

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年6月7日現在

機関番号：82118

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K13731

研究課題名(和文)「XAFSによる食品科学」の開拓へ向けたCaの化学状態分析と骨粗鬆症対策への展開

研究課題名(英文) Chemical state analyses of Ca to establish a field of "XAFS food science" heading to osteoporosis prophylaxis

研究代表者

阿部 仁 (Abe, Hitoshi)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・物質構造科学研究所・准教授

研究者番号：00509937

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、旧来の食品科学に、X線吸収微細構造分光法(XAFS)による元素選択的な非破壊化学状態分析を持ち込み、「XAFSによる食品科学」という新たな学術領域の開拓に繋げることを目指した。骨粗鬆症対策の観点からCaに注目し、XAFSによる食品中のCaの化学状態分析を行った。具体的には、ホウレン草の結果を踏まえ、小松菜やケール等の葉野菜、大豆や小豆の豆類に加え、鰹節等である。また、液状試料でXAFSと紫外可視分光法(UV-Vis)の同時測定(同軸測定)が可能な複合的実験環境の開発も行った。今後、得られたデータの解析を進め、人体吸収率の高いCaの化学状態・化合物の解明をさらに進めて行く。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究課題では、食品科学の分野に、X線吸収微細構造分光法(XAFS)を用いた元素選択的な非破壊化学状態分析を持ち込み、「XAFSによる食品科学」という新たな学術領域の開拓に繋げることを目指した。ホウレン草中のCaの自身の研究結果を踏まえ、小松菜やケール等の葉野菜、大豆や小豆の豆類に加え、鰹節等が含有するCaの化学状態分析を、XAFSを利用して非破壊で行なった。得られたデータは、高齢化社会における骨粗鬆症対策として、人体吸収率の高いCaの化学状態の理解に貢献するものである。また、開発したXAFSとUV-Visの同時測定が可能な複合的実験環境は、液体試料中のCaの一層の理解に寄与する。

研究成果の概要(英文)：This proposal aimed bringing XAFS, which serves element specific non-destructive chemical state analyses, into traditional food science in order to establish a new scientific field of "XAFS food science". Calcium was in particular paid attention to from the viewpoint of osteoporosis prophylaxis, chemical states of Ca in various foods were investigated by measuring XAFS spectra. With an understanding of the result of spinach, leafy vegetables like "Komatsuna" (Japanese mustard spinach) and kale, beans like soybeans and adzuki beans, and bonito flakes were measured. In addition to studies on these solid state samples, a multi-modal research apparatus for liquid samples has been developed by combining XAFS with UV-Vis. Analyses of obtained spectra are continued, and chemical states of Ca in foods will be investigated further.

研究分野：放射光科学

キーワード：放射光 XAFS 非破壊分析 化学状態 食品科学 Ca 骨粗鬆症

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

高齢化社会では骨粗鬆症対策が喫緊の課題であり、成長期の十分な骨量の獲得が重要である。骨形成には Ca が必須であり、可食部 100 g 当たり 100 mg 以上の Ca を含む食品として牛乳やホウレン草などが挙げられる。Ca の人体吸収率は、牛乳で約 30%、ホウレン草で約 5% と言われ、高含有量であっても吸収率が低い食品もある。従って、吸収率の考慮が必要であり、吸収率は Ca の化学状態・化合物に依存すると考えられる。骨粗鬆症対策として Ca 摂取を考える際、Ca 吸収率の高い食品・低い食品に特徴的な Ca の化学状態・化合物を解明することが必要である。

上記のようにホウレン草の Ca の人体吸収率が低い理由として、ホウレン草中でシュウ酸と結び付き、難溶性のシュウ酸 Ca になっているためではないかと予想されていた。しかし、直接的な証拠はおよそ 30 年間もの長い間示されていなかった。そこで、ホウレン草に含まれる Ca の化学状態について、放射光を利用した X 線吸収微細構造(XAFS, X-ray Absorption Fine Structure)分光法を用いて直接非破壊分析を試みた。その結果、標準試料として用いたシュウ酸 Ca の XAFS スペクトルとホウレン草中の Ca の XAFS スペクトルのピーク構造が良く一致した。このデータから、ホウレン草中の Ca がシュウ酸 Ca であることを初めて直接定量的に明らかにすることが出来た。すなわち、XAFS を用いることで、食品中の Ca の化学状態分析を直接非破壊で行えることを示すことが出来た。

そこで、ホウレン草以外の種々の食品についても、放射光を利用した XAFS 分光法を用いて、食品中の Ca の化学状態分析を直接非破壊で行い、その Ca の化学状態・化合物を調べたいと考えるに至った。さらに、得られた食品中の Ca の化学状態・化合物の情報と、その食品からの Ca の人体吸収率の情報から考察を進め、人体が吸収しやすい Ca の化学状態・化合物を解明したいと考えた。

2. 研究の目的

長い歴史を持つ食品科学の分野では様々な化学分析手法が用いられている。それらの化学分析手法では、非常に精密な分析が可能な一方で、磨り潰すなど様々な前処理が必要なことが多い。様々な前処理を行なった上で化学分析を行う手法は、前処理を行わない非破壊分析に対して、破壊分析と呼ばれる。破壊分析では、元々の状態の情報が不明になる場合がある。

そこで、食品科学に XAFS による元素選択的な非破壊化学状態分析を応用し、「XAFS による食品科学」という新たな学術領域を開拓することを目的とする。特に骨粗鬆症対策の観点から、Ca に注目し、XAFS による食品中の Ca の化学状態分析を行うことを目的とする。

さらに、得られた情報に基づき、人体が吸収しやすい Ca の化学状態・化合物を明らかにすることを旨とする。また、得られた知見を、骨粗鬆症の発生リスクの低減、元気で健康な高齢化社会の実現に活かす。

3. 研究の方法

骨粗鬆症対策としての Ca の効率的摂取のため、食品中の Ca の化学状態について、XAFS を用いた非破壊分析によって調べる。得られた知見から、Ca の効率的な摂取を考察し、骨粗鬆症対策に繋げる。

まず、小松菜等の葉野菜類の Ca の化学状態の研究を行う。葉野菜類から取り組むのは、ホウレン草の Ca の化学状態分析の研究の知見を活かせるためである。小松菜の他、ケールなどの Ca 含有量が多いとされている葉野菜について Ca の XAFS 測定を行う。XAFS 測定では、透過法での測定が困難であること、また様々な食品と比較して含有量が多いとは言え、基本的には Ca 濃度が高いわけではなく蛍光法での測定が適していると考えられることから、多素子 SSD を用いた蛍光法を利用する。標準試料としては、ホウレン草の時に見られたシュウ酸 Ca の他、炭酸 Ca など考えられる化合物を準備し、測定する。XAFS スペクトルの比較から、測定した食品が含有する Ca の化学状態・化合物について考察する。

次に、大豆等の豆類の Ca の化学状態の研究を行う。豆類には葉野菜類とは異なる成分が多く含まれており、Ca の化学状態も異なる可能性が考えられる。大豆の加工食品であるきな粉、豆腐等についても Ca の XAFS スペクトルの測定を行い、考察の材料とする。

続いて、牛乳等の液体状の食品へ展開する。液体状の食品に存在する Ca の化学状態は、固体状の食品が含有する Ca の化学状態とは異なると考えられる。液体状の試料が測定可能な実験環境を用いて XAFS スペクトルの測定を行う。

また、液体状の場合に、固体 Ca 化合物の分散液体、錯体の溶解液体が考えられ、紫外可視分光法(UV-Vis)と XAFS の同時測定可能な環境を開発する。液体試料の分析を行う際に、XAFS だけでなく、UV-Vis を用いることで分析がより確実なものになる。K 吸収端 XAFS では、測定対象の元素の 1s 電子が X 線を吸収し、非占有軌道に励起した過程を観測する。これにより、測定対象元素の電子状態や化学状態、局所構造等の情報が得られる。一方、UV-Vis では、金属

錯体の配位子や配位子と中心金属の結合様式に関する情報が得られる。そのため、UV-Vis と XAFS を組み合わせ、2つの手法で同一試料を同時に観測することで、Ca の化学状態・化合物の分析精度を高めることができる。このような実験を可能にするため、UV-Vis と XAFS が同時測定可能な実験環境を構築する。

4. 研究成果

長い歴史のある食品科学の分野に、X線吸収微細構造分光法(XAFS)による元素選択的な非破壊化学状態分析を持ち込み、「XAFSによる食品科学」という新たな学術領域の開拓に繋げることを目指した。骨粗鬆症対策の観点からCaに注目し、XAFSによる食品中のCaの化学状態分析を行った。具体的には、ホウレン草の結果を踏まえ、小松菜やケール等の葉野菜、大豆や小豆の豆類に加え、鰹節等である。

また、液状試料でXAFSと紫外可視分光法(UV-Vis)の同時測定(同軸測定)が可能な複合的実験環境の開発を行った。液体試料としては、固体Ca化合物の分散液体、錯体の溶解液体が考えられ、これらを考察する際にXAFSとUV-Visの両方のデータが同じ環境で得られることが重要と考えられたためである。XAFSとUV-Visの同時測定あるいは同軸測定が可能な複合的実験環境の開発においては、当初計画通り、X線の入射方向と直交する方向でUV-Vis測定を行えるものとした。予定通りの開発ではあったが、この測定条件をより柔軟にすることで測定自由度、精度等が向上すると考えられる状況が見えてきた。そこで、XAFSとUV-Visの同時測定あるいは同軸測定が可能な複合的実験環境を改良した。具体的には、X線の入射方向と直交する方向だけでなく、45度を中心として広い角度範囲でUV-Vis測定を行えるように改良した。事実上、任意の角度での測定が可能となった。これにより、試料の状況に応じて最適な測定角度が選べるようになった。特に、XAFS蛍光収量法での測定が容易になり、濃度を含め幅広い試料条件に対応できるようになった。

さらに、当初予定に加えて、食べ合わせを考慮したCaの人体吸収を想定した実験にも取り組んだ。詳細についてはスペクトルの解析を進めながら検討している段階であるが、当初予想しなかった興味深いデータが得られたと考えている。今後、得られたデータの解析を進め、人体吸収率の高いCaの化学状態・化合物の解明をさらに進めて行く。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 3件)

1. 阿部仁, “XAFSを用いたホウレン草のCaの非破壊化学状態分析”, *Agricultural Biotechnology* **2**, 9, 911-913 (2018).
2. 阿部仁, “ホウレン草のCaの化学状態分析と骨粗鬆症予防への展開”, *BIO Clinica* **7**, 2, 137-139 (2018).
3. 阿部仁, “ホウレン草に含まれるCaの分析から始まる「XAFSによる食品科学」と骨粗鬆症予防への展開”, *Medical Science Digest* **43**, 9, 432-424 (2017).

[学会発表] (計 0件)

[図書] (計 0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年：
国内外の別：

○取得状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：
ローマ字氏名：
所属研究機関名：
部局名：
職名：
研究者番号（8桁）：

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：
ローマ字氏名：

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。