

火星の水はミネラル豊富な塩味だった、太古の火星が生命生存に適した

金沢大学環日本海域環境研究センターの福士圭介准教授、大学院自然科学研究科 博士前期課程 1 年の森田康暉さん、東京工業大学 地球生命研究所の関根康人教授、米国・ハーバード大学の Robin Wordsworth 准教授、物質・材料研究機構の佐久間博主幹研究員らの共同研究グループは、太古の火星に存在した水の水質復元に世界で初めて成功し、塩分や pH といった火星の水質が生命の誕生と生存に適したものであることを明らかにしました。

これまでの欧米による周回衛星や探査車の調査から、火星表面には河川跡などの流水地形や、水の作用で生成する鉱物が存在することが確認されており、約 40~35 億年前の太古の火星には液体の水があったことが確認されています。しかし、生命の存否にとって重要となる、当時の水の塩分や pH などの水質は分かっていませんでした。

本研究では、アメリカ航空宇宙局 (NASA) の火星探査車キュリオシティが探査を行っているゲール・クレータ内部に存在した巨大湖に着目し、その湖底にたまった堆積物の探査データを、地球の放射性廃棄物処理分野で開発された手法で独自に解析しました。その結果、かつて火星に存在した水の水質が、地球海水の 1/3 程度の塩分で、pH は中性であり、ミネラルやエネルギーも豊富に含むことが分かり、生命の生存に適したものであることを明らかにしました。また、そのような塩分を達成するためには、100 万年程度の期間、塩分やミネラルが河川を通じて湖に運ばれ、濃縮されることが必要であるということも分かりました。このような溶存物質の濃縮が起きる場合は、生命の誕生にとっても必須と考えられています。

これらの知見は、“かつて水が存在した惑星” という火星の従来 of 描像を“生命の誕生と生存に適した惑星”へと塗り替える進展であり、その水質復元法は、近い将来、わが国の小惑星探査機「はやぶさ 2」の帰還試料の分析にも応用されるものです。

本研究成果は、2019 年 10 月 25 日に英国科学誌『Nature Communications』に掲載されました。

## 研究の背景

周回衛星や探査車による火星探査から、約 40~35 億年前の太古の火星には広範囲にわたり液体の水が存在した証拠が見つかり、過去の火星における生命存在の可能性が現実味を帯びて議論されるようになってきました。しかし、生命の存在可能性を検証するには、単な

る水の存否だけでなく、水の水質（pH、塩分、溶存種濃度）や周囲の環境を明らかにする必要があります。現在、約 35 億年前に巨大湖が内部に存在していたゲール・クレータに、NASA の火星探査車キュリオシティが降り立ち、当時湖底に堆積した泥の堆積物に対して探査を行っています（図 1）。キュリオシティは、堆積物中に水的作用で生成した鉱物や有機物などを見つけていますが、すでに失われた水の水質を復元することはできていませんでした。



図 1. 火星探査車キュリオシティゲール・クレータにかつて存在した水環境を調査している  
（画像提供 NASA）

#### 研究成果

本研究では、放射性廃棄物の地層処分研究分野で開発された水質復元手法（図 2）を応用し、キュリオシティが得たゲール・クレータの堆積物データから、太古の火星に存在した失われた水の水質を独自に復元することに世界で初めて成功しました（表 1）。

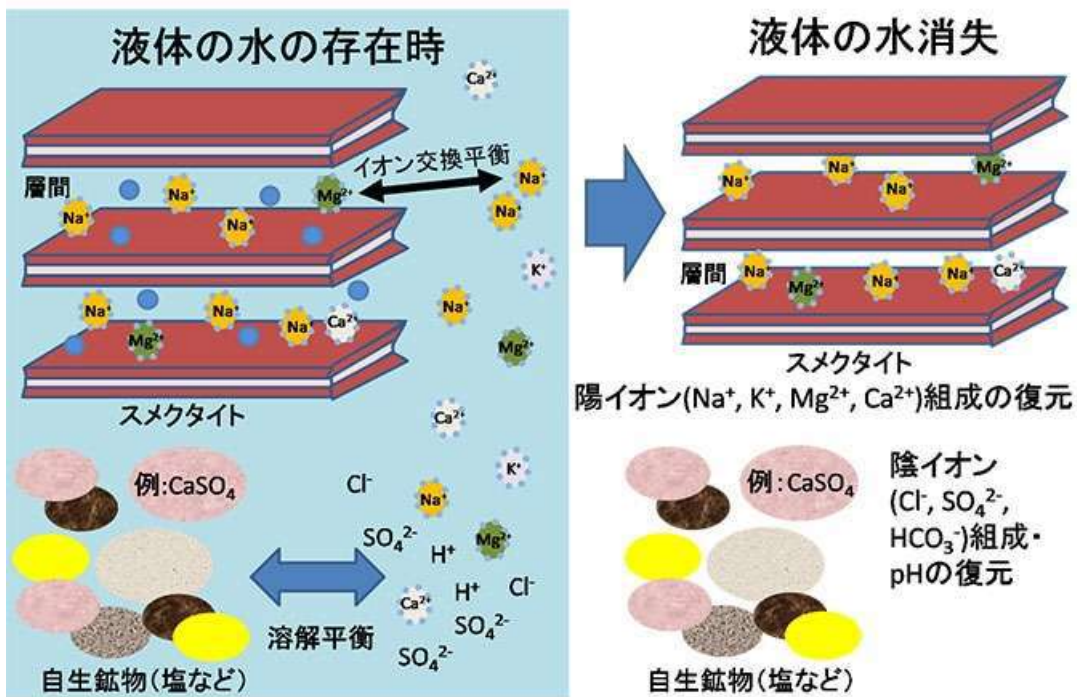


図2. 放射性廃棄物の地層処分分野で開発されたスメクタイトの層間組成を利用した水質復元法

層状構造を有する粘土鉱物スメクタイトは層間に陽イオン（Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Ca<sup>2+</sup>）を保持する性質を持つ。層間に保持される陽イオン組成は接触する水に含まれる陽イオン組成に応じて決定される（イオン交換平衡）。接触する水が消失した後でもスメクタイト層間には陽イオンが保持されるため、残された層間の陽イオン組成から、かつてスメクタイトが接触していた水の陽イオン組成に関する情報を得ることができる。さらに水の作用で生成した鉱物（塩など）がスメクタイトと共存している場合、それら塩と水との間の化学反応（溶解・沈殿反応）を考慮することで、陰イオン（Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>）組成やpHを復元することができる。

表1. 本研究により復元されたゲール・クレータ湖沼堆積物間隙水の水質の結果  
地球上の淡水湖（琵琶湖）や海水と同様に pH は生命にとって好適な条件である  
中性を示し、ミネラルを豊富に含む。

項目	単位	琵琶湖	海水	ゲール
pH	(-)	7.0±0.2	8.1±0.4	6.9 - 7.3
Na <sup>+</sup>	(mmol/kg)	0.32	490	94 - 120
K <sup>+</sup>	(mmol/kg)	0.04	11	1.4 - 4.4
Mg <sup>2+</sup>	(mmol/kg)	0.09	55	35 - 60
Ca <sup>2+</sup>	(mmol/kg)	0.30	11	24 - 45

Cl <sup>-</sup>	(mmol/kg)	0.25	570	110 - 250
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	(mmol/kg)	0.080	29	44 - 72
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	(mmol/kg)	0.71	2.4	2.3 - 16

復元された水質は、pH が中性で、主な溶存成分は地球の海と同じナトリウムと塩素であり、これ以外にもマグネシウムやカルシウムなどのミネラルも多く含みます。また、塩分は地球海水の 1/3 程度であり、生命が利用できるエネルギー（酸化還元非平衡も存在していたことが明らかになりました。復元された水質は、強酸や強アルカリ、高塩分といった生命を害するものではなく、生命の生存に極めて好適なものといえます。

このような湖の水質は、どうやって実現したのでしょうか。表面に残された地形から、ゲール・クレータ湖には、水が流入する河川はあるものの、流出する河川が無い湖だったことが分かっています。湖には、流入する河川などに溶けたわずかな塩分やミネラルが、水と共に供給されます。一方、流出河川の無いゲール・クレータ湖では、湖面から水が蒸発することによって、水の収支バランスが取れています。しかし、蒸発は水のみを失わせるため、供給された塩分やミネラルは湖に残され、長い期間をかけて濃縮されることとなります。本研究では、地球の河川に含まれる典型的な塩分と気候モデルから導かれるゲール・クレータ湖からの蒸発率を使い、ゲール・クレータ湖の塩分が実現するために必要な塩分の濃縮期間を求めました。その結果、復元された塩分になるためには、初期火星に 100 万年程度の温暖期が生じ、その期間にわたって湖に塩分が運ばれ、濃縮される必要があることが分かりました。このような溶存物質が比較的長期にわたって濃縮される場合は、有機物の重合・高分子化にも有利なため、地球生命誕生の場の候補とも考えられています。このように、本研究グループはゲール・クレータ巨大湖が、生命の生存のみならず、その誕生にとっても適した場であることを示しました。

#### 今後の展開

40 年にわたる探査の結果、人類は火星に対して“かつて水が存在した惑星”という描像を持つに至りました。しかし、水の水質や環境が不明なため、火星における生命に関する議論はどうしても推測の範疇を出ませんでした。本研究は、かつての火星の水質や環境を初めて定量的に明らかにしたものであり、人類が火星に対して抱く描像を“生命の誕生や生存に適した惑星”に塗り替える進展といえます。これにより、火星では生命に適した環境が広範囲に広がっていたのか、その環境はいつどのようにして終わったのかに迫ることができます。さらには、火星サンプルリターン計画において、生命の痕跡が最も期待される試料を地球に持ち帰ることにもつながります。

論文情報

論文タイトル :Semiarid climate and hyposaline lake on early Mars inferred from  
reconstructed water chemistry at Gale

掲載誌 :Nature Communications

DOI :10.1038/s41467-019-12871-6 outer

日文新聞发布全文 <https://www.titech.ac.jp/news/2019/045509.html>

文：JST 客观日本编辑部翻译整理