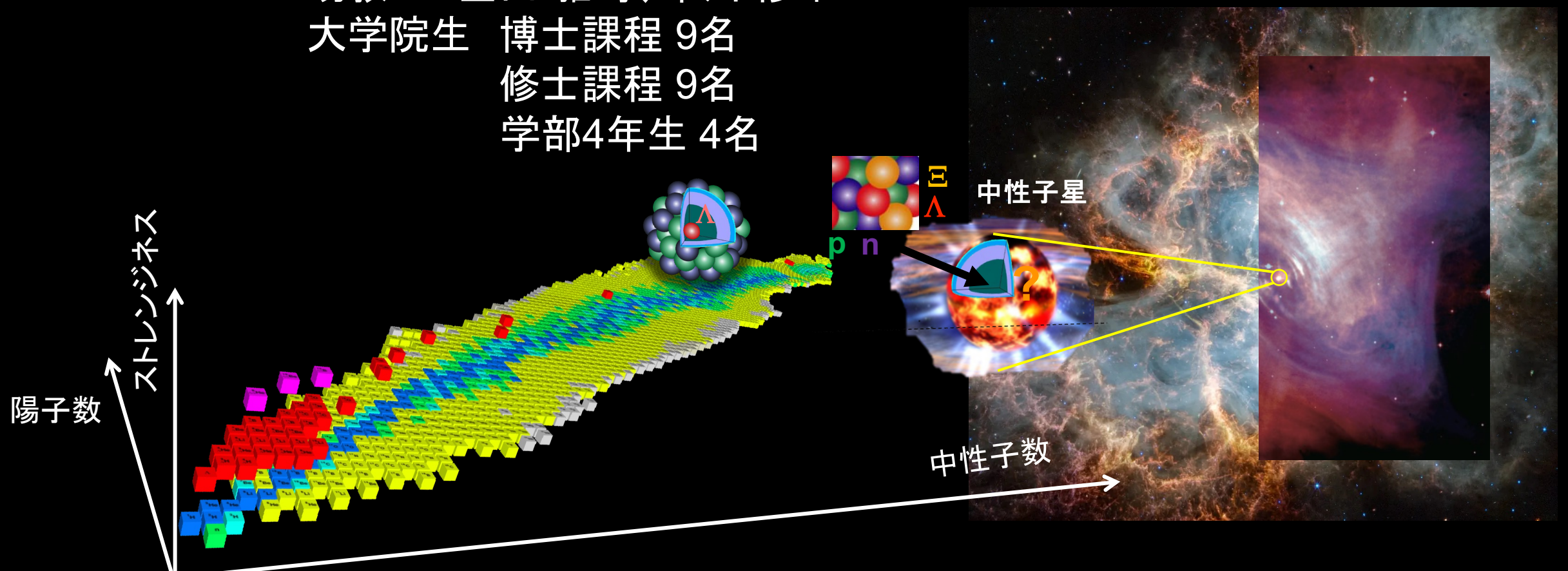


ストレンジネス核物理グループ

(原子核物理研究室)

教授 田村 裕和、三輪 浩司、中村 哲 (委嘱 東大)
 准教授 市川裕大、鵜養 美冬 (兼 KEK)、小池 武志 (兼 川内)
 助教 金田 雅司、早川 修平
 大学院生 博士課程 9名
 修士課程 9名
 学部4年生 4名

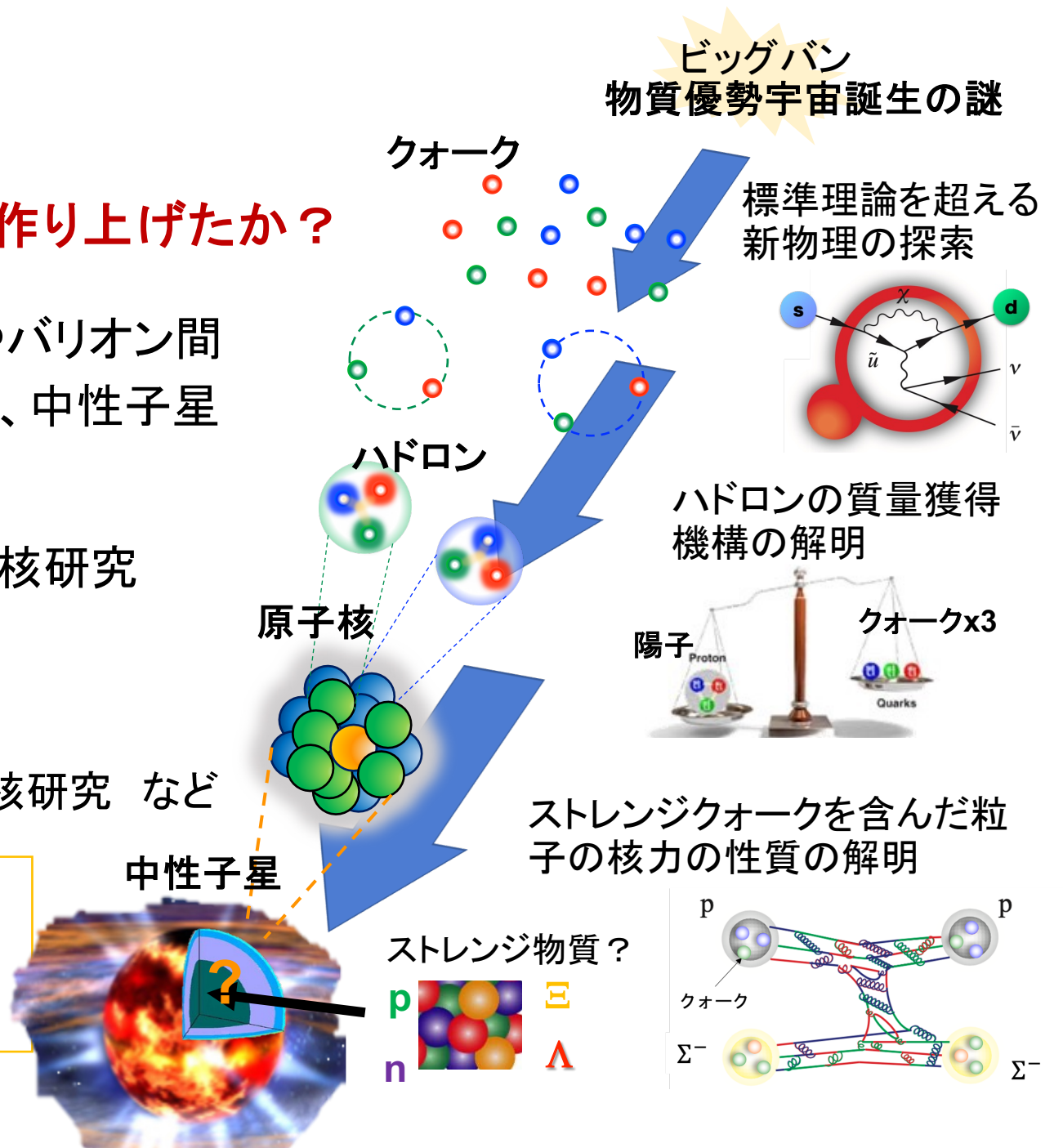


原子核物理のビジョン

クォークが宇宙の進化の過程で、
どのようにして宇宙の多様な物質世界を作り上げたか？

- 各階層での基本的な自由度となるクォークやバリオン間に働く強い力を基盤として、ハドロン、原子核、中性子星までの統一的な理解を目指す
- 多様なビームをプローブとした系統的な原子核研究
 - 精密核物理による核物質研究
 - 中性子過剰核
 - ハドロン、ストレンジクォークを含むハイパー核研究 など

- ✓ クォークから如何にバリオン階層を構築したか？
- ✓ 核力をクォーククラスター間の力として説明する
- ✓ 中性子星の内部構造を説明を目指す



宇宙における物質の生成と進化のメカニズム

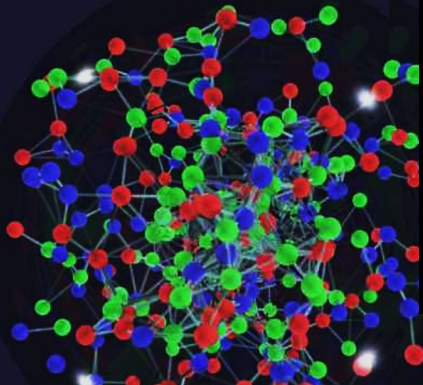
ビッグバン

ガス星雲

恒星

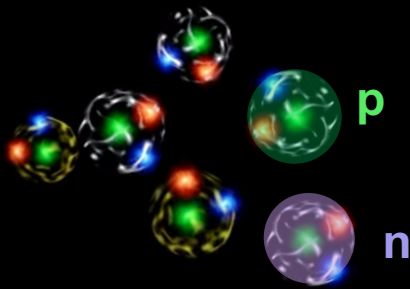
超新星爆発

中性子星



クォークの誕生

ハドロンの質量獲得
機構の謎



ハドロン(核子)
の誕生

^2H

^4He

C

Fe

Au, U

核力の謎

なぜ原子核が形成できるのか？

ストレンジクォーク

クォークの種類を変えると
核力はどう変わるか？
なぜ重い中性子星が
存在できるのか

原子核の合成

元素合成の謎

様々な原子核はどこで
どう作られた？

3体核力

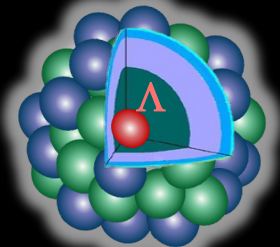
Au, U

中性子星内部に
ストレンジクォーク
があるのか？

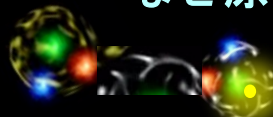
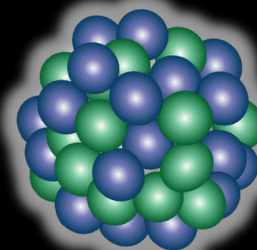
高密度核物質の生成

中性子星内部の謎







ストレンジ物質？



Λハイパー核



ハイペロン：ストレンジクォークを含んだ陽子・中性子の仲間

クォーク	アップ (u)	チャーム (c)	トップ (t)
電荷 $+2/3 e$	 $\sim 2 \text{ MeV}/c^2$ ($300 \text{ MeV}/c^2$)	 $1.15\sim 1.35 \text{ GeV}/c^2$	 $170\sim 180 \text{ GeV}/c^2$
クォーク	ダウン (d)	ストレンジ (s)	ボトム (b)
電荷 $-1/3 e$	 $\sim 8 \text{ MeV}/c^2$ ($300 \text{ MeV}/c^2$)	 $\sim 100 \text{ MeV}/c^2$ ($450 \text{ MeV}/c^2$)	 $4\sim 5 \text{ GeV}/c^2$

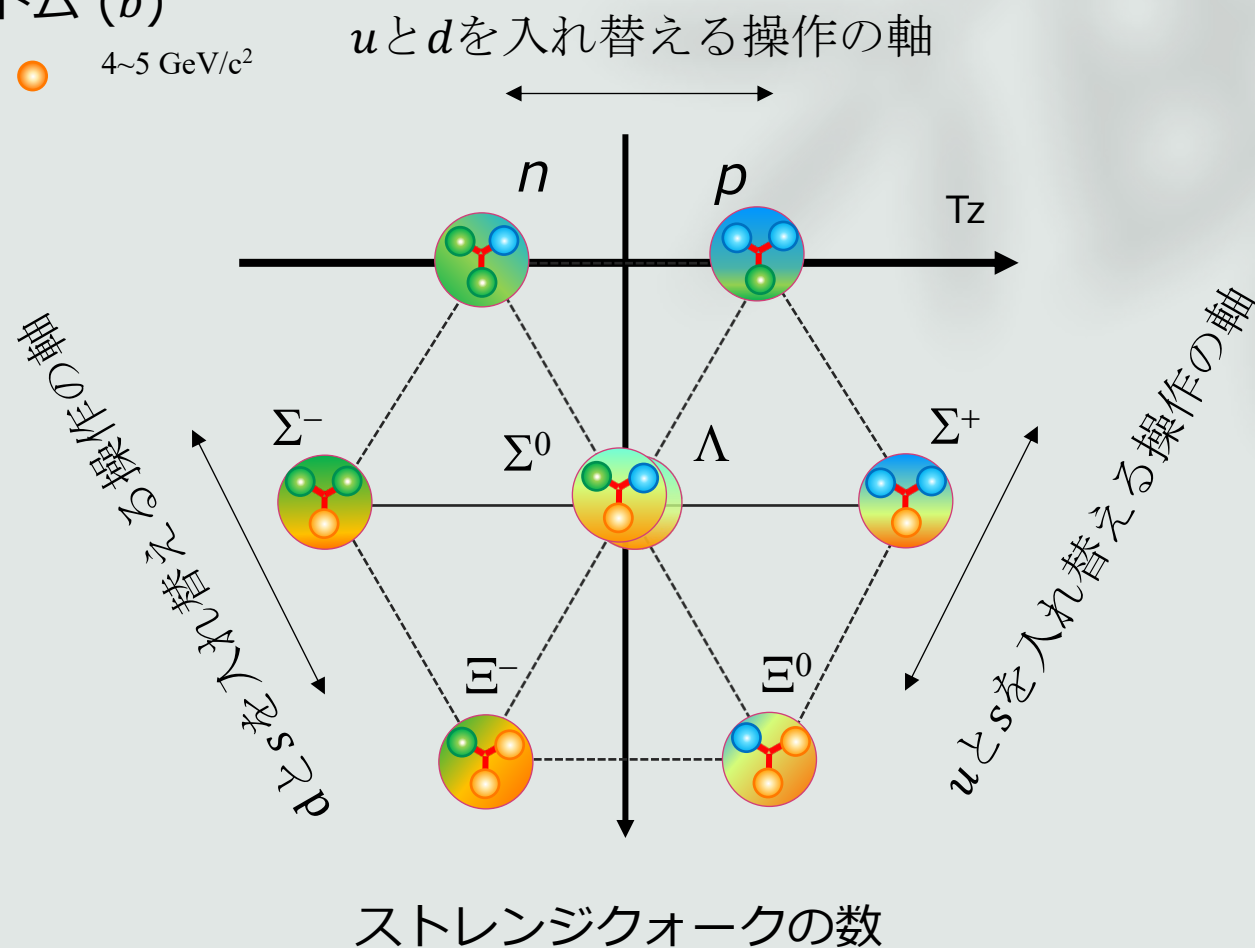
陽子・中性子(核子)
アップ、ダウンクォークからなる

ハイペロン(奇妙な粒子)
ストレンジクォークを含んだ粒子



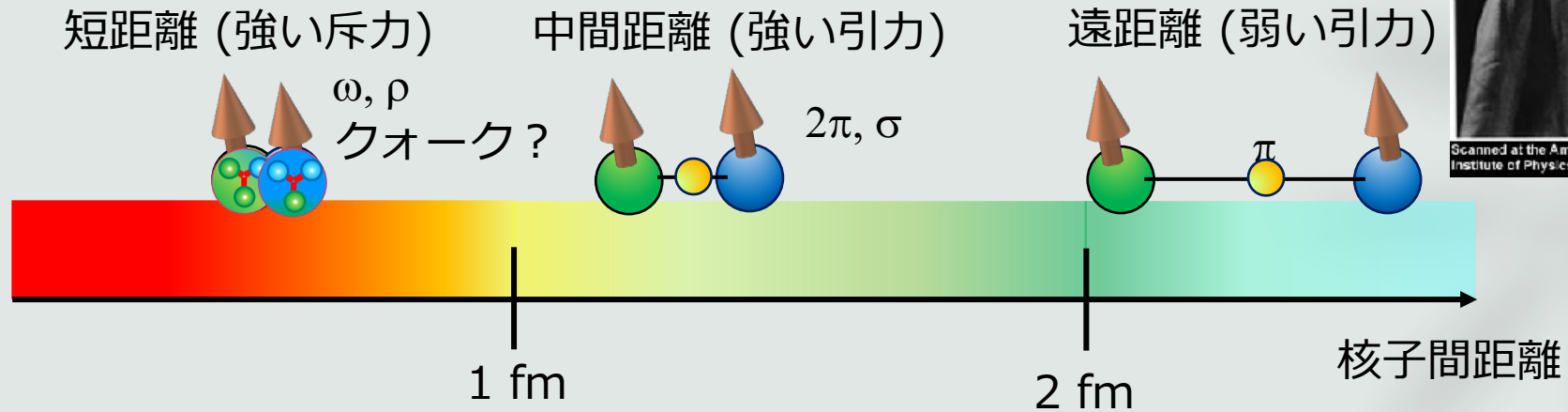
ハイペロンを含んだ原子核の研究

クォークと核子(バリオン)の階層を繋いで
物質の進化を理解するために、
ストレンジクォークが重要な役割を果たす

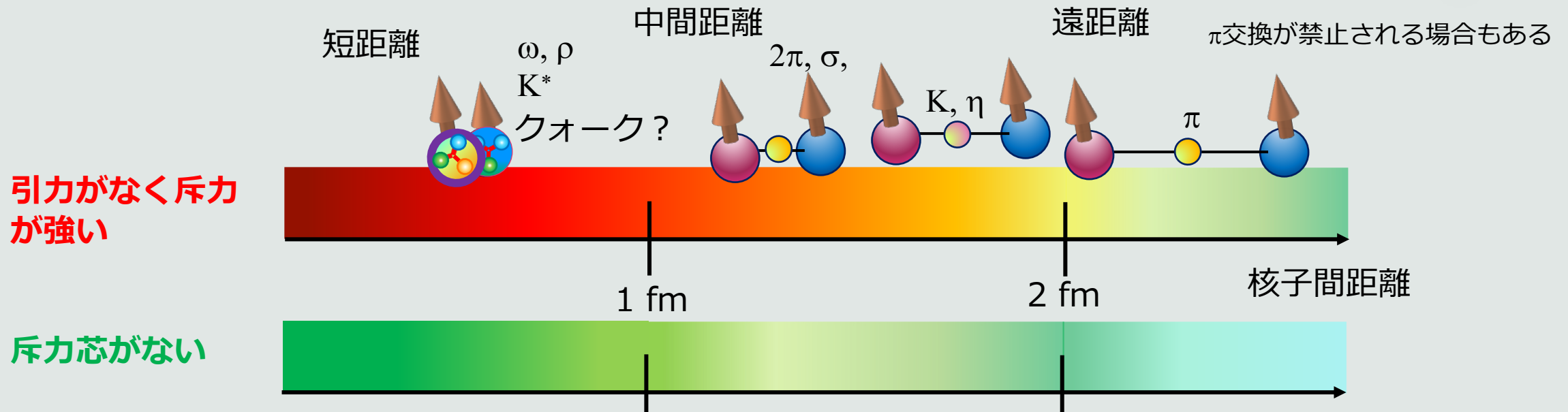


拡張された核力

核力
(核子間力)

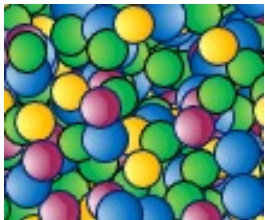


ハイペロン核子間力 (クォークの描像に基づいた理論による予想)



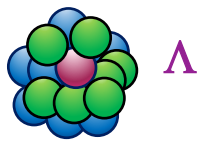
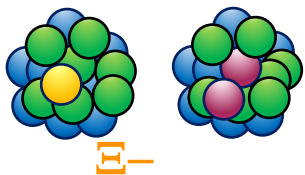
ストレンジクォークで果てしなく広がる物質の世界

Nu ~ Nd ~ Ns



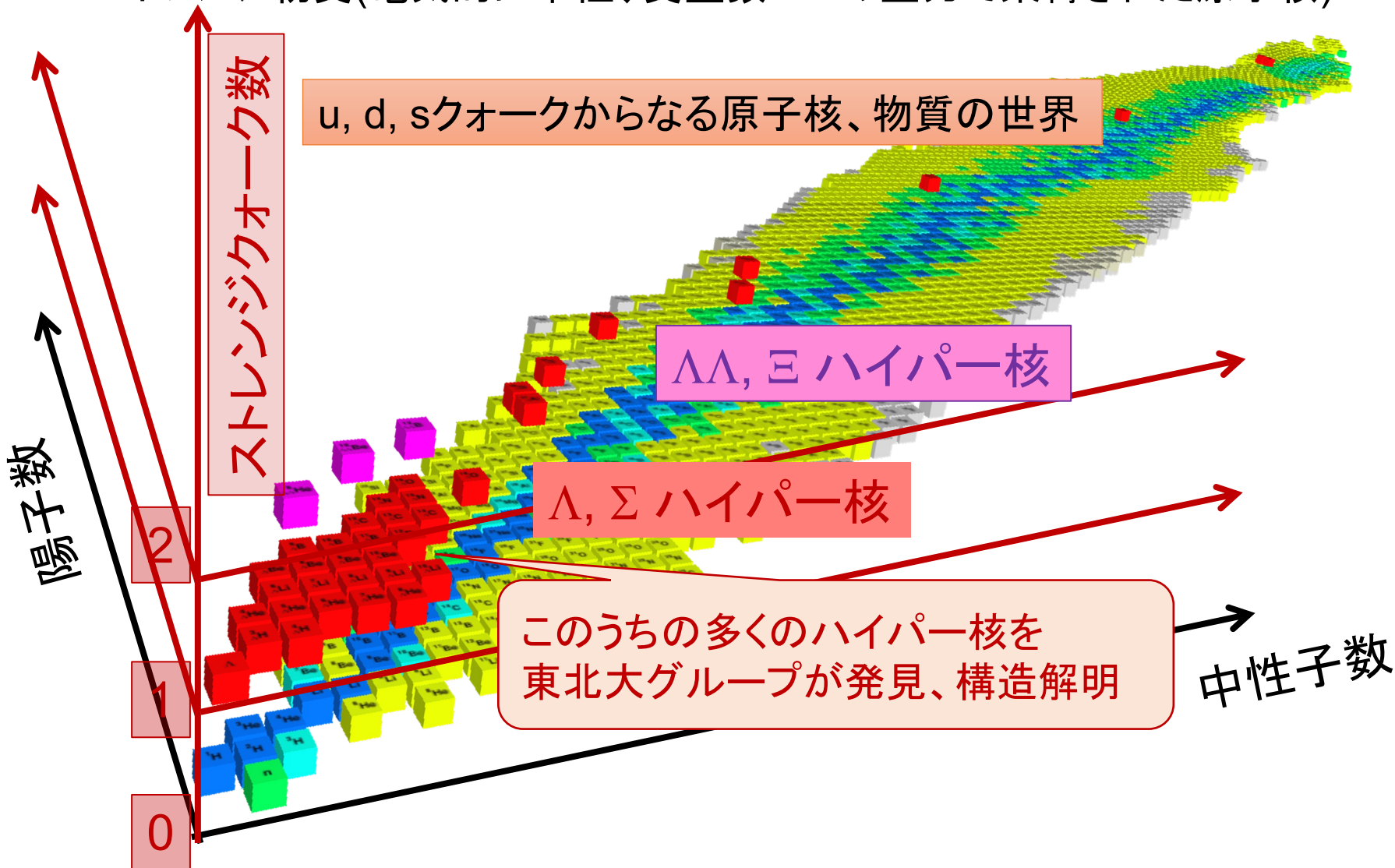
p, n, Λ , Ξ^0 , Ξ^-

高密度化



中性子星の中心部に存在？

ストレンジ物質(電氣的に中性、質量数 $\rightarrow\infty$ の重力で束縛された原子核)



quarks		
up 0.003 (~0.3)	charm 1.3 (1.5)	top 172
down 0.005 (~0.3)	strange 0.1 (~0.5)	bottom 5

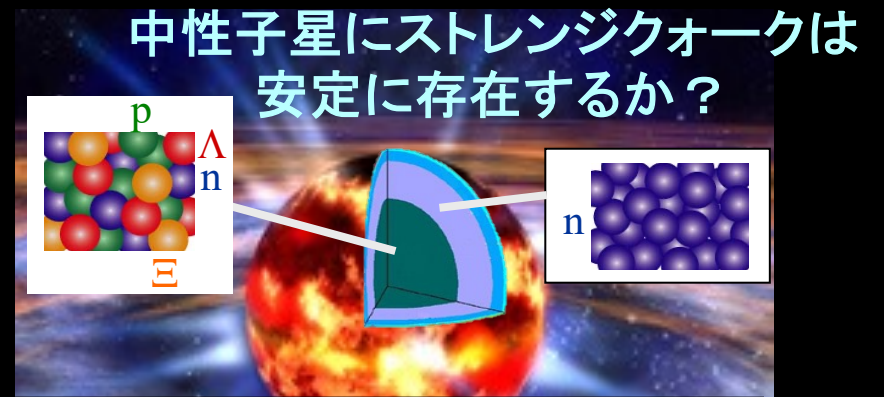
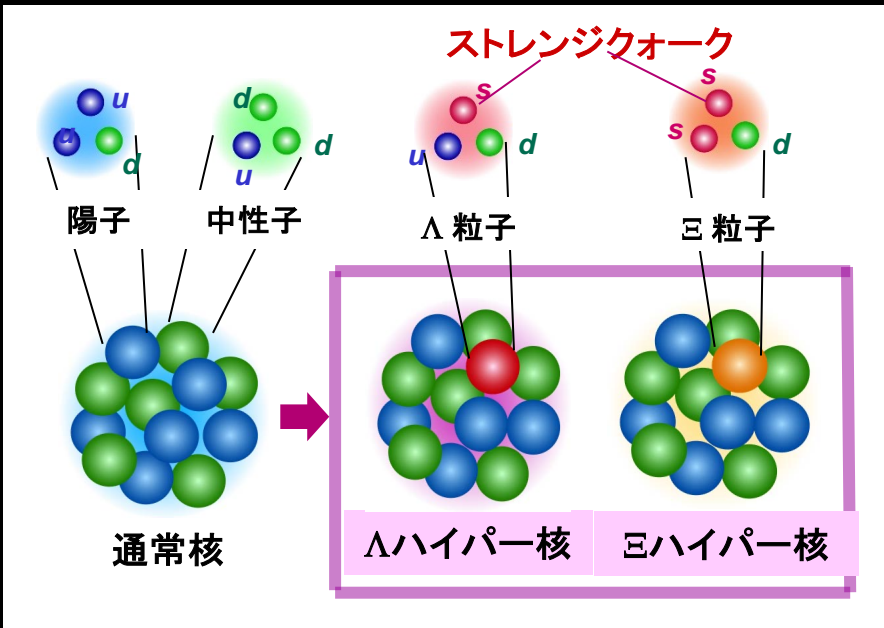
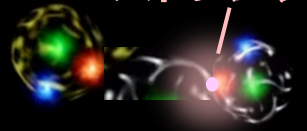
ストレンジネス核物理グループ

教授 田村 裕和、三輪 浩司
 准教授 市川裕大
 助教 金田 雅司、早川 修平
 大学院生 博士課程 9名
 修士課程 9名

“ハイパー核”

=ストレンジ・クォークを含む原子核= の研究

クォークの種類を変えると核力はどう変わるのか？
 → 核力の正体がわかる

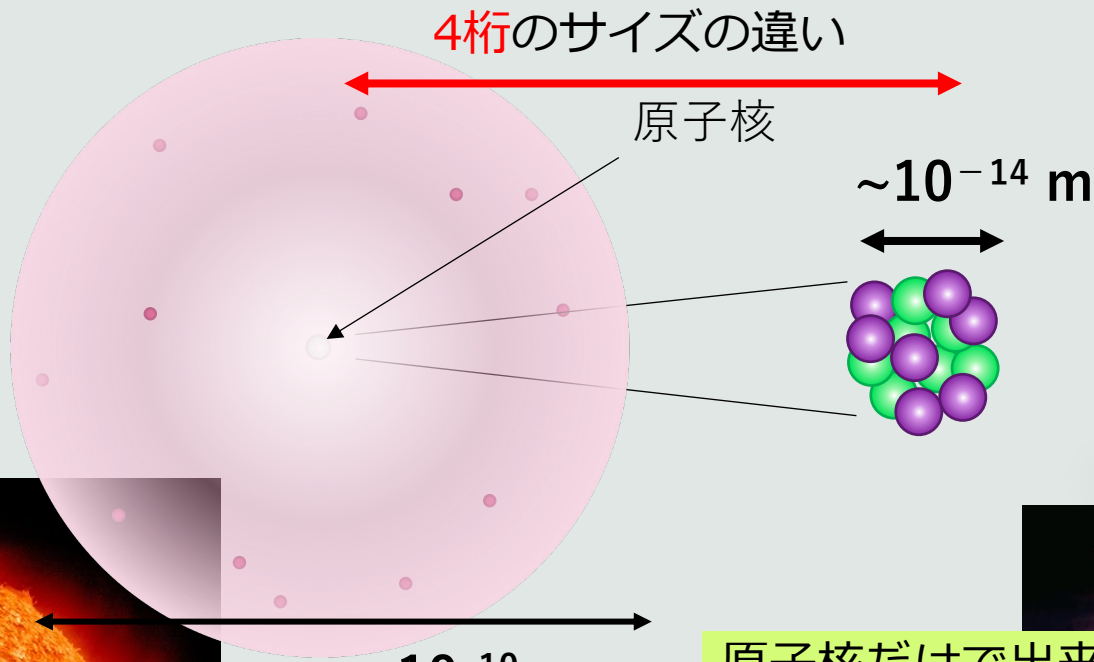


「ハイパー核=ミニ中性子星」の研究からこの物質の性質がわかる

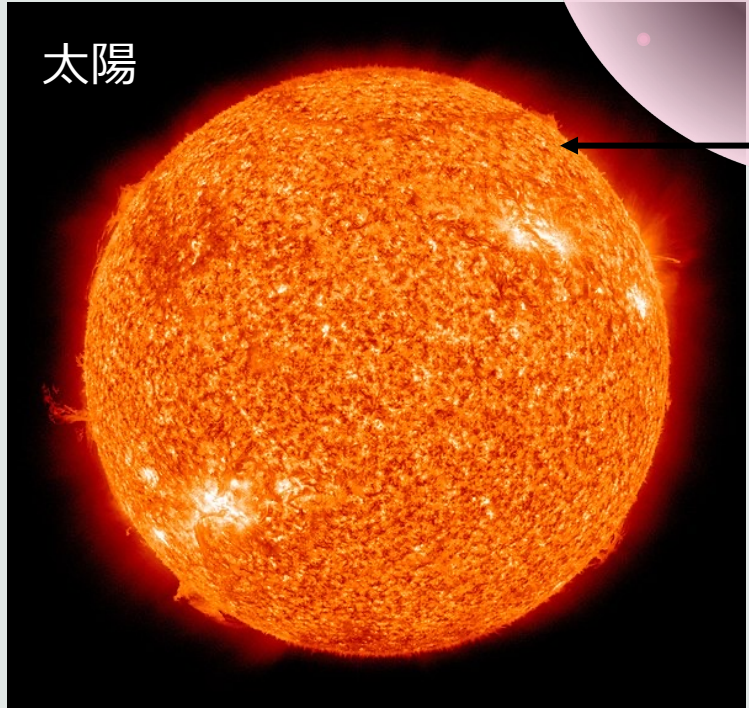


中性子星

原子(原子核+電子)で出来た星



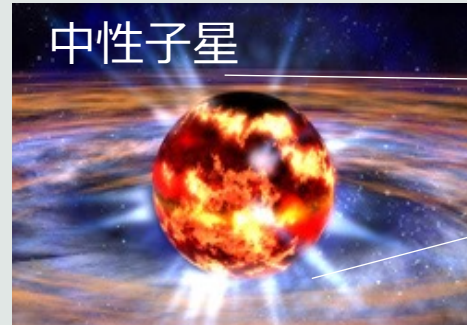
原子と原子核のサイズ感と同じ
(原子の重さのほとんどは原子核
でできている)



太陽

半径 696,340 km
質量 1.989×10^{30} kg

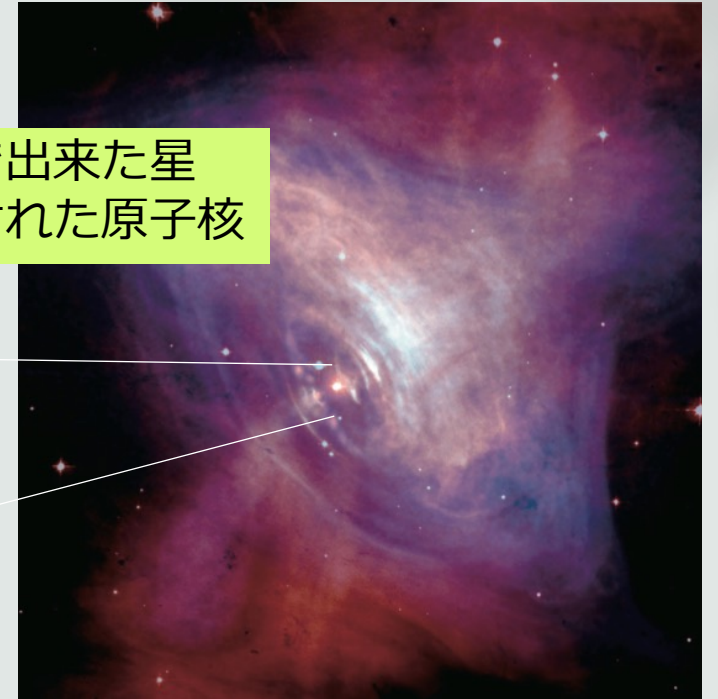
原子核だけで出来た星
重力で束縛された原子核



中性子星

半径 約12 km
質量 太陽の1~2倍程度の間分布する

4桁も小さいのにほぼ同じ質量

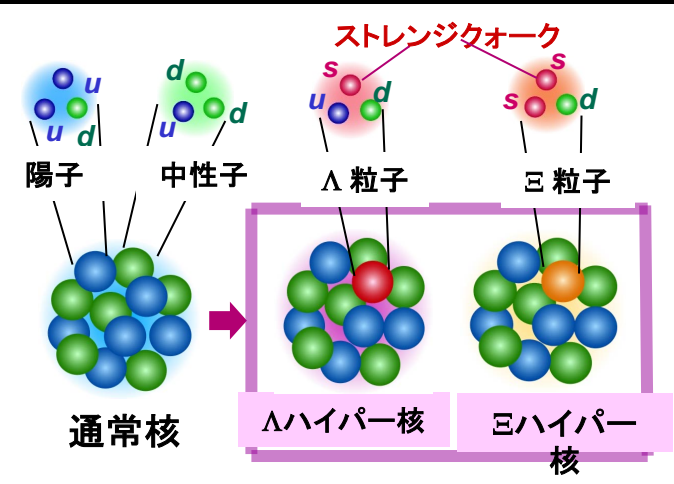


極限密度の物質層の理解に向けて

原子核物理の知識を総動員して、中性子星物質の解明に向けた挑戦

高密度で出現しうるハイペロンを含んだ原子核

原子核衝突による2倍の核密度での物性

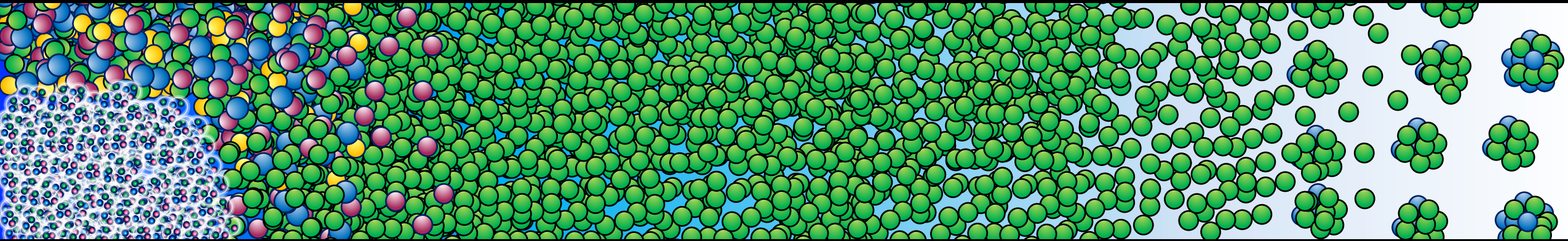


3体核力

ハイペロンと核子の力は？
 $\Lambda N, \Sigma N, \Xi N$
ハイペロンどうしの力は？
 $\Lambda\Lambda$

高密度では至る所で3体力、
4体力の多粒子間力が働く

中性子が過剰な原子核



ハイペロンを含んだ多粒子間力が非常に大きな斥力を作ると予想されている。
中性子星の「ハイペロンパズル」を解決できるか？

研究拠点・研究テーマ

高エネルギー(~ 1 GeV)の中間子、電子・光子ビームでストレンジクォークを作る

中間子ビーム (田村、三輪、市川、鵜養、早川)

J-PARC (30GeV大強度陽子加速器) (茨城県東海)



Λ ハイパー核 精密 γ 線分光、
 Σ 陽子、 Λ 陽子散乱実験、
 Ξ 原子X線分光、
 Ξ ハイパー核・ Λ ハイパー核分光研究、
 エキゾチックハドロン探索

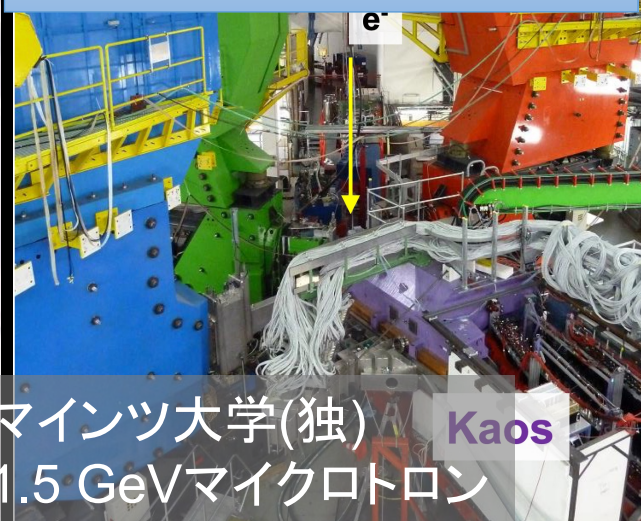
電子・光子ビーム (金田、中村)

Λ 中性子相互作用



東北大電子光センター
1.3 GeVシンクロトロン

Λ ハイパー核 精密 π 崩壊分光



マインツ大学(独) Kaos
1.5 GeVマイクロトロン

Λ ハイパー核 精密生成分光



世界一の高品質・
電子加速器

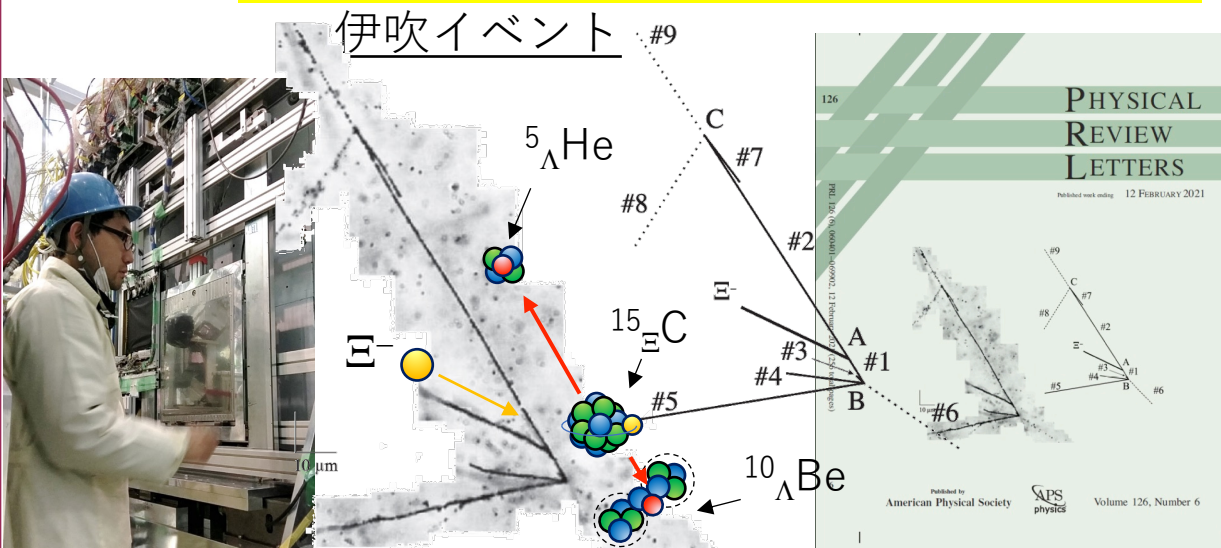
実験室

Jefferson研究所(米バージニア)
12GeV超伝導連続電子加速器

J-PARCでの東北大グループの成果

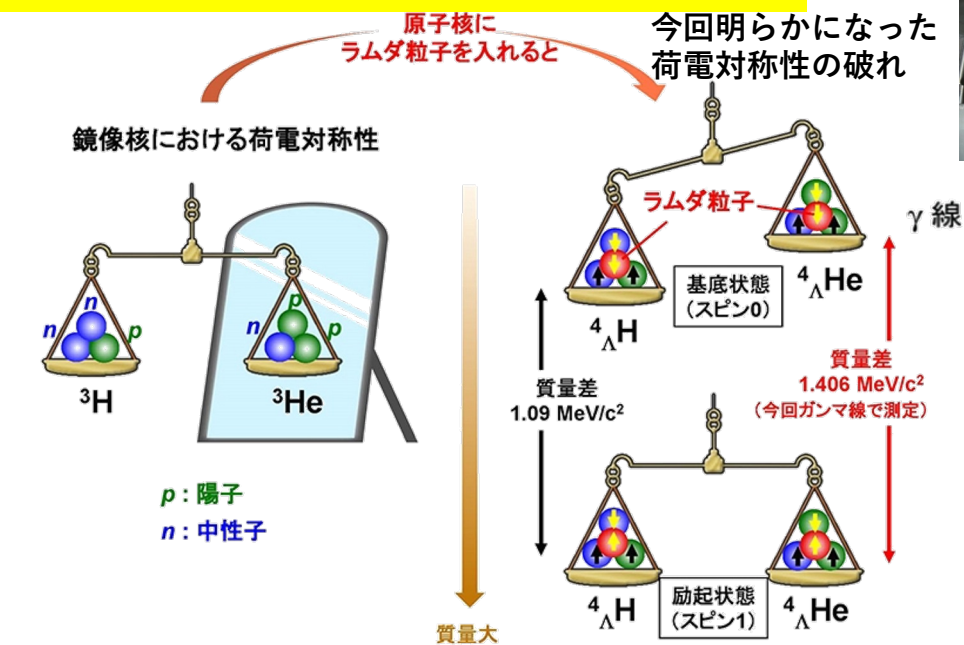
ハイペロンまで含めた「一般化された核力」の性質と起源の解明

グザイハイパー核の質量測定に初めて成功

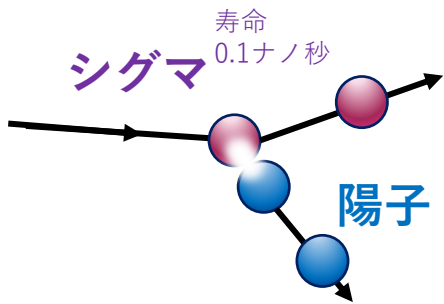


グザイ粒子と核子との間に働く力が
引力であることを確定

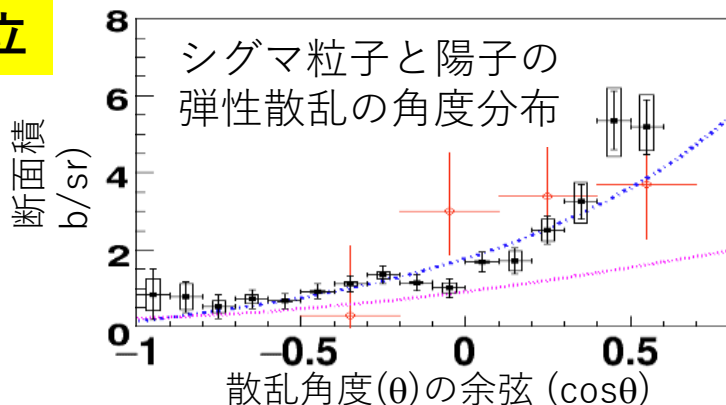
ラムダ粒子と核子との間に働く力の 荷電対称性の破れを発見



ストレンジ核子と陽子の散乱実験手法を確立

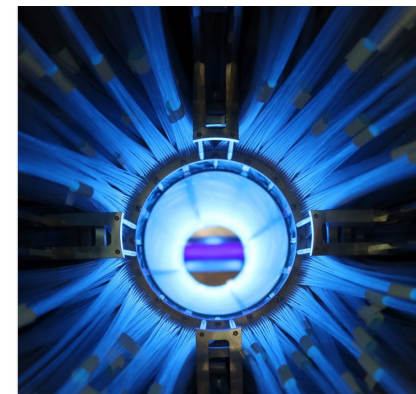


半世紀ぶりに
散乱角分布の
測定精度を
10倍向上



実験データ
● J-PARC
○ 過去の実験

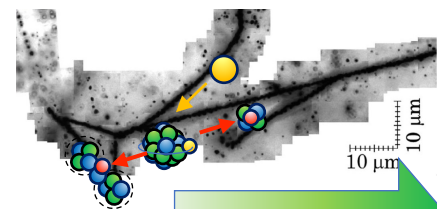
理論計算
--- クォーク
模型
- - - 中間子交換
模型



J-PARCでのハイパー核研究の展開(既存施設+拡張施設)

写真乾板によるグザイ
ハイパー核の発見

ダブルストレンジ原子核の構造研究 グザイハイパー核の発見から分光研究へ



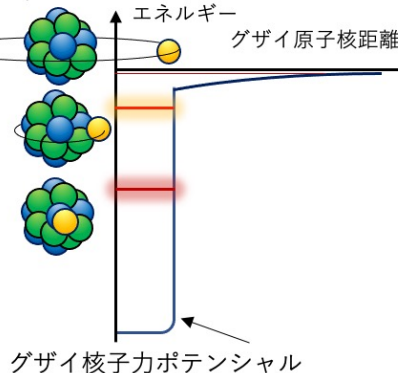
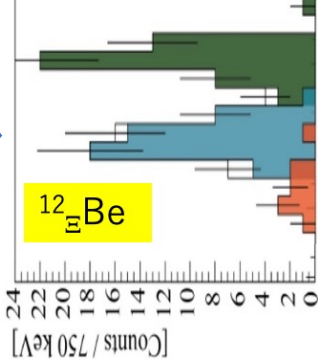
分光研究へ

エネルギー分解能 3MeV
(米国での先行研究の5倍)

S=-2の原子核の系統的な測定
(現在の2種→10種程度)

S-2Sでのグザイ原子核分光研究

3MeVの分解能でレベルを分離

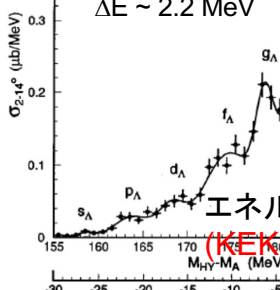


核物質中での Λ N相互作用の解明 最も重いラムダハイパー核の初の高分解能分光

これまでの測定

$^{208}_{\Lambda}\text{Pb}$ (KEK-PS)

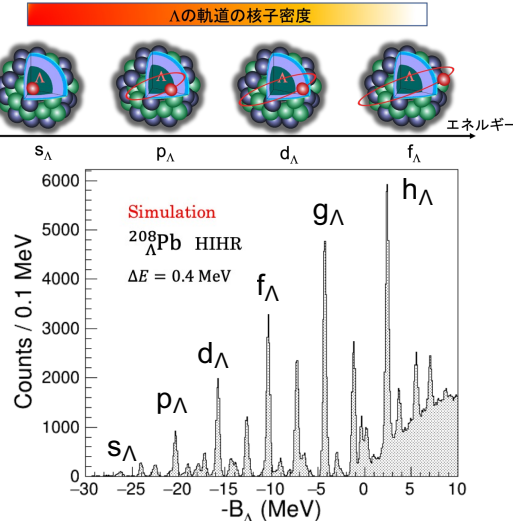
$\Delta E \sim 2.2$ MeV



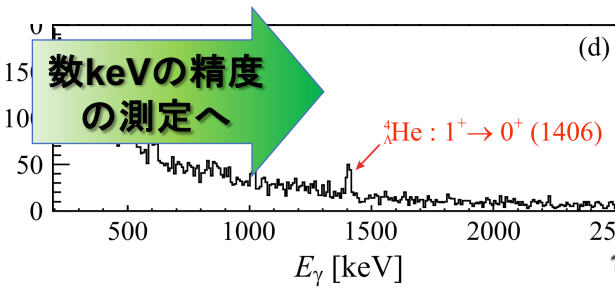
超高精度分光へ

エネルギー分解能 数100 keV
(KEK-PSの5倍)

最も重い Λ ハイパー原子核(A=208)
での世界初の高精度分光



γ 線、X線測定によるハイペロン核子相互作用の研究 核内での Σ N, Λ N相互作用の超精密測定

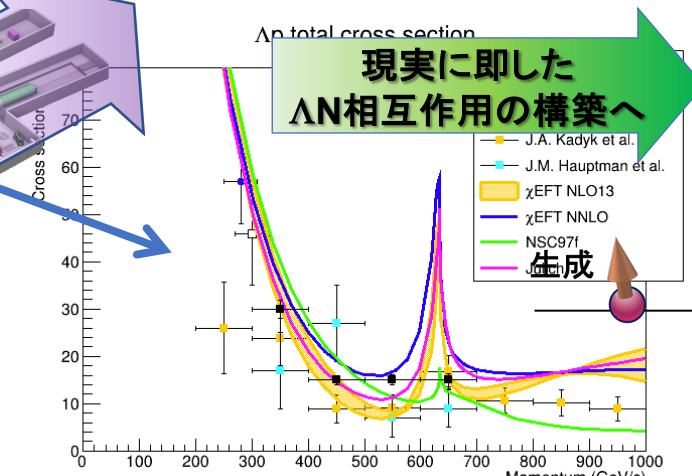


数keVの精度
の測定へ

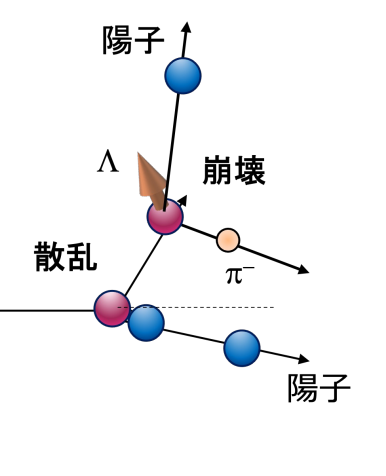


質量差 $1.406 \text{ MeV}/c^2$
(今回ガンマ線で測定)

自由空間での2体の Λ N相互作用の決定 スピン偏極した Λ ビームを用いた Δp 散乱実験



現実に即した
 Λ N相互作用の構築へ



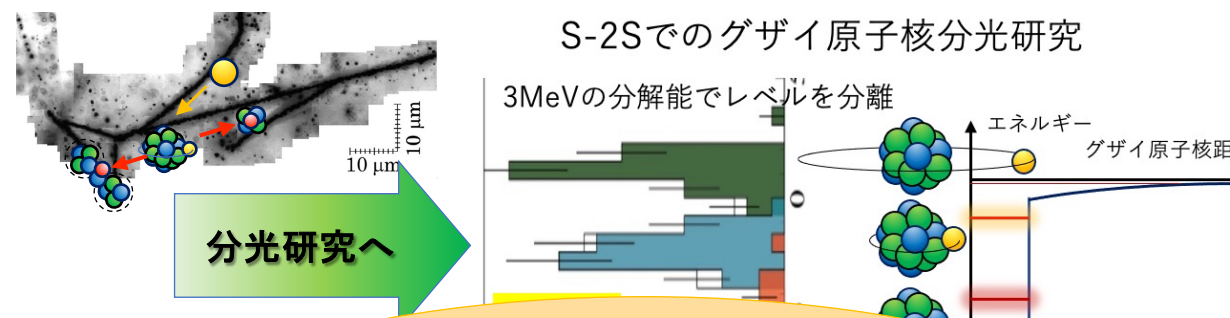
J-PARCでのハイパー核研究の展開(既存施設+拡張施設)

写真乾板によるグザイハイパー核の発見

ダブルストレンジ原子核の構造研究 グザイハイパー核の発見から分光研究へ

S-2Sでのグザイ原子核分光研究

3MeVの分解能でレベルを分離



分光研究へ

エネルギー分解能 2.2 MeV
(米国での先行実験)
S=-2のハイパー核
(現在)

核物質中での Λ N相互作用の解明 最も重いラムダハイパー核の初の高分解能分光

これまでの測定

$^{208}_{\Lambda}\text{Pb}$ (KEK-PS)

$\Delta E \sim 2.2 \text{ MeV}$

$\sigma_{2\Lambda}^e$ ($\mu\text{b}/\text{MeV}$)

g_{Λ}

f_{Λ}

d_{Λ}

s_{Λ}

h_{Λ}

Λ の軌道の核子密度

エネルギー

Simulation

$^{208}_{\Lambda}\text{Pb}$ HIHR

g_{Λ}

h_{Λ}

超高精度分光へ

Λ の軌道の核子密度

エネルギー

s_{Λ}

p_{Λ}

d_{Λ}

f_{Λ}

g_{Λ}

h_{Λ}

Simulation

$^{208}_{\Lambda}\text{Pb}$ HIHR

g_{Λ}

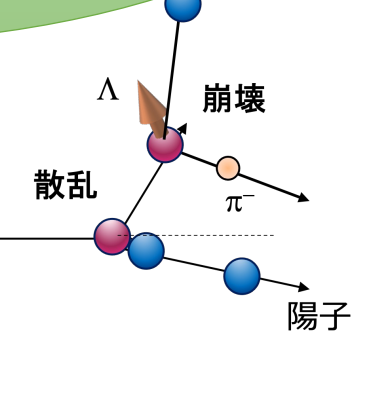
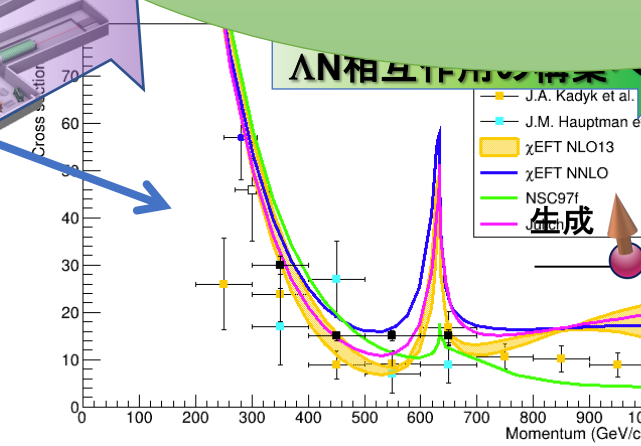
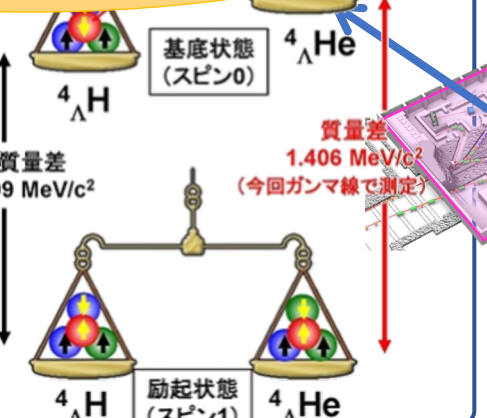
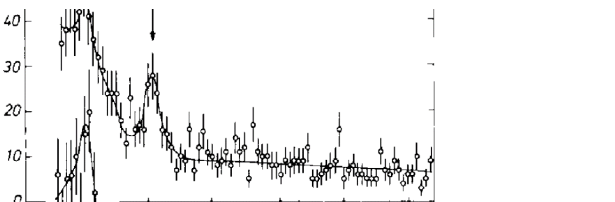
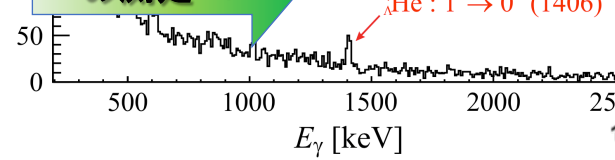
h_{Λ}

現行の実験プログラムに参加

将来の実験のための
検出器開発、
他施設での先行実験(Λp 散乱@SPring-8など)

γ 線研究
核中での Λ N相互作用

数keVの精度の測定へ

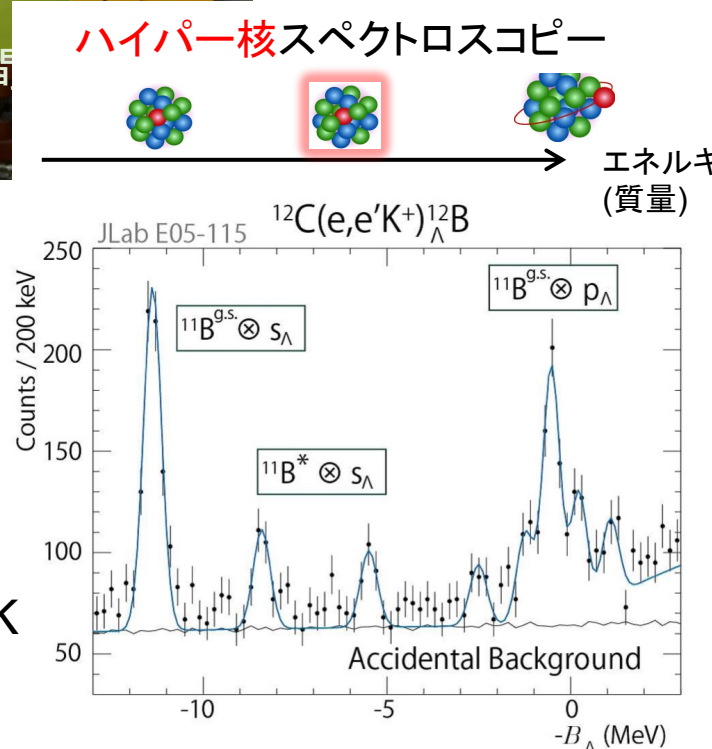
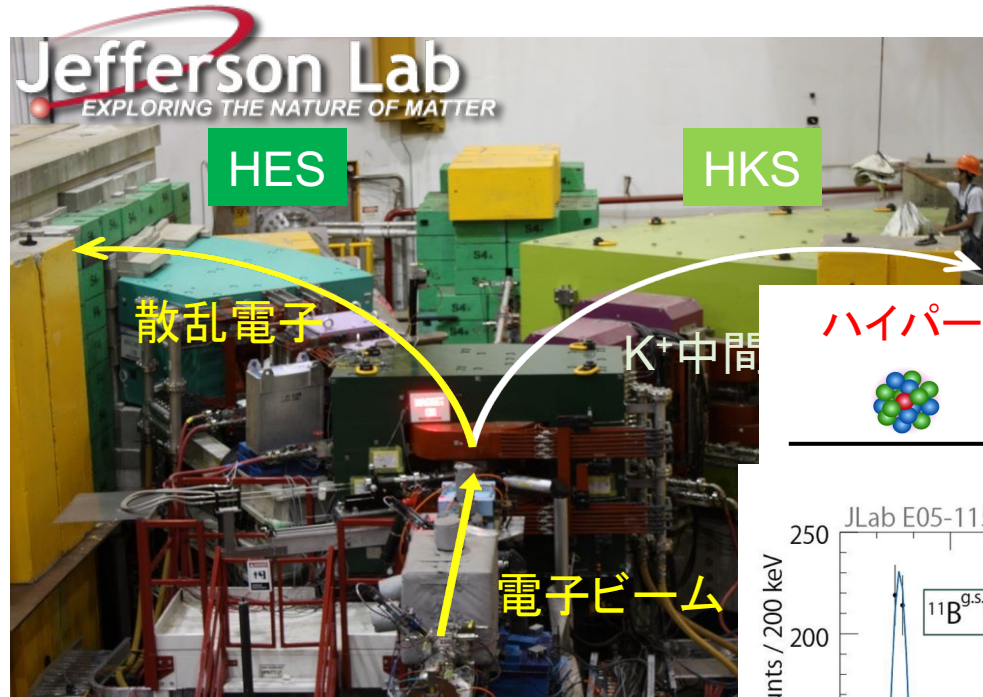
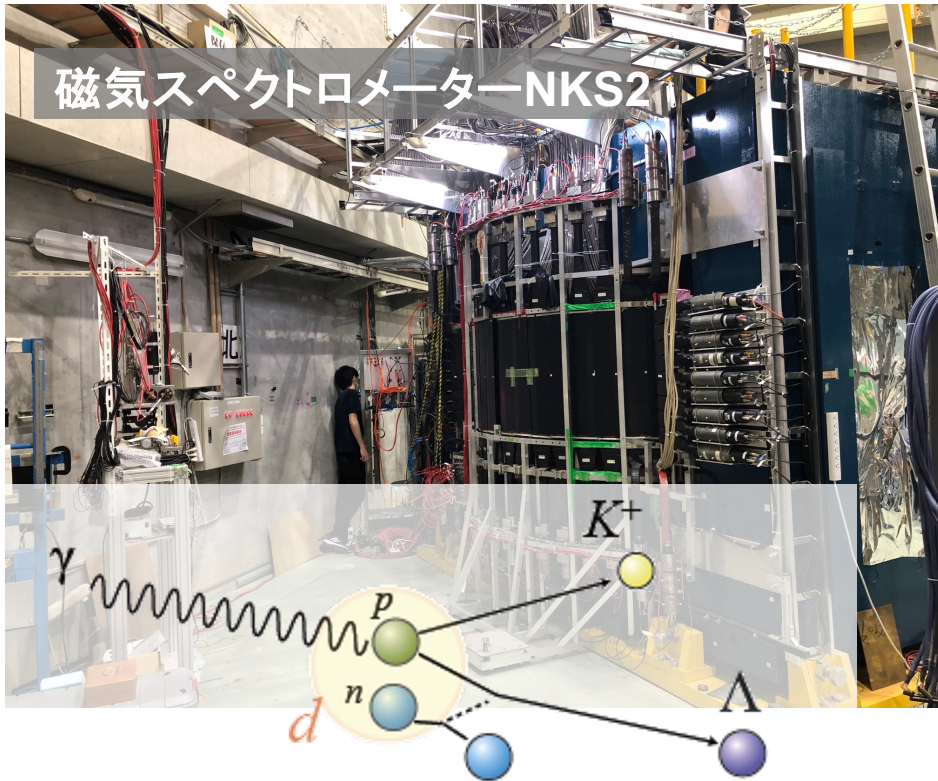


電子・光子を使ったΛハイパー核研究

実光子ビームを使った少数系Λシステム @ 東北大ELPH 世界最高分解能でΛハイパー核の研究 @ JLab

- ホームグラウンドでの加速器施設
- Λの生成閾値付近での研究に最適なエネルギー

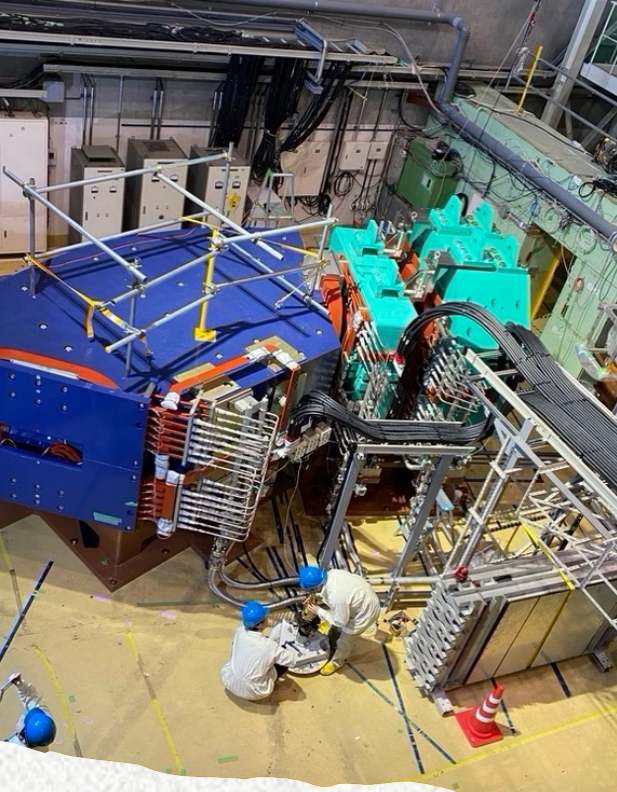
- 高品質な1次電子ビーム
- 東北大で建設した高分解能磁気スペクトロメーター



重陽子中の陽子をΛに変換
→ Λと中性子の相互作用を調べる

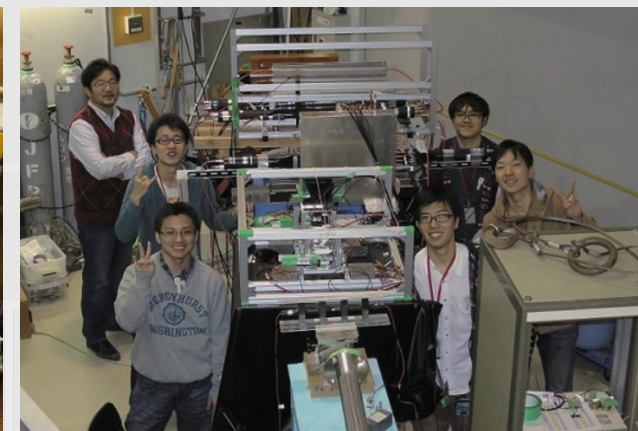
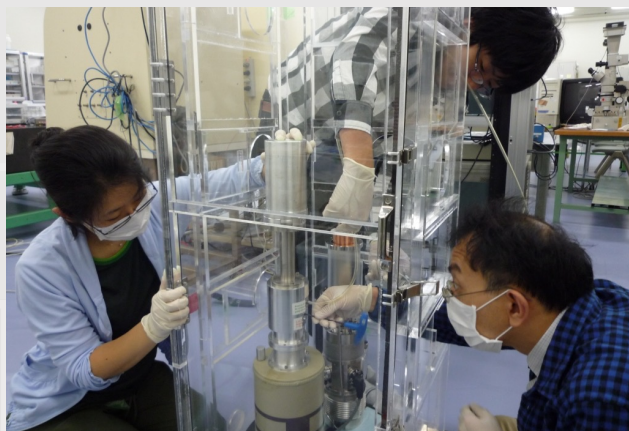
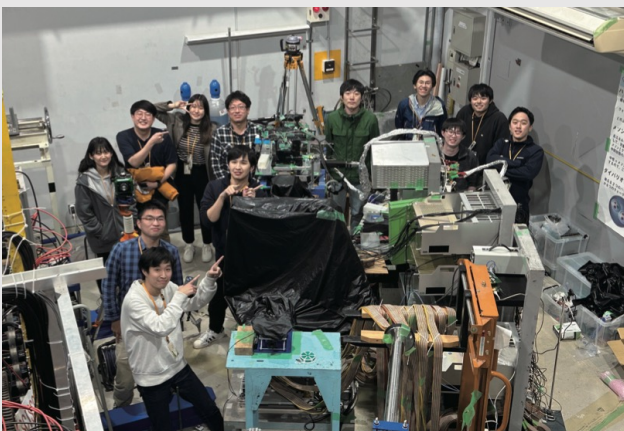
次期の実験

中性子過剰なΛハイパー核: $^{48}_\Lambda\text{K}$, $^{40}_\Lambda\text{K}$
核物質中でのΛ: $^{208}_\Lambda\text{Tl}$



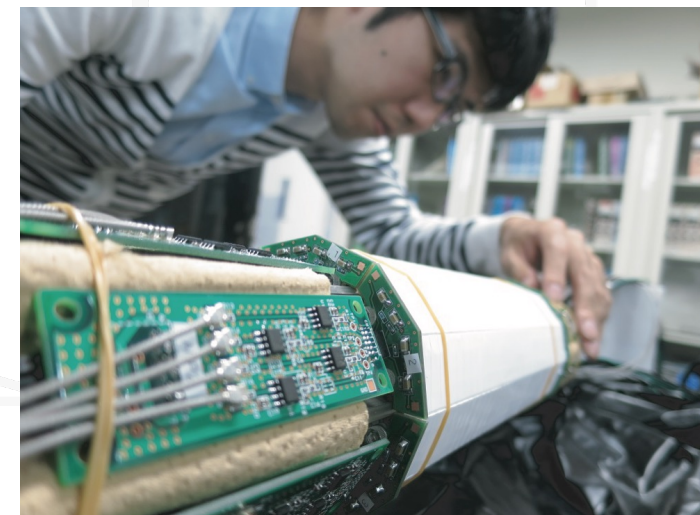
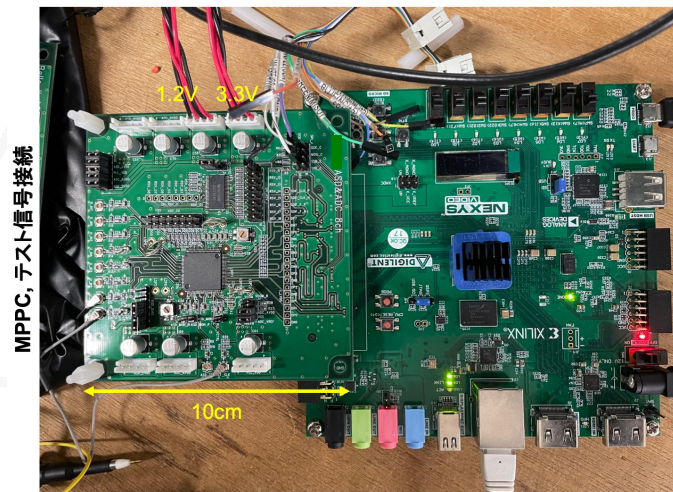
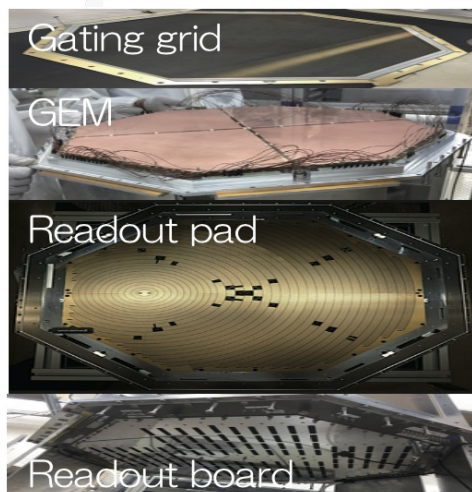
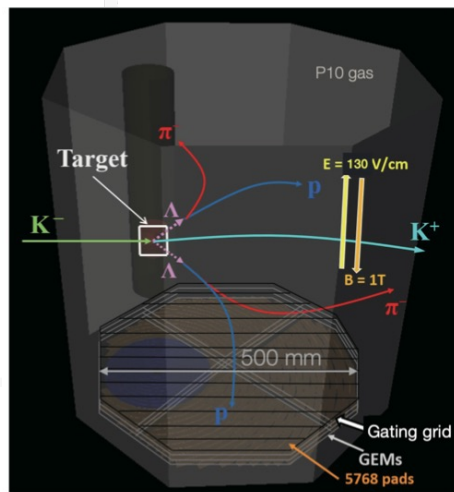
各実験施設での中心は大学院生(+4年生)

大学院生が中心となった実験を作り上げる
自分達で掴み取った新しい物理データで、ハイパー核物理の新しい領域を切り拓く



新しい検出器の開発・テスト実験

新しいテクノロジーでこれまで出来なかった実験を！
主に修士課程のときに、新しい検出器の開発に携わります。



■ 博士号取得者(24人)の進路(現在)

KEK准教授x2、京都大准教授、KEK講師/東北大特任准教授、
KEK助教 x 3名、東京大助教、大阪大助教、京都大助教、群馬大助教、
理研研究員(パーマネント)、原子力機構(JAEA)研究員(パーマネント)x3、
中部大研究員、KEK博士研究員x1、米国エネルギー省、
民間企業 x 6名

博士取得者の大部分が研究者として独り立ち

みなさんのこれからの研究を
さまざまな場面でサポートして
くれます

■ 修士号取得者の就職先(過去~10年)

日立、東芝、NEC、富士通、ルネサス、ソニーLSI、新日鉄住金エンジニアリング、
日立東日本ソリューションズ、東芝電子管デバイス、三菱日立パワーシステム
ズ、ニューフレアテクノロジー、島津、タムロン、ユーエスイー、VASILY、東光電
気工事、セコム、内田洋行、高校教諭、中学教諭 など

30人中20人(通常採択率20%)

■ 博士後期学生(日本人)学術振興会特別研究員

(GPPUはM2からサポート)

**宇宙創成国際大学院(GPPU)生も含めると、ほぼ全
員経済的サポートを受けている**

■ 大学院生・出身者の受賞

実験核物理で最も名誉な新人賞

↗ (全国で毎年2名)を 連続で3名受賞

日本物理学会若手奨励賞x4名、原子核談話会新人賞x5名、泉菖会奨励賞x3名、
アジア太平洋少数系物理会議若手賞、RHIC-AGS博士論文賞、
測定器開発優秀修士論文賞x4名、HUA修士論文賞x5名、東北大学黒田チカ賞、
東北大学総長賞、東北大学物理学専攻賞(多数)

4年生に対する教育

■ 4年ゼミ 原子核(+素粒子)物理 の英文教科書を輪講

原子核物理(ストレンジネス, 短寿命)共通

■ ストレンジネスゼミ(院生対象)にも参加

■ 実験学ゼミ 教科書輪講と実習

放射線検出器の作り方・使い方、データ収集や解析(プログラミング)の方法
オープンキャンパス「目で見える素粒子・原子核」のための装置製作

■ 4年研究(院試後)

東北大電子光やサイクロの加速器を用いる

新しい検出器の開発・特性の研究、ビームでの性能テスト実験
新実験のためのシミュレーション

→ 最先端のストレンジネス実験で使用

J-PARC、電子光で 最先端実験にメンバーとして参加、データ解析も



日本物理学会(3月末)で発表

いつでも研究室を見に来てください。
詳しく説明します。

興味のある方は、三輪、田村まで連絡ください
koji.miwa.c4@tohoku.ac.jp
tamura@lambda.phys.tohoku.ac.jp

