

サマースクール

「クオークから超新星爆発まで」

—基礎物理の理想への挑戦—

校長： 青木慎也(筑波大)
副校長： 初田哲男(東大/理研)
コーディネーター： 肥山詠美子(理研)
大西 明(京大基研)
柴田 大(京大基研)

主催

京都大学基礎物理学研究所、
新学術領域研究「素核宇宙融合による計算科学に基づいた重層的物質構造の解明」
計算基礎科学連携拠点
HPCI戦略プログラム 分野5「物質と宇宙の起源と構造」

趣旨

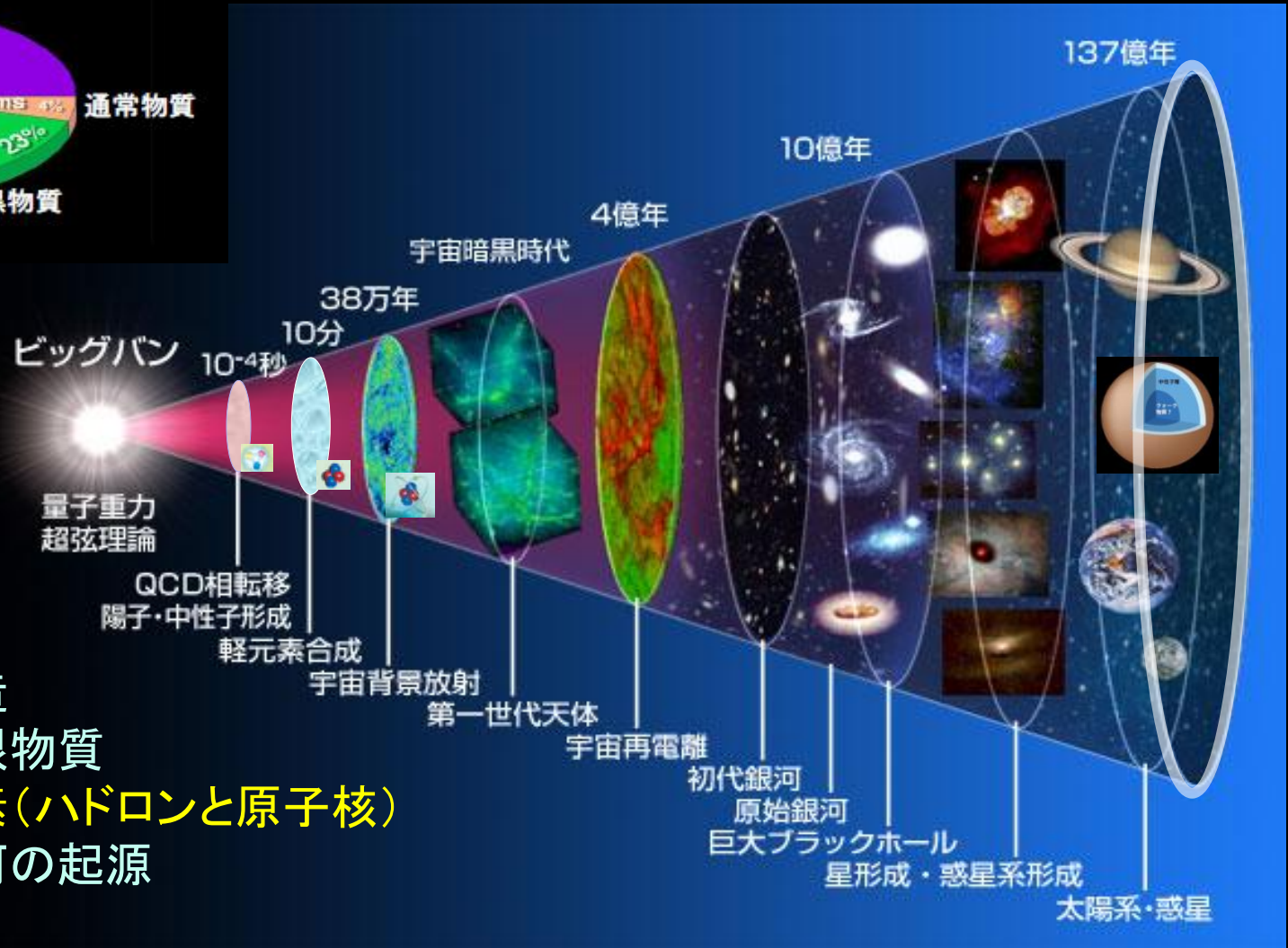
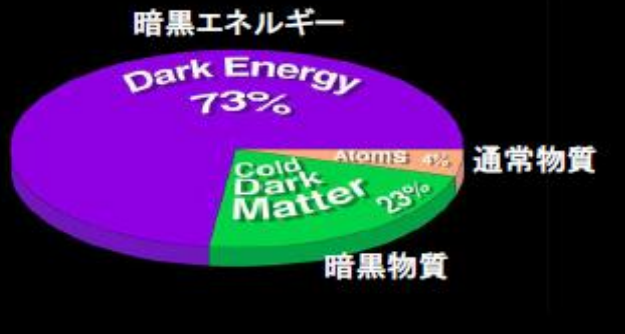
素粒子・原子核・宇宙物理の分野連携を目指した新学術領域研究
「素核宇宙融合による計算科学に基づいた重層的物質構造の解明」
(領域代表者・青木慎也、2008年度～2012年度)が進められています。

この新学術領域では、

- ・量子力学に基づくクォークの力学と核力、
- ・核力の詳細に基づく原子核構造、
- ・原子核構造とその反応に基づく超新星爆発などの天体現象
など、物質の階層を越えた研究領域の形成を目指しています。

このような素核宇宙連携で現在進行している 研究活動状況を外部の研究者に
幅広く知ってもらうことを目的とするために、コンピュータを使用して数値計算を
してもらい、我々の研究内容を体験していただくとうとサマースクールを企画しました。

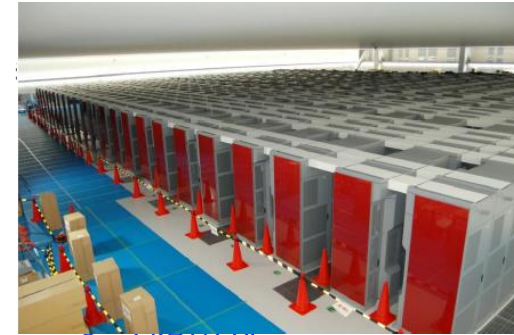
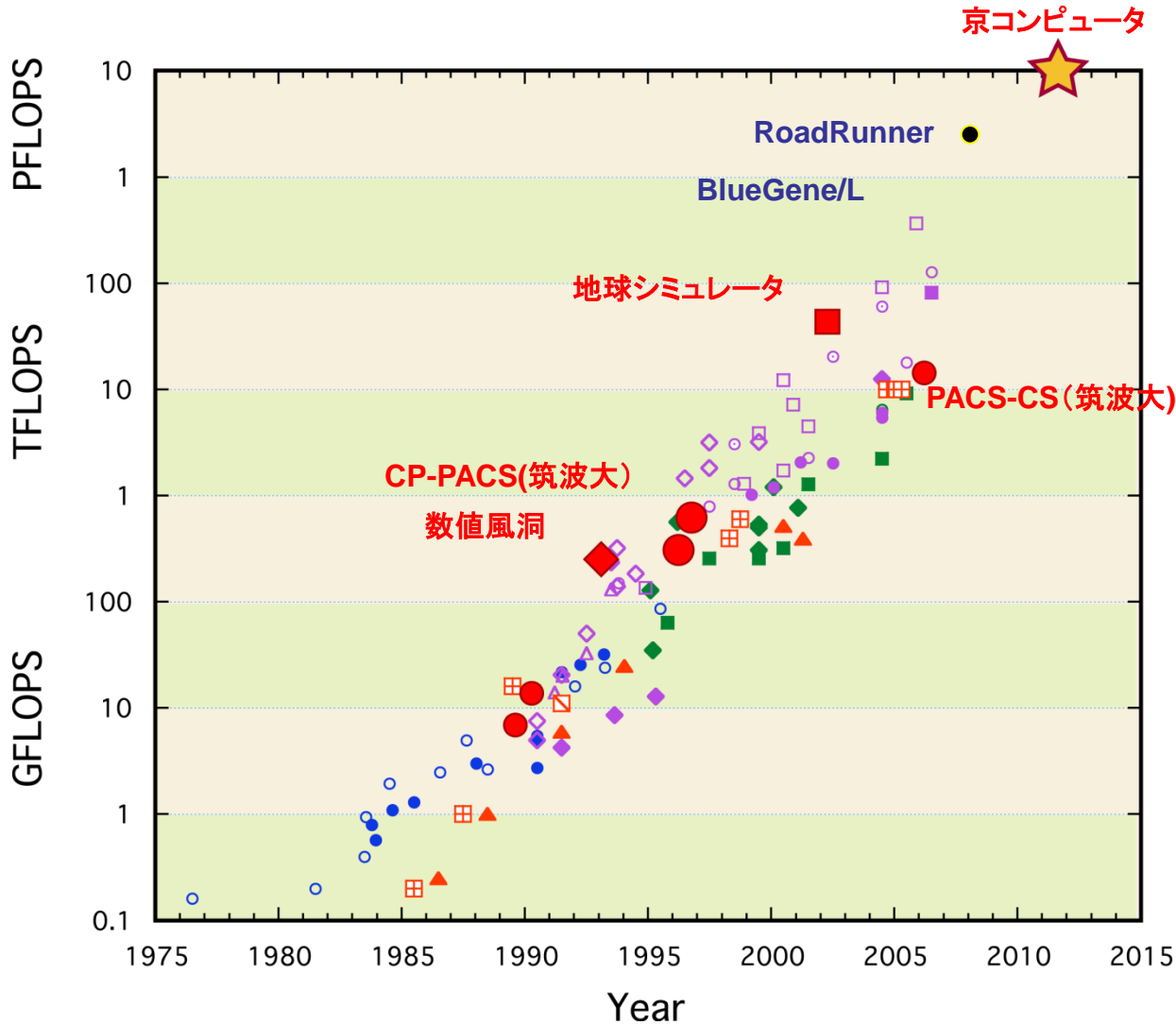
物質と宇宙の進化：我々はどこから来てどこへ行くのか？



- 物質の究極構造
- 宇宙初期の極限物質
- 物質の構成要素(ハドロンと原子核)
- 初代天体や銀河の起源
- 重元素の起源
- 爆発的天体現象と極限物質

スーパーコンピュータの高速化動向

30年で100万倍



CRAY/CDC
Hitachi/Fujitsu/NEC

ベクトル並列計算機

- ◆ Fujitsu
- NEC
- CRAY

並列計算機

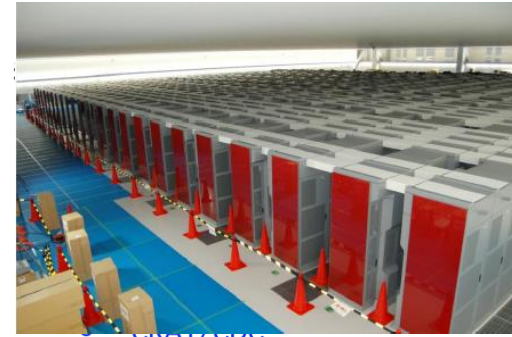
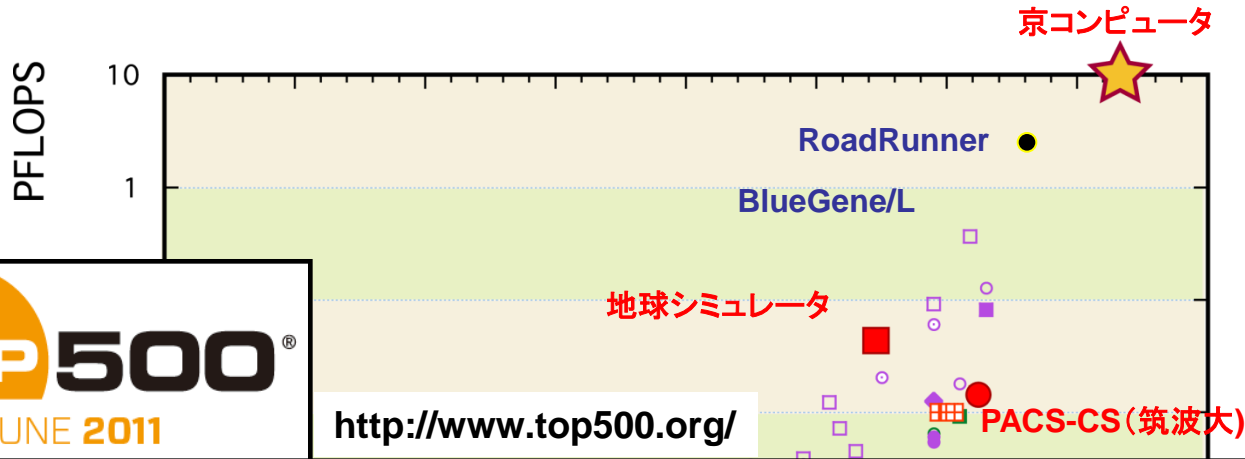
- CRAY
- IBM
- ◇ Intel
- △ TMC
- other
- ◆ Fujitsu
- Hitschi
- NEC/Sun

プロジェクトマシン

- Tsukuba
- 田 Columbia
- ▲ APE
- 田 GF11 (IBM)

スーパーコンピュータの高速化動向

30年で100万倍



● Hitachi/Fujitsu/NEC

ベクトル並列計算機

◆ Fujitsu

■ NEC

○ CRAY



<http://www.top500.org/>

	NAME/MANUFACTURER/COMPUTER	LOCATION	COUNTRY	CORES	R_{max} P flop/s
1	K Computer SPARC64 VIIIfx 2.0GHz, Tofu interconnect	RIKEN	Japan	548,352	8.16
2	Tianhe-1A 6-core Intel X5670 2.93 GHz + Nvidia M2050 GPU w/custom interconnect	NUDT/NSCC/Tianjin	China	186,368	2.56
3	Jaguar Cray XT-5 6-core AMD 2.6 GHz w/custom interconnect	DOE/SC/ORNL	USA	224,162	1.76
4	Nebulae Dawning TC3600 Blade Intel X5650 2.67 GHz, NVidia Tesla C2050 GPU w/Iband	NSCS	China	120,640	1.27
5	Tsubame 2.0 HP Proliant SL390s G7 nodes (Xeon X5670 2.93GHz), NVIDIA Tesla M2050 GPU w/Iband	TITech	Japan	73,278	1.19

計算科学研究機構(AICS) 理研

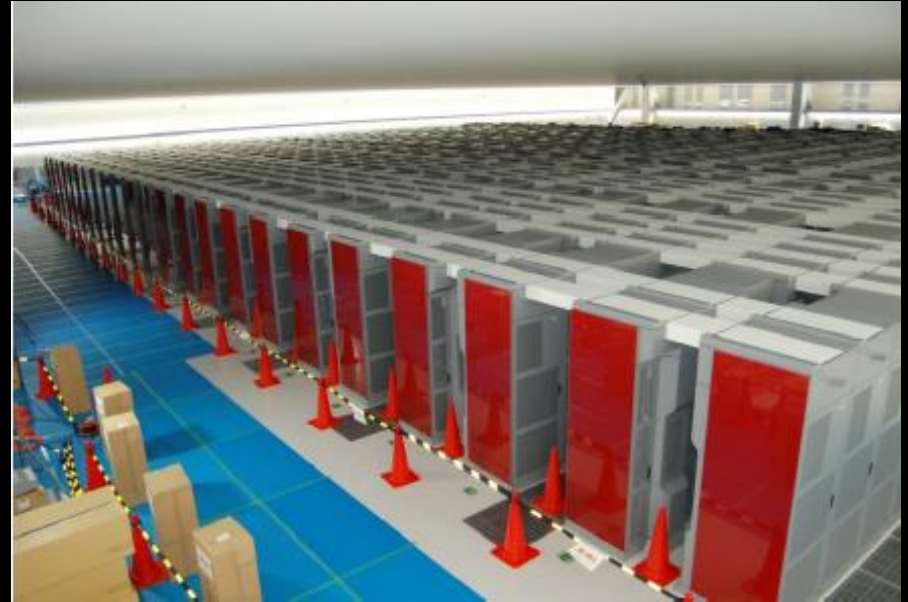
8 Pflops (June 2011), 10 Pflops (in 2012)

<http://www.nsc.riken.jp/index-eng.html>

AICS @ 神戸



K(京) computer



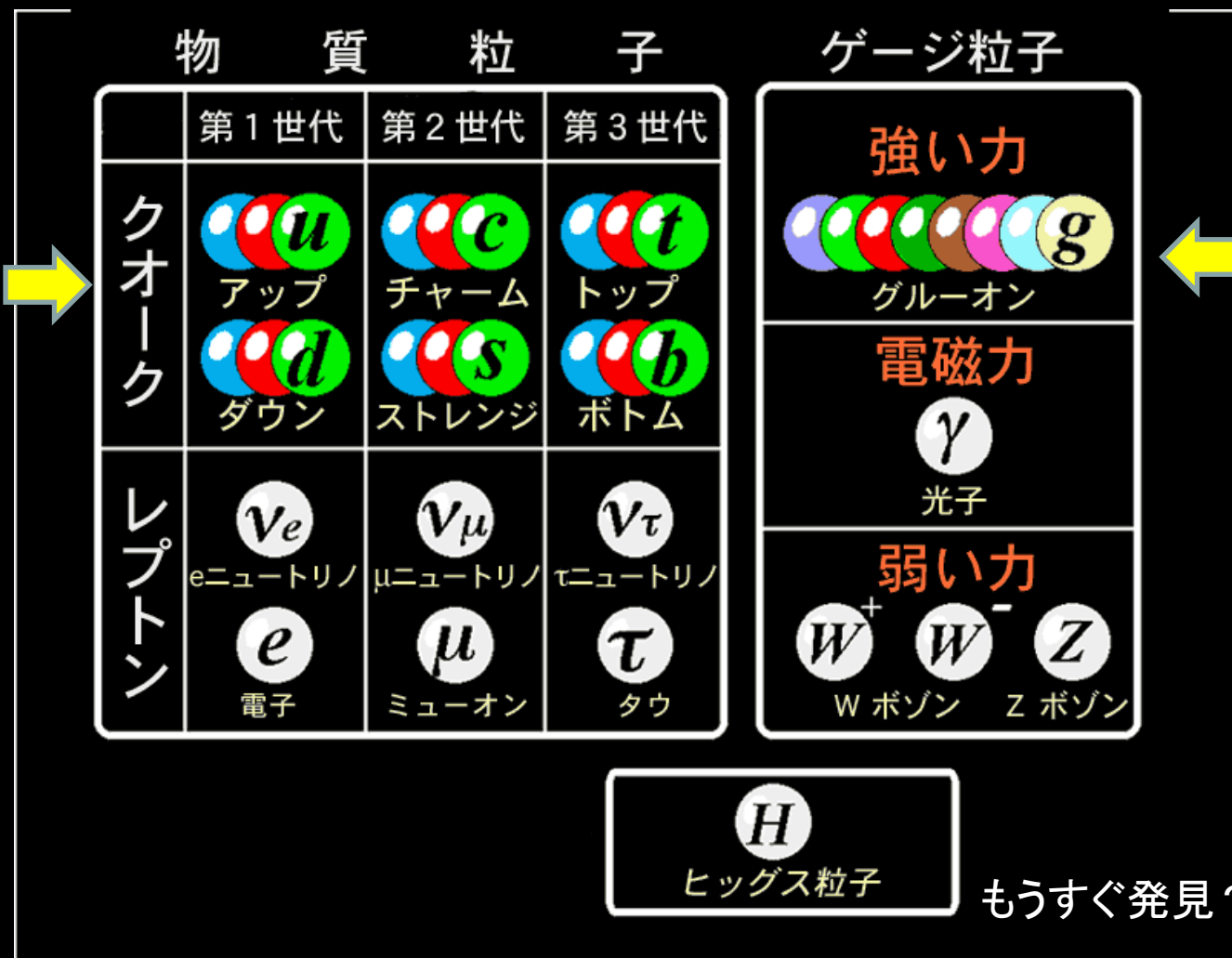
戦略5分野

1. Life and Medicine
2. New materials
3. Environment
4. Engineering
5. Particle, nuclear and astrophysics

知られている“物質粒子と力の粒子”

小林誠・益川敏英
(2008年ノーベル賞)

南部陽一郎
(2008年ノーベル賞)

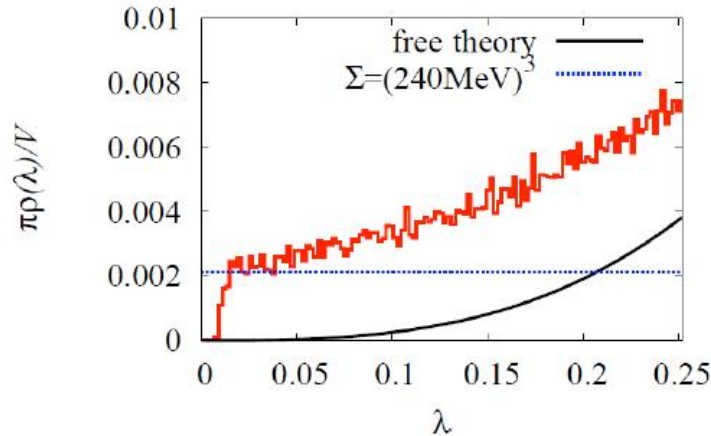


素粒子物理と計算科学

- 自発的対称性の破れと南部理論



南部陽一郎博士

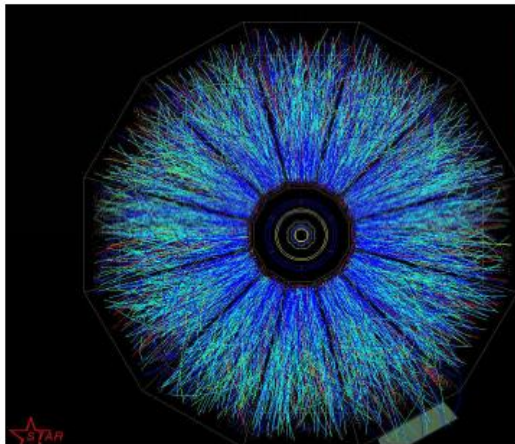


格子QCDによる対称性の破れの証明

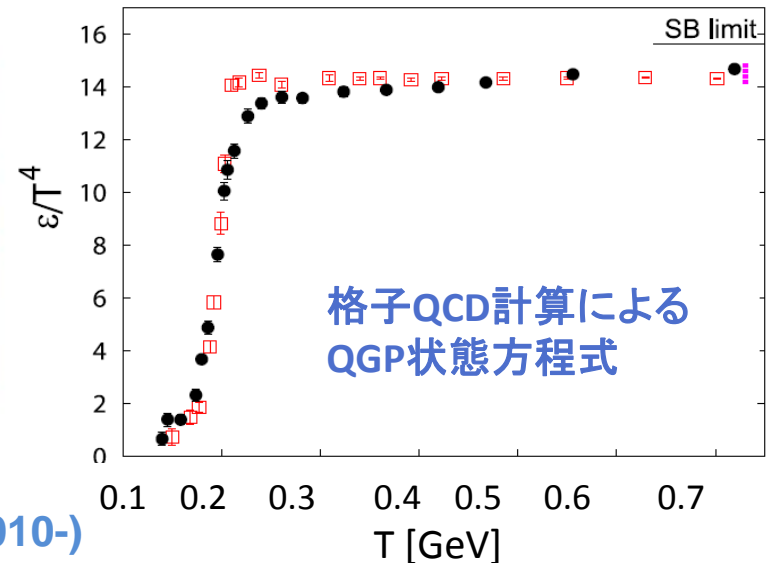


Higgs粒子探索(LHC, 2009-)

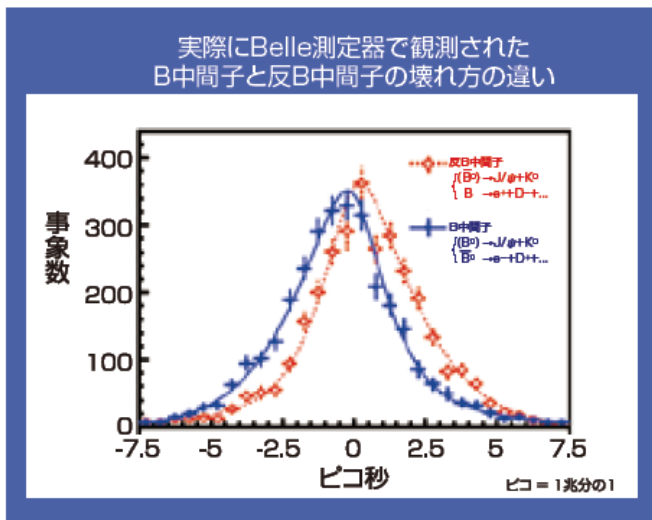
- クォーク・グルーオンプラズマ：物質の新しい存在形態を探る



高エネルギー重イオン衝突実験(RHIC, 2000-)(LHC 2010-)



- 素粒子の精密実験と小林・益川理論

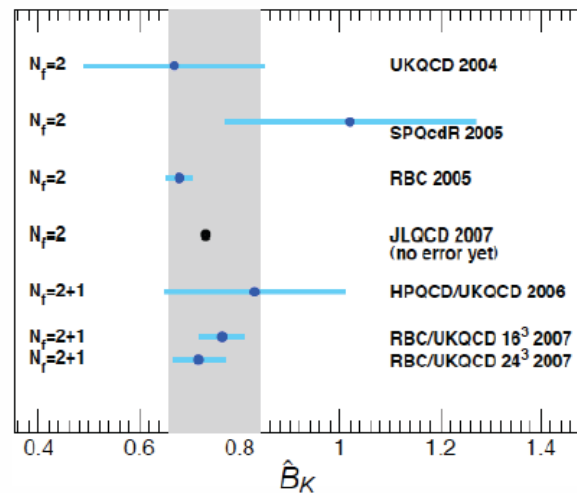


小林博士



益川博士

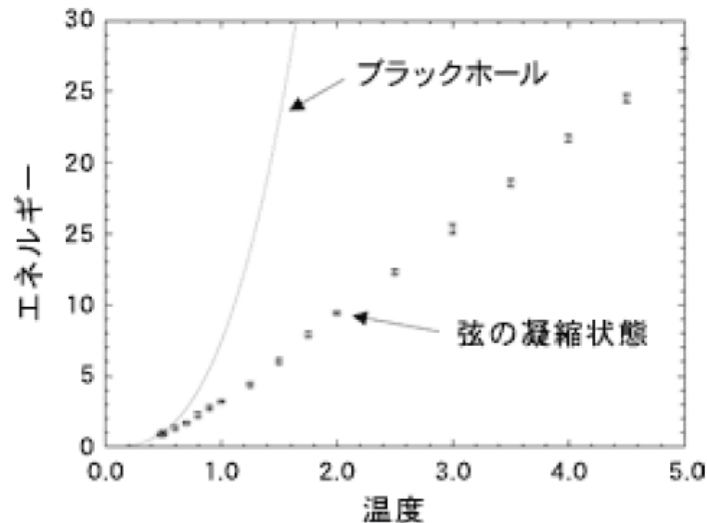
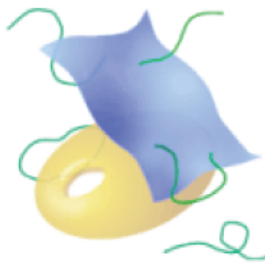
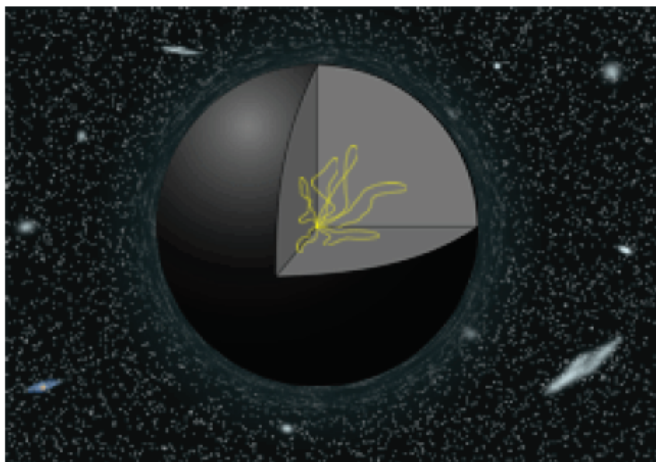
Grey band is constraint on \hat{B}_K assuming CKM-unity ([UTfit web site](#))



KEK B-FactorによるCP対称性の破れの検証

格子QCDによるCPの破れの行列要素の計算

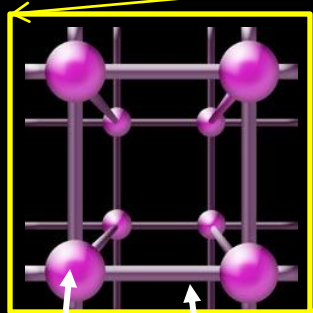
- 超対称性と超弦理論：究極理論へのチャレンジ



超弦理論によるブラックホールの内部構造

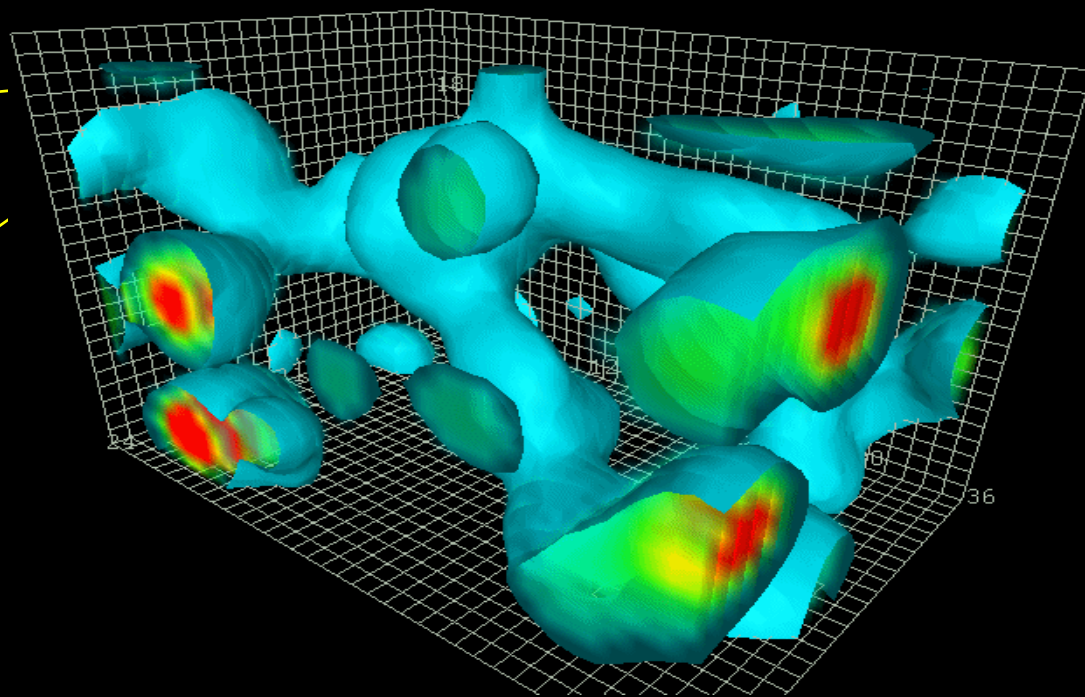
その数値計算

格子QCDによる物質構造



クォーク $q(n)$

グルーオン $U_\mu(n)$



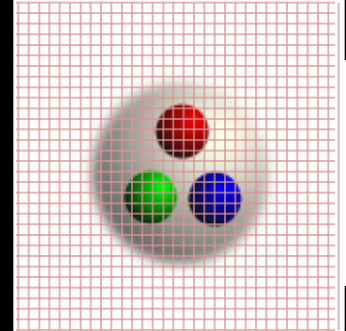
$$\langle O \rangle = \frac{1}{Z} \int_V [dU] e^{-S_g(U)} \cdot \det F(U, m) \cdot Q(U, m)$$

- 定義のはっきりした有限自由度系
- ゲージ不変性
- 非摂動的



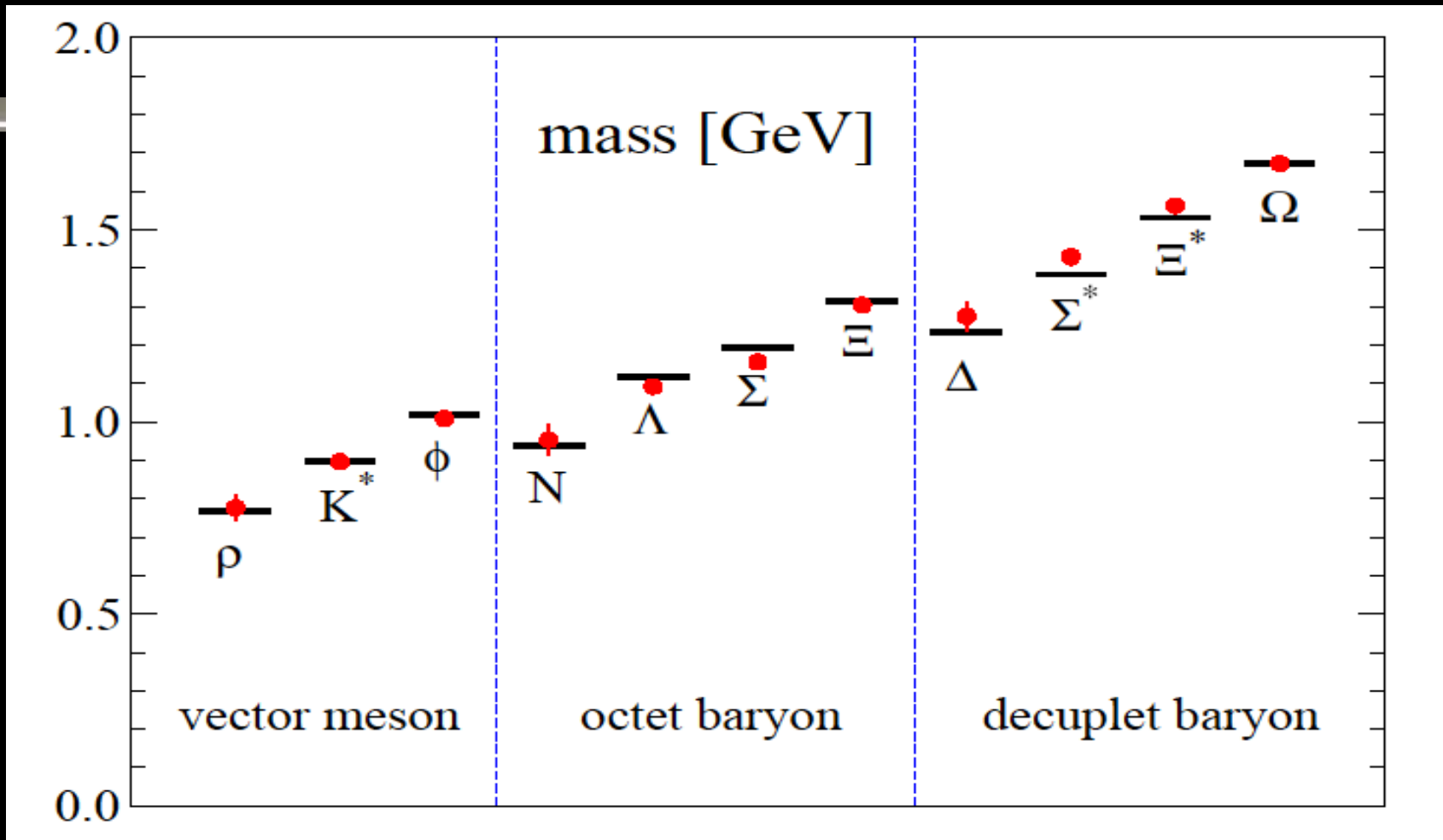
数値シミュレーション

格子QCDによるハドロン質量の計算

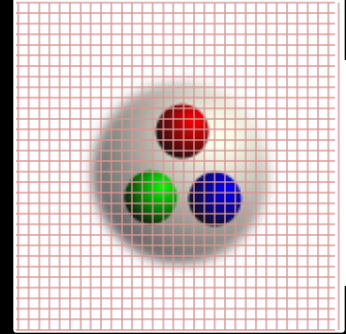


3%以内の精度で基底状態のメソン・バリオンの質量を再現

最も軽い π 中間子質量 $m_\pi = 156$ MeV

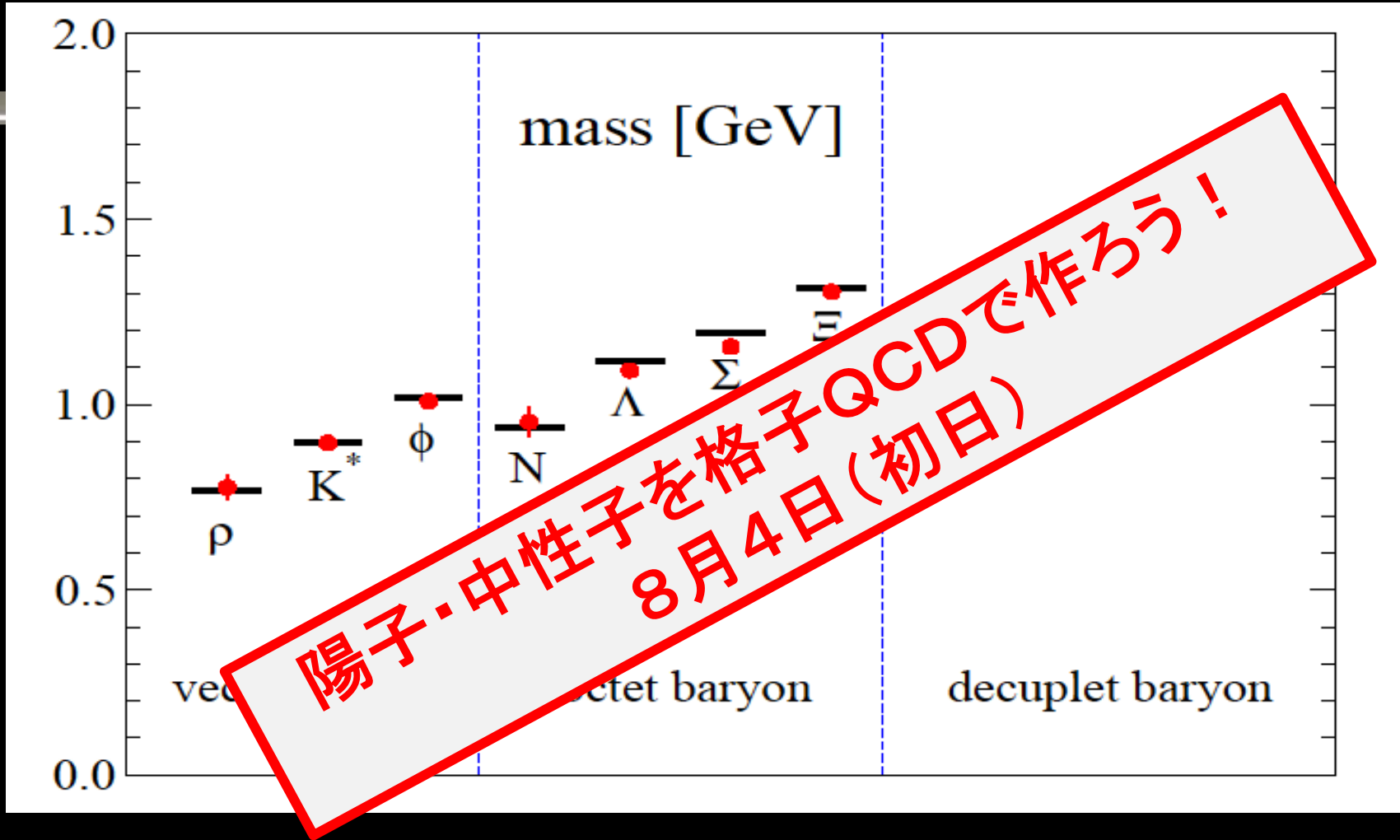


格子QCDによるハドロン質量の計算

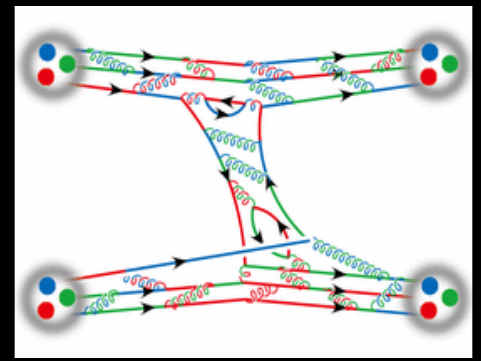


3%以内の精度で基底状態のメソン・バリオンの質量を再現

最も軽い π 中間子質量 $m_\pi = 156$ MeV



核力とハイペロン力

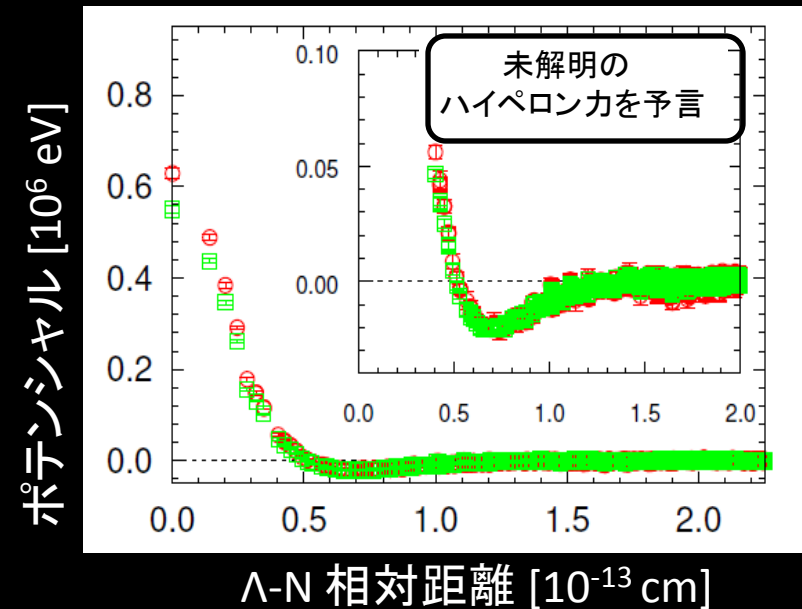
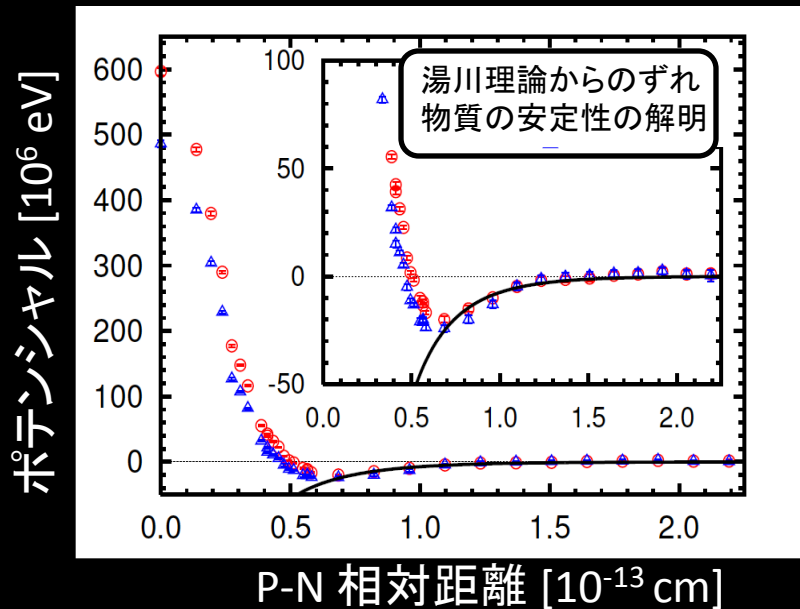


1935年 湯川秀樹博士による核力の中間子論の提唱

1965年 南部陽一郎博士によるQCD(量子色力学)の提唱

1997年 南部陽一郎 “クォーク” 第2版 より
“現在でも核力の詳細を基本方程式から導くことはできない。
いわば複雑な高分子の性質をシュレーディンガー方程式から
出発して決定せよというようなもので、むしろこれは無理な話である。”

2007年 **ところが、理論+数値シミュレーションにより可能になった！**



核力とハイペロン力

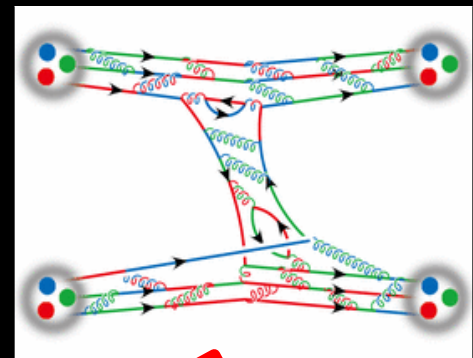
1935年 湯川秀樹博士による核力の中間子論の提唱

1965年 南部陽一郎博士によるQCD(量子色力学)の提唱

1997年 南部陽一郎 “クォーク” 第2版 より

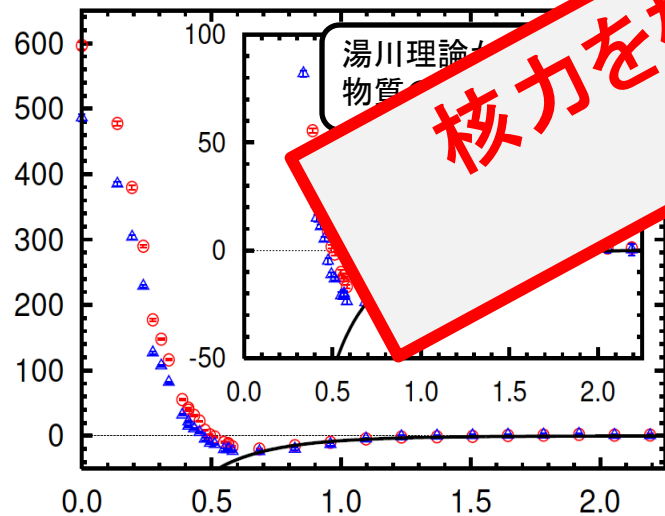
“現在でも核力の詳細を基本方程式から導くことはできない。いわば複雑な高分子の性質をシュレーディンガー方程式で解き出す出発して決定せよというようなもので、むしろこの

2007年 **ところが、理論+数値シミュレーションに**



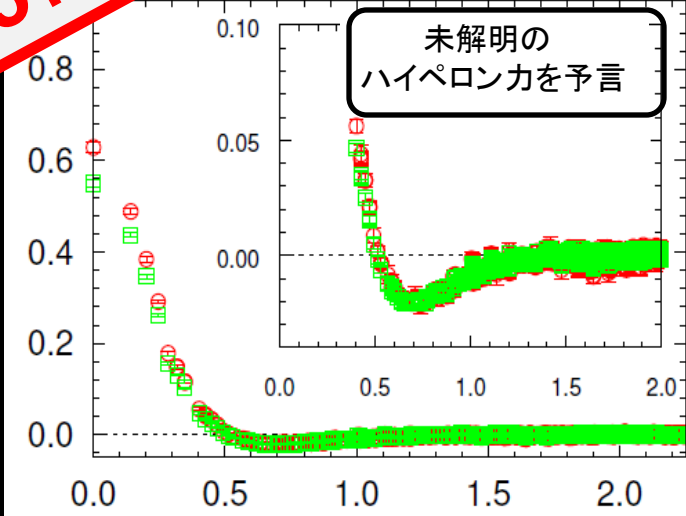
核力を格子QCDで計算しよう
8月5日(2日目)

ポテンシャル [10^6 eV]



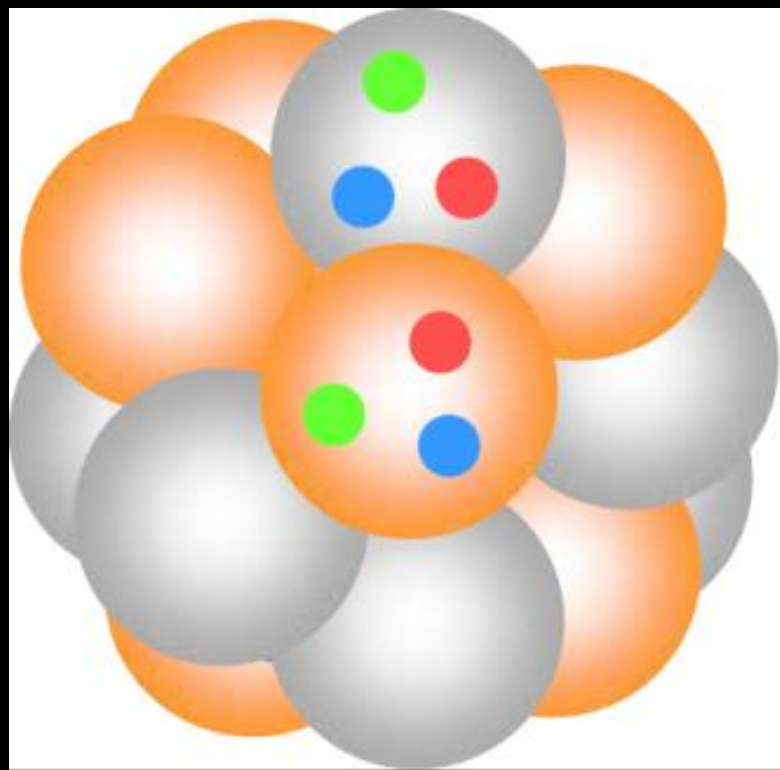
P-N 相対距離 [10^{-13} cm]

ポテンシャル [10^6 eV]

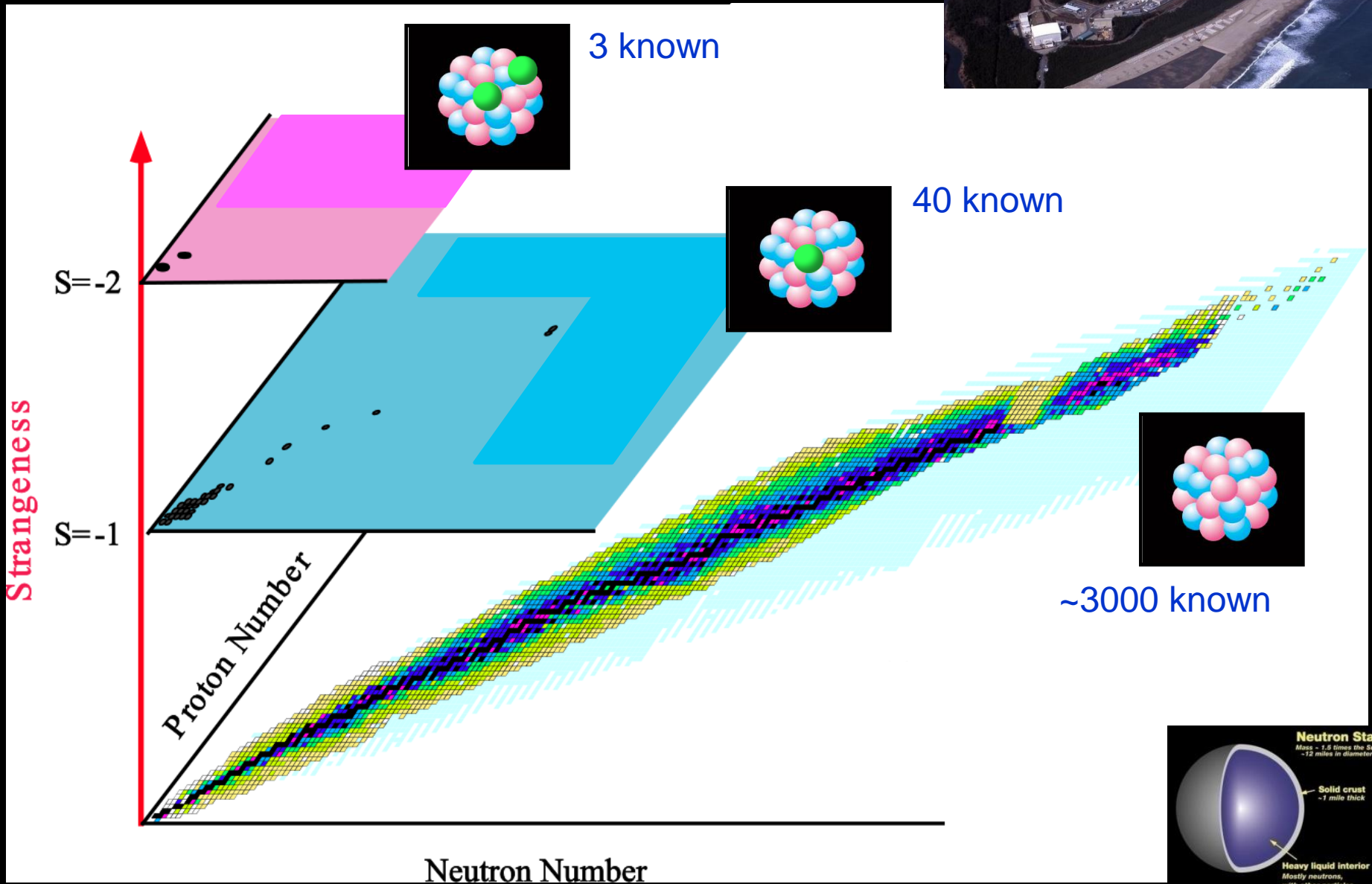


Λ-N 相対距離 [10^{-13} cm]

原子核

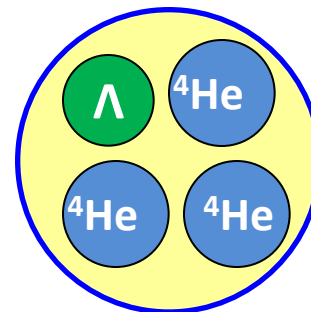


3次元核図表



精密ハイパー核計算による未知のハイペロンカ の決定例

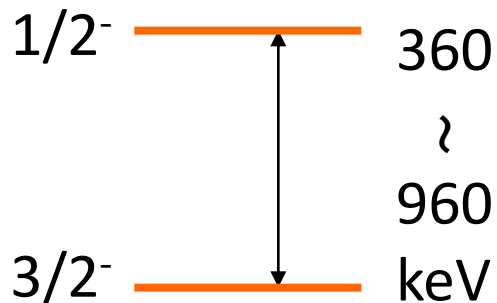
$^{13}_{\Lambda}\text{C}$ 炭素のハイパー同位体



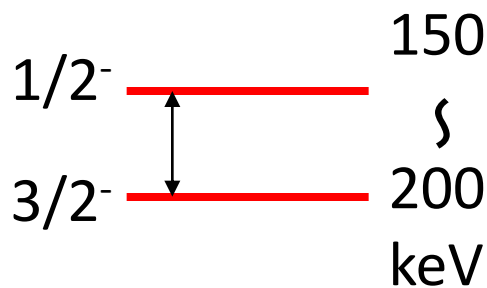
未知のハイペロンカ以外の不定性を
精密計算(無限小ガウスローブ法)で排除



精密計算の予言

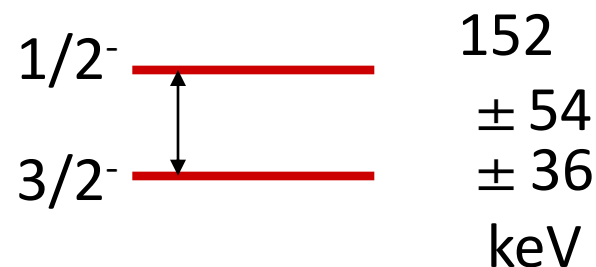


ハイペロンカ
モデルA

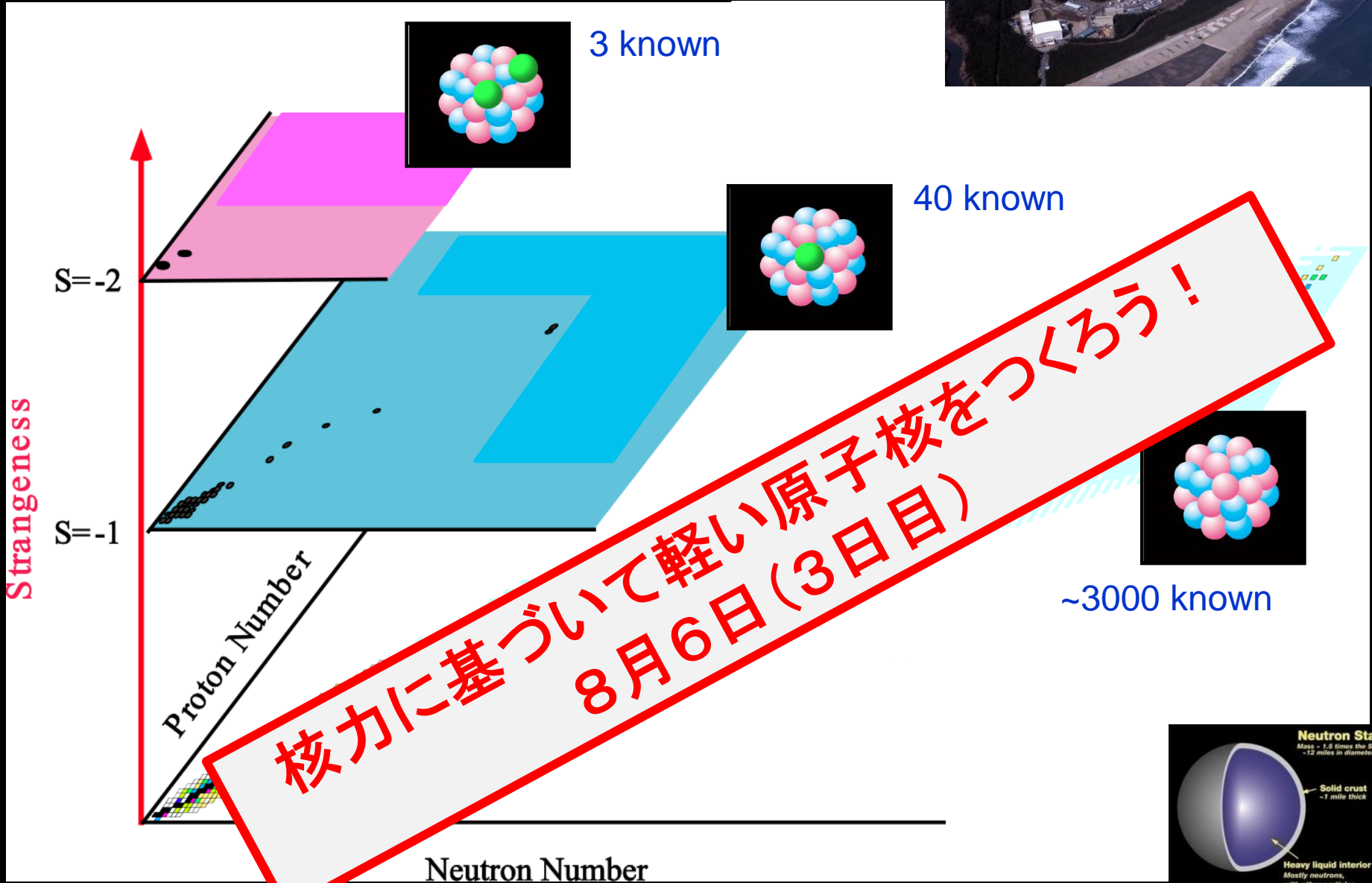


ハイペロンカ
モデルB

後の実験結果(BNL-E929)



3次元核図表



中性子星

半径 ~ 10 km

重さ \sim 太陽

中心密度 $\sim 10^{12}$ kg/cm³

原子核物理 (実験)

ハイパー核分光、ハイペロン相互作用
J-PARC (2009-)

原子核物理 (理論)

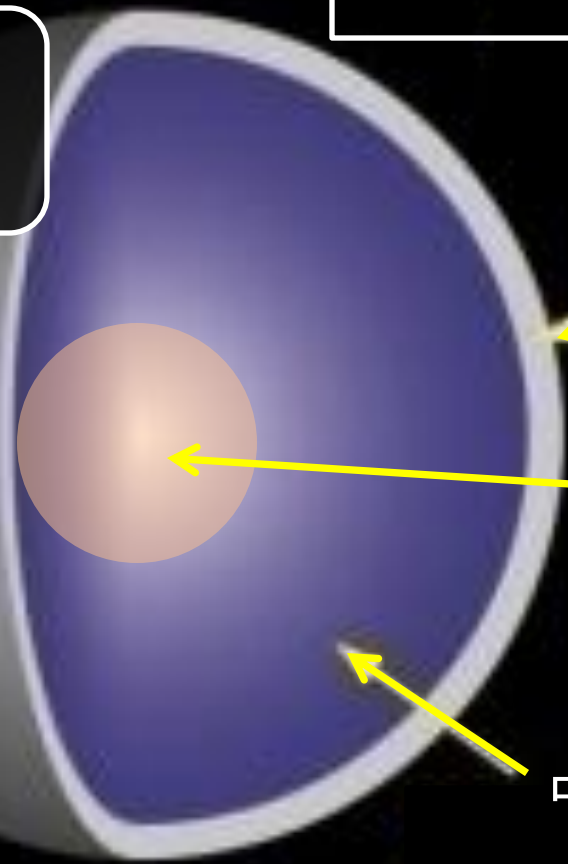
少数量子系厳密計算
高密度状態方程式

宇宙物理 (理論)

一般相対論
回転と磁場を考慮した
中性子星構造計算

宇宙物理 (観測)

質量、半径、回転周期、磁場、温度



固体

未知の状態:
ハイペロン物質?
クォーク物質?

中性子の液体

中性子星

半径 ~ 10 km

重さ \sim 太陽

中心密度 $\sim 10^{12}$ kg/cm³

原子核物理 (実験)

ハイパー核分光、ハイペロン相互作用
J-PARC (2009-)

原子核物理 (理論)

少数量子系厳密計算
高密度状態方程式

宇宙物理 (理論)

一般相対論
回転と磁場を考慮した
中性子星構造計算

宇宙物理 (観測)

質量、半径、パルス周期、磁場、温度

核力に基づいて中性子星をつくらう!
8月7日(4日目)

未知の状態:
ハイペロン物質?
クォーク物質?

中性子の液体

超新星爆発と元素の起源

宇宙物理 (観測)

超新星爆発の観測
可視光、X線、ガンマ線
ニュートリノ、重力波

原子核物理 (実験)

不安定原子核の質量、寿命、反応
RIビームファクトリー@理研 (2007-)
2010以降: FAIR (ドイツ), SPIRAL2 (フランス),
FRIB (アメリカ) など

宇宙物理 (理論)

超新星爆発シミュレーション
一般相対論
ニュートリノ輻射流体計算

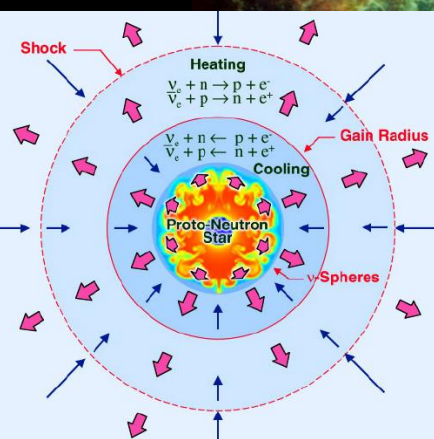
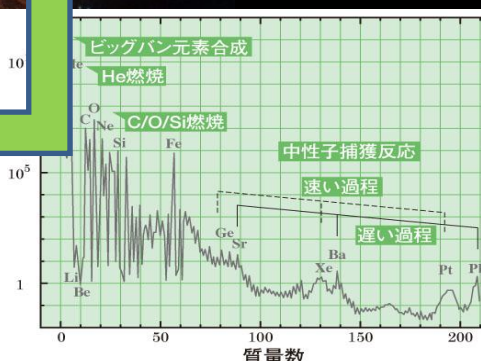
原子核物理 (理論)

精密原子核計算による核種の性質
反応率の予言

原子核物理 (理論)

大規模核反応ネットワーク
による実時間計算
5000核種以上

太陽系の相対



超新星爆発と元素の起源

宇宙物理 (観測)

超新星爆発の観測
可視光、X線、ガンマ線
ニュートリノ、重力波

原子核物理 (実験)

不安定原子核の質量、寿命、反応
RIビームファクトリー@理研 (2007-)
2010以降: FAIR (ドイツ), SPIRAL2 (フランス),
FRIB (アメリカ) など

宇宙物理 (理論)

超新星爆発シミュレーション
一般相対論
ニュートリノ輻射流体計算

原子核物理 (理論)

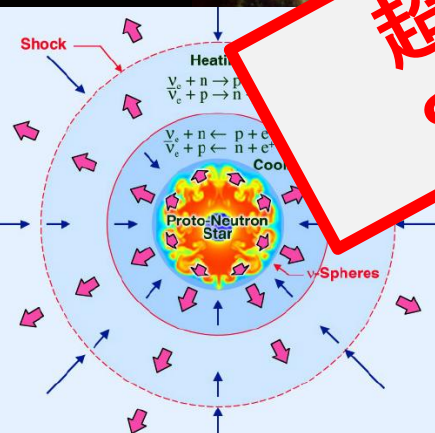
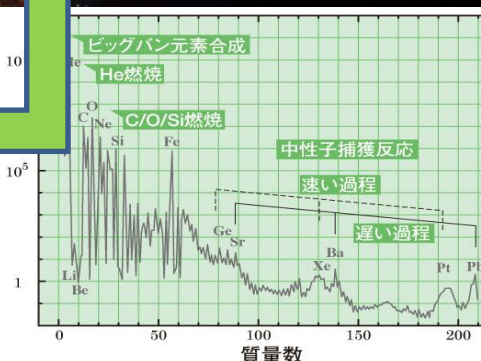
核計算による核種の性質
崩壊率の予言

超新星爆発をおこしてみよう!
8月7、8日 (4, 5日目)

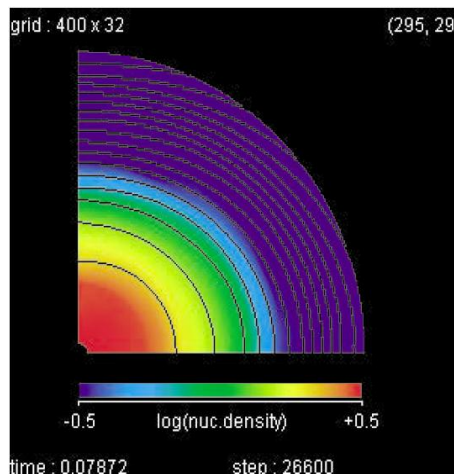
原子核物理 (理論)

大規模核反応ネットワーク
による実時間計算
5000核種以上

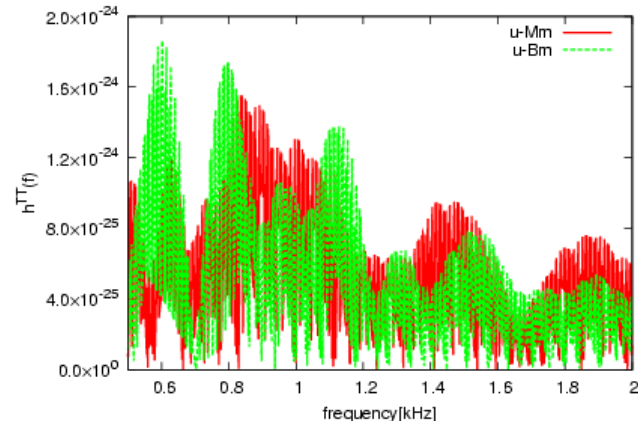
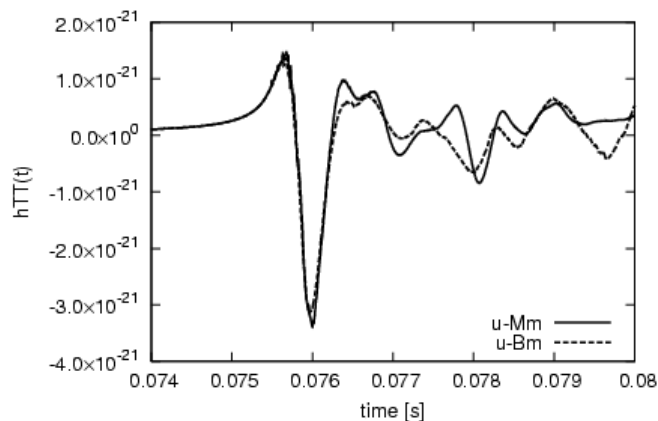
太陽系の相対



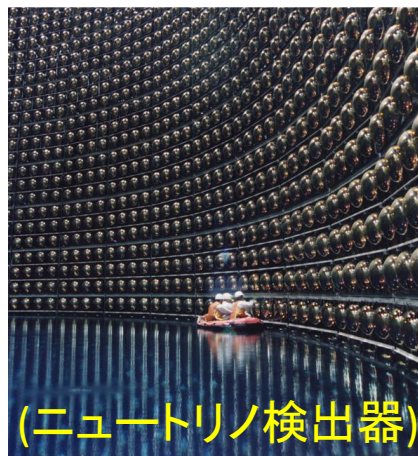
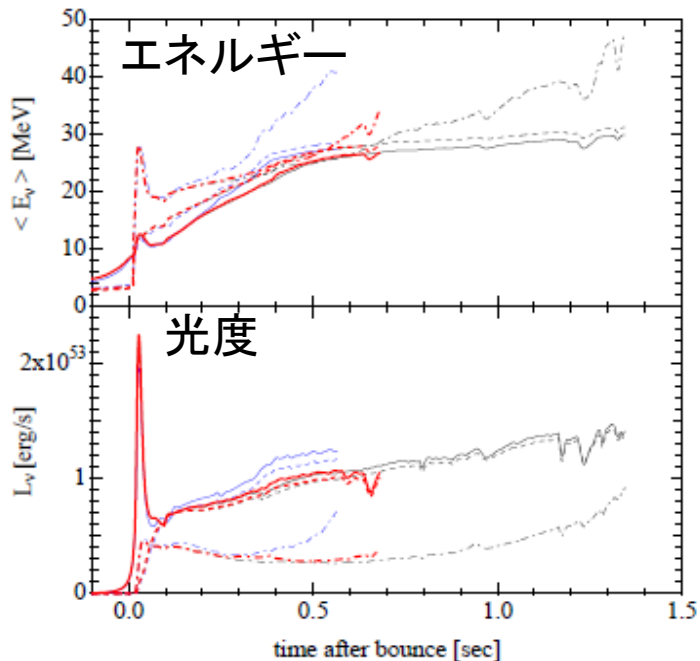
ニュートリノ/重力波 核物理学 (大規模シミュレーション<->観測)



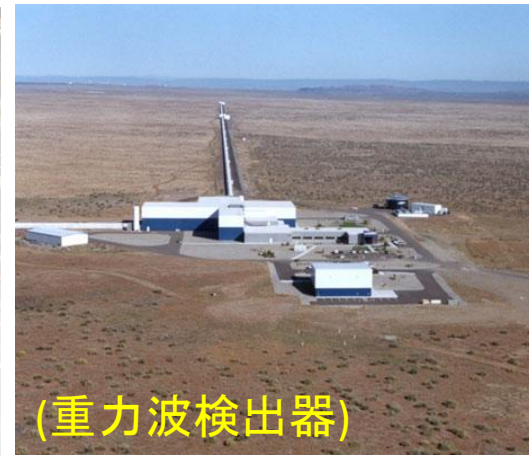
超新星爆発時の重力波の計算 (波形とスペクトル)



ブラックホール形成時のニュートリノ放出の計算



(ニュートリノ検出器)



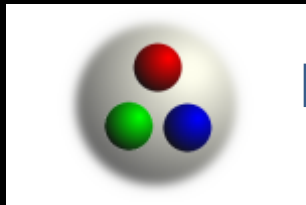
(重力波検出器)

これからの5年

素核宇の連携、計算基礎科学の進展、実験・観測との連携で、
ミクロ(素粒子・原子核)からマクロ(宇宙)への架け橋が
構築されていく

素粒子

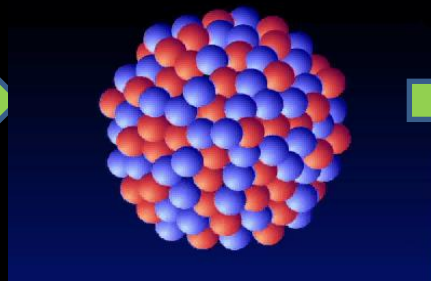
$r < 10^{-13}$ [cm]



大規模
QCD計算

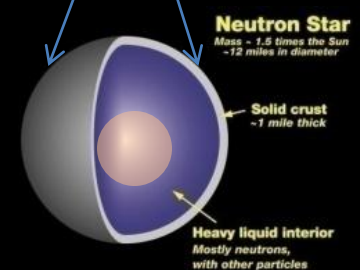
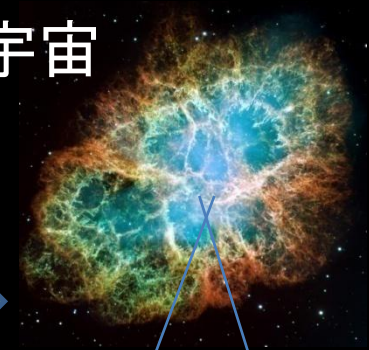
原子核

$r \sim 10^{-12}$ [cm]



精密
原子核計算

宇宙



3D 超新星爆発
+ 元素合成
シミュレーション

Enjoy !