高エネルギー物理学とSINET5

高エネルギー加速器研究機構(KEK)・計算科学センター
金子敏明

目次

- 高エネルギー物理学とネットワーク
- LHC 実験
- Belle II 実験
- T2K 実験
- ILC 計画
- SINET5
- まとめ

高エネルギー物理学

- 素粒子標準理論

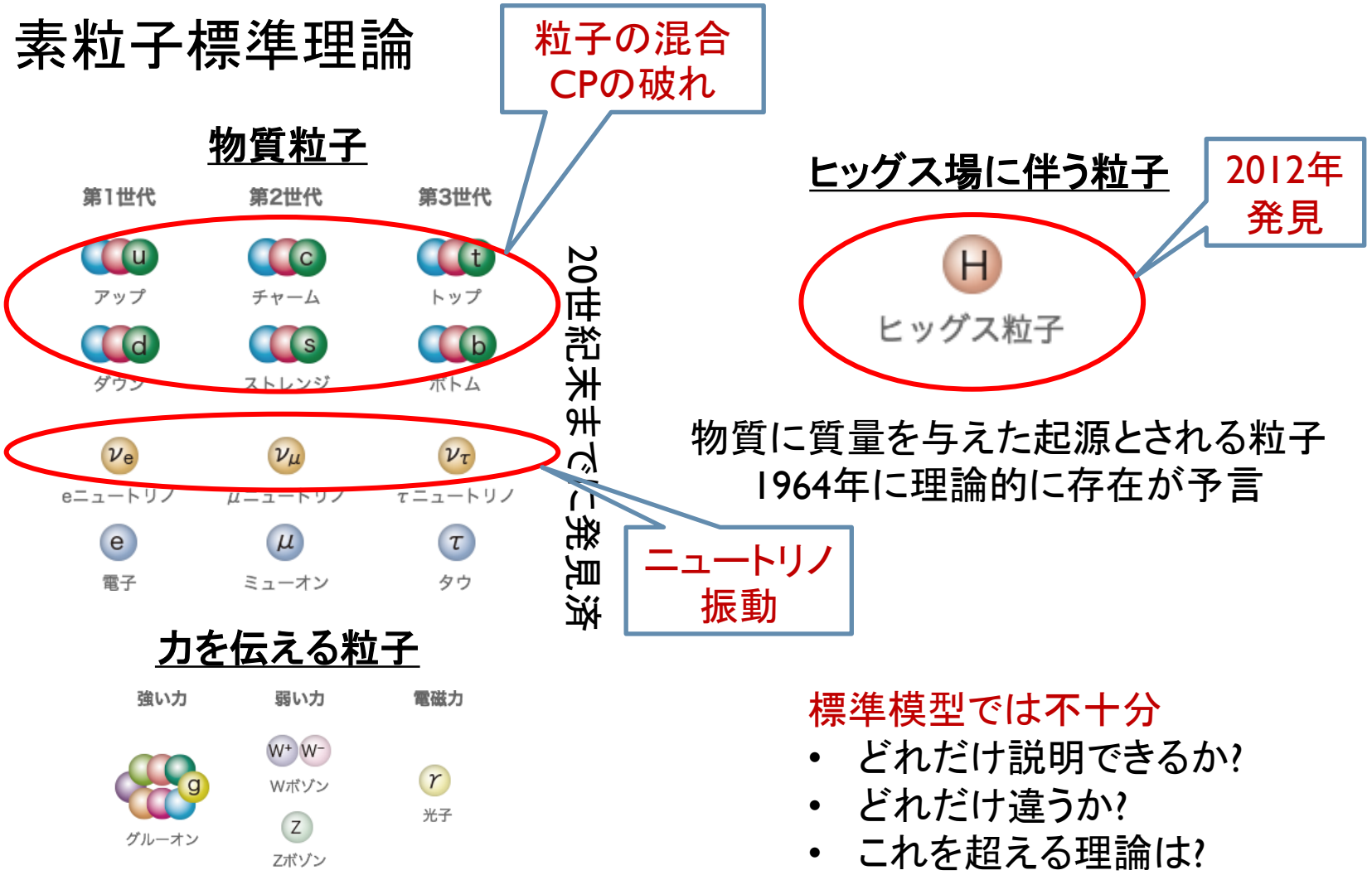
20世紀末までに発見済

ヒッグス場に伴う粒子

物質に質量を与えた起源とされる粒子
1964年に理論的に存在が予言

高エネルギー物理学

- 素粒子標準理論

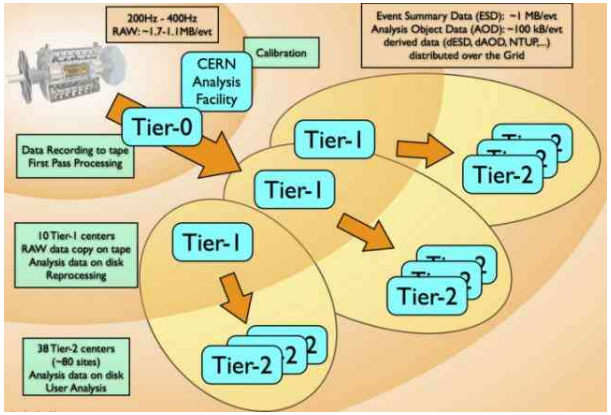


標準模型では不十分

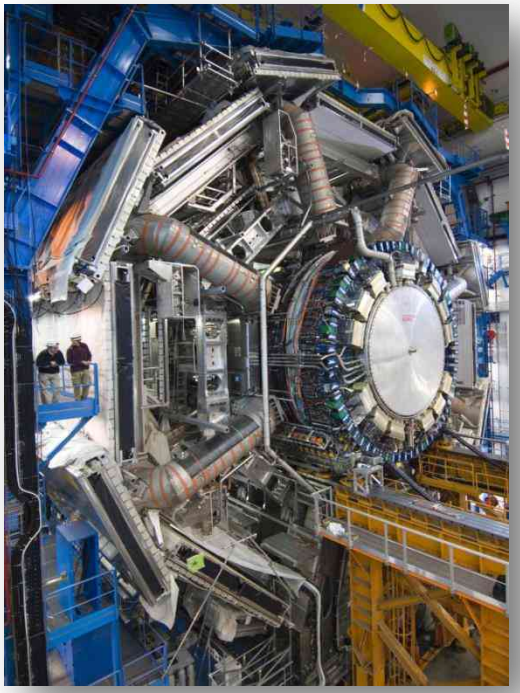
- どれだけ説明できるか?
- どれだけ違うか?
- これを超える理論は?

高エネルギー物理学とネットワーク

- 大規模国際共同実験
  - ～数十カ国、数千人
  - 実験施設の場所は限られるが、解析は世界中で
- データ
  - 実験データ
  - シミュレーションデータ（理論からの予測）
  - 既知の事実の分離
- ネットワーク
  - データの配布と解析
    - 広域分散システム : Grid + Cloud
  - 共同作業 : コミュニケーションツール
    - Web はもともとこの目的で作られた
    - ビデオ会議 :
      月350～400件(KEK多地点接続装置) + SeeVogh + Vidyo + Skype + 電話
- 大規模共同研究の方法に大きな変化



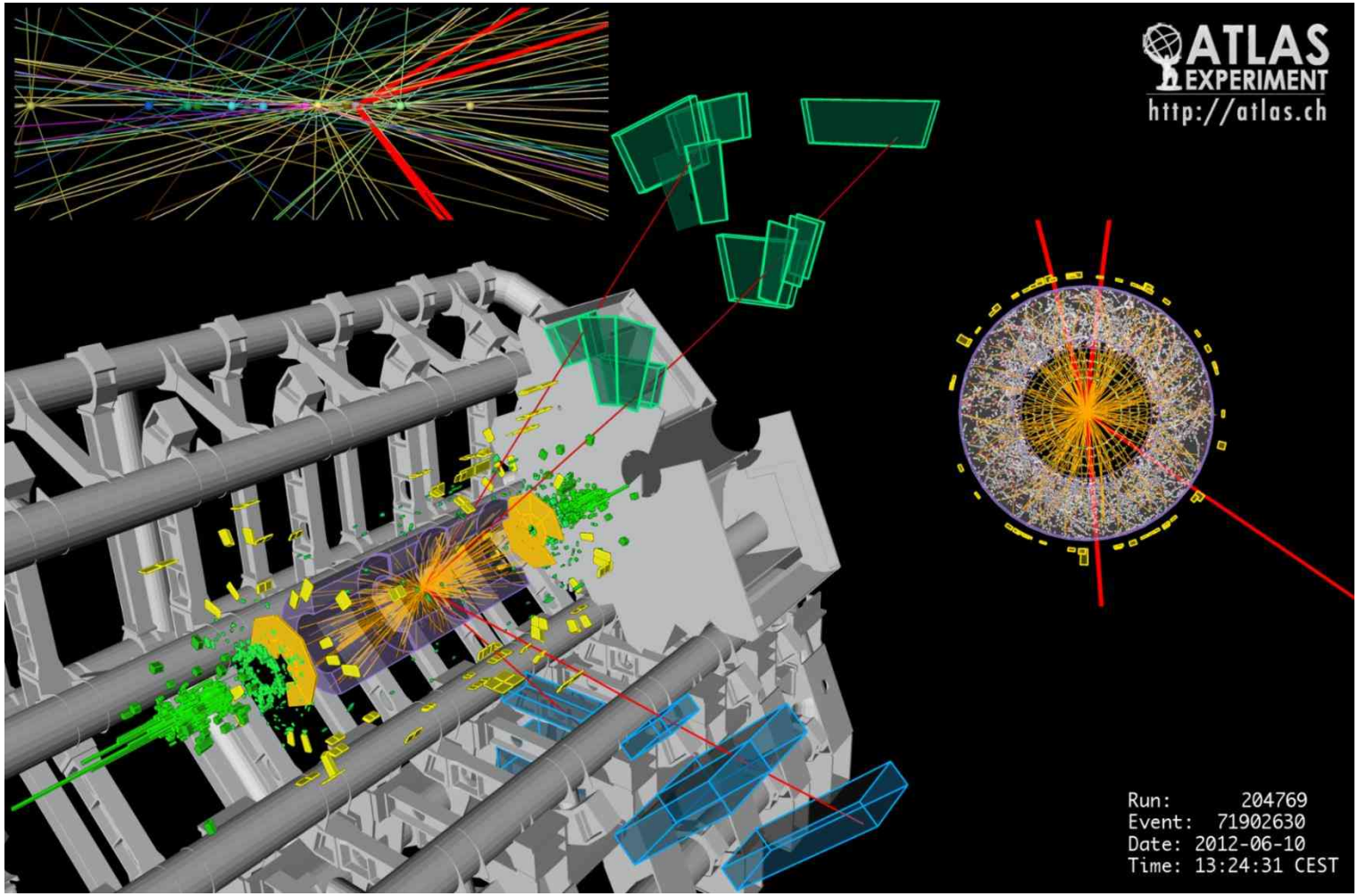
LHC 実験：LHC加速器とATLAS測定器



Large Hadron Collider (LHC)
ジュネーブ郊外
地下100m周長27kmのトンネル内に建設
重心系衝突エネルギー最大14TeV
ビームあたり362MJを貯め込む
大きさも衝突エネルギーも世界最大の加速器

ATLAS測定器
4箇所の衝突点に設置された4実験の1つ
~40か国から3,000人の研究者が参加
110Mチャンネルのセンサー読み出し
~1MB/事象，~1kHz，年間数10PB以上

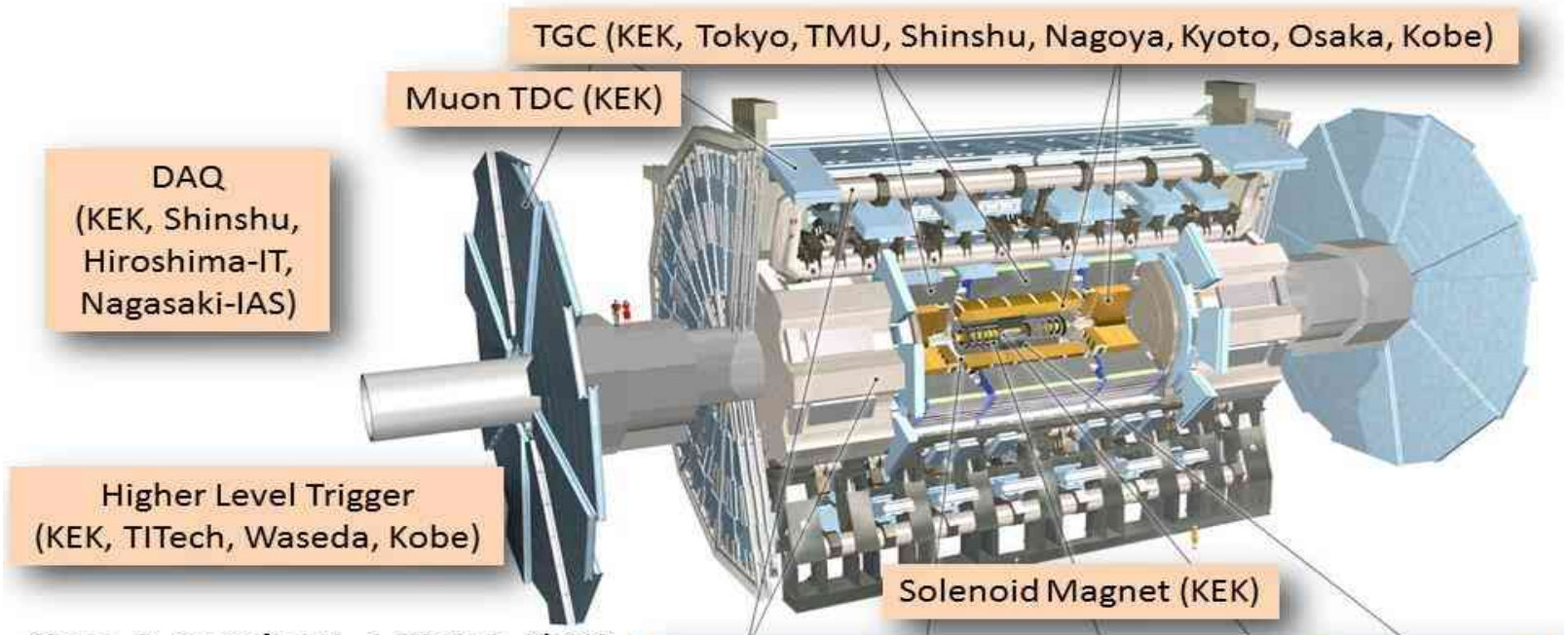
LHC 実験
2012年ヒッグス粒子の発見⇒2013年ノーベル賞



ヒッグス粒子の候補： H → ZZ → μμμμ

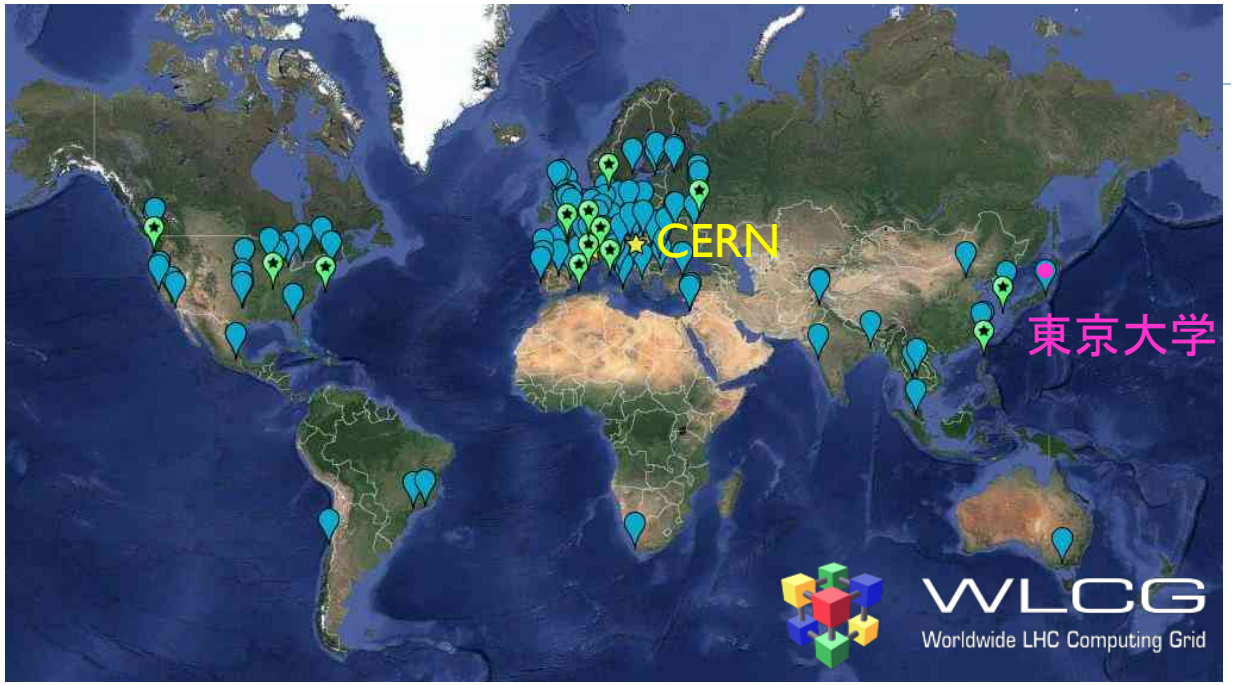
LHC 実験

ATLAS実験への日本グループの貢献



約170名の研究者と大学院生が参加
高エネルギー加速器研究機構
筑波大，東大，お茶大，早稲田大、東工大、首都大、
信州大、名古屋大、京都大、京都教育大、大阪大、
神戸大、岡山大、広島工大、九州大、長崎総科大
http://atlas.kek.jp/research/

Worldwide LHC Computing Grid



研究者は，自分のコンピューターからグリッドにアクセスすることにより，データや計算機の所在を意識することなく，即座に物理解析結果を得ることができる。

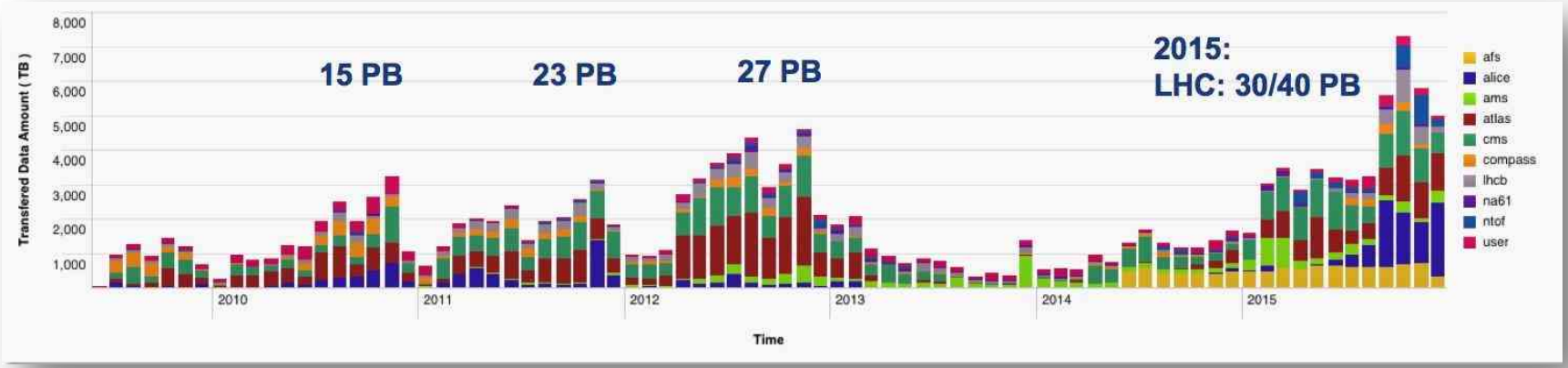
実験データの取得から物理解析結果を導くまで，パイプラインでの処理を可能とする仕組み。

40か国に点在する170の拠点が高帯域学術ネットワーク（10Gbps～100Gbps）で接続されている。
全体で50万個のCPUと50PBのディスクストレージが利用でき，常時200万のデータ解析とシミュレーションが実行されている。（CERNの計算機の割合は全体の10%程度）

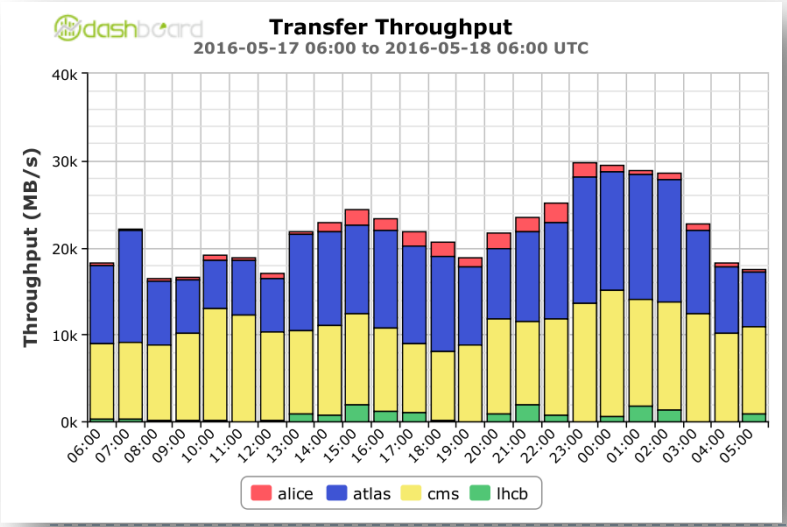
東京大学素粒子物理国際研究センターに配備するATLAS実験用のグリッド拠点

LHC：実験データ量と転送の規模

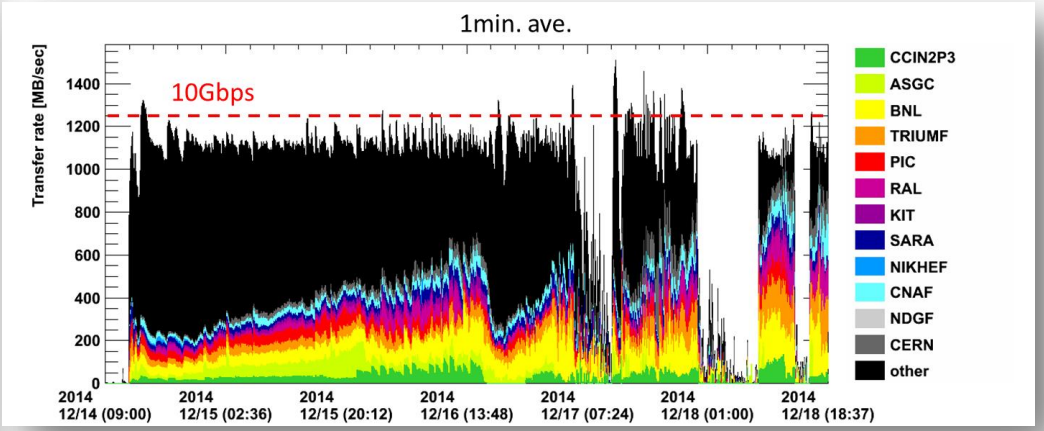
CERNに記録されたデータ量（今後さらに増加）



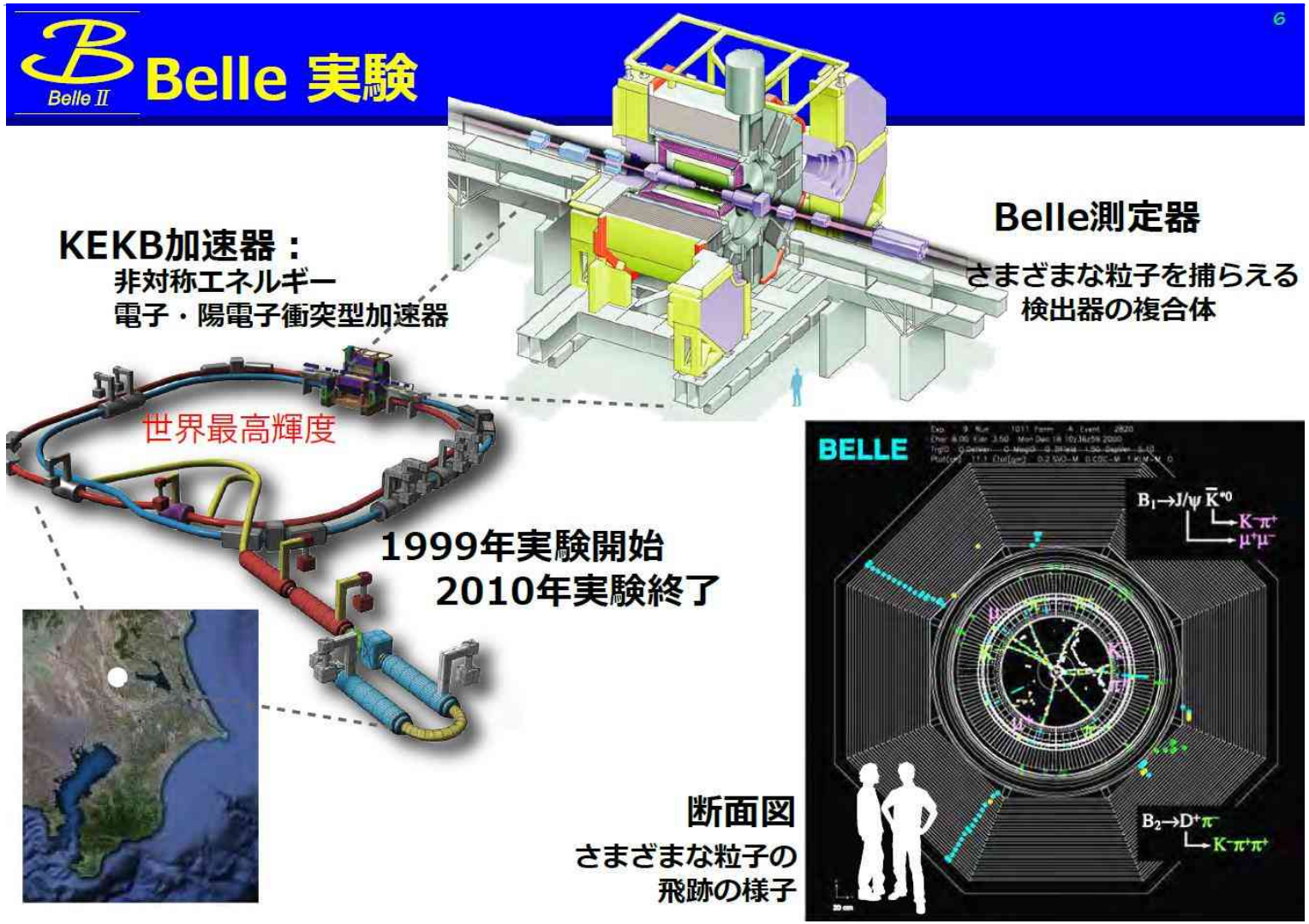
全グリッド拠点間でのデータ転送
（240Gbpsに到達）



世界中のグリッド拠点から東京大学へのデータ転送
（10Gbpsでは限界に到達）



Belle 実験

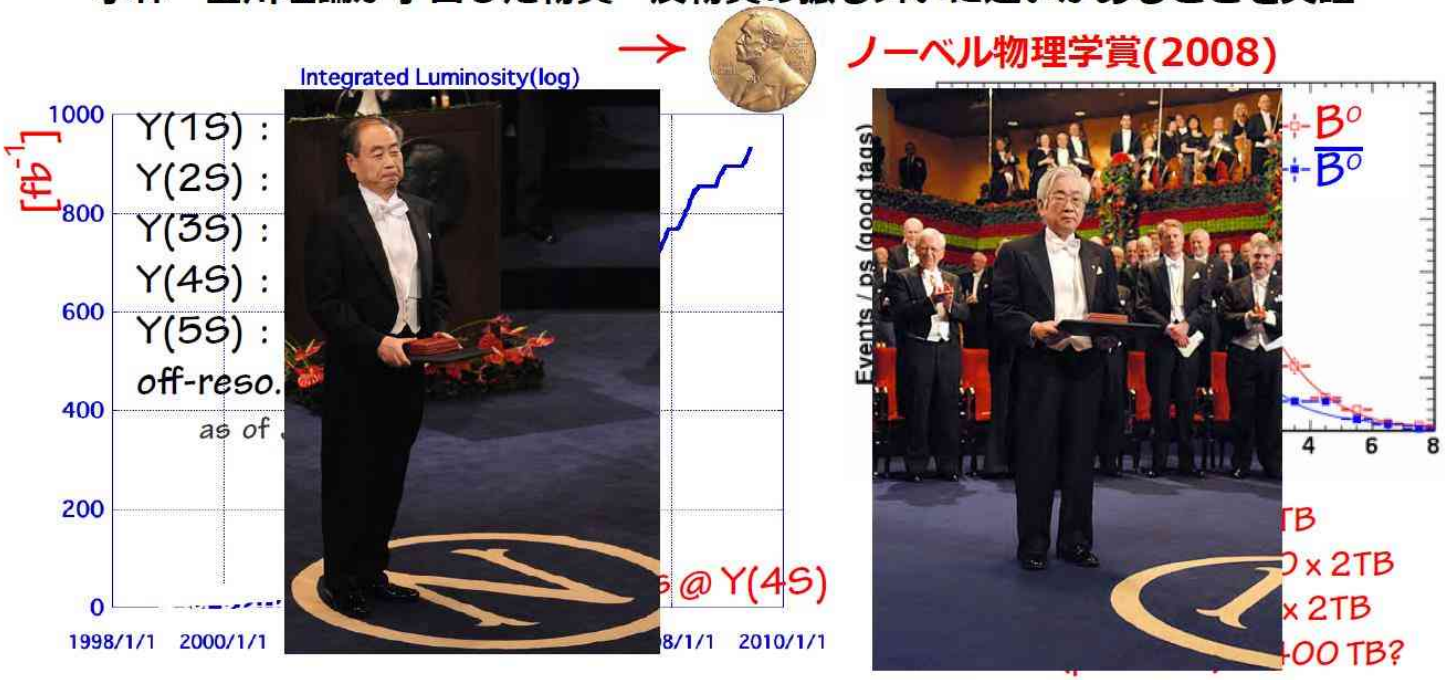

Belle II
Belle 実験
6
KEKB加速器：
非対称エネルギー
電子・陽電子衝突型加速器
世界最高輝度
1999年実験開始
2010年実験終了
Belle測定器
さまざまな粒子を捕らえる
検出器の複合体
BELLE
$B_1 \to J/\psi \bar{K}^{*0}$
$K^-\pi^+$
$\mu^+\mu^-$
$B_2 \to D^+\pi^-$
$K^-\pi^+\pi^+$
断面図
さまざまな粒子の
飛跡の様子

原隆宣

Belle 実験

Belle 実験結果

小林・益川理論が予言した物質・反物質の振る舞いに違いがあることを実証

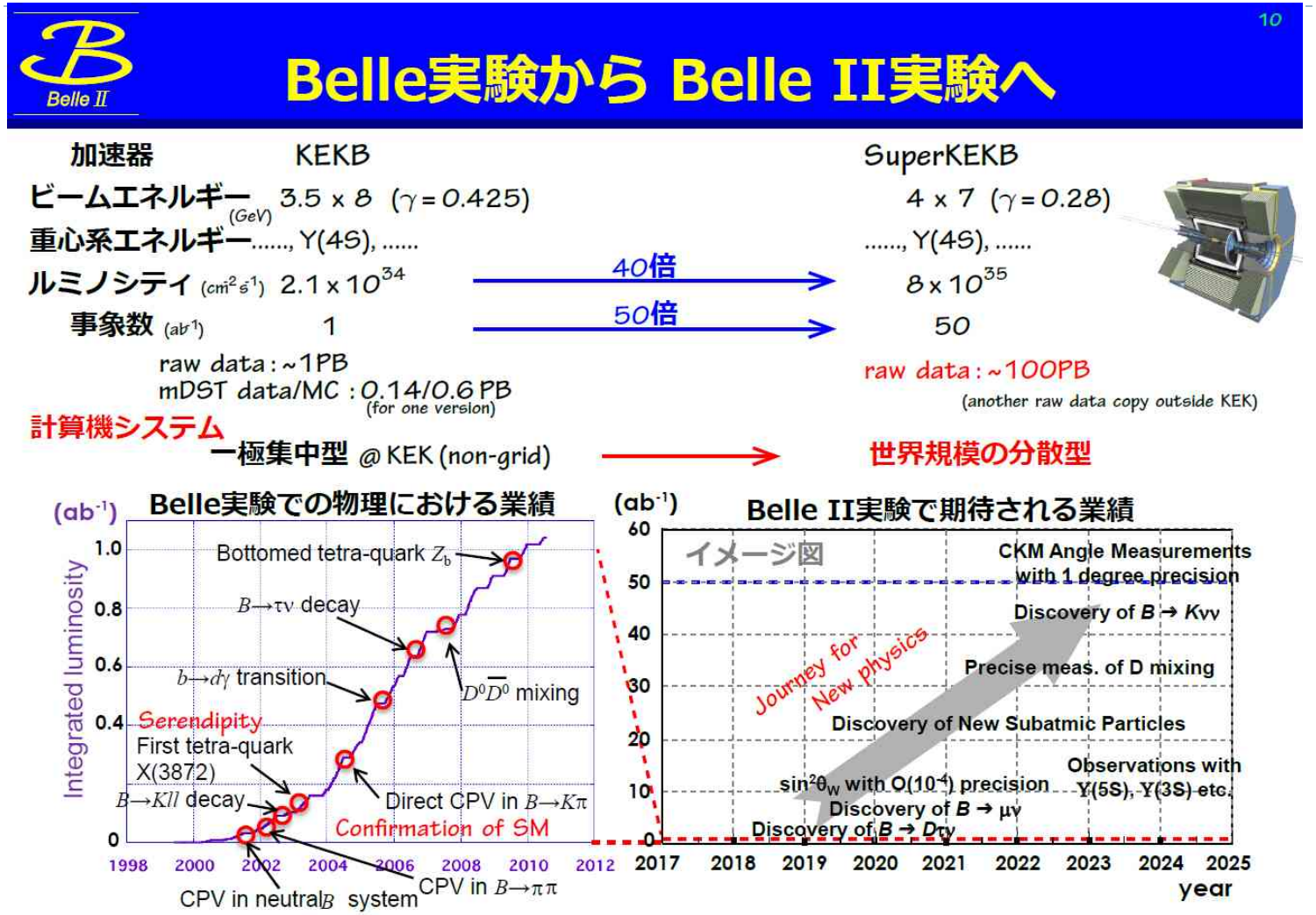


→ ノーベル物理学賞(2008)

この他にも、クォーク4個からなる新粒子の発見、希崩壊、タウの物理など

原隆宣

Belle II 実験

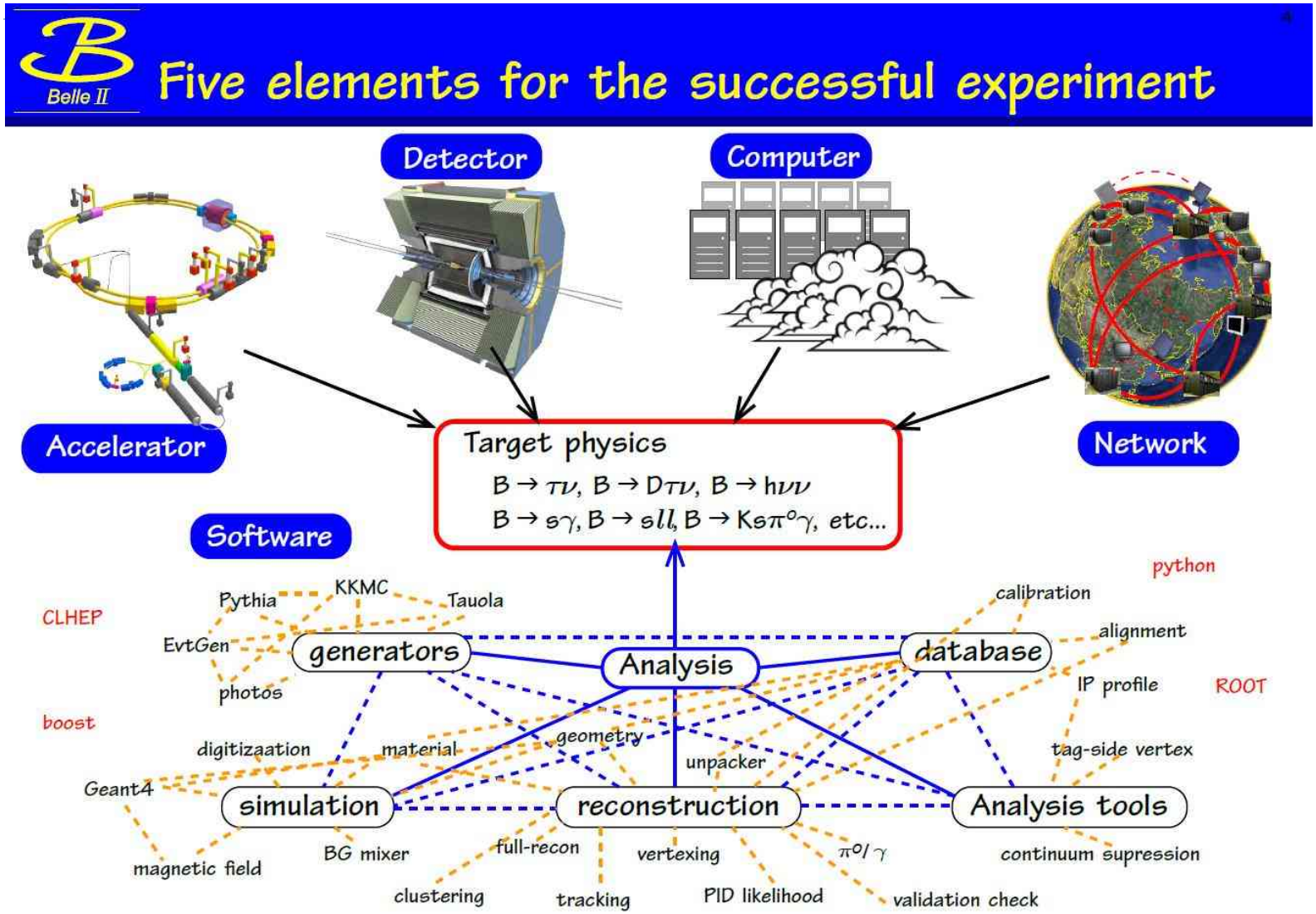


原隆宣

Belle II 実験

原隆宣

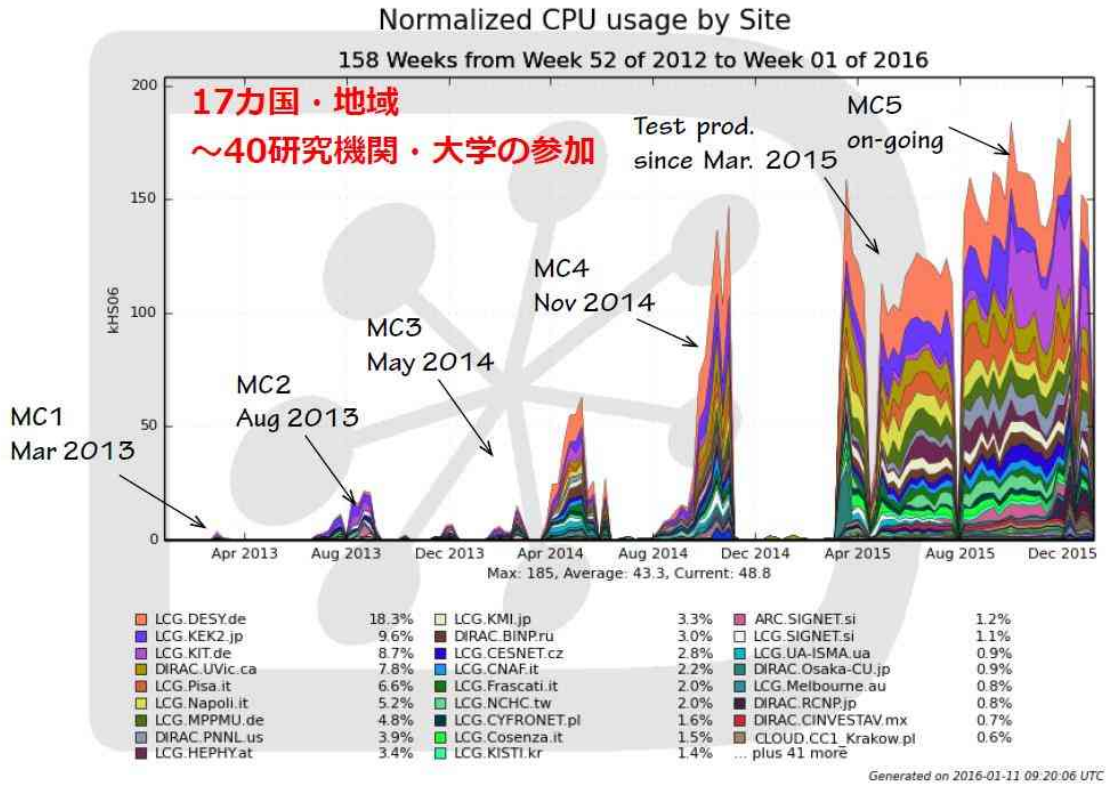
BelleII 実験



原隆宣

Belle II 実験

Belle II におけるシミュレーション作成

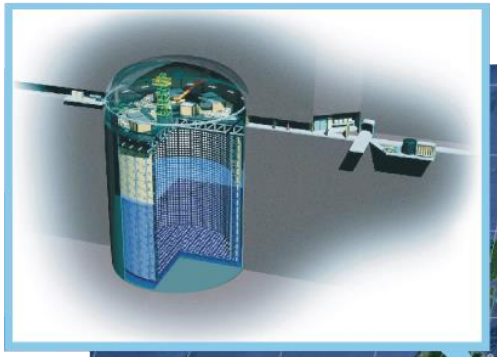


原隆宣

さらに計算資源を増加していく努力が必要。　国内外で様々な可能性を追求している。

T2K：東海-神岡ニュートリノ振動実験

Tokai to Kamioka



Super-Kamiokande
(ICRR, Univ. Tokyo)

茨城県東海村の
ニュートリノ実験施設で
人工的に作った
大量のニュートリノを

Neutrino Facility
at J-PARC
(KEK-JAEA, Tokai)

スーパーカミオカンデ
(大きな検出器)で検出

飛行中に起こる「ニュートリノ振動」を研究して、
素粒子の世界の法則や物質創成の謎を探求する

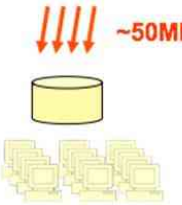
坂下健

2016/5/25

T2K 実験

スーパーカミオカンデでのデータ取得

検出器からデータ：ヒット情報 + 時刻
（太陽ニュートリノ、大気ニュートリノ、陽子崩壊、
J-PARCからのニュートリノによる信号が混じったもの）



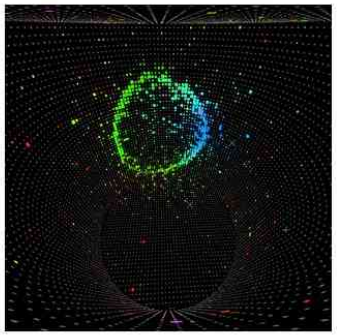
ビーム時刻+ニュートリノ飛行時間で
データをセレクト
→ T2K実験のデータとして保存

J-PARCニュートリノビームは、
1~2.5秒毎に生成。
このときの時刻情報データ(~1kB)を
SINET5を利用してリアルタイムで神
岡に送る

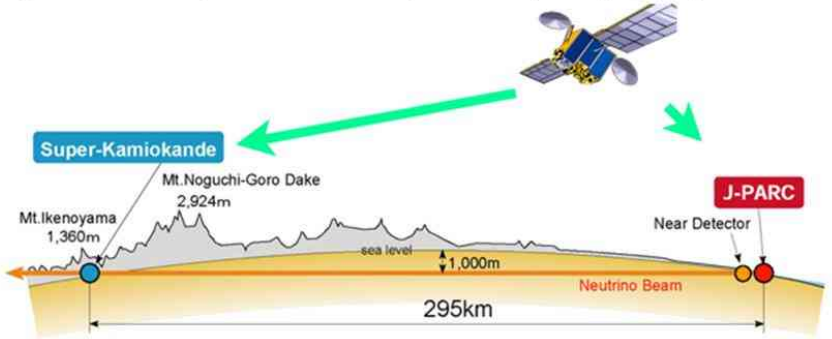
坂下健

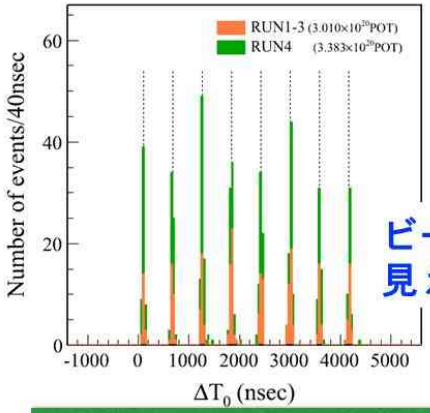
T2K 実験

スーパーカミオカンデでのデータ取得



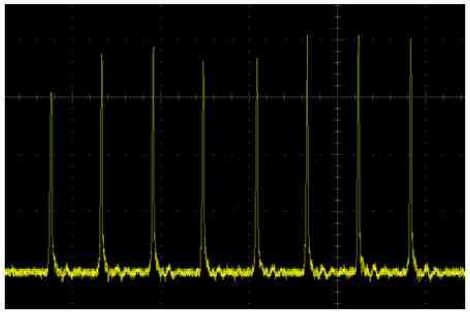
スーパーカミオカンデでの
ニュートリノイベントとその時間分布





**ビームの時間構造が
見えている!**

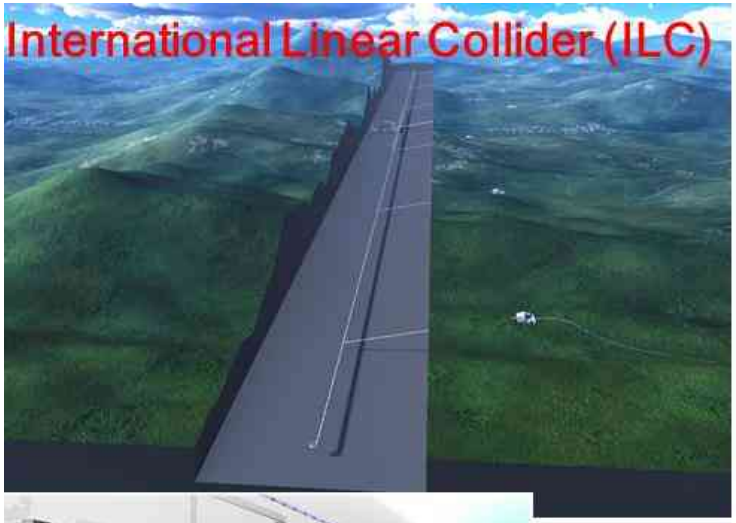
J-PARCビームの時間構造:
5マイクロ秒の間に8つの固まり



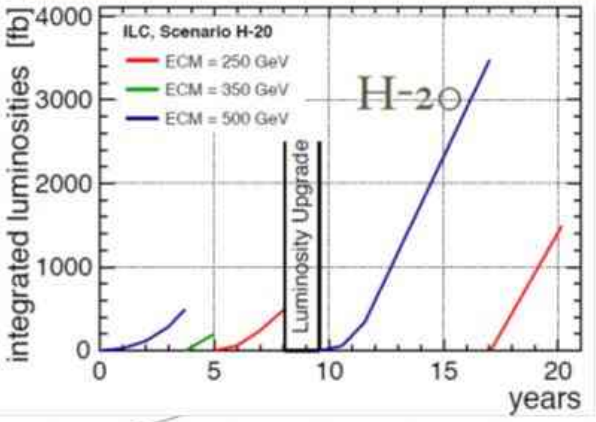
SINET5を利用した時刻データのリアルタイム転送により
J-PARCからのニュートリノイベントの測定が実現できている

坂下健

ILC(International Linear Collider) 計画



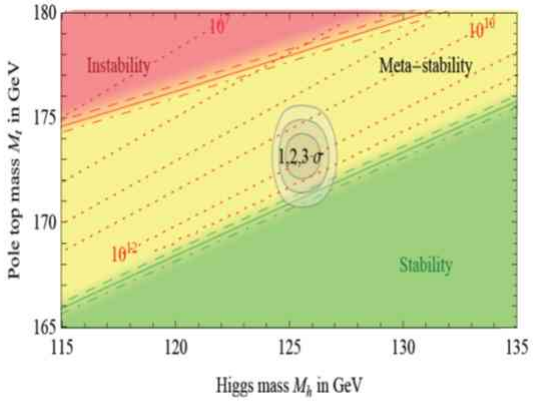
4 ab^{-1} in 20 years with pol. beams
Extendable to ~ 1000 GeV



宮本彰也

ILC(International Linear Collider) 計画

ILC実験の目的



- 標準模型はヒッグス粒子の発見(2012)で完結した。
- が、ヒッグスだけでは不自然。多数の標準模型を超える模型が提案されている。新粒子も！
  超対称性、余剰次元、新しい力、…
  ダークマター、…

ILCの物理の2本柱

ヒッグス、トップクォーク、W, Z 等をかつてない精度で測定し、標準模型を超える物理の兆候を探す。

超対称性粒子などの新粒子を探す。バックグランドが少なく、微弱な信号（電弱相互作用Only)にも感度有。

→ 新物理

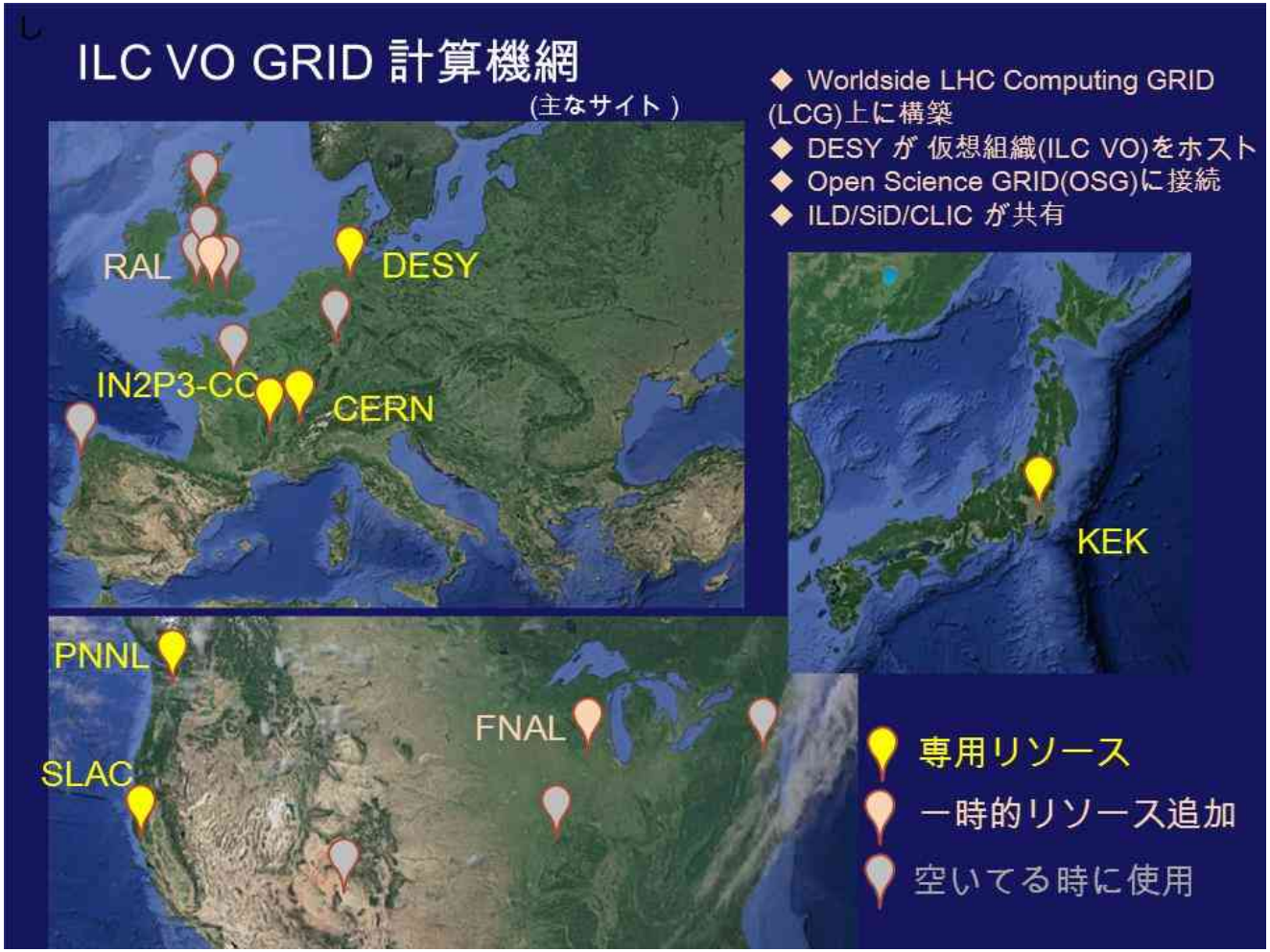
電子・陽電子コライダーの特徴

- ◆ 衝突エネルギーの無駄がない。➔ バックグランドが少ない、綺麗なイベント
- ◆ よくわかった初期状態(エネルギー、ビーム偏極)➔ 理論の精密な検証
- ◆ Duty cycle: 1ミリ秒/200ミリ秒@5Hz ➔ 高密度読み出し(大データ量/イベント）

陽子陽子コライダー(LHC)と電子陽電子コライダー(ILC)が相補的に素粒子物理を推進

宮本彰也

ILC(International Linear Collider) 計画



シミュレーション研究：GRID上で実施

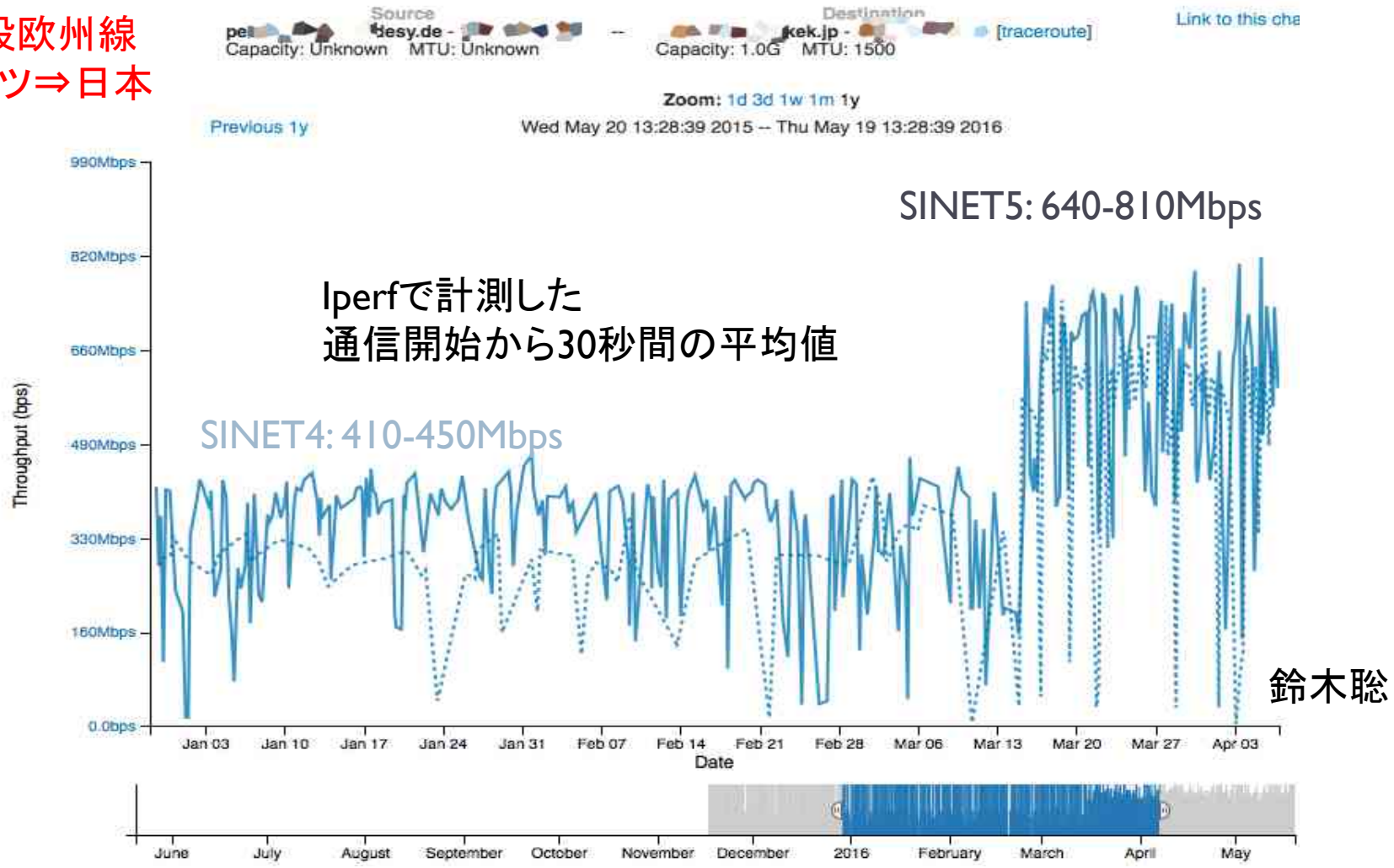
宮本彰也

SINET5：遅延(Round Trip Time)の変化

新設欧州線
ドイツ⇒日本

SINET5：通信性能の向上

新設欧州線
ドイツ⇒日本



鈴木聡

まとめ

- 高エネルギー実験
  - SINET なしには、高エネルギー物理学実験（大規模国際共同研究）は成り立たない
  - ネットワークインフラ：国際競争力の不可欠な要素
    - 大規模データ共有、コミュニケーションツール
  - 充実した国内ネットワーク
  - 国際ネットワーク：対米、対ヨーロッパ、対アジア
  - 特に HLC 実験、Belle II 実験など

- データストレージ + CPU：グリッド、クラウド
  - データの局所的存在 ⇒ 偏在化
  - 大量データと高速ネットワークと計算システムはともにある
  - セキュリティ対策も重要

- SINET5
  - 既に性能向上を確認。

今後も引き続きご支援をお願いいたします。