

九州シンクロトロン光研究センター 県有ビームライン利用報告書

課題番号：61-2409060I

B L 番号：BL07

(様式第 5 号)

血管病変を含むヒト疾患モデルマウス組織の マイクロ CT イメージング

Micro-CT imaging of tissues in mouse model of human disease including vascular lesion

権田幸祐^{1,2}、木村森音¹、白石有佳¹、米山明男³
Kohsuke Gonda, Mone Kimura, Yuka Shiraishi, Akio Yoneyama

¹ 東北大学大学院医学系研究科医用物理学分野
Department of Medical Physics, Graduate School of Medicine, Tohoku University

² 東北大学 国際放射光イノベーション・スマート研究センター
International Center for Synchrotron Radiation Innovation Smart (SRIS), Tohoku University

³ 九州シンクロトロン光研究センター・ビームライングループ
Beamline Group, SAGA Light Source

- ※ 1 利用情報の公開が必要な課題は、本利用報告書とは別に利用年度終了後 2 年以内に研究成果公開〔論文（査読付）の発表又は研究センターの研究成果公報で公表〕が必要です（トライアル利用を除く）。
- ※ 2 実験に参加された機関を全てご記載ください。
- ※ 3 共著者には実験参加者をご記載ください（各実験参加機関より 1 人以上）。

1. 概要（注：結論を含めて下さい）

癌、糖尿病、血栓症、筋萎縮など、国民の健康に大きな影響を及ぼす疾病は、血管の構造や機能の変化を伴う血管病変を発症していることが多い。我々は高感度血管造影剤として、金ナノ粒子を合成し、これを各種のヒト疾患モデルマウスに静脈注入することで、実験室の X 線 CT において各疾病組織の血管病変のイメージングを行ってきた。

本利用では、より微細なレベルでの血管病変の観察を目的として、上記病変の中でも血栓症と筋萎縮に着目し、12keV の放射光を用いた吸収 CT イメージングを行った。その結果、血栓症では血栓組織構築に関わる組織構成の不均一性を、そして筋組織では 10 μ m 以下の非常に細い血管を可視化することに成功した。本研究成果を応用し、放射光でさらに各組織の複雑な病態の詳細を明らかにすることができれば、疾患の新診断技術開発や創薬への展開が期待される。

(English)

Diseases that have a significant impact on the health of the public, such as cancer, diabetes, thrombosis, and muscle atrophy, often develop vascular lesions accompanied by changes in the structure and function of blood vessels. We have synthesized gold nanoparticles as a highly sensitive vascular contrast agent and intravenously injected them into mouse models with various human disease to image vascular lesions in each diseased tissue using laboratory X-ray CT.

In this study, we aimed to observe vascular lesions at a finer level, focusing on thrombosis and muscle atrophy among the above lesions and performed 12 keV synchrotron radiation absorption CT imaging. As a result, we succeeded in visualizing the heterogeneity of the tissue composition involved in thrombus tissue construction, and very thin blood vessels of less than 10 μ m in muscle atrophy tissue. If the results of this research can be applied to clarify the details of the complex pathology of each tissue using synchrotron radiation, it is expected that this will lead to the development of new diagnostic techniques for diseases and drug discovery.

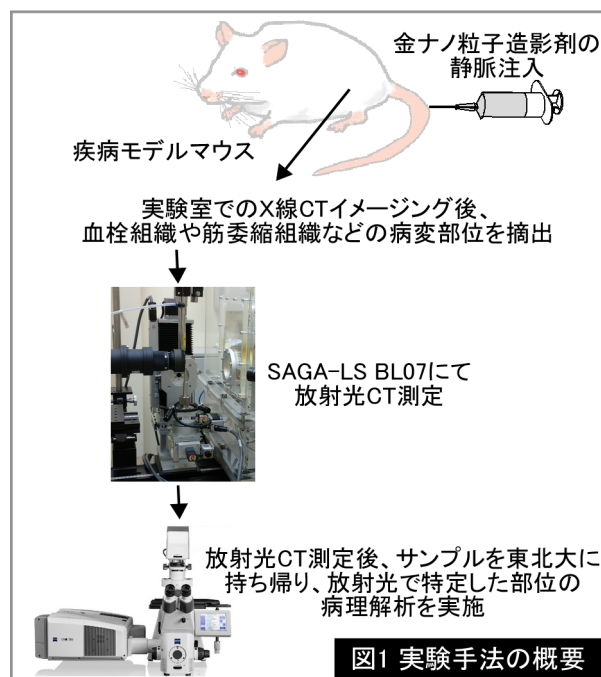
2. 背景と目的

本研究は、金ナノ粒子を X 線造影剤に用い、血栓症や筋萎縮のモデルマウスにおいて、疾患組織の血管の構造や機能を SAGA-LS の放射光吸収 CT で可視化することを目的としている。本研究で獲得した「放射光吸収 CT による一部の組織のデータ」と、「実験室の X 線 CT で計測した疾病組織全体のデータ」や可視域の蛍光免疫染色で評価した疾病組織切片のデータ」らを融合し、各疾患の進行や抑制の機序解明を行う。得られた疾病情報は、診断技術開発や創薬の薬効評価に応用し、血栓症や筋萎縮のみならず癌、糖尿病、腎症などに対し、放射光を活用した医学研究の新領域開拓を目指す。

血栓症や筋萎縮では、疾患の進行に関連した血管の構造や機能変化を正しく理解することが重要となる。実験室の X 線 CT の分解能は $9\mu\text{m}$ 程度であり、微小領域（数 $\sim 10\mu\text{m}$ ）の観察には十分でなかった。よって分解能が数ミクロンの SAGA-LS の放射光吸収 CT で金ナノ粒子の詳細な局在解析が出来れば、血栓症や筋萎縮の理解が進み、血管の構造や機能を活用した診断や創薬が利用可能となる。

3. 実験内容（試料、実験方法、解析方法の説明）

下大静脈を狭窄することにより血栓症を発症したマウスを、そして坐骨神経を除去することで筋萎縮を患ったマウスを調製する。その後、これらのマウスに対して、尾静脈から金ナノ粒子血管造影剤を注入する。血栓組織への金ナノ粒子の取り込みや、筋萎縮組織の血管の造影に適したタイミングを目安に実験室の X 線 CT で撮影し、血栓症や筋萎縮の病態を評価する。各疾患の血管を含む組織は、CT 撮影後摘出し、ホルマリン固定を行う。固定後の疾患組織に対し、実験室 X 線 CT 画像の解析結果から決定した要観察領域の組織を切り出した後、内径 2mm のチューブ内に挿入する。チューブ内に格納した血管を含む各疾病組織を SAGA-LS 施設に持ち込んだ後、BL07 光学ハッチに備わっている放射光用のマイクロ CT 装置でイメージングを実施し、詳細な解析を行う。放射光による CT 撮影後の組織は、蛍光免疫染色による病理組織解析を行うために東北大学に持ち帰り継続して評価を行う（図1）。



4. 実験結果と考察

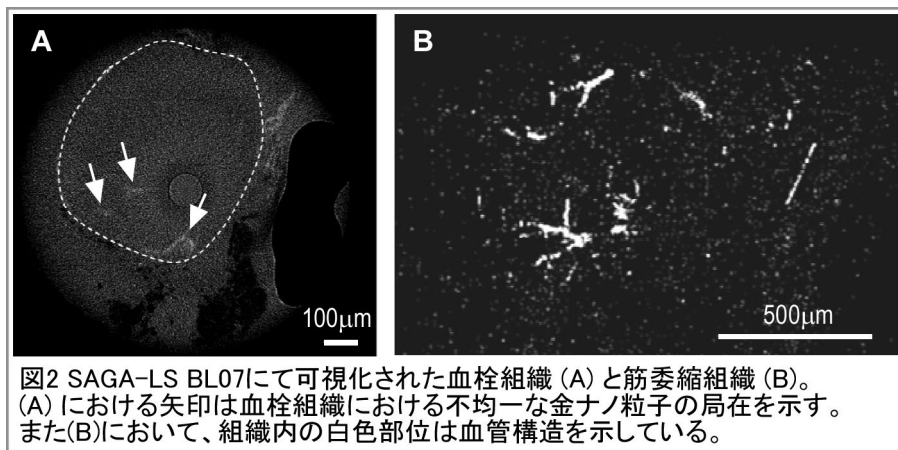
BL07 光学ハッチの装置の設定上、放射光のエネルギーに関して、最も光子密度が高いと考えられるのは 10keV である。そのため、以前の結果を踏まえ、血栓組織は 10keV で撮影した。一方、筋組織の血管は、以前に SAGA-LS で腫瘍血管測定した結果を踏まえ、金原子の L 吸収端である

12keV を利用したイメージングを行なった。その結果、図 2 にあるように、血栓組織では実験室の X 線 CT では可視化が困難な組織構成の不均一性（図 2A）を、そして筋組織では $10\mu\text{m}$ 以下の非常に細い血管（図 2B）の可視化に成功した。

本高分解能イメージングで明らかになった技術を利用し、放射光でさらに多くの血管病変の詳細を明らかにすることができれば、各疾病の医学的理解が進み、診断技術や創薬支援技術など医学医療分野の新展開が期待される。

5. 今後の課題

今後はこの可視化技術を応用し、観察サンプル数を増やし、創薬に応用可能な技術へ向上させること、さらには放射光 CT で計測した情報と病理解析のデータを融合することが期待される。



6. 参考文献

1. Yoneyama A., et al., Advanced X-ray imaging at beamline 07 of the SAGA Light Source. *Journal of Synchrotron Radiation* 28: 1966-1977 (2021).

7. 論文発表・特許（注：本課題に関連するこれまでの代表的な成果）

(*)は Corresponding Author を示す。

1. Kanabuchi S, Kitamura K, Takano-Kasuya M, Inose T, Nishidate C, Yamanashi M, Kudo M, Ito T, Ito N, Okamoto H, Taniyama Y, Kobayashi Y, Kamei T, **Gonda K***. X-ray irradiation negatively affects immune responses in the lymphatic network. *Microvascular Research* 148: 104511 (2023).
2. Une N, Takano-Kasuya M, Kitamura N, Ohta M, Inose T, Kato C, Nishimura R, Tada H, Miyagi S, Ishida T, Unno M, Kamei T, **Gonda K***. The anti-angiogenic agent lenvatinib induces tumor vessel normalization and enhances radiosensitivity in hepatocellular tumors *Medical Oncology* 38: 60 (2021).
3. Inose T, Kitamura N, Takano-Kasuya M, Tokunaga M, Une N, Kato C, Tayama M, Kobayashi Y, Yamauchi N, Nagao D, Aimiya T, Furusawa N, Nakano Y, Kobayashi Y, **Gonda K***. Development of X-ray contrast agents using single nanometer-sized gold nanoparticles and lactoferrin complex and their application in vascular imaging. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 203: 111732 (2021).
4. Nakagawa T, **Gonda K***, Kamei T, Cong L, Hamada Y, Kitamura N, Tada H, Ishida T, Aimiya T, Furusawa N, Nakano Y, Ohuchi N. X-ray computed tomography imaging of a tumor with high sensitivity using gold nanoparticles conjugated to a cancer-specific antibody via polyethylene glycol chains on their surface. *Science and Technology of Advanced Materials*.17: 387-397 (2016).

8. キーワード（注：試料及び実験方法を特定する用語を 2～3）

血栓、筋委縮、金ナノ粒子

9. 研究成果公開について（注：※2に記載した研究成果の公開について①と②のうち該当しない方を消してください。また、論文（査読付）発表と研究センターへの報告、または研究成果公報への原稿提出時期を記入してください。提出期限は利用年度終了後 2 年以内です。例えば 2018 年度実施課題であれば、2020 年度末（2021 年 3 月 31 日）となります。）

長期タイプ課題は、ご利用の最終期の利用報告書にご記入ください。

① 論文（査読付）発表の報告

（報告時期：2026 年 9 月）