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

物質粒子

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

力を伝える粒子

高エネルギー物理学

素粒子標準理論

物質粒子

粒子の混合
CPの破れ

20世紀末までに発見済

ヒッグス場に伴う粒子

2012年
発見

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

ニュートリノ
振動

力を伝える粒子

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: $H \rightarrow ZZ \rightarrow \mu\mu\mu\mu$

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

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

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

8

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)

Belle II 実験

Belle II Belle実験から Belle II実験へ

10

加速器	KEKB	SuperKEKB
ビームエネルギー	3.5×8 ($\gamma = 0.425$)	4×7 ($\gamma = 0.28$)
重心系エネルギー	, $Y(4S)$,	, $Y(4S)$,
ルミノシティ	2.1×10^{34} ($\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$)	8×10^{35}
事象数	1	50
raw data	$\sim 1 \text{PB}$	$\sim 100 \text{PB}$
mDST data/MC	$0.14/0.6 \text{PB}$ (for one version)	(another raw data copy outside KEK)

計算機システム

一極集中型 @ KEK (non-grid) $\longrightarrow$ 世界規模の分散型

原隆宣

Belle II 実験

Belle II Collaboration

23 countries/region
98 institutes
686 colleagues

c.f.
ATLAS: 38 countries, 177 institutes, ~3000 members
CMS: 42 countries, 182 institutes, 4300 members
ALICE: 36 countries, 131 institutes, 1200 members
LHCb: 16 countries, 67 institutes, 1060 members

as of Feb. 23, 2016

Asia: ~44%	N. America	Europe: ~40%
Japan: 156	: ~16%	Germany: 96
Korea: 37	US: 75	Italy: 69
Taiwan: 20	Canada: 26	Russia: 44
India: 33	Mexico: 10	Slovenia: 18
China: 22		Austria: 13
Australia: 26		Poland: 12
Malaysia: 7		Czech rep.: 6
others: < 6 colleagues / country

原隆宣

BelleII 実験

Five elements for the successful experiment

原隆宣

Belle II 実験

Belle II におけるシミュレーション作成

20

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)

295km

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)

約840MB/秒

~50MB/秒

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。バックグラウンドが少なく、微弱な信号 (電弱相互作用 Only) にも感度有。

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。→ バックグラウンドが少ない、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)

宮本彰也

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

ILC(International Linear Collider) 計画

ILC VO GRID 計算機網
(主なサイト)

- ◆ Worldside LHC Computing GRID (LCG)上に構築
- ◆ DESY が 仮想組織(ILC VO)をホスト
- ◆ Open Science GRID(OSG)に接続
- ◆ ILD/SiD/CLIC が共有

- 専用リソース
- 一時的リソース追加
- 空いてる時に使用

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

Source: **esys.de** Destination: **kek.jp** [traceroute]
Capacity: Unknown MTU: Unknown Capacity: 1.0G MTU: 1500

[Link to this chart](#)

Zoom: 1d 3d 1w 1m 1y

Wed May 20 13:28:39 2015 -- Thu May 19 13:28:39 2016

[Previous 1y](#)

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。