

レジスタンス：アヴァロンにおける 信頼度推移曲線に基づくプレイヤーの陣営推定

永井 秀利^{1,a)} 中村 貞吾^{1,b)}

概要：「レジスタンス：アヴァロン」は、「人狼」のように会話が重要な正体秘匿系ゲームの一つである。人狼に比べてアヴァロンは100%の確実性を持つ情報が乏しいため、他プレイヤー、発言、仮説等の様々な要素、事象をどの程度信じられるかの管理の重要性は、アヴァロンの方が高いと言えよう。本研究では、そうした信頼、信用、確認の度合いを総称した幅広い概念を「信頼度」と呼ぶ。ほぼすべての事象は情報不確実性を有するため、観測者たるプレイヤーの心証として信頼度を捉える。信頼度の変化は心証の変化とするなら、その変化はヒステリシス性を持つと考えられる。そこで本研究では、履歴現象を有する推移として信頼度変化をモデル化し、それに基づいて人間の対戦ログにおける各プレイヤーの陣営推定を行った。

キーワード：信頼度、信頼度推移曲線、レジスタンス：アヴァロン、陣営推定

Estimating Player Factions using Reliability-Transition Curves in The Resistance: Avalon

HIDETOSHI NAGAI^{1,a)} TEIGO NAKAMURA^{1,b)}

Abstract: “The Resistance: Avalon” is a hidden identity game where conversation is crucial, similar to “Are You a Werewolf?”. Compared to “Werewolf”, “Avalon” has a scarcity of information with 100% certainty, making the management of reliability in other players, statements, hypotheses, and various other factors more important. In this study, we refer to the broad concept of the degree of reliability, confidence, or certainty as “reliability level.” Since almost all events have information uncertainty, we consider the reliability level to indicate the impression held by a player observing the events. If the change of reliability level means the change in impression, the change can be thought to exhibit hysteresis. Therefore, this study models changes in reliability levels as a transitional process with hysteresis properties and uses this model to estimate the faction of each player in human game-play logs.

Keywords: reliability level, reliability-transition curve, The Resistance: Avalon, estimation of factions

1. はじめに

「レジスタンス：アヴァロン」(以下、アヴァロンと略す)は、会話によってプレイが進行する正体秘匿系ゲームの一つである。同系統での代表的なゲームは「人狼」である。

人狼においては、特殊能力を持たないプレイヤーであっても「夜フェーズに襲撃されたプレイヤーは村人側である」というような100%の確実性を持つ情報が存在することに加え、ゲーム進行につれてプレイヤーが脱落していくため、何もなくても可能性は絞られてくる。また、占い師は占いによって100%確実な情報を得ることができ、たとえ人狼の襲撃で占い師がゲームから脱落したとしてもそのこと自体で敗北することはないため、脱落しない限りは正確な情報を他プレイヤーに伝え続けることができる。

それに対し、アヴァロンにおいては100%の確実性を持って得られる情報は非常に乏しい。人狼での記名投票となる

追放投票は対象者を人狼と疑っているという明確な意思表示となるのに対し、アヴァロンでの記名投票となるクエスト遂行チーム編成案への賛否投票は、そのみでは各プレイヤーが何を信じ、何を疑っているのかが不明確である。クエストの成否は失敗票数しかわからないため、「チームには少なくとも失敗票数の人数の悪側が含まれる」とは言えるが、真に含まれる悪側人数は一般に不確定(悪側でも成功投票が可能)である。たとえクエストに成功しても、悪側が含まれないとは断言できない。ゲームから脱落するプレイヤーは存在しないため、人狼では可能であったプレイヤー脱落による情報確度向上は行えない。悪側のほとんどを知る立場の特殊役職プレイヤーは存在するが、悪側にそれを看破されると正義側の敗北となってしまうため、人狼での占い師とは異なり、正確な情報を明示することは困難である。それゆえアヴァロンでは、会話による意思表示や情報交換の重要性が人狼よりも増している。そうした会話も観測される事象もすべてが不確実性を有すると考えて、それぞれがどの程度信頼できるかを管理することの必要性についても人狼より大きくなっていると言える。

プレイヤーはゲーム中において、他プレイヤー、発言、仮説

¹ 九州工業大学大学院情報工学研究院知能情報工学研究系
Department of Artificial Intelligence, Kyushu Institute of Technology

a) nagai@ai.kyutech.ac.jp

b) teigo@ai.kyutech.ac.jp

など、様々な要素、事象のそれぞれに対してどれだけの信頼や確証を持てるのかを総合的に評価して、判断や行動を行っていると考えることができる。本研究では、信頼や確証の度合いを総称した幅広い概念を「信頼度」と呼ぶ。我々は、信頼度を必ずしも論理的に導出するものとは考えず、事象の観測者たるプレイヤーが心理的にどのように捉えているかという視点で考える。心理学における二重過程理論 [1] の考え方に基づくなら、システム 1 の直感型の情報処理の方に近い位置付けで捉えようとしているとも言える。そのような視点とする理由は、観測された事象には観測者にとっての不確実性が存在するためであり、どう解釈するか最終判断は観測者の心証に委ねられるためである。例えば、ある対象において否定的事象を新たに観測しても、履歴的に形成された現状が肯定的なものか否定的なものかで、その事象が及ぼす影響には違いが生じうるだろう。

そこで本研究では、信頼度の評価には履歴が影響すると考えて信頼度推移をモデル化し、その活用の一つとして、人間の対戦ログにおける各プレイヤーの陣営推定を行った。

2. レジスタンス：アヴァロン

アヴァロンは、正体を秘匿して正義側と邪悪側とに分かれて 5 回のクエストを遂行し、3 回の成功を得ることを目指すゲームである。選択ルールによる例外を除けば、邪悪側は誰が邪悪側かを知るが、正義側でそれを知るのは特殊役職のマーリンだけである。ただし、邪悪側にマーリンのプレイヤーを看破されるとそのみで正義側敗北となるため、所有する情報を安易に提示することはできない。

各クエストではリーダー役が規定人数の参加チームを提案し、各プレイヤーは提案への賛否を記名投票する。賛成過半数ならチーム成立でクエストが遂行されるが、不成立ならリーダーを変更してチーム編成を繰り返す (最大 5 回)。

クエスト遂行は、チーム参加プレイヤーによる成否の無記名投票で行われる。正義側は成功のみ、邪悪側は成功と失敗とを自由に選択して投票できる。投票結果に規定数以上の失敗票が含まれればクエスト失敗となる。

3. 事象の影響による信頼度の変化

信頼に関する研究は主に心理学の分野で見受けられる [2] が、その信頼の度合いが外的要因により具体的にどのように変化するかについてはあまり研究がなされていないように見受けられる。信頼に関連して、説得と態度変容についての研究 [3] もなされているが、これは説得効果の有無を調べるもので、説得者または説得内容に対する信頼度変化の評価までは行われていないようである。

信頼度を設定して行動決定に利用する研究の例としては、森下らの研究 [4] がある。また、人狼をプレイする AI の作成を行う人狼知能においては、例えば野中らの研究 [5] がある。いずれも、事象に対して信頼度の増減量を規定し、その加算によって信頼度を線形に操作するものである。しかしながら、ウェーバー・フェヒナーの法則からすると、信頼度が高い状態でさらに信頼度を上げる事象が生じたと

しても、信頼度があまり高くはない状態の時よりは信頼度の上昇量は少ないと考える方が自然であろう。

また我々は、信頼度を上昇させるような肯定的情報が与えられた後の状態と、逆に信頼度を低下させるような否定的情報が与えられた後の状態とにおいて、同じ肯定的情報が与えられた場合の信頼度変化は同じではないと考える。前者の状態では素直に信頼度上昇が生じると思えるのに対し、後者の状態では信頼度の変化の方向を単純に反転させることは受け入れがたく、信頼度上昇は非常に抑制的になるように思える。よって本研究では、信頼度変化は履歴現象、ヒステリシス性を有すると考える。

太田らの研究 [6] は、この考えを補強しうるものであろう。太田らは同調行動に基づく意思決定モデルを構築し、計算機シミュレーションによって同モデルにおける同調行動 (環境における見解優位性の変化による個人見解の遷移) に履歴現象が現れることを示した。同モデルにおける環境変化は信頼度に影響を与える事象に対応し、同調行動 (見解遷移) に関連した値の推移は信頼度の推移に対応するということに捉えることはさほど不自然ではないと考える。

4. 信頼度の非線形推移のモデル化

信頼度の操作や評価は、AI プレイヤーにおいて多数の対象、事象に対して適用するものであるため、実装や処理のコストが小さいことが望ましい。しかし、太田らのモデル [6] は、推定困難な個人の決断力等のパラメータを含む複雑な式であり、そのまま援用または変更して活用するのは少し難しい。よって、想定する非線形推移の特徴や性質をできるだけ簡素に表現したモデルを構築する必要がある。

本研究では、野中ら [5] の信頼度操作のように事象に対して規定の増減量で直接的に変化させる値を「基準値」と呼んで横軸とし、評価結果としての「信頼度」を縦軸とした平面を考える。信頼度の評価に関する状態はこの平面上の点として表され、信頼度に影響を与える事象の効果によってこの平面上を移動する。

3 章で述べた考えに基づくなら、信頼度状態の推移は、変化の方向性 (信頼増加または減少) が定まった位置を起点として、変化の終点 (変化方向に依存して完全信頼または完全不信) に向かって、起点および終点に近いほど傾きが小さくなるような S 字のカーブを描くと想定することができる。新たな事象による変化の方向性が現在と同じに維持されている場合は、現在の S 字曲線に沿って推移する。しかし、現在の変化の方向性に反する場合には、事象の影響を適用する前の位置を起点とした逆方向の S 字曲線を生成し、新たな曲線に沿って推移させる。そのような S 字曲線を、本研究では「信頼度推移曲線」と呼ぶ。

本研究では、信頼度の値の範囲を $-1 \sim +1$ とする。+1 が完全信頼であり、-1 が完全不信である。また、基準値の範囲は $-1 \sim +1$ とする。+1 が基準値としての完全信頼であり、-1 が基準値としての完全不信である。基準値が +1 の時は信頼度も +1 であり、基準値が -1 の時は信頼度も -1 であると考えられる。事象影響力の特殊な評価や事

象による影響の受けやすさによる個人差の反映などは、基準値を定める際のスケール変換またはマッピング関数を設定することで対応することにする。それらの設定次第でどのような事象影響の操作でも柔軟に対応できるため、基準値の値の範囲の制約が問題になることはないであろう。

処理の軽量化のためには、信頼度推移曲線はできるだけ簡易な関数で表現することが求められる。電磁気学分野ではヒステリシス曲線を表現するために様々な数式 [7] が提案されているが、本研究の目的に利用するには不必要に複雑すぎる。そこで本研究では、2種類の信頼度推移曲線を提案する。一つは定義域 $-\pi/2 \sim \pi/2$ の正弦関数を用いるもので、もう一つは定義域 $-\pi \sim \pi$ の双曲線正接関数を用いるものである。双曲線正接関数を用いる場合は曲率を操作する重みを与えることができる。いずれの場合も、変化方向が信頼増加の場合の信頼度推移曲線の終点座標は $(1, 1)$ 、変化方向が信頼減少の場合の信頼度推移曲線の終点座標は $(-1, -1)$ である。

2種類の違いは曲線の式だけであり、具体的な処理の流れは同じであるので、両者を一つにまとめて定義 1 に示す。

定義 1. 信頼度推移曲線

(1) 初期状態

基準値 $B = 0$ 、信頼度評価値 $E = 0$ 、増減方向 $D = 0$ とする。双曲線正接関数を用いる場合は、曲率を規定するためのパラメータとして、重みを W を与える。

(2) 現在の増減方向とは異なる方向性の事象が生じたとき
信頼度推移曲線の再設定を行う。 $D = 0$ (初期値) の場合は、必ずこの条件が成立する。事象による基準値操作を行う前の基準値を B 、評価値を E とする。

(a) 発生事象の方向性が信頼度増加である場合

増減方向 $D = 1$ とし、 $dB = (1 - B)/2$ 、 $dE = (1 - E)/2$ とし、信頼度推移曲線 $f(b)$ を以下の式に更新する。

- 正弦関数を用いる場合

$$f(b) = dE \cdot \sin((\pi/2) \cdot ((b - B)/dB - 1)) + (E + 1)/2$$

- 双曲線正接関数を用いる場合

$$f(b) = dE \cdot \frac{\tanh(W \cdot \pi \cdot ((b - B)/dB - 1))}{\tanh(W \cdot \pi)} + (E + 1)/2$$

更新後の信頼度推移曲線 $f(b)$ に基づいて信頼度評価値 e を得る。ただし、更新後の $f(b)$ の定義域は $B \leq b \leq 1$ である。

(b) 発生事象の方向性が信頼度減少である場合

増減方向 $D = -1$ とし、 $dB = (1 + B)/2$ 、 $dE = (1 + E)/2$ とし、信頼度推移曲線 $f(b)$ を以下の式に更新する。

- 正弦関数を用いる場合

$$f(b) = dE \cdot \sin((\pi/2) \cdot ((b - B)/dB + 1)) + (E - 1)/2$$

- 双曲線正接関数を用いる場合

$$f(b) = dE \cdot \frac{\tanh(W \cdot \pi \cdot ((b - B)/dB + 1))}{\tanh(W \cdot \pi)} + (E - 1)/2$$

更新後の信頼度推移曲線 $f(b)$ に基づいて信頼度評価値 e を得る。ただし、更新後の $f(b)$ の定義域は $-1 \leq b \leq B$ である。

(3) 現在の増減方向と同じ方向性の事象が生じたとき

事象の効果を適用した後の基準値 b に対し、現在の信頼度推移曲線 $f(b)$ に基づいて信頼度評価値 e を得る。

□

この手順による場合、正弦関数版では信頼度推移曲線の起点を規定する基準値 B と評価値 E 、増減方向 D 、および現在の基準値 b の 4 項組 (B, E, D, b) を、双曲線正接関数版では曲率重み W を加えた 5 項組 (W, B, E, D, b) を、信頼度管理を行う対象ごとに保持すれば良い。基準値 b は、事象に応じて漸進的に変更していくこともできるし、以前の値を無視して直接に指定してしまうこともできる。

初期状態 $(0, 0)$ から出発し、増 $(+0.45) \rightarrow$ 増 $(+0.15) \rightarrow$ 減 $(-0.40) \rightarrow$ 減 $(-0.25) \rightarrow$ 減 $(-0.30) \rightarrow$ 増 $(+0.40)$ というような基準値変化が生じた場合の信頼度推移曲線に基づく信頼度推移を図 1~図 3 に示す。履歴現象によって、同じ基準値の状態であっても信頼度の値には違いが生じること、また、曲率の違いによって現状認識に反する事象の受け入れやすさが表されていることがわかる。

履歴現象が存在するために、適用される基準値変化の集合が同一であってもその適用順序によって結果が異なる。図 4 は、図 3 と同じ設定の信頼度推移曲線で、適用する操作量の集合も同一であるが、最後の 2 個の操作量の適用順だけが入れ替わっているものである。これらの違いは、反論に相当する操作 (基準値 $+0.40$ の増加) をどの段階で行ったかである。図 4 は、信頼度低下の悪い流れが確定的になる前に反論することでそれに歯止めをかけている状況に相当するであろう。こうした差異は、議論において主張を強化するような発言を重ねることや反論を間髪を入れずに行うことの重要性を示していると言える。

アヴァロンをプレイする AI の研究用プラットフォームである AI AVALON [8], [9] では、そうした発言順序の問題をコントロールされた議論進行の下で扱うために、「割込み発言」という機構をプロトコルに組み込んでいる。

5. 信頼度推移モデルに基づく陣営推定

プレイヤーに対する「信頼」には、正義側である可能性としての信頼の他、発言内容や判断能力への信頼などもある。陣営推定に関連するのは前者の意味での信頼だが、プレイヤーごとの正義側らしさとしての信頼度を個々に独立して扱って陣営推定することは必ずしも適切ではないであろう。

例えば、「プレイヤー A が邪悪側なら、プレイヤー B も邪悪側である可能性が高い。しかし、プレイヤー A が正義側であるなら、プレイヤー C と D が邪悪側である可能性が高

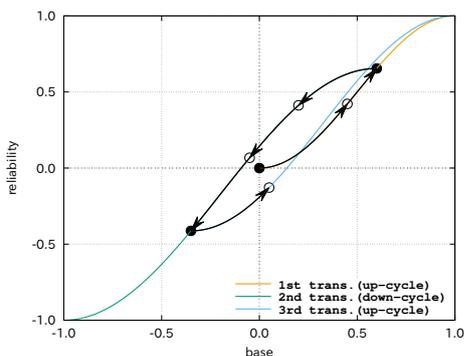


図 1 正弦関数による信頼度推移曲線の例 (基準値操作量: $+0.45 \rightarrow +0.15 \rightarrow -0.40 \rightarrow -0.25 \rightarrow -0.30 \rightarrow +0.40$)

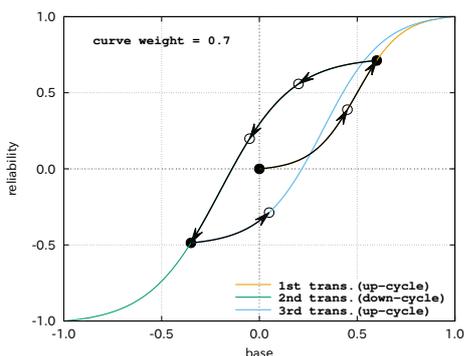


図 2 双曲線正接関数 (重み 0.7) による信頼度推移曲線の例 (基準値操作量: $+0.45 \rightarrow +0.15 \rightarrow -0.40 \rightarrow -0.25 \rightarrow -0.30 \rightarrow +0.40$)

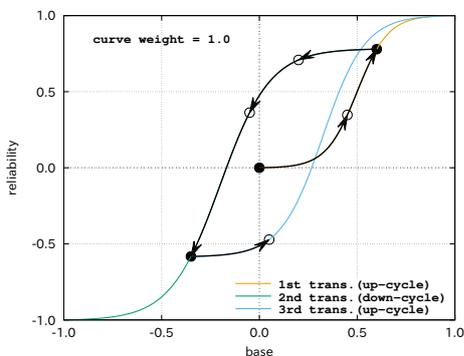


図 3 双曲線正接関数 (重み 1.0) による信頼度推移曲線の例 (基準値操作量: $+0.45 \rightarrow +0.15 \rightarrow -0.40 \rightarrow -0.25 \rightarrow -0.30 \rightarrow +0.40$)

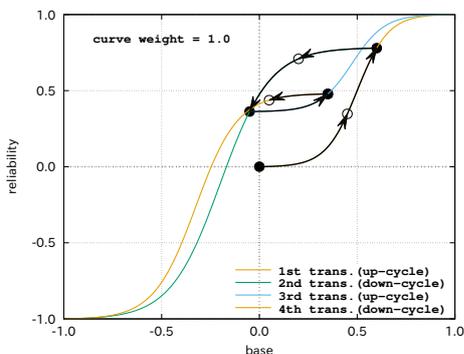


図 4 双曲線正接関数 (重み 1.0) による信頼度推移曲線の例 (基準値操作量: $+0.45 \rightarrow +0.15 \rightarrow -0.40 \rightarrow -0.25 \rightarrow +0.40 \rightarrow -0.30$)

い」などという状況は普通に生じる。この状況をプレイヤーごとの正義側らしさの信頼度だけでうまく表現・管理するのは難しく、「『プレイヤー A は正義側』かつ『プレイヤー C は邪悪側』」などという状況要素の組み合わせに対する可能性評価としての信頼度を扱う方が状況を捉えやすい。その場合、例示した状況は次のように表現できる。

- 状況『『A は邪悪』かつ『B は邪悪』』の信頼度は高く、状況『『A は邪悪』かつ『B は正義』』の信頼度は低い。
- 状況『『A は正義』かつ『C は邪悪』かつ『D は邪悪』』の信頼度は高いが、
『『A は正義』かつ『C は邪悪』かつ『D は正義』』や『『A は正義』かつ『C は正義』かつ『D は邪悪』』の信頼度はやや低く、
『『A は正義』かつ『C は正義』かつ『D は正義』』の信頼度はかなり低い。

よって、すべてのプレイヤーに対して正義側または邪悪側を指定した陣営パターンの全種類を作成し、それぞれにそれが正解である可能性の高さとしての信頼度を付与したとすれば、例示のような推測がなされる状況が生じた際には

- 『『A は邪悪』かつ『B は邪悪』』を満たす全陣営パターンの信頼度基準値を増加、
『『A は邪悪』かつ『B は正義』』を満たす全陣営パターンの信頼度基準値を減少。
- 『『A は正義』かつ『C は邪悪』かつ『D は邪悪』』を満たす全陣営パターンの信頼度基準値を増加、
『『A は正義』かつ『C は邪悪』かつ『D は正義』』または『『A は正義』かつ『C は正義』かつ『D は邪悪』』を満たす全陣営パターンの信頼度基準値を少し減少、
『『A は正義』かつ『C は正義』かつ『D は正義』』を満たす全陣営パターンの信頼度基準値を減少、

というような操作を施せば良いことになる。

この考えに基づいて、本研究では、可能な全ての陣営パターンを用意してそれぞれの信頼度を管理し、あるプレイヤーの陣営は、そのプレイヤーが正義側となっているすべての陣営パターンにおける信頼度とそのプレイヤーが邪悪側となっているすべての陣営パターンにおける信頼度との対比に基づいて推定する。具体的には、本稿では、プレイヤーごとに定義 2 の評価値 $E(x)$ を正義側らしさを示す値として求め、評価値が高い方から正義側人数分のプレイヤーを選出するという方法を用いた。

定義 2. プレイヤ x の正義側らしさ評価値 $E(x)$

- (1) プレイヤ x が正義側の全陣営パターンで信頼度が正であるものの信頼度の総和 $Z_p(x)$ と、 x が邪悪側の全陣営パターンで信頼度が正であるものの信頼度の総和 $Z_n(x)$ とを求める。
- (2) $Z_p(x) > 0$ のとき、
正義側である可能性の高さに相当する $Z_p(x)$ に対して $Z_p(x)$ と $Z_n(x)$ との比率に基づく重みをか

けたものを正義側らしさの評価値として、 $E(x) = Z_p(x) \cdot (Z_p(x)/(Z_p(x) + Z_n(x)))$ とする。

- (3) $Z_p(x) = 0$ のとき、
 邪悪側である可能性が高いことに基づく順位付けとして、 $E(x) = -Z_n(x)$ とする。

□

プレイヤー総数で各陣営の人数は決まるので、可能な陣営パターン数は絞られる。プレイ全体の観測者の立場で全陣営パターンを考えたとしても、5人プレイで10種類、最大人数の10人プレイでも210種類しか存在しない。特定プレイヤー視点では自分の陣営は固定されるので、有効陣営パターン数は半減する。本稿では陣営推定のために正義側か邪悪側かを扱っているが、役職まで含む陣営パターンを扱うことも可能であろう、その場合の最大数は、選択ルールの全役職を含む10人プレイで151,200種類となる。

6. プレイヤー陣営の推定実験

6.1 実験に使用したデータ

本稿での実験には、GitHubで公開されている人間プレイヤーの対戦ログデータ [10] を使用した。使用した対戦ログの数を表1に示す。終了がteamのものは、規定回数内のチーム承認が得られずに正義側が敗北したゲームである。

表1 実験で用いたプレイログの個数

人数	プレイ終了時点				合計
	3Q	4Q	5Q	team	
5	821	1231	1449	31	3532
6	585	1419	1210	70	3284
7	573	1153	1022	19	2767
8	421	627	603	31	1682
9	224	319	295	4	842
10	157	217	215	11	600
合計	2781	4966	4794	166	12707

6.2 信頼度の操作

前述のように、アヴァロンではチーム編成の議論の際にいかなる会話がなされたかが重要だが、残念ながら公開されているログには会話の情報は含まれておらず、情報はリーダーとチーム案、投票結果、クエスト結果に限られている。よって、チーム提案やクエストの投票結果を得るごとに、各陣営パターンの信頼度操作を試みることにする。これらの投票結果も情報不確実性を有するため、心証で捉える事象として実験対象とすることに問題はないと考える。

まず、プレイヤーが正義側なら+1、邪悪側なら-1としたリスト (S_1, S_2, \dots, S_n) を陣営パターンとし、可能な陣営パターンのすべてに対して信頼度の初期設定を行う。

ログに記録された内容に基づき、定義3の方法で各陣営パターンの基準値を操作し、信頼度の更新を行う。

定義3. 投票結果に基づく信頼度基準値操作

プレイヤー数を PC 、クエストのチーム人数を TC とする。各陣営パターン s に対し、 $P_s = 0.0$ を初期値として以下の処理で P_s を計算し、得られた P_s を基準値操作量として、

陣営パターンの信頼度を操作する。ただし、以下の処理の条件分岐における陣営判断は s に基づくものとする。

- (1) チーム提案への投票がなされたとき
- (a) チーム案の邪悪側人数が必要失敗投票数未満
- 提案したリーダーに関し、
 リーダーが正義側: $P_s += +v1$
 リーダーが邪悪側: $P_s += -v1$
 - 提案に賛成したプレイヤーごとに、
 プレイヤーが正義側: $P_s += +v2/PC$
 プレイヤーが邪悪側: $P_s += -v2/PC$
 - 提案に反対したプレイヤーごとに、
 プレイヤーが正義側: $P_s += (+v2/PC)/2$
 プレイヤーが邪悪側: $P_s += (-v2/PC)/2$
- (b) チーム案の邪悪側人数が必要失敗投票数に等しい
- 提案したリーダーに関し、
 リーダーが正義側: $P_s += -v1$
 リーダーが邪悪側: $P_s += +v1$
 - 提案に賛成したプレイヤーごとに、
 プレイヤーが正義側: $P_s += (-v2/PC)/2$
 プレイヤーが邪悪側: $P_s += +v2/PC$
 - 提案に反対したプレイヤーごとに、
 プレイヤーが正義側: $P_s += (+v2/PC)/2$
 プレイヤーが邪悪側: $P_s += -v2/PC$
- (c) チーム案の邪悪側人数が必要失敗投票数を超過
 超過した人数を X_T とするとき、
- 提案したリーダーに関し、
 リーダーが正義側: $P_s += +v1$
 リーダーが邪悪側: $P_s += ((+v1/2^{(X_s-1)}) - v1)$
 - 提案に賛成したプレイヤーごとに、
 プレイヤーが正義側: $P_s += (-v2/PC)/2$
 プレイヤーが邪悪側: $P_s += (-v2/PC)/2$
 - 提案に反対したプレイヤーごとに、
 プレイヤーが正義側: $P_s += (+v2/PC)/2$
 プレイヤーが邪悪側: $P_s += (+v2/PC)/2$
- (2) クエストが遂行されたとき
- チーム内邪悪側人数が失敗投票数未満の陣営パターンは成立し得ないため、その場合は基準値を -1 に固定する。それ以外の場合は以下に従う。
- (a) クエストが成功した場合
- 遂行チームを提案したリーダーに関し、
 リーダーが正義側: $P_s += +v3$
 リーダーが邪悪側: $P_s += -v3/2$
 - 遂行チーム案に賛成したプレイヤーごとに、
 プレイヤーが正義側: $P_s += +v4/PC$
 プレイヤーが邪悪側: $P_s += (-v4/PC)/2$
 - 遂行チーム案に反対したプレイヤーごとに、
 プレイヤーが正義側: $P_s += (+v4/PC)/2$
 プレイヤーが邪悪側: $P_s += -v4/PC$
 - クエストに参加したプレイヤーごとに、
 プレイヤーが正義側: $P_s += +v5/TC$
 プレイヤーが邪悪側: $P_s += (-v5/TC)/2$

(b) クエストが失敗した場合

失敗必要数を超過した失敗票の数を X_Q とするとき、

- 遂行チームを提案したリーダーに関し、
リーダーが正義側: $P_s += -v3/2$
リーダーが邪悪側: $P_s += +v3$
- 遂行チーム案に賛成したプレイヤーごとに、
プレイヤーが正義側: $P_s += (-v4/PC)/2$
プレイヤーが邪悪側: $P_s += +v4/PC$
- 遂行チーム案に反対したプレイヤーごとに、
プレイヤーが正義側: $P_s += -v4/PC$
プレイヤーが邪悪側: $P_s += (+v4/PC)/2$
- クエストに参加したプレイヤーごとに、
プレイヤーが正義側: $P_s += (-v5/TC)/2$
プレイヤーが邪悪側、かつ、
 $X_Q \leq 0$ のとき: $P_s += +v5/TC$
 $X_Q > 0$ のとき: $P_s += (+v5/TC)/2^{(X_Q-1)}$

□

今回の実験でのパラメータ設定を表 2 に示す。また、実験で用いた対戦ログ (表 1) のゲームごとに定義 3 による信頼度操作が行われた回数のヒストグラムを図 5 に示す。

表 2 実験で用いた陣営パターンの基準値操作パラメータ

パラメータ名	設定値
v_1	0.0006
v_2	0.0004
v_3	0.0005
v_4	0.0004
v_5	0.0005

6.3 実験結果

6.2 節で述べた操作方法とパラメータとで基本値を操作する度に、正解陣営パターンの順位確認と正義側プレイヤーの推定とを行った。各ゲームのプレイヤー人数は異なるため、陣営パターン順位については、陣営パターンの総数 J に応じて正解陣営パターンの順位 n を式 $(J-n)/(J-1)$ で 1.0 ~ 0.0 の順位割合に変換した値 (同じ信頼度を持つ陣営パターンが複数存在する場合はその範囲) を求めた。正義側プレイヤー推定については、5 章で述べた方法によって規定人数の正義側プレイヤー K 人を選出 (同値の場合は規定人数となるまでランダムに選択と仮定) した場合に、その中に含まれる正義側プレイヤー人数の期待値 e により、 e/K で正解率を算出した。

信頼度推移曲線の効果を見るために、6.2 節の方法で算出した基本値操作量を用いて、それを信頼度に単純加減 (線形操作) した場合と、重み 1.0 の双曲線正接関数による信頼度推移曲線で操作した場合との比較結果を示す。なお、重み 0.7 の場合や正弦関数の場合は、両者の中間的な結果である。図 6 が正解陣営パターンの順位割合、図 7 が正義側プレイヤー正解率である。図の横軸はゲーム進行に沿った信頼度操作タイミングを示す。“Qx-Py” は第 x クエストの y 回目のチーム提案への投票であり、“Questx” は第 x ク

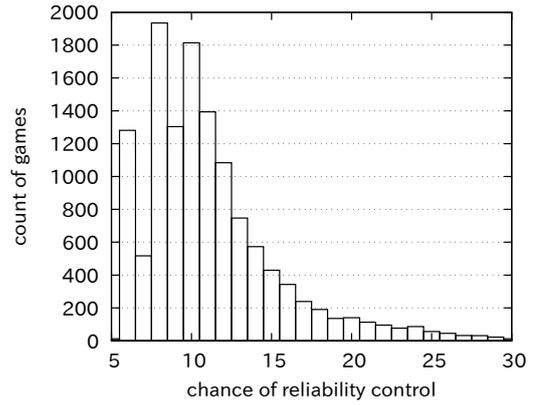


図 5 対戦ログのゲームごとの信頼度基準値操作回数の分布

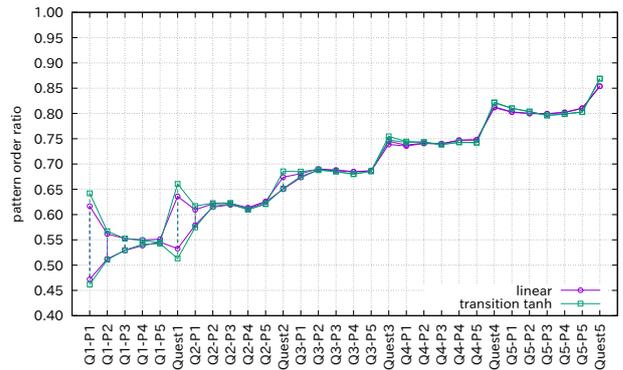


図 6 重み 1.0 の双曲線正接関数版信頼度推移曲線に基づく操作と線形操作との正解陣営パターン順位割合の比較 (縦線は正解陣営パターンと同値の陣営パターンの範囲)

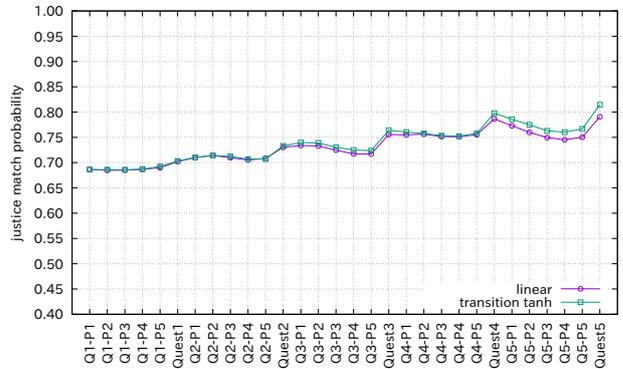


図 7 重み 1.0 の双曲線正接関数版信頼度推移曲線に基づく操作と線形操作との正義側プレイヤー正解率の比較

エストの遂行である。ただし、各タイミングでのサンプル数は異なることに注意する。チーム提案への投票は各クエスト回に最低 1 回は行われるが、提案が受理されればそれ以上は行われない。クエストそのものも、3 回の成功または失敗が確定すれば、それ以降のクエスト回は存在しない。

今回の実験では、正解陣営パターン順位割合についてはいずれが良いとも言えないような違いしか生じなかったが、正義側プレイヤー正解率については信頼度推移曲線に基づく方が良い精度を示している。図 5 で示したように、各ゲームでの信頼度操作の機会が多くはないため、両者の違いを生じさせるケースも少なく、結果として大きな差が出

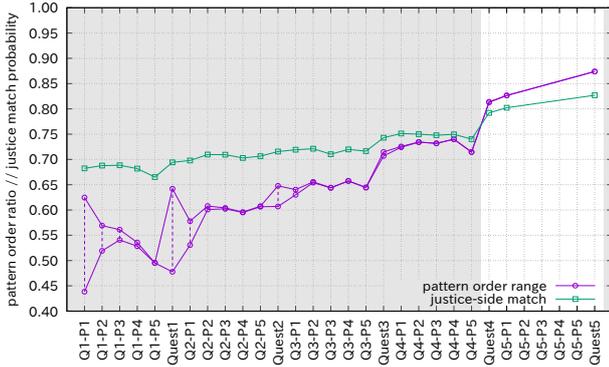


図 8 第5クエストが1回目のチーム編成までで完了したゲームのみでの推定結果 (重み 1.0 の双曲線正接関数版)

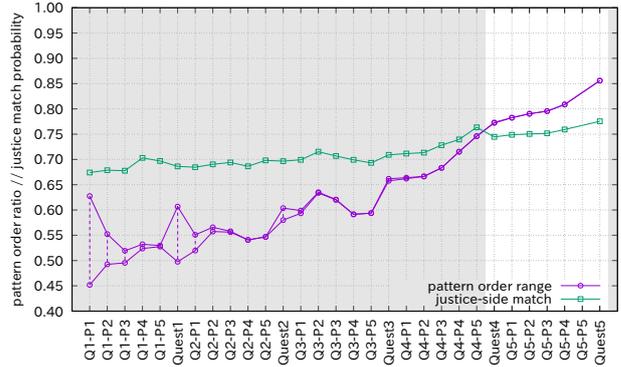


図 11 第5クエストが4回目のチーム編成までで完了したゲームのみでの推定結果 (重み 1.0 の双曲線正接関数版)

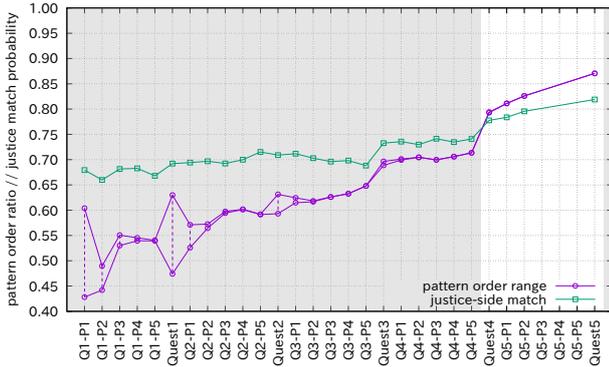


図 9 第5クエストが2回目のチーム編成までで完了したゲームのみでの推定結果 (重み 1.0 の双曲線正接関数版)

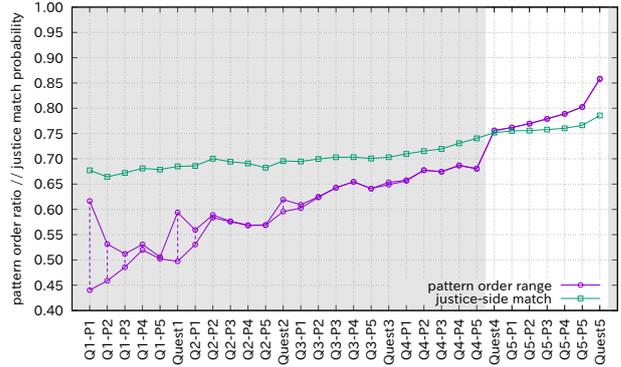


図 12 第5クエストが5回目のチーム編成までで完了したゲームのみでの推定結果 (重み 1.0 の双曲線正接関数版)

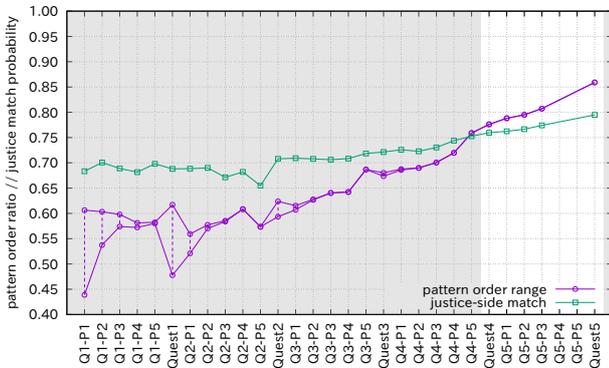


図 10 第5クエストが3回目のチーム編成までで完了したゲームのみでの推定結果 (重み 1.0 の双曲線正接関数版)

なかったことも仕方がないことであろう。それでも、操作回数が比較的多いと思われる第5クエストで正義側プレイヤー正解率に明確な差が出ていることは、信頼度推移曲線に基づく信頼度評価の有効性を示していると言えよう。

図7では、チーム提案への投票に基づく信頼度操作の度に正義側プレイヤー正解率が低下しているように見える。これは、ゲームごと、クエスト回ごとに、チーム編成が行われた回数が異なることが影響している。特に低下傾向が大きく見える第5クエストについて、チーム編成回数が同一のゲームのみを集めた場合の正解陣営パターン順位割合と正義側プレイヤー正解率とを図8から図12に示す。図のように、チーム編成回数が同一のものごとに見ると、正解陣営パターン順位割合も正義側プレイヤー正解率も比較的素直

に上昇していることがわかる。他のクエスト回について調べた場合も同様に、同一チーム編成回数の範囲では比較的素直な正解率向上を観測できる。

3回のクエストを成功させたゲームは、観測した事象から得たプレイヤーの心証が、正しい陣営パターンに近いものであった可能性が高い。逆に3回のクエストを失敗したゲームは、観測された事象が誤った心証を与えたか、曖昧さを絞り込むことが難しかった可能性が高いであろう。よって、信頼度に基づく評価がプレイヤーの心証を反映した解釈として妥当なものであれば、3回のクエストに成功したゲームと失敗したゲームとでは正解率に明確な差が生じると予想される。信頼度推移曲線に基づいた操作を行った場合で、クエストを3回成功または失敗したゲームごとに平均した結果を図13と図14とに示す。期待したように、正解陣営パターンの順位割合も正義側プレイヤー正解率も3回成功したゲームの方が明らかに高い値となっていることがわかる。

比較のため、線形操作を行った場合の結果を図15と図16とに示す。信頼度推移曲線に基づいた操作では、正解陣営パターン順位割合も正義側プレイヤー正解率も、ゲーム進行に連れて比較的素直に値が上昇しているのに対し、線形操作ではかなり大きな上下動が生じている。これは、信頼度推移曲線に基づく操作に比べ、線形での操作の結果では適切とは言い難い信頼度となることが多く生じた可能性が高いことを示唆していると考えられる。この違いも信頼度推移曲線の有効性を示していると言える。

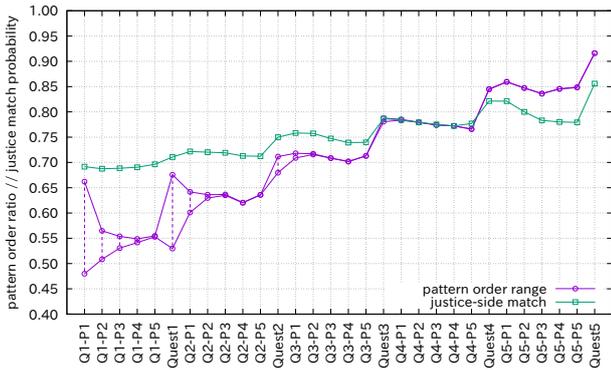


図 13 クエストが 3 回成功したゲームのみでの結果 (重み 1.0 の双曲線正接関数版)

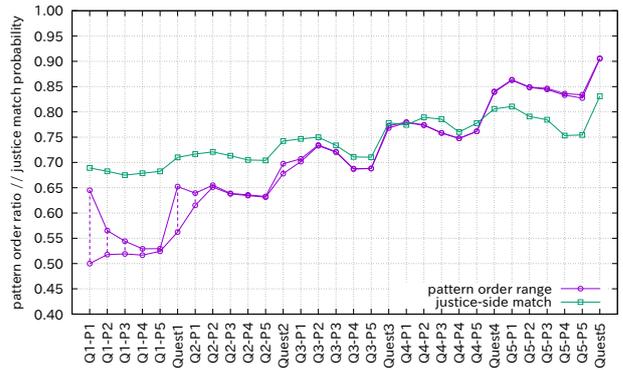


図 15 クエストが 3 回成功したゲームのみでの結果 (線形操作版)

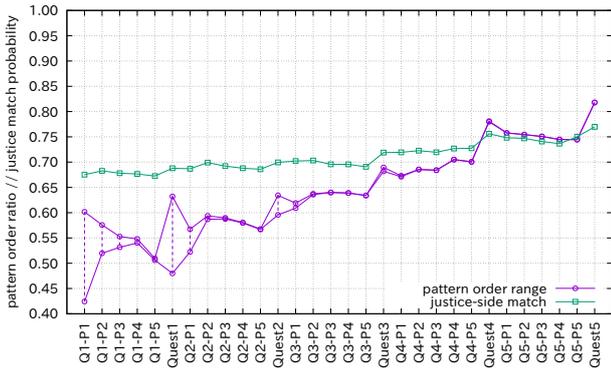


図 14 クエストが 3 回失敗したゲームのみでの結果 (重み 1.0 の双曲線正接関数版)

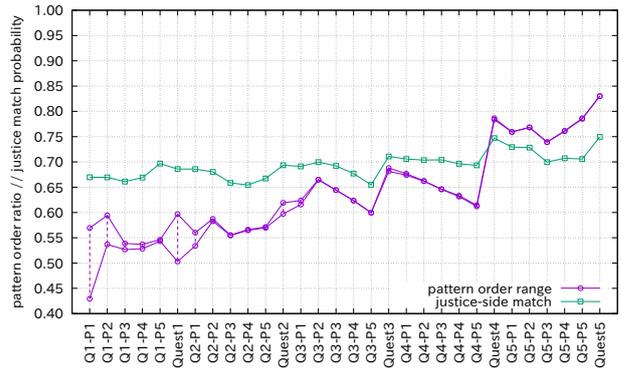


図 16 クエストが 3 回失敗したゲームのみでの結果 (線形操作版)

7. おわりに

本稿では、信頼度操作手法として信頼度推移曲線を提案した。提案手法で陣営パターンに付与した信頼度を操作し、得られた信頼度を用いてプレイヤーの陣営を推定することで、単純な操作でも良好に正解に近づくことを示した。推測結果は単純な加減算での信頼度操作よりも良く、信頼度推移曲線の有効性を確認できた。なお、本稿の実験で用いた操作方法もパラメータ値も、それなりの設定理由はあっても明確な設定根拠となるデータがあるわけではない。しかし、そのことを以て信頼度推移曲線の有効性が否定されるものではないだろう。

信頼度推移曲線は、評価の変化に心証が影響する対象に一般的に適用可能なモデルと考えている。本研究では、特に会話の流れによる高頻度の信頼度変化を扱うために導入を目指したものであるが、利用できた対戦ログは会話情報を含まない。そのため、信頼度操作機会が少ないだけでなく、会話で生じているはずの変化も反映できておらず、信頼度推移曲線が十分な効果を発揮していない可能性が高い。それでも単純な加減算よりも良好であることは、推測された陣営パターン信頼度がプレイヤーの心証に近くなっており、その結果として現実に観測された行動との齟齬が少なく、良好な陣営推定結果に繋がったと考えることができる。

会話情報を含めた実験は今後の最重要課題だが、会話を含む対戦ログを大量に収集することはかなり難しいことも事実である。対策として、説得を目的として提案や投票の

意図を説明する AI AVALON の AI プレイヤを構築して対戦させ、意図説明発言に対する信頼度操作の有無で推測結果の差異を比較する方法もあると考えている。

参考文献

- [1] 金子: “二重過程理論”, マーケティングジャーナル Vol.33, No.3, pp.163-175 (2014)
- [2] 山岸, 小宮山: “信頼の意味と構造—信頼とコミットメント関係に関する理論的・実証的研究”, INSS Journal, Vol.2, pp.1-59 (1995)
- [3] 中村, 斎藤, 若林: “態度形成, 説得的メッセージ, 情報の専門性が態度変容に及ぼす効果 熟考尤度モデルと態度形成理論に基づく検討”, 心理学研究, Vol.61, No.1, pp.15-22 (1990)
- [4] 森下, 巽, 谷野: “繰り返し囚人のジレンマゲームにおけるプレイヤーの信頼度を用いた行動決定のシミュレーション”, 数理解析研究所講究録, Vol.1373, pp.50-58 (2004)
- [5] 野中, 松原: “信頼度によって説得行動を変化させる人狼知能”, GPW-21 論文集, pp.68-70 (2021)
- [6] 太田, 飯田, 河岡: “人の同調行動に基づく意思決定モデル”, 人工知能, Vol.11, No.6, pp.927-932 (1996)
- [7] L.Petrescu: “Comparison between frequently used hysteresis models”, Revue Roumaine Des Sciences Technoques Serie Electrotechnique Et Energetique, Vol.52, No.3, pp.311-320 (2007)
- [8] 永井, 磯崎, 本村, 中村: “説得行動を重視した「AI AVALON」の提案”, 情報処理学会研究報告, 2023-GI-49, No.21, pp.1-8 (2023)
- [9] AVALON プロジェクトのウェブサイト, <https://www.dumbo.ai.kyutech.ac.jp/nagai/AVALON/>
- [10] The Resistance: Avalon のプレイログ, 2024/05/30 時点, <https://github.com/WhoaWhoa/avalonlogs>