

日本の原子核の将来ワーキンググループ

不安定核分野

(不安定核・超重核・宇宙核)

報告

大阪大学核物理研究センター

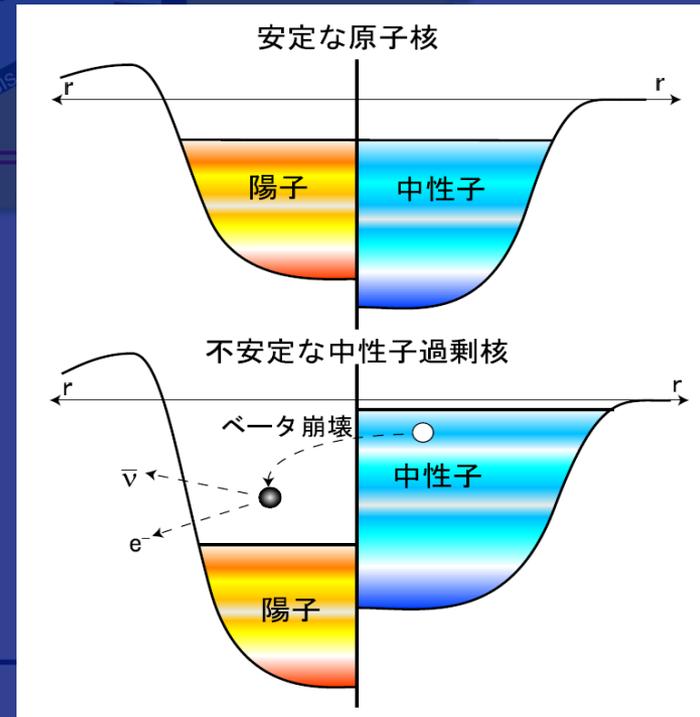
青井考

1. 不安定核概観
2. 原子核の4つの見方
1, n , A , ∞
3. 必要な新施設

- 不安定核に現れるエキゾチックな現象を発見し理解する。
- 不安定核を研究することで「原子核」を理解する。
- 天体中での元素合成

原子核研究は中性子と陽子からなる多体系の物性研究
 安定線から離れ、様々な条件をコントロール

- アイソスピン (核子間アイソスピン依存力)
- 束縛エネルギー
- 密度
- 中性子と陽子のフェルミエネルギー差
- 価核子軌道の量子数
- 中性子数と陽子数の組み合わせ



Neutrons
(Isotopes)

- 原子核の存在はどこまで広がっているのか？
- 安定の島は存在するのか？ 人類はそこに到達し得るのか？
- 殻構造は安定線から離れた領域でも原子核の基本構造たりうるのか？
- 核子相関は不安定核に新しい相をもたらすか？
- 自発的対称性の破れは原子核にどのような形を生み出すのか？
- 中性子物質は固いのか？ 柔らかいのか？
- 我々の世界を形作る元素はどのようにして作られたのか？

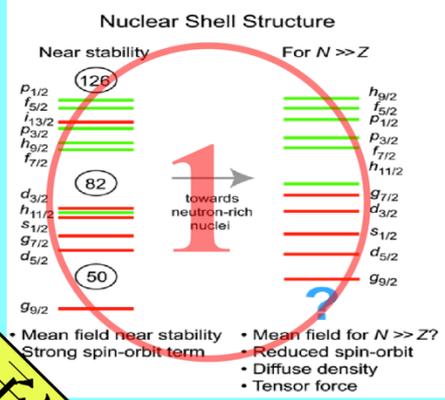
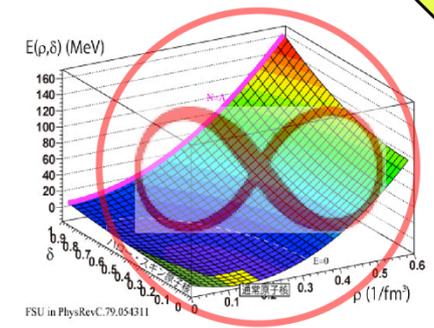
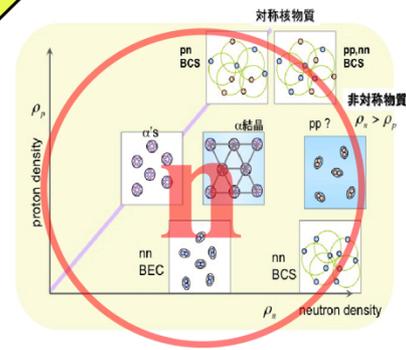
原子核の4つの見方

- ①** 一粒子運動 核子の運動は独立粒子描像でよく近似できる。
Simplicity in Complex Nuclei
- ②** n 核子間相関 一粒子運動する核子間には相関が働いている。
多体系としての豊かな姿、秩序。
 α クラスター、超流動状
- ③** 集団自由度
変形 孤立した有限多体系 \rightarrow 形
- ④** 状態方程式 核物質としてのマクロな性質。

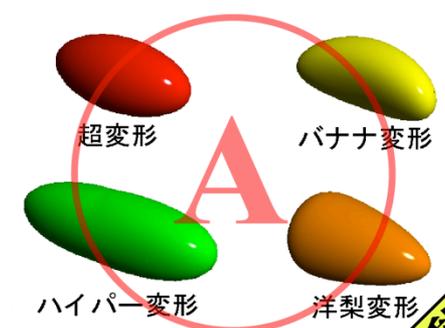
原子核の4つの見方

n核子相関

無限核物質



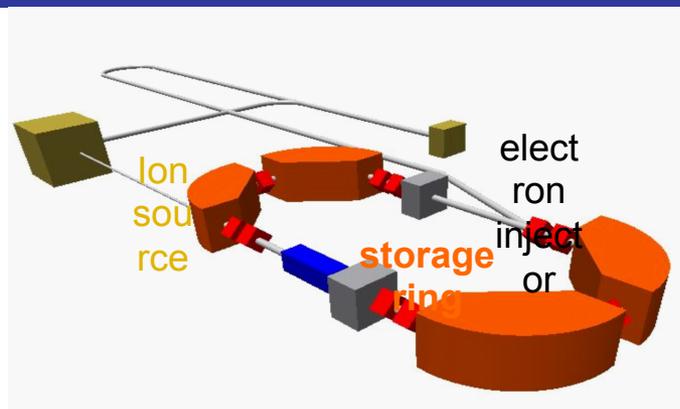
粒子運動



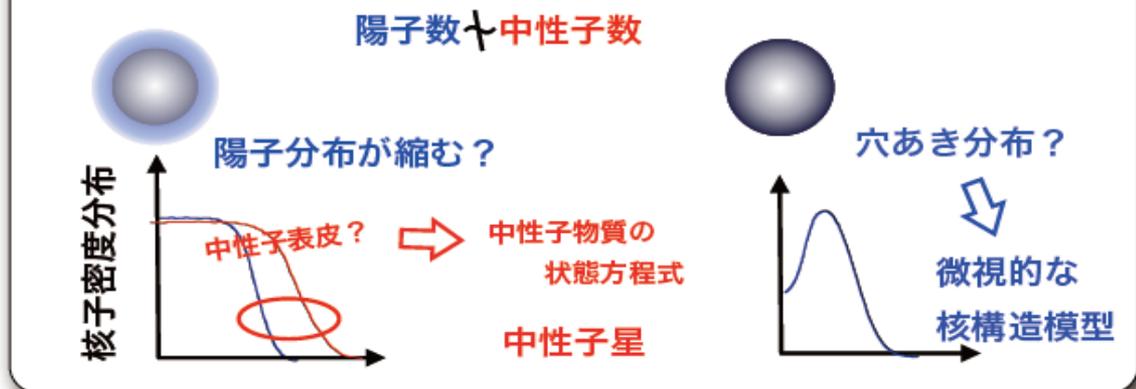
集団運動自由度

- 弱束縛核子による一粒子波動関数の変容
→ eg. 中性子ハロー/スキン
- 陽子-中性子数の非対称による平均場の変容
スピン軌道力・テンソル力・三体力効果
→ eg. 魔法数の発現・消失

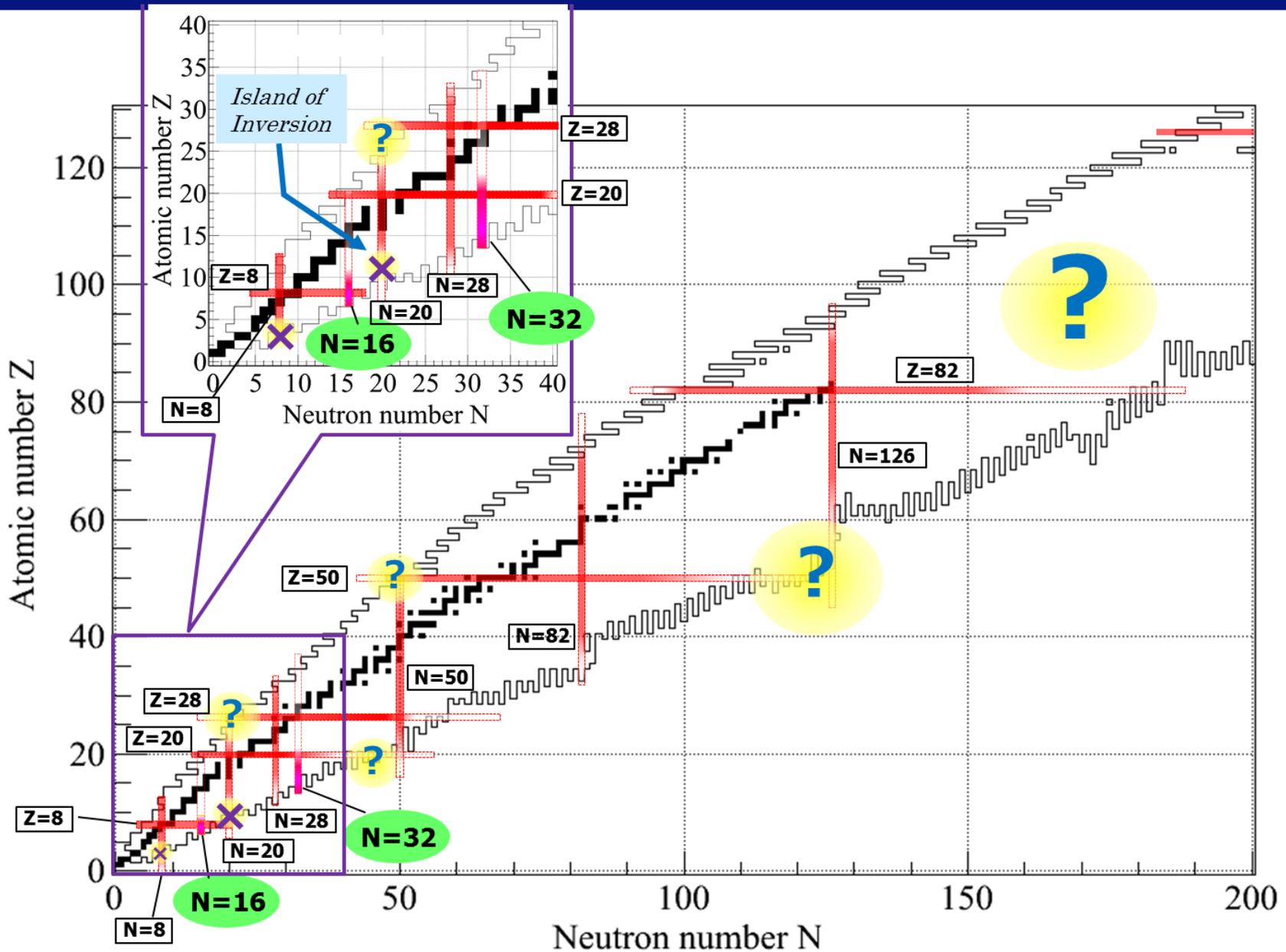
SCRITによる電子散乱



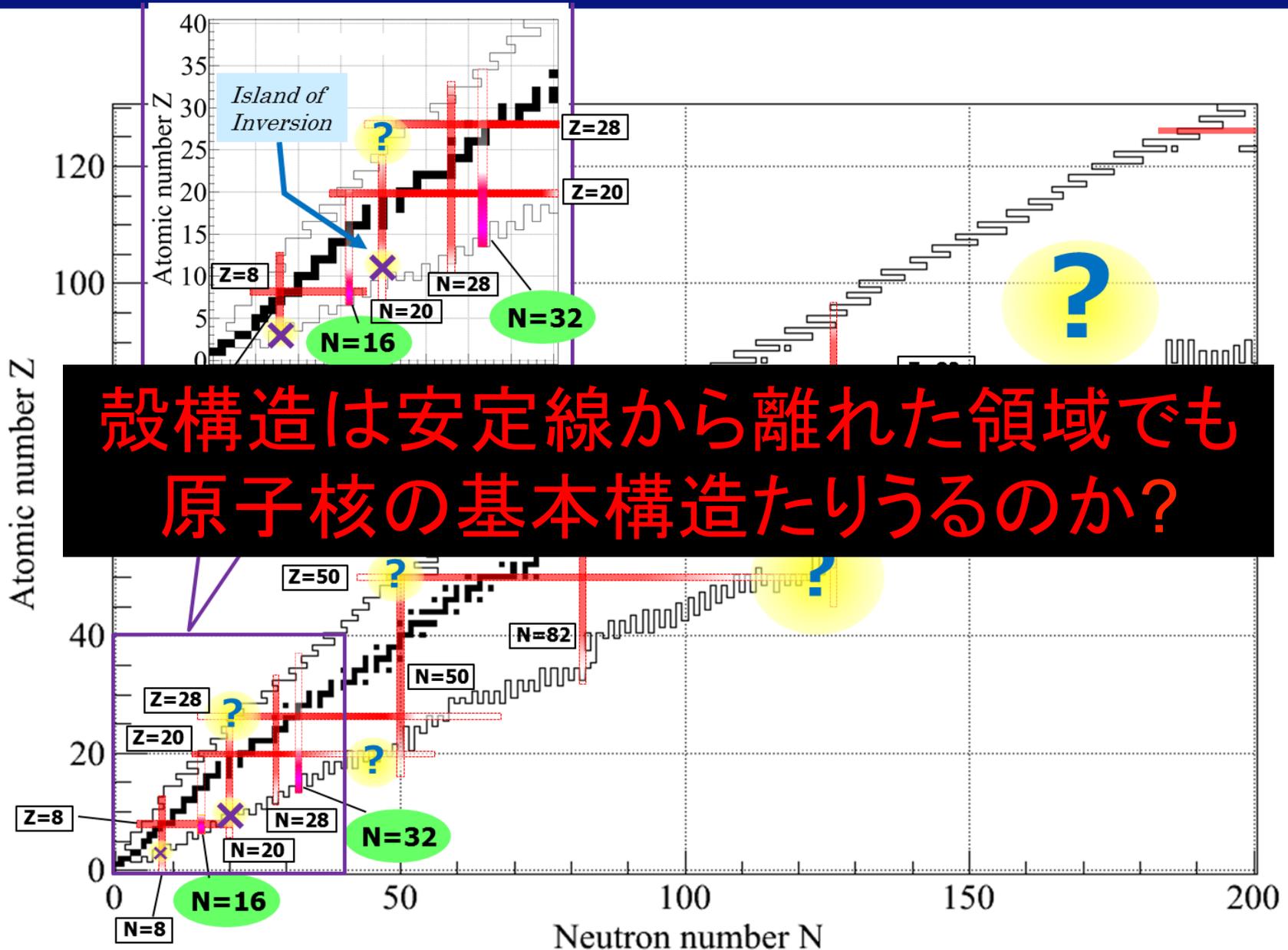
密度分布



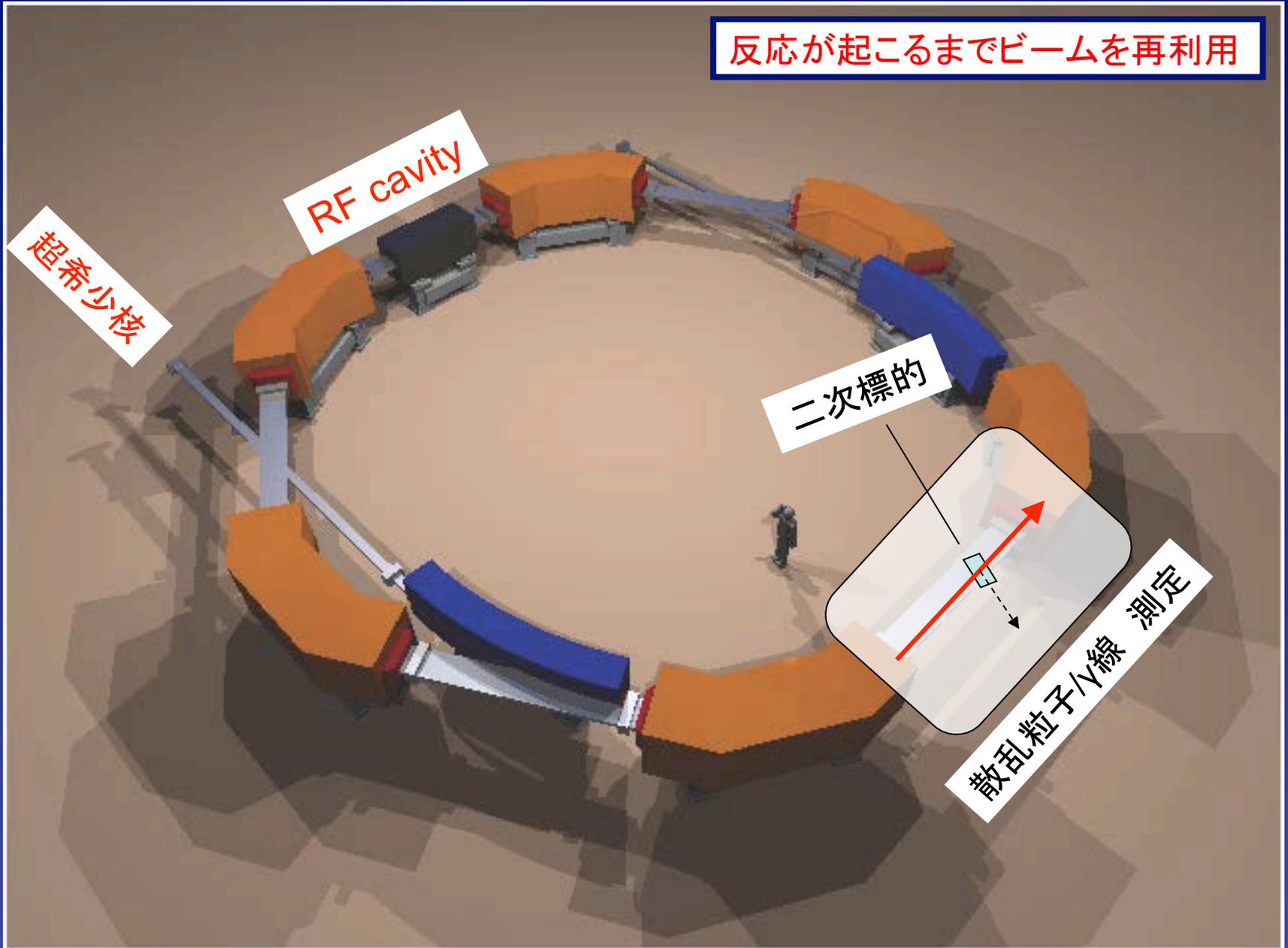
① 不安定核における一粒子状態の変容

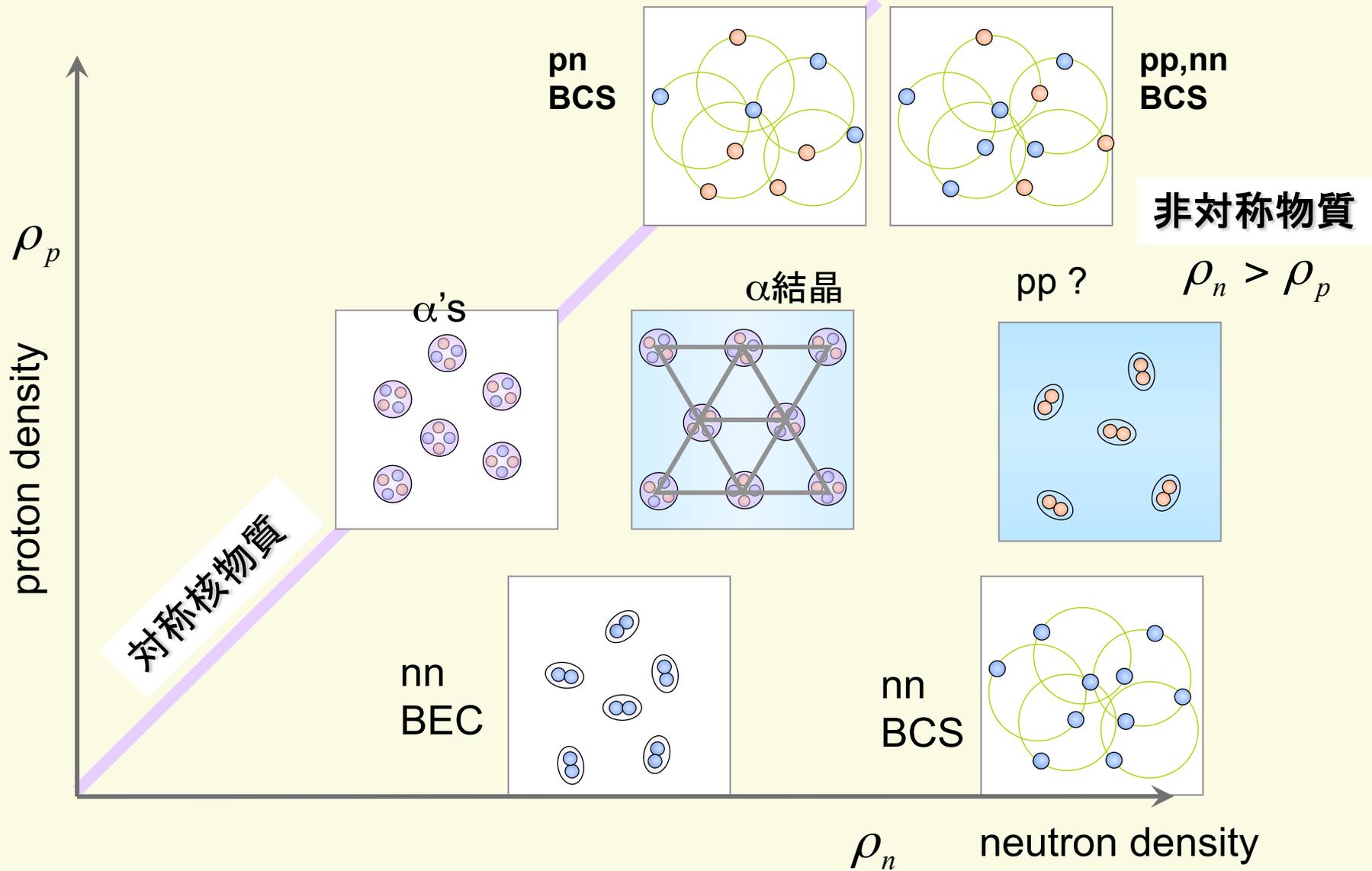


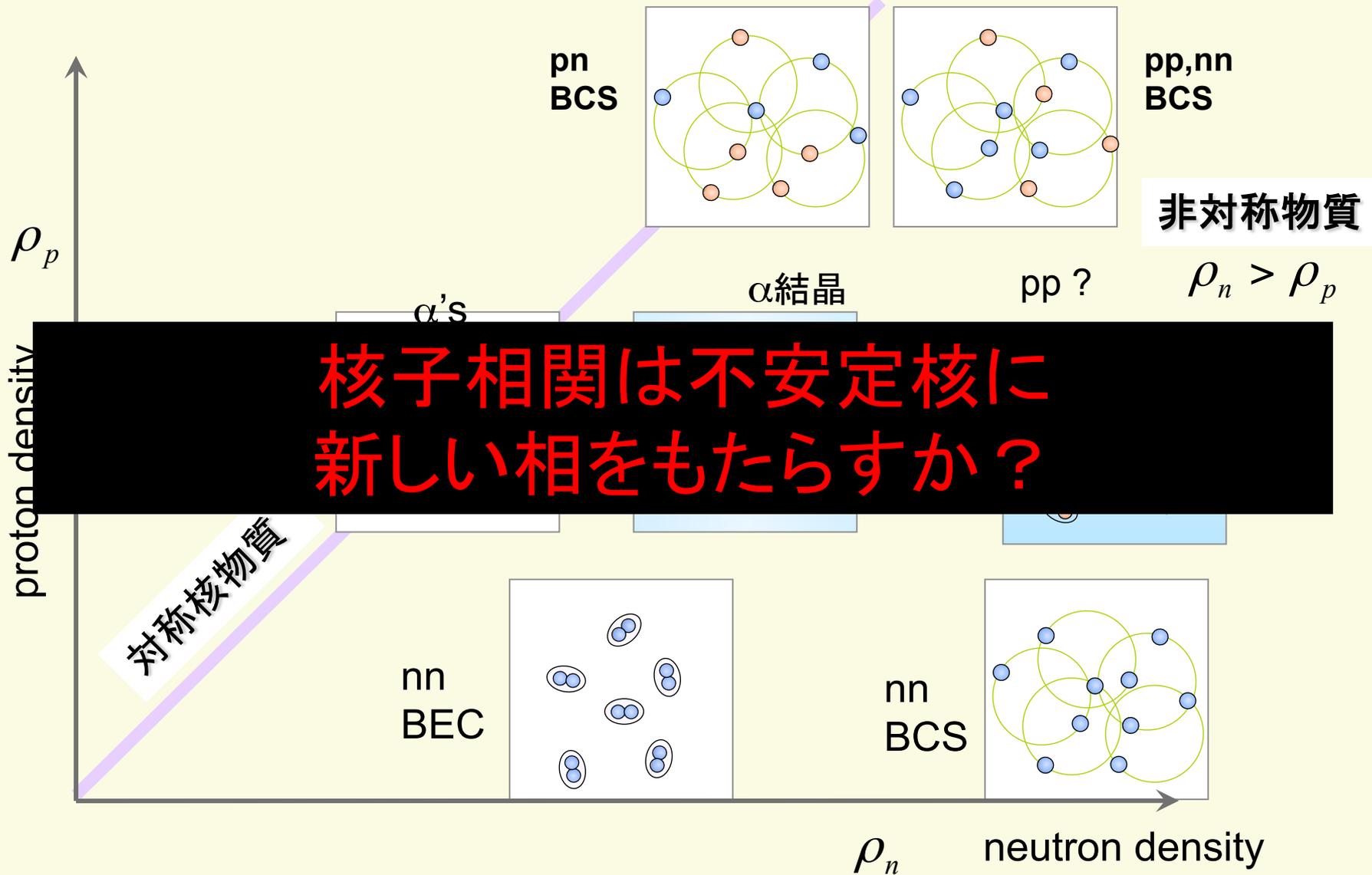
① 不安定核における一粒子状態の変容



反応が起こるまでビームを再利用







原子核：孤立した有限多体系、「表面」の存在 → 形

自発的に対称性を破り変形 : 原子核に特徴的な量子現象

– エキゾチック変形

ほとんどの変形がプロレート

オブレート変形の探索

プロレート優勢の原因の解明

エキゾチック変形状態の探索

ハイパー変形、三軸非対称変形、
バナナ形、正四面体形、...

陽子変形 ≠ 中性子変形

– 「量子的変形」

変形共存(オブレート・プロレートmixing)

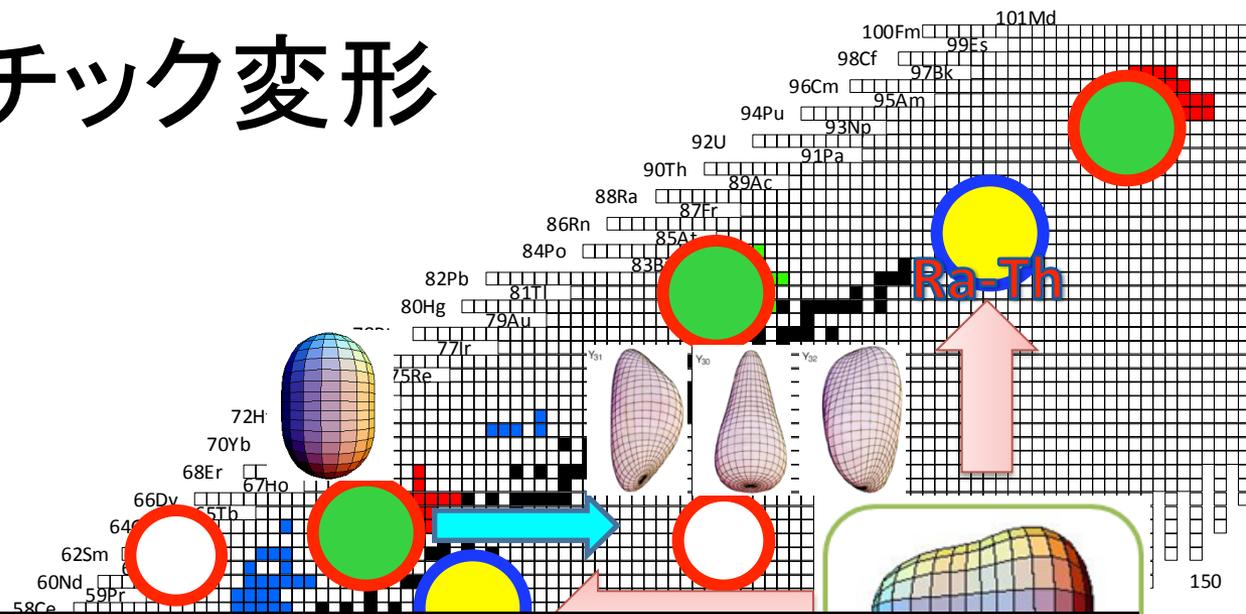
多粒子系の量子トンネル効果

ドリップ線近傍核のソフト変形

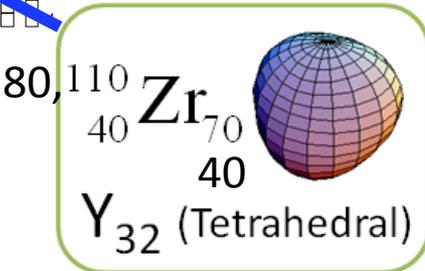
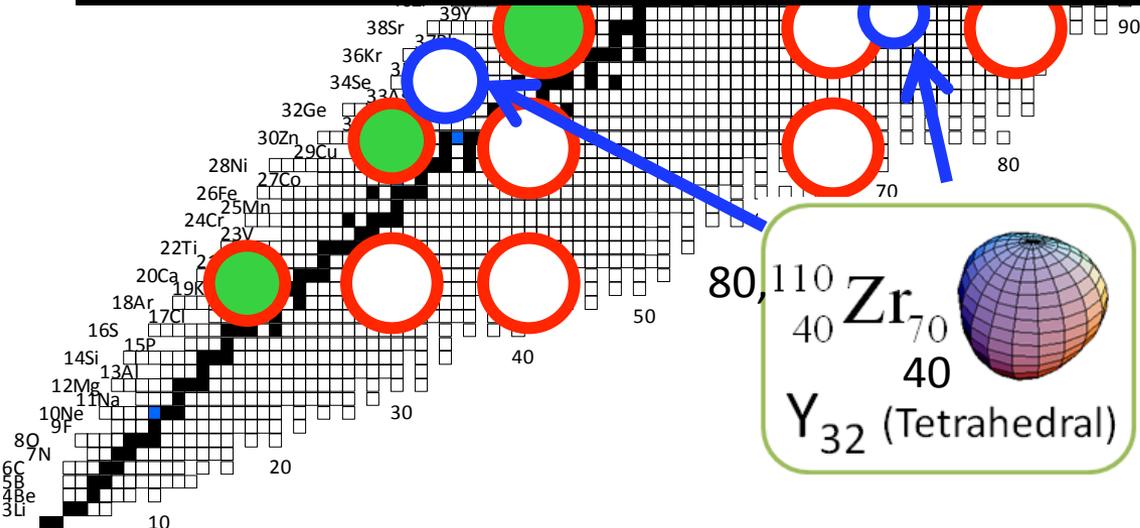


エキゾチック変形

-  Observed SD
-  Predicted SD

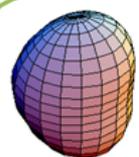
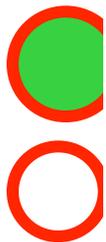


自発的対称性の破れは
原子核にどのような形を生み出すのか？



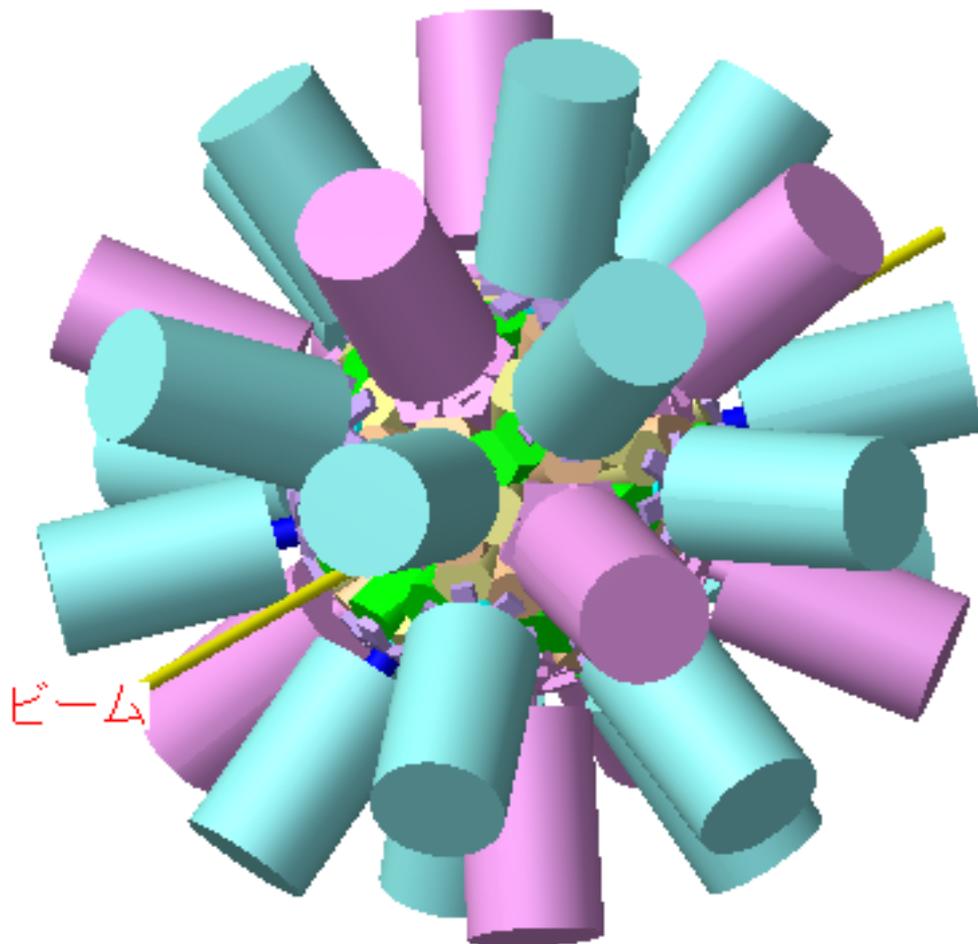
-  Observed Octupole
-  Predicted Octupole

トラッキング型4πGeボール

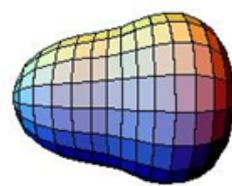
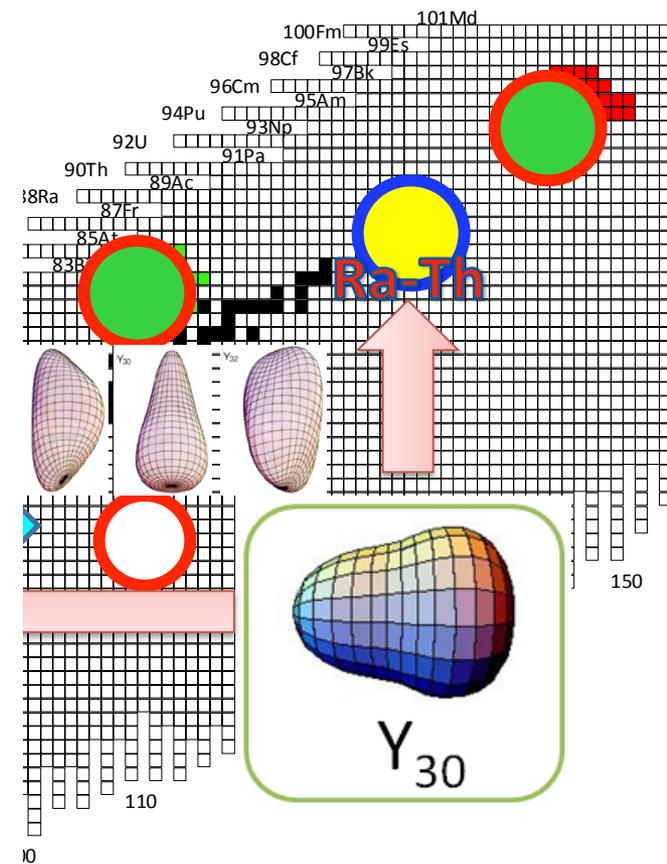


$Y_{31} (1^{st})$

Y_{33}



$\pi-\Delta$



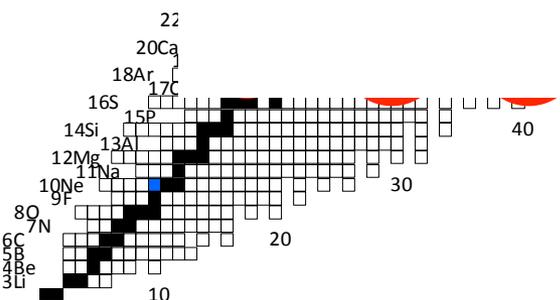
Y_{30}



Observed Octupole



Predicted Octupole



$Y_{32} (\text{Tetrahedral})$

- 原子核/核物質の状態方程式

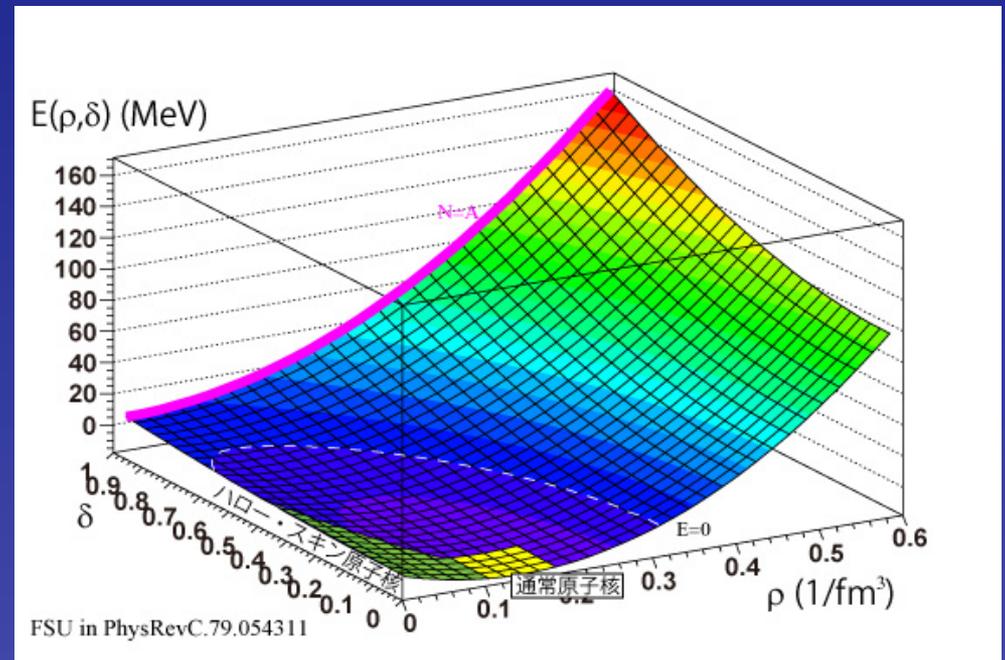
- 核物理としての興味

- 中性子星や超新星爆発の理解

- Symmetric matter ($N=Z$) : 収束の方向

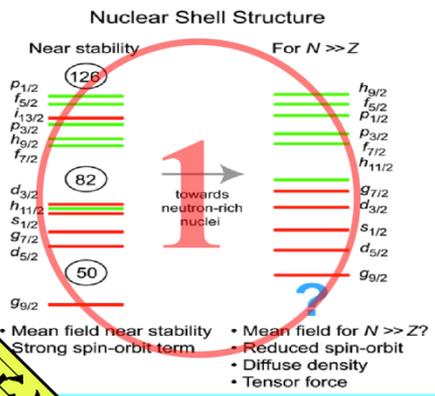
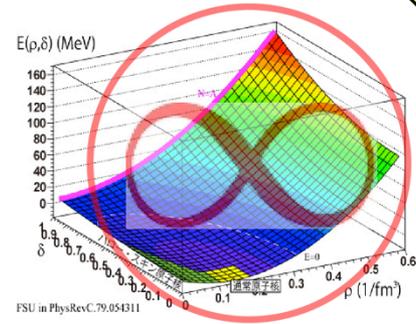
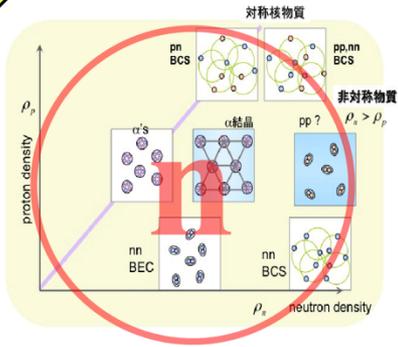
- Asymmetric matter ($N>Z$) はこれから

$$E = E(\rho, (\rho_n - \rho_p) / \rho)$$

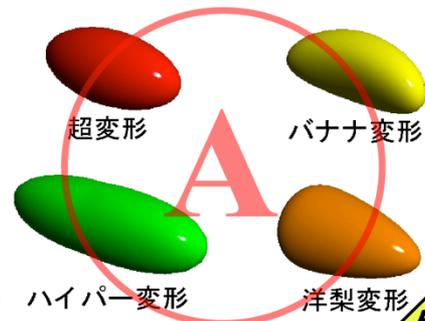


n核子相關

無限核物質



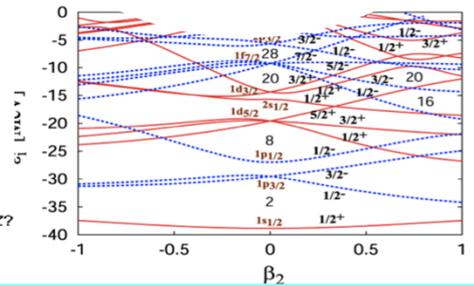
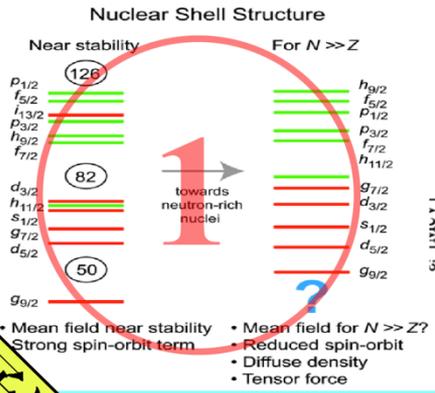
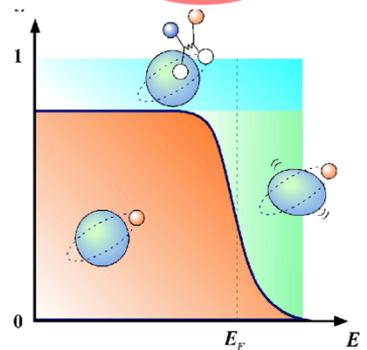
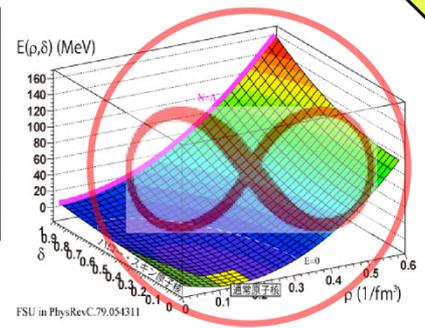
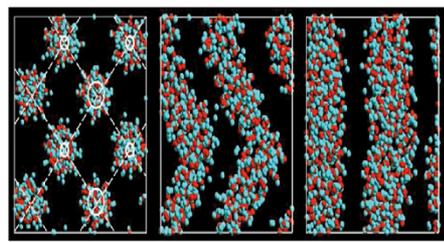
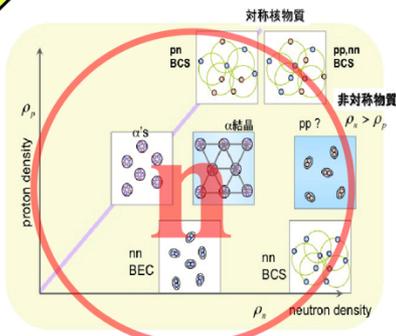
粒子運動



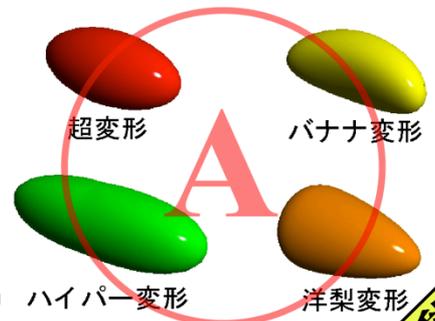
集団運動自由度

n核子相関

無限核物質



	荷電スカラー	荷電ベクトル
単極共鳴 $\Delta L=0$		
極共鳴 $\Delta L=1$		
四極共鳴 $\Delta L=2$		

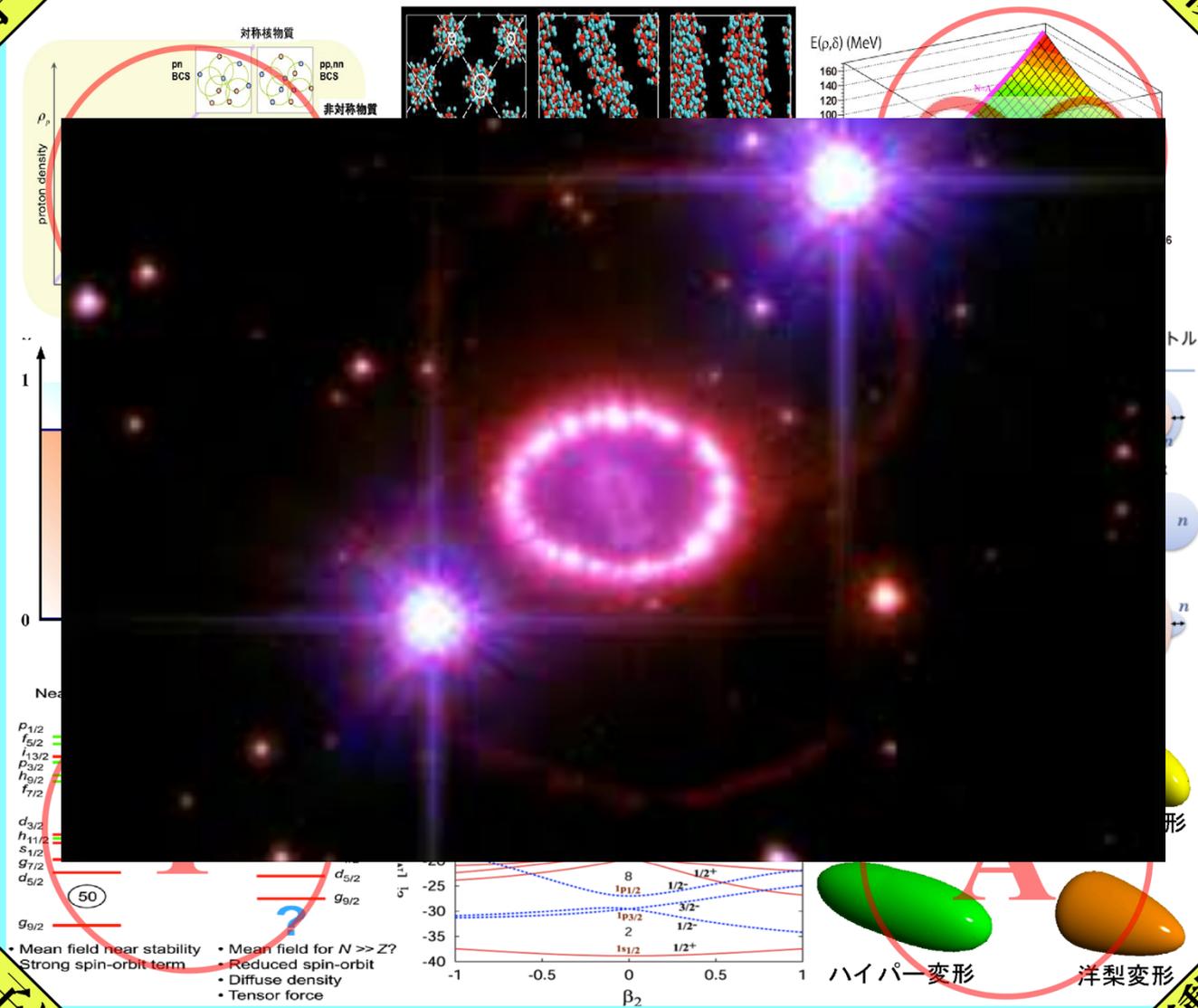


粒子運動

集団運動自由度

n核子相関

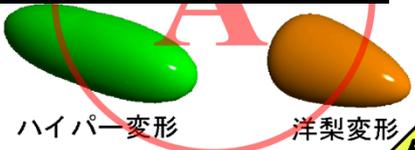
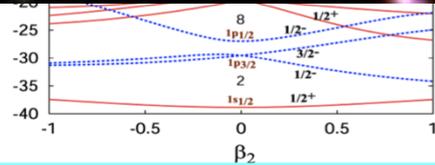
無限核物質



粒子運動

集団運動自由度

- Mean field near stability
- Strong spin-orbit
- Mean field for $N \gg Z$
- Reduced spin-orbit
- Diffuse density
- Tensor force



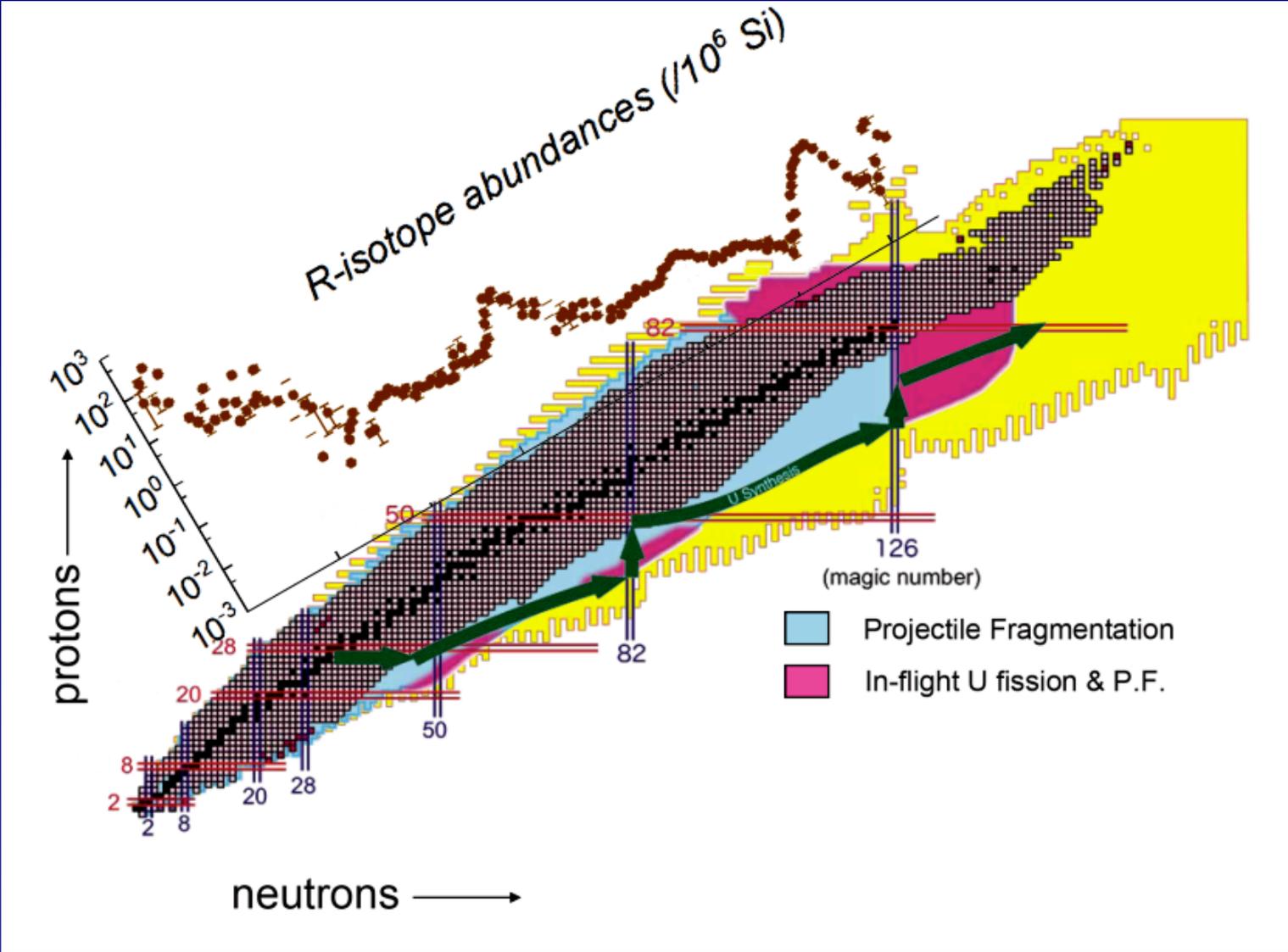
(1) r過程 : 理研RIBF等が本格稼動、中性子過剰核のデータが充実

半減期: $N=50, 82$: RIBF
 $N=126$: KISS (宮武Gr.)
質量(S_n): : SLOWRI / Mass Ring
(n,g)断面積 : 直接測定 @J-PARC
: 実光子@NewSUBARU

**我々の世界を形作る元素は
どのようにして作られたのか?**

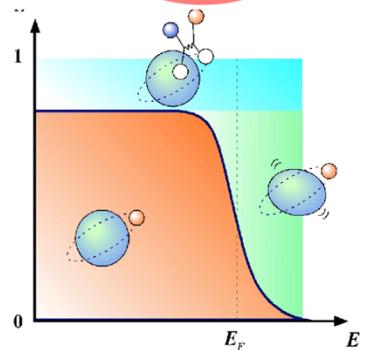
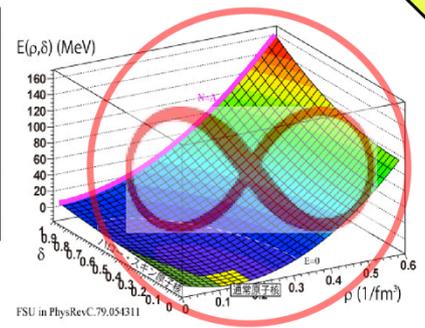
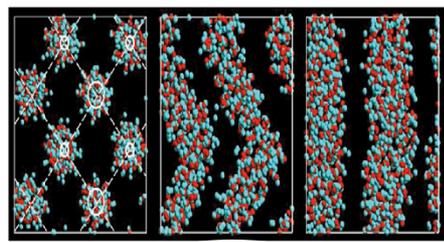
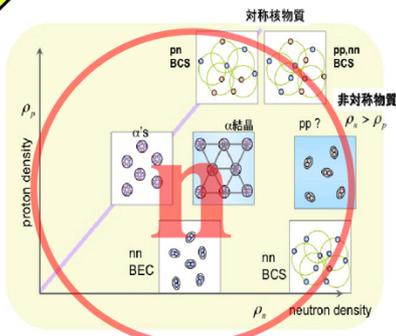
超ウラン元素の核分裂断面積

(2) p核の起源

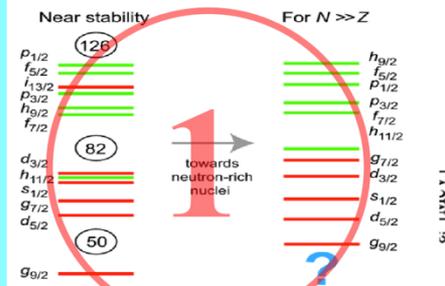


n核子相関

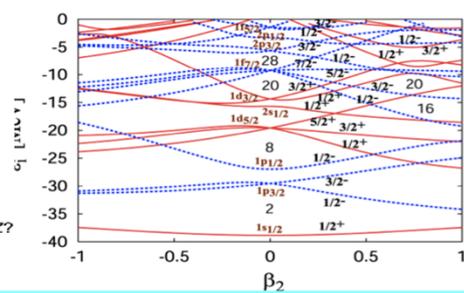
無限核物質



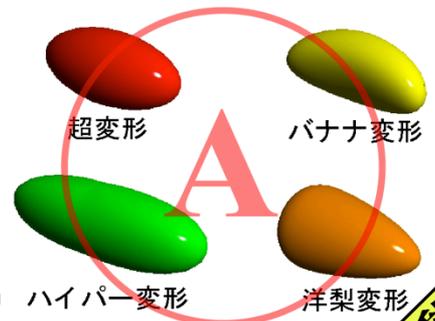
Nuclear Shell Structure



- Mean field near stability
- Strong spin-orbit term
- Mean field for $N \gg Z$
- Reduced spin-orbit
- Diffuse density
- Tensor force



	荷電スカラー	荷電ベクトル
単極共鳴 $\Delta L=0$	ISGMR	IVGMR
双極共鳴 $\Delta L=1$		IVGDR
四極共鳴 $\Delta L=2$	ISGQR	IVGQR

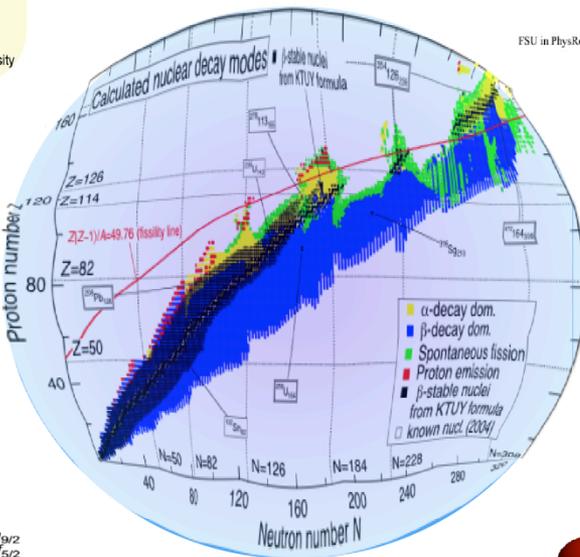
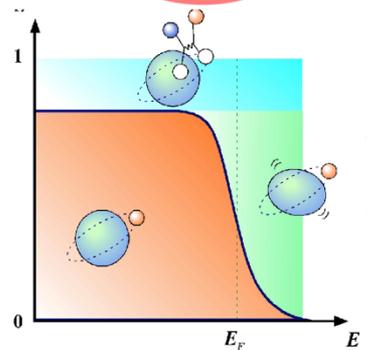
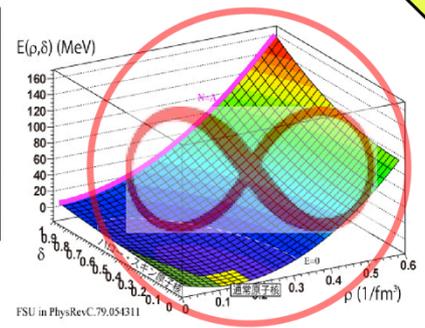
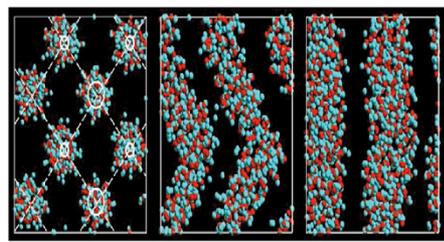
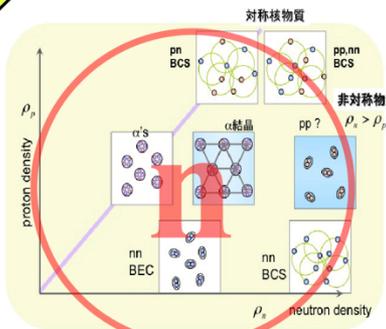


粒子運動

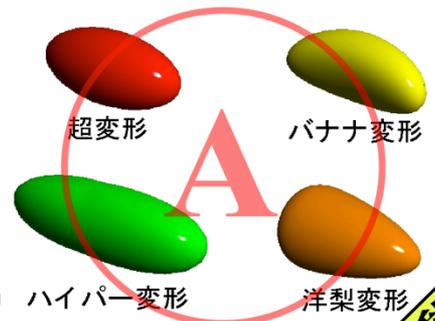
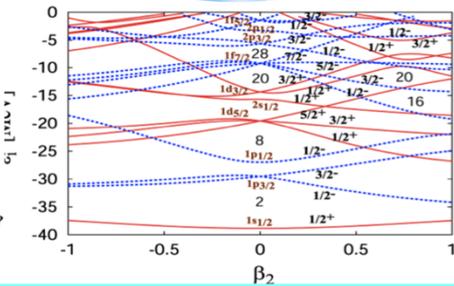
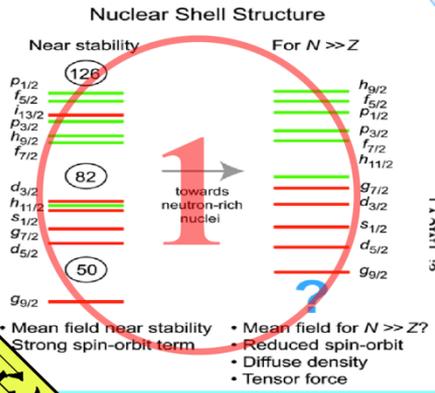
集団運動自由度

n核子相関

無限核物質

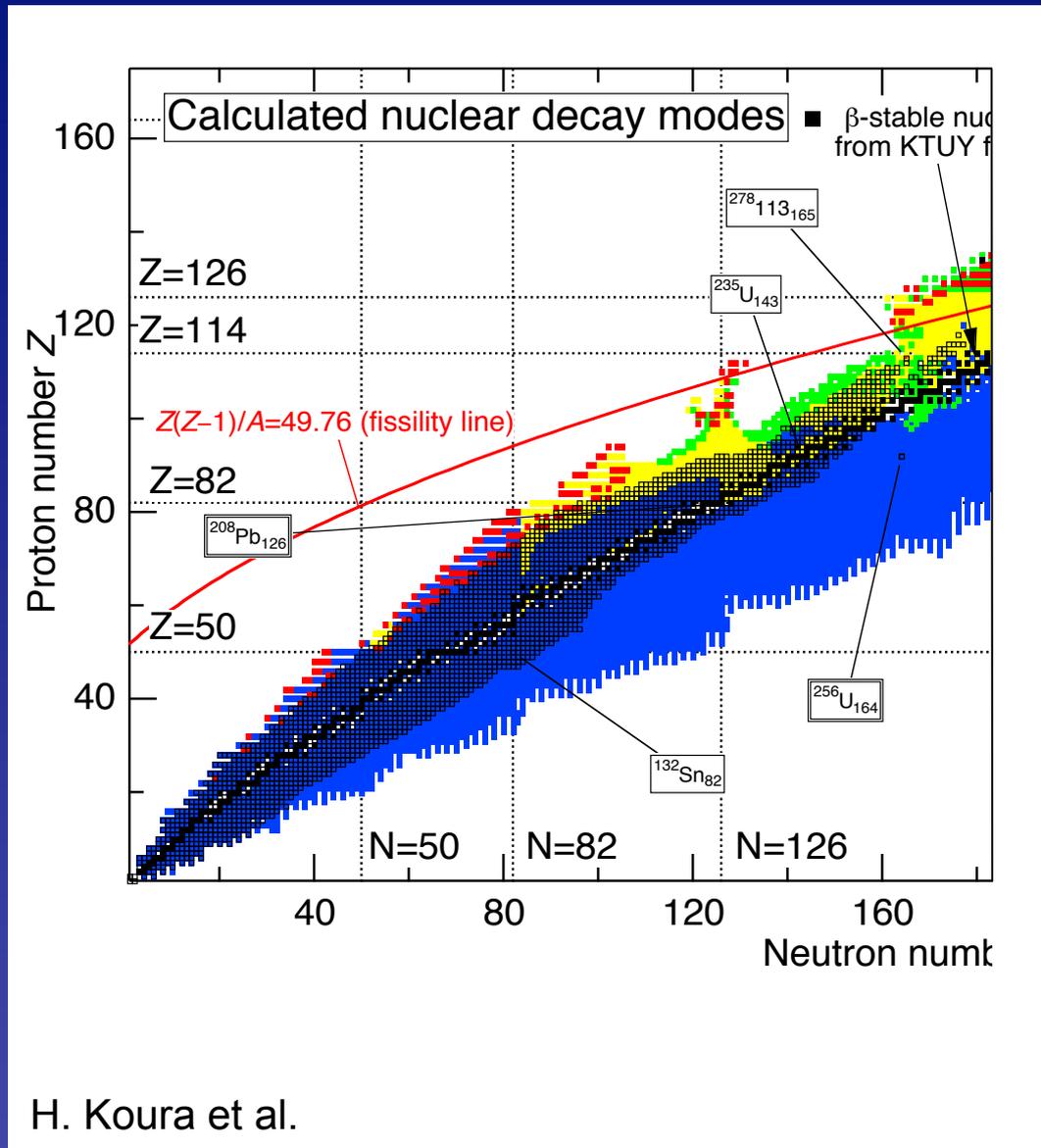


	荷電スカラー	荷電ベクトル
単極共鳴 $\Delta L=0$		
双極共鳴 $\Delta L=1$		



粒子運動

集団運動自由度



• より遠くへ

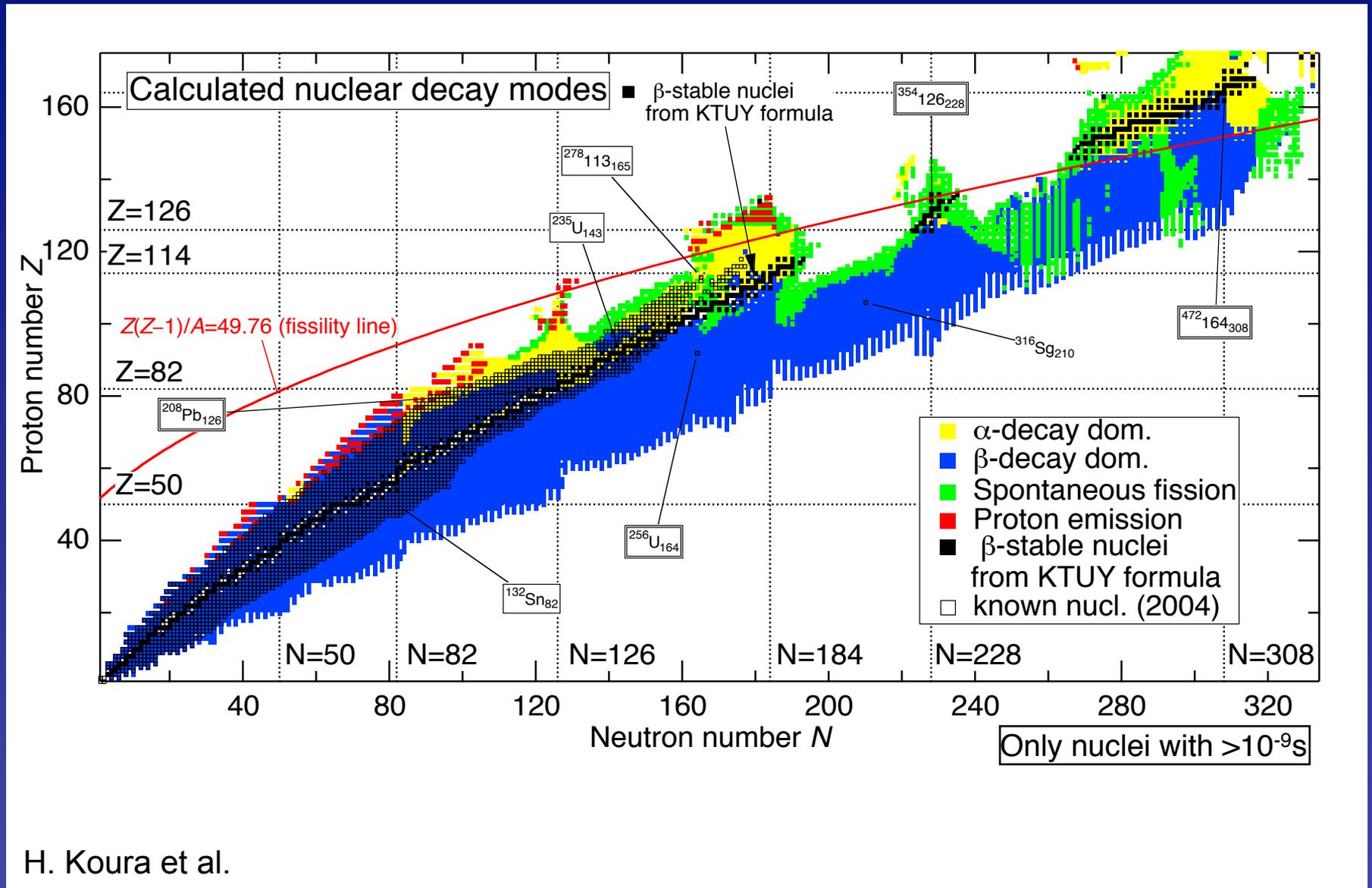
長い同位体鎖

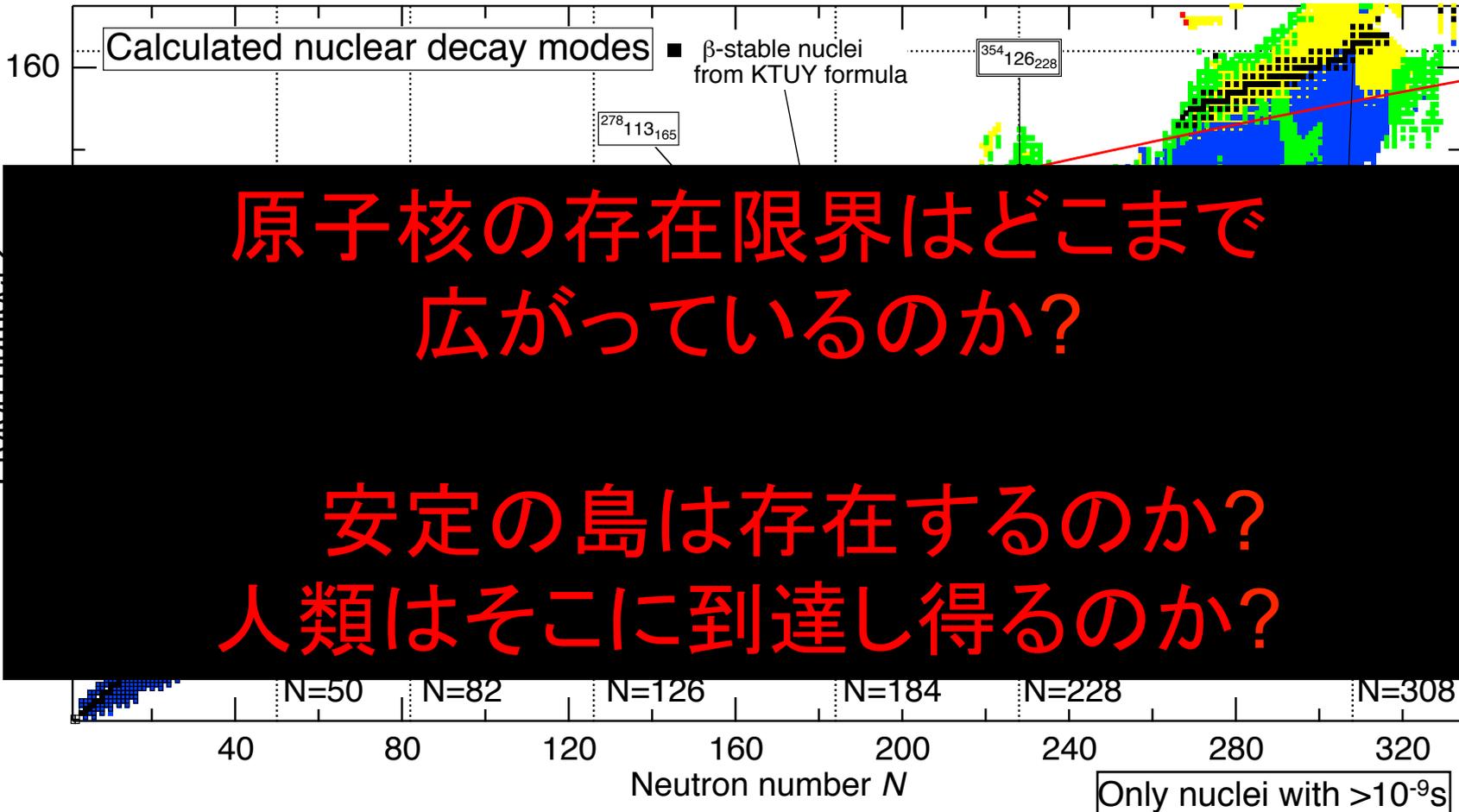
ドリップラインへ

原子核はどこまで存在し

そこでどのような姿を

しているのか

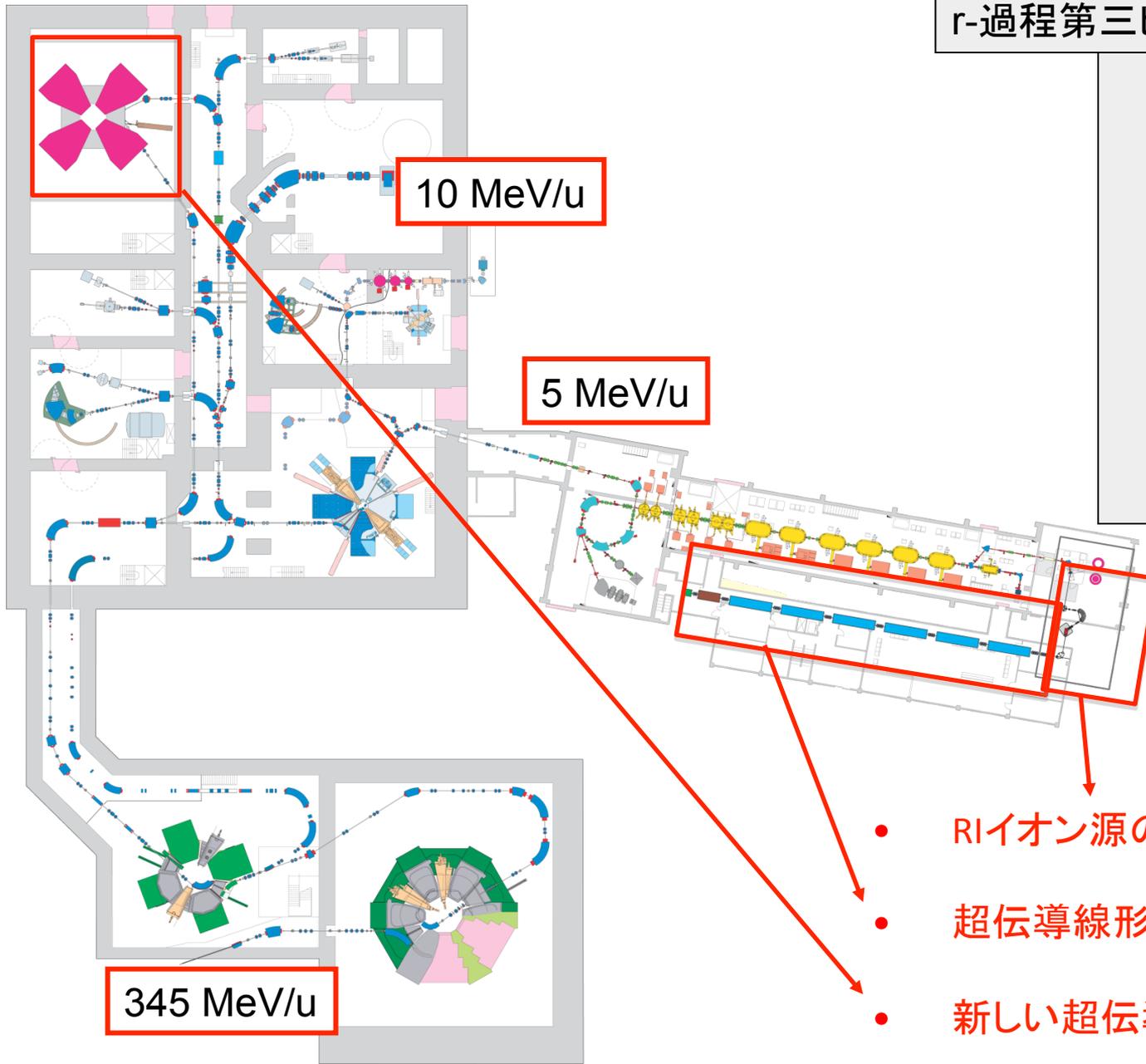




原子核の存在限界はどこまで
広がっているのか？

安定の島は存在するのか？
人類はそこに到達し得るのか？

Post RI Beam 計画



Kiss project
(Miyatake et al.)
r-過程第三ピーク核



予算規模 150億円
(参考RIBF施設整備費
RIビーム発生系 440億円
基幹実験施設 55億円)
整備期間 2013~2017年度

- RIイオン源の建設
- 超伝導線形加速器の建設
- 新しい超伝導加速器の建設

ビームの増強

ポストRIBF

KISS

夢の低エネルギービーム

ウランビームの増強

ウランの破碎片の再加速

→ 再破碎反応

多核子移行反応によるA~200中性子過剰核

??

検出器の増強

エネルギー補償型蓄積リング

γ 線ボール

大型アクティブ標的

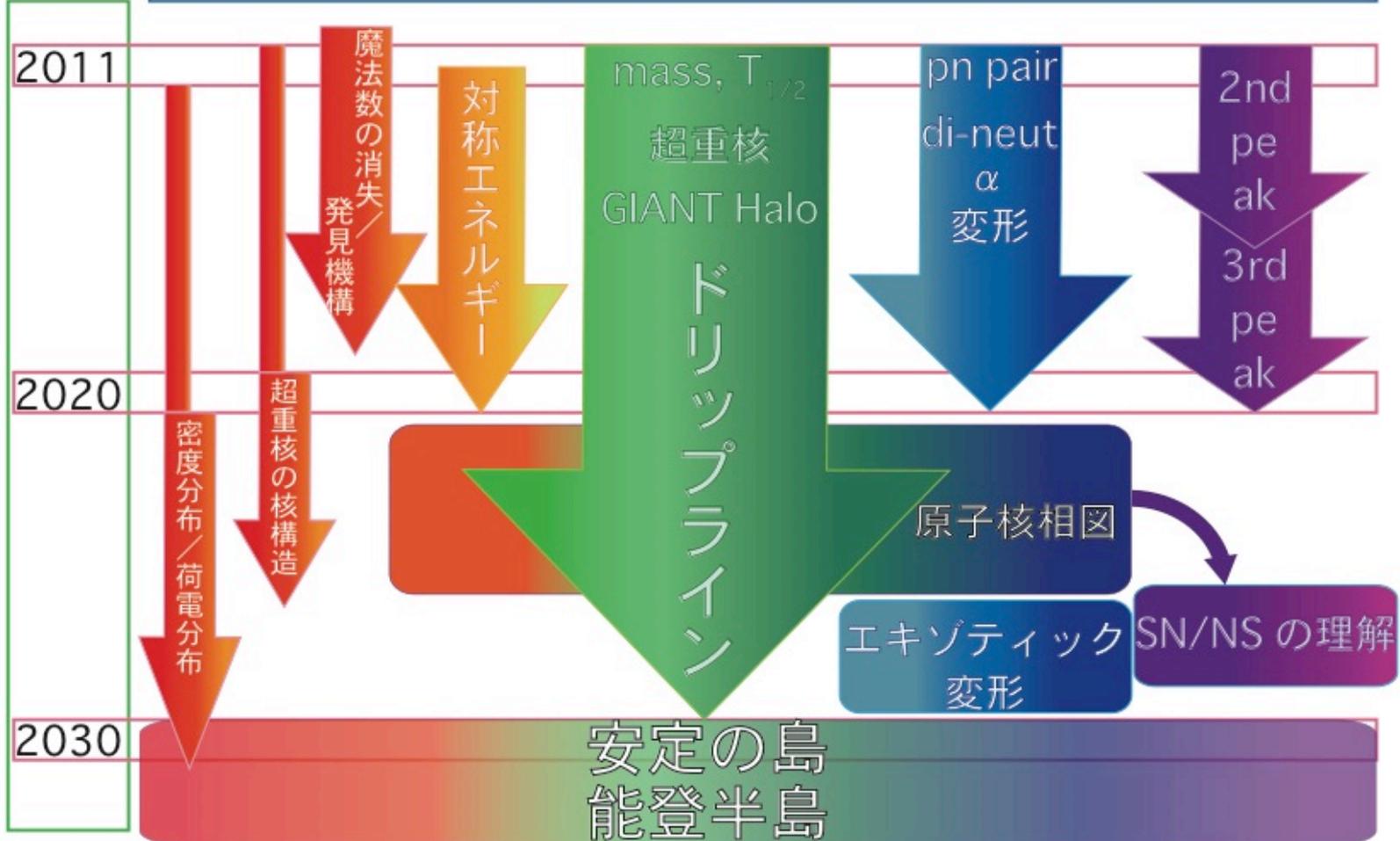
SCRITアップグレード

LaBr3

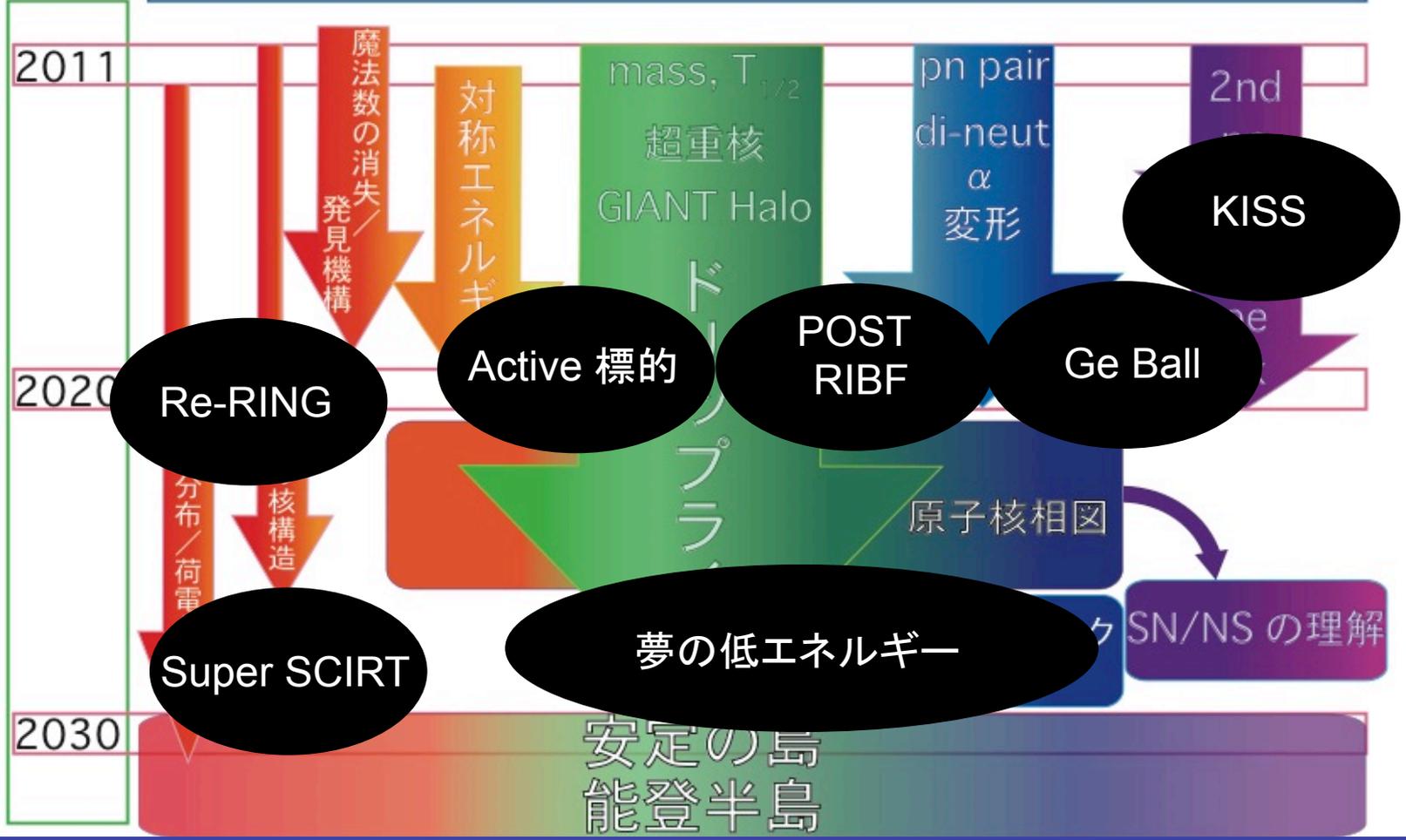
トラッキング型4 π Geボール

?

一粒子 EOS 存在極限と基礎量 相関変形 宇宙核



一粒子 EOS 存在極限と基礎量 相関変形 宇宙核



実験

青井考(代表)
今井伸明(副代表)
上坂友洋(副代表)
浅井雅人
磯部忠昭
井手口栄治
岩佐直仁
上野秀樹
大田晋輔
大津秀暁
王惠仁
加治大哉
嶋達志
炭竈聡之
寺西高
古川 武
光岡真一
宮下裕次
森本幸司

RCNP
KEK
理研
JAEA
理研
CNS
東北大
理研
CNS
理研
RCNP
理研
RCNP
理科大
九大
東工大
JAEA
理研
理研

不安定核
+
天体核
+
超重核

理論

延與佳子(副代表)
山上雅之
世話人 中村隆司

正式なメンバー以外にも
大勢の方に協力して
いただきました。

ありがとうございます。