



2019年10月28日

報道関係者各位

慶應義塾大学先端生命科学研究所

## 土星衛星エンケラドス模擬熱水環境でのペプチド合成 ～地球外天体における化学進化の可能性に迫る～

慶應義塾大学先端生命科学研究所（山形県鶴岡市、富田勝所長）・国立研究開発法人海洋研究開発機構（神奈川県横須賀市、松永 是 理事長、以下 JAMSTEC とよぶ）の高萩 航（研究当時：大学院政策・メディア研究科修士課程2年、JAMSTEC 研究生）、瀬尾 海渡（研究当時：環境情報学部4年、JAMSTEC 研究生）、藤島 皓介 特任准教授らのグループは JAMSTEC の渋谷 岳造 主任研究員、高野 淑識 主任研究員らのチームと共同で、土星の衛星の1つであるエンケラドスの海洋環境を模擬した実験装置で、生命の基となるアミノ酸からペプチドが合成されることを実験的に証明しました。

アミノ酸は生命を構成する最も基本的な物質の1つであり、地球においては生命が誕生する以前から海洋中に多く存在していたと言われていました。地球生命誕生のシナリオで最も信じられている仮説のひとつが、アミノ酸のような小さな有機物から非生物的にペプチドなどの大きな有機物が合成され、それが生命の基となったという化学進化仮説です。このシナリオには、アミノ酸といった小さな有機物、その溶媒である水、そして熱などのエネルギーといった要素の存在が重要です。土星の第二衛星であるエンケラドスは直径が約500kmという小さな天体であるにもかかわらず現在でも活動中の熱水系を保持していることがこれまでの探査と実験の結果からわかっており、近年多様な有機物の存在を示す直接的な証拠も見つかってきました。したがってエンケラドスには生命の化学進化に必要と考えられる有機物、液体の水、エネルギーという3つの要素が揃っている可能性が示唆されています。しかしながら、エンケラドスにおいて生命の基本的な構成要素であるアミノ酸からさらに複雑なペプチドなどの有機物が同環境において合成できるのかという疑問はこれまで明らかになっていませんでした。そこで本研究では、エンケラドスの熱水環境を実験室内で再現し、アミノ酸を出発物質とする生命前駆的な有機物合成が進行するかどうかを調査しました。その結果、エンケラドスの海底の岩石を触媒としてアミノ酸からペプチドへの有機物進化が実際にエンケラドス熱水環境で起こりうるということがわかりました。本研究は、将来のエンケラドス生命探査においてどのような物質が発見されれば生命の痕跡と言えるかといった観点から、調査する有機物の対象を絞り込む上で重要な役割を果たすという点でも期待されています。

本成果は、アメリカ化学会が発行する学術誌「ACS Earth and Space Chemistry」に10月11日付けで掲載されました。また本研究の一部は大学共同利用機関法人自然科学研究機構アストロバイオロジーセンタープロジェクト研究費（AB281014）、JSPS/MEXT 科研費（JP15K13583、JP16H04083、JP16K00534、JP17H06455）の支援を受けて行われました。

DOI : <https://doi.org/10.1021/acsearthspacechem.9b00108>

## 1. 研究の背景

地球における生命の起源と進化のシナリオを考える上で、数ある仮説のなかで有力視されているものの1つに“生命の化学進化仮説”があります。この仮説では、生命が誕生する過程では、まずアンモニアや二酸化炭素などの無機物の組み合わせからアミノ酸などの単純な有機物が合成され、アミノ酸が重合してペプチド\*1となり、さらに複雑な有機物が合成されてくる過程で機能を持って生命の基となったと説明されています。地球の場合は、この一連の反応が起こり生命誕生の場の有力候補とされるのは海底熱水噴出孔であると考えられています。現在も海底熱水噴出孔は世界中の海底に存在しており、太陽光に依存しない独自の化学合成生態系\*2が存在していることも明らかになっています。この生命の化学進化仮説の最も重要なところは、有機物と水、そしてエネルギーが存在すれば、初期地球環境でなくとも生命が誕生できるという点です。では本当にそのような環境が宇宙に存在して、生命が誕生できる可能性はあるのでしょうか。そこで注目されているのが、土星の第二衛星であるエンケラドスです。エンケラドスは直径が500kmほどの小さな天体で、表面が白い氷で覆われています。また内部に全球的に広がる海を持ち、海水の一部がプリュームと呼ばれる間欠泉として宇宙空間に放出されていることが探査と観測の結果からわかっています（図1）。欧米のチームを中心に運営されたカッシーニ探査機\*3のデータから、プリュームには塩と氷で構成された固体成分のほか、アンモニアや二酸化炭素などの無機物質、そして単純な有機物が含まれていることがわかりました。プリュームにはさらにナノシリカ粒子が含まれており、このことからエンケラドスは今現在でも90℃を超える熱水を維持していることが明らかとなりました。これらのデータから、エンケラドスの海底では今でも継続的に熱エネルギーを供給でき、有機物と水が存在することから生命が誕生したとされる地球の海底熱水噴出孔に類似した環境が維持されていることがわかってきました。しかしながら、これらの環境で生命の化学進化が実際に起こりうるのかは明らかになっていませんでした。

## 2. 研究の成果と意義

本研究では、エンケラドスの熱水環境を実験室内で再現し（図2）、アミノ酸を出発物質として生命の化学進化の初期段階であるアミノ酸からペプチドを作るペプチド重合反応がエンケラドス環境で駆動するのかを調査しました。エンケラドスの海底の熱水（30℃~100℃）、圧力（200気圧）、そして塩化ナトリウムやアンモニアなどの化学成分を再現した環境に6種類のアミノ酸（グリシン、アラニン、グルタミン酸、アスパラギン酸、セリン、バリン）を加え、147日間にわたる反応実験を行いました。実験に用いたアミノ酸は、エンケラドスの海底の岩石が炭素質コンドライト隕石に類似していることから、これまでに発見された炭素質コンドライト隕石に含まれていたアミノ酸の組成をもとに決定しました。反応実験の結果、加えた6種類のアミノ酸から28種類のジペプチド\*1が合成されることがわかりました。さらにエンケラドスの海底の岩石はこのペプチド重合反応を触媒しており、もし海底の岩石が無ければ合成されるジペプチドの種類と量が著しく抑制されることも明らかになりました（図3）。これは、エンケラドスでは海底の岩石が触媒となり、単純な有機物であるアミノ酸からさらに複雑な有機物であるペプチドへの重合反応が今現在でも起こっている可能性を示唆しています。この結果は、エンケラドスに豊富なアミノ酸が存在した場合、生命の化学進化の初期段階であればエンケラドス環境で駆動することを示しています。地球外生命体は存在するのか、しないのか、その疑問を明らかにするべく、世界中の研究機関が太陽系生命探査に向けた準備を行っています。現在でも活動的な熱源を持ち、生命の化学進化の初期段階が進行している可能性が高いエンケラドスは、将来の生命探査の有力候補です。本研究はエンケラドスにおける有機物の多様化の可能性を実験的に示しただけでなく、将来のエンケラドス生命探査において分析すべき有機物の情報を提案できる可能性があり、注目されています。

原著論文 : Peptide synthesis under the alkaline hydrothermal condition on Enceladus

DOI : <https://doi.org/10.1021/acsearthspacechem.9b00108>

著者名 高萩 航<sup>1,2,3</sup>, 瀬尾 海渡<sup>1,3,4</sup>, 渋谷 岳造<sup>1</sup>, 高野 淑識<sup>3,5</sup>, 藤島 皓介<sup>4,6</sup>,  
斎藤 誠史<sup>7</sup>, 島村 繁<sup>1</sup>, 松井 洋平<sup>8</sup>, 富田 勝<sup>3,4</sup>, 高井 研<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 国立研究開発法人海洋研究開発機構超先鋭研究部門超先鋭研究プログラム

<sup>2</sup> 東京大学大学院理学系研究科附属地殻化学実験施設

<sup>3</sup> 慶應義塾大学先端生命科学研究所

<sup>4</sup> 慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科

<sup>5</sup> 国立研究開発法人海洋研究開発機構海洋機能利用部門生物地球化学研究プログラム

<sup>6</sup> 東京工業大学地球生命研究所

<sup>7</sup> スイス・ローザンヌ大学地球科学環境学部

<sup>8</sup> 東京大学大気海洋研究所海洋化学部門生元素動態分野

- ※1 ペプチド : アミノ酸が 2 個以上繋がってできた有機物。2 個繋がったものをジペプチドと呼ぶ。50 個以上繋がったものはタンパク質と解釈され、いずれも生命を構成する重要な要素である。
- ※2 化学合成生態系 : 太陽光に依存せず、深海に存在する還元的無機化合物の電子供与体を酸化してエネルギーを獲得し、二酸化炭素やメタンなどの無機炭素からの有機物合成を行う生物。
- ※3 カッシーニ探査機 : 2017 年に運用を終了した土星探査機。エンケラドスやタイタンをはじめとする土星衛星系の理解に大きく貢献し、特にエンケラドスに関しては内部海の直接的な証拠であるプリュームの噴出を確認したことなど、後の太陽系内生命探査につながる先駆的な研究成果を残した探査機となった。



図 1 エンケラドスの南極付近から吹き出すプリュームと呼ばれる間欠泉のイメージ図。プリュームには氷粒子やガス成分の他、有機物と思われる物質が含まれていることがわかっている (監修 : 藤島皓介、Credit : WOW inc. <https://vimeo.com/177182335> )

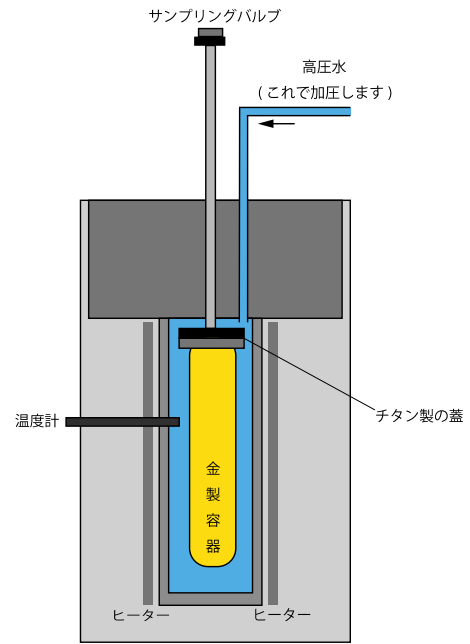


図2 エンケラドスの熱水環境を再現した高温・高圧に耐性のある反応容器。

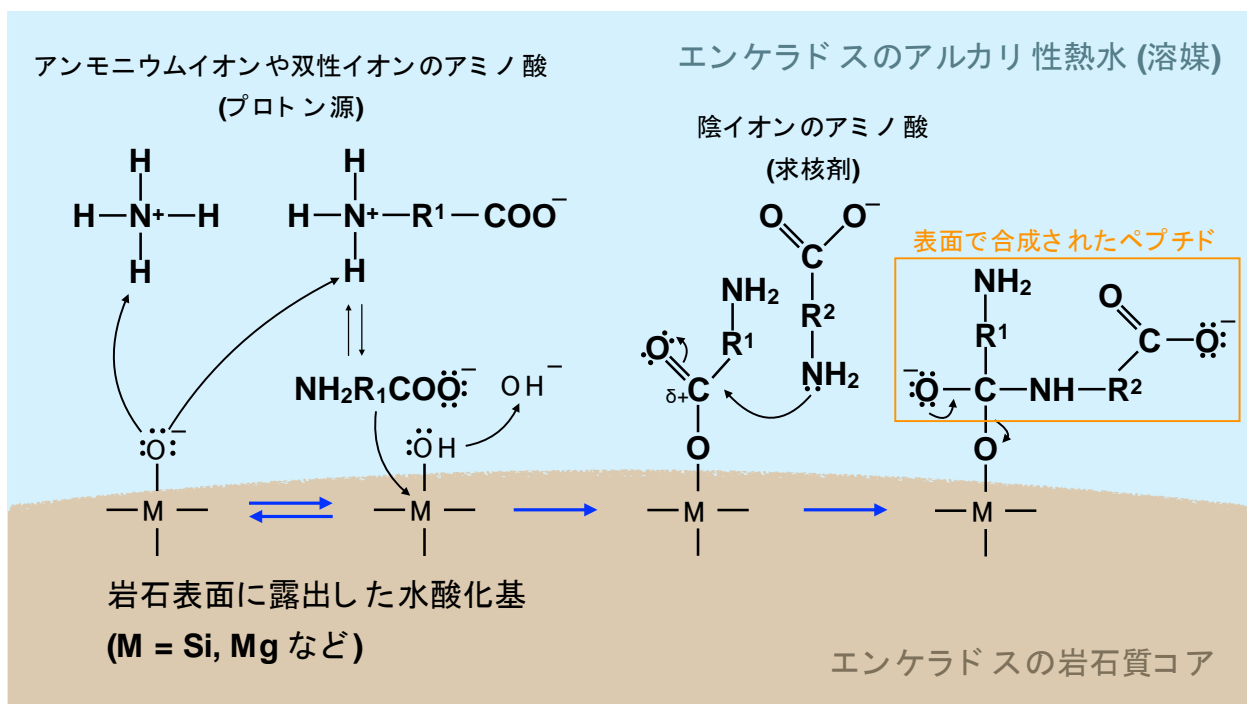


図3 エンケラドスの海底の岩石表面に触媒されるペプチド合成反応の模式図。

※ご取材の際には、事前に下記までご一報くださいますようお願い申し上げます。

※本リリースは、山形県政記者クラブ、鶴岡市記者会等に送信させていただいております。

【本発表資料のお問い合わせ先】

慶應義塾大学先端生命科学研究所 渉外担当

TEL: 0235-29-0802 FAX: 0235-29-0809

Email: [office@ttck.keio.ac.jp](mailto:office@ttck.keio.ac.jp) <http://www.iab.keio.ac.jp/>