



京都大学
KYOTO UNIVERSITY

KURNS

中性子イメージングの 古生物学への応用

伊藤、大平、齊藤、篠原、鬼柳

Neutron Tomography and the Virtual World of Paleontology

Joseph J. Bevitt

Australian Centre for Neutron Scattering, Australian Nuclear Science and Technology Organisation,
Lucas Heights, NSW, Australia

joseph.bevitt@ansto.gov.au

In paleontology, X-ray radiography and tomography (CT) are critical tools employed in the characterisation of fossil forms through the structural evaluation of bone surface features. Where further details are required, nondestructive CT complements physical thin-sectioning to investigate the internal structure of fossils. In this manner, specimens can be evaluated as juvenile, sub-adult or adult, while the presence of medullary bone infers that the animal was gravid, and therefore female. Details such as these are essential in differentiating ontogenetic (age related) and sexual from phylogenetic differences, resulting in improved taxonomic definitions and revealing temporal changes in morphology.

Museums have traditionally either been ignorant of, or hesitant to employ neutron tomography (NT) in paleontology. This is due primarily to warnings of residual induced radioactivity, the unclear benefit over X-ray CT, and limited accessibility to neutrons. Unlike in most other fields, legal ownership, ethics, import-export declarations, chain-of-custody requirements, insurance and object loan agreements and suitable storage all complicate efforts to conduct paleontological science at major facilities.

Over the last 10-15 years, museums have increasingly engaged with neutron facilities, first through exploratory studies on low-value specimens, before rapidly transitioning to challenging (X-ray opaque) and high-impact specimens.

This talk draws from the extraordinary outcomes of the diverse merit-based user community to summarise the benefits of neutrons over X-rays and trace the development of a world-leading program of paleontology research using the DINGO neutron imaging instrument at the Australian Nuclear Science and Technology Organisation (ANSTO) [1].

Highlights include the first evidence that crocodiles ate dinosaurs [2], the world's oldest-known fossil heart [3], neurosensory diversity in early reptiles [4] and discovery of new dinosaur and pterosaur species. These and other examples will further demonstrate the challenges and lessons learned, the evolving technical and ethical demands of the paleontological community.

References:

- [1] Garbe, U; Randall, T; Hughes, C; Davidson, G; Pangelis, S and Kennedy, SJ, A New Neutron Radiography / Tomography / Imaging Station DINGO at OPAL, Physics Procedia 69, 27 (2015).
- [2] White, M.A.; Bell, P.R.; Campione, N.E.; Sansalone, G.; Brougham, T.; Bevitt, J.J.; Molnar, R.E.; Cook, A.G.; Wrote, S.; Elliot, D.E., *Abdominal contents reveal Cretaceous crocodyliforms ate dinosaurs*, *Gondwana Res.*, 106, 281-302 (2022).
- [3] Trinajstić, K; et al., Response to comment on "Exceptional preservation of organs in Devonian placoderms from the Gogo lagerstätte", *Science*, 380, 6645 (2023).

- [4] Bazzana, K.D.; Evans, D.C.; Bevitt, J.J.; Reisz, R.R., *Endocasts of the basal sauropsid Captorhinus reveal unexpected neurological diversity in early reptiles*, *Anat. Rec.*, 306:552-563 (2023).



A small, complete, Early Permian skull with articulated mandibles; from the fossiliferous karst deposits near Richards Spur, Oklahoma. Ref: Gee, Bevitt, & Reisz, *A juvenile specimen of the trematopid Acheloma*, *Frontiers in Earth Science*, 7 (38), 2019.



New prehistoric crocodylian discovered with a dinosaur in its stomach. Ref [2].



Neutrons and synchrotron X-rays go public. ANSTO-assisted dinosaur and pterosaur discoveries featured on Australian coins and stamps in 2022.

ワニが恐竜を食べていたという最初の証拠、世界最古の心臓の化石、初期爬虫類における神経感覚の多様性、新種の恐竜と翼竜の発見など

古生物学への応用

- X線ラジオグラフィを用いると、骨表面の特徴を構造的に評価することができる。さらに詳細な情報が必要な場合は、CTで化石の内部構造を調査する。
- 幼体や成体、またはオス、メスの判別ができ、形態の時間的变化を明らかにすることができる。

従来、中性子イメージングが適用されることは少なかった

- 放射化
- X線CTと比べた際の利点が不明確であった
- 中性子を利用できる場所が限られていること
- 所有権、倫理観、輸出入、保険、貸与契約、適切な保管など、すべてが複雑である。

近年、博物館と中性子施設とのかかわりが増えてきた。価値が低い試料を探索的に調べ、その後、急速に難易度の高い(X線で困難な)試料の調査に移行してきた。

中性子イメージングによって有益な情報取得の可能性

新知創造

時代(地史・歴史)や場所が
異なる文化財・自然史材
＋
最先端の物質・材料測定技術



中性子イメージング

- 平泉出土の磁器
- 水月湖の年縞
- 福井の恐竜化石

新知創造学際ハブ

文化財学、考古学などの人文科学と最先端の
分析・解析技術を有する材料科学が融合した
新しい学際領域を作っていきます。



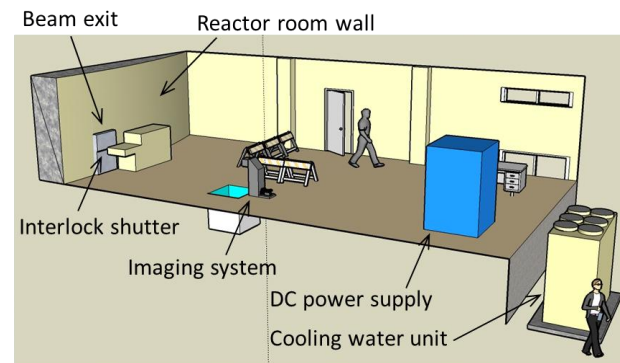
共同利用・共同研究課題を募集します



実験



- これまでX線を用いた調査は多く行われてきている
- 京都大学研究用原子炉のB-4実験室では、中性子とX線を利用したイメージングが可能。
- 同じ撮像系(コンバータのみ変更)によって、中性子とX線の透過像撮影およびCT撮像を行った。



恐竜の化石①

エドモントサウルス



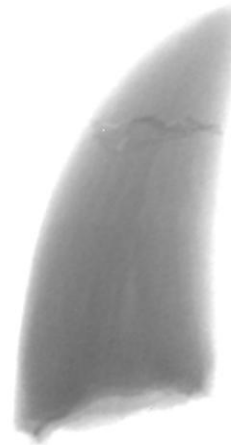
中性子



X線

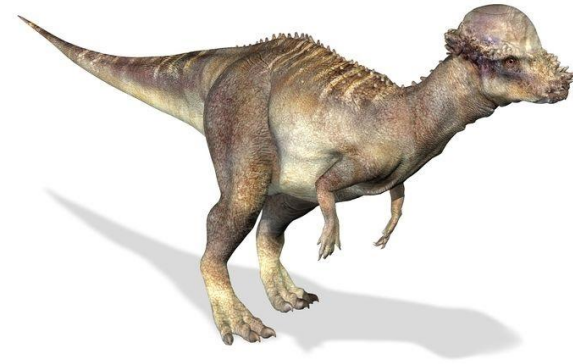


ダスプレトサウルス



恐竜の化石②

パキケファロサウルス



CT再構成結果

中性子

X線



断層画像

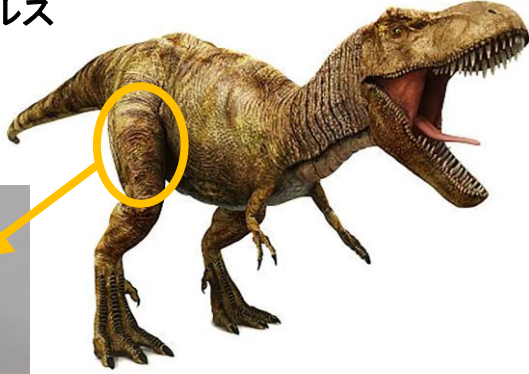
中性子

X線

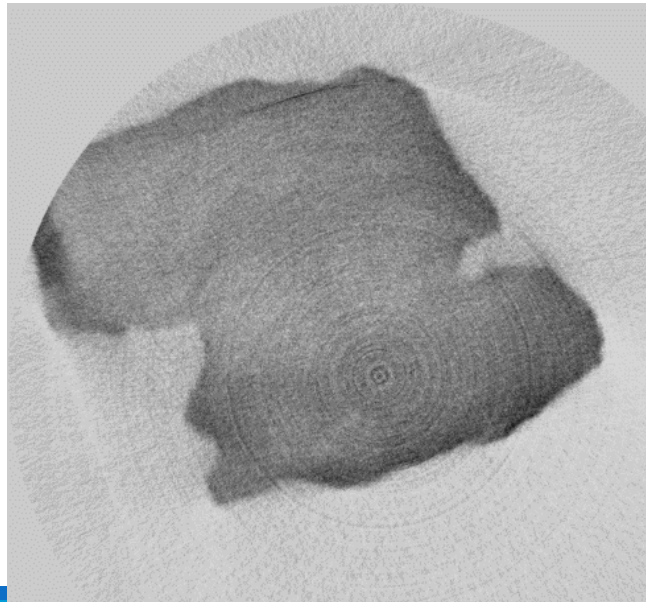


恐竜の化石③

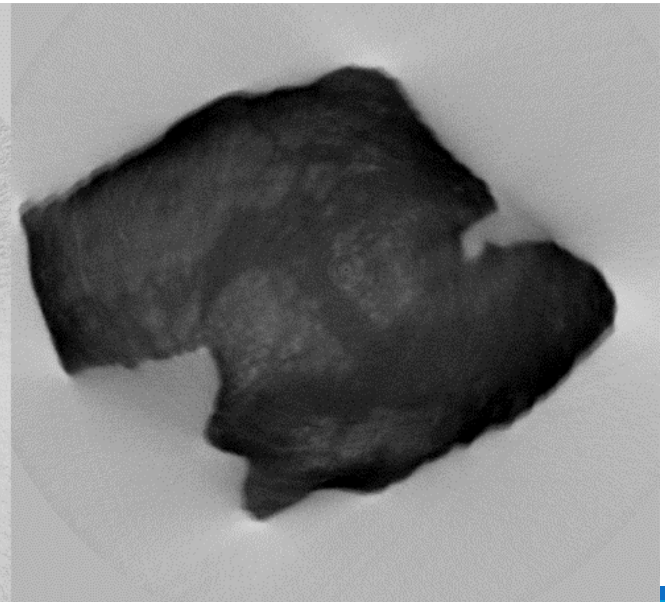
ティラノサウルス



中性子

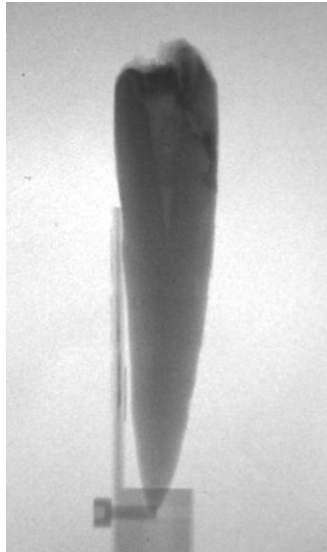
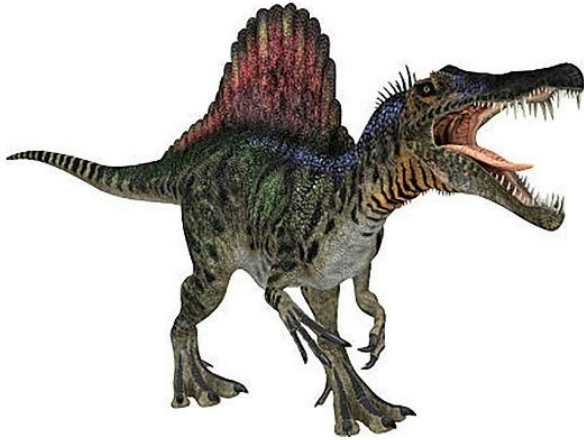


X線



恐竜の化石④

スピノサウルス



中性子



X線

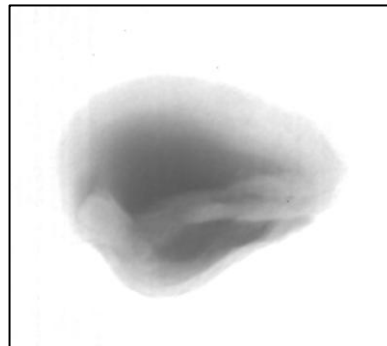


二枚貝(トリゴニオイデス)の化石

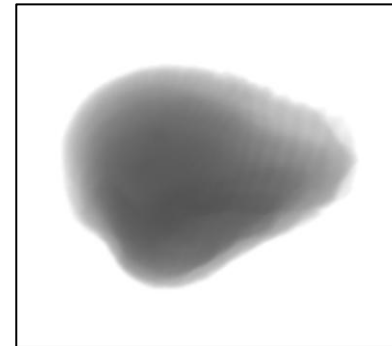
写真



中性子



X線



まとめ

- 恐竜をはじめとして、古生物の化石の中性子イメージングを実施中。
- サンプル数を増やして、(専門家による)より詳細な評価を行う。
- 最終的には、新試験研究炉で福井産恐竜化石を調べる。
- 恐竜好きな人募集中。
- 化石だけでなく、文化財や考古資料のイメージングも進めていく予定。