

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 5 月 25 日現在

機関番号：32689

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2020～2021

課題番号：20K20923

研究課題名（和文）超解像を用いた革新的ガンマ線イメージング技術の創成

研究課題名（英文）Innovative gamma-ray imaging based on super-resolution technique

研究代表者

片岡 淳（KATAOKA, JUN）

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：90334507

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では10 keVから10 GeVのX線・ガンマ線画像で広く適用可能なスパースコーディング技術を新たに開発し、その性能を定量的に評価した。宇宙分野においては、フェルミガンマ線天文衛星が取得した全天マップの鮮鋭化と未来予測に成功し、活動銀河核フレアなど突発天体を自動抽出する新たな手法を確立した。医療分野では、フォトンカウンティングCT画像の鮮鋭化による画質の向上を実現した。さらに、X線ガンマ線を同時に撮影可能な新しい可視化システムを開発し、得られた画像に4種類の機械学習を適用することで、短時間の測定における画像鮮鋭化にも成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、科学分野においても天文画像からの新天体発見やブラックホールの撮像など、機械学習の様々な応用が試みられている。一般に、画像における特徴量の抽出には、十分な解像度とコントラストをもつ膨大な学習データ（教師データ）が必要となるが、高エネルギー実験で得られる画像は総じてイベント数が少なく、解像度も十分ではない。医療分野に目を向けると、次世代診断技術であるフォトンカウンティングCTや核医学イメージングでは、同様に画質の良し悪しが診断精度を決める鍵となる。本研究で開発した機械学習は、これらX線ガンマ線イメージングに特化した新しいアプローチで画像の鮮鋭化を可能とし、さまざまな応用が期待される。

研究成果の概要（英文）：In this study, we developed a new sparse coding technique that can be widely applied to X-ray and gamma-ray images from 10 keV to 10 GeV, and evaluated its performance quantitatively. In the application to space science, we succeeded in sharpening the all-sky map acquired by the Fermi Gamma-ray astronomical satellite and established a new method for automatically detecting transient sources like flaring AGN. In the medical application, we have improved the image quality by sharpening the photon counting CT images. Furthermore, we have developed a new visualization system that can visualize X-rays and gamma rays at the same time. By applying four types of machine learning techniques, we have succeeded in sharpening/improving the images in a short time.

研究分野：宇宙科学、医療イメージング

キーワード：X線ガンマ線イメージング 機械学習 スパースコーディング 超解像

1. 研究開始当初の背景

近年、科学分野においても天文画像からの新天体発見やブラックホールの撮像など、機械学習の様々な応用が試みられている。画像における特徴量の抽出には、十分な解像度とコントラストをもつ膨大な学習データ（教師データ）が必要となるが、高エネルギー実験で得られる画像は総じてイベント数が少なく、解像度も十分ではない。とくにガンマ線は光子1つ1つとの相互作用を介した特殊な画像再構成が必須となり、可視光でのイメージングとは大きく様相が異なる。物理計測、とくに高エネルギー実験に特化した機械学習の開発は未だ十分でなく、基礎的な方法論の確立から応用範囲の精査において多くが未踏のままである。医療分野に目を向けると、X線CTやMRIなど画像診断の支援システムとしてAI（人工知能）を活用し、病巣の発見や誤診を軽減する試みは近年盛んに行われつつある。CTやMRIでは各症例で既に膨大な学習データ（教師データ）が存在し、また画像そのものの解像度やコントラストも優れる。一方で、近年では従来CTの1/100程度の超低線量で画像に色付けするフォトンカウンティング技術が注目され、これらCT撮影では同様に画像の統計不足が予想される。また、核医学治療で使われるPET（陽電子断層撮影）やSPECT（単一光子断層撮影）、さらには次世代イメージング技術の一つとして注目されるコンプトンカメラが対象とするのはいずれもガンマ線であり、高エネルギー物理学と同様にイメージング技術の革新が求められている。

2. 研究の目的

本研究では10 keVから10 GeVのX線ガンマ線イメージングに最適な「汎用スパースコーディング技術」を開発し、次世代医療・天文学の開拓に向けた新たな革新を目指す。また、次世代診断技術であるフォトンカウンティングCTの画像に、同様な機械学習を適用することで、統計不足の超低線量CT画像に関しても大幅な画質の向上を目指す。ガンマ線は波長が約 1\AA ($=10^{-10}\text{m}$)以下と短く、エネルギーで約10keV以上の光である。可視光やX線と違いレンズや反射鏡で集光できないため、光子1つ1つを粒子として扱う「非集光型」イメージングが必須となる。ガンマ線と物質の相互作用は(1)光電効果(2)コンプトン散乱(3)電子対生成に分けられる(図1)。概ね100 keV以下のガンマ線は光電効果が支配的であり、ピンホールカメラや関連技術(コリメータ、コード化マスク)で可視化する。100keVから10MeVの中エネルギー帯はコンプトン散乱が卓越し、その運動学を解くことで到来方向を決定する。10MeV以上は電子対生成のシャワーを追うことでイメージングが可能となる。つまり、ガンマ線はエネルギー毎に可視化の方法が異なり、解像度や光子統計も限られ、機械学習による画像処理が最も苦手とする対象といえる。本研究では、すべてのエネルギー帯のガンマ線に最適な「汎用スパースコーディング技術」を実機で検証し、また衛星の観測データに直接適用する。

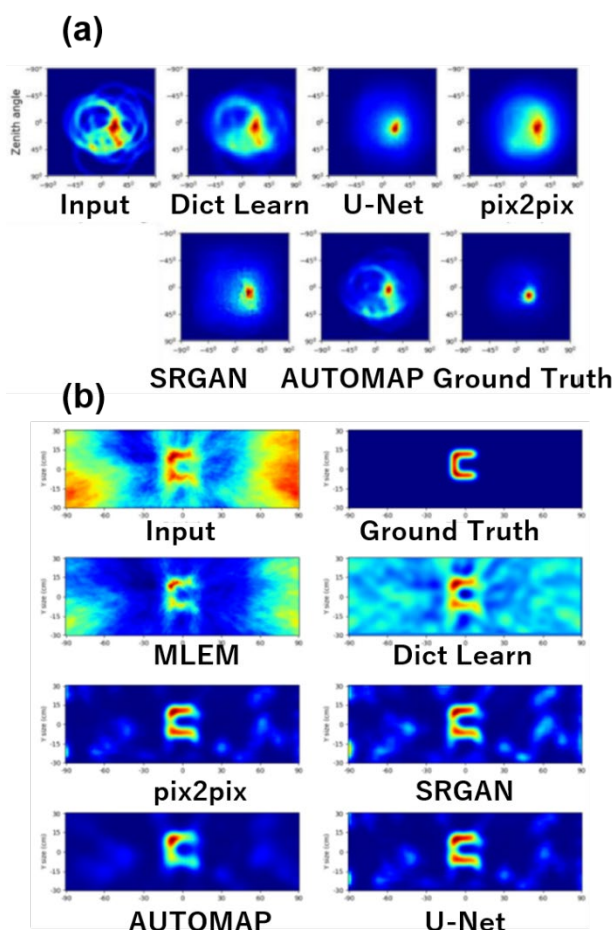


図1: 様々な機械学習を用いたコンプトンカメラ画像の鮮鋭化 (a) 点線源 (b) 広がった線源

3. 研究の方法

[1] X線ガンマ線画像に特化したスパースコーディング技術の開発

本研究ではスパースコーディングとして4種類の機械学習(dictionary learning, U-Net, AUTOMAP, SRGAN)をベースとした開発を行いつつ、上記のX線ガンマ線イメージングに特有な相互作用に立脚した新しいアプローチを提案した。サンプルのガンマ線画像として、ピンホールカメラおよびコンプトンカメラで取得した画像、またフェルミガンマ線宇宙望遠鏡で取得した電子対生成によるガンマ線全天マップを用いた。教師データとしてはシミュレーションツールであるGeant-4と後述するハイブリッド・コンプトンカメラの実機を相補的に用い、検出器

の物理特性や相互作用、バックグラウンドを加味した高精度画像予測の手法を開発した。さらに、X線CT画像に関しては、様々な造影剤やナノ粒子の多色画像にノイズ除去の新しい手法としてNoise2Noiseを適用することで、画質の向上を試みた。

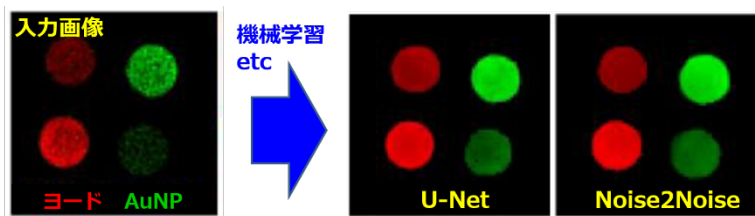


図2: フォトンカウンティングCTで取得した、ヨード造影剤及び金ナノ粒子のX線画像(左)と、機械学習を適用した後の鮮鋭画像(右)

[2] ハイブリッド・コンプトンカメラの作成と実機での検証

コンプトンカメラは「散乱体」「吸収体」から構成され、両者間でコンプトン散乱したイベントの運動学を解くことでガンマ線の到来方向を決定する。おもに中エネルギーのガンマ線に有効であるが、低エネルギー・ガンマ線は散乱体で全吸収されイメージングできない。本研究ではこれまで開発したコンプトンカメラ(文献[1])だけでなく、散乱体にアクティブ・ピンホールカメラとしての機能を持たせ、200 keV以下をピンホールモード、それ以上をコンプトンモードで同時に撮影する「ハイブリッドコンプトンカメラ (Hybrid CC)」を開発した(文献[2],[3])。散SPECT(単一光子放射断層撮影)を模擬することも可能となる。つまり10 keV~1 MeVのイメージングをコンパクトなカメラ一台で実現し、さまざまな機械学習モデルで検証可能な実機データを収集した。

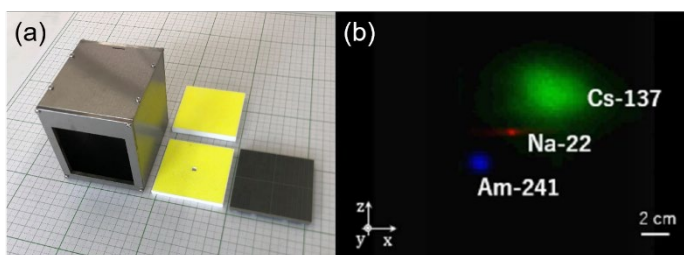


図3: (a) 開発したハイブリッド・コンプトンカメラ (Hybrid CC) (b)60keV/511keV/662keVのトリ・モダルイメージング

[3] 医療診断画像や天文衛星画像への適用

コンプトンカメラの医療応用として、核医学治療であるアルファ線内用療法に着目し、薬剤の体内集積をガンマ線で撮影することを試みた。ここで得られた画像に対し、上記スパースコーディングを適用した。成功すれば、数分間の診断から薬剤分布を鮮鋭に画像化し、検査時間の短縮と患者負担の軽減を目指すことが期待できる。天文分野への応用としては、ガンマ線天文衛星フェルミの10年分データを1週間ごとに様々な空間領域で分割し、これを基底辞書として学習させ、予測を試みた。1年後の予想データと実際のデータを比較することで、その不一致の原因を探り、突発天体である活動銀河核のフレアなどの自動検出を試みた。

4. 研究成果

[1] X線ガンマ線画像に特化したスパースコーディング技術の開発

コンプトンカメラで測定した点線源の測定データに対して、様々な機械学習を適用した。統計量不足によるアーチファクトが全般的に改善しSSIM, RMSE, PSNRといった定量評価指標を用いることでU-Netがもっともすぐれた結果を与えることが分かった(図1(a): 文献[4])。続いて、広がりを持つ複数の線源を測定した画像に対して、機械学習を適用した。実機のコンプトンカメラによりC字型線源を測定したデータに対して機械学習を適用した結果を図1(b)に示す(文献[5])。最後に、フォトンカウンティングCTで取得した画像に機械学習を適用することでSNを向上させることに挑戦した。エネルギー分解画像に機械学習を適用したことで画像のSNが大幅に向上していることが確認できる。その結果、濃度推定画像を鮮明に描画することにも成功した(図2: 文献[6])。

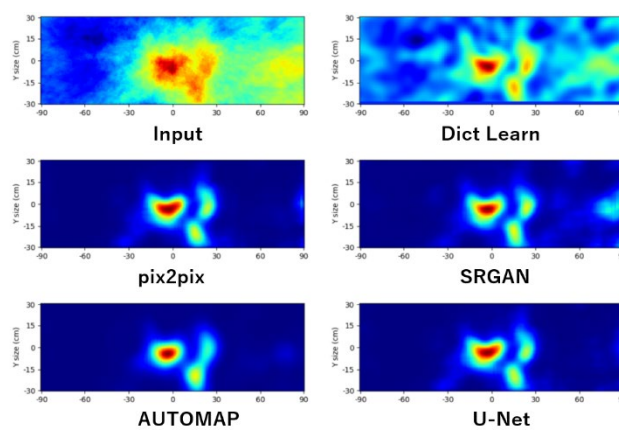


図4: 医療用コンプトンカメラで撮影した、Ra-223の人体集積の様子(左上)と、これをもとに様々な機械学習で推測した鮮鋭画像

[2] ハイブリッド広帯域ガンマ線カメラの作成と実機での検証

散乱体として1x1x3mmのCe:GAGGシンチレータを42x42アレイ並べ、中心に5x5mmのピンホールを穿ち、吸収体として1x1x5mmのCe:GAGGシンチレータを42x42アレイ並べたHybrid CCを作成した(図3a)。同装置は広帯域イメージングを特徴としSPECT(ピンホール)

/PET/コンプトンすべての機能を一台で実現することができる。このトリモダル・イメージングを実測で検証した結果を図 3b に示す。Am-241 (60keV/ピンホール), Na-22 (511keV/PET), Cs-137 (662keV/コンプトン)での撮影が同時に実現されている。さらに、同カメラでは核医学治療薬(アスタチン)を投与した生体マウスの同時イメージングや中性子による薬剤放射化イメージングに成功したが、これらは異なる科研費(基盤研究A)の補助を主に受けた成果のため、ここでは割愛する。

[3] 医療診断画像や天文衛星画像への適用

近年、骨転移のある去勢抵抗性前立腺ガンの特効薬としてアルファ線(α 線)核種である塩化ラジウム(Ra-223)が用いられ、注目を集めている。コンプトンカメラを用いた世界初の臨床試験として、阪大病院でRa-223を2.9MBq投与した患者に対し、コンプトンカメラでの撮影を試みた(文献[7])。撮影は投与28時間後に10分間行い、 $350 \pm 30 \text{keV}$ の核ガンマ線のみをイメージングに使用した。画像に機械学習(U-net等)を適用することで、撮影時間が短縮できる可能性を示した。結果を図4に示す。最後に、宇宙応用については、フェルミ衛星で取得したガンマ線の全天マップにDictionary Learning, U-Net, Noise2Noiseを適用することでその優劣を議論した(図5)また実測の観測データ1年分と機械学習による予測データの違いから、多数の突発天体を自動検出することに成功した。いずれも、ブレーザーとよばれる時間変動が激しい活動銀河であり、機械学習が突発天体の自動抽出に有効であることを初めて示した(文献[8])。

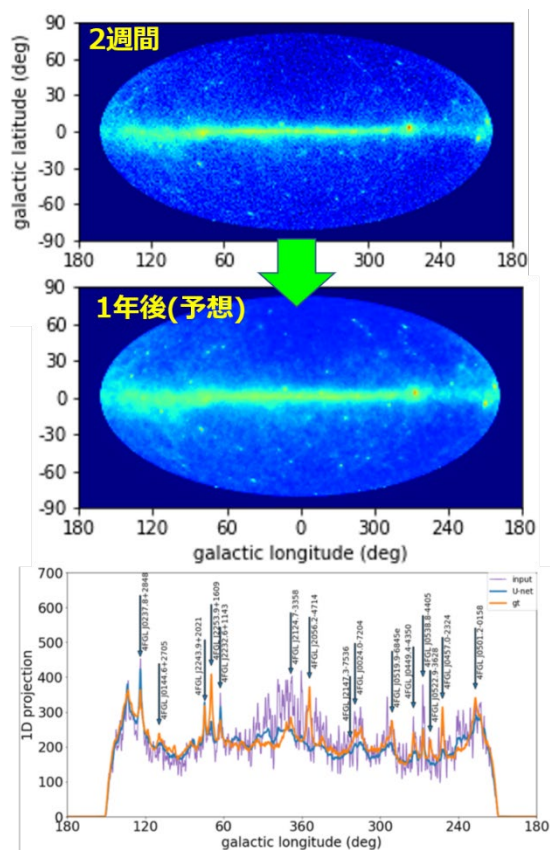


図5:(上・中)機械学習を用いて、2週間のフェルミ衛星データから予想した、1年後の全天マップ。(下)予想マップと実際の観測マップの比較から検出した変動天体

5. まとめと今後の展望

今回、挑戦的研究(萌芽)で開発した機械学習の手法は、X線ガンマ線で取得したあらゆる画像に応用可能で、特に統計不足でノイズが多く、学習すべき教師データが少ない特殊な状況で有効である。今後は、本手法をさらに高度化することで、様々な診断・治療イメージング、さらには基礎科学の発展に貢献していきたい。

<引用文献>

- [1] J.Kataoka, A.Kishimoto, T.Taya et al., "Ultracompact Compton camera for innovative gamma-ray imaging", 2018, NIM-A, vol.912, pp.1-5
- [2] A.Omata, J.Kataoka, K.Fujieda et al. "Performance demonstration of a hybrid Compton camera with an active pinhole for wide-band X-ray and gamma-ray imaging", 2020, Sci. Rep.10, 14064
- [3] A.Omata, M.Masubuchi, N.Koshikawa et al. 2022, "Multi-modal 3D imaging of radionuclides using multiple hybrid Compton cameras", 2022, Sci. Rep. 12. 2546
- [4] S.Sato, J.Kataoka, J.Kotoku et al. "First application of the super-resolution imaging technique using a Compton camera", 2020, NIM-A, vol.969, 14034
- [5] S.Sato, J.Kataoka, J.Kotoku et al. "High-statistics image generation from sparse radiation images by four types of machine-learning models", 2020, Jinst, 15, P10026
- [6] T.Toyoda, S.Sato, H.Kiji et al. "Application of machine-learning models to improve the image quality of photon-counting CT images", 2021, Jinst, 16, P05021
- [7] K.Fujieda, J.Kataoka, S.Mochizuki et al. "First demonstration of portable Compton camera to visualize 223-Ra concentration for radionuclide therapy", 2018, NIM-A, vol.958, 162802
- [8] S.Sato, J.Kataoka, S.Ito et al. "Machine-learning Application to Fermi-LAT Data: Sharpening All-sky Map and Emphasizing Variable Sources", 2021, ApJ, 913, 83

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 12件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 Akihisa Omata, Miho Masubuchi, Nanase Koshikawa, Jun Kataoka, Hiroki Kato, Atsushi Toyoshima, Takahiro Teramoto, Kazuhiro Ooe, Yuwei Liu, Keiko Matsunaga, Takashi Kamiya, Tadashi Watabe, Eku Shimosegawa & Jun Hatazawa	4. 巻 12
2. 論文標題 Multi-modal 3D imaging of radionuclides using multiple hybrid Compton cameras	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 2546
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-022-06401-6	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 片岡 淳, 小俣 陽久, 増淵 美穂, 越川 七星	4. 巻 39
2. 論文標題 コンプトンカメラを用いたアクティブ動態イメージング	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 MEDICAL IMAGING TECHNOLOGY	6. 最初と最後の頁 223-228
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 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 Marino Yamamoto, Jun Kataoka, Yoshiaki Sofue	4. 巻 512
2. 論文標題 Discovery of non-equilibrium ionization plasma associated with the North Polar Spur and Loop I	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 2034-2043
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stac577	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 Sofue Yoshiaki, Kataoka Jun	4. 巻 506
2. 論文標題 Interaction of the galactic-centre super bubbles with the gaseous disc	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 2170-2180
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stab1857	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 Ito Soichiro, Inoue Yoshiyuki, Jun Kataoka	4. 巻 916
2. 論文標題 Spatial Variations of Magnetic Field along Active Galactic Nuclei Jets on Sub-parsec to Megaparsec Scales	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 95
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac0827	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 S.Sato, J.Kataoka, J.Kotoku, M.Taki, A.Oyama, L.Tagawa, K.Fujieda, F.Nishi, T.Toyoda	4. 巻 913
2. 論文標題 Machine-learning Application to Fermi-LAT Data: Sharpening All-sky Map and Emphasizing Variable Sources	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 83
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abf48f	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 T. Toyoda, S. Sato, H. Kiji, J. Kataoka, J. Kotoku and M. Taki	4. 巻 16
2. 論文標題 Application of machine-learning models to improve the image quality of photon-counting CT images	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Instrumentation	6. 最初と最後の頁 P05021
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1748-0221/16/05/P05021	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 Jun Kataoka, Marino Yamamoto, Yuki Nakamura, Soichiro Ito, Yoshiaki Sofue, Yoshiyuki Inoue, Takeshi Nakamori, Tomonori Totani	4. 巻 908
2. 論文標題 Origin of Galactic Spurs: New Insight from Radio/X-Ray All-sky Maps	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abdb31	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 Jun KATAOKA	4. 巻 5
2. 論文標題 Activity Bubbling Up	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nature Astronomy	6. 最初と最後の頁 11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41550-020-01269-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 Akihisa Omata, Jun Kataoka, Kazuya Fujieda, Shogo Sato, Eri Kuriyama, Hiroki Kato, Atsushi Toyoshima, Takahiro Teramoto, Kazuhiro Ooe, Yuwei Liu, Keiko Matsunaga, Takashi Kamiya, Tadashi Watabe, Eku Shimosegawa & Jun Hatazawa	4. 巻 10
2. 論文標題 Performance demonstration of a hybrid Compton camera with an active pinhole for wide-band X-ray and gamma-ray imaging	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nature Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 14064
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-71019-5	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 S. Sato, J. Kataoka, J. Kotoku, M. Taki, A. Oyama, L. Tagawa, K. Fujieda, F. Nishi	4. 巻 15
2. 論文標題 The International School for Advanced Studies (SISSA), find out more The International School for Advanced Studies (SISSA), find out more High-statistics image generation from sparse radiation images by four types of machine-learning models	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Instrumentation	6. 最初と最後の頁 P10026
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1748-0221/15/10/P10026	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 S.Sato, J.Kataoka, J.Kotoku, M.Taki, A.Oyama, L.Tagawa, K.Fujieda, F.Nishi, T.Toyoda	4. 巻 969
2. 論文標題 First application of the super-resolution imaging technique using a Compton camera	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A	6. 最初と最後の頁 164034
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nima.2020.164034	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 -

〔学会発表〕 計13件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 7件）

1. 発表者名 T.Toyoda, J.Kataoka, M.Sagisaka, M.Arimoto, D.Sato, K.Yoshiura, S.Kobayashi, H. Kawashima, J.Kotoku, S.Terazawa, S.Shiota, M.Ueda
2. 発表標題 Toyoda, T. et al. Performance demonstration of a novel Photon-counting CT for clinical application
3. 学会等名 16th Vienna Conference on Instrumentation 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Akihisa Omata, Miho Masubuchi, Nanase Koshikawa, Jun Kataoka, Hiroki Kato, Atsushi Toyoshima, Takahiro Teramoto, Kazuhiro Ooe, Yuwei Liu, Keiko Matsunaga, Takashi Kamiya, Tadashi Watabe, Eku Shimosegawa & Jun Hatazawa
2. 発表標題 Performance demonstration of multi-modal imaging using hybrid Compton cameras
3. 学会等名 16th Vienna Conference on Instrumentation 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 増淵 美穂、小俣 陽久、越川 七星、片岡 淳、加藤 弘樹、豊嶋 厚史、大江 一弘、片山 大輔、寺本 高啓、松永 恵子、神谷 貴史、渡部 直史、下瀬川 恵久、畑澤 順
2. 発表標題 広帯域X線ガンマ線撮像による生体マウス薬物動態 (At-211) イメージングの実証
3. 学会等名 第69回 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 A.Omata, M.Masubuchi, N.Koshikawa, J.Kataoka, H.Kato, A.Toyoshima, T.Teramoto, K.Ooe, Y.Liu, K.Matsunaga, T.Kamiya, T.Watabe, E.Shimosegawa & J. Hatazawa
2. 発表標題 Performance demonstration of multi-modal imaging using hybrid Compton cameras
3. 学会等名 IEEE Nuclear science symposium and medical imaging conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T.Toyoda, S.Dima, M.Sagisaka, J.Kataoka, M.Arimoto, J.Kotoku, M.Taki, A.Oyama, S.Kobayashi, H.Kawashima, D.Sato, K.Yoshiura, S.Terazawa, S.Shiota, H.Ikeda, M.Ueda
2. 発表標題 Pre-Experiments using photon-counting CT with machine learning models for drug delivery system monitoring
3. 学会等名 IEEE Nuclear science symposium and medical imaging conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 増淵 美穂、小俣 陽久、越川 七星、片岡 淳、加藤 弘樹、豊嶋 厚史、寺本 高啓、松永 恵子、神谷 貴史、渡部 直史、下瀬川 恵久、畑澤 順、上ノ町 水紀
2. 発表標題 広帯域X線ガンマ線による新規イメージング手法の開発と実証
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 豊田 貴也、Sonia Dima、匂坂 真結、片岡 淳、有元 誠、川嶋 広貴、小林 聡、佐藤 大地、吉浦 宏大龍、寺澤 慎祐、塩田 諭、池田 博一
2. 発表標題 次世代型カラーX線 CT における新システムの構築及びリングアーチファクト除去
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小俣 陽久、片岡 淳、増淵 美穂、加藤 弘樹、豊嶋 厚史、寺本 高啓、大江 一弘、劉 雨薇、松永 恵子、神谷 貴史、渡部 直史、下瀬川 恵久、畑澤 順
2. 発表標題 ハイブリッド・コンプトンカメラを用いた核医学治療に向けた3次元イメージングの実証
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小俣 陽久、片岡 淳、増淵 美穂、加藤 弘樹、豊嶋 厚史、寺本 高啓、大江 一弘、劉 雨薇、松永 恵子、神谷 貴史、渡部 直史、下瀬川 恵久、畑澤 順
2. 発表標題 アクティブピンホールを用いた広帯域ガンマ線カメラの性能実証
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 栗山映里, 片岡淳, 藤枝和也, 小俣陽久, 豊田貴也, 榎戸輝揚, 和田有希
2. 発表標題 新潟県山間部における雷ガンマ線観測システムの開発と初期成果
3. 学会等名 2020年物理学会秋季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 A. Omata, J. Kataoka, K. Fujieda, S. Sato, E. Kuriyama, H. Kato, A. Toyoshima, K. Ooe, Y. Liu, K. Matsunaga, T. Kamiya, T. Watabe, E. Shimosegawa, J. Hatazawa
2. 発表標題 Wide-band imaging using a hybrid X-ray and gamma-ray camera
3. 学会等名 IEEE MIC/NSS 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Toyoda, T. Maruhashi, H. Kiji, S. S. D. Dima, J. Kataoka, M. Arimoto, D. Sato, K. Yoshiura, S. Kobayashi, H. Kawashima, S. Terazawa, S. Shiota, H. Ikeda
2. 発表標題 Demonstration of simultaneous imaging of phantoms as anticancer agents using a novel photon counting CT for drug delivery systems
3. 学会等名 IEEE MIC/NSS 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 E.Kuriyama, J. Kataoka, K. Fujieda, A. Omata, T. Toyoda, T. Enoto, Y. Wada
2. 発表標題 Observations of three gamma-ray bursts during thunderstorms with high-time resolution
3. 学会等名 IEEE MIC/NSS 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

X線からガンマ線まで1台で同時に可視化できる装置を考案
<https://www.waseda.jp/top/news/69935>
 第81回・応用物理学会(2020年秋季)放射線分科会学生優秀講演賞を受賞(2件)
<http://www.spxg-lab.phys.waseda.ac.jp/>
 第82回・応用物理学会(2021年秋季)放射線分科会学生優秀講演賞を受賞(1件)
<http://www.spxg-lab.phys.waseda.ac.jp/>

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