

動物心理学実験における再現性

—コモン・マーモセットの第三者互恵性認識課題の検討から—

Reproducibility in animal psychological experiments:
examination of third-party social evaluation in the common marmosets.

中 神 明 子
NAKAGAMI Akiko

【要旨】 近年、心理学研究における再現性は重要な問題である。2015年のScienceに心理学実験の100件のうち結果が再現できたものは39%のみであったと報告された。我々はコモン・マーモセットが自身とかわりのない、第三者の互恵性を認識しうるか否かを検討し、マーモセットでも第三者互恵性認識が出来ることを明らかにした。その後、2つの研究を行い、第三者互恵性認識課題を用いて種差の検討やモデル動物との比較を行ったが、実験結果は再現性を示した。互恵性は、公平感の起源であると考えられる。しかし、ヒトの公平感や正義は「自身がかかわる」事象についてだけではない。自身とは関係のない第三者間のやりとりにおいても公平である、あるいはルールに準拠しているという判断を行う。今回は2013～2018年に3回実施した実験結果に基づき、データの再分析を行ったところ、2回目、3回目の実験結果は、1回目の結果を再現していた。マーモセットは不公平なヒトから食べ物を受け取る割合を減らしており、マーモセットには第三者の互恵性を認識する能力があることが明らかになった。これにより本研究の再現可能性及び実験手続きに高い妥当性があることが示された。

【キーワード】 第三者評価、霊長類、コモン・マーモセット、再現性

[Key words] third-party reciprocity, primate, Common marmoset, reproducibility

1 はじめに

近年、心理学研究における再現性は重要な問題である。再現性とは、同じ手法を用いて行った実験結果が同じ結果を示すことである。査読を通して出版された論文における実験結果について再現可能性を調査したところ、心理学実験の100件のうち結果が再現できたものは39%のみであったと2015年のScienceに報告された¹⁾。自然科学と同じように心理学にも科学的再現性の必要性が強く求められている。研究結果の再現性が担保できなければ、心理学研究そのものに対する信頼性を損なう。心理学のような人を対象とする行動学研究とは、経験科学的なアプローチによって「心の働き」の法則性を科学的に探究する行為であり、外部から観察可能な行動を内的な心理状態のあらわれとみなす行動主義的な考え方に依拠しつつ、母集団に関する仮説を標本から得た情報に基づいて検証する統計的検定を主軸とする方法論を適用する学術分野である²⁾。

澤は、特に動物心理学では、適切な統計処理の採用や十分に注意深くデザインされた実験計画の導入を前提としたうえで、実験状況の違いや場合によっては種を越えて、再現すべき対象としての仮説構成概念が議論の対象になりうるだろうと述べている³⁾。動物心理学では「ヒト以外の動物」という様々な動物種が研究対象になっている。特に哺乳類では齧歯類から霊長類まで進化的に異なる動物種で、系統発生の視点からも多様な研究が行われている。その中で、Marc

Hauserによる論文ねつ造の件は、近年の動物心理学にとって大きな衝撃であった⁴⁾。査読を経て掲載された学術論文の結果が、追試によって再現されることは重要な研究の信頼性の元である。全く同じ手続きによる直接的な追試は、研究者はなかなか行わないことが多いが、科学的信頼性を担保するという意味では、直接的追試の実行は科学の重要な一翼を担う。

筆者が研究対象としているコモン・マーモセットは、南米原産の霊長類でヒトと同じ真猿類に属する。成体の大きさは体重200~500g、体長25~35cmの小型のサルである。昼行性の雑食で、代謝経路、生理学的・解剖学的特徴がヒトに類似している。胎生期の神経発達もよく似ており、その一例として、マウスでは再現されなかったサリドマイドによる奇形がマーモセットでは再現できた⁵⁾ことが挙げられる。また、コモン・マーモセットは家族を単位とした社会ユニットを構成しており、1回の出産で2~3頭の子どもを産み、出生直後から父親が養育に参加する特性があり、ヒトの核家族とよく似た社会構造となっている。さらに音声コミュニケーションが盛んであり、鳥のように高いトーンで仲間に状況を伝達している。また、年長の個体が幼若個体に食べ物を取ることを許容しているなどヒトによく似た行動が見られることから、社会行動研究に適した動物と考えられている^{6,7)}。

社会を維持する上で欠かせないのが、「互恵性」という互いに協力し合い、利益を与え合う関係性である。ヒトを含む霊長類には、お互いに食物などの資源や毛づくろいなどのサービスを提供したり、お返しを行う互恵行動が見られる。互恵行動の不足はパートナー選択で除外されるなど、社会の中で不利益につながることもある^{8,9)}。互恵性を成立させるには、個体を識別する能力や記憶力のほかに、お互いが提供した資源やサービスのバランスが取れていることが必要である。このように高い認知能力を必要とする互恵性は、ヒトの協利行動の起源であると考えられている¹⁰⁾。マーモセットと同じ新世界ザルであるフサオマキザル(*Cebus aspella*)は、目の前で第三者(ヒト)が非互恵的なやり取りをするところを見せた結果、資源を独占的に手にしたヒトから餌を有意に受け取らないことが示された¹¹⁾。フサオマキザルは、マーモセットよりも大きく、野生下で道具を使用し、訓練によってヒトの介助を行うなど高い知性を持つ。フサオマキザルが持つ第三者の互恵性を認識する能力が、脳のサイズによるフサオマキザルの高い知性によるものか、あるいはマーモセットと同様な協利的な育児に見られる向社会的な性質によって獲得されたものかどうかはまだ分かっていない。

我々はコモン・マーモセットが自身とかかわりのない、第三者の互恵性を認識しうるか否かを検討し、マーモセットでも第三者互恵性認識が出来ることを明らかにした¹⁰⁾。その後、2つの研究を行い、第三者互恵性認識課題を用いて種差の検討やモデル動物との比較を行ったが、統制群のマーモセットの実験結果は、再現性を示した^{12,13)}。互恵性は、公平感の起源であると考えられる。しかし、ヒトは公平感や正義に関して「自身がかかわる」事象について判断を行うだけではなく、自身とは関係のない第三者間のやりとりにおいても公平である、あるいはルールに準拠しているという判断を行う。最近の研究では、フサオマキザルやイヌで第三者に対する互恵性を認識していることが明らかになった¹⁴⁾。特に他者に対し非好意的にふるまった人物を避けるという負のバイアスを持った行動が見られている。

フサオマキザルと同様新世界ザルであるコモン・マーモセットでも、このような互恵性を認識できる能力を持つのかを検討するために、我々はAndersonらがフサオマキザルに対して実施し

た手法を用いて実験を行った¹¹⁾。フサオマキザルとは個体の大きさや特性が異なるため、モン・マーモセット用に提示するものはアレンジしたが、サルたちにとっては第三者であるヒトのやり取りを見た後にどちらのヒトから食べ物を取るかという基本的な手続きは変わらない。今回は2013～2018年に3回実施した実験結果を再分析し、これらの研究の再現可能性及び実験の妥当性について報告する。

2 方法

2.1 被験体

国立研究開発法人国立精神・神経医療研究センター神経研究所で飼育されている成体のマーモセット(1.7歳～7歳)。各実験で使用する個体は4頭。重複経験を持つため3回の実験で8頭を使用した。各時期における個体の年齢は、1回目(2013年)の個体は1.7～2歳、2回目(2015年)の個体は2～3歳、3回目(2018年)の個体は4～7歳だった^{10, 12, 13)}。

2.2 研究時期

1回目は2013年に、マーモセットが第三者互惠性を認識するかについての研究を実施した。2回目は2015年に薬物投与群との比較研究を実施した。続く3回目は、2018年に他のサル類との比較研究を行った。

2.3 装置

実験箱としてステンレス製の移動箱(25×20×18.5cm)とそれを置く台(135×45cm)、および不透明なスクリーンを用いた。スクリーンは実験者がひもで操作し開けたり閉じたりできるようになっていた。箱は、三方がステンレスで出来ており、正面の一方のみがワイヤーメッシュになっていた。動物は箱の中にもワイヤーメッシュからヒト演者のやり取りを見ることができた。

2.4 手続き

マーモセットは、実験中に不必要な情動を生起させないように、自発的に移動箱に入るように予め訓練されており、実験者に捕獲されることなく実験室に移動した。マーモセットの入った実験箱の前にスクリーンを設置し、1試行ごとにスクリーンを開けて二人のヒト演者が食物をやり取りするシーンを見せた(図1a)。やり取りのシーンは、ヒト演者がお互いに公平に食物を受け取りたり渡したりする互惠条件(Reciprocal condition)と、Aの演者が食物を独り占めする非互惠条件(Non-reciprocal condition)の2種類から構成されていた。ヒト演者のやり取りを見せた後、スクリーンを閉じ、演者の前に置かれていた食べ物は取り去られた。ヒト演者はそれぞれお互いに対して内側の手に報酬(カステラ0.5×0.5×0.5cm)を1つずつ持ち、再度スクリーンを上げた。2人同時に報酬を握りこんだ状態で、マーモセットに手を差し出し、同じタイミングで手を開いた。手を開いた時にそれぞれの中指の先端が、実験箱につけた印の位置にくるように合わせた。2人の手と手の間隔は10cmとした。マーモセットがどちらか一方から報酬を受け取ったら、差し出していた手を下ろしスクリーンを閉めた。20秒でタイムアウトとし、20秒経過しても報酬を取らなければ、スクリーンを閉めた。次の試行に移行するまでの時間は10秒とした。実験の

様子は演者側からビデオカメラ (Sony Handycam) で撮影され、実験後に撮影された記録を分析した。

2.5 マーモセットに提示するヒト演者のやり取り

演者二人の前にそれぞれ透明な皿状の容器が置いてあり、一方の皿には 1.0cm 角のイモが 2 個、他方の皿には 1.0cm 角のパンが 2 個入っていた。イモとパンがどちらの演者の前に置かれているか、ヒト演者が左右どちらの位置に立つかは各試行ランダムに決められた。試行の前にイモとパンの配置、演者の立ち位置をセットしている間は、不透明なスクリーンが実験箱の前に置かれており、試行が開始されると共にスクリーンは開けられた。互惠条件 (Reciprocal condition) では、演者 A と B がそれぞれ 2 個ずつ持っている食べ物を交換するセッションになっていた。具体的には、演者 B が皿の中の食べ物 2 個を持ち上げ、演者 A がそれを要求したら取ることを拒否しなかった。この時、演者 A の皿には 4 個の食べ物が入った状態であった。次に演者 A が食べ物を 2 個持ち上げ、演者 B がそれを要求し、演者 A は B が取ることを拒否せず、演者 B の皿には 2 個の新たな食べ物が入った。この時、A と B はちょうど最初に皿に入っていた食べ物を交換し、それぞれ 2 個ずつ食べ物を持った状態になった。一方、非互惠条件 (Non-reciprocal condition) では、演者 A と B は食べ物を交換しないで、一方の演者が独り占めする条件であった。具体的には、演者 B が皿の中の食べ物を持ち上げ、演者 A がそれを要求したら取ることを拒否しなかった。次に演者 A が食べ物を持ち上げ、演者 B が取ろうとしたところ、演者 A は取られるのを拒否した。最終的に演者 A の皿には 4 個の食べ物があり、演者 B の皿には食べ物が 0 個であった。演者のやり取りを図 1b に示す。

各条件は 1 セッション 12 試行で、3 つの研究において各々 6~9 (6.9.8) セッション行った。1 日 1 セッションとし、互惠・非互惠条件のセッションは交互に行われた。ヒト演者が演じる A・B の役割と左右の立ち位置は、セッション内でカウンターバランスをとった。ヒト演者として、2013 年は B (男性)・Y (女性)。2015 年は B (男性)・Y (女性)・N (女性) の 3 人。2018 年は Y (女性)・N (女性) が役割を演じた。実験者に動物は十分馴化していた。

これらの研究は全て、国立研究開発法人国立精神・神経医療研究センター神経研究所微細構造研究部のコモン・マーモセットを用い、動物実験倫理問題検討委員会の承認を経て実施された。

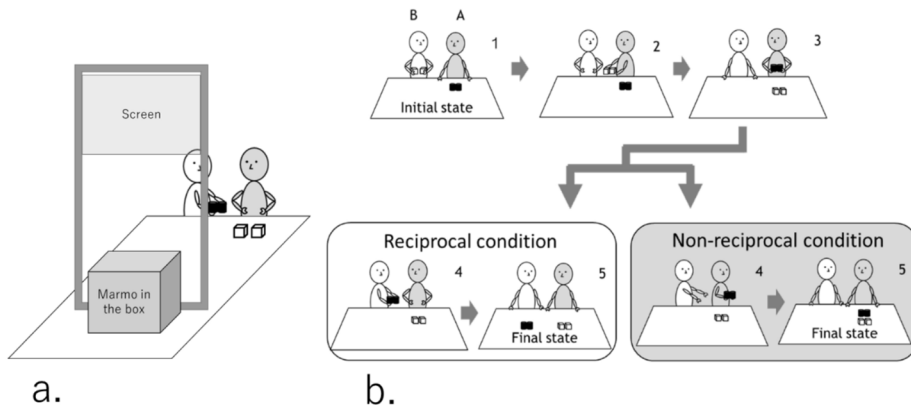


図1. 装置とヒト演者のやり取り。a: 実験装置、b: 互惠性・非互惠性条件におけるヒト演者のやり取り

3 結果

互惠条件では、二人の演者からマーモセットがエサを受け取る割合に差はなく、一方、非互惠条件では、不公平なヒトからエサを受け取る割合を減らした。

1~3回の実験結果を2-way ANOVAにて再分析した結果、1回目は、conditionの主効果はなく、actor (A/B)の主効果もなかった。しかしcondition/actorの交互作用があった ($F(1,3) = 13.813, p < .05$)。2回目は、conditionの主効果はなかった。actor (A/B)の主効果がみられ ($F(1,3) = 25.998, p < .05$)、condition/actorの交互作用があった ($F(1,3) = 21.501, p < .05$)。3回目の結果はconditionの主効果はなく、actor (A/B)の主効果が見られ ($F(1,3) = 11.264, p < .05$)、condition/actorの交互作用があった ($F(1,3) = 10.198, p < .05$)。3回の実験全てにおいて、マーモセットはNon-reciprocal conditionで不公平な行動を示したヒトからエサを受け取る割合が低く、実験結果は再現性を示した(図2a-c、表1)。この3回の実験では、3人のヒト演者の組み合わせは毎回同じだったわけではなく異なっていた。具体的には、2013年はB(男性)・Y(女性)。2015年はB(男性)・Y(女性)・N(女性)の3人。2018年はY(女性)・N(女性)が役割を演じた。

重複実験個体の平均を表2に示した。実験を2回経験した個体が8頭中4頭おり、この重複経験個体における各条件の平均は、1回目の互惠条件：A = 47.8%、B = 52.2%、非互惠条件：A = 39.1%、B = 60.9%であり、2回目の互惠条件：A = 52.6%、B = 47.4%、非互惠条件：A = 40.6%、B = 59.4%だった。実験を2回経験した個体における各条件の平均を見ても、non-reciprocal conditionで、不公平なヒトから受け取る割合が低かった。

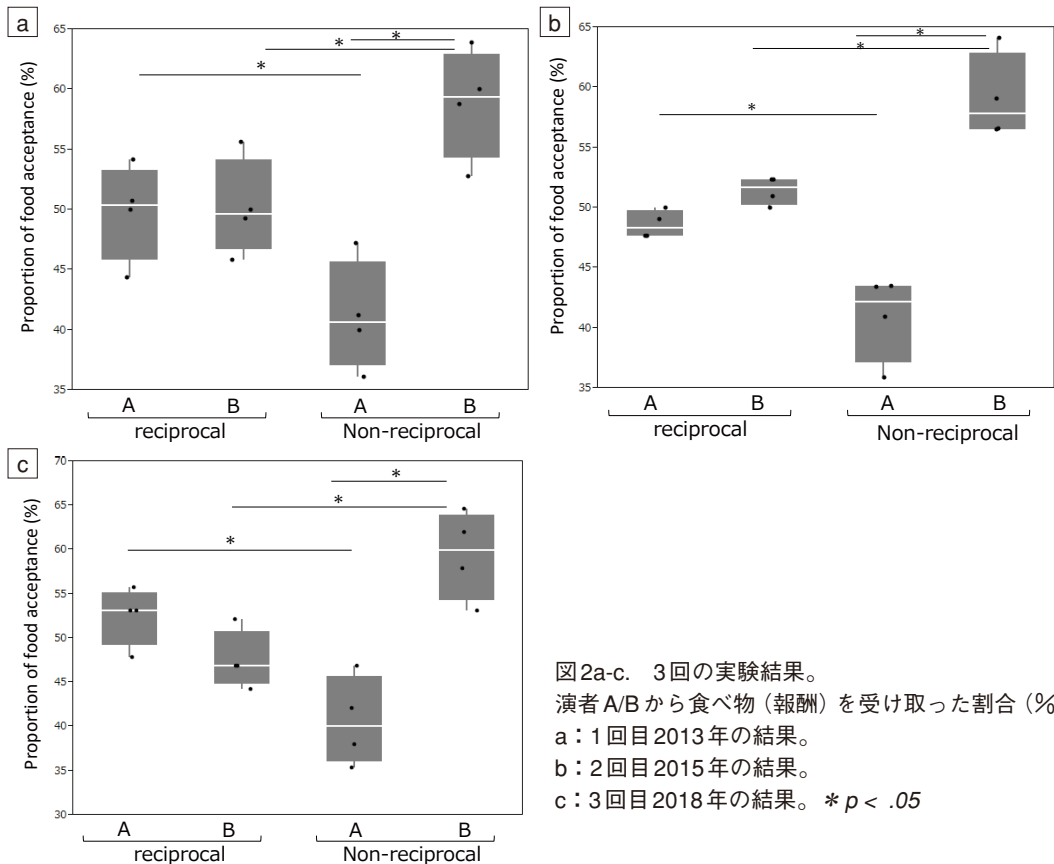


図2a-c. 3回の実験結果。

演者A/Bから食べ物(報酬)を受け取った割合(%)

a: 1回目2013年の結果。

b: 2回目2015年の結果。

c: 3回目2018年の結果。* $p < .05$

表1 互惠・非互惠状況での比率

condition	2013year (%)				2015year (%)				2018year (%)			
	reciprocal		non-reciprocal		reciprocal		non-reciprocal		reciprocal		non-reciprocal	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Chaoz	44.4	55.6	36.1	63.9	-	-	-	-	47.9	52.1	46.9	53.1
Oolong	50.0	50.0	47.2	52.8	-	-	-	-	-	-	-	-
Uni	50.7	49.3	41.2	58.8	-	-	-	-	-	-	-	-
Fugu	54.2	45.8	40.0	60.0	-	-	-	-	-	-	-	-
Tsukudani	-	-	-	-	47.7	52.3	43.5	56.5	-	-	-	-
Kanroni	-	-	-	-	50.0	50.0	43.4	56.6	53.1	46.9	38.0	62.0
Kusukusu	-	-	-	-	47.7	52.3	35.8	64.2	53.1	46.9	35.4	64.6
Shirushiru	-	-	-	-	49.0	51.0	41.0	59.0	55.8	44.2	42.1	57.9

表2 重複個体の平均

condition	1回目(%)				2回目(%)			
	reciprocal		non-reciprocal		reciprocal		non-reciprocal	
	A	B	A	B	A	B	A	B
Chaoz	44.4	55.6	36.1	63.9	47.9	52.1	46.9	53.1
Kanroni	50.0	50.0	43.4	56.6	53.7	46.3	38.0	62.0
Kusukusu	47.7	52.3	35.8	64.2	53.1	46.9	35.4	64.6
Shirushiru	49.0	51.0	41.0	59.0	55.8	44.2	42.1	57.9
mean	47.8	52.2	39.1	60.9	52.6	47.4	40.6	59.4

4 考察

渡邊 (2016) は、心理学に必要なのは「科学」の特定の基準に自らを適合させることではなく、心理学がその対象と目的にしたがってどのような科学になるのか、心理学の科学性はどのように実現されるのかを自ら考えることであると述べている¹⁵⁾。澤 (2016) が言語教示を用いることのできない動物研究においては、結局のところ研究に用いられる課題は刺激性制御で語られるものであり、その意味では行動分析的立場を無視することが出来ないとして述べているように³⁾、仮説構成概念が異種間比較を行う上で必要であるならば、その導入についても慎重に検討し議論することが不可欠である。

今回3回の実験結果を再分析し、マーモセットはヒトの演者のやり取りを観察して、不公平なやり取りをしたヒトを回避した結果について、再現性があることが示された。互惠性は社会的な動物にとって重要な能力であり、互惠行動の不足は、パートナー選択肢から外されるなどの不利益につながることもある。動物が互惠性を成立させるためには、個体識別能力と記憶力のほかに、双方が提供した資源やサービスのバランスが取れているかどうかに対して敏感であることが必要であり、これら高い認知能力を必要とする互惠性は、公平感の起源であると考えられる。しかし、ヒトの公平感や正義は「自身に関わる」事象についてだけではない。自身とは関係のない第三者間のやり取りにおいても、公平である、あるいはルールに準拠しているという判断を行う。そこ

で本研究ではヒト以外の動物はこのような自身とはかかわりのない公平性を判断しうるか否かを検討した。これまでに行った3つの研究から、マーモセットには自分に関係のない第三者のやり取りを見て自身の行動を変化させるという齧歯類には見られない複雑な社会認知機能が備わっていると考えられる。3回にわたる同様の手続きを踏んだ実験では、3回とも非互恵的なヒトからエサを受け取る割合が低く、再現性を示した。さらに論文発表時の分析方法ではなく、3つの研究において共通した2要因の分散分析で一連のデータを再分析しても統計的に有意な差があり、この実験手法の妥当性と信頼性を示していると考えられる。また、この3回の実験では、3人のヒト演者の組み合わせが異なっており、ヒトに対するバイアスによって再現されたわけではなかった。加えて実験では、ヒト演者の役割(A・B)、演者の左右の立ち位置、演技に使用する食物におけるカウンターバランスなどの統制をとった。3回の実験のうち2回の実験は、1回目の直接追試の形で行われた。被験体の中には実験を2回経験した個体が8頭中4頭おり、この重複経験個体における各条件の平均を見ても、non-reciprocal conditionで、不公平なヒトから受け取る割合が低かった。これらは信頼性の高い研究結果であり、この実験手法がマーモセットの社会認知機能評価のためのテストバッテリーとして、妥当性が高いことも示している。疾患モデル動物への治療効果を検証するために、行動指標を用いた非常に有用な試験であると考えられる。同時にマーモセットは認知行動試験に適したnon-humanな霊長類であり、様々な疾患モデルの行動評価系を確立することができる動物である。ヒトに近い臨床像を示すモデル動物としての役割が期待される。

謝辞

本研究は国立研究開発法人国立精神・神経医療研究センター神経研究所微細構造研究部部長の一戸紀孝先生の厚生労働省科学研究開発費(23-7)(26-9)(29-6)プロジェクトのもと、国立大学法人名古屋大学大学院情報学研究科教授の川合伸幸先生にご指導いただきました。深く感謝申し上げます。また研究の遂行に関しては、安江みゆき氏(NCNP)、坂野拓博士(ペンシルベニア大学)と共に実験を実施しまとめることが出来ました。厚く御礼申し上げます。動物の管理のために常にご支援いただいた中垣慶子博士(NCNP)と土屋明子氏(NCNP)にも心から御礼申し上げます。

References

- 1) Open Science Collaboration. PSYCHOLOGY. Estimating the reproducibility of psychological science. *Science* **349**, aac4716 (2015).
- 2) 三浦麻子. 人を対象とした行動学研究における再現性問題. *ヒューマンインタフェース学会誌* **20**, 6-11 (2018).
- 3) 澤幸祐, 栗彬. 動物心理学における再現可能性の問題. *心理学評論* **59**, 46-56 (2016).
- 4) Couzin-Frankel, J. Harvard Misconduct Investigation of Psychologist Released. *ScienceInsider* (2014).
- 5) Poswillo, D. E., Hamilton, W. J. & Sopher, D. The marmoset as an animal model for teratological research. *Nature* **239**, 460-462 (1972).
- 6) Mansfield, K. Marmoset models commonly used in biomedical research. *Comp. Med.* **53**, 383-392 (2003).
- 7) Miller, C. T. *et al.* Marmosets: A Neuroscientific Model of Human Social Behavior. *Neuron* **90**, 219-233 (2016).
- 8) 上野将敬. 霊長類における毛づくろいの互恵性に関する研究の展開. *動物心理学研究* **66**, 91-107 (2016).
- 9) 山田一憲. 霊長類における毛づくろいと利他行動. *未来共生学* **2**, 63-82 (2015).
- 10) Kawai, N., Yasue, M., Banno, T. & Ichinohe, N. Marmoset monkeys evaluate third-party reciprocity. *Biol. Lett.*

- 10**, 20140058 (2014).
- 11) Anderson, J. R., Takimoto, A., Kuroshima, H. & Fujita, K. Capuchin monkeys judge third-party reciprocity. *Cognition* **127**, 140-146 (2013).
 - 12) Kawai, N., Nakagami, A., Yasue, M., Koda, H. & Ichinohe, N. Common marmosets (*Callithrix jacchus*) evaluate third-party social interactions of human actors but Japanese monkeys (*Macaca fuscata*) do not. *J. Comp. Psychol.* (2019).
 - 13) Yasue, M. *et al.* Indifference of marmosets with prenatal valproate exposure to third-party non-reciprocal interactions with otherwise avoided non-reciprocal individuals. *Behav. Brain Res.* **292**, 323-326 (2015).
 - 14) Anderson, J. R. *et al.* Third-party social evaluations of humans by monkeys and dogs. *Neurosci. Biobehav. Rev.* **82**, 95-109 (2017).
 - 15) 渡邊 芳之. 心理学のデータと再現可能性. *心理学評論* **59**, 98-107 (2016).