素粒子論 分科

基本構成要素『素粒子』の『理論』研究

弦理論　：量子重力も含めた相互作用の統一

現象論　：標準模型を超える物理の探究

宇宙論　：宇宙創成と進化の機構の解明

計算物理：物理量の第一原理計算（格子ゲージ理論等）

物理学第二教室・素粒子論研究室

橋本幸士、福間将文、吉岡興一、杉山勝之、吉田健太郎

博士課程 7 名、修士課程 7名

基礎物理学研究所・素粒子論グループ

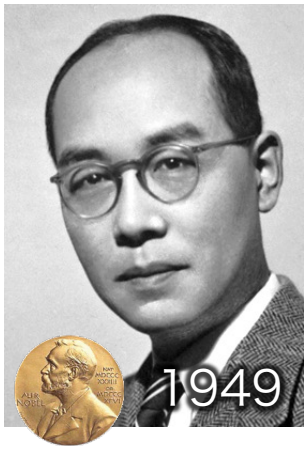
青木慎也、杉本茂樹、高柳匡、国友浩、

笹倉直樹、高山史宏、寺嶋靖治、本多正純

博士課程 5名、修士課程 10名

研究室の先輩たち

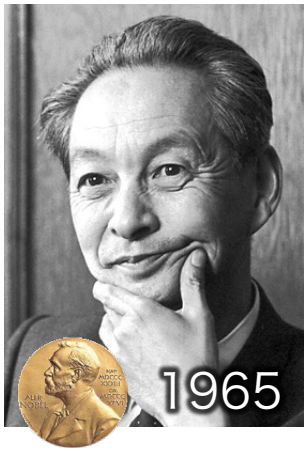
http://www.nobelprize.org/



湯川秀樹

中間子論

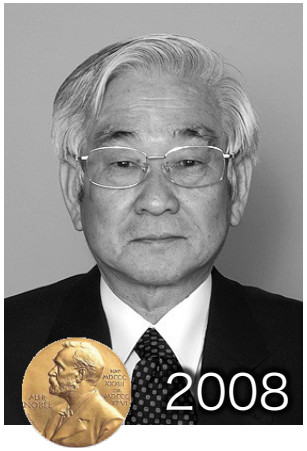
「素粒子論」を創始。
基研初代所長



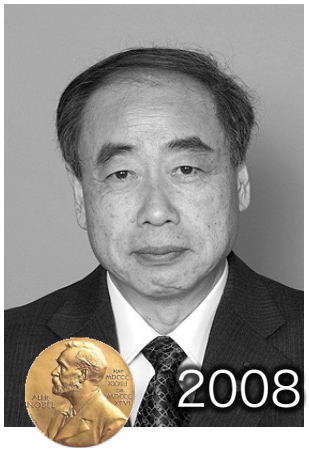
朝永振一郎

くりこみ理論

素粒子相互作用の量子論的記述を定式化



益川敏英

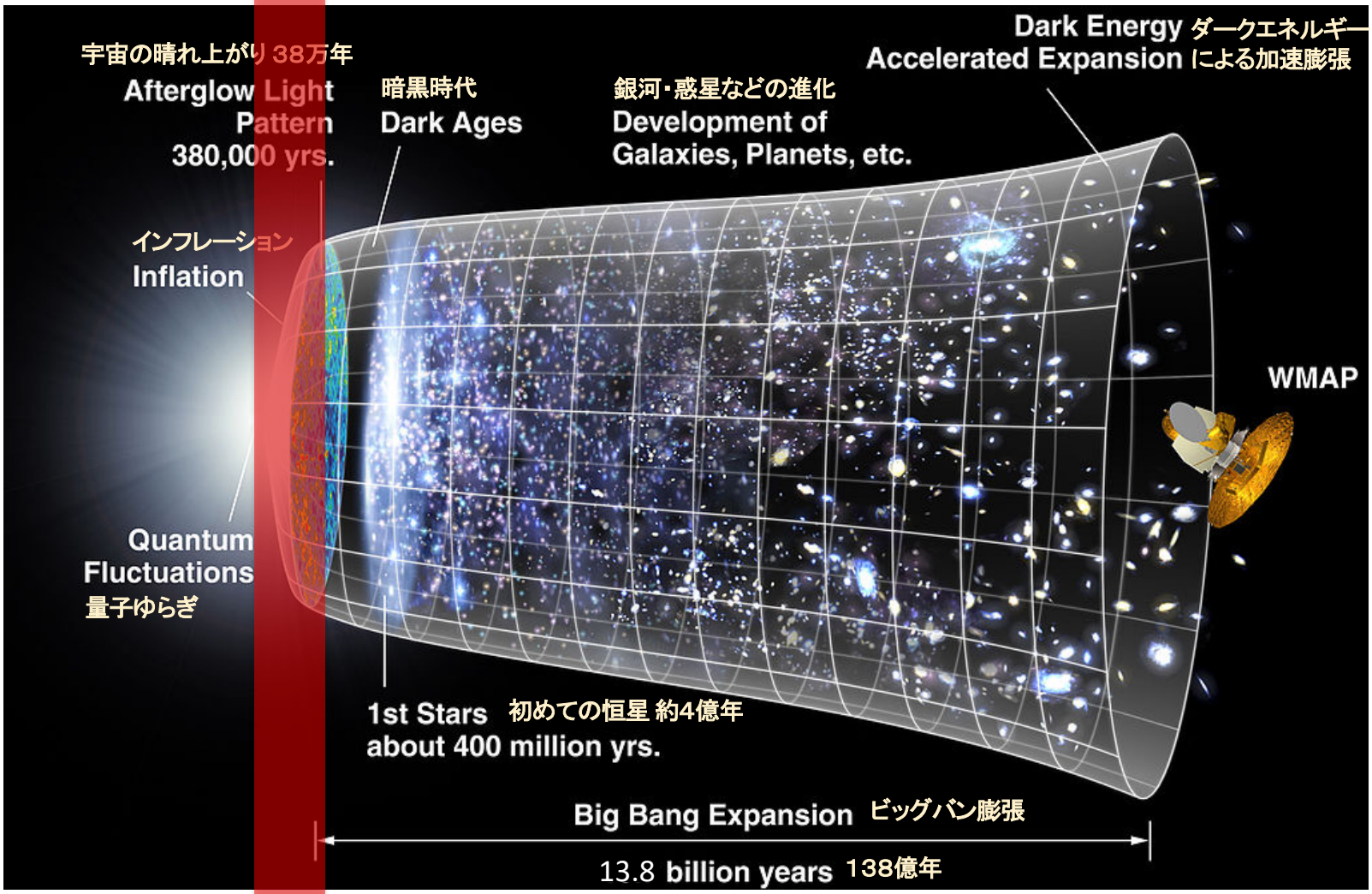


小林誠

ＣＰ対称性の破れ

我々の宇宙に必要な破れを６種のクォークにより説明

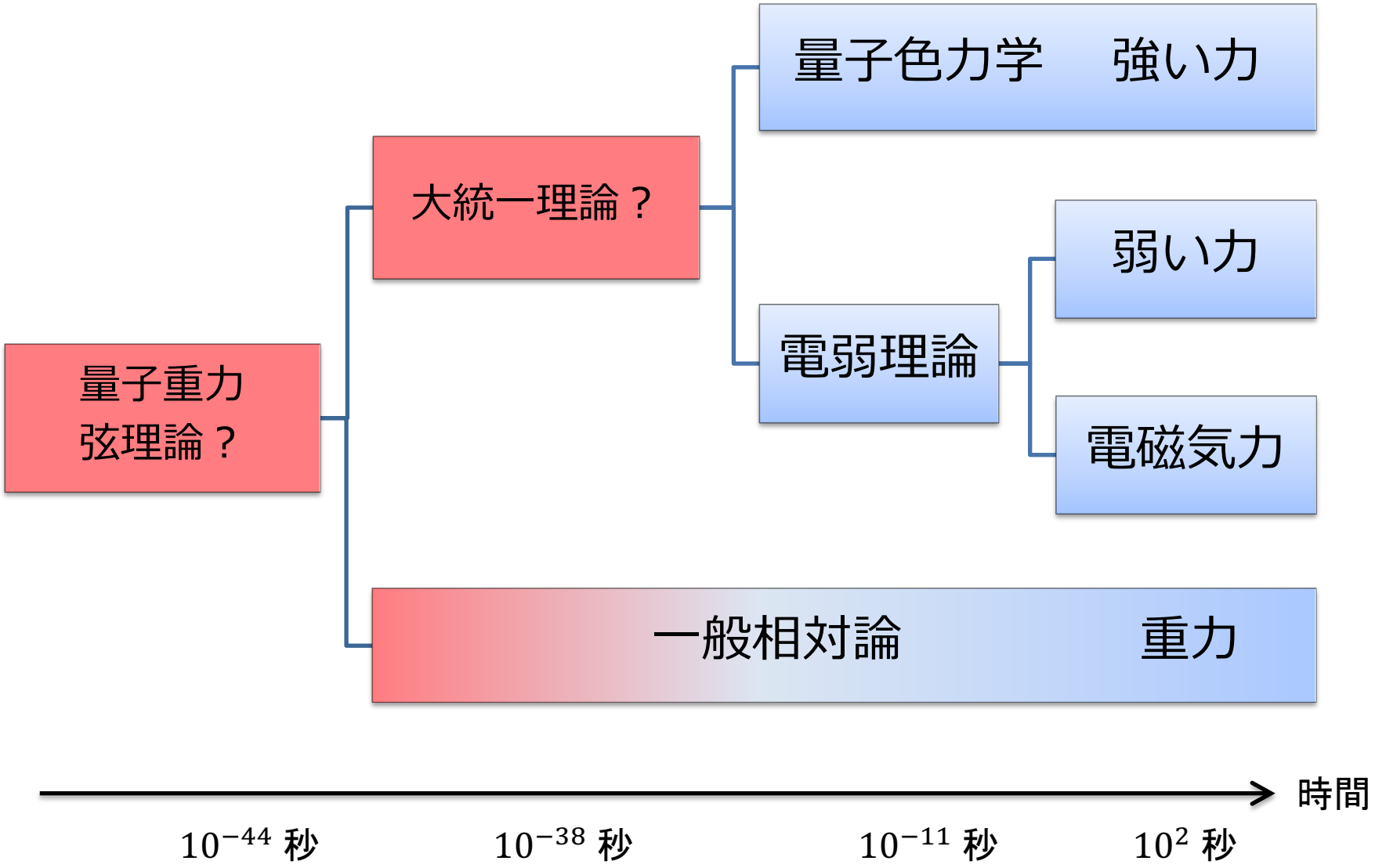
素粒子論と宇宙



NASAのHPより

素粒子論の領域

分かっていないこと・分かっていること

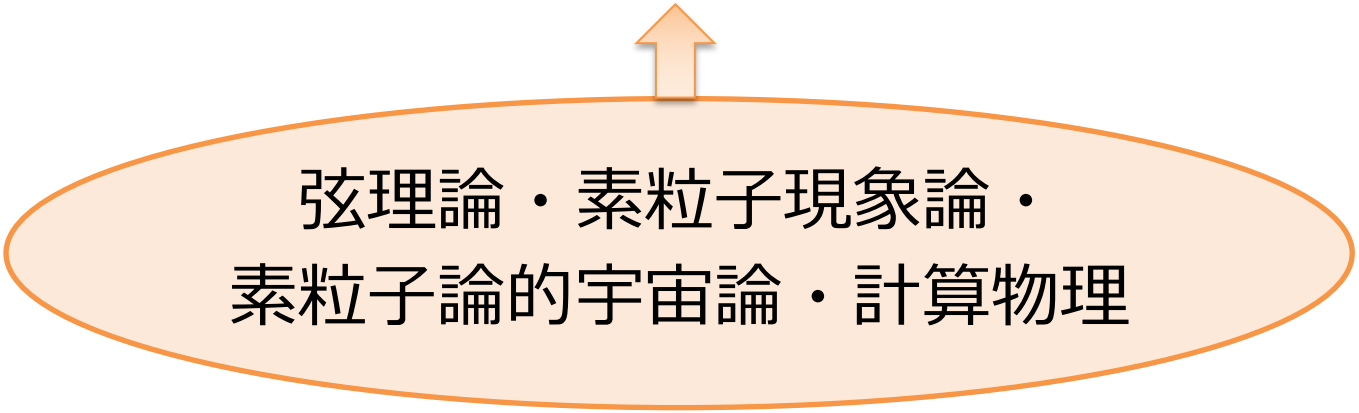


究極理論へ

- なぜ自然界の素粒子や相互作用は
  現在観測されているようなものなのか？
- なぜ自然界の対称性（とその破れ）は
  現在観測されているようなものなのか？
- どうやって今の宇宙ができたのか？

  ダークマター？　ダークエネルギー？
- なぜこの世は４次元なのか？

等々等々



京大原子核理論グループ

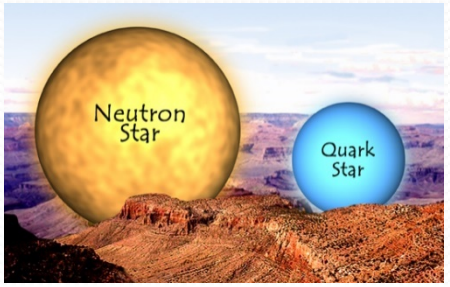
- **物理学教室構成員**
  - スタッフ: 萩野浩一(教授), 菅沼秀夫(准教授),
    金田佳子(准教授), 吉田賢市(助教)
  - 大学院生: DC2(2), DC1(1), MC2(2) , MC1(2)

- **基研構成員**
  - スタッフ: 大西 明(教授), 板垣直之(准教授),
    谷崎佑弥(助教)
  - ポスドク: 3名
  - 大学院生: DC3(1), DC1(1)

両グループ一体となった教育と研究を行っている。
大学院生9名中他大学出身者1名、留学生1名。

研究課題：クォーク・グルーオンから原子核まで

- 原子核の構造と反応
  - アイソスピン非対称度と励起エネルギーに依存する多彩な現象
  - 核子多体系の魅せる多様な量子相構造
  - 天体中での核反応、元素合成と中性子過剰核
  - 超重元素と核分裂

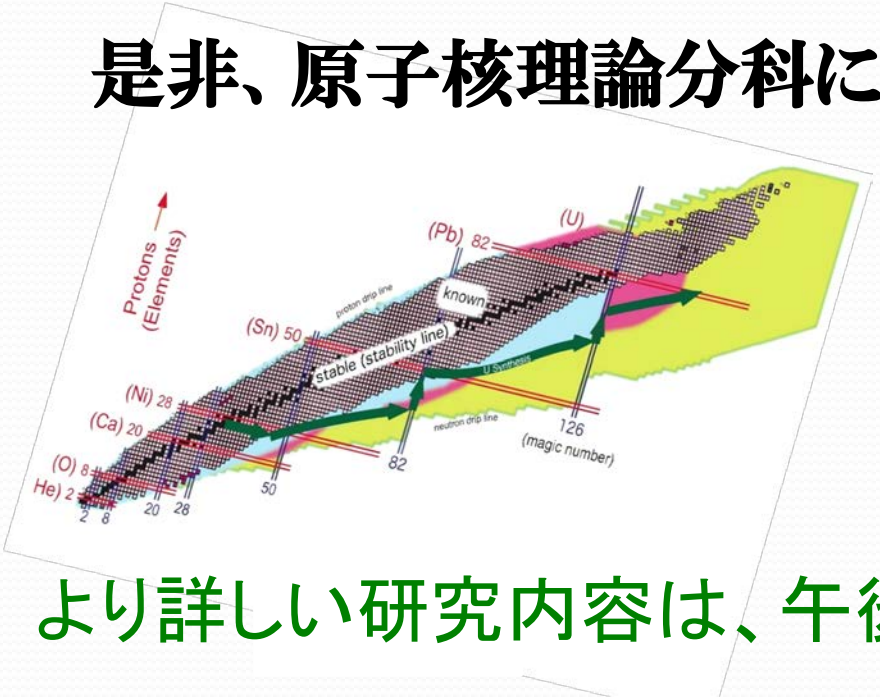


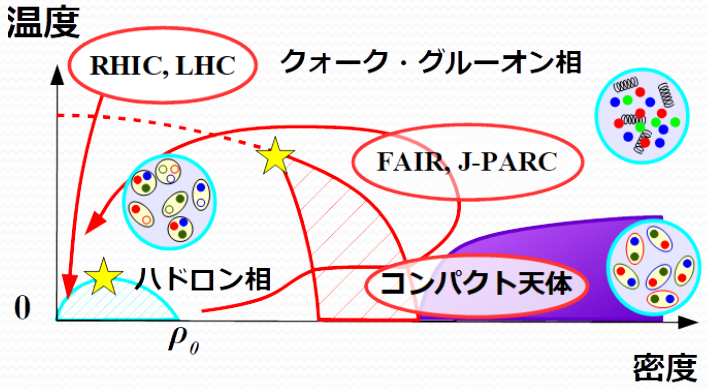
- クォーク・ハドロン物理学
  - クォーク・グルーオン「真空の相転移」（対称性の自発的破れ）
  - ハドロンの構造と動力学、原子核中のハドロン
  - 高温高密度クォーク・ハドロン物質（数兆度＆千兆g/ccの世界）
  - 格子QCD（QCD＝量子色力学:クォーク・グルーオンの基礎理論）

まとめ

- 「もの」に即した物質の起源に興味のある方
- 量子多体系（核子、クォーク、グルーオン、、、）のダイナミクスに興味ある方、
- 場の理論の物質への応用に興味のある方、

是非、原子核理論分科に応募チャレンジしてください。





より詳しい研究内容は、午後の研究室見学で説明します。

天体核

物2-基研宇宙グループ

天体核研究室(理学部)

教授:　田中(貴)

准教授:　細川、久徳

助教:　瀬戸、山田(良)

基礎物理学研究所

教授:　向山、井岡、

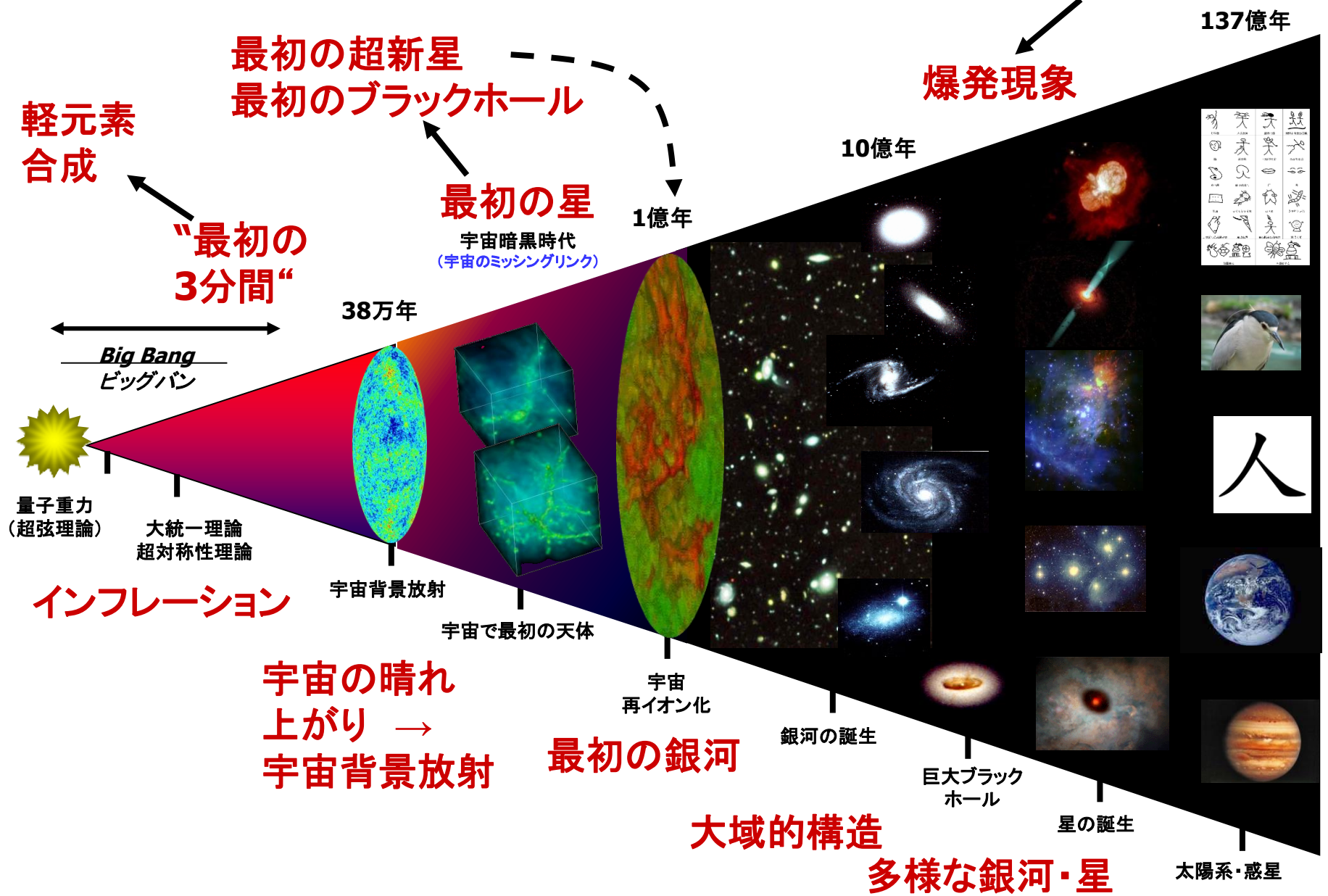
柴田(大)[Potsdam, Max Planck研究所長併任]、

准教授: 樽家、De Felice、西道(特定)

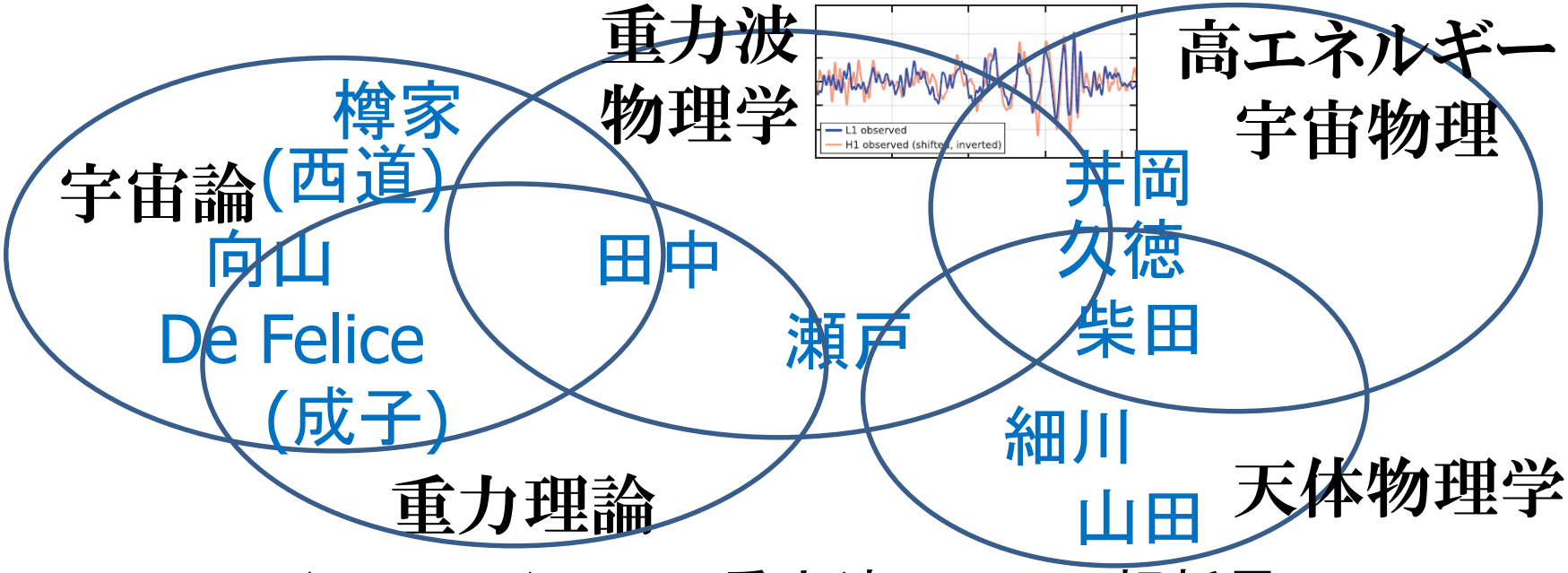
助教:　成子(特定)

他にも特任助教などの研究員が数名

研究対象


恒星・惑星・生命
137億年
最初の超新星
最初のブラックホール
爆発現象
軽元素
合成
10億年
最初の星
1億年
宇宙暗黒時代
（宇宙のミッシングリンク）
“最初の
3分間“
38万年
Big Bang
ビッグバン
量子重力
（超弦理論）
大統一理論
超対称性理論
インフレーション
宇宙背景放射
宇宙で最初の天体
宇宙の晴れ
上がり →
宇宙背景放射
宇宙
再イオン化
最初の銀河
銀河の誕生
巨大ブラック
ホール
星の誕生
大域的構造
太陽系・惑星
多様な銀河・星

天体核グループの教員と研究対象



インフレーション
初期宇宙論
観測的宇宙論
重力理論の拡張

重力波
数値相対論
ブラックホール
銀河

超新星
γ線バースト
星・惑星

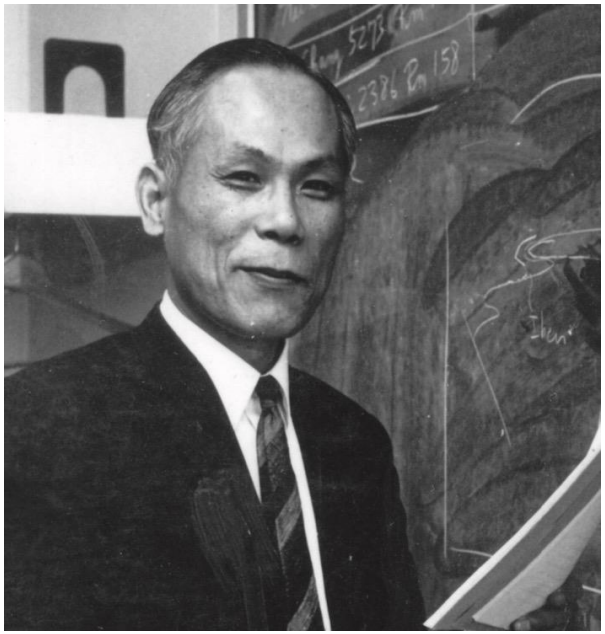
詳しく知りたい人は、教員に直接連絡してください。
みな、丁寧に説明します。

大学院生教育

- 教育は共通（天体核・基研で基本的には共通）
- 講義は多彩
- 研究上の指導教員の選択は自由。
  興味に応じて指導教員を選ぶシステム。
- 研究員と自由に共同研究することも奨励
- 宇宙理論の広い領域をカバー

天体核の語源

- 核物理を用いて、天体現象を解明することが、1957年に林忠四郎により創設当初の主な課題だった。
- 当時の進取の精神を引き継ぐ
- 天体核出身者による
  「学際」分野の開拓の実践：
  杉本大一郎、
  佐藤勝彦、
  中村卓史など



“参考文献のないテーマこそ、活躍の場がある”
常に新しいテーマにチャレンジする開拓精神

原子核・ハドロン物理学分科紹介

教授: 永江 知文　准教授: 成木 恵、銭廣 十三

助教: 後神 利志 、(堂園昌伯,間もなく着任)

大学院生:　博士課程: 12名　修士課程: 8名

過去；女性８名

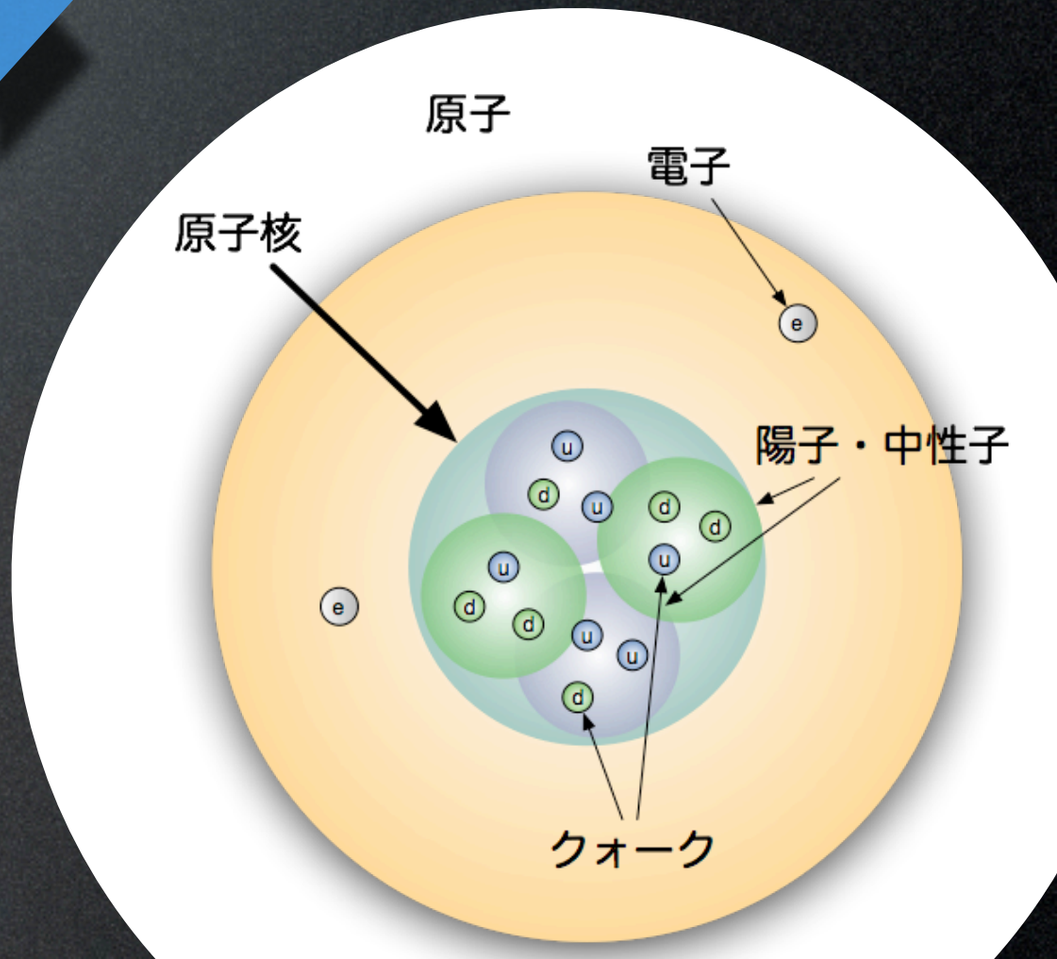
http://www-nh.scphys.kyoto-u.ac.jp

原子核ハドロン　検索

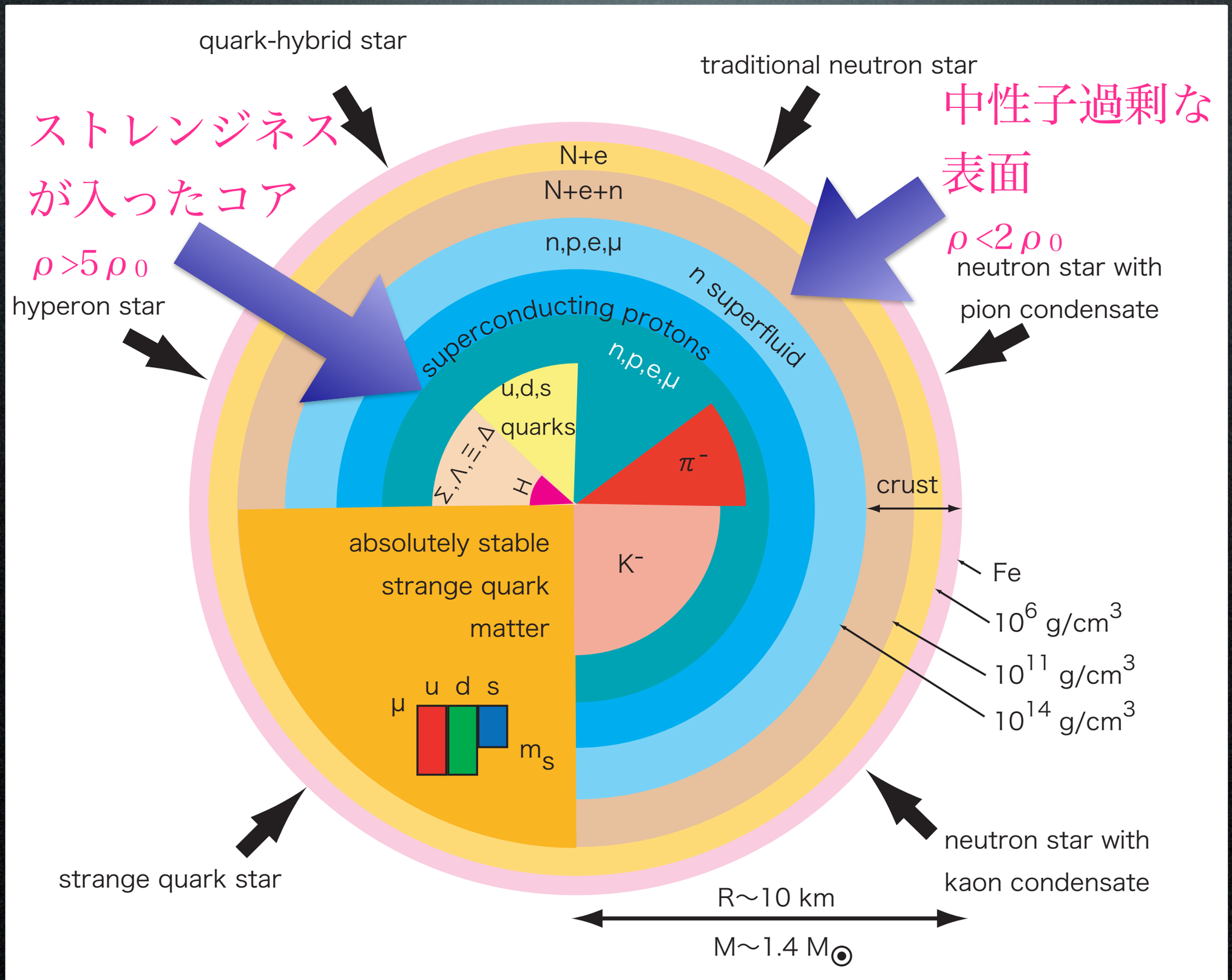
研究対象: 物質の階層構造

- 原子→原子核→核子→クォーク
  - 原子： ~10^{-10} m
  - 原子核：~10^{-14} m
  - 核子： ~10^{-15} m
  - クォーク：点粒子
    < 10^{-19} m

物質の核心を解明



未解明の中性子星の内部



研究場所: 原子核・ハドロン研究のための加速器施設

国内外の加速器施設を舞台に原ハドの
教員・大学院生が研究を展開しています。

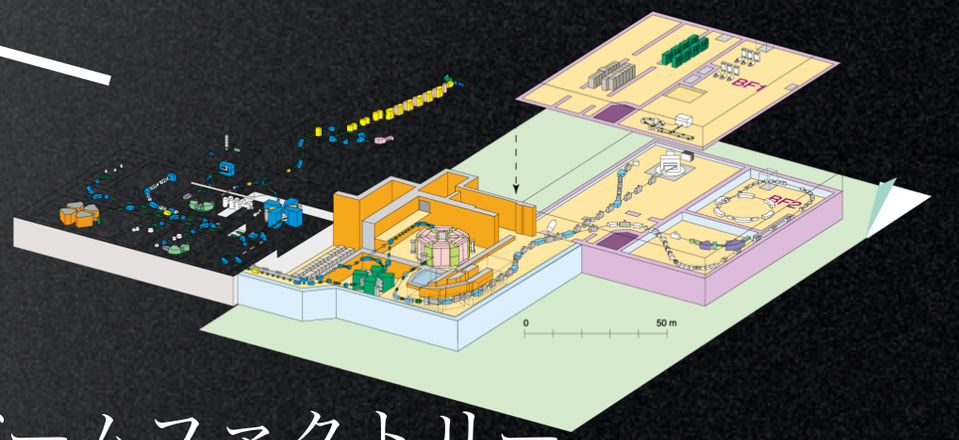
SPring-8

J-PARC

HIMAC

放射線医学総合研究所

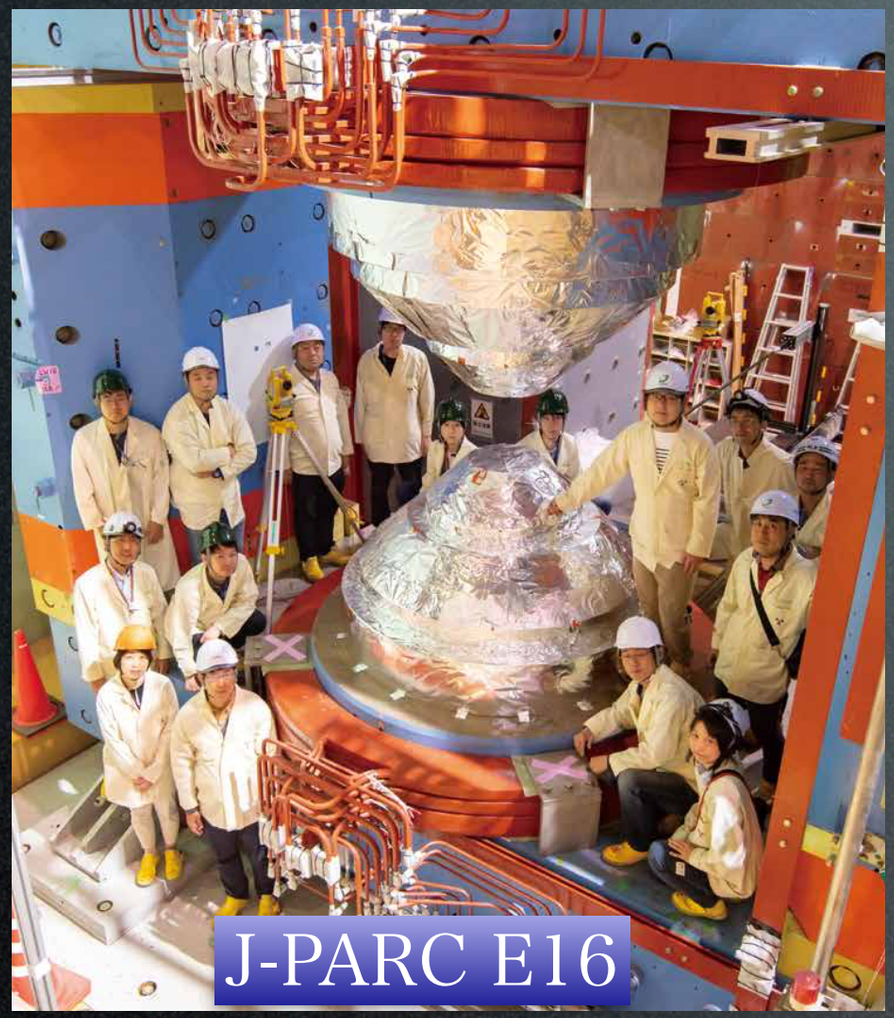
大阪大学 核物理研究センター



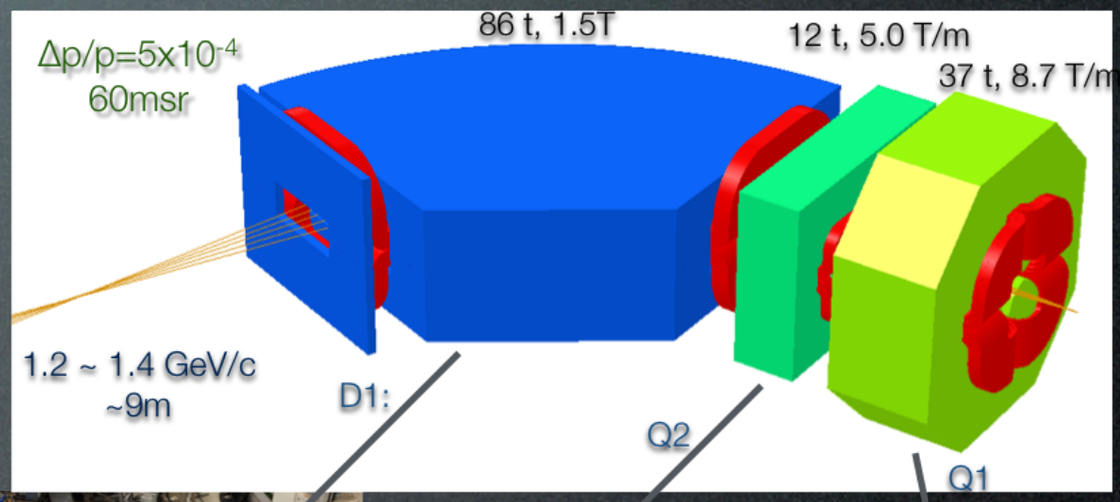
RIビームファクトリー

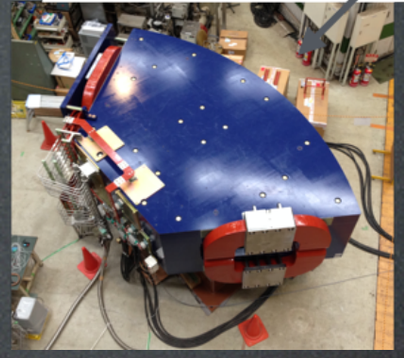
理化学研究所

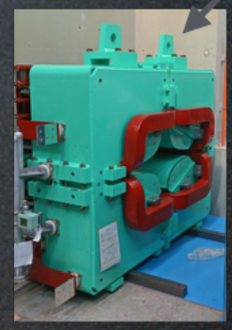
大型スペクトロメーターや最新の
測定器を開発・建設しています。

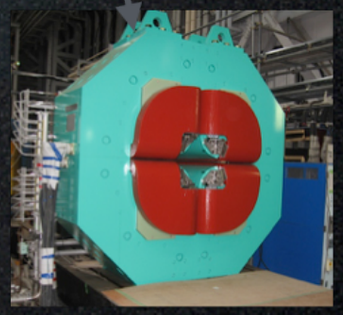


S-2S at J-PARC

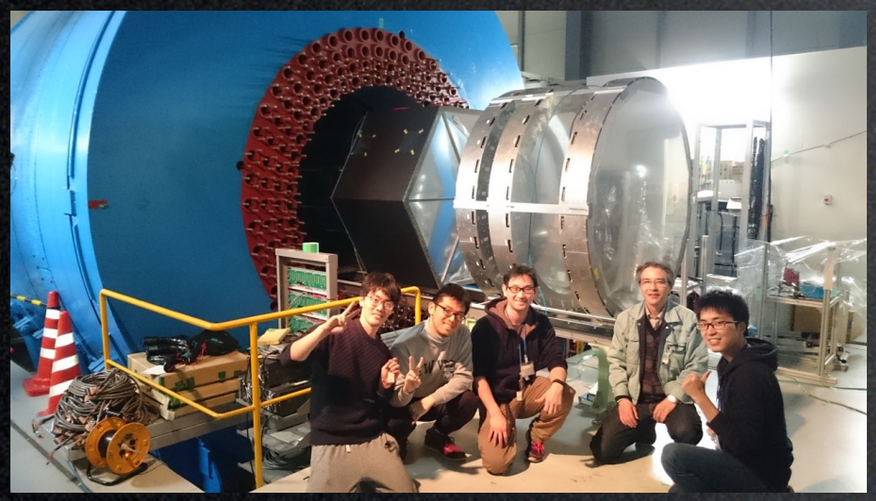






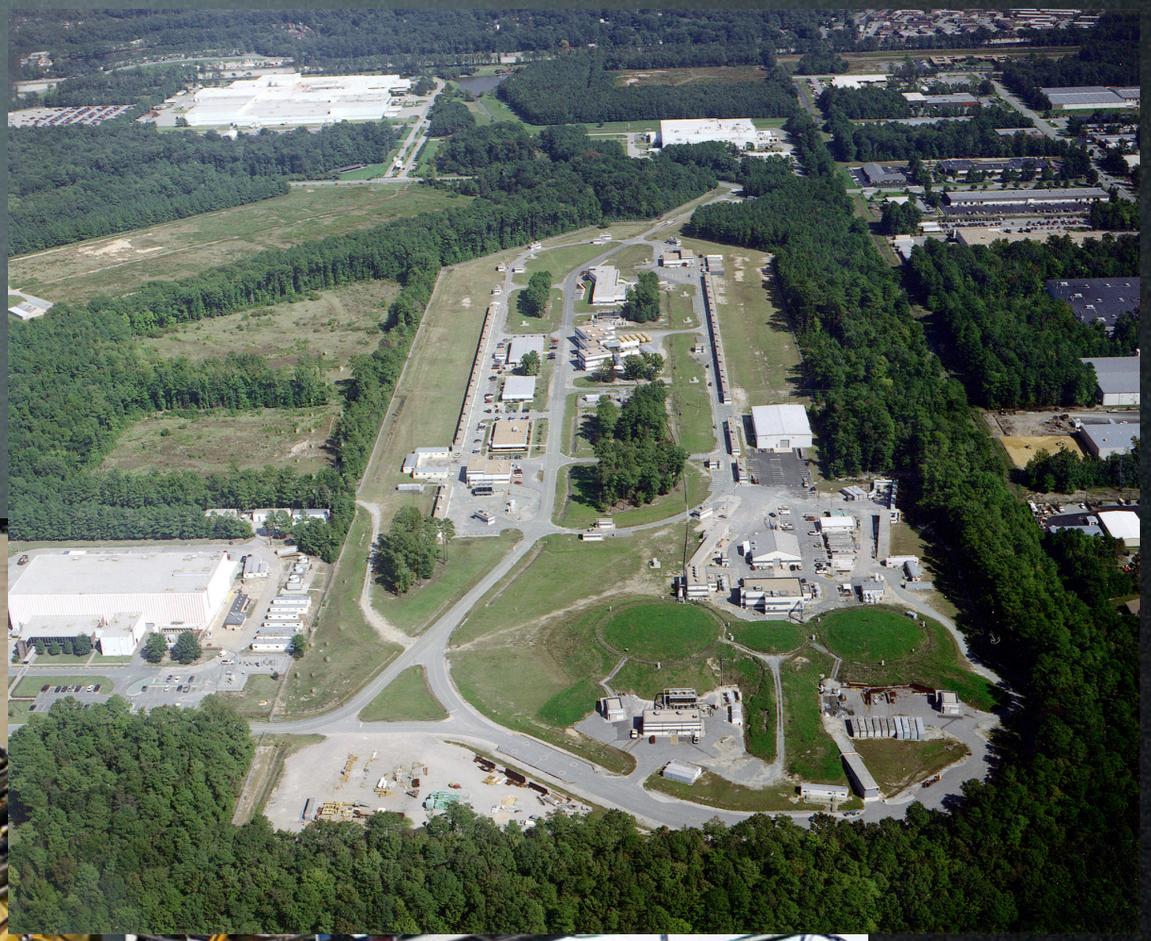


LEPS2 TPC at SPring-8



新しいストレンジネス多体系の探索

米国JLab

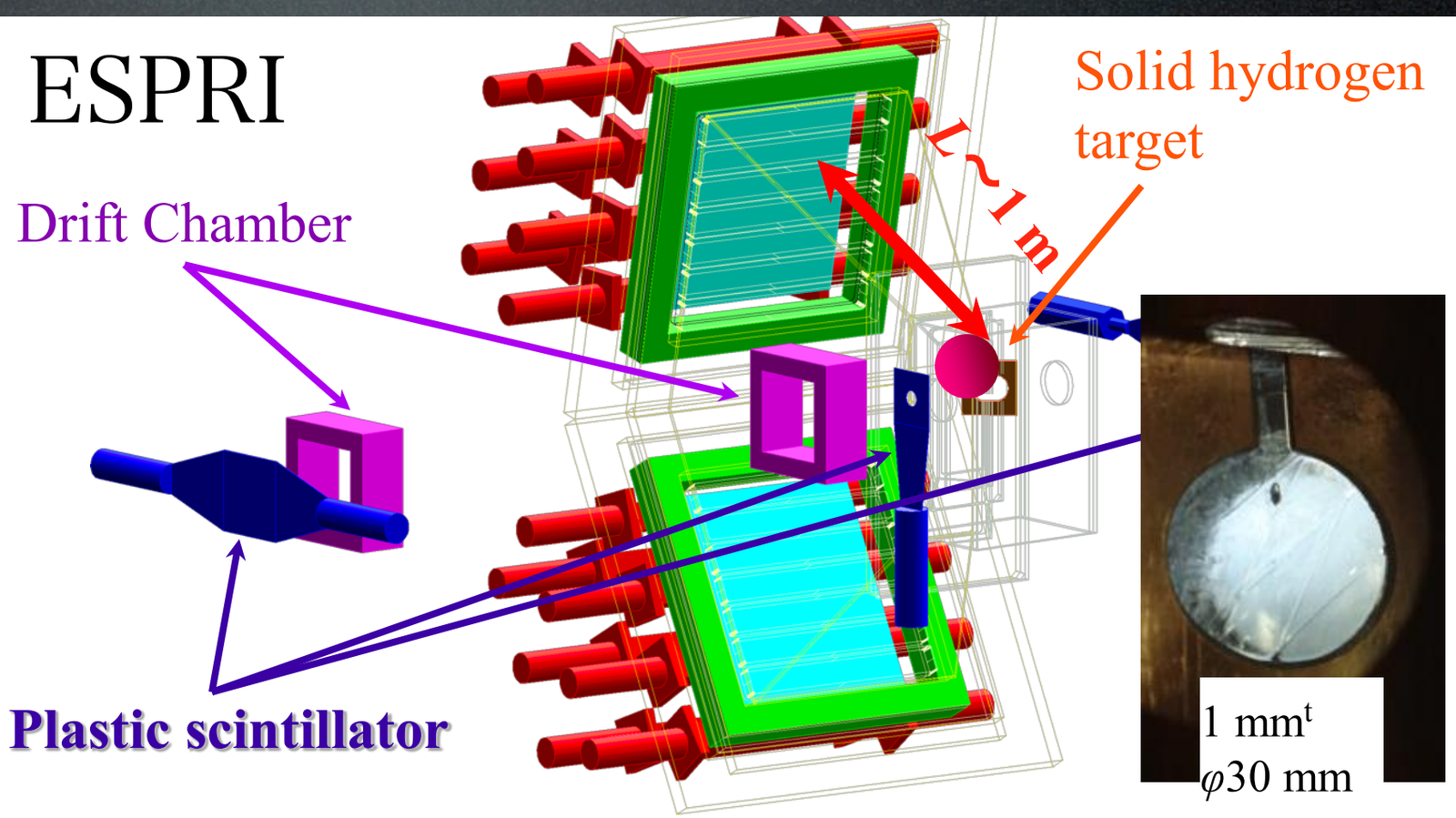


SAMURAI at RIBF

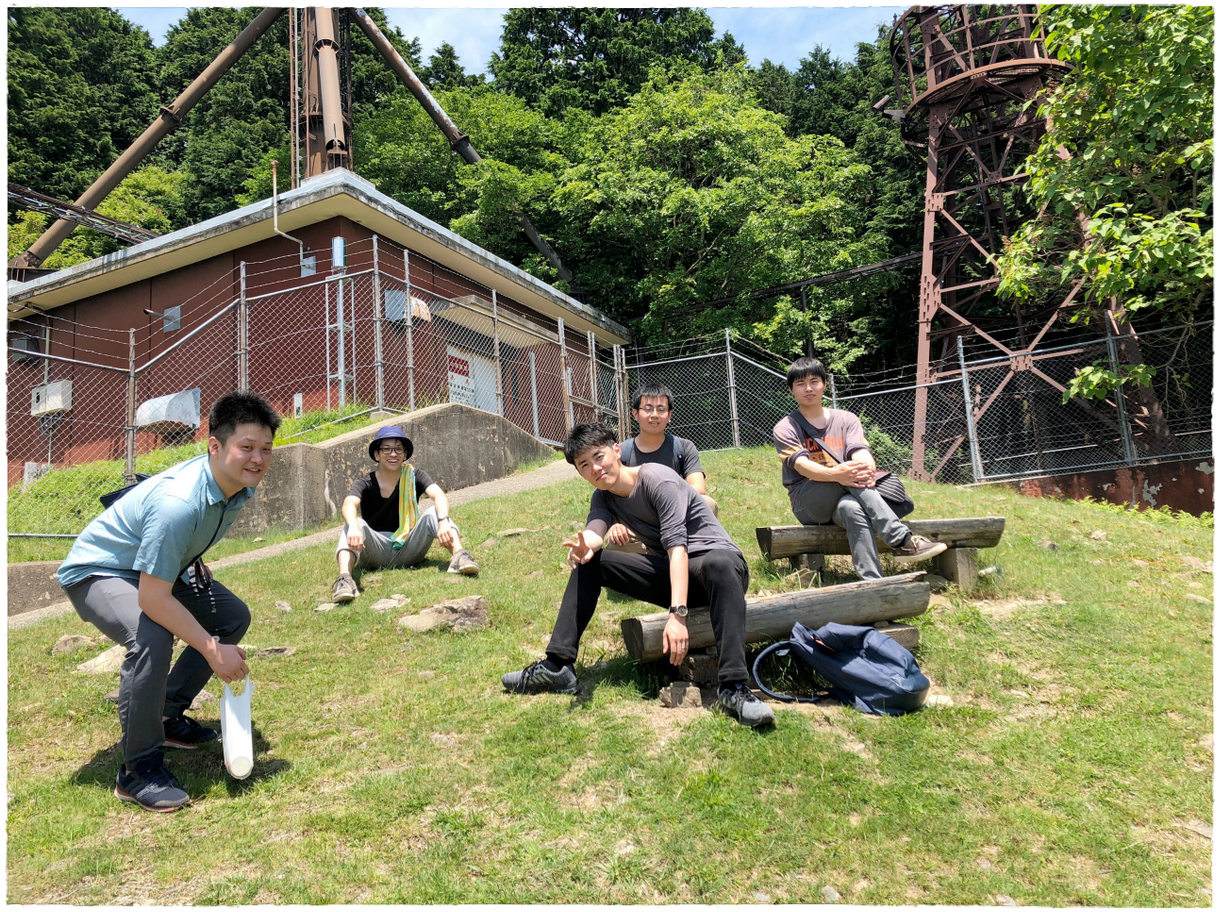
理化学研究所

中性子過剰な核の半径測定

ESPRI



3
1 2 3 4 5 6 7
8 9 10 11 12 13 14
15 16 17 18 19 20 21
22 23 24 25 26 27 28
29 30 31
ミックグループ
MAKE YOUR PIZZA LIFE HOTTER AND FRESHER
BETTER
HUNGRY



高エネルギー物理学研究室

素粒子物理学

https://www-he.scphys.kyoto-u.ac.jp/

京都大学大学院理学研究科 物理学第二教室
高エネルギー物理学研究室

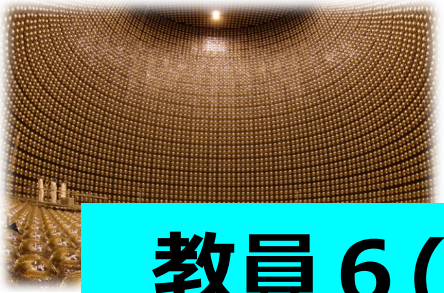
連絡先 English

研究 | メンバー | 論文 | よくある質問 | イベント | コロキウム | セミナー | 教育 | 内部向け | リンク

高エネルギー物理学研究室へようこそ。 高エネルギー物理学研究室では、主に加速器を用いた**素粒子物理学実験**を通じて **"物質を支配する根源的な法則"**の解明に向けた研究を行っています。大学院分科名は**『素粒子物理学』**です。

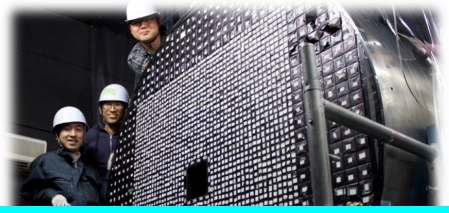
ニュートリノグループ

ニュートリノを通して、素粒子の質量の起源や物質・反物質の対称性の破れを理解することを目指しています。 J-PARC加速器やスーパーカミオカンデを用いてニュートリノ振動の研究を進めると共に、ハイパーカミオカンデ計画やニュートリノを伴わない二重ベータ崩壊探索など将来を見据えた検出器開発を行っています。



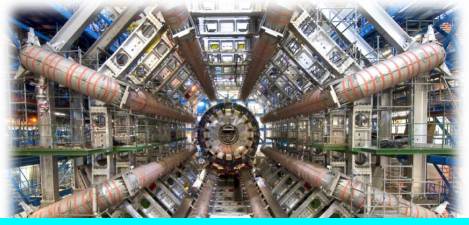
K中間子稀崩壊グループ

茨城県東海村のJ-PARCにてK中間子の稀崩壊モードを探索するKOTO実験を行っています。 この崩壊モードはノーベル賞受賞の小林益川理論を超えた新たな物質・反物質の対称性の破れに非常に感度があり、この探索により、標準理論を超えた新物理へと迫ります。



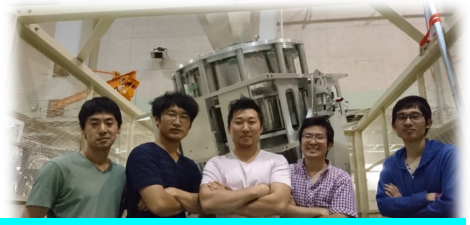
ATLAS実験グループ

スイスジュネーブ郊外にあるCERNのLHC加速器を用いて世界最高エネルギーの陽子同士を衝突させるATLAS実験を行っています。 神の素粒子と呼ばれるヒッグス粒子や，ダークマター候補の超対称粒子、そして誰も予想しなかった物理法則の発見が期待されています。



CMB実験グループ

ビッグバンの残光「宇宙背景放射（CMB）」の偏光を精密観測して、宇宙創成を支配した物理法則の解明を目指します。インフレーション・重力の量子化の検証、ニュートリノ質量測定を行う実験と計測技術の開発を行います。



教員６(+1)、研究員4、博士１３、修士１３

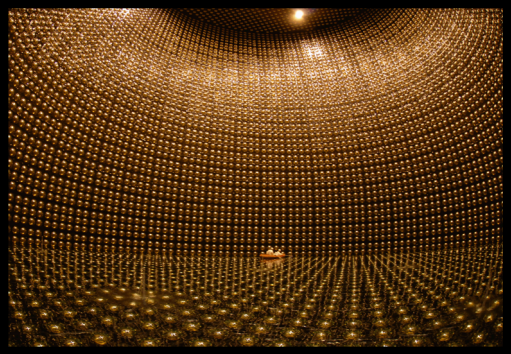
高エネルギー物理学
物質と力の起源、宇宙創成
を実験で探る学問

力の統一、原始重力波、インフレーション
ニュートリノ、暗黒物質、ヒッグス、CP対称性の破れ

高エネルギー
“E”の追求

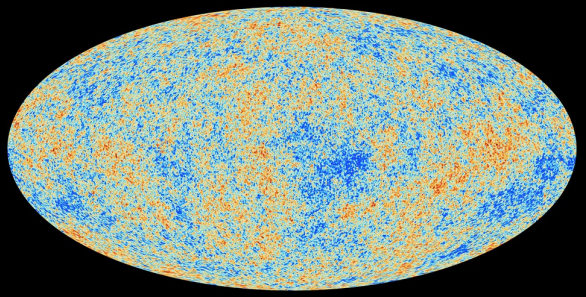
巨大加速器
LHC

$\Delta E \Delta t \sim \hbar$
“稀”の追求



ニュートリノ
陽子崩壊

宇宙のはじまり
“始”の追求

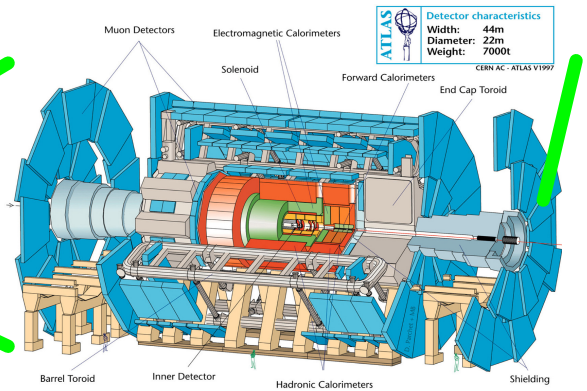


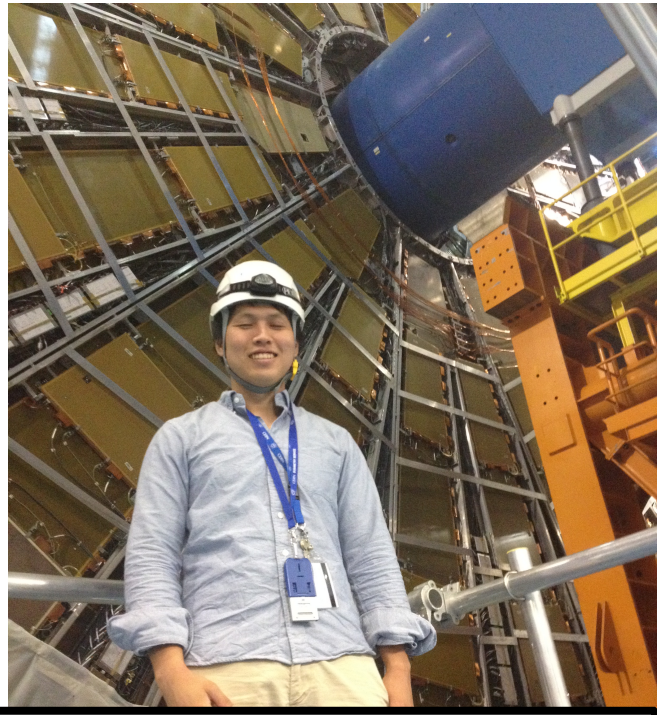
宇宙背景放射
（CMB）

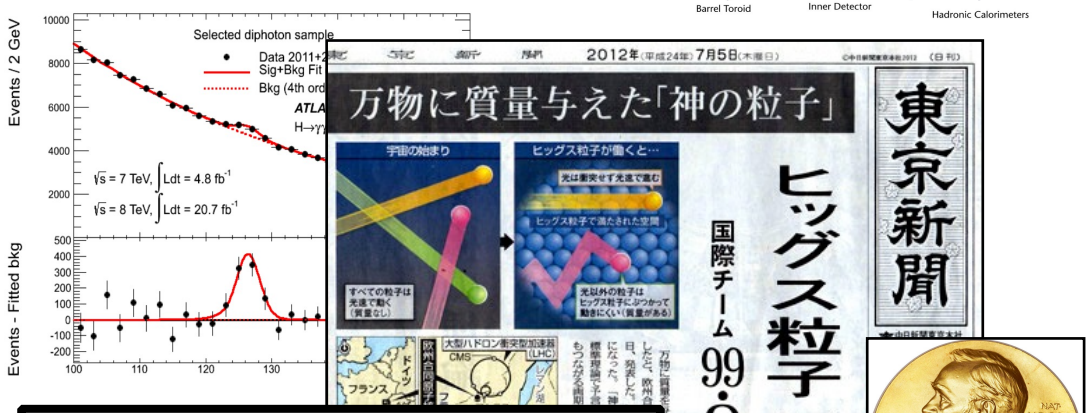
“E”の追求

LHC・ATLAS実験

人類史上最高のエネルギー（13 TeV）





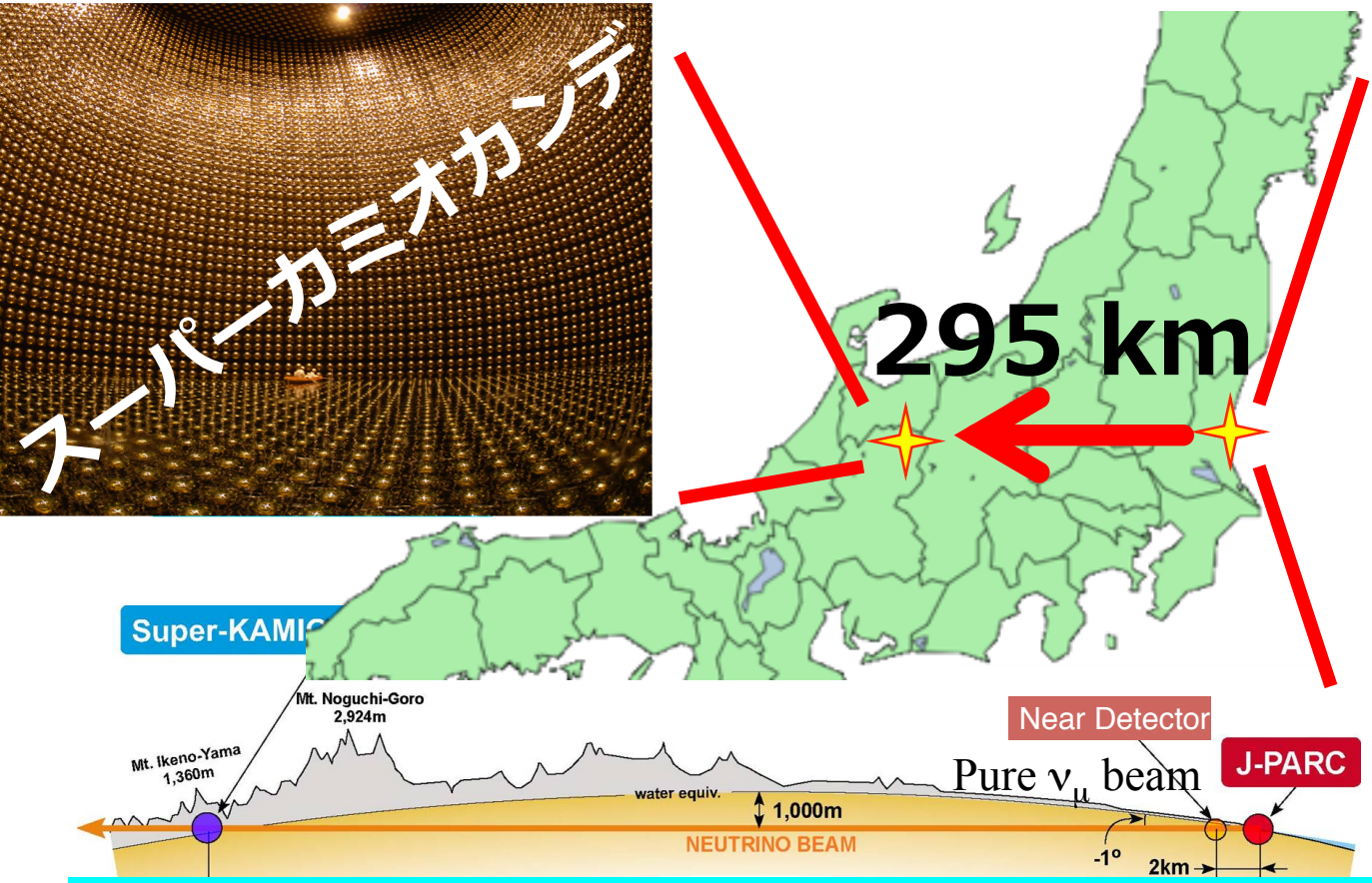


最前線で新粒子・新相互作用の研究

最重要ツール
ミューオン・トリガー
の開発・運転を主導

“稀”の追求

T2K 長基線ニュートリノ振動実験



J-PARC

チームの中軸 京大20人

ニュートリノ変身観測「大変な作業…達成感」

茨城県東海村で、ニュートリノの数やエネルギーを測定する装置を前に立つ東城佳さん（左端）ら日本とカナダのチーム＝2009年、東京大学提供

ニュートリノの変身観測で、ミュー型から電子型への変身を初めて捉え、挙動の全体像が明らかになった。質量が同じで性質が逆の反ニュートリノの反応との違いが分かれば、宇宙が反物質でなく物質でできている理由が分かる。

ニュートリノはさまざまな種類あり相互に変わると考えられていたが、ミュー型の生成装置を開発した市川温子准教授（42）らが一回の発表を行った。

スウェーデンでの欧州物理学会に招待講演者として20日に詳細を報告する。

大学院生もチームの中心で活躍した。「家城佳さん（27）はカナダの研究者とニュートリノの観測器を製作、機器の特性を調べ、実際に使えるようにするのは大変な作業だった。ここまでの仕事ができるとは思っていなかった。達成感がある」と喜んでいた。

チームは来年から同じ実験施設で反ニュートリノの挙動を確かめる実験を開始する予定。（松尾佐知）

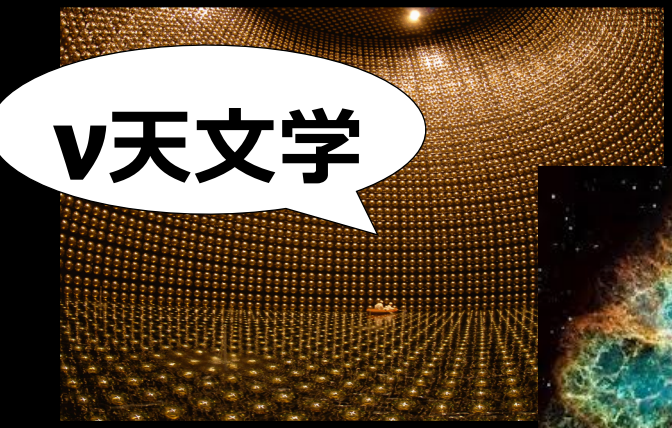
巨大加速器と巨大検出器のハイブリッド

νと$\bar{\nu}$の違いを調べて、物質優勢宇宙の起源を探る

さらなる“稀”の追求

$$\Delta E \Delta t \sim \hbar$$

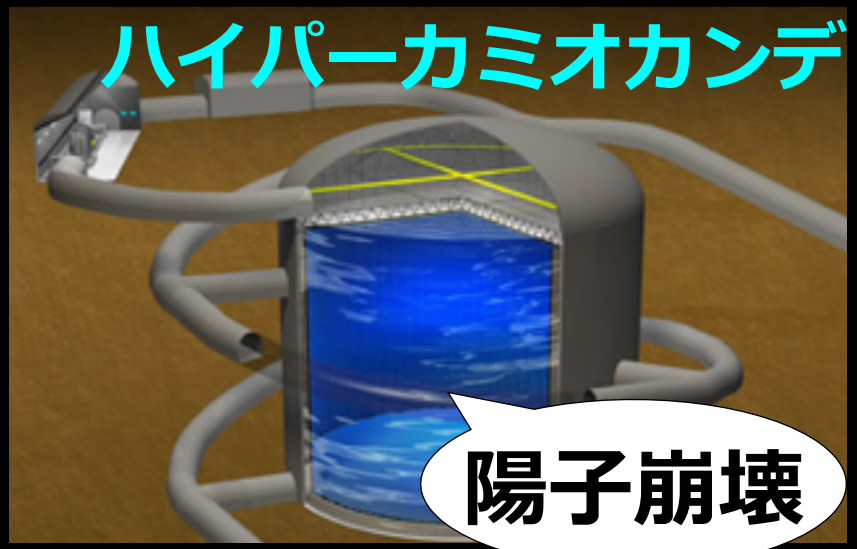
スーパーカミオカンデ



ν天文学

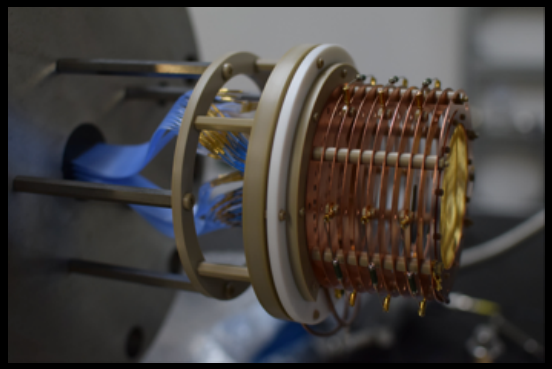
10倍

ハイパーカミオカンデ



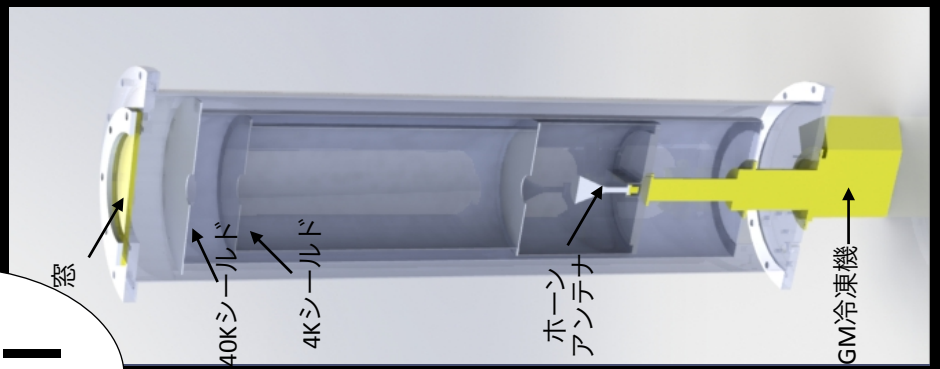
陽子崩壊

AXEL（アクセル）実験



$\nu \overset{?}{\neq} \bar{\nu}$

暗黒光子の探索



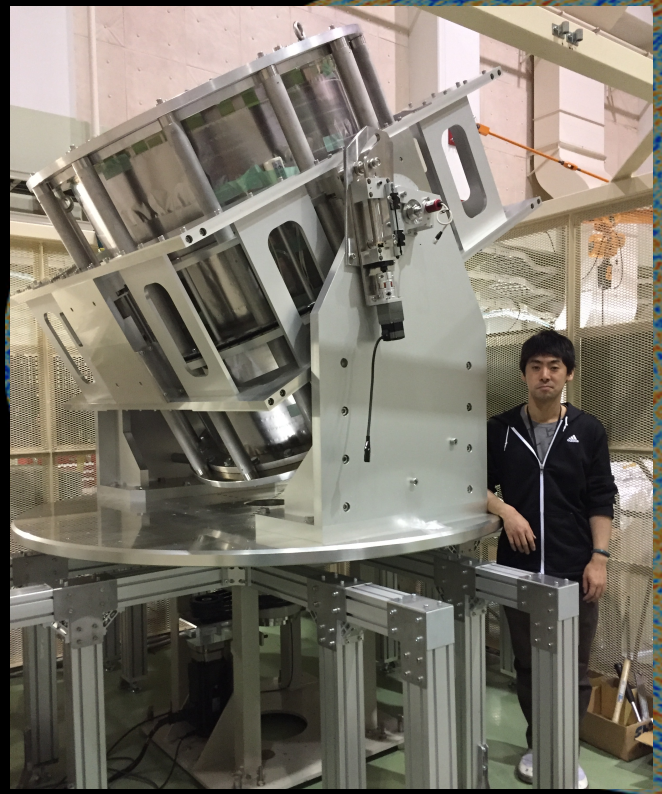
“始”の追求

宇宙背景放射(CMB)

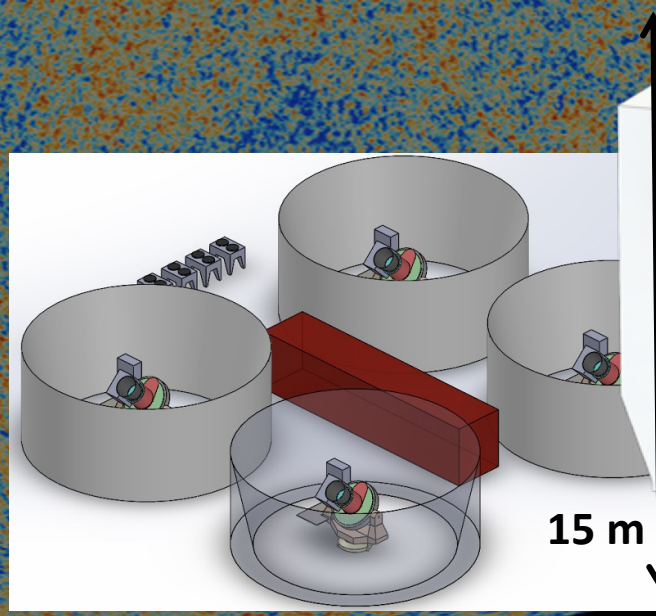
量子重力×インフレーション

原始重力波を観る

宇宙を使った素粒子実験



グランドバード



サイモンズ・オブザーバトリー

世界の仲間と「協力」・「競争」しながら、宇宙創成を記述する真の物理像を切り拓く

世界一の実験をするために、
物理を考える・装置を作る・データを取る
シミュレーション・データ解析
結果を出して、論文を書く

宇宙線物理学分野（X線・ガンマ線天文学）

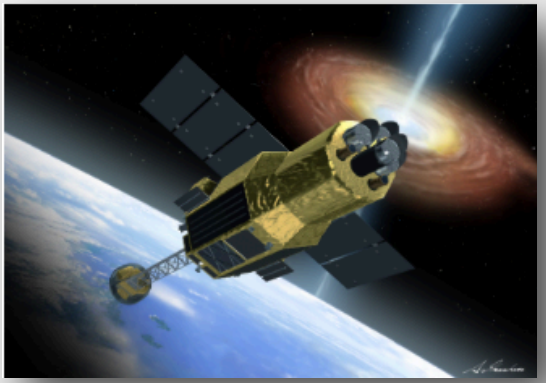
http://www-cr.scphys.kyoto-u.ac.jp/

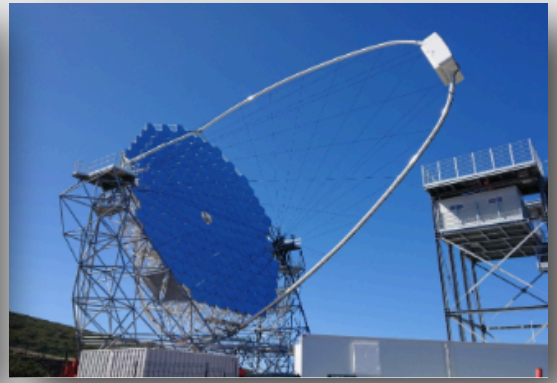
観測の地平を切り拓く新型装置を**自ら開発**し、

活動天体を10桁に渡る多波長で**自ら観測**し、

宇宙の起源と進化を探る、

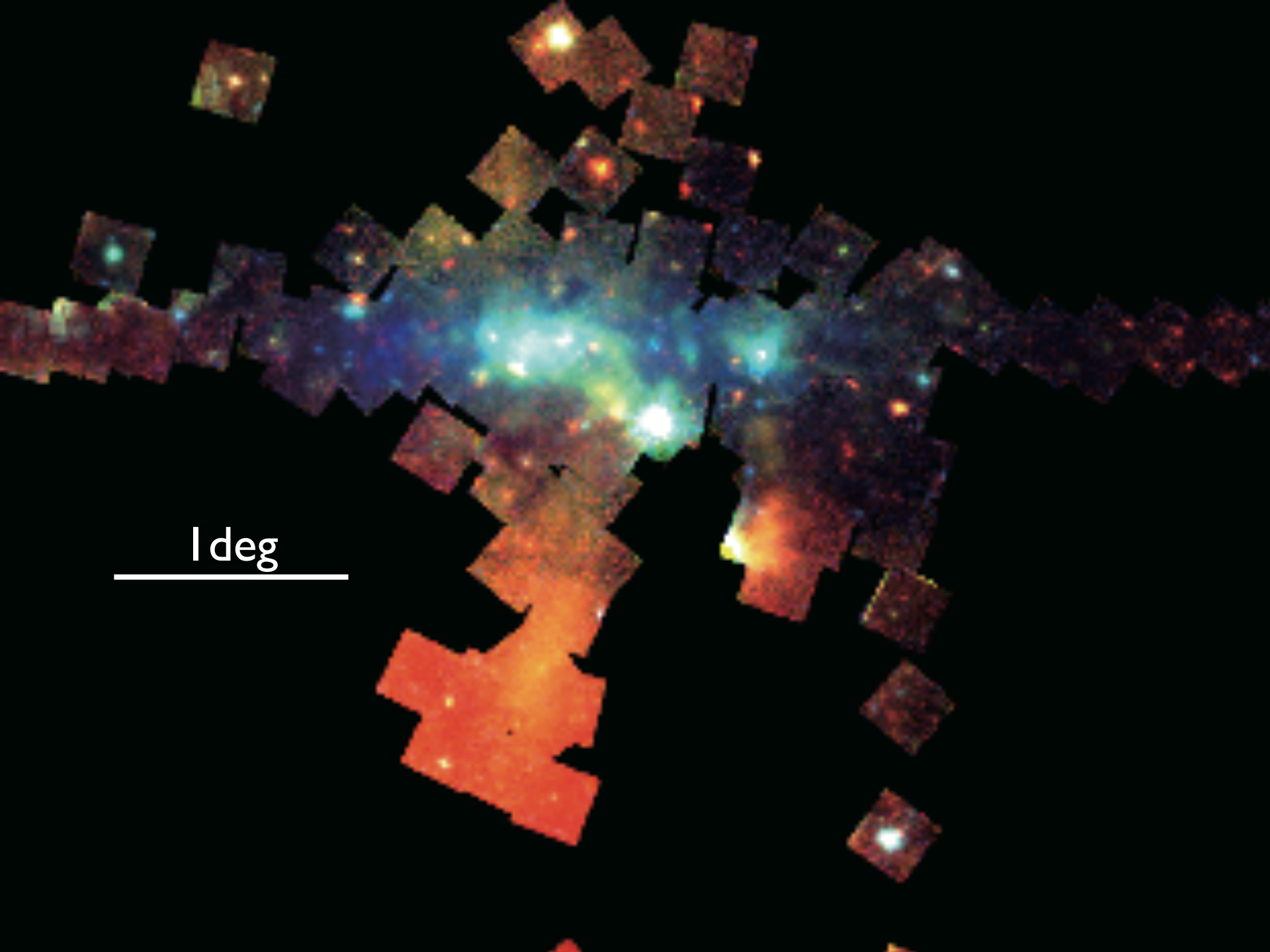
高エネルギー宇宙物理観測の研究室。



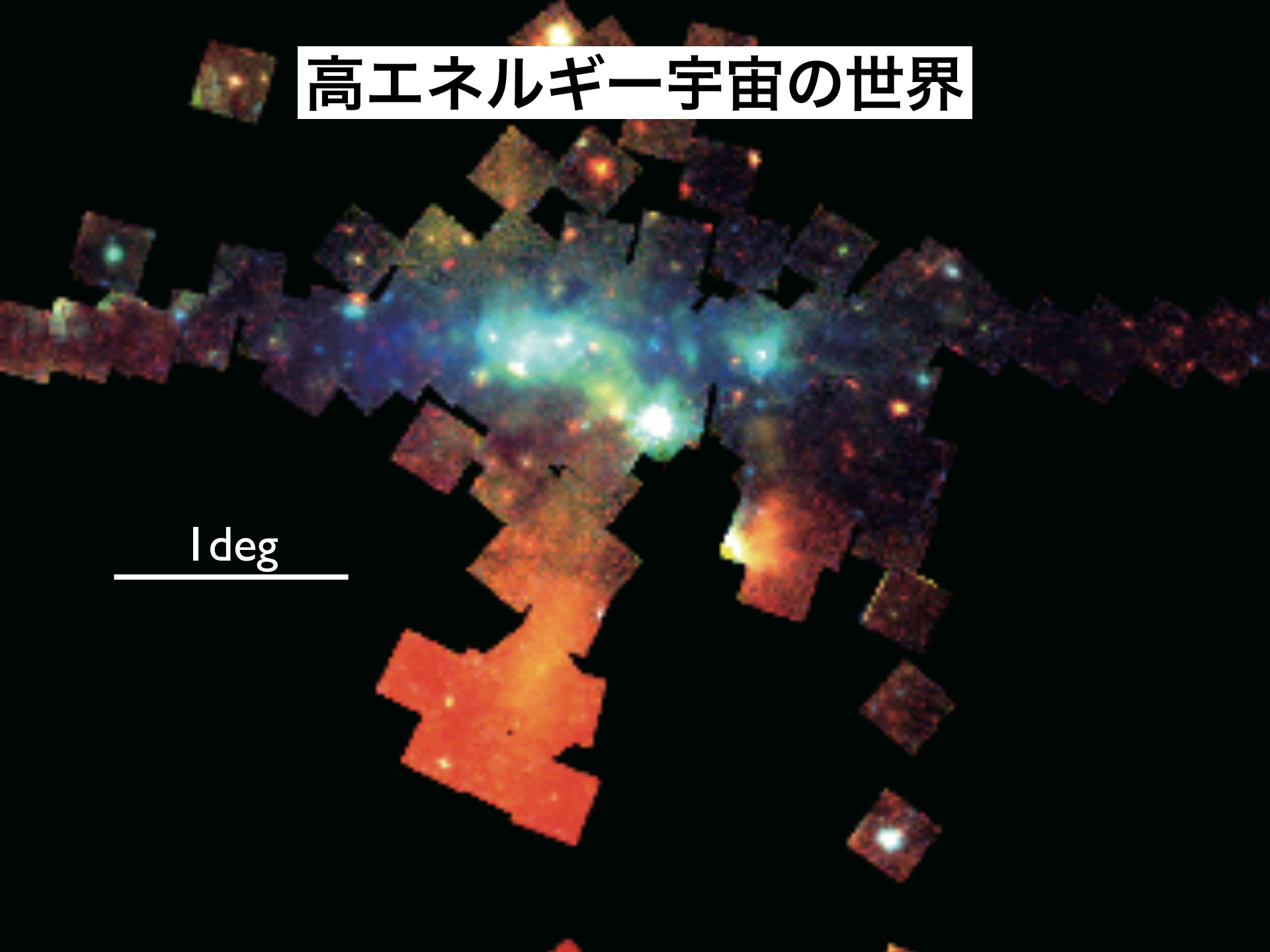


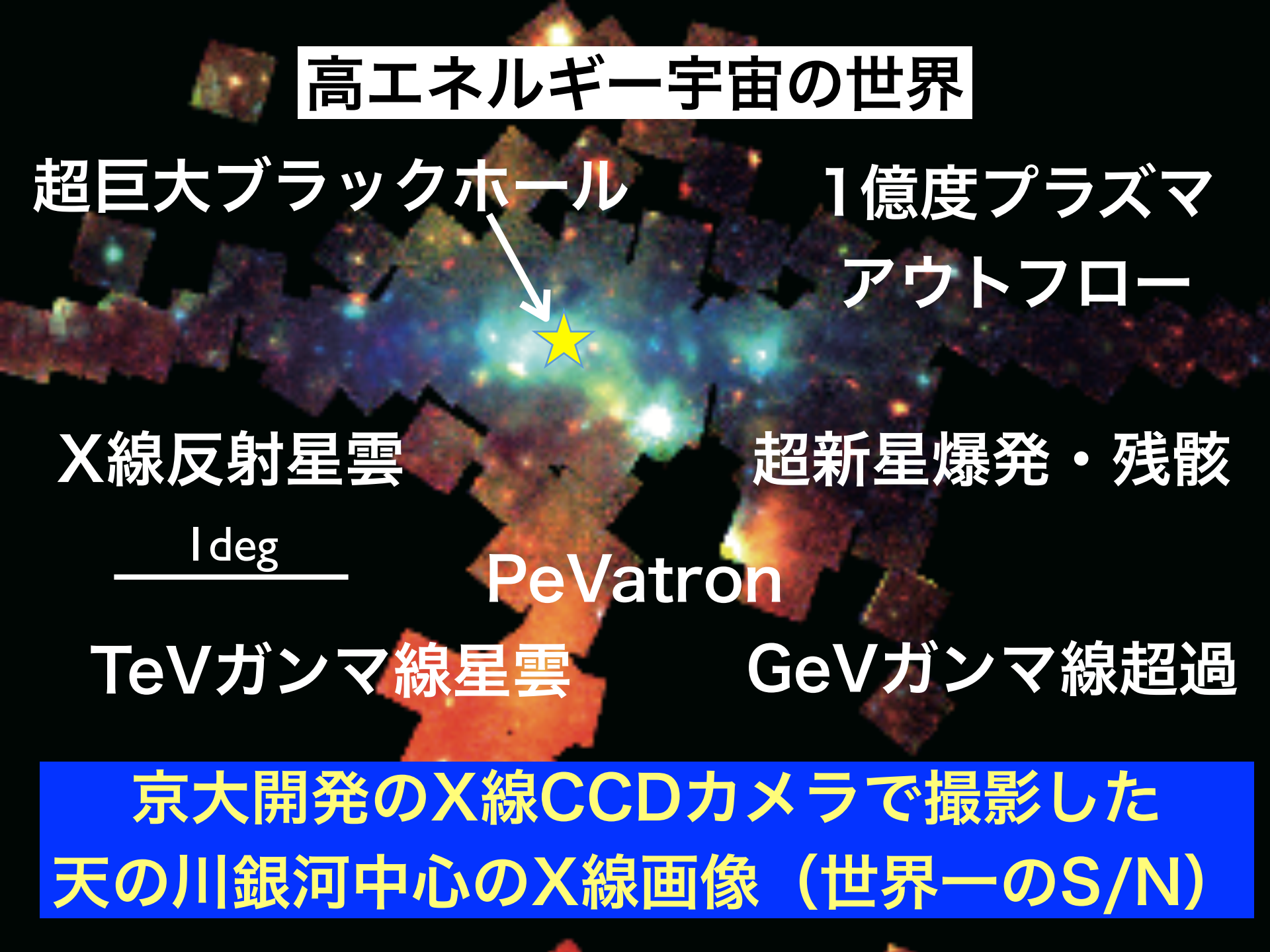
教員6, 研究員2, 博士7, 修士14

1 deg


1 deg

高エネルギー宇宙の世界




高エネルギー宇宙の世界
超巨大ブラックホール
１億度プラズマ
アウトフロー
X線反射星雲
超新星爆発・残骸
1deg
PeVatron
TeVガンマ線星雲
GeVガンマ線超過
京大開発のX線CCDカメラで撮影した
天の川銀河中心のX線画像（世界一のS/N）

高エネルギー天体の多波長観測

（X線～TeVガンマ線、宇宙高エネ粒子線）

超新星の爆発機構・元素の起源

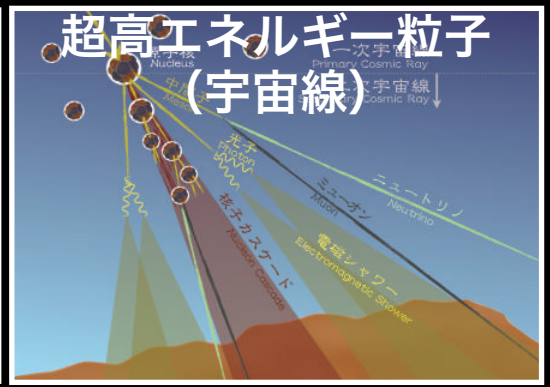
宇宙線（超高エネルギー粒子）の起源

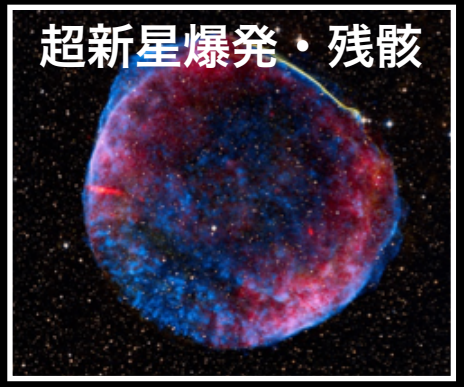
暗黒物質の正体、対消滅線の起源

ミッシング・ブラックホールの探査

銀河・ブラックホール・宇宙の進化

などなど…

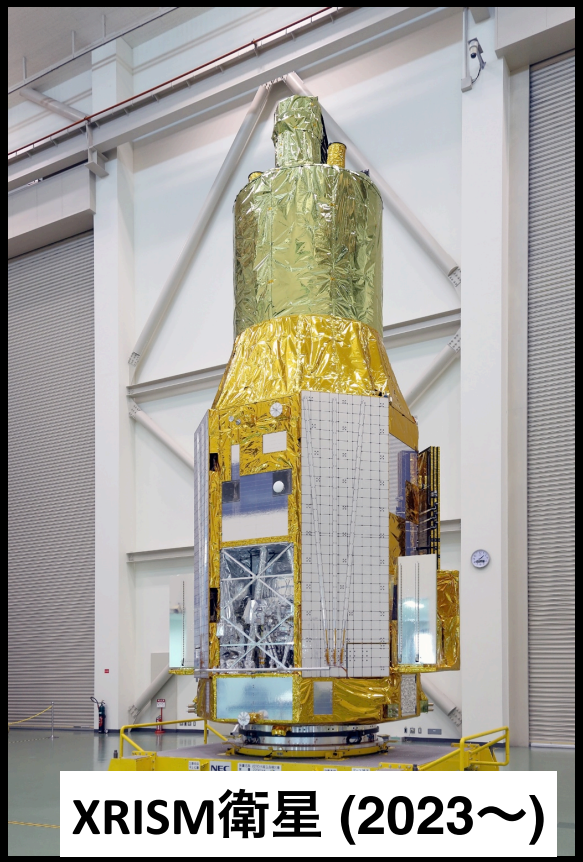




暗黒物質からの
消滅X・ガンマ線

装置開発

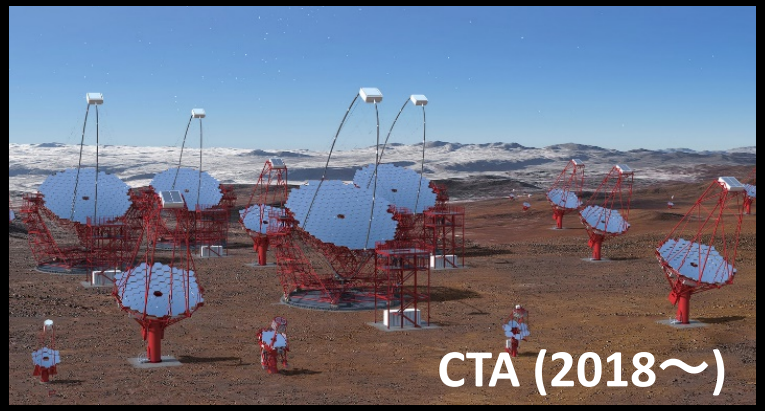
新しい発見は、新しい観測装置から。



XRISM衛星 (2023～)

FORCE衛星計画 (2030～)

SMILE気球実験 (2018～)



CTA (2018～)

FAST (2023～)

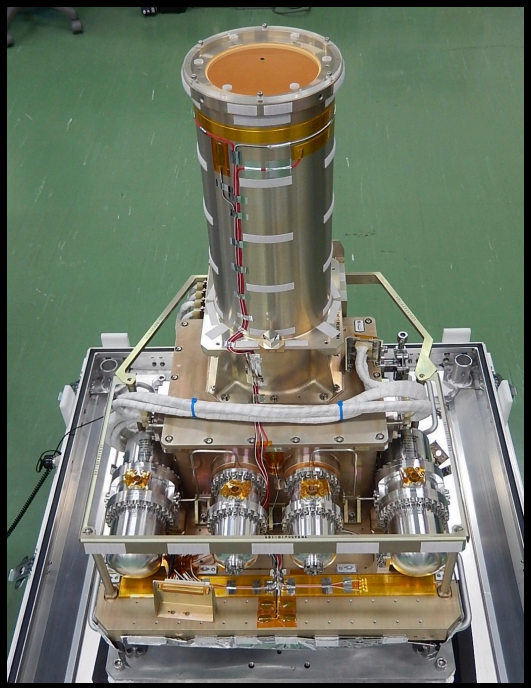
これからの５年間で本格観測を開始

世界中の天文学者が使う。

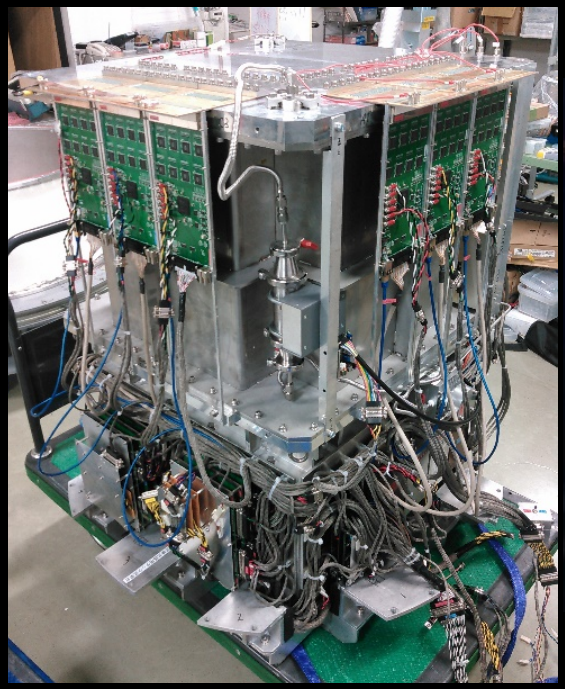
装置開発

新しい発見は、新しい観測装置から。

大面積X線カメラ



コンプトンMeVカメラ



チェレンコフTeVカメラ

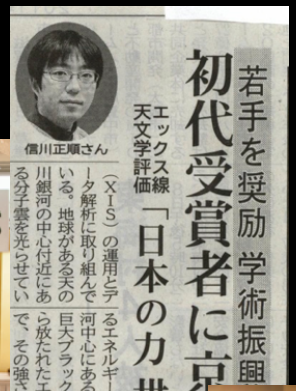
これからの５年間で本格観測を開始
世界中の天文学者が使う。

大学院生こそ色々活躍できる！

2009年(平成21年)10月7日(水曜日) 夕刊讀賣新聞

星のゆりかご 立体図

高精度観測基に 銀河の仕組み解明へ


若手を奨励 学術振興

初代受賞者に京大院生

エックス線天文学評価

「日本の力 世界に示す」

信川正順さん

「天文学」も「物理学」も両方できる。

「天体観測」も「機器開発」も両方できる。

もちろん片方だけ集中して行うのもOK。

「チームのシゴト」も

「個人の研究」も両方できる。

これまでに３回測定器開発優秀修士論文賞をいただきました

ビーム物理分科

化学研究所（宇治キャンパス）／協力講座

教授	若杉 昌徳
准教授	塚田　暁
助教	小川原　亮
技術職員	頓宮 拓
M2	久世　啓太
M1	伊東　佑起
	前原　義樹

加速器とその要素技術開発によって世界唯一の実験装置を創る

Ongoing

- 不安定原子核電子散乱実験（SCRIT）
- 稀少RIの精密質量測定（R3: Rare-RI Ring）
- RI・RI核反応研究を目指す蓄積リング開発（RUNBA）

Planned

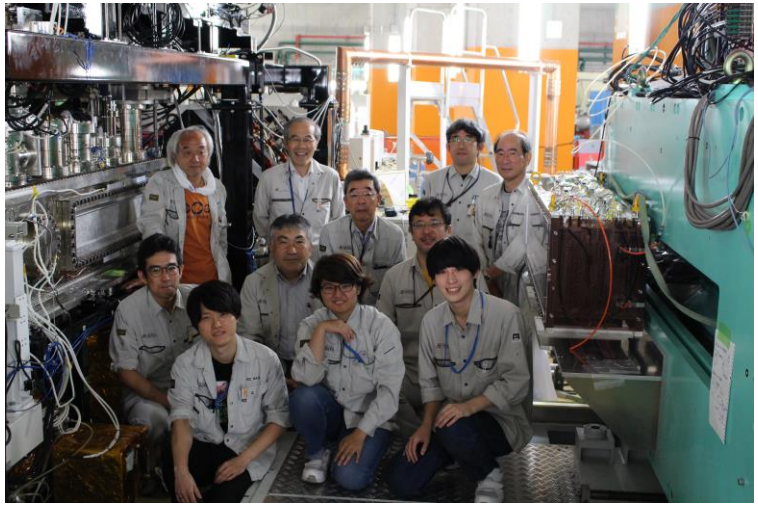
- 同位体分離器（ISOL）の開発建設（@KAKEN）
- 不安定原子核巨大共鳴研究（ @KAKEN ）

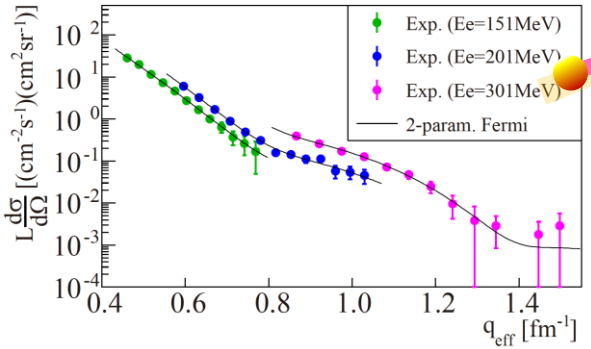
SCRIT不安定核電子散乱

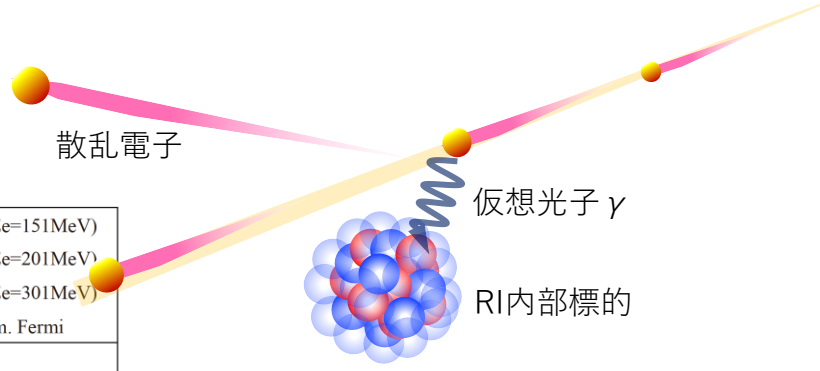
共同研究：京大化研、理研仁科、東北大電子光、立教大、QST放医研

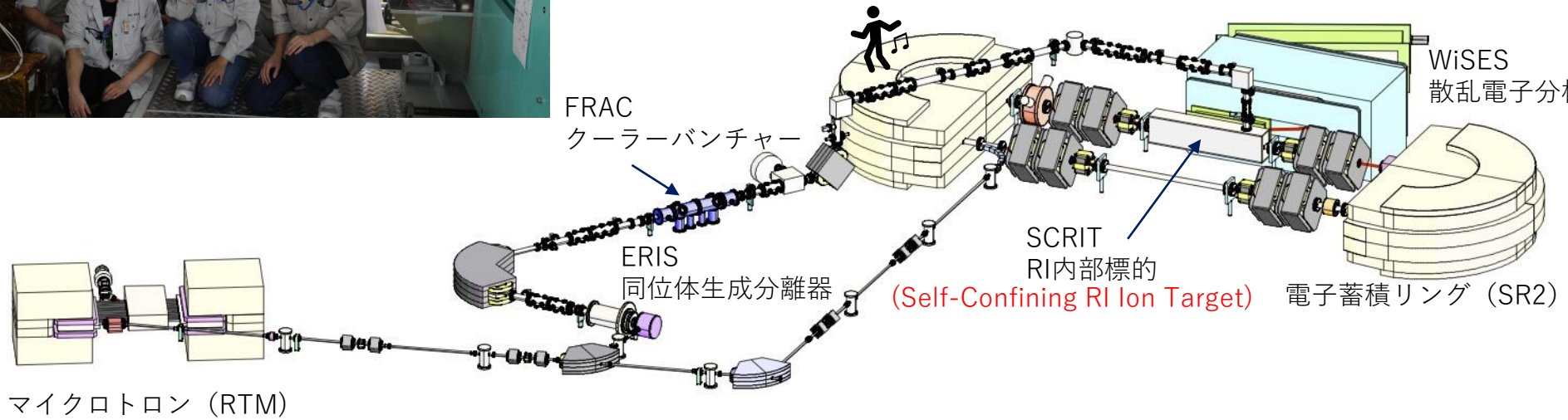
世界唯一の不安定核・高エネルギー電子衝突実験施設

電子ビームプローブによる不安定核構造研究



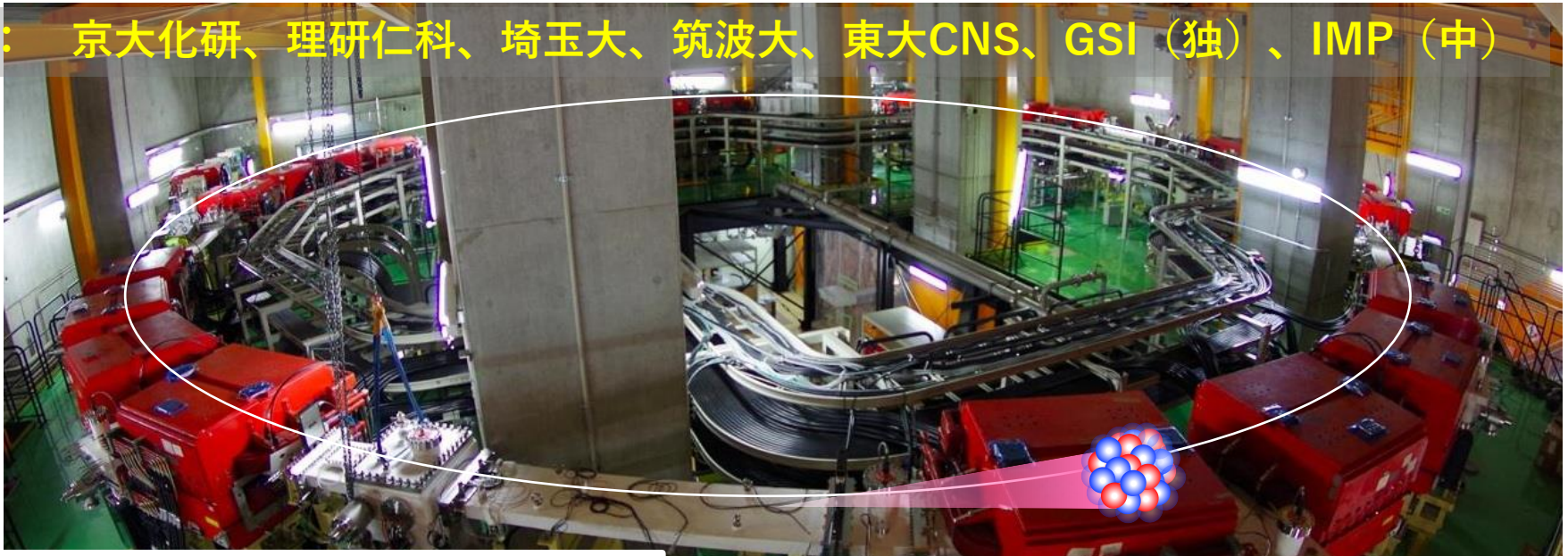






Rare-RI Ring超稀少RIの質精密測定

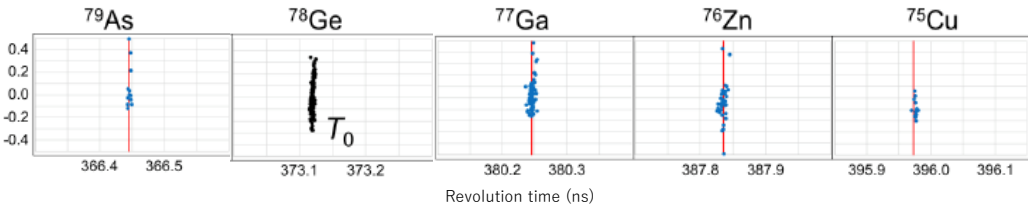
共同研究：　京大化研、理研仁科、埼玉大、筑波大、東大CNS、GSI（独）、IMP（中）



精密等時性蓄積リング

運動量に依存しない周回周期

一粒の不安定核だけを蓄積する

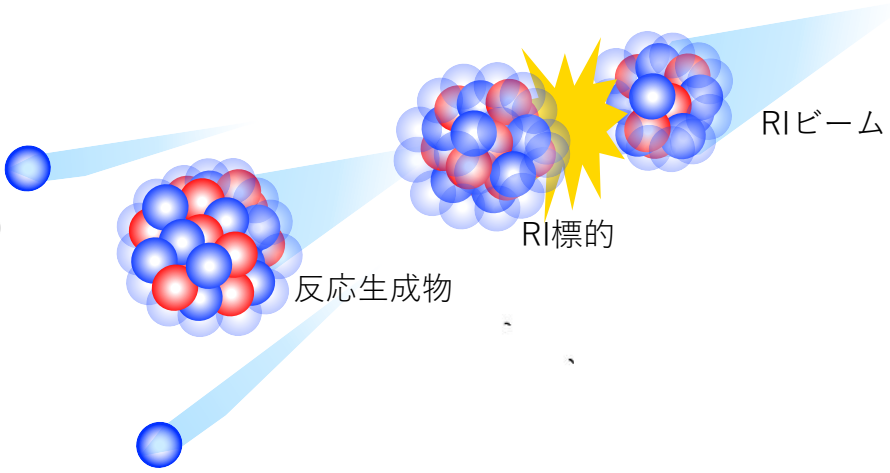


稀少RIの核反応 （京大化研・理研仁科連携研究）

ビームリサイクル技術開発からRI・RI衝突実験へ

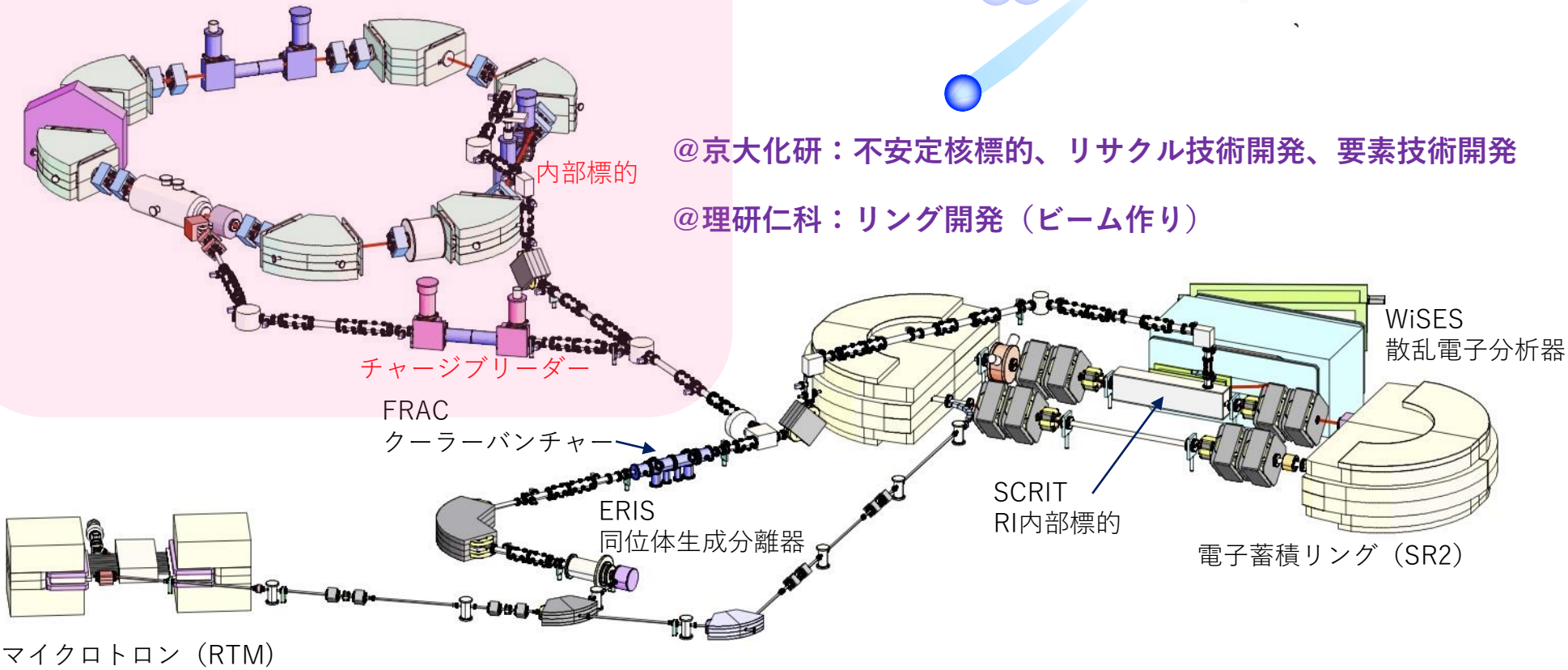
RUNBA

(Recycled-Unstable-Nuclear Beam Accumulator)



@京大化研：不安定核標的、リサクル技術開発、要素技術開発

@理研仁科：リング開発（ビーム作り）



核放射物理学分科

物理学第二教室　協力講座
（複合原子力科学研究所）

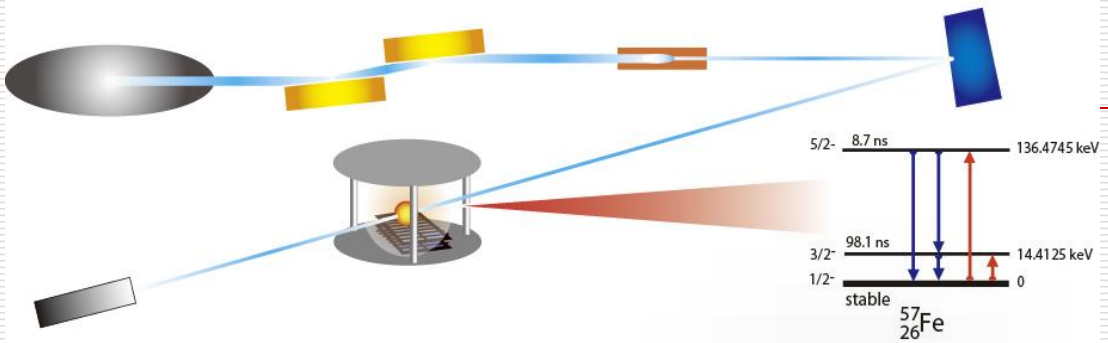
教授：瀬戸 誠、准教授：北尾 真司、助教：小林 康浩

- 原子核的手法を用いて物性科学を解明
- 物性科学の手法を用いて原子核を制御

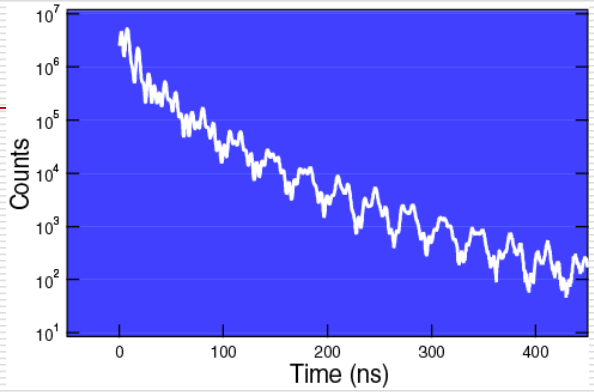
原子核科学と物性科学のかけはし

核放射物理学分科

核共鳴散乱の実験概念図



ガンマ崩壊の時間スペクトル(例)

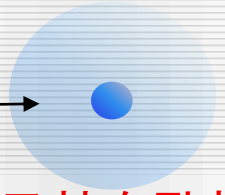


高輝度放射光

短寿命放射性同位体

X線

γ線



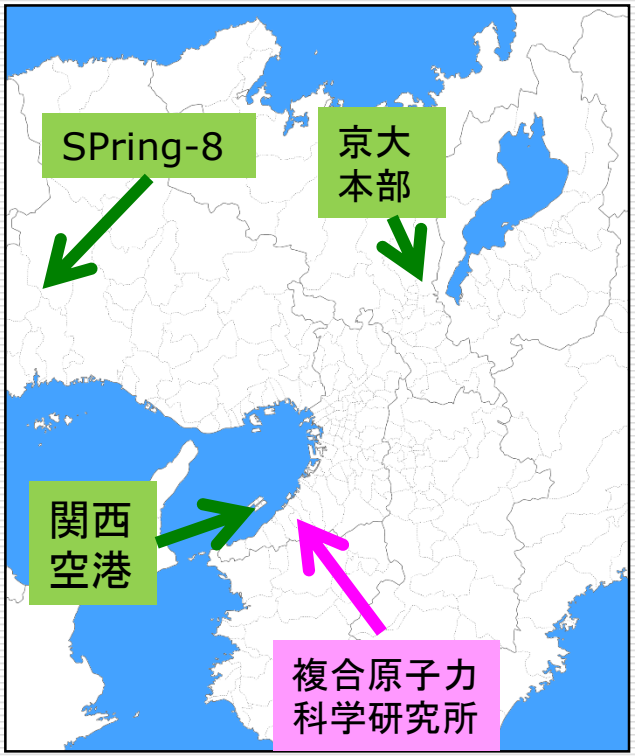
原子核を励起

ガンマ崩壊の
時間/エネルギースペクトルから
さまざまな情報を収集

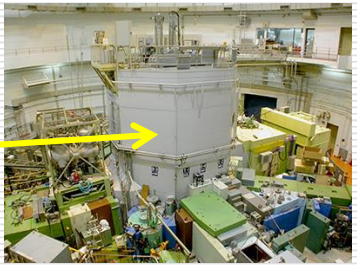
研究テーマ

- 原子核ガンマ崩壊時間依存性(崩壊寿命制御)の研究
- メスバウアー分光法による、超伝導体・磁性体の電子状態
- ガンマ線レイリー散乱法によるソフトマターのダイナミクス
- 放射光核共鳴散乱法によるフォノンダイナミクス
- など

京都大学　複合原子力科学研究所
（大阪府泉南郡熊取町）



研究炉(中性子)



研究炉炉室

線形加速器(電子)

Ptターゲット

高エネルギーX線

多様な短寿命放射性同位体を生成可能

さまざまな照射場が利用可能

主要放射光施設(第3世代)

www.esrf.eu

6GeV

European Synchrotron Radiation Facility(フランス)

www.aps.anl.gov

7GeV

Advanced Photon Source(アメリカ)

www.desy.de

6GeV

DESY Petra III (ドイツ)

www.spring8.or.jp

8GeV

SPring-8 (兵庫県)

世界最先端の放射光施設を利用

核放射物理学分科

核共鳴散乱実験ステーション

SPring-8 (兵庫県)

BL19LXU(理研)

BL11XU(量研機構)

核共鳴散乱実験

ステーション

BL35XU

非弾性散乱

ビームライン

移設・高度化進行中

世界に先駆けた核共鳴散乱実験を実施

www.spring8.or.jp

放射光施設の近年の高度化

第3世代放射光施設

高度化進行中（低エミッタンス化）

SPring-8 (兵庫県)	⇒	SPring 8 – II
APS(アメリカ)	⇒	APS-U
ESRF(フランス)	⇒	ESRF- EBS
DESY Petra III(ドイツ)	⇒	Petra IV

他、新規計画 BAPS (中国)など

低エミッタンス（電子ビームの広がり小）

輝度の向上（小さいビームサイズ）

コヒーレンスの向上（可干渉サイズ拡大）

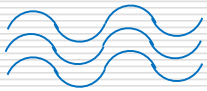
第4世代放射光施設

X線レーザー

SACLA (兵庫県)

SLAC- LCLS (アメリカ)

European XFEL (ドイツ)



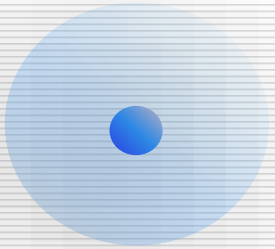
コヒーレント光（位相のそろった）
極短パルス幅

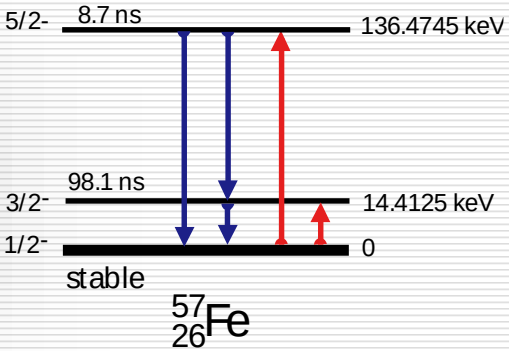
第4世代放射光による原子核励起
新しいX線光学は未知の領域

核放射物理学分科

詳細は　核放射物理学研究室ウェブページ

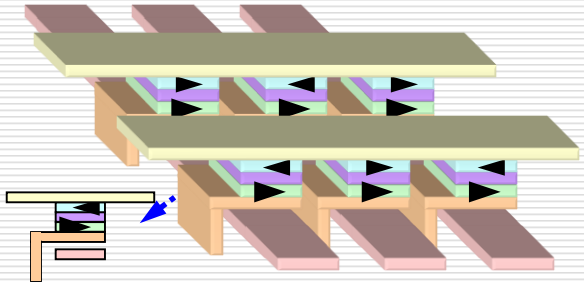
http://www.rri.kyoto-u.ac.jp/NRP/（“核放射”で検索）

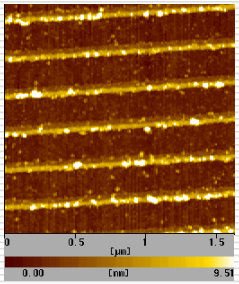




原子核科学

物性科学





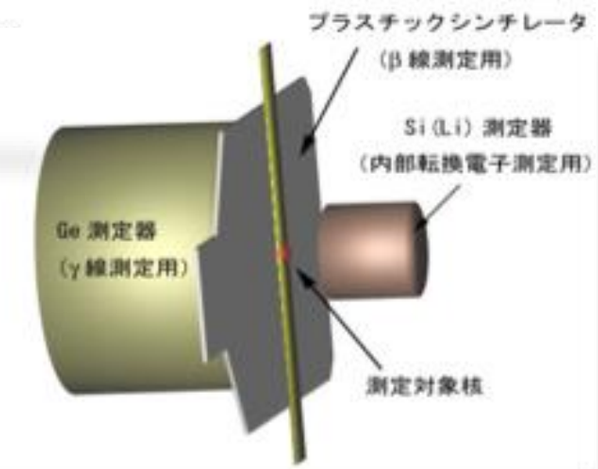
- 原子核や物性の分野を越えた広い領域にわたる研究
- 自由な発想で新しい研究分野の開拓

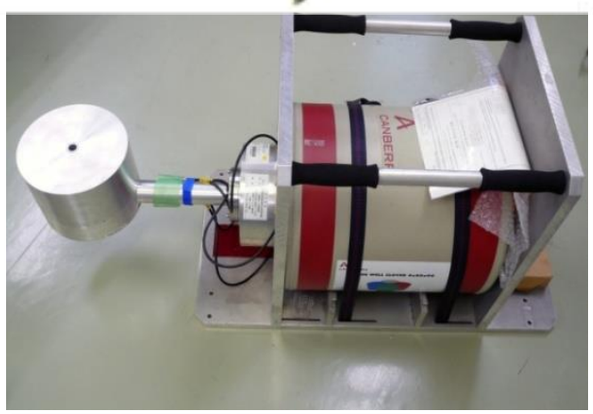
核ビーム物性学研究室(複合研)

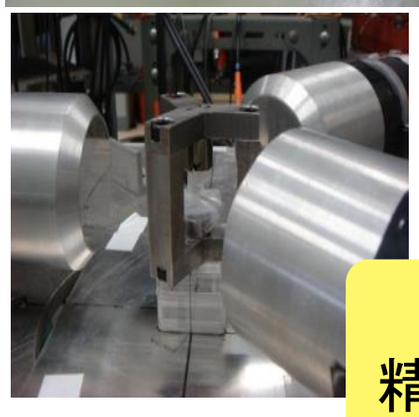
詳しくは、 https://www.rri.kyoto-u.ac.jp/NBMP/ 核ビーム 検索

准教授：谷口秋洋　助教：谷垣　実

不安定核ビームによる原子核・物性研究







対象核への
精密核分光実験

原子核

- 核磁気モーメント
- スピンパリティ
- 核半径 質量

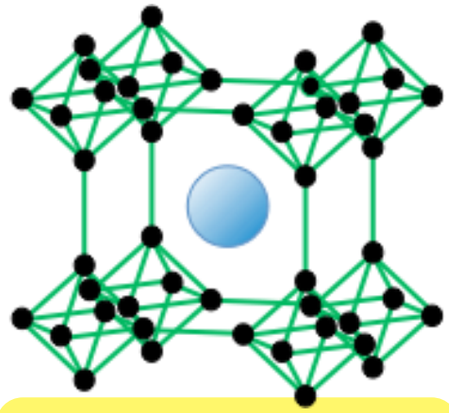
中性子過剰核
の核構造

核ビーム

物性

- 局所磁場
- 電場勾配

・ウルトラファインバブルの物性
・金属酸化物の局所構造の研究



不安定核を
プローブとして
物質に注入

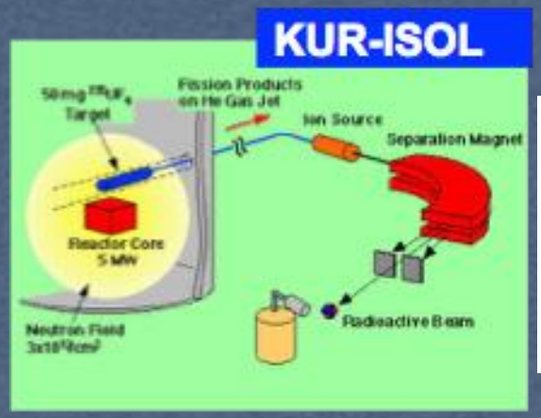
- ISOL

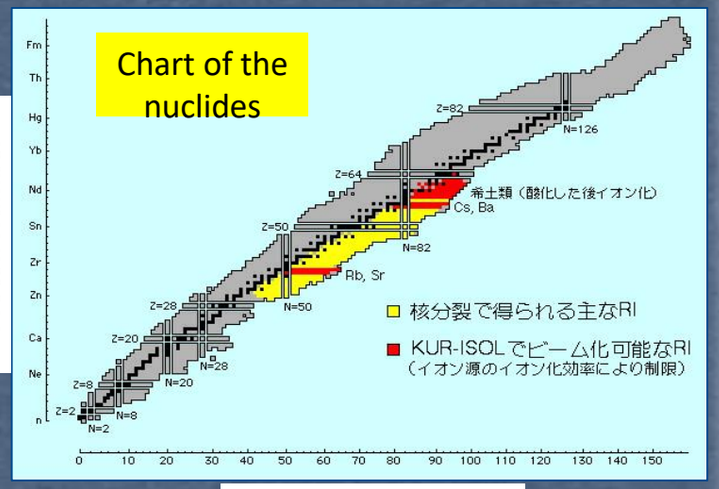
装置開発

不安定核の
生成・分離

最近の研究活動(他機関との共同研究を含む)

複合原子力科学研究所





原子核物理

- 中性子過剰核^{153}Pr, ^{154}Prの崩壊様式
- ^{140}Ce 4^{+}準位の磁気モーメント
- ^{199}Ptの磁気モーメント(@KEK WNSC)

物性物理 (放射性同位体の利用)

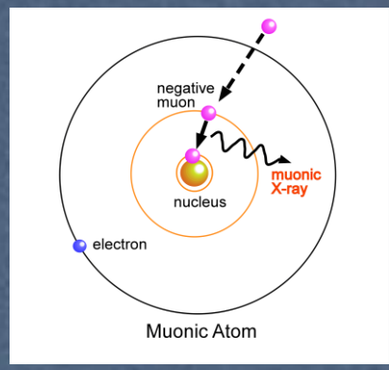
- ウルトラファインバブルの内部圧力測定
- n型半導体ZnO中のIn不純物の状態
- Fe_3O_4中のIn不純物の状態

技術開発

- β−γ核分光や摂動角相関のための計測システムの開発
- 加速器・計測器制御系の開発
- ガスジェット型ISOLにおける新たなイオン化法の開発
- R-過程の元素合成に係るN≃126領域核種の生成法の開発 (@KEK WNSC)

負ミュオンを用いた核物理と応用

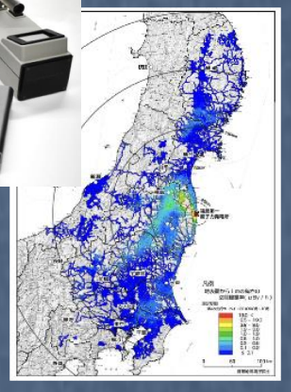
- 不安定核の核電荷分布測定に向けた基礎研究
- 新たな非破壊元素分析法の研究
  （宇宙地球試料／考古学試料／生物試料／産業試料の分析）



福島支援（環境放射線計測）

走行サーベイシステムKURAMA/KURAMA-IIの開発

様々な形態のKURAMA-II (上)とKURAMA-II100台で実施した文科省の東日本広域調査(右)



クラウドで結ばれた多数の車載器で線量率やγ線のスペクトルデータをリアルタイムに計測

国の原子力災害時のモニタリング手法として標準化され、原発立地県で採用が進む。原発周辺農地の回復への応用研究も進む