令和７年度　千葉市・大学等共同研究事業

ゴリラの認知能力の調査と
エンリッチメント装置の検討

成果報告書

千葉市動物公園

千葉大学大学院人文科学研究院

令和８年３月３１日

要約

【目的】　本研究は，ゴリラを対象として，比較認知科学の手法を用いて画像刺激への選好や感覚性強化の成立可能性を検討し，認知エンリッチメントの実現に資する知見を得ることを目的として実施した。近年，動物園には種の保存，研究，教育，レクリエーションといった多面的役割が求められている。また，動物福祉の観点から，動物が主体的に活動し，認知的刺激を受けながら生活できる環境整備が重要視されている。千葉市動物公園では植樹等を通じた環境エンリッチメントにも取り組んできたが，どのような環境要素が動物にとって価値を持つかについては，十分な科学的知見が蓄積されていなかった。そこで本研究では，ゴリラの刺激選好や刺激価値を定量的に評価し，認知エンリッチメント設計に対する科学的基盤を構築することを目指した。

【研究方法】　研究は 3 つの内容から構成された。研究 1 では，木片パネルを用いて画像選好の予備的検討を行った。先行研究を部分的に追試しつつ，ゴリラがどのような視覚刺激に興味を示すかを検討した。研究 2 では，モニタを用いた感覚性強化実験を実施した。ゴリラの注視に応じて画像呈示を制御する実験系を構築し，画像刺激そのものが主体的行動を支える価値を持つかを評価した。また，展示場制約のため，実験者が遠隔から注視を判断し画像を呈示した。研究 3 では，映像解析技術を用いて顔検出や視線方向推定を行い，将来的な注視反応自動評価技術の構築を目指した。

【結果】　研究 1 では，規則性選好について体系的な結果は得られなかったものの，木片刺激そのものへの関心や探索行動が観察された。一方で，大型類人猿を対象とした現場研究では，天候や展示条件など実験外要因の影響が大きいことも明らかとなった。研究 2 では，自然風景や鳥類画像，奥行き感を含む画像が注意を引きやすい傾向が認められた。また，刺激呈示を維持するような行動も見られ，画像刺激そのものが主体的行動を支える可能性が示唆された。さらに，自然関連刺激への反応は，千葉市動物公園で既に実施されていた植樹等の環境エンリッチメント施策とも整合的であった。研究 3 では，ゴリラの顔・鼻・目の検出および視線方向推定手法を構築し，注視反応を客観的に評価する基盤技術を整備した。

【考察】　本研究から，認知エンリッチメントは単なる刺激呈示ではなく，動物が主体的に環境へ関与する機会を設計することが重要であることが示された。また，自然刺激に対する選好傾向は，既存の環境エンリッチメント施策に学術的根拠を与えるものとなった。比較認知科学，情報技術，映像解析を統合することで，動物福祉向上と認知研究を両立する新たな研究・展示手法の可能性が示された。

【政策提言】

(1) 認知エンリッチメントを動物福祉施策へ体系的に位置づけること
(2) 環境エンリッチメントについても比較認知科学や行動データに基づく科学的評価を進めること
(3) 大学等との連携による学術研究基盤を継続的に整備すること
(4) 認知研究と情報技術を統合した次世代型展示環境整備を進めること
(5) 研究成果を他個体・他種へ展開するとともに，「千葉モデル」として全国へ発信すること

本研究は，認知科学，情報技術，動物福祉を横断的に統合し，「動物をめぐる学術の場」としての動物園機能をさらに発展させる可能性を示した。今後も科学的知見に基づく動物福祉向上と教育的価値向上の両立が期待される。

目次

1. 概要 1
  1.1 研究テーマ 1
  1.2 研究組織 1
2. 市の行政的課題と研究の背景 3
  2.1 動物園に求められる社会的役割 3
  2.2 千葉市動物公園の取組と行政的課題 3
  2.3 ゴリラプロジェクトと認知研究の位置づけ 3
  2.4 本研究の目的と研究の位置づけ 4
  2.5 本事業の構成 5
  2.6 担当者の研究領域 5
  2.7 学習研究と強化の考え方 7
  2.8 刺激とは 8
3. 研究 1　パネル実験（実験 1） 9
  3.1 研究背景と目的 9
  3.2 実験 1-1：方法 11
    3.2.1 参加個体 11
    3.2.2 刺激 11
    3.2.3 手続き 11
  3.3 実験 1-1：結果 12
  3.4 実験 1-1 考察 12
  3.5 実験 1－2：方法 13
    3.5.1 参加個体 13
    3.5.2 刺激 13
    3.5.3 手続き 14
  3.6 実験 1-2：結果と考察 14
  3.7 資料 14
4. 研究 2　モニタ実験（実験 2） 15
  4.1 研究背景と目的 15
  4.2 実験 2-1：方法 16
    4.2.1 参加個体 16
    4.2.2 刺激 16
    4.2.3 装置 16
    4.2.4 手続き 17

4.3 実験 2-1：結果と考察 17
4.4 実験 2-2：方法 20
4.4.1 参加個体 20
4.4.2 刺激 20
4.4.3 装置 20
4.4.4 手続き 20
4.5 実験 2-2：結果 21
4.6 実験 2-2：考察 26
4.7 資料 26
5. 研究 3 映像解析による視線方向の解析 27
5.1 研究 3 の背景 27
5.2 解析手法の提案 28
5.2.1 顔・鼻・目の検出 29
5.2.2 安定化処理 29
5.2.3 視線推定 31
5.3 実データによる検証 32
5.4 検証結果 34
5.4.1 検出性能 34
5.4.2 安定化処理性能 35
5.4.3 視線方向検出の精度評価 37
5.4.4 自動判定手法の評価 38
5.5 研究 3：考察 38
5.5.1 検出性能 38
5.5.2 深度情報に関する考察 40
5.5.3 安定化処理の有効性 40
5.5.4 視線推定精度 41
5.5.5 自動解析評価 42
5. 6 研究 3 のまとめ 42
5.7 資料 44
6. 研究総括と展望，千葉市の政策への提言 45
6.1 研究まとめ 45
6.2 今後の課題等展望 45
6.2.1 反応測定と随伴性制御の自動化 45
6.2.2 主体的反応を引き出す装置開発 46
6.2.3 刺激種類の拡張と倫理的配慮 46
6.2.4 刺激呈示デバイスの改善と市民への開放 47
6.2.5 動物福祉指標との統合的評価 48
6.3 千葉市への政策提言 49

1. 概要

1.1 研究テーマ

本研究は，ゴリラを対象として，認知科学的手法を用いて画像刺激への選好や感覚性強化の成立可能性を検討し，認知エンリッチメントの実現に資する知見を得ることを目的として実施した。

近年，動物園には，種の保存，研究，教育，レクリエーションなど，多面的な社会的役割が求められている。また，動物福祉の観点から，単に生存に必要な環境を整えるだけではなく，動物が主体的に活動し，認知的な刺激を受けながら生活できる環境づくりの重要性が指摘されている。

認知エンリッチメントは，動物が環境へ主体的に働きかけ，認知的活動を促進することで，行動の多様性や心理的健康の維持向上を図る取組である。しかし，どのような刺激が認知エンリッチメントとして有効であるか，また，どのような刺激を動物自身が好むかについては，必ずしも十分な知見が蓄積されていない。

本研究では，比較認知科学の考え方にもとづき，客観的な行動指標を用いて，ゴリラの刺激選好や刺激価値を定量的に評価することを目指した。特に，「どのような刺激を好むか」「刺激そのものが主体的行動を支える価値を持つか」という問題に着目し，認知エンリッチメントの基盤となる知見を得ることを試みた。

研究は，大きく 3 つの内容から構成された。研究 1 では，木片パネルを用いた簡易的な画像選好課題を実施した。比較的短時間で実施可能な方法を用い，ゴリラの画像刺激への予備的な選好を検討するとともに，先行研究との比較可能性を踏まえた方法論の妥当性を検証した。研究 2 では，モニタを用いた感覚性強化実験を実施した。画像刺激そのものが強化子として機能するかを検討するとともに，ゴリラ自身の主体的な行動によって刺激呈示を制御する枠組みを構築し，餌以外の報酬を用いた認知エンリッチメントの可能性について検討した。研究 3 では，映像解析技術を用いて，ゴリラの顔検出や視線方向推定を行った。これにより，将来的に注視反応を客観的かつ自動的に評価する技術基盤構築を目指した。

本研究は，比較認知科学，情報技術，動物福祉を横断的に統合し，動物園における新たな研究・展示・教育のあり方を探る試みでもある。認知研究を通じて得られた知見を認知エンリッチメントへ還元し，動物福祉向上へつなげるとともに，「動物をめぐる学術の場」としての動物園の役割をさらに発展させることを目指した。

1.2 研究組織

千葉大学の教員と学生，ならびに千葉市動物公園から組織を組み，本事業の遂行に取り組んだ。

表 1　研究組織

氏　　名	所属学部・職 （現在の専門）	最終学校名 卒　業　年	役　割　分　担
牛谷 智一	千葉大学大学院人文科学研究院・准教授	京都大学 2005 年 博士（文学）	研究統括
渡辺 安里依	千葉大学大学院人文科学研究院・准教授	ケンブリッジ大学 2013 年 Ph.D. (Psychology)	研究計画策定
眞鍋 佳嗣	千葉大学大学院情報学研究院・教授	大阪大学 1995 年 博士（工学）	センサ開発
清田 義昭	動物公園・副園長		現場統括
髙橋 宏之	動物公園・主査		動物と人の安全管理
中村 智行	動物公園・副主査		動物と人の安全管理, 研究機材等の設置補助
中山 侑	動物公園・研究員		共同研究連携調整, 研究機材等の設置補助

これに加えて，野本繭子（千葉大学大学院人文科学研究院特別研究員），只木琴音（千葉大学大学院融合理工学府博士後期課程），高窪飛摩（千葉大学工学部情報科学コース）が参加した。野本，只木は，研究実施補助として参加した。高窪は，眞鍋指導の下，研究 3 の全内容を卒業研究として実施した。

2. 市の行政的課題と研究の背景

2.1 動物園に求められる社会的役割

現代の動物園には，単なる展示施設としての役割を超え，多様な社会的役割が求められている。具体的には，絶滅危惧種等の保全を含む「種の保存」，動物の生態や認知能力等に関する「調査・研究」，来園者への知識普及を目的とした「教育・環境教育」，さらに市民に自然との接点や学びの機会を提供する「レクリエーション」の機能である。

これら社会的役割は個別独立・単独ではなく，複数のものを統合した形で果たすことが求められている。最先端の「調査・研究」は，講演会等を通じてその担い手が直接「教育活動」につなげられる。やり方を少し工夫すれば，そのまま「レクリエーション」となる。一方，「種の保存」には，そもそも「調査・研究」が欠かせないし，「教育活動」や「レクリエーション」によって来園者が増加すれば，「種の保存」といった役割を果たす上での社会評判的・予算的サポートにつながる。動物園は，また，各種学校，研究機関，学術団体，企業等との連携を通じ，包括的な調査研究や教育普及活動を推進する役割も求められている。動物園は動物を展示する場所にとどまらず，学術研究，教育，社会還元を結びつける拠点としての重要性を増している。

こうした役割は，動物園を超えた社会的要請とも密接に関係している。国際社会が掲げる持続可能な開発目標（SDGs）に照らすと，特に目標 4「質の高い教育をみんなに」と目標 15「陸の豊かさも守ろう」との関連が深い。SDGs 目標 4 は，持続可能な社会の構築に必要な知識や学びの機会を社会へ提供することを求めており，動物園が担う環境教育や科学教育，体験型学習の機能と密接に関係する。一方，目標 15 は生物多様性の保全や絶滅危惧種の保護を重視しており，動物園における種保存や保全研究の役割と直接結びついている。すなわち，現代の動物園には，「生物多様性保全」と「教育・学術普及」を両輪として推進することが求められている。

2.2 千葉市動物公園の取組と行政的課題

千葉市動物公園では，こうした社会的要請を踏まえ，動物園を「動物をめぐる学術の場」と位置づけ，講演会や教育体験等を総合的に展開する「アカデミア・アニマリウム」を開催してきた。この取組は，単に来園者の楽しませるためのイベント実施ではなく，研究知見の社会還元，市民への教育機会の提供，学術研究との連携を通じて，動物園が社会的役割を果たすための重要な実践と位置づけられる。こうした取組を通じて，千葉市動物公園が担う「種の保存」「調査研究」「教育普及」「レクリエーション」の各機能を発展させていくことは，千葉市行政における重要な課題の一つでもある。

2.3 ゴリラプロジェクトと認知研究の位置づけ

千葉市動物公園では，看板種であるゴリラを対象として，「未来へ紡ぐゴリラプロジェクト ～動物福祉の向上と学術的知見を活かす！～」を推進してきた。ゴリラは大型類人猿として高い認知能力を有すると考えられている一方，飼育下における動物福祉向上や，認知特性を踏まえた環

境整備については，さらなる科学的知見の蓄積が求められている。近年では，単に飼育施設を整備するのみならず，心理的健康や主体的活動を促進する認知エンリッチメントの重要性も指摘されている。千葉市動物公園では，認知エンリッチメントのみならず，植栽環境の整備等を通じた環境エンリッチメントにも取り組んできた。特にゴリラ展示場においては，植樹等を通じ，自然に近い環境や探索機会を提供する試みが進められている。しかし，どのような環境要素が実際に動物にとって価値を持つかについては，必ずしも十分な科学的知見が蓄積されているわけではない。本研究の目的の 1 つは，こうした既存の取組に対して，比較認知科学の観点から学術的基盤を与えることである。

本研究で実施した認知研究は，こうしたゴリラプロジェクトの一環として位置づけられるものである。ゴリラがどのような刺激を選好し，どのような認知的特性を有するかを定量的に把握することは，動物福祉の向上に寄与するのみならず，科学的知見に基づく展示環境整備，教育価値向上，さらには保全活動の高度化にもつながることが期待される。

2.4 本研究の目的と研究の位置づけ

動物園では，保護下に置かれた動物が限られた環境で生活することになる。飼育環境の改善は継続的に進められているものの，従来型の展示では，動物の活動性低下や刺激不足が課題となる場合がある。また，動物の非活動的な状態は，動物福祉上の問題のみならず，来園者体験にも影響を及ぼしうる。

来園者は単に動物を見ることだけを求めているのではなく，「幸せに暮らし，自然な状態で活動する動物を見たい」という潜在的なニーズを有していると考えられる。動物園が教育・研究・種保存という役割を果たしていく上でも，動物が本来持つ行動特性を発揮しながら生活できる環境を整備することは重要な課題である。

こうした課題への対応として注目されているのが認知エンリッチメントである。認知エンリッチメントとは，動物が主体的に環境へ働きかけ，探索し，問題解決を行う機会を提供することで，認知的活動を促進し，心理的健康や行動の多様性を高めようとする取組である。単に活動量を増やすのではなく，動物本来の自然な活発さを引き出すことを目指す点に特徴がある。

比較認知科学は，こうした認知エンリッチメントを科学的に支える上で重要な役割を担いうる。比較認知科学は，ヒト以外の動物を含めた認知機能，知覚，学習，記憶，意思決定等を定量的に検討し，種間比較を通じて認知特性を明らかにする学問領域である。動物がどのような刺激を好み，何に興味を示し，どのような条件で主体的な行動を発現するかを科学的に評価できることから，認知エンリッチメントの設計に対する学術的基盤として適している。

本研究では，保護・繁殖を通じた種保存が求められるゴリラを対象として，認知エンリッチメントの実現に向けた基礎的知見を得ることを目的とした。ゴリラの繁殖の成功や魅力的な展示づくりのためには，単に施設を整備するだけでは十分ではない。生理的ニーズの充足に加え，心理的健康や行動の多様性を確保できる飼育展示環境を構築する必要がある。そこで本研究では，ゴリラがどのような刺激を好み，どのような認知的特性を有するかを定量的に把握し，飼育環境の質向上へ寄与することを目指した。

2.5 本事業の構成

本事業は以下の 3 つの研究から構成した。

【研究 1：画像選好の予備的検討】

木片パネルを用いて画像選好を検討した。画像への接触や注視を観察することで，ゴリラがどのような刺激に興味を示すかを予備的に評価した。本研究は画像選好に関する知見を得るとともに，実験自体がゴリラに対する認知刺激として機能することも期待された。

【研究 2：感覚性強化の検討】

センサとモニタを組み合わせた装置を設置し，ゴリラ自身の反応によって画像呈示頻度や呈示時間が変化する実験系を構築した。ゴリラが主体的に画像呈示を制御しようとするかを分析することで，画像刺激の価値や選好を定量的に評価した。本研究もまた，認知エンリッチメントとしての機能を兼ね備えるものと位置づけられる。

【研究 3：映像解析による観察行動の定量化】

動物の興味や選好を把握する上では，刺激呈示時にどの対象を見ているかを評価することが重要である。しかし，従来の行動観察では研究者による目視判定が中心であり，多大な時間と労力を要していた。

そこで本研究では，映像解析技術と機械学習を用いてゴリラの顔，鼻，目を検出し，それらの位置関係から視線方向を推定する手法を検討した。さらに，画像刺激への注視判定を自動化することで，行動評価の効率化と客観性向上を目指した。

以上の 3 つの研究を統合することで，ゴリラの認知能力や刺激選好を科学的に理解するとともに，動物福祉向上，展示環境改善，教育的価値向上へつながる認知エンリッチメント手法の構築を目指した。

2.6 担当者の研究領域

本研究代表者の専門領域は比較認知科学（comparative cognition）である。比較認知科学は，ヒトを含む多様な動物種を対象として，行動を客観的に測定し，そこから内的な認知過程を推測する研究分野である。単に「動物が賢いか」「心を持つか」を論じるのではなく，どのような情報処理や学習過程によって行動が生じるのかを科学的手法によって検討することを目的とする。

動物を対象とする研究には，生態学（ecology），動物行動学（ethology），比較認知科学など複数の学問領域が存在する。生態学は，自然環境において動物がどのように生息し，環境と相互作用しているかを扱う。動物行動学は，自然状態で見られる行動や種固有の行動特性を対象とし，その進化的背景や適応的意義を重視する。例えば,「野生のゴリラがどのような採食行動を示すか」「群れの中でどのような社会関係を形成するか」といった問題は，生態学や動物行動学の主要な研究対象である。

これに対し比較認知科学は，

- 「動物は何を認識しているのか」
- 「どのような情報処理を行っているのか」
- 「どのような学習によって行動が成立しているのか」

という認知機能そのものを研究対象とする。

例えば，本研究においても，単に「ゴリラが画像を見た」という行動を記述するだけではなく，

- どのような画像をより長く見るのか
- どのような刺激に主体的に関与しようとするのか
- その背景にはどのような認知的特性が存在するのか

を検討する点に特徴がある。

比較認知科学の基盤には，学習心理学や行動分析学がある。特に重要な概念の 1 つが「強化（reinforcement)」である。強化とは，ある行動の結果として生じた出来事によって，その行動の生起頻度が増加する現象を指す。例えば，ある行動の結果として食物が得られ，その後その行動が増えるならば，食物はその行動を強化したことになる。強化は食物だけを意味するものではなく，映像，音，触覚刺激など，感覚刺激そのものが強化機能を持つ場合もある。行動分析学では，この原理を用いて動物の行動形成や学習過程を科学的に検討してきた。

一方で，比較認知科学では，動物行動を安易に人間の心理状態へ結びつけることを慎重に避ける。例えば，「楽しんでいる」「退屈している」「美しいと思っている」「意図して行っている」といった説明は，人間の日常的な心の理解（folk psychology：素朴心理学）にもとづくものであり，科学的説明としては十分ではない場合がある。比較認知科学では，こうした擬人化（anthropomorphism）を避け，観察可能な行動をもとに認知過程を慎重に推測する。

その重要性を示す例として，「賢馬ハンス」が知られている。19 世紀末，計算ができる馬として知られたハンスは，後の研究によって，実際には観察者の微細な身体手がかりを利用して反応していたことが示された。高度な認知能力があるように見える行動であっても，単純な学習や環境手がかりによって説明できる可能性がある。比較認知科学では，まずより単純な説明可能性を検討し，客観的データにもとづいて慎重に結論を導くことを重視する。

このような科学的慎重さは，時として研究を回りくどく見せることもある。例えば，「ゴリラは自然風景を好む」と直ちに結論するのではなく，

- どの刺激をどの程度見たか
- 画像呈示を維持する行動が増えたか
- 他の説明可能性は排除できるか

を 1 つずつ検討する必要がある。しかし，こうした慎重さこそが比較認知科学の強みである。主観的印象や経験則ではなく，客観的な測定にもとづいて認知を推測することで，再現可能な科学的知見として動物理解を積み上げることができる。

さらに比較認知科学は，多様な動物種を比較することで，認知機能の進化的背景や生存上の役割を解明することも目的としている。ヒトを特別な存在として切り離すのではなく，多様な動物種の中の 1 種として位置づけ，

- 認知がどのように進化したのか

- どのような環境に適応して成立したのか

を明らかにする。

本研究で対象とした認知エンリッチメントは，単に展示動物を活動的にするための技術ではない。どのような刺激が主体的行動を引き出し，どのような認知的価値を持つのかを客観的に評価する必要がある。そのため，行動分析学にもとづく学習研究，認知科学にもとづく情報処理研究，多種比較にもとづく進化的視点を統合する比較認知科学は，本研究を推進する上で極めて適した研究領域である。

2.7 学習研究と強化の考え方

比較認知科学の基盤の 1 つには，学習心理学および行動分析学がある。特に，本研究で重要となる概念が，「オペラント条件づけ（operant conditioning）」と「強化（reinforcement）」である。学習とは，経験によって比較的永続的な行動変化が生じる過程を指す。学習研究では古くから，動物やヒトがどのように環境へ適応し，新しい行動を獲得するかが研究されてきた。

学習の代表的な仕組みとして，「古典的条件づけ（classical conditioning）」と「オペラント条件づけ（operant conditioning）」が知られている。古典的条件づけは，刺激と刺激の連合を扱う学習である。例えば，イヌに餌を与える際にベルの音を繰り返し呈示すると，やがてベルの音だけで唾液分泌が生じるようになる。このように，もともと反応を引き起こさなかった刺激が，他の刺激との経験を通して反応を生じさせるようになる学習を古典的条件づけという。

これに対し，オペラント条件づけは，行動とその結果との関係を扱う学習である。動物は環境へ自発的に働きかけ，その結果によって将来の行動を変化させる。オペラント条件づけでは，一般に，「手がかり（弁別刺激）」→「自発的反応（オペラント行動）」→「行動結果」という枠組みで行動とその因果関係を理解する。例えば，スマートフォンのアイコンをタップするとアプリが起動する状況を考えると，「アイコン」が手がかり，「タップ」が反応，「アプリが起動すること」が結果に対応する。タップによってアプリが起動し，その結果楽しいコンテンツを閲覧できれば，タップの頻度は増える。アイコンが消えるまで，「おもわず」アプリのアイコンをタップする傾向は消えない。同様に，動物がある装置へ接触した結果として食物が得られるならば，その反応は将来増加する可能性がある。動物の芸やしつけなどは，これを応用したものである。

このように，ある行動の結果として生じた出来事によって，その行動の頻度が増加する現象を「強化（reinforcement）」という。また，その行動増加をもたらした結果そのものを「強化子（reinforcer）」という。例えば，

- レバー押しによって餌が得られる
- ボタン押しによって好ましい音が流れる
- 特定の行動によって画像が呈示される

といった状況では，餌，音，画像などが強化子として機能する可能性がある。

重要な点は，「何が強化子として機能するか」は固定的ではないということである。食物は代表的な強化子であるが，すべての状況において食物だけが行動を支えるわけではない。ヒトにおいても，多様な刺激が強化子となる。例えば，

- 報酬や金銭
- 他者からの賞賛
- ゲームの得点
- SNS の通知
- 興味深い映像や音楽

などは，状況によって行動を増加させる機能を持ちうる。ヒトは必ずしも食物などの生理的報酬のためだけに行動するわけではなく，「見たい」「知りたい」「面白い」といった感覚的・認知的価値そのものが行動を支えることがあると言える。

それでは，ヒト以外の動物でも，食物以外の刺激が強化子となりうるのだろうか。比較認知科学では，この問題に対して，感覚刺激そのものが行動を維持しうるかを検討する研究が行われてきた。例えば，画像や映像などの視覚刺激が強化子として機能するならば，動物はその刺激を得るために主体的な行動を示す可能性がある。こうした考え方は「感覚性強化（sensory reinforcement）」と呼ばれ，刺激そのものが持つ価値を定量的に評価する研究へ発展してきた。本研究の研究 2（モニタ実験）は，この感覚性強化の考え方を基盤としている。ゴリラが画像刺激そのものを得るために主体的に行動するかを調べることで，画像への選好を定量的に評価するとともに，餌以外の報酬を用いた認知エンリッチメントの可能性について検討した。

2.8 刺激とは

なお，本報告書において用いられる「刺激」は，心理学の専門用語であり，実験対象のヒトや動物に呈示され，何らかの認識を対象に生じさせるであろう映像・画像，音，匂い，触覚対象の物体表面などは全て「刺激」と呼ばれる。本研究では，専ら視覚刺激に限定される。

3. 研究 1　パネル実験（実験 1）

3.1 研究背景と目的

研究 2 では，センサとモニタを用いてゴリラ自身が画像呈示を制御する実験系を構築し，画像刺激への選好を感覚性強化の観点から定量的に評価することを目指した。しかし，その前段階として，より簡易な方法によって画像刺激への選好を予備的に把握することには重要な意義がある。特に，大型類人猿を対象とした研究では，展示や飼育管理との両立が必要であり，短時間で実施可能な方法論の整備が求められる。

また，本研究では，画像刺激への選好を通じて認知エンリッチメントにつながる刺激特性を検討するだけでなく，動物がどのような視覚刺激に美的価値や興味を見出すかを探るという意味で，実験美学（experimental aesthetics）の観点も含んでいる。実験美学は，刺激の美しさや好ましさ，秩序性などが認知や行動へどのような影響を及ぼすかを科学的に検討する研究領域であり，近年ではヒト以外の動物を対象とした研究も実施されている。ヒト以外の動物を調べることで，美的感覚の進化的・生物学的起源を明らかにできるという希望がある。

Anderson ら（2005）は，オマキザルおよびリスザルを対象として，規則性や対称性を含む視覚刺激への選好を検討した。被験体は複数の刺激図形（図 1）を自由に操作できる環境下に置かれ，どの刺激へより長く関与するかを指標として分析が行われた。その結果，多くの個体で規則性や対称性を持つ刺激への選好が観察された。また，一部では顔刺激への反応も確認され，霊長類が単なる物理刺激ではなく，刺激やその構造そのものを価値づける可能性が示唆された。これらの知見は，ヒト以外の霊長類においても，美的判断や刺激選好を生み出す認知機構が存在する可能性を示している。

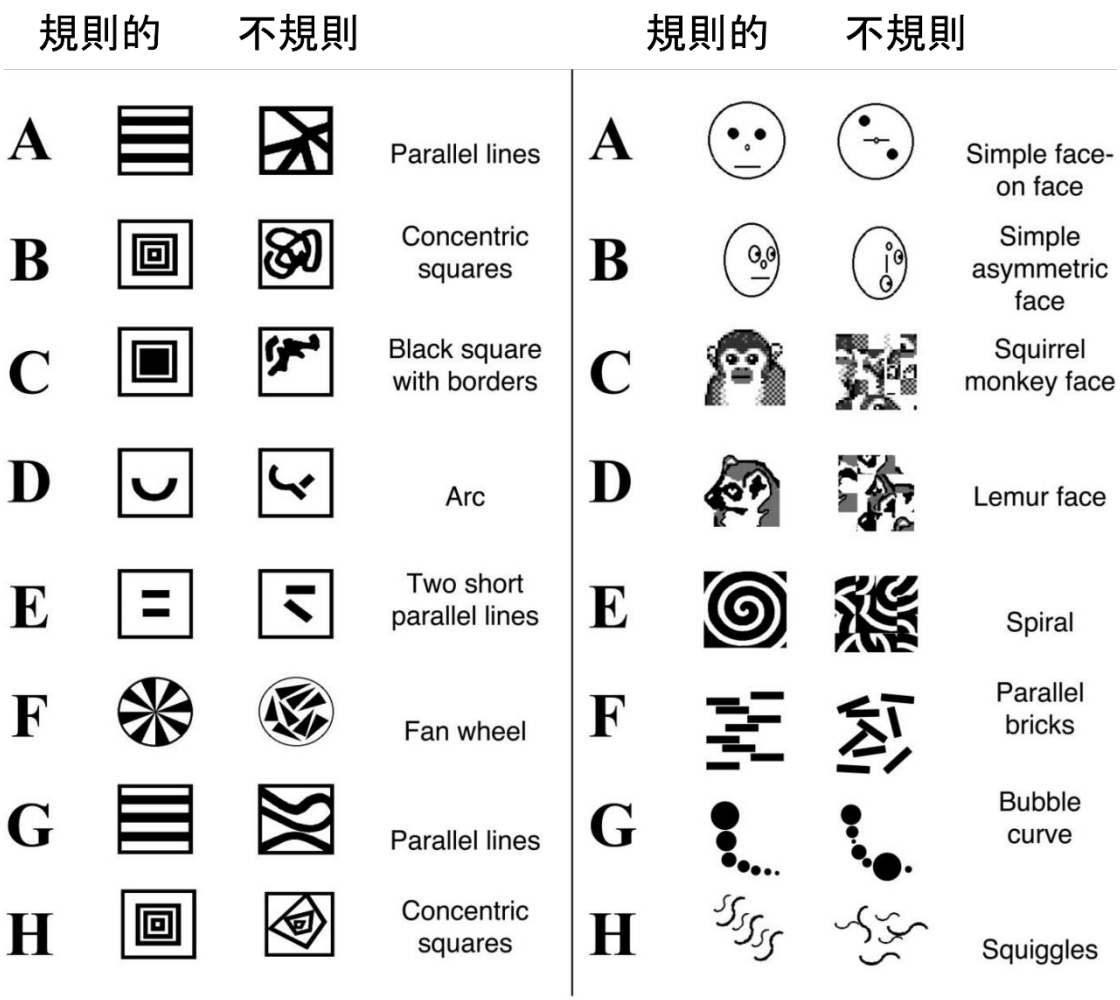
本研究では，Anderson ら（2005）の研究を部分的に再現することで，先行研究との比較可能性を確保するとともに，大型類人猿であるゴリラにおいて同様の傾向が認められるか検討した。ただし，本研究対象は展示動物であり，来園者対応や飼育管理上の制約から，先行研究と同様の長時間・多数試行による手続きをそのまま適用することは困難であった。そのため，休園日に実施するとともに，刺激を対呈示を維持しつつ一度に 5 ペアの刺激を同時に配置することで，短時間でも選好傾向を評価できる実験系を構築した。

実験 1-1 では，Anderson ら(2005)の刺激セット 1 のうち，オマキザルおよびリスザルにおいて比較的注視や関与が多く認められた 5 ペアを選定して使用した。これは，パネルを用いた簡易的な方法であっても先行研究と整合的な結果が得られるかを確認し，方法論の妥当性を検証することを目的としたものである。

実験 1-2 では，当初 Anderson ら（2005）の刺激セット 2 を用いる予定であった。実験 1 -1 では，体系だった結果を得ることができなかったが，これは，追試を目的の第一として，ゴリラの注意を捕捉しそうな刺激をあえて入れなかったためである。セット 2 は，顔様の刺激が 2 ペア含まれていた。仮に，規則的・不規則的いずれの幾何学的な刺激にゴリラが注意を向けなくても，社会的に重要だと考えられる顔刺激を用いれば，彼らの注意を捕捉できるかもしれない。

実験は，ゴリラの視覚選好を調べるという第一目的のほかに，木片パネルを展示場に並べ，それらを手に取らせることで，いつもとは異なる環境刺激にゴリラを曝し，それ自体を認知エンリッチメントにつなげるという第二の目的を有している。

図 1 Anderson ら（2005）で用いられた刺激ペア。左がセット 1，右がセット 2。



このうち本研究で使用された刺激は，各実験の方法または結果のところを参照。
© American Psychological Association。

3.2 実験 1-1：方法

3.2.1　参加個体

ニシゴリラのオス 1 個体（モンタ）とメス 1 個体（ローラ）を対象に実験を実施した。

3.2.2　刺激

Anderson ら(2005)の使用したセット 1 刺激のうち 5 ペアを用いた。15×15 cm，厚さ 1 cm の合板表面に，万一口にしても塗料等で健康被害のないよう，レーザーによる焼き付けの形でプリントした。この方法では，濃淡は表現できるが，色は一種類（背景は合板そのものの，通常の薄い茶色に対し，刺激は，表面に焼き付けを入れた濃い茶色になった）のみ使用可能である。プリントの内容は，結果のところを参照のこと。

3.2.3　手続き

午後の「おやつ」時間前に一度屋内展示場に参加個体を収容し，その間に屋外展示場に刺激となる木片を 2 m 間隔でペアごとに配置した。配置は，事前にランダマイズし，また規則・不規則の並び順も，ランダマイズした。並べ終わった時点で参加個体を屋外展示場に戻し，自由に探索させた。

図 2 実験 1-1 の実施風景



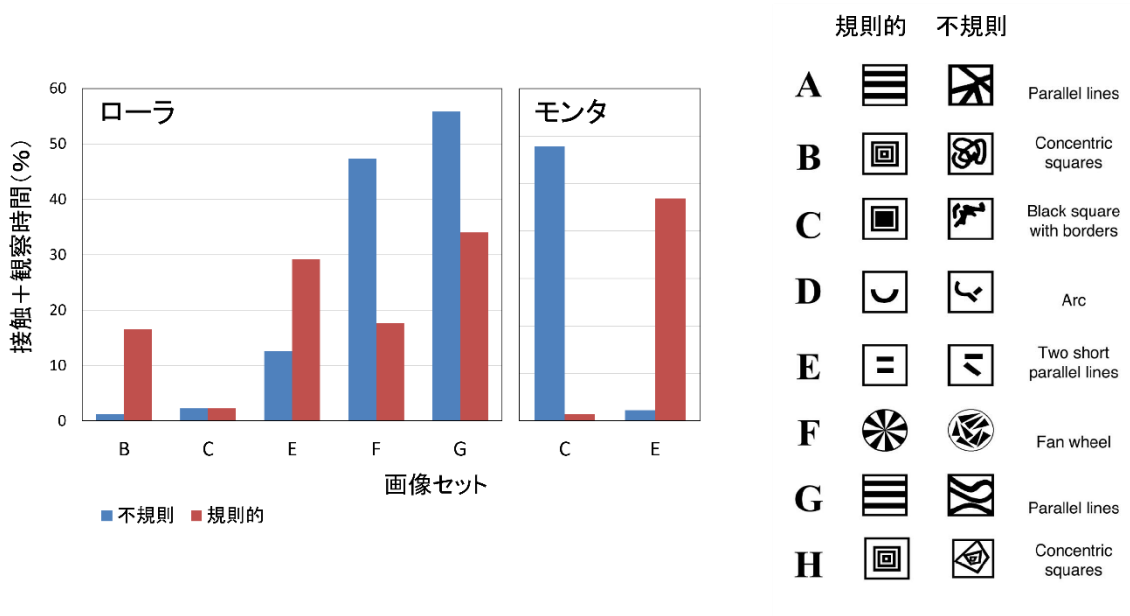


（左）放飼場内の一番低く，広い平坦な場所を確保できるところに 2 m 間隔で各ペアの刺激を配置した。（右）パネルを手に取って眺めるモンタ。

3.3 実験 1-1：結果

実験 1-1 の結果を図 3 に示した。ペアごとに規則的な刺激を選好したもの，不規則な刺激を選択したものがあったが, 個体間での結果の一致パターンは, 刺激 E ペア以外には見られなかった。ローラは全ての刺激ペアへのアクセスがあったが，モンタは 2 ペアへのアクセスに限られた。

図 3 実験 1-1 の結果。



各画像の木片に対する接触および観察時間を個体ごとに示した。画像の記号は，右パネルの Anderson ら（2005）の刺激の記号に対応している。

3.4 実験 1-1 考察

ゴリラにフサオマキザルやリスザル同様の規則性選好があれば，各ペアのうち規則的な刺激への接触や観察が多頻度または長時間になることが予測されたが, 体系的な違いは見られなかった。ローラが端から順にすべて触っていった一方，モンタは，遠くから眺めることも多かった。しかし，モンタは，描かれている内容への注意は見られなかったが，一部の木片を屋内展示場まで持っていくなど，木片自体への興味は示した。

3.5 実験 1－2：方法

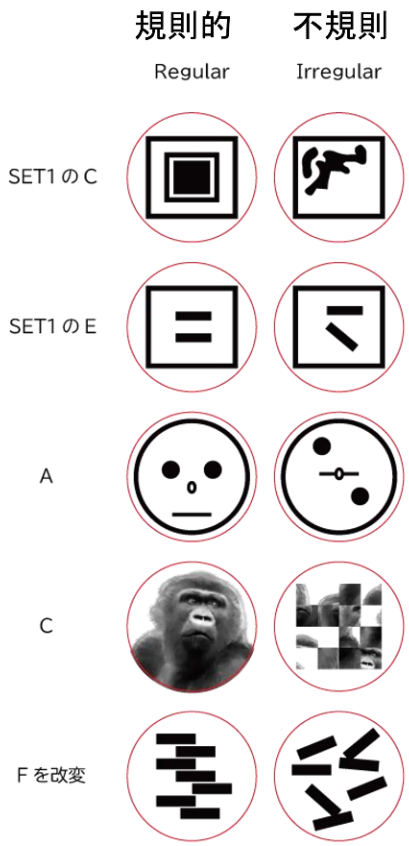
3.5.1 参加個体

実験 1-1 に使用したニシゴリラのメス 1 個体（ローラ）が亡くなったため，オス 1 個体（モンタ）を対象に実験を実施した。

3.5.2 刺激

実験 1-1 との比較や，馴化の影響を調べるため，実験 1-1 で使用したペアの内，対象個体が反応した刺激ペア 2 ペアを引き続き使用したが，後述の通り，木片の大きさを変更したため，新たに作成し直した。加えて，Anderson ら(2005)の使用したセット 2 刺激のうち 1 ペアについて，「規則的」の方をより規則的にするため作成し直した（セット 2 ペア F)。Anderson らのセット 2 ペア A（schematic face）については，やはり少し加工し，同じくペア C については，ゴリラの顔画像（ローラの画像）を使用して作成した。直径 15 cm，厚さ 1 cm の円盤形合板表面に，実験 1-1 同様，レーザーによる焼き付けの形でプリントした。

図 4　実験 1-2 で使用した刺激



Anderson ら（2005）のセット 2 をベースに 3 ペア，本実験 1-2 から 2 ペア作成し

た。

3.5.3　手続き

午後の「おやつ」時間前に一度屋内展示場に参加個体を収容し，その間に屋外展示場に刺激となる木片を 2 m 間隔でペアごとに配置した。配置は，事前にランダマイズし，また規則・不規則の並び順も，ランダマイズした。並べ終わった時点で参加個体を屋外展示場に戻し，自由に探索させた。夏季と冬季に 1 回ずつ実施した（実験 1-2 として，各々セッション 2，セッション 3 と呼ぶ)。

3.6 実験 1-2：結果と考察

実験 1-2 の最初のセッション（セッション 2）は酷暑日実施のため，パネル置き場のある屋外展示場は，直射日光に曝された。刺激パネルの位置にゴリラがほとんど行かなかったため，第 2 セッションは中止した。セッション 3 は，厳冬期に実施した。ゴリラは寒風吹く屋外から屋内に移動したがり，パネルへのアクセスもほとんどなかった。

パネル実験は日常の飼育・展示場面で容易に実施可能だが，その分天候などにも左右されやすく，実験外の要因によって実施が困難になる場合があると言える。

3.7 資料

Anderson, J. R., Kuwahata, H., Kuroshima, H., Leighty, K. A., & Fujita, K. (2005). Are monkeys aesthetists? Rensch (1957) revisited. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, *31(1)*, 71–78. DOI: 10.1037/0097-7403.31.1.71

4. 研究 2　モニタ実験（実験 2）

4.1 研究背景と目的

研究 1 では，木片パネルを用いた簡易的な方法によって，ゴリラの画像刺激に対する選好を予備的に検討した。しかし，選好をより定量的に把握するためには，単に刺激へ接近したかを観察するだけでなく，動物自身が刺激を得るためにどの程度主体的に行動するかを評価する必要がある。

こうした観点から，本研究では感覚性強化（sensory reinforcement）に着目した。感覚性強化とは，食物などの生理的報酬ではなく，刺激そのものが強化子として機能し，行動を維持または増加させる現象を指す。すなわち，刺激を見ること，聞くこと，触れること自体が動物にとって価値を持ち，その刺激を得るための行動が自発的に生起・維持される状態である。

Fujita & Matsuzawa (1986) は，チンパンジーを対象として，画像刺激そのものを強化子として用いる実験系を構築した。被験体は自らの反応によって画像呈示を制御することができ，反応の持続や再呈示要求頻度を分析することで，刺激自体が持つ価値を評価した。その結果，食物報酬を用いずとも，視覚刺激そのものが行動を維持しうることが示された。

さらに Fujita (1987) は，5 種のマカクを対象として同様の方法を適用し，刺激への反応特性を比較した。その結果，自種個体の画像など，生物学的意味を持つ刺激に対してより強い反応が示されることが確認された。これらの研究は，刺激そのものが価値を持ちうること，さらに刺激価値を定量的に評価できることを示している。

こうした感覚性強化は，認知エンリッチメントとの関連においても重要である。食物を用いた強化のみではなく, 動物が主体的に刺激へ関与し, 自ら環境へ働きかける機会を提供することは, 認知的活動を促進し，行動の多様性や心理的健康の向上につながる可能性がある。

本研究では，大型類人猿であるゴリラを対象として，画像刺激に対する感覚性強化が認められるかを検討した。具体的には，ゴリラが自発的な行動によって画像呈示を維持しようとするかを分析することで，刺激の価値や選好を定量的に評価することを目的とした。また，画像選好を明らかにするとともに，実験そのものが餌以外の報酬を用いた認知エンリッチメントとして機能することも期待した。

一方で，展示動物を対象とした研究には実施上の制約も存在する。ゴリラ展示場内には実験装置を自由に設置できず，チンパンジー研究のように直接的な反応装置を導入することは困難であった。そのため本研究では, モニタへの注視行動そのものを強化対象反応とする方法を検討した。

さらに最終的には，カメラ画像を用いて注視行動を自動検出し，注視反応に応じて画像呈示を制御するシステムの構築を目指した。しかし，その実現可能性を段階的に検証するため，本研究ではまず，実験者がリモート環境から主観判断によってゴリラのモニタ注視を判定し，画像を呈示する手法を採用した。これにより，注視行動自体が刺激呈示によって維持・増強されるかを検討した。

さらに，同時に撮影した映像については別途解析を行い，将来的に注視反応を客観的指標として利用できるかを検討した。この映像解析研究は，研究 3 において詳細に報告する。

4.2 実験 2-1：方法

4.2.1 参加個体

オス 1 個体（モンタ）を対象に実験を実施した。

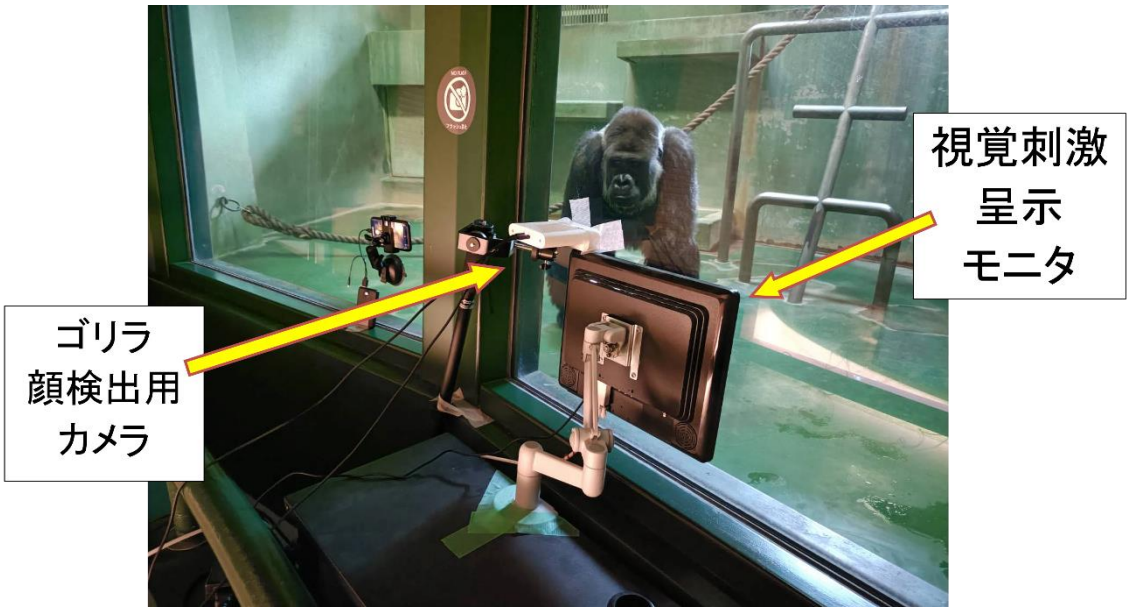
4.2.2 刺激

実験 2-1 は，ゴリラに映像を見せ，ゴリラが何らかの反応を示すか，また，実験者が映像をスムーズに遠隔で操作できるか調べるため，予備的検討としてハトの感覚性強化実験（押村, 2018）のプログラムを援用して実施した。刺激についても，ハトの実験において用いた 4 カテゴリの画像（都市風景，自然・田舎風景，鳥類の写っている風景，人の正面上半身）各 20 種類をそのまま用いた。4 カテゴリ各 3 刺激がランダムに出現する 12 試行ブロックのシーケンスで実施した。

4.2.3 装置

実験装置の一部を図 5 に示す。15 インチモニタをゴリラ屋内展示場のアクリル板に隙間なく押し当てて設置した。実験 2-1 のみゴリラ顔検出用カメラを刺激呈示用モニタの近傍に設置した。ゴリラ顔検出用カメラのデータは，近傍に置かれたラップトップ PC で記録された。視覚刺激呈示用モニタは，屋内展示場から 3m 離れた，来館者用資料スペースにゴリラから実験者が見えないように置かれたデスクトップ PC と，視覚刺激呈示用モニタと同じ画像が複製されて呈示される制御用モニタで制御した。屋内展示場全体をビデオカメラで記録しつつ，同映像は資料スペースに置かれたテレビモニタでモニタリングすることで，リアルタイムでゴリラの反応を観察した。

図 5　実験 2 の装置の一部（屋内展示場と接する側の装置）

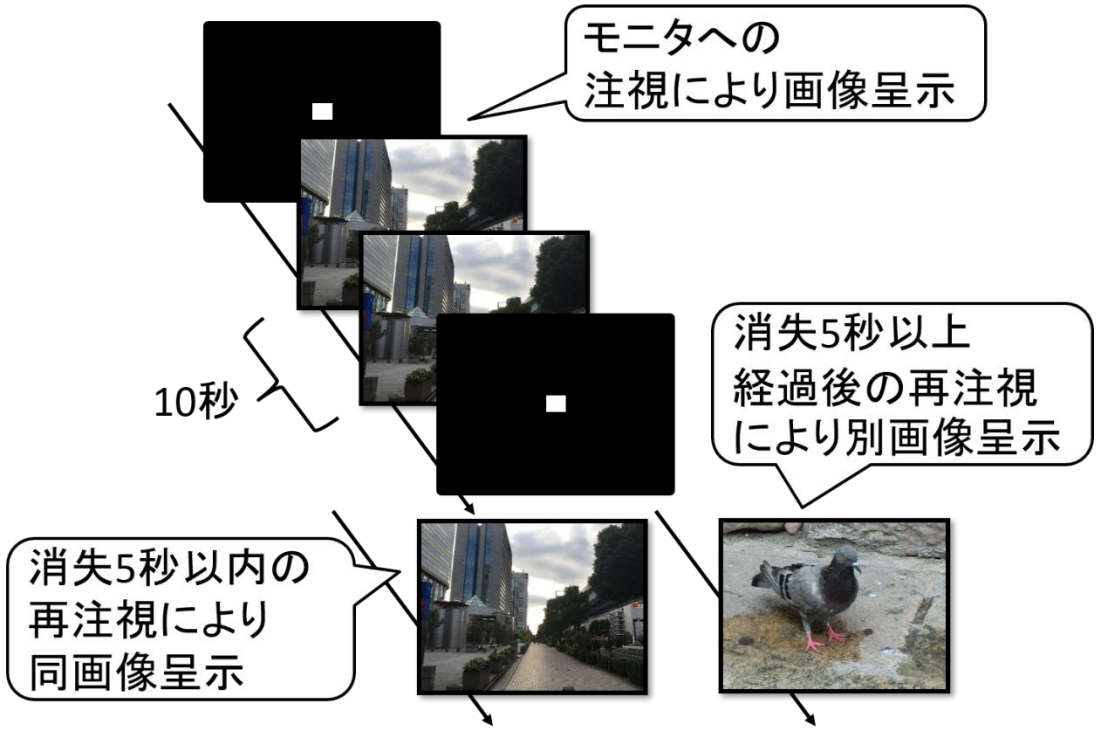


4.2.4　手続き

1 試行の流れは図 6 に示す。最初にモニタの黒色背景中央に白色小正方形を呈示した。モニタリング用のカメラでゴリラの行動をモニタリングし，ゴリラがモニタを注視したと実験者が判断した時点で視覚刺激を呈示した。視覚刺激は，あらかじめ疑似ランダマイズされた順に刺激番号が並べられたシーケンスファイルに則って呈示された。刺激は 10 秒間持続し，消失した。消失の時点でゴリラの注視が続いていれば即座に刺激再呈示，注視が続いていなければ，その後注視が復活した時点で再度呈示した。消失後 5 秒以内の再呈示時は，直前と同じ刺激，5 秒以上経過であればシーケンスファイルの次の刺激を呈示した。

1 セッション実施した。

図 6　実験 2-1 の試行の流れ



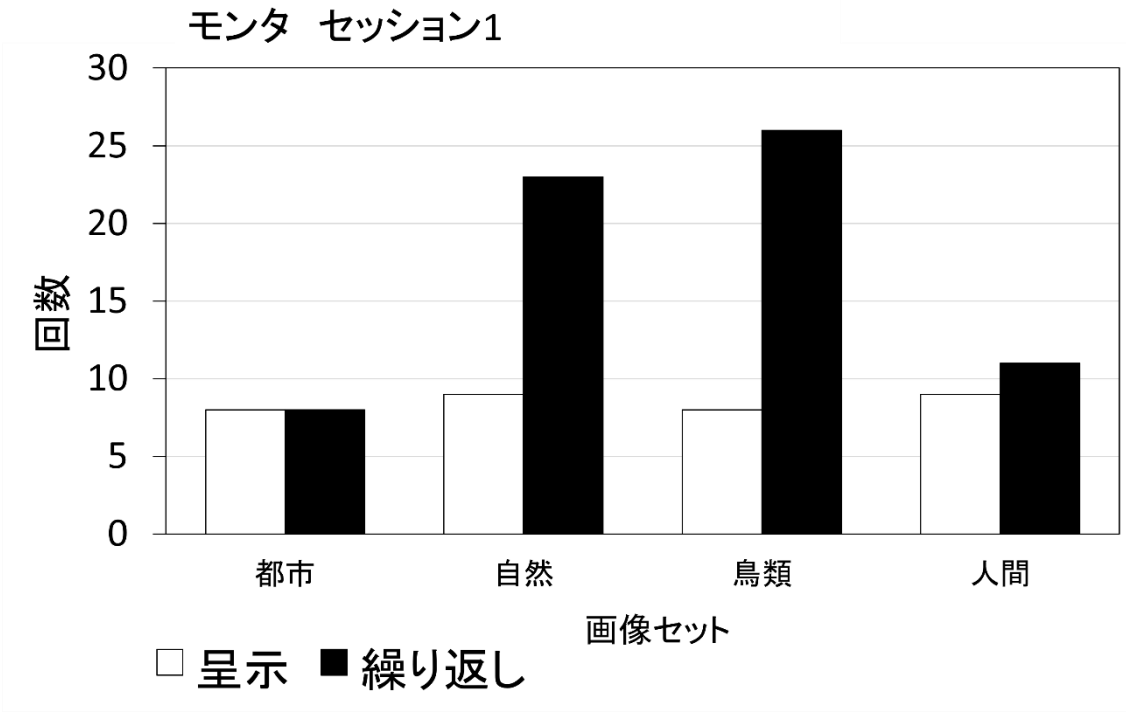
実験 2-1 は，予備実験として，押村（2018）のハト用感覚性強化実験プログラムを援用して実施した。

4.3 実験 2-1：結果と考察

前述の通り，実験 2-1 は，ハト用のプログラムを用いた予備的検討として実施された。ゴリラの注視反応は，研究 3 の結果を待つ必要があり，主たる測定変数は，ゴリラの注視反応に基づいて呈示された画像の呈示回数となる。また，呈示中に注視反応が途切れている可能性もあるため，

実際の注視時間またはそれに相当する指標は記録されていないことになる。図 8 は，刺激カテゴリごとの呈示回数と 2 回目以降含む総呈示回数（「繰り返し」と記述）を示している。

図 7 実験 2-1 の結果（刺激カテゴリごと呈示回数）



ここから，都市画像や人間の画像は 2 回目以降の呈示が全く，またはほとんどなく，ゴリラの注意を捕捉しなかったことがわかる。これに対し，自然や鳥類の画像はゴリラの注意を捕捉した。図 8 は，呈示回数上位 5 種の画像を示している。

図 8 実験 2-1 で呈示回数上位 5 種の画像




呈示回数最多（9 回）の刺激 2 種



呈示回数第 3 位（7 回）の刺激




呈示回数第 4 位（4 回）の刺激 2 種。左は呈示回数最多の刺激と同じ場所・同じ時刻に撮影され，類似の画像であった。

鳥類カテゴリでは，鳥類が多数写っている画像が好まれた。鳥類が写っている画像は，ある程度奥行きがあるため，自然風景として認識している可能性もあるが，最多 2 種画像の 1 種は都市で撮影されたもののため，鳥類画像が選好されたと考えるべきであろう。

予備的検討ながら，ゴリラがモニタの画像を注視し，それによって選好を調べられる可能性が示された。また，同じ静止画であるにもかかわらず，都市の殺風景な風景よりも自然風景や生き物の「動き」（静止画像に表象された意味的な「動き」）が注意を引く可能性も示唆された。

注視時間の代わりとして呈示時間を使うためには，ゴリラが注視している（と実験者が判断した）時間の間，画像呈示が維持されている必要がある。そこで，プログラムを改良して実験 2-2 を実施した。

4.4 実験 2-2：方法

4.4.1 参加個体

セッション 2–3 は，オス 1 個体（モンタ）を対象に実験を実施した。セッション 4–5 は，メス新奇個体 1 個体（モモカ）も加わった。

4.4.2 刺激

セッション 2–3 は，実験 2–1 と同じ 4 カテゴリの画像（都市風景，自然・田舎風景，鳥類の写っている風景，人の正面上半身）各 20 種類をそのまま用いた。4 カテゴリ各 3 刺激がランダムに出現する 12 試行ブロックのシーケンスで実施した。

セッション 4–5 は，セッション 3 までの結果を考慮し，都市風景に代えてアフリカの風景（ゴリラも生息するガボン共和国の自然風景）を，人間の画像に代えて千葉市動物公園から提供されたゴリラの画像を使用した。各 20 種ずつ用意し，シーケンスはこれまでと同様のものを用いた。

4.4.3 装置

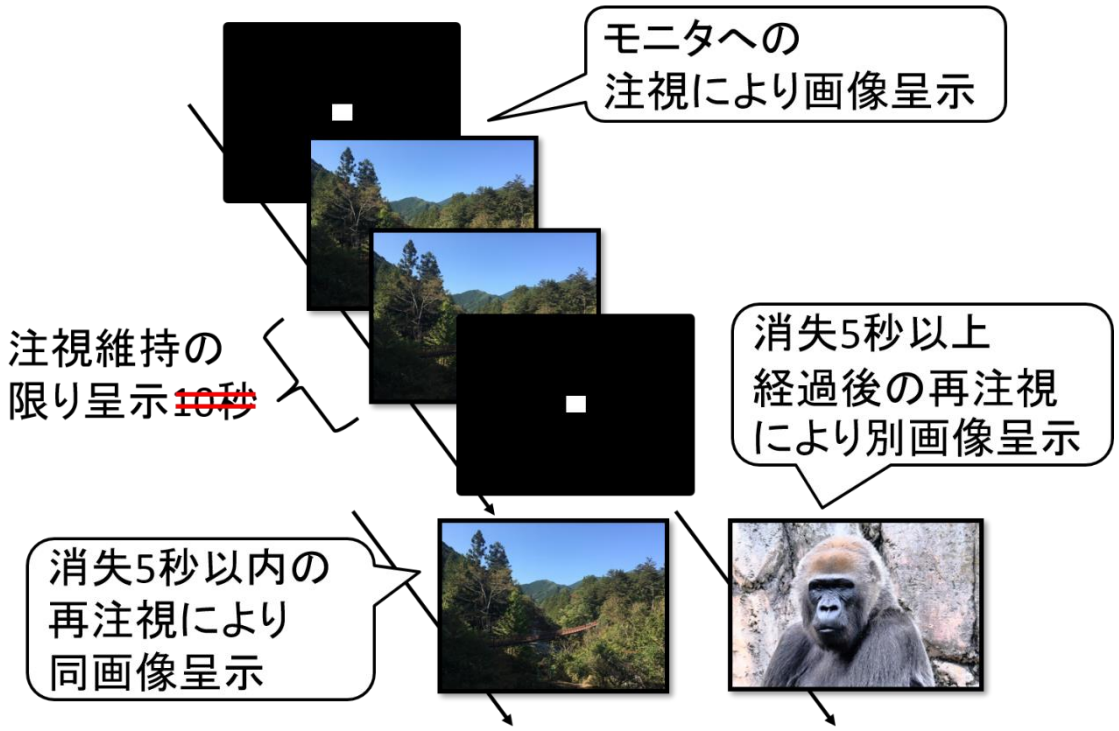
実験 2-1 と同じものを用いた。

4.4.4 手続き

実験 2-1 のプログラムを改良し，ゴリラの注視行動が維持されている間，画像呈示が維持されるようにした（図 9)。ただ，結果に示すように，セッション 2, 3 は，モンタが屋外に出たがってモニタの注視行動があまり見られず，モンタの注視行動を生起させるため，注視行動がない状態で画像を呈示した。そのため，詳細な画像分析がない現時点では，呈示時間の指標から注視行動を評価できない。

セッション 4, 5 では，ゴリラの注視行動を促進するためための刺激呈示と注視行動に対応した刺激呈示とを区別できるよう，プログラム上で別キーを使用するようにし，後者（注視行動に対応した刺激呈示）のみを分析対象とした。なお，セッション 5 のモンタを対象とする実験は，来場者を対象とする教育資料提供のため，公開で実施された。

図 9　実験 2-2 の試行の流れ



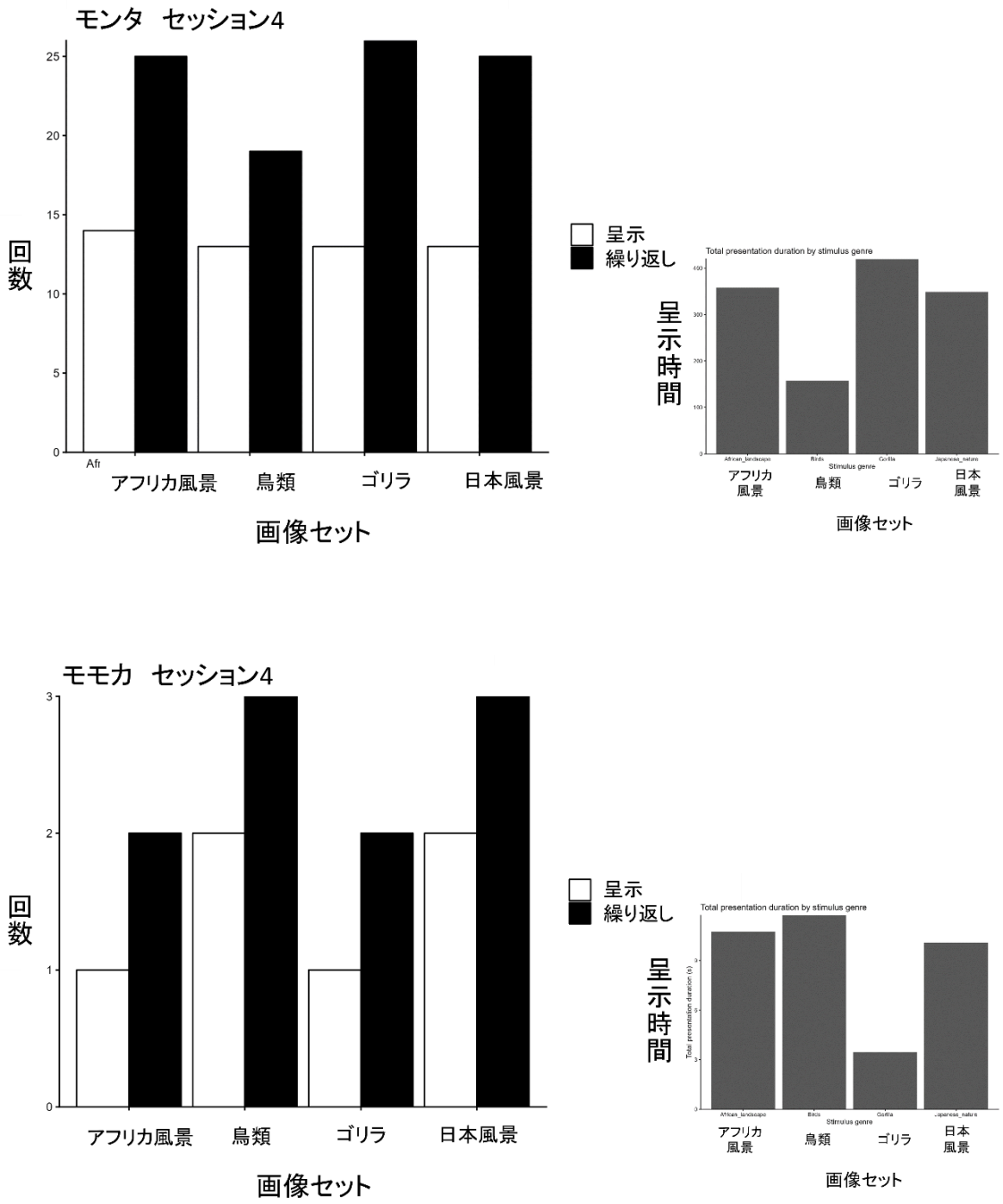
実験 2-1 とは異なり，注視維持の間，画像呈示が維持された。そのため，注視していないのに画像だけ呈示されていたり，注視があったのに一時的に画像が消失したり，という時間がなくなった。ただし，セッション 2, 3 では，ゴリラの注視があったために刺激を提示したか，ゴリラの注視はないのに，注視促進のために画像呈示しただけなのか，区別できない状態で結果ファイルに出力されていた。セッション 4, 5 では，その点も改善されたプログラムを用いた（注視なき画像呈示と注視有り画像呈示が出力で区別された）。

4.5 実験 2-2：結果

セッション 2，3 は，①注視行動があまり見られず，②刺激も実験 2-1 と同じ旧セットを使用し，③注視なき画像呈示と注視有り画像呈示が出力で区別されていなかったため，分析から除外した。

セッション 4 の結果を図 10 に示す。

図 10　実験 2−2 セッション 4 の結果

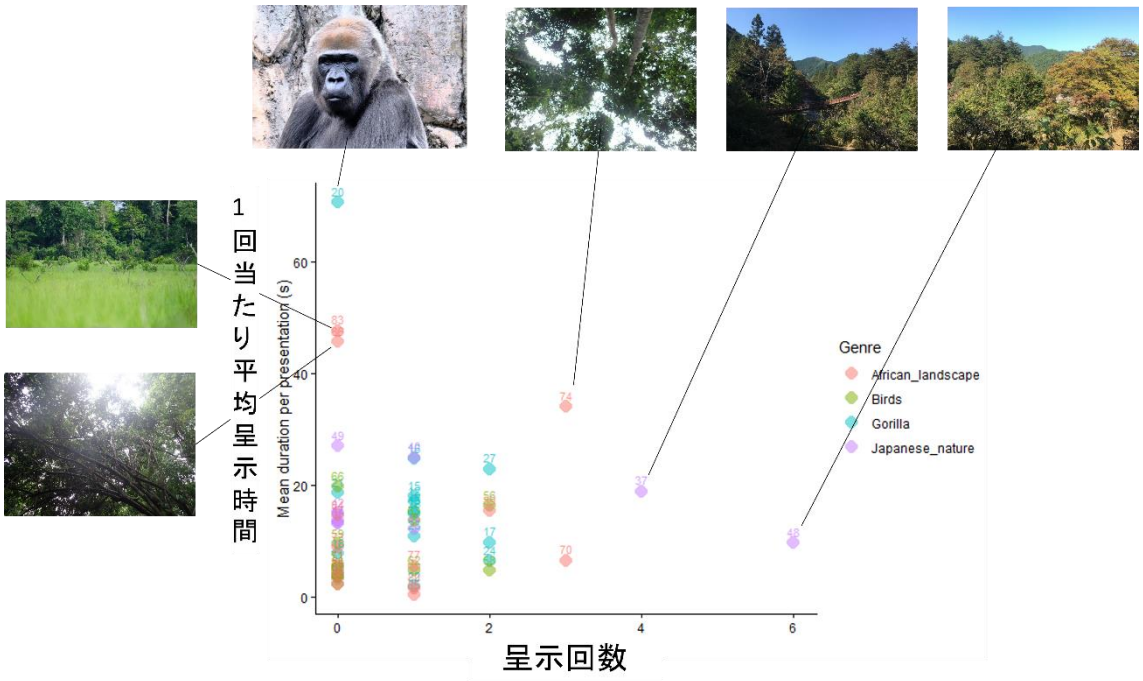


モンタ（上）とモモカ（下）における各カテゴリ画像の初回呈示回数と総呈示回数（各左パネル），ならびに各画像への平均呈示時間（各右パネル）。

縦軸からわかるように，セッション 4 では，モモカはほとんど注視しなかったため，選好を明らかにできなかった。モンタについては，高頻度・長時間の注視が見られた。これは，セッション 1–3 の結果を踏まえて，モンタの注視を促す可能性のある刺激を用いたことも影響しているかもしれない。呈示回数と呈示時間の示唆するところは一致しており，鳥類以外の 3 カテゴリの刺激については注視回数も多く，注視時間も長くなった。

カテゴリの総呈示回数や平均呈示時間は，少数の画像への強い選好の存在を明らかにできないため，画像ごとの分析が必要である。1 回の平均注視時間は短いが，何度も見返そうとする反応も，何回も注視しないが 1 回の注視時間が長いことも，その画像への強い選好を示す。両方を同時に見る必要があるため，各刺激の呈示回数を横軸，平均呈示時間を縦軸にプロットした図が図 11 である。

図 11　セッション 4 におけるモンタの各刺激への注視行動



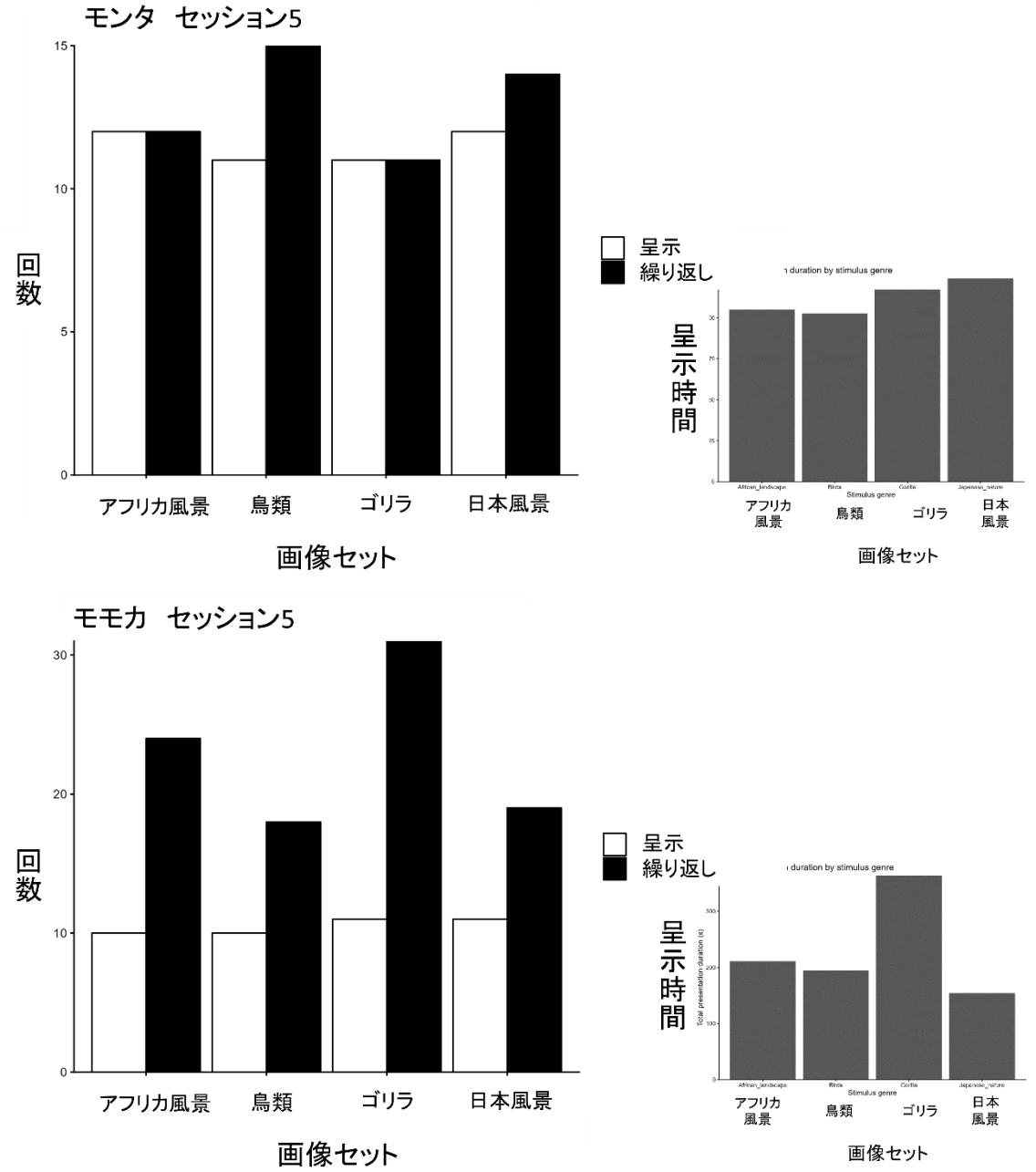
各刺激の呈示回数を横軸，1 回あたりの平均呈示時間を縦軸に，刺激ごとにプロットした。右上に位置する画像ほど選好されていることを示す。特に選好された刺激 6 種類について画像を載せてある。呈示回数は，繰り返しのみカウントしているため，1 回のみ（初回のみ）の呈示の刺激については，呈示回数が 0 になっている。

自然風景，特に緑が奥行き方向，または上方向に広がる画像を選好した。例外は，ゴリラ画像で，呈示回数は 1 回のみ（初回のみ）だが，長時間注視されている。

セッション 5 の結果を図 12 に示す。縦軸からわかるように，セッション 5 はセッション 4 とは逆に，モンタはほとんど注視反応がなかった一方，モモカの注視反応が顕著だった。これは，

セッション 4 とは異なり，セッション 5 のモンタのデータは，開園日に来園者に公開の形で実施されたことによりモンタの注意がモニタに向かなかったからかもしれない。

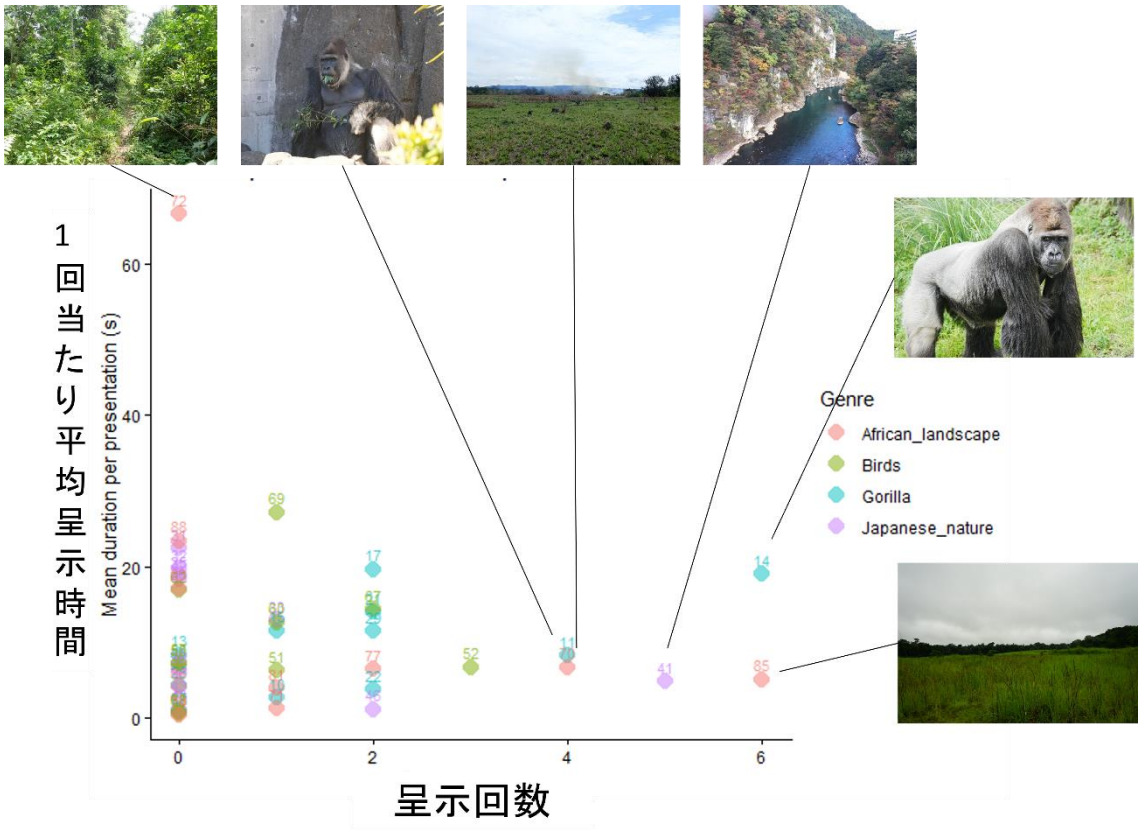
図 12　実験 2−2 セッション 5 の結果



モンタ（上）とモモカ（下）における各カテゴリ画像の初回呈示回数と総呈示回数（各左パネル），ならびに各画像への平均呈示時間（各右パネル）。

セッション 5 のモモカの注視行動についてさらに分析した。セッション 4 のモンタ同様に，各刺激の呈示回数を横軸，平均呈示時間を縦軸にプロットした図が図 13 である。

図 13 セッション 5 におけるモモカの各刺激への注視行動



各刺激の呈示回数を横軸，1 回あたりの平均呈示時間を縦軸に，刺激ごとにプロットした。右上に位置する画像ほど選好されていることを示す。特に選好された刺激 6 種類について画像を載せてある。呈示回数は，繰り返しのみカウントしているため，1 回のみ（初回のみ）の呈示の刺激については，呈示回数が 0 になっている。

モモカは，ゴリラ画像への注視反応がモンタよりも顕著である。これは日常でもモモカの方が隣の展示場にいるモンタに注意を向ける傾向にある（が，モンタの方はモモカに注意をあまり向けない）ことと一致しているだろう。モンタの注視と同様の傾向を示しているのは，開けている場所・風景への注視であった。

4.6 実験 2-2：考察

研究 2 では，ゴリラが共通して自種の画像，および，植物が多く，奥行きのある自然風景を選好することが示された。動物園では，ゴリラが本来生息する広い場所を各個体の飼育場所として提供することは難しい。注視行動が見られたことは，少なくとも画像を忌避する傾向にないことを示している。しかし，モニタに呈示された刺激を見ることが彼らの認知エンリッチメントにつながっているかどうかは, 今後の検討が必要である。このことについて第 6 章にて更に考察する。

感覚性強化実験としては，今回の方法の限界点も示すことができた。注視反応のような，比較的受動的な反応について，実験者自身が判断する必要のある手続きの場合，どうしても実験者の「解釈」が介在してしまう。すなわち，感覚性強化の成立が，動物側の随伴性認識に基づくものであるならば，動物側のオペラント反応に対する「解釈」の幅が随伴性自体に確率的な大きな揺らぎをもたらしてしまう（動物は「見た」つもりの反応でも，ある時は「見てない」，ある時は「見た」と判定されるという幅がある）ため，強化されにくくなる。これは，研究 3 で展開するような視線方向の解析精度の向上と自動化でカバーできるものだが，それが十分でない段階では，ラットのレバー押しやハトのキーつつきに相当するような，物理的に確実な随伴性を生起させることが重要である。展示場内に装置を設置することが現実でないならば，フォトセンサーなどを使ってアクリル越しにタッチ反応を検出できる装置を作成し，ボタンを触るような感覚でゴリラ自身が明確に反応することでようやく画像呈示を操作できるような装置を作成し，彼らの能動的・直接的反応を指標として調べることが必要であろう。

4.7 資料

Fujita, K. (1987). Species recognition by five macaque monkeys. *Primates*, *28(3)*, 353–366.

Fujita, K., & Matsuzawa, T. (1986). A new procedure to study the perceptual world of animals with sensory reinforcement: Recognition of humans by a chimpanzee. *Primates*, *27(3)*, 283–291.

押村ひろの (2018). ハトにおいて感覚刺激は感覚性の強化力をもつか？ 千葉大学文学部卒業論文. 未公刊.

s

5. 研究 3　映像解析による視線方向の解析

本章は，本共同研究と関連して実施された高窪氏の卒業論文研究を基盤として構成した。記述に際しては，技術的内容の正確性を重視し，当該研究における記述様式を一部尊重している。また，本章で扱う映像解析技術は，研究 2 において将来的な注視反応自動判定技術構築を目指した取組の一環として位置づけられる。

5.1 研究 3 の背景

動物の認知状態や興味の対象を推定する手法として，注視行動に着目した研究が行われている (Kano & Call, 2014)。視線は，動物がどの対象に注意を向けているかを直接的に反映する行動指標であり，刺激に対する関心や情報処理の過程を推定する手がかりとなる。そのため，視線行動は認知や興味を評価するための有効な指標として位置づけられている。

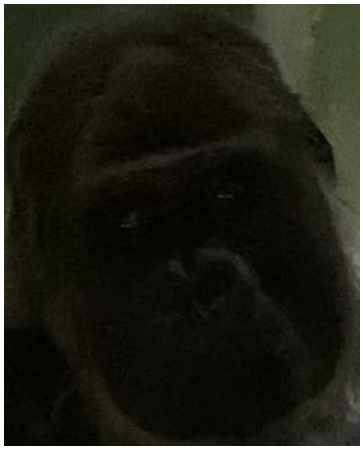
近年では，視線計測技術の発展により，霊長類を対象とした視線行動の解析に関する研究が数多く報告されている。その代表的な例として，霊長類研究を対象としたレビュー論文では，アイ・トラッキング技術を用いた研究が体系的に整理されており，視線行動が社会的認知や対象選好の理解に有用であることが示されている (Lewis & Krupenye, 2022)。これらの研究では，提示刺激に対する注視時間や視線の遷移を解析することで，対象への興味や注意の向きを定量的に評価している。

視線行動を用いた評価の利点として，刺激への接近や選択行動を伴わない状況においても，動物の内的状態を推定できる点が挙げられる。特に，複数の刺激が同時に提示される環境や，行動の自由度が制限される場面においても，注視行動は有効な評価指標となる。このことから，視線行動は動物の嗜好や認知状態を推定するための汎用的な手法であると考えられている。一方で，視線行動の計測には技術的な制約が存在する。多くの先行研究では，専用のアイ・トラッキング装置を用いて眼球運動を直接計測しているが，これらの手法は被験体への装着や位置制約を伴う場合が多い。また，ゴリラのような大型霊長類では，白目が目立ちにくく，眼球運動を映像から直接推定することが困難である。そのため，視線行動を用いた認知・興味の推定を行うには，眼球そのものではなく，顔周辺の情報を利用した代替的な手法が求められている。

多くの視線研究では，眼球運動を直接計測するためにアイ・トラッキング装置が用いられている。これらの手法は，高精度に視線方向を推定できる一方で，被験体の頭部位置や姿勢が制限される場合が多く，野外環境や動物園環境での適用が難しい。特にゴリラは体格が大きく，装置の装着や固定が困難であることから，眼球運動を直接計測する手法の導入には制約がある。また，ゴリラは白目部分が目立ちにくく，眼球と虹彩の境界が映像上で判別しづらいという形態的特徴を持つ。そのため，映像解析により眼球の向きを直接推定することは困難であり，視線方向の精度低下や誤検出の原因となる。

図 14 に示すように，ゴリラの眼部領域では瞳孔および虹彩境界の視認性が低く，眼球情報を安定して抽出することが難しい。これらの要因から，ゴリラを対象とした視線推定では，眼球情報のみに依存した手法は実用性に乏しいと考えられる。

図 14　ゴリラの瞳孔を判別することは困難



一方で，霊長類においては眼球運動だけでなく頭部や顔の向きが視線方向や注意の向きを示す重要な手がかりとなることが報告されており(Kano & Call, 2014)，ゴリラにおいても同様の傾向が示されている。そのため，眼球運動を直接推定する代わりに，顔全体や鼻，目などの顔部位の位置関係を用いて，視線方向を間接的に推定する手法が有効であると考えられる。このような手法は，映像から非侵襲的に計測可能であり，長時間の観察や自然な行動を妨げないという利点を持つ。

以上より，ゴリラを対象とした嗜好評価や視線行動の解析を行うためには，眼球の直接計測に依存しない視線推定手法が求められる。本研究では，この課題に対し，映像からゴリラの顔・鼻・目を自動検出し，それらの位置関係にもとづいて視線方向を推定する手法を提案する。これにより，手動観察に依存しない，効率的かつ客観的な嗜好評価の実現を目指す。

5.2 解析手法の提案

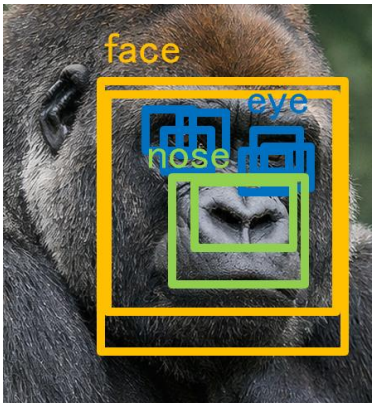
注視行動は動物の認知状態や興味を推定するための有効な指標であるが，ゴリラでは眼球運動の直接的な計測が困難である。そこで本研究では，眼球情報に依存せず，映像から取得 可能な顔部位の情報を用いて視線方向を推定する手法を開発した。具体的には，ゴリラの顔・鼻・目を検出対象とし，それらの位置関係にもとづいて視線方向を推定する手法を作成した。その際，顔全体の向きは頭部姿勢を反映する情報として用い，鼻および目の位置は視線方向と強く関係する特徴量として利用した。これにより，眼球の直接推定が困難な状況においても，ゴリラの注視方向を間接的に推定することを可能とすることを目標とした。

まず，映像からゴリラの顔部位を自動的に検出し，時間的な変動を抑制するための安定化処理を行った。次に，安定化された顔部位の位置関係を用いて視線方向を算出し，最終的に刺激が呈示されたディスプレイの方向を向いているかの評価に使用する。

5.2.1 顔・鼻・目の検出

ゴリラは眼球運動を直接推定することが困難であるため，視線方向と強い関係を持つ顔部位の情報を利用する。特に，顔全体の向きは頭部姿勢を反映し，鼻および目の位置関係は視線方向の推定に有効な特 徴であると考えられる。これらの顔部位を自動的に検出するため，深層学習にもとづく物体検出手法を用いる。入力映像の各フレームに対して検出を行い，顔・ 鼻・目の位置をバウンディングボックスとして取得する。この際，フレームごとに複数の検出候補が得られる場合があるため，図 15 に示す検出例では顔・鼻・目それぞれに対して複数のバウンディングボックスが表示されている。これにより，映像から非侵襲的にゴリラの顔部位情報を抽出することが可能となる。

図 15　顔・鼻・目の検出例（安定化処理前）



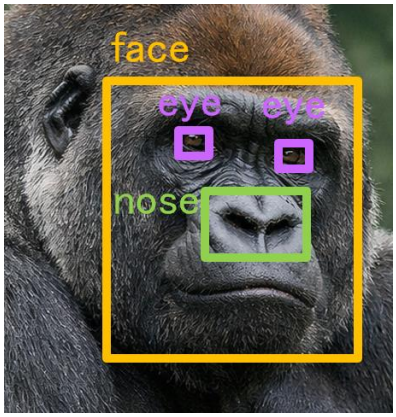
検出対象を顔・鼻・目の 3 種類に限定した理由は，視線方向の推定に必要な情報を最小限の部位で取得するためである。顔全体は頭部の大まかな向きを把握し，かつ鼻，目の位置を正確に把握するために用い，鼻は顔の中心を示す基準点として利用する。また目は視線方向と直接的な関係を持つ部位であり，顔および鼻との相対位置関係を用いることで，視線方向の推定精度の向上が期待できる。

なお，ゴリラは毛に覆われており，照明条件や姿勢の変化によって顔部位の見え方が大きく変化する。そのため，本研究では，フレームごとに検出を行い，後続の処理において時間的な変動を抑制する安定化処理を適用する。

5.2.2 安定化処理

映像中から検出された顔・鼻・目の位置は，照明条件や姿勢，部分的な遮蔽などの影響により，フレームごとにばらつきが生じる。このような検出位置の揺れは，顔部位間の相対位置関係を不安定にし，後続の視線方向推定における誤差の原因となる。そのため，検出結果を時系列情報として扱い，時間方向の連続性を考慮した安定化処理を行うことが重要である。

図 16　安定化処理後の検出例



本手法では，映像フレーム間での顔部位の位置変化が急激ではないという仮定のもと，過去フレームの情報を用いて検出結果を補正する。これにより，一時的な誤検出や検出の途切れが生じた場合でも，安定した顔部位の位置を維持することを目指す。以下では，顔・鼻・目それぞれに対して適用した安定化処理について述べる。

各フレームにおいて複数の顔領域が検出された場合，面積が最大の領域をそのフレームにおける顔として採用した。これは，映像中に複数の検出候補が存在する場合でも，主対象であるゴリラの顔が最も大きく検出されると考えられるためである。

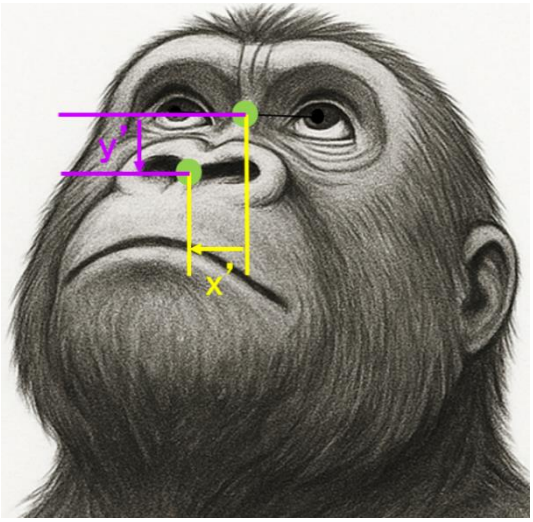
選択された顔ボックスの座標は，指数移動平均を用いて平滑化し，フレームごとの細かな変動を抑制した。これにより，顔の位置変化を滑らかにし，時間的に安定した顔トラッキングを実現した。また，一時的に顔の検出が途切れた場合でも，直近 5 フレーム分の追跡情報を保持することで，連続した顔位置の推定を可能とした。

鼻の検出結果については，まず検出された鼻の中心点が顔ボックス内部に存在するもののみを候補として残した。複数の候補が存在する場合には，面積が最も小さい鼻ボックスを選択した。これは，鼻が顔全体に比べて小さな領域として検出されることを前提としている。
さらに，選択された鼻ボックスの面積が顔領域の 25%を超える場合は，不適切な検出と判断し，不使用とした。検出が途切れたフレームにおいては，直近 3 フレームの鼻位置の平均を用いて補間を行い，時間的に連続した鼻位置を維持した。これにより，鼻位置の急激な変動や欠損を抑制することができる。

目の検出に対しては，前後フレーム間の検出領域の重なり（IoU）を指標として追跡処理を行った。また，5 フレーム分の検出結果を用いてクラスタリングを行い，外れ値を除去することで誤検出を抑制した。左右の目の組については，霊長類の顔構造が左右対称に近く，両眼間距離がおおよそ顔幅の約 1/3 程度に分布することから，両眼間距離が顔幅の 0.25〜0.40 の範囲に収まることを条件とした。また，通常の姿勢では左右の目の高さ差は小さいことが知られており，高さ方向の差が顔高の 0.12 以下であることを幾何学的制約として設定した。これにより，左右の目を安定して検出することが可能となる。

5.2.3 視線推定

図 17 yaw と pitch の推定イメージ



ゴリラでは眼球の直接推定が困難であるため，顔部位間の相対位置にもとづき，画像上の水平・垂直方向の偏りを角度として定義する。

顔領域F，鼻領域N，左眼領域E_L，*右目領域*E_Rのバウンディングボックスが得られたとき，各領域の中心座標をそれぞれ次式で定義する。

$$F = (f_x, f_y),\ N = (n_x, n_y),\ E_L = (e_{Lx}, e_{Ly}),\ E_R = (e_{Rx}, e_{Ry}) \quad (3.1)$$

左右眼が検出できた場合，両眼中心 $E = (e_x, e_y)$ を次式で定義する。

$$E = \left(\frac{e_{Lx}+e_{Rx}}{2}, \frac{e_{Ly}+e_{Ry}}{2}\right) \quad (3.2)$$

また，左右眼間距離 D を次式で定義し，微小値による不安定化を避けるため下限εを設ける。

$$D = max\left(\varepsilon, \sqrt{(e_{Rx} - e_{Lx})^2 + \left(e_{Ry} - e_{Ly}\right)^2}\right) \quad (3.3)$$

両眼が検出できる場合，鼻中心 Nと両眼中心 Eの差分を眼間距離 Dで正規化し，偏差 v_x, v_yを次式で定義する。

$$v_x = \frac{n_x - e_x}{D} \quad (3.4)$$

$$v_y = \frac{n_y - e_y}{D} \quad (3.5)$$

この偏差にスケール係数 A_X, A_Yを掛け，逆正接関数により角度へ変換することで $yaw, pitch$を算出する。

$$yaw = \tan^{-1}(A_X v_x) \tag{3.6}$$
$$pitch = \tan^{-1}(A_Y v_y) \tag{3.7}$$

角度表記は度数法とし，画像座標系において右向きを yaw の正方向，下向き を pitch の正方向と定義する。

さらに，左右眼の並びの傾きから顔の回転$(roll)$を次式で推定する。

$$\mathrm{atan2}(e_{Ry} - e_{Ly},\ e_{Rx} - e_{Lx}) \tag{3.8}$$
$$d_x = \frac{n_x - f_x}{w_f} \tag{3.9}$$
$$d_y = \frac{n_y - f_y}{h_f} \tag{3.10}$$

この偏差にスケール係数K_X, K_Yを掛け，逆正接関数により$yaw, pitch$を算出する。

$$yaw = \tan^{-1}(K_X d_x) \tag{3.11}$$
$$pitch = \tan^{-1}(K_Y d_y) \tag{3.12}$$

この場合，視線矢印の基準点（origin）は顔中心 Fとする。

推定された$yaw, pitch$ はフレームごとの検出誤差により揺れを含むため，顔 ID ごとに履歴を保持し，直近 Nフレームの移動平均により平滑化する。

$$\theta' = \frac{1}{N}\sum_{i=0}^{N-1} \theta_{t-i},\ \theta \in \{yaw, pitch\} \tag{3.13}$$

また，動画上での視線矢印描画では視認性のため，pitch に描画用オフセット P_{offset}を適用し，矢印長Lを用いて画面上の変位 $\Delta x, \Delta y$を次式で定義する。

$$\Delta x = \frac{yaw}{60} \tag{3.14}$$
$$\Delta y = \frac{pitch - P_{\mathrm{offset}}}{60} L \tag{3.15}$$

ここで P_{offset}は描画上の調整量であり，推定された pitch の定義そのもの（式(3.5)，(3.8)）とは独立である。

5.3 実データによる検証

開発した推定方法を実験 2-1 の実施時に撮影したデータに基づき検証した。屋内展示場内のゴリラを厚さ約 3 cm のアクリル越しに撮影した。撮影機材およびディスプレイはガラス面に対して正対するように配置し，ゴリラの正面顔が安定して取得できるように設計した。ディスプレイはゴリラの視線を誘導するための呈示装置として用い，撮影機材の背後に配置した。ディスプレイとカメラの相対位置は固定されており，撮影中に位置関係が変化しないように設計を行った。この構成により，ゴリラがディスプレイを注視した際の顔部位の位置変化を安定して取得するこ

とが可能となった。撮影には，RGB 画像および深度情報を同時に取得可能な深度カメラ Azure Kinect DK を使用した。Azure Kinect DK は高解像度の RGB カメラと深度センサを備えており，顔部位の検出および距離情報を利用した解析に適している。以上のような撮影環境を構築することで，飼育環境への影響を最小限に抑えつつ，ゴリラの顔部位および視線方向を安定して取得できる映像データを収集した。

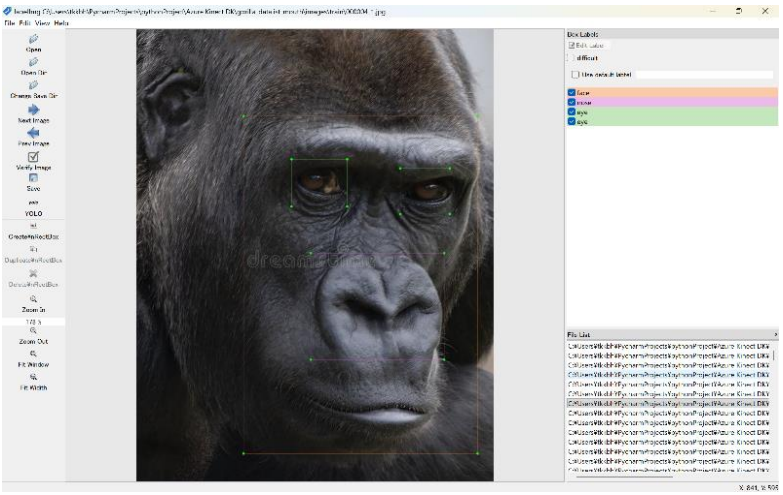
ゴリラの顔・鼻・目を検出するための機械学習モデルの学習を Google Colaboratory 上で実施した。Google Colaboratory は，クラウド上で Python プログラムを実行可能な開発環境であり，高性能な GPU を利用できる点から，本研究の学習環境として採用した。これにより，大規模な画像データを用いた深層学習モデルの学習を，現実的な時間内で実行することが可能となった。使用言語は Python とし，深層学習フレームワークとして PyTorch を用いた

顔・鼻・目の検出には，物体検出アルゴリズムである YOLOv5 をベースとしたモデルを使用した。YOLOv5 は，画像中の物体を高速かつ高精度に検出可能な手法であり，リアルタイム性が求められる本研究に適している。本研究では，一般物体検出用として事前学習済みの yolov5s.pt を初期重みとして用い，ゴリラの顔・鼻・目を検出対象とするよう転移学習を行った。転移学習を用いることで，限られた学習データ数であっても，安定した検出性能を得ることが可能となる。

入力画像サイズを 640×640 に統一し，1 回の学習更新で 16 枚の画像を用いる設定とした。学習は全データセットを 100 エポック繰り返すことで実施し，事前学習済みモデル（yolov5s. pt）を初期重みとして用いた転移学習を行った。学習および検証に使用するデータセットの構成やクラス情報は YAML ファイルで管理し，学習結果は実験ごとに指定したディレクトリへ保存した。また，画像データをメモリにキャッシュすることで学習時のデータ読み込みを高速化し，検証精度が一定期間改善しない場合には学習を早期終了する設定とすることで，計算効率と学習の安定性を両立させた。これらの学習条件を統一することで，実験結果の再現性を確保した。

ゴリラの顔・鼻・目を検出対象とした物体検出モデルを学習するため，独自に構築した画像データセットを用いた。データセットの作成にあたり，ゴリラの正面および斜め方向から撮影された画像を収集し，各画像に対して手動でアノテーションを行った。アノテーションには，画像ア

図 18　LabelImag でのアノテーションの様子



ノテーションツールである LabelImg を使用し，ゴリラの顔（face）・鼻（nose）・左右の目（eye）の 3 種類のクラスに対してバウンディングボックスを付与した。同様の手法が AsgharIllami らのクラック検出研究[26]においても用いられている。図 18 に，LabelImg でアノテーションを行っている画像を示す。この時，顔・鼻・目に対してバウンディングボックスを付与し，「顔」を「face」，「鼻」を「nose」，「目」を「eye」と認識させている。

作成したラベル付きデータは，学習用データと検証用データに分割して使用した。具体的には，全画像のうち 279 枚を学習用データ，99 枚を検証用データとし，およそ 3:1 の比率で分割した。この分割比は，データ数が限られている条件下において，学習に十分なデータ数を確保しつつ，検証結果の信頼性を確保する目的で，一般的に用いられている比率にもとづいて設定した。学習用データはモデルの重み更新に使用し，検証用データは学習過程における性能評価および過学習の検出に用いた。これにより，学習の進行状況を定量的に把握しながら，安定した検出性能を持つモデルの構築を行った。

5.4　検証結果

5.4.1 検出性能

物体検出において，検出結果の正確さと見落としの少なさを評価するために Precision と Recall を用いる。Precision は「検出したもののうち正解であった割合」，Recall は「実際に存在する対象をどれだけ検出できたか」を表す。PR 曲線は，検出の信頼度閾値を変化させたときの Precision と Recall の関係を示す。さらに，PR 曲線の下面積を Average Precision（AP）とし，全クラスの AP を平均した値を mean Average Precision（mAP）とする。本研究では，IoU（Intersection over Union）のしきい値を 0.5 とした mAP（mAP@0.5）を用いて評価した。

距離にもとづく評価では，撮影距離や顔サイズの違いによる影響を除去するため，顔領域のサイズを基準として正規化した距離を用いた。混同行列では，縦軸を予測クラス，横軸を真のクラスとして整理し，各真クラスで正規化した値を示す。ここで「背景」は，顔・鼻・目のいずれにも該当しない領域を表すクラスである。

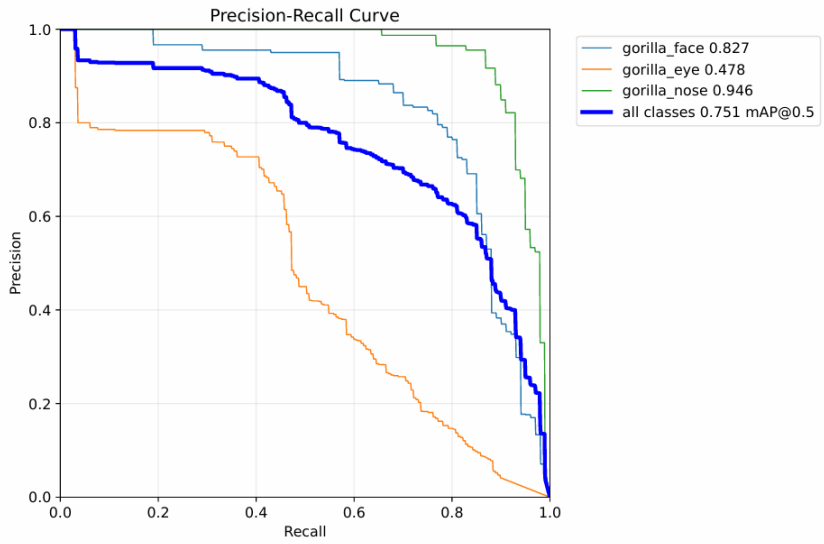
図 19　混同行列



図 19 に IoU ≧ 0.5 における混同行列を示す。対角成分は各クラスが正しく分類された割合に対応し，顔は 0.88，鼻は 0.93 と高い値を示した。一方で目は 0.61 に留まり，3 クラスの中で最も不安定であった。また，真の「目」が「背景」と判定される割合が 0.39 と比較的大きく，目領域の見落としが主要因であることが分かる。さらに，「背景」として検出される際，主にどの位置に検出される傾向があるか動画を出力して確認した結果，実際の目周辺で「背景」として検出されることが多いことが確認できた。以上より，本モデルは顔・鼻は安定して検出できる一方，目については検出の欠落および目周辺での誤検出に課題があることがわかった。

図 20 に PR 曲線を示す。クラス別の AP は，顔が 0.827，目が 0.478，鼻が 0.946 であった。全クラスの検出結果の適合率（Precision）と再現率（Recall）のバランスを評価する指標である

図 20　Precision-Recall 曲線



る mAP は 0.751 であり，Precision と Recall のバランスを総合的に評価した場合，実用的な精度に近い値が得られた。ただし，目クラスの AP が他クラスに比べて低いため，今後は目領域のアノテーション品質の改善，学習データの拡充，および小物体検出を意識した学習条件の調整などにより，目の検出安定化を図る必要がある。

5.4.2　安定化処理性能

ゴリラ映像では，照明，姿勢，陰影の影響により，各フレームで検出される顔部位の位置が不安定になりやすい。特に目領域は小さく，背景や毛の模様と混同されやすいため，誤検出や検出位置のばらつきが頻発するという課題がある。

図 21 に，安定化処理前後の検出結果の一例を示す。左は安定化処理前で，顔・鼻・目がフレームごとに複数箇所に検出され，検出位置が大きく揺らいでいる様子が確認できる。この状態では，顔部位間の相対位置関係が不安定となり，視線方向を安定して推定することが困難である。一方，右は安定化処理および視線導出を適用した結果である。顔については，IoU にもとづく追跡と指数移動平均（EMA）による平滑化を適用することで，領域位置の変動が抑制され，フレーム間で安定した検出が得られた。鼻については，顔領域内部に限定した候補選択と，検出欠損時の補間処理により，連続性のある位置推定が可能となった。さらに目については，クラスタリングおよび RANSAC を用いた外れ値除去により誤検出が抑制され，左右眼ともに幾何的に妥当な位置に安定して検出できるようになった。

これらの安定化処理により，顔・鼻・目の相対位置関係が時間的に一貫したものとなり，視線方向の推定結果もフレーム間で滑らかに変化することが確認された。以上より，提案した安定化処理は，検出誤差や一時的な欠損の影響を低減し，視線推定に必要な特徴点の信頼性を向上させる上で有効であるといえる。

図 21　安定化処理前（左）と処理後の視線導出（右）

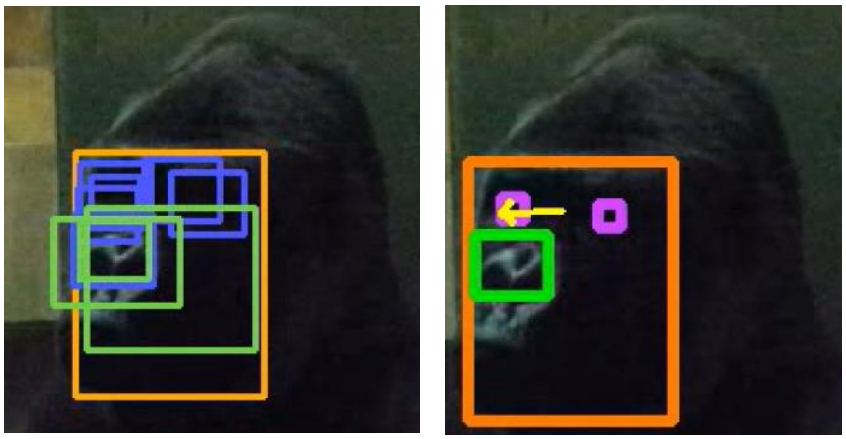


表 2 に，安定化処理後の各部位における検出率および位置誤差の定量評価結果を示す。顔については，全フレームで検出が成功しており平均誤差および中央値誤差ともに小さい値を示した。目および鼻についても，高い検出率を維持しつつ誤差が顔幅の 10%以内に収まる割合がそれぞれ 91. 6%, 80. 6%となっており，多くのフレームで安定した位置推定が行われていることが分かる。

特に目領域は混同行列による評価では検出性能が不安定であったが，安定化処理後には見逃しが限定的となり，位置誤差も許容範囲内に収まる結果が得られた。これより，提案した安定化処理は単フレームでの検出誤差を抑制し，時系列的に 一貫した顔部位の位置推定を実現する上で有効であるといえる。

表 2　安定化処理後における各部位の検出精度および位置安定性

部位	GT 数	見逃し数	平均誤差（顔幅比）	中央値誤差（顔幅比）	誤差≤ 10%（顔幅比）	検出率（%）
顔	161	0	0.0397	0.0330	95.7	100.0
目	322	13	0.0544	0.0506	91.6	96.0
鼻	161	6	0.0629	0.0529	80.6	96.3

5.4.3　視線方向検出の精度評価

視線導出手法における視線方向検出の精度を定量的に評価する。特に，視線方向の時間的な揺らぎを低減するために導入した移動平均による平滑化処理が，視線誤差に与える影響について検証する。

評価には，466 フレームの動画を使用した。各フレームにおいて推定された視線方向と，手動で付与した正解視線方向との角度誤差を算出し，誤差が一定角度以内に収まる割合，および平均誤差・中央値誤差を評価指標とした。また，視線方向の安定化を目的として，過去フレームを参照する移動平均を適用し，参照フレーム数を 0，3，5，10，20 フレームと変化させた場合の精度を比較した。

表 3　移動平均による平滑化フレーム数ごとの視線誤差評価結果

評価フレーム数（過去参照）	0	3	5	10	20
誤差≤5°［%］	24.5	24.5	26.0	25.0	20.0
誤差≤10°［%］	49.0	49.5	48.5	50.5	50.0
誤差≤15°［%］	61.5	60.5	60.0	61.5	59.5
平均誤差［°］	19.92	20.14	20.20	19.91	19.58
中央値誤差［°］	10.07	10.12	10.61	9.98	10.06

表 3 に，移動平均の参照フレーム数ごとの視線誤差の定量評価結果を示す。平滑化を行わない場合でも，誤差が 10° 以内に収まる割合は約 49% であり，単フレームにもとづく視線導出としては一定の精度が得られている。一方，3〜10 フレームの移動平均を適用した場合，中央値誤差および 10° 以内の割合がわずかに改善し特に 10 フレームでは中央値誤差が最小となった。これより，短時間の平滑化によりフレーム間のノイズが抑制され，視線方向がより安定して推定されていることが分かる。しかし 20 フレームの移動平均を適用した場合, 平均誤差は小さいものの 5° 以内に収まる割合が低下しており，急激な視線変化への追従性が損なわれている。これは，過度な平滑化により時間遅延が生じたためと考えられる。本研究における視線導出手法では，3〜10 フレーム程度の移動平均が視線の安定性と追従性のバランスの観点から適切であるといえる。

5.4.4 自動判定手法の評価

提案手法により推定された視線方向を用いてゴリラがディスプレイを注視しているかどうかを自動判定する手法の有効性を評価する。本評価では，視線方向の推定結果をディスプレイ平面上に投影し注視位置を可視化するとともに，手動判定結果との一致度を定量的に検証した。

評価には，前節同様に，9.43 秒の動画を使用した。各フレームにおいて推定された視線ベクトルがガラス面と交差する位置を算出し，その交点をディスプレイ座標系上に点としてプロットした。ディスプレイ位置は実験時の映像をもとに座標を設定し，赤枠で示した領域を「ディスプレイ範囲」と定義した。また各フレームについて，「見ている」，「見ていない」の二値ラベルを付与し，これを正解ラベルとして手動判定結果と自動判定結果との比較を行った。図 22 では，注視点を手動判定結果にもとづいて色分けして表示しており，「見ていない」と判定されたフレームを青色，「見ている」と判定されたフレームを橙色で示している。

図 22　注視位置の可視化

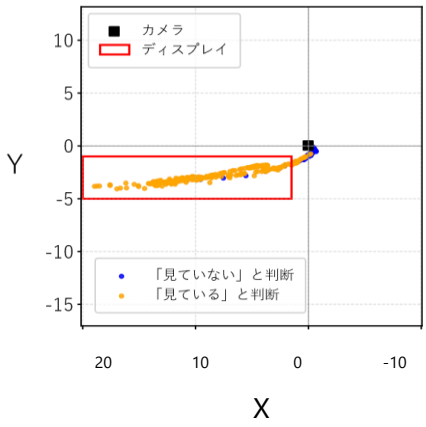


図 22 は，全フレームの注視位置を重ねて可視化した結果である。「見ていない」フレームでは，注視点がディスプレイ範囲外に集中している一方で，「見ている」フレームでは，注視点がディスプレイ範囲内に連続的に分布している。これにより，視線推定結果を用いた注視判定が時間的にも一貫して行われていることが分かる。

手動判定結果を正解とした場合，Precision 94.%，Recall 96.3%，Accuracy 91.3% の精度が得られた。これらの結果から，提案手法はディスプレイ注視の有無を高い精度で自動判定できており，本実験条件下では，視覚選好評価の自動化に有効であることが示された。

5.5　研究 3：考察

5.5.1 検出性能

顔および鼻クラスでは高い検出精度が得られた一方で，目クラスでは検出性能が相対的に低いことが示された。この要因として，目領域が他クラスと比べて小さく，撮影条件や顔の向きによって外観が大きく変化しやすい点が挙げられる。また，瞳孔が大きく，目周辺の黒い毛や影の影

響を受けやすく，視覚的特徴が不明瞭になりやすいことも検出の不安定性につながっていると考えられる。

混同行列の結果から，目クラスが背景として誤分類される割合が高いことが確認された。これは，YOLO 系の物体検出手法では目のような小物体に対して検出感度が低下しやすく，物体の見逃しが生じやすいことが報告されており，本研究で得られた混同行列上の誤分類傾向も整合している。

特に，目の検出位置を図 20 から確認すると，「背景」として見落とされていた検出であっても，目周辺で検出されている場合が多いことが分かる。このことから，図 19 における背景として認識されている部分も目に近い位置で認識されているのではないかと仮説を立てた。この仮説を明らかにするため，検証用データ 99 枚で検出された目の中心から、正解ラベルの目の中心の距離を求め、顔による正規化を行った。図 23 にその結果を示す。

図 23　目検出と正解ラベル間の距離分布（左上），正解と対応づけられた目検出の距離分布（右上），全検出と正解検出における目検出距離分布（左下）

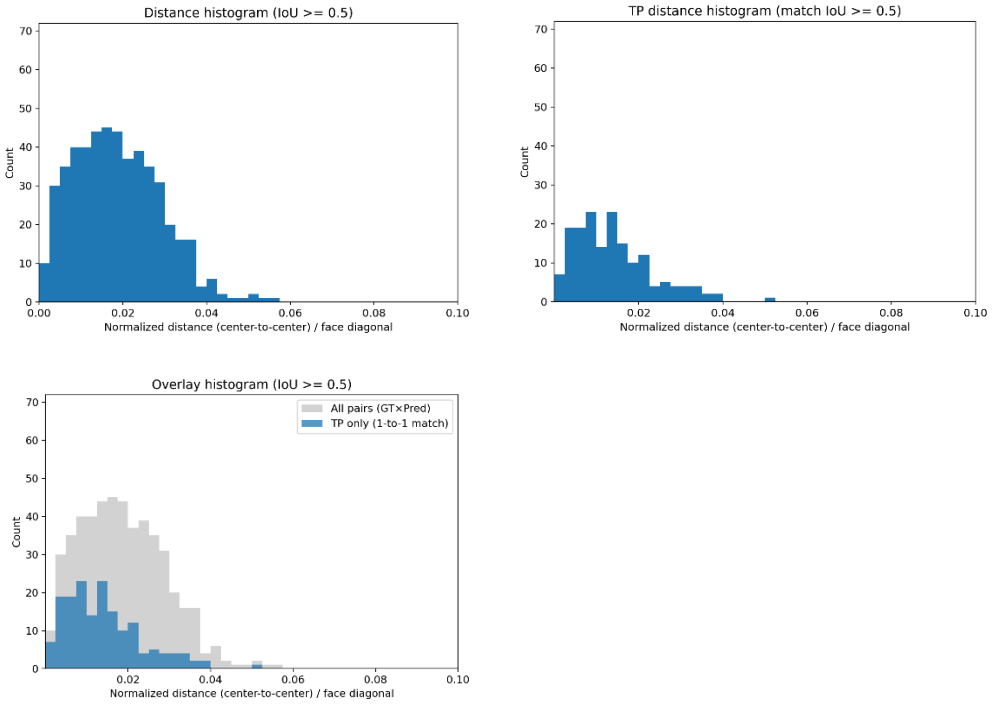


図 23 左上は，すべての目クラスの検出結果について，正解ラベルの目との中心間距離を算出し，顔の対角長で正規化した距離分布を示している。本図には，正解ラベルと対応づけられなかった検出結果も含まれており，正解の目から比較的離れた位置に分布する成分も確認できるが，正規化距離は最大でも 0.06 未満に分布しており，多くの検出結果が正解位置の近傍に集中していることが分かる。一方，図 23 右上は，同様に顔の対角長で正規化した距離を用い，IoU が 0.5 以上で正解ラベルと 1 対 1 に対応づけられた検出結果（True Positive）のみを対象とした距離分布を示している。この図では，距離が小さい領域に分布が集中しており，正しく検出された目

は正解ラベルの目の近傍に高い割合で位置していることが分かる。さらに，図左下は，同一の正規化距離にもとづき，すべての検出結果と True Positive の距離分布を重ねて示したものである。この図より，背景として誤分類された検出結果を含め，多くの目クラスの検出が正解ラベルの目の周辺に集中していることが確認できる。

以上の結果から，混同行列において背景として分類されている検出結果の一部は，目から大きく離れた位置で生じているのではなく，目周辺において検出されている可能性が高いと考えられる。すなわち，本手法は目の位置推定自体は比較的安定しているものの，目と背景の識別に課題が残っていることが示唆される。この結果は，目領域が小さく，周辺の外観が背景と類似していることにより，クラス間の判別が困難であることに起因している可能性がある。

5.5.2 深度情報に関する考察

本実験では，Azure Kinect DK を用いた深度情報の利用を試みたものの，有効な距離情報を安定して取得することは困難であった。深度画像を確認した結果，多くの画素において深度値が 0 mm 付近として出力されており，奥行き方向の構造を復元することができなかった。この主な要因として，本実験環境では，カメラと被写体の間に厚さ約 3 cm のガラスが存在し，カメラをガラス面に密着させた状態で撮影を行っていた点が挙げられる。Azure Kinect DK は ToF（Time-of-Flight）方式の深度センサを採用しており，赤外線を照射し，その反射光の往復時間から距離を推定する。しかし，ガラス面が存在する場合，投影している赤外線の透過率と，屈折率の問題により，正しい距離情報が得られないと考えられる。

本実験においても，深度センサがガラス面を測距対象として誤認識した結果，深度値が無効値として出力された可能性が高いと考えられる。また，RGB 画像を確認すると，Azure Kinect DK 本体付近から発せられた白色の光がガラス面で反射している様子が確認できる。対応する深度画像では，この反射位置付近に局所的なノイズ（青色の円状領域）が観察されており，赤外線照射光の反射が深度計測に影響を与えている可能性が示唆される。ただし，本研究では赤外線の反射挙動を直接計測していないため，これらの影響については定性的な考察に留まる。
以上の理由から，本実験条件下においては，Azure Kinect DK による深度情報を視線推定や顔部位検出の補助情報として利用することは困難であり，RGB 画像のみにもとづく 2 次元的な情報を用いた手法を採用した。

深度情報を代替的に取得する方法としては，複数台のカメラを用いたステレオ視による距離推定が考えられる。ステレオカメラでは，対応点間の視差から距離を推定するため，赤外線を用いない分，ガラスによる反射の影響を受けにくい可能性がある。ただし，カメラ間の厳密なキャリブレーションや対応点検出の安定性といった課題も存在するため，本研究では今後の検討課題とする。

5.5.3 安定化処理の有効性

提案した安定化処理は特に目領域の検出結果に対して高い有効性を示したといえる。検出性能の評価結果では，目クラスは背景として誤分類される割合が高く単フレームでの検出は不安定であった。しかし，距離分布の解析結果からこれらの誤検出の多くは目から大きく離れた位置では

なく，目周辺に集中していることが確認された。このことから，目の検出結果には位置的な一貫性がある一方で，クラス識別が困難であるという特徴があると考えられる。　提案手法では，この特徴を利用しクラスタリングおよび RANSAC による外れ値除去と，時系列的な平滑化を組み合わせることで単フレームで生じる誤検出や検出欠損の影響を低減している。実際に安定化処理後の定量評価結果では，目領域においても高い検出率を維持しつつ，位置誤差が顔幅の 10 %以内に収まる割合が 90 %を超えており，多くのフレームで安定した位置推定が実現されていることが示された。以上より，目周辺で誤検出が生じやすいという検出モデルの特性に対して，提案した安定化処理は有効に機能しているといえる。

本研究では，検出された顔部位の位置誤差を顔幅（顔領域の横の長さ）で正規化した値として評価した。これは撮影距離や被写体の姿勢により，フレームごとに顔の大きさが変動するため，画素単位の誤差をそのまま比較することが適切ではないためである。顔幅で正規化することにより，検出誤差を顔に対する相対的なずれとして統一的に扱うことが可能となる。特に，本研究の最終目的である視線方向推定では，目・鼻・顔といった顔部位間の相対位置関係が重要であり，絶対的な画素距離よりも顔内における位置関係の安定性が性能に直接影響する。以上の理由から顔幅正規化を採用した。ただし，顔幅は被写体が正面を向いている場合と斜めを向いている場合とで投影的に変化する可能性があり，常に安定した指標であるとは限らない。一方で，本研究で用いた実験データでは，ゴリラが大きく斜めを向くフレームは少なく，顔幅は比較的安定して検出されていた。また，顔領域の縦方向の長さと比較すると，上下方向の部分的な遮蔽の影響を受けにくいという特徴もある。以上より，本研究では検出位置誤差の相対的傾向および安定化処理の効果を比較する指標として，顔幅による正規化は妥当であると判断した。

5.5.4　視線推定精度

第 5.4.3 節の結果より，本研究で提案した視線導出手法は，移動平均による平滑化を併用することで，フレーム間で比較的安定した視線方向推定が可能であることが示された。平滑化を行わない場合でも，誤差が 10° 以内に収まるフレームの割合は約 49%であり，単フレームの顔部位配置にもとづく簡易的な視線導出としては，一定の傾向は確認できる。一方で，5° 以内に収まる割合は約 25%に留まっており，高精度な視線方向推定としては改善の余地が残されている。

移動平均による平滑化を適用した場合，3〜10 フレーム程度の参照フレーム数において，中央値誤差および 10° 以内の割合がわずかに向上する傾向が確認された。これは，単フレームごとの検出誤差やノイズ成分が時間的に平均化されることで，視線方向のばらつきが抑制されたためと考えられる。特に 10 フレームの移動平均では中央値誤差が最小となっており，短時間の平滑化が視線推定の安定性向上に寄与していることが示唆される。一方で 20 フレームの移動平均を適用した場合には，平均誤差は小さいものの，5° 以内に収まる割合が低下している。これは，過度な平滑化により視線変化への追従性が低下し，時間遅延が生じたためと考えられる。以上より，視線推定においては，ノイズ低減と動的変化への追従性の間にトレードオフが存在し，本研究の条件下では 3〜10 フレーム程度の平滑化が最もバランスの取れた設定であるといえる。

また動画を確認した結果，水平方向の視線変化（yaw）は比較的正確に推定できている一方で，垂直方向の視線変化（pitch）は，上下方向に視線を移動させた場合でも推定値が大きく変化

しない傾向が確認された。考えられる要因として，本研究で用いた手法が顔部位間の 2 次元的な相対位置関係にもとづいている点が挙げられる。一般に，2 次元画像上の顔特徴点配置は水平方向の回転（yaw）に対しては変化が大きい一方，上下方向の回転（pitch）に対しては投影上の変位が小さく，奥行き方向の情報を十分に反映できないことが知られている。

5.5.5　自動解析評価

第 5.4.4 節の結果から，提案手法は視線方向推定結果を用いることで，ゴリラがディスプレイ方向を向いているかどうかを空間的・時間的に判定可能であることが示された。本評価では，視線交点の分布と手動判定結果との対応関係に着目することで，注視状態と非注視状態の分離が一定程度達成されていることを確認した。

本手法の特徴は，視線角度そのものの高精度推定を目的とするのではなく，視線方向をディスプレイ平面上に投影し，注視位置の分布として扱う点にある。このような表現により，個々のフレームにおける視線推定誤差が存在する場合でも時間的に集約された注視傾向を捉えることが可能となる。その結果，単一フレームの視線精度に依存しすぎることなく，注視状態の判定が行える構造となっている。一方で，本研究におけるディスプレイ領域の設定は，実際のディスプレイ寸法を幾何的に再現したものではなく，他動画において注視が確認された視線交点の分布を基準として定義している。そのため，本評価は注視位置の絶対精度を評価するものではなく，あくまで相対的な注視判定の妥当性を検証するものである。この点は，本手法の適用範囲を解釈する上で重要な制約である。また，本評価は単一の短時間動画を対象としており被験個体や撮影条件が異なる場合における注視判定性能の一貫性については，今後さらなる検証が必要である。特に，ディスプレイ位置の設定方法やカメラとディスプレイの幾何関係が変化した場合には，注視交点の分布特性も影響を受けると考えられる。

今後の改善としては，カメラとディスプレイの位置関係を事前に計測し，幾何的キャリブレーションを導入することで，実際のディスプレイ寸法にもとづいた注視領域の設定が可能になると考えられる。これにより，注視位置の再現性が向上し異なる動画間においても一貫した評価が行えるようになることが期待される。　以上より，提案手法は視線方向そのものを厳密に推定する用途には制約があるものの，「視線がディスプレイ方向に向いているかどうか」を自動的に判定・可視化するという本研究の目的に対して，合理的かつ実用的なアプローチであると考えられる。

5.6 研究 3 のまとめ

動物園環境におけるゴリラの視覚選好評価を目的として，映像からゴリラの顔部位（顔・鼻・目）を検出し，それらの相対位置関係にもとづいて視線方向（yaw, pitch）を推定する手法を提案した。従来の嗜好評価は観察者による目視記録に依存する場合が多く，長時間の観察負担や主観的判断が介在しやすいという課題があった。これに対し，本研究では，機械学習による顔部位検出と時系列安定化処理を組み合わせることで，非侵襲かつ自動的に注視方向を推定し，ディスプレイ注視の有無を判定する枠組みを構築した。

まず，YOLOv5 による転移学習を用いて顔・鼻・目の検出モデルを学習し，検証用データ 99 枚に対して検出性能を評価した。その結果, mAP@0. 5 は 0. 751 であり, クラス別 AP は顔 0. 827, 鼻 0. 946，目 0. 478 であった（図 20）。混同行列（図 19）から，顔および鼻は高い精度で検出できる一方，目は背景として誤分類される割合が相対的に大きく，検出の見落としが課題であることが示された。次に，検出結果のフレーム間のばらつきを抑制するため，顔には IoU にもとづく追跡と指数移動平均（EMA），鼻には候補制約と欠損補間，目には IoU にもとづく対応付けに加えてクラスタリングおよび外れ値除去を適用した。安定化処理の結果，顔・目・鼻の検出率はそれぞれ 100. 0%，96. 0%，96. 3% となり，位置誤差も多くのフレームで顔幅の 10%以内に収まることを確認した（表 2）。また，目検出の誤差分布解析（図 23）より，誤検出の多くが目から大きく離れた位置ではなく目周辺に集中する傾向があり，位置推定自体は一定の一貫性を持つ一方でクラス識別が難しいことが示唆された。さらに，安定化後の顔部位配置から yaw, pitch を導出し，移動平均による平滑化の有無・参照フレーム数を変化させて視線誤差を評価した（表 5。2）。その結果，10° 以内に収まる割合は約 50% 程度であり，3〜10 フレーム程度の平滑化が安定性と追従性のバランスの観点から適切であることが分かった。最後に，推定した視線方向をディスプレイ平面上に投影し，ディスプレイ注視の有無を自動判定する評価を行った。注視点の分布は「見ている」,「見ていない」で分離する傾向が確認でき（図 22）, 定量評価では Precision 94. 0%, Recall 96. 3%，Accuracy 91. 3% を得た。以上より，本研究の提案手法は，視線角度そのものを高精度に推定する用途には改善の余地が残るものの,「ディスプレイ注視の有無」を自動判定して視覚選好評価を支援するという目的に対して有効であることを示した。なお，本研究では深度情報の利用も検討したが，ガラス越し撮影の条件下では深度値が無効化しやすく，安定した距離情報を得ることが困難であった。そのため，本研究では RGB 画像の 2 次元情報にもとづく手法を採用した。

今後の課題として，第一に目領域の検出性能向上が挙げられる。目は小物体であり外観変動も大きいため，アノテーション品質の改善，学習データの拡充，データ拡張の工夫，入力解像度や小物体検出を意識した学習条件の調整などにより，検出の見落とし低減を図る必要がある。また，誤検出が目周辺に集中する特性を踏まえ，クラス識別を補助する特徴（左右眼の幾何制約の強化，時系列モデルの導入など）を組み込むことも有効と考えられる。第二に，視線推定精度，特に pitch 推定の改善である。本手法は 2 次元的な相対位置関係にもとづくため，奥行き変化や立体構造を十分に反映できず，上下方向の推定が難しい傾向があった。今後は，顔の 3 次元構造を考慮したモデル化や，頭部姿勢推定（head pose）に相当する指標の導入，あるいは追加特徴量を用いた推定式の拡張により，精度向上を検討する必要がある。第三に，ディスプレイ領域設定の一般化である。本研究では注視点分布を基準としてディスプレイ範囲を定義したが，カメラとディスプレイの幾何関係を事前に計測しキャリブレーションを導入することで，異なる動画・条件間でも一貫した注視判定が可能になると期待される。第四に，評価データの拡張である。本研究の自動注視判定は短時間動画を対象としており，個体差，照明条件，姿勢が異なる状況における頑健性評価が十分ではない。より多様な映像に対して定量評価を行い，実運用を想定した性能検証を進める必要がある。以上の課題に取り組むこと，ゴリラの視覚選好評価をより高精度かつ汎用的に自動化でき，飼育環境改善や行動研究の効率化に寄与することが期待される。

5.7 資料

Kano, F., & Call, J. (2014). Great apes generate goal-based action predictions: An eye-tracking study. *Psychological Science*, *25(9)*, 1691-1698. DOI: 10.1177/0956797614536402

Lewis, L. S., & Krupenye, C. (2022). Eye-tracking as a window into primate social cognition. *American Journal of Primatology*, *84(10)*, e23393. DOI: 10.1002/ajp.23393

6. 研究総括と展望，千葉市の政策への提言

6.1 研究まとめ

本研究では，ゴリラの認知能力や刺激選好を定量的に把握し，認知エンリッチメントへ応用することを目的として，3 つの研究を実施した。

研究 1 では，木片パネルを用いた簡易的な画像選好課題を実施した。大型類人猿を対象とした研究では，展示や飼育との両立が求められることから，短時間で実施可能な方法論を検討した。体系的な規則性選好は確認されなかったものの，刺激への接触や観察行動が確認され，パネル自体への興味も観察された。実験外要因の影響を受けやすいという課題も明らかになった。

研究 2 では，感覚性強化の考え方にもとづき，ゴリラ自身の注視行動によって画像呈示を制御する実験系を構築した。その結果，自種個体画像や植物の多い自然風景，奥行き感のある風景に対する選好傾向が示された。特に，自然環境に関連する画像に対する反応は，千葉市動物公園で既に進められていた植樹等の環境エンリッチメント施策と整合的であり，後付けではあるものの，既存施策の有効性を支持する学術的知見となった。自然環境要素がゴリラの主体的な関与や注意を引き出す可能性が示されたことは，今後の展示環境設計に対しても示唆を与える。また，ゴリラがモニタ刺激を自発的に注視し，刺激呈示を維持する可能性が示され，餌以外の報酬を利用した認知エンリッチメント実現への可能性が示唆された。

研究 3 では，映像解析を用いて顔・鼻・目の検出と視線方向推定を行い，ゴリラの注視行動を客観的に評価する手法を検討した。その結果，視線方向推定や注視判定の自動化に向けた基盤技術を構築することができた。

以上の結果から，本研究は，ゴリラの認知特性理解のみならず，認知エンリッチメント設計，動物福祉向上，展示環境改善へ向けた基礎的知見を提供した。

6.2 今後の課題等展望

本研究では，ゴリラの刺激選好や注視行動に関する有用な知見を得た一方，今後の課題も明らかになった。

6.2.1 反応測定と随伴性制御の自動化

第 1 に，行動測定および刺激呈示制御の自動化である。本研究では，研究 2 において，ゴリラのモニタへの注視行動を実験者が遠隔から判断し，画像呈示を制御する手続きを採用した。しかし，注視反応のような比較的受動的な反応を扱う場合，実験者による判断が介在することに伴う課題が存在する。特に，本研究が基盤とする感覚性強化の考え方では，動物自身が自らの行動とその結果との随伴性を認識し，その関係にもとづいて行動を維持・増加させることが重要となる。しかし，実験者が注視反応を判定する場合，同じ個体が同程度の注視行動を示したとしても，状況によって「注視した」と判定される場合と，「注視していない」と判定される場合が生じうる。このような判定の揺らぎは，動物側から見ると，自らの反応と刺激呈示との関係に確率的な変動が

生じることを意味する。

オペラント条件づけでは, 反応と結果との関係が明確であるほど学習は成立しやすい。一方で, 反応に対する結果の随伴性に大きな揺らぎが存在すると，動物にとって反応と結果との対応関係が把握しにくくなり，強化が成立しにくくなる可能性がある。本研究においても，実験者判断を介在させる手続きは，感覚性強化の成立を妨げる要因の 1 つであった可能性が考えられる。

この課題に対して，本研究では研究 3 において，映像解析を用いた顔検出や視線方向推定を行い，注視反応を自動的かつリアルタイムに検出するシステム構築を進めた。その結果，一定の条件下では，自動判定による刺激制御実現に向けた技術的基盤を構築することができた。しかし，今回開発したシステムは，参加個体，撮影位置，照明条件，展示環境の構造など，本研究の実施環境に強く依存するものであった。今後は，より多様な個体や環境条件にも適用可能な汎用性の高いシステムへ発展させる必要がある。客観的かつリアルタイムな行動検出技術を整備することは，認知エンリッチメント研究の精度向上のみならず，展示動物を対象とした認知研究全体の発展にも重要な課題である。

6.2.2 主体的反応を引き出す装置開発

第 2 に, 動物自身の主体的な反応をより直接的に測定するための装置開発である。本研究では, 展示環境上の制約から，ゴリラのモニタへの注視反応を利用して刺激呈示を制御する方法を採用した。しかし，比較認知研究や感覚性強化研究の観点からは，動物自身が明確なオペラント反応を行い，その結果として刺激呈示が生じる実験系を構築することが望ましい。

学習研究では，レバー押し，キーつつき，ボタン操作など，物理的な装置を用いて動物の反応を直接測定する方法が広く用いられてきた。こうした方法では, 動物側の反応定義が明確となり, 反応と結果との随伴性を安定して維持しやすいという利点がある。感覚性強化の成立を検討する上でも，動物自身の反応と刺激呈示との対応関係をできる限り明確にすることが重要となる。

本研究においても，理想的には，レバー，ボタン，キーなどの物理デバイスを展示場内に設置し, ゴリラ自身が主体的に装置を操作することで画像呈示を制御する実験系が望ましい。しかし, 展示環境では安全面や設備上の制約も大きく，屋内展示場への物理装置導入は容易ではない。
そこで，将来的な方向性として，展示環境制約を踏まえた新たな入力装置の開発も有望である。例えば，アクリル面越しにフォトセンサースイッチを設置し，ゴリラが手を近づけた際に光が遮断されることで反応を検出する方式などが考えられる。このような方法であれば，展示環境との両立を図りつつ，動物自身の主体的反応を比較的明確に取得できる可能性がある。

さらに，6.2.1 で述べた注視反応の自動検出技術と組み合わせることで,「見る」という比較的受動的な反応だけではなく,「主体的に働きかける」というオペラント反応を含めた，より柔軟な認知エンリッチメントシステム構築につながることが期待される。今後は，反応測定の自動化と主体的反応を取得する装置開発を両輪として進めることで，動物園展示環境に適した認知研究基盤および認知エンリッチメント技術の発展を目指したい。

6.2.3 刺激種類の拡張と倫理的配慮

第 3 に，刺激種類の拡張と，それに伴う倫理的課題である。本研究では主として静止画像刺激

を用いたが，将来的には動画刺激や音刺激など，より多様な感覚刺激を用いた認知エンリッチメントへの展開も考えられる。しかし，刺激種類の拡張には，技術的課題と倫理的課題の双方が存在する。

まず，技術的課題として，音刺激の導入が挙げられる。映像刺激のみであれば，屋外観覧エリア側へのディスプレイ設置によって一定の実験が可能であった。しかし，音刺激を伴う場合には，音響デバイスを屋内展示場側へ設置する必要が生じる。その際には，展示環境への設置方法，安全性，配線方法，映像との同期など，多くの技術的問題を解決する必要がある。また，動物園展示空間では反響や環境雑音も存在するため，音響環境そのものへの配慮も求められる。

さらに，動画刺激については，静止画像以上に慎重な検討が必要である。仮に感覚性強化が成立し，動画刺激が強い強化機能を持つことが示された場合，それが動物福祉の観点から適切であるかは十分吟味しなければならない。例えば，特定刺激への強い選好が確認されたとしても，それが必ずしも福祉向上を意味するとは限らない。自然風景画像への選好が観察されたとしても，実際にはその環境へ移動できないのであれば，かえって欲求不満やストレスを生じさせる可能性も考えられる。認知エンリッチメントは，物理的な飼育環境改善の代替ではなく，あくまで両輪として位置づける必要がある。

また，刺激への馴化（habituation）の問題もある。同一刺激を繰り返し呈示した場合，刺激価値が低下し，エンリッチメント効果そのものが減少する可能性がある。そのため，刺激内容を継続的に更新する仕組みも将来的な課題である。その方策の 1 つとして，市民参加型の刺激コンテンツ収集も考えられる。例えば，市民が撮影した自然風景画像や動画などを募集し，認知エンリッチメント刺激として活用することは，教育普及活動との接続という意味でも有望である。

一方で，市民参加型の刺激収集には，さらなる倫理的配慮が求められる。不適切な刺激の混入，動物福祉への影響，刺激内容管理など，慎重な運用体制構築が必要となる。認知エンリッチメントは，単に刺激を増やすこと自体を目的とするものではなく，動物福祉向上という目的のもとで慎重に設計・運用されるべきものである。

6.2.4 刺激呈示デバイスの改善と市民への開放

第 4 に，刺激呈示デバイスそのものの改善と，それを通じた市民参加型展示への展開可能性である。本研究では，単一のディスプレイを用い，刺激を継時的に呈示する方法を採用した。しかし，将来的には複数の刺激呈示装置を用いた選択課題へ発展できる可能性がある。例えば，2 つのディスプレイへ異なる種類の刺激を同時呈示し，「何を見るか」ではなく，「どちらを選ぶか」という状況を構成することで，より感度の高い選好評価が可能になると考えられる。

さらに，こうした技術は市民参加型展示への発展可能性も有している。例えば，来園者自身が異なるジャンルの刺激を 2 つのディスプレイへ呈示し，ゴリラがどちらをより注視したか，どちら側へより長く滞在したかを映像解析によって評価するシステムなどが考えられる。同時に，刺激を操作した来園者自身にも結果を予測してもらうことで，動物理解や認知研究理解につながる教育展示としての活用も期待できる。これは，動物園を単なる観覧施設ではなく，「動物をめぐる学術の場」と位置づける千葉市動物公園の理念とも整合する。

一方，こうした市民参加型展示には倫理的課題も存在する。近年，動物園動物に対して来園者

がスマートフォン等を用いて動画を呈示する行為については，動物福祉の観点から懸念や批判も指摘されている。そのため，仮に市民参加型刺激呈示を導入する場合には，

- 使用可能な刺激は園側が準備した素材（や，市民応募の画像の場合は事前に審査されたもの）に限定すること
- 実施時間を限定すること
- 常時係員による監督下で実施すること
- 動物福祉上の観点から継続的評価を行うこと

など，慎重な運用設計が必要となる。適切な管理のもとで実施されるならば，こうした取組は，認知エンリッチメント，研究，教育普及活動を統合する新たな動物園展示の可能性を開くものと期待される。

6.2.5 動物福祉指標との統合的評価

第 5 に，認知エンリッチメント効果を動物福祉指標と統合して評価することである。本研究では，画像選好や感覚性強化の成立可能性を通して，認知エンリッチメントとしての有効性を検討した。しかし，認知エンリッチメントが実際に動物福祉向上へ寄与したかについては，刺激選好や注視行動のみから判断することは難しい。

比較認知科学では，安易な擬人的解釈を避け，客観的な指標にもとづいて評価することを重視する。本研究においても，「好んで見ていた」「楽しんでいた」といった主観的解釈だけではなく，福祉状態そのものの改善を示す客観的指標を併せて検討する必要がある。

まず，生理学的指標の導入である。例えば，尿や唾液を用いたストレス関連指標の継続的測定を組み合わせることで，刺激呈示が個体へ与える影響をより客観的に評価できる可能性がある。特に，コルチゾールなどの糖質コルチコイド関連指標は，動物園動物の福祉評価において広く利用されてきた。唾液中コルチゾールは比較的短時間の生理状態変化を反映しうる一方，尿中指標は一定期間のストレス状態を統合的に反映する可能性がある。また，尿採取は大型類人猿において比較的非侵襲的に実施しやすく，日常的な健康管理との併用可能性も期待できる。ただし，生理指標の解釈には慎重さも必要である。例えば，糖質コルチコイド関連指標の上昇は必ずしも負の状態のみを意味するわけではなく，新奇刺激への興味や活動増加に伴って一時的に変化する可能性もある。そのため，生理指標単独ではなく，常同行動頻度，探索行動，外部刺激への反応性，行動多様性，健康状態など，複数の福祉指標と統合的に評価することが重要となる。

将来的には，定期的な健康診断との連携も考えられる。認知エンリッチメント導入前後における健康状態や生理状態の変化を継続的に追跡することで，刺激呈示が長期的な福祉向上へどのように寄与するかを検討できる可能性がある。

さらに，行動指標も重要である。動物福祉研究では，常同行動（stereotypic behavior）の頻度は重要な福祉評価指標の 1 つとされる。認知エンリッチメント導入によって常同行動が減少するか，あるいは外部刺激への反応性や行動の多様性が変化するかを継続的に評価することも重要となる。加えて，休息行動，探索行動，社会的行動など，日常的な行動レパートリー全体の変化を包括的に評価することで，認知エンリッチメントが個体の生活全体へどのような影響を及ぼすかを検討できる可能性がある。

認知エンリッチメント研究は，単に刺激選好を明らかにすることを目的とするものではない。最終的には，動物の心理的健康や生活の質向上へつながるかを検証することが重要である。今後は，認知指標，行動指標，生理指標，健康指標を統合した多面的評価を進めることで，認知エンリッチメントの有効性をより総合的に検証していく必要がある。

6.3 千葉市への政策提言

本研究では，ゴリラを対象として，認知エンリッチメントの実現を目指し，画像選好，感覚性強化，映像解析技術を組み合わせた認知研究を実施した。その結果，認知科学，情報技術，動物福祉を統合した新たな研究・展示手法の可能性が示された。

これらの成果を踏まえ，千葉市に対して以下のように提言したい。

1. 認知エンリッチメントを動物福祉施策へ体系的に位置づけること

認知エンリッチメントは，単に動物を活動的にすることを目的とするものではなく，主体的行動の促進, 心理的健康の維持, 行動多様性の確保を通じて動物福祉向上へ寄与する可能性を持つ。一方で，刺激呈示そのものが必ずしも福祉向上を意味するとは限らず，刺激内容や呈示方法には慎重な検討が必要である。物理的飼育環境整備と認知エンリッチメントを両輪として位置づけ，科学的知見にもとづく福祉施策を継続的に推進することが望まれる。

千葉市動物公園では，既に植樹等を通じた環境エンリッチメントが実践されている。こうした取組は経験的にも有効性が期待されるものであるが，本研究では自然環境に関連した刺激がゴリラの注意を引き，主体的な関与を促す可能性が示された。後付けではあるものの，本研究成果は，既存の環境エンリッチメント施策に対して学術的根拠を与えるものとも位置づけられる。環境エンリッチメントについても，経験則だけではなく，比較認知科学や行動データに基づく科学的評価を進めることが望まれる。

また，行動指標のみならず，健康状態，常同行動，探索行動，外部刺激への反応性，さらに尿や唾液等を用いた非侵襲的な生理指標など，多面的な福祉評価指標を組み合わせた評価体制構築も重要である。

2. 大学等との連携を通じた学術研究基盤を継続的に整備すること

本研究では，比較認知科学，画像解析技術，情報工学を組み合わせた学際的研究を実施した。認知エンリッチメント研究を継続的に発展させるためには，大学，各種学校，研究機関との共同研究体制を継続的に整備することが重要である。特に，行動測定自動化技術，映像解析技術，刺激呈示装置開発などは，単年度研究のみでは十分な発展が難しい。長期的視点で研究基盤整備を進めることが求められる。

3. 認知研究と情報技術を活用した次世代型展示環境整備を推進すること

本研究では，注視反応の自動検出や画像呈示制御技術構築に向けた基盤を構築した。今後は，主体的反応を取得する入力装置開発，映像解析技術高度化，刺激呈示システム改善などを進める

ことで，認知研究と展示を統合した新たな動物園展示の可能性が期待される。

一方で，刺激呈示に際しては，倫理面への配慮を十分行う必要がある。刺激内容，呈示時間，刺激強度などについて継続的評価を行い，動物福祉を最優先とした運用体制整備が求められる。

4. 研究成果の他個体・他種への展開を推進すること

本研究で構築した方法論は，今回対象とした個体のみならず，他のゴリラ個体への応用可能性を有している。また，大型類人猿のみならず，他の霊長類や，さらに多様な展示動物への展開可能性も期待される。認知エンリッチメントは，動物種ごとの認知特性や生態的特性に応じて設計する必要があるが，刺激選好評価，感覚性強化，映像解析を組み合わせた本研究の枠組みは，広範な動物種へ応用しうる基盤技術となる可能性を持つ。千葉市動物公園が，種を超えた認知研究・動物福祉研究の拠点として機能することも期待される。

5.「千葉モデル」として全国への発信を進めること

本研究は，比較認知科学，情報技術，動物福祉，教育普及活動を横断的に統合した取組であった。また，市民参加型展示や教育普及活動への展開可能性も示された。動物園を単なる観覧施設ではなく,「動物をめぐる学術の場」と位置づけ，研究成果を教育や展示へ還元する取組は，千葉市動物公園が進めてきた「アカデミア・アニマリウム」の理念とも整合する。今後，本研究成果を体系化し，動物福祉，認知研究，情報技術，教育普及活動を統合した動物園運営モデルとして発信することで,「千葉モデル」として全国の動物園や研究機関へ展開できる可能性がある。認知科学を基盤として動物福祉向上と教育的価値向上を同時に実現する取組は，これからの動物園の社会的役割を考える上でも重要な先導的事例となることが期待される。