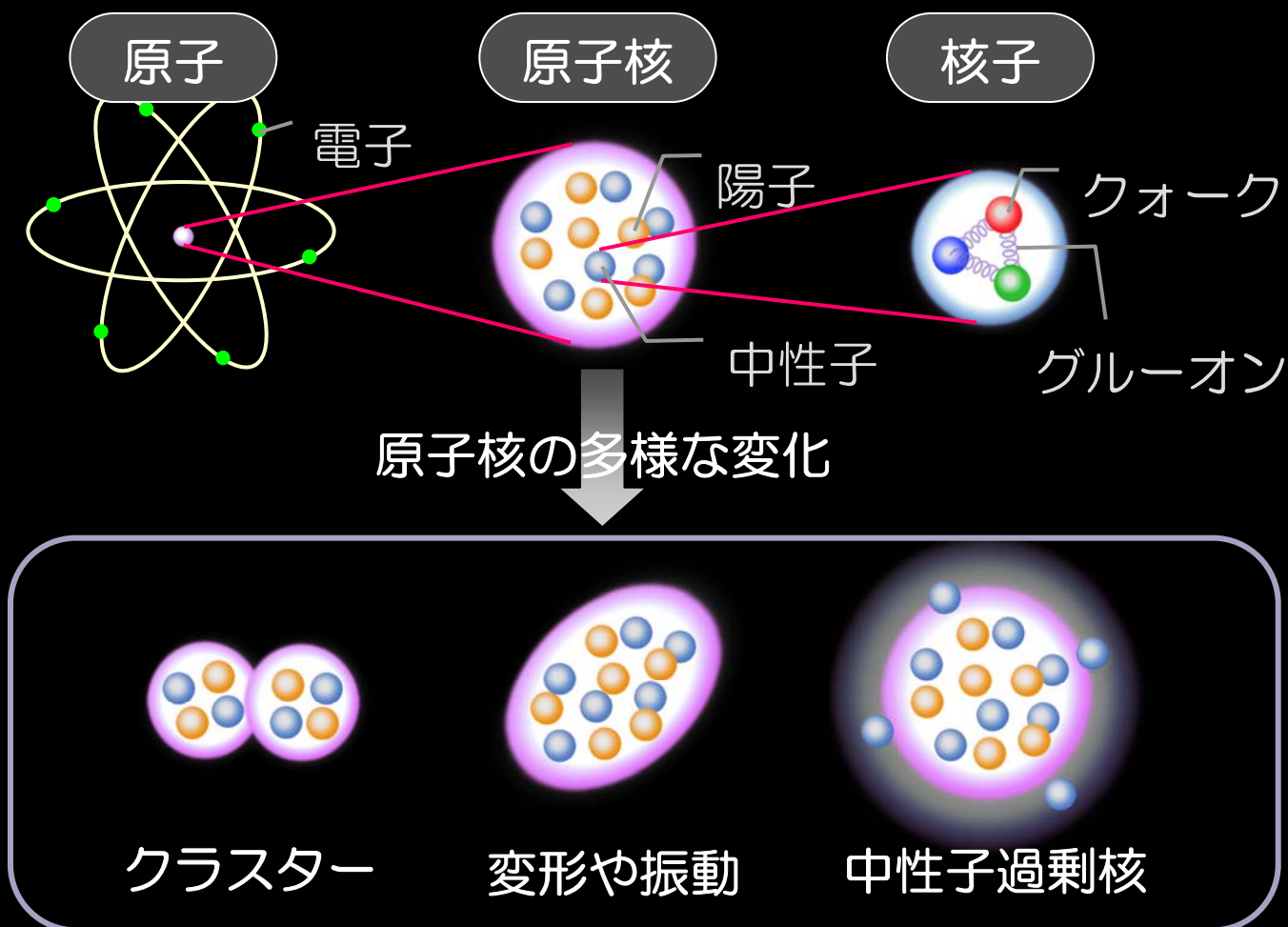
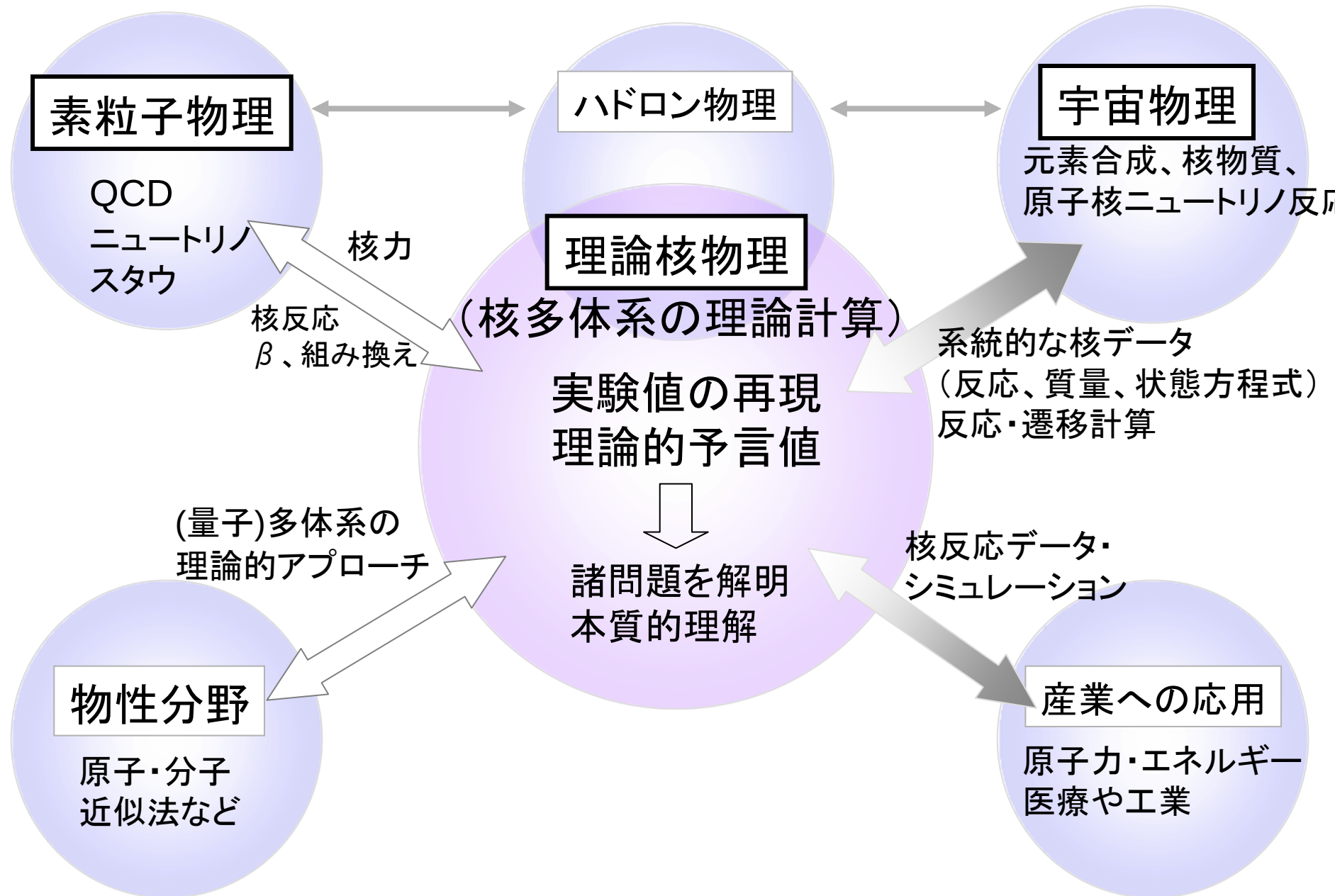


原子核研究における数値計算の現状と今後

京都大学基礎物理学研究所 延与佳子

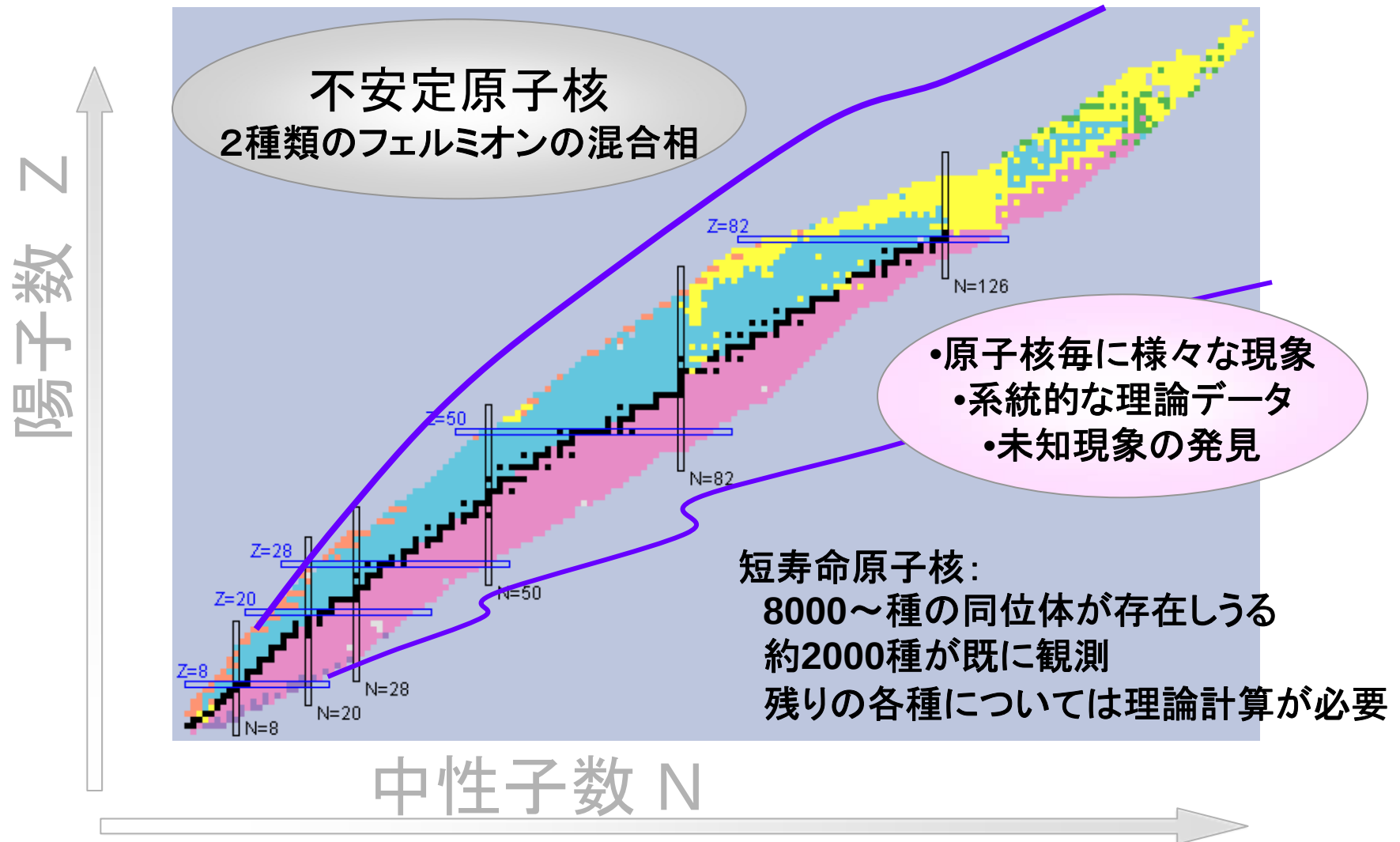


他分野との繋がり



研究対象の拡大

広がる原子核の世界



広がる原子核の世界

3つの軸:

- ・陽子数・中性子数
- ・励起エネルギー

励起エネルギー

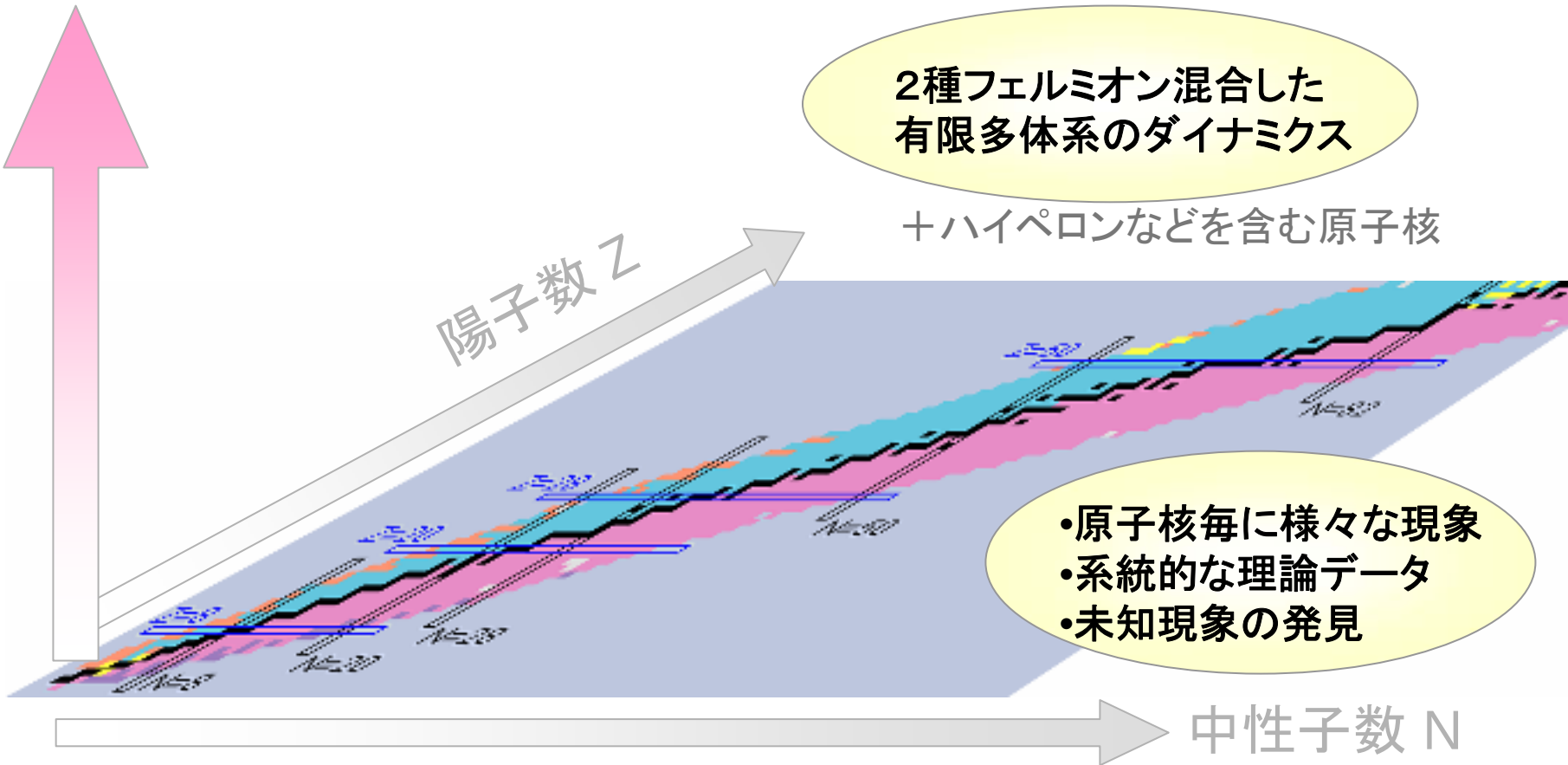
2種フェルミオン混合した
有限多体系のダイナミクス

+ハイペロンなどを含む原子核

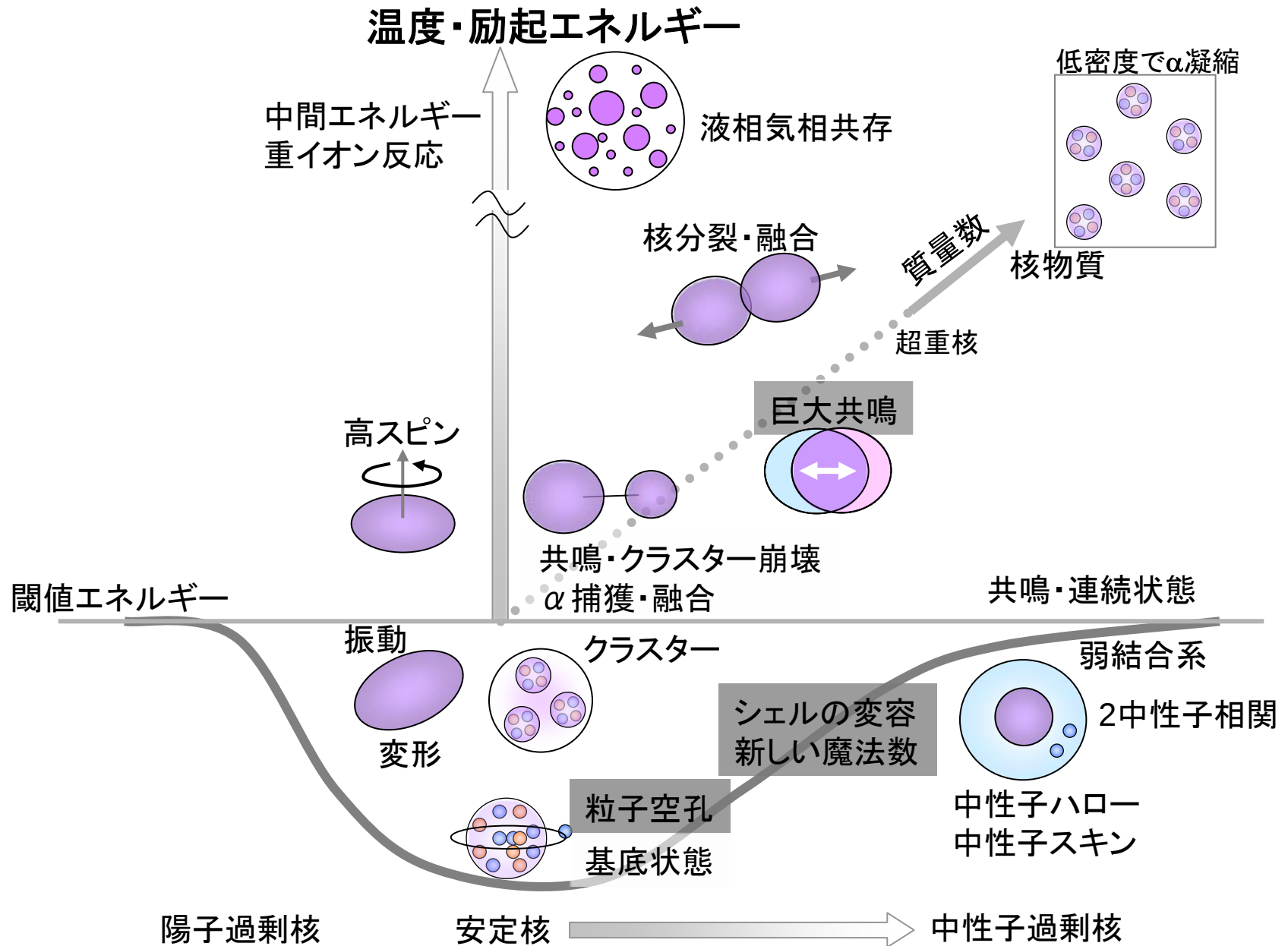
陽子数 Z

- ・原子核毎に様々な現象
- ・系統的な理論データ
- ・未知現象の発見

中性子数 N



核子多体系の多様性



原子核の理論計算

核子多体系を微視的に解く＝量子多体系の問題

大規模な数値計算で実現！

数値計算における特徴

2種フェルミオンの量子多体系

粒子数A=数個～200個くらい

$$\Psi(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_A)$$

計算量がAのべき乗 $\propto \square^A$

さらなる困難：

相互作用が複雑（非中心力など）

有限の自己束縛系

平均場と強い多体相関が共存

特定の基底で収束しにくい

束縛系と非束縛系（飽和則のため）

無限の連続状態、共鳴、非定常状態

多様な現象の要因

第一原理計算

$$\Psi, H$$

少数系のみ計算可

モデル化

$$\Phi, H^{\text{eff}}$$

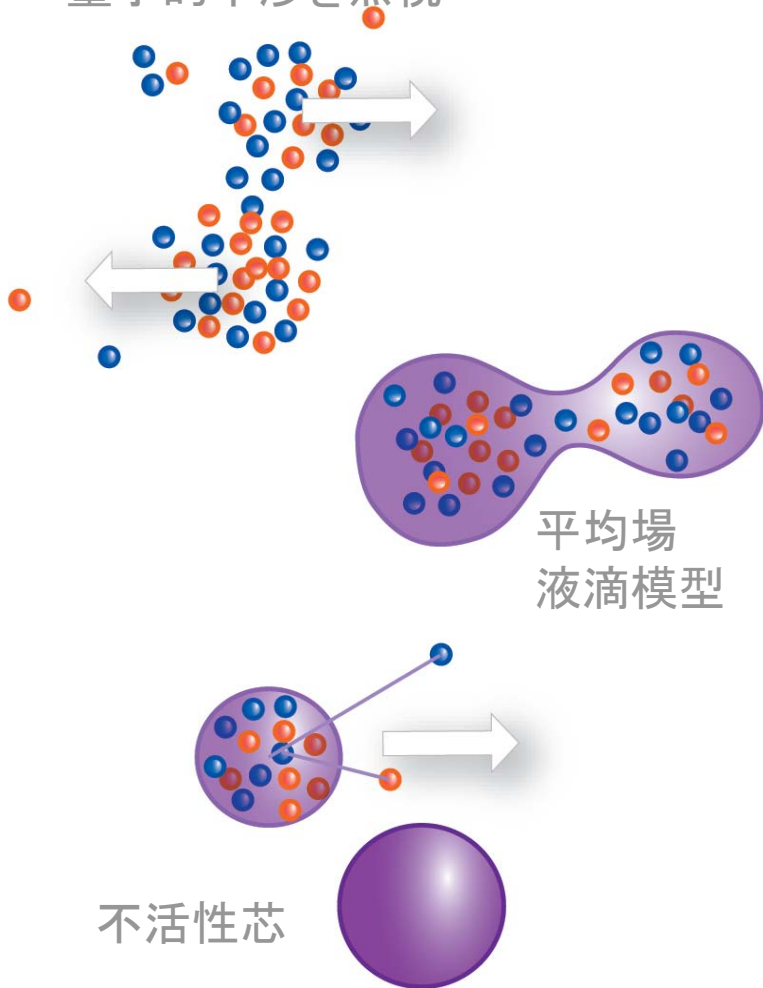
平均場近似
truncation,
自由度の分離（活性と不活性）
モンテカルロ
有効相互作用

現象に応じた様々な理論モデル
計算機の発達が計算の向上、
計算方法の開発、
理論モデルの進化に直結

理論モデル・計算コードの変化が頻繁

核反応

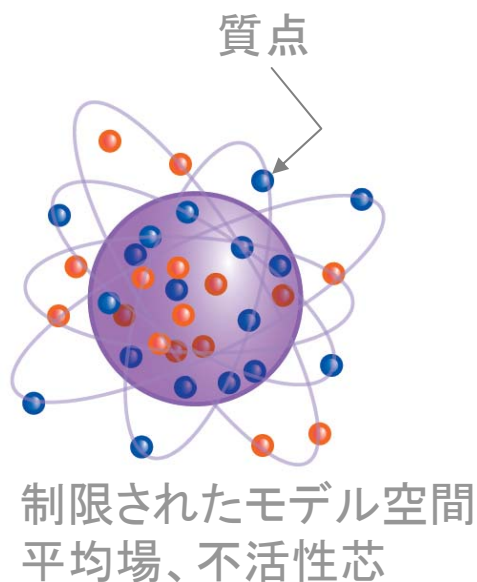
量子的干渉を無視



平均場
液滴模型

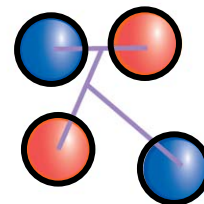
不活性芯

核構造



モデル計算

少数系



斥力芯

第一原理計算

QCD
(クォーク
グルーオン)

広い核領域の様々な現象を
多様な理論計算(模型・手法)でカバー



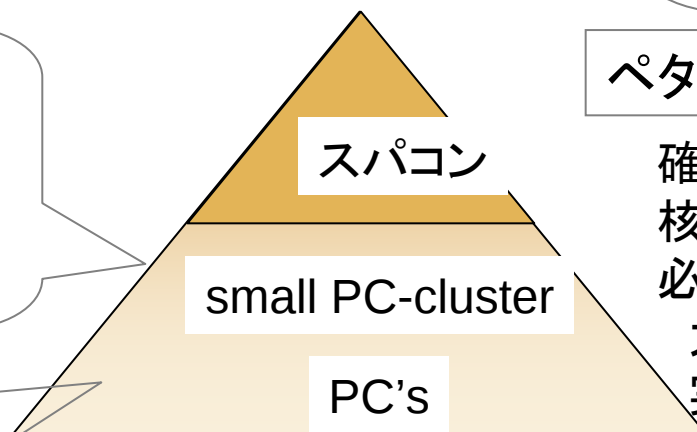
広い核領域の様々な現象を 多数の理論計算(模型・手法)でカバー

今すぐスタートできる系統的
な核構造計算
シェルモデル, 密度汎関数



質量数や研究対象に応じて
小規模ユーザーから
大規模ユーザーまで
連続的に分布

小さな研究
グループも多数
(独創的・専門的、
連携)



ペタ級の大規模計算

確立した模型で広範囲な
核データを提供

必要条件:

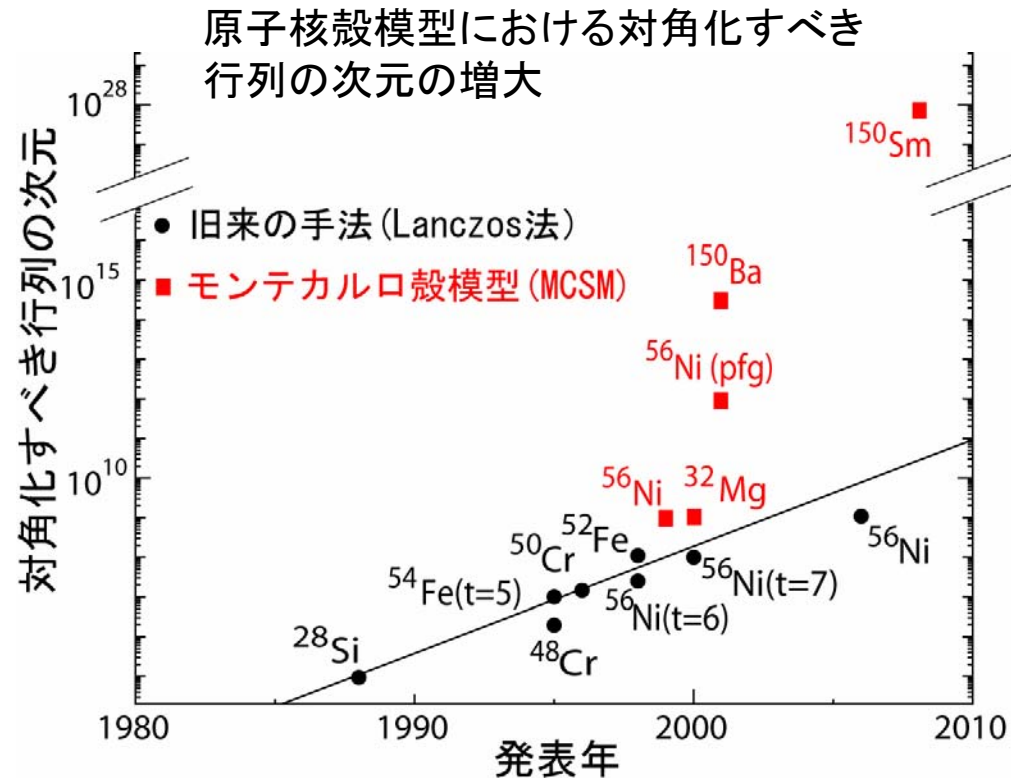
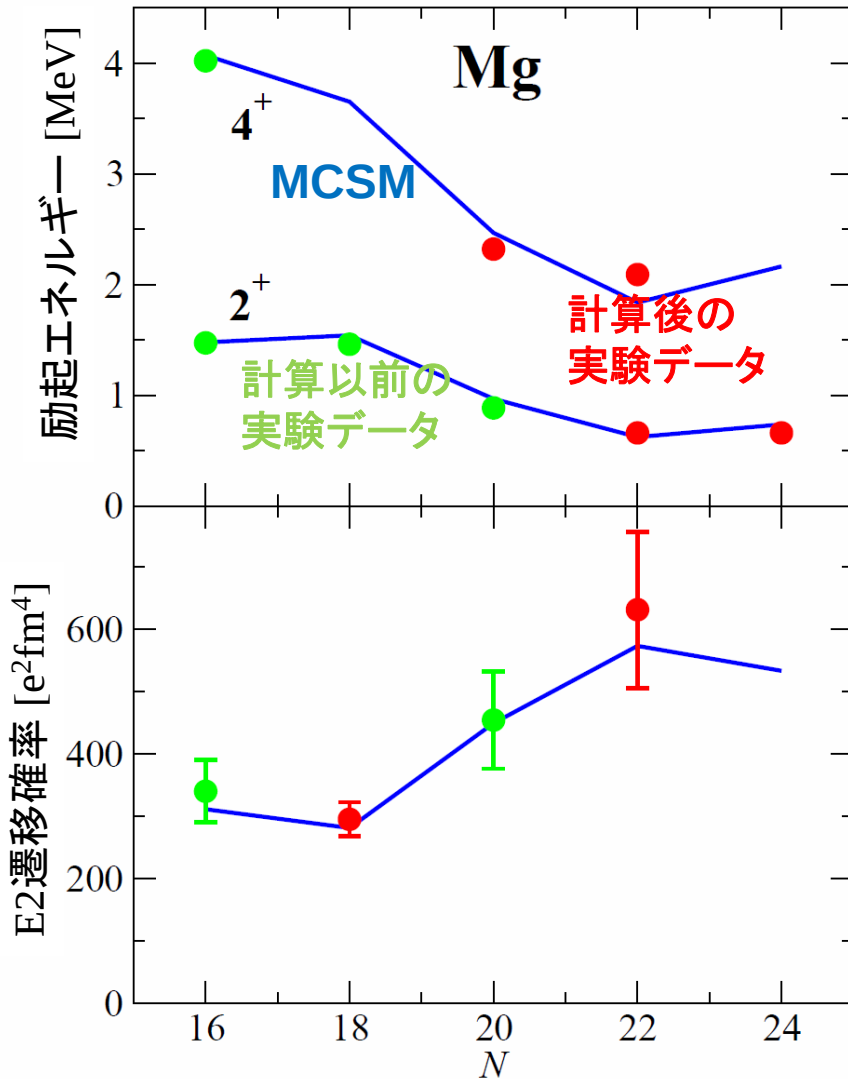
大プロジェクトを
実現できるチーム体制
シニアスタッフ
+ 若手スタッフ
+ マンパワー (PD, 院生)

計算機の発達が計算の向上、計算方法の開発、理論モデルの進化に直結
理論モデル・計算コードの変化が頻繁、新しい理論手法も生まれ発展

大規模殻模型計算の例

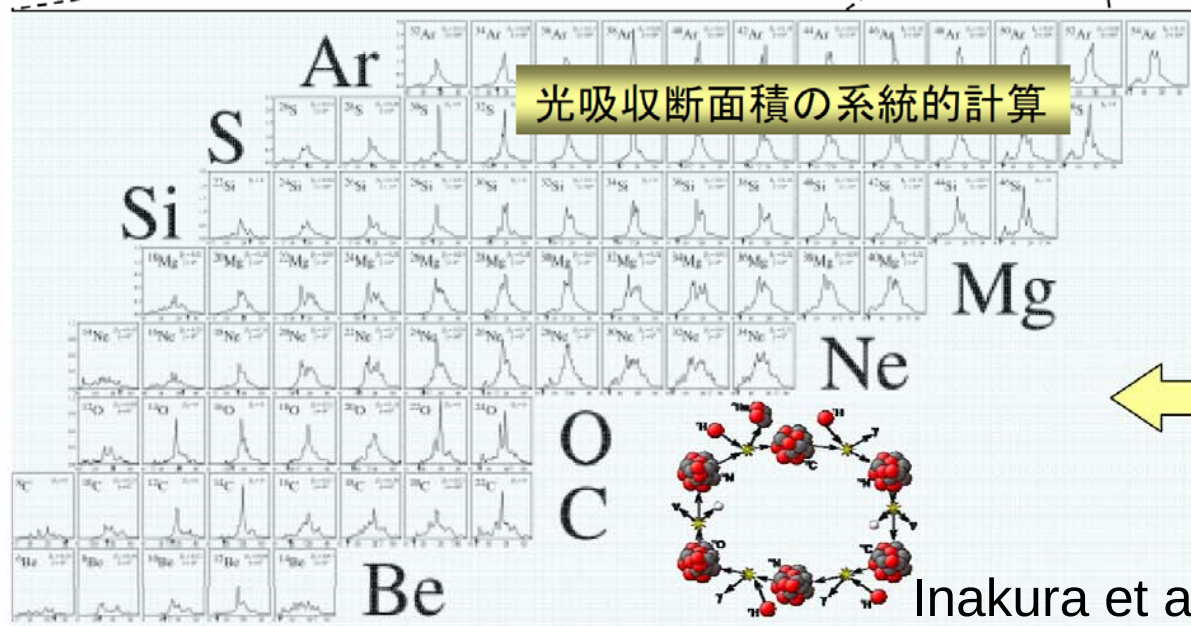
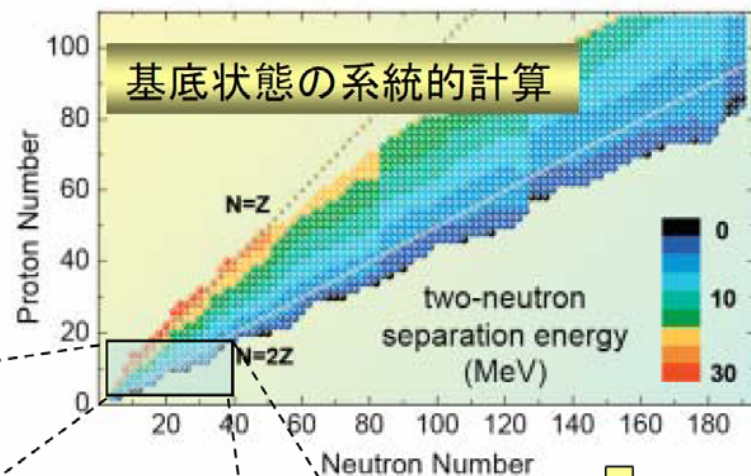
大塚, 本間, 水崎,
宇都野, 清水

- 中性子過剰核で魔法数が消滅するなどこれまでの常識を破る実験データ
- モンテカルロ殻模型(MCSM)計算: 高い予言能力を持つが、中重核、奇核などではより大規模な計算が必要となる



シミュレーションで原子核の構造・反応を調べる

密度汎関数理論を用いて、コンピュータ上に存在可能なあらゆる原子核を作り出し、その性質を調べる。現在世界最高レベルの加速器を用いても合成が難しい原子核の性質を解明。宇宙進化、物質の創生に深く関わり、また原子炉シミュレーション、核変換シミュレーションの基礎データとしても利用可。



時間依存コーン・シャム方程式

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} |\psi_i(t)\rangle = (h_{KS}[\rho(t)] + V_{\text{ext}}(t)) |\psi_i(t)\rangle$$

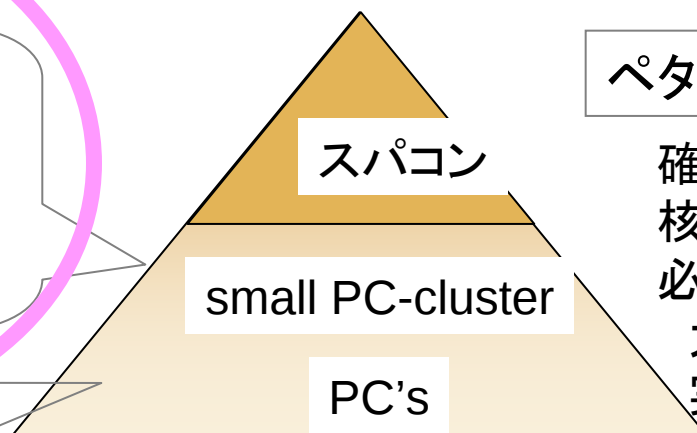


中性子過剰核の光吸収過程の実時間応答

広い核領域の様々な現象を 多数の理論計算(模型・手法)でカバー

質量数や研究対象に応じて
小規模ユーザーから
大規模ユーザーまで
連続的に分布

小さな研究
グループが多数
(独創的、専門化)



ペタ級の大規模計算

確立した模型で広範囲な
核データを提供

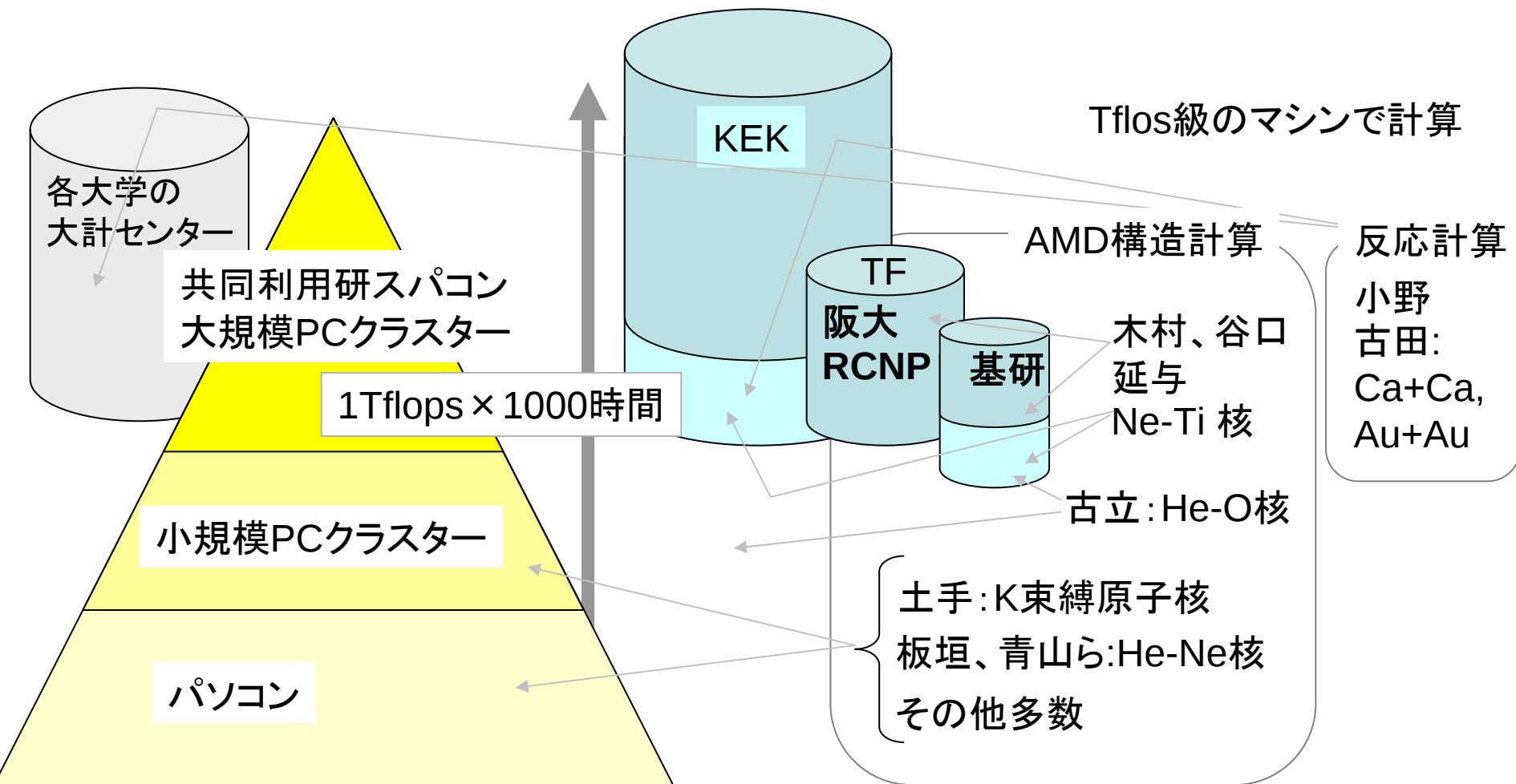
必要条件:

大プロジェクトを
実現できるチーム体制
シニアスタッフ
+ 若手スタッフ
+ マンパワー (PD, 院生)

計算機の発達が計算の向上、計算方法の開発、理論モデルの進化に直結
理論モデル・計算コードの変化が頻繁、新しい理論手法も生まれ発展

AMD計算の現状(計算規模やfacility)

AMD=反対称化分子動力学



原子核計算の現状と今後

原子核の理論研究の現状と特徴

- ・数値計算が主流
- ・現象に応じた様々な理論モデルが多数ある
研究対象によって小規模から大規模ユーザーまで連続的に分布
小さな研究グループが多数
- ・計算機の発達が計算の向上、
計算方法の開発、理論モデルの進化に直結
- ・理論モデル・計算コードの発達が顕著、変化も頻繁

今後

- ・計算環境の裾野を広げ、
理論モデルの進化、新しい理論モデル・手法の開発、
萌芽的研究などを促進する必要性。
- ・大プロジェクトを推進するチーム作りが必要
 1. 既存モデルで広範囲な核データを提供するプロジェクト
 2. 多様な理論研究を連携させた活動。
 3. 大目標を目指すプロジェクト(理論手法の構築から実現まで):
 - 3-1 第一原理的な理論による系統的計算の実現
 - 3-2 微視的な核反応計算(分裂、融合、capture, breakup)

