

脊椎動物の小脳の進化的起源

村上 安則・菅原 文昭

Yasunori MURAKAMI¹⁾ and Fumiaki SUGAHARA²⁾: Origin of the vertebrate cerebellum*

¹⁾ Graduate School of Science and Engineering, Ehime University, Bunkyo 2–5, Matsuyama, Ehime 790–8577, Japan

²⁾ Division of Biology, Hyogo Medical University, Nishinomiya, 1–1 Mukogawa-cho, Hyogo 663–8501, Japan

Email: murakami.yasunori.mu@ehime-u.ac.jp (YM)

https://doi.org/10.60372/paesj.55.0_29

脊椎動物は、およそ5億年にわたる進化の過程で地球上の様々な環境に適応してきた。その過程で外部形態や感覚器が多様化し、環境からの様々な刺激に应答できるようになると同時に、感覚情報の処理や運動の指令を担う脳も、その動物にあった最適なものと進化してきた。この過程を明らかにするには、様々な脊椎動物の「脳を作る仕組み」を調べる必要がある。つまり、脳ができてくる過程や、その際に働く遺伝子を様々な動物で調べ、それらを比較し、共通な要素すなわち「祖先形質」を見いだすことで、我々の脳の起源がいかなるものであったかを知ることができる。

現生脊椎動物は大きく円口類と顎口類に分けられるが、両者の脳はいずれも前方から後方にかけて終脳、間脳、中脳、菱脳にわけられている。顎口類ではさらに小脳がこれに加わる。これらの脳領域は、発生初期に生じる神経管が前後軸に沿って領域化されることで形成される。そして発生後期になると脳領域の間で神経回路が構築されて、高度な情報処理中枢ができあがる。この過程に働く遺伝子について、これまでにマウスやニワトリなどの実験動物を用いて多くの研究がなされ、現在では脳形成の基盤となる遺伝子の発現パターンについて多くの知見が得られている (Murakami 2016)。これを手がかりに、脊椎動物の進化の過程で最初期に分岐した円口類の現生系統であるヤツメウナギ類カワヤツメの発生を調べた結果、その終脳・間脳・中脳・菱脳領域には、顎口類に見られるものと同様の遺伝子が発現しており、それら遺伝子の発現境界も顎口類のそれとよく対応していることが判明した (Murakami et al. 2001)。さらに、円口類のもう一つの系統であるヌタウナギを用いた分子発生学的研究からも同様の結果が得られた (Sugahara et al. 2016)。

このように、脊椎動物の脳が極めて保守的な様相を呈していることが脳の発生機構に関する情報から垣間見える。しかし、古生物学の知見によると、初期の顎口類の

脳の外形は、菱脳部分が相対的に大きく、終脳は極めて小さく、そして小脳は確認できない (Dupret et al. 2014)。こうしたことから、祖先的な脊椎動物の脳形態は現生種とは大きく異なっており、特に小脳は円口類と顎口類の分岐以降に獲得されたと考えられてきた。しかしながら、小脳を作るための場所や遺伝子について円口類の胚を調べた結果、小脳領域のパターニングに関わる遺伝子群は、小脳が痕跡的なヤツメウナギや、小脳を持たないとされるヌタウナギにおいて、顎口類と同様のパターンで発現している事が判明した (Sugahara et al. 2016, 2017)。このことは、小脳の発生機構は、小脳が形態学的に確認できるよりも前にすでに作られており、顎口類の系統において著しく発展したと考えられる。化石種の骨甲類では菱脳の前部背側に明瞭な隆起が見られるため (Stensio 1927)、小脳は顎口類が対鰭や体幹部を発達させていく過程で整備された可能性がある。これらの結果を総合すると、脳の領域化に関わる発生プログラムは円口類と顎口類の分岐以前の段階で確立されていた可能性が高い。つまり、脊椎動物の脳の原型はおおよそ5億年前にはすでに出来上がっていたと考えられる。

引用文献

- Dupret V, S Sanchez, D Goujet, P Tafforeau, PE Ahlberg (2014) A primitive placoderm sheds light on the origin of the jawed vertebrate face. *Nature*, **507**, 500–503.
- Murakami Y (2016) The origin of vertebrate brain centers. In S Shigeno, Y Murakami, T Nomura (eds.), *Brain Evolution by Design: From Neural Origin to Cognitive Architecture (Diversity and Commonality in Animals)*, pp. 215–252. Springer Japan, KK.
- Murakami Y, M Ogasawara, F Sugahara, S Hirano, N Satoh, S Kuratani (2001) Identification and expression of the lamprey Pax6 gene: Evolutionary origin of the segmented brain of vertebrates. *Development*, **128**, 3521–3531.

* Abstract of paper read at the symposium “Evolution of Brain Elaboration: Comparative Embryological Study on Insects and Vertebrates” held in the 58th Annual Meeting of the Arthropodan Embryological Society of Japan, June 24–25, 2022, Matsuyama, Ehime, Japan.

- Stensio EA (1927) The Downtonian and Devonian vertebrates of Spitsbergen. Part 1. Family Cephalaspidae. Det Norske Videnskaps-Akademi I Oslo.
- Sugahara F, J Pascual-Anaya, Y Oisi, S Kuraku, S Aota, N Adachi, W Takagi, T Hirai, N Sato, Y Murakami, S Kuratani (2016) Evidence from cyclostomes for complex regionalization of the ancestral vertebrate brain. *Nature*, **531**, 97–100.
- Sugahara F, Y Murakami, J Pascual-Anaya, S Kuratani (2017) Reconstructing the ancestral vertebrate brain. *Development, Growth & Differentiation*, **59**, 163–174.