

令和 5 年 6 月 1 日現在

機関番号：24405

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K21433

研究課題名（和文）ロドプシンを用いたGPCR関連生理機能の新しい探索ストラテジー

研究課題名（英文）A new strategy for investigating GPCR-based physiologies by using rhodopsins

研究代表者

小柳 光正（Koyanagi, Mitsumasa）

大阪公立大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号：30379276

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 5,000,000円

研究成果の概要（和文）：Gタンパク質共役型受容体（GPCR）は、様々な生命活動に関わる重要な受容体分子である。本研究では、機能未知GPCRの機能解明に向けて、光操作ツールを用いた新しい解析手法の開発を行った。光操作ツールとして2種類の双安定性光受容タンパク質（オブシン）に着目し、その性能評価を行った結果、生体内で高感度あるいは色依存的なオン・オフといったそれぞれのオブシン分子特性に応じた高い機能性を発揮することが実証された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究によって、動物の光受容タンパク質をベースにした高い機能性をもつ光操作ツールが見出された。GPCRは、ヒトに800種類存在し、多様な生命機能の解明という学術的興味だけでなく、創薬のターゲットとして医学薬学的にも注目されていることから、本研究で示した新しい光操作ツールはGPCR研究を加速することで、社会に大きく貢献すると期待される。

研究成果の概要（英文）：G-protein coupled receptors (GPCRs) are involved in various physiologies, and therefore have been studied not only for understanding the mechanisms underlying biological activities but also drug discovery. In this study, we developed a new method by using optogenetic tools for understanding functions of orphan GPCRs. We examined functionality of two kinds of bistable opsins in vivo and demonstrated high performance optical control of GPCR signaling by the bistable opsins in their molecular property manners, such as high sensitive or color-dependent optical controls.

研究分野：光生物学、分子進化学、光遺伝学

キーワード：ロドプシン GPCR 光遺伝学

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、研究者個人に帰属します。

### 1. 研究開始当初の背景

Gタンパク質共役型受容体 (G-protein coupled receptor、GPCR) は、ヒトゲノム中に約 800 種存在する受容体ファミリーで、神経系、内分泌系、生殖系、免疫系などさまざまな生命機能において細胞間情報伝達を担う重要な分子である。そのため GPCR 研究は、生命機能の解明という基礎研究分野のみならず、創薬のターゲットとしても非常に注目され続けてきた。GPCR 研究のゴールは、どのような刺激 (リガンド) を受け、どのような生理機能に関わるか? を明らかにすることであるが、これまでの GPCR 研究の多くはリガンドの同定を起点として行われてきたため、リガンドが同定されない GPCR については生理機能の解析が進まず、その結果、現在でも多数の GPCR は生理機能が不明のままになっている。すなわち、GPCR が支える多様な生理機能の全容解明には程遠い状況にあった。

### 2. 研究の目的

リガンドがわからなければ実験的に受容体を活性化することができない。そのため、リガンドが同定されなければ、GPCR の機能解析は進まないというのが常識であった。しかしながら、GPCR のリガンドを決めることは GPCR が関与する生理機能解析の有効なストラテジーではあるが、必ずしも必要不可欠ではない。例えば、リガンドがわからなくても、標的とする GPCR 発現細胞内の G タンパク質を、別の方法で活性化できれば、その GPCR が引き起こす細胞応答やその先の生理機能を先に知ることは可能である。そこで本研究では、光作動性の GPCR である視物質ロドプシンおよびその類似光受容タンパク質 (オプシン) を代替受容体 (光操作ツール) として用いることで、GPCR 関連生理機能を解析する新しいストラテジーの構築を目指した。

### 3. 研究の方法

動物のオプシンを光操作ツールとして用いることで、任意の GPCR の下流、すなわちシグナル伝達カスケードを光で駆動するというアイデアは古くからあったが、従来のオプシンの性質が生体内の様々な組織で機能するには不向きであったため、有効なツールの確立には至っていなかった。私たちは、これまで行ってきた動物の多様なオプシン研究の成果として、光操作ツールとしての高いポテンシャルを秘めたオプシン (双安定性オプシン) を多数見出した (文献 1)。本研究では、特に、それぞれユニークな特性をもつ双安定性オプシンである、ハマダラカの Opn3、ヤツメウナギの parapinopsin を中心に、GPCR の光操作ツールとしての機能性の実証を行った。

### 4. 研究成果

#### (1) 双安定性オプシン MosOpn3 および LamPP による GPCR シグナル伝達の高性能光制御

動物のオプシンは、一般に、11 シス型のレチナールを結合して光受容タンパク質として機能する。11 シス型レチナールは、異性化酵素などの関与より生成される特別なレチナールで、網膜などの限られた組織にしか豊富には存在しないため、11 シス型レチナールが必要なオプシンは、様々な組織で光遺伝学ツールとして効率的にはたらくには不向きである。私たちはこれまでの研究によって、ハマダラカの Opn3 (MosOpn3) が緑感受性 Gi/Go 共役型の双安定性オプシンであり、興味深いことに、11 シス型レチナールだけでなく、13 シス型レチナールを結合して光受容タンパク質として機能できることを明らかにした (文献 2)。13 シス型レチナールは、生体内のどこにでも存在する全トランス型レチナールから熱異性化によって生じるため、13 シス型レチナールを発色団として機能できるということは、MosOpn3 が様々な組織で光遺伝学ツールとして機能できることを示唆している。このことを確かめるために、今回、線虫 (*C. elegans*) を用いて MosOpn3 の生体内での機能性を解析した。MosOpn3 の機能性を調べるにあたり、ASH ニューロンという、G タンパク質共役型シグナル伝達系を介して忌避行動を引き起こす侵害受容細胞を標的とした。MosOpn3 を ASH ニューロンで発現させ、光刺激による線虫の忌避行動の誘導を試みた結果、MosOpn3 発現線虫は、11 シス型レチナール存在下でも全トランス型レチナール存在下でも同程度の感度で光刺激依存的な忌避行動を示すことが明らかとなった (文献 3、図 1)。これは、全トランス型レチナールから 13 シス型レチナールが熱異性化によって生じ、それを MosOpn3 が結合し、光受容能を有して機能したことを示している。光遺伝学ツールとして広く使われている微生物ロドプシンの発色団は全トランス型レチナールであることから、MosOpn3 が全トランス型レチナール存在下で機能できるというこの結果は、発色団要求性において、MosOpn3 と微生物ロドプシンが同等であることを示している。さらに、報告されている ASH ニューロンでチャンネルロドプシンを発現する遺伝子導入線虫の忌避行動の

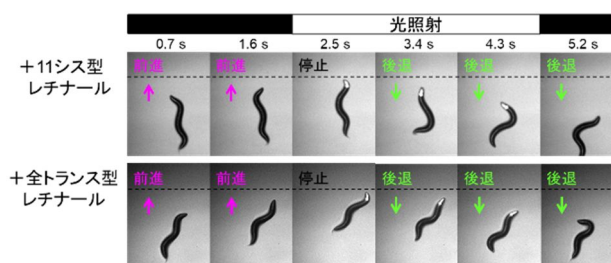


図 1. MosOpn3 導入線虫の光忌避行動

光感度と比べると、MosOpn3 発現線虫の光感度は約 7000 倍も高いことが明らかとなった(文献 3)。これらの結果は、MosOpn3 が高感度な光遺伝学ツールとして生体内の様々な組織ではたらくことができることを示している。

また、私たちはヤツメウナギの parapinopsin (LamPP) の生体内での機能性を調べた。LamPP は UV 感受性の双安定性オプシンで、光依存的に Gt や Gi を活性化する(文献 4)。特筆すべき点は、パラピノプシンの活性状態は可視光領域に感受性をもち、UV 感受性の不活性状態とは波長感受性が大きく異なっているため緑色光照射によって完全に不活性状態に戻ることができる点である。このことは、パラピノプシンが UV 光と緑色光によって活性状態と不活性状態を切り替えることができる“色制御”が可能な光遺伝学ツールとして活用できることを示唆している。このことを調べるために、LamPP を用いた線虫の運動の色制御を試みた。線虫の運動ニューロンに LamPP を発現させ、11 シス型レチナル存在下で UV 光を照射したところ線虫は動きを停止し(コイル状になり) 緑色光を照射すると再び動き出した(文献 3、図 2)。この行動は、UV 光照射と緑色光照射によって何度でも繰り返され、LamPP によって光の色で線虫の行動のオン・オフを切り替えられることが示された。

以上のように、MosOpn3 と LamPP は、双安定性という性質に加え、それぞれ 13 シス型レチナル結合能や光再生能といった特徴的な性質をもち、それらの分子特性が光遺伝学ツールとしても十分に発揮されることが示された。加えて、MosOpn3、LamPP について、活性化する G タンパク質選択性を変換することで、Gs 共役型、Gq 共役型の MosOpn3 および Gs 共役型の LamPP という新規の光遺伝学ツールの作製にも成功した(文献 3)。本研究で高い機能性を示した新しい光操作ツールは、今後の光遺伝学の発展に大きく貢献するとともに、GPCR が関与する生理機能の解明に向けて、有効なストラテジーを提供するものである。

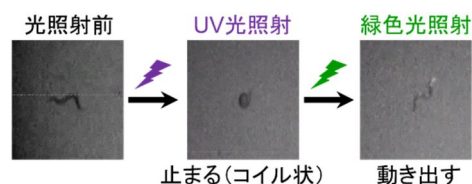


図 2. LamPP 導入線虫の色依存的な応答

## (2) ハマダラカの視細胞における非視覚オプシン Opn3 の発現

昆虫の視覚の光受容は、一般に、Gq 型 G タンパク質を介した光シグナル伝達系を駆動するオプシン(Gq 共役型オプシン)が担っている。特に、視覚研究で最も研究されているショウジョウバエが Gq 共役型オプシンしか持たないため、昆虫の視覚においては、数十年にわたり Gq を介した光シグナル伝達系のみが注目されてきた。ところが、蚊の一種であるハマダラカのゲノム解読の結果、ハマダラカは、Gq 共役型オプシンに加え、Opn3 という、他の動物において眼外(視覚以外)の光受容に関わることが示唆されている非視覚オプシンを持つことが明らかとなった。私たちは、これまでの研究によって、ハマダラカ Opn3 (MosOpn3) が緑色感受性で Gi/Go 型 G タンパク質を活性化する Go 共役型オプシンであることを示していたが(文献 2)、今回、MosOpn3 の詳細な局在を明らかにした。組織学的な解析の結果、MosOpn3 は、ハマダラカ複眼の背側と腹側の個眼に発現しており、さらに R7 視細胞のみに限定して発現していることが明らかとなった(文献 5)。さらに、MosOpn3 発現 R7 視細胞には、青色感受性の Gq 共役型オプシン(Asop9)が共局在を示すことを見出した。すなわち、ハマダラカの一部の視細胞には、緑色に対する Gi/Go を介した光シグナル伝達系と青色光に対する Gq を介した光シグナル伝達系が共存しており、このことは、この視細胞が青～緑色の光に対して複雑な応答を生成していることを示唆している(文献 3)。本成果は、昆虫の視細胞の光シグナル伝達系が、従来考えられていたよりも複雑であるという新しい可能性を示すものであり、加えて、非視覚オプシンと考えられている Opn3 が視細胞で機能することを示唆した点でも新規性が高く、視覚のしくみの理解を深める重要なものである。

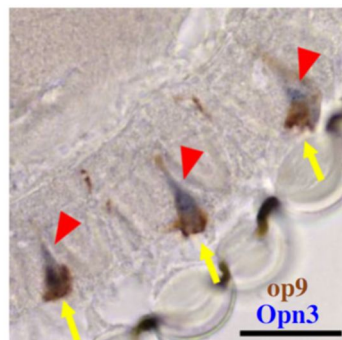


図 3. MosOpn3 (赤矢じり) と Asop9 (黄色矢印) の腹側個眼の R7 視細胞での共局在。

## < 引用文献 >

1. Koyanagi and Terakita, 2014, *Biochim Biophys Acta* 1837, 710-716
2. Koyanagi et al., *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2013 110(13):4998-5003
3. Koyanagi et al., *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2022 119 (48) e2204341119
4. Koyanagi et al., *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2004 101(17):6687-91
5. Koyanagi et al., *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.* 2022 377(1862):20210274

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 9件／うち国際共著 2件／うちオープンアクセス 10件）

1. 著者名 Kazuaki Yamaguchi, Mitsumasa Koyanagi, Keiichi Sato, Akihisa Terakita, Shigehiro Kuraku	4. 巻 120(13)
2. 論文標題 Whale shark rhodopsin adapted to deep-sea lifestyle by a substitution associated with human disease	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America	6. 最初と最後の頁 e2220728120
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1073/pnas.2220728120	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 Benjamin M. Mason, Mitsumasa Koyanagi, Tomohiro Sugihara, Makoto Iwasaki, Vladlen Slepak, David J. Miller, Yusuke Sakai, Akihisa Terakita	4. 巻 13(1)
2. 論文標題 Multiple opsins in a reef-building coral, <i>Acropora millepora</i>	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1628
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-023-28476-5	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 該当する
1. 著者名 Mitsumasa Koyanagi, Baoguo Shen, Takashi Nagata, Lanfang Sun, Seiji Wada, Satomi Kamimura, Eriko Kage-Nakadai, Akihisa Terakita	4. 巻 119(48)
2. 論文標題 High-performance optical control of GPCR signaling by bistable animal opsins MosOpn3 and LamPP in a molecular property-dependent manner	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America	6. 最初と最後の頁 e2204341119
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1073/pnas.2204341119	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 Mitsumasa Koyanagi, Hayato Honda, Hirohisa Yokono, Ryu Sato, Takashi Nagata, Akihisa Terakita	4. 巻 377(1862)
2. 論文標題 Expression of a homologue of a vertebrate non-visual opsin Opn3 in the insect photoreceptors	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B	6. 最初と最後の頁 20210274
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1098/rstb.2021.0274	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 Hanako Hagio, Wataru Koyama, Shiori Hosaka, Aysenur Deniz Song, Janchiv Narantsatsral, Koji Matsuda, Tomohiro Sugihara, Takashi Shimizu, Mitsumasa Koyanagi, Akihisa Terakita, Masahiko Hibi	4. 巻 -
2. 論文標題 Optogenetic manipulation of Gq- and Gi/o-coupled receptor signaling in neurons and heart muscle cells	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 bioRxiv	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1101/2022.10.25.513732	査読の有無 無
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 Wada Seiji, Kawano-Yamashita Emi, Sugihara Tomohiro, Tamotsu Satoshi, Koyanagi Mitsumasa, Terakita Akihisa	4. 巻 19
2. 論文標題 Insights into the evolutionary origin of the pineal color discrimination mechanism from the river lamprey	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 BMC Biology	6. 最初と最後の頁 188
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s12915-021-01121-1	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 Baoguo Shen, Seiji Wada, Haruka Nishioka, Takashi Nagata, Emi Kawano-Yamashita, Mitsumasa Koyanagi, Akihisa Terakita	4. 巻 7(1)
2. 論文標題 Functional identification of an opsin kinase underlying inactivation of the pineal bistable opsin parapinopsin in zebrafish	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Zoological letters	6. 最初と最後の頁 1
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40851-021-00171-1	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 Kazuaki Yamaguchi, Mitsumasa Koyanagi, Shigehiro Kuraku	4. 巻 -
2. 論文標題 Visual and nonvisual opsin genes of sharks and other nonosteichthyan vertebrates: Genomic exploration of underwater photoreception	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of evolutionary biology	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/jeb.13730	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 Laurent Duchatelet, Tomohiro Sugihara, Jerome Delroisse, Mitsumasa Koyanagi, Rene Rezsöházy, Akihisa Terakita, Jerome Mallefet	4. 巻 10(1)
2. 論文標題 From extraocular photoreception to pigment movement regulation: a new control mechanism of the lanternshark luminescence	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific reports	6. 最初と最後の頁 10195
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-67287-w	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 該当する

1. 著者名 Emi Kawano-Yamashita, Mitsumasa Koyanagi, Seiji Wada, Tomoka Saito, Tomohiro Sugihara, Satoshi Tamotsu, Akihisa Terakita	4. 巻 10(1)
2. 論文標題 The non-visual opsins expressed in deep brain neurons projecting to the retina in lampreys	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific reports	6. 最初と最後の頁 9669
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-66679-2	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58件(うち招待講演 2件/うち国際学会 6件)

1. 発表者名 和田清二, 小柳光正, 寺北明久
2. 発表標題 ゼブラフィッシュを用いた松果体光情報が伝達される脳領域の解析
3. 学会等名 日本動物学会近畿支部研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 酒井祐輔, 小柳光正, 寺北明久
2. 発表標題 造礁サンゴで発現する花虫綱特異的オプシンの分子特性解析
3. 学会等名 日本動物学会近畿支部研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高橋 直樹, 寺北 明久, 小柳光正
2. 発表標題 平板動物のGPCRの解析によるオプシンの起源の探求
3. 学会等名 日本進化学会第24回沼津大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 和田清二, 小柳光正, 寺北明久
2. 発表標題 ゼブラフィッシュを用いた松果体オプシンの関わる光依存的行動の解析
3. 学会等名 第22回日本光生物学協会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 酒井祐輔, 小柳光正, 寺北明久
2. 発表標題 造礁サンゴで発現する花虫綱特異的オプシンの吸収波長特性
3. 学会等名 第22回日本光生物学協会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岩崎誠, 和田清二, 永田崇, 杉原智博, 小柳光正, 寺北明久
2. 発表標題 非視覚オプシンの機能解明のための「発光遺伝学」的解析法の開発の試み
3. 学会等名 第22回日本光生物学協会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 和田清二, 小柳光正, 寺北明久
2. 発表標題 松果体オプシン欠損個体を用いたゼブラフィッシュの光依存的行動の解析
3. 学会等名 日本動物学会第93回早稲田大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岩崎誠, 酒井祐輔, 小柳光正, 寺北明久
2. 発表標題 造礁サンゴの花虫綱特異的オプシンが駆動するシグナル伝達特性に関する解析
3. 学会等名 日本動物学会第93回早稲田大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤龍, 永田崇, 寺北明久, 小柳光正
2. 発表標題 ハエトリグモのピンぼけ像にもとづく奥行き知覚を支えるロドプシンの吸収極大波長制御メカニズムの解析
3. 学会等名 日本動物学会第93回早稲田大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 酒井祐輔, 小柳光正, 寺北明久
2. 発表標題 造礁サンゴで発現する花虫綱特異的オプシンにおける吸収スペクトルの制御メカニズムの解析
3. 学会等名 日本動物学会第93回早稲田大会
4. 発表年 2022年



1. 発表者名 犬飼 紫乃, 片山 耕大, 杉原 智博, 小柳 光正, 寺北 明久, 神取 秀樹
2. 発表標題 視覚ロドプシンとは逆向きの異性化反応を示すハエトリグモペロプシンの光異性化機構解析
3. 学会等名 第16回分子科学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shino Inukai, Kota Katayama, Mitsumasa Koyanagi, Akihisa Tereakita, Hideki Kandori
2. 発表標題 Spectroscopic study of photoisomerization mechanism of Jellyfish Opsin having counterion at different position
3. 学会等名 第60回日本生物物理学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Akinari Sakayori, Yusuke Sakai, Mitsumasa Koyanagi, Akihisa Terakita, Hisao Tsukamoto
2. 発表標題 Development of bistable optical control tools based on a Gs-coupled opsin
3. 学会等名 第60回日本生物物理学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 酒井祐輔, 小柳光正, 寺北明久
2. 発表標題 Investigation of spectral properties and spectral tuning mechanisms of anthozoan-specific opsins from a reef-building coral.
3. 学会等名 第60回日本生物物理学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yusuke Sakai, Mitsumasa Koyanagi, Akihisa Terakita
2. 発表標題 Investigation of spectroscopic properties and spectral tuning of anthozoan opsins in a reef-building coral.
3. 学会等名 19th International Conference on Retinal Proteins (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Mitsumasa Koyanagi
2. 発表標題 Diversity of animal opsins and molecular property-based optical control of GPCR signaling by bistable opsins
3. 学会等名 19th International Conference on Retinal Proteins (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Seiji Wada, Mitsumasa Koyanagi, Akihisa Terakita
2. 発表標題 Visualization of neural pathways based on the molecular property of a pineal opsin and its contribution to light-dependent behavior using zebrafish larvae
3. 学会等名 19th International Conference on Retinal Proteins (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Makoto Iwasaki, Seiji Wada, Takashi Nagata, Tomohiro Sugihara, Mitsumasa Koyanagi, Akihisa Terakita
2. 発表標題 Investigation of bioluminescence-based opsin activation for analyzing biological function of non-visual opsins
3. 学会等名 19th International Conference on Retinal Proteins (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ryu Sato, Takashi Nagata, Akihisa Terakita, Mitsumasa Koyanagi
2. 発表標題 Investigation of the spectral tuning of the jumping spider rhodopsin that underlies the depth perception from image defocus
3. 学会等名 19th International Conference on Retinal Proteins (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 波越裕也, 和田清二, 小柳光正, 寺北明久
2. 発表標題 Investigation of neural activity changes derived from extraocular photoreception in the whole brain of larval zebrafish by calcium imaging.
3. 学会等名 19th International Conference on Retinal Proteins (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Seiji Wada, Mitsumasa Koyanagi, Akihisa Terakita
2. 発表標題 Analyses of light-dependent behavior involving pineal photoreceptions using zebrafish larvae.
3. 学会等名 日本比較生理生化学会第44回高知大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ryu Sato, Takashi Nagata, Taizo Kawano, Shinichi Miyazaki, Yu Hayashi, Akihisa Terakita, Mitsumasa Koyanagi
2. 発表標題 Reproduction of early processes in the evolution of photosensory system by short-term selection of <i>C. elegans</i> optogenetically rendered photosensitive
3. 学会等名 日本比較生理生化学会第44回高知大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高草大悟, 杉原智博, 清成寛, 寺北明久, 小柳光正
2. 発表標題 Spectroscopic and immunohistochemical characterization of a mammalian non-visual opsin Opn3
3. 学会等名 日本比較生理生化学会第44回高知大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 波越裕也, 和田清二, 小柳光正, 寺北明久
2. 発表標題 Investigation of neural activity changes derived from extraocular photoreception in the whole brain of larval zebrafish by calcium imaging.
3. 学会等名 日本比較生理生化学会第44回高知大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yusuke Sakai, Mitsumasa Koyanagi, Akihisa Terakita
2. 発表標題 Investigation of spectroscopic properties and spectral tuning of anthozoan opsins in a reef-building coral
3. 学会等名 日本比較生理生化学会第44回高知大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山本悠貴, 斉藤智香, 和田清二, 小柳光正, 寺北明久
2. 発表標題 Analysis of light-dependent behaviors with a pineal opsin, parapinopsin-mutant zebrafish
3. 学会等名 日本比較生理生化学会第44回高知大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岩崎 誠, 和田清二, 永田崇, 杉原智博, 小柳光正, 寺北明久
2. 発表標題 非視覚オプシンの解析のための選択的活性化法の開発
3. 学会等名 日本動物学会 近畿支部 研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 酒井祐輔, 小柳光正, 寺北明久
2. 発表標題 造礁サンゴがもつ多様なオプシン類の光受容特性の解析
3. 学会等名 日本動物学会 近畿支部 研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小柳光正, 高草大悟, 清成寛
2. 発表標題 有袋類の非視覚オプシンに着目した哺乳類の光受容の変遷
3. 学会等名 日本進化学会第23回東京大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山口和晃, 小柳光正, 佐藤圭一, 寺北明久, 工樂樹洋
2. 発表標題 深海での光受容に特化したジンベエザメの視覚
3. 学会等名 日本動物学会第92回オンライン米子大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 和田清二, 小柳光正, 寺北明久
2. 発表標題 オプシン欠損変異体を用いたゼブラフィッシュ松果体光応答の解析
3. 学会等名 日本動物学会第92回オンライン米子大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋直樹, 寺北明久, 小柳光正
2. 発表標題 原始的な多細胞動物に存在するオプシン様GPCRの解析
3. 学会等名 日本動物学会第92回オンライン米子大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 白田泰士, 杉原智博, 永田崇, 小柳光正, 寺北明久
2. 発表標題 非視覚オプシンゼブラフィッシュOpn3のGタンパク質活性化能の解析
3. 学会等名 日本動物学会第92回オンライン米子大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 真野桃歌, 和田清二, 小柳光正, 寺北明久
2. 発表標題 ゼブラフィッシュ網膜におけるメラノプシン発現水平細胞の光に対する応答の解析
3. 学会等名 日本動物学会第92回オンライン米子大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤龍, 永田崇, 寺北明久, 小柳光正
2. 発表標題 ハエトリグモのユニークな奥行き知覚メカニズムを支えるロドプシンの吸収極大波長制御機構の解析????
3. 学会等名 日本動物学会第92回オンライン米子大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高草大悟, 杉原智博, 寺北明久, 小柳光正
2. 発表標題 哺乳類の非視覚オプシンOpn3の分子特性の解析
3. 学会等名 日本動物学会第92回オンライン米子大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山本悠貴, 斉藤智香, 和田清二, 小柳光正, 寺北明久
2. 発表標題 松果体オプシン、パラピノプシン変異ゼブラフィッシュを用いた光依存的な行動の解析
3. 学会等名 日本動物学会第92回オンライン米子大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 酒井祐輔, 塚本寿夫, 小柳光正, 寺北明久
2. 発表標題 造礁性のウスエダミドリイシがもつ多様なオプシン類の光受容特性の解析.
3. 学会等名 日本動物学会第92回オンライン米子大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ryota Matsuo, Mitsumasa Koyanagi, Tomohiro Sugihara, Yuko Matsuo, Akihisa Terakita
2. 発表標題 Five opsins sensitive to blue to green lights are co-expressed in the eye photoreceptors of the terrestrial slug Limax
3. 学会等名 日本比較生理生化学会第43回札幌大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Seiji Wada, Mitsumasa Koyanagi, Akihisa Terakita
2. 発表標題 Transmission of light information generated in the pineal organ to the midbrain in zebrafish.
3. 学会等名 日本比較生理生化学会第43回札幌大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Naoki Takahashi, Akihisa Terakita, Mitsumasa Koyanagi
2. 発表標題 Molecular roperties of opsin-like GPCRs identified in a primitive multicellular animal
3. 学会等名 日本比較生理生化学会第43回札幌大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Taishi Shirata, Tomohiro Sugihara, Takashi Nagata, Mitsumasa Koyanagi, Akihisa Terakita
2. 発表標題 Comparative investigation of G protein activation ability of a non-visual opsin, zebrafish Opn3
3. 学会等名 日本比較生理生化学会第43回札幌大会
4. 発表年 2021年



1. 発表者名 Momoka Mano, Seiji Wada, Mitsumasa Koyanagi, Akihisa Terakita
2. 発表標題 A possible regulation of cone light responses by melanopsin distributed to horizontal cells in the larval zebrafish
3. 学会等名 日本比較生理生化学会第43回札幌大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuya Namikoshi, Seiji Wada, Mitsumasa Koyanagi, Akihisa Terakita
2. 発表標題 Toward detection of neural activity changes in the zebrafish brain derived from extraocular photoreceptions.
3. 学会等名 日本比較生理生化学会第43回札幌大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yusuke Sakai, Mitsumasa Koyanagi, Akihisa Terakita
2. 発表標題 Spectroscopic characterization of anthozoa-specific opsins found in a reef-building coral.
3. 学会等名 日本比較生理生化学会第43回札幌大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小柳光正、永田崇、寺北明久
2. 発表標題 奥行き知覚を支えるハエトリグモ視物質の特徴的な吸収スペクトルの獲得
3. 学会等名 日本動物学会第91回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 和田清二、小柳光正、寺北明久
2. 発表標題 ゼブラフィッシュにおける松果体光情報の処理に関わる脳部位候補の解析
3. 学会等名 日本動物学会第91回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 和田清二、沈宝國、山下(川野)絵美、永田崇、日比正彦、保智己、小柳光正、寺北明久
2. 発表標題 ゼブラフィッシュにおける松果体光応答：「色検出」とその脳投射
3. 学会等名 日本動物学会第91回大会(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 沈宝國、和田清二、西岡春香、杉原智博、永田崇、橘木修志、山下(川野)絵美、小柳光正、寺北明久
2. 発表標題 ゼブラフィッシュ松果体の色検出を担う光受容タンパク質の不活性化機構の解析
3. 学会等名 日本動物学会第91回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 真野桃歌、和田清二、小柳光正、寺北明久
2. 発表標題 ゼブラフィッシュ網膜におけるメラノプシンの視覚への関与に関する解析
3. 学会等名 日本動物学会第91回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yusuke Sakai, Hisao Tsukamoto, Naoto Ueno, Mitsumasa Koyanagi, Akihisa Terakita
2. 発表標題 Investigation of opsins in the reef-building coral, <i>Acropora tenuis</i> , exhibiting a light-response behavior at the larval stage
3. 学会等名 日本比較生理生化学会第42回山形大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 真野桃歌、和田清二、小柳光正、寺北明久
2. 発表標題 Functional analysis of melaonpsin expressed in retinal horizontal cells of zebrafish
3. 学会等名 日本比較生理生化学会第42回山形大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高橋直樹、小柳光正、寺北明久
2. 発表標題 Investigation of opsin-like GPCRs identified in a primitive multicellular animal.
3. 学会等名 日本比較生理生化学会第42回山形大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Taishi Shirata, Tomohiro Sugihara, Mitsumasa Koyanagi, Akihisa Terakita
2. 発表標題 Comparative investigation of G protein activation ability of members of a non-visual opsin, Opsin3 group.
3. 学会等名 日本比較生理生化学会第42回山形大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Makoto Iwasaki, Tomohiro Sugihara, Seiji Wada, Mitsumasa Koyanagi, Akihisa Terakita
2. 発表標題 Toward a new method for selective activation of a non-visual opsin
3. 学会等名 42nd Annual Meeting of The Japanese Society for Comparative Physiology and Biochemistry
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Emi Kawano-Yamashita, Nanaho Yura, Mitsumasa Koyanagi, Seiji Wada, Akihisa Terakita, Satoshi Tamotsu
2. 発表標題 Histological investigation of deep brain photoreceptors in the larval and adult lampreys
3. 学会等名 日本比較生理生化学会第42回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小柳光正、永田崇、寺北明久
2. 発表標題 奥行き知覚を支えるハエトリグモのロドプシンの分子進化
3. 学会等名 日本進化学会第22回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 酒井祐輔、加藤輝、小山宏史、Alyson Kuba、高橋弘樹、藤森俊彦、服田昌之、Andrew Negri、Andrew Baird、上野直人
2. 発表標題 造礁サンゴAcropora tenuisの幼生における光応答的な遊泳行動と成体の分布パターンへの影響
3. 学会等名 日本進化学会第22回大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Mitsumasa Koyanagi, Tomoka Saito, Seiji Wada, Takashi Nagata, Emi Kawano-Yamashita, Akihisa Terakita	4. 発行年 2020年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 675
3. 書名 Optogenetics	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>大阪公立大学大学院理学研究科生物学専攻 分子生理学研究室  <a href="https://www.omu.ac.jp/sci/biol-mphys/">https://www.omu.ac.jp/sci/biol-mphys/</a>                  大阪市立大学大学院理学研究科生物地球系専攻 生体高分子機能学II研究室  <a href="http://www.sci.osaka-cu.ac.jp/biol/mphys/index.html">http://www.sci.osaka-cu.ac.jp/biol/mphys/index.html</a></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
---------------------------	-----------------------	----

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			
英国	The University of Manchester			
スイス	Paul Scherrer Institute			
フランス	Institut de la Vision			
米国	The University of Toledo			