

モノポリーを題材とした交渉 AI の研究

宮廻 秀行^{1,a)} 橋本 剛^{1,b)}

概要：AI が実社会において交渉を行うことはまだ難しく、ゲーム内での限られた条件での交渉がこれまでいくつか研究されてきた。ボードゲーム「モノポリー」では、ヒューリスティクスを使った汎用的でない手法しか提案されていない。本研究では、モンテカルロ法を用いて交渉の妥当性を判断させる汎用的な手法を提案し、モノポリーに実装してその有用性を検証する。任意の30局面で行った実験では、中級人間プレイヤーとの一致率が約7割となり、十分実用的な性能であることが示された。

Research of Negotiation AI using Monopoly

HIDEYUKI MIYASAKO^{1,a)} TSUYOSHI HASHIMOTO^{1,b)}

1. はじめに

実社会において、交渉は個人の金銭の貸し借りから国家間の重大な会議まで、多くの場面で必要である。AI が実社会において交渉を行うことは、条件が複雑だったり、逆に曖昧だったり判断が困難なことが多い。一方でゲームでの交渉はある程度条件が絞られているため、ゲーム内での限られた条件での交渉がこれまでいくつか研究されてきた。ボードゲーム「モノポリー」(図 1) を題材とした研究もいくつか報告されている。野中は各マスの停止率や各カラーグループの収益期待値、各権利書の売れるタイミングなどを定量化し、それらを用いて定量的意思決定の手法を提案したが、AI 自体は実装していない [1]。また、安村らは初期、中期、短期的利益、および損失を、評価関数を用いて評価し、交渉に関わる双方の評価関数の増分が等しくなる交渉案を提案する交渉 AI を作成したが、ヒューリスティクスを使っていて汎用的でない [2]。そこで、本研究ではモノポリーを題材とし、モンテカルロ法を用いて、交渉の妥当性を判断させる汎用的な手法を提案する。また、モノポリーの交渉部分に実装してその有用性を検証する。



図 1 モノポリー

2. モノポリー

2.1 モノポリーの概要

モノポリーは、1930 年代にチャールズ・B・ダロウ氏が考案し、Hasbro 社が販売したボードゲームである。4~5 年に 1 回のペースで世界大会が開催されており、世界で 2.5 億個以上売り上げたとも言われている [3]。

2.2 ルール

2.2.1 大まかな流れ

モノポリーは、28 種類ある土地を購入や交渉によって入手、運用し、他プレイヤーを破産させるゲームである。ゲームの流れは以下の手順で行われる。

¹ 松江工業高等専門学校
National Institute of Technology, Matsue College
a) h.miya1206@gmail.com
b) hashimoto@matsue-ct.jp



図 2 カラーグループ

- 2つのサイコロをふり、出た目の数だけ移動する。
 - 止まったマスが土地で、所有者がいない場合は購入することができる。自身以外が所有している場合は、レンタル料を所有者に支払う。
 - チャンス、共同基金マスの場合は、対応したカードを一枚引き、カードの指示に従う。
 - Go マス(スタートマス)に到着する、または通り過ぎた場合、給料として\$200を受け取る。
 - その他、所得税や「刑務所へ行け」マスなどはそれぞれの指示に従う。
- 独占している土地がある場合、家の購入ができる。(後述)
- 他プレイヤーと土地の交換を行いたい場合、交渉を申し出る。

これを全プレイヤーが順番に行い、レンタル料などでの支払いが不可能になったプレイヤーは「破産」となり、敗北となる。最後の一人になったプレイヤーが勝者となる。

2.2.2 独占

ゲーム内にある土地は、8色のカラーグループと、鉄道、電力・水道(図 2)で分別されている。1種類のカラーグループを全て所有したとき、そのグループは「独占」と呼ばれる状態になる。独占状態にある土地は、次の効果を得られる。

- レンタル料が2倍になる。
 - 8色のカラーグループは家を購入することで、他プレイヤーが到着したときに徴収できる金額を増額できる。
- サイコロの出目で止まった土地だけで独占をするのは非常に難しい。そこで重要になってくるのが「交渉」と呼ばれる要素である。

2.2.3 交渉

自分の手番のとき、所持している土地やお金を用いて、他プレイヤーに対して交換の提案ができる。これを「交渉」と呼ぶ。交渉を受けたプレイヤーは、承諾、拒否、または条件を変えて再交渉をができる。交渉を活用して土地の管理や独占をすることで、その後の展開を有利に動かすことができる。しかし、自身や相手プレイヤーに必要なものを明確にし、妥当な提案をしなければ、自分にとって有利な交渉

ならば相手に拒否されたり、逆に相手に有利な交渉ならば、自身が不利な状況に陥ることがある。また交渉を受ける際も同様に、自身が有利になるかを考慮しなければならない。そのため、交渉は損得の考慮が妥当かを判断することが重要である。

3. 関連手法

3.1 モノポリー AI に関する研究

これまでのモノポリー AI に関する研究を以下に示す。

野中は、各マスの停止率や各カラーグループの収益期待値、各権利書の売れるタイミングなどを定量化した。また、それらを用いて定量的意思決定の手法を提案した [1]。

安村らの研究では、初期、中期、短期的利益、および損失を、評価関数を用いて評価した。また、交渉に関わる双方の評価関数の増分が等しくなる交渉案を作成する交渉 AI を作成した [2]。実際にシミュレーション実験をし、異なる設定の AI を用いて交渉における特徴分析ができることを示した。また、AI 間で交渉を行うことを可能とした。

3.2 「カタンの開拓者たち」の交渉 AI

「カタンの開拓者たち」とは、サイコロの出目に応じて資材を入手し、それを、もとに建造物を建てていくボードゲームである。このゲームでは資材を他のプレイヤーとの交渉で効率よく集めることがカギとなっている。長谷川は、この交渉に対して、モンテカルロ法を用いる交渉 AI を提案した [4]。しかしこの交渉 AI は、実装に至っていない。

4. 交渉 AI

交渉 AI を実装するにあたって重要なのは、交渉を承諾するか否かの判断の妥当性である。交渉は条件が複雑に絡み合っているため、評価関数で表現する手法は難しいと考えられる。そこで本論文では、細かな評価関数を用いない、モンテカルロ法によって交渉の可否を判断する手法を提案する。

モンテカルロ法とは、考え得る次の盤面を列挙し、各盤面のその後をランダムでシミュレートし、最も勝率の高い盤面を最善手として実行する手法である。囲碁や将棋などの AI ではモンテカルロ木探索が採用されているが、本研究では交渉で交換をする前と後を比較するため、最もシンプルなモンテカルロ法を用いる。

5. 実装

本研究では、オープンソースのモノポリープログラム「intrepidcoder」[5]のモノポリーにある AI(以下、MoyerAI)をベースに交渉 AI を実装した。以下、その実装方法を紹介する。

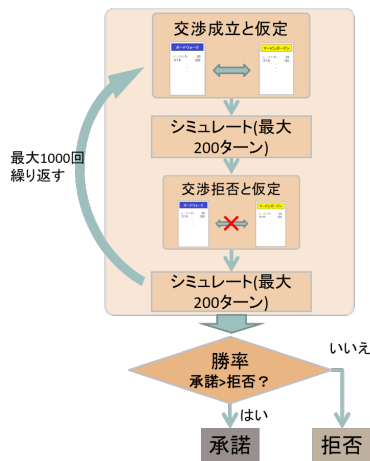


図 3 miyapoly のモンテカルロ法

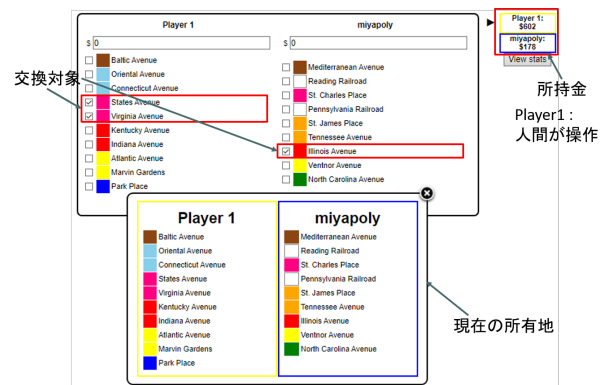


図 4 交渉の見方

表 1 実験結果

| | 一致 | 不一致 |
|-------|----|-----|
| 簡単な交渉 | 8 | 2 |
| 難しい交渉 | 14 | 6 |

5.1 ベースとなる AI

MoyerAI は、シンプルルールにのつとした AI で、人間の初心者レベルと対戦しても互角になる程度の強さである。MoyerAI の主な仕様を以下に示す。

- 止まったマスが土地で、所有者がいない場合は、\$50 以上所持金が残るなら購入する。
- 交渉の提案は「水道 or 電力会社」⇔「鉄道」を一度だけ行う。
- 交渉を受けるときは、原価で\$25 以上の利益があるときに承諾する。(独占は度外視)

5.2 交渉 AI の実装

MoyerAI の交渉部分をモンテカルロ法に変更した (以下、miyapoly)。交渉の承諾、拒否の 2 パターンに分け、その後の展開を、MoyerAI の思考をもとにサイコロの出目をランダムとし、交互にシミュレートさせる。その後、承諾と拒否で勝率を比較し、高い方を実行する。

5.3 パラメータ

シミュレーションに関するパラメータは以下のようにした (図 3)。

- プレイアウト打ち切り手数: 200 ターン (決着がつかない場合は引き分けとした)
- シミュレーション回数: 承諾・拒否 最大各 1000 回
 - 勝ちを+1, 負けを-1 として各シミュレーションを評価し、承諾、拒否で合計 100 以上の差が出た場合はシミュレーションを打ち切り、勝率の高い方を実行させた。

6. 実験

本章では、実験の内容について説明する。ここでは、人間プレイヤーとの比較実験を行った。

6.1 実験方法

ランダムに生成した 30 種類の盤面 (付録 A を参照) に対して、適当に交渉を設定する。各交渉に対して miyapoly に、承諾か拒否かを判断させる。また、比較対象として、これまで 100 回以上モノポリーをプレイした、中級人間プレイヤーにも各盤面に対して判断をさせる。その後、それぞれの判断がどれだけ一致するかを比較する。ここで、交渉画面の見方を図 4 に示す。チェックボックスにレ点がついている土地が交換対象になっている。その上部が交換に用いるお金である。また、図下部が、それぞれの所持している土地、右上部がそれぞれの所持金である。図 4 において、miyapoly と書いてある側が常に交渉を受ける。

6.2 実験結果

実験結果を表 1~4 に示す。○は承諾、×は拒否を表している。被験者と miyapoly の判断は、全交渉の約 7 割が一致した。ここでの簡単な交渉とは被験者がすぐに判断したもの、難しい交渉は被験者が悩んだ交渉である。ここでは 2 例ほど挙げる。

6.2.1 交渉 1

図 5 は、人間側が「ベントノール通り」、miyapoly 側が「B&O 鉄道」と「ノースキャロライナ通り」の交渉の局面である。人間の予想は承諾だった。シミュレートの結果、miyapoly も承諾をした (表 5)。

6.2.2 交渉 6

図 6 は、人間側が「地中海通り」、miyapoly 側が\$1 の交渉の局面である。人間の予想は承諾だった。シミュレートの結果、miyapoly は拒否をした (表 6)。

7. 考察

被験者と miyapoly の判断が一致した交渉は約 7 割だった。7.1 章にその一例を示す。相違があった残りの約 3 割

表 2 各交渉に対する判断 1

| | 交渉 1 | 交渉 2 | 交渉 3 | 交渉 4 | 交渉 5 | 交渉 6 | 交渉 7 | 交渉 8 | 交渉 9 | 交渉 10 |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| miyapoly | ○ | × | ○ | × | × | × | ○ | × | ○ | × |
| 人間 | ○ | × | ○ | × | ○ | ○ | ○ | × | ○ | × |

表 3 各交渉に対する判断 2

| | 交渉 11 | 交渉 12 | 交渉 13 | 交渉 14 | 交渉 15 | 交渉 16 | 交渉 17 | 交渉 18 | 交渉 19 | 交渉 20 |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| miyapoly | ○ | × | × | ○ | ○ | × | ○ | ○ | × | × |
| 人間 | ○ | × | × | × | ○ | × | × | ○ | ○ | × |

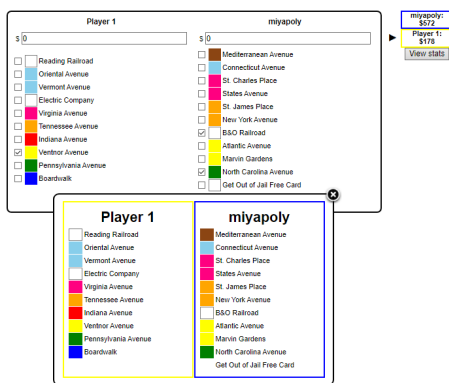


図 5 交渉 1

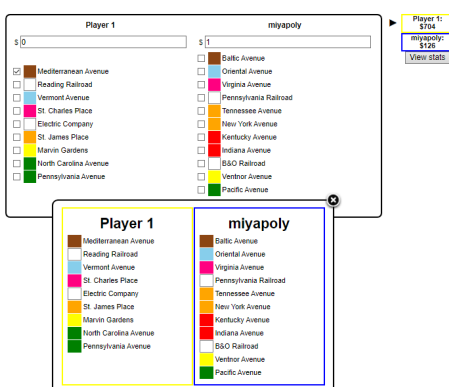


図 6 交渉 6

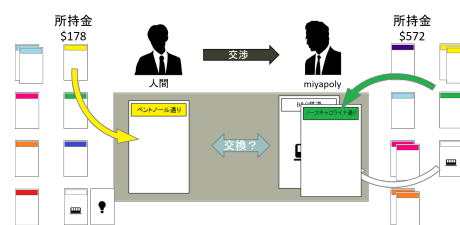


図 7 交渉 1 の図解 1

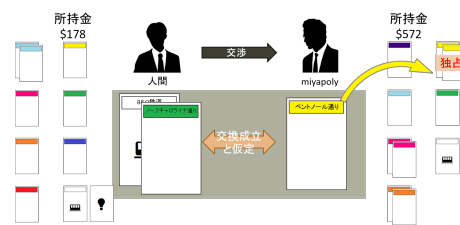


図 8 交渉 1 の図解 2

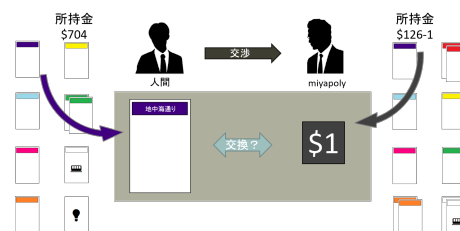


図 9 交渉 6 の図解 1

は、大半が被験者にとって判断の難しい盤面だったが、中には「得に見えて、損失のほうが大きい」といった交渉もあった。7.2 章にその一例を示す。

7.1 交渉 1

図 7 は、図 5 の図解である。人間側が「ベントノール通り」、miyapoly 側が「B&O 鉄道」と「ノースキャロライナ通り」の交渉の局面である。miyapoly が交渉を承諾した場合(図 8)、miyapoly が黄色の土地を独占できるため、承諾をすると予想できる。結果として承諾が 78.5%、拒否が 21.8%と勝率が大きく変化したため、至極妥当な判断をしたといえる。

7.2 交渉 6

図 6 は人間側が「地中海通り」、miyapoly 側が「\$1」の交

渉の局面である(図 9)。人間的思考ならば、ほぼ無条件で土地の譲渡になり、紫色の土地を独占できるため(図 10)、承諾をするのが一般的だが、miyapoly は拒否をした。そこで、紫色の土地の性質を調べたところ、停止率が 4~5%と低く、レンタル料もかなり安く設定されている。そのため、ほかプレイヤーが停止しても自身の収益や相手の損失は小さく、投資額に見合っていない。この紫色の土地に投資することがあまりよくないため、人間にとって間違えやすい交渉だと推測される。

8. まとめ

AI が実社会において交渉を行うことは、困難なことが多い。そこで本論文では、モノポリーを用いて、モンテカルロ法による交渉 AI を提案した。結果として、人間プレイヤーと約 7 割程度判断が一致し、中級人間プレイヤーレベルの交渉 AI ができた。また、人間が間違えやすい盤面の発見

表 4 各交渉に対する判断 3

| | 交渉 21 | 交渉 22 | 交渉 23 | 交渉 24 | 交渉 25 | 交渉 26 | 交渉 27 | 交渉 28 | 交渉 29 | 交渉 30 |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| miyapoly | ○ | ○ | ○ | × | ○ | × | ○ | × | × | ○ |
| 人間 | ○ | × | ○ | × | ○ | ○ | ○ | × | ○ | ○ |

表 5 盤面 1 のシミュレート結果

| | 勝ち | 負け | 引分 | 勝率 |
|----|-------|-------|------|-------|
| 承諾 | 157 回 | 43 回 | 0 回 | 78.5% |
| 拒否 | 3 回 | 116 回 | 81 回 | 21.8% |

表 6 盤面 6 のシミュレート結果

| | 勝ち | 負け | 引分 | 勝率 |
|----|------|-------|------|-------|
| 承諾 | 22 回 | 151 回 | 27 回 | 22.8% |
| 拒否 | 72 回 | 67 回 | 61 回 | 51.3% |

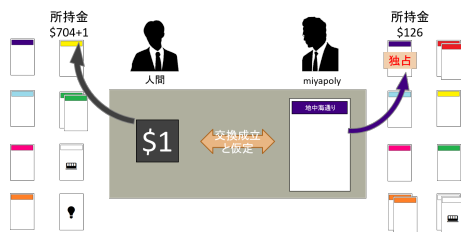


図 10 交渉 6 の図解 2

もできた。

9. 今後の方針

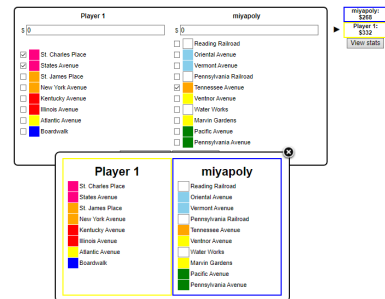
本研究では、1対1の局面のみについて交渉を行った。今後は、3人以上の対戦での有用性を調べたい。また、モノポリー以外での実装をしてみたい。

参考文献

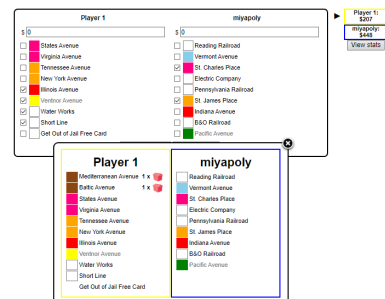
- [1] 野中俊一郎: 「モノポリー」の思考アルゴリズムのための一検討, IPSJ research report mathematical modeling and problem solving, Vol.27, pp.43-48 (1998).
- [2] 安村禎明, 秋山英久, 小口邦彦, 新田克己: モノポリーゲームにおける交渉エージェント, Information Processing Society of Japan, Vol.43, No.10, pp.3048-3055 (2002).
- [3] 日本モノポリー協会: モノポリー大会はじめてガイド, 最終閲覧日: 2020年2月17日, <https://monopoly-championship.jp/beginner.html>
- [4] 長谷川正樹: カタンの開拓者たちを用いた交渉 AI の研究, 松江工業高等専門学校 卒業論文 (2015)
- [5] Daniel Moyer: monopoly, 最終閲覧日: 2020年2月11日, <https://github.com/intrepidcoder/monopoly>

付 録

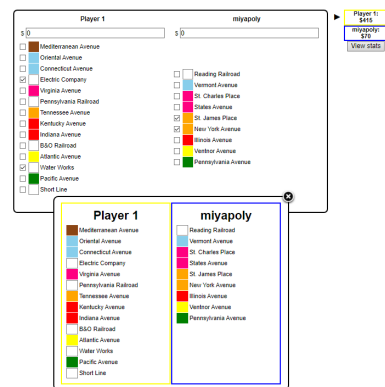
A.1 交渉の盤面



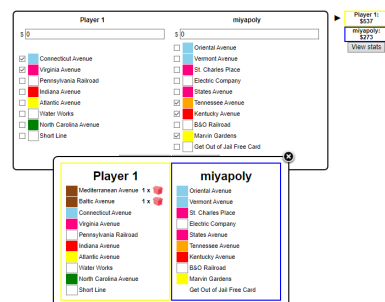
付録 A-1 交渉 2



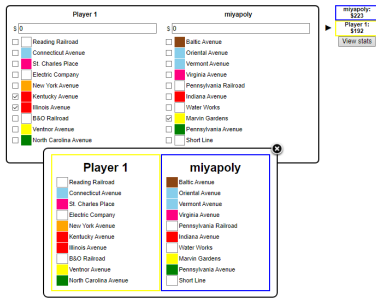
付録 A-2 交渉 3



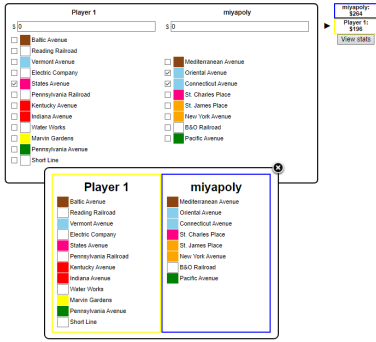
付録 A-3 交渉 4



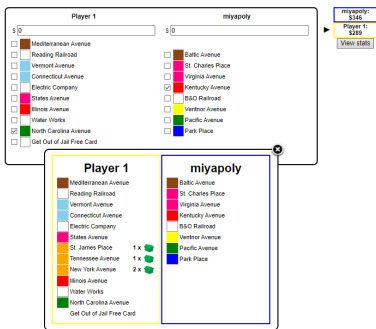
付録 A-4 交渉 5



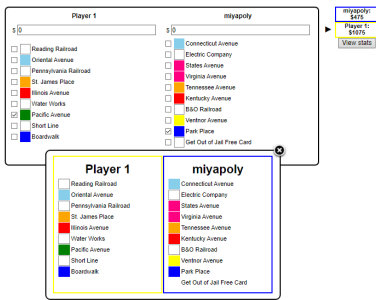
付録 A-5 交渉 7



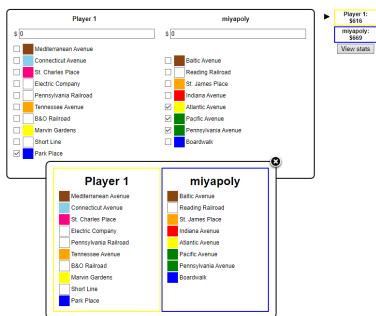
付録 A-6 交渉 8



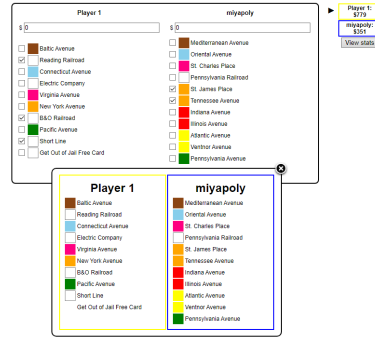
付録 A-7 交渉 9



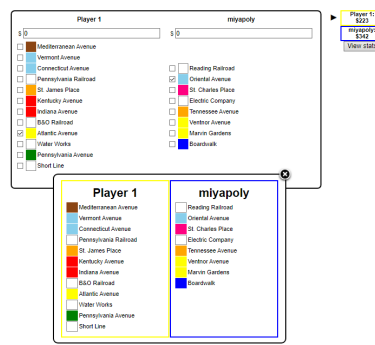
付録 A-8 交渉 10



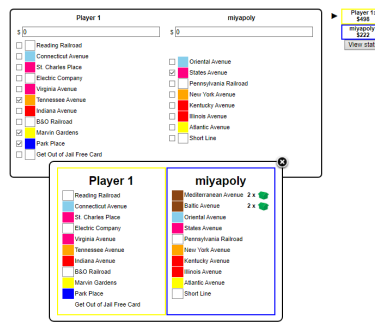
付録 A-9 交渉 11



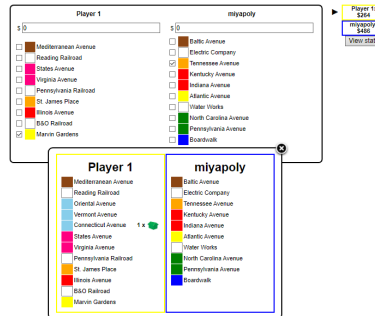
付録 A-10 交渉 12



付録 A-11 交渉 13



付録 A-12 交渉 14



付録 A-13 交渉 15

付録 A.14 交渉 16

付録 A.15 交渉 17

付録 A.16 交渉 18

付録 A.17 交渉 19

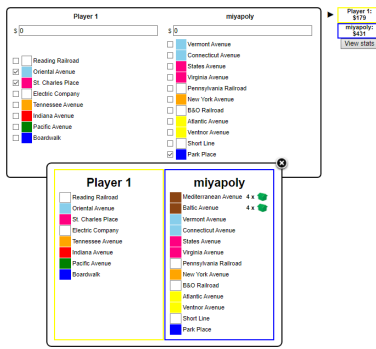
付録 A.18 交渉 20

付録 A.19 交渉 21

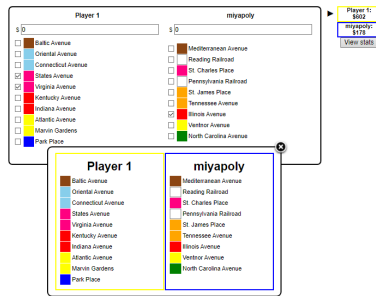
付録 A.20 交渉 22

付録 A.21 交渉 23

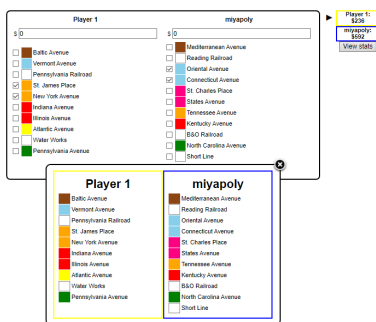
付録 A.22 交渉 24



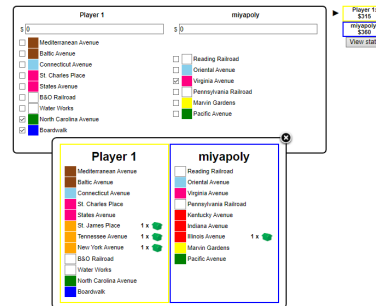
付録 A.23 交渉 25



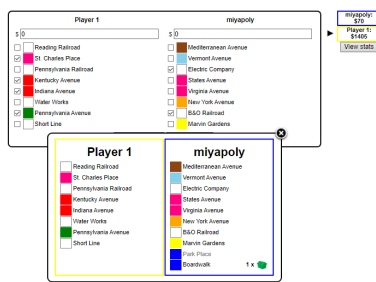
付録 A.24 交渉 26



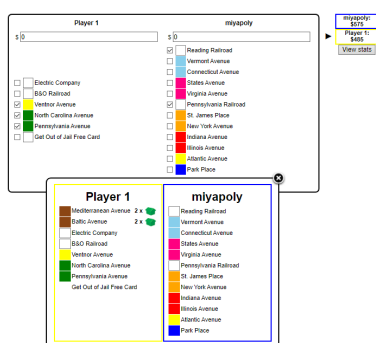
付録 A.25 交渉 27



付録 A.28 交渉 30



付録 A.26 交渉 28



付録 A.27 交渉 29