

位相コントラストイメージングを用いた試料の「硬さ」に関する研究 Study on 'elasticity of samples' using phase contrast imaging

亀沢知夏¹, 米山明男^{1,2}, 矢代航^{3,4}, 兵藤一行¹

¹物質構造科学研究所, 放射光実験施設, 〒305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1

²九州シンクロトロン光研究センター, 〒841-0005 鳥栖市弥生が丘 8-7

³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,
〒980-8577 宮城県仙台市青葉区片平 2-1-1

⁴東北大学. 多元物質科学研究所, 〒980-8577 宮城県仙台市青葉区片平 2-1-1

Chika KAMEZAWA^{1*}, Akio YONEYAMA^{1,2}, Wataru YASHIRO^{3,4} and Kazuyuki HYODO¹

¹Photon Factory, Institute of Materials Structure Science, 1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki 305-0801, Japan

²SAGA Light Source, 8-7 Yayoigaoka, Tosu, 841-0005, Japan

³International Center for Synchrotron Radiation Innovation Smart (SRIS), Tohoku University,
2-1-1 Katahira, Aoba-ku, Sendai, Miyagi, 980-8577, Japan

⁴Institute of Multidisciplinary Research for Advanced Materials (IMRAM), Tohoku University,
2-1-1 Katahira, Aoba-ku, Sendai, Miyagi, 980-8577, Japan

1 はじめに

X線位相コントラストイメージングを用いて被写体の「硬さ」を評価する方法の検討を行った。病変は形状だけではなく硬さも深い関係があることが知られおり、疾患の診断能を向上させることを目的としてエラストグラフィという対象病変部位の硬さを評価する手法が超音波等を用いて研究開発されている。しかしX線イメージングを用いたエラストグラフィの例はまだほとんど報告がない。X線イメージングは空間分解能が優れており、X線エラストグラフィが実現することで診断能の向上が期待できると考え研究を進めている。

我々が研究を行っているエラストグラフィ法は、内部にずり弾性波を発生させ、その様子を観察することにより弾性率画像（硬さ画像）を得ることができる。そのため、本課題では、試料に対して振動を与え、内部に発生するずり弾性波を観察する手法の基礎的検討を実施した。本課題と平行して、我々は実験室X線源を用いて、試料へ振動を与えながらX線吸収コントラストイメージング法で撮影を行うことにより、X線エラストグラフィが実現可能であることを示した[1]。しかし吸収コントラストイメージングであったため、試料内部のずり弾性波の伝播を評価するために、試料内部にZrO₂粉末を挟み込む事により振動の指標とすることが必要であった。

本課題では、X線エラストグラフィをX線位相コントラストイメージングの中でも最も軟部組織をコントラスト良く撮影することが可能なX線結晶干渉法を用いて、X線エラストグラフィが可能か検討した。特にPF BL-14Cは縦型ウィグラーを用いた特徴的なビームラインであり[2]、PF BL-14Cに常設されている結晶干渉イメージングシステムは世界最大の

ものである[3]。このイメージングシステムは生体の形態観察[4-5]だけではなく、X線サーモグラフィなどの新しい測定手法の開発[6]も行われている。

2 実験

本課題では、A. ファントムを用いた結晶干渉イメージングシステムの定量的評価、B. 結晶干渉イメージングシステムを用いた生体試料の観察、C. 結晶干渉イメージングシステムを用いた試料へのずり弾性波を発生させる方法の検討を行った。すべての実験において、二結晶分光器（Si (220)）により17.8 keVのX線エネルギーをとりだし、BL-14Cに常設されている結晶干渉イメージングシステムを用いて、sCMOS (Andor ZYLA 5.5HF)カメラ（画素サイズ6.5 μm、蛍光体CsI 100 μm、照射面積16.6 mm × 14.0 mm）により画像を取得した。

A. ファントムを用いた結晶干渉イメージングシステムの定量的評価

質量%濃度0.5~2%のアガロース及び寒天を、濃度を変えて作成し、チューブ（内径1mm、外径2mm）の中につめて510投影（360度）でCT測定を行った。

B. 結晶干渉イメージングシステムを用いた生体試料の観察

生体試料を固定する方法を検討し、エラストグラフィの指標がどのように画像化されるかを確認した。直径10mmのストロー内部に試料をつめ、アガロースで固定した。試料は豚の乳房および豚の肝臓（どちらも生後約6か月）である。

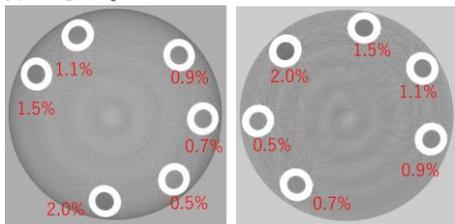
C. 結晶干渉イメージングシステムを用いた試料へのずり弾性波を発生させる方法の検討

エラストグラフィを実現するために、試料を振動させず弾性波を発生させる必要がある。結晶干渉イメージングシステムに最適な振動方法を検討した。

3 結果および考察

A. ファントムを用いた結晶干渉イメージングシステムの定量的評価

図1のように試料の質量%濃度を变化させたときに異なる濃度のCT像を得ることができ、結晶干渉イメージングシステムによる見え方との対応関係を得ることができた。今後弾性率をコントロールしたファントムを作成する際の指標とすることができると期待できる。



アガロースゲル

寒天

図1. アガロースゲルと寒天のCT像.

B. 結晶干渉イメージングシステムを用いた生体試料の観察

結晶干渉イメージングシステムを用いて豚の乳腺と肝臓の撮像を実施した。どちらも内部の構造をコントラスト良く観察可能であることが確認できた。エラストグラフィを行うためには内部にどのように弾性波が伝播していくか観察する必要があるが、結晶干渉イメージングシステムを用いることで、内部の構造を弾性波の伝播の様子を確認するための指標として利用可能であると考えられる。

C. 結晶干渉イメージングシステムを用いた試料への弾性波を発生させる方法の検討

ビームラインのハッチの外に大強度スピーカーを設置し、内部へホースを用いて空気振動を送る方法や、小さなスピーカーを試料近辺に設置する方法、電動歯ブラシを用いた手法やピエゾステージを用いて直接振動を与える方法などを検討した。試振動の影響が無い手法について今後の開発方向に関する知見を得た

4 まとめ

結晶干渉法を用いたX線エラストグラフィの実現のために、基礎的検討を行った。結晶干渉法X線エラストグラフィに適したファントム作製のための知見や、生体試料の構造を観察可能である知見を得た。振動方法の検討を引き続き行い、引き続き検討を行い、将来は結晶干渉イメージングシステムとX線チョッパーを組み合わせず弾性波の可視化を行う予定である。

謝辞

本研究は、放射光共同利用実験審査委員会の承認を得て実施致しました(実験課題番号：2017PF-29、2018PF-01、2018T002)。また、AMED(課題番号：JP17hm0102054)の支援を受けました。

本研究は京都大学山田重人先生および高桑徹也先生のご協力をいただきました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- [1] C. Kamezawa et al., *Appl. Phys. Express*, **13**, 4, 042004 (2020).
- [2] C. Kamezawa, and K. Hyodo, *Medical Imaging technology*, **38**, 4, 185 (2020).
- [3] A. Yoneyama et al., *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A* **523**, 217 (2004).
- [4] T. Kanahashi et al., *A Morphological and Morphometric Study. Anat Rec.*, **302**, 1968-1976 (2019).
- [5] Lwin, T. T. et al., *Technol. Cancer Res. Treat.*, **20**, 15330338211010121, (2021).
- [6] A. Yoneyama et al., *Sci. Rep.*, **8**, 12674 (2018).

成果

1. KEK スチューデント・デイ 機構長賞, 2018
2. KEK スチューデント・デイ 機構長賞, 2019
3. 総合研究大学院大学 SOKENDAI 賞, 2020

* kchika@post.kek.jp