

Tsukuba 情動系ラットのストレス状況下にある同種他個体に対する 向社会的行動についての検討

山岸 厚仁

仁愛大学人間学部心理学科

Study of Prosocial Behavior Toward Distressed Conspecifics in Rats of the Tsukuba Emotional Strain

Atsuhito YAMAGISHI

Faculty of Human Studies, Jin-ai University

Several studies reported social communication disability is co-occurred with developmental disorders such as attention-deficit/hyperactivity disorder and autism spectrum disorder. However, relationship between empathic dysfunction and developmental disorders is still unclear. This study examined prosocial behavior toward distressed conspecifics in Tsukuba High- and Low- emotional strains (THE and TLE), those were known as animal model of congenital behavioral disorders. THE, TLE and Wistar rats were tested whether they open a door to help a same-strain cagemate soaked with water within 10 min for 10 trials. We found the Wistar rats learned helping behavior faster than those in the THE and TLE. Furthermore, locomotor activities during habituation period in the THE were lower than that in the TLE and Wistar rats. These results suggest prosocial behavior in Tsukuba emotional strains is possibly useful as behavioral model of empathic dysfunction in developmental disorders.

キーワード：Tsukuba 情動系ラット，発達障害，向社会的行動，共感性

1. 序 論

社会集団を形成する動物は同種他個体から得られる情報に対して敏感に応答することが出来る。その一例として、我々は喜びや恐怖、不安といった情動反応を呈している他者を観察するとき、自身が同様の経験をしていないにも関わらず、その他者と同様の情動状態が惹起され、他者がどのような情動状態にあるのか把握することができる。このような認知機能は共感性 (empathy) と呼ばれ、集団における社会関係の維持や個の生存に重要な役割を果たすと考えられている (Decety et al., 2016)。臨床研究において、しばしば注意欠陥性多動性障害 (attention deficit hyperactivity disorder, ADHD) や自閉スペクトラム障害などの発

達障害に伴い、他者の感情や意図の把握といった、共感能力に失調を呈する場合があることが報告されている (Schwenck et al., 2011; Song et al., 2019)。発達障害を呈するヒトが社会生活を円滑に営むためには他者からの適切なサポートが必要となるが、このような共感性の失調は他者とのコミュニケーションを阻害する可能性がある。そのため、その発生機序や治療法の解明に向けた取り組みは極めて重要と考えられる。

共感性はヒトに限らず、チンパンジー、イヌ、ラット、マウスなどの集団生活を営む様々な動物種において確認されている。共感性は主に情動的共感 (emotional empathy) と認知的共感 (cognitive empathy) の2つに分けることができるが (de Waal

& Preston, 2017), 情動的共感は刺激個体の情動状態を観察個体が共有する能力であり, 幼児やラットにおいても認められる原初的な共感と考えられている。一方で, 認知的共感は刺激個体の思考や情動状態を把握する能力であり, 自他の区別などの認知機能も要求されると考えられている。

共感性を反映した行動を測定するとき, 何らかの情動反応を示す刺激個体に対して, 観察個体がどのような情動反応を示すかを調べる。このとき, 刺激個体と観察個体のどちらが快・不快のいずれの情動反応を示すかという違いにより, 4つに区別される(神前・渡辺, 2015)。そのうち, 刺激個体の不快に観察個体が不快を示す負の共感(negative empathy)と刺激個体の快に観察個体が快を示す正の共感(positive empathy)は観察個体と刺激個体が同方向の情動反応を示す共感現象であるが, 刺激個体の快に観察個体が不快を示す逆共感(reversed empathy)と刺激個体の不快に観察個体が快を示すシャデンフロイデ(shadenfreude)は観察個体と刺激個体が別方向の情動反応を示す共感現象として知られている。

不快情動は逃避・防御などの明確な行動指標による計測が快情動より容易である。そのため, 心理学・神経科学分野においては負の共感に関する研究が数多くおこなわれている。負の共感を示す現象としては, 侵害刺激を受けた刺激個体の様子を観察しているときに, 観察個体の苦痛様行動が亢進する情動伝染(emotional contagion)や, 恐怖条件づけを受ける刺激個体を観察することで, 観察個体も条件性恐怖を獲得する観察性恐怖学習(observational fear learning)が知られている(Langford et al., 2006; Jeon et al., 2010)。そして負の共感は, 不快を示す他個体をその状況から救出する援助行動(helping behavior), 苦痛を和らげようとする慰め行動(consolation behavior)といった, 他個体の利益となる自発的な行動を観察個体に動機づけると考えられている(Preston & de Waal, 2002)。これらの行動は向社会的行動(prosocial behavior)とよばれ, 共感性の重要な行動指標の一つと見なされている。

向社会的行動の遂行には比較的高次な認知機能が関わると考えられていたことから, 従来はヒトやヒ

ト以外の霊長類に特有の行動であるとみなされていた(Fehr & Fischbacher, 2003)。マウスやアリにおいても向社会的行動が確認されているが(Ueno et al., 2019; Nowbahari et al., 2009), これらの行動は共感により動機づけられたものではないと考えられている。しかし近年の研究において, ラットが困難な状況におかれた他個体に対し, その状況から助け出そうとする援助行動をおこなうことが報告されており, その行動が負の共感に動機づけられることが示されている(Bartal et al., 2011; Sato et al., 2015)。ラットは心理学・神経科学を始めとした様々な分野で被験体として広く用いられている種であり, その行動学的特徴や分子・神経基盤についての膨大な知見が存在する。そのため, ラットの援助行動は共感や向社会的行動の神経メカニズムを解明するための有力なツールとして注目されている。

発達障害の発生メカニズムの解明に向けて, 様々な動物モデルが作成されている。その多くはラットやマウスに遺伝子操作や薬理処置を施すことで作成されたものであるが, このような後天的な実験操作により作成された動物モデルは, 先天的な疾患メカニズムの解明には適していない可能性がある。この現状を鑑みると, 自然発症的な行動障害を示す動物モデルを用いた共感研究が求められているといえる。

自然発症的な行動障害を示す動物モデルの一つとして, Tsukuba 情動系ラット(Tsukuba emotional strain)が知られている(Fujita, Annen, & Kitaoka, 1994)。Tsukuba 情動系ラットは, 暗い出発箱と明るい直線走路から構成されたランウェイと呼ばれる装置上での通過区画数の多寡に基づいて, Wistar ラット(W系)を選択交配して作成された動物モデルである。この選択交配において, 先天的にランウェイ上での通過区画数が少ない系統は, 新奇場面での活動量が低く, 脱糞が多く, ストレス刺激に対する反応性が高いといった高情動反応性を有することから, 高情動系(high emotional strain, H系)と呼ばれている。その反対に, 先天的に通過区画数が多い系統は, 新奇場面での活動量が高く, 脱糞が少なく, ストレス刺激に対する反応性が低いといった低情動反応性を有することから, 低情動系(low emotional strain, L系)と呼ばれている。

このうち、L系は多動性や衝動性が高く、空間学習能力が低いといった特徴を持つことから、ADHDや学習障害の動物モデルになると考えられている。

Tsukuba 情動系ラットの共感性については、援助行動を指標としていくつかの検討がおこなわれている(瀬戸川, 2019; 山岸, 2021)。これらの研究ではそれぞれH系(瀬戸川, 2019)とL系(山岸, 2021)について、迷路型オープンフィールド内に刺激個体を閉じ込めた拘束管を設置し、フィールド内に放たれた観察個体が刺激個体を拘束管から解放するかどうか調べられている。さらに、フィールドには障害物として水が張られたプールが2ヶ所設置されており、プールに侵入するというコストを厭わずに助けるかどうかも検討されている。その結果として、いずれの系統においても障害物となるプールを厭わずに、刺激個体が閉じ込められた拘束管のドアを開放するという援助行動を示すことと、援助行動が観察個体自身の拘束経験により促進することが示された。そして、H系はW系より援助行動を獲得した個体は少なく、L系はW系より早く援助行動を獲得することが示された。

発達障害に併発する共感性失調に相当する行動がTsukuba 情動系ラットにおいて認められるのであれば、健全なW系と比較してH系やL系の援助行動の獲得が遅延すると考えられる。しかし、これらの研究結果は予測と一致しなかった。援助行動の学習遅延がH系では認められたが、これは、H系の活動性の低さを反映したと考えられる。L系の援助行動がW系より早く獲得された原因として、迷路型オープンフィールドという移動可能範囲が比較的広い実験装置を採用していたことが挙げられる。迷路型オープンフィールドはある程度の広さを有している。さらに、迷路型の構造であったことから、スタート位置に放たれた被験体が装置内の状況を把握するためには積極的に装置内を探索する必要があった。このような実験事態は被験体の積極的な自由探索を誘発すると考えられ、多動傾向を有するL系の活動性を促し、援助行動の学習を促進した可能性がある。そのため、もしL系の共感性や向社会的行動の遂行能力がW系より劣っていたとしても、その違いが検出されづらい状況であったと考えられる。

また、他の問題点として、拘束管に閉じ込められた刺激個体を救出するという援助行動には、その動機について共感以外の説明が可能であることが挙げられる。Bartal et al. (2011)によるラットの援助行動に関する検討において、観察個体が拘束管に閉じ込められた刺激個体に対し、拘束管の出口を塞いでいるドアを開ける行動を学習することが示されている。さらに、拘束管に刺激個体が存在しないときや、刺激個体の代わりに玩具が閉じ込められているときではドア開け行動を学習しないこと、解放された刺激個体と触れ合えない状況であってもドア開け行動が維持されることが報告されている。これらの結果から、このラットのドア開け行動が社会的接触や探索動機によらず、負の共感に動機づけられている可能性が示された。しかし、この課題において刺激個体が開放された後に、観察個体が拘束管に侵入することが確認されている。これは、観察個体が示したドア開け行動が、拘束管への進入に動機づけられていた可能性を残している。

これらの問題を解決する実験事態として、水を張ったプール区画に刺激個体を閉じ込め、隣接区画に滞在する観察個体が救出するかどうかを調べる手続きが有効であると考えられる(Sato et al., 2015)。Sato et al. (2015)は、この課題において観察個体がプール区画に侵入することを忌避するにも関わらず、そこに閉じ込められた刺激個体を解放するためのドア開け行動を学習することを示した。さらに、水を張っていないプール区画に刺激個体が閉じ込められているときには観察個体がドア開け行動を学習しないことや、観察個体自身が水を張ったプール区画に閉じ込められる経験を有しているとドア開け行動の学習が促進することが示されている。

本研究では、Tsukuba 情動系ラットの向社会的行動が発達障害に伴う共感性失調の行動モデルとして有効であるかどうか明らかにするため、H系とL系の援助行動について、Sato et al. (2015)と同様の実験事態を用いて検討する。本研究で採用する実験装置は被験体の移動可能範囲が比較的狭く、オープンフィールド場面よりもL系の多動性による影響が反映されづらくなると考えられる。そのため、Tsukuba 情動系ラットの共感性やそれにより動機づけられる向社会的行

動の遂行能力に失調が生じているのであれば、健常ラット（W系）と比較してH系およびL系の援助行動の学習に遅延が生じると予測する。

2. 方法

1) 被験体

被験体として、仁愛大学人間学部心理学科にて繁殖維持されている雄性のH系20匹（第135世代）と、L系20匹（第131世代）、外部業者（日本クレア）より購入した雄性のW系20匹を用いた。被験体の平均体重について、H系は369g（範囲：193-419g）、L系は291g（範囲：228-354g）、W系は306g（範囲：193-419g）であり、いずれも実験開始時点で9-12週齢であった。被験体は恒温恒湿（23.2℃、43.7%）で12-12時間の明暗周期（8:50点灯、20:50消灯）の動物飼育室内において、ウッドチップ（Clean Chip SP、日本クレア）が敷かれたプラスチック製ホームケージ（幅276mm、奥行445mm、高さ204mm）で飼育されており、固形飼料（DC-8、日本クレア）と飲水はすべての実験期間を通して常時自由に摂取できる状況であった。なお、本研究は仁愛大学動物実験委員会による承認を受けておこなわれた（承認番号3-04）。

2) 実験装置

図1に、本実験で用いた実験箱の模式図を示した。実験箱（405×200×351mm）は厚さ5mmの黒色アクリル板で作成され、厚さ5mmの透明アクリル製仕切り板によってプール区画と陸地区画に区切られ

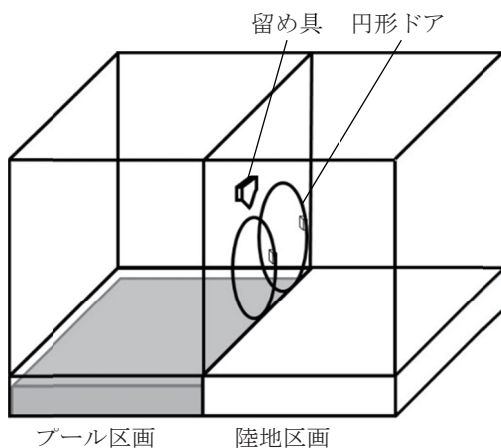


図1. 実験装置の模式図。

ていた。プール区画と陸地区画には黒色アクリル製の凹型小箱がそれぞれ設置されており、プール側の小箱（65×191×182mm）は小箱底面が実験箱底部を向くように、陸地側の小箱（64×179×179mm）は小箱底面が実験箱上部に向くように設置した。被験体の逸走を防ぐため、実験箱の上部に取り外し可能な透明アクリル製の蓋（455×240×5mm）が置かれていた。仕切り板の中央には、実験箱底部から110mmの高さに直径90mmの穴が空けられ、この穴を介してプール区画と陸地区画を被験体が自由に通行することができた。援助行動課題を実施するとき、陸地区画側から厚さ5mm、直径95mmの透明円形ドアを穴上部の留め具により固定することで仕切り板の穴を閉ざし、陸地区画側の観察個体が円形ドアを横方向にスライドさせることで、穴が通行可能となった。観察個体からドアを開けやすくするため、円形ドアの陸地区画側の片面左右両端には透明アクリル製の取っ手（5×5×20mm）が設置されていた。また、プール区画側の刺激個体からドアを開けづらくするため、仕切り板と同様の幅、高さの透明OHPフィルム（厚さ0.06mm）を張り付けていた。刺激個体からの匂い等の刺激が観察区画に伝わりやすくするため、仕切り板の穴の淵に沿うように、フィルムには直径2mmの小穴が等間隔に8か所開けられていた。実験箱の底面から高さ120cmの位置に三脚に固定したビデオカメラ（HC-V480MS、Panasonic）を設置し、課題中の被験体の映像データを記録した。

3) 実験手続き

①ペア飼育およびハンドリング

被験体同士を互いに馴れさせるため、行動課題に先行してホームケージにて同系統同士のペア飼育を2週間おこない、ペアのうち一方を観察個体、他方を刺激個体に割り当てた。この期間に1日5分間のハンドリングを計7日間実施した。

②装置馴致

ペア飼育期間を終えた翌日より、観察個体に対して装置馴致手続きを実施した。このとき、プール区画には深さ50mmまで水を注ぎ、円形ドアを陸地区画の

床に放置した。そして、仕切り板のフィルムを外した状況で観察個体を陸地区画に放ち、実験箱内を10分間自由探索させた。刺激個体の不快反応の表出が低下することを避けるため、刺激個体には装置馴致をおこなわなかった。この手続きを1日1試行、計2日間実施した。

③援助行動課題

装置馴致手続きの翌日より、援助行動課題を実施した。このとき、陸地区画側から円形ドアで仕切り板の穴を塞ぎ、装置馴致時と同様にプール区画に水を張り、プール区画側から仕切り板に透明フィルムを張り付けた状態で課題を実施した。課題開始時には刺激個体をプール区画に放ち、その直後に観察個体を陸地区画に放った。その時点から観察個体の行動を10分間観察し、円形ドアを開けるかどうか調べた。10分間経過しても観察個体がドア開け行動を示さない場合はその時点で試行を終了した。ただし、ドア開け行動を示さない試行を反復経験することにより観察個体の自発行動が低下することを防ぐため、試行終了後には実験者が細い透明アクリル製の棒(5×5×250 mm)を用いて円形ドアの左側をわずかに開き、観察個体がドアを開放しやすい状況にして5分間の追加観察時間を設けた。追加観察時間が経過しても観察個体がドア開け行動を示さない場合は、実験者によりドアを完全に開放した。観察個体または実験者がドアを開放した後、実験者が速やかにプール区画側の仕切り板に張り付けた透明フィルムを剥がし、両区画間を通行可能な状態にした。被験体の実験箱から取り出されることそのものがドア開け行動の強化子となることを防ぐため、ドアが開放された後に2分間の待機時間を設けた。その後、観察個体および観察個体を実験箱から取り出し、タオルで両個体に付着した水を拭き、速やかにホームケージに戻した。この課題を1日1試行、計10日間実施した。

4) データ解析

本研究では、観察個体が援助行動を獲得したことを示す指標として、10分間以内のドア開け行動を2回示した個体の累積個体数と、この学習基準に達するま

での所要試行数について記録した。このとき、学習基準に達しなかった個体の所要試行数は10試行と見なした。さらに、各試行における試行開始から観察個体がドア開け行動を示すまでの所要時間をドア開け潜時として記録した。試行終了以降の追加観察時間中のドア開け行動については、ドア開け潜時を10分間と見なした。さらに映像データを基に、装置馴致期間における援助個体の単位時間(s)あたりの移動量(mm)を活動量として、個体追跡ソフトウェア(UMATracker, Yamanaka & Takeuchi (2018))を用いて算出した。

3. 結果

1) 累積ドア開け個体数

図2にドア開け行動を2回示した個体の各試行の累積個体数を系統別に示した。この結果から、第10試行までにドア開け行動を2回以上獲得した観察個体の個体数について、W系は8匹、L系は7匹、H系は3匹であることが示された。

2) 所要試行数

図3にドア開け行動を2回示すまでに要した平均所要試行数を系統ごとに示した。平均所要試行数について、W系は6.6試行、L系は7.3試行、H系は10.0試行であり、W系がL系およびH系と比較して平均所要試行数が短いことが伺えた。3系統の平均所要試行数について被験体間計画による1要因分散分析をおこなったところ、系統の効果について有意傾向が認められた($F(2, 27) = 3.02, p < .10$)。この結果から、

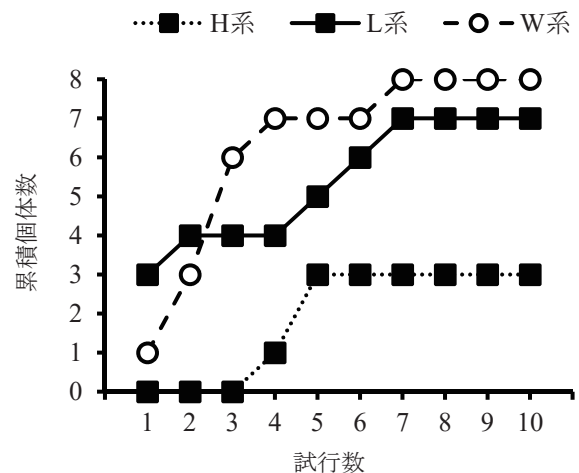


図2. 各系統の累積ドア開け個体数.

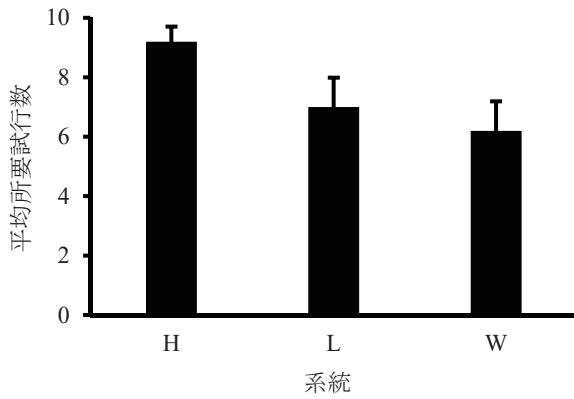


図3. 各系統の平均所要試行数。
エラーバーは標準誤差を示す。

W系のドア開け行動の学習に要する平均所要試行数がH系およびL系より少ないことが示された。

3) ドア開け潜時

図4に各試行における系統別の平均ドア開け潜時を示した。ドア開け潜時について、系統(W系/L系/H系)を被験体間要因、試行(第1-第10試行)を被験体内要因とした混合計画による2要因分散分析をおこなった。その結果、試行の主効果($F(9, 243) = 6.40, p < .001$)および系統の主効果が認められた($F(2, 27) = 4.21, p < .05$)。さらに、系統と試行の交互作用が認められた($F(9, 18) = 1.68, p < .05$)。系統の主効果についてRyan法による多重比較を行なったところ、W系のドア開け潜時がH系より短いことが認められたが($p < .01$)。それ以外の系統間では、有意差は認められなかった。系統と試行の交互作用について単純主効果検定をおこなったところ、第4試行にて

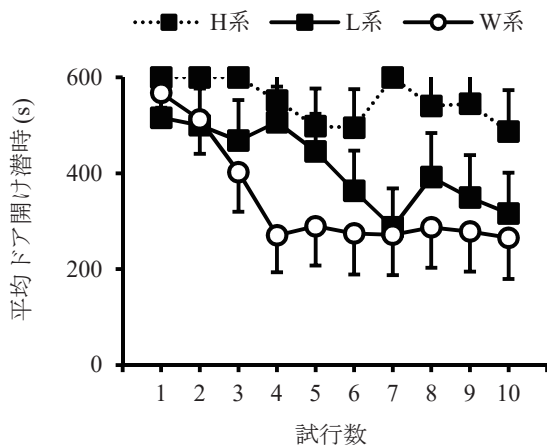


図4. 平均ドア開け潜時。
エラーバーは標準誤差を示す。

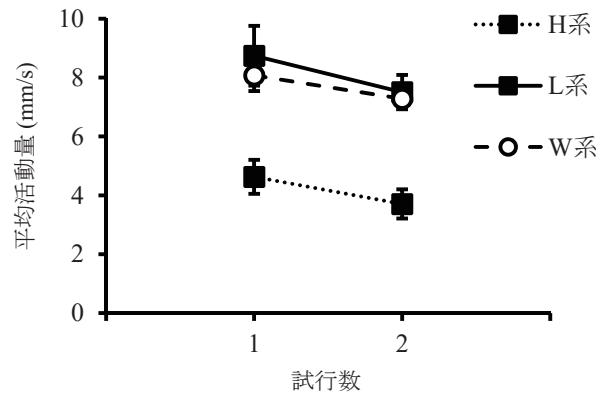


図5. 装置馴致中の平均活動量。
エラーバーは標準誤差を示す。

W系のドア開け潜時がL系およびH系より短く、第7試行にてW系およびL系のドア開け潜時がH系より短いことが示された($ps < .05$)。これらの結果から、ドア開け潜時についてはW系がL系より短く、L系がH系より短いことが伺える。

4) 活動量

図5に装置馴致の各試行における観察個体の平均活動量(mm/s)を系統別に示した。系統(W系/L系/H系)を被験体間要因、試行(第1-第2試行)を被験体内要因とした混合計画による2要因分散分析をおこなったところ、系統の主効果($F(2, 19) = 14.15, p < .001$)および試行の主効果($F(1, 19) = 5.36, p < .05$)が認められたが、系統と試行の交互作用($F(2, 19) = 0.10$)は認められなかった。系統の主効果についてShaffer法による多重比較をおこなったところ、H系の活動量がW系およびL系より低いことが認められた($ps < .001$)。

4. 考 察

本研究では、Tsukuba情動系ラットを対象に、向社会的行動の一つである援助行動についてSato et al. (2015)と同様の実験事態で検討した。その結果、2回目のドア開け行動が確認されるまでの所要試行数はH系およびL系と比較してW系が少なく、H系とL系のドア開け潜時がW系より長いことが示された。さらに、装置馴致においてH系の活動量がW系およびL系より少ないことが示された。

プールに閉じ込められた刺激個体を観察している

状況で、W系のドア開け行動の獲得に要する所要試行数が最も短く、試行経過に従い速やかにドア開け行動を獲得することが示された。この結果は、同様の実験事態を用いた他の研究 (Sato et al., 2015; Yamagishi et al., 2020a; Yamagishi, 2020b) と同様に、ラットがストレス刺激に晒された刺激個体に対してその状況から解放するためのドア開け行動をおこなうことを示している。さらに、Sato et al. (2015) において刺激個体がストレスに晒されていない状況ではこのドア開け行動が獲得されないことが示されている。これらの結果は、援助行動課題で観察されるドア開け行動が負の共感により動機づけられていることを示唆している。その過程について、課題場面にてストレスに晒された刺激個体の不快が観察個体に伝染するが、観察個体のドア開け行動により刺激個体の不快が除去される。それに伴い、観察個体へ伝染する代理的な不快の除去をもたらすと考えられる。このことから、援助行動課題における観察個体のドア開け行動が、観察個体に伝染した不快の除去という、負の強化により形成されるオペラント行動の一種であると解釈できる。

W系と比較して、L系とH系はドア開け行動の獲得に要する試行数が多く、ドア開け潜時が延長することが示された。この結果は、W系と比較してTsukuba 情動系ラットの援助行動の学習が遅延したことを示している。L系とH系のどちらにおいても学習遅延が生じたが、それぞれの系統は方向性の異なる情動反応性を有していることから、援助行動の学習が遅延した原因は系統ごとに異なると考えられる。

H系の援助行動の学習遅延については、瀬戸川 (2019) の研究結果とも一致している。H系はストレス刺激に対する反応性が高いことから、観察個体の実験環境そのものやストレスに晒されている刺激個体に対して過剰な不安・不快を示し、自発行動が抑制されたことにより援助行動の学習が遅延した可能性がある。他の解釈として、ストレス刺激に対してより強い不快を示すというH系の特徴は、負の共感を促進し、援助行動をより強く動機づけるとも考えられるが、あまりに強く他個体に共感すると、共感的苦痛が観察者個人の苦痛に置き換えられるという過剰共感 (overt empathy) がヒト対象の研究にて報告されてい

る (Hoffman, 2000)。このような過剰な共感が観察個体の自発行動を抑制したと考えられる。

また、L系の援助行動の学習遅延について、L系はストレス刺激に対する反応性が低いことから、刺激個体の不快が観察個体に伝染するという負の共感が阻害され、援助行動が適切に動機づけられなかった可能性が考えられる。迷路型オープンフィールドを用いた山岸 (2021) の検討ではL系の援助行動がW系より早く獲得されることが確認されていたが、本研究ではL系の援助行動の学習がW系と比べて遅延するという、先行研究と異なる結果が得られた。装置馴致時における活動量について、H系のみに有意に低く、W系とL系の間で差が認められなかった。この結果は、今回の検討で確認されたL系の学習遅延が、L系の活動性の高さに由来するものではないことを示唆している。なお、本検討ではL系の多動性の影響が確認されなかったが、迷路型オープンフィールド内における援助行動課題や回転カゴ走行などの実験事態ではL系がW系やH系よりも高い活動性を有していることを確認している (山岸, 2021; 山岸, 2022)。このことから、比較的狭い面積の陸地区画に観察個体を放つという本研究の実験状況そのものがL系の多動性を誘発しづらい状況であった可能性がある。

この度の研究結果を吟味するにあたり考慮すべきことが2点ある。第1に、本検討では刺激個体として観察個体と同系統の個体を用いたことが挙げられる。本研究ではTsukuba 情動系ラットと健常なW系との間で援助行動の差異が認められたが、観察個体と刺激個体がどちらも同系統であったことから、この行動の差異が観察個体の系統差によるものか、刺激個体の系統差によるものかの識別が困難であるという問題が存在する。この問題を解決するためには、今後、刺激個体をすべて同じ系統に統一するなどの統制をおこなう必要がある。第2に、本検討では援助行動の獲得に関する行動指標を主に検討したが、刺激個体や観察個体が示している不快の程度については検討していない。この点については、ラットがストレス刺激に晒されたときに示す凍結反応などの防御的反応の計測や、ストレス刺激により分泌される血中コルチコステロンの定量により解決できると考えられる。

H系およびL系において援助行動の学習遅延が認められたという結果は、Tsukuba 情動系ラットの向社会的行動が発達障害における共感性失調のメカニズムを解明するための行動モデルとして有効な可能性を示している。Tsukuba 情動系ラットの行動特性に関連する神経基盤については、空間学習能力と海馬の関係から検討がおこなわれている(吉田, 2010)。吉田(2010)はL系とH系を対象に、8方向放射状迷路における空間学習課題の成績を比較するとともに、海馬の容積について検討した。その結果、L系の背側海馬全体に対する歯状回の容積の割合がH系と比較して減少していることや、この歯状回の容積が小さいほど学習成績が低いことが示された。背側海馬は学習・記憶などの認知処理に、内側海馬は情動情報の処理に関わると考えられていることから、L系の空間学習障害がこの背側海馬歯状回の減少に起因する可能性がある。一方で、ラットの援助行動の獲得や負の共感の表出に関連する神経基盤として前部帯状皮質や扁桃体のオキシトシン受容体の関与が示されている(Yamagishi et al., 2020a)。さらに、近年では光遺伝学的技術により特定ニューロンを活性化・抑制する実験手法が急速に普及しており、前部帯状皮質の背側海馬への投射がストレス刺激を用いた連合学習に関わることや(Nagayoshi et al, 2022)、ストレス刺激に晒された刺激個体に対する観察個体の共感的反応に海馬から扁桃体への投射が関与することが報告されている(Terranova et al., 2022)。これらのことから、Tsukuba 情動系ラットの援助行動の学習遅延と前部帯状皮質、扁桃体の機能不全との関連が示唆される。

以上のことから、本研究によりH系とL系の援助行動の学習が健常ラットと比較して遅延することが認められ、Tsukuba 情動系ラットの向社会的行動が発達障害に伴う共感性失調の行動モデルとなる可能性が示された。しかし、観察個体と同系統の刺激個体を用いたことから、この学習遅延が観察個体の系統差に由来するものであるか断定することが困難であることや、向社会的行動と他の情動反応の関係が不明であることから、さらなる検討が求められる。また、近年の臨床研究にて、社会行動の調整に関わる神経伝達物質として知られるオキシトシンの鼻腔投与により自

閉症児の社会的認知能力が改善することが報告された(Yatawara et al., 2016)。ラットにおいてもオキシトシンの末梢投与が援助行動に影響することが報告されているが(Yamagishi et al., 2020b)、負の共感が援助行動を動機づける過程やその神経基盤にオキシトシンが及ぼす影響については十分に明らかにされていない。今後、発達障害における共感性の失調メカニズムやその治療法の解明に向けて、Tsukuba 情動系ラットの援助行動に関する行動学的検討や、中枢における神経伝達物質のはたらきとの関連についてさらなる検討をおこなう必要があると考えられる。

謝 辞

本研究の実施にあたってご尽力頂いた、仁愛大学人間学部心理学科2021年度卒業生の齋藤大誠さんに深く感謝いたします。本研究は、JSPS 科研費JP20K22294の助成を受けたものです。

引用文献

- Bartal, I. B. A., Decety, J., & Mason, P. (2011). Empathy and pro-social behavior in rats. *Science*, 334, 1427-1430.
- Decety, J., Bartal, I. B. A., Uzefovsky, F., & Knafo-Noam, A. (2016). Empathy as a driver of prosocial behaviour: Highly conserved neurobehavioural mechanisms across species. *Philosophical Transactions B*, 371, 20150077.
- de Waal, F. B. M., & Preston, S. D. (2017). Mammalian empathy: Behavioural manifestations and neural basis. *Nature Publishing Group*, 18, 498-509.
- Fehr, E., & Fischbacher, U. (2003). The nature of human altruism. *Nature*, 425, 785-791.
- Fujita, O., Annen, Y., & Kitaoka, A. (1994). Tsukuba high- and low-emotional strains of rats (*Rattus norvegicus*): An overview. *Behavior Genetics*, 24, 389-415.
- Hoffman, M. L. (2000). *Empathy and Moral Development: Implications for Caring and Justice*, Cambridge University Press, Cambridge, U. K.
- (菊池 章夫・二宮 克美 (訳) (2021). 共感と道徳性の発達心理学: 思いやりと正義とのかかわりで 川島書店) .
- Jeon, D., Kim, S., Chetana, M., Jo, D., Ruley, H. E., Lin, S. Y., Rabah, D., Kinet J. P., & Shin, H. S. (2010). Observational fear learning involves affective pain system and Ca_v1.2 Ca²⁺ channels in ACC. *Nature Neuroscience*, 13, 482-488.
- 神前 裕・渡辺 茂 (2015). げっ歯類の共感性 心理学評論,

- 58, 276-294.
- Langford, D. J., Crager, S. E., Shehzad, Z., Smith, S. B., Sotocinal, S. G., Levenstadt, Chanda, M. L., Levitin, D. J., & Mogil, J. S. (2006). Social modulation of pain as evidence for empathy in mice. *Science*, 312, 1967-1970.
- Nagayoshi, T., Ishikawa, R., & Kida, S. (2022). Anterior cingulate cortex projections to the dorsal hippocampus positively control the expression of contextual fear generalization. *Learning & Memory*, 29, 77-82.
- Nowbahari, E., Scohier, A., Durand, J. L., & Hollis, K. L. (2009). Ants, *Cataglyphis cursor*, use precisely directed rescue behavior to free entrapped relatives. *PLoS ONE*, 4, 4-7.
- Preston, S. D., & de Waal, F. B. M. (2002). Empathy: Its ultimate and proximate bases. *Behavioral and Brain Sciences*, 25, 1-20.
- Sato, N., Tan, L., Tate, K., & Okada, M. (2015). Rats demonstrate helping behavior toward a soaked conspecific. *Animal Cognition*, 18, 1039-1047.
- Schwenck, C., Schmitt, D., Sievers, S., Romanos, M., Warnke, A., & Schneider, W. (2011). Cognitive and emotional empathy in children with ADHD and conduct disorder. *Zeitschrift für Kinder-und Jugendpsychiatrie und Psychotherapie*, 39, 265-276.
- 瀬戸川 美沙 (2019) . 共感性がラットの利他行動に与える影響—拘束経験の有無とコストを用いた検討— 2019年度 仁愛大学人間学部心理学科卒業論文
- Song, Y., Nie, T., Shi, W., Zhao, X., & Yang, Y. (2019). Empathy impairment in individuals with autism spectrum conditions from a multidimensional perspective: A meta-analysis. *Frontiers in psychology*, 10, 1902.
- Terranova, J. I., Yokose, J., Osanai, H., Marks, W. D., Yamamoto, J., Ogawa, S. K., & Kitamura, T. (2022). Hippocampal-amygdala memory circuits govern experience-dependent observational fear. *Neuron*, 110, 1416-1431.
- Ueno, H., Suemitsu, S., Murakami, S., Kitamura, N., & Wani, K. (2019). Helping-like behaviour in mice towards conspecifics constrained inside tubes. *Scientific Reports*, 9, 1-11.
- 山岸厚仁 (2021) . 拘束経験がTsukuba情動系ラットの向社会的行動に及ぼす影響. 仁愛大学研究紀要人間学部篇, 20, 31-38.
- 山岸厚仁 (2022) . Tsukuba情動系ラットの走行性味覚嫌悪学習についての検討. 人間学研究, 21, 101-107.
- Yamagishi, A., Lee, J., & Sato, N. (2020a). Oxytocin in the anterior cingulate cortex is involved in helping behaviour. *Behavioural Brain Research*, 393, 112790.
- Yamagishi, A., Okada, M., Masuda, M., & Sato, N. (2020b). Oxytocin administration modulates rats' helping behavior depending on social context. *Neuroscience Research*, 153, 56-61.
- Yamanaka, O., & Takeuchi, R. (2018). UMATracker: An intuitive image-based tracking platform. *Journal of Experimental Biology*, 221, jeb182469.
- Yatawara, C. J., Einfeld, S. L., Hickie, I. B., Davenport, T. A., & Guastella, A. J. (2016). The effect of oxytocin nasal spray on social interaction deficits observed in young children with autism: A randomized clinical crossover trial. *Molecular psychiatry*, 21, 1225-1231.
- 吉田和典 (2010) . Tsukuba情動系ラットの空間学習成績と海馬内の神経構造との関連. 仁愛大学研究紀要人間学部篇, 9, 35-41.

