

平成 22 年 6 月 22 日現在

研究種目：特定領域研究
 研究期間：2005～2009
 課題番号：17070007
 研究課題名（和文）
 K中間子が拓く超高密度クォーク物質の研究
 研究課題名（英文）
 New approach toward ultra-high density quark-matter via K-bar meson bound-state
 研究代表者
 岩崎 雅彦（Iwasaki Masahiko）
 独立行政法人理化学研究所・岩崎先端中間子研究室・主任研究員
 研究者番号：60183745

研究成果の概要（和文）：

物質質量の殆どがハドロン質量であるが、ハドロンを構成すると考えられるクォークはハドロンの 1%程度しかなく、ハドロン質量がどのように構成されているかは未だに明らかにされていない。本研究は K 中間子の核物質（媒質）中の質量変化に着目し物質質量の起源の理解や、K 中間子をもつ強い引力の為に自発的に高密度核物質を形成しないか（媒質自体の変化）など、物質質量の根源に迫る研究を目指す。

研究成果の概要（英文）：

The origin of the matter mass can be roughly explained by the hadron mass. However, the hadron mass itself is still mysterious. It consists of three quarks, but the sum of the masses is only 1% of the hadron. On the other hand, the strongly attractive nature of K-bar meson also implies spontaneous nuclear density change of the nuclear matter, which can affect the mass in the media in the present mass formation scenario. Thus, present research focuses on the mass modification of K-bar meson in nuclear media.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2005 年度	12,500,000	0	12,500,000
2006 年度	70,000,000	0	70,000,000
2007 年度	105,020,000	0	105,020,000
2008 年度	88,613,000	0	88,613,000
2009 年度	19,000,000	0	19,000,000
総計			

研究分野：

科研費の分科・細目：

キーワード：K 中間子、カイラル対称性、高密度核物質、ストレンジネル

1. 研究開始当初の背景

反 s クォークを含む中間子は、核物質・媒質中で極めて強い引力を受け、実効的質量が軽くなる事が判ってきた。このことから、K 中間子ヘリウム 4 からくる X 線の精密分光により、強い相互作用を精度良く決定する必要が

在った。一方、 K_{ppn} 系が特に強く束縛され、幅の狭い順位を形成する事が理論的に示唆された。この為、ヘリウム 4 標的に対して K 中間子を静止吸収反応させる事で、核子(中性子)オージェ反応を誘起し、 K_{ppn} 束縛状態を探索する実験(KEK PS-E549)を行なったが、2 核子吸収に伴うバック

グラウンドの為、明瞭なシグナルが得られておらず、更なる精密実験が求められていた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、1) KEK-PS最後の実験として、K中間子ヘリウム4のX線の精密分光により、強い相互作用を精度良く決定すること、および、2) J-PARCにおいてヘリウム3標的を用いた、もっとも単純な構造を持つK-pp束縛状態探索実験を行うこと、からなる。特に2)は、1 GeV/cのK中間子をヘリウム3標的と反応させ、前方方向の中性子放出反応を観測して質量欠損分光法を行なうと同時に、残留状態の崩壊による不変質量分光を行なう。この測定は、Kpp核状態を生成チャンネルと崩壊チャンネルを同時に観測する完全実験である。

これら2つの目的を達成する事で、核媒質中におけるK中間子の振る舞いを明らかにする。

3. 研究の方法

KEK PS-E549実験装置にX線検出器を付け加える事で、K中間子ヘリウム4からのX線の精密分光実験KEK PS-E570実験をなした。

一方、J-PARCにおいて、K1.8BRビームラインによって得られる大強度1GeV/cのK中間子を利用し、in-flight (K-, n) 反応で前方方向に放出される中性子を飛行距離 15 mのTOF法を用測定、反応における質量欠損を観測する。また同時に、標的周りを覆うように設置する円筒形磁気スペクトロメータにより、残留核の崩壊に伴う Λp 崩壊チャンネルを検出、運動量解析する事で不変質量分光測定行ない、これまでなされていないK-中間子原子核探索完全実験を実行する。

4. 研究成果

本科研費により、K中間子ヘリウム4のX線の精密分光により、強い相互作用を従来の実験に比較して約20倍精度を上げる事で、理論計算と実験データの間の矛盾を解決した。

一方、J-PARC実験においては、実験に必要な円筒形磁気スペクトロメータおよび中性子カウンター群が整備された。実際には、J-PARC加速器からの遅れ取り出しが当初の想定より大幅に遅れており、加速器の整備とその十全な運用を待っている状態に在る。

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20件)

M. Bazzi .. M. Iwasaki .. et al, (37人中17番目) "Kaonic helium-4 X-ray measurement in SIDDHARTA", Phys.Lett.**B 681**:310-314,(2009). 査読あり

M. Sato, S. Ishimoto, T. Hayashi, M. Iio, M. Iwasaki, and S. Suzuki : "Development of a super-fluid ^4He target system for an experimental search for nuclear K^{bar} states", Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. **A 606**, 233--237 (2009). 査読あり

J. Zmeskal .. M. Iwasaki ... et al., (31人中14番目) "Kaonic atoms at DAFNE: The SIDDHARTA experiment", Int. J. Mod. Phys. **A 24** (2009) 190~197 査読有

M. Sato, ... K. Itahashi, M. Iwasaki ... Y. Matsuda .. H. Ohnishi, H. Ota et al., (26人中14番目), "Search for strange tribaryon states in the $\text{He-4}(\text{stopped } K^-, p)$ reaction.", Int. J. Mod. Phys. **A 24**, No. 2-3, pp.442--445 (2009). 査読有

M. Sato K. Itahashi, M. Iwasaki ... Y. Matsuda .. H. Ohnishi, H. Ota et al, (26人中14番目), "Search for strange tribaryon states in the inclusive $^4\text{He}(K, p)$ reaction", Phys. Lett. **B 659**, No. 1-2, pp.107--112 (2008). 査読有

M. Iwasaki et al. (26人中1番目), "Kaonic nuclear state search via K reaction at rest on ^4He target", Nucl. Phys. **A 804**, No. 1-4, pp.186--196 (2008). 査読有

M. Sato K. Itahashi, M. Iwasaki ... Y. Matsuda .. H. Ohnishi, H. Ota et al, (26人中14番目), "Search for strange tribaryon in the $^4\text{He}(\text{stopped } K, N)$ reaction.", Frascati Physics Series **XLVI**, 1267--1271 (2008). 査読無

M. Iwasaki et al, (26人中1番目), "Kaonic nuclear state search via K reaction at rest on ^4He target", Nucl. Phys. **A 804**, No. 1-4, pp.186--196 (2008). 査読有

T. Suzuki K. Itahashi, M. Iwasaki ... Y. Matsuda .. H. Ohnishi, H. Ota et al., (26人中14番目), "YN correlations from the stopped K reaction on ^4He ", Mod. Phys. Lett. **A 23**, No. 27-30, pp.2520--2523 (2008). 査読無

R. Hayano K. Itahashi, M. Iwasaki ... Y. Matsuda .. H. Ohnishi, H. Ota et al, (33人中16番目), "Solving the kaonic-helium puzzle.", Modern Phys. Lett. **A 23 2505** (2008) 査読無

H. Yim K. Itahashi, M. Iwasaki ... Y. Matsuda .. H. Ohnishi, H. Ota et al, (26人中14番目), "Experimental search of strange tribaryons in the $^4\text{He}(K_{\text{stop}}, n)$ reaction", The IX International Conference on Hypernuclear and

Strange Particle Physics , Mainz , Germany , 2006--10 , SIF and Springer, Mainz, pp.201--205 (2007). 査読無

T. Suzuki K.Itahashi, M.Iwasaki ... Y.Matsuda .. H.Ohnishi..H.Outa et al, (26人中14番目), " *Ad correlations from the $^4\text{He}(\text{stopped-}K^-, d)$ reaction*", Phys. Rev. **C 76**, No. 6, pp.068202-1--068202-4 (2007). 査読有

S.Okada K.Itahashi, M.Iwasaki ... Y.Matsuda .. H.Ohnishi..H.Outa et al, (33人中17番目), "Precision measurement of the $3d \rightarrow 2p$ x-ray energy in kaonic ^4He ", Phys. Lett. **B 653**, No. 5-6, pp.387--391 (2007). 査読有

S. Okada K.Itahashi, M.Iwasaki ... Y.Matsuda .. H.Ohnishi..H.Outa et al, (33人中17番目), "Precision spectroscopy of the kaonic helium $3d \rightarrow 2p$ x-ray", Nucl. Phys. **A 790**, No. 1-4, pp.663c--666c (2007). 査読有

S.Okada K.Itahashi, M.Iwasaki ... Y.Matsuda .. H.Ohnishi..H.Outa et al, (33人中17番目), "Precision measurement of the kaonic helium $3d \rightarrow 2p$ x-rays", AIP Conf. Proc. **870**, No. 1, pp.493--495 (2006). 査読無

M. Sato K.Itahashi, M.Iwasaki ... Y.Matsuda .. H.Ohnishi..H.Outa et al, (26人中14番目), "Experimental study of strange tribaryons in the $^4\text{He}(K_{\text{stop}}, p)$ reaction", AIP Conf. Proc. **842**, 480--482 (2006).

T. Ishiwatari .. M. Iwasaki ... et al, (22人中11番目), "New analysis method for CCD X-ray data", Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. **A 556**, 509--515 (2006). 査読有

G. Beer ... M. Iwasaki ... et al, (24人中13番目) "Measurement of the Kaonic Hydrogen X-Ray Spectrum", Phys. Rev. Lett. **94**, No. 21, pp.212302-1--212302-4 (2005). 査読有

J.Zmeskal ... M. Iwasaki ... et al, (23人中12番目) "The DEAR experiment - first results on kaonic hydrogen", Nucl. Phys. **A 754**, 369c--374c (2005). 査読有

M. Cargnelli ... M. Iwasaki ..., (23人中12番目), "Kaonic hydrogen measurement with DEAR at DAPHNE," Int.J.Mod.Phys.**A20**:341-348,(2005). 査読無

[学会発表] (計57件)

M.Sato, "Precision spectroscopy of Kaonic Helium-3

X ray at J-PARC", ECT* conference, Hadronic atoms and Kaonic nuclei , October 12--16,2009 , Trento, Italy,

H. Outa "Preparation status of E15 experiment at J-PARC K1.8BR beam line", ECT* conference, Hadronic atoms and Kaonic nuclei, October 12--16,2009 , Trento, Italy,

Sakuma F ." *Development of the Cylindrical Detector System for an experimental search for kaonic nuclei at J-PARC*", The Third Joint JPS/DNP Meeting (Hawaii 2009) , Oct. (2009), Hilton Waikoloa Village on Hawaii's Big ,USA

M. Iio, "Precision spectroscopy of kaonic helium-3 atoms x-rays at J-PARC", 19th International IUPAP Conference on Few-Body Problems in Physics , Aug.31-Sep.5 (2009) Bonn , Germany

M. Iio, "Experimental research of kaonic nuclei and kaonic atoms at J-PARC", International Conference on Particles And Nuclei (PANIC08) , Nov.(2008), Eilat , Israel

F. Sakuma, "The search for deeply-bound kaonic nuclear states at J-PARC", 19th International Baldin Seminar on High Energy Physics Problems: Relativistic Nuclear Physics and Quantum Chromodynamics , (JINR), Sep(2008), Dubna , Russia

M. Sato, "Search for strange tribaryon states in the $^4\text{He}(\text{stopped } K, p)$ reaction", 10th International Workshop on Meson Production, Properties and Interaction , June (2008) Krakow , Poland

M. Iio, "Precision spectroscopy of kaonic helium-3 x-rays at J-PARC", 4th International Workshop on Nuclear and Particle Physics at J-PARC (NP08) , , Mar. (2008)., toukai

T. Suzuki, "An experimental search for strange multibaryonic states via the $^4\text{He}(\text{stopped } K, YN)$ interaction", 4th International Workshop on Nuclear and Particle Physics at J-PARC (NP08) , , Mar. (2008)., toukai

H. Ohnishi, "A new approach to study the property of $\phi(1020)$ meson in medium", 4th International Workshop on Nuclear and Particle Physics at J-PARC (NP08) , , Mar. (2008)., toukai

T. Suzuki, "YN correlations from stopped K reaction on ^4He ", Chiral Symmetry in Hadron and Nuclear Physics , Nov. (2007) (RCNP, The 21st century COE program), Osaka ,

T. Suzuki, "Search for strange di/tri-baryon states in $^4\text{He}(\text{stopped } K, d)$ reaction", Korea Japan Joint Nuclear Workshop , (JPS,KPS), Oct. (2007), Jeju , Korea , .

M. Iio, "Precise measurement of kaonic helium atoms X-rays", 12th International Conference on Hadron Spectroscopy , Oct. (2007). , (INFN Laboratori Nazionali di

Frascati), Rome , Italy ,

H. Ohnishi, "A search for deeply-bound kaonic nuclear states by in-flight $^3\text{He}(K,n)$ reaction at J-PARC", 11th International Conference on Meson-Nucleon Physics and the Structure of the Nucleon (MENU2007), Sept. (2007). , (Forschungszentrum Juelich), Forschungszentrum Juelich , Germany ,

T. Suzuki, "An experimental search for strange multi-baryonic systems in $^4\text{He}(\text{stopped } K,YN)$ reaction", 11th International Conference on Meson-Nucleon Physics and the Structure of the Nucleon (MENU2007), Sept. (2007). , (Forschungszentrum Juelich), Forschungszentrum Juelich , Germany ,

H. Yim, "A search for strange tribaryonic states in $^4\text{He}(K \text{ stopped}, n)$ reaction", Nuclear Physics at J-PARC: Pre-symposium of INPC 2007 , June (2007). , Tokai Village ,

S. Okada, "Precision spectroscopy of the kaonic helium X-rays", Nuclear Physics at J-PARC: Pre-symposium of INPC 2007 , June (2007). , Tokai Village ,

T. Suzuki, "An experimental search for strange multi-baryonic systems in $^4\text{He}(\text{stopped } K,N)$ reaction", International Nuclear Physics Conference (INPC2007), (2007)., (Science Council of Japan, RIKEN and others), Tokyo , June

M. Iio, "A general-purpose liquid target system for hadron experiments at J-PARC", International Nuclear Physics Conference (INPC2007) , June (2007), Tokyo ,

M.Sato, "A search for strange tribaryonic states in the $^4\text{He}(\text{stopped } K,p)$ reaction", Nuclear Physics at J-PARC: Pre-symposium of INPC 2007 , May (2007)., Ibaraki ,

M. Iwasaki, "Search for kaonic nuclear state by stopped K on helium target at kek", Yukawa International Seminar (YKIS) 2006 New Frontiers in QCD: Exotic Hadrons and Hadronic Matter , Nov. (2006) (Yukawa Institute for Theoretical Physics),Kyoto

M. Iio, "A superfluid helium target for the precision spectroscopy of the kaonic helium $3d \rightarrow 2p$ X-rays", 9th International Conference on Hypernuclear and Strange Particle Physics (Hyp 2006) , Oct.. (2006)., (Johannes Gutenberg-Universitat and Gesellschaft fur Schwerionenforschung mbH (GSI)), Mainz , Germany ,

M. Sato, "Experimental study of strange tribaryons in the $^4\text{He}(\text{stopped } K,p)$ reaction", 9th International Conference on Hypernuclear and Strange Particle Physics (Hyp 2006) , Oct. (2006), Mainz , Germany ,.

S.Okada, "Precision measurement of the kaonic helium $3d \rightarrow 2p$ x-rays", 9th Conference on the Intersections of Particle and Nuclear Physics CIPANP 2006 , Aug. (2006), Westin Rio Mar Beach , Puerto Rico ,

M. Iwasaki, "Kaonic-Helium $3d-2p$ X-ray experiment", International Workshop on Exotic hadronic atoms, deeply bound kaonic nuclear states and antihydrogen: present results, future challenges , (European Center for Theoretical Studies in Nuclear Physics and Related Areas), June (2006)., Trento , Italy ,

H. Ohnishi, "A search for deeply-bound kaonic nuclear states by in-flight $^3\text{He}(K,n)$ reaction at J-PARC", International Workshop on Exotic hadronic atoms, deeply bound kaonic nuclear states and antihydrogen: present results, future challenges , (European Center for Theoretical Studies in Nuclear Physics and Related Areas), June (2006)., Trento , Italy ,

M. Iwasaki, "Kaonic Atoms and Search for Kaonic Nuclei", NP2006 Nuclear Physics Symposium , May (2006), Shanghai , China , .

S. Okada, "Precision spectroscopy of the kaonic Helium $3d \rightarrow 2p$ X-rays", YITP Workshop "Hadrons at finite density" (HFD06) , Feb. (2006)., Kyoto ,

M. Iwasaki, "Strange tribaryon and present experimental program", 2nd Joint Meeting of the Nuclear Physics Divisions of the APS and JPS (Hawaii 2005) , Sept. (2005)., Maui , USA ,

M.Iwasaki, "Kaonic deeply bound states, the first experimental results", International Conference on Exotic Atoms and Related Topics (EXA 05) , Feb. (2005), (the Austrian Academy of Sciences), Vienna , Austria ,

H. Ohta, " Search for Deeply Bound Kaonic States in K-Absorption at Rest on ^4He ", Nuclear and Hadronic Systems and Quark Degrees of Freedom (QNP05), Feb. 22 (2005)Phoenix Park, Kangwondo, Republic of Korea,

佐久間 史典, "Nuclear astrophysics at J-PARC with a search for deeply-bound kaonic nuclear states", 2008 年度国立天文台研究集会「R プロセス元素組成の統合的理解: 宇宙の中の不安定核物理」, (筑波大学物理学系原子核実験グループ, 国立天文台), , 3 月 (2009), つくば

佐久間 史典, "J-PARC E15 実験における TGEM-TPC の開発@理研", 第 5 回「マイクロパターンガス検出器(MPGD)研究会」, 12 月 (2008). (東大 CNS), 和光,

飯尾 雅実, "K 中間子原子核探索実験のための液体ヘリウム 3 標的の開発 III", 日本物理学会 2008 年秋季大会, 山形大, 9 月 (2008).

藤原 裕也, "J-PARC E15 実験のための K 中間子崩壊事象 veto カウンターの開発", 日本物理学会, (日本物理学会), 近畿大学本部キャンパス, 3 月 (2008)

鈴木 隆敏, "⁴He 上の静止 K-反応に於ける重陽子測定によるストレンジマルチバリオン状態の探索 (1)", 日本物理学会第 63 回年次大会, (社団法人 日本物理学会), 大阪府東大阪市 近畿大学, 3 月 (2008).

岡田 信二, "J-PARC における K 中間子ヘリウム 3 原子 X 線分光実験 J-PARC E17 の現状", 文部科学省科学研究費補助金特定領域研究特定領域研究「ストレンジネスで探るクォーク多体系」第 3 回総括班主催研究会 (2007), 宮城県仙台市, 12 月 (2007).

飯尾 雅実, "K 中間子原子・原子核実験のための液体ヘリウム 3 標的の開発", 文部科学省科学研究費補助金特定領域研究特定領域研究「ストレンジネスで探るクォーク多体系」第 3 回総括班主催研究会 (2007), 仙台, 11 月 (2007).

鈴木 隆敏, "Λ-核子相関によるストレンジマルチバリオン状態の探索", 文部科学省科学研究費補助金特定領域研究特定領域研究「ストレンジネスで探るクォーク多体系」第 3 回総括班主催研究会 (2007), 仙台, 11 月 (2007).

飯尾 雅実, "K 中間子原子核探索実験のための液体ヘリウム標的の開発 II", 日本物理学会第 62 回年次大会, 札幌, 9 月 (2007).

佐久間 史典, "J-PARC における K 中間子原子核探索実験のための円筒形ドリフト・チェンバーの開発 (J-PARC E15 実験)", 日本物理学会第 62 回年次大会, 札幌, 9 月 (2007).

鈴木 隆敏, "⁴He 上の静止 K⁺反応に於けるハイパロン-核子相関によるストレンジマルチバリオン状態の探索", 日本物理学会第 62 回年次大会, 札幌, 9 月 (2007).

岡田 信二, "K 中間子ヘリウム 4 原子 X 線の精密測定 (V)" 日本物理学会 2007 年秋季大会, 札幌,

9 月 (2007).

鈴木 隆敏, "⁴He(stopped K, N) 反応によるストレンジマルチバリオン状態の探索", 中間子束縛系研究会議 2007, 和光, 6 月 (2007).

大西宏明, "J-PARC における ³He(K-in-flight, n) 反応を用いた K 中間子原子核探索実験計画" 日本物理学会, (社団法人 日本物理学会), 東京都八王子市南大沢 1-1, 3 月 (2007).

飯尾 雅実 "K 中間子原子核探索実験のための液体ヘリウム 3 標的の開発", 日本物理学会 2007 年春季大会, 首都大, 3-3 月 (2007).

佐藤 将春, "⁴He(K^{stopped}, N) 反応を用いたストレンジトライブリオンの実験的研究 (6)", 日本物理学会第 63 回年次大会, (社団法人 日本物理学会), 東京都八王子市南大沢 1-1, 3 月 (2007).

板橋健太, "K 核に関連した動機による K 中間子ヘリウム原子 X 線分光実験の現状", ストレンジネスとエキゾチクス理論の課題研究会, 鳥羽 (2007)

飯尾 雅実, "K 中間子原子核探索実験のための液体ヘリウム 3 標的", 文科省科研費補助金特定領域研究「ストレンジネスで探るクォーク多体系」研究会 2006, 熱海, 12 月 (2006).

岡田 信二, "Precision spectroscopy of Kaonic Helium-3 3d→2p X-rays (J-PARC E17 実験)", 文科省科研費補助金特定領域研究「ストレンジネスで探るクォーク多体系」研究会 2006, 静岡県熱海市, 12 月 (2006).

岩崎 雅彦: "KpX から K 核へ", 日本物理学会 2006 年秋季大会, (日本物理学会), 奈良, 9 月 (2006).

板橋健太, "シリコンドリフト検出器とフラッシュ ADC を用いた K 中間子ヘリウム原子 X 線測定システム", 日本物理学会, 奈良 (2006)

佐藤 将春, "⁴He(K^{stopped}, N) 反応を用いたストレンジトライブリオンの実験的研究 (4)", 日本物理学会第 62 回年次大会, (社団法人 日本物理学会), 奈良女子大学, 9 月 (2006).

飯尾 雅実, "K 中間子ヘリウム原子 X 線測定実験のための検出器系 I", 日本物理学会第 61 回年次大会, 愛媛大/松山大, 3 月 (2006).

岡田 信二, "J-PARC における K 中間子ヘリウム原子 3 d → 2 p X 線精密測定の計画" 日本物理学会第 61 回年次大会, 愛媛, 3 月 (2006).

佐藤 将春, "⁴He(K^{stopped}, N) 反応を用いたストレンジトライブリオンの実験的研究 (1)", 日本物理学会第 61

回年次大会，(社団法人 日本物理学会)，愛媛大学，3月(2006)。

岡田 信二、“中高エネルギー原子核実験におけるX線検出器 SDD の開発” 理研ワークショップ「放射線検出器と電子回路の課題と展望-光子検出器を中心に」，和光市，5月(2005)。

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ等

<http://ag.riken.jp/knucl/index-j.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岩崎 雅彦 (Iwasaki Masahiko)

独立行政法人理化学研究所・岩崎先端中間子研究室・主任研究員

研究者番号：60183745

(2) 研究分担者

松田 恭幸 (Matsuda Yasuyuki)

独立行政法人理化学研究所・岩崎先端中間子研究室・先任研究員

研究者番号：70321817

(3) 連携研究者

應田 治彦 (Ota Haruhiko)

独立行政法人理化学研究所・岩崎先端中間子研究室・先任研究員

研究者番号：60221818

板橋 健太 (Itahashi Kenta)

独立行政法人理化学研究所・岩崎先端中間子研究室・専任研究員

研究者番号：80323781

大西 宏明 (Onishi Hiroaki)

独立行政法人理化学研究所・岩崎先端中間子研究所・専任研究員

研究者番号：60360517