

参考文献

■第一章 遺伝子の中ではなく

この章では、遺伝子が私たちの生活や文化の中心となっただけを簡単に説明している。同時にこの視点の欠点と、生物の作られ方を説明するときこの欠点が最も顕著であることも浮き彫りにしている。Mukherjee (2016) は遺伝子の歴史を興味深く語っており、これを補うのが Zimmer's (2018) で、遺伝子研究が人間の歴史と生活にあたえた影響について、異なる切り口だが深く説明している。Mawer (2006) は遺伝学の初期について、端的に解説している。

ここには、さまざまな生物の遺伝学の歴史についての参考文献も含めた。多くの遺伝子の名や略称が生まれた過程を明らかにするものだ。ほとんどの文献は遺伝子の魔法の力と私たちの生にあたえる影響に焦点を当てているが、それがどう胚と結びついたかについてはあまり知られていない。以下はその詳細を語っている。ハエについては Gehring (1998)、Gaunt (2019)、Lipshitz (2005)、魚については Nüsslein-Volhard (2012)、Mullins et al. (2021)、マウスについては García- García (2020)。

遺伝学の歴史に大きく貢献した女性については、Korzh and Grunwald (2001)、Richmond (2001)、Steensma, Kyle and Shampo (2010) が紹介している。

最後に、遺伝子中心の観点に対する批判を見つけるのは簡単ではないのだが、D. Noble (2008) and Bahlla (2021) によるクリスパーについてのコメントはよい例だ。Nurse (2020) の著書では、遺伝子と細胞の観点から見た今の生命観をまとめている。

- Bhalla, J. 2021. "We Haven't Really Cracked the Code." *Issues in Science and Technology* 37, no. 4. <https://issues.org/code-breaker-doudna-isaacson-bhalla-review>.
- García- García, M. J. 2020. "A History of Mouse Genetics: From Fancy Mice to Mutations in Every Gene." In *Animal Models of Human Birth Defects*, edited by A. Liu. *Advances in Experimental Medicine and Biology* 1236. Singapore: Springer.
- Gaunt, S. 2019. *Made in the Image of a Fly*. N.p.: Independently published.
- Gehring, W. J. 1998. *Master Control Genes in Development and Evolution: The Homeobox Story*. New Haven, CT: Yale University Press.
- Korzh, V., and D. Grunwald. 2001. "Nadine Dobrovolskaia- Zavadskaia and the Dawn of Developmental Genetics." *BioEssays* 23: 365– 371.
- Lipshitz, H. 2005. "From Fruit Flies to Fallout: Ed Lewis and His Science." *Developmental Dynamics* 232: 529– 546.

- Mawer, S. 2006. *Gregor Mendel: Planting the Seeds of Genetics*. New York: Harry N. Abrams.
- Mukherjee, S. 2016. *The Gene: An Intimate History*. New York: Scribner.
- Mullins, M., J. Navajas Acedo, R. Priya, L. Solnica- Kreel, and S. Wilson. 2021. “The Zebrafish Issue: 25 Years On.” *Development* 148: 1– 6.
- Noble, D. 2008. *The Music of Life: Biology Beyond Genes*. Oxford: Oxford University Press.
- Nurse, P. 2020. *What Is Life? Understand Biology in Five Steps*. Oxford: David Fickling Books.
- Nüsslein- Volhard, C. 2012. “The Zebrafish Issue of Development.” *Development* 139: 4099– 4103.
- Richmond, M. L. 2001. “Women in the Early History of Genetics: William Bateson and the Newnham College Mendelians, 1900– 1910.” *Isis* 92, no. 1: 55– 90.
- Steensma, D. P., R. A. Kyle, and M. Shampo. 2010. “Abbie Lathrop, the ‘Mouse Woman of Granby’: Rodent Fancier and Accidental Genetics Pioneer.” *Mayo Clinic Proceedings* 85, no. 11: e83.
- Zimmer, C. 2018. *She Has Her Mother’s Laugh: The Powers, Perversions, and Potential of Heredity*. New York: Dutton.

■第2章 すべてのものの種子

細胞のように目に見えるものについて書くこと、特に細胞のグループができることや何をしようとしているかを言葉で説明するのは難しい。一方でここ数年の顕微鏡技術の進歩により細胞の動きがリアルタイムで捉えられるようになり、20 年前でも想像すらできなかった世界が明らかになっている。その点、本章は特に容易でなかった。

そっけない部品の羅列にせず言葉でイメージをふくらませようと努めたが、あるレベルを超えると見えているものを言葉で十分に表現することはできなくなる。ネット上に多く出ている動画をご覧になることをお勧めする。アニメーション『The Inner Life of the Cell Animation』(www.youtube.com/watch?v=wJyUtn0O5Y)や、Drew Berry and Etsuko Uno wehi.tv に よ る 『Organelles of a Human Cell (2014)』(www.youtube.com/watch?v=2YCgro6BV8U) は、細胞膜の内側で起こっていることを映像で美しく表現している。Alberts (2019) は、ここで紹介した科学についてもう少し詳しく知りたい方に役立つ基本的な教科書だ。

細胞の存在と役割がどのように知られるようになったか、その歴史は Harris (1999)が、やや学術的に論じている。一方、リン・マーギュリスの先駆的な研究とその意味については Sagan (2012)、Gray (2017)、Sagan and Margulis(1992)で扱っている。彼女の理論から得ら

れた着想が、たとえば Baum and Baum (2020)や、Martijn and Ettema (2013)、Martin、Garg、Zimorski (2015)にある。Arendt (2008)によって細胞タイプの進化という非常に興味深い考察がなされ、謎めいた中心小体については Carvalho-Santos et al. (2011)が研究している。

また、Bray の 2011 年の著書『Wetware』も挙げたい。思考する存在として細胞を簡潔に鋭く解説したもので、この見方は今後、年々拡大していきそうである。生化学者の Nick Lane (2022) は著書『Transformer』で、現在と生命の起源における代謝の側面を探究している。「創発」というものの中心的な問題について理解するのは簡単ではないが、物理学者 Phil Anderson がこれについて書いた 1972 年の小論は、もっと知りたいという人に標準的な参考文献となっている。

- Alberts, Bruce, Alexander Johnson, David Morgan, Karen Hopkin, Keith Roberts, Martin Raff, and Peter Walter. 2019. *Essential Cell Biology*. 5th ed. New York: W. W. Norton & Company.
- Anderson, P. W. 1972. “More Is Different: Broken Symmetry and the Nature of the Hierarchical Structure of Science.” *Science* 177: 393–396.
- Arendt, D. 2008. “The Evolution of Cell Types in Animals: Emerging Principles from Molecular Studies.” *Nature Reviews Genetics* 9: 868–882.
- Baum, B., and D. A. Baum. 2020. “The Merger That Made Us.” *BMC Biology* 18, no. 1: 72. doi: 10.1186/s12915-020-00806-3.
- Bray, D. 2011. *Wetware: A Computer in Every Living Cell*. New Haven, CT: Yale University Press.
- Carvalho- Santos, Z., J. Azimzadeh, J. B. Pereira- Leal, and M. J. Bettencourt-Dias. 2011. “Evolution: Tracing the Origins of Centrioles, Cilia, and Flagella.” *Journal of Cell Biology* 194, no. 2: 165–175. doi: 10.1083/jcb.201011152.
- Gray, M. W. 2017. “Lynn Margulis and the Endosymbiont Hypothesis: 50 Years Later.” *Molecular Biology of the Cell* 28, no. 10: 1285–1287. doi: 10.1091/mbc.E16-07-0509.
- Harris, H. 1999. *The Birth of the Cell*. New Haven, CT: Yale University Press.
- Lane, N. 2022. *Transformer: The Deep Chemistry of Life and Death*. London: Profile Books.
- Martijn, J., and T. J. G. Ettema. 2013. “From Archaeon to Eukaryote: The Evolutionary Dark Ages of the Eukaryotic Cell.” *Biochemical Society Transactions* 41, no. 1: 451–457. doi: 10.1042/BST20120292.
- Martin, W. F., S. Garg, and V. Zimorski. 2015. “Endosymbiotic Theories for Eukaryote Origin.” *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 370, no. 1678: 20140330. doi: 10.1098/rstb.2014.0330.

- Sagan, D. 2012. *Lynn Margulis: The Life and Legacy of a Scientific Rebel*. White River Junction, VT: Chelsea Green.
- Sagan, D., and L. Margulis. 1992. *Acquiring Genomes: A Theory of the Origin of Species*. New York: Basic Books.

■第3章 細胞の社会

単細胞生物から多細胞生物への移行は進化の大きなステップであり、いまだ多くの疑問が残り、明確な説明がない。移行は細胞間のコミュニケーション経路と、細胞の運命に関わる転写因子ファミリーの創発に関係する。細胞の観点から見ると、この移行はクローン多細胞性、つまり1つの細胞から多様な細胞の運命が生まれることに付随している。

このプロセスに関する現在進行中の議論については、Ros-Rocher et al.(2021)や、Grosberg and Strathmann (2007)、Brunet and King (2017)を参照してほしい。多細胞性が人の想像力を捉え、科学者たちは、1990年にS・J・グールド（Gould, S. J.）が名著『ワンダフル・ライフ（Wonderful Life）』で巧みに描いているような探究フェーズに入った。

この章で私は、多細胞性の出現が遺伝子中心の生物学観に挑むだけでなく、ドーキンス（Dawkins、1976、1999）が古典的著書で提唱し、Agren（2021）が論じた「遺伝子中心の進化観」に挑むものであることを示す。複数レベル選択については、Szathmáry and Maynard Smith (1995) で説明されている。Martindale (2005) は遺伝子の観点から、複雑な動物の創発について優れた議論を展開している。細胞生物学の根底にあるメカニズムの観点から、現在の進化に対する見解に異議を唱えることに関心のある人は、Kirschner and Gearhart (2006) を読んでみてほしい。

- Agren, A. 2021. *The Gene's- Eye View of Evolution*. Oxford: Oxford University Press.
- Brunet, T., and N. King. 2017. “The Origin of Animal Multicellularity and Cell Differentiation.” *Developmental Cell* 43: 124– 140.
- Dawkins, R. 1976. *The Selfish Gene*. Oxford: Oxford University Press.
- Dawkins, R. 1999. *The Extended Phenotype: The Long Reach of the Gene*. Oxford: Oxford University Press.
- Gould, S. J. 1990. *Wonderful Life*. New York: W. W. Norton & Company.
- Grosberg, R. K., and R. R. Strathmann. 2007. “The Evolution of Multicellularity: A Minor Major Transition?” *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 38: 621– 654.
- Kirschner, M., and J. Gearhart. 2006. *The Plausibility of Life: Resolving Darwin's Dilemma*. New Haven, CT: Yale University Press.

- Martindale, M. Q. 2005. “The Evolution of Metazoan Axial Properties.” *Nature Reviews Genetics* 6: 917–927.
- Ros- Rocher, N., A. Perez- Posada, M. M. Leger, and I. Ruiz- Trillo. 2021. “The Origin of Animals: An Ancestral Reconstruction of the Unicellular-to-Multicellular Transition. *Open Biology* 11, no. 2: 200359. doi: 10.1098/rsob.200359.
- Szathmáry, E., and J. Maynard Smith. 1995. “The Major Evolutionary Transitions.” *Nature* 374: 227–232. doi: 10.1038/374227a0.

■第4章 再生と復活

遺伝子と細胞がどんな関係にあるのかという謎は、ジョン・ガードン (John Gurdon, 2009) によるカエルのクローン実験によってようやく解き明かされ始めた。ガードンの発見は羊のドリーの誕生で哺乳類にまで広がり、本質的には科学的な発見が、大衆的な現代の伝説のようなものになる。

Myelnikov and Garcia Sancho Sanchez (2017) はこの出来事についての的確に説明しており、Kolata (1997) はさらに広範なクローニングの概要を示す。リプログラミング実験により発生の遺伝的プログラムの概念が明らかになったことは、Peluffo (2015) が説明している。多くの発見が分子生物学の発達と並行していた。Judson の 1996 年の名著の中で、そのあたりが興味深く解説されている。この話の重要な部分が Jacob (1988) の自伝にも見られ、彼が体験したモノーとの画期的な交流について語られている。クローニングと分子生物学の組み合わせから興味深いアイデアが生まれた。Shapiro (2015) が論じた絶滅種の復活などだ。ドリーを生み出した細胞が選ばれた裏話は、Callaway (2016) に基づいている。

ワディントンの発生への影響については Moris, Pina and Martinez Arias (2016) で議論されており、後世の誤解については Pisco, Fouquierd’Herouel, and Huang (2016) で詳しく分析されている。

- Callaway, E. 2016. “Dolly at 20: The Inside Story on the World’s Most Famous Sheep.” *Nature*. June 30. www.scientificamerican.com/article/dolly-at-20-the-inside-story-on-the-world-s-most-famous-sheep.
- Gurdon, J. 2009. “Nuclear Reprogramming in Eggs.” *Nature Medicine* 15: 1141–1144.
- Jacob, F. 1988. *The Statue Within: An Autobiography*, translated by Franklin Philip. New York: Basic Books.
- Judson, H. F. 1996. *The Eighth Day of Creation: The Makers of the Revolution in Biology*. Cold Spring Harbor, NY: Cold Spring Harbor Laboratory Press.

- Kolata, G. 1997. *Clone: The Road to Dolly and the Path Ahead*. New York: William Morrow and Company.
- Maienschein, J. 2014. *Embryos Under the Microscope*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Moris, N., C. Pina, and A. Martinez Arias. 2016. “Transition States and Cell Fate Decisions in Epigenetic Landscapes.” *Nature Reviews Genetics* 17: 693–703.
- Myelnikov, D., and M. Garcia Sancho Sanchez, eds. 2017. *Dolly at Roslin: A Collective Memory Event*. Edinburgh: University of Edinburgh.
- Peluffo, A. E. 2015. “The Genetic Program: Behind the Genesis of an Influential Metaphor.” *Genetics* 200: 685–696.
- Pisco, A. O., A. Fouquier d’Herouel, and S. Huang. 2016. “Conceptual Confusion: The Case of Epigenetics.” *BioRxiv*. doi: <https://doi.org/10.1101/053009>.
- Shapiro, B. 2015. *How to Clone a Mammoth: The Science of De-extinction*. Princeton, NJ: Princeton University Press.

■第5章 動くパターン

コウノトリが赤ちゃんを運んでくるという神話に関しては広くウェブ上に解説がある。Google に聞いてみれば、よい情報が見つかることだろう。パリからなどのヴァリエーションも同様だ。しかし最終的には、すべてが細胞の究極の傑作である卵子の物語に集約される。

M. Cobb (2007) は、見つけにくい哺乳類の卵の探求について詳しく語っている。人が DNA に魅了されてしまう前に胚が私たちに伝えていたことを知るには、S. J. Gould (1977) と Abzhanov (2013) による古典的な著書『Ontogeny and Phylogeny』を参照のこと。それでも遺伝子は、Duboule (2022) で議論されているように、胚の発生と進化の謎にはっきりした痕跡を残した。このなかでは砂時計モデルについても議論している。Richardson (1995) も参照してほしい。

胚が生物を形成する中心にあるのは原腸形成というプロセスと、位置情報という概念だ。どちらも、偉大な科学者でありコミュニケーターでもあるルイス・ウォルパート (Lewis Wolpert, 1996, 2008) により広く知られるようになった。原腸形成が生死よりも大事だという彼の名言については、Hopwood (2022) に語られている。

分節時計についてはプルキエ(Pourquié, 2022) で考察され、鳥類に歯が出現する驚くべき現象は Mitsiadis, Caton, and Cobourne (2006) にある。

胚の科学に関わる人には個性派が多いが、エルンスト・ヘッケルほどカリスマ性があり、物議を醸す人物はいない。Hopwood (2015)、Richards (2008)、Richardson and Keuck (2002) の著作や論文は、この影響力ある生物学者の浮き沈みを追っている。有名なキュヴィエとジ

ヨフロワの論争 (Appel 1987)、ハラーとヴォルフの確執 (Roe 1981)、シュペーマン学派の発展 (Hamburger 1988) に関しても優れた記述がある。

- Abzhanov, A. 2013. “Von Baer’s Law for the Ages: Lost and Found Principles of Developmental Evolution.” *Trends in Genetics* 29: 712– 722.
- Appel, T. 1987. *The Cuvier- Geoffroy Debate: French Biology in the Decades Before Darwin*. Oxford: Oxford University Press.
- Cobb, M. 2007. *The Egg and Spoon Race*. New York: Simon & Schuster.
- Duboule, D. 2022. “The (Unusual) Heuristic Value of Hox Gene Clusters: A Matter of Time?” *Developmental Biology* 484: 75– 87.
- Gould, S. J. 1977. *Ontogeny and Phylogeny*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Hamburger, V. 1988. *The Heritage of Experimental Embryology: Hans Spemann and the Organizer*. Oxford: Oxford University Press.
- Hopwood, N. 2015. *Haeckel’s Embryos*. Chicago: University of Chicago Press.
- Hopwood, N. 2022. “‘Not Birth, Marriage or Death, but Gastrulation’: The Life of a Quotation in Biology.” *British Journal for the History of Science* 55: 1– 26.
- Mitsiadis, T., J. Caton, and M. Cobourne. 2006. “Waking- Up the Sleeping Beauty: Recovery of the Ancestral Bird Odontogenic Program.” *Journal of Experimental Zoology* 306B: 227– 233.
- Pourquié, O. 2022. “A Brief Story of the Segmentation Clock.” *Developmental Biology* 485: 24– 36.
- Richards, R. J. 2008. *The Tragic Sense of Life: Ernst Haeckel and the Struggle over Evolutionary Thought*. Chicago: University of Chicago Press.
- Richardson, M. 1995. “Heterochrony and the Phylotypic Period.” *Developmental Biology* 172: 412– 421.
- Richardson, M., and G. Keuck. 2002. “Haeckel’s ABC of Evolution and Development.” *Biological Reviews* 77: 495– 528.
- Roe, S. A. 1981. *Matter, Life, and Generation: 18th Century Embryology and the Haller– Wolff Debate*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Wolpert, L. 1996. “One Hundred Years of Positional Information.” *Trends in Genetics* 12: 359– 364.
- Wolpert, L. 2008. *The Triumph of the Embryo*. Oxford: Oxford University Press.

子宮の中でのヒトの発生を観察するのは難しいが、過去 150 年間で記録方法は大きく進歩した。このテーマについては Lynn Morgan (2009)が必読書だ。詳しく語られ、社会学と人類学の文脈の中に位置づけている。ニルソン (Nilsson、1965) が、胚や胎児の画像を一般の人々の想像力の中に植えつけた。ウォーノック委員会の活動について興味のある方は、報告書を読んでみることをお勧めする (Warnock 1984、1985)。

- ・ Morgan, L. 2009. *Icons of Life: A Cultural History of Human Embryos*. Berkeley: University of California Press.
- ・ Nilsson, L. 1965. *A Child Is Born*. New York: Dell.
- ・ Warnock, M. 1984. *Report of the Committee of Inquiry into Human Fertilization and Embryology*. London: Her Majesty's Stationery Office.
- ・ Warnock, M. 1985. "The Warnock Report." *British Medical Journal* 291, no. 6493: 489.

■第7章 再生

ここ数年で生物学に革命が起こっている。1970 年代と 80 年代に生体システムの分子分析によって発生や疾病、進化に関する理解が激変したのと同じように、21 世紀の初めには、細胞がこれらのプロセスの原動力であり主役だと認識されるようになった。細胞に関するさらなる詳細については、第二章と第三章の参考文献に戻ってみることをお勧めする。

培養細胞培養に関係する技術の発展については Landecker (2007) が説明しており、Witkowski (1980) は、A・カレルと彼の不死の細胞について興味深い話を詳細に語る。スクルート (Skloot、2010) は、ヘンリエッタ・ラックスと、彼女の細胞が細胞生物学の研究をどう変えたか、個としての人間と細胞の関係を認識させてくれたかを語っている。Grimm (2008)は核兵器実験が生物学に役立った事例について語り、興味深い。

幹細胞の歴史は Maehle (2011)で議論され、ES細胞の発見への道筋は Martin Evans (2011)がうまく要約している。さらに興味があれば、これらの細胞を利用して臓器や組織を構築する現在の技術進歩に関する文献を参照してほしい (Corsini and Knoblich 2022; Dutta, Heo, and Clevers 2017; Sasai, Eiraku, and Suga 2012)。細胞を使って組織や臓器がどのように作られるかを理解しようとする取り組みの発展に関しては、Ball (2019) が非常にわかりやすく説明している。

- ・ Ball, P. 2019. *How to Grow a Human*. Chicago: University of Chicago Press.
- ・ Corsini, N. S., and J. Knoblich. 2022. "Human Organoids: New Strategies and Methods for Analyzing Human Development and Disease." *Cell* 185: 2756–2769.

- Dutta, D., I. Heo, and H. Clevers. 2017. “Disease Modeling in Stem Cell-Derived 3D Organoid Systems.” *Trends in Molecular Medicine* 23: 393– 410.
- Evans, M. 2011. “Discovering Pluripotency: 30 Years of Mouse Stem Cells.” *Nature Reviews Molecular Cell Biology* 12: 680– 686.
- Grimm, D. 2008. “The Mushroom Cloud’s Silver Lining.” *Science* 321: 1434– 1437.
- Landecker, H. 2007. *Culturing Life: How Cells Became Technologies*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Maehle, A. H. 2011. “Ambiguous Cells: The Emergence of the Stem Cell Concept in the Nineteenth and Twentieth Centuries.” *Notes and Records of the Royal Society of London* 65: 359– 378.
- Sasai, Y., M. Eiraku, and H. Suga. 2012. “In Vitro Organogenesis in Three Dimensions: Self- Organizing Stem Cells.” *Development* 139: 4111– 4121.
- Skloot, R. 2010. *The Immortal Life of Henrietta Lacks*. New York: Crown.
- Witkowski, J. A. 1980. “Dr. Carrell’s Immortal Cells.” *Medical History* 24: 129– 142.

■第8章 胚への回帰

細胞には体外で胚の発生の多くの段階を再現する能力がある。これは新規で有望な研究分野だが、これまでこの分野に関する報告はほとんどなかった。7章でも言及した Ball(2019) の『How to Grow a Human』にその一部が記されている。Zernicka-Goetz and Highfield (2020) は、幹細胞から胚を作成する試みについての個人的な話を明かしている。

もっと技術的な議論については、Martinez Arias, Marikawa, and Moris (2022)、Rivron et al.(2018)、Shahbazi, Siggia, and Zernicka- Goetz (2019) を参照されたい。フランスの視覚研究所 (Institut de la Vision) のウェブサイト (<https://transparent-human-embryo.com>) には、ヒト胚の研究に関する膨大な数の美しい資料がある。

- Ball, P. 2012. *Unnatural: The Heretical Idea of Making People*. New York: Vintage Books.
- Martinez Arias, A., Y. Marikawa, and N. Moris. 2022. “Gastruloids: Pluripotent Stem Cell Models of Mammalian Gastrulation and Body Plan Engineering.” *Developmental Biology* 488: 35– 46.
- Rivron, N., J. Frias- Aldeguer, E. J. Vrij, J.- C. Boisset, J. Korving, J. Vivié, R. K. Truckenmüller, A. van Oudenaarden, C. A. van Blitterswijk, and N. Geijsen. 2018. “Blastocyst-like Structures Generated Solely from Stem Cells.” *Nature* 557: 106– 111.
- Shahbazi, M., E. Siggia, and M. Zernicka- Goetz. 2019. “Self- Organization of Stem Cells into Embryos: A Window on Early Mammalian Development.” *Science* 364: 948– 951.

- ・ Zernicka- Goetz, M., and R. Highfield. 2020. *The Dance of Life*. New York: Penguin.

■第9章 人間の本質

ES 細胞から胚に近い構造を生成するという技術進歩は、胚の性質や働きだけでなく、ヒトの本質そのものについても疑問を投げかける。Maienschein (2005) は、議論の比較的理解しやすい側面を選び言及している。ナフィールド生命倫理評議会 の議事録 (Nuffield Council on Bioethics, 2017) は、議論のあらゆる側面からの興味深い寄稿を数多く含み、一読の価値がある。

問題の物質的な側面については、Jamie Davis の 2015 年の著書が優れた説明を提供しており、Hopwood, Flemming, and Kassell(2018) によるコレクションは史料として有用だ。Franklin (2013) は、胚と血縁関係の問題について綿密に議論している。

ヒトの遺伝的多様性の問題は、ラザフォード(Rutherford, 2016) が明解に議論している。最近のポリジェニックスコアに関する複雑な問題について、専門家以外の人を理解しやすい説明を見つけるのはなかなか難しいが、Torkamani, Wineinger, and Topol (2018)が手引きとして役立ちそうだ。Harden (2021) の本は広範な議論を呼んでいる。ぜひ読んで、このスコアの意味についてご自身で判断していただきたい。最後になるが、Sapp (2003) の研究は、過去 2 世紀にわたる生物学の考え方の進歩を明確かつダイレクトに説明している。

- ・ Davis, J. 2015. *Life Unfolding*. Oxford: Oxford University Press.
- ・ Franklin, S. 2013. *Biological Relatives: IVF, Stem Cells, and the Future of Kinship*. Durham, NC: Duke University Press.
- ・ Harden, K. P. 2021. *The Genetic Lottery: Why DNA Matters for Social Equality*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- ・ Hopwood, N., R. Flemming, and L. Kassell, eds. 2018. *Reproduction: Antiquity to the Present*. Cambridge: Cambridge University Press.
- ・ Maienschein, J. 2005. *Whose View of Life? Embryos, Cloning, and Stem Cells*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- ・ Nuffield Council on Bioethics. 2017. *Human Embryo Culture: Discussions Concerning the Statutory Time Limit for Maintaining Human Embryos in Culture in the Light of Some Recent Scientific Discoveries*. London: Nuffield Council on Bioethics.
- ・ Rutherford, A. 2016. *A Brief History of Everyone Who Ever Lived: The Stories in Our Genes*. London: Weidenfeld & Nicolson.
- ・ Sapp, J. 2003. *Genesis: The Evolution of Biology*. Oxford: Oxford University Press.
- ・ Torkamani, A., N. E. Wineinger, and E. Topol. 2018. "The Personal and

Clinical Utility of Polygenic Risk Scores.” *Nature Reviews Genetics* 19: 581–591.

■ エピローグ

やっと細胞がゲノムの陰から顔を出したようだ。2022 年には Siddhartha Mukherjee の『The Song of the Cell』が出版され、ここでの議論に賛同し、私たちの生物学の多くの部分の説明と原因に関して細胞が提供するものを受け入れ、探求する必要があると主張している。

・ Mukherjee, Siddhartha. 2022. *The Song of the Cell*. New York: Scribner.