

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 5 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05755

研究課題名(和文)期待効果の数理モデルの開発：材質感の評価を用いた検証

研究課題名(英文)Development of a mathematical model of expectation effect

研究代表者

柳澤 秀吉 (Yanagisawa, Hideyoshi)

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) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：期待は、知覚経験を変える。期待によるバイアスを期待効果とよぶ。期待効果には、同化と対比の二つのパターンがある。対比は期待不一致を過大評価し、同化は期待不一致を過小評価する知覚上のバイアスである。本研究では、脳神経の符号化原理を用いて、期待効果の同化と対比の条件を説明する数理モデルを開発した。このモデルを用いた計算機シミュレーションから、1)予測誤差の増加に伴い同化から対比に遷移する、2)不確実性の減少により同化と対比のいずれにおいてもバイアス量が大きくなる、3)外乱の増加により同化が生じやすくなる、を明らかにした。大きさ重さ錯覚を用いた実験から数理モデルの妥当性を確認した。

研究成果の概要(英文)：Prior expectation affects posterior perceptual experience. This contextual bias is called expectation effect. Previous studies have observed two different patterns of expectation effect: contrast and assimilation. Contrast magnifies the perceived incongruity, and assimilation diminishes the incongruity. This study proposes a computational model that explains the conditions of contrast and assimilation based on neural coding principles. This model proposed that prediction error, uncertainty, and external noise affected the expectation effect. Computer simulations with the model show that the pattern of expectation effect shifted from assimilation to contrast as the prediction error increased, uncertainty decreased the extent of the expectation effect, and external noise increased the assimilation. We verified the simulation results by comparing to an experimental result using the size-weight illusion (SWI) as a case of the expectation effect.

研究分野：設計工学

キーワード：感性設計 期待 知覚 クロスモーダル 数理モデル 符号化原理 大きさ重さ錯覚 不確実性

1. 研究開始当初の背景

一般に、製品やサービスの品質は、当たり前、性能、および魅力品質の3つに分けられる。このうち、魅力品質は、不足しても不満はないが充足すると高い満足をもたらす品質である。質感や快適性など、ユーザーが五感を通して経験し評価する感性品質は、魅力品質を実現する上で重要な設計要件である。製品開発において、感性品質を設計する（以下、感性設計）ためには、ユーザーの感性を物理量で表現する必要がある。研究代表者らは、これまで一貫して感性設計の方法論開発および実設計への応用に関する研究を行ってきた。特に、感性設計における未踏問題として、感性の多様性と潜在性に対応する感性設計手法を開発し産業界への応用を実現している。

従来の感性設計研究では、光、熱、流れ、音など、製品がもたらす物理現象をユーザーが経験した際の感性反応を官能評価等で取得し、物理現象と感性の間の関係を定式化するアプローチが主であった。しかし、製品とユーザーとの関わりを時間軸で捉えると、物理現象を感覚刺激として経験する前に期待が形成される。そして、事前の期待が事後の経験と評価に影響する。たとえば、製品に触れる前に、見た目によってその感触を期待（予想）する。視覚による期待と触覚による感覚の不一致が生じると、意外と良い、悪い、などの意外性を伴った評価をえる。一般に、製品やサービスに対する満足は、知覚される良さだけでなく期待との不一致（期待不一致）に影響を受ける（期待一致理論）。さらに、期待は知覚内容を変容させるバイアスとして作用する。この作用を期待効果と呼ぶ。期待効果は、知覚および期待不一致の両方に影響する。そのため、期待効果は、期待を伴うUXの感性設計に本質的に重要な因子であると考えた。

この着想にもとづき、研究代表者らは科学研究費の研究において、製品表面の質感を対象に、視覚が触覚に与える期待効果を定量的に抽出する評価手法を開発した。見てから触るという感覚遷移は、一般的に観察される行動シーケンスであるため、視覚が触覚に与える期待効果に注目した。この方法では、視覚と触覚の刺激をハーフミラーにより仮想的に合成し、それらの一致性を操作して反応を得る。提案手法を工業製品に用いられるテクスチャに適用した結果から、視覚予測が触覚の知覚に与える期待効果を定量的に抽出した。さらに、事後の経験を事前の期待に近づける効果（同化）と、事前の期待と事後の経験の差を強調させる効果（対比）の二種類の期待効果のパターンが存在することを明らかにした。

研究代表者らの一連の研究から、期待効果の度合いを定量的に評価可能とし、同化と対比の二つのパターンを抽出した。しかし、期待効果が、なぜ、どの様に生じるかのメカニ

ズムは明らかになっていない。期待効果の一般的なメカニズムが明らかになり、数理モデルとして定式化できれば、UXにおける感性を計算機上でシミュレーションし、期待不一致の影響を推定することが可能になると考えた。

製品開発においては、製品の物理モデルを計算機上に表現して数値シミュレーションし、設計上流段階で設計代替案の評価が可能となるモデルベース設計の有効性が注目されている。感性においても計算機上でシミュレーション可能とすることで、設計代替案に対する感性予測にもとづくモデルベース設計が可能になると考えた。

2. 研究の目的

UXの時間軸過程において、事前の期待と事後の経験に差異が生じた際の、期待効果および期待不一致の影響を推定する計算モデルを構築する。提案モデルを用いた数値シミュレーションにより、期待効果の強度、同化・対比のパターン発生条件、および期待不一致の影響を明らかにする。

提案モデルの検証として、製品の材質感に対する感性評価を用いる。材質感は、視覚、触覚など、異なる感覚を時間軸で切り替えて知覚される感性品質である。たとえば、製品を見てから持ち上げる行動シーケンスにおいては、視覚から、触覚、体性感覚への遷移がある。これらの感覚遷移の前で期待効果と期待不一致が生じると考えた。たとえば、「見た目よりも意外と重く重厚感がある」という評価は、重さの期待不一致とそれが引き起こす質感の良さの評価を表している。また、期待効果の数理モデルに対する検証材料として、事前に予想した重さが持ち上げた際の重さの知覚に影響する錯覚（WI: weight illusion）を用いる。

以上の目的にもとづき、以下の項目を実現する。

□期待効果の計算モデルの構築： 予測（例、見ただ目で予想した重さ）と感覚（例、持ち上げた時に作用する力覚刺激）を分布であらわし、それぞれ事前分布、尤度関数とする。この二つの分布を用いて、知覚（例、知覚される重さ）の分布（事後分布）を推定する計算モデルを定式化する。このとき、期待効果は尤度関数のピーク値と事後分布の期待値の差である。

□期待効果の強度、および同化と対比の発生条件の解明： 計算モデルを用いた数値シミュレーション、および重さ感における期待効果(WI)の実験結果から、予測、感覚、およびそれらのズレを操作した際の期待効果の発生条件を明らかにする。対比は、期待不一致を増加させ、同化は期待不一致を減少させる。同化と対比の境界条件を明らかにすることにより、期待効果が期待不一致に与える影響を予測、あるいは制御するための指標を得る。

3. 研究の方法

UXにおける期待効果と期待不一致の影響を推定する計算モデルを、神経科学、情報理論、心理学の分野における知見を統合して定式化する。定式化した計算モデルにもとづく数値シミュレーションと、製品のUXにおける材質感の評価実験との一致性から、提案モデルの妥当性を検証する。

具体的には、以下の項目を実施することで、本研究計画の目的を達成する。

- (1) 期待を伴う知覚および期待効果、期待不一致の計算モデル構築
 神経の符号化原理を用いて期待を伴う知覚の数理モデルを構築する。符号化原理として、ベイズ推定および Efficient coding hypothesis (ECH) を用いる。
- (2) 計算シミュレーションによる同化と対比の条件の特定
 期待効果を陽関数として表し、変数が期待効果に与える影響を計算機シミュレーションにより解析する。
- (3) 期待効果モデルの実験検証
 (2)のシミュレーション結果を仮説として、被験者実験との一致性からモデルの妥当性を検証する。Size weight illusion(SWI)を期待効果として用いる。

4. 研究成果

(1) 期待を伴う知覚と期待効果の数理モデル定式化

事前の予測、事後の感覚のそれぞれに分布を想定し、予測と感覚がいかに知覚の分布を形成して期待不一致へと至るかを定式化した。まず、事後の感覚 x (例、重さ) に対する事前情報 (例、視覚) からの予測を事前分布で表す。次に、事後の事象 (例、物体を手取る) から取得する感覚 (例、体性感覚) を符号化し、感覚 x に対する尤もらしさ (尤度関数) を得る。事前分布と尤度関数を統合し、事後に経験される x の事後分布を得る。このとき、尤度関数と事後分布の代表値の差が期待効果、事前分布と事後分布の代表値の差が期待不一致である。また、事前分布と尤度関数の代表値の差を予測誤差とすると、期待不一致 = 予測誤差 + 期待効果となる。

定式化のために、事前分布と尤度関数が如何に統合され事後分布を形成するか、尤度関数が如何にして符号化されるかの二点を明らかにする必要があった。については、神経科学における先行研究 (たとえば、Ernst, Nature 2002) を参考に、事前分布 \times 尤度関数に比例した事後分布を形成するベイズ推定を用いた。については、感覚入力に対する情報量を最大化する符号化 Efficient coding hypothesis (ECH) にもとづく復号化を定式化した (Brayanov, Neurophysiol. 2010)。

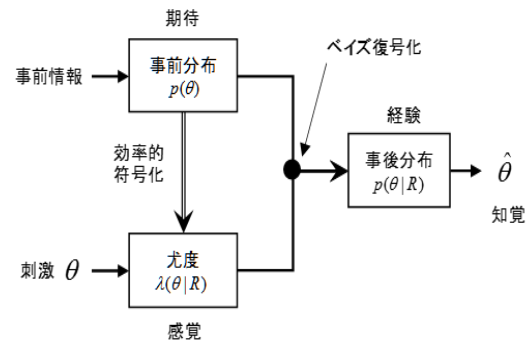


図1 期待を伴う知覚モデル

以上の知覚モデルを用いて、期待効果を、予測誤差 (事前分布の期待値と尤度のピークの差)、不確実性 (事前分布の分散)、および外乱 (尤度関数の分散) の関数として定式化した。

(2) 計算シミュレーションによる同化と対比の条件の特定

(1)で定式化した期待効果の関数モデルを計算機に実装した。そして、予測誤差、不確実性、外乱を操作した際の期待効果について調べた。図2に、不確実性および外乱の大小それぞれの条件における、予測誤差が期待効果に与える影響を示す。このシミュレーションから、同化と対比の条件について、以下の法則性が明らかになった。

- A) 予測誤差が小さい領域では同化する。予測誤差が一定以上大きくなると対比する。
- B) 予測の不確実性が小さい場合、同化、対比ともにその度合いが大きい。
- C) 感覚に混入する外乱が大きいほど、同化が起こりやすい。

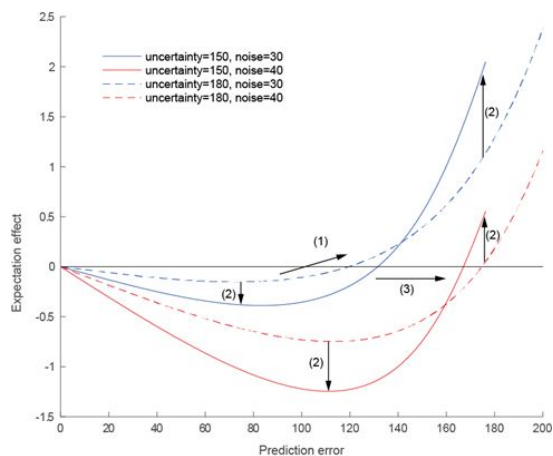


図2 期待効果のシミュレーション

また、不確実性と外乱によって、同化のみが生じる場合、対比のみが生じる場合、同化と対比の両方が生じる場合があることを明らかにした (図3)。

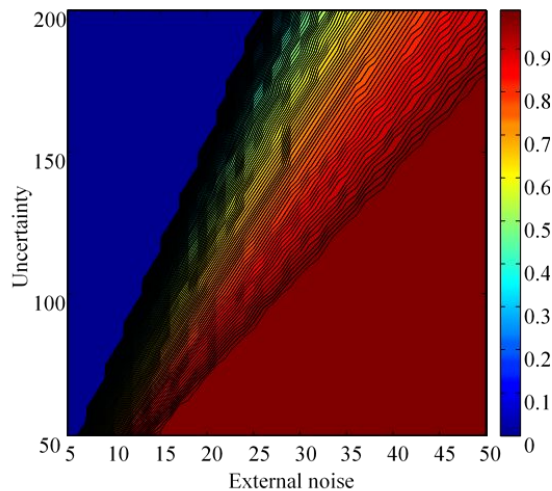


図3 同化と対比の発生条件。(0が対比のみ, 1が同化のみ生じる条件を表している。)

(3) Size weight illusion(SWI)を用いた期待効果モデルの検証実験

SWIを用いた実験により, 予測誤差, 不確実性, 外乱を操作した際の期待効果の変化について, (2)のシミュレーション結果の妥当性妥当性を検証した。実験では, 同質量で体積が異なる二つのサンプル対の重さを実験参加者に比較してもらった。この体積差を段階的に変化させることで, 予測誤差を操作した。すなわち, 見た目から予想する重さと実際の重さとの差異を, 体積差で操作した。また, 視界をぼかすことで不確実性を操作した。さらに, 腕にリストウェイトを負荷することで, 弁別域を上げ, 外乱を操作した。

図4に実験結果を示す。横軸が予測誤差, 縦軸が期待効果を現している。正が対比, 負が同化である。また, 各色のバーは, 不確実性と外乱の条件を表している。この結果から, (2)のシミュレーション結果と傾向が一致することが確認し, 提案モデルの妥当性を示した。

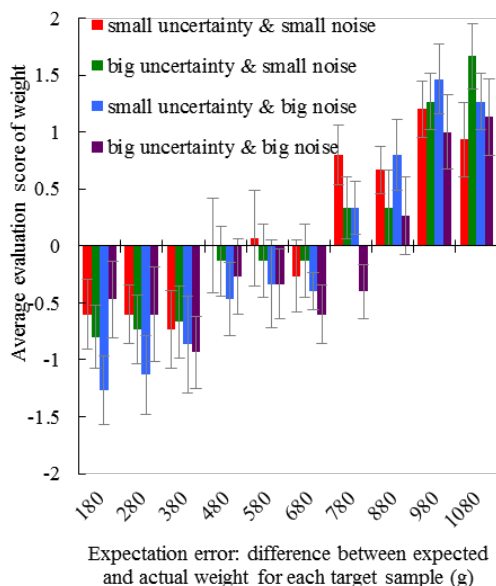


図4 SWIの実験結果

5. 主な発表論文等

(研究代表者, 研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 6 件)

Yanagisawa, H., & Takatsuji, K. (2015). Expectation effect of perceptual experience in sensory modality transitions: modeling with information theory. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 28(7), 1635-1644.

doi:10.1007/s10845-015-1096-7 (査読あり)

Yanagisawa, H., & Takatsuji, K. (2015). Effects of visual expectation on perceived tactile perception: An evaluation method of surface texture with expectation effect. *International journal of design*, 9(1), 39-51. (査読あり)

Yanagisawa, H. (2016). A computational model of perceptual expectation effect based on neural coding principles. *Journal of Sensory Studies*, 31(5), 430-439. doi:10.1111/joss.12233 (査読あり)

Perez Mata, M., Ahmed-Kristensen, S., Brockhoff, P. B., & Yanagisawa, H. (2016). Investigating the influence of product perception and geometric features. *Research in Engineering Design*, 1-23. doi:10.1007/s00163-016-0244-1 (査読あり)

柳澤秀吉 (2016). 物理量の知覚における期待効果の計算モデル (特集論文 感性と感情: 計測・評価・モデル化とその応用). *ヒューマンインタフェース学会論文誌 The transactions of Human Interface Society*, 18(1), 309-317. (査読あり)

Yanagisawa, H., Miyazaki, C., Bouchard, C. (2017), Kansei Modeling methodology for multisensory UX design for Multimodal User Experience, International Conference on Engineering Design. (査読あり)

[学会発表](計 9 件)

Yanagisawa, H. (2015) "A Computational Model of Human Perception with Prior Expectation: Bayesian Integration and Efficient Coding", ASME 2015 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, Paper No. DETC2015-46669. (査読あり)

Yanagisawa, H., Mikami, N. (2015), "How Does Expectation Change Perception? A Simulation Model of Expectation Effect Based on Bayesian Estimation", 20th International Conference on Engineering Design. (査読あり)

Yanagisawa, H., Miyazaki C., Nakano, S.(2016). Kansei Modeling for Multimodal User Experience, Proceedings of Internoise.

Yanagisawa, H., Nakano, S., and Murakami, T.(2016), A Kansei Database Framework for the Delight Design Platform, Proceedings of AHFE International Conference. (査読あり)

Yanagisawa, H., (2017), How does expectation affect experience? A principle of cross-modal effect, ACM TVX. (招待講演)

近藤皓之, 柳澤秀吉 (2015). Void素材感の合成にもとづく潜在感性の抽出. 日本機械学会年次大会, 2015, _J1210101--_J1210101-

doi:10.1299/jsmemecj.2015._J1210101- (査読なし)

近藤皓之, 柳澤秀吉 (2015). 感覚次元の合成によるVoid素材感の先行感性評価. Paper presented at the 日本機械学会設計工学・システム部門講演会講演論文集 2015. (査読なし)

宮崎地洋, 柳澤秀吉(2016). 期待効果を考慮したマルチモーダル感性設計法の研究. 日本機械学会設計工学・システム部門講演会講演論文集, 2016.26, 2501. (査読なし)

宮崎地洋, 柳澤秀吉(2016). 期待効果を考慮したマルチモーダル感性デザイン, Design シンポジウム 2016. (査読なし)

6 . 研究組織

(1)研究代表者

柳澤 秀吉(YANAGISAWA, Hideyoshi)
東京大学・大学院工学系研究科・准教授
研究者番号：20396782

(4)研究協力者

上田 一貴(UEDA, Kazutaka)
東京大学・大学院工学系研究科・講師

村上 存(MURAKAMI, Tamotsu)
東京大学・大学院工学系研究科・教授