

スポーツシミュレータによるコモンセンス知の発掘手法

A Method for Discovering Commonsense Knowledge by Sport Simulators

奥野 哲也*1

Tetsuya OKUNO

久嶋 菜摘*1

Natsumi KUSHIMA

坂根 裕*2

Yutaka SAKANE

竹林 洋一*1

Yoichi TAKEBAYASHI

*1 静岡大学

Shizuoka University

*2 デジタルセンセーション株式会社

Digital Sensation Co., Ltd.

We have developed a method to discover commonsense knowledge concerning sport skills including judo and tennis by using sport simulators. The simulators output all data such as human thinking processes, behavioral consequences and external situations in the virtual world. Experimental results of analyses of simulation results suggest that our method enables to discover some commonsense knowledge. Our method can enrich the commonsense knowledge on various sport skills by using flexible simulators.

1. はじめに

スポーツ競技におけるコモンセンス知は、選手の動き方や状況把握、戦略立案など、さまざまな粒度の要素が複雑に関係している。動きや状況などの物理的側面と比較すると、状況把握や戦略立案などは脳内で処理されるため容易に抽出できず、コモンセンス知を画一的な構造で表現・処理することを困難にしている。

そこで、コンピュータ上で人間の心的要素を含む仮想世界全体をシミュレートすることで、コモンセンス知を発掘する手法を提案する。仮想空間上に構築した人間の思考と行動をシミュレートし、思考プロセスや行動結果、外界状況などの仮想世界を構成する全ての要素をデータとして出力する。

格闘技とテニスを題材に2つのシミュレータを試作し、実行結果を分析した結果、提案手法がコモンセンス知の発掘手法の一つとなる見通しを得た。従来の手法と有機的に組み合わせることで、これらの手法を相補的に活用でき、コモンセンス知の効率的な構築を目指す。

2. コモンセンス知の発掘のためのアプローチ

2.1 従来のアプローチ

コモンセンス知の主な発見手法には、(1) 観察による発見手法、(2) センシングとデータマイニングによる発見手法などがある [1, 2, 3]。 (1)、(2) ともに、物理的側面の解析を中心にコモンセンス知の抽出と構築を試みるものが多い。

(1) は、人間の行動や感情の変化などを目視観察し、行動や思考構造の仮説を立てる過程で、コモンセンス知の抽出・構築を試みる。目視観察は、膨大な情報から仮説構築のための「当たり」をつけやすく早期段階での仮説検証が可能になる。一方で、観察結果は観察者の主観に依存して変化するため、観察結果の主観性の排除が課題である。

(2) は、人間の行動や感情の変化などを物理センサから獲得した情報をもとに分析し、コモンセンス知の抽出・構築を試みる。センサ情報は主観依存しないため、実証的なデータに基づいた仮説検証が可能になる。しかし、人間の思考プロセスや思考内容、主観的体験などは脳内で処理されるため観測が難しく、コモンセンス知の抽出を困難にしている。

2.2 コンピュータシミュレーションによるアプローチ

本稿では、従来の手法と相補的に活用可能なコンピュータシミュレーションによるコモンセンス知の発掘手法を提案する。提案手法は、仮想的な人間と世界をコンピュータ上に構築し、人間の心的要素を含む仮想世界全体をシミュレートする。人間の主観的な思考をプログラム記述した思考プログラムを実行することで、人間の思考と行動をシミュレートし、思考プロセスや行動結果、外界状況など、仮想世界を構成する全ての要素をデータ出力する。

コモンセンス知は、人間の思考や経験などが複雑に関係しているため、画一的な構造で表現・構築することは困難である。提案手法は、仮想世界のデータをもとに、コモンセンス知を内包、または欠損している箇所「当たり」をつけ、シミュレータ上で仮説検証を実施することによって、コモンセンス知の発掘を目指す。

人間の思考をシミュレートするためには、コンピュータ上で人間の思考構造を表現するためのモデル(思考モデル)が必要となる。しかし、人間の思考の構造やメカニズムは完全には解明されていないため、思考構造の仮説を立て、仮説検証を繰り返し実施することで段階的に思考モデルを構築する。出力結果の妥当性を検証することは難しいため、より実世界に近い出力結果を得るためのモデル構築が課題となる。

表1に提案手法と従来の手法の特徴と課題を示す。提案手法は、従来の手法と有機的に組み合わせることで、これらの手法を相補的に活用でき、コモンセンス知の効率的な構築を目指す。

3. 主観の思考モデルによるシミュレーション

3.1 主観の思考モデル

まず、人間の思考構造を模した単純な思考モデルとして、センサ、メモリ、アクチュエータから成る主観の思考モデル [4] を用いて、人間の主観的な思考がシミュレート可能であるか検証した。

図1に、主観の思考モデルの機能構成を示す。特徴は、思考プログラムの実行環境が外界から独立していることである。思考プログラムでは、外界情報を直接参照したり更新することはできない。外界情報は、人が持つセンサ群を通して取得でき、アクチュエータ群を通して操作できる。

また、センサ群からの情報取得、アクチュエータへの行動指

表 1: 提案手法と従来の手法の特徴と課題

手法	分析対象	特徴	課題
(1) 観察	目視観察可能な実世界の事象	早期段階での仮説構築	観察結果の主観性排除
(2) センシング	計器観測可能な実世界の事象	実証的なデータに基づいた仮説検証	観測困難な事象へのアプローチ
(3) シミュレーション	仮想世界で生じる全事象	仮想のデータに基づいた仮説検証	出力結果のリアリティの追求

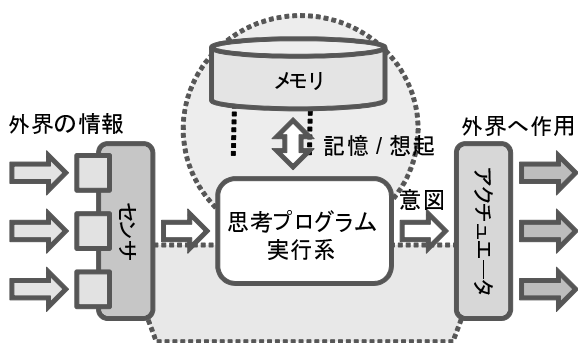


図 1: 主観的思考モデル

```
public override void Think( CSensors sensors,
                          CMemory memory,
                          CActuators actuators )
{
    // 「思考過程」をsensors, memory, actuatorsを利用して実装
}
```

図 2: 思考を記述する Think 関数 (文法は C#)

示, 情報の記憶や想起は, 必ずしも正しく実行されるとは限らない. これにより, 取得した情報に誤りが含まれたり, 意図に行動が伴わなかったりするなど, より実世界に近い思考と行動を実現する.

3.2 思考プログラミングモデル

図 2 に, 思考プロセスを記述する Think 関数の構造を示す. Think 関数では「センサ」「メモリ」「アクチュエータ」への参照が引数として与えられ, これらの情報を利用して思考内容を記述する.

外界の情報は sensors, これまでに記憶した情報は memory から得ることができ, 行動意図を actuators に通知することで思考を進める. Think 関数は, 一定時間 (ターン) 毎に呼び出され実行される.

あるターン t で, 意図した行動が正しく実行できたかどうかは, ターン t+1 の sensors の情報をもとに判断する. これにより「思ったより動けてない」や「息が上がっている. 疲れているのか」といった内省表現が可能になる.

3.3 思考プログラムの実行環境

思考プログラムの実行環境は, より実世界の思考と行動に近い実行結果を得るために, 以下の 2 つの特徴を持つ.

1. 心的要素を含む身体状態を内包し, その内部状態に応じてセンサ, メモリ, アクチュエータの性能に影響を与える.

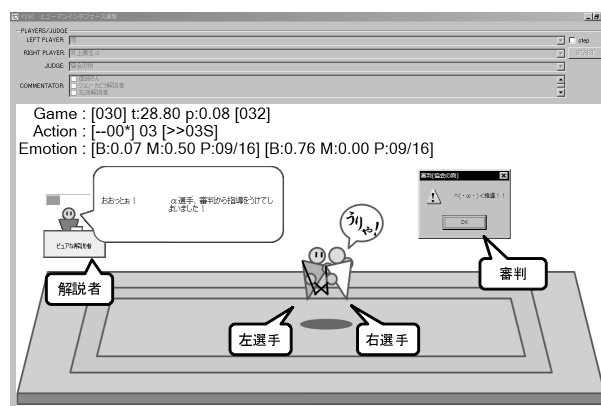


図 3: 武道シミュレータ

2. 単位時間当たりの思考量を制限し, 思考が纏まらないときは混乱する「パニック状態」を引き起こす.

特徴 1 は, 「疲れていて気付かない」, 「緊張して細やかな動きができない」といった状況や個体差を演出する. 特徴 2 は, 思考が無限ループに陥ることを防ぎ, 思考リソースが有限であることを意識させる効果がある. これらの特徴は, 思考における処理対象の優先度を変更したり, 同じ失敗を繰り返さないための内省の機会をもたらす.

3.4 武道シミュレータ

主観的思考モデルによるシミュレーションが, 人間の主観的な思考をシミュレートする方法として有効であるか検証するために, 競技ルールを単純化した格闘技を題材として武道シミュレータを試作した. 図 3 にシミュレータの実行画面を示す.

武道シミュレータでは「選手」「審判」「解説者」の思考プロセスをプログラム記述し, 思考と行動をシミュレートする. また, 画面中央に試合状況と対戦中の選手の行動, 内部状態 (身体的ストレス, 精神的ストレス, 思考リソース残量) を可視化している.

競技ルールは, 相手を押したり引いたりしながら, 相手の力を利用して投げるか, 相手の投げを返せば勝利となる. 試合時間が終了すると, 審判の判定となり, 積極性や反則数などを考慮して勝敗が決まる. そのため, 選手は, 審判の評価を意識した試合運びを念頭に置いて戦略を立案する必要がある. また, 解説者は, 選手の行動結果と審判の判定結果をもとに試合状況について解説する.

図 4 に選手の思考プログラムの記述例を示す. この例は「自分が場外に追い詰められたとき, 相手は投げ技を狙ってくると予想して, 相手の力を利用して投げ返す」という思考を表現したものであり, ある思考プログラムの一部分となっている.

武道シミュレータの試作とシミュレーション結果の分析を通じて, 以下のことがわかった.

```
// 場外ギリギリのところまで勝負！
if ( pos > 0.8 )
{
    pa = PlayerAction.Action_Throw;
    dp = 5;
    // もし押し合いになったら引いて投げる
    if ( oa.Power >= 10 )
    {
        dp = -5;
    }
}
```

図 4: 選手の思考プログラムの記述例

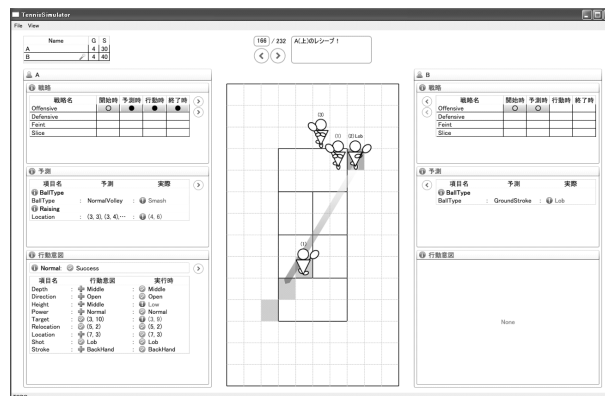


図 5: テニスシミュレータ

- 人間の主観的な思考はプログラムによって表現可能
- 主観の思考モデルによるシミュレーションは、人間の思考プロセスをシミュレートする方法論として有効

また、以下が課題となった。

- 個体差や個人特性などの多様性を表現する思考モデルの構築（同一の思考プログラムを実行するとほぼ同じ行動結果となる）
- 実際の思考と思考プログラムを相互変換可能なプログラミングモデルの構築（思考プログラムから実際の思考内容の復元は困難であった）

思考プログラムは人間の思考内容をプログラムコードに変換したものであるため、思考内容とコードが相互に変換可能であることが望ましい。より実世界に近い人間の思考をシミュレートするために、プログラミングモデルの表現力が重要となる。Storytelling Alice[5]、KidSim[6]、ToonTalk[7]などの研究アプローチのように、言語表現として必要な要件を洗い出し、プログラム作成者が思考プロセスを違和感なく直感的にコーディングできるプログラミングモデルを構築する必要がある。

4. 戦略・予測モデルによるシミュレーション

4.1 戦略決定モデルと予測モデル

主観の思考モデルで課題となった多様性の問題を低減するために、(1) 戦略決定モデル、(2) 予測モデルを新たに導入した[8]。

人間は目標を達成するために、複数の戦略をもち、目標や状況に応じて戦略を切り替えながら物事を進めている。このような戦略の決定プロセスを(1)によって表現し、実行する思考プログラムを動的に切り替える仕組みを実現する。

また、人間は将来起こりそうな状況を予測しながら行動している。予測とその結果（外界状況）に応じて、個の内部から思考や行動結果に干渉する仕組みを(2)によって実現する。

4.2 テニスシミュレータ

(1)、(2)のモデルによってシミュレーション結果に多様性が生まれるか検証するために、競技モデルを単純化したテニスを題材としてテニスシミュレータを試作した。図5にシミュレータの実行画面を示す。

テニスシミュレータでは、競技中の選手の「戦略の切り替え」「ボールの予測」「行動意図の決定」に関する思考をシミュレートし、選手の状態や行動結果、競技状況とともに思考内容を可視化する。

```
//相手のサーブのスピードが速いときはDefensiveにShift
//その他の場合は、自分から攻めることもできるので、主戦略を維持
var speed = perceptor.BallInfo.NormalPoint.Speed;
if (speed == Speed.Fast)
{
    strategy.Shift("Defensive");
}
else
{
    strategy.Keep();
}
```

図 6: テニス選手の思考プログラムの記述例

図6に選手の思考プログラムの記述例を示す。この例は「相手のサーブボールのスピードが速い場合は自身の戦略を守備型に切り替え、そうでない場合は主戦略（攻撃型）を維持する」という思考を表現したものであり、ある思考プログラムの一部分となっている。

シミュレーション結果を複数のテニス経験者によって評価した結果、シミュレーション結果の8割以上が実世界のテニスでも起こりうる「テニスらしい結果」であることが認められた。また、シミュレーション結果が実際のテニスで用いる戦略として参考になったという意見も少数ながら得ることができた。

テニスシミュレータの試作とシミュレーション結果の評価を通じて、以下のことがわかった。

- 戦略と予測のモデルによって、競技状況に応じて思考や行動結果が多様に変化
- コンピュータシミュレーションによって、従来扱うことのできなかった「思考」に踏み込んだ戦略・戦術の分析が実現
- 思考内容と行動結果、競技状況を可視化することで、試作した思考構造のモデルの仮説検証が実施可能
- モデル構築・シミュレータ試作・仮説検証のサイクルは、より実世界に近い人間の思考をシミュレートする方法論として有効

また、以下が課題となった。

- 選手の個人特性を表現する思考モデルの構築（戦略と予測のモデルでは、選手の個人特性を十分に表現できなかった）

- 思考プロセスの可視化方法の実現（思考内容は可視化できたが、選手が辿った思考の経路は表現できなかった）

4.3 シミュレーションによるコモンセンス知の発掘

シミュレーション結果の評価によって、テニス選手が戦略を立案する際には以下のような共通認識があることが明らかになった。

- 自分はボレーが得意であり、相手はバックハンドが苦手でクロスに打つことが多い場合、自分は相手のバックサイドにアプローチを打ってクロス寄りに構えるべき
- 相手は左右に走るのには得意であるが前後に走るのには苦手である場合、自分はドロップショットでネット際にボールを落とすべき

自分と相手の弱点・癖・強みを分析し、自分の優位な試合運びをすることは勝ち負けを競うスポーツ競技においては常識であるが、上級者ほどあまり意識しないで行う傾向が見られた。

このように、仮想世界のデータをもとに、コモンセンス知を内包、または欠損している箇所の「当たり」をつけることで、コモンセンス知を発掘するための手がかりを得ることができる。また、実際に発掘したコモンセンス知を導入し、シミュレーションによる仮説検証を再度実施することで、実証的なデータに基づいたコモンセンス知の構築が可能となる。

5. 結論

人間の思考と行動をコンピュータでシミュレートする提案手法は、今まで気付かなかったコモンセンス知の発掘に繋がる。人間の心的要素を含む仮想世界の全ての要素をデータ出力することで、コモンセンス知の発見の手がかりを得ることができる。さらに、仮説として構築したコモンセンス知をシミュレータに導入し、シミュレーションによる仮説検証を再度実施することで、データに基づいた実証的なコモンセンス知の構築を実現する。これにより、提案手法はコモンセンス知の発掘手法の一つとなる見通しを得た。

提案手法を観察やセンシングなどの観測・分析による知識発掘手法と有機的に組み合わせて実行することによって、これらの手法を相補的に活用でき、コモンセンス知の効率的な構築を実現できると考える。

また、試作した思考構造のモデルは簡素であるため、より実世界に近い思考をシミュレートするためにモデルの詳細化・具体化が課題となる一方で、スポーツの分野だけでなく他の分野にも応用可能なモデルの構築（抽象化）も課題である。アプローチとして、脳科学研究で実証された成果や有力な仮説をはじめ、Panalogy や Credit-Assignment の理論 [9] に代表される思考モデルの一部を機能モジュールとして組み込み、シミュレーションによるモデルの仮説検証と改修を進める。

謝辞

本研究開発の一部は、科学研究費補助金挑戦的萌芽研究 (21650161) の支援を受けた。また、静岡大学硬式庭球部の皆様からは実験データ収集にご協力いただいた。記して謝意を表す。

参考文献

- [1] 高木靖浩, 堀聡, 松浦哲也, 瀧寛和: “Motion Study を利用した保守作業の知識獲得,” 電気学会電子・情報・システム部門大会講演論文集, pp 688-691 (2002).

- [2] 大谷尚史, 山本剛, 仲川淳, ルースカヘイキ, 桐山伸也, 坂根裕, 竹林洋一: “幼児行動観察からのコモンセンス知識抽出の検討,” 第 19 回人工知能学会全国大会論文集, 1F2-1 (2007).
- [3] 多田昌裕, 大村廉, 岡田昌也, 納谷太, 野間春生, 鳥山朋二, 小暮潔: “加速度センサを用いた行動計測に基づく運動動作解析手法,” インタラクション 2007 論文集, pp.231-238(2007).
- [4] 坂根裕, 奥野哲也, 久嶋菜摘, 竹林洋一: “スポーツ学習支援のためのプレイヤー主観の思考プログラミング環境,” 教育情報システム学会第 34 回全国大会論文集, pp.224-225 (2009).
- [5] Caitlin Kelleher, Randy Pausch: “Lessons Learned from Designing a Programming System to Support Middle School Girls Creating Animated Stories,” Visual Languages and Human-Centric Computing (VL/HCC'06), pp.165-172 (2006).
- [6] David Canfield Smith, Allen Cypher, Jim Spohrer: “KidSim: programming agents without a programming language,” Communications of the ACM, Vol. 37, No. 7, ACM Press, pp.54-67 (1994).
- [7] Ken Kahn: “ToonTalk: An Animated Programming Environment for Children,” Journal of Visual Languages & Computing, Volume 7, Number 2, Academic Press, pp.197-217 (1996).
- [8] 久嶋菜摘, 奥野哲也, 坂根裕, 竹林洋一: “テニス選手の戦略・戦術思考を可視化するスポーツシミュレータの開発,” 情報処理学会創立 50 周年記念第 72 回全国大会講演論文集, pp.“4-893”-“4-894” (2010).
- [9] Marvin Minsky: “The Emotion Machine: Common-sense Thinking, Artificial Intelligence, and the Future of the Human Mind,” Simon & Schuster, Chapter 8 (2006).