東北大学
TOHOKU UNIVERSITY

Press Release

2026 年 11 月 26 日

報道機関　各位

国立大学法人東北大学

宇宙飛行でマウスの「ヒゲ」の元素組成が変化
―NanoTerasu と LA-ICP-MS/MS で宇宙環境応答を解析―

【発表のポイント】

- 国際宇宙ステーション（ISS）で 31 日間飼育されたマウスのヒゲ（注 1）を解析し、宇宙飛行に伴って硫黄（S）、亜鉛（Zn）、鉄（Fe）、銅（Cu）など複数の元素レベル（元素シグネチャ）が変化することを明らかにしました。
- 次世代放射光施設 NanoTerasu（注 2）による X 線蛍光分析（XRF）と LA-ICP-MS/MS（注 3）を組み合わせ、ヒゲに記録された元素情報を空間分解的かつ半定量的に解析しました。
- ヒゲが宇宙環境に対する全身性の適応を反映する末梢バイオマーカー候補となる可能性が示されました。

【概要】

長期宇宙飛行では微小重力や宇宙放射線により酸化ストレスや代謝が変化しますが、その影響を時間的に記録する末梢組織は十分に分かっていません。東北大学大学院薬学研究科の西原秀星大学院生、外山喬士准教授、斎藤芳郎教授らの研究グループは、JAXA の MHU-3 プロジェクト由来のマウスのヒゲを解析し、31 日間の宇宙飛行に伴って複数の元素レベル（元素シグネチャ）が変化することを明らかにしました。

NanoTerasu XRF では非侵襲的に局所的な元素分布を、LA-ICP-MS/MS でヒゲ基部約 2 mm の元素量を解析した結果、S、Zn、Fe、Cu などに宇宙飛行に伴う変化が認められました。本成果は、成長するヒゲが宇宙環境への生体応答を記録する末梢組織として利用できる可能性を示すものです。

本研究は、2026 年 11 月 25 日、学術誌「Biological Trace Element Research」に WEB で掲載されました。

【詳細な説明】

研究の背景

長期宇宙飛行では、微小重力、宇宙放射線、概日リズムの変化に加え、閉鎖空間の身体影響など複数の環境ストレスが生体に作用し、酸化ストレスや代謝、組織恒常性に影響を及ぼします。こうした宇宙環境への適応を評価するためには、血液や尿のような一時点の試料に加え、一定期間の生体情報を蓄積する末梢組織を利用することも重要です。

毛髪やヒゲなどのケラチン組織は、成長の過程で体内の元素を取り込むため、元素曝露や代謝状態を時間的に記録する可能性があります。特にマウスの顔面触毛は一般的な体毛より太く、明確な長軸方向を持つため、一本のヒゲに沿った空間分解解析に適しています。一方、宇宙飛行がヒゲの元素組成に与える影響は明らかではありませんでした。

今回の取り組み

本研究では、JAXA の MHU-3 プロジェクトで得られ、Biospecimen Sharing Program（BSP）(注4)を通じて提供されたマウスのヒゲを用いました。野生型（WT）および Nrf2 (注5) 欠損（KO）マウスについて、ISS で 31 日間飼育された宇宙飛行群（FL）と地上対照群（GC）を比較しました。まず走査電子顕微鏡（SEM）でヒゲの形態を観察したところ、宇宙飛行後も明らかな形態変化は認められませんでした。

次に、NanoTerasu の高輝度放射光を用いた X 線蛍光分析（XRF）により、ヒゲ基部約 2 mm の局所的な元素シグナルを非破壊で測定しました。硫黄、亜鉛、銅、鉄などの元素シグナルを検出し、ヒゲ内部に局所的な元素分布の不均一性が存在することを確認しました。

さらに、表面に付着した外来元素の影響を低減するため、LA-ICP-MS/MS では最初のレーザー照射で表面を除去し、2 回目の照射でヒゲ内部の元素を解析しました。ヒゲ基部約 2 mm を半定量的に評価した結果、硫黄（S）、亜鉛（Zn）、鉄（Fe）、銅（Cu）など複数元素で宇宙飛行に伴う有意な変化が認められました。

一方、Nrf2 欠損はこれらの元素変化を大きく修飾しませんでした。Nrf2 はシスチン取り込みやグルタチオン合成など硫黄代謝の一部を制御しますが、メチオニン代謝、トランススルフレーション経路、タンパク質合成など、より広い代謝経路も元素恒常性に関与します。ヒゲの元素シグネチャは、特定の転写因子だけでなく、宇宙環境に対する全身的な代謝適応を統合して反映している可能性があります。

今後の展開

本研究は、宇宙飛行に伴う元素変化がマウスのヒゲに記録される可能性を示した研究です。NanoTerasu による非破壊・空間分解解析と LA-ICP-MS/MS による半定量解析を組み合わせることで、限られた宇宙試料から各手法の利点を用いた元素情報が得られることも示しました。

今後は、ヒゲの元素シグネチャと血液・臓器中の元素や代謝物との関係を解析し、どのような全身性変化がヒゲに記録されるのかを明らかにする必要があります。また、解析対象数を増やし、宇宙飛行中の時間情報との対応を検証することも重要です。

将来的には、毛髪など採取しやすいケラチン組織を利用して、宇宙滞在に伴う生体元素変化を非侵襲的にモニタリングする研究への展開が期待されます。ただし、本研究はマウス試料による基礎研究であり、ヒトでの有用性については今後の検証が必要です。

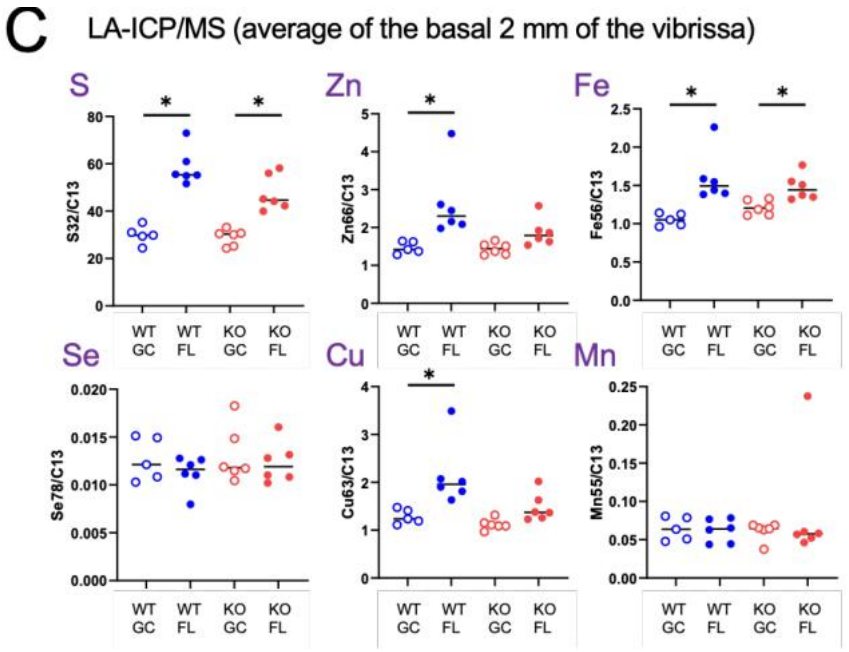

図 1. LA-ICP-MS/MS によるマウス顔面触毛基部の元素解析。野生型（WT）および Nrf2 欠損（KO）マウスの地上対照群（GC）と宇宙飛行群（FL）を比較した。S、Zn、Fe、Cu など複数元素で宇宙飛行に伴う変化が認められた。



図 2. 本研究の概念図。ISS で飼育されたマウスのヒゲを、NanoTerasu XRF と LA-ICP-MS/MS という相補的な元素分析法で解析し、宇宙環境に伴う元素シグネチャを読み取った。

【謝辞】

本研究は、JAXA Biospecimen Sharing Program（BSP）を通じて提供された MHU-3 試料を用いて実施されました。また、JSPS 科研費（24H00590）の支援を受けました。本論文は『東北大学 2026 年度オープンアクセス推進のための APC 支援事業』の支援を受け、Open Access として公開されています。

【用語説明】

注1. マウス ヒゲ（vibrissae）：マウスの鼻先周辺にある太く発達したヒゲ。感覚器として機能し、成長する過程で体内の元素情報を取り込むため、時間情報を含む生体記録媒体となる可能性がある。

注2. NanoTerasu：仙台市 東北大学青葉山新キャンパスに整備された 3 GeV 高輝度放射光施設。高輝度 X 線を用いて物質の構造や元素分布などを高感度に解析できる。

注3.　LA-ICP-MS/MS：レーザーアブレーションにより試料の微小領域を気化させ、誘導結合プラズマタンデム質量分析計で元素を測定する手法。微小試料の元素分析に適している。

注4.　Biospecimen Sharing Program（BSP）：JAXA の宇宙実験等で得られた貴重な生物試料を研究者へ提供し、宇宙生命科学研究への二次利用を促進する仕組み。

注5.　Nrf2：酸化ストレスや化学物質に対する生体防御を制御する転写因子。抗酸化・解毒関連遺伝子の発現を調節し、宇宙環境への適応にも関与する。

【論文情報】

タイトル：Spaceflight-Induced Alterations in Trace Element Signatures of Mouse Vibrissae

著者：Shusei Nishihara[1], Miyuki Iwai-Shimada[2], Junya Yoshida[3], Hayato Takashima[1], Shunsuke Yogiashi[1], Hiroki Taguchi[1,4], Kotoko Arisawa[1,5], Junpei Okada[3], Takashi Toyama[1]*, Yoshiro Saito[1]*

[1] 西原秀星、髙島隼人、過足俊介、田口央基、有澤琴子、外山喬士、斎藤芳郎：東北大学大学院薬学研究科
[2] 岩井美幸：国立環境研究所 環境リスク・健康領域
[3] 吉田純也、岡田純平：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
[4] 田口央基：東北大学大学院医学系研究科
[5] 有澤琴子：東京大学大学院農学生命科学研究科

*責任著者：東北大学大学院薬学研究科　教授　斎藤芳郎

掲載誌：Biological Trace Element Research
公開日：11 月 25 日
DOI：https://doi.org/10.1007/s12011-026-05385-y

【問い合わせ先】
（研究に関すること）
東北大学大学院薬学研究科
教授　斎藤芳郎
TEL:022−795−6870
Email: Yoshiro.saito.a8@tohoku.ac.jp

（報道に関すること）
東北大学大学院薬学研究科
総務係
TEL: 022-795-6801
Email: ph-som@grp.tohoku.ac.jp