

生体計測を用いた感情推定による ヒューマンエラー推定の基礎検討

高田尚子¹ 片桐幸徳¹ 菅谷みどり²

概要：近年、計算機器の性能向上などから、人が行なっていた仕事を、自律的に動作するシステムが代替することが増えている。こうした自律システムの進化により、人が介在する作業に関しては減少が予想されるが、自律システムを運用するための初期値の設定や動作の監視、保守点検作業など、人の介在はなくなると予想される。この結果、年々進化する自律システムを、少ない人数で適切に扱う必要が生じ、人のミス（ヒューマンエラー）を防止する重要性が増すと考えられる。本検討では、ヒューマンエラーの防止や影響の低減を目的に、ヒューマンエラーを起こしやすい状態にある人の検出をめざした。ヒューマンエラーを起こしやすい要因のひとつとして感情、特に不安感に着目し、ヒューマンエラーに結びつくような不安感を生体計測結果から推定できるか、実験によって検証した。その結果、不安時に所定動作を実行するまでの時間が増える傾向を確認し、さらに不安感を生体計測（脈拍計、脳波計）によって推定できる可能性を得た。

キーワード：生体計測、不安、ヒューマンエラー、制御、個人適応

1. はじめに

近年、ネットワークの普及や計算機器の性能向上などにより、自動車や建設機械の運転、工場内の組み立て作業、倉庫内の仕分け作業などの、自律システムによる代替が進んでいる。農場では、雑草だけに除草剤を噴霧するロボット[1]や、パブリカの自動収穫ロボットが提案されている[2]。こうした自律システムの進化により、人の労働作業は減少すると予想される。一方、自律システムを運用するための初期値の設定やロボットの動作の監視、そして保守点検作業などの、人の業務は残ると考えられる。Nanette は自動化を進める工場で「ロボットの動作のチェックなどの人の仕事はなくならない」と指摘している[3]。

このように、自律システムの進化は人の介在を減らす一方、その進化への人の追従が課題となっている。稲垣は、人が自律システムに精通する必要性や、自律システムを過信するもしくは信用しないことによる問題を指摘している[4]。自律システムの不測の事態に対する訓練が不十分だったため起きたとされる航空事故も報告されている[5]。自律システムを扱う人において、習熟が不十分なまま作業する可能性が高まっており、人のミス（ヒューマンエラー）の深刻化が懸念される。そのため、今後は、継続的な注視や判断が求められる場面でのヒューマンエラーを防止する重要性が増すと考えられる。

ヒューマンエラーが起こる仕組みの分析や、防止のための研究、取り組みは、すでに多く提案されている[6,7,8,9,10,11,12]。その一方で、災害件数の減少に対し、ヒューマンエラーが原因とみられる事故は減少していないという報告もある[13]。Swain ら[14]や小松原[15,16]は、人の

信頼性が「背後要因」、例えば①情報授受を妨げる環境条件、②生理的に情報処理能力に影響を与えるもの、③心理的情緒的な状態を悪化させるものによって変動すると指摘している。心理的情緒的な状態と行動との関係に関し、Yerkes らは、ストレスの行動効率への影響を指摘している[17]。ヒューマンエラーの防止には、これらの人の心理的状态の特性を加味した研究が必要である。

心理的状态の特性である感情を計測する方法として、近年、生体計測が注目されている[18,19]。池田らは、心拍と脳波を用いて、感情を推定する手法を提案している[20]。しかし、生体計測による感情とヒューマンエラーとの関係を直接評価していないため、想起された感情が人の認知や判断、動作に及ぼす影響を評価できない。また誘起された感情を実施後のアンケートで調査しており、時間経過による感情評価精度の低下が課題である。感情の誘起においても、実験内容と関係の薄い映像を用いており、実験協力者毎に映像から誘起される感情やその強さの個人毎の差が大きい可能性がある。

そこで、本研究では、人の感情変化を生体計測によりリアルタイムに計測し、ヒューマンエラーとの関係を明らかにすることを目的とする。実現のため、ヒューマンエラーを誘発する実験装置を開発し、その際の作業者の感情を生体計測によりリアルタイムに計測する方法を考案した。具体的には、予測、防止が難しい内的要因である「感情」の中で、ストレス時に発生しやすいと考えられる「不安感」に着目し、その強さを観測するため、不安度の計測装置を開発した。また、生体計測（脈、脳波）結果と不安度の関係を分析した。その結果、生体計測によりヒューマンエラーに結びつくような不安感の推定に、一定の可能性を得た。

本論文の構成は以下のとおりである。まず2章にて、ヒューマンエラー研究における課題を説明する。3章にて、ヒューマンエラーを誘発するための、不安感の誘起および評価方法について説明する。4章にて生体計測とヒューマ

1 (株)日立製作所 研究開発グループ
Hitachi Ltd.
2 芝浦工業大学 情報工学科
Shibaura Institute of Technology

ンエラーの評価方法について述べる。5章にて実験方法について述べ、6章にて結果、7章にてまとめと今後の課題について述べる。

2. ヒューマンエラー研究における課題

ヒューマンエラーにおいては、小松原が述べたように、作業者の状態を変動させる、背後要因またはPSFの影響の加味が重要である[15,16]。情報授受を妨げる環境要因や生理的に情報処理能力に影響を与える要因は、作業環境や作業者自身の体調の計測によりある程度の評価が可能である。一方、心理的情緒的な状態の悪化については、必ずしも作業環境に紐づかず、体調からの評価も難しい。

作業者の心理的状态の推定には、アンケートを用いる手法と、生体計測を用いる手法がある。アンケートを用いる手法は、作業者本人の主観評価に依存し、個人毎に設問の捉え方が異なったり、質問の文章や順番に回答が影響を受けるなどの問題もある[21]。生体計測を用いる手法としては、例えば心拍と脳波を用いて、感情を推定する手法がある[20]。鈴木らは、熟練者に比べ、未熟練者では緊張感や不安感を示す生体計測結果がみられると報告している[22]。また、高橋らによる精神性発汗を測定し、作業者の感情の安定性を評価する研究[18]や、清水らによる、運転中の不快感情を心電図から推定する研究[19]がある。しかし、これらは生体計測による感情とヒューマンエラーとの関係を直接評価していない。このため、人の認知や判断、動作に対し、想起された感情がどのような影響を及ぼしたかが評価できない。また、特定の感情を誘起する際、誘起された感情を実施後のアンケートで調査しており、感情を誘起した時点から時間が経過していることで、評価内容が最後の印象に影響されやすく、評価精度に課題がある。さらに、感情の誘起において、実験内容と関係の薄い映像（例えば清水らはサーフィンやホラー映画など）を用いたため、実験協力者毎に映像から誘起される感情やその強さの個人毎の差が大きい可能性がある。

3. 提案

3.1 ヒューマンエラーの誘発と評価

課題を解決するために、本研究では、ヒューマンエラーを誘発し、評価するための実験装置を開発した。また、本実験装置で誘起された作業者の感情をリアルタイムに生体計測し、その結果の分析によって、感情とヒューマンエラーとの関係を評価することを目的とした。目的の実現にあたり、感情としては、未熟練者が抱きやすく[22]、行動効率に影響がある可能性がある[17]「不安感」に着目した。実験装置においては、従来十分に計測されていない「不安感」の強さを評価する指標を考案し、計測可能とした。

さらに、不安感を誘起させた状態でのタスク実行における、生体計測（脈、脳波）を実施し、不安感の強さとヒュ

ーマンエラーの関係の明確化を目的に、評価、分析するものとした。

3.2 不安感と誘起方法

不安感は、自己に不利益が生じる可能性がある場合に発生すると考えられる。例えば、対人不安は、「相手から良い評価を受けるかわからない」などの場合に発生する[23]。他にも、「大事な場面で失敗するかもしれない」などの予測によって発生する[24]。本研究においては、「不利益」として、イメージしやすく、個人毎に不安感の差が出にくいと考えられる「身体への危害」を対象とし、それを誘起し、計測する方法を検討した。

不安感を誘起し、計測する方法として、本研究では自動車運転を用いた。自動車は継続的なモニタリングと操作が必要とされ、ヒューマンエラーの検出にふさわしいと考えた。

3.3 自動車運転による不安感の誘起システム

ヒューマンエラーに結び付く不安感を十分誘起するため、映像は、CGや録画ではなく、実際に走行中の車両の前方映像を提示した。本映像は、実際に実験協力者が「身体への危害」が生じるかもしれないと感じる運転道路のセットを作成し（図1）、そこでミニチュアのロボカーを走行させた結果をリアルタイムに示した映像である。実現のために、屋内にミニチュアのコースを用意し、このコースを走る小型の実験用車両で取得された前方映像を、実験協力者に提示した。ミニチュアのコースの利用は、実環境での走行の際に課題となる外乱を排除するためである。



図1 コース概観図

図1にコースの概観を示した。本コースでは、短い直線路のあと交差点を右折し、長い直線路を経てもう一度右折して試験を終了する。最初の短い直線路は、実験協力者が試験環境に没入するための準備時間として用いた。小型の実験用車両は、ZMP社製のRoboCar®を用い、速度と右側の壁までの距離を一定に保って走行する自律走行プログラムを搭載して自律走行させた。リアリティを増すため、コースは実験協力者の背後に設置し、走行音が聞こえるようにした。

不安感の誘起には、表1に示すRoboCar®の車速と道幅の組合せを用いた。

表1 実験条件の組合せと想定した不安感の強さ

		道幅 ()内は実車道換算[m]		
		狭 (2.8)	中 (3.5)	広 (5.8)
車速[mm/s] ()内は実車 両換算 [km/h]	300 (11)	中	低	低
	450 (16)	中	中	低
	600 (22)	高	中	中
	750 (27)	高	高	中

表1に示す通り、道幅では狭、中、広の3つの条件を設けた。狭い道を高速で走行する映像により、実験協力者の不安感を誘起し、対照用には、広い道を低速で走る映像を用いた。慣れによって不安感が下がらないよう、実験条件は試験毎にランダムに変更した。図2に、それぞれの道幅においてRoboCar®で取得された映像を示す。



狭 中 広

図2 道幅

なお、設定した道幅は、道路構造令第3条、第5条、第13条を参考にした。地方部の道路において、道幅（車線幅員）2.75 mは設計速度40 km/h、30 km/hまたは20 km/hの車道、3.5 mは設計速度60 km/hの車道である。RoboCar®の換算後の走行速度が道路構造令の設計速度より低いのは、最大舵角の制限とLIDARの測距誤差により、右折時および直線路での軌道が不安定となるのを防ぐためである。

不安感の誘起にあたり、ミニチュアのコースへの没入感を高めるため、コースの壁に街の風景写真を貼り、歩道に株式会社エポック社のシルバニアファミリー®シリーズの人形と建物を並べて街を演出した。図3に演出の様子を示す。

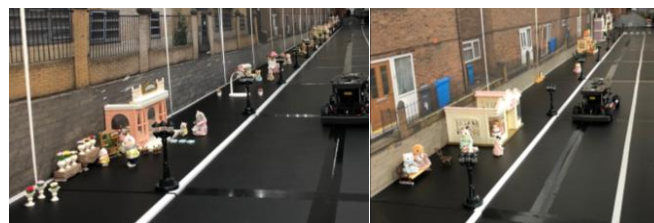


図3 街の演出

3.4 不安感の強さ(不安度)の評価方法

不安感の評価指標として、不安感受性尺度が一般的に用いられる[25]。これは様々なシチュエーションでどの程度不安を感じるかをアンケートで調査し、不安の感じやすさを評価する。実験協力者の定性的な不安傾向を把握できるが、今回の試験のような細かな条件の違いにおける、不安の強さの評価は難しい。試験後のアンケートを用いる方法[26]も一般的であるが、アンケートを取った瞬間の状態の影響を受けやすく、正確性に課題がある。

そこで本研究では、試験中に不安を感じた際にリアルタイムに本人の自己申告ができるようなシステムを新たに開発した。映像の視聴やタスクの邪魔をせず、かつ正確に測定ができるように、PCキーボードの所定キー（以下「不安キー」と呼ぶ）を、不安を感じる間押し続けられるようにした。これにより、不安を感じた時間の長さで、試験中の不安感の強さを評価した。なお、試験中に不安キーの押下されていた総時間を単純に比較すると、RoboCar®の走行速度による、試験の総時間の変化の影響が生じる。そこで、試験毎の不安感の強さの比較が出来るよう、不安キーが押下されていた総時間を以下の式で正規化し、その値を、試験中の不安感の強さの指標として用いた。以降、この値を「不安度」と呼ぶ。基準走行速度は、300 mm/sとした。

$$\text{不安度} = \text{不安キー押下総時間} \times \frac{\text{走行速度}}{\text{基準走行速度}} \quad (\text{Eq. 1})$$

4. 評価手法

4.1 生体計測手法

生体計測では、自律神経と脳の活動に関する情報を取得し、分析するものとした。本手法は池田らが提案した、自律神経系の情報から快不快度、脳の活動に関する情報から覚醒度を取得し、これらを心理指標であるArousal/Valenceモデルに基づき評価する手法を参考とした[20,27]。本手法では、快不快度と覚醒度を直行する2軸とし、この2つの指標の組み合わせから感情を推定する[27]。今回、自律神経の情報として脈を取得するためにWorld Famous Electronics llc.社のPulseSensorを実験協力者の左手の指先に装着した。脳波は株式会社ニューロスカイのMindWaveMobileを用いた。図4に試験中の実験協力者の様子を示す。



図4 試験中の実験協力者の様子

得られた脈、脳波、主観的不安感についてはそれぞれ以下のように数値化した。まず、脈に関しては、拍動間隔のゆらぎの時間領域解析指標である $pNN50$ を算出した (Eq.2)。

$$pNN50 = \frac{NN50}{NN} \quad (\text{Eq. 2})$$

NN は、算出に用いた脈拍間隔の総数、 $NN50$ は、算出に用いた脈拍の中で、隣り合う脈拍間隔の長さが 50 ms 以上異なる間隔の数である。 $pNN50$ は副交感神経の活動に相関があり、 $pNN50$ が大きいほど、副交感神経が働いていて緊張感が低く、快感情であるとされる[28,29]。不安感が「自己の不利益を予想」する際に生じ「緊張感」や「不快」と関係があるとすると、不安感が強まるほど $pNN50$ は小さくなる。本実験では、試験 1 回毎に、1 回目の右折後から試験終了までの脈拍間隔により $pNN50$ を算出し、平均を快不快度とした。

脳波については、Mindwave Mobile で提供される Meditation (≒ α 波の強さ) と Attention (≒ β 波の強さ) の指標を取得し、以下の式を用いて覚醒度の指標とした。

$$\text{覚醒度} = \frac{\text{Attention} - \text{Meditation}}{\text{Attention} + \text{Meditation}} \quad (\text{Eq. 3})$$

この指標は、正の方向に大きいほど覚醒を示し、負の方向に大きいほど、覚醒度が低い (眠気がある) と示す。不安感が緊張感と関係のある場合、不安時には、眠気がなくなり、覚醒度は増加すると予想される。脳波も、1 回目の右折後から試験終了までの覚醒度の平均値を評価に用いた。

4.2 タスク実行の計画

4.2.1 タスクの内容

実験協力者に依頼したタスクの内容について説明する。映像への没入感を途切れさせず、かつタスクの実行の様子を計測しやすいように、映像中に出現する物体に対し、PC キーボードの適したキー (以下「タスクキー」と呼ぶ) をできるだけ早く押下するタスクとした。

出現させた物体を、図 5 に示す。上下左右いずれかの向き及び青、緑、黄のいずれかの色を示す板 (以降「指示板」と呼ぶ) とした。設置場所は、22 m の直線路の歩道上に一つ、右折後に一つとした。

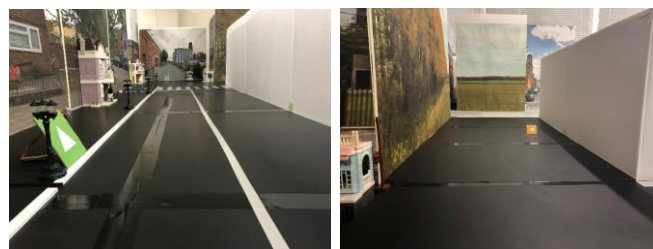


図5 指示板の設置の様子

実験協力者への依頼は、映像に表れた指示板と同じ向きまたは色のタスクキーの押下とした。実験協力者がタスクに慣れにくいように、奇数回次の試験では「指示板と同じ向きのタスクキー押下」、偶数回次の試験では「指示板と同じ色のタスクキー押下」をタスク内容とし、不安感の影響を調査しやすくした。指示板に対し、実験協力者に依頼した内容を表 2、3 に整理する。

表2 奇数回次試験 (向き合わせ) で押下すべきタスクキー

		指示板の矢印の向き			
		上	下	左	右
指示板の色	青	上	下	左	右
	黄	上	下	左	右
	緑	上	下	左	右

表3 偶数回次試験 (色合わせ) で押下すべきタスクキー

		指示板の矢印の向き			
		上	下	左	右
指示板の色	青	青	青	青	青
	黄	黄	黄	黄	黄
	緑	緑	緑	緑	緑

タスクキーとして、PC キーボードのカーソルキー上に、上下左右および青、緑、黄、赤を示すシールを貼付した。図 6 にその様子を示す。



図6 シールを貼付したカーソルキーの様子

実験協力者の慣れを防ぐために、奇数回次と偶数回次の試験内容の変更、設置する指示板の向き、色、直線路上の位置、そしてカーソルキー上のシールの向き及び色の組み合わせを、試験毎にランダムに変更した。なお、単純な反射速度の試験とならないよう、慣れ親しんでいる通常の力

一ソルキーの向きは使用しなかった。また、暗記力の試験ともならないよう、試験開始まではキーボードを隠し、実験協力者がキーボード上のシールの向きと色の組み合わせを覚えられないようにした。

4.2.2 ヒューマンエラーに関する指標(タスクの達成度)

本試験において、表 2, 3 に示したタスクキーを押下できなかった (何も押さなかった、または違うタスクキーを押下した) ことを、ヒューマンエラーの発生とみなした。

また、ヒューマンエラーの発生有無以外にも、タスクキーを押下するまでにかかった時間についても評価した。タスクキーの押下に時間がかかるほど、タスクの処理能力が落ちており、ヒューマンエラーを起こしやすくなっている状態と捉えた。

ヒューマンエラーの発生有無と、タスクキー押下までの時間を総合して、「タスクの達成度」として評価した。表 4 に、タスクの達成度について示す。

表 4 タスクの達成度

押下したタスクキー	押下するまでの時間	タスクの達成度
正しい	平均以下	高
	平均	中
	平均以上	低
間違っている or 押していない	-	ゼロ (ヒューマンエラー発生)

タスクキーを押下するまでにかかった時間を算出するための、起点となる時刻は、直線路上の指示板と右折後の指示板でそれぞれ以下とした。

- ・直線路上：指示板の横を通過した時刻
- ・右折後：2 度目の右折を開始した時刻

タスクキーを押下するまでの時間の評価については、タスクの得意不得意の差が実験協力者間で発生すると考え、実験協力者間での比較はせず、個人毎に相対的に評価した。

5. 実験

実験協力者は、30 代から 40 代の男性 3 人、女性 2 人とした。実験協力者には、非侵襲の試験であること、実験協力者からの申し出でいつでも中止可能であることを理解して頂き、実施した。

ヒューマンエラーに結びつく不安感の検出に向け、以下の順で検討し、不安度、pNN50、覚醒度、タスク達成度の値、相関を評価した。

(1) 解析対象者の選定

1. 各実験協力者の不安度を確認し、不安度が低い試験しかない、または高い試験しかない場合は、不安感とヒューマンエラーとの関係が評価できないため、解析対象から外した。具体的には、最大の不安度が最小の不安度より 15 以上大きい試験が含まれる実験協力者を選

定した。15 の根拠としては、理論的な最大不安度 (基準走行速度 300 mm/s において、不安感に寄与する、直線路の走行時間) が 75 であり、その 20% とした。

2. タスクの達成度の変化を確認し、タスクの達成度が試験を経て向上し、試験への慣れがみられる場合には、同じく不安感とヒューマンエラーとの関係が評価できないため、解析対象から外した。

(2) 生体計測による不安感の推定

不安度、pNN50、覚醒度との関係を確認し、不安感を生体計測結果から推定できるかを検討した。

(3) タスクの達成度への不安感の影響を調査

不安度とタスクの達成度の関係から、タスクの達成度への不安感の影響を調べた。

6. 評価

6.1 解析対象者の選定

6.1.1 各実験協力者において取得したデータ

表 5 に、5 人の実験協力者で取得したセンサデータおよび実施した試験回数を示す。実験協力者 A から C では、脳波計のデータが取得できず、脈拍計データのみの取得となった。実験協力者 A においては、2.2 で述べた 12 の実験条件を 1 度ずつ実施し、実験協力者 B から E においては、12 の実験条件を 2 度ずつ、合計 24 回の試験を実施した。

表 5 実験協力者と計測データ、試験回数

実験協力者	A	B	C	D	E
年齢	30 代	30 代	30 代	30 代	40 代
性別	女性	女性	男性	男性	男性
取得データ	不安 キー	○	○	○	○
	脈拍	○	○	○	○
	脳波	-	-	○	○
試験回数	12	24	24	24	24

6.1.2 不安度に基づく選定

まず、各実験協力者の各試験における不安度を確認した。図 7 に実験協力者 B と C の結果を示す。



図 7 実験協力者 B, C の試験毎の不安度

実験協力者 B のように、最小と最大の不安度に 15 以上の差が見られたのは、実験協力者 A, B, E であった。一方、実験協力者 C, D は、最大 7.2 の差となり、以降の解析対象から外した。

6.1.3 タスクの達成度に基づく選定

実験協力者 A, B, E の, タスクの達成度の変化を確認し, タスクへの慣れの有無について確認した. 各実験協力者の, 右折後の指示板に対する, タスクキー押下に要した時間と, タスクの成否を図 8 に示す. 「エラー」と表記された試験では, 間違ったタスクキーを押下するか, いずれのタスクキーも押下せず, タスクに失敗している.

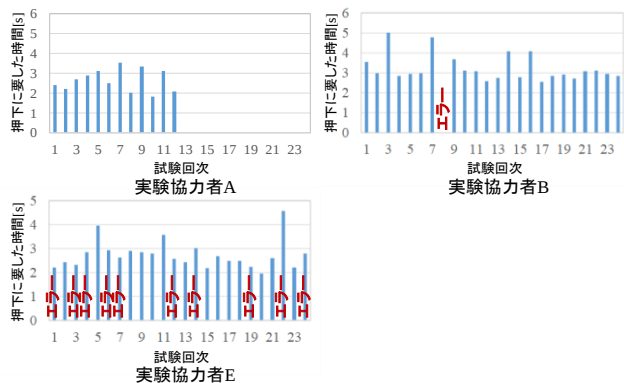


図 8 実験協力者 A, B, E のタスク達成度

今回の 12 回または 24 回の試験では, 慣れ (タスク成功率の向上, タスク実施までの時間の減少) について顕著な傾向は見られなかった. 試験条件をランダムにし, タスクを奇数回次と偶数回次で変えた効果があったと見られる. よって, 実験協力者 A, B, E を解析対象者とした.

6.2 生体計測による不安感の推定

6.2.1 不安度と pNN50 の関係

不安度と, 生体計測 (pNN50) との関係について述べる. 図 9 に, 実験協力者 A の, 不安度と, 脈拍計のデータから算出した pNN50 の結果を示す. 縦軸は, 試験中の pNN50 の平均値である. pNN50 は, 大きいほど緊張感が低く, 快感情とされる[28]. 4 点のみのデータだが, 不安度が高いと pNN50 が低くなる可能性が得られた. pNN50 は, 緊張感や不快を評価する指標であり, 低いほど緊張感が強いいため, 仮説に沿う結果である. ただし, データ数が不十分のため, 今後さらにデータを増やし, 詳しく検証する必要がある.

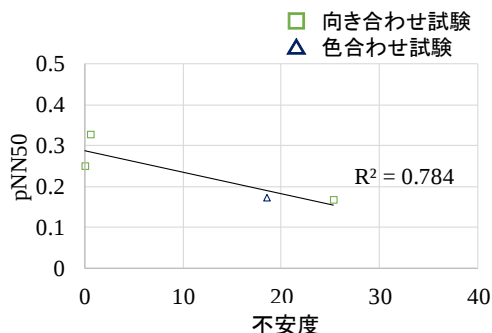


図 9 実験協力者 A の不安度と pNN50

なお, 実験協力者 B, E については, 脈拍データを安定

して取得できなかった. 冬に試験したため, 暖房は作動させていたが, 指先の血流が低下していた可能性がある. 脈拍計を巻く指や巻く強さも変えて試行したが, 改善されなかったため, 以降脈拍についての解析は実施しなかった.

6.2.2 不安度と覚醒度の関係

不安度と, 脳活動に関する指標として算出した覚醒度との関係について述べる. 図 10 に, 実験協力者 E の, 脳波計データから算出した覚醒度と, 不安度との相関の結果を示す. 縦軸は, 覚醒度の各試験中の平均値である. 不安度が 5 以下の試験では覚醒度は 0 以下の値を示し, 眠気が強まっている. 一方, 不安度が 10 以上の試験において, -0.02 以下の覚醒度のデータはなく, 眠気のあるとみられる試験はなかった. 不安感により眠気が減退した可能性がある. ただし, 決定係数は 0.336 と低い. 不安度が 10 以上のデータが 3 点しかなく, データ数が十分とは言えないため, 今後, さらにデータを増やし, 詳しく検証する必要がある.

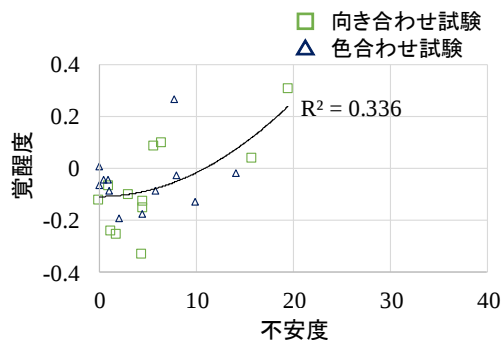


図 10 実験協力者 E の不安度と覚醒度

6.3 タスクの達成度への不安感の影響

6.3.1 直線路上の指示板における結果

図 11 に, 実験協力者 B の不安度と, 直線路上の指示板に対するタスクの達成度 (タスクキー押下に要した時間およびタスクの成否) を示す. 縦軸は, 指示板通過時刻からタスクキーが押下されるまでの時間である. 負の値は, 指示板を通過するより早いタスクキーの押下を示す. 「E」が表示されているデータで, タスクを失敗 (押し間違い, またはいずれのタスクキーも押下しなかった) した.

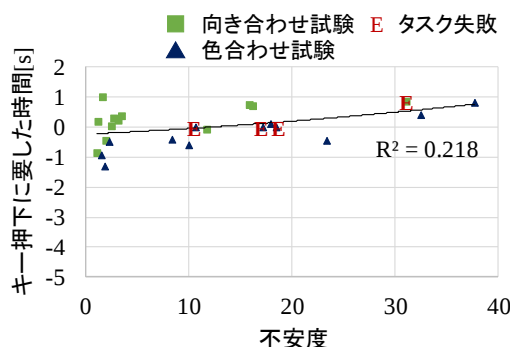


図 11 実験協力者 B の不安度とタスク達成度

不安度が 5 以上の結果において、不安度の増加に伴いタスクキー押下に要した時間が微増する、つまりタスクの達成度が低下する傾向がみられた。ただし、決定係数が小さいため、データを増やして詳しく検証する必要がある。一方、不安度が 5 未満の試験では、タスクキー押下に要した時間にばらつきが生じた。同様の傾向は、実験協力者 A でも見られた。また、実験協力者 F においては、不安度が 2.0 未満の試験 (試験数: 9) の 56%において、タスクを失敗した。なお、実験協力者 F の、不安度が 2.0 以上の試験 (試験数: 17) におけるタスク失敗率は 12%であった。

6.3.2 右折後の指示板における結果

図 12 に、実験協力者 D の、不安度と、右折後の指示板に対するタスクの達成度 (タスクキー押下に要した時間およびタスクの成否) を示す。縦軸は右折開始時刻からタスクキーが押下されるまでの時間である。

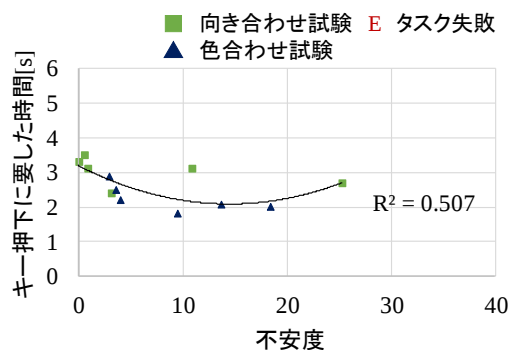


図 12 実験協力者 A の不安度とタスク達成度

向き合わせ試験、色合わせ試験とも、不安度が 5 以上の試験について、不安度によってタスクキー押下に要する時間が増加する傾向は見られない。一方、不安度が 5.0 未満の試験においては、不安度が小さくなるほど、タスクキー押下に要する時間が増加する、つまりタスクの達成度が低下する傾向が見られた。実験協力者 B、E においても、不安度が 5.0 以上の試験において、不安度によってタスクキー押下に要する時間が増加する傾向は見られなかった。

6.4 考察

生体計測による不安感の推定について、脈拍計の値から算出した pNN50 と、脳波計の値から算出した覚醒度それぞれで、不安度と相関がある可能性を得た。具体的には、不安度が高いと、pNN50 の値が低下し、覚醒度が増加する可能性がある。この組み合わせは、ラッセルの円環モデルにおいては、“tense”や“afraid”または“frustrated”などの、「不安感」にあたる感情に対応する第 2 象限に位置する。ただし、現時点では同一の実験協力者について同時に取得されたデータがないため、今後より詳しく検証する必要がある。

次に、タスクの達成度への不安感の影響について、直線路上におけるタスクにおいて、不安度が増加するとタスクの達成に要する時間が増加する可能性が示唆された。タスク

の達成度に影響を与えるほどの不安感を誘起できていた可能性がある。一方、不安度が 5.0 より小さい試験でも、タスクの達成に要する時間にばらつきが生じ、タスクを失敗する確率が上昇する傾向があった。これは、Yerkes らの「適切なストレスの際に作業効率が向上する」という研究[17]に沿う結果であると考えられる。

対照的に、右折後の指示板に対するタスクの達成度は、不安度との相関はみられなかった。実験協力者にヒアリングしたところ、右折をしている 1 s 前後の間に、指示板への心の準備ができるとの回答があった。つまり、22 m の直線路上で構築した不安感が、右折中にリセットされた可能性がある。作業者の状態を好適な状態に戻すことで、ヒューマンエラーを防止できると示唆される。

7. まとめと今後の課題

本研究では、心理的状态とヒューマンエラーの関係の明確化を目的とし、不安感に着目した誘発装置の開発、評価指標の策定および生体計測を検討し、これらの相関を分析した。その結果、まず、生体計測結果からの不安感の推定について、不安感の主観評価結果である不安度と、脈の情報から算出した pNN50、および脳波から算出した覚醒度に、Russell らのモデル[27]に沿う傾向が見られ、pNN50 と覚醒度によって不安感が推定できる可能性を得た。また、不安度が高い場合に、直線路上でのタスクにおいて、タスクの達成に要する時間が長くなる傾向が見られた。これは、実験協力者のタスクの処理能力の不安感による低下を示唆し、ストレスが行動効率を低下させる Yerkes らの研究[17]に一致し、実験協力者の主観的な不安感を適切に計測できたと示唆する結果といえる。

一方で、右折後のタスクの達成に要する時間は、不安度に寄らず安定した。右折中の 1 s 前後の間に不安感をリセットし、タスクに備えた可能性がある。これは、不安感を低減させると、操作や作業などの動作の精度、効率を戻せる可能性を示唆している。

また、右折後のタスクにおいて、不安度が非常に低い場合にも、タスクの達成に要する時間やヒューマンエラーが増加する傾向が見られた。不安度の減退で緊張感が低下し、逆に操作や作業などの動作の精度、効率が低下した可能性がある。これは、ヒューマンエラーを減らすためには、ただ不安を排除するのではなく、個人毎に適切な不安感、緊張感のある状態に維持する必要性を示している。

以上の結果から、生体計測によりヒューマンエラーに結びつくような不安感の検出に、一定の可能性を得た。今後、個人差なども考慮して検出精度を向上させ、さらにヒューマンエラーに結びつく他の感情も検出できるようにすることで、ヒューマンエラーの防止や、影響を抑えるための対策の実行が可能となると考える。

以下、今後の課題について述べる。今回は解析できたデ

ータが少なかつたため、十分な有効性を示せなかつた。今後データ数を増やし、仮説や生体計測による内部状態推定方法を詳細に検証する。その際、特に以下の点に留意する。

・試験設備、タスク内容

今回の試験装置において、一部の実験協力者には、十分な不安感を誘起できなかった。ヒアリングの結果、人形の街への没入感の不足や、タスクに集中して不安感が減退した可能性があった。適切に不安感を変化させられる試験設備で、さらにタスクに成功する場合と失敗（ヒューマンエラー発生）する場合の両方を観測するため、その人に適した難度のタスクを設計し、データを取得する必要がある。

・適切な状態の定義、取得

本報告では「不安感」にフォーカスし、認知、判断、操作などの作業の精度や効率への影響を調査した。しかし、不安感以外にも、作業精度や効率へ影響を及ぼす感情は存在すると考えられる。また、自己申告の感情が、実際の感情ではない可能性も報告されている[30]。このため、ヒューマンエラーを起こしやすい状態を、言葉ではなく生体計測結果で定義していく必要があると考えられる。

・生体計測の利用方法

今回用いた pNN50[28]は、拍動間隔の揺らぎの比率であるため、瞬間毎の心理状態の鋭敏な反映は難しい。対象とするアプリケーションやヒューマンエラーの種類によっては、データに現れるのが遅く適さない可能性がある。一方脳波は、脈拍よりは鋭敏に反応が出るとされるが、脳波自体が微弱であり、視覚や聴覚のあらゆる入力へ反応するため、ノイズを切り分ける必要がある。今後、脈拍や脳波以外の生体計測も視野に、対象アプリケーションを明確にし、適切なセンシング方法を検討する。

参考文献

- [1] Matt Simon: The Future of Humanity's Food Supply Is in the Hands of AI, Wired, 2016
<https://www.wired.com/2016/05/future-humanitys-food-supply-hands-ai/> [Accessed: 01-Nov-2019]
- [2] Matt Simon: The Creepy-Cute Robot that Picks Peppers With its Face, Wired, 2018
<https://www.wired.com/story/the-creepy-cute-robot-that-picks-peppers/> [Accessed: 01-Nov-2019]
- [3] Nanette Byrnes: ロボット化率 99% の工場で、人間はどんな仕事をしているのか?, MIT Technology Review, 2016
- [4] 稲垣敏之: 自動運転は何をもたらす、何を求めるのか?, 安全工学, 2015
- [5] 例えば, BEA: Final Report on the accident on 1st June 2009 to the Airbus A330-203 registered F-GZCP operated by Air France flight AF 447 Rio de Janeiro - Paris, 2012
- [6] Hawkins, F. H.: ヒューマン・ファクタ-航空の分野を中心として-, 成山堂書店, 1992
- [7] 佐藤幸光, 佐藤久美子: 医療安全に活かす医療人間工学, 医療科学社, 2007, 45p.
- [8] 日本看護協会: 医療安全推進のための標準テキスト, 2013
- [9] 日本看護協会: 看護職の健康と安全に配慮した労働安全衛生ガイドライン-ヘルシーワークプレイス (健康で安全な職場) を目指して-, 2018
- [10] R. L. Helmreich et.al: The Evolution of Crew Resource Management Training in Commercial Aviation, International Journal of Aviation Psychology, 1999
- [11] Gross B. et. al: Crew resource management training in healthcare: a systematic review of intervention design, training conditions and evaluation, BMJ Open, 2019
- [12] 厚生労働省: 心理的な負担の程度を把握するための検査等指針, 2015
- [13] 韓宇燮, 大塚輝人ほか: 化学プラントを対象としたヒューマンエラーに起因する災害事例の抽出手法の研究(第1報; ヒューマンエラーに起因する事例の抽出手法の開発), 産業安全研究所特別研究報告, NIIS-SRR-NO.26, 2002
- [14] A. D. Swain, H. E. Guttman: Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications Final Report, NUREG/CR-1278, 1983
- [15] 小松原明哲: ヒューマンエラーのメカニズムとその対応を巡って-ヒューマンファクター研究の現状と課題-, 安全工学, 2003
- [16] 小松原明哲: 認知人間工学からのベテラン作業者のヒューマンエラーの防止, 安全工学, 1999
- [17] R. M. Yerkes, J. D. Dodson: The Relation of Strength of Stimulus to Rapidity of Habit-formation, 1908
- [18] Rikyo Takahashi, Kinji Mori: Emotion sense Ontology to avoid human error on Autonomous Decentralized Multi-Layered Cache System, ISADS, 2013
- [19] 清水茂樹ほか: 深層学習を用いた心電位によるドライバー感情推定, 自動車技術会, 2019
- [20] Yuhei Ikeda, Ryota Horie, Midori Sugaya: Estimating Emotion with Biological Information for Robot Interaction. Procedia computer science 112 (2017): 1589-1600.
- [21] 小池真理: 質問紙の回答の不安定性を引き起こす要因: 学習者ビリーフを調査する質問紙を使用して, 北海道大学留學生センター紀要, 2002
- [22] 鈴木明子ほか: 運針熟練・未熟練者の指貫使用に伴う作業効率及び生理反応の比較-心臓血管・呼吸活動および脳波活動を指標にして-, 日本生理人類学会誌, 2000
- [23] 小川恭子, 上里一郎: 対人不安の発生過程-自己呈示との関連-, 広島国際大学心理臨床センター紀要, 2004
- [24] 土屋香代子ほか: “静脈血採血” 演習時の学生の不安に関する研究(第2報), 宮城大学看護学部紀要, 2006
- [25] S. Reiss et al. : Anxiety sensitivity, anxiety frequency and the prediction of fearfulness, Behaviour Research and Therapy. 1986
- [26] 例えば, 島成佳ほか: IT システム運用現場のヒューマンエラーに影響を及ぼす要因分析と考察, 情報処理学会, 2015
- [27] J. A. Russell and G. Pratt: A description of the Affective Quality Attributed to Environments, Journal of Personality and Social Psychology, Vol. 38, 1980
- [28] Ewing D. J. et al: New method for assessing cardiac parasympathetic activity using 24 h electrocardiograms, Br. Heart J. 52 396-402, 1984
- [29] 伊藤哲平, 菅谷みどり: リハビリテーション促進のためのロボットによる声かけ支援, 情報処理学会第 80 回全国大会, p.4-237 - 4-238, 2018
- [30] 吉田怜司, 菅谷みどり: EQ 指標を用いた生体感情推定手法の評価, 情報処理学会第 80 回全国大会, p.4-227 - 4-228 (2018)