

東日本大震災での津波の被害像と
今後の減災への課題

—津波数値シミュレーションへの
現状と期待—

東北大学大学院工学研究科附属
災害制御研究センター
今村 文彦

東日本大震災での津波の被害像と今後の減災への課題 -津波数値シミュレーションへの現状と期待-

今村 文彦

東北大学大学院工学研究科附属災害制御研究センター津波工学研究分野

[アブストラクト]

2011 年 3 月 11 日、宮城県沖を震源としたマグニチュード 9 の巨大地震および津波が発生した。この地震は「東北地方太平洋沖地震」と気象庁により命名され、我が国での歴史上最大の規模であり、沿岸各地で壊滅的な被害を受けた。今回の大震災を人的・物的被害の面から考えると、津波による被害が圧倒的に広かつ甚大であった。本講演では、現在までの調査で判明されつつある津波被害の実態と多くの教訓を紹介したい。また、各地域での以前の津波規模や被害の評価、当時の気象庁による津波警報と避難の状況などを説明する。これらの基礎である想定津波被害の手法や数値シミュレーション方法などを紹介しながら、次世代スパコンなどを利用した、今後の津波減災への取組への課題や展望を議論したい。

[キーワード]

巨大津波、東日本震災、津波数値シミュレーション、警報システム、被害実態

1 はじめに

2011 年 3 月 11 日 14 時 46 分頃、三陸沖で発生した M9.0 の地震と巨大津波は、宮城県、岩手県、福島県を中心に青森県、茨城県、千葉県、東京都まで広範囲に戦後最大の被害をもたらした。「東北地方太平洋沖地震」と命名されたこの地震では、宮城県北部で震度 7 を観測し、津波については、験潮所の機器が破壊されて正確な高さは記録されていないが、被害跡から 10m を超える大津波が襲ったものと推測されている。被害を受けた地域はこれまでも津波被害を経験しており、岩手県宮古市田老地区には、1933 年の昭和三陸津波を受けて高さ 10m、総延長 2.4km にわたる防潮堤が築造されるなど防災意識も高く、8m を想定した津波に対する防災訓練も実施されていた。

2 地震と津波の発生

震源は宮城県沖であり、想定されている地震の少し沖に位置していた。当初は、福島県、宮城県、岩手県沿岸を中心での活動であったが、すぐに、北は青森、南は茨城・千葉方向に広がり、現在の余震の分布も、東北・関東地方での太平洋沖の広範囲に至っている。主な断層活動の範囲は、南北約 500km 東西約 200km であると推定されている。過去この地域は、三陸沖、宮城県沖、福島県沖、海溝沿い、など個別地域でそれぞれ評価されていたが、今回、一気に連動し超巨大地震が発生したことになる。

東北および関東での太平洋沖は、過去においても津波を伴う地震が発生し、被害を繰り返してきた地域である。代表的な地震・津波としては、1611 年慶長、1896 年明治、1933 年昭和などが挙げられる。特に、1896 年明治三陸地震による津波では、地震による揺れが小さいにも関わらず、最大遡上高さ 38m を記録し、当時で 2 万 2 千名の犠牲者を出した。「TSUNAMI」という日本語が世界語になった理由の 1 つでもある。大被害の後には、沿

岸各地で復旧・復興が図られるが、高地移転しても元の場所に戻るなど、数十年後さらには数百年後には、津波による大災害を受けることを繰り返してきた歴史がある。

3 津波工学の目指す課題

本研究分野は、広域での津波災害を軽減するために、環太平洋での総合的な防災対策・技術を開発することを目的としている。現在、近地・遠地津波の予警報のために数値シミュレーションを実施しているが、短時間での予測精度には課題が残されている。そのため、リアルタイム津波監視・予測システムを検討しており、現在精力的に整備されつつある高密度な津波観測網をネットワーク化し、数値シミュレーションモデルと融合させることにより、リアルタイム予測手法の画期的な高精度化・高速度化を図る。これらは次期津波予警報手法の一翼を担い、人的被害の軽減に貢献できると期待できる。

さらに、人間活動の変化により変貌が予想される直接災害・2次災害更に複合的な災害を推定・予測できる手法を新たに開発し、防災対策に活用できるシステムの構築を目指している。視覚・聴覚などの認知科学を導入した人間避難行動システムや、沿岸開発・土地利用、警報システムなどを組み合わせた、多層構造を持つ総合的な津波防災システムであり、従来研究されている通常の地震原因の津波だけを対象とせず、「津波地震」や地滑り・火山・隕石などによる非地震性津波の発生機構の解明とモデル化を行い、これらの津波に対しても再現・予測できる手法を開発している。また、堆積学的アプローチによる歴史津波の検証方法の開発も行い、従来困難であった津波の再来周期の推定を試みている。

4 今回の大災害

今回の津波規模はまだ不明な点が多いが、恐らく我が国での史上最大の規模であり、これに伴う災害は最悪となると思われる。津波の浸水に伴う、沿岸構造物・防潮林・家屋・建物・インフラへの被害、浸食・堆積による地形変化、破壊された瓦礫・沖合での養殖筏・船舶などの漂流、さらには可燃物の流出と火災、道路・鉄道(車両も含む)など交通網への被害、原子力・火力発電所など施設への影響など、現在想定される津波被害のほぼすべてのパターンが発生したと考えられる。

海岸域での防潮林の減災効果を評価し、津波波力低減、漂流物抑止、人命救助などの多彩な機能が見直され、柵などを設置した強化策も実施されていた(宮城県)。ただし、宮城県が想定した高さの約3倍の津波は、防潮堤や防潮林を越え集落を襲った。今回、想定を遥かに上回る津波により、様々な防災機能は十分発揮できなかったが、一定の役割は果たしており、今後、どのような組み合わせで何を強化するかを長期的な視点で評価する必要がある。

5 今後に向けて

巨大津波にどのように対峙できるか?をまとめたい。従来、ハード対策が中心であり、地域を守る要として位置づけられた。しかし、その限界もあり、これを超える部分をソフト対策(情報、避難、啓発・意識高揚)でカバーしようとしてきた。最後に、津波災害に強いまち作りを推進してきたが、このプロセスを変える必要がある。いずれにおいても津波工学の技術(予測、情報、減災システム、避難体制、防災教育)が不可欠であり、数値シミュレーションへの期待は大きい。

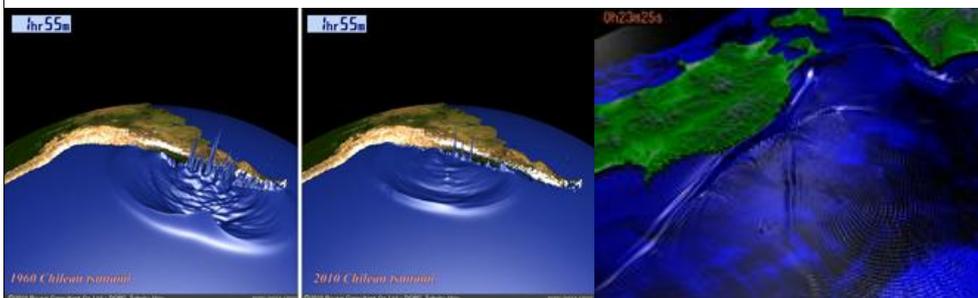
以上

東日本大震災での津波の被害像と 今後の減災への課題

—津波数値シミュレーションへの現状と期待

2011年8月25日 サイエнтиフィック・システム研究会
今村文彦

東北大学大学院工学研究科附属
災害制御研究センター—津波工学研究分野



1

背景と目的

2

基盤となる取組（科学・技術）

- 明治時代 地震津波のメカニズム議論
- 検潮（津波）観測始まる（科学的なデータ）
- 1952 日本で津波警報システム始まる（地震規模）
- 1960 チリ沖地震津波（国際警報システム，沿岸防災施設整備）
- 1983 日本海中部地震津波（警報10分以内に）
- 1993 北海道南西沖地震津波（警報5分以内に）
- 1980年代 数値シミュレーション技術発達
- 1990 ハザードマップ作成，海底津波計，GPS波浪計観測開始
- 1999 気象庁量的予報始まる（データベース）
- 2000年以降 スマトラ地震・インド洋津波，ハイチ，チリ沖
- 2011年 東日本大震災（リアルタイム観測）

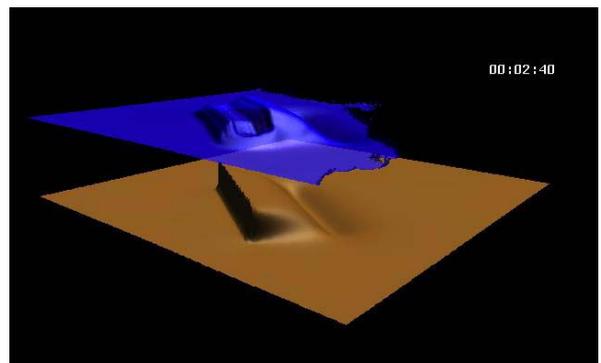
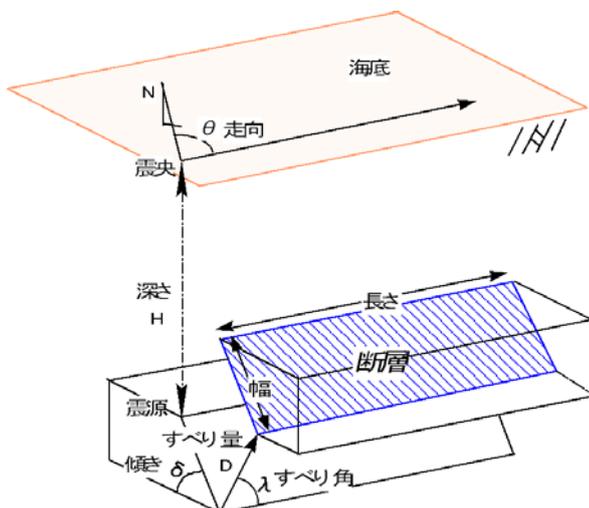
3

津波の発生モデル（断層運動）

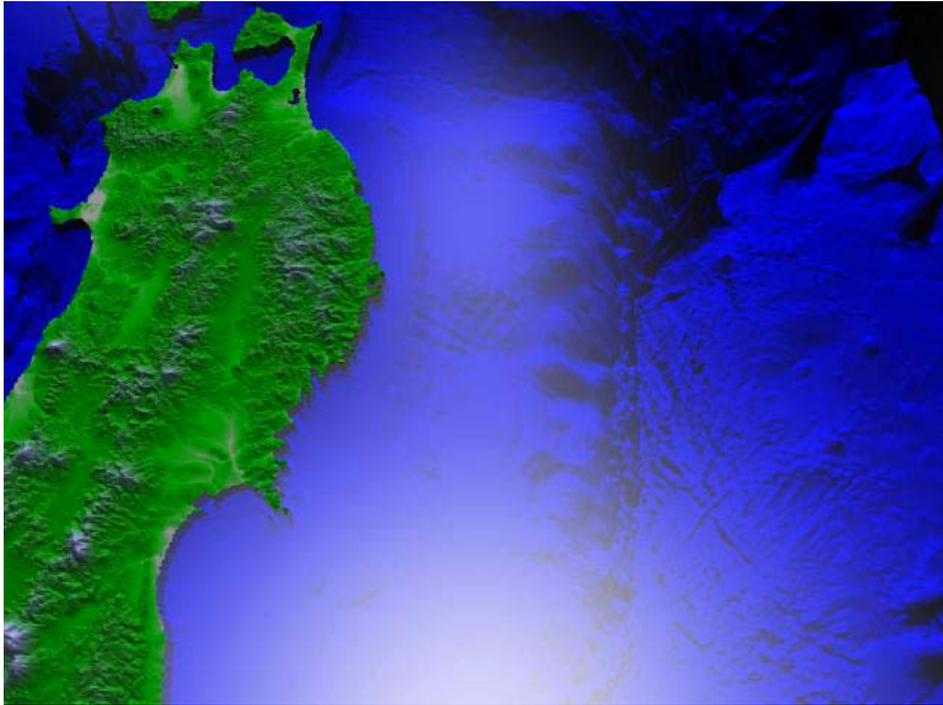
A fault movement is described by its location including its depth,

- Mechanical characteristics; (strike, dip- and slip-angles of the fault plane),
- Geometrical characteristics (length, width and dislocation of the fault plane), and
- Dynamic characteristics (rupture direction, rupture velocity and rise time of the fault movement).

- Earthquake magnitude
- Depth of the fault
- Length and width of the fault plane
- Strike and dip angle of the fault plane
- Dislocation and slip angle



三陸沖での津波数値予報に向けて



5



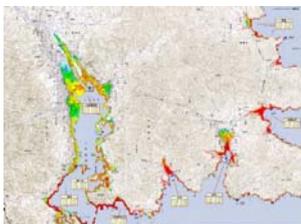
東北大学

現在の津波警報と課題

地震発生後の津波による人的被害・2次被害を軽減できる



気象庁による量的津波警報



詳細地形データによる浸水再予測



複合津波災害

■ 気象庁の量的津波警報システム(世界最先端)

- ・日本近海に4000箇所地震断層
- ・10万件のデータベース化
- ・66予報区ごとに津波の高さ情報(ほぼ都道府県ごとの量的予報)



1. 精度の向上: データベースは予めの想定
現実の地震現象とは違う=>リアルタイムシミュレーションは不可欠
2. 津波高さではなく浸水域(非線形+詳細地形)が不可欠(時空間マルチスケール)
3. 新しい津波被害(複合マルチフィジックス)の予測が不可欠
4. 情報の発信: 受け手の情報認知が大切, 避難行動シミュレーション

予測(津波警報)の現状

遠地津波の事例

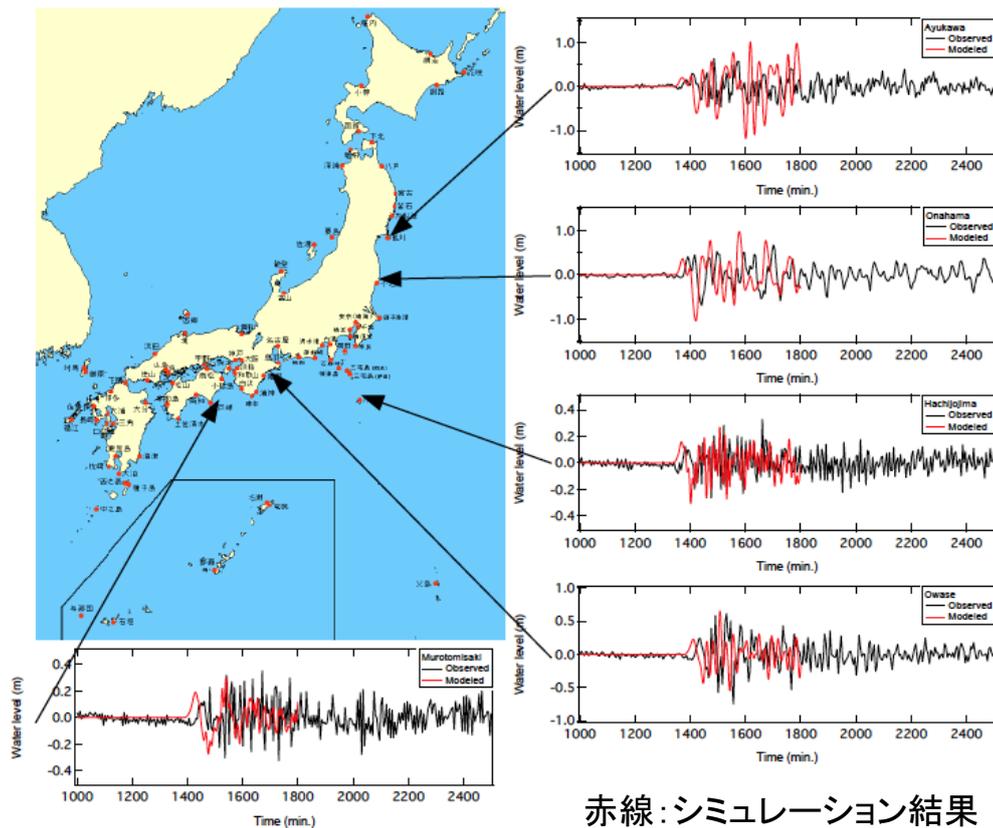
7

2010年チリ中部沿岸の地震発生から津波警報 発表まで

- **2月27日**(日本時間)
 - 15:34 チリ中部沿岸でM8.8の地震発生
 - 16:00 遠地地震に関する情報(地震発生について)
 - 17:32 遠地地震に関する情報(チリ沿岸で1m越えの津波)
 - 19:00 記者会見(第1回)(日本到達は明朝13時頃、津波警報～注意報を想定。警報等の発表は2時間前までに)
 - この間、津波シミュレーションを適宜実施、日本への津波の影響を評価
 - 遠地地震に関する情報にて、海外で観測された津波の状況を適宜発表
- **2月28日**
 - 08:30 記者会見(第2回)(9時30分に津波警報(東北北部には大津波)発表
 - 表予定、1960年チリ津波時には後続波が高くなっていた)
 - 09:33 津波警報発表

8

沿岸での比較検討



赤線: シミュレーション結果
黒線: 実測結果

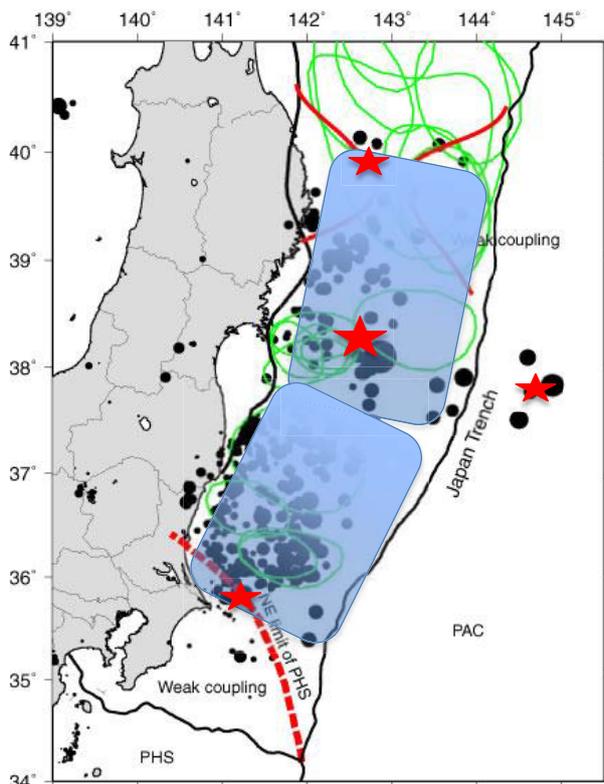
11

2011東日本震災での津波災害

12

本震と余震活動

- 本震M9.0
(14:46)500kmx200km記録
上最大規模
- 直後に(多段階)
 - 三陸沖M7.5(15:08),茨城県
沖M7.3(15:15),海溝沿い
M7.4(15:25)
- 余震活動の推移
 - 福島・茨城・房総沖に,
 - 長期渡る余震活動
 - 北・南, 沖への連動?



東北大学・地震噴火予知, 内田助教

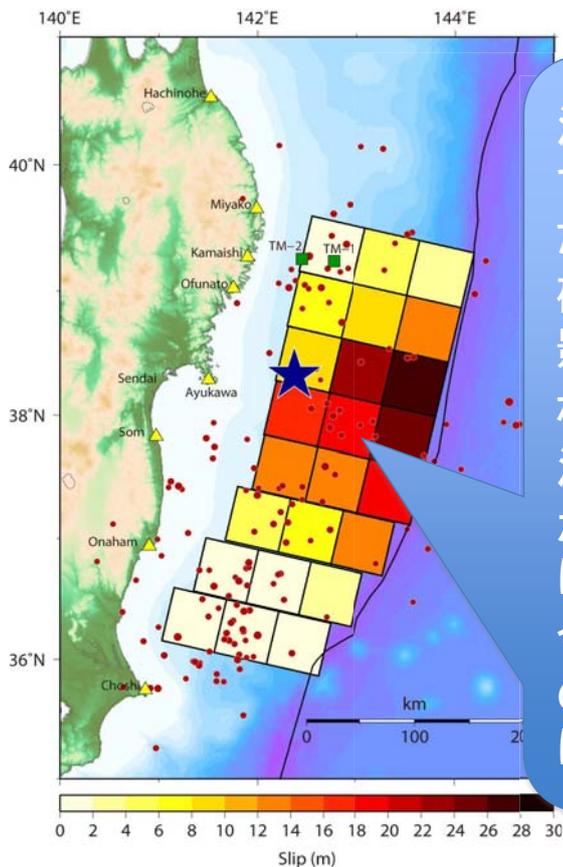
http://www.aob.geophys.tohoku.ac.jp/info/topics/20110311_news/index_html

13

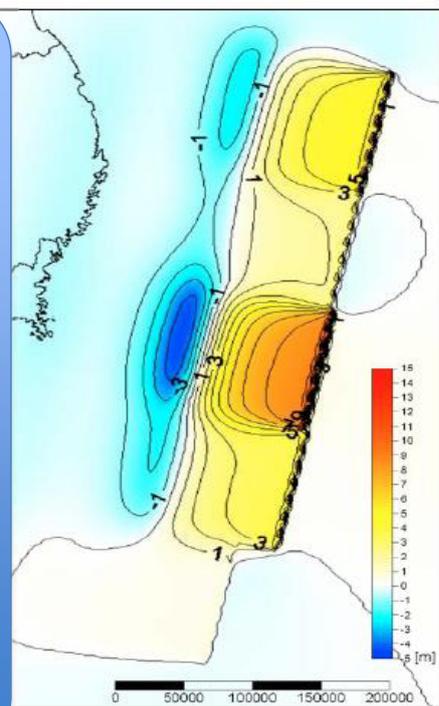
発生した地震と津波(断層モデル)

Example of faults model for tsunami(Fujii&Satake,2011)

http://iisee.kenken.go.jp/staff/fujii/OffTohokuPacific2011/tsunami_ja.html

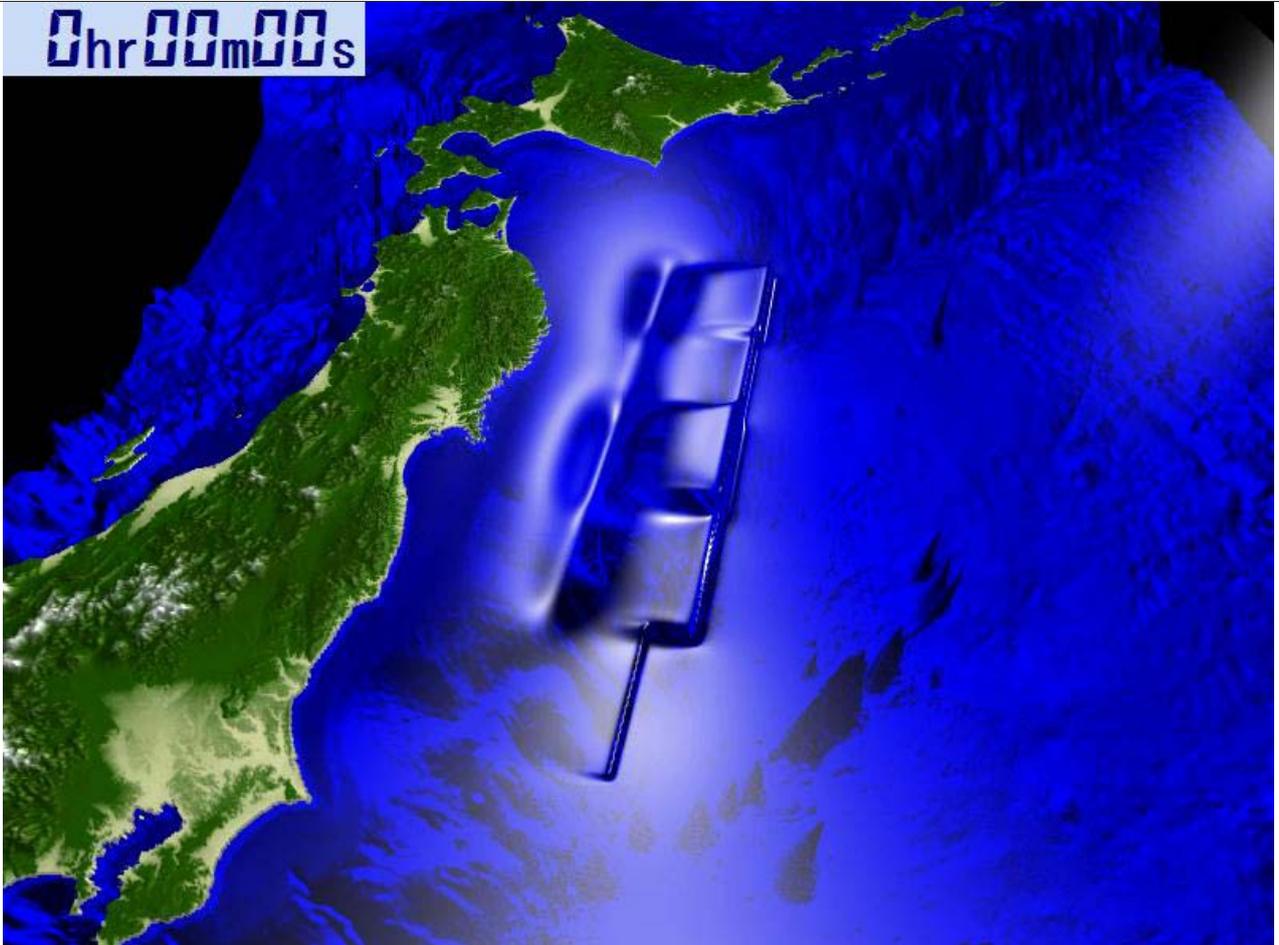


波源はどこまで広がっていたのか?
破壊過程の影響は?
なぜ, 宮城県沖ですべり量が大きいのは?
今後の余震の可能性は?



14

0hr00m00s



- 東北大学モデルvers1.0

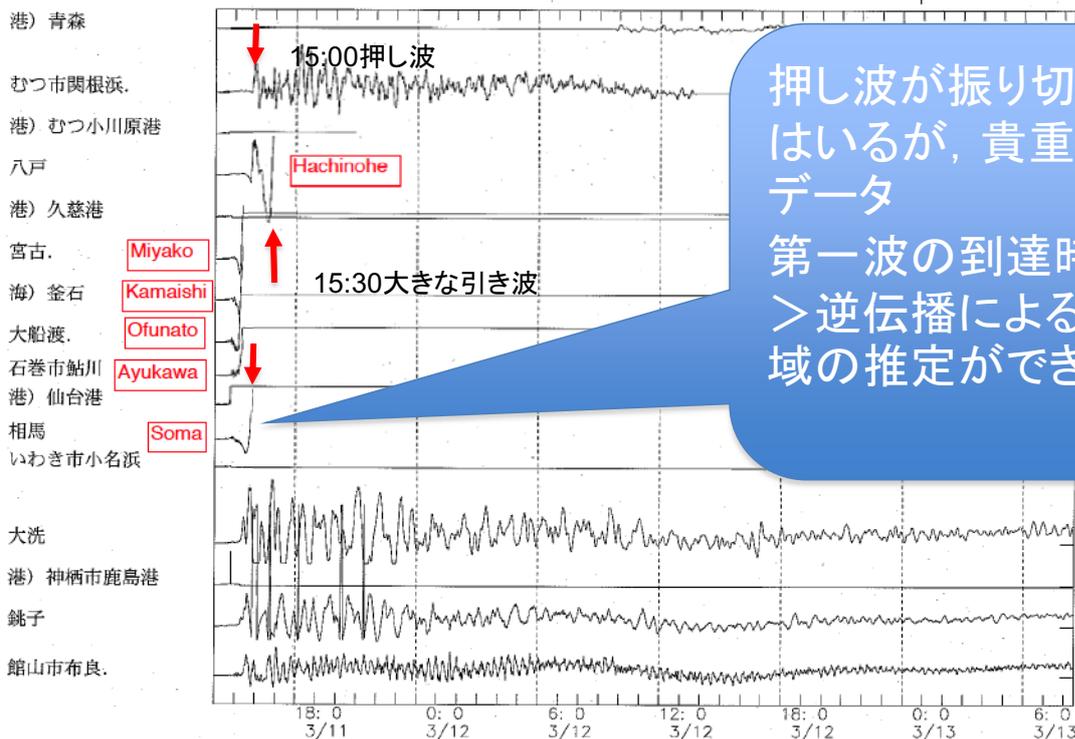
15

沿岸各地で観測された津波波形(気象庁)

東北～関東の太平洋沿岸

< 2011/ 3/11 14: 0 -- 2011/ 3/13 8:30 >

5000 mm

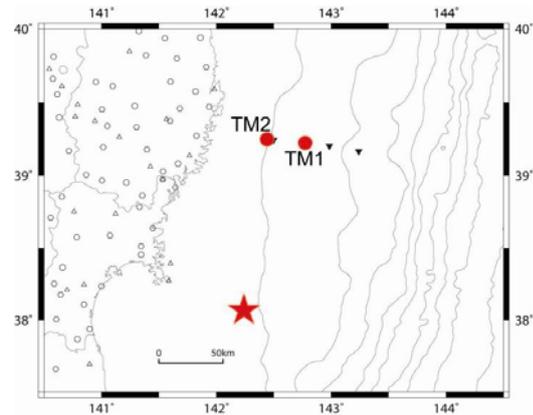
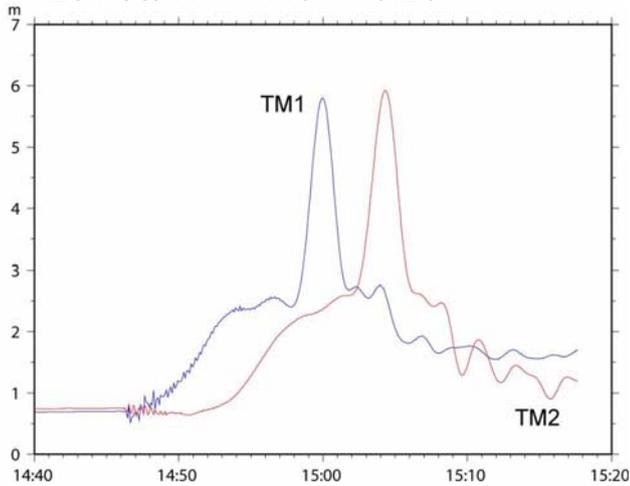


押し波が振り切れて
はいるが、貴重な
データ

第一波の到達時間＝
逆伝播による波源
域の推定ができる。

沖で観測された津波記録(釜石沖海底ケーブル津波計+GPS波浪計波浪計)

2011/3/11 14:40~15:20



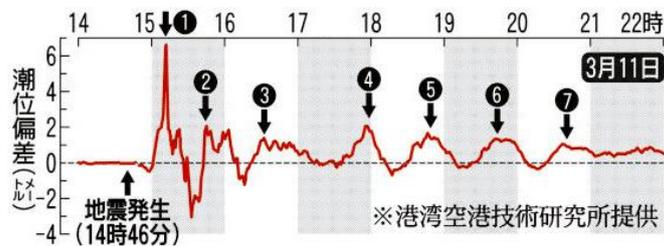
TM1(海溝寄り)では14時45分頃にP波が到達し、その7分後に約7cmの津波(押し)が到達し、その4分後にTM2(陸寄り)では約10cmの津波が観測された。

TM1(海溝寄り)では14時46分頃にP波が到達し、14時58分頃に約3.5mの津波(押し)が到達した。その4分後にTM2(陸寄り)ではほぼ同振幅の津波が観測された。

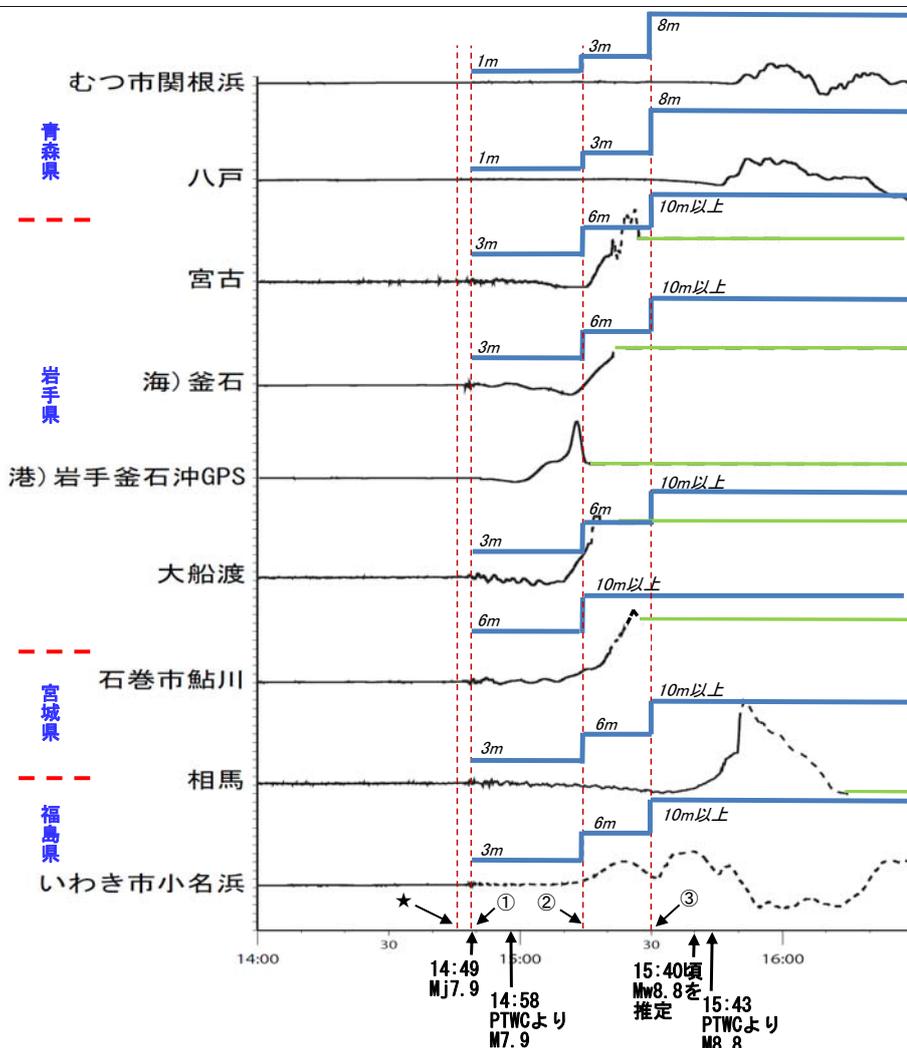
東京大学地震研究所



岩手県南部沖GPS波浪計でとらえた津波の波形



17



津波警報等発表の推移 (青森県太平洋沿岸～福島県)

- ★3/11 14:46 地震発生
- ①3/11 14:49 津波警報の発表
14:50 岩手3m, 宮城6m, 福島3m (大津波)
青森県太平洋沿岸1m (津波)
- ②3/11 15:14 津波警報の更新
岩手6m, 宮城10m以上, 福島6m,
青森県太平洋沿岸3m (大津波)
- ③3/11 15:30 津波警報の更新
15:31 岩手～千葉九十九里・外房10m以上,
青森県太平洋沿岸8m (大津波)

- 潮位観測データ (実況監視していたもの)
- - - 潮位観測データ (データ断となり後日回収されたもの)
- 潮位観測データ (データ断)
- 津波の高さの予想

18

津波の被害の特徴

- 広域浸水 Huge amount of inundation (443km²)+ destructive wave force
- 直接間接 Floating of debris, ships, cars and tanks
- 津波被害車23万台，被害被害船舶1.9万隻
- 2次的被害：火災，塩水浸水
- 地形変化

東北各県の漁船の被災状況

	県登録漁船	被災漁船
宮城	13,770	12,023
青森	9,672	616
岩手	14,304	5,726
福島	1,173	873
計	38,919	19,238

【注】単位は隻、県登録漁船数をまとめた時期は異なる。被災漁船は13日現在。

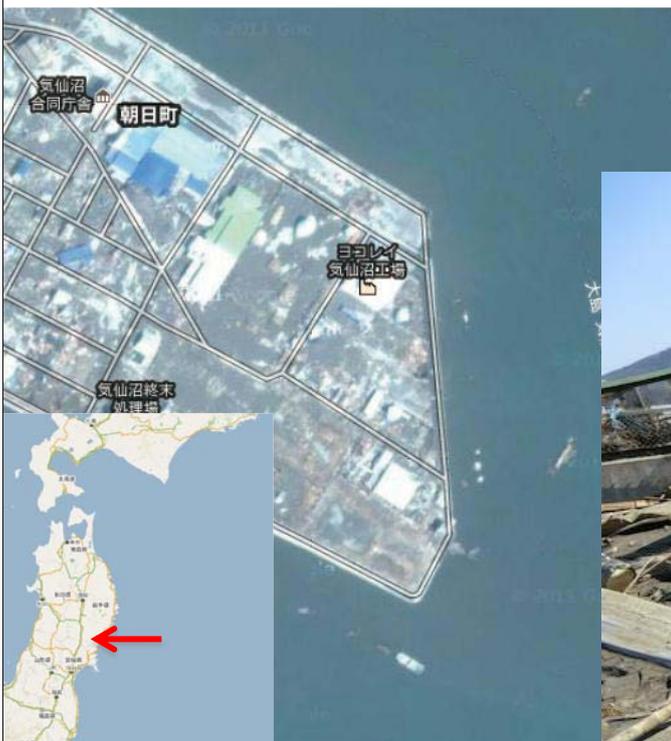
Ships and fire at Kesenuma



Destruction on community at Senda



燃料タンク(気仙沼朝日地区)



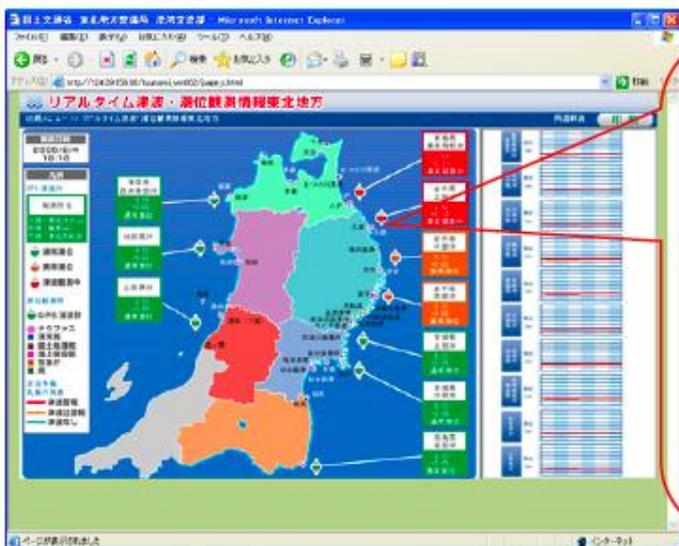
- **初期値**: 波源の複雑さ(不均一性, アスペリティー, 非地震性) => リアルタイム津波観測の利用
- **挙動**: 陸域での複雑さ(3D, 土地利用, 植生の効果)
- 津波に伴う現象(流れ, 土砂移動, 漂流物)
- **更なる利用**: シミュレーションの出力: 最大波高, 到達時間+流速, 波力, 継続時間, 減衰など)
- **復興計画への貢献**: 津波のリスク評価, ゾーニング
- **減災への貢献**: 避難シミュレーション, 防災・避難計画

東北地方津波防災支援システムの概要

資料- 1

- 本システムは、防災業務実施機関(自治体等)が津波観測情報を共有するシステムです。
- GPS波浪計による沖合津波観測情報と、沿岸各地点における観測情報をリアルタイムで収集し、観測情報の共有化を実施します。
- 共有化された津波観測情報はリアルタイムで自治体等へ配信し、防災業務の実施に活用されます。
- 東北地方整備局が希望する自治体等にWeb配信します。(情報は、1-ザ-IDとパスワードで管理されます。)

【情報提供イメージ】



クリックすると各港の情報提供に移行。



リアルタイム浸水予測(阿部,2009)

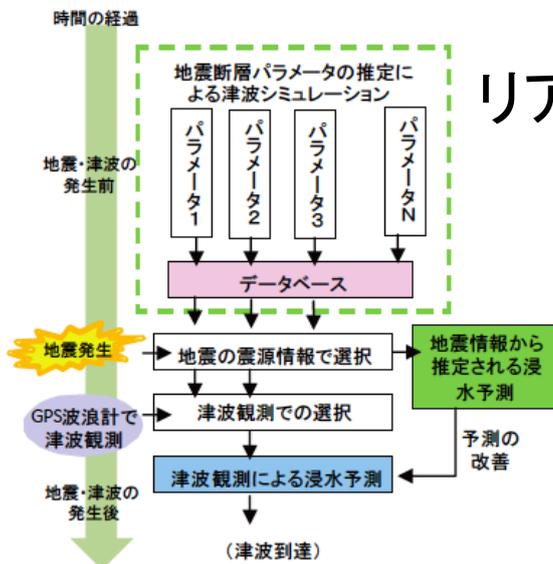


図7 リアルタイム津波浸水予測システムの構成



図8 リアルタイム津波浸水予測システムの画面例

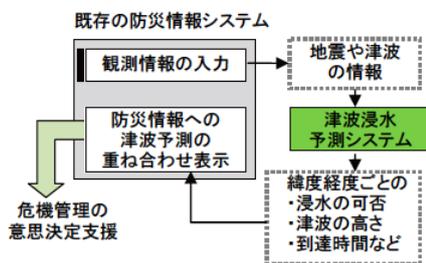


図9 リアルタイム津波浸水予測システムと既存の防災情報システムとの連携



HPCI 戦略分野での絵姿

現状

想定地震による津波高さを予め計算した津波データベースで予測

Tatehata et al., 1997

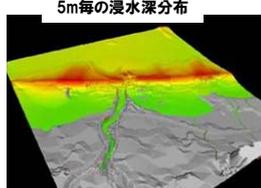
- 海底地すべりなど、非地震性津波が考慮されていない、
- リアルタイムでの浸水範囲、ハザード予測は実現されていない
- JMA (1999), NOAA, Titov et al., 2005



5年間の検討

地震発生直後に得られた地震データ等を利用し、津波の伝播をリアルタイムで解析

- 解像度5mの高精度予測、津波高さではない具体的な浸水範囲とハザードを予測
- 約40都市を同時に2分以内で予測、時間差を利用して広域で詳細に予測、非地震性津波を予測



活用・社会への貢献

高精度な津波警報を準リアルタイムで発信

避難等に必要な浸水域などの高精度な情報を発信

漂流物、土砂移動、海面変動など複合災害を含めた津波被害を予測

地震・津波など一連の災害での避難シミュレーションを開発する



津波ハザード・被害の推定

津波の予測精度の高度化

科 学 技 術 計 算 分 科 会 選 出

科学技術計算分科会 2011 年度会合 より

エクサバイト規模の

ストレージシステムへ向けて

高エネルギー加速器研究機構

計算科学センター

佐々木 節

エクサバイト規模のストレージシステムへ向けて

佐々木 節

高エネルギー加速器研究機構 計算科学センター

[アブストラクト]

高エネルギー加速器研究機構では、KEKB加速器を用い、Belle実験がB中間子のCP保存則の破れを観測することにより、小林・益川両先生のノーベル賞受賞につながる成果を得た。さらに統計精度を上げ、精密測定を行うとともに、素粒子の標準理論を超える新たな物理学へ向け、KEKB加速器をアップグレードしたSuper KEKB加速器の開発が進められている。Super KEKB加速器を用いて行われるBelle II実験においては、2020年には200PB程度のデータを収集すると見込まれている。同程度の統計量のモンテカルロシミュレーションを行うことを考慮すると、エクサバイト規模のストレージシステムが必要になる。KEKにおける計算機システムの歴史を紹介するとともに、将来に向けた取り組みについて議論する。

[キーワード]

ストレージ、ハードディスク、テープ、階層化ストレージ管理システム、分散並列ファイルシステム

1. はじめに

茨城県つくば市にある高エネルギー加速器研究機構(KEK)では、長年にわたり、複数の加速器を用いた様々な研究が行われてきた。原子核・素粒子物理学の実験的研究ばかりではなく、物質科学、生命科学など様々な分野の研究が行われている。PF(Photon Factory)や、J-PARC のビームラインは、広く産業界にも利用されており、物質の構造の解明に用いられている。計算科学センターは、データを記録し、解析を行うために必要な計算環境の提供を行っている。

KEK で最大の計算資源需要があるのは、Belle II 実験である。前身となる Belle 実験は、小林・益川理論を裏付ける B 中間子の CP 破れの観測に成功し、両先生のノーベル賞受賞につながった。Belle 実験に用いられた KEKB 加速器を高度化した Super KEKB 加速器の開発が開始されており、現在の 40 倍以上の強度となる予定である。Belle 実験も検出器をアップグレードし、新たなメンバーを諸国から受け入れた Belle II 実験が行われる。観測データのみでも、2020 年には 200PB に達すると考えられており、シミュレーションデータ、2 次データを考慮に入れると、エクサバイト規模のストレージシステムが必要になると考えられる。

一方、2008 年に共用が開始された J-PARC においても、年間 2PB 程度のデータを収集すると見積もられている。J-PARC は、陽子線加速器のコンプレックスであり、原子核・素粒子、物質科学、生命工学など様々な目的に利用されている。Photon Factory の運転も続いており、大量ではないが、データの収集が継続されている。

計算科学センターは、プロジェクト毎に異なる最大時 5 システムを平行して運用を行っていた。それらを統合し、中央計算機とスーパーコンピュータの 2 システムへの統合がまもなく終了する予定である。新中央計算機は、2012 年春に稼働を開始する予定であるが、テープライブラリの容量は 16B、ユーザが利用可能なディスク領域は 3.5PB となっている。ここに至るまでの課程を以下に紹介するとともに、エクサバイト規模のストレージシステム開発に向けた取り組みについて紹介する。

2. KEK における計算機システムの歴史

KEK のデータ解析用システムは、以前は、最大時で4システムあったものを徐々に統合を進めるとともに、時代に即したアーキテクチャの採用を行ってきた。メインフレームに代わる商用 UNIX による分散環境の構築が1992年頃から開始され、2000年代中頃には、Linuxをユーザ環境とするシステムへの置き換えが進み、現在に至っている。

図1にデータ解析システムのユーザが利用可能なディスク領域の量とテープライブラリの容量の伸びを示す。KEKB 加速器、J-PARC の運転開始後、データ需要が急速に伸びたことが見て取れる。

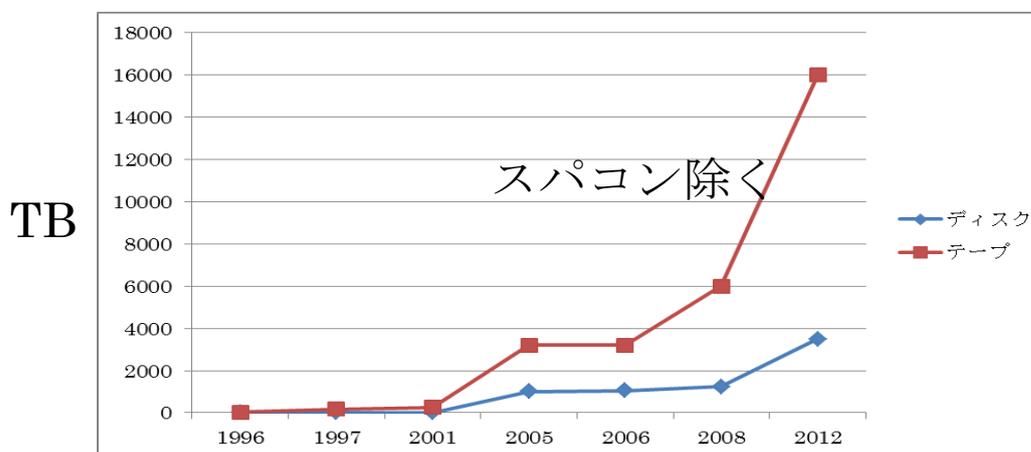


図1 KEK におけるデータ容量の推移

テープ利用の利便性を改善するために、階層化ストレージ管理システムを1995年頃から利用している。SONYのPetesiteとDoE研究所共同開発のHPSSが平行して用いられてきたが、新中央計算機システムでは、HPSSに一本化される。ディスクアクセスの高速化と、シームレスにシングルファイルツリーをユーザに提供するために、GPFSが2008年から利用されている。

3. エクサバイト規模のストレージに向けて

予定通り加速器の建設と実験が進めば、次のシステム入れ替え時である2015年に4年で計算機のレンタルを行うとすると、200~300PB程度のストレージ容量が必要となる。夏季の加速器シャットダウン中の再解析、また、その次のシステムへのデータ移行を考えると、100GB/sec程度の総転送速度が要求される。予算の緊縮が続くなか、新たな技術を開発して、困難を克服する必要がある。

中央計算機システム導入のための市場調査で、階層化ストレージ管理システムと分散並列ファイルシステムを連携させたソリューションを国内外に複数確認することができたが、テープを必要とするほど大量のデータを持つ機関の数はRAIDの大容量化と共に減っていると考えられており、今後も慎重に動向を見守る必要がある。

国内には、KEK以外にも、理研、JAXA、国立天文台など大量のデータを抱える機関が多くあり、これらの機関とも情報の交換をし、必要な技術の開発を行っていきたいと考えている。この目的で、Data Intensive Computing 研究会を2011年度に私的任意団体として設立した。隔月で研究を開き、お互いの情報交換を行っている。個人的には、DoE参加の研究所が共同開発を行っているHPSSを参考に、研究機関横断で共通の技術仕様を作成し、大規模ストレージを管理し利用するために必要な技術の開発を協力して行えないかと考えている。

[参考文献]

- (1) 高エネルギー加速器研究機構 <http://www.kek.jp>
- (2) Belle2 <http://belle2.kek.jp>
- (3) 「大規模ストレージの今後の課題と展望」サイエンティフィックコンピューティング研究会 2011年



エクサバイト規模のストレージ システムへ向けて

高エネルギー加速器研究機構
計算科学センター
佐々木節



outline

- KEKの紹介
- KEKの計算機の歴史
- 次のシステムへ向けて
- DIC研究会の宣伝



加速器科学とICT

- 加速器科学はICTの発展に貢献してきた^{と思う}
 - 加速器実験では、多くのデータが収集される
 - 蓄積されたデータの解析、シミュレーションのために多くの計算資源が必要
 - ハードウェア
 - ストレージ、CPU
 - ネットワーク
 - LAN、インターネット
 - 情報共有、コミュニケーション
 - WWW、テレビ会議 etc
 - GRID
 - 国際的なデータ共有、分散データ解析
 - オペレーティングシステム
 - UNIX、Linux



余談

- KEKが日本で初めて導入したICT
 - インターネット
 - kek.jpは、日本最古のドメイン名
 - WWW
 - 日本初のインターネットに公開されたwebサーバ
- たぶん.... 少し早い時期に
 - Linux PCファーム
 - 1992年 Slackware
 - NTPサーバ 93-94年ごろ?
 - 福岡大学は既にあったかも
 - 古野電気製船舶用GPS受信機をSUN OSで
 - こっそりやったのに外部から参照されてしまったgps.kek.jp
 - Globus
 - 2002年1月



Main Projects at KEK



J-PARC



B-Factory

LC-Test Facility

Photon-Factory



Tokai

Tsukuba

Narita Airport

TerraMetrics
Technologies

© 2005 Google

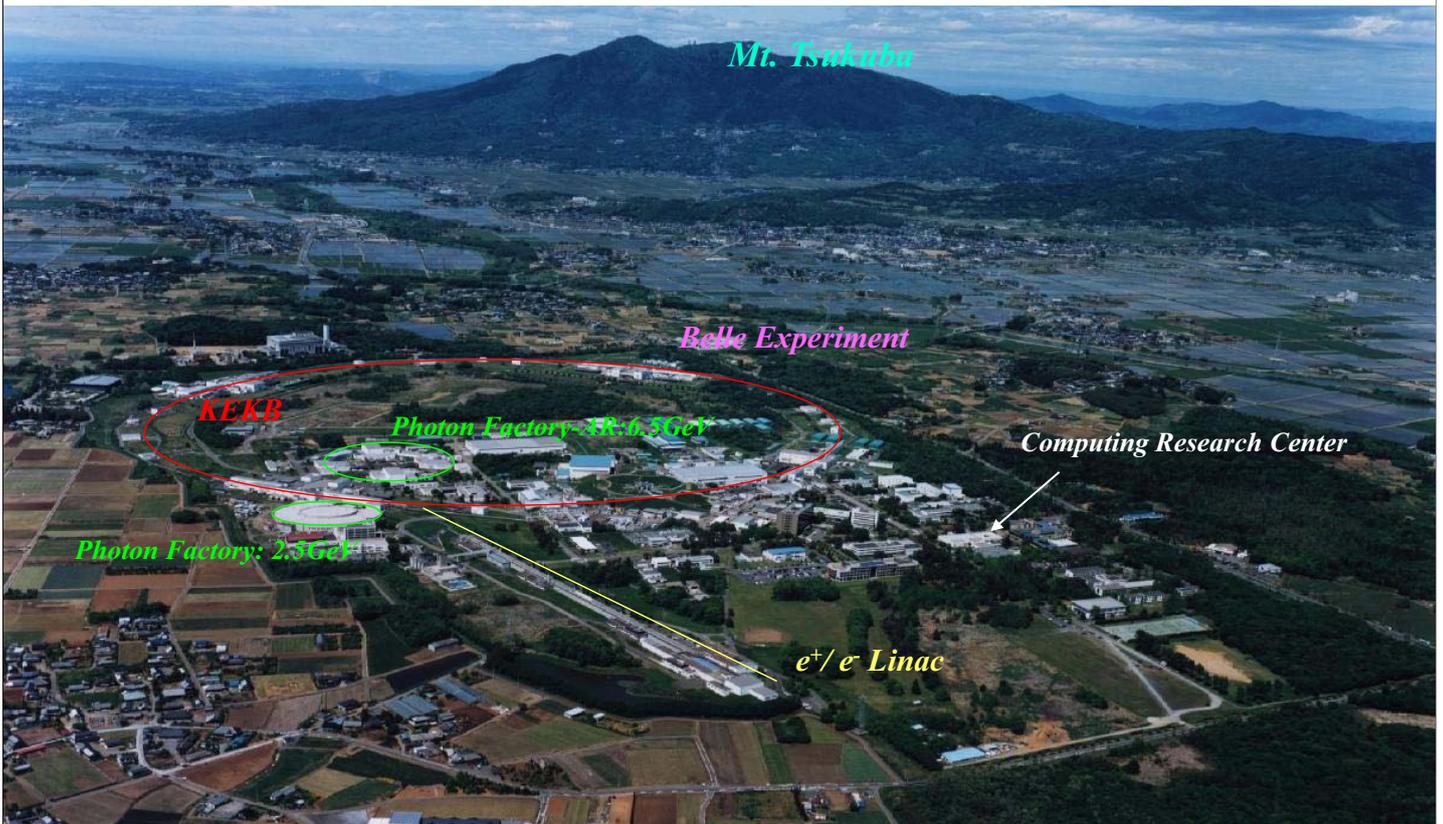
streaming ||||| 100%

Eye alt 176.97 mi

Takashi.Sasaki@kek.jp



KEK Tsukuba



Mt. Tsukuba

Belle Experiment

KEKB

Photon Factory 39.6 GeV

Photon Factory 2.5 GeV

Computing Research Center

e^+ / e^- Linac

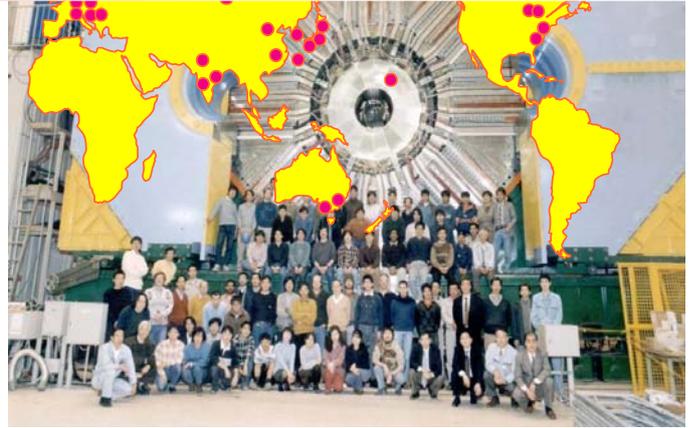
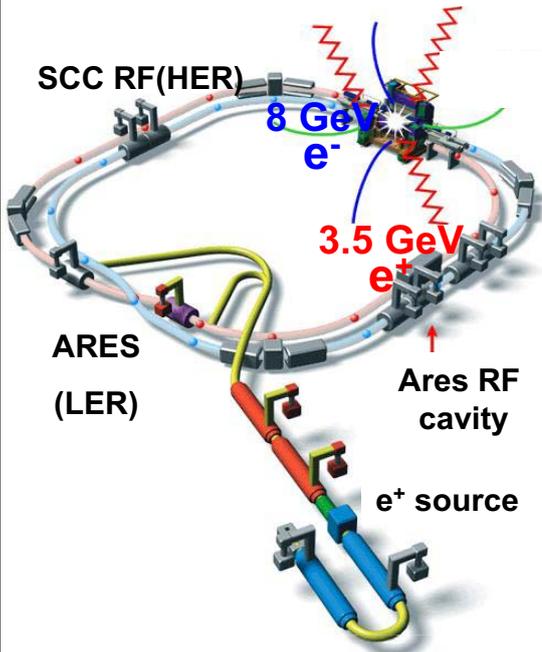
Takashi.Sasaki@kek.jp



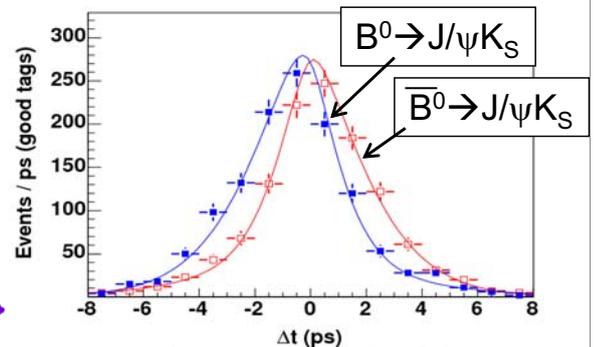
KEKB $e^+ e^-$ Collider

Belle Experiment

13 countries, 57 institutes, ~400 collaborators



Observation of CPV
in the B meson system



小林・益川ノーベル賞受賞



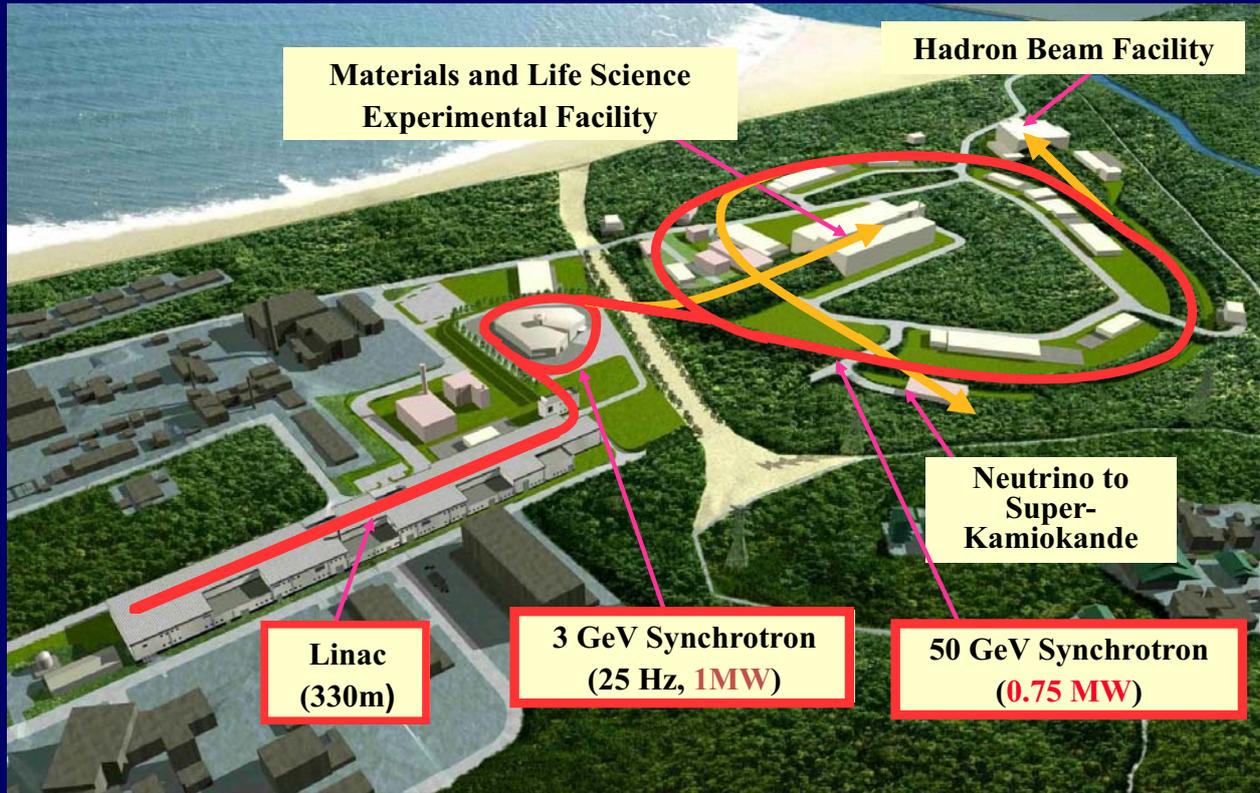
Belle

- SLAC BaBarとの激しい競争
 - 先に実験が始まったのはBaBar
 - 加速器の性能競争にKEKは勝利
 - 途中でBaBarのデータ量を追い越した
 - いち早くデータを解析し、結果を出すためにも、ICTは重要
 - 初代KEKB計算機は富士通が納入
 - B中間子のCP破れを確認しノーベル賞に繋がった



J - PARC (Tokai)

J-PARC = Japan Proton Accelerator Research Complex



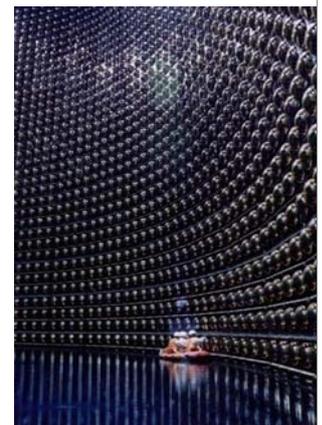
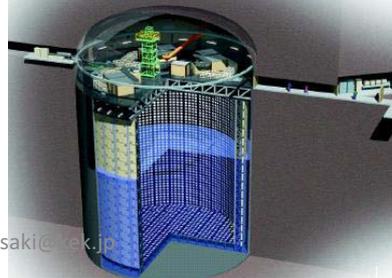
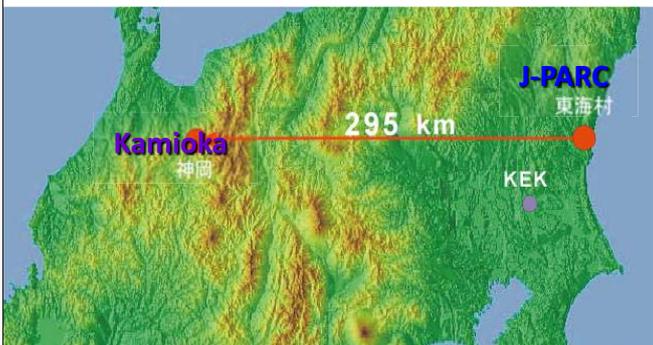
Joint Project between KEK and JAEA



J-PARC (T2K Experiment)

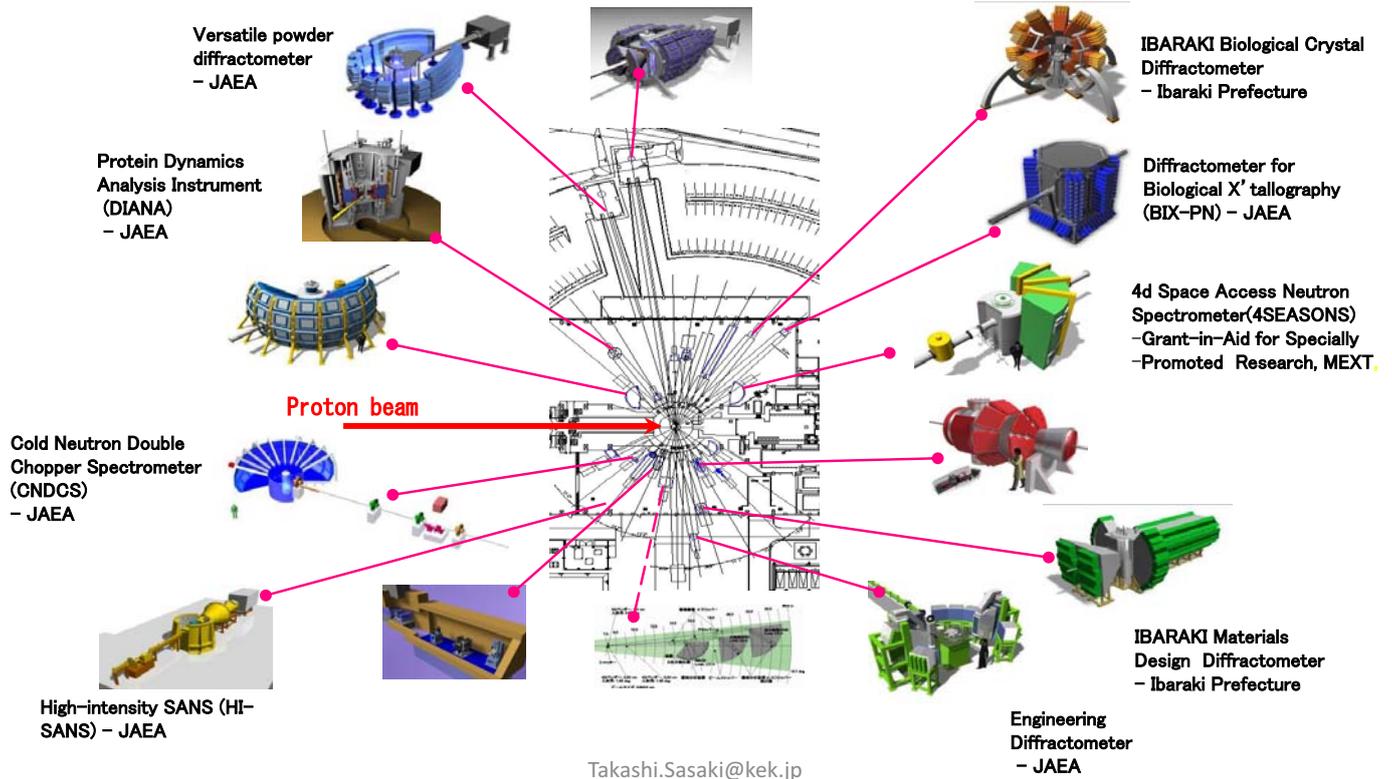


Super-Kamiokande





J-PARC(Materials & Life Science Facility)



固定標的実験

- ビームラインの数が多数あり、多くのグループが一度に実験する
 - 一つの実験あたりのデータ量は、衝突型加速器実験に比べて少ない
- KEK PS(Proton Synchrotron)
 - 1976年-2005年
 - 多い時で年間10テラバイト程度
- J-PARC
 - 2008年~
 - 最大年間2PB程度(電気代が十分あれば)



Super KEKとBelle II

- KEKB加速器を高度化しSuperKEKBを建設
 - イタリアのSuperBとの激しい競争
 - 加速器の強度は、40倍以上に
 - データの量も40倍以上に
 - ストレージは、生データの3倍くらい必要
 - 解析
 - シミュレーション(最低でも実験データと同統計)
 - 10年以内に総データ量はエクサバイトへ
 - 15か国から参加者

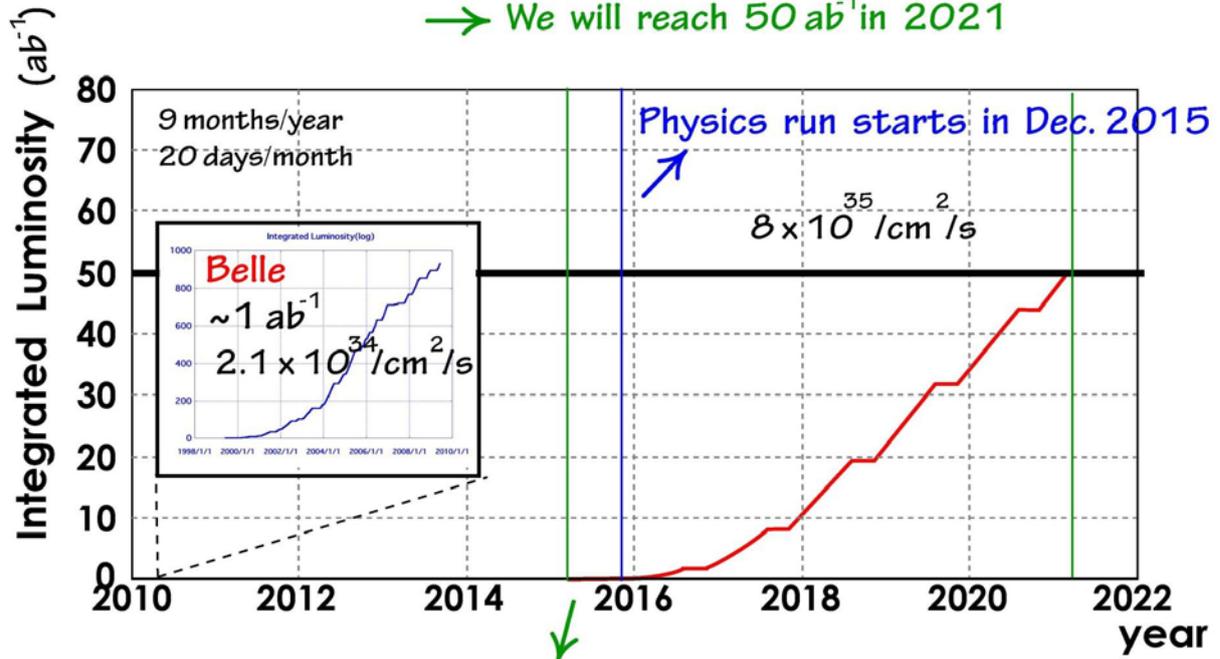


Belle2 参加機関分布(増加中)



50 ab^{-1} by the end of 2020JFY = $\times 50$ present

→ We will reach 50 ab^{-1} in 2021



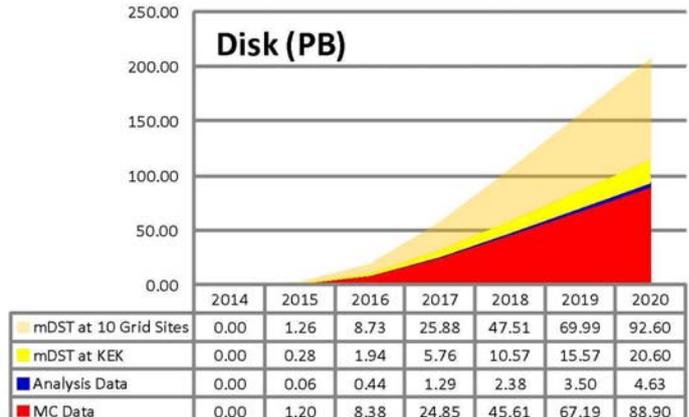
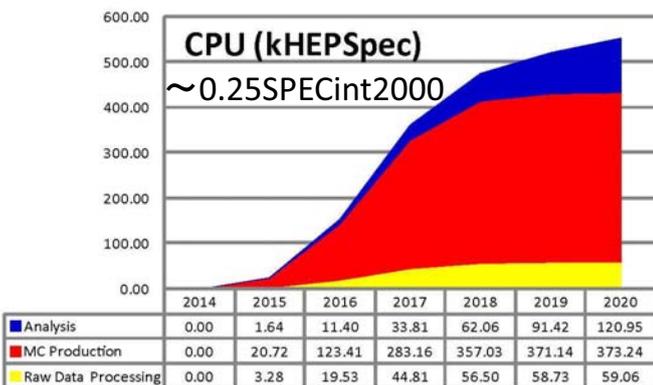
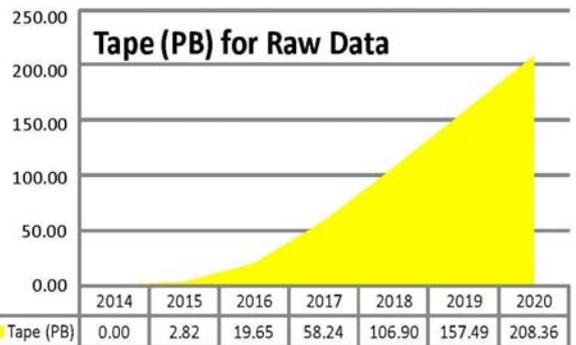
Commissioning starts in early 2015

Takashi.Sasaki@kek.jp

15

Preliminary estimates depend on many unknown parameters

- . accelerator performance
- . data reduction
- . performance of simulation/reconstruction
- . analysis requirements, ...



Takashi.Sasaki@kek.jp

16

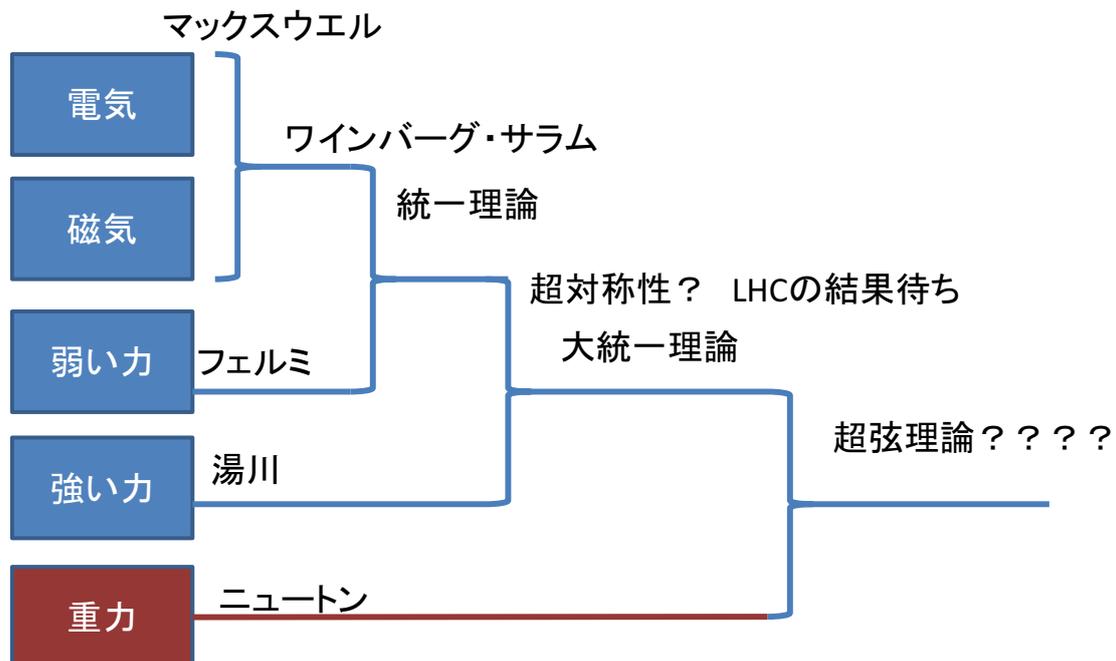


閑話休題

- 計算機屋からみた加速器実験
 - 何時始まるかはっきりしない
 - 技術開発の進み具合
 - 予算の出方
 - もろもろの事情(地震.....)
 - どのくらいのデータが出てくるのかやってみるまで分からない
 - 予算
 - ビームの品質、検出器の具合
 - 言っていたのより、すごい量が出ることも
 - 諸事情
- 計算資源の確保には時間がかかる
 - つい、外で大きな話をしがち。スミマセン
 - ネットワークのバンド幅、CPU数、ストレージの量
 - オオカミがくるぞお～



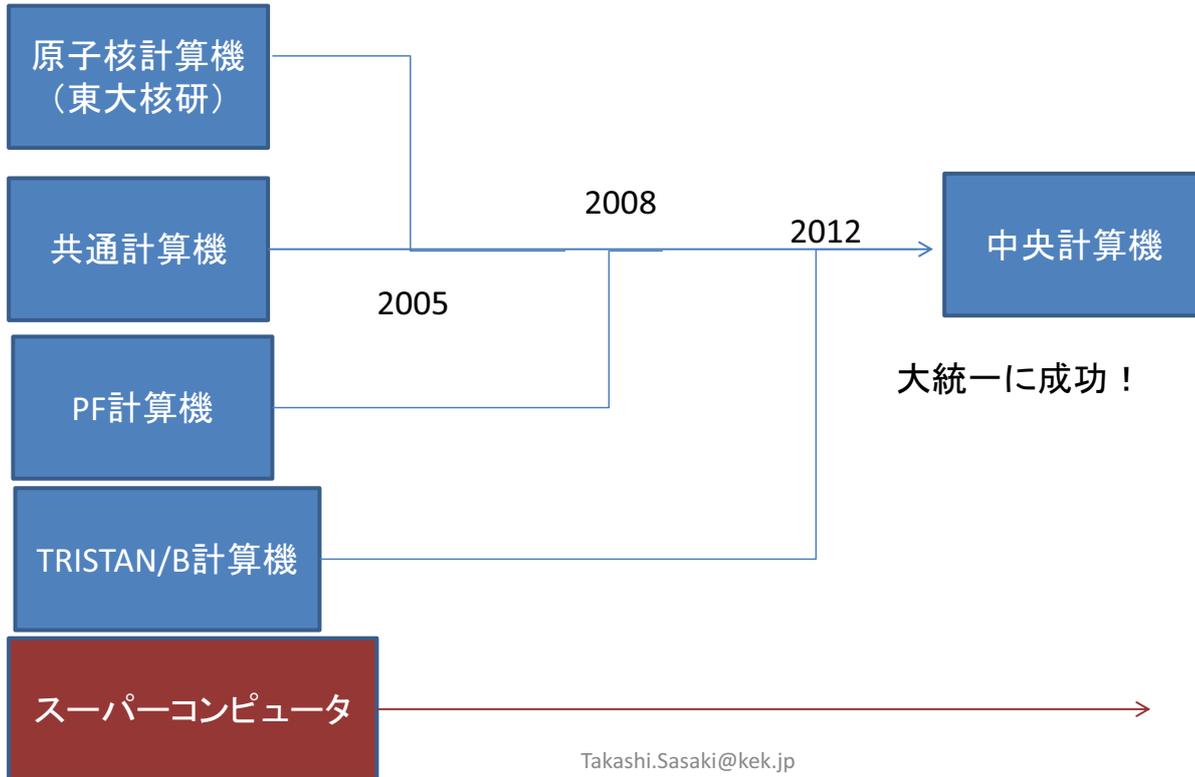
物理学における力の統一





KEK計算機システムの統一

- スパコンを除きプロジェクト毎にもっていたものを徐々に集約



KEKにおける計算機の歴史

データ解析

- メインフレーム
 - PS、TRISTAN
- 分散システム
 - UNIX → Linux
- 広域分散システム(GRID)

理論計算

- スーパーコンピュータ

データ収集

- ミニコン
 - データ収集(online)
 - PDP、VAX
- UNIX WS

PC デスクトップ環境

- 大型計算機の端末
 - BNC接続
- VAX
 - 1980-1990年代半ば
 - TTY端末
- PC/Mac
 - LAN



原子核計算機

- 東大核研の計算機システムが移ってきた
 - 核研にあったときから富士通
- 原子核ソサエティーのためにKEKで一期だけ独立に調達し運用
- 共通計算機へ統合



共通計算機

- 12GeV PSおよびJ-PARCでの実験データ解析に当初は利用されたきたが、途中から情報基盤(e-mail, web etc)も担うように
 - 12 GeV PS:Proton Synchrotron
1976年から2005年までつくばキャンパスで運転
- 1995年度まで
 - 日立製作所のmain frame
- 1996-2000
 - 日立
 - HI-UX
 - DCE/DFSにてこずる
 - RAID 1TB
 - Sony PetaSite 20TB
- 2001-2005
 - IBM
 - AIX
 - ディスク 1TB
 - HPSS
 - Tape 120TB
- 2006-2007
 - IBM
 - Linux
 - HPSS
 - Tape library 200 TB
 - ディスク 45TB
- 2008-2012
 - J-PARCに備え規模拡大
 - Linux
 - HPSS
 - Tape 3PB
 - GPFS 250TB



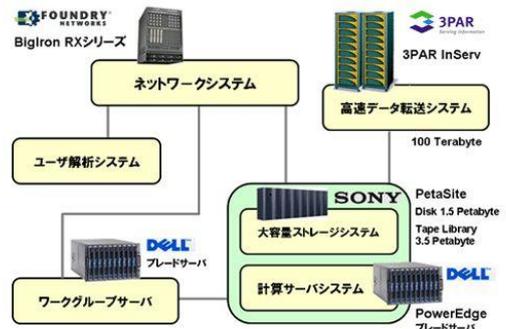
TRISTAN計算機

- 1986-1996
 - 1988年3月、1992年12月に更新
- 富士通製main frame
 - M382 x2 -> M780 x 2->M1800x2
- 280MB/volのVHSテープを採用、ドライブ24台
 - 最終的に6TBほどのデータを収集
- 最後期にUNIXの利用始まる
 - S-Family のファーム
 - Solaris



KEKB計算機

- 1997-2004
 - 富士通AP3000(28CPU)x7
 - Solaris 2.5.1
 - 1000SPECint95
 - ディスク4TB
 - テープ150TB: Petaserve
 - DCE/DFSに手こずった
- 2005-2011
 - ネットワンがインテグレーション
 - DELL,SONY
 - 2400CPU
 - ディスク1PB
 - テープ3PB: PetaServe



Takashi.Sasaki@kek.jp

25



新中央計算機システム

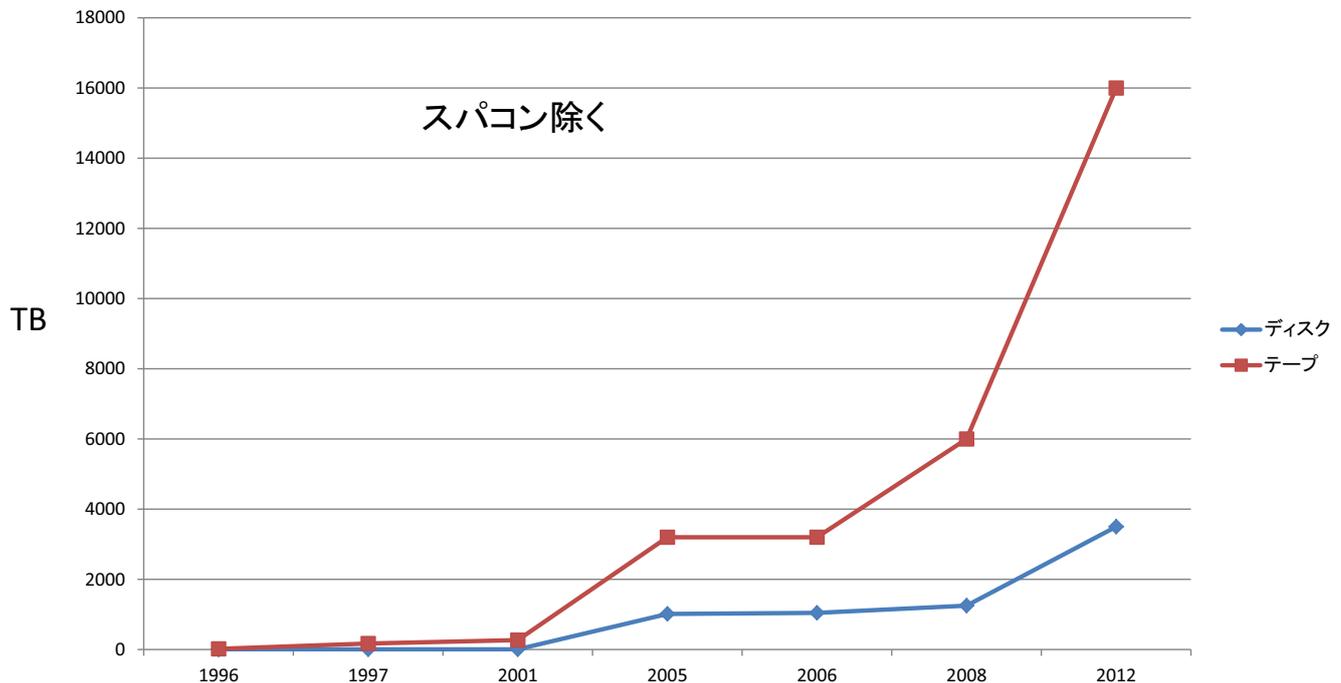
- IBMが落札
 - 2012年4月1日全体が稼働開始予定
- グリッド、クラウド環境
 - gLite, NAREGI, iRODS, Platform ISF
- HPSS, GPFSを採用
- テープライブラリの容量16PB
 - ドライブ 250MB/sec x 60 台
- ディスク 7PB
 - うち3PB強はHPSSのキャッシュ
 - GPFSで3PB強をサービス
 - SF10000
- 電力見える化

Takashi.Sasaki@kek.jp

26



テープ容量とディスク容量の伸び



Takashi.Sasaki@kek.jp

27



スーパーコンピュータ

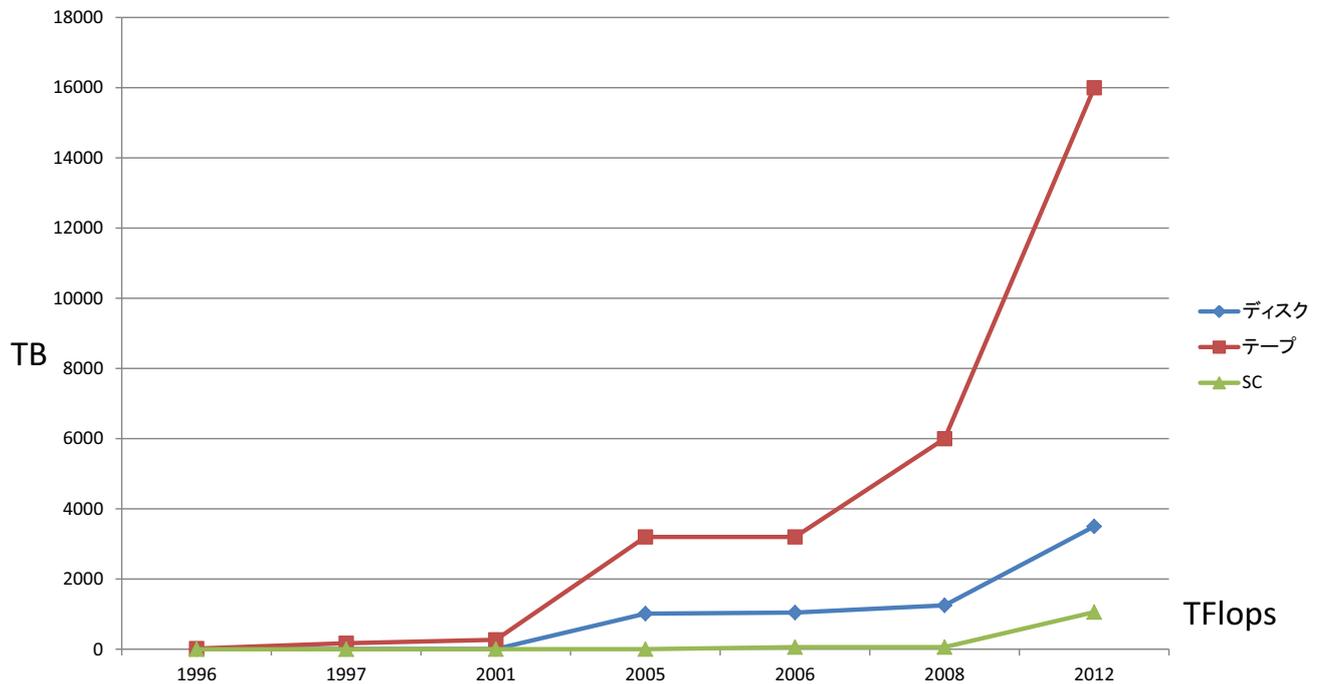
- 1995-
 - 富士通 VPP500 128GFlops
- 2000-
 - 日立 SR8000 1.2TFlops
- 2006-2011
 - 日立SR11000モデルK1 2.15TFlops
 - IBM BlueGene 57.3TFlops
- 2011-
 - SR16000 モデルM1 54.9 TFlops
 - Blue Gene/Q Peta Flopsへ

Takashi.Sasaki@kek.jp

28



参考

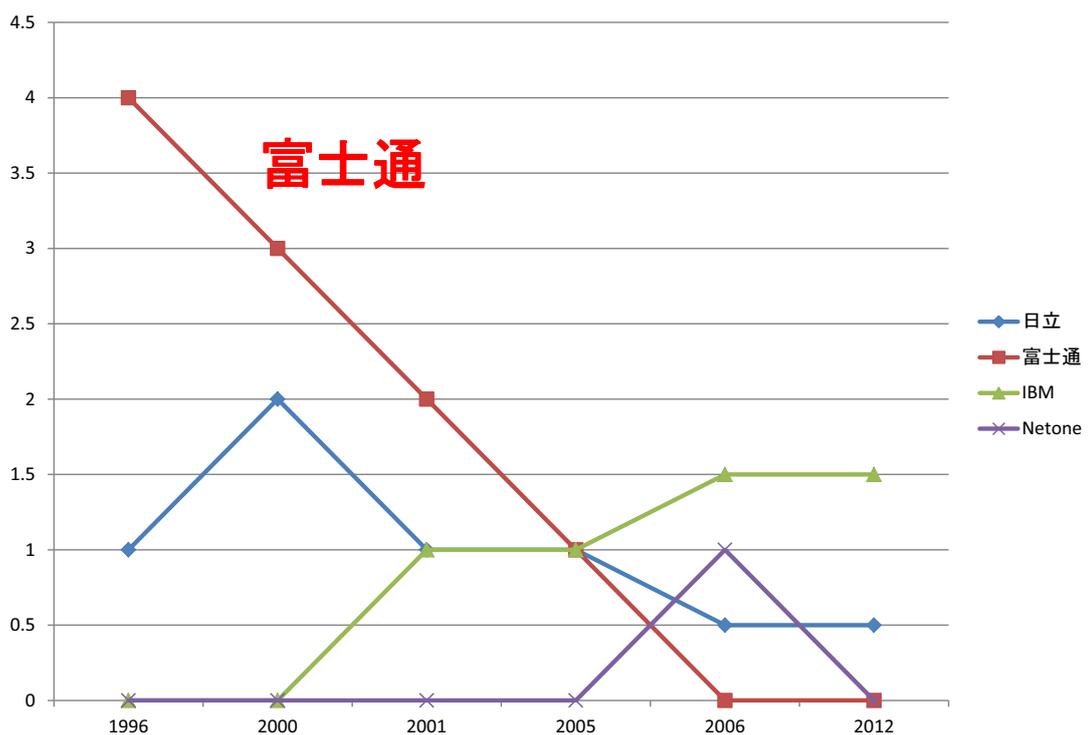


Takashi.Sasaki@kek.jp

29



KEKにおけるシステム数のシェア



Takashi.Sasaki@kek.jp

30



ソフトウェアの変遷

- 高エネルギー実験では、長らくFORTRANが標準語だった
 - CERNlib、PAW etc
- 1994年頃から、C++へのシフトが始まる
 - オブジェクト指向法の導入
 - 実験が長期にわたるため、ソフトウェアの設計、保守、品質向上のための取組
 - 主たる実験は、C++を標準言語に利用
 - スクリプト言語として、Pythonが人気
 - 実験の規模がさらに大きくなり、実験グループごとに開発されるソフトウェアの比率が高まる
 - ソフトウェア部品の共通化は図られた



プログラミングのパラダイム

- 加速器科学で使われるソフトウェアは、大規模で寿命も長い(実験の準備期間が長い)
 - 放射線シミュレータ
 - GEANT3 1983?-1994 FORTRAN 100万行
 - Geant4 1994- C++ 60万行
- 次世代のコンピュータを有効に利用できるプログラミング言語は何か？
- オブジェクト指向の次の標準開発方法論は？



KEKの解析用計算機

- 実験データを収集し、解析するための計算機である
 - 年間最大200日無停止が要求される
 - 安定性が最大プライオリティ
 - 24時間/7日間対応が必要
- ただならぬ量のデータが出る
 - 年間100PBのデータを200日で記録するなら、平均48Gbps/secのデータレート
- シミュレーションのために膨大な計算能力も必要



エクサバイト時代に向けて

- こんなハードウェアがほしい
 - 高速で、大容量で、場所を取らずに、安定して稼働する安価なストレージシステム
 - 早くて、熱を出さずに場所を取らない計算機
 - 高速で壊れずレイテンシーの小さい計算機同士およびストレージを繋ぐネットワーク
- ミドルウェア
 - 膨大な数/量のファイルを管理するストレージ管理システム
 - 広域分散処理



アクセスパターン

- 生データ
 - 全体の1/3
 - 一年に一度くらいしか再解析しないが再解析するときには高速にやりたい
 - 夏の加速器シャットダウンの間
- 解析用データ
 - 生データから抽出したサンプルに2次情報(物理量)を付加したもの
 - 測定器のシグナルなど、物理解析に不要な部分をストリップ
 - 大勢の物理屋さんが頻繁にアクセス
- ユーザデータ
 - 解析用データから、さらに個々の物理屋さんが必要なサンプルを抽出したもの
 - ファイルの数多く、1ファイルは、小さい
- シミュレーション
 - 全体の1/3
 - 実験とほぼ同量かそれ以上の統計が必要
 - 物理現象および検出器からのレスポンスをシミュレーションする
 - 生成にCPUが膨大に必要
 - 実験データ同様に解析用データ、ユーザデータを作成

Takashi.Sasaki@kek.jp

35



データの流れ



生データ



条件分岐が多くて
スパコンにはのせづらい

シミュレーション
(理論の予言に
基づいた測定器
の反応)

検出器の
信号を物
理量に変
換

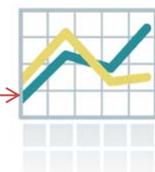
物理量の
統計解析

統計学的
に比較

同じソフトウェアで処理

数学的に矛盾のない
理論モデルは複数可能
実験によりどの理論が
正しいか検証する

実験とシミュレーションを比較



Takashi.Sasaki@kek.jp

36



2015年の仕様

- 物理屋さんの言うことを信じるなら.....
 - システムの規模(レンタル期間を4年として)
 - データ容量 200-300ペタバイト
 - CPUとの総バンド幅 80GB/sec
 - 1か月の間に100PBの生データの再解析をすることで
 - ORACLE T10K-C(240MB/sec)なら300台必要
 - CPUコア数
 - 10,000コアは必要
 - » 生データ再解析だけでも、CPUは、8000コア程度必要(10MB/sec/coreと仮定して)
- 予算、建屋、冷却.....



ストレージ

- テープ vs ディスク
 - 生データは一年に一回読み直せば良い方
 - 待機電力、耐障害性、スペース効率、コスト？
 - 富士フィルムの技術によりテープメディアの容量が増大
 - 現行 5TB/volume
 - まもなく10TB/volume -> 50TB/volume
 - ディスクの容量の伸びは鈍化？
 - 現行 3TB/disk
 - 4TBの開発遅れ



分散ファイル

- ユーザ毎のI/Oバンド幅のフェアシェア
 - 富士通のFEFSに期待
 - QoS的なものではなく、総バンド幅のユーザ間でのフェアシェアが欲しい
- HSMとの連携
- 多数のCPUとの高速ファイル共有
- Internet接続されているリモートサイトのファイル共有
 - そのままマウントできる必要はない



階層型ストレージ管理システム

- 安定して稼働し、耐障害性が高いこと
 - 測定器からは、年に200日ほどデータが送られてくる
- 最大エクサバイトまでの容量を管理できること
- ファイルの数が膨大に増えるので、メタデータの管理が大変
- 分散並列ファイルシステムとの連携



システム移行

- 新中央計算機システムは最大20PB程度のデータ容量がある
 - このデータを全て次期システムへ移行
 - 転送速度は十分か
 - 場所は足りるか
 - 2システム共存させずに移行するのは困難
 - 入札で次のベンダーが決まるのは、契約終了の約6カ月前



広域分散処理

- KEKだけではすべて処理しきれない
 - 海外の機関と協力してシミュレーションや解析を行う
- 広域分散処理の仕組みが必要
 - とりあえずは、グリッド+クラウド技術を採用
 - 次の技術は？
- レイテンシーの大きなネットワークに繋がれた信頼性の低い計算センターたちとのお付き合いの方法



KEKにおけるグリッド

- 2002年初頭に試験的にglobusを導入
- 2003年 高エネルギー物理データグリッド研究会(第1回)
- 2006年 GRID CA運用開始
- 2008年 EGEE-IIIに参加
- 2008-2012 RENKEIに参加
- 2010年 EGIに参加



KEKにおけるグリッド運用

- GRID CA
- NAREGI
 - NIIとの共同研究
- gLite
 - 大規模高エネルギー実験
 - Belle, ILC
- iRODS
 - 小規模な実験
 - T2K (Tokai 2 Kamioka)



解決へのシナリオ

- 予算が潤沢に出て、お金で解決
 - 可能性ゼロ
 - 予算は減る一方
- 努力と根性
 -
- お手上げ
 - 予算も足りません、技術的にも無理です
 - 出てくるデータの量を減らして...
 - イタリアとの競争に負けるかも
- 知恵と工夫
 - 妥協も必要だが、技術力で解決
 - メーカーとの協力が大切

Takashi.Sasaki@kek.jp

45



DICに国産計算機メーカー復興を望む

- 最初からなかった？
 - 分散フィルシステム
- 国産品をまだ買える
 - RAIDディスク
 - 階層化ストレージ管理システム
 - ただし、スケーラビリティと信頼性を考えると、選べないかもしれない
- 失いつつある？
 - ストラテジ
- 失ったもの
 - Operating system
 - Disk drive
 - 高信頼性tape drive
 - 様々なデバイス
- たぶん、まだ失っていないもの
 - 技術者の能力
 - ユーザの信頼

Takashi.Sasaki@kek.jp

46



最後に宣伝

- Data Intensive Computing 研究会
 - KEK野崎計算科学センター長と国立天文台水本先生が発起人
 - 東大ICEPP、東大宇宙線研、理研、JAXA、天文台などから参加者(30名程度)
 - 隔月で研究会を開催(東大理学部が会場)
 - メーカーを招待して意見の交換も
 - 参加希望者は、Takashi.Sasaki@kek.jpまで



DIC研究会に私が夢見ていること

- T2K(スパコンの)のData Intensive Computing版
 - DoE HPSSの様に階層化ファイル管理システム、分散処理などに関して、研究所横断で統一のミドルウェア仕様を作れないか
 - ただし、ハードウェアは縛らない
 - 需要がKEKだけ突出しすぎており、簡単ではない
- 異分野の研究機関間で計算資源の共有、融通
 - ピーク需要対策
 - 災害対策
- 計算機科学の専門家との交流
- 国内外のメーカーへの提言
- システムをメーカーと一緒に作った感をもう一度！



ご清聴ありがとうございました