

Femtoscscopy研究のはじまりと発展

量子科学技術研究開発機構
六ヶ所研究所

森田健司

私のProfile

大西さんのProfile

INSPIRE HEP

authors

Collaborators

- Su Hong Lee 22
- Akira Ohnishi 22
- Krzysztof Redlich 15
- Shin Muroya 13
- Philipp Gubler 11
- Makoto Oka 10
- Tetsuo Hyodo 9
- Bengt L. Friman 9
- Chiho Nonaka 9
- Hiroki Nakamura 8

Show 90 more

Collaboration

- ExHIC 2
- LATTICE-ZN 1

Affiliations

- Kyoto U., Yukawa Inst., Kyoto 41

INSPIRE HEP

authors

Collaborators

- Yasushi Nara 45
- Kenji Morita 22
- Kouji Kashiwa 21
- Takashi Z. Nakano 20
- Hisashi Horiuchi 18
- Kohtaroh Miura 18
- Tetsuo Hyodo 17
- Toshiki Maruyama 17
- Teiji Kunihiro 16
- Kohsuke Sumiyoshi 15

Show 90 more

Collaboration

- ExHIC 5
- TMEP 4
- ALICE 3
- KEK-PS E522 2
- ExHIC-P 1

Published in: P

pdf

Femtoscopic Threshold

Akira Ohnishi (and Osaka U., I al. (Jun 29, 202

Published in: F

DOI

J/ψ near 2

Taesoo Song (C Seoul and Yons

Published in: P

pdf

Dynamically 30 GeV

Koichi Murase Hirano (Sophia

Published in: J

pdf

Yukawa Inst., Kyoto), Akira Ohnishi (Kyoto U., Yukawa Inst., Kyoto) (Jun 21, 202

Published in: *Phys.Rev.C* 108 (2023) 2, 2 • e-Print: 2306.12131 [nucl-th]

pdf DOI cite claim

Exploration of Efficient Neural Network for Path Optimizati

Yusuke Namekawa (Hiroshima U., RITP and Kyoto U.), Kouji Kashiwa (Fukuoka Kyoto U., Yukawa Inst., Kyoto), Akira Ohnishi (Kyoto U., Yukawa Inst., Kyoto), H Published in: *PoS LATTICE2022* (2023) 026 • Contribution to: *Lattice 2022*, 026

pdf DOI cite claim

Charmed Hadron Interactions and Correlation Functions

Akira Ohnishi (Kyoto U., Yukawa Inst., Kyoto), Yuki Kamiya (U. Bonn, Phys. Inst. T. Hyodo (Wako, RIKEN and Tokyo Metropolitan U.) (2023)

Published in: *Acta Phys.Polon.Supp.* 16 (2023) 1, 1-A86, *Acta Phys.Polon.Supp. Matter 2022*, 1-A86, *Quark Matter 2022*

pdf DOI cite claim

Hadrons, Quark-Gluon Plasma, and Neutron Stars

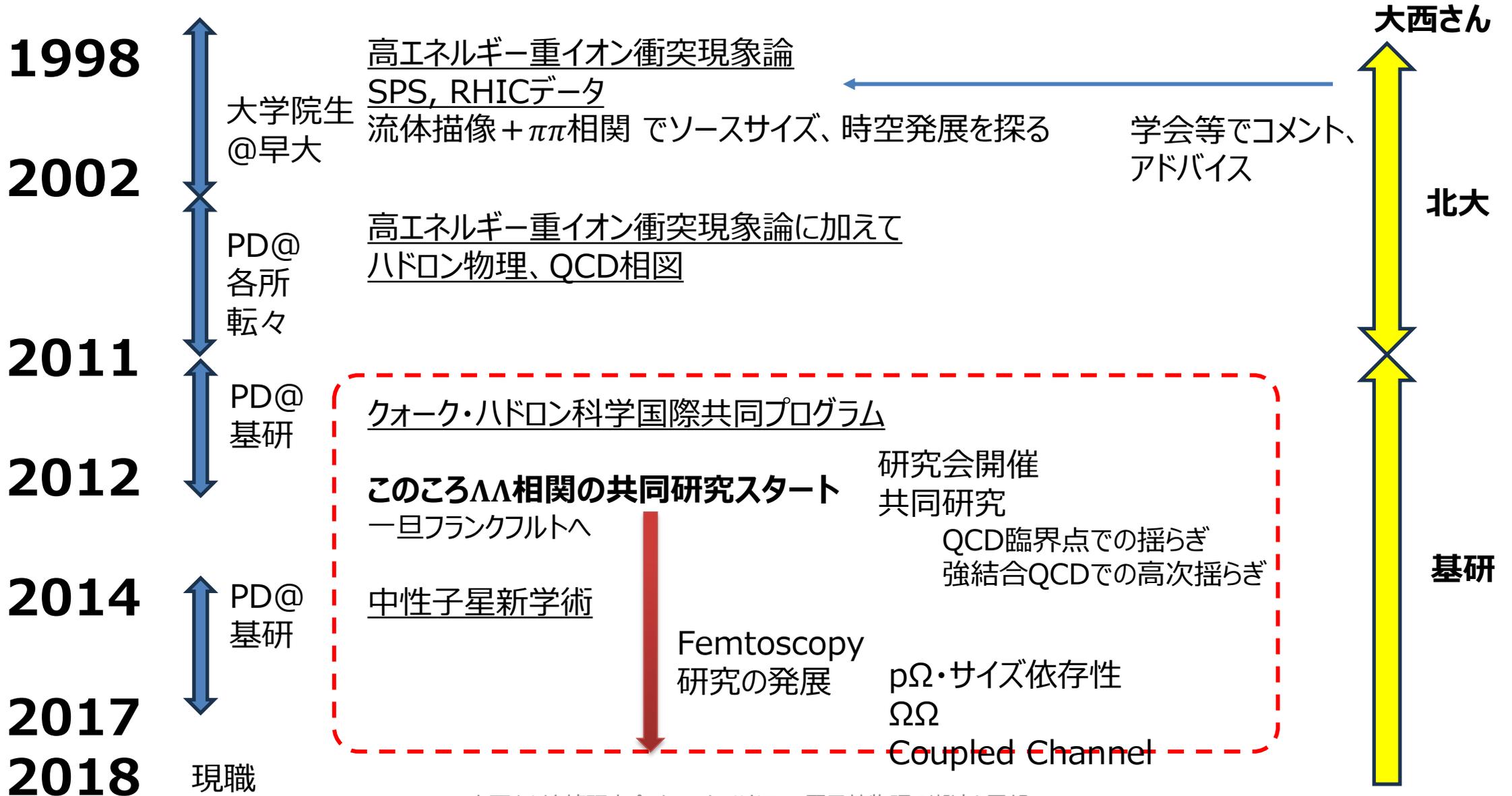
Akira Ohnishi (Kyoto U.) (2023)

links DOI cite claim

Directed flow of Λ from heavy-ion collisions and hyperon pu

Akira Ohnishi (Kyoto U., Yukawa Inst., Kyoto), Asanosuke Jinno (Kyoto U.), Koic Yasushi Nara (Akita Intl. U.) (Oct 31, 2022)

大西さんとの縁（兼自己紹介）



国際会議のオーガナイズ(1)

- 国際会議のChair / Scientific secretary or LOC
 - YIPQS Symp (2012) <https://www2.yukawa.kyoto-u.ac.jp/ws/2011/qhs2utp/>



「Perlわかる?」「少しは」「お願い」→ホームページ係 (と会場のカメラ係に)

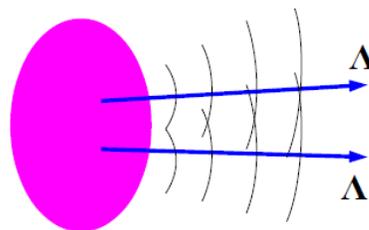
➤ 2012年スタート

- 大西さんの中ではずっとあった課題 H-dibaryon, NS

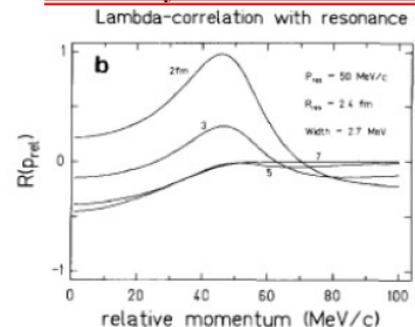
$\Lambda\Lambda$ correlation in HIC

■ Merit of HIC to measure $\Lambda\Lambda$ correlation

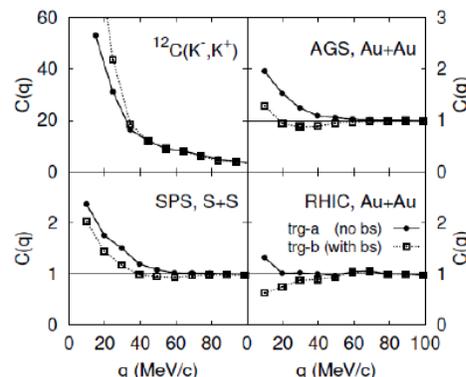
- Source is “Simple and Clean” !
T, μ , flow, size, ... are well-analyzed.
- Nearly Stat. prod.
→ Many exotics will be produced.
Cho et al.(ExHIC Collab.) ('11)



● Discovery of “H” and/or Constraint on $\Lambda\Lambda$ int.



C. Greiner, B. Muller, PLB219('89)199.



AO, Hirata, Nara, Shinmura, Akaishi, NPA670('00)297c

1. INTRODUCTION

Extracting hyperon-hyperon interactions is one of the most challenging current problems in nuclear physics. It provides us of an opportunity to verify various ideas on baryon-baryon interactions such as the flavor SU(3) symmetry. Hyperon-hyperon interactions may also modify the properties of neutron stars, in which abundant hyperons are expected to exist. However, it is very difficult to determine them experimentally. For example, only three double Λ nuclei are found in these 35 years, where only the low-energy 1S_0 Λ - Λ interaction is accessible. Therefore, other ways to extract hyperon-hyperon interactions have been desired so far.

- RHICでの測定に向けて実験家(H.Z.Huang, N.Shah) とコンタクト
- 色々な相互作用での計算 (←古本さん (横国大))

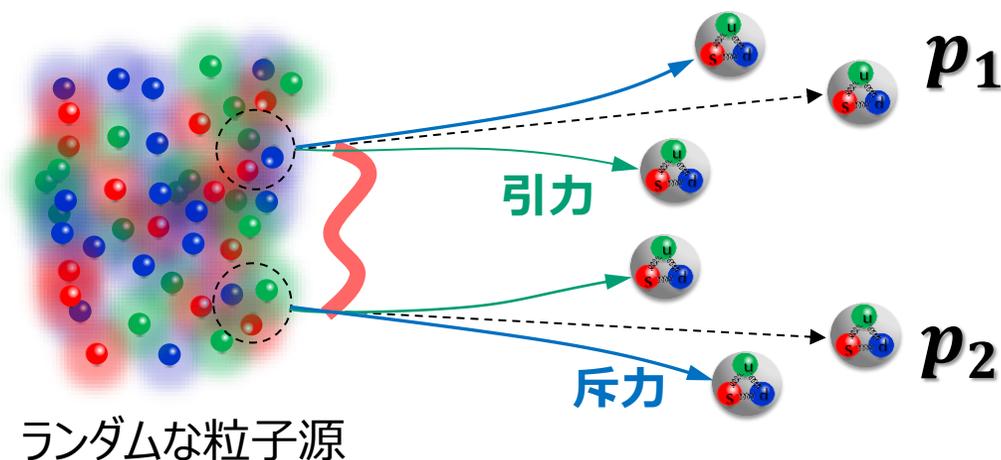
• ある日の研究室セミナーで発表
森田「同種粒子なのでフローでだいぶ変わってくるはず」

→後日「お願い」



(市川隆敏さん提供)

➤ Femtoscscopy (single-channel)



$$P = p_1 + p_2$$

$$q^\mu = \frac{1}{2} \left[(p_1 - p_2)^\mu - \frac{(p_1 - p_2) \cdot P}{P^2} p^\mu \right]$$

$$C(q, P) = \frac{E_1 E_2 dN_{12}/dp_1 p_2}{(E_1 dN_1/dp_1)(E_2 dN_2/dp_2)}$$

相対運動量 q のペアの数 $q = \sqrt{-q^2}$

実用上

$$C(q) = \frac{A_{12}(q)}{B_{12}(q)} = \begin{cases} 1 & \text{相関なし} \\ \text{others} & \text{相関あり} \end{cases}$$

相対運動量 q の異なるイベントからのペアの数

➤ Pair-rest frame $P = 0$ ではシンプルになる : Koonin-Pratt formula

$$C^{\text{KP}}(q) = \int dr^* S_P^{\text{rel}}(r^*) |\varphi(\mathbf{q}^*, \mathbf{r}^*)|^2$$

Pair-rest frameから見た相対波動関数と相対位置分布で書ける

1体分布関数の積 $S(x_1, k_1)S(x_2, k_2)$ を重心座標に対して積分したもの
→ 粒子源の情報。ただし運動量依存性を持つ

相互作用、粒子の対称性

$$\mathbf{q}^* \sim \frac{m_2 \mathbf{p}_1 - m_1 \mathbf{p}_2}{m_1 + m_2}$$

非相対論極限

Gaussian $e^{-\frac{r^2}{4R^2}}$
またはモデル計算

散乱問題の解

● Formalismの正しい形にたどり着くまでにかなり議論しました

- 実験や論文によって q や R の定義が違う
- 実用的には問題ないが、進めていくうちにより一般的な式へ
(最終的には2018年の Ω - Ω の論文)

同種粒子相関(HBT/GGLP効果)

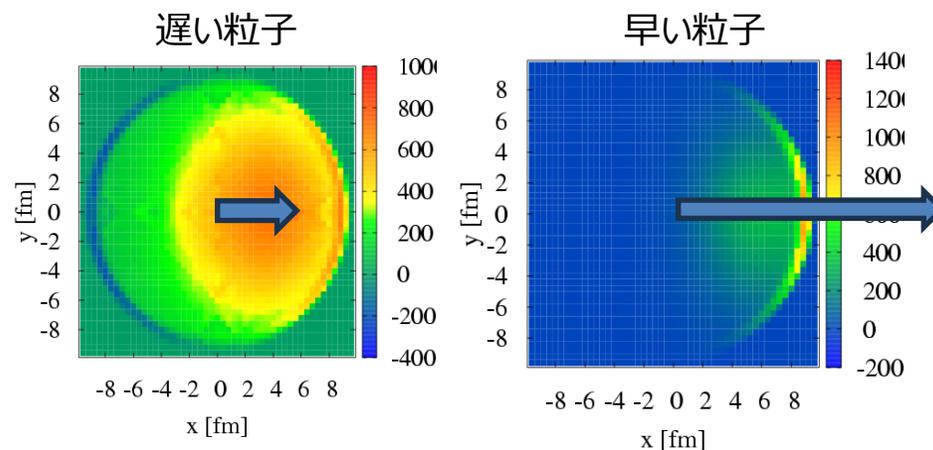
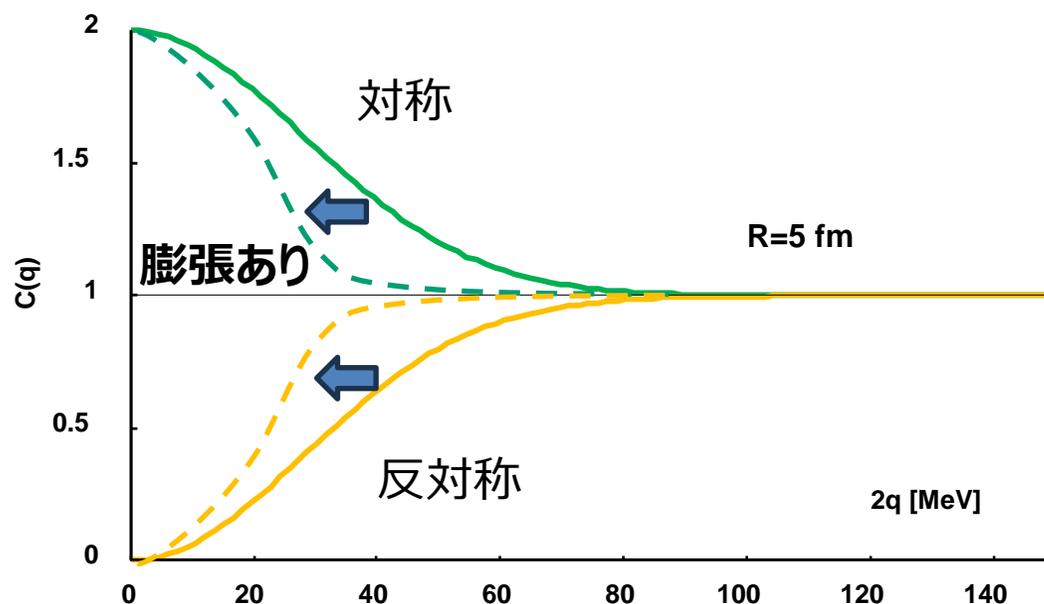
➤ 波動関数の (反) 対称化

$$\psi(x_1, x_2, p_1, p_2) = \frac{1}{\sqrt{2}} (e^{ip_1 \cdot x_1 + ip_2 \cdot x_2} \pm e^{ip_1 \cdot x_2 + ip_2 \cdot x_1})$$

粒子源が集団運動してると大きく変わらう

$$\rightarrow C(q) = 1 \pm \int d^3r \cos(\mathbf{q} \cdot \mathbf{r}) s^{\text{rel}}(r)$$

重イオン衝突における衝突軸に垂直な断面
(横平面) のパイ中間子の分布



測定する粒子の速度によって
実効的なサイズは変わってくる
($R \sim 1/\sqrt{m_T}$)

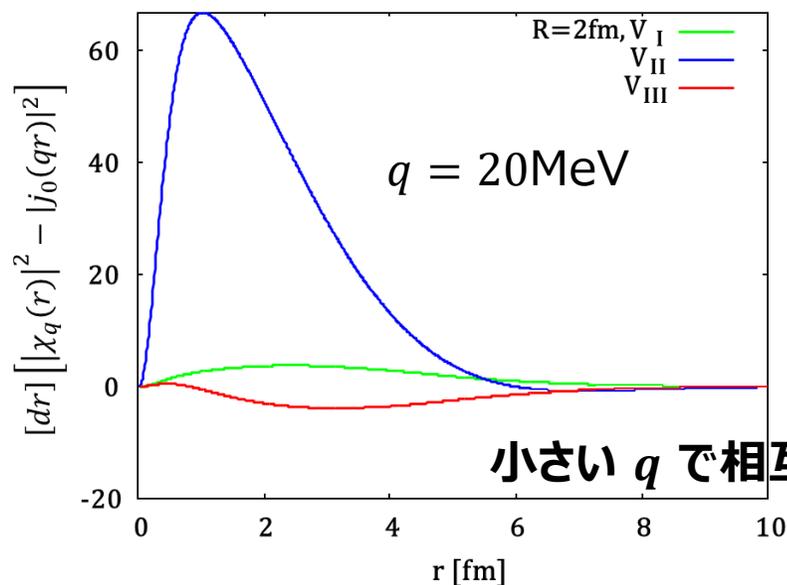
相互作用による相関（異種粒子）

➤ S波波動関数への影響

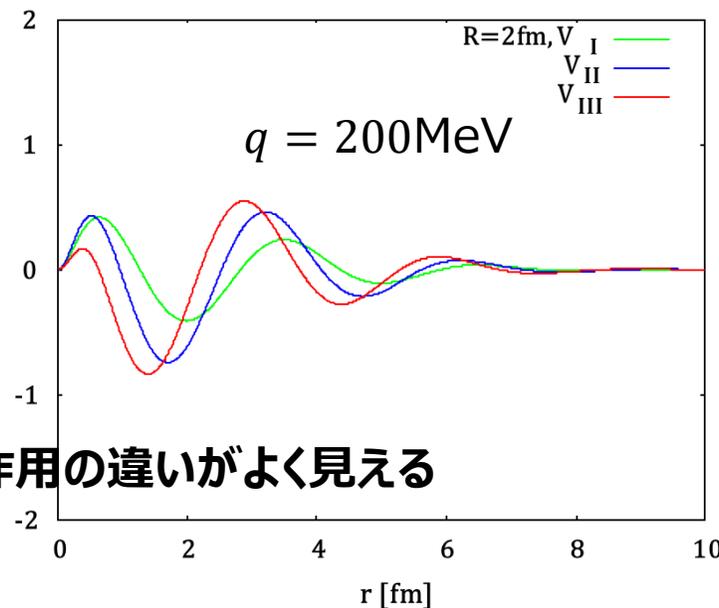
$$\varphi(q, r) = e^{iq \cdot r} - j_0(|q|r) + \chi_{|q|}(r)$$

➔ $C(q) = 1 + \int [dr] \left[|\chi_q(r)|^2 - |j_0(qr)|^2 \right]$ 相互作用によるS波波動関数の変化

$S^{\text{rel}}(r)$ を重みとした積分



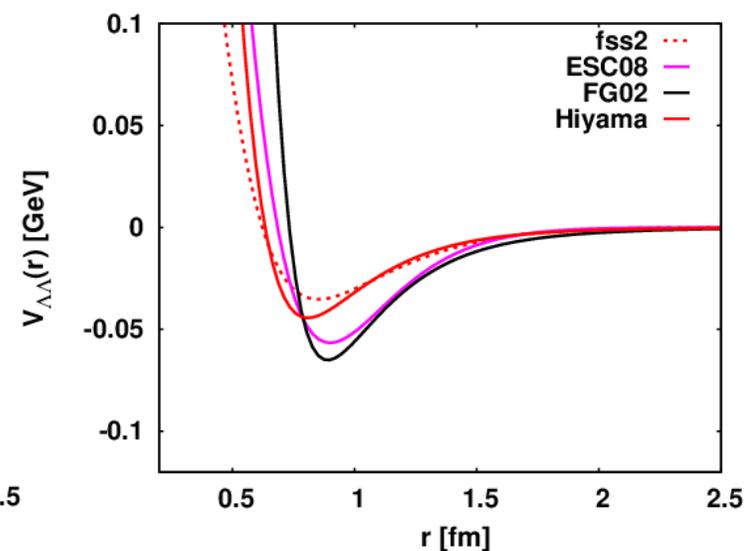
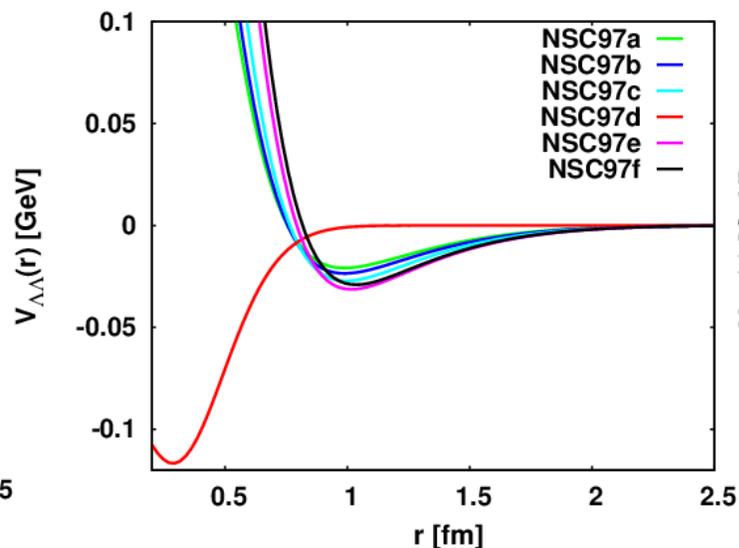
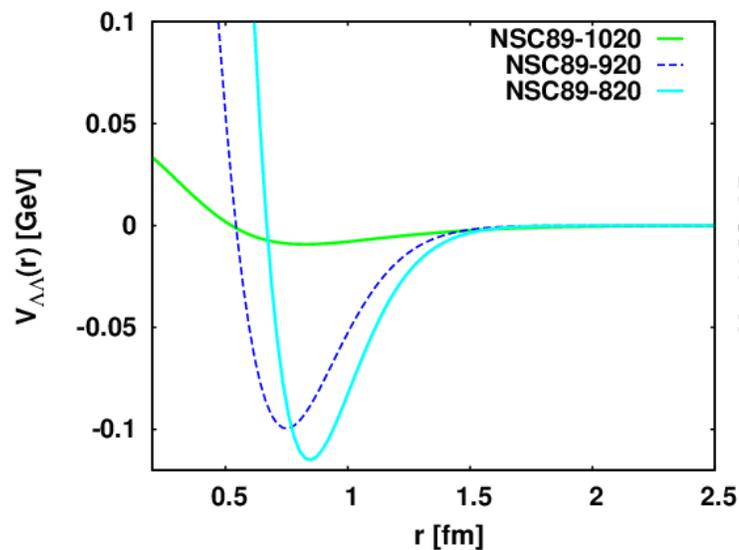
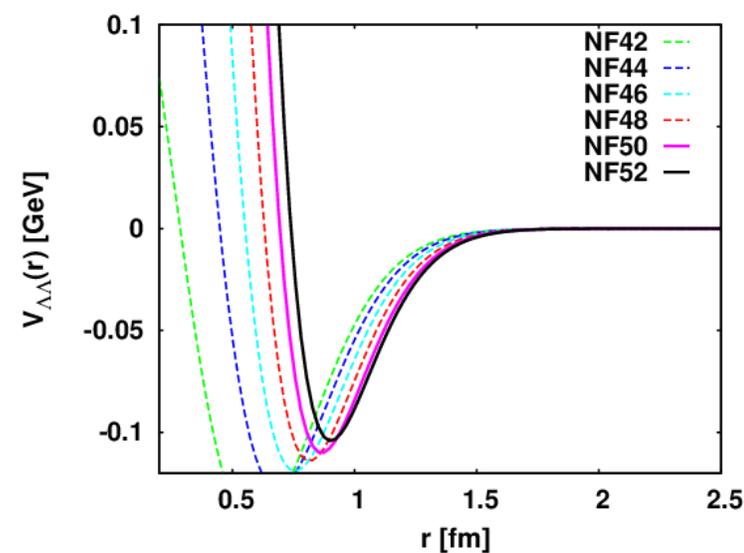
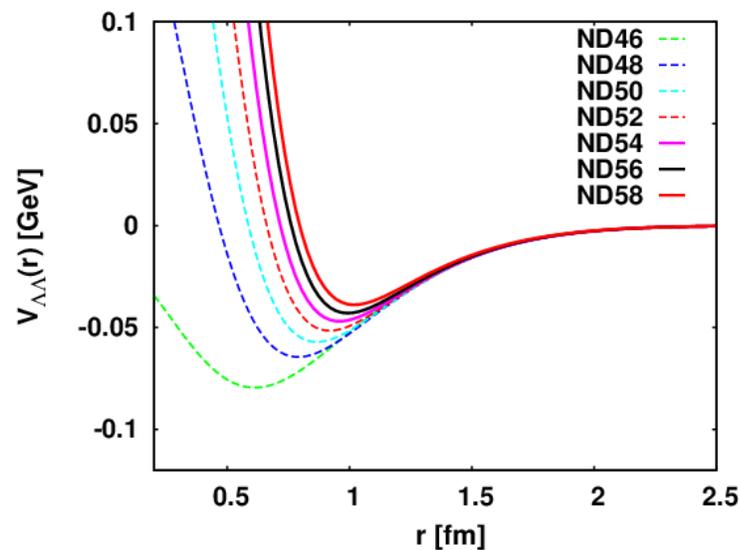
小さい q で相互作用の違いがよく見える



- V_I : 弱い引力
- V_{II} : 少し強い引力
(ごく浅い束縛状態)
- V_{III} : 強い引力
(束縛状態あり)

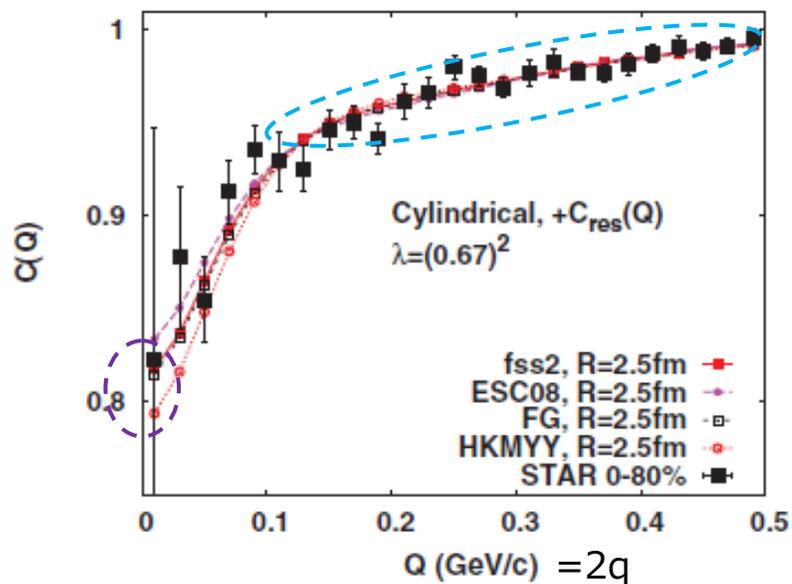
$\Lambda\Lambda$ 相関 $\rightarrow\Lambda\Lambda$ 相互作用

- 様々なモデルで相関関数を計算
- \rightarrow 合うモデルは？



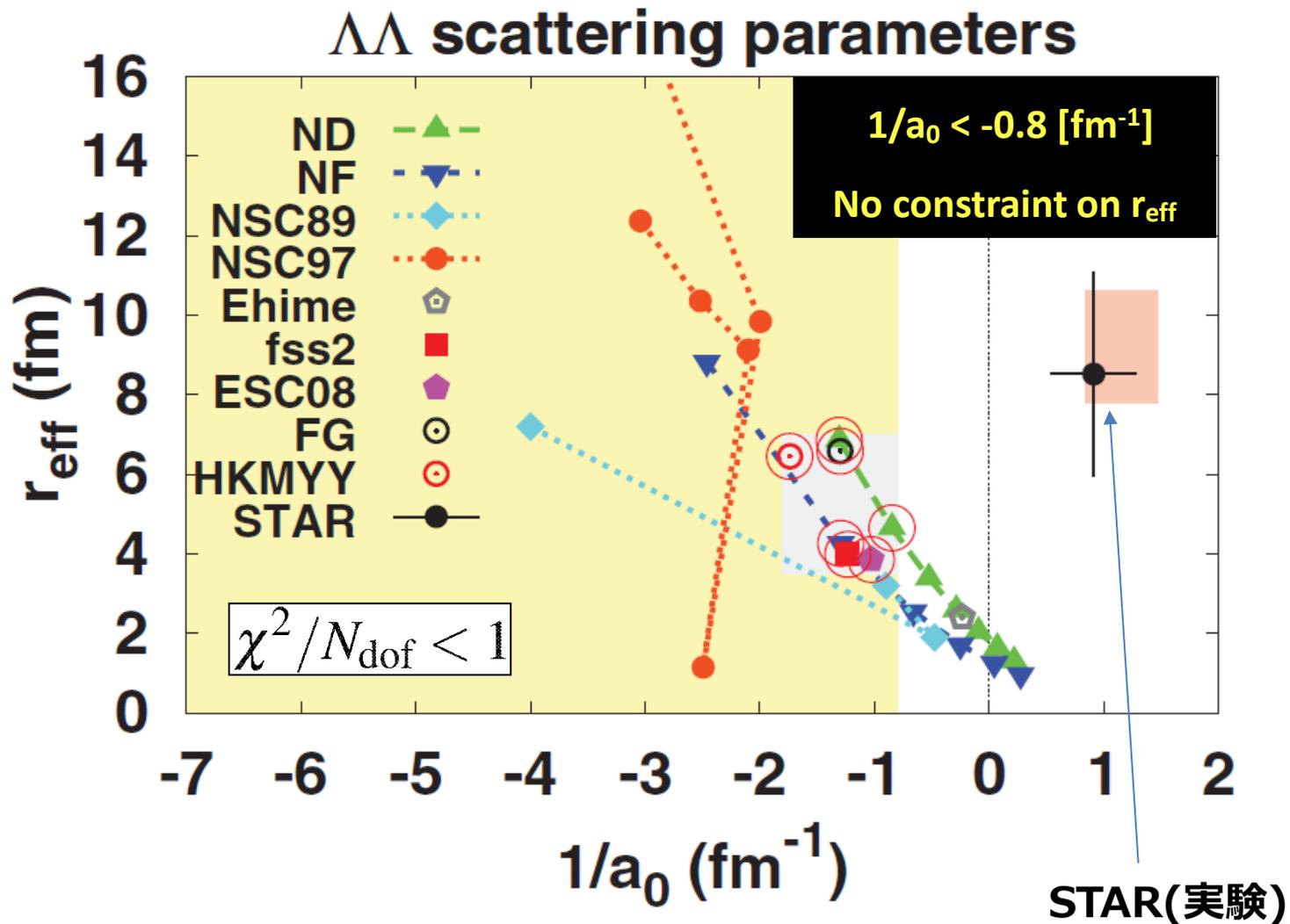
$\Lambda\Lambda$ 相関 $\rightarrow\Lambda\Lambda$ 相互作用

- 様々なモデルで相関関数を計算
- \rightarrow 合うモデルは？



Residual (non-femtoscopic)
 $\Sigma^0 \rightarrow \Lambda\gamma$ の寄与

$$C(q) \rightarrow 1 + \lambda[C(q) - 1], \lambda < 1$$



弱い引力のモデルが合う

➤ STARとの違い

- STAR : 束縛状態をサポート
- 我々 : 弱い引力 (ハイパー核と consistent)

➔ STARは λ をFitting parameterとしていた
大西さん「STARに勝ったね」

➤ その後

- 「50 citationsは行くんじゃない？」
- 結構しんどい計算だったのですぐには続きを考えなかった

Editor's suggestion (当時)

PHYSICAL REVIEW C 91, 024916 (2015)



ΛΛ interaction from relativistic heavy-ion collisions

Kenji Morita,^{1,2,3,*} Takenori Furumoto,⁴ and Akira Ohnishi^{1,†}

¹Yukawa Institute for Theoretical Physics, Kyoto University, Kyoto 606-8502, Japan

²Frankfurt Institute for Advanced Studies, Ruth-Moufang-Strasse 1, D-60438 Frankfurt am Main, Germany

³Institute of Theoretical Physics, University of Wroclaw, PL-50204 Wroclaw, Poland

⁴National Institute of Technology, Ichinoseki College, Ichinoseki, Iwate 021-8511, Japan

(Received 29 August 2014; revised manuscript received 27 January 2015; published 26 February 2015)

- ヨーロッパにはたくさん行けました。
→ALICEとのつながり

国際会議のオーガナイズ（2）

➤ NFQCD2013 <https://www2.yukawa.kyoto-u.ac.jp/ws/2013/nfqcd/>

Long-term workshop held under [Yukawa International Program for Quark-Hadron Sciences \(YIPQS\)](#)

& [The 28th Nishinomiya-Yukawa Memorial International Workshop](#)

New Frontiers in QCD 2013

--- Insight into QCD matter from heavy-ion collisions ---



November 18 (Mon) - December 20 (Fri), 2013

[Yukawa Institute for Theoretical Physics](#), in Kyoto, Japan

● 重イオン衝突がメインの会議

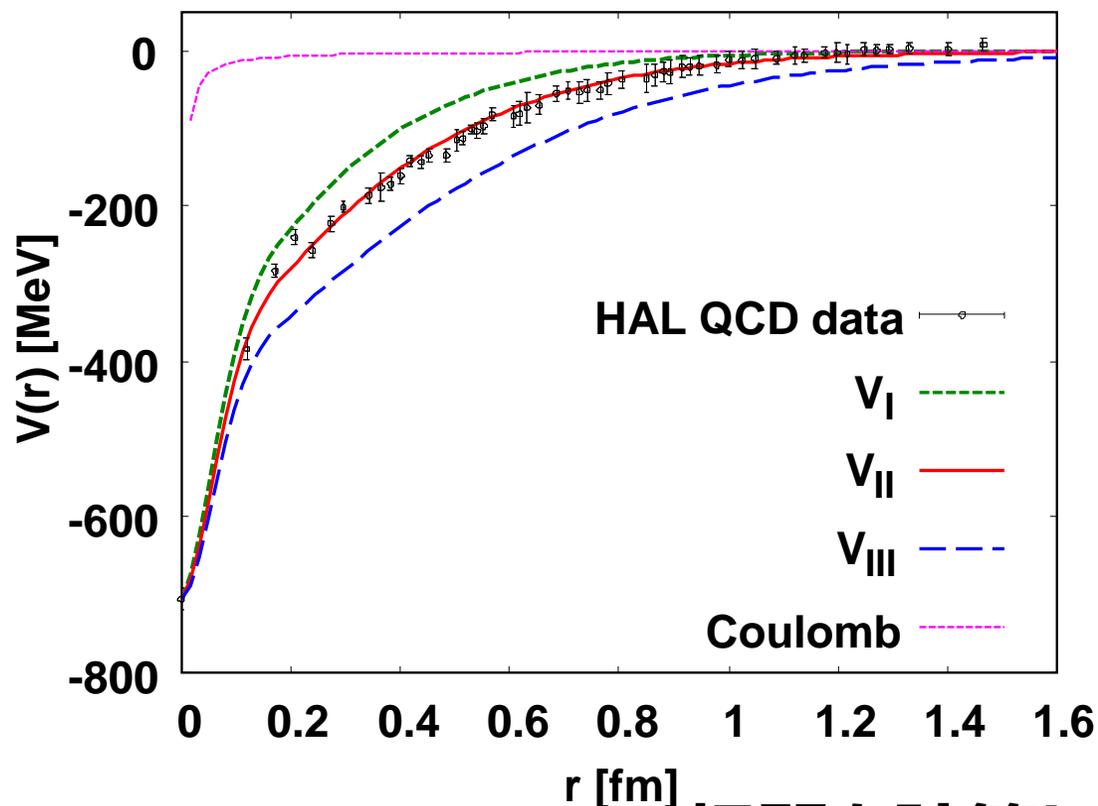


大西さん追悼研究会 クォーク・ハドロン・原子核物理の潮流と展望

次の展開：格子QCDとの組み合わせ

➤ 2015/3 (HHIQCD2015@YITP)

- 陽子- Ω $J=2$ で束縛状態があるかもしれない (Etminan+ HAL QCD '14)
 - 重いクォーク質量での結果



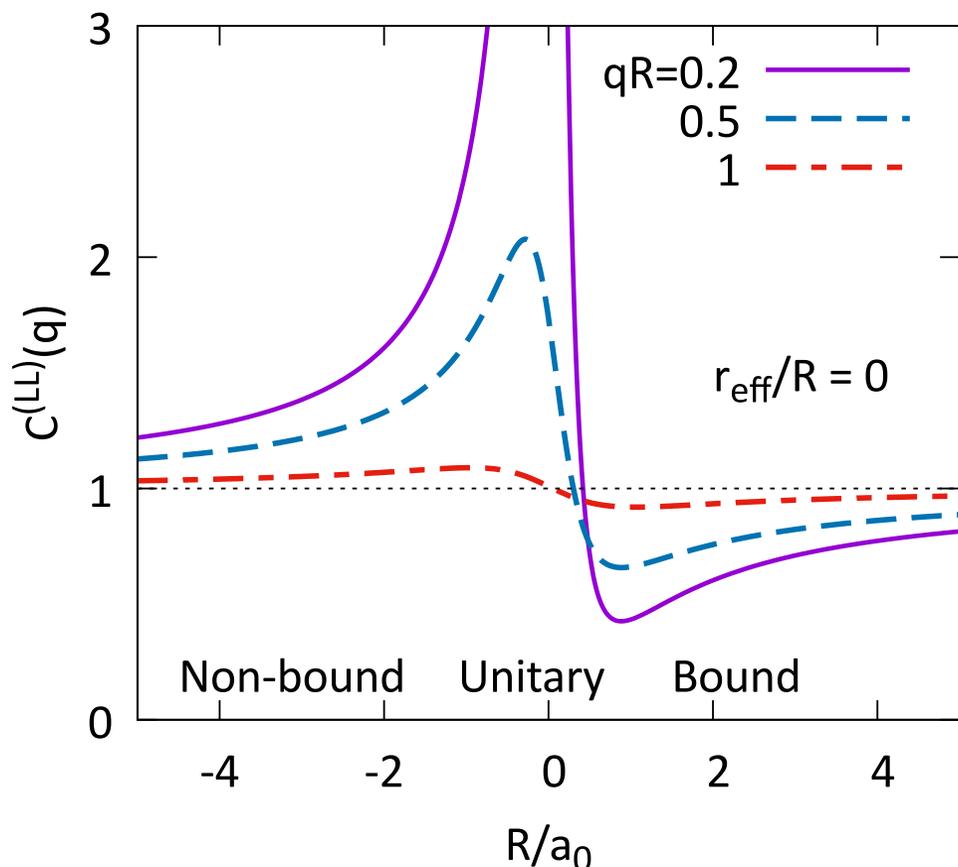
Pot	a_0 [fm]	r_{eff} [fm]	E_B [MeV]
V_I	-1.0	1.15	N/A
V_{II}	23.1	0.95	0.05
V_{III}	1.6	0.65	24.80

w/Coulomb

V_I+V_C	-1.12	1.16	N/A
$V_{II}+V_C$	5.79	0.96	0.63
$V_{III}+V_C$	1.29	0.65	26.9

相関を計算してみたら面白いのでは？

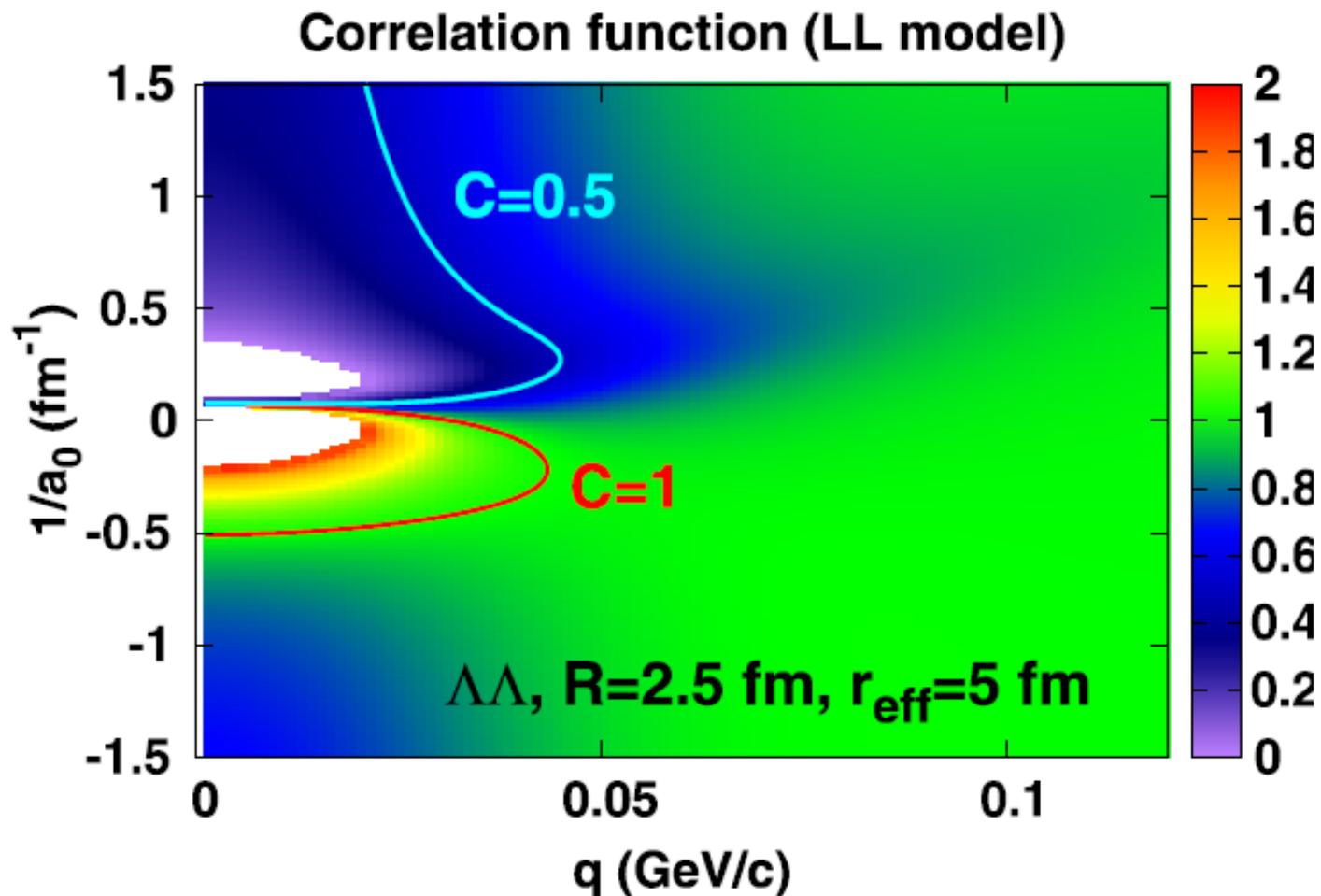
- 球対称ガウシアンソース、波動関数に漸近形 (Lednický-Lyuboshitz 公式)



異種粒子の場合 (相互作用からのみの相関)

- 相互作用の強さによって、相関関数のサイズ依存性が大きく変わる
- 小さいサイズでよりシグナルは顕著に
- $R \sim a_0$ で $C(q) < 1$ 、 $R \ll a_0$ で $C(q) > 1$ が束縛状態のシグナル

異なるソースサイズの実験データの比較→ダイバリオン状態の有無がわかる

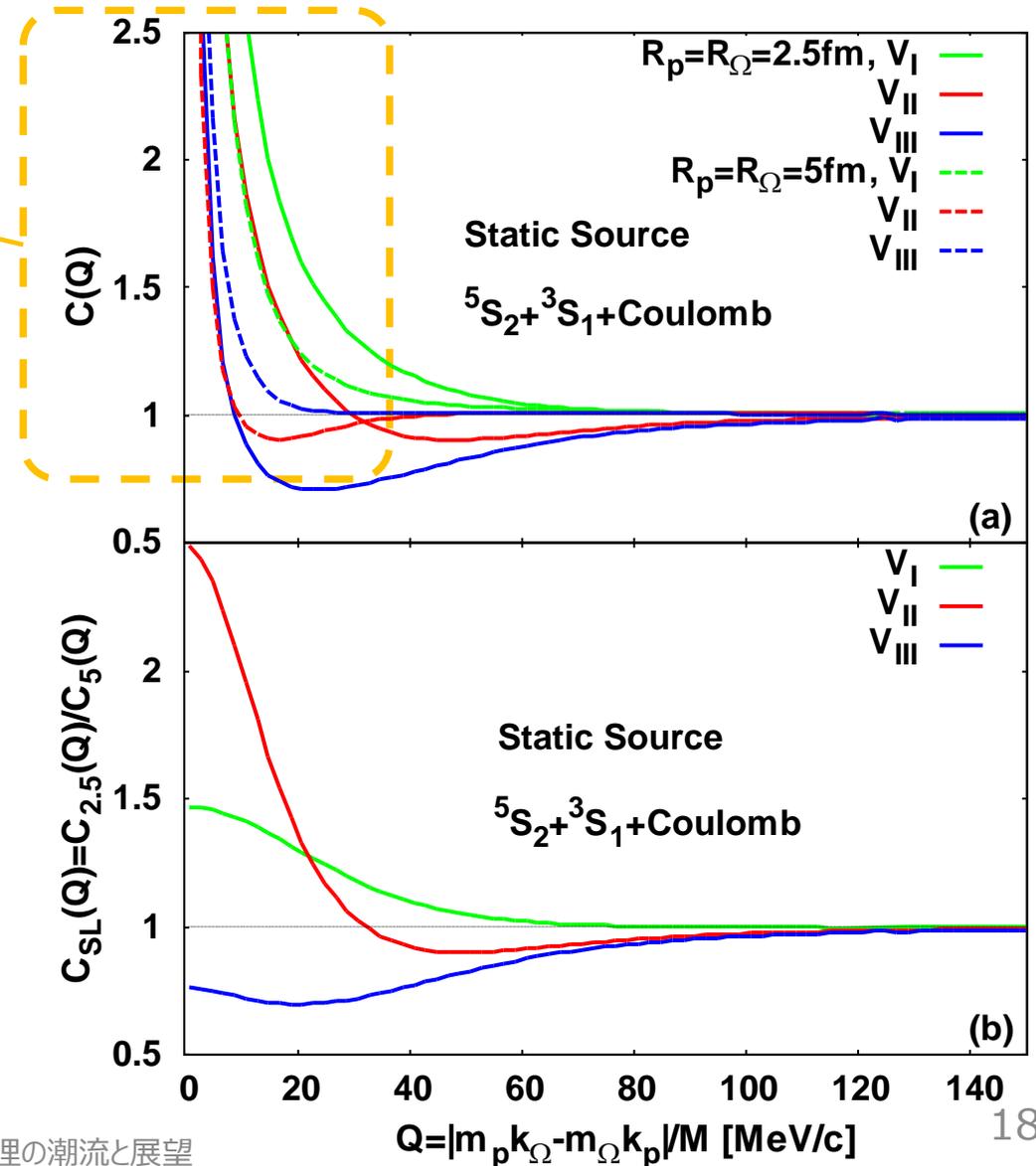


大西さんお気に入りの3次元プロット

➤ p-Ωの計算でちゃんと考えることに
小さい相対運動量ではクーロンが支配的になる

➤ Small-Large ratio

- サイズ大：クーロンのみとあまり変わらない
- サイズ小：クーロン+強い相互作用
→比をとれば強い相互作用の効果が残る
- 大西さんには良いアイデアと褒められましたが、本気で悔しがりました
- STARがp-Ωの解析で使用→ $C_{SL} < 1$
- 実験の精度が上がっていきまとなっては使われませんが。。。



➤ Femtoscopy研究

- 大西さんが温めていたものが時宜を得て花開いた研究
 - 泥臭い計算や解析を辛抱強く行った
 - 同種粒子相関の専門家として寄与
 - 格子QCD (HAL QCD)の計算が出て、予言ができるようになった
 - 実験 (STAR、ALICE)が精力的に測定
 - 被引用数 $\Lambda(\prime 14) : 87, p\Omega(\prime 16) : 62, p\Omega + \Omega\Omega(\prime 19) : 46$
(PRC Editor's suggestion)
 - その後 : Coupled Channelへの拡張→兵藤さん、神谷さんへ

➤ 大西さんとの縁を感じたとき

- 2014年に基研に戻ったとき
- 2018年冬 (現職に異動後) にたまたま京都で
- 5月にたまたま大阪にいた



研究者として、もっとも生産的な時期を共有できたことに感謝