

動物の進化能力と酸素濃度変化

研究代表者： 尾内 隆行（形態機能医科学部門・助教）

共同研究者： 飯野 哲（形態機能医科学部門・教授）

概 要	
我々人を含む脊椎動物は、明瞭な頭部を持つことで特徴付けられる。このような形態が如何に進化したかについて、これまで比較形態学の研究により二つの主たる仮説が考えられている。一つは、頭部を体幹部と連続した分節構造とする仮説であり、他方では、頭部は独自の新しく獲得された形態からなると考えられている。このような比較形態学的認識論ではたどり着けないのが、進化の歴史を実験科学として検証することである。本研究ではこの点に着目し、発生システムの変更が如何にある集団内で起こり、変更の先に進化として定着するような現象が成立しうるかをテストするべく、ゼブラフィッシュを用いた個体発生の形態学的多様性を研究する。	
関連キーワード	頭部分節性、環境変動、進化能力、形態進化、温暖化

研究の背景および目的

我々のボディープランはどのような進化の歴史を辿ってきたのだろうか。脊椎動物を含む門である脊索動物は、約 5 億 4 千万年前に地球上に出現したと考えられている。脊索動物の中でも、初期に出現したとされる頭索類ナメクジウオは、体の前端まで高度な分節構造を持ち、筋節、末梢神経、鰓裂は、前後軸に沿って規則的に並ぶ。このような形態が、そのまま脊椎動物に応用されたと考えている学派（分節論）がある（Goethe, 1790）。他方で我々の形態は、頭部においては、体幹部のような規則的な分節構造を取らない特異なもので、そのような祖先から脊椎動物は進化したとする仮説がある（Romer, 1972）。これらの仮説を検証するために我々は、頭索類と円口類、板鰓類、両生類の初期発生を比較し、脊椎動物の頭部の発生は、この動物群独自の細胞の運動が働くことによって成り立つことを明らかにした（Onai et al., 2015, 2017）。右図

係は、単系統をなすとも言われ、その場合、初期脊椎動物が、ナメクジウオのようだったのか、もしくはすでにはっきりとした頭部を持っていたのか

比較形態学や比較発生学を用いた進化研究では、現存する動物の詳細な発生機構を解析することで、過去に起きた進化現象に関する推理を可能にする。またゲノム科学や化石証拠の知見はさらに推理の妥当性を補強する。しかしながら、化石証拠を基にした系統樹に関して、初期脊椎動物の形態がどのようなだったかについては、未解決なままである。初期脊椎動物と考えられているメタスプリギナは、両眼を持ち、体の前端近くまで筋節が伸びる。また初期脊椎動物ハイクエラは、魚のような動物で、体の前まで筋節がのびない。これらの動物の系統関

はわからないということになる（Conway-Morris et al., 2014）。これは歴史科学の現状である。

進化のメカニズムを理解するには、実験科学として、進化の学問分野を発展させる必要がある。地球上に様々な動物門が出現したとされるカンブリア紀では、大気中の酸素濃度が一時的に上昇したと考えられている（Fox D., 2016）。一方このような酸素濃度の上昇と進化の関係性は、いまだによ

くわかっておらず、酸素濃度変化が門レベルの進化を誘導したことに関しては懐疑論も多い。そこで、酸素濃度と進化の関係に着目し、個体発生が集

団としてどのように環境変動に反応し、進化と関連するのかを調べることにした。

研究の内容および成果

ゼブラフィッシュの飼育系の確立：

ゼブラフィッシュを用いて本研究を行うため、ゼブラフィッシュ成体を飼育し、安定的に産卵させるシステムを立ち上げた。水道水では、想定以上に多くの個体が死んでしまったため、RO水を用いたところ、生存率が上昇した。水温は28度で固定し、餌は、市販の粉末状のものとブラインシュリンプを一日数回与えている。また水槽の水換えは、2~3週間に一度全体の30%ほどを交換している。

酸素濃度測定系の確立：

酸素濃度の変化を計測するために、酸素濃度を測定する機材を導入した。導入元は、PlanB社で製品名はUFB生成装置 DISSOLVO2を購入した。DISSOLVO2は、水中の酸素濃度を自在に変化させることができる装置であり、予算の関係からまずは酸素濃度が計測可能な部品のみを購入した。

上の図はその結果である。図に見られるように、水中の酸素濃度は20%から50%までの変動を示すことがわかった。

(2) ゼブラフィッシュ 胚の固定

(1)の条件下において、水槽中でゼブラフィッシュを交尾させ、産卵させたメスから得た胚を48時間後に固定し、その形態要素の相互の関係性を明らかにするため、現在組織切片を作成している。

以下は48時間ゼブラフィッシュ 幼生

現在作成中の組織切片

上は溶存酸素測定中のシステム

対照実験

Control群として、全く酸素濃度を操作していない群を飼育し、その稚魚を発生させてから固定し、組織切片を作成し、三次元再構築を行い、個々形態要素の相対的な位置関係などを計測するために次のような実験を行った。

(1) 溶存酸素濃度の測定

エアレーションを行わず、通常飼育下での溶存酸素がどのくらい変化するのかを明らかにするため、2019年10月から水中の酸素濃度を測定した

(3) 作成した組織切片の3D再構築と計量解析

上記の胚から得られた切片を解析するために、Dragonflyという3D解析ソフトを用い、データの計量を行なっている。Dragonflyには、OpnePNMと呼ばれる、定量programが搭載されており、連続する構造の接触面積、重心、体積などを計測することができる。このprogramを用いることで、ゼブラフィッシュの特に頭部の解剖要素である、脳、眼胞、鼻プラコード、背側動脈、脊索、りょう軟骨、某軸軟骨、顎骨弓、咽頭嚢それぞれの相対的な位置関係や体積の個体間での差異を計測する。

左の図は、体節の 3D 再構築と OpenPNM を用いた計測.

本助成による主な発表論文等、特記事項および 競争的資金・研究助成への申請・獲得状況

「主な発表論文等」

なし

「競争的資金・研究助成への申請・獲得状況」

助成組織・助成制度・種目・期間・研究課題・代表
/分担・採否・採択金額など

なし