

# カタンの開拓者たちにおける AI 生成のための 対戦人数を考慮した実験手法の提案

荒木開人

**概要:** ヒトを対象とした心理実験において、被験者にボードゲームを遊ばせたうえで、行動を観察し、対戦相手である AI の強さについて評価する心理実験が多くなされている。これらの試験において被験者及び AI の対戦人数の多寡について余り議論がなされていない。三者関係やバランス理論等社会心理学的な観点から分析することで、ゲーム展開や最適な戦術は対戦人数次第で変わることが示唆される。本研究では「カタンの開拓者たち」(以下「カタン」というボードゲームを例として、ヒトと AI がボードゲームの対戦を行う心理実験の設計にて、個々のボードゲーム固有のシステム及び社会心理学での理論両面から試験デザイン手法を提案する。

キーワード: 実験ゲーム, 囚人のジレンマゲーム, 葛藤, 取引, バランス理論, 社会的エージェント, マルチエージェント説得, 行動決定, 主観的期待効用モデル, ABX モデル

## Ways of psychophysical experiments considering number of players to produce AI at Catan

KAITO ARAKI

**Abstract:** Some of them are constructed psychophysical experiments for human-kind, which subjects play board games with AI. These studies are not considered how many subjects and AIs participate the board game. It is suggested that evolutions and optimum tactics of the games depend on the number of players with aspects of sociopsychology. For example, triadic relationship, balance theory. This studies I suggest how to design psychophysical experiments which subjects and AIs participate. It is considered with aspects of both particular systems of each games and theory of sociopsychology.

**Keywords:** experimental game, prisoner's dilemma, conflict, transactions, Balance theory, Social agents, multi-agent persuasion, behavior decision, subjective expected utility theory, ABX model

### 1. はじめに

本研究では、カタンというボードゲームを取り扱う。カタンとはドイツで 1995 年に発売されたボードゲームであり、3 人又は 4 人で遊ぶゲームである。プレイヤーはカタン島と呼ばれる島に開拓者として上陸し、各自資材を獲得し、島に街道や開拓地、都市を建設していく。建設を行うたびに点数が加算され、一番早く所定の点数に到達したプレイヤー 1 名が勝者となる。

ドイツ年間ゲーム大賞や日本テーブルゲームグランプリ等、多くの受賞歴があり、累計販売台数は 3000 万台であり、業界 1 位のモノポリーに次ぎ 2 位[1]である。

日本カタン協会という NPO 法人があり[2], カタン日本選手権等公式大会も開かれている[3], 人気のあるボードゲームである。

カタンは将棋やモノポリーと異なり、麻雀の様な不完全情報ゲームである。又所定の点数まで到達することが勝利条件となるので零和有限ゲームでもあり、サイコロの結果次第で算出される資源が変わる不確定ゲームである等、麻雀と共通点が多い。

AI とカタンの対戦が出来るアプリケーション[4]がリリースされているが、AI との試合では、難易度が上がるにつれ AI が有利になるダイスの出目が増えるという傾向が見られ、対人でのオンライン対戦にて序盤で差が付いてしまい、逆転が困難であるとのレビューがあった[5]。又、ボードゲーム版が世界で 3000 万台の売上を達成している一方、Catan Universe (以下;新アプリ)のダウンロード数が 100 万台強である。アプリケーションが基本プレイ無料であるにも関わらず、ダウンロード数が 3000 万に及ばないことから、実物のボードのカタン (以下;アナログ環境) で遊ぶ人口と比べ、アプリケーションでのカタン (以下;デジタル環境) で遊ぶ人口は少ないといえる。

このような事例が発生する理由として、カタン特有の交渉というシステムによるものと考えられる。デジタル環境にてインターフェースの都合上アナログ環境と違い交渉が円滑に行えないことが課題であると考えられる。交渉が成立しにくい原因として対話が出来ないことが挙げられる。

デジタル環境にてオートマッチにてオンライン対戦を行う場合、参加者の母国語が異なる場合があり、意思疎通が困難となる。他にも手番に制限時間がある、チャットを用

いても対戦相手がチャットを読んだか否かが判断できない、チャットにて戦略を話すプレイヤーが少なく戦略を相談する土壤がない等、対話を伴った交渉が行いにくい。オンライン対戦においても戦略についての議論が活発に行われるボードゲームも存在するため[6]、カタンもデジタル環境において対話が成立する可能性がある。

デジタル環境でもアナログ環境同様にカタンを楽しむために、対話の有無によりゲームの進行度合いに影響を与えるか否かを検証するため、ヒトを対象とした心理実験を行う。本報告ではAIと被験者がカタンの対戦を行う、心理実験の実施に当たり、プレイヤーの人数が変化することの影響を考察することで、心理実験の設計指針を示す。

## 2. カタンの開拓者たちのルール

この章ではカタンのルールやターンの流れ、及び主な戦略について述べる。以下の内容は先述の日本カタン協会のHP及びルールブック[7]に準ずる。又交渉等戦術や禁止行為の詳細についてはYouTubeにアップロードされたカタン日本選手権地区予選動画における選手の振る舞いを参考とした[8]。

### 2.1 地形セットアップ

カタンのボードは図1の様六角形の地形タイル19枚と、青色の海フレーム6枚で構成されている。地形タイル19枚をシャッフルして表向きにしなが



図1 カタンスタンダード版  
ルールブック  
記載の初期配置例

1枚ずつ配置する。これにより、毎回地形が異なる状態で

遊ぶことが出来る。19枚の内訳は、森林タイル4枚、丘陵タイル3枚、牧草地タイル4枚、畑タイル4枚、山地タイル3枚、砂漠1枚からなる。

砂漠を除くタイルからは順に木材(以下;木)、レンガ(以下;土)、羊毛(以下;羊)、小麦(以下;麦)、鉱石(以下;鉄)、計5種類の資源カード(以下;資源)が産出される。後述の建設・交渉フェイズにてこれらの資源を山札(以下;銀行)に戻したり、他のプレイヤーと譲受することで、ゲームは進行する。

砂漠を除く計18枚のタイルにはそれぞれ数字チップが置かれる。数字チップは2, 12と書かれたチップが1枚ずつ、3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11と書かれたチップは2枚ずつある。数字チップは全て裏に各々アルファベットが刻印されている。

数字チップの配置方法は主に2種類あり、前者は数字チップをランダムに置く配置、後者は海フレームに1番と記載されている角(図1における1番上段右端、数字チップ8

の置かれた牧草地の位置)に裏にAと記載された数字チップを配置する。全ての数字チップを裏返したうえで、Aと記載のチップを置いた後、反時計回りに中心に向かう螺旋を描きながらB, Cと順に並べる。砂漠チップには置かず、次の地形タイルにチップを置く。(図1の初期配置例は3番と記載されている角にAを置き、時計回りに置いている。)

砂漠タイルには盗賊駒(以下;盗賊)を置く。

### 2.2 初期配置フェイズ

以下4人プレイヤーでカタンをプレイするものとして、説明する。

初期配置は1番手プレイヤーが自身の色の開拓地駒(以下;開拓地)を交差点に1つ置く。その後自身の色の街道駒(以下;街道)を辺に1つ置く。街道は自身の開拓地に隣接する様に配置する。内陸の交差点だけでなく、海フレームに隣接する交差点、

続いて2番手, 3番手, 4番手プレイヤーの順に開拓地及び街道を配置する。尚、他者及び自身の開拓地及び後述の都市駒(以下;都市)に隣接する交差点に、開拓地を建設することが出来ない。

4番手のプレイヤーは続けて2つ目の開拓地及び街道を配置する。2つ目の開拓地を配置した時点でその開拓地が隣接する地形タイルに対応する資源を銀行から受け取る。

### 2.3 ターンの流れ

ターンの流れは以下の様に表示する。自身の点数が10点以上となった状態で、自身の手番中に勝利宣言することで、勝者となりゲームは終了する。

- ① サイコロ2つを同時に振る
- ② 対応する数字チップから資源の産出・盗賊の移動
- ③ 建設・交渉フェイズ

ターンの初めに6面サイコロを2個振る。出目の和(以下;出目)と同じ数字を持つ、地形タイルに隣接する開拓地及び都市を所有するプレイヤーは、対応する資源を銀行から手札に加える。手札の資源の内訳は公開する必要はないが、枚数は公開情報となっている。

手番プレイヤーだけでなく手番でないプレイヤー(以下;手番外プレイヤー)も資源を獲得できる。1つの地形タイルに開拓地を2つ建てているプレイヤーは資源を2枚、3つなら3枚得られる。後述する都市を建てているプレイヤーは都市1つにつき資源を2枚受け取れる。

2ヶ所の地形タイルから資源が産出されるプレイヤーは最大2種類の資源を1度に手札に加える。

出目の合計が7となった場合2つの処理を順に行う。それぞれ「手札廃棄処理」「盗賊移動処理」と名付ける。

最初に手札廃棄処理がなされる。手番及び手番外プレイヤーで資源を8枚以上有するプレイヤーは全員、手札を半分捨てる。奇数枚有する場合は手札に残す枚数は切り上げとなる。9枚有するプレイヤーは5枚、手札を残し、残り

を銀行に戻す

続く盗賊移動処理にて手番プレイヤーは盗賊を別の地形タイルに移動させる。移動させた地形タイルに隣接する開拓地及び都市を有するプレイヤーいずれか1名から資源を裏向きのまま1枚奪う。この時奪った資源の種類は奪われたプレイヤー以外には非公開情報となる。

盗賊が置かれた地形タイルからは対応する出目が出て誰も資源を産出されなくなる。

## 2.4 建設

建設・交渉フェイズでは建設及び交渉の2つの行動を、順番を問わず何度でも行える。

建設で図2に記載の組み合わせの資源を支払うことで、最大4種類の建設できる。

- ① ボードに街道を引く
- ② ボードに開拓地を建てる
- ③ ボード上の開拓地を都市と入れ替える
- ④ 発展カードを引き、手元に伏せる



図2 カタンスタンダード版建設コスト表

### 2.4.1 街道

街道は初期配置含め1人最大15本建設できる。木と土1枚ずつ銀行に戻すことで建設できる。

自身の街道、開拓地、都市いずれかに隣接する辺に置くことができる。他プレイヤーの街道の置かれている辺には配置できない。他プレイヤーの開拓地及び都市がすでに置かれている交差点を横断する様に街道を建設できない。

### 2.4.2 開拓地

開拓地は初期配置分2件含め1人最大5件まで盤面上に配置できる。木、土、羊、麦1枚ずつ銀行に戻すことで建設できる。

自身の街道に隣接する交差点に置くことができる。自身の街道と街道の間の交差点にも配置できる。他者及び自身の開拓地及び後述の都市に隣接する交差点に、開拓地を建設することは出来ない。1つにつき1点加算される。

### 2.4.3 都市

都市は1人最大4個まで盤面上に配置できる。街道は麦2枚、鉄3枚銀行に戻すことで建設できる。

自身の盤面の開拓地を手元に戻したうえで、都市に入れ替える。5件開拓地を建てた状態で6件目の開拓地を建設するためには、先に配置済みの開拓地1件を都市と入れ替える必要がある。1つにつき2点加算される。

### 2.4.4 発展カード

資源とは別に裏向きに25枚積まれている。羊、麦、鉄1枚ずつ支払うことで1枚引ける。

全部で5種類のカードがある。後述する、所有することで1ポイント獲得できるカードである、勝利点カードは引

いた瞬間に効力を生じる。引いた瞬間に10点となった場合、即座に勝利宣言できる。

勝利点カード以外のカードは引いた次のターン以降の自身のターン中に使用可能。1ターンに1枚だけ使用でき、異なるカード2種類の使用は出来ない。サイコロを振る前にも振った後にも使用可能。使用済み発展カードは、ゲームが終わるまで手元に表向きにして保管する。未使用発展カード(以下;伏せカード)の枚数は公開情報とする。

## 2.5 交渉

手札の資源を譲受することが出来る。以下に2種類の資源の取引を述べる。尚、どちらの資源の取引も種類及び枚数は公開情報となる。

### 2.5.1 海外取引(以下;交換)

手元の木4枚を羊1枚、麦4枚を鉄1枚の様に、同一種類の資源4枚を銀行に戻すことで、銀行から任意の資源1枚を獲得する(以下;4:1交換)。

図3左にて海プレートに記載の3:1港の書かれている交差点2つのどちらかに開拓地及び都市を建設しているプレイヤーは、手元鉄3枚を木1枚の様に、同一種類の資源3枚を銀行に戻すことで、銀行から任意の資源1枚を獲得する(以下;3:1交換)。3:1港は盤面上に4組存在する。

図3右にて海プレートに記載の2:1港の書かれている交差点2つのどちらかに開拓地及び都市を建設しているプレイヤーは、手元の、麦2枚を木1枚の様に、描かれている種類の資源2枚を銀行に戻すことで、銀行から任意の資源1枚を獲得する(以下;2:1交換)。2:1港は木、土、羊、麦、鉄の絵1組ずつ計5組描かれており、以下木港、土港、羊港、麦港、鉄港と呼ぶ。



図3 3:1港及び2:1港(麦港)

### 2.5.2 島内取引(以下;交渉)

手番プレイヤーが手番外プレイヤーに受け取りたい資源又は渡したい資源及びその両方を呈示し、条件を受け入れた手番外プレイヤーと成立する。交渉する資源の種類や枚数は自由に決められる。手番外プレイヤーが異なる提案をすることも可能である。例として、手番プレイヤーが他プレイヤーに対し、「木1枚を渡すから、土か麦どちらか1枚ほしい」というリクエストに対して、手番外プレイヤーは「麦は出せるが、鉄1枚ほしい」「土は出せる、木1枚含め合計2枚の資源が欲しい」「羊4枚出すから資源合計3枚ほしい」等、アナログ環境において、リクエストは自由である。

又、アナログ環境において、手番外プレイヤーが手番プレイヤーに渡せる資源や受け取りたい資源等、手番外プレ

イヤーから積極的に発話することは自由であり、街道を引く、発展カードを引く等作戦そのものの提案も行ってよい。

手番プレイヤーが交換を行う際に山札に戻す前であれば、より良い条件で交渉を申し出てもよい。(例;手番プレイヤーが木4枚を羊1枚に交換しようとした時、手番外プレイヤーの1人が木3枚くれたら羊1枚支払うと申し出る。)

## 2.6 発展カード

発展カードは5種類存在する。引いた発展カードは裏向きのまま机の上に置くことが望ましいとされ、枚数のみ公開情報とする。自身の手番のダイスを振る前、及び建設・交渉フェイズにて使用可能。又、使用済み発展カードの内訳と枚数も公開情報とする。以下種類と内訳を述べる。

- ① 騎士 14枚
- ② 街道建設 2枚
- ③ 発見 2枚
- ④ 独占 2枚
- ⑤ 勝利点 5枚

騎士カードは先述のサイコロの出目が7となった際の「盗賊移動処理」のみを行う。サイコロを振る前に使用することにも利点がある。

街道建設カードは街道を2本建設する。独立して1本ずつ建設しても、2本目が1本目に隣接する様に建設しても構わない。

発見カードは任意の資源を2枚銀行より獲得する。異なる資源2種を獲得しても同一の資源2枚獲得してもよい。

独占カードは使用時に資源の名称を1種類宣言する。手番外プレイヤーは全員宣言された手持ちの資源を全て使用したプレイヤーに渡す。

勝利点カードは先述の通り裏向きのまま、保持される。勝利点カードを除く4種類のカードは使用時にのみ表向きにされる。又、公式ルールにて引いたカードの内容を明言することは真偽問わずルール違反となる。

又、発展カードの使用によらず、建設・交渉においても明らかな嘘を付くことは禁止行為となっている[9]。

## 2.7 ボーナスカード

カタンにてある特定の条件を満たしたプレイヤーが2点を追加で得られる。条件は2種類あり「最長交易路」と「最大騎士力」がある。

最長交易路は一筆書きで街道を5本つなぎ、街道の最長本数が5となったプレイヤーが獲得する。他のプレイヤーが所有プレイヤーの街道の最長本数を超えた場合は最長交易路を喪失し、超えたプレイヤーが2点を得る。

最大騎士力は使用済みの騎士カードの枚数(以下;騎士の使用枚数)が3枚に到達し、騎士の使用枚数が3となったプレイヤーが獲得する。他のプレイヤーが騎士の使用枚数を超えた場合は最大騎士力を喪失し、超えたプレイヤーが2点を得る。

最長交易路及び最大騎士力両方を所持するプレイヤー

は4点を追加で得られる。

## 2.8 主な基本戦略

カタンの戦略を便宜的に下記の3つに大別する。

- ① 街道戦略
- ② カード戦略
- ③ 盤面・勝利点戦術

街道戦略とカード戦略を両立させることは困難であり、結果的に両立させた場合は、最長交易路及び最大騎士力の内先に獲得した方の戦略を実施したものとみなす。

街道戦略においては木、土を多めに獲得し最長交易路を狙う。

序盤に開拓地を広げ、多くの地形タイルに隣接することで資源が産出される確率が上がり、3:1港及び2:1港の獲得により交換の効率を向上させられる反面、都市建設が遅れ、中盤以降建設が進まない点、他のプレイヤーが自身の開拓地の周囲に街道を建設することで、自身の街道の建設が不可能となり、最長交易路を永続的に喪失するリスクがある点、初期配置フェイズの時点で、他プレイヤーの開拓地の場所次第で、自身が幾何学的に街道を伸ばしにくくなるリスクがある点が短所として挙げられる。

カード戦略は、羊、麦、鉄を多めに獲得し、発展カードを引くことを主軸とする。最大騎士力は先述の最長交易路と違い、他のプレイヤーが騎士カードを引かない限り、最大騎士力を保有するチャンスがあるという点、街道は1ターンに何本も引かれる可能性があるため、喪失するリスクは高いが、騎士カードは1ターンに1枚しか使われないため、最大騎士力獲得後喪失しにくい点、盗賊による妨害を受けても騎士カードで反撃及び有利なプレイヤーへの攻撃がしやすい点が有利となる。一方、騎士カードばかりで勝利点カード等引けない、騎士カードが殆ど引けず他のプレイヤーに最大騎士力を先に取られる等、発展カードによる得点が得られず、終盤にて都市を3件建てた後、開拓地が建てられる交差点がなくなる結果、10点取れなくなる可能性もある。

盤面・勝利点戦略は開拓地及び都市からなる盤面点数に加え、勝利点を合計して10点を目指す戦略である。

最長交易路や最大騎士力を喪失しないために、街道を引いたりカードを引き続ける必要がない点、最長交易路及び最大騎士力を喪失し、点数が減るリスクがない点、点数が増えると共に、産出される資源の量が増えたり、港により交換の効率が上がる等の長所がある。しかし、他のプレイヤーが街道の最長本数5及び騎士の使用枚数3の状態では最長交易路及び最大騎士力を所有した結果、先に10点まで到達されやすい点、1点得るために地形タイル2つ又は1つしか隣接していない交差点に開拓地を建設する等、終盤において費用対効果が悪くなるという短所がある。



### 3. 提案手法

#### 3.1 先行研究における課題

本項目の執筆にあたりカタンの AI における先行研究 3 つを参考とした。時系列順に述べると、モンテカルロ木探索を適用した AI[10]、序盤、中盤、終盤を盤面より判断した上で交渉の可否を判断する AI[11]、嘘を付くことで優位に立つ AI[12]が研究されている。嘘を付くことで優位に立つ AI の研究において、被験者が PC 上の AI とカタンの対戦を行い、勝率や交渉回数を評価している（中澤，2017）。

AI とプレイヤーが交渉を成立させやすくするため、人間同士の対戦に見られる駆け引きを再現することを目的としており、既存の AI はプレイヤーに対して何も発言しない一方、新規の AI は交渉前提示なるものを仕掛ける。

交渉前提示では所持している発展カードの数や種類を偽るために勝利点カードを引いた際に「発見カードか」と文字を提示することで勝利点カードの所持数を偽るという研究がなされていた。又資源の枚数を偽るため鉄を 2 枚所有しているときに「鉄が 1 つしかない」といった文字列をディスプレイに表示するという改善が行われていた。

これらの実験にて新規の AI が嘘を付くことにより、交渉回数及び勝率が向上したと結論付けられている。

しかし、報告の中に被験者の年齢、性別、カタンプレイ経験等特性の記述が見られなかった。交渉回数が減ったプレイヤーはカード戦略を取り運任せの戦略を取ったため交渉回数が減ったとの考察が見られたが、先述の様に被験者のカタンプレイ経験の記載がないため、交渉回数の減った被験者はカタンプレイ経験が豊富であるが故、AI の嘘を見抜き交渉を行わなかった可能性がある。

又、報告では被験者 1 名と喋らない AI 1 名、被験者 1 名と嘘を付く AI 1 名の 2 名で、計 2 回カタンの対戦を行うと表記されていた。カタンの開拓者たちは 3 人又は 4 人で遊ぶことを推奨されているゲームであるため被験者と AI 1 名の計 2 名で対戦した結果、交渉回数及び勝率が向上した可能性も考えられる。

#### 3.2 ゲーム展開における 4 人戦と 2 人戦の比較

本項では、カタンの戦術や社会心理学における理論を基に想定される、4 人戦と 2 人戦それぞれの取るべき戦法について述べる。

##### 3.2.1 初期配置フェイズにおける 4 人戦と 2 人戦の比較

4 人戦と 2 人戦は初期配置フェイズ時点で最も顕著な違いが出るといえる。図 4 において、左側は 4 人戦、右側は 2 人戦を想定したさいに各プレイヤーが配置する開拓地及び街道を標記した図である。

図 4 左にて五角形は開拓地、長方形は街道を表しており、内部の数字は開拓地及び街道の置かれた順番を示す。例として 4 番手 1 軒目の開拓地及び街道は 4、2 番目軒目の開拓地及び街道は 7 と記す。

図 4 左にて、青丸で記入した交差点は、初期配置フェイズ終了後、建設できる交差点の中で 3 ヶ所の地形タイルから資源が産出される交差点である。図 4 左にて 3 の森林タイル、4 の牧草地タイル、11 の山地タイル（以下、木 3 羊 4 鉄 11 と標記）の 3 ヶ所から資源が産出される。

図 4 右にて初期配置フェイズ終了後、青丸の数は 7 個ある。これにより、2 人のプレイヤーは 3 ヶ所のタイルから資源が産出される交差点に開拓地を 1 人につき 2 軒まで追加で建てられる様になる。

この様な初期配置の場合図 4 左では 7 番目及び 5 番目に開拓地を置いたプレイヤーのいずれかは木 3 羊 4 鉄 11 を目指せるが、残りの 2 人は初期配置を含め 3 軒目の開拓地を海岸線か砂漠に面した交差点に置かねばならない。一方図 4 右では初期配置を含め 3 軒目及び 4 軒目の開拓地を 3 ヶ所のタイルから資源が産出される交差点に開拓地を 1 人につき 2 軒まで追加で建てられる。

これにより、4 人戦だと初期配置フェイズで開拓地を置いた場所から算出される資源を中心に建設を行う必要があるが、2 人戦では、各自が初期配置フェイズ時点で資源の産出されないタイルに開拓地を建設することが可能となる。

又、図 4 左にて 1 と 8 の開拓地を所有するプレイヤーは 3:1 港を獲得することが困難であるが、図 4 右だと両者 3:1 港を獲得しやすくなる等、4 人戦では中盤以降の島外取引の有利不利が生じやすいが、2 人戦では生じにくい。

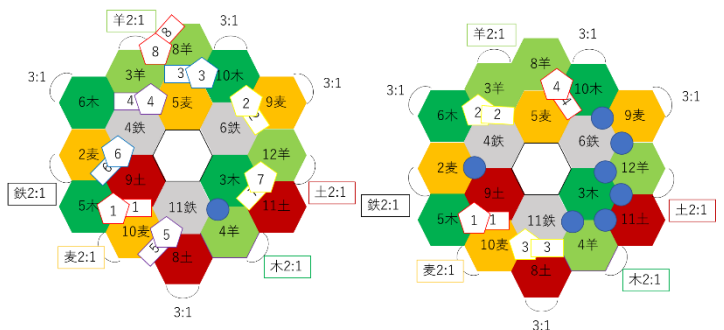


図 4 左；初期配置例のマップにおける 4 人戦での各プレイヤーの想定される初期配置組み合わせ

右；初期配置例のマップにおける 2 人戦での各プレイヤーの想定される初期配置組み合わせ

##### 3.2.2 交渉における 4 人戦と 2 人戦の比較

カタンにおいて、人数の多寡の影響を最も多く受ける要因が交渉であるといえる。4 人戦において手番プレイヤーが建設できない際に行う行動に以下の選択肢がある。

- ①手番外プレイヤーの 3 人のいずれかと交渉
- ②銀行と交換
- ③手札を所有したまま手番を回す

特に①の中で、

- ①-I 1 手番後のプレイヤーと交渉する
- ①-II 2 手番後のプレイヤーと交渉する

①-III 3手番後のプレイヤーと交渉する  
といった選択肢が与えられる。

一方、手番外プレイヤーの選択肢は

① ‘ 手番のプレイヤーと交渉する

② ‘ 手札を所有したまま手番が来るまで待つ

と選択肢が限られている。

2人戦では手番プレイヤーの選択肢は以下ようになる。

①手番外プレイヤーと交渉

②銀行と交換

③手札を所有したまま手番を回す

①を選ぶ場合、交渉相手は1人なので、交渉相手となり得る人数は手番外プレイヤーと同一である。

2人戦では交渉相手が常に1人である。一方4人戦では手番中、最大3人のプレイヤーが交渉相手となり得る。故に、手番外プレイヤー3人の間で、駆け引きが生じる。

手番外プレイヤー同士が参加者となる、囚人のジレンマゲームを仮定する[13]。手番プレイヤーは自身の利得が最大となる交渉を行うことを目的とする。手番外プレイヤーは交渉を成立させるため自身の利得が最大になるような提案を行うものとする。しかし、後述にて手番外プレイヤーの利得が上がるほど手番プレイヤーの利得が小さくなると考えられる。故に3人の手番外プレイヤーの中で最も自身の利得が最小となるプレイヤーが手番プレイヤーから交渉相手として選ばれやすいといえる。

具体的な事例として、図5及び表1にてカタンの中盤の局面を想定した盤面を用意した。

1手番プレイヤーの手番中、他のプレイヤーに対して「土が1枚欲しい」と交渉を持ち掛けたところ、3名とも交渉に応じてくれることとなった。1手番プレイヤーは最長交易路奪取を狙っているものとする。

2手番、3手番、4手番はそれぞれ「鉄2枚欲しい」「羊と麦が欲しい」「羊1枚でよい」と提案した。

2手番プレイヤーは1手番プレイヤーより1点高い、開拓地が5軒で、都市は1軒もなく、最長交易路を有している。6軒目の開拓地を建てる前に開拓地を都市にアップグレードする必要があるため、2手番プレイヤーは都市建設を検討しているといえる。都市を1軒建設するに当たり、鉄が3枚必要であるため、鉄を2枚渡すと、次の手番で都市を建設する恐れがある。又、自身が最長交易路を奪取する予定であるため、最長交易路を所有するプレイヤーが有利になる状況は、避けるべきと考えられる。

3手番プレイヤーは1手番プレイヤーより1点少ない、現在1位である4手番プレイヤーと騎士の使用枚数が1枚なので、3手番プレイヤーが発展カードを引くことで、4手番プレイヤーの最大騎士力を奪還し、4手番プレイヤーが勝利することを防げるため、積極的に交渉すべきであるといえる。但し青丸のある場所に開拓地を建設されると街道を伸ばしにくくなるため最長交易路の奪取を行いにくくな

る。故に発展カードを引くことを検討しているか、開拓地を建設することを検討しているか判断する必要がある。

4手番プレイヤーは1手番プレイヤーより2点高い。10点で上がりのため交渉した次の手番で、勝利されてしまうリスクがある。しかし手札1枚のみで交渉に応じてもらえるうえ、1手番プレイヤーの最長交易路奪還を阻害しないと考えられるため、自身の上がりも近づくといえる。

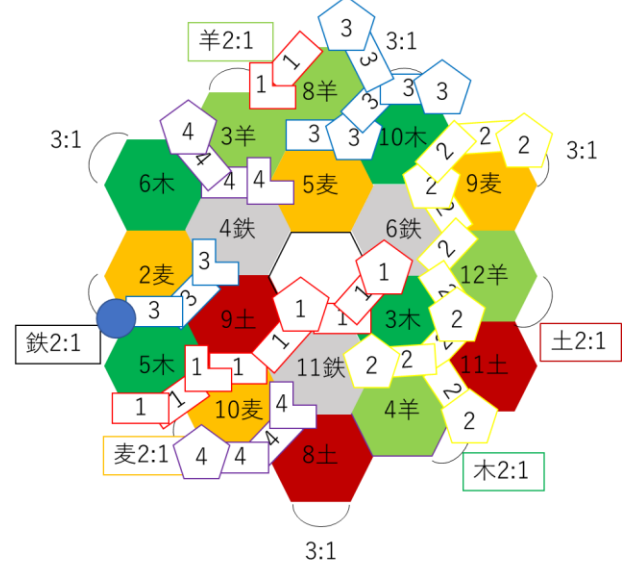


図5 1手番のプレイヤーが選ぶ交渉相手

| 手番 | 開拓地 | 都市 | 街道本数 | 騎士枚数 | 要求する資源枚数 | 点数 |
|----|-----|----|------|------|----------|----|
| 1  | 2   | 2  | 6    | 1    | 土1枚      | 6  |
| 2  | 5   | 0  | 7    | 0    | 鉄2枚      | 7  |
| 3  | 3   | 1  | 2    | 3    | 羊1枚と麦1枚  | 5  |
| 4  | 2   | 2  | 2    | 4    | 羊1枚      | 8  |

表1 盤面の詳細な情報

上記の様に「利得」の定義が、単なる手札の枚数だけでなく、自身が上がりにくくなるか、交渉相手が上がりやすくなるかも含めて交渉するか否かを決める必要がある。一方、2人戦では自身も相手も双方が利得を得るため、自身の利得の方が大きいなら交渉を行い、相手の利得の方が大きいなら交渉を行わない、と一意に定まる。故に手番外における交渉相手として選ばれやすくなる、振る舞いを意識する必要があるといえる。

上記の例では、仮に1手番プレイヤーが4手番プレイヤーと交渉しようとしていると2手番及び3手番プレイヤーが事前情報を有していた場合、「鉄1枚でいい」「羊だけでいい」等、交渉条件を引き下げる場合もある。





アクションを行う等、4人戦で取らない行動を被験者が取ることで試験の結果に影響を与えるといえる。

これらの問題を解決するため、2人戦専用ルールを一部のみ準拠したオリジナルルール（以下；2人戦専用ルール抜粋）を提案する。

中立プレイヤーは初期配置フェイズ開始前に用意するが、建設フェイズでは街道及び開拓地は配置されない。これは図6の様に初期配置フェイズ終了後の3ヶ所のタイルから資源が産出される交差点の数を減らすためである。

手番プレイヤーはダイスを2回振るが、1回目と2回目で出目が同じでも振りなおさない。これにより手札8枚で手番終了後手札廃棄する確率は、4人戦同様約52%となる。

交易アクション及び交易チップは用いない。これは②強制交換の存在によりプレイヤー間の交渉成立回数が減少するといえるからである。

2人戦専用ルール抜粋の場合、被験者へのルール理解の負担が減る。立ち回りは4人戦に近い。強制交換がないため「交渉回数の増加」をAIの強さの指標としやすい。その反面、非公式なローカルルールとなってしまう上、ルールの取捨選択により、「交渉回数の増加」を恣意的に引き起こす恐れもある。

## 4. 今後の展望

カタンは麻雀と同様に零和有限、多人数、不確定、不完全情報ゲームという特性がある一方、モノポリーや人狼の

様に他のプレイヤーと対話を行ったり、協調することで有利にゲームを進められるという側面がある。

カタンというボードゲームのみでなく、ボードゲーム全般において被験者1名とAI名とすることで、試験をシンプルなものとするため、参加人数を減らすという選択も有効であるといえる。

本提案では、カタンに限らず、麻雀等3人以上で遊ぶゲームの研究において、有効な実験手法の1つとして参加人数を変更する状況にて、参加人数の多寡が実験結果に影響を与えることを防ぐための試験計画を提案した。

今後は本試験計画を参考としたうえでカタンAIの開発並びに、被験者との対戦結果データの収集を行う。

## 5. おわりに

本報告はゲームのAIの研究が行われている状況の中で、心理物理学や認知科学の観点から研究がなされていないことを喚起することを目的とした。本報告を参考として情報科学、認知科学の両面から、オンラインゲームを題材とした意思疎通における研究が進むことを願っている。

本報告でカタンの公式ルールに基づいた見解を記載させて頂いたが、明らかな嘘を付く、伏せカードの中身を明言する等、本報告で記載した内容が公式ルールに違反する、又は他のプレイヤーから同意を得られない場合もあり得る。

カタンに限らず、ゲーム理論の研究者が題材とするゲームそのものにも知識を深めることを願うばかりである。

## 参考文献

- 1) ギネス記録に挑戦！カタン発売20周年記念イベント「CATAN BIG GAME」体験記  
<https://tsumikiya.jp/blog/2020/05/18/2503#:~:text=1995%E5%B9%B4%E3%81%AB%E3%83%89%E3%82%A4%E3%83%84%E3%81%A7,%E3%82%82%E9%96%8B%E3%81%8B%E3%82%8C%E3%82%8B%E3%81%BB%E3%81%A9%E3%81%A7%E3%81%99%E3%80%82>
- 2) NPO法人ポータルサイト特定非営利活動法人日本カタン協会  
<https://www.npo-homepage.go.jp/nportal/detail/014001375>
- 3) カタン19' 日本選手権  
[http://www.gp-inc.jp/catan/catan\\_championship2019/index.html](http://www.gp-inc.jp/catan/catan_championship2019/index.html)
- 4) Catan Universe USM  
<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.usm.catanuniverse&hl=ja&gl=US>
- 5) Catan Universe におけるレビュー DS 2021年1月4日  
<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.usm.catanuniverse&hl=ja&gl=US>
- 6) ボードゲームアリーナ (BGA) の【お邪魔者】レビュー&ロコミをご紹介  
<https://kyawapaki-boardgamecafe.com/archives/541>
- 7) 株式会社ジーピー カタン スタンダード版  
[http://gp-inc.jp/boardgame\\_catan.html](http://gp-inc.jp/boardgame_catan.html)
- 8) 【公式】2019年カタン日本選手権 四国地区大会 第四ラウンド 第一テーブル 他8大会 GPGAMESJP YouTube 公式チャンネル  
<https://www.youtube.com/user/GPGAMESJP/videos>
- 9) カタン公式ルールガイド 大会ルール (2021年度β版)  
<http://gp-inc.jp/catan/rule/rule.html>
- 10) 吉村拓哉, and 橋本剛. "F-045 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 (F分野: 人工知能・ゲーム)." *情報科学技術フォーラム講演論文集* 12.2 (2013): 387-388.
- 11) 吉本直浩, 石水隆. カタンにおけるメタ理論の研究. 近畿大学理工学部情報学科卒業研究. 2014
- 12) 中澤桂介, et al. "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." *研究報告デジタルコンテンツクリエーション (DCC)* 2017.13 (2017): 1-6.
- 13) 三井宏隆. "ゲーム理論の社会心理学的役割." *心理学評論* 32.3 (1989): 228-243.
- 14) 株式会社ジーピー カタン 「2人でカタン」  
[http://www.gp-inc.jp/assets/rule/catan\\_2players\\_JP.pdf](http://www.gp-inc.jp/assets/rule/catan_2players_JP.pdf)