

ウェアラブルだるまさんがころんだ: 加速度センサによる機械判定を用いた多人数型ゲームの実装と運用

三木 隆裕^{1,a)} 大西 鮎美^{1,b)} 出口 嵐以貴¹ 土田 修平¹ 伊藤 悠真¹ 寺田 努^{1,2,c)} 塚本 昌彦^{1,d)}

概要: 機械による判定システムは、人間の目や耳で行うよりも正確に判定を行えるため、これまで様々な競技において導入されてきた。しかし、厳密な判定がプレーヤおよび観客の納得度に比例しない競技においては、プレーヤおよび観客の納得度も考慮した判定が行われるべきである。そこで本研究では、プレーヤおよび観客が納得できる判定を行う機械判定システムの構築を目的として、機械判定を用いただるまさんがころんだを提案する。提案システムは、スマートフォンの加速度センサを用いて人間の動きを取得し、プレーヤが動いているかどうかを自動で判定する。判定に用いる閾値は、プレーヤおよび観客の納得度を考慮するために一定のパターンと時間的に変化するパターンを用いた評価実験を行い、閾値の変化がプレーヤおよび観客の納得度に影響を及ぼすかを調査した。その結果、閾値を変化させることでプレーヤの納得度を高めることができた。

Wearable Statues Game: Implementation and Actual Use of a Real-word Multiplayer Game using Automatic Judgement with Wearable Acelerometers

TAKAHIRO MIKI^{1,a)} AYUMI OHNISHI^{1,b)} RAIKI DEGUCHI¹ SHUHEI TSUCHIDA¹ YUMA ITO¹
TSUTOMU TERADA^{1,2,c)} MASAHICO TSUKAMOTO^{1,d)}

Abstract: Automatic judgement systems can perform more accurate than using the human eye and ear, so have been introduced in various sports ever. However, in sports that exact judgement is not proportional to the satisfaction of the players and audience, the system should judge considering the satisfactions of the players and audience. In this study, we propose a "Statues Game" using automatic judgement system with accelerometers for the purpose of construction of the automatic judgement system that the players and the audience can satisfy. Proposed system obtains the human motion using accelerometers of smartphone and judges whether the players is moving automatically. Also we, for considering players and audience satisfaction, evaluated experiments to compare a pattern that the threshold is constant and a pattern that the threshold is time-varying. Additionally, we investigate that the satisfactions of the players and audience change.

1. はじめに

機械判定システムの判定基準は、一般にはルールに則っ

た厳密なものであるが、対象となる競技やゲームによってはその判定の厳密さが必ずしもプレーヤや観客の判定に対する納得の度合い（以下、納得度とする）と比例しない。鬼と鬼以外のプレーヤによる対戦形式のゲームであるだるまさんがころんだには「動いたらアウト」というルールがあるが、人間にセンサを装着し、このアウト判定を機械化したとすると、人間が厳密に静止することはきわめて難しいため、すべてのプレーヤが最初のターンでアウトになるということが予想される。これでは、従来のだるまさんが

¹ 神戸大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Kobe University

² 科学技術振興機構さきがけ
PRESTO, Japan Science and Technology Agency

a) takahiro_miki0124@stu.kobe-u.ac.jp

b) ayumi@stu.kobe-u.ac.jp

c) tsutomu@eedept.kobe-u.ac.jp

d) tuka@kobe-u.ac.jp



図 1 だるまさんがころんだの流れ

ころんだが成り立たず、プレーヤもアウトに納得できない。だるまさんがころんだのように判定の厳密さが必ずしも納得度と比例しない場合、プレーヤおよび観客の納得度に大きく影響する要素を考慮することで、より公平で厳密な判定を行うことができると考えられる。しかし、既存の機械判定システムにおいてプレーヤや観客の納得度を考慮した判定手法は筆者らの知る限り提案されていない。だるまさんがころんだは、人間が動いたかどうかを厳密に判定するだけではなく、その判定に対してプレーヤおよび観客が納得しなければゲームとして成り立たない。そこで本研究では、だるまさんがころんだを基にしたゲームを提案し、納得度の高い機械判定システムについて検討する。

だるまさんがころんだには、鬼が視界を覆って「だるまさんがころんだ」と発声する読上げ時間と、鬼がプレーヤが動いているか（もしくは静止しているか）を視認する判定時間がある。図 1 にゲームの流れを模式図で示す。ゲームの開始時、プレーヤは鬼から一定距離離れた位置に立つ。その後、図 1 に示すように読上げ時間中は鬼以外のプレーヤが鬼に接近し、判定時間中は鬼がプレーヤが静止しているかどうかを視認する。鬼が静止していないと判定したプレーヤに対しては、鬼がアウトと宣言し、ゲームから離脱させる。この手順を繰り返し、鬼以外のプレーヤが全員ゲームから離脱する、もしくは鬼以外のプレーヤが鬼に触れた時点でゲームは終了する。提案ゲームにおいては、だるまさんがころんだの「動いてはいけない」というルールを、プレーヤに装着したスマートフォンの加速度センサの値が閾値を超えるかどうかと置き換え、プレーヤが動いているかどうかを加速度センサ値から判定する。よって、提案ゲームでは判定に用いる閾値の設定方法が納得度に影響を与えると考える。本研究では閾値のパターンを 2 種類提案し、それぞれのパターンにおけるプレーヤおよび観客の納得度に関する評価を行う。このように、プレーヤおよび観客の納得度に大きく影響を与える要素を明らかにすることで、より公平で納得されやすい判定に改善でき、人間の動きを機械で判定する際の精度を向上すると考えられる。この精度の向上により、様々な競技への応用が考えられ、例えば、柔道における技が決まったかどうかの判定、スキージャンプにおける飛型の採点、さらにフィギュアスケートでの演技審判などが挙げられる。

2. 関連研究

人や物体の動きに対する機械判定や、人による判定についての研究は数多く行われている。

2.1 スポーツの判定に機械を用いる研究

特にスポーツなどにおいて、厳密さが重要で人間には判断が難しい判定については、機械判定が多く導入されている。Signal Processing System 社の開発した Cyclops System[1] は、テニスの審判補助システムで、境界ライン上の圧力検知と音波を用いたボールの位置推定を行い、サーブのインとアウトを検出している。

辛らは鉄棒競技の自動採点システムの実現に向けて動画処理によるスポーツ運動を解析する手法を提案している [2]。このシステムでは鉄棒競技における規定演技図からキーポーズとなる姿勢のパラメータを算出し、3次元人体データによるキーポーズのシルエット画像を生成し、生成した画像をデータベースとして扱う。そのデータベースと、実際の演技映像から背景を差分することで生成したシルエット画像をマッチングすることで技を判定し、姿勢分析から評価を行う。小沢らは、辛らの提案するシステムに加えてキーポーズの検出を骨格モデルで行う手法を確立することで、鉄棒競技だけでなく他の演技スポーツにも応用できる可能性を示している [3]。これらの研究は、プレーヤが正解データの存在する姿勢をとれているかどうかを映像から判定するシステムであり、人の目で行われている判定の方法を機械で再現したものといえる。したがって、応用できる範囲は正解データの存在する演技スポーツに限定され、本研究で扱うような正解データが存在しない競技に対しては導入できない。

Helmer らは、ボクシングの自動採点システム (ABSS: Automated Boxing Scoring System) を提案している [4]。ABSS は競技に合わせて、センサを取り付けたベストを極度に軽量化していることが特徴である。これらの研究は人の目で判定するには困難な、力学的な仕事量や微小な時間の差異を機械を用いて判定するシステムであり、人の目や耳で行うよりも確からしい判定が行えるという機械の利点が最大限に生かされる競技である。このように力学的な仕事量や微小な時間の差異が判定において重要な要素になっている競技は、観客やプレーヤの機械判定に対する納得度が判定の厳密さに比例するため、機械判定の精度を向上させることが納得度を高めることにつながると考えられる。しかし、本研究で対象とする競技では、機械判定の精度の向上が必ずしも納得度の向上に比例しないため、これらの研究内容とは違う視点から納得度について検証する。

また、既に導入されているシステムには、厳密な機械判定を行うとともに、プレーヤおよび観客に納得してもら

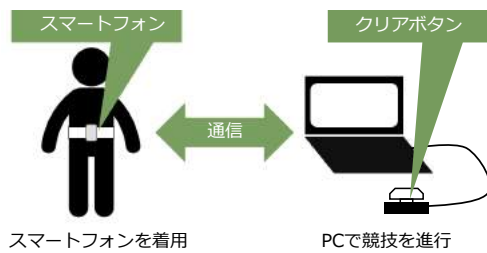


図2 システム構成

工夫がされているシステムもある。Baljinder ら [5]、および Collins ら [6] が提案したテニスのボール軌道予測システム Hawk-Eye は、テニスの試合で判定が疑問視されたプレーにおけるボールの位置を複数のハイスピードカメラの映像から絞り込み、ボールの軌道を推定するシステムである。Hawk-Eye では CG 映像を生成したうえでボールがライン際をどのようにバウンドしているかを説明するような演出が取り入れられている。このような情報提示でプレーヤーおよび観客の判定に対する納得度を高めていると考えられる。Fraunhofer と SelectSport が共同開発した GoalRef は、サッカーのゴール判定システム [7] であるが、機械の判定結果は審判にのみ提示され、審判は機械判定によって自らの判定を変更したかどうかを開示する必要はない。したがって、機械判定を用いるかどうかを審判が決定することで納得度を高めていると考えられる。このように、判定結果の演出やシステムの取り入れ方によっても判定に対する納得度は変わる。本研究においても、納得度に影響を与えようと考えられる判定方法や判定結果の提示方法などについて検討する。

2.2 人および機械が行う判定の精度向上に関する研究

判定精度をどのように向上させていくかという議論や分析も、特にスポーツ分野では多く行われている。山内ら [8] および小林ら [9] は、審判員が目で競技の判定を行う際の特徴を報告している。これらの研究では、審議の熟練者は、球技であればボールの動きなどプレーのポイントとなる動きに注目しながらもそれ以外のプレーヤーの動きを追跡している、と述べられている。また、状況が瞬時に変化していく競技における審議のポイントは、プレーに対する注視回数を多く、注視時間を短くすることにより短時間で多量の情報を収集し、次に起こるプレーを予測することであると述べられている。Collins は新たな判定システムと審議について、技術の発展によってテクノロジーで審議を行うことが与えた一番の影響は、人々の求める公平性が分散したことであると述べている [10]。また、新技術による判定を導入する際に維持しなければならない判定の公平性は、判定の精度とは必ずしも同調しないと述べている。さらに、新しい判定システムを構築する際は、プレーヤーだけでなく、観客など第三者も納得できる判定を行うシステムであ

るべきだという意見が強調されている。これらの研究は判定の本質に関するもので、本研究においても、多人数の情報を多量に収集して判定を行う。さらにプレーヤーだけでなく観客の納得度を考慮するという考え方に基づいてシステムを構築する。

3. 設計

図2に設計したゲームに用いるシステムの構成を示す。提案システムは、加速度センサを搭載したスマートフォンによるプレーヤーの動作検知および閾値判定を行うアプリケーションと、PCによるゲームを進行するためのアプリケーションの2つから構成される。図2に示すように、プレーヤーはスマートフォンを腰に密着するように取り付け、スマートフォンの加速度センサから体幹の動きを取得する。

プレーヤーが動いているかどうかの判定は、スマートフォンの加速度センサの値が設定した閾値を超えているかどうかで行う。具体的な閾値については次節で説明する。PCは各スマートフォンから送られてきた信号をもとに、判定時間中にプレーヤーがアウトかどうかを判定する。セーフであれば何も行わず、アウトであれば、アウトであるという情報を該当するスマートフォンに送信する。PCからアウトであるという情報を受け取ったスマートフォンは振動でプレーヤーに通知する。

提案するゲームにおいては、PCが鬼の役割を果たす。プレーヤーはあらかじめ設置されたクリアボタンを他のプレーヤーよりも早く押すことを目的とし、ゲーム進行の中でPCによって繰り返される読上げ時間と判定時間に合わせて接近と静止を繰り返す。読上げ時間1回と判定時間1回を合わせて1ターンとする。判定時間中に動いたとシステムに判定された場合、アウトとなりプレーヤーはゲームから離脱する。ゲームの終了条件およびプレーヤーの勝利条件、コンピュータの勝利条件は以下のとおりである。

- プレーヤーが全員アウトになる：コンピュータの勝利としてゲームを終了
- クリアボタンが押される：プレーヤーの勝利としてゲームを終了
- 20ターンが終了する：プレーヤーとコンピュータが引き分けとしてゲームを終了

3.1 閾値の設定

プレーヤーが動いているかの判定するために用いる判定値 J について、 x 軸の加速度を $AccX$ 、 y 軸の加速度を $AccY$ 、 z 軸の加速度を $AccZ$ とし、現在の3軸加速度の絶対値の和 S_n と1フレーム前の3軸加速度の絶対値の和 S_{n-1} との差分の絶対値とする。判定値を求める式は以下の通りである。

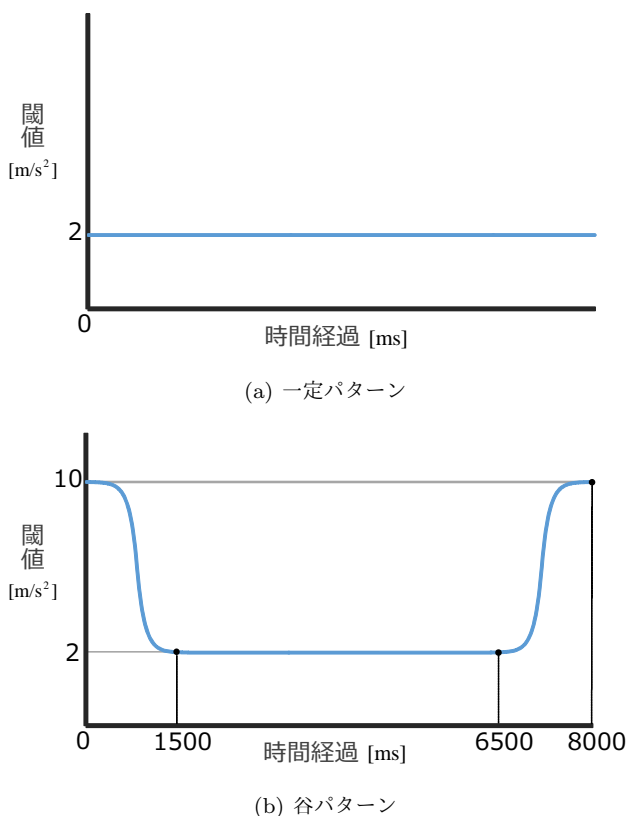


図 3 各パターンにおける閾値の時間変化

$$S_n = |AccX| + |AccY| + |AccZ|$$

$$J = |S_n - S_{n-1}|$$

本研究では、プレイヤーのセーフあるいはアウトを判定するための閾値として 2 種類提案し、以下の簡条書きおよび図 3 を用いて説明する。判定時間は 8000ms とした。さらに、判定時間の始めと終わりはそれぞれ「だるまさんがころんだ」の最後の「だ」と最初の「だ」が読まれる瞬間である。

一定パターン

図 3(a) に示す時間変化のない一定の閾値パターンである。閾値は、重力加速度、呼吸や脈動による腹部の振動、および生理的振戦 [11] などの不随意運動を考慮し、 $2m/s^2$ とした。

谷パターン

図 3(b) のように判定時間開始直後および終了直前の閾値を高く設定した閾値パターンである。判定時間開始直後、時間経過に伴って一定パターンと同じ閾値に収束し、判定時間終了直前に閾値が上昇する。プレイヤーが停止した瞬間は進行方向と逆向きの加速度がかかるため、実際は停止しているように見えても、判定値は大きくなる。また、判定時間終了直前は鬼が次の読上げを始めようとするため、プレイヤーおよび観客の認識する判定終了時刻が曖昧になる。これにより、機械判定の結果がプレイヤーや観客の主観と異なるものになる。したがって、判定開始直前および判定開始直後の

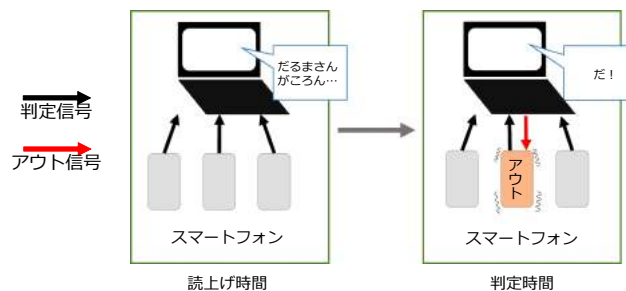


図 4 判定機能におけるスマートフォンと PC 間の通信

閾値を大きく設定することで、この差異が小さくなると思った。本研究では、図 3(b) に示すように、判定開始直後の閾値を $10m/s^2$ とし、開始後から 1500ms 間かけて基準の閾値である $2m/s^2$ へ急激に下降する。また、図 3(b) に示すように、閾値が判定時間の終了の 1500ms 前から終了直前にかけて $10m/s^2$ まで急激に上昇する。

4. 実装

システム設計に基づいて、ゲームを行うためのアプリケーションを実装した。システムは、PC、スマートフォン 3 台、クリアボタンから構成される。スマートフォンは HTC 社の HTV31[12] (サンプリング周波数: 約 60Hz) を 1 台、ASUS 社の Zenfone5[13] (サンプリング周波数: 約 50Hz) を 2 台用いた。PC とスマートフォンの通信方式は UDP 通信とした。図 4 にゲーム中の判定機能における通信の模式図を示す。図 4 に示すように、各スマートフォンは 500ms に 1 回、PC に対してスマートフォンから PC へ加速度の値が閾値を超えたか否かを送信している。判定時間中に閾値を超えたというデータが送信されると該当するスマートフォンにアウトであることを送信する。また、PC は判定時間が開始する瞬間、すなわち「だるまさんがころんだ」の最後の「だ」が提示された瞬間に判定の開始信号を各スマートフォンに一齐に送る。そして、判定時間が終了する瞬間、すなわち「だるまさんがころんだ」の最初の「だ」が提示される瞬間に判定の終了信号を各スマートフォンに一齐に送る。また、ゲーム開始時はゲームの開始信号を各スマートフォンに一齐に送り、ゲーム終了時はゲームの終了信号を各スマートフォンに一齐に送る。スマートフォンはゲームの開始信号を受け取ってから次の判定の開始信号を受け取るまで、および判定の終了信号を受け取ってから判定の開始信号を受け取るまでを読上げ時間として処理を行う。

スマートフォンに実装したアプリケーション

ゲームを行う際のスマートフォン側の画面を図 5 に示す。図 5 に示すように、画面には、PC との通信を開始するボタン、PC から受信した文字列、現在のプレイヤーの状



(a) セーフ時の画面

(b) アウト時の画面

図 5 スマートフォンの画面



図 6 PC 側のシステム

態、検出した加速度のグラフなどが表示されている。開始時は画面全体が青く、“SAFE”と表示されている。プレーヤがアウトと判定された場合、振動によってプレーヤにアウトになったことを通知する。アウトになった際は画面全体が赤くなり、“OUT”と表示される。

PC に実装したアプリケーション

ゲームを行う際の PC 側のシステムを図 6 に示す。画面には各スマートフォンに割り当てられた番号が白色で表示されており、アウトになったプレーヤは赤色で表示される。読上げ時間中、「だるまさんがころん」の文字列が一文字ずつ表示され、同時に日本語でその文字列を読み上げている音声再生される。文字列の表示が終わった直後から判定時間が始まり、判定時間中は画面の色が変わる。判定時間中にアウトになったプレーヤがいた場合、そのスマートフォンの番号とともにアウトであることが表示される。クリアボタンが読上げ時間中に押された場合、ゲームクリアであることが画面に表示される。また、クリアボタンは Arduino nano で制御されており、PC と有線で接続されている。

5. 評価実験

設計したゲームにおいて、機械判定の判定時間開始直後および終了直前の閾値を高めに設定することがユーザの判

定に対する納得度に影響するかを調査するための評価実験を行った。

5.1 実験方法

実験は以下のリアルタイム実験とビデオ実験を行った。

リアルタイム実験

プレーヤは指定されたルートを通り、スタート地点からおよそ 10 m 離れたクリアボタンを押すとゲームクリアとした。実験手順は以下のように行った。

- (1) 被験者を 2 グループに分け、片方のチームをプレーヤ、もう一方のチームを観客とした。
- (2) 一定パターンと谷パターンの 2 種類の判定方法を用いて、それぞれ 5 回ずつゲームを行う。2 種類の閾値の適用順序はランダムである。被験者には現在の閾値パターンについては知らせない。プレーヤおよび観客は 1 ゲーム終了ごとにアンケートに回答した。
- (3) プレーヤチームと観客チームを入れ替えてもう一度 (2) を行う。

先にプレーヤをしたグループを A、後にプレーヤをしたグループを B とする。被験者は、20 代の男性 5 名と女性 1 名で、既存のゲームのだるまさんがころんを行った経験がある。被験者に回答してもらったアンケートは以下の通りである。このアンケート結果を用いて、プレーヤおよび観客が機械の判定に納得しているかどうかを評価する。

- 判定ごとの納得度：プレーヤは自身について、観客はプレーヤ全員に対して、機械の判定に納得できるかを 5 段階評価で、1 はあまり納得できない、5 は納得できたとした。
- 機械判定の厳しさ：5 段階評価で 1 は甘い、5 は厳しいとした。
- 機械判定の結果と主観による判定結果間の差異：5 段階評価で、1 はほぼ同じ、5 はかなり違うとした。

ビデオ実験

観客側の納得度について、より多くの人の意見を集めるため、プレイ中の様子を直接観ていなかった人にプレイ中の様子をビデオカメラで撮影した動画を見てもらい、アンケートに答えてもらった。筆者が、リアルタイム実験の結果から納得度に特徴があった 1 判定分の映像を 14 本選び、被験者に見てもらった。被験者は複数回動画を再生してよいとした。被験者は 20 代の男性 19 名と女性 2 名で、既存のゲームのだるまさんがころんを行った経験がある。被験者に回答してもらったアンケートは以下の通りである。このアンケート結果を用いて、録画映像を通して観客が機械の判定に納得しているかを評価する。

- 判定ごとの納得度：特定の試行に対して、機械の判定に納得できるかを 5 段階評価で、1 はあまり納得できない、5 は納得できたとして判断してもらった。
- 機械判定の厳しさ：5 段階評価で 1 は甘い、5 は厳しい

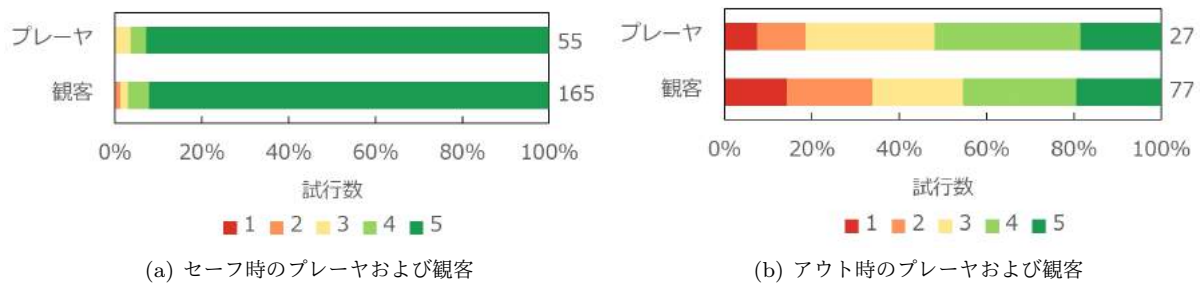


図 7 一定パターンにおけるプレーヤおよび観客の納得度の割合

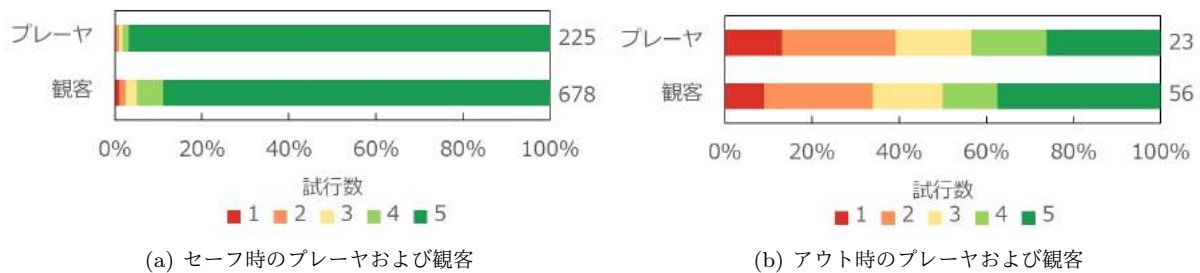


図 8 谷パターンにおけるプレーヤおよび観客の納得度の割合

とした。

- 機械判定の結果と主観による判定結果間の差異: 5段階評価で, 1 はほぼ同じ, 5 はかなり違うとした。

5.2 結果と考察

全ゲームにおける判定ごとの納得度に関する結果を図 7 と図 8 に示す。実験結果より, 判定がアウトとなったのは, 判定時間開始後から判定時間の中間地点までの間のみであった。このことから, 閾値を高めを設定することは判定時間開始直後のみで良いと考えられる。以下閾値パターンごとのプレーヤおよび観客の納得度, プレーヤおよび観客の納得度が低い結果, 閾値パターンごとの機械判定の厳しさ, リアルタイム実験とビデオ実験での観客の納得度について詳細に考察を行う。

5.2.1 閾値パターン間の納得度の差異の評価

一定パターンと谷パターンの違いは, 判定時間開始直後と終了直前の閾値が大きく変化することである。そこで, 谷パターンが納得度の変化に有効であったかを確かめるため, 閾値が大きく変わる時の判定結果の違いに着目し, 以下の 2 つの状況におけるプレーヤおよび観客の納得度を比較した。

- 閾値が一定パターンのとき, 谷パターンだとセーフだが一定パターンであったためアウト
- 閾値が谷パターンのとき, 一定パターンだとアウトだが谷パターンであったためセーフ

まず, 閾値が一定パターンのゲームで, 谷パターンだとセーフだが一定パターンであったためアウトと判定されたターンの納得度について, プレーヤおよび観客の割合を図 9 に示す。閾値が一定パターンのとき, プレーヤが停止す

る反動を考慮していないので, プレーヤおよび観客の納得度は低くなると仮定した。図 9(a) より, グループ A がプレーヤのとき, プレーヤは多くの試行において機械判定に対して納得していないことがわかる。また, 観客は図 9(a) より, 納得度が 1~3 であった試行が多いため, 機械判定に納得していないことがわかる。ビデオ実験において, リアルタイム実験のプレーヤおよび観客の納得度が高いプレイ動画を見た観客の結果 (表 1(a)) を抽出したところ, 多くの人が納得していないことがわかった。動画を見た観客のコメントには, 「止まれているように見える」という回答があった。この試行のとき, リアルタイム実験の観客には納得度が高い人もおり, この差異の理由については今後調査が必要である。図 9(b) より, グループ B がプレーヤのとき, 納得度のばらつきが大きかったため, 仮定からプレーヤの納得度が 4 以上の試行を抽出して筆者が動画を確認したところ, どの試行でも判定時間中に動いていることが明らかであり, また納得度の高いプレーヤは全て同じ人物であった。図 9(b) より, 観客は多くの試行において機械判定に納得していたことが分かる。また, ビデオ実験において, リアルタイム実験の観客の納得度が高いプレイ動画および低いプレイ動画を見た観客の結果 (表 1(b)) を抽出した。リアルタイム実験の観客の納得度が低い動画においては, ビデオ実験の観客の納得度に傾向は見られなかった。しかし, リアルタイム実験の観客の納得度が高い動画においては, ビデオ実験の観客は納得していないことが分かる。ビデオ実験の観客のうち納得度が低い人からのコメントから, 「少し体が揺れているが, 従来のだるまさんがころんだではセーフだとみなす」というコメントがあった。このことからだるまさんがころんだにおいて, 機械による厳密

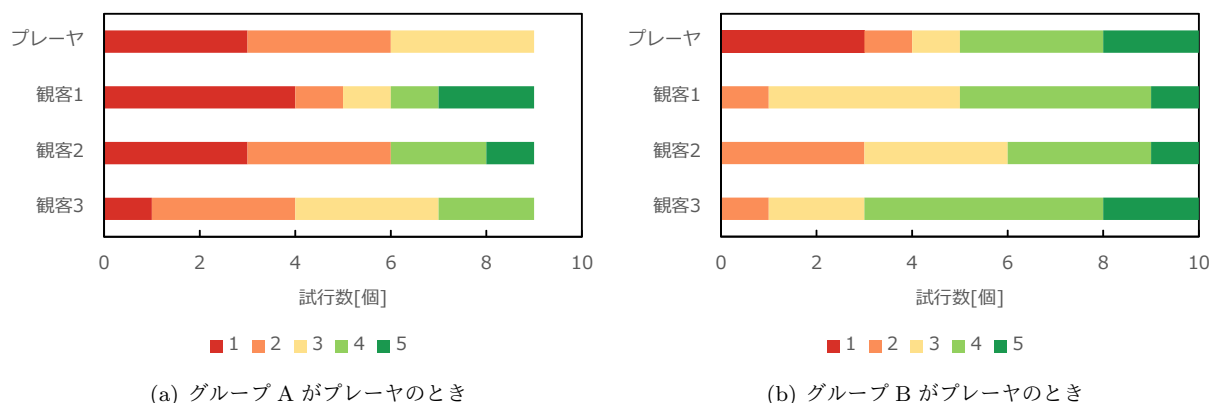


図 9 一定パターンにおいて谷パターンだとセーフ時のプレーヤおよび観客の納得度の分布図

表 1 ビデオを見た観客の納得度 (一定パターン)
(a) グループ A がプレーヤのとき

ゲーム No.	判定結果	納得度																								
		プレーヤ ID	リアルタイム観客 ID				ビデオ観客 ID																			
			2	0	1	2	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
3	アウト	2	4	1	2	1	1	1	1	4	2	1	2	2	2	1	1	2	4	2	5	2	2	2	3	2
5	アウト	3	3	5	2	2	2	1	1	2	2	2	3	3	2	4	3	2	2	2	4	3	1	1	2	4

(b) グループ B がプレーヤのとき

ゲーム No.	判定結果	納得度																								
		プレーヤ ID	リアルタイム観客 ID				ビデオ観客 ID																			
			0	0	1	2	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	アウト	4	2	2	4	4	2	1	2	3	3	3	2	4	5	5	4	2	4	2	1	4	2	4	1	3
6	アウト	5	3	4	5	2	3	1	2	4	2	1	2	2	1	2	2	4	2	4	1	3	1	1	1	2

な判定が納得度と比例しないことが分かる。以上より、閾値が一定パターンのとき、谷パターンだとセーフだが一定パターンであったためアウトという状況では、プレーヤは仮定した通り、閾値が一定パターンであれば、納得度は低くなることがわかった。もし谷パターンであればセーフであったので、納得度は高くなったのではないかと考えられる。しかし、観客は、閾値が一定であるからといって納得度に大きな影響はなく、観客ごとに納得度のばらつきは大きかった。

次に、閾値が谷パターンのゲームで、一定パターンだとアウトだが谷パターンであったためセーフと判定されたターンの納得度についてプレーヤおよび観客の割合を図 10 に示す。閾値が谷パターンのとき、プレーヤが停止する反動を考慮しているので、プレーヤおよび観客の納得度は高くなると仮定した。図 10(a) より、グループ A がプレーヤのとき、プレーヤは多くの試行において機械判定に対して納得していることがわかる。また、観客も多くの試行において機械判定に納得していることがわかる。しかし、納得度のばらつきがが大きかったため、仮定から観客の納得度が 2 以下の試行を抽出したところ、プレーヤは判定時間開始時に止まりきれていなかったり、判定時間開始直後に少し動いていた。ビデオ実験において、リアルタイム実験の観客の納得度が 2 以下の試行を録ったプレイ動画を見た

観客の結果 (表 2) から同様に納得していない傾向がみられた。これは谷パターンの判定時間開始直後の閾値が最適値より大きかったためと考えられる。そのため、判定時間中に静止していないのにセーフと判定されてしまい、観客の納得度が低くなった。この点については判定開始直後の閾値の大きさの改善が必要である。図 10(b) より、グループ B がプレーヤのとき、プレーヤは多くの試行において機械判定に対して納得していることがわかる。また、観客も多くの試行において機械判定に納得していることがわかる。しかし、プレーヤおよび観客の納得度が 2 以下の試行があったので、それらの試行についてどのような場合に納得していないかを検討した。これらの試行はグループ A がプレーヤのときの結果と同様でプレーヤが少し動いていた。表 2 より、ビデオ実験の観客の結果もグループ A がプレーヤのときの結果と同様の傾向がみられた。以上より、閾値が谷パターンのとき、一定パターンだとアウトだが谷パターンであったためセーフという状況では、プレーヤおよび観客は仮定した通り、谷パターンのとき、納得度は高くなることがわかった。プレーヤおよび観客の納得度が低かった試行から、納得度を高めるために谷パターンの判定時間開始直後の閾値を見直す必要があると考えられる。

これら 2 つの状況の結果から、プレーヤの納得度は判定時間開始直後の閾値を高めに設定することで高くなること

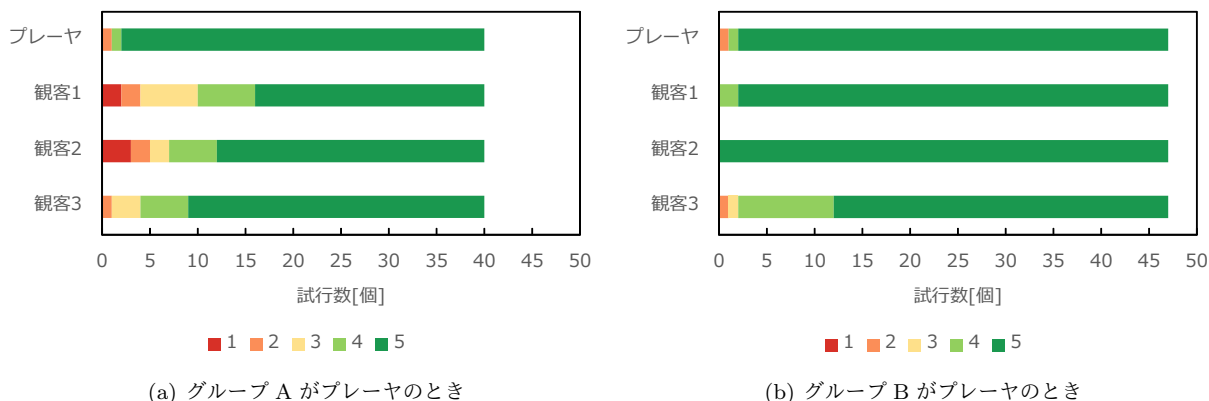


図 10 谷パターンにおいて一定パターンだとアウト時のプレーヤおよび観客の納得度の分布図

表 2 ビデオを見た観客の納得度 (谷パターン)

グループ	ゲーム No.	判定結果	納得度																								
			プレーヤ ID	リアルタイム観客 ID				ビデオ観客 ID																			
			0	0	1	2	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
A	8	セーフ	2	3	1	3	2	1	2	3	2	2	2	2	2	1	2	1	5	2	2	3	1	1	1	1	3
B	5	セーフ	2	5	5	2	4	2	2	4	4	1	2	4	2	4	4	2	2	2	3	1	1	2	1	1	2

がわかった。観客の納得度は谷パターンにおいては高かったが、2つの状況の比較した結果より一定パターンの場合でも納得度が高いことから、観客については、判定時間開始直後の閾値を高めを設定することによる納得度への影響はないと考えられる。

5.2.2 納得度が低い試行に関する評価

本研究では、納得度の高い機械判定システムを備えたゲームの構築を目的としている。そこで、納得度を高めるためにリアルタイム実験で納得度が3未満と低かった試行に着目し、納得できなかった理由を分析した。

まず、プレーヤの納得度が3未満の試行に着目した。特に一定パターンにて納得度が3未満であった試行で多く見られた結果は、判定時間開始直前の静止の反動が原因でアウトと判定された。従来のだるまさんがころんだでは、静止時の加速度はセーフと判定されるため、プレーヤは納得できなかったと考えられるが、これは谷パターンでは考慮できている。また、観客の納得度も同様に低い傾向がみられた。さらに、プレーヤが笑ったり喋ったりした試行では、ほぼ全てがアウトとなり、プレーヤは必ず納得度を2以下としていた。これは動いてはいないのに声を出したことでアウトになったことにプレーヤが納得しなかったと考えられる。しかし、納得度が低く笑ってしまったプレーヤの一部には体が揺れるほど笑っていたプレーヤもいた。この時の観客の納得度は高かったため、今後もアウトとみなすことが良いと考えられる。

次に、観客の納得度が3未満の試行に着目した。特に谷パターンにおいて納得度が3未満であった試行では、実験の様子を見直すとこれらの試行では明らかに動いているプレーヤがいた。これは、判定時間開始直後の閾値が適正な

値より大きかったことが原因と考えられる。そのため、今後閾値の設定を調整する必要がある。また、観客の納得度が3未満と低くても、1名のプレーヤは機械判定がセーフであるとほぼ納得度5をつけていたのでプレーヤの性格により、判定の受け入れやすさに個人差があったと考えられる。

以上より、判定時間開始直後の閾値を高めを設定することで、プレーヤおよび観客の納得度を高めることができるのではないかと考えられる。しかし、判定時間開始直後の閾値が最適な値より大きかったため、体が揺れるなどの明らかに動いているプレーヤがセーフと判定されてしまい、観客に納得してもらえない試行があった。このことから本実験で動いたがセーフであったプレーヤの判定値を参考に、判定時間開始直後の閾値の設定を調整する必要があると考えられる。また、体が動かさずに笑ったり喋ったりした際の判定をセーフと判定するように考慮すべきであると考えられる。

5.2.3 機械判定に対する厳しさの評価

グループ A がプレーヤの時の機械判定に対する厳しさを表3に、グループ B がプレーヤの時の機械判定に対する厳しさを表4に示す。閾値のパターン（一定パターンか谷パターンか）および被験者の立場（プレーヤか観客か）の2要因で分散分析を行った結果、グループ A のプレーヤの試行では、閾値パターンに有意差がみられた ($F(1,5) = 32.46, p < .01$)。しかし、グループ B のプレーヤの試行では、すべての要因について有意差はみられなかった。グループ B の実験の様子をみたところ、グループ B のプレーヤのうち1名は、クリアできなかったゲームの厳しさは全て厳しいと評価し、クリアしたゲームの厳

表 3 機械判定の厳しさ 5 段階評価 (グループ A がプレーヤーのとき)

ゲーム No.	閾値パターン	プレーヤー ID			観客 ID		
		0	1	2	0	1	2
1	谷	3	2	4	3	3	4
2	谷	4	3	4	4	4	3
3	一定	4	4	5	5	5	5
4	谷	1	2	4	2	3	3
5	一定	5	3	4	4	5	4
6	一定	3	5	4	4	3	3
7	一定	3	5	5	3	5	5
8	谷	3	1	4	1	3	2
9	谷	3	3	2	2	2	3
10	一定	5	4	5	3	4	3

表 4 機械判定の厳しさ 5 段階評価 (グループ B がプレーヤーのとき)

ゲーム No.	閾値パターン	プレーヤー ID			観客 ID		
		0	1	2	0	1	2
1	一定	4	4	3	3	4	4
2	谷	4	4	5	4	3	4
3	一定	3	4	3	3	3	4
4	谷	2	4	4	5	3	4
5	谷	2	5	3	3	3	5
6	一定	3	5	3	3	3	4
7	一定	5	5	4	5	4	5
8	一定	5	3	4	2	2	4
9	谷	3	3	5	2	3	4
10	谷	3	2	3	3	2	4

しは甘いと評価していた。3 名中 2 名の観客はプレーヤーがクリアしたゲームの厳しさは厳しいもしくは普通と評価し、クリアしたゲームの厳しさは甘いと回答していた。つまり、このグループの試行では、クリアしたかどうか厳しさを基準だと思われる。以上より、グループ A の結果から一定パターンは、判定時間開始直後の閾値を高め設定した谷パターンより厳しくなる傾向がみられた。しかし、グループ B のようにプレーヤーおよび観客の性格により、厳しさを基準に個人差があることがわかった。

5.2.4 ビデオ実験の納得度に関する評価

実際の会場で観戦した場合と映像を通して観戦した場合で納得度に差異をみるために、ゲームに参加した観客の納得度と、そのプレイの様子を見た観客の納得度に着目した。2 つの納得度に差異が起こったゲームの納得度の割合を図 11 に、そのときのリアルタイム実験の観客の納得度を表 5 に示す。

まず、ゲーム No. アでは、リアルタイム実験の観客のうち 2 名が納得度 4 以上であったが、ビデオ実験の観客の 50% 以上が、納得度 2 以下であった。この試行においてプレーヤーは静止した際に、近くの障害物に手をついて止まった。そのため、見た目は静止できているように見えるが、手をついた反動によってアウトになったと考えられる。したがって、リアルタイム実験の観客およびビデオ実験の観客は見た目が静止できているかどうかによって機械判定に対

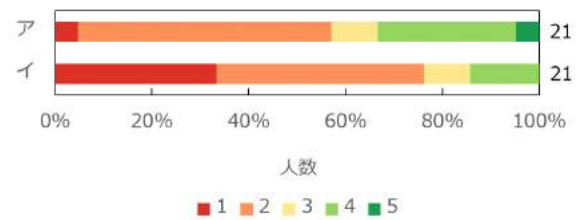


図 11 ビデオ実験における観客の納得度ごとの人数の割合

表 5 リアルタイム実験とビデオ実験の納得度を比較した試行

ゲーム No.	閾値パターン	機械判定	ターン数	プレーヤー ID	観客の納得度		
					ID: 0	ID: 1	ID: 2
ア	谷	アウト	4	2	5	4	3
イ	一定	アウト	3	0	3	4	5

しての納得度を決めたと考えられる。

次にゲーム No. イでは、リアルタイム実験の観客のうち 2 名が納得度 4 以上であったが、ビデオ実験の観客の 70% 以上が、納得度 2 以下であった。この試行において、プレーヤーは静止をする際に少しふらついた。閾値パターンが一定のため、少しのふらつきでもアウトとなってしまった。ビデオ実験において納得度の高い観客のコメントから「見た目でもふらついているのがわかった」というコメントもあったり、厳密な判定を求める人にとって、少しのふらつきはアウトとみなされると考えられる。しかし、この試行に対して納得度が低いビデオ実験の観客のコメントに「少し体が揺れているが、一般的なだるまさんがころんだにおいてはセーフとみなされる」というものがあった。このことから、この試行のような体のふらつきに対して判定をセーフとみなしたと考えられる。したがって、プレーヤーが静止した際に少しふらついた事に対して、リアルタイム実験の観客は納得する人が多かったが、ビデオ実験の観客は納得しない人が多く、ふらつきをセーフとみなしたと考えられる。

以上より、リアルタイム実験とビデオ実験の観客に差異はあったが、観客が判定を行うための基準に個人差があったため発生した差異だと考えられる。しかし、リアルタイム実験の観客が 3 名しかいないため一概に確かとは言い切れない。リアルタイム実験とビデオ実験での納得度の差異を評価するため、リアルタイム実験での観客を増やして、再実験する必要があると考えられる。

5.3 実験のまとめ

閾値パターン間の納得度の比較より、判定時間開始直後の閾値を高め設定することで、プレーヤーは機械判定の結果に対して納得しやすいことがわかった。しかし、観客の納得度には影響がみられなかった。このことから、判定時間開始直後の閾値を高め設定することは納得度を高めるための要素として機械判定システムに取り入れるべきだが、それだけでは観客の納得度は高くならないので、観客の納



図 12 イベントでのプレイの様子

得度を高める要素を検討する必要がある。さらに、観客の納得度が低い結果から、今回設定した判定時間開始直後の閾値が適切な値より大きいと考えられ、調整する必要があることがわかった。最後に、動いていないのに笑ったり喋ったりすることでアウトになる結果から、競技中に笑ったり喋ったりすることは自然なことなので、動かずに笑ったり喋ったりした時の判定をセーフにしたほうがプレーヤにも観客にも納得されるということがわかった。

6. 運用

神戸市で開催されたイベントにて、提案ゲームを実際に運用した(図 12)。イベント期間は2日間で、システムは各日3時間安定して稼働した。1日目は10名程度、2日目は20名を超える参加者に体験してもらった。実験同様に、閾値は一定パターンと谷パターンを用意して、2ゲーム体験してもらった。参加者から「楽しかった。」、「ぜひまたやりたい。」、「判定が厳しい。」などのコメントをいただいた。今後はこのような一般のイベントにおいて、参加者が判定に納得しているかを調査しつつ、システムの判定の改善を行っていく予定である。

7. まとめ

本研究では、ユーザが納得できる判定を行う機械判定システムの構築を目的としてだるまさんがころんだをベースにした機械判定を用いたゲームを提案した。プレーヤが動きを停止した時の反動とプレーヤおよび観客の判定時間終了時刻の曖昧さを考慮した閾値を設け、納得度を基準として評価実験から改善点を分析した。評価実験の結果、判定時間開始直後の閾値を高めに設定するとしめないの間で、機械の判定とユーザの主観による判定との違いがみられ判定時間開始直後の閾値を高めに設定することでプレーヤの納得度が変化することがわかった。

今後の課題として、判定時間開始直後の閾値の大きさを調整し直すことが挙げられる。また、笑ったり喋ったりしたときのアウト判定を最考すべきで、これらについては、センサの装着部位も合わせて検討する。さらに、競技において本質的でない動きに対する人間の判定基準の厳密さを調査する。また、閾値の変化など判定方法によるアプロー

チだけではなく、アウトになったプレーヤへの情報提示の手法など、判定の提示の方法を変えた場合に納得度に影響があるかどうかを調査する。

謝辞 本研究の一部は、JST CREST(JPMJCR16E1) および JST さきがけ(JPMJPR15D4) の支援によるものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] Automated tennis line calling system: <https://www.google.com/patents/US5908361>.
- [2] 辛 貞殷, 小沢慎治: 動画像処理によるスポーツ運動解析の研究 —鉄棒競技の自動採点システムに向けて—, 電子情報通信学会技術研究報告. PRMU, パターン認識・メディア理解, Vol. 108, No. 46, pp. 13–18 (May 2008).
- [3] 小沢慎治, 小塚一宏, 斉藤英雄: 演技スポーツにおける画像処理による動作解析～自動採点を目指して～, 科学研究費助成事業研究報告書 (June 2012).
- [4] R. J. N. Helmera, A. G. Hahn, L. M. Staynesa, R. J. Denninga, A. Krajewskia, and I. Blanchonettea: Design and Development of Interactive Textiles for Impact Detection and Use with an Automated Boxing Scoring System, *Procedia Engineering*, Vol. 2, No. 2, pp. 3065–3070 (Mar. 2010).
- [5] B. Bal and G. Dureja: Hawk Eye: A Logical Innovative Technology Use in Sports for Effective Decision Making, *Sport Science Review*, Vol. 21, Issue 1-2, pp. 107–119 (Apr. 2012).
- [6] H. Collins and R. Evans: You cannot be serious! Public understanding of technology with special reference to “Hawk-Eye”, *Public Understanding of Science*, Vol. 17, No. 3, pp. 283–308 (July 2008).
- [7] GoalRef: <http://www.iis.fraunhofer.de/en/ff/kom/proj/goalref.html>.
- [8] 山内正毅, 中山雅雄, 篠原隆俊: バasketボールにおける審判の眼球運動, 長崎大学教育学部教育科学研究報告, Vol. 38, pp. 39–45 (May 1990).
- [9] 小林久幸, 川合 悟: サッカー試合の国際主審及びボールの移動距離に関する研究, 帝塚山短期大学紀要. 人文・社会科学編・自然科学編, Vol. 33, pp. 154–165 (Oct. 1996).
- [10] H. Collins: The Philosophy of Umpiring and the Introduction of Decision-Aid Technology, *Journal of the Philosophy of Sport*, Vol. 37, Issue 2, pp. 135–146 (Jan. 2012).
- [11] 福本一朗: 生理的振戦のシミュレーション的研究, 電子情報通信学会技術研究報告. MBE, ME とバイオサイバネティクス, Vol. 93, No. 356, pp. 7–14 (Nov. 1993).
- [12] HTC, HTV31: <http://www.htc.com/jp/smartphones/htv31/>.
- [13] ASUS, Zenfone5: https://www.asus.com/jp/Phone/ZenFone_5_A500KL/.