

二国間交流事業 共同研究報告書

令和6年4月30日

独立行政法人日本学術振興会理事長 殿

[日本側代表者所属機関・部局]
大阪公立大学 大学院工学研究科
[職・氏名]
教授・辻幸一
[課題番号]
JPJSBP 120222302

1. 事業名 相手国: ベルギー (振興会対応機関: FWO) との共同研究

2. 研究課題名

(和文) マルチモーダルX線分光イメージングの開発と応用研究

(英文) Development and applications of multimodal X-ray based spectroscopic imaging

3. 共同研究実施期間 2022年4月1日 ～ 2024年3月31日 (共同研究: 2年0ヶ月)【延長前】 年 月 日 ～ 年 月 日 (年 月)

4. 相手国側代表者(所属機関名・職名・氏名【全て英文】)

University of Antwerp, Professor, Koen Janssens

5. 委託費総額(返還額を除く)

本事業により執行した委託費総額		4,875,000 円
内訳	1年度目執行経費	2,375,000 円
	2年度目執行経費	2,500,000 円
	3年度目執行経費	- 円

6. 共同研究実施期間を通じた参加者数(代表者を含む)

日本側参加者等	22 名
相手国側参加者等	8 名

* 参加者リスト(様式 B1(1))に表示される合計数を転記してください(途中で不参加となった方も含め、全ての期間で参加した通算の参加者数となります)。

7. 派遣・受入実績

	派遣		受入
	相手国	第三国	
1年度目	4	2	1 (0)
2年度目	2	4	1 (0)
3年度目			()

* 派遣・受入実績(様式 B1(3))に表示される合計数を転記してください。

派遣: 委託費を使用した日本側参加者等の相手国及び相手国以外への渡航実績(延べ人数)。

受入: 相手国側参加者等の来日実績(延べ人数)。カッコ内は委託費で滞在費等を負担した内数。

8. 研究交流の概要・成果等

(1)研究交流概要(全期間を通じた研究交流の目的・実施状況)

日本とベルギーとで、各分析手法の高度化を図りつつ、マルチモーダルな非破壊的解析法の開発研究と改良を進め、元素・構造・化学状態の 3 次元分布の可視化に引き続き取り組む。放射光を利用したマイクロ XAFS を文化財及びリュウグウ試料などに対して適用し、化学状態分析を実施した。若手研究員や参加学生が国際共同研究に参加し、多くの経験を積んでもらえるように配慮した。

(2)学術的価値(本研究交流により得られた新たな知見や概念の展開等、学術的成果)

フランドル地方でキリスト教信者の祈祷のために作られた時祷書の一部を相手国より受け取り、微小部蛍光 X 線分析法により非破壊分析を行った。特に、共焦点型蛍光 X 線分析を適用することで、深さ方向の元素分布を得ることを目指した。その結果、装飾に用いられた表面の Au 箔の厚さや文字のインクなどに使われる Fe の深さ位置などについて調査することができ、この装飾時祷書の作成手順などについても知見が得られた。

また、はやぶさ 2 が小惑星リュウグウから持ち帰った微小試料を共通試料として、二国間の各研究機関においていくつかの X 線分析を適用した。共焦点型蛍光 X 線分析法と全反射蛍光 X 線分析法を適用することで、簡便に 13 元素の存在確認が行えた。他の精密分析法(例えば、ICP-MS 法など)では試料を酸で溶解するが、全反射蛍光 X 線分析法では、非破壊的に微量の試料に対して微量分析が可能である。よって、今後、リュウグウ試料に種類を把握する手法として有効であると考えられる。

アントワープ大学の Koen Janssens 教授と協力をして、ドイツ・ハンブルグにあるドイツ電子シンクロトロン(DESY)の放射光施設 PETRA III の P06 ビームラインでマイクロ XRF-XAFS-XRD 実験(ビーム径: 1 μm)をリュウグウ試料に対して適用し、主に Fe、Ti、V、Cr の K 吸収端のマイクロ XANES を測定した。特に次項(3)で示す Image Stack 法の適用により、質のよい XANES スペクトルを得ることができた。このうち Fe の K 端 XANES の測定から、Pyrrhotite、層状ケイ酸塩、磁鉄鉱などがみられ、これまでの観察結果と一致した。Ti、V についても XANES を得ることができたが、特に Cr について、地球表層では Cr(III)が主体であるが、リュウグウ試料の一部では Cr(II)が存在することが分かり、リュウグウが強還元的な環境にあったことを示す結果として興味深い。

さらに、可搬型の蛍光 X 線分析装置を持参して相手国を訪問し、ブリュージュのグルーニング美術館において、近世油彩画作品の非破壊オンサイト蛍光 X 線分析調査を実施した。本作品と同時期に描かれた作品が国内の美術館にも所蔵されており、今後X線分析結果の比較を進めることで、制作技法や材質の共通性を検証していく。

(3)相手国との交流(両国の研究者が協力して学術交流することによって得られた成果)

日本側参加者が有する分析手法や解析方法の応用や適用範囲の拡大可能性を検証するにあたり、日本側参加者が有しない試料やアクセスし難い試料(分析対象)を、相手国より提供いただいた。2023 年度には、相手国より 1 か月近く、研究者を受け入れ、蛍光 X 線による元素イメージングにおけるビッグデータのサイズ圧縮方法やデータ解析についてじっくりと議論することができた。

前項(2)で示した DESY でのマイクロ XRF-XAFS-XRD の測定では、対象元素のマップをその吸収端の XANES の測定エネルギー点すべてにおいて取得し、その後で任意の場所の XANES を得る Image Stack 法が常に利用されていた。この方法では、測定後にマッピングに現れる組織の相関から位置ずれを補正することで、興味あるポイントで質の高い XANES を抽出することが可能であり、微細な組織を持つリュウグウ試料に

対しては特に有効であることが判明した。また同様に XRD についてもマッピング測定を行い、特徴的な回折線を利用することで、特定の鉱物のマッピングも得ることができた。

グルーニング美術館で分析した油彩画作品は、相手国側が別途オンサイトでの粉末 X 線回折マッピングを実施しており、異なる X 線分析手法を複合的かつ非破壊的に文化財へと応用することができた。

- (4)社会的貢献(社会の基盤となる文化の継承と発展、社会生活の質の改善、現代的諸問題の克服と解決に資する等の社会的貢献はどのようにあったか)

二国間交流事業で取り組んだ X 線分析法は非破壊的に様々な試料に適用できるものである。特に、非破壊的な分析が求められる貴重な試料に適用して、元素組成に関して貴重な知見を得ることができる手法である。二国間交流事業では、これらの X 線分析法を複数取り入れて、マルチモーダルな非破壊的解析法の確立を目指した。この手法を絵画などの文化財、考古遺物、宇宙地球科学的試料や環境試料の分析に適用し、世界の文化遺産の保護、および持続可能な社会の実現に向けて貢献できる。

- (5)若手研究者養成への貢献(若手研究者養成への取組、成果)

若手研究者(松山嗣史氏、村串まどか氏)に対して国外出張、国際会議発表の機会が与えられた。また、参加学生も国内の学会などで研究成果を発表し、若手研究者の育成として成果があった。なお、松山嗣史氏は大阪公立大学大学院工学研究科の特任助教、村串まどか氏は東京電機大学工学部の研究員であったが、松山氏は 2024 年 4 月より岐阜大学工学部の正規の助教、村串氏は 2023 年 4 月より明治大学理工学部の正規の助教として転出され、それぞれ研究者としての第一歩を踏み出せることができた。

2023 年度は、当時博士課程学生の長澤真と一緒にアントワープ大学の Koen Janssens 教授の研究室などを訪問するなどし、学生にとって貴重な経験となった。そこで得た知見などを基に論文を執筆(Nagasawa et al., 2023)、最終的に長澤君は 2024 年度より産業技術総合研究所の博士研究員に採用された。

- (6)将来発展可能性(本事業を実施したことにより、今後どのような発展の可能性が認められるか)

X 線分析技術は大きな損傷を測定対象に与えないことから、絵画や文化財などの非破壊解析に利用することができる。本事業を通じて、参加した研究機関が有する異なる X 線分析技術を改善することができた。また、若手研究者の参画や研究者間の新たな交流を通じて、X 線分析技術の新たな利用方法、展開を探ることができた。

今回の事業を通じて、日本とベルギー間の文化財の修復や保護に関する研究、基礎科学研究についての協力関係を強固にできる可能性がある。X 線分析技術の非破壊性などの特徴は絵画・文化財を対象とするだけでなく、工業製品、環境科学、法科学などの分野でも生かせる。これらの研究分野に国境はなく、X 線分析技術の発展を通じて、様々な分野でレベルで、国際協力ができるものと期待する。

- (7)その他(上記(2)～(6)以外に得られた成果があれば記載してください)

例:大学間協定の締結、他事業への展開、受賞など

下記の論文が、「分析化学誌—2023 年度論文賞」に採択された。

浦田泰成, 松山嗣史, 井上史之, 辻 幸一, 共焦点型微小部蛍光X線分析法による爪試料の元素イメージング, 分析化学, 72 (2023) 217-225.