

水星の半径が形成以降 10km 以上縮んできたことを解明

～惑星の熱進化を明らかにするための新たな解析手法を創出～

ポイント

- ・表面の凸凹度合いに基づき、地質イベント等による水星の収縮地形の分布への影響を調査。
- ・水星が形成から現在までに 10km を超える半径収縮を経験したことを解明。
- ・水星のみならず、太陽系内のあらゆる惑星の熱進化を再考するきっかけに。

概要

北海道大学大学院理学研究院の西山 学博士研究員らの研究チームは、水星の半径が形成以降 10km 以上縮んできたことを、最新の水星地形データを用いて明らかにしました。

水星はその形成以来、内部の冷却や固体内核の形成につれて全体が縮み、その証拠として表面にはしわ状の収縮地形が刻まれています。これまでの研究では、こうした構造の分布から水星の半径変化が推定されており、水星の内部進化を解明するための手がかりとして用いられてきました。しかし、収縮地形の分布は本来予想される全球一様なパターンとは異なり、地域によって大きな偏りがあることが分かっており、その成因は謎とされていました。

本研究では、この偏りの一因として、比較的新しいクレーターの噴出物などが堆積することで、古い収縮構造を覆い隠している可能性を検証しました。地形の凸凹度合いの統計量である「ラフネス^{*1}」を地質学的な「新しさ」の指標として用い、水星全球のラフネスと既知の収縮地形の分布を比較したところ、ラフネスが高い地域ほど収縮地形が少ないという明確な逆相関が見つかりました。これは、ラフネスが高くより新たな地質イベントの影響を受けた地域ほど、元々存在していた構造が覆い隠され、収縮地形が識別されにくくなる可能性を強く示唆します。

この収縮地形の隠蔽の効果を補正すると、水星の半径収縮量はこれまでの推定より最大で 30%ほど大きく、12km 近くに達する可能性があることが分かりました。この結果は水星内部の冷却史や核の組成といった惑星進化モデルに新たな制約を与えるものです。また、将来の日欧水星探査計画「BepiColombo」によるデータを組み合わせることで、さらに詳細な解析が可能になると期待されます。加えて、月など他の岩石天体でも同様に収縮地形の隠蔽が起きている可能性があり、本研究は今後の収縮地形に基づく天体の熱進化史の解明に向けた新たな解析手法の枠組みとなります。

なお、本研究成果は、2026 年 9 月 10 日（木）公開の Geophysical Research Letters 誌にオンライン掲載されました。

【背景】

太陽に最も近い惑星である水星の大きな特徴の一つは、水星表面に数多に存在するしわ状の地形です（図 1）。NASA の MESSENGER 探査などにより発見されてきたこれらの地形は「収縮地形」と呼ばれ、水星が形成以降に内部の冷却や固体内核が成長する過程で体積減少を経験し、それに伴って表面積が減少することで圧縮を受けて形成した逆断層と考えられてきました。これに基づき、従来の研究では収縮地形の高さ・長さを測定することで、各断層が動いて減少した表面積を計算し、水星の半径変化を推定してきました。この推定された半径変化量は水星の熱進化モデルと定量的に比較できるため、水星の収縮地形は今日までの内部進化を解明するための観測的手がかりとして用いられてきました。

一方で、これまで発見された収縮地形の分布には謎が残されています。それは、水平方向に不均質な分布です。もしこれまで観測されてきた収縮地形が単に天体の冷却のみに由来するのであれば、その分布は全球で均一になります。しかし、実際にはその分布には場所ごとの偏りが見られ、収縮地形がほとんど見られない地域も存在します。水星の収縮量の推定にはこれまで形成された収縮地形全てを考慮する必要があるため、この不均質性の原因を明らかにしなければ、今日に至るまでの水星の熱進化の正確な手がかりを得ることができません。

そこで本研究では、この不均質性の原因として、本来存在するはずの収縮地形が見えていない可能性を調査しました。後から起きた地質活動等によって古い収縮地形が覆い隠され、現在の地形データから読み取れなくなっている可能性に注目しました。

【研究手法】

本研究では、最新の水星地形データを用いて表面の凸凹度合いの統計量である「ラフネス」の全球マップを作成・使用しました。このラフネスという指標を用いることで、比較的新しいクレーターの放出物の範囲などが高いラフネスを持つ領域として可視化することができます。これにより、本研究で着目する地質活動と収縮地形の関係を定量的に比較することが可能です。ただし、溶岩噴出が起きると表面が滑らかになりラフネスが低くなるという現象も起きるため注意が必要です。本研究では、水星表面を火山ユニットとそれ以外に分け、水星のラフネスと収縮地形のカタログを用いて両者の分布を比較・調査しました。

【研究成果】

解析の結果、ラフネスと収縮地形の分布には明確な負の相関があることが分かりました（図 2）。例えば、比較的新しい大規模クレーターの周辺では、衝突によって形成された放出物（イジェクタ）によって表面が粗くなっており、その地域では収縮地形が少なくなっています。また直径 100km を超えるクレーターが比較的多い領域でも同様に、ラフネスが高い一方、収縮地形が少ないという分布が明確に見えてきました。このような負の相関は火山ユニットとそれ以外の両方で見られ、水星全体に存在する傾向であることが分かりました。

さらに詳細に解析を進めると、一部の長大な収縮地形では、クレーター中心に近づくほど収縮地形の起伏が小さくなることも確認されました。これは、収縮地形の形成後に堆積した放出物が古い地形を覆い隠した可能性と整合します。また、ラフネスが高い地域では収縮地形以外の凸凹が卓越し、収縮地形自体が検出されにくくなっている可能性も考えられます。いずれにせよ、ラフネスは表面で起きる現象を反映するため、内部進化を反映する収縮地形とラフネスの分布は本来相関し得ない関係であり、本来あるはずの収縮地形が隠されていることを強く示唆します。

以上の結果に基づき、本研究ではラフネスを用いることで、収縮地形が隠された影響を世界で初めて定量的に補正しました。収縮地形の分布に基づいた水星の収縮ひずみ^{*2}の分布（図 2）とラフネス分布を組み合わせることで、被覆された影響を補正した場合の水星の半径収縮量が 12km 近くに及ぶことが明らかになりました。本結果は、補正が行われていない過去の研究では、水星の半径収縮量が最大 30%過小評価されてきたことを示し、水星の進化を解明する上で欠かせない新たな制約を得ることができました。

【今後への期待】

今回の結果は、水星の内部がどのように冷却し、進化してきたのかを考えるうえで重要です。特に、収縮量の推定が従来より大きくなることで、これまでの内部・熱進化モデルを再考する必要が生じます。例えば、水星はその半径の約 75%を占める巨大な金属コアを持つという特徴があり、冷却に伴う内核の形成が水星の収縮量を支配する現象の一つです。その収縮量は核に含まれる軽元素の量などにも依存するため、今後の水星の熱進化モデル計算との詳細な比較を通して、核の組成も含めた水星の内部構造・進化への理解がさらに進むと期待されます。

また、欧州宇宙機関（ESA）と日本の宇宙航空研究開発機構（JAXA）による水星探査ミッション「BepiColombo」による科学観測が来年 2027 年より開始されます。搭載されたレーザー高度計（BELA^{*3}）を用いることで、より詳細はラフネスの分布と収縮地形の観測が進むため、この問題をさらに詳しく調べるデータが得られる予定です。

今回示された「より新しい地質などによって古い収縮地形が見えにくくなる」という問題は、水星だけでなく他の岩石惑星でも重要な課題となります。例えば、月はこれまで見つかった収縮地形が非常に限られ、見積もられた半径収縮量が 1km を下回るとされています。一方、月の平均ラフネスが水星よりも 50%以上高いことを考慮すると、月においても本来存在する収縮地形が隠されている可能性が示唆されます。今回確立したラフネスを用いた補正方法は、太陽系天体一般の構造地形や熱進化を理解する上で重要な枠組みとなり、今後の惑星進化史の解明に欠かせない手法となると期待されます。

【謝辞】

本研究は、JSPS 科研費 JP22K21344、JP26KJ0001 の助成を受けました。

論文情報

論文名	Underestimation of Planetary Contraction due to Obscuration by Surface Roughness: The Case of Mercury（表面ラフネスによる被覆がもたらす惑星収縮量の過小評価：水星の場合）
著者名	西山 学 ^{1,2,3} 、Adrien Broquet ² 、Nicola Tosi ² 、Frank Preusker ² 、Alexander Stark ² 、Hauke Hussmann ² 、Ernst Hauber ² （ ¹ 北海道大学大学院理学研究院、 ² ドイツ航空宇宙センター（DLR）、 ³ 東京大学大学院理学系研究科）
雑誌名	Geophysical Research Letters（地球惑星物理学の専門誌）
D O I	10.1029/2026GL124067
公表日	2026 年 9 月 10 日（木）（オンライン公開）

お問い合わせ先

北海道大学大学院理学研究院 博士研究員 西山 学（にしやまがく）

メール gaku.nishiyama@sci.hokudai.ac.jp

U R L <https://ibnalberto1204.wixsite.com/mysite>

配信元

北海道大学社会共創部広報課（〒060-0808 札幌市北区北 8 条西 5 丁目）

T E L 011-706-2610 F A X 011-706-2092 メール jp-press@general.hokudai.ac.jp

【参考図】

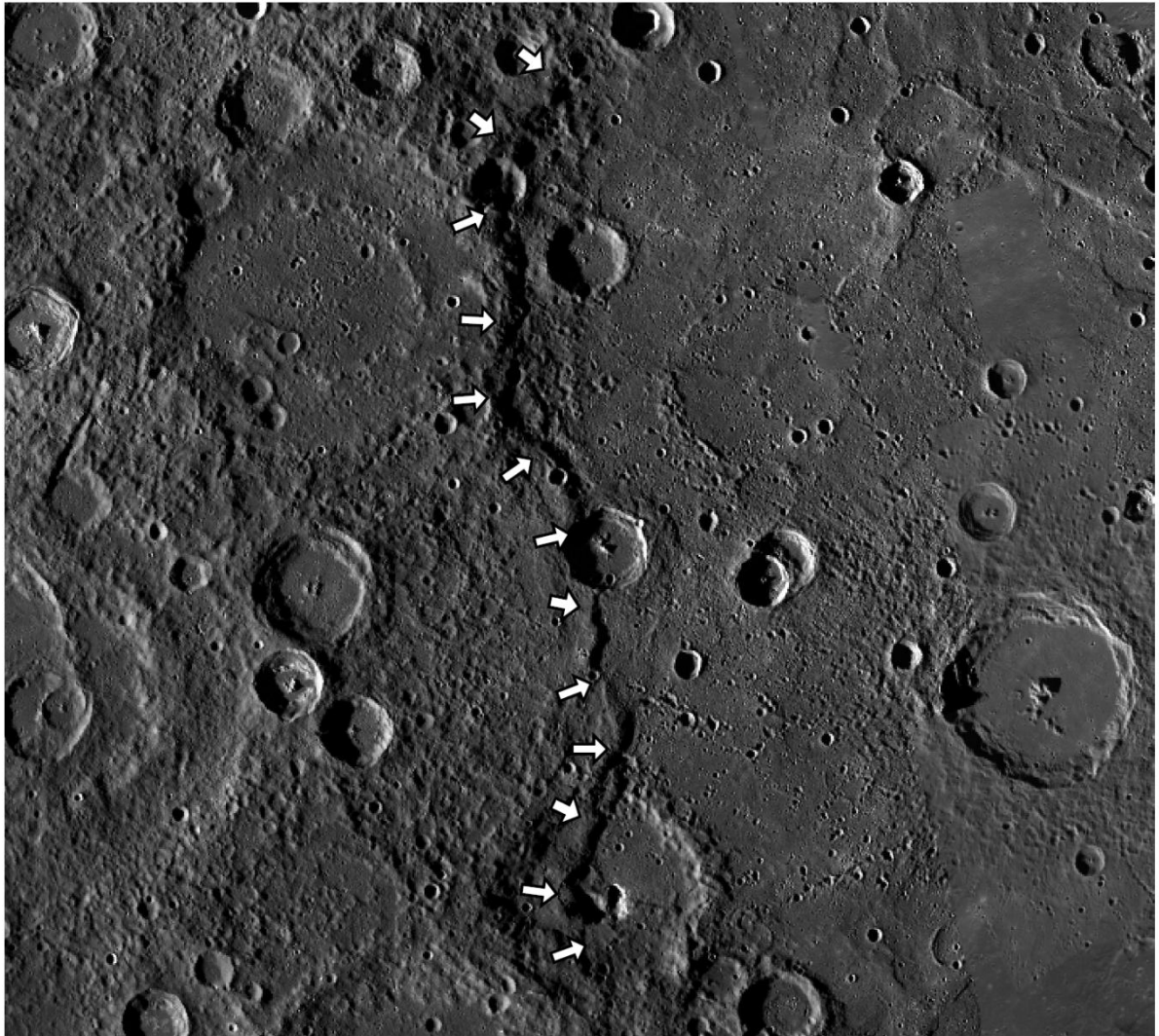


図 1. 水星の収縮地形の例。白い矢印で示されている箇所が収縮地形に対応する断崖。

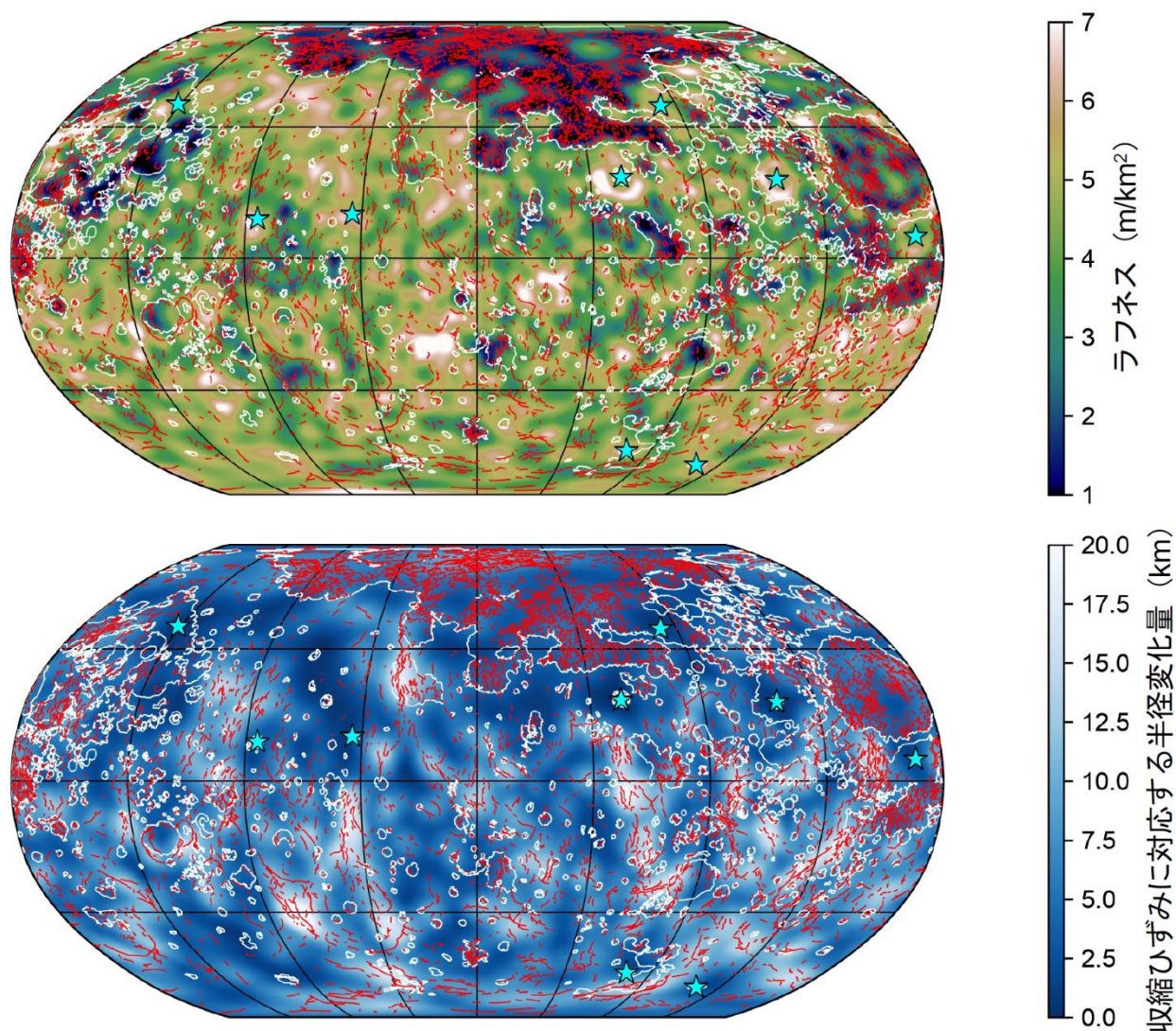


図 2. 水星のラフネスの分布（上）と収縮ひずみの分布（下）の比較。収縮ひずみの単位は対応する半径収縮量で表されている。両図において、赤線は各収縮地形の位置、水色の星は比較的最近形成された直径 150km 以上のクレーターを示す。白線は水星の火山ユニットの境界線に対応する。

【用語解説】

*1 ラフネス … 地形の凸凹度合いの統計量のこと。地球惑星科学分野において、惑星の表面進化を研究する際のデータとして広く使われている。

地形のラフネスについてはこちらの記事も参照：<https://www.miz.nao.ac.jp/rise/node/724.html>

*2 収縮ひずみ … 温度変化・相変化等で物体の堆積が小さくなる時の縮小割合のこと。図 2 では水星の地域ごとの収縮ひずみを水星の半径収縮量に変換して示している。

*3 BELA … BepiColombo Laser Altimeter のこと。レーザー光を惑星表面に照射してその反射光を観測することで、レーザー光の往復時間から距離を測る観測機器。