

恐竜の足あとの研究

藤枝市立高洲南小学校

5年 小崎 惇

1 動機

ぼくは、恐竜が大好きで、毎年恐竜や化石に関して調べている。1年生から、恐竜の歯や尻尾の骨の構造などを研究してきたので、今回は恐竜の足あとについて調べることにした。足あとを研究の対象にした理由は、静岡市清水区三保にある東海大学自然史博物館や福井県の福井県立恐竜博物館などで展示されている足あとの化石を見て、ただの穴のようにしか見えなかったものの、そこから恐竜のどのようなことが分かるのか考えたいと思ったからだ。

2 研究の内容

（1）恐竜の足あとから何が分かるのかを想像する

恐竜の足あととされる化石を見た際にそのくぼみ方になんとなく違いがあるように見えた。このことから、恐竜が走っているのか、歩いているのかなどといった、歩き方や進み方が、足あとと化石の状態から見分けられると考えた。

（2）実験

身近に恐竜の足あとの化石がないことから、化石での比較ができないため、家族で大井川海岸に行き、そこで走ったり歩いたりすることで、砂浜に残る足あとの観察を行うこととした。

ア 実験の種類と方法

実験A <内容>家族で走ったり歩いたりすることで付く足あとの様子や歩幅を比較した。

<条件>場所：大井川海岸の砂浜、距離：10m <実施者>自分、弟、父、母

実験B <内容>恐竜で想定される動きを再現して足あとの付き方や様子を観察した。

<条件>場所：大井川海岸の砂浜、距離：10m <実施者>自分



写真1 実験実施風景

イ 実験Aの結果 表1

	走った時	歩いた時
共通	- 足形にカーブの痕がよく出ている。 - 親指から薬指までが地面に食い込む（1 cmくらい）。 - 小指の食い込みは浅い。→前のめっている。 - かかと部分が地面にあまり食い込まず、痕がしっかりと残っていない。	- 足形にカーブの痕が残らず、直線的。 - 親指が地面に深く食い込むが、他の指は食い込みが浅い。 - 親指に重心がある。 - かかと部分が地面に深く食い込んだ痕が残っている。→重心がかかとにあり、力が加わっている。
大人	- すべての指が地面に深く食い込み、力が強すぎて砂を掻いた痕が残っている。 - 足あとの前の方に砂がひび割れた痕が多く残っている。 - 踏みつけ部分は砂がはじくられるようになる。	- 走った時と同じような痕が残っている。 - 足あとの後ろの方に砂がひび割れた痕が多く残っている。 - 走った時にできたような痕はなかった。
	走った時の方が、足に強い力が加わっている。重心も前の方にある。骨のある所は足あとになるとへこむ。	

表1 実験A結果

ウ 実験Aのまとめ 表2

		単位	自分	弟	父	母
①	年齢	歳	10	7	45	39
②	身長	cm	135	122	173	156
③	体重	kg	37	22	90	非公開
④	足の大きさ	cm	21	18	27	24
⑤	10m走った時間	秒	3.55	4.02	2.8	3.06
⑥	速さ	km/h	10	9	13	12
⑦	「かかと」から「かかと」までの長さ	走った時	cm	110	105	158
⑧		歩いた時	cm	60	60	80
⑨	「足の付け根」から「かかと」までの長さ	cm	70	65	90	86
⑩	歩いた歩幅÷身長	⑧÷②	0.44	0.49	0.46	0.45
⑪	歩いた歩幅÷体重	⑧÷③	1.62	2.73	0.89	1.40
⑫	歩いた歩幅÷足の付け根までの長さ	⑧÷⑨	0.86	0.92	0.89	0.81
⑬	歩いた歩幅÷足の大きさ	⑧÷④	2.86	3.33	2.96	2.92

表2 実験Aまとめ

・表から気づいたこと。

①子どもよりも大人の方が、歩幅が広がる。

②子どもよりも大人の方が走るスピードは速い。

→身長が大きければ、走る速度は速くなる。

③身長と歩幅は関係しており、歩いた歩幅に対する身長の割合の差は全体で約5%と、みんな近い数字。

④体重と歩幅は体が小さいほど歩いた歩幅に対する割合が大きい。

⑤足の長さとは歩幅は関係している。歩いた歩幅に対する足の付け根までの長さの割合の差は11%しかなく、近い数字である。

⑥足の大きさと歩幅は関係している。歩いた歩幅に対する足の大きさと長さの割合は、弟以外は三人とも近い数字である。

→このようなことから、足と歩幅にはなにか比例のような関係がある可能性がある。

エ 実験Bの結果

(ア) 二足歩行の恐竜の歩き方

- 二足歩行の恐竜の主な種類 獣脚類（ティラノサウルス、タルボサウルスなど）
鳥盤類（パラサウロロフス、イグアノドンなど）
周飾頭類（堅頭竜類）（パキケファロサウルスなど）
- 歩き方の検討・・・3パターンを想定
パターン1：カンガルーのようにピョンピョンと両脚でジャンプして進む歩き方。
パターン2：人間のよう、右足、左足、と交互に足を出して進む歩き方。
パターン3：つま先だけで、右足左足と交互に進む歩き方。
- 二足歩行実験結果まとめ

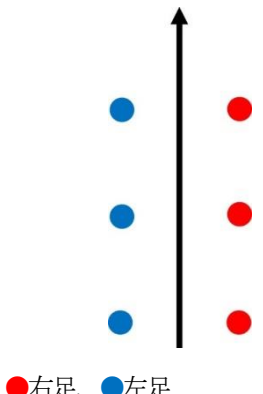
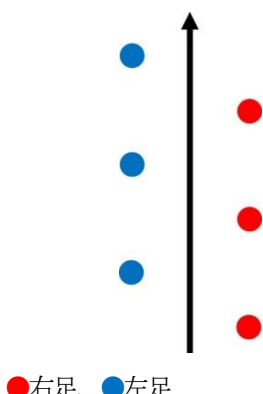
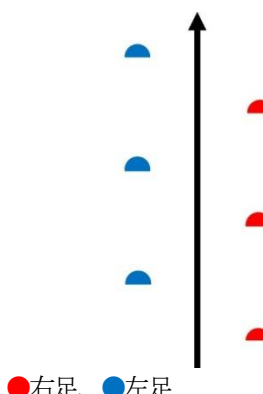
	パターン1	パターン2	パターン3
歩き方	カンガルーのようにピョンピョンと両足でジャンプして進む歩き方	人間のよう、右足、左足、と交互に足を出して進む歩き方	つま先だけで右足、左足、と交互に進む歩き方
結果	- 両足の位置が揃っている。 - 前に進む時に体が前のめりになる。 - 前には進みやすいが、方向転換したり、横に進みにくい。 - 一歩で進む距離は長い	- 両足の位置が横に揃わない。 - まっすぐに歩けば足あとが前方向に直線上に並ぶことがある。 - 体の姿勢は頭からお尻まで安定している。(人間の歩いている状態) - 方向転換がしやすく、くねくねと前へ進むことができる。 - 一歩で進む距離は長い。	- 両足の位置が横に揃わない。 - まっすぐ進めば、足あとが前方向に直線上に並ぶ。 - パターン2よりもまっすぐに並びやすい。 - 体の姿勢が前のめりになり、スピードを出した方が前に進みやすい。走った方が楽。 - スピードが出でて方向転換しにくい。 - 一歩で進む距離はすごく長い。
模式図	 ● 右足、● 左足	 ● 右足、● 左足	 ● 右足、● 左足

表3 二足歩行実験結果

(イ) 四足歩行の恐竜の歩き方

- 四足歩行の恐竜の主な種類 竜脚形類（ディプロドクス、ブラキオサウルスなど）
装盾類（ステゴサウルス、ユーオプロケファルスなど）
角竜類（トリケラトプス、プロトケラトプスなど）
- 歩き方の検討・・・3パターンを想定
パターンⅠ：うさぎのように最初に両前足を地面につけ、次に後ろ足を前足近くに着地させて進む歩き方。
パターンⅡ：ヤモリのように右手と右足を同時に前に出し、次に左手と左足を前に出す動きを交互にしながら前に進む歩き方。
パターンⅢ：サイのようにまず右手を前に出し、続いて左足を前に出す。次に左手を前に出し、続いて右足を前に出して進む歩き方

・四足歩行の実験結果まとめ

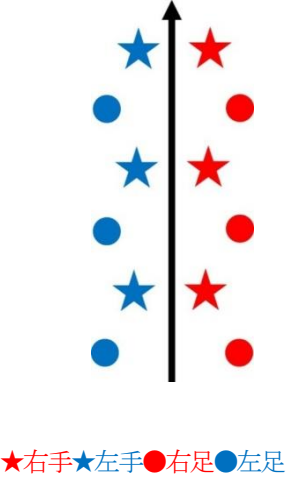
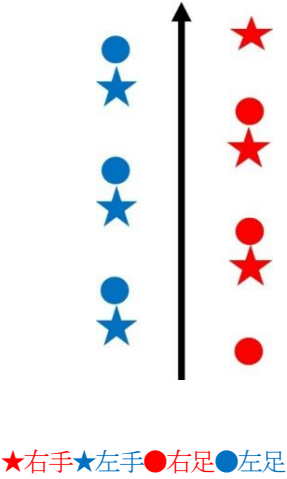
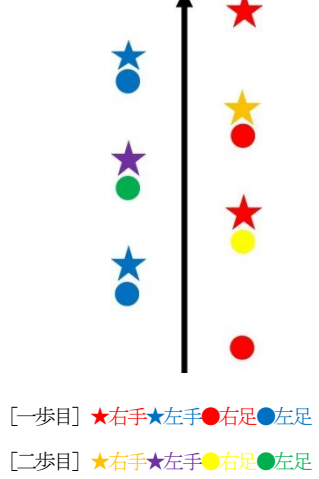
	パターンⅠ	パターンⅡ	パターンⅢ
歩き方	うさぎのように、最初に前足両方を地面につけて、そのあと後ろ足を前足の近くに着地させて進む歩き方。	ヤモリのように右手と右足を同時に前に出し、つぎに左手と左足を同時に前に出す動きを交互にしながら前に進む歩き方。	サイのように、まず右手を前に出し、続いて左足を前に出す。つぎに左手を前に出し、続いて右足を前に出して進む。
結果	・右足と左足、右手と左手で、それぞれ横に並ぶ。 ・両手は両足の幅より短い。 ・スタート時には足の方に重心があるが、着地するときには前のめりになる。足を曲げたり、伸ばしたりして進んでいるので、手は支えているだけ。 ・スピードは遅い。 ・一歩で進む距離は短い。	・右足と左足、右手と左手だけで見ると、ジグザグの足あとになっている。 ・右手と右足、左手と左足が前方向に直線上に並ぶ。 ・体の向きが変えにくい。 ・一歩の長さが長い。 ・手のひらはいつも全部地面に接している。足を前に出す時には、動かす方の足は指だけが地面についている。	・右足と左足、右手と左手だけで見ると、ジグザグの足あとになっている。 ・足あとの先に手の痕がついていて、同じ一歩で痕がついているように見えるが、二歩目と一歩目が混じっている。 ・体が動かしにくく、方向も変えづらかった。
模式図			

表4 四足歩行実験結果

オ 実験A・Bでわかったこと

- ①走っているか歩いているかは歩幅で見分ける。
- ②歩幅と体の大きさは比例のような関係がある。
- ③足あとのへこんでいる場所の深さによって、重心の位置や、走っているか歩いているかが分かる。骨のある場所や強い力が加わった場所は足あとがへこむ。
- ④足あとの並び方によって、四足歩行か二足歩行かわかる。
- ⑤体の重心がどこにあるかが分かる。(真ん中か前か後ろか)
- ⑥砂は足あとが残りにくい。泥の方が残りやすい。(海に釣りにきた人の足あとは波ですぐに消えてしまった。でも田んぼの泥には、おじさんが田植えをした時の足あとが、長い間残っている。※おたまじゃくしを取るときに足あとの部分に逃げ込むのをよく見る。だから少なくとも1か月は残っている。)
- ⑦足あとの幅と体の大きさの間には、何かルールがありそうなので、それが分かれば、速さや身長体重が分かるのではないかと思った。

(3) 観察

実験ABで恐竜の足あとのつき方や歩き方を想像したが、本当にそういう動き方ができるのか、現在生きている動物たちを観察して確かめた。今、生きている動物がどのような歩き方をしているのか、実験で想定

された歩行パターンにあてはまるのかどうかを観察するため、四つの分類の生き物が飼育されている静岡市駿河区にある日本平動物園で現生生物（動物）の歩き方を観察することとした。ただし、両生類については動物園で動いている様子を観察できなかったため、身近な環境にいるものを観察した。

＜観察した動物＞

哺乳類：ワラビー、アジアゾウ、サイ、キリン、ハイエナ、レッサーパンダ

鳥類：ダチョウ、タンチョウ、爬虫類：カメ、両生類：アマガエル、ヤモリ

ア 仮説を立てる

①動物の分類によってパターンが違うのではないかと。今まで見てきた生き物の動きを思い出して、哺乳類はパターンⅢ、爬虫類・両生類はパターンⅡ、鳥類はパターンⅢが多いと想定。②歩いているときと走っているときに違う可能性があり、その場合足あとの付き方も違うのではないかと。

イ 観察結果 表5・表6

分類	種類	歩いている時		走っている時	
		特徴	パターン	特徴	パターン
ほ乳類	ワラビー	・四足歩行 ・最初に前足を地面について、次に後ろ足をつける。	I	・二足歩行 ・両足でジャンプして走る。	1
	アジアゾウ	・四足歩行 ＜歩き方＞右後ろ足→右前足→左後ろ足→左前足 ・一本ずつ足を前に出して歩く。 ・パターンⅡは必ず前足と後ろ足を同時に出すと思ったが、ゾウは一本ずつ動かして進む。	II	走っている様子を観察できなかった。	—
	サイ	・四足歩行 ＜歩き方＞左前足→右後ろ足→右前足→左後ろ足 ・必ず一本の足だけ地面から浮かせて、三本の足はつけたままにして、体のバランスを保つ。 ・体がゆらゆらせず、どっしりと歩く。	III	走っている様子を観察できなかった。	—
	キリン	・四足歩行 ＜歩き方＞右後ろ足→右前足→左後ろ足→左前足 ・前足と比べて後ろ足が地面につくのが速い。 ・前足と後ろ足をあげるタイミングがほとんど同時だが、後ろ足が先に地面につくので、足が下がるタイミングがバラバラ。 ・前足を曲げて高く上げるため、地面につくまでの時間が長い。 ・後ろ足はほとんど曲げずに動かす。	II	・走っている様子を観察できなかった。	—
	ハイエナ	・四足歩行 ＜歩き方＞左後ろ足→左前足→右後ろ足→右前足	II	走っている様子を観察できなかった。	—
	レッサーパンダ	・四足歩行 ＜歩き方＞右前足→左後ろ足→左前足→右後ろ足	III	走っている様子を観察できなかった。	—

表5 哺乳類の観察結果

分類	種類	歩いている時		走っている時	
		特徴	パターン	特徴	パターン
鳥類	ダチョウ	・二足歩行 <歩き方>右足→左足 ・脚は足の近くの箇所が前に曲り(①)、体の近くの箇所が後ろに曲がっている(②)。 ・鳥類の足がほ乳類の足とは異っており、この曲がっている箇所が足のどこにあたるかはわからないが、②がかかとで、①が指の付け根だと感じた。膝が体の中にどのように入っているかは不明。	3	・走っている様子を観察できなかった。	—
	タンチョウ	・二足歩行 <歩き方>右足→左足 ・脚の形はダチョウと同じ。	3	・走っている様子を観察できなかった。	—
爬虫類	カメ	・四足歩行 <歩き方>右前足→左後ろ足→左前足→右後ろ足 ・足を動かす時に手や足を伸ばしたまま動いているように見え、関節があるのかわからない。	Ⅲ	・動きが遅く、歩いている時と走っている時の区別ができない。	—
両生類	アマガエル	・四足歩行 <歩き方>右前足→左後ろ足→左前足→右後ろ足 ・左前足と左後ろ足、左前足と右後ろ足をそれぞれセットにして動かす。	Ⅲ	—	—
	ヤモリ	・四足歩行 <歩き方>右前足→左後ろ足→左前足→右後ろ足 ・足は一本ずつ別々に動かす。	Ⅱ	—	—

表6 鳥類、爬虫類、両生類の観察結果

ウ 観察結果から考えたこと。

今回の観察で飼育されている動物たちはあまり走らないことがわかった。このため仮説②は検証できなかった。敵から逃げる必要がないことと、飼育員から餌をもらっているので獲物を狩る必要がないからだと推測する。仮説①は予想と違う所が多かった。調べた哺乳類ではパターンⅡが多かったが、パターンⅠ・Ⅲの歩き方の哺乳類もいた。爬虫類・両生類はパターンⅡもいたが、パターンⅢが多かった。鳥類は予想通りパターン3だった。

このことから、同じ種類でも、歩き方は同じでないことがわかった。しかし歩き方はどうやってきまるのか不思議に思った。このため、今後は足の骨の形や、足の長さ、足の付き方を比べる必要がある。また、今回、動物の足あとがよく見えなかったのも、どうすれば調査ができるのか、やり方を考えたい。また、同じ歩き方のパターンでも、足を前に出すタイミングが違っていた種類もいたのも、恐竜も同じではないか。生きている動物をもっと観察すれば、恐竜の歩き方も解明できると思う。

(4) 恐竜の歩き方の検討

これまで自分で実験し、現生生物を観察して見てきた歩行パターンをもとに、恐竜の歩き方を考える。検討方法は恐竜の大きな分類ごとに恐竜化石の足の骨を観察し、比較することとする。なお、新型コロナウイルス感染症拡大で、県外に行けなかったのも、静岡県内で恐竜化石の骨格標本を多数展示している東海大学自然史博物館で恐竜の足を観察し、恐竜の歩き方について実験Bで考えたパターンを検討する。また、必要に応じて以前に写真等を撮影した国立科学博物館や福井県恐竜博物館の骨格標本についても検討に加えた。

ア 観察した恐竜化石 表7

イ 観察した恐竜の足のまとめ 表8

	名前	分類	前足	後ろ足
四足 歩行	ステゴザウルス	装盾類	・後ろ足よりもサイズが大きい。 ・指の腹が平らで、地面にしっかり ついている。	・骨が太いところがある。 ・前足よりも指が太い。 ・脚全体が前足よりも太い。 ・指も爪も短い。
	トリケラトプス	竜角類	・指は太い骨に3本、細い骨に2本 ある。 ・指先が平ら。	・前足よりも後ろ足の方が長く、指も長い。 ・骨が太い。 ・足の指の幅は同じ程度。
	ディプロドクス	竜脚類	・指の長さが短い。 ・指があまり地面についておらず、 つま先立ちのように歩いていた？	・3本の指に大きな爪がついている。
二足 歩行	タルボサウルス	獣脚類	—	・小さい指が後ろにある(かかと？)。 ・爪も大きく曲がっている。 ・どちらの足の指にも関節が四本あり、よく曲がったか もしれない。 ・指が長く、地面に接地する面積が広いと推測される。
	プロバクトロサウルス	鳥盤類	—	・爪はタルボサウルスより鋭くない。 ・真ん中の指が他の指よりも太くて長い。
	パキケファロサウルス	堅頭竜類	—	小さい指が存在。 ・体の割に指が細いことから、病気にかかっている？

表7 観察した恐竜化石とその特徴



写真2 恐竜化石（左：ステゴサウルス、中：ディプロドクス、右：タルボサウルス）東海大学自然史博物館で撮影

ウ 代表的な恐竜の足を比べて気づいたこと

- ①爪の形がそれぞれの体つきにより、大きく曲がったかぎ爪形になったり、厚く平べったくなったり、それぞれ違っていた。かぎ爪のものは、歩くときに爪を地面にひっかけて、前のめりになって転ぶのを防いでいたのではないかな。また、厚く平べったい爪は、重い体重を支えるのに必要だったのではないかな？
- ②二足歩行の恐竜の方が指の関節が多いことから、指がよく曲がって、地面を蹴る力が強かったのでは？
- ③体の大きさのわりに、足が小さい。化石として骨しか残らない？しかし、実際は、筋肉や軟骨がもっとあって、足のサイズがもっと大きいと思う。どの恐竜もかかとの骨が見当たらない。つま先立ちで歩いていた？
- ④同じ四足歩行の恐竜でも、前足と後ろ足の形が似ているものと似ていないものがある。似ているものは、四本の足で同じように体を支えていたと思う。重心も体の真ん中にあっただろう。似ていないものは、後ろ足で体を支えて、前足は添えていたのではないかなと思う、重心は後ろの方にあっただろう。

エ 足あとの推測

（ア）四足歩行の恐竜（ステゴサウルス、トリケラトプス、ディプロドクス）：パターンⅢ
パターンⅠやⅡだと前足にも重心がかかるので、重い体を支え切れなかった可能性がある。

		単位	ステゴ サウルス	トリケラ トプス	ディプロ ドクス	タルボ サウルス	プロバクトロ サウルス	パキケファロ サウルス
全長		m	6	6.7	30	8	5.5	7(※)
二足か四足か		足	4	4	4	2	2	2
前足	横	cm	20	45	13			?
	縦	cm	40	65	55			?
後ろ足	横	cm	17	70	40	50	30	?
	縦	cm	30	13	35	40	50	?
前足の指の本数		本	5	5	5	2	4	4
後ろ足の指の本数		本	3	4	5	4	3	4
爪の形		—	大きくて、 平たい。	大きくて、平 たい。	大きく、先が 曲がっている。	大きく、先が 曲がっている。	細くて、平た い。	細くて、平た い。

※今回、観察していないため、図鑑(2014『小学館の図鑑NEO⑪ 恐竜』)に記載されている全長を参照。

表8 観察した恐竜の足のまとめ

(イ) 二足歩行の恐竜(タルボサウルス、プロバクトロサウルス、パキケファロサウルス): パターン3
かかとが無く、つま先立ちをしているので、パターン1だとバランスが取りにくい。

オ 化石から見てくる恐竜の歩き方に関するまとめ

今回の調査で足あとや恐竜の足の骨の形から次のようなことが分かった。

- ・足あとの主が走っていたのか歩いていたのか。
- ・四足歩行か二足歩行かがわかる。
- ・体の重心がどこにあるのか分かり、それによって、その恐竜の姿勢や歩き方がわかる。
- ・歩き方が分かれば、歩幅が分かることから、移動速度が速いか遅いかが分かる。
- ・時速や身長(身体の長さ)が分かりそう。
- ・筋肉や軟骨の付き方が分かるかもしれない。これにより恐竜の体の動き方や恐竜の生活が分かる。
- ・足あと化石は砂地では残りにくい。

3 おわりに

ぼくはこの研究で、四本足で歩くのは意外と難しいことが分かりました。砂浜でパターンⅢをやった時に途中でわからなくなってしまい、混乱してしまいました。いつもと違う頭の使い方をしたような気がしたので、脳にも影響があるのではないかと思います。また、今、生きている生物にも共通している部分があることもわかりました。

タルボサウルスの後ろ足に関節がたくさんあったので、人間の指に似ている動きができるのではないかと思います。また、細かい指の動きができれば、ジャンプしたり、方向を細かく変えたり、いきなり止まったり、スピードを調整したりできたのではないかと思います。今回、実際の恐竜の足あとの化石を探しに行けなかったけれど、新型コロナウイルス感染症が収まったら、探しに行きたいです。

参考文献

石垣忍 2008 『恐竜と歩こう!』 童心社／小学館 2014 『小学館の図鑑・NEO⑪ 〔新版〕恐竜』
福井県立恐竜博物館 2017 『福井県立恐竜博物館展示解説書』／平山廉 2019 『新設恐竜学』 株式会社カンゼン
国立科学博物館・朝日新聞社 2019 『大哺乳類展2』／国立科学博物館 2019 『恐竜展2019』