

# フローゾーンを超えた動的難易度調整 ～イリンクスを楽しむ Dynamic Pressure Cycle Control 手法～

遠藤雅伸<sup>1)</sup> (正会員)

三上浩司<sup>2)</sup> (正会員)

1) 東京工芸大学芸術学部ゲーム学科

2) 東京工科大学メディア学部

## Dynamic Difficulty Adjustment beyond the Flow Zone: Dynamic Pressure Cycle Control to enjoy Ilinx

ENDO H Masanobu<sup>1)</sup>(Member)

MIKAMI koji<sup>2)</sup>(Member)

1) Faculty of Arts, Department of Game, Tokyo Polytechnic University

2) School of Media Science, Tokyo University of Technology

m.endo @ game.t-kougei.ac.jp

mikami @ stf.teu.ac.jp

### アブストラクト

デジタルゲームにおいて、難易度は面白さの重要な要素である。難易度がプレイヤーに合ったフローゾーンの範囲に設定されていれば、プレイヤーはゲームを楽しみ上達する。動的難易度調整(DDA: Dynamic Difficulty Adjustment)は難易度設定の優れた方法であり、適正な範囲にゲームの難易度を自動的に調整する。しかしプレイヤーは、ゲームの最中に難易度が調整されていることに気付くと不快に感じる場合がある。本研究は、難易度が適正な範囲を超えてもプレイヤーが楽しいと感じる、動的緊張感周期制御(DPCC: Dynamic Pressure Cycle Control)という新しいゲームデザインコンセプトを考案した。これは周期的に難易度を極端に変更し、フローゾーンを超えて難易度を乱高下させる。我々は、この手法をDDAと組み合わせて「テトリス」に実装し、プレイテストによって検証実験を行った。結果は提案手法が新たな面白さの要素をゲームに加えたことを示していた。また、プレイヤーがゲーム中の意図的な難易度変化に気付いたとしても、不快とは感じないゲームデザインが存在することを示唆した。

### Abstract

The degree of difficulty is a key element of fun in digital games. Players enjoy games and improve their skills if the difficulty is set in their personal Flow Zones. The existing Dynamic Difficulty Adjustment (DDA) is a suitable technique to automatically control the difficulty within the proper range in games. However, sometimes players feel uncomfortable when they recognize that the difficulty is being modified automatically. We devised a new game design concept called "Dynamic Pressure Cycle Control," which still adds fun for players even when the difficulty exceeds the proper range. Our method's fundamental idea is to modify the difficulty extremely, increasing and decreasing it beyond the Flow Zone. We implemented our method combined with DDA in "Tetris", and conducted experiments to verify it through playtesting. Results show that the proposed method succeeds to add a new element of fun to the game. Also, show the existence of a game design method offers comfort to players even when they recognized the intentional change of difficulty during gameplay time.

## 1. はじめに

コンピュータゲーム出現前、ゲームはルールに従った競争として成り立っていた。それに対しコンピュータを利用したデジタルゲームは、アナログゲームが必要としていた対戦相手に代えて、提示した目標を達成するプレイスタイルを提供した。この目標はゲーム進行の区切りとなる「レベル」の概念を生み、目標達成の難易度はレベルのデザインが決定する形となった。現在、ビデオゲームに代表されるデジタルゲームでは、難易度は重要な要素となっている[1]。

フロー理論[2]によれば、ゲームにおいてプレイヤーのスキルレベルに適した課題を与えれば、プレイヤーは面白いと感じプレイが上達する[3]。これはフローゾーンと呼ばれる難易度が適正な状態であり、このゾーンを超えて難易度が高くと、プレイヤーは緊張し不安を感じる。逆に課題の難易度がフローゾーンを超えて低いと、プレイヤーは退屈と感じプレイへのモチベーションを失う。

一般にゲームの難易度設定は、このフローゾーンの範囲にプレイが収まるよう調整する[1][3]。近年プレイヤーのプレイ状況に合わせて、コンピュータが難易度を逐次調整する「Dynamic Difficulty Adjustment (DDA: 動的難易度調整)」が使われている。DDAの研究はFPSを中心に活発に行われているが、プレイ中に難易度を変更されることをプレイヤーが不快に感じる問題がある。これは自らがプレイしているという自己主体感 (the sense of agency) が失われることが原因である[4]。

一方、フローゾーンはプレイヤーのスキルレベルやプレイ嗜好により、プレイヤー毎に異なる。高い難易度の課題を達成すると、より大きな達成感と昂揚感が得られることから、コアユーザーはスキルレベルに比して高い難易度を求める。高い難易度でのプレイは緊張を強いるため、ライトユーザーはスキルレベルに比して低い難易度を求める。これは容易に達成できる課題を繰り返し達成することで満足が得られるわけだが、達成が容易であれば難易度は必ずしも低い必要がないことを示唆している[5]。

緊張を強いる高い難易度の課題を達成するプレイは、カイトワが提唱した「イリンクス」の遊びでもある[6]。イリンクスの代表的な例はローラーコースターだが、これは短時間の強い緊張感を楽しむ。もちろんローラーコースターは乗客が運転することはできないので、自己主体感は担保されていない。同様に課題を達成できる前提で、フローゾーンの範囲を超えて高い難易度とすることで、イリンクスと同様の遊びが可能であると我々は考えた。

本研究の目的は、フローゾーンの範囲を超えたDDAの高難易度設定により、イリンクスに相当する面白さを持ったゲームデザインを提示することである。これは同時に、DDAによるプレイ中の難易度調整を、自己主体感がないにも関わらず不快と感じさせないことを意味する。そのため、難易度を意図的且つ周期的に乱高下させる手法「Dynamic Pressure Cycle Control (DPCC: 自動周期的緊張感制御)」を考案し、実験用ゲームに実装しテストプレイによる検証を行った。

## 2. 関連研究

### 2.1 難易度に関する関連研究

難易度に関しては、ゲームデザインの基礎的な知見であり、Salen らによってフロー理論との関係が示されている[1]。これによれば、ゲームの面白さはスキルレベルに応じたレベルデザインに依存する。

難易度の調整方法については、Schweizer によってまとめられている[7]。プレイヤーがゲームを開始する際に難易度を調整する方法が古典的であり、プレイの内容から動的に難易度を調整する方法が現在の主流である。

フロー理論による適正難易度の範囲であるフローゾーンについては、Falstein によって明らかになっている[8]。フローゾーンに難易度を調整することで、プレイヤーはより満足できるのである。さらに Chen らの研究では、プレイヤーのスキルレベルに応じたフローゾーンの違いも示されており、コアユーザーは適正な難易度より高い課題を好み、ライトユーザーは低い課題を好む[3]。特にコアユーザーは失敗することにより挑戦意欲が掻き立てられ、ゲームに対する評価が高くなるのが Juul によって指摘されている[9]。

パラメータや属性の変更による難易度の調整は、ゲームメカニクスの基本として Adams らがまとめている[10]。プレイヤーが操作する時間やスピードは、難易度を調整する主たる要素である。これらの研究では難易度がプレイヤーのスキルレベルに対して高過ぎる場合、プレイヤーは緊張や不安を感じ、課題達成の見通しを失って、プレイを諦めることが示唆されている。

### 2.2 DDA に関する関連研究

DDA に関しては、プレイの評価と難易度操作方法の両面について多くの研究がある。

Adams はプレイの内容を評価してポジティブフィードバックを行うことで、ゲームバランス、いわゆる難易度の適正化が行われると示した[11]。Spronck らは動的にゲームの状況を把握するゲーム AI による難易度の指標を示した[12]。

また、Hunicke らによって DDA は有効性と問題点が指摘されている[4][13]。大きな問題は DDA によるゲーム中の操作を、プレイヤーが不快と感じることである。この問題については、操作を認知されない方向の研究が進んでおり、築瀬らは不快の原因を自己主体感の喪失として、それが発生しない範囲内でのポジティブフィードバックを示している[14]。自己主体感を重視した難易度調整としては、遠藤らがレベル終了時に次にプレイする難易度を、プレイヤー自身が進行後退の両方向に行う方法を提案している[15]。

最近では DDA によってゲーム中に何らかの操作が加えられていることを、プレイヤーに事前に認知させているゲームも多く、Xue らは DDA によってよりゲームに没頭できるという効果が明らかになっている[16]。しかし、DDA による操作自体をゲームとして楽しむ、ゲームデザインによって認知を面白く感じさせる改善例は例がない。

### 2.3 課題と満足感に関する関連研究

課題と満足感との関係は、Locke らなど心理学分野での研究が進んでいる[17]。ゲームについては Klimmt らによって、難易度とプレイヤーのパフォーマンスと満足感の関係が明らかにされている[5]。これによるとプレイヤーの満足度や楽しさはフロー理論や帰属理論から得られた予測とは一致しない。より難易度の高い課題を高いパフォーマンスで達成した場合、満足感も高くなる。

難易度の高い課題の達成による満足については、築瀬によって意図的に難易度が高いとプレイヤーが感じる状況を作り、プレイヤーに高い満足感を与える研究が行われている[18]。これは 2D シューティングゲームを利用し、敵に弾を多く発射させてプレイヤーに危機を感じさせる緊張感を与えている。しかし、発射された弾はプレイヤーに命中させないよう射線が調整されており、プレイヤーはより高い課題を達成していると誤認する。結果としてプレイヤーに高い満足感を提供しているのである。

### 2.4 イリンクスに該当する関連事例

イリンクス[6]に該当するゲームへの応用例として『ソニック・ザ・ヘッジホッグ[19]』のトンネルが挙げられる。これは主人公がボール状になり、コースを状況把握ができないほど高速に移動するギミックで、その間はプレイヤーの操作を受け付けず、自己主体感は失われる。

自己主体感が保持された状態で、ゲームの難易度を高くして緊張感を高め、イリンクスと同等の効果を得ている例として、フリッパーピンボールのマルチボールギミックが挙げられる[20]。これはプレイヤーに短時間での状況把握と、的確でスピーディーな操作を要求する。しかし、このフィーチャーをプレイするには高いスキルが必要となる。

### 2.5 本研究の関連研究

本研究はプレイヤーのスキルレベルに関わらず、ピンボールにおけるマルチボールのような緊張感の高さを、DDA の技術を使って故意に作り出すものである。築瀬の実験と異なり、難易度は実際に高くなり、プレイヤーは自らの操作によって課題を解決し、高い満足感を得る。

DPCC の手法については、我々が NICOGRAPH International 2017 にて口頭発表を行った[21]。本研究はその際に指摘を受けた、ゲームに対するスキルレベルの違いによる影響を含め、再考察を行った。

## 3. 研究手法

本研究の提案手法は、DDA の技術を用いて難易度を意図的にフローゾーンの範囲を超えて乱高下させ、プレイヤーに周期的な高い緊張感を与える。我々はこの手法を「Dynamic Pressure Cycle Control (DPCC: 自動周期的緊張感制御)」と命名した。この方法を用いたゲームデザインを考案し、実験用ゲームに実装してテストプレイによる効果の検証を行った。

### 3.1 Dynamic Pressure Cycle Control (DPCC)

提案手法 DPCC は、適正難易度の範囲を超えて意図的に難易度を高め、プレイヤーに緊張感を与える。プレイヤーは短期的課題が達成できず、置かれたプレイ状況は悪化し、プレイヤーは不安を感じると共に窮地に追い込まれる。しかし、ゲームオーバーとなる直前に、難易度を意図的に、適正範囲を超えて下げる。すると、プレイヤーは短期的課題を達成し、プレイ状況が改善され緊張感が薄れる。この課題達成は演出されたものであるが、高い緊張感の中で行われるために、より大きな満足感をプレイヤーが得ると考えた。さらに、この高い緊張感でのプレイが短期的に成功することで、結果的に不安だった状況をイリンクスの楽しみとして感じるのである。

DPCC の仕組みの概要を図 1 に示す。

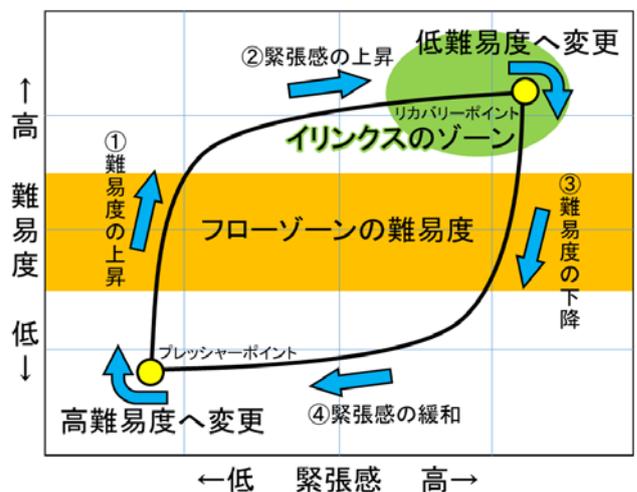


図 1. DPCC の概要

- ① プレイ中、難易度をフローゾーンの範囲を超えて難しく設定する。プレッシャーポイントと呼ぶ。
- ② プレイ状況が悪化し、短時間に複雑な判断が要求され、必要な操作の正確性とスピードが上がり、緊張感が増加する。プレイヤーのコントロール限界付近でのプレイは不安を生み、イリンクスと同様の眩暈感を感じる。
- ③ ゲームオーバーにならないよう、難易度をフローゾーンの範囲を超えて易しく設定する。リカバリーポイントと呼ぶ。局面を打開するプレイができるようになり、危機を脱すると共に大きな満足感・達成感が得られる。
- ④ 緊張感が低下してプレイヤーのストレスが解消され、プレイへのモチベーションが高まる。この周期的な繰り返しが、提案手法 DPCC である。

### 3.2 DPCC の実装検証に適したゲーム

DPCC を実装し効果を検証するために、実験用ゲームには次の条件が必要と考えた。

- 難易度設定が明確である
- ゲームの状況が与える緊張感が定量化できる
- シンプルでポピュラーなゲームである

一般的な DDA による難易度設定は、プレイ中に細かく各種パラメータを調整する方法か、プレイの合間に当たるレベルの切れ目に次のレベルを構築する方法を取る。これは DDA による操作を、プレイヤーが認知しにくいためである。それに対し提案手法は操作を認知されても構わず、しかも認知された時にそれ自体を面白いと感じるかを検証する必要がある。そこで、本来ランダムに決定すべきパラメータを、意図的に決定することでの実装を考えた。この方法であれば、DPCC の操作が単なるラッキーと認識される可能性もあり、その場合より高い達成感が得られる。また、操作を認知した場合は意図的であると確信でき、提案手法を面白いあるいは不快と判断することができる。

アクションゲームにおける緊張感は、状況判断と操作の時間制限に依存し、制限時間が短いと緊張感は増加する。また操作する対象物の動きに制限があり、正確で素早い操作を必要とする場合も同様に緊張感が高くなる。この制限時間と動かせる範囲の制限を定量的に判断可能で、しかもプレイヤーがそれを認知しやすい必要がある。制限時間を定量化するには、タイマーで残り時間を表示するか、強制的で定速の移動・スクロールを用いて、ゲーム内グラフィックとして動く距離を時間として可視化することが容易である。

プレイするゲームのスキルがある程度以上でなければ、難易度の高いレベルをプレイすることができない。プレイの習熟に時間の掛からないシンプルなゲームルールであることが必要である。また、DPCC の効果を比較するためにも、既に広くプレイされているゲームをベースに DPCC を組み込む方が、プレイヤーの評価を得やすいと考えた。

### 3.3 実装した実験用ゲーム

我々は実験検証用のゲームとして、『テトリス[22]』を採用した。テトリスは、図 2 で示す 4 つの正方形を組み合わせた、『テトリミノ』と呼ばれる 7 種類のブロック群が画面上部より落下する。これが画面下部の、幅 10 ブロック分のエリアに積み上げられ、水平に 10 個のブロックが揃った場合、1 ライン 10 ブロックが消滅する。テトリミノが落下を始め、積み上げられたブロックに落ちるまでの間、プレイヤーはテトリミノを回転及び左右移動の操作を行う[23][24][25]。



図 2.7 種類のテトリミノ

テトリスはランダムに 7 種類のテトリミノが落下する。その難易度は下に積まれたブロックの積み方と、落下するテトリミノの種類に依存する。ラインを消すことができないとブロックが積み上がり、落下するテトリミノを操作できるスペースが狭くなり、落下からブロックとして固定されるまでの時間が短縮される。テトリミノの落下は等速なので、プレイヤーは落下するまでの制限時間を視覚的に確認することができる。また、落下テトリミノを操作できる空間は、積み上げられたブロックの上に限定される。そのため、積み上げブロックの高さによってプレイヤーは操作空間の広さを体感できる。この空間の狭さと落下までの時間の短さが、プレイヤーに緊張感を与えると考えた。

比較検証のため、提案手法を実装した P-Ver. (Proposal Version) と、ゲーム仕様は同じで落下テトリミノをランダムに決定するテトリスと同様の R-Ver. (Random Version) の 2 種類を用意した。

### 3.4 検証実験

実験用ゲームを用いてテストプレイによる評価を行った。被験者には P-Ver. と R-Ver. の 2 つのゲームを任意にプレイさせ、プレイ後に下に示す項目のインタビューを行った。

- 面白かったのはどちらのバージョンですか？
  1. R-Ver.の方が明らかに面白かった
  2. R-Ver.の方がやや面白かった
  3. R-Ver.と P-Ver.の間に面白さの差はなかった
  4. P-Ver.の方がやや面白かった
  5. P-Ver.の方が明らかに面白かった
- 落下するテトリミノに作為を感じましたか？
  1. 感じなかった
  2. 確信はないが、違和感はあった
  3. 明らかな操作を感じた
- プレイした感想

## 4. 実装方法

実験用ゲームはテトリスと同様に幅 10 ブロック、高さ 20 ブロックのフィールドを持つ。ルールと操作もテトリスと同様だが、次の 2 つの仕様は実験に不要のため省略した。

- 次に落下するテトリミノの表示
- T スピン

提案手法では、次に落とすテトリミノをプレイの状況に合わせて意図的に操作する。その操作は落下する直前に行うため、次に落下するテトリミノは、今落下しているテトリミノがブロックとして固定されるまで決定しない。ゆえに表示することができない。

T スピンは視覚的に非合理的な動作で、エキスパートを対象とした追加ルールのため、実験には不相当と考えた。

### 4.1 プレイ状況の評価方法

プレイ状況は次の 2 つの数値より定量化した。

- ブロックの高さ：固定されたブロックの中で最も上に置かれたブロックの高さ
- 総差分値：隣接するブロック同士の高さの差分の絶対値合計

実際にゲーム画面における、ブロックの高さと総差分値を図 3 に示す。

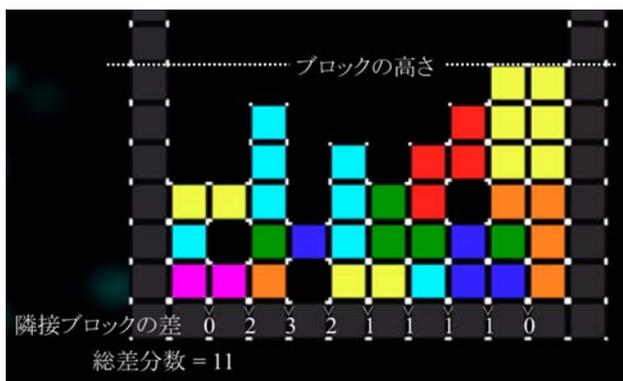


図 3. ブロックの高さと総差分値

ブロックの高さは、プレイ状況の良し悪しを示す最も重要な指標である。一般的なテトリスのプレイでは、できるだけ高さが均一になるようにブロックを積み、上のラインから消していく。ブロックの高さは、落下テトリミノを操作する時間とスペースを間接的に示し、操作による難易度と緊張感をプレイヤーに感じさせる。

総差分値はブロックの積み方の整い具合の指標である。この数値が 0 の場合は最上部のラインは消え、小さいほどラインを消しやすい状況にあることを示す。

プレイ状況の評価は、ブロックの高さが優先的に状況の悪さを示し、同じ高さの場合は総差分値が大きい方の状況が悪いと判断した。この評価に従い、テトリミノを落とす前と、テトリミノを落とした後の差分を算出する。差分がプラスなら状況が悪化し、マイナスなら改善されることを意味する。これに対し 7 種類のテトリミノそれぞれに、落とした後に最も算出数値が低くなる落とし方で落とした場合の前後差分に従って、次に落とすテトリミノの良し悪しを決めた。

### 4.2 落下テトリミノの決定

7 種類のテトリミノから、前後差分に従って次の 3 種類のテトリミノを割り出した。

- ベストテトリミノ：前後差分が最低
- バッドテトリミノ：前後差分が大きいものから 3 種類
- ワorstテトリミノ：前後差分が最高

この実装における落下テトリミノの種類決定は、次の 3 つのモードの切り換えで行った。

- ランダムモード：7 種類のテトリミノからランダムに決定
- ワorstモード：バッドテトリミノのうち、ワorstテトリミノを 50%、他の 2 つを 25% ずつの確率で決定
- ベストモード：ベストテトリミノのみで決定

ここで、ワorstモードがワorstテトリミノのみでないのは、落下テトリミノの多様性を確保し、DDA の操作を認知されにくくするためである。モードの切り換えについて、低い位置に「プレッシャーライン」、高い位置に「リカバリーライン」の 2 つのコントロールラインを設定した。DPCC の実装は、ブロックの高さが最初にプレッシャーラインを上回った時点で起動し、以降リカバリーラインを上回った「リカバリーポイント」と、プレッシャーラインを下回った「プレッシャーポイント」でモードを切り換えて行った。図 4 に 2 つのコントロールラインを示す。

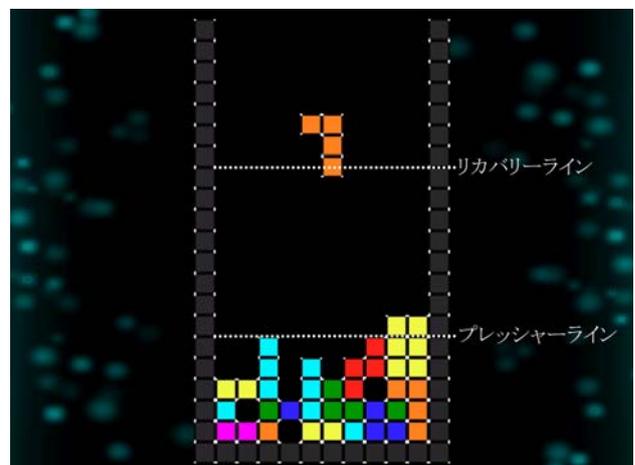


図 4. 2 つのコントロールライン

### 4.3 Pressure Cycle: 緊張感サイクル

実験ゲームでは次のルールに従ってモードの切り換えを行い、Pressure Cycle を演出した。

1. ゲームスタート時：ランダムモードで開始
2. 最初にブロックの高さがプレッシャーラインを越えた時：ワーストモードに切り換え、サイクルを起動する
3. リカバリーポイント：ベストモードに切り換え
4. プレッシャーポイント：ワーストモードに切り換え、以降は3から繰り返す。

テトリミノの落下スピードは、操作の制限時間に影響して難易度を左右する、もう1つの重要な要素である。テトリスでは徐々に落下スピードを上げることで、難易度が増加するレベルの調整を行っている。実験ゲームでは Pressure Cycle に入る前に、プレッシャーラインに到達するまで落下スピードを増加させた。これは、プレイヤーのスキルレベルに見合った落下スピードで Pressure Cycle を行うためである。

実装したアルゴリズムのフローチャートを図5に示す。

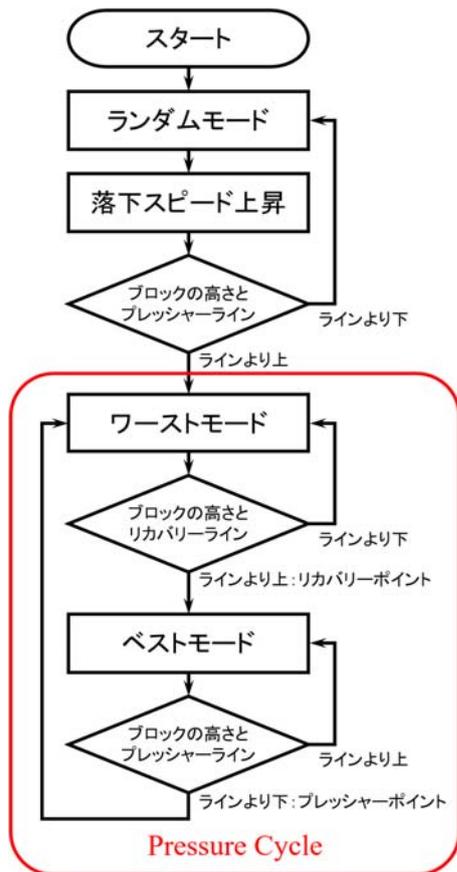


図 5. 実装したアルゴリズムのフローチャート

ゲームがスタートすると、ブロックの高さがプレッシャーラインに達するまで、落下テトリミノはランダムモードで決定される。この際、少しずつテトリミノの落下スピードが速くすることで、Pressure Cycle に入る際に各プレイヤーのスキルレベルに見合った落下スピードになると考えた。

ブロックの高さがプレッシャーラインを超えると、DPCC となってワーストモードに切り換わる。どんなにスキルレベルの高いプレイヤーであっても、容易にラインを消すことができなくなり、ブロックの高さが増す。ワーストモードが意図的であることは、ランダムとの違いが見分けにくく、徐々にプレイエリアが狭くなり、プレイヤーの緊張感が高まる。

ブロックの高さがリカバリーラインを超えると、ベストモードに切り換えわる。この時、プレイヤーはゲームオーバー直前の状態であり、持てる技術を最大に発揮して操作しているものの、状況を改善するテトリミノが落下せずに困っている。そこに、起死回生となる最良のテトリミノが落下し、その後もちょうど来て欲しいと思えるテトリミノが落下する。積み上げられたブロックは一気に消され、プレイヤーは強い達成感を得る。そしてブロックの高さがプレッシャーラインを下回ると、次のサイクルに入り再びワーストモードへと繰り返される。

また、ベストモードであってもプレイヤーが適正な操作を行わない場合、ブロックは積み上がってゲームオーバーとなる。しかし、ベストモードが落下してくるテトリミノは、事前から局面打開のために期待しているものであり、実際にそれが出てはみたものの、自らの操作ミスが原因でゲームオーバーしたと認識できる。そのため負の自己主体感が生じ、再挑戦へのモチベーションに繋がると考えた。

### 4.4 比較検証用 R-Ver.

実験用ゲームはオリジナルのテトリスと一部ルールが異なるため、単純にテトリスとの比較はできない。そこで実験用ゲームと同じルールで、オリジナルのテトリスと同様に落下テトリミノをランダムで決定する R-Ver.も実装した。これは DPCC 部分を除き、ランダムモードで落下テトリミノを決定し、ゲームオーバーまで徐々に落下スピードを上げるだけの仕様である。

テトリスにおける一般的な DDA の手法は、プレイヤーのスキルレベルに合わせて落下スピードを調節するが、落下テトリミノの種類決定はランダムである。その点で R-Ver.との比較は、一般的な DDA との調整方法による比較にもなっている。

## 5. 実験結果

実験は 2015 年から 2016 年にかけて、東京工芸大学の学生 23 人に対して行った。全員にテトリスのプレイ経験があり、ゲームの操作方法とバージョンの違いは説明せず、2 つのバージョンを任意にプレイさせた。インタビューの選択項目に関する回答結果を表 1 に示す。

表 1. 選択項目に関する回答結果

R-Ver.と P-Ver.で面白かったのはどちらですか？	落下するテトリミノに作為を感じましたか？			合計
	1. 感じなかった	2. 違和感があった	3. 明らかに感じた	
1. R-Ver.の方が明らかに面白かった	0	0	0	0
2. R-Ver.の方がやや面白かった	0	0	0	0
3. R-Ver.と P-Ver.の間に面白さの差はなかった	1	0	0	1
4. P-Ver.の方がやや面白かった	5	3	3	11
5. P-Ver.の方が明らかに面白かった	1	4	6	11
合計	7	7	9	23

面白さに関する回答の選択項目の番号を5段階評価の得点と置き換え、R-Ver.とP-Ver.に差がない3点に対してt検定を行った。結果は $P < 0.01$ となり、提案手法であるP-Ver.がオリジナルと同様の仕様であるR-Ver.より面白いことが検証された。

また、DDAによる落下テトリミノの操作を認知したプレイヤー群と認知しなかったプレイヤー群との間で、ゲームの評価に関する比較の検定を行ったが、有意差はなかった。DDA操作の認知とゲーム評価の間には相関はなく、提案手法はDDA操作

の認知とは関係なく良好であったと言える。これはゲームデザインによっては、DDAによる操作が認識されても、プレイヤーは不快と感じないことを示唆している。

インタビューのP-ver.へのコメントより、選択項目回答のセグメント別に特徴的なものを表2に示す。これらのコメントから、プレイヤーが本研究の提案手法DPCCは新たな楽しさを加えたと考えていることが読み取れた。

表 2. P-ver.に対する特徴的なコメント

被験者のセグメント		コメント
DDAの操作	認知していない	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 難易度が高いと感じた</li> <li>・ R-ver.と比べて緊張感があった</li> </ul>
	やや認知している	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ I型テトリミノの連続落下に作為を感じた</li> <li>・ R-ver.に比べて難易度が低いとは思えず、逆に自分が上手くなった気がした</li> </ul>
	明確に認知している	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ おもてなしを感じた</li> <li>・ 次に何が来るかが予測できるようになって別の楽しみができた</li> </ul>
提案手法の評価	やや面白い	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 普通なら諦めるような窮地でも、P-ver.は諦めずにプレイできた</li> <li>・ ピンチ解消の練習になった</li> </ul>
	明らかに面白い	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ストレスではない、追い込まれ感が解消された時が楽しい</li> <li>・ 高く積まれた緊張感と、ドンドン消えていく安心感の波が良い刺激で楽しい</li> <li>・ 絶体絶命のピンチに期待通りのテトリミノが来ると興奮する</li> <li>・ P-ver.はツンデレ</li> </ul>

## 6. 考察

提案手法のゲームデザインが、既存のテトリスと比べてどのような面白さを生み出していたかを、被験者のセグメント別に考察した

### 6.1 DDA の操作を認知していない被験者群

テトリスのプレイスキルが低いプレイヤーが多かった被験者群である。DPCC の平均難易度は通常ルールの場合と変わらないが、被験者は「難易度が高い」「提案手法は緊張感があつた」と感じていた。これはワーストモードによる難易度の高い状態に対し、ベストモードの難易度の低さは印象に残らないことを示しており退屈とは感じていない。提案手法は意図的な高難易度を楽しむことが目的であり、スキルレベルが低いプレイヤーでも達成されていると考えられる。

### 6.2 DDA の操作をやや認知している被験者群

DDA の操作を利用するまでには至っていない、テトリスのプレイレベルは中程度のプレイヤーが多かった被験者群である。テトリスのルールでは、同時に消したライン数が多いと高得点になる。そこで図 6 に示すように、I 型テトリミノを使って同時に 4 ラインを消すため、縦に 1 ラインを残して I 型テトリミノの落下を待つプレイスタイルになりやすい[26]。この際、ブロックの高さ自体がリカバリーラインを越えると I 型テトリミノがベストテトリミノと判断され、DPCC が連続して I 型テトリミノを落とすようになる。この挙動は不自然であり、「I 型テトリミノの連続に作為を感じた」コメントに至ったと考えられた。

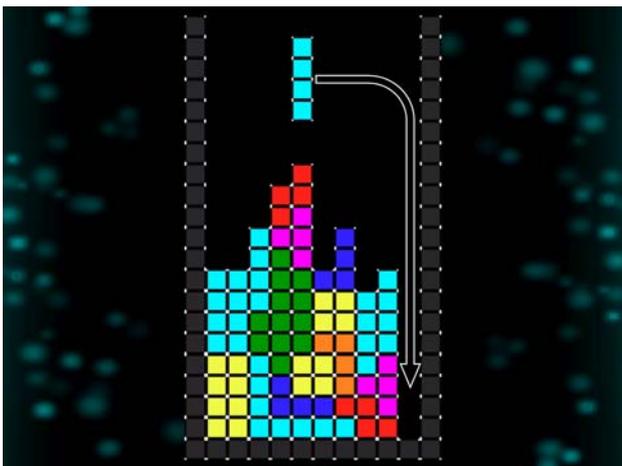


図 6.4 ラインを同時に消すプレイスタイル

また「自分が上手くなった気がした」コメントは、難易度が高い危機的状況から回復したことに起因する。被験者はそこに作為を感じながらも達成感が得られ、自らのスキルレベルが上がったと誤認しやすい。これは、DDA による難易度操作が、落下テトリミノの種類で行われることにも関係する。被験者に取

って不利なテトリミノが落下していても、それがランダムに選ばれたと思えば、結果は自分の操作によるため自己主体感は維持されるからである。その状態での窮地からの回復は、プレイヤーにとってフローと同様の良い体験であり、スキルアップへのモチベーションにもなると考えた。

### 6.3 DDA の操作を明確に認知している被験者群

テトリスの上級者が多かった被験者群である。「おもてなし」とはリカバリーポイントに達すれば、必ずベストモードが最適のテトリミノを落とすことを示す。また「次に落下するテトリミノを予想することが新たな楽しみ」という回答は、DPCC のアルゴリズム自体を看破していると考えられる。

オリジナルのテトリスは、消去されたブロックラインをポイントに換算して高得点を目指し、他のプレイヤーと競争する。これは Caillois の提唱するアゴン(Agon: 競争)の楽しみみである[6]。一方イリンクス(Ilynx: 眩暈)は自分が安全である前提で、高い緊張感とスリルを楽しむ。イリンクスの楽しみには個人差があり、不快と感じる場合がある。提案手法はプレイヤーの操作によってはゲームオーバーとなり、完全に安全ではない。しかし、DDA の操作を認知している場合は、危機的状況も安全に解消できると理解しており、イリンクスの楽しみが生じていると考えた。

### 6.4 DPCC をやや面白いと感じた被験者群

DDA による操作を明確には認知していないプレイヤーが多い被験者群である。提案手法に対し「諦めずにプレイできた」「ピンチ解消の練習になった」というコメントは、ワーストモードで陥った窮地が、ベストモードで解消できた部分に注目している。

被験者は R-Ver. に比べて P-ver. は難易度が高く、危機的状況から回復しやすいという特性を把握していると考えられる。しかしそれは、古典的ゲームデザイン手法である難易度のメリハリが、挑戦的課題を達成するキッカケとなって、より強い達成感を面白いと認識しているに留まっている。

### 6.5 DPCC を明らかに面白いと感じた被験者群

DAA による操作を認知しているプレイヤーが多い被験者群である。ここでは危機的状況において、それを解消するテトリミノが必ず落ちてくると、被験者が認知していると考えられた。

「追い込まれ感が解消された時が楽しい」「高く積まれた緊張感と、ドンドン消えていく安心感の波が良い刺激で楽しい」というコメントは、高い緊張感が意図的に作られていることを認知し、それを解消する過程も意図的であると理解している。これはローラーコースターにおけるイリンクスの楽しみと極めて近く、提案手法が目的とした楽しさを実現できたと考えられる。

「絶体絶命のピンチに期待通りのテトリミノが来ると興奮する」「P-ver. はツンデレ」というコメントは DPCC の仕組みを看破し、それを利用する楽しみ方まで発展していると考えられる。特に後者のコメントを残した被験者は、図 7 に示すようにプロ

ックの高さが常にリカバリーラインを上回るよう、一部を積み上げるプレイスタイルを取っていた。この状態ではDPCCが常にI型テトリミノを落下させるため、容易に高得点パターンを作ることができる。

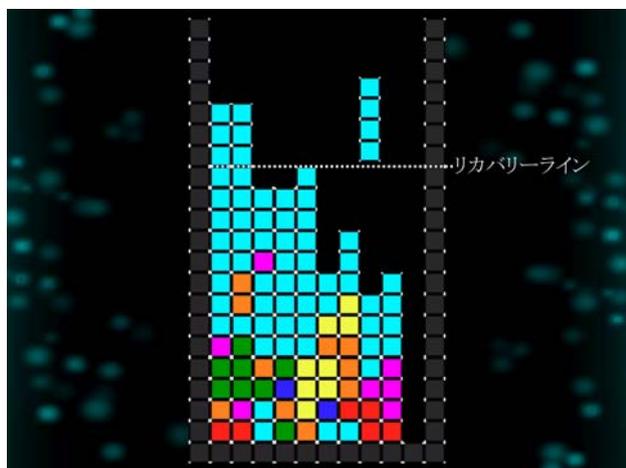


図 7. 上級者による一部を積み上げるプレイスタイル

この遊び方は単なる作業に陥っているとも言えるが、DAAの操作をプレイヤー自身がコントロールしていることに面白さを感じている。これはミミクリ(Mimicry: 模倣)に繋がる、理想のイメージ通りにトレースする楽しさでもある[6]。

## 7. まとめ

本研究は、フローゾーンに従ったゲームの適正難易度を越えた、高い難易度設定で意図的に高い緊張感をプレイヤーに与え、それを楽しむ手法 DPCC(Dynamic Pressure Cycle Control)を提案した。これをテトリスに実装し検証実験を行ったところ、次の2つが認められた。

- プレイヤーはフローゾーンを越えた高難易度を、それが生み出した危機的状況を短時間で解消できるなら、楽しいと感じた。
- プレイヤーがDDAによる操作を認知しても、それを不快と感じないゲームデザインの可能性を示した。

DDAは難易度の調整だけでなく、新たな遊び方を作るツールとしても利用できる。本研究ではテトリスに限定して検証を行ったが、他のジャンルのゲームでも高い緊張感を生み出す設定と、短時間で危機的状況を解消できる仕様があれば、同様のゲームデザインは可能と考える。また今回の実験は標本を限ったものであるため、今後は実装ソフトを公開し、より精度の高い実験を行いたい。

## 謝辞

実験用ゲームを実装していただいた西川賢志氏に感謝する。

## 参考文献

- [1] K. Salen, E. Zimmerman, Rules of Play: Game Design Fundamentals, MIT Press, 2004. 山本訳, ルールズ・オブ・プレイ ゲームデザインの基礎 (上・下), SBクリエイティブ, ISBN: 978-4-7973-3405-0, 2011, ISBN: 978-4-7973-3406-7, 2013.
- [2] M. Csikszentmihalyi, Flow: The Psychology of Optimal Experience, Harper Perennial, 1990. 今村訳, フロー体験 喜びの現象学, 世界思想社, ISBN: 978-4-7907-0614-4, 1996.
- [3] J. Chen, Flow in games (and everything else), Communications of the ACM, Vol. 50, No. 4, pp. 31-34, 2007.
- [4] R. Hunicke, V. Chapman, AI for Dynamic Difficulty Adjustment in Games, In Proceedings of AAAI Workshop on Challenges in Game Artificial Intelligence, pp. 91-96, 2004.
- [5] C. Klimmt, C. Blake, D. Hefner, P. Vorderer, C. Roth, Player Performance, Satisfaction, and Video Game Enjoyment, In Proceedings of Entertainment Computing-ICEC 2009, pp. 1-12, 2009.
- [6] R. Caillois, Man, Play and Games, University of Illinois Press, 1958. 多田, 塚崎訳, 遊びと人間, 講談社, ISBN: 978-4-0615-8920-9, 1990.
- [7] B. Schweizer, Difficulty, Debugging Game History: A Critical Lexicon, pp.106, 2016. ISBN: 978-0-2620-3419-7.
- [8] N. Falstein, Understanding Fun – The Theory of Natural Funativity, Introduction to Game Development, Charles River Media, pp. 71-97, ISBN: 978-1-5845-0377-4, 2005.
- [9] J. Juul, The Art of Failure: An Essay on the Pain of Playing Video Games, MIT Press, 2013. 渡邊編, しかめっ面にさせるゲームは成功する 悔しさをモチベーションに変えるゲームデザイン, ボーンデジタル, ISBN: 978-0-2620-1905-7, 2013, ISBN: 978-4-8624-6318-0, 2015.
- [10] E. Adams, J. Dormans, Game mechanics: advanced game design, New Riders, 2012. ホジソン, 田中訳, バンダイナムコスタジオ監修, ゲームメカニクス: おもしろくするためのゲームデザイン, SBクリエイティブ, ISBN: 978-4-7973-7172-7, 2013.
- [11] E. Adams, Designer's Notebook: Positive Feedback, Gamasutra, 2002.  
[https://www.gamasutra.com/view/feature/131426/designers\\_notebook\\_positive.php](https://www.gamasutra.com/view/feature/131426/designers_notebook_positive.php)
- [12] P. Spronck, I. Sprinkhuizen-Kuyper, E. Postma, Difficulty Scaling of Game AI, In Proceedings of the 5th International Conference on Intelligent Games and Simulation, pp.33-37, 2004.
- [13] R. Hunicke, The Case for Dynamic Difficulty Adjustment in Games, In Proceedings of the 2005 ACM SIGCHI International Conference on Advances in computer entertainment technology, pp. 429-433, 2005.
- [14] 築瀬, 鳴海, 誰でも神プレイできるジャンプアクションゲーム, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 21, No. 3, pp. 415-422, 2016.
- [15] 遠藤, 三上, 短時間で適正難易度に誘導する「プリセットレベル選択」, エンタテインメントコンピューティングシンポ

ジウム(EC2016)論文集, pp. 46-51, 2016.

[16] S. Xue, M. Wu, J. Kolen, N. Aghdaie, K. A. Zaman, Dynamic Difficulty Adjustment for Maximized Engagement in Digital Games, In Proceedings of the 26th International Conference on World Wide Web Companion, pp. 465-471, 2017.

[17] E. A. Locke, K. N. Shaw, L. M. Saari, G. P. Latham, Goal setting and task performance: 1969-1980, Psychological bulletin, Vol. 90, No. 1, pp. 125, 1981.

[18] 築瀬, 誰でも神プレイできるシューティングゲーム, 第21回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ(Workshop on Interactive Systems and Software: WISS 2013) 予稿集, pp. 147-148, 2013.

[19] セガ, ソニック・ザ・ヘッジホッグ, メガドライブ, 1991.

[20] 月刊BEEP, ピンボール・グラフィティ, ソフトバンククリエイティブ, ISBN: 978-4-8905-2064-0, 2008.

[21] M. Endoh, H. D. Fernández B., K. Mikami, Dynamic Pressure Cycle Control: Dynamic Difficulty Adjustment beyond the Flow Zone, In Proceedings of 2017 NICOGRAPH International, pp. 9-14, 2017.

[22] A. Pajitnov, Tetris, Elektronika 60, Soviet Academy of Sciences, 1984.

[23] A. Pajitnov, Tetris, Tetris Holding, <https://tetris.com>, 1985-2017.

[24] 石原, テトリス10万点への解法, ペヨトル工房, ISBN: 978-4-8934-2089-3, 1989.

[25] R. Breukelaar, E. D. Demaine, S. Hohenberger, H. J. Hoogeboom, W. A. Kosters, D. Liben-Nowell, Tetris is Hard, Even to Approximate, International Journal of Computational Geometry & Applications, Vol. 14, No. 1, pp. 41-68, 2004.

[26] Tetris Friends, Top Flight Tetris: To truly become a pro at Tetris, there are a few advanced maneuvers you should know, 2017, [http://www.tetrisfriends.com/help/tips\\_advanced.php](http://www.tetrisfriends.com/help/tips_advanced.php)

## 遠藤 雅伸



1981年千葉大学工学部卒業。同年(株)ナムコ入社。1985年(株)ゲームスタジオ設立代表取締役就任, 現相談役。2006年東京大学大学院情報学環学際情報学府特任講師。2011年より宮城大学事業構想学部客員教授。2014年より東京工芸大学芸術学部教授。2016年東京工科大学大学院バイオ・メディア研究科博士前期課程修了, 同年博士後期課程入学。ゲーム作家であり主にゲームデザインに関する研究に従事。日本デジタルゲーム学会副会長, 情報処理学会, 日本VR学会, 芸術科学会。

## 三上 浩司



1995年慶應義塾大学環境情報学部卒業。同年日商岩井(株)入社。1997年(株)エムケイ入社。2001年慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科修士課程修了。2008年博士(政策・メディア)。1999年より東京工科大学片柳研究所研究員, 2005年助手, 2007年東京工科大学講師, 2012年准教授, 現教授。主に3DCGを利用したアニメ, ゲームの制作技術と管理手法に関する研究開発に従事。芸術科学会会長, 日本デジタルゲーム学会理事, ACM SIGGRAPH, 情報処理学会, 映像情報メディア学会, 他会員。