

# 発達初期の個人差の要因及び望ましい養育環境についての考察 —環境要因は、遺伝子発現としての発達に影響を及ぼすか—

長根光男

千葉大学・教育学部

## An analysis of individual differences in early development and ideal educational environment

NAGANE Mitsuo

Faculty of Education, Chiba University, Japan

近年、遺伝と環境の心理学的議論は、行動遺伝学研究の発展により新しい段階に入っている。DNA塩基配列の変化を伴うことなく、環境の影響を受けつつ遺伝子発現を制御するメカニズム（エピジェネティクス, epigenetics）が、分子生物学分野で明らかにされつつある。本稿では、新しい学問領域としてのエピジェネティクスの考え方を踏まえつつ、遺伝要因と環境要因の間の関係を見直し、学校教育や家庭教育において望ましい環境とは何なのかを考察していきたい。

キーワード：発達 (development) 遺伝と環境 (nature-nurture problem) 行動遺伝学 (behavioral genetics)  
エピジェネティクス (epigenetics) 個人差 (individual differences)

### 1. はじめに

筆者は小学校教員として長く教育現場に在籍した経験から、幼少期の環境要因が心身の発達において重要であることを実感している。さて、この発達における遺伝か環境の関係は、氏か育ちか、Nature or Nurture? の論争であり、古代から人々の関心事であった。心理学においてもGesell, A.の成熟優位説、Watson, J. B.の環境優位説など学問上の検討が長く行われた。現在では、遺伝と環境は相互に深く関わっていることが確認されている。

その後、研究者や教育実践者の関心は、育ちとしてのどのような環境的要因が重要な役割を果たすかに向いていった。さて、この個人差を生じる要因とは一体何であろうか。どのような生育環境と関わっているのだろうか。筆者は視点として、個人差とは何に起因しているのかを問題意識とし検討したい。

本稿では、まず最初に心理学者が遺伝と環境の問題を検討する時によく用いる双生児法の研究手法や成果を分析する。一卵性双生児 (monozygotic twin) は、異なる環境要因で生育しても、風貌や知的能力等が似ていることが指摘される。しかしながら、微妙な双生児間の差異をどう理解したらよいのであろうか。また、知能以外の他の側面、例えばパーソナリティはどうかであろうか (cf. Markon et al. 2002)。更に二卵性双生児 (dizygotic twin) との差をどう理解したらよいのであろうか。

次に、Nelson, C.のルーマニア孤児養育に関する研究を取り上げる。この研究においては、環境要因の主効果は全体的傾向としてよく示されている。しかし、筆者

が関心を寄せていることは、個人差としてのバリエーションをどう扱うべきかである。特に教育においては、個人差を単なるノイズとして処理すべきではないと思う。

以上の考察を通して、標題の環境が遺伝子発現、および現象としての成長や発達にどのような影響を与えるかを分析する。なお本稿では、環境要因としての「経験」は、心理学用語の「学習 (learning)」とほぼ同義語として扱っている。

### 2. 発達は、遺伝と環境要因の影響を受ける

まず著名な2つの研究報告から検討していきたい。最初に、別々に育てられた双生児についてのミネソタ双子養子研究 (MISTRA: Minnesota Study of Twins Reared Apart., Bouchard, Lykken et al. 1990) をとりあげる。この論文は、ヒトの行動遺伝学で最も多用される手法の一つ、双生児法 (twin method) を用いている。ひとつの受精卵から全く遺伝的に同じ胚2つに分割される一卵性双生児では、ゲノムDNAのATGC (Adenine, Thymine, Guanine, Cytosine) の塩基配列は全く同じである。それに比べ、二卵性双生児は排卵や受精、出生時期に時間差があり、兄弟姉妹とほぼ同一である。

#### ① Bouchardのミネソタ研究

Bouchardらのミネソタ研究では、別々に育てられた一卵性双生児59組と二卵性双生児47組、さらに一緒に育てられた多くの一卵性および二卵性双生児が対象とされた。19歳から68歳の年齢の双生児達は、コホート研究としてミネソタ大学で知能テスト、適正・職業調査、家庭環境調査とMMPI (Minnesota Multiphasic Personality Inventory) で測定したパーソナリティテストを受け

連絡先著者：長根光男

た。

得られた結果は、一種のクローン個体である一卵性双生児は、二卵性双生児に比べて、両者が同じ家庭環境で育てられたか否かにかかわらず、すべての心理学的側面において互いに類似していた。例えばウェクスラー知能指数(WAIS)の相関係数は、一緒に成長した一卵性双生児(MZT)で0.88であり、別々に成長(MZA)したのは、0.69であった。遺伝的な要因以外は、ほとんど影響をもたらさなかった。

ここで筆者は、一卵性双生児は遺伝的に同一でも、なぜ個別的差異が生じたのかの十分な説明がなされていないことに着目したい。

Bouchardは、パーソナリティーへの遺伝的影響にも言及し、次のように述べている(Bouchard 1994)。1980年代の初めまでは、サンプルサイズも小さく評価項目も定まらない双生児研究であった。

遺伝率の推定(heritability estimate)は、極めて単純な方法であり、一卵性双生児の相関係数から二卵性双生児の相関係数を引いた値を2倍した値で評価された。典型的な結果では、パーソナリティーの多様性の50%が遺伝素因によるものとされた(注、Bouchard 1994ではこの考え方を批判している)。

共有する家庭環境の影響は、二卵性双生児の相関係数から一卵性双生児の相関係数を引いて算出され、パーソナリティーへの影響は非常に小さいと結論づけられた。このような単純な方法の前提として、二卵性双生児は遺伝子の半分が同じあること、遺伝子は付加的な影響を及ぼすこと、一卵性双生児も二卵性双生児も同じ程度の共有環境因子を経験するとの想定があった。

これは当時の行動遺伝学(behavioral genetics)の研究がまだ十分に進んでいないこと、また、複数の変数の背後にある遺伝と環境の関連を分析する多変量遺伝解析手法が確立されていなかったことを反映していると思われる。

現在、遺伝率とは、ある形質についての全変異量が、比較対象とされる被験者間でどの程度の変異が共通であるかを比較することによって決定されている。

進展やまない行動遺伝学の研究は、一卵性双生児の差異が生じる機序のみならず、上述の曖昧な前提条件そのものを見直し始めている。

## ② Nelsonのルーマニア孤児養育に関する研究

次に、ルーマニアで行われた孤児の養育(The Bucharest Early Intervention Project)に関する研究(Nelson, Zeanah et al. 2007)を検討する。Nelson, Cらは、ソーシャルワーカーらと連携をとりながら、ブカレストに里親制度(foster care)を立ち上げた。Nelsonらは養護施設で生活している子供の一部を無作為に選んで里親に預け、認知発達(cognitive development: developmental and intelligence quotient)を比較するための一連の標準的なテストを用い、施設に残った子ども(institutional care)と比較した。42ヵ月または54ヵ月後にテストを行ったところ、全体として施設から出て里親として生活した子ども達は、コントロール群である施設に入った経験のない子ども達には及ばなかったものの、施設に残っ

た子どもよりも認知的遅れ(cognitive delay)の回復を示した。

この研究から、介入(intervention)のタイミングの問題はあるが、より望ましい環境としての里親に出されるのが早いほど、知的発達も進むことが明らかになった。この研究から、養護施設の孤児を里親による養育に委ねると孤児の認知発達が進むことが明らかになり、孤児の養育は、養護施設より里親の元で行う方が望ましい(Foster care in Romania better than orphanages)との結論が得られている。

Nelsonらの研究においても、データに大きな標準偏差(SD)や標準誤差(SE)、すなわち分散(variance)の大きさが認められるにもかかわらず、劣悪な環境が与える個人差についての説明が十分になされていない。

## ③ 野生児を巡る論争

最後に野生児の報告について検討する。幼少時にオオカミに育てられ、その後、人間社会に復帰したオオカミ少女は、人間社会に戻ってから一生、言葉を使えるようになることはなかった(ゲセル, 生月訳 1972)。これは幼少期の経験によって、一生に渡り不可逆的に行動の方向づけを受けた事例として報告されている。

この事例は、幼少期のある一定の時期に、環境要因による刺激が対応する遺伝的プログラム発現の誘因になったと考えることができる。そして臨界期は発達上、極めて重要な時期であり、この臨界期にどのような経験をしたのかが、不可逆的に発達を方向づけることに着目したい。

## 3. 遺伝子の発現には、環境要因が関わっている

### ① Caspi, A.らの研究

それでは、遺伝子発現が環境要因とどのように関連しているのであろうか。よく引用される例として、Caspiら(Caspi, McClay et al. 2002)のMAO-A(monoamine oxidase A:モノアミン酸化酵素A)遺伝子と反社会的問題行動(antisocial problems)を起こす子ども達の関係を示した研究成果がある。

X染色体上にあるMAO-A酵素というセロトニンやドーパミンなどの神経伝達物質の酸化を促進させる酵素活性を調節する遺伝子が、ヒトの攻撃性に関わると考えられている。このMAO-A酵素活性が低い遺伝子をもつ子どもが、虐待(victims of maltreatment)のようなストレス環境で育つと、反社会的行動(antisocial problems)を起こしやすくなるという報告である。

Caspiらは、遺伝と環境の関係を調べる興味深い研究を行った。彼らは約1,037人の男子を対象にして出生から成人に至るまで追跡調査を行い、この遺伝子型から予想される発現量の差によって、MAO-A酵素活性が高い群と低い群とに分類し、子ども達が受けた虐待と成長後の反社会的行動との関係を検討した。その結果、MAO-A酵素活性が低い群は、虐待が無い場合は群間の差が認められなかったが、激しかった場合は、成長後の反社会的行動も高いことがされた。他方、MAO-Aの活性が高い群は、反社会的行動はより少ないことが統計的に有意

に示された。

この結果は、反社会的行動においてなぜ個人差が生じるのかを示唆する興味深い研究であり、幼少のときに同じ程度のストレスを受けても、その後に出てくる影響は、MAO-Aの遺伝子型によって差があることを示している。

## ② 環境要因と遺伝子の発現

また、うつ病発現のCaspi論文 (Caspi, Sugden et al. 2003) で示されたように、ストレス環境がセロトニントランスポーター (5-HTT) 遺伝子の転写因子群に影響を及ぼすことが考えられる。虐待などの劣悪な社会環境からのストレスによって、脳内で分泌されるホルモンが誘因になって、遺伝子が発現されると考えられている。しかも遺伝子の発現には個人差があり、それが行動レベルでの個人差として現れたと推測できよう。

このように、心理学的レベルでの個人差には、環境的要因が生理的要因の刺激となり、結果的に遺伝子発現に影響を与えるとメカニズムが想定される。このことは、状況によっては、環境を整えることによって、設計図である遺伝子型 (genotype) の発現、すなわち表現型 (phenotype) としての行動を制御できる可能性を示唆するものである。

## 4. エピジェネティクスの研究成果と発達の個人差

### ① エピジェネティクスとは

近年注目すべき学問領域として、遺伝的要因と環境要因の間の関係を解明する分子生物学分野のエピジェネティクス (epigenetics) がある。DNAが巻き付くタンパク質のヒストン (histone) が化学的に修飾される等の染色体を作るクロマチン (chromatin) 構造が変化する現象である。DNAの配列に変化を起こさず、かつ細胞分裂を経て伝達される遺伝子機能の変化やしきみと定義されている。

### ② 教育とエピジェネティクス

エピジェネティクス理論は、教育に関わる典型的な例として、一卵性双生児で遺伝子型は同一にもかかわらず、個体間に違いが認められることの説明理論として考えることができる。すなわち先天的には同じ遺伝情報 (DNA塩基配列) であっても、細胞レベルあるいは個体レベルの形質の表現型が異なること、DNAの配列を変えずに、環境の影響を受けつつ遺伝子発現を制御するメカニズムが、行動に反映されたとらえることができる。このエピジェネティクスのメカニズムが心理学的アウトプットとしての発達の背景に想定されるようになってきている (Gottesman, 2005)。

マーカス、G. (大隅訳 2010) が「心を生みだす遺伝子」で述べているように、遺伝子とは、絶えず変化し続ける世界にうまく対応できる柔軟性をもった有機体を作り出すことにある。従って、遺伝子が実際に何をしているかをみることによって、「生まれと育ち」の真の関係、すなわち環境要因の重要性が指摘されると思われる。

この環境の変化に対応して、エピジェネティクスの遺伝子発現もなされていると想定される。従って、私た

ち教育関係者は個人差 (分散) を検討する時に、今後エピジェネティクス分野も1要因として考えられることを考慮に入れるべきであろう。

## 5. 遺伝子の発現に関わる個人差の要因

実際の心理学的個人差は、遺伝の他に兄弟や双子に共通な経験をする環境 (共有環境) の効果や、それぞれの子どもに特有な経験をする環境 (非共有環境) の効果として考えられる。次に、遺伝子が同じなのに発達の差異が生じる心理学的な環境の影響にも触れたい。

### ① 発達概念の見直し

個々人の発達において、遺伝と環境の相互作用を切り離すことはできない。発達理論で重要なことは、人間は与えられた遺伝子型の発現としての受動的な存在ではなく、環境を変化させる主体的・能動的な存在であることである。そして変化した環境が、遺伝子の発現に何らかの影響を与えていることの認識を持つことであると思われる。これは従来、バイアスとして扱われてきた個人差の要因を、科学研究の俎上にあげることであると考えられる。

前述のBouchard自身 (1994) も、個々人は、主として遺伝子に基づくいろいろな外界からの刺激やできごとの中から、特定のものをピックアップし、ユニークな一連の経験を創り上げていくという動的な発想に転換している。換言すると、人々は自分自身の環境づくりに参加し、自分自身がパーソナリティーを創っていくという斬新な考え方である。

この考えは、学習や新しい環境を経験する機会が、表現型に及ぼす遺伝子型の効果を強めるという動的な生物としての人間発達のとらえ方になると思われる。筆者はさらに、自分に対する自己イメージや他者からの評価も、自分自信を取り巻く環境の構成要素であることから、遺伝子発現を修飾する環境要因として推測している。

## 6. 個人差を生じる経験とは

次に、個人差を考える場合の先駆的な研究業績を見てみよう。

### ① BowlbyとLorentzの共通な視点

Bowlbyのアタッチメント理論 (Maternal Care and Mental Health, Bowlby 1951) に根拠を置く三歳児神話の形成過程および評価に関しては、学説の基礎にLorenz, Kの刷り込み (imprinting) の研究成果が指摘されている (van der Horst, van der Veer et al. 2007)。すなわちBowlbyは、幼少期の経験の重要性を深く認識し、劣悪な環境の発達に及ぼす悪影響を危惧していたと言えよう。

### ② 幼児期と脳の可塑性

幼少期に受けた環境要因の質として、子どものDNA塩基修飾としてのメチル基がDNAに付着するメチル化 (methylation) やヒストンタンパク質のアセチル化

(acetylation)の影響が指摘されている。また幼少期には脳には可塑性(plasticity)があり、遺伝子の配列を変えることなく働き方を長期に渡って別の作用に固定するエピジェネティックな仕組みが発動しやすいと考えられる。

一緒に育てられた双生子も、成長するにしたがって、異なる経験をするようになる。この経験の違いがエピジェネティックな変化を引き起こすのであれば、双生子に生理的相違や行動の違いが生じて当然と考えられる(フランシス・野中訳 2011)。

このように、ある遺伝子の発現を強めると、その生成物が別の遺伝子の発現を強め、それが今度はまた違う遺伝子の発現を抑制するようなネットワークが形成され、この小さなネットワークのなかに、経験の影響が入り込む余地もあることが指摘されている(リドレー・中村他訳 2004)。

## 7. まとめ

筆者が高校生の頃は、生物の授業で、進化論として、Darwin, C.の自然選択(natural selection)説とLamarckの獲得形質の遺伝(inheritance of acquired characteristics)説が紹介され、Darwinの変異は経験から生じるのではなく、個体間の遺伝的相違の結果という説明を受けた。

その後、自然選択の有効性は広く受け入れられているが、それだけが遺伝的構造に変化をもたらしているのではないことが明らかにされている。

### ① 個人差の要因として

一卵性双生児の個人差が生じる第一要因として、まず環境の差異があげられると思われる。第二に、ゲノムのエピジェネティックな変化の可能性が考えられよう。またその他、自己概念の形成等による自己誘導も十分に考えられると思う。

人間の発達初期は、高度に脳が可塑的であることが知られている。この時期は環境から適切な刺激を受けることによって、脳が構造的、機能的に完成されていく時期である。従って、幅広い経験が個人差の背景にあると考えられよう。このことから、筆者は、経験そのものが遺伝子の発現を変えようという基本的な立場(マーカス、大隅訳 2010)が支持されると考える。

### ② 発達期における経験の重要性

では、どのような経験が望ましいのであろうか。まず、目的に対する努力と報酬の回路を確立し、自分が喜びを感じられる活動を日々の生活に取り組むこと。また、家族的なゆくもりのあるふれあいの経験、さらに、特に手を動かす直接経験的な学習や仕事体験の重要性が指摘されよう。現代社会はゲームのようにボタンの操作ひとつで遊べる世界になっている(Lambert 2006)。それゆえテクノロジーに依存しない体験の質的重要性を指摘される。

このように、ひとつずつの経験を踏まえ、それを評価し次に繋げていくという自己に良い環境をもたらす回路

の確立が大切であると考えられる。

### ③ 健全な発達のための環境リスク低減の必要性

発達初期段階における望ましくない環境要因としての不必要なリスクの低減は、最も重要なことであると言える。例えば、胎生期における母体が受ける喫煙、薬剤、心理社会的ストレス、幼少期に受けたいじめ、虐待等があげられよう。このようなダメージは、脳に柔軟な可塑性があったとしても、遺伝子発現に影響を及ぼし、DNAのメチル化などの分子記憶として残り、後の不安定な精神状態や行動の不応を招く可能性が推測される。さらにそれが世代間の負の連鎖を招くことも考えられる。

以上述べてきたことに、まだ十分なエビデンスが示されている訳ではない。また、遺伝子中心主義とそれに対する批判の対立構図が収束していない現状である。しかし、今後この分野の研究がさらに進展していくと、全体像が明らかになっていき、科学的知見をベースにした新たな発達観や教育観が出てくると思われる。

## 謝 辞

筆者らのかつてのエピジェネティックの前段階的研究(長根ら、2000)と、教育心理学系論文の本稿とに関連性見出すことができ、感無量の思いがします。この基礎的な研究を暖かく支援し、また共に研究に従事した埼玉医科大学生理学教室、野村正彦教授(当時)と吉村和法助手(当時)のご指導に深く感謝します。また、三毛ネコの模様形成には、X染色体の不活性化というエピジェネティック現象が関わっていることが見出されていますが、私の関心を持続させてくれた地域ネコ、三毛ネコのニャンゴ(雌)にも感謝します。

## 引用文献

- Bouchard, T.J., Jr., D.T. Lykken, et al. (1990). Sources of human psychological differences: the Minnesota Study of Twins Reared Apart. *Science* 250 (4978): 223-228.
- Bouchard, T.J., Jr. (1994). Genes, environment, and personality. *Science* 264 (5166): 1700-1701.
- Bowlby, J. (1951). Maternal care and mental health. *Bull World Health Organ* 3 (3): 355-533.
- Caspi, A., J. McClay, et al. (2002). Role of genotype in the cycle of violence in maltreated children. *Science* 297 (5582): 851-854.
- Caspi, A., K. Sugden, et al. (2003). Influence of life stress on depression: moderation by a polymorphism in the 5-HTT gene. *Science Signaling* 301 (5631): 386-389.
- フランシス, R.C. 野中香方子訳 (2011). エピジェネティック 操られる遺伝子, ダイアモンド社
- ゲセル, A. 生月雅子訳 (1972). 狼にそだてられた子, 家政教育社
- Gottesman, I.I. Hanson, D.R. (2005). Human Development: Biological and genetic processes. Annual re-

- view of psychology, 56, 263-286, 2005.
- Lambert, K.G. (2006). Rising rates of depression in today's society: consideration of the roles of effort-based rewards and enhanced resilience in day-to-day functioning. *Neurosci Biobehav Rev* 30 (4): 497-510.
- マーカス, G. 大隅典子訳 (2010). 心を生み出す遺伝子 岩波書店
- Markon, K.E., R.F. Krueger, et al. (2002). Normal and abnormal personality traits: Evidence for genetic and environmental relationships in the Minnesota Study of Twins Reared Apart. *Journal of Personality* 70 (5): 661-694.
- 長根光男, 吉村和法, 野村正彦 (2000). SHRラット脳の視床下部および小脳におけるヒストン蛋白質の特異的増大. *埼玉医科大学雑誌* 27 (1): 21-27
- Nelson, C.A., C.H. Zeanah, et al. (2007). Cognitive recovery in socially deprived young children: The Bucharest Early Intervention Project. *Science* 318 (5858): 1937-1940.
- リドレー, M. 中村桂子・斉藤隆央訳 (2004). やわらかな遺伝子, 紀伊國屋書店
- van der Horst, F.C., R. van der Veer, et al. (2007). John Bowlby and ethology: An annotated interview with Robert Hinde. *Attachment & Human Development* 9 (4): 321-335.