



を直接測定する。 $K^- N \rightarrow \pi \Sigma$ 散乱
の振幅を下回る。 $K^- N$ の閾値を採用しています。
 $d(K^-, N) \pi \Sigma$ 反応

井上 健太郎

2023年2月24日

内容

1	はじめに	3
1.1	Λ の歴史(1405)	3
1.2	Λ (1405)、 KN 相互作用	4
2	実験セットアップ	5
3	分析	6
4	考察と結論	7
A	付録 Title.1	8
B	付録 Title.2	9

第1章

はじめに

1.1 Λ の歴史(1405)

$\Lambda(1405)$ は、ストレンジネス $S = -1$ を含み、アイソスピン $I = 0$ のハイペロンであるとスピンとスピンパリティ $J^P = \frac{1}{2}(\frac{1}{2})^-$ 。最新の粒子データグループ(PDG)では[1]では、 $\Lambda(1405)$ の質量と幅が $1405.1.1.0\text{MeV}$ に割り当てられています。^{+1.3}と $50.5 \pm 2.0\text{MeV}$ であった。

$\Lambda(1405)$ の存在は、DalitzとTaunによって最初に予言されました。の準結合状態として、1959年に発表さ $K^- N$ [2]。ローレンスRa-ではれました。

1961年にバブルチャンバーで $K^- p \rightarrow \Sigma \pi \pi$ reac-を用いた $\pi \Sigma$ スペクトルで $\Lambda(1405)$ 様過剰状態が観測され、 $\Lambda(1405)$ 様過剰状態であることが判明した。

シオン [3]。彼らは、荷電スペクトルに対して中性の $\pi \Sigma$ スペクトルに $\Lambda(1405)$ 的な過剰状態があることを報告した。Hemingwayは水素バブルチャンバーを用いて $\Lambda(1405)$ を高統計で生成することに成功した。

4.2 GeV K^- ビームを用いた実験 [4]。の同定を主張した。

$K^- p \rightarrow \pi \Sigma(1660) \rightarrow \pi \pi \Lambda(1405) \rightarrow \pi \pi(\pi \Sigma)$ の反応レンマが強化されました。の生成は、 $\Lambda(1405)$ である。DalitzとDeloffは質量と幅を評価した。

このデータの $\pi^- \Sigma^+$ スペクトルにM行列/K行列解析を適応し、非共鳴と $\Lambda(1520)$ から来るバックグラウンドがほとんどない $\Lambda(1405)$ を $1406.4 \pm 4.0\text{MeV}$, $50 \pm 2\text{MeV}$ とした [5]。2000年代には

は、 $\Lambda(1405)$ が低質量領域の $\pi \Sigma$ と高質量領域の $K N$ の2つの極から寄与される動的分子状態であると主張した。このモデルによると、 $K^- N$ に結合する高質量極は $1426 + 16\text{MeV}$ で、 $\pi \Sigma$ に結合する低質量極は $1390 + 66i\text{MeV}$ であることがわかります。つまり、 $K^- N$ 極に直接アクセスすることで、スペクトルの質量中心が従来の 1405MeV から高質量領域にシフトすることが期待される。

実験的には、 $\Lambda(1405)$ の生成は様々な反応機構で行われた。新山らは、Spring-8のLEPSビームラインで、 $E_\gamma = 1.5 - 2.4\text{GeV}$ の γ ビームを用いて光生成 $\gamma p \rightarrow K^+ \Lambda(1405)$ を行った [8]。彼らは中心部の散乱角

$0.8 < \Theta_{K^+} < 1.0$ の K^+ の質量系の $\pi^- \Sigma^+$ と $\pi^+ \Sigma^-$ の質量スペクトルを $\Lambda(1405) \rightarrow \pi \Sigma$ の崩壊で報告し、 $\Lambda(1405)$ 領域で二つのスペクトルの間に差異を観測している。この事実は

$I = 0$ と $I = 1$ のチャンネル間の干渉項。CLAS コラボレーションでは、Jefferson Laboratory で $1.61\text{--}1.91\text{GeV}$ の γ ビームを光生成に用い、質量中心での散乱角を測定したところ、質量中心での散乱角は 0.5° であった。

系の K^+ を $0.6 < \Theta_{K^+} < 0.9$ で観測した [9, 10]。彼らは3つの $\pi^- \Sigma^+$, $\pi^+ \Sigma^-$, $\Sigma^0 \pi^0$ スペクトルを全て報告した。これらの3つのスペクトルのセントロイドは、以下のように見える。

は 1405MeV にあるが、その線状は異なっており、この反応には $I=1$ の強度が寄与していることがわかる。HADES コラボレーションは、 $3.5\text{GeV}/c$ 陽子ビームを用いた $p\text{--}p$ 衝突で $\Lambda(1405)$ 生成を行った [13]。

彼らは、 $\pi \Sigma^+$, $\pi^+ \Sigma^-$ と、これらの平均スペクトルを報告しており、これらは明らかに 1405MeV 以下にピークを持つ。

1.2 $\Lambda(1405)$ と $K^- N$ 相互作用

前節で述べたように、 $\Lambda(1405)$ は準天頂衛星として予言されています。

の境界状態。 $K^- N$ 状態として議論されてきました。順序としてはを得るためには、 KN 相互作用の情報が必要である。

$\Lambda(1405)$ の構造を理解する。1960～70年代には、さまざまな $K^- N$ のバブルチャンバーを用いて、 K^- ビームの散乱データを測定した。CERN [14-18] で発表された。これらのデータは、 2.1GeV までを含む、センター of-mass のフレームで、部分波動解析によって辻褄を合わせた。 KN 散乱振幅は、特に高エネルギー領域でよく解析されている。

また、 KN の散乱長を測定する一つの方法として、 KN の

の閾値はカオン核からのX線である。この方法では、 K^- 中間子が原子核に捕獲されて放出されるX線シフトを、電磁力のみの場合と比較して、強い力の影響を評価することができる。1970-80年代には、 KN 相互作用が反発することを報告したグループもあり、X線による強磁力測定が行われた。

これは散乱実験と矛盾している。1997年、岩崎らはKEK-PS E228での高分解能実験からこの負のシフトを報告し、 KN 相互作用が引力であると結論づけた [27]。この結果は、2005年にDAΦNE共同研究、2011年にSIDDAHARTA共同研究によって検証・更新されました [28]。これらの実験によって得られた KN 散乱長と有効範囲は、 KN 閾値における KN 散乱の増幅率に強い制約を与えている。

この制約と $K^- N$ 閾値以上の散乱データに対して、いくつかの理論グループは低エネルギー散乱熱に基づく様々なアプローチで KN 散乱量を一貫して再現した [19-24]。しかし、低エネルギー領域でのデータ不足のため、大きな不確定性がある。

第2章

実験セットアップ

第3章

分析

第4章

考察と結論

付録A

付録 **Title.1**

付録**B**

付録 **Title.2**

書誌情報

- [1] R.L. Workman et al. (Particle Data Group), Prog.Theor.Exp.Phys. **2022**, 083C01 (2022年)
"素粒子物理学総論"
- [2] R.H. Dalitz and S. F. Tuan, Phys. Rev. Lett. **2** (1959). "Pion-Hyperon Scatteringにおける共鳴状態の可能性"
- [3] M.H. Alston, L. W. Alvarez, P. Eberhard and M. L. Good, Phys. Rev. Lett.**6**, 698 (1961).
" Σ - π 系の共振の研究"
- [4] R.J. Hemingway, Nucl Phys B **253**, 742 (1985). " K^- p 反応における $\Lambda(1405)$ の生成@ $4.2\text{GeV}/c$ "
- [5] R.H. Dalitz and A. Deloff, J. Phys. G**17**, 281 (1991). " $\Lambda(1405)$ 共鳴の形とパラメータ"
- [6] N.Kaiser P.B.Siegel and W.Weise, Nucl Phys A **594**, 325 (1995). "
キラルダイナミクスと低エネルギーKaon-Nucleon相互作用"
- [7] D.Jido et al., Nucl.Phys. A **725**, 181 (2003)に
掲載されました。"2つの $\Lambda(1405)$ 状態のキラ
ルダイナミクス"
- [8] M.Niiyama et al., Phys. Rev. C **78**, 035202 (2008).
" $E_\gamma = 1.5\text{--}2.4\text{GeV}/c$ における陽子上の $\Lambda(1405)$ と $\Sigma(1385)$ の光電場生成"
- [9] K.Moria for the CLAS Collaboration,
Phys. Rev. C **87**, 035206 (2013).
" $\Lambda(1405)$ 近傍の $\pi\Sigma$ 光生成線形状の測定"
- [10] K.Moria for the CLAS Collaboration,
Phys. Rev. Lett.**112**, 082004 (2014).
" $\Lambda(1405)$ バリオンのスピンとパリティの測定"
- [11] S.X. Nakamura and D. Jido, Phys. Theor.Exp.Phys., **2014**, 023D01
(2014)に掲載されました。
"キラルユニタリーモデルに基づく $\Lambda(1405)$ 光生成"

- [12] L.Roca and E. Oset, Phys. Rev. C **87**, 055201 (2013). " $\pi^0 \Sigma^0$ 光生成データから得られた $\Lambda(1405)$ 極"
- [13] G. Agakishiev for the HADES Collaboration, Phys. Rev C **87**, 025201 (2013). " KN "の閾値に対するバリオンの共鳴。 pp における $\Lambda(1405)$ の場合 コリジョンズ"
- [14] B.Conforto et al., Nucl.Phys. B **34**, 41 (1971). " $K^- p \rightarrow \bar{K}^0 N$ と $K^- p \rightarrow \pi^- p$ の反応に関する新しい実験結果。 $\Sigma\pi$ a partial-wave analysis between 430 and 800 MeV/c".
- [15] A.J. Van Horn, Nucl.Phys. B **87**, 145 (1975). " $K^- p \rightarrow \Lambda\pi^0$ between 1540 and 2215 MeV のエネルギー依存部分波解析"
- [16] R.J. Hemingway et al., Nucl.Phys. B **91**, 12 (1975). " $K^- p \rightarrow \bar{K}^0 p$ と $K^0 n$ の新データと質量中心エネルギー1840 MeVと 2234 MeVの間の部分波動解析" のページです。
- [17] P.Baillon and P. J. Litchfield, Nucl.Phys. B **94**, 39 (1975). "1540~2150 MeV間の $KN \rightarrow \Lambda\pi$ のエネルギー非依存部分波動解析"
- [18] G. P. Gopal et al., Nucl.Phys. B **119**, 362 (1977)に記載されている。 "1480~2170 MeVのKN二体反応の部分波動解析"
- [19] Y.Ikeda, T. Hyodo and W. Weise, Phys. Lett.B **706**, 63 (2011) "Improved constraints on chiral $SU(3)$ dynamics from kaonic hydrogen" (カオニック水素からのカイラル $SU(3)$ ダイナミックスに対する制約の改善)
- [20] Y.Ikeda, T. Hyodo and W. Weise, Nucl.Phys. A **881**, 98 (2012) "反核子-核子相互作用のカイラル $SU(3)$ 理論、改良された閾値制約付き"
- [21] M.Mai and U.-G.Meißner, Nucl.Phys. A **900**, 51 (2013) "反核子-核子散乱と $\Lambda(1405)$ の構造に関する新たな洞察"
- [22] Z.-H.Guo and J. Oller, Phys. Rev. C **87**, 3, 035202 (2013), 「キラルフレームワークにおけるストレンジネス-1の中間子・バリオン反応
- [23] M.MaiおよびU.-G.Meißner, Eur.Phys. J. A **51**, 3, 30 (2015), "Constraints on the chiral unitary $\bar{K}^0 N$ amplitude from $\pi\Sigma K^*$ photo-production data".

- [24] A.Cieply' et al., Nucl.Phys. A 954, 17 (2016)に掲載されています。
"結合チャンネルキラルアプローチに使用される極の含有量について
 K^-N システム"
- [25] M.Hassanvand et al., Phys. Rev. C **87**, 055202 (2013).
「で生成された $\Lambda(1405) \rightarrow (\pi\Sigma)^0$ の質量スペクトルを理論的に解析した。
 $p+p \rightarrow p+\Lambda(1405)+p$ の反応"
- [26] J.Siebenson and L. Fabbietti, Phys. Rev. C **88**, 055201 (2013)
"Investigation of $\Lambda(1405)$ line shape observed in pp collisions".
- [27] M.Iwasaki et al., Phys. Rev. Lett. **78**, 3067 (1997)."
カオン性水素の観測 K_α X線"
- [28] M.Bazzi et al., Phys. Lett.B **704**, 113 (2011).
"カオン性水素X線の新しい測定法"
- [29] T.Hyodo and U.-G.Meißner, PDG Review, Tables and Plots, Section.83.
" $\Lambda(1405)$ 領域の極構造"
- [30] O.Braun et al., Nucl.Phys. B **129**, 1 (1977)に掲載されました。
"Kaon-Nucleon-Hyperon Coupling Constants $g(KN\Sigma(1197))$, $g(KN\Sigma(1385))$ and $g(KN\Lambda(1405))$ についての新情報".
- [31] D.Jido, E. Oset and T. Sekihara, Eur.Phys. J. A **42**, 257 (2009)."
ルダイナミクスにおける $\Lambda(1405)$ off 重陽子標的のカオン生成"
- [32] J.Yamagata-Sekihara, T. Sekihara, and D. Jido,
Prog.Theor.Exp.Phys.**2013**, 043D02 (2013).
「重陽子標的のK中間子によるハイペロン共鳴の生成
- [33] A.D. Martin, Nucl.Phys. B **179**, 33 (1981).
"Kaon-Nucleonパラメータ"
- [34] J.D. Davies et al., Phys. Lett.B **83**, 55 (1979)."
カオン性水素原子X線の観測"
- [35] M.Izychi et al., Z. Phys. A **297**, 11 (1980)に記載されています。
"カオン性水素からのK系列X線の探索結果"
- [36] H.Zhang et al., Phys. Rev. C **88**, 035204 (2013)."
 KN 散乱反応の部分波動解析"
- [37] H.Zhang et al., Phys. Rev. C **88**, 035205 (2013).
" KN 散乱振幅の多チャンネルパラメトリゼーションと共鳴パラメータの算出".

- [38] P.M. Bird et al., Nucl.Phys. A **404**, 482 (1983)
に掲載されました。"カオン性水素原子X線"
- [39] H.能見ら、第15回PAC会議への提案
"重陽子における(K^- , n)反応による KN 閾値以下のハイペロン共鳴の分光学的研究"
- [40] Y.Ikeda, T. Hyodo, and W. Weise, Nucl.Phys. A **881**, 98 (2012) "反核子-核子相互作用のカイラルSU(3)理論、改良された閾値制約付き"
- [41] T.Hashimoto et al., Phys. Rev. Lett.**128**, 112503 (2022)."X線マイクロカロリメータを用いたカオニックヘリウム同位体の強相互作用効果のサブeV精度での測定"
- [42] J.Zmeskal 他、J-PARC P57 プロポーザル
"J-PARCにおけるカオン重水素の強相互作用誘起1s状態のシフトと幅の測定"
- [43] Jonathan M. M. Hall et al, Phys. Rev. Lett.**114**, 132002 (2016)."Λ(1405)共鳴が反核分子であることの格子QCDによる証拠"
- [44] H.Kamano et al., Phys. Rev. C **90**, 065202 (2014)."Dynamical Coupled-Channels Model of K^- p Reactions:PartialWaveAmplitudesの決定"
Phys. Rev. C**92**, 025205 (2015).
" K^- p 反応の動的チャネル結合モデル"。II
Λ* と Σ* ハイペロン共鳴の取り出し"
Phys. Rev. C**95**, 044903(e) (2015)を参照。
- [45] J.Esmaili, Y. Akaishi, and T. Yamazaki, Phys. Lett.B **686**, 23 (2010)
"Experimental confirmation of the Λ(1405) ansatz from resonant formation of K^- p quasi-bound state in K^- absorption by 3 He and 4 He".
(Λ(1405)アナタツの実験的検証、共鳴フォアグラから)。
- [46] M.Niiyama et al., Phys. Rev. C **78**, 035202 (2008).
" $E_\gamma = 1.5-2.4$ GeV/c における陽子上の Λ(1405) と Σ(1385) の光電場生成"
J.K. Ahn, Nucl.Phys. A **721**, 715c (2002).
「Spring-8/LEPSでのΛ(1405)光生成の様子 "
- [47] J.C.Nacher et al., Phys. Lett.B **455**, 55 (1999)."陽子と原子核のΛ(1405)の光電変換"
- [48] A.Cieply´ and J. Smejkal, Nucl.Phys. A **881**, 115 (2012)."インミディアムアプリケーションのためのキラリに動機づけされたKN振幅"

- [49] L.Fabbietti et al., Nucl.Phys. A **914**, 60 (2013)に掲載されました。
- [50] K.宮川、J.ハイデンバウアー、鎌田浩司 Phys. Rev. C **97**, 055209 (2018)
 $K^- d \rightarrow \pi \Sigma n$ at $p_K = 1.0 \text{ GeV}/c$ の反応に対する Faddev アプローチ"
- [51] S.Kawasaki et al., JPS Conf.Proc. **13**, 020018 (2017)に掲載されました。
 "J-PARC K1BR.8における In-flight $d(K^-, n)n$ Reaction を介した $\Lambda(1405)$ の分光実験"
- [52] E.Oset, A. Ramos, and C. Bennhold, Phys. Lett.B **527**, 99 (2002);
530, 260(E) (2002).
 「低次元 $S = -1$ 励起バリオンとカイラル対称性 "
- [53] H.Zhang, et al., Phys. Rev. C **88**, 035204 (2013). " $\bar{K}N$ 散乱反応の部分波動解析"
- [54] S.Ohnishi et al, Phys. Rev. C **93**, 025207 (2016). " $\Lambda(1405)$ と $K^- d \rightarrow \pi \Sigma n$ 反応のストラクチャー"
- [55] H.Kamano et al., Phys. Rev. C **94**, 065205 (2016).
 $\bar{K} + d \rightarrow \pi + Y + N$ 反応による ローライ・ $\Lambda \cdot \Sigma$ ハイペロン共鳴の確立に向けて"
- [56] T.兵頭哲雄、地道大輔、Prog.Part.Nucl.Phys. **67**, 55 (2012). "キラルダイナミクスにおける $\Lambda(1405)$ 共鳴の性質"
- [57] K.Agari et al, Prog.Theor.Exp.Phys., 02B009 (2012)
- [58] K.Agari et al, Prog.Theor.Exp.Phys., 02B011 (2012)
- [59] TRANSPORT <http://linac96.web.cern.ch/Linac96/Proceedings/Thursday/THP72/Paper>.
- [60] T.K. Ohskara, Nuclear Science, IEEE Transactions on 33, 98 (1986).
- [61] M.塩沢、他、デッドタイムフリーデータ収集システムのための新しいTKOシステムマネージャボード、1994 IEEE Nuclear Science Symposium-NSS'94, pages 632-635, (1994)
- [62] M.飯尾ら、Nucl. Instrum.Methods Phys. Res., Sect.A **687**, 1 (2012).
- [63] S.Agostinelliら、Nucl.Instrum.Methods Phys. Res., Sect.A **506**, 250 (2003)
 J.Allison et al., IEEE Transactions on Phys. Sci. **53**, 207 (2006)
 J.Allison et al., Nucl.Instrum.Methods Phys. Res., Sect.A **835**, 186 (2016)
- [64] K.Fuji, https://www-jlc.kek.jp/subg/offl/lib/docs/helix_manip/node3.html (1968年).

- [65] 電磁界FEAソリューションソフトウェア「Opera
- [66] V.Flaminio et al., CERN-HARA-87-01, 121 (1983).
- [67] M.Jones et el, Nucl.物理学B **90**, 349 (1975)
- [68] R.Barlow and C. Beeston, Comp.Phys. Comm. **77**, 219 (1993)に掲載されています。
- [69] A.Nappi, Comp.Phys.Comm.**180**, 269 (2009).
- [70] M. jones, R. Levi, Setti, D. Merrill and R. D. Tripp, Phys. Rev. **B90**, 349 (1975).
- [71] M.Bernheim and et.el., Nucl.Phys. **A365**, 349, (1981)に記載されている。
- [72] R.Machleidt, Phys. Rev. **C63**, 024001 (2001).
- [73] S.Agostinelliら、Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment **506**, 250 (2003).
J.Allison et el., Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment **835**, 186 (2016).