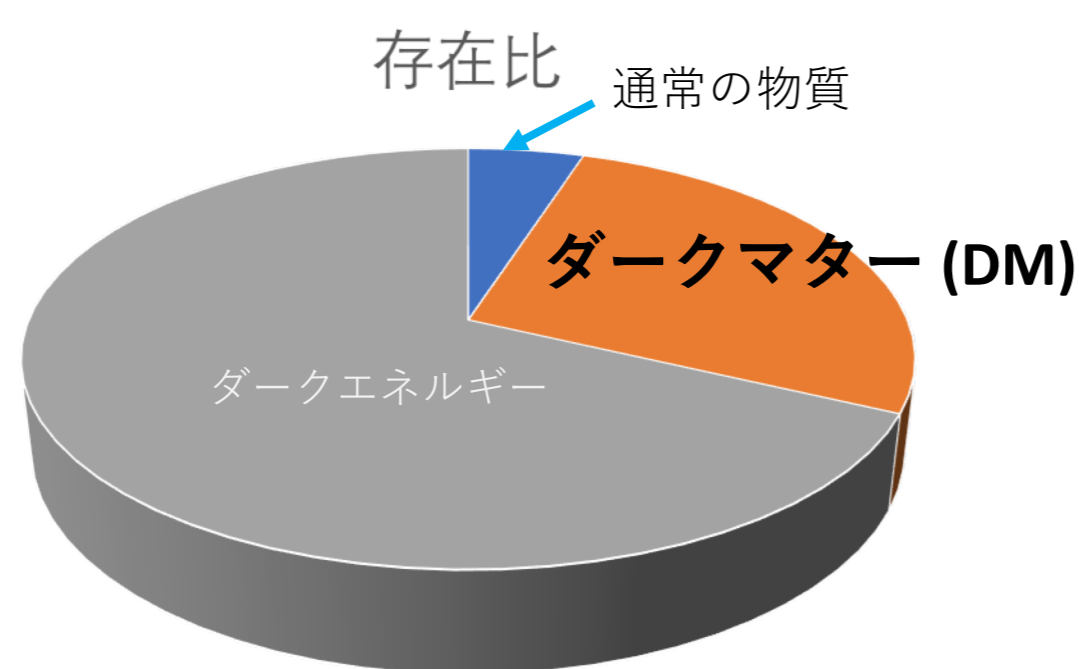




格子ゲージ理論によるダークマターの研究

ダークマター(DM)とは 見えないけれど、そこにあるもの。正体は未だ分からない



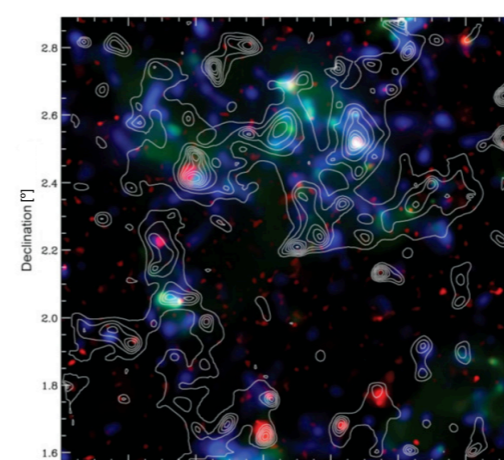
見えてるものより見えてないものの方が多い!

光で見えなくても、多くの存在の証拠がある

- 銀河の速度分布：銀河の回転速度の分布はDMがないと説明できない
- 重力レンズ効果：DMにより光が曲がる効果が見える
- 理論的な根拠：DMがないと現在までに現宇宙の構造は存在しえない etc...



重力レンズ効果



DMの分布

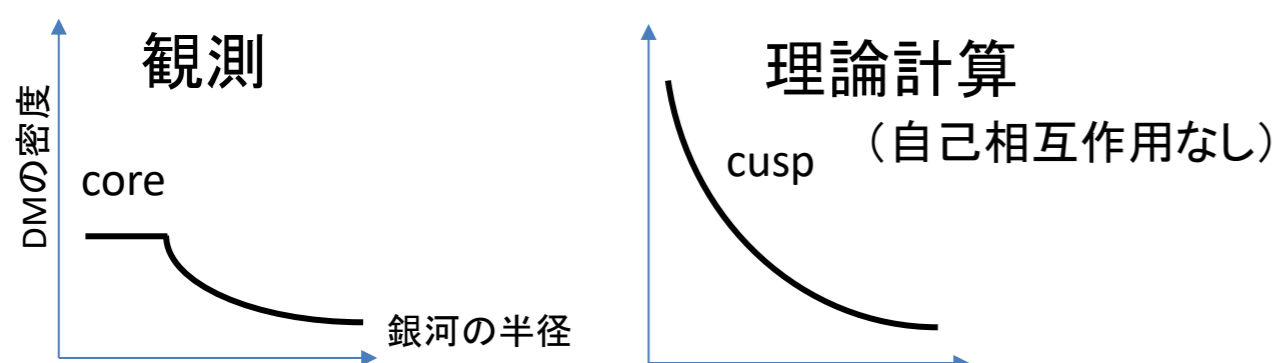
存在は確実

Ref: R.Massey, T.Kitching, J.Richard, Rep.Prog.Phys.73(2010)086901

ダークマターの正体を探れ!

分かっていること

- DMの主要な成分は素粒子である可能性が高い
通常の粒子との相互作用はほとんどない
しかし自己相互作用はないと、銀河の中心に近い部分のDM分布を説明できない (コア・カスプ問題)



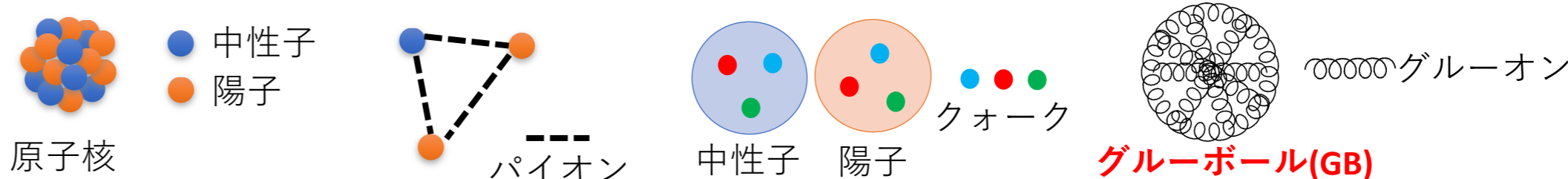
DMの銀河での分布から、自己相互作用の強さに制限:
D.N.Spergel & P.J.Steinhardt, PRL84 (1999)

$$0.45 \text{cm}^2/\text{g} < \sigma/m < 450 \text{cm}^2/\text{g} \quad (\star)$$

σ : 散乱断面積 (衝突のし易さの指標) m: DMの質量

DMの候補: 隠れたゲージ理論のハドロン

- ゲージ理論...力を記述する理論
原子核に働く「強い力」はゲージ理論で記述され、クォークやグルーオンの動きを司る
- 隠れたゲージ理論(HGT)
=通常の粒子とはほとんど相互作用しない粒子で構成されるゲージ理論
- ハドロン...強い力に現れるクォークやグルーオンから形成される粒子
陽子、中性子、パイオン、グルーボールなど



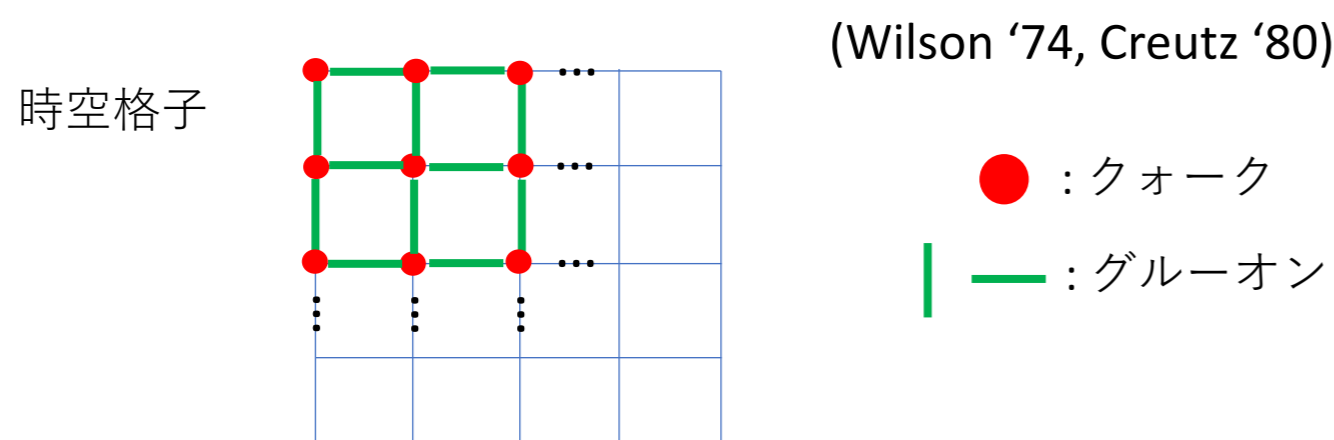
- 本研究ではHGTにおけるグルーボール (ダークグルーボール) が研究対象

HGTのグルーボールの相互作用を調べ、(★)の制限と比較する→DMの候補となるHGTがわかる!

強結合ゲージ理論の強力な計算手法：格子ゲージ理論

ハドロンの解析的な計算は極めて困難 → 格子ゲージ理論!

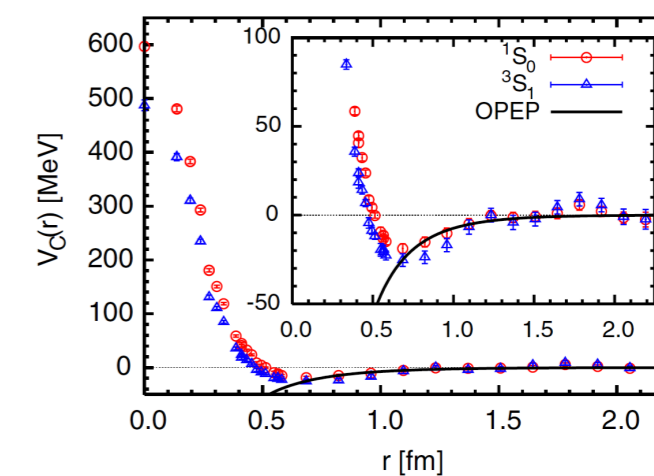
- 格子ゲージ理論：時空を格子に区切り、経路積分をモンテカルロ法で行う、強力なゲージ理論の数値計算法



どうやって相互作用を調べる?

→ HAL QCD method (N. Ishii, S. Aoki, and T. Hatsuda) Phys. Rev. Lett. 99, 022001

粒子多体系の"波動関数"
南部・ベレーテ・サルピータ波動関数 ψ を格子ゲージ理論で計算し、これより粒子間のポテンシャル V を逆解きして求める
$$\psi(\vec{r}) \longrightarrow V(\vec{r})$$

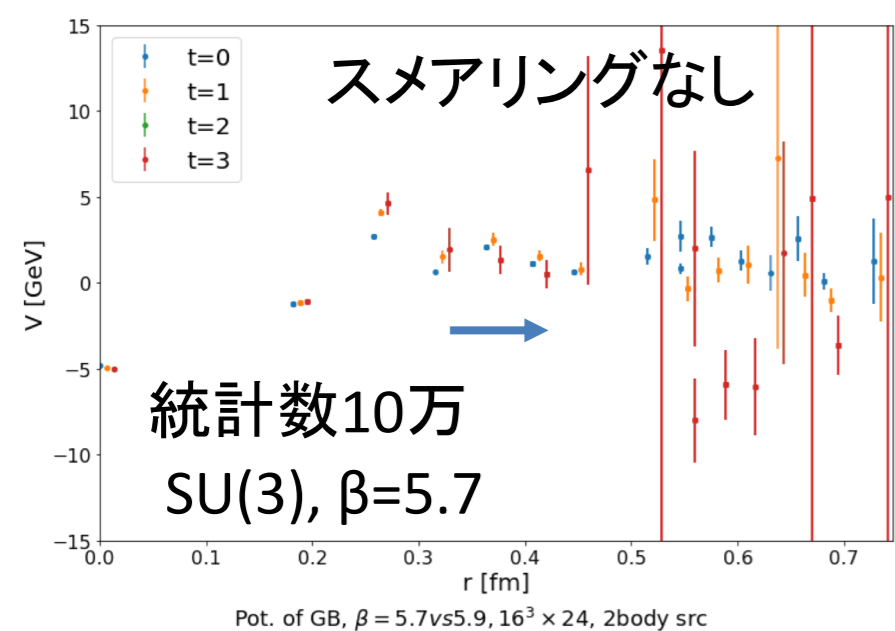


HAL QCD methodで導出された核力

強い相互作用の第一原理計算により陽子及び中性子の間の相互作用 (=核力) の導出に成功...これをグルーボールに適用

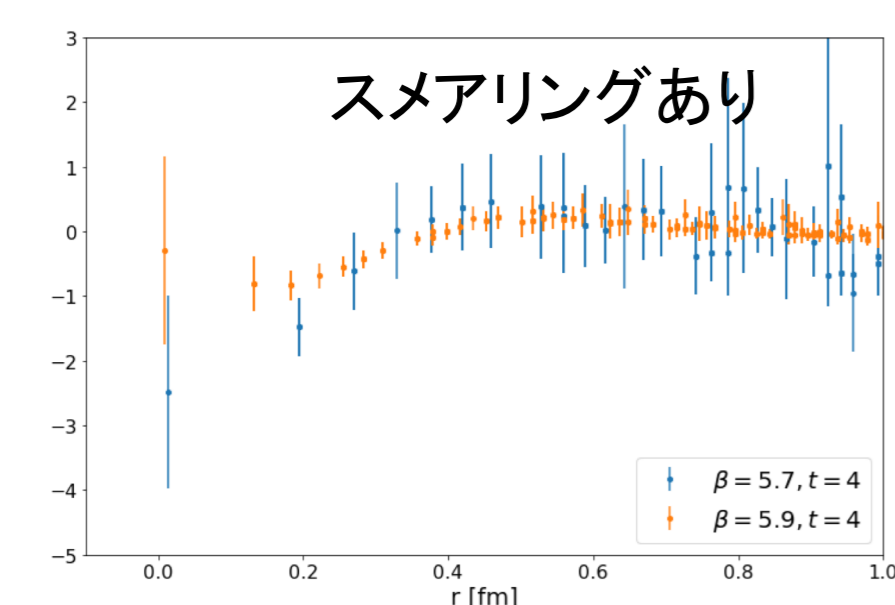
計算結果

ポテンシャルの主要項



統計数10万で計算しても、誤差は大きい

スミアリングという手法で誤差を減らす



誤差は小さくなるが、主要項だけでなく補正項が重要になる

cf) D.Kawai et al. (HAL QCD Collaboration), Prog.Theor.Phys. 2018, 043B04.

スミアリングを用いてポテンシャルの補正項まで系統的に計算し、可能なHGTを探る

まとめ

- ダークマター(DM)はその存在が確実なのにも関わらず、未だその正体が分かっていない
- 隠れたゲージ理論(HGT)のグルーボールはDMの候補
- HGTのグルーボール間相互作用を調べ、これを観測と比較することにより、可能なHGTを探る
- 計算には格子ゲージ理論を使用し、スミアリングをもちいたHAL QCD methodでグルーボール間ポテンシャルを求め、その相互作用を調べる
- ゲージ群としては、SU(3)に加え、SU(2)およびSU(4)も調べる予定