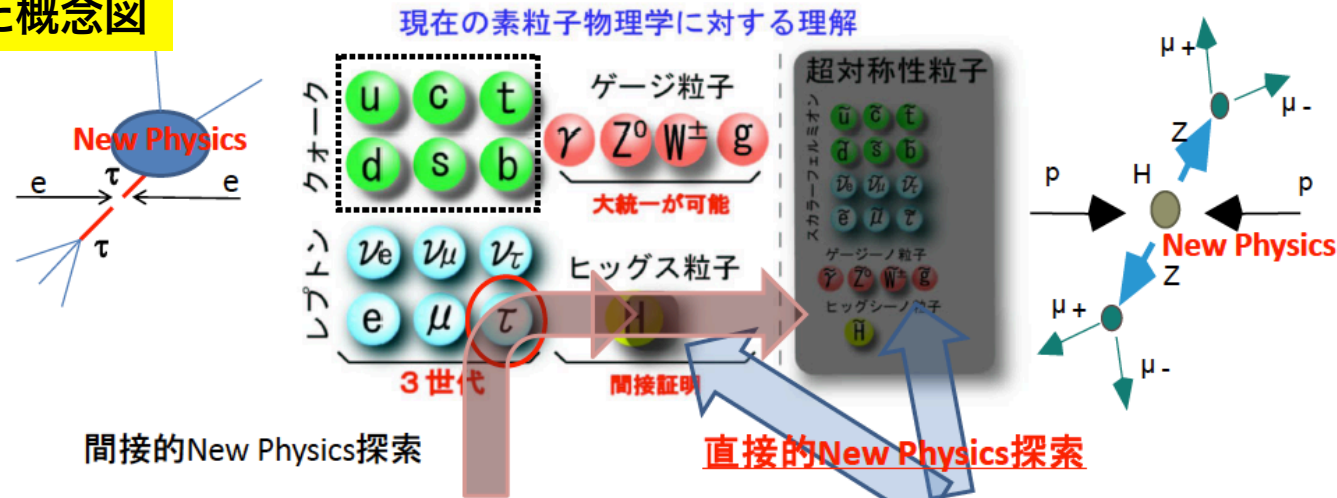


学術創成  
「タウ・レプトン物理の新展開」  
5年間の研究総括

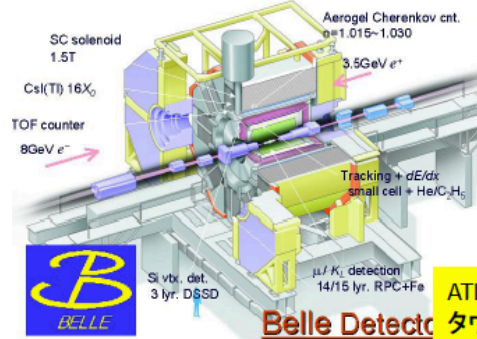
—ATLAS実験—

戸本 誠（名古屋大学）

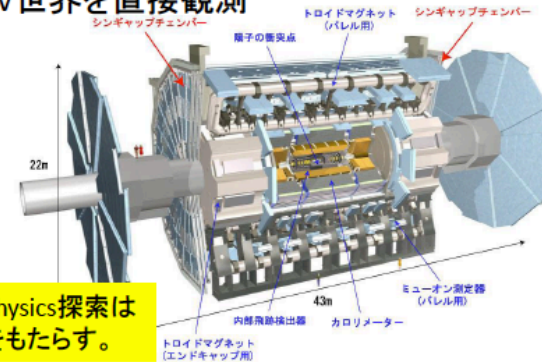
## H18年に示した概念図



Belle実験:  
世界最高統計のタウ事象からのNew Physics  
TeVの世界をGeVの世界から観測



ATLAS実験:  
14TeV世界最高エネルギーでのNew Physics  
TeV世界を直接観測



相補的

ATLAS実験での直接的New Physics探索は  
タウ・レプトン物理に新展開をもたらす。

相補的なNew Physicsの探索・発見

大局的なタウ・レプトン物理研究のため、世界情勢を把握

→ LHC-ATLASへの可能性を模索

国際的な若手人材の育成に最適な場

## LHC-ATLAS

### H18年

- 加速器と検出器のインストール・コミッショニング

### H19年

- 加速器と検出器のインストール・コミッショニング

### H20年

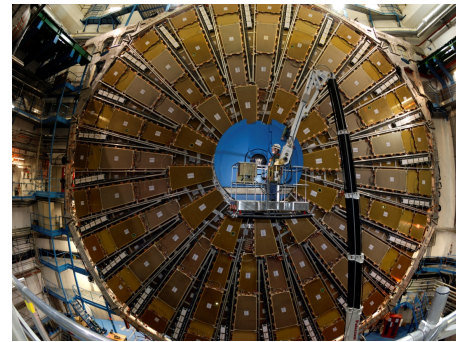
- 全検出器稼働の宇宙線ラン
- 陽子ビーム周回
- 加速器事故

### H21年

- 加速器事故からの復旧
- 衝突データ収集

### H22年

- 物理データ収集 ( $L=35\text{pb}^{-1}$ )



名古屋チーム

Thin Gap Chamber

動作テスト

コミッショニング

TGC運転

宇宙線動作検証

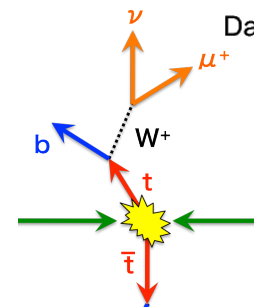
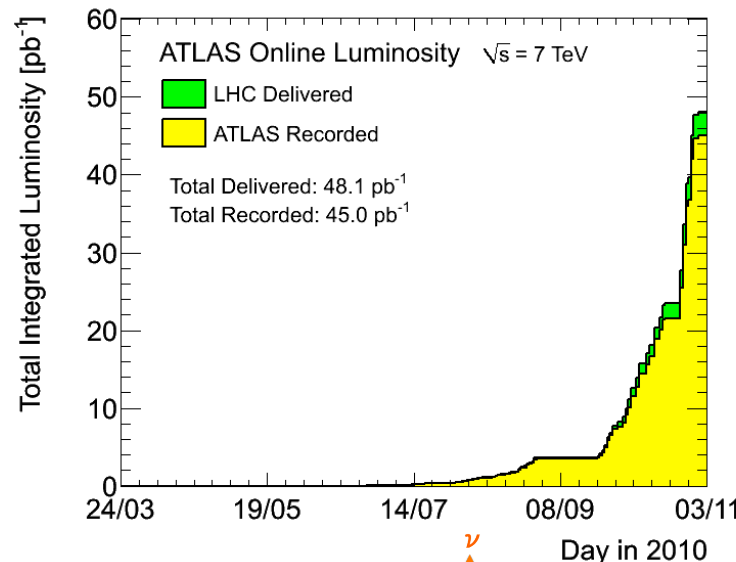
TGC Experts

検出器性能評価

物理解析

Top Quark Physics

アップグレード



戸本誠 (2006年4月～)

杉本拓也 (現KEK助教、2006年6月～2010年)

奥村恭幸, 高橋悠太 (現D3、2006年9月～)

長谷川慧 (現D2、2007年～)

Ljiljana Morvaj (現D1、2009年～)

修士学生：伊藤悠貴、岸木俊一 (2008、2009)

志知秀治 (2009、2010)、若林潤 (2009～、博士へ)

一人の組織から、東大、KEK、神戸大、筑波大に次ぐグループに成長

ただし、名古屋はスタッフはただ一人  
本研究を通じて学生が著しく成長した



# 研究期間中の具体的な成果

検出器の建設～性能評価

Thin Gap Chamber

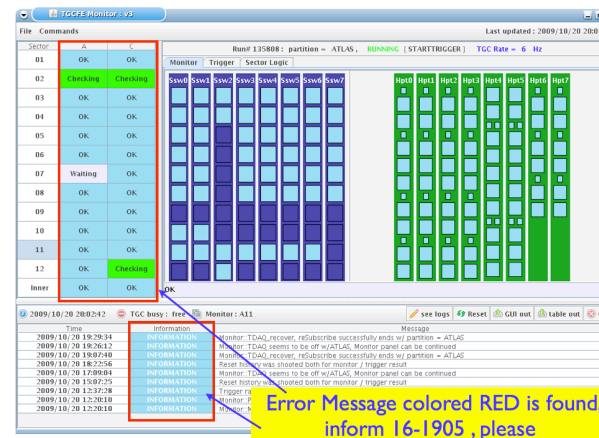
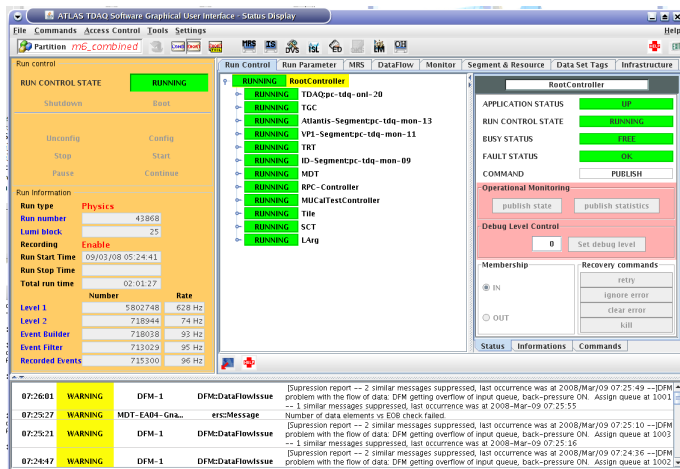
と

Top Quark 物理解析

旧 TGC Run Coordinator (戸本)  
 現 Lvl1 muon endcap coordinator (戸本)  
 旧 TGC online software coordinator (杉本)  
 現 TGC experts (奥村、高橋、長谷川、戸本) 全 8 人中 4 名が名古屋

イスラエル、  
 KEK、東大、神戸大などと共同研究

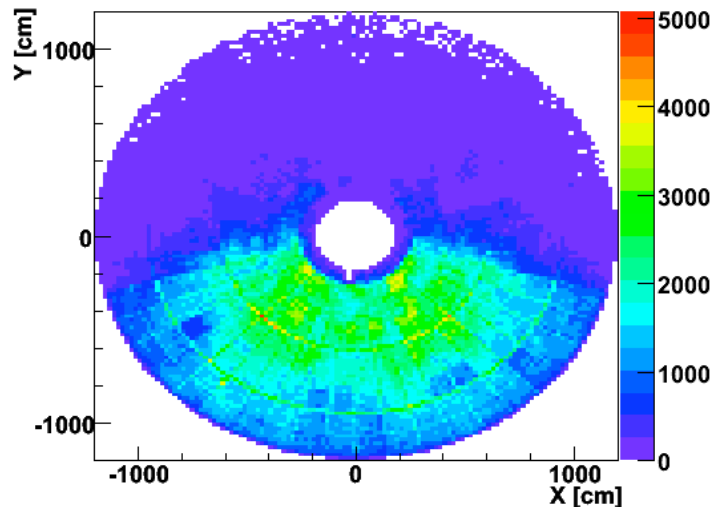
国際実験を楽しむ環境を構築  
 グループ内の信頼を獲得



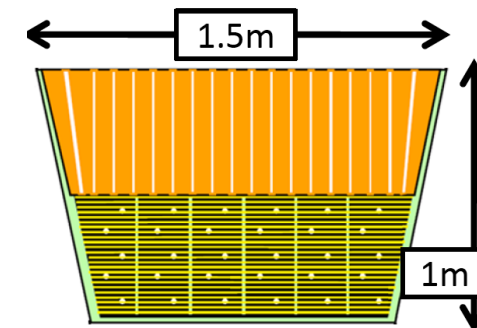
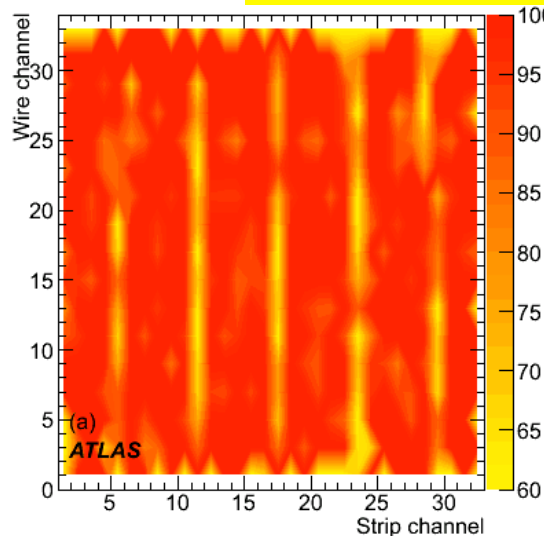
Error Message colored RED is found, inform I6-1905, please

XY\_View\_C

## Hit profile

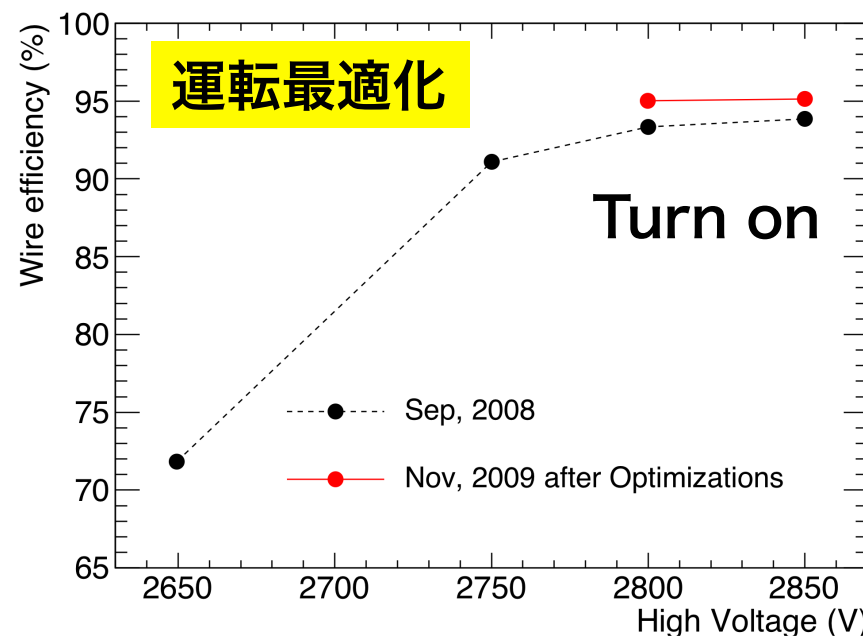
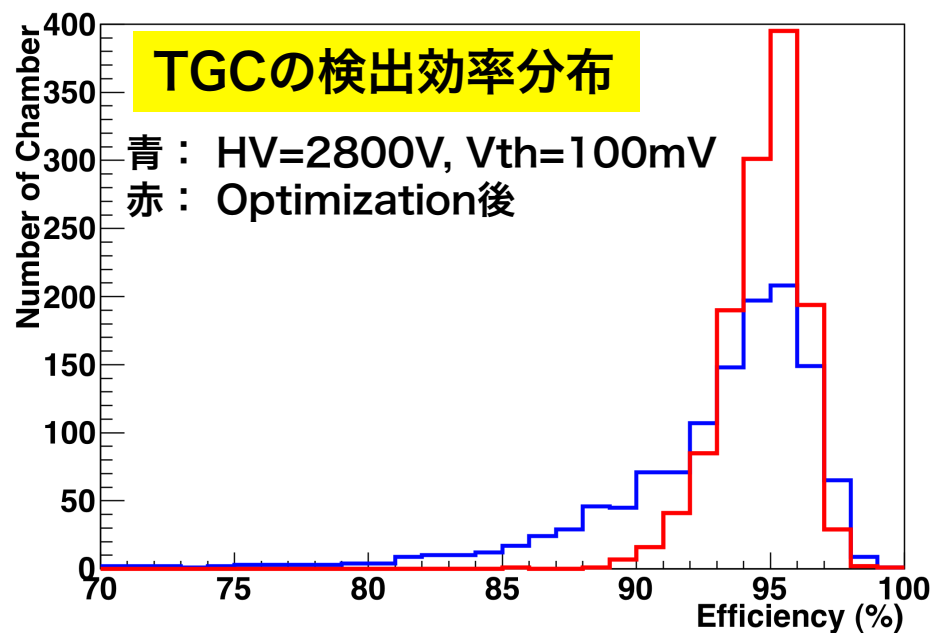


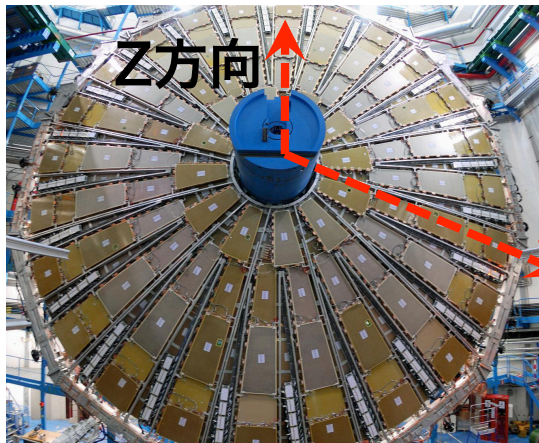
## 検出器内の検出効率マップ



サポートバーの不感領域

IP pointing trigger

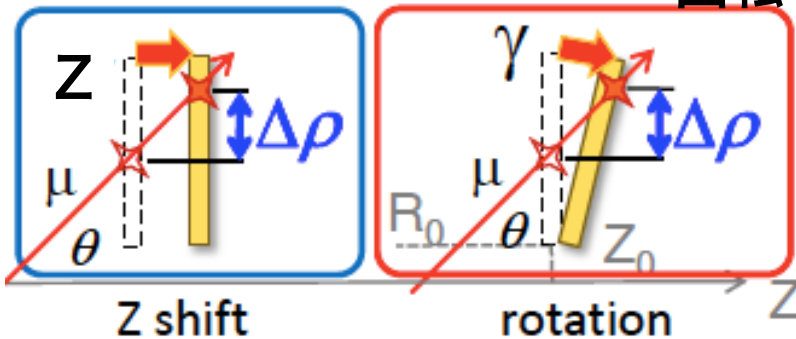




R読み出し  
だけで

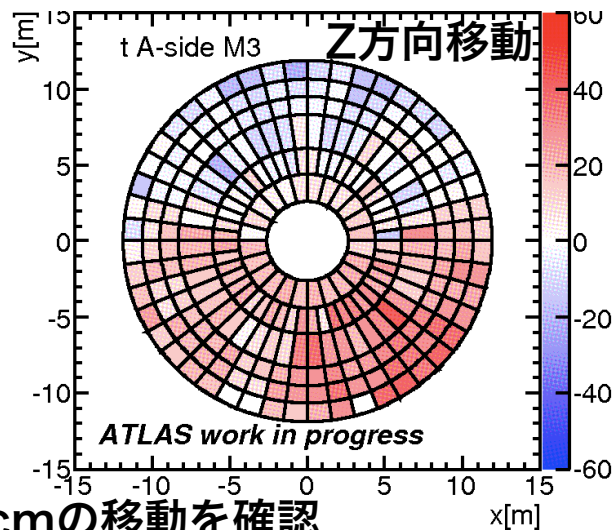
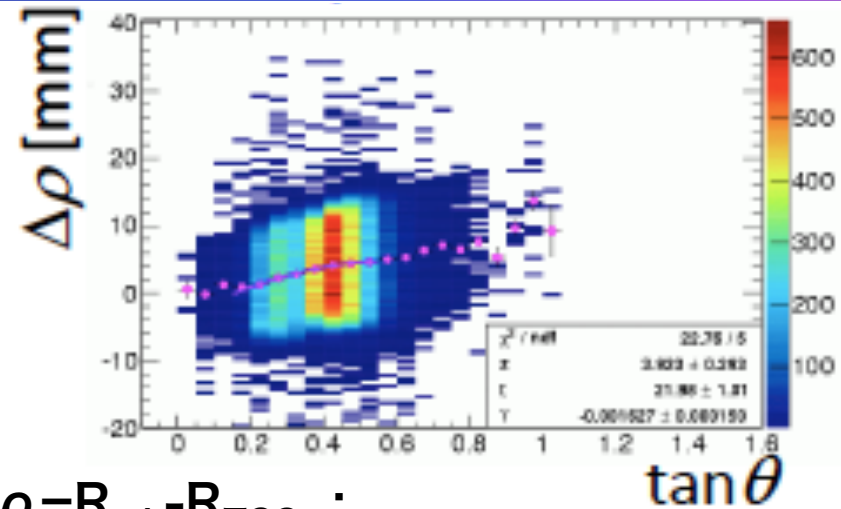
R方向

回転

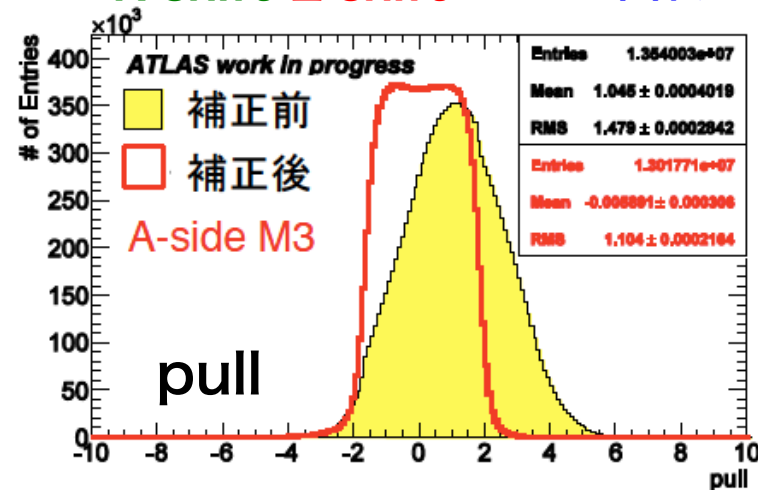


$\Delta \rho = R_{\text{trk}} - R_{\text{TGC}}$  :  
offline trackの外挿点(精度：数100 $\mu\text{m}$ )と  
TGC hit(精度：1cm)の差

$$\langle \Delta \rho \rangle = \underbrace{-R}_{\text{R shift}} + \underbrace{Z \tan \theta}_{\text{Z shift}} + \underbrace{(Z_0 \tan \theta - R_0) \gamma \tan \theta}_{\text{回転}}$$



数cmの移動を確認



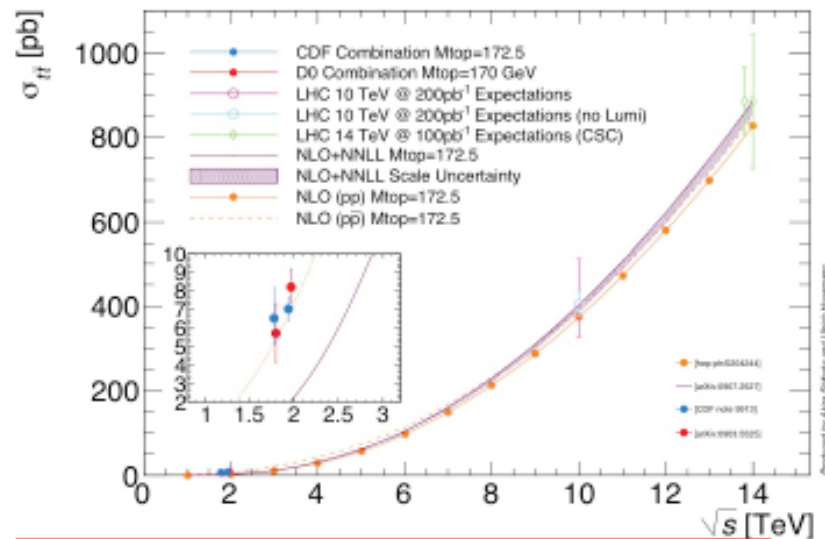
極限 (数mmの精度) まで検出器を理解



## トッポークォーク対生成

初期データで結果が出せる物理

$\sigma_{tt} = 200\text{pb (7TeV)}$  c.f.  $\sigma_{tt} = 8\text{pb (Tevatron)}$   
 $800\text{pb (14TeV)}$



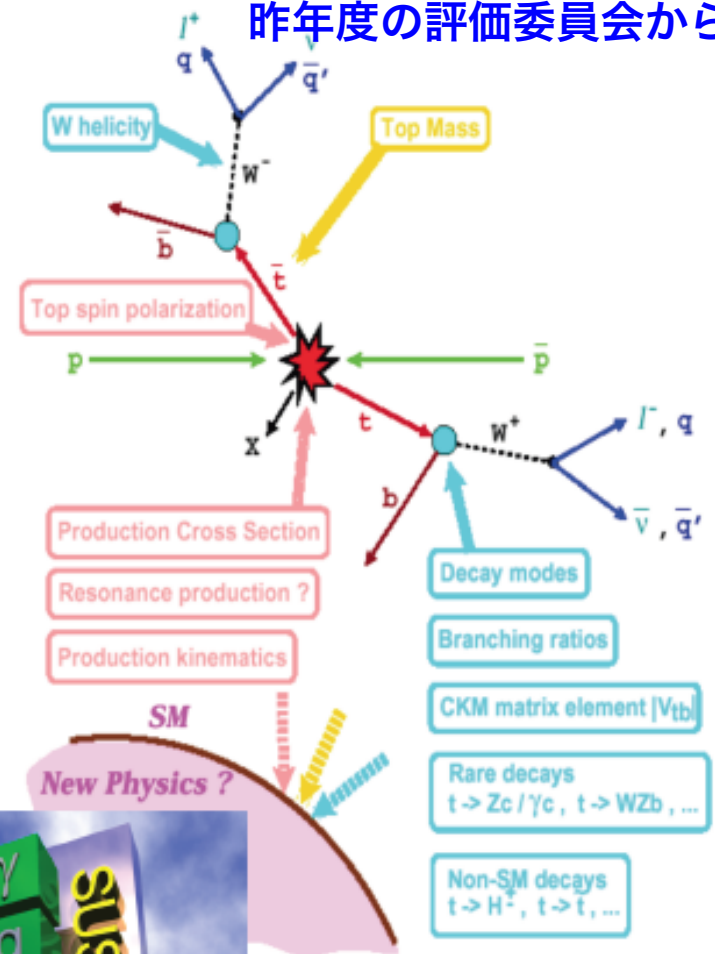
$tt \rightarrow bWbW \rightarrow b\mu\nu b\mu\nu$  (奥村)

Higgs、SUSYへの道標

tt + jets (Higgs/SUSYのbkg.)

Higgs ... ttH、 $t \rightarrow H^+b$  高橋

昨年度の評価委員会から



タウ・センター  
第3世代に着目  
 tau, bottom, top

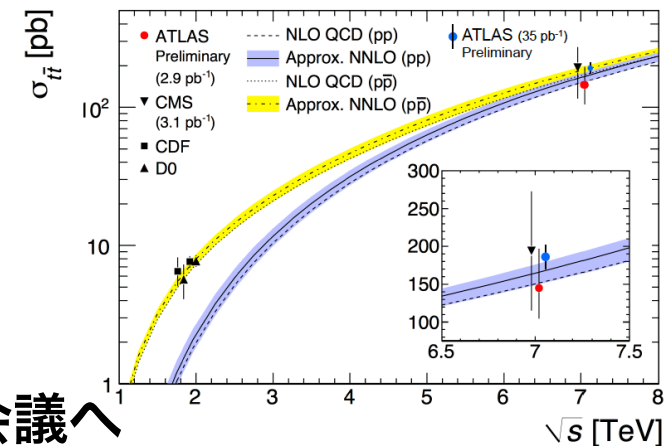
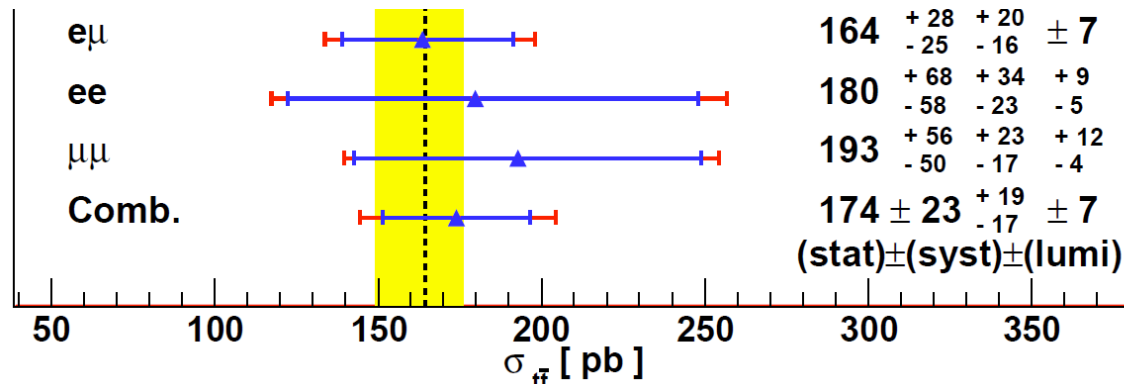
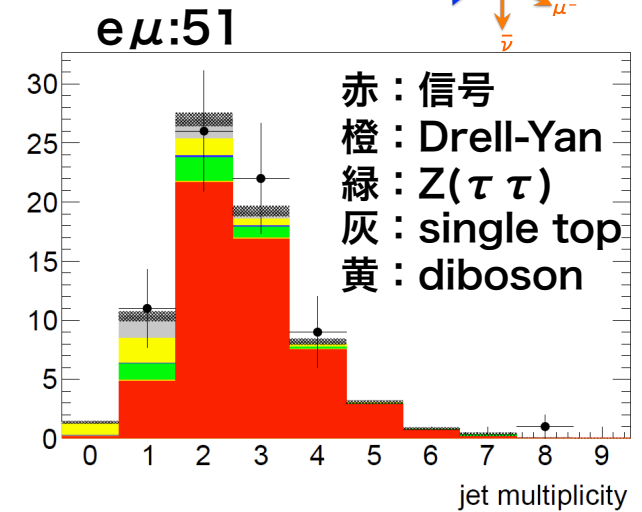
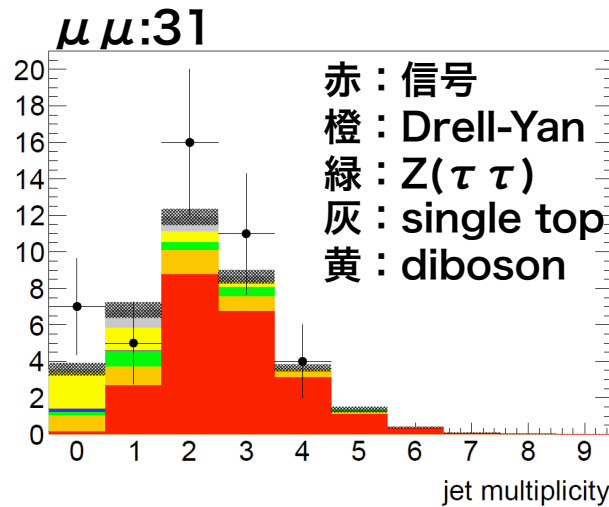
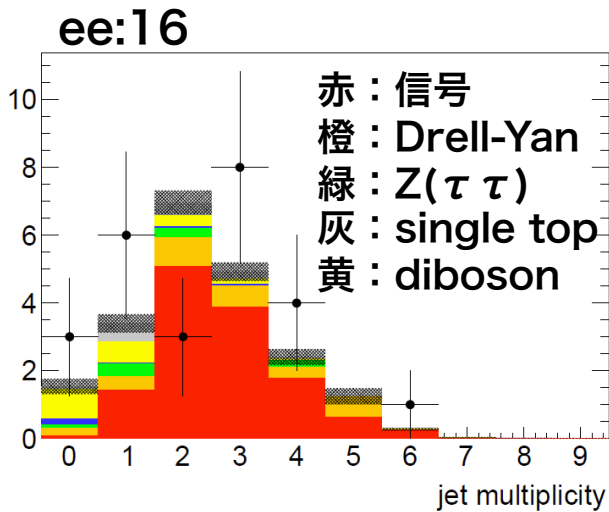
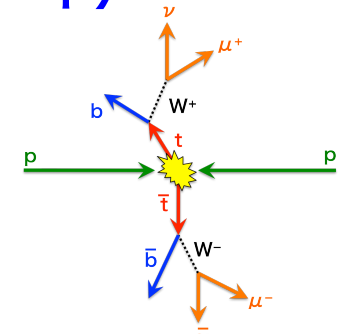
## dilepton事象を用いた、tt 生成断面積測定 (主解析者：奥村、戸本)

$\mu$ 粒子のTrigger、再構成効率、運動量分解能の評価

Pile-up事象の評価

残存Drell-Yan( $Z/\gamma$ ) background の評価

Selection optimization



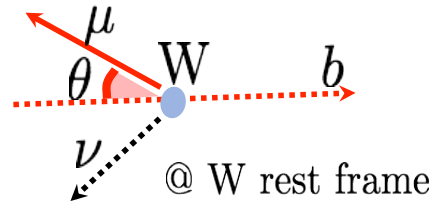
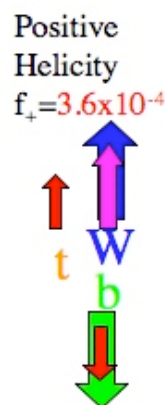
奥村君のトーク、2011年冬の国際会議へ



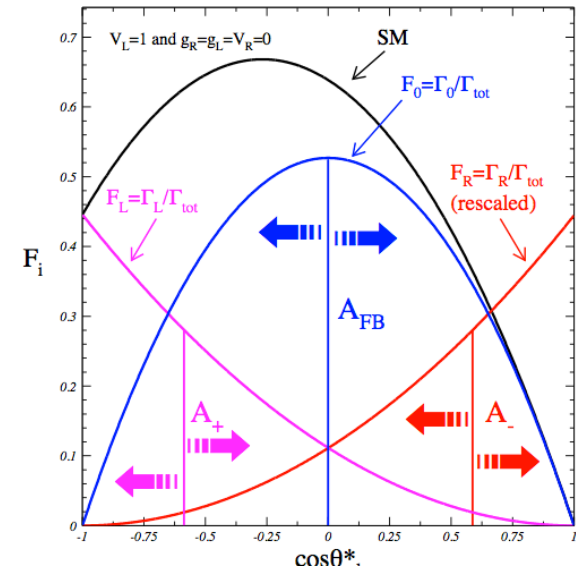
## tt → dilepton事象を用いたW helicity 測定 (主解析者: 長谷川、戸本)

$$\frac{1}{N} \frac{dN}{d \cos \theta_i^*} = \frac{3}{8} (1 + \cos \theta_i^*)^2 F_R + \frac{3}{8} (1 - \cos \theta_i^*)^2 F_L + \frac{3}{4} \sin^2 \theta_i^* F_0$$

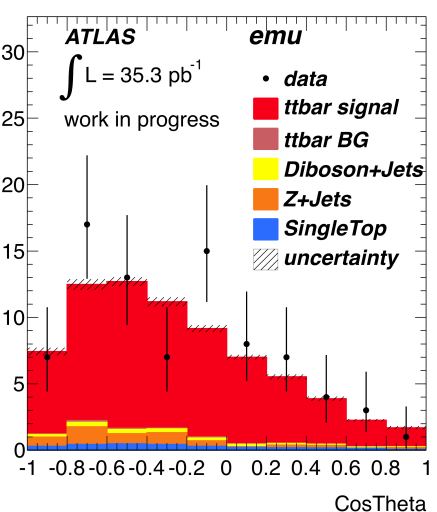
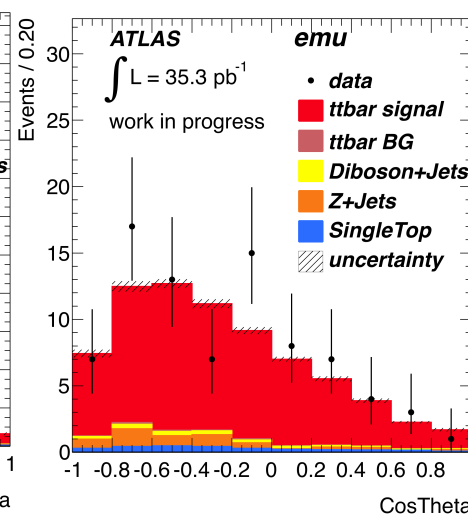
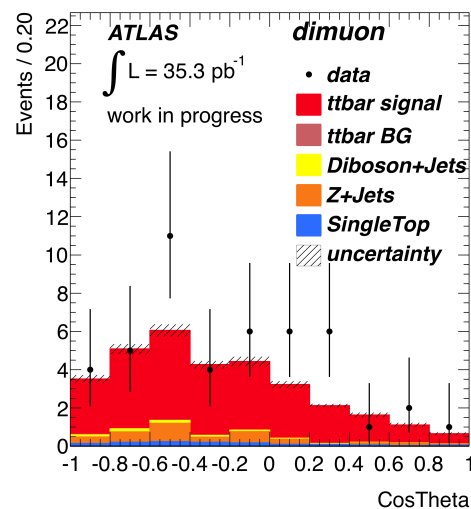
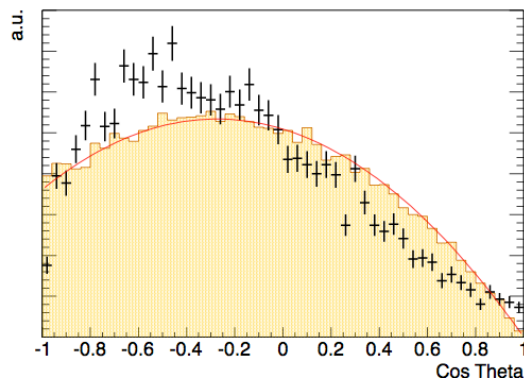
right-handed
left-handed
longitudinal



SM:  
 $F_0 = 0.7, F_L = 0.3, F_R = 0$



### MC ReconstructedとTruth



春から夏の国際会議に向けて、長谷川君のトーク

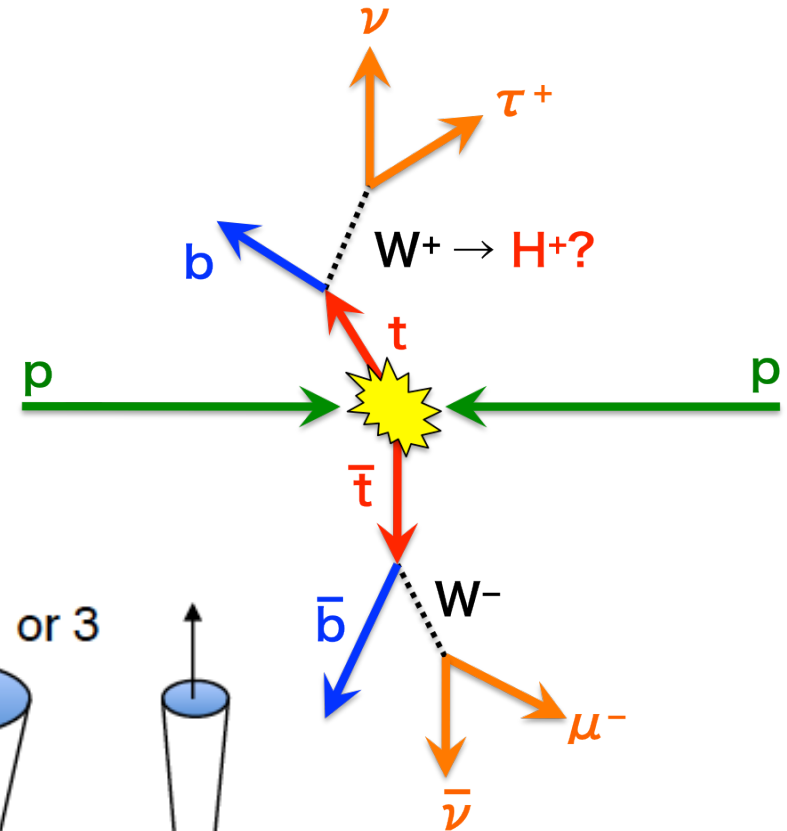
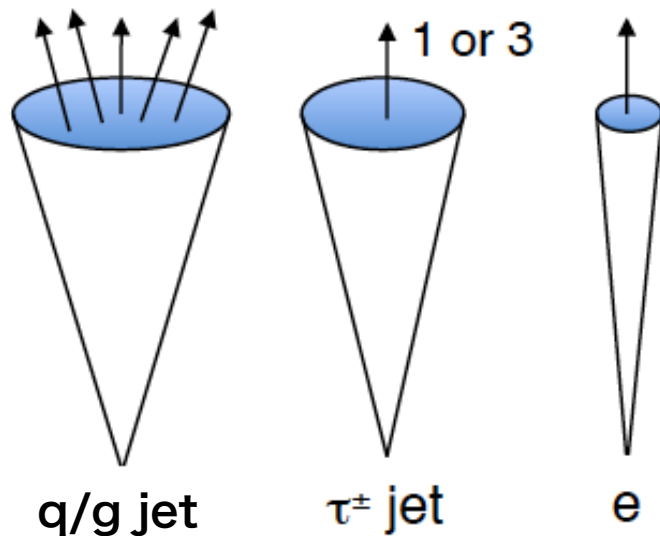
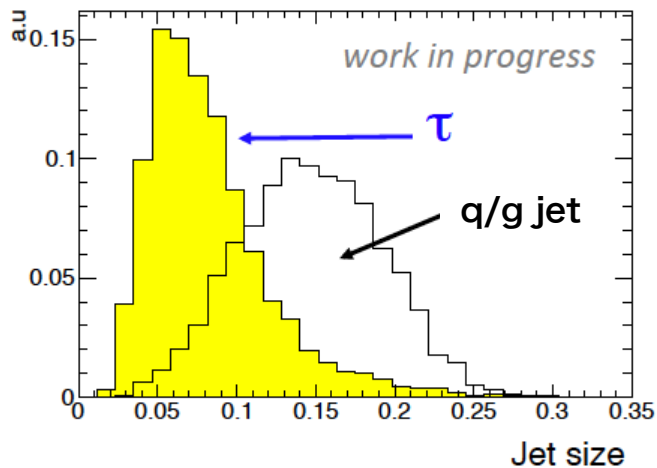
$\tau$  を終状態に持つ  $tt$  断面積の測定 (主解析者 : 高橋、戸本、  
Conference-Note Editor : 戸本)

Charged Higgsに感度 ( $M_t > M_{H^+}$ )  
 $BR(tt \rightarrow \mu \tau X) / BR(tt \rightarrow \mu \mu X) \sim 1$  ?

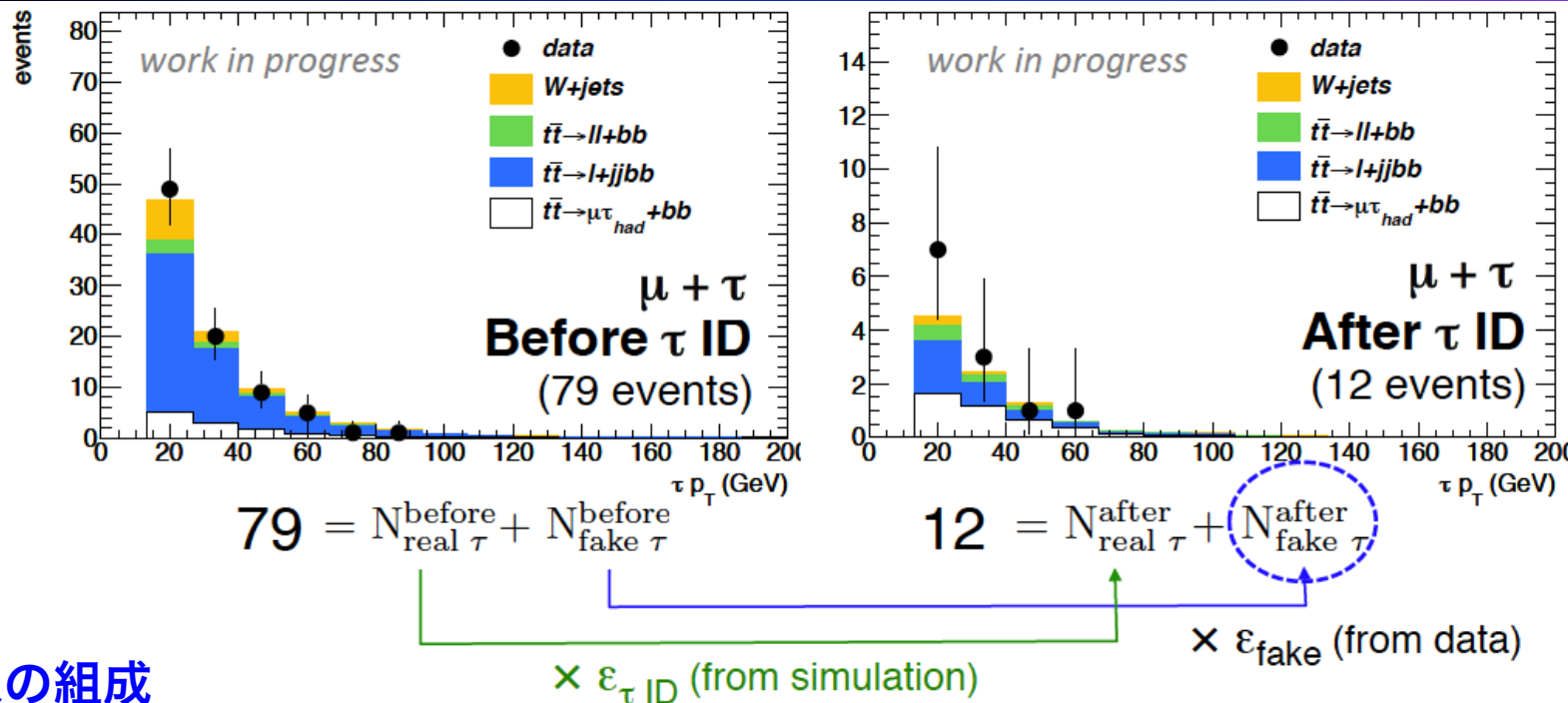
### 事象選別

- 1 isolated e or  $\mu$ ,  $p_T > 20\text{GeV}$
- missing  $E_T > 30\text{GeV}$
- $E_T(\text{lepton, jet, missing } E_T) > 200\text{GeV}$
- # jets 2本以上
- at least 1 b-jet

### $\tau$ id が鍵



real tau?  
 jet  $\rightarrow$  tau?  
 e  $\rightarrow$  tau?



## 事象の組成

signal :45%,  $tt(l+jets)$ : 35%,  $tt(dilepton)$ :8%, W+jets:12%

jet  $\rightarrow \tau$                       e  $\rightarrow \tau$                       jet  $\rightarrow \tau$

チャンネル	データ数	背景事象(予想値)	信号 (予想値)
$\mu + \tau$	12	$6.0 \pm 1.5$	$4.4 \pm 1.0$
e + $\tau$	12	$6.9 \pm 1.6$	$4.2 \pm 0.9$
$\mu/e + \tau$	24	$12.9 \pm 2.2$	$8.6 \pm 1.9$

全て、背景事象である確率 : 1.8% (2.1  $\sigma$  で、 $tt \rightarrow l + \tau$  Xの兆候)  
 $\rightarrow L \sim 200 \text{pb}^{-1}$  (今夏のデータ) で5  $\sigma$  のobservationが期待

春の国際会議に向けて

**論文、国際会議、学会**

**査読付き (PublishedとAccepted) publication list**

- [1] **“The ATLAS Experiment at the CERN Large Hadron Collider”, ATLAS collaboration, JINST 3 S08003 (2008)**
- [2] “Readiness of the ATLAS Liquid Argon Calorimeter for LHC Collisions”, ATLAS collaboration, EPJC 70 (2010) 723 (14 Dec 2009)
- [3] “Drift Time Measurement in the ATLAS Liquid Argon Electromagnetic Calorimeter using Cosmic Muons”, ATLAS collaboration, EPJC 70 (2010) 755 (22 Feb 2010)
- [4] “Charged-particle multiplicities in pp interactions at  $\sqrt{s} = 900$  GeV measured with the ATLAS detector at the LHC”, ATLAS collaboration, Phys Lett B **688**, 1, 21 (15 March 2010)
- [5] “The ATLAS Inner Detector commissioning and calibration”, ATLAS collaboration, EPJC 70 (2010) 787 (26 Apr 2010)
- [6] “The ATLAS Simulation Infrastructure”, ATLAS collaboration, EPJC 70 (2010) 823 (20 May 2010)
- [7] “Performance of the ATLAS Detector using First Collision Data”, ATLAS collaboration, JHEP 1009:056,2010 (28 May 2010)
- [8] **“Commissioning of the ATLAS Muon Spectrometer with Cosmic Rays”, ATLAS collaboration, EPJC 70 (2010) 875 (18 Jun 2010)**
- [9] “Readiness of the ATLAS tile calorimeter for LHC collisions”, ATLAS collaboration, EPJC 70 (2010) 1193 (30 Jul 2010)
- [10] “Search for New Particles in Two-Jet Final States in 7 TeV Proton-Proton Collisions with the ATLAS Detector at the LHC”, ATLAS collaboration, Phys. Rev. Lett. 105, 161801 (14 Aug 2010)
- [11] “Search for Quark Contact Interactions in Dijet Angular Distributions in 7 TeV Proton-Proton Collisions with the ATLAS Detector at the LHC”, ATLAS collaboration, Phys. Lett. B694 (2011) 327-345 (26 Sep 2010)
- [12] “Measurement of inclusive jet and dijet cross sections in proton-proton collisions at 7 TeV centre-of-mass energy with the ATLAS detector”, ATLAS collaboration, accepted by EPJC (submitted 30 Sep 2010)
- [13] “Measurement of the  $W \rightarrow l\nu$  and  $Z/\gamma^* \rightarrow ll$  production cross sections in proton-proton collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS detector”, ATLAS collaboration, JHEP 12 (2010) 060 (local copy) (11 Oct 2010)
- [14] “Observation of a centrality-dependent dijet asymmetry in lead-lead collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV with the ATLAS detector at the LHC”, ATLAS collaboration, Phys. Rev. Lett. 105, 252303 (25 Nov 2010)
- [15] **“Measurement of the top quark-pair production cross section with ATLAS in pp collisions at  $\sqrt{s}=7$  TeV”, ATLAS collaboration, accepted by EPJC (submitted 8 Dec 2010)**
- [16] “Study of Jet Shapes in Inclusive Jet Production in pp Collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV using the ATLAS Detector”, ATLAS collaboration, Accepted by Phys Rev. D (submitted 30 Dec 2010)

数年で、top quark物理の論文が増える！

## 国際会議

- [1] Workshop on the CKM Unitarity Triangle, Nagoya, Japan, December 12 -16, 2006  
“Rare decays in ATLAS and CMS”, M. Tomoto
- [2] Topical Workshop on Electronics for Particle Physics, Prague, Czech Republic, September 3-7, 2007  
“The 1st Result of Global Commissioning of the ATLAS Endcap Muon Trigger System in ATLAS Cavern”,  
T. Sugimoto
- [3] Topical Workshop on Electronics for Particle Physics, Naxos, Greece, September 15-19, 2008  
“The Commissioning status and results of ATLAS Level1 Endcap Muon Trigger System”, Y. Okumura
- [4] International Conference on Advanced Technology and Particle Physics (ICATPP), Como Italy, October 5-9, 2009  
“ATLAS Muon Spectrometer, Status and Performance”, Y. Takahashi

奥村：DIS 2011 (4月) でATLAS代表トーク予定 “Top cross-section”Proceedings

- [1] “Installation and test of the ATLAS muon endcap trigger chamber electronics.”, H. Nomoto, M. Tomoto et al.,  
Proceedings for 12th Workshop on Electronics for LHC and Future Experiments (LECC 2006) (査読無)
- [2] “Rare decays in ATLAS and CMS”, M. Tomoto et al.  
Proceedings for 4<sup>th</sup> International Workshop on the CKM Unitarity Triangle (CKM2006) (査読無)
- [3] “Integration and commissioning of the ATLAS muon-trigger system, TGC”, M. Ishino, M. Tomoto, et al.,  
Proceedings for 27th International Conference on Physics in Collision (PIC 2007) (査読無)
- [4] “The 1<sup>st</sup> Result of Global Commissioning of the ATLAS Endcap Muon Trigger System in ATLAS Cavern”,  
T. Sugimoto et al.,  
Proceedings for Topical Workshop on Electronics for Particle Physics 2007(TWEPP2007) (査読無)
- [5] “The commissioning status and results of ATLAS level1 Endcap muon trigger system”,  
Y. Okumura, M. Tomoto et al.,  
Proceedings for Topical Workshop on Electronics for Particle Physics 2008 (査読無)
- [6] “ATLAS Muon Spectrometer, Status and Performance”, Y. Takahashi, M. Tomoto, et al.,  
Proceedings for International Conference on Advanced Technology and Particle Physics (ICATPP) (査読無)
- [7] “Design studies of the ATLAS muon level-1 trigger based on the MDT detector for the LHC upgrade”,  
O.Sasaki, M Tomoto et al,  
Proceedings for Topical Workshop on Electronics for Particle Physics 2010, JINST 5:C12021 (2010) (査読有)



## 日本物理学会口頭発表

- 日本物理学会、太平洋領域合同物理学会2006年10月29日から11月3日  
杉本拓也 “Current Status of ATLAS Endcap Muon Trigger System”
- 日本物理学会、2007年秋季大会 2007年9月21日-24日 北海道大学  
高橋悠太 “ATLAS前後方ミュオン粒子トリガー検出器の地上私見の最終報告”  
奥村恭幸 “ATLAS実験ホールにおけるThin Gap Chamber DAQ システムの構築”
- 日本物理学会 2008年年次大会 2008年3月23日-26日  
高橋悠太 “ATLAS実験ホールにおける $\mu$ 粒子検出器統合試運転”
- 日本物理学会2008年秋季大会 2008年9月20日-23日 山形大学小白川キャンパス  
杉本 拓也 “ATLAS前後方ミュオン粒子レベル1トリガーシステム -全システム稼動に向けて-”  
長谷川 慧 “ATLAS実験TGC検出器の試運転総括”
- 日本物理学会2009年次大会 2009年3月27日-30日 立教大学  
長谷川慧 “ATLAS Level 1  $\mu$ 粒子トリガー TGCシステムの宇宙線を用いた最終動作検証”
- **Korea Physical Society meeting, Daejeon Korea, 日韓合同セッション April 23, 2009**  
**M. Tomoto "Status of the ATLAS experiment" (招待講演)**
- 日本物理学会2009年秋期大会 2009年9月10日-13日 甲南大学  
伊藤 悠貴 “宇宙線を用いたATLAS-TGCTリガーシステムの性能評価”
- 日本物理学会2010年次大会 2010年3月20日-23日 岡山大学  
奥村 恭幸 “LHC-ATLAS実験におけるトップクォーク対生成断面積測定”
- 日本物理学会2010秋期大会 2010年9月11日-14日 九州工業大学  
**戸本 誠 “アトラス測定器のパフォーマンス” (招待講演)**  
杉本 拓也 “ATLAS実験ミュオン粒子レベル1トリガーシステムの陽子衝突事象を用いた性能評価”  
高橋 悠太 “タウ粒子を終状態に含むトップクォーク対生成断面積の測定”  
若林 潤 “ATLAS-TGCTリガーシステムのアライメント”

# 本研究のATLAS研究の位置づけ

## 研究内容

研究は **New Physics探索(重点)** と **標準理論の高感度検証** である。

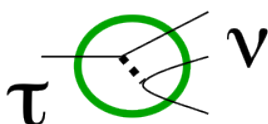
**High Energyの世界 & Higgs&SUSY 標準理論では存在しない粒子:**

従来の素粒子反応のルールを破る

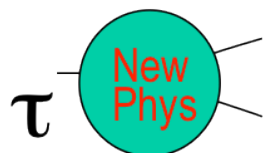
## 保存則の破れ！極くの稀な現象

### レプトン・フレーバ保存則の破れ (LFV)、

タウ・レプトン崩壊の非対称性 (CPV)、  
電気双極子モーメント (EDM) の測定など



標準理論



New Physics

New Physicsが発現するであろう

$$Br(\text{分岐比}) = O(10^{-9})$$

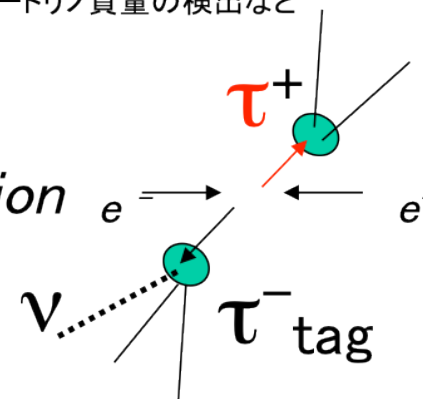
の感度でのLFV探索を目指す。探索限界。

理論モデル	$Br(\tau \rightarrow \mu \gamma)$	$Br(\tau \rightarrow \ell \ell)$
mSUGRA+seesaw	$10^{-7}$	$10^{-9}$
SUSY+SO(10)	$10^{-8}$	$10^{-10}$
SM+seesaw	$10^{-9}$	$10^{-10}$
Non-Universal Z'	$10^{-9}$	$10^{-8}$
SUSY+Higgs	$10^{-10}$	$10^{-7}$

標準理論の検証(未検出反応の探索):

セカンドクラス・カレント事象 ( $\tau \rightarrow \pi \eta \nu, \pi \omega \nu$ )、  
ベクトル中間子( $\rho, K^*$ )の磁気双極子モーメント、  
タウ・ニュートリノ質量の検出など

## Lepton Flavor Violation



### 三種の神器(3 points):

- (1) 高統計のデータ(数10億)
  - (2) データ解析能力
  - (3) 独創的研究能力
- ノイズ(BG)  
S/N

まず、数10億の多量のタウデータが必要。

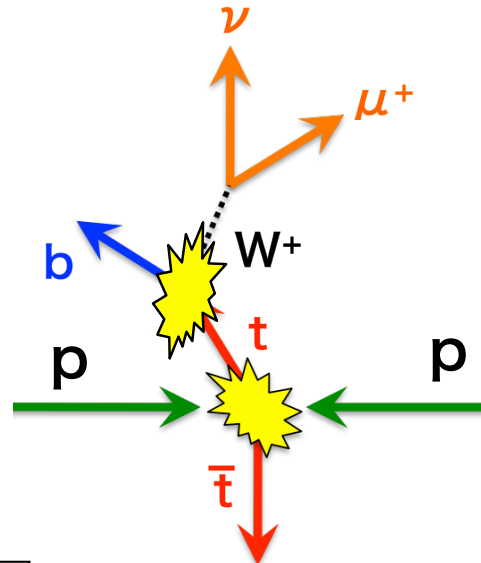
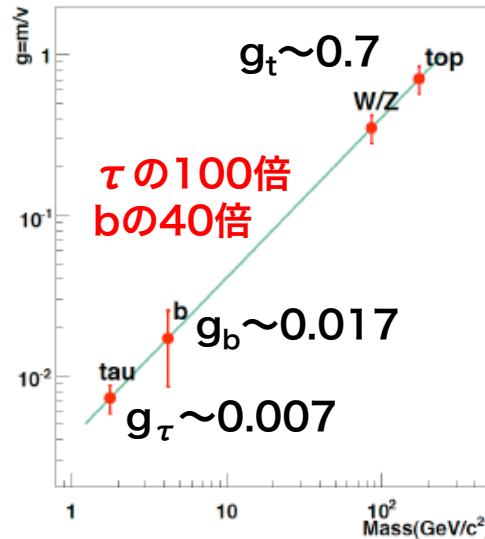
つぎに、そのような多量の崩壊データを解析する実験手段の構築。

さらに、バックグラウンドを含む数100億事象の中から1例あるいは数例の信号事象を抽出する独創的な解析能力が必要。

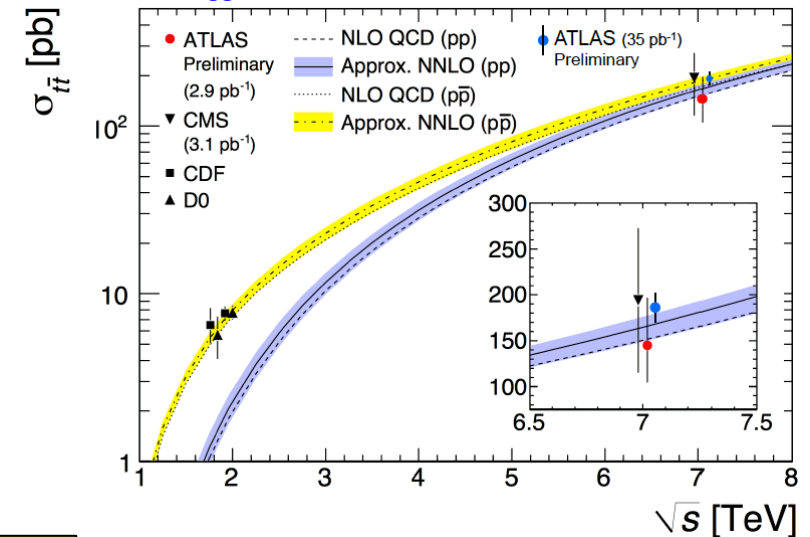
Energy frontier でしかできない、最も重い素粒子による

## New Physicsの探索 と 標準模型の高感度検証

「質量起源の謎」、「世代構造の謎」と強い関連 (Higgs)



## $\sigma_{tt}$ の測定に成功



top quark → 新しい粒子  
 $t \rightarrow \tau \nu b$   
 Anomalous coupling  
 W helicity in top decay

top quarkが重い謎  
 $\tau$ は??  $b$ は??  
 世代構造の謎

様々な崩壊過程による測定  
 $t \rightarrow \tau \nu b$   
 $tt + \text{jets}$  断面積 →  $ttH$  など

検出器 → 物理解析へ、主解析者へと成長 → 名大独自の研究へと発展途上

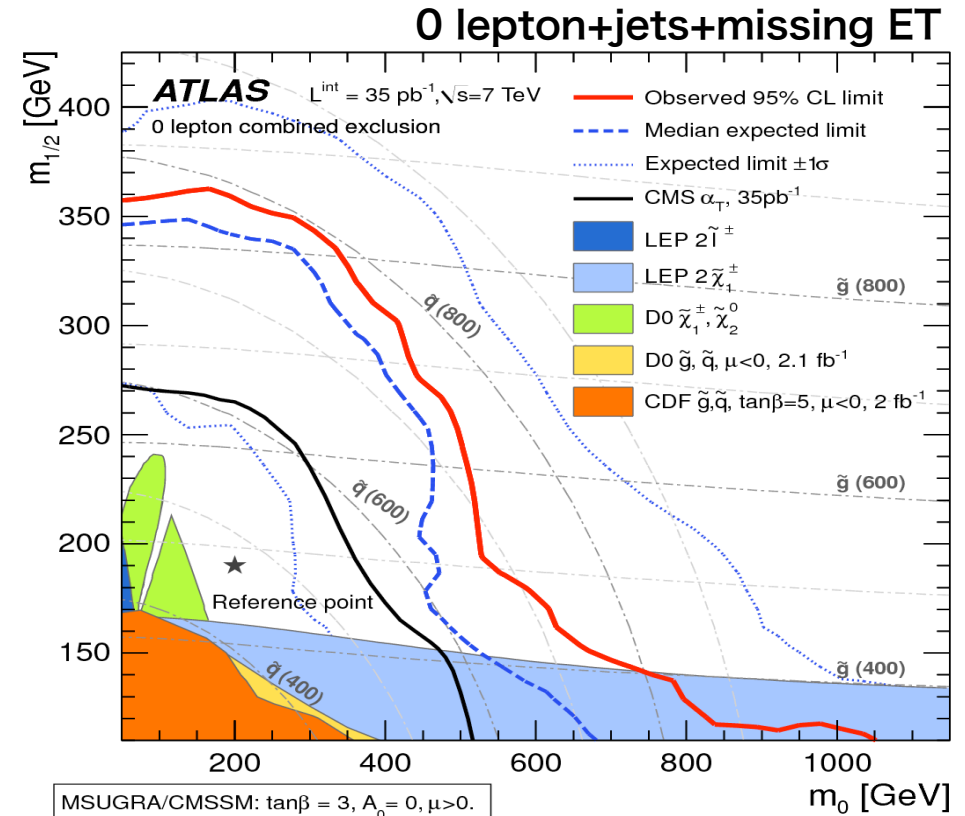
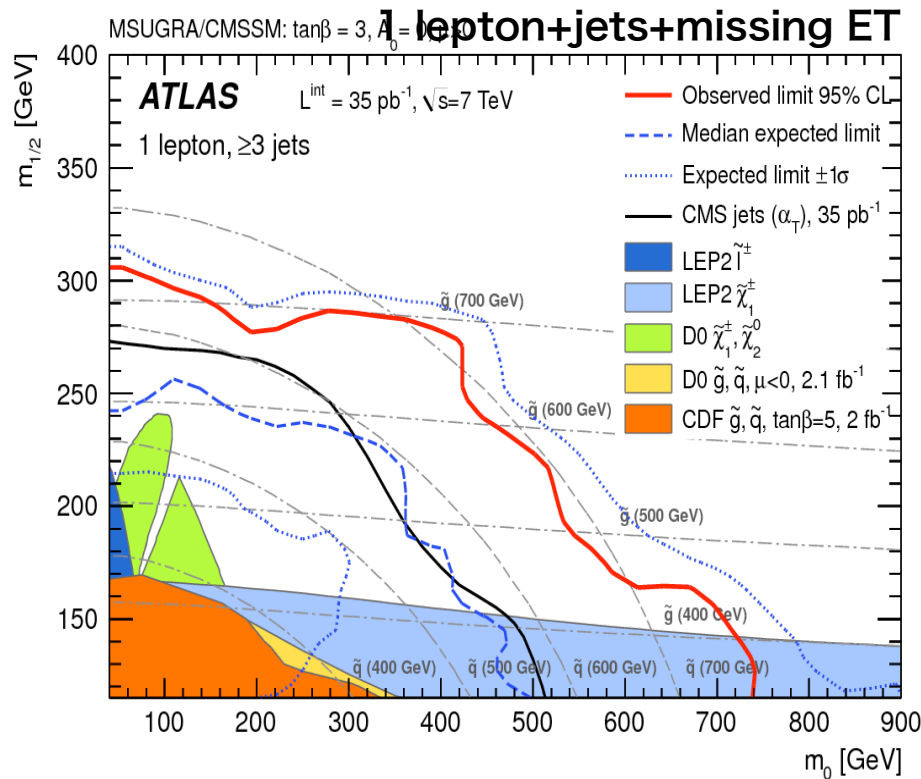
ATLAS-J-TopPhysicsのchair 大阪大学、KEKなどと共同研究

「タウ・レプトン物理」から 「トップ・クォーク物理」へと展開、土壌を構築

「名古屋」の新たな特徴研究に：大型科研費、センターの発展を狙う

## SUSYの存在領域範囲

Tevatronの測定感度を大きく更新しはじめた



Dark MatterとしてのmSUGRAはかなり制限されている。

$\tau$ のLFVへ与える影響は？

どんなSupersymmetric modelが面白いのか？

→ 今後、ATLAS/ $\tau$ /理論の相互連携が期待できる。

→ LjiljanaをSUSYの解析に

学術創成研究「タウ・レプトン物理の新展開」において、

名古屋チームの**ATLAS実験の立ち上げに成功**

検出器建設からスタートし、**主体的に物理結果を出す**までに成長

ATLAS実験グループの中で名古屋が**visible**に

国際的若手研究者の育成に成功

新たな名古屋の研究「トップ・クォーク物理」の土壌の構築に成功

タウ・レプトンだけでなく、**第3世代素粒子**を通じ、

$\tau$ 、 $b$ 、 $t$

**New Physicsの探索・発見**を目指す新たな研究課題を設定

素粒子の質量階層を考慮に入れたNew Physicsの寄与効果

**「質量起源の謎」、「世代構造の謎」 解明**を目的とする新たな研究目標

top quarkの質量だけなぜ大きいのか？

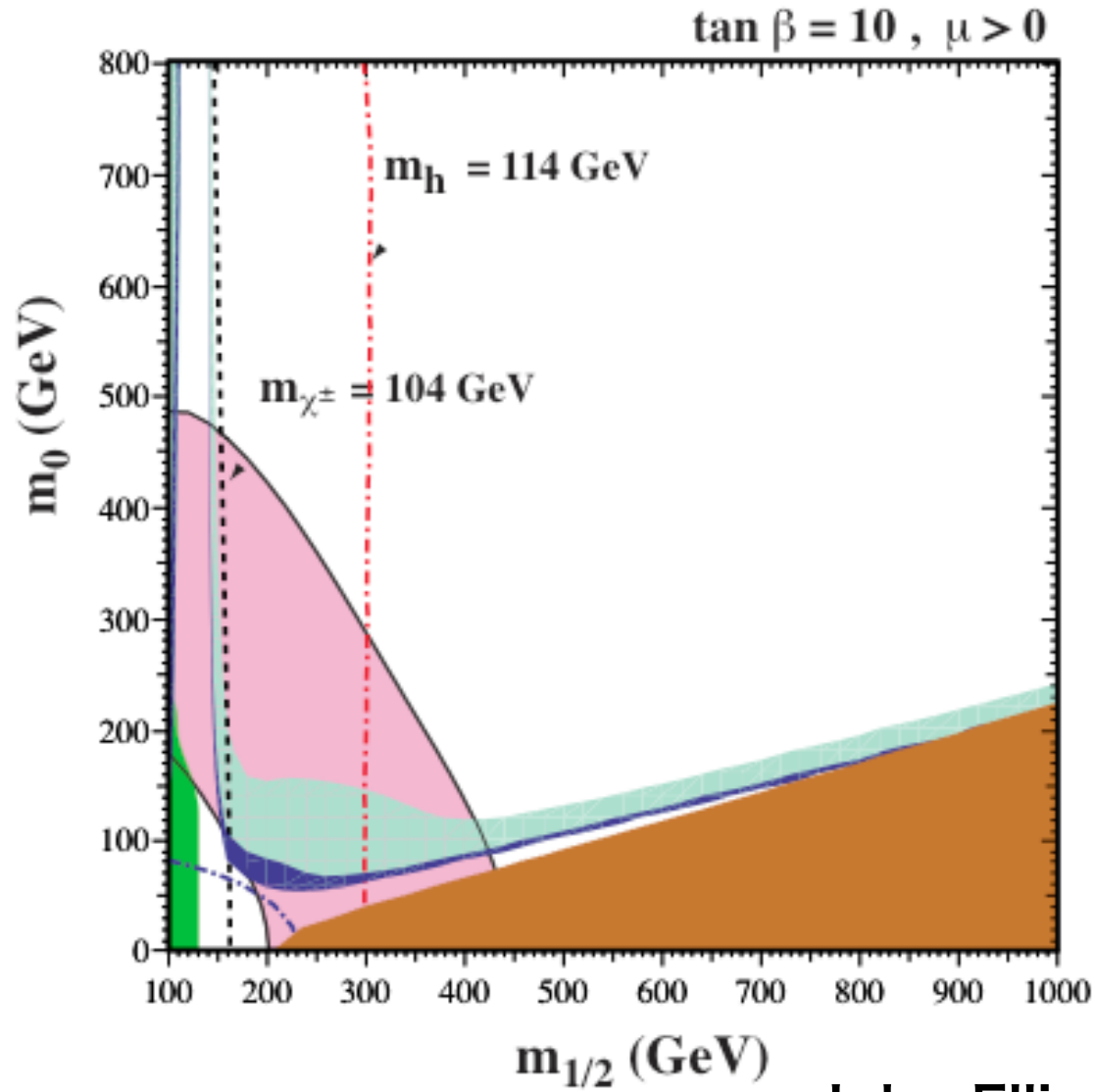
新しい物理（SUSY）の直接測定にも気を配りながら

本研究でATLASを推進してきた結果、生まれた**新たな研究課題**である

次の科研費研究などで独創的な研究成果を期待



# バックアップ



John Ellis