

2017 年度 卒 業 論 文

「カタンの開拓者たち」における  
偽情報伝達を考慮した AI に関する研究

指導教員：渡辺 大地 准教授

メディア学部 ゲームサイエンス プロジェクト

学籍番号 M0114302

中澤 桂介

2018 年 3 月

2017年度 卒業論文概要

論文題目

「カタンの開拓者たち」における  
偽情報伝達を考慮した AI に関する研究

メディア学部

学籍番号：M0114302

氏名

中澤 桂介

指導  
教員

渡辺 大地 准教授

キーワード

不完全情報ゲーム、カタンの開拓者たち、偽情報、交渉、  
AI

「カタンの開拓者たち」(以下「カタン」)はボードゲームの一種である。カタンは、プレイヤー同士の交渉による資源交換が重要な意味を持ち、この際の駆け引きが大きな魅力と言える。現状でカタンのコンピュータ上での実装はいくつかあるものの、これらの AI 対人間の対戦はボードゲームにおける人間対人間の対戦と比較すると人気があるとは言い難い。これは、AI が交渉についてあまり考慮されておらず人間同士の対戦に比べ面白さが損なわれている事に加え、人間が AI と交渉を行う際に言葉による駆け引きが行われていない事が一因である。過去に、交渉について考慮した AI を研究した例もあるがこれらの研究では人間同士の対戦に近づいたとは言い難い。また、AI を改良して勝率を上げようとした研究もある。しかし、AI の勝率は向上したものの人間同士の対戦に見られる交渉の際の駆け引きが再現されているとは言い難い。本研究では、既存の AI の特性に対し、AI 側が状況を分析した上で真偽を交えた情報をプレイヤーに対して提示する機能を持たせるという手法を提案する。これにより、プレイヤーの選択肢を増やす事で交渉を活発化させ、人間対 AI の対戦をより人間同士の対戦に近づける事を目指した。そして、既存の機能と同じ機能を持った AI、その AI に真偽を交えた情報を提示する機能を付加した AI の二つを作成し比較実験を行った。その結果、1 試合における交渉の総数が増加した事などから目的に沿った結果になった。

# 目次

第1章	はじめに	1
1.1	研究背景と目的	1
1.2	本論文の構成	3
第2章	カタンの開拓者たちについて	4
2.1	カタンの開拓者たちのルール	4
2.1.1	建設	6
2.1.2	交渉	7
2.1.3	発展カード	7
2.1.4	勝利ポイント	8
2.2	人間同士の対戦における基本戦略について	9
第3章	提案手法	11
3.1	手法の概要	11
3.2	ベース AI	12
3.3	交渉前提示の実現	15
第4章	評価と分析	18
4.1	評価方法	18
4.2	評価結果	19
第5章	まとめ	23
	謝辞	25
	参考文献	26

# 第 1 章

## はじめに

### 1.1 研究背景と目的

本研究で題材とするカタン [1] とは，ドイツ発祥のボードゲームであり，主に 3～4 人で行う。カタン島と呼ばれている島を複数の入植者達が開拓する事で繁栄させていく。それにより，一定のレベルまで最も早く繁栄させたプレイヤーが勝利するゲームである。日本カタン協会 [2] も存在して大会も開かれる日本でも人気のあるボードゲームである。カタンはオセロや将棋などの完全情報ゲームとは異なり，決定されていない情報が多く存在する不完全情報ゲームである。また，このゲームで行動するためには資源と呼ばれる物資が必要不可欠であり，この資源を入手する手段の 1 つとして挙げる事の出来るルールがカタンにおける大きな魅力となっている「交渉によるプレイヤー同士の資源の交換」[3] である。現在，カタンはコンピュータ上で実装されているもののボードゲームのカタンと比較すると人気があるとは言い難い。これは，人間同士の対戦における交渉と人間対 AI の対戦における交渉に違いが出てるためであると推測する。人間同士の対戦においてプレイヤー同士が交渉を行う前の段階で交渉を仕掛ける側のプレイヤーが自身の状況を偽って他のプレイヤーに伝えるなど，他のプレイヤーの認識を都合の良いように誘導した後に交渉を行う事で交渉を成功に導く場面が存在する。また，交渉に焦点を当てて人間同士の対戦と人

人間対 AI の対戦を比較すると、人間同士の対戦の方がより交渉が活発に行われる傾向にある。そのため、本研究では、交渉をより活発化させることで人間対 AI の対戦をより人間同士の対戦に近付ける事を目的とする。

カタンのような不完全情報ゲームの AI に関する研究は過去に多く行われている。日高 [4] が行った研究では、決定していない情報を全て無視して現在決定している情報のみを扱う事で AI の強化を図った。水上ら [5] が行った研究では、局において最終順位を予測した上で戦略を立てる事で AI の強化を図った。また、漆畑 [6] が行った研究では、カードゲームである大貧民をモデルにモンテカルロ法に利用される UCB1 に局面評価値を実装する事で精度の向上を図り、AI の強化を行った。古居ら [7] が行った研究では、対戦相手を抽象化する事によりポーカーで戦略を決定した。吉原ら [8] が行った研究では、プレイヤーの提出手を比較検証する事でプレイスタイルの解析を行った。小林ら [9] が行った研究では、相手の手を推測することで不完全情報ゲームにおけるプレーのアルゴリズムを作成した。美貴 [10] が行った研究では、多人数で行う不完全情報ゲームにおける最適な行動に関する研究を行った。西野ら [11] が行った研究では、多人数不完全情報ゲームにモンテカルロ木探索を適用する事で先の展開などの推定を行った。根本ら [12] が行った研究は、CRF を用いて麻雀の不完全な情報の推定を行った。小沼ら [13] が行った研究では、大貧民に対して差分学習法を適用する事で AI の改良を行った。津久井 [14] が行った研究では、不完全情報ゲームにおいて過去の知識を基にゲーム展開などの推測を行った。しかし、カタンは多人数で行うゲームであると共に交渉と言う独自の要素が存在するためこれらの研究では人間同士の対戦に近付けることは困難である。カタンの AI に関する研究も過去にいくつか行われている。吉村ら [15] が行った研究では、カタンの AI にモンテカルロ木探索を用いる事で AI の強化に成功している。しかし、この研究ではカタンにおける交渉を考慮した戦略の構築が困難であるため、人間同士の対戦に比べ、面白さが損なわれている。また、吉本ら [16] が行った研究では、カタンにおける交渉の部分にメタ理論を適用する事で勝率を上げようとしたものの、大きな上昇は

見られなかった。この研究では交渉を考慮した戦術をたてる事で勝率を上げる事を重視しており、人間同士との対戦に近付ける事を目的とはしていない。

本研究では人間対 AI の対戦を人間同士の対戦に近付けるべく、交渉を行う前の段階において、AI の状況を真偽を交えてプレイヤーに対して提示する手法を提案する。これにより対戦プレイヤーの選択肢を増やし、AI との交渉をより積極的に行うように誘導する事が出来ると仮説をたてた。そして、被験者に既存の機能と同じ機能を持った AI、その AI に真偽を交えた情報を提示する機能を付加した AI の二つと対戦してもらい比較を行った。その結果、交渉の総数が増加した事に加えて、被験者に行ったアンケートでもより提案手法の機能を付加した AI の方がより交渉が行いやすかったなど仮説に沿った結果がでた。

## 1.2 本論文の構成

本論文の構成を説明する。第 2 章では本研究の題材であるカタンの説明を行う。第 3 章では本研究の手法を説明する。第 4 章では検証の方法とその結果について論じる。第 5 章では本研究の成果と意義をまとめ、今後の展望を述べる。

## 第 2 章

# カタンの開拓者たちについて

本章ではカタンのルールと一般的な戦略について説明する。2.1 節では、一般的なカタンのルールや、プレイヤーが出来る行動について説明する。2.2 節では、カタンにおいて一般的に取られている戦略の中でも、本研究で用いた戦略について説明する。

### 2.1 カタンの開拓者たちのルール

カタンの開拓者たちは、カタン島と呼ばれる島を複数の開拓者達が開発をする事で繁栄させていく内容のボードゲームである。開発には一定のルールが設けられており、ある一定の水準を超えた繁栄を行った開拓者が勝者となる事が出来る。

カタンのルールを実際の流れに則って記述する。以下に開拓地、街道、都市、発展カード、勝利ポイントといった単語が出てくるがこれらについての補足は 2.1.1 節以降で行う。まず、6 角形のタイル 19 個を 6 角形になるように配置する。その後、各タイルに排出する資源の種類をランダムに割り振り、各タイルに 2~12 の数字をランダムに割り振る。図 2.1 に実際に出来上がったマップの例を示す。



図 2.1 カタンのマップ配置の例

タイルの角部分に開拓地を 1 つと，その開拓地に隣接する辺の部分に街道を 1 つ建設する．全プレイヤーが建設を終えた時点で現在の順番とは逆の順番で同じ行動をする．図 2.2 に 2 人のプレイヤーがマップに開拓地と街道を建設し終わった初期配置の例を示す．図 2.2 において丸が開拓地であり，丸から延びる四角が街道である．





図 2.2 カタンにおける開拓地と街道の初期配置例

その後、自身のターンが来る毎に 6 面サイコロを 2 つ振り、各ダイスの出目の合計値に相当するタイルに隣接した開拓地を所持しているプレイヤーは木材・粘土・穀物・羊・鉱石の 5 つからそのタイルに割り当てられた資源を 1 つ入手する。都市を所持していた場合は上記の資源を 2 つ入手する。また、プレイヤーは所持している資源の内訳を公開する必要はない。自身のターンの間のみプレイヤーは資源を消費した建設、交渉、発展カードの購入、発展カードの使用の 4 つの行動を自由に行う。自身がそのターンに成すべき事を成した場合自身のターンを終えて次のプレイヤーにターンを渡す。全プレイヤーでターンを回し、いずれかのプレイヤーの勝利ポイントが 10 ポイントに到達した時点でそのプレイヤーの勝利となる。

### 2.1.1 建設

建設可能な建造物は開拓地・都市・街道の 3 種類存在して、建設時に消費する資源が決まっている。開拓地は、粘土・木材・羊・穀物を各 1 つずつ消費して 6 角形のタイルの角部分に建てる事が出来る。開拓地を建設した場合、開拓地と角を接しているタイルの資源獲得権を得る。開拓

地は他の開拓地・都市から街道が2本分以上離れた角にしか建てる事が出来ない。また、最高でも開拓地は5つまでしか建てる事が出来ない。

穀物2つ・鉱石3つを消費して、開拓地を都市に拡張する事が出来る。都市に関しては建設数に制限はない。

街道は、粘土・木材を各1つずつ消費する事でタイルの辺の部分に建設する事が出来る。街道は自身の所有する開拓地・都市・街道と繋がる辺にしか建設する事が出来ない。建設先に他のプレイヤーの建造物がある場合、そこから先に街道を伸ばすことが出来ない。最初に街道を5本繋げたプレイヤーは街道賞を獲得する。以降、最も長く街道を繋げたプレイヤーが街道賞を獲得し、以前街道賞を所持していたプレイヤーは街道賞を失う。街道賞は勝利ポイントの対象である。

### 2.1.2 交渉

プレイヤーは自身のターン内に他のプレイヤーと交渉をする事でお互いが所持している資源を自由に交換する事が出来る。この際、交換する資源の種類や数はお互いの交渉の下自由に決定出来る。また、交渉をしてきた相手に対して別の資源を使用した交渉を提案する事も可能である。港と呼ばれる場所に自由な資源を1種類で4つ差し出す事で任意の資源を1つ獲得する事も出来る。本来は交渉による資源の移動内容を積極的に公開する必要はないが、本研究では全プレイヤーに対して公開する事を前提とする。

### 2.1.3 発展カード

羊・穀物・鉱石を各1つずつ消費する事で発展カードを獲得する事が出来る。発展カードは騎士・街道・収穫・独占・勝利ポイントの5種類存在して、発展カードを獲得する際にランダムで1種類獲得できる。

騎士カードは、盗賊と呼ばれる駒を自由なタイルに移動する事が出来る。盗賊は、盗賊が居る

タイルからは資源が獲得できないという効果を持つ。盗賊を移動したプレイヤーは、駒を置いたタイルに隣接した開拓地、都市のいずれかを所持しているプレイヤーの内1人から資源を1つランダムに奪う事が出来る。最初に3回使用したプレイヤーは騎士賞を得る。以降、騎士賞は最も多く騎士カードを使用したプレイヤーが獲得し、以前に騎士賞を所持していたプレイヤーは騎士賞を失う。

街道カードは、2.1.1 項で述べた街道を建設する際のルールに則って、資源の消費をせずに街道を2つ建設する事が出来る。

収穫カードを使用したプレイヤーは任意の資源を二つ獲得出来る。この際、1種類の資源を2つでも2種類の資源を1つずつでも良い。

独占カードを使用したプレイヤーは資源を1種類選択する。他のプレイヤーはその時点で所持している選択された資源を全てを使用したプレイヤーに譲渡しなければならない。

勝利ポイントカードは、勝利ポイントを1ポイント獲得する。このカードは使用する必要はなく、所持している場合に効果を発揮するが、他のプレイヤーに勝利ポイントカードによって獲得した勝利ポイントを公開する必要はない。

全ての発展カードは自身のターンであればいつでも使用する事が出来るが、1ターンに1度しか使用する事が出来ない。また、発展カードを獲得したターンは獲得した発展カードを使用する事が出来ない。発展カードは所持している内訳を公開する必要は無いが、全種類の発展カードの数を合計した総所持数は公開しなければならない。

#### 2.1.4 勝利ポイント

このゲームの勝敗条件である勝利ポイントは開拓地、都市、騎士賞、街道賞、勝利ポイントカードのいずれかを所持している場合に入手出来る。所持している物によって入手できる勝利ポイントが異なるため以下に詳細を述べる。開拓地を所持している場合は1つにつき1ポイント入手す

る。都市を所持している場合は1つにつき2ポイント入手する。騎士賞を所持している場合は2ポイント入手する。街道賞を所持している場合は2ポイント入手する。勝利ポイントカードを所持している場合は1ポイント入手する。勝利ポイントの所持数は公開する必要がない。これらの方法で勝利ポイントを最も早く10ポイント入手したプレイヤーが勝利する。

## 2.2 人間同士の対戦における基本戦略について

カタンにおける戦略は大きく分けて3つ存在する。まず一つが、街道を多く建設する事で街道賞を狙うと共に開拓地を増やす事で資源をより多く得る事を目的とした開拓地特化戦略である。この戦略の特徴は開拓地を多く建設するためダイスの目に関わらず常に一定の資源の入手が可能である。しかし、開拓地を建設するためには4つの資源が必要であるため序盤の勢いで他の戦略に劣っている。次に、自身の所持している開拓地を都市にする事を重視する都市特化戦略である。この戦略の特徴は早くの段階で資源を多く入手する事が出来るため行動出来る幅が他の戦略より広い事である。しかし、初期配置で建設した開拓地によって入手する事が出来る資源が偏ってしまうため資源を他のプレイヤーと交渉して入手していく事が必要になる。最後の一つが、発展カードを多く入手し、カードの恩恵を多く使用する事で勝利を目指すカード特化戦略である。この戦略の特徴は強力なカードを多く所持する事が出来れば大差をつけて勝利する事が可能であるもののカードを重視するために開拓地を建設しづらくなってしまい、資源の入手量が大きく減る事である。そのため、この戦略は運に頼る部分が多い。本研究では、都市を建設する事を重要視する都市特化戦略を主に採用する。理由としては、交渉によって資源を入手する必要があるためプレイヤーとの交渉が勝敗に大きく関わってくるため、提案手法による交渉への影響が強く出やすいからである。都市特化戦略は都市を重要視して建設していくため、都市の建設に必要な資源である鉱石と穀物を重要視する。次に、街道を建設しなければ開拓地を建設出来ず、都市を建設する事も出来ないため街道の建設に必要な木材と粘土を重要視する。これらの重要視する資源を

多く入手するために開拓地を建設し、それを都市に変える事で勝利ポイントを増やし、勝利を目指す事が基本的な戦略である。交渉を行う際には、現在最も勝利ポイントを多く所持しているプレイヤーとの交渉を出来る限り避ける事が重要である。最も多く勝利ポイントを所持しているプレイヤーとの交渉に応じてしまうと、そのプレイヤーが欲しい資源を渡す事になってしまい、結果的にそのプレイヤーを助ける選択になるためである。都市特化戦略の場合は多くの資源を所持している場合が多いため自身が不利になるレートで他プレイヤーと取引する事も可能である。そのため、最初の交渉で 1:1 のレートで応じてこなかった場合に 2:1 など不利な条件で交渉を行う事も重要になる。

# 第 3 章

## 提案手法

本章では，提案手法を実現するための方法について記述する．3.1 節では提案手法の大まかな流れについて説明する．3.2 節では提案手法を実現するために必要なカタンの AI について説明する．3.3 節では提案手法の実装方法について説明する．

### 3.1 手法の概要

本研究では，カタンにおける交渉を行う前の段階において，AI が所持する資源数や発展カード等の情報を真偽を交えて提示する．提示する事で対戦プレイヤーの選択肢を増やし，AI との交渉をより積極的に行うように誘導する事を目的とする．この，交渉の前の段階で真偽を交えた情報をプレイヤーに対して提示する事を本研究では交渉前提示と呼称する．交渉前提示の機能を実現するために必要な情報を揃えるために，まずは交渉前提示の機能を持たず，一般的な動きをするカタンの AI を独自に作成した．この AI を「ベース AI」と本研究では呼称する．ベース AI に関する詳しい説明は 3.2 節にて行う．ベース AI にて揃えた情報や期待値を基にプレイヤーに対して提示する情報を取捨選択した上で交渉前提示を行う手法を提案する．

## 3.2 ベース AI

AIの行動は大きく分けて2つある。資源の消費と資源の獲得の2つである。資源の消費は、開拓地・都市・街道の建設と発展カードの購入である。資源の獲得は、発展カードの使用と交渉である。また、AIの行動に関わらずに進行する要素としてターン毎の資源の獲得や他プレイヤーの行動などがある。

まず、資源の消費に関する機能について述べる。開拓地・都市・街道の建設は、まず開拓地と都市をどこに建設するかが大事である。建設可能な場所に対してそれぞれ土地評価値を算出する。以下、土地評価値は  $f$  とする。 $f$  が高い場所に開拓地や都市を建設する事を目標として以降の行動を決定する。 $f$  の決定方法を以下に述べる。各資源に 2.2 節にて述べた戦術を基に重要度を割り振った資源評価値という値を設定し、開拓地の建設予定地に隣接するタイルにおける資源評価値を合算した値を  $s$  とする。表 3.1 に各資源の資源評価値を示す。

表 3.1 各資源の資源評価値

資源の種類	資源評価値
鉱石	1.2
穀物	1.1
木材	1.0
粘土	0.9
羊	0.8

これに、現在所有する開拓地から建設予定地まで街道を最短経路で建設した場合に必要な街道の個数を考慮して建設予定地の  $f$  を決定する。 $w$  を必要な街道数とすると (3.1) 式で  $f$  が決まる。

$$f = s \left( 1 - \frac{1}{10} w \right) \quad (3.1)$$

例えば、開拓地を建設した場合に手に入る可能性がある資源が鉱石・鉄石・粘土だった場合の建

設予定地の  $s$  は、鉱石の資源評価値 1.2 を 2 つと粘土の資源評価値 0.9 を 1 つ合計して 3.3 となる。必要な街道の数が 2 つだったと仮定すると  $f$  は先ほど算出した  $s$  である 3.3 に 0.8 を掛けた結果である 2.64 となる。また、都市は街道を建設する需要が無いため  $s$  がそのまま都市の建設予定地の  $f$  になる。この様に算出した  $f$  を基に最も高い値を出した土地に開拓地・都市を建設する事を目指して建設を行う。これを行動の基本方針として、以降に行う行動を決定する。以下、この決定した行動を優先目標と呼称する。同時に、優先目標を達成するために最低限必要な資源を算出する。これを必要資源と呼称する。必要資源に対して現在所持している資源が不足しているかどうかを判定する。判定した結果である不足した資源を不足資源と呼称する。街道 2 つ離れた地点の開拓地が最も高い  $f$  を出したとすると、そこに開拓地を建設する事を優先目標として、開拓地を 1 つと街道を 2 つ建設する必要があるため必要資源は開拓地の建設に必要な資源と街道の建設に必要な資源を合わせた粘土 3 つ、木材 2 つ、羊 1 つ、穀物 1 つとなる。この際、AI が所持している資源が粘土 3 つ、木材 2 つの場合、不足資源は羊 1 つ、穀物 1 つとなる。不足資源の収集を行いつつ、資源が集まり次第街道の建設を行い、街道が建設し終わった段階で開拓地の建設を行う。優先目標の決定は他のプレイヤーが街道を建設する毎に行う。次に発展カードの購入だが、開拓地の建設用の資源に支障が出ない事に加え、現在開拓地を建設する事が出来ない場合のみ行う。

次に、資源の獲得に関する機能について述べる。発展カードの使用に関しては所持しているカード毎に述べる。騎士カードは入手した次に回ってくる自身のターンに使用する。盗賊の配置は不足資源を最も多い割合で所持しているプレイヤーが開拓地を所持しているマスに移動し、そのプレイヤーを指名して資源を奪取する。街道カードは優先目標が街道を 1 つ以上必要とする開拓地を建設する場合に使用する。収穫カードは不足資源が 2 つ以上存在する場合に使用する。独占カードは 5 ターン目以降の入手した次のターンに使用する。独占カードにおける資源の選択は各資源で独占評価値を算出する。以下、独占評価値を  $d$  とする。 $d$  は独占カードによって入手可能



な資源の総数に、その資源の資源評価値を掛ける事で算出する。資源の総数を把握する必要があるが、プレイヤーには所持している資源を他のプレイヤーに教える義務は存在しない。そのため、他プレイヤーが現在所持している資源を、AIが直接知る事は出来ない。しかし、他プレイヤーの行動や2.1節にて述べたサイコロの出目をAIは知る事が出来るためサイコロの出目によって他プレイヤーが獲得する資源と他プレイヤーの行動によって消費した資源の数、AI以外のプレイヤー同士の交渉によって交換した資源を基に計算を行う事でプレイヤーが現在所持している資源を間接的に知る事が出来る。これを全プレイヤーに対して行うことにより、AIの所持している資源に加え、他のプレイヤーが所持している資源を正確な数まで把握する事が可能になる。独占カードを使用して穀物を選択した場合に、穀物が9個入手出来るとするならば穀物の $d$ は穀物の資源評価値である1.1に入手出来る数である9を掛けた結果である9.9となる。 $d$ を5つの資源全てで算出し、最も高い $d$ が出た資源を選択する。交渉は不足資源を獲得する事を目標に行う。交渉を行う前に不足資源に含まれるそれぞれの資源に対して、自身が所持している開拓地より獲得可能か否かを判定する。全ての資源が獲得可能だった場合は全ての資源を対象に交渉における重要度を示す交渉評価値を計算する。以下、交渉評価値を $k$ とする。不足資源の中にAIの所持している開拓地から獲得不可能な資源が含まれていた場合はその資源を対象に $k$ の計算を行う。 $k$ の計算は、それぞれの資源評価値に必要な資源まで不足している数を掛ける事で行う。 $k$ が最も高くなった資源を優先交渉資源とする。優先交渉資源を最も多く所持しているプレイヤーに対して、まずは必要資源に関わりのない資源で交渉を行う。優先目標が都市の建設であり、現在鉱石を2つ、穀物を2つ、羊をいくつか所持しているとする優先交渉資源が鉱石1つになるため、鉱石を最も多く所持しているプレイヤーに対して必要資源に含まれない羊1つを差し出して鉱石1つを獲得する内容の交渉を行う。また、自身の所持している開拓地から不足資源の獲得が望めない場合は開拓地から獲得可能な資源の中で必要資源に関わりのない資源を優先して交渉に使用し、それでも交渉が成立しない場合は必要資源のうち、現在所持している開拓地から獲得可能な資源も使

用して交渉を行う。上記の状況の場合に、鉱石が現在所持している開拓地より獲得不可能な資源であり、なおかつ穀物が獲得可能な資源である場合は、まず羊 1 つを差し出して交渉し、成立しなかった場合は穀物 1 つを差し出して鉱石 1 つを得ようとする。また、必要資源に関わりのない資源が豊富に存在する上でその資源を開拓地から入手可能だった場合はその資源を 2 つ差し出して交渉に臨む。上記の状況の場合で羊が 4 つ以上であり、羊を開拓地から獲得可能な場合は羊を 2 つ差し出して鉱石を 1 つ獲得する内容の交渉を行う。資源の獲得により資源を獲得する事で優先目標を実現する。これを繰り返す事で開拓地と都市を建設していき、勝利ポイントを 10 ポイントに近づけていく。

### 3.3 交渉前提示の実現

人間らしさを実現するために、3.2 節で述べたベース AI に対して、交渉前提示を行う機能を追加する。以下、機能を追加した後の AI を本手法と呼称する。交渉前提示の機能を実現するためには AI の所持している資源の把握に加えて、交渉前提示を仕掛ける相手が所持している資源の把握が重要となる。以下、交渉前提示を仕掛ける相手を交渉前提示先と呼称する。この資源の把握は 3.2 節にて述べた資源の総数の把握を行う機能を用いる。本手法では 2 種類の情報を交渉前提示先に対して伝える事が可能である。AI が所持している発展カードの情報と AI が所持している資源の情報である。まず、AI が所持している発展カードの情報を使用して交渉前提示を行う機能について述べる。所持している発展カードの数や種類を偽って伝える事でメリットが最も大きく生まれる発展カードは勝敗に直接関与する勝利ポイントカードである。そのため今回の実装では勝利ポイントカードの所持を偽って交渉前提示先に伝える機能を実装した。勝利ポイントカードは 2.1.4 節で述べた勝利ポイントの取得方法の中で唯一公開する必要のない方法である。そのため、勝利ポイントカードの所持数を交渉前提示先に対して偽る事で AI が勝利条件である 10 ポイントまであと何ポイント勝利ポイントが足りないかを偽って認識させる事が可能である。しかし、直

接発展カードの所持数を偽って伝えても交渉前提示先の認識を誘導する事は難しい。そこで、本研究では発展カードを購入するたびにその内容を表示する事で交渉前提示先の認識を誘導する事を考案した。発展カードを購入した際に、勝利ポイントカード以外の発展カードを獲得した際にはそのまま入手した発展カードを言葉にする。例えば収穫カードを獲得した場合は「収穫カードか…」と言ったように交渉前提示先に対して見えるように表示する。また、2回以上連続で同じ発展カードを獲得した場合は発言の最初に「また」を付ける。収穫カードを2回連続で獲得した場合は「また収穫カードか…」となる。発展カードを購入した際に勝利ポイントカードを入手した場合は勝利ポイントカードと独占カード以外の発展カードからランダムに1つ選び、上記の発展カードを獲得した際に表示する言葉のルールに従う。次に、AIが所持している資源の情報を利用して交渉前提示を行う機能について述べる。3.2節で述べた機能によって決定した優先交渉資源を獲得するために、現在AIが所持している資源を偽る事で、交渉前提示先の認識を交渉に応じて建設や発展カードの購入を行う事が出来ないといった方向に誘導する必要がある。そのために、優先交渉資源が建設する際に消費する資源の中に含まれている建造物をリストアップする。リストアップした建造物の中から1つをランダムに選択する。これを偽建造物とする。偽建造物が開拓地、街道だった場合は偽建造物を建設する際に必要な資源の中で優先交渉資源以外の資源の中から1つランダムに選択し、偽建造物が都市だった場合は都市の建設に必要な資源の中から1つをランダムで選択する。この選択した資源を偽資源とする。偽資源が決定したらもう一度偽建造物を確認し、開拓地や街道だった場合は偽資源が手元に存在しないといった内容をAIのターン以外の時に一定時間表示する。偽建造物が開拓地であり、偽資源が粘土だった場合は「粘土がないじゃないか…」といった内容を表示する。また、偽建造物が都市だった場合は現在AIが所持している偽資源の数から2を引いた数を計算する。これを $T$ とする。 $T < 1$ だった場合は偽資源が存在しないといった内容を表示する。それ以外の場合は偽資源が2つ足りないといった内容を表示する。偽建造物が都市であり、偽資源が鉱石であり、 $T=1$ だった場合は「鉱石が1つしかない…」

だったり「鉱石が2つ足りない…」といった内容を表示する。偽建造物が都市であり、偽資源が鉱石であり、 $T=0$ であった場合は「鉱石がないじゃないか…」といった内容を表示する。これにより交渉前提提示先が認識しているAIが所持している資源の数を誘導する。また、実際に交渉が成立した直後に建設を行うと交渉前提提示先が認識を誘導された事に気づいてしまうため発展カードの使用やサイコロの出目による資源の獲得、交渉前提提示先以外のプレイヤーとの交渉をした後に建設を行う処理を追加する。この2つの情報を表示する事で交渉前提提示先の認識をAIに都合が良くなるように誘導する事を実現した。図3.1に実際にプレイヤーに対して交渉前提提示を行っている例を示す。



図 3.1 交渉前提提示を行っている様子

# 第 4 章

## 評価と分析

本章では，提案手法を検証する方法と結果について記述する．4.1 節では検証の方法について説明する．4.2 節では検証によって得た結果から分析を行う．

### 4.1 評価方法

Unity[17] を使用して本手法を実装し，大学生 6 名の被験者による交渉前提示の与える影響に関する検証を行った．被験者 6 名はベース AI と交渉前提示の機能を搭載した AI の両方と 1 ゲームずつ対戦を行う．カタンは通常 3~4 人で対戦を行うが，AI 同士での交渉前提示を行うなど，交渉前提示で流す情報が錯綜してしまい被験者に対しての効果が分かりにくくなってしまう事が予想されるため今回の検証では AI が 1 つと被験者が 1 人による 1 対 1 で対戦を行った．被験者にはカタンをプレイする上で自身のターンの開始時に必ず AI が最も多く所持している資源の予想と AI から交渉によって獲得したい資源を選択してもらう．以降 AI が最も多く所持している資源を最大所持資源，AI と交渉によって獲得したい資源を交渉獲得資源とする．この際に交渉前提示の前と後で選択した資源に差が出たかどうかで交渉前提示によってプレイヤーに影響が出たかを判断する．また，付随して対戦の中で行われた交渉の数や成立率も取得する．この交渉の数とは，

AI がプレイヤーに対して仕掛けた交渉だけでなく、AI からの交渉に対してプレイヤーが別の資源を提示した際にも 1 回の交渉とみなす。2 つの AI と対戦を行ってもらった後に被験者全員に「交渉前提示が AI と交渉する際の参考になったか」「どちらの AI と対戦した方がより人間同士の対戦に近かったか」「どちらの AI と対戦した方がより交渉に臨みやすかったか」「2.2 節の 3 つの戦略の中ならどれを今回のゲームで使用したか」などのアンケートを受けてもらった。

## 4.2 評価結果

表 4.1 は、4.1 節にて述べた検証を行った際に出力されたログを基にプレイヤーと AI の間で行われた交渉の数と交渉の成立率、AI の勝敗に加え、戦略に関するアンケートの結果を 6 人分まとめて記したものである。

表 4.1 交渉の数、交渉の成立率、勝敗、戦略のまとめ

	ベース AI			本手法			重視した戦略
	交渉の数	交渉の成立率	勝敗	交渉の数	交渉の成立率	勝敗	
A	73 回	12.3%	○	76 回	10.5%	●	カード特化戦略
B	68 回	10.3%	●	83 回	12.0%	○	開拓地特化戦略
C	54 回	13.0%	●	82 回	13.4%	○	都市特化戦略
D	57 回	10.5%	●	87 回	11.5%	○	都市特化戦略
E	71 回	11.3%	○	67 回	9.0%	●	カード特化戦略
F	49 回	10.2%	●	69 回	11.6%	●	都市特化戦略

6 人の合計では、ベース AI と被験者との対戦ではプレイヤーと AI の交渉は 368 回行われ、そのうち 78 回の交渉が成立した。また、6 回行われたゲームの内 2 回が AI の勝利と言う結果となった。本手法と被験者との対戦では、交渉が 466 回行われ、そのうち 167 回の交渉が成立した。また、6 回行われたゲームのうち 3 回が AI 側の勝利という結果になった。

表 4.1 から分かるように被験者 A, B, C, D, F の 5 人はベース AI と対戦した時と比較して本手法と対戦した時の方が交渉の数が増加している。内 A は 3 回と決して多いとはいえない増加で

ある。しかし B, C, D, F の 4 人については大きな増加を見せた。また、被験者 E に関しては交渉の数が減少してしまっている。表 4.1 から分かるように被験者 B, C, D, F のベース AI と対戦した時と比較して本手法と対戦した時の方が交渉の成立率は増加している。しかし、全員が大きく増加したとは言い難い結果となった。また A, E の 2 人に関しては減少を見せており、交渉の数が減少した被験者とほぼ同数だった被験者の 2 人と一致する。B, C, D, F の 4 人に関しては交渉の数にベース AI と対戦した時と比較して本手法と対戦した時の方が大きな増加が見られたため交渉前提示がプレイヤーに対して影響を及ぼしてプレイヤーの選択肢が増加し、AI に対して交渉を仕掛けやすくなったためであると推測できる。また、交渉の成立率に関してはほぼ同率といった結果になっており、交渉前提示は交渉の成立率に大きく影響を及ぼす物ではないと推測できる。次に、交渉の数が大きく増加しなかった被験者 A, E の 2 人に関してだが、プレイした際にとった戦略が関わっていると推測する。後に取得したアンケートで被験者 A, E の 2 人は「2.2 節の 3 つの戦略の中ならどれを今回のゲームで使用したか」についての欄にカード特化戦略と回答しており、他の被験者は開拓地特化戦略か都市特化戦略のいずれかを選択していた。カード特化戦略は対戦相手の所有する資源やダイスの出目に大きく左右されず、自身の運で勝利を目指すタイプの戦略のため交渉前提示によって AI が自身の資源数などを真偽を交えて提示してもゲームプレイにおいて大きな影響は与えなかったのではないかと推測する。このため、交渉前提示は開拓地特化戦略と都市特化戦略を好んで使用するプレイヤーには影響を及ぼすものの、カード特化戦略を好んで使用するプレイヤーには大きな影響を及ぼさないと分かる。

表 4.2 は、4.1 節にて述べた検証を行った際にプレイヤーが選択した最大所持資源と交渉獲得資源の 2 つが 1 つ前のターンと比較して変化していた際に 1 回とカウントして総数を記したものである。また、最大所持資源の適合率は最大所持資源を被験者が選択した際の AI が所持している最も多い資源を比較して正しかった場合の割合を算出した物である。

表 4.2 最大所持資源，交渉獲得資源のまとめ

ベース AI			
	最大所持資源の変化回数	交渉獲得資源の変化回数	最大所持資源の適合率
A	13 回	11 回	30.8%
B	16 回	14 回	31.3%
C	9 回	10 回	44.4%
D	12 回	14 回	41.7%
E	13 回	12 回	32.2%
F	8 回	9 回	42.1%
本手法			
	最大所持資源の変化回数	交渉獲得資源の変化回数	最大所持資源の適合率
A	17 回	15 回	35.2%
B	16 回	18 回	33.6%
C	11 回	14 回	51.2%
D	11 回	9 回	57.3%
E	19 回	16 回	50.0%
F	10 回	8 回	43.2%

表 4.2 から分かるようにベース AI と比較して本手法では，最大所持資源の適合率が全ての被験者に共通して増加している．また，交渉獲得資源の変化回数は被験者 A，B，C，E の 4 人増加しているものの，被験者 D，F の 2 人は減少している．交渉獲得資源の変化回数がベース AI と比較して本手法では増加した事から，交渉を行う際に相手の資源から獲得しやすい資源を考慮する際に交渉前提示と言う情報が増えたために，より流動的になったためであると推測できる．また，最大所持資源の適合率に関しては被験者全員が増加した事から，交渉前提示の影響で被験者が AI の所持している資源数に対する関心が高まったことが分かる．それに加え，今回実装した交渉前提示の真偽が分かりやすく，被験者が AI の所持している資源を把握し易くなっている事も一因であると推測できる．また，最大所持資源の適合箇所がゲーム序盤に固まっている事から，被験者は序盤は相手の資源をしっかりと把握しているものの，終盤に差し掛かると資源を把握する事が



難しくなっている事が分かる。また、最大所持資源の変化は交渉前提示を行った後に集中して起きており、被験者が AI の資源を把握する際に交渉前提示から得る情報を参考に行っていると推測できる。

アンケートの結果に関しては、「交渉前提示が AI と交渉する際の参考になったか」については 6 人中 4 人が参考になったと回答して、「どちらの AI と対戦した方がより人間同士の対戦に近かったか」に関しては被験者全員が本手法の方が人間同士の対戦に近かったと回答をした。また、「どちらの AI と対戦した方がより交渉に臨みやすかったか」に関しては 6 人中 5 人が本手法の方が交渉に臨みやすかったと回答した。「交渉前提示が AI と交渉する際の参考になったか」と「どちらの AI と対戦した方がより交渉に臨みやすかったか」の結果から、交渉前提示によって被験者が AI との交渉を行いやすくなった事が推測できる。また、「どちらの AI と対戦した方がより人間同士の対戦に近かったか」の結果から、被験者に良い印象を与えた事が分かる。

## 第 5 章

### まとめ

本研究では、カタンの AI との対戦を人間同士の対戦に近付ける方法として、真偽を交えた情報をプレイヤーに対して提示する機能を既存の AI に付加する事で、プレイヤーの選択肢を増やし、交渉に臨みやすくする手法を提案した。目的に近づくことは出来たが、AI が扱う事の出来る情報が自身の資源数と発展カードのみと少ないためより人間同士の対戦に近付けるために今後は他プレイヤーの資源数や発展カードに頼らない勝利ポイントの提示など扱う事の出来る情報を増やしていきたい。また、交渉に関する部分を人間同士の対戦に近付ける事は成功した物の、プレイヤーに対する AI の勝率は決して良い数字とは言えない。そのため、安村ら [18] が行ったモノポリーにおける交渉を有利に進める AI や、今野ら [19] が行った機械学習委よる人狼知能の陣営推定能力の向上などを参考に、交渉前提示で扱う情報をより柔軟にプレイヤーに対して提示する事で、交渉前提示の信憑性を増し、より強いプレイヤーとの対戦に近付ける事でプレイヤーに、より深く交渉前提示の情報について思考するとより人間同士の対戦の面白さが再現できると推測する。

本研究では、一つの戦術を取る AI にのみ交渉前提示の機能を適用して検証を行ったため他の行動を取る AI でどのような結果が出るか不明なままである。そのため、今後はより豊富な戦術を取る AI に交渉前提示の機能を付加して検証を行う事で、より人間同士の対戦に近付ける事が可能に

なる。

なお、本論文は、第 17 回デジタルコンテンツクリエイションにおいて”カタンの開拓者たちにおいてウソの情報を流し状況を有利に進める敵の提案”[20] として発表した内容を含む。

# 謝辞

本研究を進めるにあたり，熱心にご指導をいただいた卒業論文指導教員の渡辺先生，阿部先生に深く感謝申し上げます。また検証に協力してくれた方々，卒論を書くにあたって多くの支えとなって頂いたゲームイノベーション・ゲームサイエンス研究室の皆様感謝いたします。

## 参考文献

- [1] Catan. <https://www.catan.com/>. 参照: 2017.01.21.
- [2] 日本カタン協会. <http://catan.or.jp/>. 参照: 2017.12.25.
- [3] Catan の交渉. [http://fukurokouji.is-mine.net/catan/catan\\_koushou.htm](http://fukurokouji.is-mine.net/catan/catan_koushou.htm). 参照: 2017.01.21.
- [4] 日高大地. 麻雀ゲームにおける ai の開発. 近畿大学工学部情報学科卒業研究, 2013.
- [5] 水上直紀, 鶴岡慶雅. 期待最終順位に基づくコンピュータ麻雀プレイヤーの構築. 情報処理学会, Vol. The 20th Game Programming Workshop 2015, pp. 179–186, 2015.
- [6] 漆畑雅士. 多人数不完全情報ゲームに対する局面評価値を用いたモンテカルロ法. 京都大学数理解析研究所講究録, Vol. 1894, pp. 84–88, 2014.
- [7] 古居敬大, 三輪誠, 鶴岡慶雅, 近山隆. 相手の抽象化による多人数ポーカーでの戦略の決定. 情報処理学会ゲームプログラミングワークショップ, Vol. 6, pp. 211–218, 2012.
- [8] 吉原大夢, 阿部野なつみ, 渡辺祐介, 大久保誠也. 提出手比較による大貧民プレイスタイル解析. 情報処理学会ゲーム情報学 (GI), Vol. 2012-GI-28, pp. 1–6, 2012.
- [9] 小林紀之, 安藤剛寿, 上原貴夫. 不完全情報ゲームにおける推論とプレーのアルゴリズム. 情報処理学会ゲーム情報学会 (GI), pp. 55–62, 2000.

- [10] 美貴理斗. 多人数不完全情報ゲームにおける最適行動に関する研究. 東京大学大学院工学系研究科平成 21 年修士論文, 2009.
- [11] 西野順二, 西野哲郎. 多人数不完全情報ゲームのモンテカルロ木探索における推定の効果. 情報処理学会バイオ情報学 (BIO), pp. 1–4, 2011.
- [12] 根本佳典, 古宮加奈子, 小谷善行. Crf を用いた麻雀の不完全情報推定. 情報処理学会ゲームプログラミングワークショップ 2012, pp. 155–158, 2012.
- [13] 小沼啓, 本多武尊, 保木邦人, 西野哲郎. コンピュータ大貧民に対する差分学習法の応用. 情報処理学会ゲーム情報学 (GI), pp. 1–4, 2012.
- [14] 津久井祐一. 不完全情報ゲームにおける推論. 情報処理学会ゲーム情報学 (GI), pp. 1–2, 2004.
- [15] 吉村拓哉, 橋本剛. カタンの開拓者たちにおけるモンテカルロ木探索を用いた ai の改良. 情報処理学会第 12 回情報科学フォーラム, Vol. 12, pp. 387–388, 2015.
- [16] 吉本直浩, 石水隆. カタンにおけるメタ理論の研究. 近畿大学工学部情報学科卒業研究, 2014.
- [17] Unity. <https://unity3d.com/jp>. 参照: 2018.01.21.
- [18] 安村貞明, 秋山英久, 小口邦彦, 新田克己. モノポリーにおける交渉エージェント. 情報処理学会論文誌, Vol. 10, pp. 3048–3055, 2002.
- [19] 今野伸浩, 大槻恭士. 機械学習による人狼知能の陣営推定能力向上. 情報処理学会エンタテインメントコンピューティングシンポジウム (EC2017), pp. 64–59, 2017.
- [20] 中澤桂介, 阿部雅樹, 渡辺大地, 三上浩司. カタンの開拓者たちにおいてウソの情報を流し状況を有利に進める敵の提案. 情報処理学会第 17 回デジタルコンテンツクリエーション研究報告 (DCC), Vol. 2017-DCC-17(13), pp. 1–6, 2017.