

令和 4 年 5 月 27 日現在

機関番号：15501

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H03023

研究課題名(和文) ヒドロキノン二量体構造が拓く新規有機材料・デルタアレーンとスイッチング蛍光材料

研究課題名(英文) Development of new functional materials based on hydroquinone dimers

研究代表者

上村 明男 (KAMIMURA, Akio)

山口大学・大学院創成科学研究科・教授

研究者番号：30194971

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,500,000円

研究成果の概要(和文)：2-スルファニルヒドロキノン二量体を使った新規なバイオイメーキング材料の開発を進め、この化合物を水溶性にすることで、BSAタンパクとの結合を水中で行い、蛍光による検出することに成功した。2-スルファニルヒドロキノン二量体テトラメチルエーテルの選択的な脱メチル化を実現し、モノメチルエーテルとその酸化したモノキノンが還元条件での蛍光を発生させる新規試薬として有望であることを見いだした。新規大環状化合物のデルタアレーンの誘導体の合成を行い、その空孔のサイズと形をDFT計算により明らかにした。またメトキシ基の除去とアセタール化を通じて、デルタアレーンの化学修飾に向けた反応の開発を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により我々が開発した新規蛍光染料である2-スルファニルヒドロキノン二量体がバイオイメーキング材料として利用可能であることを明らかにした。この成果は生化学分野に新しい検出材を提供することが期待され、この分野の発展に寄与する成果である。また新規大環状化合物のデルタアレーンの化学の基礎的な研究を進め、この化合物群を新しい分子ホストとして活用できる足がかりを得た。この成果も生化学をはじめ材料開発にも新しい方法論をもたらすことが期待できる。

研究成果の概要(英文)：Preparation of water-soluble 2-sulfanylhydroquinone dimer and derivatized it for a bio-imaging material. We succeeded to detect BSA protein as a model study using this derivative and showed it would be a potential photoluminescence compound for this purpose. We also developed selective demethylation reaction for its tetramethyl ether, and achieved one-step preparation of mono-methyl derivative. Its oxidation form, mono-quinone derivative, showed good photoluminescence when exposed to reductive conditions delivered by ascorbic acid, and found that it would be a potential compound serving as a new reagent for detection of reducing agents. Several derivatives of deltaarene, a new macrocyclic compounds based on a 2-sulfanylhydroquinone dimer, were prepared and estimated their shape and size of the holes. We also examined several reactions towards their derivatization and chemical modification.

研究分野：有機化学

キーワード：蛍光材料 バイオイメーキング 水溶性 ポリエチレングリコール 大環状化合物

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

キノンやヒドロキノンはそのユニークな酸化還元特性のため、自然界では代謝反応の重要なキョユニットとして広く分布している。これらが2つ直接つながったら、どういふおもしろい性質を示すだろう？我々がこれらの点に興味を持ち数年前に研究を開始するまで、キノンやヒドロキノンの二量体の化学は、世界的にもそれほど活発には研究されてはなかった(例えば、N. Hayashi, *et al. Org. Lett.* **2007**, *9*, 5417)。我々は2-スルファニルヒドロキノン二量体が、紫外線照射下で比較的強い蛍光を発する全く新しい蛍光色素

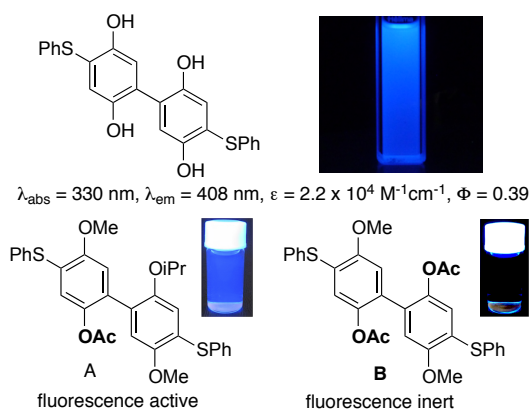


図1. 2-sulfanyhydroquinone dimer

となることを見いだした(図1上)。この化合物の4つあるフェノール性水酸基の2つを選択的に保護して残りをアルカリ塩とすれば、350 nmの紫外光照射下で471 nmに発光ピークを持つストークスシフトの大きな水溶性蛍光色素となることを見だし(*J. Org. Chem.* **2014**)、2-スルファニルヒドロキノン2量体はバイオマーカーなどへ応用が期待できる新規な機能性有機物質であることを明らかにした。2-スルファニルヒドロキノンの4つあるフェノール性水酸基のうち、2つ以上の水酸基を電子求引基であるエステルで保護すると蛍光特性は失われるが、エステル化が1つだと蛍光特性を維持する。これを利用して蛍光が発生する化合物Aを、生化学的あるいは化学的に1つのエステル基を加水分解させることで蛍光特性を持たない化合物B(エステル基が2つ)から変換できれば、リアルタイムな蛍光センサーとして使えることになる(図1下)。すなわち電子求引基の数による蛍光の化学的ON-OFFが可能となり、生化学反応の追跡が可能な蛍光色素にも応用できる新しいバイオセンサーとなる可能性が示唆された。

この化合物群はさらに興味深い化合物を与えることもわかった。すなわち2-スルファニルヒドロキノン二量体を単位構造とする分子量が1200を超える新規な大環状化合物を合成できたことである。この化合物は2-スルファニルヒドロキノン二量体を基本骨格とする三量体であり、環の内部に1辺約1 nmの正三角形の形をした空孔を持つので、我々はこれをデルタアレーンと命名した。デルタアレーンは2-スルファニルヒドロキノン二量体由来の蛍光を発するだけでなく、電子移動反応によく用いられるビオロゲンを含括している可能性のある興味深い化合物であり(図2)、新しい分子ホストとして、分子認識や超分子化学さらに新しい不斉反応場などへの展開が期待できる大きな可能性をもつ分子である。

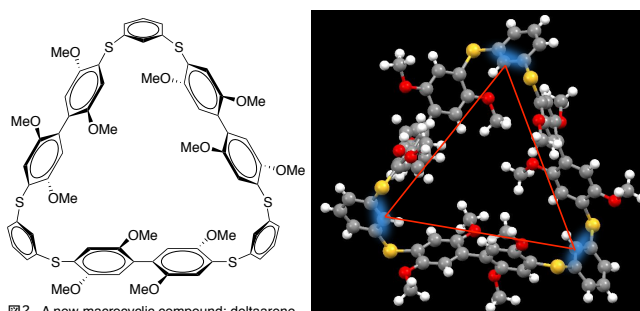


図2. A new macrocyclic compound: deltaarene

以上の知見と着想を元に、次世代の有機機能材料として、「2-スルファニルヒドロキノン二量体の化学」を総合的に発展させる観点から研究を進めることを着想した。

2. 研究の目的

以下の2点について研究を進める。

(1) 2-スルファニルヒドロキノン二量体をベースとした新規なバイオマーカー(イメージング剤)の創成に向けた研究: 生理活性物質の導入方法の開発や生化学的研究に適した色素誘導体にすることを検討し、電子求引基の数による蛍光ON-OFF特性を利用した生化学反応のモニター蛍光染料の開発を行う。

(2) 2-スルファニルヒドロキノン二量体を基本構造とする大環状化合物デルタアレーンの誘導体合成とそのホストゲスト化学などへの展開: デルタアレーン合成の一般化とその基本的構造解析、およびデルタアレーンの化学修飾を通じてシクロデキストリン、クラウンエーテル、ピラーアレーンなどに続く新しい大環状分子ホストとしての地位の確立を目指す。

3. 研究の方法

(1) 2-スルファニルヒドロキノン二量体をベースとした新規なバイオマーカー(イメージング剤)の創成に向けた研究: 本研究では、2-スルファニルヒドロキノン二量体を水溶液中で通常の生化学反応条件で蛍光材料として利用可能な誘導体を作るために、水溶性の確保、生理活性分子の結合部位の導入、細胞などで代謝される生理活性物質をつないだ誘導体の合成、に向けた研究を進める

(2) 2-スルファニルヒドロキノン二量体を基本構造とする大環状化合物デルタアレーンの誘

導体合成とそのホストゲスト化学などへの展開：デルタアレーンの合成とその誘導体の合成、及び得られた大環状化合物の基礎的な物性について調べ、この化合物を新規なホスト分子として利用できるための基礎的な研究を進める。

4. 研究成果

(1) 2-スルファニルヒドロキノン二量体をベースとした新規なバイオマーカー（イメージング剤）の創成に向けた研究：

最初に 2-スルファニルヒドロキノンの誘導体にエステルを直接導入した誘導体を合成して、酵母を用いた生理活性反応によりこのエステルが加水分解され蛍光の出現が観測できるのかについて調べた。しかしこの誘導体は疎水性が強く、水に溶けづらい上に、その疎水性が酵母に悪影響を与えたため死滅してしまい、24 時間後酵母培地では蛍光は観察されたものの、それは生きた酵母細胞の代謝反応によるものではなく、培地の化学的環境による加水分解によるものと推察された（図 3）。

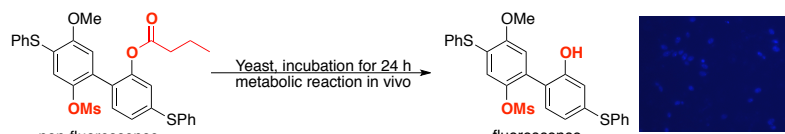


図3. A attempt to 2-sulfanylhydroquinone dimer derivative for the detection of motabolism of yeast

この結果は、2-スルファニルヒドロキノンは極めて水溶性が悪いために、これをそのままバイオイメージング材料として用いることはできないことが強く示唆された。そこで水溶性を高めるべく、4つある水酸基のいくつかに水溶性を付与する側鎖を導入した誘導体の合成を進めることにした。そのためには対称性の高い 2-スルファニルヒドロキノンの非対称化反応の開発が必須となる。我々は、種々の条件を検討した結果、5,5'-アルキル 2-スルファニルヒドロキノンの二量体 **1** の 2,2'-位の水酸基が 1 等量の二炭酸ジ-*tert*-ブチル (Boc_2O) 処理によって一方の 2 位のフェノール性水酸基だけが Boc 基で保護された化合物が選択的に合成できることを見だし、テトラエチレングリコールモノメチルエーテル基を 3 つ導入した誘導体 **2** を合成することに成功した（図 4）。得られた化合物 **2** は生化学的な実験に十分な水溶性を有し、水-メタノール 97:3 の混合溶媒中では、318 nm で励起すると 403 nm にピークを持つ青色蛍光を発することが分かった。これを用いて BSA タンパクのラベリング実験を行ったところ、BSA が溶解するレベルでの水溶液濃度では均一な溶液として存在し、テザーとして導入した NHS エステルは効果的に BSA タンパクのアミノ基をトラップしてラベル化した BSA タンパクを与えた。またこれは電気泳動の結果、その存在が確認できた（図 5 の Δ 印の所）。

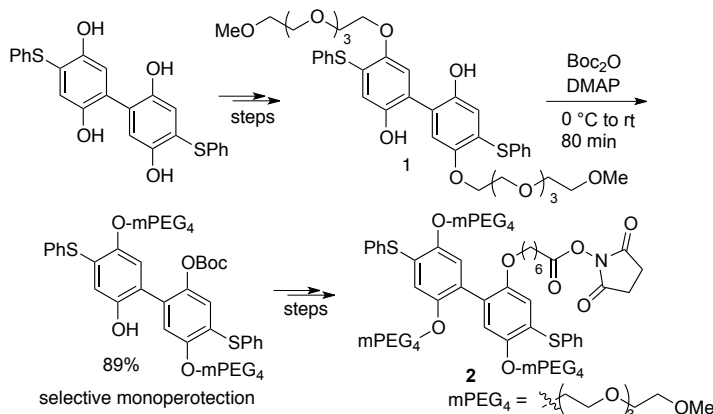


図4. Synthetic outline of biomaging molecule 2

条件を検討した結果、5,5'-アルキル 2-スルファニルヒドロキノンの二量体 **1** の 2,2'-位の水酸基が 1 等量の二炭酸ジ-*tert*-ブチル (Boc_2O) 処理によって一方の 2 位のフェノール性水酸基だけが Boc 基で保護された化合物が選択的に合成できることを見だし、テトラエチレングリコールモノメチルエーテル基を 3 つ導入した誘導体 **2** を合成することに成功した（図 4）。得られた化合物 **2** は生化学的な実験に十分な水溶性を有し、水-メタノール 97:3 の混合溶媒中では、318 nm で励起すると 403 nm にピークを持つ青色蛍光を発することが分かった。これを用いて BSA タン

パクのラベリング実験を行ったところ、BSA が溶解するレベルでの水溶液濃度では均一な溶液として存在し、テザーとして導入した NHS エステルは効果的に BSA タンパクのアミノ基をトラップしてラベル化した BSA タンパクを与えた。またこれは電気泳動の結果、その存在が確認できた（図 5 の Δ 印の所）。

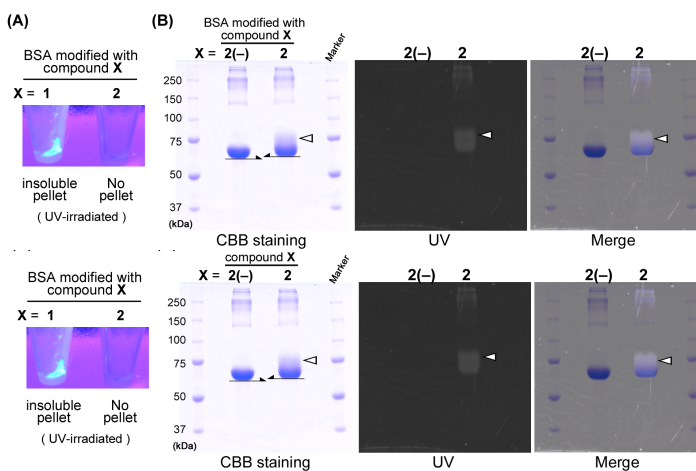


図5. Fluorescence and CBB staining images of the modified BSA separated by SDS-PAGE.

この結果より、2-スルファニルヒドロキノンの二量体がバイオイメージング材料として利用可能な色素であることが明らかになったので、引き続き細胞表面での代謝反応によって蛍光を発するようになるリアルタイムバイオイメージング材料への展開に向けた研究を現在進めている。

さて、この蛍光色素の利用に向けては 4 つあるフェノール性水酸基の選択的な化学処理法の開発が不可欠である。そこで、この化合物の合成段階で生じるテトラメチル誘導体 **3** の選択的な脱メチル化反応に

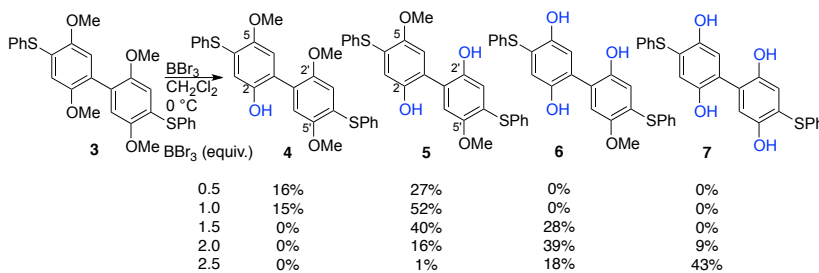


図6. Selective deprotection of tetramethyl derivative 3 by various amounts of BBr₃

ついて検討した。芳香環に直結したメトキシ基の除去の一般的試薬である BBr_3 の化学量論の制御による脱メチル化法による選択的メチル基除去について検討した。すると 1 等量以下の BBr_3 を作用させると 2,2'-位のメトキシ基のみが選択的にヒドロキシ基に変換され、それ以上の量の BBr_3 を用いると、5,5'-位のメトキシ基が反応することが分かった。特に BBr_3 を 2 等量作用させるとメトキシ基が 3 つ脱保護された化合物 **6** が中程度の収率ではあるが一気に合成できることが分かった。すべてのメトキシ基が水酸基に変換された化合物 **7** のメチル化は選択的に進行しないので、この方法は効果的に非対称な化合物 **6** を得る有効な手法となる (図 6)。

この化合物 **6** はこれまでの誘導体と同様に、メタノール中で紫外線励起すると、量子収率 0.18

で 404nm に青色蛍光を発することが観察された。しかしその酸化体であるモノキノ **8** は全く蛍光を示さない。そこで我々はモノキノ **8** が還元剤の検出剤として利用可能であると考えた (図

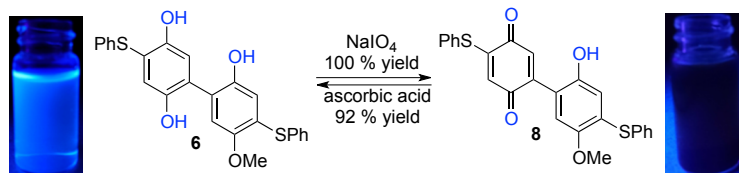


図7. photoluminescence properties of monomethyl derivative **6** and monoquinone **8**

7)。モノキノ **8** のメタノール溶液に還元剤としてアスコルビン酸をブラックライト照射下で作用させると、予想通り添加とともに蛍光の発生が観察され、還元剤によって蛍光が復活することが確かめられた。

最後に 2-スルファニルヒドロキノ **6** の二量体の硫黄誘導体の合成について検討した。フェノール性水酸基を *N,N*-ジメチルチオカルバマートに変換し、Newman-Kwart 転位によって芳香環に直結した酸素原子を硫黄原子に置換することを試みた。しかし当初の試みはうまく進行しなかった。これは転位を受ける芳香環が極めて電子リッチであり、転位反応は分子内芳香族求核置換反応で進行するためであると考えた。そこで芳香環のもう一つの水酸基にピバロイル基を導入し、電子供与性を弱めた基質を使って Newman-Kwart 転位を行ったところ、300°C 40 分で転位反応はスムーズに進行し目的の硫黄を導入した誘導体を合成できた。これを加水分解しようとしたが、通常条件ではジメチルアミノカルバマート部分が反応しなかったため、還元条件によってジチオ誘導体を得た。このとき生じるはずのジチオールは反応の後処理中で速やかに酸化されて 1,2-ジチインになった化合物のみが得られた (図 8)。

1,2-ジチインは結晶化したのでその X 線構造解析を行ったところ、2 つのピアリアル環のねじれ角が 24° であり、2-スルファニルヒドロキノ

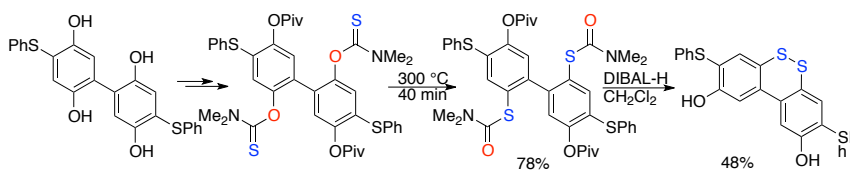


図8. Preparation of dithio-derivative of 2-sulfanylhydroquinone dimer

のそれよりも大幅に小さくなっていることが分かった。残念ながらジチインもジチオールもその蛍光量子収率は 0.02 程度と小さく、蛍光物質としての利用は期待できなかったものの、1,2-ジチインユニットは還元によりジチオールに変換できることから、二次電池の活物質としての利用や (Müllen ら *Chem. Eur. J.* **2020**, *26*, 8007)、還元によるピアリアル環のねじれ角の変化を使った分子スイッチ (Benniston と Harriman ら *New J. Chem.* **2009**, *33*, 417) などに応用が期待される。今後この化学についての研究を進めるつもりである。

(2) 2-スルファニルヒドロキノ **6** の二量体を基本構造とする大環状化合物デルタアレーンの誘導体合成とそのホストゲスト化学などへの展開：

デルタアレーン (大環状三量体) の種々の誘導体の合成を検討するために、種々のアレーンジチオールを合成し、それを用いたデルタアレーンの合成を行った。用いたジチオールは、*p*-ベンゼンジチオール、2-メチル-1,3-ベンゼンジチオール、2,7-ナフタレンジチオールである。それぞれこれまでと同様の方法でデルタアレーンに変換できた。これらの化合物の質量分析は三量体構造であることを明確に示した。これらの構造を明らかにするために X 線構造解析を行う予定であったが、それに適した結晶を得ることができなかったため、*m*-ベンゼンジチオール由来のデルタアレーン **9** の X 線構造結果を参考に DFT 計算 (B3PW91/6-31G(d)) によってこれらの構造を最適化し、その分子構造及び空孔サイズの見積もりを行った。

p-ベンゼンジチオール由来のデルタアレーン **10** では、*m*-ジチオール由来の **9** と似た構造をとり、空孔は正三角形型で一辺が 11.6Å と計算された (図 9)。一方 2,7-ナフタレンジチオール由来のデルタアレーン **11** では空孔サイズは大きくなるが、その形は正六角形型になり、空孔内に一辺が 14-16Å の正三角形が 2 組はいる構造をとることが分かった。一方 2-メチル-1,3-ベンゼンジチオール由来のデルタアレーン **12** は、*m*-ベンゼンジチオール由来の **9** と空孔の形はよく似ていたが、2-位のメチル基が立体的に空孔をふさぐ形で配置するため有効な空孔サイズの正三角形の一辺は 8.8Å と小さくなった。

次にデルタアレーン **9** にある 12 個のメトキシ基の脱保護及びその反応性について検討を行った。デルタアレーン **9** に 15 等量 (大過剰量) の BBr_3 を作用させると、すべてのメトキシ基はフェノール性水酸基に変換されたデルタアレーン **9a** が 87% で得られた。これをカンファ

ースルホン酸存在下でジメトキシプロパンと反応させると、2,2'-位に存在する 3 組のフェノール性水酸基がアセタール化したデルタアレーン **9b** が 48% で得られた。残った 5,5'-位のフェノール性水酸基は塩化バレルイリと処理することで容易にエステル化でき、誘導体 **9c** を合成した。しかし、**9c** のアセタールユニットは多くの条件で処理して脱保護しようとしたが、どの条件でも脱保護できずアセタールはそのまま回収されるにとどまった。これは大環状構造を有するアセタールであるので、アセタール構造のコンホメーションが極めて有利に存在するため、加水分解条件で一旦アセタール結合が切断しても、速やかにアセタールを再生してしまい、加水分解が起こらなかったと推測される。大環状構造の中に縛られていることにより、加水分解反応に必要な中間体に対する水の求核攻撃が遅いことによる可逆性のためであると考えられた。通常の酸加水分解条件では容易に除去できないので、新たな反応条件について現在検討を進めているところである。

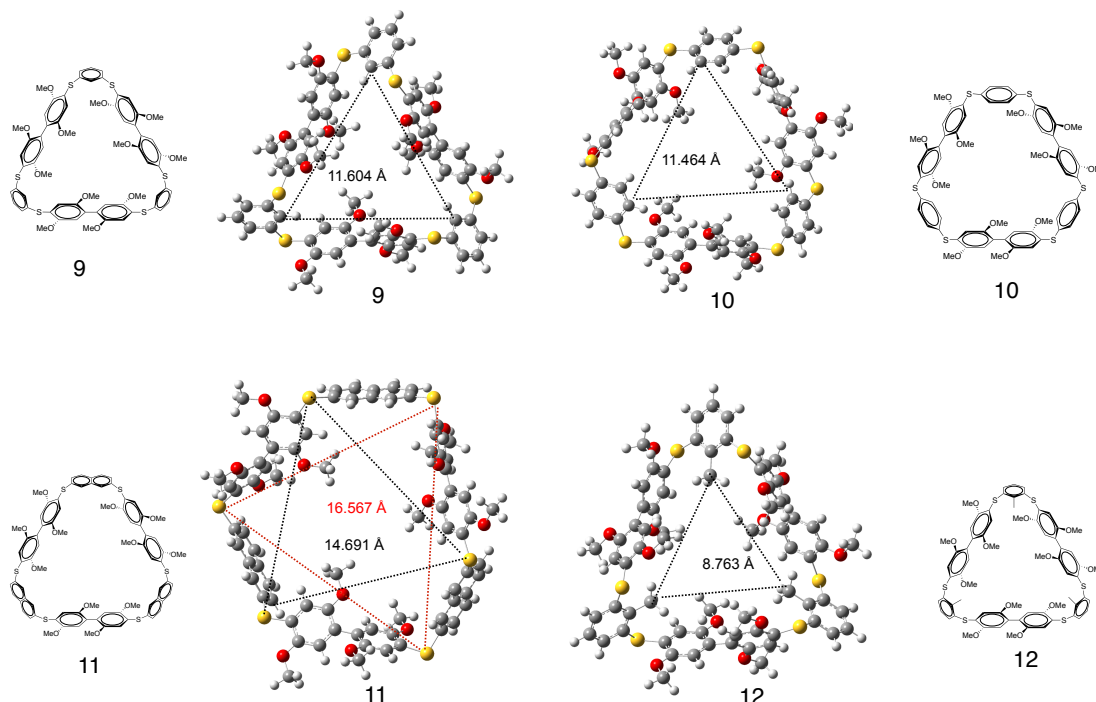


図9. Optimized calculated structures of deltaarene derivatives

最後にデルタアレーンにゲストとなり得る小分子を加え、それらの相互作用についての結果を示す。m-デルタアレーン **9** に対してビオロゲンを作用させると、デルタアレーン **9** とビオロゲンの量比の変化に従って、デルタアレーンの芳香族水素の化学シフトの変化が観測された。これはビオロゲンとデルタアレーンが分子間で相互作用していることを示唆する。しかし、現状ではビオロゲン分子がデルタアレーンの空孔に入っている積極的な証拠はないので、この点についての精査を進めている。またデルタアレーンとピレンをメタノール中で混合すると、ピレンのエキサイマー発光に帰属される 470 nm 付近にピークを持つ蛍光発光が観測された。これもピレン 2 分子とデルタアレーン **9** の分子間相互作用の可能性が示唆される結果である。

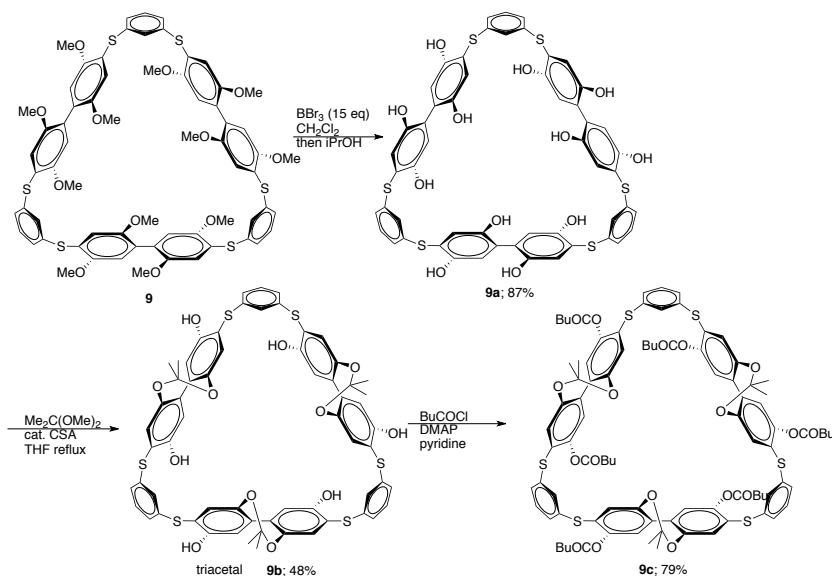


図10. Derivatization of m-deltaarene 9

最後にデルタアレーンにゲストとなり得る小分子を加え、それらの相互作用についての結果を示す。m-デルタアレーン **9** に対してビオロゲンを作用させると、デルタアレーン **9** とビオロゲンの量比の変化に従って、デルタアレーンの芳香族水素の化学シフトの変化が観測された。これはビオロゲンとデルタアレーンが分子間で相互作用していることを示唆する。しかし、現状ではビオロゲン分子がデルタアレーンの空孔に入っている積極的な証拠はないので、この点についての精査を進めている。またデルタアレーンとピレンをメタノール中で混合すると、ピレンのエキサイマー発光に帰属される 470 nm 付近にピークを持つ蛍光発光が観測された。これもピレン 2 分子とデルタアレーン **9** の分子間相互作用の可能性が示唆される結果である。

デルタアレーンの化学はこのように未知の可能性を多く含む化学であるが、その合成には高価なベンゼンジチオールが必要となり、その化学の進展を妨げている。現在この点を克服すべくより安価な原料から同様の大型環状化合物を得る工夫を進めている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Kamimura Akio, Umemoto Haruka, Kawamoto Takuji, Honda Takeshi	4. 巻 6
2. 論文標題 Development of Water Solubility of 2-Phenylsulfanylhydroquinone Dimer Dye	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Omega	6. 最初と最後の頁 9254 ~ 9262
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acsomega.1c00703	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Kamimura Akio, Watanabe Ryusuke, Fukumitsu Tomoki, Ikeda Kazuki, Kawamoto Takuji, Sumimoto Michinori, Mori Shigeki, Uno Hidemitsu	4. 巻 74
2. 論文標題 Deltaarenes; novel macrocyclic molecules that are readily available from 1,4-benzoquinone and benzene dithiols	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Tetrahedron	6. 最初と最後の頁 5303 ~ 5308
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.tet.2018.04.070	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kamimura Akio, Sakamoto Sanshiro, Umemoto Haruka, Kawamoto Takuji, Sumimoto Michinori	4. 巻 25
2. 論文標題 2 Sulfanylhydroquinone Dimer as a Switchable Fluorescent Dye	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemistry - A European Journal	6. 最初と最後の頁 14081 ~ 14088
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/chem.201903436	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計21件（うち招待講演 2件/うち国際学会 9件）

1. 発表者名 安部航輝・川本拓治・上村明男
2. 発表標題 2-スルファニルヒドロキノン蛍光色素の位置選択的誘導化反応
3. 学会等名 第47回有機典型元素化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 安部航輝・川本拓治・上村明男
2. 発表標題 2 - スルファニルヒドロキノン二量体蛍光色素の酸化還元応答
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Akio Kamimura,* Kazuki Ikeda and Takuji Kawamoto
2. 発表標題 Deltaarenes; Novel Sulfur-containing Macrocyclic Compounds
3. 学会等名 The 15th International Symposium on Inorganic Ring Systems (IRIS15) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kazuki Ikeda, Takuji Kawamoto, and Akio Kamimura
2. 発表標題 Chemical modification of a new macrocyclic molecule, deltaarene
3. 学会等名 International Symposium on Main Group Chemistry Directed towards Organic Synthesis (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Akio Kamimura,* Ryusuke Watanabe, Kazuki Ikeda, and Takuji Kawamoto
2. 発表標題 Deltaarenes, new macrocyclic compounds containing six sulfur atoms
3. 学会等名 The 28th International Symposium on the Organic Chemistry of Sulfur (ISOCS28) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Akio Kamimura,* Ryusuke Watanabe, Kazuki Ikeda, Takuji Kawamoto, and Michinori Sumimoto
2. 発表標題 Synthesis of deltaarenes, Novel Macrocyclic Compounds
3. 学会等名 The 13th International Symposium on Organic Reactions (ISOR13) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 上村明男・坂本三四郎・松田貴太郎・川本拓治・隅本倫徳・星田尚司
2. 発表標題 2-スルファニルヒドロキノン二量体の光物性
3. 学会等名 第28回基礎有機化学討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tomoki Fukumitsu, Sanshiro Sakamoto, Michinori Sumimoto, Takuji Kawamoto, and Akio Kamimura
2. 発表標題 Ready switching of photoluminescence property of 2-sulfanylhydroquinone derivatives
3. 学会等名 ISONIS11 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 福光智紀・坂本三四郎・隅本倫徳・川本拓治・上村明男
2. 発表標題 2-スルファニルヒドロキノン二量体を用いた新規蛍光材料の開発
3. 学会等名 第44回有機典型元素化学討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Haruka Uemoto, Takuji Kawamoto, Akio Kamimura
2. 発表標題 Modification of 2-sulfanylhydroquinone to attach bioactive molecules
3. 学会等名 International Symposium on Main Group Chemistry Directed towards Organic Synthesis (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 梅本 春香, 川本 拓治, 本田 健, 上村 明男, 乾 誠
2. 発表標題 2-スルファニルヒドロキノン誘導体蛍光材料のバイオイメージング材料に向けた展開
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akio Kamimura, Ryusuke Watanabe, Takuji Kawamoto
2. 発表標題 A NEW MACROCYCLIC COMPOUND, DELTAARENES: PREPARATION AND DERIVATIZATION
3. 学会等名 International Congress on Heteroatom Chemistry (ICHAC2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akio Kamimura, Ryusuke Watanabe, Takuji Kawamoto, Michinori Sumimoto
2. 発表標題 Preparation of Novel Macrocyclic Compounds Deltaarenes
3. 学会等名 18TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NOVEL AROMATIC COMPOUNDS (ISNA-18) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 梅本春香, 本田健, 川本拓治, 上村明男
2. 発表標題 2-スルファニルヒドロキノン二量体誘導体を用いたバイオイメージング材料開発の検討
3. 学会等名 第46回有機典型元素化学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 梅本 春香, 川本 拓治, 本田 健, 上村 明男
2. 発表標題 水溶性獲得を目指した2-スルファニルヒドロキノン二量体蛍光色素誘導体合成
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 安部航輝, 川本拓治, 上村明男
2. 発表標題 2-スルファニルヒドロキノン蛍光色素の大量合成と位置選択的誘導化反応
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 上村明男, 梅本春香, 川本拓治, 本田健
2. 発表標題 新規青色蛍光色素 2 - スルファニルヒドロキノン二量体を用いたバイオイメージング材料への展開に向けた研究
3. 学会等名 第47回有機典型元素化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 上村明男
2. 発表標題 ヒドロキノン二量体を使った新規材料の創成探索
3. 学会等名 2021年度第2回有機合成化学協会講演会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 安部 航輝, 川本 拓治, 上村 明男
2. 発表標題 酸化還元に応答してON/OFFする新規蛍光色素の開発
3. 学会等名 第48回有機典型元素化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Akio Kamimura, Haruka Uemoto, Takuji Kawamoto, Takeshi Honda
2. 発表標題 Development of a new bioimaging material based on 2-sulfanylhydroquinone dimer
3. 学会等名 Pacifichem2021（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吉井秀樹, 安部 航輝, 川本 拓治, 上村 明男
2. 発表標題 酸化還元に対応する蛍光材料：2-スルファニルヒドロキノン二量体の硫黄誘導体の合成と光物性
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

独自に開発した青色蛍光染料を使ったバイオイメージング材料の開発に成功
<http://www.chem.yamaguchi-u.ac.jp/research-achievement.html>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	川本 拓治 (KAWAMOTO Takuji) (70756139)	山口大学・大学院創成科学研究科・助教 (15501)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	宇野 英満 (Uno Hidemitsu)	愛媛大学・大学院理工学研究科・教授 (16301)	
研究協力者	森 重樹 (MORI Shigeki)	愛媛大学・学術支援センター・助教 (16301)	
研究協力者	本田 健 (HONDA Takeshi)	山口大学・大学院医学系研究科・講師 (15501)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	乾 誠 (INUI Makoto)	山口大学・医学系研究科大学院・名誉教授 (15501)	
研究協力者	渡邊 竜介 (WATANABE Ryusuke)	山口大学・大学院医学系研究科・修士課程学生 (15501)	
研究協力者	坂本 三四郎 (SAKAMOTO Sanshiro)	山口大学・大学院医学系研究科・修士課程学生 (15501)	
研究協力者	梅本 春香 (UMEMOTO Haruka)	山口大学・大学院創成科学研究科・修士課程学生 (15501)	
研究協力者	安部 航輝 (ABE Kohki)	山口大学・大学院創成科学研究科・修士課程学生 (15501)	
研究協力者	吉井 秀樹 (YOSHII Hideki)	山口大学・工学部・学部学生 (15501)	
研究協力者	福光 智紀 (FUKUMITSU Tomoki)	山口大学・大学院創成科学研究科・修士課程学生 (15501)	
研究協力者	池田 一稀 (IKEDA Kazuki)	山口大学・大学院創成科学研究科・修士課程学生 (15501)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
連携研究者	隅本 倫徳 (SUMIMOTO Michinori) (40414007)	山口大学・大学院創成科学研究科・准教授 (15501)	
連携研究者	星田 尚司 (HOSHIDA Hisashi) (00314823)	山口大学・大学院創成科学研究科・准教授 (15501)	
連携研究者	三宅 秀明 (MIYAKE Hideaki) (30722425)	山口大学・大学院創成科学研究科・助教（特命） (15501)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関