

テトリス®の技能向上を目指した HOLD使用傾向の基礎的分析

梶並 知記^{1,a)} 松村 瞬² 辻 裕之^{2,b)}

受付日 2016年12月21日, 採録日 2017年7月4日

概要: 本稿では, テトリス®のプレイにおける, HOLD機能の使用傾向について4つの観点から分析した結果を報告する. テトリス®は, 盤面上方から落下してくる4つの正方形を組み合わせたテトリミノと呼ばれる7種類のブロックを用いてプレイするパズルゲームである. プレイヤは, 落下中のテトリミノに回転操作を加えて横1ライン隙間なく埋め, そのラインを消す. テトリス®には, 落下中のテトリミノを, 後で使うために一時的に保持するHOLD機能を備えている. 従来, テトリス®を対象にした研究には, AIを用いた自動プレイに関するものや, テトリス®が人間に与える影響に関するものがある. それらの従来研究に対し, 本研究は, 人間であるプレイヤのテトリス®のプレイ技能向上を長期目標とした研究の1ステップである. 本稿では, テトリス®のプレイヤをプレイ技能に応じて熟練者と非熟練者の2つに分類し, プレイヤのプレイ技能に応じてHOLD機能の使用傾向について分析する. Tetris Online Polandから操作ログファイルを収集し, (1) HOLD機能を使用する頻度, (2) HOLDするテトリミノの種類, (3) HOLDするテトリミノの順序, (4) HOLDミスの頻度が, プレイ技能に応じて異なることを示す.

キーワード: テトリス®, プレイログ分析, プレイ技能分析

Basic Analysis of Usage Trend of HOLD for Improving Play Skill in Tetris

TOMOKI KAJINAMI^{1,a)} SYUNN MATSUMURA² HIROYUKI TSUJI^{2,b)}

Received: December 21, 2016, Accepted: July 4, 2017

Abstract: Tetris is a puzzle game played using seven kinds of blocks called Tetriminos, which are a combination of four squares falling from above onto the board surface. The player performs a turning operation on the falling Tetrimino, such that a horizontal line of ten square is created without gaps, which then disappears. Tetris has a HOLD function that stores a falling Tetrimino in the Hold Queue for later use. Previous studies have attempted to improve the AI's performance for automated Tetris play and have investigated the influence of Tetris on humans. This paper reports on the analysis of usage trends of the HOLD function in Tetris from four perspectives. In contrast with previous studies, the long-term objective of our work is to improve the player skill of Tetris. This research is first step in that direction. In this work, Tetris' players are classified into experts and non-expert players based on their skill. We extract the operation log files from the Tetris Online Poland and show the usage trend of the HOLD function from the following four perspectives: (1) use frequency of HOLD function, (2) type of Tetrimino to HOLD, (3) order of Tetrimino to HOLD, and (4) frequency of HOLD misses.

Keywords: Tetris, play log analysis, play skill analysis

¹ 岡山理科大学
Okayama University of Science, Okayama 700-0005, Japan
² 神奈川工科大学
Kanagawa Institute of Technology, Atsugi, Kanagawa 243-0292, Japan
^{a)} kajinami@mis.ous.ac.jp
^{b)} tsuji@ic.kanagawa-it.ac.jp

1. はじめに

本稿では, テトリス®のプレイにおける, HOLDの使用傾向について分析した結果を報告する.

我々の研究の将来ビジョンは, プレイヤがテトリス®を

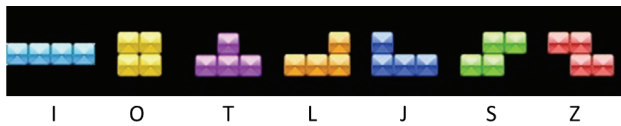


図 1 テトリミノ一覧
Fig. 1 Tetriminos.

よりうまく（そして楽しく）プレイできるようになるためのプレイ技能向上支援であるが、本稿はその最初のステップに位置づけられる。

テトリス®とは、1984年にロシアの科学者アレクセイ・パジトノフが開発した落ち物パズルゲームである。

テトリス®では、4つの正方形を組み合わせたテトリミノ（以下ミノと表記する）と呼ばれる7種類のブロックを用いる。図1に、7種類のブロックを示す。図の左から、「Iミノ」「Oミノ」「Tミノ」「Lミノ」「Jミノ」「Sミノ」「Zミノ」と呼ぶ。テトリス®の基本的なルールは、縦20×横10マスの盤面に、上方から1つずつ落下してくるミノに1名のプレイヤーが任意の回転操作を加え、横1ライン隙間なく埋めると、そのラインが消えるというルールである。しかし、パジトノフは詳細なルールを定義しなかったため、様々な派生ルールや操作感を持つテトリス®が開発された。

近年では、TwitterといったSNSツールと連携したり、モーションキャプチャの技術と連携したりしたテトリス® [5]も提案されており、時代に応じた進化をしている。また、通常は1人のプレイヤーがプレイするゲームであるが、複数人でプレイするテトリス®も存在し、協調的なプレイに関する研究も行われている [8]。

様々な派生ルールを持つテトリス®が開発されているが、ルールの統一を目的として、2002年には、ザ・テトリス・カンパニーによって、テトリス®のルールのガイドラインが制定されている。

代表的なルールは、「マラソン」と「タイムアタック」の2種類である。本稿ではこれらのルール、特にタイムアタックを主な議論の対象とする。

マラソン 200ライン消すまでの得点を競うルールである。

プレイヤーは、ラインを消すごとに得点を取得できるが、1ラインごとに消すより、まとめて複数（最大4）のラインを消すことにより、効率的に得点を取得できる。

タイムアタック 40ライン消すまでのタイムを競うルールである。マラソンと異なり、ラインの消し方（1ライン消すか複数消すか）による得点の差は、タイムを競ううえで無関係である*1。

*1 厳密には、ラインの消し方によって、ラインを消すときのエフェクト発生中（ラインクリアスピード）の操作不能時間分のロスが生まれるため、4ラインずつ消すことが望ましい。しかしながら、4ラインまとめて消すためにミノを積み上げる段階においてIミノを使える数が減る（15回前後しか落ちてこないIミノを40ライン消すために10回使うとすると、ミノを積むときには5回前後しか使えない）というデメリットもあるため、4列消しを狙うプレイヤーは少ない。

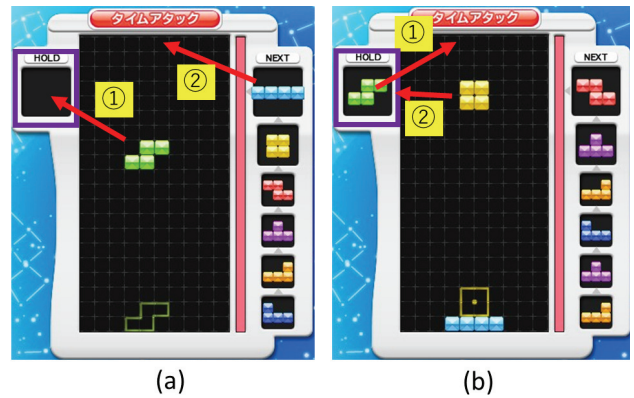


図 2 HOLD の例

Fig. 2 Example of HOLD.

また、ルールのガイドライン制定以降、HOLD機能の実装されたゲームソフトが激増している。HOLDとは、「Store a falling Tetrimino in the Hold Queue for later use.」[11]、つまり、「保留待ち行列に落下中のテトリミノを後で使うために保管する」ということである。プレイ中の任意の状況においてHOLDを使用するプレイヤーには、その場の一時凌ぎで不要なミノを入れる意図と、あとで使うことを想定し計画的にミノを入れるといった異なる意図があると考ええる。また、これらの意図はテトリス®のプレイ技能に関連し、HOLDの使用傾向に違いが存在すると想定する。

図2(a)は初めてHOLD機能を使用する例である。図中の盤面にあるSミノを、左上のHOLDエリア（図中、矩形で囲った）ところへ移動でき（図中①）、その後にIミノが盤面に移動する（図中②）。図2(b)は2回目以降HOLD機能を使用する例である。図ではすでにHOLDエリアにSミノが入っており、Sミノが盤面に移動（図中①）する代わりに、盤面のOミノがHOLDエリアへ移動する（図中②）。

タイムアタックにおける理論値は、プレイヤーの思考時間を0とし、テトリス®ソフトへのミノ操作入力から、入力に応じた結果出力までの演算時間のみのプレイ時間である。最速理論値は、テトリス®ソフトへのミノ操作入力の回数（以後、単に操作量と呼ぶ）を最少にした場合の理論値である。したがって、タイムアタックにおいて最速理論値を出すためには、プレイヤーが操作量を減らし、理想的にはHOLD機能の使用回数が0回であることが望ましい。しかしながら、ランキング上位者など、うまいといわれるプレイヤーの多くはHOLD機能を頻繁に使用しているため、本稿では、HOLD機能の利用には操作量が増加するデメリット以上のメリットがあると仮定し、HOLD機能の活用法に着目して議論する。HOLD機能に着目するのは、プレイヤーの使用意図が複数ある機能であり、プレイヤーの技能に応じた使用傾向の差が表出しやすいと考えるからである。

本稿では、テトリス®のプレイヤーを非熟練者と熟練者

に分類し、『Tetris Online Poland』*2におけるプレイログデータから、HOLD 機能の使用回数や、どのようなミノが HOLD されやすいかといった内訳を調査する。具体的に、(1) HOLD 機能を使用する頻度、(2) HOLD するミノの種類、(3) HOLD するミノの順序、(4) HOLD ミスの頻度、の4点に関して分析する。結果、非熟練者と熟練者には、HOLD 機能の使用傾向に差があることを示す。

本稿では、HOLD 機能の使用傾向に差があることを示すのみで、盤面の状態やクリアまでに消す必要のあるライン数、プレイ開始からの経過時間などの、プレイヤーの技能に応じて異なると考える「(プレイ中のある状況における) HOLD 機能の使用意図」を明らかにするわけではない。これらは、HOLD を活用すれば技能が向上するといった因果関係を明らかにすることと並び、研究の次のステップである。

本稿の構成は、以下のとおりである。2章で、関連研究について述べ、本稿の位置づけを明確にする。3章で、本稿で定義するテトリス®の非熟練者と熟練者について述べ、4章で、データ収集の方法を示し、5章で、データ分析と議論を行う。

2. 関連研究

2.1 プレイの自動化に関する研究

テトリス®に関する研究は大きく2つの方向性が存在し、1つは、テトリス®をコンピュータに自動的にプレイさせるAIに関するものである[13]。盤面を評価し、高い評価値になるよう、ランダムで落ちてくるミノを積み上げていき、どれだけ多くのラインを消すことができるか挑戦するといったものである。初期の研究は、積みあがったミノの高さや、横1列を基準にしてみた場合の窪んでいるところのみを特微量として考慮し盤面を評価するシンプルなものである[14]。近年、考慮する特微量を増やしAIの性能向上を図りつつ[1], [9], [12], 異なるアルゴリズムどうしでのAI性能比較がよく行われている[3]。これらの研究は、単純にテトリス®をより長時間プレイさせるといった目的だけでなく、最適化手法の評価としてテトリス®のプレイを用いている面がある[2]。

本稿ではAIを対象にし、その性能向上を目的としたものではなく、人間のプレイを対象にし、人間の技能を向上する長期目的の1ステップである。また、プレイの自動化に関する研究ではHOLD機能を対象外とすることが多いが、本稿では、HOLD機能に着目する。

2.2 人間に与える影響に関する研究

2つ目は、テトリス®のプレイが人間に与える影響に着目した研究である。医療の現場において、テトリス®のプ

レイが、アルコールやニコチン、カフェインなどの薬物への欲求を抑制したり[10]、トラウマのフラッシュバックを軽減したりする[4], [7]といった報告がある。また、テトリス®のプレイ後に、使用していない大脳皮質が厚くなるという報告もある[6]。これら、人間にとってポジティブな影響を与える報告があるが、本稿は、テトリス®がプレイヤーに与える影響に着目したのではなく、プレイヤーのプレイ技能向上を支援する研究の1ステップである。プレイヤーの技能向上によって、従来研究で明らかにされている、テトリス®が人間に与えるポジティブな効果にも、何らかの影響を及ぼす可能性があると考えられる。

3. 非熟練者と熟練者の定義

テトリス®の非熟練者と熟練者の明確な定義は存在しないため、本稿ではルールごとに以下のように定義する。

マラソン ラインクリア数200ライン未満を非熟練者、ラインクリア数200ライン以上を熟練者とする。

タイムアタック クリアタイム120秒以上を非熟練者、クリアタイム120秒未満を熟練者とする。

マラソンルールでは、10ライン消すごとにミノの落下スピードが上昇し、200ライン消した時点でクリアとなる*3。ミノの落下スピードの上昇は180ライン前後で停止するため、最高難易度状態で20ライン消すことができる、すなわち最高難易度でもプレイ継続可能か否かで非熟練者と熟練者を分類する。

タイムアタックルールでは、100から130ミノ程度で40ライン消すことができる。そのため、1ミノあたり1秒でミノを落とすことができるか否かで非熟練者と熟練者を分類する。

なお、ルールごとに非熟練者/熟練者を定義しているの、マラソンルールとタイムアタックルールの片方のみにおける熟練者も存在することになる。

4. データの収集

4.1 収集方法

『Tetris Online Poland』においてプレイデータを閲覧することで、操作ログがXML形式のファイル(以後、操作ログファイルと呼ぶ)で入手できる。プレイデータは、24時間保持される。

図3は、操作ログファイルの一例の一部である。Descriptionタグの属性に、全体的なプレイ記録や設定情報を含んでいる。Descriptionタグの属性とその内容は表1にまとめている(一部、著者らが解析していない部分がある)。操作ログファイルのBagsタグで囲まれた数字の羅列は、ミノの出現順を現している。Bagsタグの属性Sizeは、プレイ終了時にネクスト(次に落下してくるミノの表示欄)

*2 『Tetris Online Poland』, Wojtek, 2011. (PCゲーム)

*3 『Tetris Online Poland』では、クリア後、ゲームオーバーまでプレイ可能な、エンドレス機能も備えている。

```

1 <?xml version="1.0" ?>
2 <TetrisReplay>
3   <Versions FormatVersion="259" />
4   <Description Mode="5" Rank="25"
   Time="42449" Point="12836" Lines="40"
   LPM="5823" Date="2016-06-19-14-44"
   Name="#68696e615f736500" Mino="1_1"
   BG="3_31" Frame="5_1"
   ExtendedPlacementCount="15"
   LockDownDelay="500" MinoGravity="0"
   LineLifeTime="0" NextBlockCount="6"
   FollowDownDelay="0"
   HoldBlockCount="-1" DrawGhost="1"
   RotationLevel="5" PieceStartPosX="3"
   PieceStartPosY="18" />
5   <Bags Size="111">5,1,4,6,0,2,3,4,
   2,5,0,6,3,1,0,1,6,4,3,2,5,0,1,5,4,6,3,
   2,1,4,2,0,3,6,5,4,0,3,6,2,1,2,3,6,5,
   1,0,4,4,1,6,0,2,5,3,0,6,5,3,4,1,2,6,5,
   4,2,3,0,1,2,4,6,3,5,0,1,6,0,5,1,3,4,2,
   0,4,1,2,5,3,6,5,4,3,1,0,2,6,6,0,1,3,2,
   5,4,1,3,5,0,2,4</Bags>
6   <KeyEvents Size="477">
7     <E Time="476" Key="64" />
8     <E Time="595" Key="1" />
9     <E Time="697" Key="1" />
10    <E Time="714" Key="1" />
11    <E Time="952" Key="32" />
12    <E Time="1071" Key="2" />
13    <E Time="1360" Key="32" />
14    <E Time="1462" Key="2" />
15    <E Time="1666" Key="32" />
16    <E Time="1734" Key="1" />
17    <E Time="1836" Key="1" />
18    <E Time="1852" Key="1" />

```

図 3 ログファイルの例
Fig. 3 Example of log file.

に表示されていたミノを含めたプレイ中の出現ミノ数である。KeyEvents タグで囲まれたところに、プレイヤーがキーボードから入力したキーの情報がタイムスタンプとともに連続的に格納される。属性 Size は、キー入力受付回数合計（実際にボタンを押した回数とは異なり、長押しでも受付回数は増える）、E タグ 1 つに、1 回のキー入力操作が記録される。属性 Time の値は、プレイ開始時間からの経過時間（ミリ秒）で、属性 Key の値は、入力した操作キーによって割り当てられる値である。Tetris Online Poland では、この操作ログファイルを入力データとしてプレイを再現（リプレイ）する。操作ログファイルには直接記載されない情報、たとえばミノの出現時刻は、操作ログファイルに含まれるプレイ開始時間とプレイヤーのキー操作入力時間、ミノの固定から次のミノが出現するまでの待ち時間の情報から算出可能である。本稿では、プレイヤーの HOLD 操作に着目するため、プレイヤーが入力したキー情報に関連するログ情報のみ詳細に述べる。

表 2 は、ミノの種類やキーの操作と、操作ログファイル中の表記の対応関係の一部をまとめたものである。なお、

表 1 ログに記載されている情報

Table 1 Information in log file.

属性	内容
Mode	ルール (5 はタイムアタック)
Rank	そのプレイヤーがプレイした時点でのその日の順位
Time	クリアタイム
Point	得点
Lines	消えたライン数
LPM	Line per Minute の略。1 分間に何ライン消すことができるかというラインを消す速度
Date	プレイ開始の日時
Name	プレイヤーネーム (文字変換規則は不明)
Mino	ミノの見た目
BG	盤面の背景画像の種類
Frame	盤面の枠のデザインの種類
ExtendedPlacementCount	詳細不明
LockDownDelay	ミノの接地からミノ固定までのあそび時間
MinoGravity	ソフトドロップ速度設定
LineLifeTime	ラインクリアタイム (消えるときの時間)
NextBlockCount	ネクストミノ表示数
FollowDownDelay	ミノ固定から次のミノ出現までの待ち時間
HoldBlockCount	HOLD したはずのデータも含めすべてのログファイルに - 1 が入っており HOLD 回数ではなく詳細不明
DrawGhost	ゴーストブロック表示の有無
RotationLevel	詳細不明
PieceStartPosX	すべてのデータに 3 が入っており詳細不明
PieceStartPosY	すべてのデータに 18 が入っており詳細不明

表 2 ログファイル内の表記

Table 2 Notation in log file.

ミノの種類	ミノの表記	キーの操作	キーの表記
O	0	左移動	1
I	1	右移動	2
T	2	左回転	4
L	3	右回転	8
J	4	ソフトドロップ	16
S	5	ハードドロップ	32
Z	6	HOLD	64

ソフトドロップは落下させる速度を上げる操作、ハードドロップは一瞬で最下段まで落下させる操作である。表 2 から、図 3 の場合、ミノは S ミノ、I ミノ、J ミノ、Z ミノ (以下略) の順番で出現し、プレイヤーの操作は、HOLD、

左移動、ハードドロップ、右移動、ハードドロップ（以下略）の流れである。プレイヤは最初に落ちてきたSミノをHOLDし、Iミノを左へ置き、Jミノを右に置いていることになる。

本稿では、収集した操作ログファイルのBags タグ、KeyEvents タグ（その中のE タグ）から、本稿に必要なミノの出現順と HOLD 機能の使用回数を抽出や算出している。どのミノが頻繁に HOLD されているかといった HOLD の内訳データに関しては、著者らでは操作ログファイルから簡単な機械的処理で抽出することが困難である。そのため、操作ログファイルに基づくリプレイ動画から目視により、本稿に必要な、HOLD されたミノの種類や HOLD された回数を確認し、内訳データの元としている。また、本稿では、HOLD 機能の使用回数 0 回のプレイを無視する。これは、非熟練者の中には HOLD 機能を知らないなどを理由に使用していないプレイヤと、熟練者にはあえて HOLD 機能を使わないといった自主的な制限をつけたプレイをしているプレイヤが存在すると考えるからである。

4.2 収集件数

表 3 は、収集したリプレイデータの件数である。データの収集期間は、2015 年 11 月 24 から 2016 年 6 月 21 日までである。総数のカッコ内は、HOLD 機能の使用回数 0 回のプレイと、ソフトウェアの不都合などで落下ミノ数と消去ライン数の中で理論的に整合性のとれないといったログを除外したデータ数である。表 4 は、表 3 のタイムアタックデータのうち、ランダムにリプレイデータを選び、どのミノが高い頻度で HOLD されているかといった HOLD の内訳を分析するために用いたデータ数と、総 HOLD 回数である。

なお、本稿で使用したテトリス® は、プレイするためにアカウント登録やソフトウェアのダウンロードやインストール作業が必要で、アカウント登録不要かつダウンロー

表 3 収集したリプレイデータ数
Table 3 The number of replay data.

	タイムアタック	マラソン
総数	1,416 (1,206) 件	474 (330) 件
熟練者	966 件	47 件
非熟練者	240 件	283 件

表 4 HOLD 内訳分析に用いるデータと総 HOLD 数

Table 4 Data used for HOLD items analysis and the total number of HOLD.

総数	285 件
熟練者	243 件
非熟練者	42 件
総 HOLD 数	6,012 回

ドやインストール作業が不要なシステムと比較してプレイするまでに手間がかかる。そのため、なんとなく暇つぶしにテトリス® をプレイするといったプレイヤよりも、テトリス® に対する興味が強いプレイヤの人数が多く、結果的に非熟練者より熟練者のデータが多く集まっている（非熟練者に関しては、今後データ件数を増やし、より精緻な解析を検討する）。

5. HOLD 機能の使用傾向の分析

5.1 HOLD 機能を使用する頻度

表 5 は、非熟練者と熟練者の 1 プレイにおける HOLD 機能の使用間隔の平均を示す。表中の値は、熟練者、非熟練者ごとに、1 プレイの「落下ミノ数/HOLD 機能の使用回数」の値を表 3 記載のデータ件数分合計したうえで、データ件数で割り平均値を求めており、表 4 から算出するものではない。表 5 より、両ルールにおいて、非熟練者は熟練者に比べ、HOLD の使用間隔が大きいことが分かる。すなわち、熟練者の方が、頻繁に HOLD を使用しているといえる。なお、タイムアタック、マラソン双方において、非熟練者と熟練者の HOLD 機能の使用間隔の平均には有意な差がみられる（タイムアタック： $|t| = 4.2337, p = 0.2984 \times 10^{-4} < 0.05$ 、マラソン： $|t| = 5.3207, p = 0.2040 \times 10^{-6} < 0.05$ ）。

図 4 は、表 5 の中で HOLD 機能の使用間隔が最も短い場合（平均 4.2 個）と最も長い場合（平均 20.4 個）の落下ミノ数に基づき、ゲームプレイにおいて具体的にどの程度の差があるのかを、視覚的に分かりやすく提示したものである。図 4(a)（熟練者）は 4 個のミノ、約 1 ライン積むことができる。いい換えれば、1, 2 ライン積み間に、HOLD しているミノを有効に活用できるようなミノの積み方をしていることになる。対して、図 4(b)（非熟練者）では、20 個のミノを用いてミノを積み上げた場合で、約 8 ライン積むことができる。これは、熟練者に対して、HOLD してい

表 5 HOLD 使用間隔

Table 5 Use frequency of HOLD.

	タイムアタック	マラソン
熟練者	12.8 個	4.2 個
非熟練者	20.4 個	14.7 個

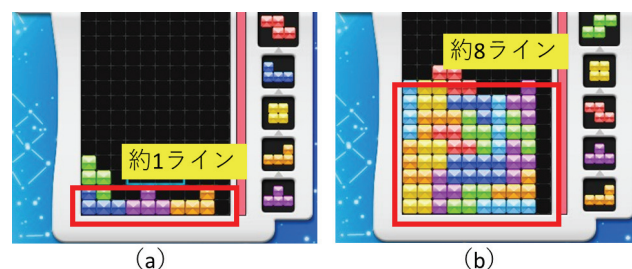


図 4 埋まるラインの差

Fig. 4 Difference in height of stacked Tetriminos.

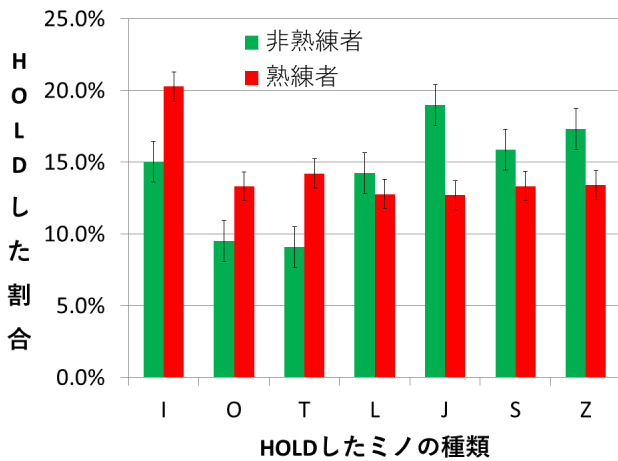


図 5 HOLD したミノの種類とその割合

Fig. 5 Types and percentages of Tetriminos in HOLD.

るミノを活用するような積み方ができていないといえる。

次節以降、HOLD するミノの種類やミノの順序といった、HOLD の内容に関する分析を行う。分析の質を上げるため、得点を競うプレイだけでなく速さを競うプレイや定石を練習するプレイなどが混在しやすいマラソンのデータではなく、プレイする目的のバラつきが少ないと考えるタイムアタックのデータを対象に分析する。タイムアタックの場合、分析対象のデータをランダムに選ぶ際に、クリアできなかったプレイと極端にクリアタイムの低いプレイを除けば、おおむね「タイムを縮めることを目標としたプレイ」(内容を詳細分析する対象として適切なプレイ)に絞ることができる。

5.2 HOLD するミノの種類

図 5 は、タイムアタックにおいて、非熟練者または熟練者が HOLD したミノの種類と、HOLD した回数に占める割合を示す。

非熟練者は、J ミノを HOLD した割合が最も高く、O ミノ、T ミノを HOLD した割合が極端に低い。

一方、熟練者は、I ミノを多く HOLD する傾向にある。この理由の 1 つはテトリス® 消し (4 ライン同時消し) を狙うためであると考えられる。I ミノ以外の 6 種類のミノを HOLD した割合には、偏りはほとんど見られない。

なお、非熟練者全 7 種 (全ミノ種類)、熟練者全 7 種、非熟練者 6 種 (I ミノ以外) において、一様性の検定を行ったところ、一様であるとはいえない (非熟練者全 7 種: $\chi^2 = 28.6845, p = 0.6979 \times 10^{-4} < 0.05$, 熟練者全 7 種: $\chi^2 = 19294.2041, p = 0.6994 \times 10^{-33} < 0.05$, 非熟練者 6 種: $\chi^2 = 28.7087, p = 0.2645 \times 10^{-4} < 0.05$) が、熟練者 6 種 (I ミノ以外) において、一様であるとの帰無仮説を棄却できない (熟練者 6 種: $\chi^2 = 6.3096, p = 0.2773 > 0.05$)。

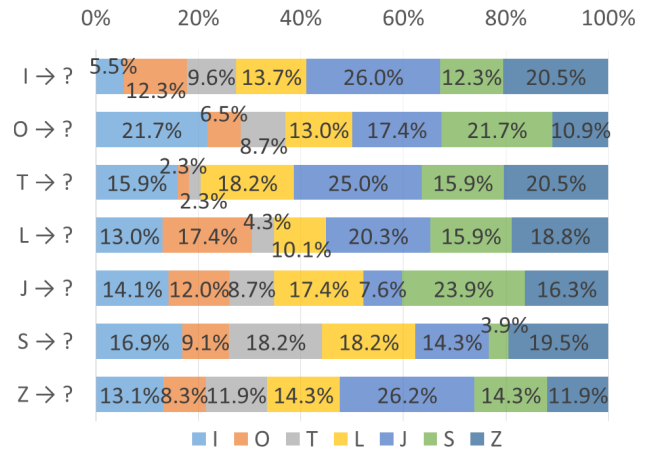


図 6 非熟練者が HOLD したミノの順序

Fig. 6 Order of Tetrimino to HOLD by non-expert players.

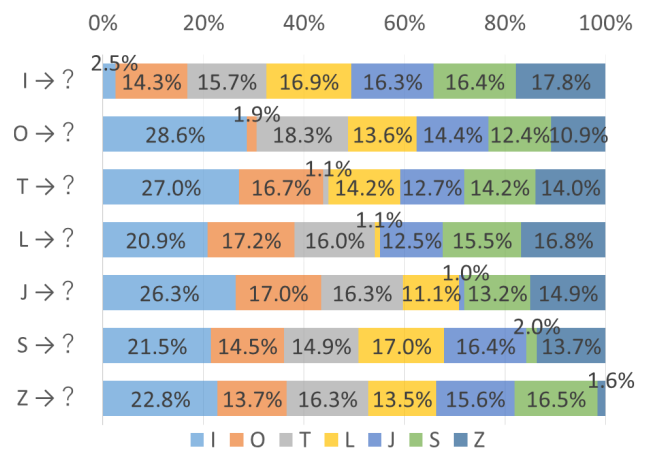


図 7 熟練者が HOLD したミノの順序

Fig. 7 Order of Tetrimino to HOLD by expert players.

5.3 HOLD するミノの順序

図 6 は、タイムアタックにおいて、非熟練者が任意の 2 個のミノを連続して HOLD した確率を示す。図中、縦軸に記載されているミノを先に HOLD している状況で、次にどのミノをどの程度の確率で HOLD するかをグラフで示している。たとえば、図 8(a) のような、T ミノが HOLD されている状況では、図 6 の上から 3 段目のグラフ (T → ?) から、次に HOLD する確率が最も高いミノは J ミノであり、HOLD する確率が約 25% であることが分かる。逆に HOLD する確率が低いのは、同一の T ミノを除けば O ミノであることが分かる。

図 7 は、タイムアタックにおいて、熟練者が任意の 2 個のミノを連続して HOLD した確率を示す。熟練者は、図 8(a) のような、T ミノが HOLD されている状況では、図 7 の上から 3 段目のグラフ (T → ?) から、次に HOLD する確率が最も低いミノは J ミノであり、HOLD する確率が約 12.7% であることが分かる。また、熟練者は何を HOLD していても、(同一のミノを除き) 次に I ミノや T ミノを HOLD する確率が高いことが分かる。これらの結

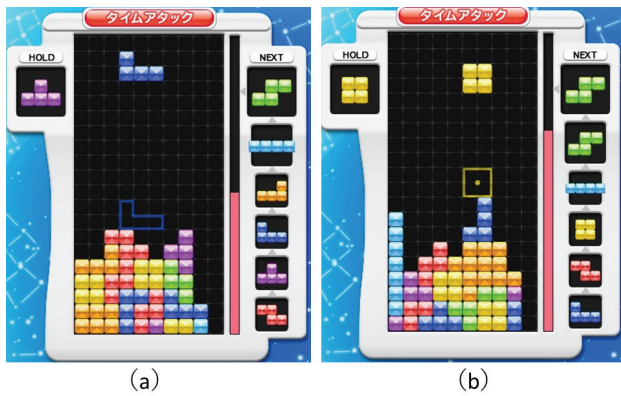


図 8 HOLD する順序と HOLD ミス

Fig. 8 Order of Tetrimino to HOLD and HOLD miss.

表 6 HOLD ミスの確率

Table 6 Probability of HOLD miss.

ミノの種類	I	O	T	L	J	S	Z
熟練者	2.5	1.9	1.1	1.1	1.0	2.0	1.6
非熟練者	5.5	6.5	2.3	10.1	7.6	3.9	11.9

果は、5.2 節の分析結果と整合性がある。

5.4 HOLD ミスの頻度

表 6 は、タイムアタックにおいて、すでに HOLD しているミノが存在する状況で、同一のミノを HOLD してしまう確率を、図 6 と図 7 から抜粋し、熟練者と非熟練者に分けてまとめたものである。同一ミノを HOLD することで、同一ミノを最上段から落下させ直すことができるため、マラソンモードで落下速度が速い場合など、意図的に同一ミノを HOLD することが考えられる。しかしながら、ここではタイムアタックのみを分析対象としているため、意図的に同一ミノを HOLD する操作の影響はほとんどないと考え、ここでは同一ミノを HOLD した場合をミスとして扱う。表中、ミノの種類には、連続して HOLD してしまったミノの種類を記載している。数値の単位は%である。たとえば、図 8(b) のように、すでに O ミノが HOLD されていて、盤面に落下してきたミノが O ミノだった場合に、HOLD 機能を使ってしまう確率は、表 6 の O の欄に記述している。熟練者の場合は 1.9%、非熟練者の場合は 6.5% である。表 6 より、すでに HOLD しているミノと同じミノを HOLD してしまう、HOLD ミスの確率は、非熟練者が熟練者の 2 倍から 9 倍程度となることが分かる。なお、非熟練者と熟練者の、1 プレイにおける HOLD ミスの回数の平均値 (非熟練者: 0.83 回, 熟練者: 0.38 回) に、有意な差がみられる ($|t| = 3.1617, p = 0.2690 \times 10^{-2} < 0.05$)。

5.5 議論

(1) 5.1 節の結果より、非熟練者は熟練者と比較して、HOLD の使用頻度が低いため、うまく活用できていないと考える。

(2) 5.2 節の結果より、非熟練者は、HOLD するミノの種類に偏りがあるため、落下中のミノが不要であるとき、HOLD を使用しているのではないかと考える。後で使うためではなく、その場しのぎに使うと考える。

(3) 5.3 節の結果より、非熟練者と熟練者には HOLD したミノの順序に大きな違いが見られる。非熟練者は、I ミノを HOLD せず、無駄遣いしているのではないかと考える。

(4) 5.4 節の結果より、非熟練者は、HOLD されているものと同じものを HOLD しようとする傾向が多いことから、HOLD に何が入っているか把握できていないのではないかと考える。

なお、本稿で示した傾向は、非熟練者と熟練者の分類基準を、タイムアタックにおけるクリアタイムを 90 秒とした場合や、マラソンにおけるラインクリア数を 150 とした場合においても同様である。ただし、マラソンモードにおいては T-spin^{*4}や連鎖^{*5}の影響が大きいため、エンドレスでプレイした場合にはタイムアタックのプレイとは異なる結果が得られる可能性がある。

プレイヤーの技能向上の支援を考える場合、上記の 4 点において、HOLD の活用による技能向上の因果関係を明らかにする必要があると考える。すなわち、HOLD の使用頻度を上昇させれば技能が向上するのか、HOLD するミノの種類に偏りを減らせば技能が向上するのか、I ミノや T ミノを HOLD するようになれば技能が向上するのか、HOLD ミスを少なくすれば技能が向上するのかについて、熟練者がどのような理由で HOLD しているのかといった使用意図もあわせて分析する必要がある。本稿では盤面のミノの積み上がり方や、クリアまでの残り消去ライン数、プレイ開始からの経過時間といった状況を考察対象に入れていない。今後、HOLD 使用の意図を分析するうえでは、これらの状況を考慮する必要があると考える。

因果関係と HOLD 使用意図が明らかになれば、熟練者の HOLD 使用傾向を非熟練者が模倣したり使用意図を理解したりできるように仕掛けを構築することで、プレイヤーの技能向上につながると考える。

6. おわりに

本稿では、テトリス®のプレイにおける、HOLD 機能の使用傾向について分析した。非熟練者と熟練者に分類し、(1) HOLD 機能を使用する頻度、(2) HOLD するミノの種

*4 T ミノをそのままドロップしただけでは入らないような隙間に、T ミノを接地させてから T ミノが固定されるまでの間に回転させることで、うまく滑り込ませる技術である。T-spin に成功すると特別な得点が加算され、さらに T-spin によりまとめて消したラインの数に応じて加算される得点自体も増加するため、高得点を狙うプレイでは重要な技術である。

*5 連続して、横 1 ライン隙間なく埋めてラインを消していく技術である。ラインを消さずにテトリミノを置くまで連鎖は継続する。連鎖を継続するほど特別な得点が加算され、さらに加算される得点自体も増加するため、高得点を狙うプレイでは重要な技術である。

類, (3) HOLD するミノの順序, (4) HOLD ミスの頻度, の4点に関して分析した.

結果, (1) に関しては, 熟練者の方が非熟練者より HOLD 機能を使用する頻度が高く, (2) に関しては, 熟練者の方が非熟練者より, 特定の種類のミノに偏ることなく7種類のミノを HOLD している傾向があることが分かった. また, (3) に関して, 熟練者はどのミノを HOLD している状態でも, 次にIミノを HOLD する傾向があり, (4) に関しては, 熟練者は同一ミノを連続して HOLD するミスの頻度が非熟練者より低い傾向があることが分かった.

本稿では, プレイヤの熟練度と HOLD 使用頻度の相関を示しているが, HOLD を多用すればプレイ技能が向上するのか, またプレイ技能が向上すれば HOLD を多用できるようになるのかといった, 因果関係に関する議論はできない. 今後, 因果関係に関する議論をするために, 熟練者に HOLD を使わずにプレイしてもらいタイムを比較するなどの実験が必要と考える. また, 盤面などの状況に応じた, HOLD 使用意図を明らかにする.

因果関係と HOLD 使用意図を明らかにし, 熟練者の HOLD 使用傾向を非熟練者へ伝達する仕掛けを検討し, プレイヤの技能向上へつなげていく.

参考文献

- [1] Boumaza, A.: On the evolution of artificial Tetris players, *2009 IEEE Symposium on Computational Intelligence and Games*, pp.387-393 (2009).
- [2] Designing Artificial Tetris Players With Evolution Strategies and Racing, *GECCO'11: Proc. 13th Annual Conference on Genetic and Evolutionary Computation*, pp.117-118 (2011).
- [3] Chen, X., Wang, H., Wang, W., Shi, Y. and Gao, Y.: Apply Ant Colony Optimization to Tetris, *GECCO'09: Proc. 11th Annual Conference on Genetic and Evolutionary Computation*, pp.1741-1742 (2009).
- [4] James, E.L., Bonsall, M.B., Hoppitt, L., Tunbridge, E.M., Geddes, J.R., Milton, A.L. and Holmes, E.A.: Computer Game Play Reduces Intrusive Memories of Experimental Trauma via Reconsolidation-update Mechanisms, *Psychological Science*, Vol.26, No.8, pp.1201-1215 (2015).
- [5] Freeman, D., Duffield, K., Chevalier, F., Hartman, K., Westcott, E. and Reilly, D.: Tweetris: Play With Me, *International Conference on Tangible, Embedded and Embodied Interaction (TEI'12)*, pp.319-320 (2012).
- [6] Haier, R., Karama, S., Leyba, L. and Jung, R.: MRI Assessment of Cortical Thickness and Functional Activity Changes in Adolescent Girls Following Three Months of Practice on a Visual-spatial Task, *BMC Research Notes*, Vol.2, No.174, PMC2746806 (2009).
- [7] Holmes, E.A., James, E.L., Thomas, C.-B. and DePreose, C.: Can Playing the Computer Game "Tetris" Reduce the Build-Up of Flashbacks for Trauma? A Proposal from Cognitive Science, *PLoS ONE*, Vol.4, No.1, e4153 (2009).
- [8] Li, W., Nüssli, M.-A., Jermann, P.: Gaze Quality Assisted Automatic Recognition of Social Contexts in Collaborative Tetris, *International Conference on Multi-*

modal Interfaces and the Workshop on Machine Learning for Multimodal Interaction (ICMI-MLMI '10), Article No.8 (2010).

- [9] 宮崎真奈美, 荒川正幹: ニューラルネットワークと遺伝的アルゴリズムを用いたテトリスコントローラの開発, *情報処理学会第74回全国大会講演論文集*, pp.539-540 (2012).
- [10] Skorka-Brown, J., Andrade, J., Whalley, B. and May, J.: Playing Tetris Decreases Drug and Other Cravings in Real World Settings, *Addictive Behaviors*, Vol.51, pp.165-170 (2015).
- [11] The Tetris Company: Play Tetris, available from <http://tetris.com/play-tetris/> (accessed 2016-06-30).
- [12] 竹内広樹, 天野祐樹, 荒川正幹: ニューラルネットワークと artificial bee colony algorithm を用いたテトリスコントローラの開発, 第12回情報科学技術フォーラム (FIT2013), pp.381-382 (2013).
- [13] Thiery, C. and Scherrer, B.: Building Controllers for Tetris, *International Computer Games Association Journal*, Vol.32, No.1, pp.3-11 (2010).
- [14] Tsitsiklis, J.N. and Van Roy, B.: Feature-Based Methods for Large Scale Dynamic Programming, *Machine Learning*, Vol.22, pp.59-94 (1996).



梶並 知記 (正会員)

2004年東京都立科学技術大学工学部電子システム工学科卒業. 2010年首都大学東京大学院システムデザイン研究科システムデザイン専攻博士後期課程修了. 博士(工学). 首都大学東京システムデザイン学部特任研究員, 東京工科大学コンピュータサイエンス学部助教, 神奈川工科大学情報学部助教を経て, 岡山理科大学総合情報学部講師, 現在に至る. 対話的な情報可視化技術を応用した意思決定支援, e-Sports 支援の研究に従事. ACM, 人工知能学会, 日本知能情報ファジィ学会, 電子情報通信学会, 情報知識学会, 日本デジタルゲーム学会各会員.



松村 瞬

2017年神奈川工科大学情報学部情報科学科卒業. 在学中, パズルゲームの技能向上に関する研究を行い, 熟練者と非熟練者のプレイ傾向の差について分析したほか, 周辺視野を活用したプレイ支援について検討した.



辻 裕之

1989年早稲田大学理工学部数学科卒業。1991年同大学大学院修士課程修了。同年日本電信電話（株）ヒューマンインタフェース研究所に勤務。2000年米コーネル大学CS学科修士課程修了。2006年東京工業大学大学院情報

理工学研究科博士後期課程修了。博士（工学）。2002年より神奈川工科大学に勤務。現在、同大学情報工学科教授。画像処理，映像メディア処理等の研究に従事。電子情報通信学会，映像情報メディア学会各会員。