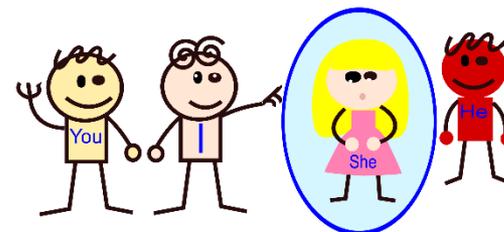
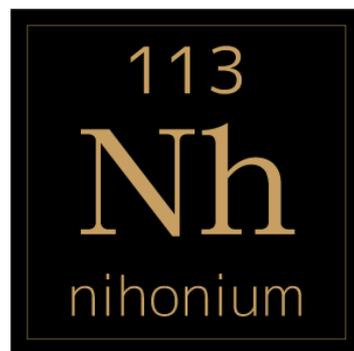
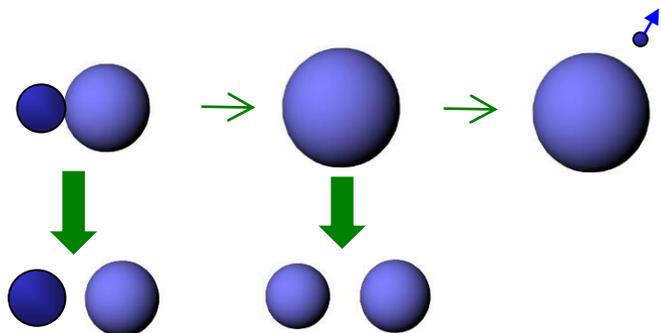


# 超重元素領域における 核反応理論の課題



TOHOKU  
UNIVERSITY

萩野浩一 東北大学

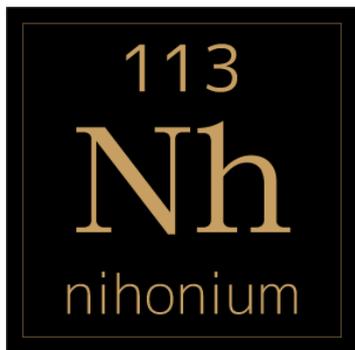


she

1. 超重元素領域における重イオン核融合反応
2.  $Z=119$  及び  $120$  に向けて
3. 安定の島に向けて
4. まとめ

# 超重元素科学

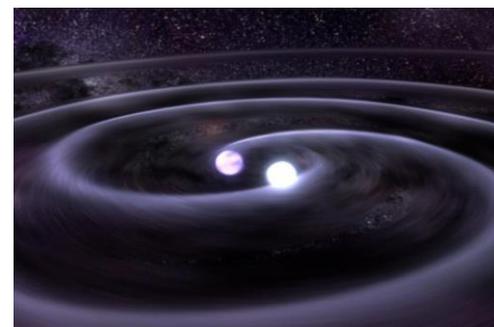
物理



化学



天文



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
H	He																	
Li	Be																	
Na	Mg																	
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts	Og	

2017.08.18-19



2017.08.24-25



超重元素：強いクーロン場の下での量子多体問題

→ 物理、化学、天文の連携による超重元素科学の包括的な理解

この研究会で、連携の在り方を議論できれば。。。

# 超重元素科学における核物理の課題

## ➤ 新元素をどう作るのか?

- ✓ 新元素の探索と超重元素の核構造
- ✓ 中性子過剰ビームを使った新原子核生成反応の開拓
- ✓ 超重元素合成の鍵を握る中性子過剰核の研究
- ✓ 多核子移行反応手法の開拓

## ➤ 重元素/超重元素を使った応用

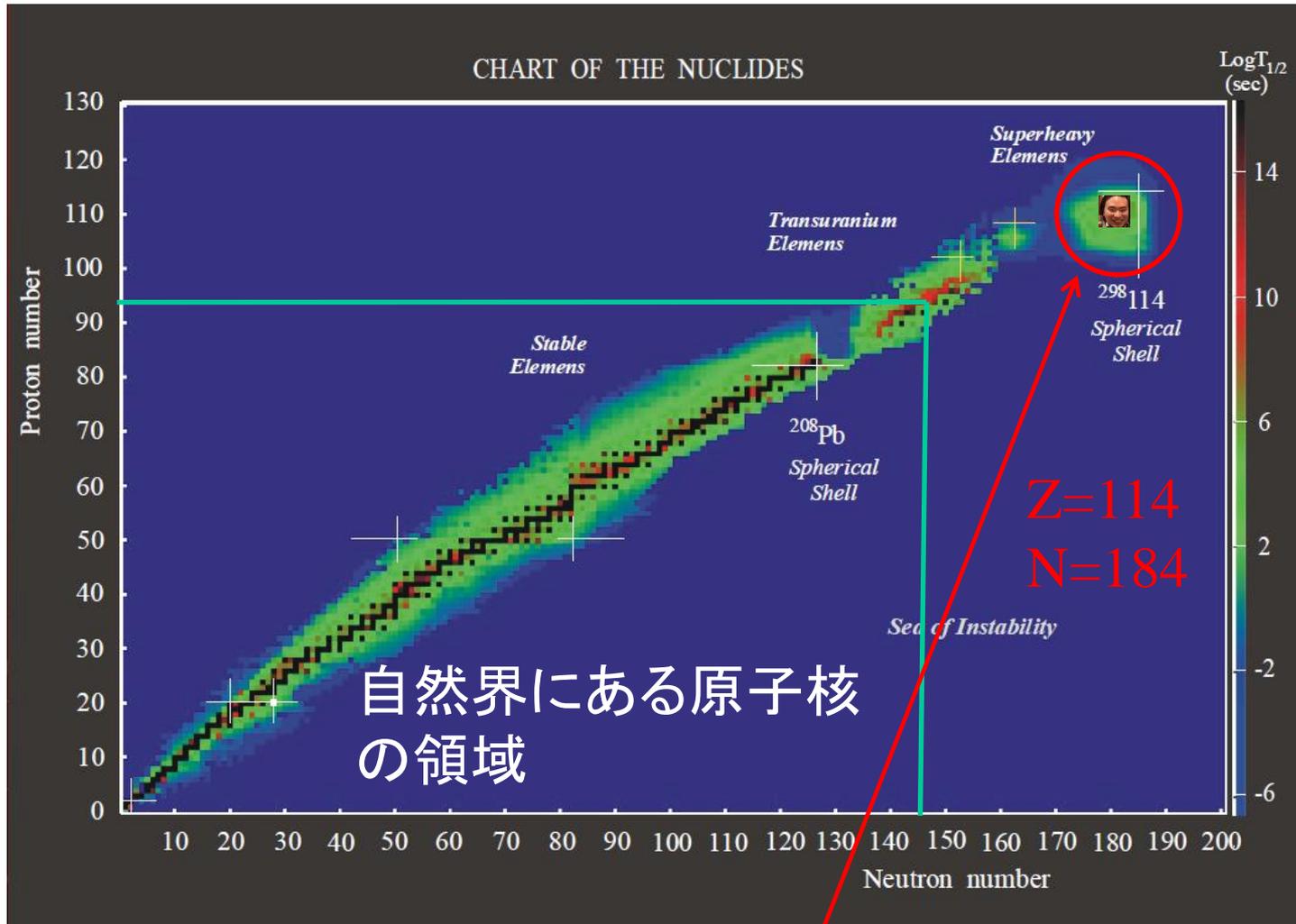
- ✓ 人工重元素結晶で解明する反物質消失機構



- 新元素 ( $Z=119, 120$ ) の探索
- 安定の島の探索
- 重元素・超重元素を使った応用

核反応理論の  
立場から

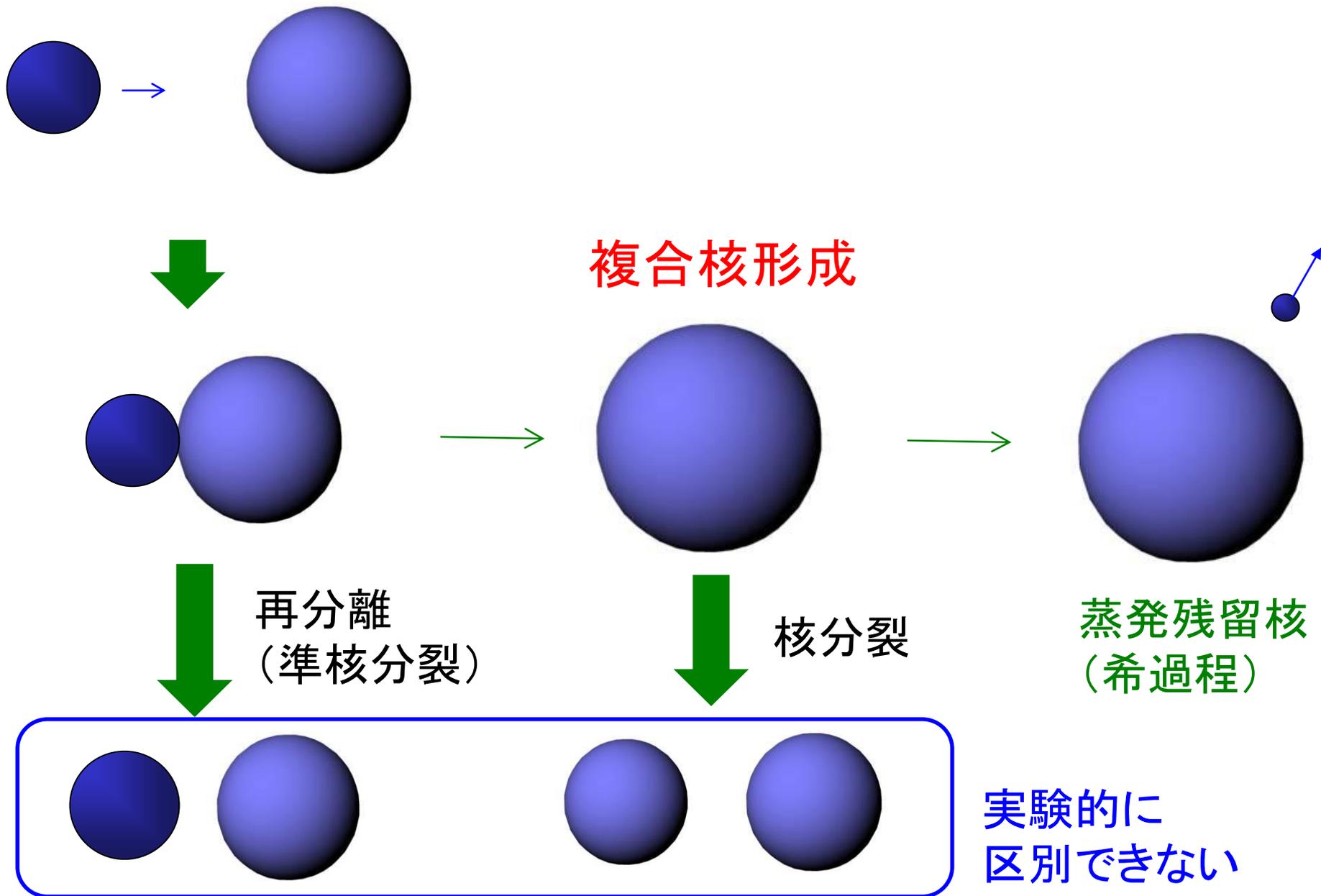
# 超重元素合成反応



Yuri Oganessian

「安定の島」の理論的予言  
(1966年:スビアテッキら)

# 超重元素領域における重イオン核融合反応



# 超重核領域における核融合反応 ( $Z_P * Z_T > 1600 \sim 1800$ )

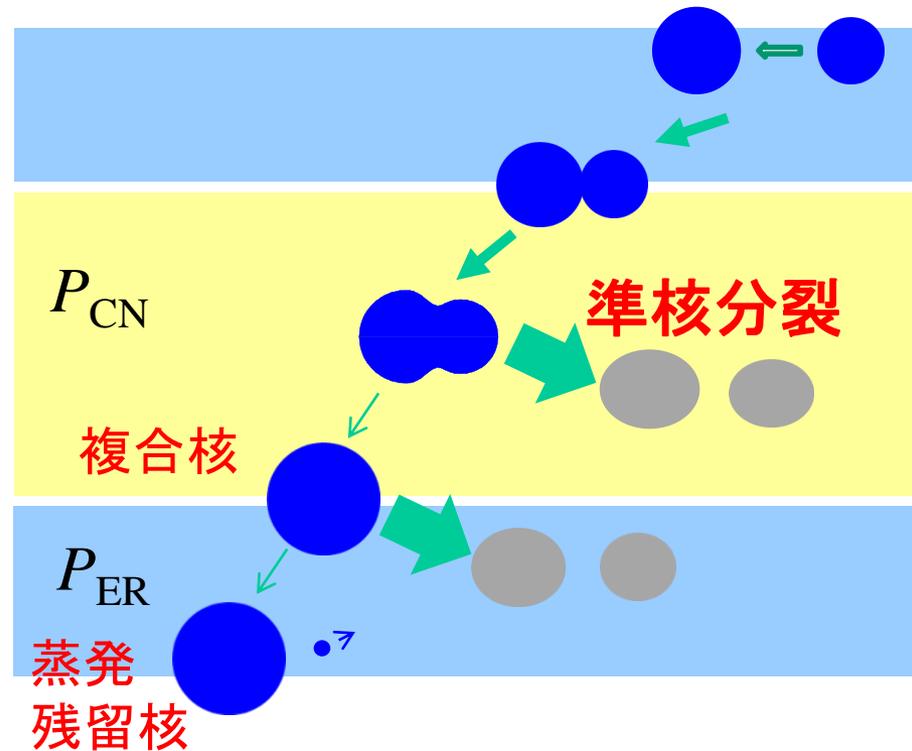
超重元素の生成: 非常に稀な過程

→ 大きな理論的不定性

- ✓  $P_{CN}$  に対する実験データがない
- ✓ 実験データは  $P_{ER}$  のみ

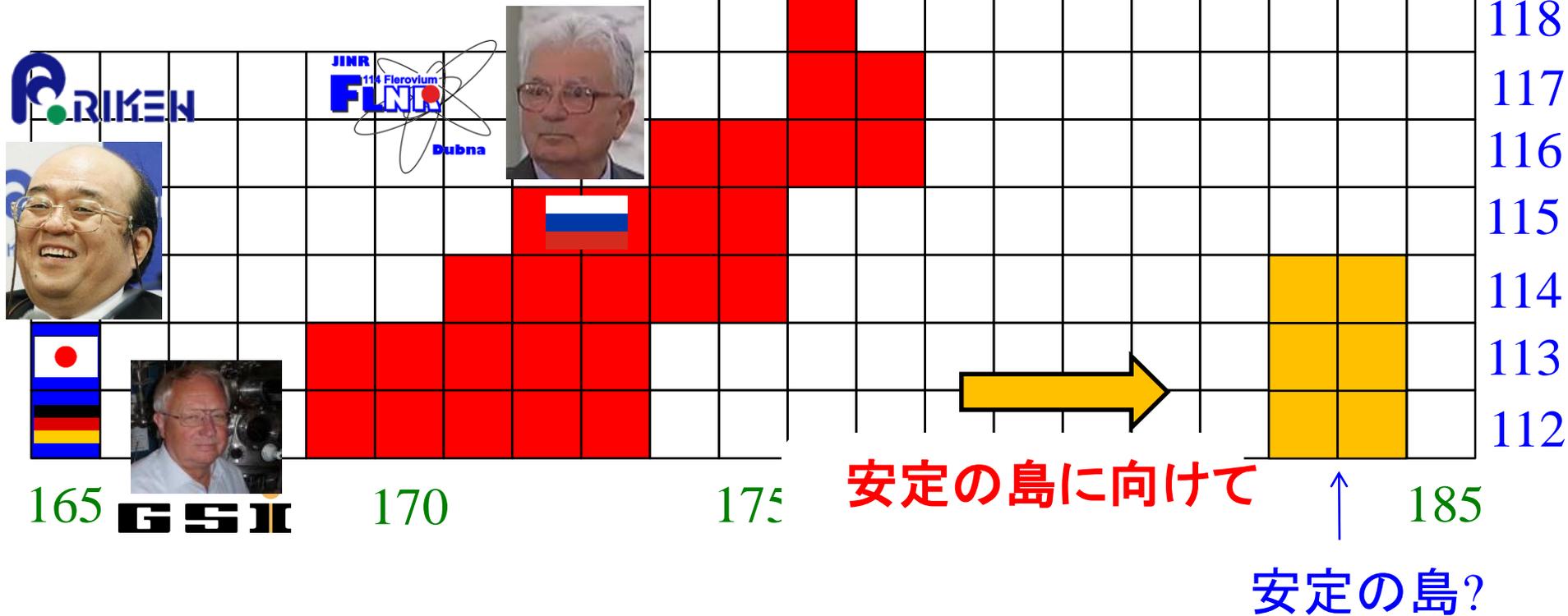
CN=複合核、ER=蒸発残留核

挑戦的課題:  
いかに理論的不定性を小さくして  
信頼できる理論予言が出来るか?



# 今後の研究の方向性

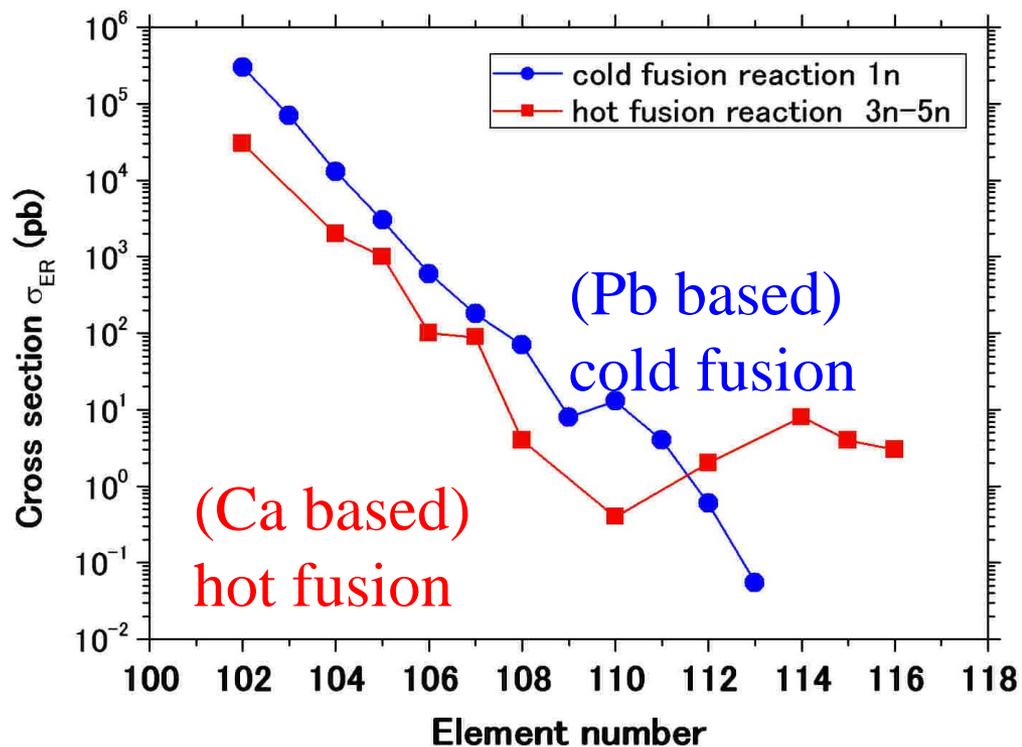
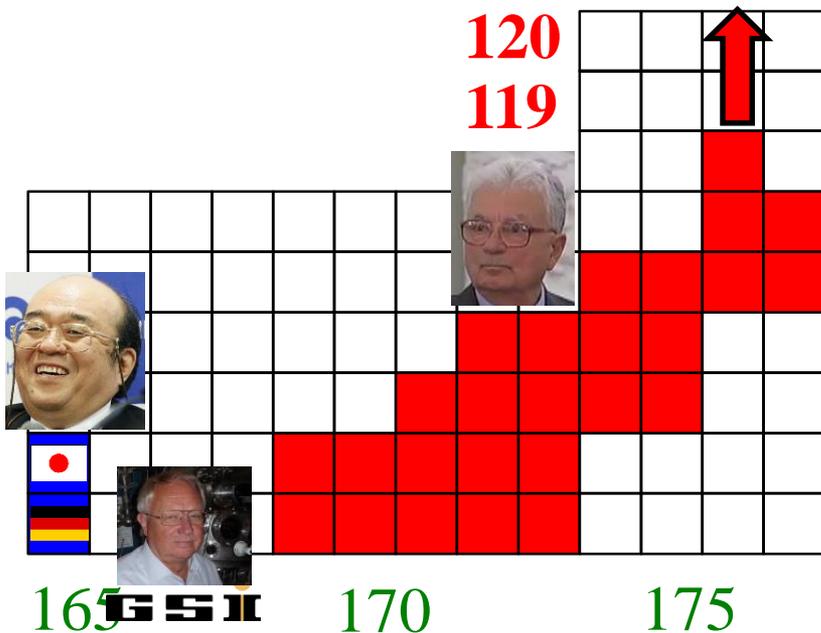
これまでに生成された  
超重元素



## 理論の課題:

- 反応ダイナミクスの理解
- 融合断面積の信頼度の高い理論予言

# 熱い核融合によるZ = 119 及び 120核の生成



➤ 熱い核融合:  $^{48}\text{Ca}$  + アクチノイド核

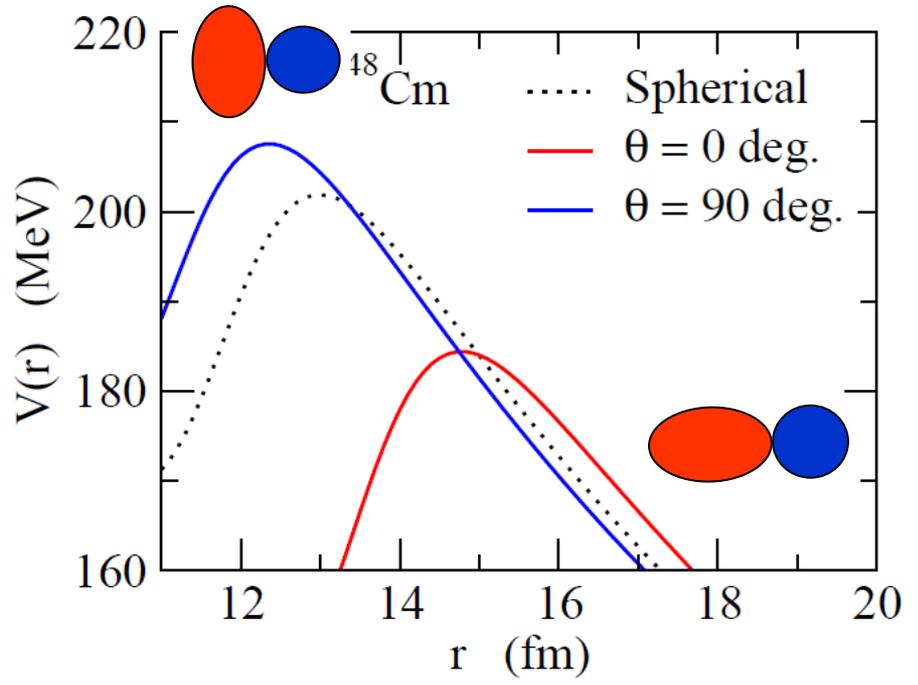
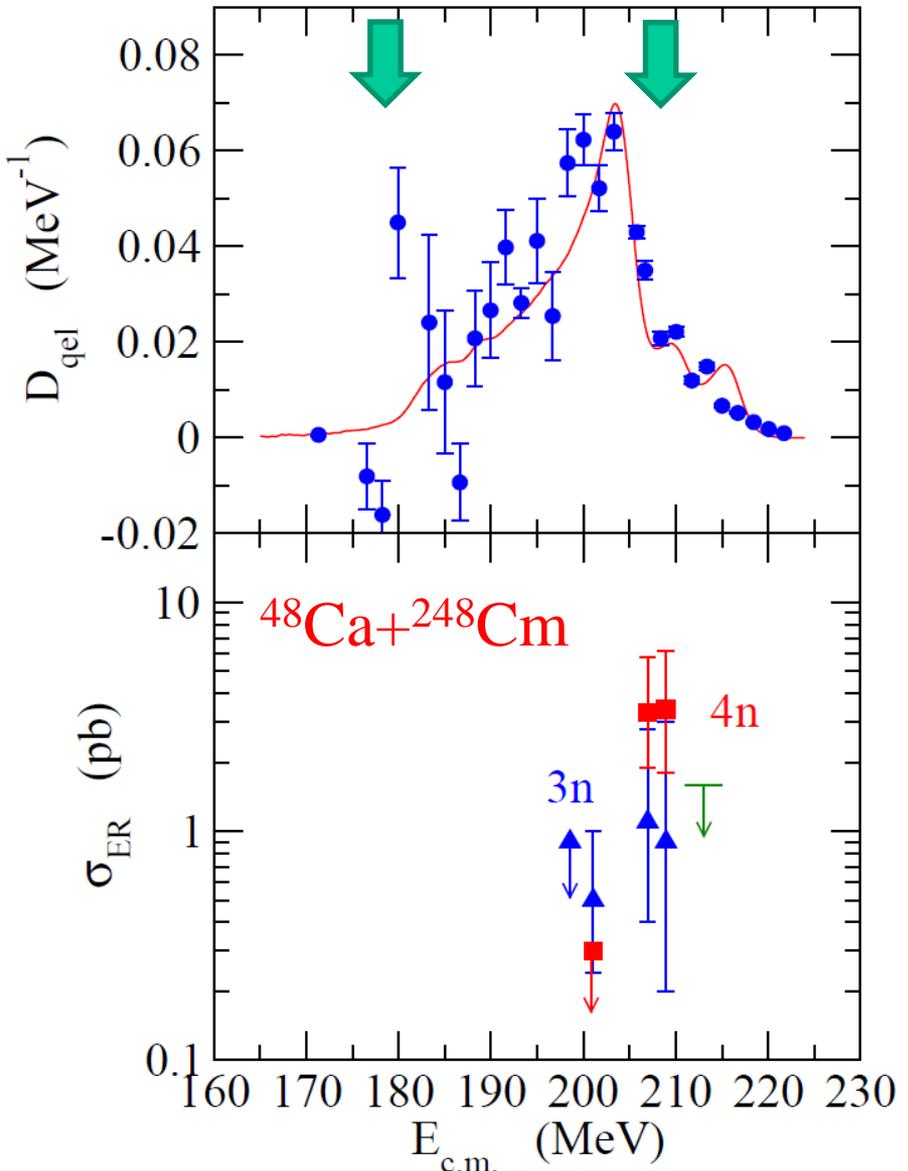
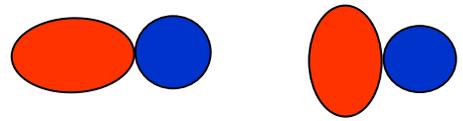


核変形の果たす役割?

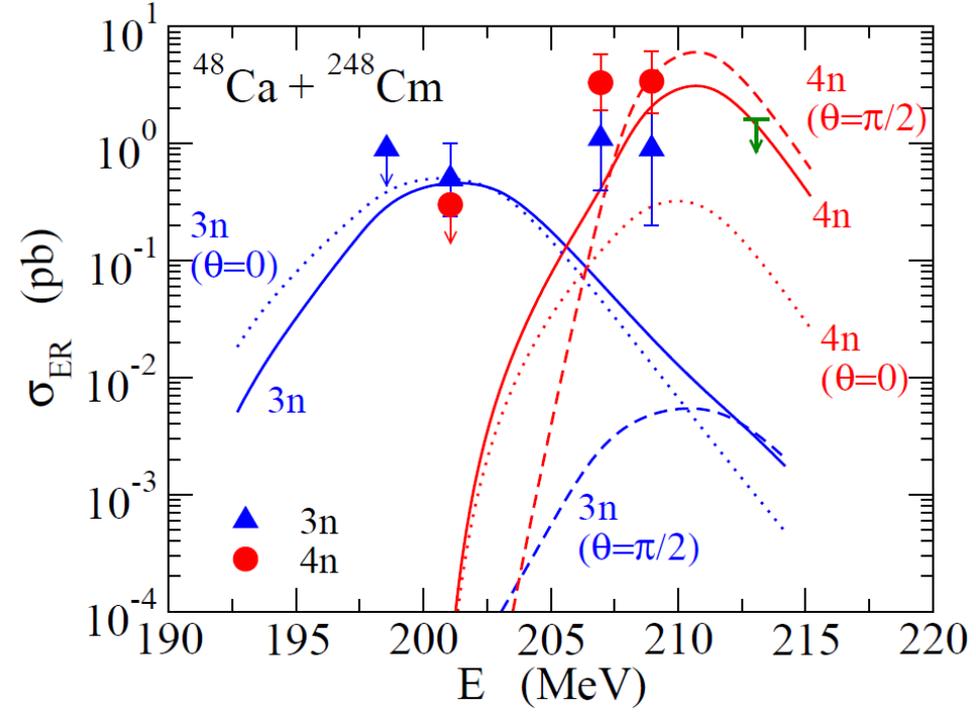
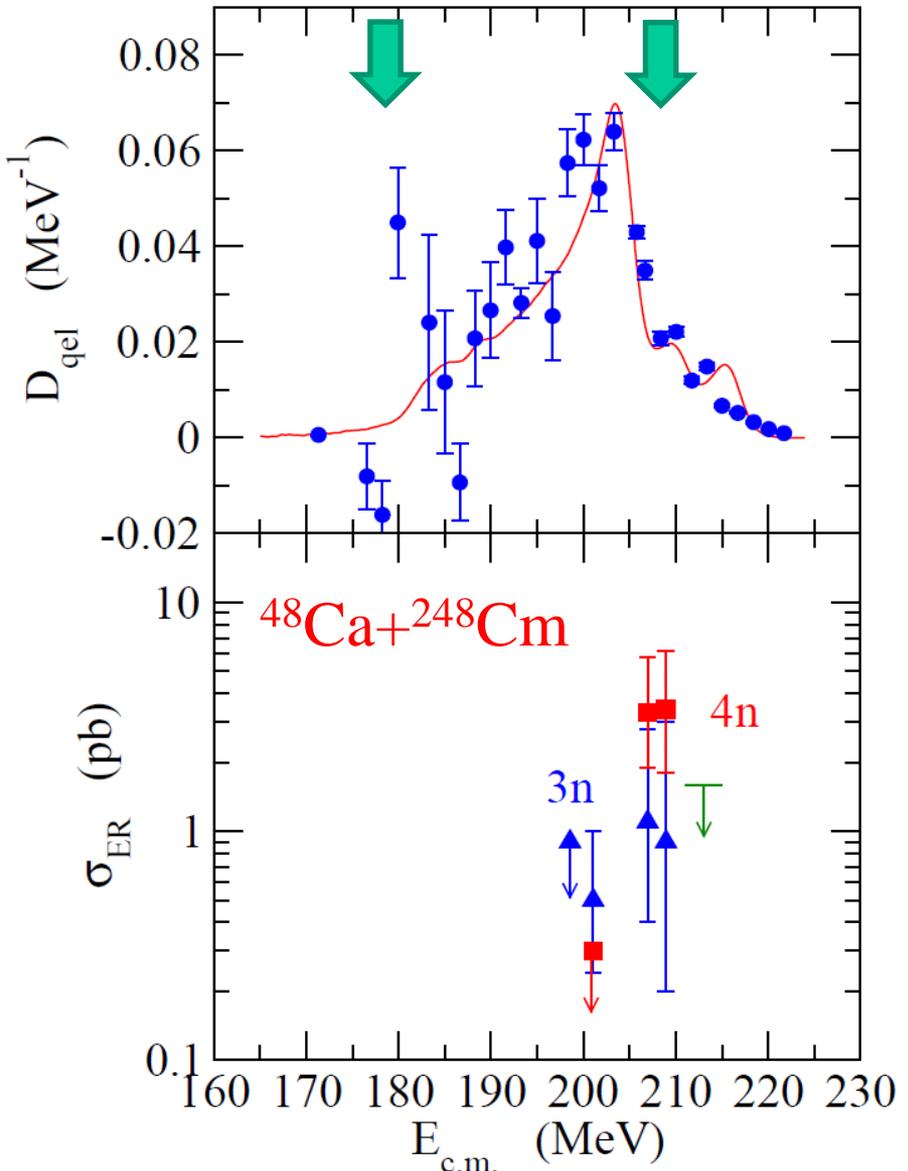
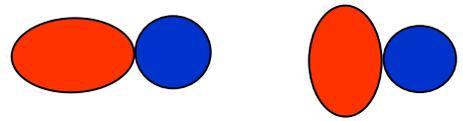
➤ Z=119, 120:  $^{48}\text{Ca} \rightarrow ^{50}_{22}\text{Ti}, ^{51}_{23}\text{V}, ^{54}_{24}\text{Cr}$

核融合断面積はどのくらい変わるのか?(まだ誰も知らない)

# 熱い核融合反応における核変形の果たす役割



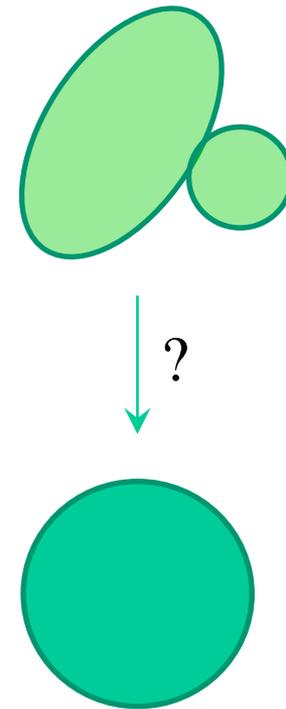
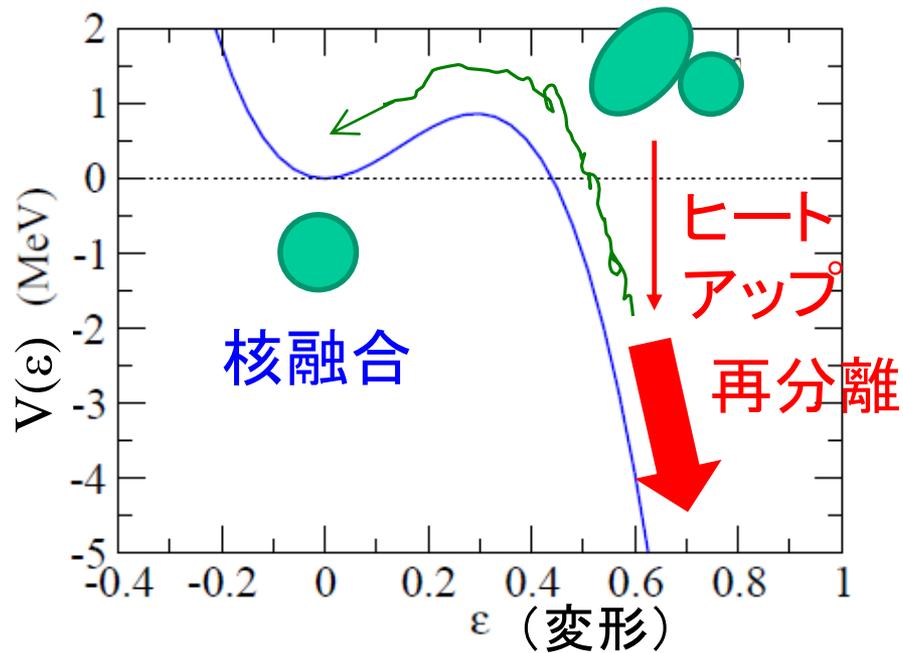
# 熱い核融合反応における核変形の果たす役割



K. Hagino,  
 PRC98 ('18) 014607

T.Tanaka et al., JPSJ87 ('18) 014201

# 変形核の核融合反応



## 未解決の問題

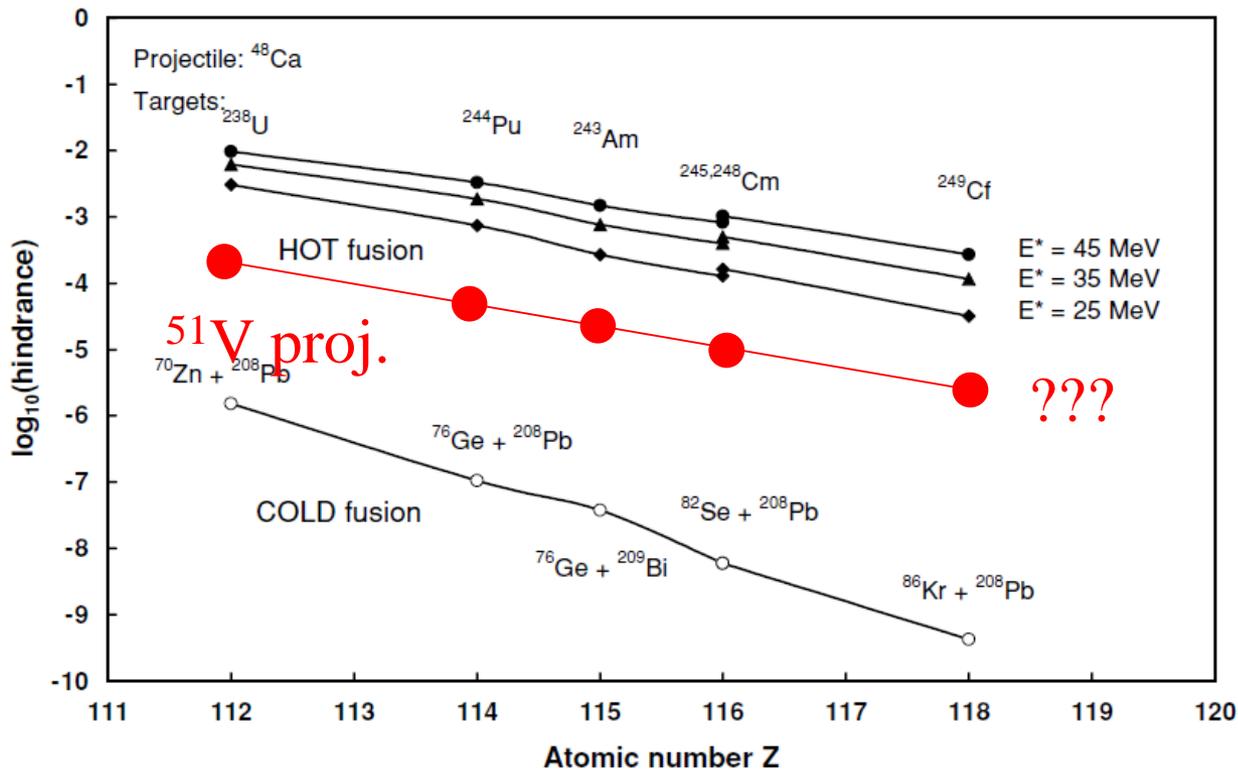
- どのように形状が進化して複合核になっていくのか?
- 変形: 量子効果  
ヒート・アップの過程でどのように変形が小さくなっていくのか?

## 摩擦の量子論

➤  $Z=119, 120: {}^{48}\text{Ca} \rightarrow {}^{50}_{22}\text{Ti}, {}^{51}_{23}\text{V}, {}^{54}_{24}\text{Cr}$

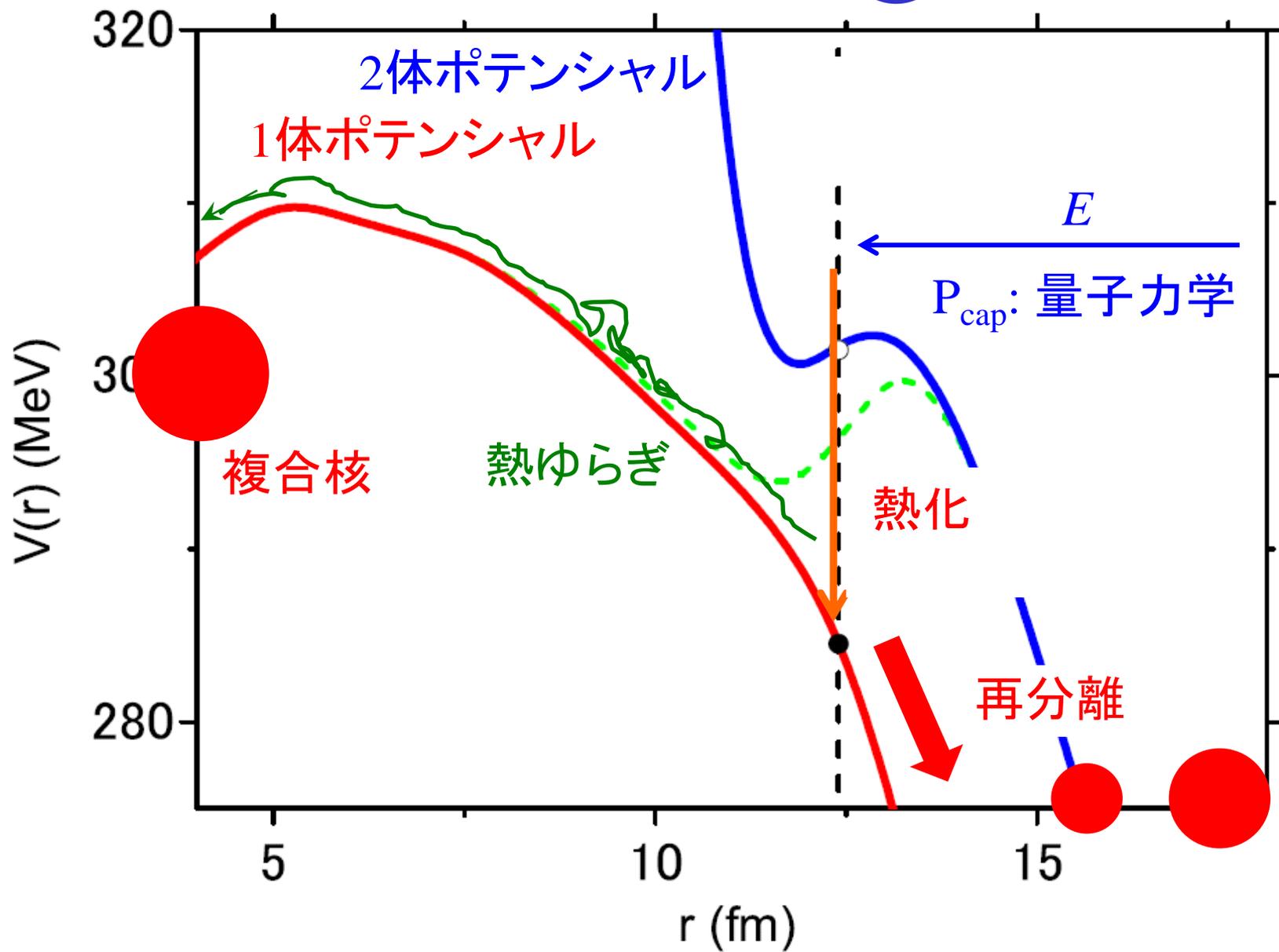
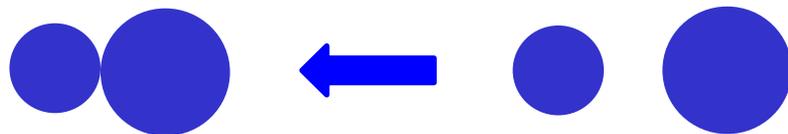
核融合断面積はどのくらい変わるのか?(まだ誰も知らない)

fusion-by-diffusion model による  $P_{\text{CN}}$  の見積もり

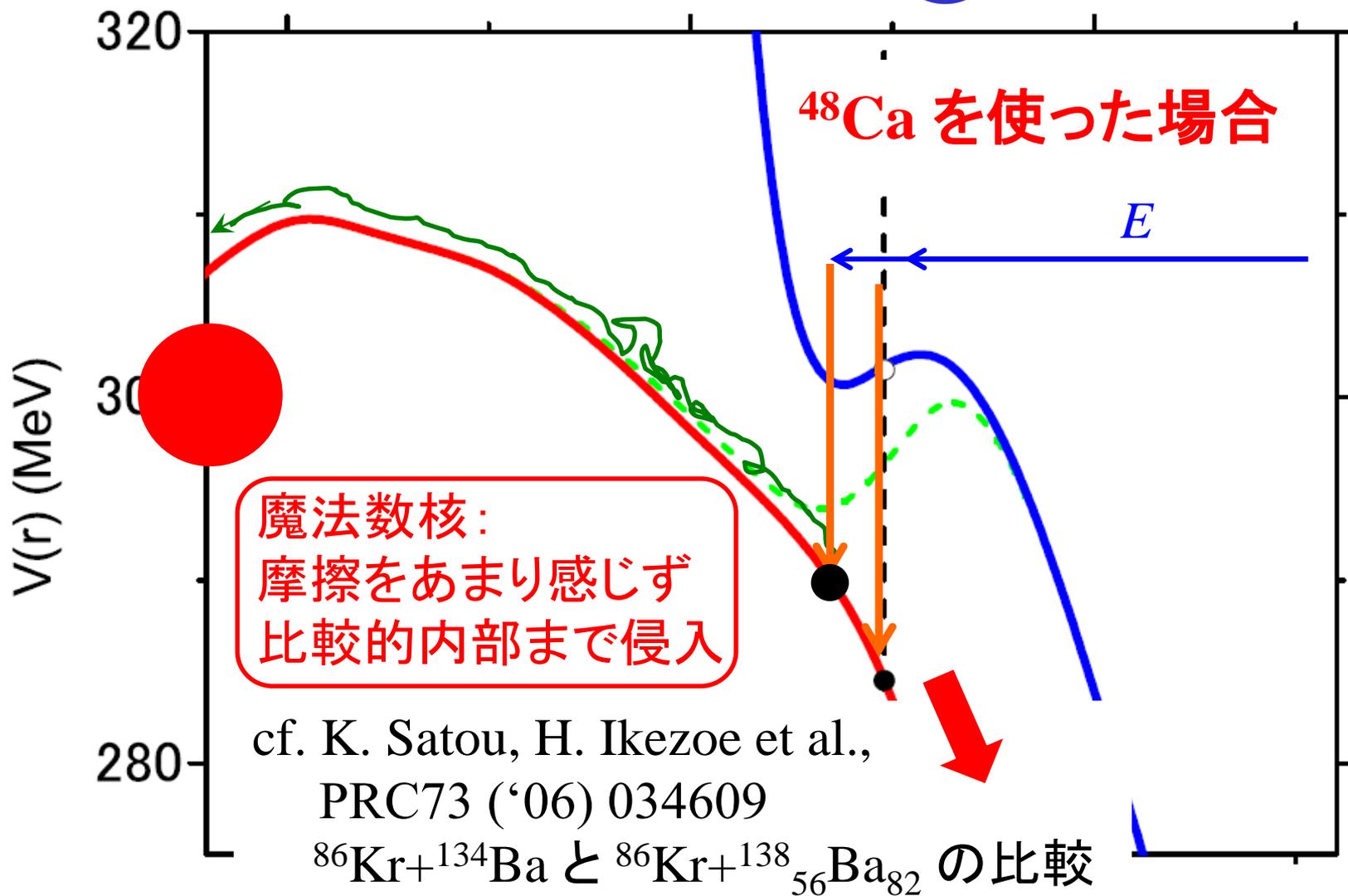
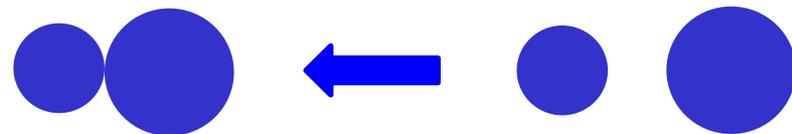


W.J. Swiatecki, K. Siwek-Wilczynska, and J. Wilczynski,  
 PRC71 ('05) 014602

# 超重核生成反応



# 超重核生成反応

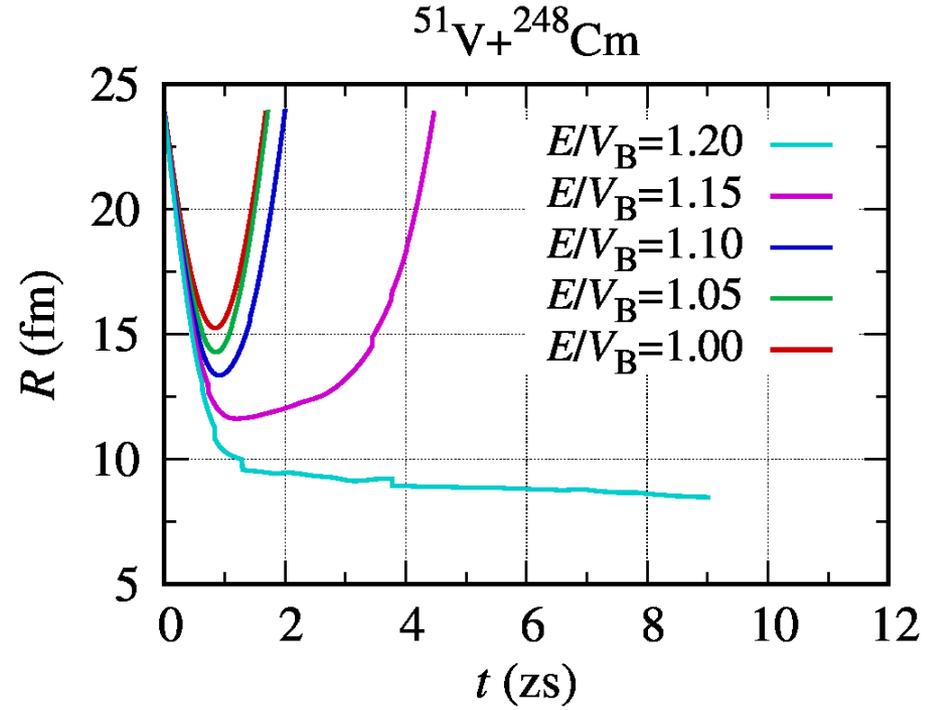
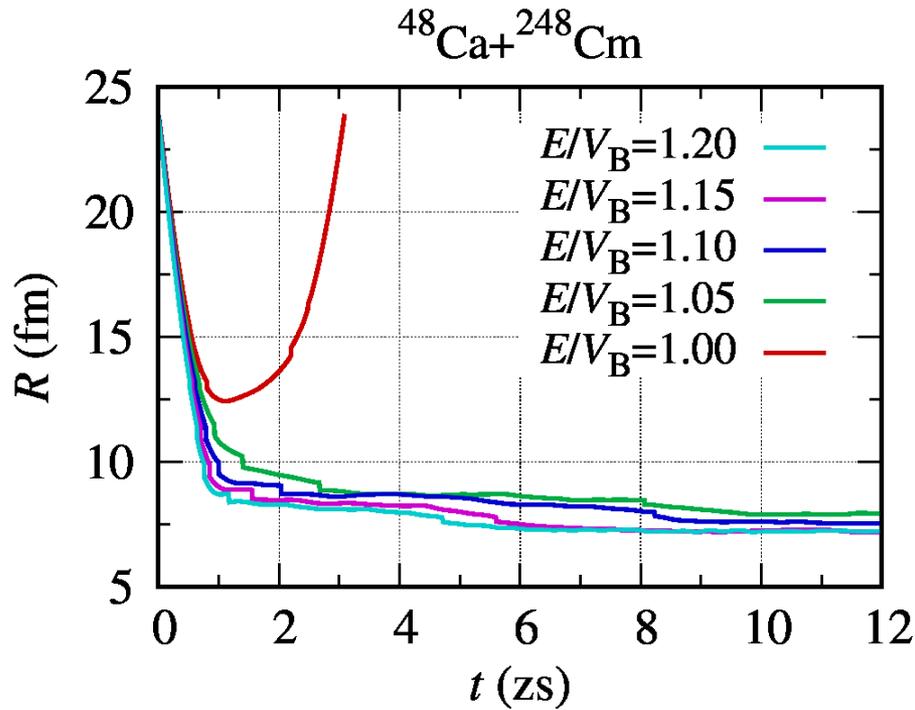


→ CN 生成に有利:  $^{51}\text{V}$  などではこの機構がなくなる

# TDHF+Langevin法による融合断面積の見積もり

K. Sekizawa and K. Hagino, a work in progress

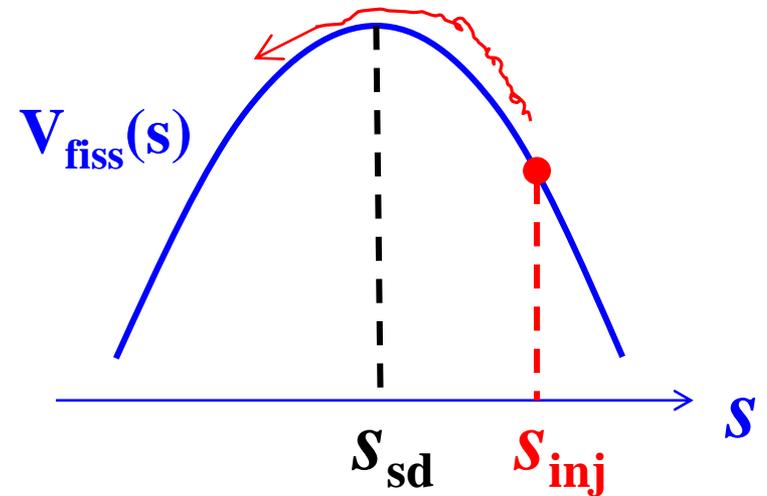
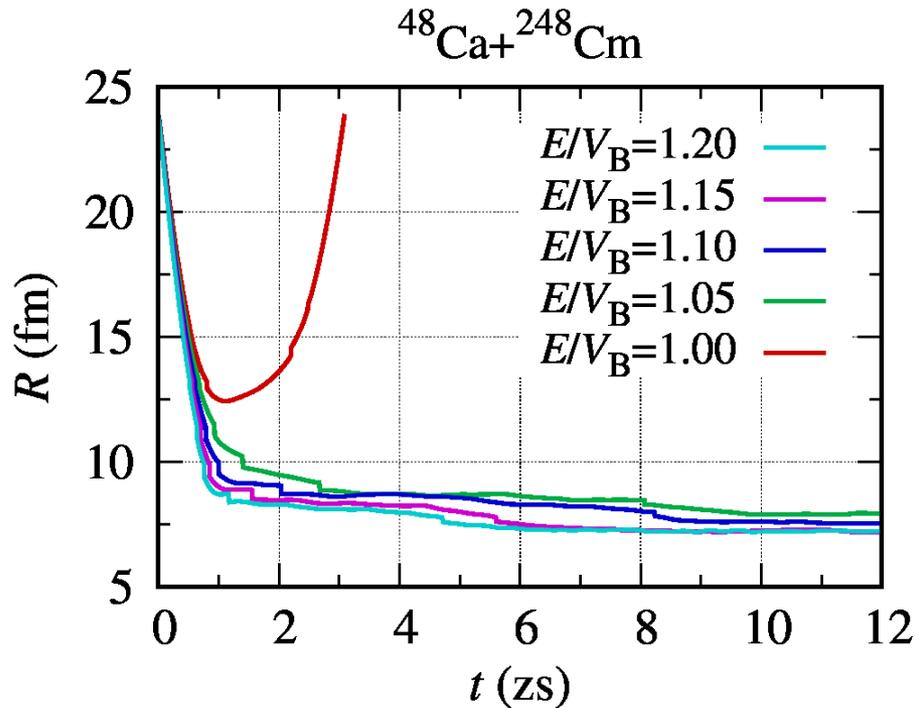
TDHF法による最近接距離の見積もり (side collision):



# TDHF+Langevin法による融合断面積の見積もり

K. Sekizawa and K. Hagino, a work in progress

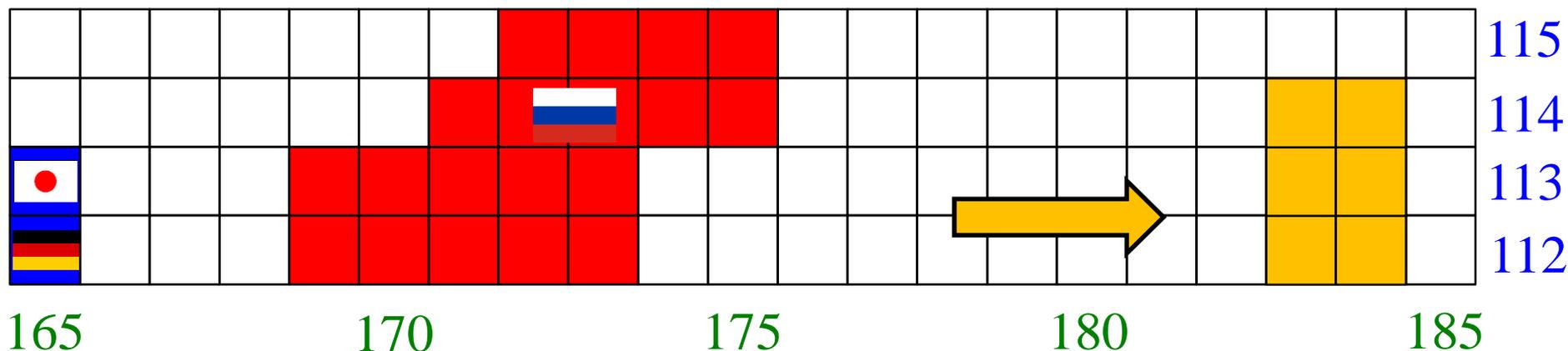
TDHF法による最近接距離の見積もり (side collision):



→ Langevin 計算の初期値 (インプット)

→ 入射核が $^{48}\text{Ca}$ の場合と $^{51}\text{V}$ ,  $^{52}\text{Cr}$ の場合の比較 (準備中)

# 安定の島に向けて



## 中性子過剰核ビーム: 不可欠

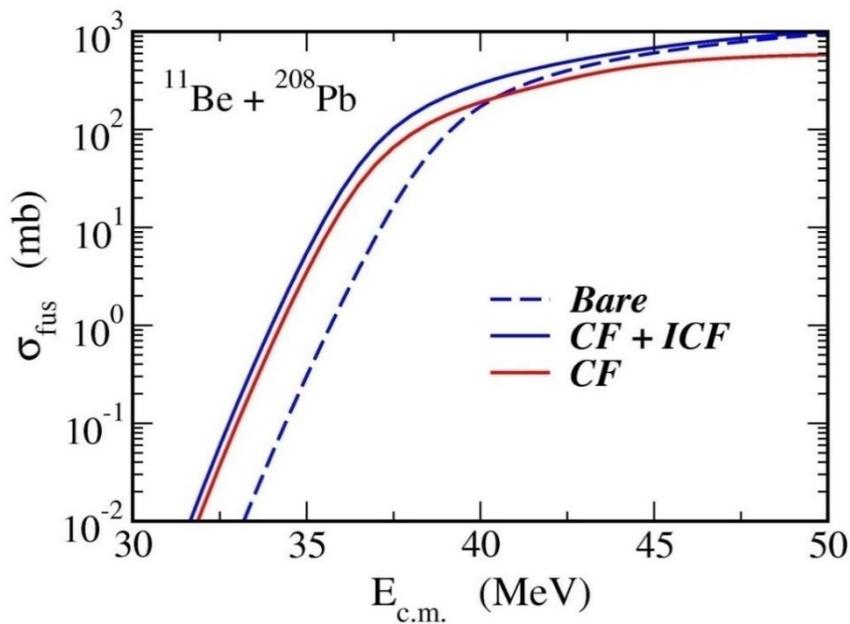
- ビーム強度の低さをどう克服するか?
- 中性子過剰核の反応の機構? ← n/p のアンバランスの影響?
  - ✓ 分解や多中性子移行反応?
  - ✓ 形状進化中における中性子放出?
  - ✓ 統計模型の妥当性?

cf. 中性子星内部の核融合:  $^{28}\text{Ne} + ^{28}\text{Ne}$  など (deep crustal heating)

さらなる研究が必要

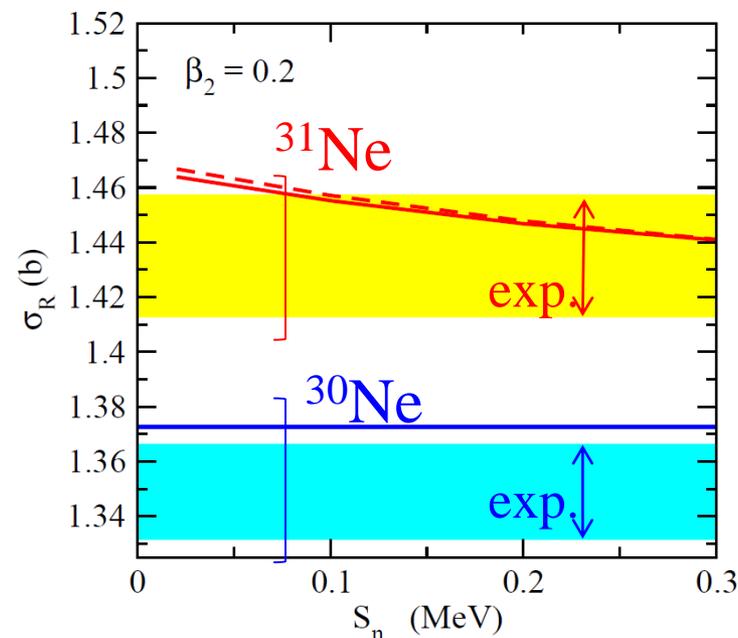
## ➤ 安定の島に向けて

### 反応機構の理解 (分解、核子移行、融合)



K. Hagino, A. Vitturi, C.H. Dasso,  
and S.M. Lenzi, Phys. Rev. C61 ('00) 037602

## 中性子過剰核の構造の理解 も重要



Y. Urata, K. Hagino, and H. Sagawa,  
PRC86('12) 044613

中性子過剰核を軸にした超重核の物理の探究の可能性

# まとめ

## 超重元素領域における核反応理論(核融合反応)

接触、融合、統計崩壊      希プロセス → 大きな理論的不定性

課題: いかに不定性を小さくして信頼できる理論予言が  
出来るか?      ← 反応機構の理解

✓ より重い超重元素 ( $Z=119, 120$ )に向けて

- 標的核の変形の効果  
障壁分布の測定と解析
- $^{48}\text{Ca}$  でない入射核  
TDHF+ランジュバン

✓ 安定の島に向けて

- 中性子過剰核を軸にした超重元素科学の探究  
(核融合反応の機構の解明と中性子過剰核の構造)

重要課題が山積 ← 理論のネットワーク形成も重要