

令和 2 年 4 月 27 日現在

機関番号：11101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K05805

研究課題名(和文) フェルスター型エネルギー移動を利用した新規高輝度赤色蛍光分析試薬の開発

研究課題名(英文) The development of new high-intensity red fluorescence analysis reagents using the fluorescence resonance energy transfer

研究代表者

川上 淳 (Kawakami, Jun)

弘前大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：60261426

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、フェルスター型エネルギー移動(FRET)を利用した新規高輝度赤色蛍光分析試薬の開発をするため、溶媒によって吸収・蛍光波長の変化の小さいBODIPY誘導体と、赤色蛍光を示す分子内電解移動(ICT)型で溶媒極性に応答して吸収・蛍光波長が正のソルバトクロミズムを示すトリプタンスリン誘導体を、ポリエーテル鎖でつないだ系を幾つか合成した。その結果、FRETのonからoffによる蛍光スペクトルの変化によりCu²⁺、Fe³⁺、Al³⁺の金属イオンの蛍光検出が可能であることなどがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、生体物質の機能解析(分析)や生命現象の解明につながる新しい化学ツールの開発研究であり、生体透過性に優れ、且つ人間の目で直接見ることのできる高輝度赤色蛍光分析試薬の開発を目指したものである。本研究で得られた成果は、今後の生命科学研究における化学ツールの発展に寄与するものと考えている。

研究成果の概要(英文)：In this study, in order to develop new high-intensity red fluorescence analysis reagents using fluorescence resonance energy transfer (FRET), we synthesized several BODIPY derivatives linked to tryptanthrin derivatives with a spacer. The BODIPY derivatives are fluorescent dyes having a small change in absorption and fluorescence wavelength depending on the solvent, and the tryptanthrin derivatives are red fluorescent dyes exhibiting solvatochromism in response to the polarity of the solvent.

As a result, it was found that detection of Cu²⁺, Fe³⁺, and Al³⁺ was possible by changing from FRET-on to -FRET-off.

研究分野：有機光化学，超分子化学

キーワード：蛍光分析試薬 赤色蛍光色素 高輝度 フェルスター機構 エネルギー移動 FRET トリプタンスリン BODIPY

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

様式 C-19, F-19-1, Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

感度に優れた蛍光分析試薬は、特定の生体物質の挙動を調べる蛍光プローブや、環境中の有害物質の検出に利用される蛍光性化学センサーとして発展してきた。歴史的には、2008年にノーベル化学賞を受賞したカリフォルニア大学の R.Y. Tsien 教授らによって 1980 年代に開発された Ca^{2+} 選択的蛍光プローブ Quin2, Fura-2 が最も有名である。これらの蛍光分析試薬の登場は、長い間細胞内での挙動については不明な点が多く残されていた Ca^{2+} の動態や情報伝達物質としての役割の解明に大きく寄与した。また最近では、東京大学大学院浦野泰照教授らにより、がん細胞だけを光らせる高選択的蛍光プローブの開発が注目されている。このように“化学的観点から化学的手法を用いて生命現象を解明する”ケミカルバイオロジーの分野において生命現象を理解する分子ツールとしての優れた蛍光分析試薬の開発の重要性が近年非常に増している。

本研究代表者は、平成 7, 11~12, 14~15, 17~18, 22~24, 25~27 年度の科学研究費補助金等により、一貫して蛍光分析試薬（蛍光性化学センサー・蛍光プローブ）の開発を行っており、過去には文部科学省在外研究員として、米国のプリガム・ヤング大学で世界的に著名な J. S. Bradshaw 教授と R. M. Izatt 教授の研究グループの一員として、当時報告例の少なかった亜鉛イオン (Zn^{2+}) 選択的蛍光性化学センサーの開発研究に従事した経験をもつ。また、植物の藍から抽出される抗菌剤のトリプタンスリンの 2-位にアミノ基を導入した 2-アミノトリプタンスリン (図 1a) が高い蛍光量子収率 (Φ_f) と可視領域で正の蛍光ソルバトクロミズムを示す優れた発光特性を有することを見出し、更に、2-ヒドロキシトリプタンスリン (図 1b) が pH に依存せず 662 nm で発光する赤色蛍光試薬であることを報告している。

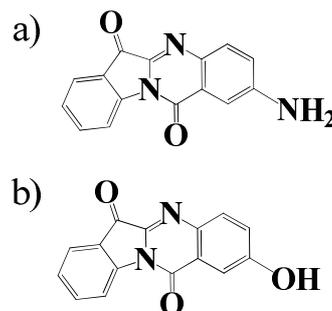


図 1 2-位置換トリプタンスリン

本研究では、既存の蛍光試薬は水環境中では Φ_f の値が小さく輝度（明るさ）が足りないという欠点を補うために、輝度が Φ_f とモル吸光係数 (ϵ) の積 ($\Phi_f \cdot \epsilon$) に比例することに着目し、分子内に ϵ の値の大きな発色団と赤色蛍光を示す発色団をもつ系での効率のよいフェルスター型エネルギー移動により“高輝度”を実現し、生体透過性に優れ、生体組織の観察に有用な“生体の窓”と呼ばれる波長領域のうち、特に人間の目で見ることが可能な 650 nm ~ 800 nm の波長領域で発光する新規赤色蛍光分析試薬の開発を立案するに至った。

2. 研究の目的

600 nm 以下の可視域に強い吸収をもつヘモグロビンや約 1100 nm より長波長側を吸収する水の影響も少ない“生体の窓”と呼ばれる 650 nm ~ 900 nm の近赤外蛍光の利用が注目されている (図 2)。しかし、800 nm 以上の光は人間には不可視でありカメラを介さなければ蛍光が観測できないという欠点がある。また、一般の蛍光試薬は有機溶媒中で強く光るが水系溶媒中ではその蛍光強度が著しく落ちるのが殆どである。

そこで本研究では、650 nm ~ 800 nm で明るく光る高輝度赤色蛍光試薬の開発を行う。具体的には、輝度（明るさ）が蛍光量子収率 (Φ_f) とモル吸光係数 (ϵ) の積 ($\Phi_f \cdot \epsilon$) に比例することに着目し、一般的な蛍光試薬の 10 倍の大きな ϵ の値を有する BODIPY をエネルギードナー (D)、赤色蛍光を示す研究代表者らが見出した 2-ヒドロキシトリプタンスリンをエネルギーアクセプター (A) とする系を合成し、フェルスター型のエネルギー移動 (Förster resonance energy transfer, FRET) により従来よりも高輝度 (同条件下で A 単独の場合の約 10 倍) な赤色蛍光試薬の実現を検討した。

また、2 種類の発色団を用いることで標的物 (金属イオンや生体物質) との相互作用、或いは周辺環境 (溶媒極性, pH 変化) の変化により FRET の on, off が制御できれば赤色から橙色或いは黄色 (又はその逆) の蛍光色の変化によるセンシングが可能となる (図 3)。スパーサーの長さや種類、D, A の種類や置換基効果等による吸収・発光挙動について明らかにすることで、作業仮説に基づくモデル分子の有用性を示し、汎用性の高い高輝度赤色蛍光分析試薬の構築を目指した。

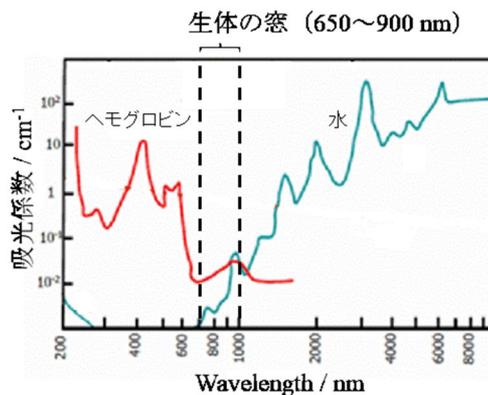


図 2 ヘモグロビンと水の吸収スペクトル

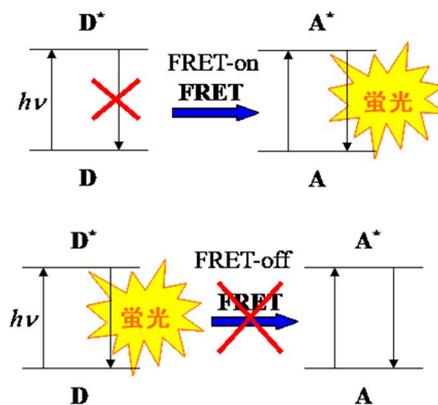


図 3 Förster 共鳴エネルギー移動 (FRET)

3. 研究の方法

本研究では、FRET のエネルギードナー (D) となるモル吸光係数 (ϵ) の値の大きい発色団と、エネルギーアクセプター (A) となる赤色蛍光を示す発色団とをスパーサーを介してつないだ系の合成を計画した。FRET が起こすためには D, A 間の距離や配向, D の蛍光波長と A の吸収波長の重なりが重要となる。最初に, D 又は A となる BODIPY 誘導体とトリプタンスリン誘導体及び類縁体を合成し, それらの吸収・発光挙動や金属イオンや pH 応答性について調べた。その後, D と A をスパーサーで繋いだ系について, 1) ~ 3) の手順を繰り返し, 改良を加えながら実用性のある高輝度赤色蛍光分析試薬の構築を目指した。

- 1) 高輝度赤色蛍光分析試薬となる分子内に D, A となる発色団をもつ系の合成。
- 2) 各種分光学的測定 (NMR, IR, LC-MS, X 線結晶構造解析, 紫外・可視吸収スペクトル, 蛍光スペクトル) 及び理論計算。
- 3) FRET の on, off による pH, 溶媒極性, 金属イオンに対する応答性に関する測定。

4. 研究成果

(1) 環拡張型 BODIPY 誘導体

大きなモル吸光係数 (ϵ), 周辺環境に依存しない高い蛍光量子収率 (Φ_f), 鋭い吸収・発光スペクトル, 他に類を見ない程小さなストークスシフトで知られている優れた有機蛍光色素として知られる BODIPY 色素を環拡張した Benzo-fused BODIPY にジメチルピロールとジメチルアミノスチリル基を導入した **BFBODIPY-DMP-DMAS** (図 4) を合成し, その吸収・発光挙動と, 金属イオンに対する吸収・発光の応答性について調べた。

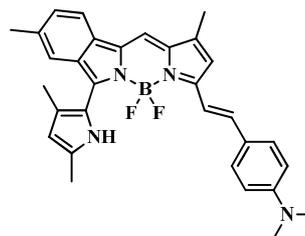


図4 BFBODIPY-DMP-DMASの構造

極性の異なる 11 種類の溶媒を用いて溶媒効果を調べたところ, いずれの溶媒中でも吸収極大及び蛍光極大波長が 704 nm 以上で観測され, 「生体の窓」での吸収・発光が確認された。また, 正の蛍光ソルバトクロミズムが観測され, 理論計算から得られた HOMO, LUMO 軌道や双極子モーメントの向きから, この正の蛍光ソルバトクロミズムは, 強い電子供与性のジメチルアミノ基をもつジメチルアミノスチリル基側から Benzo-fused BODIPY 側への分子内電荷移動 (ICT) の影響によることがわかった。

13 種類の金属塩の添加実験では, Al^{3+} , Fe^{3+} , Cu^{2+} の 3 つのイオンに対して変化が見られた。典型金属イオンの Al^{3+} に対しては, 吸収・蛍光がともに短波長シフトし, 遷移金属イオンの Fe^{3+} と Cu^{2+} に対しては, 吸収が長波長側にシフトし, 蛍光は消光して観測されなくなった (図 5)。 Fe^{3+} と Cu^{2+} に対する同様の挙動が, ジメチルアミノスチリル基を持たない系でも観測されたことから, Fe^{3+} と Cu^{2+} は負に分極した 2 つのフッ素原子により捕捉されたものと考えられ, **BFBODIPY-DMP-DMAS** から Fe^{3+} と Cu^{2+} の空の d 軌道への電子遷移により消光したものと予想された。一方, Al^{3+} は, ジメチルアミノスチリル基のジメチルアミノ基部分に配位されることによって ICT を抑制し, 吸収・蛍光の短波長シフトを示したものと考えられる。

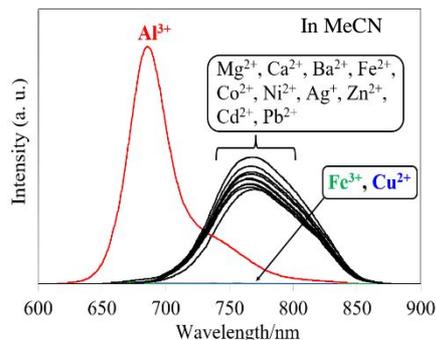


図5 金属塩添加後の蛍光スペクトル

以上の結果から, **BFBODIPY-DMP-DMAS** は, Al^{3+} , Fe^{3+} , Cu^{2+} の蛍光性化学センサーとして有用であることがわかった。

(2) 2-ヒドロキシ-1-((2-(ピリジン-2-イル)ヒドラゾノ)メチル)トリプタンスリン

2-ヒドロキシトリプタンスリンの 1-位にピリジルヒドラゾノメチル基を導入した 2-ヒドロキシ-1-((2-(2-ピリジル)ヒドラゾノ)メチル)トリプタンスリン (**T2OH1CH=N-NH-Pyri**, 図 6) を合成し, アセトニトリル中で 16 種類の金属塩を添加し, 金属イオンに対する蛍光応答性について調べた。

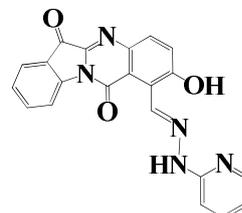


図6 T2OH1CH=N-NH-Pyriの構造

その結果, **T2OH1CH=N-NH-Pyri** は Mg^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} , Al^{3+} , Pb^{2+} と 1 : 1 錯体を形成し, 典型金属の Mg^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} , Al^{3+} , Pb^{2+} に対しては蛍光増大し, 遷移金属の Fe^{2+} , Fe^{3+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} に対しては蛍光消光することがわかった。特に, 生体内で重要な役割を持つ Mg^{2+} と錯形成をすることで, 蛍光極大波長 ($\lambda_{f, max}$) が, 金属イオンが存在しない場合の 606 nm から “生体の窓” と呼ばれる波長領域内の 659 nm に大きくレッドシフトすることが明らかとなった (図 7)。

(3) N,N-ジメチルアミノトリプタンスリン

トリプタンスリンの 2-位, 3-位, 9-位にジメチルアミノ基を導入した 3 種類の N,N-ジメチルアミノトリプタンスリン (**T2NMe₂**, **T3NMe₂**, **T9NMe₂**, 図 8) について, 吸収・発光挙動について

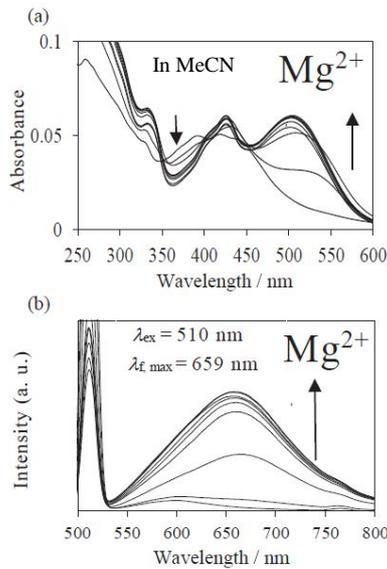


図 7 Mg^{2+} 添加による (a) 吸収スペクトルと (b) 蛍光スペクトル変化
 $[T2OH1CH=N-NH-Pyri] = 10 \mu M$
 $[Mg^{2+}]/[T2OH1CH=N-NH-Pyri] = 0 \sim 10$

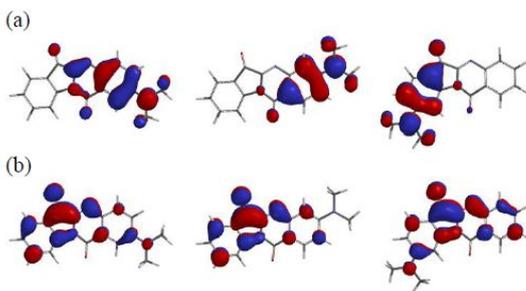


図 9 (a) HOMO と (b) LUMO

比較検討した。

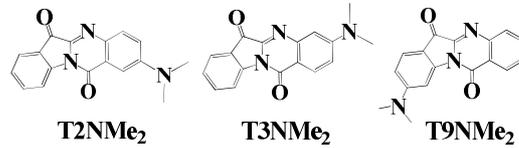


図 8 3種類の N,N -ジメチルアミノトリプタンスリンの構造

$T2NMe_2$ と $T9NMe_2$ は、分子内電荷移動 (ICT) 性蛍光色素の特徴である蛍光溶バトクロミズムが観測されましたが、 $T3NMe_2$ では蛍光溶バトクロミズムは観測されず、非常に弱い蛍光を示した。そこで密度汎関数理論 (DFT) 計算により、最高被占軌道 (HOMO) と最低空軌道 (LUMO) の軌道の分布を調べたところ、 $T2NMe_2$ と $T9NMe_2$ では、HOMO は電子供与性のジメチルアミノ基側に分布し、LUMO は共役した電子求引性のカルボニル基側に分布するという ICT 性分子の特徴的な軌道分布を示したのに対し、 $T3NMe_2$ では HOMO はジメチルアミノ基側に分布していたが、LUMO は 12-位の共役したカルボニル基側ではなく、6-位の非共役のカルボニル側に分布していることがわかった。このことが $T3NMe_2$ では ICT 性を示さなかった原因と考えられる (図 9)。

また、 $T3NMe_2$ の共役したカルボニル側の軌道分布は $LUMO(+1)$ に存在しているため (図 10)、仮に $LUMO$ と $LUMO(+1)$ 軌道のエネルギー準位が逆転していれば、 $T3NMe_2$ も ICT 性の蛍光挙動を示したと予想される。

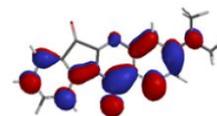


図 10 $T3NMe_2$ の $LUMO(+1)$

(4) ジシアノメチレン基をもつトリプタンスリン類縁体

トリプタンスリンの 6-位の電子求引性基のカルボニル基を、より強い電子求引性基のジシアノメチレン基に換えた種々のトリプタンスリン類縁体を合成して、吸収・発光挙動を調べた。

その結果、例えば 2-ヒドロキシトリプタンスリンの 6-位のカルボニル基をジシアノメチレン基に換えた系 ($DCM-T2OH$, 図 11)

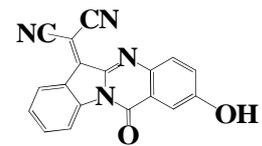


図 11 $DCM-T2OH$ の構造

では、吸収極大波長 ($\lambda_{a,max}$) と蛍光極大波長 ($\lambda_{f,max}$) が、プロトン性及び非プロトン性極性溶媒において、いずれも長波長側の生体の窓内の波長領域で観測されることがわかった (図 12)。

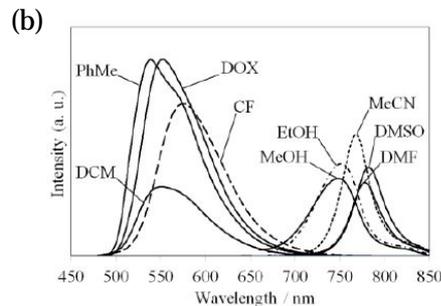
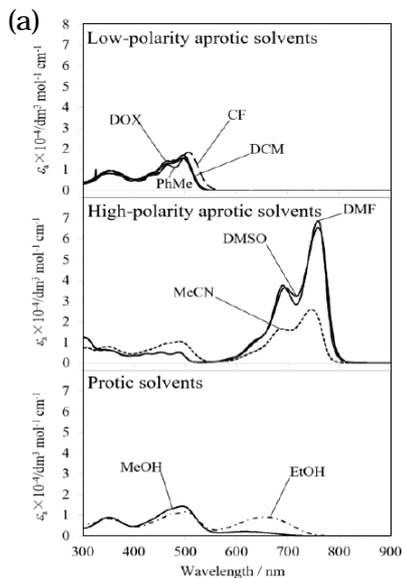


図 12 $DCM-T2OH$ の (a) 吸収スペクトルと (b) 蛍光スペクトル

(5) BODIPY 誘導体とトリプタンスリン誘導体をスペーサーで繋いだ系

以下に示す、6種類の BODIPY 誘導体とトリプタンスリン誘導体及び類縁体をスペーサーで繋いだ系の合成に成功した(図13)

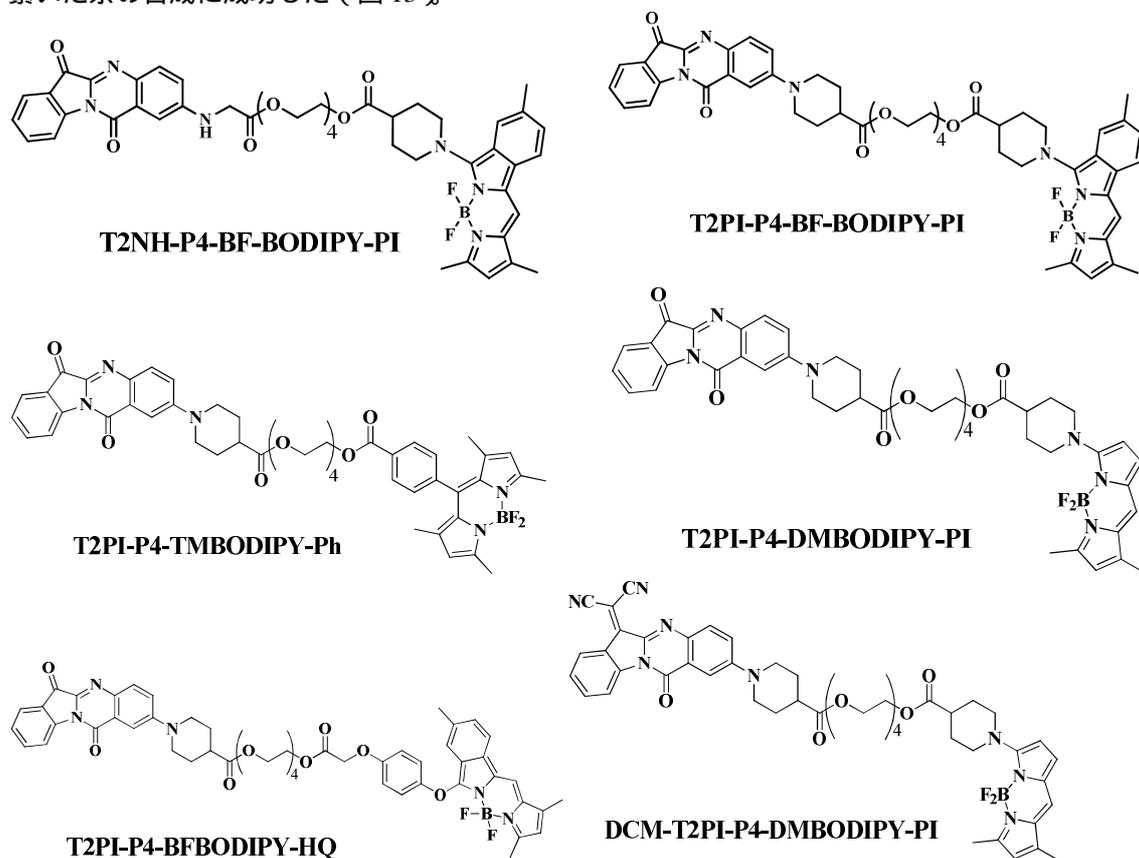


図13 BODIPY 誘導体とトリプタンスリン誘導体をスペーサーで繋いだ系の構造

いずれの系においても、分子内での蛍光共鳴エネルギー移動 (FRET) を示唆する結果が得られた。例えば、**T2PI-P4-TMBODIPY-Ph** は、BODIPY 側がエネルギードナー (D)、トリプタンスリン側がエネルギーアクセプター (A) であり、蛍光の明るさ (輝度) が、モル吸光係数 (ϵ) と蛍光量子収率 (Φ_f) の積 ($\epsilon \cdot \Phi_f$) に比例することから、 ϵ と Φ_f の値が大きく、溶媒によって吸収・蛍光波長の変化の小さい D の BODIPY 側から、赤色蛍光を示し、分子内電解移動 (ICT) 型で溶媒極性に応答して吸収・蛍光波長が正のソルバトクロミズムを示す A のトリプタンスリン側への効率のよい分子内 FRET によってトリプタンスリンを強く発光させることが期待したが、A の蛍光強度の著しい増大は観測されなかった。また、輝度は $\epsilon \cdot \Phi_f$ に比例するが、FRET の起こる系では、D のモル吸光係数の値の大きさに関わらず、A の輝度は A のモル吸光係数と A の蛍光量子収率の積に基づくことがわかった。

また、トリプタンスリン側が D、BODIPY 側が A である **T2PI-P4-BFBODIPY-HQ** は、低極性溶媒中では、D から A への分子内 FRET が確認されたが、極性溶媒中では、D と A が入れ替わり、BODIPY 側からトリプタンスリン側への、逆の FRET も起こることを示唆する結果が得られた。この系を用いて、金属イオンに対する応答性についてアセトニトリル溶液中で調べたところ、FRET の on から off による蛍光スペクトルの変化により Cu^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Al^{3+} の蛍光検出が可能であることなどがわかった。

<引用文献>

J. Kawakami, Y. Sasaki, K. Yanase, and S. Ito, Benzo-fused BODIPY Derivative as a Fluorescent Chemosensor for Fe^{3+} , Cu^{2+} , and Al^{3+} , *Trans. Mat. Res. Soc. Japan*, **44** (2), 69-73 (2019), DOI: 10.14723/tmrsj.44.69 (査読有) .

J. Kawakami, M. Sasagawa, and S. Ito, 2-Hydroxy-1-((2-(pyridin-2-yl)hydrazono)methyl) tryptanthrin as a Fluorescent Chemosensor for Metal Ions, *Trans. Mat. Res. Soc. Japan*, **43** (3), 209-212 (2018), DOI: 10.14723/tmrsj.43.209 (査読有) .

J. Kawakami, C. Osanai, and S. Ito, Fluorescence Emission Mechanism of Three *N,N*-dimethyl aminotryptanthrins by Density Functional Theory Calculations, *Trans. Mat. Res. Soc. Japan*, **43** (5), 319-323 (2018), DOI: 10.14723/tmrsj.43.319 (査読有) .

J. Kawakami, C. Osanai, and S. Ito, Photophysical Properties of 2-Hydroxytryptanthrin Analog as a Near-Infrared Dye for Fluorescent Imaging, *Trans. Mat. Res. Soc. Japan*, **45** (1), 19-22, 2020, DOI: 10.14723/tmrsj.45.19 (査読有) .

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Kawakami Jun, Harada Mizuki, Ito Shunji	4. 巻 44
2. 論文標題 Aggregation-induced Emission Properties of 2-(<i>N,N</i> -diphenylamino)tryptanthrin	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Transactions of the Materials Research Society of Japan	6. 最初と最後の頁 153 ~ 156
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14723/tmrsj.44.153	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 Kawakami Jun, Osanai Chika, Ito Shunji	4. 巻 45
2. 論文標題 Photophysical Properties of 2-Hydroxytryptanthrin Analog as a Near-Infrared Dye for Fluorescent Imaging	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Transactions of the Materials Research Society of Japan	6. 最初と最後の頁 19 ~ 22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14723/tmrsj.45.19	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 Jun Kawakami, Masayoshi Sasagawa, Shunji Ito	4. 巻 43
2. 論文標題 2-Hydroxy-1-((2-(pyridin-2-yl)hydrazono)methyl)tryptanthrin as a Fluorescent Chemosensor for Metal Ions	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Transactions of the Materials Research Society of Japan	6. 最初と最後の頁 209 ~ 212
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14723/tmrsj.43.209	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 Jun Kawakami, Chika Osanai, Shunji Ito	4. 巻 43
2. 論文標題 Fluorescence Emission Mechanism of Three <i>N,N</i> -dimethylaminotryptanthrins by Density Functional Theory Calculations	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Transactions of the Materials Research Society of Japan	6. 最初と最後の頁 319-323
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14723/tmrsj.43.319	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 Jun Kawakami, Yuta Sasaki, Koji Yanase, Shunji Ito	4. 巻 44
2. 論文標題 Benzo-fused BODIPY Derivative as a Fluorescent Chemosensor for Fe ³⁺ , Cu ²⁺ , and Al ³⁺	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Transactions of the Materials Research Society of Japan	6. 最初と最後の頁 69-73
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14723/tmrsj.44.69	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 Jun Kawakami, Yui Kinami, Masahiro Takahashi, Shunji Ito	4. 巻 43
2. 論文標題 2-Hydroxytryptanthrin and 1-Formyl-2-hydroxytryptanthrin as Fluorescent Metal-ion Sensors and Near-infrared Fluorescent Labeling Reagents	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Transactions of the Materials Research Society of Japan	6. 最初と最後の頁 109-112
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14723/tmrsj.43.109	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 -

〔学会発表〕 計24件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 小山内知佳, 伊東俊司, 川上 淳
2. 発表標題 分子内電荷移動型トリプタンスリン類縁体の合成と吸収・発光挙動
3. 学会等名 第9回CSJ化学フェスタ2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山翔太郎, 伊東俊司, 川上 淳
2. 発表標題 分子内に2つの2-アミノトリプタンスをもつ化合物の合成と吸収・発光挙動
3. 学会等名 第9回CSJ化学フェスタ2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 原田瑞樹, 伊東俊司, 川上 淳
2. 発表標題 凝集誘起発光性トリプタンスリン誘導体の合成と吸収・発光挙動
3. 学会等名 第9回CSJ化学フェスタ2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 若狭 唯, 伊東俊司, 川上 淳
2. 発表標題 ヒドロキシトリプタンスリン誘導体の合成と吸収・発光挙動
3. 学会等名 第9回CSJ化学フェスタ2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 梁瀬晃司, 伊東俊司, 川上 淳
2. 発表標題 蛍光共鳴エネルギー移動型2-アミノトリプタンスリン - BODIPY誘導体の合成と光物理学的性質 (Synthesis and Photophysical Properties of 2-Aminotryptanthrin Derivatives with BODIPY as FRET-type Fluorescent Dyes)
3. 学会等名 第29回基礎有機化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小山内知佳, 伊東俊司, 川上 淳
2. 発表標題 分子内電荷移動型トリプタンスリン誘導体及び類縁体の合成と光物理学的性質 (Synthesis and Photophysical Properties of Tryptanthrin Derivatives and Analogs as ICT-type Fluorescent Dyes)
3. 学会等名 第29回基礎有機化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山翔太郎, 伊東俊司, 川上 淳
2. 発表標題 分子内に2つの2-アミノトリプタンスをもつ化合物の合成と光物理学的性質 (Synthesis and Photophysical Properties of Compounds with Two 2-Aminotryptanthrins)
3. 学会等名 第29回基礎有機化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 梁瀬 晃司, 伊東 俊司, 川上 淳
2. 発表標題 Synthesis and photophysical properties of 2-aminotryptanthrin derivatives with BODIPY as FRET-type fluorescent dyes
3. 学会等名 平成30年度化学系学協会東北大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小山内 知佳, 伊東 俊司, 川上 淳
2. 発表標題 Synthesis and photophysical properties of tryptanthrin derivatives and analogs as ICT-type fluorescent dyes
3. 学会等名 平成30年度化学系学協会東北大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山 翔太郎, 伊東 俊司, 川上 淳
2. 発表標題 Synthesis and photophysical properties of compounds with two 2-aminotryptanthrins
3. 学会等名 平成30年度化学系学協会東北大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 梁瀬 晃司, 笹川全愛, 伊東 俊司, 川上 淳
2. 発表標題 2-ヒドロキシトリプタンスリン誘導体による金属イオンの蛍光センシング
3. 学会等名 日本分析化学会東北支部「みちのく分析科学シンポジウム2017」
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 川上 淳, 梁瀬晃司, 笹川全愛, 伊東俊司
2. 発表標題 2-ヒドロキシトリプタンスリン誘導体による金属イオンの蛍光センシング (2-Hydroxytryptanthrin derivatives as fluorescent chemosensors for metal ions)
3. 学会等名 2017年光化学討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Jun Kawakami
2. 発表標題 Synthesis and application of fluorescent tryptanthrin derivatives
3. 学会等名 平成29年度化学系学協会東北大会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大浦 晴規, 伊東 俊司, 川上 淳
2. 発表標題 Synthesis and spectral properties of 2-aminotryptanthrin derivatives with benzo-fused BODIPY
3. 学会等名 平成29年度化学系学協会東北大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 佐々木 悠太, 伊東 俊司, 川上 淳
2. 発表標題 Synthesis and spectral properties of benzo-fused BODIPY derivatives
3. 学会等名 平成29年度化学系学協会東北大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 梁瀬 晃司, , 笹川全愛, 伊東 俊司, 川上 淳
2. 発表標題 2-Hydroxytriptanthrin derivatives as fluorescent chemosensors for metal ions
3. 学会等名 平成29年度化学系学協会東北大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 川上 淳
2. 発表標題 トリプタンスリン誘導体による新規近赤外蛍光色素の開発
3. 学会等名 イノベーション・ジャパン2016-大学見本市&ビジネスマッチング-
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 門脇拓真, 川上 淳, 伊東俊司
2. 発表標題 2-(N,N-ジメチルアミノ)トリプタンスリン誘導体の吸収・蛍光特性
3. 学会等名 2016年光化学討論会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 高橋正寛, 川上 淳, 伊東俊司
2. 発表標題 蛍光性トリプタンスリン誘導体の吸収・発光特性
3. 学会等名 2016年光化学討論会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 橋本 凌, 川上 淳, 伊東俊司
2. 発表標題 2-アミノトリプタンスリン - 1,10-フェナントロリン誘導体の吸収・蛍光特性
3. 学会等名 2016年光化学討論会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 川上 淳, 木南裕衣, 高橋正寛, 伊東俊司
2. 発表標題 2-ヒドロキシトリプタンスリンのpH及び金属イオンに対する蛍光応答性
3. 学会等名 日本分析化学会第65年会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 大浦晴規, 川上 淳, 伊東俊司
2. 発表標題 分子内に2-アミノトリプタンスリンとBenzo-fused BODIPYをもつ化合物の合成
3. 学会等名 第6回CSJ化学フェスタ
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 佐々木悠太, 川上 淳, 伊東俊司
2. 発表標題 Cu ²⁺ 及びpHによる蛍光応答性が期待されるBenzo-fused BODIPY 誘導体の合成
3. 学会等名 第6回CSJ化学フェスタ
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 山内勇輝, 川上 淳, 伊東俊司
2. 発表標題 分子内に2-(N,N-ジメチルアミノ)トリブタンスリンとBODIPY をもつ化合物の合成
3. 学会等名 第6回CSJ化学フェスタ
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>弘前大学大学院理工学研究科川上淳研究室ホームページ http://www.st.hirosaki-u.ac.jp/~jun/jklab/jklab001.html</p>

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
研究協力者	梁瀬 晃司 (Yanase Koji)		

6. 研究組織（つづき）

	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	小山内 知佳 (Osanai Chika)		
研究協力者	佐々木 悠太 (Sasaki Yuta)		
研究協力者	笹川 全愛 (Sasagawa Masayoshi)		
研究協力者	木南 裕衣 (Kinami Yui)		
研究協力者	原田 瑞樹 (Harada Mizuki)		
研究協力者	高橋 正寛 (Takahasi Masahiro)		
研究協力者	門脇 拓真 (Kadowaki Takuma)		
研究協力者	橋本 凌 (Hashimoto Ryo)		

6. 研究組織（つづき）

	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	大浦 晴規 (Ohura Haruki)		
研究協力者	若狭 唯 (Wakasa Yui)		
研究協力者	山 翔太郎 (Yama Shotaro)		
研究協力者	山内 勇輝 (Yamauchi Yuki)		
研究協力者	伊東 俊司 (Ito Shunji) (10213042)	弘前大学・理工学研究科・教授 (11101)	