

# 聴覚情報付与タイミング設計手法のための 情報採餌理論に基づいた視行動の理解

Understanding Visual Behavior based on Information Foraging Theory  
toward Designing of Auditory the Information Provision Timing

栗原勇太<sup>†</sup>  
Yuta Kurihara

小竹 元基<sup>‡</sup>  
Motoki Shino

中平 勝子<sup>§</sup>  
Katsuko T.Nakahira

北島 宗雄<sup>¶</sup>  
Muneo Kitajima

## 1 はじめに

学校教育のみならず、家庭教育、社会教育、文化活動、ボランティア活動などの様々な場面や機会において行う学習のことを生涯学習といい、「人生 100 年時代」や「超スマート社会 (Society5.0)」に向けて生涯学習の重要性が高まっている [1]。なかでも、社会教育施設は生涯学習の中核を担うと考えられており、特に博物館は資料収集・保存、調査研究、展示、教育普及といった活動を一体的に行う施設として注目されている [2]。

博物館をはじめとした社会教育施設では、情報化が進む社会に合わせ、ICT (情報通信技術) を利用した学習支援が推奨されている [3]。実際、タッチパネル式解説用端末、携帯型音楽プレイヤーによる音声ガイド、AR コンテンツなど、様々な手法が導入されている。しかし、博物館総合調査報告書によると「ICT を利用した新しい展示方法が導入できていない」と回答する博物館が 8 割以上 [4] であり、ICT による効果的な学習支援の手法は検討不足である。そのため、ICT による学習支援が普及した際、効果的な学習支援の手法が求められると考えられる。以上より、本稿では、鑑賞中の情報処理の特性を把握し、効果的な学習支援の設計手法の提案を目指す。なお本研究では、学習を「情報を取得し、記憶に残ること」とし、学習効果を「記憶した情報量が多く具体性が高いこと」とする。

## 2 視行動特性に基づく聴覚情報付与タイミングと記憶との関係

### 2.1 外部情報の処理と記憶

鑑賞行動時の学習効果を向上させるため、本稿では MHP モデル [5] に基づいたマルチメディアを用いた学習における認知心理学モデルを参考に示す。図 1 は外界から視覚や聴覚を通して情報を取得した後、記憶に残るまでのプロセスとして整理した概念モデルを示す。具体的なプロセスを以下に示す。

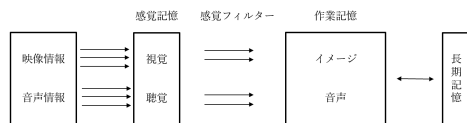


図 1 人間の情報処理モデル

1. 外界の情報が視覚や聴覚を通じて感覚記憶に送られる。
2. 感覚フィルターにより、注意を向けている対象に関する情報のみが作業記憶に渡される。
3. 作業記憶内で長期記憶と照らし合わされながら意味として理解される。
4. 意味として理解された結果、記憶として残る。

### 2.2 関連研究と本研究の位置づけ

鑑賞行動中の聴覚情報付与が学習効果に与える影響の先行研究として、北島ら [6] は、全方位の鑑賞環境において、聴覚情報の付与タイミングを変化させた際の視行動を計測し、記憶を評価した。具体的には、聴覚情報の提示タイミングを鑑賞前、鑑賞中、聴覚情報なしの 3 条件で実験を行ったところ、鑑賞中の条件で、記憶の具体性が向上した。この際、聴覚情報により視線を誘導出来たことから、感覚フィルターにおける注意の制御により記憶が向上したと考察している。

聴覚情報の付与タイミングが記憶に与える影響の先行研究として、中村ら [7] は、聴覚情報を「解説対象の位置指示」と「内容解説」の役割に分類し、内容解説の提示条件を「解説対象の出現と同時に」、「解説対象の出現の 1.5 秒前」として、条件ごとの記憶を比較した。その結果、「解説対象の出現の 1.5 秒前」の条件で記憶が向上した。この際、聴覚情報により、解説対象へ視線を誘導する注意の制御の後、解説する聴覚情報の付与により、作業記憶における意味づけが強化されたと考察している。

本研究の位置づけについて述べる。人間の情報処理を MHP モデルに基づいて整理すると、聴覚情報付与後の情報処理 (感覚フィルター、作業記憶における情報処理) に着目することで、記憶向上を促している。一方、聴覚情報付与前の情報処理の状態は考慮されておらず、聴覚情報の付与タイミングによっては学習効果に差が生じる可能性がある。そのため、聴覚情報付与タイミングを設計するためには、鑑賞者の情報処理時の状態を推定することが重要である。

本研究では、鑑賞者の情報処理時の状態を推定する手段として視行動を用いることにした。意味としての理解、意思決定や計画の立案・実行などの高次認知処理の結果として表出する行動の 1 つに視行動があり [8]、視行動により鑑賞者の情報処理の状態を推定できると考えた。

以上より、本研究の目的は「鑑賞者の情報処理時の状態を推定するための視行動特性の把握」とする。

<sup>†</sup> 東京大学

<sup>‡</sup> 長岡技術科学大学

## 2.3 先行研究の再分析による視行動特性の抽出

視行動に基づいて鑑賞者の情報処理の状態を推定するため、平林らの先行研究 [9] のデータ分析を行った。この先行研究は、映像鑑賞において、聴覚情報を解説対象の位置指示（以降、視線誘導部）と内容解説（以降、情報付加部）に分類し、2つの呈示タイミングの間隔が長い聴覚情報と短い聴覚情報にわけ、記憶を評価した。被験者 28 名に対し、鑑賞中の視行動をアイトラッカー（Tobii Pro Glass 2）で計測し、鑑賞後に映像の記憶に関するアンケートを実施した。実験で用いられた映像の長さは 1 分間で、隅田川を下るクルーズ船から撮影され、川を下った先の橋をくぐる内容である。記憶分析の結果、2つの呈示タイミングの間隔が長い聴覚情報を付与した場合に記憶が向上した。この要因として、解説対象の位置指示の聴覚情報を聞いた後、注視点を解説対象へ移動させる時間を設けたことで、解説対象に関する関連知識が活性化し、解説する聴覚情報を効果的に付与できたと考察している。

本研究では、平林らの先行研究の視行動と記憶の観点から分析する。具体的には、先行研究のデータを、記憶に残らなかった場合と残った場合に分類して、視行動との関係性を再分析する。

記憶に残っていなかった場合、映像序盤に表れる「パリ広場」に着目した。この対象では、ほとんどの鑑賞者が視線誘導部により対象へ注視を移すことがなく、情報付加部が呈示される間は様々な対象へ注視を移していた。このとき、聴覚情報の付与前の視行動に着目したところ、注視点の移動頻度が高い傾向であった。また、様々な対象を見渡すように注視点を移動させた。記憶に残っていた場合、映像終盤に表れる「メッセンジャー像」に着目した。この対象では、多くの被験者が視線誘導部により対象へ注視を移し、情報付加部が呈示される間もその対象を注視する傾向があった。このとき、聴覚情報の付与前の視行動に着目したところ、注視点の移動頻度が低い傾向がみられた。

記憶に差が出た 2つの場合を視行動に関して定量的に分析するため、被験者 10 名の実験データに着目した。注視点の移動頻度として、1 秒あたりの注視点の移動回数として算出した。また、映像中の対象ごとの領域を定義し、その領域内に注視点が発生したら、注視点がその対象を捉えたと考えた。この考えのもと、注視点が映像中の対象を移動した回数を算出した。

鑑賞時の聴覚情報の処理しやすさの評価指標として、記憶テストの内、聴覚情報のみから得られる固有名詞の数を設定した。記憶テストで回答してもらった単語のうち、視覚情報のみからでも解答できる「橋」や「広場」のような単語は聴覚情報を処理した結果であるか判別できないため、「メッセンジャー像」や「パリ広場」のように聴覚情報から付与された情報に関する記憶を評価指標とした。

分析結果を表 1 に示す。注視点の移動頻度が高く、注視点が他の対象へ移る回数が多いほど、聴覚情報から付与される固有名詞を記憶できておらず、聴覚情報を処理できなかったと考えられる。これにより、聴覚情報を呈示するタイミングは、注視点の移動頻度が高く他の対象へ移る回数が多いときは避けるべきであると考えられる。

表 1 視行動の各パラメータと聴覚情報の評価指標との相関係数

視行動のパラメータ	相関係数
注視点の移動頻度	-0.60(p < 0.05)
注視点が他の対象へ移る回数	-0.64 (p < 0.05)

## 3 情報探餌理論に基づく鑑賞者の情報処理時の状態設定

前章の分析から、視行動のパラメータである注視点の移動頻度と対象間の移動回数は、聴覚情報の処理しやすさと関係があることがわかった。この結果に基づき、注視点の移動頻度が高いときと対象間の移動回数が多いとき、鑑賞者はどのような情報処理の状態であるかを推定する。本研究では、「情報探餌理論」と「情報香モデル」を導入する。情報探餌理論 [10] とは、情報源に曝されたとき、情報の探索行動と獲得行動を繰り返すという理論である。ここで探索行動とは、「様々な情報源を見渡すことで、各情報源の価値を判断すること」である。獲得状態とは、「探索行動により価値が高いと判断した情報源に注意を向けることで、その情報源に関する情報を処理すること」である。情報香モデル [11] とは、情報探餌理論で述べた探索行動において、各情報源の価値を判断する際のモデルである。探索行動の際、情報源のラベルやアイコンといった表面的な情報のみ呈示され、それらの手がかりから情報源に含まれる情報量や内容を予想し、自分の求める情報がどれほど得られるかを判断するというモデルである。

これらのモデルを前述した視行動の特徴へ適用する。注視点の移動頻度が高いときや様々な対象へ注視点を移動させるとき、情報香モデルに基づいて各情報源の価値を判断している探索状態であると考えられる。このとき、情報探餌理論によれば、どの情報源に対しても情報処理を行っておらず、獲得状態ではないため、聴覚情報を付与されたとしても処理しにくい状態であり、効果的な呈示タイミングではないと考えられる。

以上より、本稿では視行動に基づく情報処理の状態推定のため、情報探餌理論を適用する。そこで計測が容易で技術開発の実現可能性が高い注視点の移動頻度に着目し、「注視点の移動頻度が高いタイミングでは、鑑賞者の情報処理の状態は探索状態であり、獲得状態ではないために聴覚情報を効果的に処理できない」と考えた。これを聴覚情報付与タイミング設計に活用するためには、注視点の移動頻度に対し、探索状態であるか否かを判定する閾値を設定する必要がある。そのため、探索状態を判定する閾値を求める実験を行う。

## 4 情報処理の状態を推定するパラメータの把握

### 4.1 実験環境

探索状態を判定する注視点の移動頻度に閾値を設定するため、15 名の被験者に対し、鑑賞前に教示したタスクに従い映像を鑑賞してもらった。その際、鑑賞中の視行動をアイトラッカーで計測し、鑑賞後に記憶に関するアンケートを実施した。図 2 と図 3 に示すように、35 インチディスプレイに映像を呈示し、ディスプレイが視野角に全て収まるように鑑賞者は 0.8m

離れた位置から鑑賞を行った。実験実施前に実験内容を実験参加者に説明し、インフォームドコンセントを得て、東京大学ライフサイエンス委員会倫理審査専門委員会の承認の下で実施した。

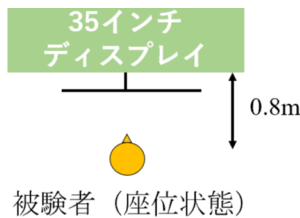


図 2 実験環境の模式図



図 3 実験環境の写真

## 4.2 実験条件

探索状態の注視点の移動頻度と探索ではない状態の注視点の移動頻度を求め、各状態間の注視行動から閾値を設定する。そこで、鑑賞者に以下の 3 つのタスク指示を行った。

1. 鑑賞前に呈示した対象を探す
2. 対象を発見したらボタンを押す
3. 対象と隣接するものを覚える

1 つ目は探索タスクであり、被験者は映像開始から対象を発見するまでの時間は探索状態になると考えられる。2 つ目のタスクは、1 つ目のタスクと 3 つ目のタスクが切り替わるタイミングを取得するために行う。3 つ目の指示は、被験者を探索ではない状態にさせる指示である。情報採餌理論によると、探索状態と獲得状態があるとされ、探索状態後に獲得状態へ遷移させるため被験者に覚えるよう指示している。

本実験で使用した映像の条件と理由について述べる。1 つ目は、映像中の対象は 10 個以上とした。これは対象が少なすぎると探索タスクの難易度が低すぎて探索状態のデータを計測できないと考えたためである。2 つ目は、一方向にゆっくりと動く映像とした。これは対象を探す時間が十分にあるよう設計した。

実際に利用した映像のうちの 1 つを図 4 に示す。



図 4 利用した映像の例

## 4.3 実験手順

映像鑑賞と記憶テストに慣れてもらうため、最初に 20 秒の 4 映像を鑑賞してもらった。この際、「鑑賞している気分になり自由に見てください」と教示した。全映像の鑑賞後、記憶テス

トを行った。その後、タスクの説明を行い、そのタスクに慣れてもらうため、最初の映像でタスク練習を行ってもらった。練習が終了した後、実際のタスクに従い映像を鑑賞してもらった。

4 映像を鑑賞後、それらの記憶テストを行い、再び残り 4 映像を鑑賞し、その後記憶テストを行った。この際、前半 4 映像の 3 つ目、後半 4 映像の 2 つ目では、映像に出現しない対象を探すよう指示した。この試行は、見つけれなかったことからタスクに対してより真剣に取り組むことになると考えたためである。また、映像の場所や探す対象を事前知っている場合は、真剣に探さなくなってしまうことが考えられ、事前知識に関するアンケートをタスク終了後に実施した。

## 4.4 分析方法

探索状態における注視点の移動頻度の特徴を把握するため、映像開始時間からの注視点の移動回数を計測し、横軸を映像開始時間、縦軸を注視点の移動回数として表した結果を図 5 と図 6 に示す。この図では、注視点の移動頻度は移動回数と時間の比であるため、傾きとして表れる。 $t_1$  は初めて対象を見たときの注視点の開始時間、 $t_2$  は被験者がボタンを押した時間、 $t_3$  は対発見後に対象と隣接するもの以外を最初に見た時間、 $t_4$  は 20 秒であり映像終了時間である。

まず、探索状態の注視点の移動頻度の算出について述べる。図 5 のように、 $t_1$  と  $t_2$  の間に注視点が発生しない場合、 $t_1$  までの時間が探索状態であると考えられる。一方、図 6 のように、 $t_1$  と  $t_2$  の間に注視点が発生した場合、対象を初めて見てからボタンを押すまでは探索状態以外に、周辺の確認作業に伴う対象との照合等の探索以外の行動を行っている可能性がある。そのため、探索状態は  $t_1$  までの時間に限られるとして設定し、以下に示すように算出した。

$$\text{探索状態の注視点の移動頻度} = \frac{\text{映像開始から } t_1 \text{ の注視点の移動回数}}{t_1 - 0}$$

次に、探索ではない状態の注視点の移動頻度の算出について述べる。探索ではない状態の開始時間は、タスク指示通りに考えると、探索と獲得の切り替えタイミングである  $t_2$  である。終了時間は、タスク指示に従い探索対象と隣接する対象を見ている間に着目するため、 $t_3$  とする。以上より、算出方法を示す・

$$\text{獲得状態の注視点の移動頻度} = \frac{t_2 \text{ と } t_3 \text{ の間の注視点の移動回数}}{t_3 - t_2}$$

## 4.5 結果

被験者 15 名の各状態における注視点の移動頻度を算出し、母平均の信頼区間 95% をそれぞれの映像について求めた。その結果、4 映像で閾値を設定できる結果となった。他の映像も含め、4 映像に共通する閾値として探索状態の閾値を 2.7 回/秒 ( $p < 0.05$ ) として定めることが出来た。これにより、注視点の移動頻度により聴覚情報を処理しにくい探索状態を判定することが出来た。

## 4.6 有用性検証

実験により、探索状態を判定するための注視点の移動頻度の閾値を 2.7 回/秒と定めた。この閾値以上のときは探索状態で

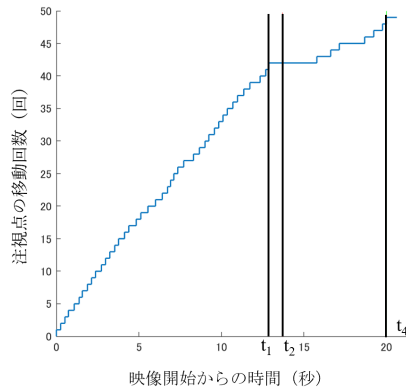


図5 鑑賞中の注視点の移動頻度の推移の例1

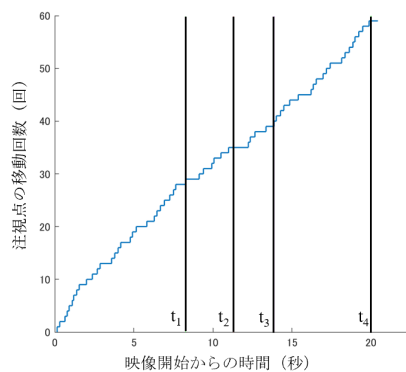


図6 鑑賞中の注視点の移動頻度の推移の例2

あるため、聴覚情報の付与タイミングとして、「注視点の移動頻度が2.7回/秒より低いときに聴覚情報を付与する」を提案する。

この付与タイミングの有用性を評価するため、平林らの先行研究のデータを再分析する。検証方法としては、各被験者に対し、映像開始時間に対して注視点の移動頻度を算出し、閾値以上のときに付与された聴覚情報のみから得られる固有名詞の個数に着目し、記憶の評価を行った。この結果、注視点の移動頻度が閾値以上となる時間があった被験者は10名中6名であり、全被験者がこのときに付与された聴覚情報を記憶できてなかった。以上より、提案した聴覚情報の付与タイミングの設計手法として、探索状態を判定するために注視点の移動頻度に着目することの有用性を示せた。

## 5 考察

注視点の移動頻度の閾値を2.7回/秒と設定したことについて考察する。注視点の特性で2.7回/秒ということは、370ミリ秒あたりに1つの注視点が発生していることを意味する。この特性に関し、どのような情報処理が行われているのかという観点からMHPモデルに基づき考察を行う。MHPモデルによると、対象に対し視線を動かすのに要する時間は160ミリ秒である。また、本実験において映像中に移る探索対象と画像で呈示された探索対象が一致しているか考える人間の行動は形状照合であり、この形状照合の所要時間は210ミリ秒である。以上

より、視線を動かすのに要する時間と形状照合の所要時間の和は、370ミリ秒であると算出できる。この数値は、本稿での実験により設定した閾値と同等であり一般性があることから、情報採餌理論に基づく視行動特性を把握することは妥当であるといえる。

今回の実験では、視行動に基づき、情報採餌理論のうち探索状態の推定を行った。しかし、情報採餌理論に基づく、より効果的な聴覚情報の設計手法を提案するためには獲得状態を推定する必要がある。特に聴覚情報に対する獲得状態を推定することが出来れば、そのタイミングで重要な情報を呈示することで、学習効果が向上すると考えられる。

## 6 まとめと今後の課題

鑑賞時の聴覚情報付与タイミングの設計手法を構築するため、鑑賞者の情報処理の状態を推定することを目指し、情報採餌理論に基づき、情報処理時の鑑賞者の状態を探索状態と獲得状態に設定することにより、その際の視行動の特徴を分析した。結果、以下に示す知見を得た。

- 鑑賞時の注視点の移動頻度により、聴覚情報を処理しにくい探索状態を抽出可能であること。
- 鑑賞時の注視点の移動頻度として、2.7回/秒を閾値と設定することで、探索状態を判定可能であること。

今後の課題としては、本稿で得られた視行動の特性に基づいた獲得状態を推定する手法を提案し、より効果的な聴覚情報付与タイミングの設計手法を構築する予定である。

### 謝辞

本研究の一部は科研費JSPS(23K11334, 代表:長岡技術科学大学・中平勝子)の助成を受けたものである。

### 参考文献

- [1] 近藤智嗣, 有田寛之, 博物館教育におけるICT活用, メディア教育研究, 2009, Vol.6, No.1, pp34-43.
- [2] 朝賀浩, 社会教育施設としての博物館をめぐる情勢の変化, 日本の博物館のこれから「対話と連携」の深化と多様化する博物館運営, 2017, pp95-104.
- [3] 向平和, 隅田学前, 田洋一, 宮内敬介, 池田敬明, 稲葉正和, 科学系社会教育施設におけるICTの活用事例一異世代・専門家との協働的学びの実践一, 2019, Vol.43, No.2, pp115-120.
- [4] 文部科学省, 日本の博物館総合調査報告書, 2019.
- [5] S.K.Card, The Model Human Processor: An Engineering Model of Human Performance, Handbook of perception and human performance, 1986, Vol.2, No.45.
- [6] Muneo Kitajima, Shono Shimizu, Katsuko T. Nakahira, Creating Memorable Experiences in Virtual Reality, The 3rd IEEE Conference on Cybernetics, 2017.
- [7] 中村健二郎, 小竹元基, 中平勝子, 北島宗雄, 行動における満足感向上を目指した視行動一聴覚情報間相互作用の特徴抽出, FIT, 2018.
- [8] 宮本勝, 視線を用いたWebデザインの評価, 情報処理学会 研究報告, 2006, No.72, pp9-16.
- [9] Rinki Hirabayashi, Motoki shino, Katsuko Nakahira T, Muneo Kitajima, How Auditory Information Presentation Timings Affect Memory When Watching Omnidirectional Movie with Audio Guide, HUCAPP, 2020, Vol.2, pp162-169.
- [10] Peter Pirolli, Stuart K.Card, Information foraging. Psychological review, 1999, No.4, pp643-675.
- [11] Peter Pirolli, Computational models of information scent-following in a very large browsable text collection, Proceedings of the ACM SIGCHI Conference on Human factors in computing systems, 1997, No.3, pp3-10.