

共感の多層的なメカニズムの検討^{1,2}

— イメージング・ジェネティクス研究から —

日道俊之 (京都大学・日本学術振興会)³

Multi-layered mechanism of empathy: An imaging genetics study

Toshiyuki Himichi (*Kyoto University/Japan Society for the Promotion of Science*)

(2016年1月28日受稿, 2016年5月6日受理)

The concept of empathy comprises emotional and cognitive components. The organizational model of empathy describes its mechanism as integrating individual differences, implicit processing, and social behavior. Although studies in various research areas have revealed the genetic, neural, and psychological mechanisms of empathy, these mechanisms are often investigated independently. An imaging genetics approach, which combines genotyping and brain function measurement, investigates these multi-layered mechanisms. Here, we review a multi-layered mechanism of empathy by combining the organizational model of empathy with an imaging genetics approach. This review presents a comprehensive perspective integrating the genetic, neural, and psychological mechanisms of empathy.

Key words: empathy, imaging genetics, gene polymorphism, brain function

1. はじめに

「共感 (empathy)」は、他者の感情や心的状態の理解を助け、それに応じた行動を促すため、社会的生活に重要な概念の1つである。共感とは、他者との感情の共有や他者への同情の喚起のような感情的側面 (emotional empathy)、及び他者の信念の推論

Correspondence concerning this article should be sent to: Toshiyuki Himichi, Department of Cognitive Psychology in Education, Graduate School of Education, Kyoto University, Yoshida-Honmachi, Sakyo-ku, Kyoto 606-8501, Japan (e-mail: thimichi@people.kobe-u.ac.jp)

¹ 本論文の執筆にあたり、京都大学教育学研究科の野村理朗准教授に御指導いただいたことを感謝いたします。また、本論文で記載のある2つの研究 (第4節・第5節) における遺伝子解析に関して、広島大学医歯薬保健学研究科の金子雅幸准教授、野村 淳特任助教、千葉科学大学薬学部の大熊康修教授、久留米大学医学部の野村靖幸教授と共同研究をさせていただいたこと感謝いたします。さらに本論文で記載のある後者の研究 (第5節) に関して、京都大学教育学研究科藤田弥世さんと共同研究をさせていただき、神戸大学人間発達環境学研究科の古見文一さんには Director 課題に関して多くの御指摘・御助言をいただきましたこと、感謝いたします。最後に本論文は、日本学術振興会特別研究員奨励費 (13J05732) の助成を受けました。

のような認知的側面 (cognitive empathy) から構成される複合的な構成概念である (Decety & Svetlova, 2012; Zaki & Ochsner, 2012)。これに関して Batson (2009) は、共感を扱う研究グループ間で用語の定義が統一されていないと指摘している。本論文中の共感の定義は、比較的広く共感を定義する立場 (Decety & Svetlova, 2012; Zaki & Ochsner, 2012) と同様の定義であるが、これとは異なる定義をしている研究グループにおいても、他者理解やそれに応じた行動の背景には他者との感情の共有や他者への同情の喚起、及び他者の信念の推論が関与することについて概ね同意しており、そのうちのどの範囲に共感という用語を適用するかという点で異なっている。共感の心理学的モデルの1つとして、組織的モデル (organi-

² 本論文は、日本感情心理学会第23回大会 大会企画シンポジウム「感情の脳科学」における発表内容に基づいたものである。本論文には、一部論文として未公開の研究に基づいた議論が含まれるため、これらの知見及び関連する議論の妥当性は、慎重に解釈される必要がある。また本論文の内容は、著者の博士論文の内容と重複している。

³ 現在の所属は神戸大学である。

zational model; Davis, 1994 菊池訳 1999; 改訂版として Davis, 2006) が提唱されており、これは「先行条件 (antecedents)」・「過程 (processes)」・「個人内的な結果 (interpersonal outcomes)」・「対人的な結果 (intrapersonal outcomes)」[これらの用語の訳は Davis (1994 菊池訳 1999) に基づいた] の4つの構成概念から、共感を包括的に記述するモデルである。より具体的に、先行条件は共感者の個人特性 (例. 共感者のパーソナリティ) のような個人的要因や共感者のおかれている状況 (例. 共感者と被共感者の類似性) といった状況的要因を含み、これが過程という後の共感の結果を生じさせる自動的な処理過程 (例. 模倣) や認知的な処理過程 (例. 役割取得) に影響する (Davis, 1994 菊池訳 1999)。続いて、そのような過程が個人内に生じる反応 (例. 感情の共有) である個人内的な結果に影響し、やがて対人的な結果として外的に表れる社会的行動 (例. 援助行動) が出力される (Davis, 1994 菊池訳 1999)。組織的モデルはこのように、個人差から対人的行動に至るまで異なる構成概念同士の連関を重要視した点で特徴的である (Davis, 1994 菊池訳 1999) が、モデルに包含される構成概念の範囲の広さから、その連関メカニズムの詳細は未だ不明確な点が多い。具体的に、どのような過程や個人内的な結果が援助行動を促進するかいまだ不明確であるといったように (Singer & Lamm, 2009)、その詳細な連関メカニズムを理解するためにはさらなる検証が必要である。

共感は今現在、心理学のみではなく遺伝学 (e.g. Rodrigues, Saslow, Garcia, John, & Keltner, 2009) や神経科学 (e.g. Singer, Seymour, O'Doherty, Kaube, Dolan, & Frith, 2004) でも注目されている。遺伝学は主に一塩基多型解析により、共感の遺伝的基盤を検証している。一塩基多型 (SNP: single nucleotide polymorphism) とは、4つの塩基 [A (adenine)・G (guanine)・C (cytosine)・T (thymine)] の配列のうち1つの箇所が生じる塩基の置換をいい、これにより個体の形質に影響が生じる。また、神経科学は機能的磁気共鳴画像法 (fMRI: functional magnetic resonance imaging) や機能的近赤外分光法 (fNIRS: functional near-infrared spectroscopy) のような脳機能イメージング法や、経頭蓋磁気刺激法 (TMS: transcranial magnetic stimulation) のような脳刺激法により、共感の神経的基盤を検証している。遺伝学的方法論は共感の個人差が生じる生物学的なメカニズムを、神経学的方法論は共感の潜在的処理メカニズムをそれぞれ検証可能であるという意味で、これらの研究知見は心理学的研究と関係が深い。

共感の遺伝的・神経的・心理的メカニズムは互いに独立して検証されることが多いが、これらのメカニズムそれぞれは互いに独立しているというわけで

はなく、一塩基多型の差異が脳機能に影響し、それが行動出力や心理的特性に影響するといったように、互いに連関している (Hariri, Drabant, & Weinberger, 2006)。よってこれらの方法論を統合し、共感の遺伝的・神経的・心理的基盤の連関メカニズムを検証することが重要であると考えられるが、そのような統合的方法論として、一塩基多型解析・脳機能計測・行動指標を組み合わせた「イメージング・ジェネティクス (Imaging genetics)」的方法論がある (Hariri et al., 2006; 野村, 2008)。なお、同様の用語に「ジェノミック・イメージング (genomic imaging)」や「イメージング・ジェノミクス (imaging genomics)」という用語があるが、これらはイメージング・ジェネティクスと同様の方法論を指す (Canli, 2009; Hariri & Weinberger, 2003; 野村, 2008)。このようなイメージング・ジェネティクス的方法論は、異なるレベル (遺伝・神経・心理) の連関メカニズムを検証するという点で、共感のメカニズムを多層的に検証できるという利点や、今まで検証がすすんでいなかった共感の組織的モデルの詳細なメカニズムにアプローチ可能だという利点があると考えられる。具体的に一塩基多型は、組織的モデルのうち先行条件の個人的要因と対応すると考えられる。続いて脳機能に関して、登張 (2014) の指摘するように、過程及び個人内的な結果の両者に関与すると考えられるが、現状ではどの脳領域が過程、個人内的な結果のどちらに相当するかという細かな区分は難しいと考えられる。よって本論文でも脳機能に関して、そのような区分は行わずに論をすすめる。最後に、行動指標は対人的な結果と対応すると考えられる。本論文では、共感の組織的モデルとイメージング・ジェネティクスのアプローチを融合させることで、共感の多層的なメカニズムを統合する視点を提供することを目的とした。そのために、組織的モデルの各構成概念とこのアプローチの対応を概説したうえで、著者の行った2つの研究に関して簡単に紹介を行う。

2. 先行条件と遺伝・環境

組織的モデル (Davis, 1994 菊池訳 1999) の先行条件の個人的要因には、共感者の一塩基多型による個人差が対応すると考えられる。行動遺伝学的研究から、共感の個人差のうち約20-45%ほどが遺伝的要因により説明されることが示されている (Knafo, Zahn-Waxler, Davidov, Van Hulle, Robinson, & Rhee, 2009; Rushton, Fulker, Neale, Nias, & Eysenck, 1986)。これは、少なくとも程度に遺伝的要因が共感の個人差に影響を及ぼすことを示唆する結果であり、同時にその影響メカニズムの検証の重要性を示していると考えられる。これに関して、セロトニン (serotonin) 神経系やオキシトシン (oxytocin) 神経

系に関与する一塩基多型が共感の個人差に影響を与える可能性があると考えられている (Abu-Akel & Shamay-Tsoory, 2011; Kumsta & Heinrichs, 2013; Meyer-Lindenberg, Domes, Kirsch, & Heinrichs, 2011)。

共感は遺伝的要因にのみ影響を受けているわけではなく、同時に環境的要因からの影響も受ける (Knafo et al., 2009; Rushton et al., 1986)。組織的モデルのうち、状況的要因は共感者のおかれている状況の要因からの影響を指すが (Davis, 1994 菊池訳 1999)、これを広く「共感者の外的要因からの影響」と定義した場合、この状況的要因は環境的要因とみなすことができると考えられる。環境的要因からの影響に関して、周囲の他者が強い苦境におかれている場面では共感者自身にも強い苦痛が喚起され (個人的苦痛: personal distress)、後の共感や援助行動が生起されにくくなるとされている (Decety & Svetlova, 2012; Eisenberg & Eggum, 2009)。これを間接的に支持する研究として、強い苦痛にある患者の心的状態を理解し適切な対応が求められる医療従事者は非医療従事者と比べて、他者の痛みを共有しにくいことが示されている (Cheng, Lin, Liu, Hsu, Lim, Hung, & Decety, 2007; Decety, Yang, & Cheng, 2010)。

これらの遺伝的要因と環境的要因は独立して共感に影響を及ぼすのではなく、互いに交互作用し、共感に影響を及ぼすと考えられる。このような遺伝×環境の交互作用に関して、「Differential Susceptibility」という考え方が提唱されている (Belsky, Jonassaint, Pluess, Stanton, Brummett, & Williams, 2009)。これは、一塩基多型の差異による精神疾患のリスクの差異を「脆弱性 (vulnerability)」と捉えるのではなく、環境的要因からの影響の「感受性 (susceptibility)」として捉えなおそうとする考え方であり、具体的には環境的要因からの感受性の高い多型保有者はリスクの高い環境下では他の多型保有者と比べて精神疾患のリスクが高まる一方で、リスクの低い環境下では精神疾患のリスクが比較的低下するといった遺伝×環境の交互作用をいう (Belsky et al., 2009)。例として、うつ病のリスクが高いとされていたセロトニン・トランスポーター (serotonin transporter) の short/short 多型保有者の女性は、リスクの高い環境下 (例、家庭の収入や健康、親の教育歴上の問題など) で育った場合はうつ病のリスクが高いが、リスクの低い環境下で育った場合はリスクが低い傾向にあることが示唆されている (Eley et al., 2004)。また、共感においても遺伝×環境の交互作用が示されており、オキシトシン受容体 (OXTR: oxytocin receptor) 遺伝子多型 (rs53576) の GG 多型保有者において、文化的規範による共感への影響が比較的強く生じる可能性が示されている (Luo et al., 2015)。

3. 過程・個人内的な結果と脳機能及び対人的な結果と行動指標

組織的モデル (Davis, 1994 菊池訳 1999) の過程・個人内的な結果には、脳機能が相当すると考えられる。上記のように、共感には感情的側面と認知的側面があるが、脳損傷患者を対象とした研究から、これらの神経基盤はある程度独立していることが示されている (Shamay-Tsoory, Aharon-Peretz, & Perry, 2009)。他者との感情の共有に関して、知覚運動モデル (Perception Action Model: Preston & Heflich, 2012; Preston & de Waal, 2002) によると、自己と他者の内的状態をマッチングさせることで、共感者にも他者と同様の感情状態が共有される。これに関する fMRI 研究として、他者の痛みの共有に対して、自己の痛みの処理に関与する前部帯状皮質 (ACC: anterior cingulate cortex) や前島 (AI: anterior insula) が関与することが示されている (Jackson, Meltzoff, & Decety, 2005; Singer et al., 2004)。さらに痛みの共感に関する脳機能研究のメタ分析では、他者の痛みが描かれている画像を用いたパラダイムにおいて痛みのシグナルを用いたパラダイムと比べ、下前頭回 (IFG: inferior frontal gyrus) や下頭頂皮質 (IPC: inferior parietal cortex) といった脳領域の活動が高いことが示されている (Lamm, Decety, & Singer, 2011)。これらの脳領域は、自他の運動表象のマッチングに関与するミラーニューロン・システムの一部であることから (Iacoboni, Woods, Brass, Bekkering, Mazziotta, & Rizzolatti, 1999)、実際に他者に相対した場面において特に自他の表象のマッチングが生じやすいことが示唆される。このように、ミラーニューロン・システム及び痛み関連領域が、自他の表象のマッチングによる他者との感情の共有という過程・個人内的な結果を支えていると考えられる。

共感の認知的側面は「心の理論 (theory of mind)」と同様の概念であり、神経基盤も「心の理論」と同様に上側頭溝 (STS: superior temporal sulcus)・側頭頭頂接合部 (TPJ: temporoparietal junction)・前頭前野内側部 (mPFC: medial prefrontal cortex) が関与するとされている (Decety & Svetlova, 2012; Zaki & Ochsner, 2012)。様々な「心の理論」課題の脳機能研究のメタ分析において、特に mPFC と TPJ がほとんどの課題に共通して関与することが示されており、これらの脳領域が共感の認知的側面に特に重要な脳領域であると考えられる (Schurz, Radua, Aichhorn, Richlan, & Perner, 2014)。TPJ は他者視点の取得 (Samson, Apperly, Chiavarino, & Humphreys, 2004; Samson, Apperly, & Humphreys, 2007)、mPFC は自己や他者に関連する情報の判断 (Denny, Kober, Wagner, & Ochsner, 2012) に関与しているとされており、

mPFCやTPJはこれらへの関与を介して、他者の心的状態の推論という過程・個人内的な結果を支えていると考えられる。

このように、共感の感情的側面・認知的側面の神経基盤は異なっているとされているが、それぞれの側面に対する前頭前野側部 (IPFC: lateral prefrontal cortex) の役割が注目されつつある。感情的側面に関して、IPFCは自己の感情状態の調整 (emotion regulation) に関与することが示されており (Buhle et al., 2014), IPFCが感情調整機能を介して共感の感情的側面に関与するとされている (Engen & Singer, 2013)。これに関する研究として、痛みの知覚システムが自分とは大きく異なる他者の感情を共有する場合や (Lamm, Meltzoff, & Decety, 2010), 通常は感情の共有が困難と考えられる不公平な他者の感情状態を共有する場合 (Nomura, Ogawa, & Nomura, 2010) に、IPFCの活動が上昇することが示されている。また認知的側面に関して、人は他者の心的状態を推論する際に優勢な自己の視点情報によるバイアスが生じるが (Epley, Keysar, Van Boven, & Gilovich, 2004; 古見・子安, 2012; Keysar, Barr, Balin, & Brauner, 2000), IPFCはこのような自己視点情報を抑制することで他者の心的状態の推論を支えることが示されている (Samson et al., 2007; Samson, Apperly, Kathirgamanathan, & Humphreys, 2005; Samson, Houthuys, & Humphreys, 2015; van der Meer, Groenewold, Nolen, Pijnenborg, & Aleman, 2011)。IPFCは知覚や記憶、感情に関する情報を統合し制御する役割を担うとされており (Ray & Zald, 2012; Tanji & Hoshi, 2008), 共感の両側面においてもその情報統合・制御機能は重要であると考えられる。

組織的モデルの対人的な結果には行動指標が当てはまると考えられ、特に援助行動に関する研究が多く行われている (Davis, 2006)。苦境にある他者への共感援助行動を促進するとされており (Decety & Svetlova, 2012; Zaki & Ochsner, 2012), これを支持する研究として、他者の知覚的・社会的痛みを観察している間のAIやmPFCの活動が、後の援助行動と関連があることが示されている (Hein, Silani, Preusschoff, Batson, & Singer, 2010; Masten, Morelli, & Eisenberger, 2011)。しかし、Singer & Lamm (2009) が指摘するように、共感が援助行動を促進する詳細なメカニズムは未だ不明な点が多い。

4. 5HT2A 受容体遺伝子多型と共感の感情的側面

以降の内容では、著者が行ったイメージング・ジェネティクス的方法論に基づいた2つの研究の概要を紹介する。まずは、セロトニン (5HT) 2A 受容体遺伝子多型 (rs6311) と共感の感情的側面に着目した研究を紹介する。上記のように、IPFCは感情調整を介し

て共感の感情的側面に影響を及ぼすこと (Lamm et al., 2010; Nomura et al., 2010), 共感が援助行動を促進すること (Hein et al., 2010; Masten et al., 2011) が示されているが、加えて、他者の苦境に共感している間の左IPFCに基づく感情調整が、後の援助行動を促進することが示唆されている (Himichi & Nomura, 2015)。この研究は、左IPFCによる感情的共感の調整機能という過程・個人内的な結果が、後の援助行動のような対人的な結果に影響を及ぼすことを示唆しているが、このような左IPFC機能に影響を与えうる先行条件、特に遺伝的要因に関しては未だ不明な点が多い。本研究では、その要因の1つとして5HT2A受容体遺伝子多型に着目した。5HT2A受容体遺伝子多型はIPFC機能に関与するとされており (Nomura & Nomura, 2006), 実際にGo/Nogo課題を用いた研究においてGG多型保有者がAA多型保有者と比べて当該課題の成績が高いことが示されている (Nomura et al., 2006)。本研究では、Himichi & Nomura (2015) のデータセットに参加者の5HT2A受容体遺伝子多型の解析結果を加えて再解析を行い、5HT2A受容体遺伝子多型が共感の感情的側面に関与するか否か検証した⁴。

遺伝子解析の結果、解析対象者はAA多型保有者12名 (男性6名, 女性6名; 平均年齢: 20.17歳, $SD=0.83$), G多型 (GG多型及びAG多型) 保有者16名 (男性4名, 女性12名; 平均年齢: 20.81歳, $SD=1.80$) だった。なお、GG多型保有者のサンプルサイズが比較的小さかったため ($n=5$), AG多型保有者と1つの群にまとめた。参加者は、2名の他者がPC上でカードゲームを行う場面を1名の他者 (共感ターゲット) に共感しながら観察したが (共感課題), 共感ターゲットがゲームに負けて金銭を没収される条件と引き分けて金銭のやりとりが発生しない条件が設定されていた。共感課題の後、参加者は共感ターゲットと金銭分配を行い、参加者は分配者として共感ターゲットへの金銭分配額を決定した。共感課題中のPFC活動をfNIRSにより測定し、金銭分配額を援助行動の指標とした。その結果、群と条件の交互作用は有意傾向だったものの、共感ターゲットが負ける条件において、G多型保有者の方がAA多型保有者と比べて左IPFC活動が高かった。これは、AA多型保有者がG多型保有者と比べて左IPFCに基づく感情調整が困難である可能性を示していると考えられ、当多型保有者はIPFC機能が比較的低いという研究 (Nomura et al., 2006) と一致した結果だった。さらに、負け条件においてAA多型保有者のみ、左IPFC活動が金銭分配額と有

⁴ 当研究の内容は論文として未公開のものであるが、著者の博士論文にはこの研究の内容が含まれている。なお、当研究のサンプルサイズは十分に大きいといえないため、独立した大規模サンプルにより本研究の結果が再現される必要がある。

意な正の相関関係、自身の悲しみ感情評定とは有意傾向ではあるが同様に正の相関関係にあった。この結果は、特にAA多型保有者において、IPFC機能が共感の感情的側面及び後の援助行動に重要であった可能性を示していると考えられる。本研究の結果を組織的モデル (Davis, 1994 菊池 1999) と合わせて考えると、5HT2A受容体遺伝子多型による先行条件がIPFCに基づく感情調整という過程・個人内的な結果に影響し、援助行動という対人的な結果に影響するという連関メカニズムが示唆される。

5. OXTR遺伝子多型と共感の認知的側面

2つ目に紹介する研究は、OXTR遺伝子多型(rs53576)と共感の認知的側面に関する研究である。OXTR遺伝子多型は社会的行動に重要な構成概念(例、他者信頼)に関与することが示されているが(Kumsta & Heinrichs, 2013; Meyer-Lindenberg et al., 2011)、いくつかの研究から共感にも関与することが示されている。具体的に、OXTR遺伝子多型のG多型保有者はAA多型保有者と比べて、他者の眼周辺の情報から当該他者の感情状態を推論すること(Rodrigues et al., 2009)や、他者の痛みの共有(Smith, Porges, Norman, Connelly, & Decety, 2014)が得意であることが示されている。しかし、OXTR遺伝子多型の共感への影響は感情的な側面が多く検証されており、認知的側面にOXTR遺伝子多型が関与するか否か不明確であるため、本研究の1つの目的としてこの点を検証した。

周囲の他者が強い苦境にさらされている場合、共感者に強い不快感情が喚起され、後の共感が困難となるとされている(Decety & Svetlova, 2012; Eisenberg & Eggum, 2009)。これに関して、IPFCが自己視点情報の抑制機能を介して共感の認知的側面に関与するが(Samson et al., 2005, 2007, 2015; van der Meer et al., 2011)、このようなIPFC機能は不快感情により妨害されることが示唆されている(Himichi, Fujita, &

Nomura, 2015)。これは、不快感情という先行条件の状況的要因からの影響が、左IPFCに基づく自己視点情報の抑制という過程・個人内的な結果に影響する可能性を示していると考えられる。いくつかの研究から、OXTR遺伝子多型のG多型保有者は環境的要因からの影響の感受性が高い可能性が示されていることから(Kim et al., 2010; Luo et al., 2015)、不快感情の共感の認知的側面への影響もG多型保有者において顕著にみられる可能性がある。本研究の2つ目の目的として、この点を検証した。まとめると、本研究はHimichi et al. (2015) のデータセットに参加者のOXTR遺伝子多型の解析結果を加えてデータの追加解析を行い、OXTR遺伝子多型が共感の認知的側面及びこれに対する不快感情の効果の感受性に関与するか否か検証した⁴。

遺伝子解析の結果、解析対象者はAA多型保有者が女性8名(平均年齢: 21.38歳, SD=1.41)、G多型保有者が女性16名(平均年齢: 21.06歳, SD=1.39)だった。なお、日本人を対象とした先行研究(Nishina, Takagishi, Inoue-Murayama, Takahashi, & Yamagishi, 2015; Ohtsubo, Matsunaga, Komiya, Tanaka, Mifune, & Yagi, 2014)と同様に、GG多型保有者のサンプルサイズが比較的小さかったため(n=5)、AG多型保有者と1つの群にまとめた。参加者は、感情喚起動画(中性・不快・快; Schaefer, Nils, Sanchez, & Philippot, 2010)により感情状態を操作された後、「心の理論」課題の1つであるDirector課題(Dumontheil, Apperly, & Blakemore, 2010; 古見・子安, 2012; Keysar et al., 2000)を行った。Director課題中のPFC活動を、fNIRSにより測定した。その結果、G多型保有者は中性の感情状態において、統制条件と比べて他者の心的状態の推論が重要な条件(実験条件)で左IPFC活動が上昇していた。さらにG多型保有者は実験条件で、中性の感情状態と比べ不快感情状態において左IPFC活動が低下していた。これらの結果は、G多型保有者が中性の感情状態

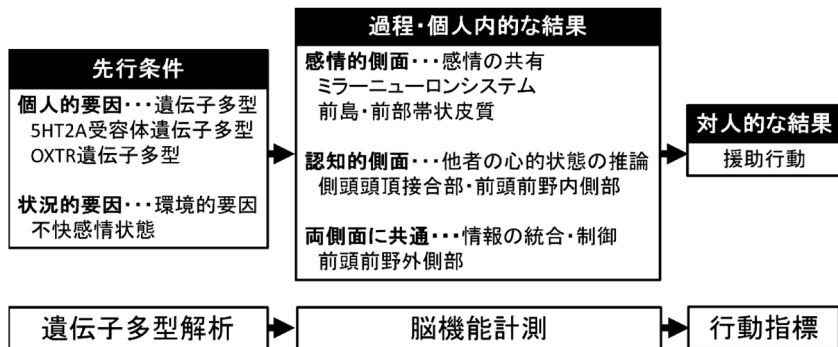


Figure 1. イメージング・ジェネティクス的方法論と組織的モデルを組み合わせたモデル図 (Davis, 1994 菊池 1999およびDavis, 2006を加筆・修正)

ではIPFC機能を効果的に働かせていた一方で、不快感情によるIPFC機能の妨害が生じやすいことを示唆していると考えられる。本研究の結果を組織的モデル(Davis, 1994 菊池訳 1999)と合わせて考えると、先行条件のうち、OXTR遺伝子多型のような個人的要因と共感者の感情状態という状況的要因からの影響が、交互作用的にIPFCに基づく自己視点抑制機能という過程・個人内的な結果に影響するという連関メカニズムを示唆していると考えられる。

6. おわりに

共感を個人差や状況の要因から処理過程、個人内・対人間に生じる結果まで包括的に記述する組織的モデル(Davis, 1994 菊池訳 1999)は、共感のメカニズムをそれぞれの連関という点から統合的に理解するうえで重要である。本論文は、イメージング・ジェネティクス的方法論が、共感の各構成概念の連関メカニズムを多層的(遺伝・神経・心理)に理解するために重要であることを述べた。本論文ではこの方法論を採用した著者の2つの研究を紹介したが、これらは幅広い共感の多層的なメカニズムのごく一端にアプローチを試みたにすぎない。今後の研究では、ゲノムワイド関連解析(genome wide association study)による共感の個人差に効果的な塩基多型の検証や、fMRIなどを用いた共感を支える脳ネットワークの因果関係の推定など、より精緻に共感のメカニズムを検証可能な方法論からその連関メカニズムに迫ることが重要であると考えられる。このような研究の実施には、遺伝学・神経科学・心理学が共同で行う大規模な学際的研究が必須であると考えられる。本論文で述べた組織的モデルとイメージング・ジェネティクス的方法論を組み合わせた視点が(Figure 1)、これらの学問領域の共感に対する共通の枠組みを提供し、学際的な研究を推進する一助となることを期待する。

引用文献

Abu-Akel, A., & Shamay-Tsoory, S. (2011). Neuroanatomical and neurochemical bases of theory of mind. *Neuropsychologia*, **49**, 2971-2984.

Batson, C. D. (2009). These things called empathy: Eight related but distinct phenomena. In J. Decety, & W. Ickes (Eds.), *The social neuroscience of empathy*. Cambridge, MA: MIT Press. pp. 3-15. doi: 10.7551/mitpress/9780262012973.003.0002

Belsky, J., Jonassaint, C., Pluess, M., Stanton, M., Brummett, B., & Williams, R. (2009). Vulnerability genes or plasticity genes? *Molecular Psychiatry*, **14**, 746-754.

Buhle, J. T., Silvers, J. A., Wager, T. D., Lopez, R., Onyemekwu, C., Kober, H., Weber, J., & Ochsner, K. N. (2014). Cognitive reappraisal of emotion: A

meta-analysis of human neuroimaging studies. *Cerebral Cortex*, **24**, 2981-2990.

Canli, T. (2009). Molecular biology and genomic imaging in social and personality psychology. In E. Harmon-Jones, & J. S. Beer (Eds.), *Methods in social neuroscience*. New York, NY: Guilford Press. pp. 295-312.

Cheng, Y., Lin, C. P., Liu, H. L., Hsu, Y. Y., Lim, K. E., Hung, D., & Decety, J. (2007). Expertise modulates the perception of pain in others. *Current Biology*, **17**, 1708-1713.

Davis, M. H. (1994). *Empathy: A social psychological approach*. Boulder, CO: Westview Press. (デイヴィス, M. H. 菊池章夫 (訳) (1999). 共感の社会心理学 川島書店)

Davis, M. H. (2006). Empathy. In J. E. Stets, J. H. Turner (Eds.), *Handbook of the sociology of emotions*. Boston, MA: Springer US. pp. 443-466.

Decety, J., & Svetlova, M. (2012). Putting together phylogenetic and ontogenetic perspectives on empathy. *Developmental Cognitive Neuroscience*, **2**, 1-24.

Decety, J., Yang, C. Y., & Cheng, Y. (2010). Physicians down-regulate their pain empathy response: An event-related brain potential study. *NeuroImage*, **50**, 1676-1682.

Denny, B. T., Kober, H., Wager, T. D., & Ochsner, K. N. (2012). A meta-analysis of functional neuroimaging studies of self- and other judgments reveals a spatial gradient for mentalizing in medial prefrontal cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience*, **24**, 1742-1752.

Dumontheil, I., Apperly, I. A., & Blakemore, S. J. (2010). Online usage of theory of mind continues to develop in late adolescence. *Developmental Science*, **13**, 331-338.

Eisenberg, N., & Eggum, N. D. (2009). Empathic responding: Sympathy and personal distress. In J. Decety, & W. Ickes (Eds.), *The social neuroscience of empathy*. Cambridge, MA: MIT Press. pp. 71-84.

Eley, T. C., Sugden, K., Corsico, A., Gregory, A. M., Sham, P., McGuffin, P., Plomin, R., & Craig, I. W. (2004). Gene-environment interaction analysis of serotonin system markers with adolescent depression. *Molecular Psychiatry*, **9**, 908-915.

Engen, H. G., & Singer, T. (2013). Empathy circuits. *Current Opinion in Neurobiology*, **23**, 275-282.

Epley, N., Keysar, B., Van Boven, L., & Gilovich, T. (2004). Perspective taking as egocentric anchoring and adjustment. *Journal of Personality and Social Psychology*, **87**, 327-339.

古見文一・子安増生 (2012). ロールプレイ体験がマインドリーディングの活性化に及ぼす効果 心理学研究, **83**, 18-26.

Hariri, A. R., Drabant, E. M., & Weinberger, D. R. (2006). Imaging genetics: Perspectives from studies of genetically driven variation in serotonin function and corticolimbic affective processing.

- Biological Psychiatry*, **59**, 888–897.
- Hariri, A., & Weinberger, D. R. (2003). Imaging genomics. *British Medical Bulletin*, **65**, 259–270.
- Hein, G., Silani, G., Preuschoff, K., Batson, C. D., & Singer, T. (2010). Neural responses to ingroup and outgroup members' suffering predict individual differences in costly helping. *Neuron*, **68**, 149–160.
- Himichi, T., Fujita, H., & Nomura, M. (2015). Negative emotions impact lateral prefrontal cortex activation during theory of mind: An fNIRS study. *Social Neuroscience*, **10**, 605–615.
- Himichi, T., & Nomura, M. (2015). Modulation of empathy in the left ventrolateral prefrontal cortex facilitates altruistic behavior: An fNIRS study. *Journal of Integrative Neuroscience*, **14**, 207–222.
- Iacoboni, M., Woods, R. P., Brass, M., Bekkering, H., Mazziotta, J. C., & Rizzolatti, G. (1999). Cortical mechanisms of human imitation. *Science*, **286**, 2526–2528.
- Jackson, P. L., Meltzoff, A. N., & Decety, J. (2005). How do we perceive the pain of others? A window into the neural processes involved in empathy. *NeuroImage*, **24**, 771–779.
- Keysar, B., Barr, D. J., Balin, J. A., & Brauner, J. S. (2000). Taking perspective in conversation: The role of mutual knowledge in comprehension. *Psychological Science*, **11**, 32–38.
- Kim, H. S., Sherman, D. K., Sasaki, J. Y., Xu, J., Chu, T. Q., Ryu, C., Suh, E. M., Graham, K., & Taylor, S. E. (2010). Culture, distress, and oxytocin receptor polymorphism (OXTR) interact to influence emotional support seeking. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **107**, 15717–15721.
- Knafo, A., Zahn-Waxler, C., Davidov, M., Van Hulle, C., Robinson, J. L., & Rhee, S. H. (2009). Empathy in early childhood: Genetic, environmental, and affective contributions. *Annals of the New York Academy of Sciences*, **1167**, 103–114.
- Kumsta, R., & Heinrichs, M. (2013). Oxytocin, stress and social behavior: Neurogenetics of the human oxytocin system. *Current Opinion in Neurobiology*, **23**, 11–16.
- Lamm, C., Decety, J., & Singer, T. (2011). Meta-analytic evidence for common and distinct neural networks associated with directly experienced pain and empathy for pain. *NeuroImage*, **54**, 2492–2502.
- Lamm, C., Meltzoff, A. N., & Decety, J. (2010). How do we empathize with someone who is not like us? A functional magnetic resonance imaging study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, **22**, 362–376.
- Luo, S., Ma, Y., Liu, Y., Li, B., Wang, C., Shi, Z., Li, X., Zhang, W., Rao, Y., & Han, S. (2015). Interaction between oxytocin receptor polymorphism and interdependent culture values on human empathy. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, **10**, 1273–1281.
- van der Meer, L., Groenewold, N. A., Nolen, W. A., Pijnenborg, M., & Aleman, A. (2011). Inhibit yourself and understand the other: Neural basis of distinct processes underlying Theory of Mind. *NeuroImage*, **56**, 2364–2374.
- Masten, C. L., Morelli, S. A., & Eisenberger, N. I. (2011). An fMRI investigation of empathy for “social pain” and subsequent prosocial behavior. *NeuroImage*, **55**, 381–388.
- Meyer-Lindenberg, A., Domes, G., Kirsch, P., & Heinrichs, M. (2011). Oxytocin and vasopressin in the human brain: Social neuropeptides for translational medicine. *Nature Reviews Neuroscience*, **12**, 524–538.
- Nishina, K., Takagishi, H., Inoue-Murayama, M., Takahashi, H., & Yamagishi, T. (2015). Polymorphism of the oxytocin receptor gene modulates behavioral and attitudinal trust among men but not women. *PLoS ONE*, **10**, e0137089.
- 野村理朗 (2008). 神経科学の観点から——感情と行動。脳、遺伝子の連関について——感情心理学研究, **16**, 143–155.
- Nomura, M., Kusumi, I., Kaneko, M., Masui, T., Daijui, M., Ueno, T., Koyama, T., & Nomura, Y. (2006). Involvement of a polymorphism in the 5-HT_{2A} receptor gene in impulsive behavior. *Psychopharmacology*, **187**, 30–35.
- Nomura, M., & Nomura, Y. (2006). Psychological, neuroimaging, and biochemical studies on functional association between impulsive behavior and the 5-HT_{2A} receptor gene polymorphism in humans. *Annals of the New York Academy of Sciences*, **1086**, 134–143.
- Nomura, Y., Ogawa, T., & Nomura, M. (2010). Perspective taking associated with social relationships: A NIRS study. *Neuroreport*, **21**, 1100–1105.
- Ohtsubo, Y., Matsunaga, M., Komiya, A., Tanaka, H., Mifune, N., & Yagi, A. (2014). Oxytocin receptor gene (OXTR) polymorphism and self-punishment after an unintentional transgression. *Personality and Individual Differences*, **69**, 182–186.
- Preston, S. D., & Hofelich, A. J. (2012). The many faces of empathy: Parsing empathic phenomena through a proximate, dynamic-systems view of representing the other in the self. *Emotion Review*, **4**, 24–33.
- Preston, S. D., & de Waal, F. B. M. (2002). Empathy: Its ultimate and proximate bases. *Behavioral and Brain Sciences*, **25**, 1–20, discussion 20–71.
- Ray, R. D., & Zald, D. H. (2012). Anatomical insights into the interaction of emotion and cognition in the prefrontal cortex. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, **36**, 479–501.
- Rodrigues, S. M., Saslow, L. R., Garcia, N., John, O. P., & Keltner, D. (2009). Oxytocin receptor genetic variation relates to empathy and stress reactivity in humans. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **106**, 21437–21441.

- Rushton, J. P., Fulker, D. W., Neale, M. C., Nias, D. K., & Eysenck, H. J. (1986). Altruism and aggression: The heritability of individual differences. *Journal of Personality and Social Psychology*, **50**, 1192-1198.
- Samson, D., Apperly, I. A., Chiavarino, C., & Humphreys, G. W. (2004). Left temporoparietal junction is necessary for representing someone else's belief. *Nature Neuroscience*, **7**, 499-500.
- Samson, D., Apperly, I. A., Kathirgamanathan, U., & Humphreys, G. W. (2005). Seeing it my way: A case of a selective deficit in inhibiting self-perspective. *Brain*, **128**, 1102-1111.
- Samson, D., Apperly, I. A., & Humphreys, G. W. (2007). Error analyses reveal contrasting deficits in "theory of mind": Neuropsychological evidence from a 3-option false belief task. *Neuropsychologia*, **45**, 2561-2569.
- Samson, D., Houthuys, S., & Humphreys, G. W. (2015). Self-perspective inhibition deficits cannot be explained by general executive control difficulties. *Cortex*, **70**, 189-201.
- Schaefer, A., Nils, F., Sanchez, X., & Philippot, P. (2010). Assessing the effectiveness of a large database of emotion-eliciting films: A new tool for emotion researchers. *Cognition & Emotion*, **24**, 1153-1172.
- Schurz, M., Radua, J., Aichhorn, M., Richlan, F., & Perner, J. (2014). Fractionating theory of mind: A meta-analysis of functional brain imaging studies. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, **42**, 9-34.
- Shamay-Tsoory, S. G., Aharon-Peretz, J., & Perry, D. (2009). Two systems for empathy: A double dissociation between emotional and cognitive empathy in inferior frontal gyrus versus ventromedial prefrontal lesions. *Brain*, **132**, 617-627.
- Singer, T., Seymour, B., O'Doherty, J., Kaube, H., Dolan, R. J., & Frith, C. D. (2004). Empathy for pain involves the affective but not sensory components of pain. *Science*, **303**, 1157-1162.
- Singer, T., & Lamm, C. (2009). The social neuroscience of empathy. *Annals of the New York Academy of Sciences*, **1156**, 81-96.
- Smith, K. E., Porges, E. C., Norman, G. J., Connelly, J. J., & Decety, J. (2014). Oxytocin receptor gene variation predicts empathic concern and autonomic arousal while perceiving harm to others. *Social Neuroscience*, **9**, 1-9.
- Tanji, J., & Hoshi, E. (2008). Role of the lateral prefrontal cortex in executive behavioral control. *Physiological Reviews*, **88**, 37-57.
- 登張真穂 (2014). 共感の神経イメージング研究から分かること 発達心理学研究, **25**, 421-422.
- Zaki, J., & Ochsner, K. N. (2012). The neuroscience of empathy: Progress, pitfalls and promise. *Nature Neuroscience*, **15**, 675-680.