

豊富な元素資源カリウムを活用した新しい有機合成法を開発

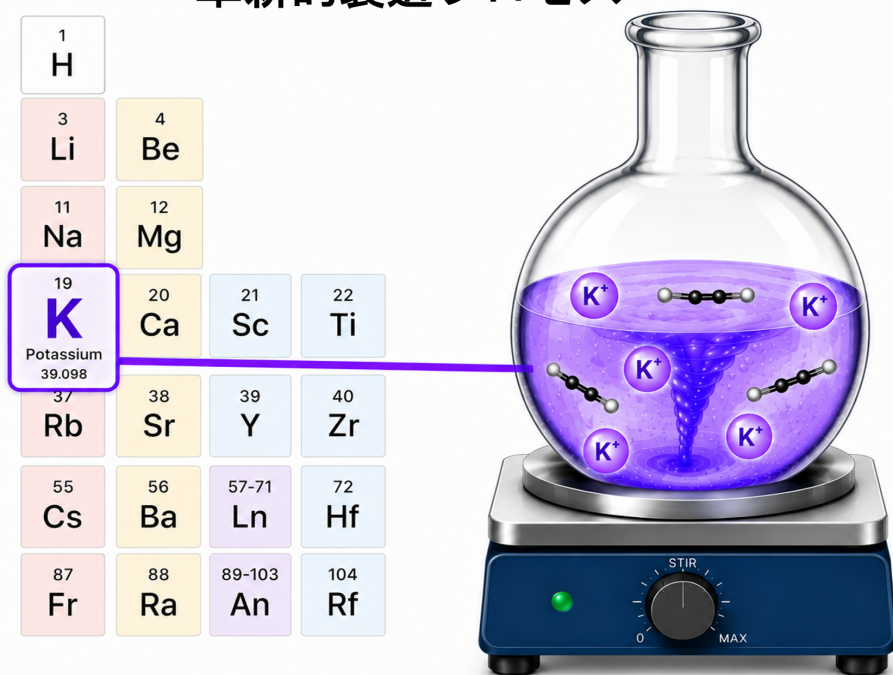
—有機カリウムを用いる元素戦略型物質製造—

概要

周期表の一番左に位置するアルカリ金属は、我々の生活に欠かせない元素です。中でもリチウムは特に重要であり、炭素とリチウムの間に結合をもつ「有機リチウム」は現代の有用物質製造を支える重要原料です。一方でリチウムの社会的需要が飛躍的に高まる中、産業上重要な戦略元素であるリチウムを使わない物質製造法の開発が急務となっています。アルカリ金属の中でも地球上に豊富に存在するカリウムを用いる「有機カリウム」を利用した物質製造プロセスは有望に思えますが、その制御が非常に困難でありこれまで実現されていませんでした。京都大学大学院理学研究科 依光英樹 教授、黒木亮 同特定准教授、張紫薇（ちょう しび）同博士後期課程3年の研究グループは、入手容易な原料であるアルキンから有機カリウム化合物を発生させ有用物質の合成に利用する新手法を開発しました。取り扱いが難しく、物質製造への利用には適さないものと思われていた有機カリウムの未知の性質を引き出し、従来のリチウムを用いる手法では入手困難であった有用物質の効率的合成に成功しました。

本研究成果は、2026年7月30日（木）午前0時（日本時間）に米国の国際学術誌「Chem」にオンライン掲載されました。

豊富な元素資源カリウムを活用する 革新的製造プロセス



研究概要図

（作成：黒木亮、ChatGPT-5.5 による描画支援を利用）

1. 背景

炭素原子と金属原子の間に結合を持つ有機金属化合物は、様々な化学結合の形成に利用でき、現代の有用物質製造を支える重要原料です。その中でもアルカリ金属⁽¹⁾の1つであるリチウムを含む有機リチウム化合物は、100年以上にわたって研究されており、化学反応性と扱いやすさに優れ、医薬品や機能性材料の製造に汎用されています。しかし、近年のリチウム製品の急激な需要増加を背景に、戦略元素であるリチウムではなく、地球上に豊富に存在する他のアルカリ金属を用いる手法の開発が求められています。海水中に豊富に存在するナトリウムを用いる有機ナトリウム化合物の開発と利用が有機リチウム利用の代替として精力的に進められている一方で、地殻中にナトリウムと同程度豊富に存在するアルカリ金属であるカリウムを用いる「有機カリウム化合物」は、有機リチウムや有機ナトリウムでは実現できない新しい有機合成の道を開く可能性があるものの、非常に不安定で扱いづらく敬遠され、その研究と利用はほとんど進んでいません。

本研究グループでは、様々なアルカリ金属を用いた有機アルカリ金属化合物の研究と利用を進め、特にこれまで扱われてこなかった有機カリウムに注目し新たな有機合成の開拓に取り組んでいます。

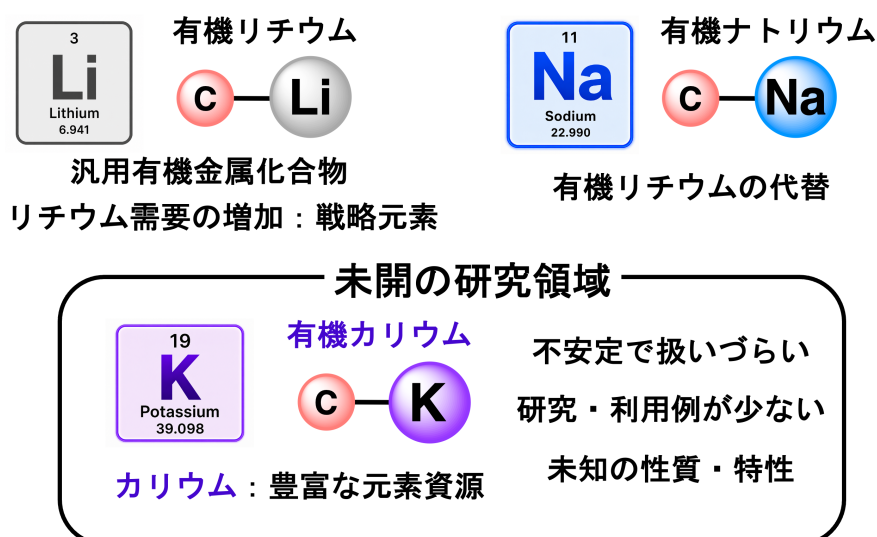


図 1：有機アルカリ金属化合物の研究背景

2. 研究手法・成果

研究グループは、入手容易な原料であるアルキン⁽²⁾から有機カリウム化合物を発生させ有用物質の製造に利用する新手法を開発しました。有機カリウムを発生させる際に有機カリウムの分解前に利用できるように捕捉剤を共存させる同研究グループ独自の手法が今回の有機カリウムを活用する成功の鍵となっています。この方法を用いると新たな化学結合を一挙に2カ所で作ることができ、医薬品や機能性材料によく見られる多置換アルケン⁽³⁾を超高効率で入手できます。同研究グループからリチウムおよびナトリウムを使った同様の方法が過去に報告されていますが、今回のカリウムを使う方法では得られてくる多置換アルケンの立体化学⁽⁴⁾がリチウム、ナトリウムを使う場合のsyn体とは逆のanti体になりました。今回得られたanti体は、従来の有機合成手法では合成が困難な生成物です。この立体化学の逆転現象がなぜ起こるのかをコンピューターシミュレーションにより解析し、リチウム、ナトリウムと比べて大きなイオン半径⁽⁵⁾を持つカリウムならではの現象であることを明らかにしました。また、このカリウムを使う手法を活用して、単純な原料から乳がん治療薬の薬効成分であるタモキシフェンを高効率で合成することで、本手法の有用性を示しました。

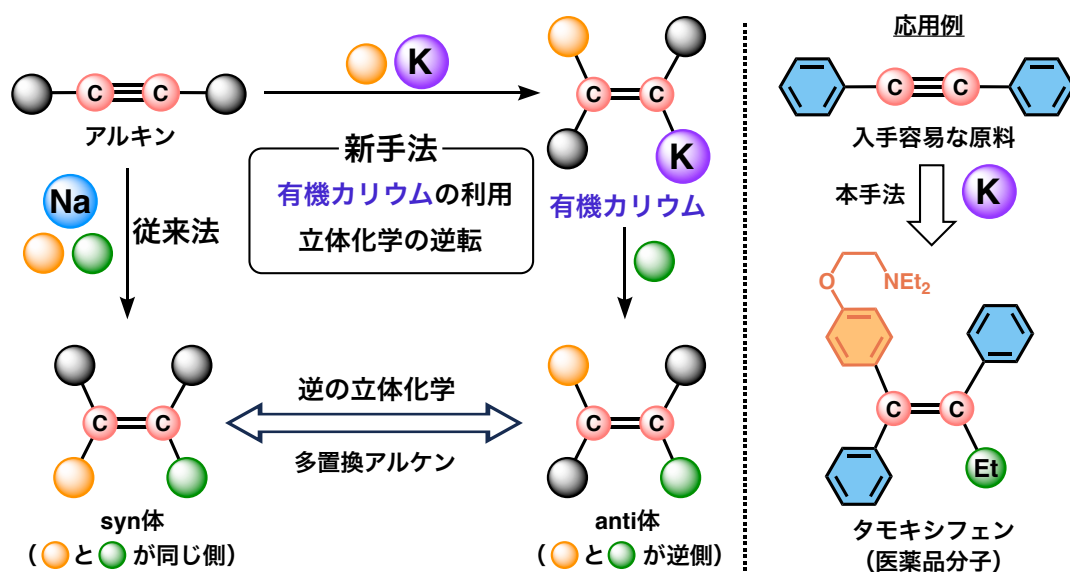


図 2：有機カリウムを用いた立体化学逆転現象と医薬品分子合成

豊富な資源であるカリウムを含む有機カリウム化合物を巧みに発生・利用できただけでなく、これまで入手困難であった anti 体の多置換アルケンを効率的に製造できる本手法は、戦略元素依存からの脱却の観点のみならず、カリウムの潜在能力を活用する物質製造法のフロンティアを切り開くものです。

3. 波及効果、今後の予定

有機カリウム化合物はその取り扱いの難しさから「使えない暴れ馬」だとの思い込みが一般化し、物質製造にはこれまでほとんど利用されてきませんでした。今回開発した有機カリウムの発生と利用法は、これまでの有機カリウム化合物に対する偏見を覆すものです。本手法では豊富な元素資源であるカリウムを活用するため、元素戦略的観点から資源持続性の高い物質生産プロセスを創出できます。カリウムを活用して有用物質の自在合成にアプローチする本手法は、カリウムの未開の性質に基づく新戦略であり、今後もカリウムの未知の特性を引き出すことで、これまでの常識にとらわれない革新的な物質製造法を創出できます。

4. 研究プロジェクトについて

本研究は、JST 戦略的創造研究推進事業 CREST「革新的反応(JPMJCR19R4)」、JSPS 科学研究費補助金「挑戦的研究(萌芽)(JP24K21768)」「基盤研究 (A) (JP26H02278)」の支援を受けて実施されました。

<用語解説>

- (1) アルカリ金属：元素周期表の一番左にある第 1 族に位置する金属元素。リチウム、ナトリウム、カリウムなどがある。
- (2) アルキン：炭素－炭素三重結合 ($C\equiv C$) を持つ有機化合物。アセチレン系炭化水素と呼ばれることもある。
- (3) 多置換アルケン：炭素－炭素二重結合 ($C=C$) を持つアルケンと呼ばれる有機化合物の中で、2つの炭素原子上に多くの置換基を持つ化合物。置換基同士の位置関係によって、異性体と呼ばれる別の分子が存在し得る。
- (4) 立体化学：分子の立体的な構造に関する情報。多置換アルケンの場合には2つの置換基の位置関係により syn 体と anti 体が存在する (cis 体と trans 体とも呼ばれる)。
- (5) イオン半径：原子が電荷を持ちイオンとなった際の大きさの値。アルカリ金属の陽イオンのイオン半径は、

リチウム、ナトリウム、カリウムの順に大きくなる。

<研究者のコメント>

これまでに有機合成でほとんど使われてこなかった有機カリウムを駆使した新たな変換反応を開発しました。扱いの難しい有機カリウムを使って研究することに私自身も最初は苦戦しましたが、今ではうまく手なずけることができるようになり、さらには今回の立体化学逆転の発見につながりました。この常識破りの逆転現象は有機カリウムに特有で、有機カリウムをあえて使用した甲斐がありました。(張紫薇)

<論文タイトルと著者>

タイトル：Organopotassium for selective synthesis: Potassium-mediated *anti*-borylfunctionalization of alkynes (有機カリウムによる選択的有機合成：カリウムを用いるアルキンの *anti*-ボリル官能基化)

著 者：Ziwei Zhang, Takashi Kurogi, Hideki Yorimitsu (張紫薇、黒木堯、依光英樹)

掲 載 誌：Chem DOI：10.1016/j.chempr.2026.103186