

総説 (2023年度学会賞受賞招待報告)

利き手における遺伝要因と環境要因 Genetic and environmental factors on handedness

鈴木国威 Kunitake Suzuki ¹,

¹ 就実大学 Shujitsu University

Abstract

We indicate the introduction of the winning-prize research and further direction of the laterality study. First, the recent trends of genetic and environmental factors in handedness research will be presented. Then, we attempt to place the research on laterality among the research subjects awarded the prize in the context of recent research trends. Second, we present two prospects for future laterality research: statistical modeling and the origin of the non-shared environment. The first is to show the caution in statistical modeling used to elucidate genetic and environmental factors in handedness, based on simulation studies. The second is a discussion of non-shared environmental components in handedness. As shown below, the heritability of handedness is considered to be about 20% or so. In other words, the remaining 80% is due to environmental factors, especially non-shared environmental factors. To understand the origin and formation of handedness, it is essential to understand the non-shared environment.

Keywords:

laterality, handedness, genetic factor, environmental factor

側性、利き手、遺伝要因、環境要因

(Received 31 August 2023; accepted 31 August 2023; First Published online 31 March 2024)

(受付日 2023年8月31日、受理日 2023年8月31日、オンライン公開日 2024年3月31日)

Author for Correspondence:

鈴木国威 Kunitake Suzuki, Email: suzuki.res18@gmail.com

本稿は、大きく分けて3部構成である。最初に受賞対象となった研究の概要を簡単に紹介する。受賞対象となった研究のテーマは運動（側性、テンポ）と認知機能（心的回転）である。続いて近年の利き手研究における遺伝要因や環境要因の動向を示す。そして奨励賞受賞対象となった研究のうち側性に関する研究を近年の研究動向に位置づけることを試みる。最終節では、今後の研究の展望を2点示す。一つは、利き手における遺伝要因や環境要因の解明に用いられる統計モデリングの注意点をシミュレーション研究から示す。二つ目は利き手における非共有環境成分についての考察である。下記にも示されるが利き手の遺伝率は20数%程度であると考えられている。言い方を変えれば、残りの80%程度は環境要因によるものであり、特に非共有環境要因によるものである。利き手の起源や成立を理解するためには、非共有環境の把握は欠かせないと考えられる。

I. 研究概要

1. 研究対象者

奨励賞受賞対象となった研究では、多くの双生児からの協力を得た。青年期以降の双生児では、慶應義塾双生児研究の協力双生児であり、乳幼児から児童は首都圏双子プロジェクトでの協力ご家庭からデータが提供されている（それぞれのプロジェクトの概要論文（Ando et al., 2013, 2020）示されている）。

2. 心的回転

心的回転とは、心に浮かんでいるイメージを回転する能力である。その能力の測定では、呈示された複数の映像から、向きが異なる同じ映像を選択させる。その正答数の平均を性別で比較すると差があることがしばしば報告されている（Lippa et al., 2010; Silverman et al., 2007）。これらの研究は平均の差であるが、双生児からの分析方法を用いると性別が異なる集団の個人差（分散）に着目することが可能となる。そこで、我々の研究（Suzuki et al., 2012）では、分散成分（個人差）に寄与する遺伝要因と環境要因に着目した。その結果、性差（男性の方が遺伝要因の影響が大きいこと）が存在することを示した。

3. パーソナルテンポ

個人ごとに好みのテンポがあり、それらは

歩行や会話の速さなどから観察することが可能である。これらはパーソナルテンポと呼ばれる（McAuley, 2010; Smoll, 1974）。我々の研究（Suzuki & Ando, 2018）において、4歳児の子どもがシンバルを叩く際のテンポに着目し、その遺伝要因と環境要因の影響を検討した。パーソナルテンポでは遺伝要因が観察された。他方、音に合わせて叩く際やその音を思い出しながら叩く場合には、環境要因のみが観察された。

4. 呈示位置を操作した際の手の選択

生後18ヶ月の双生児に対象物の呈示位置を変えた場合に、どちらの手で把握運動を行うかを観察した（Suzuki et al., 2009）。中央に呈示した際の手の選択において、遺伝要因の影響が推察された。

5. 言語刺激科における神経活動

生後6ヶ月から18ヶ月の双生児を対象に、ニュース原稿を読んでいる音声を聞いている最中のヘモグロビン動態を検討した（Suzuki & Ando, 2013）。左半球の脱酸化ヘモグロビン動態に遺伝要因が観察されたため、乳幼児期における神経活動の遺伝要因の関与を推察した。

6. 側性における遺伝要因と環境要因の因子構造

成人の双生児から質問紙法を用いて、側性（利き手、利き足、利き耳）を測定し、その遺伝構造と環境構造を検討した（Suzuki & Ando, 2014）。その結果、遺伝構造における因子構造は6因子であるに対し、環境要因は4因子が抽出された。因子抽出方法を変化させた場合には、因子数は変化するものの、遺伝要因数は環境要因数の方が多かった。また利き手の項目においては、項目に影響を与えている遺伝要因は表現型への系統的なパターン（例えば、細かな技能が必要な動作の項目群に共通な要因など）は観察されなかった。すなわち、遺伝要因は推定されたが、表現型の特徴に対応するような遺伝要因は推定されなかった。これらの遺伝率は20数%程度であった。

II. 利き手研究

1. 近年の利き手研究

近年の利き手における遺伝要因の研究の動向としては、大規模データ、メタ解析及び様々な表現型の中間表現型の研究、などがある。

特に UK biobank などの大規模データベースを利用した研究では、100 万以上のサンプルサイズによる遺伝子の推定が行われ、48 の候補遺伝子を推定している (Cuellar-Partida et al., 2021)。本稿では、奨励対象となった研究と比較するため、双生児の利き手研究を統合したメタ分析 (Pfeifer et al., 2022) と Avalon 縦断データを用いて遺伝率を推定している研究 (Schmitz et al., 2022) を紹介する。

Pfeifer et al. (2022) では、双生児における利き手を検討した複数の研究を統合している。その論文では、双生児では左利きや非右利き (注: 利き手のカテゴリーが研究間で異なることが多い) が単胎児よりも多い傾向があることが示されている。またその傾向が近年になると弱まることや、その原因は単胎児の左利きの増加であることも示している。さらに一卵性と二卵性の双生児の比較研究の統合からは、一卵性の方が二卵性よりも類似していることが示されている。その類似の程度から遺伝率が 20% 程度であることを示している。

Schmitz et al. (2022) では、Avalon 縦断データから SNP による遺伝率を推定している。ここでの注目すべき点は利き手の推定において複数の項目を用いていることである。利き手の遺伝率を算出している研究では、利き手を 1 項目で推定されることが非常に多いが、複数の項目を用いることで利き手の様々な側面を推定することが可能となる。Schmitz では、6 項目の利き手項目とその合成指標を用いて遺伝率を推定した。各項目の遺伝率は 20% ~ 40% 程度に散らばっていること、合成指標は 20% 程度であることが示された。利き手においては、合成指標の遺伝率はやや過小評価される可能性が示唆されている。

2. 我々の研究の位置づけ

利き手に関する研究において、遺伝率を推定した研究 (Suzuki & Ando, 2014) では遺伝率が 18~24% であり、紹介したメタ分析を用いた研究との値と一致している。そのため再現性という観点から我々の研究は適切な知見を提供したと考えられる。また、遺伝率に関しては、先行研究 (Schmitz et al., 2022) が示しているように、複数の項目による評価が利き手への多面的な評価につながる可能性がある。我々の研究では、複数の項目を使用し利き手を評価している。そのため多くの双生児研究や遺伝を検討する研究で採用されている単一項目での測定よりも、利き手のメカニズムの理

解に寄与する可能性が高いと考えられる。さらに、我々の研究では、利き手の遺伝構造と環境構造を示していることが、利き手の知見への寄与に繋がっていると考えられる。利き手が多数の遺伝要因によって影響を受けることは多数の研究で示されている (Armour et al., 2014; Cuellar-Partida et al., 2021; Ocklenburg et al., 2014; Sha et al., 2021)。我々の研究が示したのは、利き手の潜在因子としての構造ではあるが、構造の解明によって遺伝や環境要因の実体を探すのに貢献すると考えられる。

生後 18 ヶ月の幼児を対象とした研究 (Suzuki et al., 2009) では、物体の呈示位置を操作したことにより、視覚的な経験の変化をもたらした可能性がある。この解釈が妥当であるならば、ここで得られた知見は初期の視覚的経験の理解につながることを期待できる。さらに投稿準備中の研究 (要求される運動の複雑さの違いによる遺伝率への影響) から、視覚経験のみならず視覚運動協応による経験を、左右差の発達初期における経験の重要さとして拡張できるのではないかと考えている。

利き手や側性に関する研究はいまだに未知の領域が残されている。上記の長所をより生かすためには、今後はデータベースを利用し、他の変数との関連性を積極的にやりたいと考えている。

III. 今後の研究に向けて

最後の節では利き手研究における統計モデリングの使用の注意点を得るためにシミュレーション研究を紹介する (鈴木が 2018 年、2019 年に日本双生児研究会学術講演会にて発表したものを一部改変)。続いて、利き手に大きな影響を与えている非共有環境要因について、それらを構成する要因の可能性を議論する。

1. 質的変量における統計モデリング

利き手のデータは量的変量として得られることは少ない。多くのデータは質的変量であり、2 値 (右利き、左利き) や 3 値 (右利き、両利き、左利き) として得られる。遺伝率を推定するには、双生児から得られたデータを統計モデリングに適用させるが (Neale & Cardon, 2010)、多くの統計モデリングは量的変量の適用を前提にされていることが多い。質的変量の場合には、その生成過程に正規分布を仮定し、その量的変量を区分する閾値を想定する。このようなデータにおいてはテト

ラコリック相関係数を算出することで関連性を示すことが可能である。

最初に示すシミュレーションでは、ある特定の相関係数を満たす量的な2変量を生成し、それらを分割することで質的変量に変換した。その質的変量にテトラコリック相関係数を算出し、その変動について考察を行った。続くシミュレーションでは、相加的遺伝要因、共有環境要因、非共有環境要因による影響の大きさを設定し、上記のようなデータを生成後、それらの要因による大きさを推定した。

1) シミュレーション1

設定された相関係数は0.10、0.25、0.50、0.75、0.90であった。サンプルサイズを1000とし、RのMASSライブラリーの関数であるmvrnorm()を使用して、正規分布を仮定した2変量データを生成した。生成されたデータはz得点が-2.50から2.50の範囲で0.10ずつ刻んだ閾値を設定し、2値順序尺度データに変換された。2値データをpsychライブラリーのtetrachoric()を使用し、2段階推定法によってテトラコリック相関係数を算出した。シミュレーション回数は1000であった。

シミュレーションによるテトラコリック相関係数の平均、標準誤差(テトラコリック相関係数の標準偏差)をFigure 1に示す。Figure 1より閾値が-1から1の範囲はおおよそ設定された相関係数と推定されたテトラコリック相関係数は一致していることが明らかとなった。閾値の絶対値が1を超えると設定された相関係数が0.50以下の場合には、推定値に著しい過大方向へのバイアスが生じた。特に設定された相関係数が0.10の場合には、閾値の絶対値が1.50を超えた付近から推定値が

10%、閾値の絶対値が2.00以上の際には60%~300%のバイアスが確認された。設定された相関係数が0.75と0.90の時には、閾値の絶対値が2.00を超えると1%~2%程度のバイアスが存在した。

Figure 1より標準誤差は設定された相関係数が小さくなるにつれて増大した。また、閾値の絶対値が1を超えると設定された相関係数に関わらず標準誤差が上昇し始めた。ただし、閾値の絶対値が2を越え始めると、設定された相関係数が0.50以下の場合には標準誤差が減少し始めた。

本研究結果と先行研究(Verhulst & Neale, 2021)を比較する。先行研究では、推定されたテトラコリック相関係数の平均は設定された相関係数(0.70)と、すべての閾値においてほぼ同じであった。本研究においても、設定された相関係数が高い場合(0.90、0.75)には、推定された相関係数の平均は設定された値とほぼ同じであった。他方、本研究では低い相関係数を設定した際に、閾値の絶対値が大きい場合には著しい過大バイアスが生じることも示している。したがって本研究から真の相関係数が小さい場合で且つ閾値が著しく高い場合には、推定されたテトラコリック相関係数に注意を払う必要があることが新たに明らかとなった。

2) シミュレーション2

相加的遺伝要因、共有環境要因を潜在変数とし表現型への影響の大きさ(パス係数)を設定した。相加的遺伝要因からの影響の大きさは0.30、0.50、0.70とし、共有環境要因からの大きさは0.00、0.25とした。非共有環境要因からの大きさは、表現型の分散が1にな

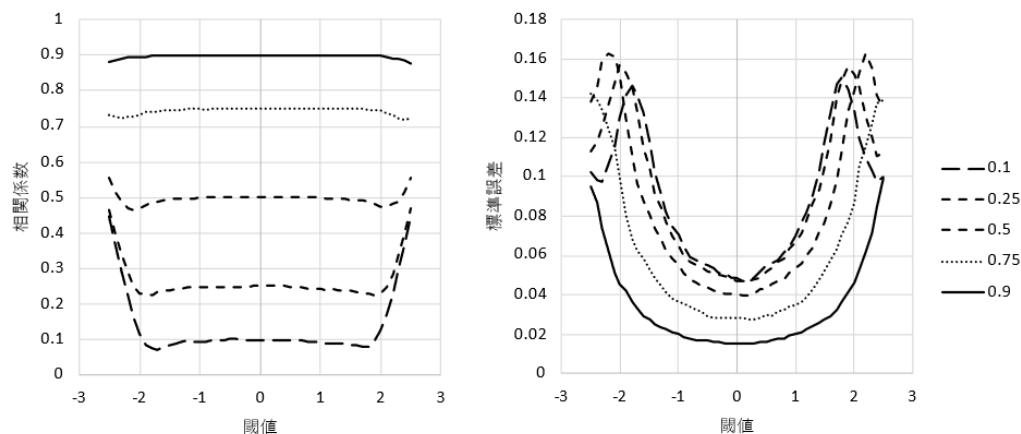


Figure 1 テトラコリック相関係数及び標準誤差

注) 凡例は設定された相関係数。左はテトラコリック相関係数、右は標準誤差を示す

るように相加的遺伝要因と共有環境要因からの大きさから設定された。これらの設定された値から一卵性双生児と二卵性双生児の分散共分散行列を設定し、シミュレーション1と同様にデータを生成した。生成された2値データから相加的遺伝要因、共有環境要因、非共有環境要因の大きさをlavaanパッケージのlavaan()を使用し、対角重み付き最小2乗法で推定した。サンプルサイズを1000とし、シミュレーションを1000回実施した。

本稿では相加的遺伝要因が0.30、共有環境要因が0.00、非共有環境要因が0.91に設定された場合の結果を報告する。Figure 2より相加的遺伝要因の大きさはやや小さめに推定された。特に閾値の絶対値が2の時には、相加的遺伝要因からのパス係数が0.20を切ることが示され、著しい過小バイアスが生じることが示された。また共有環境要因からのパス係数も0ではなく小さいながらもバイアスが生じていることが示された。標準誤差において、遺伝要因及び環境要因ともに閾値が0の時に最も値が小さいが、閾値の絶対値が上昇するにつれて、標準誤差が上昇することが示された。また非共有環境要因の標準誤差は他の要因よりも小さいことが示された。先行研究(Verhulst & Neale, 2021)では、相加的遺伝要因の分散の割合を0.50、共有環境要因を0.20、非共有環境要因を0.30と設定したところ、相加的遺伝や共有環境は低く推定された。本研究結果と先行研究の結果は一致していることから、2値データの表現型の相加的遺伝要因と非共有環境要因の大きさを推定する際には、過小評価される可能性が高いこと、特に閾値の絶対値が大きい時には著しいバイアスが生じることが留意する必要があると考えられる。

2. 非共有環境要因について

上記で示したように遺伝率はおよそ20%前後であるが、見方を変えれば分散の大半が非遺伝要因による影響と考えられる。したがって、利き手の理解のためには非共有環境要因の構成を明らかにする必要がある。

MacManus (2021) は、非共有環境要因が回帰モデルにおける残差であることを指摘し、遺伝要因や環境要因の主効果以外の交互作用やランダム性に注目することが、利き手を形成する要因の理解につながることを指摘している。特にランダム性は生物学的に重要であることを指摘している。ランダム性の重要性は、ランダム性を利き手のモデル(Annett, 2013; C. I. McManus, 2002)にも取り入れられていることから窺い知ることが可能である。したがって、ランダム性を理解することが利き手の形成メカニズムの理解につながるのではないかと考えられる。

ランダム性の重要性は生物学では進化的な視点からも議論されおり、遺伝要因から表現型に与える影響の大きさにランダム性があることで、多様性を確保することが指摘されている(Miller, 1997)。ある遺伝子型から多様な異なる表現型を生み出すことで環境の変動にも適応することが容易になるのは間違いない。話は変わるが共有環境要因から表現型への影響の大きさが一般的に小さいことも、適応には有利に働くと指摘されている。共有環境要因が小さいことは、同じ家庭環境で多様性を生み出すことに繋がり、様々な個体が生じることで子孫が生存する確率が上昇するためである。

ランダム性を生み出すメカニズムとしては、エピジェネティックや自己組織化(カオ

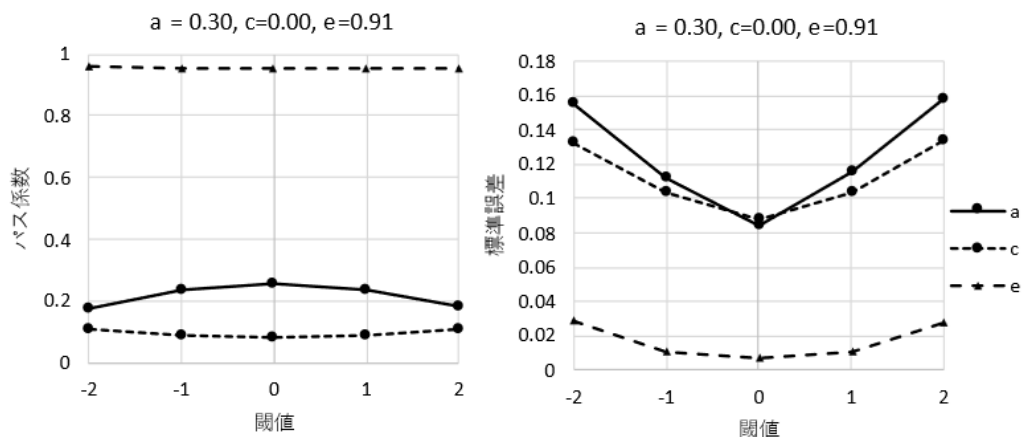


Figure 2 テトラコリック相関係数の標準誤差

注) 凡例は設定された相関係数。左のパネルが推定されたパス係数、右は標準誤差を示す。

ス過程)が指摘されている (Hunter et al., 2022; Molenaar et al., 1993; Tikhodeyev & Shcherbakova, 2019)。これらの論文では、決定論的で自己組織的な発生過程が内在的な変動によって、ランダム性が生じることが示唆されている。また、上記の内在的な変動はエピジェネティックによる可能性も指摘されている。すなわち、ランダム性はノイズではなく、特定の生物学的なメカニズムによって生じるものと理解する必要がある。

利き手においても、ランダム性はノイズではなく、自己組織的な内在的な変動として捉えることが重要であるかもしれない。利き手におけるエピジェネティックスの重要性は、Schmitz et al. (2017)でも議論されている。ここでは、利き手の家族研究における高い遺伝率 (66%程度)とGWASにおける低い遺伝率との乖離から、DNAの変異とは関連がないエピジェネティックスの継承が議論されている (Schmitz et al., 2017)。この論文ではエピジェネティックスへの効果が大きい環境要因と考えられているのは、胎児期のホルモン暴露、初期の視覚的経験、出生後の養育環境、教育、文化などが挙げられる。これらに着目することは今後必要だと考えられる。

また上記で示したように、ランダム性は非線形な過程であるので、ランダム性をもたらす要因を分離することは容易ではなく、従来とは異なる研究の枠組みが必要であるかもしれない。従来の枠組みでも、交互作用や相互作用を取り扱っていた。しかしながら、要因間の単なる相互作用ではなく、要因間の作用を通じて、システムに新しい特性を生み出すメカニズムを理解することが必要である。そのための理論はオートポイエシスやダイナミカルシステムアプローチなど (Kelso, 1995; Maturana & Varela, 1987; Ward, 2001; 岡林 et al., 2008; 清水博, 1999)があるが、これら枠組みを利用し、利き手の理解のための方法論としてカスタマイズする必要があると考えられる。今後は利き手における非共有環境要因の解明においてランダム性を考慮にいれ、またシミュレーションや理論にとどまらず、実証が可能な方法論を用いて研究に取り組む必要があると考えられる。

謝 辞

日本双生児研究学会での名誉ある奨励研究賞をいただき、大変身が引き締まる思いであります。協力いただいた双生児やそのご家族、

また共同研究者や研究プロジェクトとして支えてくれた多くのスタッフの皆さんには大変感謝しております。

引用文献

- Ando, J., Fujisawa, K. K., Hiraishi, K., Shikishima, C., Kawamoto, T., Nozaki, M., Yamagata, S., Takahashi, Y., Suzuki, K., Someya, Y., Ozaki, K., Deno, M., Tanaka, M., Sasaki, S., Toda, T., Kobayashi, K., Sakagami, M., Okada, M., Kijima, N., ...Murayama, K. (2020):Psychosocial Twin Cohort Studies in Japan: The Keio Twin Research Center (KoTReC). *Twin Research and Human Genetics : The Official Journal of the International Society for Twin Studies*, 37(6), 1–6. <https://doi.org/10.1017/thg.2019.109>
- Ando, J., Fujisawa, K. K., Shikishima, C., Hiraishi, K., Nozaki, M., Yamagata, S., Takahashi, Y., Ozaki, K., Suzuki, K., Deno, M., Sasaki, S., Toda, T., Kobayashi, K., Sugimoto, Y., Okada, M., Kijima, N., Ono, Y., Yoshimura, K., Kakihana, S., ...Ooki, S. (2013):Two cohort and three independent anonymous twin projects at the Keio Twin Research Center (KoTReC). *Twin Research and Human Genetics : The Official Journal of the International Society for Twin Studies*, 16(1), 202–216. <https://doi.org/10.1017/thg.2012.131>
- Annett, M. (2013):Handedness and Brain Asymmetry, The Right Shift Theory. <https://doi.org/10.4324/9780203759646>
- Armour, J. A., Davison, A., & McManus, I. C. (2014):Genome-wide association study of handedness excludes simple genetic models. *Heredity*, 112(3), 221–225. <https://doi.org/10.1038/hdy.2013.93>
- Cuellar-Partida, G., Tung, J. Y., Eriksson, N., Albrecht, E., Aliev, F., Andreassen, O. A., Barroso, I., Beckmann, J. S., Boks, M. P., Boomsma, D. I., Boyd, H. A., Breteler, M. M. B., Campbell, H., Chasman, D. I., Cherkas, L. F., Davies, G., Geus, E. J. C. de, Deary, I. J., Deloukas, P., ...Medland, S. E. (2021):Genome-wide association study identifies 48 common genetic variants associated with handedness. *Nature Human Behaviour*, 5(1), 59–70. <https://doi.org/10.1038/s41562-020-00956-y>
- Hunter, M. D., McKee, K. L., & Turkheimer, E. (2022):Simulated nonlinear genetic and environmental dynamics of complex traits. *Development and Psychopathology*, 1–16. <https://doi.org/10.1017/s0954579421001796>
- Kelso, J. A. S. (1995):Dynamic patterns: The self-organization of brain and behavior. The MIT press.
- Lippa, R. A., Collaer, M. L., & Peters, M. (2010):Sex

- differences in mental rotation and line angle judgments are positively associated with gender equality and economic development across 53 nations. *Archives of Sexual Behavior*, 39(4), 990–997. <https://doi.org/10.1007/s10508-008-9460-8>
- Maturana, H. R., & Varela, F. J. (1987):*The tree of knowledge: The biological roots of human understanding*. New Science Library/Shambhala Publications.
- McAuley, J. D. (2010):*Tempo and Rhythm* (Vol. 36, pp. 165–199):Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6114-3_6
- McManus, C. (2021):Is any but a tiny fraction of handedness variance likely to be due to the external environment? *Laterality*, 26(3), 310–314. <https://doi.org/10.1080/1357650x.2021.1892126>
- McManus, C. I. (2002):*Right Hand, Left Hand*. Harvard University Press.
- Miller, E. M. (1997):Could nonshared environmental variance have evolved to assure diversification through randomness? *Evolution and Human Behavior*, 18(3), 195–221. [https://doi.org/10.1016/s1090-5138\(96\)00117-1](https://doi.org/10.1016/s1090-5138(96)00117-1)
- Molenaar, P. C., Boomsma, D. I., & Dolan, C. V. (1993):A third source of developmental differences. *Behavior Genetics*, 23(6), 519–524.
- Neale, M., & Cardon, L. (2010):*Methodology for Genetic Studies of Twins and Families*. Springer Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-94-015-8018-2>
- Ocklenburg, S., Beste, C., & Arning, L. (2014):Handedness genetics: considering the phenotype. *Frontiers in Psychology*, 5, 1300. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01300>
- 岡林春雄, Arrow, H., Fogel, A., 河合優年, 小島康次, & 中川正宣. (2008):*心理学におけるダイナミカルシステム理論* (岡林春雄, Ed.). 金子書房.
- Pfeifer, L. S., Schmitz, J., Papadatou-Pastou, M., Peterburs, J., Paracchini, S., & Ocklenburg, S. (2022):Handedness in twins: meta-analyses. *BMC Psychology*, 10(1), 11. <https://doi.org/10.1186/s40359-021-00695-3>
- Schmitz, J., Metz, G. A. S., Güntürkün, O., & Ocklenburg, S. (2017):Beyond the genome—Towards an epigenetic understanding of handedness ontogenesis. *Progress in Neurobiology*, 159, 69–89. <https://doi.org/10.1016/j.pneurobio.2017.10.005>
- Schmitz, J., Zheng, M., Lui, K. F. H., McBride, C., Ho, C. S.-H., & Paracchini, S. (2022):Quantitative multidimensional phenotypes improve genetic analysis of laterality traits. *Translational Psychiatry*, 12(1), 68. <https://doi.org/10.1038/s41398-022-01834-z>
- Sha, Z., Schijven, D., Carrion-Castillo, A., Joliot, M., Mazoyer, B., Fisher, S. E., Crivello, F., & Francks, C. (2021):The genetic architecture of structural left–right asymmetry of the human brain. *Nature Human Behaviour*, 5(9), 1226–1239. <https://doi.org/10.1038/s41562-021-01069-w>
- Silverman, I., Choi, J., & Peters, M. (2007):The hunter-gatherer theory of sex differences in spatial abilities: data from 40 countries. *Archives of Sexual Behavior*, 36(2), 261–268. <https://doi.org/10.1007/s10508-006-9168-6>
- 清水博. (1999):*生命と場所 創造する生命の原理*. NTT出版株式会社.
- Smoll, F. L. (1974):Development of rhythmic ability in response to selected tempos. *Perceptual and Motor Skills*, 39, 767–772.
- Suzuki, K., & Ando, J. (2013):Genetic and Environmental Etiology of Infant Hemodynamic Response to Speech Stimuli: A Near-Infrared Spectroscopy Study of Twins. *Psychology*, 04(06), 14–18. <https://doi.org/10.4236/psych.2013.46a2003>
- Suzuki, K., & Ando, J. (2014):Genetic and environmental structure of individual differences in hand, foot, and ear preferences: a twin study. *Laterality*, 19(1), 113–128. <https://doi.org/10.1080/1357650x.2013.790396>
- Suzuki, K., & Ando, J. (2018):Genetic and Environmental Influences on Personal and Rhythmic-Motor-Activity Tempo in Children: A Twin Study. *Japanese Psychological Research*, 60(3), 170–178. <https://doi.org/10.1111/jpr.12188>
- Suzuki, K., Ando, J., & Satou, N. (2009):Genetic effects on infant handedness under spatial constraint conditions. *Developmental Psychobiology*, 51(8), 605–615. <https://doi.org/10.1002/dev.20395>
- Suzuki, K., Shikishima, C., & Ando, J. (2012):Genetic and Environmental Sex Differences in Mental Rotation Ability: A Japanese Twin Study. *Twin Research and Human Genetics : The Official Journal of the International Society for Twin Studies*, 14(05), 437–443. <https://doi.org/10.1375/twin.14.5.437>
- Tikhodeyev, O. N., & Shcherbakova, O. V. (2019):The Problem of Non-Shared Environment in Behavioral Genetics. *Behavior Genetics*, 49(3), 259–269. <https://doi.org/10.1007/s10519-019-09950-1>
- Verhulst, B., & Neale, M. C. (2021):Best Practices for Binary and Ordinal Data Analyses. *Behavior Genetics*, 51(3), 204–214. <https://doi.org/10.1007/s10519-020-10031-x>
- Ward, L. M. (2001):*Dynamical Cognitive Science*. <https://doi.org/10.7551/mitpress/2525.001.0001>