

令和 5 年 5 月 24 日現在

機関番号：82675

研究種目：学術変革領域研究(B)

研究期間：2020～2022

課題番号：20H05769

研究課題名（和文）冬眠動物の概日時計の分子機構：カルシウムを基軸とした低温リズム発振機構の解明

研究課題名（英文）Molecular Mechanism of the Circadian Clock in Hibernating Animals: A Calcium-Based Mechanism of Rhythm Oscillation under Low-Temperature

研究代表者

榎木 亮介（Enoki, Ryosuke）

大学共同利用機関法人自然科学研究機構（新分野創成センター、アストロバイオロジーセンター、生命創成探究・生命創成探究センター）准教授

研究者番号：00528341

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 30,600,000円

研究成果の概要（和文）：哺乳類の冬眠の開始や終了などには時刻依存性が報告されており、低温でも機能する計時機構の存在が推察されていた。この最有力候補は脳深部に存在する概日時計中枢であるが、冬眠中の哺乳類動物の視交叉上核において時計遺伝子の転写リズムが継続するか否かは長く議論が続いていた。これまで我々はマウスの視交叉上核における細胞内Ca²⁺リズムおよび転写リズムの長期イメージング計測を行ってきた。本研究課題では、長期光イメージング計測を最大限活用し、低温環境下での視交叉上核の概日Ca²⁺リズムと転写リズムの光イメージングにより解明することを試みた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究課題では、代表者の榎木が確立した長期光イメージング計測のアドバンテージを最大限活用し、低温環境下での視交叉上核の概日Ca²⁺リズムと転写リズムのダイナミクスを光イメージングにより解明することを試みた。また分担者の金は、培養細胞を用いたケミカルバイオロジーの手法を駆使して、概日時計におけるCa²⁺シグナリングの役割を追求した。本研究により、低温でのリズム発振メカニズムを解明し、冬眠休眠実行の分子ネットワークの核心に迫る結果を得た。

研究成果の概要（英文）：In mammalian hibernators, a time dependence of the onset and termination of hibernation has been reported. There might be a timekeeping mechanism in the body that can function at low temperatures, and the most likely candidate is the suprachiasmatic nucleus, the master circadian clock in the brain, but whether the transcriptional rhythm of clock genes continues has long been debated. We previously established long-term imaging of intracellular Ca²⁺ and transcriptional rhythms in the suprachiasmatic nucleus and found that intracellular circadian Ca²⁺ rhythms persist even in the suprachiasmatic nucleus, where the key clock gene is lacking. This led to the idea that circadian Ca²⁺ oscillations might be a timekeeping system with a transcription loop-independent oscillation mechanism. In this project, we attempted to elucidate the dynamics of circadian Ca²⁺ and transcriptional rhythms in the suprachiasmatic nucleus under low-temperature conditions using optical imaging.

研究分野：時間生物学

キーワード：冬眠/休眠 概日時計 時計遺伝子 カルシウム 低温応答 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

哺乳類の概日リズムは、視床下部の視交叉上核に存在する中枢時計により制御される。冬期の食糧不足のような厳しい環境下では、幾つかの哺乳類は休眠や冬眠に見られるような基礎代謝や熱産生能が低下する低体温状態を引き起こすが、温度補償能をもつ中枢時計がこうした低体温時にもリズムを維持するか否かについては、長年の議論があるものの決着がつかない。これまで本研究班の代表者の榎木は、マウスの視交叉上核における細胞内 Ca^{2+} リズムおよび転写リズムの長期イメージング計測を行ってきた (Enoki et al., *PNAS*. 2012, 2017, 2018 など)。驚くべきことに、主要な時計遺伝子である *Cryptochrome 1/2* 遺伝子が欠損し、転写フィードバックループ (転写ループ) が停止した状態の視交叉上核でも、細胞内の概日 Ca^{2+} リズムは明瞭に継続することを見出した (Enoki et al., *Scientific Reports* 2017)。そのため概日 Ca^{2+} 振動は転写ループに依存しない振動メカニズムを有する計時システムではないかとの着想に至った。

2. 研究の目的

冬眠動物の視交叉上核の時計遺伝子の転写のリズム性の有無に対しては、計測時点ごとに異なった個体を用いて解析していた為、リズム解析の精度が低いという問題点があった。本研究課題では、榎木が確立した長期光イメージング計測のアドバンテージを最大限活用し、低温環境下での視交叉上核の概日 Ca^{2+} リズムと転写リズムのダイナミクスを光イメージングにより解明することを目指した。また分担者の金は、培養細胞を用いたケミカルバイオロジーの手法を駆使して、概日時計における Ca^{2+} シグナリングの役割を追求することを目指した。

3. 研究の方法

榎木は、恒温恒湿器内に低温計測用の顕微鏡システムを設置し、低温条件での視交叉上核培養スライスのタイムラプス計測法を確立した (図 1)。マウス視交叉上核から作成した培養スライスにアデノ随伴ウイルスを感染させ、赤色蛍光 Ca^{2+} レポーター (jRGECO1a) および時計遺伝子 *Bmal1* および *Per2* の蛍光レポータータンパク質を発現させ (*Bmal1-nls-Venus/Per2-nls-Venus*)、 $15^{\circ}\text{C}\sim 35^{\circ}\text{C}$ の様々な温度条件下で時計遺伝子の転写と細胞内 Ca^{2+} の長期蛍光イメージング計測を行った。

また金は、概日リズムの温度補償性について解析した。これまでに転写ループは細胞内 Ca^{2+} シグナルによって調節されていることを明らかにしてきた (*Genes and Development*, 2014)。本研究では、概日時計の特徴的な温度特性・温度補償性 (概日時計の発振速度が生理的温度範囲で保たれる性質) に着目し、薬理的なランダムスクリーニングによる概日振動体の実体解明に挑戦した。

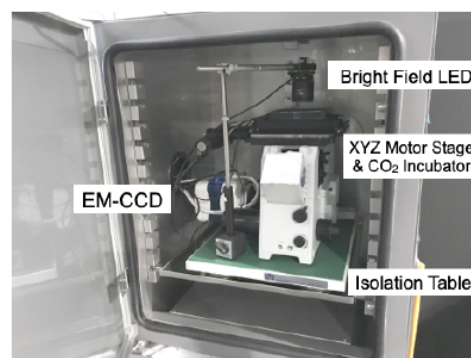


図 1. 低温環境における光イメージング解析

4. 研究成果

マウスの視交叉上核の生細胞イメージングを行い、常温 (35 度) から低温 (15 度) へと段階的に温度を下げた際には、時計遺伝子の転写リズムおよび細胞内 Ca^{2+} リズムの振幅が温度低下に応じて減弱することが分かった。さらに 15 度の低温環境においては、転写リズムと細胞内 Ca^{2+} リズムともにリズム性が検出されないことが分かった (図 2)。また 15 度から 35 度への復温により、転写

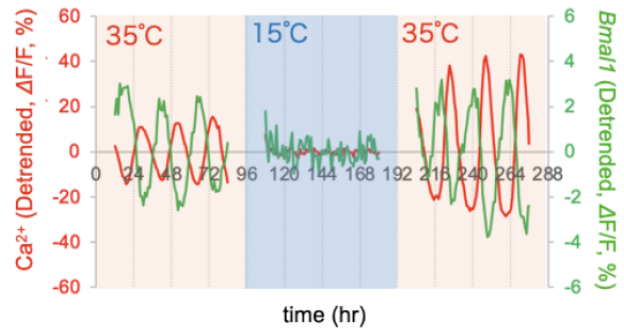


図 2. マウス視交叉上核の Ca^{2+} リズムと *Bmal1* 転写リズムに対する低温の影響

リズムおよび細胞内 Ca^{2+} リズムは再び検出可能となったが、この際、復温後のリズム位相はリセットされることを見いだした。重要なことに、この低温リセットの際には細胞内 Ca^{2+} リズムは直ちに安定な 24 時間周期のリズムを示すのに対し、*Per2* や *Bmal1* の転写リズムは、数日かけて安定な振動に至ることが分かった。これらの結果より、 Ca^{2+} リズムはリセットに際して即座に位相が安定し、それに追従して時計遺伝子の転写リズムの位相が安定状態になることが分かった (Enoki et al., *Biorxiv*, 2022)。

またケミカルバイオロジーの手法により、CaMKII 阻害剤、および細胞膜のイオン輸送タンパクである $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ exchanger (NCX) 阻害剤の存在下では、転写リズムの温度補償性が破綻することを見出した。さらに解析を進めたところ、細胞内 Ca^{2+} -CaMKII シグナルは温度低下によって NCX 依存的に活性化し、転写ループの振動速度低下を補償することを突きとめた。すなわち温度補償性とは、低温で活性化する Ca^{2+} シグナルによって、本来であれば低温で速度低下する生化学反応が活性化されることで成立していた (Kon et al., *Science Advances*, 2021; 図 3)。そして、さらに解析を進めたところ、NCX や Ca^{2+} シグナルの役割は、哺乳類だけでなく、昆虫や植物、細菌においても保存されていることが明らかとなった。そのため、概日性 Ca^{2+} 振動こそが、共通祖先から受け継がれた概日時計の振動本体ではないかとの着想を得た (図 2)。また、本研究では時計遺伝子が低温に

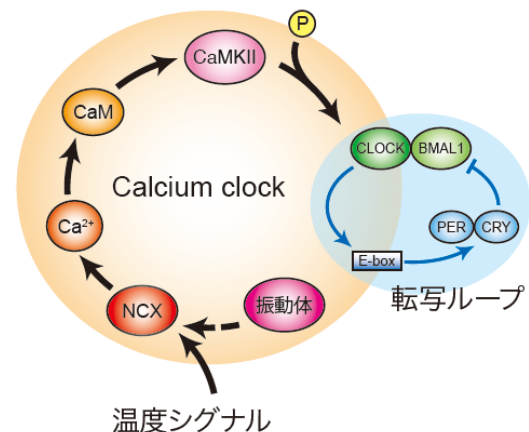


図 3. Ca^{2+} 振動による転写ループの制御
NCX は低温応答 Ca^{2+} 流入を担い、概日 Ca^{2+} リズム生成にも寄与している。

応答する性質を利用して、細胞内の低温性 Ca^{2+} シグナルを、時計遺伝子 *Per2* の転写レポーターを用いて計測する検出系を構築した (Wang et al., *Scientific Reports*, 2022)。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 9件）

| | |
|---|-----------------|
| 1. 著者名 Kon Naohiro, Wang Hsin-tzu, Kato Yoshiaki S., Uemoto Kyouhei, Kawamoto Naohiro, Kawasaki Koji, Enoki Ryosuke, Kurosawa Gen, Nakane Tatsuto, Sugiyama Yasunori, Tagashira Hideaki, Endo Motomu, Iwasaki Hideo, Iwamoto Takahiro, Kume Kazuhiko, Fukada Yoshitaka | 4. 巻 7 |
| 2. 論文標題 Na ⁺ /Ca ²⁺ exchanger mediates cold Ca ²⁺ signaling conserved for temperature-compensated circadian rhythms | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Science Advances | 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) 10.1126/sciadv.abe8132 | 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 Maejima Takashi, Tsuno Yusuke, Miyazaki Shota, Tsuneoka Yousuke, Hasegawa Emi, Islam Md Tarikul, Enoki Ryosuke, Nakamura Takahiro J., Mieda Michihiro | 4. 巻 118 |
| 2. 論文標題 GABA from vasopressin neurons regulates the time at which suprachiasmatic nucleus molecular clocks enable circadian behavior | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Proceedings of the National Academy of Sciences | 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) 10.1073/pnas.2010168118 | 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 Chang Ching-Pu, Otomo Kohei, Kozawa Yuichi, Ishii Hirokazu, Yamasaki Miwako, Watanabe Masahiko, Sato Shunichi, Enoki Ryosuke, Nemoto Tomomi | 4. 巻 12 |
| 2. 論文標題 Single-scan volumetric imaging throughout thick tissue specimens by one-touch installable light-needle creating device | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Scientific Reports | 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) 10.1038/s41598-022-14647-3 | 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 Wang Hsin-tzu, Miyairi Shiori, Kitamura Miho, Iizuka Kosuke, Asano Yoshimasa, Yoshimura Takashi, Kon Naohiro | 4. 巻 12 |
| 2. 論文標題 Real time monitoring of cold Ca ²⁺ dependent transcription and its modulation by NCX inhibitors | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Scientific Reports | 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) 10.1038/s41598-022-22166-4 | 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 Enoki Ryosuke, Kon Naohiro, Shimizu Kimiko, Kobayashi Kenta, Yamaguchi Yoshifumi, Tomomi Nemoto | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 Cold-induced Suspension and Resetting of Ca ²⁺ and Transcriptional Rhythms in the Suprachiasmatic Nucleus Neurons | 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) 10.1101/2022.09.18.508357 | 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 Ono Daisuke, Wang Huan, Hung Chi Jung, Wang Hsin-tzu, Kon Naohiro, Yamanaka Akihiro, Li Yulong, Sugiyama Takashi | 4. 巻 9 |
| 2. 論文標題 Network-driven intracellular cAMP coordinates circadian rhythm in the suprachiasmatic nucleus | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Science Advances | 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) 10.1126/sciadv.abq7032 | 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 ENOKI Ryosuke | 4. 巻 62 |
| 2. 論文標題 Calcium Rhythm in Mammalian Master Clock | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Seibutsu Butsuri | 6. 最初と最後の頁 228 ~ 231 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2142/biophys.62.228 | 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 金 尚宏、榎木 亮介 | 4. 巻 81 |
| 2. 論文標題 概日時計の温度補償性とCa ²⁺ シグナルの役割 | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 低温科学 | 6. 最初と最後の頁 109 ~ 117 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14943/lowtemsci.81.109 | 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 Naohiro Kon, Ryosuke Enoki, Hsin-tzu Wang, Takahiro Iwamoto and Yoshitaka Fukada | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 Roles of Ca ²⁺ Signaling in Molecular Clocks | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Circadian Clocks (Ken-ichi Honma & Sato Honma eds.), Hokkaido University Press | 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) 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 - |

[学会発表] 計39件 (うち招待講演 25件 / うち国際学会 0件)

| |
|--|
| 1. 発表者名 Naohiro Kon |
| 2. 発表標題 Calcium Clock: Mechanism of Circadian Oscillator and Environmental Responses of Life. |
| 3. 学会等名 名古屋大学トランスフォーマティブ生命分子研究所セミナー (招待講演) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 榎木亮介 |
| 2. 発表標題 Visualizing Neuronal Circuits Controlling Circadian and Ultradian Ca ²⁺ Rhythms in Mammals |
| 3. 学会等名 第10回 生理研 霊長研 新潟脳研 合同シンポジウム (招待講演) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|-----------------------------|
| 1. 発表者名 金尚宏 |
| 2. 発表標題 表出リズムの温度補償性 |
| 3. 学会等名 名古屋リズム研究会 (招待講演) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 金尚宏 |
| 2. 発表標題 生物時計の温度補償性 -変化する外部環境の中で一定の内因リズムを刻む仕組み- |
| 3. 学会等名 生理学研究所 温熱生理研究会 (招待講演) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 榎木亮介、廣蒼太、根本知己 |
| 2. 発表標題 概日カルシウムリズムの源流を探る |
| 3. 学会等名 生理研研究会「細胞システム理解のためのシグナル応答原理解明の最前線」(招待講演) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|------------------------------|
| 1. 発表者名 金尚宏、岩本隆宏、深田吉孝 |
| 2. 発表標題 環境温度と生物時計 |
| 3. 学会等名 第94回日本生化学会 (招待講演) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---------------------------------------|
| 1. 発表者名 金尚宏 |
| 2. 発表標題 分子時計の温度補償性 |
| 3. 学会等名 生理学研究所研究会 第1回極限環境適応 (招待講演) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--------------------------------------|
| 1. 発表者名 榎木亮介 |
| 2. 発表標題 極低温環境における概日時計中枢のリズム発振 |
| 3. 学会等名 生理学研究所研究会 第1回極限環境適応(招待講演) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|-------------------------------|
| 1. 発表者名 金尚宏、岩本隆宏、深田吉孝 |
| 2. 発表標題 分子発振の起源をたどる |
| 3. 学会等名 第28回日本時間生物学会(招待講演) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|-----------------------------------|
| 1. 発表者名 榎木亮介 |
| 2. 発表標題 低温環境における概日時計中枢のリズム発振機構 |
| 3. 学会等名 第28回日本時間生物学会(招待講演) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Naohiro Kon、Takahiro Iwamoto、Yoshitaka Fukada |
| 2. 発表標題 Biological Clock in. Cold World |
| 3. 学会等名 第44回日本分子生物学会(招待講演) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 金尚宏 |
| 2. 発表標題 生物時計の温度補償性 -低温環境でも概日時計が一定の速度を保つ仕組み- |
| 3. 学会等名 第4回冬眠睡眠研究会（招待講演） |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 榎木亮介 |
| 2. 発表標題 低温環境下で安定かつ柔軟な概日時計中枢カルシウムリズム |
| 3. 学会等名 第4回冬眠睡眠研究会（招待講演） |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 金尚宏、岩本隆宏、深田吉孝 |
| 2. 発表標題 体内時計におけるNa ⁺ /Ca ²⁺ 交換輸送体の役割とその創薬応用 |
| 3. 学会等名 第95回日本薬理学会（招待講演） |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|------------------------------------|
| 1. 発表者名 榎木亮介、金尚宏、山口良文、根本知己 |
| 2. 発表標題 概日リズム中枢における低温耐性カルシウムリズム |
| 3. 学会等名 第99回日本生理学会大会（招待講演） |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 金尚宏 |
| 2. 発表標題 低温適応を担うCa ²⁺ シグナリング：概日時計の温度補償性 |
| 3. 学会等名 第99回日本生理学会（招待講演） |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 金尚宏 |
| 2. 発表標題 概日時計の温度補償性 -低温Ca ²⁺ シグナルによる生化学振動の制御- |
| 3. 学会等名 Neuro2022（招待講演） |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Naohiro Kon |
| 2. 発表標題 Roles of Ca ²⁺ Signaling in Molecular Clocks |
| 3. 学会等名 Sapporo symposium（招待講演） |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|------------------------------------|
| 1. 発表者名 榎木亮介、金尚宏、山口良文、根本知己 |
| 2. 発表標題 低温環境下における概日時計中枢のリズム発振機構 |
| 3. 学会等名 生理学研究所研究会 温熱研究会（招待講演） |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--------------------------------------|
| 1. 発表者名 榎木 亮介、金尚宏、山口 良文、根本 知己 |
| 2. 発表標題 極低温環境下における概日リズム発振機構 |
| 3. 学会等名 生理学研究所研究会 第二回極限環境適応（招待講演） |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--------------------------------------|
| 1. 発表者名 金尚宏 |
| 2. 発表標題 リズムの無い細胞から紐解く概日時計の成立条件 |
| 3. 学会等名 生理学研究所研究会 第二回極限環境適応（招待講演） |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 榎木 亮介、金尚宏、山口 良文、根本 知己 |
| 2. 発表標題 極低温環境下における 概日リズム発振機構 |
| 3. 学会等名 BIOTHERMOLOGY WORKSHOP 2022 &温度生物学若手の会 合同シンポジウム（招待講演） |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|-------------------------------------|
| 1. 発表者名 金尚宏 |
| 2. 発表標題 カルシウムシグナルから紐解く概日リズムの生成原理 |
| 3. 学会等名 第100回日本生理学会（招待講演） |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 榎木亮介、金尚宏、山口良文、根本知己 |
| 2. 発表標題 Circadian Rhythms under Cold Remperature in the Master Clock Neurons. |
| 3. 学会等名 第100回日本生理学会（招待講演） |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Sota Hiro、Tomomi Nemoto、Ryosuke Enoki |
| 2. 発表標題 Long-term organellar Ca ²⁺ imaging of master circadian clock neurons |
| 3. 学会等名 生理研・韓国Korea大Yonsei大合同シンポジウム（招待講演） |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 廣蒼太、根本知己、榎木亮介 |
| 2. 発表標題 概日時計中枢における核-細胞質カルシウム動態の長期イメージング解析 |
| 3. 学会等名 第29回日本バイオイメーjing学会学術集会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 榎木亮介、平田快洋、繁富・栗林香織 |
| 2. 発表標題 マイクロパターン基盤上に培養した単一神経細胞における概日時計の光イメージング解析 |
| 3. 学会等名 日本機械学会2021年度年次大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 廣蒼太、根本知己、榎木亮介 |
| 2. 発表標題 概日時計中枢におけるミトコンドリアCa ²⁺ 濃度動態の光計測 |
| 3. 学会等名 冬眠休眠研究会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Ming-Liang LEE、Ching Pu CHANG、Tomomi NEMOTO、Ryosuke ENOKI |
| 2. 発表標題 In vivo calcium imaging reveals dynamic neuronal glucose- sensing in the ventromedial hypothalamus |
| 3. 学会等名 冬眠休眠研究会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 LEE Ming-Liang、CHANG Ching-Pu、NEMOTO Tomomi、ENOKI Ryosuke |
| 2. 発表標題 In vivo calcium imaging reveals neuronal glucose-sensing regulated by body energy status |
| 3. 学会等名 第99回日本生理学会大会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 CHANG Ching-Pu、Kohei OTOMO、Yuichi KOZAWA、Hirokazu ISHII、Miwako YAMASAKI、Masahiko WATANABE、Shunichi SATO、Ryosuke ENOKI、Tomomi NEMOTO |
| 2. 発表標題 An easy-to-use light-needle creating device for single scan volumetric imaging in thick tissue specimens |
| 3. 学会等名 第99回日本生理学会大会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 廣蒼太、根本知己、榎木亮介 |
| 2. 発表標題 Optical recording of mitochondrial Ca ²⁺ dynamics in the central circadian clock |
| 3. 学会等名 第99回日本生理学会大会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 廣蒼太、根本知己、榎木亮介 |
| 2. 発表標題 概日時計中枢における核-ミトコンドリア-細胞質のCa ²⁺ リズムの光イメージング解析 |
| 3. 学会等名 2022年度日本分子生物学会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 廣蒼太、根本知己、榎木亮介 |
| 2. 発表標題 概時計中枢における核-ミトコンドリア-細胞質のCa ²⁺ リズムの光イメージング解析 |
| 3. 学会等名 第29回 時間生物学会学術大会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 榎木亮介、金尚宏、清水貴美子、小林憲太、山口良文、根本知己 |
| 2. 発表標題 視交叉上核の神経細胞における細胞内カルシウムおよび時計遺伝子転写のリズムは低温により停止しリセットする |
| 3. 学会等名 第29回 時間生物学会学術大会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Sota Hiro, Tomomi Nemoto, Ryosuke Enoki |
| 2. 発表標題 Optical Imaging of Organelle Ca ²⁺ Rhythms in the Central Circadian Clock Neurons |
| 3. 学会等名 第12回 生理学研究所・新潟大学脳研究所・京都大学ヒト行動進化研究センター合同シンポジウム |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 張菁圃、山口良文、渡邊正知、根本知己、榎木亮介 |
| 2. 発表標題 Identification of uncoupling protein 1 (UCP1) in the hypothalamus of Syrian hamster brain |
| 3. 学会等名 日本生理学会 第100回記念大会 |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 李明亮、張菁圃、根本知己、榎木亮介 |
| 2. 発表標題 A temperature-dependent diabetes-like metabolic state regulated by QIH |
| 3. 学会等名 日本生理学会 第100回記念大会 |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 廣蒼太、根本知己、榎木亮介 |
| 2. 発表標題 概日時計中枢におけるオルガネラCa ²⁺ リズムの長期イメージング解析 |
| 3. 学会等名 日本生理学会 第100回記念大会 |
| 4. 発表年 2023年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

| |
|--|
| researchmap https://researchmap.jp/enoki 個人ページ https://ryosukeenoki.wixsite.com/enoki |
|--|

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 |
|-------|---|--|----|
| 研究分担者 | 金 尚宏 (Kon Naohiro) (80822931) | 名古屋大学・生命農学研究科(WPI)・特任講師 (13901) | |

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 |
|---------|---------|