

博士論文

ハクピシンにおける侵入行動の解明および家屋侵入防止技術への
応用に関する行動学的研究

2012年3月

加瀬ちひろ

ハクビシンにおける侵入行動の解明および家屋侵入防止技術への
応用に関する行動学的研究

麻布大学大学院 獣医学研究科
動物応用科学専攻 動物行動管理学専攻科目
博士後期課程
2012年3月修了

DA0901 加瀬ちひろ

目次

緒言	・・・1
第1章　ハクビシンにおける侵入可能な最小の長方形入口の大きさおよび形状の検討	
第1節　目的	・・・5
第2節　材料および方法	・・・6
第3節　結果	・・・12
第4節　考察	・・・14
第2章　視覚的要因がハクビシンの侵入行動に及ぼす影響	
第1節　目的	・・・17
第2節　材料および方法	・・・19
第3節　結果	・・・25
第4節　考察	・・・31

第3章 ハクビシンが侵入可能な垂直隙間幅の検討

第1節 目的	・・・34
第2節 材料および方法	・・・35
第3節 結果	・・・39
第4節 考察	・・・43

第4章 侵入口に設置した障害物に対するハクビシンの反応

第1節 目的	・・・45
第2節 材料および方法	・・・46
第3節 結果	・・・55
第4節 考察	・・・64

総合考察	・・・67
------	-------

要約	・・・72
----	-------

謝辞	・・・76
----	-------

文献	・・・77
----	-------

緒言

ハクビシン (*Paguma larvata*) はネコ目ジャコウネコ科に属しており、熱帯から温帯地域のバングラディッシュ、東南アジア、中国、台湾、インドネシアに分布している¹⁻⁶⁾。現在、日本には全国的に生息しているが、日本で初めて生息が報告された 1948 年頃には、静岡県、山梨県、四国および徳島県周辺に不連続に分布していた⁷⁾。また、ジャコウネコ科動物の化石は日本では発見されていないことから、ハクビシンは外来種である可能性が支持されている⁸⁾。これまでに、頭骨の形態比較や⁹⁾、遺伝子核型の比較¹⁰⁾、ミトコンドリアシトクロム b 配列の解析¹¹⁾などの様々な手法により、日本産ハクビシンの発生由来について研究がされてきたが、明らかにはされなかった。しかし近年、Masuda ら¹²⁾がミトコンドリア DNA シトクロム b 配列をすべて解析したところ、東日本のハクビシンは台湾西部を、西日本のハクビシンは台湾東部を由来としている可能性が高いことが報告され、ハクビシンは日本において外来種である可能性が強く支持された。

日本におけるハクビシンの生息環境は多岐にわたり、山地や農地周辺だけでなく人口の多い都市部にも生息している^{13,14)}。ハクビシンは果実を中心とした雑食性であるが、軟体動物、節足動物、両生類、爬虫類、鳥類、小型哺乳類なども捕食する^{5,15-17)}。果実の少ない季節には動物質を中心に摂取し、空間的、時間的変化に食性を適応させることができる^{5,15,16)}。ハクビシンの摂取する食物の種類や量は、それぞれの生息環境や季節に依存する傾向にあり、人家周辺では生ゴミを食べていることもある^{15,17,18)}。通常ハクビシンは、他の哺乳類が形成した地下の穴や樹洞、樹上などで休息し、休息場所の選択は地域によって異なるが、休息地のほとんどを樹上に求める地域もある^{19,20)}。一方日本では、神社仏閣や人家、倉庫などの天井裏を、休息や出産・子育ての場として利用する場合があります^{13,14,18,21)}、排泄物による汚染や、騒音などが家屋侵入被害として問題となっている²²⁾。また、このようなハクビシンによる家屋の利用は、騒音や排泄物による悪臭などの直接的な被害だけでなく、休息や出産、子育ての場を提供することにより個体数増加を助長し、周辺地域での農作物被害を深刻化させるなどの間接的な被害要因ともなり得る。

近年日本では、野生鳥獣による農作物被害が深刻化しており、農林水産省の報告によると、日本の野生鳥獣による農作物被害金額は平成 21 年度で総額 213 億円にのぼっている²³⁾。そのうち獣類による被害が 8 割、鳥類による被害が 2 割を占めており、獣類による被害のうち約 9 割がサル、シカ、イノシシが占めている。中型哺乳類による農作物被害金額は全体の一割にも満たないが年々増加しており、そのなかでもハクビシンによる被害金額は 10 年間で 7 倍に増え、平成 22 年度では 3.2 億円にのぼっている²³⁾。これまでにハクビシンによる農作物被害の防除を目的として、種々の電気柵や果樹の単木防除としてのトタン巻き、傘状のハクビシン返し、ブドウの食害防除として、ブドウ袋の素材の検討、忌避材の使用などが研究されてきた²⁴⁻³⁰⁾。そのなかでも、古谷²⁴⁻²⁷⁾により開発された電気柵の「白落くん」は、特にブドウ園における被害防除策として開発され、ハクビシンの運動能力を利用して、ブドウ棚を登らせて感電させるものである。この「白落くん」は、ブドウ園だけでなく他の作物の農地においてもハクビシン侵入防除対策として有効であり、ハクビシンだけでなくアライグマなども含めた中型哺乳類に対応している。

このように、ハクビシンによる農作物被害については徐々に研究が進められており、いくつかの有効な被害防除の技術が開発されつつある。しかし一方で、ハクビシンによる家屋侵入被害に焦点をあてた研究はされておらず、家屋に侵入された場合の対応策は、侵入したハクビシンを箱罠により捕獲し、侵入口を修復することに留まっている。この方法では、ハクビシンに被害を受けてからの対応となり、未然に家屋侵入被害を防ぐことにはならない。また、ハクビシンがどのような隙間から家屋内に侵入するかや、家屋内の移動経路は明らかにされておらず、被害を受けた家屋の侵入口を修復する際に見落としが生じ、別に存在する隙間から新たな個体が侵入することで、被害を繰り返す恐れがある。現時点では有効な予防策のないハクビシンの家屋侵入被害への対応策として、被害を与える動物種の駆除が第一に求められがちであるが、周辺地域に生息しているすべてのハクビシンを駆除することは不可能である³¹⁾。また、ハクビシンを箱罠により捕獲し、随時駆除していくためには多大な労力と時間、そして費用がかかる。

環境省³²⁾の報告によると、イノシシの狩猟および有害捕獲などによる捕獲頭数は、集計を開始した昭和 35 年度から 48 年間で約 10 倍に増加し、平成 20 年度には 306700 頭にのぼっている。また、狩猟獣に指定されていないサルでは、有害捕獲頭数が 48 年間で 159 倍に増加し、

平成 20 年度には 15900 頭にのぼっている³²⁾。その他の動物種でも同様に、捕獲頭数は年々増加しているが³²⁾、これらの動物による農作物被害金額は減少しておらず、横ばいもしくは増加傾向にある²³⁾。これらの事実からも、捕獲のみで野生動物による被害を低減できないことが示唆されており、捕獲以外の対策を進める必要性が認識されてきた。近年では、野生動物による被害対策として、野生動物の潜み場所や休息場所となる竹林や耕作放棄地などの集落周辺の環境管理や、農地を柵で囲い、物理的に侵入を防止する方法などが推奨されており、これらの対策を行った上で、人慣れが進行し何度も農地に出没する個体を捕獲することが、効果的かつ効率的な被害対策であるとされている³¹⁾。ハクビシンが引き起こす被害についても同様に、環境管理や侵入防止柵の設置を行わなければ、捕獲を続けても被害防止効果は得られないと考えられる。

ハクビシンに関する研究は、野外における食性や活動性などの生態研究がほとんどであり、種特有の運動能力や行動特性を実験的に研究した例は極めて少ない。日本における生態学的研究として、例えば Matsuo と Ochiai¹⁷⁾は、中型哺乳類であるハクビシン、アライグマおよびタヌキの食性を、有害捕獲個体の消化管内容物で比較している。その結果、3 種の摂取品目は部分的に重複していたが、ハクビシンは両生類の摂取割合が他種よりも高く、水辺の利用が多いことが示唆された¹⁷⁾。また、Seki と Koganezawa³³⁾は、高標高域におけるハクビシンの行動圏を調査し、冬期は他の季節に比べて 1 日の移動距離が短いことから活動性が低下することが示唆された。中国や台湾を中心とした日本国外においても、これらのような食性^{5, 16, 19)}や活動量、生息地選択^{20, 34, 35)}の研究が行われているが、ハクビシンの被害対策に直接的に応用できる知見は少ない。一方で近年、野生動物に係る問題を考える上で、行動学的手法により得られた知見は現場での汎用性が高く、具体的な解決方法の提案に役立つことから、その重要性が認識されてきた。例えば、江口ら^{36, 37)}はイノシシの跳躍能力を飼育下個体と野生下個体を用いて研究し、踏み切り位置を遠ざけることで柵の跳躍を抑制する折り返し柵を開発した。また、嗅覚刺激や聴覚刺激を用いた行動制御技術の開発を目指した研究では、嫌悪反応を示す音域の存在や異性のフェロモンを含む臭いに誘引効果がある可能性を示唆した³⁸⁾。これらの研究結果から、科学的知見に基づき、現行のイノシシ被害対策の誤解が指摘され、効果的な対策方法が具体的に提案されている。

著者らはこれまでに、ハクビシンの家屋侵入被害を防止するための基礎的知見を得るため、

侵入可能な最小の入口の大きさおよび形状の検討を行い、H6×W20 cm の横長の長方形、H20×W6 cm の縦長の長方形、一辺 8 cm の正方形、直径 9 cm の円形入口から侵入したことを報告した^{39,40)}。ハクビシンの肩部や腰部の大きさは体重と相関しており、これらの部位が入口から侵入する際に障害になることで、侵入可能な入口の大きさおよび形状に影響を及ぼしていることが示唆された⁴⁰⁾。これらの先行研究で得た知見をもとに、本研究では、ハクビシンの侵入行動について水平方向および垂直方向での移動能力をはじめとする行動特性を明らかにし、家屋への侵入経路と家屋内での移動を予測可能にした後、侵入経路に設置した障害物の侵入防止効果をハクビシンの行動から評価することを目的とした。本研究ではまず、水平方向での移動能力を明らかにするため、第 1 章においてハクビシンが侵入可能な最小の長方形入口の大きさおよび形状の検討を行い、第 2 章で視覚的要因が入口への侵入行動に及ぼす影響について検討した。また第 3 章では、垂直方向での移動能力を明らかにするため、侵入可能な垂直の隙間幅の検討を行った。そして第 4 章では、第 1 章から第 3 章までの結果を受け、侵入口に設置した障害物に対するハクビシンの行動を、障害物の目合の大きさや形状、線径の違いにより比較した。

第1章

ハクビシンにおける侵入可能な最小の長方形入口の大きさおよび形状の検討

第1節 目的

ハクビシンの家屋侵入を防止するためには、第一に家屋への侵入経路を明らかにする必要がある。そこで第1章では、飼育個体を用いて侵入可能な入口の大きさおよび形状の検討を行った。

著者らはこれまでに、体重 2.2~4.2 kg のハクビシン 18 頭（雄 7 頭、雌 11 頭）を用いた実験により、侵入可能な最小の入口の大きさおよび形状は、H6×W20 cm の横長の長方形、H20×W6 cm の縦長の長方形、一辺 8 cm の正方形、直径 9 cm の円形であることを報告した^{39,40}。この実験では、正方形、円形入口は 1 cm 間隔で入口の大きさを変化させ、侵入可能な最小入口の大きさを検討したが、長方形入口の長辺は 20 cm に固定して提示したため、長辺の長さが侵入の可否に及ぼす影響について明らかにされておらず、さらに小さな入口でも侵入できる可能性が示唆された。ハクビシンが家屋への侵入経路として利用する可能性が高い通風口などの隙間は、一般的に長方形であることから、ハクビシンが侵入可能な最小の長方形入口に関する知見を得る意義は大きい。そこで本章では、長方形の短辺と長辺をそれぞれ 1 cm ずつ短くしていき、ハクビシンが侵入可能な最小の長方形入口の大きさおよび形状を調査した。

第2節 材料および方法

1. 供試動物

供試動物は、埼玉県秩父市にある埼玉県農林総合研究センター茶業特産研究所中山間営農担当秩父試験地（以下、秩父試験地）の動物舎において飼育しているハクビシン6頭（雄3頭、雌3頭）を用いた。各個体の詳細は表1-1に示した。供試個体の月齢は、供試個体とは異なる捕獲ハクビシン2頭（雌2頭）の、生後10日目から12ヵ月齢以上になるまでの体格や体重と比較して推定した。今回実験に用いた各個体は、捕獲された時点でそれぞれ3ヵ月齢以上であると推定し、本実験時にはそれぞれ12ヵ月齢以上であると推定した。また、Teiら⁴¹⁾の調査によると、ハクビシンの雌は12ヵ月齢以降から出産が可能であることから、今回供試した個体の成長区分はすべて成獣とした。供試個体の実験時の体重は、2.4〜3.8 kgであった。実験期間中は8:00〜9:00の間に清掃管理し、17:00に給餌した。飼料は市販のドックフード（ユニ・チャーム株式会社：愛犬元気栄養バランスと味わいプラス全成長段階用ささみ・ビーフ・バランス緑黄色野菜入り）を1日100 g給餌し、不定期にブドウ、リンゴ、バナナなどの果物を与えた（表1-2）。ただし、実験中は報酬に対する欲求を高めるため、果物は与えなかった。給水は自由飲水とした。

2. 飼育施設

秩父試験地付設の動物舎（W7600×D9600 mm）に、飼育ケージ（W620×D465×H565 mm）および中型哺乳類の行動を研究するために作製したL字型の実験室（W3460×D2260×H1880 mm）を設置し、実験を行なった（図1-1）。飼育ケージは市販の鋼鉄製ペット用ケージ（株式会社マルカン：ペットカーゴM）に、スライド式の扉を付属したものをを用いた（図1-2）。実験ケージは骨組みにアルミフレームを用い、その二面および天井にアクリル板を、残りの二面および床面にアルミ複合板を張り周囲を覆った。内部は上下を仕切ることによって2室に分けることができ、実験では上段に供試個体を一頭ずつ導入した（図1-3）。

3. 実験装置

実験装置は成獣ハクビシンの体格を考慮して設計し、先行研究で用いたものを使用した。実験装置の寸法はW880×D900×H220 mmとし、横幅を220 mmずつに板で区切り4つの部屋に

分けた (図 1-4)。成獣ハクビシンの全長は平均 100 cm 以上であるが、平均頭胴長は 55.3 cm であることから⁴²⁾、作成した実験装置はハクビシンが少なくとも尾の付根まで装置内に侵入できる奥行きであった。装置の枠組みはアルミ平板で作製し、ビニールコーティングされた亀甲金網 (16 mm メッシュ) で天井部を覆った。装置前面の入口部分はスライド式で入口の形状を変化できるようにするため、コの字型アルミフレームをとり付けた。今回の実験ではハクビシンに入口を 1 つずつ提示したため、装置の 1 ヶ所のみを使用し、右 2 ヶ所と左 1 ヶ所は侵入できないように入口を板で塞いだ。

4. 実験方法

実験は 2009 年 9 月から 10 月にかけて行った。実験開始時刻は 9:00 とし、最長でも 14:00 には終了した。本試験の前に実験装置への馴致を行い、入口板を提示せず、ハクビシンに実験装置奥に設置した報酬飼料を自由に摂取させた。報酬飼料には、ハクビシンの嗜好性が高いバナナを使用し、1 試行につき入口 1 ヶ所あたり 3 g 与えた。つづいて入口板への馴致として、先行研究の結果に基づき、H8×W20 cm の横長の長方形および H20×W8 cm の縦長の長方形入口を提示し、装置奥に設置した報酬飼料を摂取することを確認した後、本試験に移った。

本試験では、ハクビシンが侵入に成功するごとに、まず長方形の短辺を 1 cm ずつ短くした (短辺減少条件)。入口提示後 30 分が経過しても、ハクビシンが入口から侵入しない場合には短辺減少条件を終了し、侵入を試みているにもかかわらず侵入しなかった場合には、侵入失敗と判断して侵入可能な最小の短辺値 (MVS) を決定した。一方で、報酬への動機付けが明らかに低く侵入を試みなかった場合には、翌日に前日侵入しなかった入口よりも 2 段階大きい入口から提示し、短辺減少条件を続行した。前日と同様にハクビシンが侵入しなかった場合には、侵入失敗と判断して条件を終了し、MVS を決定した。短辺減少条件の後、入口板を設置せずに報酬を自由に摂取させる開放期を 1 日設けた。続いて、長方形の短辺を各個体の MVS に固定し、侵入に成功するごとに長辺を 2 cm ずつ減少させた (長辺減少条件)。短辺減少条件と同様の手順で実験を行い、侵入に失敗した長辺値よりも 1 cm 長辺の長い入口を提示し、最終的には 1 cm 単位での侵入可能な最小の長辺値を決定した (MVL)。横長の長方形および縦長の長方形の、2 種の形状の実験順序は個体により無作為にした。

5. 観察方法

実験時のハクビシンの行動は、デジタルビデオカメラ（Sony DRC-TRV70, DRC-PC300）で撮影し、入口への行動を連続観察した。

6. 測定項目および統計解析

（1）侵入の可否

供試個体の鼻先から尾の付根が実験装置の入口を越えたときを侵入成功とし、尾の付根までに至らず装置外に引き返した場合には、侵入失敗とした。

（2）各入口前での探査持続時間

各入口への探査行動の持続時間を記録した。横長の長方形入口と縦長の長方形入口の 2 種類の形状の結果をまとめ、各個体が侵入した最大の入口（Max）、侵入した最小の入口（Min）および侵入に失敗した入口（FE）間での探査持続時間の差を、Friedman 検定および Steel-Dwass 検定により解析した。

（3）各入口前での各探査行動の持続時間

ビデオカメラによる撮影で観察された行動をもとに、探査行動を 7 つのカテゴリーに分類し、各探査行動の持続時間を記録した（表 1-3）。入口前での探査行動のうち、におい嗅ぎや注視など、観察された各探査行動の持続時間を、Max、Min および FE 間で Friedman 検定および Steel-Dwass 検定により解析した。すべての解析には統計解析ソフト R（バージョン 2.13.1）を使用した。

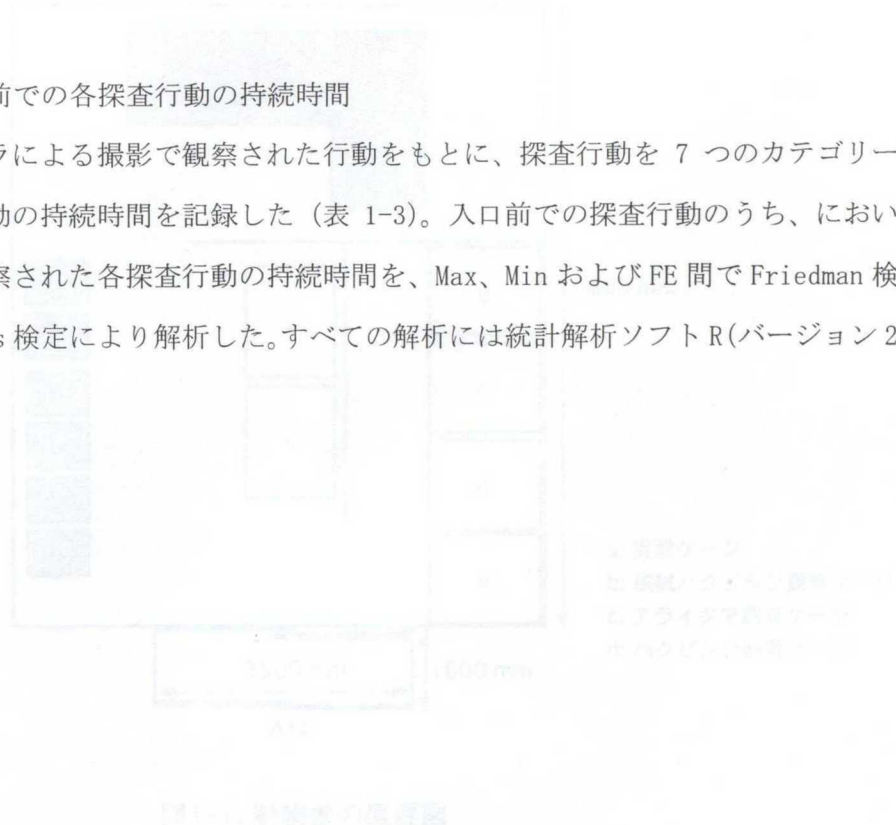


表1-1. 供試個体の詳細

供試個体	性別	捕獲日	実験時体重(kg)	実験開始日
A	雄	2006年12月14日	3.5	9月13日
B	雄	2008年 4月30日	3.5	9月16日
C	雌	2006年 7月 7日	3.7	9月 9日
D	雌	2008年 4月30日	3.8	9月22日
E	雌	2007年11月16日	2.4	9月27日
F	雄	2007年11月16日	2.5	10月 4日

表1-2. 給餌したドックフード(愛犬元気;ユニ・チャーム株式会社)の主要栄養成分

成分	含有量
粗タンパク質	23.0 %以上
粗脂質	10.0 %以上
粗繊維	4.5 %以下
粗灰分	8.5 %以下
水分	10.0 %以下
エネルギー	約350 kcal (100 gあたり)

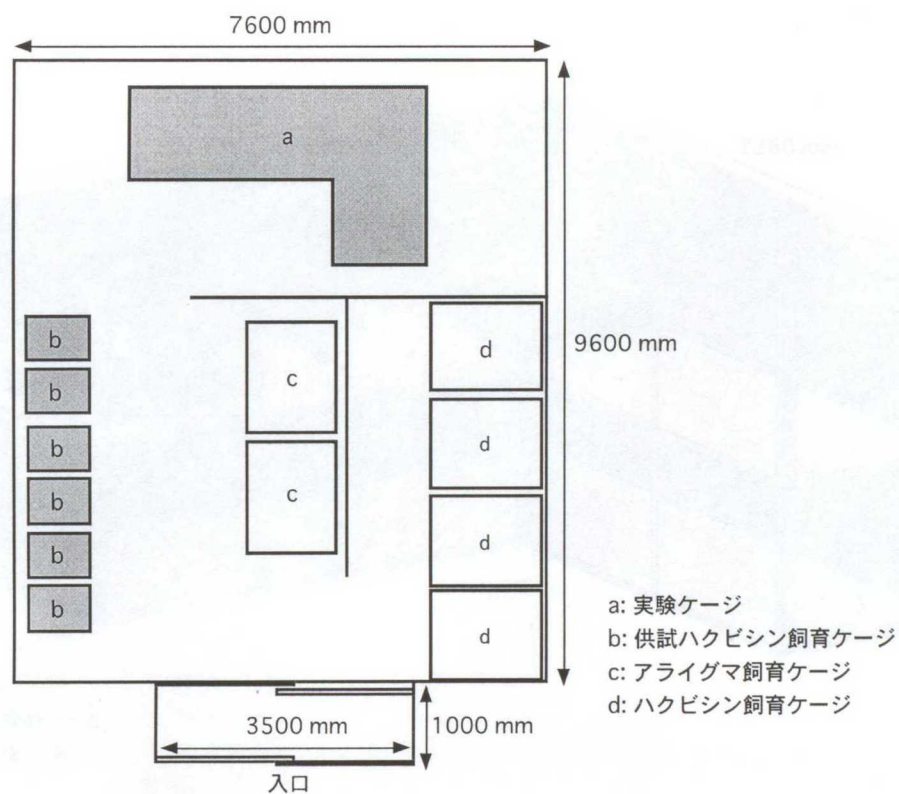
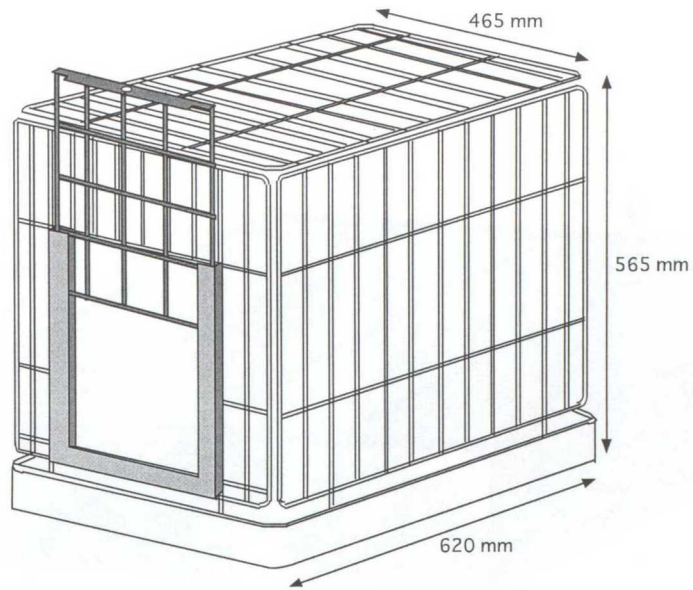
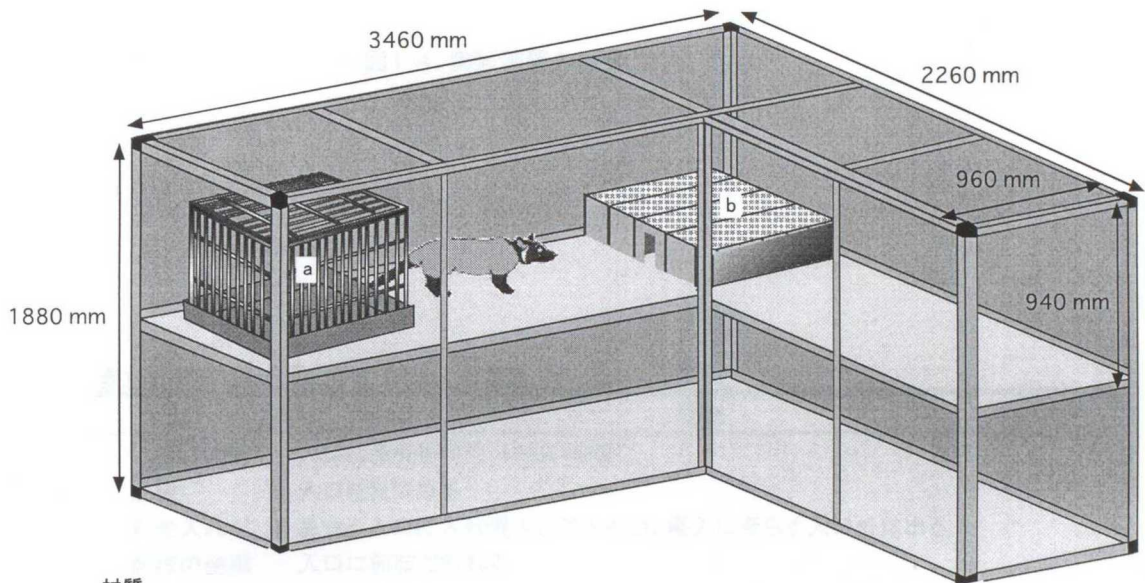


図1-1. 動物舎の概要図



材質
 飼育ケージ全体：鋼鉄製
 スライド式扉：鋼鉄製

図1-2. ハクビシンの飼育ケージ



材質
 枠組み：アルミフレーム
 天井・壁面（二面）：アクリル板
 壁面（他二面）：アルミ複合板
 a：飼育ケージ
 b：実験装置

図1-3. 実験室の概要

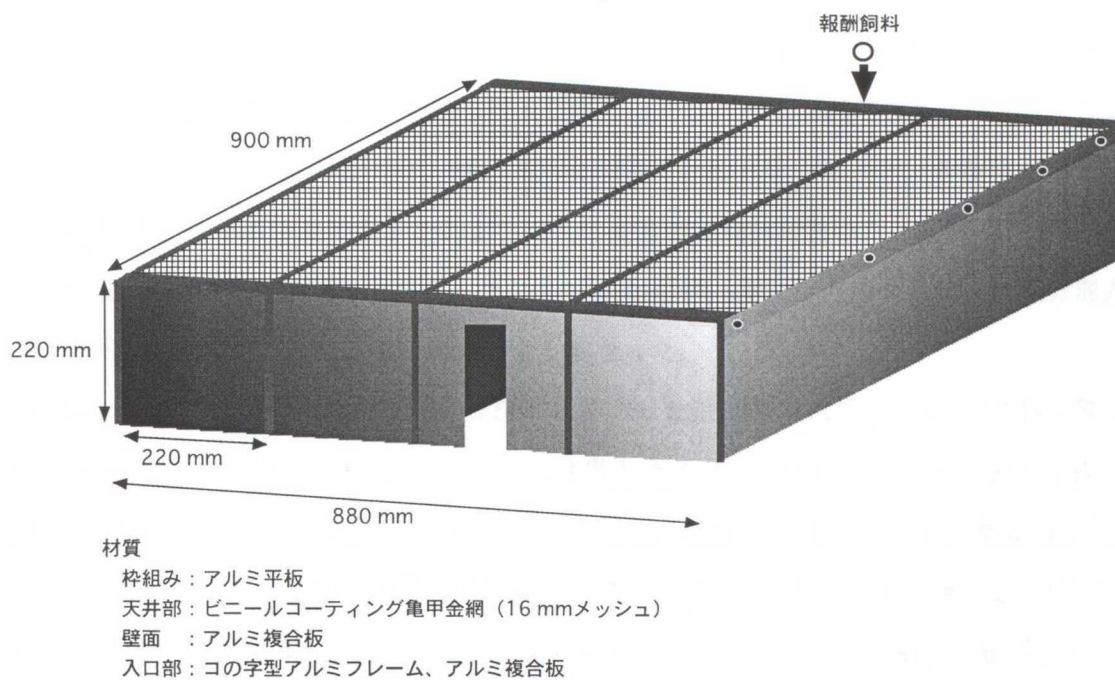


図1-4. 実験装置の概要

表1-3. 観察した行動カテゴリーとその定義

カテゴリー	定義
におい嗅ぎ	入口に鼻先を向け、においを嗅ぐ
注視	入口を見つめる
鼻先入れ	鼻先を入口に入れ侵入を試みるが、侵入に至らず入口外に出る
前肢の使用	入口に前肢で触れる
かじる	入口をかじる
なめる	入口をなめる
欠測	臀部など、ハクビシンの体に隠れて入口に対する探査行動が観察できない

第3節 結果

各個体が侵入した最小の入口の大きさを表 1-4 に示した。個体 A および C は $H7 \times W12$ cm の横長の長方形、および $H12 \times W7$ cm の縦長の長方形入口から侵入した。個体 D は $H7 \times W11$ cm の横長の長方形および $H11 \times W7$ cm の縦長の長方形入口から、個体 F は $H6 \times W15$ cm の横長の長方形および $H14 \times W6$ cm の縦長の長方形入口から侵入した。本実験での最小記録は、個体 E による $H6 \times W12$ cm の横長の長方形、 $H11 \times W7$ cm の縦長の長方形であった。各個体が侵入した入口の面積は、最小の横長の長方形および縦長の長方形で同等であった。しかし、個体 B は $H12 \times W7$ cm の縦長の長方形から侵入したにもかかわらず、侵入した最小の横長の長方形入口は $H6 \times W19$ cm であり、入口面積は形状により異なった。

各入口への平均探索持続時間（平均±SE）は侵入した最大の入口前で 1.6 ± 0.3 秒、侵入した最小の入口前で 23.2 ± 6.2 秒および侵入に失敗した入口前で 56.5 ± 9.8 秒であり、侵入に失敗した入口で最も長かった（Max vs. Min, $P < 0.01$, Max vs. FE, $P < 0.01$, Min vs. FE, $P < 0.05$ ）。におい嗅ぎおよび鼻先入れの持続時間は入口間で有意差があり、侵入した最大の入口より、侵入した最小の入口および侵入に失敗した入口で長くなった（Max vs. Min, $P < 0.01$, Max vs. FE, $P < 0.01$, Min vs. FE, n.s.）（表 1-5）。前肢の使用、かじるなどの破壊的な行動は、侵入した入口に対してほとんど観察されなかったが、侵入に失敗した入口に対してわずかに観察された。

	Min	FE
探索持続時間	1.6 ± 0.3	56.5 ± 9.8
におい嗅ぎ	1.7 ± 0.3	21.0 ± 2.7
鼻先入れ	0.8 ± 0.1	2.0 ± 0.4
前肢使用	0.4 ± 0.1	0.7 ± 0.1

Max: 侵入した最大の入口、Min: 侵入した最小の入口、FE: 侵入失敗
Max vs. Min, $P < 0.01$

表1-4. 各個体が侵入した最小の長方形入口

供試個体	侵入した最小の入口 (H×W cm)	
	横長の長方形	縦長の長方形
A	7×12	12×7
B	6×19	12×7
C	7×12	12×7
D	7×11	11×7
E	6×12	11×7
F	6×15	14×6

表1-5. 各入口前での各探査行動の持続時間(秒) (平均±SE)

カテゴリー	Max	Min	FE
におい嗅ぎ	0.4±0.1 ^a	5.8±1.6 ^b	17.2±2.8 ^c
注視	1.0±0.1	1.4±0.5	3.7±0.7
鼻先入れ	0.2±0.1 ^a	14.4±4.0 ^b	31.0±6.5 ^b
前肢の使用	-	0.3±0.2	0.8±0.4
かじる	-	0.2±0.2	2.8±1.4
なめる	-	0.2±0.2	0.4±0.1
欠測	-	0.9±3.3	0.6±0.4

Max: 侵入した最大の入口、Min: 侵入した最小の入口、FE: 侵入失敗

異符号間: P<0.01

第4節 考察

本実験で使用した実験装置は奥行きが 90 cm であり、供試個体の全長よりも奥行きが短い
ため、実験ではハクビシンが尾の先端まで装置内に入らずに報酬飼料を獲得し、装置外に出
る場合があった。しかし、ハクビシンは報酬飼料を摂取した後実験装置内で反転し、一度装
置内に鼻先から尾の先まで入った状態から装置外へ出たため、今回用いた実験装置で各入口
からのハクビシンの侵入の可否を判断できた。本実験でハクビシンが侵入した最小の長方形
入口は、H6×W12 cm の横長の長方形、H11×W7 cm の縦長の長方形であった。先行研究では、
個体 A、B、C、D は H7.5×W20 cm の横長の長方形、H20×W7.5 cm の縦長の長方形入口から侵
入したことを報告したが³⁹⁾、今回の結果から、ハクビシンはさらに小さい長方形入口から侵
入することが示された。一般的に、日本家屋は湿潤な気候に適応するため、外壁や軒下など
に通気性を保持するための隙間が設けられており⁴³⁾、さらに建築基準法により、外壁に 5 m
間隔以下で 300 cm²以上の通気口を設置することが推奨されている⁴⁴⁾。このような通気口は通
常、動物の侵入を防ぐために鉄柵などで塞がれているが、古い家屋では鉄柵が錆びて壊れて
いる場合があり、ハクビシンの家屋侵入の経路となる場合が多い⁴⁵⁾。また、増改築を繰り返
している建物の手を加えた部分や、低い位置に設置された出窓の下も隙間がある場合があり、
このような場所も侵入経路にされる場合がある⁴⁵⁾。

先行研究と同様に^{39,40)}、ハクビシンは入口から侵入する際に頭部や肩部、腰部が引っかか
った。しかし体をひねったり、入口に引っかかっている部分をずらしたりすることで侵入し
た。縦長の長方形では、短辺 6 cm の入口から侵入したのは個体 F のみであった。ほとんどの
成獣ハクビシンは顔幅が 6 cm 以上あり⁴⁰⁾、横幅 6 cm の入口では地面に四肢を付けた通常の
姿勢からでは顔幅が入らない。しかし、個体 F は頭部を 90 度ひねり、短辺 6 cm の縦長の長
方形入口から侵入した。また、入口に肩部が引っかかり侵入には至らなかったが、個体 B、C、
D、E も個体 F と同様の方法で短辺 6 cm の縦長の長方形入口から侵入を試みた。これらの結果
から、ハクビシンは入口の形状に合わせて体の向きを変え、侵入方法を変化させていること
が示唆された。

著者らは、ハクビシンが侵入した最小の正方形入口と円形入口の面積が同等であることを
報告し、侵入可能な入口面積には限界があり、それが正方形入口と円形入口で等しくなった
ことを示唆した⁴⁰⁾。本実験でも同様に、侵入した最小の横長の長方形入口と縦長の長方形入

口の面積は、個体 B 以外の個体で同等であった。横長の長方形における侵入可能な最小の短辺値 (MVS) は、個体 A、C および D では 7 cm であった。一方で、個体 A、C および D と体重が同等であったのにもかかわらず、個体 B の MVS は 6 cm であった。個体 B が侵入した最小の横長の長方形入口が H6×W19 cm であったのは、MVS の影響を受け、侵入可能な最小の長辺値が他の個体よりも大きくなったと考えられる。

入口の大きさが小さいほど探査持続時間は長く、におい嗅ぎおよび鼻先入れの持続時間は、侵入に失敗した入口で有意に長かった。しかし、注視の持続時間は入口間で有意差がなかった。先行研究において著者らは、侵入に成功した入口と失敗した入口で、総探査持続時間に有意差がなく、におい嗅ぎは侵入に失敗した入口で有意に長かったのに対し、注視および鼻先入れの持続時間は侵入に成功した入口で有意に長いことを示しており³⁹⁾、本実験の結果とは異なっている。しかし、先行研究と本実験の結果の違いは、実験方法の違いによるものと考えられる。すなわち、先行研究では 4 つの大きさの異なる入口を同時に提示したのに対し、本実験では 1 つずつ入口を提示した。4 つの入口を同時に提示した場合、侵入できる可能性が高く、より大きな入口に対して注視や鼻先入れの持続時間が長かった。このことから、先行研究の結果からは、視覚情報は侵入の可否を判断する 1 つの要因であることが示唆される。一方で、1 つずつ入口を提示した本実験では、注視の持続時間は入口間で差がなかったことから、入口の存在を確認するための行動としてのみ機能していた可能性が考えられる。先行研究と同様に本実験でも、入口に対しては嗅覚的探査や視覚的探査だけでなく、鼻先を入れて入口に接触していたことから、ハクビシンは注視により入口の大きさを認識しているものの、視覚情報のみで侵入を試みるか否かの判断を下さないことが示唆された。

Liu らは、ハクビシン (*Paguma larvata taiwana*) は多発情で非季節繁殖性であることを報告し、1 年を通して繁殖が可能であると結論づけた⁴⁶⁾。このことから、日本においても出産、子育ての場として年間を通してハクビシンが家屋の天井裏を利用する可能性がある。このように休息や出産、子育ての場をハクビシンに提供することは、周辺地域での個体数増加を助長し、ハクビシンによる家屋侵入被害や農作物被害を深刻化させる可能性がある。したがって、農作物被害対策の一つとしても、ハクビシンによる家屋侵入を防除する必要がある。先行研究の結果とあわせると⁴⁰⁾、ハクビシンは H6×W12 cm の横長の長方形、H11×W7 cm の縦長の長方形、一辺 8 cm の正方形、直径 9 cm の円形入口から侵入することから、建物を点検し、

このような大きさの隙間があった場合には覆う必要があろう。建築基準法により、家屋の通風口の面積は1カ所あたり300 cm²以上であることが定められている⁴⁴⁾。ハクビシンが侵入可能な最小の入口の面積は、横長の長方形では72 cm²、縦長の長方形では77 cm²、正方形では64 cm²、円形では約64 cm²であるのに対し、定められている通風口の面積は、ハクビシンが侵入可能な面積よりもはるかに大きい。通風口に動物の侵入を防ぐための鉄柵が設置されている場合でも、柵の目合がハクビシンが侵入できない大きさであることを確認する必要がある。

今回の実験では、入口板の厚さは3 mmであり、入口の厚みが侵入行動に及ぼす影響は排除している。しかし実際の家屋に存在するこのような隙間には、さまざまな厚さがあることが予想される。入口の厚みが増すことで、ハクビシンが侵入できる入口の大きさや形状に影響を及ぼす可能性があり、被害現場での応用にはさらなる調査が必要である。また、今回の実験で、わずかではあるが入口に対して破壊的な行動が観察されたことから、隙間を覆う際には、金網などの丈夫な素材を用いることが推奨される。隙間を覆う素材や、覆い方による防除効果の差異についても、調査が必要である。

第2章

視覚的要因がハクビシンの侵入行動に及ぼす影響

第1節 目的

第1章において、ハクビシンが侵入可能な入口の大きさおよび形状の検討を行い、H6×W12 cmの横長の長方形、H11×W7 cmの縦長の長方形、一辺8 cmの正方形、直径9 cmの円形入口から侵入することを示した。入口に対しては、嗅覚的探査、視覚的探査、接触による探査を行い、特に大きさの異なる入口を同時に複数提示した場合には、入口前での探査に占める注視の割合は、入口が大きくなるほど増加した³⁹⁾。このことから、視覚情報が侵入の可否を判断する1つの要因になっていることが示唆された。ハクビシンが属するジャコウネコ科の動物は、角膜と網膜の中心を結ぶ光学軸と、頭部の正中線が作る角度が、ヒトや真猿類に次いで小さい動物であることが知られており⁴⁷⁾、形成角度が小さいほど、対象物から届く光の反射がレンズの中央を通るため、対象物を鮮明にとらえることが可能であるとされている⁴⁸⁾。このような視覚能力は、夜間の捕食活動を行うためや、樹上を利用するために発達しているという仮説が支持されており^{48,49)}、ハクビシンは果実中心の食性である一方、鳥類や小型哺乳類、昆虫類も捕食することや、樹上も頻繁に利用することから、視覚情報が感覚情報全体のかなりの比重を占めていることが示唆される。

日本において錯視研究は1890年頃から始まり、現在でも幾何学的錯視を中心に様々な錯視研究が行われている⁵⁰⁾。錯視とは、外界の対象を実際の物理的な構造と異なって知覚することで、視覚対象の物理的構造とのずれを指摘されても、見えの歪みを修正することが困難であることが、大きな特徴である⁵⁰⁾。例えば著名な幾何学的錯視には、直線の両端に付属した矢印の向きにより、直線の長さが異なって見えるミュラー・リヤー錯視や、同じ長さの直線でも、水平方向と垂直方向では長さが異なって見えるフィック錯視などがある⁵⁰⁾。

これまでの研究により、魚類や鳥類、哺乳類においてもヒトと同様に様々な錯視を知覚することが報告されており⁵¹⁻⁶¹⁾、視覚能力に優れている可能性のあるハクビシンにおいても同様に、錯視をする可能性がある。ヒトにおける錯視研究では、主に環境整備による交通問題

の改善が応用研究として行われており、芸術や建築の分野でも錯視や視覚補正が取り入れられていることから⁵⁰⁾、野生動物による被害対策の一つとしても、錯視などの視覚的要因を利用することにより、加害動物の行動を制御できる可能性がある。そこで本章では、物理的には同じ大きさであるが、ヒトには錯視により大きさが異なって見える入口や、侵入部の入口直径は同じであるが長さや本数の異なるスパイクを設けることで、形状や面積が異なる入口を提示し、視覚的要因がハクビシンの侵入行動に及ぼす影響について検討した。

第2節 材料および方法

1. 供試動物

供試動物は、秩父試験地の動物舎において飼育している成獣ハクビシン4頭（雄2頭、雌2頭）を用いた（表2-1）。年間を通して、市販のドックフード（ユニ・チャーム株式会社：愛犬元気栄養バランスと味わいプラス全成長段階用ささみ・ビーフ・バランス緑黄色野菜入り）を1日100g給餌した。一般的に冬期はハクビシンの活動量が減少するため³³⁾体重が増加する。実験は長期間に渡ったため、実験中の供試個体の体重は変動が認められた。実験期間中の管理方法は第1章と同様に行った。

2. 飼育施設

第1章と同一の施設および飼育ケージを用いた。実験ケージを上下2段に分け、上段と下段に1頭ずつハクビシンを導入し、同時に実験を行った。

3. 実験装置

実験装置は第1章と同一のものを用いた。実験装置には4つの部屋を設けたが、入口を3つ同時に提示する場合には右端の1カ所は使用できないように板で塞いだ。実験では、先行研究で調査した入口の形状を利用した錯視条件を提示するため、デルブーフの大きさ錯視を利用した円形入口を提示した。デルブーフの大きさ錯視とは、ある円がそれよりもかなり大きい円に囲まれると小さく見えるのに対し、適度に少し大きい円に囲まれると大きく見える錯視である^{50, 62)}。本実験では、内円を各供試個体が侵入できる最小の直径（錯視条件①）および侵入できない最大の直径（錯視条件②）とし、それぞれ対照円、過小視円、過大視円の3種の入口を同時に提示した。盛永⁶³⁾および小笠原⁶⁴⁾によると、内円が最も大きく見えるのは内円直径と外円直径の比が2:3のときであることから、例えば内円直径が10cmである場合、過大視円は内円を直径15cmの円で囲ったものとし、過小視円は、実験装置の都合上、内円を直径20cmの円で囲ったものとした（図2-1）。外円は黒色の油性ペンを用いて、3mmの太さで線を引いた。

また、侵入部の入口直径は同じであるが、形状や面積が異なる入口として、スパイクの本数や長さを4段階で変化させた条件を提示した。スパイク本数変化条件では、各個体が侵入で

きない最大の円形入口に 3 cm のスパイクを 0 本、8 本、16 本、32 本付加したものを提示した (図 2-2a)。スパイクの長さ変化条件では、同様の円形入口に 16 本のスパイクを 0.0 cm、1.5 cm、3.0 cm、4.5 cm に変化させたものを提示した (図 2-2b)。スパイクの長さの増加幅が 2 cm の場合、入口が装置の大きさ以上になり、増加幅が 1 cm の場合、入口の大きさの変化が視覚的にわかりにくいため、本実験では視覚的影響が顕著に現れるように増加幅を 1.5 cm にした。スパイク本数および長さ変化条件では、ハクビシンが侵入した際のスパイクの変形を防止するため、厚さ 3 mm のアルミ板で入口板を作成し、スパイクでハクビシンが怪我をしないように角に丸みをもたせた。

各条件の実験を行う前に、各供試個体の侵入可能な最小の円形入口および侵入できない最大の円形入口を確認し、個体ごとに提示する条件を作成した。錯視条件②とスパイク本数および長さ変化条件では、内円を侵入できない最大の直径としたが、季節によりハクビシンの体重が変動したため各条件で直径が異なった。

4. 実験方法

実験は 2008 年 1 月から 2009 年 8 月にかけて、9:00-10:00 および 13:00-14:00 に行った。実験ケージおよび実験装置への馴致は 3 日間行い、馴致期間中は実験装置の入口は提示せずにすべて開放し、装置内部に設置した報酬飼料をハクビシンに自由に摂取させた。報酬飼料は第 1 章と同様に、1 試行につき入口 1 ヲ所あたりバナナ 3 g を与えた。馴致が完了したのち本試験に移行し、各条件につき 5 日間ずつ実験を行った。本実験では装置の前面に視覚的要因を含む入口を提示し、内部の報酬飼料をハクビシンに摂取させることで、視覚的要因がハクビシンの侵入行動に及ぼす影響を検討した。各条件の間には 1 日の開放期を設け、入口を開放し、ハクビシンに報酬飼料を自由に摂取させた。各条件の提示順序は個体ごとに循環配置し、位置の偏好性を排除するため、入口は毎日無作為に配置した (表 2-2, 2-3)。

5. 観察方法

実験時のハクビシンの行動は、デジタルビデオカメラ (Sony DRC-TRV70, DRC-PC300) で撮影し、入口への行動を連続観察した。

6. 測定項目および統計解析

(1) 侵入の可否

第 1 章と同様に、供試個体の鼻先から尾の付根が実験装置の入口を越えたときを侵入成功とし、尾の付根までに至らず装置外に引き返した場合には、侵入失敗とした。

(2) 各入口への探査持続時間

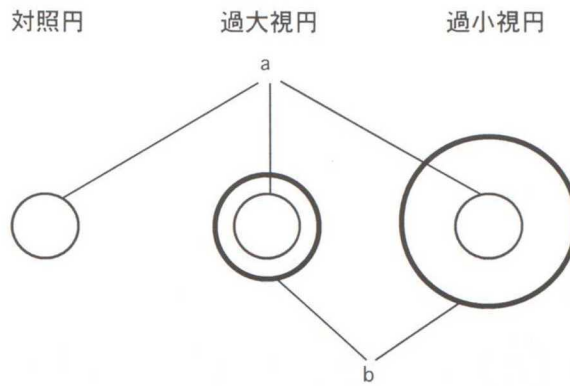
第 1 章と同様の方法で記録した。錯視条件①および錯視条件②における探査持続時間の経日変化について、1 日目の午前と午後の平均値と 5 日目の午前と午後の平均値の差を、Wilcoxon 符号付順位和検定により解析した。また、それぞれの条件において、実験日ごとの探査持続時間を入口間で比較するため、Friedman 検定および Steel-Dwass 検定により解析した。錯視条件①、錯視条件②、スパイク本数変化条件およびスパイクの長さ変化条件において、それぞれ 5 日間の探査持続時間を入口ごとに合計し、算出した総探査持続時間の入口間での差を Friedman 検定および Steel-Dwass 検定により解析した。

(3) 各入口への探査行動

第 1 章と同様に、観察された行動を 7 つのカテゴリーに分類した。入口前での探査行動のうち、におい嗅ぎや注視など、観察された各探査行動の総持続時間を、入口間で Friedman 検定および Steel-Dwass 検定により解析した。全ての解析には統計解析ソフト R (バージョン 2.13.1) を使用した。

表2-1. 供試個体の詳細

供試個体	性別	捕獲日	錯視条件①		錯視条件②		スパイク本数変化条件		スパイクの長さ変化条件	
			実験時 体重(kg)	実験開始日	実験時 体重(kg)	実験開始日	実験時 体重(kg)	実験開始日	実験時 体重(kg)	実験開始日
A	雄	2006年12月14日	3.2	2009年8月3日	3.4	2009年8月25日	3.2	2008年2月12日	4.0	2008年2月6日
B	雄	2008年4月30日	3.7	2009年5月3日	3.5	2009年8月11日	3.7	2009年5月9日	3.6	2009年5月15日
C	雌	2006年7月7日	4.0	2008年1月31日	3.4	2009年8月3日	2.6	2008年4月30日	2.6	2008年5月6日
D	雌	2008年4月30日	3.7	2009年8月11日	3.7	2009年8月25日	3.7	2009年5月15日	3.8	2009年5月9日

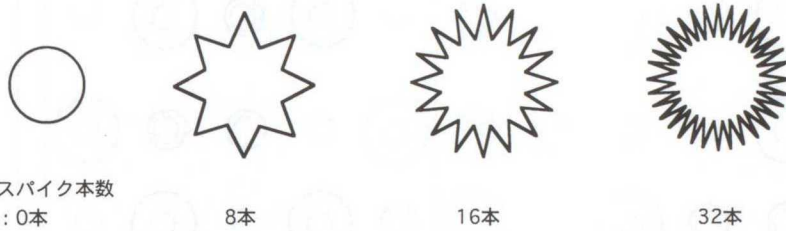


a: 内円 (入口)
 錯視条件①: 各供試個体が侵入できる最小の直径
 錯視条件②: 各供試個体が侵入できない最大の直径

b: 外円
 過大視円 : 内円直径の1.5倍
 過小視円 : 直径20 cm

図2-1. デルプーフの大きさ錯視条件

a) スパイク本数変化条件



b) スパイクの長さ変化条件

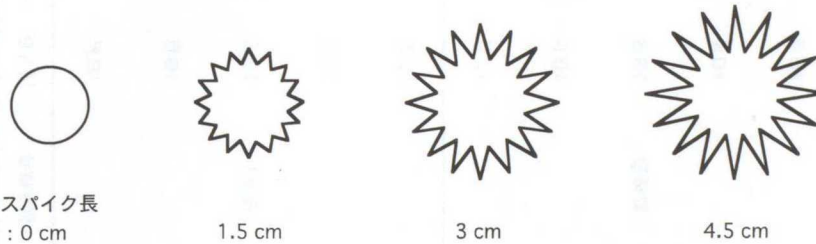


図2-2. スパイク本数・長さ変化条件

表2-2. デルプーフの大きさ錯視条件における各個体の入口の配置順序

提示条件	提示日	供試個体			
		A	B	C	D
錯視①	1日目	○	○	○	○
	2日目	○	○	○	○
	3日目	○	○	○	○
	4日目	○	○	○	○
	5日目	○	○	○	○
錯視②	1日目	○	○	○	○
	2日目	○	○	○	○
	3日目	○	○	○	○
	4日目	○	○	○	○
	5日目	○	○	○	○

錯視条件①: 対照円、過大視円、過小視円

錯視条件②: 対照円、過大視円、過小視円

表2-3. スパイク本数・長さ変化条件における各個体の入口の配置順序

提示条件	供試個体																								
	A					B					C					D									
提示日																									
1日目	○	☆	●	○	☆	○	●	○	☆	○	○	●	○	☆	○	○	●	○	☆	○	○	●	○	☆	○
2日目	☆	○	●	○	☆	○	●	○	☆	○	○	●	○	☆	○	○	●	○	☆	○	○	●	○	☆	○
3日目	●	○	☆	○	●	○	☆	○	●	○	○	☆	○	●	○	○	☆	○	●	○	○	☆	○	●	○
4日目	○	☆	○	●	○	○	☆	○	●	○	○	☆	○	●	○	○	☆	○	●	○	○	☆	○	●	○
5日目	●	○	☆	○	●	○	☆	○	●	○	○	☆	○	●	○	○	☆	○	●	○	○	☆	○	●	○
スパイク本数																									
1日目	●	○	☆	○	●	○	☆	○	●	○	○	☆	○	●	○	○	☆	○	●	○	○	☆	○	●	○
2日目	○	☆	○	●	○	○	☆	○	●	○	○	☆	○	●	○	○	☆	○	●	○	○	☆	○	●	○
3日目	○	☆	○	●	○	○	☆	○	●	○	○	☆	○	●	○	○	☆	○	●	○	○	☆	○	●	○
4日目	○	☆	○	●	○	○	☆	○	●	○	○	☆	○	●	○	○	☆	○	●	○	○	☆	○	●	○
5日目	○	☆	○	●	○	○	☆	○	●	○	○	☆	○	●	○	○	☆	○	●	○	○	☆	○	●	○
スパイクの長さ																									
1日目	○	☆	○	●	○	○	☆	○	●	○	○	☆	○	●	○	○	☆	○	●	○	○	☆	○	●	○
2日目	○	☆	○	●	○	○	☆	○	●	○	○	☆	○	●	○	○	☆	○	●	○	○	☆	○	●	○
3日目	○	☆	○	●	○	○	☆	○	●	○	○	☆	○	●	○	○	☆	○	●	○	○	☆	○	●	○
4日目	○	☆	○	●	○	○	☆	○	●	○	○	☆	○	●	○	○	☆	○	●	○	○	☆	○	●	○
5日目	○	☆	○	●	○	○	☆	○	●	○	○	☆	○	●	○	○	☆	○	●	○	○	☆	○	●	○

スパイク本数変化条件：0本、8本、16本、32本
 スパイクの長さ変化条件：0 cm、1.5 cm、3 cm、4.5 cm

第3節 結果

実験の結果、入口の直径が侵入できる最小値であった錯視条件①では、どの入口からもすべての個体が侵入し、入口の直径が侵入できない最大値であった錯視条件②では、どの入口からも侵入しなかった（表 2-4）。錯視条件①では、個体 B は 1 試行目からすべての入口に侵入したが、個体 A は対照円に、個体 C は過小視円に侵入し、試行終了まで実験装置外へ出なかった（表 2-5）。また、個体 D は、1 試行目にはどの入口にも侵入しなかった。スパイク本数変化条件では、個体 B および C が、スパイクが 8 本および 32 本の入口から侵入した。スパイクの長さ変化条件では、スパイクの長さが 1.5 cm、3 cm および 4.5 cm の入口から侵入した個体があった（表 2-6）。スパイク 8 本の入口からは、個体 B および C が 5 日間の実験を通して何度も侵入したが、スパイク 4.5 cm の入口からは、個体 D が 1 度侵入したのみであった（表 2-7、2-8）。

各入口に対する探査持続時間は、錯視条件①では、どの入口に対しても実験 1 日目と 5 日目で持続時間に有意差はなく、5 日間を通して一定に推移した（図 2-3）。一方で、錯視条件②では対照円と過小視円に対する探査持続時間は 5 日目で有意に短く（それぞれ $P < 0.05$ ）、実験日の経過に伴い探査持続時間は減少した（図 2-4）。錯視条件①および②において、各入口に対する実験日ごとの探査持続時間は、入口間で有意差が認められなかった。

各入口に対する 5 日間の総探査持続時間は、錯視条件①および錯視条件②では対照円、過大視円、過小視円で有意差はなかった（平均±SE；錯視条件①；76.8±17.9 秒 vs. 84.2±23.9 秒 vs. 80.5±19.2 秒, n. s., 錯視条件②；103.3±47.1 秒 vs. 113.8±33.3 秒 vs. 130.0±44.9 秒, n. s.）。また、スパイク本数変化条件においてもスパイク 0 本、8 本、16 本、32 本の入口間で総探査持続時間に有意差はなく（平均±SE；67.8±35.0 秒 vs. 60.5±17.2 秒 vs. 82.0±36.2 秒 vs. 112.5±49.5 秒, n. s.）、スパイクの長さ変化条件においてもスパイク 0 cm、1.5 cm、3.0 cm、4.5 cm の入口間で総探査持続時間に有意差はなかった（平均±SE；66.3±13.7 秒 vs. 92.3±20.7 秒 vs. 82.8±15.3 秒 vs. 135.5±34.3 秒, n. s.）。

入口への探査行動は、におい嗅ぎ、注視、鼻先入れが主に観察され、前肢の使用、かじる、なめるなどの行動はわずかであった。各探査行動の持続時間は、錯視条件①、錯視条件②、スパイク本数変化条件およびスパイクの長さ変化条件において、入口間で有意差は認められなかった（表 2-9、表 2-10）。

表2-4. デルプーフの大きさ錯視条件における各入口への侵入の可否

供試個体	錯視条件①*			錯視条件②**		
	対照円	過大視円	過小視円	対照円	過大視円	過小視円
A	○	○	○	×	×	×
B	○	○	○	×	×	×
C	○	○	○	×	×	×
D	○	○	○	×	×	×

○: 侵入成功、×: 侵入失敗

*: 入口の直径は各個体が侵入できる最小値 (A: 9 cm、B: 10 cm、C: 10 cm、D: 9 cm)

**: 入口の直径は各個体が侵入できない最大値 (A: 8 cm、B: 9 cm、C: 9 cm、D: 8 cm)

表2-5. 錯視条件①における各供試個体が侵入した入口

a) 個体A

入口条件	1日目		2日目		3日目		4日目		5日目	
	午前	午後	午前	午後	午前	午後	午前	午後	午前	午後
対照円	○	○	×	○	○	○	○	○	○	○
過大視円	×	○	○	○	○	○	○	×	○	○
過小視円	×	×	×	○	○	○	○	×	○	○

b) 個体B

入口条件	1日目		2日目		3日目		4日目		5日目	
	午前	午後	午前	午後	午前	午後	午前	午後	午前	午後
対照円	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
過大視円	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
過小視円	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

c) 個体C

入口条件	1日目		2日目		3日目		4日目		5日目	
	午前	午後	午前	午後	午前	午後	午前	午後	午前	午後
対照円	×	×	○	×	○	○	○	○	×	×
過大視円	×	×	×	○	×	×	×	×	×	○
過小視円	○	○	×	×	×	×	×	×	○	×

d) 個体D

入口条件	1日目		2日目		3日目		4日目		5日目	
	午前	午後	午前	午後	午前	午後	午前	午後	午前	午後
対照円	×	×	×	○	×	○	×	○	×	×
過大視円	×	○	×	×	×	×	×	×	×	×
過小視円	×	×	×	×	×	×	○	×	×	○

○: 侵入成功、×: 侵入失敗

表2-6. スパイク本数、長さ変化条件における各入口への侵入の可否

供試個体	スパイク本数変化条件*				スパイクの長さ変化条件*			
	0本	8本	16本	32本	0 cm	1.5 cm	3 cm	4.5 cm
A	×	×	×	×	×	×	×	×
B	×	○	×	○	×	○	×	×
C	×	○	×	○	×	○	○	○
D	×	×	×	×	×	×	×	○

○: 侵入成功、×: 侵入失敗

*: 入口の直径は各個体が侵入できない最大値(A:9 cm、B:9 cm、C:9 cm、D:9 cm)

表2-7. スパイク本数変化条件における各供試個体が侵入した入口

a) 個体A

入口条件	1日目		2日目		3日目		4日目		5日目	
	午前	午後	午前	午後	午前	午後	午前	午後	午前	午後
0本	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
8本	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
16本	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
32本	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×

b) 個体B

入口条件	1日目		2日目		3日目		4日目		5日目	
	午前	午後	午前	午後	午前	午後	午前	午後	午前	午後
0本	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
8本	○	○	○	○	○	×	○	○	○	○
16本	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
32本	×	×	○	×	×	×	×	×	×	×

c) 個体C

入口条件	1日目		2日目		3日目		4日目		5日目	
	午前	午後	午前	午後	午前	午後	午前	午後	午前	午後
0本	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
8本	○	○	×	○	○	○	○	○	×	×
16本	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
32本	×	×	○	×	×	×	×	×	×	○

d) 個体D

入口条件	1日目		2日目		3日目		4日目		5日目	
	午前	午後	午前	午後	午前	午後	午前	午後	午前	午後
0本	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
8本	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
16本	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
32本	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×

○: 侵入成功、×: 侵入失敗

表2-8. スパイクの長さ変化条件における各供試個体が侵入した入口

a) 個体A

入口条件	1日目		2日目		3日目		4日目		5日目	
	午前	午後	午前	午後	午前	午後	午前	午後	午前	午後
0 cm	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
1.5 cm	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
3 cm	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
4.5 cm	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×

b) 個体B

入口条件	1日目		2日目		3日目		4日目		5日目	
	午前	午後	午前	午後	午前	午後	午前	午後	午前	午後
0 cm	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
1.5 cm	○	○	×	×	×	×	×	×	×	×
3 cm	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
4.5 cm	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×

c) 個体C

入口条件	1日目		2日目		3日目		4日目		5日目	
	午前	午後	午前	午後	午前	午後	午前	午後	午前	午後
0 cm	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
1.5 cm	×	×	×	○	×	×	×	×	×	×
3 cm	×	○	×	×	×	×	○	○	×	×
4.5 cm	×	×	×	×	○	○	×	×	○	○

d) 個体D

入口条件	1日目		2日目		3日目		4日目		5日目	
	午前	午後	午前	午後	午前	午後	午前	午後	午前	午後
0 cm	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
1.5 cm	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
3 cm	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
4.5 cm	×	×	×	○	×	×	×	×	×	×

○: 侵入成功、×: 侵入失敗

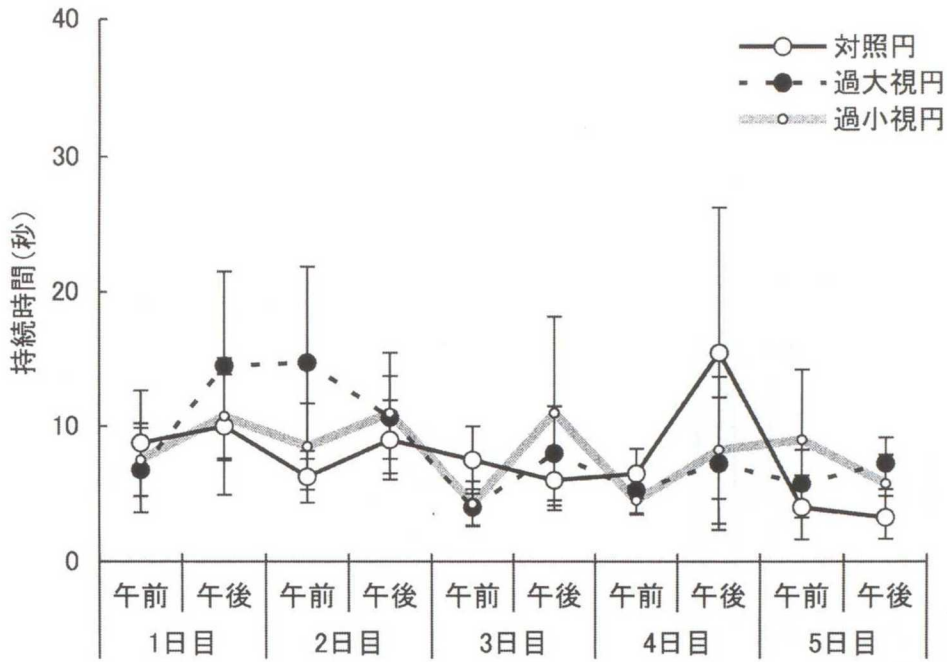


図2-3. 錯視条件①における各入口前での探査持続時間(平均±SE)の経日変化

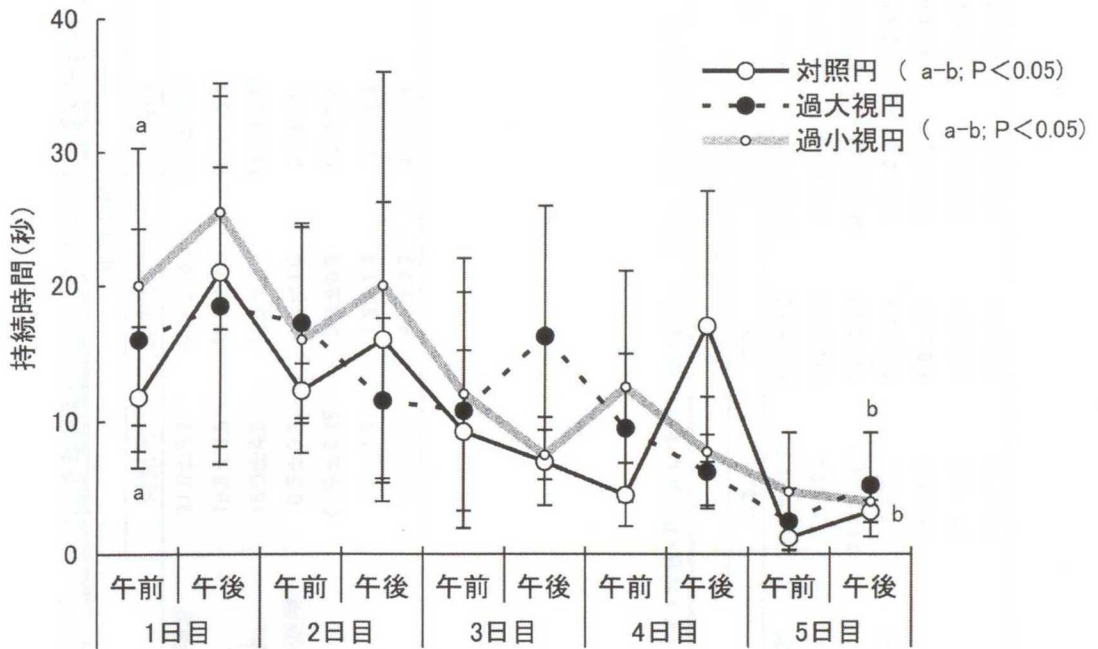


図2-4. 錯視条件②における各入口前での探査持続時間(平均±SE)の経日変化

表2-9. デルブローフの大きさ錯視条件における各入口前での探査持続時間(秒)(平均±SE)

	錯視条件①				錯視条件②			
	対照円	過大視円	過小視円	有意性	対照円	過大視円	過小視円	有意性
におい嗅ぎ	31.0±8.2	43.0±16.3	39.5±12.9	n.s.	30.0±4.0	37.0±9.7	27.8±3.5	n.s.
注視	18.8±6.8	18.8±7.8	16.5±5.4	n.s.	13.5±5.7	15.8±5.5	23.3±6.8	n.s.
鼻先入れ	16.5±4.6	12.5±4.7	14.0±5.6	n.s.	53.3±42.6	52.5±33.9	67.8±42.1	n.s.
前肢の使用	0.5±0.3	1.0±1.0	0.0±0.0	n.s.	0.3±0.3	1.0±0.7	0.3±0.3	n.s.
かじる	0.25±0.25	0.0±0.0	0.5±0.3	n.s.	0.0±0.0	0.3±0.3	1.0±1.0	n.s.
なめる	1.5±1.5	1.8±1.4	2.8±2.8	n.s.	0.0±0.0	1.5±1.2	1.8±0.8	n.s.
欠測	6.0±2.0	4.5±2.7	4.5±1.3	n.s.	6.3±1.7	5.8±0.9	8.3±3.8	n.s.

表2-10. スパイク本数・長さ変化条件における各入口前での探査持続時間(秒)(平均±SE)

	スパイク本数変化条件				スパイクの長さ変化条件					
	0本	8本	16本	32本	有意性	0 cm	1.5 cm	3 cm	4.5 cm	有意性
におい嗅ぎ	28.3±12.7	22.5±5.6	27.3±10.2	31.0±10.9	n.s.	27.0±5.7	38.0±7.8	29.3±7.7	52.0±14.2	n.s.
注視	11.5±2.4	15.8±5.0	13.0±2.4	18.3±6.3	n.s.	15.3±6.3	18.3±4.3	15.8±5.4	28.3±14.0	n.s.
鼻先入れ	24.0±19.9	15.8±5.3	38.8±22.5	54.3±28.9	n.s.	19.5±12.0	27.3±15.5	31.5±14.6	39.3±16.9	n.s.
前肢の使用	0.5±0.5	0.0±0.0	0.0±0.0	0.5±0.5	n.s.	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	n.s.
かじる	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	4.0±4.0	n.s.	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.5±0.5	n.s.
なめる	0.0±0.3	0.0±0.3	0.0±0.0	0.0±0.3	n.s.	0.0±0.0	2.8±2.8	0.3±0.3	6.8±6.4	n.s.
欠測	3.3±1.0	6.3±4.4	9.8±5.9	4.3±2.5	n.s.	4.5±1.2	6.0±1.5	6.0±1.2	8.8±3.8	n.s.

第4節 考察

入口の直径が侵入できない最大値であった錯視条件②では、どの入口からも侵入しなかったが、入口の直径が侵入できる最小値であった錯視条件①では、個体 B は 1 試行目からすべての入口に侵入した。一方で、個体 A および C は 1 ヶ所に侵入した後は実験装置外に出ず、試行を終了した。1 試行目以降においても、1 ヶ所の入口に侵入した後は実験装置外に出ない場合があり、入口の直径を侵入できる最小の大きさにしたため、入口から出入りしにくかったことが影響していると考えられる。しかし、入口に侵入する前にはどの入口に対しても探査を行い、侵入した入口の種類に一貫した傾向は認められず、5 日間の実験期間中にすべての入口から侵入した。また、各条件の 3 種の入口間で、総探査持続時間やにおい嗅ぎなどの各探査行動の持続時間に有意差はなく、探査持続時間の経日変化は、錯視条件①では一定に推移し、錯視条件②では減少傾向にあったが、入口間では差がなかった。さらに、実験日ごとの探査持続時間にも入口間で差が認められず、探査した入口の順番もランダムであったことから、本実験におけるハクビシンの行動からは、ハクビシンがデルブーフの大きさ錯視をしていない可能性も示唆された。

これまでの研究により、様々な動物でヒトと同様の錯視をすることが報告されている⁵¹⁻⁶¹⁾。例えば、Benhar と Samuel⁵⁵⁾は、アヌビスヒヒがツェルナー錯視を知覚することを示した。ツェルナー錯視とは、平行な線分に斜線を交差させると、それらの交差角のうち鋭角側を過大視する方向に線分が傾いて見える錯視である⁵⁰⁾。Benhar と Samuel⁵⁵⁾は、同時に提示される図形のうち線分の傾きが 1 つだけ異なったものを選択するようにヒヒを訓練したのち、ツェルナー図形を提示すると、互い違いに収斂する線分と判断したことを示す反応を見せたことを報告した。また、Fujita ら⁵⁷⁾は、ハトがポンゾ錯視をしていることを示唆した。ポンゾ錯視とは、同じ長さの 2 つの線分を、逆 V 字形の中に入れると、逆 V 字形の頂点に近い対象が、遠位の対象よりも大きく見える錯視である⁵⁰⁾。Fujita ら⁵⁷⁾は、水平に並べた 2 本の垂直線分のうち、短い方をつつくようにハトを訓練し、線分対の上下に 2 本の水平平行線分と収斂する 2 本の線分を付加したところ、収斂線分の頂点に近い線分が短い場合、成績が著しく低下したことを報告した。しかしこれまでに、デルブーフの大きさ錯視を用いた動物の錯視研究は行われていない。複数の大きい円に囲まれると中心の円がより小さく見え、複数の小さい円に囲まれるとより大きく見えるエビングハウス錯視は、デルブーフの大きさ錯視と同様に、

内円と外円の同化と対比により錯視が生じると考えられている⁵⁰⁾。Parron と Fagot⁷¹⁾は、エビングハウス錯視を用いたヒトとヒヒの認識の差異について、ヒヒの方がヒトよりも錯視をしにくいことを報告している。先行研究により、ヒヒやハト、アカゲザル、フサオマキザルなどでは、複数の小さな図形から成る図形を提示した場合、全体像よりも部分的に図形を認識する傾向にあることが示されており、ヒトがひとつの像として図形の全体像を認識する全体認識が優位である一方、これらの動物では部分認識が優位であると考えられている⁶⁵⁻⁶⁹⁾。全体認識と部分認識の優位性が種間で異なるのは、ヒトは経験により、ものを統合して認識する能力を持つようになるためや、認識が違うのではなく注意を向けているものが異なるためなどの仮説が立てられている^{66,70)}。また、チンパンジーは全体認識と部分認識の両方をしており、状況によって認識の優位性が変化することから、認識の優位性の違いは進化による発達という説もある^{68,70)}。複数の小さな図形から成る図形は、部分認識が優位である場合、図形の密度による見え方の影響を受けにくく、同化と対比により錯視が生じるエビングハウス錯視やデルブーフの大きさ錯視をヒトと同様に認識しない可能性が、Parron と Fagot⁷¹⁾の研究でも言及されている。本実験では円形の入口を提示するため、デルブーフの大きさ錯視を錯視条件として用いたが、ハクビシンは部分認識が優位であるために、錯視を生じなかったのかもしれない。錯視の有無を判断するには今回とは異なる手法で実験を行う必要があるため、ハクビシンがデルブーフの大きさ錯視をしないと断定できないが、錯視をしていたとしても侵入行動に及ぼす影響はわずかであることが示唆された。

スパイク本数および長さ変化条件では、侵入部の入口直径は各供試個体が侵入できない最大値であったにもかかわらず、個体B、CおよびDはスパイクのある入口から侵入した。著者らは、ハクビシンが侵入した最小の正方形入口と円形入口の面積が同等であることを報告し、ハクビシンが侵入可能な入口面積には限界があり、それが正方形入口と円形入口で等しくなったことを示唆した⁴⁰⁾。また、第1章でも同様に、侵入した最小の横長の長方形と縦長の長方形入口の面積は、ほとんどの個体で同等であった。侵入部の入口直径が9 cmである場合、スパイクが0本の入口は面積が約64 cm²であるのに対し、スパイクが8本、16本、32本ある入口では、面積がすべて約108 cm²、1.5 cmのスパイク入口は約86 cm²、3cmでは約108 cm²、4.5 cmでは約129 cm²である。侵入時にスパイクの先端部まで利用していないと考えても、侵入できる直径10 cmの円形入口の面積が約79 cm²であることから、これらの入口の面積は供試

ハクビシンが侵入可能な大きさである。スパイク本数変化条件では、スパイク 16 本の入口からは、どの個体も侵入していないが、これはスパイクの長さ変化条件におけるスパイク 3 cm の入口と同じものであることから、今回の実験では、提示したすべてのスパイク入口から侵入したことになる。したがって、スパイクの存在により入口面積が大きくなり、視覚的にも形状が異なることから物理的、心理的影響により入口直径は侵入できない大きさであったにもかかわらず、ハクビシンはスパイクのある入口から侵入したと考えられる。しかし、個体により侵入した形状が異なること、5 日間の実験期間を通して 1 回もしくは 2 回しか侵入しない場合があることから、スパイクのある入口は基本となる長方形や正方形、円形の入口に比べて侵入しにくい形状であることが示唆された。

各条件における入口前での総探査持続時間に有意差はなく、注視の持続時間にも入口間で差はなかった。また、各個体が侵入できる入口直径であった錯視条件①では、錯視の有無にかかわらずどの入口からも侵入し、入口面積の広がったスパイク本数および長さ変化条件では、スパイクのある入口から侵入した。ハクビシンは入口に対して、嗅覚的探査や視覚的探査だけでなく、鼻先を入れて接触することから、侵入の可否には、入口の物理的な要因が大きく関係していることが示唆された。また、視覚的要因がハクビシンの侵入行動に及ぼす影響はわずかであることから、視覚的要因のみで侵入行動を制御できないことが示唆された。

第3章

ハクビシンが侵入可能な垂直隙間幅の検討

第1節 目的

第1章および第2章では、ハクビシンにおける水平方向の移動能力に基づく侵入可能な入口の大きさおよび形状と、視覚的要因が侵入行動に及ぼす影響について明らかにした。ハクビシンは水平方向の移動だけでなく、空間を立体的に利用することが知られており、移動経路や休息場所として樹上も頻繁に利用することが報告されている^{13, 20, 72)}。また、ハクビシンは形態学的に把握のための四肢をしており、内転・外転運動、内旋・外旋運動および回内・回外運動を得意とする⁷³⁾。このような幅広い運動が可能な四肢や肩関節を持つため、樹の幹を前肢で左右から抱え込んで登ることや、形状が多彩な樹上でも歩行ができる⁷³⁾。さらに、ハクビシンの四肢はパッド状の滑り止め構造をしており、家屋侵入の被害現場でも、雨樋を前肢と後肢で挟んで登ることが足跡から確認されている。ハクビシンの垂直構造物よじ登り行動は森岡⁷⁴⁾により検証されており、飼育個体を用いた実験では、直径3 mm から 215 mm の垂直構造物を登ることが明らかにされた。これらのことから、ハクビシンは家屋侵入被害現場においても、様々な構造物を移動経路として利用している可能性がある。

日本家屋の壁は通常、通気性や断熱性を確保するため中空構造をしている。垂直方向での移動能力に優れているハクビシンは、この隙間も移動経路として利用している可能性がある。しかし、実際にハクビシンが垂直な隙間に侵入する行動が観察された報告はない。そこで第3章では、前肢や後肢をかける突起がない場合でも、ハクビシンは垂直な隙間に侵入するのか検証し、侵入可能な隙間幅を検討した。

第2節 材料および方法

1. 供試動物

供試個体は、秩父試験地の動物舎において飼育している成獣ハクビシン4頭（雄2頭、雌2頭）を用いた（表3-1）。実験期間中の管理は第1章と同様であった。

2. 飼育施設

第1章と同一の施設および飼育ケージを用いた。実験ケージは上下2段に分割している仕切りをはずし、内部に実験装置を設置した。

3. 実験装置

二枚の板で垂直方向に延びる隙間をもつ箱形の実験装置を作成し、ハクビシンが跳躍によって到達することができない高さ⁷⁵⁾170 cmの位置に報酬飼料としてバナナ3 gを設置した（図3-1）。実験装置はコンクリートパネルと角材で外形を形成し、ハクビシンが隙間に侵入する様子を観察できるように、側面の二面をアクリル板にした。垂直方向の隙間は、アクリル板とコンクリートパネルで形成し、コンクリートパネルを移動させることで1 cm刻みで隙間の幅を変えられるようにした。実験では、ハクビシンに報酬飼料を摂取させることで、侵入可能な垂直隙間幅を検討した。

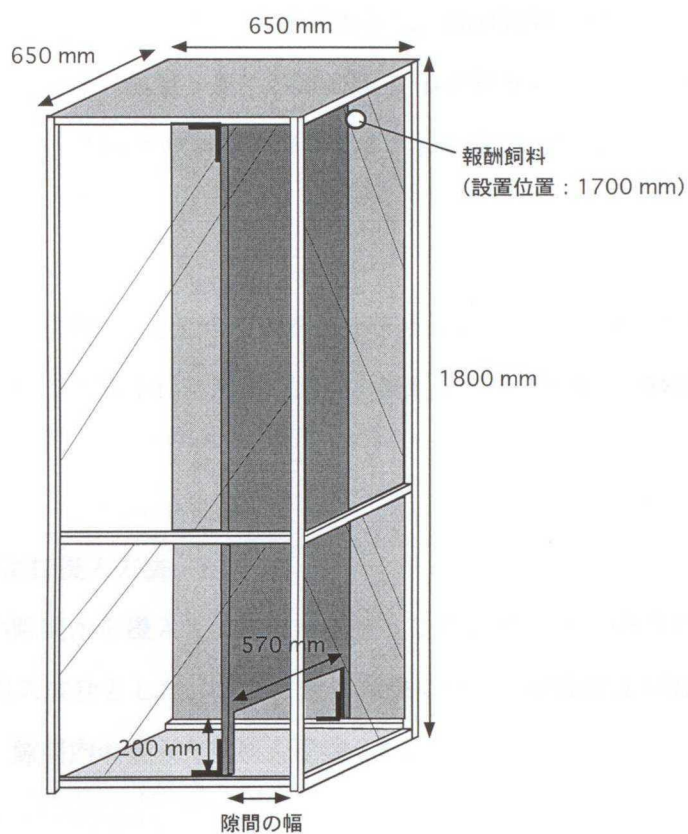
4. 実験方法

実験は、2009年10月から同年12月にかけて行い、実験時刻は9:00～14:00とした。本試験の前に、実験ケージおよび実験装置への馴致を行った後、垂直隙間幅10 cmでの侵入訓練を行った。隙間幅を10 cmに固定した状態で、装置内に設置した報酬飼料の位置を、地上0 cmから徐々に高くしてゆき、170 cmの高さに設置した報酬飼料を摂取できるようになるまで訓練を続けた。訓練期間は、個体BおよびDは2日間、個体Cは3日間であった。個体B、CおよびDは、訓練初日から報酬飼料の設置位置が高さ80 cm以上になると、四肢と背中で二枚の壁を押しようにして隙間内に侵入した。一方で、個体Aは報酬飼料の設置位置が高さ80 cmになると後肢で立ち上がっても報酬飼料を摂取できず、隙間内を後肢で立ち上がった状態で移動を続け、5日間訓練を続けても隙間内に侵入しなかった。また、隙間幅8 cm、12 cmおよ

表3-1. 供試個体の詳細

供試個体	性別	捕獲日	実験時体重(kg)	実験開始日
A	雄	2006年12月14日	4.1	—*
B	雄	2008年 4月30日	3.4	11月28日
C	雌	2006年 7月 7日	3.7	10月30日
D	雌	2008年 4月30日	4.2	12月 5日

*: 個体Aは訓練に失敗したため供試しなかった



材質

- 枠組み : 角材
- 壁面A : コンクリートパネル
- 壁面B : アクリル板
- 隙間板 : コンクリートパネル
- 床・天井部 : コンクリートパネル

※装置上からの様子

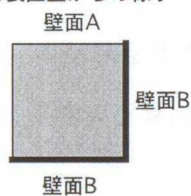


図3-1. 実験装置の概要

び 15 cm においても侵入訓練を行ったが、隙間幅 10 cm と同様に報酬飼料の設置位置が 80 cm 以上になると報酬飼料を摂取できなかった。以上の理由から個体 A は本試験に供試しなかった。

本試験は、ハクビシンの侵入の成功にあわせて隙間幅 10 cm から 1 cm ずつ幅を増加させる幅増加条件と、1 cm ずつ幅を減少させる幅減少条件に分け、個体により条件の提示順序を変えた（表 3-2）。条件提示後 30 分経過しても隙間に侵入し、報酬飼料を摂取しない場合には、続けて同じ条件をもう一度提示した。2 回目も同様に侵入しなかった場合には、翌日に前日侵入しなかった幅よりも 2 段階前の条件から順次提示し、前日同様に侵入しなかった場合には実験を終了した。幅増加条件と幅減少条件の間には 1 日の休止期を設け、休止期には隙間幅 10 cm から侵入し、続けて 15 回報酬飼料を摂取することを確認した。

5. 観察方法

実験時のハクビシンの行動は、2 台のデジタルビデオカメラ（Sony DRC-TRV70, DRC-PC300）で実験装置の亚克力板で形成された側面二面から撮影し、侵入行動を連続観察した。

6. 測定項目

(1) 侵入の可否および侵入方法

提示した実験装置の隙間から侵入し、隙間内を登って地上 170 cm の高さに設置した報酬飼料を摂取した場合に侵入成功とした。また、侵入方法について前肢および後肢の使い方や、隙間の中央や角など、隙間内の登った場所を記録した。

(2) 各隙間幅における隙間内を登り始めるまでの潜時

実験を開始し、供試個体が実験ケージから実験装置上に出てから、二枚の板で形成された垂直な隙間内を登り始めるまでの時間を潜時とした。本試験をすすめる上で、記録を複数回採取した隙間幅があるため、その場合には個体ごとに平均値を算出した。

(3) 各隙間幅における報酬飼料までの平均到達時間

提示した実験装置の隙間に侵入し、ハクビシンの四肢が地面から離れてから地上 170 cm の

高さに設置した報酬飼料を摂取するまでの時間を到達時間とした。本試験をすすめる上で、記録を複数回採取した隙間幅があるため、その場合には個体ごとに平均値を算出した。

(4) 侵入に失敗した隙間幅に対する総探査持続時間

実験時に撮影した映像から、侵入に失敗した隙間幅に対する総探査持続時間を記録し、1 試行目と 2 試行目の総探査持続時間の差を、Wilcoxon 符号付順位和検定で解析した。解析には Statcel (オーエムエス、Statcel97.xla) を使用した。

(5) 侵入に失敗した隙間幅に対する各探査行動の持続時間

隙間幅に対する探査行動を 8 つのカテゴリーに分類し、各行動の持続時間を記録した (表 3-3)。

表3-2. 条件提示順序

供試個体	提示順序	
B	幅減少条件	幅増加条件
C	幅増加条件	幅減少条件
D	幅減少条件	幅増加条件

表3-3. 観察した行動カテゴリーとその定義

カテゴリー	定義
におい嗅ぎ	隙間および隙間周辺のおいを嗅ぐ
注視	隙間を見る
前肢かけ	隙間内で後肢で立ち壁面に前肢をかける
隙間に入る	前後肢が床面から離れた状態で隙間内に留まる
隙間を移動する	前後肢が床面から離れた状態で隙間内を移動する
仰向けになる	隙間下の床面で仰向けになり体を左右にゆらす
かじる	隙間を形成している板をかじる
なめる	隙間を形成している板をなめる

第3節 結果

個体 B は隙間幅 6 cm から 23 cm、個体 C は隙間幅 7 cm から 21 cm、個体 D は隙間幅 7 cm から 25 cm まで侵入し、全体では隙間幅 6 cm から 25 cm まで侵入した (表 3-4)。隙間幅 6 cm から 11 cm では、どの個体も同様に、両前肢を隙間の壁面につけた状態から後肢を片方ずつ壁につけ、隙間を形成する二枚の板を四肢と背中で押すようにして隙間内を移動した。隙間幅が 12 cm 以上になると隙間内で体重を保持することが困難になるため、垂直な隙間内を登る際に跳躍し、勢いをつけるなど各個体で侵入方法に工夫がみられた。

各隙間幅における隙間を登るまでの潜時は、隙間幅 8 cm から減少するとすべての個体で長くなり、幅 18 cm から増加すると個体 C および D で長くなった (図 3-2)。個体 B は隙間幅が増加しても、登るまでの潜時は変化しなかった。各隙間幅における平均到達時間は、基準値である幅 10 cm から幅が減少すると急激に長くなり、幅が増加すると緩やかに長くなった (図 3-3)。

侵入に失敗した隙間幅に対する総探索持続時間は、1 試行目より 2 試行目で有意に短かった (平均±SE; 220.0±40.6 秒 vs. 56.6±19.4 秒, $P<0.05$)。侵入に失敗した隙間幅に対する探索行動は、におい嗅ぎ、注視、前肢かけ、仰向きになる、隙間に入る、隙間を移動する、かじる、なめるの 8 カテゴリーに分類でき、仰向きになる、なめるおよび破壊的な行動であるかじるは最小幅でのみ観察された (表 3-5)。侵入に失敗した最小幅では、1 試行目より 2 試行目で発現した行動レパトリーの数が著しく減少した。また、隙間内を登る行動は最小幅では 1 試行目からほとんど観察されず、最大幅でも 2 試行目では観察されなかった。

表3-4. 侵入の可否および侵入方法

隙間幅	個体B	個体C	個体D
5cm	×		
6cm	①	×	×
7cm	①	①	①
8cm	①	①	①
9cm	①	①	①
10cm	①	①	①
11cm	①	①	①
12cm	①	①×→③	①
13cm	①	③	①
14cm	②	③	①
15cm	②	③	①
16cm	②	③	①
17cm	①	③	①
18cm	①	③	⑤×→①
19cm	①	③	⑤
20cm	①'	③	⑤×→④
21cm	①'	③	④
22cm	①'	③×	⑤×→①
23cm	①'		①
24cm	①'×		⑤×→④×→①
25cm			①
26cm			①×

①: 両前肢を壁につけた状態で、後肢を片方ずつ壁につけて登り始める

①': 装置の角で①をする

②: 前肢は壁につけた状態で、左右の後肢を勢いよく壁につけて登り始める

③: 床面から飛び上がり、前後肢ともに同時に壁に突っ張り登り始める

④: 両前肢を壁につけた状態で、床面から飛び上がり両後肢も壁に突っ張り登り始める

⑤: 両壁面に片方ずつ前肢をつけた状態で、後肢を片方ずつ壁につけて登り始める

×: 各行動を試みるが失敗

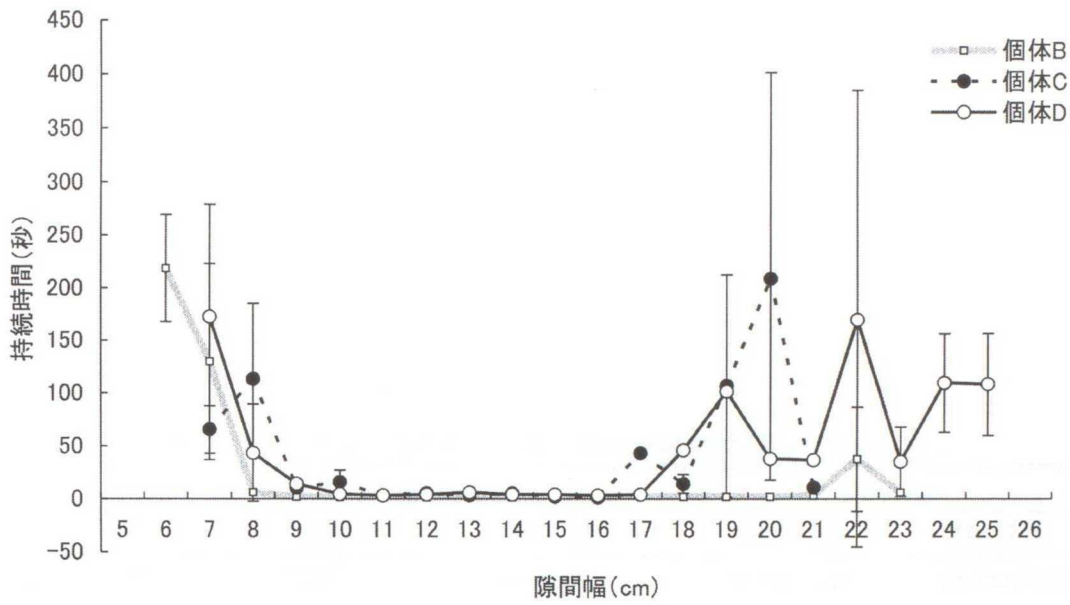


図3-2. 各隙間幅における隙間内侵入までの潜時(平均±SE)

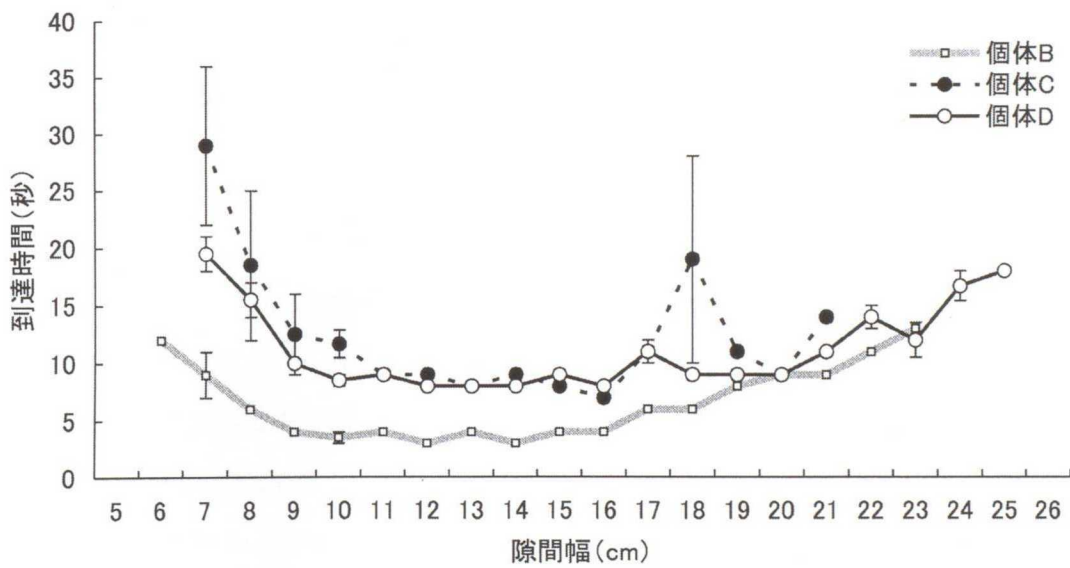


図3-3. 各隙間幅における報酬飼料までの平均到達時間(平均±SE)

表3-5. 侵入に失敗した隙間幅に対する各探査行動の持続時間(秒)(平均±SE)

カテゴリー	最小幅		最大幅	
	1試行目	2試行目	1試行目	2試行目
におい嗅ぎ	70.2±9.5	18.4±5.7	24.7±21.2	29.3±20.5
注視	32.2±10.2	2.2±1.5	12.0±10.0	9.0±1.2
前肢かけ	11.0±6.5	-	53.7±37.3	26.0±4.6
仰向きになる	21.4±3.1	0.8±0.8	-	-
隙間に入る	4.8±3.3	-	2.0±2.0	1.0±0.6
隙間を移動する	0.6±0.6	-	20.3±20.3	-
かじる	8.4±6.2	-	-	-
なめる	0.8±0.6	-	-	-

第4節 考察

本実験でハクビシンが侵入した垂直な隙間幅は6 cmから25 cmであった。隙間内の移動方法は隙間幅にかかわらず同様であり、二枚の板を四肢と背面で押して、四肢のパッドを滑り止めにして移動した。登るまでの潜時は、隙間幅8 cm以下および18 cm以上で長くなった。また、各隙間幅での平均到達時間は、幅10 cmから減少すると隙間内を移動しにくくなるため長くなり、幅が増加すると徐々に長くなった。ハクビシンの体高は20 cm程度であるため⁷⁶⁾、隙間幅20 cm以上では体を弓なりにして四肢と背面で板を押して体を支えていたが、体を支えながら隙間内を移動するのは困難であるため、報酬飼料までの到達時間は幅が広がるにつれて徐々に長くなっていったと考えられる。登るまでの潜時と報酬までの到達時間は、隙間幅の増減に伴い変動が一致しており、幅9 cmから17 cmでは持続時間が短かったことから、ハクビシンは隙間幅9 cmから17 cmにおいて比較的容易に侵入できることが示唆された。隙間幅12 cm以上では、基本となる侵入方法で侵入に失敗した場合には、登り始めに跳躍するなど個体により侵入方法を様々に変化させた。一方で、侵入に失敗した隙間では、1試行目より2試行目で探査持続時間が短く、最小幅では2試行目には、におい嗅ぎおよび注視以外の行動がほとんど観察されなかった。また、最大幅では2試行目には隙間内を移動することはなかった。これらのことから、ハクビシンは垂直な隙間に対して、隙間幅が広い場合にも柔軟に侵入方法を変化させて対応し、侵入を試みるが、侵入に失敗し、侵入できないと判断すると、侵入の動機付けが著しく低下することが示唆された。

第1章では、侵入可能な最小の長方形入口の検討を行い、ハクビシンは最小でH6×W12 cmの横長の長方形から侵入した。本実験で侵入した最小の垂直隙間は、H6×W65 cmで奥行き170 cmの横長の長方形であるという解釈ができる。横幅を65 cmから減少させることで、侵入の可否に影響があることが推測されるが、縦幅6 cmの隙間に侵入したことから、ハクビシンの垂直方向での移動能力は、水平方向での移動能力と同等であることが示された。

日本家屋では、壁体内は通気性の確保や断熱の目的から中空構造をしている。壁体内の隙間幅は外壁や家屋内の壁など場所により異なるが、幅5 cm以下もしくは26 cm以上でないとハクビシンに侵入される可能性が示唆された。本実験では、ハクビシンが前肢や後肢をかける突起物のない垂直な隙間を提示し、侵入可能な隙間幅の検討を行ったが、実際の家屋の壁体内には、強度を維持するために一定間隔で横木や筋交いが存在している。特に筋交いは、

建築基準法施行令により、使用する木材や鉄筋の太さが定められており⁴⁴⁾、ハクビシンが前肢や後肢をかけるには十分な太さである。隙間幅 5 cm 以下の壁体内では、実験の様子からハクビシンの体格では物理的に侵入不可能であると考えられるが、隙間幅 26 cm 以上の壁体内では、後肢で立ち上がった状態で前肢がとどく位置に横木や筋交いがある場合、これらを足場にして侵入する可能性がある。実験では、各個体が侵入に失敗した最大幅において、後肢で立ち上がった状態で前肢が到達した高さは、個体 B では 70 cm、個体 C では 75 cm、個体 D では 55 cm であった。したがって、75 cm 以下の間隔で横木や筋交いが存在する場合には、それらに前肢をかけて侵入する可能性がある。

また実験では、侵入に失敗した隙間幅に対して、わずかであるが板をかじるなどの破壊的な行動が観察されたことから、壁体内の障害物に対してもこのような破壊的な行動を示す可能性がある。家屋の外周を成す壁体内には、発泡性ボードやロックウールなどの断熱材が入っており⁴⁵⁾、これらはハクビシンが壁体内に侵入する際の障害物となりうる。しかし、断熱材には軟質な素材が多く用いられているため、壁体内へのハクビシンの侵入を抑制する障害物にはなり得ない可能性がある。

今回の実験では、侵入可能な垂直な隙間幅を検討するため、隙間を形成する板幅の影響を受けないように、実験装置の幅を 65 cm に設計したが、この幅が狭まることでハクビシンの侵入行動に影響を及ぼす可能性がある。ハクビシンは隙間幅が広い場合には、背中を弓なりにして板を押さえるため、四肢を体の真下に伸ばしており、正面から見るとハクビシンの体高は高く、体幅は狭くなっていた。一方で、隙間幅が狭い場合には、四肢を体の左右に伸ばしており、ハクビシンの体高は低く、体幅は広がっていた。したがって、垂直な隙間の横幅を狭めた場合、隙間幅が広い条件の方がより横幅が狭くても侵入できると考えられる。しかし、第 1 章でも述べたように、ハクビシンは入口の形状にあわせ体の向きを変えて侵入したことから、垂直な隙間に対しても体の向きを 90 度変えて侵入する可能性もある。家屋の壁は、同じ家屋内でも外壁や間仕切り壁などにより壁体内の厚みや幅が異なることが予想され、すべての壁体内をハクビシンが侵入経路として利用しているとは断定できないが、家屋の壁体内を利用できるだけの垂直移動能力が存在することが明らかになった。

第4章

侵入口に設置した障害物に対するハクビシンの反応

第1節 目的

第1章では、ハクビシンが侵入可能な入口の大きさおよび形状が明らかになり、湿潤な気候に適応するために通気性を高くしている日本家屋では、ハクビシンが侵入できる隙間が多く存在することが示唆された。また、侵入できない入口であっても嗅覚的、視覚的探査だけでなく、鼻先を入れて物理的接触により探査する様子が観察され、わずかではあるが破壊的な行動も発現したことから、ハクビシンの侵入口となりうる外壁の隙間を覆う際には、目合の広がらない丈夫な素材を用いることが推奨される。著者らによる先行研究⁴⁰⁾および第1章より、ハクビシンが侵入可能な最小の入口はH6×W12 cmの横長の長方形、H11×W7 cmの縦長の長方形、一辺8 cmの正方形、直径9 cmの円形であることを明らかにした。このことから、これらの大きさよりも小さい目合の障害物であれば、隙間へのハクビシンの侵入を防ぐことが可能であると考えられる。しかし障害物の目合の大きさや形状、線径により、侵入への執着度や障害物に対する行動が異なることが予想される。

そこで第4章では、ハクビシンが侵入できる隙間を様々な目合の金網で覆い、目合の大きさや形状、線径の違いが侵入防止の効果およびハクビシンの行動に及ぼす影響について比較検討することを目的とした。また、障害物を設置した高さにより、ハクビシンの行動が異なることが予想されるため、障害物の設置位置を地際と高所の二条件に分けて実験を行った。

第2節 材料および方法

1. 供試個体

供試個体は成獣ハクビシン5頭（雄3頭、雌2頭）を用いた（表4-1）。これらの個体は埼玉県で捕獲し、秩父試験地で飼育していたものを島根県大田市にある独立行政法人近畿中国四国農業研究センター大田研究拠点（以下、大田研究拠点）内の動物舎に、2回に分けて陸路および空路により輸送した。どちらの輸送手段でも輸送後の供試個体の健康状態に問題はなく、5ヵ月間新しい動物舎で飼育した後、実験に供試した。

実験期間中は8:00～9:00の間に清掃管理し、17:00に給餌した。飼料は市販のドックフード（イースター株式会社：愛情物語成犬用ビーフ&緑黄色野菜チキン味粒入り）を1日100g給餌した（表4-2）。給水は自由飲水とした。

2. 飼育施設

大田研究拠点内の動物舎（W3000×D6650 mm）に、飼育ケージ（W540×D750×H525 mm）および中型哺乳類の行動を研究するために作製した実験室（W960×D3460×H1880 mm）を設置し、実験を行なった（図4-1）。動物舎はウィンドレスであったため、エア・コンディショナーと蛍光灯により温度環境および光環境を制御した（図4-2）。供試ハクビシンが以前飼育されていた秩父試験地は野外と同じ環境下で管理しており、温度環境は-5～35℃であった。大田研究拠点の動物舎は、夏期に40℃まで室温が上がる場合があったため、その場合にはエア・コンディショナーを使用し温度環境を0～32℃の範囲内に保った。照度は動物舎に設置された蛍光灯からの距離により異なったが、飼育ケージを設置した場所では 217.7 ± 130.4 （平均±SE）lxであった。また、その季節の日照時間に合わせて、タイマーにより照明の点灯および消灯を行った。

飼育ケージはハクビシン飼育用に作成した（図4-3）。頻繁に洗浄することを考慮し、骨組みおよび壁面はアルミ製とし、床面はステンレス製のスノコで、下に設置した受け皿に糞尿が落ちるようにした。飼育ケージの前面は、内部の様子を観察しやすいようにアクリル板のスライド扉にした。実験ケージは骨組みにアルミフレームを用い、その二面および天井にアクリル板を、残りの二面および床面にアルミ複合板を張り周囲を覆った。内部は上下を仕切る事で二室に分ける事ができたが、本実験では仕切らずに使用した（図4-4）。

3. 実験装置

実験ケージをコンクリートパネルで二区画に仕切り、パネルには H200×W500 mm の入口を設け、片方の区画に報酬飼料を設置した (図 4-5)。報酬飼料にはハクビシンの嗜好性が高く品質や質量が均一に保たれていることから、市販のグミ (株式会社明治: 果汁グミぶどう味) を用い、1 試行につきグミ 1 粒 4 g を与えた (表 4-3)。ハクビシンが入口から侵入し、スムーズに報酬飼料を摂取することを確認した後、入口を障害物として目合や線径の異なる金網で覆い、障害物に対する行動および侵入防除の効果について検討した。入口の位置は、ハクビシンが四肢を地面につけた状態で探査することを想定し、地上 0 cm の高さに設置した地際条件と、ハクビシンが後肢のみで立ち上がり探査することを想定した高所条件に分けて実験を行った (図 4-6)。川端⁷⁷⁾によるハクビシンの柵の乗り越え行動を検討した実験では、高さ 45 cm から前肢をかけて障害物を乗り越える様子が観察された⁷⁷⁾。そこで、本実験の高所条件では入口を地上 45 cm の高さに設置した。

提示した金網は、一般的に入手しやすく、隙間を覆うのに使用されると考えられる鉄製亀甲金網および鉄製溶接金網とし、目合の大きさは規格品のうち最大と最小のものを含む 3 段階を選択した。各金網の線径は、規格品のうち最も細いものとした (表 4-4)。

4. 実験方法

実験は 2011 年 4 月から同年 8 月にかけて、9:30-14:00 の間に行った。馴致期間中は実験装置の入口を開放し、装置奥に設置した報酬飼料を摂取させ、飼育ケージに戻る訓練を 1 頭につき 1 日 5 回行った。先に実験を行った地際条件では馴致を 5 日間行い、高所条件では 3 日間行った。本試験では装置奥に報酬飼料を設置した状態で入口に障害物を設置し、ハクビシン導入後 1 頭につき 1 日 30 分間実験を行った。提示した障害物に接触しなくなった時点でその条件の提示を終了し、1 日の開放期を設けた後、次の条件に移った。また、提示した障害物に対し継続して接触していた場合でも、最長連続 5 日間で実験を終了した。開放期は入口を開放した状態で、自由に報酬飼料を摂取させた。障害物は亀甲金網、溶接金網の順に提示し、各条件の目合の提示順序はラテン方格法に従い配置した (表 4-5)。

5. 観察方法

実験時のハクビシンの行動はデジタルビデオカメラ（Sony HDR-HC7）で撮影し、障害物および実験装置に対する行動を連続観察した。

6. 測定項目および統計解析

（1）各障害物の侵入の可否

提示した障害物を突破し、装置奥に設置した報酬飼料を摂取した場合に侵入成功とした。また、障害物を突破せずに 30 分経過した場合には、侵入失敗とした。

（2）障害物および実験装置に対する探査持続時間

障害物および実験装置の障害物を除く部分に対する探査持続時間を記録し、条件ごとに提示した日数分の探査持続時間を各個体で合計したものを総探査持続時間とした。それぞれの総探査持続時間は Friedman 検定を行った後、提示した障害物間（亀甲金網 8 mm vs. 亀甲金網 20 mm vs. 亀甲金網 45 mm vs. 溶接金網 30 mm vs. 溶接金網 50 mm vs. 溶接金網 75 mm）で有意差が認められたものに Steel-Dwass 検定で多重比較した。

また、地際条件と高所条件における障害物および実験装置に対する総探査持続時間の差を、Wilcoxon 符号付順位和検定で解析した。

（3）障害物に対する各探査行動の持続時間

障害物に対する探査行動を、におい嗅ぎ、注視、破壊的行動以外の接触、破壊的行動の 4 つに分類し、各行動の持続時間を記録した。観察された行動と行動の定義および分類について、表 4-6 に示した。各行動の探査持続時間は、提示した障害物ごとに総探査持続時間を算出し、Friedman 検定を行った後、障害物間で有意差が認められたものに Steel-Dwass 検定で多重比較した。

（5）高所条件における障害物に対する接触の総持続時間

高所条件では、地際条件では観察されなかった障害物への前肢かけや、登るなどの行動が発現した。これらの行動を、それぞれ条件ごとに提示した日数分の持続時間を各個体で合計し、総持続時間を算出した。それぞれの総探査持続時間は Friedman 検定を行った後、障害物

間で有意差が認められたものに Steel-Dwass 検定で多重比較した。Wilcoxon 符号付順位和検定は解析に Statcel (オーエムエス、Statcel97.xla) を使用し、その他の解析には全て統計解析ソフト R (バージョン 2.13.1) を使用した。

表4-1. 供試個体の詳細

供試個体	性別	捕獲日	地際条件		高所条件	
			実験時体重(kg)	実験開始日	実験時体重(kg)	実験開始日
A	雄	2006年12月14日	3.7	4月30日	3.7	7月30日
B	雄	2008年 4月30日	3.0	4月30日	3.2	7月30日
C	雄	2007年11月12日	2.4	4月30日	2.5	7月30日
D	雌	2006年 7月 7日	2.7	4月30日	2.8	7月30日
E	雌	2010年 5月10日	2.8	4月30日	3.1	7月30日

表4-2. 給餌したドックフード(愛情物語; イースター株式会社)
の主要栄養成分

成分	含有量
粗タンパク質	18.0 %以上
粗脂質	5.5 %以上
粗繊維	6.0 %以下
粗灰分	7.5 %以下
水分	10.0 %以下
エネルギー	300 kcal以上 (100 gあたり)

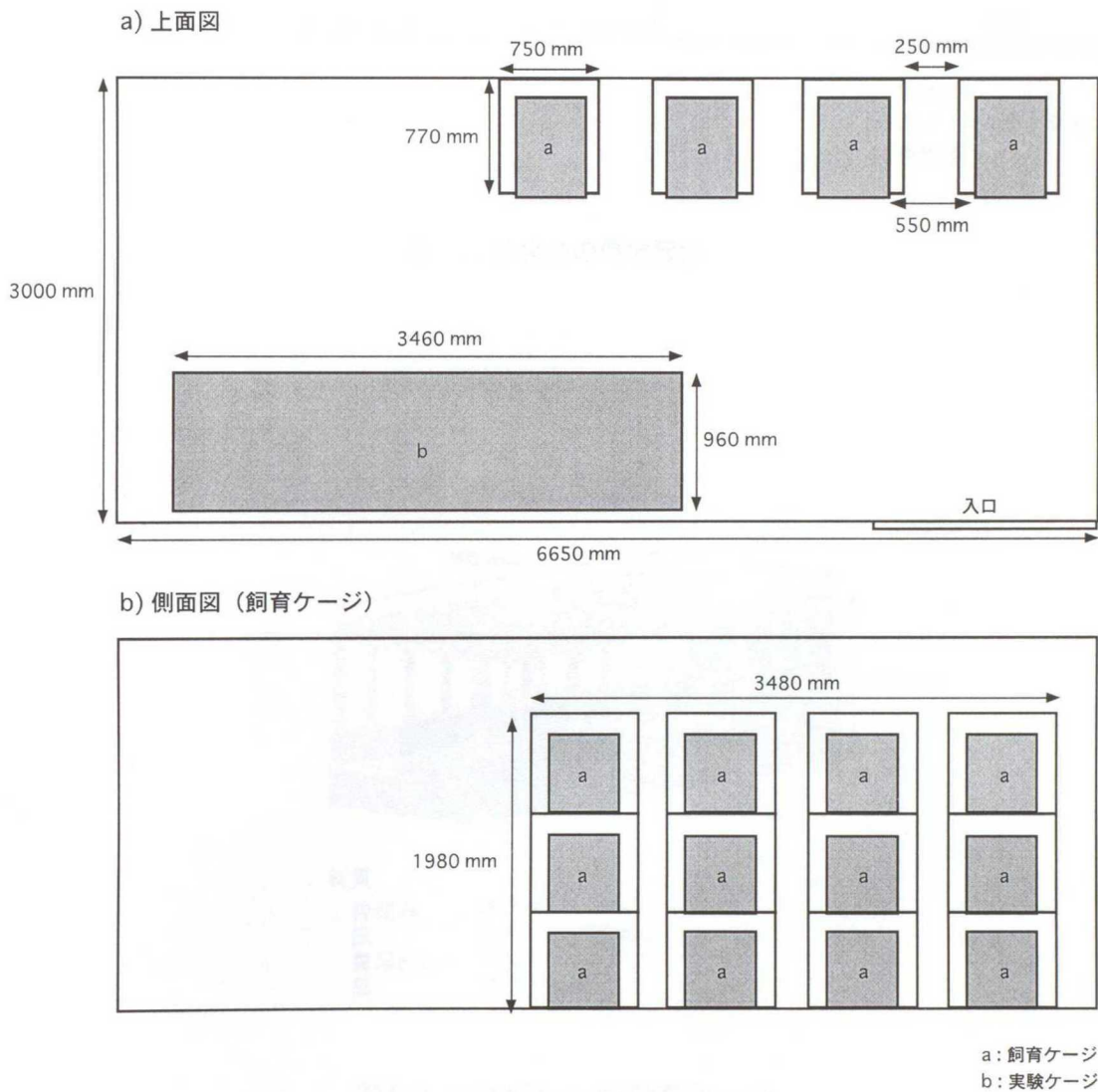


図4-1. 動物舎の概要

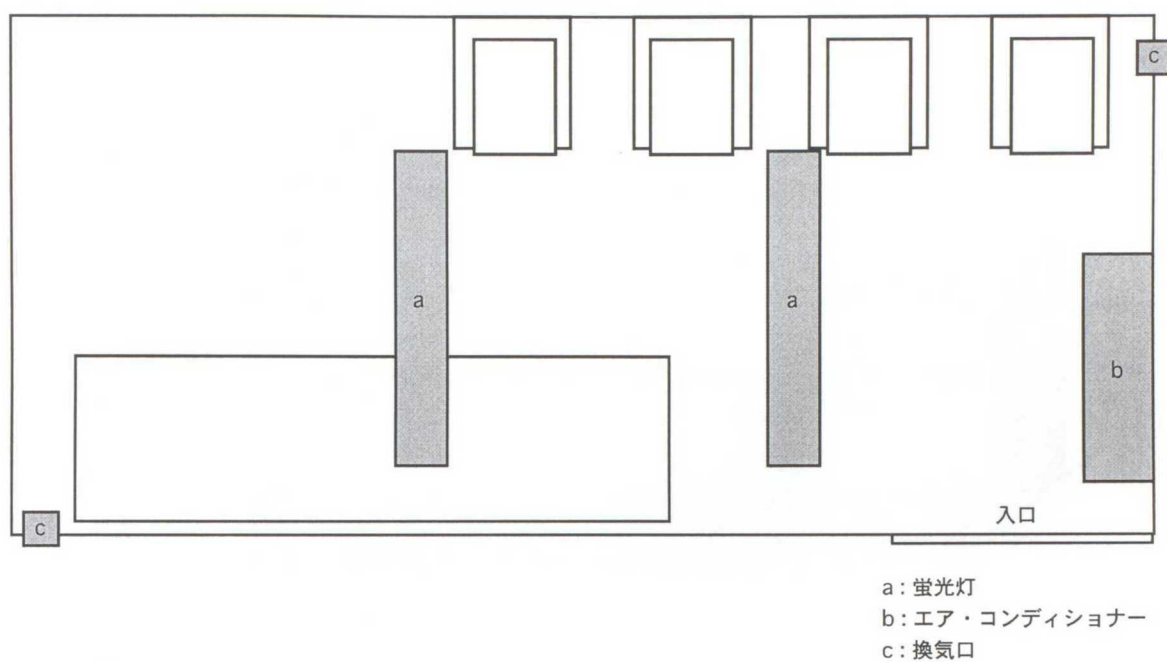
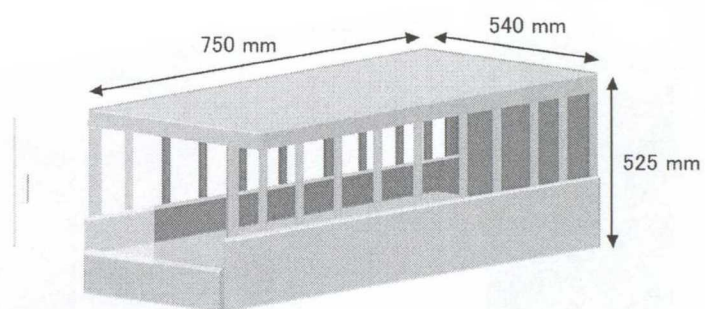
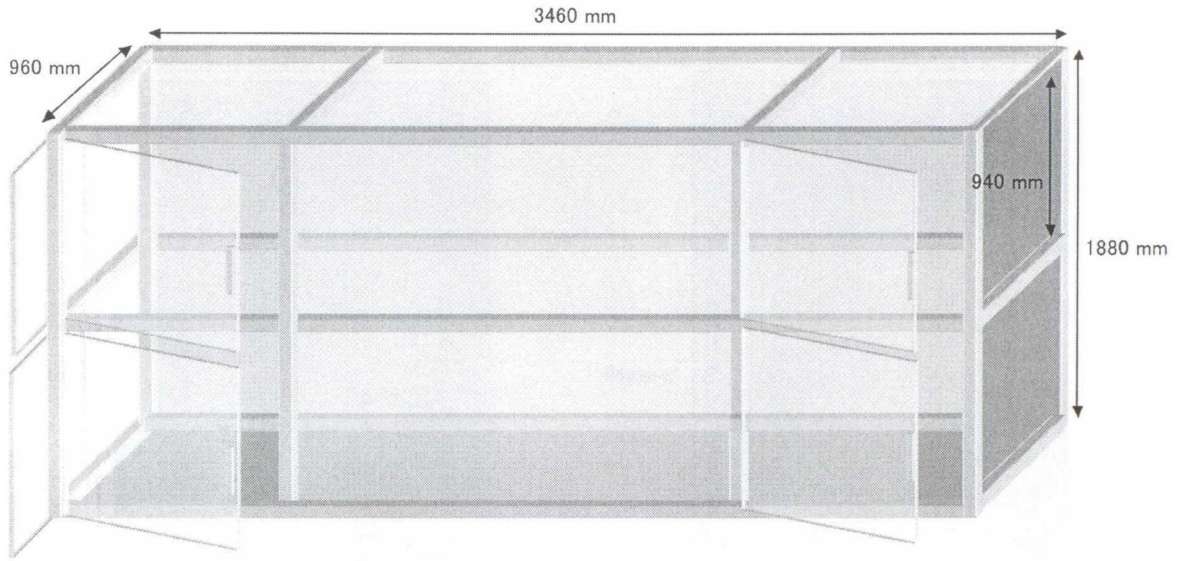


図4-2. 動物舎の環境設備



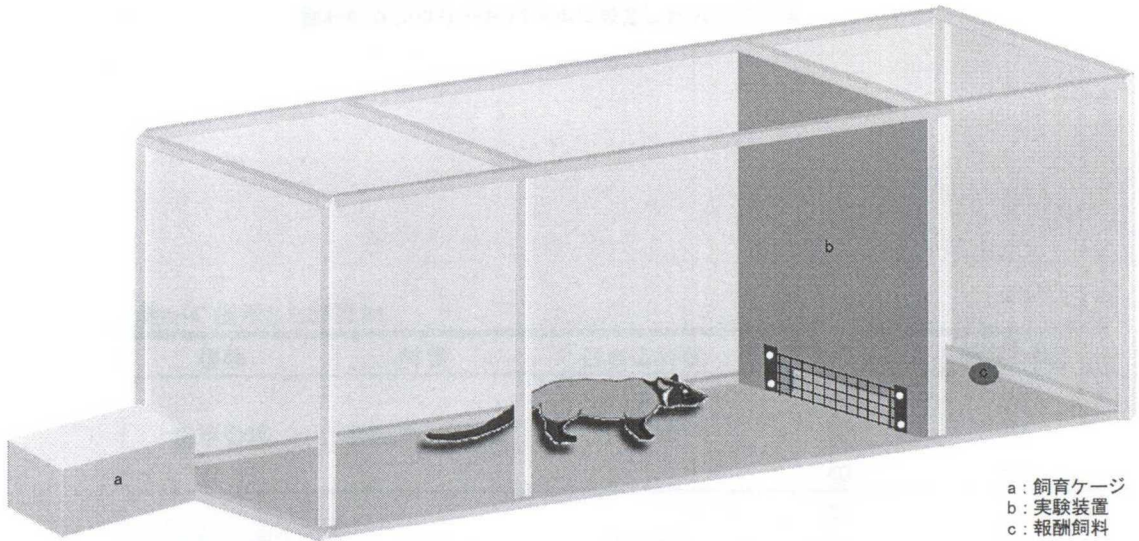
材質
 枠組み : アルミ
 床 : ステンレスすのこ
 糞尿トレイ : アルミ
 扉 : アクリル板

図4-3. ハクビシンの飼育ケージ



材質
 枠組み : アルミフレーム
 天井・壁面(二面) : アクリル板
 壁面(二面) : アルミ複合板

図4-4. 実験ケージの概要



a : 飼育ケージ
 b : 実験装置
 c : 報酬飼料

図4-5. 実験装置の概要

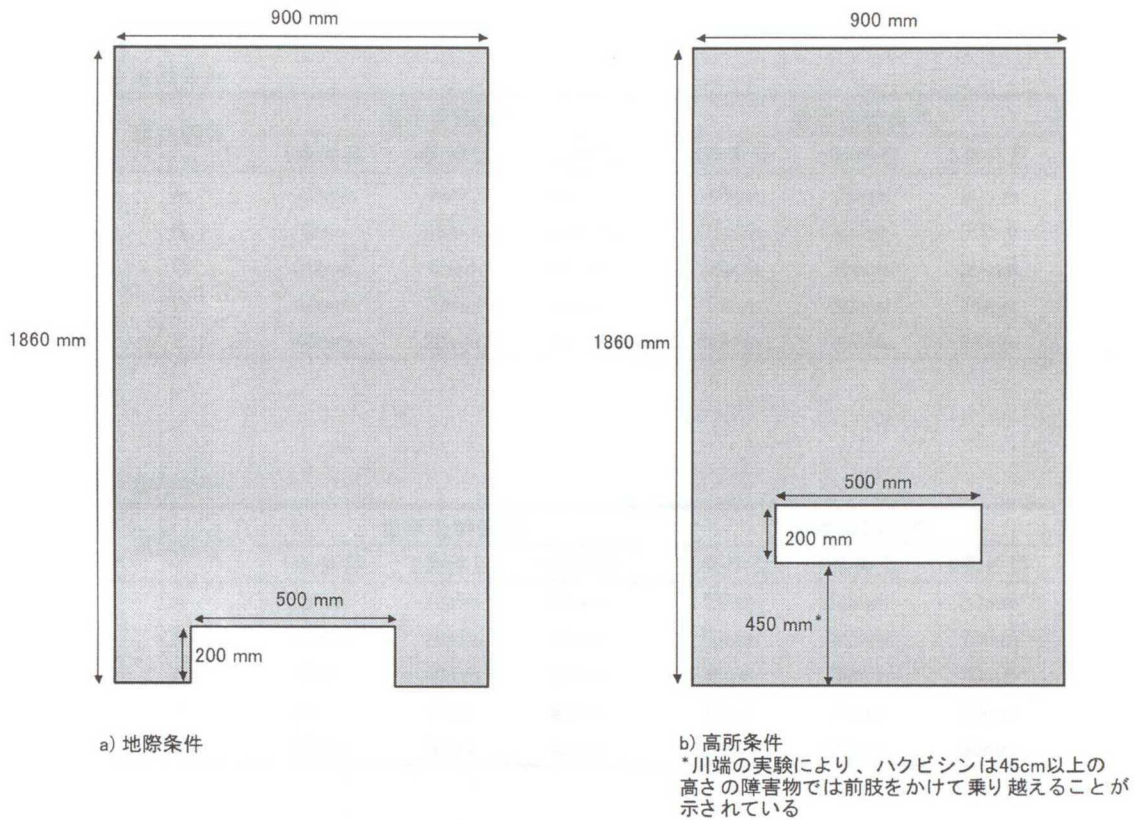


図4-6. コンクリートパネルに設置した入口の位置

表4-4. 提示した障害物

種類	材質	目合の形状	目合(mm)	線径(mm)
亀甲金網	亜鉛メッキ鉄線	六角形	8	0.8
			20	0.8
			40	0.8
溶接金網	鉄線	正方形	30	3.2
			50	3.2
			75	3.2

表4-5. 各個体の条件提示順序

a) 地際条件

供試個体	亀甲金網条件			溶接金網条件		
	1条件目	2条件目	3条件目	1条件目	2条件目	3条件目
A	20mm	8mm	40mm	30mm	75mm	50mm
B	8mm	40mm	20mm	75mm	50mm	30mm
C	20mm	8mm	40mm	30mm	75mm	50mm
D	40mm	20mm	8mm	50mm	30mm	75mm
E	40mm	20mm	8mm	50mm	30mm	75mm

b) 高所条件

供試個体	亀甲金網条件			溶接金網条件		
	1条件目	2条件目	3条件目	1条件目	2条件目	3条件目
A	8mm	40mm	20mm	75mm	50mm	30mm
B	40mm	20mm	8mm	50mm	30mm	75mm
C	8mm	40mm	20mm	75mm	50mm	30mm
D	20mm	8mm	40mm	30mm	75mm	50mm
E	20mm	8mm	40mm	30mm	75mm	50mm

表4-6. 提示した障害物に対する行動とその定義および分類

分類	カテゴリー	定義
におい嗅ぎ	におい嗅ぎ	障害物のにおいを嗅ぐ
注視	注視	障害物を見る
破壊的行動以外の接触	鼻先入れ	障害物の目合に鼻先を入れる
	舐める 前肢で操作	障害物を舐める 障害物の目合に前肢を入れる、もしくは前肢で触れる
破壊的行動	噛む	障害物を直接噛む、もしくは前肢で引き寄せながら噛む
	押し	障害物を頭部や前肢で押す

第3節 結果

実験の結果、すべての条件においてハクビシンは侵入しなかった（表 4-7、4-8）。地際条件においては目合 8 mm の亀甲金網で個体 A、B、D および E が、目合 20 mm の亀甲金網で個体 A、D および E が、目合 30 mm の溶接金網で個体 B、C、D および E が、障害物に対する接触が 5 日間続かず実験を終了した。また高所条件においては、目合 8 mm および 20 mm の亀甲金網で個体 A および E が、目合 40 mm の亀甲金網で個体 E が、目合 30 mm の溶接金網で個体 A が、障害物に対する接触が 5 日間続かなかった。

地際条件において、障害物に対する探査持続時間は目合 8 mm、20 mm の亀甲金網および目合 30 mm、50 mm の溶接金網に対して実験日数が経過するにつれ減少した（図 4-7）。一方で、目合 40 mm の亀甲金網および目合 75 mm の溶接金網に対する探査持続時間は、実験の中日で増加する個体もあり、個体ごとに異なる傾向が認められた。高所条件では、目合 40 mm の亀甲金網に対する探査持続時間は実験日数が経過するにつれ減少したが、目合 8 mm、20 mm の亀甲金網および目合 30 mm、50 mm の溶接金網では一定に推移し、目合 75 mm の溶接金網では個体ごとに傾向に違いが認められた（図 4-8）。

実験装置に対する探査持続時間の経日変化は、地際条件と高所条件で同じ傾向を示し、どの条件においても一定に推移した（図 4-9、4-10）。

障害物に対する総探査持続時間は、地際条件では目合 8 mm の亀甲金網より目合 40 mm の亀甲金網および目合 75 mm の溶接金網に対して持続時間が長い傾向を示し（ $P < 0.1$ ）、また目合 20 mm より目合 40 mm の亀甲金網に対する総探査持続時間が長い傾向を示した（ $P < 0.1$ ）（表 4-9）。高所条件では、目合 30 mm より目合 75 mm の溶接金網に対する総探査持続時間が長い傾向を示した（ $P < 0.1$ ）（表 4-9）。実験装置に対する総探査持続時間は、どちらの条件においても障害物間に有意差は認められなかった。

また、障害物および実験装置に対する総探査持続時間は、地際条件と高所条件で差がなかった（平均±SE；障害物に対する総探査持続時間； 418.9 ± 96.6 秒 vs. 419.2 ± 52.4 秒, n. s., 実験装置に対する総探査持続時間； 216.6 ± 32.0 秒 vs. 341.5 ± 43.0 秒, n. s.）。

地際条件において、におい嗅ぎは目合 20 mm より 40 mm の亀甲金網に対して持続時間が長い傾向を示し（ $P < 0.1$ ）、注視は目合 8 mm の亀甲金網より目合 40 mm の亀甲金網および目合 75 mm の亀甲金網で長い傾向を示した（ $P < 0.1$ ）（表 4-10）。破壊的行動以外の接触は、目合

75 mm の溶接金網で最も持続時間が長い傾向を示した ($P < 0.1$)。高所条件においても、目合 75 mm の溶接金網に対する破壊的行動以外の接触は、他の障害物に比べて長い傾向を示した ($P < 0.1$) (表 4-11)。ハクビシンは、目合 40 mm の亀甲金網に対して噛むなどの破壊的な行動を示したが、それ以外の条件に対してはほとんど示さなかった。

高所条件では、障害物に前肢をかける、および障害物をつかんで登る行動が観察され、目合 75 mm の溶接金網に対する前肢かけは、他の障害物に比べて長い傾向を示した (表 4-12)。

表4-7. 地際条件における各障害物の侵入の可否

実験日	亀甲金網															溶接金網																			
	8 mm					20 mm					40 mm					30 mm					50 mm					75 mm									
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E					
1日目	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2日目	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
3日目	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
4日目	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
5日目	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

x: 侵入失敗、空欄: 提示なし

表4-8. 高所条件における各障害物の侵入の可否

実験日	亀甲金網															溶接金網																			
	8 mm					20 mm					40 mm					30 mm					50 mm					75 mm									
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
1日目	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2日目	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
3日目	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
4日目	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
5日目	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

x: 侵入失敗、空欄: 提示なし

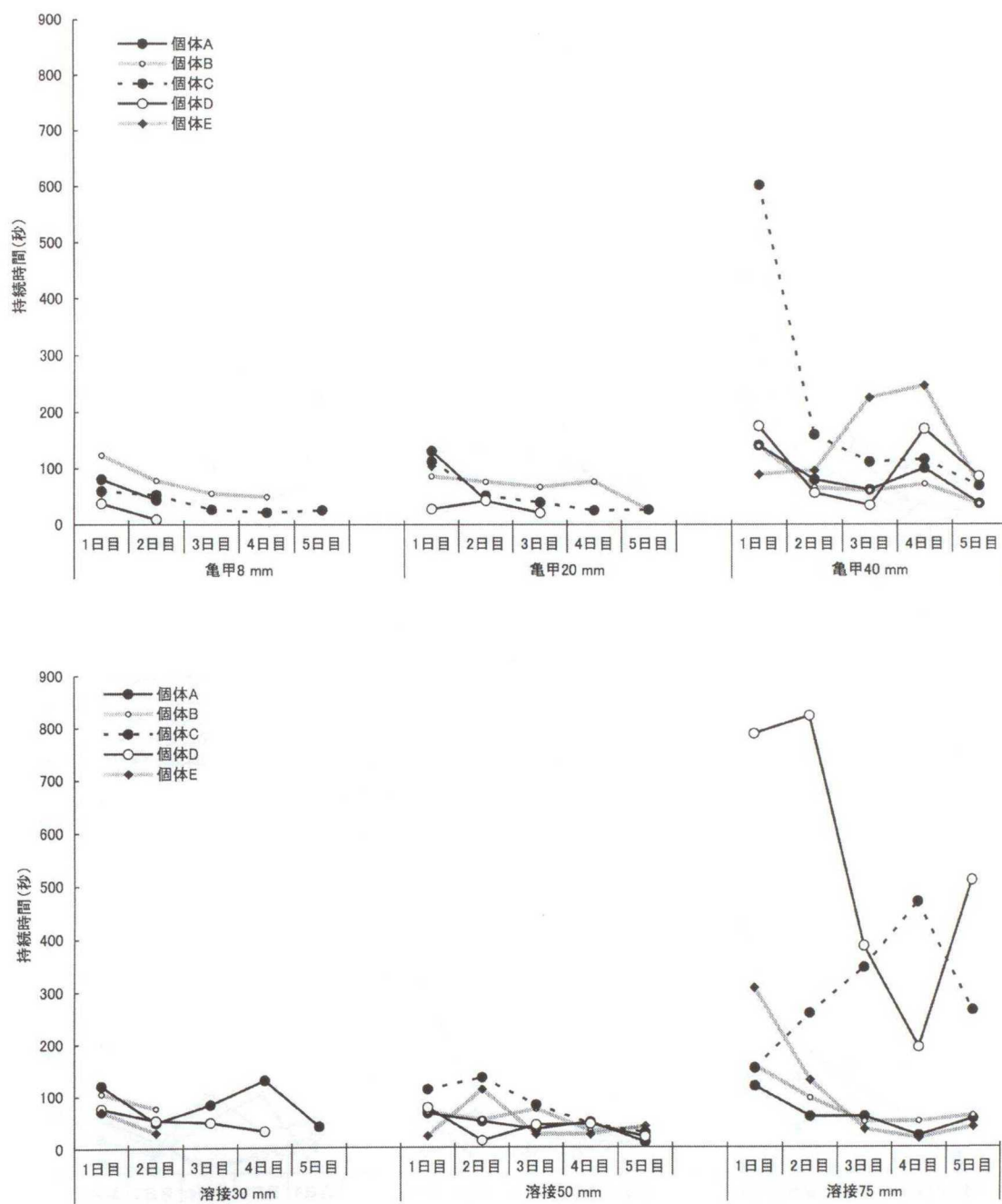


図4-7. 地際条件における障害物に対する探査持続時間の経日変化

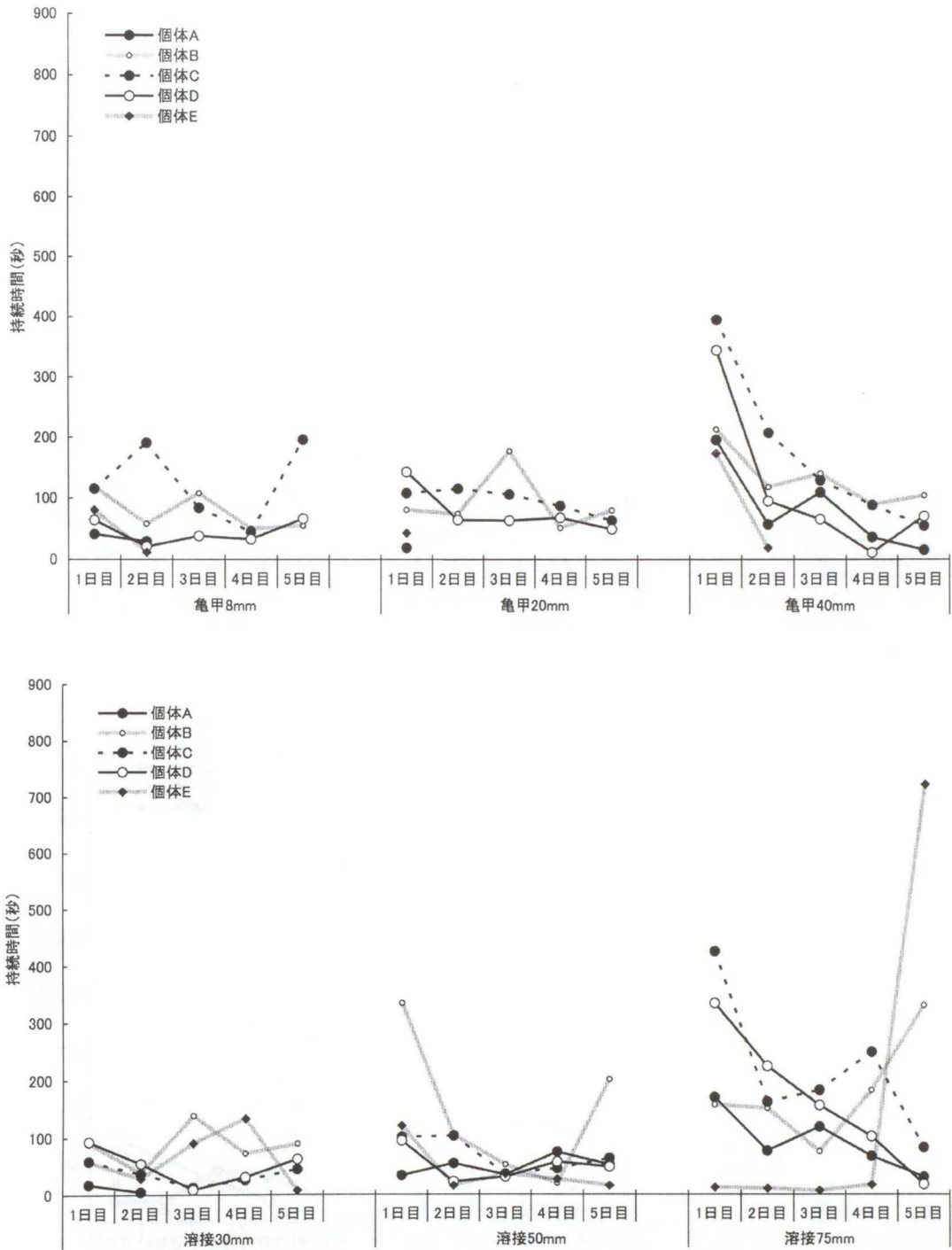


図4-8. 高所条件における障害物に対する探査持続時間の経日変化

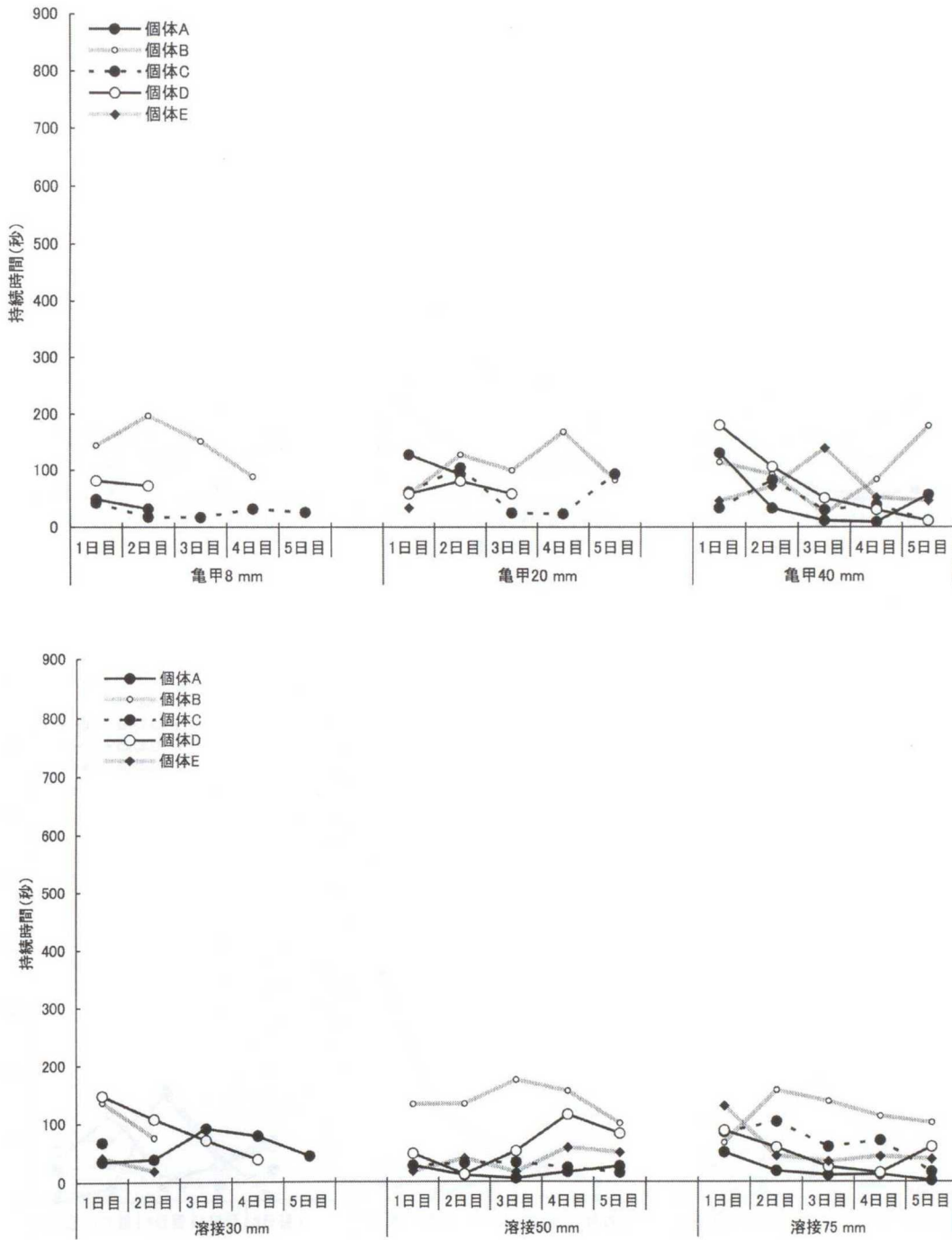


図4-9. 高所条件における実験装置に対する探査持続時間の経日変化

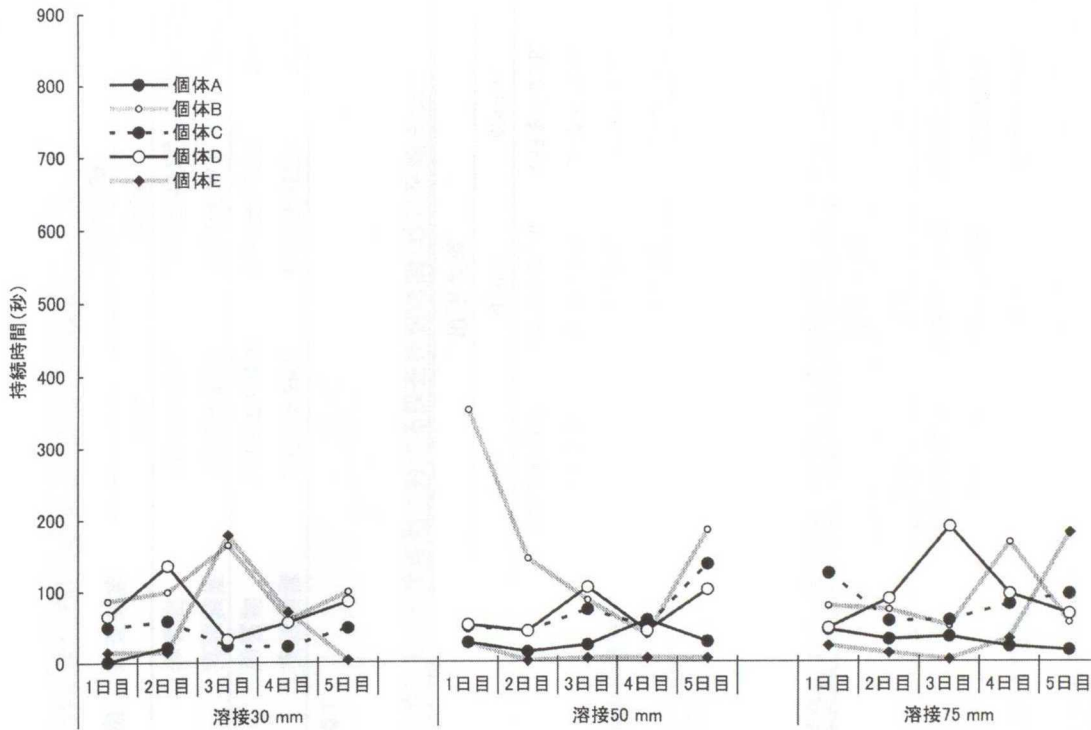
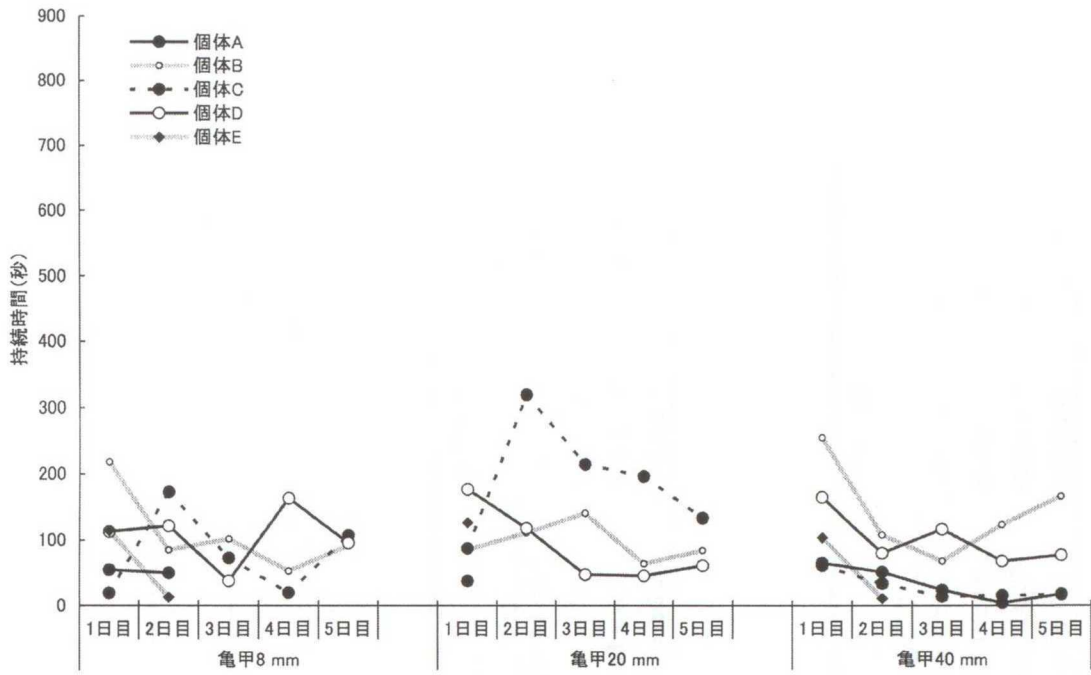


図4-10. 高所条件における実験装置に対する探査持続時間の経日変化

表4-9. 障害物および実験装置に対する探査持続時間(秒)(平均±SE)

入口提示位置	探査対象	亀甲金網				溶接金網		
		8mm	20mm	40mm	30mm	50mm	75mm	
地際条件	障害物	145.2±48.2 ^a	193.6±46.5 ^{ab}	627.2±125.5 ^c	196.8±61.8	261.4±37.0	1090.2±455.1 ^b	
	実験装置	200.0±97.4	260.0±82.3	334.0±53.0	189.6±57.0	280.6±109.6	305.2±77.4	
高所条件	障害物	281.2±104.3	278.2±102.2	545.2±115.2	241.2±68.6 ^a	357.4±91.6	812.2±102.9 ^b	
	実験装置	342.0±96.1	413.2±162.1	332.4±122.3	277.4±81.8	338.8±130.9	345.0±62.8	

異符号間:P<0.1

表4-10. 地際条件における障害物に対する探査持続時間(秒)(平均±SE)

カテゴリ	亀甲金網				溶接金網		
	8mm	20mm	40mm	30mm	50mm	75mm	
におい嗅ぎ	132.2±49.8	160.4±37.4 ^a	438.6±81.8 ^b	157.4±45.2	179.2±35.8	418.2±116.7	
注視	12.8±3.8 ^a	31.6±8.9	70.0±15.5 ^b	28.8±13.4	36.2±10.9	73.2±16.9 ^b	
破壊的行動以外の接触	0.0±0.0 ^a	1.0±0.8 ^a	54.4±8.2 ^b	10.6±6.1 ^{ab}	46.0±7.1 ^b	597.0±340.3 ^c	
破壊的行動	0.2±0.2	0.6±0.6	64.2±51.2	0.0±0.0	0.0±0.0	1.8±1.6	

異符号間:P<0.1

表4-11. 高所条件における障害物に対する探査持続時間(秒)(平均±SE)

カテゴリ	亀甲金網				溶接金網		
	8mm	20mm	40mm	30mm	50mm	75mm	
におい嗅ぎ	248.8±92.3	239.8±87.0	396.0±101.0	218.2±65.3	284.0±86.4	456.6±93.4	
注視	29.2±11.4	32.0±14.5	38.2±7.2	11.6±4.6	31.4±7.1	55.2±18.6	
破壊的行動以外の接触	3.0±2.3 ^a	4.4±2.7 ^{ab}	86.8±36.6 ^b	11.0±6.3 ^{ab}	42.0±8.7 ^c	295.4±64.8 ^d	
破壊的行動	0.0±0.0	2.0±2.0	24.2±22.5	0.0±0.0	0.0±0.0	5.0±4.8	

異符号間:P<0.1

表4-12. 高所条件における障害物に対する前肢かけおよび登るの持続時間(秒)(平均±SE)

カテゴリー	亀甲金網			溶接金網		
	8mm	20mm	40mm	30mm	50mm	75mm
前肢かけ	92.6±41.4 ^a	106.8±54.9 ^a	311.2±97.0	144.6±54.7 ^a	214.2±56.1	599.0±75.3 ^b
登る	51.8±26.6	126.6±97.2	49.4±28.3	77.8±25.7	98.8±56.6	242.4±96.3

異符号間:P<0.1

第4節 考察

本実験において障害物として提示したすべての金網で、ハクビシンの侵入を防ぐことができた。しかし、金網の目合の大きさや線径によりハクビシンの行動は異なった。

地際条件および高所条件のどちらにおいても、目合 8 mm、20 mm の亀甲金網、目合 30 mm の溶接金網に対しては障害物への接触が 5 日間続かない個体があった。また、高所条件では目合 40 mm の亀甲金網に対して個体 E は接触が 5 日間続かなかった。障害物の設置位置にかかわらず、目合 8 mm、20 mm の亀甲金網および目合 30 mm、50 mm の溶接金網では、ほとんどの個体で各障害物に対する探査持続時間は 100 秒程度から実験日の経過とともに減少した。一方で、目合 40 mm の亀甲金網および目合 75 mm の溶接金網では、1 日目の探査持続時間が他の障害物に比べて長く、経日変化は個体により異なった。障害物に対する総探査持続時間は、地際条件では目合 40 mm の亀甲金網および目合 75 mm の溶接金網で、高所条件では目合 75 mm の溶接金網で長い傾向にあり、特に破壊的行動以外の接触の持続時間が長い傾向にあった。また、障害物に対する破壊的行動以外の接触は、ほとんどが目合に鼻先を入れる行動であった。著者らによる先行研究⁴⁰⁾では、体重 2.2–3.4 kg のハクビシン 12 頭の外部計測を行い、頭幅 60.4 ± 1.0 (平均 \pm SE) mm、頭高 51.3 ± 0.7 mm であることを報告し、さらに頭幅と体重に強い正の相関があることを示した。今回供試したハクビシンは、体重が 2.4–3.7 kg であったことから、頭幅および頭高は著者らが報告した平均値より⁴⁰⁾、やや大きい個体も含まれていた可能性がある。しかし、どの個体も目合 75 mm の溶接金網では、頭部から頸部までが入ると考えられ、実際に個体 C および E では、目合 75 mm の溶接金網に鼻先を入れ、頭部が完全に入った状態で探査する様子が観察された。これらのことから、障害物への接触の発現には、目合の大きさが関係しており、特にハクビシンの頭部よりも大きい目合では鼻先入れによる接触欲求が増大することが示唆された。

今回の実験では、障害物に対する破壊的な行動の発現頻度は相対的に低く、ハクビシンは移動経路に障害物が設置された場合、障害物を破壊することに労力をかけない傾向にあることが示唆された。しかし、目合 40 mm の亀甲金網では破壊的行動が観察され、そのほとんどが金網を噛む行動であった。ハクビシンは目合に鼻先を入れた状態で金網を噛んでおり、鼻先がほとんど入らない目合 8 mm および目合 20 mm の亀甲金網に対して破壊的行動を示していないことから、噛む行動の発現にはハクビシンの鼻先が入る大きさの目合であることが関係

していると考えられる。一方で、目合 30 mm および目合 50 mm の溶接金網では、障害物に対する破壊的行動以外の接触が目合 8 mm および 20 mm の亀甲金網よりも長い傾向にあり、鼻先を入れる様子が観察されたが、ハクビシンは溶接金網に対してはほとんど破壊的行動を示さなかった。これは、溶接金網の線径が 3.2 mm であり、線径 0.8 mm の亀甲金網より太かったことが関係していると考えられる。したがって、これらの結果から破壊的行動の発現には、障害物の目合の大きさと線径が関係していることが示唆された。

障害物の設置位置によるハクビシンの行動の差異に関して、障害物および実験装置に対する総探査持続時間は、条件間で有意差がなく、ハクビシンは高所に設置された障害物に対しても、地際と同等に探査した。第 3 章でも示されたように、ハクビシンは垂直方向での移動能力に優れており、自然環境下では樹上も頻繁に利用することが報告されている^{13,20,72)}。したがって、入口や障害物が高所にある場合でも侵入の動機付けが低減することはなく、侵入行動に及ぼす影響はほとんどないことが示唆された。しかし、高所条件では障害物に前肢をかけ、後肢のみで立ち上がり障害物や実験装置の上部を探査する行動や、障害物に登り、実験装置の上部を探査する行動が観察された。高所条件における障害物への前肢かけおよび登る行動の持続時間は、目合が最も大きい目合 75 mm の溶接金網で長くなったが、目合の小さい金網でも爪をかけて登った。したがって、高所条件では、障害物に対して前肢かけや登る行動を示したことから、高所の侵入口を塞ぐ場合は、地際と同じ材質のものでは耐用年数が短くなると考えられる。また、高所に設置した金網は、他の移動経路へのハクビシンの足場として利用される可能性も示唆された。

金網の価格は、製造業者やホームセンターなど、購入先によりかなりの差があるが、今回実験に用いた金網は、1 m×1 m 単位の価格が目合 8 mm の亀甲金網で 1067 円、目合 20 mm で 233 円、目合 40 mm で 167 円、目合 30 mm の溶接金網で 3250 円、目合 50 mm で 850 円、目合 75 mm で 450 円であった（2011 年 1 月現在の参考値）。家屋侵入の被害現場では、対策費用を抑えるために隙間などを塞ぐ場合には価格の低い、目合が大きい金網を使用しがちである。しかし今回の実験結果から、ハクビシンの侵入を防げても目合が大きい金網では接触が増加し、さらに線径の細かい金網では破壊的行動が発現したことから、金網の耐用年数を維持するためには、目合の小さい金網を使用する方が望ましいと考えられる。すなわち、本実験では接触の少なかった目合 20 mm 以下の亀甲金網もしくは目合 50 mm 以下の溶接金網の使用が推

奨される。

本実験では障害物の耐久性を考え、鉄製金網を提示条件として選択したが、線径が細くても目合の小さい目合 8 mm および目合 20 mm の亀甲金網に対して、ハクビシンは破壊的行動をほとんど示さなかったことから、線径が細く目合の小さい防風ネットに対しても破壊的行動を示しにくいことが示唆された。

総合考察

本研究により、ハクビシンの水平方向および垂直方向での移動能力について明らかにし、H6×W12 cmの横長の長方形、H11×W7 cmの縦長の長方形、一辺8 cmの正方形、直径9 cmの円形入口から侵入し、垂直な隙間では前肢や後肢をかける突起物がない場合でも隙間幅6 cmから25 cmまで侵入可能であることを示した。第1章では、ハクビシンが侵入可能な最小の長方形入口の検討を行ったが、実験で提示した入口は厚さ3 mmの板を用いて作成し、入口の厚みの影響を排除した。第3章では、侵入可能な垂直の隙間幅を検討するため、二枚の板で形成した垂直構造物を提示したが、これを水平に倒すと奥行き170 cmの横長の長方形入口であると解釈できる。実験でハクビシンが侵入した最小の垂直隙間幅は6 cmであったことから、縦幅6 cmの長方形入口では、ハクビシンは厚みが1 m以上あっても侵入できる可能性がある。すなわち、ハクビシンは排水溝や水道管などの隙間が連続した管状の空間でも、H6×W12 cmの横長の長方形、H11×W7 cmの縦長の長方形、一辺8 cmの正方形、直径9 cmの円形入口と同等の大きさの隙間に侵入することが示唆された。しかし第3章で示したように、奥行きのある隙間に侵入する際、ハクビシンは隙間幅が狭い場合には四肢を体の左右に伸ばすため、正面から見ると体高は低く、体幅は広がった。したがって、入口の厚みが増すことで侵入可能な最小の入口は、第1章の結果よりも大きくなることが示唆される。本研究により明らかにされたハクビシンの身体能力は、電線や人工構造物など、日本におけるヒトの住居環境に存在するものを移動経路として利用するに十分であると言える。

また第1章では、横幅6 cmの縦長の長方形入口では、ハクビシンが地面に四肢を付けた通常の姿勢では顔幅が入らないため、頭部を90度ひねり侵入した。さらに第3章では、垂直方向に延びた隙間幅が広がるにつれ、隙間内で体重を支えて登るのが困難になるため、登り始めに跳躍して勢いをつけるなど、侵入方法を各個体で工夫した。ハクビシンの食物選択は、その季節や場所で摂取しやすいものに移行することが明らかにされており、周辺環境に食性を適応させる能力が高いとされている^{5, 15, 16)}。本研究の結果から、ハクビシンは食物選択だけでなく、提示された問題を解決する際にも、状況に合わせて行動を変化させる柔軟性がある

ことが示唆された。また第2章では、ハクビシンは入口に対して鼻先を入れて接触することから、視覚的要因のみで入口への侵入行動を制御できないことが示唆された。著者らによる先行研究⁴⁰⁾および第1章の結果から、ハクビシンが侵入可能な最小の入口面積は、横長の長方形では72 cm²、縦長の長方形では77 cm²、正方形では64 cm²、円形では約64 cm²であり、形状にかかわらず、2種の長方形と正方形および円形入口は、それぞれ面積が同等であった。さらに、著者らによる先行研究⁴⁰⁾では、侵入した最小の正方形および円形入口の大きさと、ハクビシンの体計測値に相関が認められたことから、ハクビシンが侵入可能な入口の大きさは、その個体の体の大きさと入口の面積により決定されることが示唆された。野生動物の被害対策を行う上では、動物の心理を利用し行動を制御する方法があるが、これらの結果が示すように、ハクビシンは物理的要因により行動が決定される傾向にあり、心理的要因により行動を制御しにくいことが示唆された。

ハクビシンが属するジャコウネコ科の動物は夜行性のものが多く、昼行性の捕食者から発見されにくいように、日中は樹洞やツル性植物が巻き付いた樹上などを休息地として選択する傾向にあることが報告されている^{20,78)}。インドに生息する Brown palm civet (*Paradoxurus jerdoni*) もまた、捕食者から逃避しやすいことを休息地選択の重要な要因としており、木々が隣接しており移動しやすい樹上を休息地として選択する傾向にある⁷⁹⁾。ハクビシンに関しては、Zeng ら³⁵⁾が夏期の休息地選択について調査しており、樹冠が茂った広葉樹林帯で低木密度が高く、体を隠すことができる場所を選択する傾向にあることを報告している。日本においてハクビシンの捕食者は存在していないと考えられるが、生息環境が重複しているアラグマやタヌキ、テンなどは競合種となりうる。また、出産や子育てをする場合には、これらの動物種やイヌやネコなどによる捕食の危険性から幼獣を保護する必要があり、温度環境なども適切に保たれている必要がある。家屋の天井裏は、他の動物種には侵入しにくく、温度環境が保たれていることからハクビシンの子育ての場所として、優れた場所であると考えられる。また、ジャコウネコ科動物は、採食場所に近いことも休息地選択の要因の1つとしている可能性が示唆されており⁷⁸⁾、日本において冬期のハクビシンの活動範囲は極端に狭くなり、活動量が減少することから³³⁾、近隣に庭木の果樹や生ゴミなどの採食場所が存在する家屋の天井裏は、格好の休息場所であると言える。このように、安全性の高さと採食場所に近いという、ジャコウネコ科動物が休息地を選択する際に重要とする2つの要素を兼ね備え

た場所が、日本では家屋の天井裏であり、本研究によりハクビシンはそれを利用するだけの身体能力や行動特性があることが示された。

日本の伝統的な木造家屋は高温多湿な気候に対応しており、低気密な構造にすることで自然に換気をしていた⁴³⁾。このような建物の作りは、現在でも神社や仏閣などにみられ、隙間の多い構造がハクビシンの家屋侵入を容易にしていると考えられる。一方、日本の住宅は1960年代頃からすきま風の入る従来の低気密住宅から、冬は暖かく夏は涼しい高気密・高断熱住宅への転換が推奨されるようになった。高気密になった現代の住宅は低気密な建物とは異なり、家の中にすきま風が入ることはなくなったが、壁体内や屋根裏、軒下に隙間を設けて通気させるなど、建築構造の工夫による換気が必要となった⁴³⁾。したがって、日本の住宅の壁体内や屋根裏には一般的に隙間があり、ほとんどの家屋にハクビシンが休息地や出産場所として利用できるだけの空間が存在していることになる。ハクビシンの侵入経路は明らかにされていないが、日本の住宅の外壁内部は、施工の容易さからロックウールなどの綿状の断熱材を用いていることが多く、また、断熱材を乾いた状態に保ち、断熱材本来の性能を発揮できるように通気層を設けている⁴³⁾。ハクビシンの頭部は吻が長く、顔高が低い扁平な形をしており、隙間があれば鼻先を入れて侵入を試みることから、形を変形させることのできる綿状の断熱材では、壁内に侵入できる可能性がある。すなわち、日本の住宅は通気性を高めるために随所に隙間があることから、ハクビシンの家屋侵入被害を受けやすい構造であるといえる。

ハクビシンによる天井裏への侵入は、騒音や排泄物による悪臭などの生活被害だけでなく、周辺地域でのハクビシンの個体数増加や、農作物被害を引き起こす一因になると考えられる。実際に、ハクビシンの農作物被害が多い地域では、ハクビシンの休息場所が多く存在する傾向があると報告されており²⁶⁾、これらの休息場所を利用できないようにするだけで、周辺の農作物被害が減少することが確認されている。ハクビシンによる農作物被害対策として、収穫残渣や、放棄した果樹をハクビシンの餌にしないように管理することや、効果的な防除柵の設置、適切な個体数調整などが考えられるが、ハクビシンが休息できる場所をなくすことも対策の一つであると考えられる²⁶⁾。

総務省の統計局で報告されている日本の空き家率は、平成20年ですべての都道府県で10%以上であり、最も空き家率の高い山梨県では20.3%であった⁸⁰⁾。ヒトの住んでいない空き家は、

ハクビシンに侵入され休息や出産・子育ての場所として利用されても気づきにくく、被害として認識されない可能性がある。しかし、被害として認識されないからといって、空き家をハクビシンに住居環境として提供することは、人家での家屋侵入被害や周辺地域の農作物被害を助長することになる。農作物や家屋侵入などを含めた総合的なハクビシンの被害対策を行うには、空き家率が10%を超える日本の現状と、ハクビシンに容易に安全かつ快適な住居環境を提供していることを認識する必要がある。

第4章では、ハクビシンによる家屋侵入を防ぐため、種々の金網を侵入口に設置し、金網の目合の大きさや線径が侵入防止効果および侵入行動に及ぼす影響について検討した。第1章で示された結果から、ハクビシンはH6×W12 cmの横長の長方形、H11×W7 cmの縦長の長方形、一辺8 cmの正方形、直径9 cmの円形より小さい入口であれば侵入できないと考えられ、実際に第4章で提示した金網はそれよりも小さい大きさの目合であったため、すべての金網でハクビシンの侵入を防ぐことができた。しかし、目合の大きさが40 mm以上ではハクビシンの鼻先が入ることから、金網への接触が増加し、目合が大きく線径が細かい場合には、金網を噛むなどの破壊的な行動を示したことから、耐用年数を維持するためには、目合の細かい金網を使用することが推奨された。実験では障害物の耐久性を考え、鉄製金網を提示条件として選択したが、線径が細かい場合でも目合の小さい目合8 mmおよび20 mmの亀甲金網に対して、ハクビシンは破壊的行動をほとんど示さなかったことから、線径が細く目合の小さい防風ネットに対しても破壊的行動を示しにくい可能性がある。

ハクビシンは侵入できる隙間があれば何度も訪問し、侵入できない隙間であっても鼻先を入れて探査する。また、視覚的要因のみで隙間への侵入の可否を判断するのではなく、物理的に隙間の大きさが十分であれば、侵入する可能性が高い。家屋内に侵入後も、壁体内を移動経路として使用し、家屋内を垂直方向にも自在に移動している可能性がある。ハクビシンの家屋侵入を防除するためには、家屋の通風口や増築・改築部などを確認し、侵入可能な隙間を発見した場合には目合の小さな金網で覆い、外壁や屋根の破損などを定期的に点検する必要がある。

ハクビシンはヒトの生活環境周辺にも生息し、身近な野生動物であるにも係らず、これまでの研究は野外における生態研究がほとんどであり、運動能力や行動特性に関しては明らかにされていなかった。本研究では、ハクビシンによる家屋侵入被害を防止するための基礎的

研究として、水平方向および垂直方向での移動能力や侵入行動を解明し、さらに障害物に対する行動特性を明らかにした。これらの知見は、科学的基礎知見に留まらず、ハクビシンの家屋侵入経路や家屋内での移動の予測を可能にし、各種侵入防止資材の効果や耐久性をハクビシンの行動から評価したことで、侵入防止技術の基礎を形成することができた。また、本研究の成果はハクビシンによる家屋侵入被害だけでなく、農作物被害など、ヒトとの間に生じる様々な軋轢問題の解決に貢献することが期待される。

要約

日本においてハクビシンは全国的に分布しており、里山や農地周辺だけでなく市街地にも生息している。人家周辺では、民家や神社仏閣などの天井裏を休息や出産、子育ての場として利用することがあり、家屋侵入被害として問題となっている。このようなハクビシンによる家屋の利用は、騒音や排泄物による悪臭などの直接的な被害だけでなく、休息や出産、子育ての場を提供することにより個体数増加を助長し、周辺地域での農作物被害を深刻化させるなどの間接的な被害要因ともなり得る。ハクビシンに関する研究は、野外における生態研究がほとんどであり、種特有の運動能力や行動特性を実験的に研究した例は極めて少ない。しかし近年、野生動物に係る問題を考える上で、行動学的手法により得られた知見は現場での汎用性が高く、具体的な解決方法の提案に役立つことから、生態学的研究だけでなく行動学的研究の重要性も認識されてきた。そこで本研究では、ハクビシンの侵入行動について、水平方向および垂直方向での移動能力をはじめとする行動特性を明らかにし、侵入防止技術への応用を検討した。

第 1 章では、ハクビシンが侵入可能な入口の大きさおよび形状を検討するため、著者による先行研究（修士論文）の追加実験として、侵入可能な最小の長方形入口の検討を行った。先行研究では、ハクビシンは $H6 \times W20$ cm の横長の長方形、 $H20 \times W6$ cm の縦長の長方形、一辺 8 cm の正方形、直径 9 cm の円形入口から侵入することを明らかにした。長方形の入口は長辺を 20 cm に固定して提示したため、さらに詳細な研究として、本実験では横長および縦長の長方形入口の短辺と長辺を 1 cm 間隔で段階的に短くしていき、ハクビシンの侵入可能な最小の長方形入口を決定した。実験の結果、侵入した最小の長方形入口は $H6 \times W12$ cm の横長の長方形、 $H11 \times W7$ cm の縦長の長方形であった。縦長の長方形入口では、横幅が顔幅よりも小さい入口に対して頭部を 90 度ひねり侵入を試みたことから、ハクビシンは入口の形状に合わせて体の向きを変え、侵入方法を変化させていることが示唆された。

先行研究においてハクビシンが入口に対して行った探査のうち、視覚的探査が占める割合が高く、視覚情報が侵入の可否を判断する一つの要因になっていることが示唆された。野生

動物による被害対策の一つとして、視覚を利用して加害動物の行動を制御できる可能性があり、ハクビシンにおいても、視覚的要因により侵入行動に影響が現れる可能性がある。

そこで第 2 章では、ヒトにおける錯視効果を応用して、物理的には同じ大きさであるが大きさが異なって見える入口（デルブーフの大きさ錯視条件）や、侵入部の入口直径は同じであるが入口の形状が異なることで、実際よりも大きく見える入口（スパイクの本数・長さ変化条件）を提示し、視覚的要因が入口への訪問や侵入の可否に及ぼす影響について検討した。実験の結果、錯視条件では錯視の有無にかかわらず、侵入できる直径の入口では全て侵入し、スパイクの本数および長さ変化条件では、入口面積の広がったスパイクのある入口から侵入した。また、各入口に対する総探索持続時間は条件間で差は認められなかった。これらの結果から、視覚的要因がハクビシンの侵入行動に及ぼす影響はわずかであり、視覚的要因のみで侵入行動を制御できないことが示唆された。通常ハクビシンは巣作りを行わず、既存の空間を休息や繁殖の場として利用する。より小さな隙間から侵入することは、利用可能な空間を多様にし、捕食者や異種動物の侵入を制限することが可能である。また、ハクビシンは空間内に外部から巣材を持ち込まないため、視覚的要因のみで侵入の可否を判断するのではなく、隙間に接触し、体が入る大きさであれば侵入すると考えられる。

ハクビシンは移動経路や休息場所として樹上も頻繁に利用することが報告されており、空間を立体的に利用することが可能である。形態学的にも幅広い運動が可能な四肢や肩関節を有しており、さらに四肢はパッド状の滑り止め構造をしていることから、樹の幹を前肢で左右から抱え込んで登ることや、形状が多彩な樹上でも歩行ができる。これらのことから、ハクビシンは家屋侵入被害現場においても、様々な構造物を移動経路として利用し、家屋内では天井裏への移動経路として中空構造をした壁体内を利用している可能性がある。

そこで第 3 章では、二枚の板で形成した垂直な隙間をもつ実験装置を用い、地上から高さ 170 cm の位置に設置した報酬飼料をハクビシンに摂取させることで、侵入可能な垂直隙間幅を調査した。実験の結果、ハクビシンは背中と四肢で板を押しながら、幅 6 cm から 25 cm の垂直な隙間を登った。登るまでの潜時および報酬までの到達時間は、隙間幅の増減に伴い変動が一致し、ハクビシンは隙間幅 9 cm から 17 cm において比較的容易に侵入できることが示唆された。隙間幅 12 cm 以上では、隙間内で体重を支えることが困難になるため、跳躍するなど、各個体で登り始めの行動を様々に変化させた。家屋の壁は、同じ家屋内でも外壁や間

仕切り壁などにより壁体内の厚みや幅が異なることが予想され、これらの特徴はハクビシンの侵入行動に影響を及ぼす可能性がある。しかし本実験の結果より、ハクビシンは家屋の壁体内の垂直な隙間を移動経路として利用できるだけの身体能力を有していることが明らかになった。また、幅 6 cm の隙間に侵入したことから、ハクビシンの垂直方向での移動能力は、水平方向での移動能力と同等であることが示唆された。

著者による先行研究および第 1 章より、ハクビシンが侵入可能な最小の入口は H6×W12 cm の横長の長方形、H11×W7 cm の縦長の長方形、一辺 8 cm の正方形、直径 9 cm の円形であることを明らかにし、これらよりも小さい目合の障害物であれば、隙間へのハクビシンの侵入を防ぐことが可能であると考えられる。しかし障害物の目合の大きさや形状、線径により、侵入への執着度や障害物に対する行動が異なることが予想される。

そこで第 4 章では、侵入口に障害物として金網を設置し、目合や形状、線径の違いがハクビシンの侵入行動に及ぼす影響について検討した。提示した障害物は、一般的に入手可能な鉄製亀甲金網（目合：8 mm、20 mm、40 mm、線径：0.8 mm）、鉄製溶接金網（目合：30 mm、50 mm、75 mm、線径：3.2 mm）の 2 種類とした。目合は規格品のうち最大、最小のものを含む 3 段階とし、線径は最も細いものとした。障害物の設置位置は地上 0 cm に設置した地際条件と、前肢をパネルにかけ、後肢のみで立ち上がり探査することを想定した高所条件に分けて実験を行った。1 つの条件は 1 日 30 分間提示し、障害物に対し接触をした場合には、最長 5 日間提示した。今回の実験では、どの条件からもハクビシンは侵入しなかった。障害物を噛むなどの破壊的な行動の発現頻度は相対的に低かったが、目合 40 mm の亀甲金網に対しては発現したことから、障害物の目合の大きさと線径によっては破壊される可能性も示唆された。また、目合 75 mm の溶接金網では鼻先を入れるなどの接触の持続時間が長い傾向 ($P < 0.1$) にあったことから、家屋の隙間を塞ぐ場合には、探査持続時間が短かった目合の小さい金網の使用が推奨される。障害物の設置位置で総探査持続時間に有意差はなく、ハクビシンは高所に設置された障害物に対しても、地際と同等に探査した。一方で高所条件では、障害物に対して前肢かけや登る行動が観察されたことから、高所の侵入口を塞ぐ場合は、地際と同じ材質のものでは耐用年数が短くなる可能性が示唆された。また、高所に設置した金網は、他の移動経路へのハクビシンの足場として利用される可能性も示唆された。

ハクビシンが属するジャコウネコ科の動物は、捕食者による危険の回避と採食場所からの

距離を、休息地選択の要因とすることが報告されている。家屋の天井裏は、生息環境が重複している異種動物の侵入を制限し、近隣には庭の果樹や生ゴミなどの餌資源が存在している。さらに、家屋内は外界から遮断されているため、温度環境も一定に保たれており、ハクビシンの休息や繁殖の場所として適していると考えられる。ハクビシンは隙間の形状に合わせて侵入方法を変化させ、視覚的要因のみで隙間への侵入の可否を判断するのではなく、物理的に隙間の大きさが十分であれば、侵入する可能性が高い。家屋内に侵入後も、壁体内を移動経路として使用し、家屋内を垂直方向にも自在に移動している可能性がある。ハクビシンの家屋侵入を防除するためには、家屋の通風口や増築・改築部などを確認し、侵入可能な隙間を発見した場合には、ハクビシンが破壊的行動や接触を示しにくい目合の小さな金網で覆い、外壁や屋根の破損などを定期的に点検する必要がある。

ハクビシンはヒトの生活環境周辺にも生息し、身近な野生動物であるにも係らず、これまでの研究は野外における生態研究がほとんどであり、運動能力や行動特性に関しては明らかにされていなかった。本研究では、ハクビシンによる家屋侵入被害を防止するための基礎的研究として、水平方向および垂直方向での移動能力や侵入行動を解明し、さらに障害物に対する行動特性を明らかにした。これらの知見は、科学的基礎知見に留まらず、ハクビシンの家屋侵入経路や家屋内での移動の予測を可能にし、各種侵入防止資材の効果や耐久性をハクビシンの行動から評価したことで、侵入防止技術の基礎を形成することができた。また、本研究の成果はハクビシンによる家屋侵入被害だけでなく、農作物被害など、ヒトとの間に生じる様々な軋轢問題の解決に貢献することが期待される。

謝辞

本実験の遂行および本論文の作成にあたり、多大なるご指導とご協力を受け賜りました埼玉県農林総合研究センター・鳥獣害防除担当・担当部長の古谷益朗氏に深く感謝致します。また、ご支援をいただいた同研究センターの職員の皆様および近畿中国四国農業研究センターの井上雅央専門員、上田弘則主任研究員、山田彩研究員、奥野文子氏および業務第3課の皆様にご心より感謝致します。

本実験の遂行ならびに本論文の作成にあたり、懇切丁寧なご指導を賜りました麻布大学大学院 獣医学研究科 動物応用科学専攻 動物行動管理学分野の田中智夫教授、植竹勝治教授および近畿中国四国農業研究センター・畜産草地・鳥獣害領域・江口祐輔上席研究員に深く感謝致します。

また、本論文のご校閲を賜りました同研究科 動物応用科学専攻 野生動物学分野の高槻成紀教授に厚く御礼申し上げます。

そして、本実験にご協力を賜りました麻布大学 獣医学部 動物応用科学科 動物行動管理学研究室の諸先輩方、堂山宗一郎博士、後輩の皆様にご心から感謝致します。

最後に、遠方での研究を行うにあたり、支援と理解をしてくれた家族に感謝の意を表します。

文献

- 1) Ewer, R. F., The Carnivores. 384-411. Cornell Univ Press. New York. 1997.
- 2) Lekagul, B. and J. A. Mcneely, Mammals of Thailand. 1-758. Darnsutha Press. Bangkok. 1988.
- 3) Corbet, G. B. and J. E. Hill, The mammals of the Indomalayan Region: A systematic Review. 1-488. Natural History Museum Publications/ Oxford University Press. Oxford. 1992.
- 4) Wozencraft, W. C., Ordaer Carnivora, In “Mammal Species of the World: A Taxonomic and Geographic Reference” . 279-348. Smithsonian Inst Press. Washington. 1993.
- 5) Zhou, Y., J. Zhang, E. Slade, L. Zhang, F. Palomares, J. Chen, X. Wang, and S. Zhang, Dietary shifts in relation to fruit availability among masked palm civets (*Paguma larvata*) in central China. Journal of Mammalogy, 89(2): 435-447. 2008.
- 6) Torii, H., *Paguma larvata* (Smith, 1827). In “The wild mammals of Japan” Ed by Ohdachi, S. D., Y. Ishibashi, M. A. Iwasa, T. Saitoh. 267-268. Shoukadoh Press. Kyoto. 2009.
- 7) 那波照義, 静岡県下のハクビシンについて. 哺乳動物学雑誌, 2(4): 99-105. 1965.
- 8) 鳥居春己, ハクビシンの生態と被害防止策. 農林水産技術研究ジャーナル, 28(4): 30-34. 2005.
- 9) 北原正宣・肴倉孝明, 頭骨から見た静岡県産と中華民国蘭嶼島産ハクビシン (*Paguma larvata*) の形態的比較について. 東農大農学集報, 39(4): 213-220. 1995.
- 10) Harada, M. and H. Torii, Karyological Study of the Masked Palm Civet *Paguma larvata* in Japan (Viverridae). Journal of the Mammalogical Society of Japan, 18(1): 39-42. 1993.
- 11) Masuda, R., Y. Kaneko, B. Siriaroonrat, V. Subramaniam and M. Hamachi, Genetic variations of the masked palm civet *Paguma larvata*, inferred from mitochondrial

- cytochrome b sequences. *Mammal Study*, 33: 19-24. 2008.
- 12) Masuda, R., L. K. Lin, K. J. C. Pei, Y. J. Chen, S. W. Chang, Y. Kaneko, K. Yamazaki, T. Anezaki, S. Yachimori and T. Oshida, Origins and founder effects on the Japanese masked palm civet *Paguma larvata* (Viverridae, Carnivora), revealed from a comparison with its molecular phylogeography in Taiwan. *Zoological Science*, 27: 499-505. 2010.
 - 13) Abe, H., N. Ishii, T. Itoo, K. Kaneko, K. Maeda, S. Miura and M. Yoneda, A Guide of the Mammals of Japan; Revised Edition. 90. Tokai University Press. Kanagawa. 2005.
 - 14) Torii, H. and T. Miyake, Litter size and sex ratio of the masked palm civet, *Paguma larvata*, in Japan. *Journal of the Mammalogical Society of Japan*, 11(1・2): 35-38. 1986.
 - 15) Torii, H., Food habits of the masked palm civet, *Paguma larvata* Hamilton-Smith. *Journal of the Mammalogical Society of Japan*, 11(1・2): 39-43. 1986.
 - 16) Wang, H. and T. K. Fuller, Food habits of four sympatric carnivores in southeastern China. *Mammalia*, 67(4): 513-519. 2003.
 - 17) Matsuo, R. and K. Ochiai, Dietary overlap among two introduced and one native sympatric carnivore species, the raccoon, the masked palm civet, and the raccoon dog, in Chiba Prefecture, Japan. *Mammal Study*, 34: 187-194. 2009.
 - 18) Ninomiya, H., M. Ogata and T. Makino, Notoedric mange in free-ranging masked palm civets (*Paguma larvata*) in Japan. *Veterinary Dermatology*, 14: 339-344. 2003.
 - 19) Wang, H. and T. K. Fuller, Notes on the ecology of sympatric small carnivores in southeaster China. *Mammalian Biology*, 66: 251-255. 2001.
 - 20) Rabinowitz, A. R., Behaviour and movements of sympatric civet species in Huai Kha Khaeng Wildlife Sanctuary, Thailand. *The Zoological Society of London*, 223: 281-298. 1991.
 - 21) Torii, H., Food habits of the masked palm civet (I) Contents analysis of the feces collected in Hamakita. *Bulletin of the Shizuoka Prefecture Forestry Technology Center*, 21: 9-15. 1993.
 - 22) 鳥居春己・大場孝裕, 第3章 ハクビシンの行動域について. 静岡県ハクビシン調査報

- 告書, 13-28. 1996.
- 23) 農林水産省, 参考3 野生動物による農作物被害状況の推移.
http://www.maff.go.jp/j/seisan/tyozyu/higai/h_zyokyo/h19/index.html, 2011年11月
アクセス.
- 24) 古谷益朗, ハクビシンの農作物被害防止対策について. 千葉の植物防疫, 56(2):
159-160. 2008.
- 25) 古谷益朗, ハクビシンの生態と捕獲罠. 農耕と園芸, 59(8): 172-173. 2004.
- 26) 古谷益朗, 農作物被害に影響を与える外来獣害対策について. 植物防疫, 62(4):
192-195. 2008.
- 27) 古谷益朗, 鳥獣害から果樹園を護る-第8回ハクビシンの生態と果樹園の防御策-. 果実
日本, 61(2): 54-56. 2006.
- 28) 鳥居春己, 飼育ハクビシンに基づく防除試験. 森林防疫, 36(10): 17-19. 1987.
- 29) 藤下章男, 第7章飼育室内における電気柵の試作と電気柵に対する学習効果. 静岡県ハ
クビシン調査報告書, 40-41. 1996.
- 30) 新井一仁・浅賀初男・志村宏・岩田倫史, 外来食肉獣類(ハクビシン)の被害回避技術
の開発, 埼玉県農総研中山間営農試験研究成績書, 2001: 6-13. 2002.
- 31) 江口祐輔, イノシシから田畑を守る. 1-149. 農山漁村文化協会. 東京. 2003.
- 32) 環境省, 狩猟及び有害捕獲等による主な鳥獣の捕獲数.
<http://www.env.go.jp/nature/choju/docs/docs4/index.html>, 2011年11月アクセス.
- 33) Seki, Y. and M. Koganezawa, Reduced home range in winter but an overall large home
range of a male masked palm civet: A study in a high-altitude area of Japan. *Animal
Behaviour and Management*, 46(2): 69-76. 2010.
- 34) Chen, M., M. E. Tewes, J. Pei and L. I. Grassman Jr, Activity patterns and habitat
use of sympatric small carnivores in southern Taiwan. *Mammalia*, 73: 20-26. 2009.
- 35) Zeng, G. H. Zeng and D. Tianpeng, A preliminary analysis on summer caves selection
of masked palm civet (*Paguma larvata*) on the north slope of Funiu Mountain. *Acta
Ecologica Sinica*, 30(2): 498-503. 2010.
- 36) 江口祐輔, イノシシはどこまで跳べるか-被害防止対策研究-. 農業および園芸, 78(7):

- 774-778. 2003.
- 37) Eguchi, Y., K. Nagata, M. Takeuchi, K. Uetake and T. Tanaka, How Japanese wild boars overcome fences?. Proc. 11th AAAP Congress, 3: 202-204. 2004.
- 38) 江口祐輔・植竹勝治・田中智夫, イノシシの行動制御技術開発のための嗅覚・聴覚刺激を用いた研究. 麻布大学雑誌, 13・14: 178-182. 2006.
- 39) Kase, C., Y. Eguchi, M. Furuya, K. Uetake and T. Tanaka, Sizes and shapes of gaps large enough for masked palm civets (*Paguma larvata*) to enter. Animal Behaviour and Management, 46(3): 89-96. 2010.
- 40) Kase, C., Y. Eguchi, M. Furuya, K. Uetake and T. Tanaka, The effect of body size on shapes and sizes of gaps entered by the masked palm civet (*Paguma larvata*). Mammal Study, 36: 127-133. 2011.
- 41) Tei, K., T. Kato, K. Hamamoto, S. Hayama and E. Kawakami, Estimated months of parturition and litter size in female masked palm civets (*Paguma larvata*) in Kanagawa Prefecture and Tokyo Metropolis. Journal of Veterinary Medical Science, 73(2): 231-233. 2011.
- 42) 豊田英人, 私信.
- 43) 高橋俊介, たのしくわかる建築のしくみ. 84-89. ナツメ社. 東京. 2007.
- 44) Japan's e-Government Initiatives, 建築基準法施行令 .
<http://low.g-gov.go.jp/htmldata/S25/S25SE338.html>, 2011年11月アクセス.
- 45) 古谷益朗, ハクビシン・アライグマ-おもしろ生態とかしこい防ぎ方-. 1-106. 農山漁村文化協会. 東京. 2009.
- 46) Liu, S., H. Fung, B. Liu and F. Cheng, Ovarian cycle of the captive formosan gem-faced civets (*Paguma larvata taivana*). Zoo Biology, 26: 1-11. 2007.
- 47) 鈴木光太郎, 動物は世界をどう見るか. 49-78. 新曜社. 東京. 1995.
- 48) Hessy, C. P., Seeing in stereo: the ecology and evolution of primate binocular vision and stereopsis. Evolutionary Anthropology, 18: 21-35. 2009.
- 49) Hessy, C. P., Ecomorphology of orbit orientation and the adaptive significance of binocular vision in primates and other mammals. Brain Behavior and Evolution, 71:

- 54-67. 2008.
- 50) 後藤倬男・田中平八, 錯視の科学ハンドブック. 1-601. 東京大学出版会. 東京. 2005.
- 51) Revesz, G., Experiments on animal space perception. *British Journal of Psychology*, 14: 386-414. 1924.
- 52) Dominguez, K. E., A study of visual illusions in the monkey. *Journal of Genetic Psychology*, 85: 105-127. 1954.
- 53) Ducker, V. G., Untersuchungen uber geometrisch-optische Tauschungen bei Wirbeltieren. Aus dem Zoologischen Institut der Universitat Munster, 452-296. 1966.
- 54) Malott, R. W., M. K. Malott and J. Pokrzywinski, The effects of outward-pointing arrowheads on the Muller-Lyer illusion in pigeons. *Psychonomic Science*, 9(1): 55-56. 1967.
- 55) Benhar, E. and D. Samuel, Visual illusions in the baboon (*Papio anubis*). *Animal Learning and Behavior*, 10(1): 115-118. 1982.
- 56) Bayne, K. A. L. and R. T. Davis, Susceptibility of rhesus monkeys (*Macaca mulatta*) to the Ponzo illusion. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 21(6): 476-478. 1983.
- 57) Fujita, K., Pigeons see the Ponzo illusion. *Animal Learning and Behavior*, 19(3): 283-293. 1991.
- 58) Fujita, K., Effects of the inclination of context lines on perception of the Ponzo illusion by pigeons. *Animal Learning and Behavior*, 21(1): 29-34. 1993.
- 59) Fujita, K., Perception of Ponzo illusion by rhesus monkeys, chimpanzees, and humans: Similarity and difference in the three primate species. *Perception and Psychophysics*, 59(2): 284-292. 1997.
- 60) Fagot, J. and M. Tomonaga, Effects of element separation on perceptual grouping by humans (*Homo sapiens*) and chimpanzees (*Pan troglodytes*): perception of Kanizsa illusory figures. *Animal Cognition*, 4: 171-177. 2001.
- 61) Suganuma, E., V. F. Pessoa, V. Monge-Fuentes, B. M. Castro and M. C. H. Tavares, Perception of the Muller-Lyer illusion in capuchin monkeys (*Cebus apella*). *Behavioural Brain Research*, 182: 67-72. 2007.

- 62) Brian, R., M. G. Harris and T. A. Yates, The roles of inducer size and distance in the Ebbinghaus illusion (Tichener circles). *Perception*, 34: 847-856. 2005.
- 63) 盛永四郎, 大きさ同化対比の条件. 増田博士謝恩最近心理学論文集, 28-48. 岩波書店. 東京. 1935.
- 64) 小笠原慈瑛, 同心円の偏位効果について. *心理学研究*, 22: 224-233. 1952.
- 65) Fagot, J. and C. Deruelle, Processing of Global and Local Visual Information and Hemispheric Specialization in Humans (*Homo sapiens*) and Baboons (*Papio papio*). *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 23(2): 429-442. 1997.
- 66) Deruelle, C. and J. Fagot, Visual search for global/local stimulus features in humans and baboons. *Psychonomic Bulletin and Review*, 5(3): 476-481. 1998.
- 67) Cavoto, K. K. and R. G. Cook, Cognitive Precedence for Local Information in Hierarchical Stimulus Processing by Pigeons. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 27(1): 3-16. 2001.
- 68) Hopkins, W. D. and D. A. Washburn, Matching visual stimuli on the basis of global and local features by chimpanzees (*Pan troglodytes*) and rhesus monkeys (*Macaca mulatta*). *Animal Cognition*, 5: 27-31. 2002.
- 69) Spinozzi, G., C. D. Lillo and V. Truppa, Global and Local Processing of Hierarchical Visual Stimuli in Tufted Capuchin Monkeys (*Cebus apella*). *Journal of Comparative Psychology*, 117(1): 15-23. 2003.
- 70) Fagot, J. and M. Tomonaga, Global and local processing in humans (*Homo sapiens*) and chimpanzees (*Pan troglodytes*): Use of a visual search task with compound stimuli. *Journal of Comparative Psychology*, 113(1): 3-12. 1999.
- 71) Parron, C. and J. Fagot, Comparison of Grouping Abilities in Humans (*Homo sapiens*) and Baboons (*Papio Papio*) With the Ebbinghaus Illusion. *Journal of Comparative Psychology*, 121(4): 405-411. 2007.
- 72) Nowak, R. M., Walker's carnivores of the world. 195-196. The Johns Hopkins University Press. United States of America. 2005.

- 73) 遠藤秀紀, 哺乳類の進化. 138-155. 東京大学出版会. 東京. 2002.
- 74) 森岡昌信, ハクビシンにおける垂直構造物よじ登り行動の検証. 卒業論文. 2010.
- 75) 鳥羽小百合・江口祐輔・古谷益朗・植竹勝治・田中智夫, ハクビシンにおける障害物の乗り越え行動. *Animal Behaviour and Management*, 45(1): 82. 2009.
- 76) 岸本真弓・山崎晃司・栗栖宣博, 菅生沼周辺で学術捕獲されたタヌキとハクビシンの体計測および生理学的所見. 茨城県自然博物館研究報告, 1: 97-103. 1998.
- 77) 川端晃志, アライグマ・ハクビシンにおける柵の乗り越え行動. 卒業論文. 2011.
- 78) Joshi A. R., J. L. D. Smith and F. J. Cuthbert, Influence of food distribution and predation pressure on spacing behavior in palm civets. *Journal of mammalogy*, 76(4): 1205-1212. 1995.
- 79) Mudappa, D., Day-bed choice by the brown palm civet (*Paradoxurus jerdoni*) in the Western Ghats, India. *Mammalian Biology*, 71(4): 238-243. 2006.
- 80) 総務省統計局・政策統括官(統計基準担当)・統計研修所, 1-4. 地域別にみた住宅の状況. <http://www.stat.go.jp/data/jyutaku/2008/nihon/1-4.htm>, 2011年11月アクセス.