

2022年7月19日

報道機関 各位

東北大学大学院理学研究科

### RNA の材料分子が非生物反応で選択的に生成 —ホウ酸が化学進化を促進か？—

#### 【発表のポイント】

- RNA の材料となるリボース 5'-リン酸<sup>(注1)</sup> が、ホウ酸の働きによって、リボース<sup>(注2)</sup> とリン酸から非生物反応<sup>(注3)</sup> で選択的に生成することを初めて明らかにしました。
- リボースの異性体に比べてリボースのリン酸化が優先的に起こることが明らかになり、ホウ酸<sup>(注4)</sup> が豊富な環境では RNA の材料として、リボースが選択され得ることが明らかになりました。
- 生命誕生前のヌクレオチド<sup>(注5)</sup> 生成が、これまでの研究とは異なり、現在の生体反応と似た経路で行われていた可能性を示しています。

#### 【概要】

最初期の生命では、RNA (図1) が生命の根幹をなす働きをしていたとする RNA ワールド仮説が支持を得ています。しかし、生命のいなかった太古の地球で RNA がどのように組み立ったのかは大きな謎となっています。

東北大学大学院理学研究科の博士課程学生・平川祐太、古川善博准教授、掛川武教授の研究グループは、ホウ酸の存在によってリボースとリン酸の結合が 5'-水酸基に選択的に起こり、ヌクレオチドの材料であるリボース 5'-リン酸が選択的に生成することを明らかにしました。また、ホウ酸が存在する場合にはリボースの異性体である複数の糖の中で、リボースのリン酸化が最も卓越することを明らかにしました。

この結果は、RNA の材料であるヌクレオチドの生成が、これまでの研究とは異なり、現在の生体反応と似た経路で起こっていたことを示すと共に、生命誕生前の地球で RNA の材料としてリボースが選択され得る環境を示唆するものとなります。本研究成果は、2022年7月19日発行の総合学術誌『*Scientific Reports*』で公開されます。



図1: RNA のモデル図

## 【発表内容】

現在の生命では、DNA が遺伝情報を記録し、その情報に基づいて RNA を介して作られるタンパク質が様々な生体反応を駆動しています。その一方で、最初期の生命では、RNA が DNA とタンパク質の両方の役割を果たしていたと考える RNA ワールド仮説が支持を得ています。しかし、生命のいなかった太古の地球で複雑な高分子である RNA とその材料分子であるヌクレオチドがどのように組み合ったのかは大きな謎となっています。

リボヌクレオチドは、リボースの特定の位置にとリン酸と核酸塩基が結合した分子で、この分子が連なって RNA が作られます。これまでの研究では、リボースが核酸塩基と結合した後にリン酸と結合する反応が専ら研究されてきました。その一方で、リボースがリン酸と結合した後に核酸塩基と結合する反応はリボースとリン酸の結合がうまくいかないために、長年見過ごされてきていました。

東北大学大学院理学研究科の博士課程学生・平川祐太、古川善博准教授、掛川武教授の研究グループは、ホウ酸の存在によってリボースとリン酸の結合がリボースの 5'-水酸基に選択的に起こり、リボース 5'-リン酸が選択的に生成することを明らかにしました (図 2)。リボースとリン酸の 5'-位置での結合は RNA だけでなく、生体内でエネルギーとして働く ATP などにも存在する重要な結合です。

現在の生命は、リボース 5'-リン酸を生成し、そこに核酸塩基を結合させてヌクレオチドを生成しています。しかし、これまでに考えられていた生命誕生前のヌクレオチド生成はこの過程とは逆でした。今回の研究成果は生命誕生前の地球でリボース 5'-リン酸の生成が可能であることを示すことで、生命誕生前のヌクレオチド生成が生体反応に似た経路で起こっていた可能性を示しました。

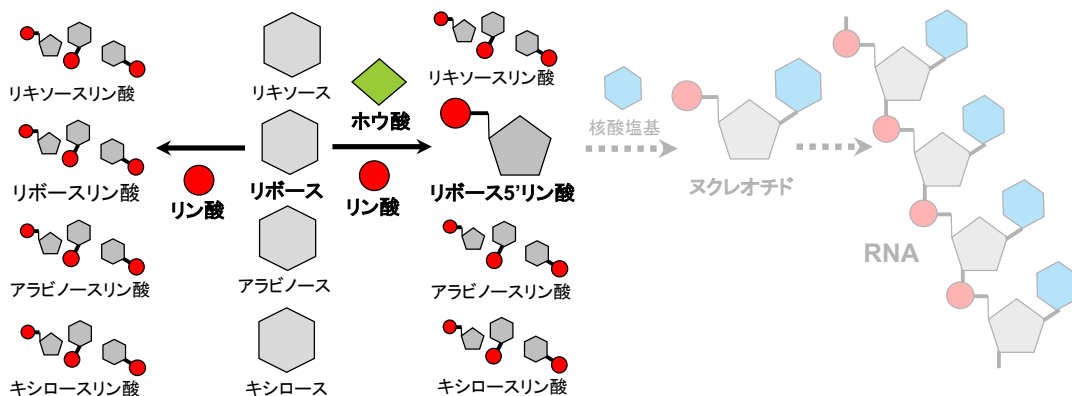


図 2: ホウ酸の働きによってリボースからリボースリン酸が生成する反応の概念図

また、リボースの異性体であるアラビノース、キシロース、リキソースに対するリン酸化の程度を比較したところ、ホウ酸の存在する環境では、リボースのリン酸化が最も卓越することが明らかになりました。「生命の RNA を構成する唯一の糖分子が、なぜリボースなのか？」という問いは生命の神秘的な分子選択を象徴する謎の一つと考えられています。この研究成果はホウ酸がその選択に大きな役割を果たし得るということを明らかにしたものです。以上の成果は、今週、Nature Publishing Group が発行する総合学術誌『*Scientific Reports*』に出版されます。

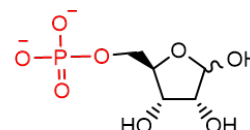
## 【謝辞】

本研究は東北大学変動地球共生学卓越大学院プログラムと日本学術振興会科研費補助金(21J22596; 15H02144; 18H03729; 22H00165)、東北大学学際科学フロンティア研究所の支援を受けて行いました。

## 【語句説明】

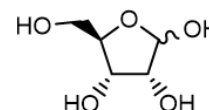
(注1) リボース 5'-リン酸

リボースの5位にリン酸が結合した分子。RNAにもこの位置にリン酸が結合している。



(注2) リボース

糖の一種でRNAに含まれる唯一の糖だが、安定性が低く、なぜRNAに使われているのかが謎となっている。



(注3) 非生物反応

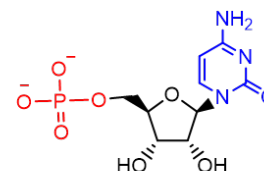
生物や生体触媒である酵素などが関与しない反応。生命誕生前の地球では、非生物反応のみが起こっていた。

(注4) ホウ酸

ホウ素の酸化物で温泉水などに多く含まれる。リボースと複合体を形成しやすく、リボースの安定性を上昇させる効果が知られている。身近な例ではガラスの材料などに使われている。

(注5) ヌクレオチド (リボヌクレオチド)

リン酸とリボースと核酸塩基が結合した分子で、RNAはリボヌクレオチドが連なった高分子。



## 【論文情報】

雑誌名 : *Scientific Reports*

論文タイトル : Borate-guided ribose phosphorylation for prebiotic nucleotide synthesis

著者 : Yuta Hirakawa, Takeshi Kakegawa, Yoshihiro Furukawa

DOI 番号 : 10.1038/s41598-022-15753-y

## 【問い合わせ先】

<研究に関すること>

東北大学大学院理学研究科地学専攻  
大学院生 平川 祐太 (ひらかわ ゆうた)  
准教授 古川 善博 (ふるかわ よしひろ)  
電話 : 022-795-3453

E-mail : [yuta.hirakawa.s2@dc.tohoku.ac.jp](mailto:yuta.hirakawa.s2@dc.tohoku.ac.jp)  
[furukawa@tohoku.ac.jp](mailto:furukawa@tohoku.ac.jp)

<報道に関すること>

東北大学大学院理学研究科  
広報・アウトリーチ支援室  
電話 : 022-795-6708  
E-mail : [sci-pr@mail.sci.tohoku.ac.jp](mailto:sci-pr@mail.sci.tohoku.ac.jp)