

情報採餌理論に基づく視聴覚情報獲得過程とコンテンツ記憶

Acquisition process of visual-auditory information and content memory based on information foraging theory

栗原 勇太[†]
Kurihara Yūta

小竹 元基[‡]
Shino Motoki

中平 勝子[§]
Nakahira T. Katsuko

北島 宗雄[§]
Kitajima Muneo

1 はじめに

人間は生活の中で様々な情報を獲得し、学習しながら生きていく。曖昧で膨大な情報があふれる現代の社会の中で効果的に学習を進めるには、知覚と認知を行う情報処理過程において、適切な情報へ注意を向け、情報を獲得することが必要である。その学習の1つとして、博物館での鑑賞学習を始めとした社会教育施設における生涯学習が重要視されており [1]、視覚情報処理が行われる鑑賞学習において、情報処理を円滑に行わせることが必要であると考えられる。

その支援方法の1つにマルチモーダル情報処理があり、鑑賞学習を促進できることが示されている [2]。北島ら [3] は、視覚情報処理が行われる鑑賞学習において、音声ガイドを付与することによる視覚と聴覚のマルチモーダル情報処理により、円滑な情報処理を促し、その結果としての記憶が残りやすくなることを示した。また、中村ら [4] は、聴覚情報の解説対象が出現するタイミングに合わせて聴覚情報の付与タイミングを制御することで記憶に残りやすくなることを示した。以上より、本稿では、視覚情報処理が行われる鑑賞行動において、聴覚情報を付与することで鑑賞対象のコンテンツに関する記憶を向上させることを目指す。ここでは、学習を「視聴覚情報を取得し、記憶に残るまでの過程」とする。

2 情報採餌理論に基づく視聴覚情報処理過程

2.1 視聴覚情報処理と記憶

視聴覚情報を取得し記憶に残る過程を表す認知モデルの一つに、Moreno ら [2] が提案したものがある。これは、マルチモーダル情報処理により記憶形成に至る情報処理過程を説明している。その概念図を図 1 に示す。この図に基づくと、情報取得過程は以下の2つに大きく分けられる。

- **知覚プロセス**：感覚器官を経由し、視覚情報と聴覚情報が感覚記憶に一時的に保存される。その後、注意や興味に基づく感覚フィルターによって選定された情報のみが作業記憶に送られる。
- **認知プロセス**：作業記憶に送られた情報は長期記憶に保存されているその情報に関連する知識を活性化し、活性化された知識とともに処理され、理解される。最後に、作業記憶で処理された情報は既存の知識と統合され、新たな情報が長期記憶に保存される。

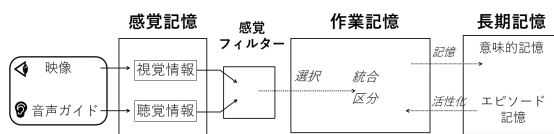


図 1: 視聴覚情報処理過程と記憶に関する認知モデル [2]

2.2 関連研究

本研究では、図 1 に示すように、視覚情報として映像を鑑賞する際に聴覚情報として音声ガイドが付与される場面における、視覚と聴覚のマルチモーダル情報処理を対象とする。

同様の鑑賞場面を対象とした Hirabayashi ら [5] は、映像鑑賞中に視線誘導部と情報付加部で構成される聴覚情報を付与し、それらの付与タイミングの間隔が記憶に与える影響を調べた。彼らは、視線誘導部・情報付加部を次の様に定めた。視線誘導部とは、解説対象の位置・形・色などの情報により、解説対象へ視線を誘導するものである。情報付加部は視覚情報では得られない情報として、解説対象に対する名前や背景などの情報を付加するものである。用いた映像は、図 2 に示す隅田川を下るクルーズ船の前方から見える風景である。一方向にゆっくりと移動し、映像中に 10 個以上の対象が現れる。同時に付与する聴覚情報の内容は、東京の隅田川とパリのセヌ川の友好関係という文脈の中で、映像の序盤に登場するパリ広場と終盤に登場するメッセンジャー像についての解説である。記憶の評価は、鑑賞後に記憶している情報を書き出させる再生テストにより、再生可能な形で行われた。



図 2: 先行研究で利用された映像の一例

得られた知見として、視線誘導部と情報付加部の付与タイミングの間隔が約 3 秒の時に記憶が向上することを示した。その理由は、付与タイミングの間隔が 3.0 秒より短い場合は、時間当たりに処理する視聴覚情報量が多く、記憶に残りにくいためであると示唆した。逆に付与タイミングの間隔が 3.0 秒より長い場合は、視覚情報処理により処理対象の関連知識が活性化されるものの、時間経過とともに活性化度が減少し、視覚情報と聴覚情報が統合されないため、記憶に残りにくいと示唆した。以上より、付与タイミングの間隔を制御することで、鑑賞者の処理する情報量を抑えつつ、処理対象の活性化度も低下させないため、記憶が向上することを示している。

一方、Hirabayashi らの実験では、記憶していた情報量が多い被験者もいれば少ない被験者もいた。特に名前や背景などを提供する情報付加部を記憶していた被験者は半数未満であり、聴覚情報を含めたコンテンツ内に示されていた情報の記憶（以下、コンテンツ記憶）が残っていた被験者は少ない。その原因として、個人ごとに視聴覚情報の処理過程が異なり、予め録音された聴覚情報では、処理すべき情報量や活性化度が被験者ごと

[†] 東京大学

[‡] 東京工業大学

[§] 長岡技術科学大学

に最適化されていないためだと考えられる。そのため、聴覚情報を含めたコンテンツ記憶向上のためには、付与された聴覚情報の記憶に至る視聴覚情報の処理過程を把握し、その処理過程に応じた聴覚情報設計が必要である。

以上より、筆者の前報 [6] では、コンテンツ記憶を向上させるために聴覚情報のみから得られる情報付加部の記憶に着目した。そして、情報処理過程を把握するために、視覚情報の処理過程を間接的に把握できると考えられている視行動に着目し、聴覚情報を並列処理する際の視行動と情報付加部の記憶の関係を調べた。

2.3 前報と本研究の位置づけ

筆者の前報 [6] について具体的に述べる。前報では、2.2 節の Hirabayashi らの映像実験における視行動と情報付加部の記憶を分析した。加えて、Hirabayashi らの実験における 12 名のデータを対象に、情報付加部の記憶が残っていなかった被験者が多いシーン（以降、シーン A）と記憶に残っていた被験者が多いシーン（以降、シーン B）における視行動を比較した。その結果、シーン A では注視点の移動頻度が高く様々な対象を見渡す傾向が見られた。一方、シーン B では注視点の移動頻度が低く、注視点はある対象やその周辺を捉える傾向が見られた。そのため、2 つの状態を判別する視行動として、注視点の移動頻度を分析した。

この結果に対し、情報探餌理論 [8]（詳細は次節にて後述）を適用すると、人間の情報処理プロセスには、注視点の移動頻度が高く聴覚情報を処理できない探索状態と、注視点の移動頻度が低く聴覚情報を処理できる獲得状態があると考えられる。そのため、記憶向上を実現するには、聴覚情報は獲得状態に遷移する過程で付与される必要があり、視行動から探索状態と獲得状態（以下、獲得遷移状態）を判別する必要がある。

前報では、その 2 つの状態を注視点の移動頻度により判別する閾値を設定するためにタスク指示実験を行った。その結果、注視点の移動頻度の閾値を 2.7 回/秒と設定することで、2 つの状態を判別できることを示した。最後にこの閾値を用いて Hirabayashi らの実験データを再分析したところ、注視点の移動頻度が閾値以上において付与された聴覚情報を記憶している被験者はおらず、閾値の有用性を示した。

一方、前報において、聴覚情報を並列処理することができない探索状態を視行動により判定することはできたものの、獲得遷移状態において情報付加部の記憶に至る視行動の特性は把握できていない。そのため、コンテンツ記憶の向上のためには、獲得遷移状態において獲得に至る、すなわち聴覚情報の並列処理により情報付加部の記憶につながる視行動特性を明らかにする必要がある。

以上より、本研究の目的は、獲得遷移状態において、「付与された聴覚情報の並列処理により情報付加部の記憶向上につながる視行動特性を把握すること」とする。なお、本稿では Hirabayashi らと同様に、再生テストによる記憶を評価するため、再生可能な形で記憶を評価対象とする。

3 情報探餌理論に基づく情報処理と視行動特性

本稿では前報 [6] と同様、聴覚情報が付与される鑑賞場面において、記憶向上に至る情報処理過程を視行動により把握するため、情報獲得に関する理論である情報探餌理論に着目する。

情報探餌理論 [8] とは、人間がある情報源に曝されたとき、情報の探索行動と獲得しようとする行動を繰り返す、という理論である。探索行動とは、各情報源の情報の価値を判断するため、様々な情報源を見渡す行動である。獲得しようとする行動とは、「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、情報を獲得することを目指し、その情報源に関する情報を処理すること」である。なお、探索状態における情報価値の判断方法は、情報香モデル [9] により説明できる。情報香モデルとは、情報源のラベルやアイコンなどの表面的な情報に基づ

き、その情報源に含まれる情報量とその内容を予想し、その情報源の価値を判断すると考えられている。

この 2 つの理論に基づくと、人間の視聴覚情報の獲得過程は、以下の 2 つの状態を経て、最終的に情報の獲得に至ると考えられる。以下にその言葉を定義する。

- **探索状態**：情報香に基づき、価値の高いと予想される情報源を探索している状態。
- **獲得遷移状態**：選定された情報源に注意を向け、獲得するために情報源を処理している状態。
- **獲得**：価値の高い情報を獲得すること。今回の研究対象では、情報を再生可能な形で記憶することである。

4 獲得遷移状態時の獲得に至る視行動特性

本章では、注視点の移動頻度が 2.7 回/秒未満である際は獲得遷移状態であるという知見に基づき、獲得遷移状態において、情報付加部の獲得に至る視行動特性について述べる。その視行動として、2.3 節のシーン B で述べたように、獲得遷移状態ではある対象やその周辺に注視点を向けていた。そのため、先行研究 [7] と同様に、中心視による注視点とその注視点に対する周辺視（以降、中心視と周辺視）を視行動の指標として設定する。そして、視聴覚情報の処理過程として、聴覚情報に対する中心視と周辺視の時系列応答と記憶の関係を調査する。

4.1 分析対象

本章では、前報と同様に、2.2 章で述べた Hirabayashi らの映像鑑賞実験を対象とする。その映像鑑賞中において、被験者が獲得遷移状態である時間の視行動特性を明らかにするため、被験者の注視点の移動頻度が閾値以下となった時間において、付与された聴覚情報と視行動に着目する。今回の実験では、実験に参加した全ての被験者に対し、映像終盤に現れる「メッセージャー像」に関する聴覚情報が付与される時間において、注視点の移動頻度が閾値以下であった。そのため、視行動として、映像鑑賞のメッセージャー像に対する視行動に着目する。また、記憶の評価対象は、メッセージャー像（以降、 S_1 ）に関する情報とした。被験者数は Hirabayashi らの実験における 12 人と追加実験による 11 人の合計 23 人（20 代の男性 19 名、女性 4 名）である。

4.2 中心視と周辺視に焦点を当てた分析方針

付与された聴覚情報の記憶を評価として、付与された聴覚情報と中心視、周辺視の時系列応答とその関係を明らかにする。最初に中心視と周辺視について述べる。中心視は、Tobii Pro Glasses 2 により計測する。また、周辺視のシンボルの認識限界は、中心視から視野角 $5^\circ \sim 30^\circ$ の範囲にあり、視野角が大きくなるほど高度な情報処理が難しいとされる [10]。そのため、周辺視として視野角 5° の領域に設定した。

次に中心視と周辺視のデータ取得方法について述べる。ビデオに現れるオブジェクトの境界に沿って各対象の領域を定義する。それらの領域に対し、中心視がある対象 X の領域内にある場合、中心視で X を捉えたとする。周辺視は、中心視に対して視野角 5° の領域と X の領域が重なる場合、周辺視で X を捉えたとする。この取得方法に基づき、各対象シーンにおける被験者ごとに聴覚情報に対する視行動の時系列応答図を作成する。その例を図 3 に示す。横軸は映像開始からの経過時間であり、図 3 の 1 行目に示す S_1 に関する聴覚情報の付与が開始される約 5 秒前から S_1 が映像から消える約 5 秒後の約 20 秒間を切り出した応答である。縦軸について、上から 2 行目は中心視が S_1 を捉えた時刻と時間を表しており、各長方形の左端が S_1 を捉えた時刻、横幅が捉えていた時間を表している。同様に、上から 3 行目は周辺視で S_1 を、一番下の行は中心視で S_1 以外の対象を捉えた時刻と時間をそれぞれ表す。また、一番上の行は付与された聴覚情報を表している。緑色の部分は S_1 への視線誘導部、オレンジ色の部分は情報付加部のうち、 S_1 の名前の情

報、黒色の部分はその他の聴覚情報がそれぞれ付与される時刻と時間を表している。

最後に分析方針について述べる。記憶の分類として、「情報付加部の記憶」が残っていた被験者を獲得できた被験者群と考え、グループ A とする。また、獲得できなかった被験者のうち、「視覚情報の記憶（像、オブジェなど）」が残っていた被験者群をグループ B、「像に関する記憶無し」の被験者群をグループ C と分類する。そして、各被験者に対する図 3 に示す時系列応答を示し、各グループにおける聴覚情報に対する中心視と周辺視の時系列応答とその関係を明らかにする。

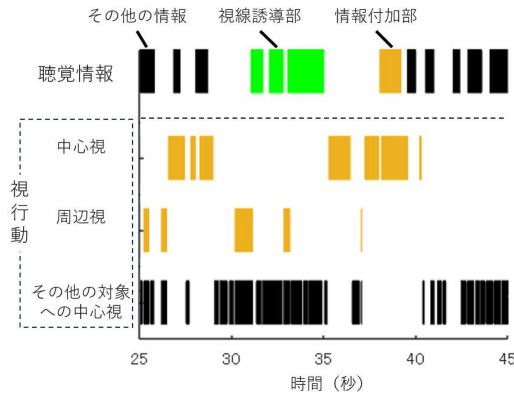
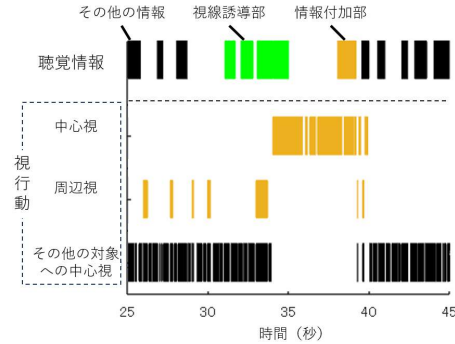
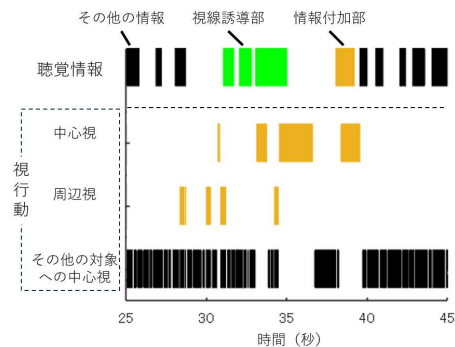


図 3: 聴覚情報に対する視行動の時系列応答 (グループ A の一例)



(a) グループ B-1 の例



(b) グループ B-2 の例

図 4: グループ B の聴覚情報に対する視行動の時系列応答

4.3 分析結果

前節で示した分析方針に基づき、各グループの視行動特性について述べる。グループ A の被験者の視行動特性は次の通りであった。その人数は 3 名であり、3 名全員が図 3 のように、視線誘導部の付与後の時間において、一度 S_1 を中心視で捉えた後、周辺視で S_1 を捉えることができない対象に中心視をそらしていた。その後、3 名はそれぞれ情報付加部が付与される 0.8 秒前、1.6 秒前、1.7 秒前に再び S_1 を捉えていた。最後に、情報付加部が付与される時間において、2 名は S_1 を注視し続けており、計測機器の不具合により 1 名は中心視が計測されずども見ていないことがわかった。まとめると、視線誘導部で S_1 を中心視で見た後、一度他の対象へ中心視を移し、情報付加部の付与前に再び S_1 を中心視で捉えるという視行動がみられた。

次にグループ B の被験者の視行動特性について述べる。総数は 10 名であった。6 名 (グループ B-1) は、図 4a に示すように、視線誘導部の付与後の時間において、 S_1 を中心視で捉えた後、情報付加部まで常に中心視か周辺視で S_1 を捉え続けていた。2 名 (グループ B-2) は、図 4b に示すように、視線誘導部の付与後において、一度 S_1 を中心視で捉えた後、周辺視で S_1 を捉えることができない対象に中心視をそらし、グループ A と同じく他の対象へ中心視を移していた。一方、グループ A と異なり、情報付加部が付与される前に S_1 へ中心視を戻していなかった。残りの 2 名は、 S_1 を中心視でほとんど捉えない被験者や情報付加部の付与後に初めて S_1 を捉えた被験者であった。

最後に、グループ C の被験者の視行動特性について述べる。その人数は 10 名である。1 名 (グループ C-1) はグループ B-1 と同様であり、5 名 (グループ C-2) は、グループ B-2 と同様であり、残り 4 名は、 S_1 をほとんど見ないなどの特徴がみられた。

この結果に基づくと、グループ A とグループ B-1・C-1 の比較により、視線誘導部の付与後に解説対象である S_1 を一度見た後、一度周辺視で解説対象を捉えることができない他の対象へ中心視をそらしている。また、グループ A とグループ B-2・C-2 の比較により、中心視を一度そらした後に、情報付加部が付与される前に再び S_1 を捉えていることがわかる。そのため、

獲得遷移状態において獲得にいたる視行動特性としては、以下の 2 つの特性が必要である。

1. 視線誘導部から情報付加部の時間において、解説対象を中心視で捉えた後、捉え続けるのではなく、一度周辺視領域外の対象を見て、再びその解説対象を中心視で捉える。
2. 再びその解説対象を中心視で捉えるタイミングは、情報付加部が付与される前である。

5 考察

本章では、前節で得られた獲得に至る視行動特性について、記憶向上に寄与した理由を情報処理の観点、具体的には視聴覚のモータル特性や情報取得効率の最大化の観点で考察する。最後に、本稿の知見に基づく聴覚情報設計について考察する。

5.1 視聴覚のモータル特性と情報処理量

情報付加部の付与前から解説対象を中心視で捉える視行動特性が記憶に与える影響について、Hirabayashi らの先行研究 [5] に基づき、視覚と聴覚のモダルの特性に基づく視聴覚情報処理の順番の観点で考察する。

視覚情報は複雑な情報を素早く伝達できるという性質により、視覚情報処理対象の関連知識が活性化されやすく、その後に付与される聴覚情報が統合されやすくなり、記憶が向上すると考えられる。4.3 節で述べたように、獲得できた被験者はそれぞれ情報付加部が付与される 0.8 秒前、1.6 秒前、1.7 秒前に解説対象を捉えており、同様に視覚情報処理の後に聴覚情報処理となったため、記憶向上に寄与した可能性がある。

次に、解説対象を捉えてから情報付加部が付与されるまでの時間について、処理すべき情報量の観点から考察する。Hirabayashi らは、視線誘導部と情報付加部の間隔が 3.0 秒の場合のほうが 1.5 秒の場合より記憶が向上したことを示した。その理由として、視線誘導部が付与されてから解説対象へ視線

を移動させる時間を考慮すると、視線誘導部と情報付加部の間隔が短い場合、解説対象へ視線を移したことによる視覚情報処理の開始直後に聴覚情報が付与される可能性が高い。それにより、時間当たりに処理する情報量が人間の情報処理能力に対して過多になり、その間隔の適値があると考察されている。その知見に基づくと、獲得できた3名の被験者は、処理すべき情報量が過多にならず、記憶に残りやすくなった可能性がある。

5.2 情報取得効率の最大化

次に中心視を解説対象から一度外す視行動について、中心視で解説対象を見続ける視行動と比較し、最適採餌理論に基づいて考察する。最適採餌理論とは情報採餌理論の一部であり、時間経過に伴う複数の対象に対する情報取得効率に関する理論である。ある対象へ注意を向け情報処理する時間が長くなるほど、その対象に関して新たに処理できる情報量が少なくなり、時間経過に伴い情報取得効率が低下する。そのため、複数の情報処理対象がある環境の場合、ある対象への情報取得効率がその環境の全対象に対する平均の情報取得効率より低下した時刻において、他の対象へ注意を移すことで、情報取得効率を最大化できるという理論である。

この理論に基づき、経過時間に対する情報取得効率から考察を行う。その状況を図5に示す。横軸は時間、縦軸は情報取得効率を示す。赤色は情報付加部を獲得できた被験者、すなわち中心視で解説対象から一度外した被験者であり、黒色はその情報を獲得できなかった被験者、すなわち中心視で解説対象を捉え続けた被験者を示す。実線は解説対象に関する情報取得効率を、破線は視線を外した先の対象に関する情報取得効率を示す。 t_1 は両被験者が中心視で解説対象を初めて捉えた時刻、 t_2 は獲得できた被験者が中心視で他の対象を捉えた時刻、 t_3 は獲得できた被験者が再び中心視で解説対象を捉えた時間、 t_4 は情報付加部の付与タイミングを示す。

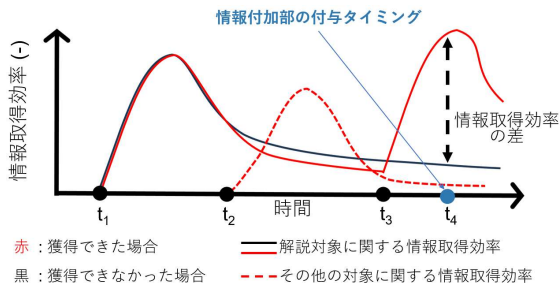


図5: 経過時間に対する情報取得効率

最適採餌理論に基づくと、ある対象への情報処理時間が短い間は情報取得効率が高いが、時間経過と共に情報取得効率が低下する。そのため、獲得できなかった被験者は、解説対象を中心視で捉え続けたことにより情報取得効率が低下し、その状態で t_4 において、情報付加部が付与されたと考えられる。一方、獲得できた被験者は、情報取得効率が低下した後、 t_2 にて一度他の対象へ中心視を移したことで情報取得効率を最大化し、 t_3 にて再び解説対象を中心視で捉えることで情報処理を開始したと考えられる。それにより、 t_4 の情報付加部の付与タイミングにおいて、情報取得効率が高い状態で、情報付加部が付与されることになり、獲得に至ったと考えられる。

以上より、中心視を一度解説対象から外した後、再び解説対象を中心視で捉える視行動は、情報取得効率の最大化を目指した行動であると考えられる。そして、解説対象に関する情報取得効率が高い状態で聴覚情報が付与されるため、記憶に残りやすと考えられる。

5.3 聴覚情報設計

最後に本稿の知見に基づく聴覚情報設計について考察する。前報の知見、4.3節で示した視行動特性、本章の考察に基づくと、適応型聴覚情報付与の設計が可能となる。以下に、情報付加部の記憶を再生可能な形で記憶させるための設計手法を述べる。最初に、注視点の移動頻度を計測し、閾値以下の時間で、ある獲得遷移状態において鑑賞者に聴覚情報として視線誘導部を付与する。次に、中心視と周辺視に着目し、視線誘導部に従って中心視が解説対象を捉えたあと、周辺視で解説対象を捉えることができない対象へ中心視を移動するまで待機する。最後に、中心視が解説対象を再び捉えたことを計測した後、情報付加部を付与する。

この視行動に基づく聴覚情報付与により、獲得遷移状態において、被験者の情報取得効率の最大化と処理すべき情報量の最適化を実現し、視聴覚のモーダル特性に基づいた視聴覚情報処理を行わせることができると考えられる。以上より、情報付加部の記憶向上を実現できる。

6 まとめ

本稿では、視覚情報処理が行われる鑑賞学習において、視線誘導部と意味付与部から構成される聴覚情報付与に着目した。そして付与された聴覚情報の並列処理によりコンテンツ記憶の向上を目指し、情報採餌理論を適用することで、獲得遷移状態において聴覚情報による情報付加部の獲得に至る視行動特性を把握するための分析を行った。その結果、「視線誘導部から情報付加部の時間において、解説対象を中心視で捉えた後、一度周辺視領域外の対象を見て、情報付加部が付与される前に再びその解説対象を中心視で捉える」視行動特性が記憶向上に寄与する可能性があることがわかった。今後は5.3節の考察で述べた設計手法に基づく聴覚情報がコンテンツ記憶に与える影響について調査する。

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, pp. 34–43.
- [2] Moreno, R. and Mayer, R. (2007). “Interactive multimodal learning environments.” Educ. Psychol. Rev., 19:309–326.
- [3] Muneo Kitajima, Shono Shimizu, Katsuko T. Nakahira, “Creating Memorable Experiences in Virtual Reality.” The 3rd IEEE Conference on Cybernetics, 2017.
- [4] 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—聴覚情報間相互作用の特徴抽出.” FIT, 2018.
- [5] 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, pp. 162–169.
- [6] 栗原勇太, et al. “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.” IEICE Conferences Archives. The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers, 2023.
- [7] Kurihara, Yuta, et al. “Visual Behavior Based on Information Foraging Theory Toward Designing of Auditory Information.” VISIGRAPP (1): GRAPP, HUCAPP, IVAPP. 2024.
- [8] Peter Pirulli, Stuart K. Card, “Information foraging.” Psychological Review. 1999, No.4, pp. 643–675.
- [9] Peter Pirulli, “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, pp. 3–10.
- [10] 小松原明哲, “エンジニアのための人間工学 改定第6版.” 朝倉書店, 2024.