



筑波大学-KEKによる 加速器開発研究

- 原子核実験グループの紹介
- これまでの大学等支援実績
- これからのKEK連携

筑波大学・数理物質科学研究科・物理学専攻
三明 康郎

原子核実験グループメンバー表



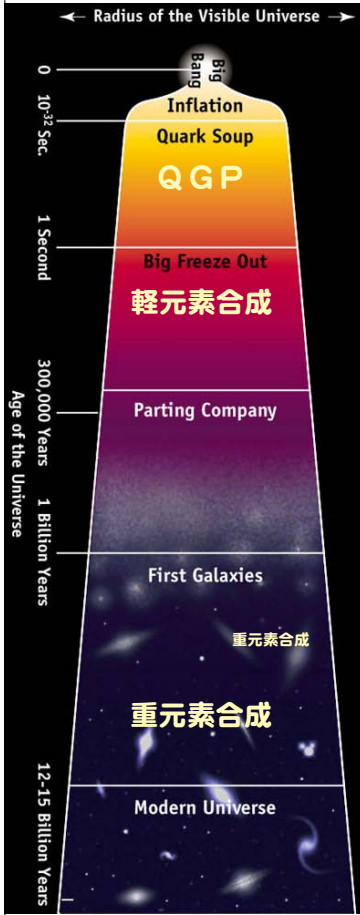
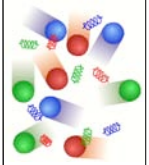
低エネルギー

- ✓ 小沢頭 准教授
- ✓ 新井一郎 准教授
- ✓ 小松原哲郎 講師
- ✓ 笹公和 講師
- ✓ 鈴木宏 助教
- ✓ 長江大輔 準研
- ✓ 宮武宇也(KEK) 客員教授
- ✓ 和田道治(理研) 准教授(連携)
- ✓ 大学院生 ; 10名

高エネルギー

- ✓ 三明康郎 教授
- ✓ 江角晋一 准教授
- ✓ 中條達也 講師
- ✓ 稲葉基(筑技大) 准教授
- ✓ 下村真弥 PD研究員
- ✓ 洞口拓磨 学振PD研究員
- ✓ 新井康夫(KEK) 客員教授
- ✓ 田中真伸(KEK) 客員准教授
- ✓ 大学院生 ; 14名

宇宙の歴史と核物理

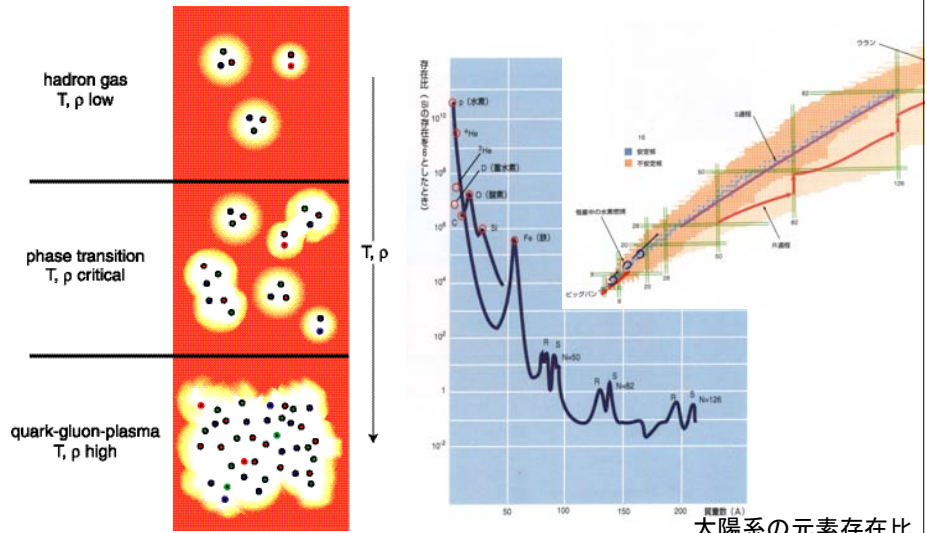


✓ 宇宙史に関わるトピックス

- ◆ ビッグバン直後のクォーク・グルーオンプラズマ
- ◆ 宇宙元素合成

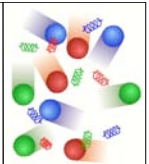
➡ ビッグバン直後、超新星爆発、星内部、星間、

✓ タンデム(筑波大)、RIビーム(理研)、RHIC(BNL)、LHC(Cern)



太陽系の元素存在比

Quark Gluon Plasma from Big Bang to Little Bang



CAMBRIDGE | Catalogue

Home > Catalogue > Quark-Gluon Plasma



Quark-Gluon Plasma

Series: [Cambridge Monographs on Particle Physics, Nuclear Physics and Cosmology](#)

Kohsuke Yagi
Urawa University, Japan

Tetsuo Hatsuda
University of Tokyo

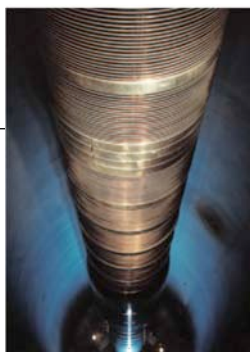
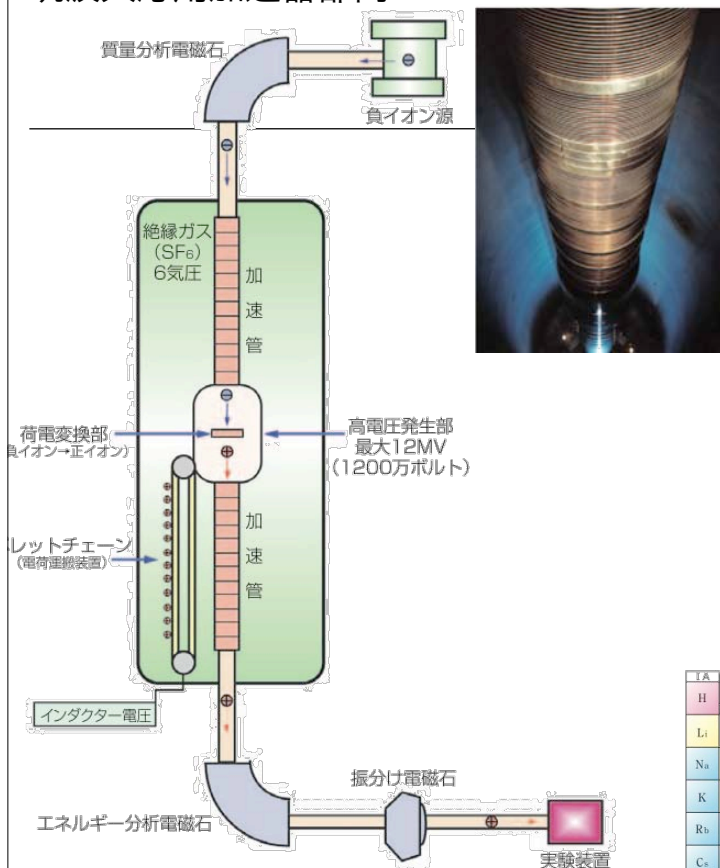
Yasuo Miake
University of Tsukuba, Japan

Amazonで買えます

Hardback (ISBN-10: 0521561086 | ISBN-13: 9780521561086)

For price and ordering options, inspection copy requests, and regional availability, visit our website at [Cambridge University Press](#) | [Americas](#) | [Australia and New Zealand](#)

タンデム加速器 (12MV)



✓ 核物理の応用としての分析

- AMS質量分析
➔ Accelerator Mass Spectr.
- ERCSやPIXEによる水素分析
➔ Elastic Recoil Coinc. Spectr.
- ➔ Proton Induced Xray Emission

✓ 核物理の測定器開発ビーム

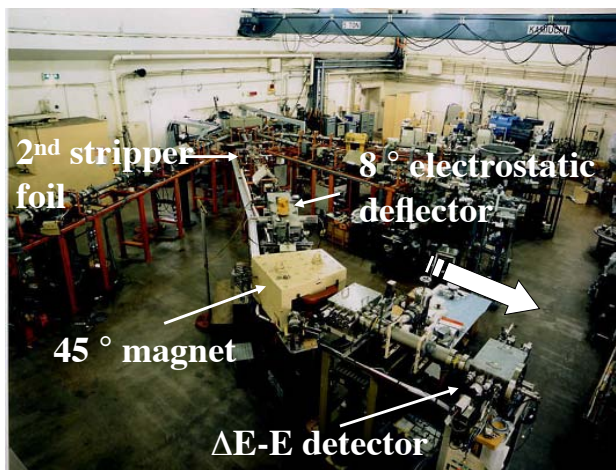
- 種々のイオンビームを供給
- ユニークなテストビーム施設

12UDペルトロンタンデム加速器で利用できるイオンの種類と電流強度

IA	IIA	IIIA	IVA	VVA	VA	MA	MA	HA	He									
H																		
Li	Bs				B	C	N	O	F	Ne								
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	Te	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
Cs	Ba	ラ ン タ イ ド	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi				

筑波大-KEK 連携事業キックオフ・シンポジウム 2010年5月26日

宇宙線生成核種をAMS技術で測る



ガス ΔE-SSD E detector

笹公和

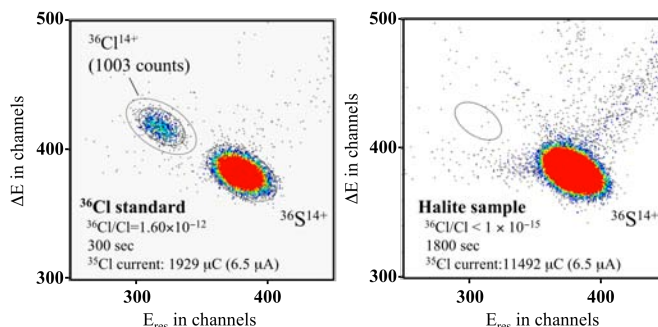


Iso-butane gas flow ~670 Pa

✓ 宇宙線生成核種 AMS ~ 100 MeV

- ¹⁴C (T_{1/2}= 5,730 yr), ²⁶Al (701 kyr), ³²Si (140 yr),
- ³⁶Cl (301 kyr), ⁴¹Ca (103 kyr), ¹²⁹I (15.7 Myr), ...

➔ 長半減期核種の高精度測定による
地球・宇宙・環境科学研究



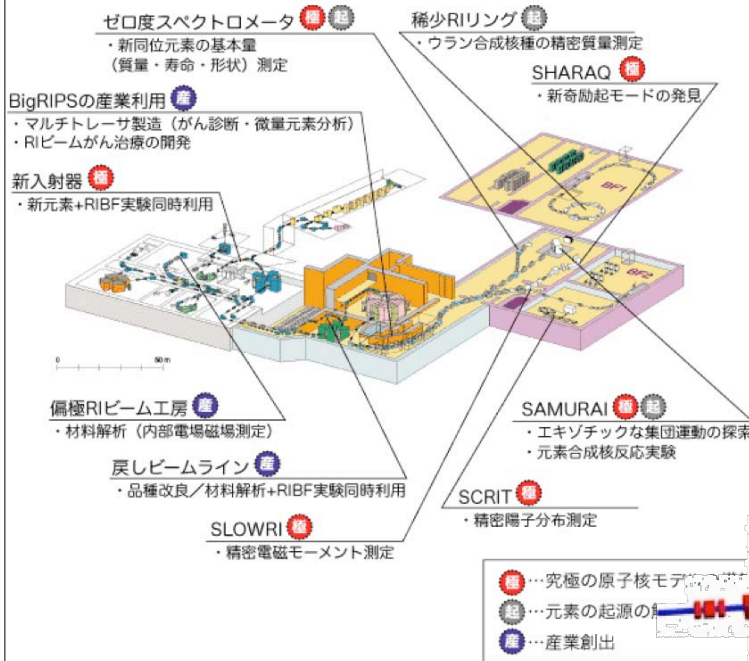
宇宙線生成核種 ³⁶Clの測定スペクトル
同位体比 ³⁶Cl/Cl ~ 10⁻¹⁶の測定

筑波大-KEK 連携事業キックオフ・シンポジウム 2010年5月26日

理研RIビームファクトリー ・基幹実験装置『稀少RIリング』



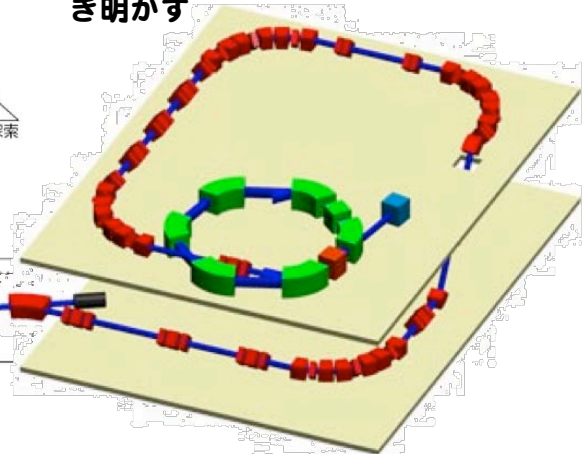
責任者：小沢顕



✓ RIビームファクトリーで生成された稀少RIの質量を等時性リングで精密測定！



✓ 宇宙元素合成、特に重元素合成を解き明かす



筑波大-KEK 連携事業キックオフ・シンポジウム 2010年5月26日

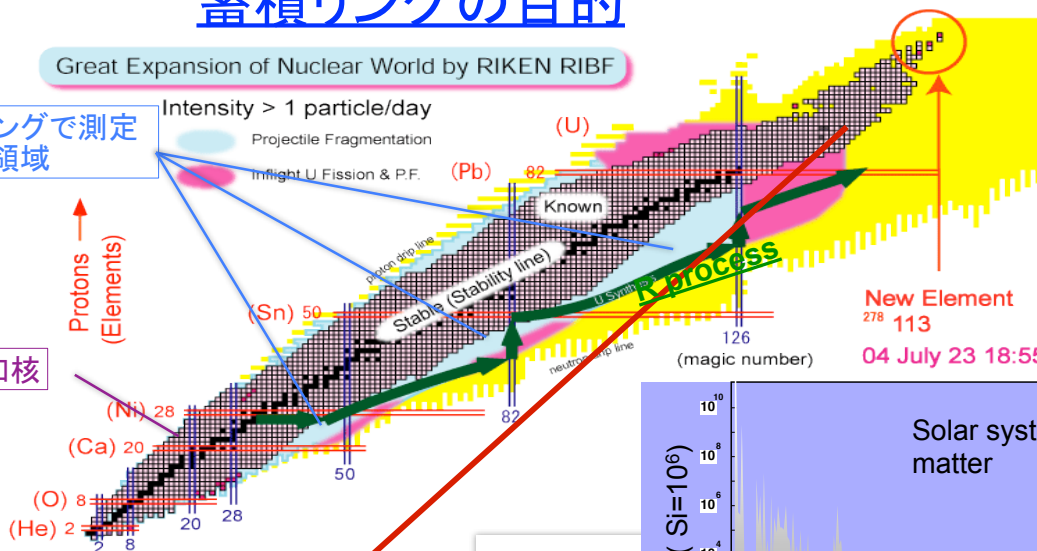
蓄積リングの目的

Great Expansion of Nuclear World by RIKEN RIBF

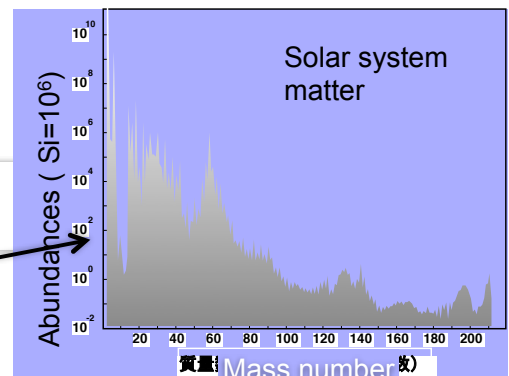
蓄積リングで測定できる領域

Intensity > 1 particle/day
Projectile Fragmentation
Inflight U Fission & P.F.

質量既知核



- ・元素特にウランはどうやって合成されたのか？
- ・観測された存在比を説明できるか？



未知の不安定核質量を測定することにより明らかにする！



平成17年度-20年度：大学等連携支援事業 「筑波大学タンデム加速器施設の高度化」



✓実績；

●平成17年度～平成19年度：

「マルチタンデム静電加速器によるイオンビーム学際利用への新展開」

⇒代表者 平成17-18年度 応用加速器部門長 長島 泰夫

⇒ 平成19年度 応用加速器部門長 工藤 博

●平成20年度：

「筑波大学タンデム加速器施設における加速器利用分析研究の高度化支援と人材育成」

⇒代表者 応用加速器部門 講師 笹 公和

✓これまでの大学等連携支援事業（取りまとめ責任者 笹 公和）

⇒タンデム加速器を用いた分析やビーム学際利用の発展



KEK大学等連携支援事業

【素粒子原子核分野】 加速器開発研究



- a) 研究課題題目：キッカー電磁石システム等の加速器開発研究と人材育成
- b) KEK側の担当者： J-PARC 入江 吉郎 教授, 小林 仁 教授
- c) 筑波大学側の担当者： 原子核実験G 小沢 颯 准教授, 笹 公和 講師

本学稀少な加速器屋

実施項目

1) キッカー電磁石システムの開発研究

3 GeV RCSのビーム入出射システムにおいて、ビーム輸送光学研究とセプタム電磁石、キッカー電磁石システム及び荷電変換機構についてKEKと連携して共同開発をおこなう。

医療用小型がん治療シンクロトロンやテーブルトップ放射光施設への技術適用を視野に入れた共同研究。

2) 筑波大学 加速器開発研究支援

筑波大学が推進する理化学研究所RIBFにおける不安定核質量測定蓄積リングについて、RIBFから蓄積リングへ入射する為のキッカー電磁石システムの開発においてKEKの技術開発支援を受ける。

3) 加速器科学共同研究

J-PARC荷電変換フォイルについて、長寿命化を目指したフォイル中の不純物元素や組成分析などを実施する。

先端加速器研究開発に大学院生などを参加させ、加速器科学に関する共同研究教育拠点を連携して構築する。

4) 加速器科学研究人材育成

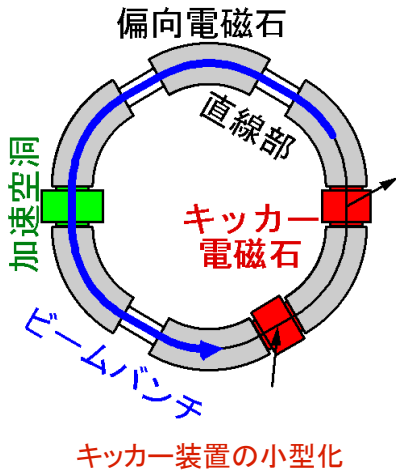
筑波大学での加速器科学分野の人材育成をKEKと連携して実施する。特に、大学院・学群生教育におけるビーム物理教育に関してKEKの連携支援により実施し、加速器科学分野の将来を担う人材育成を共同で行う。



1) キッカー電磁石システムの開発研究

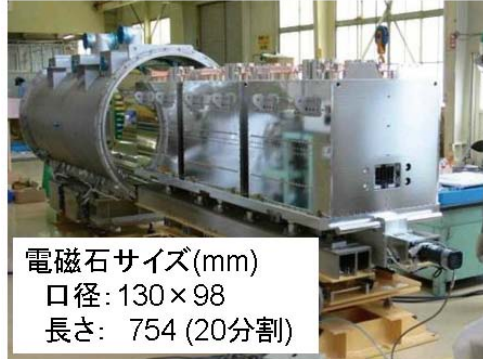


完全整合型キッカーシステム



- 筑波大学
- ・稀少RIリング開発への応用
 - ・小型放射光源
 - ・小型陽子線治療装置

J-PARC MR 入射器 (3台で1式)



電磁石サイズ(mm)
口径: 130×98
長さ: 754 (20分割)

完全整合型



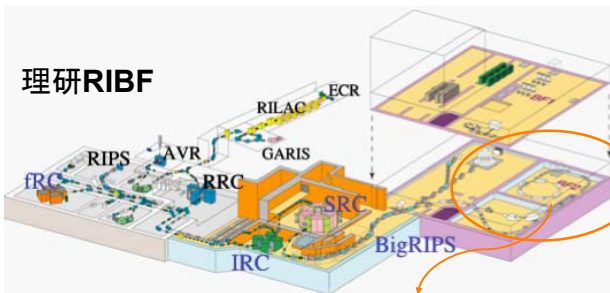
電磁石サイズ(mm)
口径: 140×55
長さ: 400



2) 筑波大学 加速器開発研究支援



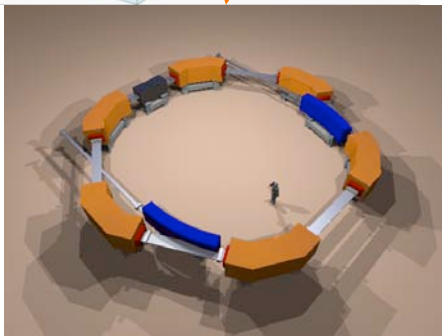
理研RIBFにおける稀少RIリング



KEKからの支援

高速キッカーシステムの開発支援

不安定核の個別入射のために必要
(トリガー入力から1 μ sで励磁するキッカー磁石の開発)





3) 加速器科学共同研究



KEK 先端加速器開発研究
 J-PARC
 ・ビーム入射ペインティング法
 ・高勾配加速空洞
 ...
 ILC
 ・超伝導加速空洞
 ...



・共同研究の実施
 ・加速器科学研究を希望する学生の派遣

筑波大学-KEK (H22~)
 高エネルギー加速器科学教育プログラム

J-PARC 荷電変換フォイル開発



筑波大学加速器施設における
 荷電変換フォイル研究

・荷電変換効率データ
 ・フォイル組成分析

筑波大-KEK 連携事業キックオフ・シンポジウム 2010年5月26日



4) 加速器科学研究人材育成



加速器科学分野の人材育成について、筑波大-KEK共同研究教育拠点の形成を目指す。

- ・大学院・学群生教育におけるビーム物理教育
- ・加速器科学セミナー・実習の実施

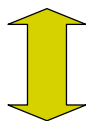
KEK
 J-PARC
 加速器研究施設



J-PARC



ILC



加速器科学共同研究教育拠点の
 形成

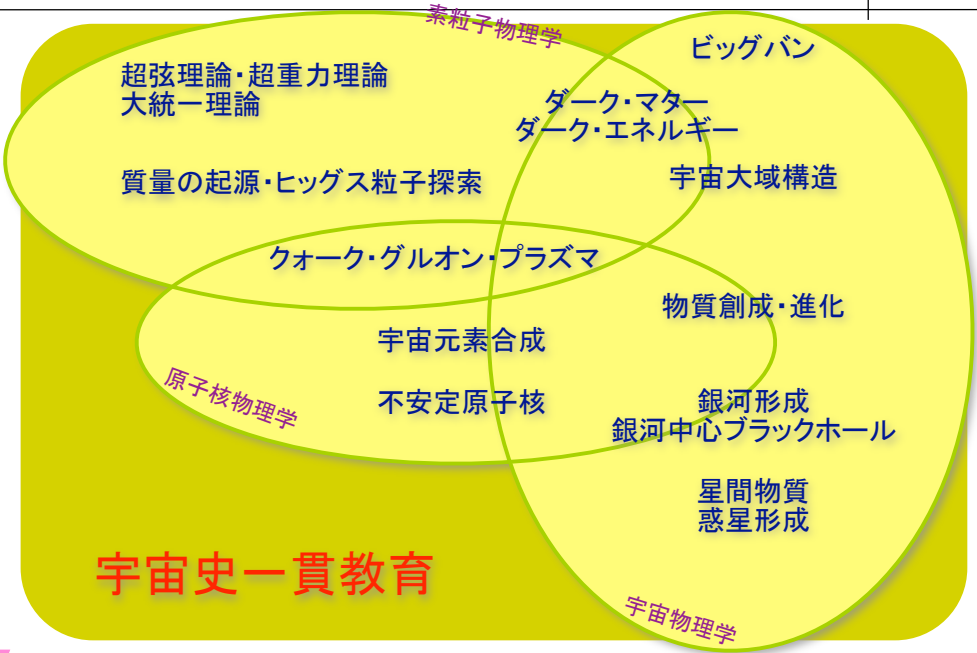
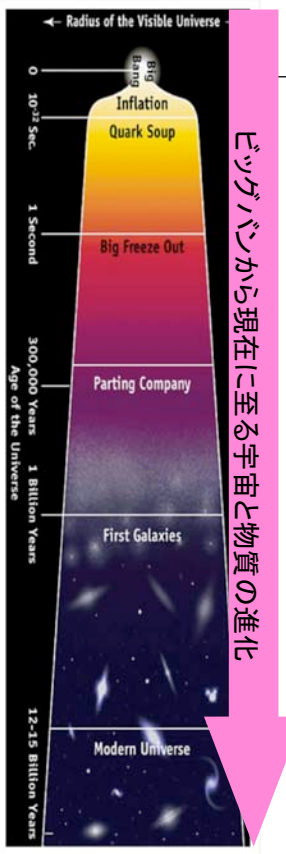
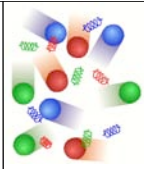
筑波大学
 大学院 数理物質科学研究科
 応用加速器部門



筑波大学タンデム加速器施設
 (筑波大学側 加速器科学研究拠点)

筑波大-KEK 連携事業キックオフ・シンポジウム 2010年5月26日

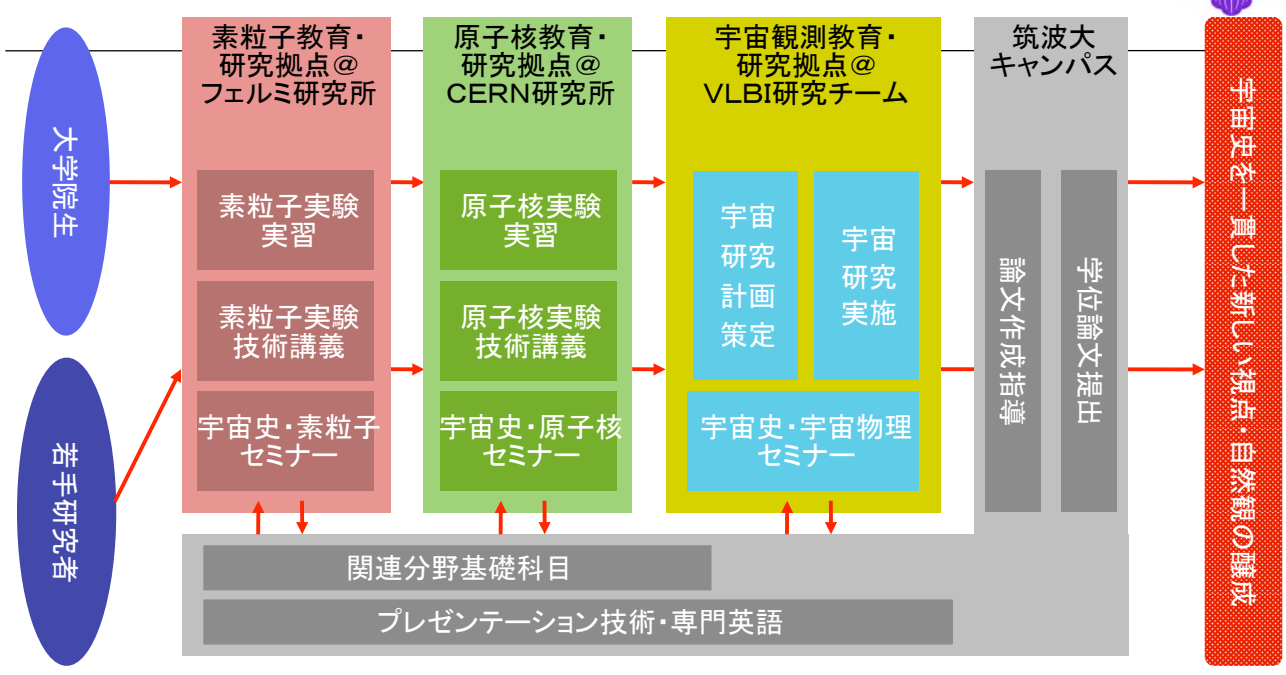
「宇宙史一貫教育」



素粒子・原子核・宇宙物理学の課題は互いに重なり合う
 → 宇宙的自然観から統一的に理解
 → 今日の「学際領域」が明日の「中心学問領域」

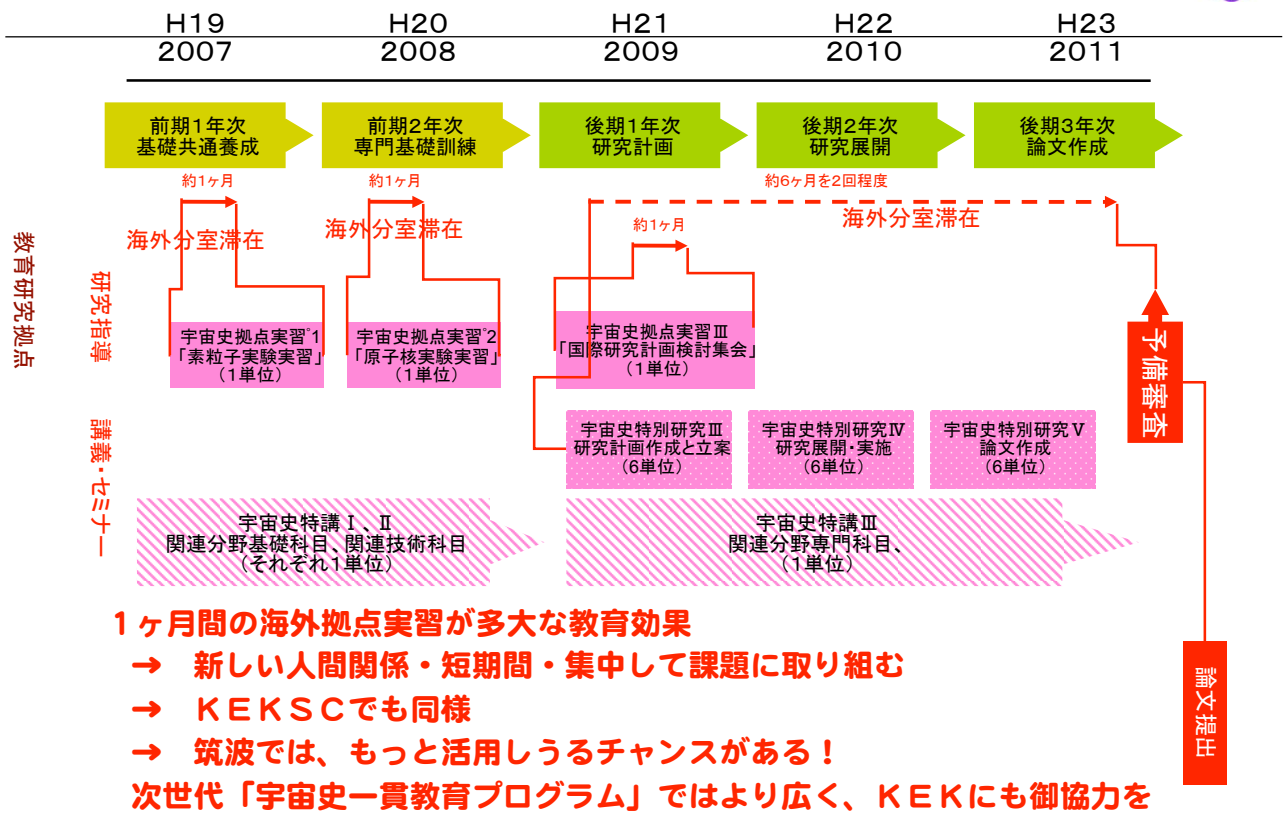
宇宙史一貫教育のメカニズム

例) 宇宙物理で学位を取得する場合



- ✓ 海外の3つの教育・研究拠点と筑波キャンパスを循環する人の流れ
- ✓ 宇宙の進化の過程としての統一的視点を養う

宇宙史コース履修例



筑波大-KEK 連携事業キックオフ・シンポジウム 2010年5月26日

17



✓朝日新聞科学欄記事から



『原始宇宙の火の玉再現』

- 2010年1月19日(火)
- 石橋記者は当研究室の卒業生

RHIC (200 GeV衝突)から
LHC (5500 GeV衝突)へ

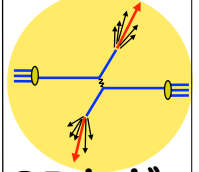
<https://aspara.asahi.com/blog/science/entry/2fxqkWS0E6>

原始宇宙の火の玉再現

大阪科学医療グループ・石橋達平

18

QGPの発見から物性研究へ



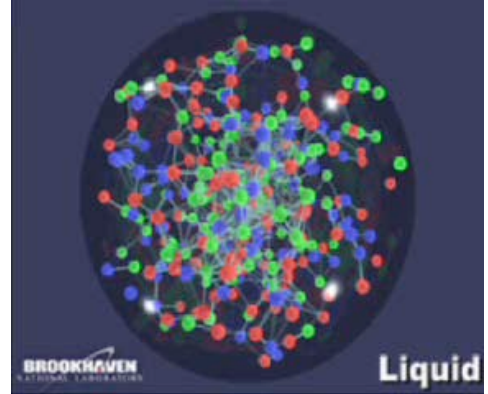
$\epsilon_{\text{QGP}} \sim 2 [\text{GeV}/\text{fm}^3]$ ← 例えば、Lattice QCDなど

$$\langle n_{q,\bar{q}} \rangle \sim \frac{\epsilon_{\text{QGP}}}{\langle m_T \rangle} \sim \frac{2\text{GeV}}{0.4\text{GeV}} \sim 5$$

$$\lambda_q = \frac{1}{n\sigma_{qq}} \sim \frac{1}{5 \times 0.4} = 0.5 [\text{fm}]$$

$$\lambda_q \ll R_{\text{system}}$$

$$\therefore \sigma_{qq} \sim \frac{\sigma_{NN}}{3 \times 3} \sim \frac{4[\text{fm}^2]}{9} \sim 0.4$$



Animation by Jeffery Mitchell (Brookhaven National Laboratory). Simulation by the UrQMD Collaboration

- ✓クォークレベルの統計力学的性質
- ✓クォークレベルの流体力学的性質

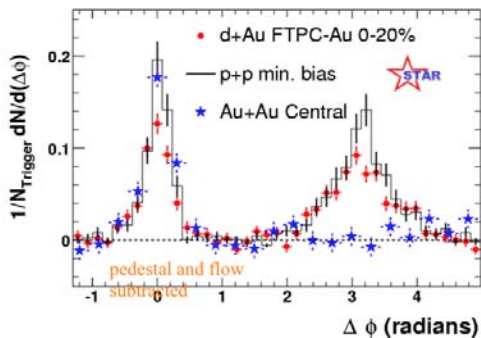


QGP物性研究へ

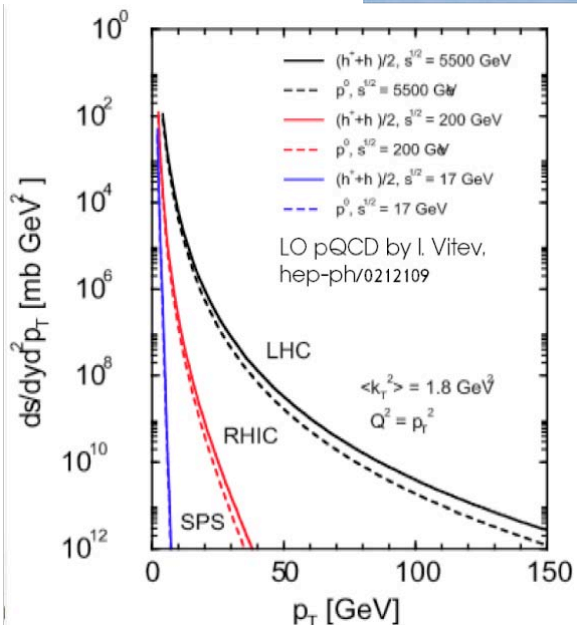
QGPを突き抜けるプローブが物性研究の要



	RHIC	LHC
$\sqrt{s_{NN}}$ (GeV)	200	5500
T/T _c	1.9	3.0-4.2
ϵ (GeV/fm ³)	5	15-60
τ_{QGP} (fm/c)	2-4	>10



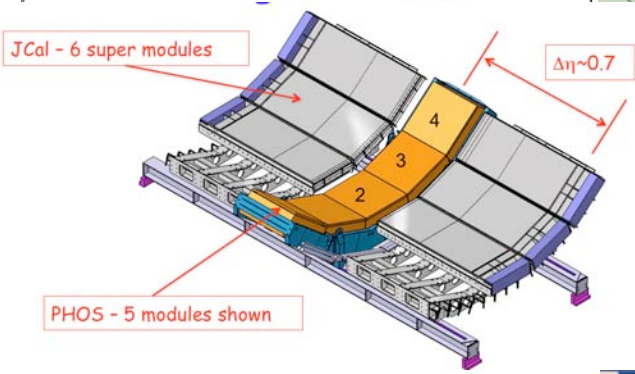
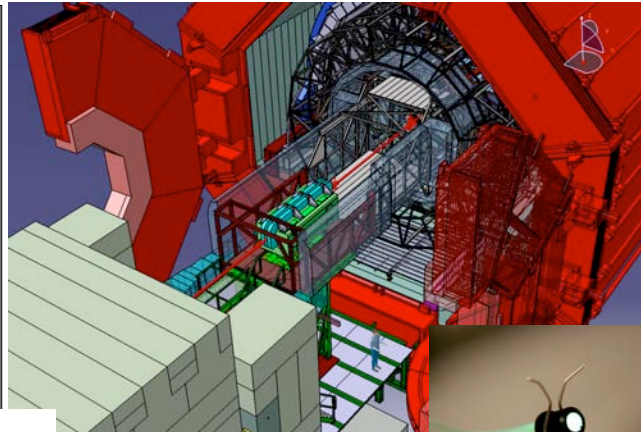
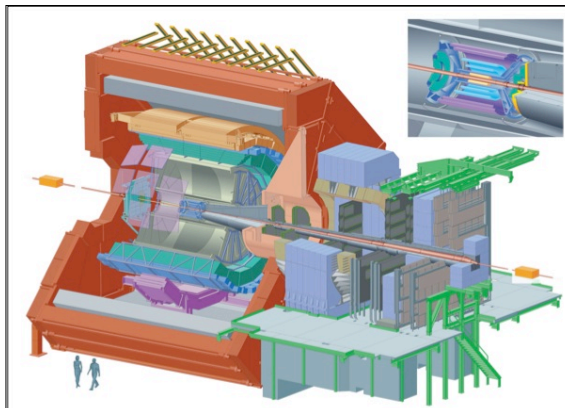
RHIC 200GeVでは消失するジェット



LHC 5500GeVでは高エネルギージェットが豊富→良いプローブ



LHC ALICE 実験 Dijet Cal. プロジェクト



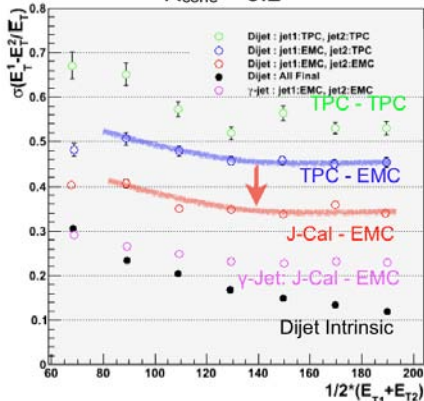
筑波大-KEK 連携事業キックオフ・シンポジウム 2010年5月26日



新型カロリメータの開発計画



gfrac1 PYTHIA8, detector resolution included
 $R_{cone} = 0.2$



- ✓ 分解能の向上
- ✓ 前方カロリメータ開発
- ✓ 高ルミノシティ用ハドロンカロリメータ

- 各検出器のR&D
- テストビームラインの利用 (J-PARC (将来計画)、KEKB-富士)
- 読み出し系、特に APD や それに変わる電子素子の R&D

ジェットエネルギー分解能が命



筑波大-KEK 連携事業キックオフ・シンポジウム 2010年5月26日