

2025 年ノーベル化学賞について

本解説の内容

- 1 ノーベル賞とは
- 2 今回のノーベル化学賞について
- 3 何がすごいのか？
- 4 今後の MOF の展望

2025 年 10 月 8 日ノーベル財団は、2025 年のノーベル化学賞を発表しました。その概要についてご紹介します。まずは、本年の化学賞を受賞された、北川進先生、リチャード・ロブソン先生、オマー・M・ヤギ先生、受賞おめでとうございます。北川先生は、日本のノーベル化学賞受賞者としては、9 人目になります。

1 ノーベル賞とは

ノーベル賞は、人類の進歩や平和に大きく貢献した人や団体に贈られる、世界で最も権威ある国際的な賞のひとつです。スウェーデンの発明家アルフレッド・ノーベルの遺言に基づき、1901 年から授与が始まりました。

ノーベル賞の概要

(1) 創設者：アルフレッド・ノーベル

ニトログリセリンを珪藻土にしみこませて、安全に持ち運び使用できるダイナマイトを発明。そのことによりノーベルが亡くなった時（1896 年）、遺産は約 3100 万スウェーデンクローナの遺産を残した。現代の価値で、およそ 2 億～3 億ドル（約 300 億～450 億円）に相当。このほとんどをノーベル財団の基金に充てる。

(2) 創設年：1895 年（遺言）、授与開始は 1901 年

(3) 目的：「前年に人類のために最大の貢献をした人々」に報いること。

人類の未来を明るくする発見や活動を顕彰する。

科学、文化、平和の分野で世界に貢献した人々の努力を広く認め、将来に渡りその当時の叡智を紹介し、未来の人類にも役立つ内容であることを紹介する。

(4) 授与される分野（6 部門）

- ・物理学の分野において最も重要な発見または、発明した人物に
- ・化学の分野において最も重要な発見または、改善を行った人物に
- ・生理学または医学の領域において最も重要な発見をした人物に
- ・文学の分野において理想の方向に向かう最もすぐれた作品を書いた人物に
- ・国家間の友好、常備軍の廃止または削減、及び和平会議の開催や推進に向けて、最大もしくは最善の仕事をした人物に

・経済学賞 経済学の発展に顕著な貢献をした人物に

ノーベルの遺言にはなかったが、スウェーデン国立銀行が創立 300 年を記念し

1969 年から追加

2 今回のノーベル化学賞について

2025 年のノーベル化学賞は

「金属有機構造体（MOF）の開発 "for the development of metal-organic frameworks"」

3 人の化学者が受賞

■北川 進（日本 1951 生）京都大学理事・副学長、高等研究院特別教授

■Richard Robson（リチャード ロブソン）（イギリス 1937 年生）メルボルン大学教授

■Omar M. Yaghi（オマー M ヤギ）（ヨルダン 1965 生）カリフォルニア大学

バークレー校教授

・以下、ノーベル財団のリリース文の訳です（一部改編）

ノーベル化学賞

2025 年のノーベル化学賞受賞者は、ガスやその他の化学物質が流れることのできる大きな空間を持つ分子構造を創り出しました。

これらの構造は「金属有機構造体（Metal-Organic Frameworks, MOF）」と呼ばれ、砂漠の空気から水を集める、二酸化炭素を取り込む、有毒ガスを貯蔵する、化学反応の触媒とすることに利用できます。

2025 年のノーベル化学賞は、

北川進

リチャード・ロブソン

オマール・ヤギ

の 3 氏に贈られました。

彼らは新しい形の分子構造を開発しました。この構造では、金属イオンが分子の角の支えとして機能しながら、長い有機（炭素系）分子でつながっています。金属イオンと分子は組織的に結晶を形成し、大きな空洞を持つ構造を作り出します。この多孔性材料を「金属有機構造体（MOF）」と呼びます。

MOF に用いる構成要素を変えることで、化学者は特定の物質を捕捉・貯蔵できるように設計できます。

また、MOF は化学反応を促進したり、電気を導いたりすることも可能です。

「金属有機構造体は非常に大きな可能性を秘めており、従来には予想できなかった、新しい機能を持たせるカスタムメイドの物質製造に道を開く」と、

ノーベル化学賞選考委員会委員長ハイナー・リンクは述べています。

始まりは、1989 年。

リチャード・ロブソン氏は、原子の固有の性質を新しい方法で利用することを試みました。

ロブソン氏は「正」に帯電した銅イオンと 4 本の腕を持つ分子を組み合わせました。この分子の各腕の先端には銅イオンに引き寄せられる化学基がついていました。

組み合わせると、分子は結合して秩序だった広大な結晶を形成しました。

それは無数の空洞を持つダイヤモンドのようでした（図 1）。

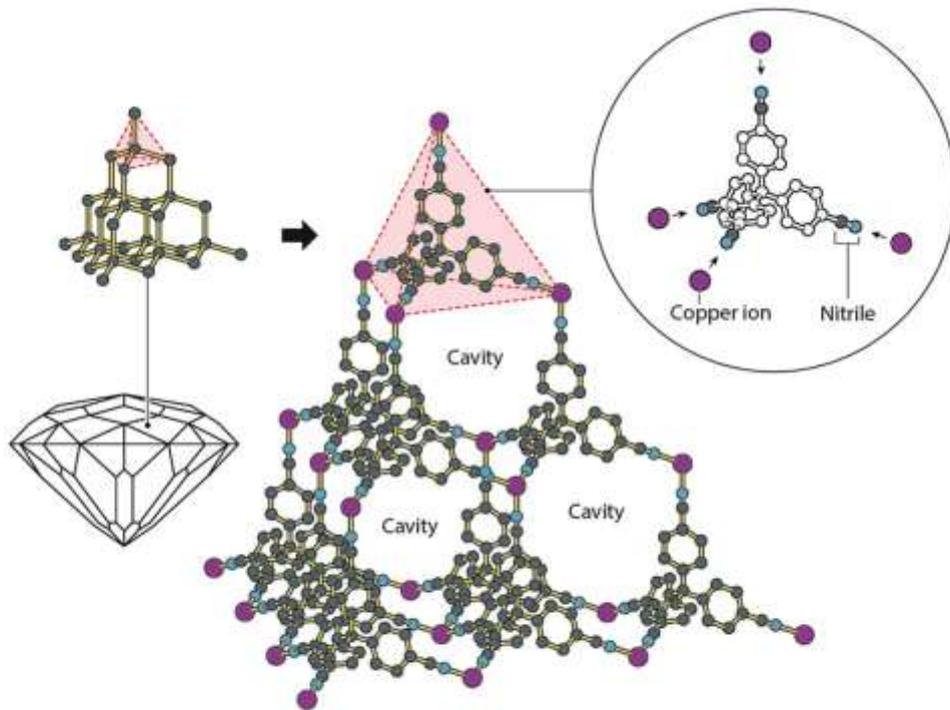


Figure 2. Richard Robson was inspired by the structure of diamond, in which every carbon atom is linked to four others in a pyramid-like shape. Rather than carbon, he used copper ions and a molecule with four arms, each with a nitrile at the end. This is a chemical compound that is attracted to copper ions. When the substances were combined, they formed an ordered and very spacious crystal.

図 1 ロブソン氏が作った MOF

Cu⁺（一価の銅イオン）と（4',4'',4''',4''''-テトラシアノテトラフェニルメタン）を基にした三次元ダイヤモンド様構造体
この構造体は、ダイヤモンドのような三次元的な骨格を持つ分子構造で、Cu⁺イオンが結合の中心（礎石）として機能し、4 つのシアノ基を持つ大きな有機分子がそれをつなぐことで形成されます。
結果として、規則正しく広がる空間性の高い結晶構造が生まれ、気体の吸着や分子の収納に適した多孔性材料（MOF）となります。

ロブソン氏は、すぐさまこの分子構造の可能性を認識しましたが、分子構造が不安定で簡単に壊れてしまいました。

しかし北川進とオマール・ヤギは、この構築法にしっかりした基盤を与えました。

1992 年から 2003 年にかけて、彼らはそれぞれ革命的な発見を重ねました。

北川氏は、気体が構造の中を出入りできることを示し、MOF が柔軟に作れる可能性を予測しました。

ヤギ氏は非常に安定した MOF を創り出し、合理的な手順によって望ましい性質を持たせることができることを示しました。

受賞者たちの画期的な発見に続き、化学者たちは数万種類の異なる MOF を作り出しました。

その中には、人類が直面する重大な課題の解決に貢献する可能性を持つものがあります。

例えば、以下のような

- ・水から PFAS を分離すること
- ・環境中の医薬品の微量成分を分解すること
- ・二酸化炭素を吸収すること、
- ・砂漠の空気から水を集めること

などの用途があります。

3 何がすごいのか？

北川氏は、金属イオンと有機分子を「配位結合」で結び付け、新しい多孔性材料「多孔性配位高分子（PCP）」を発明したことによりノーベル化学賞を受賞しました。

1992 年に初めてその発表を行い、1997 年に世界で初めて気体分子を大量に吸蔵できる多孔性配位高分子の合成に成功しました。そして、元となる多孔性配位高分子が分解することなく、二酸化炭素などを効率的に吸着・分離・貯蔵する新たな分子を発明・発見したのです。

この機能を使うことで、喫緊の課題である脱炭素社会の実現や地球温暖化対策、有害物質の除去といった課題の解決に寄与し、他にもエネルギー利用、医療などの分野での利用への開発が進められています。

簡単に記すと、今回の作り出された分子は、気体をその分子の中に自在に出し入れでき、しかも分子の形がくずれません。

⇒何回でも使える「気体の入れ物」みたいなものを金属と有機物の化合物で作ったということです。

金属イオンと、炭素を含む長い有機分子を組み合わせることで、規則正しく並ばせることで、すき間のある結晶をつくり、その隙間に他の分子を捕まえる、保持する、放出することができるようになりました。

しかもその結晶が崩れることがないので、何度も使うことができます。

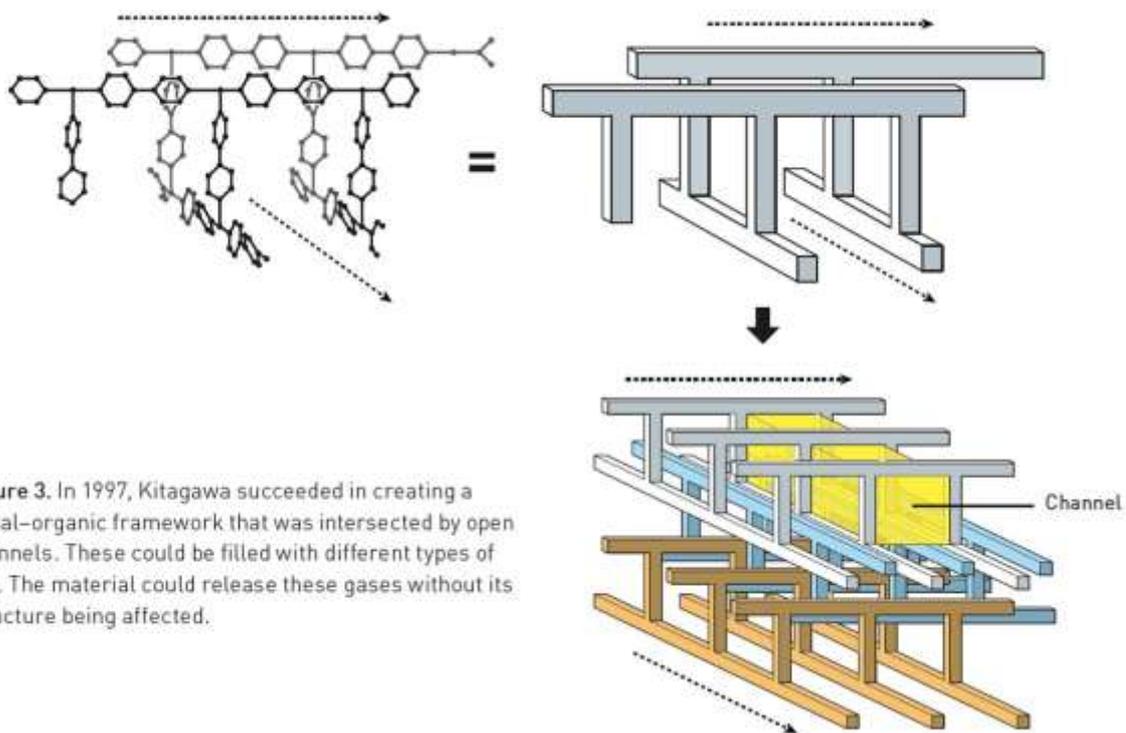


図2 北川氏が作った MOF

1997年、北川氏は開放されたチャンネル（空間）が交差する金属有機構造体（MOF）の作成に成功しました。これらのチャンネルにはさまざまな種類の気体を充填することができました。この材料は、その分子構造に影響を与えることなく、充填した気体を放出することが可能でした。

彼らはコバルト（ Co^{2+} ）、4,4'-ビピリジン、硝酸塩を基盤とした「かんぬき構造（tongue-and-groove）」の枠組みにおいて、室温でメタン（ CH_4 ）、窒素（ N_2 ）、酸素（ O_2 ）などの小さな気体の吸着を実証しました。

4 今後の MOF の展望

- ・水から PFAS を分離すること
- ・環境中の医薬品の微量成分を分解すること
- ・二酸化炭素を吸収すること
- ・砂漠の空気から水を集めること

と、ノーベル財団のリリース文で書かれている内容だけでもすごいですが、

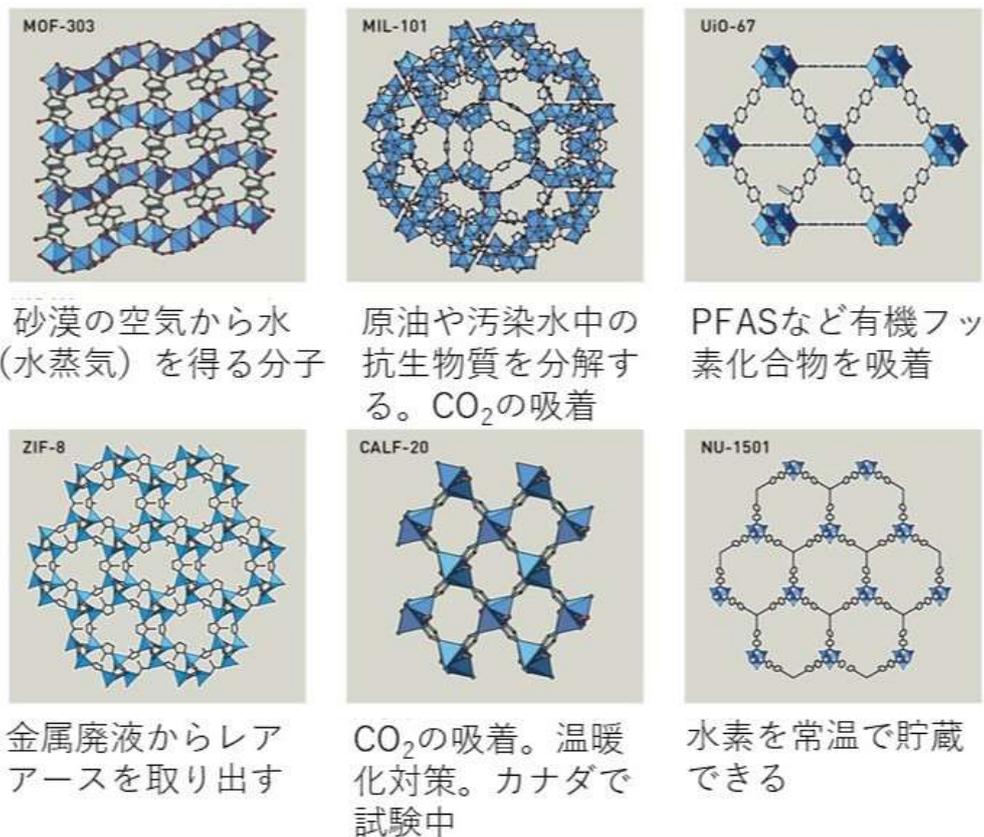
他の展望を記していくと、

- ・有害なガスなどを安全に閉じ込める
- ・金属廃液からレアアースを取り分ける
- ・体の中の必要なところに薬を届ける

・水素を閉じ込めることでエネルギー源とすることができる

(図 3 参照)

など現在の環境、エネルギー、病気などの課題解決を期待できる重要な発見なのです。



©Johan Jarnestad/The Royal Swedish Academy of Sciences

図 3 いろいろな MOF

本文で使用した図は、全てノーベル財団のホームページから使用しました。
©Johan Jarnestad/The Royal Swedish Academy of Sciences

文責 大阪市立科学館 小野昌弘