

高速な認知処理を引き起こす実験課題の開発 — 時間知覚と処理速度の関係の解明に向けて —

A Methodology to Accelerate Our Information Processing: Toward Revealing the Relation between Process Speed and Time Perception

長谷川 大[†], 日高 昇平[†]
Oki Hasegawa, Shohei Hidaka

[†] 北陸先端科学技術大学院大学,
Japan Advanced Institute of Science and Technology
s2410146@jaist.ac.jp

概要

本研究では、情報処理速度の向上と時間知覚の変調の関連性を解明するための実験課題を開発する。その課題は、情報処理速度が適度に向上した、フロー状態に準ずる状態を誘発するものである必要がある。課題では、難易度を操作可能なシステムを構築し、モデルから個々人に最適な難易度を推定する。実験では、難易度変化のパターンと情報処理能力の関係を調査した。

キーワード：時間知覚、情報処理速度、フロー状態

1. はじめに：能力発揮と時間感覚の伸長

ヒトが課題を達成しようとする場面では、ある種の停滞局面に陥ることがある(Gray & Lindstedt, 2017)。自らが停滞局面にいることを把握し、その局面に陥る理由を探るには、まずは自身の能力を最大限に発揮できるような課題に挑み、限界を認識できる状態を経験することが必要となる。

そうした能力を最大限に発揮できる心的状態の一つが、物事に没頭し、集中している状態とされる『フロー状態』である。フロー状態における経験は、ヒトが停滞を乗り越え、新たな考え方や技能を獲得するための鍵となると考えられる。

このフロー状態の発生を示す指標の一つとして、主観的な時間感覚の伸長がある(Csikszentmihalyi, 1990)。スポーツ選手が「ボールの動きがゆっくり見えた」などと語るのは、その選手がフロー状態にあったことを暗示する代表的な例である。

Treisman(1963)によれば、このような主観的時間の伸長は、覚醒度の上昇が“内部時計”を速めることによって生じる。高い覚醒状態は、刺激の提示速度が速い条件によって誘発され、それが引き起こした適度に高い覚醒状態では、Go/NoGo 課題の成績が向上するという(van der Meere et al., 2005)。

以上のような刺激の提示速度と覚醒度の関係を踏ま

えると、先ほどのスポーツ選手の感覚に対して、「早く正確な制御が要求される課題に対応できている時、時間をゆっくり感じる」のだ、と説明できる。

2. 背景：処理速度向上か、記憶の歪みか

このような主観的に感じる時間の伸長は、実際にその瞬間に情報処理速度が向上することによりもたらされるのか、あるいは情動等の影響で後から記憶が歪むことで起こることによる結果であるのかが議論されてきた(e.g., Stetson et al., 2007; Kobayashi & Ichikawa, 2023)。

もし、時間感覚の伸長が単なる事後的な記憶上の錯覚ではなく、その瞬間に認知処理の高速化が実際に起こっているのであれば、それらの現象に対して共通のメカニズムが関与している可能性がある。その場合、この両現象を統一的に説明する理論的枠組みの構築が不可欠となるが、従来の研究にはいくつかの限界がある。まず、先行研究では画像上の変化を検出する課題などで認知処理の速度を測定している。しかし、この方法は刺激特性の影響を受けやすい(Nomura & Yotsumoto, 2018)うえ、実世界に多く存在する持続的な課題における時間知覚の変調と処理速度の関係を調べることができない。また、先行研究の多くは、時間知覚変調と情報処理速度の向上を独立した機序とみなす立場を採る(e.g., Kobayashi & Ichikawa, 2016)ため、両者の関係や共通基盤の解明が十分に進んでいない。

3. 目的：フロー誘導課題の設計

このような先行研究の問題を解消するには、情報処理速度、時間感覚の変調、そしてそれを関係づけると想定される覚醒状態、タイミングを制御する“内部時計”の関係を同時・並行的に調べる実験の枠組みが必要である。本研究は、Treisman(1963)の内部時計モデルを拡

張した、「高覚醒状態によるペースメーカーの速度上昇が主観的時間の伸長と情報処理速度の向上を同時にもたらす」という仮説の検証を長期的な目的とする。

この仮説を実証するには、情報処理速度が**適度**に向上した、フロー状態に準ずる状態を一定程度維持する課題が必要である。ゆえに、本研究では、この長期的な目的の前段階として、時間圧と課題難度を調整可能なシステムを構築するとともに、フロー状態を維持できる課題難度の推定方法の開発を目指した。

4. 課題の設計方針

フロー状態を引き起こしやすい、操作可能な外部的要因として、適度な時間圧(Dong et al., 2023)と、個々人に合わせた適切な課題の難易度(Kurosaka et al., 2023)がある。本研究では、プレイ上の時間圧などの要因、および難易度を統制しやすい課題の一つとして、ブロック(テトリスミノ)を落として組み合わせることで消すゲームであるテトリスを基本課題として用いる。テトリスは、認知科学分野において、複雑でリアルタイムな課題に対するパフォーマンスの研究で用いられてきた課題である(e.g., Lindstedt et al., 2020)。

本研究で開発する課題では、一定時間継続可能なゲームレベル(テトリスミノの落下速度)をプレイヤーのパフォーマンス(情報処理速度)の指標とし、それに基づいて難易度(落下速度)を調整する。具体的には、フロー状態を引き起こしやすいゲームレベルをシステムが自動で調整しながらプレイさせる。高いパフォーマンスが求められる難易度を一定時間維持してプレイできていれば、参加者がフロー状態に誘導されていることが示唆される。

5. 課題難度の推定モデル

フロー状態が発生しやすいとされる「課題の難易度と個人の発揮する最大パフォーマンスが均衡する状態(Fong et al., 2015)」における均衡点を適切に設定するには、まず「パフォーマンスの上限」を定義することが必要となる。そこで本研究では、理論上の上限値として「プレイヤーが最適操作を常に実行できる」という仮定に基づき、マルコフ過程によるモデルを構築した。

このモデルをもとに、テトリミノの出現確率や盤面状態の遷移(ミノ固着や段消去による積み重なりの変化)に基づいて課題終了(ゲームオーバー)までのステップ数の確率分布を導出し、実プレイのステップ数の

分布との乖離をリアルタイムで定量的に評価することにより、参加者内要因としての難易度を調整することができる。現在のモデルの分布では、ステップ数の平均は511.97 ($SD=429.42$)、最頻値は40であった。

6. 予備実験

精度の高いモデルの作成、および難易度調整を行うため、全ての参加者に対して、テトリス環境を用いた2つの予備実験を実施した。2025年4月12日時点で、実験には大学生4名(平均年齢24.80歳, $SD=2.50$)が参加した。実験では顎台を用い、画面までの視距離を57cmに固定した。操作はキーボード入力で行われた。

6-1:予備実験1

モデルにおける「理想化されたテトリスにおける最適操作」から導出したステップ数の信頼性を検証するため、参加者にとって“理想的”な環境でのプレイを行わせた。具体的には、自動落下機能を無効化した(ミノが自動落下しない)テトリスを実施し、すべてのゲーム内操作とそのタイムスタンプ、および盤面状態遷移(ステップ)の記録を取得した。参加者はこの条件下で1回のプレイを、ゲームオーバーとなるまで行った。

6-2:予備実験2

難易度変化パターンと参加者のパフォーマンス(情報処理速度)の関係を調べるため、テトリスにおける3種類の落下速度変化パターンでのプレイ状況を比較した。参加者は3条件を無作為順に1回ずつ、それぞれゲームオーバーとなるまで行った。

3種類の落下速度パターンのうち、(A)線形上昇条件では、落下間隔500msから始め、ライン消去ごとに5msずつ短縮し最低100ms秒まで速度を上げた。(B)線形下降条件では、落下間隔500msから始め、ライン消去ごとに5ms秒ずつ増加させ最大1000msまで延長した。(C)ランダム変動条件では、ミノが固着するごとに10ms~1000msの範囲内で落下間隔をランダムに設定した。

予備実験1と同様に、すべてのゲーム内操作とそのタイムスタンプ、および盤面遷移を記録した。また、参加者のフロー体験を評価するため、南(2016)を参考に、石村(2014)のフロー質問紙を基にした日本語による簡易的なアンケートを事後に実施した(表1)。

7. 予備実験の分析

参加者のパフォーマンス(情報処理速度)を評価するため、予備実験1, 2を通して、各参加者における、単

位時間（1min）当たりの消去した段数を算出した。本研究は参加者の情報処理速度に焦点を当てているため、スコアよりも単位時間当たりの消去段数のほうが、予備実験における指標として妥当性が高い。

さらに、操作戦略の変化とその影響を調査するため、各プレイにおける前半と後半の操作種類（自動落下、手動落下、左右移動、回転など）の割合を算出した。

表1 フロー体験に関する簡易的なアンケート。

能力への自信	
2	うまくやる自信がある
4	うまくいっている
6	思いのままに動いている
8	コントロール（うまく対応）できる
肯定的感情と没入による意識経験	
5	完全に集中している
7	我を忘れている
9	時間を忘れている
10	楽しんでいる
目標への挑戦	
1	目標に向かっていてる
3	チャレンジ（挑戦）している

7-1:予備実験1

予備実験1では、モデルのステップ数の信頼性を検証するため、各参加者のゲームオーバーまでの盤面状態遷移（ステップ）数を計測した。

7-2:予備実験2

予備実験2では、異なる難易度変化パターンが情報処理能力（列消去速度）に与える影響を評価するため、条件別の各セッションにおけ1min当たりの消去段数を比較した。具体的には、各条件（線形上昇、線形下降、ランダム）における平均消去段数を算出し、一元配置分散分析とTukey HSDによる事後検定で条件間の差を評価した。また、各条件における参加者のパフォーマンス推移を評価するため、各試行におけるプレイ時間によらず10分割した時間ビン（T1-T10）ごとのパフォーマンス推移を分析した。各条件の時間経過（T1-T10）に伴う1分当たりの消去段数の平均の変化を評価した。特に初期の平均消去段数（T1）、終盤の平均消去段数（T10）、およびT1からT10への上昇率に注目した。

8. 予備実験の結果

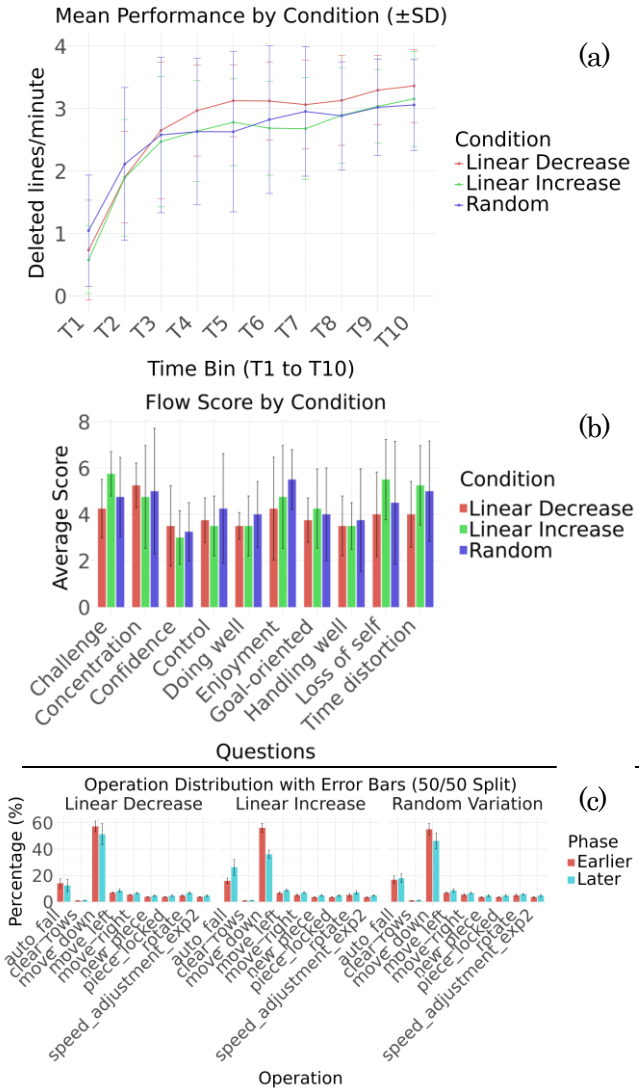
8-1:予備実験1

ゲームオーバーまでのステップ数の最大値は652、最小値は129であった。現時点でデータ数は限られているが、参加者のステップ数（平均=298.50, SD=207.26）は、最適操作モデルにおける標準偏差の上限（平均=511.97, SD=429.42）以下であった（表2）。参加者の平均プレイ時間は26.90min(SD=12.98)であった。

表2 予備実験1の結果。

	消去段数/分	ステップ数
モデルの予測分布(平均)	-	511.97
モデルの予測分布(最頻)	-	40
平均	2.35	298.5
最大値	4.47	652
最小値	1.71	129

図2 予備実験2の結果。上から、落下速度の変化パターンごとの単位時間（1min）当たりの消去した列数(a)、フロー体験に関するアンケートの結果(b)、課題前半と後半における操作種類の割合(c)。



8-2:予備実験2

3つの難易度（落下速度）条件における、時間ビンごとの1min当たりの消去段数を比較した（図2-a）。全時間ビンにわたる平均成績は、線形上昇条件が2.66段/min、線形下降条件が2.96段/min、ランダム条件が3.02段/minであった。分散分析の結果、条件間に統計的に有意な差が見られ（F(2,27)=3.21, p<.05）、事後検定で

は特に線形上昇条件とランダム条件の間に有意な差が確認された ($p < .05$).

初期成績 (T1) を比較すると、ランダム条件 (1.37 段/min) が最も高く、次いで線形下降条件 (1.00 段/min)、線形上昇条件 (0.64 段/min) の順となり、条件間に有意差が見られた ($F(2, 9) = 4.76, p < .05$). 一方、最終ビン (T10) では、線形上昇条件 (3.54 段/分)、線形下降条件 (3.51 段/分)、ランダム条件 (3.34 段/分) と条件間で有意差は見られなかった ($F(2, 9) = 0.87, p = .45$).

T1 から T10 への上昇率については、線形上昇条件が 453% と最も高く、線形下降条件が 251%, ランダム条件が 144% と最も低い値を示した ($F(2, 9) = 7.32, p < .05$). 各条件におけるプレイ時間は、線形上昇条件が 16.05min ($SD = 5.15$), 線形下降条件が 20.62min ($SD = 5.68$), ランダム条件 20.05min ($SD = 14.56$) であった.

9. 予備実験の考察と今後の課題

9-1: 予備実験 1

実験結果 (8-1) において、”最適な”テトリスにおける参加者のゲームオーバーまでのステップ数はモデルが示す標準偏差の上限内にあるため、現時点において、モデルはプレイヤーが発揮しうる最大のパフォーマンスをある程度予測できているといえる。今後は熟練者を参加者として、テトリミノの出現確率によって規定されるパフォーマンスの理論上の上限が適切であるかを確認する。

9-2: 予備実験 2

結果 8-2 から、線形上昇条件では初期の成績は低いものの、上昇率が著しく高いという特徴が明らかとなった。刺激の提示速度と相関して成績が上昇したことは、van der Meere ら(2005)による知見と整合性がある。また、3 条件間での最終段階の成績に有意な差が見られなかったことは、ゲームオーバー寸前の”追い詰められた”状況では、条件に関わらず参加者が最大限の能力を発揮し、その結果、類似した情報処理速度に達した可能性を示唆している。

今後は、参加者の技量 (予備実験 1 の”理想的な”テトリスにおける成績)、および学習による影響を検討する。また、単なる情報処理速度の上昇だけでなく、操作の効率化が起こっている可能性を検証するため、操作パターンの時系列変化を詳細に分析し、成績の向上と操作戦略の変化の関連性を明らかにする必要がある。

10. 今後の計画

盤面状態、時間・手数ごとの成績、および参加者が行った操作、およびアンケートの詳細な分析を行う。それに基づき、モデルの再設計、およびフロー誘導課題の作成と実施を行う。大会の発表では、作成した課題の性能評価までを報告する。

11. 謝辞

本研究は科研費基盤研究 B (一般) JP23H0369, 挑戦的研究 (萌芽) JP22K19790, および JST さきがけ JPMJPR20C9 の助成を受けて行われました。

文献

- 石村郁夫. (2009). フロー体験の促進要因とその肯定的機能に関する心理学的研究 (Doctoral dissertation, 筑波大学).
- 南学. (2016). パズル解決課題におけるフロー体験が自己効力感に与える影響. 三重大学教育学部研究紀要: 自然科学・人文科学・社会科学・教育科学・教育実践, 67, 185-192.
- Csikszentmihalyi, M. (1990). Flow: The psychology of optimal experience. Harper & Row.
- Dong, W. W., Wang, Y. Q., & Qin, J. (2023). An empirical study on impulse consumption intention of livestreaming e-commerce: the mediating effect of flow experience and the moderating effect of time pressure. *Frontiers in Psychology*, 13, 1019024.
- Fong, C. J., Zaleski, D. J., & Leach, J. K. (2015). The challenge-skill balance and antecedents of flow: A meta-analytic investigation. *The Journal of Positive Psychology*, 10(5), 425-446.
- Gray, W. D., & Lindstedt, J. K. (2017). Plateaus, Dips, and Leaps: Where to Look for Inventions and Discoveries During Skilled Performance. *Cognitive science*, 41(7), 1838-1870.
- Kobayashi M., Ichikawa M. (2016). Emotions evoked by viewing pictures may affect temporal aspects of visual processing. *Japanese Psychological Research*, 58, 273-283.
- Kobayashi, M., & Ichikawa, M. (2023). Emotional response evoked by viewing facial expression pictures leads to higher temporal resolution. *i-Perception*, 14(1), Article 20416695231152144.
- Kurosaka, C., Kuraoka, H., & Maruyama, T. (2023). Mental workload task modeled on office work: Focusing on the flow state for well-being. *Plos one*, 18(9), e0290100.
- Lindstedt, J. K., & Gray, W. D. (2020). The “cognitive speed-bump”: How world champion Tetris players trade milliseconds for seconds. In *Proceedings of the Annual Meeting of the Cognitive Science Society* (Vol. 42).
- Nomura, K., & Yotsumoto, Y. (2018). Failure to replicate the increased temporal resolution induced by images that give impression of danger. *Japanese Psychological Research*, 60(3), 179-187.
- Stetson, C., Fiesta, M. P., & Eagleman, D. M. (2007). Does time really slow down during a frightening event?. *PloS one*, 2(12), e1295.
- Treisman, M. (1963). Temporal discrimination and the indifference interval: Implications for a model of the “internal clock”. *Psychological Monographs: General and Applied*, 77(13), 1-31.
- van der Meere, J. (2005). State regulation and attention deficit hyperactivity disorder. *Attention deficit hyperactivity disorder: From genes to patients*, 413-433. Humana Press.