

「マルチエージェントモデルによる国際政治秩序変動の研究」ワーキングペーパー  
帝国システムの消長と主権国家システムの生成：マルチエージェント・シミュレーションによる挑戦

光辻克馬（東京大学特任研究員）

1. 問題意識

Bremer and Mihalka [1977] を皮切りにして国家間関係についての多くのシミュレーションモデルが構築されてきた<sup>1</sup>。これらの研究は、勢力均衡の過程に焦点をあてつつ知見を導きだしてきた。一方で、あくまで主権国家間関係の存在を前提にしたモデルとなっており、系の状態は無数の独立主体があるか、中数の独立主体があるか、少数の独立主体があるか、1つの独立主体があるかといったごく狭い範囲で変化するものであった。その点で、国際関係を対外的独立性と対内的最高性を特徴とする独立主体の競争的併存状況としてのみとらえる国際関係論の伝統的なパラダイムに極めて忠実なものであった。

国家間関係は必ずしも主権国家間関係に限られてきたわけではない。ヨーロッパの諸国家を中核として形成されてきた近代国際体系においても、歴史的に見ればその領域の過半は宗主国と従属国のあいだの関係に覆われてきたのであり、主権国家関係のみが系を独占してきたというにはほど遠い状況にある<sup>2</sup>。近代国際体系の国家間関係を規定してきた国際法の世界においても様々な国家のありかたが認められてきた<sup>3</sup>。20世紀後半には、主権国家間関係が地球全体を覆うにいたったが、それでも自治国家や連邦国家は無数にといいほど存在している。主権国家に始まり主権国家に終わるというモデルだけでは、明らかに射程が足りないのである。

このような国家間関係のモデル化のありかたに一石を投じたのが、アクセルロッドの朝

---

<sup>1</sup> [Cusack and Stoll 1990] [壇野、田中 1992] [Cederman 1997]

<sup>2</sup> [光辻 2000]

<sup>3</sup> [Oppenheim 1905]

\* 本稿は、日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究 (A) 「マルチエージェントモデルによる国際政治秩序変動の研究」 (課題番号20243011代表 山影進) による研究成果の一部である。

貢モデル (Tribute Model) である<sup>4</sup>。アクセルロッドの朝貢モデルは、系を構成している「国家」のあいだはコミットメントと呼ばれる変数で表現されており可変となっている。コミットメントが高まれば2つの成員は連動して行動するようになり、1つの「国家」であると評価できるような側面が生まれる。げんにアクセルロッドは「一つの主体が生まれた」と主張している。その主張は言い過ぎであると思うが、国家間関係についての別の表現方法を提示した興味深いモデルである<sup>5</sup>。一方で、アクセルロッドの朝貢モデルにおけるコミットメントは国家間で必ず同じ値を持つように作られている。せつかく可変の国家間関係を描けるような概念を用意しながら、やはりその射程は非常に狭いものとなっているという大きな限界を持っていた。

コミットメントは、さまざまな概念的な内容を含んだものであった。よく言えば包括的なものであるともいえるが、逆にいうと何とでも解釈できるあいまいな概念であった。本稿では、成員間の関係を「共感性」という概念を軸にして再構成するところから始めてみたい。成員がほかの成員と行動を共にしようとしている度合いがこの共感性という概念である。成員間の関係は必ずしも対称的である必要はなく、むしろ非対称であることが自然である。コミットメントと異なり、共感性は成員間で非対称的な関係をもつ。実際国家間の関係に非対称性をもちこむとそこには無数のパターンが生まれてくる。2つの国家間の関係が「相互独立」「支配従属」「相互依存」の3状態と考えてみよう。相互独立は互いに独立性 (independent) を保ち依存しあわない状態、支配従属は、片方はもう片方から独立性を保っているが片方は従属 (dependent) した状態、相互依存 (interdependent) はお互いがお互いに従属 (dependent) した状態にあることを意味する。国家間関係が以上の3つの状態をもつと考え、3つの国家からなる系を想定してみる。このように極めて少ないレパートリー (3状態) を持たせた極めて少ない数の国家 (3つの国家) を想定しただけでも国家間関係のもちうるパターンは12種類におよび、従来の国家間関係のモデルが想定していない関係がそこには生じうるのである。国家間関係のとりうる可能性は、他の政治主体間の関係と同様に極めて広い。(図1) そのなかで歴史的に出現したさまざまなパターンの国家間関係がどのように自己組織化するのか、このような問題意識をもって、一般的な国家間関係を検討するためのモデルである Generic States System Model<sup>2</sup> (以下では GSSM<sup>2</sup>) を構築してみたいと思う<sup>6</sup>。

国家 (エージェント) の行動ルールについても、アクセルロッド自身が認めているとお

---

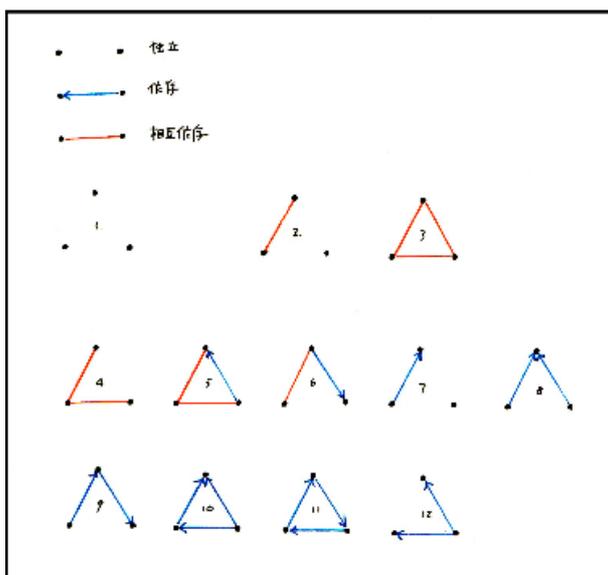
<sup>4</sup> [Axelrod 1995]

<sup>5</sup> この点について [Cederman 2005] 参照のこと。

<sup>6</sup> これまで同様の問題意識で GSSM を発表してきたが、今回もう一度モデルの基本的な部分から作成しなおしている。考え方もかなり変更しているので GSSM<sup>2</sup> と名付ける。

り7、あまりに一般化を放棄したモデル化が為されており、そこからどういう知見を引き出すべきなのかが難しいモデルであった。GSSM2 では一般化を想定し、さまざまな状況に適用可能なかたちでモデルを構築する。

図 1



## 2. モデルの説明

GSSM2 は「成員」となづけられたエージェントで構成されている。本モデルはひとまずのところ、家族内関係にはじまり、さまざまな組織間の一般的な政治的關係も射程におさめたかたちで構築される。夫婦間、友人間、議員間、政党間、企業間、組織間、そして国家間に働いている政治的關係一般をあらわすものとして構築されている。モデル内での「成員」はそれぞれの系における基礎的な政治単位をあらわすことになる。以下の説明でも、分かり易さのために家族関係や友人関係が例として登場させることもある。

本モデルの適用を想定している国家間関係においては、「成員」は基礎的な領域単位をあらわすことになる。前節で述べた問題意識から明らかなように、国際共同体を構成している主権国家を表しているわけではない。大小を問わず、国家になりうるような領域単位

7 「このモデルが現実的であるとか極めて一般的なものだとは主張しない」 [Axelrod 1997: 122] としている。

が GSSM2 の成員となる。極端な例を挙げれば、領域面積が 50 km<sup>2</sup> で人口 50 人の南太平洋のイギリスの海外領土、ピトケアンも GSSM2 の成員である。

成員は「資源 (R)」と「共感性 (r)」という基本的な変数をもつ。「資源 (R)」は成員間対立においてそれぞれの成員が動員できるさまざまな資源量を表している。モデルでは簡略化のため 1 つの実数で表すことができるものとする。「共感性 (r)」は成員がほかの成員に対して同調する程度を表しており、0 以上 1 以下の実数で与えられる。 $r_{ij}=1$  という関係は成員  $i$  が成員  $j$  の選択に必ず同調することを意味し、 $r_{ij}=0$  という関係は成員  $i$  が成員  $j$  の選択に全く同調せず独立した意思決定をすることを意味している。 $r_{ij}$  と  $r_{ji}$  は独立した値をもつので、 $r_{ij}=r_{ji}$  は必ずしも成立しない。また  $r_{ii}$  は必ず 1 の値をもつものとする。

成員のもつ 2 つの基本的な変数とは別に、系は「交流量 (T)」という基本的な変数をもつ。交流量 (T) は成員間の関係の緊密度を表す変数である。協調が必要とされる程度を表し、国際関係の文脈では相互依存の度合いを表す。T も 0 以上 1 以下の実数で与えられ、 $T_{ij}=1$  という関係は、成員  $i$  と成員  $j$  が必ず協調することが求められるくらい緊密な関係にあることを意味し、 $T_{ij}=0$  という関係は、成員  $i$  と成員  $j$  が協調することが全く求められないくらい疎遠な関係にあることを意味している。人間関係でいえば、家族間の T は非常に高く、あかの他人同士は T が非常に低いことになる。 $T_{ij}=T_{ji}$  は必ず成立する。

モデルのもつ基本的な変数は以上の「資源 (R)」「共感性 (r)」および「交流量 (T)」の 3 種類である。以下において、成員間の政治的な関係を表すためにさまざまな値が導出されるが、すべてこの 3 つの変数から導かれている点に注意してほしい。また確認しておくとして「資源 (R)」はそれぞれの成員がそれぞれ独立した値をもち、「共感性 (r)」はそれぞれの成員がそれぞれの成員に対して独立した値を持っている。そして「交流量 (T)」は成員の対それぞれが独立した値を持っている。

まず成員間対立における力関係をあらわすための「権力」を導出する。成員  $i$  の成員  $j$  に対する権力  $P_{ij}$  は、<成員  $j$  が成員  $i$  に対して動員できる資源>に対する<成員  $i$  が成員  $j$  に対して動員できる資源>の比として定義される。成員  $i$  が成員  $j$  に対して動員できる資源は、自分自身の資源  $R_i$  に加えて、成員  $j$  をのぞく他の成員が同調し提供してくれる資源によって生じる。他の成員  $x$  が同調してくれる程度は基本的に  $r_{xi}$  によって表されているが、潜在的な対立相手である  $j$  に対する「気遣い」も考慮にいれなければならない。実際に他の成員  $x$  が成員  $j$  との対立において成員  $i$  の行動に同調してくれる程度は、 $r_{xi} \cdot \{r_{xi}/(r_{xi}+r_{xj})\}$  となる。 $\{r_{xi}/(r_{xi}+r_{xj})\}$  の部分が対立相手に対する「気遣い」である。成員  $x$  が対立相手  $j$  に対して気遣いの必要のない関係 ( $r_{xj}=0$ ) であつたら  $r_{xi}$  そのままの値に従い同調してくれることになる。成員  $x$  と対立相手  $j$  の関係が成員  $i$  との関係と同程度に親しい関係 ( $r_{xi}=r_{xj}$ ) であつたら、成員  $x$  が成員  $j$  との対立において同調してくれる程度は半分とな

る。この「気遣い」もふくめた同調を自分自身の資源に合わせて、＜成員 i が成員 j との争いにおいて動員できる資源 (R<sub>i,j</sub>)＞は、

$$R_{i,j} = R_i + \sum_{x(\text{except } j)} r_{xi} * R_x \quad (x \text{ に } j \text{ は含まれない}) \quad (1)$$

この＜成員 i が成員 j との争いにおいて動員できる資源 (R<sub>i,j</sub>)＞をもちいて、＜成員 i の成員 j に対する権力 (P<sub>ij</sub>)＞も表すことができる。

$$P_{ij} = R_{i,j} / R_{j,i} \quad (2)$$

同様に＜成員 j の成員 i に対する権力 (P<sub>ji</sub>)＞は、 $P_{ji} = R_{j,i} / R_{i,j}$  で表され、

$$P_{ij} = \frac{1}{P_{ji}} \quad (3)$$

の関係が成立する。成員 i のもつ権力はその相手が誰であるかによって異なる値をもつことを確認しておきたい。対立相手の資源を動員することができないことに加え、第三者が同調してくれるかどうかは、その第三者が対立相手とどのような関係を持っているかにも大きく左右されるからである。

つぎに、成員 i と成員 j の「協調性 (C<sub>ij</sub>)」を導出する。「協調性」とは成員 i が成員 j に同調することによって、もしくは成員 j が成員 i に同調することによって、両者が協調できる程度を表している。成員のどちらかが同調すれば協調は成立する。さらにこの関係は成員 i と成員 j の間の権力関係によって補正される。少し唐突だが、成員 i と成員 j の「協調性 (C<sub>ij</sub>)」は、

$$C_{ij} = 1 - (1 - r_{ij})^{P_{ji}} (1 - r_{ji})^{P_{ij}} \quad (4)$$

で表すことができる。 $(1 - r_{ij})^{P_{ji}}$  は成員 i が成員 j に同調しない程度を表す。成員 i の成員 j に対する共感性 (r<sub>ij</sub>) が 1 ならば (=必ず同調するならば) その値は 0 となり、逆に共感性 (r<sub>ij</sub>) が 0 ならば (=全く同調しないならば) その値は 1 となる。一方で成員 j が成員 i に対してもつ権力による補正がおこなわれる。共感性が低くても自分に対して強い権力をもつ相手に対して成員は同調する傾向があり、自分に対して弱い権力を持たない相手に対して成員は同調しない傾向があるのである。例えば、成員 i の成員 j に対する共感性が 0.5 であったとしても、成員 j の成員 i に対する権力が 2 あるいは 3 であったなら同調しない程度はそれぞれ 0.25、0.125 と下がるし、成員 j の成員 i に対する権力が 1/2 あるいは 1/3 であったなら同調しない程度はそれぞれ 0.707、0.794 に上昇することになる。どちらかが同調すれば協調関係は成立することから、協調性は上記の式(4)で表されることになる。

2 人の成員のあいだの権力関係も考慮した共感性 (同調性) というものを導出することもできる。成員 i の成員 j に対する同調性 ( $r_{ij}^{\text{PowerWeighted}}$ ) は、

$$r_{ij}^{PowerWeighted} = 1 - (1 - r_{ij})^{P_{ji}} \quad (5)$$

で表される。これを用いて成員 i と成員 j のあいだの協調性を考えると、

$$C_{ij} = 1 - (1 - r_{ij}^{PowerWeighted}) (1 - r_{ji}^{PowerWeighted}) \quad (6)$$

となるが、 $r^{PowerWeighted}$  に上記の式(5)を代入すると、さきほど導出された式(4)と同値となることが分かる。

そこそこいりくんだ式になってしまったが、政治的な相互作用をあらわすための最小限のものになっていると思う。本モデルでは、一組の成員の対（組み合わせ）がランダムに選ばれる。交流量（ $T_{ij}$ ）はその成員間で協調性が必要とされる程度を表し、協調性（ $C_{ij}$ ）は成員間の協調性を表している。 $T_{ij}$  と  $C_{ij}$  の差はその関係が持っている「不自然さ」と考えることができる。交流量のほうが大きいということは、2人の成員の関係が許容する以上の協調が必要とされ、成員にさらなる同調が求められている状態を意味している。協調性のほうが高いということは、2人は必要以上に協調し、それに見合う関係の緊密さを得ていない状態を意味している。

$$E_{ij} = |T_{ij} - C_{ij}| \quad (7)$$

さきほど述べたようにある成員対がランダムに選ばれると、系はその関係にある「不自然さ」を解消するようふるまうものとする。具体的には現在の状態を少しだけ変化させた新たな状態を発生させ、新たな状態を遷移する候補とする。つぎに現在の状態における「不自然さ（ $E_{ij}$ ）」と新たな状態候補の「不自然さ（ $E'_{ij}$ ）」を比較する。 $E_{ij} - E'_{ij}$  が負であれば、現状のほうがより「不自然さ」が少ないものとして、系の遷移は起こらない。 $E_{ij} - E'_{ij}$  が正であれば 0 から 1 までの一様乱数を発生させ、その値が  $E_{ij} - E'_{ij}$  未満であれば、新たな状態へと系は遷移する。少々乱暴ではあるが、 $E_{ij} - E'_{ij}$  の値を強度として遷移していく確率過程として系の遷移を表現した。T も C も 0 から 1 のあいだの実数値をとることから、E や  $E - E'$  も 0 から 1 のあいだの実数値となる。系の遷移の可否が決まると次の成員の対がふたたびランダムに選ばれ、この処理を繰り返すことにする。

新たな系の状態候補は、選ばれた成員対の「不自然さ」を決めている基本的な変数である「交流量」や「共感性」のなかからランダムに候補を選び出し、その値を微小に変化させることによって生じさせることとする。乱数はゼロを中心として正負に対象な確率分布のなかから選ぶので、選ばれた変数の値は上昇する可能性もあるが下降する可能性も同等にもつ。モデルのふるまいについてのルールは以上となる。

### 3. どのようなメカニズムが働くか？：「不自然さ」の解消法

GSSM2 は形式的には、系がより「不自然さ」の少ない状態へと確率的に遷移していくモデルとなっている。成員がどのような意思決定をし、その意思決定の相互作用からどのような結果が導かれるかという過程については捨象している。成員の意思決定やその相互作用の結果からより「不自然さ」の少ない状態へと系が変化していくのである。本節ではモデルのふるまいをよりよく理解するために、それぞれの変数の変化がもつ意味について成員の視点から説明する。以下の説明では  $T_{ij} - C_{ij}$  が正であった場合、つまり成員間の交流量が成員間の協調性を上回っており、許容範囲を越えて協調が求められている状態を例として説明する。

最も分かりやすい「不自然さ」の解消方法は  $T_{ij}$  を下げてしまうことである。交流量を下げ、関係を疎遠にしてしまうことによって、協調すること自体を不要にしてしまい、許容範囲を越えた同調を求められないようにしてしまうことは、成員にとって合理的な選択肢といえるだろう。人間関係のなかでも気の合わない友人と距離をおいたり、うまくいかなかった夫婦が別居を選択したりすることはしばしば見られる選択である。国家間関係について言えば、ほかの政治単位との交流を制限したり禁止したりすることにより、不要な摩擦をさける政策は、歴史的にも今日的にも普遍的に見られるものである。歴史的には、明や徳川幕府など東アジアの諸帝国が選択した海禁政策や鎖国政策がその最たるものということになるだろうし、今日でも国家は国境管理によって交流量を制御している。

「不自然さ」を解消するための 2 番目の方法は<sup>8</sup>、選ばれた成員の対のうちのどちらかの成員の共感性を上げることにより協調性のほうを上昇させるという方法である。片方の成員がもう片方の成員に同調する傾向を高めることにより、成員間の協調性は上昇するので、より高い交流量より強い緊密さを許容できるようになる。この選択肢は共感性を高めた成員の立場からすると、相手に合わせるあるいは相手に従うことを意味し、共感性が高められた成員の立場からすると、相手に合わせさせたあるいは相手を従えたことを意味する。どちらの成員が共感性を上昇させても成員間の協調性は上昇するが、権力の小さな成員が共感性を高めたほうが協調性はより大きく上昇するので、より大きく「不自然さ」を解消することになる。そのため起こりやすい遷移となっている。(表 1、特に a の部分)

「不自然さ」を解消するための 3 番目の方法は、選ばれた成員のあいだの権力関係を変化させることによりやはり協調性を上昇させるという方法である。お互いの共感性に変化がなくても、両者の権力が変化するだけでも、協調性は変化する。共感性の値によっては必ずしも当てはまらないが、傾向として権力が不均衡になればなるほど成員間の協調性は高まる傾向にある。お互いの権力は逆数の関係にあるので(式 (3) 参照)、どちらかの権

---

<sup>8</sup> 以下の説明では表 1 を参照してほしい。

力が上昇すればもう片方の権力は下降することになり、多くの場合協調性が上昇する。(表 1、特に **b** の部分) 当てはまらないのはお互いの共感性に大きな差があった場合である。2人の成員間に片思いの関係があるときは、想っている人の権力が上昇すること(つまり想われている人の権力が下降すること)は却って協調性を下降させることがある。これもさらに権力の不均衡がすすめば、やはり権力の不均衡が進めば進むほど成員間の協調性は上

表 1. 共感性、権力および協調性の関係

Pab	T <sub>ab</sub>	P <sub>ba</sub>	T <sub>ba</sub>	1-(1-T <sub>ab</sub> ) <sup>ˆ</sup> P <sub>ba</sub>	1-(1-T <sub>ba</sub> ) <sup>ˆ</sup> P <sub>ab</sub>	1-(1-T <sub>ab</sub> ) <sup>ˆ</sup> P <sub>ba</sub> (1-T <sub>ba</sub> ) <sup>ˆ</sup> P <sub>ab</sub>
AのBに対する権力		BのAに対する権力		AのBに対する同調性		BのAに対する同調性
AのBに対する共感性		BのAに対する共感性		AB間の協調性		
a	1	1	0.5	0.5	0.5	0.75
a	1	1	0.5	0.7	0.5	0.85
a	1	1	0.5	0.9	0.5	0.95
a	2	0.5	0.5	0.292893219	0.75	0.823223305
a	2	0.5	0.5	0.452277442	0.75	0.863069361
a	2	0.5	0.6	0.683772234	0.84	0.949403557
a	2	0.5	0.7	0.292893219	0.91	0.93636039
a	2	0.5	0.9	0.292893219	0.99	0.992928932
b	1	1	0.5	0.5	0.5	0.75
b	2	0.5	0.5	0.292893219	0.75	0.823223305
b	3	0.333333333	0.5	0.206299474	0.875	0.900787434
b	10	0.1	0.5	0.066967008	0.999023438	0.999088835
c	10	0.1	0.2	0.148660077	0.892625818	0.908588072
c	6	0.166666667	0.2	0.235275509	0.737856	0.799532063
c	5	0.2	0.2	0.275220336	0.67232	0.7625042
c	4	0.25	0.2	0.331259695	0.5904	0.726083971
c	3	0.333333333	0.2	0.415196452	0.488	0.700580584
c	2	0.5	0.2	0.552786405	0.36	0.713783299
c	1	1	0.2	0.8	0.2	0.84
c	0.8	1.25	0.2	0.866251939	0.163488358	0.88811819
c	0.6	1.666666667	0.2	0.931600962	0.125310341	0.940172069
c	0.4	2.5	0.2	0.982111456	0.085389896	0.983638957
c	0.2	5	0.2	0.99968	0.0436475	0.999693967
c	0.1	10	0.2	0.999998988	0.022067231	0.9999999

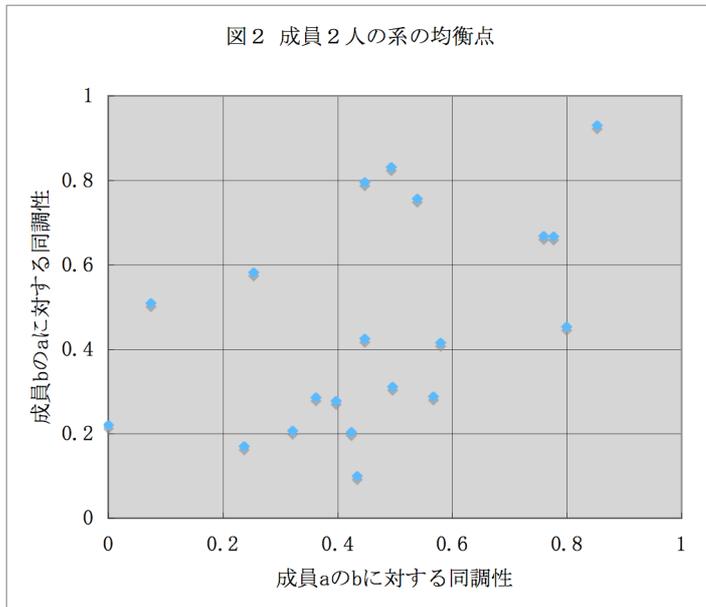
昇する。(表 1、特に c の部分)

権力を上昇あるいは下降させるためには、いくつかの方法が考えられる。最も無理なく想定できるのは、取り上げられた 2 人の成員への他の第三者の成員の持っている共感性が変動することにより、2 人の成員の権力が変動するというものである。ほかの第三者の成員が 2 人の成員に対して持っている共感性が上昇あるいは下降すれば、それに対応して成員の動員できる資源の量は変動し、権力関係も変化することになる。もっとも端的に 2 人の成員自身の資源を上昇させることにより、あるいは資源を減らすことによっても 2 人の成員の権力関係は変動することになる。

こうして検討してみると明らかであるが、系が「不自然さ」が解消させる過程に、成員が選ぶさまざまな選択とその結果が表されていることが分かると思う。とくに、国家間関係のモデルとして考えたとき、国家間の交流を断ったり制約したりすることにより、あるいは逆に譲歩するあるいはさせることにより、あるいは外交によって（さらには富国強兵や戦争による相手資源の破壊によって）権力関係を変動させることなどが「不自然さ」の解消となっているのである。一方で、GSSM2 のモデルは「不自然さ」を減らす方向には変動するが、「不自然さ」が増える方向にはいっさい変化しないという点で、やや現実性に欠けている。これは作り出した系がどのような性質を持っているかをまずは探るための接近方法と理解していただきたい。

#### 4. 系のふるまいをみる：2 人の成員からなる世界

さて以上のようなルールに従って、系が確率的にその状態を遷移させたとき、どのようなふるまいが見られるだろうか。基本的な系のふるまいを把握するために、成員が 2 人の系について見てみる。2 人の成員のみで構成される系では第三者というものが存在しないために、お互いの持っている資源がそのまま、対立関係において動員できる資源を意味し、相手の資源に対する自分の資源の比がそのまま相手への権力となる点に特徴がある。まずは、お互いが同量の資源 1 をもっているときに系がどのようにふるまうかを見てみる。共感性や交流量の初期値はいずれも乱数を発生させて与え 20 回の試行をおこなった。最終的に成員間の関係が動かなくなったところでシミュレーションの試行を停止させ、2 人の成員の関係がどうなったのかを見てみた。成員間の関係については同調性（権力で補正された協調性）を見てみる。(図 2)



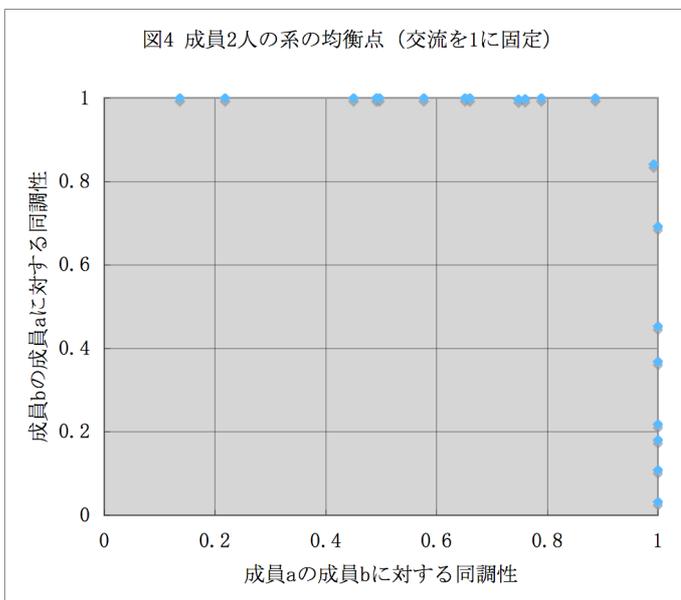
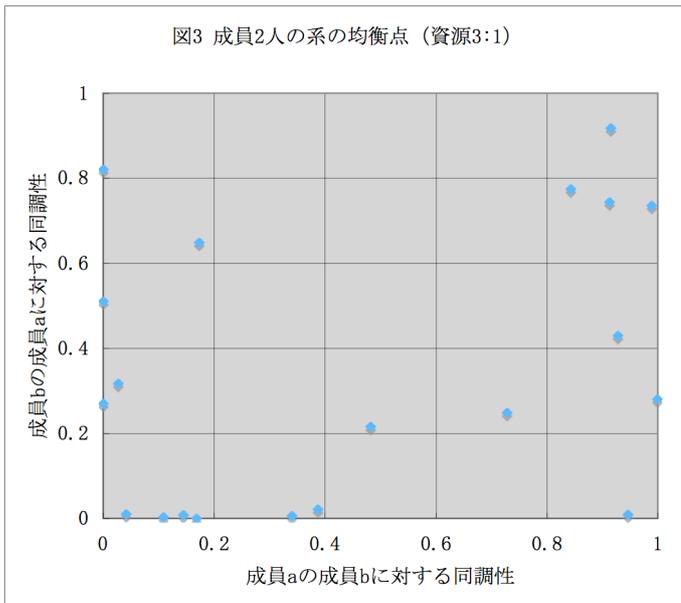
結果としては「さまざまな関係が生まれた」とでも評価するくらいしかできないほど、さまざまな関係に落ち着くことになった。図には表示できていないが、最終的な交流もさまざまな値をとっている。お互いに高い同調性をもつにいたった成員間では高い交流が維持されている。例えば (0.93, 0.85) の同調性をもった成員間では 0.99 の交流が維持された。一方でお互いの同調性を減少させる成員組もあり、例えば (0, 0.22) の同調性をもつにいたった成員組の交流は 0.22 となった。

次に資源の不均衡がどのような影響を与えるのかをみるために、2人の成員が異なる資源を持っていた場合を見てみよう。さきほど述べたように2人の成員のみの系では、資源の不均衡はそのまま権力の不均衡になっている。そのほかの条件は全く同じでやはり20回の試行を行った。(図3)

結果としては、資源が均等に配分されているときよりはるかに明確なかたちで、お互いに同調性を高め交流を高め合う成員組と、逆にお互いの同調性を低下させ交流を減少させてしまう成員組に別れてしまう結果となった。最終的に成員組が維持した交流の平均値は 0.65 で資源が均等に配分されたときの結果 (0.68) とあまり変わらない。そのなかで非常に高い組と低い組に別れたわけである。

さらに成員の選択肢の幅が系のふるまいにどのような影響を与えるのかをみるために、成員間の交流量は1のまま不変で、成員に交流量を増減させる選択肢がない場合の系のふるまいを見てみよう。お互いの資源や共感性はやはりランダムに与えて20回の試行をおこなった。密室のように緊密な関係が強要される系、たとえば常に協調することが求められる極めて近い隣国との関係や密度の濃い家族関係などを想定していただきたい。(図4)

結果としては、どちらかがどちらかに完全に同調する関係が生まれることになった。一方的な従属関係が生まれていることもあれば、お互いがお互いに対して同調性をもつ関係を生み出していることもあるが、交流 1 を（無理矢理）維持させれば、どちらか片方の成員の完全なる従属が必要であることがわかる。

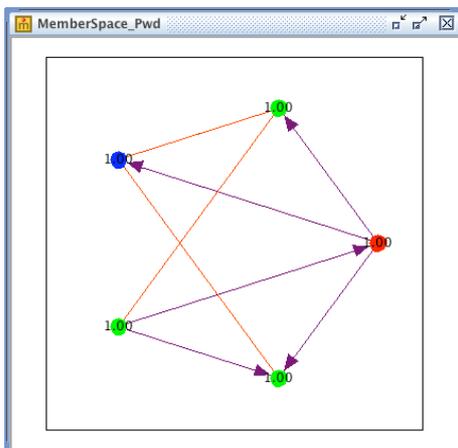
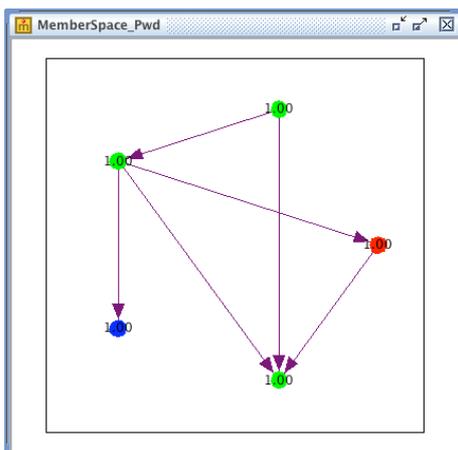


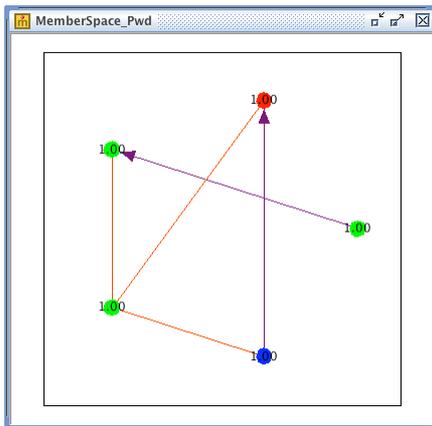
## 5. 多人数からなる系

GSSM2 では系を基本的にランダムウォークさせるだけなので、系のなかの成員はさまざまなやりかたで系の不自然さを解消させていると解釈することができ、結果として多種多様な関係が生み出される。成員が 2 人の系でそのことがいえることをこれまで見てきた。多人数の系でも成員がさまざまな関係を形成することを見るために、5 人の系でどのようなことが起こるかを見てみることにする。

5 人の成員で構成される系で、お互いの成員のあいだでもつ共感性はランダムに与え、全ての成員が 1 の資源量をもつものとする。お互いのあいだの交流もランダムに設定して系にふるまわせてみよう。結果として成員間にはさまざまな関係が形成されることになる(図 5)。そこには決まったパターンがあるとはみえず、図 1 で示したような政治主体間の関係のさまざまな理論的な可能性がそのままのかたちで現れている。

図 5





## 6. 国家間関係のモデルへ

これまで GSSM2 は国家間関係に限らず、個人から組織一般までさまざまな主体間の政治的関係にあてはまるものとしてモデルを構築してきた。ここからは国家間関係に特有の性質をいれてみる。国家間関係は、他の政治主体間の関係に比べ、主体のもつ資源が非常に不平等である。極めて資源量の大きな国家から極めて資源の小さな国家までが国際体系のなかには存在する。現在の国際関係の正式の構成員とされる主権国家に限っても、人口 10 億人を超える国家から数千人に過ぎない国家までが存在し、領域が 1000 万 km<sup>2</sup> を超える国家から 1 km<sup>2</sup> に満たない国家までが存在する。そして国内生産も 10 兆ドルを超える国家から 1 億ドルに過ぎない国家までが存在する。ホブズが「自然は人びとを、心身の諸能力において平等につくった<sup>9)</sup>」といった個々人の関係とは全く異なり、国家の保有している資源のあいだには非常に大きな格差がある。GSSM2 では、個々の成員に資源を持たせるので、成員に不平等な資源を持たせたときにどのような関係が生まれるのかをしてみることにしよう。

国家間関係のもうひとつの特徴は、その関係が地政学的に非常に固定的であるという点である。国家あるいは領域単位は、個人や組織と異なり、その隣人を変更することはほぼ不可能である。それら隣人との交流はある程度制限することはできるにしても、完全に断つことは難しい。現状の GSSM2 には、交流が自生するルールなどは組み込まれていないので、さまざまな地政学的なネットワークの形状に濃密な交流が初期状態として存在するときに、そこにどのような国家間関係が生まれるのかというふうに見てみることにしよう。

以下においては 10 人の成員で構成される系で、さまざまな資源分布、さまざまな交流ネ

<sup>9)</sup> [ホブズ 1954: 207]

ネットワークの形状を与えた場合、どのような国家間関係が形成されるかをみてみることにする。成員間には最初非常に低い共感性 (=0.1) しか存在しないものとし、そこからどのような国家間関係が生成されるのかをみてみる。

まず試してみたのは、非常に高密度の交流が存在するネットワークでどのようなことが起こるかである。全ての成員間に 0.9 の交流が存在し高い緊密性が必要とされる系にはどのような国家間関係が生まれるだろうか。結果として、成員間に上下関係のネットワークが生じることになる。形成される上下関係はさほど単純なものではなく、図 6 に示されるように、最上位に 2 つの成員が位置するような階層関係もしばしば登場することになる。

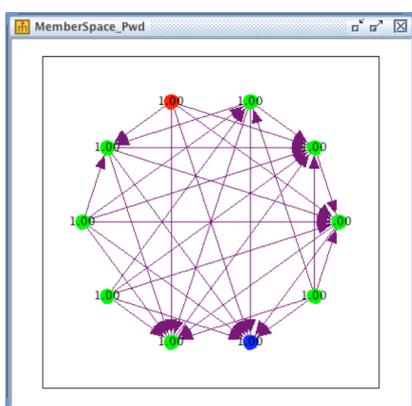


図 6

つぎに試してみたのは、その高密度のネットワークで成員が不平等な資源を持ったとしたらどのような国家間関係が生まれるだろうか、というものである。結果として、完全とまではいえないが、最上位の成員から最下位の成員まで非常にきれいな階層関係がそこには生じることになる。

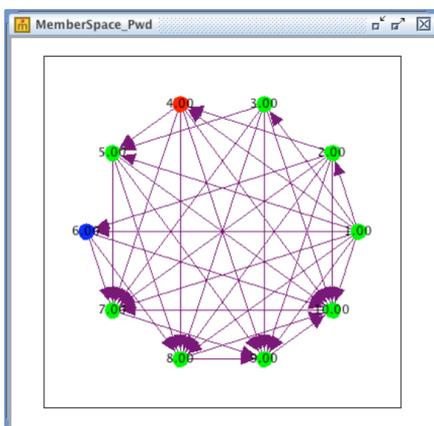


図 7

すべての成員がすべての成員とつながっているというのは、国家間関係としては一般的で

あるとは言えない。必ず地理的に近い関係と地理的に遠い関係が存在する。その性質をいれるために、両側 2 つの成員とのあいだにだけ高い交流をもつネットワークを想定してみる。このような地理的性質をネットワークに持たせたとき、どのような国家間関係が生まれるだろうか。結果として、地理的に近接した成員を従えた小さなボスが多数生じることになる。ボスが複数の成員を従えるという階層システムを作るだけでなく、複数のボスに従う両属性をもつ成員もそこには登場する。

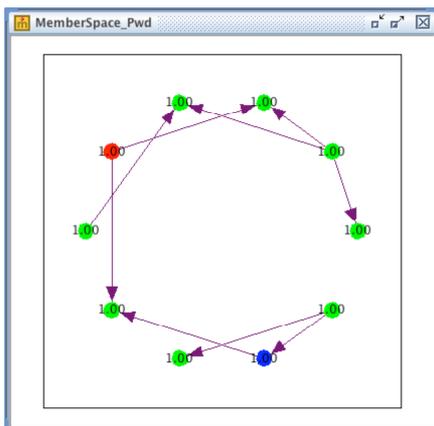


図 8

さらに上記のような両側 2 つの成員とのあいだにだけ高い交流をもつネットワークで成員が不平等な資源をもったとしたら、そこにはどのような関係が生まれるだろうか。10 人の成員のうち 2 人の成員にのみ、高い資源 (5) を与えてみた。これまでの実験から予測されるように、結果として高い資源をもつ成員を中心に (ボスとして) 階層システムが形成されることになった。一方で、その 2 人のボスの間に位置する成員は両方の階層システムに従う両属関係を形成することになった。

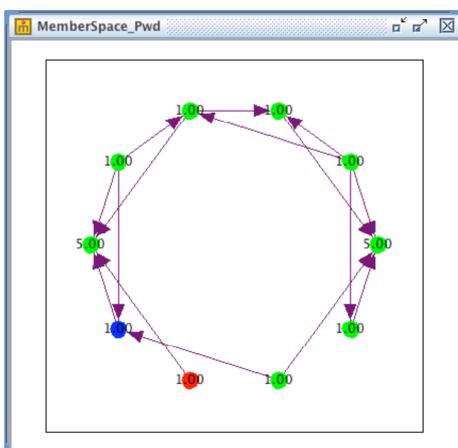


図 9

これまで試した 2 種類のネットワークの形状は、いずれも成員のもつネットワークにおける特性は平等であった。次のネットワークでは、ネットワークに中心性の高い 1 つの成員とその他の成員という関係性を持ち込んでみよう。いわゆる「ハブとスポーク」といわれる関係で、ひとつの成員（ハブ）はその他全ての成員とつながっているが、それ以外の成員はその中心成員とだけしかつながっていないという形状のネットワークである。このような形状のネットワークではどのような国家間関係が形成されるだろうか。結果は、ハブに位置する成員を中心にしたきれいな帝国システムが形成される。ハブ&スポークの交流ネットワークからハブ&スポークの国家間関係が生成されたことになり、一見当たり前にようではあるが、実はかなり興味深い結果といえる。それぞれのスポーク関係は互いに高い交流があり、何らかのかたちで 2 者のあいだで協調関係が形成されなければならない。多くの場合それはどちらかがどちらかに合わせる形で形成されるが、ハブ側の成員に反対側の成員が合わせる必然性があるわけではなく、これまでのさまざまな実験で見てきたように、成員が自由に関係を形成しうるのである。さらに成員のもつ資源は 1 で平等であり、決してハブに存在する成員が他の成員に対して何か優位にたつ要因を持っているわけではない。ハブに存在する成員がもつ唯一の優位性はハブに存在するという一点だけである。その優位性だけで、非常に綺麗な帝国システムを形成したことはとても興味深い結果なのである。

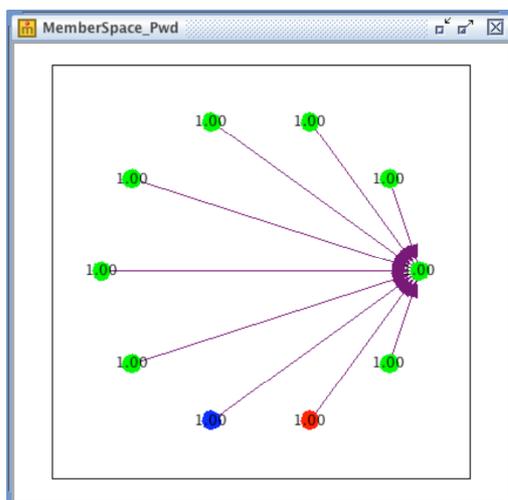
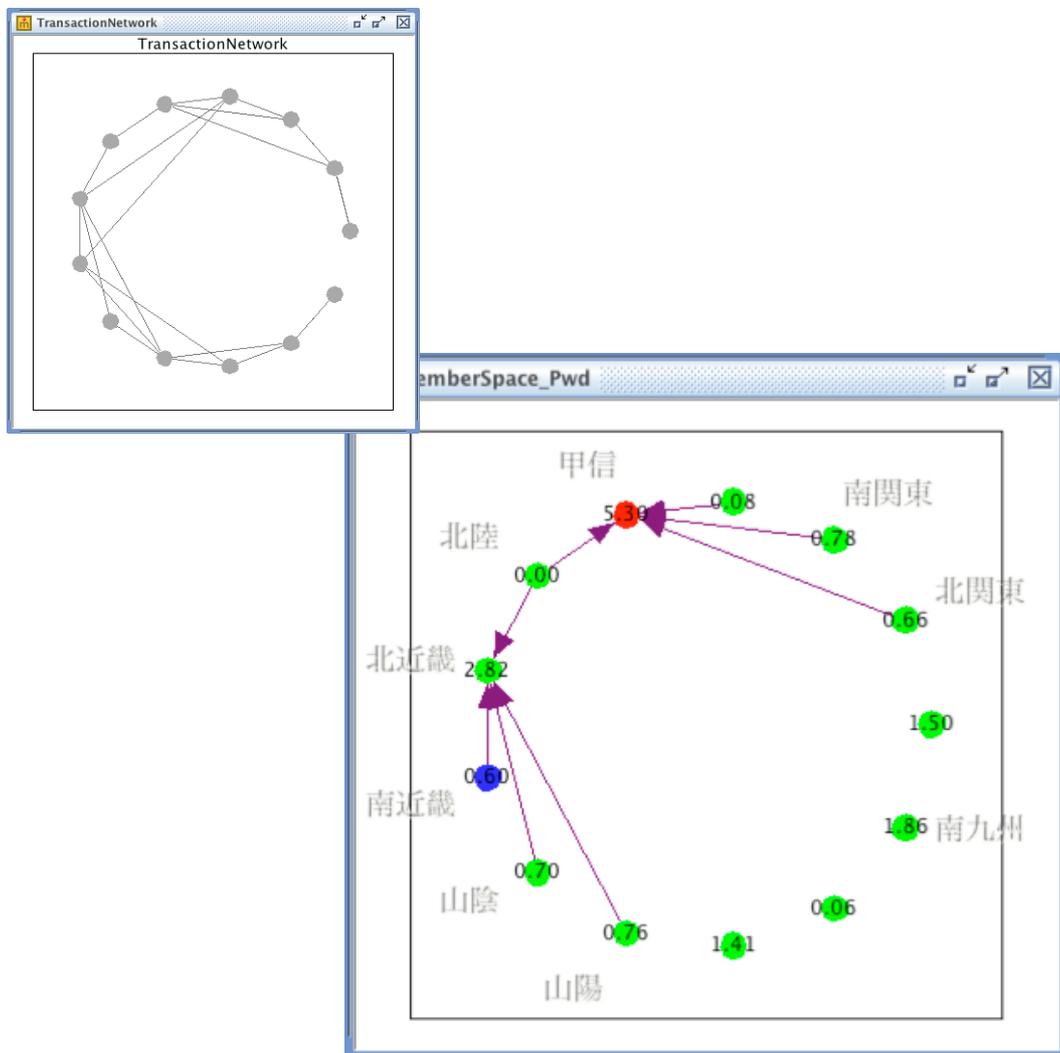


図 10

最後に、日本列島に類似した地理的ネットワークにおいて、どのような国家間関係が形成されるのかをみてみよう。恣意的といわれるかもしれないが、日本列島を 13 の地域に分け、その地域間で隣接するもののあいだには高い交流が存在するものとした。13 の地域とは、「東

北」「北関東」「南関東」「甲信」「東海」「北陸」「北近畿」「南近畿」「山陰」「山陽」「四国」「北九州」「南九州」である。それぞれの地域がどの地域とつながっているのかは、歴史的知識に基づき、これもやや恣意的に与えてしまうことにしよう。このような形状のネットワークにはどのような国家間関係が生まれるだろうか。この実験はアソビで行ったものであるが、結果はなかなか興味深いものであった(図11)。東日本と西日本に2つの政治的中心が生じたのである。東日本の政治的中心が「甲信」である(「南関東」ではない)という点で歴史離れはしているが、近年の中世日本史における「2つの王権論」などにも示唆を与える結果といえるのではないだろうか。

図 11



参考文献

- AXELROD, Robert (1995) "A Model of the Emergence of New Political Actors" in Nigel GILBERT and Rosaria CONTE eds., *Artificial Societies: The Computer Simulation for Social Life*, London: UCL Press.
- AXELROD, Robert (1997) *The Complexity of Cooperation*, Princeton: Princeton University Press.
- BREMER, Stuart and Michael MIHALKA (1977) "Machiavelli in Machina: Or Politics among Hexagons" in Karl W. DEUTSCH et al eds, *Problems of World Modeling: Political and Social Implications*, Cambridge: Ballinger.
- CEDERMAN, Lars-Erik (1997) *Emergent Actors in World Politics*, Princeton: Princeton University Press.
- CEDERMAN, Lars-Erik (2005) "Computational Models of Social Forms: Advancing Generative Process Theory" *American Journal of Sociology*, Vol.110, No.4.
- CUSACK, Thomas R. and Richard. J. STOLL (1990) *Exploring Realpolitik: Probing International Relation Theory with Computer Simulation*, Boulder: Lynne Rienner.
- 壇野英次、田中明彦 (1992) 「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）
- ホップズ (1954) [水田洋訳] 『リヴァイアサン』（岩波文庫）
- OPPENHEIM, L. (1905) *International Law*, London and New York: Longmans.
- PARKER, Geoffrey (1988) *The Military Revolution: Military Innovation and the Rise of the West, 1500-1800*, Cambridge and New York: Cambridge University Press.
- SPRUYT, Hendrik (1994) *The Sovereign States and its Competitors*, Princeton: Princeton University Press.
- TILLY, Charles (1990) *Coercion, Capital and European States, AD 990-1992*, Cambridge [MA] and Oxford [UK]: Blackwell.
- 光辻克馬 (2000) 「近代国際体系の領域的推移 1450-2000」 *国際関係論研究*、no.14、pp82-111.