

モノポリーゲームにおける交渉エージェント

安村 禎明[†] 秋山 英久[†]
小口 邦彦[†] 新田 克己[†]

本論文では、交渉研究の題材としてモノポリーゲームを取り上げることを提案し、これまでの我々のモノポリーエージェントに関する研究を紹介する。まず、モノポリーの特徴などを簡単に述べ、モノポリーエージェントと人間のプレイヤーがネットワークを通して対戦できる電子化モノポリーについて説明する。また、モノポリーエージェントに必要な機能を列挙する。次に、モノポリーエージェントの一例として我々の作成したエージェントを紹介する。このエージェントは期待値に基づく評価関数を用いて資産を評価する。エージェントは交渉による双方の評価関数の増分が等しくなるように交渉案を作成する。このエージェントを用いたシミュレーションの結果からエージェントの特徴を分析できることを示した。

Negotiation Agents in the MONOPOLY Game

YOSHIAKI YASUMURA,[†] HIDEHISA AKIYAMA,[†] KUNIHICO OGUCHI[†]
and KATSUMI NITTA[†]

In this paper, we propose to employ the MONOPOLY game as a subject of a negotiation research, and introduce our study on MONOPOLY agents. First, we briefly describe the features of MONOPOLY, and explain an electronic MONOPOLY that enables agents and human players to play the MONOPOLY game via network. Functions required for a MONOPOLY agent are enumerated. Next, we introduce an instance of a MONOPOLY agent. This agent evaluates player's property by an evaluation function based on expected values. The agent make a proposal that the property increments of both sides are balanced. From the results of the simulation using the agents, we can analyse the agent's character.

1. はじめに

チェスや将棋などのゲームに関する研究はこれまで探索や機械学習など様々な分野において発展に貢献してきた。これまでゲーム研究の対象として、チェスに代表される2人完全情報ゲームやコントラクトブリッジなどの不完全情報ゲームなどがあげられ、近年では実時間マルチエージェントゲームとしてサッカーが取り上げられている。今後、ゲーム研究は様々なゲームを研究対象としてとらえることでさらなる発展が期待できる。その有望な対象の1つとしてモノポリーゲーム（以下、モノポリーと記述）があげられる。モノポリーはすごろくに似た、交渉が中心のゲームであるため、モノポリーを交渉研究の題材としてとらえることができる。

従来、交渉研究では交渉術のような社会科学的な側

面が中心であった^{1)~3)}。交渉術に関する研究では、交渉を有利に進めるための状況判断や戦略などを対象としており、交渉の駆け引きのような実践的な内容が目立つ。このような研究では、交渉術として定性的な戦略やノウハウが得られているが、いつ、どの相手とどのような条件で交渉するかといった具体的な解析はなされていない。

一方、インターネットの普及により電子商取引に関する技術が注目を浴びている。商取引において契約内容を決定する際には交渉は中心的な役割を果たしているため、交渉エージェントや交渉支援システムに必要な技術の開発が期待されている。しかし、実際の契約交渉では数量や納期、品質などの様々な要素が対象となるため、エージェントを作成するには膨大な知識が必要である。このため、一般的な交渉を研究することは困難である。これに対してモノポリーは、ルールによって知識が限定できるにもかかわらず、商交渉にお

[†] 東京工業大学大学院総合理工学研究科
Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology

モノポリーは Hasbro, Inc. の登録商標である。

ける様々な要素(売買, オークション, 交換など)が含まれている点や, 勝敗が明確であることから手段の優劣が分かりやすいという点から交渉を研究するための題材として優れた性質を持っている.

これまでモノポリーを研究対象としたものに, 意思決定の際の思考アルゴリズムを検討する題材としてモノポリーをとりあげたものがある⁴⁾. しかし, この文献では各マスにとまる確率や利益の期待値などを求め, 意思決定のための材料を提供しているのみであり, 実際に交渉を行うものではない.

そこで本論文では, モノポリーを交渉研究の題材として取り上げること提案し, プレイヤをエージェント化することによる交渉研究の意義について述べる. さらに, これまで我々が行ってきたモノポリーエージェントの研究を紹介する. このエージェントは期待値に基づいた資産の評価関数を持っており, 交渉の際には評価関数で提案を評価する. 最後に, このエージェントを用いたシミュレーション結果を示す.

2. モノポリー

ここでは, モノポリーを簡単に紹介する. まず, モノポリーのルールを説明し, このゲームの特徴をあげる. 次に, モノポリーにおいて必要とされる意思決定の場面を列挙する. 最後に, エージェントと人間のプレイヤがネットを通してゲームをプレイする基盤となる電子化モノポリーについて述べる.

2.1 モノポリーとは

モノポリーとは, 交渉が中心のすごろくに似たボードゲームである. モノポリーにおいてプレイヤの目的はすべての財産を独占して他のプレイヤを破産に追い込むことである. 図1はモノポリーのボードである. プレイヤはこのボードをサイコロの目に従い周回する. ボードのマスは多くは土地や会社などが設定されており, 初めてとまったプレイヤはその権利書を銀行から購入できる. 他のプレイヤがそのマスの権利を持っている場合はプレイヤにレンタル料を支払わなければならない. 土地は2~3カ所で1つのカラーグループを形成している. プレイヤが同色の土地をすべて集めるとレンタル料が増加し, 家を建てる権利が得られる. 家を建てる则大幅にレンタル料が増えるため, 家を建てるがモノポリーで勝つための最も有力な手段である. このようにモノポリーで勝つためには同色の土地の権利書を揃えることが不可欠であるため, 権利書を揃えるためにプレイヤ間で交渉する. したがって, 交渉の優劣がゲームの勝敗に大きく影響を与える.

モノポリーの特徴として次のことがあげられる.

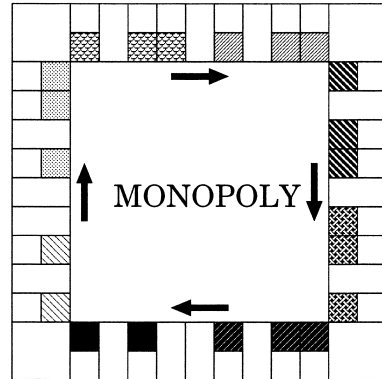


図1 モノポリーのボード
Fig.1 MONOPOLY board.

- マルチエージェント

2人から8人用となっているが, モノポリーの大会では5人または6人でゲームをプレイする. このため, 交渉相手の候補は複数にわたり, 各プレイヤの行動によって状況が複雑に変化する.

- 動的な環境

プレイヤがサイコロを振るごとに状況が変化する. また, プレイヤがサイコロを振ってコマを動かしてから次のプレイヤがサイコロを振るまでの間にどのプレイヤも交渉をすることができる. 交渉が成立すると状況が一変することも少なくない.

- 交渉中心

サイコロによる運, 不運があるが, 交渉の良し悪しが勝敗を左右する.

2.2 モノポリーにおける意思決定

モノポリーにおいてプレイヤの意思決定が必要なことを以下にあげる.

【交渉】 権利書の売買, 交換では, 他プレイヤとの交渉で条件を決定する. プレイヤはいつ, だれと, どのような条件で交渉を始めるのか, 交渉が始まってからどのように譲歩するのかといったことを決定する必要がある.

【家の建築】 1つのカラーグループを揃えるとその土地に家を建築できる. また, お金が足りない場合には, 家を建てたときの半額で家を売ることもできる. 現在の状況から判断して何軒の家を建てるかを決定することは重要な戦略である.

【抵当】 土地や会社の権利書は抵当に入れることができ, 額面の半額の金額を受け取れる. 家を建てる時などでお金が必要な場合は余っている権利書を抵当に入れることが考えられる.

【権利書の購入(オークション)】 初めてその土地に

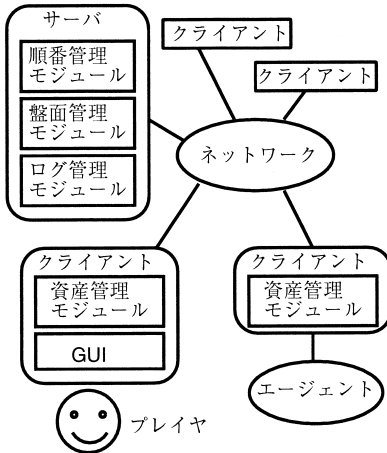


図2 電子化モノポリー
Fig.2 Electronic MONOPOLY.

とまったプレイヤーは権利書を買う権利を持っているが、十分なお金がない場合やその額面の価値がないと判断した場合はその権利書をオークションにかけられる。オークションにおいて、プレイヤーはどの金額まで競るのかを決定しなければならない。

【刑務所】 刑務所に入った場合、3回までは出所するかどうかを選択できるため、これを決定しなければならない。一般的に、前半は権利書を購入するためにすぐに出所し、後半になるに従って支払わなければならないレンタル料が増加するため、刑務所にとどまる方が有利になる。

2.3 電子化モノポリー

ネットワークで接続された計算機上でプレイできる電子化モノポリーについて述べる。図2は電子化モノポリーの構成を示している。モノポリーサーバとモノポリークライアントはネットワークを通じて接続されている。クライアントは人間のプレイヤー、またはエージェントである。

2.3.1 モノポリーサーバ

モノポリーサーバは次の3つのモジュールからなり、ゲームの進行を管理する。

- 順番管理モジュール
プレイヤーの順番を管理し、交渉や家の建築などのプレイヤーの行動の交通整理を行う。
- 盤面管理モジュール
土地や会社の所有状況、家の建設状況、各プレイヤーの資産、コマの位置の情報を管理している。プレイヤーの行動からこれらの状態が変化した場合は、これらの情報を変更する。また、チャンスカード

の順番を管理している。

- ログ管理モジュール

ゲームの進行状況をログに記録する。ログからゲームを再現できる。

2.3.2 モノポリークライアント

モノポリークライアントは人間のプレイヤーの場合とエージェントの場合がある。いずれの場合でもクライアントは資産管理モジュールを有している。このモジュールは土地の所有者やその状態、各プレイヤーの資産、コマの位置の情報を管理する。プレイヤーが人間の場合、GUIを用いて資産管理モジュールに保持されている資産状況を表示し、入力を受け付ける。プレイヤーがエージェントの場合、エージェントは資産管理モジュールの情報を基に意思決定を行い、プロトコルに従ってサーバに送信することでゲームをプレイする。

3. モノポリーエージェント

ここでは、モノポリーのプレイヤーをエージェント化したモノポリーエージェントについて述べる。まず、モノポリーのプレイヤーをエージェント化することによる研究上の意義について論じる。次に、モノポリーエージェントが人間のプレイヤーとプレイするために必要な機能に関して述べる。

3.1 エージェント化の意義

モノポリーのプレイヤーをエージェント化することの意義は次のようなものがあげられる。

- 交渉エージェントに必要な技術の発展への貢献
モノポリーにおいてエージェントを作成することは、ゲームという限定された世界であるが、実際に近い交渉ができるエージェントを作成することにつながる。このようなエージェントを作成するには様々な交渉に関する機能が必要であるため、このような機能に関する技術の発展に寄与すると考えられる。また、完全に交渉を自動化することに不安がある場合は、交渉支援システムを用いることも考えられる。この場合、最終的な判断は人間が行う。このような支援システムを構築する際にもエージェント化の技術が大いに役立つと予想される。
- シミュレーションによる交渉戦略の分析
すべてのプレイヤーをエージェント化するとシミュレーションを行えるようになる。モノポリーはサイコロを使うゲームであるため、運の要素が含まれているが、多数のシミュレーションを行うことでその影響を軽減できる。シミュレーションにおいて、エージェントを様々な設定にすることでそ

のエージェントからどのような交渉結果が得られるのかといった定量的な解析が可能になる。また、強化学習のような学習に時間がかかる場合にもシミュレーションが適している。

3.2 エージェントの機能

モノポリーエージェントが交渉するには次のような機能が必要である。

- 交渉の切り出し
交渉を始める際にエージェントはいつ、だれと、どのような条件で交渉するかを決める必要がある。これらの決定はゲームの流れを大きく左右する。従来多くの交渉研究では、交渉が始まってからを対象としており、交渉に至るまでの過程についてはあまり論じられていない。いつ交渉を切り出すかを決めるには、その時点だけでなく、将来的にどのような交渉ができるかを予測する必要がある。また、交渉相手を決定するには、様々な交渉条件の中から最も良い条件となる相手を選択しなければならない。また、ハイリスク・ハイリターンを望むものやリスクを回避するものなどの交渉相手の嗜好も考慮する必要がある。
- 提案の交換
交渉が始まってからどのように交渉を進めるかを決めなければならない。一般的に交渉というと価格交渉のようにゼロサムゲームを想定し、最初の提案をどの程度にし、それぞれがどのように譲歩するかを決定すると考えがちである。しかし、モノポリーの交渉では交換する権利書の組合せを変更することでお互いの利益を増やすことも考えられ、単なるゼロサムゲームととらえられない場合もある。このような交渉形態は利益交換型交渉と呼ばれ、ゼロサムゲームととらえる分配型交渉よりも良い交渉形態である。このような交渉を扱えることもモノポリーで交渉を研究する利点となる。
- 交渉における説得
交渉では、ただ単に交渉条件を互いに提示するだけでなく、理由などを付け加えて説得することも重要である。モノポリーの上級者のプレイを見ても、その条件の相手の有利な点を指摘することや、自分の不利な立場を述べることで説得している。
- 擬人化
人間同士の交渉では、提案の良し悪しだけでなく相手の表情や声などのマルチモーダル情報が意思決定に影響を与えている。このため、人間と交渉する際には擬人化エージェントを用いることが考えられる。擬人化エージェントの表情や声音な

どが交渉にどのような影響を与えるかを研究することも重要な課題となる。

4. モノポリーエージェントの一例：期待値に基づくエージェント

本章では、我々が作成したモノポリーエージェントを紹介する^{7),8)}。このエージェントは、収入と支出の期待値に基づいて権利書の価値を算定し、その価値に基づき交渉条件を決定する。ここでは、まずモノポリーにおける期待値に関して考察を加え、その期待値に基づき権利書の評価関数を定義する。次に、この評価関数から交渉条件を決定する方法を述べる。最後に、このエージェントを用いたシミュレーションの実験結果を考察する。

4.1 期待値に基づく評価関数

4.1.1 期待値の考察

モノポリーでは資産を増やすことが目的であるため、収入および支出の期待値を基に戦略をたてることが考えられる。モノポリーではサイコロを用いているため、サイコロの出目の確率から期待値を算出することは可能である。しかし、この期待値は短期的には有効であるが、中長期的には有効であるとはいえない。そこでここでは、短期的な期待値に加え、中期的な期待値や初期の状況での期待値を考慮する。また、期待値には利益の期待値と損失の期待値があるため、その両方を考察する。

期待利益については各カラーグループに対して次の3つの期待値を定義する。プレイヤーの順番が一巡する間の期待利益を短期的期待利益、プレイヤーがボードを1周する間の期待利益を中期的期待利益、初期の状況での期待利益を初期期待利益として利用する。また、期待損失についてはプレイヤーに対して短期的損失と中期的損失を定義する。

- 初期期待利益

盤面の状況に関係なく、初期状態から決まる期待値である。これは、初期状態から算出される、プレイヤーが1周する間にカラーグループから得られる期待値と定義する。プレイヤーがボードを1周する間にそれぞれのカラーグループや会社にとまる確率は表1のようになる⁵⁾。カラーグループ c を揃えたときの所持金を M_{init} とし、その所持金で最も多く家を建築した場合のレンタル料を $G_c(M_{init})$ とする。ただし、 M_{init} は事前にユーザが定義するパラメータである。また、プレイヤーがボードを1周する間にそのカラーグループにとまる確率を PM_c とする。このとき初期期待値

表 1 プレイヤが 1 周する間にカラグループにとまる確率
Table 1 Probability to land on color-groups during a player go around the board.

	確率 (%)
鉄道	64
オレンジ	50
レッド	49
イエロー	45
グリーン	44
ライトパープル	43
ライトブルー	39
電力・水道	32
ダークブルー	27
ダークパープル	24

EPI_c を

$$EPI_c(M_{init}) = PM_c \times G_c(M_{init})$$

と定義する。

● 中期的期待利益

プレイヤがボードを 1 周する間にカラグループから得られる期待利益である。この期待値はコマの位置を考慮せずに現在の権利書や家の状況から得られるものである。ボードを 1 周した際のそれぞれのカラグループにとまる確率 PM_c は、同様に表 1 のようになる。そのときのカラグループ c のレンタル料を G_c とすると、中期的期待値 EPM_c は次のようになる。

$$EPM_c = PM_c \times G_c$$

● 中期的期待損失

期待利益と同様にプレイヤがボードを 1 周する間の期待損失である。期待利益に関してはカラグループごとに定義したが、期待損失に関してはプレイヤごとに定義する。プレイヤの中期的期待損失 ELM は、このときの他のプレイヤの所有している権利書の集合を C_{other} 、カラグループ c にとまる確率を PM_c 、そのときのレンタル料を G_c とすると次のようになる。

$$ELM = \sum_{c \in C_{other}} PM_c \times G_c$$

● 短期的期待利益

順番が一巡する間、つまりすべてのプレイヤが一度サイコロを振った場合のカラグループから得られる期待利益である。この期待値はコマの位置も含めた盤面のすべての情報を考慮したものである。このときのカラグループ c のレンタル料を G_c とし、プレイヤ i が次にそのカラグループにとまる確率を PS_i とすると、短期的期待値 EPS_c は、次式で定義される。

$$EPS_c = \sum_i PS_i \times G_c$$

● 短期的期待損失

プレイヤが一度サイコロを振った場合の期待損失である。このときの他のプレイヤの所有している権利書の集合を C_{other} 、カラグループ c にとまる確率を PS_c 、そのときのレンタル料を G_c とすると、プレイヤの短期的期待損失 ELS は、次のようになる。

$$ELS = \sum_{c \in C_{other}} PS_c \times G_c$$

4.1.2 評価関数

上記のように定義した期待値を用いてプレイヤの資産の評価関数を定義する。この評価関数は権利書の価値から得られるため、まず権利書の価値を定義する。権利書の価値は揃っている枚数によって異なるため、それぞれの場合に分けて次のように定義する。

(case 1) 1 枚所有 この場合はすぐにカラグループを揃えることができないため、短期的期待利益や中期的期待利益はあまり考慮する必要がない。したがって、初期期待利益と権利書の額面から権利書の価値を定義する。権利書は抵当に入れることで額面の半分の金額を受け取れるため、最低でもその価値が保証される。そこで、この場合の権利書の価値 F_c を次式で定義する。

$$F_c = \frac{1}{2} FP_c + EPI_c(M_{init}) (= \phi_c)$$

ここで FP_c はカラグループ c の額面価格であり、 $EPI_c(M_{init})$ は初期期待利益である。ここでは、この値を 1 枚の権利書の基本的な価値とし、この値を ϕ_c とする。

(case 2) 2 枚所有 1 枚銀行 この場合、そのマスにプレイヤのいずれかがとまるまで銀行が保有している 1 枚はゲームの場に出ないことになる。この時期は予測できないが、1 枚所有している場合よりも 3 枚を独占できる可能性は高まる。したがって、権利書の基本的な価値の 2 倍よりも価値が高くなる。この場合の権利書の価値 F_c は

$$F_c = 2\phi_c + EPM_c + EPS_c$$

とする。 EPM_c 、 EPS_c はそれぞれ中期的期待利益と短期的期待利益である。

(case 3) 2 枚所有 1 枚他プレイヤ いつでも残りの 1 枚を持っているプレイヤと交渉し、カラグループを独占できるため、銀行に 1 枚ある場合 (case 2) よりも価値が高い。このため、権利書の価値 F_c を

$$F_c = 2\phi_c + \alpha(EPM_c + EPS_c)$$

とする。ただし、 $\alpha (> 1)$ は定数である。

(case 4) 3枚所有 この場合が最も権利書の価値が高くなる。権利書の価値 F_c は次式で定義される。ただし、 $\beta (> \alpha)$ は定数である。

$$F_c = 3\phi_c + \beta(EPM_c + EPS_c)$$

プレイヤーの資産の評価関数は権利書の価値と所持金だけでなく、期待損失を考慮して次のように定義される。これは、相手に権利書を揃えさせた場合の自分の損失を考慮するためである。

$$U = \omega_1 \left(\sum_{c \in C} F_c + M \right) - \omega_2(ELM + ELS)$$

C はプレイヤーが所持している権利書の集合であり、 M は所持金である。 ω_1, ω_2 は利益と損失のどちらを重視するかを決めるパラメータである。このパラメータによってエージェントの強気、弱気を設定できる。

この権利書の価値に基づいてエージェントは交渉やオークションにおける意思決定を行う。オークションでは、その権利書の評価値よりも価格が低いときは入札するというを繰り返すことで競り上げを実現できる。また、土地のマスに初めてとまり、権利書を銀行から購入する場合には、この評価値よりも額面価格が低い場合に購入する。

4.2 エージェントによる交渉

エージェントは上で定義した評価関数に基づき交渉する。エージェントは交換によって評価関数が増加するように交渉条件を作成するが、相手の利益も考慮しないと交渉は成立しない。したがって、エージェントは交渉相手とエージェントが同程度に利益が得られる条件を作成する必要がある。また、交換後にカラーグループが揃う場合は家を建てるのが普通であるため、相手を持っている所持金から建てられる軒数を求め、家を建てた場合の期待値を用いる。

エージェントは次の手続きで交渉する。

- (1) 候補の列挙
他のすべてのプレイヤーを交渉相手と想定し、エージェントが所有する権利書と交渉相手の権利書から交換する候補を列挙する。候補となるのは、同色の権利書を、自分が集める場合と相手に集めさせる場合がある。このとき所持金の受け渡しは考慮しない。
- (2) 候補の選択
列挙した候補を評価関数に基づいて評価する。それぞれの候補では権利書を交換することで評価関数の増減がある。相手と自分の評価関数の

表 2 交渉条件の補正例

Table 2 Example: correction of the condition.

	自分の増分	相手の増分	利益
候補 1	+400	+200	+300
候補 2	-200	+400	+100
候補 3	+200	-100	+50
候補 4	+700	-300	+200
候補 5	+200	+800	+500
候補 6	+100	+200	+150
候補 7	-300	+400	+50

増減が同じでないと基本的には交渉は成立しない。権利書の交換だけではこの増減が等しくすることは困難であるため、所持金の受け渡しでこれを調整する。つまり、自分の増分を ΔU_s 、相手の増分を ΔU_o とすると、 $|\Delta U_s - \Delta U_o|/2$ を増分が多い方から少ない方に支払うことで、それぞれの利益は $(\Delta U_s + \Delta U_o)/2$ となる。たとえば、候補を列挙した結果が表 2 のようになったとする。候補 1 では、権利書の交換により利益が自分は +400、相手が +200 である。しかし、利益が不均衡なため、このままでは交渉は成立しない。そこで自分から相手に 100 の所持金を支払うことで利益を等しくする。したがって、双方の利益は +300 となる。それぞれの候補に関して利益を算出した後、最も利益の高い候補を最終的な交渉案の候補とする。表 2 の例では候補 5 が選択される。

- (3) 交渉の切出し
選択された候補による利益が閾値 θ 以上の場合に提案する。この閾値によって積極的に交渉を持ちかけるエージェントと交渉に消極的なエージェントを設定できる。実際に提案する際は少し自分に有利な条件に変更する。
- (4) 再提案
交渉では、提案がそのまま受け入れられることは少なく、相手から拒否されることや逆提案をされることもある。このような場合も評価関数に基づき提案を評価し、受諾または再提案を行う。また、一定の提案回数で交渉が成立しない場合は交渉決裂とする。

4.3 シミュレーションによる考察

作成したエージェントを用いてシミュレーションを行う。まず、このエージェントの提案の妥当性に関して評価する。次に、積極的なエージェントや消極的なエージェントなどを対戦させ、その結果を考察する。すべての実験においてパラメータは $M_{init} = 1000$ 、 $\alpha = 1.2$ 、 $\beta = 2.0$ とした。

表 3 エージェントと人間の提案の違い

Table 3 Proposal difference between an agent and expert.

提案の違い	$S < 100$	$100 \leq S < 200$	$200 < S$
事例数	38	43	19

4.3.1 提案の妥当性

ここでは、エージェントの提案の妥当性を評価する。このためにシミュレーションでエージェントが出した提案とモノポリーの上級者による提案を比較した。エージェントの評価関数でのパラメータは $\omega_1 = \omega_2 = 1$ とし、提案する際の閾値 θ は 200 とした。エージェントと上級者の提案は次のように比較した。まず、エージェントのみを用いてゲームを行い、エージェントが提案したときの状況とその提案内容を事例として抽出した。次に、上級者にその状況とエージェントが提案した権利書の交換内容のみを見せ、この場合の所持金の授受をどの程度にするかを尋ねた。このときのエージェントと上級者の提案における所持金の授受の差の大きさを S として比較した。

100 事例について比較した結果、表 3 のようになった。 $S < 100$ の場合は上級者の提案とほぼ合致したことを表し、 $200 < S$ の場合は大きく判断が異なることを表す。この結果からほぼ妥当なものと上級者と比較的近い提案となったものをあわせると約 8 割となった。しかしながら、約 2 割の提案は上級者の提案とは大きく異なり、妥当な提案とはならなかった。

提案が大きく異なった事例を調べると、どちらかのエージェントがカラーグループを独占する交渉の場合が多かった。この原因は以下のことが考えられる。カラーグループを独占する場合、エージェントは独占した後どれだけの家を建てられるかを計算し、その利益の期待値から評価値を求めている。モノポリーでは、家の軒数によってレンタル料が大幅に変化するため、期待値もそれにともない大幅に変化する。しかし、上級者の評価ではエージェントの評価よりもこの幅は小さいため、提案が大きく異なることがあると推察される。上級者の評価においてこの幅が小さいのは、現在の期待値だけでなくその将来性（家の軒数が増えた場合）や、その権利書を他のプレイヤーとの交渉の材料にした場合の価値などを考慮しているため、家が少ない場合でもあまり評価が低くならないことが原因と考えられる。したがって、エージェントの提案をさらに良くするためには、将来性を考慮することや、交渉のプランニング（交渉によって得た権利書を他の交渉で用いるようなプラン生成）に基づいた評価が必要になる。

表 4 シミュレーション結果(1)

Table 4 Result of simulation (1).

エージェント	A	B	C	D	E
閾値	100	200	300	400	500
平均提案数	5.33	2.49	2.22	0.53	0.17
平均了承回数	0.50	0.49	0.35	0.22	0.11
勝利数	35	27	13	14	13
平均財産	992	927	957	887	870

4.3.2 交渉の積極性による違い

交渉の積極性の違いによって結果にどのような違いが出るかを考察する。積極性の違いは提案する際の閾値を様々なに変化させることで表す。閾値の低いエージェントは交渉で得られる利益が少なくても提案するため、積極的なエージェントとなる。一方、閾値の高いエージェントは大きな利益が得られる条件でないと交渉は成立しないため、消極的なエージェントとなる。ここでは、提案する際の閾値 θ を 100 から 500 に設定した 5 種類のエージェントを用意し、各種類 1 つずつの 5 つのエージェントでゲームを行った。なお、すべてのエージェントの評価関数のパラメータは $\omega_1 = \omega_2 = 1$ とした。

シミュレーションの結果をまとめたものを表 4 に示す。この結果から勝率、ゲーム終了時の平均財産ともに積極的なエージェントが好成績をおさめたことが分かる。消極的なエージェントは交渉で合意に至ることが少なく、カラーグループを独占することが少ないため、勝率が低くなったと推察される。

以上より、積極的なエージェントの方が勝率が高いことが予想される。実際のモノポリーのプレイヤーにおいても強い人は交渉回数が多く、この結果と合致する。

4.3.3 利益と損失の重視の差による違い

エージェントが交渉する際に利益重視の場合と損失重視の場合で結果にどのような違いが出るかを考察する。利益重視のエージェントは期待利益を重視し、損失重視のエージェントは期待損失を重視する。本実験では、このようなエージェントを作成するために、それぞれのエージェントの評価関数のパラメータ ω_1, ω_2 を表 5 のように設定した。ここで、 ω_1 が大きいエージェントは利益重視であり、 ω_2 が大きいエージェントは損失重視である。なお、すべてのエージェントの提案する際の閾値 θ は 200 とした。このようにパラメータを設定した A ~ E の 5 つのエージェントでゲームを行った。

ゲームを 65 回したときのシミュレーション結果を表 5 に示す。利益重視のエージェントが損失重視のエージェントよりも良い成績をおさめた。これは平均

表 5 シミュレーション結果(2)
Table 5 Result of simulation (2).

エージェント	A	B	C	D	E
ω_1	0.9	0.7	0.5	0.3	0.1
ω_2	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9
平均了承回数	0.601	0.463	0.349	0	0
平均決裂回数	0.561	0.008	0.333	2.560	15.886
勝利数	17	12	23	8	5
平均財産	1094	1133	1098	945	975

了承回数や平均決裂回数から分かるように、損失重視のエージェントはほとんど交渉が成立しないためである。また、利益重視と損失の重視のバランスのとれたエージェントが最も勝率が高かった。

以上のことから、基本的には利益重視であり損失もバランス良く重視するエージェントの勝率が高いことが予想される。

5. おわりに

本論文では、モノポリーを交渉研究の題材として取り上げる有効性について述べた。モノポリーは限定された世界であるが、交渉の様々な側面を含んでおり、交渉研究のベンチマーク的な存在となる可能性がある。

また、モノポリーのプレイヤーをエージェント化した一例を示した。このエージェントは期待値に基づいた評価関数を用いて交渉条件を作成する。このエージェントを用いてシミュレーション実験を行った結果、異なる設定のエージェントを用いて交渉における特徴を分析できることを示した。本論文で提案したエージェントは、エージェント間で交渉することは可能であるため、シミュレーション実験などには用いることができるが、人間と実際にプレイするには説得などの機能を付け加える必要がある。

参考文献

- 1) Fisher, R., Ury, W. and Patton, B.: *Getting to Yes: Negotiating Agreement Without Giving In*, Viking Penguin (1991). 金山, 浅井 (訳): ハーバード交渉術, TBS ブリタニカ (1998).
- 2) Lewicki, R.J., Saunders, D.M. and Minton, J.W.: *The Essentials of Negotiation*, McGraw-Hill/Irwin Publishers (1997). 藤田 忠 (監訳): 交渉学教科書, 文真堂 (1998).
- 3) 印南一路: ビジネス交渉と意思決定, 日本経済新聞社 (2001).
- 4) 野中俊一郎: 「モノポリー」の思考アルゴリズムのための一考察, 情報処理学会研究報告, MPS-018-008 (1997).
- 5) 百田郁夫: 世界チャンピオンが教えるモノポリー, ネスコ (1990).

- 6) Orbanes, P.: *The MONOPOLY COMPANION*, Adams Media Corporation (1988).
- 7) 小口, 湯浅, 安村, 新田: モノポリーにおける交渉のシミュレーション, 人工知能学会研究会資料, SIG-FAI-A003-14, pp.71-76 (2000).
- 8) Yasumura, Y., Oguchi, K. and Nitta, K.: Negotiation Strategy of Agents in the MONOPOLY Game, *Proc. CIRA2001 Conference* (2001).

(平成 14 年 2 月 20 日受付)

(平成 14 年 9 月 5 日採録)



安村 禎明 (正会員)

1993 年大阪大学基礎工学部卒業。1998 年同大学院基礎工学研究科博士後期課程修了。同年東京工業大学大学院助手。博士 (工学)。形状の知識獲得, 交渉エージェントの研究に従事。電子情報通信学会, 人工知能学会各会員。



秋山 英久

1999 年東京工業大学卒業。2001 年東京工業大学大学院修士課程修了。現在, 東京工業大学大学院総合理工学研究科博士課程に在学中。モノポリーや RoboCup (シミュレーション) の研究に従事。



小口 邦彦

1999 年東京理科大学理工学部卒業。2001 年東京工業大学大学院総合理工学研究科修士課程修了。現在, (株) 日立製作所に勤務。モノポリー等のゲームの研究に興味を持つ。



新田 克己 (正会員)

1980 年東京工業大学工学部卒業。1982 年同大学院修士課程修了, 1985 年同大学院博士課程修了。工学博士。1985 年 ~ 1995 年電子技術総合研究所に勤務。その間, 1989 年 ~ 1994 年の間に (財) 新世代コンピュータ技術開発機構に出身。1995 年から東京工業大学大学院に勤務。現在に至る。主な研究内容は, 論理プログラミング, エキスパートシステム, マルチエージェント, ヒューマンインタフェース等。特に, 法律分野への応用に興味を持つ。