

放射状迷路学習におけるデグーとラットの比較

獅々見元太郎*・石丸 美穂**・中島 定彦***

抄録：8週齢の若年デグー（4匹）、75週齢の成年デグー（4匹）、8週齢の若年ラット（8匹）を対象に、放射状迷路課題の成績を群間比較することで、以下の点が明らかになった。(1) 学習達成基準（誤選択なし連続2試行）までの試行数には3群間で違いは認められないこと、(2) 訓練期間初～中期には若年デグーの誤選択数が成年デグーや若年ラットよりも多いこと、(3) 成年デグーは若年デグーや若年ラットよりも解決時間が短いこと、(4) 学習基準に達した12匹のうち隣回り行動（非空間方略）により課題を解決した個体はわずか3匹で群間に顕著な違いがないこと。デグーはラットよりも発育が遅いことから、これらの結果は、放射状迷路課題において成熟したデグーはラットと同程度の空間学習能力を有することを意味している。

キーワード：デグー、ラット、放射状迷路、空間学習

デグー (*Octodon degus*) はアンデス地方に生息する齧歯類で、成体は体長12～15 cm (尾部を除く)、体重は200～400 gである (Reynolds & Wright, 1979)。デグーは齧歯類でありながらその生物的特徴から、ラットやマウスのような標準的な実験動物とは異なる種類の実験に使用されることが多い。たとえば、デグーはラットやマウスなどと異なり、昼行性の覚醒/睡眠パターンを示すため、ヒトの睡眠/覚醒サイクルおよび概日リズムを研究する際のモデル動物として利用されているほか、自然に糖尿病および白内障を発症する傾向があるため、これらのモデル動物としても研究されている (Lee, 2004; Najcki & Tate, 1999)。また、デグーは生まれた時点で十分に毛が生えており眼や耳も開いているなど早熟で活動性が高く (Lee, 2004; Poeggel & Braun, 1996; Reynolds & Wright, 1979; Woods & Boraker, 1975)、授乳期のメスは実験者が扱った里子も受け入れるために発達初期の研究が比較的容易である (Poeggel & Braun, 1996; Reynolds & Wright, 1979)。

このようなモデル動物としての研究や発達研究だけでなく、デグーの学習・認知能力についても近年注目が集まっている。たとえば、Tokimoto & Okanoya (2004) はデグーが大中小の容器を使って自発的に入れ子 (Chinese boxes) 構造を作ることと報告し、霊長類やオウムなどと同様にデグーは複数事象の関係性を認識し、それらを統合する高度な認知能力を備えていると主張している。さらに、Okanoya, Tokimoto, Kumazawa, Hihara, & Iriki (2008) は、デグーが訓練によって道具 (熊手) を使用できるようになること、訓練後は正しい道具を選ぶこと

から、デグーは道具の機能を理解していると論じている。このほかにも、発声のオペラント制御 (時本・岡ノ谷, 2002; 岡林・高岡・石井・木村, 2011) や計数行動 (Nakajima, Kuramoto, & Nagaishi, 2015)、エピソード様記憶 (都築・別役・岩崎・藤田, 2014) などの研究が行われている。また、Uekita & Okanoya (2011) は、デグーの他個体や物体配置の認知を司る脳部位 (海馬) の役割を検討している。

上北・岡ノ谷 (2013) は、デグーの海馬機能に関する総説の中で、空間学習に関する研究が不足していることを指摘している。この総説では、モリス水迷路を用いた研究 (上北, 2011) とバーンズ迷路を用いた研究 (Popović, Madrid, Rol, Caballero-Bleda, & Popović, 2010) が紹介されているが、水迷路課題は泳ぎの苦手なデグーには適切でないとした上で、デグーに適用可能な空間学習課題の検討が必要であることが論じられている。そこで、本稿では、ラットの空間学習課題として最も典型的なもの1つである放射状迷路課題 (Finamore & Port, 2006; Olton & Samuelson, 1976) を用いて、デグーの空間学習能力をラットと比較した実験を報告する。

方 法

被験体

デグーはペットショップから購入した雄8匹である。うち4匹は成年で計数行動の実験経験があり (Nakajima et al., 2015)、実験開始時75週齢 (1歳半)、平均体重206.8 g (範囲189～234 g) であった。残り4匹は若年で実験経験がなく、実験開始時8週齢、平均体重81.5 g

*ヘルプ大学 (マレーシア) 心理科学科専任講師

**関西大学文学部総合心理科学科2007年度卒業生

***関西大学文学部総合心理科学科教授

(範囲 65~100 g)であった。ラットは実験動物供給会社から購入した若年で実験歴のない Wistar 系雄性アルビノ (Jbc: Wistar) 8 匹で、実験開始時 8 週齢、平均体重 256.5 g (範囲 241~272 g) であった。なお、放射状迷路学習を含む多くの学習課題において、8 週齢はラットでは標準的な実験開始週齢である。

被験体はすべてステンレス製ケージ (幅 19 cm, 奥行 24.5 cm, 高さ 19 cm) にて個別飼育した。ケージ背面にあるノズルより自由に摂水可能であり、餌は各動物種に適したものを与えた。具体的には、デグーについては飼育ケージ床面に置いた陶製餌皿 (内径 9.5 cm, 高さ 2.4 cm) からチモシー牧草 (株式会社マルカン製) と乾燥固形飼料 (オリエンタル酵母株式会社製 RC 4) を与え、ラットについては飼育ケージ前面のステンレス製フィーダから乾燥固形飼料 (オリエンタル酵母株式会社製 MF) を与えた。ただし、実験手続きが開始されてからは両動物種とも制限給餌とした。なお、デグーについては、直径 30 mm, 長さ 96 mm のかじり木 (株式会社マルカン製コーン S) を飼育ケージ天井部から常時、吊り下げて固定し、1 週間ごとに取り換えた。飼育室内は 22 °C, 湿度 55% で、12/12 時間の明暗周期 (6:00~18:00 が明期) で管理した。

装置

高架式 8 方向放射状迷路を使用した。迷路の床は黒色の塩化ビニル製、8 本のアーム (選択肢) の支柱は高さ 40 cm の木製、その他の部分は透明アクリル製であった。迷路中央部には正八角形のプラットホーム (直径 28 cm, 1 辺の長さ 11 cm) があり、その各辺からアーム (幅 11 cm, 長さ 63 cm) が放射状に伸びていた。各アームはプラットホーム側から 15 cm までは高さ 19.5 cm, そこから先は高さ 40 cm の側壁で囲まれていた。各アームの先端から 1.5 cm の位置にオレンジ色のペットボトルのキャップ (内径 2.8 cm, 高さ 1.4 cm) を設置し、餌粒 (BIO-SERV 社製 45 mg ベレット) を入れた。なお、プラットホームには透明アクリル製シリンダー (内径 28 cm, 高さ 50 cm) がはめ込まれており、試行開始時に実験者がこれを抜くことで被験体のアーム選択を可能とした。

実験室内には放射状迷路のほか、棚、机、椅子、ケージ、ポスター、ぬいぐるみ、ミニコンボ、ビデオカメラ用アームなどが迷路外手がかかりとして置かれていた。実験中はミニコンボ (アイワ株式会社製 CX-L 500) から FM 局間ノイズ (52 dB, Scale C) を流して室外音を遮蔽し、実験の様子はプラットホーム真上に設置した広角レンズ (吉田産業株式会社製 raynox HD-5000 PRO) を取りつけたビデオカメラ (ソニー株式会社製 DCR-PC 101) で撮影した。

手続き

迷路学習において報酬として使用する餌粒はラット用に製造されたものであるため、デグーにとって迷路学習の報酬として機能するか不明であった。そこで、実験期間に入る前に飼育ケージで各個体につき 8 粒与えて、好んで食べることを確認した。これ以降の手続きはデグーとラットで共通であった。

実験はハンドリング、馴致、本訓練の 3 段階からなっていた。まず 4 日間、1 匹につき 10 分間のハンドリングを行い、初日の体重を基準としてその 90% まで減量した。これ以降、実験終了まで 90% 体重を維持した (試行終了から 30 分以上経ってから飼育ケージで通常の餌を一定時間与えた)。餌粒へ慣れさせるため 3 日目に 16 粒、4 日目に 24 粒を飼育ケージ内で与えた。

続く 2 日間は迷路への馴致を 1 日 1 試行実施した。事前に各アームに 3 粒ずつ (うち 1 粒は餌皿)、計 24 粒の餌粒を配置した。試行は、実験者が迷路中央 (プラットホーム) のシリンダーに被験体を入れ、10 秒後にシリンダーを抜いて開始した。試行開始から 10 分経過、もしくは 8 本全てのアームから餌粒を獲得した時点で試行を終了し、被験体を迷路から取り出した。

馴致訓練により全個体が迷路内を探索して餌粒をすべて摂取するようになったため、その翌日から本訓練を 1 日 1 試行実施した。本訓練ではすべてのアームの餌皿に餌粒を 1 粒ずつ配置し、馴致期と同様に試行を開始した。試行終了の基準と方法は馴致期と同じであった。アームの選択は被験体の四肢すべてがアーム入口から 15 cm 以上のところに入ることにした。このとき、正選択は「ベレットのあるアームに進入してベレットを食べること」とし、誤選択は「既にベレットを食べたアームに再び進入すること」および「ベレットのあるアームに進入したが、アーム先端まで達せずベレットを食べないこと」とした。誤選択数はこの 2 種類の誤選択をまとめて算出した。本訓練の学習達成基準は、放射状迷路課題の標準的手続きにしたがい、2 日連続して誤選択がないこととし、個体ごとに基準到達まで訓練を行った。ただし、18 日間で基準に到達しなかった個体はその時点で本訓練を終了した。

なお、馴致期および本訓練を通じて、被験体の飼育室と実験室間の移動にはプラスチック製のケージ (幅 13 cm, 高さ 14 cm, 奥行き 21 cm) を用いた。試行の間、実験者は実験室入口付近に設置された椅子に座り、被験体の所要時間およびアームの選択をノートに記録した。また、各試行後にはプラットホームやアームをアルコールつきウェットティッシュで拭き、後に走る個体への匂いの影響を排除した。

結 果

本訓練18日間で基準(2日連続して誤選択なし)に到達した個体は、成年デグー群3匹(75%)、若年デグー群2匹(50%)、若年ラット群7匹(87.5%)であった。基準に到達しなかった個体については、本訓練19日目で基準に到達するものとみなして基準到達日数の平均±標準誤差を算出すると、成年デグー群 11.5 ± 3.4 日、若年デグー群 14.0 ± 3.7 日、若年ラット群 14.3 ± 1.8 日であり、一要因分散分析の結果、群の効果は認められなかった($F < 1$)。なお、若年ラット1匹を除く全個体が18日間に最低1日は「誤選択なし」を記録していたため、学習基準を「初めて誤選択なしを記録するまでの平均日数」とした分析を行った(18日間に1度も誤選択なしを記録しなかった1匹については19日目を基準到達日とした)。この場合も、成年デグー群 5.8 ± 0.7 日、若年デグー群 8.8 ± 2.1 日、若年ラット群 7.5 ± 2.1 日で、群の効果は認められなかった($F < 1$)。以上の分析から、学習基準を指標とした到達日数については群間でほぼ等しいとみなすことができる。

Figure 1は訓練各日における各群の平均誤選択数である。なお、期間内に基準に到達した個体は翌日から18日目で基準到達日の成績(誤選択なし)が続くものとして平均値を算出した。この図から、各群とも本訓練6日目までは誤選択数が低下しているが、それ以降はほぼ横ばいであることがわかる。また、若年デグー群の誤選択数が他の2群よりも多く、成年デグー群と若年ラット群の成績はほぼ等しいことが読み取れる。実際に全個体

が走行していた訓練5日目までのデータについて、群(3)×日(5)の分散分析を行ったところ、群($F(2,13) = 5.38, p = .020$)と日($F(4,52) = 3.01, p = .026$)の主効果が有意であり、群×日の交互作用は認められなかった($F < 1$)。群の主効果についてRyan法による多重比較を行ったところ、成年デグー群と若年デグー群($t(13) = 2.42, p = .031$)および若年デグー群と若年ラット群($t(13) = 3.16, p = .008$)の間にそれぞれ有意差が認められたが、成年デグー群と若年ラット群の差は有意でなかった($t < 1$)。なお、訓練10日目までのデータに対して同様に群(3)×日(10)の分散分析を行った場合も、群($F(2,13) = 4.95, p = .025$)と日($F(9,117) = 7.43, p < .001$)の主効果が有意であったが、群×日の交互作用は認められなかった($F < 1$)。Ryan法による多重比較では、成年デグー群と若年デグー群($t(13) = 2.40, p = .032$)および若年デグー群と若年ラット群($t(13) = 2.97, p = .012$)の間にそれぞれ有意差が認められたが、成年デグー群と若年ラット群の差は有意でなかった($t < 1$)。

Figure 2に放射状迷路課題の解決速度(所要時間を逆数変換した値)の群平均を日ごとに示す。なお、訓練期間内に基準に到達した個体は、その翌日から本訓練18日目で基準到達日の速度が続くものとした。この図から、各群とも本訓練が進むにつれて解決速度が向上していることと、成年デグー群は他の2群よりも解決速度が優れていることが読み取れる。訓練5日目までのデータについて群(3)×日(5)の分散分析を行ったところ、群($F(2,13) = 11.15, p = .002$)と日($F(4,52) = 6.13, p$

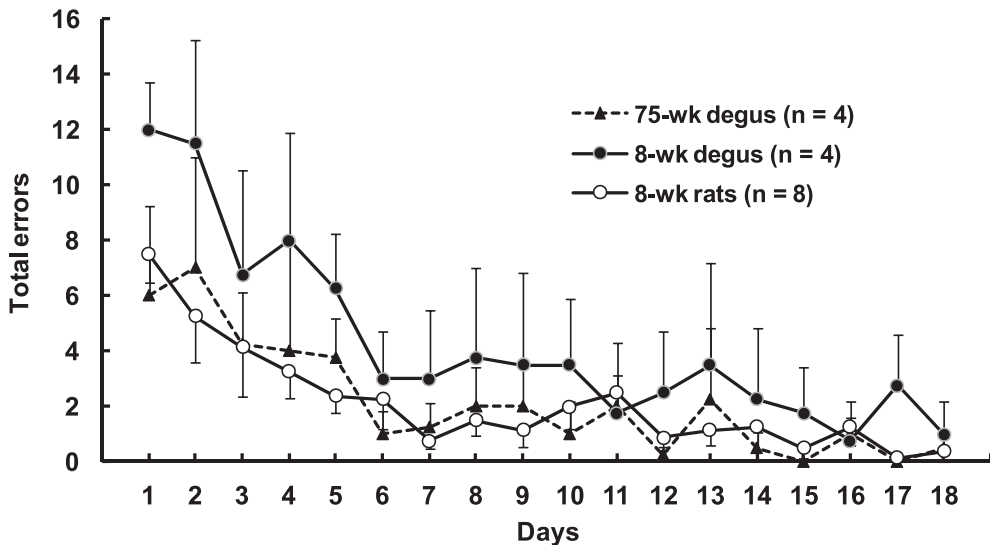


Figure 1 Mean number of total errors in the 8-arm radial maze task (1 trial per day). The total errors are the sum of aborted entries, plus re-entries into any arms that had been already visited and rewarded. Bars of standard errors are shown on either side for simplicity.

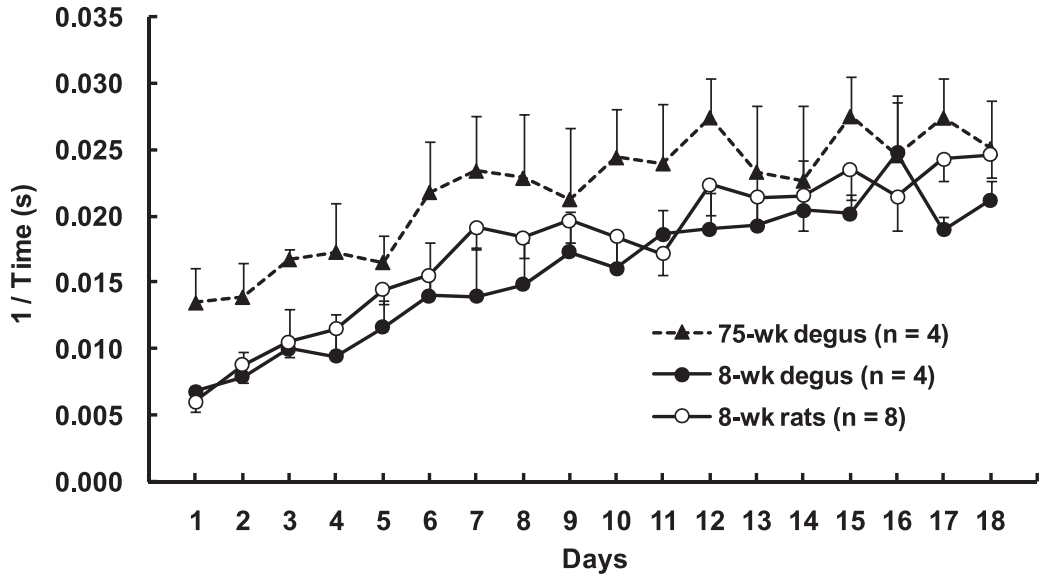


Figure 2 Mean speed (inverse of the time in seconds to clear the maze). Bars of standard errors are shown on either side for simplicity.

<.001)の主効果が有意で、群×日の交互作用は認められなかった ($F < 1$)。Ryan法による多重比較では、成年デグー群と若年デグー群 ($t(13) = 4.03, p = .001$) および成年デグー群と若年ラット群 ($t(13) = 3.85, p = .002$) の間にそれぞれ有意差が認められたが、若年デグー群と若年ラット群の差は有意でなかった ($t < 1$)。なお、訓練10日目までの分析でも、群 ($F(2,13) = 8.33, p = .005$) と日 ($F(9,117) = 13.10, p < .001$) の主効果が有意であったが、群×日の交互作用は認められず ($F < 1$)、Ryan法による多重比較で、成年デグー群と若年デグー群 ($t(13) = 3.63, p = .003$) および成年デグー群と若年ラット群 ($t(13) = 2.95, p = .011$) の間に有意差が認められたが、若年デグー群と若年ラット群の差は有意でなかった ($t(13) = 1.24, p = .237$)。

本実験では標準的な放射状迷路課題の手続きにしたがって、すべてのアームにペレットを配置したため、試行開始から終了まで同一方向に隣り合ったアームに進入する隣回り方略 (adjacent-arm entry strategy) によっても、誤選択なく課題を解決できる。学習基準到達日において隣回り行動を示していた個体は、成年デグー群3匹中0匹、若年デグー群2匹中1匹、若年ラット群7匹中2匹で、群による顕著な違いは認められなかった。

考 察

本研究ではラット (若年ラット群) とデグー (成年デグー群および若年デグー群) の放射状迷路学習の成績を比較した。基準到達までの訓練日数に関しては、どの群間にも統計的に有意な違いは認められなかった。しか

し、誤選択数では、若年デグー群が成年デグー群や若年ラット群よりも多く、解決速度では、成年デグー群が若年デグー群および若年ラット群よりも優れていた。若年デグー群で誤選択数が多かった原因としては、同群が実験時においてまだ発育途上であったことが考えられる。序論で述べたように、デグーは生まれた時点で毛が生え揃い、眼や耳も開いているなどラットよりも早熟である。しかし、その後の発育はラットよりも遅く、たとえばラットは約2ヶ月で性成熟するのに対し、デグーの性成熟には約3~4ヶ月を要する (Lee, 2004; Najecki & Tate, 1999)。したがって、実験開始時にまだ8週齢であった若年デグー群は、放射状迷路課題の解決に必要な身体的および学習能力的に成年デグー群や、同じ8週齢でもより成熟した若年ラット群よりも劣っていた可能性がある。

誤選択数と解決速度のデータを合わせて吟味すると、デグーとラットでは迷路内での活動性に違いがあったことがうかがえる。通常、放射状迷路課題においては誤選択数が少ないほど試行終了までの所要時間は短くなる (解決速度は向上する)。ところが、成年デグー群は若年ラット群と誤選択数が等しいにも関わらず解決速度は優れていること、若年デグー群は若年ラット群よりも誤答数が多いにも関わらず解決速度が同程度であったことから、デグー (成年デグー群および若年デグー群) はラット (若年ラット群) よりも活動性が高く、迷路内で比較的速く走行していたといえる。これは、実験室内で被験体の行動を観察・記録していた実験者の印象や録画ビデオ映像の様子にも合致する。

なお、本実験では放射状迷路課題の標準手続きを採用し、すべてのアームに餌を配置していたため、隣回り方略という運動手がかりによっても課題解決が可能であった。なお、Einon (1980) や Hall & Berman (1995) は本実験の若年ラットとほぼ同じ 54 日齢のラットでは、90 日齢のラットと比べて隣回り方略が多いことを報告しているが、本実験で隣回り方略を示した個体は若年デグー群 1 匹、若年ラット群 2 匹に過ぎない。つまり、それ以外の個体に関しては、主として迷路外手がかりを用いた空間方略を使用して課題を解決していたと考えられる。

前述のように本研究の結果は、ラットの学習実験の標準的開始週齢である 8 週齢の時点で放射状迷路課題の成績を比較すると、デグーはラットにやや劣るが、75 週齢の成年デグーであれば 8 週齢ラットに比肩することを示している。ただし、デグーの個体数が若年群、成年群ともわずか 4 匹であることや、成年群のデグーには実験歴があったことから、週齢の影響についてはさらなる検討が望まれる。また、放射状迷路課題でのデグーの能力をより詳しく吟味するためには、迷路の特定のアームにのみ餌粒を置く課題などを用いて、デグーの参照記憶と作業記憶を分離して測定し、それをラットのデータ (e.g., Jarrard, 1980; Olton & Papas, 1979) と比較する必要があるだろう。なお、バーンズ迷路課題ではデグーの成績に性差があり、雄は雌よりも隣回り行動などの非空間的方略を取りやすいとの報告がある (Popović et al., 2010) ことから、放射状迷路課題でもそのような性差が見られるか調べることも意義があるだろう。

引用文献

- Einon, D. (1980). Spatial memory and response strategies in rats: Age, sex and rearing differences in performance. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **32**, 473–489.
- Finamore, T. L., & Port, R. L. (2006). Radial arm maze. In M. J. Anderson (Ed.), *Tasks and techniques: A sampling of the methodologies for the investigation of animal learning, behavior and cognition* (pp.55–61). Hauppauge, NY: Nova Science Publishers.
- Hall, J. L., & Berman, R. F. (1995). Juvenile experience alters strategies used to solve the radial arm maze in rats. *Psychobiology*, **23**, 195–198.
- Jarrard, L. E. (1980). Selective hippocampal lesions and behavior. *Physiological Psychology*, **8**, 198–206.
- Lee, T. M. (2004). *Octodon degus: A diurnal, social and long-lived rodent*. *ILAR Journal*, **45**, 14–24.
- Najecki, D. L., & Tate, B. A. (1999). Husbandry and management of the degu (*Octodon degus*). *Lab Animal*, **28**, 54–57.
- Nakajima, S., Kuramoto, Y., & Nagaishi, T. (2015). Position learning of degus (*Octodon degus*) in a semi-natural “counting” task. Submitted for publication.
- 岡林誠士・高岡佑介・石井裕之・木村裕 (2011). 齧歯類デグーを用いた音声による条件づけの検討～その発声はオペラントな行動となるか?～. *動物心理学研究*, **61**, 196 (日本動物心理学会第 71 回大会発表要旨)
- Okanoya, K., Tokimoto, N., Kumazawa, M., Hihara, S., & Iriki, A. (2008). Tool-use training in a species of rodent: The emergence of an optimal motor strategy and functional understanding. *PLoS One*, **3**, e1860–1–e1860–8.
- Olton, D. S., & Papas, B. C. (1979). Spatial memory and hippocampal function. *Neuropsychologia*, **17**, 669–682.
- Olton, D. S., & Samuelson, R. J. (1976). Remembrance of places passed: Spatial memory in rats. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, **2**, 97–116.
- Poeggel, G., & Braun, K. (1996). Early auditory filial learning in degus (*Octodon degus*): Behavioral and autoradiographic studies. *Brain Research*, **743**, 162–170.
- Popović, N., Madrid, J. A., Rol, M. A., Caballero-Bleda, M., & Popović M. (2010). Barnes maze performance of *Octodon degus* is gender dependent. *Behavioural Brain Research*, **212**, 159–167.
- Reynolds, T. J., & Wright, J. W. (1979). Early postnatal physical and behavioural development of degus (*Octodon degus*). *Laboratory Animals*, **13**, 93–99.
- 時本楠緒子・岡ノ谷一夫 (2002). 齧歯目デグーにおける発声の自発的制御. *動物心理学研究*, **52**, 163 (日本動物心理学会第 62 回大会発表要旨)
- Tokimoto, N., & Okanoya, K. (2004). Spontaneous construction of “Chinese box” by degus (*Octodon degu*): A rudiment of recursive intelligence? *Japanese Psychological Research*, **46**, 255–261.
- 都築茉奈・別役透・岩崎純衣・藤田和生 (2014). デグーにおける What-Where-Which 記憶. *関西心理学会第 126 回大会発表論文集*, p.80.
- 上北朋子 (2011). 齧歯類デグーにおける水迷路学習. *動物心理学研究*, **61**, 224 (日本動物心理学会第 71 回大会発表要旨)
- Uekita, T., & Okanoya, K. (2011). Hippocampus lesions induced deficits in social and spatial recognition in *Octodon degus*. *Behavioural Brain Research*, **219**, 302–309.

上北朋子・岡ノ谷一夫 (2013). 齧歯類デグーの海馬機能－社会認知と空間認知－. *心理学評論*, **56**, 295–309.

Woods, C. A., & Boraker, D. K. (1975). *Octodon degus*. *Mammalian Species*, **67**, 1–5.