

令和 6 年 5 月 22 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H03528

研究課題名（和文）不確かさの変化にもとづく感情次元の数理モデル開発と逆問題への応用

研究課題名（英文）Mathematical model development of emotion dimensions based on variation of uncertainty and its application to inverse problems

研究代表者

柳澤 秀吉（Hideyoshi, Yanagisawa）

東京大学・大学院工学系研究科（工学部）・准教授

研究者番号：20396782

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,300,000円

研究成果の概要（和文）：不確かさの情報量表現である自由エネルギー（以下、F）を用いて、感情の次元を一般的に説明する数理モデルを開発した。Fが新奇性と複雑さの認識がもたらす情報量の和として解釈できることから、これを覚醒度の指標として位置づけた。これを用いて、適度な覚醒度が快を最大にする覚醒ポテンシャル理論、およびリフレーミングにおける興味の感情を数理的にモデル化した。定式化した感情モデルの妥当性を、音楽刺激を用いた被験者実験、およびカードマジック映像刺激を用いたfMRI脳計測実験により検証した。さらに、感情モデルの逆問題への応用として、新奇性と複雑さを操作可能な美的形状生成システムを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

脳が計算する予測誤差の情報量表現である自由エネルギーを用いて、感情の基本次元である覚醒度と感情価を一般的に数理モデル化した本研究の成果は過去に例を見ない。本研究で提案し検証された感情次元の数理モデルは、感情のメカニズムの解明、感情の予測、さらには生成モデルとしての応用が可能である。よって、感情に関わる科学、工学において広く基盤的な知識を提供する。感情の数理モデルを計算機に実装することにより、ヒトの感情を推論し人の感情に配慮した新たな工学システム開発への応用が期待される。一般的な機械学習と異なり、提案モデルは仕組みの理解が可能なホワイトボックスモデルであるため検証と原因究明が可能となる。

研究成果の概要（英文）：Using Free Energy (hereafter referred to as F), which represents the amount of information in uncertainty, we developed a mathematical model that generally explains the dimensions of emotion. Since F can be interpreted as the sum of information brought by the recognition of novelty and complexity, we positioned it as an indicator of arousal potential. Utilizing this, we mathematically modeled the Arousal Potential Theory, which posits that moderate arousal maximizes pleasure, as well as the emotion of interest in reframing. The validity of the formulated emotion model was verified through experiments using music stimuli and video stimuli of card magic with fMRI measurements. Furthermore, as an application of the inverse problem of the emotion model, we developed an aesthetic shape generation system that can manipulate novelty and complexity to optimize aesthetic pleasure.

研究分野：感性情報学

キーワード：感情 数理モデル 自由エネルギー デザイン 脳計測

## 1. 研究開始当初の背景

覚醒度と感情価(快・不快)は、感情を構成する主要な感情次元である。覚醒ポテンシャル説によれば、適度な覚醒のポテンシャルが快を最大にするヴェント曲線が成り立つ。覚醒ポテンシャルの因子として、新奇さと不確かさがある。著者らの先行研究から、新奇性への驚きは情報利得で定式化できる(Yanagisawa, Kawamata, and Ueda 2019)。また、情報量の平均であるエントロピーは不確かさを意味する。不確かさの変化と感情とを対応させることで、感情次元をより一般的に説明できると考えた。そこで、本研究では、「情報量で表す不確かさとその変化が、感情を一般的に説明する数理となるか」、さらにその数理を用いて「感情の評価モデルを定式化し、これを目的関数とした逆問題へと応用できるか」を問いとした。

## 2. 研究の目的

本研究では、情報量を用いて感情次元を一般的に説明する数理モデルを定式化する。定式化した感情次元モデルを用いて、情報量の変化が感情に与える影響を数理解析と計算シミュレーションにより明らかにする。解析・シミュレーションによるモデル予測を、音楽を用いた実験、および感情喚起刺激を用いた実験により検証する。さらに、感情の数理モデルにもとづく形状の美的好みの評価関数とその逆問題への応用を実現する。

## 3. 研究の方法

**3.1 情報論的自由エネルギーを用いた感情次元の数理モデル化** 脳が感覚刺激について処理する情報量である自由エネルギー $F$ を認識における不確かさの指標として用いる。そして、認知プロセスにおける $F$ の変化と感情とを紐付ける。具体的には、① 認識前後における $F$ の減少量、② 認識完了後の情報利得、および③ 認識後に残った情報量の3点と感情との対応を解明する。①は、認識における情報処理の流暢さ(Fluency)に対応すると考えた。美学や心理学の分野で、流暢さは、美的好みや喜びに寄与する主要な因子とされる。②は、報告者らの先行研究から新奇性に対する驚き(Surprise)を表すことが分かっている。③は、認識の不正確さ、原因の不確かさ、刺激の複雑さなどを意味する量であり、不正確さ(Inaccuracy)と呼ぶ。これは、学習や行動により解消が期待できる情報量である。仮説として、感情価と①は比例関係を成し、②と③はヴェント曲線を成すと考えた。 $F$ は、ベイズモデルを用いて定式化される。そこで、ベイジアン生成モデルのパラメータが、 $F$ の変化①~③に与える影響を数理解析と計算シミュレーションにより網羅的に調べた。パラメータとして、予測と実際の差(予測誤差)、事前分布のばらつき(予測不確実性)、尤度関数の幅(逆精度)を考える。

**3.2 音楽を用いた感情モデル予測の検証実験** 音楽理論の法則性を生成モデルとして利用した提案モデルの検証実験を実施した。和音列からなる音楽のコード進行において、文脈となる和音列S1と評価和音S2の組合せを刺激とした。S1から予想される和音と提示されるS2の差を予測誤差として操作した。また、予測不確実性を、S1へのノイズの混入、音楽理論の習得の有無の二つの方法で操作した。音楽家と、音楽理論の教育を受けていない実験参加者の二群を比較した。評価和音S2に対して、実験参加者に覚醒度(驚き)と感情価(快・不快)についてのリッカート尺度を用いた評価をもらった。評価結果について、予測誤差と予測不確実性が主観的な感情評価に与える影響を検定しモデル予測との一致性を検証した。

**3.3 二重課程(dual-process)における認識切替え時の感情のモデリングと検証実験** 無意識

的な認知処理であるシステム1から意識的な処理であるシステム2への認識の切替えを事前分布の置換としてモデル化した。そして、認識切替え時の自由エネルギーの変動を用いて、情報処理の流暢性と非流暢性の解消をもたらす感情をモデル化した。システム2における非流暢性の解消をもたらす興味 (interest) について、事前分布置換え後の自由エネルギー減少量を用いて定式化した。認識の遷移における興味の感情の指標として、事前分布切替え後の  $F$  減少量を用いた解析を行った。事前分布、および尤度のパラメータが  $F$  減少量に与える影響を調べた。トランプカードマジックの映像を用いて、マジックの種を理解した瞬間を認識切替えのタイミングとし、その際の感情反応を脳計測 (fMRI) および主観評価から取得する検証実験を行った。このとき、映像の視点を変えることでカードの状態 (位置) に対する予測誤差を操作した。また、種を明かす際に最終的なカードの状態を見せないことで、認識変化後の不確実性を操作した。

**3.4 感情の数理モデルにもとづく形状の美的好みの評価関数と、逆問題への応用** 報告者 (加藤) らの研究により、輪郭形状の曲率の遷移確率分布のエントロピー (情報量の平均) と、複雑さや秩序などの大局的な形状特徴 (ゲシュタルト) の認識との相関関係が確認されている (Ujiic et al. 2012)。そこで、ヒトが典型的と感じる基準形状  $S1$  を定義し、 $S1$  から他の形状  $S2$  への情報量の変化が、形状間の大局的な特徴の差異を表し、ひいては美的好みと関係すると考えた。その検証と逆問題への応用のために、まず、評価者に基準形状  $S1$  を学習させた。次に、 $S1$  からの逸脱量を情報量の変化で段階的に操作した  $S2$  を評価刺激として評価者の感情反応 (美しさや好みなど) を取得した。これにより、モデル予測 (情報量の変化に対する、覚醒度評価の比例関性と感情価のヴェント曲線) を検証するとともに、美的好みの評価関数を定式化した。最後に、得られた評価関数に基づく形状生成システムを開発しその有効性を示した。

## 4. 研究成果

**4.1 自由エネルギーを用いた一般化覚醒度モデルの定式化 (Yanagisawa 2021)** 自由エネルギーの式を変形すると、情報獲得  $BS$  を表す  $BS$  とモデルの不正確さの項の和として表せる。 $BS$  は、新奇性に対する驚きに対応する。モデル解析の結果、十分な観測数のもとで不正確さは、不確実性を意味する観測分布のエントロピーに収束することが分かった。よって、 $F$  は、新奇性、不確実性、観測の複雑さなどの因子をもたらす総合的な情報量を意味する。そこで、本研究では、 $F$  を一般化覚醒度モデルとした。図1に示したように、ガウス分布を用いたモデルは予測誤差  $\delta$  の二次関数となることが分かった。解析の結果、条件に依らず、 $\delta$  と事前分布の分散  $s_p$ 、および  $\delta$  と尤度のバラツキ  $s_l$  に、それぞれ交互作用が生じることが分かった。すなわち、 $\delta$  が小さい領域では、 $s_p$  および  $s_l$  が  $F$  を増加させるが、 $\delta$  が大きい領域では、 $s_p$  および  $s_l$  が  $F$  を減少させる。 $s_p$  および  $s_l$  は、 $\delta$  が  $F$  に与える影響の感度を低下させることが分かった。

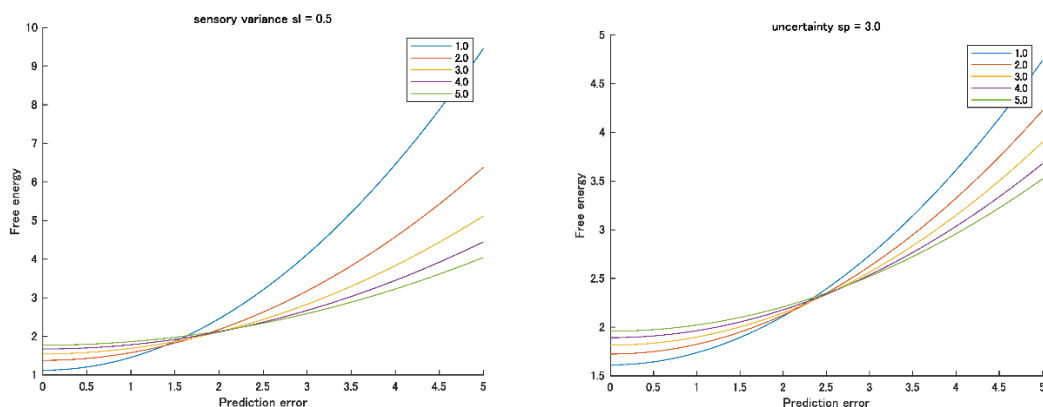


図1 一般化覚醒モデル。左図: 予測誤差と予測不確実性、右図: 予測誤差と観測不確実性の交互作用。

#### 4.2 新奇性に対する受容性モデルと音楽を用いた検証 (Miyamoto and Yanagisawa 2021)

報酬系 (reward) と嫌悪系 (aversion) を、それぞれ情報獲得 BS のシグモイド関数であらわし、その和を覚醒ポテンシャル関数とする定式化を提案した。この数理モデルを用いて、予測の不確実性 $S_p$ が、受容される予測誤差 $d_0$ の範囲に与える影響を解析した。その結果、 $S_p$ の大きさの範囲により、 $S_p$ が $d_0$ に与える影響が異なることが分かった。 $S_p$ が中程度の領域IIの範囲が相対的に大きく、この領域において、 $S_p$ の増加に伴って $d_0$ が増加することが分かった (図2)。

このモデル予測を仮説として、3.2 で述べた音楽の和音を刺激として用いた実験により検証した。その結果、音楽理論の知識を有さない実験参加者では、仮説を支持する結果を得た。すなわち、予測の不確実性が高い場合に、音楽理論から逸脱した和音に対する受容性が増大した。一方、音楽知識を有する実験参加者 (音楽教師) においては、仮説とは逆に、予測の不確実性が高い場合に音楽理論と逸脱した和音に対する受容性が低下した。この結果は、モデル解析の結果 (図2) における領域 I に対応すると考察した。

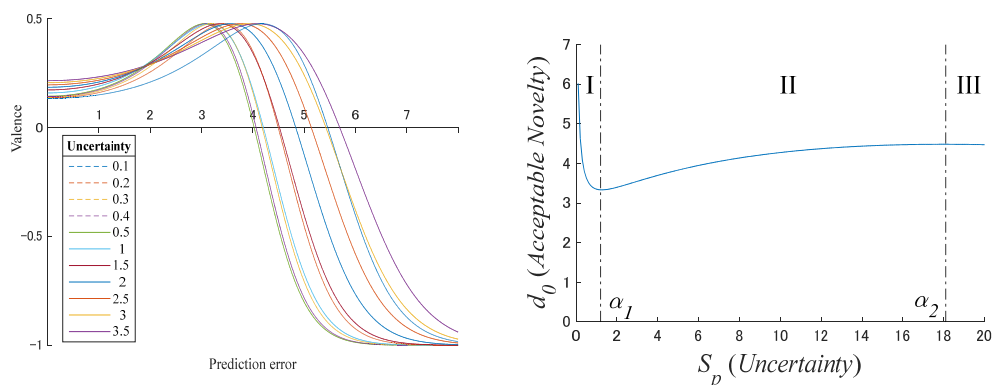


図2 予測誤差に対する感情価の関数モデル(左図)、および不確実性が受容可能予測誤差に与える影響(右図)。

#### 4.3 認識の切替え時における感情のモデルと実験検証 (Yanagisawa et al. 2023; Ueda, Wu and Yanagisawa 2024)

認識の二重課程におけるシステム1からシステム2への認識切替えを、事前分布の切替えとしたベイジアンモデリングを提案した。このベイズモデルから、認識カテゴリ  $i$  から  $j$  への切替えにおいて生じる  $F$  の増減を定式化した。カテゴリ  $j$  として認識した際の  $F$  の減少量 $\Delta F_j$ が、それぞれの事後分布間の KL-divergence として表せることが分かった。本研究では、 $\Delta F_j$ が情報処理における非流暢性の解消 (dis-fluency reduction) に対応し、認識切替え時における $\Delta F_j$ が興味の感情を説明すると考えた。

ガウス分布からなる生成モデルを用いて、分布のパラメータが $\Delta F_j$ に与える影響を解析した。その結果、カテゴリ  $i$  と  $j$  の事前分布の分散の大小関係によって、カテゴリ  $j$  からの正規化した予測誤差 $r_j$ が $\Delta F_j$ に与える影響が異なることが分かった。すなわち、認識切替え後のカテゴリの不確実性が切替え前と比べて小さい場合、予測誤差 $r_j$ の増大に伴って面白さに対応する $\Delta F_j$ が増大する。一方、認識切替え後のカテゴリの不確実性が切替え前と比べて大きい場合、予測誤差 $r_j$ の増大に伴って $\Delta F_j$ が減少することが分かった。3.3 で述べたトランプカードマジック映像を刺激とした実験の結果、モデル仮説を支持する結果を得た。

#### 4.4 感情モデルの逆問題への応用：美的形状生成 (Honda, Yanagisawa, and Kato 2022; Honda and Yanagisawa 2023)

覚醒ポテンシャルを構成する新奇性 (novelty) と複雑さ (complexity) を操作した形状を生成可能な AI システムを開発した。本システムでは、二次元閉曲線から構成される形状を対象とし、曲線の曲率分布のエントロピーを複雑さ、典型形状からのフーリエ主成分距離を新奇性の指標として用いた。開発したシステムでは、ユーザが所定の新奇性、および複雑さ

の値を入力すると、その値に最適化された形状を出力する。形状の生成には GAN（敵対的生成ネットワーク）を用いている。図 3 に、新奇性と複雑さの値を段階的に操作した際の、提案システムによる生成形状の例を示す。ユーザは、適度な新奇性と複雑さの値を、出力形状を参照しながら調整可能である。これにより、最適覚醒水準となる形状を探索できる。開発したシステムが出力した形状を、被験者実験により評価し、新奇性と複雑さの認識が提案指標と相関することを確認した。さらに、それらの指標の和と、面白さの評価が正に相関することを示した。

Reference	Fourier Principal Component Distance (Novelty)						
	2	5	8	11	14	17	
Curvature Entropy (Complexity)	0.18	10	4	21	3	5	8
	0.20	28	14	29	33	31	34
	0.22	11	18	17	19	25	9
	0.24	13	26	15	32	35	2
	0.26	1	23	6	12	27	16
	0.28	24	7	30	20	22	×

図 3 新奇性と複雑さを段階的に操作して生成した蝶の形状の例

**4.5 ガウス曲率分布を用いた自由エネルギーにもとづく形状生成** (Sasaki, Kato, and Yanagisawa 2023) 3次元曲面から構成される形状からガウス曲率分布を求めることで形状を確率分布としてコーディングする手法を開発した。これを用いて、基準形状分布  $P$  と対象形状分布  $Q$  との間のガウス曲率 KL 情報量を新たに提案した。ガウス曲率 KL 情報量の値を段階的に操作した対象形状を作成し、基準形状との逸脱度の主観評価を被験者実験により得た。その結果、ガウス曲率 KL 情報量と逸脱度の主観評価との間に、有意な相関が確認された。これにより、ガウス曲率 KL 情報量が、基準形状からの逸脱、すなわち新奇性を表すことが示された。さらに、ガウス曲率 KL 情報量に、形状の複雑さの指標であるガウス曲率エントロピーを加えたガウス曲率自由エネルギーを定義した。ガウス曲率自由エネルギーを段階的に操作した形状を生成し、これらと美的好みの主観評価との関係を被験者実験により調べた。その結果は、被験者の評価対象(自動車)に対する知識量に依存して異なる傾向が示された。その中で、知識のある被験者グループにおいて、図 4 に示した様に、ガウス曲率自由エネルギーと美的好みの主観評価にヴント曲線にみられる逆U字の関数を描くことが明らかとなった。これにより、ガウス曲率自由エネルギーが、形状における覚醒ポテンシャルを表すことを示した。

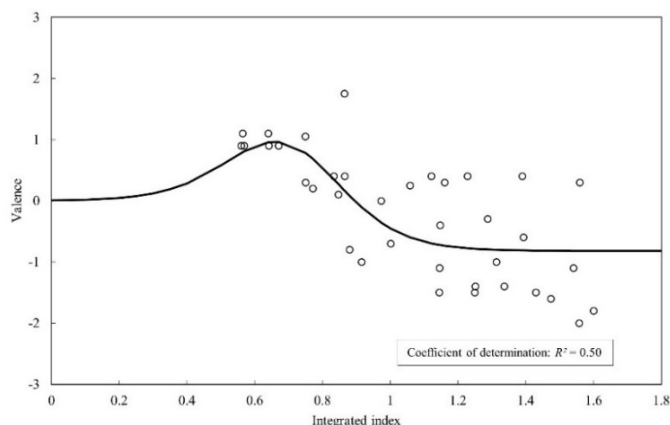


図 4 ガウス曲率自由エネルギーと美的好みの主観評価の関係

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 8件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Yanagisawa, Hideyoshi, Wu, Xiaoxiang, Ueda, Kazutaka, Kato, Takeo	4. 巻 157
2. 論文標題 Free energy model of emotional valence in dual-process perceptions	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Neural Networks	6. 最初と最後の頁 422 ~ 436
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.neunet.2022.10.027	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Honda, Shimon, Yanagisawa, Hideyoshi, Kato, Takeo	4. 巻 33
2. 論文標題 Aesthetic shape generation system based on novelty and complexity	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Engineering Design	6. 最初と最後の頁 1016 ~ 1035
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/09544828.2022.2155343	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Matsuyama, Kazuma, Shimizu, Takahiro, Kato, Takeo	4. 巻 25
2. 論文標題 Systematic Classification of Curvature and Feature Descriptor of 3D Shape and Its Application to "Complexity" Quantification Methods	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Entropy	6. 最初と最後の頁 624 ~ 624
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/e25040624	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Yanagisawa, Hideyoshi, Miyamoto, Masafumi, Arima, Satsuki	4. 巻 20
2. 論文標題 Modelling of State of Charge Recognition: Use of a Bayesian Approach to Formulate Hidden State Perceptions and Emotions	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Intelligent Transportation Systems Research	6. 最初と最後の頁 612 ~ 622
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s13177-022-00313-5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yanagisawa, Hideyoshi	4. 巻 9
2. 論文標題 Information Theoretic Emotions? A Mathematical Framework of Emotion Potential Caused by Complexity and Novelty	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Emotional Engineering	6. 最初と最後の頁 113 ~ 123
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-031-05867-7_10	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ueda, Kazutaka	4. 巻 9
2. 論文標題 Cognitive Neuroscience for Design	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Emotional Engineering	6. 最初と最後の頁 49 ~ 55
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-031-05867-7_5	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yanagisawa, Hideyoshi	4. 巻 15
2. 論文標題 Free-Energy Model of Emotion Potential: Modeling Arousal Potential as Information Content Induced by Complexity and Novelty	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Computational Neuroscience	6. 最初と最後の頁 1-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fncom.2021.698252	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ueda, Kazutaka, Sekoguchi, Takahiro, Yanagisawa, Hideyoshi	4. 巻 16
2. 論文標題 How predictability affects habituation to novelty	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 PLOS ONE	6. 最初と最後の頁 1-15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pone.0237278	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ueda, Kazutaka, Sakai, Yuki, Yanagisawa, Hideyoshi	4. 巻 15
2. 論文標題 Quantitative evaluation of sense of discrepancy of operation response using event-related potential	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing	6. 最初と最後の頁 1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/jamdsm.2021jamdsm0023	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 柳澤秀吉	4. 巻 57
2. 論文標題 自由エネルギーを用いた認識・行動・感情の数理モデル (感性設計のための数理 第3報)	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 設計工学	6. 最初と最後の頁 41-48
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 加藤健郎	4. 巻 57
2. 論文標題 閉曲線形状に関する感性の定量化を目指して	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 設計工学	6. 最初と最後の頁 71-77
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Isono Masaki, Yanagisawa Hideyoshi	4. 巻 120-121
2. 論文標題 Sense of agency in operations with delays: A free-energy model and application to interface design	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of Mathematical Psychology	6. 最初と最後の頁 102859 ~ 102859
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmp.2024.102859	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -



〔学会発表〕 計25件（うち招待講演 4件 / うち国際学会 7件）

1. 発表者名 Yanagisawa, Hideyoshi
2. 発表標題 Modelling Cognitive Bias in Safety using Bayesian Inference
3. 学会等名 15th World Congress on Computational Mechanics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Sasaki, Hiromasa, Kato, Takeo, Yanagisawa, Hideyoshi
2. 発表標題 Novelty index for curved surface using KL divergence and its effectiveness on industrial product
3. 学会等名 KEER2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hayashi, Jumpei, Sasaki, Hiromasa, Kato, Takeo
2. 発表標題 Cross-modal effect between taste and shape controlled by curvature entropy
3. 学会等名 KEER2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Xiaoxiang Wu, Kazutaka Ueda, Hideyoshi Yanagisawa
2. 発表標題 Modelling emotions of aha moment in category shifting
3. 学会等名 13th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ueda, Kazutaka
2. 発表標題 Cognitive Neuroscience for design
3. 学会等名 13th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 柳澤秀吉
2. 発表標題 予測する脳の予測 (心のデジタルツインを目指して)
3. 学会等名 日本機械学会年次大会2022 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 本多 詩聞, 柳澤 秀吉, 加藤 健郎
2. 発表標題 形状における新奇性と複雑さの定式化とデザインへの応用-新奇性と複雑さを操作可能な形状生成システムの実装-
3. 学会等名 日本機械学会 第32回設計工学・システム部門講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 白田知永、柳澤秀吉
2. 発表標題 自由エネルギーを用いた動的な感情次元の数理モデリング
3. 学会等名 日本機械学会 第32回設計工学・システム部門講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 本多詩聞、柳澤秀吉
2. 発表標題 形状における新奇性と複雑さの定式化と逆問題への応用
3. 学会等名 第92回形の科学シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 本多詩聞、柳澤秀吉、加藤健郎
2. 発表標題 デザイン における新奇性と複雑さの定式化と逆問題への応用 新奇性と複雑さを制御可能な形状生成システムの開発
3. 学会等名 第69回 日本デザイン学会 春季研究発表大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 白田知永、柳澤秀吉
2. 発表標題 自由エネルギーの変化に基づく感情次元の数理モデリング
3. 学会等名 第24回日本感性工学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 林淳平，佐々木皓正，加藤健郎
2. 発表標題 曲率エントロピーを用いた視覚と味覚のクロスモーダル効果の解析
3. 学会等名 日本機械学会 第32回設計工学・システム部門講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tomohisa Usuda、Hideyoshi Yanagisawa
2. 発表標題 Mathematical Modeling of Emotion Potential and Pleasure Based on the Dynamics of Free Energy: Verification Using Experimental Data of Musical Pleasures
3. 学会等名 International Symposium on Affective Science and Engineering (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yubo Feng、Hideyoshi Yanagisawa
2. 発表標題 Modeling emotions with the free-energy reduction in category recognition: A hierarchical Bayesian approach for perception process
3. 学会等名 International Symposium on Affective Science and Engineering (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Okada, M, Yanagisawa, H.
2. 発表標題 Modeling Human Prediction for Autonomous Mobile Robot Motion : Prediction based on a Latent Variable of Driving Force
3. 学会等名 iDECON/MS2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Satsuki ARIMA, Masafumi MIYAMOTO and Hideyoshi YANAGISAWA
2. 発表標題 Modeling human recognition of the state of charge
3. 学会等名 iDECON/MS2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ueda, Kazutaka
2. 発表標題 Effect of aesthetic appeal on large scale brain networks
3. 学会等名 12th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 柳澤秀吉
2. 発表標題 感性の数学的原理の探求
3. 学会等名 日本機械学会第31回設計工学・システム部門講演会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 柳澤秀吉
2. 発表標題 期待としての安心感とその数理
3. 学会等名 安全工学シンポジウム2021（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 張晋赫、柳澤秀吉
2. 発表標題 製品の機能・性能の探求を促す内発的動機付けの数理モデリング
3. 学会等名 Designシンポジウム2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 柳澤秀吉, 上田一貴, 加藤健郎, 村松慶一, 大泉和也
2. 発表標題 感性モデリング - 感性のメタモデルを考える -
3. 学会等名 第23回日本感性工学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岡田真範, 柳澤秀吉
2. 発表標題 自律移動ロボットの加速に対する人の予測のモデリング - 駆動力を潜在変数 とした加速に対する予測 と反応
3. 学会等名 第23回日本感性工学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 張晋赫, 柳澤秀吉
2. 発表標題 AIエージェントへの対話を促す動機付けの数理モデル
3. 学会等名 ヒューマンインタフェースシンポジウム2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伊藤武將, 岡野晃大, 加藤健郎
2. 発表標題 閉曲線形状における「美的好み」の推定方法
3. 学会等名 Designシンポジウム2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松山和真, 岡本昌也, 加藤健郎
2. 発表標題 三次元形状における美的好みの定量化の試行
3. 学会等名 Designシンポジウム2021
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 柳澤秀吉	4. 発行年 2021年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 533
3. 書名 知覚と感情の数理モデリング. 「ヒトの感性・認知」解析への人工知能の活用とモデリング	

1. 著者名 上田一貴	4. 発行年 2021年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 655
3. 書名 脳波計測による感性, 創造性の評価. ヒトの感性に寄り添った製品開発とその計測, 評価技術	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	加藤 健郎  (Takeo Kato)  (70580091)	慶應義塾大学・理工学部(矢上)・准教授   (32612)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	上田 一貴  (Kazutaka Ueda)  (10403594)	東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・特任研究員    (12601)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関