

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 23 日現在

機関番号：13903

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24655009

研究課題名(和文) 光でナトリウムをポンプする新型ロドプシンの機能解明

研究課題名(英文) The study on the mechanism of sodium ion transport by sodium ion pump rhodopsin

研究代表者

井上 圭一 (INOUE, Keiichi)

名古屋工業大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：90467001

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円、(間接経費) 960,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では我々が新しく海洋性細菌より発見した、光駆動型の外向きナトリウムポンプであるナトリウムポンプ型ロドプシン(NaR)について、そのナトリウムイオン(Na⁺)輸送メカニズムについて研究を行った。その中で、今回我々は特に「機能」、「ダイナミクス」、「構造」の3つの視点からメカニズムの解明に迫った。その結果NaRは周辺の環境によってLi⁺やH⁺も輸送し、その輸送に関わる反応素過程の決定や、Na⁺結合サイトの同定に成功した。その結果を含め本研究に関わる成果を8つの論文と3件の新聞報道、42件の学会発表などで公表した。

研究成果の概要(英文)：In this study, we investigated the sodium ion (Na⁺) transport mechanism by Na⁺-pumping rhodopsin (NaR) found from marine bacteria in our recent research. For that purpose, especially, we focused the view point of "function", "dynamics" and "structure". As the result, we revealed that NaR pumps Li⁺ and H⁺ in addition to Na⁺ in according to the environment, the reaction process relating to the transport activity, and the place of Na⁺ binding site. The results relating this study were reported in eight papers and forty-two presentation in conferences, and three newspaper reports were conducted.

研究分野：化学

科研費の分科・細目：基礎化学・物理化学

キーワード：ロドプシン ナトリウムポンプ 赤外分光 過渡吸収 レチナール

1. 研究開始当初の背景

微生物型ロドプシンは真正細菌や古細菌などの持つ光受容型の膜タンパク質であり、7回膜貫通型の構造と、共通の発色団である all-trans レチナールを持つ。微生物型ロドプシンのほとんどは光駆動型外向き水素イオン (H^+) ポンプであり、特に研究が進んでいる古細菌の持つバクテリオロドプシン (BR) や真正細菌の持つプロテオロドプシン (PR) などがある。この他に光駆動型内向き塩化物イオン (Cl^-) ポンプや、細胞の走光性に関わるセンサー、もしくは光による遺伝子制御といった働きを持つロドプシンが知られている。また最近では光ゲート型のカチオンチャネルとして働くロドプシンが藻類から発見されている (図 1)。

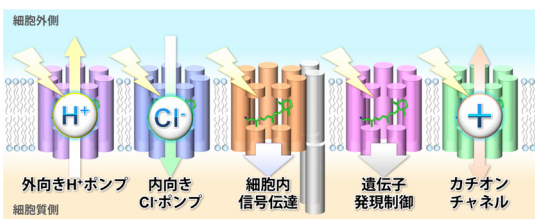


図 1. 様々な微生物型ロドプシン

その中で我々は *Krokinobacter eikastus* や *Nonlabens dokdonensis* などの海洋性細菌が、既知の微生物型ロドプシンと大きく異なるアミノ酸配列を有することを見いだした。そしてそれらのロドプシンの機能を調べたところ、これまで知られていなかった光駆動型外向きナトリウムイオン (Na^+) ポンプ (Na^+ -pumping rhodopsin, NaR) であることが明らかとなった。しかしアミノ酸配列だけでは、どの様にして NaR が Na^+ を輸送しているのか、そのメカニズムは全く不明である。そこで本研究では NaR の輸送機構の解明を目指し、物理化学的および生物物理学的な観点から研究を実施した。

2. 研究の目的

「1. 研究開始当初の背景」でも述べたとおり、本研究の目的は我々が発見した NaR の輸送機構の解明にある。 Na^+ の輸送メカニズムを明らかにすることは、基礎生物学的な観点からだけでなく、より多様な光を使ったイオン輸送のための新規タンパク質デザインにも大きな知見を与えると期待される。特に微生物型ロドプシンは、近年光遺伝学 (オプトジェネティクス) 分野で、動物の神経活動を光で操作するツールとして幅広く使われており、今後 NaR の使用も予想されることから、その重要性は極めて大きい。しかしメカニズムの解明のためには、アミノ酸レベルでの NaR の構造情報を調べる必要がある一方で、 Na^+ の輸送に関わる光化学反応の素過程を明らかにする必要があるため本研究ではそれらに着目して研究のデザインを行った。

3. 研究の方法

本研究では NaR の Na^+ 輸送メカニズムの解明のため、「機能」・「ダイナミクス」・「構造」

の3つの観点から研究を行った (図 2)。そのため手法として、まず機能については、 Na^+ を含むイオンの輸送活性を、それに伴って二次的に細胞に取り込まれる H^+ の移動を pH メーターを用いて捉えるポンプ活性測定法を用いて評価した。

またダイナミクスについては主にフラッシュフォトリシス法を用いて研究を行った。この手法ではイオン輸送に伴う光反応サイクル上で現れる中間体を捉えることができ、その蓄積量や蓄積および減衰の速度から、ダイナミクスの詳細を明らかにすることを目指した。さらにタンパク質の構造についてはフーリエ変換赤外 (FTIR) 分光を用いて研究を行った。FTIR 分光法にはいくつかの測定法があるが、特に本研究では全反射型 FTIR (ATR-FTIR) 法と低温 FTIR 法を用い、前者ではイオンの結合に伴うタンパク質の構造変化を、後者では光反応に伴う構造変化を捉えることができる。

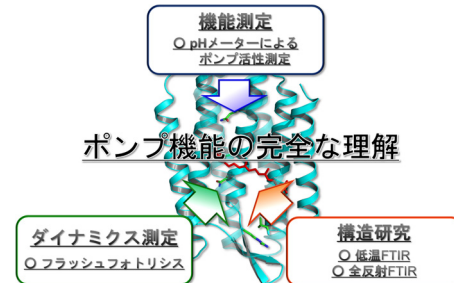


図 2. 本研究で用いる手法

本研究では以上のような手法を用い、3つの観点から NaR の機能解明を目指した。また実験に用いるタンパク質は大腸菌による発現系を用いて作製し、そのために必要な NaR の遺伝子については保存機関から当該遺伝子を有する海洋性細菌を購入しそこから遺伝子をクローニングする方法と、人工的に遺伝子 DNA を合成する2つの手法を用いた。

4. 研究成果

過去の研究より H^+ ポンプである BR や PR は、 H^+ の輸送にかかわる2つの保存性の高い酸性残基をヘリックス C 上に持つ。これらは BR では Asp85 および Asp96 に対応するが、NaR ではそれらが Asn および Gln に置換され、さらにその中間に新たな Asp が挿入された配列を持っており、NDQ モチーフと呼ばれる。そして本研究では主な研究対象として、東京湾より発見された *Krokinobacter eikastus* 由来のロドプシンに着目した。*K. eikastus* はゲノム上に2つのロドプシン遺伝子を持ち、一つが2つの酸性残基を持つPR型のKR1であり、もう一つがNDQモチーフを持つKR2である。そしてまずは、これらのロドプシンの機能を pH メーターを用いたポンプ活性測定により評価した。

まず KR1 については、これを発現する大腸菌に光を照射したところ、pH の減少が見られた。これは細胞外に H^+ が輸送したためであり、KR1 が外向き H^+ ポンプである PR として働くという予想と一致する。

一方 KR2 については、大腸菌に光を照射すると pH の上昇が見られた。これは一見内向きに H^+ が輸送されたように見えるが、 H^+ の膜透過性を増加させる CCCP を加えたところ、その変化が増大し、さらに膜電位を解消する TPP^+ を加えると pH 変化が無くなった。このことは KR2 に光を照射した時に起こる H^+ の移動は、KR2 が H^+ そのものを輸送した結果観測された物ではなく、 H^+ 以外の何らかのイオンを輸送した結果、その際に生じる膜電位変化により、二次的に生じたものであることを示している (図 2 上)。

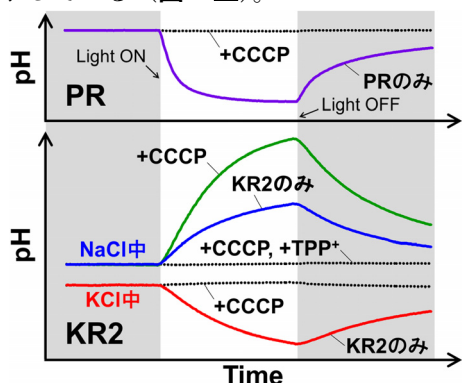


図 3. KR2 の輸送活性

そして KR2 が輸送するイオンを明らかにするために、溶液中のイオンを測定したところ、アニオンを変化させた実験では Cl^- を Br^- や、ロドプシン中を通過するのが困難と思われる SO_4^{2-} に変化させても NaCl 中と同様の pH 変化が見られた。一方でカチオンを変化させた場合、 Na^+ より大きなイオンの存在下では、pH の上昇ではなく、pH の低下が見られた (図 2 下)。さらにこの大きなカチオン存在下での pH の変化は CCCP を加えた際に、PR と同様に pH 変化が失われた。すなわちこの結果から KR2 は Na^+ より大きなイオンしかない場合は外向き H^+ ポンプとして働き、生理学的条件下では Na^+ を輸送する Na^+ ポンプであることが明らかとなった。また Li^+ 中での実験により、KR2 は Li^+ も Na^+ とほぼ同じ効率で輸送することが示された。ここから KR2 は周辺のカチオンの大きさに応じて、輸送するものを変えるハイブリッド型の性質を持つことが明らかとなったが、このような機能を持つロドプシンはこの KR2 が最初である。

次に KR2 がどのようにしてイオンを輸送するのか明らかにするために、その光反応ダイナミクスについて研究を行った (図 4)。

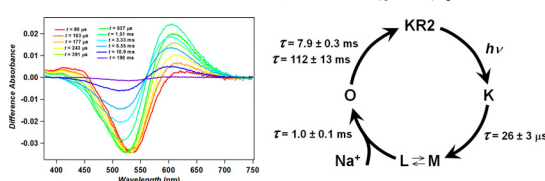


図 4. KR2 の過渡吸収スペクトル (左) とそこから決定された光反応サイクル (右) その結果 KR2 の光反応サイクルには K、L、M、O の 4 種類の間体が含まれており、 Na^+ 輸送時にはおよそ 100 ms 程度の速さの光反

応サイクルを示した。一方で H^+ 輸送時は光反応サイクルに非常に大きな時間がかかり ($\tau = 7$ s)、それほど効率的な H^+ の輸送が行われていないことがわかった。このことは生理学的な機能である Na^+ の輸送にタンパク質の構造が最適化されているという予想と合致するものである。また光反応サイクルの各過程の速度の Na^+ 濃度依存性を調べたところ、L/M \rightarrow O 中間体のステップにおいて反応速度が Na^+ 濃度に比例して速くなった。このことは細胞質側からの Na^+ の取り込みが、この過程で行われていることを示している。

次に我々は KR2 による Na^+ の輸送経路を明らかにするために、 Na^+ の結合サイトを ATR-FTIR 分光法を用いて調べた。ATR-FTIR 分光法では膜に再構成されたタンパク質をダイヤモンドの基板の上に貼り付け、さらに基板の底面から全反射型で赤外光を入射する。その時赤外光の一部が試料によって吸収され、さらにそこからタンパク質周辺の溶媒の交換に伴う分子の赤外吸収変化を測定することができる。そして KR2 の周辺のカチオンを Na^+ から K^+ 、 Rb^+ 、 Cs^+ に変化させたところ、全て同一の赤外吸収差スペクトルが得られた。もし K^+ 、 Rb^+ 、 Cs^+ の全てが KR2 に結合する場合は、それぞれのイオンとタンパク質の間の相互作用が異なるため、互いの赤外スペクトルは異なるはずである。しかし今回得られたスペクトルが全く同一であったことから、KR2 は Na^+ のみをタンパク質内部に結合し、それ以外の輸送することができないカチオンは結合しないことが示された。

そしてこの Na^+ のタンパク質中での結合場所を明らかにするために、様々な箇所に変異を導入したところ、細胞外側のヘリックス間ループの内、最も N 末に位置する BC-ループの酸性残基を変異したところ、 Na^+ の結合が全く失われた。そのような変化は膜貫通ヘリックス状の H30、R109、N112、D251 などでも見られ、KR2 の Na^+ 結合サイトはこれらの残基から形成される細胞措置側部分にあることが分かった。

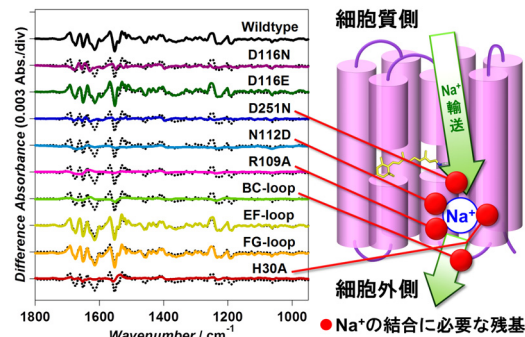


図 5. ATR-FTIR によって明らかになった KR2 の Na^+ 結合サイト

以上の事から、機能測定と分光研究を組み合わせることにより、KR2 の輸送機能と Na^+ 輸送に関する反応過程、さらにイオンの結合位置とそれに関わるアミノ酸残基までを

明らかにすることができた。そしてこれらの成果は 2013 年 4 月に *Nature Communications* 誌に発表を行った。またそれと同時に名古屋工業大学よりプレスリリースを行った結果、朝日新聞 (35 面)、中日新聞 (3 面)、科学新聞 (1 面) において新聞報道がなされた。

その後さらに我々は試料を低温に冷却することで、光反応中間体を安定にトラップし、その赤外吸収を測定することができる低温 FTIR 法を用いて、KR2 の最も初期の中間体である K 中間体について、その構造情報を調べた。その結果 Na⁺輸送時においても K⁺輸送時においても K 中間体生成に伴うスペクトル変化は同一であることが分かった。K 中間体では光反応の初期過程であるレチナルの異性化のみが起こると考えられるが、この結果はそれに関わるレチナル周辺の構造が Na⁺の結合の影響を受けないことを示している。さらにレチナルのシッフ塩基の水素結合は BR などの H⁺ポンプよりもやや強く、さらに H⁺ポンプ機能を持つロドプシンのみで共通して観測される強い水素結合を行う水分子が KR2 中にも存在することが明らかとなった。このことは KR2 が K⁺などの大きなカチオンの存在下で、弱い H⁺ポンプ活性を持つことと一致する。そして最終的にこれらの成果を 2014 年 5 月に *The Journal of Physical Chemistry B* 誌に発表を行った。

以上の事より、本研究では輸送機能や輸送ダイナミクス、結合サイト、レチナル周辺の構造情報など、KR2 の輸送機能のかなりの部分を解明することに成功し、目標の大部分を達成することに成功した。今後はこれらの成果を基礎として応用研究を含めたさらなる NaR の研究への展開が期待される。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 8 件)

1. Keiichi Inoue, Takashi Tsukamoto, Yuki Sudo* Molecular and evolutionary aspects of microbial sensory rhodopsins, (2014) *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Bioenergetics*, **87**, pp 2587-2597. doi: 10.1016/j.bbabi.2013.05.005 (査読有)
2. Hikaru Ono, Keiichi Inoue, Rei Abe-Yoshizumi, Hideki Kandori*. FTIR Spectroscopy of a Light-Driven Compatible Sodium Ion-Proton Pumping Rhodopsin at 77 K, (2014) *The Journal of Physical Chemistry B*, **118**, issue 18, pp 4784-4792. doi: 10.1021/jp500756f (査読有)
3. Kengo Sasaki, Takahiro Yamashita, Kazuho Yoshida, Keiichi Inoue, Yoshinori Shichida, Hideki Kandori*. Chimeric Proton-Pumping Rhodopsins Containing the Cytoplasmic Loop of Bovine Rhodopsin, (2014) *PLOS ONE*, **9**, issue 3, e91323. doi: 10.1371/journal.pone.0091323 (査読有)

4. Takashi Tsukamoto, Keiichi Inoue, Hideki Kandori, and Yuki Sudo*. Thermal and spectroscopic characterization of a proton pumping rhodopsin from an extreme thermophile, (2013, June 5) *The Journal of Biological Chemistry*, **288**, issue 30, pp 21581-21592. doi: 10.1074/jbc.M113.479394 (査読有)

5. Yuki Sudo*, Ayako Okazaki, Hikaru Ono, Jin Yagasaki, Seiya Sugo, Motoshi Kamiya, Louisa Reissig, Keiichi Inoue, Kunio Ihara, Hideki Kandori, Shin Takagi and Shigehiko Hayashi. A blue-shifted light-driven proton pump for neural silencing, (2013) *The Journal of Biological Chemistry*, **288**, issue 28, pp 20624-20632. doi: 10.1074/jbc.M113 (査読有)

6. Hayato Yamashita, Keiichi Inoue, Mikihiro Shibata, Takayuki Uchihashi, Jun Sasaki, Hideki Kandori, Toshio Ando*. Role of trimer-trimer interaction of bacteriorhodopsin studied by optical spectroscopy and high-speed atomic force microscopy, (2013) *Journal of Structural Biology*, **184**, 2-11. doi: 10.1016/j.jsb.2013.02.011 (査読有)

7. Keiichi Inoue, Hikaru Ono, Rei Abe-Yoshizumi, Susumu Yoshizawa, Hiroyasu Ito, Kazuhiro Kogure, Hideki Kandori*. A light-driven sodium ion pump in marine bacteria, (2013) *Nature Communications*, **4**, Article number:1678. doi: 10.1038/ncomms2689 (査読有)

8. Keiichi Inoue, Louisa Reissig, Makoto Sakai, Shiori Kobayashi, Michio Homma, Masaaki Fujii, Hideki Kandori, Yuki Sudo*. Absorption spectra and photochemical reactions in a unique photoactive protein, middle rhodopsin MR, (2012) *Journal of Physical Chemistry B*, **116**, issue 20, pp 5888-5899. doi: 10.1021/jp302357m (査読有)

[学会発表] (計 42 件)

【受賞講演】

1. ○井上圭一、物理化学的アプローチによる新奇光駆動型 Na⁺/H⁺ハイブリッドポンプロドプシンの研究、日本化学会第 93 春季年会 (2013)・若い世代の特別講演会 2013 年 3 月 25 日、草津

【招待講演】

2. ○井上圭一、光のエネルギーでナトリウムイオンを運ぶ：光駆動ナトリウムポンプ型ロドプシンの機能とメカニズム、遺伝研研究会 2014 「単細胞システムの細胞構築・運動・増殖機構の研究」、2014 年 3 月 25 日、三島

3. ナトリウムポンプ型ロドプシンの細胞内機能と分光で迫る分子メカニズム

○井上圭一 日本分光学会平成 25 年度生細胞分光部会シンポジウム 2014 年 3 月 7 日 松山

4. 新たなロドプシンが切り拓く、光操作の新地平

○井上圭一 名古屋工業大学オプトバイオ

テクノロジー研究センター設立シンポジウム 2013年12月26日 名古屋

5. 海洋性細菌から発見された光駆動ナトリウムポンプ型ロドプシン
○井上圭一 日本生体エネルギー研究会第39回討論会 2013年12月19日 静岡

6. 海洋性の細菌から見つかった光駆動型ナトリウムポンプ
○井上圭一 大阪市立大学セミナー 2013年12月18日 大阪

7. 光駆動ナトリウムポンプの発見と展開
○井上圭一 分子研研究会「ロドプシン研究の故きを温ねて新しきを知る」2013年11月18日 岡崎

8. 分光学者と微生物型ロドプシン:分子の基礎研究と応用への路
○井上圭一 第45回分子病態医学セミナー 2013年7月10日 東温

9. 海から見つかった新奇光駆動ナトリウムポンプ型ロドプシンについて
○井上圭一 日本分光学会平成24年度中部支部東海・信州ブロック分子科学研究所講演会 2013年3月21日 岡崎

10. 分光計測で迫るロドプシンの構造・機能ダイナミクス
○井上圭一 第4回光操作研究会 2012年9月27日 岡崎

11. ロドプシンの謎に分子科学は迫れるか?
【国際会議における口頭発表】

12. ○Kumiko Nagata, Keiichi Inoue, Hideki Kandori, Spectroscopic study of photoreaction dynamics of *Groebacter* rhodopsin, The 50th Annual Meeting of the Biophysical Society of Japan, September 22, 2012, Nagoya, Japan
【国際会議におけるポスター発表】

13. ○Yoshitaka. Kato, Keiichi Inoue, Hikaru Ono, Rei Abe-Yoshizumi, Hideki Kandori, Functional and Spectroscopic Study on the Light-driven Sodium Ion Pump, Gordon Research Conference on "Protons & Membrane Reactions", February 24-27, 2014, Ventura, USA

14. ○Keiichi Inoue, Kengo Sasaki, Aya Nakatsuma, Takahiro Yamashita, Kazuho Yoshida, Yoshinori Shichida, Hideki Kandori, The Chimeric Protein between Bovine Rhodopsin and Microbial Rhodopsin which is Activatable Transducin (G_t), GPCR Workshop 2013, December 1-5, 2013, Maui, Hawaii, USA

15. ○Kazuho Yoshida, Keiichi Inoue, Takahiro Yamashita, Rei Abe-Yoshizumi, Kengo Sasaki, Yoshinori Shichida, Hideki Kandori, The Optical Control of G-protein Activity by Chimeric Proteins of Microbial Rhodopsins and GPCRs, GPCR Workshop 2013, December 1-5, 2013, Maui, Hawaii, USA

16. ○Keiichi Inoue, Yuuya Ozaki, James H. Geiger, Babak Borhan, Hideki Kandori, Laser Flash Photolysis study on Photochemistry of Rhodopsin Mimics, The 51th Annual Meeting of the Biophysical Society of Japan, October 28,

2013, Kyoto, Japan

17. ○Hikaru Ono, Keiichi Inoue, Rei Abe-Yoshizumi, Hideki Kandori, Mechanism of light-driven sodium ion pump, IGER International Symposium on Cell Surface Structures and Functions, Sep 2, 2013, Nagoya, Japan

18. ○Kenichi Kawamoto, Keiichi Inoue, Jin Yagasaki, Yuki Sudo, Michio Homma, Hideki Kandori, Differences of Photo Reaction Dynamics of Sensory Rhodopsin I in Acidic- and Alkaline forms, IGER International Symposium on Cell Surface Structures and Functions, Sep 2, 2013, Nagoya, Japan

19. ○Kenichi Kawamoto, Keiichi Inoue, Jin Yagasaki, Yuki Sudo, Michio Homma, Hideki Kandori, Differences of Photo Reactions of *Haloarcula vallismortis* Sensory Rhodopsin I in Acidic- and Alkaline forms, IMS Workshop on "Hierarchical Molecular Dynamics: From Ultrafast Spectroscopy to Single Molecule Measurements", May 25, 2013, Okazaki, Japan

20. ○Kazuho Yoshida, Takahiro Yamashita, Kengo Sasaki, Rei Abe-Yoshizumi, Keiichi Inoue, Yoshinori Shichida, Hideki Kandori, Design of new chimeric proteins for optical activation of G proteins, IMS Workshop on "Hierarchical Molecular Dynamics: From Ultrafast Spectroscopy to Single Molecule Measurements", May 25, 2013, Okazaki, Japan

21. ○Hui-Fen Chen, Keiichi Inoue, Hideki Kandori, Time-resolved FTIR study of a light-driven sodium pump rhodopsin, The XVth International Conference on Time-Resolved Vibrational Spectroscopy (TRVS 2013), May 20-21, 2013, Beppu, Japan

22. ○Rei Abe-Yoshizumi, Keiichi Inoue, Susumu Yoshizawa, Kazuhiro Kogure, Hideki Kandori, Physiological role and molecular properties of proteorhodopsin from marine bacterium, The 50th Annual Meeting of the Biophysical Society of Japan, September 23, 2012, Nagoya, Japan
【国内学会における口頭発表】

23. ○井上圭一、谷ヶ崎仁、下野和実、宮内正二、林重彦、神取秀樹、須藤雄気、青色受容型アーキロドプシン3変異体のイオン輸送特性と光化学反応、第7回分子科学討論会 2013年9月27日 京都

24. ○井上圭一、「数」を視点とした走光性信号伝達過程における信号増幅機構の解明、第65回日本細胞生物学会大会 2013年6月20日 名古屋

25. ○井上圭一、大野光、吉住玲、吉澤晋、木暮一啓、神取秀樹、ナトリウムポンプ型ロドプシン (NaR) のイオン輸送ダイナミクス研究、第40回生体分子科学討論会 2013年6月7日 大阪

26. ○吉田一帆、山下高廣、佐々木賢吾、吉住玲、井上圭一、七田芳則、神取秀樹、微生物

型ロドプシンを用いた光駆動性 G_s 及び G_q 活性型キメラタンパク質の構築、第 40 回生体分子科学討論会 2013 年 6 月 7 日 大阪

27. ○須藤雄気、岡崎史子、大野 光、谷ヶ崎仁、須郷聖也、神谷基司、Louisa Reissig、井上圭一、井原邦夫、神取秀樹、高木新、林重彦、青色光受容型プロトンポンプによる神経活動抑制、第 40 回生体分子科学討論会 2013 年 6 月 8 日、大阪

28. ○大野光、井上圭一、吉住玲、吉澤晋、伊藤洋康、木暮一啓、神取秀樹、海洋性細菌の光駆動ナトリウムポンプ、平成 24 年度 生物物理学会中部支部 講演会、2013 年 2 月 19 日、名古屋 (ポスター賞受賞)

29. ○井上圭一、光で遺伝子発現を誘導するタンパク質の開発、名工大・名市大合同テクノフェア 2012、2012 年 12 月 12 日、名古屋

30. ○永田久美子、井上圭一、神取秀樹、グロイオバクター (GR) の光反応中間体で起こる過渡的な体積及び会合数の変化、第 43 回中部化学関係学協会支部連合秋季大会 2012 年 11 月 11 日、名古屋

31. ○大野光、井上圭一、神取秀樹、海洋性細菌より発見された新規微生物型ロドプシンの構造機能相関の研究、第 43 回 中部化学関係学協会支部連合秋季大会、2012 年 11 月 11 日、名古屋

32. ○川本健一、井上圭一、谷ヶ崎仁、須藤雄気、本間道夫、神取秀樹、センサリーロドプシン I の酸性型および塩基性型の 2 つの状態の光反応ダイナミクスの違い、第 43 回 中部化学関係学協会支部連合秋季大会、2012 年 11 月 11 日、名古屋

33. ○井上圭一、鷺崎涼、吉澤晋、吉住玲、木暮一啓、神取秀樹、海洋細菌から見つかった新規なアミノ酸配列を持つロドプシンの機能解明、第 6 回分子科学討論会、2012 年 9 月 21 日、東京

34. ○川本 健一、井上圭一、谷ヶ崎仁、須藤雄気、本間道夫、神取秀樹、センサリーロドプシン I の光反応ダイナミクスの研究、第 6 回分子科学討論会、2012 年 9 月 21 日、東京

【国内学会等におけるポスター発表】

35. ○加藤善隆、井上圭一、大野光、吉住玲、神取秀樹、日本生体エネルギー研究会、第 39 回討論会、2013 年 12 月 19 日、静岡

36. ○大野光、井上圭一、吉住玲、加藤善隆、神取秀樹、光駆動型ナトリウムポンプの低温赤外分光測定による構造解析、日本生体エネルギー研究会、第 39 回討論会 2013 年 12 月 19 日、静岡

37. ○川本健一、井上圭一、佐々木 純、谷ヶ崎 仁、本間道夫、須藤雄気、神取秀樹、ナノディスクを用いた *Haloarcula vallismortis* センサリーロドプシン I の光反応ダイナミクスの研究、日本生体エネルギー研究会、第 39 回討論会 2013 年 12 月 19 日、静岡

38. ○大野光、井上圭一、吉住玲、神取秀樹、光駆動型ナトリウムポンプの低温赤外分光

測定、分子研研究会「ロドプシン研究の故きを温ねて新しきを知る」、2013 年 11 月 18 日、岡崎

39. ○川本健一、井上圭一、佐々木純、谷ヶ崎仁、本間道夫、須藤雄気、神取秀樹、ナノディスクを用いたセンサリーロドプシン I の光反応ダイナミクスの研究、分子研研究会「ロドプシン研究の故きを温ねて新しきを知る」、2013 年 11 月 18 日、岡崎

40. ○吉田一帆、井上圭一、山下高廣、吉住玲、佐々木賢吾、七田芳則、神取秀樹、 G_s および G_q の光制御に向けた新規キメラタンパク質のデザイン、分子研研究会「ロドプシン研究の故きを温ねて新しきを知る」、2013 年 11 月 18 日、岡崎

41. ○吉田一帆、佐々木賢吾、吉住玲、井上圭一、神取秀樹、 G_q および G_s 活性型キメラ蛋白質の開発、平成 24 年度 生物物理学会中部支部 講演会、2013 年 2 月 19 日、名古屋

42. ○大野光、井上圭一、吉住玲、吉澤 晋、木暮啓一、伊藤洋康、神取秀樹、海洋性細菌から発見した新しいロドプシン、第 4 回光操作研究会、2012 年 9 月 28 日、岡崎

【図書】 (計 0 件)

【産業財産権】

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

【その他】

ホームページ等

http://www.ach.nitech.ac.jp/~physchem/kandori/index_j.html

受賞

1. 井上圭一 平成 26 年度 文部科学大臣表彰・若手研究者賞、研究テーマ「微生物型ロドプシンの物理化学研究」

2. 井上圭一 平成 25 年度 公益財団法人光科学技術研究振興財団 研究表彰、研究テーマ「光駆動型ナトリウムポンプの発見」

6. 研究組織

(1) 研究代表者

井上圭一 (INOUE Keiichi)

名古屋工業大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号：90467001

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

神取秀樹 (KANDORI Hideki)

名古屋工業大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：70202033

木暮一啓 (KOGURE Kazuhiro)

東京大学・大気海洋研究所・教授

研究者番号：10161895