

カタンの開拓者たちにおける心理物理的手法を用いることで状況を有利に進める戦術の提案

荒木開人

概要: 「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、多人数零和有限ゲームであり、勝者が1名決まるという特性がある。プレイヤー同士の交渉による手札の交換が可能となり、交渉を行う過程にて、プレイヤー間での対話が可能で、一時的に同盟を組むことも可能である。アプリケーション等カタンのコンピュータ上での実装がなされており、学術的に研究が進められているが、これらの AI では交渉について余り考慮されていない。この問題の生じる理由として、アプリケーションの仕様上対話を行うことが困難である点、カタンが麻雀の様に自身の点数を上げることのみが勝利に近づくことと認識されている点、他のプレイヤーから受ける印象の善し悪しにおける後の交渉の成立のしやすさを考慮しない点が挙げられる。本研究では、交渉において対話により同盟を組むことや、他のプレイヤーから好印象を受けることにより、勝率の高い AI を開発するために認知科学的手法を取り入れた試験計画を提案する。

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

Tactics to make the advantageous situation by using psychophysical technique at Catan

KAITO ARAKI

Abstract: The settler of CATAN (CATAN) is a kind of board games. CATAN has properties, whose number of players is 3 or 4, zero-sum, limited, and whose number of winners is only 1. During playing CATAN, turn player can trade resources to another player. Eventually they can talk and ally with other players temporarily. Some of application which user can play CATAN are packaged. And CATAN is studied academically. But these AI are not considered in an aspect of trading. Why the matter arises is that it is difficult for applications to talk. And CATAN researchers think the way to win CATAN is only get score as if it is mahjong. They do not consider whether probability to succeed latter trading will increase or decrease by AI's former behavior and other player's feeling. This studies I suggest exam projects to make strong CATAN AI. It contains cognitive science method. For example, allying another players by talking with trading, make friends with other players.

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。

前者の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。

これらの問題を解決するために、心理物理的手法を用いることで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の改善手法を提案する。

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[6]に準ずる。又交渉等戦略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の振る舞いを参考とした[7]。

2.1 地形セットアップ

カタンのボードは図1の様に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ら1枚ずつ配置する。



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

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自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図2の様に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せる。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)も資源を獲得することが出来る。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獲得出来なくなる。

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種類の建設が出来る。

- 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本建設出来る。木と土1枚ずつ銀行に戻すことで建設出来る。

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出来る。他プレイヤーの街道の置かれている辺には配置出来ない。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出来ない。

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出来る。木、土、羊、麦1枚ずつ銀行に戻すことで建設出来る。

自身の街道に隣接する交差点に置くことが出来る。自身の街道と街道の間の交差点にも配置出来る。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が出来ない。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出来る。街道は麦2枚、鉄3枚銀行に戻すことで建設出来る。

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件を都市に入れ替

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ポイント獲得出来るカードである、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、即座に勝利宣言出来る。

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枚だけ使用出来、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。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、1番手プレイヤー手番中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、「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は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、手番外プレイヤーが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見せる向きに置くことが望ましいとされ、枚数のみ公開情報とする。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[8]。

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・勝利点戦略

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のみなす。

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、多くの地形タイルから資源が産出される確率が上がったり、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したり、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[9]、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[10]、嘘を付くことで優位に立つ AI[11]、が研究されている上記の論文にてそれぞれ改善点が見受けられたので以下に述べる。

3.1.1 吉村による先行研究

モンテカルロ木探索を用いたゲーム AI の研究にてランダム AI と比べて勝率が上がったという報告があった(吉村, 2013)。「Java Settlers of Catan」(以下;Java アプリ)を題材としているが、Java アプリは資源の交渉を 1 枚と 1 枚でしか成立出来ない仕様のため、アナログ環境のカタンとは乖離しているといえる。

3.1.2 吉本による先行研究

メタ理論により初期配置にて有利な箇所に開拓地を配置し、交渉の可否を状況に応じて判断する AI の報告がなされた(吉本, 2014)。本研究では、初期配置において 1 件目に特定の資源が多く獲得出来る交差点に開拓地を配置した場合、対応する 2:1 港のある交差点に配置する様に示唆されている。

序盤から 2:1 港を AI が所有することで、資源 1 枚と 1 枚の交渉が成立しなかった場合、2:1 港により交換を行うことで、時間短縮になると結論付けているが、時間をかけて交渉のやり取りを楽しみたいというニーズは満たせず、人間に近い振る舞いをしてはいえない。

3.1.3 中澤による先行研究

中澤の報告では、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いる(中澤, 2017)。既存の AI はプレイヤーに対して何も発話しない、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 3 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を行った。

上記の改善は、発展カードの内容を明言する、明らかな嘘を付くという点から、先述のカタン公式ルールにおける違反行為となるので、新アプリを始めとする AI の実装においては不適切であるといえる。

又、報告の中にて、都市の建設回数に制限がない、タイル 3 ヶ所からしか産出されない土が木より資源としての評

価が低い(中澤及び日本選手権動画を基にした筆者の見解は表 1 に記載)、被験者の年齢、性別、カタンプレイ経験等特性の記述がない、t 検定など統計解析を行ってない、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、等記述や考察に改善の余地が多い。

次項でこれらの課題を踏まえた実験手法の提案を行う。

資源名	中澤による評価	本論文での評価
木	1.0	1.0
土	0.9	1.2
羊	0.8	0.8
麦	1.1	1.3
鉄	1.2	1.5

表 1 資源価値評価

3.2 課題を解決する改善案

先述の嘘を付く AI の研究をベースとして提案を行う。

本提案では、新アプリにおける人対人のオンライン対戦を再現するための心理実験の計画を述べる。

行う心理実験は被験者 1 名と実験者 1 名と AI2 名により新アプリを対戦する追試験と、被験者 4 名にアナログ環境又は新アプリを対戦してもらい、実験者が振る舞いを記録する本試験 2 つについて述べる。

3.2.1 追試験

以下中澤の報告に基づいて、試験の提案を行う。

実験者と被験者は図 4 の様に同一の部屋にて仕切りで隔てられた状態で、PC の前に座る。実験者は実験者が操作する端末(以下;実験者端末)及び被験者が操作する端末(以下;被験者端末)内の新アプリを立ち上げ、実験者端末にてルームを作成し、被験者端末を招待する。実験は実験者 1 名、被験者 1 名、AI2 名のカタンの対戦(以下;セッション)を 4 回行う。

カタンプレイ経験のない被験者には、セッション前にルール説明を行う。カタンプレイ経験を有する被験者には、ルール説明を行いながらカタンのルールや戦術について問うテストを回答させる。

カタンの対戦において、回数毎に実験者はチャット機能の使用状況を変化させることで、中澤の報告におけるベース AI と嘘を付く AI の再現を行いながら、被験者との交渉回数やターンごとに得られた印象を記録する。

実験者と被験者はセッション中、口頭では連絡を取らず、図 5 の様にチャット機能を用いて情報の提示(以下;つぶやき)を行うものとする。

つぶやきは実験者のみが用いるものとする。被験者はルール確認等実験の進行に必要な連絡のみチャット機能使用を認めるものとする。



図 4 実験室の環境 図 5 新アプリにおける
チャットの使用による誘導

各セッションにおける実験者の振る舞いは毎回変化させる。各振る舞いにて以下のような表現を行う。

パターン A; 実験者はつぶやかない (ルール説明や操作方法等必要な返答, 連絡のみ行う)

パターン B; 実験者はつぶやいて, 常に正しいことを話し, 発展カードの詳細は話さない (例; 「鉄は 2 枚ある」「伏せカードは 2 枚しかない」)

パターン C; 実験者はつぶやいて, 明らかな嘘を付く。(例; 「鉄は 1 枚しかない」「このカードは独占」)

パターン D; 実験者はつぶやいて, 事実を基に誤った方向に誘導する。(例; 「最近 6 が出てない」「発展カードを引きたい」「この伏せカードは今使うべきでない」)

上記のパターン A は 1 回目のセッションで実施する。パターン B, C, D はセッション 2 回目以降被験者毎にランダムな順番で実施する。これはパターン A がルール確認及び新アプリの仕様や操作方法に慣れてもらうための統制群としての位置づけとすることによる。パターン B, C, D の順番をランダムにすることで, 1 つ前のセッションでの振る舞いによる, 後のゲームへの影響を考慮するためである。被験者には「2 回目から 4 回目はチャット機能を用いて語り掛ける」ということのみを伝える。実験者のつぶやきは実験者の手番又は被験者の手番にて随時行うものとする。

各セッションにおいて実験者に対する被験者の手番はパターン B, C, D にて 1 手番後, 2 手番後, 3 手番後の試行が 1 つずつになる様にランダムに振り分ける。

被験者には事前に質問紙を渡す。ゲーム開始時から被験者の初めてのターン直前を 0 ターンと定義したうえで, 各手番における被験者の所感を自由記入してもらう。主に実験者に対する印象を記載してもらう (例; 「実験者は都市を建てそう」「実験者が最大騎士力を狙っていそうなので, こちらは最長交易路を狙う」)

データは, 交渉の成立回数, 盤面記録を基に解析する。被験者の勝利点及び 4 人のプレイヤーの勝利点の和に対する被験者の勝利点の割合 (以下; 占有率), 被験者の 4 セッションの勝利回数, 勝利点, 占有率の和 (以下; 総合成績) にて評価を行う。実験手法の説明を含め, 実験所要時間を 3 時間と想定する。

試験前にアンケートに答えてもらう。主な内容はカタンのプレイ経験の有無及び回数, 普段遊ぶ相手 (家族, 友人,

クラスメイト, 同僚, ボードゲームカフェ, 定例会, 大会, 新アプリ等デジタル環境, etc), 普段よく遊ぶアナログゲーム (囲碁, 将棋, 麻雀, バックギャモン, モノポリー, 人狼, アグリコラ, etc), 通っている (いた) 学校の専攻等を記入欄に含める。

これはモノポリーや人狼が好きな人は嘘を見抜いたり, 人と対話することが得意である, アグリコラが好きな人は拡大再生産を好み, 自身の力で建設を進めたがる傾向にあると仮定したからである。専攻等の記入は, 自然科学を専攻する方は自身で建設を進めることが得意等, 戦略に傾向が見られると判断したからである。

3.2.2 本試験

本試験は被験者 4 名がカタンをプレイする様子を実験者が観察するという手順で進める。

追試験と同様に 4 回カタンを行い, 最終的な成績のみでなく, 建設や交渉の進捗度合い, 被験者間の会話の内容についても解析を行う。

各セッションにおける被験者の環境は毎回変化させる。各振る舞いにて以下のような環境でカタンの対戦を行わせる。パターン A; 4 名全員同じ部屋, 新アプリによるオンライン対戦

パターン B; 4 名全員同じ部屋, アナログ環境によるボードを用いた対戦

パターン C; 4 名全員別の部屋, 新アプリによるオンライン対戦 (LINE 等による通話が可能)

パターン D; 4 名全員別の部屋, 新アプリによるオンライン対戦 (新アプリ内のチャット機能のみ使用可能)

上記のパターン A は 1 回目のセッションで実施する。パターン B, C, D はセッション 2 回目以降被験者毎にランダムな順番で実施する。これは追試験同様パターン A がルール確認及び新アプリの仕様や操作方法に慣れてもらうための統制群としての位置づけとすることによる。パターン B, C, D の順番をランダムにすることで, 1 つ前のセッションでの振る舞いによる, 後のゲームへの影響を考慮するためである。

データの収集方法やアンケート等は基本的に追試験と同等の方法をとるが, 後述の攻撃的な振る舞いがどれだけ生じたか回数や実施したプレイヤー, 及びそのプレイヤーの最終的な成績等も追加で記録する。

ルール説明及び休憩時間を含め 3 時間の試験を 2 日程に分けて実施するものとする。

3.3 活用可能な心理的手法

社会学の観点からゲームを研究するという取り組みは 1970 年代から行われており [12], 社会心理学の観点からゲームの研究が進められている [13]。当該研究にて交渉や囚人のジレンマゲームの知見をゲームに応用するという動きが見られた。本項では先述の試験計画を立案した根拠となる理論について紹介する。

3.3.1 三者関係・バランス理論

自己, 他者, 対象の3者間の関係においてそれぞれの関係が良好なら+, 不良なら-とするとき-の個数が0又2になる状態のことを均衡関係という[14]. 例として, 仲の良い友人はカタンが好きで, 自身はカタンが嫌いな場合, 自身もカタンを好きになるか, もしくは友人のことを嫌うことで均衡状態となる.

人間とエージェントが1対1で接する場合と異なり, 人間2人と1台のエージェントが関わることで人間同士の関係に影響を与えるという研究がなされた[15].

カタンにおいて最長交易路及び最大騎士力というボーナスを奪い合うというシステムがあるため, 例として4位プレイヤーが最長交易路を奪い5点から7点となる. 2位プレイヤー及び3位プレイヤーは, 8点の1位プレイヤーが6点になることで, 1位プレイヤーが上がりにくくなるという観点から最長交易路を奪った側にも奪われた側にもメリットのある提案となる. 奪う側, 奪わせる側, 提案の三者関係の問題としても説明出来る[16].

3.3.2 四人のジレンマゲーム

カタンにおいて交渉というシステムがあり, 自身だけでなく他者にも利得があるという都合上, 繰り返し連続化四人のジレンマゲームにて置き換えられるといえる.

繰り返し回数が未知の場合, 協業関係を発現させることが示唆された[17]. カタンにおいて, 10点に到達したプレイヤーが出たらゲームが終了するというルールの都合上, 具体的な繰り返し回数は定まっておらず, 不完全情報ゲームであるため, 手番のプレイヤーが交渉後に上がるか否かは手番プレイヤーのみぞ知ることとなる.

四人のジレンマゲームである都合上, 中澤の報告の様に嘘を付いて開拓地や都市の建設を行った場合, 以降の交渉に応じてもらえなくなる恐れがある.

3.3.3 ジンバルド - の監獄実験

匿名性により, 攻撃的な振る舞いを促す[18]という報告がZimbardo (1969) [19]によりなされている.

先述の本試験において新アプリ上で操作を行わせるがパターンAは, ルール説明及び新アプリの操作方法の説明を兼ねるため, 実験者が便宜上被験者4名の操作画面を随時確認出来ることが望ましいため, 全員同じ部屋で操作してもらうこととした.

パターンBは目の前に対戦相手がいるという状況, パターンCは対戦相手の顔が見えない状況, パターンDは対戦相手の顔も見えず, 声も聞こえない状況を表している.

故に, 街道を伸ばし, 他プレイヤーの開拓地建設を妨害する, 盗賊移動処理にて手札を1枚しか持たず, その手札を自身が必要な手札と判断した場合奪う, 最長交易路及び最大騎士力を狙うために土や鉄が欲しいと主張しながら, 開拓地及び都市を建設する等, 他人への攻撃的な振る舞い(以下;アプリ打ち)がパターンA, Bと比べCが多く, D

が1番多くなると考えられる.

4. 今後の展望

4.1 心理実験によるゲームの解明

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.

本提案では, カタンに限らず, 人狼等協調関係を築いたり対話を用いることで, 有利になるゲームの研究において有効な実験手法を述べた.

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応用可能な実験手法を提案することでカタン以外のボードゲームでも研究が進むといえる.

AIを用いた自然科学の観点から研究するだけでなく, 経済学や心理学等社会科学の知見も活かすことで, ゲームの解明は進むとされる.

4.2 デジタル環境におけるボードゲームの普及のために出来ること

カタンは世界で3000万台以上売れている反面, 新アプリやCatan classic[20]はそれぞれ100万, 50万超ダウンロードでとどまっている.

原因として, カタンを始めとするボードゲームがアプリ等デジタル環境で遊べるということ自体ボードゲームが好きの人々に知られていないことも考えられる. デジタル環境で遊べるということに気付けないという理由は広告等で公知となっていないことも考えられるが, ボードゲームはアナログ環境で楽しむものであるという固定観念が広まっている可能性も考えられる.

デジタル環境でボードゲームを楽しめるという活動を広めるために, 心理物理学の知見のみでなく, AIの開発を用いることによる, 強いAI, また一緒に遊びたいと思えるAIの開発も喫緊の課題となっている.

そのためには2.5.2項にて示した交渉において, 手番外のプレイヤーが手番のプレイヤーに交渉を呼びかけられる, 資源を追加で何枚欲しいかという形で交渉の再提案が出来る, 他の手番外プレイヤーと交渉が成立しそうな時は同条件で交渉出来る旨を伝えられる, 制限時間が切れても交換及び建設のみ可能な追加時間が与えられる等, 仕様の変更が望ましいとされる. 独自のアプリを開発してカタンAIの研究をなさる方がこれらを意識することを切に願う.

5. おわりに

本論文はゲームの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. 情報科学のバックグラウンドを有していない研究者がゲームのAIの研究の一端を担うことが出来ることを示すことが出来た. 本論文を参考

として情報科学、認知科学の両面からゲーム理論の研究が進むことを願っている。

本論文で、ゲーム理論の研究を行うに当たり、改めてカタンを再読した。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、本論文に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。

本論文の内容は日本カタン協会や株式会社ジーピー等の公式団体とは無関係に書かれたものであり、公式見解ではないものとする。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べきであると考えられる。

謝辞 本論文を書くきっかけとして、対話を行う AI の開発を論じた中澤 桂介様の論文が挙げられる。本論文を書

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/npoportal/detail/014001375>
- 3) カタン 19' 日本選手権
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) 株式会社ジーピー カタン スタンダード版 [カタン スタンダード版 \(gp-inc.jp\)](https://www.gp-inc.jp/)
- 7) 【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>
- 8) カタン公式ルールガイド (Web 簡易版)
<https://catan.jp/tournament-kit-basic/>
- 9) 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.
- 10) 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
- 11) 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ックリレーション (DCC)* 2017.13 (2017): 1-6.
- 12) 海野道郎. "社会学におけるゲーム論的アプローチ." *心理学評論* 32.3 (1989): 296-311.
- 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) 門脇克典, 小林一樹, and 北村泰彦. "マルチエージェント獲得における社会的均衡関係の影響." *コンピュータ ソフトウ*

きあげるに当たり、多くの箇所にて引用させて頂いたことを謹んで感謝の意を表す。ゲーム情報学研究会という研究会の存在をご教授下さった塚本 昌彦先生、将棋の AI 等関連な議論に協力してくれた同級生及び同僚に感謝の意を述べる。

著者紹介

荒木開人

2016 年 3 月 東京工業大学大学院 総合理工学研究科
知能システム科学専攻 修士課程修了

2019 年カタン日本選手権 四国 5 位 総合 52 位

エア 26.4 (2009): 4_173-4_180.

- 15) 中澤論, et al. "バランス理論を用いた社会的エージェントの分析." *情報処理学会論文誌* 43.12 (2002): 3607-3616.
- 16) 湯浅将英, 安村禎明, and 新田克己. "心理的要素を用いた交渉戦略." *人工知能学会全国大会論文集* 0 (2001): 188-188.
- 17) . 千葉一博, and 平石邦彦. "繰り返し連続化四人のジレンマゲームの提案." *人工知能* 13.4 (1998): 560-569.
- 18) 山口勸. "恐怖喚起と匿名性が攻撃行動に与える影響について." *実験社会心理学研究* 20.1 (1980): 1-8
- 19) Zimbardo, P.G. 1969 The human choice: Individuation, reason, and order versus deindividuation, impulse, and chaos. *Nebraska symposium on motivation*. Lincoln, Neb.; University of Nebraska. pp. 237-309.
- 20) Catan Classic - Google Play のアプリ
<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.exozet.android.catan&hl=ja&gl=US>