

カイラル有効理論の核力による 核反応の記述

M. Toyokawa *et al.*, Phys. Rev. C **92**, 024618 (2015).

九州大学

豊川 将一, 八尋 正信, 松本 琢磨

阪大RCNP

河野通郎

Aug. 1, 2016, 原子核三者若手夏の学校
黒姫ライジングサンホテル

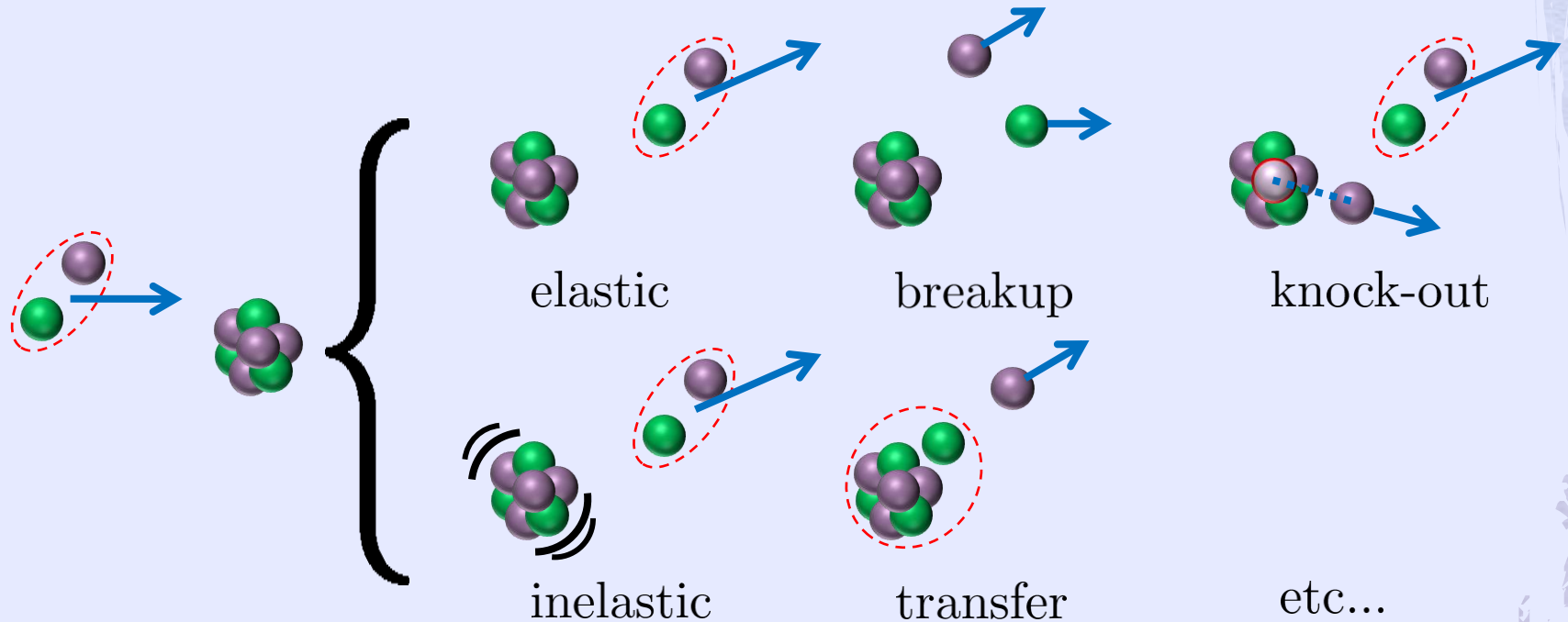
研究概要

- ◆ カイラル有効理論(Ch-EFT)の核力から新しい有効相互作用を構築
 - ◆ 陽子, $^3,^4\text{He}$ 入射の弾性散乱を解析
 - ◆ 3核子力(3NF)の効果を評価

Ch-EFTの核力に基づく微視的反応理論の基礎固め

核反応

- ◆ 原子核の衝突により誘起される現象
 - ◆ 原子核の内部自由度のために多様な過程



- ◆ これらの微視的記述が最近(?)のトレンド

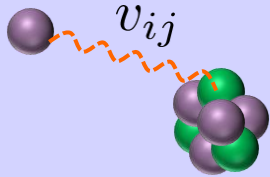
“微視的”反応理論

◆ Q. 微視的とは？

- ◆ A. 核子の自由度に基づいて記述すること
⇔ 核力に基づいて記述すること

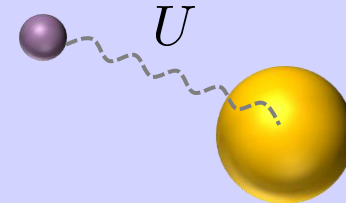
e.g.) nucleon-nucleus scattering

microscopic



$$\left[\sum_i T_i + \sum_{i,j>i} v_{ij} - E \right] |\Psi\rangle = 0$$

macroscopic



$$[T + U - E] |\chi\rangle = 0$$

カイラル有効理論

◆ カイラル有効理論に基づく核力決定

review) E. Epelbaum, H.-W. Hammer, and Ulf-G. Meißner, Rev. Mod. Phys. **81**, 1773 (2009).
R. Machleidt and D. R. Entem, Phys. Rep. **503**, 1 (2011).

◆ QCDの低エネルギー有効理論

◆ 核子と π 中間子を自由度として記述

◆ 2NFや3NFが系統的に決まる

◆ 今回用いた核力は

$N^3\text{LO } 2\text{NF}, N^2\text{LO } 3\text{NF } (\Lambda=550\text{MeV})$

E. Epelbaum *et al.*, Nucl. Phys. A **747**, 362 (2005).
E. Epelbaum *et al.*, Phys. Rev. C **66**, 064001 (2002).

◆ QCD basedな核力は今後の主流

◆ 第一原理・微視的計算への適用

◆ 多核子力効果の解明

畳込み模型

- ◆ 核反応(弾性散乱)を記述する微視的模型
 - ◆ 核力→有効相互作用→光学ポテンシャル

$$\left[T + \sum_{j=1} v_{0j} + h_T - E \right] |\Psi\rangle = 0$$

Watson's multiple scattering theory

$$\tau_{0j} = v_{0j} + v_{0j} \{ E - (T + h_T) \}^{-1} \tau_{0j}$$

K. M. Watson, Phys. Rev. **89**, 115 (1953).

$$\left[T + \sum_{j=1} \tau_{0j} + h_T - E \right] |\Psi\rangle = 0$$

$$|\Psi\rangle \simeq |\Phi_0 \chi\rangle$$

$$\left[T + \underbrace{\langle \Phi_0 | \sum_{j=1} \tau_{0j} | \Phi_0 \rangle}_{= U} - E' \right] |\chi\rangle = 0$$

Brückner理論

- ◆ 有限核に対する τ の計算は困難
⇒代わりに核物質に対する $\tau(=g)$ を用いる

$$U = \langle \Phi_0 | \sum_{j=1} g_{0j} | \Phi_0 \rangle$$

- ◆ Brückner-Bethe-Goldstone方程式

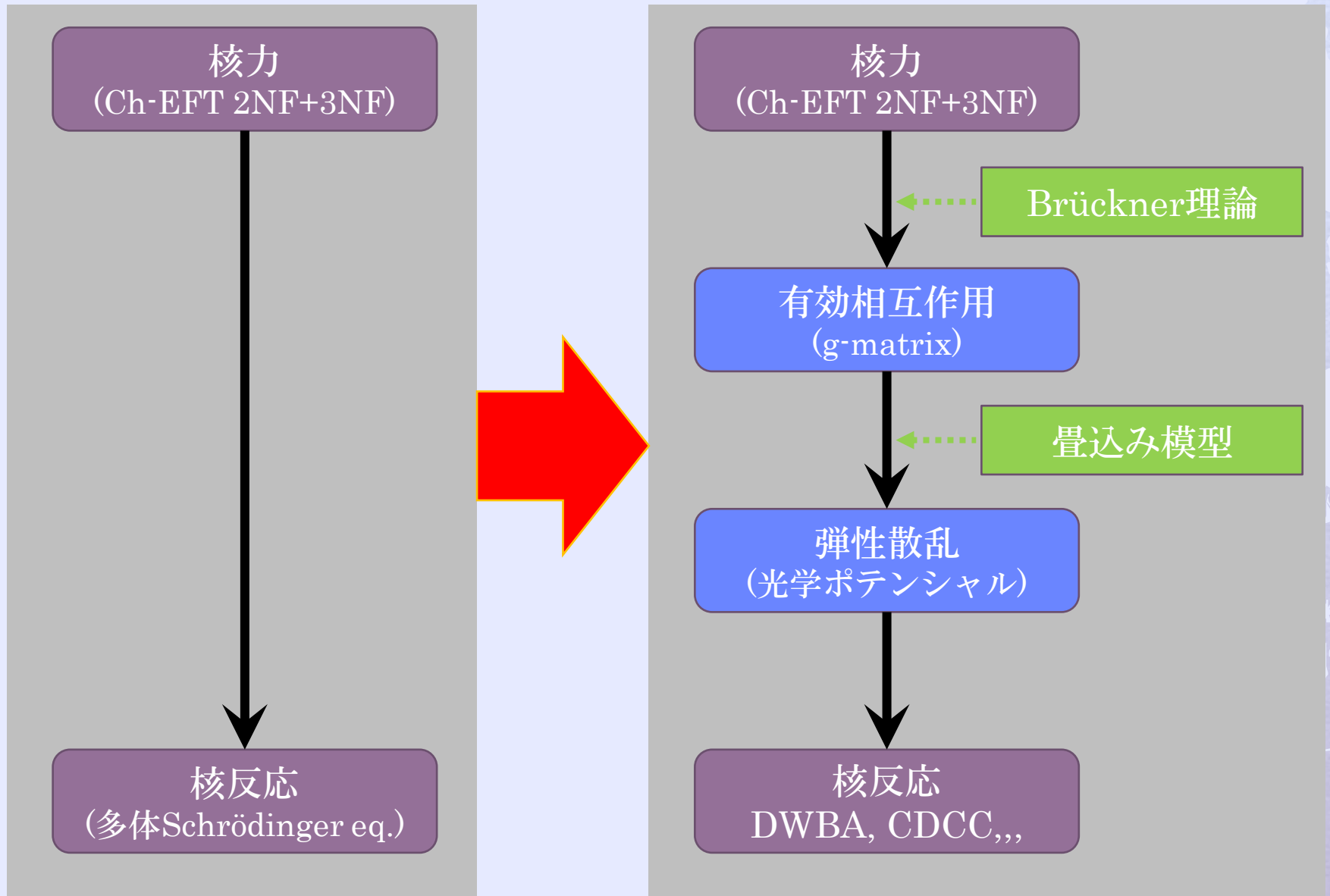
$$g = v + v \frac{Q}{E - (T + U)} g$$

- ◆ 3核子力は平均場近似の範囲内で取り扱い可

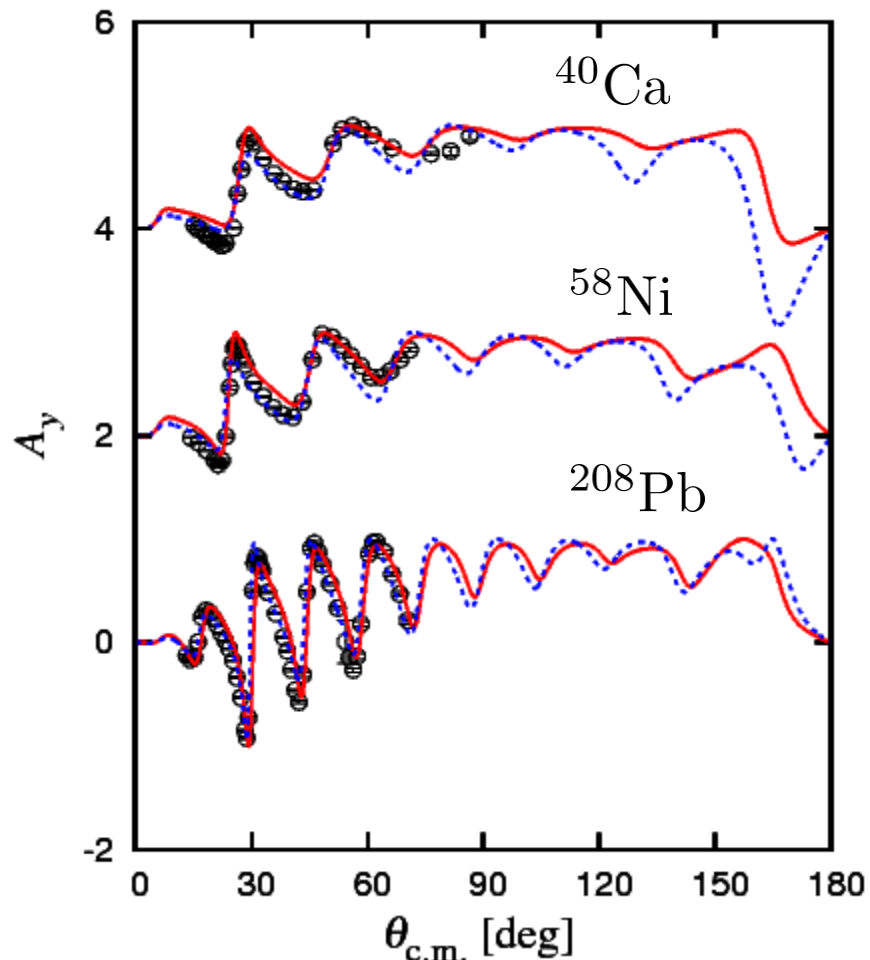
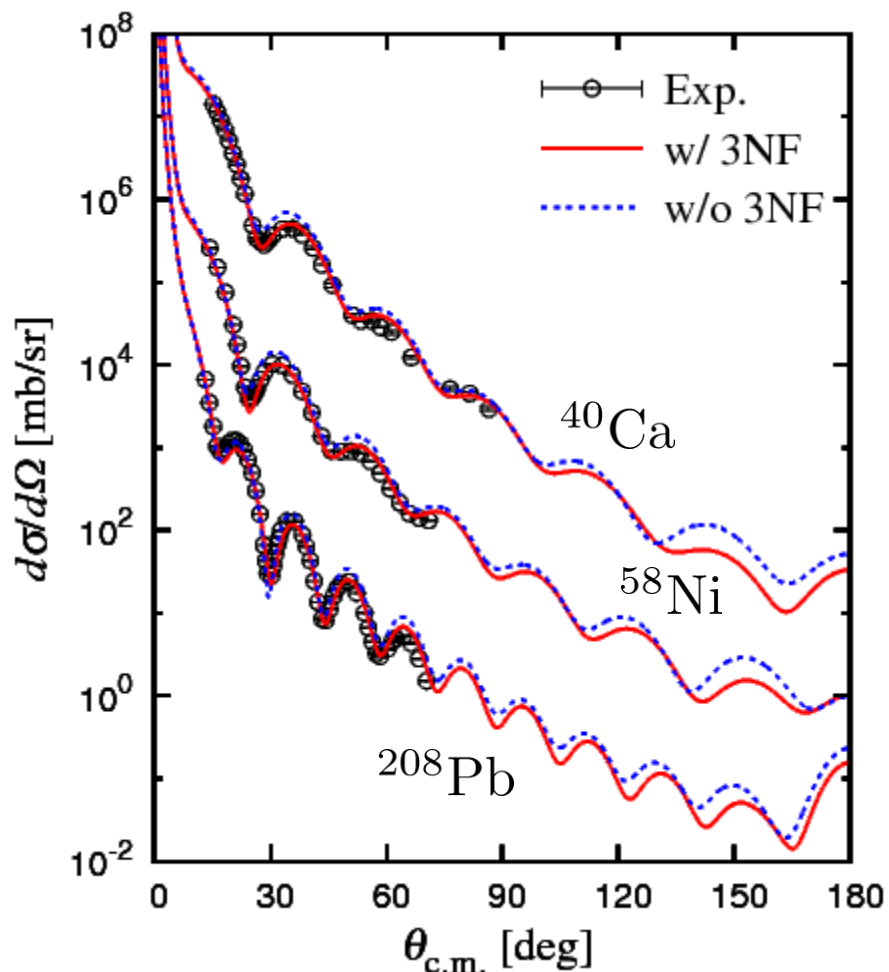
e.g.) M. Kohno, Phys. Rev. C **88**, 064005 (2013).

$$v = v_{12} + \frac{1}{3} v_{12(3)} \quad , \quad \langle a', b' | v_{12(3)} | a, b \rangle_A = \sum_c \langle a', b', c | v_{123} | a, b, c \rangle_A$$

研究戦略



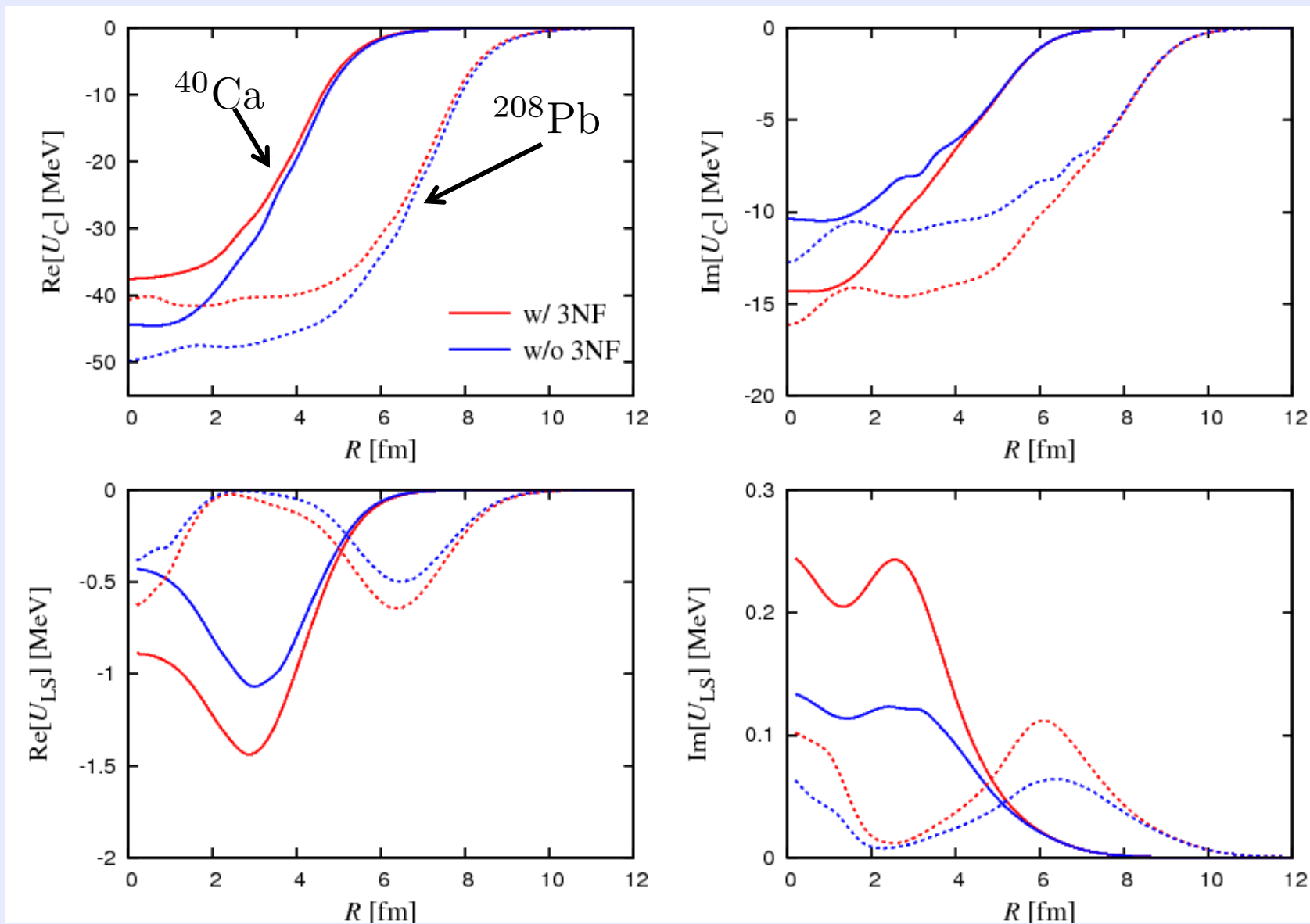
陽子散乱



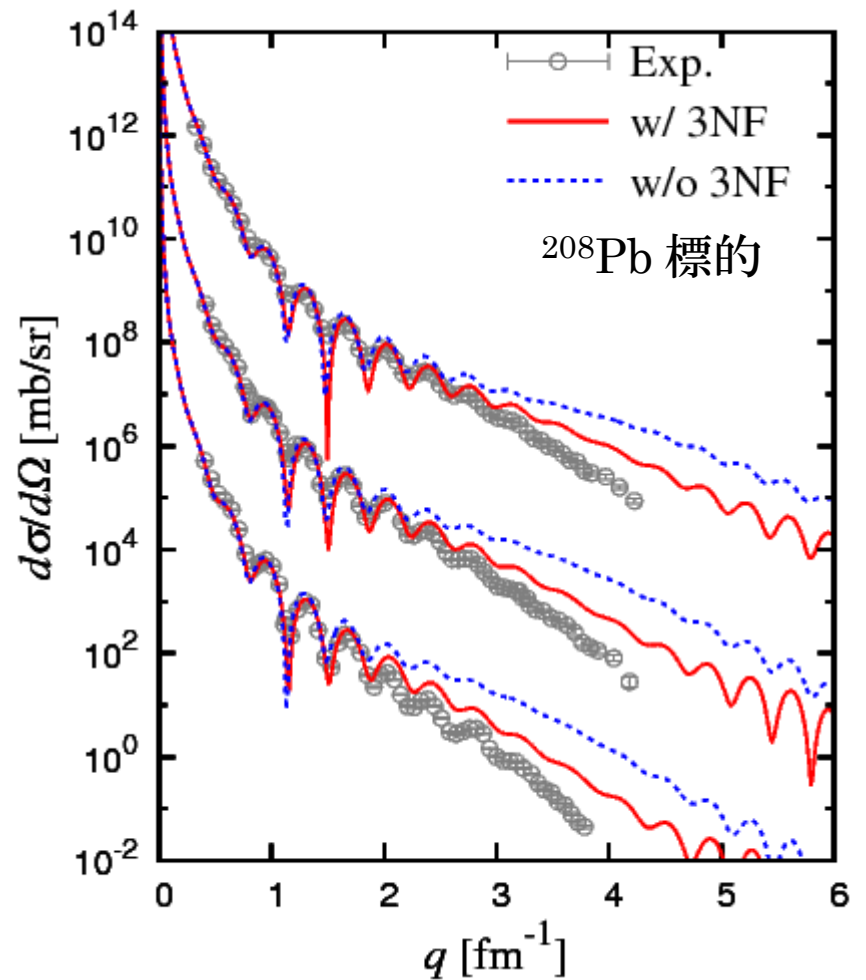
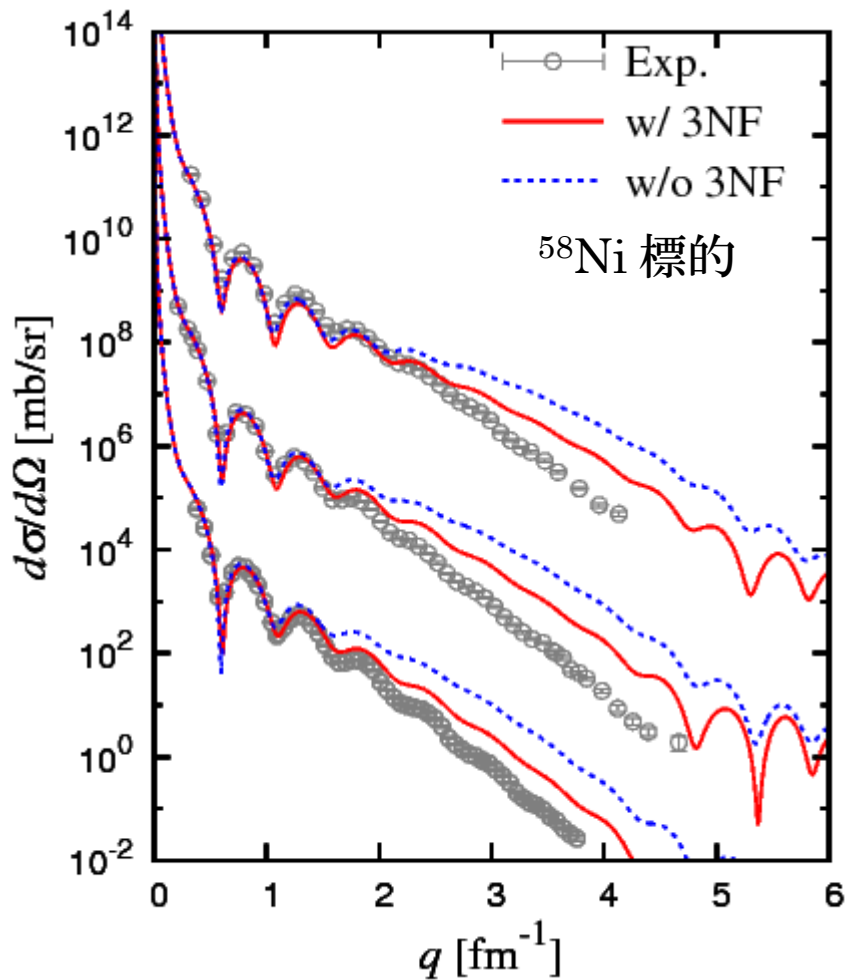
入射エネルギー : 65 MeV

Data : H. Sakaguchi *et al.*, Phys. Lett. B **89**, 40 (1979).
H. Sakaguchi *et al.*, Phys. Lett. B **99**, 92 (1981).

陽子散乱



^4He 散乱



入射エネルギー (核子当り) : 上から 72, 85, 97 MeV

Data : B. Bonin *et al.*, Nucl. Phys. A **445**, 381 (1985).
B. K. Nayak *et al.*, Phys. Lett. B **637**, 43 (2006).
M. Uchida *et al.*, Phys. Rev. C **69**, 051301 (2004).

まとめ

- ◆ カイラル有効理論の核力に基づく反応理論
 - ◆ 2NFと3NFからBrückner理論により有効相互作用を導出
 - ◆ 畳込みモデルにより陽子, ^4He 入射の弾性散乱を解析
- ◆ 弾性散乱をパラメタフリーに記述
- ◆ 3NFの効果は陽子散乱では小さく、 ^4He 散乱では角度分布後方で顕著