

平成 30 年 5 月 31 日現在

機関番号：32644

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2017

課題番号：25282250

研究課題名(和文)精神疾患例での脳神経回路の解析

研究課題名(英文)Analysis of cerebral network in psychiatric disease cases

研究代表者

水谷 隆太(MIZUTANI, Ryuta)

東海大学・工学部・教授

研究者番号：70272482

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,400,000円

研究成果の概要(和文)：統合失調症は、その症状から脳の神経細胞の変化が示唆される。しかし、その物理的基盤は明らかでない。本研究では、統合失調症例と健常例を対象に、SPring-8および米アルゴン国立研 Advanced Photon Sourceにおいて、ナノトモグラフィ法により前帯状回皮質の組織構造を解析した。得られた三次元像から神経細胞をトレースし、神経突起の曲率等を評価した。その結果、神経細胞の構造が個人間で異なり、統合失調症で顕著に変化することが明らかとなった。解析対象とした前帯状回は、意思決定等の精神機能を担う部位とされている。本研究で見出した構造変化は、統合失調症の精神症状を反映している可能性がある。

研究成果の概要(英文)：Psychiatric symptoms of schizophrenia suggest alterations of cerebral neurons. However, the physical basis of schizophrenia has not been delineated. In this study we analyzed tissue structures of the anterior cingulate cortex of schizophrenia and control cases with nanotomography at SPring-8 and at Advanced Photon Source of Argonne National Lab. Tissue constituents visualized in the 3D images were traced to build Cartesian coordinate models of neurons. Neurite geometries were then evaluated by calculating the curvature and torsion from the Cartesian coordinates. The obtained results indicated that neuronal structures are different between individuals, and those differences become extraordinary in schizophrenia. The anterior cingulate cortex is considered responsible for cognitive functions including decision making. The geometrical alteration identified in this study should reflect psychiatric symptoms of schizophrenia.

研究分野：構造生物学

キーワード：マイクロトモグラフィ ナノトモグラフィ 統合失調症 脳 三次元構造

1. 研究開始当初の背景

精神疾患は、脳の神経ネットワークの変化が原因である。しかし、多くの場合、原因となる変化は明らかでなく、精神疾患の治療は発症機構が解明されないまま進められているのが現状である。現に国民の40人に1人が精神科を受診しており[H17~H23厚労省]、精神疾患の生涯有病率は1~2割とされている。他臓器の疾患と同様に、精神疾患の治療も発症機構を明らかにした上で行うべきである。

脳の神経回路は、多数の神経細胞がネットワークを形成して成り立っている。このネットワーク=神経細胞の接続が神経回路の本体であることから、脳の神経回路網はコネクトーム(connectome)と呼ばれている。米NIHは2009年からHuman Connectome Projectを立ち上げ[NIH News, 2009.7.15]、国家的規模で研究を進めていた。このプロジェクトでは、主に「拡散テンソル画像」と呼ばれるヒト脳画像に基づいて、ミリメートル単位での解析が行われた。しかし、神経細胞は大きくても100 μ m程度であり、この方法では個々の細胞を見ることができない。神経ネットワークの解析を目指すならば、細胞や神経突起を観察できる分解能で脳組織を可視化する必要がある。

研究代表者はこのような観点から、X線マイクロトモグラフィ(マイクロCT)法およびナノトモグラフィ(ナノCT)法による脳組織の三次元解析の研究を行ってきた。この方法は、マイクロ~ナノメートル分解能でのCTスキャンを実現する技術で、厚みのあるヒト脳組織でも、微細な構造を決定できる[Mizutani et al. (2010), *Cereb. Cortex* 20, 1739]。本研究では、マイクロCT法・ナノCT法を主要な精神疾患の一つである統合失調症に適用し、神経ネットワークを解析・比較することを目指した。

2. 研究の目的

研究代表者は、これまでにいくつかの生体分子の結晶構造解析を行っている[例えば、Mizutani et al. (2002), *J. Mol. Biol.* 316, 919]。結晶構造解析では、電子密度の中に原子座標を配置し、分子の機能を解析する。この方法をヒト脳組織の三次元解析に適用すれば、三次元的な係数分布から神経細胞の構造を明らかにできると考え、実際にヒト脳の微細構造から神経回路が決定できることを示した[Mizutani et al. (2010), *Cereb. Cortex* 20, 1739]。

同様の解析を統合失調症例で行えば、神経ネットワークと精神症状を関連付けて議論することが可能になる。そこで本研究課題では、統合失調症例および健常例の複数の剖検脳検体を対象に、それぞれの神経ネットワークを解析・比較することを目的とした。特に統合失調症において体積変化等が報告されている前帯状回に着目し、その神経ネットワークの解析を行った。複数の症例の脳組織で

三次元構造を比較することで、疾患に特徴的な変化、あるいは個人間での神経ネットワークの差異や共通点などを同定することを目指す。

3. 研究の方法

ヒト検体を研究に用いることに関しては、東海大・都医学総合研・都松沢病院の倫理に関する各委員会審査を受け、認められた条件に従って研究を実施した。また、放射光施設での測定に際しては、大型放射光施設SPRING-8でヒト検体を用いることに関する申請を行い、また、米国アルゴンヌ国立研究所でInstitutional Biosafety Committeeの審査を受け、それぞれ認められた条件に従って研究を行った。

神経ネットワークの解析を進めるにあたっては、ヒト脳組織検体を重元素で標識して構造解析に適した均一かつ精細な三次元像を得ることが重要である[Mizutani et al. (2007), *J. Synchrotron Radiat.* 14, 282]。そこで、研究前半の目標として、ヒト脳組織の精細なX線像を得られるように重元素標識法を最適化するなど、研究のベースとなる項目の確立を行った。研究後半では、精細な三次元像を安定的に得ることや、得られる微細構造の解釈が重要となった。これらに重点をおいて進めることにより、複数の剖検例で神経ネットワークを比較し、個人間の差異や共通点、あるいは統合失調症での特徴を分析した。

【重元素標識】

銀・オスミウム試薬等を用いて脳組織の重元素標識を進めた。複数の剖検検体に対応するため、標識・包埋法としてもそれぞれの症例に対応して条件を設定した。各標識条件はこれまでの研究成果[Mizutani et al. (2008), *Brain Res.* 1199, 53]に基づいて検討した。

【放射光測定】

剖検例ごとに準備した検体を、放射光施設でのトモグラフィ測定に用いた。測定では、まず、広い視野でのマイクロCT解析により全体像を得て、その後、各神経細胞の構造をナノCT法により明らかにした。

研究代表者は、SPRING-8において長期利用課題「X線マイクロトモグラフィ法によるヒト脳神経回路の解析」を平成25年度まで実施し、本研究課題でもその一環として測定実験を行った。その後は年度毎に利用課題を申請・取得し、BL20XU, BL20B2, BL26B2, BL37XU および BL47XU ビームラインで測定を行った。2016年からは米アルゴンヌ国立研究所Advanced Photon SourceでもPrincipal Investigatorとして課題申請を行い、評点1(extraordinary)~5(poor)の中で1.7の高い評価を得て、2016-2期と2017-3期に32-IDビームラインでナノCT実験を行った。これら測定では、円柱状の検体を長軸方向でスライドさせながら画像取得を繰り返し、X線像データとして持ち帰った後に、再構成計算により三次元構造を得た。

【神経ネットワーク解析】

神経ネットワークの構造解析には、専用のソフトウェアを開発して進めた。以下の構造解析の操作では盲検法を取り入れ、症例によるバイアスを排除した。

解析では、X線吸収係数等の三次元的な分布の中に、神経ネットワークのワイヤーモデルを構築した[Mizutani *et al.* (2011), *AIP Conf. Proc.* **1365**, 403]。まず細胞体や毛細血管等の大きな構造の座標を同定し、自動解析でマスクする領域を設定した。その後、三次元像の中の神経突起を自動的にトレースした。様々なアルゴリズムを検討した結果、トレースの起点を決める段階では、gradient vector flow [Xu & Prince (1998), *IEEE Trans. Image Process.* **7**, 359]を計算し、高いスコアを示す座標を用いるのが有効であった。また、その後の神経突起のトレースは、Sobel フィルター[Al-Kofahi *et al.* (2002), *IEEE Trans. Inf. Technol. Biomed.* **6**, 171]を用いることで良好な結果を得た。これらにより得た構造を初期モデルとし、DirectXを応用したグラフィックス表示上で観察して、三次元像に合致するように修正を加えた。その後、実空間での最小二乗法により座標を最適化した。

得られた55件の構造は、デカルト座標系で記述された三次元座標からなっている。以上の解析により、各症例の神経ネットワークの構造を数値データに基づいて定量的に評価・比較することが可能となった。

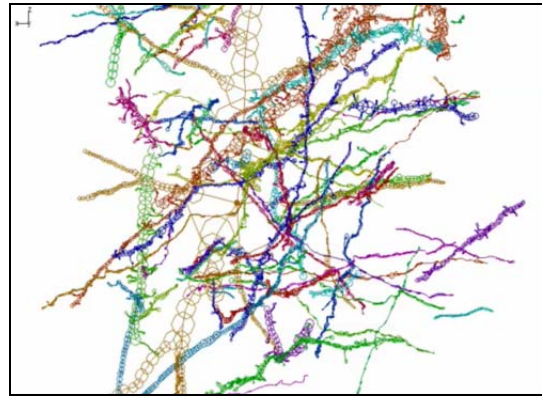
4. 研究成果

神経突起 neurite は、三次元空間の曲線ととらえることができる。三次元的な曲線は曲率 curvature と捩率 torsion で表される。また、神経突起の半径も重要なパラメータである。棘突起 dendritic spine に関しては、neck や長さによるカテゴリが示唆されているので、それらパラメータにも着目して解析した。

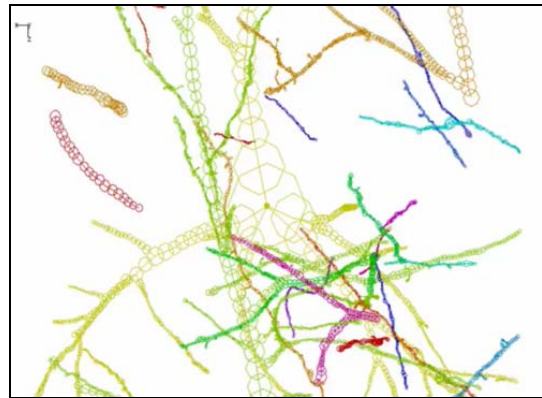
まず、各構造に含まれる神経突起を分岐点で分けて部分曲線とし、統合失調症例 S1-S4 と健常例 N1-N4 で曲率 curvature と捩率 torsion を求めた。その結果、統合失調症では曲率が有意に高く、また、神経突起の半径が細いことが明らかとなった。これらのパラメータ上の特徴は、以下に図示する三次元構造では、神経突起の蛇行あるいは縮れとなって現れている。

棘突起については、統合失調症で個数の変化があるとする報告があるが、本研究で着目した幾何学的性質は、統合失調症例と健常例で同じであった。

このようなナノメータスケールでヒト脳組織を三次元的に解析した研究は前例がない。今回解析したヒト脳の前帯状回は、意思決定等の精神機能を担う部位とされている。本研究で同定された神経細胞の構造の違いは、統合失調症の精神症状に関連している可能性がある。成果の詳細は arXiv に掲載している。 <https://arxiv.org/abs/1804.00404>



統合失調症例 S4 での脳組織の構造



健常例 N4 での脳組織の構造

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 18 件)

*Corresponding author

- ① Rino Saiga and *Ryuta Mizutani (2018). Toxicity of visible light follows a rule similar to that for x-ray damage. *Microscopy Today* **26**(2) 58. 査読有 DOI: 10.1017/S1551929518000263
- ② Rino Saiga, Akihisa Takeuchi, Kentaro Uesugi, Yasuko Terada, Yoshio Suzuki and *Ryuta Mizutani (2018). Method for estimating modulation transfer function from sample images. *Micron* **105**, 64-69. 査読有 DOI: 10.1016/j.micron.2017.11.009
- ③ *Ryuta Mizutani, Rino Saiga, Susumu Takekoshi, Chie Inomoto, Naoya Nakamura, Makoto Arai, Kenichi Oshima, Masanari Itokawa, Akihisa Takeuchi, Kentaro Uesugi, Yasuko Terada and Yoshio Suzuki (2017). Estimating the resolution of real images. *J. Phys. Conf. Ser.* **849** 012042. 査読有 DOI: 10.1088/1742-6596/849/1/012042

- ④ *Ryuta Mizutani, Rino Saiga, Masato Ohtsuka, Hiromi Miura, Masato Hoshino, Akihisa Takeuchi and Kentaro Uesugi (2016). Three-dimensional X-ray visualization of axonal tracts in mouse brain hemisphere. *Sci. Rep.* **6**, 35061. 査読有 DOI: 10.1038/srep35061
- ⑤ Rino Saiga, *Ryuta Mizutani, Chie Inomoto, Susumu Takekoshi, Naoya Nakamura, Akio Tsuboi, Motoki Osawa, Makoto Arai, Kenichi Oshima, Masanari Itokawa, Kentaro Uesugi, Akihisa Takeuchi, Yasuko Terada, and Yoshio Suzuki (2016). Three-dimensional structure of brain tissue at submicrometer resolution. *AIP Conf. Proc.* **1696**, 020004. 査読有 DOI: 10.1063/1.4937498
- ⑥ *Yoshio Suzuki, Akihisa Takeuchi, Yasuko Terada, Kentaro Uesugi, and Ryuta Mizutani (2016). Recent progress of hard x-ray imaging microscopy and microtomography at BL37XU of SPring-8. *AIP Conf. Proc.* **1696**, 020013. 査読有 DOI: 10.1063/1.4937507
- ⑦ *Ryuta Mizutani, Rino Saiga, Susumu Takekoshi, Chie Inomoto, Naoya Nakamura, Masanari Itokawa, Makoto Arai, Kenichi Oshima, Akihisa Takeuchi, Kentaro Uesugi, Yasuko Terada, and Yoshio Suzuki (2016). A method for estimating spatial resolution of real image in the Fourier domain. *J. Microsc.* **261(1)**, 57-66. 査読有 DOI: 10.1111/jmi.12315
- ⑧ *Ryuta Mizutani, Rino Saiga, Susumu Takekoshi, Makoto Arai, Akihisa Takeuchi, and Yoshio Suzuki (2015). Scanning brain networks with micro-CT. *Microscopy Today* **23(5)**, 12-17. 査読有 DOI: 10.1017/S1551929515000784
- ⑨ *Ryuta Mizutani, Rino Saiga, Kentaro Uesugi, Akihisa Takeuchi, Yasuko Terada, and Yoshio Suzuki (2015). X-ray tomographic microscopy of Drosophila brain network and skeletonized model building in the three-dimensional image. *Microsc. Microanal.* **21(S3)**, 917-918 (2015). 査読有 DOI: 10.1017/S1431927615005383
- ⑩ Rino Saiga, Susumu Takekoshi, Chie Inomoto, Naoya Nakamura, Akio Tsuboi, Motoki Osawa, Makoto Arai, Kenichi Oshima, Masanari Itokawa, Kentaro Uesugi, Akihisa Takeuchi, Yasuko Terada, Yoshio Suzuki, and *Ryuta Mizutani (2015). Three-dimensional neuronal structure of human cerebral cortex determined by synchrotron-radiation microtomography. *Microsc. Microanal.* **21(S3)**, 919-920 (2015). 査読有 DOI: 10.1017/S1431927615005395
- ⑪ *Masato Ohtsuka, Hiromi Miura, Keiji Mochida, Michiko Hirose, Ayumi Hasegawa, Atsuo Ogura, Ryuta Mizutani, Minoru Kimura, Ayako Isotani, Masahito Ikawa, Masahiro Sato and Channabasavaiah B Gurumurthy (2015). One-step generation of multiple transgenic mouse lines using an improved Pronuclear Injection-based Targeted Transgenesis (i-PITT). *BMC Genomics* **16(1)**, 274. 査読有 DOI: 10.1186/s12864-015-1432-5
- ⑫ *水谷隆太, 雑賀里乃, 竹内晃久, 上杉健太郎, 寺田靖子, 鈴木芳生 (2014). SPring-8放射光による神経回路ネットワークの解析. *顕微鏡* **49(3)**, 222-225. 査読有 http://microscopy.or.jp/jsm/wp-content/uploads/publication/kenbikyoku/49_3/pdf/49-3-222.pdf 【招待】
- ⑬ *Hideshi Yokoyama and Ryuta Mizutani (2014). Structural biology of DNA (6-4) photoproducts formed by ultraviolet radiation and interactions with their binding proteins. *Int. J. Mol. Sci.* **15**, 20321-20338. 査読有 DOI: 10.3390/ijms151120321 【招待】
- ⑭ *Ryuta Mizutani, Rino Saiga, Akihisa Takeuchi, Kentaro Uesugi and Yoshio Suzuki (2014). Three-dimensional analysis of neuronal circuits of the human brain by X-ray microtomography. *SPring-8 Information* **19(3)**, 225-229. <http://user.spring8.or.jp/sp8info/?p=31574> 【招待】
- ⑮ *Ryuta Mizutani, Yusuke Shimizu, Rino Saiga, Go Ueno, Yuki Nakamura, Akihisa Takeuchi, Kentaro Uesugi, and Yoshio Suzuki (2014). Spatiotemporal development of soaked protein crystal. *Scientific Reports* **4**, 5731. 査読有 DOI: 10.1038/srep05731
- ⑯ *Ryuta Mizutani, Rino Saiga, Akihisa Takeuchi, Kentaro Uesugi and Yoshio Suzuki (2013). Three-dimensional network of *Drosophila* brain hemisphere. *J. Struct. Biol.* **184(2)**, 271-279. 査読有 DOI: 10.1016/j.jsb.2013.08.012
- ⑰ *水谷隆太, 雑賀里乃 (2013). X線マイクロトモグラフィ法によるヒト大脳神経回路の決定. Determination of neuronal

circuit of human cerebral cortex by using X-ray microtomography. *放射光 J. Jpn. Soc. Synchrotron Radiat. Res.* **26(5)**, 268-275.

<http://www.jssrr.jp/journal/26-5.html>

【招待】

- ⑱ *Ryuta Mizutani, Keisuke Taguchi, Masato Ohtsuka, Minoru Kimura, Akihisa Takeuchi, Kentaro Uesugi, and Yoshio Suzuki (2013). X-ray microtomographic visualization of *Escherichia coli* by metalloprotein overexpression. *J. Synchrotron Radiation* **20(4)**, 581-586.
査 読 有 DOI: 10.1107/S0909049513008467

[学会発表] (計 22 件)

- ① *水谷隆太, 雑賀里乃, 上相 真之, 星野真人, 竹内晃久, 上杉健太郎, 寺田靖子, 鈴木芳生, Vincent De Andrade, Francesco De Carlo (2018). 放射光 X 線を用いた生物試料の三次元解析. 日本動物学会第 89 回大会 (2018 年 9 月予定, 札幌) 【招待】
- ② Rino Saiga, *Ryuta Mizutani, Susumu Takekoshi, Motoki Osawa, Makoto Arai, Akihisa Takeuchi, Kentaro Uesugi, Yoshio Suzuki, Vincent De Andrade, Francesco De Carlo (2017). Reconstruction of brain network with micro/nano tomography. Microscopy Conference 2017 (2017.8, Lausanne).
- ③ *Ryuta Mizutani, Rino Saiga, Yoshiko Itoh, Yoshio Suzuki (2017). Resolution estimation of real sample images. Microscopy Conference 2017 (2017.8, Lausanne).
- ④ Rino Saiga, *Ryuta Mizutani, Susumu Takekoshi, Motoki Osawa, Makoto Arai, Akihisa Takeuchi, Kentaro Uesugi, Yasuko Terada, Yoshio Suzuki, Vincent De Andrade, Francesco De Carlo (2017). Nanotomography of brain networks. American Physical Society, March Meeting 2017 (2017.3, New Orleans).
- ⑤ *Ryuta Mizutani, Rino Saiga, Susumu Takekoshi, Chie Inomoto, Naoya Nakamura, Makoto Arai, Kenichi Oshima, Masanari Itokawa, Akihisa Takeuchi, Kentaro Uesugi, Yasuko Terada, Yoshio Suzuki (2016). A method for estimating sample image resolution. XRM2016: 13th International Conference on X-Ray Microscopy (2016.8, Oxford).
- ⑥ Rino Saiga, Masato Ohtsuka, Masato Hoshino, Akihisa Takeuchi, Kentaro

Uesugi, *Ryuta Mizutani (2016). Mouse brain network visualized with x-ray microtomography. XRM2016: 13th International Conference on X-Ray Microscopy (2016.8, Oxford).

- ⑦ 藤巻知央, 菊池亜弥, 蓮見真子, 竹腰進, 井野元智恵, 中村直哉, 坪井秋男, 大澤資樹, 新井誠, 大島健一, 糸川昌成, 上杉健太郎, 竹内晃久, 寺田靖子, 鈴木芳生, 雑賀里乃, *水谷隆太 (2015). ヒト大脳皮質の神経回路の三次元解析. 第 88 回日本生化学会大会 (2015 年 12 月, 京都)
- ⑧ Rino Saiga, Susumu Takekoshi, Chie Inomoto, Naoya Nakamura, Akio Tsuboi, Motoki Osawa, Makoto Arai, Kenichi Oshima, Masanari Itokawa, Kentaro Uesugi, Akihisa Takeuchi, Yasuko Terada, Yoshio Suzuki, *Ryuta Mizutani (2015). Three-dimensional neuronal structure of human cerebral cortex determined by synchrotron-radiation microtomography. Microscopy & Microanalysis 2015 Meeting (2015.8, Portland).
- ⑨ *Ryuta Mizutani, Rino Saiga, Kentaro Uesugi, Akihisa Takeuchi, Yasuko Terada, Yoshio Suzuki (2015). X-ray tomographic microscopy of Drosophila brain network and skeletonized model building in the three-dimensional image. Microscopy & Microanalysis 2015 Meeting (2015.8, Portland).
- ⑩ *水谷隆太, 清水優輔, 吉田翔大, 雑賀里乃, 上野剛, 仲村勇樹, 竹内晃久, 上杉健太郎, 鈴木芳生 (2014). ソーキング過程にある蛋白質結晶の時分割解析. 第 87 回日本生化学会大会 (2014 年 10 月, 京都)
- ⑪ *Yoshio Suzuki, Akihisa Takeuchi, Yasuko Terada, Kentaro Uesugi, Ryuta Mizutani (2014). Recent progress of imaging microscopy and microtomography at BL37XU of SPring-8. The 12th International Conference on X-Ray Microscopy 2014 (2014.10, Melbourne).
- ⑫ Rino Saiga, *Ryuta Mizutani, Akihisa Takeuchi, Kentaro Uesugi, Yoshio Suzuki (2014). Three-dimensional structure of the fruit-fly brain network. The 12th International Conference on X-Ray Microscopy 2014 (2014.10, Melbourne).
- ⑬ *Ryuta Mizutani, Akihisa Takeuchi, Kentaro Uesugi, Yoshio Suzuki (2014). X-ray microtomographic visualization of microorganisms by metalloprotein

overexpression. The 12th International Conference on X-Ray Microscopy 2014 (2014.10, Melbourne).

- ⑭ 雑賀里乃, *水谷隆太, 竹内晃久, 上杉健太朗, 寺田靖子, 鈴木芳生 (2014). X線マイクロトモグラフィ法によるショウジョウバエ脳の神経ネットワークの構造解析. 第75回応用物理学会秋季学術講演会 (2014年9月, 札幌)
- ⑮ *水谷隆太, 雑賀里乃, 竹腰進, 井野元智恵, 中村直哉, 大澤資樹, 新井誠, 大島健一, 糸川昌成, 竹内晃久, 上杉健太朗, 鈴木芳生 (2014). X線マイクロトモグラフィ法によるヒト大脳皮質の三次元構造解析. SPring-8 シンポジウム 2014 (2014年8月, 東京)
- ⑯ Rino Saiga, Susumu Takekoshi, Naoya Nakamura, Akihisa Takeuchi, Kentaro Uesugi, Yoshio Suzuki, *Ryuta Mizutani (2014). Building human brain network in electron density map determined by X-ray microtomography. 23rd Congress and General Assembly of the International Union of Crystallography (2014.8, Montréal).
- ⑰ *Ryuta Mizutani, Yusuke Shimizu, Rino Saiga, Go Ueno, Yuki Nakamura, Akihisa Takeuchi, Kentaro Uesugi, Yoshio Suzuki (2014). Visualizing soaking process of protein crystal 23rd Congress and General Assembly of the International Union of Crystallography (2014.8, Montréal).
- ⑱ *水谷隆太 (2013). X線マイクロトモグラフィ法によるヒト大脳神経回路の解析. SPRUC 拡大研究会・SPring-8 利用ワークショップ (2014年2月, 兵庫県佐用町) 【招待】
- ⑲ *鈴木芳生, 寺田靖子, 竹内晃久, 上杉健太朗, 田村繁治, 水谷隆太 (2014). 広視野高分解能硬X線結像顕微鏡によるマイクロCT. 第27回日本放射光学会年会 (2014年1月, 広島)
- ⑳ 雑賀里乃, *水谷隆太, 竹腰進, 井野元智恵, 中村直哉, 大澤資樹, 新井誠, 大島健一, 糸川昌成, 竹内晃久, 上杉健太朗, 鈴木芳生 (2013). X線マイクロトモグラフィ法によるヒト脳組織の三次元構造解析. 第74回応用物理学会秋季学術講演会 (2013年9月, 京都府京田辺市)
- 21 *水谷隆太, 雑賀里乃, 竹腰進, 井野元智恵, 中村直哉, 大澤資樹, 新井誠, 大島健一, 糸川昌成, 竹内晃久, 上杉健太

朗, 鈴木芳生 (2013). X線マイクロトモグラフィ法によるヒト大脳皮質の三次元構造解析. SPring-8 シンポジウム 2013 (2013年9月, 京都)

- 22 *鈴木芳生, 寺田靖子, 竹内晃久, 上杉健太朗, 水谷隆太 (2013). BL37XUにおけるX線顕微鏡の開発について. SPring-8 ユーザー協同体 X線マイクロ・ナノトモグラフィ研究会 (2013年9月, 京都) 【招待】

〔その他〕
報道等

Emerging Technology from the arXiv, September 16, 2016. First 3-D Map of a Fruit Fly's Brain Network. (東海大学の水谷教授ハエの脳を三次元地図化) MIT Technology Review.

Entire Fruit Fly Brain Imaged with Electron Microscopy, May 31, 2017. The Scientist.

ホームページ等

[YouTube]

<https://www.youtube.com/user/mizutaniLab>

[GitHub]

<https://github.com/mizutanilab>

[研究室サイト]

<https://mizutanilab.github.io/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

水谷 隆太 (MIZUTANI, Ryuta)

東海大学・工学部・教授

研究者番号：70272482

(2) 連携研究者

鈴木 芳生 (SUZUKI, Yoshio)

公益財団法人高輝度光科学研究センター

・利用研究促進部門・副主席研究員

(現東京大学・大学院新領域創成科学研究科・非常勤講師)

研究者番号：20372146

竹腰 進 (TAKEKOSHI, Susumu)

東海大学・医学部・教授

研究者番号：70216878

糸川 昌成 (ITOKAWA, Masanari)

公益財団法人東京都医学総合研究所・病院等連携研究センター・センター長

研究者番号：40332324

(3) 研究協力者

雑賀 里乃 (SAIGA, Rino)