

動物園で進化と地球史を学ぶ —教員養成大学・学部における地学・生物教育改善の試み—

河村 愛* 河村 善也**

*富山大学人間発達科学部

**名誉教授

Learning Evolution and Earth History in Zoological Gardens: An Attempt to Improve Earth Science and Biology Education in Educational Universities and Faculties

Ai KAWAMURA* and Yoshinari KAWAMURA**

*Faculty of Human Development, University of Toyama 930-8555, Japan

**Professor Emeritus of Aichi University of Education, Kariya 448-8542, Japan

I. はじめに

動物園は、児童・生徒にとって学校の遠足や校外学習で訪れたり、家族や友人と訪れたりする身近な施設であるが、そこを児童・生徒が教員とともに訪れ、そこで教員の適切な指導が受けられれば、理科の学習の場としてきわめて有用な施設である。小・中学校や高等学校の学習指導要領解説で現行のもの(文部科学省, 2008a, b; 2010) や最近改訂されたもの(文部科学省, 2018 a, b, c) でも、理科の学習にあたっては、児童・生徒の実感を伴った理解を図るために、動物園などの施設の有効な利用が推奨されている。動物園での学習は、ヒトをはじめいろいろな動物の体のしくみや働きを知る上でも、生物進化を学ぶ上でも重要であるが、進化に関してはその背景にある地球史と結びつけての学習が特に重要である。そのような観点に立てば、児童・生徒は動物園で、小学校理科の内容のうち、ヒトやいろいろな動物の体のつくりや運動に関する単元、中学校理科の内容のうち、生物の変遷と進化や地層と化石に関する単元、高等学校理科の「生物」の内容のうち、生物の分類や系統・進化に関する単元、「地学基礎」の内容のうち、古生物の変遷と地球環境に関する単元のそれぞれに関連した学習ができる。

このように有用な施設であっても、動物園での理科の学習の経験がない、あるいはそこで飼育されている動物についての知識や地球史に関する知識が乏しい小・中学校や高等学校の教員にとっては、学校での多

忙な業務の中で、動物園での学習を着想し積極的に計画を立てて実行することは、かなり難しいことではないと思われる。そこで筆者らは、多くの学生が将来、小・中学校や高等学校の教員になる教員養成大学・学部での授業の中に、動物園での学習を取り入れて、学生が将来教員になったときに、動物園を利用した学習を児童・生徒に積極的にに行わせるための経験や知識を与えることを目的に大学での授業実践を行ってきた。本稿では、教員養成大学・学部の学生を対象とした動物園に関する授業で、何をどのように教えるかをまとめるとともに、筆者らがこれらの大学・学部で地学・生物教育改善の試みの一つとして行ってきた動物園での授業実践の例を紹介したい。

II. 日本の動物園と学習の対象

日本動物園水族館協会に加盟している動物園は、同協会のホームページによれば現在 91 園で、それらは北海道から沖縄までの各地にある。そのうち、1 都道府県に 5 園以上あるのは、東京や愛知などの 5 都県であり、一方で加盟園がないのは新潟、岐阜、鳥取など 11 県で、地域的にかなり偏在していることがわかる。また、協会に加盟している動物園にはサファリパークやそれに類する施設もあって、それらには園内での自動車移動などアミューズメントパークとしての性格が強く、学校教育での利用にはかならずしも適していないものもある。一方、加盟園のない上記の 11 県でも近隣

の府県に多くの動物園があって、そこへ出かけてその利用を行うことが可能な場合や、協会に非加盟の小規模園が県内に複数箇所あってその利用が可能な場合も多い。このようなことから、動物園への適切な交通手段が確保できれば、わが国ではどこでも、学校教育で動物園を利用することは、一般にはさほど困難なことではないと思われる。

動物園とならんで、前記の学習指導要領解説でその利用が推奨されている水族館で飼育・展示をしている動物は、動物園とは異なっている。動物園では主に陸棲の脊椎動物が、水族館では主に水棲の脊椎動物と無脊椎動物が飼育・展示されている。ただし動物園でも、アザラシなどの水棲脊椎動物が一部で飼育・展示されていることも少なくない。動物園で飼育・展示されている脊椎動物を綱のランク（階級）でグループ分けすると（次章参照）、一般に哺乳類が最も多く、次いで鳥類が多いが、爬虫類や両生類は少ない。このようなことから、限られた時間内での授業で、学習内容が雑多で散漫にならないよう、学生に動物園で学習させるのは哺乳類に限定する。小規模園での飼育・展示に、家畜や身近な哺乳類が多いのも、そのようにする理由の一つである。なお、哺乳類との関係や違いを説明する際に、他のグループを取り扱うことは十分に考えられる。

次に、そのような動物園での学習に必要な基礎知識を、学生が将来、児童・生徒に説明することを想定して、わかりやすくまとめたが、これらは学生が動物園で観察する前に説明しておく必要がある。

III. 学習に必要な基礎知識

1. 動物の分類と名称

動物園ではそれぞれの放飼場（各動物が飼育・展示されているスペース）に図1のような解説版が設置されている。そこには飼育・展示されている動物の名称が書かれている。その意味を正しく理解し、その動物の自然界の中での位置づけを知るために、動物の分類についての知識が必要である。自然界に存在する種々雑多な動物を整理するのに、それぞれの動物をいろいろなサイズの箱に入れて整理すると考えると、わかりやすい。箱にはS、M、L、LLなどのサイズがあり、最も小さいSサイズの箱にはそれぞれ共通の特徴をもった個体を入れる。それは種の箱である。同様にMサイズの箱は属の箱であり、その中には類縁関係が認められる中身の入ったSの箱を入れる。Lサイズの箱は科、さらに大きな箱は、大きくなるにしたがって順に目、綱、門、界と呼ぶと考えるとよい。整理にあたって、それぞれの箱の中身がわからないと困るので、中



図1 放飼場に設置されている解説板の例。豊橋総合動植物公園。

身の名前を書いたラベルを貼ると考える。ラベルの名前がその動物の名称で、それが世界中で通用する万国共通の名称なら学名、日本だけで通用する日本語の名称なら和名である（英語なら英名）。Sサイズの箱のラベルには2語からなる学名が書かれ、Mサイズ以上の箱のラベルには1語の学名が書かれている。図1の解説板のシロサイは和名、*Ceratotherium simum* は学名で、これは2語であるから種の学名であることがわかる。このような分類や名称のつけ方は、現生動物でも絶滅した化石動物でも同じである。化石動物の場合、属名のみで表現されることが多い。以前に河村・河村(2014)が調査した教科書によく登場する化石動物にティラノサウルスがあるが、これは *Tyrannosaurus* という属の学名をローマ字読みして和名としたもので、厳密にはティラノサウルス属である。あの有名な動物を種名まで正確に言うなら *Tyrannosaurus rex* (学名)、ティラノサウルス・レックス (和名) となる。

2. 脊椎動物の骨格の基本構造

動物園で飼育・展示されている哺乳類の体やその働きを理解するには、脊椎動物全体に共通する骨格の基本構造を知っておくことが、まず必要である。河村・河村(2014)が指摘しているように、それぞれの骨の名称は小・中学校や高等学校の理科の教科書にはほとんど登場しないが、それぞれの骨のことを説明したり、それらの相同性を説明するためには不可欠なもので、学生には基本的なものはかならず教えるようにしたい。すべての脊椎動物は共通の祖先に由来するので、その骨格は共通の基本構造をもつ。その骨格は頭骨や脊椎（それをつくる一個一個の骨は椎骨と呼ばれる）など体の中心をつくる中軸骨格と、それに付属してヒレや手足（前後肢）をつくる付属骨格に分かれる。脊椎動物は水中でヒレを使って運動するグループ（魚類）と陸上で手足を使って運動するグループ（四足動物）

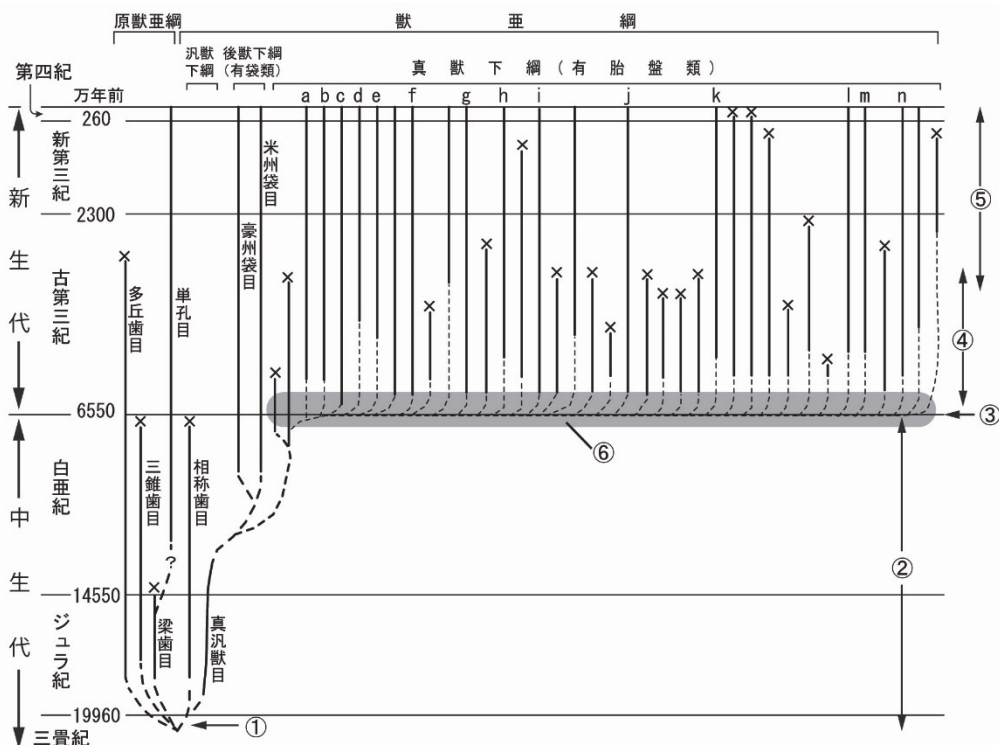


図2 地球史の中での哺乳類の進化。主にコルバートほか (2004) にしたがって作成した。×は絶滅。①～⑤は本文参照。有胎盤類の目の分岐関係は複雑なので省略した (⑥)。a-nは動物園で飼育・展示されている種を含む有胎盤類の目。a: 貧歯目、b: 有鱗目、c: 食虫目、d: 登木目、e: 翼手目、f: 霊長目、g: 齧歯目、h: 兎目、i: 食肉目、j: 管歯目、k: 偶蹄目、l: 奇蹄目、m: 岩狸目、n: 長鼻目。各地質時代の境界の年代は、Ogg et al. (2008)による。

に二分されるが、両者は、中軸骨格は同じで付属骨格が違っている。そのことは、河村・河村 (2014) の第1図にわかりやすく表わされている。哺乳類は四足動物の1グループなので、この図を参考にその基本構造を学ばせ、ヒトもそれとまったく同じ構造をもっていることを理解させる。

3. 地球史の時代区分

地層の上下関係とそれぞれの地層から産出する化石で、地球史の時代は決められている。地層も化石もいずれもが地質現象の一つなので、それらによって時代が決められているという意味で地球史の時代は地質時代と呼ばれる。この地質時代について、ごく簡単に一般化して言うと、世界の地層はそれに含まれる化石で大きく4区分される。最も下にある地層からは普通に見て化石とわかるものが産出しない。そのような地層が堆積した時代、つまりそのような地層が表わす時代が先カンブリア時代である。その上に重なる地層からは、だれが見ても生物の遺骸とわかる化石が多産するが、そのような化石は現在の生物とは大きく異なる、つまりそれらを古い型の生物と考えて、その地層が表わす時代を古い型の生物の時代ということで、古生代と呼ぶ。その上の地層には、下の地層の化石より現在の生物に近い化石が多産するが、まだ現在のものとの違いが大きいので、古いものと新しいものの中間の生物の時代と考えて、そのような地層の表わす時代を中

生代と呼ぶ。最も上にある地層からは現在の生物とよく似た化石が多産するので、これを新しい型の生物の時代と考えて、そのような地層の表わす時代を新生代と呼ぶ。このような大まかな4時代区分より、さらに細かい化石の変化にもとづいて、より細かい時代区分が行われる。哺乳類の進化を考えるときには、その出現が中生代の中で最も古い時代の三畳紀のうち、その後期の出来事なので、そこから現在までの時代区分を知っておく必要がある (図2)。三畳紀の後にはジュラ紀で、その後は白亜紀であり、そこまでが中生代である。その後の新生代は、古い方から古第三紀 (古い方からさらに暁新世、始新世、漸新世に細分)、新第三紀 (古い方から中新世と鮮新世に細分)、第四紀 (古い方から更新世と完新世に細分) に区分される。

4. 哺乳類の進化史の概要

コルバートほか (2004) にしたがって、哺乳類のおおよその進化の道筋を目のランクで表わしたのが図2である。進化の道筋は哺乳類をどのように分類するかによってかなり変化する部分がある。以前は、Simpson (1945) の古典的な分類にしたがって進化の道筋が表わされることが多かったが (たとえば Romer, 1966)、McKenna and Bell (1997) は分岐分類の考えを取り入れて従来の哺乳類の分類を大きく改訂した。コルバートほか (2004) も McKenna and Bell (1997) を参考に従来のものを改訂している (図2、表1)。これらの図

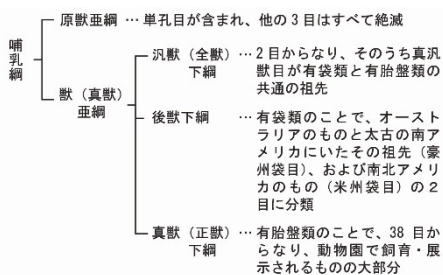


表1 哺乳類(綱)の大分類(図2も参照)。コルバートほか(2004)による。

表をもとに哺乳類の進化史の概要を説明すると、三畳紀後期に出現した哺乳類は、その後すぐに1回目の放散を起して多くの種類に分かれたが(図2の①)、この放散は進化の大爆発と言えるようなものではなく、放散の結果として現れたのは小型の種類ばかりであった。そのことは、中生代の哺乳類が小型の顎骨や歯の化石で知られているものが大部分であることからわかる。哺乳類よりやや早く三畳紀中期に現れた恐竜がいち早く、中生代の生態系の中で陸上の中・大型動物の生態的地位(ニッチ)を占め、哺乳類はそこに入り込むことができなかつたと見られる。そのような状態が続き、その状態で哺乳類と恐竜が共存していた時代は1億4000万年間以上にもおよび(図2の②)、その時間の長さは哺乳類の中で胎盤をもったグループ(有胎盤類)が進化の大爆発とも言える新生代初頭の2回目の放散をした時期(図2の③)から現在までの時間(約6600万年間)よりはるかに長い。白亜紀末に恐竜などの大量絶滅が起った後、空き家となった生態的地位を埋めるように、大型のものから小型のものまで多様な有胎盤類の目が現れた。現れた多くの目のうち、現在まで生き残っているものが動物園で飼育・展示されているものの大部分である。それらの目のうち、古第三紀のうちに絶滅してしまったもので、「進化の実験」の失敗例のようなもの(もちろん動物園にはいない)が多数いた時代があった(図2の④)。その後は、より洗練された新しい型の哺乳類の時代となった(図2の⑤)。一部の動物園で飼育・展示されているハリモグラのような卵を生む哺乳類(単孔目)は恐竜と共存していた中生代の哺乳類の1グループの生き残りである。多くの動物園で飼育・展示されているカンガルーのような有袋類は、有胎盤類と共通の祖先をもったグループで、白亜紀後期には両者は多くの大陸で共存していたが、新生代が始まるまでにオーストラリア大陸と南アメリカ大陸以外では、有胎盤類との競争に敗れてほとんどが絶滅してしまった。以上のことを、動物園での学習に際して知っておくことは重要である。

5. 動物地理区とその成立過程

動物園の放飼場の解説板には、そこで飼育・展示されている動物の現在の分布域が示されている(図1)。

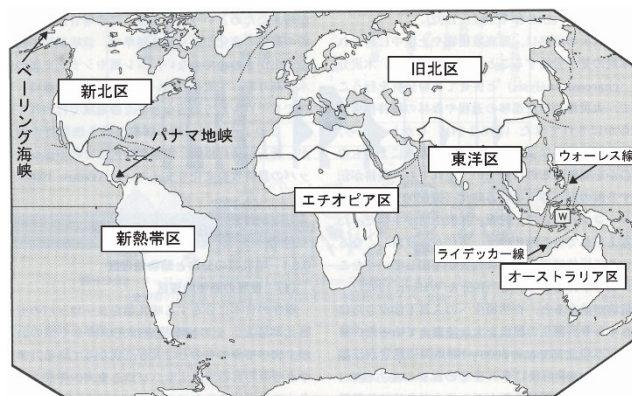


図3 世界の動物地理区。町田ほか(2003)の図を一部修正。オーストラリア区と東洋区の境界はウォーレス線かライデッカー線で、両者の間の地域(W)には両者の中間的な動物相が見られる。

この分布域は何の説明もなければ、その動物が現在そこに生息しているというだけの情報しか提供してくれないが、動物の分布は地球史の産物であるという見方を学生に与えることによって、学生はそこから多くのことを学べるようになる。町田ほか(2003)に述べられているように、現在世界に分布する動物を見ると、地域ごとに棲んでいる動物の種類が異なり、それぞれの地域の動物の群集(特に哺乳類)の特徴の違いによって世界の陸地を図3のようにいくつかの区域(動物地理区)に分けることができる。この図から日本本土(北海道と本州・四国・九州)は旧北区に属していることがわかる。そのため、日本本土の動物群は全体として、同じ旧北区の中国北部やヨーロッパのものと同く似ている。

北アメリカ大陸は、その動物群が旧北区のものの特徴が異なるので新北區と呼ばれるが、両者の違いは他の動物地理区との違いより小さいので、両者を合わせて全北区と呼ぶこともある。このことは、新生代のいろいろな時期にベーリング海峡が陸化し、北アメリカ大陸とユーラシア大陸の間でしばしば動物群の移動が起ったことによる。一方、南アメリカ大陸には北アメリカ大陸と大きく異なった動物が生息しており、そこは新熱帯区と呼ばれる。このような違いは、この大陸が他の大陸から切り離されて長い期間、島大陸になっていたことによる。Simpson(1980)がまとめているように、この大陸は新生代初頭から孤立していたために、有袋類や古い型の有胎盤類(Old-timerと呼ばれる)だけが生息していた時期があった。古第三紀後半になると、島大陸であったにもかかわらず、他の大陸からやってきた部外者のような動物(Alienと呼ばれる)が現れる。この大陸に特有のサル類と齧歯目で、Van der Geer *et al.* (2010)によれば、それらは天然の筏に乗ってやってきたとする説がある。新第三紀末になると、パナマ地峡が形成され南北アメリカ大陸が地続きになって、両大陸間で大規模な動物群の交流が起った(Great American Faunal Interchangeと呼ばれる)。この

ような複雑な歴史を経て、新熱帯区の動物相は形成されてきた。

これに対して、オーストラリア大陸は白亜紀後期から現在までずっと島大陸で、有袋類が孤立した環境で独自の進化を遂げた。その背景には、ほとんどの有胎盤類がそこに侵入する機会がなかったことがある。そのため、ここにもオーストラリア区という他と大きく異なった特徴をもつ動物地理区が成立した。サハラ砂漠以南のアフリカ大陸はエチオピア区、ヒマラヤ山脈やそれに続く山脈以南のユーラシア大陸と東インド諸島は東洋区と呼ばれるが、これらもその成立にそれぞれの地域の新生代の歴史が深く関わっている。

6. 骨や歯による種類の区別

化石の証拠にもとづいて、哺乳類を含めた脊椎動物の進化史が復元されてきたのは、地層中に化石として保存される骨や歯で種類の区別ができるからであり、学生にはそのことを説明する必要がある。たとえば、学生はこれまでに中学校や高等学校で哺乳類と爬虫類の違いを学んできたが、そのほとんどすべてが化石としては保存されない。したがって、学生は化石の証拠で、なぜ哺乳類が三畳紀後期に出現したことがわかるのかについて、疑問をもつであろう。この疑問に答えるには、両者の違いが顎関節の構造の違いにあり、哺乳類では上側（頭骨側）の顎関節をつくっているのは鱗状骨、下側（下顎側）は歯骨であるが、爬虫類では前者が方形骨、後者が関節骨であることを説明する。この特徴をもっとわかりやすく単純化して言えば、哺乳類では下顎の片側が1種類の骨（歯骨）でできているので、そこにつぎ目がないのに対して、爬虫類のそれは複数の骨でできているので、そこにはつぎ目がある。学生に、全身骨格でよりわかりやすく説明するには、哺乳類では頸部や腹部に肋骨がないこと、そのため椎骨が頸椎、胸椎、腰椎、仙椎、尾椎の5種類に区別できるが、爬虫類ではその部分に肋骨があつて、それぞれの区別が明確ではないことを述べる。頸椎が7個であることが、哺乳類の特徴であることも付け加えておきたい。このほかいろいろな違いがあるが、例外もあるので多くの特徴を総合的に考えて、種類の区別ができると説明する。動物園で飼育・展示されている哺乳類の各種類も同様に、骨や歯の特徴で区別できる。

IV. 各種類の観察

ここでは、哺乳類の種類ごとの観察ポイントのうち、特に進化という観点から学生が興味をもちやすい事項を中心に説明するが、多くの種類を扱うと非常に多くの紙面を要するので、目ごとの代表的な種類で国内のどこかの動物園で飼育・展示されているものにしばって説明する。

単孔目では、国内の少数の動物園でハリモグラ (*Tachyglossus aculeatus*) が飼育・展示されている。単孔目は、体毛があり母乳で仔を育てるが、卵を産むという特徴をもち、中生代の哺乳類（梁歯目らしい）が生き残ったものと考えられる（図2）。そのようなことから「生きている化石」（レリックまたは遺存種）の一例とされる。現在はオーストラリア区のみ分布するが、それが生き残れたのは、前述のように、そこが白亜紀以来ずっと島大陸であったからであろう。ハリモグラは歯をもたず、その体は毛が変化した「ハリ」で守られている。中生代のハリモグラの祖先は歯をもっていたが、シロアリなどのやわらかい食物を食べるために歯を失ったものと考えられる。歯が退化・消失する、あるいは「ハリ」をもつという特徴は、哺乳類のまったく違ったグループでも見られる。

有袋類（豪州袋目と米州袋目）は、胎盤をつくらなため早産で、仔を母親の育児嚢で育てる哺乳類であり、有胎盤類より原始的な特徴をもつので、その祖先と考えられがちだが、そうではなく、化石の記録から両者は、真汎獣目を共通の祖先として白亜紀に現れ、白亜紀には多くの大陸で共存していたことがわかっている（図2）。また有袋類は、オーストラリアの動物と考えられがちだが、南アメリカにも多くの有袋類が生息していて、そこでは古第三紀に有袋類が肉食性哺乳類の生態的地位を占めていた。そのため有袋類は、豪州袋目と米州袋目に分けられる（表1）。動物園では、豪州袋目のカンガルー類が飼育・展示されていることが多いが、これはオーストラリア区で植物食の哺乳類の生態的地位を占めている。そのため顔はシカ類やレイヨウ類と似ているが、走り方や足のつくりはそれらとまったく異なっている。カンガルー類は後肢で走り、その第4指は太く、第2指と第3指は小さくなって互いに癒合している。

貧歯目（図2のa）は、有胎盤類の1グループであるが、南アメリカ大陸に起源をもち、古くから土着の“Old-timer”（前述）である。歯に退化が見られること、頸椎の数が7個より多いこと、腰椎に余分な関節があることなど、他の有胎盤類の目と比べてユニークな特徴をもっている。現生のものではアルマジロ類、アリクイ類、ナマケモノ類があり、いくつかの動物園で飼育・展示されている。それらのうち、アルマジロ類は骨性の装甲をもち、体表は角質の鱗甲でおおわれている。その仲間絶滅したグリプトドン類は装甲が非常に発達していて、まさにカメ型の哺乳類であった。アルマジロ類は現在、北アメリカ大陸南部にも分布するが、これはパナマ地峡形成以後に南アメリカ大陸から北上してきたものである。アリクイ類はシロアリ食に適応して、吻部は非常に長くなり、歯を完全に失っている。ナマケモノ類で現生のものはすべて樹上性であり、動きが緩慢で「究極の省エネ動物」などと言われ

たりするが、その仲間で絶滅したものには地表性のものがあり、中にはメガテリウムのように小型のゾウくらいのサイズに巨大化したものがあった。なお、アリクイ類とナマケモノ類は歩き方も独特で、前足の指骨の部分の甲と後足の外側を地面につけて歩くので、その歩き方は学生に観察させたい。

有鱗目 (図2のb) は、ごく一部の動物園で飼育・展示されているセンザンコウ類で代表されるグループである。センザンコウ類は細長い吻部をもち、歯を失っているほか、体がウロコのような鱗板でおおわれている。現在は東洋区とエチオピア区に分布が限られ、そこでアリやシロアリを食べている。

食虫目 (図2のc) はハリネズミ形亜目、トガリネズミ形亜目、キンモグラ亜目からなるが、これら3亜目は、それぞれ独立の目とされることもある。この目の動物は小型で、鼻先が前方に向かって細長く突出し、鉤爪をもつという特徴があり、中には有胎盤類全体の祖先の形質を保持していると考えられるものがある。動物園でよく飼育・展示されているのは、ハリネズミ形亜目のハリネズミ類とトガリネズミ形亜目のモグラ類で、前者は毛が変化した「ハリ」で体がおおわれており、後者は地中中性ないし半地中中性で穴を掘ることに適応して、前肢の骨が他の有胎盤類のものとはかなり異なった形態をもつ。

登木目 (図2のd) は、現在東洋区の森林に生息し、ごく一部の動物園で飼育・展示されているツパイ類で代表される。現生のツパイ類は前方に突出した鼻をもっているが、手足には平爪をもち、リスのように長い尾をもっている。その特徴は食虫目とも、以下に述べる霊長目とも似ていて、いずれかの目に分類されたこともあったが、現在では独立の目として取り扱われている。

翼手目 (図2のe) はコウモリのこと、哺乳類の中で唯一、真の飛行を行うグループである。このグループでは、前肢の第2~5指の中手骨と指骨が伸長し、それを支柱として飛膜がはって、翼をつくっている。古第三紀の最古の化石では、すでにこのような特徴が見られるので、飛行能力は比較的短期間に獲得されたようである。この目は、大翼手亜目と小翼手亜目に分けられるが、前者は大型（そのためオオコウモリと呼ばれる）で、吻部が比較的長く、キツネのような顔をしていて、果実を食べる。後者は、小型で吻部が短く独特の顔をしていて、主に昆虫食である。動物園では、前者が飼育・展示されていることが多い。学生には、翼手目を題材として、脊椎動物の中で真の飛行をする鳥類や翼竜類との翼の構造の違いや、それらの進化と生息時期を考えさせるのもよい。

霊長目 (図2のf) は、サルとヒトを含むグループで、動物園で飼育・展示されていることが多い。霊長目は本来、森林での樹上生活に適応したグループで、

そのために前・後肢（あるいは前肢）の第1指が他の指と異なった方向についていて、ものをつかめるようになっていること、鼻は小さく、目は正面を向いていて立体視が得意であることなどの特徴が見られる。前・後肢には平爪がついていて、食性は果実食または雑食である。霊長目には、あまりサルらしくない顔のサル（キツネザルやメガネザルなど）と、サルらしいサル、それにヒトに似たサル（ゴリラ、チンパンジーなど）がいることを、学生に学ばせたい。サルらしいサルには、左右の鼻孔が離れているサル（広鼻猿類）と接近しているサル（狭鼻猿類）がある。前者は現在、新熱帯区のみ分布しているが、それらはそこに古第三紀後半に現れた“Alien”（前述）である。後者は現在、エチオピア区と東洋区の熱帯・亜熱帯地域に主に分布しているため、その一員のニホンザルは世界の北限のサルということになる。これらの霊長類の観察と関係づけて、人類進化を学生に説明するのもよい。

齧歯目 (図2のg) は、リスやネズミ、ヤマアラシなどを含むグループで、「小さいことはよいこと」という適応戦略で新生代を通して発展してきた。コルバートほか（2004）によれば、現在の種数は哺乳類全体の半分以上を占め、その状態は新生代を通じて変わっていないようである。齧歯目の動物は小型で、一生が短く多産である。植物食か雑食の動物で、上・下1対のノミ状の切歯をもっている。動物園では、プレーリードッグやカピバラがよく飼育・展示されているが、前者は新北区の地表性リス類、後者は新熱帯区に古第三紀後半に現れた“Alien”の子孫である。

兎目 (図2のh) は、齧歯目に似た植物食の小型動物で、上顎切歯が2対あることで齧歯目とは区別できる。多産であるが、齧歯目よりいつの時代もはるかに種類が少なかった。カイウサギのように家畜やペットとして飼われている種があり、多くの動物園で飼育・展示されているので、跳ねるのはどのような体のしくみによるのか、耳が大きいのはどうしてかなどを学生に考えさせるのもよい。

食肉目 (図2のi) は、本来肉食性の有胎盤類で、大きな犬歯と肉を引き裂く大きな頬歯（裂肉歯と呼ばれる）を上下1対もっているのが、一般的な特徴である。中生代の陸上の生態系に君臨していた恐竜の大部分が植物食で、肉食のものは獣脚類という1グループに限られるのと同様に、新生代の陸上の生態系で肉食のものはこのグループだけである。植物食の動物は、その食物に足がついていないので、それが逃げ出す心配はなく、食べ放題であるのに対して、肉食性の動物は、その食物に足がついていて、彼らには獲物より能力が高くないと生きていけないという厳しい生活がある。そのため、食肉目の動物では、多くの種類が進化の過程で肉食性をやめてしまったと考えられる。食物の豊富な海へ入っていったのは、アザラシやアシカな

ど(鰭脚亜目)、雑食性になっていったのはクマ類やイタチ類、他の動物が倒した動物の死骸をあさるハイエナ類、二次的に植物食になったジャイアントパンダなどがその例である。肉食性を残しているのはオオカミなどのイヌ類とライオンなどのネコ類で、それらは非常に頭がよく、運動能力が高い。食肉目の動物は、動物園で飼育・展示されていることが多く、学習の対象としては好適なグループで、上述のことを含めて説明すれば、学生が興味をもって観察できると思われる。

管歯目(図2のj)は現在、エチオピア区のみに分布するツチブタ(*Orycteropus afer*)に代表され、いくつかの動物園で飼育・展示されている。ツチブタの外見はブタに似たところがあるが、ブタとはまったく異なる動物で、前・後肢には鋭い平爪があり、それを使ってアリ塚を掘ってシロアリを食べる。そのため歯には退化が見られる。

偶蹄目(図2のk)は、前・後肢に蹄がある植物食のグループで、新生代後半には特に繁栄しているので、動物園でもこの目のメンバーが数多く飼育されている。イノシシ・ブタ類、カバ類、ラクダ類、ラマ類、キリン類、シカ類、レイヨウ類、カモシカ類、ウシ類などで、前・後肢の指の数が進化の過程で、基本数の5から4→2と偶数で減少してきたという特徴がある。足を前から見ると、第3指と第4指の間に足の中軸が通り、そこがそれらの指の蹄を左右に分ける割れ目になっている。偶蹄目には大量に食べた植物質の食物を口に戻して噛み直す反芻というしくみをもっているものと、そうでないものがある。反芻をするものうち、現在は南アメリカのアンデス山脈に生息するラマやアルパカは古くからそこに棲みついていた動物ではなく、パナマ地峡の形成後に北アメリカ大陸から南下してきたラクダ類の子孫である。同じく反芻をするキリン類は、長い首と長い前後肢が特徴であるが、そのような動物がアフリカに現れたのは新第三紀後期のことである。キリン類の頸をつくる頸椎は7個なので、それぞれが著しく伸長していることになる。われわれにもっとなじみの深い反芻類はシカ類とウシ類で、どちらも角をもっている。両者は、角の特徴で容易に区別できる。シカ類の角は枝分れしており、毎年生え替わり、雄だけにある(トナカイは例外)。一方、ウシ類の角は枝分れも生え替わりもなく、雌雄ともに見られる。このことから、エチオピア区に数多く生息し、一見シカのように見えるレイヨウ類はすべてウシ類であり、日本に生息するニホンカモシカもウシ類であることがわかる。一方、シカ類の観察は河村・河村(2017)が述べているように、地学野外実習で訪れた奈良公園でも行える。そこでは多くの個体を間近で見られるので、そこで解説を行えば、より実感を伴った理解をさせることができる。

奇蹄目(図2のl)は、偶蹄目と同じく蹄をもった

植物食のグループであるが、化石の記録からそれは偶蹄目とは対照的に繁栄の絶頂は過ぎて、むしろ衰退に向かってるように見える。そのため動物園で飼育・展示されているのも、それほど多くない。それにはバク類、サイ類、ウマ類がある。奇蹄目では進化の過程で前・後肢の指の数が基本数の5から3→1と奇数で減少してきたという特徴がある。足を前から見ると第3指の中央を足の中軸が通り、最も進歩したウマ類では蹄で地面についている指は1本(第3指)であるから、偶蹄目のような中央の割れ目はない。奇蹄目のサイ類は、角をもっているのが特徴であるが、この角は剛毛の固まったもので、骨できているわけではないので、特別な場合を除いて化石としては保存されない。一方、有名な恐竜のトリケラトプスの3本の角はすべて骨できているので、化石としてよく保存されている。ウマ類は、その進化の過程が最もよく解明されている動物の一つであるが、現在動物園で飼育・展示されているシマウマ類や家畜のウマの起源は、一般の人々にはあまり知られていない。ウマ類の進化は古第三紀以来、北アメリカ大陸で起り、そこからいろいろな進化段階のウマ類がいろいろな時期に他の大陸へあふれ出したと考えられる。最も進歩したウマ類のウマ属(*Equus*)は第四紀になってからあふれ出し、ユーラシア大陸を経てアフリカ大陸にまで達したが、それらがシマウマ類や家畜のウマの祖先となった。ウマ類の進化を育んできた北アメリカ大陸では、第四紀末の約1万年前にすべてのウマ類が絶滅した。

岩狸目(図2のm)は、現在アフリカから中東にかけて分布するハイラックス類で代表される。現在のものは岩場や森に棲む植物食の小型動物で、ごく一部の動物園で飼育・展示されている。その外見は大型の齧歯目や小型の兎目の動物に似ているが、頭骨や歯の特徴はそれらとはまったく異なり、むしろ次に述べる長鼻目などに近縁な独立の目として分類されている。

長鼻目(図2のn)は、ゾウのなかまで古第三紀以来、齧歯目の動物とは対照的に「大きいことはよいこと」という適応戦略で生きてきた大型の植物食の有胎盤類の一群である。植物食の動物にとっては、肉食性の捕食者から身を守ることは生き残る上できわめて重要で、体を大きくすれば、そのことで自身を守ることができたと考えられる。しかし、長鼻目の進化史を見ると、新第三紀と第四紀の長い間、アフリカ大陸、ユーラシア大陸、南北アメリカ大陸に多数生息していた種類が、現在はエチオピア区のアフリカゾウと東洋区のアジアゾウ(インドゾウ)だけになってしまっている。長鼻目はまさに衰退し、絶滅に向かっていく有胎盤類の目と考えられる。動物園で観察できるのも上記の2種であるが、それらには興味深い特徴がある。その牙は犬歯ではなく、第2切歯が巨大化したものであること、その頬歯は水平交換することである。2番

目の特徴は巨大な植物食の動物が生きていくうえで必要となる大量の食物を食べたときに起る激しい歯の咬耗に対抗するためのものと考えられる。水平交換とは、最初に生えた歯がすり減って小さくなると、次の歯がその後ろに出てきて交換するというように、6本の歯が年齢とともに後ろから順に出てくる。最後の歯がすり減ると、その個体の寿命が尽きて死に至る。長鼻目には、絶滅動物として教科書にも登場するナウマンゾウが含まれるので、この目について学生が理解を深めることは、そのことからも有意義である。

V. レポート

学生に学習の内容をまとめさせ、学習の達成度や各学生の意欲などを評価するために、学生には事後にレポートを提出させる。レポート課題として、以下のようものが考えられる（これらのうち1つを選ぶ）。

1. 動物園で学んだ内容を、現地での説明をもとにまとめる。ほとんどの学生はスマートフォンを持っているので、レポートに学習した動物の写真を入れ、観察のポイントを書き加えることを推奨する。
2. 全国の動物園について、インターネットなどを使って調べて、将来自分が教員となって赴任する可能性のある地域の動物園でどのような学習ができるのか、今回の経験と知識をもとに指導計画をつくる。
3. 動物園を見学する際に児童・生徒が動物を観察して記入するワークシートを作る。ワークシートの例は堀田（1982b）にあるが、ここでは耳や目、鼻、指、爪、尾、歩き方など観察項目がかなり多いのと、あげられている種類が多いので、自分が今回学習したことに合わせて独自のワークシートをつくる。その記入例も考える。
4. 動物園の動物について、児童・生徒に答えさせる問題集をつくる。たとえば「①シカとウシはどこが違うのでしょうか」、「②ウシの足とウマの足はどこが違うのでしょうか」、「③シマウマの祖先はどこから来たのでしょうか」、「④キリンの足でひじやひざはどこでしょうか」などで、自分で模範解答を考えてみる。同様の設問の例は、堀田（1982a）にもあるので参考にする。

VI. 豊橋総合動植物公園での実践例

ここでは、愛知教育大学の学部学生を対象に、豊橋総合動植物公園で行った授業実践の例を紹介する。愛知教育大学の学生の多くは将来、愛知県やその近県の小・中学校や高等学校の教員になるが、彼らを対象にこの動物園を利用した授業を行ったのは、次の理由に

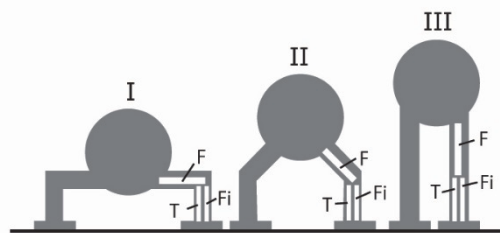


図4 陸棲脊椎動物（四足動物）の歩行様式の変化。後方から見た模式図で、より効率的な歩行ができるように変化してきた。現生爬虫類や単弓類（哺乳類の祖先となった爬虫類の一群）と両生類はIかII、哺乳類はIIIであるが、恐竜や鳥類もIII。F：大腿骨、Fi：腓骨、T：脛骨。

よる。前述のように、愛知県には日本動物園水族館協会に加盟しているものだけでも動物園が5園もあり、その点で他地域と比べて非常に恵まれた環境にあって、そのような環境を生かして将来、学生が教員として動物園での学習を行うための経験や知識を、学生の間と与えておくことが重要と考えたこと、豊橋総合動植物公園は全国で唯一、動物園と地球史を主なテーマとした博物館（豊橋市自然史博物館）が同じ敷地内にあって、両者を行き来して学習ができる施設であり、本稿でも重要性を指摘しているように、動物園で生物進化を地球史と結びつけて学ぶには、理想的な施設と考えられることである。

動物園での授業に充てられるのは、大学の授業4回分であったので、それを休日1日の授業に振り替えて、授業を行った。豊橋市自然史博物館には30人まで収容できる小・中学校の理科室のような「学習室」と、机を使用した場合は70人まで収容できる「講堂」があって、博物館側との事前の打合せで、受講学生の人数に応じて、どちらかの部屋を使用できるようにした。

この授業では、まず大学の1回分の授業時間にあたる90分を目安として、本稿の「学習に必要な基礎知識」の章で述べた内容を「学習室」または「講堂」で解説した。このときには、前述のレポートの課題を学生に伝えるようにした。その後は、屋外の動物園へ移動し、150分を目安に動物の観察と解説を行った。観察と解説は、「各種類の観察」の章で述べた内容に沿って行ったが、そこで取り上げている種類のすべてがこの動物園で飼育・展示されているわけではないので、その内容を取捨選択して観察と解説を行った。また、豊橋総合動植物公園では博物館での絶滅動物の骨格標本の観察が可能なので、哺乳類の歩行様式を現生爬虫類や絶滅爬虫類（恐竜や単弓類）、それに絶滅両生類のそれと比較して、脊椎動物の陸上生活への適応と前後肢の変化を理解させるための解説も行った（図4）。

遅めで短めの昼食休みをはさんで、午後は博物館で閉館までの時間（150分程度）、化石の実物やレプリカを観察しながら、地球史と脊椎動物の進化史に関する授業を行ったが、その内容は自然史博物館を利用した

理科の学習ということになって、本稿の範囲を越えるので、ここでは省略する。

授業後に学生に提出させたレポートに書かれた感想文を見ると、「動物園をこのような観点で見たことはなかった」、「新しい発見がいくつもあった」、「この経験や知識を将来の教育に生かしたい」などの感想が書かれていて、学生が少なくとも動物園を理科の学習の場として認識できるようになったことがうかがえる。

VII. まとめと謝辞

かつて、動物園で学ぶ進化やそれに類するタイトルで、本や論説がいくつか出版されたことがあった（堀田, 1978, 1982a, b; 磯貝, 1982）。それらは、小・中学校や高等学校などの教員や児童・生徒や大学生、あるいは一般の人々が動物園を見学する際の手引きまたは参考として利用するように考えられたものであった。一方、本稿は教員養成大学・学部の学生が将来教員になったときに役立つ知識や経験を動物園での授業で学び、教員として動物園を利用した学習に積極的に取り組む動機付けを行うことをねらいとした授業の内容や実践例をまとめている点に特色がある。本稿では、日本の動物園には地域的な偏りはあるが、小規模園を含めると全国どこでも動物園を利用した学習は難しいことではないことや、動物園での学習の対象は哺乳類に限定することがよいことを述べ、その後で、動物を観察する前に学生に学ばせる基礎知識をまとめるとともに、それぞれの動物を観察する際のポイントを簡単に説明し、学生に与えるレポート課題の例をあげ、最後に豊橋総合動植物公園で行った授業実践の例を紹介した。筆者らは、本稿でまとめた授業の内容が教員養成大学・学部におけるこれまでの地学・生物教育の改善に役立ってきたと考えており、今後も富山市ファミリーパークなどでの授業実践を続けていきたいと考えている。

本稿の内容の中で、豊橋総合動植物公園での授業実践に際しては、安井謙介学芸員や吉川博章学芸員をはじめとする豊橋市自然史博物館の職員の方々には、大変お世話になった。記してお礼申し上げたい。

引用文献

コルバート (Colbert), E. H., モラレス, M., ミンコフ, E. C. (田隅本生訳) (2004) 「コルバート 脊椎動物の進化 (第5版)」 567p., 築地書館.
堀田 進 (編著) (1978) 「動物園で学ぶ進化」 242p., 東海大学出版会.
堀田 進 (1982a) 動物園で進化をまなぶ. 地学団体研究会 (編) 「自然をしらべる地学シリーズ 4 地層と化石」 p.156-161, 東海大学出版会.

堀田 進 (編著) (1982b) 「続・動物園で学ぶ進化」 201p., 東海大学出版会.
磯貝文雄 (1982) 動物園で学ぶ動物の進化. 歌代 勤・倉林三郎 (編) 「理科実験指導シリーズ 地学」 p.59-63, 講談社.
河村 愛・河村善也 (2014) 脊椎動物化石と地学・生物教育. 愛知教育大学研究報告 (自然科学編), vol.63, p.31-39.
河村 愛・河村善也 (2017) 奈良で学ぶ地学と世界遺産—教員養成大学・学部における地学野外実習改善の試み—. 愛知教育大学研究報告 (自然科学編), vol.66, p.25-33.
町田 洋・大場忠道・小野 昭・山崎晴雄・河村善也・百原 新 (編著) (2003) 「第四紀学」 323p., 朝倉書店.
McKenna, M. C. and Bell, S. K. (1997) *Classification of Mammals Above the Species Level*. 631p., Columbia University Press.
文部科学省 (2008a) 「小学校学習指導要領解説 理科編」 105 p., 大日本図書.
文部科学省 (2008b) 「中学校学習指導要領解説 理科編」 149 p., 大日本図書.
文部科学省 (2010) 「高等学校学習指導要領解説 理科編 理数編」 (第2版) 232 p., 実教出版.
文部科学省 (2018a) 「小学校学習指導要領 (平成 29 年告示) 解説 理科編」 167p., 東洋館出版社.
文部科学省 (2018b) 「中学校学習指導要領 (平成 29 年告示) 解説 理科編」 183p., 学校図書.
文部科学省 (2018c) 「高等学校学習指導要領解説 理科編 理数編」 258p., 文部科学省ホームページ (<http://www.mext.go.jp/>).
Ogg, J. G., Ogg, G. and Gradstein, F. M. (2008) *The Concise Geologic Time Scale*. 177p., Cambridge University Press.
Romer, A. S. (1966) *Vertebrate Paleontology* (3rd ed.). 468p., The University of Chicago Press.
Simpson, G. G. (1945) The principles of classification and a classification of mammals. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, vol.85, p.1-350.
Simpson, G. G. (1980) *Splendid Isolation: The Curious History of South American Mammals*. 266p., Yale University Press.
Van der Geer, A., Lyras, G., De Vos, J. and Dermitzakis, M. (2010) *Evolution of Island Mammals: Adaptation and Extinction of Placental Mammals on Islands*. 479p., Wiley-Blackwell.

(2018年9月19日受理)