

Title	アザラシの認知過程の分析に基づく情報端末とのコミュニケーションデザイン
Sub Title	Communication design between seals and information terminals based on analysis of cognitive process
Author	木田, 勇輝(Kida, Yūki) 小木, 哲朗(Ogi, Tetsurō)
Publisher	慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科
Publication year	2020
Jtitle	
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	修士学位論文. 2020年度システムエンジニアリング学 第320号
Genre	Thesis or Dissertation
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO40002001-00002020-0030

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

修士論文

2020 年度

アザラシの認知過程の分析に基づく
情報端末とのコミュニケーションデザイン

木田 勇輝

(学籍番号：81933173)

指導教員 小木哲朗

2021 年 3 月

慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科

システムデザイン・マネジメント専攻

Communication Design
Between Seals and Information Terminals
Based on Analysis of Cognitive Process

Yuki Kida

(Student ID Number : 81933173)

Supervisor Tetsuro Ogi

March 2021

Graduate School of System Design and Management,
Keio University
Major in System Design and Management

論 文 要 旨

学籍番号	81933173	氏 名	木田 勇輝
論 文 題 目： アザラシの認知過程の分析に基づく情報端末とのコミュニケーションデザイン			
(内容の要旨) 水族館は、水生生物の展示、娯楽の提供だけではなく、研究、個体の維持・繁殖など多様な役割を果たしている。そのため、職員の業務は多岐にわたり、慢性的に人手が不足する傾向にある。特に、アザラシやイルカといった高い知能をもつ海生哺乳類の飼育においては、トレーナー個人の豊富な経験、海生哺乳類との信頼関係の構築を必要とするため、人員の急激な増員は困難な状況にある。そこで、アザラシに対して情報端末を用いて円滑なコミュニケーションを行うことで、少人数での飼育業務の実現を目指した。そのため、本研究では、ゴマフアザラシを対象に、情報端末によるデジタル映像の認知能力の解明を目的とした。具体的には、段階的に、飼育で用いられる識別マークの形状を紙パネル上に印刷したアナログ図形の識別・学習、および情報端末上のデジタル図形の識別・学習を行った。それにより、実物の形状、紙パネル上の図形、情報端末上の映像での対応関係及び認知過程を評価した。 その結果、簡単な図形であれば識別は可能であり、飼育で使用されている識別マークの形状とパネル上の図形及び、情報端末上の図形映像を同一視できることが示唆された。一方で、スタンドで固定し置かれただけのタブレット上にリモート操作で図形を提示されても、タブレットには注目しないため、いきなり提示図形を識別することは困難であった。そのため、何らかの方法で提示情報に注目させる工夫が必要であることが分かった。トレーナーによりヒントを与えて注目させると、リモート操作で図形の識別は可能となり、学習すれば、ヒントなしでの識別も可能となることが示唆された。現時点では、情報端末に注目させるためのヒントを必要とするが、「自分の認識するマークを識別してください」というトレーナーの意図を、情報端末上の図形で伝えられたと言える。また、水族館以外の遠隔地から水族館のアザラシへ図形を提示する識別実験により、将来的な遠隔地からの飼育支援やコミュニケーションの可能性を見出した。			
キーワード (5 語) アザラシ、コミュニケーション、認知能力、インタラクション、 インターフェースデザイン			

SUMMARY OF MASTER'S DISSERTATION

Student Identification Number	81933173	Name	Yuki Kida
Title Communication Design Between Seals and Information Terminals Based on Analysis of Cognitive Process			
Abstract Aquariums play a variety of roles, such as research, maintenance and breeding of individuals, in addition to exhibiting and providing entertainment for aquatic life. As a result, the duties of aquarium staff are diverse, and they tend to be chronically understaffed. In particular, the breeding of highly intelligent marine mammals, such as seals and dolphins, requires a wealth of experience on the part of individual trainers and the building of trusting relationships with marine mammals. In this study, we aimed to realize the breeding of seals with a small number of trainers by using information terminals for smooth communication with the seals. For this purpose, this study aimed to elucidate the cognitive ability of digital images using information terminals in spotted seals. Specifically, in a step-by-step manner, the animals learned to identify analog shapes printed on paper panels, and learned to identify digital shapes on an information terminal. We evaluated the correspondence and cognitive processes among the actual shape, the shape on the paper panel, and the image on the information terminal. As a result, it was suggested that the children could identify the shapes of the identification marks used in rearing, the shapes on the panel, and the images on the information terminal. On the other hand, it was difficult to identify the presented figure when the figure was presented by remote control on a tablet fixed with a stand, because the animals did not pay attention to the tablet. Therefore, it was found that it was necessary to devise some way to draw attention to the presented information. When the trainer gave hints to the participants, they were able to identify the figures by remote control. At this point, we need a hint to make them pay attention to the information terminal, but we can say that we were able to convey the trainer's intention, "Please identify the marks that you recognize," with the figures on the information terminal. In addition, through identification experiments in which figures were presented to seals in the aquarium from remote locations other than the aquarium, the possibility of future breeding support and communication from remote locations was discovered.			
Key Word(5 words) seal, communication, cognitive ability, interaction and interface design			

目次

第1章	序論	1
1.1	研究の背景と目的	2
1.2	アザラシの概要	4
1.3	アザラシの飼育環境	6
1.3.1	水族館の概要	6
1.3.2	水族館とアザラシ	8
1.4	関連研究の動向	11
第2章	コミュニケーションシステム設計	13
2.1	概要	14
2.2	アザラシのコミュニケーションおよび認知能力	14
2.3	水族館でのアザラシ飼育におけるコミュニケーションの活用	16
2.4	コミュニケーションのための情報端末の活用	19
2.5	プロトタイプ設計	24
第3章	検証実験	28
3.1	概要	29
3.2	実験条件	29
3.2.1	被験体	29
3.2.2	実験環境	32
3.3	実験装置	35
3.4	実験1 パネルによる図形の提示実験	39
3.4.1	目的	39
3.4.2	実験方法	39
3.4.3	実験結果	42
3.5	実験2 手持ちでのタブレットによる提示実験	46
3.5.1	目的	46
3.5.2	実験方法	46
3.5.3	実験結果	48
3.6	実験3 リモート操作による提示実験	51
3.6.1	目的	51
3.6.2	実験方法	51
3.6.3	実験結果	53

3.7	実験 4 遠隔地からのリモート操作実験	61
3.7.1	目的.....	61
3.7.2	実験方法.....	61
3.7.3	実験結果.....	64
第 4 章	考察および展望	66
4.1	概要	67
4.2	トレーナーへのインタビュー	67
4.3	アザラシの認知過程.....	68
4.4	情報端末活用の可能性	71
第 5 章	結論	74
	謝辞.....	76
	参考文献	78
	外部発表	84
	付録.....	86

第1章

序論

1.1 研究の背景と目的

アザラシは、海洋、一部淡水に生息する全身毛皮に覆われた肉食性の哺乳類であり、多くの水族館で目にすることができる。水族館においてアザラシは、トレーナーとコミュニケーションをとりながら、パフォーマンスを行う他、水族館の来館者とのふれあいイベント等を行い、その愛くるしい外観から、人々の関心を集めてきた（図1）。

一方で水族館は、水生生物の展示、娯楽の提供だけではなく、研究、個体の維持・繁殖など多様な役割を果たしている（楠他，2009）。そのため、職員の業務は多岐にわたり、慢性的に人手が不足する傾向にある。特に、アザラシやイルカといった高い知能をもつ海生哺乳類の飼育においては、トレーナー個人の豊富な経験、海生哺乳類との信頼関係の構築を必要とするため、人員の急激な増員は困難な状況にある。アザラシの飼育におけるコミュニケーションには、トレーナーによるハンドサインが用いられている。アザラシは非常に警戒心の強い動物であり、信頼関係が構築された上で、ハンドサインを提示し、コミュニケーションを行う必要がある。そのため、ハンドサインを用いたアザラシとのコミュニケーションは、トレーナー個人の経験に依存しなければならない部分もある。



図1 アザラシとのふれあいイベントの様子

そこで、トレーナーと海生哺乳類との間に情報端末を介在し、飼育に必要なコミュニケーションを行うことで、飼育支援に役立てることを目指した。情報端末の活用は、情報の出力において、トレーナー個人の経験に依存せず、均一な出力情報を海生哺乳類へ提示することができる他、人と信頼関係の構築を必要としないという利点がある。また遠隔操作が可能であり、離れた位置から海生哺乳類へ指示及びコミュニケーションを行うなど、人の代替となるような飼育補助ができれば、飼育業務における少人数化や効率化が期待できる。

これまでに、イルカを対象とした基礎実験が行われ（栗田他，2017）、その結果、情報端末に提示された情報を、学習によってある程度理解できるようになることが示された。しかしながら、デジタル情報の認知過程に関しては、十分に明らかにはされていない。イルカの場合、急に情報端末上でハンドサインの画像を提示しても、それが実際のトレーナーのハンドサインと同一視出来ていない可能性があると考えられ、実物のモノとデジタル映像の視覚的な認知の解明が必要とされた。また、実際のトレーナーのハンドサインの複雑な手の動きや形が影響するため、同一視が難しく、ハンドサインの画像を学習することに時間を要するのではないかと考えられた。そのため、簡単な図形を使用した指示、コミュニケーションの方法を模索した。イルカその他、水族館で飼育される海生哺乳類のうち、アザラシの学習能力も報告されており（Scholtyssek et al., 2015）、アザラシの飼育業務においても、情報端末を活用してコミュニケーションを行うことができると期待される。アザラシは普段の生活の中で、水面から顔を出し、視覚で周囲の状況を確認するなどの行動がみられ、陸上で情報端末を活用するにあたっては、水中に特化した生活をしているイルカよりも相性がいいと言える。

そこで、本研究では、アザラシを対象に情報端末を用いて、コミュニケーションを行うことで、少人数での飼育業務の実現を目指し、情報端末によるデジタル映像の認知能力の解明を目的とした。具体的には、段階を踏んだ、紙パネル上のアナログ図形の識別学習、および情報端末上のデジタル図形の識別学習の実験を行い、アザラシのデジタル情報に対する認知能力の評価を目的とした。

アザラシと人との社会生活での関係においては、近年、北海道周辺で野生のアザラシによる深刻な漁業被害なども挙げられているが（増渕他，2017）、飼育アザラシに関しては人との良好な関係を構築することが可能であり、アザラシとのコミュニケーション及び、インタラクションに関する研究は、重要な研究課題と言える。

1.2 アザラシの概要

広義の海生哺乳類には、イルカやクジラといった鯨類（げいるい）、草食性であるジュゴンなどの海牛類（かいぎゅうい）、ラッコなど一部の裂脚類（れっきゃくい）、そして鰭脚類（ききゃくい）が含まれる。アザラシ（図2）は、鰭脚類に含まれる。鰭脚類とは、進化の過程で、四肢が鰭（ひれ）状に変化した動物であり、分類上は肉食目に属し、アザラシ科（14属19種）、アシカ科（7属15種）、セイウチ科（1属1科）に分けられる（Committee on Taxonomy, 2019）。アザラシ科、アシカ科、セイウチ科において、人の視覚で確認できる体の形態としては、アシカ科には円錐状の耳介が存在し、アザラシ科、セイウチ科に存在しないという特徴がある。その他に、アザラシ科とアシカ科、セイウチ科を見分ける体の形態の違いの一つに前肢がある。アザラシ科の上腕骨は短く体に埋もれているため、非常に前肢が短く、一方でアシカ科、セイウチ科の前肢は長いという特徴があり、例えば、アザラシ科の前肢は、人間における手首にあたり、アシカ科の前肢は、人間における前腕部から手首にあたる（和田他, 1999）。そのため、アザラシ科は、前肢を使い立つことができず、イモムシのような動作で匍匐前進するように移動するが、アシカ科、セイウチ科は、前肢を使って上半身を地面から起こして立つことができ、前肢・後肢で移動することができる。

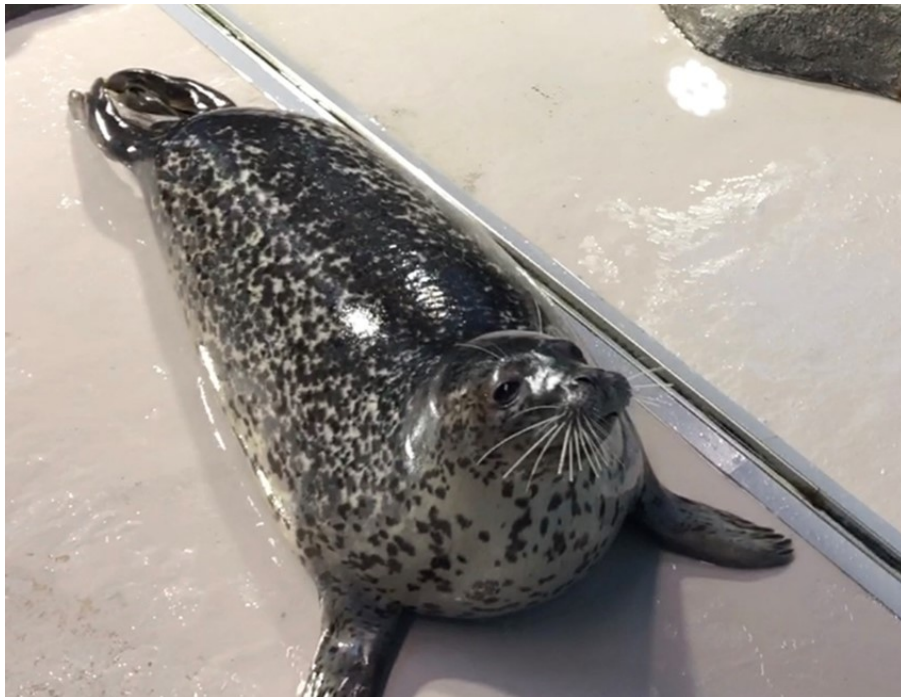


図2 アザラシ（ゴマフアザラシ）

水中での前肢・後肢の運動について、アザラシ科は、前肢を方向決めの舵として使い、後肢を魚類のように左右水平に動かすことで推進する。対比的に、アシカ科は、前肢を鳥類が羽ばたくように動かして推進し、後肢を舵取りの役割として使う（福岡他，2015）。鰭脚類は、水中と陸上の両方で生活しているが、陸上で移動するには、アシカ科の方が四肢の構造的に優れているが、水中における潜水能力はアザラシ科の方が優れていると言える。アザラシ科のミナミゾウアザラシにおいては、最大水深 2388m 潜水し（Costa et al., 2010）、最大 120 分潜水した（Bennett et al., 2001）として記録が報告されている。

アザラシ科は、19 種と多く、北極海、南極海、北太平洋、北大西洋、温帯域、熱帯域、一部バイカル湖といった淡水など、世界中の海や淡水などの水域に生息している。食性は、肉食性で主に魚類、甲殻類、イカ類など水生生物を広く捕食する。アザラシの体は、毛皮でおおわれる他、厚い皮下脂肪によって、水中で体温が奪われないような、体のつくりになっており、寒冷地でも生活できる。寿命に関しては、種類によって、異なるがおよそ 30 年から 40 年程度とされている。

日本近海に分布する鰭脚類は、アザラシ科 5 種、アシカ科 3 種とされ、このうち、アザラシ科 5 種は、主に北海道周辺に分布し、アゴヒゲアザラシ、クラカケアザラシ、ゴマフアザラシ、ゼニガタアザラシ、ワモンアザラシがあげられる（服部，2020）。これらのアザラシは、それぞれ繁殖方法が異なり、陸上で繁殖する種と氷上で繁殖する種が存在する。北海道周辺に生息するアザラシ類の中では、ゼニガタアザラシのみが岩礁などの陸上で繁殖を行う。その他 4 種は氷上で、出産し子育てをするため、流水気期にオホーツク海周辺から北海道周辺まで、流水と一緒に南下してくる。

日本において、アザラシはまれに本州の海に迷入することもある。2002 年にメディアの報道等で注目を浴びた、関東地方の多摩川にて出現したアザラシの「タマちゃん」は、アゴヒゲアザラシにあたる。アゴヒゲアザラシは、北半球に生息する最大のアザラシで、新生児は体長約 130cm 程度、体重約 30 kg 程度であり、成獣では体長約 230cm 程度、体重約 230 kg 程度まで成長する（和田，1999）。体色は、斑紋はなく淡灰色から暗褐色である。アゴヒゲアザラシという名前の通り上唇には、他のアザラシと比べ、白く長いひげ（触毛）が、多数生えている。アゴヒゲアザラシは通常、北海道周辺からベーリング海および海オホーツク海周辺に生息するが、まれに南下することがあり、日本沿岸に迷入したとされる。その他、北海道周辺などで見られる、アザラシは体の模様や色、大きさで識別で

きる。

日本での人とアザラシとの関わりにおいて、アザラシは、北海道開拓以前から捕獲され利用されてきた歴史があり、主に 1980 年代ごろまで、食料、脂による燃料、革製品として、商業的に利用されてきた。現在、日本近海のアザラシの捕獲は、「鳥獣の保護及び管理並びに狩猟の適正化に関する法律（鳥獣保護法）」により管理されている。これまでの調査では、北海道に分布するゼニガタアザラシは、1940 年ごろ 1,500 頭程度生息していたとされ、1980 年代には 350 頭程度まで減少したが、2004 年には 900 頭程度が確認され、個体数の増加が報告されている(小林他, 2007)。また、ゴマフアザラシにおいても 1990 年代後半以降、北海道日本海側での来遊個体数が増加している(加藤他, 2016)。近年、商業的なアザラシの利用がなくなり、アザラシの個体数が回復傾向にある一方で、アザラシによる深刻な漁業被害が問題となっている。野生のアザラシは、漁業関係者の間でサケなどの魚や定置網内を荒らす「海の害獣」と呼ばれ厄介な存在でもある。そのため、北海道では、「北海道アザラシ管理計画」として、有害捕獲が実施されている現状がある。特に、アザラシが魚の頭部など一部を食いちぎる「トッカリ食い」という、魚の商品価値をなくす食害が多く報告されている。捕獲法の工夫など対策が行われているが(小林他, 2011)、今後も人間とアザラシの共存が求められている。

1.3 アザラシの飼育環境

1.3.1 水族館の概要

世界初の水族館は、1853 年イギリス・ロンドン動物園内に創設された Fish House であると言われている(田中, 2005)。展示内容は、小さな水槽に水生生物を入れ展示するだけのシンプルなものであったとされ、徐々に循環ろ過装置なども導入され水質が保てるようになっていった(杉田, 2014)。これ以降、水族館はイギリス以外にヨーロッパに広く設立される他、アメリカでは、1876 年にニューヨークに初めて淡水水族館ができた(鈴木他, 2010)。日本初の水族館は、1882 年上野動物園内にできた「勸魚室(うおのぞき)」とされている(杉田, 2014)。そして 1980 年代以降に、大型水槽の展示が注目されるようになり日本各地に大型水族館が開園していった(河内, 2010)。その後、現在に至るまで水族館は、自然環境や時代の変化とともに施設・設備等が進化し、それに伴って役割も

多様で複雑化している。現在、水族館は、博物館法が定める博物館に属すとされる（土居，2017）。水族館は、その他の博物館、美術館、動物園と比べ、建造費などの初期費用および維持費用、運転費用などが非常に高く、公営・民間ともに経営の安定を考慮しつつ、社会的役割を果たさなければならない（田中，2005）。そのため、水族館の収益となる入館料は比較的高く設定されている。

日本動物園水族館協会（JAZA）は、水族館の社会的役割を「レクリエーション」、「教育・環境教育」、「種の保全」、「調査・研究」の4つとしている。日本動物園水族館協会という組織は、動物園・水族館において、組織的に生物の飼育に関する技術・知見を収集し、学術的な発展を目的として創設された。水族館は、水生生物を飼育展示し、水族館の来館者を楽しませるなど、レクリエーションとしての役割において、来館や様々なメディアを通して周知されている。また、レクリエーションとしての展示方法やイベントなどの工夫による来館者の増加は、水族館の運営、飼育、繁殖、研究などを支える経営的な側面において非常に重要な要因となる。一方、教育という役割においても、近年の海洋汚染、絶滅危惧種の増加などにより、特に必要とされている。水族館では、日常生活では、目見することが出来ない様々な水生生物の生態、行動を、生息している環境を含め再現し、理解を深める機会を提供している。娯楽目的で訪れた来館者に対しても、自然環境や生物との共生に関する課題を意識させ、啓発するような展示、ショー、イベントなど工夫も行われる。そして、水族館における種の保存、調査・研究は、自然保護において非常に大きく貢献している。例えば、絶滅の危機にある水生生物は、自然保護区や水族館などで、緊急に絶滅を回避するため、飼育しながら繁殖させ種の保存が行われる。しかしながら、緊急的に保護が行われた場合でも、その動物の知見の蓄積がなければ、飼育・繁殖は難しく、種の保存は失敗に終わる可能性がある。したがって、その動物を理解するにあたり、日頃の「調査・研究」による、生態、行動、飼育に関する知見の蓄積が必要不可欠となる。また、その様子を展示することで、教育活動、レクリエーション活動へつながる。このように、それぞれの4つの役割が単独に行われるのではなく、相互に果たされることで、水族館は理想的に機能する。

1.3.2 水族館とアザラシ

水族館のアザラシは、ショーなどでパフォーマンスを行うが、強制して行っているわけではなく、遊びの一環として野生で見られる行動やアザラシが持っている能力、動作を条件づけて引き出している。飼育下のアザラシにおいては、外敵から襲われる心配がない一方で、刺激を得る機会が減るため、ショーなどの刺激で運動量を増やすことは健康管理上非常に重要とされる。また、水族館での飼育活動やショーなどから得られる、アザラシの行動、生態、認知能力等の知見は、アザラシを理解し種の保存を行う上で非常に重要なものとなる。

水族館での動物の飼育では、刺激の少ない飼育環境において刺激を与え、動物の心理学的幸福の向上をはかり、飼育環境やショーで何等かの工夫が施される、環境エンリッチメントという施策が行われることが多い。野生で行う遊びや行動を考慮し、飼育環境に道具や人工物を与えたり、パフォーマンスを行ったりすることで、動物の動作や行動の幅が広がり、野生で生活するような様々な行動を誘発することが出来る。水族館でのアザラシにおいて、遊び道具で遊ぶことや、トレーナーとパフォーマンスを行うことは、大切な生活の一部になる。

アザラシを含む水族館で飼育される動物の調教は、基本的に「オペラント条件づけ」という方法で行う。オペラント条件は、動物に対して、望まれる行動を取った場合には報酬を与え、望まない行動を取った場合には報酬を与えないようにし、行動・動作を動機づける方法である。動機づけをする最も良い報酬は、魚などの餌を報酬として与えることである(図 3(a))。動物が望まれる行動を行った時に、報酬として魚を与えることで、その行動は正しいと動物に認識させる。水族館では、アザラシやイルカに対しての報酬として、魚だけでなくホイッスルも用いる(図 3(b))。ホイッスルは、市販されている犬のしつけに用いられる犬笛と同じものが使用されることが多い。ホイッスルの音刺激は、報酬として魚と一緒に与えることを繰り返すことで、魚と同じ報酬として認識される(図 4)。つまり、ホイッスルの音が、その行動は正しいという動物への合図となる。したがって、トレーナーは、餌を与えられる距離でない遠い位置にいる場合でも、アザラシへホイッスルで合図を伝えることができる。



(a) アザラシに与える魚



(b) ホイッスル

図 3 オペラント条件で用いられる報酬



図 4 魚とホイッスルを与える様子

アザラシの給餌は、アザラシの体調を考慮し、与える餌の量や時間帯が決められており、注意深く行われている。当然、アザラシは、人間のように言葉で体調が悪いことを表現できないため、摂餌の様子や行動は、アザラシの健康状態を把握する上で非常に重要な情報となる。健康診断の他、食べ残しやはき戻しなどが

ないかなど様子を日々細かく観察している。また、摂餌状況だけでなく、排泄物などからも個体の健康状態を把握し、給餌の内容を考える必要がある。水族館でのアザラシへ与える餌は、主に魚類で、シャモ、イワシ、ニシン、コマイ、オオナゴ、サンマなどである。与える魚によって、それぞれ、カロリーやタンパク質、脂質などの栄養素が異なるため、偏りのないように、複数を組み合わせて与えなければならない。また、餌となる魚の漁獲不良や価格の高騰で入手が困難となった場合に対応できるように、1種類に限定せず複数与えられる。アザラシ類の中には、警戒心や嗜好性が高く、餌の少しの変化で摂餌しなくなる場合があるため慎重に行われる。また、餌となる小型の魚は、寄生虫や雑菌が繁殖しやすいため、冷凍し保存し、解凍したものが与えられることが多い。

アザラシの飼育で使われている道具をもう一つ紹介する。図5(a)は、泳いでいるアザラシを呼び、トレーナーのもとへ引き寄せるためのコーリングとよばれる道具であり、新江ノ島水族館で用いられている。図5(a)より、本体の円筒部の中に重りが入っており、手で振るとカチカチと音が鳴る仕組みになっている。図5(b)のように、アザラシプールの水面で音を鳴らすことで、アザラシは水中の音刺激を聞き取り、トレーナーに気づき近づいてくる。この時、トレーナーが身につけている識別マーク(2.4章にて説明する)を識別してアザラシは近づいてくる。



(a) コーリング



(b) 使用中の様子

図5 アザラシを引き付けるための道具

1.4 関連研究の動向

アザラシの視覚の認知研究においては、平面上の形の違いを識別できることが示唆されている (Scholtyssek et al., 2013). この研究では、アザラシに対して、同じ形もしくは異なる形をモニター上に 2 つ並べて提示し、識別させるという実験であった。本研究では、情報端末上に情報を提示しアザラシとのコミュニケーションを目指しているが、これまでの研究では、現実のモノの形状と、それらが写された平面上の図およびデジタルの映像を同一視するといった認知は、不明な点がある。したがって、それらの対応関係や認知過程を調べ、コミュニケーションシステムの検討を行った。アザラシ以外に海生哺乳類としてはイルカにおいて、提示された画像やモノなどを複数のパネル上から選択させるなど識別実験が行われている (Mercado et al., 1999; 金野他, 2005)。また、シロイルカを対象にした実験では、円とだ円の識別がある程度できることが報告されている (村山他, 2001)。

人と動物とのインタラクションとしては、非言語的コミュニケーションなどの研究が行われ考察されている (鮫島, 2019)。人と人とのコミュニケーションは、おもに言語を用いられるが、言語以外の視線や表情、ジェスチャーなどの動作といった社会的シグナルからも多くの情報を得ているとされる。人と動物とのコミュニケーションでは、直接人の言語をコミュニケーション方法として理解できないため、社会的シグナルなどを用いた非言語コミュニケーションが必要とされ、鮫島は、馬、犬、猿という人と関わりのある 3 種の動物を対象に研究を行っている。その研究事例を挙げると、馬に対してディスプレイ上に、顔刺激 (笑いの表情、怒りの表情) を表示し、その後、音刺激 (褒めるトーン、叱るトーン) を与えた実験が行われた。馬は顔刺激の表情から声色を予想し、予想が違った場には行動に変化があったことが示唆されている。つまり、馬において、表情や声色などによる情動認知の可能性が報告されている。

人と動物とのコミュニケーションを行うことを目指し、情報技術を活用した様々な研究も行われている (Tian et al., 2014)。情報端末を活用した動物の研究として、オラウータンの例が報告されている (花塚他, 2015)。花塚らの研究では、オラウータンに対しての認知エンリッチメントツールとして、iPad を用いて実験を行い、指などを使いアプリケーションで点や線を描く行動などが確認されている。動物における、認知エンリッチメントとは、その動物がもともと備えている認知・知能を引き出し発揮する環境を創出することであり、オラウータンに

関して、iPad を用いた認知エンリッチメントは、有効であることが確認されたと報告されている。これらの研究から、知能が高い動物に対しての情報端末の活用は、その動物が備える認知・知能を発揮させる道具となりうる場合があることが分かる。

また、水族館での情報技術を活用した動物とのコミュニケーションの試みとして、下関市立しものせき水族館「海響館」と東海大学の村山らによって、“イルカが音で描くデジタルアート”として「Draw-phin」という展示が行われた。この展示は、イルカがコミュニケーションで発する音をコンピューターで識別・映像化し、図形として壁や床に出力する。つまり、イルカの発する音と連動した図形を出力することで、人が認知できる視覚情報として変換される展示であった。この展示は、将来的に図形を用いて人とコミュニケーションを行うなど、人と動物との非言語コミュニケーションの可能性を水族館で実装した一例である。

上述したように、様々な動物で、情報技術を活用した研究、非言語コミュニケーションや認知能力の研究などが行われているが、アザラシにおけるコミュニケーションはまだまだ不明な点が多い。アザラシのように水中と陸上で生活する動物のコミュニケーションや認知研究をするにあたり、イルカなど水中で生活する動物や、その他陸地で生活する動物などの研究と比較しながら検討を行うことが重要となる。

第2章

コミュニケーションシステム設計

2.1 概要

本章では、本研究で提案するコミュニケーションシステムの構想について解説する。情報端末を用いたアザラシとのコミュニケーションを行うにあたり、アザラシがどのようなコミュニケーションおよび認知能力を有しているかを概説、検討した上で、本研究で行う実験に用いたプロトタイプ的设计について述べる。

2.2 アザラシのコミュニケーションおよび認知能力

アザラシは、多くの時間を水中で生活するが、一部の生活を陸上で行う。そのため、海中生活に特化した鯨類（イルカ、クジラ等）や海牛類（ジュゴン等）と異なるコミュニケーションを行う場合がある。例えば、アザラシもエコロケーションを行うが、その他音声コミュニケーションなどは、繁殖において重要であり、発達し、種類によって水中、陸上などで行うなど多様化している。また、体を使ったコミュニケーションとして、野生のハイイロアザラシは、水の中で、拍手で何かの意思を伝えあっていることが報告された（David et al., 2020）。このアザラシが行う拍手は、オスがメスへの体力があることをアピールする他、別のオスを追い払うためであると考えられている。アザラシは、コミュニケーションを行う際、様々な認知・身体能力を使う。以下、アザラシのコミュニケーションに必要な認知・身体能力について説明する。

（1）視覚

アザラシの眼球は、非常に大きく、発達している。アザラシを含む鰭脚類は、目の構造として、網膜には、明るさを感じる桿状体があるものの、色を識別する錐状体がない（和田他, 1999）。したがって、色の識別としては、目の構造的には出来ていないと考えられている。また、行動実験などにより、色の識別が出来ていない可能性が示唆されている（Scholtyssek et al., 2015）。網膜の奥には、反射膜が存在するため、暗い夜の陸上や海中でも視覚から情報が得られるとされる、反射膜では、網膜に一度入った光を反射し再び桿状体へ入光させる、動物が、夜に目が光るのはこれが影響している。目の瞳孔は、スリット状で、角膜が円筒形に近い形になっているため、水中からいきなり陸上に出ても、受光調節が不要となる。

(2) 聴覚・音声コミュニケーション

アザラシの聴覚は、陸上と水中の両方で音を受信できるように発達している。陸上における、音声を受信するメカニズムは、陸上で生活する他の哺乳類と同様とされる。具体的に、音の振動があると、外耳道で集音され、中耳の鼓膜へ振動させる。耳小骨が鼓膜の振動を増幅し内耳の蝸牛に伝え電気信号として変換し、脳へ伝わることで音として認識される。水中においては、不明な点が多いが、近年の行動実験によりアザラシやアシカは、50~180kHz 程度の高周波な音を知覚できたと報告されている (Cunningham et al., 2016)。また、聴覚においては、陸上よりも水中のほうが感度は良いとされている。

また、アザラシは、メロディーや音を認識し発声するような音声学習も報告されている (Amanda et al., 2019)。陸上での発声メカニズムは、主に人と同じとされる。声帯を振動させ、声帯より上部の共鳴構造をかえることで音色を調整しながら、発声する。水中における発声は、発声する時に空気の泡が出ないことから、声帯以外の器官を用いて発声していると考えられている。

(3) 感覚

認知における重要な感覚器として、ひげ（触毛）がある。アザラシなど鰭脚類のひげは、毛根に知覚神経が集中し、感覚器として重要な役割を果たしている。そのため、水中では、魚等による微弱な振動や仲間の泳いだ水中の振動を感知できるとされる。このひげの感知能力により、たとえば、視覚の情報が制限されるなかで、ひげを利用し捕食などを行っていると考えられている。また、アザラシに対して、モニターを活用し時間感覚を調べた研究がある (Heinrich et al., 2016)。この研究では、モニター上に黒い背景に白い円を段階的に3秒から30秒で一回提示して消し、再び2回目を提示した。2回目の提示の方が長い場合は、一方ボタンを押し、同じ場合は、別のボタンを押すということを学習し、部分的に表示時間が短いときには、ミリ秒の単位で識別ができることが示唆されている。ただし、表示時間が長くなると、精度は低下した。

2.3 水族館でのアザラシ飼育におけるコミュニケーションの活用

水族館で飼育されるアザラシは、トレーナーのハンドサインにより、コミュニケーションを取りながら、パフォーマンスを行うことができる。例えば、新江ノ島水族館で飼育されるアザラシの場合は、トレーナーが両手の人差し指で、水槽と来館者を仕切るアクリルに向かって指をさすことによって、アザラシは、アクリルに向かって泳いで行き鼻を付け停止し、来館者に対してシャッターチャンスを作るというパフォーマンスができる（図 6）。その他、ジャンプや敬礼、手を振るなど複数パフォーマンスを行うことができる。アザラシは、視覚が優れているため、細かなハンドサインの違いを見分けることが可能であるとされる。そのため、ハンドサインは、アザラシの飼育およびコミュニケーションにおいて非常に重要で、同時にトレーナーは、豊富な経験と信頼関係の構築が必要となる。また、ハンドサインは、ショーにおけるパフォーマンスだけでなく、採決や体温測定といった健康診断を円滑に行うためにも用いられる。アザラシの健康診断を行う際にトレーナーは、ハンドサインを上手く活用することで、アザラシを無理に拘束せずに指定の位置に誘導し、待機させることができる。



図 6 水槽のアクリルをタッチし停止するパフォーマンス

特に健康診断中に、対象のアザラシ以外のアザラシを自由な状態にしてしまうと、健康診断中のアザラシのもとへ邪魔をしに行ってしまうことがある。その場合、例えば、1頭のアザラシに対して体温測定をしている間、別のアザラシが体温測定中のアザラシに近づき邪魔をしたとすると、アザラシが暴れたすなど非常に危険な状況になることが考えられる。

新江ノ島水族館の展示プールには現在、アザラシが3頭飼育されている。そのため、1頭のアザラシの体温測定を行う際は、別の2頭のアザラシに対してそれぞれ、トレーナー2名が1人1頭ずつ担当し、移動、待機、別の動作をさせるなどして、体温測定中のアザラシから遠ざける。また、体温測定を行うアザラシに関しては、1頭に2名以上が担当し、1名が測定を行い、その他のトレーナーが、コミュニケーションをとりながら、アザラシを体温測定できる位置や態勢に待機させる（図7）。このように、3頭のアザラシの飼育にあたって、多忙なスケジュールで人手が不足する業務の中で、3～6名程度トレーナーを必要としてしまう。



図7 アザラシの体温測定時のトレーナーの様子

アザラシの飼育では、毎日継続して業務を行うため、1人のトレーナーが休暇の時は、別のトレーナーが対応できるように、1頭のアザラシに対して複数のトレーナーが担当している。したがって、日付ごとにトレーナーが代わっても、アザラシの飼育業務を円滑に出来るように、共通したハンドサインが用いられる(図8)。ただし、ハンドサインは、アザラシと目を合わせて適切なタイミングで、提示しなければならないため、トレーナー個人の経験が必要となり、コミュニケーションを行えるまでには非常に時間を要する。また、アザラシは、イルカなど水族館で飼育される、その他の動物よりも、警戒心が非常に高く、同じ生き物である人間とのコミュニケーションにおいては、信頼関係の構築は重要な要因の一つとなる。したがって、ハンドサインを活用するにあたっては、信頼関係と経験が大きく影響し、人によってばらつきが出てしまう場合がある。第1章で上述したように、水族館は役割が多様化し、そこで働く職員の業務においては、人手が不足する傾向にあるため、出来るだけ、少人数で業務を行うことが求められる。しかしながら、飼育業務において、トレーナーの豊富な経験および飼育されているアザラシとの信頼関係が必要となり、急激な人員の増員は難しいという現状がある。

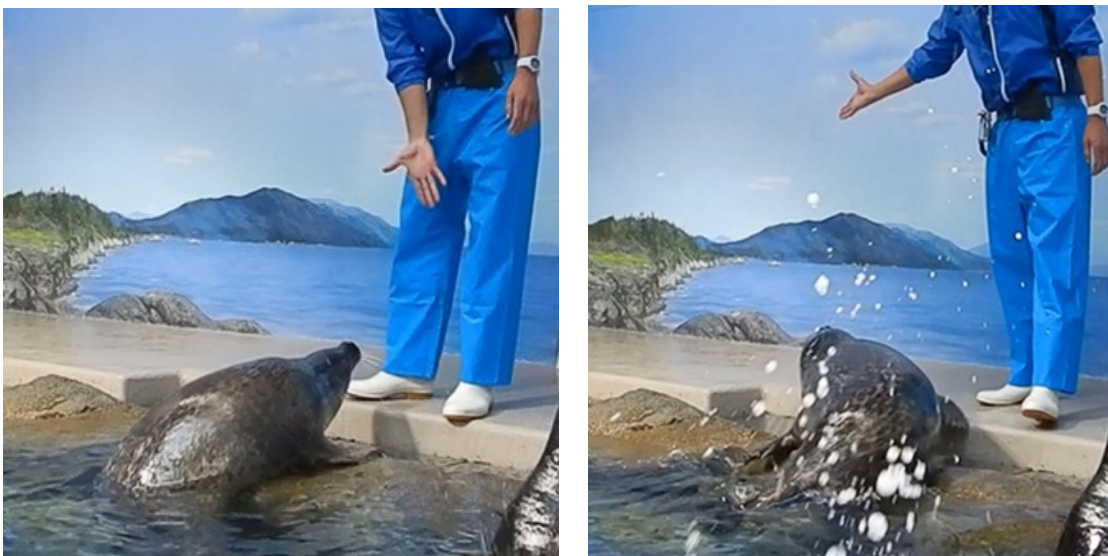


図8 ハンドサイによりアザラシを誘導する様子

2.4 コミュニケーションのための情報端末の活用

本研究では、情報端末を用いることにより、トレーナーの飼育業務を支援するコミュニケーションシステムを提案する。情報端末から、経験に依存しない、均一なサインをアザラシに提示し、コミュニケーションをとることで円滑に健康診断やトレーニングを行えるシステムを構想した。また、情報端末というモノを用いることで、人間とのコミュニケーション時に必要としていた信頼関係の構築に要する時間が軽減できると期待できる。

本コミュニケーションシステムの活用について、概説する前に、システムの設計に必要な前提条件について説明する。本研究では、新江ノ島水族館のゴマフアザラシ3頭（A：オス6歳，B：メス5歳，C：メス4歳）を対象とした。詳細な被験体の情報は、第3章で説明する。被験体のゴマフアザラシ3頭はそれぞれ、図9に示すような図形を自分への識別マークとして認識し、飼育に使われている。それぞれ、アザラシAが○，Bが+，Cが△を自分のマークとして識別している。識別マークは、○は直径約14cmの円，△は高さ約13cm，底辺約11cmの三角形，+は約14cm×約4.5cmの長方形を中心で2つ重ねた大きさである。裏面には、針金で作られたフックがあり、トレーナーの腰ベルトに装着することができる。トレーナーが図9の識別マークを腰のベルトに装着し、アザラシの飼育プールに近づくことで、アザラシは、自分の識別マークを装着したトレーナーのもとへ近づくことを学習している（図10）。普段トレーナーは、給餌やトレーニングの際に、この識別マークを用いて、対象とするアザラシを引き寄せ、誘導・待機させる。給餌やトレーニングを行うときには、3頭のアザラシに対して、それぞれ3人トレーナーが担当するが、この時アザラシは自分の識別マークを付けたトレーナーを3人の中から探し、見つけた場合、3頭のアザラシは、プールの中で泳ぎ場所を入れ替えながら、トレーナーのもとへ近づく。そして、アザラシは水面から顔を出し、陸上に立つトレーナーと対面する形で待機し、その後給餌、トレーニングを行う。基本的に、アザラシの給餌やトレーニングの場合は、図10のように、アザラシが水面から顔を出し、陸地に立つトレーナーと向かいあったニュートラルなポジションで行われる。このように、ポジションを決めることで、給餌・トレーニング時のアザラシ同士の喧嘩や接触を防ぐことができる。



図 9 識別図形マーク

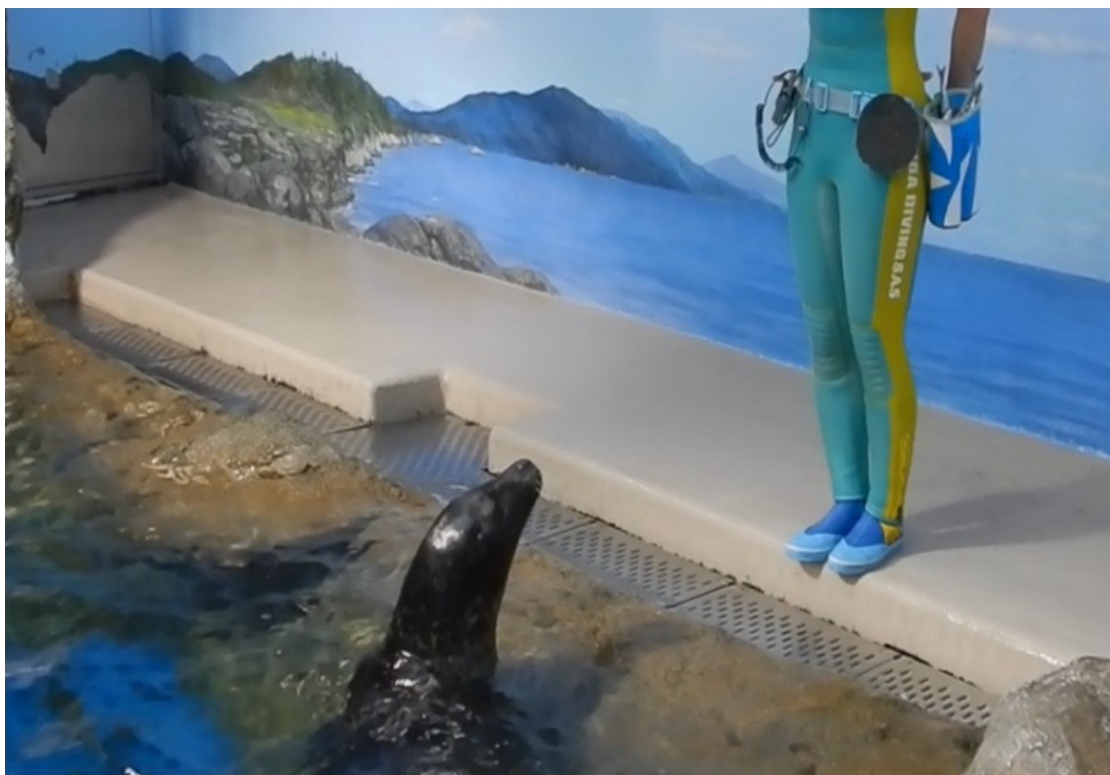


図 10 識別マークの装着

給餌やトレーニング以外に、現在、健康診断（体温測定、採血など）を行う場合は、アザラシ3頭に対して、4名以上のトレーナーを必要とする（図11）。アザラシ1頭の健康診断を行う時、その他のアザラシ2頭を自由にプールで泳がせておくことは、上述した通り、邪魔になり危険な状況へと発展する。そのため、健康診断中のアザラシの誘導や待機に工夫が必要となる。現在行われている方法は、図11のように、識別マークを付けたトレーナー3人が、それぞれアザラシA、B、Cを引きつけて誘導する。図11より、例えば、アザラシAの健康診断を行う際は、まず、○の識別マークを付けたトレーナーがアザラシAを誘導し、少し離れた位置に待機させる。同時に、+の識別マークを付けたトレーナーと△の識別マークを付けたトレーナー2名が、アザラシB、アザラシCを、間隔をあけた位置に誘導し、健康診断を行うアザラシAから遠ざけ待機させる。そして、アザラシAは○の識別マークを付けたトレーナーを含め、2名以上で健康診断を行う。

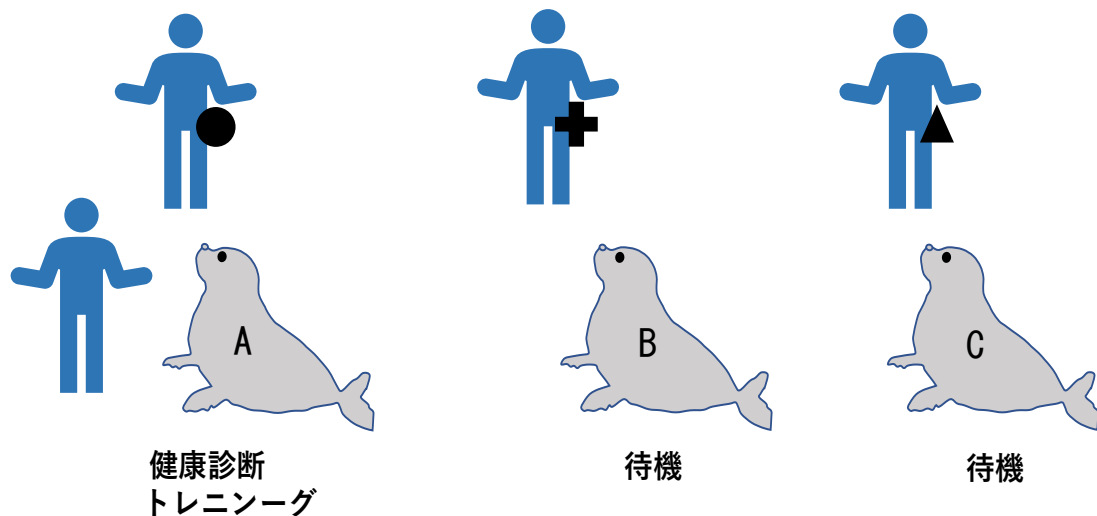
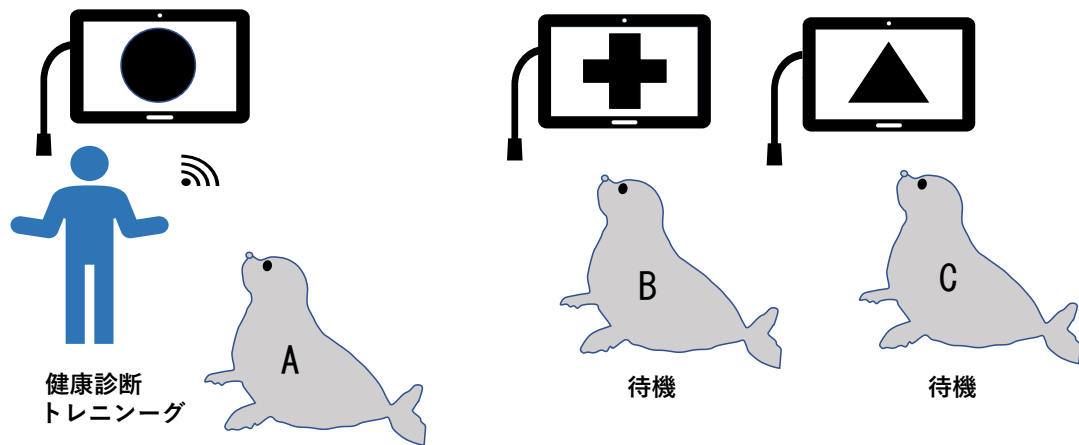


図 11 現在の健康診断時の誘導

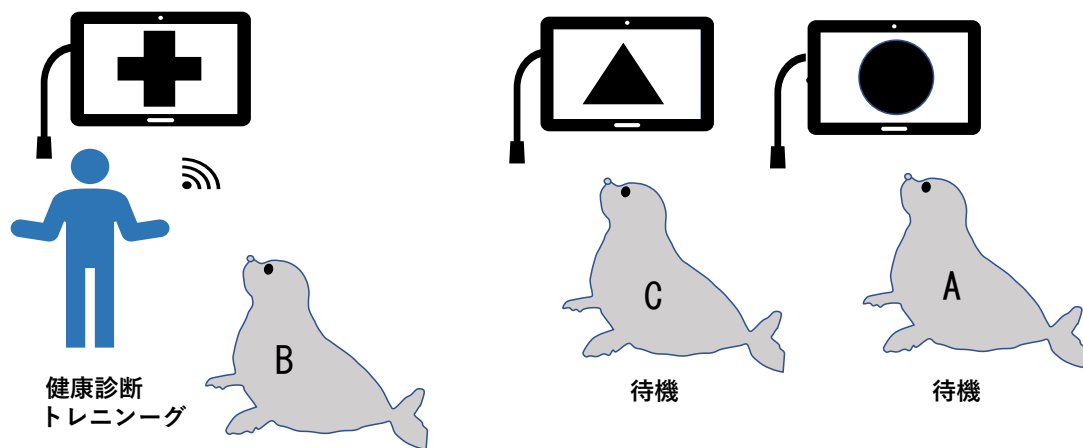
次に、本研究で提案する情報端末を活用したシステムの概要を説明する。本システムにおいては、上述したトレーナー3人で、アザラシを誘導し待機させていた行為を、人の代替として情報端末を用いることで、人員を減らすことを目指し設計した。情報端末を活用することによって、遠隔操作が可能となり、操作者1人でアザラシを少し離れた位置に誘導・待機できると期待できる。図12に情報端末の活用方法を示す。初めに、図12(a)のように、アザラシAの健康診断を行う場合を想定し説明する、まず、少し間隔をあけて設置した情報端末上に、3頭のアザラシがそれぞれ認識している識別マークを操作者の操作によって出力する。情報端末上の識別マークによって、3人のトレーナーが識別マークを付けてアザラシに近づかずに、アザラシを誘導・待機させる。ここで、アザラシAを健康診断する場合、図12(a)のように、操作者の近くの情報端末上にアザラシAの識別マークである○を提示する。その他、2頭のアザラシの識別マーク(+、△)の出力は、離れた位置に設置した情報端末上とし、待機させ、アザラシAの健康診断を行う。次に、アザラシAの健康診断が終了し、アザラシBの健康診断を行う(図12(b))。この場合も、アザラシAの健康診断時と同様に、3頭のアザラシがそれぞれ認識している識別マークを操作者の操作によって情報端末上に出力する。そして、図12(b)のように、アザラシBの健康診断のため、操作者の近くの情報端末上にアザラシBの識別マークである+を出力する。その他、2頭のアザラシの識別マーク(△、○)の出力は、離れた位置に設置した情報端末上とし、待機させ、アザラシBの健康診断を行う。図12(a)(b)のように、情報端末上の識別マークを切り替えることで、3頭のアザラシの位置を誘導し、待機させ少人数で円滑に健康診断ができると期待できる。このように、情報端末を活用する利点として、複数の提示情報を遠隔で容易に切り替えることが挙げられる。これまで、イルカなどその他の海生哺乳類で、パネルを用いて文字を提示するなど研究などが行われているが、アナログなパネルを切り替えるシステムとしては、機械的に複雑化で大掛かりな装置になると懸念される。その点、情報端末上でデジタル映像による出力の切り替えは、物理的制限がなく、比較的容易である。また、情報端末上を用いて、熟練したトレーナーから新人のトレーナーまで、均一な出力情報を出すことが利点あり、持続的な利用や応用の可能性がある。

本研究で提案するシステムは、ネットワークに接続すれば、アザラシのプールの情報端末上に、水族館外の遠隔地でもコミュニケーション及び指示が出来る

ことが想定できる。2020 年，新型コロナウイルスの流行により，リモートワークが増えるなど，生活様式が急激に変化している中で，情報端末の活用は，遠隔地からの飼育支援など今後の飼育業務の発展・貢献へ大きく期待できる。



(a) アザラシ A の健康診断時



(b) アザラシ B の健康診断時

図 12 情報端末を活用した健康診断の誘導

2.5 プロトタイプ設計

本研究における検証実験では、第2章で上述してきた、コミュニケーションシステムの実現にあたって、情報端上の出力情報におけるアザラシの認知を評価する。検証実験としては、2台の情報端末に出力される異なる図形（識別マーク）を切り替え提示し、アザラシに自分の識別マークを選ばせるというものである。詳細な検証実験については、第3章で説明するが、ここでは、実験に必要な、情報端末を活用したプロトタイプのシステムの設計について説明する。

本プロトタイプは、2台の情報端末の画面から同時に異なる図形（識別マーク）を出力することが要求された。したがって、webアプリケーションを作製し、1台の操作の情報端末で、2台の提示用の情報端末へ出力図形を提示し、切り替え制御を行う設計とした。この際、実験の条件を同じに揃えるため、何もない無印の画面から図形を出力するとした。したがって、まず、2台の情報端末上に白の画面を提示してから2画面同時に黒色で識別マークをアザラシへ提示するようなシステムに設計した。普段使用されているアザラシの識別マークの色は、黒であり、またアザラシは、2.2章で上述したように色の識別はできていないとされているため、出力情報の色は、白と黒とした。図形を提示する高さは、普段の飼育でトレーナーが腰に識別マークを付けている高さあるいは、手で提示する高さである、地面からおよそ60cmから1m程度として、2台を情報端末用のスタンドで固定することを決定した。

図13に、webアプリケーションによる、操作情報端末上の操作画面及び、図14に提示用情報端末情報上の画面遷移について示す。以下、具体的な、画面の設計、操作方法、制御、について説明する。まず、操作画面についてであるが、図13に示した操作画面は、アザラシA用の画面で、アザラシAは、○の識別マークを自分へのマークであると識別している。そのため、図13のように○が、全て入るような図形な4通り組み合わせが提示できるように画面上に提示ボタンを作製した。その他、アザラシB、アザラシCにおいても同様に、それぞれのアザラシが識別している図形（+、△）が含まれるように画面を作製した。なお、予備として、全部の図形の組み合わせ6通りが提示できる操作画面も用意した。操作画面の1, 2という数字は、提示用の情報端末の番号と対応しており、例えば、提示情報端末1は右、2は左のように位置を判断するための番号とした。画面の操作としては、図13(a)「白（無印）」のボタンを押せば、図14(a)のように提示用の情報端末1と2の2画面が同時に白の画面となる。次に、図

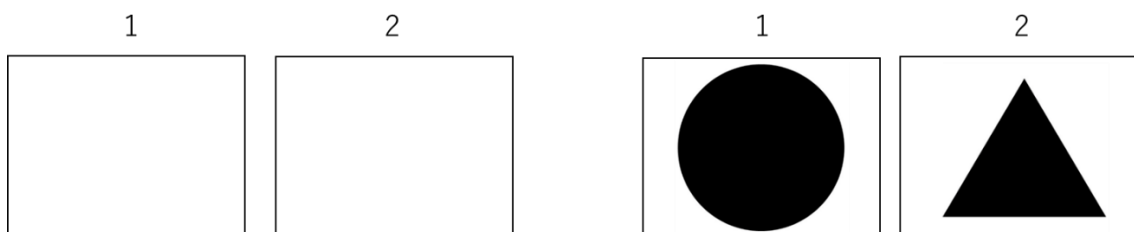
13 (b) のように、操作画面の「○, △」ボタンを押すと、図 14 (b) のように、情報端末 1 と情報端末 2 に操作画面の番号 1, 2 に対応して、2 画面に同時に図形が出力される。このようにして、操作用の情報端末を用いて、アザラシへ提示する図形を情報端末上で遷移させる。



(a) 白画面の提示

(b) 図形の提示

図 13 操作用情報端末での操作



(a) 白画面の提示

(b) 図形の提示

図 14 提示用情報端末での図形の提示

次に、web アプリケーションによる制御について、解説する。システムの通信は、操作用情報端末と提示用情報端末及びサーバをネットワークに接続し行う。サーバ内は、提示用の web アプリケーションの html ファイル 2 つ（提示用情報端末 1, 2 用）、操作用の web アプリケーションの html ファイル 1 つ、画像データ（白画面用画像、提示図形画像）、php プログラム（図形情報書き出し用）、dat ファイル（出力図形情報保存用、画像切り替え用）がある。それぞれのやり取りについて、図 15 に示す。まず、web ブラウザで、操作用情報端末及び、提示用情報端末にそれぞれ、web アプリケーションを開く。図 15 より、図形を提示する場合、操作画面の図形提示ボタンを押すと、操作用情報端末では、① http 通信で、出力図形情報をサーバへ送信する。出力図形情報がサーバへ送信されると、サーバ内では、② サーバ内の php プログラムにより、出力図形情報保存用の dat ファイルに情報を書き込み保存する。そして、提示用情報端末における、web アプリケーションは、③出力図形情報が書き込まれた dat ファイル及び、複数の異なる組み合わせの画像を切り替えるために、番号を画像に割り当てた情報を記述した dat ファイルを参照し、図形の出力を行う。

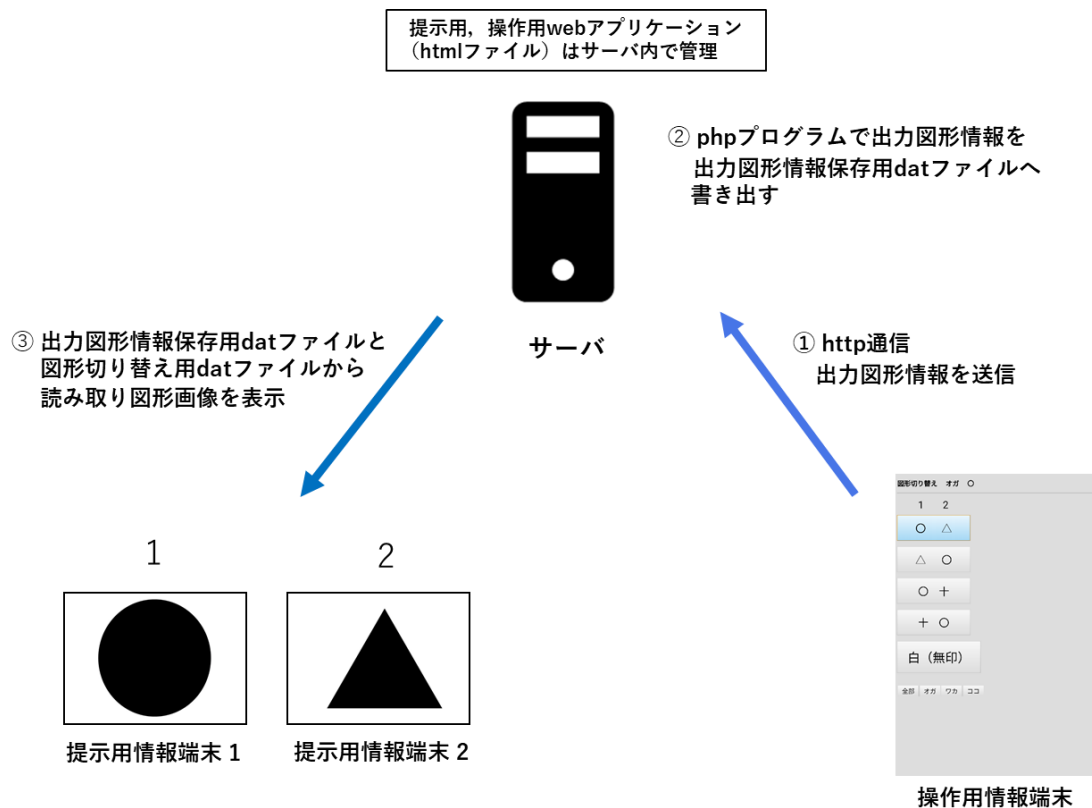
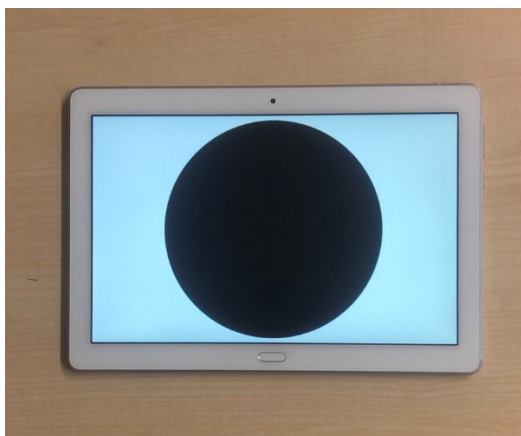


図 15 図形出力の方法

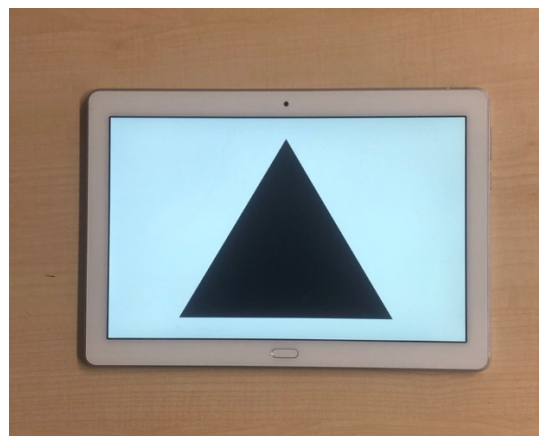
本研究において、情報端末としてはタブレット（HUAWEI MediaPad M3 Lite 10 wp）を用いて、図 16 のように web アプリケーションを出力し、図形の提示を行った。なお、web アプリケーションを用いているため、ネットワークに接続すれば、スマートフォンや PC 等、その他の情報端末で操作が可能である。



(a) 操作用タブレット



(b) 提示用タブレット 1



(c) 提示用タブレット 2

図 16 タブレットによる出力

第3章

検証実験

3.1 概要

本章では、情報端末を活用したアザラシとのコミュニケーションに向け、アザラシのデジタル映像の認知能力を評価するために行った検証実験について説明する。検証実験については、段階的に、紙パネル上のアナログ図形の識別・学習、および情報端末上のデジタル図形の識別・学習を行い、実物の識別マークの形状、紙パネル上の図形、情報端末上の映像で、どのような反応、認知過程があるか記録し評価した。また、発展として、水族館と水族館外の遠隔地を、ビデオ通信で繋ぎ、遠隔操作によるアザラシへ図形を提示し、遠隔地からのコミュニケーションの可能性を検討した。したがって、本研究で実施した実験の構成としては、以下の4種類である。

- ① 実験1 パネルによる図形の提示実験
- ② 実験2 手持ちでのタブレットによる提示実験
- ③ 実験3 リモート操作による提示実験
- ④ 実験4 遠隔地からのリモート操作による提示実験

3.2 実験条件

3.2.1 被験体

本研究で対象とした被験体は、新江ノ島水族館で飼育されるゴマフアザラシ3頭である(図17)。それぞれ、アザラシA、アザラシB、アザラシCとして説明する。ゴマフアザラシ(*Phoca largha*)は、日本の水族館では、比較的飼育数が多く、繁殖例も多い。体形としては、成獣で、体長約1.4m~1.7m程度、体重約170kg程度まで達する。体色は、銀灰色から黒褐色で、体にゴマのような黒い斑紋が特徴的である。主に、ベーリング海、オホーツク海、北海道周辺など、北太平洋にのみ生息し、魚類、タコ・イカ類などを捕食する。冬から春にかけて、流氷期に、流氷にのり移動および回遊し、海氷上で繁殖を行う。夏から秋にかけては、沿岸などで生活を行う。日本におけるゴマフアザラシは、北海道沿岸に秋ごろから来遊し始め、3月から4月の間が出産時期である(加藤他, 2016)。



(a) アザラシ A



(b) アザラシ B



(c) アザラシ C

図 17 ゴマフアザラシ (*Phoca largha*)

ゴマフアザラシの繁殖は、一夫一婦の形態をとり、海水上と同化し保護色となる白色の新生児が生まれる。アザラシの体は、毛皮でおおわれているが、およそ4月から5月にかけて、換毛期と呼ばれる毛が生え変わる期間がある。この期間は、摂餌の状況などが変わることがあるため、飼育アザラシにおいては、慎重な給餌・観察が必要となる。

被験体のゴマフアザラシ3頭は、通常1日に3回、朝9時から10時頃、昼12時頃、午後15時から16時頃、摂餌を行う。この摂餌の時間に合わせて、アザラシの体調・摂餌の状況を考慮し、慎重に実験を実施した。表1に実験時の被験体の個体情報（年齢、性別、出生）を示す。被験体3頭の大きな違いとしては、性別と出生があげられる。アザラシAの性別は、オスで推定0歳の時に野生から保護されて水族館で飼育されている。アザラシB、アザラシCは、性別はメスで水族館が生まれ育った個体である。国内の水族館で飼育されるゴマフアザラシは、1頭ずつ出生や血統の情報は管理されて、飼育や繁殖、研究などに用いられる。被験体の3頭は体色が少し異なり特徴的であり、それぞれ体色で見分けることが可能である。アザラシAは、全的に体色が黒色で3頭一緒に泳いでいても一目で分かる。アザラシB、アザラシCに関しては、ゴマフアザラシ特有のゴマのような黒い斑紋が異なり、アザラシBは、やや大きくはっきりとした斑紋がり、アザラシCは比較的細かい斑紋が体にある。被験体のアザラシ3頭とも、トレーナーのハンドサインにより、コミュニケーションをとりながら、パフォーマンスを行うことができ、識別マークを識別することができる。また、本研究の他に学習実験などは行っていない状態であった。実験の進行にあたっては、個体の体調が優れない場合や摂餌の状況が悪い場合には、トレーナーの判断により、その個体の実験は中断・中止として、回復次第実験は再開するものとした。

表1 被験体の個体情報

アザラシ	年齢	性別	出生
A	6 歳	オス	0 歳時に保護
B	5 歳	メス	水族館生まれ
C	4 歳	メス	水族館生まれ

3.2.2 実験環境

本研究では、新江ノ島水族館のアザラシが飼育展示されている飼育スペースで実験を実施した（図 18）。被験体のアザラシ 3 頭は、図 18 に示した飼育スペースで普段の生活を行っている。全体の飼育スペースの構造は、水中生活用のプールと陸上生活用の陸地が設けられている（図 19）。この水中プールと陸地を活用し、トレーナーとアザラシは、ショーやふれあいイベント等を行う他、トレーニングや健康診断などを行っている。アザラシの飼育スペースは、水族館の屋内にあるため、雨などの天候に影響を受けず、継続して実験を実施することが可能であった。また、パネルや情報端末による提示情報が、太陽光や照明の反射によって不明瞭になるということは起きなかった。



図 18 アザラシの飼育スペース（来館者側からの様子）



図 19 アザラシの飼育スペース（内部からの様子）

図 20 に実験の実施位置及び記録位置を示す。実験場所としては、観察・記録しやすい位置を考慮し、図 20 に示した陸地と水中が接した緑色の位置とした。普段の給餌や一部のトレーニングは、トレーナーが陸上に立ち、アザラシは水面から顔を出し、トレーナーとアザラシが向かい合った形で行われる。また、アザラシは、飼育プール内では、水面から顔を出し周囲状況を確認したり、トレーナーの様子を確認したりする行動が多い。そのため、情報端末を活用した場合に、アザラシが水面から顔を出し、情報端末上の情報を見らることを想定し、実験では、図 20 のような水面と陸地の接した位置を実験位置とした。

被験体のアザラシ 3 頭は、同じ飼育スペースで一緒に生活しているため、1 頭のアザラシに対して実験を実施する際は、別の 2 頭は実験位置とは違う別の位置あるいは陸上へ誘導する。また、実験時には、実験を行っていない 2 頭のアザラシは、トレーナーや給餌を行っている。そのため、正しい行動ができたことを知らせるホイッスルが、実験とトレーニングで、混同しないようにタイミングを計り実験を実施した。実験の記録場所は、アザラシへ情報を提示した時にその提示情報とアザラシの反応・行動が観察・記録できる位置をとって図 20 に示した位置に決定した。また、実験の 1 つでは、情報端末上の提示情報をリモートで操作し提示情報を切り替えるということを行うため、記録・操作者が必要となり、記録・操作者の位置も、図 20 のように実験の状況が観察できる同様の位置に決定した。

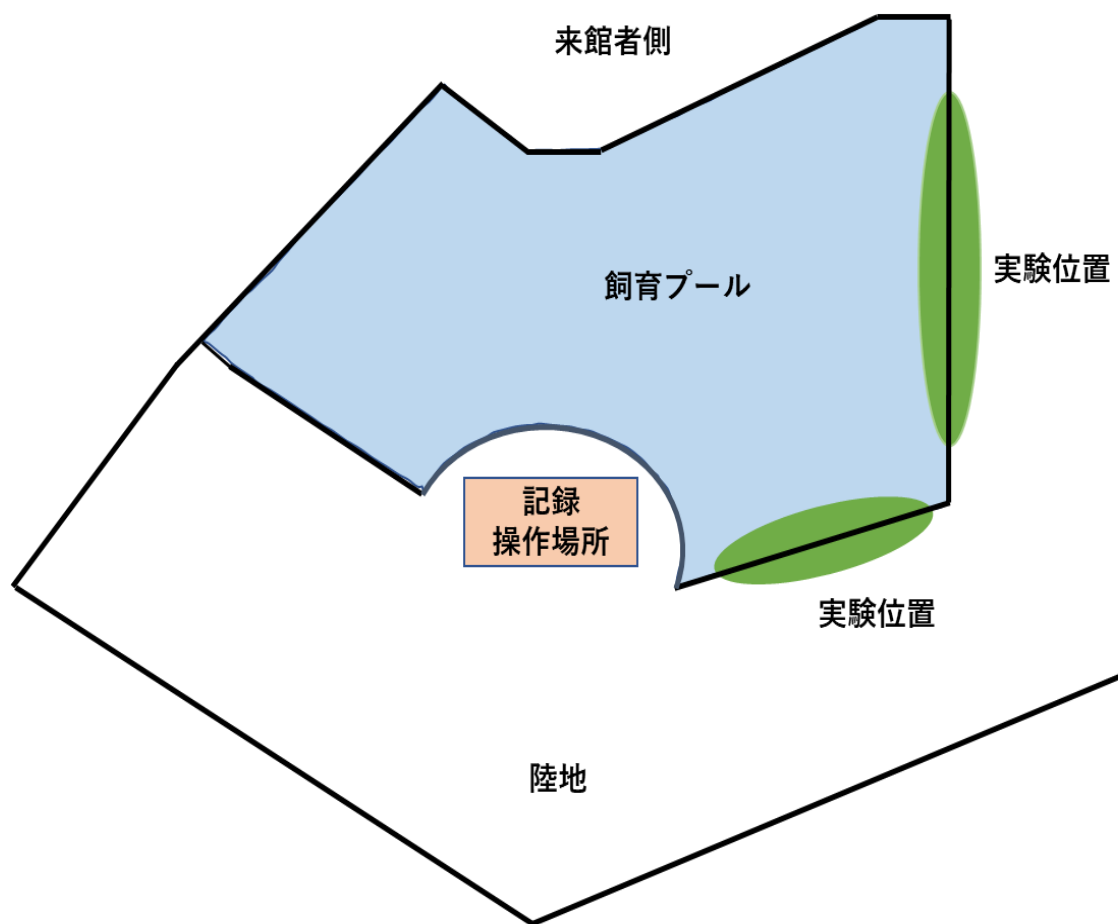


図 20 実験の実施位置及び記録位置

3.3 実験装置

本研究では、実験1、実験2、実験3、実験4と4種類の実験を行うため、必要となる装置や道具も異なった。以下、それぞれの実験で用い装置や道具を説明する。

(1) 実験1 パネルによる図形の提示実験で使用した道具

実験1では、パネルによる図形の提示実験を行うため、パネルを用意した(図21)。パネルは白色の厚紙に黒色で識別マークを印刷し、防水・反射防止のため、光沢なしのラミネート加工を施したものをを用いた。紙パネルの大きさは、使用するタブレットと同じ大きさに合わせて、高さ17.3cm、幅24.8cmとした。印刷した図形の大きさは、○は直径13cmの円、△は高さ13cm、底辺11の三角形、+は13cm×4.34cmの長方形を中心で2つ重ねて+型を作製した。パネルの図形は、情報端末を用いる実験で提示する出力図形と条件を揃えるため、同じ大きさとするようにした。ただし、普段の飼育で用いる実際の識別マークは、それぞれ、○は直径約14cmの円、△は高さ約13cm、底辺約11cmの三角形、+は約14cm×約4.5cmの長方形を中心で2つ重ねた大きさである。しかしながら、この大きさは、本研究で用いた、実験開始時点で比較的防水性の高いとされている情報端末の画面に、図形が入りきらなかったため、やや小さく図形を設定しパネルを作製した。



図 21 作製した図形パネル

(2) 実験2 手持ちでのタブレットによる提示実験で使用した道具

実験2では、情報端末2台を手で持って出力図形を提示する実験を行う。使用した情報端末は、防水性の高い、高さ17.3cm、幅24.8cm、重さ約456gの10.1インチのタブレット端末（HUAWEI MediaPad M3 Lite 10 wp）である。タブレット端末は、アザラシへの提示用に2台、図形を切り替えるおよび遠隔操作用に1台用意した。また、実験者1人が、直接タブレット端末2台を手で持って提示する際に、持った手で画面の一部が隠れてしまうなどが考えられ、タブレットの持ち方において工夫が必要となった。そのため、持ち手がついたタブレットホルダー（AIDATA Universal Tablet Stand）をタブレット端末装着し、持ち手を持って提示を行うようにした（図22）。出力図形の大きさは、○は直径13cmの円、△は高さ13cm、底辺11の三角形、+は13cm×4.34cmの長方形を中心で2つ重ねて+型とし、パネルの図形と同じとした。図形の提示は、webアプリケーションにより図形を出力、切り替え操作を行うため、ネットワークへ接続し、タブレット端末間の通信を行う。実験時のネットワーク環境は、モバイルWi-Fiルーターを携帯あるいは、アザラシプール内の水のかからない位置に設置した。

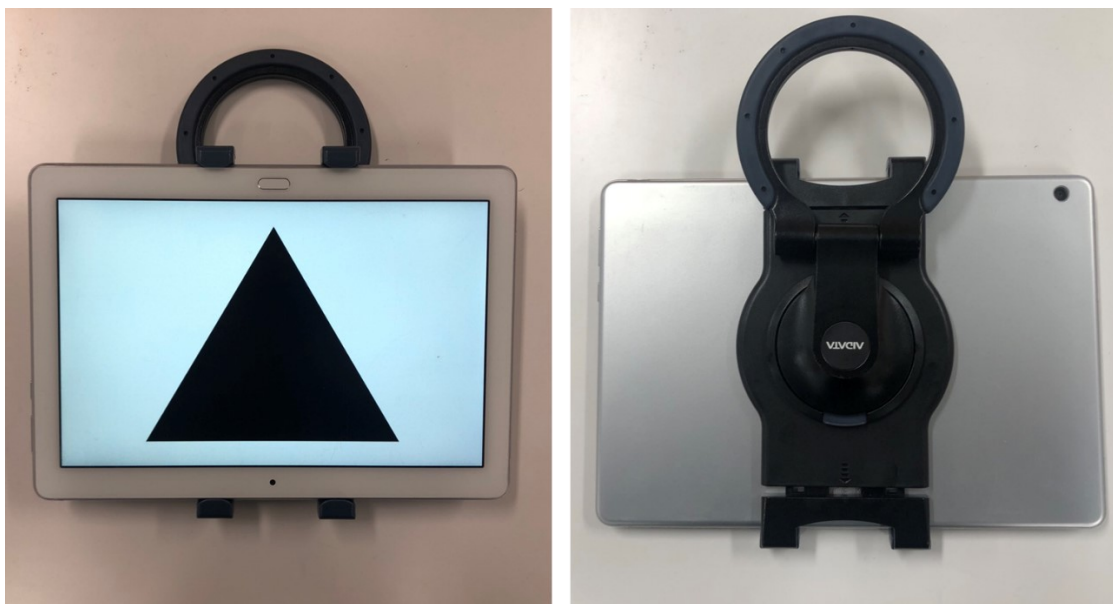


図 22 タブレットホルダーとタブレット

(3) 実験3 リモート操作による提示実験で使用した道具

実験3では、情報端末2台をスタンドに固定して、リモート操作によって出力図形切り替えて提示し実験を行う。使用した情報端末は、実験2と同様の10.1インチのタブレット端末（HUAWEI MediaPad M3 Lite 10 wp）とし、アザラシへの提示用に2台、図形を切り替えるおよび遠隔操作用に1台用意した。提示用のタブレット端末2台は、図23の示すタブレットスタンドで固定する。タブレットスタンドは、地面から高さ60cmから1m程度で、首の部分を変形することができ、実験時はタブレット端末を固定し高さや角度を調整し、アザラシへ提示した。アザラシプールでは、タブレット端末をタブレットスタンドに装着し、二つ並べ設置した。図形の提示は、2画面同時に図形を出力、切り替え操作を行うwebアプリケーションを用いた。ネットワーク環境も実験2と同様に、モバイルWi-Fiルーターを用いてタブレット端末間の通信を行った。

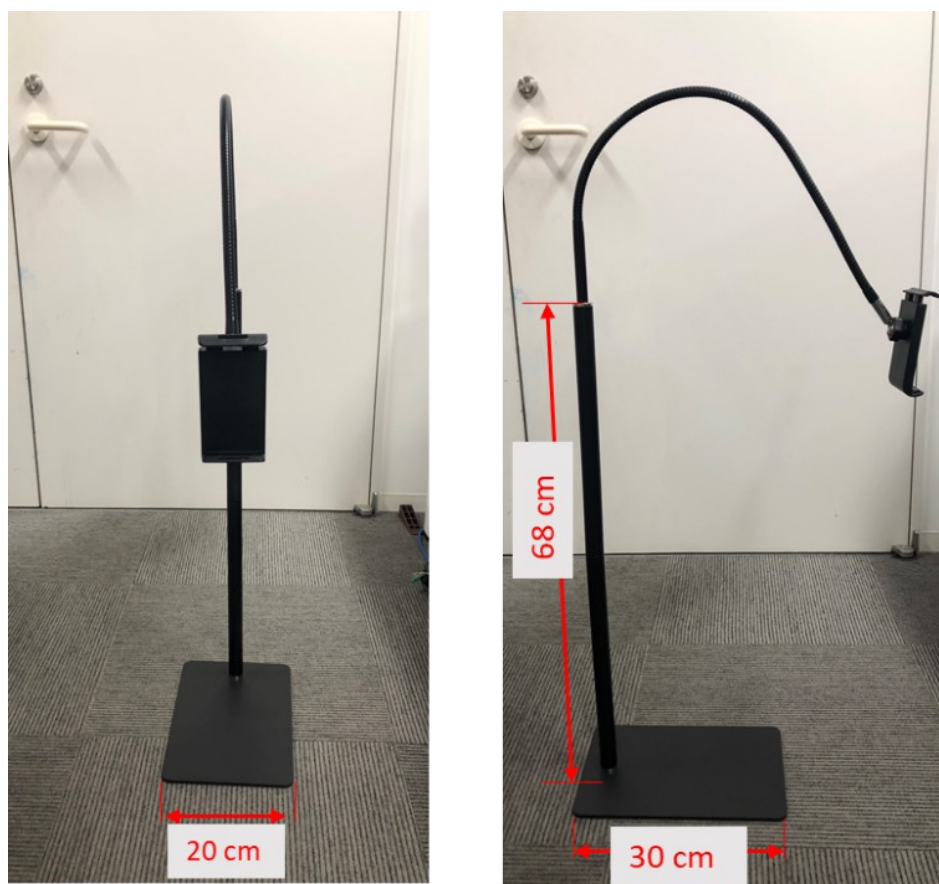


図 23 タブレットスタンド

(4) 実験4 遠隔地からのリモート操作による提示実験における装置

実験4では、情報端末2台をスタンドに固定して、水族館外の遠隔地からリモート操作によって出力図形切り替えて提示し実験を行う。実験環境は、アザラシプールと慶應義塾大学の協生館3階のS10教室（図24）とし、オンラインテレビ会議用ツールZoomを用いて通信した。使用した情報端末は、10.1インチのタブレット端末（HUAWEI MediaPad M3 Lite 10 wp）とし、アザラシへの提示用に2台用意した。Zoomの撮影はiPhone8を用いた。アザラシプール側では、実験3と同様に、タブレット端末をタブレットスタンドに装着し、2台並べ設置した。また、モバイルWi-Fiルーターを用いて、タブレット端末間の通信を行い、webアプリケーションによる図形の出力が行える環境にした。図24の慶應義塾大学の協生館3階のS10教室では、Zoom映像を投影するため、大型スクリーンを用い、投影した映像を見ながら、PC上で操作アプリケーションを使用し、アザラシへ図形の提示操作を行う。

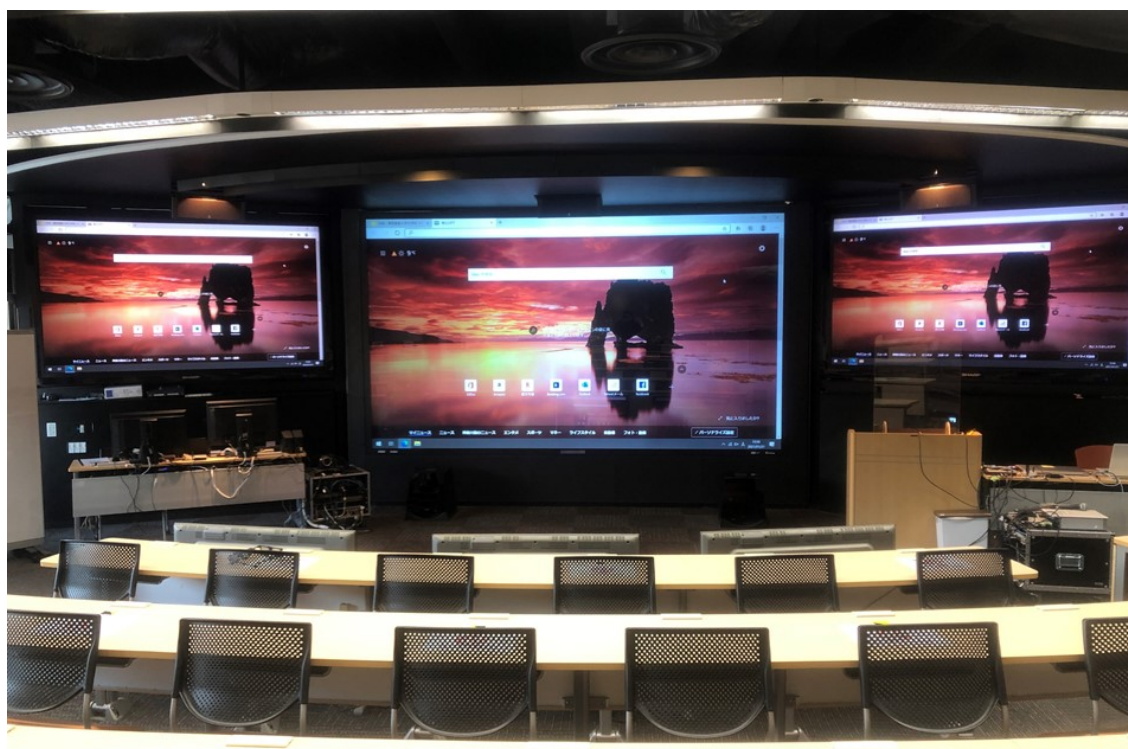


図24 慶應義塾大学 協生館3階 S10教室

3.4 実験1 パネルによる図形の提示実験

3.4.1 目的

実験1は、図形が印刷されたパネルを用いて、アザラシへ提示し、認知、学習過程を調べた。この実験は、普段飼育で用いられている識別マークの形状と平面パネル上の図形が、同一視出来るか検証することが目的である。つまり、形状を平面上に図として印したとき、同じものとして、アザラシが認知あるいは学習出来るかを調査することを目的とした。

3.4.2 実験方法

パネルの提示実験は、1頭のアザラシに対して1人の実験者（パネルを提示者）、記録者の組み合わせで実験を実施した。実験者は、トレーナーが普段アザラシとトレーニングを行う陸上の位置に立ち、記録者は実験様子全体を観察できる少し離れた位置（3.2.2章の図20）で記録する。提示方法として、まず、陸地に立つ実験者と、水面から顔あるいは上半身を陸地に出したアザラシとが向かい合った位置で待機させる（図25（a））。そして、アザラシが実験者と向かい合った状態で待機しながら、実験者に注目したことを確認できたタイミングで、パネルの提示を行った（図25（b））。提示する際は、初めに図25（a）のように、パネルは実験者背後で隠し、あるいは裏面にして隠し、アザラシには見えない状態で待機する。そして、アザラシの注目が確認できた場合に、2枚のパネルを同時に提示する。提示の高さは、水面から約60cm～1m程度の高さで提示を行った。また、提示図形は、被験体のアザラシが識別している図形必ず含め、2種類をランダムに提示した。提示した2枚のパネルの内、アザラシが識別している自分の図形が印刷されているパネルに鼻でタッチするという行動を正解とし、この他、自分の識別図形以外を選択し鼻でタッチする、別の行動を取る、無反応を不正解とした。そして、正解した時に、餌とホイッスルを報酬として与えるオペラント条件付けによる正の強化により識別学習を行った。アザラシが正解の行動あるいは不正解の行動を行ったところで、実験者は、アザラシに見えないように、ランダムにパネルを入れ替え再び提示を行った。この試行を、被験体の体調・給餌の状況に合わせて、1セット3回から20回程度行い、全試行回数と正解回数の割合から正解率を算出し評価に用いた。

なお、実験において、1セットが終わるまで、基本的には同じ位置で提示を続

けて行うが、実験中に被験体のアザラシの集中が続かなくなりそうな場合は、トレーナーの判断で場所を変えることや少し休憩を挟むなどの措置を行った。この措置をとった場合は、続けて、1セットとして計算し評価した。また、提示する図形の組み合わせは、ランダムに行ったが、なるべく3種類の組み合わせ全てを満遍なく提示した。



(a) 実験位置で待機する



(b) パネルの提示

図 25 パネルの提示方法

本実験で、実験方法としたアザラシが鼻でパネルをタッチする方法について説明する。被験体のアザラシは、日常的な給餌やトレーニングを行う際、識別マークが用いられることは、上述してきたが、識別マークを目の前に提示すると鼻でタッチするという行動ができる（図26）。そのため、パネルの提示実験においても、この行動と同様にパネルの図形をタッチするという行動を実験方法とした。通常トレーニングなどで、アザラシが行動やパフォーマンスが出来るようになるためには、アザラシが偶発的に起こした動作に対して、オペラント条件付けなどによる報酬で強化することで可能となる。もともと識別マークを鼻でタッチするという行動はできていたが、2枚のパネルから図形を選び、タッチするという行動においては本実験で、実験を進行しながら強化していった。

実験において、初めてパネルを提示した時に、自分の識別マークが印刷されたパネルをタッチ出来れば、実物の識別マークの形状とパネル上の図形を同一視できていると考えることが出来る。また、初めて提示した場合に、自分の識別マークを分かっていたとしても、2枚のパネルから鼻でタッチし選ぶという行為が理解できない可能性があるため、強化学習を行った。強化学習の方法としては、2枚のパネルを提示した場合に、アザラシが自分の識別マークのパネルを選ぶという正解の行動ができた場合には、魚とホイッスルによる報酬を与え、行動を強化していった。不正解の場合は、報酬は与えず、再度パネルを提示し、正解の行動をとった場合に、強化した。この試行を繰り返し行うことで、アザラシが自分の識別マークが印刷されたパネルにタッチするという方法を獲得した。



図26 識別マークをタッチするアザラシ

3.4.3 実験結果

図27にパネルによる図形の識別学習結果を示す。パネルによる識別学習では、正解率が3セット以上連続で100%が記録されたことで、学習完了とみなした。被験体のアザラシ3頭は、個体差はあるものの識別学習を行うことで、正解率100%を3回以上連続した結果が得られ、学習完了となった。特に、アザラシBに関しては、セッション初回から、100%の正解率が確認され3回目のセッション以降100%に安定した。アザラシA、Cに関してはセッションを重ねるごとに、正解率が高まり学習の向上が見られ、それぞれ、Aが21回目以降、Cが9回目以降に学習完了した。また、実験中の行動として、不正解の図形を選びそうになると、途中で間違いに気づき修正し、正解を選ぶ行動も見られた。パネルによる図形識別学習における、不正解行動は、被験体のアザラシが識別している図形とは別の図形を選ぶという行動だけであった。パネルを提示した際に、別の行動を取ることや無反応というような行動は観察されなかった。

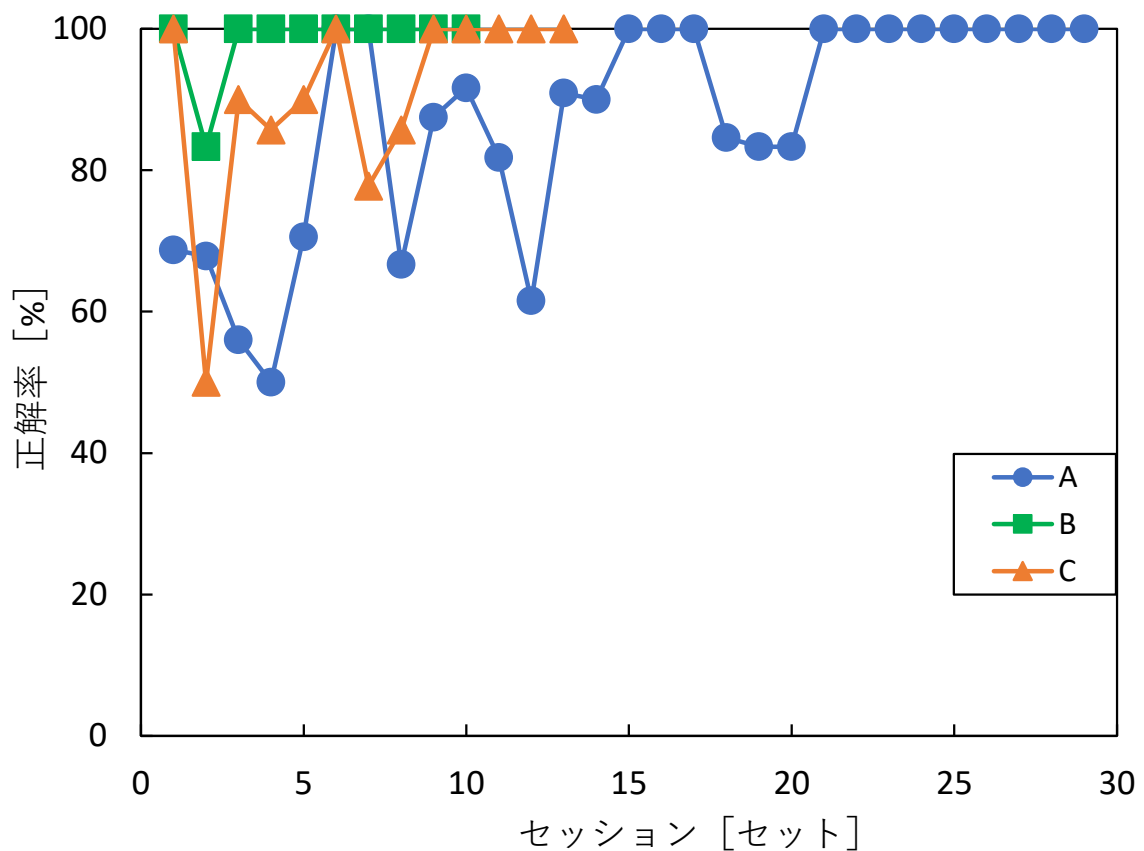


図27 パネルによる図形の識別学習結果

このことから、パネルの提示はアザラシにとって自分への指示と理解しやすく、多少の学習により形状とパネル上の図形を同一視できたものと考えられる。正解率の上昇、変化に個体差がある原因として、図形を選ぶということの理解があげられる。例えば、アザラシ A の場合は、「右だけを選ぶ」、「初めに目に入った方を選ぶ」という行動が観察された。図形を選ぶのではなく、位置を選ぶことが分かった。その後、セット数を増やしていくことで、図形を選ぶことを理解し、すぐに 100% の正解率が記録された。

アザラシ A、アザラシ B、アザラシ C のパネル提示実験における実験経過について、それぞれ表 2、表 3、表 4 に示す。実験経過としては、3 頭それぞれ、1 日のセッションは 1~3 セット行い、セッション全て合計すると、アザラシ A は 23 セット、アザラシ B は 10 セット、アザラシ C は 13 セット実験を実施した。表 1 より、初回 5 回目までは、実験中に被験体のアザラシ A の集中が続かなくなりそうになった場合は、トレーナーの判断で場所を変えることや少し休憩を挟むなどの措置をとっている。この措置をとった場合は、続けて、1 セットとして計算し評価したため、試行回数が多くなっている。アザラシ A に関しては、試行回数が 10 回以上を超えると、集中力がなくなり飽きてしまうまいような様子が見られた。そのため、ミスが増え、正解率が低下する傾向にあることが分かった。その後、試行回数が 10 回以内のセッションを継続していくと、正解率 100% が連続し、識別、学習が完了とみなした。ただし、正解率の数値だけでなく、アザラシが、不正解の図形を選びそうになると、自ら途中で間違いに気づき修正し、正解を選ぶ行動も観察され、行動の観察からも識別、学習が完了したと判断した。

表 2、表 3 より、アザラシ B、アザラシ C に関しても同様に、試行回数が 10 回以内で正解率が 100% となり、その正解率および行動から識別、学習を完了とみなした。アザラシ C に関しては、11、12 セッションでは、試行回数が 10 回以上超えても正解率 100% が記録され、集中力の高さも見られ、個体差も確認された。

以上のように、アザラシが自身の識別マークが印刷されたパネルを提示されたときに、自分識別マークのパネルをタッチするという動作を理解したことから、アザラシの学習の能力の高さも観察できた。

表2 パネル提示実験結果（アザラシ A）

セッション	試行回数（回）	正解数(回)	正解率（%）
1	16	11	68.75
2	28	19	67.86
3	25	14	56
4	12	6	50
5	17	12	70.59
6	5	5	100
7	5	5	100
8	6	4	66.67
9	8	7	87.5
10	12	11	91.67
11	11	9	81.82
12	13	8	61.54
13	11	10	90.91
14	10	9	90
15	6	6	100
16	5	5	100
17	5	5	100
18	13	11	84.62
19	6	5	83.33
20	12	10	83.33
21	5	5	100
22	6	6	100
23	5	5	100
24	5	5	100
25	6	6	100
26	5	5	100
27	4	4	100
28	5	5	100
29	5	5	100

表3 パネル提示実験結果（アザラシ B）

セッション	試行回数（回）	正解数（回）	正解率（%）
1	4	4	100
2	6	5	83.33
3	8	8	100
4	3	3	100
5	5	5	100
6	5	5	100
7	5	5	100
8	4	4	100
9	3	3	100
10	4	4	100

表4 パネル提示実験結果（アザラシ C）

セッション	試行回数（回）	正解数（回）	正解率（%）
1	8	8	100
2	10	5	50
3	10	9	90
4	7	6	85.71
5	10	9	90
6	4	4	100
7	9	7	77.78
8	7	6	85.71
9	5	5	100
10	6	6	100
11	13	13	100
12	11	11	100
13	8	8	100

3.5 実験2 手持ちでのタブレットによる提示実験

3.5.1 目的

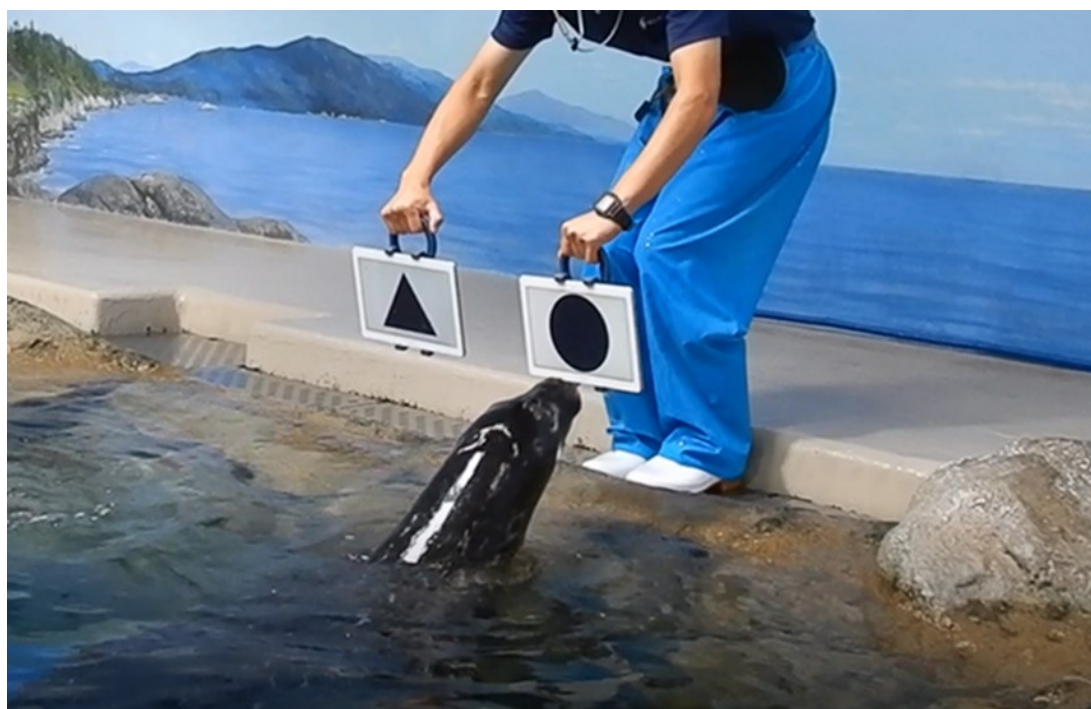
実験2では、パネルをタブレットに持ち替えて提示の実験を行った。この実験では、パネル上の図とタブレット上の映像を同一視できるか検証することが目的である。つまり、パネル上で実体を持つ図形と、同じタブレット上で切り替えて表示できるデジタル図形において、アザラシが同じものとして認知できるか調べることを目的とした。

3.5.2 実験方法

実験2では、パネルを情報端末に変えて図形の提示を行い、識別実験を行った。パネルの提示実験時と条件は変えず、1頭のアザラシに対して1人の実験者（タブレットを提示者）、記録者の組み合わせとした。そして、実験者は、トレーナーが普段アザラシとトレーニングを行う陸上の位置に立ち、記録者は実験の様子全体を観察できる少し離れた位置（3.2.2章の図20）で記録するものとした。タブレットの提示方法として、まず、陸地に立つ実験者と、水面から顔あるいは上半身を陸地に出したアザラシとが向かい合った位置で待機させる（図28(a)）。パネルの提示実験と同様に、実験者と被験体が向かい合い、アザラシが落ち着き注目したタイミングで、被験体のアザラシが識別している図形を含め2種類のデジタル図形を、タブレット2台を用いて実験者から提示した（図28(b)）。この時、実験者は、アザラシのタブレットに対する警戒に応じて、1人で2台あるいは、2人で1台ずつ持ち被験体に提示した。この実験においても提示した2台のタブレットの内、アザラシが識別している自分の図形が出力されたタブレットに鼻でタッチするという行動を正解とし、自分の識別図形以外を選択する、別の行動を取る、無反応を不正解とした。そして、正解した場合には、餌とホイッスルを報酬として与えるオペラント条件付けによる正の強化により識別学習を行った。アザラシが正解の行動あるいは、不正解の行動を行ったところで、「タブレットの左右を持ち変える」、「出力図形の組み合わせをランダムに変更」のいずれかで、再び提示を行った。この試行を、1セット3回から10回程度行い、全試行回数と正解回数の割合から正解率を算出し評価に用いた。



(a) 実験位置で待機する



(b) タブレットの提示

図 28 タブレットの提示方法

3.5.3 実験結果

図29は、手持ちでのタブレットによる図形提示実験の結果である。手持ちでのタブレットの提示実験では、最初に見せた時に、個体によっては警戒を示す場合があったが、被験体3頭とも数回のセッションで、正解率100%の結果が連続で得られた。また、パネル同様に、不正解の図形を選びそうになると、途中で間違いに気づき修正し、正解を選ぶ行動も見られた。不正解行動は、タブレットを見せた際に、警戒し水面に潜り別の方向へ泳いで行く行動、被験体のアザラシが識別している図形とは別の図形を選ぶという行動があった。アザラシAの正解率が7セット目に再び低下したことに関して、単純に同じ位置のタブレットをタッチする行動が観察され、これは識別することに集中できていなかったことが原因として考えられる。この実験結果からは、タブレット上の提示図形に対しても、タブレットへの慣れと多少の学習によりパネル上の図形と同一視できたものと考えられる。

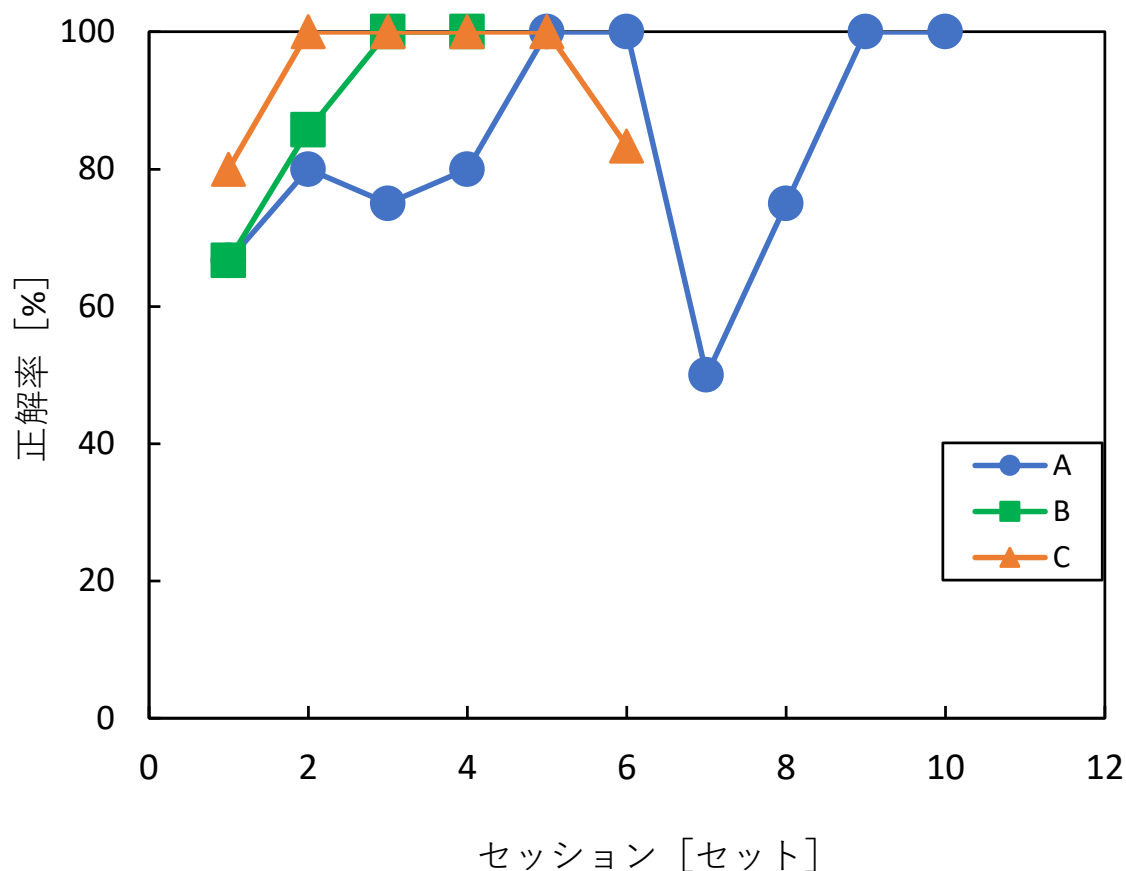


図29 手持ちでのタブレットの出力図形の識別実験結果

アザラシ A, アザラシ B, アザラシ C の手持ちでのタブレットの提示実験の実験経過について、それぞれ表 5, 表 6, 表 7 に示す。実験経過としては、3 頭それぞれ、1 日のセッションは 1~3 セット行い、セッション全て合計すると、アザラシ A は 10 セット、アザラシ B は 4 セット、アザラシ C は 6 セット実験を実施した。アザラシ A は、試行回数 5 回以内の時に正解率 100% に達した。アザラシ B においても、試行回数 5 回以内の時に正解率 100% に達したが、最多の正解数は、試行回数が 7 回の時に正解した 6 回である。試行回数が 5 回以上増えると、やや正解率が低下する。アザラシ C に関しては、正解率 100% における最大の試行回数は 8 回であり、他のアザラシ比べて、多い結果になった。

アザラシは警戒心が強いいため、初めてタブレットを提示した際に、少し警戒した様子が観察された。紙のパネルと違い、タブレットという機械的な少し重量感のあるものを見て警戒をしたと考えられ、その後、ゆっくり近くに近づけたり、2 人で 1 台ずつ持って提示したりすると、すぐにタブレットも慣れ、警戒心がなくなっていった。したがって、初めの数回の試行では、警戒して違う行動をとるなどしたため、実験結果の正解率が下がっているが、すぐにタブレットに対する警戒がなくなり、正解率が 100% の値を記録した。そして、試行回数が 10 回以内のセッションを継続していくと、正解率 100% の値が連続したため、識別、学習が完了とみなした。パネルの提示実験と同様に、タブレットの提示実験とにおいても、アザラシが、不正解の図形を選びそうになると、自ら途中で気づき修正し、正解を選ぶ行動も観察されたため、識別、学習が完了したと判断した。

表5 手持ちでのタブレットの出力図形の識別実験結果（アザラシ A）

セッション	試行回数（回）	正解数（回）	正解率（％）
1	6	4	66.67
2	5	4	80
3	4	3	75
4	5	4	80
5	3	3	100
6	5	5	100
7	6	3	50
8	4	3	75
9	5	5	100
10	5	5	100

表6 手持ちでのタブレットの出力図形の識別実験結果（アザラシ B）

セッション	試行回数（回）	正解数（回）	正解率（％）
1	3	2	66.67
2	7	6	85.71
3	5	5	100
4	5	5	100

表7 手持ちでのタブレットの出力図形の識別実験結果（アザラシ C）

セッション	試行回数（回）	正解数（回）	正解率（％）
1	10	8	80
2	6	6	100
3	7	7	100
4	8	8	100
5	4	4	100
6	6	5	83.33

3.6 実験3 リモート操作による提示実験

3.6.1 目的

実験3では、タブレットスタンドでタブレット2台を固定し、アザラシへ提示した。この時、出力図形をリモート操作により提示し、識別実験を行った。この実験は、リモート操作でタブレットの表示図形のみを切り替えた場合に、画面上で変化する図形をアザラシが識別できるかどうかを調べることが目的である。

3.6.2 実験方法

実験3では、タブレットによるデジタル図形の提示を、手で持って提示するのではなく、タブレットスタンドで固定し、リモート操作で画面の切り替え提示をし、出力図形の識別実験を行った。リモート操作による提示実験は、1頭のアザラシに対して、1人の実験者、操作及び記録者の組み合わせで実験を実施した。実験者は、トレーナーが普段アザラシとトレーニングを行う陸上の位置に立ち、記録者は実験の様子全体を観察できる少し離れた位置で図形提示のリモート操作及び記録をする。タブレット設置方法としては、2台のタブレットをタブレットスタンドに装着し、実験者と水面から顔を出したアザラシが向かい合った状態で、アザラシの顔の前にくるように、水面から高さおよそ60cm~1mとした。提示方法は、まず、陸地に立つ実験者と、水面から顔あるいは上半身を陸地に出したアザラシとが2台のタブレットを挟み、向かい合った位置で待機させる(図30(a))。図形の提示切り替えの制御には、操作用タブレットもしくは別の情報端末で、webアプリケーションを用いて、図30(a)の白の画面から、図30(b)のような図形を2台に同時に提示する操作を行った。この時、操作者は、実験者の提示のタイミングの指示に従って画面の切り替えを行った。画面の切り替えのタイミングは、被験体が水面から顔を出し、落ち着いたことを確認したタイミングで実験者が操作者に指示を出し、白色の画面から、被験体のアザラシが識別している図形を含む、2種類の画像を出力するように画面の切り替え操作を行った。2台のタブレットから図形画像が出力され、被験体のアザラシが、識別している自身の図形が出力されたタブレットに鼻でタッチするという行動を正解とした。正解した場合には、餌とホイッスルを報酬として与えるオペラント条件付けによる正の強化により識別学習を行った。また、自分の識別図形以外を選択する、別の行動を取る、無反応を不正解とした。アザラシが正解の行動あるいは、不正解の行動を行ったところで、実験者から操作者に指示を出し、白色の場面に

戻し、再び次の図形の提示を行った。この試行を、1セット2回から6回程度行い、試行回数と正解回数の割合から正解率を算出し評価に用いた。



(a) 白画面の提示

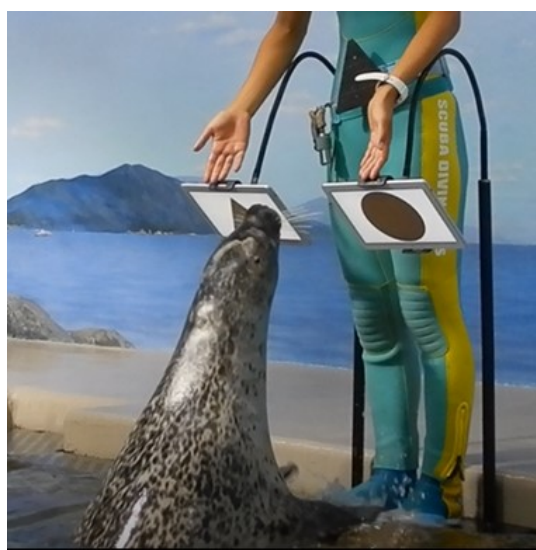


(b) 2画面図形出力

図30 リモート操作による図形の提示

3.6.3 実験結果

ここまでの実験1, 実験2により, 被験体のアザラシが水面から顔を出し, 実験者と向かい合った時に, アザラシは実験者の顔あるいは手の動きを見ることが学習していた。そのため, タブレットを固定し, 初めてリモート操作による図形の提示実験を行った際には, タブレット画面に注目せず, 自分の識別図形が出力されたタブレットをタッチするという行動はなかった。パネルによる図形の識別学習や手持ちでのタブレットの提示による識別実験の際は, 実験者の手でパネルやタブレットを持って提示する動きが注目の合図となっていた。つまり, スタンドに装着し置かれただけのタブレットが, 何か自分へ情報を提供し示すものとは分からないことが, タブレットに注目しない原因として考えられた。そのため, タブレットに注目せず, 無反応の場合は, 実験者が手をタブレットの後ろへ, もしくはタブレットスタンドの首の部分をつかみ少し動かすことで, タブレットへの注目の合図をヒントとして与えた (図31 (a))。その後, ヒントを与え, セッションを増やしていくと, ヒントなしで識別出来る様子が観察された (図31(b))。



(a) ヒントの提示あり



(b) ヒントの提示なし

図31 リモート操作によるヒントの提示

リモート操作による識別実験の結果を図 32 に示す。図 32 はヒントなし、ヒントありを含めた全ての試行における正解率の変化を示している。この実験では、ヒントありでの提示の際に、間違えたほうを選んだ後でも修正し、正解の方を選ぶ行動が数回観察された。そのため、この場合の正解の判定として、1 回で修正できれば正解、間違えた方を 2 回以上のタッチした場合に不正解とした。

被験体の 3 頭は、それぞれ 100% の正解率が記録され、スタンドで固定したタブレット上の図形をリモート操作により提示し識別が出来ることが分かった。また、正解率の数値の変化だけでなく、行動の観察から、アザラシ A、アザラシ C に関しては、学習により徐々にタブレットへ注目することの理解が進み、ヒントなしでの識別が可能となる様子が観察された。

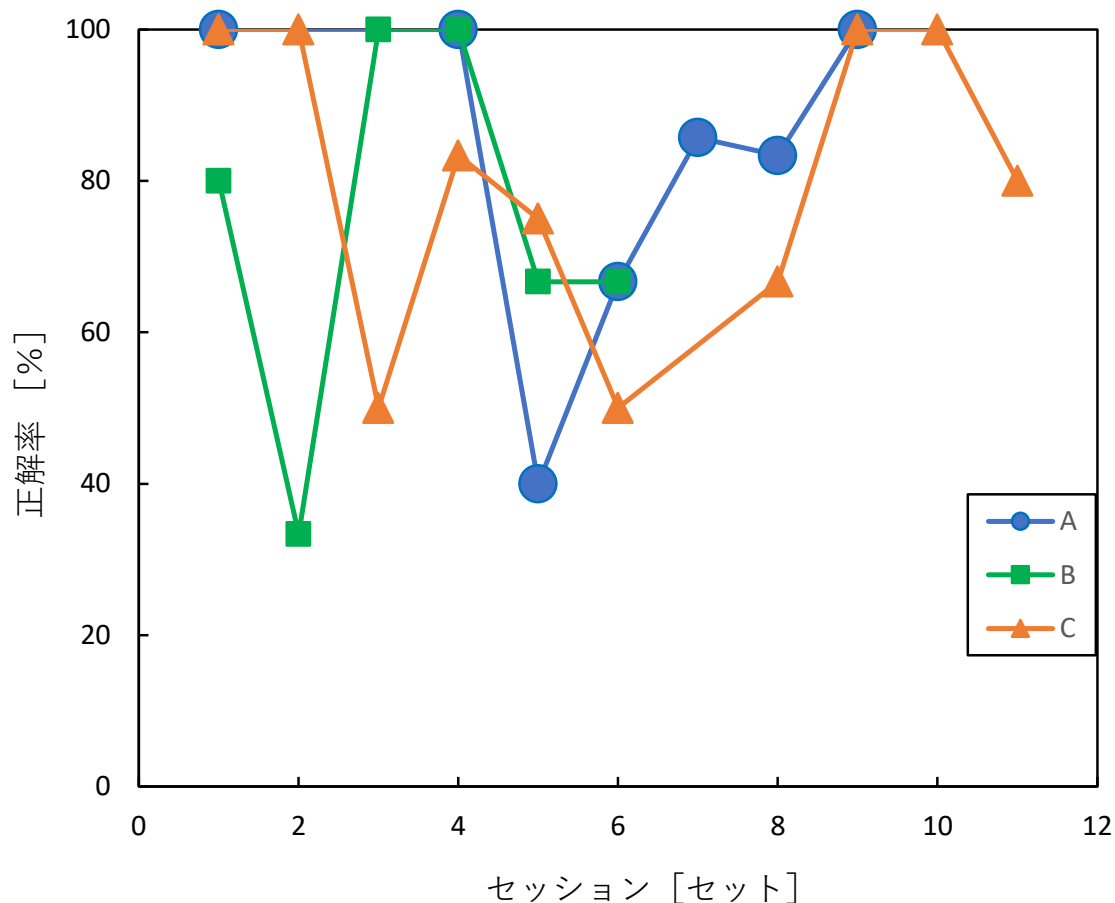


図 32 リモート操作による識別実験結果

ヒントを用いて実験を評価するにあたり、ヒントなし正解を2点、ヒントあり正解を1点、不正解を0点とし、点数化し、全試行回数における合計点と最大得点の割合から正解率を算出した場合の結果を図33のようにまとめた。

被験体の3頭とも、最初は無反応であったため、ヒントを与えながら実験を行った。その後、図33より、アザラシAに関しては、セッションの2セット目で、正解率100%となり、ヒントなしで識別できたことが観察された。5セット目に、識別に集中せずに同じ位置のタブレットをタッチする行為が観察され、正解率が一時的に低下したが、ヒントありで学習させることで、再び正解率が上昇し始めた。

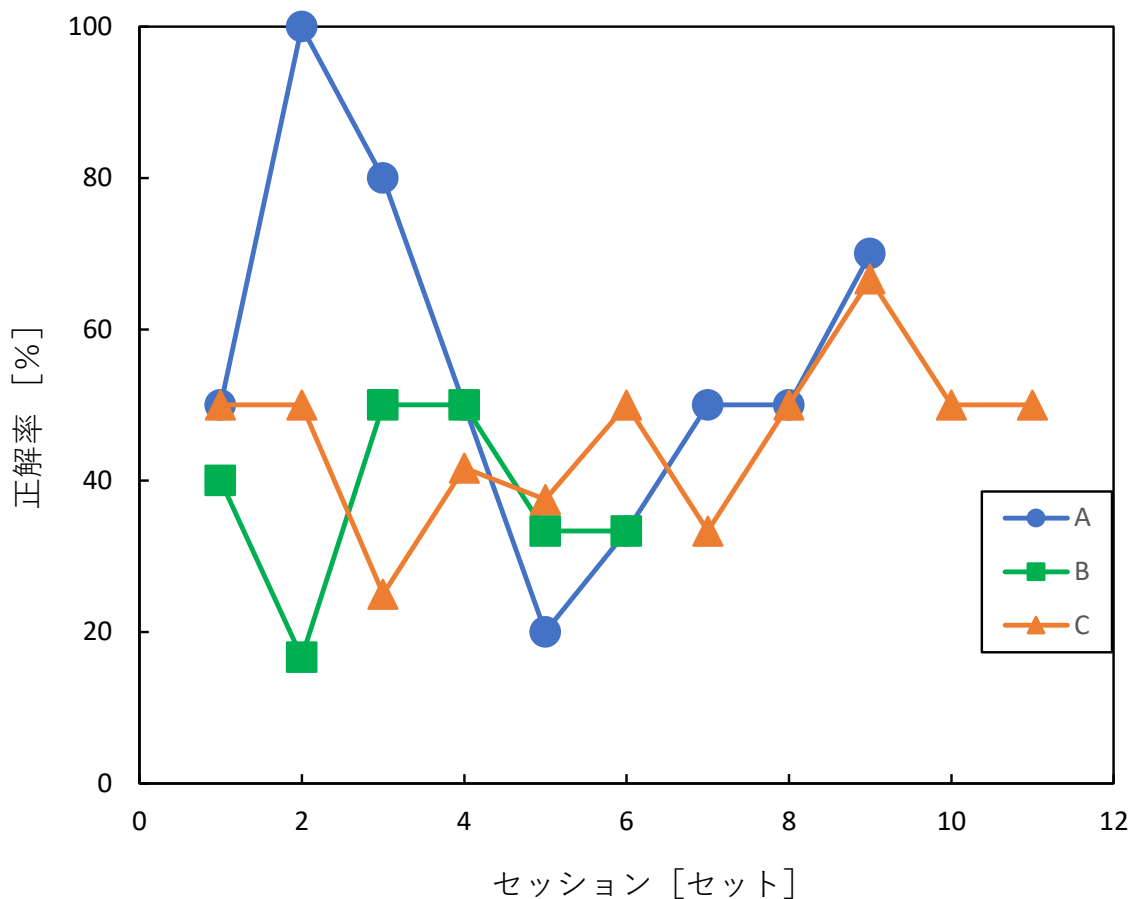


図33 リモート操作による識別実験結果（ヒントあり，なしを点数化）

このリモート操作による図形の提示実験では、不正解としていくつか種類が観察された。1つ目は、タブレットが切り替わっても無反応であること、2つ目は、白色の画面をタッチする行為、3つ目は、被験体自身が識別している図形以外の図形を選ぶ行為である。この結果からは、リモート操作による図形の提示では、アザラシは自分への指示と理解しないため、タブレット画面に注目させる工夫が必要となることが分かった。ただし、実験時点では学習が完了していないものの、ヒントなしで識別できたセッションもあり、これはスタンド上のタブレットが自分への指示と、学習により理解し始めていると考えることができる。

アザラシ A、アザラシ B、アザラシ C のリモート操作による提示実験における実験経過について、それぞれ表 8、表 9、表 10 に示す。実験経過としては、3 頭それぞれ、1 日のセッションは 1~3 セット行い、セッション全て合計すると、アザラシ A は 9 セット、アザラシ B は 6 セット、アザラシ C は 11 セット実験を実施した。

アザラシ A は、ヒントなしの正解が、セッション 2 セット目に 4 回、4 セット目 3 回とその他のアザラシに比べて多く確認された。その後、ヒントなしの提示は、普段のトレーニングやショーなどの影響を考慮して、減らしていった。そして、セッションを重ねると、ヒントありの提示による図形の識別は出来ることが確認された。アザラシ B に関しては、ヒントなしの正解は確認されなかったが、ヒントありの提示による識別は、セッション 3 セット目、4 セット目ではミスせず識別することが出来ている。アザラシ C は、ヒントなしの正解は確認されている。その後セッションを重ねると、ヒントあり正解が増え、ミスがなくなり識別が出来るようになった。

表8 リモート操作による識別実験結果（アザラシ A）

セッション	試行回数 (回)	ヒントなし正解 (回) : 2点	ヒントあり正解 (回) : 1点	不正解 (回)	正解率 (%)	正解率 (%) : 点数
1	2	0	2	0	100	50
2	4	4	0	0	100	100
3	5	4	0	1	80	80
4	4	0	4	0	100	50
5	5	0	2	3	40	20
6	3	0	2	1	66.67	33.33
7	8	1	6	1	87.50	50
8	7	1	5	1	85.71	50
9	5	2	3	0	100	70

表9 リモート操作による識別実験結果（アザラシ B）

セッション	試行回数 (回)	ヒントなし正解 (回) : 2点	ヒントあり正解 (回) : 1点	不正解 (回)	正解率 (%)	正解率 (%) : 点数
1	5	0	4	1	80	40
2	3	0	1	2	33.33	16.67
3	4	0	4	0	100	50
4	4	0	4	0	100	50
5	3	0	2	1	66.67	33.33
6	3	0	2	1	66.67	33.33

表10 リモート操作による識別実験結果（アザラシ C）

セッション	試行回数 (回)	ヒントなし正解 (回) : 2点	ヒントあり正解 (回) : 1点	不正解 (回)	正解率 (%)	正解率 (%) : 点数
1	4	0	4	0	100	50
2	6	0	6	0	100	50
3	4	0	2	2	50	25
4	6	0	5	1	83.33	41.67
5	8	0	6	2	75	37.5
6	3	1	1	1	66.67	50
7	3	1	0	2	33.33	33.33
8	4	1	2	1	75	50
9	6	2	4	0	100	66.67
10	4	0	4	0	100	50
11	6	1	4	1	83.33	50

図33の実験結果のグラフからも分かるようにここまでで、スタンド上のタブレットが自分への指示であると理解し始めた。今後、セッション数を増やすことによりヒントなしでタブレットに注目し、アザラシA,アザラシCに関しては、図形を識別できるようになることが観察された。しかしながら、ヒントなしでタブレットに注目し、図形を選ぶという行為を実験段階である現段階で学習してしまうと、普段トレーナーが飼育やショーで用いる動きやハンドサインに注目しなくなってしまうことが懸念された。したがって、この段階で、ヒントなしでの実験を終了した。また、ここまでのリモート操作による図形の提示実験では、図形が出た瞬間にトレーナーがヒントを出し、アザラシに選ばせるという実験を行った。そのため、画面の白画面から図形が切り替わることに對しての識別の確認ができていなかった。したがって、図34のように、タブレットが白色の画面の時に注目させて、図形の切り替わりを識別できるか検証を行った。



図34 白画面でヒントを出す

タブレットが白色の画面の時に注目させて、図形の切り替わりを識別できるかの実験結果を図 35 に示す。アザラシ A,C とも 10 セット前後で 100%の正解率に達し、タブレット上の白画面から図形が切り替わり提示されることに理解を示した。アザラシ A のデータにおいて、白画面に注目することに対する理解が少し遅かったため、2,3,5,6 セット目はこれまでと同様に図形が出てからヒントを提示し実験を行い、徐々にヒントの提示を遅らせていき白画面に注目させることをおこなった。そのため、2,3,5,6 セット目は 100%という結果になっている。なお、アザラシ B に関しては、摂餌の状況が不安定であるため実験を行わなかった。アザラシ A, アザラシ C のリモート操作による提示実験における実験経過について、それぞれ表 11, 表 12 に示す。実験経過としては、3 頭それぞれ、1 日のセッションは 1~3 セット行い、セッション全て合計すると、アザラシ A は 14 セット、アザラシ C は 17 セット実験を実施した。アザラシ A は 10 セット目以降、アザラシ C は、13 セット目以降に正解率が 100%に達し、完了とみなした。アザラシ C は、試行回数が 10 回を超えても正解率が 100%を達し、試行回数と正解率において個体差も確認された。

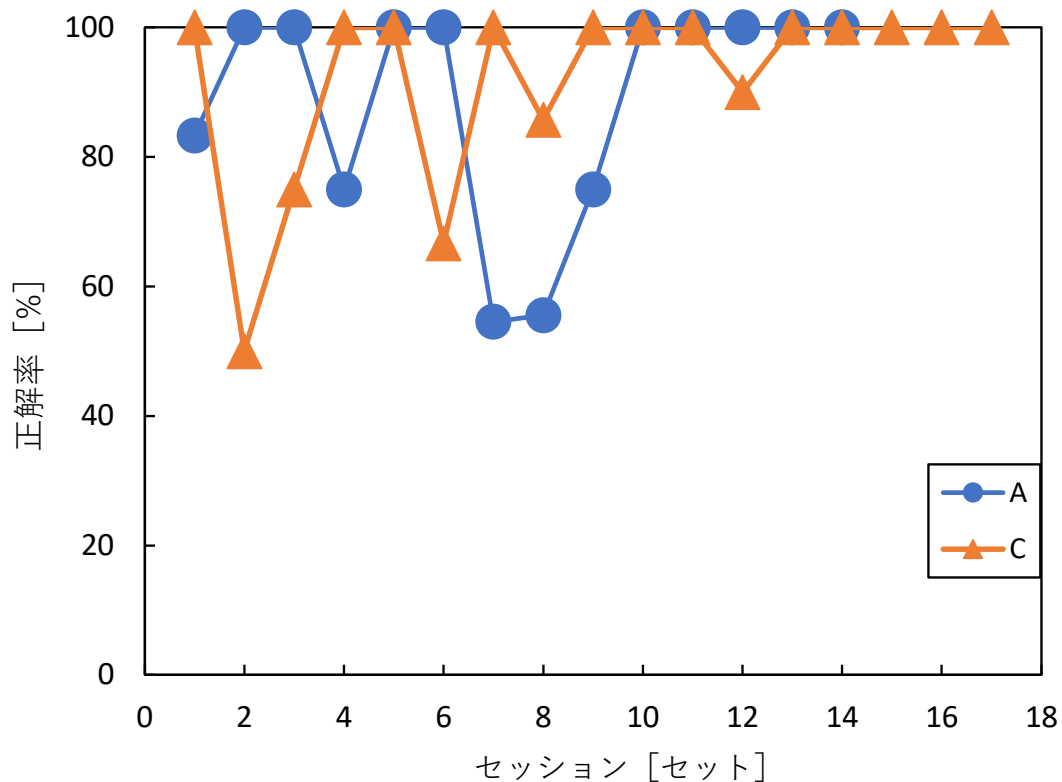


図 35 白画面で注目させたりリモート操作による識別実験結果

表 11 白画面で注目させたリモート操作による識別実験結果（アザラシ A）

セッション	試行回数（回）	正解数（回）	正解率（％）
1	6	5	83.33
2	6	6	100
3	4	4	100
4	8	6	75
5	5	5	100
6	8	8	100
7	11	6	54.55
8	9	5	55.56
9	8	6	75
10	6	6	100
11	6	6	100
12	6	6	100
13	6	6	100
14	7	7	100

表 12 白画面で注目させたリモート操作による識別実験結果（アザラシ C）

セッション	試行回数（回）	成功（回）	正解率（％）
1	3	3	100
2	4	2	50
3	4	3	75
4	3	3	100
5	3	3	100
6	6	4	66.67
7	5	5	100
8	7	6	85.71
9	9	9	100
10	11	11	100
11	13	13	100
12	10	9	90
13	9	9	100
14	12	12	100
15	9	9	100
16	12	12	100
17	10	10	100

3.7 実験4 遠隔地からのリモート操作実験

3.7.1 目的

実験4では、水族館と水族館外の遠隔地を、ビデオ通信で繋ぎ、遠隔地からリモート操作により図形を出力し提示実験を実施した。この実験では、遠隔地からリモート操作でアザラシへ図形を提示し、水族館と遠隔地との間での情報端末を活用したコミュニケーションの可能性を検討することを目的とした。

3.7.2 実験方法

実験4においては、新江ノ島水族館と慶應義塾大学の協生館3階S10教室との間で実験を実施した。具体的に、新江ノ島水族館のアザラシプールを、オンラインテレビ会議用ツール Zoom を用いて撮影し、その映像を慶應義塾大学の協生館3階S10教室の大型スクリーンに投影し通信を行った。そして、Zoom のビデオ通信機能、音声通話機能を活用しながらやり取りを行い、慶應義塾大学側から PC を用いたリモート操作でアザラシプールへ図形を提示する実験を行った(図36)。実験実施にあたって、アザラシプールでは、1頭のアザラシに対して1人の実験者、Zoom を用いた映像撮影者1人、慶應義塾大学側では、リモート操作を行う操作者1人を配置した。タブレットの設置としては、実験3と同様に、2台のタブレットをタブレットスタンドに装着し、実験者と水面から顔を出したアザラシが向かい合った時に、アザラシの顔の前にくるように、水面から高さおよそ60cm~1mとした。Zoom の撮影は、図37で示すように、実験の様子全体を観察できる位置から行った。図38のように、スタンドで iPhone8 を固定して、Zoom の撮影を行った。

実験方法として、初めに水族館のアザラシプールでは、陸地に立つ実験者と、水面から顔あるいは上半身を陸地に出したアザラシとが2台のタブレットを挟み、向かい合った位置で待機する。アザラシが落ち着いたら、図形の提示を始める。図形の提示・切り替え操作は、慶應義塾大学側の PC 上から、web アプリケーションを用いて行う。アザラシプールの実験様子は、慶應義塾大学側の大型スクリーンに映し出され、そして、操作者はその映像を見ながら、2台のタブレットを白の画面から、同時にそれぞれの図形の提示を行う。この時、操作者は、アザラシプールにいる実験者の提示のタイミングの指示に従って画面の切り替えを行う。画面の切り替えのタイミングは、実験者が水面から顔を出したアザラシ

が落ち着いたことを確認できた時であり，確認でき次第，実験者は提示の指示（「提示」と声による指示）を出す．アザラシプールにいる Zoom の撮影者は，慶應義塾大学側の操作者に指示が確実に聞こえるように，実験者の指示となるべく同じタイミングで，Zoom の音声通話機能により，慶應義塾大学側の操作者へ提示の指示を出す．そして，操作者は白色の画面から，被験体のアザラシが識別している図形を含む，2 種類の画像を出力するように画面の切り替え操作を行った．2 台のタブレットから図形画像が出力され，被験体のアザラシが識別している自身の図形が出力されたタブレットに鼻でタッチするという行動を正解とした．正解した場合には，餌とホイッスルを報酬として与えるオペラント条件付けによる正の強化により識別学習を行った．また，自分の識別図形以外を選択する，別の行動を取る，無反応を不正解とした．アザラシが正解の行動あるいは，不正解の行動を行ったところで，実験者から操作者に指示を出し，白色の場面に戻し，再び次の図形の提示を行った．なお，図形の提示時には，タブレットに注目させるため，実験 3 と同様に実験者によってアザラシに対して，ヒントを提示した．ヒントの提示は，白の画面でヒントを出し，白画面から図形を出力する遷移をアザラシへ見せるようにした．

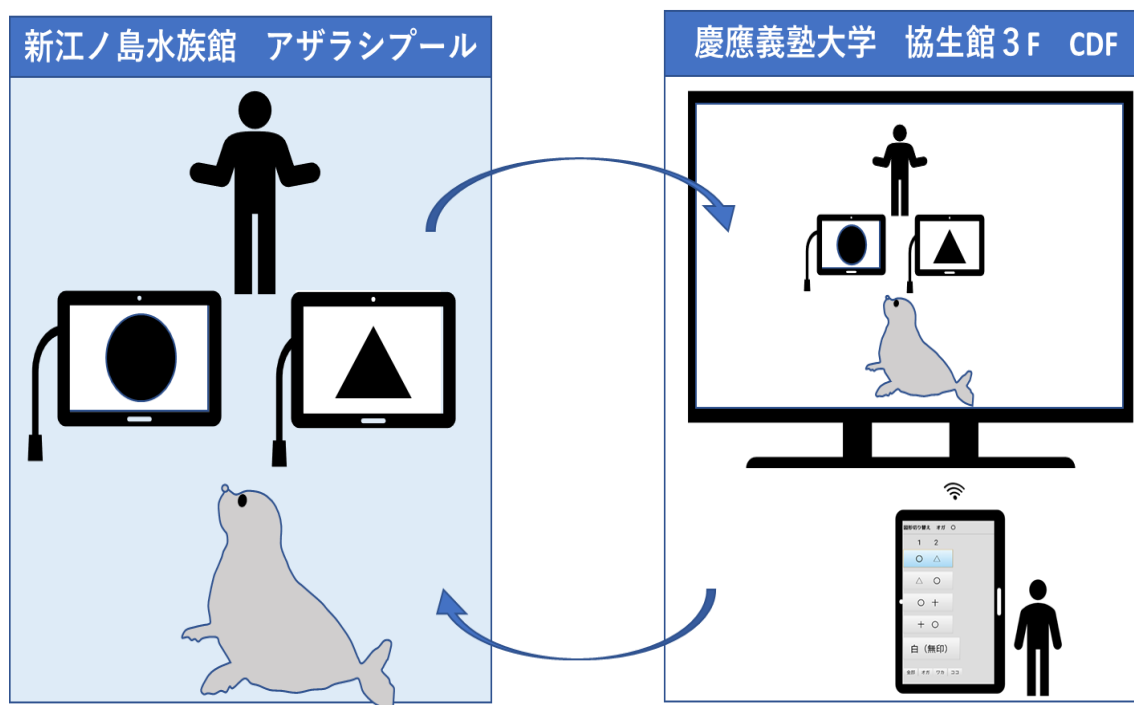


図 36 アザラシプールと慶應義塾大学との通信

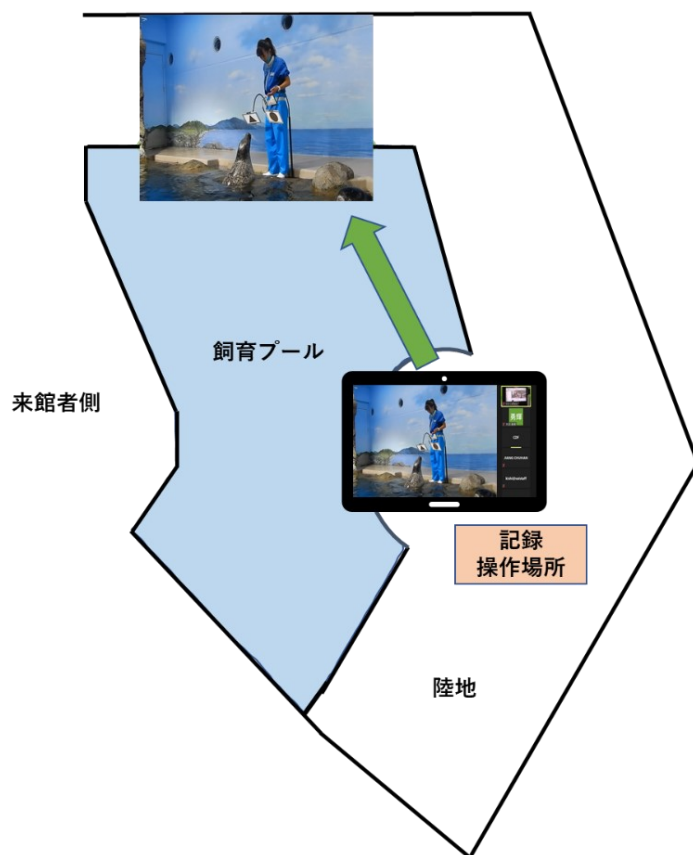


図 37 Zoom 撮影位置



図 38 Zoom 撮影位置の固定方法

3.7.3 実験結果

実験は、アザラシ C を対象に 1 セッションのみ行った。その結果を表 13 に示す。また、その時の大学側からの中継映像と図形出力の様子を図 39 に示す。慶應義塾大学側にいる操作者は白色の画面から、アザラシプールのアザラシ C が識別している図形を含む、2 種類の画像を出力するように画面の切り替え操作を行い、9 回の試行回数中 9 回正解し 100% の正解率となった。

現時点では、トレーナーによるヒントがあれば、遠隔地から水族館のアザラシへ図形を提示し識別は可能である。また、実験 3 同様、アザラシがタブレットに注目することを学習すれば、ヒントなしでの提示が可能となり、今後の情報端末を活用することによる遠隔地からの飼育支援やコミュニケーション等の可能性を見出した。

表 13 遠隔地からリモート操作により提示実験結果（アザラシ C）

セッション	試行回数（回）	正解数（回）	正解率（%）
1	9	9	100



(a) 白画面の提示



(b) 図形の提示

図 39 大学側からの中継映像および図形出力図形の様子

第4章

考察および展望

4.1 概要

本章では、第3章の検証実験により得られた結果から、アザラシの認知過程、および情報端末活用の可能性について考察する。また、水族館で働くトレーナーに対してインタビューを行い、その結果を踏まえて、考察および今後の展望を述べる。

4.2 トレーナーへのインタビュー

実際に新江ノ島水族館で働く経験豊富な男性トレーナー1名を対象に、インタビューを行い、以下のような回答が得られた。

(1) タブレットを用いることによる少人数化の可能性について

「タブレットによる指示に対してアザラシが学習する必要があるが、タブレットでの待機や指示など行うことによる、少人数化は可能である。ただし、必ずアザラシプールに1人はいることが望ましい。人の目による動物の観察も必要であり、またタブレットの故障等も考えられる。」

(2) 飼育業務における情報端末の利用について

「情報端末を用いることにより、トレーナーの休暇や夜勤時に、少人数化し、遠隔で飼育支援などが可能となるのは良い。」

「個人が所有する、スマートフォンなどその他の情報端末等でも飼育状況が遠隔地から観察したり把握できたりすることも、今後有効であると思われる。」

(3) アザラシによる情報端末の利用について

「意図するタイミングや時間で、ベルなど音があると注目できると考えられる。」

「タブレットを用いることで、アザラシが画面にタッチするなどアザラシ側からの入力の可能性も考えられる。」

以下、上述した第3章の検証実験の結果、インタビュー結果を踏まえて、考察および今後の展望を説明する。

4.3 アザラシの認知過程

本研究では、被験体のアザラシ 3 頭に対して、パネル及びタブレットによる図形の識別実験を行った。普段飼育で使われている識別マークの形状を段階的に、パネル上の図形、タブレット上でリモート操作によって遷移する図形と変えて、認知過程を検証した。

まず、パネルの識別実験（実験 1）においてであるが、パネルを提示した際に、初めからパネルの図形を識別できた個体と自分の図形を選ぶという行為を理解していない個体があったが、後者はすぐに理解し、学習していった。したがって、簡単な図形（○，＋，△）であれば、実物の識別マークの形状とパネル上の図形を同一視したと考えられる。パネルの識別実験で、実験開始当初自分の図形を選ぶという行動を理解していなかったアザラシは、徐々に選ぶという行為を理解し、自分以外のマークを選びそうになると、修正し自分の認識する図形を選ぶという、間違いを認識し修正していく過程があった（図 40）。最終的には、間違った方を選びそうになるということは少なくなり、パネルが提示されると一目で識別し選べるようになった。このことから、アザラシは、提示される図形情報を学習する場合、間違いを認識し、修正していくという認知過程があり、高い学習能力を有していると考えられる。



(a) 違う図形を選びそうになる

(b) 違いに気づき正解を選ぶ

図 40 違う図形を選びそうになるが修正する様子

次に、手持ちでタブレットを提示する識別実験（実験2）では、パネル上の図形と同様に、タブレット上の図形の識別は可能であり、パネル上の実体のある図形とタブレット上で切り替えて表示できる図形が同一であると認知していることが言えた。手持ちでタブレットを提示する実験は、「自分の図形を選ぶ」という行為の理解がパネルの識別実験で学習済みであり、3頭とも早い段階で識別が可能となった。初め数回の試行は、タブレットへの警戒があったものの、3頭のアザラシは、パネルの識別実験より比較的早く識別できた。つまり、「実際の識別マークの形状とパネル上の図形」より「パネル上の図形とタブレット上の図形」のほうがアザラシにとっては、同一視は容易であったと言える。したがって、パネル上のアナログ図形とタブレット上のデジタル図形とでは、アザラシが図形を識別することに対して影響はなく、タブレットを用いた情報提示は可能であることが分かった。

リモート操作による図形の識別実験（実験3）では、置かれただけのタブレット上にリモート操作で図形を提示されても、タブレットに注目しないため、いきなり提示図形を識別することは困難であった。これは、タブレットが何かアザラシ自身へ情報を提供示するものとは分からないことが原因だと考えられ、その後実験では、トレーナーによるヒントを与えて、タブレットに注目することを学習していった。一度タブレットに注目するということを学習すると、トレーナーによるヒントなしで、リモート操作による図形の提示で識別が可能であることも分かった。しかしながら、タブレットにのみ注目するということを学習すると、トレーナーの動きに注目しなくなりショーなどに影響がでると懸念された。将来的には、タブレットに注目し、リモート操作で指示は可能になると考えられるが、現時点では、トレーナーが介在しない情報に対しては指示として受け止めることは困難であり、何らかの方法で提示情報に注目させる必要があることも分かった。

アザラシは、パネル及びタブレット上に提示された図形からトレーナーの意図する行動を推察し、自身の行動を決定できたといえる。つまり、人間が言葉でアザラシへ「自分のマークを選んでください」と言わなくても、パネルあるいは、ディスプレイ上の図形でその意思が伝えられたといえる。また、本実験では、図形（○、＋、△）と3種類であったが、普段トレーナーのハンドサインを複数識別していることから、タブレット上の複数の図形を識別して、行動への指示として認知できると考えられる。

実験中の様子において、アザラシは時々、飽きる、集中しなくなるといった人間の子供のような様子が確認された（図41）。実験では、単純な動作の学習や試行なため、過学習な状態になると飽きてしまうと考えられ、飽きない工夫も今後必要であると考えられる。

映像に対する認知という観点で人間の子供においては、2歳後半以降の子供は、ビデオ映像と現実との対応関係を理解しているということが報告されている（Georgene et al.,1998）。また、自己映像の理解に関しては、遅延提示された自己映像に対して、3歳、4歳、5歳を対象にした実験で、4歳以降の子供が可能であることが示唆された（木下，2001）。その他、海生哺乳類において、カリフォルニアアシカ、シャチ、オキゴンドウを対象にした鏡を用いた自己映像認知の研究例がある（Delfour et al.,2001）。カリフォルニアアシカは、鏡の前での停滞時間が少なくあまり関心を示さなかったが、シャチやオキゴンドウは鏡の前で反応を見せるなど自己認知の可能性が示唆されている。

本実験でアザラシの場合は、実物の形状、パネル上の図形、タブレット上で切り替えて表示できる図形映像というように、図形であれば、現実のモノと映像の対応関係までは理解できることが示唆された。これまでのその他の研究で、アザラシの映像による自己認知などは不明な点が多いが、自己と他者を区別できることは、社会性を築くことやコミュニケーションを行う上で重要であり、その認知研究も重要である。



図41 よそ見をするアザラシ

4.4 情報端末活用の可能性

初めに、アザラシのタブレットへの注目という点で考察する。実験では、タブレットスタンドに装着したタブレットに対して、リモート操作で図形を提示した場合に、学習によって注目することは可能であったが、いきなりタブレットに注目することは困難であった。また、人を介在せずリモート操作で、アザラシに対して情報を提示する場合には、意図するタイミングでタブレットに注目させるということが必要であると分かった。その方法として、例えば、意図するタイミングでタブレットからアザラシが不快に感じない音を出すなどが考えられる。アザラシ類は、聴覚・音声コミュニケーションが発達し、求愛や威嚇など音声レパートリーも多く存在する。また、2.2章で説明したが音声学習の研究事例も報告されている。そのため、視覚的な学習と音声学習の両方を取り入れたアプローチも情報端末を活用するにあたって必要であるといえる。音以外の注目方法としては、動的な方法があげられる。本実験では、タブレットに注目させる際には、トレーナーが手でタブレットにヒントを与えるという動的な動作を与えて、注目させた。本来、アザラシは生存のため警戒心が強く、外敵の動きに敏感に反応したり捕食のため泳ぐ魚の動きを追ったりする。このように、アザラシが本来もつ特性などを活かし、動く図形の提示や動画など動的な注目方法もあると言える。一方、静的な図形の提示のみの場合であっても、それにタッチすると、インタラクションが起きるなど何等かのやり取りができる工夫があると、注目を学習すると考えられる。例えば、「○」はアザラシ A に対しての表示であり、「○」が提示された時にアザラシ A が画面をタッチすると、何か次の提示情報あるいは餌が自動で出るというに、画面をタッチすると何かインタラクションがあることを学習すると、自らタブレットに注目するようになることが考えられる。

次に、アザラシがタブレットを使用するための方法や可能性について検討する。タブレットによる表示では、アザラシがタッチし、偶然ホームボタンに触れると、実験用の図形提示画面からホーム画面に戻ってしまうことがあった（図42）。すなわち、人の手のように、アザラシの鼻によるタッチで、タブレットの入力ができる可能性があると考えられる。アザラシからの情報の入力が可能になるということは、双方からやり取りが期待できる。例えば、「魚が欲しい」場合には、画面をタッチさせるなどアザラシ側から意図をタブレットにより、入力させることなどが期待できる。この時、図形などで意図を共有することで、非言語のコミュニケーションができる可能性も期待できる。



(a) 図形の表示画面にタッチする様子



(b) タブレットがホーム画面に戻る様子

図 42 アザラシのタッチによるタブレットの画面の遷移

情報端末を使った実験でアザラシは、情報端末に触れるときは、必ず神経が集中した鼻のひげを使う。このひげは、触覚としてつかうが、水中では、魚などが泳ぐ流れ、振動をシグナルのように感じ取り、その行動を追跡、推察することができる。そのため、アザラシにおいては、ひげを利用できるインタフェースが有効であると考えられた。また、実験のなかで何回も鼻でつつく遊びのような行動や、飽きるなど人の子供の情動に影響したような行動が観察され、人の行動に近いものもある。そのため、人の子供のように、遊べるようなもの、飽きないような工夫がインタフェース設計において、必要ということが分かった。

人間においては、Fitts の法則という視覚標的までの位置決め運動の動作モデルがある。Fitts の法則は、人間の手でモノをタッチする動きをモデル化したものであり、以下の式で表される。(T:動作時間 D:標的中心までの距離 W:標的の幅 a,b:定数)

$$T = a + b \log_2 \left(\frac{D}{W} + 1 \right) \quad \dots (1)$$

アザラシに対して情報端末活用した場合、鼻とひげが、人における手の役割を果たすことが本実験により分かった。また、情報端末を活用して、チンパンジーを対象に図形を選択するという実験が行われているが、その場合、回答を画面上でタッチすることを行っている(友永, 2008)。アザラシやその他動物の情報端末を使う上で、理解しやすいようなインタフェースを設計する上で、動物における Fitts の法則のような動作モデルの検討なども今後必要であると考えられる。

遠隔地からの水族館のアザラシへ指示を出すということにおいては、実験4より、トレーナーによるヒントがあれば、遠隔地から水族館のアザラシへ図形を提示し識別させることは可能であり、将来的な遠隔地からの飼育支援やコミュニケーションの可能性を見出した。2020年以降新型コロナウイルスの流行により、リモートワークが日常となり、水族館においても情報技術を活用した試みが行われ始めている(大貫他, 2020)。情報端末を活用することによる新たな飼育支援やコミュニケーションの形が期待される。

第5章

結論

本研究では、情報端末を活用したアザラシとのコミュニケーションを目指し、段階的な実験によりアザラシの情報端末に対する認知能力の評価を目的とした。その結果以下のことが明らかになった。

- (1) アザラシは、簡単な図形であれば、現実のモノの形状と図及び映像を同一視できることが示唆された。
- (2) 図形情報を学習する場合は、提示された2つの図形の違いを認識し、違う方を選びそうになると修正するという過程もあり、学習能力の高さが確認された。
- (3) スタンドで固定し置かれただけのタブレット上にリモート操作で図形を提示されても、タブレットに注目しないため、いきなり提示図形を識別することは困難であり、注目させる工夫が必要であることが分かった。
- (4) 人の手でヒントを与えて注目させると、リモート操作で図形の識別は可能となった。その後、学習すれば、ヒントなしでの識別も可能となることが示唆された。
- (5) 人間が言葉でアザラシへ「自分のマークを識別してください」と言わなくても、タブレット上の図形でその意思が伝えられたといえる。
- (6) タブレットの画面をタッチさせることにより、アザラシ側からの入力などインタラクションが期待できる。
- (7) 発展として、情報端末を活用することにより、将来的に遠隔地からの飼育支援やコミュニケーションの可能性を見出した。

謝辭

謝辞

本研究は、多くの方々にご協力・ご教示を頂きまして実施することが出来ました。研究を進めるにあたり、大変親身にご指導を頂きました慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科、小木哲朗教授に心より感謝申し上げます。具体的な研究のアドバイスから学会発表に至るまで、様々なご指導を頂き大変貴重な経験となりました。副査を担当して頂きました、同研究科の白坂成功教授にも、ご助言頂きましたことを深く感謝いたします。実験の計画、実施にあたっては、株式会社デザインドメインジャパンの尾高康恵様、醍醐奈生子様、慶應義塾大学大学院 SDM 研究員の醍醐博昭様に、初期段階から援助を賜りましたことを厚く御礼申し上げます。

本研究を実施するにあたり、貴重な研究環境を提供して頂いた新江ノ島水族館の竹嶋徹夫館長、堀一久社長、大内豊様に深く感謝いたします。実験の進行において、新江ノ島水族館の遠山忠晃様、櫻木徹様、秋山大志様、鷺見みゆき様、島森麻衣様をはじめとする海獣類担当の皆様には、貴重なトレーニングの時間に快くご協力頂きましたことに、心から御礼申し上げます。特に海獣類担当の皆様には、1年弱に及ぶ実験の中で、様々な援助、ご教示を頂きましたことを心より厚く感謝申し上げます。そして、研究にご協力して頂きましたゴマフアザラシの、ココちゃん、ワカちゃん、オガ君にも心から感謝の意を表します。

最後に、大学院の研究生活においてご助力頂きました、諸先輩方及び研究科の同期、研究室の同期の皆様には深く感謝するとともに、敬意を表します。

2021 年 1 月

木田勇輝

参考文献

参考文献

楠比呂志, 木下こづえ, 佐々木春菜, 新蒔祐輔 (2009) : 我が国における動物園・水族館での保全繁殖共同研究 : 日本野生動物医学会誌 14 (1) p37-50

栗田礼, 小木哲朗, 醍醐博昭, 尾高康恵, 大下勲, 羽田秀人 (2017) : 情報端末を用いたイルカとのコミュニケーション ; ヒューマンインタフェースシンポジウム 2017 論文集, pp543-546

増渕隆二, 大山奈緒子, 相先翔, 岡田華奈, 大野慧, 石川昭, 越後啓之, 鈴木公一, 駿河秀雄, 小林万里 (2017) : 北海道・襟裳岬に生息するゼニガタアザラシによるサケの定置網の被害状況の評価 ; Wildlife and Human Society 4 (2) :19-27

Committee on Taxonomy.(2019) : List of marine mammal species and subspecies ; Society for Marine Mammalogy, www.marinemammalscience.org, consulted on 04 December 2019

和田一雄, 伊藤徹魯 (1999) : 鰭脚類—アシカ・アザラシの自然史— ; 東京大学出版会

福岡恵子, 本川雅治 (2015) : 鰭脚類における diaphragmatic vertebra の位置変異の種間比較 ; 哺乳類学会 哺乳類科学 55(1):27-33

Bennett,K.A.,B.J.McConnell and M.A.Fedak.(2001) : Diurnal and seasonal variations in the duration and depth of the longest dives in southern elephant seals(*Mirounga leonina*) : possible physiological and behavioural constraints.; Journal of Experimental Biology,204 (4) : 649-662

Costa,D.P., L. A. Huckstadt, D. E. Crocker, B. I. McDonald, M. E. Goebel and M. A. Fedak (2010) : Approaches to Studying Climatic Change and its Role on the Habitat Selection of Antarctic Pinnipeds; Integrative and Comparative Biology, 50, (6), 1018–1030

服部薫 (2020) : 日本の鰭脚類—海に生きるアシカとアザラシ ; 東京大学出版会

小林万里, 石名坂豪, 角本千治, 若田部久, 小林由美, 清水秋子 (2007) : 根室半島・納沙布岬における定置網類の 2002-2003 年混獲数調査～1982-1983 年と比較して～ ; 日本哺乳類学会 哺乳類科学 47(2):207 -214

加藤美緒, 小林万里, 森寛泰 (2016) : 北海道抜海港に來遊するゴマフアザラシ (*Phoca largha*) の冬—春における利用海域および繁殖海域の推定 ; J.Agric.Sci.,Tokyo Univ. Agric.,61(3),111-116

小林由美, 小林万里, 高田清治, 蔵谷繁喜, 小川泉, 堀内秀造, 馬場浩, 渡邊有希子, 桜井泰憲 (2011) : 箱罟と綱罟を用いたゼニガタアザラシ *Phoca vitulina stejnegeri* の捕獲 ; 日本哺乳類学会 哺乳類科学 51(1):47-52

杉田治男 (2014) : 水族館と海の生き物たち ; 恒星社厚生閣

河内孝夫 (2010) : 水族館の電気設備について ; 電気設備学会誌 30(7) 546-550

鈴木克美, 西源二郎 (2010) : 新水族館学—水族館の発展に期待をこめて ; 東海大学出版

亀崎直樹 (2019) : 水族館における研究活動の必要性 ; 日本野生動物医学会誌 24 (3) : 87-90

田中平 (2005) : 水族館の社会的な役割とその現状 ; 日本科学教育学会研究会報告 20 (4) p119

高見一利 : 動物園・水族館における生息地域外保全 : 日本野生動物学会誌 24 (2) p49-57

土居利光 (2017) : 都市環境における動物園及び水族館の意義と役割 ; 観光科学研究 61-76

村山司, 庵地彩子, 鳥羽山照夫 (2001) : シロイルカによるだ円と円の分別 : Nippon Suisan Gakkaishi 67(4), 745-746

Scholtyssek, C., Kelber, A., Hanke, F. D., Dehnhardt, G. (2013) : A harbor seal can transfer the same/different concept to new stimulus dimensions ; Animal Cognition, 16, 915-925

Mercado E.I.I.I., Uyeyama R.K., Pack A.A. and Herman L.M (1999) : Memory for action events in the bottlenosed dolphin ; Anim Cogn 2 :17-25

金野篤子, 朝比奈潔, 弓岡千尋, 小林裕, 荒幡経夫, 村山司 (2005) : バンドウイルカ (*Tursiops truncatus*) における無彩色の弁別に関する基礎的研究 ; The Japanese Journal of Animal Psychology, 55, 2, 59-64

Tian H., Li C., Mohammad M.A., Cui Y.L., Mi W.T., Xie D. and Ren T.L. (2014) : Graphene earphones: entertainment for both humans and animals ; ACS nano, 8(6):5883-5890

鮫島和行 (2019) : ヒトと動物のインタラクション研究 ; バイオメカニズム学会誌, Vol.43.No.3 p173-178

花塚優貴, 木村幸一, 今西哲也, 田中正之, 緑川晶 (2015) : 認知エンリッチメントツールとしての iPad の利用可能性 スマトラオラウータンを対象とした事例研究 ; Jour. Jpn. Assoc. Zoo. Aqu., 56 (3) : 71-79

David P.Hocking, Ben Burville, William M.G.Parker, Alistair R.Evans, Travis Park, Felix G.Marx (2020) : Percussive underwater signaling in wild gray seals; Mar Mam Sci. ;36:728–732.

Scholtyssek, C., Kelber, A., Dehnhardt, G (2015).: Why do seals have cones? Behavioural evidence for colourblindness in harbour seals : Anim Cogn18:551–560

Cunningham,K.A and C.Reichmuth (2016) : High-frequency hearing in seals and sea lions ; Hearing Reserch,331:83-91

Amanda L. Stansbury, and Vincent M. Janik. (2019) : Formant Modification through Vocal Production Learning in Gray Seals; Current Biology 29, 2244–2249

Heinrich.T., Dehnhardt.G., Hanke.D.F. (2016) : Harbour seals (*Phoca vitulina*) are able to time precisely ; Anim Cogn 19:1133–1142

Georgene L. Trosefh and Judy S. DeLoache (1998) : The Medium Can Obscure the Message: Young Children’s Understanding of Video ; Child Development, Volume 69, Number 4, Pages 950-965

木下孝司 (2001) : 遅延提示された自己映像に関する幼児の理解 : 自己認知・時間的視点・「心の論理」の関連 ; 発達心理学研究, 第 12 巻, 第 3 号, 185-194

Delfour,F., Marten,K (2001):Mirror image processing in three marine mammal species: killer whales (*Orcinus orca*), false killer whales (*Pseudorca crassidens*) and California sea lions (*Zalophus californianus*) : Behavioural Processes ,53 ,p181 – 190

友永雅己 (2008) ; チンパンジーにおける対称性の (不) 成立 : 認知科学, 15(3):347-357

大貫麻美, 三好美織, 三宅志穂 (2020) : 新型コロナウイルスの影響下における動物園・水族館における教育リソースに関する基礎研究 ; 日本科学教育学会年会論文集 44 巻

外部発表

外部発表

特定非営利活動法人 ヒューマンインタフェース学会

ヒューマンインタフェースサイバーコロキウム 2020 年 10 月 17 日-18 日

発表演題：情報端末を用いたコミュニケーションのためのアザラシの認知能力評価

発表者：木田勇輝，尾高康恵，醍醐博昭，醍醐奈生子，小木哲朗，遠山忠明，櫻木徹

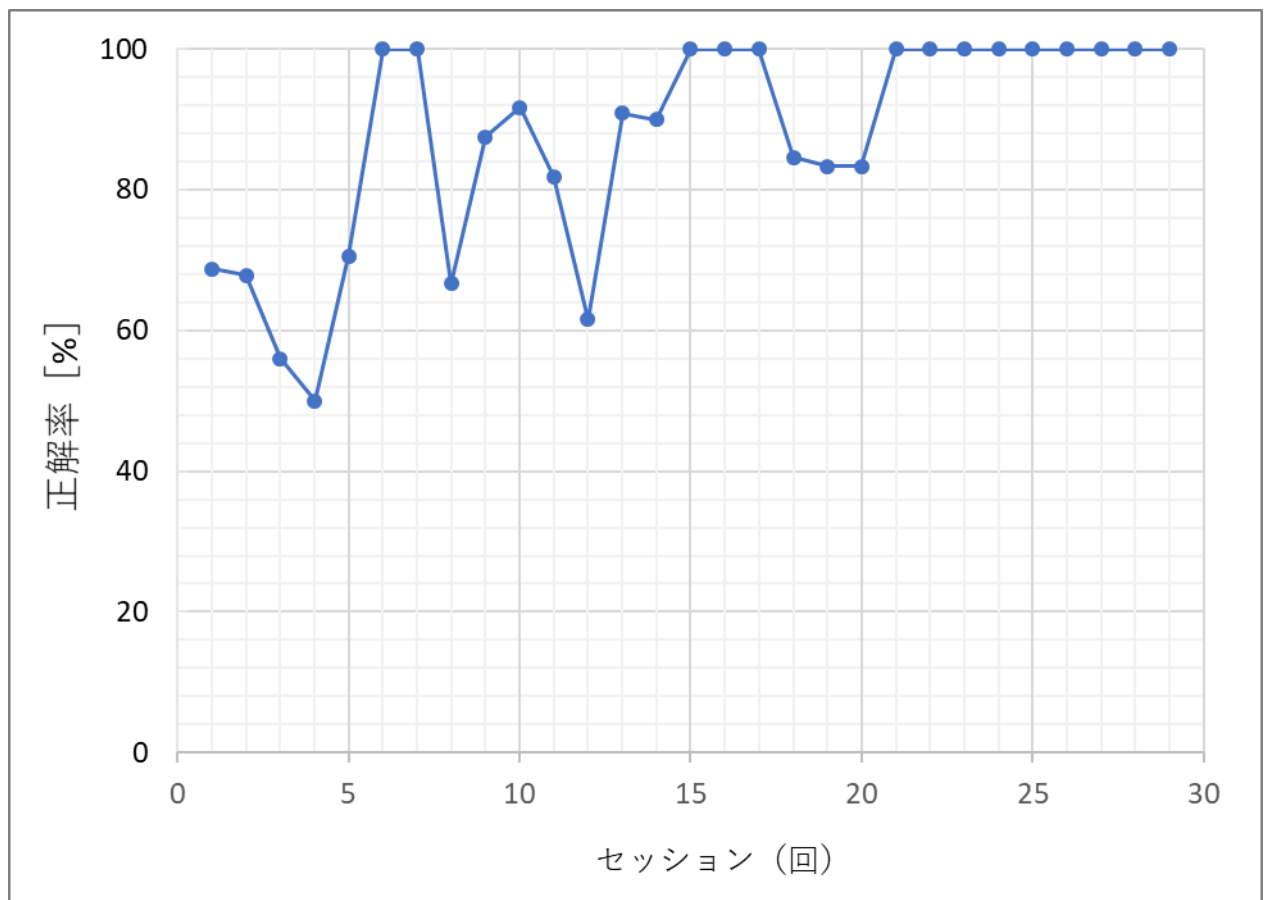
受賞タイトル：優秀発表賞

付録

アザラシ A パネル識別実験

セッション	日付	時刻	試行回数 (回)	正解 (回)	正解率 (%)
1	2020/2/19	9:40	16	11	68.75
2	2020/2/19	15:40	28	19	67.8571429
3	2020/2/20	15:50	25	14	56
4	2020/2/23	9:30	12	6	50
5	2020/2/23	16:10	17	12	70.5882353
6	2020/2/25	9:40	5	5	100
7	2020/2/25	15:40	5	5	100
8	2020/2/26	9:30	6	4	66.6666667
9	2020/2/26	15:50	8	7	87.5
10	2020/2/27	9:40	12	11	91.6666667
11	2020/2/27	15:50	11	9	81.8181818
12	2020/4/22	12:48	13	8	61.5384615
13	2020/4/22	15:42	11	10	90.9090909
14	2020/4/24	15:22	10	9	90
15	2020/4/25	12:46	6	6	100
16	2020/4/25	15:45	5	5	100
17	2020/4/27	12:49	5	5	100
18	2020/4/30	15:45	13	11	84.6153846
19	2020/5/1	15:42	6	5	83.3333333
20	2020/5/3	15:45	12	10	83.3333333
21	2020/5/4	12:49	5	5	100
22	2020/5/4	15:43	6	6	100
23	2020/5/6	15:44	5	5	100
24	2020/5/7	15:46	5	5	100
25	2020/5/12	15:46	6	6	100
26	2020/5/15	15:44	5	5	100
27	2020/5/18	16:32	4	4	100
28	2020/5/21	15:46	5	5	100
29	2020/5/23	15:45	5	5	100

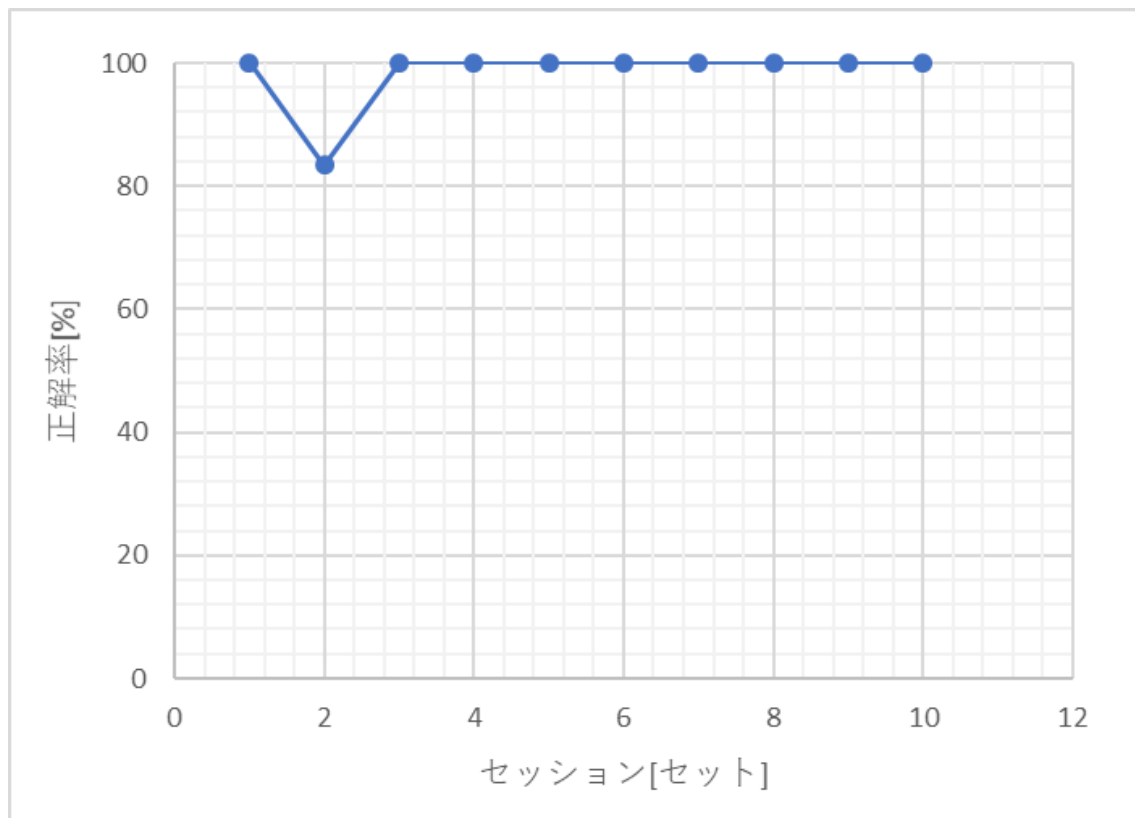
アザラシ A パネル識別実験



アザラシ B パネル識別実験

セッション	日付	時刻	試行回数 (回)	正解数 (回)	正解率 (%)
1	2020/2/23	16:10	4	4	100
2	2020/2/25	9:40	6	5	83.33333333
3	2020/2/25	15:40	8	8	100
4	2020/2/26	9:30	3	3	100
5	2020/2/27	9:40	5	5	100
6	2020/2/27	15:50	5	5	100
7	2020/3/5	12:50	5	5	100
8	2020/3/8	12:50	4	4	100
9	2020/3/16	9:40	3	3	100
10	2020/3/16	11:30	4	4	100

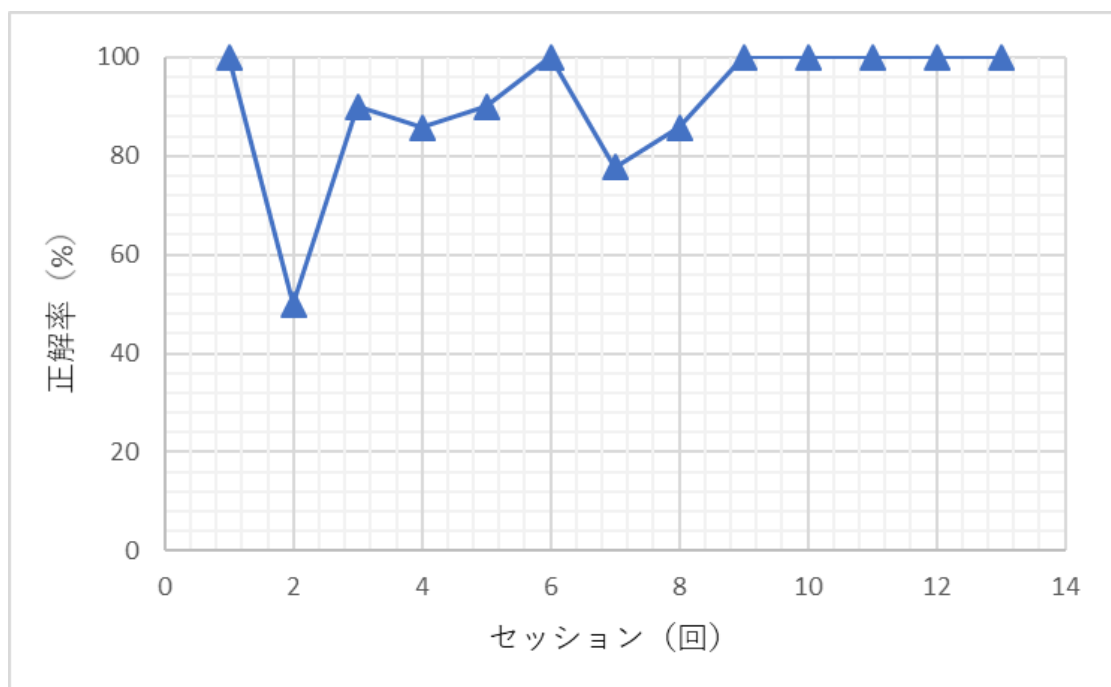
アザラシ B パネル識別実験



アザラシ C パネル識別実験

セッション	日付	時刻	試行回数 (回)	正解数 (回)	正解率 (%)
1	2020/2/19	15:40	8	8	100
2	2020/2/20	15:50	10	5	50
3	2020/2/20	16:10	10	9	90
4	2020/2/25	9:40	7	6	85.71428571
5	2020/2/25	15:40	10	9	90
6	2020/2/26	9:30	4	4	100
7	2020/2/26	15:50	9	7	77.77777778
8	2020/2/28	9:30	7	6	85.71428571
9	2020/3/5	12:50	5	5	100
10	2020/3/8	12:50	6	6	100
11	2020/3/16	9:40	13	13	100
13	2020/3/22	9:50	8	8	100

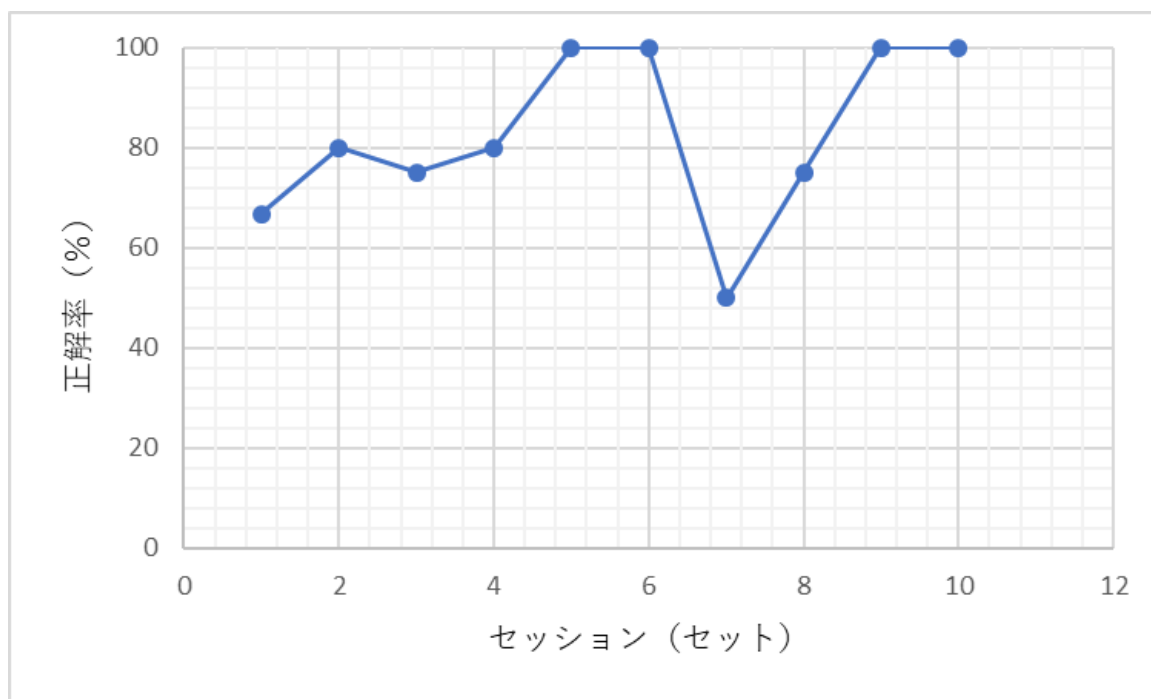
アザラシ C パネル識別実験



アザラシ A 手持ちタブレットの識別実験

セッション	日付	時刻	試行回数 (回)	正解数 (回)	正解率 (%)
1	2020/7/23	9:20	6	4	66.66666667
2	2020/7/23	15:30	5	4	80
3	2020/7/24	15:33	4	3	75
4	2020/7/26	15:32	5	4	80
5	2020/7/27	9:50	3	3	100
6	2020/7/27	12:01	5	5	100
7	2020/7/29	9:38	6	3	50
8	2020/8/2	9:32	4	3	75
9	2020/8/27	11:37	5	5	100
10	2020/8/27	15:32	5	5	100

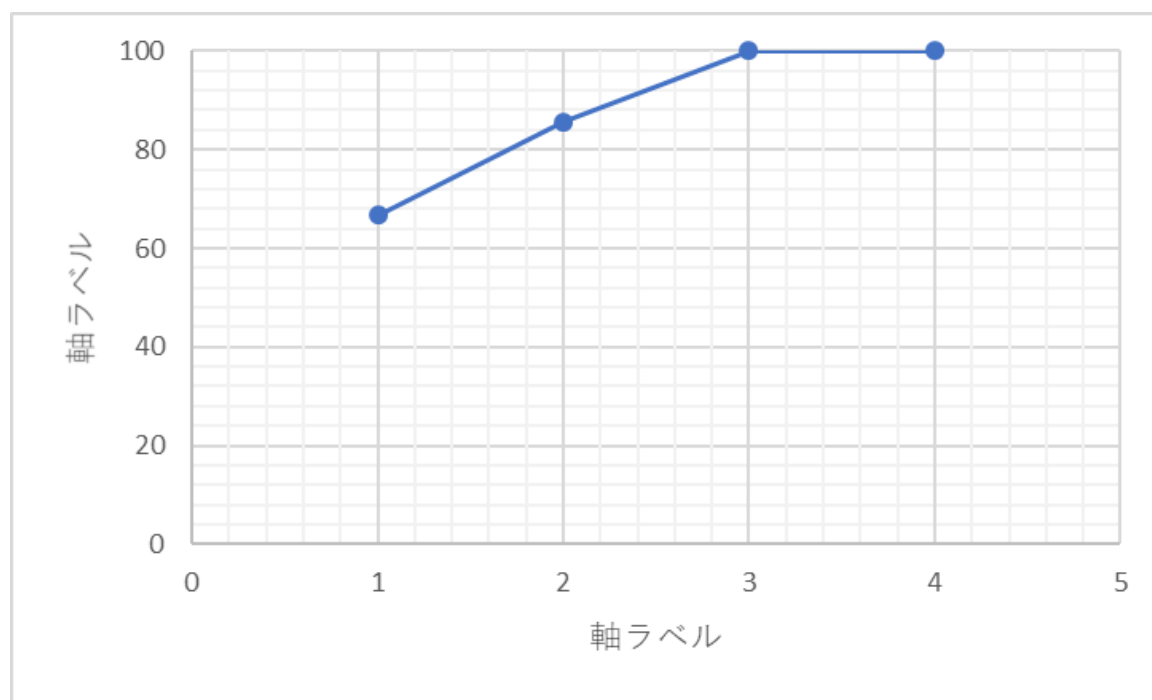
アザラシ A 手持ちタブレットの識別実験



アザラシ B 手持ちタブレットの識別実験

セッション	日付	時刻	試行回数 (回)	正解数 (回)	正解率 (%)
1	2020/7/23	12:50	3	2	66.66666667
2	2020/7/23	15:30	7	6	85.71428571
3	2020/8/27	12:37	5	5	100
4	2020/8/27	15:32	5	5	100

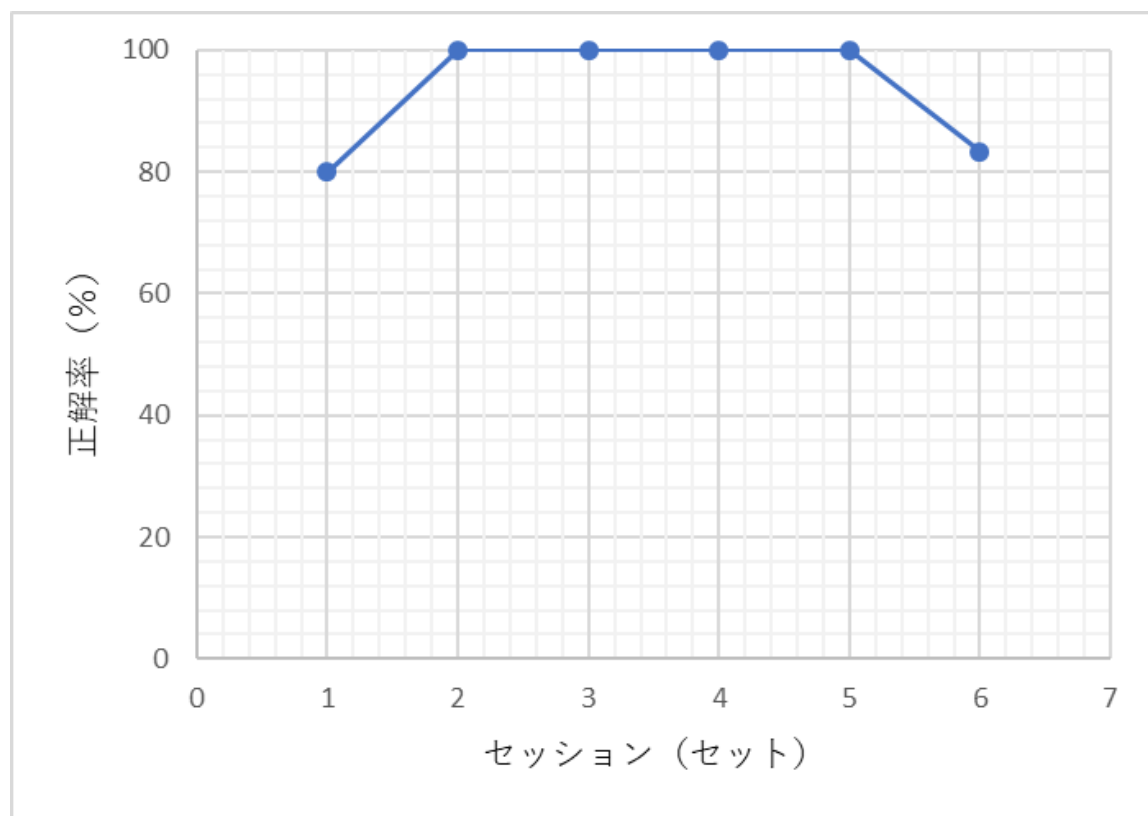
アザラシ B 手持ちタブレットの識別実験



アザラシC 手持ちタブレットの識別実験

セッション	日付	時刻	試行回数 (回)	正解数 (回)	正解率 (%)
1	2020/7/24	12:51	10	8	80
2	2020/7/26	15:33	6	6	100
3	2020/7/30	15:39	7	7	100
4	2020/8/1	14:28	8	8	100
5	2020/8/27	12:37	4	4	100
6	2020/8/27	15:32	6	5	83.33333333

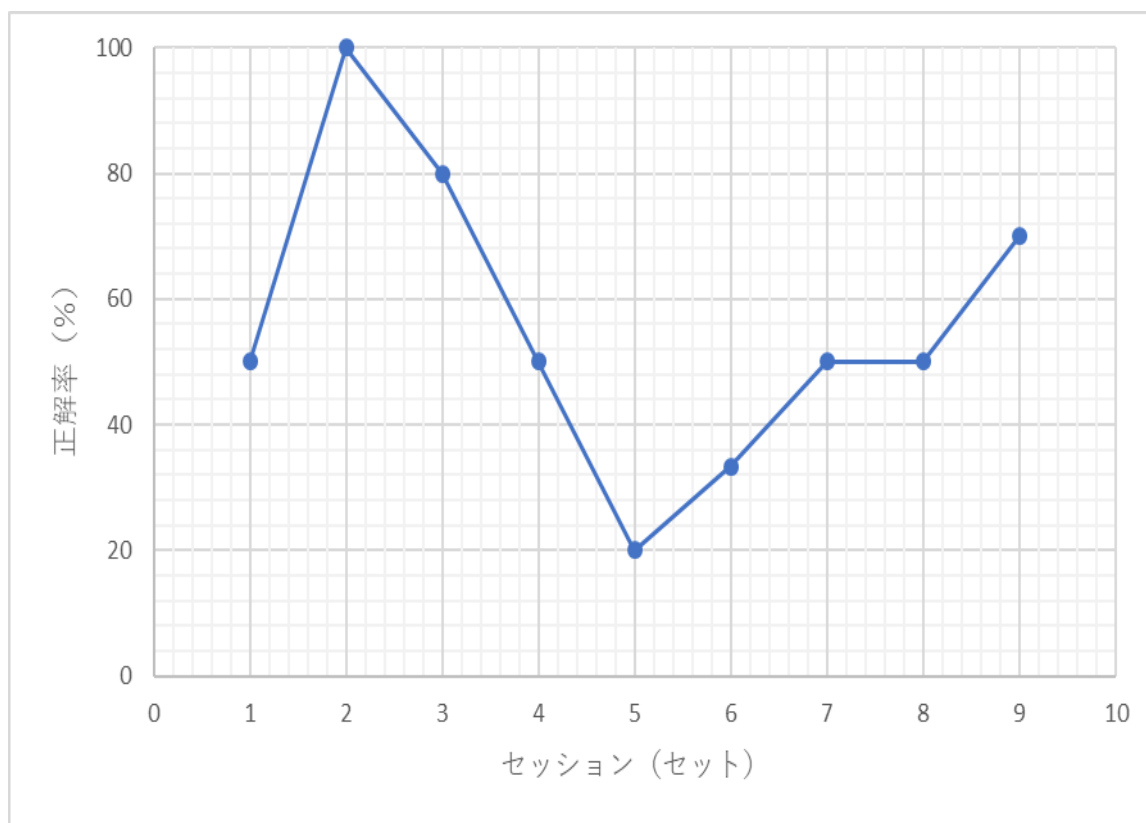
アザラシC 手持ちタブレットの識別実験



アザラシ A リモート操作（ヒントありなし）

セッション	日時	試行回数（回）	ヒントなし正解数（回）	ヒントあり正解数（回）	ミス（回）	点数による正解率（%）
1	2020/8/2 11:32	2	0	2	0	50
2	2020/8/2 15:32	4	4	0	0	100
3	2020/8/3 9:48	5	4	0	1	80
4	2020/8/18 11:29	4	0	4	0	50
5	2020/9/2 9:42	5	0	2	3	20
6	2020/9/2 9:44	3	0	2	1	33.33333333
7	2020/9/2 12:30	8	1	6	1	50
8	2020/9/2 15:32	7	1	5	1	50
9	2020/9/3 15:32	5	2	3	0	70

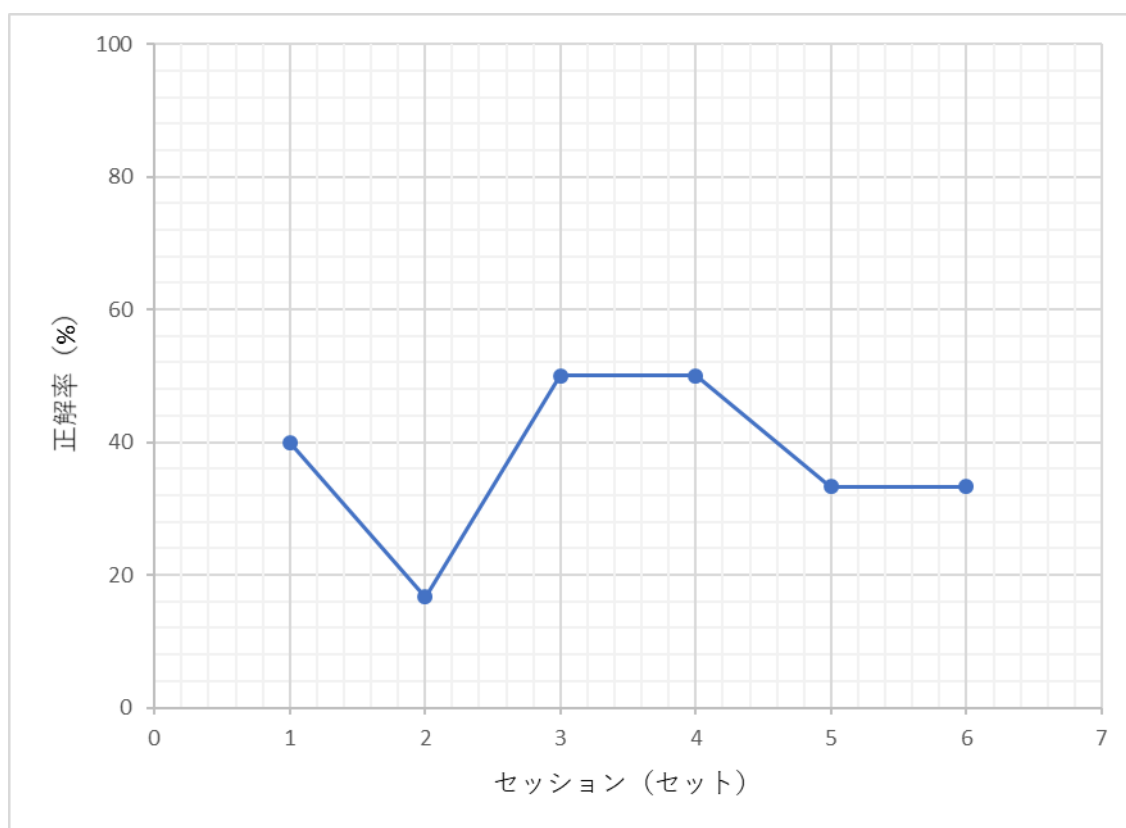
アザラシ A リモート操作（ヒントありなし 点数化）



アザラシ B リモート操作 (ヒントありなし)

セッション	日時	試行回数 (回)	ヒントあり正解数 (回)	ヒントあり正解数 (回)	ミス (回)	点数による正解率 (%)
1	2020/8/2 11:32	5	0	4	1	40
2	2020/8/2 11:32	3	0	1	2	16.66666667
3	2020/8/2 15:32	4	0	4	0	50
4	2020/8/19 12:35	4	0	4	0	50
5	2020/8/29 12:28	3	0	2	1	33.33333333
6	2020/9/3 15:32	3	0	2	1	33.33333333

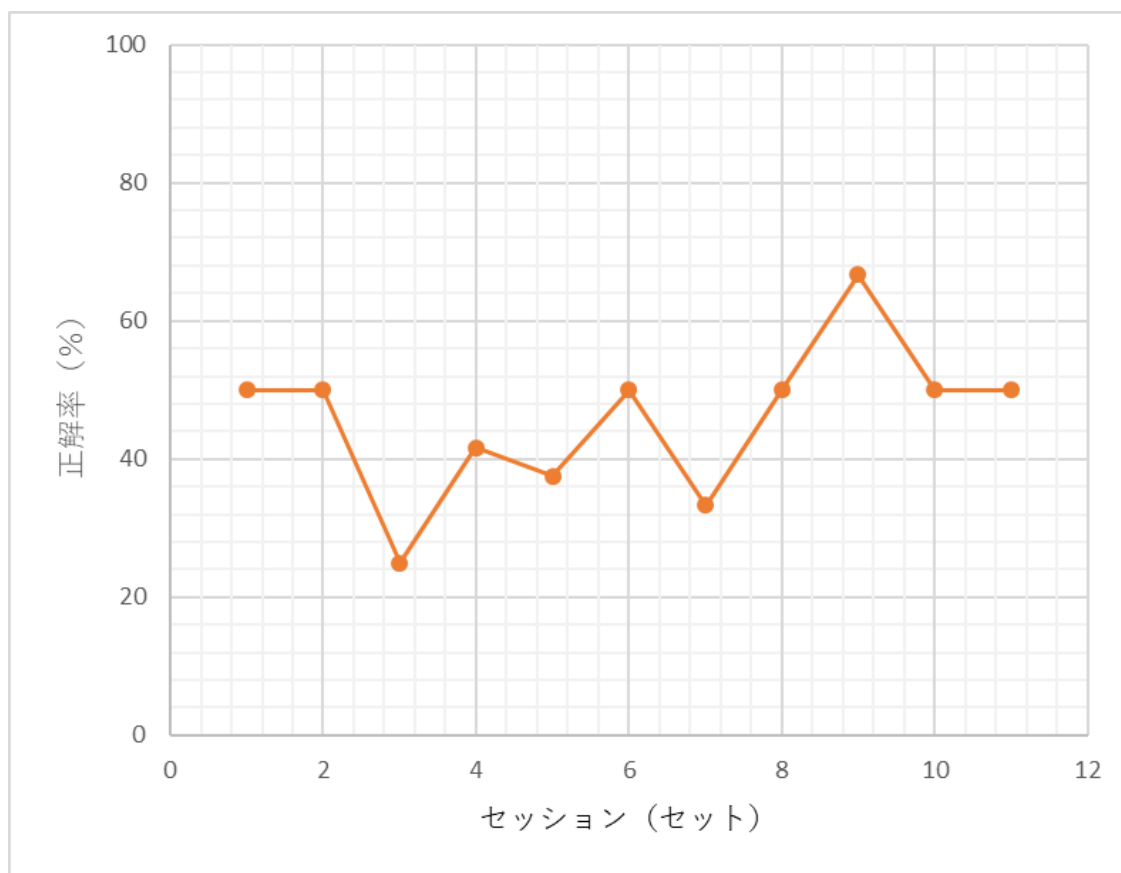
アザラシ B リモート操作 (ヒントありなし 点数化)



アザラシC リモート操作（ヒントありなし）

セッション	日時	試行回数（回）	ヒントあり正解数（回）	ヒントあり正解数（回）	ミス（回）	点数による正解率（％）
1	2020/8/3 11:31	4	0	4	0	50
2	2020/8/3 11:31	6	0	6	0	50
3	2020/8/18 15:37	4	0	2	2	25
4	2020/8/18 15:37	6	0	5	0	41.66666667
5	2020/8/19 12:35	8	0	6	2	37.5
6	2020/8/29 12:28	3	1	1	1	50
7	2020/8/29 15:37	3	1	0	2	33.33333333
8	2020/8/30 15:38	4	1	2	0	50
9	2020/9/1 15:38	6	2	4	0	66.66666667
10	2020/9/2 9:40	4	0	4	0	50
11	2020/9/2 12:30	6	1	4	1	50

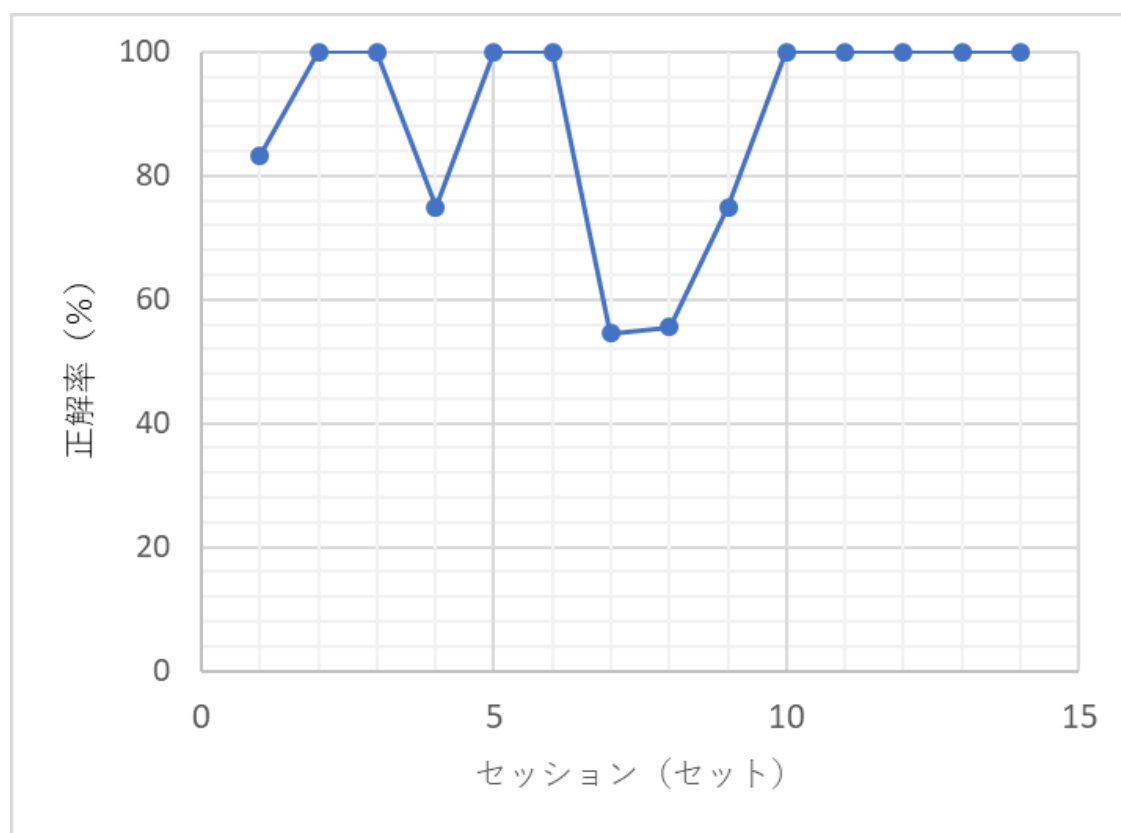
アザラシC リモート操作（ヒントありなし 点数化）



アザラシ A リモート操作（白画面時にヒントあり）

セッション	日付	時刻	試行回数（回）	正解数（回）	正解率（％）	
1	2020/9/29	12:32	6	5	83.33333333	
2	2020/9/29	15:33	6	6	100	図形出力と同時ヒント
3	2020/10/2	11:56	4	4	100	図形出力と同時ヒント
4	2020/10/4	11:35	8	6	75	
5	2020/10/7	15:04	5	5	100	図形出力と同時ヒント
6	2020/10/8	9:41	8	8	100	図形出力と同時ヒント
7	2020/10/8	12:00	11	6	54.54545455	
8	2020/10/10	11:34	9	5	55.55555556	
9	2020/10/21	9:45	8	6	75	
10	2020/10/21	11:54	6	6	100	
11	2020/10/23	9:29	6	6	100	
12	2020/10/23	11:52	6	6	100	
13	2020/10/23	15:55	6	6	100	
14	2020/10/29	11:58	7	7	100	

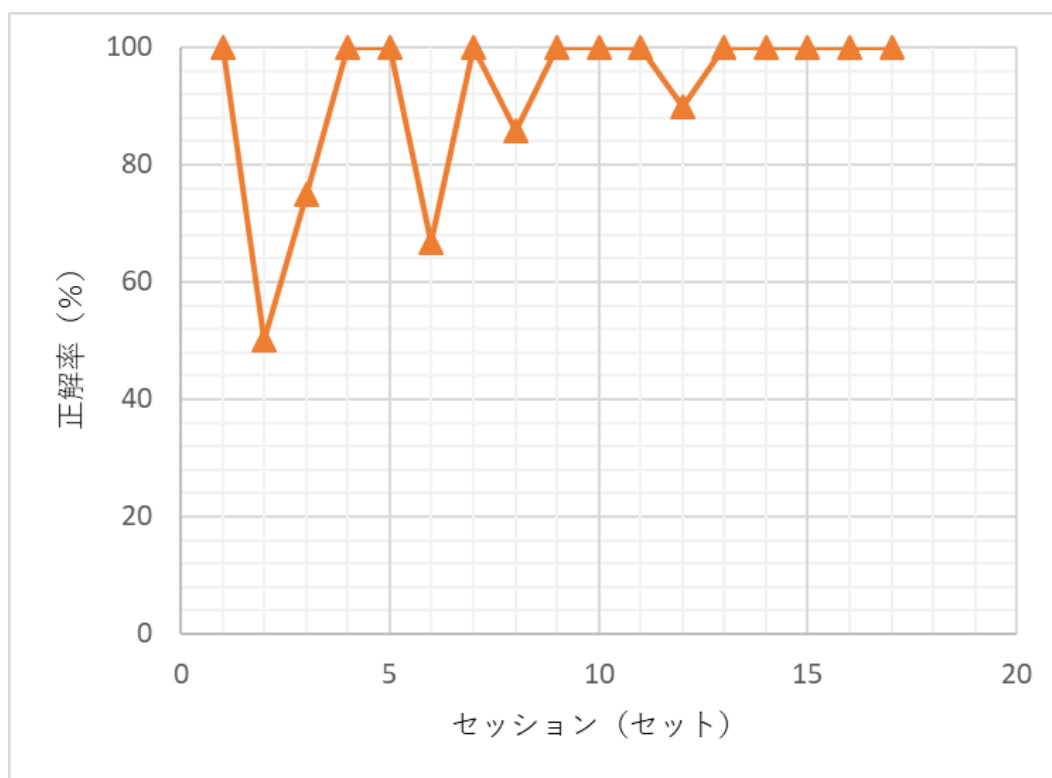
アザラシ A リモート操作（白画面時にヒントあり）



アザラシC リモート操作（白画面時にヒントあり）

セッション	日付	時刻	試行回数（回）	正解数（回）	正解率（％）
1	2020/9/29	12:32	3	3	100
2	2020/9/29	15:33	4	2	50
3	2020/10/1	11:55	4	3	75
4	2020/10/2	11:56	3	3	100
5	2020/10/5	15:00	3	3	100
6	2020/10/8	9:41	6	4	66.66666667
7	2020/10/8	12:00	5	5	100
8	2020/10/10	11:34	7	6	85.71428571
9	2020/10/14	12:00	9	9	100
10	2020/10/15	9:35	11	11	100
11	2020/10/18	9:26	13	13	100
12	2020/10/21	9:45	10	9	90
13	2020/10/23	9:29	9	9	100
14	2020/10/23	11:52	12	12	100
15	2020/10/23	15:55	9	9	100
16	2020/11/18	12:55	12	12	100
17	2020/11/18	15:52	10	10	100

アザラシC リモート操作（白画面時にヒントあり）



タブレット操作画面

図形切り替え

12

○△

△○

○+

+○

△+

+△

白（無印）

全部

オガ

ワカ

ココ

図形切り替え

オガ

○

1

2

○

△

△

○

○

+

+

○

白（無印）

全部

オガ

ワカ

ココ

図形切り替え ワカ +

1 2

○ +

+ ○

△ +

+ △

白（無印）

全部

オガ

ワカ

ココ

図形切り替え

ココ

△

1

2

○

△

△

○

△

+

+

△

白（無印）

全部

オガ

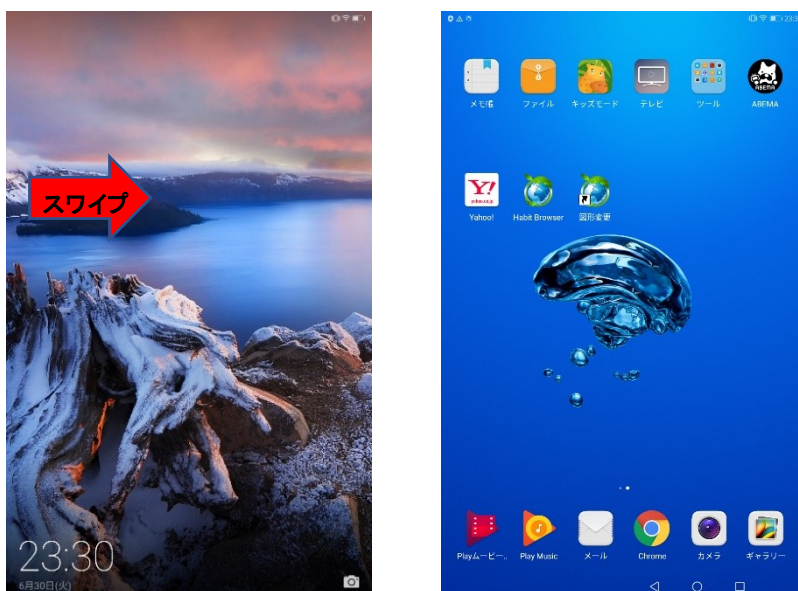
ワカ

ココ

実験タブレット操作マニュアル

1. タブレットの電源とアプリの起動

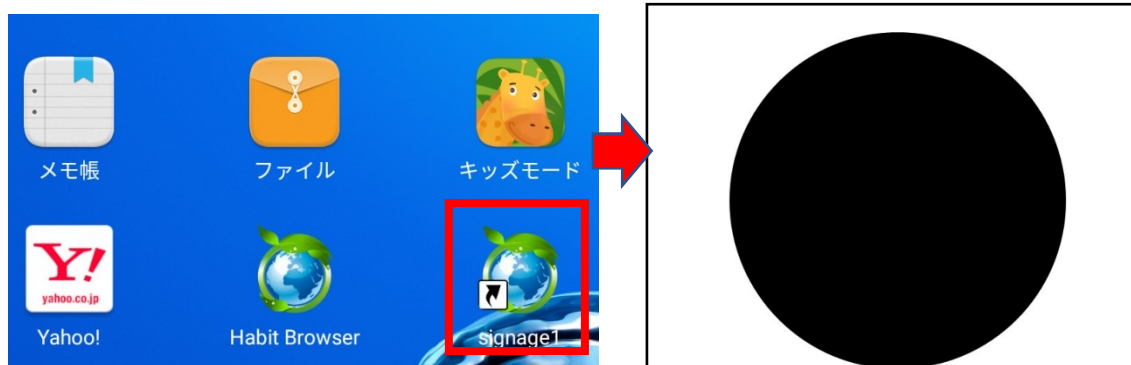
- ① 3 台のタブレットの電源を入れ横にスワイプし、ホーム画面を表示させる。



- ② 3 台のタブレットのうち、図形変更操作アプリ、図形表示アプリを起動する。
- 1 台目は「図形変更」のアイコン（図形変更操作アプリ）
- 2 台目は「signage1」のアイコン（図形表示アプリ）
- 3 台目は「signage2」のアイコン（図形表示アプリ）をクリックし、起動させる。
- ≪1 台目 「図形変更」≫



《2 台目 「signage1」 》



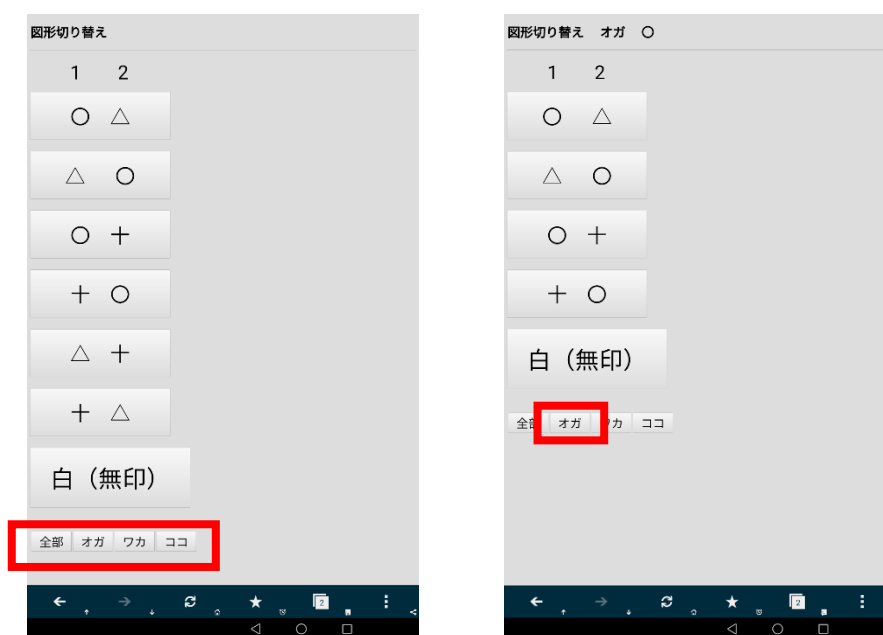
《3 台目 「signage2」 》



※「signage1」「sinage2」の起動時の初期表示図形は、○、△以外の場合もある。

2. アプリの操作

① 「図形変更」を起動後、対象のアザラシの名前に合わせて操作画面を変更する。



② 「図形変更」アプリで操作し，図形表示・変更する．

ボタンをタップして，タブレット2台の図形を表示させる．



3. 実験時の操作

タブレット 2 台「signage1」「sinage2」をスタンドで固定して表示する.

「図形変更」用タブレットで図形を変更し、アザラシに提示する.

