

不安が右折判断に及ぼす影響の ACT-R モデリング Modeling of the Effect of Anxiety on Right Turn Decisions Using ACT-R

長島 一真[†], 森田 純哉[†]

Kazuma Nagashima, Junya Morita

[†] 静岡大学

Shizuoka University

nagashima.kazuma.16@shizuoka.ac.jp

概要

不安は、将来的に生じる危険を予測し、回避するうえで重要な役割を果たす。不安による環境への適応は、時間認知などの個別の認知機能への作用によって実現され则认为する。本研究では、ACT-R を用いて、時間の経過に伴う不安の増幅を組み入れたモデルを構築した。そのモデルを利用したシミュレーションにより、現実よりも過大な接近の知覚が生じるルーミング (looming) が発生する条件が明らかになった。

キーワード: 不安; 時間認知; 認知モデル; ACT-R

1. 背景

不安は、危険を回避し環境に適応する上で重要な役割を果たす。その一方で、その過剰な状態である不安障害は、人々の心理的負担を増大させる。近年の研究では、不安が意思決定や注意、さらには時間知覚など、さまざまな認知機能に影響を与えることが示されている。特に不安が高まった状況では、リスク回避的な選択傾向や意思決定の遅延に加え、出来事を実際よりも早く感じるといった時間知覚の歪みが生じることが報告されている (Hartley & Phelps, 2012; Sarigiannidis et al., 2020)。こうした認知的変化は、たとえば自動車の運転のように迅速な判断が求められる状況で重大な影響を及ぼす可能性がある。

本研究では、不安による認知機能への影響を理解するために、認知アーキテクチャの一つである ACT-R (Adaptive Control of Thought-Rational; Anderson, 2007) を用いた運転行動のシミュレーションを行う。中でも、迅速な判断が求められつつ、時間経過によって不安が高まる状況として、交差点での右折を取り上げる。そして、そこでの運転者の時間認知や意思決定に及ぼす不安の影響をモデル化する。その際、本研究では「不安が時間を前倒しに感じさせる」という関係を仮定する。これは、Sarigiannidis et al. (2020) の研究に基づく。彼らは不安が強い状況では、出来事が実際よりも早く起こるように感じられる傾向があると

報告している。本稿では、この仮説を ACT-R 上に実装し、時間の累積によって不安が増幅し、現実よりも過大な接近の知覚が生じるルーミング (looming) を引き起こすモデルを提案する。

2. 関連研究

2.1 不安と認知機能の関係

不安は、将来の出来事に対する認知的な予期によって生じる感情であるとされる (LeDoux & Pine, 2016)。不安による認知機能への影響として、作業記憶に対するものが挙げられる。不安が高まると、注意が脅威関連の刺激に向きやすくなり、その結果として認知資源が分散される。これにより、作業記憶における情報の保持や操作が妨げられる可能性がある (Eysenck et al., 2007)。

こうした作業記憶の負荷は、現在の状況や出来事のタイミングに関する情報処理にも影響を及ぼし、結果として時間知覚の歪みを引き起こす。たとえば、不安状態では内部時計のペースが加速し、時間が実際よりも長く感じられる現象が報告されている (Fayolle et al., 2015)。逆に、不安状態では、出来事の持続時間を実際よりも短く見積もる傾向があり、未来の出来事が早く訪れるように感じられる。これは、将来の脅威に対する予期的と関連していると考えられている (Sarigiannidis et al., 2020)。

このような時間知覚の歪みは、動的な外的刺激に対する反応にも影響を与える可能性がある。Vagnoni et al. (2012) は、ルーミングを引き起こす刺激が提示された際、不安により、その脅威性を認識する速度が変化することを報告した。彼らの研究において、自身に近づく刺激を観察した参加者は、刺激た自身に到達までの主観的な時間 (TTC: time-to-collision) は、図 1 のような対数的なカーブとして知覚した。さらに、彼らの研究では、蛇やクモといった脅威的な刺激 (threatening) が拡大する映像を見せた際、ウサギや蝶などの非脅威的な刺激 (Non-threatening) に比べて、接

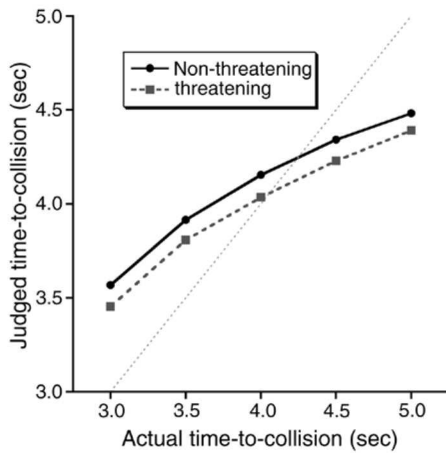


図1 Vagnoni et al. (2012) が行った恐怖刺激時の時間知覚の歪みの結果

触までの時間が短く見積もられる傾向が示された。

2.2 時間認知に基づく不安のモデル

不安を記憶や時間知覚のメカニズムに基づいて統合的に理解をするためには、認知アーキテクチャである ACT-R が有効である。特に、ACT-R が有する時間知覚モジュール (Taatgen et al., 2007) は、注意の配分量と時間知覚の関係を表す AGM (Attentional Gate Model; Zakay et al., 1995) に即し、時間への注意に伴う時間知覚の遅れをシミュレーションする (Anderson et al., 2019)。

さらに、長島・森田 (2025) は、ACT-R の時間知覚モジュールを用いた不安のモデルを提案した。このモデルでは、注意と密接に関係する覚醒度と、ACT-R の時間知覚モジュールにおける時間の刻み (Tick) を反比例の関係として定義した。モデルにおける不安は、モデルが外界に注意を向けず、記憶に基づく予期を繰り返し、Tick のリセットが行われないことで生じると仮定された。その結果、LeDoux & Pine (2016) が指摘するように、不安に伴う行動特性として知られるすくみ行動 (freezing behavior) が観測された。

ただし、先行研究が扱った課題は抽象的な知覚運動協調課題であり、現実人間が不安を感じる状況を模したのではない。そのため、現実的な状況を想定した環境を構築し、不安の時間的推移とその認知的影響を動的に捉える必要がある。

3. モデル

本研究では、現実環境に即した交差点における右折判断を対象とした認知モデルを提案する。このモデルは、図 1 に示す不安時のルーミングの現象をシミュレーションすることを目的とした。そのために、3D の仮想環境を構築し、環境変化のシミュレーションを

もとに、ACT-R の認知モデルにその環境を知覚させた。本節では、3D 環境における課題設定と、提案するモデルの概要について述べる。

3.1 3D 環境

本研究で使用了シナリオは、交差点右折時に対向車が接近する場面や歩行者が出現する状況を想定して構築された。図 2a は、当該シナリオに基づいて構築された仮想環境を示している。

仮想空間内には、信号機、道路、横断歩道、対向車 (画面中央付近の立方体)、および歩行者 (横断歩道手前の円柱) が、実際の交通環境を模して配置されている。視点は一人称に設定されており、カメラの解像度は横 1200 ピクセル、縦 480 ピクセルに固定されている。このカメラは自車の内部からの視点に対応しており、運転者が実際に目にするであろう視覚情報に近い形で外部環境を観察する構成となっている。自車は交差点の中央にある左車線の中央に配置され、対向車や信号機、歩行者などの重要な交通要素が入るように角度が固定された。

本環境では、歩行者は静止し、対向車のみが動的に移動する。対向車は、70 メートル先から秒速 10 メートルの速度 (時速 36 キロメートル) で自車の正面に向かって接近する。接近には約 7 秒を要し、規定された位置に到達すると一時的に画面から消失する。その後、約 3 秒の間隔を置いて再び 70 メートル後方に再出現し、同様の動作を繰り返す。この一連の動作 (出現から消失まで) を 1 周と定義した。

シミュレータのリフレッシュレートは 30fps であり、各フレームごとに時刻、対向車の表示上の座標 (2D スクリーン座標系における位置)、およびその見かけの大きさ (縦方向ピクセル数) を記録した。ここで「見かけの大きさ」は、自車までの距離の逆数に比例して増大する性質があり、対向車が接近するにつれて画面上のサイズが急激に大きくなる。

3.2 モデルの視覚環境

上記の仮想環境における対向車の動作をもとに、ACT-R が知覚する外部環境を構成した。具体的には、3D 環境において記録された対向車の大きさをフレーム単位 (30fps) で再生し、ACT-R が現実に近い視覚刺激を受け取る環境を構築した。図 2b は、ACT-R の視覚モジュールと接続された AGI (ACT-R Graphic Interface) である。AGI 環境は、3D 環境の 10 倍である横 12000 ピクセル、縦 4800 ピクセルの解像度に設定した。これは、3D 環境から得られる対向車の見かけの大きさ (実数) を、整数で処理する AGI 環境における切り捨て誤差を抑えるためである。

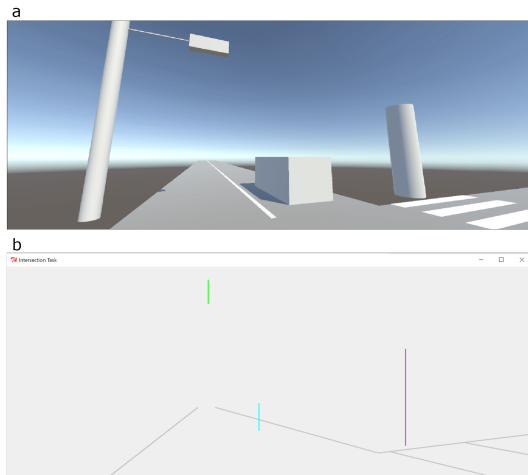


図2 aは3D空間の環境，bはモデルの環境を表す．

画面内には，道路や横断歩道の外枠を示すグレーの線が描画されており，その他の線は視野内オブジェクトの見かけの縦方向の大きさ（スクリーン上の高さ）を動的に反映している．具体的には，緑の線が信号機（空中に配置された四角形），シアン色の線が対向車，マゼンタの線が歩行者に対応している．これらの描画が仮想環境の記録に基づいて変化することで，ACT-Rの視覚バッファに連続的な視覚変化が入力され，ルーミングのモデリングが可能となる．

3.3 交差点右折のモデル

本環境でモデルは，信号，対向車，歩行者のオブジェクトの状態を視覚モジュールを経由して知覚し，右折の可否のために主観的TTCを計算する．図3はTTCを計算するサイクルを示す．モデルは課題の開始後にACT-Rの時間認知モジュールのタイマーをリセットする．その後，信号，対向車，歩行者の中から一つをランダムで選択し，そのオブジェクトに注意を向ける．モデルはオブジェクトに視線を向けることで必要な視覚情報（文字の種類，文字の色，サイズ）を取得する．この時，モデルは，オブジェクトから取得した主観的な情報に基づいてTTCを計算する．

$$TTC = \frac{S_{\text{collision}} - S_{\text{now}}}{\bar{v}_{\text{prev}}} \quad (1)$$

$S_{\text{collision}}$ は衝突時の見かけの大きさ， S_{now} は現在の見かけの大きさを示す． $\bar{v}_{\text{prev}}$ は，

$$\bar{v}_{\text{prev}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{\Delta S_i}{\Delta t_i} \quad (2)$$

として計算される． S_i は図3の「対向車を見る」にてサンプリングされた対向車の大きさ， t_i は時間認知モジュールによるカウント（Tick）を表す．つまり，式2は前の周における時間あたりの大きさ変化の平均で

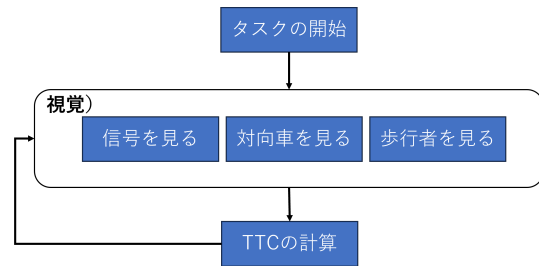


図3 モデルの概要

ある．そして， $\bar{v}_{\text{prev}}$ を分母とすることで，式1は過去の知覚経験を用いて現在の状況の見積もる人間の予測的判断を表す．

なお，ACT-Rの時間認知モジュールによりカウントされるTick (t) は

$$t_n = a \cdot t_{n-1} + \varepsilon_2 \quad (3)$$

によって制御される．カウント (n) 毎にノイズ (ε_2) が加算され，カウントが増えるにつれて，カウント間の間隔が長くなる．この関係から，長期間にわたる時間間隔の見積もりが，短期間内での時間間隔の見積りに対して低い精度となることが説明される．このモジュールでは，人間は時間のカウントが多くなれば徐々に不正確になることをモデル化している．このモジュールの振る舞いにより，時間の経過に伴う不安の高まりに応じて，対向車の速度を早く感じ，オブジェクトの接近を過大評価する，という反応が生じると想定される．

4. シミュレーション

4.1 目的と指標

構築したモデルを用いて，図1に示される不安によって主観的TTCが過大評価されることと，その対数的な推移（ルーミング）を本モデルが再現できるかを検討した．本研究における不安の増幅は，課題の時間の累積（Tickのカウント数）として定義される．この振る舞いを確認するため，式1の主観的TTCを指標として用いた．

4.2 設定

ACT-Rの時間認知モジュールにおけるTickは，課題開始時から終了時までの間，累積される．本シミュレーションでは，対向車が9周走行する設定となっており，1周あたりの走行時間は3D環境と同様に7秒であった．各週の終了後には，次の周回まで3秒間のインターバルが設けられており，この間もTickのカウントは継続された．

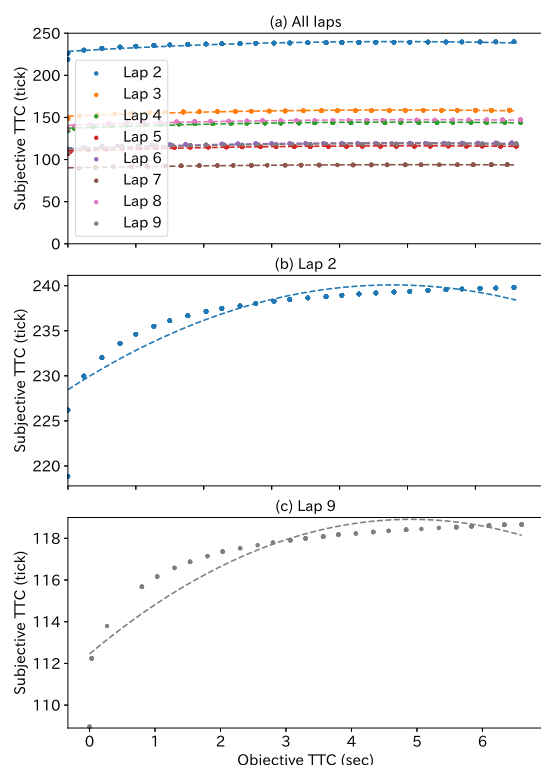


図4 シミュレーション結果. x 軸は実際の TTC を表し, y 軸は主観的 TTC を表す. Lap はそれぞれの周回数を表す.

4.3 結果

図4は, 先行研究 (Vagnoni et al., 2012) に従って, 実際の TTC と式1で算出される主観的 TTC との関係を示した散布図である. モデルは100回 ($n = 100$) 実行され, 各周回における実際の TTC (Objective TTC) と主観的 TTC (Subjective TTC) の対応関係をプロットした. Lap は各周の区別を表し, 点線は, 二次関数による回帰曲線を表す. 図4aのグラフは, 8つの周回すべてをプロットしたものである. 図4bと図4cのグラフは, 各周回の特徴を把握するために, 代表的な2周目と9周目をそれぞれ抜き出して示したものである.

図4aでは, 周回数が増加するにつれて主観的な TTC が減少する傾向が見られる. また, 図4bおよび図4cの回帰曲線は, 対数的な推移を示していることが確認できる. これらの結果は, 図1の結果と整合的であり, 本モデルが仮定する「時間の経過による不安感の増加」が, 不安時における主観的 TTC の変化を再現できていることを示唆している.

5. まとめ

本研究は, 認知アーキテクチャである ACT-R を用いて, 時間知覚と感情に関するモデルを構築するものである. 多様な感情が存在する中で, 本研究では不安

に焦点を当て, 時間知覚が不安を増幅させるプロセスを設定した. 本モデルは, 図1に示されるような, 不安時におけるルーミングの現象を再現した.

本研究の意義は, 感情の一つである不安を認知モデルの基礎的なモジュールと心理学知見を統合し表現したことである. 今後, ここで示したプロセスと人間のデータとの対応を検討することで, 本研究で提案するメカニズムに妥当性を付与することができると考える.

文 献

- Anderson, J. R. (2007). *How Can the Human Mind Occur in the Physical Universe*, New York: Oxford University Press.
- Anderson, J. R., Betts, S., Bothell, D., Hope, R., & Lebiere, C. (2019). "Learning rapid and precise skills," *Psychological Review*, 126(5), 727.
- Eysenck, M. W., Derakshan, N., Santos, R., & Calvo, M. G. (2007). "Anxiety and cognitive performance: attentional control theory," *Emotion*, 7(2), 336.
- Fayolle, S., Gil, S., & Droit-Volet, S. (2015). "Fear and time: fear speeds up the internal clock," *Behavioural Processes*, 120, 135–140.
- Hartley, C. A., & Phelps, E. A. (2012). "Anxiety and decision-making," *Biological Psychiatry*, 72(2), 113–118.
- LeDoux, J. E., & Pine, D. S. (2016). "Using neuroscience to help understand fear and anxiety: a two-system framework," *American Journal of Psychiatry*, 173(11), 1083–1093.
- Sarigiannidis, I., Grillon, C., Ernst, M., Roiser, J. P., & Robinson, O. J. (2020). "Anxiety makes time pass quicker while fear has no effect," *Cognition*, 197, 104116.
- Taatgen, N. A., Van Rijn, H., & Anderson, J. (2007). "An integrated theory of prospective time interval estimation: the role of cognition, attention, and learning," *Psychological Review*, 114(3), 577.
- Vagnoni, E., Lourenco, S. F., & Longo, M. R. (2012). "Threat modulates perception of looming visual stimuli," *Current Biology*, 22(19), R826–R827.
- Zakay, D., Block, R. A. et al. (1995). "An attentional-gate model of prospective time estimation," *Time and The Dynamic Control of Behavior*, 5, 167–178.
- 長島一真・森田純哉 (2025). 時間知覚と感情の関係に関するシミュレーションモデルの提案, 人工知能学会全国大会論文集, 3P6-OS-9b, 人工知能学会.