ゲーム理論の新しい研究動向：限定合理性の探求

岡田　章

1. はじめに

ORを始めとするさまざまな学問領域において，次の21世紀へ向けた新しい研究課題への挑戦が活発に行われている．ゲーム理論の分野もこの例外ではなく，1994年に三人のゲーム理論家，ナッシュ（J. Nash），ハルサニ（J. Harsanyi），ゼルテン（R. Selten）がノーベル経済学賞を受賞した後，ゲーム理論のより一層の発展を目指して多くの研究者が新しい問題に積極的に取り組んでいる．ゲーム理論は1944年のフォン・ノイマンとモルゲンシュテルンの大著「ゲーム理論と経済行動」[17]の出版以来，経済行動の合理性の解明を主要な目的としてきた．これに加えて，近年，現実の意思決定主体の限定合理的な行動への関心が経済学やゲーム理論の分野で急速に高まっている．本稿では，このようなゲーム理論の新しい研究動向について，OR学会員の方にもなじみの深い最適性と（パレート）効率性に関わる話題を中心に述べてみたい．ゲーム理論の標準的な内容については，拙書[21]を参照されたい．

2. ゲーム理論とORとの関わり：合理性の追求

ゲーム理論は必ずしもORの一つの分野として誕生したわけではないが，「ゲーム理論と経済行動」の出版以来，線形計画，非線形計画や凸解析などの数理計画法と密接に関連しながら発展してきた．フォン・ノイマンとモルゲンシュテルンが採用した分析方法は，プレイヤーの合理的行動を定義する数学的に完備な原理を発見し，数学原理から合理的行動の一般的特性を導出するというものであり，合理性アプローチと呼ばれている．ゲーム理論ではその成立から現在までフォン・ノイマンとモルゲンシュテルンに従って合理性アプローチによる研究が支配的であり，ゲーム理論の主要な目的は意思決定主体の合理的行動を解明することであった．

おかだ　あきら　京都大学　経済研究所
〒606-8501 京都市左京区吉田本町

この合理性アプローチでは，意思決定の最適性は一つの「公理」であり，プレイヤーが最適な意思決定を行うことは当然のことと見なされる．研究者の主な理論的関心は，ゲームにおける合理的行動の数学原理をいかに定義するか，さらに，ゲームの合理的な解の一般的特性を導き，具体的な問題の解を計算するアルゴリズムを開発することであった．

この事情は，「経営の科学」あるいは「問題解決の科学」としてのORの分野でも同じであると思われる．誤解を恐れずに言えば，ORでの問題解決とは，（適当に定義された意味での）最適化あるいは効率化を実現することであり，最適性や効率性自体が問題視されることはない．

一人の意思決定主体の視点から定式化された意思決定問題では，合理的行動の概念は明確であり，それはいくつかの制約条件下でのある評価関数の最大化として定義される．もちろん，制約条件や評価関数をどのように設定するかという具体的なモデル化の問題は存在する．しかしながら，この事情は同じ合理性アプローチをとるゲーム理論では大きく異なる．ゲームのプレイヤーは自分の利得を最大化することが基本前提であるが，ゲームはそのような複数のプレイヤーが相互に依存する状況であり，プレイヤーの利得最大化は自分の行動ばかりでなく他のプレイヤーの行動にも依存する．この理由から，ゲーム理論では通常，プレイヤーのもつ合理性として，(1)利得を可能な限り最大化する，(2)相手の行動を可能な限り推論する，という二つの性質が考察される．しかしながら，それぞれの意味は決して自明ではなく，プレイヤーの合理的な推論と意思決定を解明することがこれまでのゲーム理論の中心的課題であった．フォン・ノイマンによるゼロ和二人ゲームのミニマックス戦略，ナッシュによる非ゼロ和n人ゲームのナッシュ均衡点，ハルサニによる情報不完備ゲームのベイジアン均衡点，ゼルテンによる

ダイナミックゲーム（展開形ゲーム）の完全均衡点，およびそれに続く80年代の非協力均衡点の精緻化の研究を通じてプレイヤーの合理的行動の解明が絶えまなく行われてきた．このような合理的行動の解明を目的とするゲームの解（均衡）理論の研究は，1988年のハルサニとゼルテンの共著「ゲームにおける均衡選択の一般理論」[4]の出版によって一つの到達点を実現した．ハルサニとゼルテンの均衡選択の理論は，一般のゲームにおいて複数個存在するナッシュ均衡点の中から合理的行動の解として一意な均衡点をある数学的手続きを用いて選択するものである．理論の主要部分であるtracing procedureと呼ばれる手続きは，一つの学習あるいは推論プロセスを表現し，不動点アルゴリズムのホモトピー法と密接な関係にある．均衡選択の理論は，ゲーム理論の最も重要な分野の一つであり，その発展のためにはORの分野で開発された多くの数学的手法が有効である．今後，さらにORとゲーム理論の分野の研究交流が期待される領域である．

3. 限定合理的な行動の探求

前節で述べたように，ゲーム理論はこれまで意思決定主体の合理的行動の解明を主要な研究目的としてきたが，研究のフロンティアでは合理性アプローチによる分析方法の反省や再検討が絶えず行われてきた．その主要な論点は，合理性アプローチが前提とするプレイヤーの完全合理性は理想的な意思決定の記述としては重要であるが，非現実的であるというものである．現実の意思決定主体がもつ合理性はさまざまな形で限定されていて，プレイヤーの（理想的な）完全合理性を前提とする合理性アプローチが現実の人間や企業組織の行動を説明することにはたして有効であるかという批判がなされてきた．このような考えは，サイモン(H. A. Simon)[16]以来，限定合理性（bounded rationality）という名前で呼ばれてきたが，議論の多くは概念的でありシミュレーション分析の域を越えるものではなかったために，研究者の多くがその重要性を認めながらも，ゲーム理論研究の主流にはなりえなかった．

しかし，限定合理性の研究事情は80年代後半から大きく変わることになった．これまでの合理性アプローチの研究成果を踏まえた上で，生物学，認知科学，社会心理学，政治学などの他の学問分野の成果を取り入れながら，限定合理的な行動の探求が90年代に入るとゲーム理論や経済学の最重要課題の一つとなり，現在，精力的な研究が行われている．

ここで注意すべきことは，ゲーム理論研究にとって合理性と限定合理性の両方のアプローチが等しく重要であって，一方がより優れているというわけではないことである．合理性アプローチはプレイヤーの理想的な完全合理性にもとづく行動の数学原理とその一般的特性の解明を目的とする意思決定の規範的理論（normative theory）であり，一方，限定合理性アプローチは現実の意思決定主体の行動の説明・理解を目的とする記述的理論（descriptive theory）である．合理性と限定合理性の両方のアプローチの性格の違いを明確にした上で，人間行動のより深い理解のためには両方のアプローチが等しく重要であるとする研究方法論上の立場は，「方法論的二元主義」と呼ばれ，現在，ゲーム理論の研究方向に大きな影響を与えている([15]，[23])．

限定合理性の性質やその分析方法に関して研究者の間で共通の理解はまだ得られていない．しかし，限定合理性を「現実の意思決定主体がもつ合理性」と理解するならば，限定合理的な行動の解明には抽象的な数学モデルや原理だけでは不十分であり，現実の行動の観察が必要不可欠であるという認識は多くの研究者が共有している．

限定合理性の視点からは，合理性アプローチでは公理として当然のごとく前提とされたプレイヤーの最適化行動は必ずしも明らかでない．進化生物学の立場からは，最適化を実行せず環境に適応しない生物個体は進化のプロセスにおいて生き残れないと言えるかもしれない．すなわち，自然淘汰によって生物プレイヤーは適応度（利得）を最大にするように進化してきたという考えである．ビジネスのことばで言いかえると，利潤を最大にしない企業はビジネスの競争社会で生き残れないということである．このような生物進化の考えに基づくゲーム理論の新しい分野である進化的ゲーム理論（evolutionary game theory）が80年代に誕生し90年代はゲーム理論や経済理論の最もホットなトピックであった．進化的ゲーム理論で用いられる数学手法は，微分方程式や確率過程論であり，この分野も今後，ORとゲーム理論の大きな接点の一つになることと思われる．特に，確率的進化ゲームのモデルでは，進化や学習のプロセスがマルコフ過程として定式化され，マルコフ過程における極限分布の数学的性質の解明とその計算が重要である．ORの理論分野では数理計画法とともに確率過程論がゲーム理論における

重要な数学手法となっている．

限定合理性アプローチが研究対象とする現実の人間行動はきわめて複雑であるが，少なくとも次の三つの要素が互いに関連していると考えられている．

1．動機（motivation）
2．適応（adaptation）
3．認知（cognition）

先に述べた進化と学習のゲームモデルは主に適応行動を研究対象とする．ここで，適応行動とは，動物行動に典型的に見られるように高度の推論を用いずにルーチン（慣行）として環境や過去の経験に反応する一種の学習行動を意味する．進化と学習のゲーム理論についてはすでに多くのテキストや研究書が出版されているので，より詳しい内容はそちらを参照されたい（[2]，[14]，[18]，[19]）．

以下では，最近，筆者が行ったゲーム実験の例を紹介しながら，限定合理性の動機と認知の側面について述べてみたい．ゲーム理論や経済学の分野での実験研究の最近の動向は，[3]が詳しい．

4．最適行動とナッシュ均衡点

プレイヤーの最適行動を定式化する基本的なゲームの解概念は，ナッシュ均衡点である．ナッシュ均衡点は，どのプレイヤーも一人だけ戦略を変更しても利得が増加しないような戦略の組として定義される．ナッシュ均衡点に関してよく受ける質問の一つは，「実際のプレイヤーはナッシュ均衡点に従ってゲームをプレイするのですか，もしそうであればどのような推論のプロセスを経て一つのナッシュ均衡点をプレイするようになるのですか」というものである．読者の中にもゲーム理論の授業で初めてナッシュ均衡点の概念を聞いたとき，このような疑問をもった方も少なくないでしょう．実は，この問題は私たちの推論と意思決定のメカニズムに深く関わる問題であり，現在，ゲーム理論の研究者がさまざまな視点から分析しているが，満足な解決はいまだされていない．進化と学習のゲーム理論では，適応学習の視点からこの問題の研究が進められている．

ナッシュ均衡点の現実的妥当性について疑問をもつ研究者もある特別な性質をもつナッシュ均衡点についてはその妥当性を認めることが多い．そのような例として，支配される戦略を連続的に除去して一意に得られるナッシュ均衡点がある．このことを次の例を用いて説明しよう．

表1 支配される戦略の連続除去

	a	b	c
a	3, 3	6, 1	−1, 0
b	1, 6	4, 4	2, 1
c	0, −1	1, 2	0, 0

表1のゲームでは二人のプレイヤーはともにa，b，cの三つの戦略をもち，行列の左(右)の数字は行(列)プレイヤーの利得を表す．いま，行プレイヤーの戦略bと戦略cによる利得を比較すると，相手プレイヤーの戦略が何であろうとつねに戦略bを用いたときの利得の方が戦略cを用いたときよりも大きい．このとき，戦略bは戦略cを支配するという．支配される戦略cは明らかに行プレイヤーの利得最大化と矛盾する．ゲームの利得行列は対称だから列プレイヤーについても同様のことが成り立つ．したがって，プレイヤーの合理的行動の分析は支配される戦略cを除去した二つの戦略a，bをもつ小さなゲームに帰着される．ゲームの利得行列からさらに二人のプレイヤーの戦略aは戦略bを支配していることがわかる．したがって，戦略bを除去すれば戦略の組（a，a）が残る．戦略の組（a，a）はゲームの唯一のナッシュ均衡点であることが容易にわかる．

利得最大化を目的とするプレイヤーは支配される戦略を除去し，また相手プレイヤーも自分と同じように支配される戦略を用いないであろうと合理的に推論する．この推論のプロセスをくり返すことによって一意なナッシュ均衡点（a，a）に到達できる．支配される戦略の連続除去によって得られるナッシュ均衡点はプレイヤーの合理的行動の解として強い説得力をもつ．

では，このような支配される戦略の連続除去の論理がプレイヤーの実際の行動の説明や予測にどの程度有効であるかを，平均値推測ゲームの実験データを用いてみてみる．

ケインズは「雇用・利子および貨幣の一般理論」[5]の中で，投機的な玄人筋の行う株式投資の特徴はいかに自分と同じような投資家を出し抜き，一般投資家の裏をかくかということであると述べ，投機家の株式投資の比喩として，次の有名な「美人投票」の例を提示した：「玄人筋の行う投資は，投票者が100枚の写真の中から最も容貌の美しい6人を選び，その選択が投

票者全体の平均的な好みに最も近かった者に商品が与えられるという新聞投票に見立てることができよう．この場合，各投票者は彼自身が最も美しいと思う容貌を選ぶのではなく，他の投票者の好みに最もよく合うと思う容貌を選択しなければならず，しかも投票者のすべてが問題を同じ観点から眺めているのである．」

ケインズの美人投票の例では，すべてのプレイヤーの平均的な行動と最も近い行動を選択したプレイヤーが勝者であるが，株式投資の例では，平均的な投資家より一歩先に株価変動を予測して株式の売買を行った投資家が大きな利潤を得る．このことに注意して，美人投票の物語から次のようなゲームを考案することができる．

平均値推測ゲーム：n 人のプレイヤーが，それぞれ他のプレイヤーとは独立に 0 から 100 までの数字を一つ選ぶ．選ばれた n 個の数字 $x_1, \cdots, x_n$ の平均値 $x=(x_1+\cdots+x_n)/n$ を $p\,(0<p<1)$ 倍した数字に最も近い数字を選んだプレイヤーがゲームの勝者で賞金を獲得する．もし勝者が二人以上の場合は，賞金は勝者の間で均等に分配される．

ケインズの美人投票は $p=1$ の場合である．このゲームでプレイヤーがゲームに勝つために選ぶべき数字の目標値 px は閉区間 $[0, 100p]$ に属する．このことに注意すると，半開区間 $(100p, 100]$ 内の数字を選ぶより数字 $100p$ を選ぶことによって他のプレイヤーがどんな数字を選んでもゲームに勝つ確率が下がることはない．また，他のプレイヤーの選ぶ数字によっては数字 $100p$ を選ぶことによって $(100p, 100]$ 内の数字を選ぶよりゲームに勝つ確率を大きくすることができる（例えば，他のプレイヤー全員が数字 $100p$ を選ぶ場合を考えて下さい）．以上の議論は，数字 $100p$ は半開区間 $(100p, 100]$ 内のすべての数字を（弱く）支配していることを意味する．これより，プレイヤーの合理的な行動は閉区間 $[0, 100p]$ から数字を選ぶことである．

各プレイヤーが他のプレイヤーも自分と同じように推論すると予測すれば，すべてのプレイヤーの戦略集合は $[0, 100]$ から $[0, 100p]$ に縮小される．以後，同じ推論を n 回くり返すと戦略集合は $[0, 100p^n]$ となり，合理的推測の回数 n が無限に大きくなると，戦略集合は数字 0 に収束する．すなわち，すべてのプレイヤーが数字 0 を選ぶ状態が（弱）支配される戦略の連続除去によって選ばれる戦略の組であり，ゲームの唯一のナッシュ均衡点であることが証明できる．

このように，平均値推測ゲームではプレイヤーの合理的行動の解としてのナッシュ均衡点への推論プロセスが明確であり，その計算も容易であるため，最近多くの研究者がナッシュ均衡点の現実的妥当性をテストするゲームとして関心を示している．

Nagel[6] はボン大学の学生を被験者として，平均値推測ゲームの実験を最初に行った．実験での一つのグループの被験者は 15 人から 18 人で，目標値のパラメータの設定は $p=2/3$，賞金は 20 ドイツマルクである．**表 2** は実験データの一部を示している．4 つのグループとも選ばれた数字の平均値は 30 から 40 の間であり，ナッシュ均衡点が予測する 0 とは大きく異なっている．Camerer[1] は Nagel の実験データを検証するために，ポートフォリオ・マネジャー，経済学 Ph. D.，カリフォルニア工科大学の評議員や学部生，高校生などの多様な被験者ごとに実験を行い（$p=0.7$，賞金は 20 ドル），Nagel と同様の行動を観察している．

筆者も勤務する京都大学で経済学部生 13 人を被験者として平均値推測ゲームの実験を行った（$p=0.7$，賞金は授業の評価点 10 点）．**表 3** はその実験データを示している．実験結果は Nagel の場合と同様であり，選択された数字の平均値は 37.15 であった．

現在までに報告されている実験データは共通してナッシュ均衡点の理論予測とは大きく異なっていて，ナッシュ均衡点（または，支配される戦略の連続除去）

表 2　平均値推測ゲームの実験（[6]）

	平均値	メディアン
グループ 1	39.7	33
グループ 2	37.7	35
グループ 3	32.9	28
グループ 4	36.4	33

表 3　平均値推測ゲームの実験（京都大学，1998 年）

選択した数字	被験者数
100	1
47	1
38	1
36	1
35	4
30	1
25	2
22	1
20	1

は平均値推測ゲームでの被験者の行動の説明や予測に有効でないことを示している．また，上の実験結果では数字0を選ぶとゲームに勝てないから，プレイヤーにとるべき行動を助言する理論としてもナッシュ均衡点は優れていない（大学でゲーム理論を教えている筆者自身，平均値推測ゲームの1回プレイでナッシュ均衡点に従って数字0を選ぼうとは思わない）．

平均値推測ゲームのナッシュ均衡点による理論予測は実験データと乖離している．しかし，ナッシュ均衡点以外のすべての行動仮説，例えば実験データとよりフィットする「被験者は中間値50から始めて支配される戦略の除去を1，2回の深さの推論で実行し，$50p$から$50p^2$近くの数字を選ぶ」という行動仮説は，被験者全員がこの行動仮説を知り，さらに他の被験者も仮説の通り行動を選択すると予想するならば，当の被験者自身は他の被験者の裏をかいてその行動仮説と異なる行動をとろうとする．この意味で，ナッシュ均衡点以外のすべての行動仮説は自己破滅的（self-destroying）である．

平均値推測ゲームではナッシュ均衡点の計算は容易であるが，被験者は他の多数の被験者も自分と同じような合理的推論によって行動を選択するかどうか確信をもてない．したがって，合理的行動の理論予測を念頭におきつつも，他のプレイヤーの推論を想像して行動を選択しなければならない．平均値推測ゲームのルールは単純であるが，プレイヤーの意思決定の構造は高度に複雑である．平均値推測ゲームの実験結果は，人間行動の理解のためには現実の意思決定主体の限定合理的な推論のメカニズムに関して知識をさらに深めることの必要性を示している．

5．パレート効率性

前節では，個々のプレイヤーがとるべき合理的行動の解としてナッシュ均衡点を考えたが，次に集団やグループの合理的行動について考えてみる．集団合理性の最も代表的な解の概念はパレート効率性（あるいは最適性）であり，利得分配問題では次のように定義される．いま，Xをn人のプレイヤーによる実現可能な利得分配の全体とする．Xのある利得分配$x=(x_1, \cdots, x_n)$がパレート効率的であるとは，すべてのプレイヤー$i=1, \cdots, n$にとって$y_i>x_i$となるXの利得分配$y=(y_1, \cdots, y_n)$が存在しないときをいう．

直感的に言えば，もし分配xよりプレイヤー全員にとって利得が増加する実現可能な分配yがあれば，分配xを実現することは集団にとって合理的な行動ではないということである．合理的な集団行動を前提とする協力ゲーム理論では，一般にパレート効率性は「公理」として採用される．経済学においてもこれまで，「情報の非対称性および交渉費用が存在しない状況では，合理的な個人間の自発的な交渉によってパレート効率的な資源配分が実現される」という考え方（「効率性原理」）が支配的であった．

以下では，交渉ゲームの実験データを用いて行動の背後にある動機の面からプレイヤーの限定合理性が効率性の実現にどのように影響を及ぼすかをみてみる．

最初に，合理性アプローチにおいても，「集団行動はその個々のメンバーの最適化行動から説明されるべきである」という非協力ゲーム理論の立場からは，効率性の実現は必ずしも自明でないことが最近の非協力交渉理論（[7]，[10]，[11]）によって明らかにされている．

次のような3人ゲームの例を考える．プレイヤー集合は$N=\{1,2,3\}$で，プレイヤーの各グループ（提携）の総利得は，$v(\{1,2,3\})=10$，$v(\{1,2\})=v(\{2,3\})=v(\{1,3\})=9$，$v(\{i\})=0$ $(i=1,2,3)$ である．プレイヤーはグループ形成と利得分配について交渉するが，効率的な交渉結果は3人全員が協力して最大利得10を得ることである．

交渉ルールとしてrandom proposers model（[7]）と呼ばれるものを採用する．交渉の手順は，次のとおりである．

1. 交渉の各ラウンドの始めに一人の提案者が等確率で選ばれる．
2. 提案者は希望する提携と分配案を表明し，提携の他のメンバーが順々に応答する．もし全員が受諾すれば，提案は合意されゲームは終了する．
3. もし提案が拒否されれば次のラウンドに進み，以後同じプロセスで合意が成立するまで続けられる．もし合意が成立しない場合，三人のプレイヤーの利得は0である．

この交渉ゲームの戦略として次のものを考える．

プレイヤー1：提携$\{1,2\}$と分配$(6,3,0)$を提案する

プレイヤー2：提携$\{2,3\}$と分配$(0,6,3)$を提案する

プレイヤー3：提携$\{1,3\}$と分配$(3,0,6)$を提案する

また，応答戦略としてすべてのプレイヤーは利得3以上の提案をすべて受け入れるとする．

上の戦略に従ってゲームがプレイされるとき，どのプレイヤーも提案者に選ばれる確率は1/3であるから，

期待利得は3である．これに注意すると，利得3以上の提案を受け入れることは応答者の最適戦略である．さらに，応答者の戦略を所与とすると，提案者は3人グループではとり分は10−3−3=4であり，2人グループでは9−3=6である．したがって，2人グループを提案することがプレイヤーの最適戦略である．以上の議論より，上で定義された戦略の組は交渉ゲームのナッシュ均衡点（さらに部分ゲーム完全均衡点）であることがわかる．このナッシュ均衡点では非効率な2人グループが形成され，効率的な利得分配は実現しない．効率的な利得分配が実現するための必要十分条件は，Okada[7]を参照．

現実の意思決定主体がはたして非効率な利得分配に合意するかどうかを調べるために，交渉ゲームの実験を行ったのでその概要を以下で紹介する（[12]，[13]）．実験場所は京都大学とウィーン高等研究所で，被験者は主に京都大学とウィーン大学の学生192名である．97年と98年に8セッションを行い，一つのセッションの被験者は24名である．提携の利得パラメータは，3人提携が3000点で，2人提携は2800点，2500点，2100点，1200点の4通りのケースを設定した．1人提携の利得は0点である．通貨の交換レートを考慮して，点数の金額は，日本での実験では1点＝1円，オーストリアでの実験では10点＝1オーストリアシリングである．

実験で採用した交渉ルールは，random proposers modelの変形として，事前に決定された一人の提案者と二人の応答者が1回の交渉ラウンドのみをプレイするものである．すなわち，提案者はグループと利得分配を提示し，グループの他のメンバーは順次，提案を受け入れるかどうかを決定する．合意は全員が受け入れた場合のみ成立し，交渉が決裂した場合，三人の被験者の得点は0である．

実験の前に24名の被験者に8名ずつ提案者，応答者1，応答者2の三つの役割を割当て，それぞれの役割をもつ3名の被験者によって一つの交渉ゲームのプレイを行った．各被験者はそれぞれ相手を変えて8回のゲームをプレイし，実験終了後，8回のプレイのうち2回をランダムに選び，選ばれたプレイでの総得点に応じて金額を得た．

「被験者が自分の利得の最大化のみに関心がある」という前提の下では，交渉ゲームでの理論予測は，2人提携の利得パラメータに無関係に提案者は最も効率的な3人提携を提案し，提携の利得3000点をすべて独占するというものである．これは，応答者は提案を拒否すれば利得は0になるという交渉ルールの特性から応答者の最適戦略は0以上の利得をすべて受け入れることに注意すれば，容易にわかる．

実験データは上の理論予測を支持するであろうか．**表4**は，2人提携の形成頻度を示している．日本とオーストリアの実験データに統計的な有意差はないので，表4は両国の実験データを集計している．表4をみると，2人提携の利得が2800点と2500点の場合は2人提携の形成頻度が非常に高くて80%を越えているのに対して，2人の提携の利得が1200点の場合は2人提携はほとんど形成されない．提携の利得が中間の2100点の場合，2人提携の形成頻度は約50%である．

表4の実験データは交渉モデルの理論予測を明らかに棄却している．なぜ被験者は非効率な2人提携を形成するのだろうか．また，なぜ2人提携の利得が1200点の場合は3人提携が形成されるのだろうか．この疑問に答える鍵は応答者の行動である．

図1は2人提携で提案された利得に対する応答者の拒否率を示している．図1で特徴的なことは500点以下の提案利得は高い頻度で拒否されていることである．拒否率は提案利得が大きくなるにつれて減少し，1000

表4　2人提携の形成頻度（[12]）

2人提携の値	形成頻度
2800	82.6%
2500	84.0%
2100	50.7%
1200	1.4%

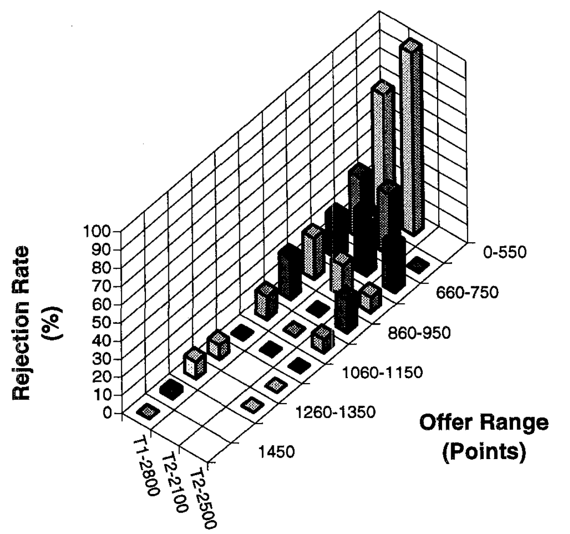

図1　2人提携での拒否率（[12]）

点以上の利得はほとんど受け入れられている．

図1の実験データは，利得の最大化とともに「親切な（不親切な）行為には親切な（不親切な）行為でお返しをする」という互恵主義が被験者の大きな行動誘因であることを示している．500点以下の利得の提案は不親切な行為とみなされ，応答者もあえて利得が0になってもそれを拒否するという不親切な行動で応答する．被験者が受け入れ可能な利得は500点から1000点までに分布している．どのくらいの提案額を不親切な行為と見るかは個人差があり，限定合理的な意思決定主体の認知の問題がここで重要になる．

もし1000点を応答者の受け入れ可能な額と仮定すると，提案者のとり分は3人グループだと1000点であり，2人グループだと，提携の利得が2800点と2500点の場合，それぞれ1800点，1500点となる．したがってこれらの場合，非効率な2人提携を提案することが提案者にとって最適戦略となる．実験データはこのような互恵主義の制約下での提案者の利得最大化行動によって非効率な2人提携が形成される可能性を示している．さらに，このことは非効率な利得分配をもたらすだけでなく，3人の被験者のうち1人をグループから除去するという社会的に不公平な状態をもたらすという（意図せざる）結果となる．

交渉ゲームの実験は，実際の意思決定主体の行動誘因は利得の最大化のみではなく互恵主義を含む複雑なものであり，そのような行動誘因をもつプレイヤーの意思決定は，単に自分の利得の最大化のみを前提とする場合の理論予測とは大きく異なることを示唆している．

6. 終わりに

本稿では，ゲーム実験の例を紹介しながら，ゲーム理論の新しい研究動向として多くの研究者が強い関心を示している現実の意思決定主体の限定合理的な行動について，プレイヤーの推論と動機の側面を中心に述べてきた．もちろんこの他にも現在，多くの新しい問題の研究が進められている．その一つが，社会・経済制度を含むゲームのルールの生成や変化，選択の問題である．通常，ゲーム理論の分析ではゲームのルールは所与とされるが，現実社会では社会や経済のルールは社会の発展とともに変化している．ゲームのルールとプレイヤーの限定合理的な行動のダイナミックな相互連関を解明することは，今後の重要課題の一つである．最後に，紙面の制約のため，ゲーム理論の最近の応用例について述べることができなかったが，OR分野への応用例で筆者自身が関わっているものとして，地球環境問題におけるCO_2排出権取引き（[9]）や職場における人員配置（[20]）の研究がある．

参考文献

[1] C. F. Camerer: "Progress in Behavioral Game Theory," *Journal of Economic Perspective* 11(4), 167-188, 1997.

[2] D. Fudenberg and D. K. Levine: *The Theory of Learning in Games*, MIT Press, 1998.

[3] J. H. Hagel and A. E. Roth (eds.), *The Handbook of Experimental Economics*, Princeton University Press, 1995.

[4] J. C. Harsanyi and R. Selten: *A General Theory of Equilibrium Selection in Games*, MIT Press, 1988.

[5] J. M. Keynes: *The General Theory of Employment, Interest and Money*, The Macmillan Press, 1973. 塩野谷祐一（訳）「雇用・利子および貨幣の一般理論」，東洋経済新報社，1995年．

[6] R. Nagel: "Unraveling in Guessing Games: An Experimental Study," *American Economic Review* 85(5), 1313-1326, 1995.

[7] A. Okada: "A Noncooperative Coalitional Bargaining Game with Random Proposers," *Games and Economic Behavior* 16(1), 97-108, 1996.

[8] A. Okada: "Social Development Promoted by Cooperation: A Simple Game Model," KIER DP No. 483, 1998.

[9] A. Okada: "A Cooperative Game Analysis of CO_2 Emission Permits Trading: Evaluating Initial Allocation Rules," KIER DP. No. 495, 1999.

[10] A. Okada: "The Efficiency Principle in Noncooperative Coalitional Bargaining," KIER DP. No. 505, 1999.

[11] A. Okada and E. Winter: "A Noncooperative Axiomatization of the Core," KIER DP. No. 421, 1995.

[12] A. Okada and A. Riedl: "Inefficiency and Social Exclusion in a Coalition Formation Game: Experimental Evidence," KIER DP No. 491, 1999.

[13] A. Okada and A. Riedl: "When Culture Does Not Matter: Experimental Evidence from Coalition Formation Ultimatum Games in Austria and Japan," KIER DP No. 497, 1999.

[14] L. Samuelson: *Evolutionary Games and Equilibrium Selection*, MIT Press, 1997.

[15] R. Selten: "Presidential Address: Features of

Experimentally Observed Bounded Rationality," *European Economic Review* 42, 413-436, 1998.
[16] H. Simon: *Models of Man*, New York, Wiley, 1957.
[17] J. von Neumann and O. Morgenstern: *Theory of Games and Economic Behavior*, Princeton University Press, 1944.
[18] J.W. Weibull: *Evolutionary Game Theory*, MIT Press, 1995. 大和瀬達二(監訳)「進化ゲームの理論」, 文化書房博文社, 1998年.
[19] P.H. Young: *Individual Strategy and Social Structure: An Evolutionary Theory of Institutions*, Princeton University Press, 1998.
[20] 大道典子, 岡田　章: "職場における人員配置問題―マッチング・ゲーム理論の適用例," オペレーションズ・リサーチ 41巻12号, 683-690, 1996年.
[21] 岡田　章: ゲーム理論, 有斐閣, 1996年.
[22] 岡田　章: "交渉の科学: ゲームの実験," 数理科学, 66-76, 1999年.
[23] 岡田　章: "ゲーム理論と実験アプローチ: 限定合理性の理論に向けて," 経済セミナー, 24-28, 1999年9月.