

令和 3 年 6 月 17 日現在

機関番号：33910

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16H02901

研究課題名(和文) 予測性適応制御を実現する小脳神経回路網の機能理解と実機制御への応用

研究課題名(英文) Understanding and engineering application of cerebellar neuronal network realizing predictive adaptive control

研究代表者

平田 豊 (HIRATA, Yutaka)

中部大学・工学部・教授

研究者番号：30329669

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：予測的に生成される視運動性眼球運動(OKR)と呼ばれる視野安定化を担う反射性の眼球運動の基本特性を金魚を用いて明らかにした。また、OKRを予測的に生成するための学習には小脳が不可欠であることを示すと同時に、予測的OKR生成中の小脳神経細胞活動を記録し、眼球運動と神経細胞活動の関係を明らかにした。さらに、これらの知見に基づいて解剖・生理学的知見を反映させた数理モデルを構築し、実験データを再現できることを示した。最後に、数理モデルをFPGAに実装し、実機適応制御に応用することにより、予測性適応制御コントローラとしての有効性を評価した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果は、動物の行動において普遍的に見られる予測的運動制御を実現する神経メカニズムの一端を明らかにしたことにある。特に、解剖・生理学的に良く理解された金魚の眼球運動における神経メカニズムを明示し、霊長類まで神経回路構造が保存されている小脳の重要性を示した点で学術的意義がある。また本研究では、明らかにした神経メカニズムを数理モデルとして定式化し、計算機に実装することより工学的に理解した点も重要な成果である。予測的運動制御は未だロボット制御では実現の難しい技術であり、来るべきロボット共存社会を迎える上で重要な要素技術を提供する点で社会的意義も大きいものと考えられる。

研究成果の概要(英文)：We first discovered various basic characteristics of predictive optokinetic response (OKR) in goldfish, then demonstrated that the cerebellum is required for the acquisition of these behaviors. We also configured a mathematical model of predictive OKR based upon known and newly discovered anatomy and physiological evidence. Furthermore, we implemented a major part of the model onto FPGA to enable real-time execution of the model, and applied it to real-world motor control as an adaptive predictive controller.

研究分野：システム神経科学，生体情報工学

キーワード：視運動性眼球運動 速度蓄積機構 運動学習 予測性制御 魚類

1. 研究開始当初の背景

我々の身体運動実行時には、視覚や固有感覚など、様々な感覚情報に基づき実行中の運動を修正するフィードバック制御が用いられる (Wiener, Cybernetics, 1948). しかしながら、こうした感覚-運動変換は、感覚器と神経系における化学プロセスやイオン電流伝導による遅延を伴う。霊長類において最も短潜時で生じる前庭動眼反射と呼ばれる感覚-運動変換でも、おおよそ 10msec の反応時間を要し (Hirata & Highstein, J. Neurophysiol, 2001), 視覚刺激に対する運動反応ではその 5 から 10 倍もの遅れが生じる。このことから、感覚フィードバックのみに頼った運動制御では、楽器演奏や各種スポーツ等で必要とされる迅速な運動やリズムカルな運動の遂行は困難である。実機制御に用いられる各種人工センサでは、通常、生体センサほどの遅れを伴わないが、その信号処理や運動計画には大きな計算コストがかかる場合も多く、動物の運動制御と同様の問題を有している。一般に動物はこの問題を、制御対象の内部モデルを脳内に形成することによるフィードフォワード制御 (川人, 脳の計算理論, 1996) や、過去の感覚・運動情報履歴に基づく予測性適応運動制御機能により解決しているものと考えられている。前者に関する神経科学ならびに工学的応用研究は 1990 年代から様々なものが展開されているのに対し、後者に関する神経機構や工学的実現に関する研究は殆ど見当たらない。本研究では、動物に見られる予測性適応運動制御の神経機構を理解し、その工学的実現を目指した。

我々は時間を直接計測可能な感覚器を持たないことから、過去の履歴に基づき未来の運動遂行タイミングを決める時間知覚は脳内神経機構により生じるものと推察される (田中: 神経進歩, 2013). しかしながら、その神経基盤については、詳細なメカニズムのみならず、責任部位についても一致した見解は得られていない (Wittmann, Nature Rev. Neurosci., 2013). ヒト以外の動物においても、ヒトと同様に、過去から現在までの視覚や聴覚、前庭覚などの感覚入力に基づき、数百ミリから数十秒後の未来を予想して適切な行動をとることが知られている。ゼブラフィッシュでは、周期的 (周期 6 秒) な視覚刺激を 20 周期程度連続して与えると、視床の細胞群が引き込み現象のように徐々に刺激周期に同期した活動を示し、その後、無刺激暗所でもしばらくその周期的同期活動を続け、かつ、それと平行して周期的な逃避行動 (尾びれの動き) を示すことが報告されている (Sumbre, et al., Nature, 2008). また、金魚においては、周期的 (周期 2 から 128 秒) に時計・反時計方向に往復する視運動性刺激 (水槽に投影されたランダムドットパターンの重力軸回りの回転) を 15 分程度与え続けると、この刺激を追従するように誘発される視運動性眼球運動 (OKR) が、刺激方向の切り替わりを予測するような振る舞いを示す (Marsh & Baker, J. Neurophysiol., 1997). これを Period Tuning (周期同調) と呼ぶ。周期同調後に視覚刺激を消灯しても、しばらく周期的な眼球運動が見られることも示されている。申請者らは最近、金魚ならびに他の魚類 (コイ, メダカ, ゼブラフィッシュ) を用いてこの周期同調実験を追試するとともに、ヒトにおいても同様の実験を行い、ヒトでもこうした周期同調が生じることを確認している (三木, 浦瀬, Baker, 平田, 信学技法, 2014). さらに金魚では、こうした OKR の周期同調学習には、小脳が深く関与していることも示している (Miki, Urase, Baker, Hirata, Soc. Neurosci, 2015). すなわち、周期同調学習後に急性の小脳切除手術 (所要時間 2 分程度) を施すと、刺激の切り替わりタイミングを予測するような OKR が消失する。また、小脳切除後に周期同調を誘発するための刺激を与えても学習が起こらないことも確認している。また、刺激タイミング予測における小脳の重要性はサルにおいても実証されている。 (Ohmae, et al., J. Neurosci, 2013). これらの知見と、動物種や運動の種類によらない小脳神経回路構造の一様性から、脳による予測性適応運動制御の中核は小脳が担っているものと考えられる。申請者らはこれまで、小脳神経回路の解剖・生理学的な知見を反映させた数理モデルを構築している。このモデルは約 2 万個のニューロンで構成され、スパイクタイミングを評価可能なスパイクニューロンネットワークモデルである。これまで、前庭動眼反射のゲイン増減適応の再現に成功し (Inagaki et al., Neural Info. Process., 2008), また、その周波数選択性を生み出す神経機構についても示唆を与えている (稲垣他, 信学論, 2011). さらに、このモデルを実時間で動作可能なように簡略化し、実機用適応コントローラとして PC 上に実装して、二輪倒立型ロボットやクアドコプタの適応制御に成功している (Pinzon & Hirata, Front. Neural Circuits, 2014; 同, 2015).

2. 研究の目的

本研究の目的は、我々の脳で実現される予測性適応運動制御の神経機構を理解し、それを工学的に実現して、ロボットや医療機器等の実機制御に応用することにある。これにより、小脳を中核とする予測性適応運動制御に関する神経科学的理解が進むと同時に、動物と同等の予測性適応運動機能を有する新たなモータ制御やロボット制御技術の開発に繋がるものと期待できる。

3. 研究の方法

本研究では次の 4 つのレベルの研究を進め、上記目的の達成を目指した: 1) 行動, 2) 神経細胞活動, 3) 神経ネットワーク, 4) 工学応用。

1) では、金魚を用いた OKR 周期同調実験を実施した。2) では、金魚の周期同調学習前・中・

後の小脳神経細胞活動を計測した. 3)では, 小脳神経回路を陽に記述したOKRモデルの構築と, 周期同調学習シミュレーション解析を行った. これらの結果を統合することにより, 行動レベルで明らかにされる予測性適応眼球運動制御の種々の特性と小脳神経細胞活動の関係を明らかにした. また, そうした行動と神経活動を再現可能な数理モデルによるシミュレーションにより, 予測性適応眼球運動を実現する小脳神経回路の情報処理機構を明らかにした. また 4)では, 小脳の数理モデルを実時間動作可能なようにし, 予測性適応制御コントローラとしての応用可能性を明らかにした.

行動レベル研究では, OKR 周期同調現象の特性をより詳しく同定するための実験を実施した. 神経活動レベル研究では, こうした行動実験中の小脳の神経細胞活動を記録・評価した. 特に, 小脳の出力細胞であり, 運動学習の基礎過程を担うシナプス可塑性を有する Purkinje 細胞の活動を記録した. 以下, 行動, 神経活動レベル研究の実施方法について述べる: 行動レベル研究では, 実験動物に, これまでの申請者の研究で用いてきた体長 12~15cm の和金 (*C. auratus*) を用いた. 金魚の眼球運動はサーチコイル法により両眼の位置 (角度) を測定した. そのため金魚には実験直前に水槽内で eye coil (銅線, 直径 5mm, 50 回巻) を両眼の角膜上に縫付し, 水槽外側に設置された磁界発生コイルにより金魚眼球周辺に一樣交流磁界をかけた. 金魚には, 実験の 1 週間前までに予めヘッドポストを取り付ける手術を施し, 十分に回復した後に実験に用いた. 実験時, 金魚は水槽内中央にヘッドポストにより固定され, 常にエアレーションならびにバイオフィルタにより浄水された水を口から鰓に送り込んだ. OKR 周期同調を誘発するための視覚刺激は, 水槽上部中央に取り付けられたプラネタリウムにより, ランダムドットを水槽壁面に投影し, これを時計・反時計周りに交互に周期的に回転させることにより与えた. 視覚刺激制御と眼球運動データの取得は, AD/DA 変換装置 Power1401 (CED, UK) を介し, 専用ソフトウェア Spike2 (CED, UK) を用いて行った (標本化周波数 1kHz). 周期同調学習は十分な学習量が得られるよう 3 時間とし, その前に 1 分間, 後に 10 分間のテスト区間を設け, 暗所無刺激ならびに学習に用いる視覚刺激周期の 2 倍の周期の刺激を与えることにより, 学習前後の眼球運動を計測した. 取得される左右眼球データは, 視覚刺激データと合わせ, MATLAB (Mathworks, Japan) 上にインポートして解析した. 神経活動レベル研究にも, これまで技術的ノウハウを蓄積してきた和金を用いた. 金魚の OKR に関わる神経経路は, 小脳を含め, 海外共同研究者 Robert Baker 教授 (New York Univ.) のグループにより解剖・生理学的によく同定されており (Beck et al., J. Neurophysiol., 2004; Straka et al., J. Neurophysiol., 2006), 本研究では, Baker 教授との研究交流を通し習得した金魚の OKR に関わる前庭小脳からの神経細胞活動記録技術 (吉川 & 平田, 信学論, 2008; Yoshikawa & Hirata, IEEE EMBS 2006; 片桐他, 信学論, 2012) を用いた. すなわち, OKR に関わる前庭小脳内神経細胞活動を単一ユニット細胞外記録法によりガラス微小電極 (tip diameter 2~3 μ m, impedance 2~4M Ω) で測定した. 神経電位は専用アンプ (Neuralynx, USA) により増幅し, 上述の Power1401 と Spike2 により, 眼球データと同期して PC 上に記録した (標本化周波数 40kHz).

神経ネットワークレベルの研究では, まず, 上記の行動と神経電位計測データを再現可能な数理モデルの構築と, シミュレーション条件 (周期同調学習に必要な誤差信号, シナプス可塑性部位, 学習則) を決定した. また, 研究遂行過程で得られるモデル解析に基づく予測の確認のため, 行動・神経電位計測実験を実施した. 以下, 具体的な数理モデル構築の手順を記す: まず, これまでに構築し, 眼球運動ならびに小脳 Purkinje 細胞活動を忠実に再現できることを確認した前庭動眼反射 (VOR) 適応モデル (Inagaki et al., Neural Information Processing, 2008; 稲垣他, 信学論 D, 2011) に, 最新の知見に基づき小脳皮質神経回路網内シナプス可塑性を実装した. 次に, Beck et al. (J. Neurophysiol., 2004) と Straka et al. (J. Neurophysiol., 2006) により示された解剖・神経生理データを元に, 前庭小脳の他, 小脳への入出力核である前庭神経核, Area II, ならびに網膜から Accessory Optic System を含む回路と眼球筋肉系を伝達関数で記述し, 上記小脳モデルと統合して OKR モデルを構築した. モデル中の伝達関数の構造とパラメータは, 実験データ (眼球運動と神経細胞応答) を再現可能なように推定し, cross-validation によりモデルの妥当性を確認した (Hirata & Highstein, J. Neurophysiol., 2001). モデルの妥当性確認後はまず, 周期同調学習前・中・後の小脳皮質内 Purkinje 細胞と他の細胞の活動を解析した. また, これら細胞活動を決定する小脳神経回路網内各シナプス可塑性の役割を評価した. 工学的応用レベルの研究では, 上記のように構築した OKR モデルを, これまでに開発した手法 (Pinzon & Hirata, Front. Neural Circuits, 2014; 同, 2015) により, 制御コントローラとして計算機上に実装した. このコントローラにより実機の予測性適応制御実験を実施した.

4. 研究成果

上記の行動レベルならびに神経活動レベルでの研究では, 金魚における周期同調の基本特性を明らかにし, 特に, 金魚は刺激の開始と終了タイミングの両方を独立に予測して OKR を生成できることを示した. また, 前庭小脳の出力細胞である Purkinje 細胞の活動 (発火頻度) が, そうした予測的行動と高い相関を示すことも明示した. これらの成果は, 国内外の学会等で発表した他, 2 本の学術論文として発表した. 神経ネットワークレベルならびに工学的応用レベルの研究では, 本研究で得られたものも含め, これまでの解剖・生理学的知見を忠実に反映させた予測的 OKR の数理モデルを構築し, その有効性を示した. また, 数理モデルの大部分を FPGA に実

装し、実時間動作させ、実機適応制御に応用して、その有効性を示した。これらの成果は、国内外の複数の学会で発表し、現在、2本の学术论文として投稿準備を進めている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 8件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 10件）

1. 著者名 Emoto, J., Hirata, Y.	4. 巻 Vol.13
2. 論文標題 Lightweight convolutional neural network for image processing method for gaze estimation and eye movement event detection	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Information Processing Society of Japan Transaction on Bioinformatics	6. 最初と最後の頁 pp.7-15
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2197/ipsjtbio.13.7	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 Sugawara, T., Sakai, H., Hirata, Y.	4. 巻 Vol.83
2. 論文標題 Vestibulo-ocular reflex characteristics during unidirectional translational whole-body vibration without head restriction	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Ergonomics	6. 最初と最後の頁 pp.91-100
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/00140139.2019.1683616	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 鈴木柚子, 三木俊太郎, 船瀬新王, 内匠逸, 藤原清悦, 平田 豊	4. 巻 第55巻第9号
2. 論文標題 点滅視覚刺激の呈示時における金魚の視蓋神経細胞の追従性	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 計測自動制御学会論文集	6. 最初と最後の頁 pp.545-551
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.9746/sicetr.55.545	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 平田 豊	4. 巻 8月号
2. 論文標題 魚類のOKR：予測性OKRの獲得・維持における小脳の役割	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Clinical Neuroscience	6. 最初と最後の頁 pp.943-946
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 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 Miki, S., Baker, R., Hirata, Y.	4. 巻 Vol.38, No.48
2. 論文標題 Cerebellar role in predictive eye velocity initiation and termination	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Neuroscience	6. 最初と最後の頁 pp.10371-10383
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1523/JNEUROSCI.1375-18.2018	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 恵本序珠亜, 平田 豊	4. 巻 Vol. J101-D, No.2
2. 論文標題 畳み込みニューラルネットワークによる実時間マイクロサッカード検出	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌	6. 最初と最後の頁 pp.456-467
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14923/transinfj.2017JDP7069	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 Inagaki, K., Hirata, Y.	4. 巻 Vol.16, No.4
2. 論文標題 Computational theory underlying acute vestibulo-ocular reflex motor learning with cerebellar long-term depression and long-term potentiation.	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Cerebellum	6. 最初と最後の頁 pp.827-839
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s12311-017-0857-6	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 Takeuchi, M., Inoue, C., Goshima, A., Nagao, Y., Shimizu, K., Miyamoto, H., Shimizu, T., Hashimoto, H., Yonemura, S., Kawahara, A., Hirata, Y., Yoshida, M., Hibi, M	4. 巻 22
2. 論文標題 Medaka and zebrafish <i>contactin1</i> mutants as a model for understanding neural circuits for motor coordination.	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Genes to Cells	6. 最初と最後の頁 pp.723-741
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/gtc.12509	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 平田 豊	4. 巻 Vol.24, No.4
2. 論文標題 人工小脳と小脳・マシンインタフェースによる運動学習機構の理解と ロボット適応制御への応用.	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 日本神経回路学会誌	6. 最初と最後の頁 pp.182-194
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3902/jnns.24.182	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 梅本峻弥, 三木俊太郎, 山本雅也, 平田 豊	4. 巻 Vol.41, No.4
2. 論文標題 眼球・瞳孔・調節運動の動特性と予測性制御	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 バイオメカニズム学会誌	6. 最初と最後の頁 pp.165-170
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 無
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 Pinzon-Morales, R., Hirata, Y.	4. 巻 6(4)
2. 論文標題 Evaluation of Teaching Signals for Motor Control in the Cerebellum during Real-World Robot Application	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Brain Sciences	6. 最初と最後の頁 1-17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/brainsci6040062	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72件(うち招待講演 7件/うち国際学会 22件)

1. 発表者名 Umemoto, S., Hirata, Y.
2. 発表標題 Predictive accommodation control in humans.
3. 学会等名 Society for Neuroscience (国際学会)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 Pinzon, R., Miki, S., Hirata, Y.
2 . 発表標題 A neural mechanism for predictive optokinetic eye movement.
3 . 学会等名 28th Annual Computational Neuroscience Meeting (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Takatori, S., Inagaki, K., Hirata, Y.
2 . 発表標題 Evaluation of context dependency in VOR motor learning using artificial cerebellum.
3 . 学会等名 28th Annual Computational Neuroscience Meeting (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Hirata, Y., Nakano, M.
2 . 発表標題 Tilt-Translation ambiguity problem in normal and cerebellectomized goldfish evaluated by the vestibulo-ocular reflex.
3 . 学会等名 The 40th Annual Meeting of International Society for Gravitational Physiology (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Hirata, Y., Miki, S., Matsuzawa, Y., Baker, R.
2 . 発表標題 Predictive eye movement control in fish and humans.
3 . 学会等名 The Satellite Meeting for Neural Control of Movement (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 Hirata, Y., Miura, S., Takagi, Y., Kashima, T., Uruse, K., Miki, S.
2. 発表標題 Hyper-gravity promotes motor learning in goldfish and humans
3. 学会等名 Frontiers in Physiology, Conference Abstract: 39th ISGP Meeting & ESA Life Sciences Meeting. (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山中都史美, 平田 豊
2. 発表標題 心拍と呼吸により誘発される前庭動眼反射と覚醒度の関係性評価
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 白井芳宜, 平田 豊
2. 発表標題 多重同心円交差特徴量によるサッカード眼球運動のリアルタイム高精度検出法の提案と評価
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 進士裕介, 奥野弘嗣, 平田 豊
2. 発表標題 小脳スパイクニューラルネットワークモデルのFPGA実装
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 寺本智貴, 山本雅也, 平田 豊
2. 発表標題 歩きスマートフォン操作が及ぼすVORパフォーマンスへの影響
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 進士祐介, 奥野弘嗣, 平田 豊
2. 発表標題 人工小脳のFPGA実装とモータ適応制御への応用
3. 学会等名 第13回Motor Control研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 稲垣圭一郎, 中根聖也, 平田 豊
2. 発表標題 人工小脳による並進・傾き運動識別の曖昧性解決における小脳信号処理機構の評価
3. 学会等名 第36回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高取昇悟, 稲垣圭一郎, 平田 豊
2. 発表標題 人工小脳モデルによる文脈依存型VOR運動学習シミュレーション
3. 学会等名 第36回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 平田 豊
2. 発表標題 未来を予測して目を動かす人と魚 -VRを用いた脳内眼球運動速度蓄積機構との関係評価-
3. 学会等名 映像情報メディア学会ヒューマンインフォメーション研究会・日本バーチャルリアリティ学会VR心理学研究会合同研究会(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hirata, Y.
2. 発表標題 Acquisition and maintenance of predictive optokinetic response require the cerebellum and the velocity storage mechanism.
3. 学会等名 The Kyoto Symposium on the Eye and Head Movement Control Systems (招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 平田 豊
2. 発表標題 運動制御の神経基盤: 眼球運動システム
3. 学会等名 Motor Control研究会冬季講習(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takatori, S., Inagaki, K., Hirata, Y.
2. 発表標題 Realization of Direction Selective Motor Learning in the Artificial Cerebellum: Simulation on the Vestibuloocular Reflex.
3. 学会等名 Proc. 40th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Emoto, J., Hirata, Y.
2. 発表標題 Microsaccades predict spatial attention: Feature learning of microsaccade properties for oculo-feedback.
3. 学会等名 Society for Neuroscience (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Miki, S., Baker, R., Hirata, Y.
2. 発表標題 Relationship between predictive optokinetic behavior and velocity storage following vestibular neurectomy
3. 学会等名 Society for Neuroscience (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Miki, S., Baker, R., Hirata, Y.
2. 発表標題 Decomposing adaptable elements of optokinetic response into cerebellar and non-cerebellar contributions by modeling and cerebellectomy approach.
3. 学会等名 24th Annual Computational Neuroscience Meeting CNS*2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hirata, Y., Miura, S., Takagi, Y., Kashima, T., Urase, K., Miki, S.
2. 発表標題 Hyper-gravity promotes motor learning in goldfish and humans
3. 学会等名 ISGP & ESA Life Sciences Meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中野仁賀, 平田豊
2. 発表標題 小脳除去手術が並進・傾き複合運動中の金魚の前庭動眼反射に与える影響の評価
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松澤裕太, 平田豊
2. 発表標題 ヒトの予測的視運動性眼球運動の特性評価
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 平田 豊, 加島崇史, 高木悠喜, 三浦祥平, 浦瀬康平, 三木俊太郎
2. 発表標題 過重力環境下と明るい視環境下における運動学習の促進: 金魚眼球運動神経積分器適応と人リーチング運動プリズム適応の例
3. 学会等名 第64回宇宙航空環境医学会大会シンポジウム: 過重力・低重力に対するヒトの反応
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山中都史美, 進士裕介, 池田拓未, 松山将之, 平田豊
2. 発表標題 前庭動眼反射と視運動性眼球運動ゲイン適応の非対称関係
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中野仁賀, 平田豊
2. 発表標題 眼球運動を指標としたTilt-Translation識別曖昧性評価
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松澤裕太, 平田豊
2. 発表標題 Predictive optokinetic response in humans. -Relationship with the velocity storage mechanism
3. 学会等名 The 41th Annual Meeting of the Japan Neuroscience Society (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 三木俊太郎, Baker, R., 平田豊
2. 発表標題 古典的伝達関数モデルによる予測性眼球運動獲得過程における小脳の役割評価
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 恵本序珠亜, 平田豊
2. 発表標題 Oculo-feedbackのためのマイクロサッカードと空間的注意の関係解析
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐藤建治, 吉田傑, 石田肇, 平田 豊, 惠本序珠亜, 大前学, 安倍原也, 内田信行
2. 発表標題 無操作(自動)運転時におけるドライバ状態(覚醒度)の変化に関する研究
3. 学会等名 自動車技術会2018年春季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Matsuzawa, Y., Baker, R., Hirata, Y.
2. 発表標題 Human predictive optokinetic eye movement is correlated with the presence of velocity storage: Demonstration in a virtual reality environment.
3. 学会等名 Society for Neuroscience (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Ikeno, H., Yamazaki, T., Kannon, T., Okumura, Y., Kamiyama, Y., Ishihara, A., Inagaki, K., Hirata, Y., Satoh, S., Wagatsuma, H., Asai, Y., Yamaguchi, Y., Usui, S.
2. 発表標題 Online simulation environment for computational neuroscience and data analysis
3. 学会等名 INCF Congress 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 鈴木柚子, 船瀬親王, 内匠 逸, 三木俊太郎, 平田 豊
2. 発表標題 金魚の視蓋における神経電位の計測およびSSVEPの検出
3. 学会等名 第32回生体・生理工学シンポジウム Proceedings of Life Engineering Symposium 2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 松澤裕太, 平田 豊
2. 発表標題 VR環境を用いたヒトの予測性眼球運動と速度蓄積機構との関係評価
3. 学会等名 第32回生体・生理工学シンポジウム Proceedings of Life Engineering Symposium 2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 稲垣圭一郎, 小島隆介, 平田 豊
2. 発表標題 眼光学特性と眼球・瞳孔運動を反映させたパーソナル見落とし危険度マップの提案
3. 学会等名 第32回生体・生理工学シンポジウムオーガナイズドセッション「高齢ドライバーの運転特性理解と支援技術」 Proceedings of Life Engineering Symposium 2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 三木俊太郎, Baker, R., 平田 豊
2. 発表標題 予測性眼球運動制御の獲得における小脳の役割
3. 学会等名 第32回生体・生理工学シンポジウム オーガナイズドセッション「小脳のライフエンジニアリング研究最前線」 Proceedings of Life Engineering Symposium 2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 平田 豊
2. 発表標題 ヒトの眼に現れる眠気の予兆と潜在的注意の状態
3. 学会等名 第32回生体・生理工学シンポジウム オーガナイズドセッション「眼球運動の神経機構と社会実装」 Proceedings of Life Engineering Symposium 2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中野仁賀, 平田 豊
2. 発表標題 前庭動眼反射を用いた金魚の傾き・並進運動知覚の評価
3. 学会等名 第27回日本神経回路学会全国大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Inagaki, K., Nakane, S., Yakusheva, T., Blazques, P., Hirata, Y.
2. 発表標題 Evaluation of parallel fiber-Purkinje cell synapses of the cerebellar neuronal network model resolving the tilt-translation ambiguity problem
3. 学会等名 第27回日本神経回路学会全国大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 稲垣圭一郎, 高鳥昇悟, 平田 豊
2. 発表標題 文脈に依存した柔軟な運動学習を再現する人工小脳神経回路モデル
3. 学会等名 第31回人工知能学会全国大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 平田 豊
2. 発表標題 人と魚における予測性眼球運動制御と新たな運動学習促進法.
3. 学会等名 Motor Control研究会世話人特別企画先端運動制御学講演(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高取昇悟 (Shogo Takatori)、稲垣圭一郎 (Keiichiro Inagaki)、平田豊 (Yutaka Hirata)
2. 発表標題 文脈に依存したVOR運動学習を再現する人工小脳神経回路モデル
3. 学会等名 電子情報通信学会ニューロコンピューティング研究会(NC)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 三木俊太郎, Baker, R., 平田豊
2. 発表標題 予測性眼球運動学習と小脳の関わり
3. 学会等名 第15回情報学ワークショップ
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 梅本峻矢, 平田豊
2. 発表標題 予測性焦点調節の獲得過程
3. 学会等名 第15回情報学ワークショップ
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 恵本序珠亜, 平田豊
2. 発表標題 畳み込みニューラルネットワークによるマイクロサッカード検出
3. 学会等名 第15回情報学ワークショップ
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tamas, F., Inagaki, K., Aoki, H., Kanamori, H., Akamatsu M., Hirata, Y.
2. 発表標題 Creating a personalised potential overlook map to improve driving safety.
3. 学会等名 第15回情報学ワークショップ
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 服部泰典, 平田豊
2. 発表標題 小脳・マシンインタフェースを用いた周波数選択的前庭動眼反射運動学習の起源評価
3. 学会等名 第15回情報学ワークショップ
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 松澤裕太, 平田豊
2. 発表標題 HMDを用いたヒトの予測性反射眼球運動と速度蓄積機構との関係評価
3. 学会等名 第15回情報学ワークショップ
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 石橋章平, 平田豊
2. 発表標題 眼球運動神経積分器における小脳の役割
3. 学会等名 第15回情報学ワークショップ
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中野仁賀, 平田豊
2. 発表標題 耳石器動眼反射を用いた金魚小脳における並進運動と頭部傾斜の区別可否の評価
3. 学会等名 第15回情報学ワークショップ
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 進士裕介, 奥野弘嗣, 平田豊
2. 発表標題 スパイクニューロンで構成された小脳神経回路モデルのFPGA実装
3. 学会等名 第15回情報学ワークショップ
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 砂田拓大, 平田豊
2. 発表標題 振動フィードバックによる投球動作修正の効率化
3. 学会等名 第15回情報学ワークショップ
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 松岡大貴, 平田豊
2. 発表標題 握力補助及びリハビリテーションを目的とした装着型ロボットハンドの開発と評価
3. 学会等名 第15回情報学ワークショップ
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 鈴木柚子, 三木俊太郎, 船瀬親王, 平田 豊
2. 発表標題 金魚の視蓋における15Hzの光点滅刺激提示時のSSVEPの検出
3. 学会等名 電気学会電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hirata, Y.
2. 発表標題 Human States Reflected in Eye Movements
3. 学会等名 The 1st International Workshop on Affective Computing for Social Robotics ACSR 2016, at IEEE RO-MAN 2016 (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Inagaki, K., Hirata, Y.
2. 発表標題 Bihemispheric cerebellar spiking network model to simulate acute VOR motor learning.
3. 学会等名 International Conference on Neural Information Processing (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 三木俊太郎, Baker, R., 平田 豊
2. 発表標題 予測性眼球運動の獲得・維持と小脳の関係
3. 学会等名 第31回生体・生理工学シンポジウム
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 恵本序珠亜, 平田 豊
2. 発表標題 空間的注意向上のためのマイクロサッカードフィードバック実験
3. 学会等名 第31回生体・生理工学シンポジウム
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 浦瀬康平, 三木俊太郎, 平田 豊
2. 発表標題 明るい視覚刺激と課重力が眼球運動積分器の運動学習に与える影響
3. 学会等名 第31回生体・生理工学シンポジウム
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 梅本峻矢, 平田 豊
2. 発表標題 予測性焦点調節制御の評価
3. 学会等名 電子情報通信学会Human Information Processing研究会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 稲垣圭一郎, 平田 豊
2. 発表標題 小脳両半球構造を陽に記述した人工小脳による前庭動眼反射運動学習シミュレーション
3. 学会等名 電子情報通信学会Human Information Processing研究会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Hirata, Y.
2. 発表標題 Neural mechanisms of adaptive oculomotor control. from animal experiments, neuronal circuitry modeling, cerebellum-machine interface to robot control, sleepiness detection, and motor learning promotion.
3. 学会等名 電子情報通信学会Neurocomputing研究会 (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 三木俊太郎, Baker, R., 平田 豊
2. 発表標題 予測的な眼球運動の学習における小脳の役割
3. 学会等名 電子情報通信学会Neurocomputing研究会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 恵本序珠亜, 平田 豊
2. 発表標題 Oculofeedbackシステムの開発とマイクロサッカードフィードバック実験
3. 学会等名 電子情報通信学会Neurocomputing研究会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Miki, S., Baker, R., Hirata, Y.
2. 発表標題 Cerebellar contribution to the initiation and termination control of predictive eye movement
3. 学会等名 The 38th Annual Meeting of the Japan Neuroscience Society
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 恵本序珠亜, 平田 豊
2. 発表標題 畳み込みニューラルネットワークを用いた微小眼球運動の検出
3. 学会等名 第30回人工知能学会全国大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 稲垣圭一郎, 平田 豊
2. 発表標題 小脳における並進運動と傾き運動の識別メカニズムの考察
3. 学会等名 第30回人工知能学会全国大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Emoto, J. Hirata, Y.
2. 発表標題 Development of oculo-feedback system: Manipulation of microsaccade generation
3. 学会等名 Annual meeting Society for Neuroscience (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Miki, S., Baker, R., Hirata, Y.
2. 発表標題 Role of the cerebellum in the initiation and termination of predictive optokinetic behavior in goldfish
3. 学会等名 Annual meeting Society for Neuroscience (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Inagaki, K., Hirata, Y.
2. 発表標題 Evaluation of roles of cerebellar Golgi and basket/stellate cells in the vestibuloocular reflex motor learning: a computational study
3. 学会等名 Annual meeting Society for Neuroscience (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Hirata, Y.
2. 発表標題 Adaptive control of reflexive eye movements in fish and humans: Goldfish BMI, Artificial cerebellum, and Sleepiness prediction
3. 学会等名 The Irago Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Hirata, Y.
2. 発表標題 Predictors of sleepiness in your eyes
3. 学会等名 Neuroscience Seminar (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計0件

〔取得〕 計2件

産業財産権の名称 Eye movement measuring device and eye movement analysis system	発明者 Yutaka Hirata 他	権利者 Chubu University 他
産業財産権の種類、番号 特許、US 10,874,357 B2	取得年 2020年	国内・外国の別 外国

産業財産権の名称 ドライバー視覚情報提供装置，および，車両用運転支援システム	発明者 江崎研司，平田 豊	権利者 トヨタ自動車、 中部大学
産業財産権の種類、番号 特許、特許第6585543号	取得年 2019年	国内・外国の別 国内

〔その他〕

The Neural Cybernetics Laboratory
<https://sites.google.com/view/nclab/>

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			
米国	Washington University	University of Washington	New York University	
ドイツ	Brandenburg University of Technology			
USA	Washington University	New York University	Marine Biological Laboratory	