

動的環境における相対利得の合理性の検証

鈴木一敏

はじめに

1980年代から90年代にかけて、国際公共財である自由貿易体制が維持されうるかという問題が、国際関係論の中心的な論題となった。グリエコは、協力体制が維持されると考えるネオリベラリストと、それに懐疑的なネオリアリストが、異なる国家像を前提として議論を組み立てていたことを指摘した。そして、国家は他国との相対的な利益の差を重視するもの(相対利得)であるのに、ネオリベラリストは国家が自国の利益だけを考え行動すること(絶対利得)を暗黙のうちに前提としており、協力の可能性を過大に評価していると批判した¹。これに対して、ネオリベラリストは、囚人のジレンマ以外のゲーム状況の場合や、国家の数が多い場合には、相対利得が協力を阻害する程度は限られることなどを示し、ネオリアリストの批判に反論した²。

これらの議論は、本来リアリズムが想定していた相対利得を完全に捉えていない点で問題があることを指摘しておきたい。そもそもリアリストは、国家が相対利得に関心を持つ根拠として、国際アナキーのもとでは、相手国の相対的成長が将来の自国の安全を脅かす危険があることを指摘している。つまり、現時点の結果が、将来の国力・利得構造に影響するからこそ、相対利得が重要となるのである。ところが、ネオリアリストによるものも含めて、これらの議論のほとんどは、利得構造を一定とした2×2ゲームの枠内で行われているため、累積的な利得が与える経路依存的な影響を十分に捉えられていない。したがって、ネオリアリストは相対利得の重要性を過小評価しかねない。また、仮にネオリベラリストが、「相対利得が協力を阻む範囲は狭い」と示したとしても、本来リアリズムが想定する環境下での検証が行われていないとの反論を許しうる。この問題は現在でも解決されたとは言い難い。たとえば、これら論争に続く形で、通商問題のモデルに戦争のリスクを織り込む形で(国家が「銃とバター」のどちらに資源を振り分けるタイプのモデルによって)相対利得の影響が検証されたが³、ここでも利得の累積的な影響は十分に検証されていない⁴。

* 本稿は、ワークショップ「人工国際社会を作る」(2010/12/18 東京大学駒場キャンパス)における発表原稿に加筆・修正を施したものである。

¹ Joseph Grieco, *Cooperation among Nations*, Cornell University Press, 1990.

² たとえば、Duncan Snidal, "Relative gains and pattern of international cooperation", *American Political Science Review* 85, 1991.

³ James Morrow, "When do 'relative gains' impede trade?", *Journal of Conflict*

* 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。

これに加えて第二の問題点として、このような安全保障上の不安を相対利得の源とするリアリズム自体も限定的に過ぎるという危険がある。経済分野だけを考えても、国家は相対利得に関心をもつ可能性があるからである。たとえば、航空機、ハイテク、ソフトウェアなど、規模の経済性、学習効果、研究開発の重要性が高い産業においては、企業は生き残りのために競争相手よりも多くのシェアを獲得しようとする傾向がある。そして、こうした企業は、相手国の市場開放と自国の市場開放を関連付けるような戦略的通商政策を要求するようになるとされる⁵。通商政策・産業政策が、国内集団の選好に多少なりとも影響を受けるのならば、政策決定において他国産業との相対的な利害関心が無関係であると考えるのは困難である。あるいはより一般的に、自国の市場規模拡大が経済交渉における発言力に繋がるのであれば、両国に異なる経済成長をもたらすような貿易自由化交渉においても、相対利得への関心が頭をもたげるかも知れない。このように考えると、日・米・欧といった武力衝突の心配がされていないような国々の間での摩擦においてすら、現在の相対的な利得の差が将来のゲームを経路依存的に規定する状況を一切考慮する必要がない、というのは、かなり乱暴な仮定だと言えるだろう。

ところがその一方で、どのような時に相対利得を想定すべきで、どのようなときにその必要が無いのか、その境界線は必ずしも明らかでない。国際関係論に限らず社会科学の多くのモデルは、絶対利得を暗黙のうちに前提として組み立てられるが、その妥当性が検証されることはほとんどない。利得に関する前提の妥当性は、どのように判断すべきなのだろうか。究極的には、個々の対象について現実のプレイヤーの行動を経験主義的に分析することが必要かもしれない。しかしそれより簡便なもう一つの方法として、どのような条件下で相対利得が「合理的」となるのかを特定すれば、判断の目安にすることができるのではないか、というのが本研究の着想である。

国際関係論における既存の研究は、プレイヤーが相対利得を持つ場合に協力が阻害される程度を示すという点で重要な成果を上げてきたが、どのような条件下で相対利得そのものが「合理的」となるのかについては必ずしも明らかとなっていない。本稿はこの点を補うべく、現時点での利得が対戦者の過去の累積スコアによって変動するように「囚人のジレンマ」モデルを拡張し、その中で、相対利得を考慮するエージェントが高いスコアを上げる条件を探ることで、相対利得を前提として採用すべき範囲の検証を行う。

Resolution 41: 12-37, 1997.

⁴ Frank Grundig, “Patterns of International Cooperation and the Explanatory Power of Relative Gains: An Analysis of Cooperation on Global Climate Change, Ozone Depletion, and International Trade”, *International Studies Quarterly* 50:4, 781-801, 2006.

⁵ Paul Krugman ed. *Strategic Trade Policy and the New International Economics*, MIT Press, 1986; Helen Milner and David Yoffie, “Between Free Trade and Protectionism: Strategic Trade Policy and a Theory of Corporate Trade Demands”, *International Organization* 43: 239-272, 1989.

モデル

本稿のモデルでは、空間上に配置されたエージェントが、隣接するエージェントと「囚人のジレンマ」の対戦を 100 回 1 ラウンドとして繰り返す。基礎となる利得は、相手が協力(C)したのに自分だけ非協力(D)を選んだ場合($T = 4$ 点)、共に協力した場合($R = 3$ 点)、共に裏切った場合($P = 2$)、自分が協力したのに相手に裏切られた場合($S = 1$)である(表 1)。各エージェントは、表 2 に示した戦略のうちいずれかを、ランダムに与えられている。ここまでは、他の「囚人のジレンマ」の基本的なモデルと同様である。

本稿のモデルの特徴は、以下のふたつの点にある。

第一に、対戦相手と自らの、過去のスコアの差によって、現在の利得が変化する。対戦している 2 エージェントについて、過去のスコアが世界全体のスコアに占めるシェアが計算され、その差分に応じて元々の利得($T = 4$ 、 $R = 3$ 、 $P = 2$ 、 $S = 1$)にプラスマイナス 0.5 の範囲内で利得が加算あるいは減算される。そして、その利得に応じて各自のスコアが増加することとした。

過去の累積スコアの差による利得の変化の仕方には、様々な場合が考えられる。「囚人のジレンマ」は「 $T > R > P > S$ 」かつ「 $2R > T + S$ 」と定義されるが、利得を好ましい順位としてではなく絶対値を持つ値と考えると、その範囲内でも、 T 、 R 、 P 、 S それぞれについて、過去のスコアが高い場合に利得が増す場合と、逆に低い場合に利得が増す場合を考えなければならない。たとえば、通商分野においては、小国の方が規模の経済性や財の多様性を確保するために貿易に頼る割合が高くなるため、大国と比べて、自由貿易(相互協力)から高い利得を得るという可能性もある。この場合には、過去の累積スコアが低い方が、相手が協力した際の利得(T 、 R)が高くなるように設定する必要があるだろう。

さらに、このような変化は「囚人のジレンマ」の利得構造を超えた形でおこることも考えられる。たとえば、コニーベアは、同規模の 2 カ国による関税交渉ゲームでは「囚人のジレンマ」を想定できるが、大国と小国を考えたときには、大国が $T > R > S > P$ 、小国が $R > T > S > P$ といった形に利得構造が変化すると指摘している⁶。

しかし、このような網羅的な検証を行うと複雑かつ範囲が膨大となるため、本稿は、手始めとして検証の範囲を「囚人のジレンマ」に限定し、相対利得が最も妥当すると考えられる条件から検証を始める。そして、相対利得を持つことが合理的となる場合があることを確認したうえで、その優位性がどのようなときに失われるのか、あるいは、予想に反して強まるのかを順次確認してゆくこととした。なお、相対利得が最も妥当すると考えられる条件としては、 T 、 R 、 P 、 S 全てについて、全体におけるシェアの大きいエージェントがより高い利得を、シェアの小さなエージェントがより低い利得を得る場合を考えた。

このゲームにおける利得の計算方法は、以下の通りである。基本的な利得は、前述した

⁶ John Conybeare, "Public Goods, Prisoner's Dilemmas and the International Political Economy", *International Studies Quarterly* 28: 5-22, 1984.

とおり $T = 4$ 、 $R = 3$ 、 $P = 2$ 、 $S = 1$ である。ただしエージェントは 1 ゲーム毎に、現在までのスコアが世界全体の合計スコアに占めるシェアの差分に比例して、プラスマイナス 1 / 2 未満のプレミアムを加味した利得を受け、自らのスコアを成長させる。たとえば、2 エージェントの世界で、過去のスコアが 40 のエージェント X と 10 のエージェント Y が対戦し両者が C を選択した場合、X は $3 + (0.8 - 0.2) / 2 = 3.3\%$ 、Y は $3 + (0.2 - 0.8) / 2 = 2.7\%$ 、それぞれ自らのスコアを増大させることとする。したがって、利得の値の範囲は、 $4.5 > T > 3.5 > R > 2.5 > P > 1.5 > S > 0.5$ となり、各エージェントにとって囚人のジレンマの状況(「 $T > R > P > S$ 」かつ「 $2R > T + S$ 」)は変化しない。

本稿のモデルの第二の特徴は、各エージェントに絶対利得あるいは相対利得という利得関心を持たせたことである。絶対利得を持つエージェントは、自らの持つ戦略に基づいてのみ判断を行う。相対利得を持つエージェントも絶対利得を持つエージェントと同じく、基本的には自らの持つ戦略に基づいて判断を行うが、協力した際に相手と自分が得る利得を計算し、相手の利得の方が大きい場合には非協力を選ぶこととした⁷。したがって、相対利得を持つエージェントは、絶対利得を持つエージェントであれば C を選択する場合のうち一部で D を選択するという点のみにおいて行動ルールが異なる。たとえば、あるエージェントが相対利得を持ち、かつ、「全て C を出す」という戦略(allC)をとっていた場合、基本的には C を出すが、相対的な利得差がマイナスとなる時には例外的に D を選択する。逆に、エージェントが「全て D を出す」という戦略(allD)をとっている場合には、その利得関心が相対利得であっても絶対利得であっても行動に変化はない。

実験

実験はまず、相対利得が最も有利と思われる 2 者間ゲームにおいて、片方のエージェントが相対利得、片方が絶対利得を持つ状態から検証を行った。試行は、ほぼ同じ初期値からゲームを開始した⁸。終了条件は、以下の 2 つのいずれかである。まず、いずれかのエージェントが他のエージェントのシェアの合計の 2 倍(全体の 2/3)を上回った場合には、その時点で十分な優位を確立したと判定し、優勢勝ちとして試行を終了した。また、100 回×50 ラウンド×2 のゲームで決着が付かない場合には、引き分けとした。

その結果、10000 回の試行のうち、6820 回で相対利得を持つエージェントが勝利したの

⁷ 今回のゲームでは結果的に自分よりシェアが大きい相手には協力しないという行動をとる。相対利得のあり方については、他にも、自分と力が近付いている相手だけに発揮する、異なる集団アイデンティティを持つ相手だけに発揮する、など異なる形があり得るが、今回は最も単純な形を採用した。

⁸ 初期スコアが全く同じ場合、戦略によっては 2 者間の差が全くつかないので、初期値に対して $\pm 0.5\%$ 未満の一樣乱数によるばらつきを与えている。

に対して、絶対利得を持つエージェントは 1813 回であった。残りの 1367 回は、合計 10000 回の対戦を経た後も決着が付かなかった。この環境下では、相対利得を持つエージェントは絶対利得を持つエージェントの 4 倍近い確率で、相手を圧倒するシェアを獲得することが分かった。戦略別の成績を見てみると、絶対利得を持つエージェントは、allD あるいは Friedman 戦略を採用するとき、そしてわずかながら TFT を採っているときに勝利した例があるものの、その他の戦略で勝利した例は皆無である。

次に、エージェント数の増加の影響を検証するため、エージェントの数が 4 つおよび 9 つの環境を作成した。これらのエージェントは円を描くように並べられており、各エージェントが両隣のエージェントと対戦を行う。最初は、絶対利得の世界に相対利得に基づくエージェントが突如出現した場合に優位性を持ちうるのかを検証するため、うち 1 つのエージェントだけが相対利得を持つように設定した。また、エージェントの数が増えると、1 つのエージェントが同時に対戦する相手の数が増えることも想定しなければならない。そこで、エージェント数が 9 の場合には、エージェントを円形ではなく 3×3 のループした平面上に並べて、ノイマン近傍(上下左右の 4 つ)、ムーア近傍(上下左右と斜めの 8 つ)の相手とゲームを行う条件での実験も行った。つまり、エージェント数、そして、各エージェントが一度に対戦する相手の数、について徐々に拡張していった。実験は、100 回の繰り返しゲームを 1 ラウンドとし、それを 50 ラウンドで 1 回の試行とし、これを各条件について 10000 回ずつ行った。

結果をまとめたのが表 3 である。まず全体の結果についてみてみよう。相対利得を持つエージェントが優位に立つ事例は、エージェント数が増加することで急速に減少する。表 4 に示した値は、勝負がついた試行について、相対利得を持つエージェントが勝利した割合である。2 者間のゲームにおいては相対利得の優位性が大きかったが、エージェント数が増えるに従って優位性が失われることが分かる。

次に、相対利得と戦略の組み合わせが、成績に与える影響の変化について見てみよう(表 3、グラフ 1、グラフ 2)。まず、TFT やその亜種である TFTT は、エージェント数が 9 に増えたときには成績が悪化したが、同じエージェント数 9 であれば、1 つのエージェントが同時に対戦する相手の数が $2 \rightarrow 4 \rightarrow 8$ と増えるに従って、スコアが回復している。ここから、TFT が基調となっているような世界では、仮に全体のエージェント数が増えても、同時に対戦する数も同様に増えていれば、相対利得の優位性はそれほど失われないことが分かる。ただし、同じ TFT の亜種であっても、Tullock や Joss のようなずる賢いタイプ、そして Davis や Friedman のように寛容でないタイプは、エージェント数が増加すると、たとえ交流数の増加があっても、成績は悪いままであった。

Random や cTFT(TFT の逆の手を出す戦略)といったある種デタラメな戦略は、相対利得と組み合わせられた場合、2 者ゲームの際には一定程度勝ち残ることができていた。しかし、エージェント数や各エージェントが対戦する相手の数が増えると、こうした戦略が優勢になることはほぼなくなる。

次に、絶対利得を持っているエージェントを見ると、相対利得の場合と手が変わらない allD と、初期に相手に裏切られた場合にそれに近い反応となる Friedman が、1 対 1 の場合に強いこと、そして TFT と TFTT が比較的成績が良いことが目立っている。

以上の実験は、相対利得を持つエージェントが 1 つだけという条件下で行ってきた。今度は逆に、相対利得を持つエージェントが多数を占める世界に絶対利得を持つエージェントが 1 つ出現した場合に、相対利得がどの程度の優位性を持つのかを検証した。その結果をまとめたのが、表 5、表 6 およびグラフ 3、グラフ 4 である。ここでも、エージェント数の増加と共に相対利得の優位性は失われていく傾向が見られた。しかし、同時対戦者数が増えた場合(moore9)、相対利得の勝率が 6 割近いところまで回復している事が分かる。特に TFT や TFTT を相対利得と組み合わせた際の成績の回復が大きく寄与している。

結論と含意

本稿は、相対利得に有利と思われる動的な環境を整え、相対利得を持つプレイヤーの優位性(相対利得を持つことの合理性)を検証した。全体の結果を見ると、プレイヤー数が増加すると、相対利得を持つことの合理性が著しく減少することが、相対利得に有利になると思われる条件の下で示された。この点においては、ネオリベラリストの指摘の正しさを確認することができたように見える。

ただし、今回の詳細な実験結果に照らして考えると、いくつか注意を要する点が浮かび上がってくる。第一に、その世界において優位に立つことを勝利条件とすれば、相対利得の優位性がプレイヤー数の増加によって減少することは確かだが、半面、絶対利得が明らかに有利になる条件は見つからなかった(表 4、表 6)。絶対利得が最も優位となった条件は ring9(絶対利得 1、相対利得 8)であったが、その場合ですら勝率は 53.6%に過ぎない。他の条件では、ほとんど勝率に差がないか、むしろ相対利得の勝率の方が高い。この結果は、様々なモデル化の際に、無条件に絶対利得を仮定することには慎重にならなければならないことを示唆している。

第二に、交流の在り方と戦略の組み合わせによっては、プレイヤー数が増加した状態でも、相対利得が優位性を持つ場合があるという発見である。特に、moore9 のような環境下で、プレイヤーが TFT や TFTT をとっている場合、たとえプレイヤー数が多くても、相対利得をもつプレイヤーが多い場合には、相対利得が合理的となりうることが分かった。したがって、たとえば、TFT 的な互惠主義を基礎とする FTA ネットワークが広がり、かつ、グローバリゼーションによって交流相手が増加する状況下(表 5 の TFT・TFTT の成績を参照)では、通商交渉を絶対利得に基づいてモデル化するのは危険かもしれない。

第三に、今回想定した相対利得は、自分よりも期待利得が高い相手に対して一律に協力を拒むという、非常に単純なものであるという点に注意すべきである。相対利得を持つプ

プレイヤーが協力を拒み相互非協力の状況を生むと、絶対利得を持つプレイヤーだけが密集する場合よりもスコアの絶対値は低くなる。しかし、力が近付いている相手だけに対して相対利得を考慮するなど、相対利得を選択的に発揮する場合には、相対利得の優位性がより高まる可能性がある。この点に関しては、さらに系統だった検証を進める必要があるだろう。

第四に、ネオリベラリストが当初提起したような 2 者間の繰り返し「囚人のジレンマ」モデルにおいては、現在の利得が将来の利得に与える影響の方向性次第では、相対利得がかなりの優位性を持つ点に留意すべきである。2 大国間での競争や、生産国が限られる産品における戦略的通商政策、多数の国家が少数の陣営を形成して対立する状況等をモデル化するには、相対利得を想定する必要を検証すべきであることが実験から示唆された。現実の国際関係には、実質的にプレイヤー数が減少するのと同様の効果が予見される状況も存在する。たとえば、本稿のモデルのスコアに当たるもの(ex. 工業製品の販売シェア、経済規模・・・)の格差が非常に大きく、小国の成長が外部的な要因(国土、人口、教育水準、文化慣習等)によって制限されているケース、FTA のように小国相手に協力することの利益が大国を相手にする場合と比べて著しく小さくなるケースなどが挙げられる。このような時には、たとえ見かけ上のプレイヤー数が多くても、相対利得を考慮に入れる必要性を再検討すべきであろう。

最後に、今後の課題を指摘しておきたい。まず、過去の累積スコアが低い小国の方が有利になる場合など、今回とは異なった動的環境において、相対利得が同様の優位性を保持しうるのかを検証する必要があるだろう。また、初期の戦略のバリエーションが結果に影響している可能性について検証すべきであろう(たとえば、TFT に類似した戦略が多ければ多いほど TFT は有利になるため)。ただし、どのようなバリエーションが適切であるかについて絶対的な基準がないため、モデル化を目論む現実の状況に応じて進化ゲーム的な環境で検証する必要があるかも知れない。いずれにしても、どのような利得関心と戦略の組み合わせが、どのような条件下で高いスコアを出すのかは、シミュレーションなくしては検証が困難であろう。

表・グラフ

表 1 基本的な利得構造

		Column	
		Cooperate	Defect
Row	Cooperate	R, R (3, 3)	S, T (1, 4)
	Defect	T, S (4, 1)	P, P (2, 2)

表 2 エージェントの戦略

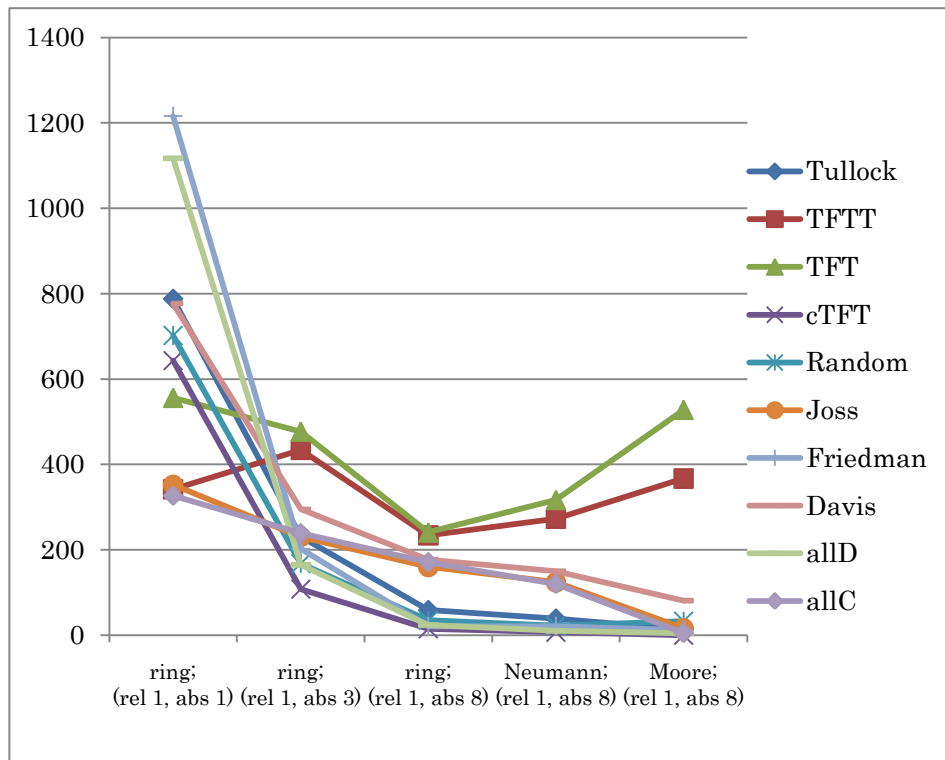
戦略名	内容
Random	1/2 の確率で C または D を選ぶ。
allD	全て D を選ぶ。
allC	全て C を選ぶ。
TFT	初回は C、その後は前回の相手の手をまねる
TF TT	初回は C、相手が 2 連続で D を出したら一度 C を選ぶ。
cTFT	初回は D、その後は前回の相手の手の逆を選ぶ。
Friedman	初回は C、相手が D を選んだらその後全て D。
Davis	最初の 10 回は C、その間相手が D を選ばなければ全て C。
Joss	初回は C、前回相手が D なら D、C ならば 90% の確率で C。
Tullock	最初の 10 回は C、その間相手が D を選んだ確率より 10% 高い確率で D。

表 3 結果(相対利得を持つエージェント数 1)

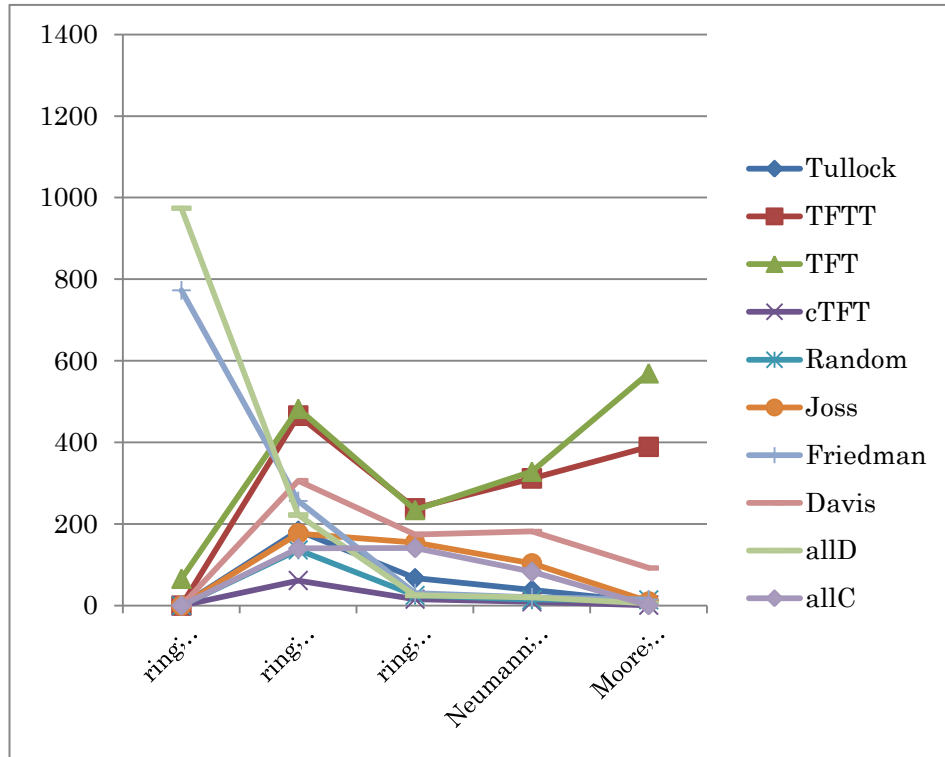
		ring; rel 1, abs 1	ring; rel 1, abs 3	ring; rel 1, abs 8	Neumann; rel 1, abs 8	Moore; rel 1, abs 8
relative	Tullock	788	231	59	39	13
	TFTT	342	434	234	273	367
	TFT	556	477	241	317	528
	cTFT	643	108	15	7	0
	Random	702	168	35	22	33
	Joss	352	230	160	124	16
	Friedman	1216	202	21	21	12
	Davis	777	295	177	150	81
	allD	1117	165	24	10	4
	allC	327	239	171	120	5
	TOTAL	6820	2549	1137	1083	1059
absolute (/agt)	Tullock	0	183.7	67.1	38.3	8.5
	TFTT	0	465.7	238.1	311.8	389.1
	TFT	66	482.7	234.5	328.4	569.8
	cTFT	0	61.3	15.4	9.5	0.9
	Random	0	136.3	24.9	14.4	14.0
	Joss	0	176.7	154.1	103.4	10.3
	Friedman	773	256.3	30.3	20.0	14.9
	Davis	0	306.0	173.9	181.5	92.1
	allD	974	221.7	25.0	20.0	5.0
	allC	0	140.0	141.3	82.8	0.9
	TOTAL	1813	2430.3	1104.5	1109.9	1105.4
tie		1367	160	27	38	98

表 4 相対利得を持つエージェントの勝率(相対利得を持つエージェント数 1)

Ring 2	Ring 4	Ring 9	Neuman 9	Moore 9
79.0%	51.2%	50.7%	49.4%	48.9%



グラフ 1 相対利得を持つエージェントの戦略ごとの勝利回数



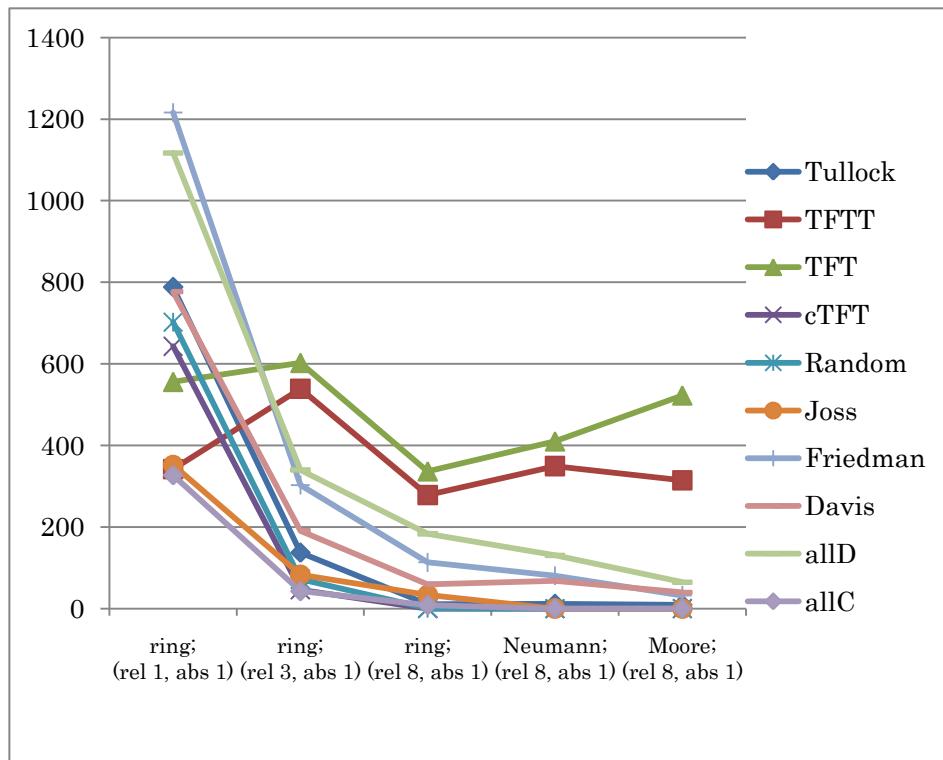
グラフ 2 絶対利得を持つエージェント 1 つあたりの戦略ごとの勝利回数

表 5 結果(絶対利得を持つエージェント数 1)

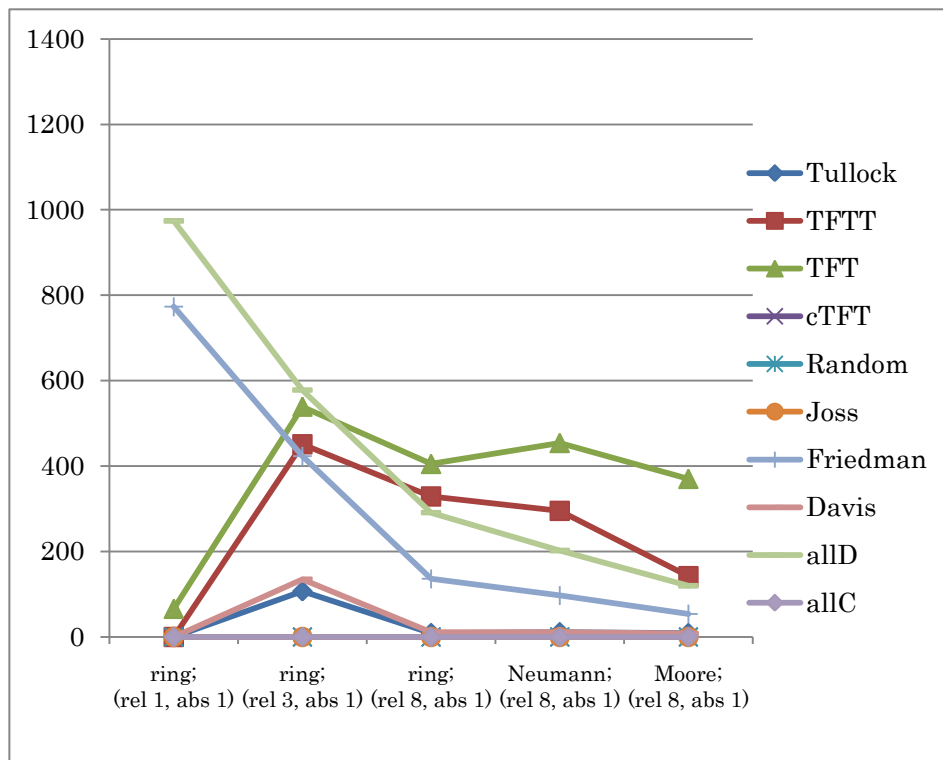
		ring; rel 1, abs 1	ring; rel 3, abs 1	ring; rel 8, abs 1	Neumann; rel 8, abs 1	Moore; rel 8, abs 1
relative (/agt)	Tullock	788.0	137.0	10.8	11.4	9.3
	TFTT	342.0	539.0	278.5	349.4	314.4
	TFT	556.0	602.7	336.3	409.9	522.8
	cTFT	643.0	46.3	0.1	0.0	0.0
	Random	702.0	71.7	0.6	0.0	0.3
	Joss	352.0	83.0	33.6	0.1	0.0
	Friedman	1216.0	303.0	113.3	80.9	32.3
	Davis	777.0	190.7	59.3	67.9	39.5
	allD	1117.0	340.0	183.3	130.5	64.6
	allC	327.0	42.7	8.8	0.0	0.0
	TOTAL	6820.0	2356.0	1024.4	1050.0	983.0
absolute	Tullock	0	107	9	11	9
	TFTT	0	451	329	295	142
	TFT	66	539	405	454	370
	cTFT	0	0	0	0	0
	Random	0	0	0	0	0
	Joss	0	0	0	0	0
	Friedman	773	423	136	97	54
	Davis	0	135	11	11	8
	allD	974	578	291	202	120
	allC	0	0	0	0	0
	TOTAL	1813	2233	1181	1070	703
tie		1367	699	624	530	1433

表 6 相対利得を持つエージェントの勝率 (絶対利得を持つエージェント数 1)

Ring 2	Ring 4	Ring 9	Neuman 9	Moore 9
79.0%	51.3%	46.4%	49.5%	58.3%



グラフ 3 相対利得を持つエージェント 1 つあたりの戦略ごとの勝利回数



グラフ 4 絶対利得を持つエージェントの戦略ごとの勝利回数