

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 30 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25440166

研究課題名(和文) ペプチドによる神経回路修飾の動態を単一ニューロン～神経回路レベルで俯瞰する

研究課題名(英文) Overviewing their dynamics of peptidergic neuromodulation: From single neuron to neuronal circuit

研究代表者

阿部 秀樹 (Abe, Hideki)

名古屋大学・生命農学研究科・准教授

研究者番号：90396804

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：単一細胞レベルでのペプチド放出とその神経回路修飾機構について終神経GnRH3神経系をモデルとして以下の研究を行った。キンギョ嗅球を分散培養し、終神経GnRH3ニューロンとその神経修飾対象である嗅球構成ニューロンを含んだ共培養系を作出した。培養終神経GnRH3ニューロンに開口放出センサータンパク質を発現させて分泌小胞移動と開口放出を解析した。GnRH3による魚類中枢視覚神経回路の修飾を解析するため覚醒・不動化状態のメダカから単一視蓋ニューロン活動を記録して局所光・運動刺激に対する受容野構造を解析すると共に、視蓋脳周囲ニューロンの興奮性がCa²⁺依存性K⁺電流により抑制されることを示した。

研究成果の概要(英文)：To understand peptide release from single peptidergic neuron and their neuromodulatory actions on their target neuronal circuit, we performed following studies using fish terminal nerve-GnRH3 peptidergic neurons as a model: (i) establishment of the co-culture system of terminal nerve GnRH3 neurons and olfactory bulbar neurons that receive neuromodulatory actions of GnRH3 peptide by dissociating goldfish olfactory bulb. (ii) live-cell imaging of secretory vesicles transfer and their exocytosis from single cultured TN-GnRH3 neuron by exogenous expression of the fluorescent exocytotic sensor proteins, (iii) recording of visual stimuli (static/moving small objects)-induced single neuronal activity in vivo from the optic tectum of immobilized medaka, and (iv) whole-cell patch-clamp recording of the enhancement of Ca²⁺-induced K⁺ current by GnRH3 peptide that will inhibit subventricular neuronal activities of the optic tectum.

研究分野：神経生物学

キーワード：ペプチド放出 神経修飾 GnRH 細胞培養 live cell imaging 嗅球 視蓋

1. 研究開始当初の背景

生体内外の変化に動物が適応するためには神経系の柔軟な制御が極めて重要である。神経伝達効率やニューロンの電気的興奮性を調節する神経修飾は、神経系の緩徐かつ持続的制御に重要な役割を果たしていると考えられ、その多くには脳内のペプチド産生ニューロンが関わっている。代表者は、

① ペプチドニューロンはどのような発火活動により何時何処からペプチドを放出するのか？

② 放出されたペプチドは感覚や行動を司る神経回路をどのように修飾するか？

③ ペプチドニューロンはどのような個体状況に応じて活動し、動物行動を調節するのか？

を調べることで、ペプチドニューロンによる神経修飾が個体活動を柔軟に調節するアルゴリズムの全貌を解明することを目指して研究を展開している。

これらに関する国内外の研究ではトップダウン的にペプチド投与やペプチド遺伝子のノックアウトが個体行動に及ぼす影響を調べる研究がこれまで盛んに行われてきたが、単一ニューロンにおけるペプチドの興奮分泌連関から放出されたペプチドが神経回路情報処理において果たす役割までを実験生理学的に検証した研究は殆ど存在しない。代表者は、魚類性行動の動機付け等に関与すると考えられている終神経 (TN) -GnRH3 ペプチドニューロンが脳内で容易に同定可能な細胞塊を形成していることに着目し、単一ペプチドニューロンが示す自発発火活動生成機構とその自己/傍分泌性調節機構を解明した (Abe&Oka, 1999,2000,2002)。そして「単一ペプチドニューロンの発火頻度やパターンの変化は、細胞体や神経突起など細胞局所によって異なるペプチド放出を誘起して投射する脳領域の興奮性を differential に調節する」という作業仮説を立て、これを検証するために TN-GnRH3 ニューロンの形態・発火特性を生体外で平面上に再構成した単離培養系を作出し (Abe&Oka, 2009)、更に各種開口放出関連分子と蛍光タンパク質の融合遺伝子を導入・発現させライブセルイメージングを行う等、独自の実験系を開発・使用してペプチド開口放出の解析を進めてきた。一方で放出されたペプチドによる神経回路修飾について、嗅覚の一次中枢である嗅球におけるシナプス伝達が GnRH3・ドーパミンにより修飾され、幅広い匂い刺激に対する応答感度が調節される可能性を示した (Abe,Kawaiら,2010,2012)。そして共同研究の結果と併せて嗅覚・視覚等、中枢感覚神経回路に対して GnRH3 が如何なる神経修飾作用を示すのか、その細胞~神経回路レベルでの制

御メカニズムを総合的に解析することを考えた。

2. 研究の目的

本申請では代表者が H24 年より独立した研究グループを率いる立場になったのに伴い、従来別個に進めてきた上述の①・②に対する研究を統合しペプチドニューロンから放出された修飾ペプチド (GnRH3) が中枢神経系の情報処理に及ぼすメカニズムを、①新たに培養 TN-GnRH3 ニューロンと神経修飾対象である嗅球神経回路の共培養系を作製して、単一ペプチドニューロンからの開口放出そのものとペプチド放出が局所神経回路におよぼす修飾の様子とを同時記録・解析すること、②メダカを用いて TN-GnRH3 ニューロンから放出された GnRH3 ペプチドによる視覚神経回路 (視蓋) の修飾作用を解析することで、単一ニューロンから個体に至る様々なレベルにおける GnRH3 ペプチドによる神経修飾機構の解明を目指した。

3. 研究の方法

① キンギョ嗅球・TN-GnRH3 ニューロン共培養系の樹立

従来 TN-GnRH3 ニューロンの単離培養系を作製するために用いてきたドワーフグラミーに比べて圧倒的に細胞数が多い (50 個以上)、キンギョの嗅球を取り出して分散培養を作製した。これによって GnRH3 ペプチドによる神経修飾の対象である嗅球神経回路のネットワーク中に TN-GnRH3 ニューロンが点在する、ペプチドニューロンとその修飾対象である嗅球構成ニューロンによる神経回路を生体外で再構成した共培養系の作製を試みた。

② 培養 TN-GnRH3 ニューロン活動変化によるペプチド分泌小胞移動・開口放出のライブイメージング

①で開発したキンギョ嗅球・TN-GnRH3 ニューロン共培養系中の TN-GnRH3 ニューロンに、単一細胞エレクトロポレーション法を用いて培養開口放出に応じて蛍光強度が変化するシナプトフルオリンなど様々な蛍光蛋白質を導入・発現させた。そして培養 TN-GnRH3 ニューロンの活動変化に応じた、細胞体から開口放出部位への分泌小胞移動と開口放出の様子を蛍光ライブセルイメージングにより記録し、その動態を解析した。

また TN-GnRH3 ニューロンから放出された GnRH3 ペプチドが神経修作用を及ぼす対象である嗅球神経回路 (僧帽細胞・顆粒細胞) に及ぼす影響を、Ca²⁺イメージングによる複数ニューロン活動の同時記録や僧帽細胞のバッチクランプ記録によって明らかにすることを試みた。

③ メダカ視覚系ニューロンの応答特性に対する GnRH3 ペプチドの修飾作用

魚類視覚一次中枢である視蓋には嗅球と

並んで TN-GnRH3 ニューロンからの神経線維が密に投射している。メダカでは視覚依存的な配偶者選択行動に TN-GnRH3 ニューロンが関与することが近年分子行動学的研究から示唆され、また他の魚種や両生類において視蓋シナプス伝達が多様な脳内ペプチドにより修飾され、外界の知覚～認知～行動に影響を与えることが示唆されている。ところがメダカでは眼への視覚刺激に対する網膜及び視蓋レベルでの単一ニューロンの応答特性（受容野特性など）が *in vivo* 状態で解析された例がなかった。そこで覚醒・不動化状態のメダカに様々な視覚刺激を提示し、その際に得られる神経応答を電気生理学（網膜電図、細胞外ユニット電位記録等）的に記録・解析する実験系の開発を行った。さらにマルチバレル電極によって記録ニューロン近傍に電気泳動的に GnRH3 ペプチド注入を行う事によって、*in vitro* で明らかとなっている GnRH3 ペプチドによる視蓋ニューロンの神経修飾作用が単一視蓋ニューロンの視覚応答特性に如何なる影響を及ぼすのか明らかにすることを試みた。

4. 研究成果

① キンギョ嗅球ニューロン・

TN-GnRH3 ニューロン共培養系の樹立

キンギョ嗅球を生体外に取り出して酵素および機械的処理によって構成細胞を分散させた後、poly-L-lysine コートしたカバーガラス上に撒いて位相差顕微鏡下で観察すると、多数の小型細胞（直径 3～15 μ m）の中に少数の大型細胞（直径 20～45 μ m）が散在していた。これらの細胞は培養開始から 3～4 日後にはカバーガラス面上で互いに神経突起を伸ばして神経回路を形成し、神経細胞マーカーである MAP2a+b 抗体に対して免疫陽性反応を示した。また MAP2a+b 陽性の小型細胞の多くは GABA ニューロンマーカーである GAD64/65 抗体に対して免疫陽性を示したことから、これらの小型細胞の大半は GABA 産生ニューロンである顆粒細胞で、一部が僧帽細胞であることが示唆された。

一方で大型細胞は MAP2a+b 抗体陽性かつ TN-GnRH3 ニューロンが産生する GnRH3 ペプチドに対する抗体で免疫陽性反応を示した。さらに大型細胞は *in vivo* の TN-GnRH3 ニューロンと同様に周囲の神経細胞に対し複雑に分枝した神経突起を広範囲に伸長させると共に、規則的自発発火活動を示した。以上から神経修飾作用を示す TN-GnRH3 ペプチドニューロンを生体内と類似した特性を維持したまま、その神経修飾作用を及ぼす対象となる神経回路の中に散在させた初代共培養系を樹立することができた。

② 培養 TN-GnRH ニューロン活動変化によるペプチド分泌小胞移動・開口放出のライブイメージング

①で樹立したキンギョ嗅球ニューロン・TN-GnRH3 ニューロン共培養系を使用して、共培養中に散在する TN-GnRH3 ニューロンに分泌小胞膜構成タンパク質 Synaptobrevin と pH 感受性 GFP の融合タンパク質である Super Ecliptic Synaptophluorin (SpH) 遺伝子を組み込んだ発現プラスミドを単一細胞エレクトロポレーション法により遺伝子導入・発現させた。これにより開口放出を小胞内の pH 変化に伴う SpH 蛍光強度変化として検出することを試みた。当初 CMV プロモータ下流に SpH 遺伝子配列を組み込んだプラスミドを導入しても全く SpH 遺伝子発現がえられなかったが、メダカ β アクチンプロモータ制御下で SpH を発現するように変更したところ、遺伝子導入から 1～3 日後に SpH 遺伝子発現による斑点状の緑色蛍光が培養 TN-GnRH3 ニューロン細胞体・神経突起全体にわたって観察された。SpH を発現した TN-GnRH3 ニューロンは他の小型ニューロンの細胞塊に向かって神経突起を伸長させており、逆に他の小型ニューロンが SpH を発現した TN-GnRH3 ニューロンの神経突起周辺に凝集する様子も観察された。

これら SpH を発現した培養 TN-GnRH3 ニューロンを用いて蛍光タイムラプスイメージングを行った結果、薬理的な脱分極刺激に伴って細胞体および神経突起で蛍光強度が一過性に増大した。細胞体と神経突起における脱分極刺激に伴う SpH 蛍光強度変化を比較したところ、細胞体に比べ神経突起の方が蛍光強度の減衰時間が長くなる傾向にあり、開口放出が単一ニューロン内で異なる推移を示す可能性が示された。また細胞外液の Ca^{2+} 濃度をゼロにした Ca^{2+} -free 条件で同様の実験を行ったところ、細胞体・神経突起における脱分極刺激による SpH 蛍光強度の増大が消失した。これらの結果から SpH 蛍光強度変化が培養 TN-GnRH3 ニューロンの開口放出を反映しており、さらに細胞外 Ca^{2+} 流入が細胞体からの開口放出に重要であることが示唆された。ここまでの結果をまとめて論文を投稿している。

さらに (i) TN-GnRH3 ニューロンの神経突起において SpH によって標識された分泌小胞が神経突起内を間歇的に移動している様子が観察され、その移動スピード・拡散係数が活動依存的に増大すること、神経突起途中の特定の領域で開口放出が活動依存的に増大することを示唆するデータが得られた。この結果は今回樹立した実験系が神経ペプチドの開口放出現象そのものを検出するだけでなく、ペプチドを含んだ小胞が開口放出部位に輸送されるメカニズム等の解析にも有用であることを示唆すると思われる。また、(ii) 共培養中の嗅球ニューロンネットワーク活動を蛍光 Ca^{2+} 指示薬 QuestFluo8 を用いた Ca^{2+}

イメージングによって同時記録したところ、培養内の嗅球ニューロンが神経活動に由来すると考えられる自発的な Ca^{2+} オシレーションを示すこと、そして多細胞間で Ca^{2+} オシレーションの同期が生じることを計測することが出来た。同様の培養嗅球ニューロンにおける自発的 Ca^{2+} オシレーションとその同期はほ乳類副嗅球の初代培養においても報告されており、また *in vivo* 実験においても匂い刺激に応じた嗅球誘起脳波のオシレーションが報告されている。そこでこの Ca^{2+} オシレーションとその同期を指標に GnRH3 投与前後で活動変化を解析することで神経回路レベルでの GnRH3 による神経修飾作用の解析を続けている。残念ながら培養 TN-GnRH3 ニューロンのみを特異的に刺激した条件で周囲の嗅球ニューロン活動に与える影響を解析するまでには今回の研究では至らなかったが、培養 TN-GnRH3 ニューロン細胞体の電気刺激により発火活動を任意のタイミング・頻度で誘起させることに成功しているため、今後、共培養中の TN-GnRH3 ニューロンから放出された GnRH ペプチドによる神経修飾作用を直接計測する予定である。

以上の結果から今回の研究で樹立した実験系を用いることで、神経ペプチドの開口放出のみならずペプチドニューロン内での分泌小胞輸送～開口放出～放出後の神経回路に対する神経修飾作用といった様々な細胞神経生理学的現象を同一標本を用いて解析することが期待でき、以降の研究を進展させる基盤を構築することが出来た。

③ メダカ視覚系ニューロンの応答特性に対する GnRH3 ペプチドの修飾作用

メダカ (dr-R 系統ならびに市販のヒメダカ) 頭蓋骨の一部を切除して視蓋を露出した状態で筋弛緩剤により不動化させたメダカを、口から鰓にかけて絶えず新鮮な水が供給されるようにした状態で体右側面のみを透明で外部が見えるようにした記録用アクリル水槽内に固定した (他三方向は遮光状態にした)。この状態でメダカ右側面 (水槽外) に位置するスクリーン上に様々な視覚刺激を液晶プロジェクターによって投影した。そして視蓋表層よりガラス電極 (直径 $1\mu\text{m}$ 前後) を刺入し、スクリーン面上で透明アクリル棒の先端についた小さな物体 (5° 四方、単位: 視角) を走査しながらコンピュータ操作によって電極刺入深度を微調節することで視覚刺激応答を示す単一神経活動を探索した。単一神経応答が得られた後はプロジェクターを用いてスクリーン全面の背景光 ($42^\circ \times 56^\circ$) の ON/OFF や、視野局所 ($1.75^\circ \sim 7^\circ$) における光の ON/OFF (局所 “ON” 刺激/局所 “OFF” 刺激) を呈示し、それらに

対する応答を記録・解析した。その結果メダカ視蓋ニューロンは、①背景光の ON/OFF、局所 “ON” 刺激、局所 “OFF” 刺激に対して応答し、②背景光および視野局所における光の “OFF” よりも “ON” に対して応答する傾向があること、③ $7\sim 14^\circ$ 程度の同心円状受容野構造をもつこと、さらに④運動方向選択性を示すニューロンも存在することが示唆された。この実験系を用いることで、大きさ・運動方向・速度・形を系統的に変化させた様々なプログラム刺激に対する応答や、視蓋内で存在している場所・受容野の大きさ等の違いによって視蓋ニューロンが分類し、メダカ単一視蓋ニューロンの視覚生理学的特性の解析を行うことが可能となった。しかしながら、これらのどの特徴が GnRH3 ニューロンによって修飾されるのか解析するところまでは研究を進めることが出来なかったため、引き続き研究を継続している。

一方、連携研究者の研究室に所属する研究協力者との共同研究により、GnRH3 投与によって、視蓋脳室周囲ニューロンにおいて Ca^{2+} 活性化 K^+ 電流が賦活化することによって同ニューロンの興奮性が抑制されることが *in vitro* 実験によって明らかとなった (Umatani, Abe ら、2015)。

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9件)

- ① Takahashi, A., Islam, S.M., Abe, H., Okubo, K., Akazome, Y., Kaneko, T., Hioki, H., Oka, Y. (2016) Morphological analysis of the early development of telencephalic and diencephalic gonadotropin-releasing hormone neuronal systems in the enhanced green fluorescent protein-expressing transgenic medaka lines, *J. Comp. Neurol.* 524:896-913. doi: 10.1002/cne.23883. (査読有り)
- ② Umatani, C., Misu, R., Oishi, S., Yamaguchi, K., Abe, H. and Oka, Y. (2015) GnRH suppresses excitability of visual-processing neurons in the optic tectum, *J. Neurophysiol.* 114:2775-2784. DOI: 10.1152/jn.00710.2015. (査読有り)
- ③ Uezono, S., Yamada, Y., Kato, T., Abe, H. and Yamamoto, N. (2015) Connections of the commissural nucleus of Cajal in the goldfish with special reference to the topographic organization of ascending visceral sensory pathways, *J. Comp. Neurol.* 523:209-225. DOI: 10.1002/cne.23675. (査読有り)
- ④ Hasebe, M., Kanda, S., Shimada, H., Akazome, Y., Abe, H. and Oka, Y. (2014)

Kiss1 neurons drastically change their firing activity in accordance with the reproductive state: Insights from a seasonal breeder, *Endocrinology* 155:4868-4880. DOI: 10.1210/en.2014-1472. (査読有り)

⑤ Nakane, Y., Shimmura, T., Abe, H. and Yoshimura, T. (2014)
Intrinsic photosensitivity of deep brain photoreceptor, *Curr. Biol.* 24:R596-597. DOI:10.1016/j.cub.2014.05.038. (査読有り)

⑥ Okuyama, T., Yokoi, S., Abe, H., Isoe, Y., Suehiro, Y., Imada, H., Tanaka, M., Kawasaki, T., Yuba, S., Taniguchi, Y., Kamei, Y., Okubo, K., Shimada, A., Naruse, K., Takeda, H., Oka, Y., Kubo, T. and Takeuchi, H. (2014)
A Neural mechanism underlying mating preferences for familiar individuals in medaka fish, *Science* 343:91-94. DOI:10.1126/science.1244724. (査読有り)

⑦ Karigo, T., Aikawa, M., Kondo, C., Abe, H., Kanda, S. and Oka, Y. (2014)
Whole brain-pituitary in vitro preparation of the transgenic medaka (*Oryzias latipes*) as a tool for analyzing the differential regulatory mechanisms of LH and FSH release, *Endocrinology* 155:536-547. DOI: 10.1210/en.2013-1642. (査読有り)

⑧ Kawai, T., Abe, H. and Oka, Y. (2013)
Burst generation mediated by cholinergic input in terminal nerve-gonadotrophin releasing hormone neurones of the goldfish, *J. Physiol.* 591:5509-5523. DOI 10.1113/jphysiol.2013.258343. (査読有り)

⑨ Nakane, Y., Ikegami, K., Iigo, M., Ono, H., Takeda, K., Takahashi, D., Uesaka, M., Kimijima, M., Hashimoto, R., Arai, N., Suga, T., Kosuge, K., Abe, T., Maeda, R., Senga, T., Amiya, N., Azuma, T., Amano, M., Abe, H., Yamamoto, N. & Yoshimura, T. (2013)
The saccus vasculosus of fish is a sensor of seasonal changes in day length, *Nature Communications* 4:2108 DOI: 10.1038/ncomms3108. (査読有り)

[学会発表] (計 18 件)

① 萩尾華子・佐藤萌・阿部秀樹・山本直之、硬骨魚類における中枢視覚路の進化、第 11 回水生動物の行動と神経系シンポジウム、2015 年 12 月 5~6 日、横浜市立大学医学部 (神奈川県横浜市)

② 後藤友里・阿部秀樹、メダカ視蓋ニューロン視覚応答特性の in vivo 記録、第 11 回水生動物の行動と神経系シンポジウム、横浜

市立大学医学部、2015 年 12 月 5~6 日

③ Umatani, C., Misu, R., Oishi, S., Abe, H. and Oka, Y. Neuromodulation of retino-tectal neurotransmission via extrahypothalamic GnRH neurons, 45rd Annual Meetings, Society for Neuroscience, Oct 17-21, 2015, Chicago, USA.

④ Hagio, H., Satou, M., Abe, H. and Yamamoto, N. Evolution of the ascending visual pathways in teleosts, 45rd Annual Meetings, Society for Neuroscience, Oct 17-21, 2015, Chicago, USA.

⑤ 志賀将雄・阿部秀樹、脱分極刺激によって生じたキンギョ培養終神経 GnRH3 ニューロンにおける分泌小胞移動変化、日本動物学会 86 回大会、2015 年 9 月 17~19 日、朱雀メッセ新潟コンベンションセンター、(新潟県新潟市)

⑥ Abe, H. and Shiga, M. In vitro culture system of goldfish terminal nerve GnRH3 peptidergic neurons for studying peptide release and their neuromodulation mechanisms (神経修飾ペプチド放出とその神経修飾作用を解析するためのキンギョ終神経 GnRH3 ペプチドニューロン培養系)、第 38 回日本神経科学大会、2015 年 7 月 28~31 日、神戸国際会議場(兵庫県神戸市)

⑦ Umatani, C., Misu, R., Oishi, S., Abe, H., Oka, Y. Neuromodulation in fish visual system via terminal nerve GnRH neurons (魚類視覚神経回路における終神経 GnRH 系を介した神経修飾作用の解析)、第 38 回日本神経科学大会、2015 年 7 月 28~31 日、神戸国際会議場(兵庫県神戸市)

⑧ 志賀将雄・阿部秀樹・山本直之、繁殖行動を制御する脳内ペプチドニューロンによる神経修飾機構を探るためのキンギョ嗅球・終神経 GnRH ニューロンの共培養系、平成 26 年度日本水産学会秋季大会、2014 年 9 月 19-22 日、九州大学(福岡県福岡市)

⑨ 志賀将雄・阿部秀樹、キンギョ培養終神経 GnRH ニューロンに遺伝子導入した開口放出センサータンパク質、日本動物学会 85 回大会、2014 年 9 月 11~13 日、東北大学(宮城県仙台市)

⑩ Umatani C, Abe H., Oka Y. Neuromodulatory effects of terminal nerve GnRH neurons in the fish visual system, International Congress for Neuroethology, July 28 – August 1, 2014, Sapporo Convention Center (北海道札幌市).

⑪ Okuyama, T., Yokoi, S., Abe, H., Isoe, Y., Suehiro, Y., Imada, H., Tanaka, M., Kawakami, K., Yuba, S., Taniguchi, Y., Kamei, Y., Okubo, K., Shimada, A., Naruse, K., Takeda, H., Oka, Y., Kubo, T., Takeuchi, H. A neural

mechanism underlying mating preferences for familiar individuals in medaka fish, 2nd Medaka Strategic Meeting, April 10-12, 2014, Seville, Spain.

- ⑫ Okuyama, T., Yokoi, S., Abe, H., Isoe, Y., Suehiro, Y., Imada, H., Kawasaki, T., Yuba, S., Taniguchi, Y., Kamei, Y., Okubo, K., Shimada, A., Naruse, K., Takeda, H., Oka, Y., Kubo, T., Takeuchi, H. Neural mechanism underlying socially-regulated female mating receptivity in medaka fish, 第 36 回日本分子生物学会年会, 2013 年 12 月 3-6 日、神戸国際会議場(兵庫県神戸市)
- ⑬ 志賀将雄・阿部秀樹, 神経修飾ペプチドの放出および放出されたペプチドによる神経修飾機構解析のためのキンギョ終神経 GnRH ニューロン・嗅球構成細胞共培養系, 第 10 回水棲動物の行動と神経系シンポジウム, 2013 年 11 月 30 日-12 月 1 日、鹿児島大学(鹿児島県鹿児島市)
- ⑭ Uezono, S., Yamada, Y., Abe, H. and Yamamoto, N. Ascending general visceral sensory pathways from the commissural nucleus of Cajal in goldfish, 43rd Annual Meetings, Society for Neuroscience, November 9-13, 2013, San Diego, USA.
- ⑮ Takahashi, A., Sadiqul, I., Akazome, Y., Abe, H., Okubo, K., and Oka, Y. Morphological analysis of the early development of GnRH neuron systems in the EGFP-expressing transgenic medaka lines, 43rd Annual Meetings, Society for Neuroscience, November 9-13, 2013, San Diego, USA.
- ⑯ 阿部秀樹・志賀将雄、開口放出・神経修飾機構解析を目的としたキンギョ終神経 GnRH ニューロン初代培養系、日本動物学会第 84 回大会、2013 年 9 月 26-28 日、岡山大学(岡山県岡山市)
- ⑰ 馬谷千恵・阿部秀樹・岡良隆、終神経 GnRH ニューロンが視覚神経回路に及ぼす作用の解析、日本動物学会第 84 回大会、2013 年 9 月 26-28 日、岡山大学(岡山県岡山市)
- ⑱ 奥山輝大、横井佐織、阿部秀樹、磯江泰子、末廣勇司、今田はるか、島田敦子、川崎隆史、弓場俊輔、谷口善仁、亀井保博、田中実、成瀬清、武田洋幸、岡良隆、久保健雄、竹内秀明、メダカの配偶者選択の分子神経基盤、日本動物学会第 84 回大会、2013 年 9 月 26-28 日、岡山大学(岡山県岡山市)

[その他]

ホームページ等

名古屋大学大学院生命農学研究科水圏動物学研究分野

<http://www.agr.nagoya-u.ac.jp/~hikaku/>

水圏動物学研究分野神経生理学研究グループ(阿部) <https://lfbphysiol.wordpress.com>

Researchmap

<http://researchmap.jp/habe/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

阿部 秀樹 (ABE HIDEKI)

名古屋大学・大学院生命農学研究科・准教授

研究者番号: 90396804

(2) 研究分担者なし

(3) 連携研究者

岡 良隆 (OKA YOSHITAKA)

東京大学・理学系研究科・教授

研究者番号: 70143360

(4) 研究協力者

志賀将雄 (SHIGA MASAKATSU)

後藤友里 (GOTO YURI)

馬谷千恵 (UMATANI CHIE)