国際政治の数理分析

－戦争の原因の数理モデル－

山本　吉宣

序――ゲームの理論と国際政治

本稿の目的は，戦争がどのような条件のもとで起きるかに関するゲームの理論的なモデルを紹介することを通して，数理国際政治学の最近の動向を明らかにすることである．ゲームの理論は，すでに1950年代に，アナトール・ラパポートたちによって国際政治の分析に導入された．たとえば，米ソが互いに軍拡競争より軍縮を望みながらも，結局は軍拡に走る理由を「囚人のディレンマ」(**図1**－Cは協力的行動，Dは非協力的行動，そして図のなかの数字は利得の大きさを示す）で説明したり，またキューバのミサイル危機を「チキン・ゲーム」(**図2**）で解明しようとする試みが行われた．また，戦争が相互に協力的な行動を取るよりも望ましいという「デッドロック」(**図3**）の可能性などが指摘された．さらに，きわめて高い紛争状態（戦争）はゼロ・サム的なものであり，またゼロ・サム的な状況は，戦争を引き起こす可能性が高いと論ぜられた．そして，例外は多々あるものの，1970年代までは，マトリックス・ゲームを使って，さまざまな国際政治現象をゲームの理論で説明しようとする努力が行われた（その集大成的なものとして，Snyder, Diesing, 1977)．しかしながら，70年代の後半から，ゲームの理論そのものが大きく展開する．それは，繰り返しのゲームが定式化されたり，ゲームの解の概念が精密になり，また不確実性（uncertainty)の概念がゲームに組み込まれ，それに応じたゲームの解法が発達したのである．80年代において，（国際）政治学においてゲームの理論で一世を風靡したアクセルロッドの「囚人のディレンマ」の無限の繰り返しゲーム（Axelrod, 1984）は，無政府の状態（anarchy)こそが戦争の原因であるとの論が強かった国際政治学において，無政府状態においても国家間の協力は可能であるという命題につながった（Oye, 1986)．

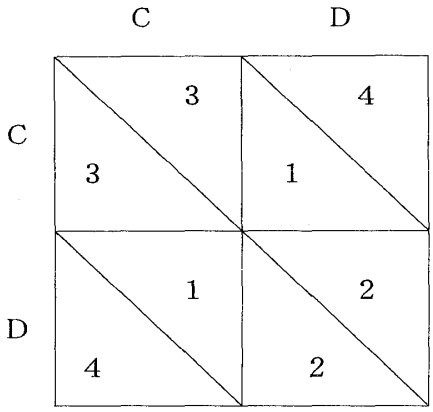

図1　囚人のディレンマ

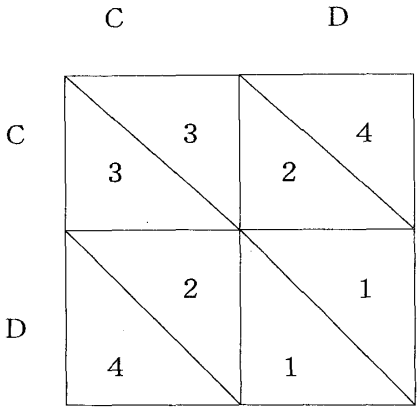

図2　チキン・ゲーム

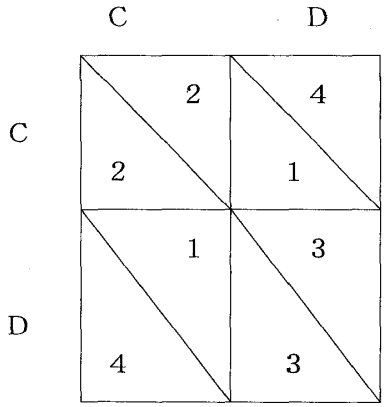

図3　デッドロック

やまもと　よしのぶ　東京大学　総合文化研究科
〒153-8902 目黒区駒場3-8-1

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

戦争の原因——「デッドロック」とゼロ・サムを越えて

さて，戦争と平和をきわめて抽象的に考え，a国とb国があり，それぞれ協力（交渉／外交）(C) と非協力（戦争）(D) という2つの選択肢を持っているとすると，D−Dが戦争となる．そうすると，先の「囚人のディレンマ」および「チキン・ゲーム」においては，戦争は，社会的に「非効率」なものと捉えられている（図1および図2）．すなわち，戦争に比べて，他の社会状況のなかに双方にとってより望ましい状況が存在する．しかしながら「デッドロック」（図3）においては戦争 (D) は，たんに双方にとって支配的な戦略であるだけではなく，社会的に非効率的なものでもない．もしこのような利益構造が存在する場合には，戦争は起きざるを得ない．たとえば「戦争の期待効用モデル」というものがあるが，そこでは，戦争を起こしたときの期待効用が，戦争以外の手段で得られるものより大きいときに戦争が起きる，と論ぜられる（Bueno de Mesquita, 1981；山本，1986；原田，1998）．これは，まさに（少なくとも一方の当事者に関しての）「デッドロック」の論理である．

しかし「戦争か交渉か」という問題に関して，戦争の方が交渉よりも多くの利得をもたらすという「デッドロック」は通常ありえない，ということを最近Fearon (1995) が提示している（また，石田，1998，参照）．まず，プレーヤーaとbが，一定の（無限に分割可能な）パイ（X−たとえば領土）を分割することを考えよう（すなわちゼロ・サム状態）．そして，その際プレーヤーは，(i)平和的な交渉を行うという選択肢と，(ii)戦争という手段に訴えてパイを奪う，という2つの手段を持っているとする（このFearonのモデルは簡単ではあるが，それからさまざまな種類のゲームを内生的に導きだせるということから注目に値するものである）．そうすると，このゲームにおいては「平和的な解決」（それも自己強制的な解−第三者が強制しなくても合意は遵守される）が存在する，というのが結論である．もし戦争という選択肢がない場合には，交渉は，$(x, 1-x)$（Xを1としておく）のどの点をとるか，ということになる．ここで，戦争を引き起こした場合，もし戦争に勝てば，パイ全部を得ることができ（1を得る），戦争に敗ければ0を得るとしよう．aの戦争に勝つ確率をp，敗ける確率を$1-p$とする（引き分けの確率はないとする）．戦争を行えば，人的，財政的，その他のコストがかかる．aの戦争をした場合のコストをc_a，bのそれをc_bとしよう．そうすると，aの戦争を行ったときの期待効用は，（リスク中立的であるとすると），$p(1)+(1-p)(0)-c_a=p-c_a$である．bのそれは，$1-(p+c_b)$ である．［cがいちじるしく大きな場合，特にc_aがp，c_bが$1-p$を越える場合戦争は起こりえないし，交渉において戦争という選択肢はまったく意味のないものである］．そうすると，0と1の間に，双方にとって戦争よりも大きな利益を与える交渉の範囲が存在する（すなわち，$p-c_a$と$p+c_b$の間）．したがって，情報が完備されていれば，戦争は実際に起きることはなく，領土紛争などにおいても，交渉による解決が行われよう．ただし，係争の対象となるものが無限に分割可能でないときには，交渉する範囲が存在しないこともありえる．たとえば，領土を分割不可能と考え，現状ではそれをbが保持しているとしよう．そして，aがその領土を要求したとして，戦争に訴える場合と，交渉による場合を考えると，戦争よりもよい交渉結果を双方ともが得ることはありえない．

さて上記のモデルで，「交渉」の結果が自己強制的なものになり得るとのベース・ラインを設定しているのが，ルービンシュタインの交渉モデルである（Rubinstein, 1982；Morrow, 1994, 145−149）．ルービンシュタインのモデルは，一定のパイ(X)を2人がいかに分けるか，ということに関する交渉ゲームである．モデルは，まず，aがx_1という提案をする（$0 \leqq x_1 \leqq X$）．次に，bが(i)それを受け入れるか（もし受け入れるなら，交渉は成立し，ゲームは終わる），あるいは(ii)それを拒否し，あらたにaにx_2という逆提案をする．そしてaは，それを受け入れるかあるいは逆提案をする，というプロセスを繰り返す．ここで，もし交渉に失敗すれば，双方とも取り分は0となるとする（交渉に失敗したとき，0ではなく，「現状」が維持される，というようにモデルを作ることもできる）．そして，交互の提案，逆提案のプロセスは時間がかかるものであることから，a，bともに割引き率（δ_a，δ_b）を持つ．このようにモデル化すると，何回目かで交渉が終わるゲームを考えても，また無限に交渉が続くゲームを考えても，サブ・ゲーム・パーフェクトの解が存在する．［交渉が無限に続くと想定した場合，解は，aの取り分は，$X[(1-\delta_b)/(1-\delta_a\delta_b)]$，そして$b$の取り分は，$X\{[\delta_b(1-\delta_a)]/(1-\delta_a\delta_b)]\}$ である．］

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

直観的にいえば，上記のFearonのモデルで，$p-c_a$と$p+c_b$の間でこのような交渉が行われる，ということである．このモデルにはいくつかの問題はあるが（たとえば，先に選択をするほうが優位である），非協力ゲーム（すなわち「無政府状態」）で，ゼロ・サム的な状況でも，交渉の（一義的なかつ自己強制的な）解がありえることを示している．

以上のモデルでは，p（相手国との相対的な力関係）そのものは，「平和的な解決」がなされるかどうかを左右するものではない．このことは，国際政治学において，大きな論争点であり続けてきた，どのような力のバランスのとき戦争が起きやすいか，という論争の意義自体を問うものである．もちろんこのことは，力（の分布）が無意味なものであると言っているわけではない．aは$p-c_a$を交渉の最低限のものとして要求するが，それはpが大きければ大きいほど，aにとって有利なものとなっている．

予防戦争と先制的戦争——「囚人のディレンマ」再訪

とはいえ，完備された情報のもとでも戦争（社会的に非効率的なものであっても）は起こり得る．上記のゲームにおいてはpは一定であることが仮定されていた．しかしながら，pが時間的に変化することは現実の世界においてよく見られることである．一番単純に，ゲームが2回繰り返されることを考え（無限に繰り返されるときも同じ（Fearon, 1995)），最初のゲームにおいては，aの勝つ確率はp_1，2回目のゲームでは$p_2(>p_1)$となるとしよう．このように仮定しても，ひとつひとつのゲームをみれば，戦争ではなく「平和的な解決」がはかられる．しかしながら，繰り返されるゲーム全体を見ると，最初のゲームにおいて，bが戦争を選択するのが合理的であることがありえる．まず，第2番目のゲームにおけるサブゲーム・パーフェクトの均衡解は，たとえばaが最終的な提案をすると仮定すると［ただし，このような仮定を置かなくとも，同じような結論が得られる］，aはbがぎりぎり受け入れることができる$x_2=p_2+c_b$を要求する．そうすると，第2回目のゲームのbの利益は，$(1-x_2)=(1-p_2-c_b)$となる．第1回目のゲームにおいてaがx_1を提案し，bがそれを受け入れるとすると，bの全体を通しての利得は，$1-x_1+\delta(1-x_2)$（δはbの割引き率）となる．ここで，もしaが第1回目のゲームにおいて，bにもっとも有利な提案をしたとすると，それは，$x_1=0$である．したがって，bの得ることができる最大の利得は，$1+\delta(1-x_2)$となる．しかし，このbの利得は，bが第1回目のゲームにおいて戦争を選択したときの利得［$(1-p_1)\cdot(1+\delta)-c_b$］より小さくなることがある．すなわち，［$\delta>(p_1+c_b)/(p_2-p_1+c_b)$］の場合である．このことは，$p_2>2p_1$で，コストに比して，相対的な力が急速に低下するとき，bは，将来のaの「平和的な解決」を避けるために戦争を引き起こすのである．このことは，ある国が，他の国の成長がいちじるしく，急速に追い付かれていく場合にも当てはまろうし，またその国自身が急速に衰退し，他国との相対的な力関係が悪化する場合にも当てはまろう．いわゆる予防戦争（preventive war）である．しかし，この場合でも，もし何らかの形で，bが戦争に訴えず，交渉によって合意がはかられれば（この場合，aは第2番目のゲームにおいてその優位性をフルには使わないことを意味する），それは，合理的な行為の結果である戦争よりも双方にとってよりよい結果をもたらす．ただし，そのような合意は自己強制的なものではない．したがって，以上のような予防戦争は，いわば「囚人のディレンマ」的状況を示すものであり，第三者の強制力が存在しない「無政府状態」ゆえに引き起こされるのである．

以上のモデルは，繰り返しのゲームにおいて，pが変化する場合を考えた．しかし，1回限りのゲームを考えた場合でも，そして，完備された情報を考えた場合でも，pが異なることがありえる．たとえば，先制攻撃をかけたケースの方が，守備に回る場合よりも戦争に勝つ確率が高い場合である（以下，Fearon, 1995参照）．たとえば，先制攻撃をかけた場合，勝つ確率をp_f，後手に回った場合のそれをp_sとしよう（$p_f>p_s$）．そうすると，交渉の結果をxとすると，aがxを受け入れるのは，$x>p_f-c_a$，bが受け入れるのは，$1-x>1-p_s-c_b$である．そうすると，交渉の範囲は（p_f-c_a，p_s+c_b）である．ここで，p_fがp_sより十分大きく，$p_f-c_a>p_s+c_b$となる場合，自己強制的な交渉の結果を保証する交渉の範囲は存在しない．どちらかが，相手が攻撃してくる前に自分から攻撃する十分なインセンティブを持つのである（先制的戦争preemptive war）．この場合も，戦争よりも交渉によって双方にとってよりよい結果が得られることは容易に示すことができる．しかし，この結果は，自己強制的なものではない．

以上から明らかなように，「囚人のディレンマ」を

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

いかに解決していくかに関してアクセルロッド以降の理論の発展が注目されるゆえんである（Ostrom, 1998；Axelrod, 1997；高木, 1998）.

不確実性と戦争

以上からわかるように，pとcが一定で，情報が完備されていれば，戦争は起きず「平和的な解決」がはかられる。しかしながら，情報が完備されていない場合，戦争が起きることがある。不確実性は，戦争に勝つ確率(p)と戦争のコスト(c)にかかわるものとして定式化される。たとえば，単純化のため，1回限りのゲームを考えてみよう。たとえば，戦争に勝つ確率pは，一定の確率分布に従っており，この分布からa，bがそれぞれ独立にくじを引くとしよう。このような場合，aが自分が勝つ確率を0.8，bも自分が勝つ確率を0.8とする可能性がある。もしそうであるとすると，「平和的な解決」のための交渉の範囲が消滅してしまう可能性が高く，aはbの許容範囲を越えた要求を行い，bは戦争という手段に訴えることがある。この点，Bueno de Mesquita たち（1997）は，pの不確実性に着目し，国家の力を客観的にはかれるものとそうではないものに分けるモデルを構築し，均衡解を導き，そのなかで，客観的な指標において，有利にたてばたつほど戦争を起こしやすいという命題を導きだしている。

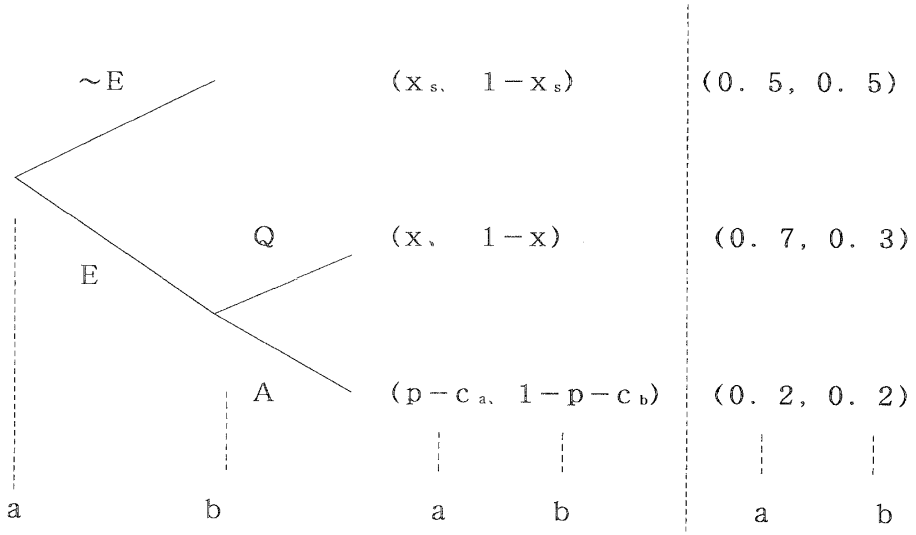

図4 抑止ゲーム（チキン・ゲーム）

戦争に由来するいまひとつの不確実性は，戦争のコストである。戦争の人的，財政的，その他のコストが小さければ小さいほど戦争の利益は大きく，その国の戦争に対する意志（resolve）は大きくなる。さてここで，若干趣向を変えて，ゲームが「現状」の配分（x_s, $1-x_s$）から出発することを考えよう。そして単純化のため，まずaが「現状」の変更を求める要求を出すか(E)，出さないか(～E)を選択し，もし～Eなら，それでゲームは終わるとする。もし，aが「現状」の変更を求めると，bはaの要求を受け入れる(Q)か，あるいは戦争に訴える(A)か，という2つの選択肢を持つものとする。そして，ゲームはここで終わるとする。それを図示したのが**図4**である（右側の数字は後述）。このゲームの場合，$p+c_b<x_s$の場合，aは～Eをとる。そして，$p+c_b>x_s$の場合，aはEをとり，結果として，bはx（$p-c_a<x<p+c_b$）を受容する（ただし，aは最低限でもx_sを要求することは言うまでもない）。もちろん，サブゲーム・パーフェクトの均衡解は，aがbが受け入れられるギリギリの利得である$x=p+c_b$を要求し，それをbが受け入れるということになる。いずれにせよ戦争は起きない。ところが，もしc_bが不確実であれば，aは「真の」$p+c_b$を越えた要求をする可能性がでてくる。もし，aが「真の」$p+c_b$を越えた要求をすれば，bは，戦争に訴えることになる。すなわち，不確実性が戦争の原因になり得るのである。そして，aから見てのc_bの確率分布を考えると，真のc_bより大きなc_bの面積が戦争の起きる確率となる。

図4のモデルでbも逆提案ができるとすると（すなわち，aが～Eを選択したとき，bが～EかEを選択することができるというモデルを考えるとすると），「現状」がそのまま維持されるのは，きわめて特殊な場合に限られるということである。すなわち，$p=x_s$で，かつ$c_a=c_b=0$，のときである。そのときにはaもbも「現状」変更を試みない。いいかえれば，パイの分配が完全に力関係（p）に一致している場合である。Powell（1996）は，図4のゲームの第2の選択点において，bがaの要求を受け入れるか，戦争をするか，だけではなく，bが逆提案をすることができ，かつそれが無限に続く，というモデルを考えた（**図5**）。Powell は図5の基本的なモデルにもとづき，p（戦争に勝つ確率）に不確実性はなく，戦争のコストcが不確実な場合，どのような結果が得られるかを分析した（不確実性がない場合には，戦争は起きない）。その結果，cが0と1の間に均等に分布していると仮

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

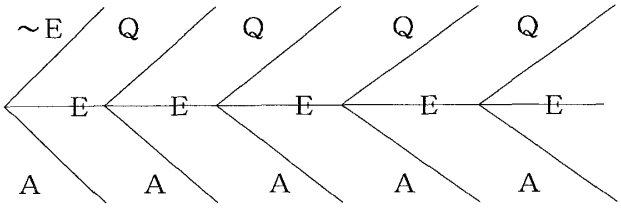

図5　基本モデル

定した場合，パイの分割がpと一致していると戦争が起きる確率はゼロ，それがpから離れれば離れるほど戦争の確率は高くなっていくことを示した．

抑止ゲーム（自己利益達成のための不確実性の操作）——「チキン・ゲーム」再訪

さて，戦争のコストcは現実の世界において，避けようもなく存在するものであると同時に，それは相手に対して意図的に操作できるものであることがある．そうすると，上記のようなモデルの文脈では，直観的にいえば，自分は自分のcをよく知っているが，相手はそれを確実には知らず，したがって，相手方に対して，自分は自分の真のcよりも小さなcを持っていると相手に信じさせることが交渉上有利である．すなわち，自分が実際に「弱い」（戦争のコストが高い）としても，自分が「強い」（コストが低い）との評判（reputation）を相手にもたせ，そのことによって相手が自分の不利になるような行動を取ることを防ごうとする行動をとろう（すなわち抑止）．図4の右側は数字は，$x_s=0.5$，$x=0.7$，$p=0.6$，$c_a=0.4$，$c_b=0.2$とした場合のものである．もちろん，すでに述べたように，xが無限に分割可能であるとすれば，ゲームの解は$1-x$と$1-p-c_b$とが一致するようにaがxを選択する，というものである．しかし，aが何らかの理由で（たとば，xが自由に分割できず），$x=0.7$としたとしよう．そうするとこのゲームは（純粋戦略のみを考えた場合）2つのナッシュ均衡を持つ「チキン・ゲーム」である．均衡の1つはaがE，bがQをとることである．今1つは，aが$\sim E$，bがAを取ることである．したがって，ナッシュ均衡は（0.7，0.3）（EとQ）と（0.5，0.5）（$\sim E$とA）の2つであり，bにとっては後者が有利である．しかしながら，後者は，もしaが（何らかの間違いで）Eを取ると，bはAを取り得ない．サブゲーム・パーフェクトの解は，前者である．この場合，もしbがきわめて強く，c_bがゼロであるとの信条をaに持たせれば，aは$\sim E$を取ることになろう．より一般的にいえば，bはaの利得を知っているが，aはbの利得を知らないとすると，aは，bが，たとえば，強いか弱いか（すなわち，$E-A$のときと，$E-Q$のときのbの利得のどちらが大きいか）知らないで，$\sim E$かEを選択しなければならない．そうすると，aは，先験的にbが強いか弱いかの確率にもとづいて選択を行う．しかしながら，図4のような1回限りのゲームにおいては，aは，bのコストに対して持つ先験的な確率によって選択を行いゲームの結果が決まる（先に述べたように，その先験的な確率如何では戦争が起きる）．しかし，もし，図4のゲームが繰り返し行われるとすれば，aはbの選択からbの強さ，弱さの確率を（ベイズのルールに従って）修正することができ，またbもそのことを見込んで，選択を行う．また図4のゲームが繰り返し行われるとして，aが最初に$\sim E$をとるとそのゲームにおいては，bに関する新しい情報は得られない．したがって，aのbについての先験的確率は変わらない．しかし，aがEをとり，bがQをとれば，bは確実に弱い，ということが明らかになる．このように不確実性のもとでプレーヤーは，相互に自分の「性格」についてのシグナルを送るのである．そしてbは実際には弱いにもかかわらず，第1回目のゲームにおいて何らかの確率でAをとり，そのことによって戦争が起きずかつaが自分の利益に反する行動を取らせないことができ，それが一定の条件のもとでは（繰り返しのゲーム全体を通しての）均衡解となりえる（これは，チェーンストアのパラドックスと呼ばれるものである－Alt, Calvert, Humes, 1988；山本，1989；石黒，1998）．この場合，不確実性は，少なくともその国にとって（完備された情報のときよりも大きな利益をもたらすという意味で）望ましいものである．しかしながら，小さな戦争を含めて戦争も1つの交渉の手段と考えると，のちのことを考えて，実際に「弱く」とも，「強い」という評判を維持するために戦争を行う，ということも合理的な均衡経路でありえる．また，逆に自分は実際には「強い」のに，評判としては「弱い」ときに，その評判を変化させるために戦争を行うこともあり得るのである．このような場合，不確実性は，戦争の原因の1つとなるのである．

また，図5のような無限に続くゲームを考え，「チキン・ゲーム」的なゲームの結末を考えるモデルも存在する．たとえば，Powell（1990）は，図5にもとづき，aもbも相手が強いか弱いか不確実な情報しか持っておらず，かつEを続けた場合徐々に戦争に突入

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

する確率が増大していくというモデルを構築し，確実に戦争に至る経路が広く存在することを示した。また，Fearon (1994) は，同じようなモデルを使いながら，ゲームが進行するにつれて妥協 (Q) のコストが上がっていくという仮定を入れ（すなわち，提案－逆提案を繰り返していくと，国内政治において政府が容易に妥協できなくなる圧力が高くなる），そのコストがより高い民主主義の国の要求の信頼性が高まり，有利な立場に立ち得る，というモデルを構築している。

以上のようなモデルはさまざまなヴァリエーションをともなって（特に図5がさまざまな形に変形され），国際政治学での重要ないくつかの問題を分析するのに応用されている。また，本論では触れなかったが，たとえば「平和的な解決」が，のちの力関係に影響を与える（すなわちpを変化させる）とした場合，異なるモデルが構築できよう (Powell, 1991, 1993)。さらに本稿で紹介したようなモデルは，他の問題にも応用できる。たとえばaとbが経済的な交渉をしている場合を想定すると，相互主義的な制裁を戦争と同じように取り扱うことができるし，また，aとbとの交渉の結果に対して，国内の批准が必要な場合は，内政と外交交渉を結びつけるモデルを構築することもできるのである (Milner, 1997 ; Downs and Rocke 1995)。

参考文献

Alt, James E. *et al* (1988) "Reputation and Hegemonic Stability," *American Political Science Review*. 82, 445-66.

Axelrod, Robert, (1984), *The Evolution of Cooperation*. New York : Basic Books.

Axelrod, Robert. (1997). *The Complexity of Cooperation*. Princeton : Princeton University Press.

Bueno de Mesquita, Bruce, (1981) *The War Trap*. New Haven : Yale University Press.

Bueno de Mesquita, Bruce, *et al* (1997) "Capabilities, Perception, and Escalation," *American Political Science Review*. 91, 15-27.

Downs, George W. and David M. Rocke (1995) *Optimal Imperfection? Domestic Uncertainty and Institutions in International Relations*. Princeton : Princeton University Press.

Fearon, James D. (1994) "Domestic Political Audiences and the Escalation of International Disputes," *American Political Science Review*. 88, 577-592.

Fearon, James D. (1995) "Rationalist Explanations for War," *International Organization*. 49 : 3, pp.379-414.

原田至郎 (1998)「国際政治の数量分析－戦争研究における例」本誌，本号378ページ。

石黒　馨 (1998)『国際政治経済の理論』勁草書房.

石田　淳 (1998)「均衡としてのアナキー」『国際政治』117号 49-65.

Milner, Helen (1997) *Interests, Institutions, and Information*. Princeton : Princeton University Press.

Morrow, James D. (1994) *Game Theory for Political Scientists*. Princeton : Princeton University Press.

Ostrom, Elinor, (1998) "A Behavioral Approach to the Rational Choice Theory of Collective Action," *American Political Science Review*. 92 : 1, March 1998, pp.1-22.

Oye, Kenneth, ed. (1986) *Cooperation under Anarchy*. Princeton : Princeton University Press.

Powell, Robert. (1990) *Nuclear Deterrence Theory : The Search for Credibility*. Cambridge : Cambridge University Press.

Powell, Robert (1991) "Absolute and Relative Gains in International Relations Theory," *American Political Science Review*. 85, 1303-20.

Powell, Robert (1993) "Guns, Butter, and Anarchy," *American Political Science Review*. 87, 115-32.

Powell, Robert (1996) "Stability and the Distribution of Power," *World Politics*. 239-67.

Rubinstein, Ariel. (1982) "Perfect Equilibrium in a Bargaining Model," *Econometrica*, 50, 97-109.

Snyder, Glenn H. and Paul Diesing (1977) *Conflict among Nations*. Princeton : Princeton University Press.

高木英至 (1998)「社会秩序のシミュレーション」本誌，本号389ページ。

Wagner, Harrison R. (1994) "Peace, War, and the Balance of Power," *American Political Science Review*. 88 : 3, pp.593-607.

山本吉宣 (1986)「国際システムの動態と安定」『国際政治』82号，7-25.

山本吉宣 (1989)「国際政治学における数理的なモデル」有賀貞他編『講座　国際政治①国際政治の理論』東京大学出版会，第11章.

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．