

ポータブル IoT と皮膚電気活動データに着目した 観光ルート設計手法の改善

家入 祐也* 吉江 修（早稲田大学）

Tourism Route Design Method Focusing on Portable IoT and Electro Dermal Activity Data

Yuya Ieiri*, Osamu Yoshie (Waseda University)

The importance of designing tourism routes by evaluating the tourism experience is increasing. Digital transformation in tourist destinations makes it possible to treat tourists' emotions quantitatively. Individual excitement level (IEL) curves show time-series changes in the degree of excitement and are effective for better tourism design. This study aims to investigate the improvement of the IEL curves generation method by comparing the continuous electrodermal activity (EDA) data and the IEL curve. We conducted a small-scale field experiment in Kyoto for this consideration. The experiment results show that the IEL curve has the potential to become a new method of measuring the degree of excitement in place of the EDA data. We also found two improvements to the IEL curves generation method: Improve the portable IoT to enhance the granularity of collecting the necessary data to generate the IEL curve and change the spread of the elements of the IEL curves along the time axis for each point of interest.

キーワード：Internet of Things, 皮膚電気活動データ, 観光デザイン
(Internet of Things, Electro Dermal Activity Data, Tourism Design)

1. はじめに

観光産業は、世界経済に直接的かつ間接的に大きな影響を与え、雇用の創出と地域の発展を促進させる⁽¹⁾⁽²⁾。近年の観光市場には大きな変化が生じており、個々の人やグループにパーソナライズされた観光計画を求める傾向が強まっている⁽³⁾⁽⁴⁾。個人化された観光計画に関連する問題は、Tourist Trip Design Problem (TTDP) と呼ばれ、観光客の嗜好に加え、限られた時間・交通手段・予算などのリソースを考慮しつつ、観光客の満足度を最大化するための観光ルート設計が研究されている⁽⁵⁾⁽⁶⁾。

情報通信技術は、観光行動における多様なデータの収集を可能にした⁽⁷⁾。これにより、最適化問題として TTDP を解くアプローチとは別の手法として、観光体験全体を評価して、個々人に最適な観光ルート設計を実現させる試み⁽⁸⁾が注目されている。観光体験全体を評価する手法の一つとして、Individual excitement level (IEL) 曲線が挙げられる⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾。IEL 曲線は、横軸を時間、縦軸を感興度とした二次元平面上で示され、IEL 曲線の積分値は特定の観光客が感じた感動の量を示す。

IEL 曲線を観光業界に組み込むためには、IEL 曲線を生成する手法の妥当性を十分に検討する必要がある。文献⁽⁹⁾

では、ポータブルな Internet of Things (IoT) デバイスを利用した IEL 曲線の生成手法を、観光後の記憶に基づいて評価した。文献⁽¹⁰⁾では、デジタルトランスフォーメーション (Digital transformation, DX) により観光情報研究の分野で急速に注目を集める観光客の皮膚電気活動 (EDA) データに着目し、離散的な EDA データに基づいて IEL 曲線の生成手法を評価した。

本研究の目的は、これらの従来研究の成果を受けて、連続的な EDA データに着目し、IEL 曲線の生成手法の評価・改善を目指すことである。本目的を達成するために、京都市内の美術館で小規模なフィールド実験を実施し、IEL 曲線を用いた観光ルート設計手法の改善の指針を検討した。

2. 関連研究

〈2・1〉 IEL 曲線と EDA データ IEL 曲線は、観光におけるカタルシス曲線⁽¹¹⁾と同様に、観光回遊行動を「移動観賞型」の時間芸術と捉え、いくつかのまとまった感動が時系列的に連続したものと定義されている。このように観光体験を劇場として捉えることの重要性はよく知られており⁽¹²⁾、観光体験全体の構造を理解したうえでの、新しい観光体験の設計手法が求められている。

IEL 曲線は、観光客の感興度の時系列的な変化を、簡易

的に、定量的に表現するためのアプローチである。同様に、EDA データは、観光時における観光客の興奮度合いを定量的に表現するための有効的なデータであり、様々な研究で活用されている⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾。EDA データは高精度であるものの、収集には高価で特殊なデバイスを必要とする。そこで、本研究では EDA データを真値として、IEL 曲線の生成手法をどのように改善すべきかを検討する。

〈2・2〉 Tourist Trip Design Problem TTDP は複数の Point of Interest (PoI) を訪れることに関心のある観光客のための観光ルート計画問題である。Gavalas ら⁽¹⁵⁾や Ruiz-Meza ら⁽¹⁶⁾は、TTDP と Operations Research に関する研究を調査し、そのモデルやアルゴリズムをまとめた。

近年では、従来のアプローチが拡張され、新しい観光ルート計画方法が提案されている。An ら⁽¹⁷⁾は、ディープニューラルネットワークを用いたセンチメント分析技術を観光レビューに適用し、新しい観光ルートの推薦手法を構築した。Li ら⁽¹⁸⁾は、観光客の満足度を向上させつつ、観光地の収入を最大化するような観光ルート計画を目指した。本研究と同様に、観光客の感情に着目して観光体験を設計する試み⁽¹³⁾も存在する。ここで、一般的に、観光客の感情は定性的な指標であり、どのように定量的データとして、大量に収集するかが問題となる。本研究で着目する IEL 曲線の生成手法は、比較的安価なポータブル IoT を利用して観光客の定量的な感情データ収集を可能にするという点で、将来の社会実装を加速しうる可能性を有する研究である。

3. IEL 曲線生成手法の改善アプローチ

本研究では、先行研究⁽¹⁰⁾の IEL 曲線生成手法を採用し、生成結果と連続的な EDA データを比較することで、IEL 曲線生成手法を改善する指針を議論する。IEL 曲線の生成手法⁽¹⁰⁾の手順は、以下のようである。

- (1) 観光行動中に観光客の主観的情報を収集するためのポータブル IoT である Ie-pochi⁽¹⁹⁾を使用し、興味スポットごとに、観光客の感動量 (3 段階) と感動した時間に関するデータを取得する。
- (2) IEL 曲線の特徴に基づいて、興味スポットごとに eIEL 曲線 (elements of an IEL curve) を生成する。
- (3) 生成された、全ての eIEL 曲線を合成し、特定の観光客の IEL 曲線を生成する。

ここで、EDA データは皮膚の電気コンダクタンスの変化に関するデータであり⁽²⁰⁾、感情反応の生理学的指標として最も一般的に使用されている⁽²¹⁾。本研究では、観光の文脈で EDA データを議論する際に文献⁽¹³⁾⁽²²⁾でも使用されている Empatica E4 wristband¹を用いて、連続的な EDA データを収集する。生成された IEL 曲線と EDA データを比較する際には、以下の観点に着目する。

- Ie-pochi から収集されるログデータと EDA データとの間に関係性があるかどうか。

- 生成された IEL 曲線と EDA データを比較して、全体の構造 (山の数や外観など) が近いかどうか。
- 生成された IEL 曲線と EDA データを比較して、感興度のピークが位置するタイミングは近いかどうか。

1 つ目の観点は、観光客が自身で感情が高まったと感じるタイミング (Ie-pochi のログデータ) と、生理学的な感情反応として出現する EDA データを対応付けることが出来るかどうかを判断するためである。2 つ目の観点は、文献⁽¹¹⁾で示されているように、感興度曲線の構造に基づいて評価を行うことが、重要である⁽⁹⁾ためである。3 つ目の観点は、本研究では IEL 曲線を観光ルート設計に適用することを目標としており、観光デザインにおいて、感興度がピークに達するタイミングを把握し、ピーク時の感興度を高めることの重要性が知られている⁽²³⁾ためである。

4. 実験

本研究では、小規模なフィールド実験として、1 名の被験者を対象に実証実験を行った。実験参加者は、2022 年 8 月 16 日に、ポータブル IoT である Ie-pochi を手に持ち、Empatica E4 wristband を手首に装着し、京都市内の博物館内を約 22 分間にわたり回遊した。なお、参加者は 20 代後半の男性であり、対象とした博物館への訪問経験は無いことが確認された。そして実験後には、参加者自身に、博物館の回遊における感興度の時系列的な変化を描画させた。Ie-pochi から得られたデータに基づき生成される IEL 曲線と連続的な EDA データに加え、観光後に直筆で描画された感興度曲線にも着目して比較することで、IEL 曲線を用いた観光ルート設計手法の改善の指針を検討する。

5. 結果と考察

本実験を通じて得られた IEL 曲線と EDA データを図 1 に示す。図 1 において、横軸は時間を示しており、縦軸は感興度の高さを示している。そして、感興度の増減の緩やかなグラフが IEL 曲線を、感興度の増減の激しいグラフが EDA データを指している。また、図 1 における点線は、Ie-pochi によって感興度の高ぶりが発信されたタイミングを表している。そして図 2 は、実験後に参加者の手によって描かれた感興度の時系列変化である。これらを比較することで、IEL 曲線生成手法の評価を行うとともに、改善の指針を検討する。なお収集された EDA データにおいては、実験開始とともに、データの収集を開始したことが原因で、観光開始直後の EDA データの値は、収集された EDA データ全体の平均値に比べて小さくなっていた。そのため本研究では、四分位範囲を利用した外れ値の前処理を行ったうえで、図 1 にまとめている。

〈5・1〉 Ie-pochi ログデータと EDA データの比較 実験結果 (図 1) をもとに、Ie-pochi から収集されるログデータと EDA データとの間に関係性があるかどうかを検討する。観光開始直後に着目すると、0~5 分間で Ie-pochi の発信ログが確認できる。このログが発信されたタイミング

¹<https://www.empatica.com/en-gb/research/e4/>

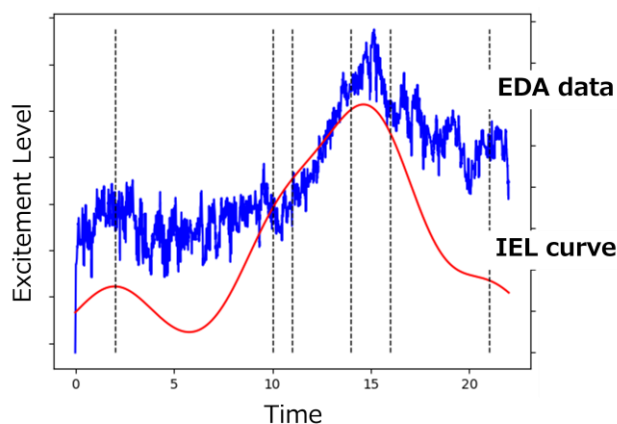


図1 生成された IEL 曲線と連続的 EDA データ
Fig. 1. IEL curve and continuous EDA data.

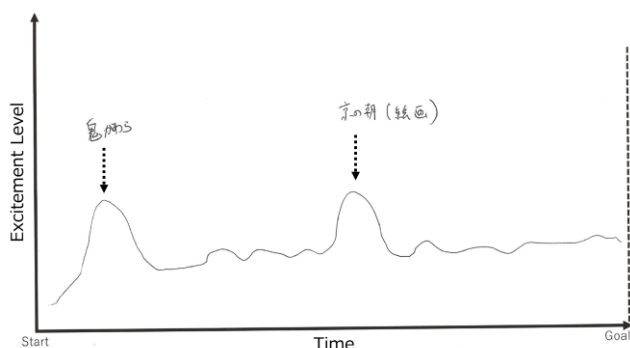


図2 実験参加者が直筆で描いた感興度の時系列変化
Fig. 2. Time-series changes in excitement level
drawn by the participant.

における EDA データをみると、その時点の前後で小さな感興度の山が存在していることがうかがわれる。

その後、観光開始後 10 分過ぎのタイミングで Ie-pochi の発信ログが 2 回確認され、観光開始後 15 分前後のタイミングでも Ie-pochi が 2 回使用された。EDA データを確認すると、これら 4 回の Ie-pochi での発信を経て、感興度が高まっている様子が確認される。さらに、観光開始後 20 分過ぎのタイミングで Ie-pochi の発信ログが確認でき、ログが発信されたタイミングにおける EDA データをみると、その時点の前後で感興度が少し高ぶっている様子が見られた。

以上を統合すると、Ie-pochi ログデータが収集されたタイミングは、EDA データの高まるタイミングと概ね一致しており、Ie-pochi から収集されるログデータと EDA データとの間に関係性があることが推測された。その一方で、EDA データをみると、観光開始後 15 分～20 分の間で小さな感興度の山が複数存在するにもかかわらず、Ie-pochi による発信ログは確認されなかった。これは、Ie-pochi で収集対象とした観光客の感動量が 3 段階であったため、非常に小さな感興度の高まりについては Ie-pochi で発信されず、データとして収集することが出来なかったことが原因の一つとして考えられる。そこで、IEL 曲線を生成するためのデータ

を収集するポータブル IoT デバイスを改良し、Ie-pochi で収集するデータを 3 段階の感動量から 5 段階や 7 段階の感動量に変更することで、連続的な EDA データのように、より感興度の機微な増減を再現した IEL 曲線生成手法の実現に寄与することが期待される。

〈5・2〉 IEL 曲線と EDA データの比較 図 1 と図 2 をもとに、生成された IEL 曲線と EDA データの全体像を比較し、感興度のピーク位置を含めた感興度曲線全体の構造が近いかどうかを検討する。生成された IEL 曲線 (図 1) をみると、感興度の山は大きく二つ存在していたことが推測される。これは、観光後に実験参加者が直筆で描いた感興度曲線 (図 2) でも同様に、感興度の山は大きく二つ存在していたことが確認され、その妥当性がうかがわれる。図 1 の EDA データからも、どのような粒度で感興度の山と判断するかに依存するが、IEL 曲線と同様のタイミングで 2 回の感興度の高まりが存在する傾向が見受けられ、生成される IEL 曲線と EDA データは、感興度の山の数という観点からは、近い傾向にあることが推測される。

そして、感興度のピーク地点に着目すると、図 1 の IEL 曲線も、EDA データも、ピークが観光開始後 15 分前後に位置していることが確認される。このことから、本 IEL 曲線の生成手法は、EDA データのピーク地点を再現するには非常に有効的であることが確認された。

次に、図 1 の IEL 曲線と EDA データの全体の概形を比較する。すると、観光開始後 5 分前後と、20 分手前の時点の両者において、IEL 曲線の方が EDA データよりも、感興度の降下するスピードが早いことが確認された。このような現象が起きる要因の一つは、IEL 曲線を構成する eIEL 曲線の時間軸方向の広がり が不十分であることに起因していると考えられる。そのため、eIEL 曲線の時間軸方向の広がり の決定手法 (文献⁽¹⁰⁾におけるパラメータの設定方法) の改善が必要であることがうかがわれる。

〈5・3〉 考察と課題 これまでの結果を統合すると、本研究で着目している IEL 曲線の生成手法は、連続的な EDA データと近い特徴を満たしており、EDA データに代わる新しい観光客の感興度測定指標になりうることを確認された。ポータブル IoT を活用した IEL 曲線の生成のコストは、連続的 EDA データの収集に必要なコストと比較して、大幅に小さい。そのため、IEL 曲線を新しい感興度測定指標とした観光ルート設計手や、その社会実装には大きな可能性があることを示すことが出来た。

その一方で、本研究を通じて、今後の課題も明らかにすることが出来た。1 つ目は、実験参加者数が 1 名と少なかった点である。今後は、より大規模なフィールド実験を行い、IEL 曲線の生成手法の改善ポイントの明瞭化に取り組む必要がある。2 つ目は、EDA データを収集する際に、データ収集開始直後には外れ値となるデータが多かったという問題である。本研究では、外れ値の処理によって対応したが、今後の調査では、データ収集開始直後にインターバル時間を設けることで、このような外れ値を除く必要があると考

えられる。なお、EDA データの収集における、収集開始時のインターバルについては、その意義が文献⁽²⁴⁾でも示されている。

6. まとめ

本研究では、連続的な EDA データに着目し、ポータブル IoT を活用した IEL 曲線の生成手法の評価と改善を目指した。京都市での小規模なフィールド実験を通じて、以下の改善項目を明らかにした。

- 従来研究の IEL 曲線生成手法では、ポータブル IoT を用いて、観光客の感動量を 3 段階で収集していた。ポータブル IoT を改良し、5 段階、7 段階などのように、より粒度の細かいデータ収集を可能にすることで、より高精度な IEL 曲線の生成が期待される。
- 生成される IEL 曲線は、EDA データと比較して、感興度の降下するスピードが早いことが確認された。eIEL 曲線の時間軸方向の広がり が不十分であるため、これを決定するパラメータの設定方法を改善することが求められる。

今後は、これらの項目に着目して、ポータブル IoT の再設計や IEL 曲線の生成手法の改善を試みる事が求められる。さらに、多くの実験参加者を対象としたフィールド実験を行い、より説得力のある EDA データと IEL 曲線の比較を実施する必要がある。

謝辞 本研究は、科学技術融合振興財団 (FOST) 2021 年度調査研究助成による成果であるとともに、JSPS 科研費 22K14444 の支援を受けた。

文 献

- (1) Mao, X., Meng, J. and Wang, Q.: "Modeling the effects of tourism and land regulation on land-use change in tourist regions: A case study of the Lijiang River Basin in Guilin, China", *Land use policy*, Vol. 41, pp.368-377 (2014)
- (2) Van Truong, N. and Shimizu, T.: "The effect of transportation on tourism promotion: Literature review on application of the Computable General Equilibrium (CGE) Model", *Transportation Research Procedia*, Vol. 25, pp. 3096-3115 (2017)
- (3) Kotiloglu, S., Lappas, T., Pelechris, K. and Repoussis, P. P.: "Personalized multi-period tour recommendations", *Tourism Management*, Vol. 62, pp. 76-88 (2017)
- (4) Yeh, D. Y. and Cheng, C. H.: "Recommendation system for popular tourist attractions in Taiwan using Delphi panel and repertory grid techniques", *Tourism Management*, Vol. 46, pp. 164-176 (2015)
- (5) Zheng, W. and Liao, Z.: "Using a heuristic approach to design personalized tour routes for heterogeneous tourist groups", *Tourism Management*, Vol. 72, pp. 313-325 (2019)
- (6) Liao, Z. and Zheng, W.: "Using a heuristic algorithm to design a personalized day tour route in a time-dependent stochastic environment", *Tourism Management*, Vol. 68, pp. 284-300 (2018)
- (7) Choe, Y. and Fesenmaier, D. R.: "The quantified traveler: Implications for smart tourism development", *Analytics in Smart Tourism Design*, pp. 65-77 (2017)
- (8) Zhang, W., Kim, J. J., Kim, H. and Fesenmaier, D. R.: "Developing the behavioral foundations for an AI supporting destination story design", *E-review of Tourism Research*, Vol. 17, No. 2 (2019)
- (9) 家入祐也, 蔡弘亞, 菱山玲子, 藤ノ木耀平: 「Individual Excitement Level 曲線: 観光行動における感情収集による感興度変化の可視化」, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 23, No. 1, pp. 121-134 (2021)
- (10) 家入祐也, 吉江修: 「Individual Excitement Level 曲線生成手法の多角的評価」, 電気学会論文誌 C, Vol. 143, No. 8, pp. 1-8 (2023)
- (11) 橋本俊哉: 「観光回遊論: 観光行動の社会工学的研究」, 風間書房 (1997)
- (12) Pine, B. J., Pine, J. and Gilmore, J. H.: "The experience economy: work is theatre & every business a stage", *Harvard Business Press* (1999)
- (13) Kim, J. and Fesenmaier, D. R.: "Measuring emotions in real time: Implications for tourism experience design", *Journal of Travel Research*, Vol. 54, No. 4, pp. 419-429 (2015)
- (14) Kim, J. J. and Fesenmaier, D. R.: "Tourism experience and tourism design", *Design science in tourism*, pp. 17-29 (2017)
- (15) Gavalas, D., Konstantopoulos, C., Mastakas, K. and Pantziou, G.: "A survey on algorithmic approaches for solving tourist trip design problems", *Journal of Heuristics*, Vol. 20, pp. 291-328 (2014)
- (16) Ruiz-Meza, J. and Montoya-Torres, J. R.: "A systematic literature review for the tourist trip design problem: extensions, solution techniques and future research lines", *Operations Research Perspectives*, Vol. 9, 100228 (2022)
- (17) An, H. W. and Moon, N.: "Design of recommendation system for tourist spot using sentiment analysis based on CNN-LSTM", *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, Vol. 13, pp. 1-11 (2022)
- (18) Li, S., Luo, T., Wang, L., Xing, L. and Ren, T.: "Tourism route optimization based on improved knowledge ant colony algorithm", *Complex & Intelligent Systems*, Vol. 8, pp. 3973-3988 (2022)
- (19) Ieiri, Y. and Hishiyama, R.: "A Novel Excavation of Fortuitous Tourism Resources Candidates by Analyzing Emotional Information", *Proceedings of the 2020 2nd International Conference on Image, Video and Signal Processing*, pp. 138-143 (2020)
- (20) Sun, S., Xiao, J., Huo, J., Geng, Z., Ma, K., Sun, X. and Fu, X.: "Targeting ectodysplasin promotor by CRISPR/dCas9-effector effectively induces the reprogramming of human bone marrow-derived mesenchymal stem cells into sweat gland-like cells", *Stem Cell Research & Therapy*, Vol. 9, No. 1, pp. 1-10 (2018)
- (21) Figner, B. and Murphy, R. O.: "Using skin conductance in judgment and decision making research", *A handbook of process tracing methods for decision research*, pp. 163-184 (2011)
- (22) Stadler, R., Jepson, A. S. and Wood, E. H.: "Electrodermal activity measurement within a qualitative methodology: Exploring emotion in leisure experiences", *International Journal of Contemporary Hospitality Management*, Vol. 30, No. 11, pp. 3363-3385 (2018)
- (23) Stienmetz, J., Kim, J. J., Xiang, Z., and Fesenmaier, D. R.: "Managing the structure of tourism experiences: Foundations for tourism design", *Journal of Destination Marketing & Management*, Vol. 19, 100408 (2021)
- (24) Strauss, M., Reynolds, C., Hughes, S., Park, K., McDarby, G. and Picard, R. W.: "The handwave bluetooth skin conductance sensor", *In Affective Computing and Intelligent Interaction: First International Conference*, pp. 699-706 (2005)