

令和 4 年 6 月 21 日現在

機関番号：10102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2021

課題番号：17K05287

研究課題名(和文)バナハ空間の幾何学的定数とその応用

研究課題名(英文)Geometric constants of Banach Spaces and their applications

研究代表者

小室 直人 (Komuro, Naoto)

北海道教育大学・教育学部・教授

研究者番号：30195862

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：バナハ空間をその性質で分類する手法として幾何学的定数が様々考案され近年活発に研究されている。James定数やNJ定数が代表的で、本研究ではそれらの未解決問題に取り組み様々な結果や新事実の発見に至った。3次元以上の空間ではJames定数が最小値 2となるものが内積空間に限る一方、2次元空間では様々なノルムが存在しその条件やLassak予想に対する反例を与えた。幾何学的定数と密接に関係するノルム空間の直交概念についても取り組み、 $B(H)$ におけるBirkhoff直交性に関する対称点を特徴づけたTurnsekの結果をvon Neumann環や C^* 環で考察した他、2次元Radon空間の特徴づけも行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

バナハ空間の不動点性や正規構造など、性質の異なるバナハ空間を分類する方法として、幾何学的定数が様々考案され、研究されてきた。その代表的なものであるJames定数やNJ定数について、未知の課題が多数残されており、その多くで前進することができたことがこの研究の成果の一つである。バナハ空間における直行性概念は、幾何学的定数とも密接に関係するが、その代表ともいえるBirkhoff直交は、対称性を持たないという特徴がある。しかし局所的に対称点が存在することがあり、 $B(H)$ での対称点を特徴づけたTurnsekの研究を、フォン・ノイマン環などに拡張する結果が得られた。

研究成果の概要(英文)：Geometric constants of Banach spaces have been studied by many authors. Among them we mainly investigated the James constant $J(X)$ and von Neumann-Jordan constant $C_{\{NJ\}}(X)$ of a Banach space X . It was known that, for a Banach space of three or more dimensions, the James constant $J(X)$ is $\sqrt{2}$ if and only if the norm is induced by an inner product. We obtained a new characterization of 2-dimensional Banach spaces with $J(X) = \sqrt{2}$ and some examples. It is shown that this result gives a counter example to Lassak's conjecture. We also investigated the Birkhoff orthogonality which is a notion of generalized orthogonality in normed spaces. There was a result by Turnsek which characterized the symmetric points for Birkhoff orthogonality in $B(H)$. We obtained some generalizations of the result to the cases in von Neumann algebras and C^* algebras. We also gave a characterization of the 2-dimensional Radon space which has the symmetric property with respect to the Birkhoff orthogonality.

研究分野：関数解析学

キーワード：James constant NJ constant Birkhoff orthogonality Radon space Symmetric point Rotation invariant norm Lassak's conjecture Isosceles orthogonality

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

ノルム空間におけるよく知られた不等式

$$\frac{1}{C} \leq \frac{\|x+y\|^2 + \|x-y\|^2}{2(\|x\|^2 + \|y\|^2)} \leq C \quad ((x,y) \neq (0,0))$$

を満たす最小の定数 C は各ノルム空間固有の値で、von Neumann-Jordann 定数 (NJ 定数) と呼ばれる。主にノルム不等式に由来し、空間の性質を反映するこのような値はバナハ空間の幾何学的定数と呼ばれる。バナハ空間の不動点性や正規構造など、性質の異なるバナハ空間を分類する方法として、幾何学的定数が様々考案され、近年活発に研究されてきた。その代表的なものである James 定数や NJ 定数は、バナハ空間が不動点性や uniformly non-squareness を持つための条件、一様正規構造を持つための十分条件などを与えている。一方これらの定数については依然未知の課題が多数残されている。両者の相互関係は、Maligranda, Takahashi, Nikolva, Alonso, Martin, Papini, Wang ら多くの研究者によって順次精密化された結果が発表されてきたが、得られた最新の不等式にも依然として大幅な改良の余地があるとみられている。また、ノルムの集合が持つ凸構造に関しこれらの定数が凸性を持つかという問題があり、否定的な結果が既に知られているが、ノルムの集合を制限することで肯定的な結果となる研究もあり未知の部分が多い。更に、バナハ空間の直交概念の一つである「Isosceles 直交」を用い共役な空間での James 定数が一致するための十分条件や、James 定数の計算公式を与える結果が得られていた。

2. 研究の目的

James 定数と NJ 定数に関する未解決課題の中から、これらの中に成り立つ不等式の精密化、それぞれの定数の凸性、共役空間で James 定数が一致する条件等を優先的な検討課題として設定した。更に、これらの議論に密接にかかわる種々のノルム不等式、「Birkhoff 直交」や「Isosceles 直交」などバナハ空間における直交性概念についての新たな結果が得られていたため、これらも当初の研究目的として加えることとした。

3. 研究の方法

研究の進め方として、出来るだけ頻繁に対面によるセミナーを行い、各課題の現状について詳細に情報交換を行い、取り組むべき方向性や役割分担を打ち合わせる。打ち合わせは、学会や研究会での出張を活用するほか、研究組織に属する研究者の所属大学で研究集会を開催して実施した。

打ち合わせでは、進展の状況で方向性を決めることを基本とし、当初設定したいくつかの検討課題のうち、James 定数や NJ 定数に関する課題、ノルム空間の直交性概念に関わる課題等に成果や進展が見られたため、これらに重点を置くこととした。一方、James 定数と NJ 定数の間に成り立つ不等式の精密化や凸性の課題は、一定の進展はあったものの、結果を公表するには至ってなく、今後の課題とした。

4. 研究成果

検討課題としたテーマごとに研究成果をまとめる。各テーマに対応した発表論文の番号を各項目の末尾に記した。

(1). 3次元以上のノルム空間の James 定数が $\sqrt{2}$ となるのは内積空間であることが必要十分となっているが、2次元ノルム空間では内積空間以外でも $\sqrt{2}$ となる例が多く存在する。45度回転不変ノルムは全て $\sqrt{2}$ となることは以前から知られていたが、90度回転不変ノルムで $\sqrt{2}$ となるノルムは45度回転不変なものに限ることなどが前年までの結果として分かっていた。更に本研究により、2次元ノルム空間の James 定数が $\sqrt{2}$ となる必要十分条件を与え、それを用いて James 定数が $\sqrt{2}$ で90度回転不変でないノルムの例を複数構成した。この結果により、Lassak 予想に対する反例を与えることとなった。([1], [4])

(2). James 定数と NJ 定数の関係に関する研究は多いが、James 定数が $\sqrt{2}$ となるノルム空間の NJ 定数の上限値は知られておらず、現在までに知られる最もシャープな評価式が示す上界の集合は依然大幅に改善できると見られている。今回の研究では、対称 absolute ノルムに制限した場合、その上限値は既知の結果を大きく改善する $4-2\sqrt{2}$ であることを示した。これらの定数は、2次元部分空間の定数値の上限と一意することから、 \mathbb{R}^2 上のノルムの計算データが重要な役割を持つ。 \mathbb{R}^2 上の一般のノルムと同一視できる Day James ノルムのうち、 l_p-l_q ノルムについて、NJ 定数の計算結果が得られた。([2], [5])

(3). ノルム空間とその双対空間について、それらの NJ 定数は常に一致するのに対し、James 定数では一致するとは限らない。一致するための必要十分条件は現在のところ未知となっている。2次元ノルム空間について、これまでに段階的に一致するための十分条件が改善され、全ての対称 absolute ノルムで一致することが確かめられていた。 L_p ノルム等多くの主要なノルムは、対称 absolute ノルムである。今回の研究では、90度回転不変ノルムであることが十分条件であることを示した。この条件を満たすノルムの集合は、対称 absolute ノルムのクラスより大幅に広く、これまでの結果を一步進めるものである。更には、従来の証明を大幅に簡略化した。また、本研究以降、90度回転不変ノルムに注目した研究が現在までに様々発表されている。([3], [7])

(4). ノルム空間に直交性概念を拡張する方法として代表的なもののひとつである「Birkhoff 直交」は一般に対称性を持たないことが知られている。その中で、右対称点、左対称点という概念を導入し、作用素環 $B(H)$ において、右対称点、左対称点のそれぞれの特徴づけを行った Turnsek の結果が知られているが、一般のフォン・ノイマン環において右対称点、左対称点の特徴づけを行った。 A をフォン・ノイマン環 R のノルム 1 の元とするとき、 A が右対称点であることと、 A が R の単位球の端点をなすことが同値であることなどを得た。同時にコンパクトハウスドルフ空間上の連続関数の空間での右対称性の特徴づけも与えた。また、 C^* 環の正錘に関する局所右(左)対称点の概念を導入し、特徴づけを行った。可換 C^* 環の

ゼロでない正の元 A が正錘に関する右対称点であることと、 A が狭義正であることが同値であることなどを得ており、そのいくつかの応用も行った。([6], [8], [9])

(5). Birkhoff 直交性が対称性を持つ特殊なノルムを備えたノルム空間を Radon 空間と呼ぶ。2次元のノルム空間でのみ内積空間ではない多様な Radon 空間が存在するが、2次元 Radon 空間を Day-James 空間として特徴づける懸案となっていた問題が解決に至り、ノルムの空間における Radon 空間全体のコンパクト性をその応用として示した。([10])

(6). バナハ空間の幾何学的定数の一つである skewness ($s(X)$ で表す) は、近年研究が進み研究分担者の三谷氏を中心に様々な結果が発表されている。2021年の成果として、 $s(X)$ と他の幾何学的定数との関係についていくつかの結果が得られた。主なものとして、 $s(X)$ の modulus of smoothness による上からの評価や、characteristics of convexity による下からの評価がある。([11])

対応する発表論文

[1] Komuro Naoto, Saito Kichi-Suke, Tanaka Ryotaro, On the class of Banach spaces with James constant $\sqrt{2}$ III, Math. Ineq. Appl. 20(2017), no.3, 865-887, DOI 10.7153/mia-20-55, 査読有

[2] Komuro Naoto, Mitani Ken-Ichi, Saito Kichi-Suke, Tanaka Ryotaro, Tomizawa Yukino, A Comparison Between James and von Neumann-Jordan Constants, Mediterranean Journal of Mathematics 14 (2017), no.4, Paper No. 168, DOI 10.1007/s00009-017-0968-9, 査読有

[3] Tomizawa Yukino, Mitani Ken-Ichi, Saito Kichi-Suke, Tanaka Ryotaro, Geometric constants of $\pi/2$ -rotation invariant norms on \mathbb{R}^2 , Annals of Functional Analysis 8(2017) no.2, 215-230, DOI 10.1215/20088752-0000007X 査読有

[4] Naoto Komuro, Kichi-Suke Saito, Ryotaro Tanaka, Characteristic properties of Banach spaces with James constant $\sqrt{2}$, J. Nonlinear and Convex Analysis 19 (2018), no.10, 1665-1673, 査読有

[5] Ken-Ichi Mitani, Yasuji Takahashi, Kichi-Suke Saito, On von Neumann-Jordan constant of $\ell_p - \ell_q$ spaces, J. Nonlinear and Convex Analysis 19(2018), no.10, 1705-1709, 査読有

[6] Naoto Komuro, Kichi-Suke Saito, Ryotaro Tanaka, Left symmetric points for Birkhoff orthogonality in the preduals of von Neumann algebras, Bull. Aust. Math. Soc. 98(2018), no.3, 494-501, DOI 10.1017/S0004972718000849 査読有

[7] Naoto Komuro, Kichi-Suke Saito, Ryotaro Tanaka, A sufficient condition that $J(X^*) = J(X)$ holds for a Banach space X , Tokyo J. Math. 41(2018), 219-223, DOI 10.3836/tjm/1502179259 査読有

- [8] Naoto Komuro, Kichi-Suke Saito, Ryotaro Tanaka, Symmetric points for (strong) Birkhoff orthogonality in von Neumann algebras with applications to preserver problems, *J. Math. Anal. Appl.* 463(2018), no.2, 1109-1131, DOI 10.1016/j.jmaa.2018.03.068 査読有
- [9] Naoto Komuro, Kichi-Suke Saito, Ryotaro Tanaka, On symmetry of Birkhoff orthogonality in the positive cones of C^* -algebras with applications, *J. Math. Anal. Appl.* 474(2019), no.2, 1488-1497, DOI 10.1016/j.jmaa.2019.02.033, 査読有
- [10] Naoto Komuro, Kichi-Suke Saito, Ryotaro Tanaka, A characterization of Radon planes using generalized Day-James spaces, *Ann. Funct. Anal.* 11(2020), no.1, 62-74, DOI 10.1007/s43034-019-00018-z 査読有
- [11] Ken-Ichi Mitani and Kichi-Suke Saito, A note on relations between skewness and geometrical constants of Banach spaces, *Linear and Nonlinear Analysis* 7(2)(2021), 257-264 査読有

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 13件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 10件）

| | |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名 Ken-Ichi Mitani, Kichi-Suke Saito | 4. 巻 7(2) |
| 2. 論文標題 A note on relations between skewness and geometrical constants of Banach spaces | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Linear and Nonlinear Analysis | 6. 最初と最後の頁 257-264 |
| 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 オープンアクセスとしている（また、その予定である） | 国際共著 - |
| 1. 著者名 Naoto Komuro, Kichi-Suke Saito, Ryotaro Tanaka | 4. 巻 407 |
| 2. 論文標題 On symmetry of Birkhoff orthogonality in the positive cones of C^* -algebras with applications | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 J. Math. Anal. Appl. | 6. 最初と最後の頁 1488-1497 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jmaa.2019.02.033 | 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 大和田智義、斎藤吉助、三谷健一 | 4. 巻 2143 |
| 2. 論文標題 精密化された三角不等式の等号成立条件について | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 数理兼講究録 | 6. 最初と最後の頁 141-146 |
| 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 三谷健一、斎藤吉助 | 4. 巻 2143 |
| 2. 論文標題 Geometrical constants of Day James spaces | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 数理兼講究録 | 6. 最初と最後の頁 147-153 |
| 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 齋藤吉助、田中遼太郎、小室直人 | 4. 巻 2143 |
| 2. 論文標題 バナッハ空間におけるBirkhoff直交性の対称性について | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 数理兼講究録 | 6. 最初と最後の頁 154-161 |
| 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 K.-I. Mitani, K.-S. Saito, Y. Takahashi | 4. 巻 special issue |
| 2. 論文標題 Von Neumann-Jordan constant of generalized Bana \mathbb{R} ch spaces | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Proceedings of the 10th International Conference on Nonlinear Analysis and Convex Analysis | 6. 最初と最後の頁 227-232 |
| 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 Naoto Komuro, Kichi-Suke Saito, Ryotaro Tanaka | 4. 巻 11 |
| 2. 論文標題 A characterization of Radon planes using generalized Day-James spaces | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Ann. Funct. Anal. | 6. 最初と最後の頁 62-74 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s43034-019-00018-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 Naoto Komuro, Kichi-Suke Saito, Ryotaro Tanaka | 4. 巻 19 |
| 2. 論文標題 Characteristic properties of Banach spaces with James constant root 2 | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 J. Nonlinear and Convex Analysis | 6. 最初と最後の頁 1665-1673 |
| 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 Ken-Ichi Mitani, Yasuji Takahashi, Kichi-Suke Saito | 4. 巻 19 |
| 2. 論文標題 von Neumann-Jordan constant of generalized Banach Fraczek spaces | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 J. Nonlinear and Convex Analysis | 6. 最初と最後の頁 1705-1709 |
| 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 Naoto Komuro, Kichi-Suke Saito, Ryotaro Tanaka | 4. 巻 98 |
| 2. 論文標題 Left symmetric points for Birkhoff orthogonality in the preduals of von Neumann algebras | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Bull. Aust. Math. Soc. | 6. 最初と最後の頁 494-501 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/S0004972718000849 | 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 Naoto Komuro, Kichi-Suke Saito, Ryotaro Tanaka | 4. 巻 41 |
| 2. 論文標題 A sufficient condition that $J(X^*)=J(X)$ holds for a Banach space X | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Tokyo J. Math. | 6. 最初と最後の頁 219-223 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3836/tjm/1502179259 | 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 Naoto Komuro, Kichi-Suke Saito, Ryotaro Tanaka | 4. 巻 463 |
| 2. 論文標題 Symmetric points for (strong) Birkhoff orthogonality in von Neumann algebras with applications to preserver problems | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 J. Math. Anal. Appl. | 6. 最初と最後の頁 1109-1131 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmaa.2018.03.068 | 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 Komuro Naoto, Saito Kichi-Suke, Tanaka Ryotaro | 4. 巻 20 |
| 2. 論文標題 On the class of Banach spaces with James constant 2, III | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 Mathematical Inequalities & Applications | 6. 最初と最後の頁 865 ~ 887 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7153/mia-20-55 | 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 Komuro Naoto, Mitani Ken-Ichi, Saito Kichi-Suke, Tanaka Ryotaro, Tomizawa Yukino | 4. 巻 14 |
| 2. 論文標題 A Comparison Between James and von Neumann?Jordan Constants | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 Mediterranean Journal of Mathematics | 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) 10.1007/s00009-017-0968-9 | 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 Tomizawa Yukino, Mitani Ken-Ichi, Saito Kichi-Suke, Tanaka Ryotaro | 4. 巻 8 |
| 2. 論文標題 Geometric constants of $\pi/2$ -rotation invariant norms on \mathbb{R}^2 | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 Annals of Functional Analysis | 6. 最初と最後の頁 215-230 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1215/20088752-0000007X | 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 Kichi-Suke Saito and Ryotaro Tanaka | 4. 巻 3 |
| 2. 論文標題 New geometric notions of Banach spaces using psi direct sums | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 Linear and Nonlinear Analysis | 6. 最初と最後の頁 311-320 |
| 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 オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 - |

〔学会発表〕 計15件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 3件）

| |
|--------------------------|
| 1. 発表者名 三谷健一 |
| 2. 発表標題 バナッハ空間の幾何学的定数 |
| 3. 学会等名 日本数学会（招待講演） |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|-----------------------------|
| 1. 発表者名 斎藤吉助、小室直人、田中遼太郎 |
| 2. 発表標題 ラドン空間の構造についての一考察 |
| 3. 学会等名 日本数学会年会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 田中遼太郎、小室直人、斎藤吉助 |
| 2. 発表標題 フォン・ノイマン環の全双対におけるBirkhoff直交性の左対称点について |
| 3. 学会等名 実解析シンポジウム2019 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 三谷健一、斎藤吉助 |
| 2. 発表標題 Day-Jameskuukannにおける幾何学的定数について |
| 3. 学会等名 実解析シンポジウム2019 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 田中遼太郎、 小室直人、 斎藤吉助 |
| 2. 発表標題 Symmetric points for Birkhoff orthogonality I |
| 3. 学会等名 日本数学会年会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 田中遼太郎、 小室直人、 斎藤吉助 |
| 2. 発表標題 Symmetric points for Birkhoff orthogonality II |
| 3. 学会等名 日本数学会年会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|-----------------------------------|
| 1. 発表者名 大和田智義、 斎藤吉助、 三谷健一 |
| 2. 発表標題 精密化された三角不等式の等号成立条件について |
| 3. 学会等名 数理解析研究所研究集会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 三谷健一、 斎藤吉助 |
| 2. 発表標題 Geometrical constants of Day-Lames spaces |
| 3. 学会等名 数理解析研究所研究集会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 齋藤吉助、 田中遼太郎、 小室直人 |
| 2. 発表標題 On the symmetry of Birkhoff orthogonality in Banach spaces |
| 3. 学会等名 数理解析研究所研究集会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Kichi-Suke Saito, Naoto Komuro, Ryotaro Tanaka |
| 2. 発表標題 On the symmetry of Birkhoff orthogonality in Banach spaces |
| 3. 学会等名 NAO-Asia 2018 (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 齋藤吉助、小室直人、田中遼太郎 |
| 2. 発表標題 On the structure of Banach spaces with James constant root 2 |
| 3. 学会等名 京都大学数理解析研究所研究集会 |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Kichi-Suke Saito, Naoto Komuro and Ryotaro Tanaka |
| 2. 発表標題 More on the class of Banach spaces with James constant root 2 |
| 3. 学会等名 Nonlineia Analysis and Convex Analysis 2017 (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Ken-Ichi Mitani, Kichi-Suke Saito, and Yasuji Takahashi |
| 2. 発表標題 On the von Neumann-Jordan constant of generalized Banach-Fraczek spaces II |
| 3. 学会等名 Nonlineia Analysis and Convex Analysis 2017 (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 三谷健一、斎藤吉助、高橋泰嗣 |
| 2. 発表標題 Von Neumann-Jordan constant of generalized Banach-Fraczek spaces |
| 3. 学会等名 京都大学数理解析研究所研究集会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 斎藤吉助 |
| 2. 発表標題 Which dimensional Banach spaes are complicated two or three more? |
| 3. 学会等名 京都大学数理解析研究所研究集会 |
| 4. 発表年 2018年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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 | 三谷 健一 (Mitani Ken-Ichi) (00468969) | 岡山県立大学・情報工学部・准教授 (25301) | |

6. 研究組織（つづき）

| | 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 | 斎藤 吉助 (Saito Kichi-Suke) (30018949) | 新潟大学・自然科学系・フェロー (13101) | |

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