









WMAP(2001-)

基本課題

宇宙進化と物質の起源 我々はどこから来てどこへ行くのか?

<u>実験·観測</u>

ビッグバンの残光:

WMAP@NASA (2001-), PLANCK@ESA (2007-) 元素の起源:

RIBF@RIKEN (2007-), J-PARC@KEK (2008-) ビッグバンの再現:

RHIC@BNL (2001-), LHC@CERN (2007-)



<u>基礎理論:</u> QCD (宇宙年令10⁻⁵ sec以降) 解析解が困難(非線形、非摂動、量子効果)

<u>数値シミュレーションの必要性(定性的、定量的)</u>

- · 格子QCD大規模計算
- ・ "有効理論"大規模計算(GFMC, AMD, MCSM など)

今後の鍵となる大規模計算

3

日本の大規模実験と切り離して考えることはできない

日本の研究が世界を引っ張っていける計算

- 1. QCD相転移の精密格子QCD計算
- 2. 核力と多クォーク系の格子QCD計算 <-> J-PARC @ J-PARC

<-> RHIC, LHC

中性子過剰原子核のMCSM、AMD計算 <-> RIBF @ RIKEN

クォーク・グルオン・プラズマ

Au-Au**衝突データ**@RHIC 200 GeV/A





相対論的重イオン衝突器 RHIC(2001-)





平野(東大)、野中(名大)

格子QCD計算によるQGPへの相転移

筑波-KEKの格子グループが世界の中心的役割を果たした



格子QCD計算がもたらした新しいQGP描像

広島、東京の格子グループが世界の中心的役割を果たした





QCD相転移:今後の方向と課題

高温状態方程式の精密計算
プラズマの動的構造
輸送係数:粘性、熱伝導度
動的感受率
プラズマ中の励起モード

with 軽いクォーク質量, 細かい格子間隔(e.g. a=0.1fm)

・高バリオン密度
高密度状態方程式
カラー超伝導
⇒ サイン問題の回避











ハドロン物理における最大のミステリー: 斥力芯

斥力芯の起源は不明 しかし、斥力芯が無ければ

- 1.物質(原子核)は不安定となる。
- 2. 現在観測されている中性子星は存在できない。
- 3. Type II 超新星爆発はおこらない。 重元素合成はおこらない。

全く違った宇宙!









斥力芯無しには、観測されている中性子星は存在できない!

核力(斥力芯)の格子計算

<u>第一ステップを準備段階(青木慎也、石井理修、初田哲男)</u>

- ・クェンチ近似
- ・格子間隔: a=0.1 fm
- ・格子サイズ: 48³ x 80 = (4.8 fm)³ x 8 fm
- ・計算機: Blue Gene/L
- 2核子のBS振幅 → 核力

<u>将来:</u>

- ・状態(スピン・アイソスピン・角運動量)依存性
- ・**ハイペロン間力** <-> J-PARC
- · **7**JVQCD
- ・3体核力

物質安定性の根本理由が解明される QCDによる核物理の基礎が構築される 湯川秀樹に初まる核力研究の最高到達点となる







Entropy 212 ms after core bounce

Figure 2.16. Modeling a cataclysm. A two-dimensional simulation of a supernova explosion shows the presence of large-scale motions of material—convection—in the inner core. Areas of high entropy are shown in red, low entropy in blue. Along with the interactions of neutrinos with nuclei, convection may play an important role in reenergizing the stalled outward-traveling shock wave in these explosions. Image courtesy of A. Mezzacappa, Oak Ridge.

核図表(log-log plot)



<u> 陽子 + 中性子 + 核力によるGFMC計算</u>

イリノイグループ (Pandharipandeら)

A < 12 (軽い原子核)の結合エネルギーを1~2%の精度で再現



モンテカルロ殻模型による大規模核構造計算



原子核物理の殻模型計算 ~ CI計算



A = 128のあたりでは本来は~10¹³次元



世界で必要とされる大規模計算を実行

2005年出版 PRL 3, PRC 6, PLB 1



並列計算機システム (180 CPU) 特別推進研究「モンテカルロ殻模型」

10

100 822 X 1

20

100015

1000

00000

8 3 8

8

23

18

NAMES AND ADDRESSED AND ADDRESS

1 a 8.5

8

ia in Di In Di In

184

80

16.83 10.0 111111 10.010 and the

> 設置場所:東京大学原子核科学研究センター (和光市 理化学研究所内)

<u>まとめ</u>

<u>基礎理論:</u> QCD (宇宙年令10⁻⁵ sec以降) 解析解が困難(非線形、非摂動、量子効果)

<u>数値シミュレーションの必要性(定性的、定量的)</u>

- · 格子QCD大規模計算
- ・ "有効理論"大規模計算(GFMC, AMD, MCSM など)

今後の鍵となる大規模計算

- ・ 大規模実験と切り離して考えることはできない
- 日本の研究がが世界を引っ張っていける
- 1. QCD相転移の精密格子QCD計算
- 2. 核力と多クォーク系の格子QCD計算
- 3 中性子過剰原子核のMCSM、AMD計算
- <-> RHIC(2001-), LHC (2007-) <-> J-PARC @ KEK (2007-)
- <-> RIBF @ RIKEN (2007-)



マルチ-クォーク状態の可能性



S⁰(3115), width < 20 MeV

 $K^{-}+He^{4} \rightarrow p+S^{0}$ (KEK-PS '04)



<u>格子上での6-クォーク系 (uuddss)</u>

quenched QCD with physical m_{ud} and m_s Wetzorke and Karsch, hep-lat/0208029



VS

QCDの相構造





<u>核力:大きな状態依存性</u>

	central	tensor	spin-orbit
$\widehat{V}(r) =$	$v_C(r) + v_C$	$_{T}(r)S_{12}(r) +$	$v_{LS}(r)\vec{L}\cdot\vec{S}+\cdots$

$$S_{12}(r) = \Im(\vec{\sigma}_1 \cdot \hat{r})(\vec{\sigma}_2 \cdot \hat{r}) - \vec{\sigma}_1 \cdot \vec{\sigma}_2$$

$$v_{C,T,LS}(r) = \sum_i v_{C,T,LS}^i(r)(1, \ \vec{\sigma}_1 \cdot \vec{\sigma}_2, \ \tilde{\tau}_1 \cdot \tilde{\tau}_2, (\vec{\sigma}_1 \cdot \vec{\sigma}_2)(\tilde{\tau}_1 \cdot \tilde{\tau}_2))^i$$

Cf: Yukawa potential

$$\hat{V}_{\text{OPEP}}(r) = \frac{f^2}{4\pi} \cdot \frac{\tilde{\tau}_1 \cdot \tilde{\tau}_2}{3} \left[\vec{\sigma}_1 \cdot \vec{\sigma}_2 + \left(1 + \frac{3}{m_\pi r} + \frac{3}{(m_\pi r)^2} \right) S_{12}(r) \right] \frac{e^{-m_\pi r}}{r}$$

高密度核物質の状態方程式



