

令和 5 年 5 月 31 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K15754

研究課題名（和文）機械刺激感受性チャネルTMCタンパク質の構造機能解析

研究課題名（英文）Structural and functional analysis of mechanosensitive channel TMC proteins

研究代表者

草木迫 司（Kusakizako, Tsukasa）

東京大学・大学院理学系研究科（理学部）・助教

研究者番号：80815316

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：TMCタンパク質は機械刺激感受性チャネルであり、複数の補助サブユニットと相互作用して有毛細胞のMETチャネル複合体を構成する。本研究では、クライオ電子顕微鏡を用いた単粒子解析により、TMCタンパク質のイオン透過機構・機械刺激によるチャネル開閉機構の解明を目指した。当初の計画から発展させて、METチャネル複合体の構成因子であるCIBタンパク質とTMCタンパク質の機能的複合体の構造解析を推進し、TMC-CIB複合体の調製に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

TMCタンパク質を含む複合体解析の基盤が整ったことで、イオン透過機構のみならず、補助サブユニットによるMETチャネル複合体の活性調節機構の理解にも繋がる点で学術的意義がある。今後、補助サブユニットも含めたMETチャネル複合体の構造機能研究へと展開していく。また、METチャネル複合体は聴覚に関わることから、本研究の成果と今後の展開は難聴の病態理解を深め、構造情報に基づいた薬剤開発の可能性を提供すると期待される。

研究成果の概要（英文）：Mechanosensitive channel TMC1/TMC2 proteins interact with auxiliary subunits to form the mechanoelectrical transduction (MET) channel complex in hair cells. In this study, we aimed to elucidate the molecular mechanisms of ion permeation and mechanosensitive gating of TMC1/2 using cryo-EM single particle analysis. Expanding from the original plan, we successfully prepared complexes of TMC and CIB proteins, which are the component of the MET channel complex, and performed the structural analysis of the TMC-CIB complex.

研究分野：構造生命科学

キーワード：チャネル 膜タンパク質 クライオ電子顕微鏡 単粒子解析

1. 研究開始当初の背景

動物が音や平衡感覚を知覚する分子機構には未だ不明な点が残されている。耳に届いた音が内耳を満たすリンパ液を振動させると、内耳の蝸牛や平衡感覚器官に存在する有毛細胞が、不動毛と呼ばれる突起状の領域で機械的な刺激を受ける(図1)。これにより不動毛が傾くことで、不動毛に局在する超分子複合体である機械刺激-電気信号変換 (mechano-electrical transduction: MET) チャンネル複合体が活性化されて有毛細胞が脱分極し、感覚神経へとシグナルが伝達され

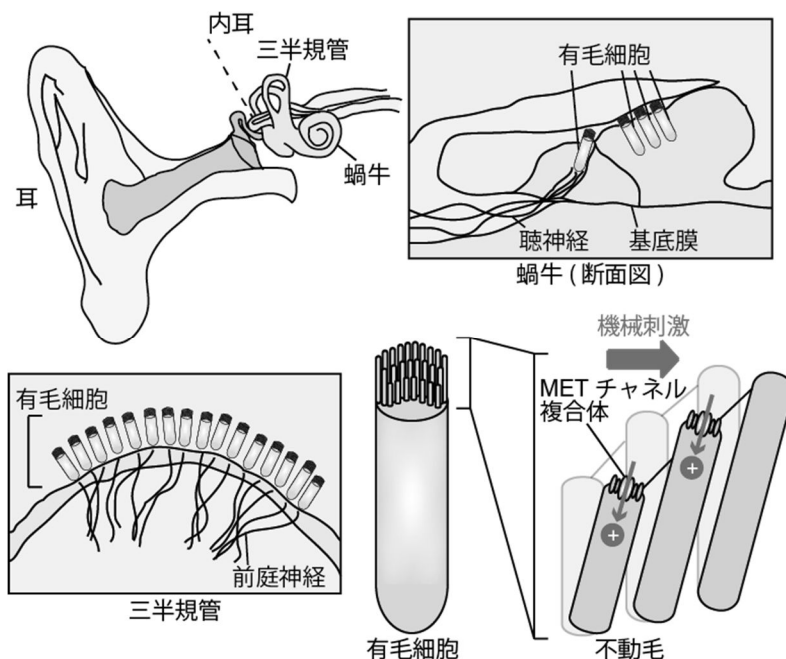


図1 音と平衡感覚の受容

る。この機械刺激から電気信号へのシグナル変換の機能を担う MET チャンネル複合体は、ポアサブユニットである TMC1 及び TMC2 と複数の補助サブユニットから構成されると考えられている。我々は TMC1 及び TMC2 をリポソームに再構成してパッチクランプ解析を行い、TMC1/TMC2 が脂質膜の伸展という機械刺激により活性化されるイオンチャネルであることを明らかにしてきた (Neuron 105, 310-321, 2020)。一方で、TMC1/TMC2 がどのようなイオン透過経路を形成し、どのようにして機械刺激によってチャネルが開閉するのかという核心的な謎が残されていた。

2. 研究の目的

本研究では、クライオ電子顕微鏡を用いた単粒子解析により TMC タンパク質 (TMC1/TMC2) の立体構造を決定し、構造情報に基づいた電気生理学解析を行うことで、TMC タンパク質のイオン透過機構や機械刺激感受性チャネル開閉機構を解明することを目的とした。

3. 研究の方法

構造解析に適した TMC タンパク質をスクリーニングして、培養細胞で大量発現させ、界面活性剤を用いて精製した。精製したサンプルを用いて凍結グリッドを作製して、クライオ電子顕微鏡により画像を撮影して単粒子解析を行った。画像解析の結果をサンプル調製にフィードバックして、脂質二重層環境下である nanodisc に再構成したサンプルを調製し、また単粒子解析における粒子画像のアラインメントの精度を向上させるために、膜貫通領域外の特徴を増強する結合パートナーを選定した。

4. 研究成果

TMC タンパク質をリボソームに再構成して電気生理学解析を行った (Neuron 105, 310–321, 2020) 際に、ウミガメ由来 TMC1 とインコ由来 TMC2 が安定性と発現量の面で良好であることを見出していたが、ここからさらに各アミノ酸をホモログ遺伝子間で最も保存されたアミノ酸に置換するという consensus mutagenesis を用いて熱安定化 TMC を作製した。精製過程で界面活性剤を GDN に置換したサンプルの他、nanodisc に再構成したサンプルを調製した。膜骨格タンパク質や脂質の種類等の nanodisc 再構成条件を検討して凍結グリッドを作製し、クライオ電子顕微鏡による撮影画像を得て単粒子解析を行ったものの、TMC タンパク質単体では構造決定に至らなかった。TMC タンパク質単体の二次元平均像から、TMC タンパク質は膜外の領域に rigid な構造を持たないことが示唆された。そこで単粒子解析における粒子画像のアラインメントを補助するために、TMC タンパク質の膜外領域における特徴を付与して分子量を増大させるバインダーの取得を目指した。具体的には TMC タンパク質の構造を特異的に認識する小型抗体ナノボディの取得を目指して、yeast surface display を用いた nanobody library selection の系の確立を推進した。一方で、TMC タンパク質 (TMC1/TMC2) の生体内における結合パートナーとの複合体調製を試みた。TMC タンパク質と共に MET チャネル複合体を構成している補助サブユニットとの複合体形成の条件検討を行ったところ、Ca²⁺ and integrin binding protein (CIB) 2 及びそのホモログ CIB3 と TMC タンパク質を共発現させて精製することで複合体を調製することに成功した (図 2)。CIB2 は TMC タンパク質と細胞内側で相互作用してチャネル活性を調節する因子と

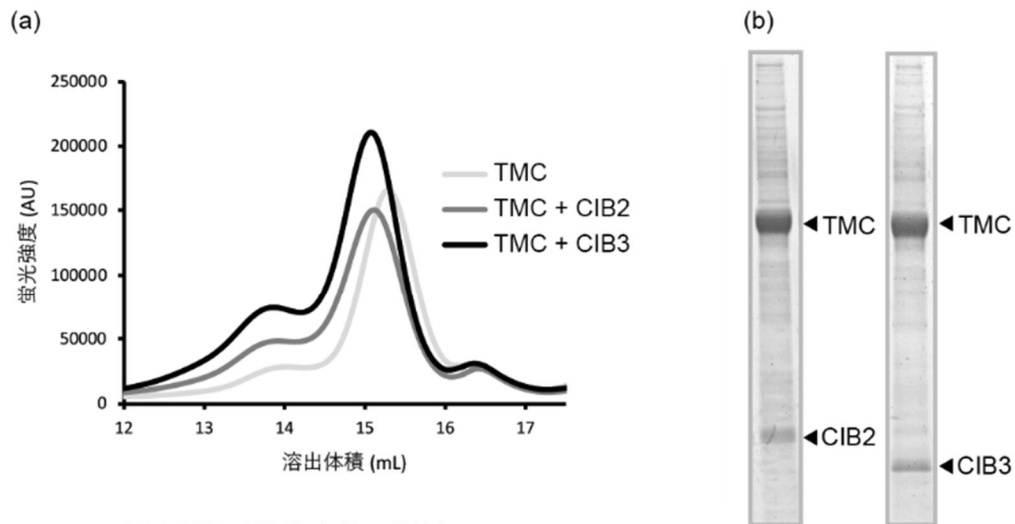


図 2 TMC-CIB 複合体の調製

(a) 蛍光検出ゲルろ過クロマトグラム

(b) 精製した TMC-CIB2 複合体/TMC-CIB3 複合体の SDS-PAGE

して知られている。この TMC-CIB 複合体サンプルを用いて凍結グリッドを作製し、クライオ電子顕微鏡による撮影画像を解析して、膜貫通領域を含む TMC タンパク質に対して CIB タンパク質が結合していることが分かる密度マップを取得した。さらに TMC-CIB 複合体サンプルを nanodisc に再構成して単粒子解析を行ったところ、膜貫通領域の密度の改善がみられた。

TMC タンパク質と CIB タンパク質の複合体は、膜外ドメインがほとんど見られない TMC タンパク質に対して CIB タンパク質が結合することで、膜外ドメインの特徴や分子量を増強して粒子画像の方位決めに寄与するという構造解析上の利点があるだけでなく、補助サブユニットによる MET チャネル複合体の活性調節機構の理解に繋がるという点で生物学的意義が大きい。今後、補助サブユニットを含めた MET チャネル複合体の構造機能研究へと展開していく。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計22件（うち査読付論文 22件 / うち国際共著 10件 / うちオープンアクセス 16件）

1. 著者名 Futamata Haon, Fukuda Masahiro, Umeda Rie, Yamashita Keitaro, Tomita Atsuhiko, Takahashi Satoe, Shikakura Takafumi, Hayashi Shigehiko, Kusakizako Tsukasa, Nishizawa Tomohiro, Homma Kazuaki, Nureki Osamu	4. 巻 13
2. 論文標題 Cryo-EM structures of thermostabilized prestin provide mechanistic insights underlying outer hair cell electromotility	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 6208
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-022-34017-x	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 Nakagawa Ryoya, Kannan Soumya, Altae-Tran Han, Takeda Satoru N., Tomita Atsuhiko, Hirano Hisato, Kusakizako Tsukasa, Nishizawa Tomohiro, Yamashita Keitaro, Zhang Feng, Nishimasu Hiroshi, Nureki Osamu	4. 巻 82
2. 論文標題 Structure and engineering of the minimal type VI CRISPR-Cas13bt3	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Molecular Cell	6. 最初と最後の頁 3178 ~ 3192.e5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.molcel.2022.08.001	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 Kato Takafumi, Kusakizako Tsukasa, Jin Chunhuan, Zhou Xinyu, Ohgaki Ryuichi, Quan LiLi, Xu Minhui, Okuda Suguru, Kobayashi Kan, Yamashita Keitaro, Nishizawa Tomohiro, Kanai Yoshikatsu, Nureki Osamu	4. 巻 13
2. 論文標題 Structural insights into inhibitory mechanism of human excitatory amino acid transporter EAAT2	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 4714
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-022-32442-6	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 Kobayashi Kazuhiro, Kawakami Kouki, Kusakizako Tsukasa, Miyauchi Hirotake, Tomita Atsuhiko, Kobayashi Kan, Shihoya Wataru, Yamashita Keitaro, Nishizawa Tomohiro, Kato Hideaki E., Inoue Asuka, Nureki Osamu	4. 巻 82
2. 論文標題 Endogenous ligand recognition and structural transition of a human PTH receptor	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Molecular Cell	6. 最初と最後の頁 3468 ~ 3483.e5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.molcel.2022.07.003	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 Yamaguchi Sonomi, Naganuma Masahiro, Nishizawa Tomohiro, Kusakizako Tsukasa, Tomari Yukihide, Nishimasu Hiroshi, Nureki Osamu	4. 巻 607
2. 論文標題 Structure of the Dicer-2-R2D2 heterodimer bound to a small RNA duplex	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nature	6. 最初と最後の頁 393 ~ 398
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41586-022-04790-2	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 Hagino Tatsuya, Kato Takafumi, Kasuya Go, Kobayashi Kan, Kusakizako Tsukasa, Hamamoto Shin, Sobajima Tomoaki, Fujiwara Yuichiro, Yamashita Keitaro, Kawasaki Hisashi, Maturana Andr?s D., Nishizawa Tomohiro, Nureki Osamu	4. 巻 13
2. 論文標題 Cryo-EM structures of thylakoid-located voltage-dependent chloride channel VCCN1	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 2505
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-022-30292-w	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 Kurihara Nina, Nakagawa Ryoya, Hirano Hisato, Okazaki Sae, Tomita Atsuhiko, Kobayashi Kan, Kusakizako Tsukasa, Nishizawa Tomohiro, Yamashita Keitaro, Scott David A., Nishimasu Hiroshi, Nureki Osamu	4. 巻 82
2. 論文標題 Structure of the type V-C CRISPR-Cas effector enzyme	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Molecular Cell	6. 最初と最後の頁 1865 ~ 1877.e4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.molcel.2022.03.006	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 Kishi KE*, Kim YS*, Fukuda M*, Inoue M*, Kusakizako T*, Wang PY*, Ramakrishnan C, Byrne EFX, Thadhani E, Paggi JM, Matsui TE, Yamashita K, Nagata T, Konno M, Quirin S, Lo M, Benster T, Uemura T, Liu K, Shibata M, Nomura N, Iwata S, Nureki O, Dror RO, Inoue K, Deisseroth K, Kato HE (*equal contribution)	4. 巻 185
2. 論文標題 Structural basis for channel conduction in the pump-like channelrhodopsin ChRmine	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Cell	6. 最初と最後の頁 672 ~ 689.e23
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cell.2022.01.007	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 Tomita Atsuhiko, Daiho Takashi, Kusakizako Tsukasa, Yamashita Keitaro, Ogasawara Satoshi, Murata Takeshi, Nishizawa Tomohiro, Nureki Osamu	4. 巻 81
2. 論文標題 Cryo-EM reveals mechanistic insights into lipid-facilitated polyamine export by human ATP13A2	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Molecular Cell	6. 最初と最後の頁 4799 ~ 4809.e5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.molcel.2021.11.001	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 Kise Yoshiaki, Kasuya Go, Okamoto Hiroyuki H., Yamanouchi Daichi, Kobayashi Kan, Kusakizako Tsukasa, Nishizawa Tomohiro, Nakajo Koichi, Nureki Osamu	4. 巻 599
2. 論文標題 Structural basis of gating modulation of Kv4 channel complexes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nature	6. 最初と最後の頁 158 ~ 164
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41586-021-03935-z	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 Okamoto Hiroyuki H., Miyauchi Hirotake, Inoue Asuka, Raimondi Francesco, Tsujimoto Hirokazu, Kusakizako Tsukasa, Shihoya Wataru, Yamashita Keitaro, Suno Ryoji, Nomura Norimichi, Kobayashi Takuya, Iwata So, Nishizawa Tomohiro, Nureki Osamu	4. 巻 28
2. 論文標題 Cryo-EM structure of the human MT1-Gi signaling complex	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nature Structural & Molecular Biology	6. 最初と最後の頁 694 ~ 701
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41594-021-00634-1	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 該当する

1. 著者名 草木迫 司	4. 巻 61
2. 論文標題 MATEタンパク質の構造生物学	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本生物物理学会誌「生物物理」	6. 最初と最後の頁 183 ~ 185
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2142/biophys.61.183	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 Jin F, Sun M, Fujii T, Yamada Y, Wang J, Maturana AD, Wada M, Su S, Ma J, Takeda H, Kusakizako T, Tomita A, Nakada-Nakura Y, Liu K, Uemura T, Nomura Y, Nomura N, Ito K, Nureki O, Namba K, Iwata S, Yu Y, Hattori M	4. 巻 19
2. 論文標題 The structure of MgtE in the absence of magnesium provides new insights into channel gating	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 PLOS Biology	6. 最初と最後の頁 e3001231
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pbio.3001231	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 Oda K, Nomura T, Nakane T, Yamashita K, Inoue K, Ito S, Vierock J, Hirata K, Maturana AD, Katayama K, Ikuta T, Ishigami I, Izume T, Umeda R, Eguma R, Oishi S, Kasuya G, Kato T, Kusakizako T, Shihoya W, ..., Nango E, ..., Tono K, Ishitani R, Hayashi S, Kandori H, Hegemann P, Iwata S, Kubo M, Nishizawa T, Nureki O et al.	4. 巻 10
2. 論文標題 Time-resolved serial femtosecond crystallography reveals early structural changes in channelrhodopsin	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 eLife	6. 最初と最後の頁 e62389
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7554/eLife.62389	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 Castellano Steven, Claxton Derek P., Ficici Emel, Kusakizako Tsukasa, Stix Robyn, Zhou Wenchang, Nureki Osamu, Mchaourab Hassane S., Faraldo-Gomez Jose D.	4. 巻 296
2. 論文標題 Conserved binding site in the N-lobe of prokaryotic MATE transporters suggests a role for Na ⁺ in ion-coupled drug efflux	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Biological Chemistry	6. 最初と最後の頁 100262
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jbc.2021.100262	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 Takeda Satoru N., Nakagawa Ryoya, Okazaki Sae, Hirano Hisato, Kobayashi Kan, Kusakizako Tsukasa, Nishizawa Tomohiro, Yamashita Keitaro, Nishimasu Hiroshi, Nureki Osamu	4. 巻 81
2. 論文標題 Structure of the miniature type V-F CRISPR-Cas effector enzyme	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Molecular Cell	6. 最初と最後の頁 558 ~ 570.e3
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.molcel.2020.11.035	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 Taruno Akiyuki, Nomura Kengo, Kusakizako Tsukasa, Ma Zhongming, Nureki Osamu, Foskett J. Kevin	4. 巻 473
2. 論文標題 Taste transduction and channel synapses in taste buds	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Pflugers Archiv - European Journal of Physiology	6. 最初と最後の頁 3 ~ 13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00424-020-02464-4	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 該当する

1. 著者名 Fukuhara Satoshi, Kobayashi Kazuhiro, Kusakizako Tsukasa, Iida Wataru, Kato Masahiko, Shihoya Wataru, Nureki Osamu	4. 巻 533
2. 論文標題 Structure of the human secretin receptor coupled to an engineered heterotrimeric G protein	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Biochemical and Biophysical Research Communications	6. 最初と最後の頁 861 ~ 866
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.bbrc.2020.08.042	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 Demura Kanae*, Kusakizako Tsukasa*, Shihoya Wataru*, Hiraizumi Masahiro*, Nomura Kengo, Shimada Hiroto, Yamashita Keitaro, Nishizawa Tomohiro, Taruno Akiyuki, Nureki Osamu (*equal contribution)	4. 巻 6
2. 論文標題 Cryo-EM structures of calcium homeostasis modulator channels in diverse oligomeric assemblies	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 eaba8105
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.aba8105	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 Shimada Hiroto*, Kusakizako Tsukasa*, Dung Nguyen T. H., Nishizawa Tomohiro, Hino Tomoya, Tominaga Makoto, Nureki Osamu (*equal contribution)	4. 巻 27
2. 論文標題 The structure of lipid nanodisc-reconstituted TRPV3 reveals the gating mechanism	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nature Structural & Molecular Biology	6. 最初と最後の頁 645 ~ 652
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41594-020-0439-z	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 田中 良樹、草木迫 司	4. 巻 56
2. 論文標題 多剤排出輸送体MATEの構造および機能解析	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本薬学会誌「ファルマシア」	6. 最初と最後の頁 514 ~ 518
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14894/faruawpsj.56.6_514	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 Nakamura Ryoki, Numata Tomohiro, Kasuya Go, Yokoyama Takeshi, Nishizawa Tomohiro, Kusakizako Tsukasa, Kato Takafumi, Hagino Tatsuya, Dohmae Naoshi, Inoue Masato, Watanabe Kengo, Ichijo Hidenori, Kikkawa Masahide, Shirouzu Mikako, Jentsch Thomas J., Ishitani Ryuichiro, Okada Yasunobu, Nureki Osamu	4. 巻 3
2. 論文標題 Cryo-EM structure of the volume-regulated anion channel LRRC8D isoform identifies features important for substrate permeation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Communications Biology	6. 最初と最後の頁 240
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s42003-020-0951-z	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

〔学会発表〕 計3件(うち招待講演 3件/うち国際学会 0件)

1. 発表者名 草木迫 司
2. 発表標題 ChRの機能発現機構
3. 学会等名 第35回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 草木迫 司
2. 発表標題 クライオ電子顕微鏡による膜タンパク質の単粒子解析
3. 学会等名 大阪大学蛋白質研究所セミナー（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 草木迫 司、宮内 弘剛、石谷 隆一郎、濡木 理
2. 発表標題 MATEトランスポーターの構造生物学
3. 学会等名 第5回トランスポーター研究会関東部会（招待講演）
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>新規光駆動型イオンチャネルの構造解明と高性能分子ツールの創出～神経科学に光を当てる～ https://www.u-tokyo.ac.jp/focus/ja/press/z0109_00034.html 細胞内へのポリアミン輸送メカニズムの解明（東京大学プレスリリース） https://www.s.u-tokyo.ac.jp/ja/press/2021/7644/ 制御サブユニットによるイオンチャネル巨大複合体のモジュレーション機構を解明（東京大学プレスリリース） https://www.s.u-tokyo.ac.jp/ja/press/2021/7525/ 甘味・うま味・苦味物質の認識に必要なATPチャネルの構造可視化に成功（東京大学理学部プレスリリース） https://www.s.u-tokyo.ac.jp/ja/press/2020/6936/</p>
--

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