

第151号（2019年8月27日発行）



愛研技術通信

残暑お見舞い申し上げます

いつも格別のお引き立てをいただき、誠にありがとうございます。

今後とも、倍旧のご愛顧を賜りますよう、謹んでお願い申し上げます。

立秋とはいえ 日中の暑さは真夏と変わりませんが

みなさまには、くれぐれも御自愛ください。

代表取締役 角 信彦

社員一同



○ 製鉄が野生動物に与えた影響は千年紀を超えて残る

～ 生物と遺跡の地理的分布から見たこと ～

2019年8月2日 帯広畜産大学 報道発表資料抜粋

国立研究開発法人国立環境研究所と国立大学法人帯広畜産大学は、製鉄など太古の人間活動が現在の哺乳類の地理的分布を説明する重要な要因であることを、生物分布と遺跡分布の統計分析により初めて明らかにしました。

【背景】

1997年に公開された映画『もののけ姫』では、たたら製鉄（写真1）をめぐる人間と自然生態系との関係が主題として取り上げられ、多くの人々が太古からの人間と自然環境との関係性を意識するきっかけとなりました。日本における古式の製鉄技術は古墳時代に普及し、江戸時代にそのピークを迎えました。その結果、各地で集約的な資源利用に伴う大規模な環境変化が生じました。

近年、最終氷期（～15000年前）以降の人間活動の拡大に伴って、世界各地の哺乳類の地理的分布が大幅に縮小したことが明らかになってきました。このことから、現在の生物多様性の成り立ちを理解する上で、

歴史的な人間活動の影響を理解することの重要性が認識されてきています。過去のどのような形態の人間活動が、生物多様性に長期的な影響を与え、現在の生物多様性の地域性をもたらしたのかをデータに基づいて明らかにすることは、人間と自然生態系との長期的な関係を理解するにあたってとても重要なことです。しかし、今まで、製鉄のような特定の人間活動の形態が哺乳類の地理的分布に与えた影響についての研究はなされていませんでした。そこで本研究では、現代の哺乳類の地理的分布と、縄文時代以降の複数の時代区分や複数の土地利用形態の遺跡分布との関係を統計的に解析することにより、それらのうちどれが哺乳類の地理的分布にとって重要な要因であるか、またその影響が分類群ごとでどのように異なるかを明らかにしました。

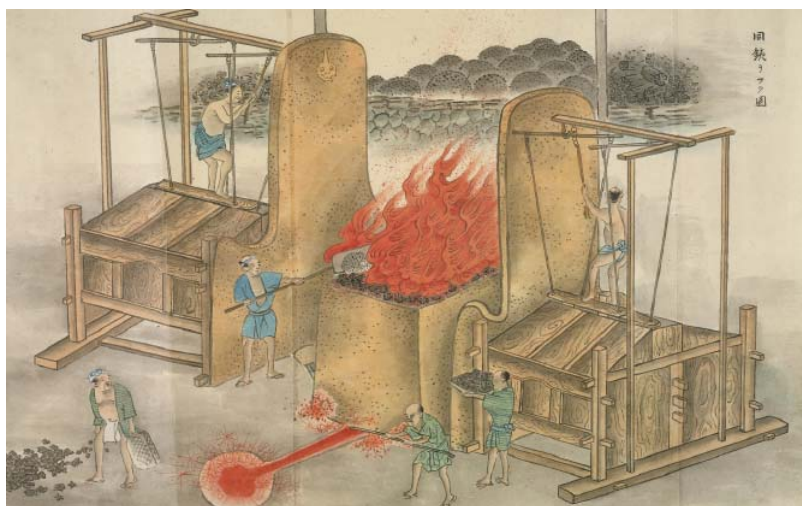


写真1. たたら製鉄の様子（『先大津阿川村山砂鉄洗取之図 鉄ヲフク図』、東京大学 工学・情報理工学図書館 工3号館図書室 所蔵）。
ふいごを踏む人、鉄鉱石や木炭を見ることができる。

【方法】

現代の哺乳類の地理的分布データとして、環境省「第5回自然環境保全基礎調査(1993-1998)」において作成された約10km×10kmのメッシュ単位の分布図を用いました。分布が確認されているメッシュが30以上の在来種31属を解析対象としました。また、動物の体サイズの情報を図鑑から収集しました。

遺跡の地理的分布データとして、独立行政法人国立文化財機構 奈良文化財研究所が整備・公開している「遺跡データベース(mokuren.nabunken.go.jp/Iseki/index.html)」を用いました。

このデータベースは、40万件を超える全国の遺跡の緯度経度・時代区分等の情報を有しています。本研究では、哺乳類の地理的分布に影響を与えた可能性がある過去の人間活動の変数として、定住が開始されたと考えられている縄文時代以降の6つの時代区分、縄文・弥生・古墳・古代(飛鳥～平安時代)・中世(鎌倉～室町・戦国時代)・近世(安土桃山～江戸時代)、における3つの遺跡種別(集落・製鉄・窯)を考えました(表1)。

哺乳類の地理的分布と比較できるように、各時代・各遺跡種別の遺跡数についても約10km×10kmメッシュごとに集計しました。なお、製鉄と窯については、たたら製鉄および窯による製陶が本格的に実施されるようになったと考えられている古墳時代以降を対象としました。また、現代の哺乳類の分布に影響を与えるその他の変数として、過去の寒冷期・温暖期の気候、および現代の土地利用・気候・地形を考慮しました。

表1 解析において考慮した時代区分

時代	年代
縄文	およそ 14000-2300 年前
弥生	およそ 2900-1700 年前
古墳	およそ 1700-1300 年前
古代 (飛鳥～平安時代)	1427-827 年前
中世 (鎌倉～室町・戦国時代)	827-446 年前
近世 (安土桃山～江戸時代)	446-151 年前

統計解析には、空間統計手法の一種であるロジスティック型条件付自己回帰モデルを用いました。この統計手法は、地理的分布データの回帰分析において普遍的な、「隣接するメッシュの誤差項の類似性」を取り入れることで、哺乳類の歴史的な移動分散過程など解析に取り入れることが難しい未知の要因の影響を緩和し、遺跡数など興味のある要因の影響をより正確に推定できるようになることが知られている統計手法です。この手法により、哺乳類の属の出現確率に対する考古学的変数およびその他の変数の影響の大きさを推定しました。さらに、過去の人間活動の変数の相対的な重要性(出現確率のばらつきに対し、どの程度の割合を過去の人間活動の変数で説明できるか)を計算し、動物の体サイズとの関係を明らかにしました。

【 結果と考察 】

十分な推定精度が確保できた29属のうち、21属で少なくとも1つの時代における製鉄の影響が検出され、約1300年前まで続いた古墳時代でも13属で統計学的に明瞭な影響が確認されました(図1)。特に、ジネズミ・コウモリ・モモンガ・ヤマネ等、小型の哺乳類では、近世と古墳時代の両方で製鉄による負の影響が確認されました。このことは、過去に製鉄が行われていた地域においては、現在においてもなお小型哺乳類の多様性が低いことを意味します。製陶についても複数の時代で小型哺乳類に対する明瞭な負の影響が検出されました。一方で、ウサギ・キツネ・タヌキ・イノシシなどの中大型の哺乳類は小型哺乳類とは逆の傾向が見られ、近世に製鉄を行っていた地域では中大型哺乳類の多様性が現在も高いことがわかりました。全体としては、中大型哺乳類よりも小型哺乳類の方が過去の人間活動の変数の相対的な重要性が高いことが明らかになりました。

製鉄や製陶は、その生産過程で多量の薪や炭を必要とし、周辺の山が禿山になることもありました。製鉄ではそれに加えて、鉱石の採掘に伴う表土の剥ぎ取りや土壌流出が生じたことが知られています。その結果、地域全体から原生林がほぼ失われ、二次林や草原が広がる景観が形成されました。本研究で現在の哺乳類の地理的分布から検出された約1300年前の影響は、一連の大規模な土地改変により長期間にわたって森林植生の回復が阻害されたことや、地域個体群の絶滅後に残存個体群からの距離が遠すぎて再移入できなかったこと等に起因すると考えられます。モモンガやヤマネ(写真2)等の小型の哺乳類で負の影響がより強く検出されたことは、体サイズが小さい種は分散距離や生息可能な環境の幅が小さい、という動物一般に当てはまる傾向によって説明できると考えられます。生息可能な環境の幅の小ささの例として、モモンガや一部のコウモリが繁殖や休息に樹洞を必要とするため、大径木がある成熟した森林の存在が重要であることなどが挙げられます。

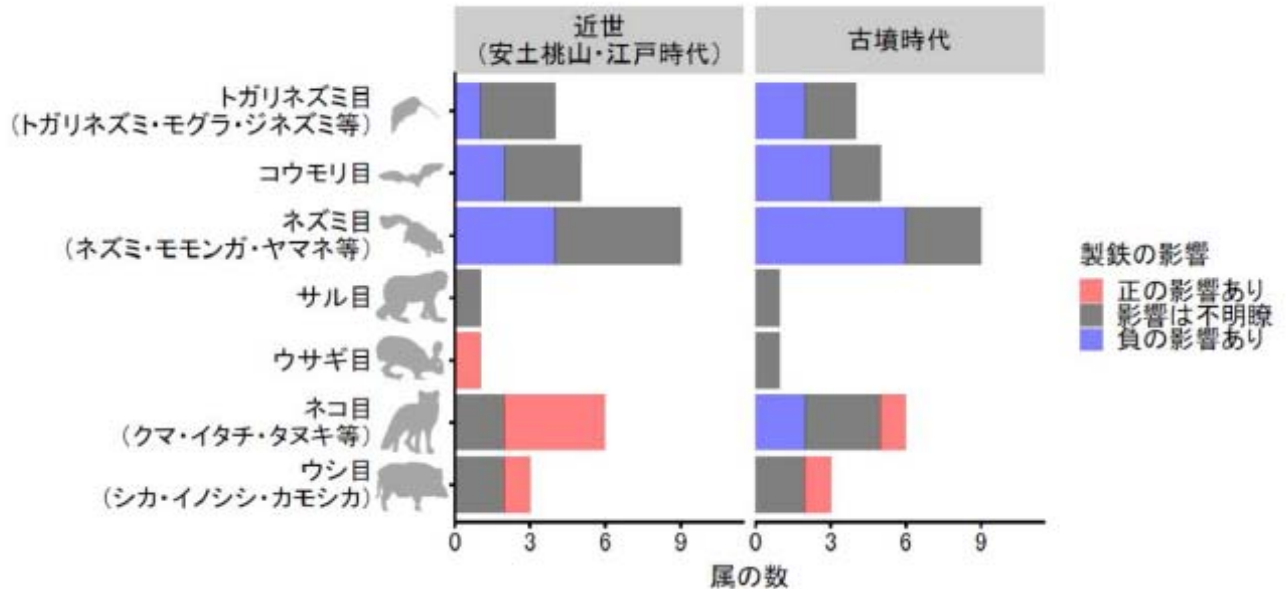


図1. 近世と古墳時代の製鉄による明瞭な影響が確認された属の数。より上位の分類単位である「目」の単位で集計した。



写真2. (左) モモンガ：(撮影：帯広畜産大学 柳川久氏)
(右) ヤマネ (山梨県北杜市HP より抜粋)

近世の製鉄が行われていた地域で出現確率がより高かったノウサギ・キツネ・タヌキ・イノシシなどの中大型の属は、里山に広く生息しているものです。これらは人間活動によって形成された草原・二次林・農地からなる不均一な景観にうまく適応し、勢力を拡大したものと考えられます。地域によって異なる過去の人間活動は分類群によって異なる影響をもたらし、我が国における現在の哺乳類相の地域性を形作ったと考えられます。特に、中国山地や阿武隈山地等の製鉄が盛んにおこなわれた地域では、現在も里山に特徴的な種が多く生息すると考えられます。

さて今日、人間活動は地球に対して地質学的なレベルでの影響を与えうるほどに拡大し、「人新世」という新たな地質年代区分が提案されるに至っています。日本における製鉄は輸入した鉄鉱石と化石燃料に

よるものにほぼ置き換わり、森林面積は拡大傾向にあるものの、今度は管理放棄などの自然に対する働きかけの縮小が生物多様性に対する脅威となっています。その一方で、海外では過剰な樹木利用や鉱石の採掘による生態系の劣化が現在進行形で進んでおり、グローバル化の時代において、このような国内外の対照的な傾向は表裏一体のものと言えます。本研究の成果は、日本における哺乳類相の地域性の背後にある歴史の理解はもとより、人新世において生物多様性に長期的に回復不可能な影響を与えないような持続可能な社会づくりの方策を考えることにつながると考えられます。例えば、長期間回復困難な影響が想定される分類群を特定できれば、それが多様な場所では資源開発の優先順位を下げることや、開発の影響を緩和するための保護区を適切に設定するなどの方策を取ることが可能になると考えられます。

【 今後の展望 】

本研究は生態学・考古学双方の地理的分布情報を関連付けることで、長期的な人間活動と野生動物の関係に光を当てた先駆的な試みであり、今後様々な分類群や生態系の特徴量（バイオマスや構造等）への応用が期待できます。また、このような研究アプローチは、将来的には古生態学的・動物考古学的な動物遺物情報と統合することで、より確度の高い議論が可能になると考えられます。そのためには、現世と過去の生物分布に関する時間・空間情報のさらなる蓄積、そして、それらのデータを統一的に扱うための統計分析手法の確立が必要と考えられます。

○ 世界初！「働いた後のビールはうまい」脳内メカニズムを発見！ ～ 報酬を得るための努力がその報酬の価値を上げる脳メカニズム ～

2019年8月20日 玉川大学報道発表抜粋

玉川大学脳科学研究所の坂上雅道教授らのグループは、努力をして（コストを払って）得た報酬の方が、何もしないで得た報酬よりも主観的価値が大きくなる脳メカニズムを世界で初めて明らかにしました。

【 研究の背景 】

物の価値とは、その物によって予測される報酬の量のことです（実験的には、刺激の呈示によって予測される報酬の量や確率）。大脳皮質の下側に位置する大脳基底核のニューロン※が、この報酬予測に関わっていると考えられています。中脳ドーパミンニューロンは、実際に与えられた報酬が、予測していた報酬とどのくらい違っているかをシグナルしていることが知られています。このドーパミンニューロンの報酬予測誤差情報が大脳基底核に伝えられ、大脳基底核ニューロンは報酬予測（価値）を現実的なものに修正します。

また、価値は相対的です。同じ報酬でも、文脈によって価値は大きく異なります。そのような例に、「働いた後のビールはうまい」効果があります。多くの人が似たような経験があると思いますが、ヒト以外の動物でも、そのような効果は実験的に示されています。

我々は、ドーパミンニューロンの報酬予測誤差が、価値の相対化に重要な役割を果たしていることを以前報告しました、このメカニズムが「働いた後のビールはうまい」効果を作り出しているのではないかと考え、ハイコスト vs. ローコスト (HLC) 課題遂行中のサルの中脳ドーパミンニューロンの活動を解析しました。

さらに、コストにより報酬の価値が高まれば、その報酬を学習に使った時、学習は促進されるはずですが、そのことも調べてみました。

※ドーパミンニューロン：中脳にあるドーパミンを神経伝達物質として放出する神経細胞。報酬に基づく強化学習に重要な役割を果たしていると考えられている。

【実験方法】

ニホンザル2頭にハイコスト vs. ローコスト (HLC) 課題を訓練しました (図1)。この課題は、2種類の試行からなり、ハイコスト試行では、最初にハイコスト試行であることが刺激 (ハイコスト刺激) により示された後、報酬であるジュースを得るために、目の前の画面に呈示される点を1秒以上見つめ続けなければいけません (固視)。ローコスト試行では、ローコストを示す刺激 (ローコスト刺激) の呈示後、ジュースが与えられるまで、画面のどこを見ても構いません。どちらの試行でも、与えられるジュースの量は同じです。これまでの行動実験から、動物は好きなものには早く反応することがわかっていますが、この課題でもハイコストあるいはローコストを示す刺激や、その後の報酬が来ることを示す刺激に反応させて、その反応時間を調べました (実験1)。

また、この課題遂行中のサルの中脳ドーパミンニューロンから電気信号を記録・解析しました (実験2)。

さらに、ハイコストとローコストの設定は同じままにして、2つの刺激の中から報酬刺激を選ぶことを学習する課題 (1つを選べば報酬、もう1つを選べば無報酬、図3) を導入し、サルが報酬刺激を学習することとコストの有り無しとの関係を調べました (実験3)。

【実験結果】

・ (実験1)

試行の最初に提示されるハイコストあるいはローコスト刺激に対する反応時間とそれぞれの試行でのエラー率から、サルは明らかにハイコスト試行を嫌っていることがわかりました。しかし、コストの後の報酬が来ることを指示する刺激に対する反応時間は、ハイコスト試行の方がローコスト試行より有意に早く、報酬量は同じであるにもかかわらず、サルはハイコスト試行の報酬の方を好んでいることがわかりました。

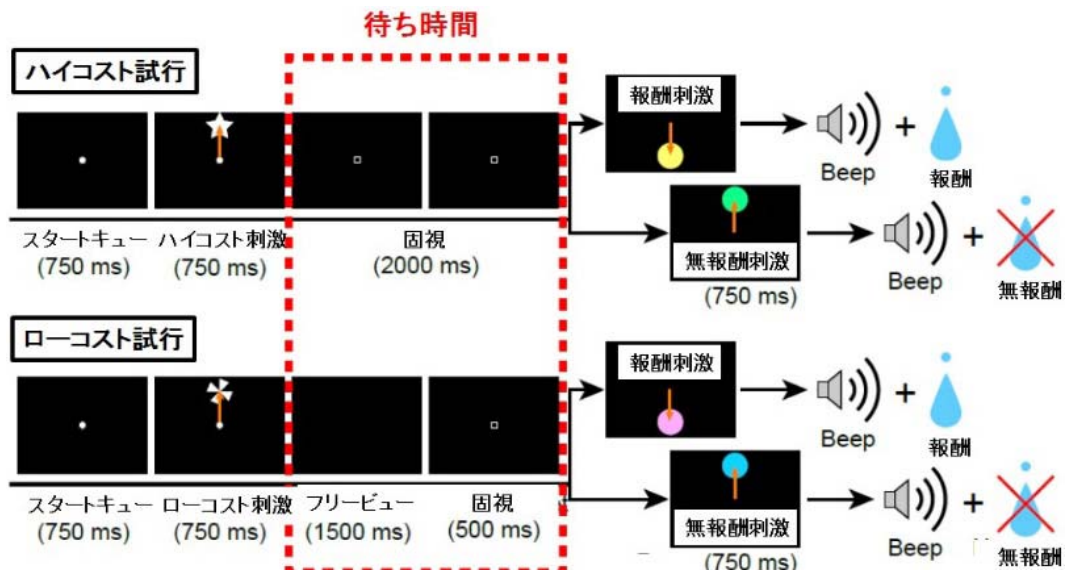


図1 ハイコスト vs. ローコスト課題

・ (実験2)

ドーパミンニューロンのコスト刺激に対する反応は、ローコスト刺激の方が大きく、ハイコスト刺激の方が小さくなりました。ドーパミンニューロンは、報酬には正の反応 (活動量を上げる) を、罰には負の反応 (活動量を下げる) を示すことが知られていますが、上の結果は、ドーパミンニューロンが試行でのコストの情報と報酬の情報を統合した反応をコスト刺激に対して行っていることを示しています。さらに、報酬が来ることを指示する刺激に対しては、ハイコスト試行での反応の方がローコスト試行での反応より大きくなりました (図2)。つまり、ドーパミンニューロンの報酬予測誤差応答は、ハイコスト試行での報酬の方が価値は大きいという反応を示していました。

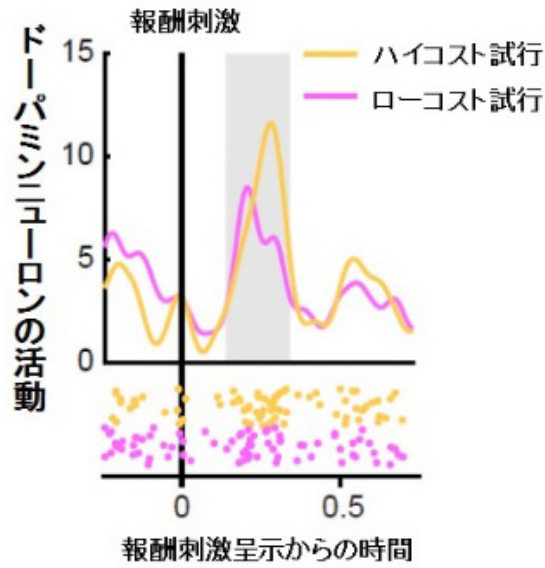


図2 ドーパミンニューロンの報酬刺激に対する応答
下図の点は、活動電位の発生時点。上図はその加算ヒストグラム。

・(実験3)

報酬刺激と無報酬刺激の2種類から、1つを選ぶ選択課題（試行錯誤で報酬刺激を探す、図3）で、コストがある方が有意にこの学習を促進することがわかりました（図4）。

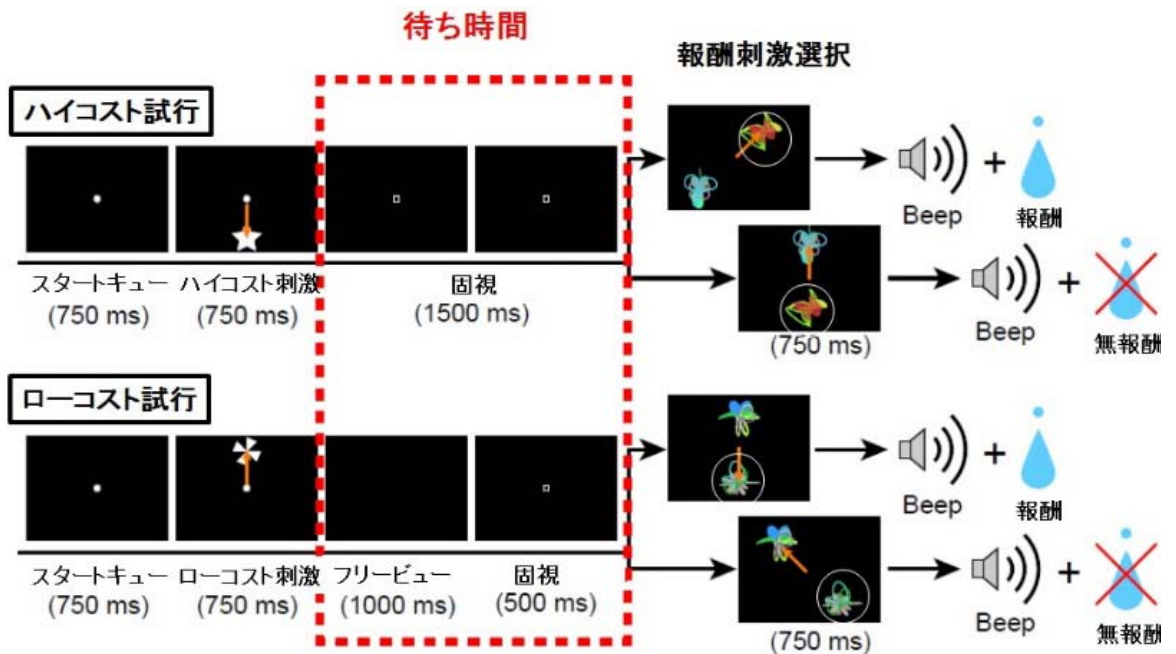


図3 報酬刺激学習課題
2つの刺激のうち報酬刺激（○の刺激）を選択すれば報酬が与えられる（実際には○はない）。

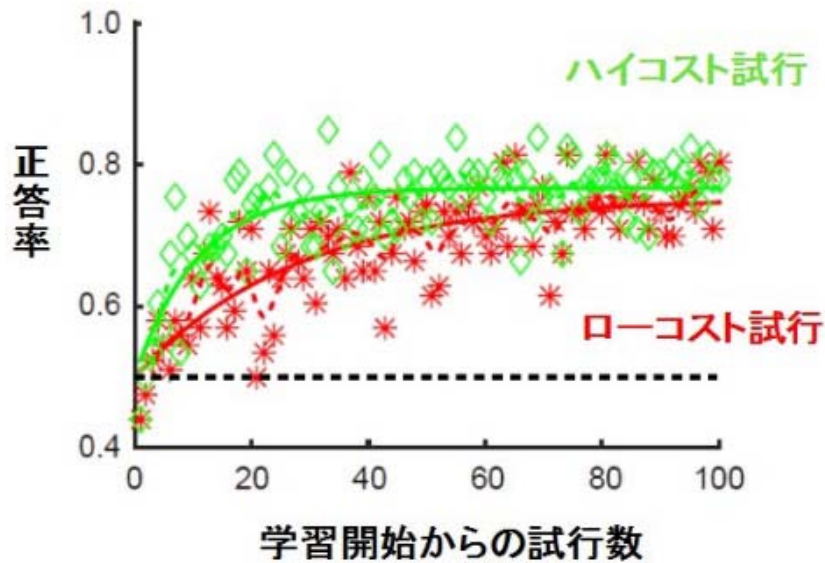


図4 報酬刺激の学習

【実験の成果】

これまでなんとなく、「働いた後のビールはうまい」と言われていた現象がなぜ起こるのかという脳メカニズムを明らかにしました。ドーパミンニューロンが、報酬予測学習に関与する際に、まず報酬とコストの情報を統合することで、ハイコスト試行そのものの価値（報酬予測）を下げます。その状態で報酬が与えられると、コストがあったために報酬予測が小さかったハイコスト試行では、ローコスト試行に比べて相対的に報酬予測誤差情報（報酬予測と実際に与えられた報酬の差分）が大きくなり、結果的に報酬価値が大きくなると考えられます。このことは、我々の価値が相対的なことの基本的な脳メカニズムであり、価値や意思決定に関わる多くの現象を説明できる原理であると考えられます。また、コストがある方が学習は進むという現象の発見は、社会や家庭、学校での教育のあり方を再考する契機となりうるものと思われれます。

編集後記

ラグビーワールドカップ開幕まで1ヶ月を切りました。パシフィックネーションズカップでは好成績を収めた日本代表。本大会でも期待が持てそうです。前回大会は、日本時間では夜中の試合でしたが、今回は夕方開始が多いようです。勝っておいしいビールを飲みたいものです。(A. K)



株式会社 愛研

(<http://www.ai-ken.co.jp>)

本社 〒463-0037 名古屋市守山区天子田 2-710

電話(052)771-2717 FAX(052)771-2641

半田営業所 〒475-0088 半田市花田町 2-65

電話(0569)28-4738 FAX(0569)28-4749