

日本の核物理の将来 計算核物理WG 報告

ドラフト原稿の進捗状況

2011/9/17

日本物理学会 2011 年秋季大会 @ 弘前大学

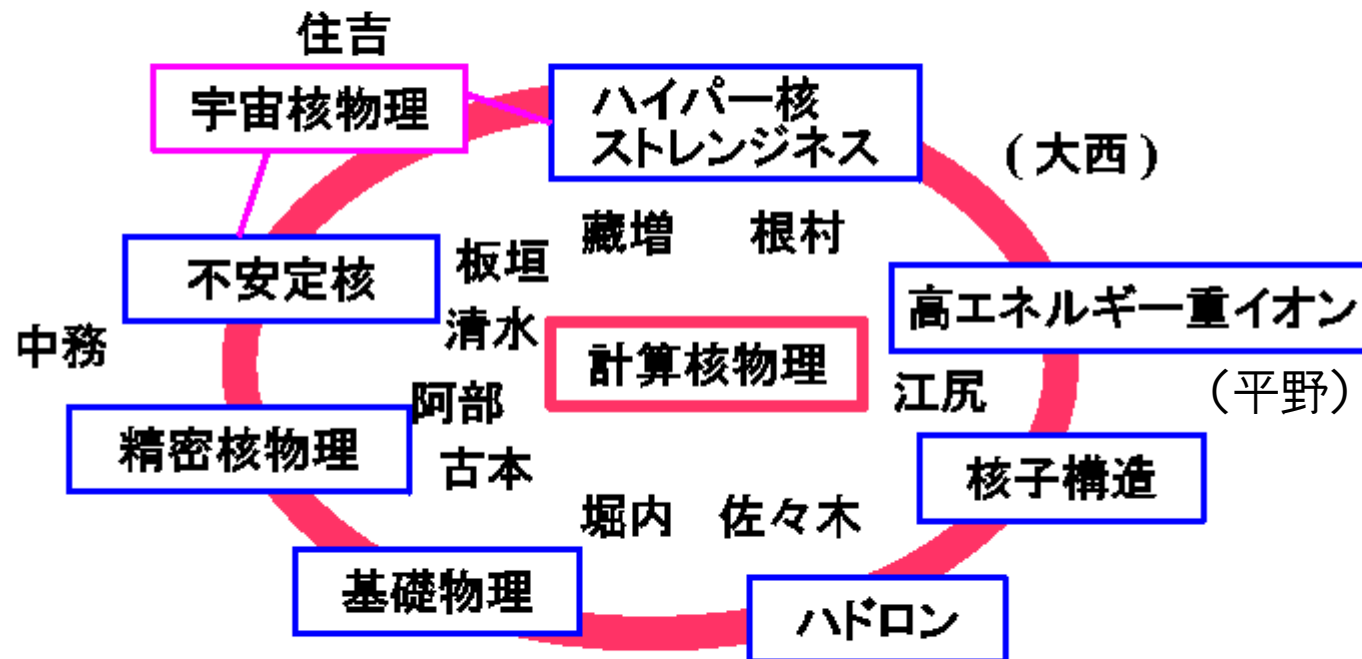
根村英克（筑波大学）

メンバ構成

- ★ 江尻 信司 (新潟大) 高温高密度格子 QCD
 - ★ 佐々木 勝一 (東大理) 格子 QCD によるハドロン物理
 - ★ 根村 英克 (東北大理工、代表) 少数系・核力
 - ★ 堀内 渉 (理研) 少数系物理
 - ★ 阿部 喬 (東大理) 殻模型、格子 EFT
 - ★ 板垣 直之 (京大基研) クラスタモデル
 - ★ 古本 猛憲 (京大基研) 核反応
 - ★ 清水 則孝 (東大理、副代表) 殻模型計算
 - ★ 中務 孝 (理研) 原子核密度汎関数理論
 - ★ 住吉 光介 (沼津高専) 宇宙核物理
 - ★ 藏増 嘉伸 (筑波大、オブザーバー) 格子 QCD による原子核の直接構成
-
- ★ 大西明 (京大基研、世話人)

WGの構成

- (広い意味での) 核物理: クォーク・ハドロン・原子核が関与する物理全て
- 計算核物理: 理論的な面から多くの分野を俯瞰する役割



現在の **WORK** の状況 (i)

- ★ 2010/11/3 「日本の核物理の将来」
kickoff meeting @ 理研
- ★ 2011/12/28 計算核物理 WG kickoff meeting
 - 顔合わせ +ブレインストーミング
中村さんの設問をもとに各自で原稿作成
- ★ 2011/2/10 ドラフト原稿検討ミーティング
 - 原稿の前半部分 (イントロ) を中心に議論
- ★ 2011/3/11 地震

- ★ 2011/7/29 タウンミーティング @RCNP
- ★ 2011/9/2 第三回原稿検討ミーティング
- ★ 2011/9/15 第一稿提出

ミーティングの議事録など：

[http : //www.nucl.phys.tohoku.ac.jp/~nemura/LRP/](http://www.nucl.phys.tohoku.ac.jp/~nemura/LRP/)

「日本の核物理の将来」レポート:目的と趣旨

- 経緯:春の学会にて核物理委員会から提案。核理論委員会も賛同。
- 目的
 - 日本の核物理は、21世紀に入りRIBF、J-PARCという世界の拠点となる巨大研究施設の建設により飛躍的な発展を遂げようとしている。こうした転換期に、5年後、10年後、20年後、さらには、より先の将来を見据えて、核物理をどう展開し発展させるか(させたいか)について、若手を中心とした議論の場を設け、それをもとにレポートにまとめることを目指す。
- 趣旨
 - 日本の核物理の将来について、その方向性を示す。
 - 核物理の将来像について、特に若手研究者が各自じっくり考え、議論する機会を設ける。
 - 日本の核物理に今どんな研究テーマがあって、それが今後どうなっていくのかを、研究者が互いに知る機会とする。
 - RIBF, J-PARC, RCNP, ELPHなどの国内拠点施設や、その他の加速器施設の将来計画を合わせて考える機会ともする。
 - このレポートはあくまでも自分たちのためのレポートであり、外部向けのレポートではない。もちろん外部向けのレポート作成の材料とはなりうる。

現在の WORK の状況 (ii)

- ★ インTRODakション・現状分析構成
 - 現状分析
 - 計算機を軸として分野で切り分けず、横断的に
 - 大まかなくくりとしては、
 - - クォーク・グルーオン多体系
 - - 核子多体系 (核構造、核反応)
 - - 宇宙核物理
 - 共通項は？
 - 計算機の高性能化、アルゴリズムの進化
 - より詳細に知りたい人向けに、重要トピックについて (教科書的な) 参考文献を挙げる

現在の WORK の状況 (iii)

★ 現状分析

- **クォーク・グルーオン多体系**
- 格子QCDによるハドロン構造
 - シミュレーションから、本当のQCD計算へ
 - 2+1 フレーバ、空間サイズ $\sim 3\text{fm}$
 - 中間子系の高精度研究 (π , K 中間子のレプトン崩壊、小林-益川理論のユニタリティの精密検証など)
 - 軽いバリオンを含むハドロンの質量、共鳴状態
- 格子QCDによるハドロン少数多体系
 - 格子QCDによる散乱位相
 - 格子QCDによる核力、三体力、ハイペロン力
 - 格子QCDによる ${}^{3,4}\text{He}$ 核の直接構成
- 高温高密度でのQCD物性
 - RHIC、LHC で達成される高温低密度でのQCD物質の精密物理 (相転移温度、熱力学量間の関係式)

現在の WORK の状況 (iv)

★ 現状分析

- 核子多体系
 - 第一原理計算
 - 現実的核力 (NN 散乱、重陽子)
 - 少数多体系 (第一原理計算) の各種の計算法
 - 三体力
 - エキゾチックな構造 (標準的原子核模型に収まらないもの) の理解
 - 連続状態への拡張
 - クラスタモデル
 - クラスタ構造発現のメカニズム (強い斥力芯の処理、ユニタリ変換による有効相互作用)
 - クラスタ・シェル競合
 - 連続状態離散化チャネル結合 (CDCC) 法の開発

現在の WORK の状況 (v)

★ 現状分析

- 核子多体系
 - 殻模型
 - 閉核近傍の原子核の励起エネルギースペクトル、遷移確率、磁気能率などの実験値を、広範な質量領域で再現
 - 殻模型計算アルゴリズムの発展、外挿法
 - HPCI 戦略分野の一部としての活動 (平成 23 年度開始)
 - 密度汎関数
 - すべての原子核の質量、半径、集団励起エネルギースペクトル、遷移確率などの実験値を、普遍的に 1 つのエネルギー汎関数で再現可能。質量については 1 MeV 以下の精度を達成。
 - エネルギー密度汎関数の存在定理 (Hohenberg-Kohn) と、その実用的汎関数の構成法 (Kohn-Sham の方法) による基礎付けと確立
 - 時間依存密度汎関数理論による線型応答計算

現在の WORK の状況 (vi)

★ 現状分析

● 天体核物理

- 中性子星に関連するもの
 - 核物質、エキゾチック物質の解明。(不安定核ビーム実験による中性子過剰核の系統的研究)
- 超新星爆発に関連するもの
 - 状態方程式、ニュートリノ反応、不安定核物理と連携した超新星の数値シミュレーションに基づく研究の発展(球対象を越えた計算の必要性)
- 重元素合成に関連するもの
 - 不安定核における核反応レート (r プロセスでの核データ)
- 原子核物理が宇宙・星の研究で活躍する具体的な道筋が
つくられた

現在の WORK の状況 (Vii)

★ 現状分析

- 現状分析部分の原稿はできつつある。
- 今後全体のページ数を見ながら図、参考文献を追加予定
- 他WGとの調整で修正の可能性

現在の WORK の状況 (viii)

★ 将来の展望

- 中身は現在も議論中
- HPCI 戦略分野の一部としてすでに活動が始まっているものもある
 - (カイラル対称性に基づいた) 格子 QCD によるバリオン間相互作用の決定とその応用
 - スーパー B ファクトリーが実現する超精密素粒子実験の理論解析で必要となるハドロン行列要素の精密理論計算
 - 強い相互作用が織り成す様々な物質形態を QCD に基づいて統一的に研究する。
 - 微視的に導かれた核力から出発する第一原理的な量子多体計算を質量数が 30 を越す中重核領域でも実行可能にし、そのような原子核の構造の統一的解明とエキゾチックな原子核の構造を预言する。
 - 核分裂現象の微視的計算
 - 実空間 3 次元、位相空間 3 次元を完全に考慮しニュートリノ輻射輸送に対するボルツマン方程式を解きながら、輻射流体シミュレーションを行い、超新星爆発機構を第一原理的に解明する。

現在の WORK の状況 (ix)

★ 将来の展望

- このレポートで打ち出したいものを整理すると、
 - 計算核物理WGの活動は、ある特定の物理の課題のもとに集まっている他のWGとは異なる
 - → 具体的な将来の課題としては人それぞれ、いろいろあり得る。
 - HPCI の活動のような綿密な検討を、次々世代計算機後を考えて行うことは難しい。
 - むしろ、次世代計算機、次々世代計算機を駆使して原子核物理が進展したとしても、さらにその先にまだ高性能計算機を駆使して解くべき課題があるということを示すことが重要。

現在の WORK の状況 (x)

★ 将来の展望

原子核（励起状態）の
第一原理計算

高エネルギー重イオン衝突、
有限温度、状態方程式

原子核
（基底状態）の
第一原理計算

核力ならびに原子核の
直接構成

格子QCD計算

天体核物理

現在の WORK の状況 (x)

★ 将来の展望

原子核物理の長年の課題

第一原理計算

- ・ クォーク・グルーオンの力学と、核力や原子核構造・反応の間に直接の結び付き？
- ・ シェル構造とクラスター構造の競合の微視的理解（短距離相関、テンソル相関）？
- ・ 基底状態と励起状態の統一的記述？さらには、
- ・ 極限状態の原子核（QCD物質）との統一的理解（中性子星の理解には必要）？
- ・ エキゾチック核の第一原理からの記述

高エネルギー重イオン衝突、有限温度、状態方程式

格子QCD計算
これまでよりもさらに、各個別の研究課題間の密接なつながりを目指す

天体核物理

原子核（励起状態）の
第一原理計算

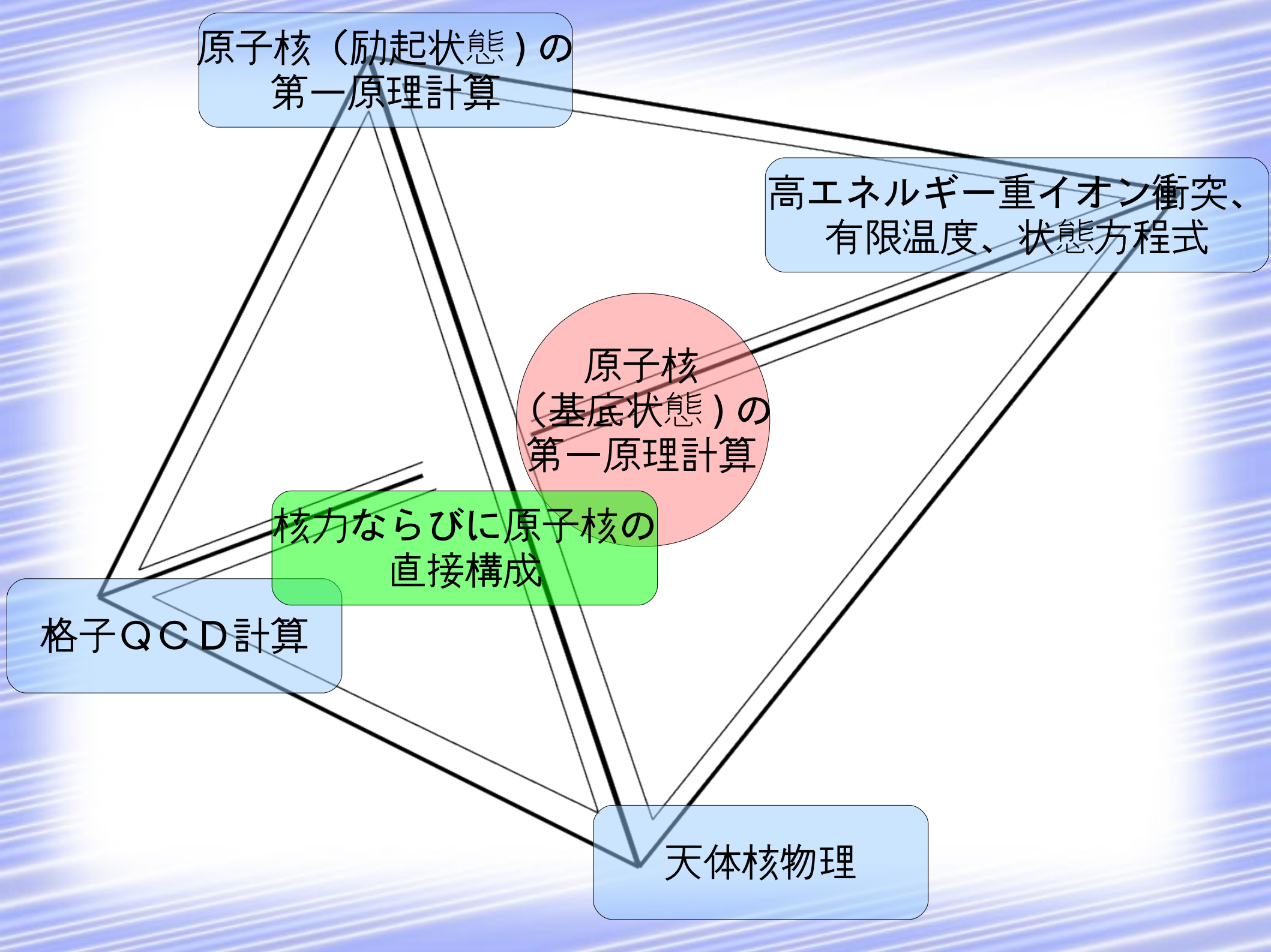
高エネルギー重イオン衝突、
有限温度、状態方程式

原子核
（基底状態）の
第一原理計算

核力ならびに原子核の
直接構成

格子QCD計算

天体核物理



現在の WORK の状況 (xi)

★ 将来展望（7月のタウンミーティング後に仕切り直して現在再検討中。以下はこれまでに挙がっているものの羅列）

- バリオンの弱崩壊に関する遷移行列
- 核子の大きさが格子QCDで再現できるか
- 格子QCDから原子核の（直接及びポテンシャルを経由した）構成（最初のゴールはHe核、その次は魔法数の理解）
- ハイペロンポテンシャル（スピン・フレーバ構造）の解明
- ハイパー核物理の精密化
- エキゾチック核の探索（ストレンジネス、中性子数、陽子数が安定核から離れたもの）
- 有限温度QCDの精密化
- 有限密度QCDに挑む方法の開発
- 励起状態（さらに連続状態）の精密な記述（各種第一原理計算、殻模型）
- 密度汎関数理論による中性子過剰核の研究（ドリップラインの決定）
- 時間依存密度汎関数の開発および核分裂現象への応用
- 高温高密度での核データを信頼できるものにする
- 3次元ニュートリノ輻射流体計算
- ニュートリノ核反応データの確立
- クォーク物質への相転移の理解
- 超新星爆発メカニズムの定量的理解（爆発エネルギー）

報告書はまだまだ改善中です。
皆様からのご意見が頂ければありがたいです。

[http : //www.nucl.phys.tohoku.ac.jp/~nemura/LRP/](http://www.nucl.phys.tohoku.ac.jp/~nemura/LRP/)