

次世代放射線検出器開発と宇宙・医療への応用

研究代表者 片岡 淳
(先進理工学部 応用物理学科 教授)

1. 研究課題

本研究は次世代放射線イメージングをキーワードに、高エネルギー宇宙物理実験から医療応用、環境計測まで広く包含する分野横断型研究を展開する。宇宙物理実験においては人工衛星や気球を用いた天体観測と新規装置開発、医療応用では 3D 低被ばく多色 CT や高精度陽子線治療を目指したガンマ線カメラの開発、環境計測では福島県下（とくに森林部）での調査を目的とする新規ドローンシステムの開発などを行う。

2. 主な研究成果

2.1 高エネルギー宇宙物理関連の成果

本年度はフェルミ・ガンマ線宇宙望遠鏡やすざく衛星を用いた各種データ解析、また *Galaxies* 誌にフェルミ・バブルの review 論文を依頼執筆し、分野の進展に貢献した (Kataoka et al. 2018)。フェルミ・バブルは我々の銀河中心が 10 万年前に大爆発を起こした有力な証拠であるが、X 線をはじめとする他波長での調査は始まったばかりである。今回掲載された review は、電波から X 線を広く包含する、初めての長編解説論文となった。また、スウェーデンと共同で行っている PoGO+ のカニ星雲のデータ解析結果から 20-160keV の硬 X 線領域で初めて高い信頼度で偏光を観測し、*Scientific Reports* 誌に掲載された (Chauvin et al. 2017)。本結果は 8 月 10 日付で広島大学・早稲田大学・東京大学ほかからプレスリリースを行った。その他、研究室メンバーの共同成果として電波銀河の変動解析 (Tanada et al. 2018), NPS/Loop I 領域の X 線系統解析 (Akita et al. 2018) が進行中で、*ApJ* 誌に論文を投稿中である。

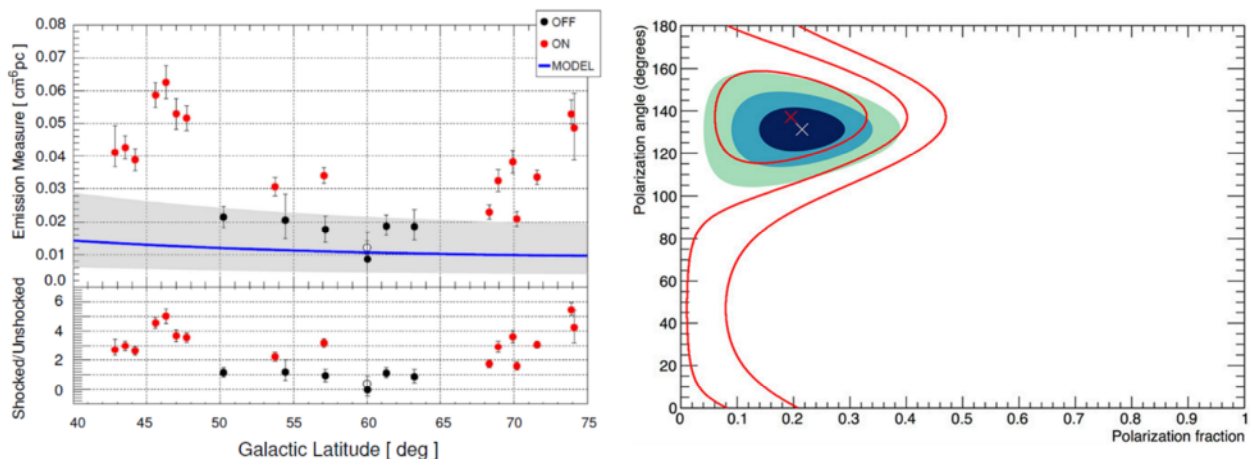


図 1: (左) フェルミバブルと X 線放射から探る、銀河中心爆発の痕跡。NPS/Loop I 領域の詳細解析から、衝撃波加熱されたガスを発見 (Kataoka et al. 2018; Akita et al. 2018) (右) 気球実験 PoGO+ により、20-160keV 領域でカニ星雲からの偏光を世界初検出 (Cauvin et al. 2017)

2.2 医療応用へむけたイメージング

科研費・基盤研究（S）（H27-31 年度）「実用化へ向けた高解像度 3D カラー放射線イメージング技術の開拓」および挑戦的研究・開拓（H29-31 年度）「粒子線治療中の 2 次被ばく低減に向けた中性子可視化への挑戦」（いずれも代表：片岡淳：早稲田大学理工学術院・教授）を中心とし、様々な研究が進行中である。ここではいくつか例を挙げたい。

(1) 即発ガンマ線イメージング

線量集中性を特長とする粒子線治療では、高精度かつ迅速な照射が求められる。現状では、陽電子断層撮影(PET)による確認が主流であるが、ガントリ構造のため治療ビームとの共存が難しく、また PET で得られる画像と実際の線量分布には大きな差がある。シミュレーションにより、陽子線と体内 ^{12}C , ^{16}O の核反応で生ずる 4.4MeV ガンマ線は陽子線量を良くトレースすることが示唆されているが、実機による検証が未だ十分に行われていない。本研究では、これら治療時に生ずる即発ガンマ線のオンライン可視化技術を世界に先駆けて開発した。平成 29 年度には、マルチアノード PMT と 3 次元 Ce:GAGG シンチレータアレイを用いたコンプトンカメラを製作した。解像度は 4.4MeV で 6.4° (FWHM)であり、板状の

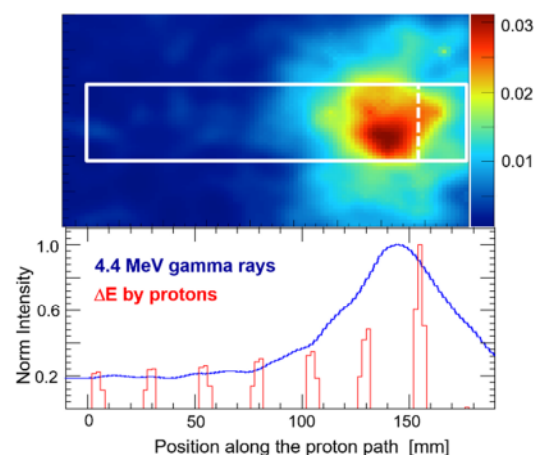


図 2: (上) 4.4MeV 即発ガンマ線イメージ (下) ブラッグピークと上記ガンマ線ピークは一致する

板状のアクリル板を複数枚並べることで疑似的に 70MeV 陽子線の飛程を 15.5cm まで伸ばして照射時のイメージングを行った。結果を図 3 に示す。ブラッグピーク周辺に集中したガンマ線照射が世界で初めて明確に捉えられた (Koide et al. 2018, submitted to Scientific Reports)。

(2) 陽電子放出核種反応断面積の精密測定

陽子線照射の確認において、PET 検出器を用いたオフライン計測でさえも改善すべき課題が多い。とくに、体内の元素と陽子線が引き起こす原子核反応は十分に理解されておらず、医療で重要な低エネルギー陽子線の核反応断面積は不定性が大きい。本研究では、陽電子放出核種から生じるチェレンコフ光を CCD カメラで撮影することで、その生成頻度を簡単かつ正確に導出する画期的な手法を確立した。本手法により得られた結果は従来のデータベースを刷新する高い精度を誇り、初めて、PET 計測を正確にシミュレーションでできるようになった (Masuda et al. 2018, Scientific Reports)。

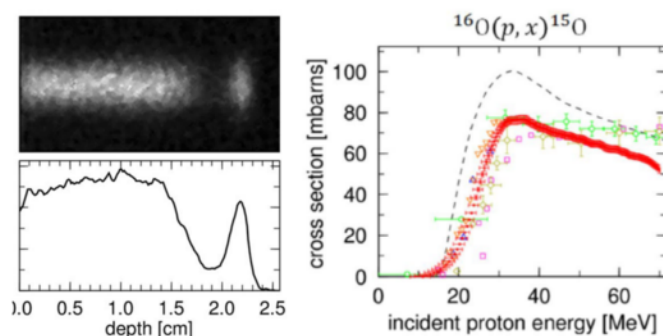


図 3: (左) CCD で撮影した陽子線照射後のチェレンコフ発光分布 (右)これより導出した原子核反応断面積

なお、多色 X 線 CT に関する成果はプロジェクト研究「高精度 3D カラー放射線イメージング」において主体的に実施したため、ここでは割愛する。

2.3 環境計測への応用

福島県下において、ほぼ 2 か月おきにドローンを用いた調査を継続している。本年度はとくに、等立体角射影で取得した画像を平面画像に変換する新たな手法を構築し、地上におけるサーベイメータとの定量比較を行った。さらに、鉛直高さ方向に 10 メートル刻みで線量データ取得を行い、各高度におけるスペクトルを詳細に取得することに成功した。プレリミナリではあるがデータ解析が進んでおり、これまで知られていなかった重大かつ興味深いデータが得られている。今後のプレスリリースを想定し、本報告書での画像掲載等は割愛する。

3. 共同研究者（学内）

有元 誠（研究院講師・次席研究員）

4. 研究業績

4.1 学術論文

- [1] Koide,A.; Kataoka,J.; Masuda,T.; Takabe,M.; Taya,T.; Mochizuki,S.; Sueoka,K.; Tagawa,L.; Fujieda,K; Maruhashi,T; Kurihara,T; Inaniwa,T. Precision imaging of 4.4 MeV gamma rays using a 3-D position sensitive Compton camera, *Nature Scientific Reports*, submitted on Feb.28
- [2] Kataoka,J.; Kishimoto,A.; Taya,T.; Mochizuki,S.; Tagawa,L.; Koide,A.; Sueoka,K.; Morita,H.; Maruhashi,T; Fujieda,K; Kurihara,T; Arimoto,M.; Okochi,H.; Katsumi,N.; Kinno,S.; Matsunaga,K.; Ikeda,H.; Shimosegawa,E.; Hatazawa,J.; Ohsuka,S.; Toshito,T.; Kimura,M.; Nagao,Y.; Yamaguchi,M.; Kurita,K.; Kawachi,N. Ultracompact Compton camera for innovative gamma-ray imaging, *Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A*, 2018, in press (5 pages)
- [3] Arimoto,M.; Morita,H.; Fujieda,K; Maruhashi,T; Kataoka,J.; Nitta,H.; Ikeda,H. Development of LSI for a new kind of photon-counting computed tomography using multipixel photon counters, *Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A*, 2018, in press (5 pages)
- [4] Sueoka,K.; Kataoka,J.; Takabe,M.; Iwamoto,Y.;Arimoto,M.; Yoneyama,M.; Yoda,I.; Torii,T; Sato,Y.; Kaburagi,M.; Terasaka,Y. Development of a new pinhole camera for imaging in high dose-rate Environments, *Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A*, 2018, in press (4 pages)
- [5] Koide,A.; Kataoka,J.; Taya,T.; Iwamoto,Y.; Sueoka,K.; Mochizuki,S.; Arimoto,M.; Inaniwa,T. Spatially resolved measurement of wideband prompt gamma-ray emission toward on-line monitor for the future proton therapy, *Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A*, 2018, in press (4 pages)
- [6] Hitomi Collaboration; Hitomi X-ray Observation of the Pulsar Wind Nebula G21.5-0.9, accepted for publication in *PASJ*
- [7] Hitomi Collaboration; Temperature Structure in the Perseus Cluster Core Observed with Hitomi , accepted for publication in *PASJ*
- [8] Hitomi Collaboration; Atomic data and spectral modeling constraints from high-resolution X-ray observations of the Perseus cluster with Hitomi , accepted for

publication in *PASJ*

[9] Hitomi Collaboration; Hitomi Observations of the LMC SNR N132D: Highly Redshifted X-ray Emission from Iron Ejecta, accepted for publication in *PASJ*

[10] Hitomi Collaboration; Hitomi Observation of Radio Galaxy NGC 1275: The First X-ray Microcalorimeter Spectroscopy of Fe-K α Line Emission from an Active Galactic Nucleus, accepted for publication in *PASJ*

[11] Hitomi Collaboration; Glimpse of the highly obscured HMXB IGR J16318-4848 with Hitomi, accepted for publication in *PASJ*

[12] Hitomi Collaboration; Atmospheric gas dynamics in the Perseus cluster observed with Hitomi, accepted for publication in *PASJ*

[13] Hitomi Collaboration; Measurements of resonant scattering in the Perseus cluster core with Hitomi SXS, accepted for publication in *PASJ*

[14] Hitomi Collaboration; Hitomi X-ray studies of Giant Radio Pulses from the Crab pulsar, accepted for publication in *PASJ*

[15] Hitomi Collaboration; Search for Thermal X-ray Features from the Crab nebula with Hitomi Soft X-ray Spectrometer, accepted for publication in *PASJ*

[16] Kataoka,J.; Sofue,Y.; Inoue,Y.; Akita,M.; Nakashima,S.; Totani,T. X-ray and Gamma-Ray Observations of the Fermi Bubbles and NPS/Loop I Structures, *Galaxies*, 2018, vol.6, pp.27-39 (INVITED REVIEW PAPER)

[17] Masuda,T.; Kataoka,J.; Arimoto,M.; Takabe,M.; Nishio,T.; Matsushita,K.; Miyake,T.; Yamamoto,S.; Inaniwa,T.; Toshito,T. Measurement of nuclear reaction cross sections by using Cherenkov radiation toward high-precision proton therapy, *Nature Scientific Reports*, 2018, vol.8, 2570 → プレス発表を参照 (2018年2月7日: 早稲田大学、東京女子医科大学、京都府立医科大学、量研機構、名古屋大学、名古屋市立西部医療センター)

[18] Arimoto,M.; Harita,S.; Sugita,S.; Yatsu,Y.; Kawai,N.; Ikeda,H.; Tomida,H.; Isobe,N.; Ueno,S.; Mihara,T.; Serino,M.; Kohmura,T.; Sakamoto,T.; Yoshida,A.; Tsunemi,H.; Hatori,S.; Kume,K.; Hasegawa,T. Development of a 32-channel ASIC for an X-ray APD detector onboard the ISS, *Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A*, 2018, Vol.882, pp.138-147

[19] Chauvin, M.; Florén, H.-G.; Friis, M.; Jackson, M.; Kamae, T.; Kataoka, J.; Kawano, T.; Kiss, M.; Mikhalev, V.; Mizuno, T.; Tajima, H.; Takahashi, H.; Uchida, N.; Pearce, M. The PoGO+ view on Crab off-pulse hard X-ray polarization, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters*, 2018. sly027

[20] Hitomi Collaboration; Solar abundance ratios of the iron-peak elements in the Perseus cluster, *Nature*, 2017, Volume 551, Issue 7681, pp. 478-480

[21] Chauvin, M.; Florén, H.-G.; Friis, M.; Jackson, M.; Kamae, T.; Kataoka, J.; Kawano, T.; Kiss, M.; Mikhalev, V.; Mizuno, T.; Ohashi, N.; Stana, T.; Tajima, H.; Takahashi, H.; Uchida, N.; Pearce, M. Shedding new light on the Crab with polarized X-rays, *Nature Scientific Reports*, 2017, Volume 7, id. 7816 → プレス発表を参照 (2017年8月10日: 早稲田大学、広島大学、東京大学)

[22] Yoneyama,M.; Kataoka,J.; Arimoto,M.; Masuda,T.; Yoshino,M.; Kamada,K.;

Yoshikawa,A.; Sato, H.; Usuki, Y. Evaluation of GAGG:Ce scintillators for future space applications, *Journal of Instrumentation*, 2018, 13, P02023

[23] Nakanish,K.; Yamamoto,S.; Kataoka,J. Performance comparison of finely pixelated LYSO- and GAGG-based Si-PM gamma cameras for high resolution SPECT, *Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A*, 2017, vol.872, pp.107-111

[24] Taya,T.; Kataoka,J.; Kishimoto,A.; Tagawa,L.; Mochizuki,S.; Toshito,T.; Kimura,M.; Nagao,Y.; Kurita,K.; Yamaguchi,M.; Kawachi,N. Optimization and verification of image reconstruction for a Compton camera towards application as an on-line monitor for particle therapy, *Journal of Instrumentation*, 2017, vol.12, P07015 (17 pages)

[25] Kishimoto,A.; Kataoka,J.; Tagawa,L.; Mochizuki,S.; Ohsuka,S.; Nagao,Y.; Kurita,K.; Yamaguchi,M.; Kawachi,N.; Matsunaga,K.; Ikeda,H.; Shimosegawa,E.; Hatazawa,J.; First demonstration of multi-color 3-D in vivo imaging using ultra-compact Compton camera, *Nature Scientific Reports*, 2017, vol.7; 2110

→ プレス発表を参照 (2017 年 5 月 18 日 : 早稲田大学、大阪大学、量研機構)

[26] Mochizuki,S; Kataoka,J.; Tagawa,L.; Iwamoto,Y.; Okochi,H.; Katsumi,N.; Kinno,S.; Arimoto,M.; Maruhashi,T.; Fujieda,K.; Kurihara.T.; Ohsuka,S. First demonstration of aerial gamma-ray imaging using drone for prompt radiation survey in Fukushima, *Journal of Instrumentation*, 2017, vol.12, P11014 (13 pages)

[27] CALET Collaboration; Energy Spectrum of Cosmic-Ray Electron and Positron from 10 GeV to 3 TeV Observed with the Calorimetric Electron Telescope on the International Space Station, *Physical Review Letters*, Volume 119, Issue 18, id.181101

[28] CALET Collaboration; Energy calibration of CALET onboard the International Space Station, *Astroparticle Physics*, Volume 91, p. 1-10.

4.2 総説・著書

[1] 有元 誠; 片岡 淳. 増幅型光センサーMPPCを用いた低被ばく・多色 CT への挑戦, *Isotope News*, 2018, vol.755,pp.25-29

4.3 国際会議での発表

[1] Takabe,M.; Masuda,T.; Arimoto,M.; Kataoka,J.; Sueoka,K.; Maruhashi,T.; Tanaka,S.; Nishio,T.; Toshito,T.; Kimura,M.; Inaniwa,T. Development of simple proton CT system with novel correction methods of proton scattering, 11th International "Hiroshima" Symposium on the Development and Application of Semiconductor Tracking Detectors (HSTD11) , 2017, 10-15 December, OIST, Okinawa, Japan (Poster) → 優秀ポスター賞を受賞

[2] Morita,H.; Kataoka,J.; Arimoto,M.; Maruhashi,T.; Fujieda,K.; Nitta,H. Novel photon-counting low-dose computed tomography using a multi-pixel photon counter, IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference (NSS/MIC), 2017, 21 Oct – 28 Oct, Atlanta, USA (Oral)

[3] Arimoto,M.; Morita, H.; Kataoka,J.; Maruhashi,T.; Nitta,H.; Fujieda,K. Design and Development of LSI for new photon-counting CT with multi-pixel photon counters, IEEE

Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference (NSS/MIC), 2017, 21 Oct – 28 Oct, Atlanta, USA (Oral)

[4] Masuda,T.; Kataoka,J.; Arimoto,M.; Takabe,M.; Nishio,T.; Matsushita,T.; Miyake,T.; Yamamoto,S.; Inaniwa,T.; Toshito,T. A novel method of measuring nuclear reaction cross sections by using Cherenkov light toward high-precision proton therapy. IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference (NSS/MIC), 2017, 21 Oct – 28 Oct, Atlanta, USA (Poster)

[5] Takabe,M.; Masuda,T.; Arimoto,M.; Kataoka,J.; Tanaka,S.; Nishio,T.; Toshito,T.; Kimura,M.; Inaniwa,T. Development of simple proton CT system with novel MCS correction methods, IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference (NSS/MIC), 2017, 21 Oct – 28 Oct, Atlanta, USA (Poster)

[6] Akita,M.; Kataoka,J.; Totani,T.; Sofue,Y.; Nakashima,S.; Inoue,Y. Diffuse X-ray emission from Loop I Additional evidence of past activity of Galactic Center and relation to Fermi Bubbles, 7th international Fermi Symposium, 2017, 15-20, Oct., Congress Center Garmisch-Partenkirchen, Germany

[7] Tanada,K.; Kataoka,J.; THE ORIGINS OF THE GAMMA-RAY FLUX VARIATION OF NGC1275 ANALYZED WITH 8-YEAR FERMI-LAT OBSERVATION, 7th international Fermi Symposium, 2017, 15-20, Oct., Congress Center Garmisch-Partenkirchen, Germany

[8] Kataoka,J.; Sofue,Y.; Inoue,Y.; Akita,M.; Nakashima,S.; Totani,T. X-ray Observations of the Fermi Bubbles and Loop-I Structures. Whereabouts and Physics of the Roaming Baryons in the Universe, 2017,10-14, Sexten, Italy ([INVITED REVIEW](#))

[9] Kataoka,J.; Kishimoto,A.; Taya,T.; Mochizuki,S.; Tagawa,L.; Koide,A.; Sueoka,K.; Morita,H.; Maruhashi,T.; Fujieda,K.; Kurihara,T.; Arimoto,M.; Okochi,H.; Katsumi,N.; Kinno,S.; Matsunaga,K.; Ikeda,H.; Shimosegawa,E.; Hatazawa,J.; Ohsuka,S.; Toshito,T.; Kimura,M.; Nagao,Y.; Yamaguchi,M.; Kurita,K.; Kawachi,N. Ultracompact Compton camera for innovative gamma-ray imaging, New Developments in Photodetection, 2017, 3-7 July, Tours, France (Oral)

[10] Koide,A.; Kataoka,J.; Taya,T.; Iwamoto,Y.; Sueoka,K.; Mochizuki,S.; Arimoto,M.; Inaniwa,T. Spatially resolved measurement of wideband prompt gamma-ray emission toward on-line monitor for the future proton therapy, New Developments in Photodetection, 2017, 3-7 July, Tours, France (Oral)

[11] Sueoka,K.; Kataoka,J.; Takabe,M.; Iwamoto,Y.; Arimoto,M.; Yoneyama,M.; Yoda,I.; Torii,T.; Sato,Y.; Kaburagi,M.; Terasaka,Y. Development of a new pinhole camera for imaging in high dose-rate

Environments, New Developments in Photodetection, 2017, 3-7 July, Tours, France (Oral)

[12] Morita,H.; Oshima,T.; Kataoka,J.; Arimoto,M.; Nitta,H.; Novel photon-counting low-dose computed tomography using a multi-pixel photon counter, New Developments in Photodetection, 2017, 3-7 July, Tours, France (Oral)

[13] Arimoto,M.; Morita,H.; Fujieda,K.; Maruhashi,T.; Kataoka,J.; Nitta,H.; Ikeda,H. Development of LSI for a new kind of photon-counting computed tomography using

multipixel photon counters, New Developments in Photodetection, 2017, 3-7 July, Tours, France (Poster)

4.4 国内会議での発表・公開セミナー

- [1] (招待講演) 片岡 淳 「宇宙から医療まで：放射線イメージングの最前線」, “物質と宇宙の基礎研究とそれがもたらす最先端産業技術”, 特別シンポジウム、第 65 回 応用物理学会・春季学術講演会, 2018, 3 月 17 日-20 日, 早稲田大学西早稲田キャンパス
- [2] 望月 早駆; 片岡 淳; 小出 絢子; 藤枝 和也; 丸橋 拓也; 栗原 拓也; 末岡 晃紀; 米山 昌樹; 稲庭 拓, 陽子線治療オンラインモニタに向けた即発ガンマ線イメージングの実証, 第 65 回 応用物理学会・春季学術講演会, 2018, 3 月 17 日-20 日, 早稲田大学西早稲田キャンパス
- [3] 丸橋 拓也; 片岡 淳; 有元 誠; 森田 隼人; 藤枝 和也; 新田 英雄, マルチチャンネル MPPC を用いた低ひばくかつ多色 X 線 CT の構築と評価, 第 65 回 応用物理学会・春季学術講演会, 2018, 3 月 17 日-20 日, 早稲田大学西早稲田キャンパス
- [4] 田川 怜央; 片岡 淳; 末岡 晃紀; 藤枝 和也; 栗原 拓也; 有元 誠; 望月 早駆; 丸橋 拓也; 歳藤 利行; 木村 充宏, 粒子線治療下でのイメージングに向けた中性子カメラの開発, 第 65 回 応用物理学会・春季学術講演会, 2018, 3 月 17 日-20 日, 早稲田大学西早稲田キャンパス
- [5] (招待講演) 片岡 淳 「手のひらサイズ」コンプトンカメラを用いた 3D in vivo イメージングへの挑戦, 第 13 回小動物インビボイメージング研究会, 日本核医学会, 2017, 7 月 29 日, 大阪大学医学部
- [6] 棚田 和玖; 片岡 淳, フェルミ衛星を用いた電波銀河 NGC 1275 の長期変動解析, 日本天文学会 2017 年秋季年会, 北海道大学

4.5 プレスリリース

- [1] 2018 年 2 月 7 日: [プレスリリース](#)
「陽子線が体内で起こす核反応を光で可視化 陽子線治療の精度向上に大きく貢献」
・早稲田大学ホームページ: <https://www.waseda.jp/top/news/57078>
- [2] 2017 年 8 月 10 日: [プレスリリース](#)
「直径 100 m の気球で天体からの硬 X 線の偏光情報を世界初検出」
・早稲田大学ホームページ: <https://www.waseda.jp/top/news/53250>
- [3] 2017 年 5 月 18 日: [プレスリリース](#)
「世界最軽量「手のひらサイズ 580g」医療用ガンマ線可視化カメラを開発」
・早稲田大学ホームページ: <https://www.waseda.jp/top/news/51161>

4.6 マスメディア掲載

- [1] 2018 年 3 月 1 日(木): BS ジャパン 7ch: 木曜夜 8:55~ TV 放送
「科学ミチル 世界は未知で満ちている」見えない光で未知を観る!
・BS Japan ホームページ: http://www.bs-j.co.jp/official/kagaku_michiru/
- [2] 2017 年 12 月 15 日: 理系マイナビ 2019 SPECIAL INTERVIEW volume.50
ー 若き研究・開発者への提言 ー
・理系マイナビホームページ: <https://job.mynavi.jp/conts/2019/sci/interview/50/>

- [3] 2018年2月14日：化学工業日報、医療ニュースほか
「陽子線治療精度を向上 早大が体内進路可視化」
・化学工業日報 ホームページ：<http://www.chemicaldaily.co.jp/>
- [4] 2017年5月29日：日本経済新聞（全国版）
「早大など、ガンマ線を3D画像に 手のひら大のカメラ」
・日経新聞 ホームページ：
https://www.nikkei.com/article/DGXLASGG25H55_X20C17A5TJM000/
- ・2017年5月26日：科学新聞
「世界最軽量580グラム実現 ガンマ線可視化カメラ」

4.7 パンフレット等への掲載

- [1] 2018年3月：早稲田大学理工学術院報「塔」93号
・「世界最軽量「手のひらサイズ580g」 医療用ガンマ線可視化カメラを開発」
- [2] 2017年11月：NTT ファシリティーズジャーナル
・「研究者の横顔」
- [3] 2017年5月：WASEDA University Research Activities
“Next-generation WASEDA Research Resources”

5. 研究活動の課題と展望

宇宙関連では各種データ解析を継続し論文執筆を行うほか、新規偏光検出器の開発・評価を行う。具体的には、10MeV程度の単色ガンマ線を提供する兵庫県立大学のNewSubaruを用いた実機試験を考えており、現地調査や調整が進んでいる。環境計測では、これまで通り2か月に一度程度の頻度で福島県浪江の調査を継続し、環境放射線の分布状況に関して新しい知見を得ることを目的とする。医療系実験においては大阪大学医学部と共同での臨床実験を予定し、倫理委員会に申請・受理済みである。とくに前立腺癌骨転移患者の塩化ラジウム(^{223}Ra)体内分布評価の撮影が主眼となり、年間15例程度を目指す。 ^{223}Ra はアルファ線放出と共に270keV, 350keVなど様々なガンマ線を体外に放出するため、これらを精度良くイメージングできれば、ドラッグデリバリーの有効な確認手段となりえる。来年度は理工総研・重点研究員として最後の年となるが、引き続き宇宙・医療・環境分野の発展に広く貢献していきたい。