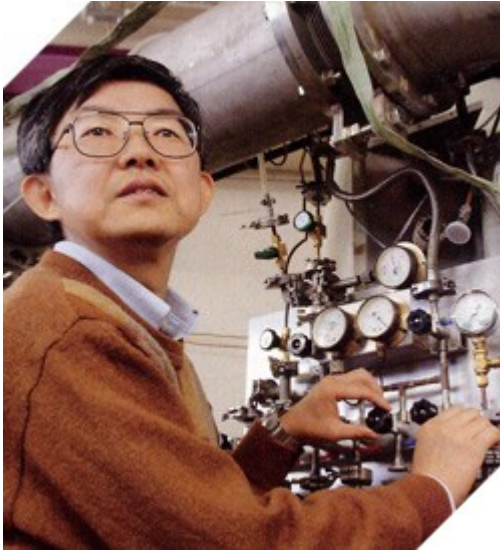


クォーク核物理学研究室



スタッフ

理学部

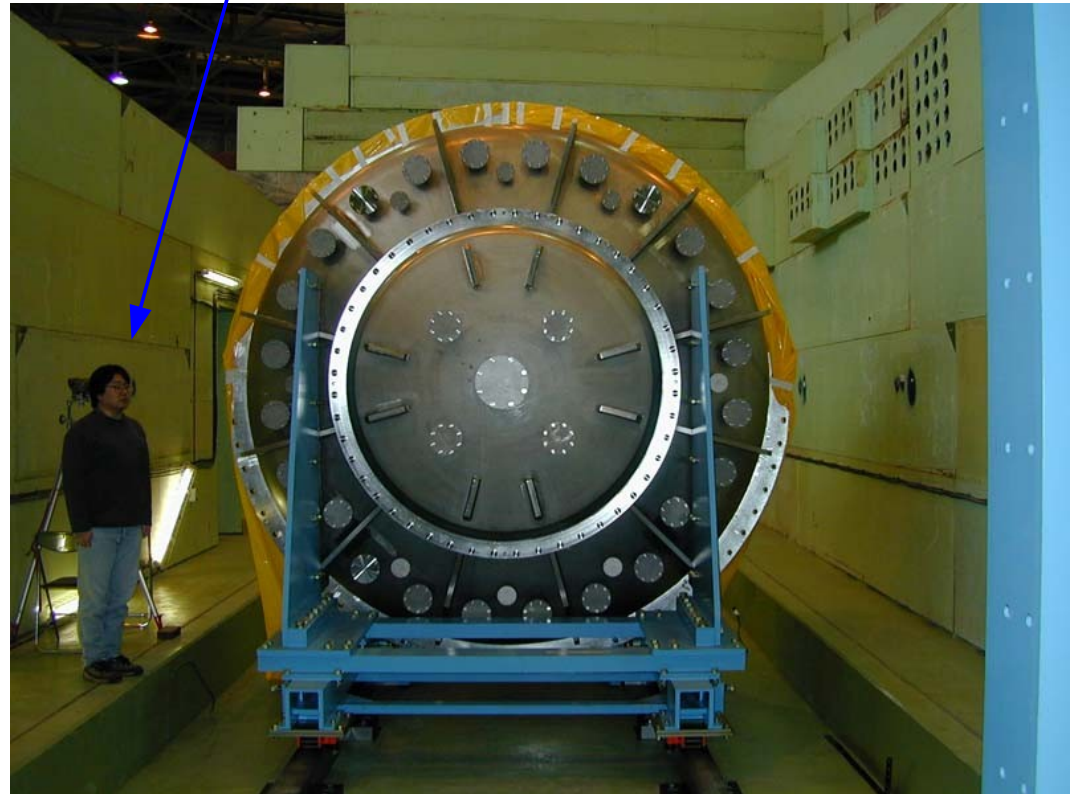
岩田高広 教授
宮地義之 准教授
堂下典弘 助教
近藤薫 助教

基盤教育院/情報ネットワークセンター

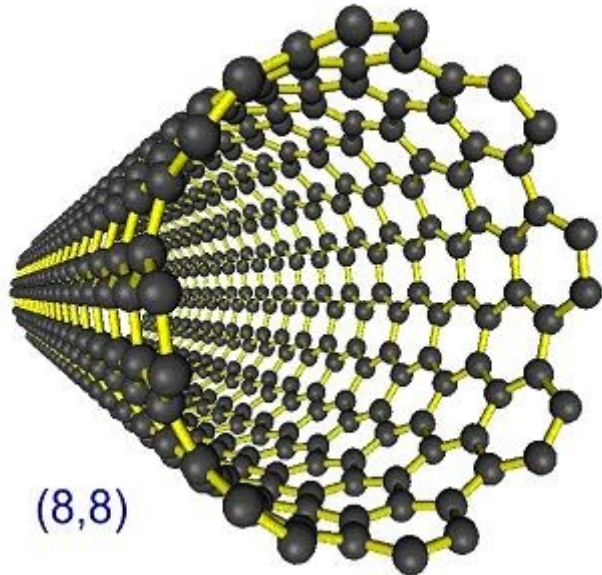
吉田浩司 准教授
田島靖久 准教授

研究分野

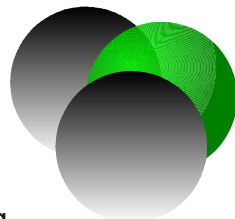
素粒子物理学
原子核物理学
放射線検出器開発
スピン偏極標的開発
...



”クォーク”って？

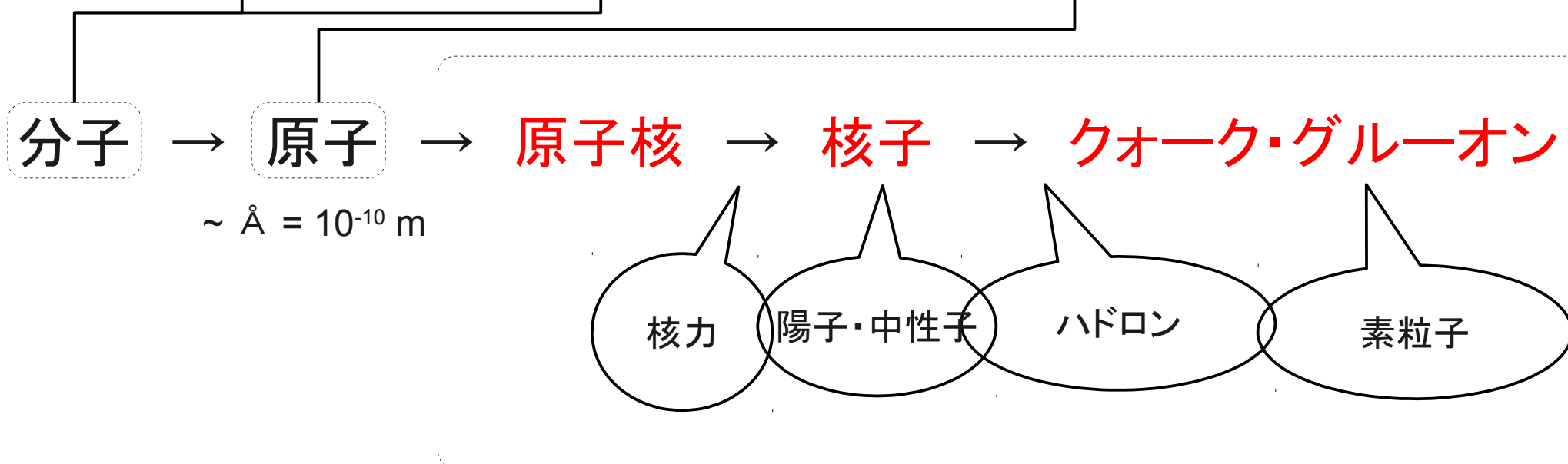
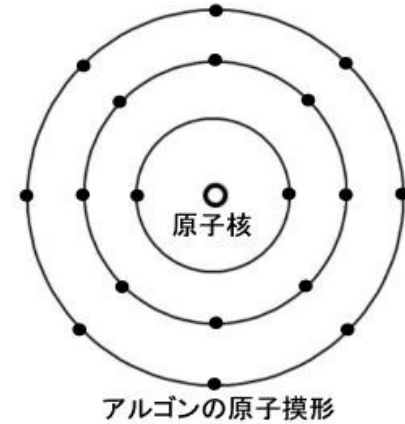


<http://staff.aist.go.jp/h-kataura/kogaku/fig1.jpg>

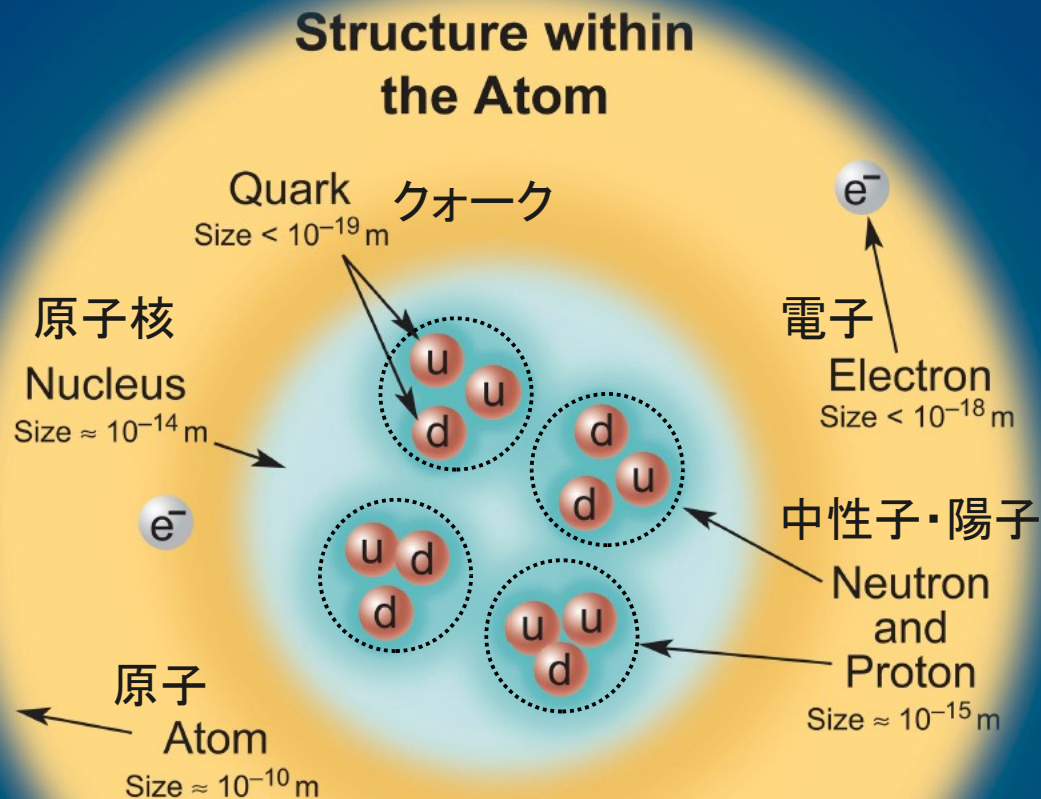


マルチメディアで見る原子・分子の世界
http://rikanet2.jst.go.jp/contents/cp0030/atom_top.html

$l=0, m=0$	$l=1, m=1$	$l=2, m=2$	$l=3, m=3$
1s ($n=1$)	2px ($n=2$)	3dxy ($n=3$)	4fx ² -3xy ² ($n=4$)
2s ($n=2$)	3px ($n=3$)	4dxy ($n=4$)	5fx ² -3xy ² ($n=5$)
3s ($n=3$)	4px ($n=4$)	5dxy ($n=5$)	6fx ² -3xy ² ($n=6$)



原子の内部構造



If the proton and neutrons in this picture were 10 cm across, then the quarks and electrons would be less than 0.1 mm in size and the entire atom would be about 10 km across.

http://www.cpepweb.org/images/chart_details/Structure.jpg

陽子・中性子

- ・ 原子核を構成する素粒子
- ・ クォーク3個で作られる
- ・ 陽子は アップ×2、ダウン×1
- ・ 中性子は アップ×1、ダウン×2
- ・ クォークは外に取り出せない
「クォークの閉じ込め」

原子核が人の大きさ程度だとすると。。。

原子:	山形市 (～20 km)
原子核:	バランスボール (1 m)
陽子・中性子:	ソフトボール (10 cm)
電子・クォーク:	花粉以下 (< 0.1 mm)

粒子には反粒子が存在する

例) 電子 \leftrightarrow 陽電子
電子・陽電子は光子に対消滅
光子は電子・陽電子を対生成

クォーク \leftrightarrow 反クォーク

陽子 \leftrightarrow 反陽子

水素 \leftrightarrow 反水素

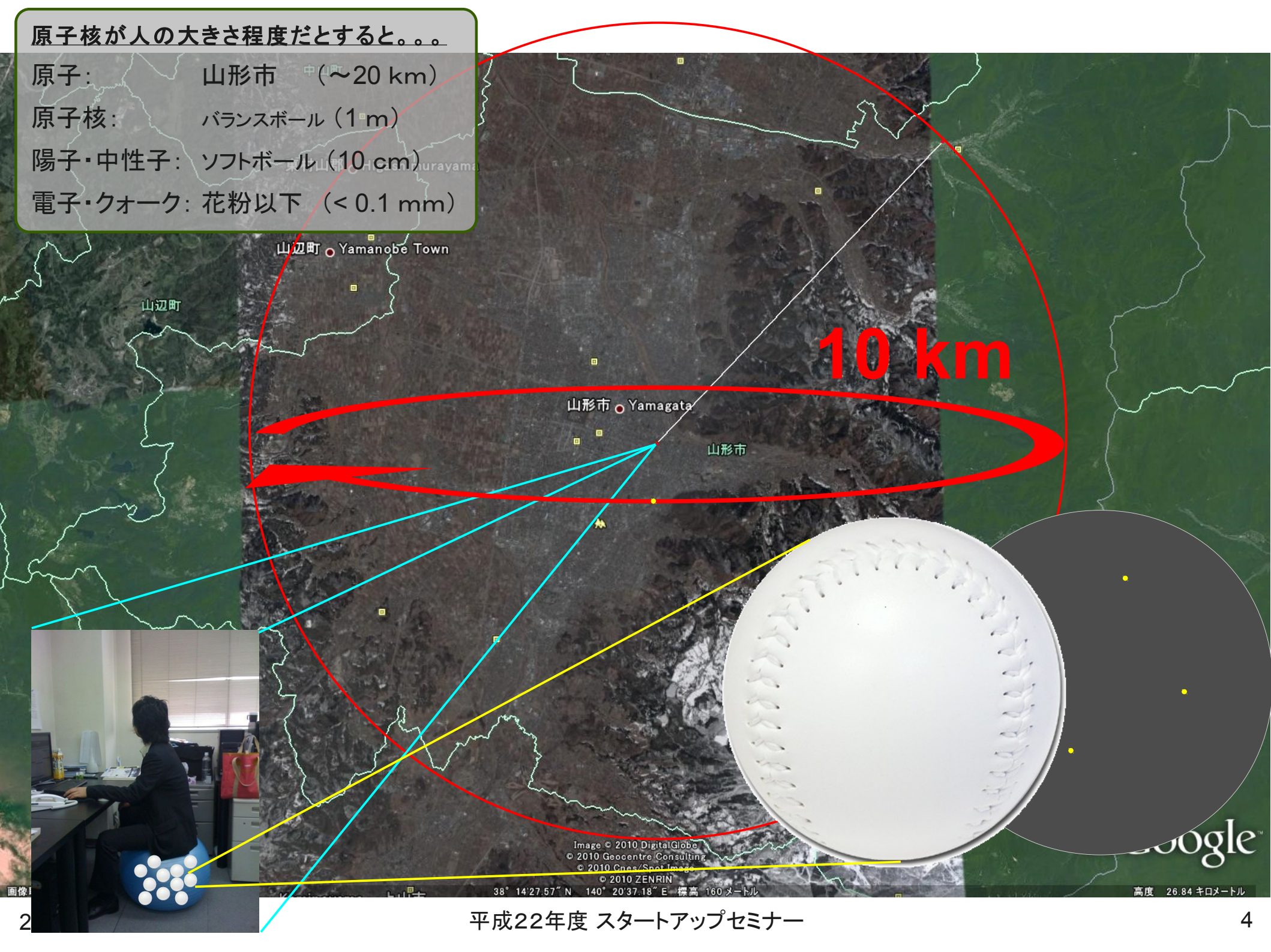
原子核が人の大きさ程度だとすると。。。。

原子： 山形市 中 (~20 km)

原子核： バランスボール (1 m)

陽子・中性子： ソフトボール (10 cm)

電子・クォーク： 花粉以下 (< 0.1 mm)



10 km

Image © 2010 DigitalGlobe
© 2010 Geocentre Consulting
© 2010 Cnes/Spot Image
© 2010 ZENRIN

38° 14'27.57" N 140° 20'37.18" E 標高 160メートル

高度 26.84 キロメートル

クォーク研の研究内容紹介に進む前に

宇宙の進化における素粒子・原子核物理の役割・位置付け

自然界の4つの相互作用

頻出キーワード： エネルギーの単位(電子ボルト)

素粒子

「なぜ水 1 cm^3 は 1 g なんだろう？」

「なぜ反物質はないのだろう？」

宇宙図の見方

4つのルールで、宇宙を感じよう

- この宇宙図は、最新の観測データに基づいて作成されたものである。最新の観測データに基づいて作成されたものである。
- 宇宙図の中心は、私たちの住む地球である。宇宙図の中心は、私たちの住む地球である。
- 宇宙図の中心は、私たちの住む地球である。宇宙図の中心は、私たちの住む地球である。
- 宇宙図の中心は、私たちの住む地球である。宇宙図の中心は、私たちの住む地球である。

宇宙を見ることは、昔を見ること

宇宙図の中心は、私たちの住む地球である。宇宙図の中心は、私たちの住む地球である。

宇宙図の中心は、私たちの住む地球である。宇宙図の中心は、私たちの住む地球である。

宇宙図の中心は、私たちの住む地球である。宇宙図の中心は、私たちの住む地球である。

太陽系天体に生命を求めて

私たちの天体-太陽、8つの惑星、冥王星天体、衛星、小惑星、彗星など

もうひとつの地球を探して

地球以外の生命の存在の可能性を探る。地球以外の生命の存在の可能性を探る。

地球以外の生命の存在の可能性を探る。地球以外の生命の存在の可能性を探る。

宇宙はどのように生まれたのか?

私たちが住む宇宙、この見聞が限りの宇宙は、かつては目に見えないほど小さく、現代の科学は、私たち人間を生み出した宇宙の謎にせまり、宇宙創生の驚くべきシナリオを明らかにしつつあります。137億年の大きな宇宙の歴史を、その誕生の瞬間までさかのぼって見ましょう。

現在の宇宙の姿

宇宙の膨張が止まらず、宇宙は、宇宙膨張する速度の増加に伴って、膨張し続けています。膨張する速度の増加に伴って、膨張し続けています。

宇宙に現れる網の目

宇宙の膨張が止まらず、宇宙は、宇宙膨張する速度の増加に伴って、膨張し続けています。膨張する速度の増加に伴って、膨張し続けています。

最初の星が宇宙に灯る

約100万年経過後、膨張する宇宙に最初の星が誕生し、膨張し続けています。膨張する速度の増加に伴って、膨張し続けています。

原子が登場し、宇宙が晴れ上がる

膨張する宇宙に、原子が誕生し、膨張し続けています。膨張する速度の増加に伴って、膨張し続けています。

すべてを生み出した3分間

宇宙の膨張が止まらず、宇宙は、宇宙膨張する速度の増加に伴って、膨張し続けています。膨張する速度の増加に伴って、膨張し続けています。

超高温の火の玉宇宙

宇宙の膨張が止まらず、宇宙は、宇宙膨張する速度の増加に伴って、膨張し続けています。膨張する速度の増加に伴って、膨張し続けています。

時間と空間の始まり

宇宙の膨張が止まらず、宇宙は、宇宙膨張する速度の増加に伴って、膨張し続けています。膨張する速度の増加に伴って、膨張し続けています。

宇宙の急膨張

宇宙の膨張が止まらず、宇宙は、宇宙膨張する速度の増加に伴って、膨張し続けています。膨張する速度の増加に伴って、膨張し続けています。

人間の材料はどこから来たのか?

私たち人間がたつくりする身体、それは「小さな宇宙」とたとえられ、元素という材料から成り立っています。現代の科学は、この元素が、宇宙に輝く星々の中で生まれ、まき散らされたものであることを明らかにしました。宇宙と人間の不思議なつながり、時間をさかのぼりながらひとつひとつ見ましょう。

さまざまな元素から、生命が生まれた

地球と生命の誕生と進化。地球と生命の誕生と進化。

生命を生み出すステージが整う

太陽系および地球の形成。太陽系および地球の形成。

元素をばらまく、星の大爆発

宇宙の誕生と成長。宇宙の誕生と成長。

一生を終え、宇宙に溶ける星

星の誕生と成長。星の誕生と成長。

年輩の星は、元素の工場

星の誕生と成長。星の誕生と成長。

成熟し、宇宙に輝く星

星の誕生と成長。星の誕生と成長。

星の誕生と成長

星の誕生と成長。星の誕生と成長。

元素は宇宙を流転する

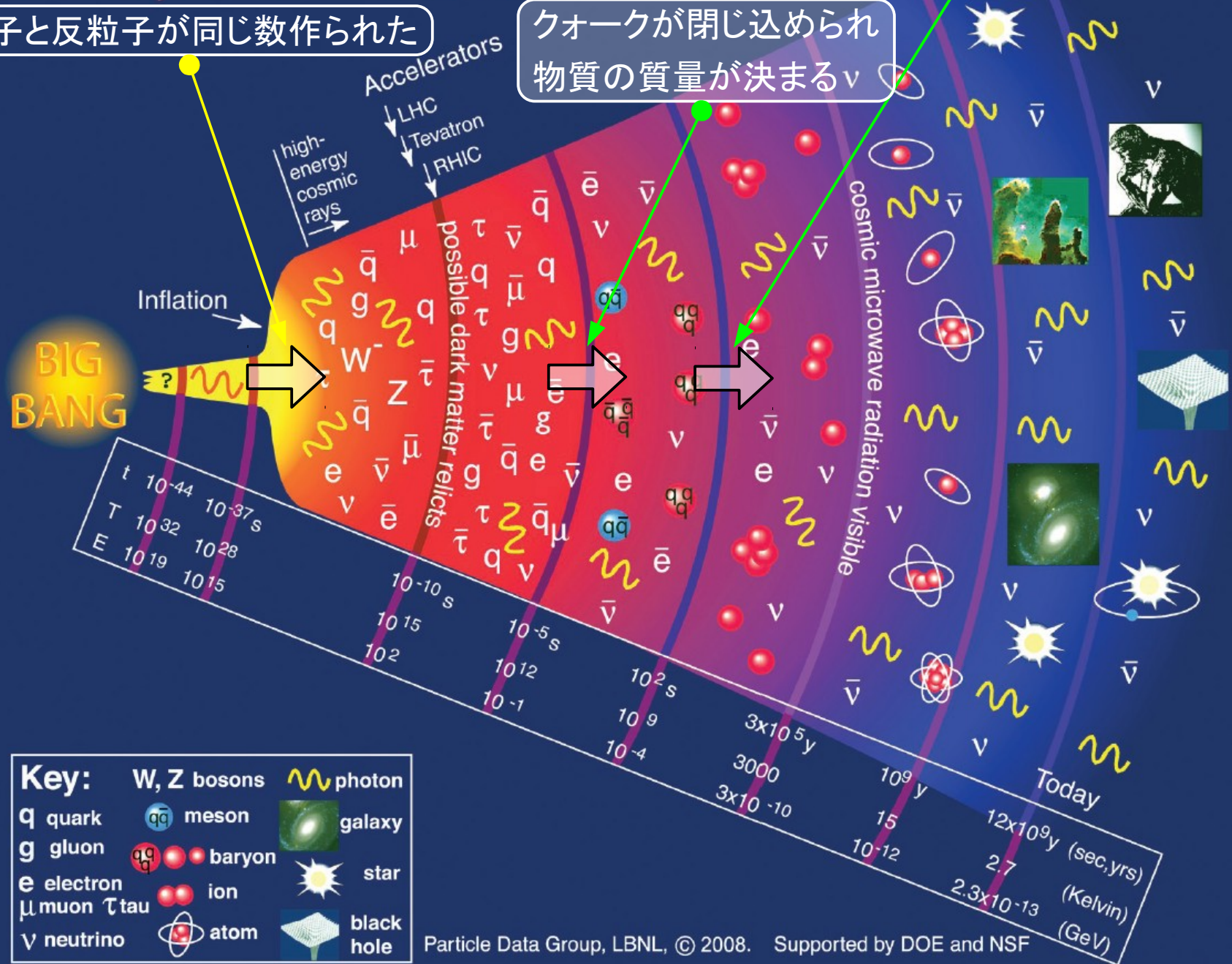
星の誕生と成長。星の誕生と成長。

History of the Universe

物質優勢の世界へ

粒子と反粒子が同じ数作られた

クォークが閉じ込められ
物質の質量が決まる

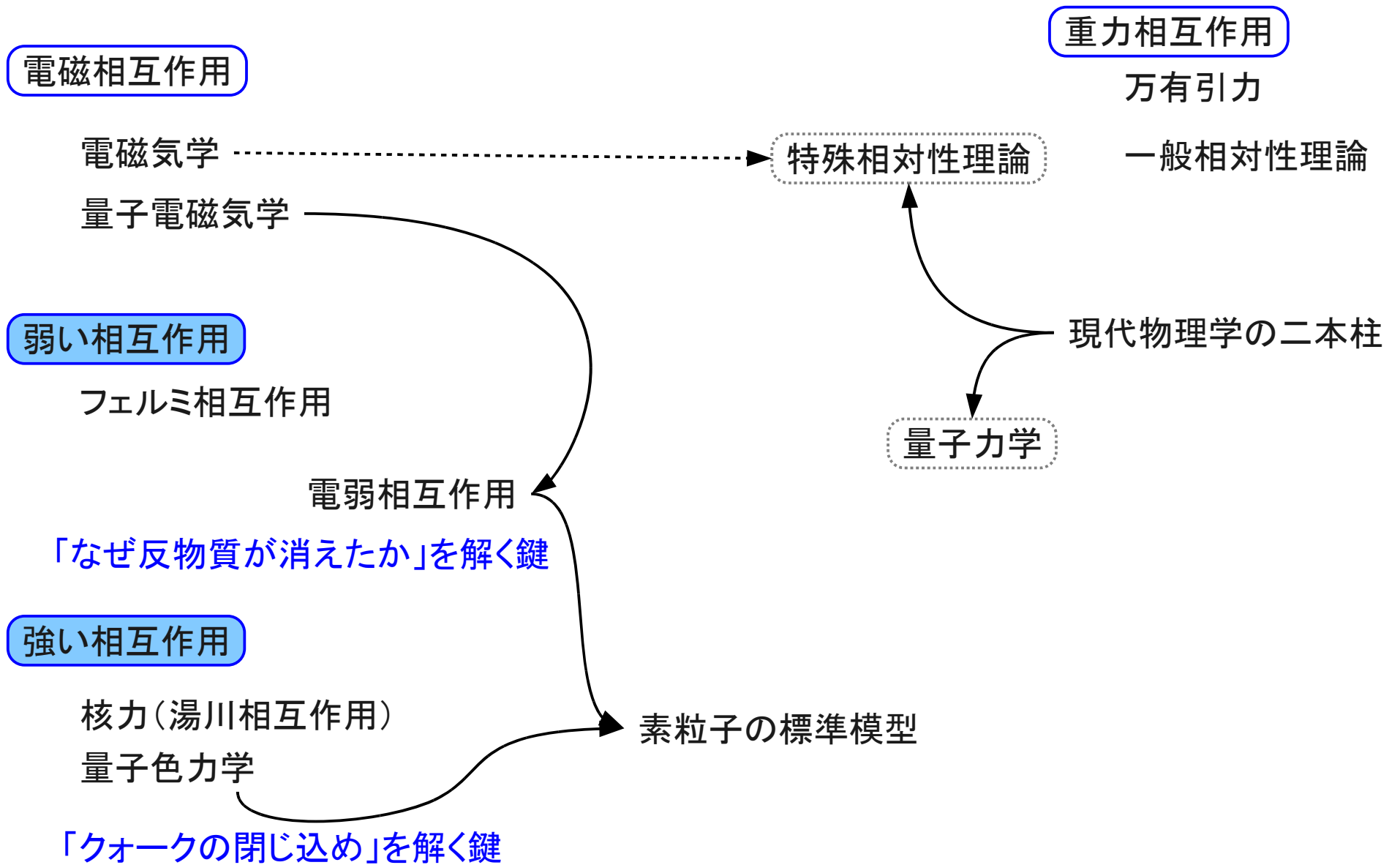


Key:

W, Z bosons	photon
q quark	meson
g gluon	baryon
e electron	ion
μ muon	atom
τ tau	black hole
ν neutrino	galaxy
	star

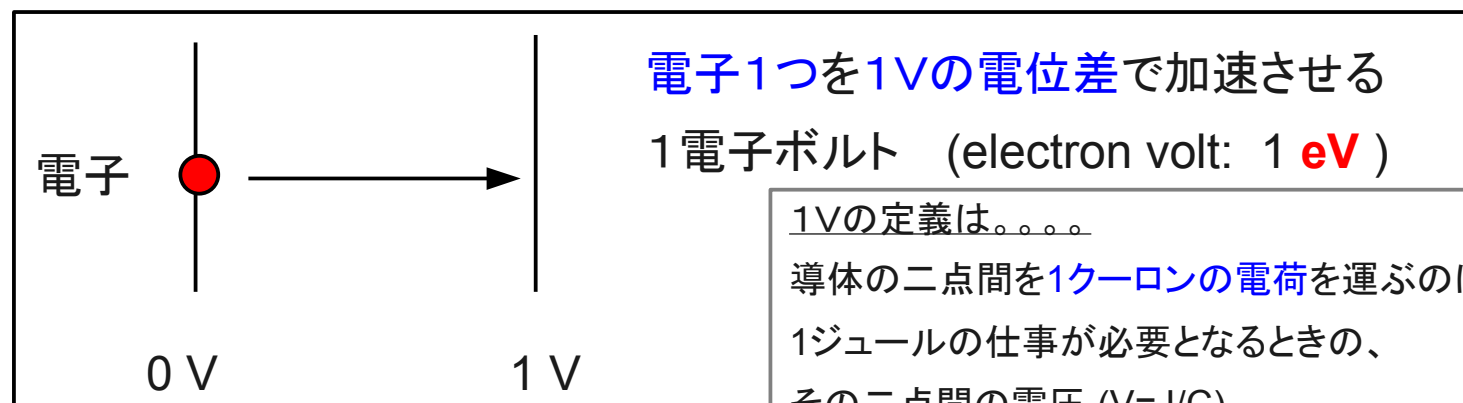
Particle Data Group, LBNL, © 2008. Supported by DOE and NSF

自然界の4つの相互作用



エネルギーの単位 電子ボルト

エネルギーの単位: 電子ボルト



1Vの定義は。。。。

導体の二点間を1クーロンの電荷を運ぶのに1ジュールの仕事が必要となるときの、その二点間の電圧 ($V=J/C$)

$$1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

加速器とエネルギー

CERN-LHC	7 TeV 陽子 * 7 TeV 陽子
FNAL-テバトロン	1 TeV 陽子 * 1 TeV 反陽子
DESY-HERA	980 GeV 陽子 * 27.6 GeV (陽)電子
BNL-RHIC	200 GeV 陽子 * 200 GeV 陽子 (500 GeV 陽子)
J-PARC	50GeV 陽子
KEK-Belle	8 GeV 電子 * 3.5 GeV 陽電子
Spring-8	8 GeV 電子
東北大学・核理研	1.2 GeV 電子
放射線源のエネルギー	
アルファ線	数 MeV
ベータ線	< 1MeV
ガンマ線	数十 keV~MeV

TeV	(テラeV、テブ)	$=10^{12} \text{ eV}$
GeV	(ギガeV、ジェブ)	$=10^9 \text{ eV}$
MeV	(メガeV、メブ)	$=10^6 \text{ eV}$
KeV	(キロeV、ケブ)	$=10^3 \text{ eV}$

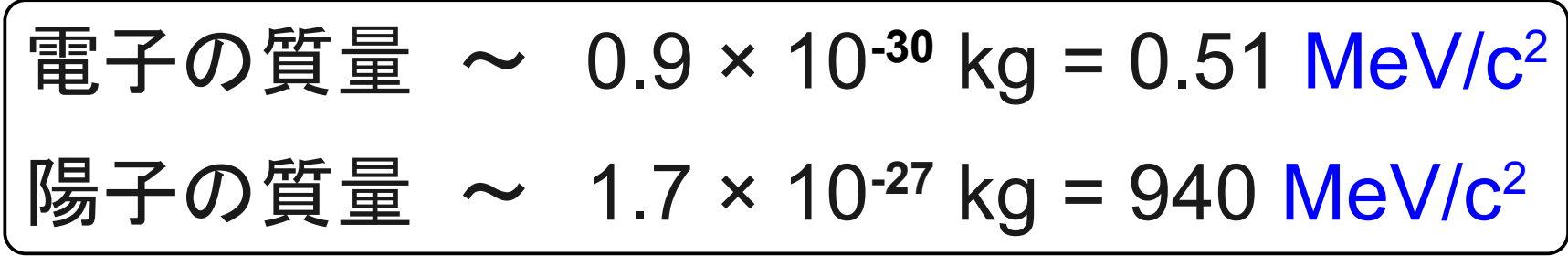
命数法: Prefix

10^{24}	yotta	(Y)	10^{-1}	deci	(d)
10^{21}	zetta	(Z)	10^{-2}	centi	(c)
10^{18}	exa	(E)	10^{-3}	milli	(m)
10^{15}	peta	(P)	10^{-6}	micro	(μ)
10^{12}	tera	(T)	10^{-9}	nano	(n)
10^9	giga	(G)	10^{-12}	pico	(p)
10^6	mega	(M)	10^{-15}	femto	(f)
10^3	kilo	(k)	10^{-18}	atto	(a)
10^2	hecto	(h)	10^{-21}	zepto	(z)
10	deca	(da)	10^{-24}	yocto	(y)

質量の単位

$$E = mc^2 \longrightarrow m = E/c^2$$

エネルギーの単位は eV (電子ボルト)
(keV, MeV, GeV, TeV)



電子の質量 $\sim 0.9 \times 10^{-30} \text{ kg} = 0.51 \text{ MeV}/c^2$
陽子の質量 $\sim 1.7 \times 10^{-27} \text{ kg} = 940 \text{ MeV}/c^2$

素粒子

基本粒子一覧



<http://www.kek.jp/img/project/NobelPrize/nobel6.jpg>

	質量	
アップ	1.5 ~ 4	MeV/c ²
ダウン	4 ~ 8	MeV/c ²
ストレンジ	80 ~ 130	MeV/c ²
チャーム	1.15 ~ 1.35	GeV/c ²
ボトム	4.1 ~ 4.4	GeV/c ²
トップ	178	GeV/c ²
<hr/>		
電子	0.511	MeV/c ²
ミューオン	106	MeV/c ²
タウ	1.8	GeV/c ²
<hr/>		
eニュートリノ	< 3	eV/c ²
μニュートリノ	< 0.19	MeV/c ²
τニュートリノ	< 18.2	MeV/c ²
<hr/>		
グルーオン	0	
光子	0	
Wボゾン	80	GeV/c ²
Zボゾン	91	GeV/c ²
ヒッグス粒子	未発見	

クォークによる複合粒子(ハドロン、強粒子)

大きさ: $\sim 10^{-15}\text{m}$

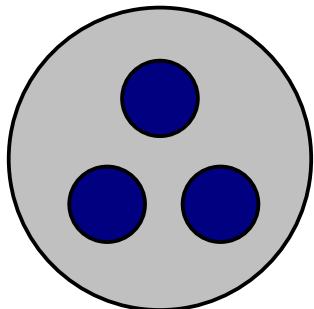
$\sim \text{fm}$ (フェムトメートル・フェムトメートル)

バリオン: スピン1/2

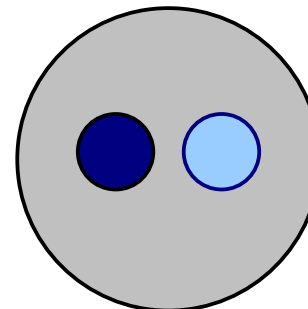
名前	記号	質量(MeV/c^2)
陽子	p^+	938
中性子	n^0	940
ラムダ粒子	Λ^0	1116
シグマ粒子	Σ^+	1189
	Σ^0	1193
	Σ^-	1197
グザイ粒子	Ξ^0	1315
	Ξ^-	1321

メソン: スピン0

名前	記号	質量(MeV/c^2)
パイ中間子	π^+	140
	π^0	135
	π^-	140
ケイ中間子	K^+	494
	K^0	498
	K^0	498
	K^-	494
エータ中間子	η^0	548



3つのクォークで構成



クォークと
反クォークで構成

問 どうして

水 1cm^3 は 1g なのか？

水の密度は $1\text{g}/\text{cm}^3$ 。

どうして水の密度は $1\text{g}/\text{cm}^3$ なのか？

物質の質量を考える

1 g ~ 水素原子 1 mol の質量

水素原子 電子1個 + 陽子1個

電子の質量 $\sim 0.9 \times 10^{-30}$ kg = 0.51 MeV/c²

陽子の質量 $\sim 1.7 \times 10^{-27}$ kg = 940 MeV/c²

物質の質量 \sim 核子の質量 (940 MeV/c²) \times 核子の個数 !!

核子: 陽子、中性子

陽子と中性子の質量はほぼ等しい

一方で、クォークはヒッグス機構 (CERN-LHC実験) により

アップ 1.5 ~ 4.5 MeV/c²

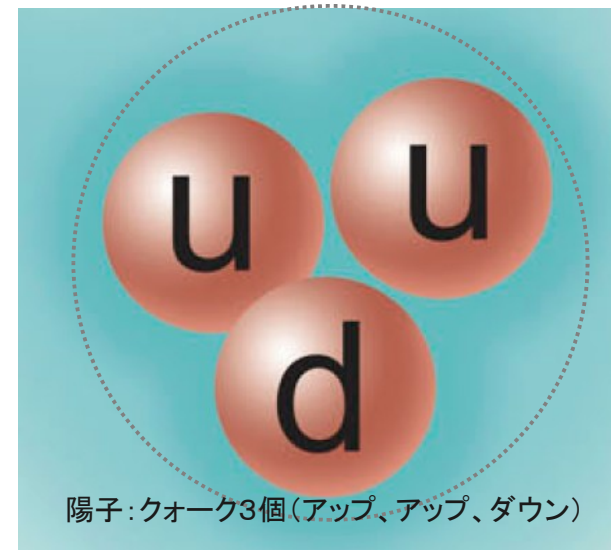
ダウン 5 ~ 8.5 MeV/c²

ストレンジ 80 ~ 155 MeV/c²

の質量を得ると考えられている。

他には

チャーム (1.0 ~ 1.4 GeV)、ボトム (4.0 ~ 4.5 GeV)、トップ (174 GeV)

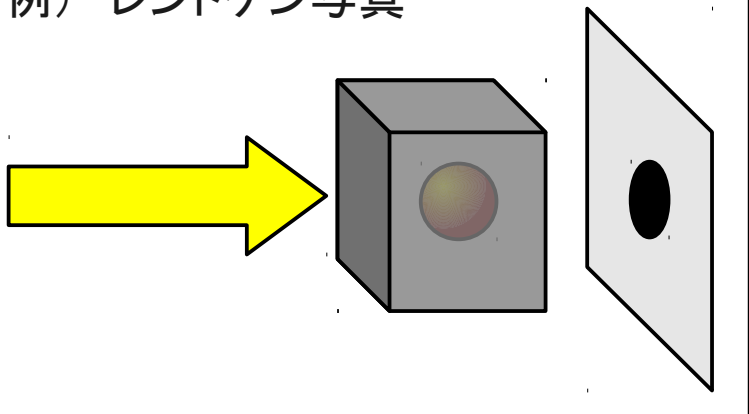


アップ² ダウン¹
(1.5 ~ 4.5) \times 2 + (5 ~ 8.5) = 940?

陽子の質量はどこへ?

物の中身を調べるには ～ 散乱実験 ～

例) レントゲン写真



解像度: 光の波長 = 光のエネルギー
短い波長の光 = 高いエネルギーの光

エックス線の波長 ～ ナノメートル (10^{-9} m)
(エネルギーは $\sim 10^3$ 電子ボルト, **keV**)

例) 原子の内部構造 アルファ線による散乱実験(ラザフォード散乱)

アルファ線(He原子核)が
標的中の原子核により大角度に散乱される

* アルファ線のエネルギー

数メガ電子ボルト **MeV** ($\sim 10^6$ 電子ボルト)

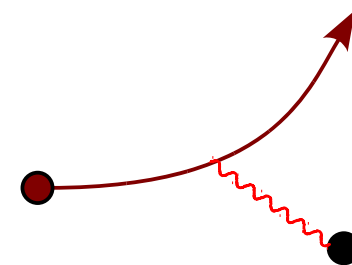
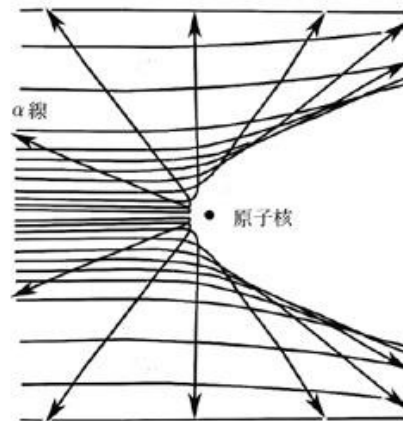
→ 解像度 10^{-12} m

原子の大きさ $\sim 10^{-10}$ m

原子核の大きさ $\sim 10^{-14}$ m

* 1電子ボルト

1ボルトの電位差で電子を加速して得られるエネルギー



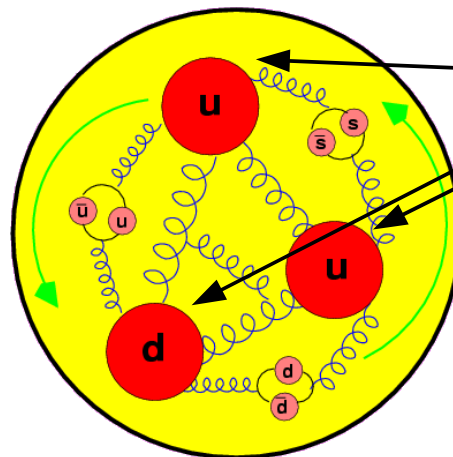
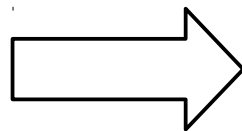
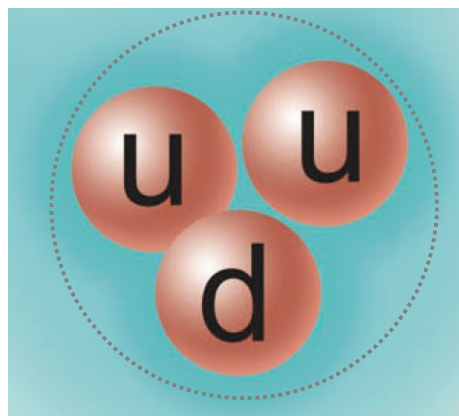
ビームから放出された
仮想光子による散乱

高エネルギービーム
→ 高エネルギー仮想光子

陽子の内部を調べる: 10^{-15} m 以上の解像度

→ $\sim 10^9$ 電子ボルト(**ギガ電子ボルト GeV**)以上の高エネルギー粒子を使った散乱

陽子の内部構造



3個の価クォーク
+
グルーオンと海クォーク

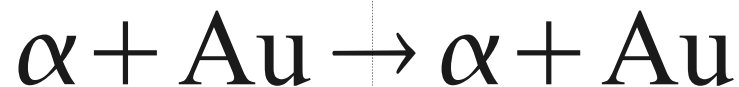
陽子の内部ではグルーオンによってクォーク・反クォークが対生成： 価クォーク と 海クォーク
60年代・70年代の深非弾性散乱実験の結果

- ・ 陽子の運動量内訳 クォーク:グルーオン=1:1
 - ・ クォーク・グルーオンの運動量が小さくなるほど、個数が増大
- 陽子質量と「価クォーク質量の和」の差

電荷： グルーオン 中性、クォーク対 中性
→ 陽子の電荷は価クォークの電荷の和

散乱過程の表記方法

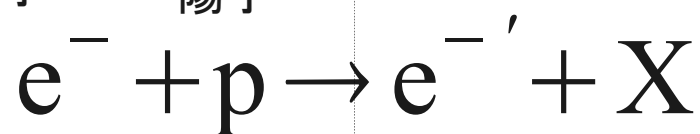
例) ラザフォード散乱



アルファ線 金原子核

例) 電子-陽子散乱(深非弾性散乱)

電子 陽子

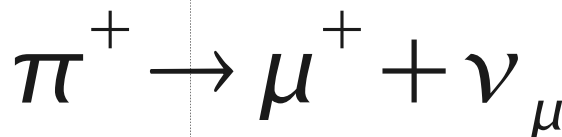


X: 測定されなかった粒子群

散乱された電子

例) π 中間子の崩壊

ミュー粒子



π 中間子

ミューニュートリノ

始状態

終状態

問 どうして

反物質は消えた？

物質だけが生き残るためには

「サハロフの3条件」(1963)

- (1) 物質・反物質間で相互作用が異なる(対称性の破れ)
- (2) 重粒子数(バリオン数)が保存しない
- (3) 熱平衡からのずれがある

現在の宇宙には

10^{88} 個の光子と 10^{80} 個の陽子・中性子(バリオン)が存在
反陽子や反中性子は存在しない

物質と反物質で反応の相互作用に 1億分の1 ($1/10^8$) の破れが存在する?

光子は 物質の反物質が衝突してできたもの $N=10^{88}, \bar{N}=10^{88}$

現在のこっている陽子・中性子 $N=10^{80}$

$$\frac{N - \bar{N}}{N + \bar{N}} = \frac{(10^{88} + 10^{80}) - 10^{80}}{(10^{88} + 10^{80}) + 10^{80}} \sim 10^{80} / 10^{88} = \frac{1}{10^8}$$

粒子・反粒子の対称性の破 CP対称性の破れ

クローニン、フィッチ等 (1964)

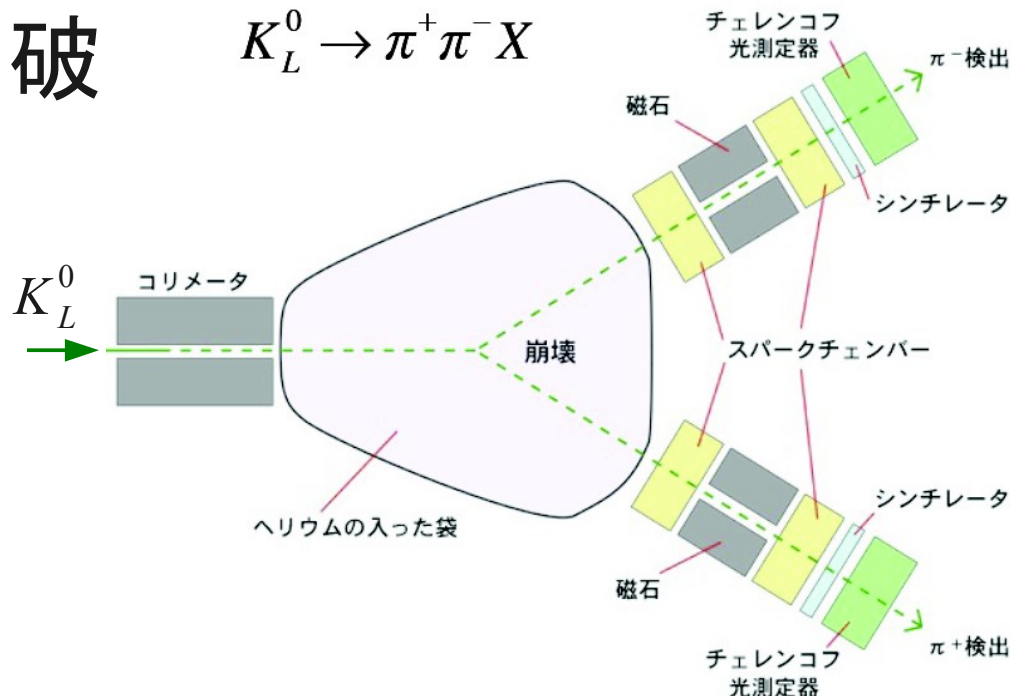
$$\frac{K_L^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-}{K_L^0 \rightarrow \text{all charged mode}} = (2.0 \pm 0.4) \times 10^{-8}$$

K中間子崩壊でのCP非保存の発見

粒子と反粒子の間に 1億分の1 の
対称性の破れ

小林・益川模型 (6個のクォークを予言)
2008年ノーベル物理学賞

$$K_L^0 \rightarrow \pi^+ \pi^- X$$



The Nobel Prize in Physics 2008

"for the discovery of the mechanism of spontaneous broken symmetry in subatomic physics"

"for the discovery of the origin of the broken symmetry which predicts the existence of at least three families of quarks in nature"



Photo: SCANPIX

Yoichiro Nambu

1/2 of the prize



Photo: Kyodo/Reuters

Makoto Kobayashi

1/4 of the prize



Photo: Kyoto University

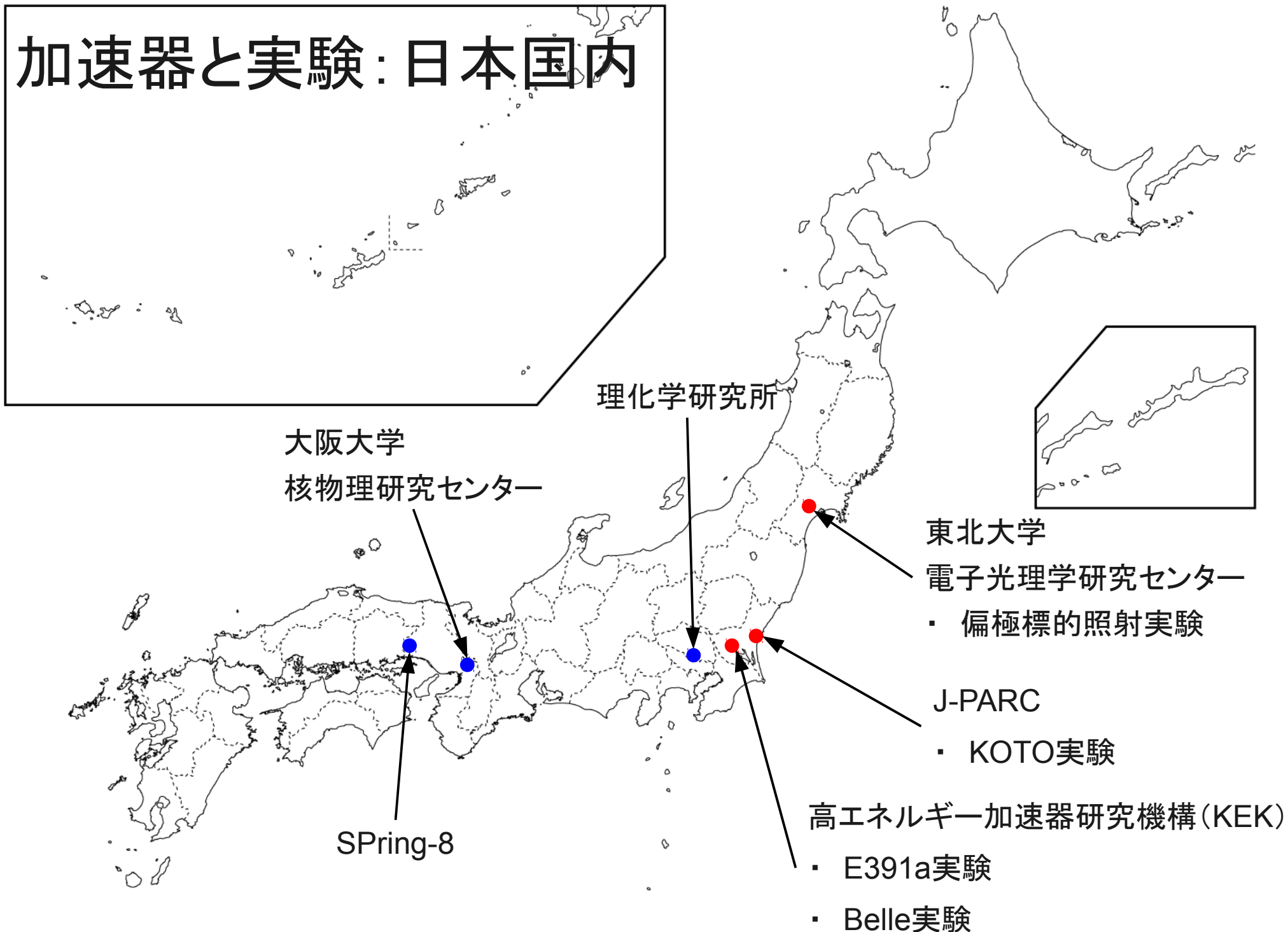
Toshihide Maskawa

1/4 of the prize

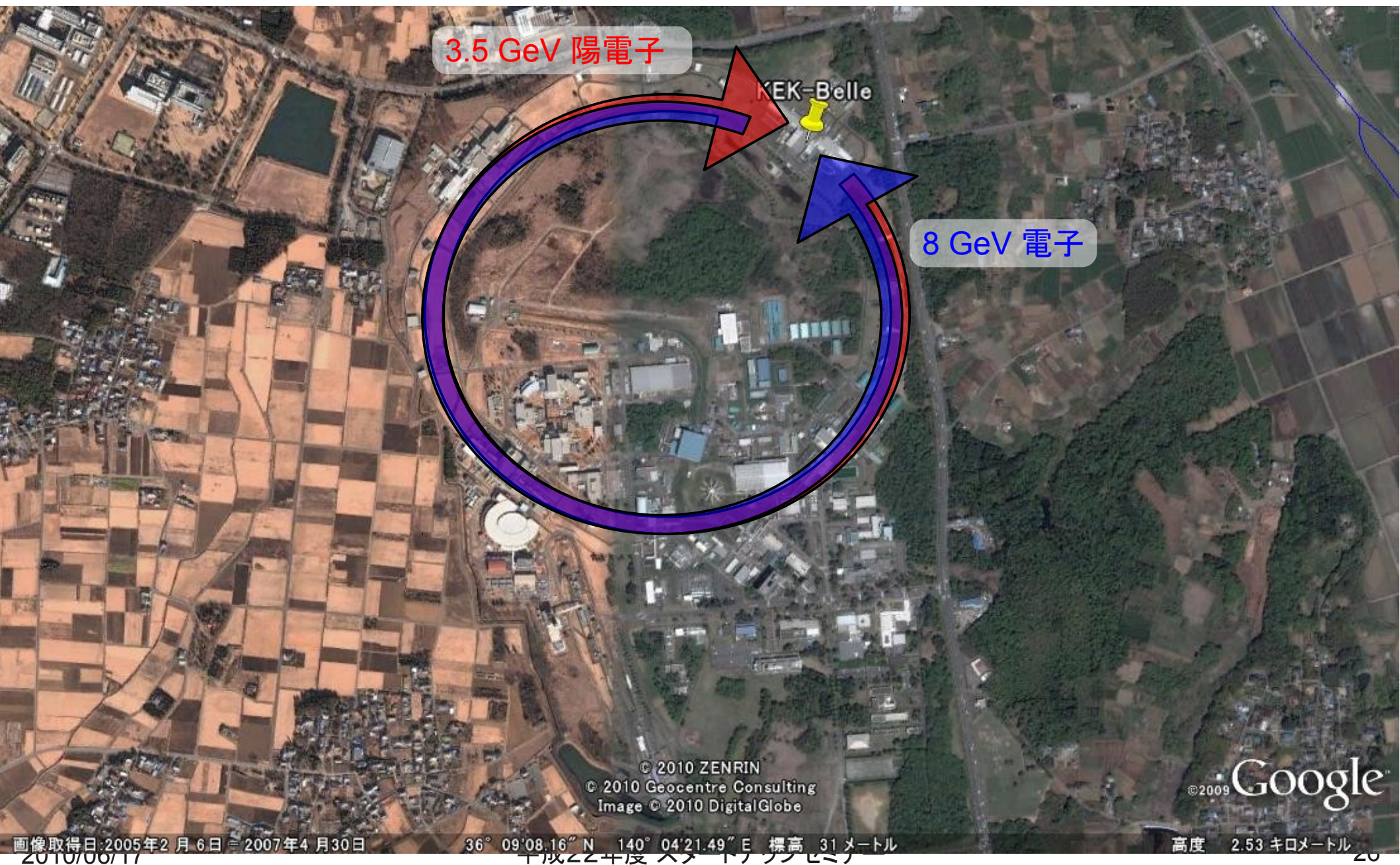
クォーク研での研究内容

- 陽子の内部構造を探る実験： **強い相互作用の研究**
 - 陽子スピンの起源を探る： CERN-COMPASS
 - 陽子内部にあるクォークの種類を探る： FNAL-SeaQuest
 - クォークどのように陽子を作るのかを探る： KEK-Belle
- 物質の起源を探る実験： **弱い相互作用の研究**
 - J-PARC – E14 KOTO
- 実験で使う測定器・標的等の開発@山形大学
 - スピン偏極標的の開発
 - 検出器(ビームプロファイル・飛跡検出器)の開発
- 色々な実験結果の総合的な解析による陽子内部構造の解明@山形大学

加速器と実験：日本国内

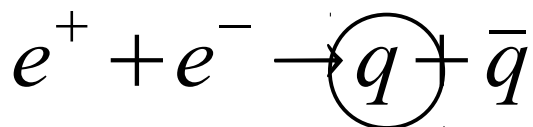
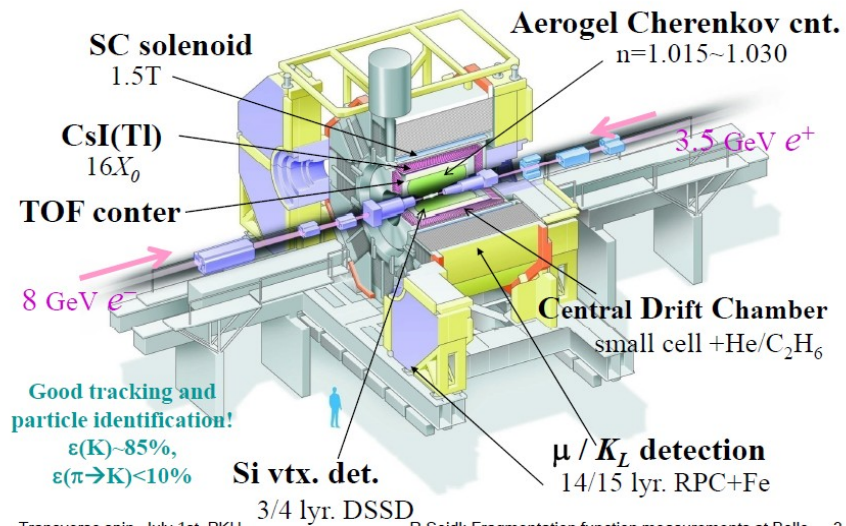


高エネルギー加速器研究機構 (KEK)



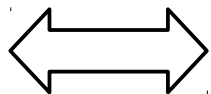
KEK – Belle 実験

Belle Detector



ハドロン

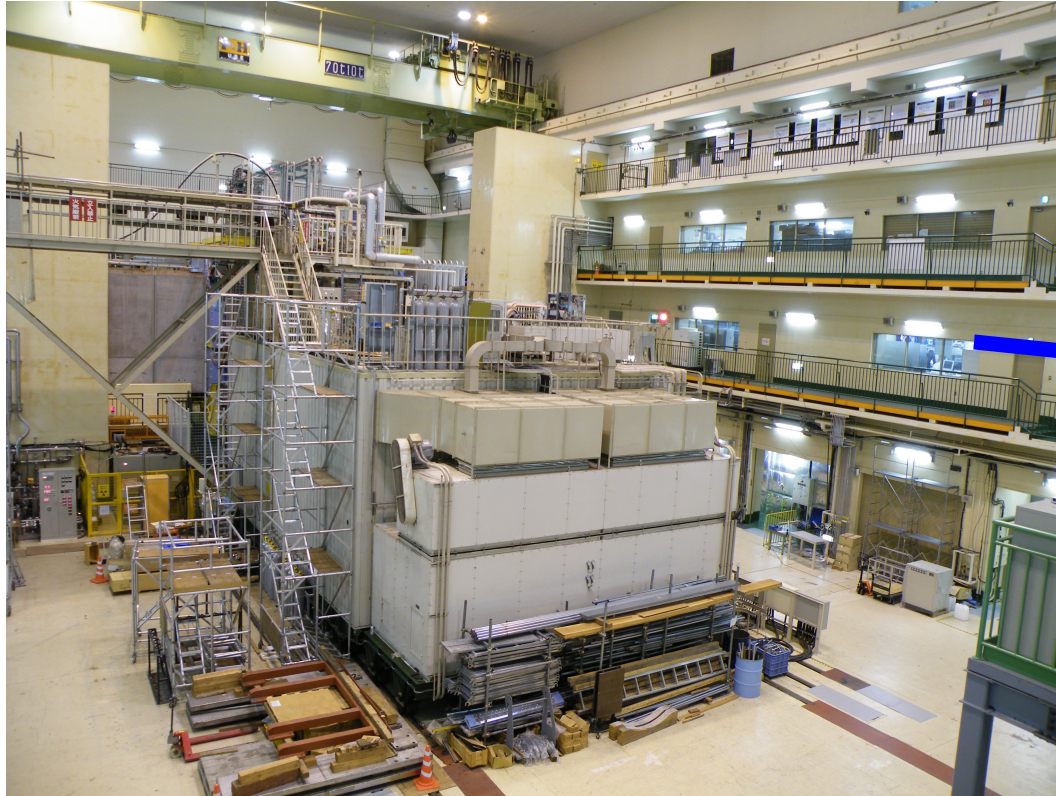
クォークからどのようにハドロン(陽子・中間子...)が作られるかを探る



陽子の内部構造の研究



実験室(コントロールルーム)の様子



実験中は24時間体制でシフトを組ながら、
加速器や検出器に異常かないかを常に監視。

J-PARC 大強度陽子加速器施設



50 GeV 陽子

ARC ハドロンホール

J-PARC

© 2010 ZENRIN

Image © 2010 DigitalGlobe
© 2010 Geocentre Consulting

© 2009 Google

画像取得日: 2006年1月4日 - 2006年3月30日

36° 26' 59.81" N 140° 36' 13.37" E 標高 9メートル

高度 1.47 キロメートル

2010/06/17

平成22年度 スタートアップセミナー

29

J-PARC ハドロン実験ホール



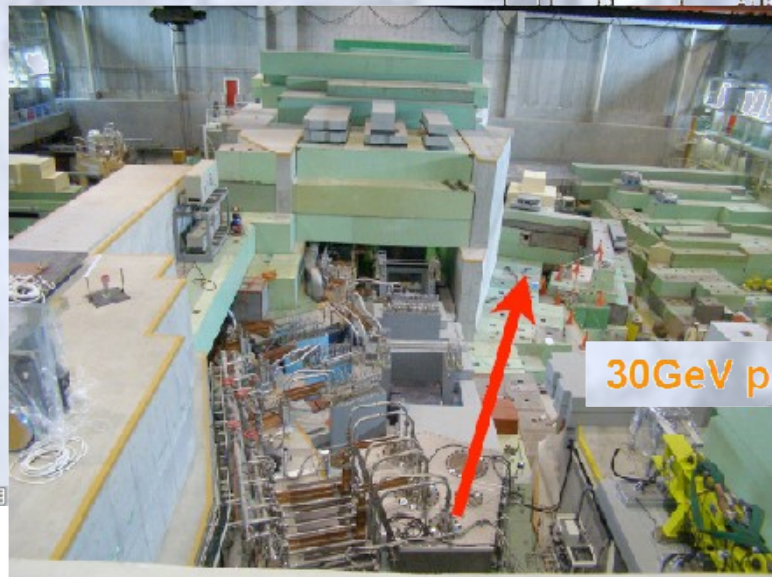
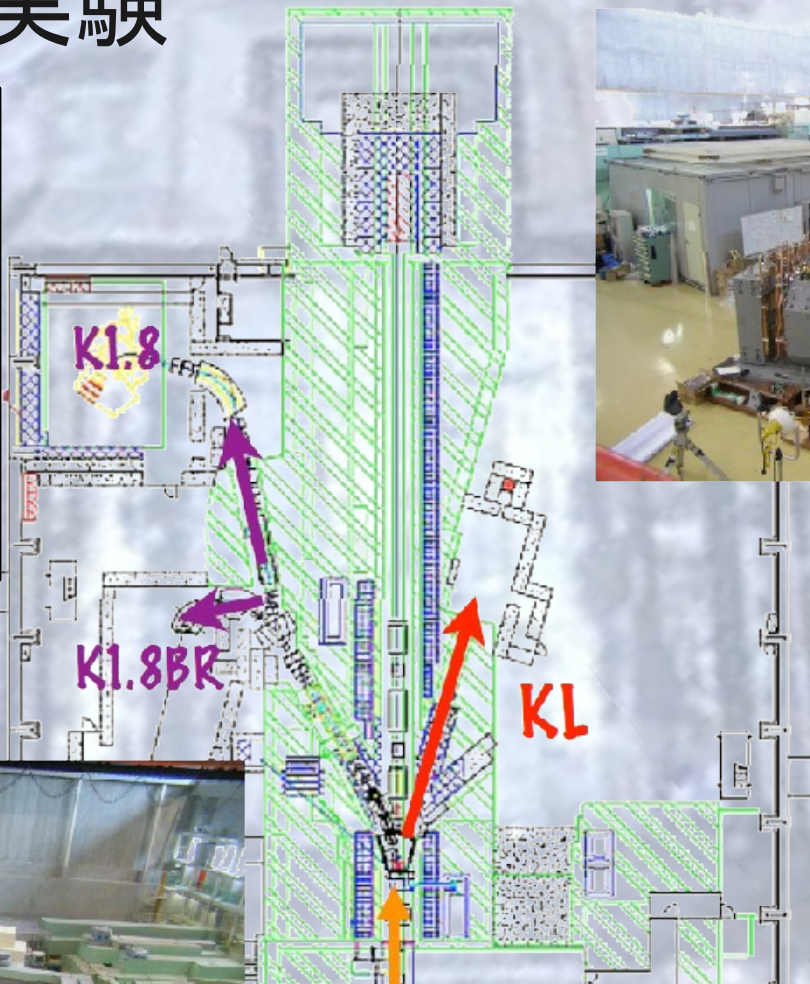
© 2010 ZENRIN
© 2010 Geocentre Consulting
Image © 2010 DigitalGlobe

©2009 Google

J-PARC KOTO実験

$$K_L^0 \rightarrow \pi^0 + \nu + \bar{\nu}$$

K中間子崩壊過程の測定で
さらに詳しくCP非対称性を調べる
「弱い相互作用」の研究
「素粒子の標準模型」への挑戦



30GeV protons

© 2010 ZENRIN
Geocentre Consulting
© 2010 DigitalGlobe

36°17.59' E 標高 11

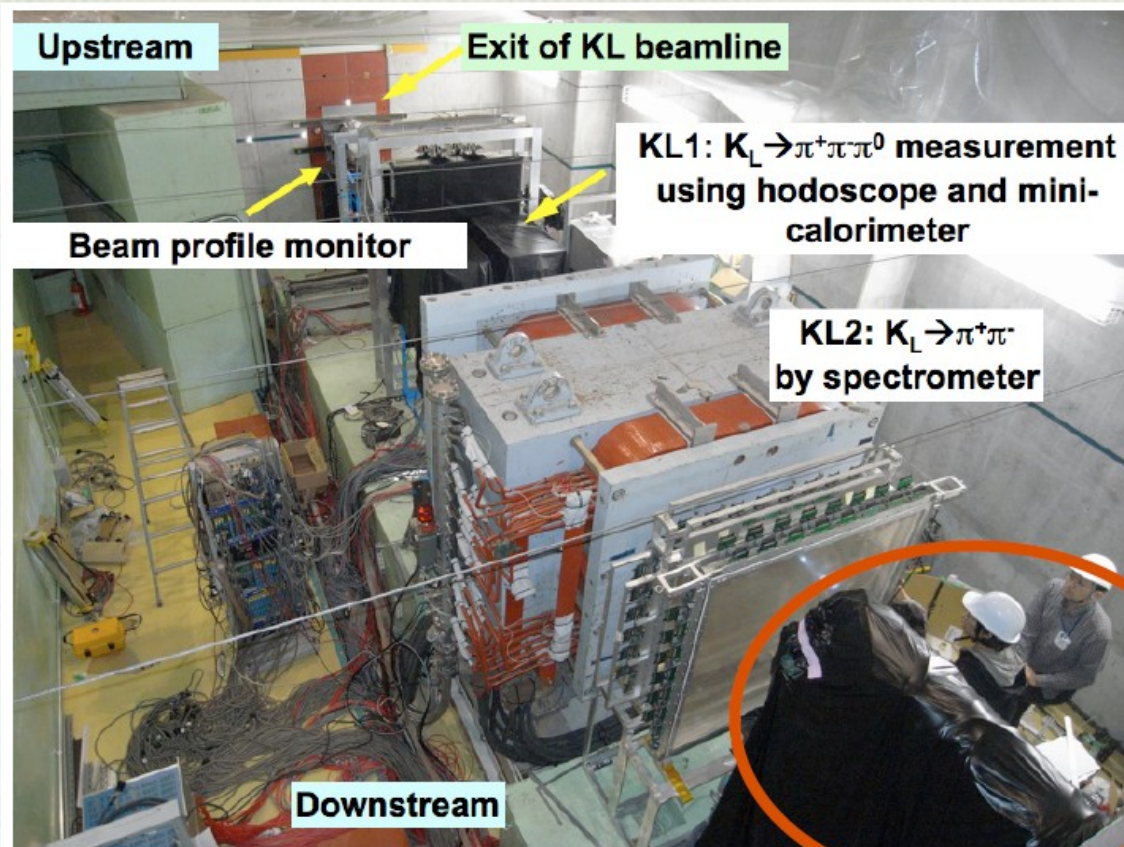
J-PARC 30GeV 陽子ビーム
を使って、K中間子ビームを
つくる。

画像取得日: 2006年3月

54 x 1000

2009 Apr~Sept : neutral beamline construction

2009 Oct~2010 Feb : beam survey (~1kW slow-extraction)



J-PARC KOTO実験のK中間子ビームの測定実験

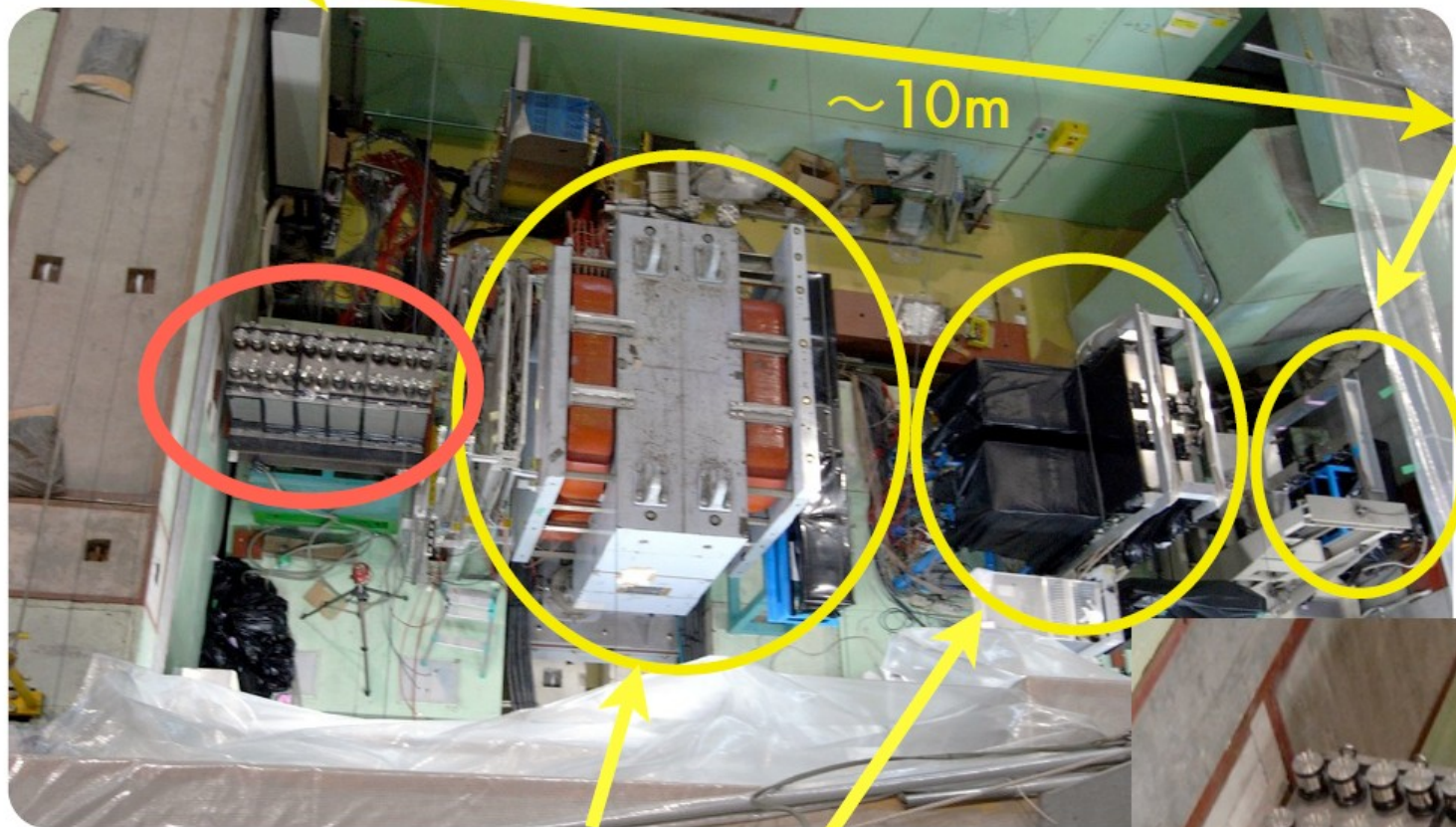


2011年に本実験開始



Core γ/n 測定
山形大学が担当

実験エリアの写真

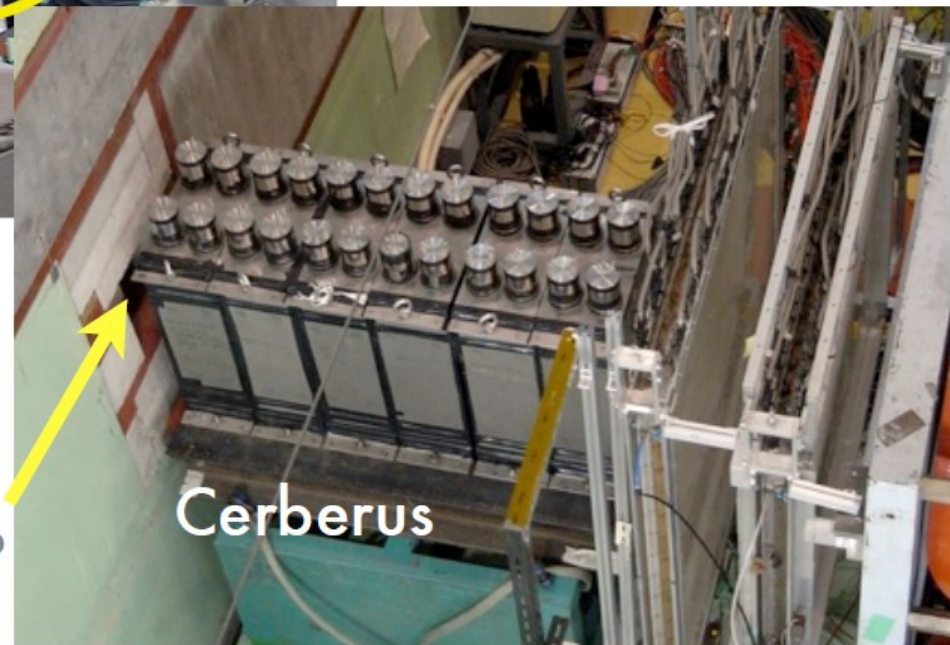


Profile 測定
(22pBE-11,12)

Beam

KL Yield 測定
(22pBE-13,14)

beam dump

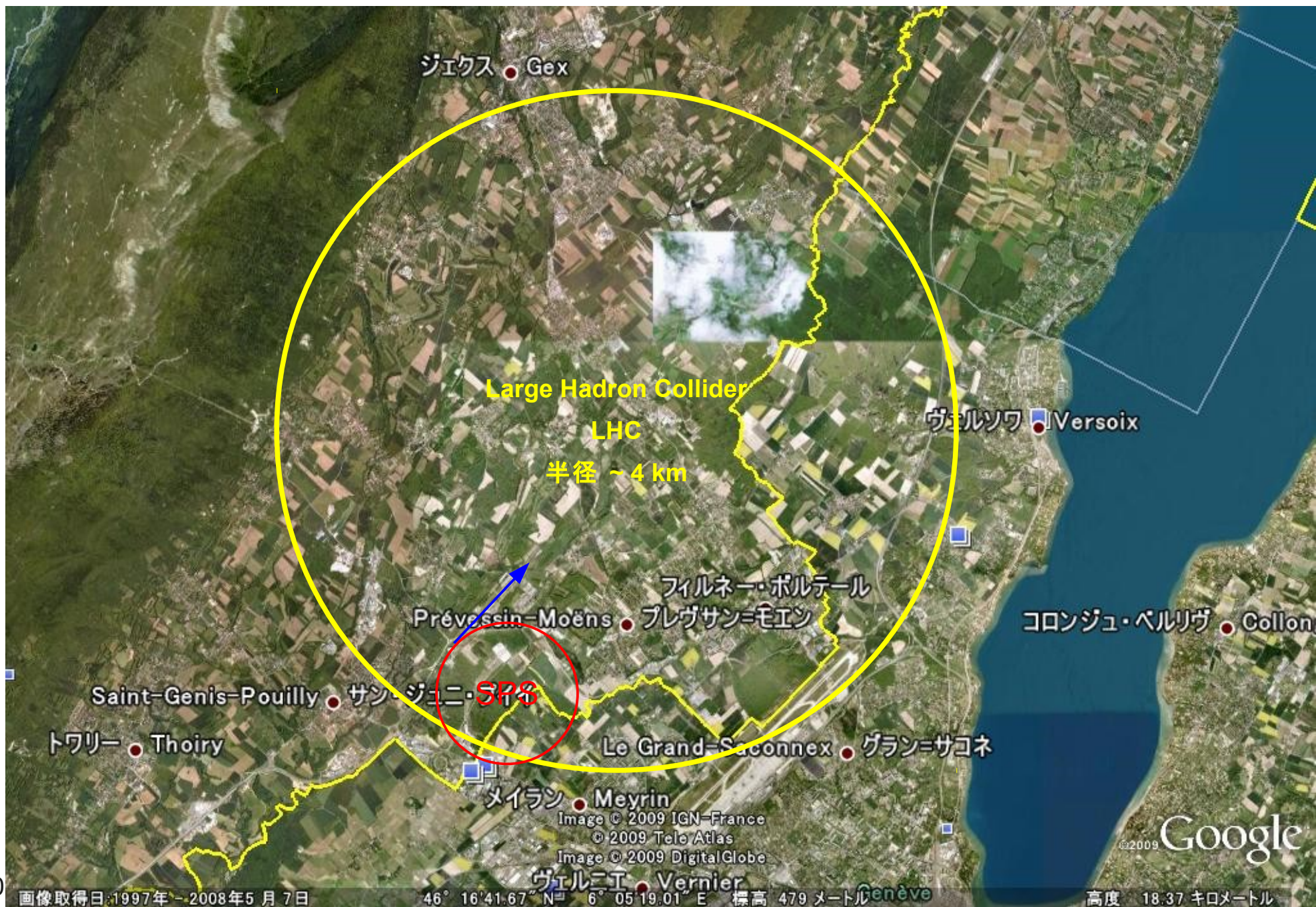


Cerberus

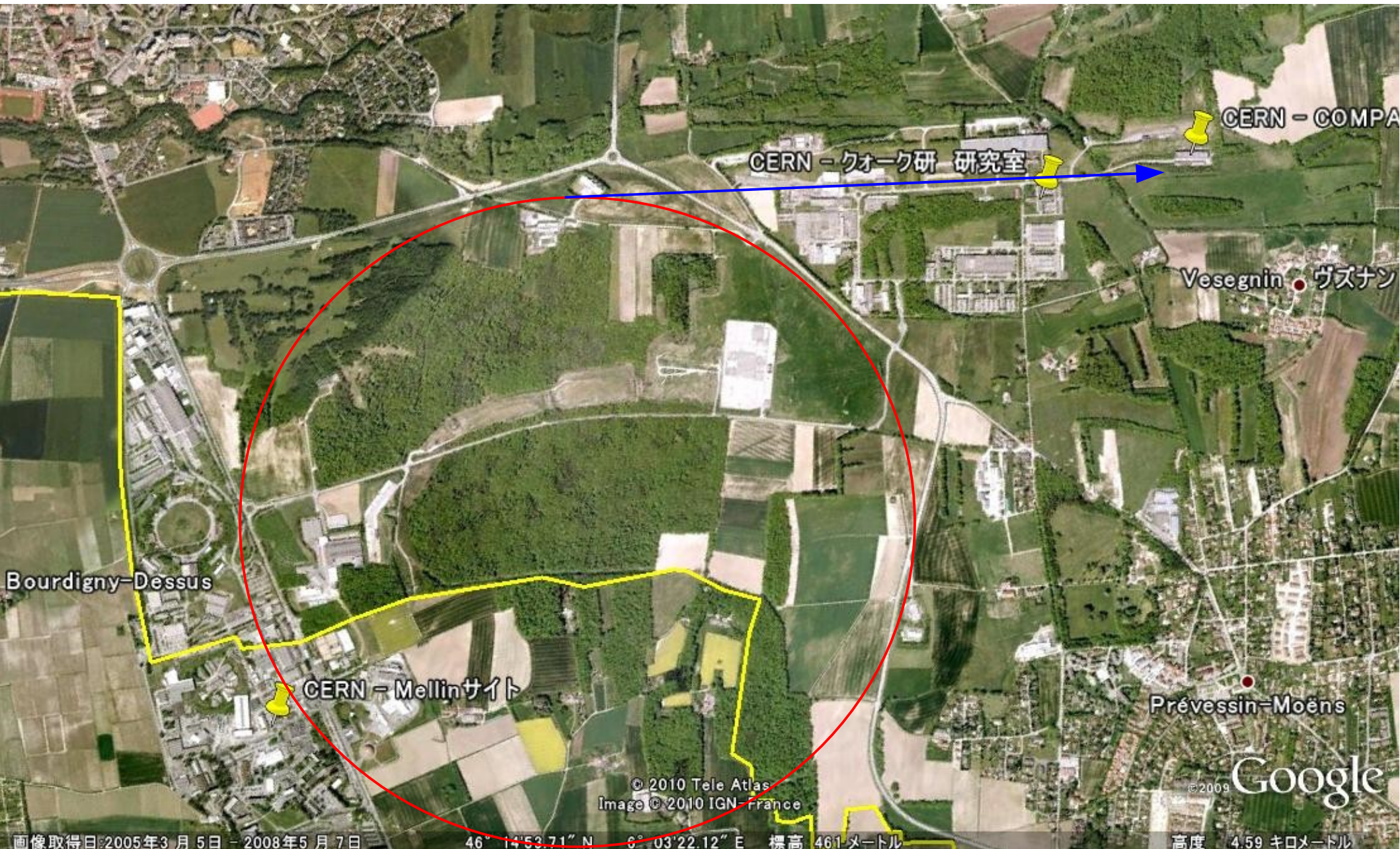
加速器と実験：世界



CERN - LHC加速器



CERN – COMPASS 実験



© 2010 Tele Atlas
Image © 2010 IGN - France

© 2009 Google

画像取得日: 2005年3月5日 - 2008年5月7日

46° 14' 53.71" N 6° 03' 22.12" E 標高 461メートル

高度 4.59 キロメートル

2010/06/17

平成22年度 スタートアップセミナー

CERN-COMPASS 実験



An experiment with pol. muon beam and pol. target at CERN

160 GeV/c スピン偏極ミューオンビーム
スピン偏極陽子・重陽子標的による
陽子の内部構造、特にスピン構造を調べる実験
「強い相互作用」の研究

SciFi
Silicon
Micromegas
GEMs

Straws
SDC
MWPC
W45

E/HCAL

SM2

E/HCAL

$0.003 < x < 0.5$
 $10^{-3} < Q^2 < 10 \text{ GeV}^2$

MuonWall

Muon

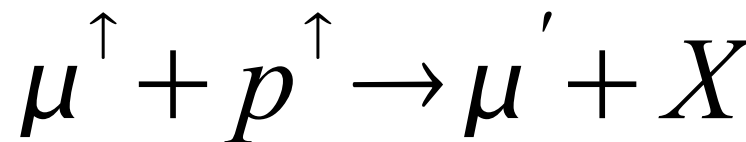
RICH

SM1

Polarized Target

Pol.
 μ beam

160 GeV/c
Pol. 80%
from SPS (CERN)



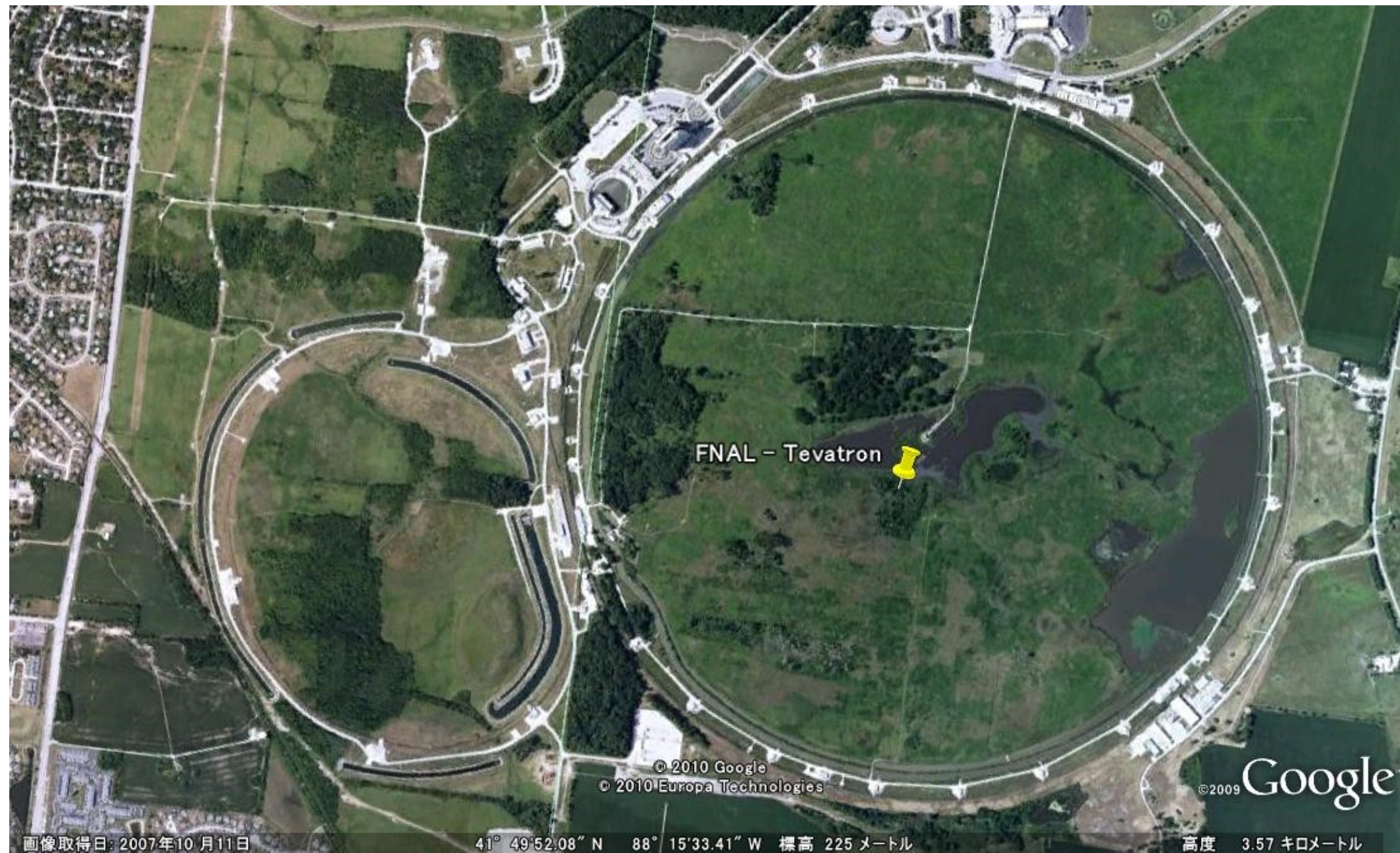
山形大

世界最大の偏極標的の開発・運転の主要メンバー
標的前後の荷電粒子飛跡検出器 (SciFi Tracker)

FNAL – Tevatron 加速器

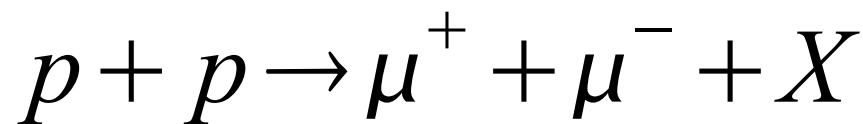
FNAL 国立フェルミ加速器研究所 (アメリカ合衆国)



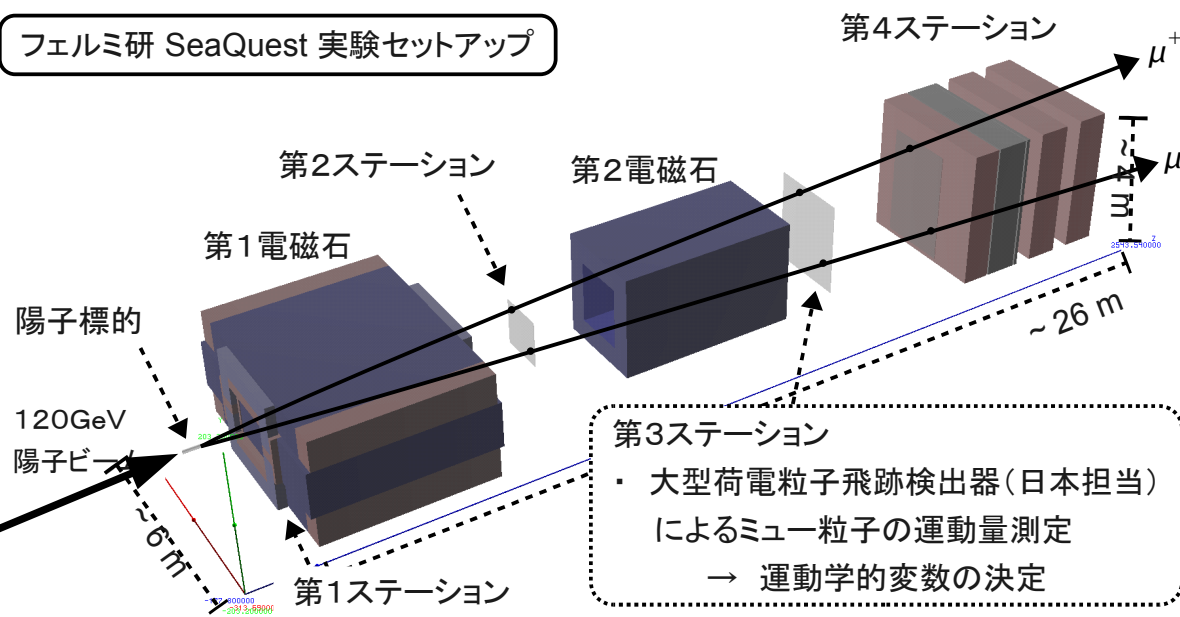


FNAL – SeaQuest 実験

陽子の内部では反アップクォーク、
反ダウンクォークが生成されている。
その生成比の測定から
「クォークの閉じ込め」を解き明かす。
「強い相互作用」の研究



フェルミ研 SeaQuest 実験セットアップ

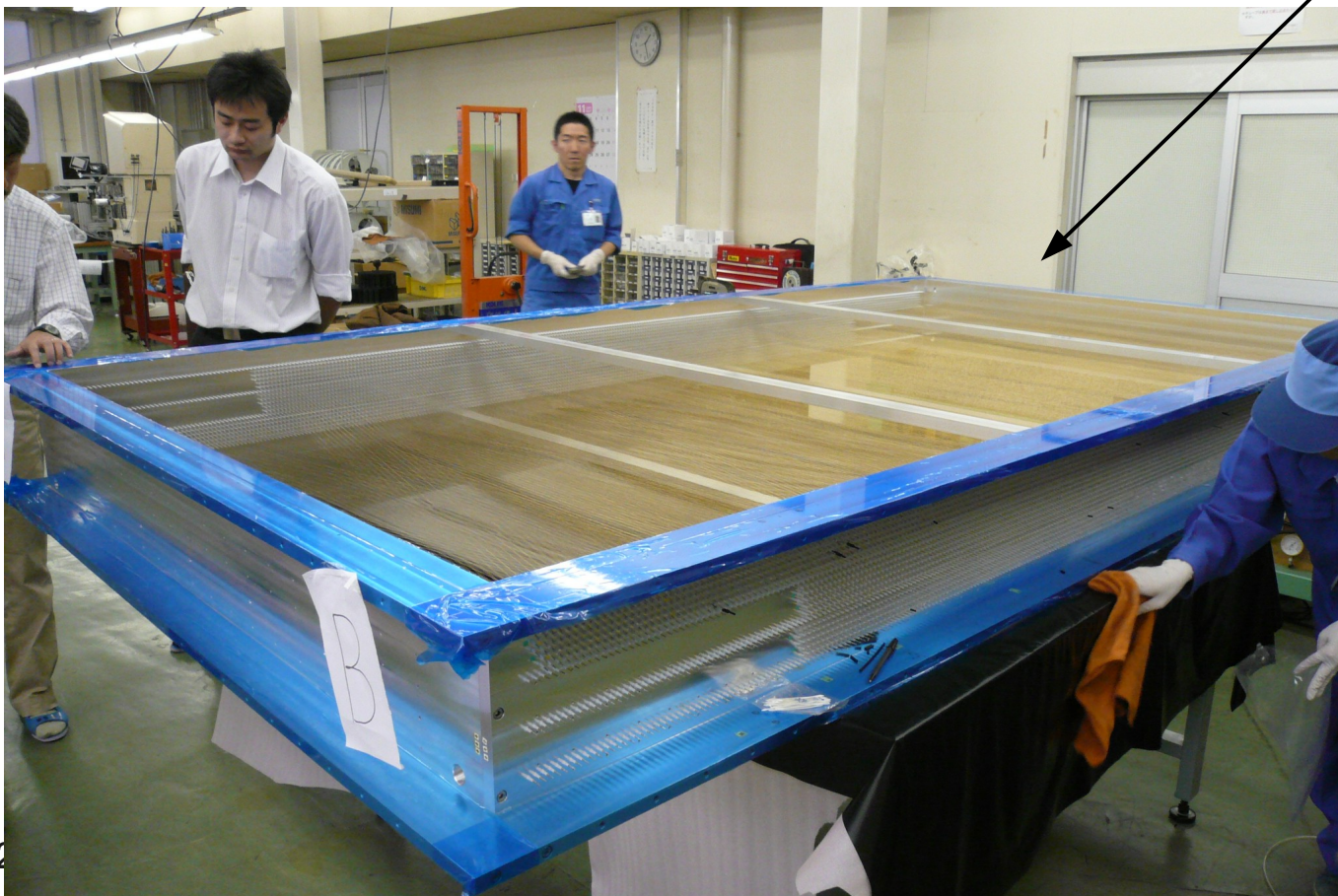
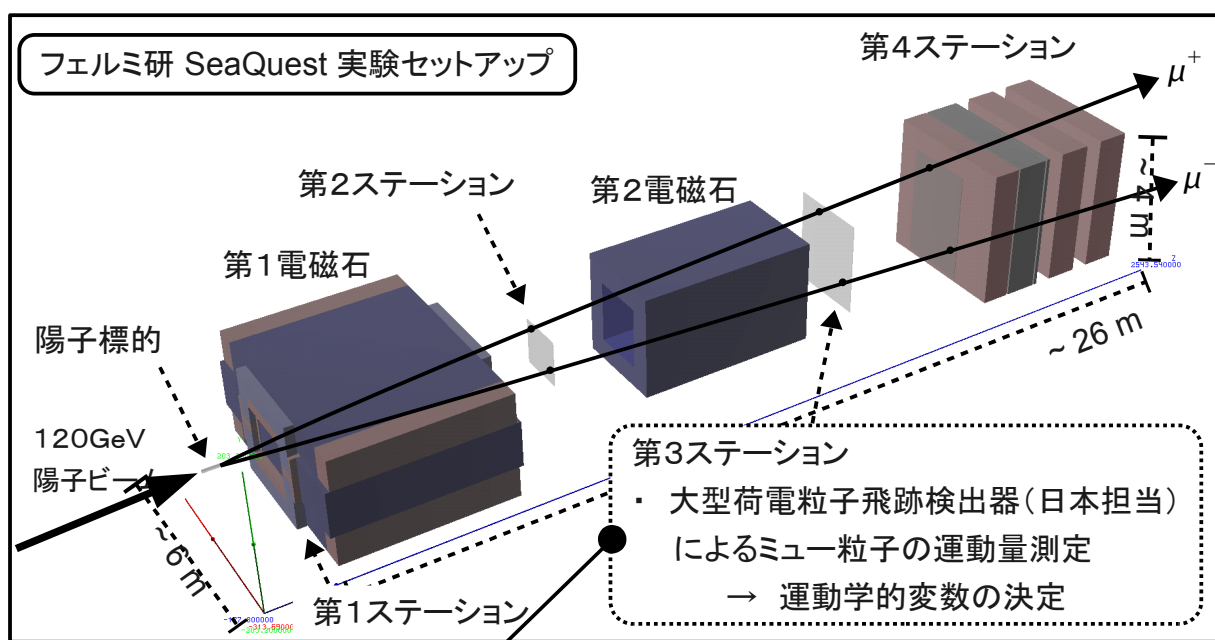


120 GeV 陽子

SeaQuest実験メンバー(の1部)



SeaQuest実験 飛跡検出器開発



来月、日本からアメリカに輸送
今秋の実験開始に向け、
設置、試験などを進める。

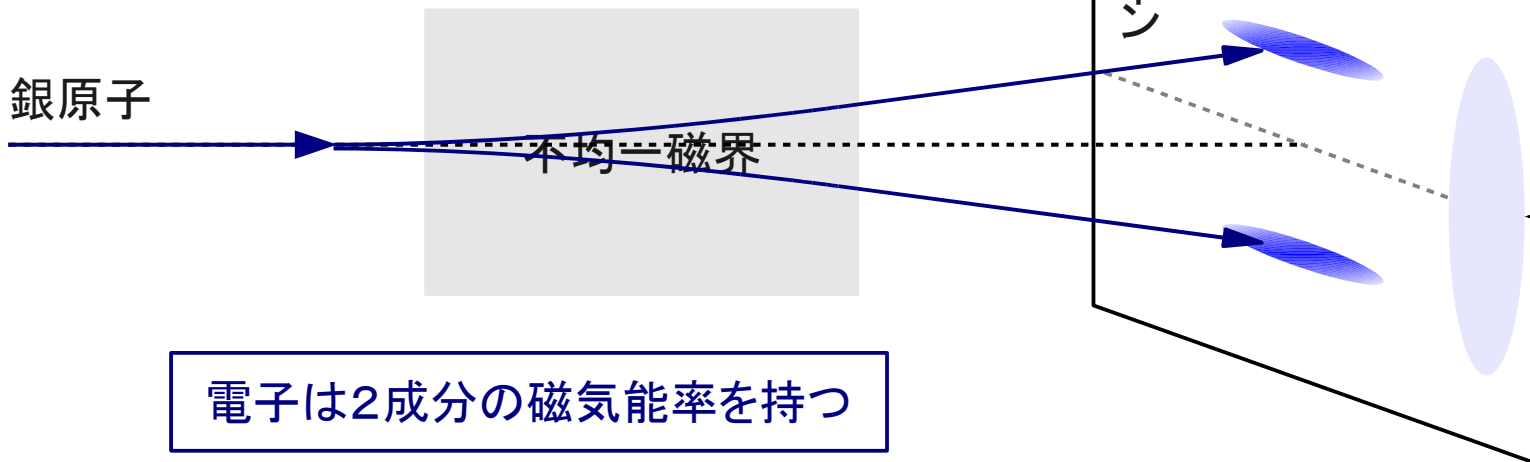
山形大学で行っている事は？

- 実験で使う測定器・標的等の開発@山形大学
 - **スピン偏極標的の開発**
 - 検出器(ビームプロファイル・飛跡検出器)の開発
- 色々な実験結果の総合的な解析による陽子内部構造の解明@山形大学

電子の磁気能率を測る実験： スピン

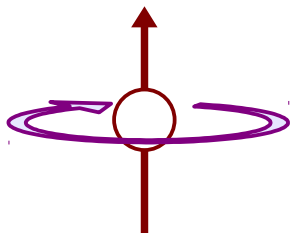
～ シュテルン・ゲルラッハの実験 1922年 ～

銀電子中の電子の磁気能率分
電子軌道を曲げるような磁石を設置



古典論での予想
電子の磁気能率が連続的な値を取る
↓
上下に長い一つの影

電子の磁気能率と「スピン」:



$$\vec{\mu}_e = g \frac{-e}{2 m_e} \hbar \vec{S}$$

量子力学ではスピンは離散的な値
⇒ 2成分の値を取る
⇒ 差を1とする
⇒ $-1/2$ と $+1/2$
⇒ 下向き 上向き
⇒ スピンの大きさは $1/2$

- * * 電荷をもつ物体の自転 → 磁気能率
- * * 量子化された”自転”

スピン偏極標的開発@山形大学

国内で唯一の開発拠点
(世界的には5~6箇所)

ちょっとしたよもやま話

クオーク研メンバー(岩田・宮地・堂下・近藤)は

名古屋大学PT研究室出身

私の修士論文は

「ポリエチレン偏極標的資料の開発」(1995)

偏極標的システムが名古屋大学に設置されたのは1970年頃

2004年岩田先生山大着任時に山大に移設

40才になる偏極標的システム(部分的に更新されている箇所もあるけれど、基本設計は同じ)

昨年度

新しい希釈冷凍機が導入

新しい電子スピン共鳴装置が導入

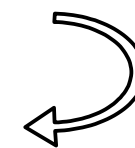
スピン偏極の実現方法(スピンの向きを揃える方法)

磁石の向きを揃える方法 → 磁場の中に置けばよい → 高磁場

効率的に揃えるなら → 冷やして熱運動をとりのぞけば良い → 低温

物質中の”磁石”

電子	強い”磁石”	簡単に方向が揃う
陽子	弱い”磁石”	方向を揃えるのはなかなか困難



電子の偏極を
陽子に移す

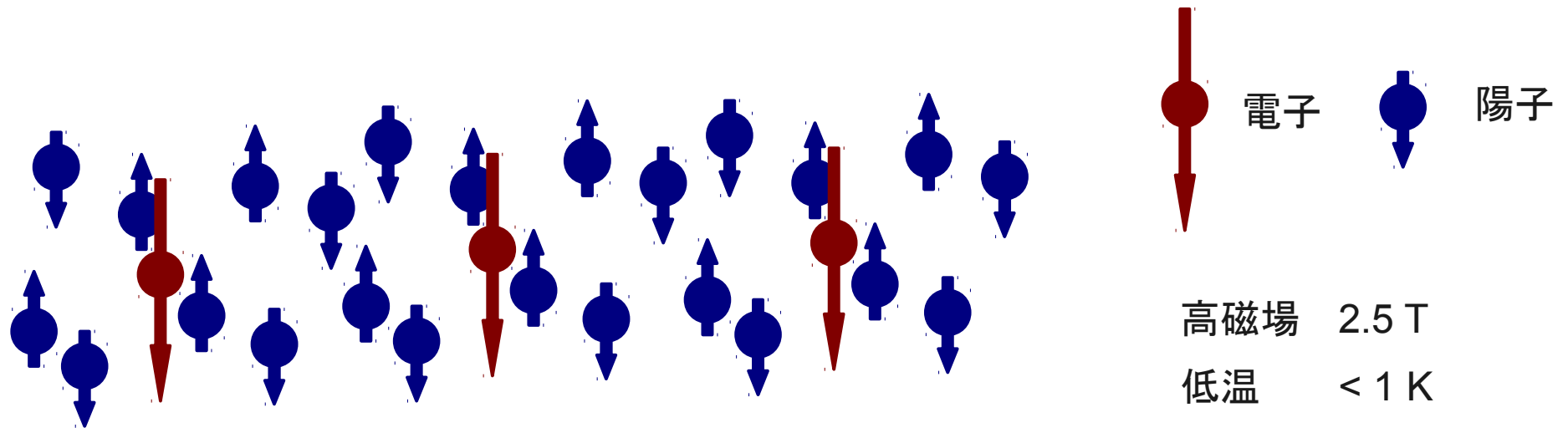
”磁石”の強さ(磁気能率) 質量に反比例

電子の磁気能率は陽子の磁気能率の2000倍

2000倍の磁場? 1/2000の低温?

「能動核偏極」

陽子のスピンを揃える方法：能動核偏極



高磁場 2.5 T

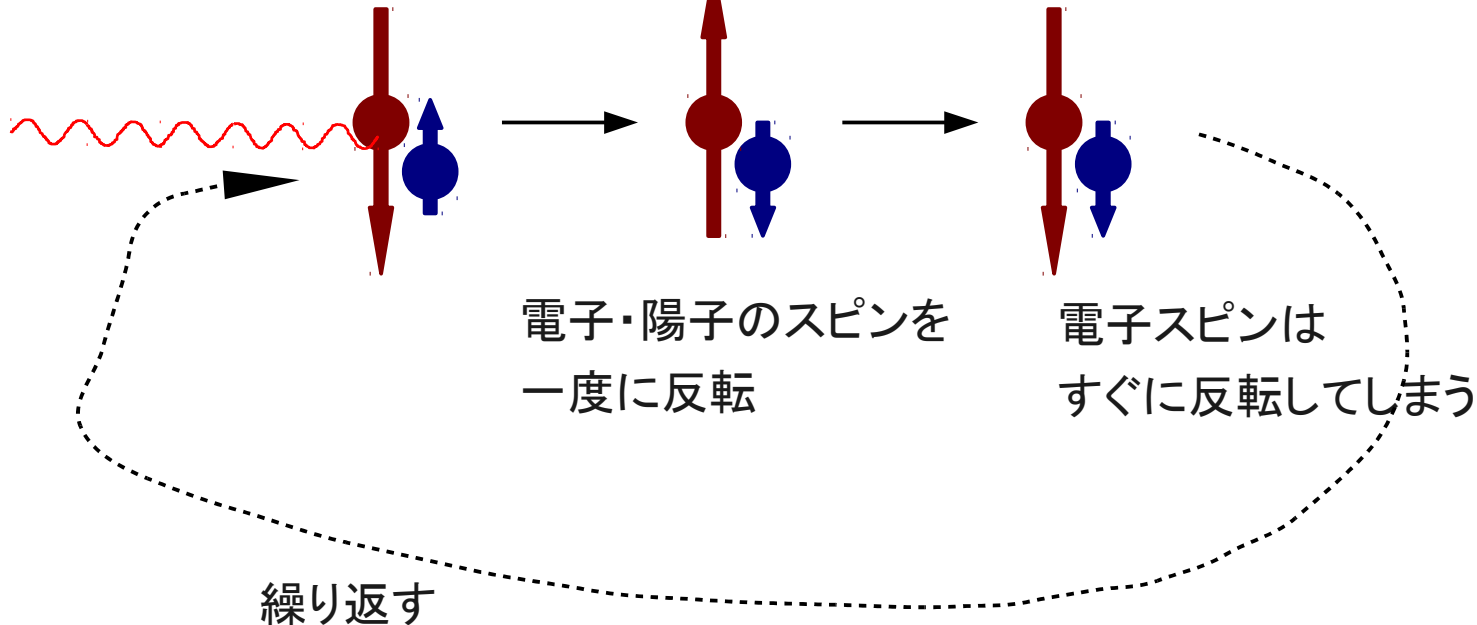
低温 < 1 K

電子はほぼ100%偏極

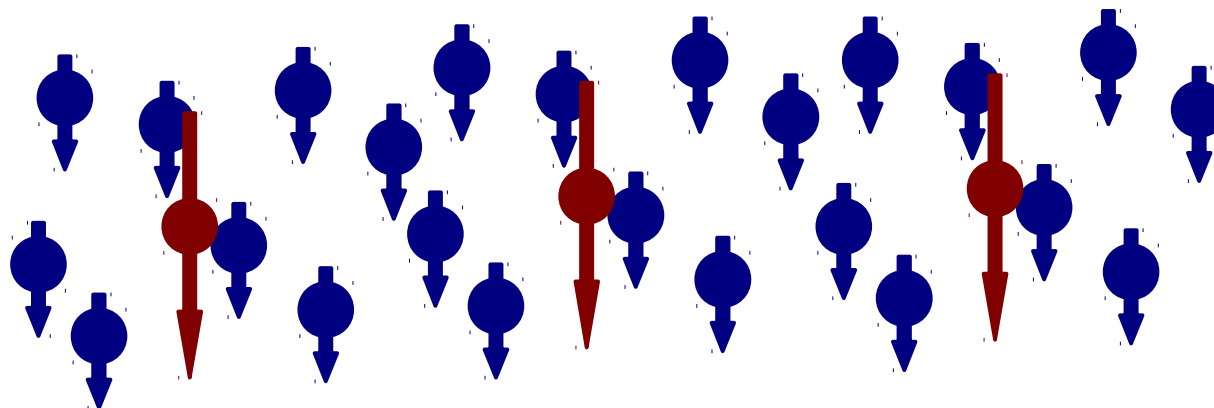
陽子はほぼ0%偏極

(時期能率：電子>>陽子)

マイクロ波を吸収して

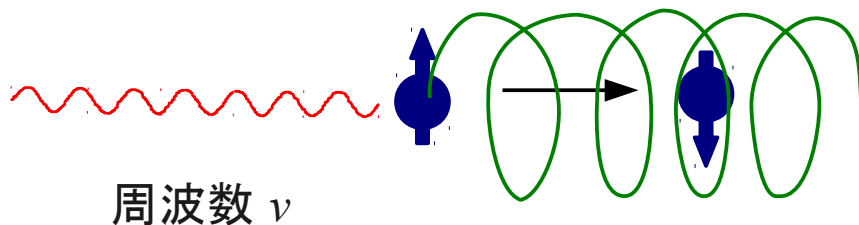


陽子のスピンを揃える方法：能動核偏極



電子スピンの偏極 → 陽子スピンの偏極に

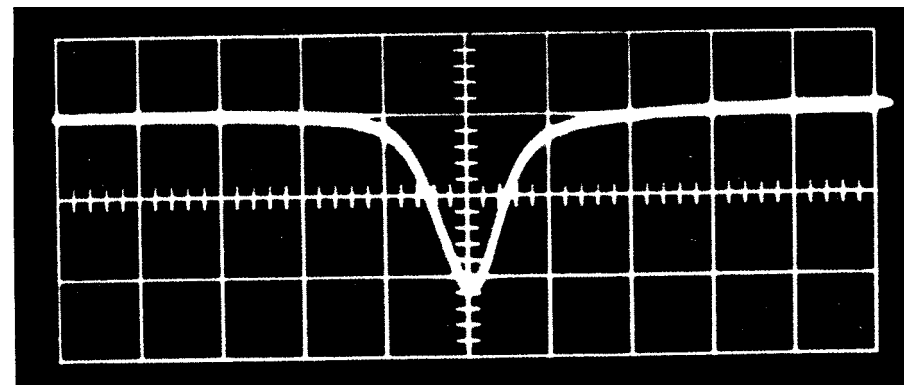
核磁気共鳴: NMR



特定の周波数 ν_0 の電磁波のみを吸収し、
スピンの反転する。

信号強度 = スピン偏極度

電磁波の吸収強度を測定する



ν_0

スピン偏極装置

- 核磁気共鳴装置(NMR)
偏極度測定

排気管

偏極ターゲット
実験室



● 電磁石 (2.5 T)

● マイクロ波
発生装置

● 冷却器(クライオスタット)
の中身

2010/06/17

平成22年度 スタートアップセミナー

49

電子スピン共鳴装置: ESR

電子のスピンと陽子のスピンがうまく相互作用する必要がある。
物質中の電子配置が、高スピン偏極の鍵！！
電子の状態をしる装置 = 電子スピン共鳴装置

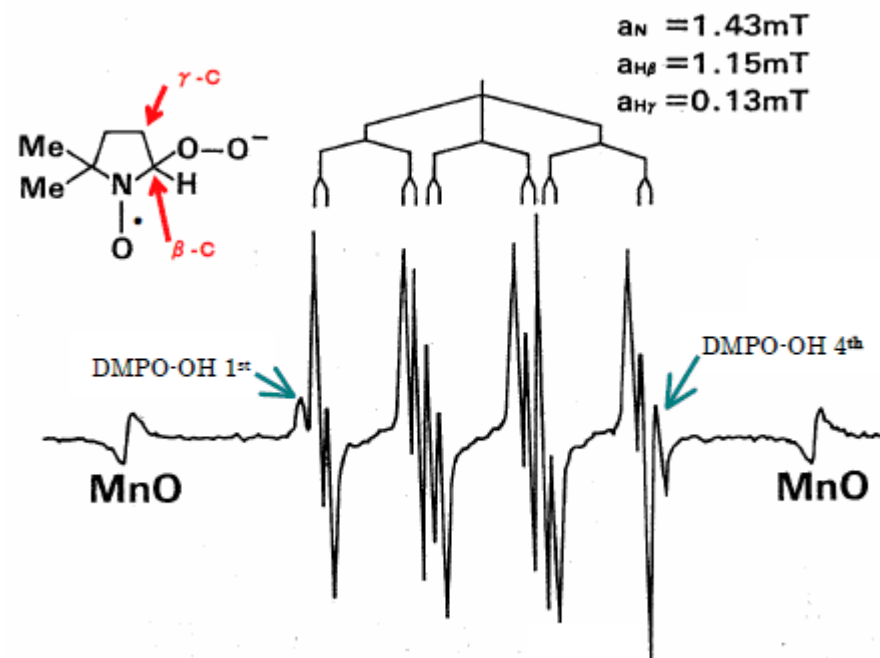
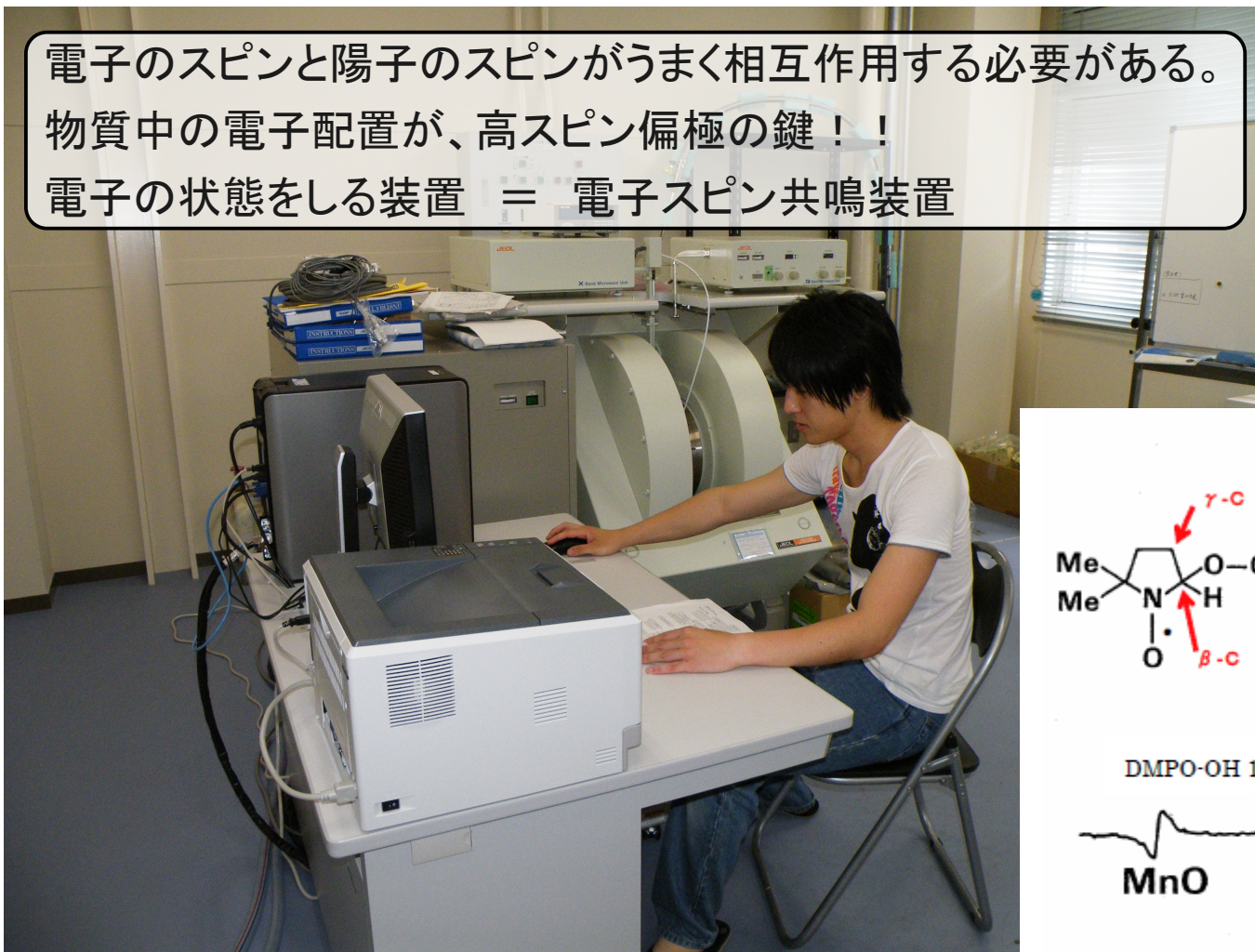


図2 DMPO-O₂ スペクトルのバーグラム

<http://www.jeol.co.jp/technical/ai/esr/esr-an/er-070002/2.gif>

クォーク研紹介 まとめ

クォークを研究対象として解き明かす!!

素粒子の標準模型

「弱い相互作用」

なぜ物質優勢の世界になったのか?

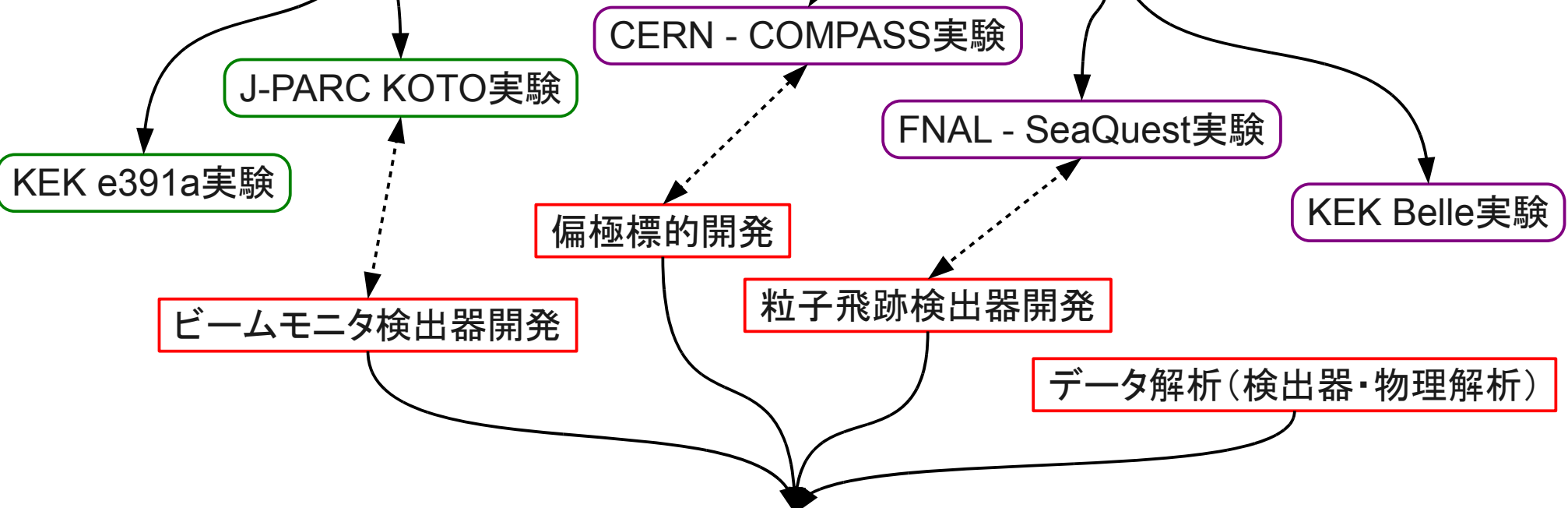
CP対称性の破れ

「強い相互作用」

陽子はクォークからどのように出来ているのか?

陽子スピンの構造

「クォーク閉じ込め」機構を解明



次世代加速器を利用した、発展的な実験研究(計画)へとつなげる

おしまい

元素周期表

Periodic Table of the Elements

自然も暮らしもすべて元素記号で書かれている



メンデレーエフ (Dmitri) Ivanovich Mendeleev, 1834~1907) 1869年、ロシアのペテルスブルグ大学の化学者メンデレーエフは、当時知られていた63種類の元素を(1)原子量の順に並び、(2)性質や化学と結合してできる物質の組成(たとえば、ナトリウムはNaClで、マグネシウムはMgCl₂をつくる)などの性質が同様に変化する法則(「周期律」)を見出し、性質が似た元素が同じくくまらに配列した順序表をつくった。その表のなかには空欄があり、当時知られていなかった元素の性質を予告した。初めはメンデレーエフの周期表は注目されなかったが、1875年にリウリウムが、1886年にガリウムが発見され、それらの性質が彼の予告のとおりであったため、世界的に信頼された。現在では周期表は、すべての人がいる化学や物理学の基本となっている。

18 He
ヘリウム 4.003
2 Helium

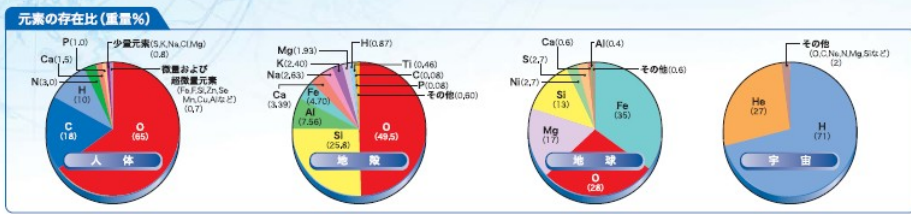
1 H
水素 1.008
1 Hydrogen

2 Li
リチウム 6.941
3 Lithium

4 Be
ベリリウム 9.012
4 Beryllium

3 Na
ナトリウム 22.99
11 Sodium

Mg
マグネシウム 24.31
12 Magnesium



4 K
カリウム 39.10
19 Potassium

Ca
カルシウム 40.08
20 Calcium

Sc
スカンジウム 44.96
21 Scandium

Ti
チタン 47.88
22 Titanium

V
バナジウム 50.94
23 Vanadium

Cr
クロム 52.00
24 Chromium

Mn
マンガン 54.94
25 Manganese

Fe
鉄 55.85
26 Iron

Co
コバルト 58.93
27 Cobalt

Ni
ニッケル 58.69
28 Nickel

Cu
銅 63.55
29 Copper

Zn
亜鉛 65.38
30 Zinc

Ga
ガリウム 69.72
31 Gallium

Ge
ゲルマニウム 72.64
32 Germanium

As
ヒ素 74.92
33 Arsenic

Se
セレン 78.96
34 Selenium

Kr
クリプトン 83.80
36 Krypton

Rb
ルビウム 85.47
37 Rubidium

Sr
ストロンチウム 87.62
38 Strontium

Y
イットリウム 88.91
39 Yttrium

Zr
ジルコニウム 91.22
40 Zirconium

Nb
ニオブ 92.91
41 Niobium

Mo
モリブデン 95.94
42 Molybdenum

Tc
テクネチウム 98
43 Technetium

Ru
ルルチウム 101.07
44 Ruthenium

Rh
ロジウム 102.91
45 Rhodium

Pd
パラジウム 106.42
46 Palladium

Ag
銀 107.87
47 Silver

Cd
カドミウム 112.41
48 Cadmium

In
インジウム 114.82
49 Indium

Sn
スズ 118.71
50 Tin

Sb
アンチモン 121.76
51 Antimony

Te
テルル 127.60
52 Tellurium

Xe
キセノン 131.3
54 Xenon

Cs
セシウム 132.91
55 Cesium

Ba
バリウム 137.33
56 Barium

Ra
ラジウム 226
88 Radium

Hf
ハフニウム 178.49
72 Hafnium

Ta
タンタル 180.95
73 Tantalum

W
タングステン 183.84
74 Tungsten

Re
レニウム 186.21
75 Rhenium

Os
オスmium 190.23
76 Osmium

Ir
イリジウム 192.22
77 Iridium

Pt
白金 195.08
78 Platinum

Au
金 196.97
79 Gold

Hg
水銀 200.59
80 Mercury

Tl
タリウム 204.38
81 Thallium

Pb
鉛 207.2
82 Lead

Bi
ヒ素 208.98
83 Bismuth

Po
ポロニウム 209
84 Polonium

Rn
ラドン 222
86 Radon

Fr
フランシウム 223
87 Francium

Ra
ラジウム 226
88 Radium

Rf
ラザフォードウム 261
104 Rutherfordium

Db
ドブニウム 262
105 Dubnium

Sg
セーボーグウム 263
106 Seaborgium

Bh
ブホリウム 264
107 Bohrium

Hs
ハッセルテリウム 265
108 Hassium

Mt
メンテレーエフウム 266
109 Meitnerium

Ds
ダームシュタット 267
110 Darmstadtium

Rg
ロゲンテリウム 268
111 Roentgenium

Cf
カリフォルニウム 269
98 Californium

Es
エーゼンバウム 269
99 Einsteinium

Fm
フェルミウム 269
100 Fermium

Md
メンデルレーエフウム 269
101 Mendeleevium

No
ノーベリウム 269
102 Nobelium

Lr
ローレンシウム 269
103 Lawrencium

Legend for element types: Solid (固体), Gas (気体), Liquid (液体), and Atomic Symbol (元素記号). Includes examples like Carbon (C) and Hydrogen (H).

La
ランタン 138.91
57 Lanthanum

Ce
セリウム 140.12
58 Cerium

Pr
プラセオジム 140.91
59 Praseodymium

Nd
ネオジム 144.24
60 Neodymium

Pm
プロメチウム 145
61 Promethium

Sm
サマリウム 150.36
62 Samarium

Eu
ユウロピウム 151.96
63 Europium

Gd
ガドリニウム 157.25
64 Gadolinium

Tb
テルビウム 158.93
65 Terbium

Dy
ジスプロシウム 162.50
66 Dysprosium

Ho
ホルミウム 164.93
67 Holmium

Er
エルビウム 167.26
68 Erbium

Tm
タリウム 168.93
69 Thulium

Lu
ルテチウム 174.96
71 Lutetium

Ac
アクチニウム 227
89 Actinium

Th
トリウム 232.04
90 Thorium

Pa
プロトアクチニウム 231.04
91 Protactinium

U
ウラン 238.03
92 Uranium

Np
ネプチウム 237
93 Neptunium

Pu
プルトニウム 239
94 Plutonium

Am
アメリシウム 243
95 Americium

Cm
キュリウム 247
96 Curium

Bk
ベルケリウム 247
97 Berkelium

Cf
カリフォルニウム 251
98 Californium

Es
エーゼンバウム 252
99 Einsteinium

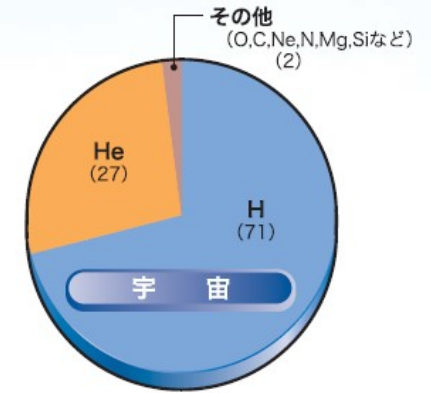
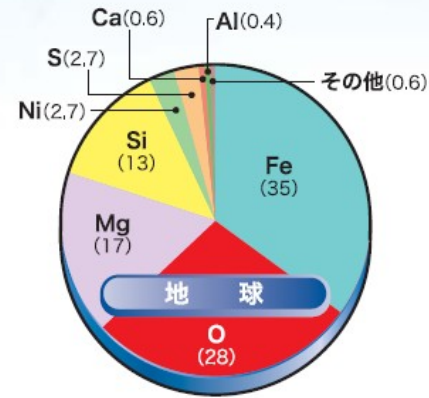
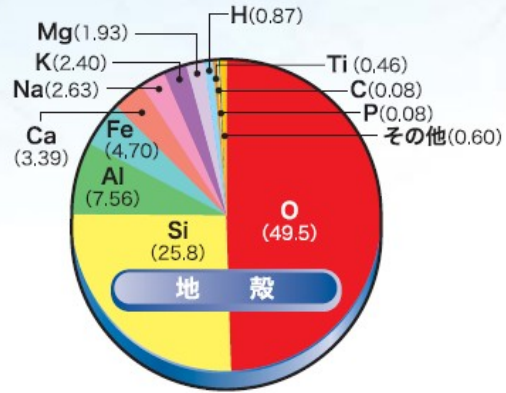
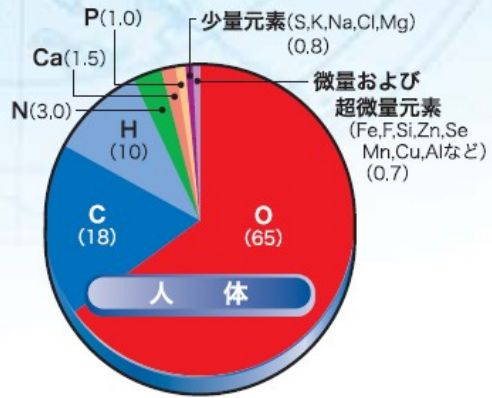
Fm
フェルミウム 257
100 Fermium

Md
メンデルレーエフウム 258
101 Mendeleevium

No
ノーベリウム 259
102 Nobelium

Lr
ローレンシウム 260
103 Lawrencium

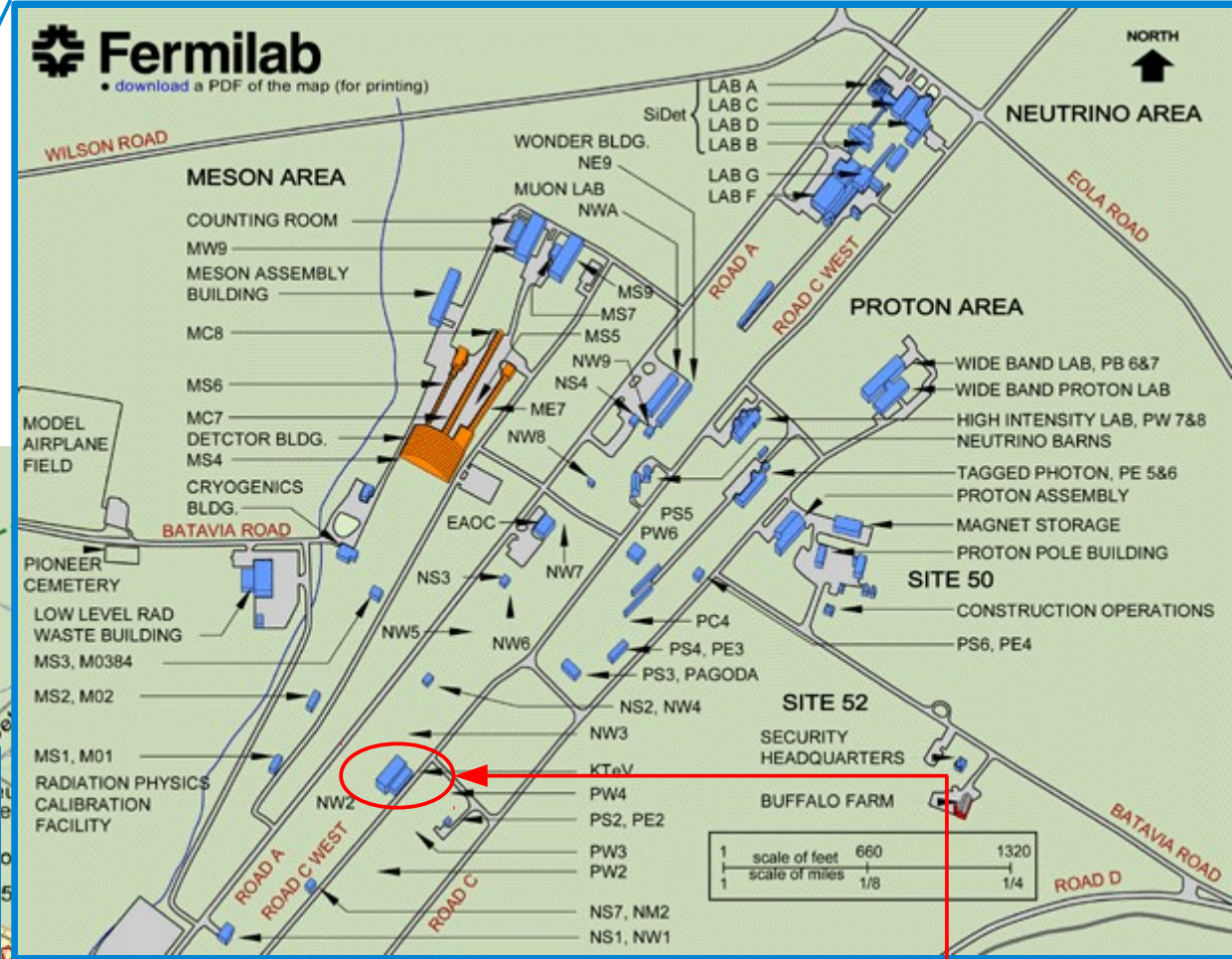
元素の存在比(重量%)



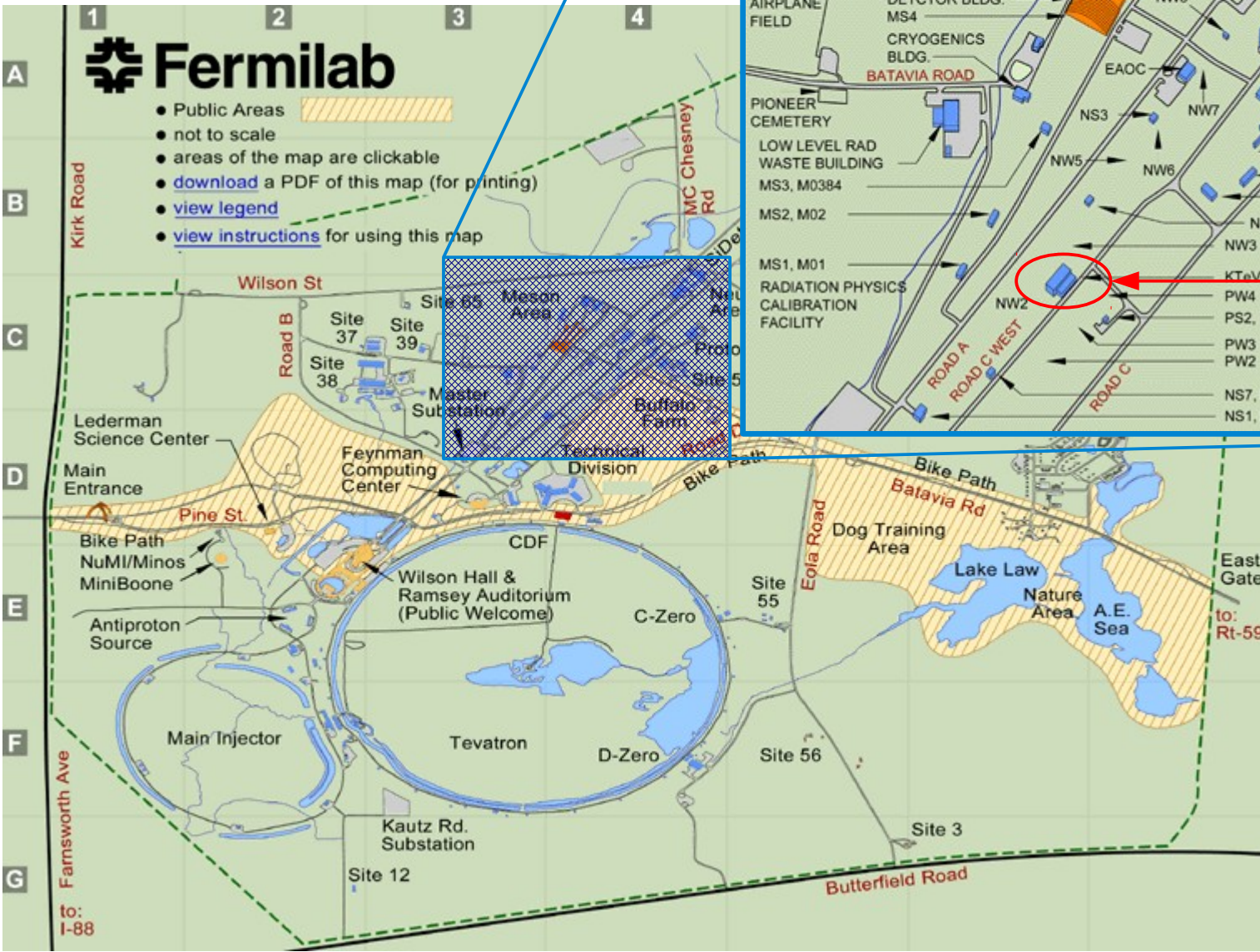
Fermilab



• download a PDF of the map (for printing)



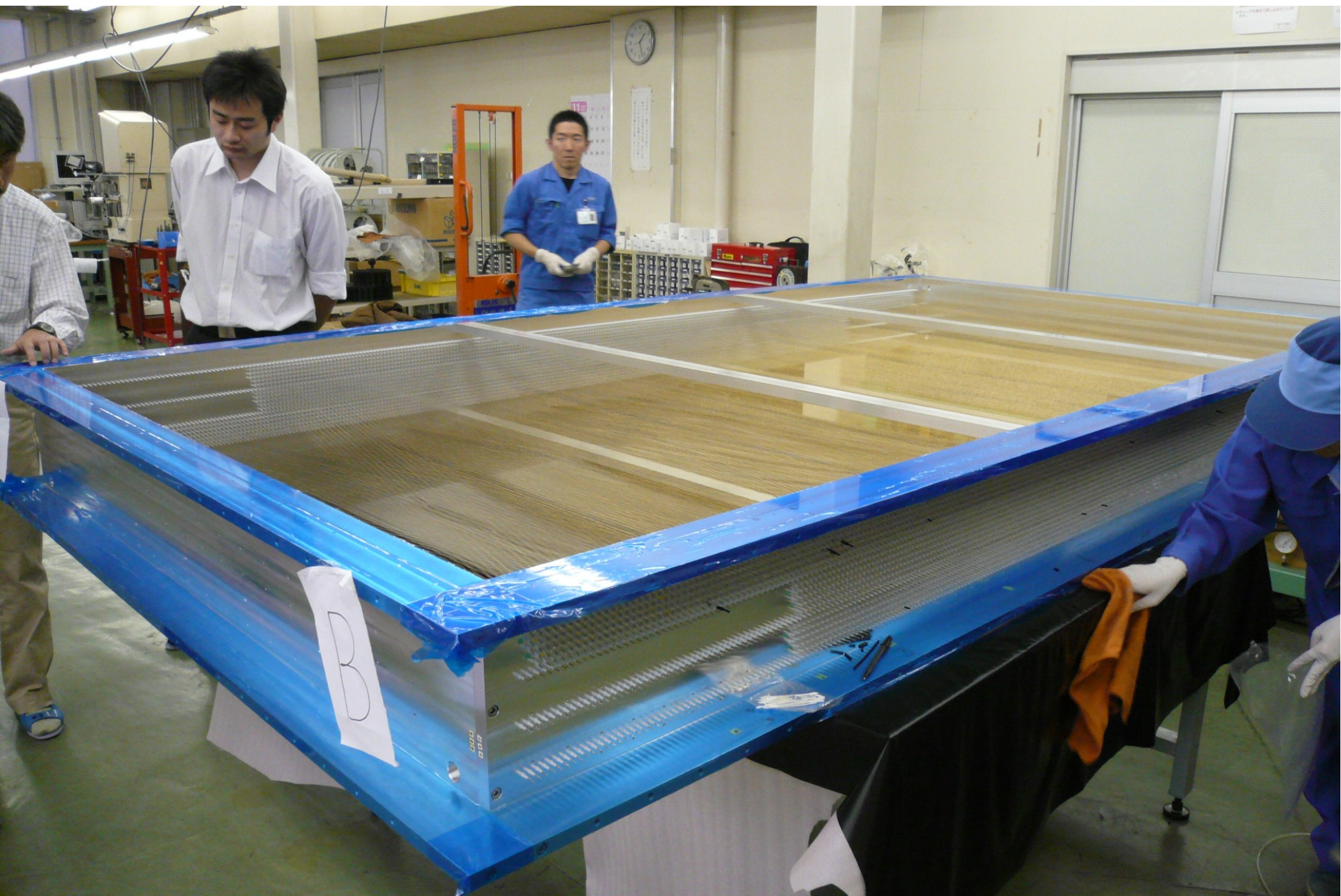
SeaQuest実験



基本粒子一覽

		フェルミオン (スピン: 1/2)			
		安定な粒子			
		不安定な粒子			
レプトン	電荷(-e)	電子(e) 511 keV/c ²	ミュー粒子(μ) 106 MeV/c ²	タウ粒子(τ) 1.8 GeV/c ²	
	電荷(0)	電子ニュートリノ(ν _e) < 3 eV/c ²	ミューニュートリノ(ν _μ) < 0.19 MeV/c ²	タウニュートリノ(ν _τ) < 18.2 MeV/c ²	
	クォーク	電荷(+2/3 e)	アップ(u) 1.5 ~ 4 MeV/c ²	チャーム(c) 1.15 ~ 1.35 GeV/c ²	トップ(t) 178 GeV/c ²
		電荷(-1/3 e)	ダウン(d) 4 ~ 8 MeV/c ²	ストレンジ(s) 80 ~ 130 MeV/c ²	ボトム(b) 4.1 ~ 4.4 GeV/c ²

ボソン(スピン: 1)		ボソン(スピン: 0)	
光子(γ)	ウィークボソン(W [±] , Z ⁰)	グルーオン(g)	ヒッグス粒子(H ⁰)
0 MeV/c ²	80 GeV/c ² , 91 GeV/c ²	0 MeV/c ²	??? GeV/c ²

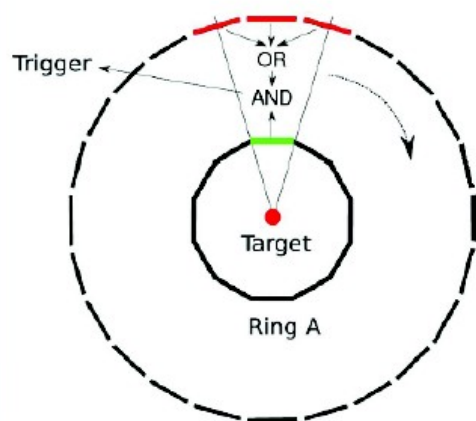


TARGET PART IN HADRON PROGRAM



RPD(Recoil Proton Detector)
Installed in 2007

山形グループは
水素ターゲットを担当



Ring B

Upstream Veto

Silicon Microstrip Detectors

