

令和 2 年 9 月 10 日現在

機関番号：34506

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K19410

研究課題名(和文) シングルセルトランスクリプトーム解析による温度記憶の解析

研究課題名(英文) Analysis of temperature memory by using single-cell transcriptome analysis

研究代表者

久原 篤 (Kuhara, Atsushi)

甲南大学・理工学部・教授

研究者番号：00402412

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,700,000円

研究成果の概要(和文)：脳神経系はネットワークを構築し神経情報を蓄積しており、その神経ネットワークは複雑であり解明に時間を要する。一方、1細胞レベルにおける神経情報のメモリーに関して分子生理機構には未知の点が残されているため、記憶の情報処理を1細胞レベルで非常にシンプルに捉えることができれば、その理解は飛躍的に進展すると考えられる。本研究では、温度記憶を行う単一の感覚神経細胞を解析モデルとして、シングルセルトランスクリプトーム解析を行い、個体の温度適応に関わる新規の遺伝子を幾つか同定した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

脳はたくさんの神経細胞からできあがっており、それらはネットワークを構築しているため、その神経ネットワークは複雑である。神経の情報伝達や記憶の情報処理を1細胞レベルで非常にシンプルに捉えることができれば、その理解は飛躍的に進展すると考えられる。本研究では、温度記憶を行う単一の感覚神経細胞を解析モデルとして単一細胞レベルでの遺伝子発現プロファイルを解析し、温度適応に関わる新規の遺伝子を幾つか同定した。

研究成果の概要(英文)：Brain contains huge-neural network that memorizes neural information sensed by appropriated-sensory neuron, but its mechanisms are highly complicated. Although neural network system is complex, memory system at single cell level is also unclear yet. Then, the analysis of neuronal information processing at single cell level by using a simple in vivo model has great advantage. In this study, we identified new genes involved in temperature acclimation, by the combination analysis of single cell transcriptome analysis, molecular genetics and optical imaging of neuronal activity.

研究分野：分子神経遺伝学

キーワード：C. elegans 温度適応 線虫 トランスクリプトーム解析 カルシウムイメージング

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

脳神経系において、記憶・学習がどのように制御されているかについては、未知の点が残されており、その分子生理メカニズムの解明は現代科学の重要な課題のひとつである。しかしながら、記憶・学習の制御に関わる神経ネットワークはとても複雑であり、その全貌解明には多大な時間を要すと考えられる。その一方で、記憶・学習の神経情報処理を少数の細胞のレベルでシンプルに解析することができれば、高等動物の脳神経系の解析の基本的なメカニズムの理解にもつながると予想される。本研究では、新しく見つけた線虫 *C. elegans* の低温馴化現象を指標に(Ohta, Ujisawa et al, *Nature commun*, 2014; Sonoda et al, *Cell reports*, 2016; Ujisawa et al., *PLOS ONE*, 2016; Okahata et al., *Journal of Comparative Physiology B*, 2016)、低温馴化に関わる少数のニューロンを同定しつつあるため、それらの個々のニューロンにおいて、温度馴化における温度記憶に関わる情報がどのように制御されているかについて、オプトジェネティクスや次世代 DNA シークエンス解析などを使い明らかにする。

これまでに、感覚入力から記憶にいたるまでの神経メカニズムは、分子-神経回路-個体応答のレベルで明らかにされてきた。しかし、個々に同定可能な特殊化された神経細胞のもつ機能に着目した解析は未開の部分が残されていた。その理由として、高等動物の脳神経系が、数億から 1000 億とあまりにも多くの神経細胞で構成されており、シナプス結合や神経内分泌物質による細胞間連絡も加味すると、特定の神経機能に必要な回路の特定だけでも多大な時間を要する状況にあるためである。そのため、回路の構成成分である神経細胞のもつ機能は、ほとんど手つかずな状況ともいえた。

線虫 *C. elegans* の神経回路はわずか 302 個の神経細胞からなり、その全てのシナプス結合が頭部から尾部までを 3 万枚の連続切片にし、それらの電子顕微鏡写真を撮影することで明らかにされている。これまでに同定されている神経ネットワークのなかでも、温度応答現象の一つである温度走性に関わる神経回路は、少数の神経細胞から構成されることが示されている (Mori & Ohshima, *Nature*, 1995; Kuhara et al., *Science*, 2008)。また最近、個体の温度馴化に関わる神経細胞も見つかった(Ohta, Ujisawa et al, *Nature commun*, 2014; Sonoda, Ohta et al, *Cell reports*, 2016; Ujisawa et al., *PLOS ONE*, 2016)。これらの温度応答の神経回路において、AFD、ASJ、AWC、温度受容ニューロンは、感覚受容と記憶形成を同時に行うことが示されている細胞である(Mori & Ohshima, *Nature*, 1995; Kuhara et al., *Science*, 2008; Ohta, Ujisawa et al, *Nature commun*, 2014)。このような多機能の神経細胞がより高等な動物にも存在する可能性は十分に考えられる。本研究を進め、少数の細胞からなる温度馴化や温度メモリーの実体の解明に向け解析を進めることで、生物の記憶メカニズムに全く新しい視点を与えることができると考えられたため、本研究に着想した。

2. 研究の目的

脳において、記憶を司る神経情報が個々の神経細胞内でどのようにして蓄積や制御されるかを解析することは重要である。これまでに多くの動物において、脳内の特定の神経回路における、記憶に関わる現象の解析を詳細に勧められてきているが、未知の点も多数残っている。本研究では、シンプルな線虫の実験系をつかい、神経情報の記憶や馴化に関わる情報処理機構を 1 細胞レベルで詳しく解析することを目的とした。これまでに、線虫の温度に対する馴化や耐性を実験系として、単一の感覚ニューロンが温度と光や化学物質という 2 つ以上の感覚情報を感知し、温度情報を記憶しているケースを明らかにした。本研究では、単一神経細胞のレベルにおいて、個体の温度適応や馴化がどのように制御されているかについて解析を行った。

3. 研究の方法

低温耐性テスト

15°Cか25°Cで飼育された *C. elegans* を2~4 個体を新しい培地に乗せ(P0)、解析目的となる飼育温度で一晩飼育し産卵させる。その後P0 個体を取り除き、卵(F1)を各飼育温度で飼育する。F1 が成虫に成長した後に、飼育培地を氷上に20 分間置き、タッパーに入れ、2°Cのメデイカルキャビネットに48 時間静置し、低温刺激温度を与える。その後、キャビネットからタッパーを取り出し、15°Cで一晩置き、生存率を顕微鏡下で測定する。飼育温度をシフトさせる際には、目的の温度に設定したインキュベーターに直接移動させた。低温耐性テストに関しては、1 系統につき少なくとも9 枚分の解析を行った(Ohta, Ujisawa et al, *Nature commun*, 2014; Ujisawa et al., *Protocol Exchange*, 2014; Okahata et al., *Journal of Comparative Physiology B*, 2016)。

in vivo カルシウムイメージング

2 % (v/w) アガロースパッドに線虫系統を1~数匹置き、医療用接着剤で固定し、M9 バッファーに浸して丸型カバーガラスをかぶせた。サンプルを倒立顕微鏡に装備されているITO ガラスプレートタイプの温度制御装置の上に置いた。W-View optical system を用いて蛍光を観察し、蛍光画像はEM-CCD カメラで撮影した。画像の蛍光強度はMetaMorphにより解析した。細胞内のカルシウム濃度の相対変化はイエローカメレオン (yellow cameleon 3.60 (YC3.60)) の acceptor/donor (YFP/CFP) 蛍光の比で計算した。温度変化刺激は、温度制御装置を用いて与え、約5 分間ニューロンの細胞体内の Ca^{2+} 濃度の変化を測定した(Ohta, Ujisawa et al, *Nature commun*, 2014; Sonoda, Ohta et al, *Cell reports*, 2016; Ujisawa et al., *PLOS ONE*, 2016)。

4. 研究成果

温度受容ニューロンで発現している遺伝子のプロファイリングを作成するために、単一細胞トランスクリプトーム解析を用いて、温度上昇に反応しない味覚ニューロンをコントロールとして、解析を行った。その結果、温度受容ニューロンで発現している多数の遺伝子が同定された。それらの遺伝子の中から、変異体の存在するものを選び出し、変異体の低温耐性や低温馴化を測定した。その結果、ヒトにおいて、ミトコンドリアのマトリックスにおける代謝経路の反応を触媒する酵素の変異体において、低温馴化の異常が観察された。

ミトコンドリアのマトリックスにおける代謝経路の反応を触媒する酵素の遺伝子が低温馴化に関与することが示唆されたことから、この遺伝子の発現細胞解析を行った。具体的には、遺伝子のプロモーターの下流でミトコンドリアのマトリックスにおける代謝経路の反応を触媒する酵素遺伝子全長を含む plasmid を作製し、この遺伝子の終止コドンに GFP に置換した plasmid コンストラクトを作製した。しかし、この plasmid を野生株に導入したが、GFP の発現が観察できなかったため、発現細胞の解析ができなかった。そこで、ミトコンドリアのマトリックスにおける代謝経路の反応を触媒する酵素遺伝子のプロモーター領域のみに GFP を繋いだ plasmid を作製し、野生株に導入した、頭部の神経細胞と腸での発現が観察された。さらに、頭部の神経細胞について、個々のニューロンの同定を行った。具体的には、頭部の感覚神経を同定するために DiI を用いて染色を行い、ミトコンドリアのマトリックスにおける代謝経路の反応を触媒する酵素遺伝子の GFP マーカーと Marge させ、コンフォーカル顕微鏡で観察を行った。観察の結果、2 対の化学受容ニューロンにおいて GFP マーカーの発現が見られた。

これらの化学受容ニューロンの特性を調べるために、生理学的解析を行った。具体的には、野生株の ADL 感覚ニューロンに遺伝子によってコードされるカルシウムインディケーターである *Yellow Cameleone3.6* を発現させた。このトランスジェニック系統を用いて、温度に対する応答性をカルシウムイメージング解析で測定した。具体的には、トランスジェニック系統を 25°C で飼育した後に、17°C → 23°C → 17°C の温度刺激を与えたところ、YFP/CFP の値が最大約 10% 変化した。つまり、忌避性の化学物質を受容する ADL 感覚ニューロンにおいて温度への応答性が観察された(Ujisawa et al., *PNAS*, 2018)。この ADL 感覚ニューロンの温度応答が飼育温度に依存するかを調べるために、15°C 飼育後の個体に関して同様のカルシウムイメージング解析をおこなったところ、25°C 飼育個体よりも YFP/CFP の変化値が低かった。つまり、ADL は飼育温度依存的に温度応答性を変化させており、ある種の温度記憶を 1 つの細胞内で行っていることが示唆された(Okahata et al., *Science Advances*, 2019)。ミトコンドリアのマトリックスにおける代謝経路の反応を触媒する酵素の変異体における ADL の温度の記憶の異常の有無については、現在解析を予定している。

ADL 温度受容ニューロンにおいて、温度馴化に関与する分子の解析を進めた。具体的には、ADL 温度受容ニューロンで発現が観察されたカルシウム依存性エンドリボヌクレアーゼである *ENDU-2* について解析を進めた。*ENDU-2* は、ヒトのカルシウム依存性エンドリボヌクレアーゼである *ENDOU* と高い類似性を示した。そこで、*ENDU-2* にもエンドリボヌクレアーゼ活性があるかを生化学的に調べたところ、*ENDU-2* も RNA を分解するエンドリボヌクレアーゼであることが示唆された。*endu-2* 変異体は、25°C 飼育後の低温耐性に異常を持っていた。前述の通り *ENDU-2* は ADL 温度受容ニューロンで発現していたことから、*endu-2* 変異体の ADL 温度受容ニューロン特異的に野生型の *ENDU-2* を発現させたところ、*endu-2* 変異体の低温耐性が回復した。

前述のとおり、ADL 感覚ニューロンは温度に応答する温度受容ニューロンであることが分かったが、その温度情報伝達のプライマリーチャンネルとして非温度受容体型の TRP チャンネルが機能することが示唆された。また、ADL 温度受容ニューロンの温度応答性は、*endu-2* 変異体において、顕著に低下していた。この異常は、*endu-2* 変異体の ADL ニューロンで *endu-2* 遺伝子を発現させることで、正常な ADL 温度受容ニューロンの温度応答性のレベルまで回復した。つまり、ADL 温度受容ニューロンの中における *ENDU-2* の働きが低温耐性の調節に重要であることが示唆された。*ENDU-2*

は PolyU 特異的なエンドリボヌクレアーゼであるため、*ENDU-2* によって分解される mRNA を含む RNA が存在すると考えられた(図 1)。

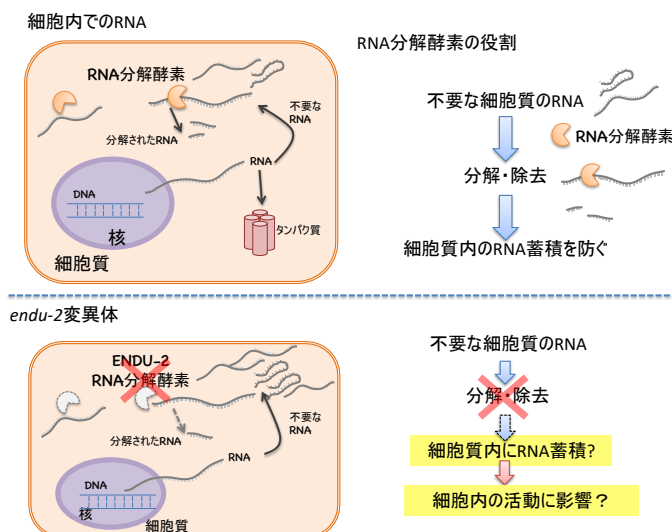


図 1 エンドリボヌクレアーゼ *ENDU-2* の変異体における RNA の蓄積の予測

細胞の中では、DNA のなかのある遺伝子に対応する RNA がつくられ、RNA は一般に核から細胞質に運ばれて、タンパク質合成する。

細胞内では、ほぼ休み無く、この RNA 合成とタンパク質合成が繰り返されている。エンドリボヌクレアーゼ ENDU-2 の変異体では、不要な細胞質の RNA の蓄積が起きていると予測される。

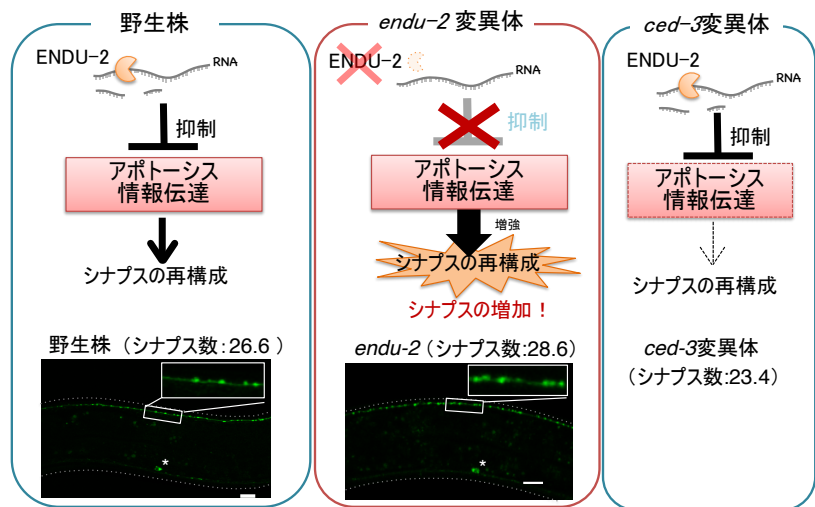
そこで、カルシウム依存性エンドリボヌクレアーゼである ENDU-2 によって発現制御を受ける転写産物候補を探索するために、野生株と *endu-2* 欠損変異体の体内 RNA の種類と量を、次世代シーケンサーを使った RNA シークエンシング解析により比較した。その結果、*endu-2* 変異体では、多数の遺伝子の発現レベルが変動していたが、そのなかでも特に、プログラム細胞死 (アポトーシス) を誘導することで知られているカスパーゼ (CED-3) が、カルシウム依存性エンドリボヌクレアーゼである ENDU-2 の下流で働いていることが見つかった。GFP を用いてニューロンの形態観察をおこなった結果、ENDU-2 とカスパーゼは、従来の細胞死ではなく、ニューロンにおけるシナプスの数を適切に調節していることが示唆された (図 2)。

図 2 神経細胞のシナプス形成における ENDU-2 の関与のモデル

野生株では、ENDU-2 がはたらくことで、アポトーシス情報伝達が適切に抑制されて、シナプスの再構成が調節されると考えられる。

しかし、*endu-2* 変異体では、アポトーシス情報伝達が抑制されず、シナプスの再構成が

過剰になるため、シナプスの数が多くなると考えられる。カスパーゼ CED-3 の変異体では、逆にシナプスの数が減っていた。



このように、カルシウム依存性エンドリボヌクレアーゼである ENDU-2 は、ニューロン内のシナプスの数の調節の役割を持つことで、ADL 温度受容ニューロン内において低温適応にに關与することが示唆された (Ujisawa et al., *PNAS*, 2018)。つまり、環境の温度に依存して、1 個の感覚ニューロン内のカルシウムイオン濃度が変動し、ニューロン内のシナプスの数を変動させることで、神経活動を変化させ、個体レベルの温度適応を変化させていると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Okahata M., Wei A. D., Ohta A., Kuhara A.	4. 巻 5, 2 (eaav3631)
2. 論文標題 Cold acclimation via the KQT-2 potassium channel is modulated by oxygen in <i>Caenorhabditis elegans</i>	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 1-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.aav3631	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 Ohnishi K., Takagaki N., Okahata M., Fujita M., Ohta A., Kuhara A.	4. 巻 64, 2
2. 論文標題 Molecular and Cellular Network Systems Underlying Cold Tolerance of <i>Caenorhabditis elegans</i>	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Cryobiology and Cryotechnology	6. 最初と最後の頁 53-59
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.20585/cryobolcryotechnol.64.2_53	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 Ujisawa T., Ohta A., Ii T., Minakuchi Y., Toyoda A., Ii M., Kuhara A.	4. 巻 115, 35
2. 論文標題 Endoribonuclease ENDU-2 regulates multiple traits including cold tolerance via cell autonomous and nonautonomous controls in <i>C. elegans</i>	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 PNAS	6. 最初と最後の頁 8823-8828
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1073/pnas.1808634115	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 Kuhara A. and Ohta A.	4. 巻 7
2. 論文標題 Temperature response in cold tolerance of <i>C. elegans</i>	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Impact	6. 最初と最後の頁 44-46
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.21820/23987073.2018.7.44	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 藤田茉優, 大西康平, 太田茜, 久原篤	4. 巻 50(9)
2. 論文標題 低温耐性を司る組織ネットワーク	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 月刊「細胞」	6. 最初と最後の頁 8(464)-11(467)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 中台(鹿毛)枝里子, 太田茜, 宇治澤知代, 孫思墨, 西川禎一, 久原篤, 三谷昌平	4. 巻 50(9)
2. 論文標題 線虫感覚受容器のグリアーニューロン相互作用と低温耐性	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 月刊「細胞」	6. 最初と最後の頁 24(480)-27(483)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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25件(うち招待講演 7件/うち国際学会 4件)

1. 発表者名 Mayu Fujita, Misaki Okahata, Yohei Minakuchi, Atsushi Toyoda, Akane Ohta, Atsushi Kuhara
2. 発表標題 Oxygen affects simple circuit for cold acclimation via KQT potassium channel and HADH in <i>C. elegans</i>
3. 学会等名 the 9th Federation of the Asian and Oceanian Physiological Sciences Congress (FAOPS2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 久原篤, 藤田茉優, 太田茜
2. 発表標題 線虫 <i>C. elegans</i> の低温耐性における温度センシング機構
3. 学会等名 3rdバイオサーモロジーワークショップ(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Mayu Fujita, Shiori Sakai, Misaki Okahata, Yohei Minakuchi, Atsushi Toyoda, Akane Ohta, Atsushi Kuhara
2. 発表標題 脂肪酸代謝酵素を介した低温耐性の制御とエピジェネティクス
3. 学会等名 温度生物学若手の会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 久原篤、藤田茉優、太田茜
2. 発表標題 線虫 <i>C. elegans</i> の低温耐性から理解する温度応答システム
3. 学会等名 第91回日本生化学会大会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大西康平、三浦徹、宇治澤知代、太田茜、久原篤
2. 発表標題 線虫 <i>C. elegans</i> の低温耐性におけるGPCR型温度センサーの探索
3. 学会等名 日本遺伝学会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Mayu Fujita, Shiori Sakai, Misaki Okahata, Yohei Minakuchi, Atsushi Toyoda, Akane Ohta, Atsushi Kuhara
2. 発表標題 Genetic and epigenetic analysis of cold acclimation in <i>C. elegans</i>
3. 学会等名 日本遺伝学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 井関敏啓、高垣菜式、水口洋平、豊田敦、太田茜、久原篤
2. 発表標題 C. elegansの低温耐性をpositiveに制御する転写伸長因子TCEB-3
3. 学会等名 日本遺伝学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Atsushi Kuhara, Tomoyo Ujisawa, Atsushi Toyoda, Katsushi Arisaka, Miki Ii, Akane Ohta
2. 発表標題 Chemosensing-neuron regulates cold tolerance via Ca ²⁺ -dependent endoribonuclease with apoptotic signaling in C. elegans
3. 学会等名 生物物理学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Mayu Fujita, Shiori Sakai, Misaki Okahata, Yohei Minakuchi, Atsushi Toyoda, Akane Ohta, Atsushi Kuhara
2. 発表標題 Genetic and epigenetic analysis of temperature response in Caenorhabditis elegans
3. 学会等名 日本線虫学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Mayu Fujita, Shiori Sakai, Misaki Okahata, Yohei Minakuchi, Atsushi Toyoda, Akane Ohta, Atsushi Kuhara
2. 発表標題 Genetic and epigenetic analysis of temperature acclimation of C. elegans
3. 学会等名 神経科学学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Toshihiro Iseki, Natsune Takagaki, Yohei Minakuchi, Atsushi Toyoda, Akane Ohta, Atsushi Kuhara
2. 発表標題 Transcription elongation factor TCEB-3 is involved in cold tolerance of <i>C. elegans</i>
3. 学会等名 神経科学学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kohei Ohnishi, Toru Miura, Tomoyo Ujisawa, Akane Ohta, Atsushi Kuhara
2. 発表標題 Screening for thermo-sensor in thermosensory neuron in <i>C. elegans</i>
3. 学会等名 神経科学学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Mayu Fujita, Shiori Sakai, Misaki Okahata, Yohei Minakuchi, Atsushi Toyoda, Akane Ohta, Atsushi Kuhara
2. 発表標題 Genetic and epigenetic analysis of cold acclimation
3. 学会等名 8th Asia-Pacific <i>C. elegans</i> meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 久原篤、藤田茉優、太田茜
2. 発表標題 線虫 <i>C. elegans</i> の低温耐性に関わる分子細胞ネットワークシステム
3. 学会等名 第63回「低温生物工学会」シンポジウム(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 井関敏啓、高垣菜式、水口洋平、豊田敦、太田茜、久原篤
2. 発表標題 線虫 <i>C. elegans</i> の低温耐性に関わる転写伸長因子TCEB-3
3. 学会等名 動物学会関西支部会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 久原篤
2. 発表標題 地球環境の温度変化への動物の応答と適応
3. 学会等名 宇宙と生命 特別公開講演会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 圓尾綾菜、太田茜、久原篤
2. 発表標題 <i>C. elegans</i> の温度受容ニューロンASJにおける1細胞トランスクリプトーム解析
3. 学会等名 分子生物学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shiori Sakai, Mayu Fujita, Misaki Okahata, Yohei Minakuchi, Atsushi Toyoda, Akane Ohta, Atsushi Kuhara
2. 発表標題 Transcriptome analysis identify genes involved in cold acclimation of <i>C. elegans</i>
3. 学会等名 分子生物学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 久原篤、太田茜
2. 発表標題 線虫の温度応答を使い脳神経系を理解する
3. 学会等名 大阪府生物教育研究会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Ayana Maruo, Natsune Takagaki, Akane Ohta, Atsushi Kuhara
2. 発表標題 Single cell transcriptome analysis identifies chloride channel involved in cold acclimation of <i>C. elegans</i>
3. 学会等名 日本比較生理生化学会年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Satoko Fujii, Makoto Ioroi, Atsushi Kuhara, Akane Ohta
2. 発表標題 Tail-to-head neuronal wiring underlying temperature acclimation of <i>C. elegans</i>
3. 学会等名 29th CDB meeting 「Mavericks, New Models in Developmental Biology」 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 坂井詩織、三浦 徹、宇治澤知代、水口洋平、豊田敦、太田茜、久原篤
2. 発表標題 トランスクリプトーム解析から得られた低温馴化に関わる新規遺伝子
3. 学会等名 日本動物学会第88回年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Satoko Fujii, Makoto Ioroi, Atsushi Kuhara, Akane Ohta
2. 発表標題 Neuronal circuit underlying cultivation temperature-dependent cold acclimation
3. 学会等名 21th C. elegans International conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Ayana Maruo, Natsune Takagaki, Akane Ohta, Atsushi Kuhara
2. 発表標題 Single cell transcriptome analysis of ASJ thermosensory neuron regulating cold tolerance
3. 学会等名 21th C. elegans International conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 久原篤、太田茜
2. 発表標題 線虫をモデルとした温度応答の分子神経科学
3. 学会等名 Advanced Biological Chemistry seminar (招待講演)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

生体調節学 久原篤 研究室 http://kuharan.com/index.html 研究室ホームページ http://kuharan.com/index.html#8232;

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
--	---------------------------	-----------------------	----