

御船恐竜博物館との連携による 恐竜化石の X 線 CT 画像を用いたバーチャルミュージアムの構築

社会環境工学科 大谷 順

1. まえがき

熊本県上益城郡御船町からは多くの恐竜化石が発見されており、世界的に産出例が少ないテリジノサウルス類の脳頭蓋 (braincase=脳函) の化石が知られている。しかし、この化石の内部には固結した砂泥が充填されており、外部の観察によって骨化石内部の細管の経路等を正確に把握することは困難な状況にある。

このように、複雑な形態をした化石の内部の観察はきわめて困難で、これまでほとんど研究対象とならなかった。しかし、産業用 X 線 CT スキャナーを用いることによって内部構造を非破壊で観察することが可能となり、脊椎動物化石の比較解剖学的研究に大きく貢献することが期待されるようになった。欧米では、1980年代からこのような X 線 CT スキャナーを使用した脊椎動物化石の観察が行われているが、恐竜に関する報告例はそれほど多くない。

本研究は、産業用 CT スキャナーを用いた国内産の恐竜化石研究の初の事例であり、新たな解剖学的情報が得られるものと期待されている。しかし、化石内部に充填されている基質には続成作用及び風化作用の影響で密度差が生じており、RAW データによる 3 次元構築が常に良い結果を示すとは限らない。このような場合は、変換した画像データに解剖学的検討を加えたうえで修正し、それらを用いて 3 次元に再構築することが一般的な手法とされており、画像処理作業及び 3 次元再構築ソフトを用いた解析が必要である。また、微細な構造を有する部位については、マイクロ CT スキャナーなどを用いた撮影によって高解像度の画像を得て、多方面からの検証をおこなう必要がある。

御船町恐竜博物館は御船町中心部に位置する小規模な博物館であるが、地域の子どもたちをはじめ、博物館活動への関心は高く、休日には多くの人々が博物館を活用している。自然科学をテーマとして掲げるこのような博物館と工学の接点は多くないが、博物館活動を支援することも地域貢献のひとつとして重要である。また、地域に根ざした地道な調査研究は、地方の小規模博物館にとって活動の根幹に関わる部分であるにもかかわらず、国内または海外の研究施設の機器を使用して研究を行うようなことは、財政的な負担も大きく現実的に困難な状況にある。

以上のような状況をふまえて、本研究では熊本大学工学部が所有する産業用 X 線 CT スキャナーを用いた Development of virtual museum using X-ray CT data of dinosaur fossil under the coordination with Mifune Dinosaur Museum

御船層群産の恐竜化石の内部構造の撮影と 3 次元構築をおこなうことによって新たな解剖学的情報を得ることを目的とした。

本研究では、申請した研究費の意図を踏まえ、以下に示す 2 つの大きな目的を設定した。

- 1) 産業用 X 線 CT スキャナーを用いた御船層群産の恐竜化石の内部構造の撮影と 3 次元構築をおこなうことによって新たな解剖学的情報を得ること。
- 2) 御船町恐竜博物館は御船町中心部に位置する小規模な博物館である。この博物館活動を支援することで大学における社会貢献を目的とする。

2. 実施体制および実施内容の概要

本研究助成の実施に当たり、実際に作業に従事する共同研究者として、学部 3 年生を対象に公募を行い、最終的に 3 名を雇用した。加えて、コンピュータの使用法や X 線 CT 結果という専門的な内容を含んでいるため、大学院の学生 2 名を補助として加え、研究分担者の池上研究員 (御船町恐竜博物館) を含め、全 7 名で実施した。以下のそのリストを挙げる。研究代表者：大谷 順 (社会環境工学科 教授)
学外研究分担者：池上直樹 (御船町恐竜博物館 研究員)

研究従事者

大学院学生：竹林泰佑、森田兼生

学部 3 年生：植田貴俊、新留洋平、渡辺まゆ

補助：高野大樹 (博士後期課程)

実施した全体の内容については以下のとおりである。

- 1) 恐竜化石を含むいくつかの化石の CT 撮影 (ここでは、より精度の高い CT 画像を得るために、熊本大学が所有する産業用 X 線 CT 装置を開発している (株) 東芝の研究所での撮影も実施)
- 2) 得られた化石の CT 画像を用いたコンピュータ上でのバーチャルミュージアムの作成 (HP の形式で作成)

以下、上記について、それぞれ報告する。

3. 東芝 IT への出張内容

著者らはこれまでに、熊本大学に導入されている産業用 X 線 CT スキャナにより恐竜化石の内部構造の

Jun Otani

Department of Civil and Environmental Engineering

観察を行ってきた。しかし、熊本大学における X 線 CT 装置では化石中の微視的構造を観察するために解像度が十分ではなかった。そこで、東芝 IT コントロール株式会社所有のマイクロ CT スキャナを利用し、化石内部構造を 3 次元的に可視化し、その内部構造を観察するために必要な連続断面データの取得を行った。今回検査対象とした化石は、熊本県上益城郡御船町に分布する御船層群上部層（上部白亜系）から産出した恐竜化石 2 点で、ハドロサウルス類及びテリジノサウルス類の脳函（後頭部）化石である。熊本大学所有の X 線 CT スキャナの空間分解能が $70 \times 70 \times 300 \mu\text{m}$ であるのに対し、今回使用したマイクロ X 線 CT スキャナのそれは、 $40 \times 40 \times 40 \mu\text{m}$ となり、より詳細な観察が可能となる。今回の検査では、これらの恐竜の脳周辺の骨の内部に保存されている脳神経や感覚器官等の位置・形態の観察を行った。写真 1 がマイクロ CT スキャナで観察した実際の写真である。

今回マイクロ CT スキャナを使用したことによって、これまで観察することができなかった聴覚器官の構造を観察することができた。この構造から、当時の恐竜の生態についてさらに言及できる。

4. バーチャルミュージアムの作成

今回 CT 画像解析ソフトを用い、多くの方により親しみやすく CT について知っていただくために、熊本県御船町で発掘された恐竜・タヌキ・ワニの三種類の骨を標本とし、さらに、解析結果を御船恐竜博

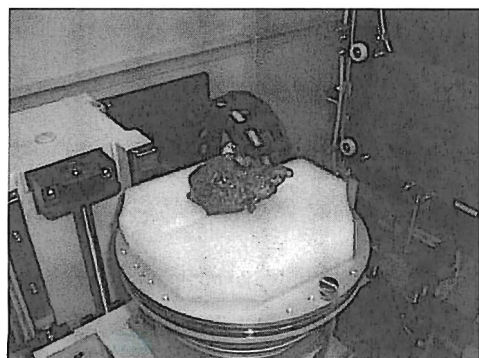


写真 1

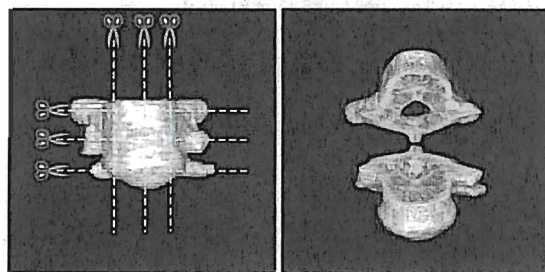


図-1 化石の断面図

物館のご協力の元、バーチャル博物館を開設しそれぞれの画像・解析結果を分かりやすくアップした。また、それと同時に CT の歴史や原理なども調べ、サイト内に載せることとした。

4. 1. 標本

今回作成するホームページに、掲載するために用いた標本は、御船町恐竜博物館から提供していただいたコエルロサウルス類の化石 2 点、及び原生生物であるワニ、タヌキの頭蓋骨をそれぞれ 1 点ずつの計 4 点である。

4. 2. 画像処理

CT 撮影によって得られたデータを画像に変換するために Wayne Rasband (NIH: アメリカ国立衛生研究所) で開発されたパブリックドメインの画像処理ソフト ImageJ を用いた。この ImageJ は科学・研究者向けに作られた画像解析用ソフトである。このソフトを用いて、データを IMG ファイル形式から JPEG ファイル形式に変換した。これは他のソフトウェアへ汎用性が広がるためである。

こうして変換されたデータは、VoxBlast (VayTek 社) や VGStudio (日本ビジュアルサイエンス社) などといった三次元再構築ソフトウェアへ利用することが出来る。これらのソフトウェアは画像データを三次元画像に構築や任意の断面の抽出、それらの動画の作成等に優れている。

今回、VoxBlast は主に化石の概観を理解するために外周を 360 度縦及び横方向に回転する動画、連続切片像の動画を作成するのに用い、VGStudio は図-1 に示すような断面画像を 2 つに分けることでより標本の構造をわかりやすく表現するために用いた。

4. 3. ホームページ作成

バーチャル博物館を作成するにあたり、マクロメディア社の WEB ページ作成ソフト Dreamweaver 8 を用いた。このソフトは、WEB サイトやアプリケーションを効率よくデザイン、開発、管理できるもので、様々な用途に対応出来る機能を搭載したソフトである。このソフトを使用するにあたり秀和システム出版のはじめての Dreamweaver 8 を参考にした。

また、国立科学博物館恐竜バーチャルミュージアム (http://www.kahaku.go.jp/exhibitions/vm/resource/ex/dino/index_hi.html)、アメリカテキサス州のテキサス大学・UTCT (<http://www.ctlab.geo.utexas.edu/>) のホームページを参考とした。

・ホームページのデザイン

バーチャル博物館を作成するにあたり、TOP ページから、いかにわかりやすく CT 画像を見せていくかという点を考慮しながら作業を進めていった。

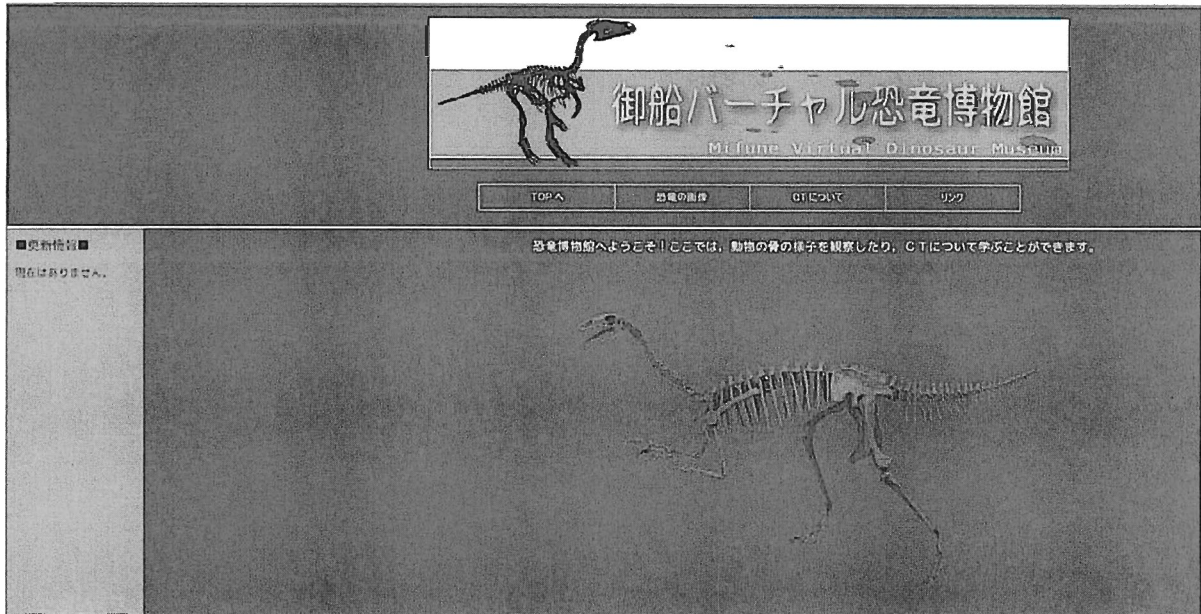


図-2 TOP ページ画面

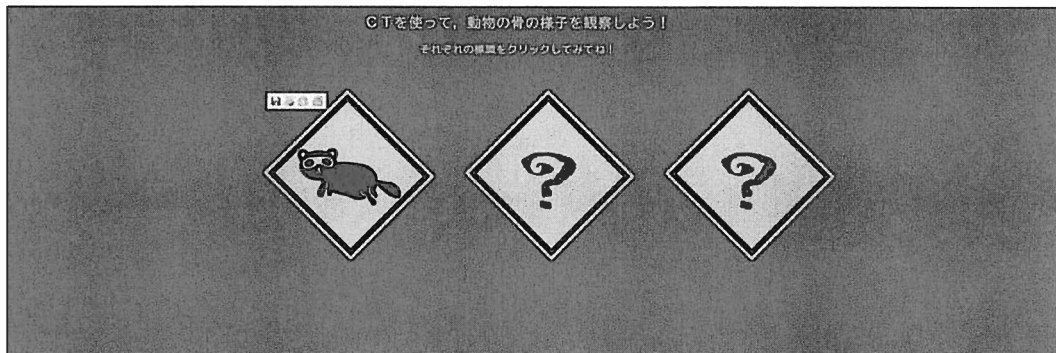


図-3 ?アイコン

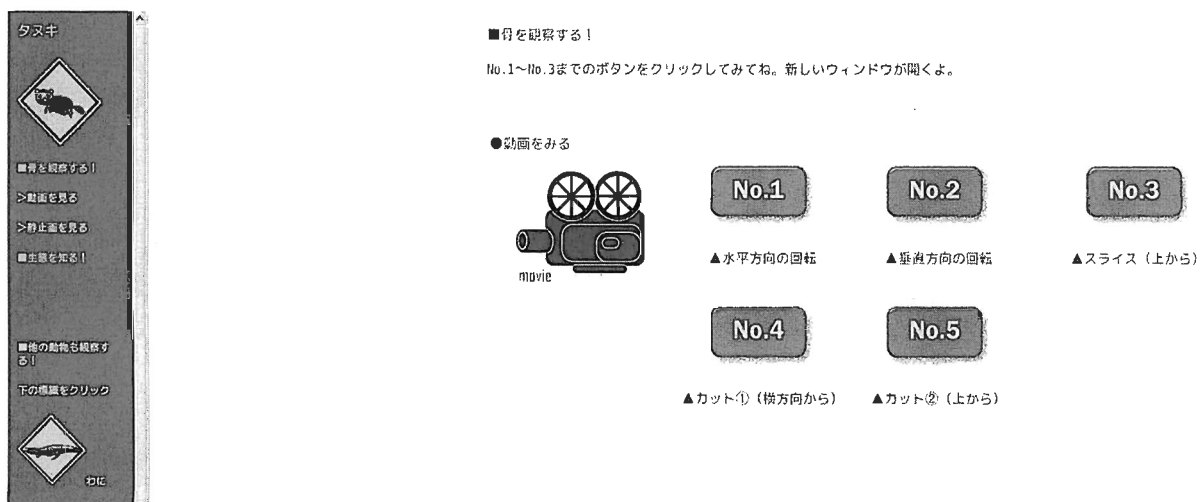
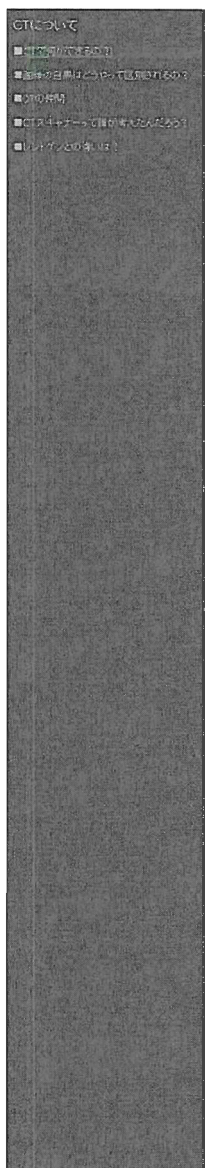


図-4 動画ページ



CTって何だろう？

このホームページに出ている恐竜の化石は、CT（シーティー）という機械を使って立体的に表しています。

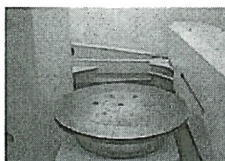
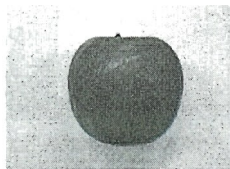
そもそもCTって、どういうものなのでしょう？

*ここに、りんごが映ります。

さて、ここでみなさんは想像です。

りんごを切らずに、中身を調べたいはどうすればよいのでしょうか？

『そんなのでまっかはないよ！』という声が聞こえてきそうですが、CTスキャンという技術を使うとそれができるのです。



*左の写真がCTスキャンをする装置です。

CTは英語で(Computed Tomography)といい、日本語では『コンピュータ断層撮影』という意味です。

CTスキャンではX線を使います。

X線は、先の戸歌で、どんなものでも通り抜けることができます。その光の通り具合で、密度（物のつまりかあい）の違いを身分けることが出来るのです。

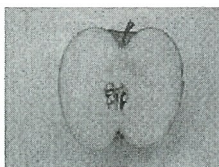
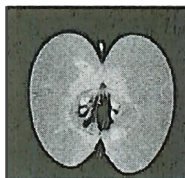
では、さっきのりんごはどうなるでしょう？

右の写真は、上からX線を当てた様子です。

りんごのまわりの、骨の部分に区別されててきます。

実をよく見ると、白っぽいところと灰色のところが見えますね。これは密度の違いです。白っぽいところのほうは密度が高くて、たくさんつまっているということです。

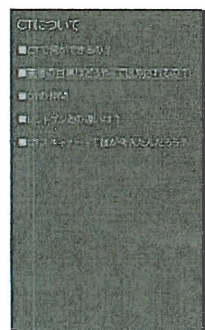
さらにコンピュータでは、赤、青、緑の部分分けをすることもできます。



*実際にりんごを縦に切って確かめてみました。

CTで撮影したものと同じものであることが分かりますね。

図-8 CTの説明1



画像の白黒の意味

CTの画像は、見たら気付くと思いますが全ての画像が白黒です。これは、一体なぜなのでしょう？ 画像が白くても黒くても出てきません。

これには、人間の体の仕組みとX線の性質が関係しています。

X線CTでは、物体のX線透過の程度が画像化されています。密度が高ければ、画像を透過しやすいものは『黒』 通りにくいものは『白』で表されています。

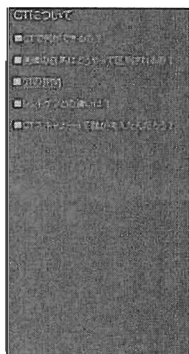
一般的に

空気やガスのようにX線を通りやすいもの→黒

骨などのようにX線を透過しにくいもの→白

ですから、病院で見るとレントゲン写真は骨の部分が高く写っていると思います。骨は硬いからです。

図-9 CTの説明2



CTの仲間について



●CTについては、前のページで説明しましたが、CTの仲間で、よく似たものにMRI（エム・アール・アイ）があります。

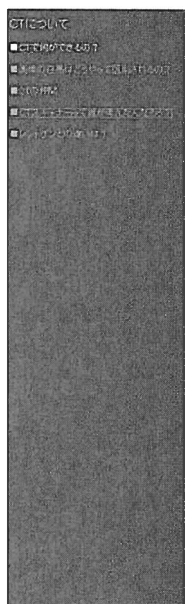
MRIとは、英語で Magnetic Resonance Imaging と訳われ、日本語では「磁気共鳴断層撮影法（かくじききょうめいがさうほう）」と訳れます。

CTとMRIは、どちらも同じような装置を使って物を輪切りにした断面を写します。主に医師用として使われます。一番の大きな違いは、CTはX線という放射線の一種を使いますが、MRIは磁気とほんの少しの電波を用いるため、人体に影響を及ぼすことがありません。

CT、MRIはそれぞれに得意分野があるので、病院では目的によって使い分けたり、両方使ったりすることがあります。

写真は、MRIで撮影したヒトの顔面です。顔の骨がハッキリとわかります。

図－10 CTの説明3



CTの歴史

皆さんは、どのようにしてCTが作られてきたの知っていますか？

ここでは、CTの歴史について見ていきましょう。

●1896 X線の発見

CTは発明には、X線の発見が深く関係しています。このX線を発見したのが、レントゲン博士（右）です。皆さんも、病院でよく耳にする「レントゲン」を作った人です。レントゲン博士は、X線の発見100周年記念物理学賞を受賞しています。



出身：フェルツブルク大学

http://www.fhnw.net/2019/06/roentgen

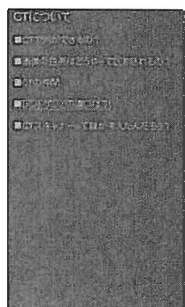


●X線CTスキャナーの開発

X線CTスキャナーは、両脚イギリスの物理学者ロズトとして働いていた、Hounsfield（ハンスフィールド）とアメリカ人（Ernie（アーノルド・コーマック））によってつくられました。その後、1972年 国際X線CTスキャナーが誕生しました。

左の写真は医療用X線CTスキャナーです。

図－11 CTの説明4



CTとレントゲン



皆さんは、CTで撮影したことなくレントゲンの撮影をしたことありませんか。息を止めて～止めて～はい～そのま～って～やるやつです。

両方も骨の画像です。でも、実はMRIやCTとは異なるのです。普通のX線撮影（レントゲン）は「影絵」のようなものです。したがって、人の骨で黒いところが写ってもそこが、自分の骨か他人の骨かわかりません。なぜなら、人間の骨は密度であり厚さでは異なるからです。それに対して、CTは人間の体を輪切りにする断面画像が分かるようになってきているのです。

写真は、世界最初のX線CTスキャナーとされるものです。これは、レントゲン博士の奥さんの手なんです。レントゲン博士がX線を証明する発表は1895年（約120年前）に撮影したそうです。

図－12 CTの説明5

ではおもしろくないので、「？」マークのアイコンを作成し、アイコンに対してオンマウスにすると画像が切り替わるようにし、クリックすると各対象物の解説へと進むように作成した。これにより、どこに何があるのか、より好奇心を持ってホームページを閲覧できるようにと配慮した。

・タ浦キ、ワニ、恐竜の動画と静止画

上述の「？」のアイコンをクリックすると図-4のようなページに移る。このページからは、動画と静止画を見ることが出来る。

動画は Windows Media Player などのソフトにより見ることが出来る。骨に対して縦・横360度を回転し概観を見る動画2種類、連続切片など断面を見ることのできる動画3種類の計5種類の動画をここでは用意している。

静止画は上述の図-5に示したように画像を、縦横それぞれ3分割し、ハサミのアイコンに合わせてそのポイントで骨の断面を観察することが出来る。また恐竜の生態についての説明を別のページ図-6にて行っている。ワニについても種類、生態などの分布があり、それらについても理解を深めるため図-7に示すページを設けた。

・CTについて

バーチャル恐竜博物館作成にあたりメインとなったのがCTである。そこで、CTについての説明のページを設けることにした。CTに関しては専門的な説明になると難しい話になってしまうため、対象を子供から一般の方までが分かりやすくかつCTの原理をきちんと理解していただけるように文章を構成してある。平易な文章表現を使用しているのも、そのためである。

今回は身近な物の例としてリンゴのCT撮影を行い図-8のページに示した。リンゴを、参考例に挙げたのも先に述べた通りである。

その他のCT関連事項について疑問に思いそうな点や歴史、MRIとの違いなどをQ&A形式でまとめたものが図-9、10、11、12である。

については、逐次古生物学会等で発表している。加えて、熊本大学の地域貢献という側面についても達成したと考える。

以上であるが、今後も以下の内容を目的にこの研究を継続していく予定である。

- 1) 全恐竜化石のCT撮影を実施
- 2) 研究成果を国内外で論文として発表
- 3) 公的資金の申請
- 4) 1-2年を目処に、今回作成したバーチャルミュージアム構築を終了し、御船町恐竜博物館に常設する。

5. あとがき

本研究においては以下の成果を得ることができた。

- 1) 現時点においては、バーチャルミュージアムの完成には至っていないが、ある程度の骨格はできたと考える。
- 2) 学部学生を公募という形で研究に参画させた。これにより、ものづくり教育と研究実施を共有する方法を模索できた。
- 3) 本研究は、御船町恐竜博物館と熊本大学の共同研究として実施した。研究成果のポテンシャル