改善されていない限り、一時的な改善で終わり、人口は減少していく。つまり、戦争による解決は、短期的には効果があるが、長期的には何も状況を変えることができない。

5. 今後の研究展開

これまで、文明の興亡に関する説として、新技術論、環境論、戦争論など、それぞれ考古学的な裏付けとなる遺跡や発見物もあり、説得力もある学説が唱えられてきた。

近年、特に、環境変化と利用可能な資源、特に森林資源との関係が注目されてきている。そこで、森林資源と文明の興亡の関係を中心にSDモデルによる解明を行った。

われわれの研究は文明の興亡を資源獲得の関係で説明しようとしたものであり、今回はイースター島を取り上げ、解明を試みた。しかしながら、もっと長期的に、また、もっと多くの文明のモデル化を行い、検討すべきであることは言うまでもない。

筆者の1人である池田は、STとSDの中間に「イメージ・ダイナミクス」とでも呼ぶべきモデリングの領域が存在すると考えている。「イメージ・モデリング」は、全てのデータが、完全に揃わなければモデリングが開始できない訳でもなく、終了できない訳でもないという単純な事実からの発想したものである。すなわち、STでのモデルから、分かっているデータはきちんと設定し、分かっていないデータは論理的推論により想定し、SDのモデル化を行う。このようなモデル分析の方向に沿って時代を3区分して考える。

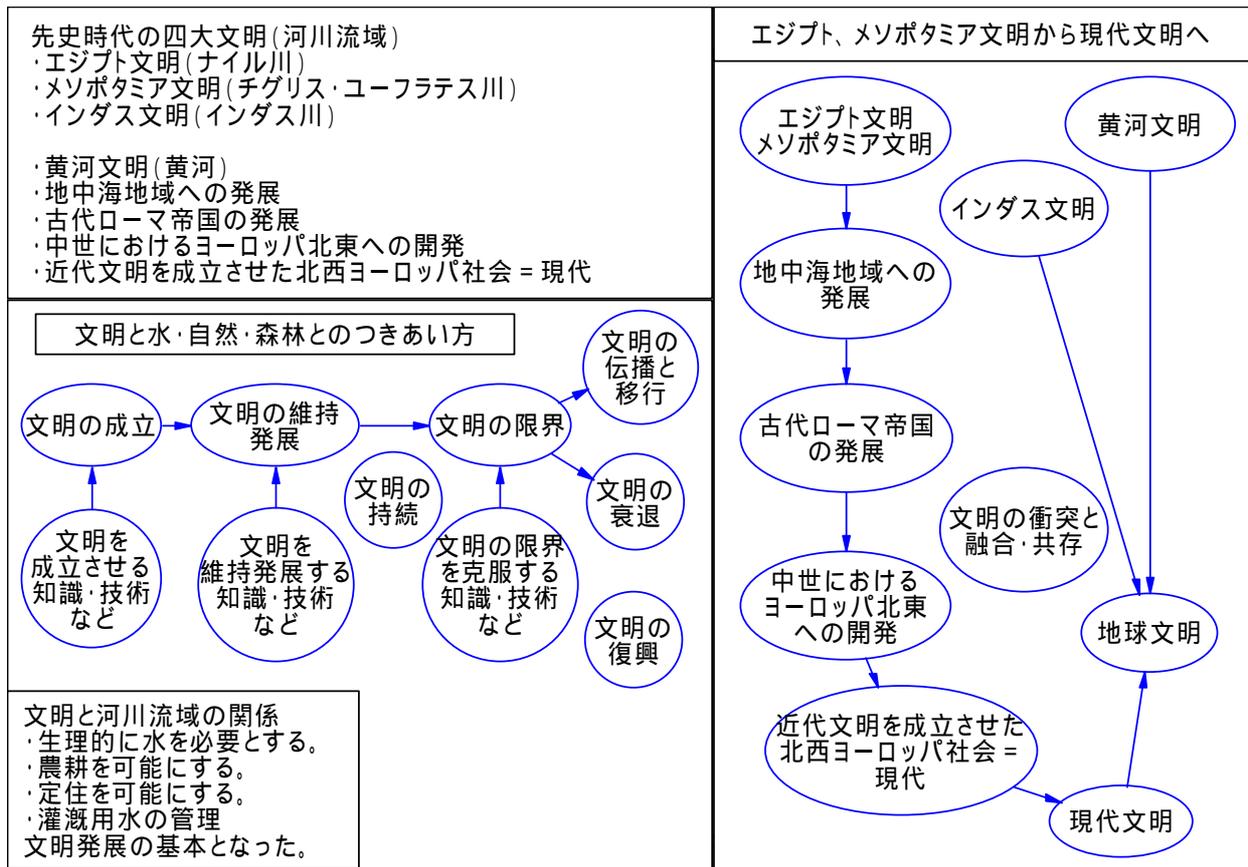


図-5：古代から中世の文明の興亡

- A. 古代文明と森林の収奪
- (1)古代オリエントとレバノン杉
 - (2)地中海性気候とローマ帝国
- B. 中世のヨーロッパ社会の変化と環境破壊
- (1)北ヨーロッパ社会の成立
 - (2)ペストのヨーロッパ
 - (3)ヨーロッパの少ない自然
 - (4)ドイツの森の利用法
 - (5)江戸時代の日本の森林
 - (6)飽和するヨーロッパからのスピアウトとアメリカ大陸
- C. 近代ヨーロッパにおける産業革命と環境問題
- (1)産業革命と都市の環境問題
 - (2)汚染源としての石炭

すなわち、この順に、コンセプト・モデルを使いながら個別の条件に合わせたモデル化を行い、特に森林と文明の関係性に焦点を合わせつつ、文明の興亡の原因と条件をさらに詳しく考察したいと考えてい

る。例えば、上記のAからBは図-5のように、BからCは図-6のようなモデル・コンセプトを考えている。

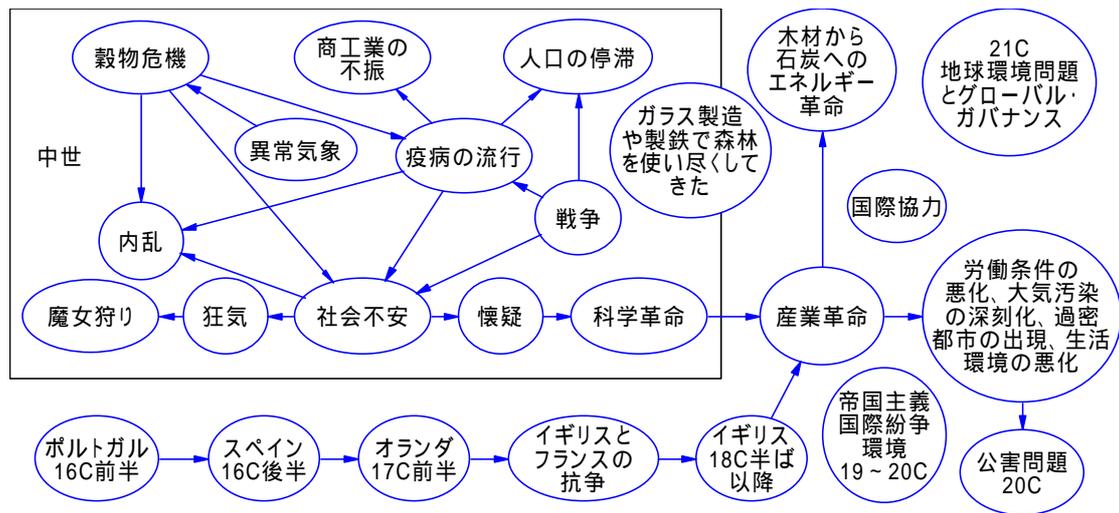


図-6：中世から現代までの文明の興亡

参考文献

- [1] 石 弘之、「環境と文明の世界史～人類存亡の鍵をめぐる“時空”の冒険」東北電力市民参加ゼミナール「環境と文明の世界史～人類存亡の鍵をめぐる“時空”の冒険」、2002
- [2] 伊藤俊太郎、「文明の画期と環境変動」、講座：文明と環境、第2巻：地球と文明の画期、2-9p、朝倉書房、1996
- [3] オルリアック他、猪熊兼勝監訳、「イースター島の謎」、知の再発見双書52、創元社、1995
- [4] 岸根卓朗、「文明論 - 文明興亡の法則 - 」234p、東洋経済新報社、1990
- [5] 小泉 格、「地球環境と文明の周期性」、講座：文明と環境、第1巻：地球と文明の周期、1-2p、朝倉書房、1995
- [6] 西田正規、縄文の生態史観、UP考古学選書13、128p、東京大学出版会、1992
- [7] 原 俊彦、「先史時代ワールドモデル Prehistorical World Model Ver.96-02」、文部省科学研究補助金重点領域研究「人文科学とコンピュータ」、1995年度報告書
- [8] メドウズ他、「成長の限界」。ダイヤモンド社、1972。原書は *The Limit of Growth*, by D.L. Meadows et al, Universe Books, 1972
- [9] 安田喜憲、「森と文明の物語」、ちくま新書、1987
- [10] 安田喜憲、「地球のリズムと文明の周期性」、講座：文明と環境、第1巻：地球と文明の周期、250-254p、朝倉書房、1995
- [11] 安田喜憲、「森と文明」、講座：文明と環境、第9巻：森と文明、12-15p、朝倉書房、1996a
- [12] 安田喜憲、「地中海文明の興亡と森林破壊」、講座：文明と環境、第9巻：森と文明、30-45p、朝倉書房、1996b
- [13] 松尾友矩、「環境学」、岩波書店、2001
- [14] 湯浅浩史、「イースター島巨石文化の衰亡と森林破壊 - そして、モアイは歩かなくなった」、講座：文明と環境、第9巻：森と文明、62-72p、朝倉書房、1996
- [15] Coyle, G., : *Qualitative and quantitative modeling in system dynamics: some research questions*, SDR V16. N3, 229p, John Wiley and Sons, 2000
- [16] Emiliani, C. : *Pleistocene temperatures*. J. Geol. 63, 538-575, 1955
- [17] Fisher, Diana M., *Easter Island Population Model*, CLE, 1992、未武訳「イースター島の人口モデル」JSD 共有ライブラリー
- [18] Forrester, J. W., : *World Dynamics* Second Ed., Wright-Allen, 1973
- [19] Hays, J.D., Imbrie, J. and Shackleton, B.J. : *Variations in the Earth's orbit: pacemaker of the ice ages*. Science, 194, 1121-1132, 1976.
- [20] Meadows, D.H. and Meadows, D. L., Randers, J., : *Beyond the Limits*, Chelsea Green Publishing Company, USA, 1992
- [21] Meadows, D.H. and Meadows, D. L., Randers, J., et al. : *Dynamics of Growth in a Finite World*, Wright-Allen Press, USA, 1974
- [22] Milankovitch, M. : *Kanon der Erdbestrahlung und seine Anwendung auf das Eiszeitenproblem*. 633p, Koniglich Serbische Akademie, Bergrad, 1941.
- [23] Toynbee, A. J., : *A Study of History*, Oxford University Press, 1972