

認知負荷を用いたゲーム状況の作成 Creating Competitive Game Situation Using Cognitive Load

泉青葉[‡] 島川 博光[‡]
Aoba Izumi Hiromitsu Shimakawa

1. はじめに

精神的なケアは他者からの介入なしには解決することが難しい。精神的悪影響があるものとして孤独感があげられる。孤独感は年齢を問わず、メンタルヘルスに悪影響があるため、健康状態を悪化させ、肥満や運動不足よりも死亡要因にもつながることが分かっている[6]。

いっぽうで、社会が支援することによって免疫力を強化できることも分かっている[11]。そのため孤独感を減らすような取り組みで精神的健康を実現させる必要がある。

内閣府の調査によると孤独感を感じている人が多い年齢層は30代や20代と、比較的若い世代である[14]。また、近年では新型コロナウイルス感染症流行による隔離政策により交友関係が萎縮しており[14]、孤独感を感じる場面が増えている。よって高齢者だけではなく若者も含めた孤独感の解消が求められている。

若者や高齢者どちらもが交流をすることは孤独感を解消する。しかし、年齢層によってコミュニケーションに用いる話題には差がある。活発な交流を目標とする場合、相互の会話交流が理想である。よって、双方に共通した話題が必要である。交流を活発にするためには、世代間で共通して楽しいと感じる娯楽コンテンツが適切である。

いかなるゲームにおいても、競技者の優劣に明らかな差が生じてしまった場合は、もはや楽しい娯楽コンテンツとは言えない。よってゲームにより世代をこえた楽しい交流の場を作るためには、試合推移が一方的にならない拮抗した状況を作る必要がある。本論文ではこれらの妨害行為による記憶の乱れを観測するための手法を提案する。

2. 記憶とフロー状態の関係

2.1 神経衰弱ゲームによるフロー状態

人間が楽しいと感じる場面は多岐にわたる[13]。娯楽コンテンツの楽しさを測るための尺度がある。フロー状態という心理状態は、ゲームなどの楽しさを表す尺度として有名である[12]。Csikszentmihalyiによると、フロー状態を実現するにはいくつかの条件を満たす必要がある[5]。

本研究では、絵柄が同じカードが2枚ずつあるカード・セットを想定し、娯楽コンテンツとして神経衰弱ゲームを用いる。神経衰弱ゲームでは、カードを伏せて一面に並べ、ゲームのひとりの競技者が1回の競技機会に2枚ずつめくる。同じ絵柄のカードであれば、その2枚を得点として盤面上から取り除く。異なる絵柄なら、これらを盤面上に残す。

以下の3の理由により、本ゲームは参加者すべてにフロー状態を発生させるうえで都合がよい。

- ・ルールが簡潔である
- ・身体を疲弊させない
- ・複数人で実施することができる

2.2 ワーキングメモリ (短期記憶)

神経衰弱ゲームは、そのゲーム性から記憶能力が重要である。ワーキングメモリとは記憶を用いた作業をする際に短期間用いられる作業領域である[3]。神経衰弱ゲームの競

技者はワーキングメモリで各カードの数字と位置を記憶することによって自力で得点を稼ぐことができる。しかし、ワーキングメモリで保持できる記憶には限界があり[10]、すべてのカードの数字と位置を記憶することは難しい。

ワーキングメモリは可変である。人間の心理状態などによって1つの作業に充てる領域が変化する[4][8]。年齢に関係なくトレーニングなどによって容量を増加させることも可能である[2][9]。

2.3 直観システム、熟慮システムの役割

認知心理学者 Kahneman によると、人間が持つ思考モードには直観システム、熟慮システムの2つがある[7]。

Kahneman は以下のように説明する。

直観システムは自動的に高速で働き、努力は全く不要か、必要であっても僅かである。また、自分のほうからコントロールしている感覚は一切ない。

熟慮システムは、複雑な計算など頭を使わなければできない困難な知的活動にしかるべき注意を割り当てる。熟慮システムの働きは、代理、選択、集中などの主観的経験と関連づけられることが多い。また、熟慮システムは、人間の思考を占有する傾向が強い。外乱があると、熟慮システムはうまく機能しなくなるが多い。

神経衰弱ゲームで勝とうとする場合、記憶をもとに思考する必要があり、直観システム、熟慮システムどちらの機能も必要である。またこれらの思考モードは認知負荷によって思考の働きが変動することが知られている[1]。よって、ワーキングメモリに影響を与えるような認知負荷を与えた場合、記憶されている項目以外に思考モードにも影響があると考えられ、神経衰弱ゲームを拮抗した状態に導くうえで重要な要素になる。

2.4 神経衰弱のカードの種類

神経衰弱ゲームはそのゲーム性上、意図しない場面での得点の獲得があり得る。これはワーキングメモリの状態に関係なく起こりえる事象である。ゲーム競技者の対戦状況をより厳密に考察するためにカードのカテゴリーを分ける必要がある。

- 盤面上に同じ絵柄のペアが残っているカード (Remaining Card)
- 盤面上の一度は表がえされたカード (Known Card)
- 盤面上の一度も表がえされたことがないカード (Unknown Card)
- 盤面上に残っているがペアのどちらも表がえされたことがあるカード (Check Card)

[‡] 立命館大学 Ritsumeikan University

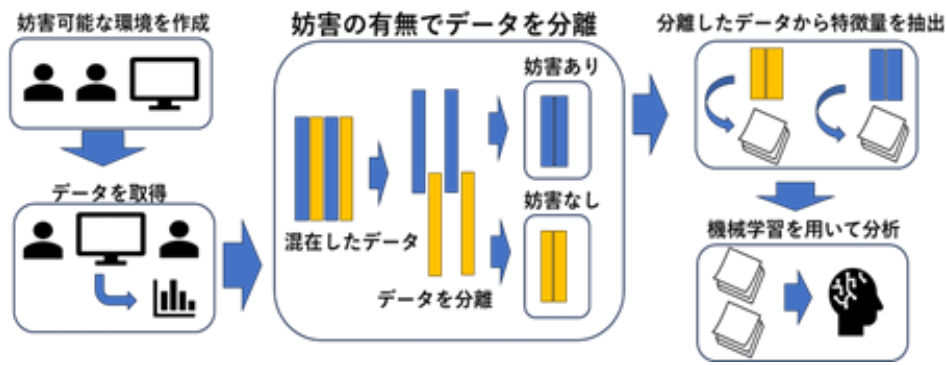


図 3.1 手法概要図

表 3.1 使用した特徴量

特徴量	意味
time0	以前のプレイヤーの競技機会が終わって自身が1枚目を選ぶまでの時間
time1	1枚目が表になるまでの時間
time2	1枚目が表になった後2枚目を選ぶまでの時間
time3	2枚目が表になって次の競技機会に移るまでの時間
V_RemainingCard	1 競技機会中の RemainingCard の変化量
V_UnknownCard	1 競技機会中の UnknownCard の変化量
V_KnownCard	1 競技機会中の KnownCard の変化量
V_CheckCard	1 競技機会中の CheckCard の変化量
StartUnknownCard	競技機会初期の UnknownCard の数
StartCheckCard	1 競技機会中初期の CheckCard の数
Type_RemainingCard	-1: RemainingCard が増加した場合 0: RemainingCard が無変化の場合 1: RemainingCard が減少した場合
Type_CheckCard	-1: CheckCard が増加した場合 0: CheckCard が変化しなかった場合 1: CheckCard が減少した場合
ForS	0: 先攻側プレイヤー 1: 後攻側プレイヤー
Interference	0: 妨害なし側プレイヤー 1: 妨害あり側プレイヤー
ContinueTime	何回連続でカードをそろえられたか
CountP	何回競技機会が訪れたか
CountAll	累計で何回競技機会が訪れたか
IT3	1: 妨害があり time0 が発生した場合 0: その他
Type_time0	1: time0 がある場合 0: その他

以上の4パ競技機会にカードの状態を分けることにより、どのような場面であっても、そのカードの特性を表すことができる。特に Check Card は記憶していればペアを当てることができるカードである。よって、本研究での競技者がワーキングメモリを用いてペアを当てる正答率を計算するのに Check Card は適している。

3. 妨害による記憶の操作

本研究では、わずかな外乱を競技者に与えたときに、その競技者の記憶が混乱し、競技の状況を変えることができるかを調べる。競技者の記憶を混乱させるために、本研究では神経衰弱ゲームの競技者に対して妨害を行う。妨害とは、指定された神経衰弱ゲームの実施には必要のない動作を被験者に実施させることとする。

本研究で行った妨害行為として神経衰弱ゲームの実施中に、イヤホンを装着させる予備動作を強制したうえで、ランダムに警告音を発生させる。本研究で提案する妨害の評価法は、図 3.1 に示すような、以下の流れである。

1. 妨害可能な環境を作成
2. データの取得
3. 妨害の有無でデータを分離
4. 分離したデータから特徴量を抽出
5. 機械学習を用いて分析

本研究では、神経衰弱での競技の流れを以下のように捉える。神経衰弱は複数の競技者が参加するものとする。各競技者は、1つの競技機会のなかで、2枚のカードを表に返し、絵柄が一致していれば、次の競技機会でも自らが競技できる。一方で、絵柄が一致していない場合は、競技機会を次の競技者に譲る。ある競技者の競技機会が連続している期間を1競技機会とする。

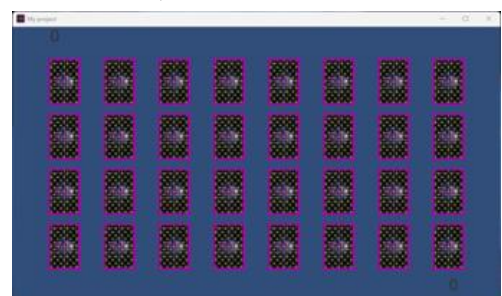
思考は認知的活動である。妨害の可能性を事前に知っている者とそうでない者で競技結果に違いが出るのが予想される。妨害の効果を調べるために、競技者を妨害の対象となっている者と、そうでない者の2グループに分割する。

4. 実験

妨害の有無による神経衰弱ゲームへの影響を測り、神経衰弱ゲームのゲーム状況を操作する方法を考察するために実験を行う。実験に用いた特徴量を表 3.1 に示す。

大学生 12 名(男性:10 名, 女性 2 名)で調査をした。神経衰弱ゲームは図 4.1 のアプリケーションを用いる。被験者は神経衰弱ゲームを過去に経験したことがあり、PC 上での操作について実験前に説明を受けている。

図 4.1 専用アプリケーション



5. 考察

5.1 検定結果

検定結果を表 5.1 に示す. time_0, time_2, Type_CheckCard, ContinueTime の P 値の平均が 0.05 以下となり, 有意な差があるといえる.

表 5.1 妨害による特徴量の差の検定結果

特徴量	P 値
time0	2.165282e-11
time1	0.694797
time2	0.006953
time3	0.853740
V_RemainingCard	0.142453
V_UnknownCard	0.189250
V_KnownCard	0.189250
V_CheckCard	0.122954
StartUnknownCard	0.856523
StartCheckCard	0.478508
Type_RemainingCard	0.142453
Type_CheckCard	0.027311
ForS	0.180341
Interference	0.0
ContinueTime	0.015214
CountP	0.141065
CountAll	0.722096
IT3	8.201488e-103
Type_time0	0.148541

図 5.2 は特徴量 time0 の分布を表している. 図 5.2 より, time0 は妨害ありの分布が妨害なしと比較して右寄りであり, 妨害により, 相手の競技機会が終わってから自身が 1 枚目をクリックするまでの時間が長くなっている. イヤホンの装着という妨害による影響が現れ, time0 の時間が妨害により, 長くなっていると考えられる.

同様に図 5.3 が示す time2 の特徴量の分布を考察する. 妨害ありと妨害なしの分布の山は同範囲に収まっているように見える一方で, 妨害なしの場合は妨害なしと比較して圧倒的に分布の山の中心付近の標本数が多い. よって 1 枚目が表になってから 2 枚目をクリックするまでの時間は, 妨害なしのほうが操作にかかる時間が短いことが多い

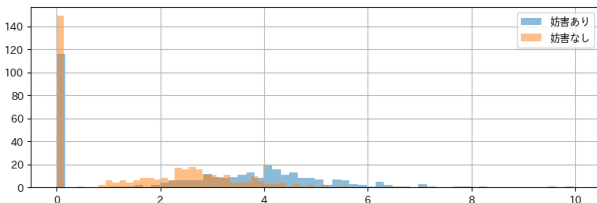


図 5.2 time0 のヒストグラム

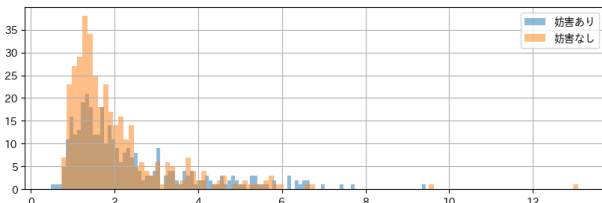


図 5.3 time2 のヒストグラム

図 5.4 が示す Type_CheckCard の分布は, 妨害なしでは 1 を示す事象が多く, -1 や 0 を示す事象にはあまり差がない.

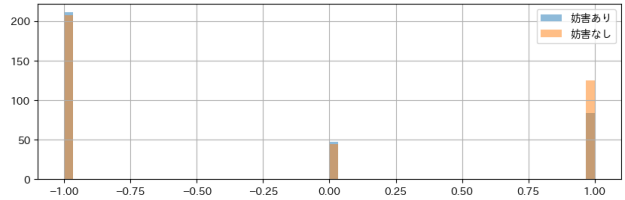


図 5.4 Type_CheckCard のヒストグラム

正答率についても確認する. 妨害がないときとあるときで, Type_CheckCard がカテゴリ 1, 0, -1 になる確率を, それぞれ $P_1(\text{Type_CheckCard})$, $P_2(\text{Type_CheckCard})$ とすると表 5.2 のようになる. 表 5.2 より, 妨害なしで神経衰弱ゲームを行った場合, 約 33% の確率で正解することができるが, 妨害が行われると正解率が約 25% まで下がっており, 正答率が約 8% も低くなっている. ContinueTime の分布を示す図 5.5 より, ContinueTime が 0 以外の事象は, 妨害なしの場合が多く, 連続して正解している事象が比較的多い. これらから神経衰弱ゲームは妨害があることによって連続して当てることが難しくなっていることが分かる.

表 5.2 Type_CheckCard の結果

Type_CheckCard の値		-1	0	1
標本数	妨害なし	207	44	125
	妨害あり	211	47	84
確率(%)	妨害なし	55.0531	11.7021	33.2446
	妨害あり	61.6959	13.7426	24.5614

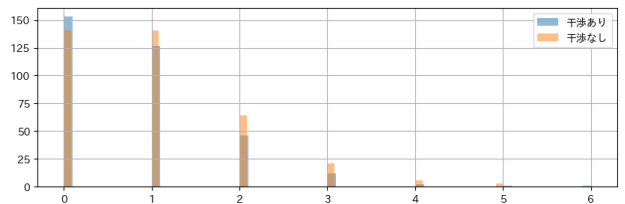


図 1.7 ContinueTime のヒストグラム

5.2 ランダムフォレストの結果

学習後の重要変数を図 5.8 に示す. 図 5.8 より, time2 が Type_CheckCard を分類するのに最重要である. time2 がどのように影響しているかを分析するため, Type_CheckCard の種類ごとの time2 のヒストグラムを図 5.9 に示す. 図 5.9 より, Type_CheckCard=1 は 0 寄りに分布している一方, Type_CheckCard=-1 は比較的右側のより time2 の値が大きい範囲に分布している. 競技者は, 得点を得ている競技機会では早い段階で 2 枚目を選んでおり, 得点を得られなかった競技機会では 2 枚目を選ぶのに時間がかかっている. これは 1 枚目に選んだカードのペアのカードの位置を覚えている場合, 即座に反応して 2 枚目を選んでいくということであり, 競技者が直観システムの機能

によって反応していることが分かる。

一方で間違えている競技機会などは、ワーキングメモリ内のカードのペアの記憶があいまいなため、直観システムから熟慮システムに思考が切り替わり、考察を挟むことによって時間がかかっていることが考えられる。

これらから神経衰弱ゲームで得点を得るには記憶力が重要であるということが示されている。

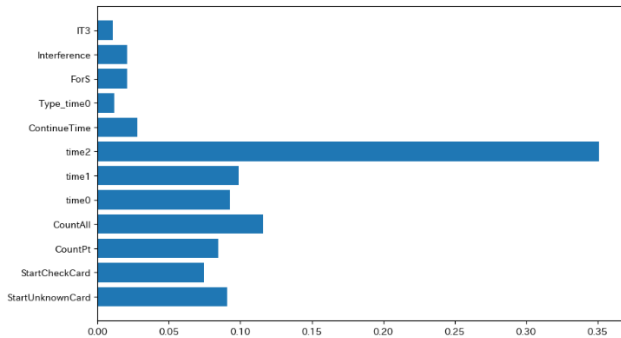


図 5.8 ランダムフォレストの結果

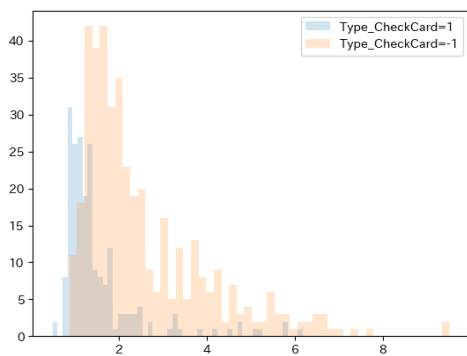


図 5.9 Type_CheckCard ごとの time2 のヒストグラム

5.3 拮抗に必要な要素

本研究では、神経衰弱ゲームの実施中に、イヤホンを装着させる予備動作を強制したうえで、ランダムに警告音を発生させて妨害を行った。実験結果から以下の 6 点の知見を得た。

- time2 の分布より、1 枚目が表になってから 2 枚目をクリックするまでの時間は、妨害なしの場合のほうが短いことが多い
- Type_CheckCard の分布より、妨害なし側のほうが 1 を示す事象が多い。一方で -1 や 0 を示す事象にはあまり差がない
- ContinueTime の分布より、神経衰弱ゲームは妨害があることによって連続して当てるのが難しくなっている
- ランダムフォレストの結果より、神経衰弱ゲームにおいて得点を得るのに重要なのは time2 が短いことであり、これは記憶力が重要であることを示している

これらの知見より、神経衰弱ゲームの試合において、記憶力を操作する妨害行為によって影響を与えることに成功することが判った。

本研究の目的は拮抗した試合状況を作成することである。

意図的に試合を操作するには記憶に影響を与えるような認知負荷の大きい妨害を与えることで、試合を有利に進めている競技者の正解率を下げ、試合結果を拮抗した状態に持ち込むことできる。

6. おわりに

本論文では年齢や世代に関係なく楽しめる娯楽コンテンツを実現するために、どのような妨害行為が神経衰弱ゲームで楽しい状況を持続させるために妥当かを分析した。実験結果の考察より、認知負荷の大きい妨害を挟むことで、ワーキングメモリを攪乱することができ、拮抗した試合状況を作ることができると分かった。

拮抗した試合状況、つまり楽しい状況を維持する娯楽コンテンツは、年齢や世代に関係なく楽しめる娯楽コンテンツであり、本コンテンツは孤独を感じる人々の交流を活性化させることが期待できるといえる。

参考文献

- [1] Adam L. Alter, Daniel M. Oppenheimer, Nicholas Epley, and Rebecca N. Eyal. Overcoming intuition: metacognitive difficulty activates analytic reasoning. *Journal of experimental psychology. General*, Vol. 136 4, pp. 569-76, 2007.
- [2] Jacky Au, Ellen Sheehan, Nancy Tsai, Greg Duncan, Martin Buschkuhl, and Susanne Jaeggi. Improving fluid intelligence with training on working memory: A meta-analysis. *Psychonomic bulletin & review*, Vol. 22, , 08 2014.
- [3] Alan Baddeley. Working memory. *Science*, Vol. 255, No. 5044, pp. 556-559, 1992.
- [4] Sian Beilock, Catherine Kulp, Lauren Holt, and Thomas Carr. More on the fragility of performance: Choking under pressure in mathematical problem solving. *Journal of experimental psychology. General*, Vol. 133, pp. 584-600, 12 2004.
- [5] Mihaly Csikszentmihalyi. *Flow: The Psychology of Optimal Experience*. 01 1990.
- [6] Julianne Holt-Lunstad, Timothy B. Smith, and J. Bradley Layton. Social relationships and mortality risk: A meta-analytic review. *PLOS Medicine*, Vol. 7, No. 7, pp. 1-1, 07 2010.
- [7] Kahneman, D. *Thinking, fast and slow*. Farrar, Straus and Giroux, 2011 (ダニエル・カーネマン 村井章子(訳). *ファスト&スロー—あなたの意思はどのように決まるか?—*. 2014. 早川書房)
- [8] Maxim Kuschpel, Shuyan Liu, Daniel Schach, Stephan Heinzl, Andreas Heinz, and Michael Rapp. Differential effects of wakeful rest, music and video game playing on working memory performance in the n-back task. *Frontiers in Psychology*, Vol. 6, , 10 2015.
- [9] Shu-Chen Li, Florian Schmiedek, Oliver Huxhold, Christina R. Locke, Jacqui Smith, and Ulman Lindenberger. Working memory plasticity in old age: Practice gain, transfer, and maintenance. *Psychology and aging*, Vol. 23, pp. 731-42, 12 2008.
- [10] George A. Miller. 11. The magical number seven, plus-or-minus two or some limits on our capacity for processing information, pp. 175-202. University of California Press, Berkeley, 2023.
- [11] Takao Miyazaki, Toshio Ishikawa, Akinori Nakata, Takashi Sakurai, Akiko Miki, Osamu Fujita, Fumio Kobayashi, Takashi Haratani, Hirofumi Iimori, Shotaro Sakami, Yousuke Fujioka, and Noriyuki Kawamura. Association between perceived social support and th1 dominance. *Biological Psychology*, Vol. 70, No. 1, pp. 30-37, 2005.
- [12] Penelope Sweetser and Peta Wyeth. Gameflow: A model for evaluating player enjoyment in games. *Com 27 puters in Entertainment*, Vol. 3, p. 3, 07 2005.
- [13] Luiz Carlos Vieira and Flavio Soares Corrêa da Silva. Assessment of fun in interactive systems: A survey. *Cognitive Systems Research*, Vol. 41, pp. 130-143, 2017.
- [14] 内閣府. 孤独・孤立の実態把握に関する全国調査 (令和 4 年実施). 2022, https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/kodoku_koritsu_taisaku/zittai_tyosa/r4_zenkoku_tyosa/tyosakekka_gaiyo.pdf (閲覧日:2024/01/22)