

レーザーによる同位体分離

横山啓一

関西光科学研究所・量子ビーム応用研究センター
原子力科学研究部門
日本原子力研究開発機構

同位体についての予備知識

- 化学的性質は同じで重さが異なる原子



- 核反応と切っても切れない関係

核分裂、核破砕、中性子捕獲

- 使用済み核燃料中に多量に存在

U, Pu, MA, FP

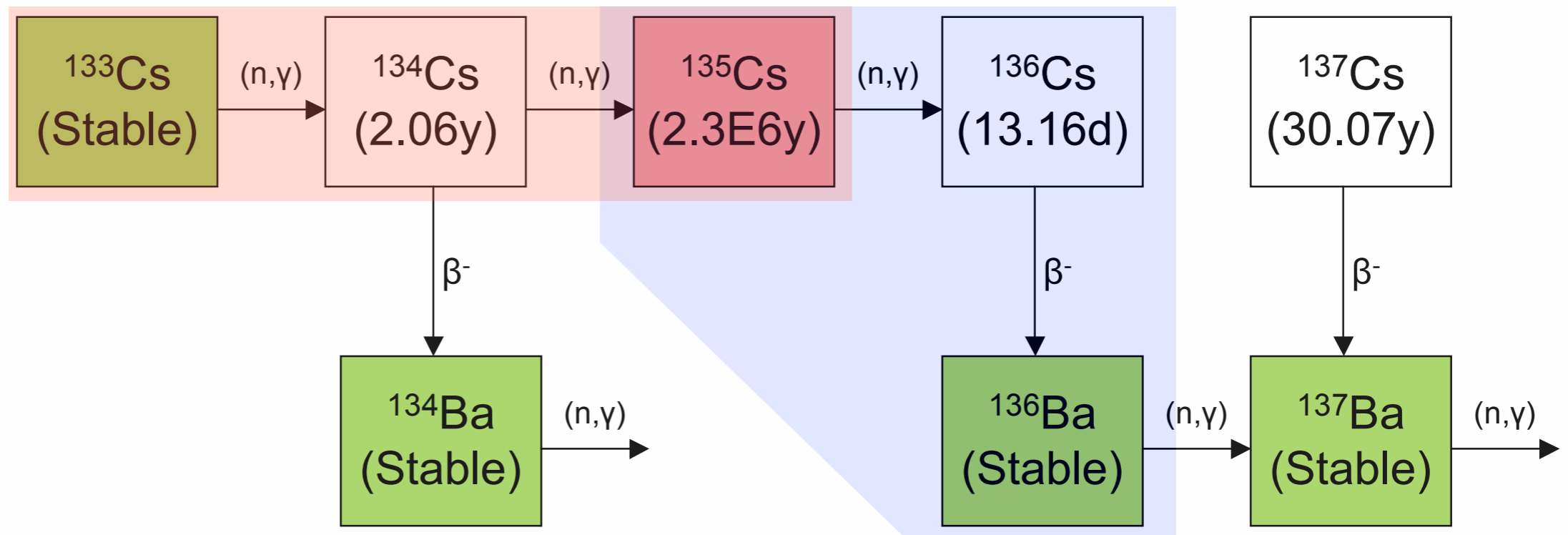
- 放射性／非放射性どちらも存在



- 同位体分離：異なる同位体を分別すること

同位体分離が必要な理由

- 核変換においてムダな中性子消費を抑えるため



同位体分離しないと実質的に核変換が成立しない核種が存在する

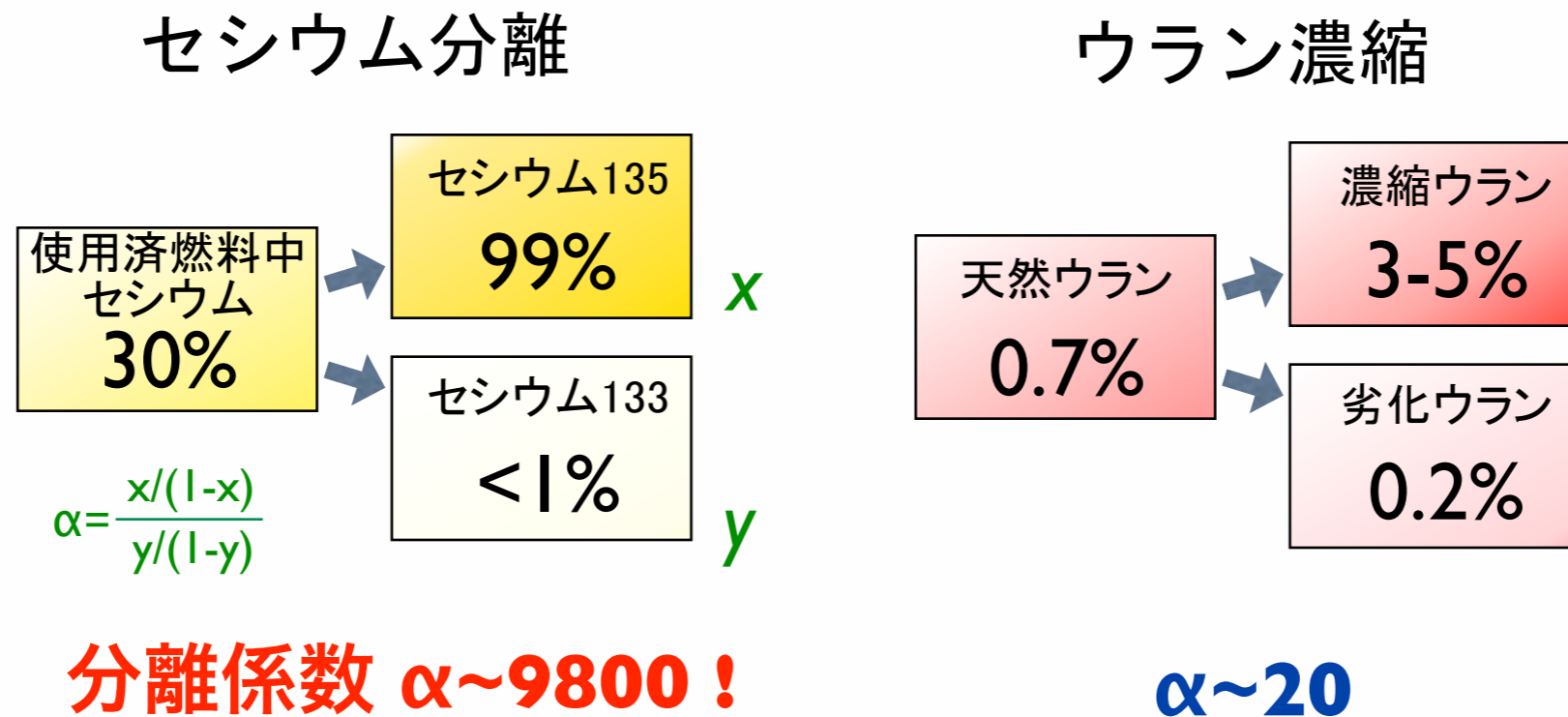
- 使用済み燃料から有用希少元素を取り出すため

^{106}Pd , ^{107}Pd

同位体分離技術開発の問題点

- 極めて高い分離性能が必要

要求されている分離係数の比較



桁違いの性能向上が要求されている
→ パラダイムシフトが必要

分離係数を大きくできない原因

- 化学的な手法が使えない 元素分離とは違う
- 質量差を利用するしかない
- LLFP (=重元素) では質量差が極めて小さい ^{135}Cs , ^{133}Cs
- 既存技術におけるカスケード段数と1段あたりの分離係数

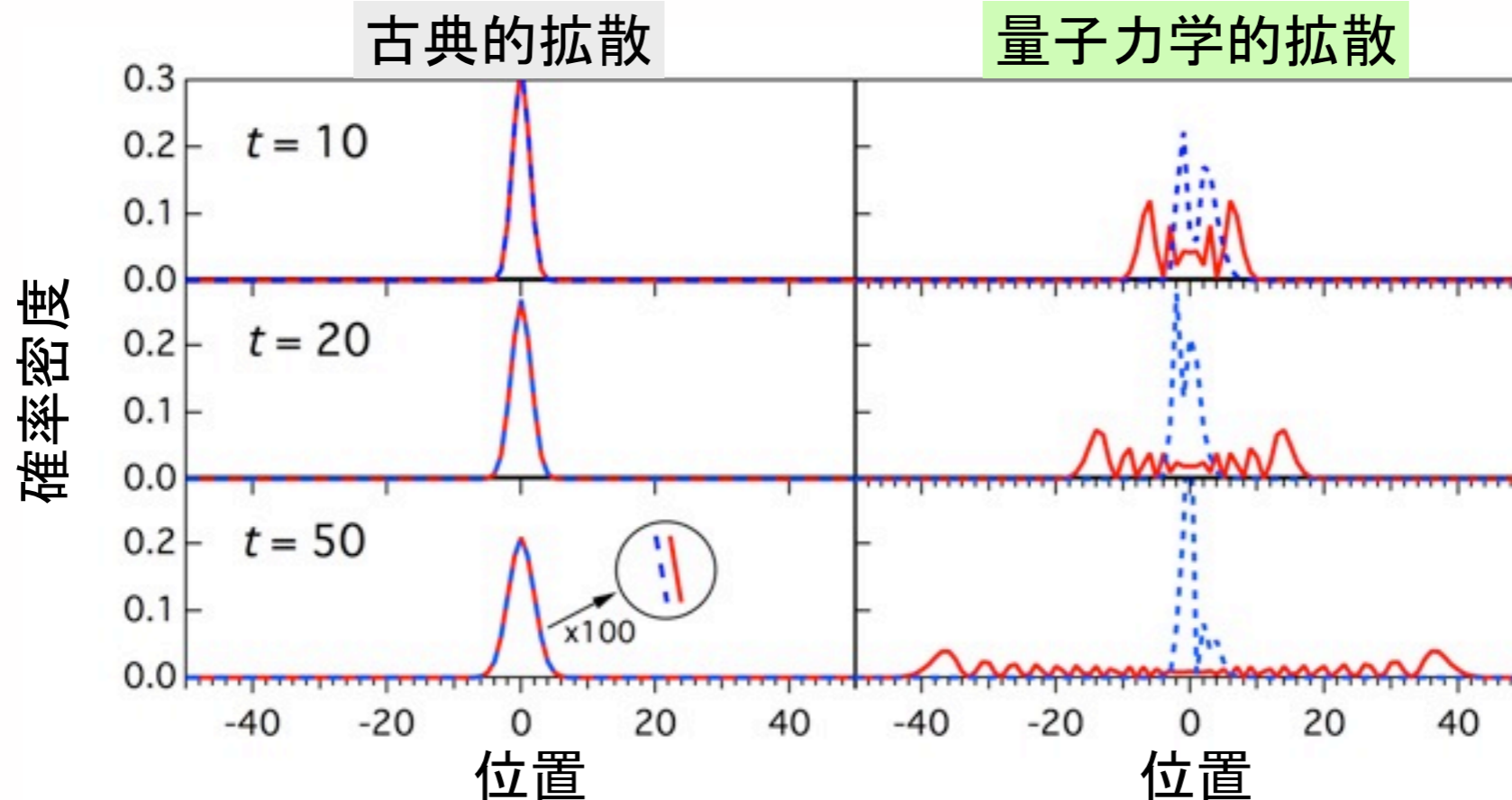
	ガス拡散法	遠心分離法	レーザー法(分子)
分離係数	1.003	1.4	<10
カスケード段数	1000	10	1

- レーザー法でガス拡散法並のカスケードできないか？

→ 「量子拡散法」を提案

量子拡散法

- 古典力学から量子力学へ
- 驚愕の同位体差

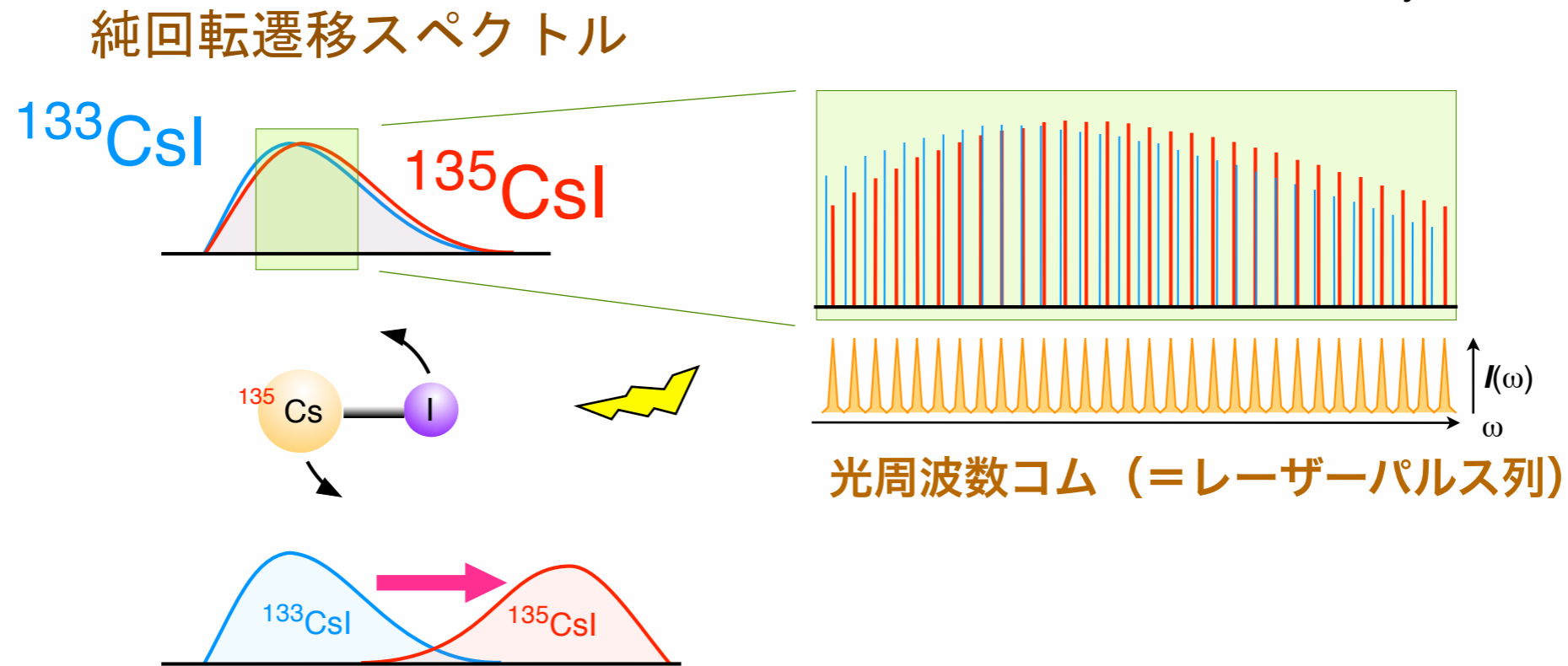


- 数学的に注目されている斬新な概念に依拠
→ 量子ウォークとアンダーソン局在

量子拡散法の実装方法

- 2原子分子にTHz波レーザーパルスを繰り返し照射
→ 分子回転の角運動量空間で量子拡散が実現

L. Matsuoka et al., J. Korean Phys. Soc. 59, 2897 (2011).



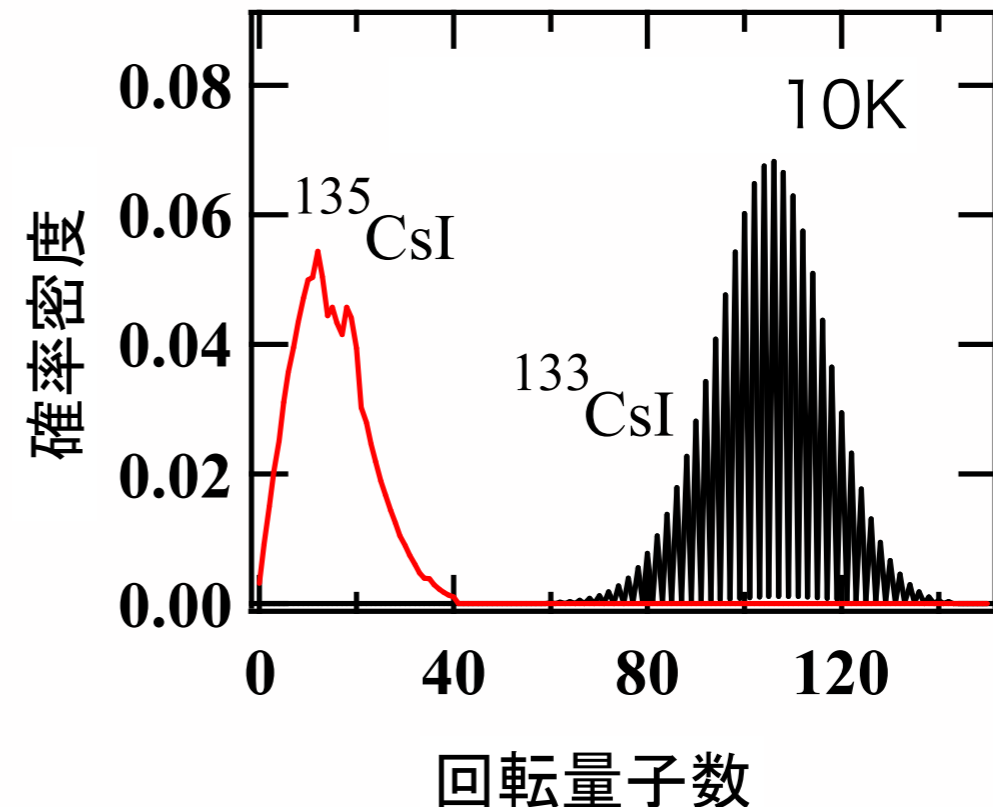
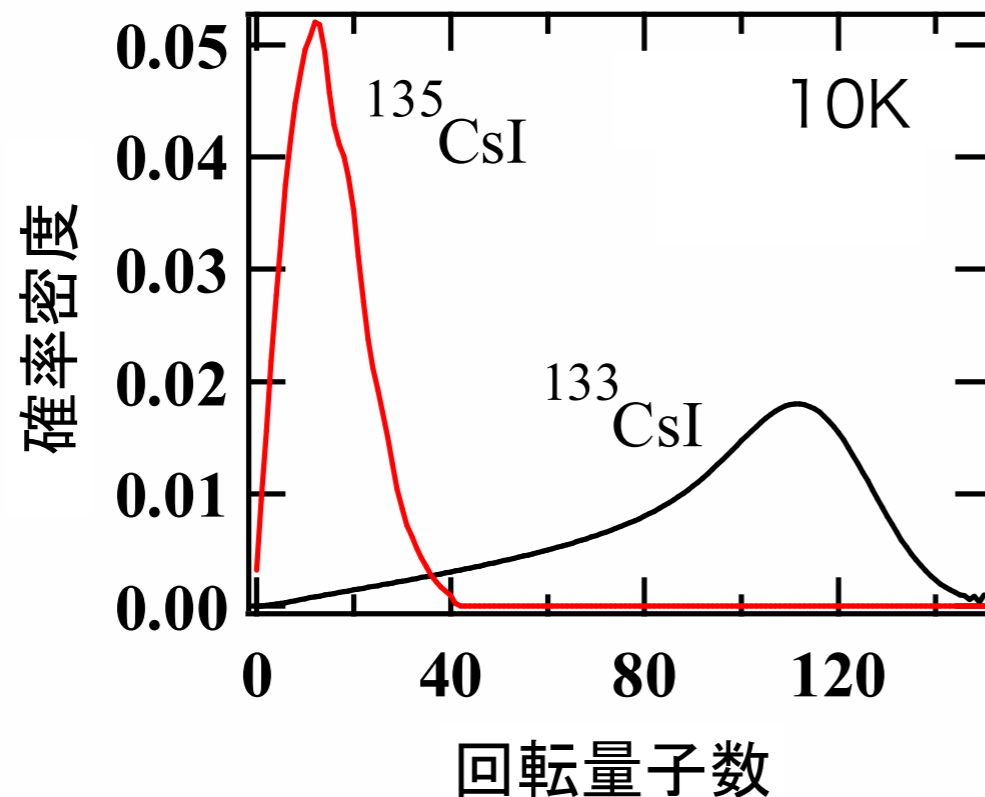
量子拡散の効果により「同位体選択的加熱」が可能に!?

- レーザー法 + 大規模カスケードに相当

数値計算による原理確認

- CsI分子で著しい同位体選択性を確認

L. Matsuoka et al., GLOBAL2011, 392063

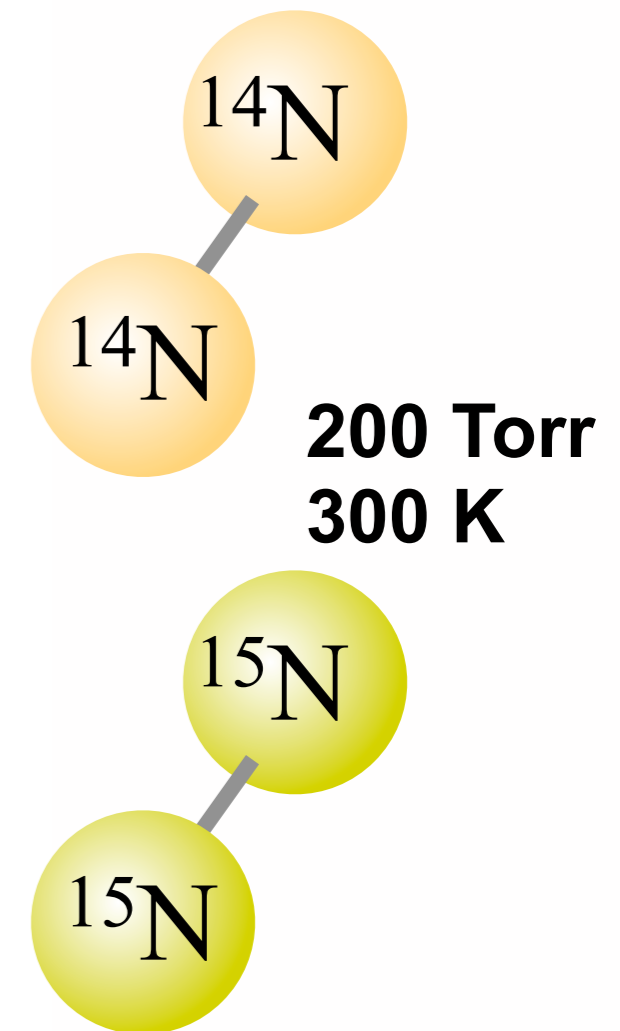
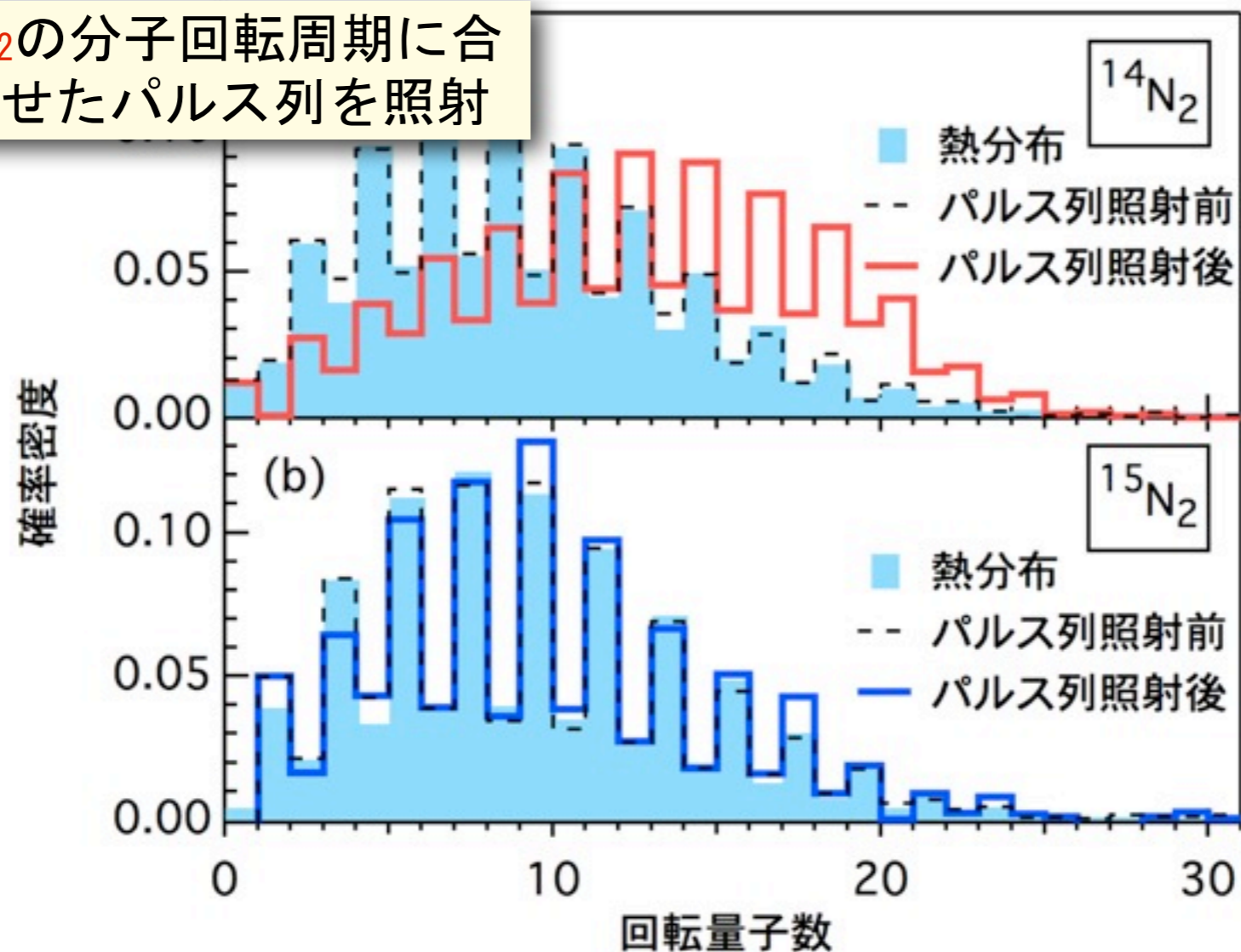


- さらにTHzパルス波形の位相制御により完全選択も可能
- CsI分子1000Kで分離係数 ~ 8000 を予測

実験による原理確認

- 既存の光源でTHzパルスを代用することにより原理を確認

$^{14}\text{N}_2$ の分子回転周期に合わせたパルス列を照射



K. Yokoyama and L. Matsuoka, *ATOMOS*, **56**, 525-528 (2014).

- 本命の確認実験に向けてTHz波レーザーを開発中

実用化への見込みと課題

優位性

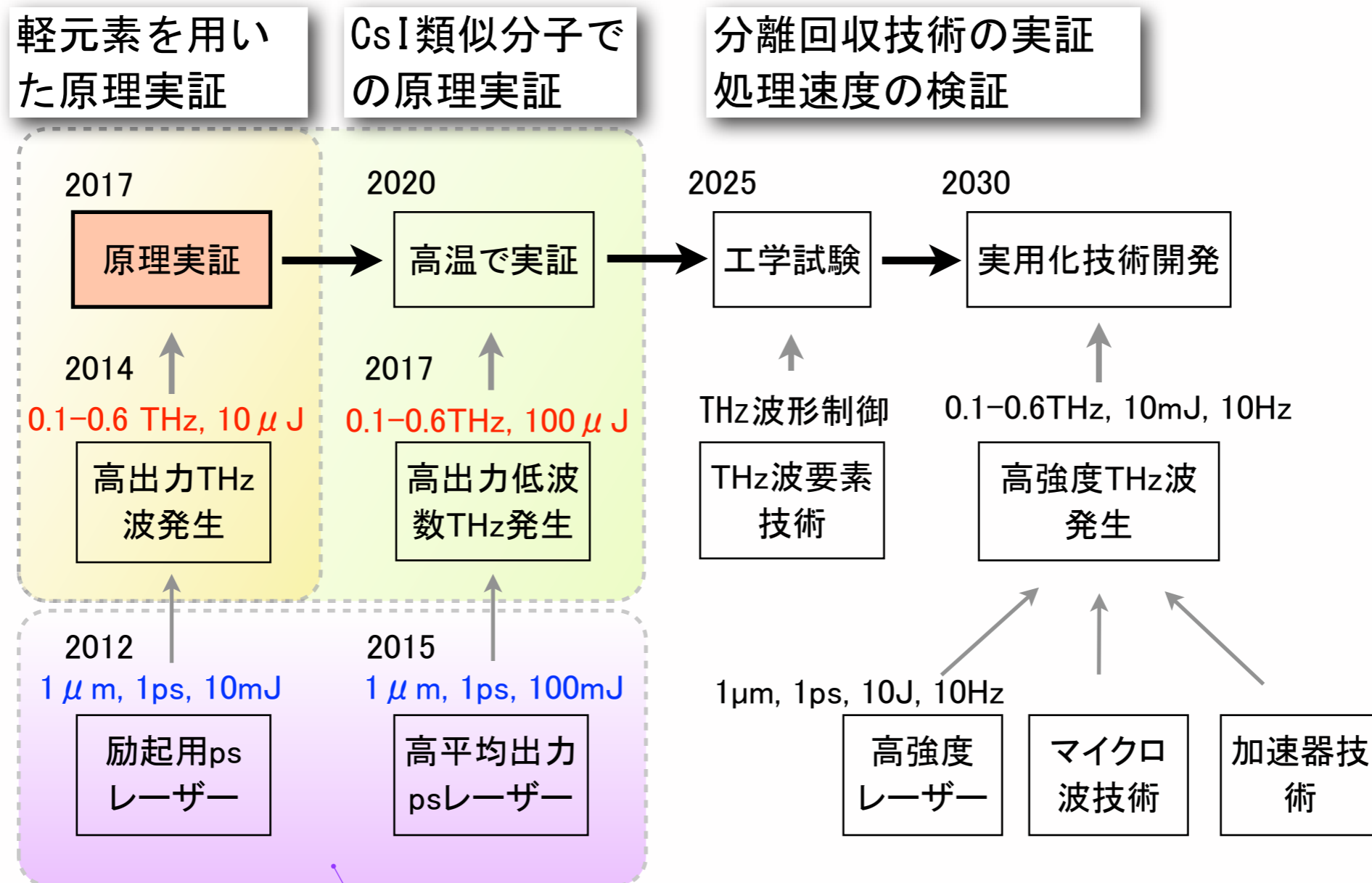
- 原料ガスを極低温にする必要のないレーザー（分子）法
（冷却なしのレーザー法には工業化例が存在）

今後取り組むべき課題

- 分離回収技術の開発
- テラヘルツレーザーの高出力化
- テラヘルツ光の精密な制御技術

ロードマップ

・ 実用化までの道のりと開発すべき要素技術



融合光新創生ネットワーク (文科省)

まとめ

- 極めて困難とされている重元素の精密同位体分離に対して、新しい方法の一つとして量子拡散法を提案した。
- 実用化に向けた基礎研究を関西光科学研究所で展開中。

ゼロリリース → 新しい科学技術の萌芽を牽引