

ゲーム AI における人を対象とした心理実験における 被験者の割り当て方法の提案

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、題材とするボードゲームに対する経験を初めとした、被験者個々の特性について余り議論がなされていない。将棋や麻雀等ルールが複雑で、定石を初めとした事前知識の多寡が勝敗を左右するゲームにおいて、被験者間変動が大きくなると示唆される。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、被験者の特性を実験者が把握する手法を提案する。

キーワード：被験者間計画, ブロック化, 剰余変数, 社会的望ましさ, キャリーオーバー効果,

Ways of subject's assignments for psychophysical experiments to produce AI

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 individuality each subject has as a player of the board game. It is suggested that the game whose rule is complicated and which who wins depends on player's prior knowledge (e.g., standard tactics) induce larger inter-subject variability (e.g., *Shogi*, *Mah-jongg*).

This studies suggests how to design psychophysical experiments which subjects and AIs participate using Settlers of Catan. It is considered with aspects of both particular systems of each games and subjects's individuality.

Keywords: between-subjects design, blocking, extraneous variable, social desirability, carryover effects

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壌がない等、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, 被験者自身のカタン経験の有無やデジタル環境でボードゲームを遊ぶことに対する好みなど被験者固有の特性を試験実施前に把握する手法を提案する。

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[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



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

街道は初期配置を含め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件を含め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。後述の所有することで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、自由にリクエストできる。

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可能であり、街道を伸ばす、発展カードを引く等作戦の提案や同盟の締結も行つてよい。

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りられる等、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、街道を伸ばし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の状態でも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 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 AI1 名、被験者 1 名と嘘を付く AI1 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 AI1 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 呈示する文字列の種類を変更する試験案

本項では、中澤の報告における交渉前提示の種類を複数用意した試験を実施する際に必要となる被験者の割り当て法について論じる。

3.2.1 交渉前提示の種類候補

中澤の報告において、AI が明らかな嘘を付くことで被験者との交渉回数が増えるという結果が示された。以下表 1 の様に、新たに取り組む研究として、被験者が統制群 AI 及び実験群 AI と対戦する際の実験群 AI の発言が「明らかな嘘」「真実のみ」「遠回しな嘘」の 3 グループに分けたときに最も交渉回数が増加するものを知ることを目的とした試験計画を立てることを仮定する。

グループ	統制群 AI	実験群 AI
1	発言無し	明らかな嘘
2	発言無し	真実のみ
3	発言無し	遠回しな嘘

表 1 被験者のグループ分け案

3.2.2 カタンプレイ経験に対するブロック化

カタンにおいて、プレイ経験の多寡は、Ai との交渉の多寡に大きな影響を与えると考えられる。

要因の一つとして、5 種類の資源をどれだけ必要とするかの判断基準が、プレイ経験の多寡で異なると考えられる。表 2 において、中澤の報告における資源の評価値を記載した。表 2 より開拓地や都市を建設する場所を選ぶ際には、資源が産出されやすいだけでなく、土や羊より麦や鉄を優先して産出される場所を選ぶように記載がされている。

資源の種類	資源評価値
木	10
土	9
羊	8
麦	11
鉄	12

表 2 開拓地の建設場所を決める際の資源評価値

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 番手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 番手プレイヤーは最長交易路奪取を狙っているものとする。

	需要	供給
短期的		
長期的		

2 番手, 3 番手, 4 番手はそれぞれ「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 番手プレイヤーは 1 番手プレイヤーより 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 番手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 番手プレイヤーは 1 番手プレイヤーより 1 点少ない, 現在 1 位である 4 番手プレイヤーと騎士の使用枚数が 1 枚なので, 3 番手プレイヤーが発展カードを引くことで, 4 番手プレイヤーの最大騎士力を奪還し, 4 番手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 番手プレイヤーは 1 番手プレイヤーより 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 番手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 番手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 番手プレイヤーが 4 番手プレイヤーと交渉しようとしていると 2 番手及び 3 番手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。

アナログ環境では起こり得るがデジタル環境では仕様上不可能である。

3.2.3 ダイスの出目における 4 人戦と 2 人戦の比較

カタンにおいて出目の和が 7 の場合, 手札廃棄処理が始まる。2 人戦では自身の手番終了後 2 回ダイスが振られ, 自身の建設フェイズが始まる。一方, 4 人戦は自身の手番終了後 4 回ダイスが振られ, 自身の建設フェイズが始まる。故に手札 8 枚で手番終了後手札廃棄する確率は, 前者は約 31% であるが後者は約 52% である。

故に 4 人戦では手番プレイヤーは①手番外プレイヤーの 3 人のいずれかと交渉②銀行と交換のいずれかを行い手札を 7 枚以下で手番を終えることで手札廃棄する確率 50% 以下に減らせるといえる。

しかし 2 人戦では手札を廃棄する確率が 4 人戦と比べ元々低いため, 先述の③手札を所有したまま手番を回すことのリスクは小さいといえる。

3.3 カタンにおける 2 人戦の追加ルール

カタンにおける拡張セット「商人と蛮族版」[14]内の, 原作者トイバーが厳選した 4 つの選択ルールの中に, 「2 人でカタン」がある。本項では, 2 人戦カタンにおける追加ルール (以下; 2 人戦専用ルール) を述べる。

3.3.1 中立プレイヤー

図 6 の様に初期配置フェイズ開始時点で中立プレイヤー

の開拓地駒を2つ標記の位置に置く。これにより、初期配置フェイズ終了後3ヶ所のタイルから資源が産出される交差点の数が4ヶ所まで減る。

又、建設フェイズ中手番プレイヤーが街道を1つ伸ばした後、中立プレイヤーいずれかの街道も1つ配置する。手番プレイヤーが開拓地を1つ建設した後、中立プレイヤーいずれかの開拓地も1つ配置する。もしも開拓地を置けなければ、代わりに街道を1つ配置する。

これにより開拓地が建てられる交差点の数は、中立プレイヤーがいない場合の約2倍の速さで減少するといえる。

3.3.2 ダイスを振る回数

自身の手番にてダイスを2回連続で振る。資源の産出や手札廃棄処理などはその都度行うものとする。1回目と2回目で出目が同じとなった場合は、2回目のダイスは再度振りなおす。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人戦は約52%であるが2人戦専用ルールは約57%まで上昇する。

3.3.3 交易チップと交易アクション

4人戦では存在しない交易アクションというシステムがある。自身の建設フェイズ中、交易チップを支払うことで以下の2つのアクションの内いずれかを実行する。

- ①盗賊移動；盗賊を砂漠に移動させる。
- ②強制交換；相手の手札を見ないで2枚まで奪う。その後奪った枚数と同じ枚数自身の手札から選んで渡す。

交易チップは勝利点が高い方が使用する場合2枚、互いに同点の場合や低い方が使用する場合1枚使用する。

交易チップは最初各プレイヤーに5枚ずつ与えられる。砂漠に開拓地を建設すると交易チップが2枚、海岸線沿いに開拓地を置くと1枚、使用済み騎士カードを廃棄すると2枚受け取れる。

故に最大騎士力獲得後、騎士カード4枚になるたびに騎士カードを廃棄することで交易チップが手に入るため、騎士カード1枚の持つ価値が4人戦と比べ、上がるといえる。

又、終盤開拓地を海岸線沿いや砂漠に置くことは4人戦では単に1点点数を増やすだけで、余り盤面を強化したことにはならない。

しかし2人戦専用ルールでは交易チップが手に入る分、中盤以降、海岸線や砂漠沿いに開拓地を建設することに優位性があるといえる。

つまり、2人戦専用ルールでは開拓地の建設や発展カードを引くことで有利になると考えられる。

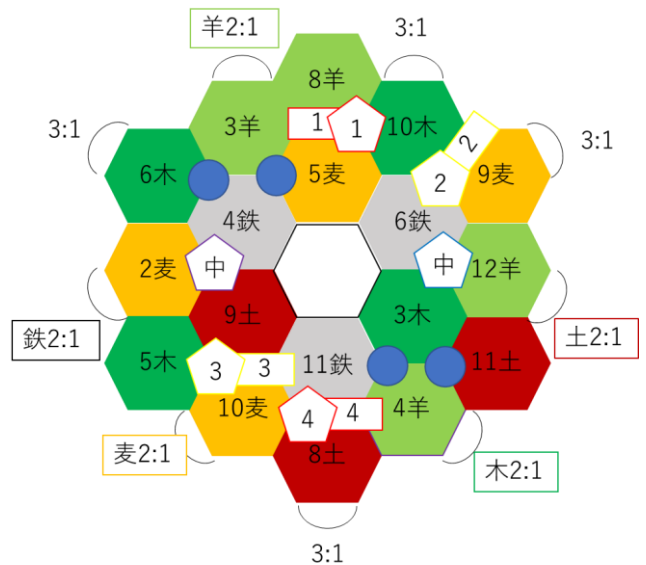


図6 中立プレイヤー有2人戦初期配置例

3.4 2人戦の心理実験を行うに当たり提案するオリジナルルール

先述述べた2人戦専用ルールは2人でカタンを遊ぶことにおいて最適化されているといえる。

只、2人戦専用ルール全てを盛り込むと、試験の実施に不都合が応じる恐れがある。

1つ目にルールが複雑になることが挙げられる。初めてカタンを遊ぶ被験者は勿論、カタンを遊んだことのある被験者の多くが、2人戦専用ルールの存在を初めて知ると考えられる。そのため、プレイングミスなどを生じやすく、AIによる情報呈示による交渉回数の増加や勝率の向上などを示すことに対して誤差因子となり得る。

2つ目に4人戦に存在しないシステムがあることにより、被験者の建設や交渉の成否に影響を与える点がある。序盤は中立プレイヤーに街道を伸ばさせて、対戦相手の街道を伸ばしにくくする、終盤開拓地を砂漠沿いに建設して交易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人戦に近いうえ、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AI1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/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) 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
- 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イション (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

正誤表

下記の箇所に誤りがございました。お詫びして訂正いたします。

訂正箇所	誤	正
5 ページ目	<p>3.2.2 カタンプレイ経験に対するブロック化 カタンにおいて、プレイ経験の多寡は、Ai との交渉の多寡に大きな影響を与えると考えられる。要因の一つとして、5 種類の資源をどれだけ必要とするかの判断基準が、プレイ経験の多寡で異なると考えられる。表 2 において、中澤の報告における資源の評価値を記載した。表 2 より開拓地や都市を建設する場所を選ぶ際には、資源が産出されやすだけでなく、土や羊より麦や鉄を優先して産出される場所を選ぶように記載がされている。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。</p>	<p>3.2.2. カタンプレイ経験の多寡と建設の手順の関連性</p> <p>カタンにおいて、プレイ経験の多寡は、AI との交渉の多寡に大きな影響を与えると考えられる。要因の一つとして、5 種類の資源をどれだけ必要とするかの判断基準が、プレイ経験の多寡で異なると考えられる。表 2 において、中澤の報告における資源の評価値を記載した。表 2 より開拓地や都市を建設する交差点（以下；開拓地・都市建設予定交差点）を選ぶ際には、資源が産出される確率に資源評価値を乗じた値が高くなるように初期配置及び建設予定交差点を選ぶため、土や羊より麦や鉄を優先して産出される交差点を選ぶと考えられる。</p> <p>表 2 の様な重み付けで初期配置フェイズにて開拓地を配置する交差点を選択する場合、鉄や麦の多い場所を優先的に置く配置となる場合が想定される。又建設フェイズにて、新たな開拓地の建て先を目指すより今ある開拓地を都市にすることが、資源評価値の高い交差点に対して建設が出来る場合が多いと考えられる。</p> <p>図 1 の写真における赤プレイヤーの初期配置を例にすると、最初に置かれている 2 軒の開拓地がある交差点が資源評価値が高いといえるため、都市を 2 軒建設してから開拓地を建設する場所を選ぶということが考えられる。</p> <p>そのため序盤、街道を伸ばしたり、開拓地の建設が出来ても都市建設を優先する余り、木や土、羊を手放してしまうことが考えられる。又、都市を 2 軒建設した後は、鉄が大量に産出されるものの、開拓地を建設するために鉄は不要となるため、産出される資源と必要な資源のミスマッチが</p>

		生じる恐れがある。 建設を進める際の資源の評価値以外の要因は、カタンのプレイ経験を積むことで得られると考えられる。					
6 ページ 表 3, 4			需要		供給		
		短期的				短期的	
		長期的				長期的	
		手番	開拓地	都市	街道本数	騎士枚数	要求する資源枚数
		1	2	2	6	1	土 1 枚
		2	5	0	7	0	鉄 2 枚
		3	3	1	2	3	羊 1 枚と 麦 1 枚
		4	2	2	2	4	羊 1 枚
6 ページ	3.3 カタンにおける 2 人戦の追加ルール カタンにおける拡張セット「商人と蛮族版」[i]内の、原作者トイバーが厳選した 4 つの選択ルールの中に、「2 人でカタン」がある。本項では、2 人戦カタンにおける追加ルール（以下; 2 人戦専用ルール）を述べる。 3.3.1 中立プレイヤー 図 6 の様に初期配置フェイズ開始時点で中立プレイヤーの開拓地駒を 2 つ標記の位置に置く。これにより、初期配置フェイズ終了後 3 ヶ所のタイルから資源が産出される交差点の数が 4 ヶ所まで減る。 又、建設フェイズ中手番プレイヤーが街道					3.2.3 カタンプレイ経験に対するブロック化の必要性 本項では、カタンプレイ経験の多い被験者が描くとされる、資源評価値の決定方法を推察することで、経験の多寡によるブロック化の必要性を問う。 表 3 において、資源の需要と供給、受容及び供給が発生することが短期的か長期的かの 2 要因 2 水準からなる 4 象限の表にて示されるといえる。 表 2 までの資源評価値はゲーム開始から終了までの間、麦や鉄は多く必要とされるという考えから決められたと考えられる。故に表 3 にて「長期的需要」の欄に資源評価値の要因は含まれるとい	

<p>を1つ伸ばした後、中立プレイヤーいずれかの街道も1つ配置する。手番プレイヤーが開拓地を1つ建設した後、中立プレイヤーいずれかの開拓地も1つ配置する。もしも開拓地を置けなければ、代わりに街道を1つ配置する。</p> <p>これにより開拓地が建てられる交差点の数は、中立プレイヤーがいない場合の約2倍の速さで減少するといえる。</p> <p>3.3.2 ダイスを振る回数</p> <p>自身の手番にてダイスを2回連続で振る。資源の産出や手札廃棄処理などはその都度行うものとする。1回目と2回目が出目が同じとなった場合は、2回目のダイスは再度振りなおす。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人戦は約52%であるが2人戦専用ルールは約57%まで上昇する。</p> <p>3.3.3 交易チップと交易アクション</p> <p>4人戦では存在しない交易アクションというシステムがある。自身の建設フェイズ中、交易チップを支払うことで以下の2つのアクションの内いずれかを実行する。</p> <ul style="list-style-type: none">①盗賊移動；盗賊を砂漠に移動させる。②強制交換；相手の手札を見ないで2枚まで奪う。その後奪った枚数と同じ枚数自身の手札から選んで渡す。	<p>える。</p> <p>一方、図1の写真の初期配置例に注目する。赤プレイヤーの初期配置に注目すると、羊が余り産出しないことが考えられる。</p> <p>青や黄色プレイヤーも余り羊が産出されないことから、交渉で羊を得ることは困難と考えられるため、赤のプレイヤーは羊が多く産出される交差点に向けて開拓地を建設することが望ましいといえる。故に表3にて「長期的供給」の欄に初期配置の数字チップの組み合わせの要因は含まれるといえる。</p> <p>開拓地を盤面に配置できる数は5軒までで、都市は4軒まで建設できる。故に開拓地を建設した後は都市を建設、都市を建設した後は開拓地を建設する交互に建設すると、途中で開拓地や都市を建設できなくなる状況を防げるといえる。故に表3にて「短期的需要」の欄に近いうちに建設に必要なになり得る資源が要因は含まれるといえる。</p> <p>カタンにおいて同じダイスの出目が短期的に複数回で続けることがある。図1の例で8が出続けた場合、青と黄色のプレイヤーは土を大量に持つことになる。赤のプレイヤーの視点では土は交渉で受け取りやすい資源となるので、土のある交差点を開拓地・都市建設予定交差点としなくてもよくなる。故に表3にて「短期的供給」の欄に直近のタイルの出目が含まれるといえる。</p> <p>以上の様にプレイ経験の多寡により資源評価値を考察する内容が変わるため、ブロック化が必要であると考えられる。</p> <p>3.3 事前質問紙によるブロック化方法の提案</p> <p>先述におけるブロック化において、下記の表4の様に20個の問いを設けることで、被験者の区分分けを図った。</p> <p>20個の問いは、全て以下の通り4件法を用いて回答を求める。</p>
---	--

		<ul style="list-style-type: none"> ・ 1. A に近い ・ 2. どちらかといえば A に近い ・ 3. どちらかといえば B に近い ・ 4. B に近い <p>各問いには 1 つの区分を持ち、20 個の問いは 5 つの区分に分けた。下記に区分を示す、番号は下記の表 4 の設問番号との対応を示す。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 自力で戦う (番号 1, 2, 4, 9, 11, 12)・・・他プレイヤーと協力しながら建設を進めるか、他プレイヤーを妨害しながら建設を進めるか。 ・ リスク許容 (番号 3, 8)・・・起こり得るピンチのために安全策を取るか、リスクを承知で手番を進めるか。 ・ 会話の多寡 (番号 5, 6, 7, 10, 13)・・・被験者が普段カタンを遊ぶ局面において対話を行う機会が多いか、対話により有利不利は生じているか。 ・ 街道か発展か (番号 14, 20)・・・街道を伸ばす戦術を好むか発展カードを引く戦術を好むか。 ・ 交渉の重要性 (番号 15, 16, 17, 18, 19)・・・他プレイヤーと積極的に交渉するか、銀行との交換を中心に行うか。 <p>尚、キャリアオーバー効果を見るため交渉の重要性区分のみ連続して回答させた。</p> <p>上記の区分分けが適切か否かを評価するために、質問紙の回答の解析を行う。</p>								
<p>6 ページ表 4 各設問の問い</p>	<p>(該当なし)</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="829 1606 893 1702">N o.</th> <th data-bbox="893 1606 1385 1702">問いの内容</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="829 1702 893 1803">1</td> <td data-bbox="893 1702 1385 1803"> A 開拓地の建て先を奪う B 開拓地の建て先を譲る </td> </tr> <tr> <td data-bbox="829 1803 893 1899">2</td> <td data-bbox="893 1803 1385 1899"> A 欲しい資源は奪う B 資源を何枚出しても交渉する </td> </tr> <tr> <td data-bbox="829 1899 893 2000">3</td> <td data-bbox="893 1899 1385 2000"> A 手札 7 枚以上でも手番を終える B 4:1 交換してでも 6 枚以下に減らす </td> </tr> </tbody> </table>	N o.	問いの内容	1	A 開拓地の建て先を奪う B 開拓地の建て先を譲る	2	A 欲しい資源は奪う B 資源を何枚出しても交渉する	3	A 手札 7 枚以上でも手番を終える B 4:1 交換してでも 6 枚以下に減らす
N o.	問いの内容									
1	A 開拓地の建て先を奪う B 開拓地の建て先を譲る									
2	A 欲しい資源は奪う B 資源を何枚出しても交渉する									
3	A 手札 7 枚以上でも手番を終える B 4:1 交換してでも 6 枚以下に減らす									

		4	A 自主的に最長交易路を狙う B 最長交易路を手に入れたいと要求する
		5	A カタンは確率のゲームだ B カタンはコミュニケーションのゲームだ
		6	A カタンを知らない人に似たゲームを伝える 「麻雀」 B カタンを知らない人に似たゲームを伝える 「人狼」
		7	A オンラインでもいいから知人と遊びたい B 初対面でもいいから対面で遊びたい
		8	A 終盤、最長交易路を奪われないために道を す B 終盤、街道建設を使われ、最長交易路を奪 たら諦める
		9	A 自身の手札で最長交易路を得られないなら るべきだ B 他のプレイヤーへ資源を渡してでも最長交 を奪わせる
		10	A 何を建設すべきか分からなくなることがあ B 現在誰の手番か分からなくなることがある
		11	A 交渉で渡した資源を独占で奪う B 独占使用后交渉を持ち掛ける
		12	A 交渉後、他プレイヤーの街道がある交差点 拓地を建てる B 開拓地や都市を建設する予定であることを てから交渉する
		13	A カタンに必要な技能は計算力だ B カタンに必要な技能は会話力だ
		14	A 初期配置では土を集める B 初期配置では鉄を集める
		15	A 初期配置では同じ出目で資源が2ヶ所から されるように配置する B 初期配置では特定の資源を独占する様に配 る
		16	A 初期配置では内陸を横断する様に開拓地及 道を置く

		<p>B 初期配置では港のある所に置いた後、海岸沿いに街道を伸ばす</p>
		<p>17 A 港がなくてもいいから 5 種類の資源を産出するように開拓地を置く B 3 種類の資源が産出すればよいから港を開拓地を置く</p>
		<p>18 A 羊 2:1 港を所有するプレイヤーに羊を渡す B 羊 2:1 港を所有するプレイヤーに羊を渡さない</p>
		<p>19 A 2:1 港から手に入れる B 3:1 港から手に入れる</p>
		<p>20 A 1 番上がりやすいのは都市 3 軒・最大騎士勝利点 2 枚 B 1 番上がりやすいのは都市 2 軒・開拓地 4 枚 最長交易路</p>
<p>7 ページ表 5 各設問に対する最も相関が大きい設問とその根拠</p>	<p>交易チップは勝利点が高い方が使用する場合 2 枚, 互いに同点の場合や低い方が使用する場合 1 枚使用する.</p> <p>交易チップは最初各プレイヤーに 5 枚ずつ与えられる. 砂漠に開拓地を建設すると交易チップが 2 枚, 海岸線沿いに開拓地を置くと 1 枚, 使用済み騎士カードを廃棄すると 2 枚受け取れる.</p> <p>故に最大騎士力獲得後, 騎士カード 4 枚になるたびに騎士カードを廃棄することで交易チップが手に入るため, 騎士カード 1 枚の持つ価値が 4 人戦と比べ, 上がるといえる.</p> <p>又, 終盤開拓地を海岸線沿いや砂漠に置くことは 4 人戦では単に 1 点点数を増やすだけで, 余り盤面を強化したことにはならない.</p> <p>しかし 2 人戦専用ルールでは交易チップが手に入る分, 中盤以降, 海岸線や砂漠沿いに開拓地を建設することに優位性があるといえる.</p> <p>つまり, 2 人戦専用ルールでは開拓地の建</p>	<p>3.3.1 事前質問紙集計結果及び考察</p> <p>先述の質問紙を 10 名が回答した. (内女性 2 名, 年齢 28.9±6.72) 上記の問い毎に他の問いとの相関を評価し, その問いに対して最も相関が高くなった問いを求めた.</p> <p>下記の表 5 において問い毎の最も相関の高い問いと因果関係がなされた理由の考察も記載した.</p> <p>ここで正体は正の相関 (A に近いと答えた被験者の多くが A に近いと回答), 車体は負の相関 (A に近いと答えた被験者の多くが B に近いと回答) したことを示す.</p>

設や発展カードを引くことで有利になると考えられる。

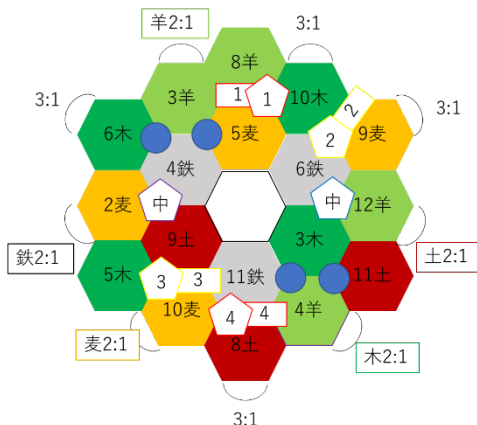


図6 中立プレイヤー有2人戦初期配置例

3.4 2人戦の心理実験を行うに当たり提案するオリジナルルール

先述述べた2人戦専用ルールは2人でカタンを遊ぶことにおいて最適化されているといえる。

只、2人戦専用ルール全てを盛り込むと、試験の実施に不都合が応じる恐れがある。

1つ目にルールが複雑になることが挙げられる。初めてカタンを遊ぶ被験者は勿論、カタンを遊んだことのある被験者の多くが、2人戦専用ルールの存在を初めて知ると考えられる。そのため、プレイングミスなどを生じやすく、AIによる情報呈示による交渉回数の増加や勝率の向上などを示すことに対して誤差因子となり得る。

2つ目に4人戦に存在しないシステムがあることにより、被験者の建設や交渉の成否に影響を与える点がある。序盤は中立プレイヤーに街道を伸ばさせて、対戦相手の街道を伸ばしにくくする、終盤開拓地を砂漠沿いに建設して交易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。

	<p>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。</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>4. 今後の展望</p> <p>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。</p> <p>カタンという一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AI1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</p>	
--	---	--

	<p>であるといえる。</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>5. おわりに</p> <p>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。</p> <p>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、</p>																					
<p>表 5 各設問に対する最も相関が大きい設問とその根拠</p>	<p>(該当なし)</p>	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="831 1397 895 1487">N o.</td> <td data-bbox="895 1397 1399 1487">最も相関の大きい問い及び根拠</td> </tr> <tr> <td data-bbox="831 1487 895 1532">1</td> <td data-bbox="895 1487 1399 1532">7, オンラインで建て先を奪うことに抵抗がない</td> </tr> <tr> <td data-bbox="831 1532 895 1576">2</td> <td data-bbox="895 1532 1399 1576">8, 自身の力で建設を進めたがる</td> </tr> <tr> <td data-bbox="831 1576 895 1621">3</td> <td data-bbox="895 1576 1399 1621">14, 都市を建設するなら手札は多い方が良い</td> </tr> <tr> <td data-bbox="831 1621 895 1666">4</td> <td data-bbox="895 1621 1399 1666">5, 他プレイヤーから木や土を交渉で受け取り交易路を狙う戦術もある</td> </tr> <tr> <td data-bbox="831 1666 895 1711">5</td> <td data-bbox="895 1666 1399 1711">4, 上と同じ</td> </tr> <tr> <td data-bbox="831 1711 895 1756">6</td> <td data-bbox="895 1711 1399 1756">12, 他プレイヤーを騙すことに抵抗がない</td> </tr> <tr> <td data-bbox="831 1756 895 1800">7</td> <td data-bbox="895 1756 1399 1800">1, 上と同じ</td> </tr> <tr> <td data-bbox="831 1800 895 1845">8</td> <td data-bbox="895 1800 1399 1845">4, 上と同じ</td> </tr> <tr> <td data-bbox="831 1845 895 1890">9</td> <td data-bbox="895 1845 1399 1890">20, 最大騎士力狙いなら他のプレイヤー間で争</td> </tr> </table>	N o.	最も相関の大きい問い及び根拠	1	7, オンラインで建て先を奪うことに抵抗がない	2	8, 自身の力で建設を進めたがる	3	14, 都市を建設するなら手札は多い方が良い	4	5, 他プレイヤーから木や土を交渉で受け取り交易路を狙う戦術もある	5	4, 上と同じ	6	12, 他プレイヤーを騙すことに抵抗がない	7	1, 上と同じ	8	4, 上と同じ	9	20, 最大騎士力狙いなら他のプレイヤー間で争
N o.	最も相関の大きい問い及び根拠																					
1	7, オンラインで建て先を奪うことに抵抗がない																					
2	8, 自身の力で建設を進めたがる																					
3	14, 都市を建設するなら手札は多い方が良い																					
4	5, 他プレイヤーから木や土を交渉で受け取り交易路を狙う戦術もある																					
5	4, 上と同じ																					
6	12, 他プレイヤーを騙すことに抵抗がない																					
7	1, 上と同じ																					
8	4, 上と同じ																					
9	20, 最大騎士力狙いなら他のプレイヤー間で争																					

		<table border="1"> <tr> <td></td> <td>易路が移動しても気にしない</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>1, 建て先を譲ると対話で戦いやすくなる</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>19, 3;1 港があれば他プレイヤーと交渉しなく建設がしやすくなる</td> </tr> <tr> <td>12</td> <td>6, 建て先を奪うことは明かさずに交渉する</td> </tr> <tr> <td>13</td> <td>17, 産出できない資源は交渉で得ればよいと考 いる</td> </tr> <tr> <td>14</td> <td>15, 土を寡占状態にして交渉で鉄を受け取る</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>14, 上に同じ</td> </tr> <tr> <td>16</td> <td>11, 他プレイヤーの建て先も資源も全て独り占 たい</td> </tr> <tr> <td>17</td> <td>18, 港を重視しないので 2:1 港を利用されるこ 余り警戒しない</td> </tr> <tr> <td>18</td> <td>17, 上に同じ</td> </tr> <tr> <td>19</td> <td>11, 上に同じ</td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>9, 上に同じ</td> </tr> </table>		易路が移動しても気にしない	10	1, 建て先を譲ると対話で戦いやすくなる	11	19, 3;1 港があれば他プレイヤーと交渉しなく建設がしやすくなる	12	6, 建て先を奪うことは明かさずに交渉する	13	17, 産出できない資源は交渉で得ればよいと考 いる	14	15, 土を寡占状態にして交渉で鉄を受け取る	15	14, 上に同じ	16	11, 他プレイヤーの建て先も資源も全て独り占 たい	17	18, 港を重視しないので 2:1 港を利用されるこ 余り警戒しない	18	17, 上に同じ	19	11, 上に同じ	20	9, 上に同じ
	易路が移動しても気にしない																									
10	1, 建て先を譲ると対話で戦いやすくなる																									
11	19, 3;1 港があれば他プレイヤーと交渉しなく建設がしやすくなる																									
12	6, 建て先を奪うことは明かさずに交渉する																									
13	17, 産出できない資源は交渉で得ればよいと考 いる																									
14	15, 土を寡占状態にして交渉で鉄を受け取る																									
15	14, 上に同じ																									
16	11, 他プレイヤーの建て先も資源も全て独り占 たい																									
17	18, 港を重視しないので 2:1 港を利用されるこ 余り警戒しない																									
18	17, 上に同じ																									
19	11, 上に同じ																									
20	9, 上に同じ																									
<p>8 ページ</p>	<p>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。</p> <p>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。</p>	<p>上記の相関において事前の 5 つの区分内では、交渉の重要性区分内の設問 17, 18 が互いに相関の最大値となっていた。しかしそれ以外の区分では、最大の相関となる設問が同じ区分にある設問はなかった。</p> <p>特に設問 17 にて港について触れたうえで、18 にて港に関連する質問を行っていることから設問 17, 18 のみで互いに相関がみられた理由としてキャリーオーバー効果がみられたものと考えられる。</p> <p>ここから最初に想定した区分から被験者のブロック化を行うことは不適切であるといえる。又、設問 1 及び 2 にて「奪う」という表現があったが、半分以上が「奪う」と回答したことから、社会的望ましさの影響はないものといえる。</p> <p>4. 結論及び今後の展望</p> <p>カタンは麻雀と同様に零和有限, 多人数, 不確</p>																								

		<p>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.</p> <p>カタンというボードゲームのみでなく, 経験や事前知識の多寡で意思決定や戦術が大きく変わるゲームは多く存在する.</p> <p>本提案では, 被験者のプレイ経験を基にブロック化する手法を提案した. 実験前の段階で被験者を揃えたうえで, 質問紙に答えてもらい, 全員の回答を集計したうえで, 解析を行い, 適切なグループ分けを行うべきであると考えられる.</p> <p>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.</p> <h3>5. おわりに</h3> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p>
--	--	---

8 ページ 参考文献	13) 三井宏隆. "ゲーム理論の社会心理学的役割." <i>心理学評論</i> 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	(該当なし)
---------------	--	--------