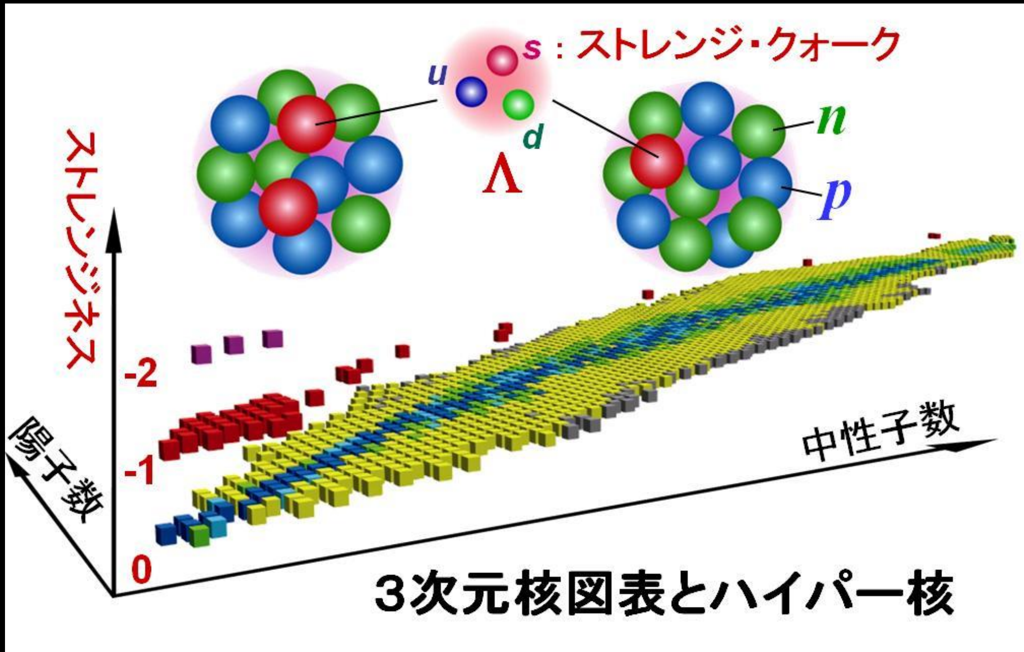
2015年度版

ストレンジネス核物理グループ
（原子核物理１）

教授　田村 裕和, 中村 哲
准教授　小池 武志
助教　藤井 優, 金田 雅司, 三輪 浩司, 鵜養 美冬
大学院生　博士課程　４名　全員が学振特別研究員（経験者・予定者）
　修士課程　８名

奇妙さ（ストレンジネス）量子数をもつ = s quark を含む=
ハドロン多体系の実験的研究



いつでも研究室を見に来てください。
詳しく説明します。

合同B棟643（田村）、645（中村）まで

Tel：6454, 6453

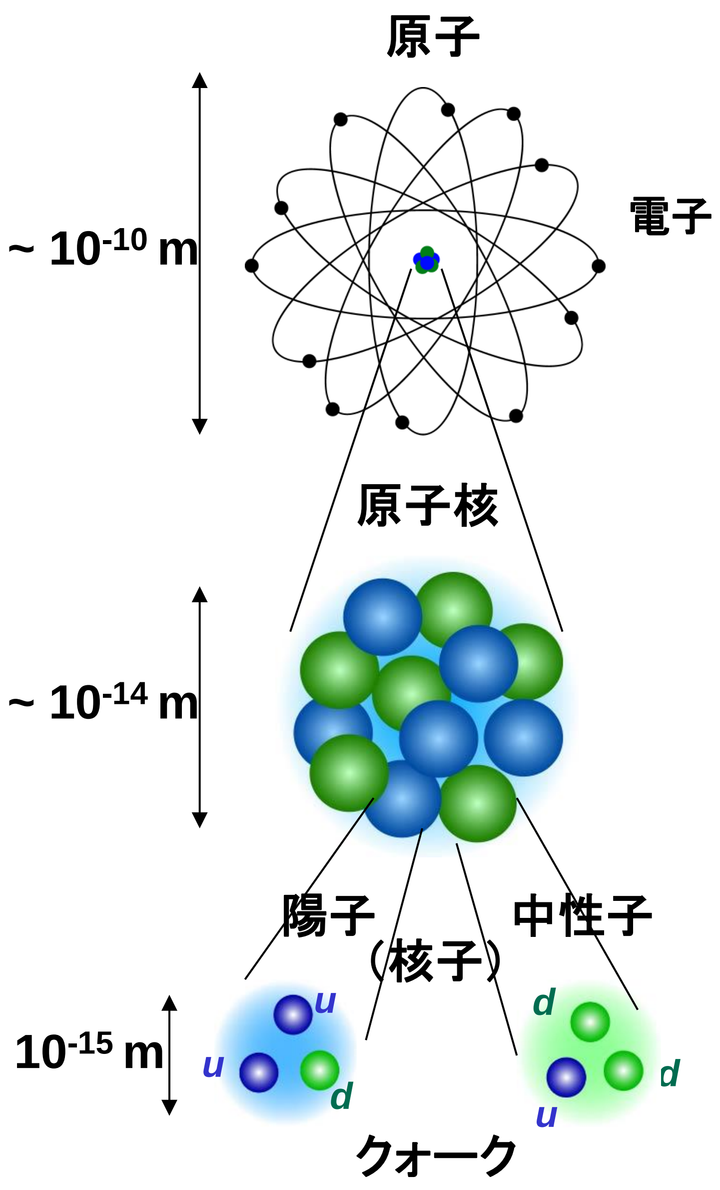
email: tamura@lambda.phys.tohoku.ac.jp

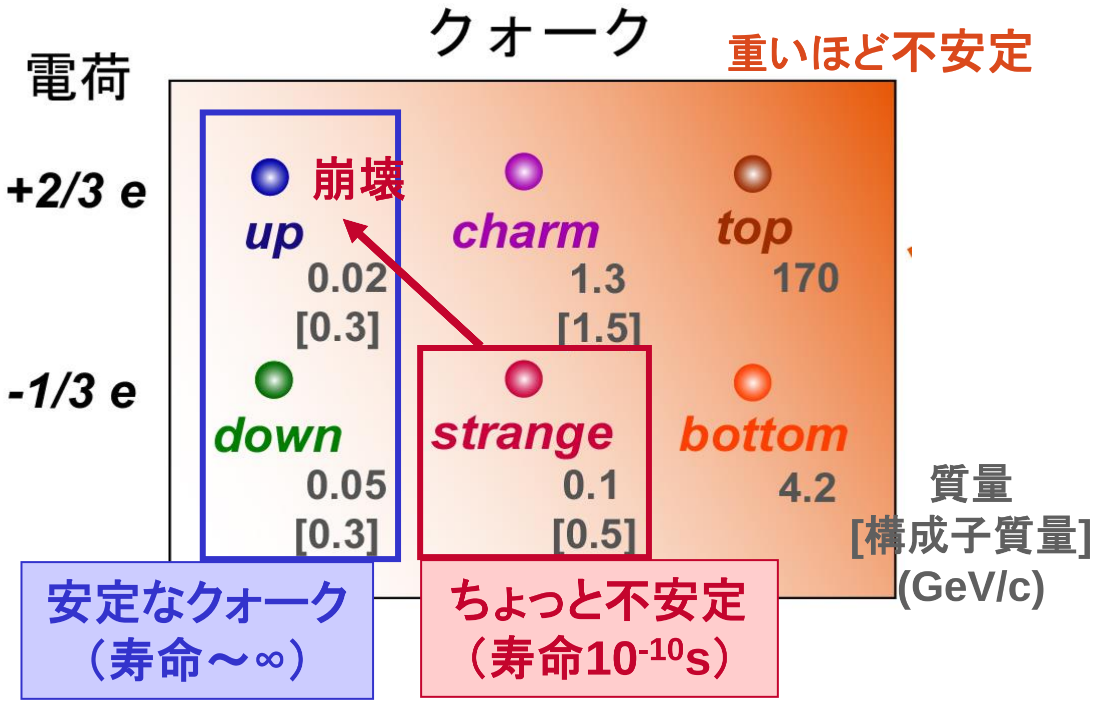
今日のスライドは
研究室のHome Page:

http://lambda.phys.tohoku.ac.jp/

に置いておきます。

物質は何からできているか？





物質の“もと” ＝ 原子核

原子の質量の99.98%

陽子の数 -> 電子の数 -> 化学的性質　“元素”

原子核 ＝ 陽子 ＋ 中性子

＝> up クォークとdownクォーク

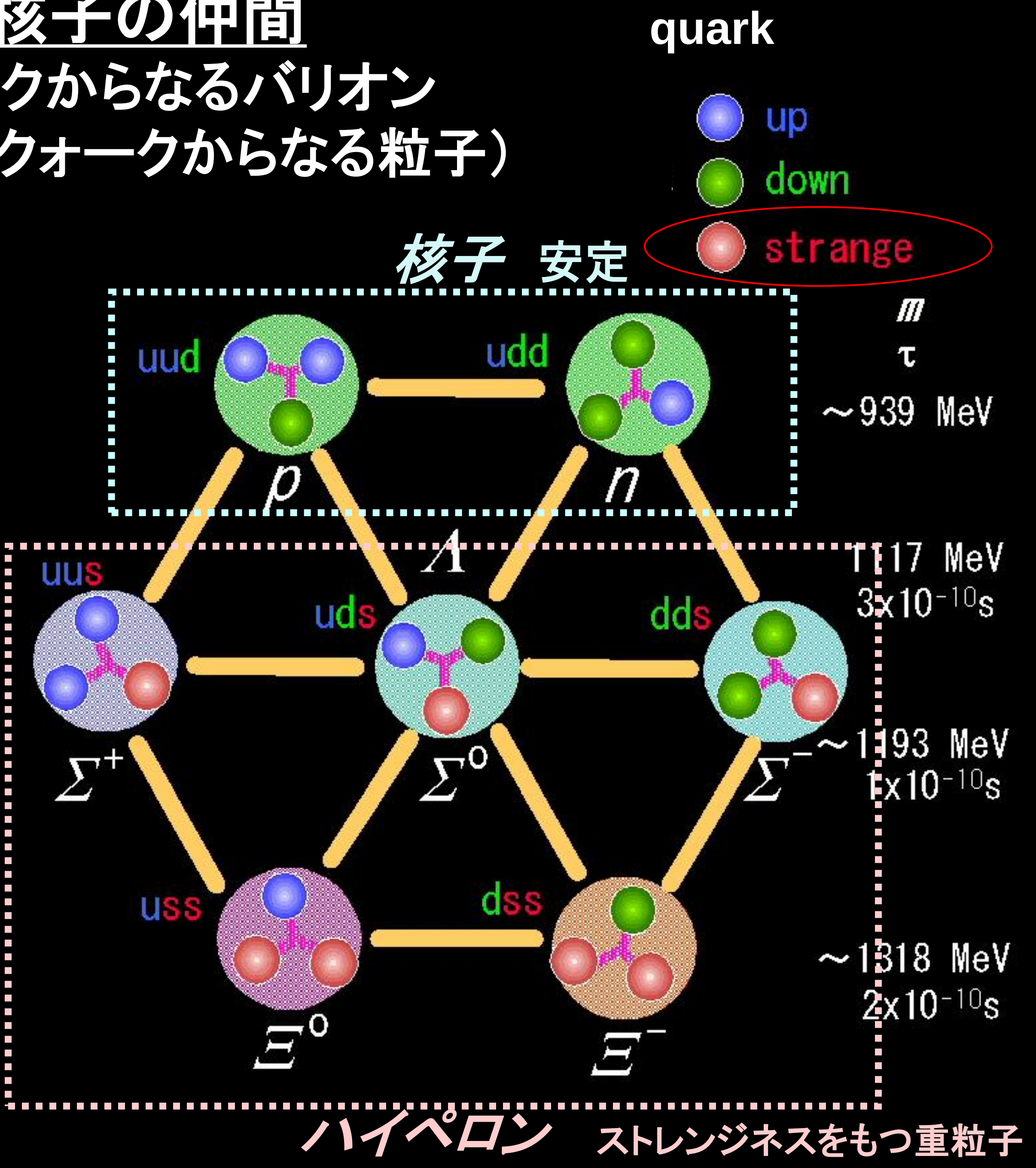
8つの核子の仲間

u, d, s クォークからなるバリオン
（重粒子＝3つのクォークからなる粒子）

すべて原子核の
構成要素となれる

■ 通常の原子核
– u, d クォークからなる
(核子のみ)

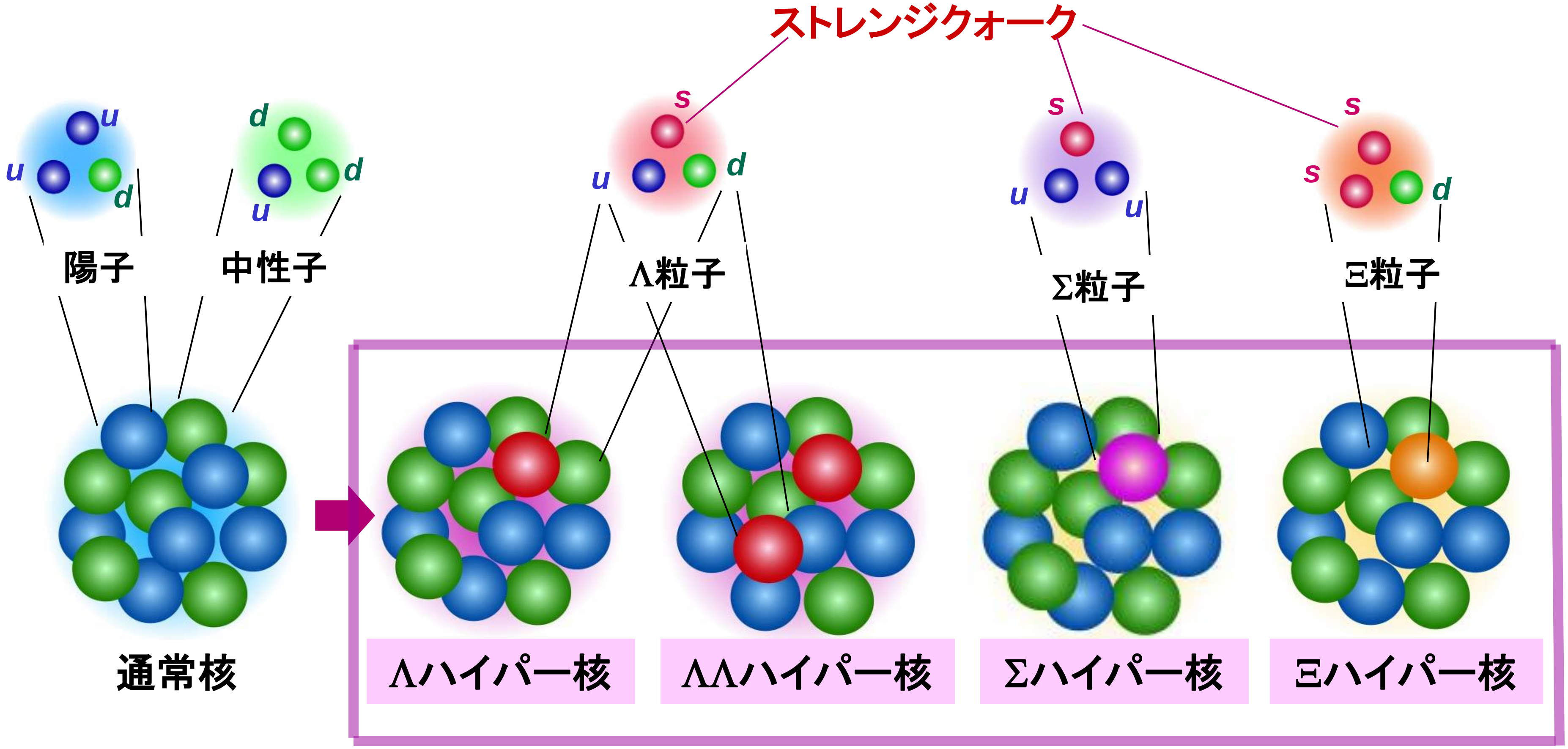
■ ハイパー原子核
– u, d, s クォークからなる
(ハイペロンを含む)



ハイパー核

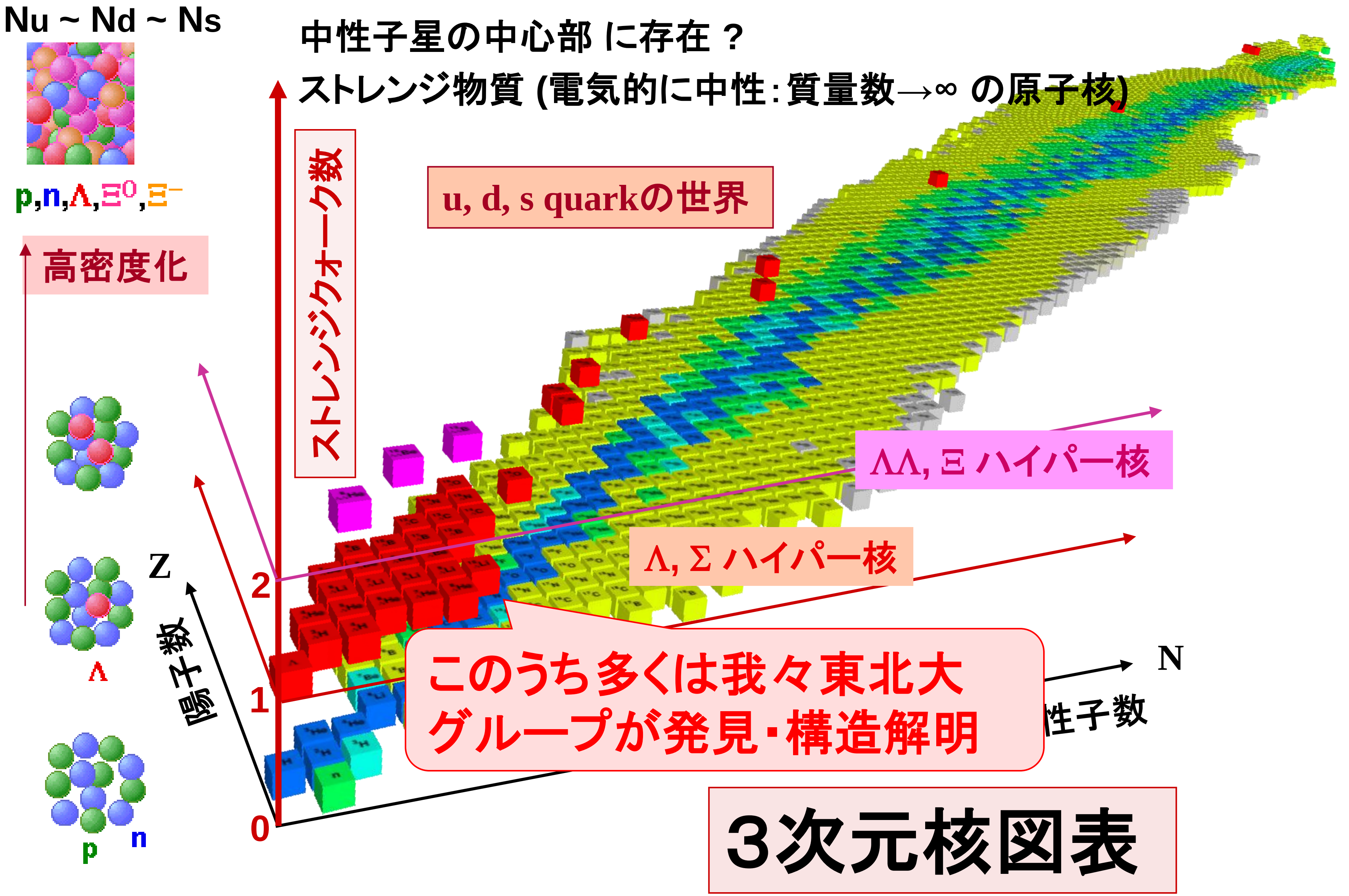
ハイペロンを含む原子核
＝ ストレンジ・クォーク（ストレンジネス）を含む原子核

“原子核”の描像を
核子多体系→バリオン多体系（→クォーク多体系）に拡張する



これらはすべて実験で作れる。

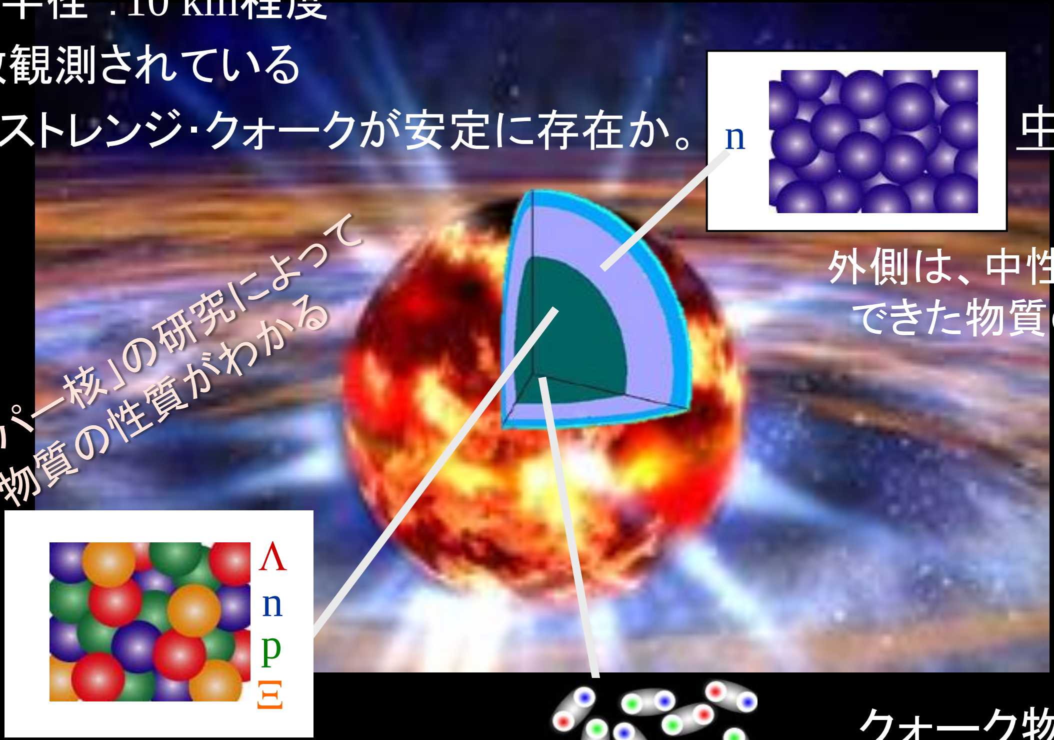
ストレンジ・クォークで果てしなく広がる物質の世界



中性子星 (宇宙に浮かぶ巨大原子核)と
その中の未知の物質

東京ドーム2000杯分の土を角砂糖1個の大きさに圧縮

- 宇宙で最高の密度： 中心は10～30億トン/cm3
- 質量：太陽質量の1~2倍、半径 ：10 km程度
- “X線パルサー”として多数観測されている
- 内部構造はまったく未知。ストレンジ･クォークが安定に存在か。

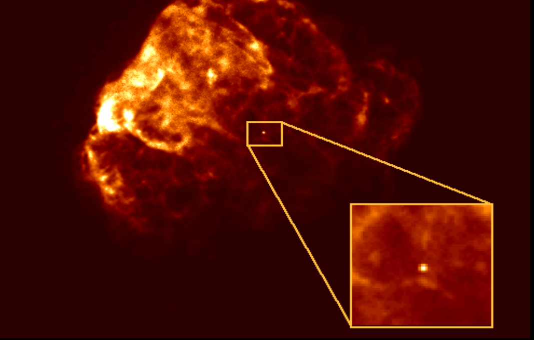


中性子物質

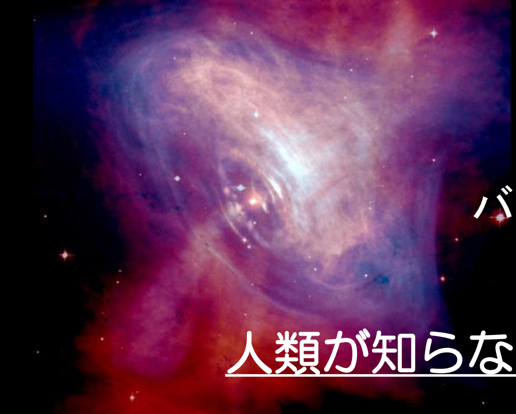
外側は、中性子だけでできた物質のはず。

「ハイパー核」の研究によって
この物質の性質がわかる

帆座超新星残骸

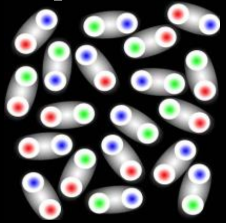


かに座超新星残骸



ストレンジ･ハドロン物質 ？

u, d , s 3種のクォークが入った
バリオン（陽子、中性子、ラムダなど）
が高密度に集まった物質



クォーク物質 ??

3種類のクォークが
閉じ込めから解放され
2つずつペアとなって
超伝導状態となった物質

人類が知らなかった（太陽系に存在しない）まったく新しい姿の物質たち

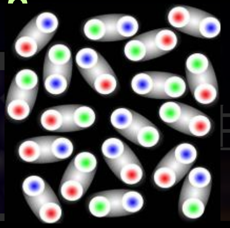
2010年、太陽質量の2倍の重い中性子星が発見された。

↓

現在の核物理の知識ではまったく説明できない。

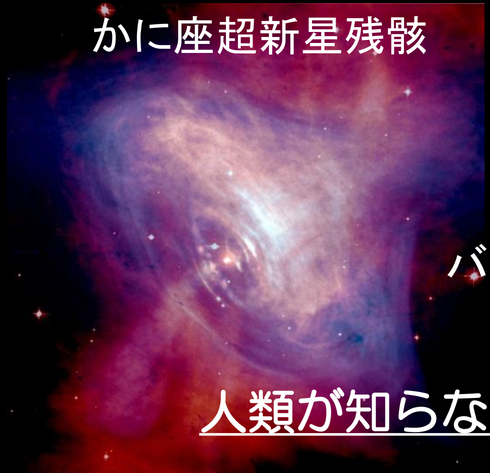
・ストレンジ粒子の力を徹底解明する必要性

・中心に「クォーク物質」がある 可能性も!



クォーク物質
(超伝導)

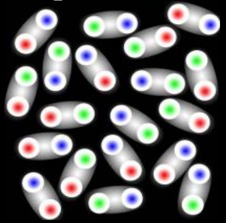
X線天文観測の研究者との共同研究も開始



かに座超新星残骸

ストレンジ・ハドロン物質 ？

u, d , s 3種のクォークが入った
バリオン（陽子、中性子、ラムダなど）
が高密度に集まった物質



クォーク物質 ??

3種類のクォークが
閉じ込めから解放され
2つずつペアとなって
超伝導状態となった物質

人類が知らなかった（太陽系に存在しない）まったく新しい姿の物質たち

研究拠点と装置

高エネルギー (～1 GeV)の中間子、電子、光子ビームを用いてストレンジネスを作る

研究テーマ *加速器と施設* **我々の開発・設置した装置**

Λハイパー核のガンマ線分光
Σ・陽子散乱実験
Ξ原子、ΛΛハイパー核

- 50 GeV陽子シンクロトロン
  J-PARC（大強度陽子加速器）（東海）

SKS（超伝導K中間子スペクトロメータ）
Hyperball-J（精密ガンマ線測定装置）

電子線によるΛハイパー核の生成分光・崩壊分光

- 12 GeV超伝導電子直線加速器
  ジェファーソン研究所（米国バージニア州）
- 1.5 GeV電子加速器（マイクロトロン）
  マインツ大学（ドイツ）

HKS, HES
（高分解能K中間子・電子スペクトロメータ）

検出器の開発
テスト実験

- ■総合棟6階、2階実験室
- ■東北大電子光センター
- ■東北大サイクロトロン

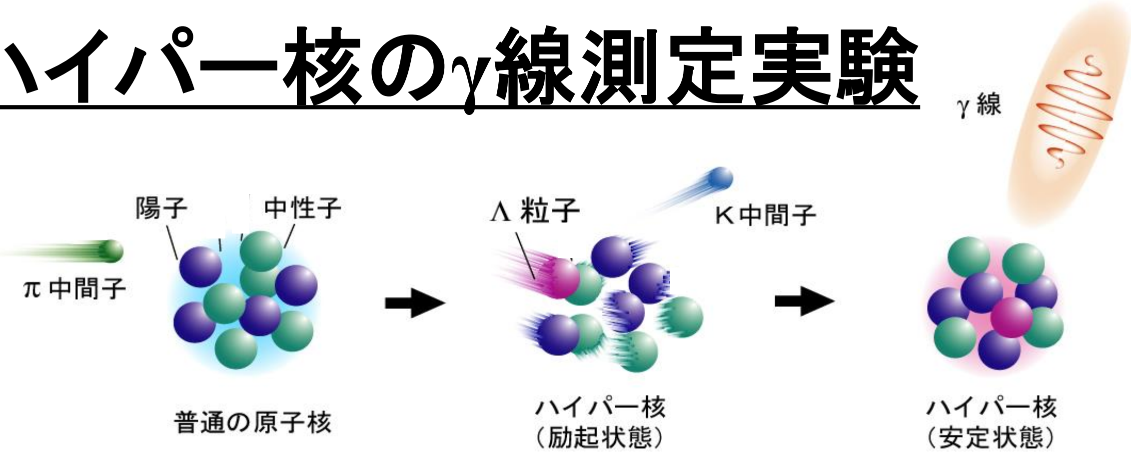
ストレンジネス生成機構

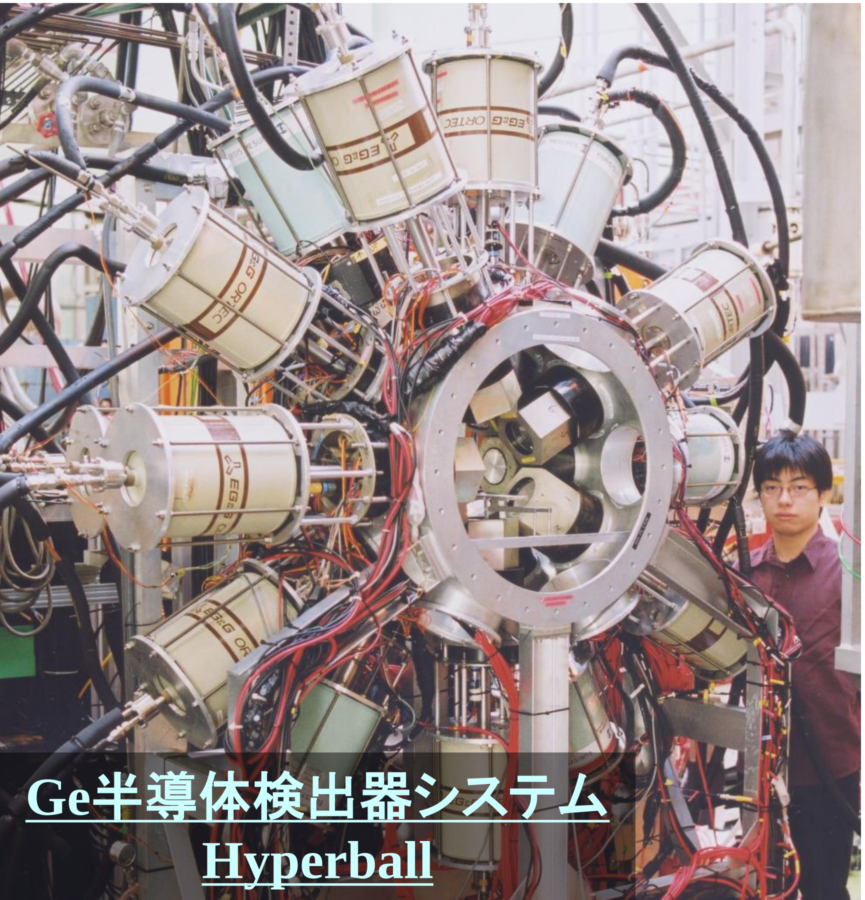
- 1.2 GeV電子シンクロトロン
  東北大・電子光理学研究センター（核理研）

NKS2
（中性K中間子スペクトロメータ）

東北大ストレンジネスグループは世界の最強グループのひとつ

ハイパー核のγ線測定実験



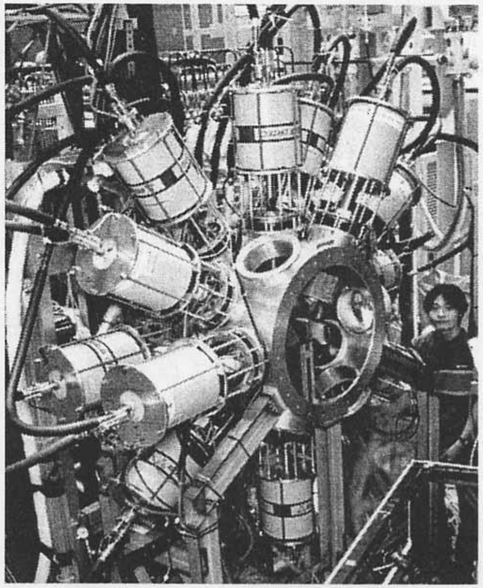


Ge半導体検出器システム
Hyperball

日　新　聞　2000年(平成12

科学

中性子星の世界探る一歩
ハイパー原子核を見た



ハイパー原子核から出たガンマ線を測定する装置。ハイパーボールと呼ばれる＝高エネルギー加速器研究機構提供

ラムダ粒子という素粒子を入れた人工の原子核「ハイパー原子核」が放つガンマ線をとらえることに、田村裕和・東北大学大学院理学研究科助教授らでつくる国際共同研究チームが成功した。

私たちの身の回りは、陽子と中性子でできた原子核や、電子を中心につくられているが、星の終末の姿である中性子星にはラムダ粒子があるかもしれないといわれている。そうした一風変わった物質世界を探る一歩となりそうだ。

ラムダ粒子は短命なため自然界にはほとんど見られないが、中性子星には、多くの中性子、わずかな陽子、電子とともに存在するとも予想されている。

今回、チームは高エネルギー加速器研究機構（茨城県つくば市）の加速器で、陽子と中性子が三個ずつとラムダ粒子が一個入ったハイパー原子核をつくった。

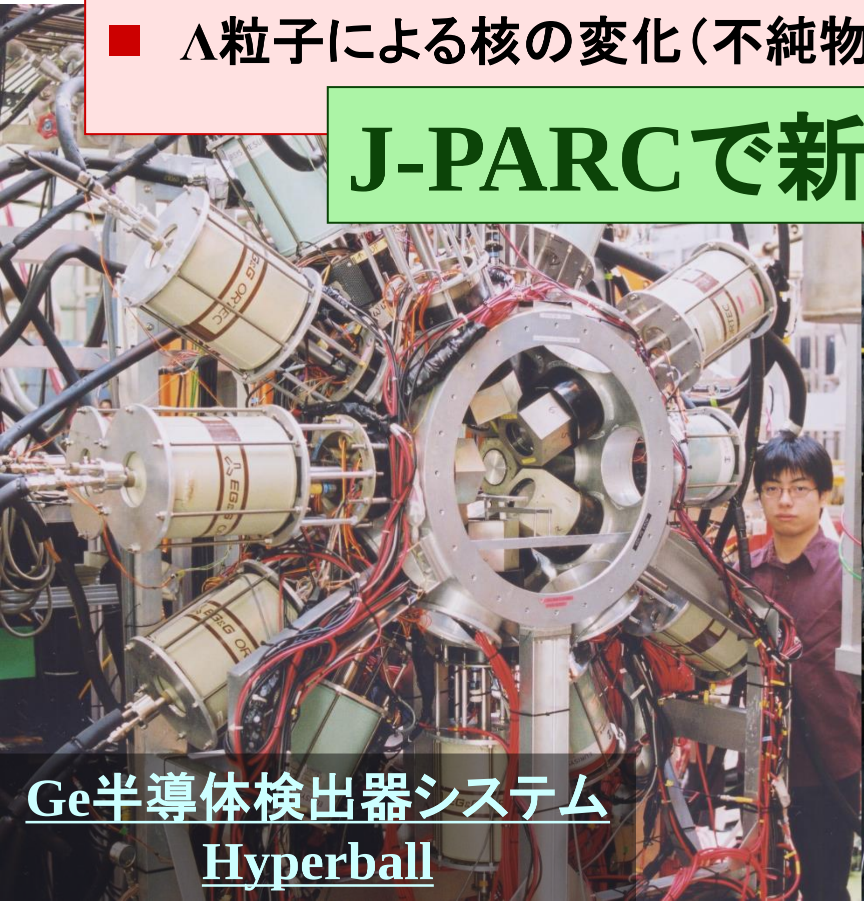
ここから出るガンマ線のエネルギーを測って、ラムダ粒子と陽子、中性子の間に働く力を精度よく調べた。

研究チームの永江知文・同機構素粒子原子核研究所助教授は「こうした研究が進んで中性子星中のラムダ粒子の存在が確かめられれば、中性子星の中だけとはいえ、物質は陽子と中性子と電子からなるという物質観の変更が迫られることになる」と話している。

この研究は、六月二十六日発行の米物理学誌フィジカル・レビュー・レターズに掲載された。

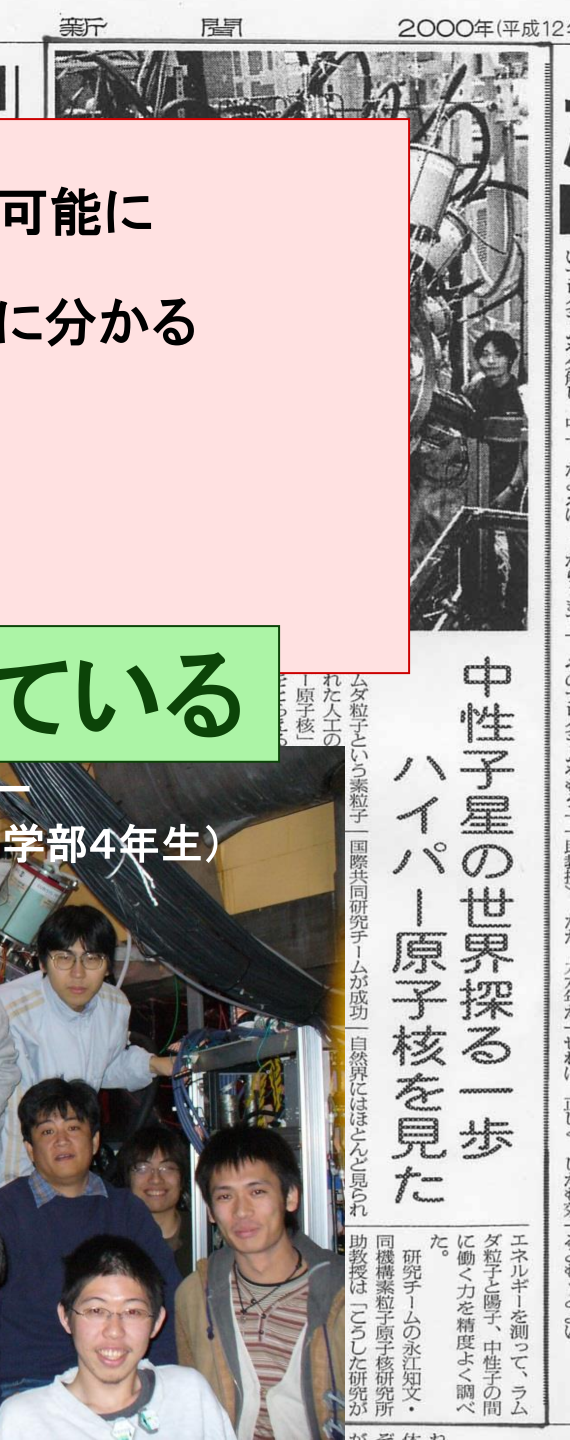
- <u>ハイパー核の発するγ線</u>の精密測定が世界で初めて可能に
- ハイパー核の中のΛ粒子の振る舞いが手に取るように分かる
  - →Λと核子の間の力を解明
    - → 核力の謎と中性子星の謎の解明へ
- Λ粒子による核の変化（不純物効果）もわかる

J-PARCで新実験を進めている



<u>Ge半導体検出器システム</u>
<u>Hyperball</u>

実験メンバー
（ほとんど東北大院生＋学部4年生）


新聞
2000年（平成12
中性子星の世界探る一歩
ハイパー原子核を見た
ムダ粒子という素粒子
れた人工の
ー原子核」
国際共同研究チームが成功
自然界にはほとんど見られ
エネルギーを測って、ラム
ダ粒子と陽子、中性子の間
に働く力を精度よく調べ
た。
研究チームの永江知文・
同機構素粒子原子核研究所
助教授は「こうした研究が

大強度陽子加速器施設:J-PARC

(Japan Proton Accelerator Research Complex) 茨城県東海

完璧な安全対策が完了、もうすぐ実験再開

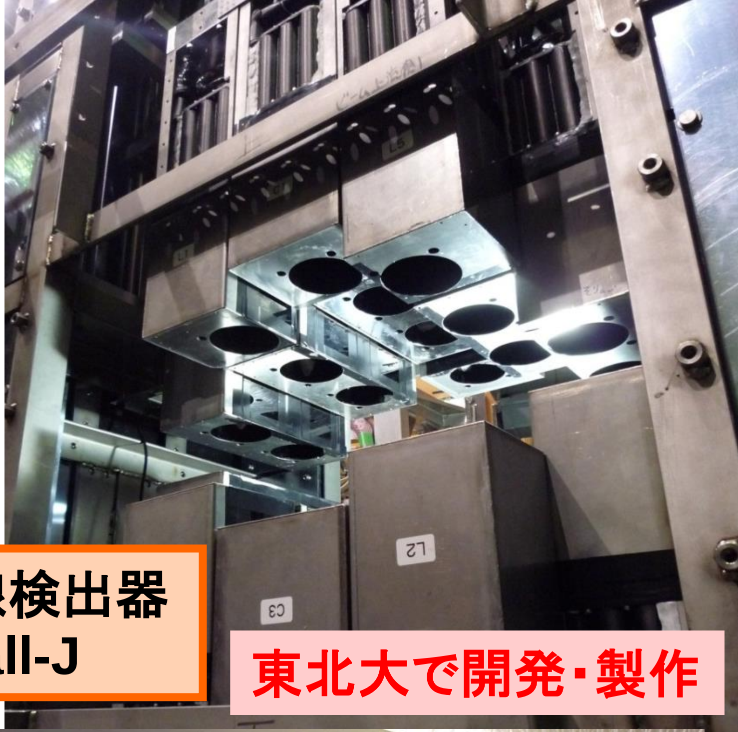
世界最大のビーム強度（陽子数）
従来の加速器の 10~100倍

2010年に稼動し始めたばかり

ハイパー核研究の世界の中心

新しいハイパー核
ガンマ線測定実験

ハイパー核ガンマ線は、いまだに世界で我々しか
測定できない



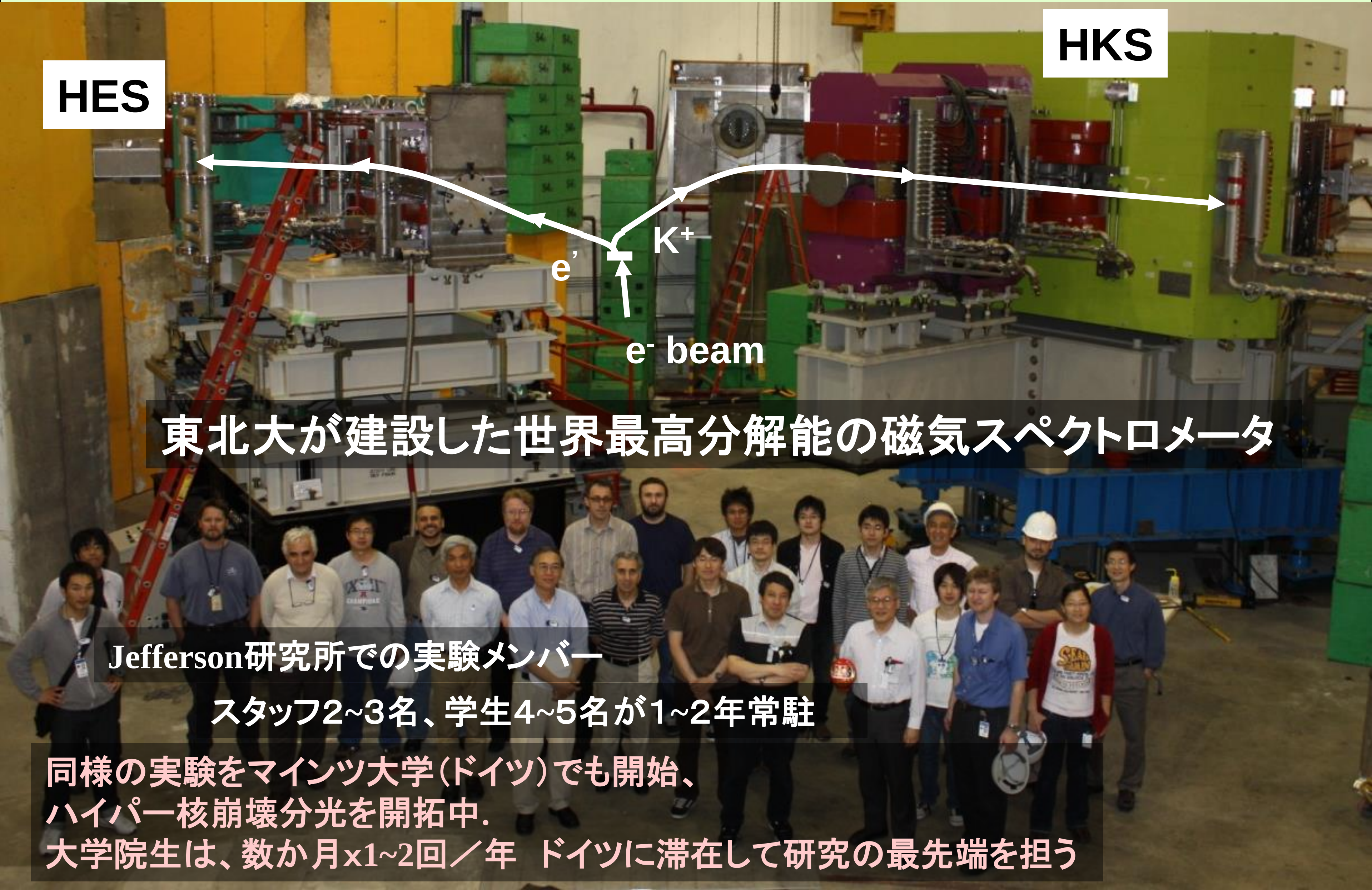
新型ガンマ線検出器
Hyperball-J

東北大で開発・製作

実験グループは、東北大中心＋阪大、京大、ソウル大、KEK等
4年生も参加可能

電子ビームによるハイパー核生成法の開拓

Jefferson研究所（米国バージニア州）、Mainz大学（ドイツ）

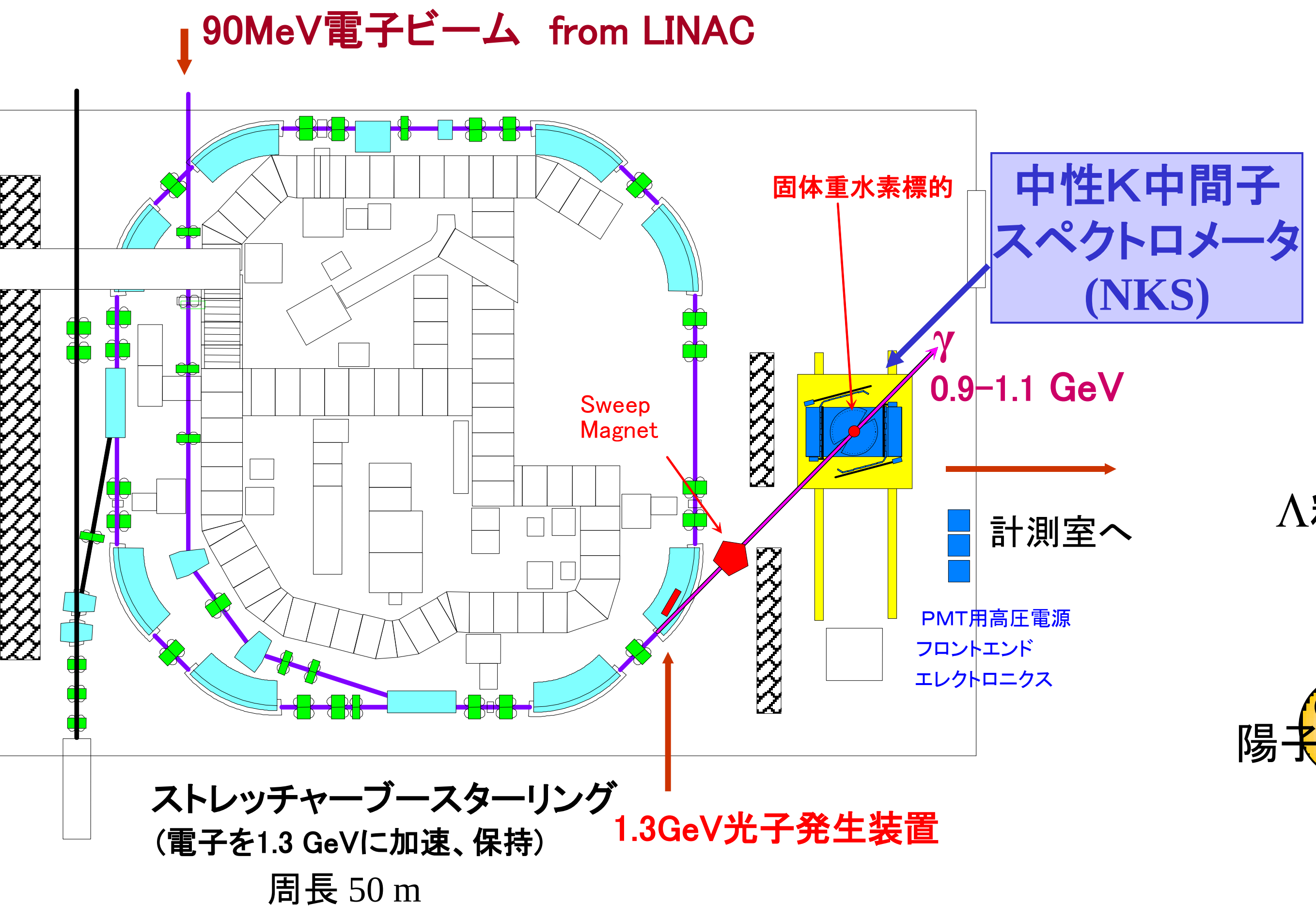


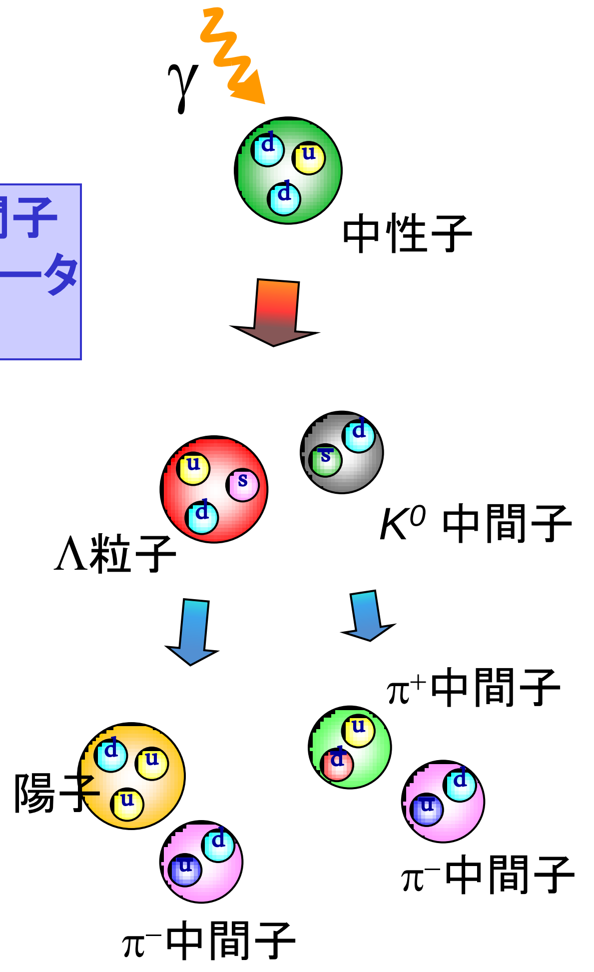
東北大学電子光理学研究センターでのストレンジネス生成機構の研究

中間エネルギー核物理グループと共同実験

低エネルギー光子からの中性K中間子生成
$\gamma + n \rightarrow \Lambda + K_s^0$ に初めて成功

⇒ ストレンジクォーク生成の謎の解明への一歩





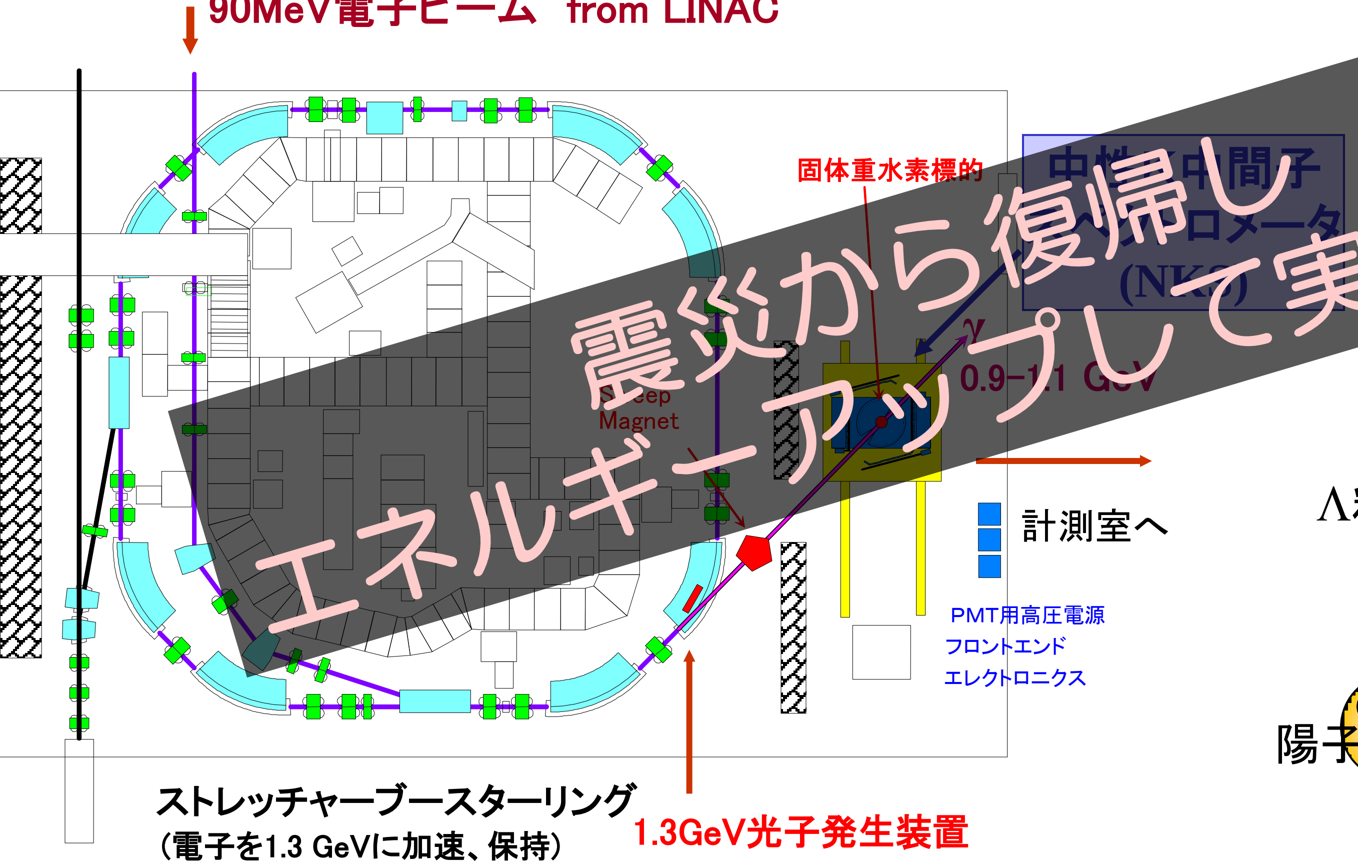
東北大学電子光理学研究センターでのストレンジネス生成機構の研究

中間エネルギー核物理グループと共同実験

低エネルギー光子からの中性K中間子生成
$\gamma + n \rightarrow \Lambda + K_s^0$ に初めて成功

⇨ ストレンジクォーク生成の謎の解明への一歩

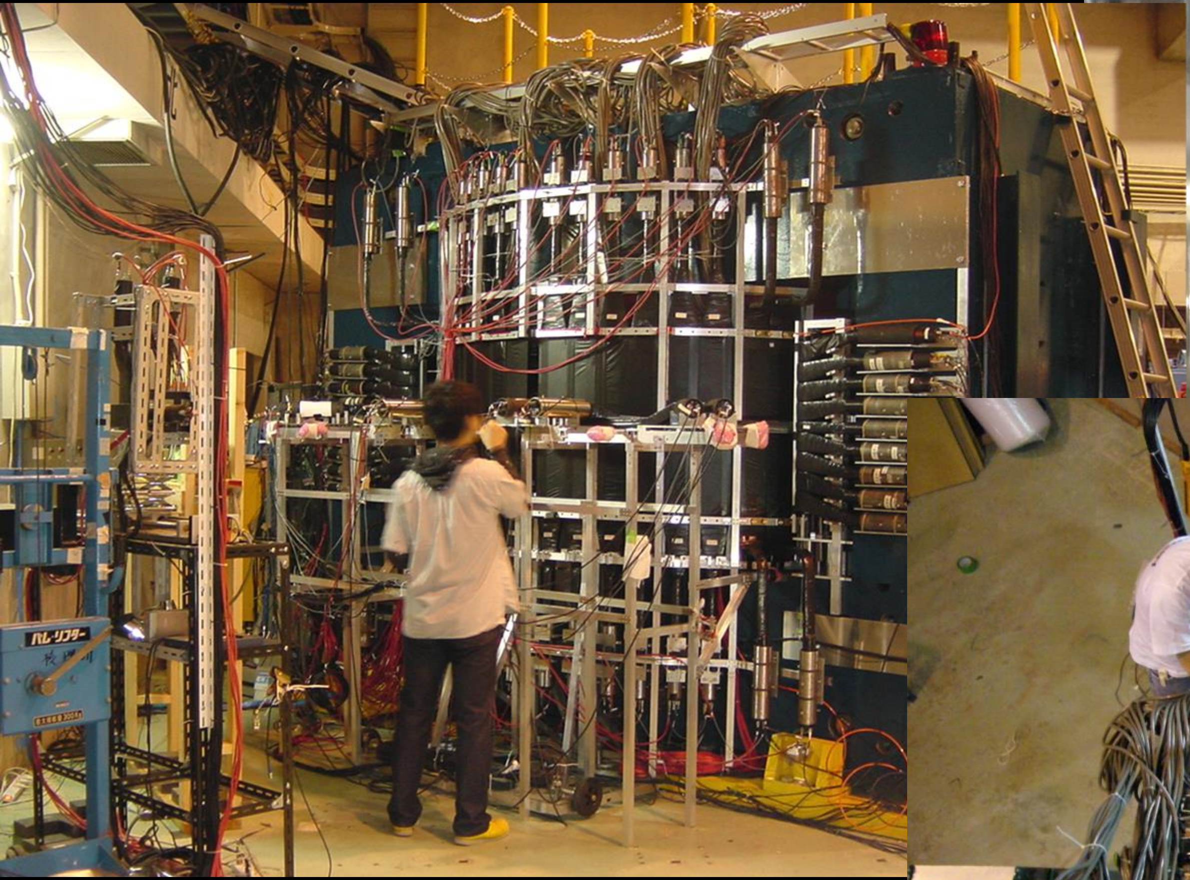
震災から復帰しエネルギーアップして実験開始



ストレッチャーブースターリング
(電子を1.3 GeVに加速、保持)
周長 50 m

ストレンジネス生成実験の様子

K^{0}測定装置 NKS2



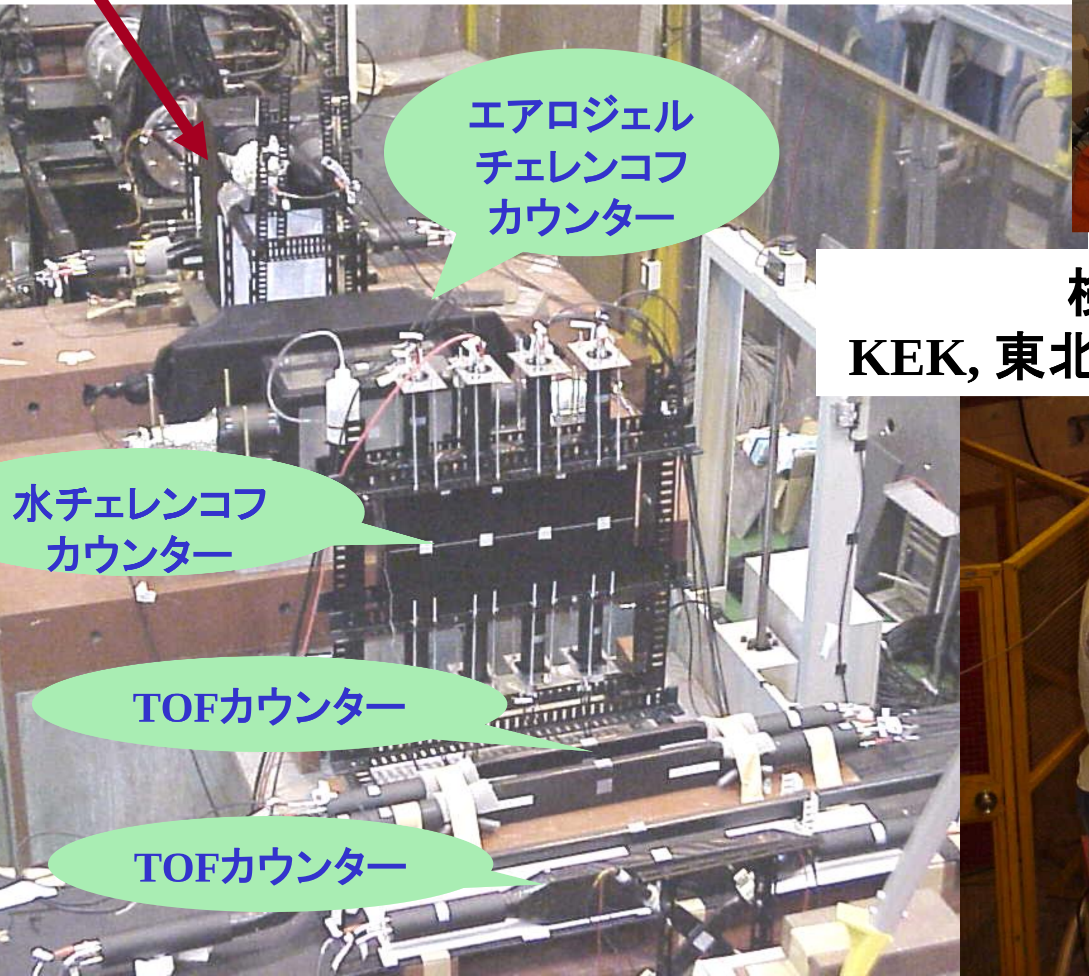
大型ドリフトチェンバー

院生が中心となって実験を進める
４年生も参加できる

新しい検出器の
開発・製作・テスト実験

修士課程院生、4年生が中心

陽子、π、K中間子のビーム



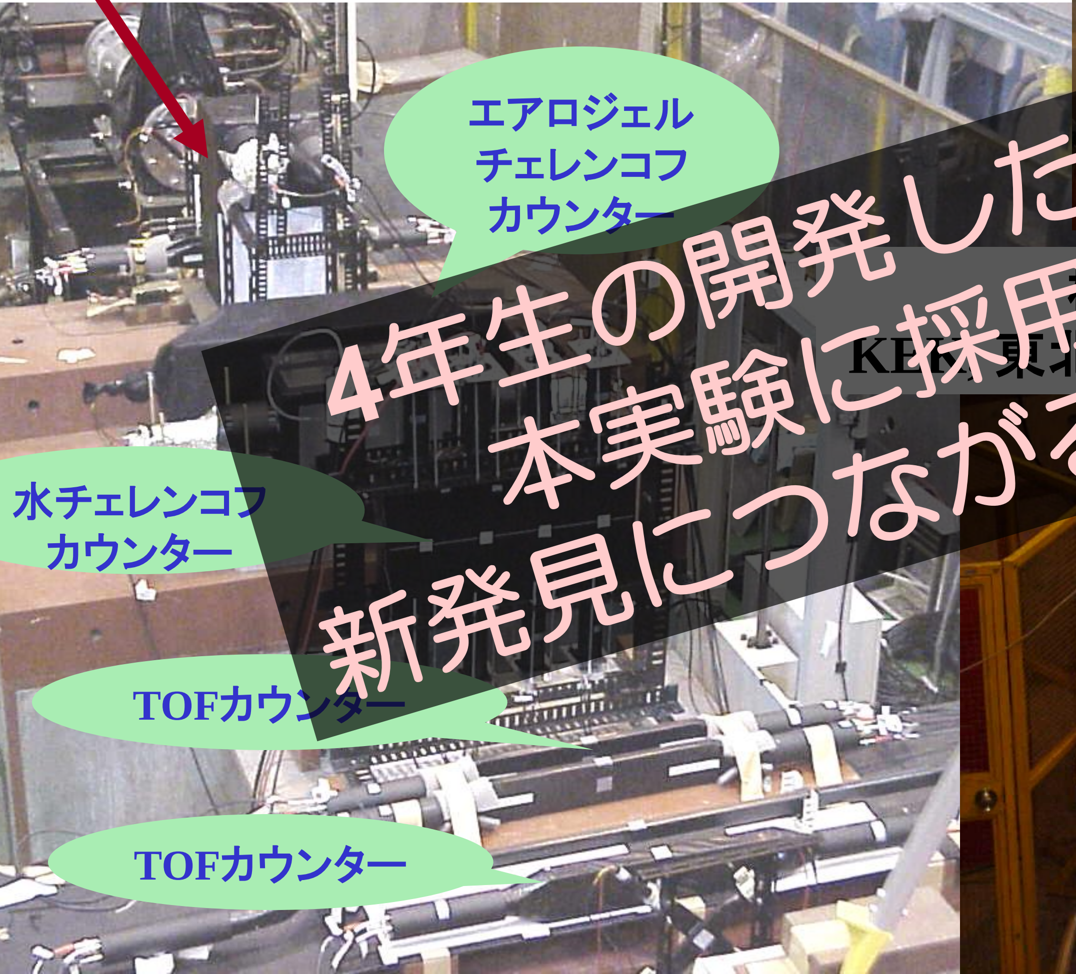
検出器の製作風景

検出器のビームテスト実験
KEK, 東北大電子光センター、東北大サイクロ

新しい検出器の開発・製作・テスト実験

修士課程院生、4年生が中心

陽子、π、K中間子のビーム



検出器の製作風景

検出器のビームテスト実験
KEK、東北大電子光センター、東北大サイクロ

4年生の開発した検出器も本実験に採用されて新発見につながることもある

4年生に対する教育

4年ゼミ　原子核物理（素粒子の基礎を含む）の英文教科書を輪講
歴史的原著論文の輪講

原子核物理（ストレンジネス, エキゾティック、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　原子核物理実験の実践的基礎（教科書輪講と実習）

放射線検出器の作り方・使い方、計算機の使い方
データ収集（インターフェース）や解析の方法（プログラミング）

4年研究　新しい検出器の開発、特性の研究、それを用いたビーム実験
最先端のストレンジネス核物理実験にも参加、データ解析も

高位置分解能ガス検出器
シリコンストリップ検出器
γ線半導体検出器
γ線シンチレーション検出器
チェレンコフ検出器

} 東北大電子光やサイクロの加速器を用いてビーム実験

→　最先端のストレンジネス実験で使用

最先端データの解析やシミュレーション

研究室出身者(博士号取得者)の進路(現在)

KEK准教授
東北大助教 x 2名、KEK助教 x 2名、大阪大助教、群馬大助教
JASRI(SPring-8)研究員(パーマネント)、理研研究員(パーマネント)
博士研究員（原子力機構、理研、京都大、大阪大）
アメリカ物理学会、がんセンター、民間企業 x 4名

博士課程後期学生(日本人)の学術振興会特別研究員採用率

18人中13人

大学院生・出身者の受賞

日本物理学会若手奨励賞、泉萩会奨励賞、原子核談話会新人賞、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、HUA修士論文賞x2名、物理学専攻賞(多数)