



立体保護がなくても空气中室温で安定な炭素原子中心 中性ラジカルの創成

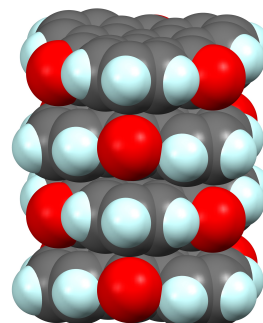
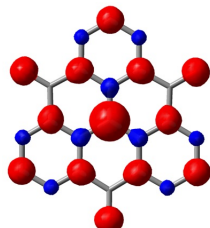
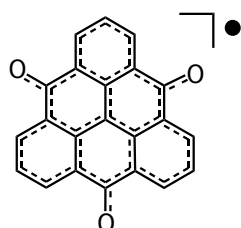
ポイント

私たちの身の回りにあふれている有機物は、ほぼ例外無く“偶数個”の電子を有しています。一方、“奇数個”の電子を持つ有機物は、一般に反応性が非常に高く空气中で簡単に分解してしまいます。安定化には立体保護効果の導入が最も重要であると言われてきました。本研究では、新たな鍵となる安定化手法を見出し、通常有機物では本質的に実現不可能な不対電子に起因する集合構造を構築し、電子機能性材料への道を切り開きました！

愛知工業大学の森田 靖 教授と村田剛志 准教授らの研究グループは、有機合成化学と電子スピン化学を融合させた斬新な物質開拓を展開し、中性ラジカルという通常は極めて不安定・短寿命な化学種を、空气中室温でも扱えるまでに安定化することに成功しました。一般に、中性ラジカルの安定化には、立体的にかさ高い置換基で分子骨格周辺を覆い分子間での反応を阻害すること（立体保護）が最も重要であると古くから広く知られていました。しかし、森田教授らが今回初めて合成・単離したベンゼン様の6員環6個から構成されるトリオキソトリアンギュレンは、立体保護効果がなくても空气中室温で安定に取り扱うことができる初めての炭素原子中心型の中性ラジカルであることがわかりました。

立体的にかさ高い置換基を分子骨格周辺に有していないため、奇数個の電子や化学結合の極性に起因する強い自己集合能により固体あるいは溶液中でも分子同士が強固に相互作用することが可能となり、多次元的な集合構造を構築することができます。従って、今回得られた成果は、奇数個の電子から成る有機中性ラジカルという特異な電子スピン状態を有する有機分子に基づく電子機能性材料の研究に新しい展開を創出する画期的なものです。森田教授らはすでに、この中性ラジカルを元にした高性能リチウムイオン二次電池や単成分純有機電気伝導体、近赤外光応答電気伝導体等の様々な機能を明らかにしており、燃料電池用酸素還元触媒への応用など、さらなる研究展開も進めています。

本研究成果は、公益社団法人 日本化学会発行の国際的な leading 総合化学雑誌である「Bulletin of the Chemical Society of Japan」のオンライン速報版で日本時間平成30年5月28日午前0時に Award Accounts として公開されます。



トリオキソトリアンギュレン中性ラジカル：
立体保護がなくても空气中室温で安定

<研究の背景と経緯>

私たちの身の回りにあふれている有機分子は、ほぼ例外無く偶数個の電子を有しており、「閉殻有機分子」と命名できます。電子は対になることで安定化され炭素-炭素結合等の化学結合の担い手となります。一方、奇数個の電子を有する有機分子は「開殻有機分子」と呼ばれ、不対電子を持つことによる不安定性のため一般的に反応性が非常に高く空気中で取り扱うことが困難な物質群です。この開殻有機分子は2種類に分類できます。カチオンやアニオン電荷を有する「ラジカルイオン」と電氣的に中性である「中性ラジカル」です（注1）。ラジカルイオンの場合は、電荷を中和するように存在する対イオンとの静電的な相互作用の存在から、溶液や固体状態における安定化が比較的容易であり、有機物で電気伝導性を有する分子性導体の構成物として古くから活発に研究されてきました。一方、中性ラジカルは有機合成反応の反応中間体や重合反応の活性中間体としては古くから知られていますが、静電的な相互作用による安定化効果が存在しないためにラジカルイオンに比べて安定化が困難です。しかし、不対電子に起因する電子スピンを持ち対イオンが存在しないことから、分子間での電子スピンの相互作用に基づく電子的・磁氣的な特性が発現する可能性が高く、通常の「閉殻有機分子」では本質的に実現不可能な電子機能性材料への期待が高まっています。

中性ラジカルの安定化には、以下の2種類の手法の“両方”を効果的に分子に施すこと（化学修飾）が重要であると古くから広く知られています。

(i) 立体的にかさ高い置換基で分子骨格周辺を覆い分子間での反応を阻害すること（立体保護効果）（注2）

(ii) 電子スピンを分子骨格上に非局在化させること（共鳴安定化効果）（注3）

特に、「炭素原子中心中性ラジカル」（以下参照、注4）の場合は、(i)の手法が最も重要であると認識されてきました。

これまでに空気中で安定に単離されてきた中性ラジカルの大部分はニトロキシドラジカル（図1左）です。窒素原子と酸素原子間に電子スピンを非局在化させるとともに、それらの近傍に立体的にかさ高い置換基を導入することで十分な安定性を獲得しています。「非局在化」といっても分子骨格中の窒素原子と酸素原子間に大部分の電子スピが存在していることから、ニトロキシドラジカルは「スピン局在型中性ラジカル」に分類されます。また、窒素や酸素原子などの「ヘテロ原子」上に大部分の電子スピが分布していることから「ヘテロ原子中心中性ラジカル」（注4）というふうにも分類されます。ニトロキシドラジカルは有機磁性体や生体ラベルなどの研究に広く利用され、中性ラジカルの研究に大きく貢献してきました。しかし、分子同士の相互作用が非常に弱いことから、強固な分子間のネットワーク構造が必要とされる電子機能性材料への応用という観点からは十分な性能を見出すことがこれまでは困難でした。

森田教授・村田准教授ら（森田・村田ら）の研究グループは、炭素原子が平面状に結合した巨大 π 共役系化合物であるグラフェンから三角形に切り出した、フェナレニルやトリアンギュレンと呼ばれる開殻有機分子を「開殻グラフェンフラグメント」と名付けて研究してきました（図2, *Nature Chem.* 2011, 3, 197）。これらは電子スピが分子骨格全体に広く非局在化した「スピン非局在型中性ラジカル」に分類されます（図1中央、右）。森

田・村田らは様々な化学修飾を行い、斬新なフェナレニル誘導体の合成とその基礎物性を調査・開拓してきました。例えば、フェナレニルに酸素官能基を付加した 6-オキソフェナレノキシル (6OP0, 図 1 右) における電子スピン構造のトポロジ的対称性や酸化還元特性がフェナレニルと比べて大きく変化することを実験的に明らかにしてきました。いずれの誘導体もその電子スピンは構成する炭素原子上に主に分布していることから「炭素原子中心中性ラジカル」(注 4) と分類できます。しかし、これらの中性ラジカルにおいても空気中安定に取り扱うためには *t*-ブチル基のような立体的にかさ高い置換基の導入が必要であり (図 1)、大規模な自己集合構造の構築および電子機能の発現は困難でした。

< 研究の内容 >

森田・村田らはこうした「炭素原子中心スピン非局在型中性ラジカル」の研究の末に、本研究の主役であるトリオキソトリアンギュレン (TOT) という分子の設計に辿りつきました (図 3)。TOT はフェナレニルの π 共役系をさらに拡張させ、3 回対称性を保持した位置に酸素官能基を付加することで分子設計できる有機中性ラジカルです。量子化学計算から求めた電子スピン密度分布は、電子スピンの分子骨格全体に広く非局在化していることを示唆しています (図 3)。これまでに森田・村田らは、かさ高い立体保護基である *t*-ブチル基を持つ (*t*-Bu)₃TOT 中性ラジカルや、より立体的に小さい臭素原子や *n*-ブトキシ基を結合させた TOT 中性ラジカル類を合成・単離し、空気中室温でも扱える高い安定性を有していることを実証してきました。そして、これらを正極活物質に用いた高性能有機二次電池 (*Nature Mater.* 2011, 10, 947) や世界初となる特異な発現機構を有する近赤外光吸収材等を開発してきました (*npj Quantum Mater.* 2017, 2, 27)。

今回、森田・村田らは、TOT 中性ラジカルの基礎的性質の深化とこれらの特異な物性の一般性や高性能化のために、立体的により小さい置換基である塩素原子やフッ素原子、さらには置換基を持たない無置換の TOT 中性ラジカル (H₃TOT) 類を設計・合成し、その安定性や構造・電子スピン物性を調査しました。その結果、驚くことにいずれの誘導体も高い安定性を有しており、空気中でも長期間安定に存在することがわかりました。固体状態においては特に高い熱的安定性を示し、大気下 240 °C 以上で固体表面の一部のみが分解する程度で、多くは 350 °C の高温にも耐えました。これは私たちの身の回りにあふれているプラスチックなどを構成する通常の「閉殻有機分子」の安定性に匹敵し、中性ラジカルの中では際立って高い安定性です。立体保護効果がまったく存在しない無置換 TOT 中性ラジカルが高い安定性を示したということは、中性ラジカルの安定化手法として従来の定説となっていた「立体保護効果」の重要性を覆す画期的な基礎学術的研究成果であり、奇数個の電子の非局在化に基づく「共鳴安定化効果」が顕著な安定化効果として作用していることを実験的に実証しました。また、縮合多環型構造に起因する合成の困難さを本申請研究は見事に克服し、市販されているベンゼン誘導体からわずか 4 段階程度で各種の TOT 誘導体を数十グラム合成する手法を開発しました。

TOT は広い π 共役平面を持つために、*t*-ブチル基や臭素原子のような大きな置換基があっても、その立体障害を避けるように分子平面同士が重なり合い (π 積層)、強く相互作用

することができます。森田・村田らは温度制御下での各種物性測定および量子化学計算による解析を行い、溶液中では強い分子間相互作用に基づいて多中心二電子結合（注5）により2分子のTOT中性ラジカル同士が強固に結びつき、高対称性の π 型ダイマー（注6）を形成することを明らかにし（図4左）、2分子間の空間における芳香族性の誘起現象を見出しました。さらに、 H_3TOT の固体試料を用いた単結晶X線構造解析を行い、 π 型ダイマーが分子間相互作用によりさらに積層して一次元 π 積層構造（注7）を構築することを見出しました（図4中）。このカラム中で分子同士が強固に相互作用しあうことで、1,000 nmを超える近赤外光吸収や-1,000 Kを超える強い反強磁性的相互作用などが観測されました。また、かさ高い置換基が分子骨格周辺に存在しないことから分子間の水素結合が形成され、3次元的相互作用を持つネットワーク構造が構築されていました（図4右）。中性ラジカルがこのような多次元的なネットワーク構造を形成することはたいへん稀有な例であり、本研究の特筆すべき成果の一つです。さらに、TOT骨格に様々な置換基を導入することで、有機溶媒に対する溶解性や酸化還元能など、各種物性を制御できることも明らかにしました。

<中性ラジカルの電子機能性材料への応用>

本研究で得られた成果は、森田・村田らが長年に渡って研究を続けてきた「炭素原子中心スピン非局在型中性ラジカル」と呼ばれる特異な物質群に関する物質探索の末に得られました。特に、かさ高い置換基がなくても空気中室温で扱えるほどの高い安定性と、強い分子間相互作用による多次元的なネットワーク構造を構築する高い一般性は、電子スピンに基づく新機能開拓において新たな材料設計指針を示すものです。また、短段階・高効率合成手法の開発により、従来手法ではたいへん困難であった縮合多環型の「炭素原子中心スピン非局在型中性ラジカル」の新しい合成手法を提示できたことは、今後の物質設計や物質開拓の上で重要な意味を持っている。

森田・村田らの研究グループはすでに、TOT中性ラジカルの基礎的研究成果に基づく新たな電子機能の探索について以下の研究成果を得ています。

- ①コバルトやマンガン等を使用しない高性能リチウムイオン有機二次電池
(*Nature Mater.* 2011, 10, 947; NHK ニュース おはよう日本 2011年10月17日 7時等)
- ②超高速充放電が可能な高性能リチウムイオン有機二次電池
(日本経済新聞 朝刊 2016年4月4日 13面等)
- ③機構的に新しい近赤外光吸収特性およびそれに応答する電気伝導性
(*npj Quantum Mater.* 2017, 2, 27; 日本経済新聞 電子版 2017年6月9日等)
- ④中性ラジカルとその一電子還元体が共存する混合原子価塩結晶における高い導電性
(論文未発表)
- ⑤異方的電気伝導性を示す中性ラジカル真空蒸着薄膜
(特願出願)
- ⑥TOT中性ラジカルの酸化還元能を活用した燃料電池用メタルフリー酸素還元触媒
(特願出願)

<今後の展開>

中性ラジカルは、通常の「閉殻有機分子」では実現不可能な様々な機能が期待され、新たな電子機能性材料の候補として基礎・応用の両面から注目されています。しかし、安定な中性ラジカルの最初の発見から1世紀以上経過した現在においても、安定化に成功した分子の大部分は「ヘテロ原子中心スピン局在型中性ラジカル」であるニトロキシドラジカル類です。従って、有機化合物の構造の多様性や高い分子設計自由度を考慮すれば、中性ラジカルの研究分野はまだまだ未開拓の研究領域となっています。森田・村田らが展開しているTOTに代表される「開殻グラフェンフラグメント」である縮合多環型中性ラジカルは「炭素原子中心スピン非局在型中性ラジカル」であることから、数少ない中性ラジカルの分類に属し、今後の発展が大いに期待されています。

TOT 中性ラジカルの特徴は、分子骨格周辺の置換基をさまざまに変化することが可能であり、導入した置換基の立体電子的な効果によってTOTの電子状態や集合状態を制御できることです。また、骨格内部の炭素原子や酸素原子を別の原子や官能基に置き換える化学修飾もすでに可能です。本研究により、「スピン非局在型中性ラジカル」の安定化に向けた新たな分子設計指針が提示されたことで、開殻有機分子の設計・合成を基盤とする電子機能性材料の研究開発の進展に大いに貢献することが期待されます。特に材料応用の観点からは、TOTを基盤としたさらなる高性能リチウムイオン有機二次電池が実用化されれば、電気自動車のバッテリーや太陽光発電の平準化用蓄電池としての利用が想定されています。また、TOTが示す近赤外光吸収特性を利用した太陽光発電や、TOTの酸化還元能を利用した燃料電池が実現されれば、再生可能エネルギーの利用増大による化石燃料の消費抑制やCO₂排出削減に繋がると考えられ、環境・資源問題の解決に貢献できると期待されます。また、開殻グラフェンフラグメントが示す電子スピン物性は、磁気メモリーや量子コンピューター／量子情報処理など、全く新しい電子デバイスへの応用も可能であると考えられます。森田・村田らは、さらなる新規な開殻グラフェンフラグメントの探索・設計・合成と機能開拓という基礎学術的な研究を継続すると同時に、多彩かつ柔軟な機能を基盤とする上記のような環境問題の解決や新産業の創出に資する応用を視野に入れた研究も推進しています。

<参考図>

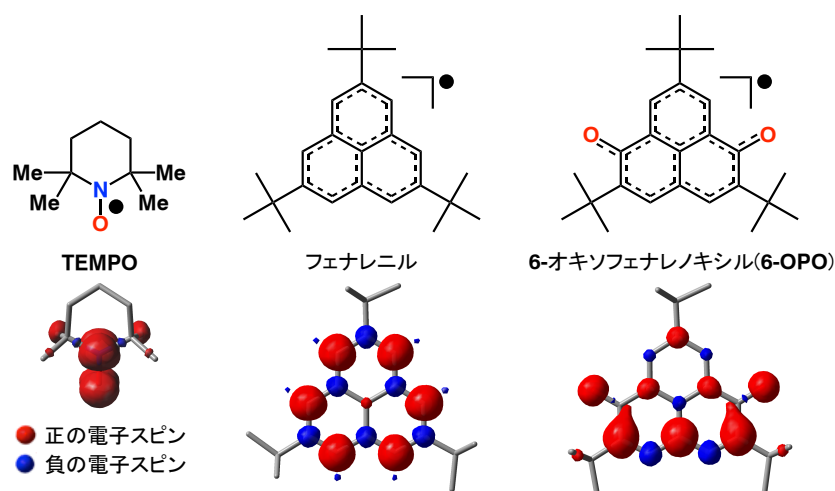


図1. 代表的な有機中性ラジカルの分子構造（上）と量子化学計算で求めた電子スピン密度分布（下）。分子はそれぞれ、ニトロキシドラジカル（左、TEMPO ラジカル）、フェナレニル（中央）、6-オキソフェナレノキシル（右、6-OP0）。分子構造の右上の点は不対電子を示し、スピン密度分布図の赤や青の丸の大きさが各原子上に存在する不対電子の存在密度を表す。ニトロキシドラジカルでは、窒素原子と酸素原子間に電子スピンを非局在化させるとともに、それらの近傍に立体的にかさ高い置換基を導入することで安定性を獲得している。フェナレニルや6-OP0 中の点線は、不対電子が分子骨格全体に広く拡散して分布（非局在化）していることを表す。このような電子的な特徴を持つことからこれらの中性ラジカルは、「スピン非局在型中性ラジカル」と分類される。一方、前者のニトロキシドラジカルは「スピン局在型中性ラジカル」と分類される。フェナレニルや6-OP0 でも安定化のためにはかさ高い3つの *t*-ブチル基により立体的に保護することが不可欠である。

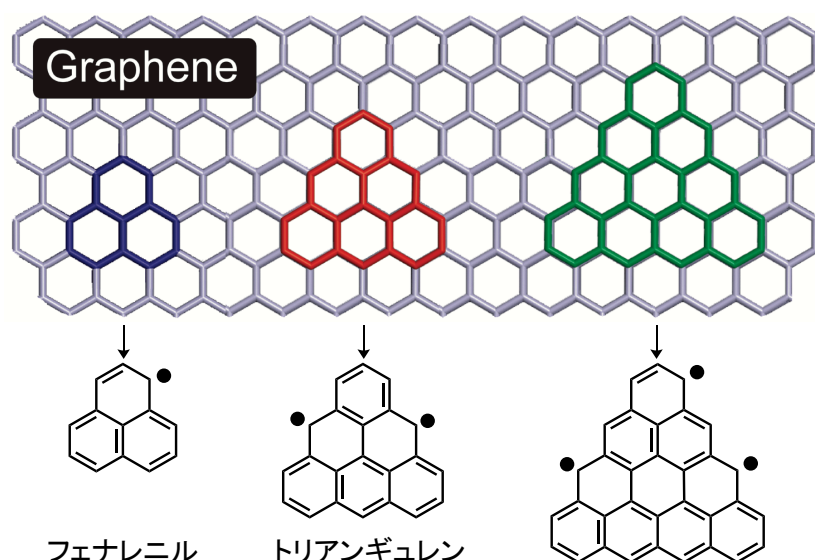


図2. 本研究の分子設計の元となる「開殻グラフェンフラグメント」の分子構造。多数の六角形（ベンゼン環）が二次元的に集まったグラフェンから、各辺がジグザグ型になるように切り出すとフェナレニルなどの三角形の分子骨格を持つ中性ラジカルが設計できる。これらの分子においては、全ての炭素原子が二重結合に関与する「閉殻電子構造」を描くことができなく、必然的に中性ラジカルを与える。

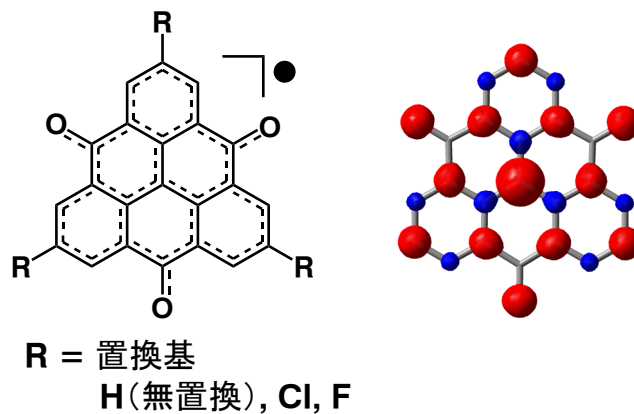


図3. 今回合成に成功したTOT誘導体の分子構造。RはTOT骨格を修飾する置換基を示し、Rの選択により電子物性や固体中での分子配列を制御できる。(右)無置換TOT (H_3TOT)のスピンドensity分布図。この無置換体に代表されるように、分子骨格周辺に立体的にかさ高い置換基を有していなくても電子スピンドensityが分子骨格全体に広く非局在化していること(共鳴安定化効果)で空気中での高い安定性を実現している。中性ラジカルの安定化手法として従来の定説となっていた「立体保護効果」の重要性を覆す特筆すべき基礎学術的研究成果である。

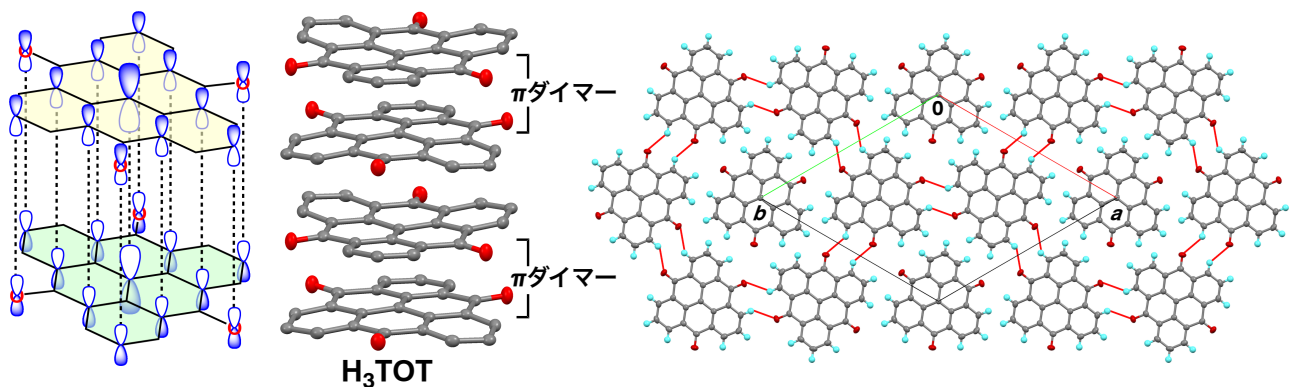


図4. (左) H_3TOT が強い分子間相互作用により形成する「多中心二電子結合」の概念図。青白のローブで表す大きな電子スピンドensityを持つ炭素・酸素原子の π 軌道が、点線のように重なって結合していることを表す。(中)無置換TOT (H_3TOT)の多中心二電子結合による π 積層構造。図では4分子分だけ切り出しているが、実際にはこれが無限に続いている。(右) H_3TOT の結晶構造中での π 積層構造間の相互作用。 π 積層構造の真上から見下ろした図で、分子同士を結ぶ赤線はC-H...O型の水素結合を表す。 π 積層構造とこの水素結合ネットワークにより、 H_3TOT は3次元的なネットワーク構造を有している。「炭素原子中心中性ラジカル」がこのような多次元的なネットワーク構造を形成することはたいへん稀有な例であり、本研究の特筆すべき成果の一つである。

<用語解説>

(注1) 中性ラジカル

電氣的に中性で不対電子をもつ有機分子。一般的には有機反応の反応中間体や重合反応の開始剤として知られている。中性ラジカルは通常、反応性が高く非常に不安定なため、電子機能性材料としては不向きとされてきた。一方で、「閉殻有機分子」には存在しない不対電子に由来する電子スピンや磁性等の特有の性質を有することから、中性ラジカルは基礎学術的に重要な物質群であるだけでなく、電子機能性材料から医療分野、量子情報処理などの幅広い応用が期待されており、その安定化や機能開拓について長年活発な研究が行われている。

(注2) 立体的かさ高さ

分子あるいは分子の部分構造(官能基)の交換反発力のおよぶ空間的な大きさ。立体的にかさ高い分子や置換基同士は近づくことができず、その立体障害のために結合や分子構造が歪められたり、結合の周りの自由回転が妨げられたりする。また、立体的にかさ高い置換基により反応活性点を覆うことでその反応性を抑制し、速度論的に安定化することができる(立体保護)。中性ラジカル、特に「炭素原子中心中性ラジカル」の安定化においてはこの性質の活用がこれまで必須であると広く認識されていた。置換基の立体的なかさ高さの指標として「Winstein-Holness A value」が広く使われている。今回合成したTOT誘導体の置換基のA valueを比較すると以下ようになる。

$H = 0, F = 0.15, Cl = 0.43, Br = 0.38, n\text{-Bu} \sim 0.9$ (OCH_2CH_3 の値より), $t\text{-Bu} > 4$.

(注3) 電子スピンの非局在性

ニトロキシドラジカルにおける電子スピンは、窒素原子と酸素原子上に大部分が分布している(図1左)。このように分子骨格の特定の部位に大部分の電子スピンの集中的に存在している場合、電子スピンは「局在化」していると呼ぶ。これまでに空気中で安定に単離されてきた中性ラジカルの大部分はニトロキシドラジカル類です。各種の誘導体の合成が比較的容易であることが最大の理由です。一方、 π 電子系の共鳴効果により電子スピンの分子骨格中のいくつかの原子・部位に移動でき、分子骨格上に広く分布していることを「電子スピンの非局在化している」という。これにより反応活性点となる電子スピンの平均存在確率が小さくなり、反応性を抑制することができる。また、共鳴効果により非局在化された電子スピンの分布は柔軟であり、化学修飾や外部刺激により制御あるいは様々な応答性を示すことができる。既知の「スピン非局在型中性ラジカル」の種類や数はかなり限定されている。分子の合成が容易では無いことが最大の理由だったが、今回の研究成果によって今後は大幅に増加することが見込まれている。

(注4) ヘテロ原子中心中性ラジカル・炭素原子中心中性ラジカル

分子骨格中の窒素原子、酸素原子や硫黄原子などの「ヘテロ原子」上に電子スピンの主に分布しているものを「ヘテロ原子中心中性ラジカル」と呼ぶ。上述のニトロキシドラジカルは代表的な「ヘテロ原子中心中性ラジカル」である。他の誘導体としてはジチアゾリルラジカルやBlatterラジカルなど数種が知られており、電子スピンのヘテロ原子上への

非局在化に伴う安定化効果によって比較的安定なものも報告されている。一方、電子スピンの主として炭素原子上に分布しているものを「炭素原子中心中性ラジカル」と呼ぶ。炭素骨格上に不対電子を持つため多くの場合は反応活性であり、ほとんどの場合は空气中室温で安定に単離・取り扱うことは困難である。かさ高い *t*-Bu 置換基を導入したフェナレニルや 6-OP0 (図 1 中, 右), および今回の研究成果である H₃TOT は、「炭素原子中心スピン非局在型中性ラジカル」としては安定化に成功したたいへん稀有な例である。

(注 5) 多中心二電子結合

有機分子中の共有結合では、2つの電子を2つの原子が共有することで σ -結合が作られる。それに対し、3個以上の原子が2個の電子を共有しながら化学結合を形成している場合、この化学結合を「多中心二電子結合」と呼ぶ。

(注 6) σ 型ダイマーと π 型ダイマー

中性ラジカル同士が単結合を作って二量化する場合は、それぞれの骨格中の一つずつの原子の対でラジカル電子が共有されて σ 結合を形成している (σ 型ダイマー)。このとき、ラジカル分子が持つ電子スピンの性質は完全に消失してしまう。一方、トリ-*tert*-ブチルフェナレニル (図 1 中) や TOT のような「スピン非局在型中性ラジカル」では、電子スピンの非局在化しているために、「特定の原子」で σ 結合を形成することができず、 π 電子の重なりを介して複数の原子が2つの電子を共有することで二量体を形成する (π 型ダイマー)。このとき、電子スピン同士は完全に対を形成するわけではないので、それぞれの分子は中性ラジカルとしての性質を残している。

(注 7) 一次元 π 積層構造

π 共役系の化合物がその π 共役平面同士を接触させながら一次元的に無限積層している構造。ナフタレンやアントラセンなどの π 共役系の「閉殻有機分子」は、 π 型に積層することは一般に稀である。分子間に作用するファンデルワールス力が弱いために、 π 型に積層する能力は低く、ヘリングボーン様になる場合が多い。一方、ラジカルイオンの場合は、上手に設計すれば電子スピン間の強い引力により (一次元) π 積層が可能となり、電子が移動できる経路が確保されることで電気伝導性を有する分子性導体になることができる。ジチアゾリルラジカル (注 4) 等の「ヘテロ原子中心中性ラジカル」の場合は、分子骨格周辺にかさ高い置換基がなくても安定化が可能であることから、一次元 π 積層構造を形成する誘導体も知られている。一方、「炭素原子中心中性ラジカル」の場合は、本文中にも記述したように、分子骨格周辺にかさ高い置換基が存在しないと安定化が困難であったために、その置換基の立体的なかさ高さのために π 型に積層することは困難であった。一次元 π 積層構造を形成する高い能力を有している縮合多環型の「炭素原子中心スピン非局在型中性ラジカル」である TOT は、このような観点からも稀有な物質群である。

<論文タイトル>

“Trioxotriangulene: Air- and thermally stable organic carbon-centered neutral π -radical without steric protection”

(トリオキソトリアンギュレン：立体保護がなくても大気下で熱的に安定な炭素中心有機中性ラジカル)

DOI: doi:10.1246/bcsj.20180074

本研究成果は、平成 30 年 5 月 28 日午前 0 時(日本時間)に公益社団法人 日本化学会発行の国際的な leading 総合化学雑誌である「Bulletin of the Chemical Society of Japan」のオンライン速報版で公開されます。

発表論文はこちらから無料でご覧いただけます (5 月 28 日午前 0 時より)。

<http://www.journal.csj.jp/doi/abs/10.1246/bcsj.20180074>

<研究に関する問い合わせ先>

森田 靖 (モリタ ヤスシ)

愛知工業大学 工学部 教授

〒470-0392 愛知県豊田市八草町八千草 1 2 4 7

TEL : 0565-48-8878 FAX : 0565-48-8878

E-mail : moritay@aitech.ac.jp

村田剛志 (ムラタ ツヨシ)

愛知工業大学 工学部 准教授

〒470-0392 愛知県豊田市八草町八千草 1 2 4 7

TEL : 0565-48-8878 FAX : 0565-48-8878

E-mail : tmurata@aitech.ac.jp

<報道担当>

愛知工業大学 総合企画部広報課

担当 : 中條

TEL: 0565-48-8177

Fax : 0565-48-0277

メール: d-koho@aitech.ac.jp