

新学術領域（研究領域提案型）

ヒアリング資料

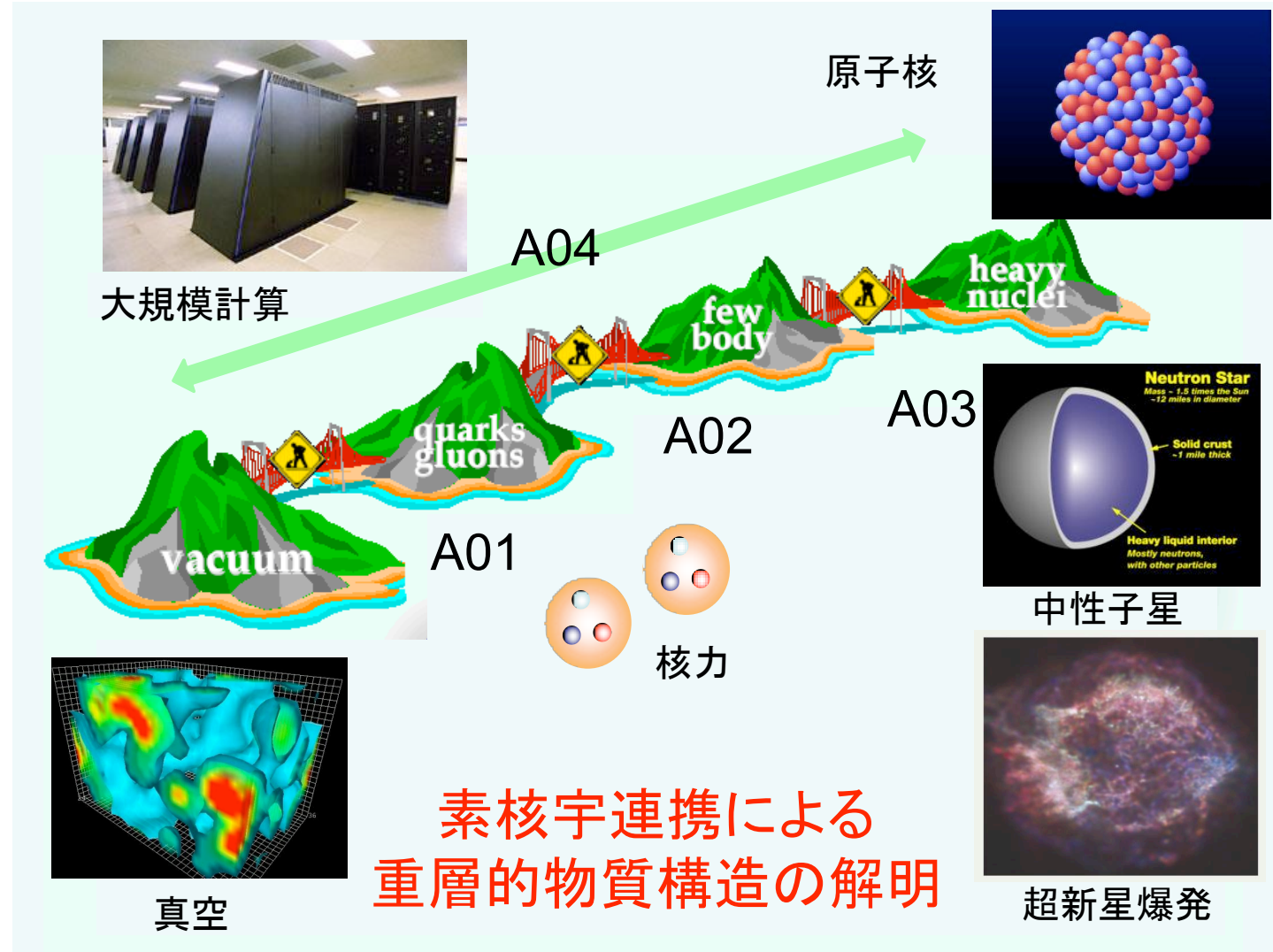
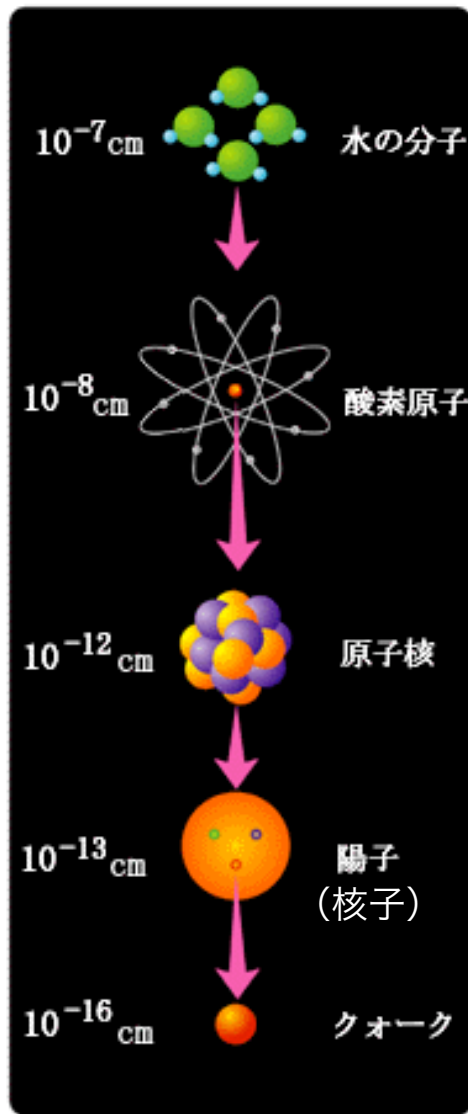
「素核宇宙融合による
計算科学に基づいた
重層的物質構造の解明」

領域代表者

筑波大学・数理物質科学研究科・教授

青木 慎也

領域の目的



「様々な階層での物質の性質・構造・起源を、クォークから元素合成までという流れの中で、
異なった専門分野の研究者が計算科学という新しい手法を基盤に、共同で解明して行く」、
という新しい研究領域を構築することがこの提案の目的である。

研究内容

1. クォークの力学(QCD)による核子間相互作用の決定

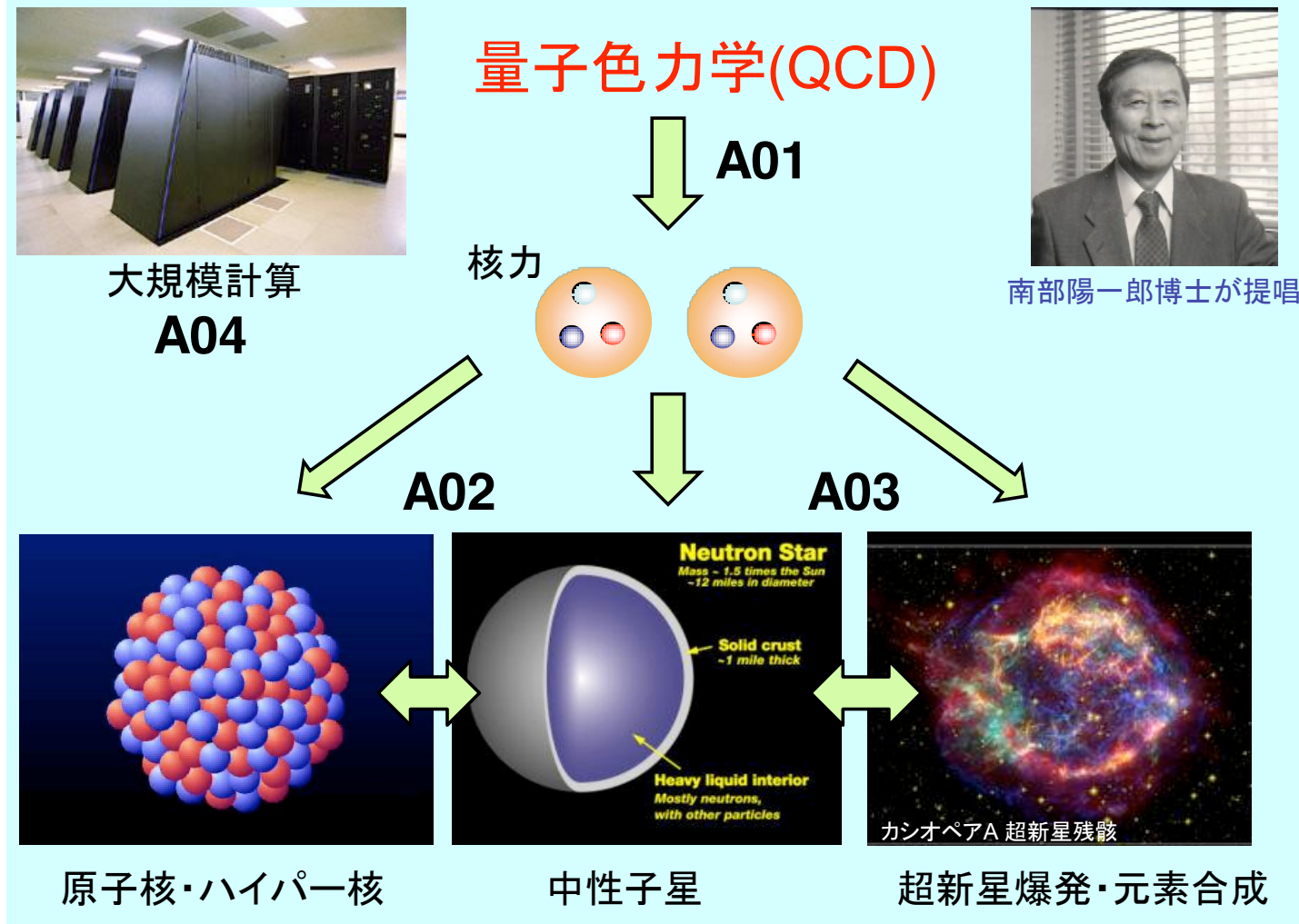
クォークから核力へ (素粒子と原子核)

2. 決定された核子間相互作用による原子核構造の決定:

核力から原子核へ (素粒子と原子核)

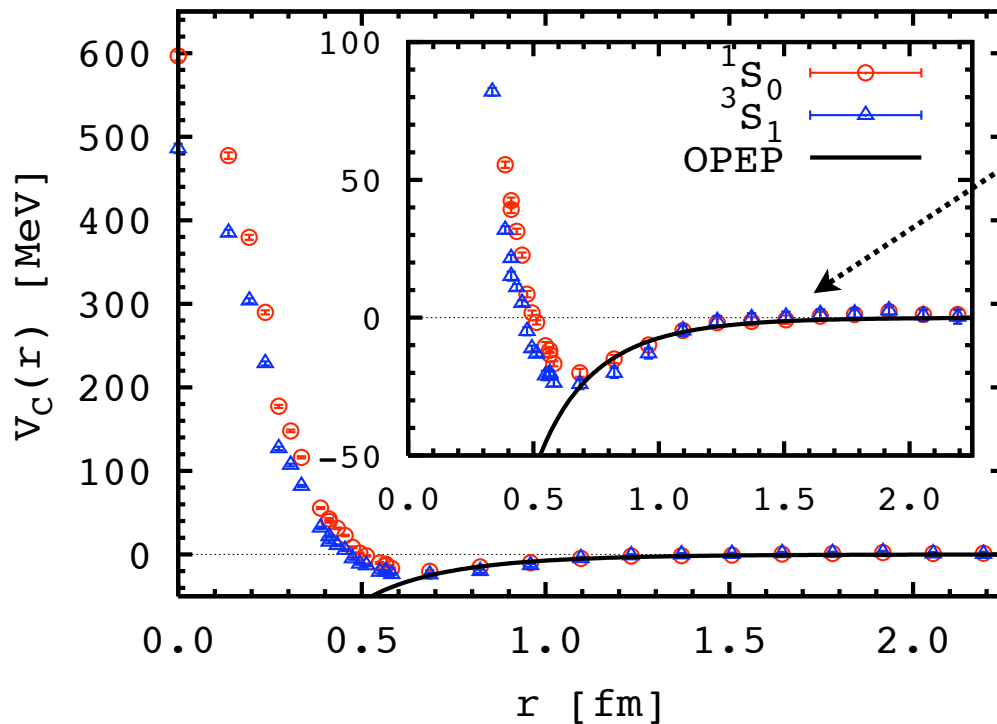
3. 原子核構造に基づいた超新星爆発やブラックホール形成と元素合成の理解:

原子核構造から爆発的天体現象 (原子核と宇宙)

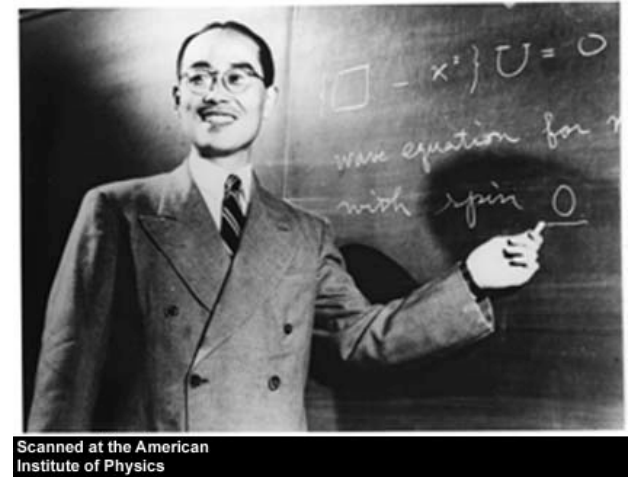


分野連携の実績（計算科学による素粒子・原子核連携）

大規模数値計算（格子QCD）による世界初の核力の導出



湯川理論の予言



湯川秀樹博士：核力の中間子論（1935）

Ishii-Aoki-Hatsuda, PRL99(2007)022001

ネイチャー誌2007年リサーチハイライト21論文
の1つに選ばれる（日本からは2論文）

成功のポイント：

素粒子理論と原子核理論の研究者間の連携

スケールの違いを乗り越えるだけの能力を持つ計算機による計算科学の発展



BG/L@KEK

計算基礎科学での実績

1. 素粒子の格子QCD分野は計算基礎科学の「発祥の地」。並列計算機開発とそれを使った研究。日本は、アメリカ、ヨーロッパと並ぶ世界の3大拠点の1つ。

計算機開発例：

QCDPAX(14GFlops, 1989)

CP-PACS(614Gflops, 1996)

PACS-CS(14.3Tflops, 2007)

1996年11月に世界
最速を記録



2. 原子核では、日本発で世界的にもユニークな大規模計算手法が開発された

計算手法例：モンテカルロ殻模型（MCSM）、ユニタリー相関演算子法(UMOA)

3. 宇宙では、様々な天体シミュレーションや元素合成の計算アルゴリズムやコードを開発

計算手法例：BSSN方式の数値相対論、陰解法一般相対論的ニュートリノ輸送

準備状況

素核宇宙連携シンポジウムの企画開催

素核宇宙連携組織の立ち上げ

次世代スパコンの活用への取り組み

- 2007年12月に、素粒子・原子核・宇宙物理の研究者が集まって「未来の素粒子・原子核数値シミュレーション」というシンポジウムを開催。（参加者約90名）。
- 2008年5月に、素粒子・原子核・宇宙物理の研究者を中心に「計算基礎科学コンソーシアム」を設立(<http://www.ccfuns.org/>)。6月に計算基礎科学シンポジウム「シミュレーションでせまる宇宙の成り立ち～素粒子・原子核・宇宙物理の展望」を開催。（参加者約120名）。
- 2008年9月に行われた文科省が推進している次世代スパコンに関するシンポジウムの中で、計算基礎科学コンソーシアムが協力して「次世代スパコンで物質と宇宙の進化を探る」と題した分科会を開催。（参加者80名以上）。
- 次世代スパコンの使用も視野に入れた人材育成。（この領域申請の動機の1つ。）

研究組織

A01 「量子色力学にもとづく
真空構造とクォーク力学」

A02 「クォーク力学に基づ
く原子核構造」

A03 「クォーク力学・原子核
構造に基づく爆発的天体現象
と元素合成」

A04 「分野横断アルゴリズム
と計算機シミュレーション」

公募研究（20件／2年 x 2回）



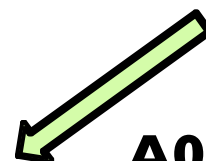
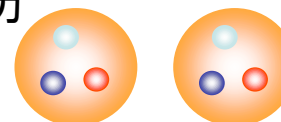
大規模計算
A04

量子色力学(QCD)

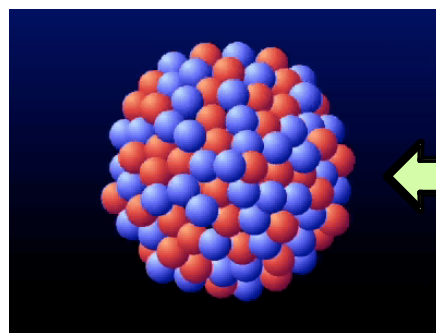


A01

核力



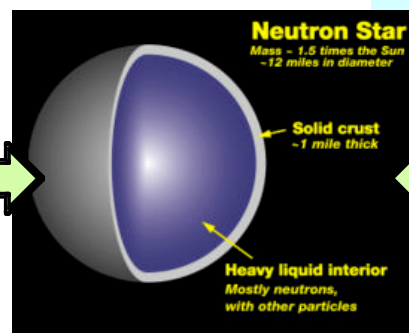
A02



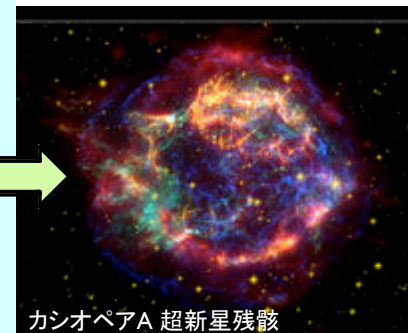
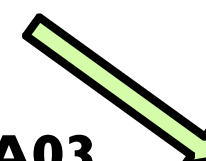
原子核・ハイパー核



A03



中性子星



カシオペアA 超新星残骸

超新星爆発・元素合成



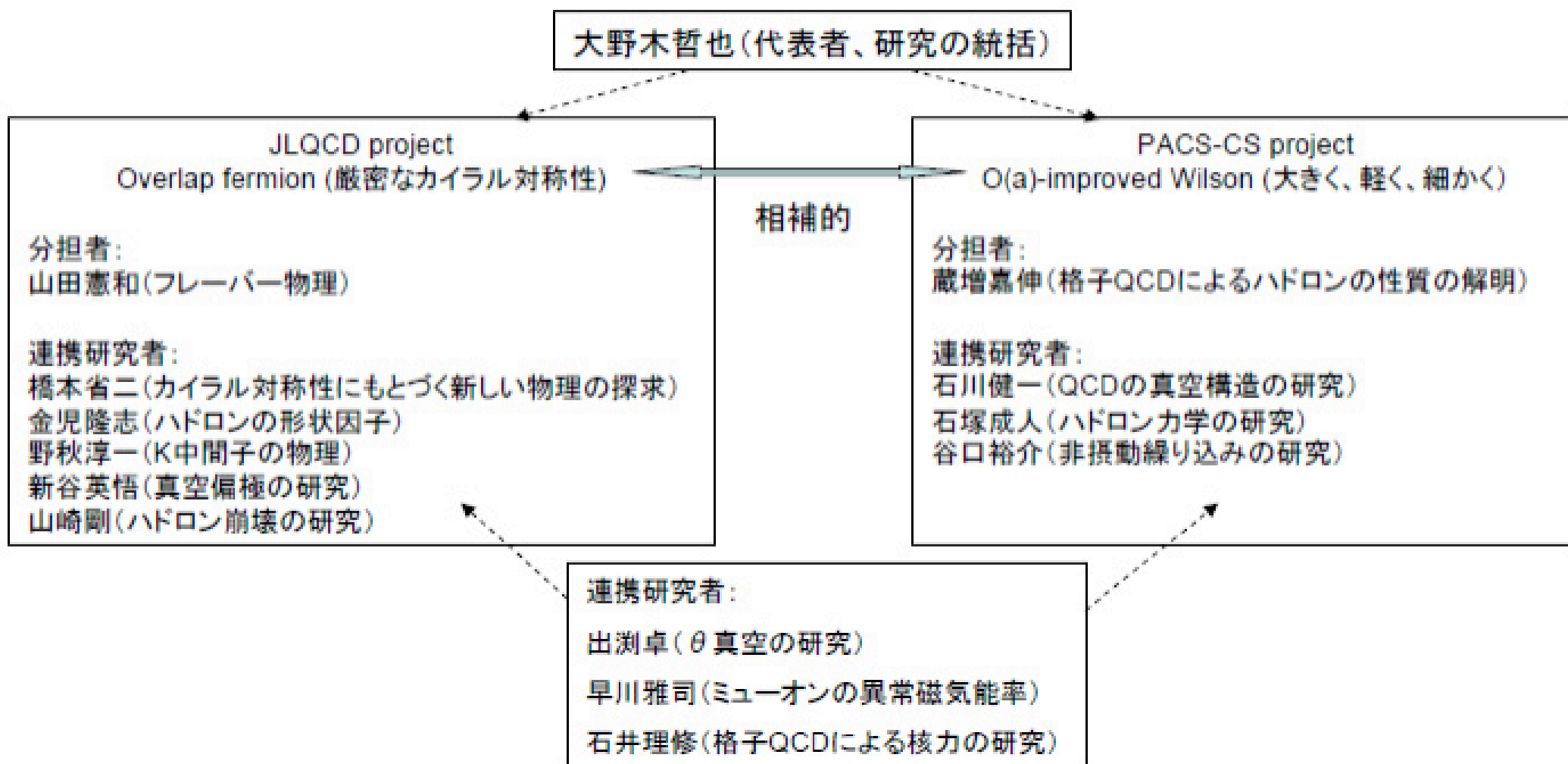
南部陽一郎博士が提唱

代表：大野木哲也（京大）、分担2名、連携11名（素10、核1）

A02と共通1名、A04と共通2名

研究目的

1. 格子QCDの第一原理計算による真空構造とクォーク力学の解明
2. 格子QCDの第一原理計算によるハドロン間相互作用や低エネルギー有効理論の精密決定



A02

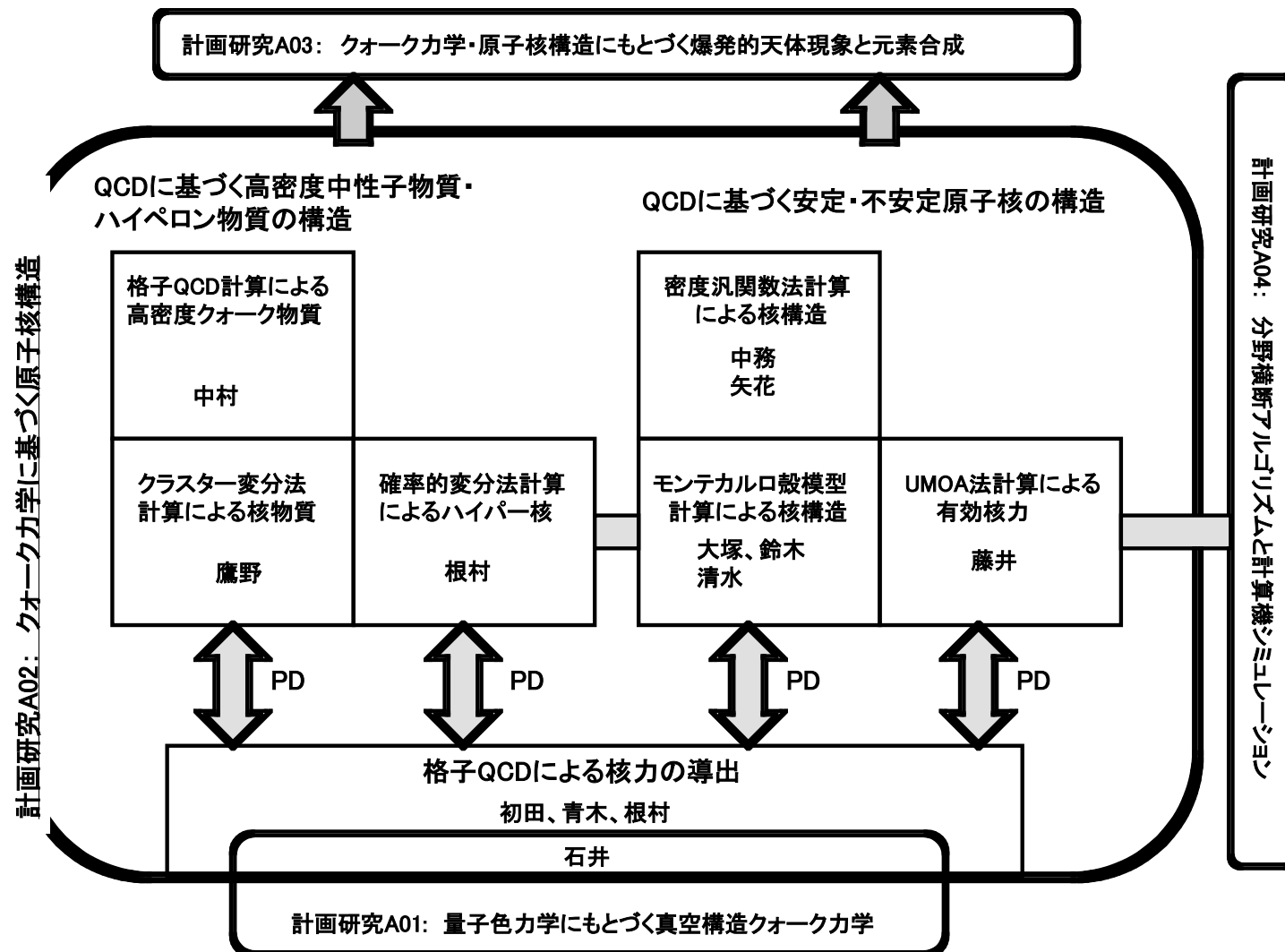
「クォーク力学に基づく原子核構造」

代表：初田哲男（東大）、分担5名（素2、核3）、連携6名

A01と共通1名、A03と共通1名、A04と共通2名

研究目的

格子QCD計算による核力やハイペロン力の全解明とその結果に基づいた大規模計算による原子核構造論・ハイパー核構造論・高密度物質論の展開



代表 鈴木英之（東京理科大）、分担4名、連携8名（宇3、核5）

A02と共通1名、A04と共通1名

研究目的

1. 原子核と宇宙の連携による超新星爆発やブラックホール形成の理解
2. 上記のような爆発的天体現象を基にした宇宙での元素合成の解明

計画研究A03「クォーク力学・原子核構造に基づく爆発的天体現象と元素合成」
鈴木（代表、研究の統括）

恒星進化、元素合成、r過程など
梅田、梶野、吉田、岩本、千葉

恒星モデル

ダイナミクス

数値相対論、重力波
柴田、瓜生
超新星爆発、ブラックホール形成、ニュートリノ放出
住吉、山田

状態方程式

大西、鷹野、親松

反応率

 ν 輸送

計画研究A02「クォーク力学に基づく原子核構造」

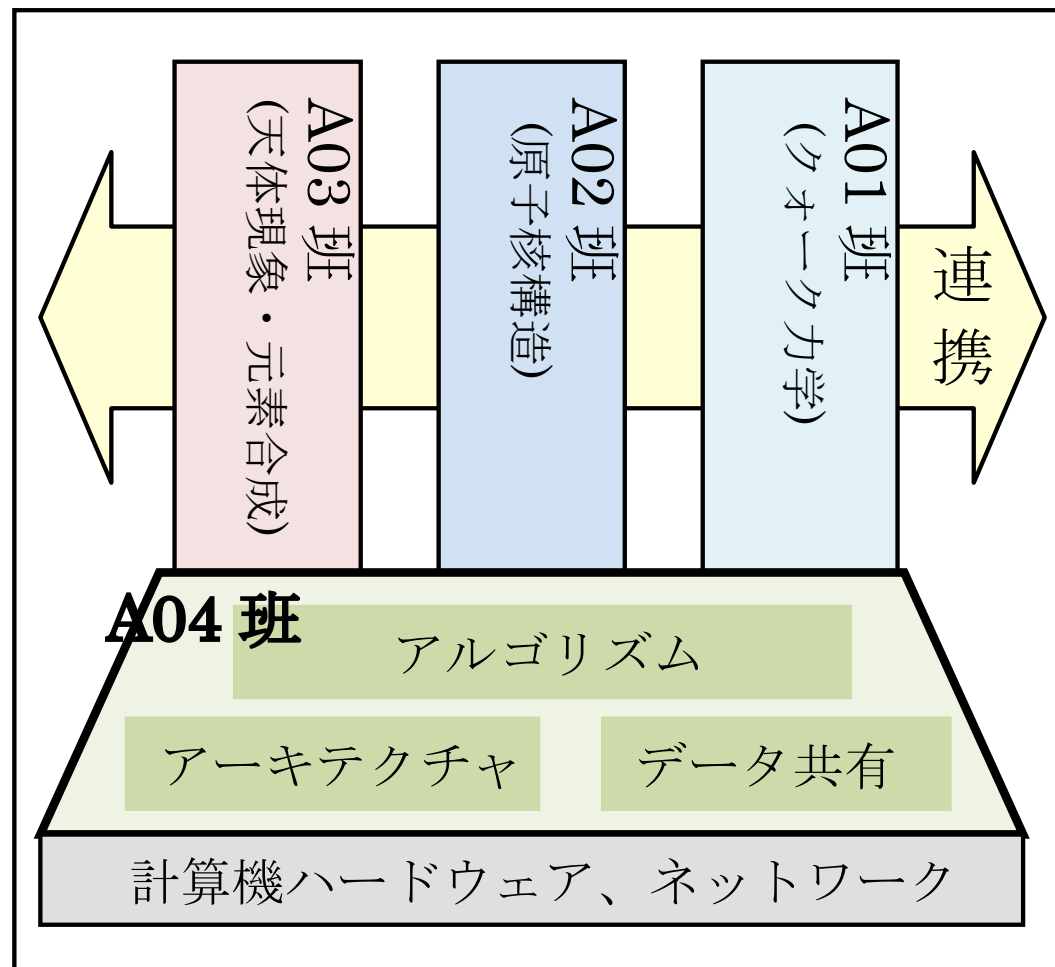
計画研究A04「分野横断アルゴリズムと計算機シミュレーション」

代表者：松古栄夫(KEK)、 分担2名、連携7名（素2・核2・宇1・数2）

A01と共通2名、A02と共通2名、A03と共通1名

研究目的

- 1.素核宇宙各分野のアルゴリズムの最適化の知見の融合。
- 2.様々なアーキテクチャの計算機の最大性能を引き出す技術の確立。
- 3.大規模データの効率的な共有環境の確立。



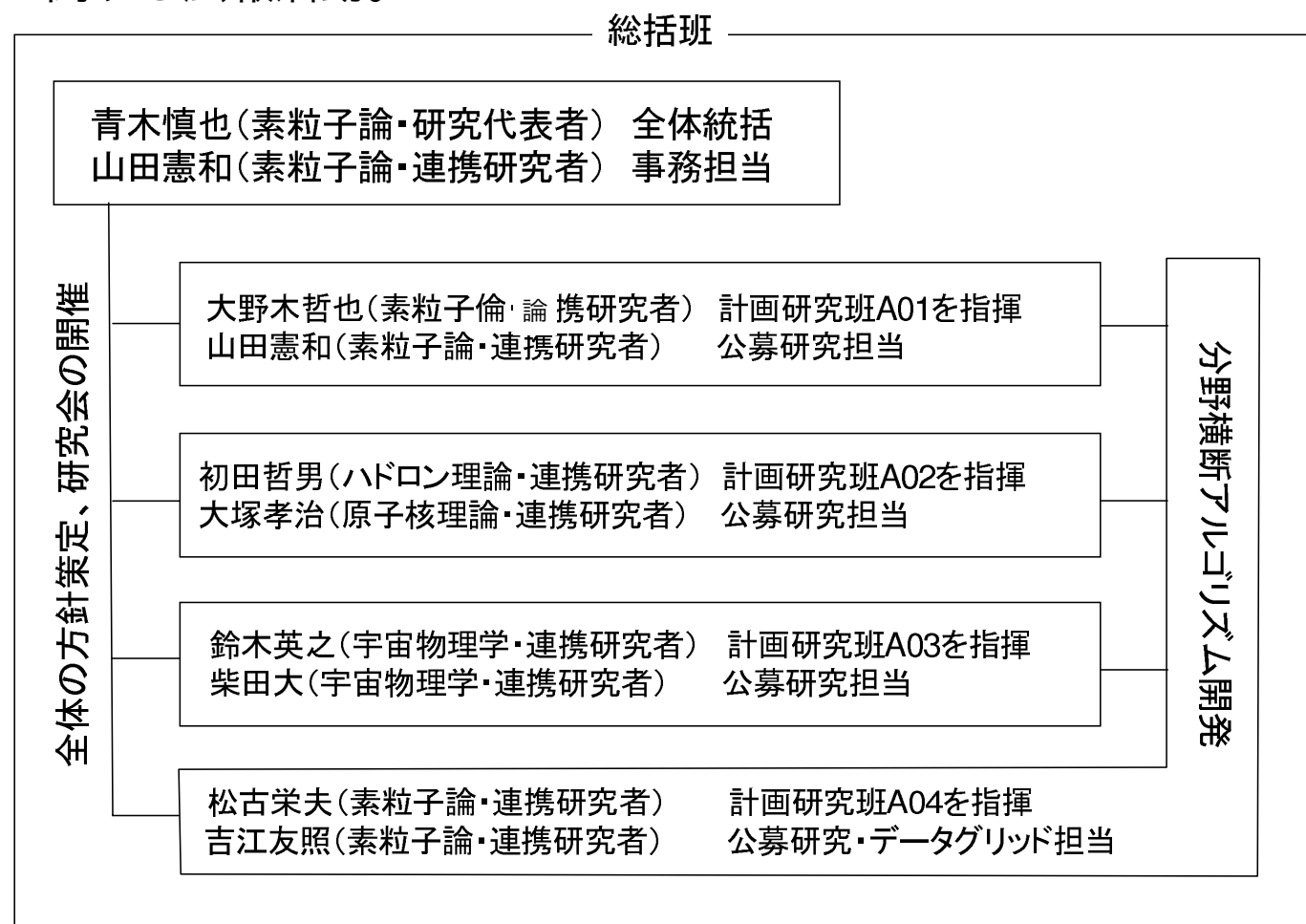
総括班

目的

各計画研究班内部の共同研究や複数の計画班に跨った共同研究の促進。

具体的活動

1. 領域全体の研究会の開催。（年1、2回）
2. 国際研究会の開催。（3年目と5年目）
3. 計画研究班同士の相互理解の促進。
4. 本領域分野の標準的教科書の作成とそれを通じた人材育成の展開。
5. 本領域に関する広報活動。



領域推進のビジョン

領域成立の基礎

1. 発展著しい計算科学による素粒子・原子核の融合
2. クォーク・原子核から爆発的天体現象・元素合成までという融合可能な研究分野の存在

成功のポイント

領域内に真の共同研究を生み出す基盤を構築し、具体的な共同研究を推進して行くこと。

代表の役割

異なる研究分野間の風通しを良くし、真の共同研究を促進する触媒となること。

具体策

1. 領域代表に専念（計画研究の代表はやらない）
2. 全体研究会を主催し、領域全体の研究内容を把握
3. 計画研究代表者と協力し、領域の「標準的教科書」を作成
4. 総合的な知見を基に、共同研究の具体案の提示とその実行

本領域の意義

素粒子・原子核・宇宙の研究者が計算科学を軸に有機的に連携し共同研究を進めるというのは世界で初めての試みである。

本領域の成功は、この分野を学問的に発展させるだけでなく、細分化・専門化されている現代基礎科学（物理学）の研究を階層性をもつ幅広い現象の研究に発展させるモデルケースとなる。