

LHCでの新物理探索 (フレーバーアノマリー関連)

9 November 2022, Flavor Physics Workshop 2022

廣瀬茂輝(筑波大)

■ 少しでも自己紹介



2011～2017年 : Belle/Belle II

- Belle II TOP用MCP-PMTで修士論文書いた
[NIM A 766, 163 \(2014\)](#), [NIM A 787, 293 \(2015\)](#)
- Belleで $R(D^*)$ と $P_\tau(D^*)$ を測って博士論文書いた
- D論を書いているときに、「EWスケールに何かあるならまずヒッグスの精密測定？」

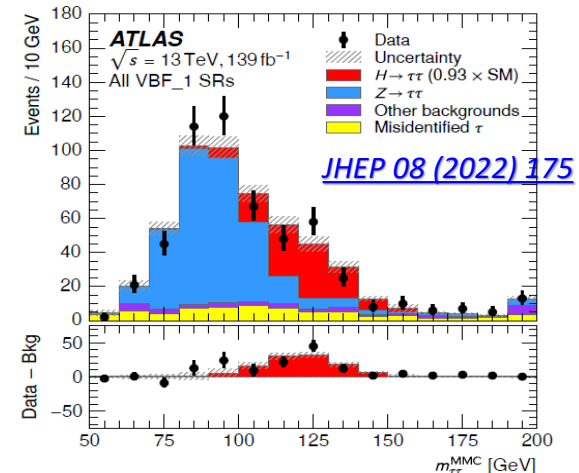
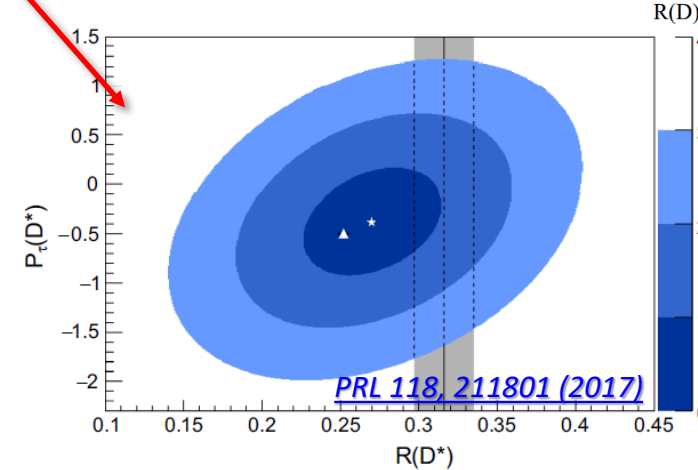
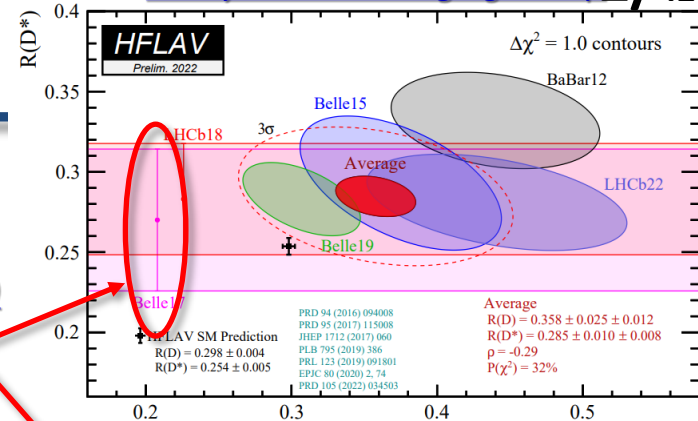


2017～現在 : ATLAS

- ヒッグス粒子の物理を始めた... $H \rightarrow \tau\tau$ を使って第三世代から攻める
- 現行ATLASシリコンストリップ検出器の運転、オンライン解析 [JINST 17 \(2022\) P01013](#)
- 高輝度LHC用シリコン検出器の開発・量産
[NIM A 1045, 167608 \(2023\)](#)

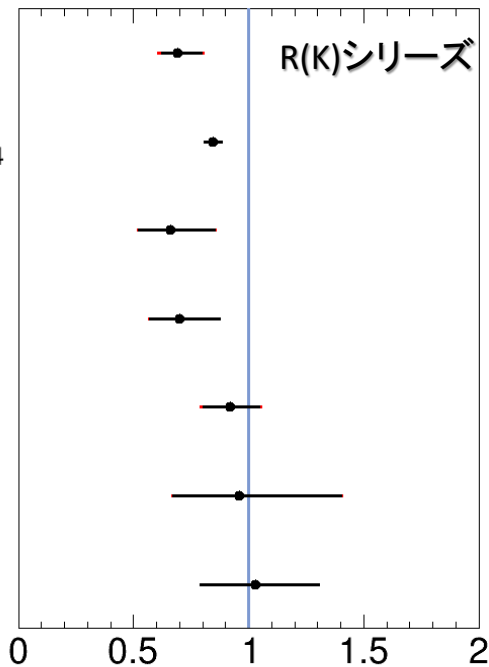


フレーバー物理、チョットダケワカル。。。。

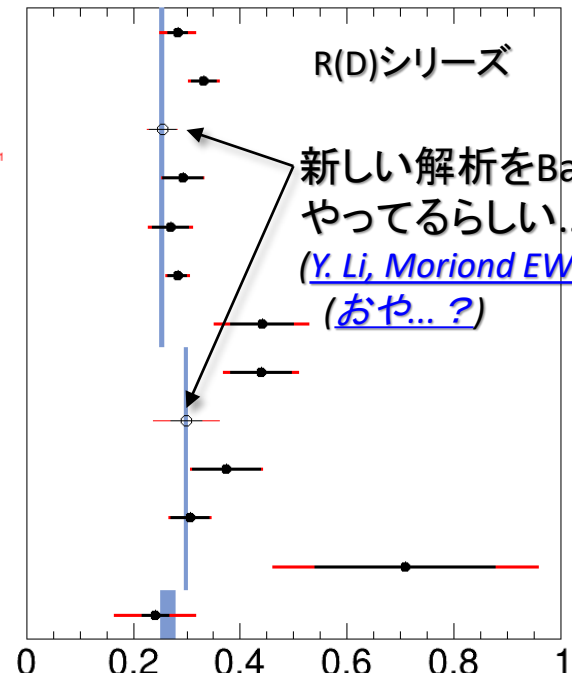


■ B アノマリーの現状、おさらい

$R(K^{*0})$ LHCb 3 fb⁻¹
 JHEP 08 (2017) 055
 $R(K^+)$ LHCb 9 fb⁻¹
 LHCb-PAPER-2021-004
 $R(K_S^0)$ LHCb 9 fb⁻¹
 PRL 128 (2022) 191802
 $R(K^{*+})$ LHCb 9 fb⁻¹
 PRL 128 (2022) 191802
 $R(pK)$ LHCb 4.7 fb⁻¹
 JHEP 05 (2020) 040
 $R(K^*)$ Belle 711 fb⁻¹
 PRL 126 (2021) 161801
 $R(K)$ Belle 711 fb⁻¹
 JHEP 03 (2021) 105



$R_{D^*}[\tau_\mu]$ LHCb 3 fb⁻¹
 LHCb-PAPER-2022-039
 $R_{D^*}[\tau_{3p}]$ LHCb 3 fb⁻¹
 PRL 120 (2018) 171802
 $R_{D^*}[\tau]$ HT BaBar 426 fb⁻¹
 PRL 109 (2012) 101802
 $R_{D^*}[\tau]$ SLT BaBar 426 fb⁻¹
 Work In Progress
 $R_{D^*}[\tau]$ HT Belle 711 fb⁻¹
 PRD 92 (2015) 072014
 $R_{D^*}[\tau_h]$ HT Belle 711 fb⁻¹
 PRL 118 (2017) 211801
 $R_{D^*}[\tau]$ SLT Belle 711 fb⁻¹
 PRL 124 (2020) 161803
 $R_{D^*}[\tau_\mu]$ LHCb 3 fb⁻¹
 LHCb-PAPER-2022-039
 $R_D[\tau]$ SLT BaBar 426 fb⁻¹
 Work In Progress
 $R_D[\tau]$ HT BaBar 426 fb⁻¹
 PRL 109 (2012) 101802
 $R_D[\tau]$ HT Belle 711 fb⁻¹
 PRD 92 (2015) 072014
 $R_D[\tau]$ SLT Belle 711 fb⁻¹
 PRL 124 (2020) 161803
 $R_{3\psi}[\tau_\mu]$ LHCb 3 fb⁻¹
 PRL 120 (2018) 121801

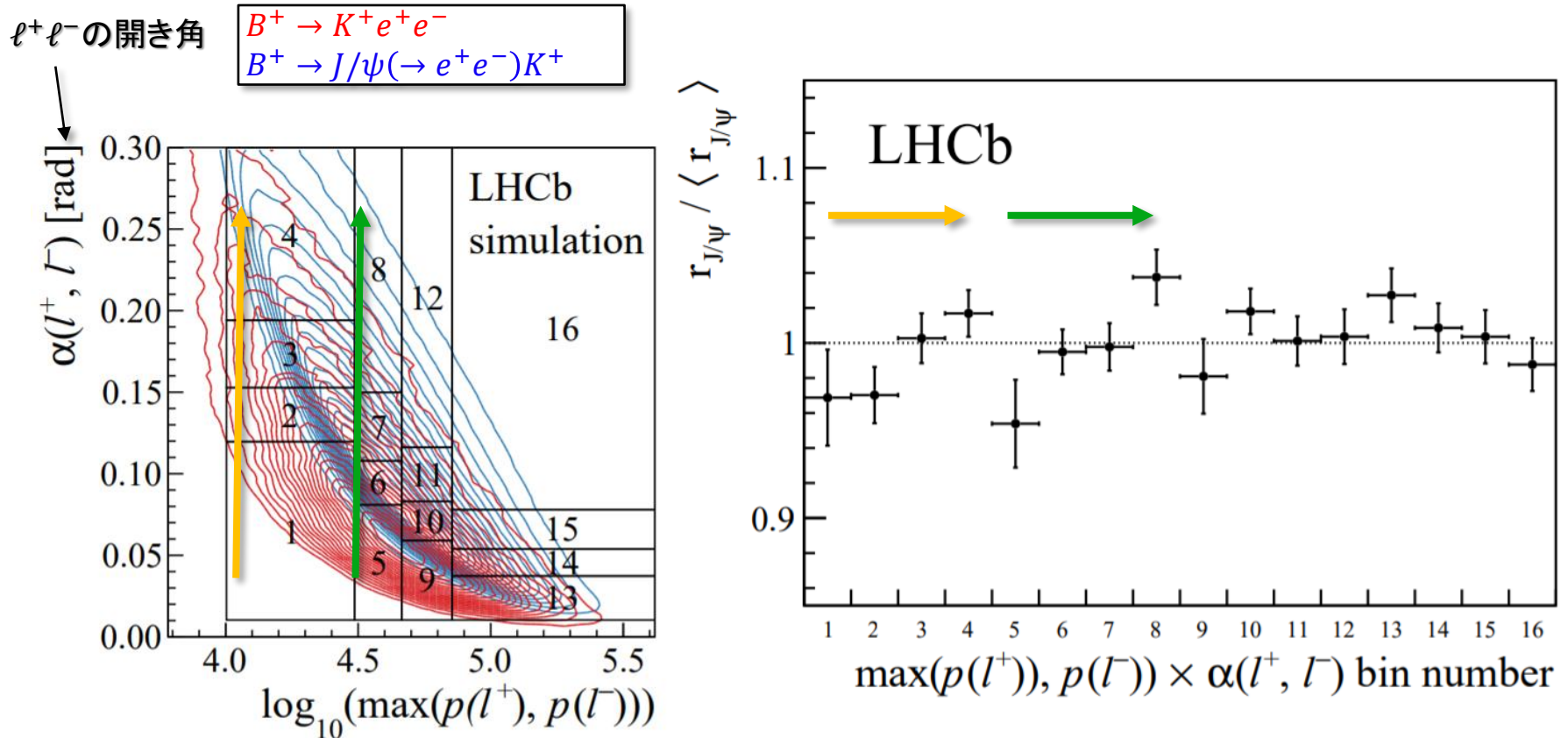


新しい解析をBaBarが
 やってるらしい...?
 ([Y. Li, Moriond EW 2022](#))
 (おや...?)

- $R(K)$ 系はコンシステントに小さい
 - ee モードは標準模型通りで、 $\mu\mu$ モードが小さく出ている
 - ただし、ほぼLHCbだけで決まってる
- $R(D)$ 系は、($R(\Lambda_c)$ を除いて)コンシステントに大きい
 - e, μ モードは標準模型通りで、 τ モードが大きい
 - 色々な実験で測定されているが、どれも難しい解析

■ $R(K^{(*)})$ はきれいな測定？

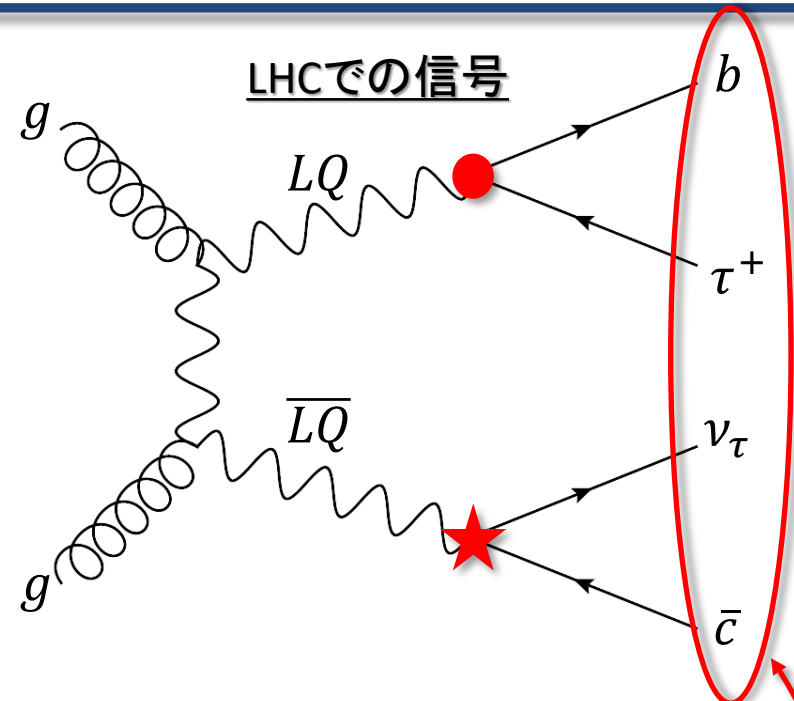
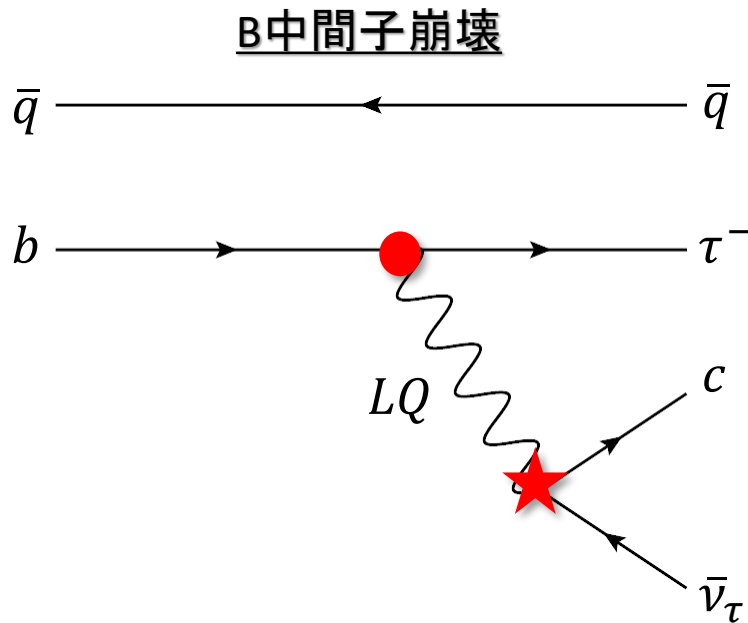
[Nature Physics 18 \(2022\) 277](#)



- 少し依存性が見えなくもなくなる？
- でもまあ15%のずれをつくるほどではないかあ。。。
- Belle IIで見たいなあ。。。

■ LHCではどう見える？

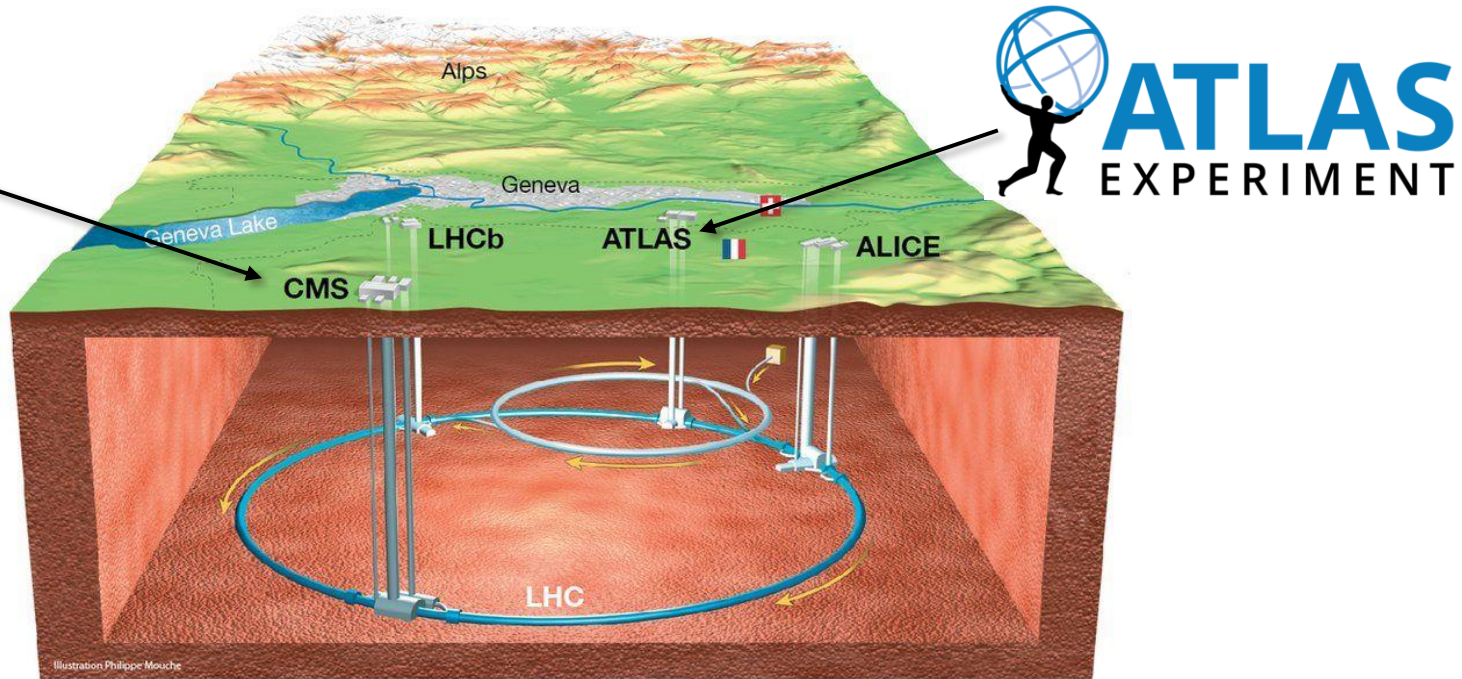
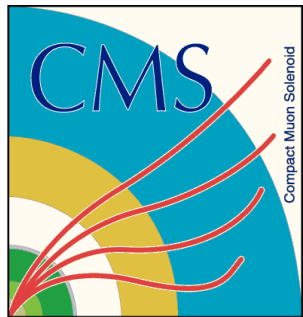
おことわり: このトークではLQをベクターっぽく書きますが、あまり深い意味はありません(スカラーもありえる)



- もし未知粒子がアノマリーを作っているなら、LHCで観測可能なはず(その新粒子がLHCで生成可能な質量なら)
 - 終状態に特徴的な高運動量 τ レプトンやジェットが出現
(例えば $m = 1 \text{ TeV}$ なら、崩壊粒子は最大 $p_T \sim 500 \text{ GeV}$ を持つ)
 - 特に、高運動量で孤立した e, μ, τ が特徴的

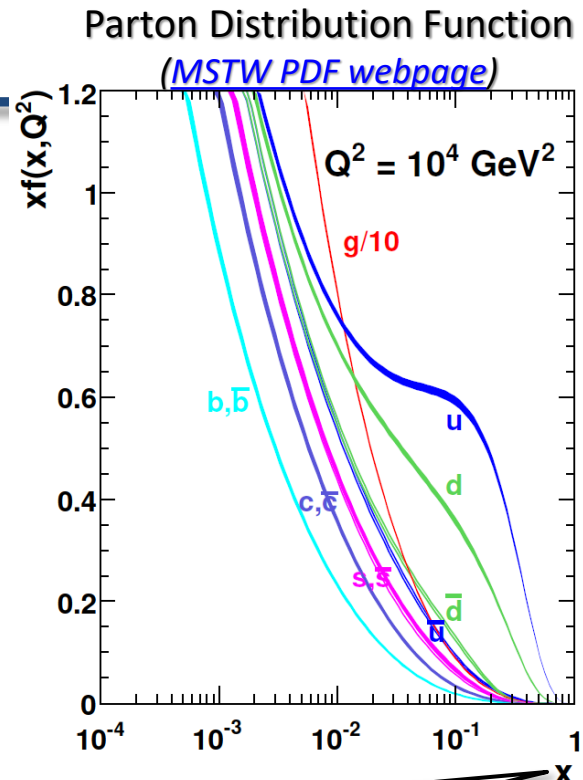
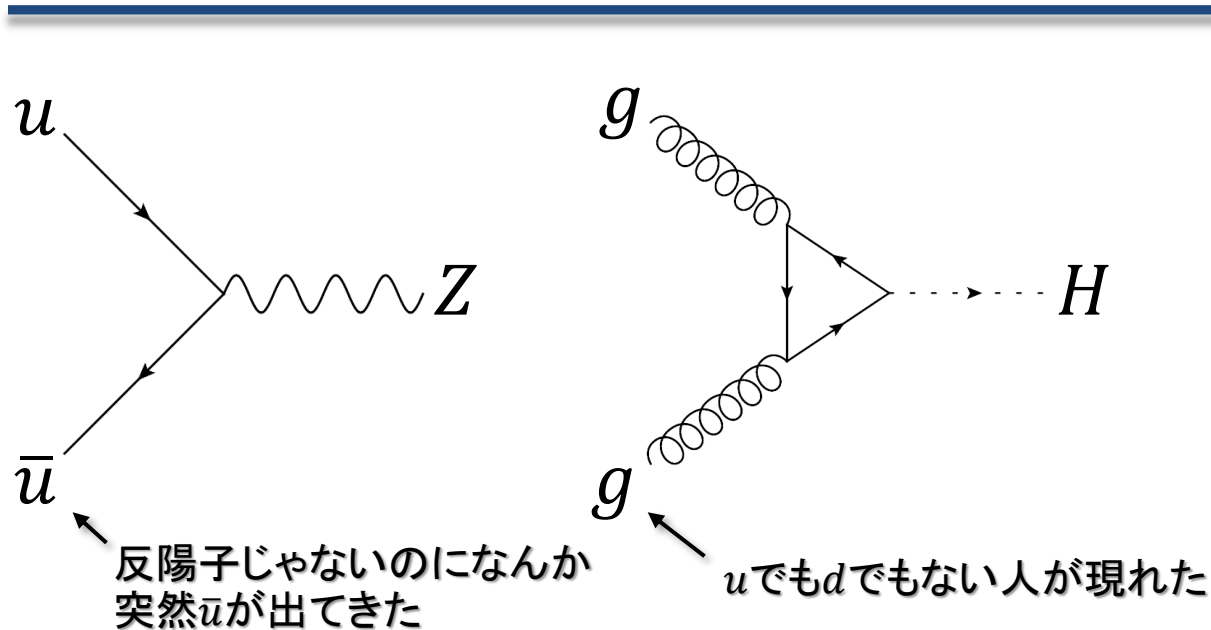
このような粒子の精度良い測定は、LHCでのBSM探索でとても重要！

■ LHC加速器



- 世界最大かつ最高エネルギーの陽子陽子衝突型加速器
 - 周長27 km
 - 重心系エネルギー13.6 TeV(設計は14 TeV)
 - 瞬間ルミノシティ $2.06 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ (最高記録)
 - 40 MHzで陽子同士が衝突
- 4つの主要な実験: ATLAS, CMS, LHCb, ALICE

■ LHCでの衝突



• 陽子は構造を持つ

- 陽子は (uud) でできている (価クォーク)
- $(q\bar{q})$ ができたり消えたりしている (海クォーク)
- グルーオンも無数にいる

陽子の運動量のうち、そのクォークやグルーオンが担う割合

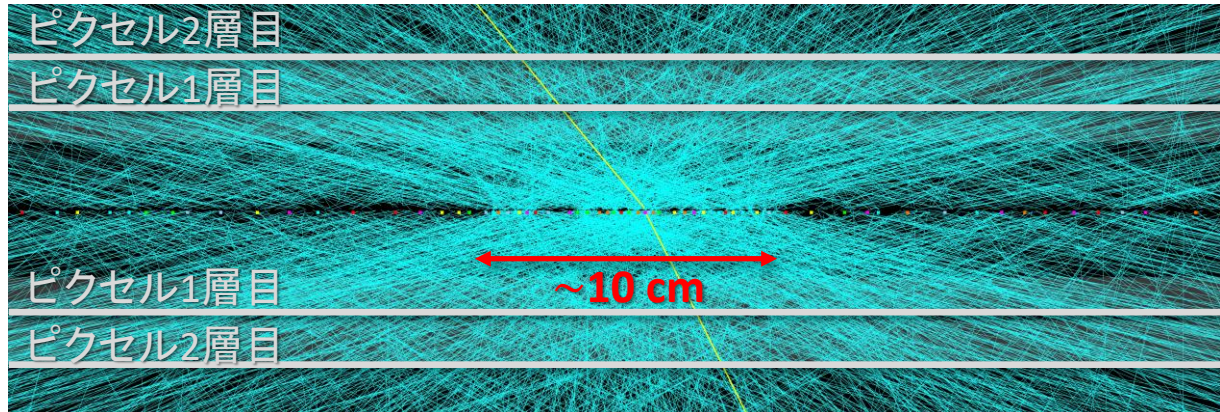
衝突しているのはこの人たち

• クォークやグルーオンは、陽子の運動量の一部だけを担う

- 実際の衝突エネルギーは13.6 TeVよりはるかに低い
- 始状態の運動量の z 成分はわからない → 「横」運動量で議論する理由

■ LHCでの衝突

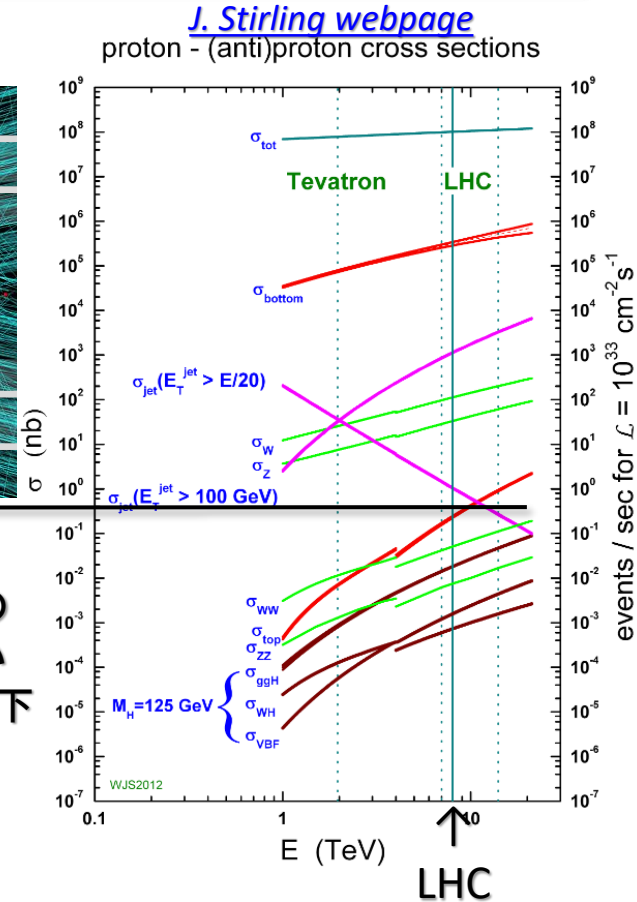
ATLAS衝突点回りの様子



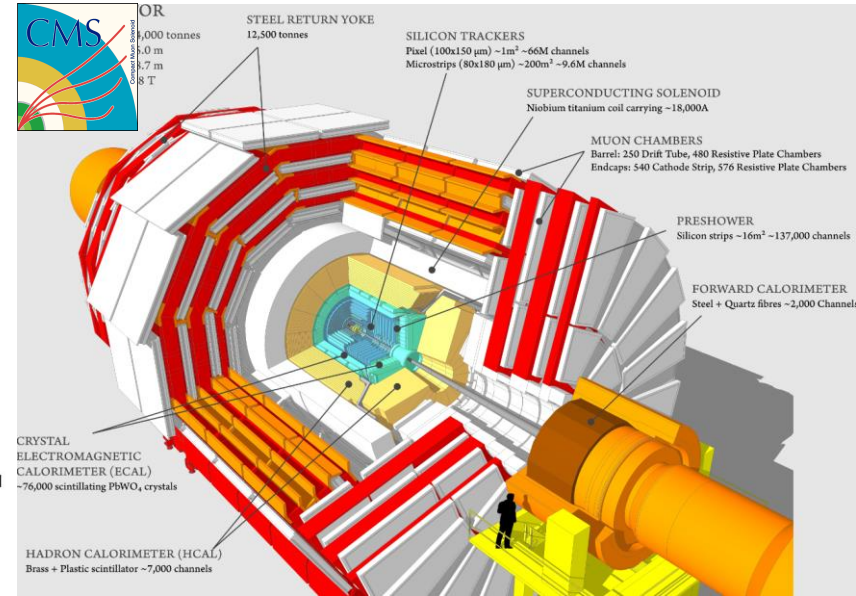
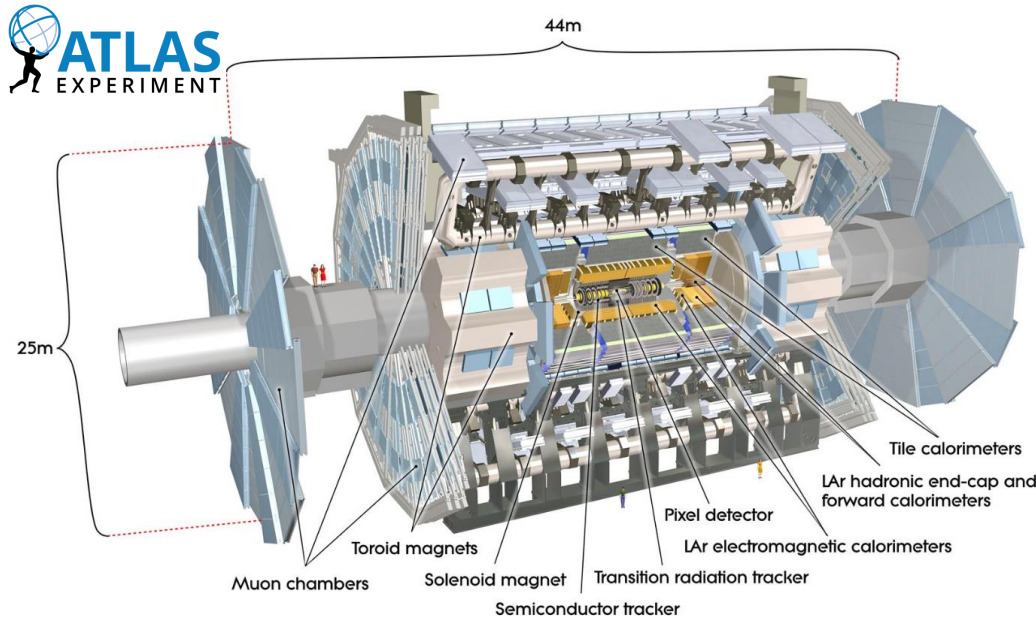
[ATLAS Event Displays from Run 2](#)

- 陽子は強い相互作用をする
 - 非弾性散乱断面積はめちゃくちゃおおきい(13 TeVで約80 mb)
 - たとえば、ヒッグスの生成断面積は約50 pb
→ 9桁も低い!
 - 40 MHzで全部のデータは取れないので、2段階のトリガーで1 kHzまで落としている

興味あるのはだいたいこの辺より下



ATLASとCMS

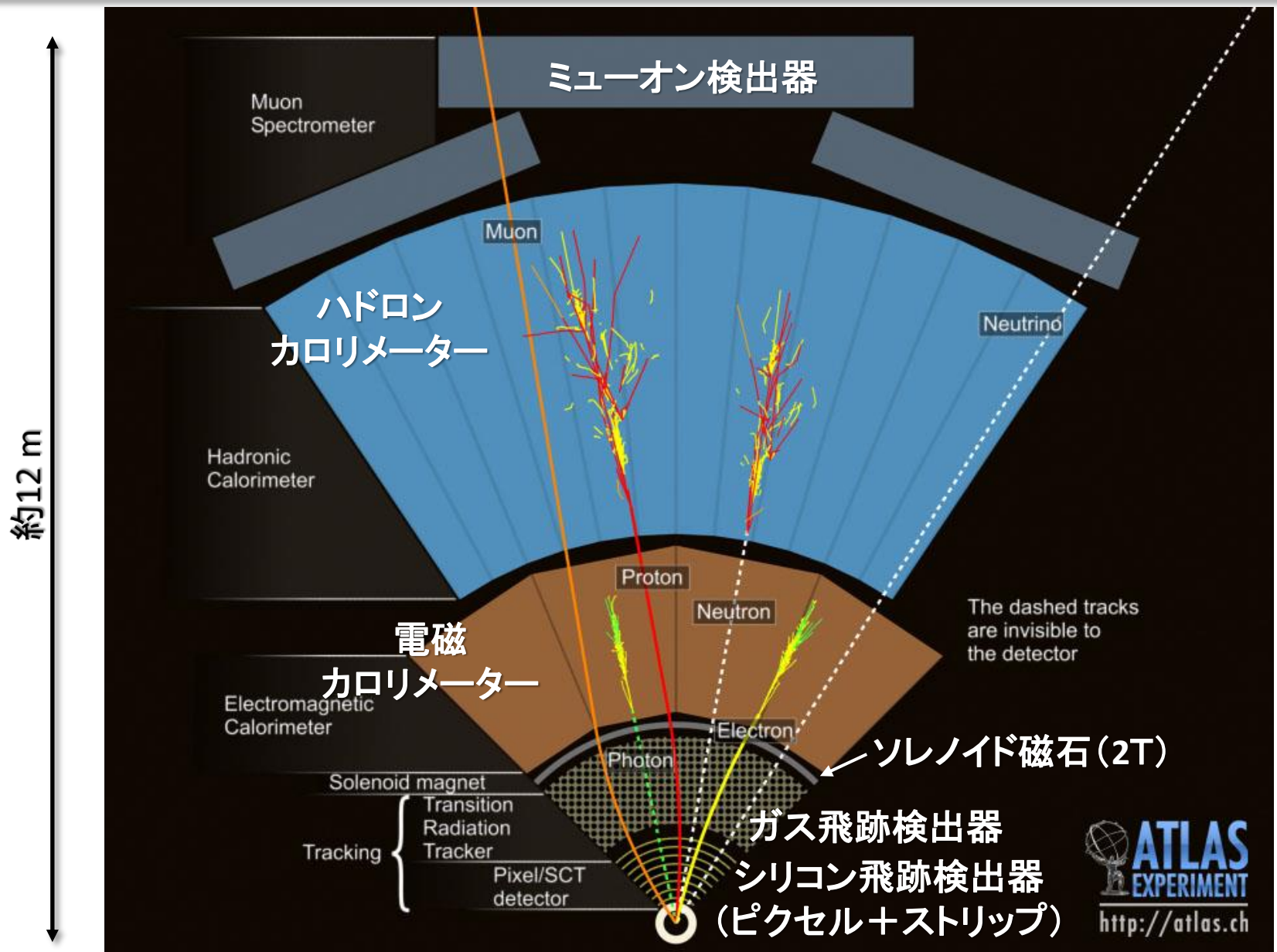


- LHCにある2つの巨大汎用検出器
 - 構造はよく似ているが、細部に異なる特徴がある

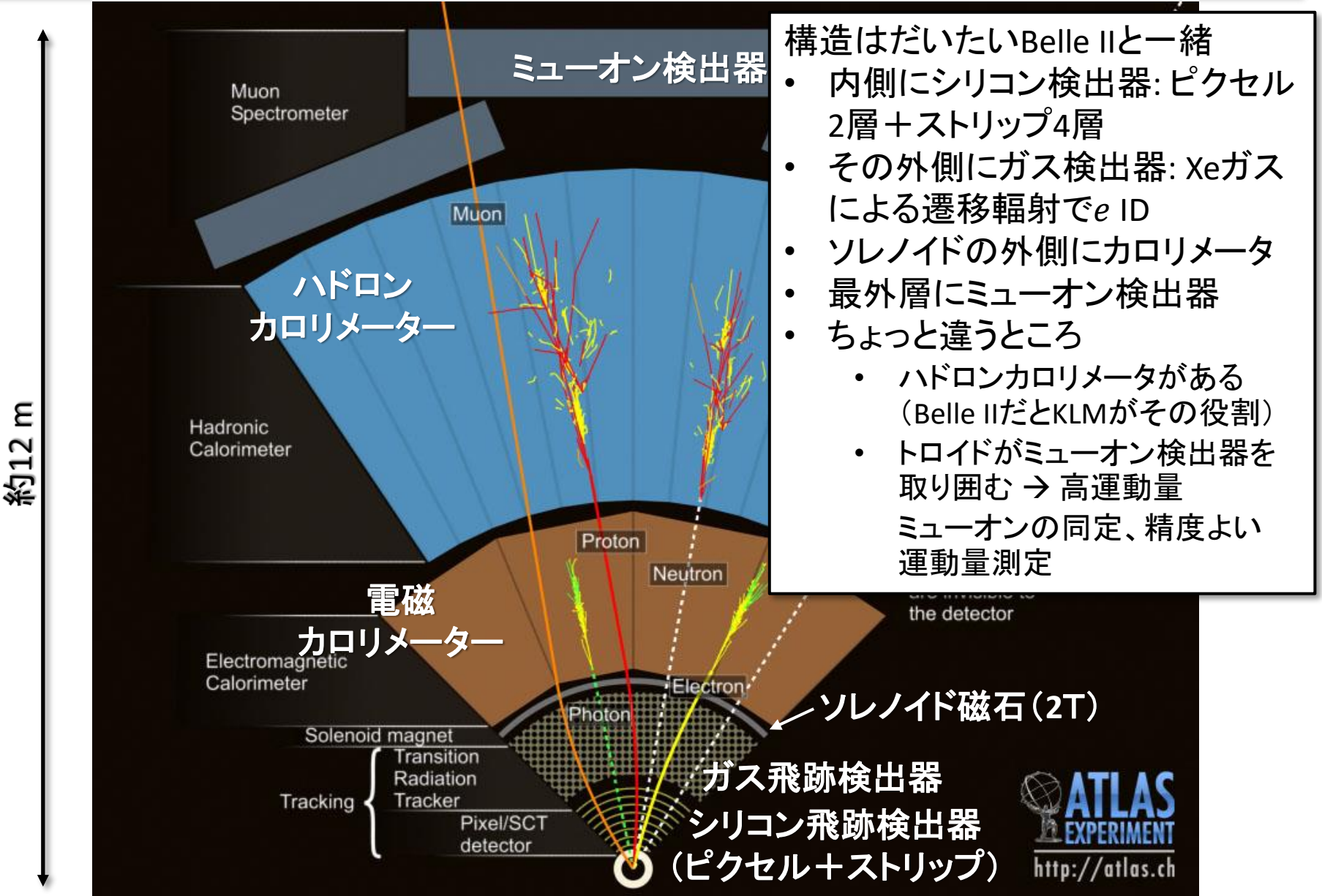
	ATLAS	CMS
検出器直径	25 m	15 m
トロイド磁場	4.1 T (peak)	ない
ソレノイド磁場	2 T	3.8 T
電磁カロリメータ	液体Ar + Pb (サンプリング型)	PbWO ₄ (全吸収型)
立地	メインサイトから徒歩1分	メインサイトから 徒歩2時間半 (注: 歩きません)

} 高 p_T ではATLASが強い
 → 低 p_T ではCMSが強い
 → エネルギー測定はCMSが強い(が、高 p_T ではコンパラ)

■ ATLASでの電子・ミューオンの検出

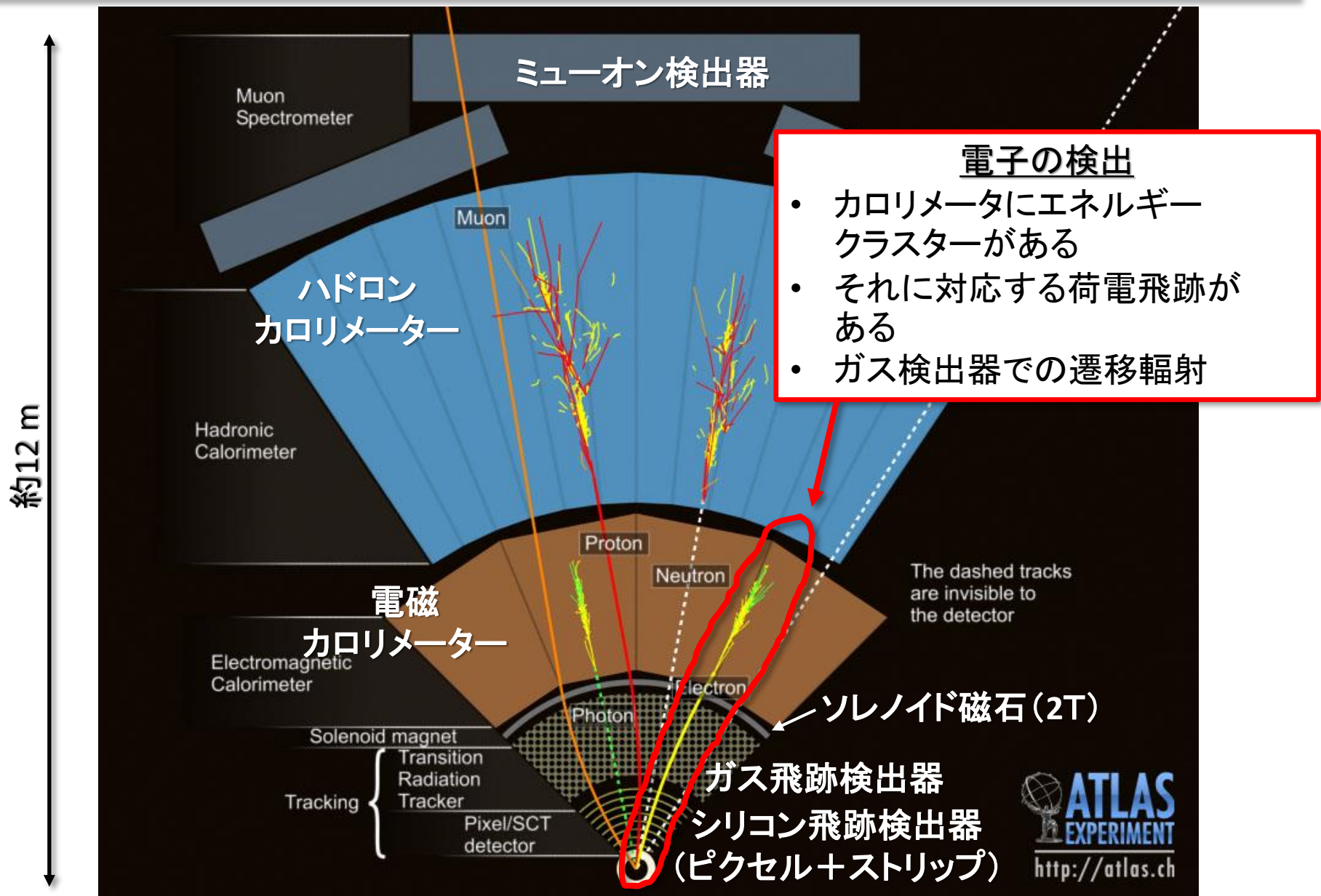


■ ATLASでの電子・ミューオンの検出

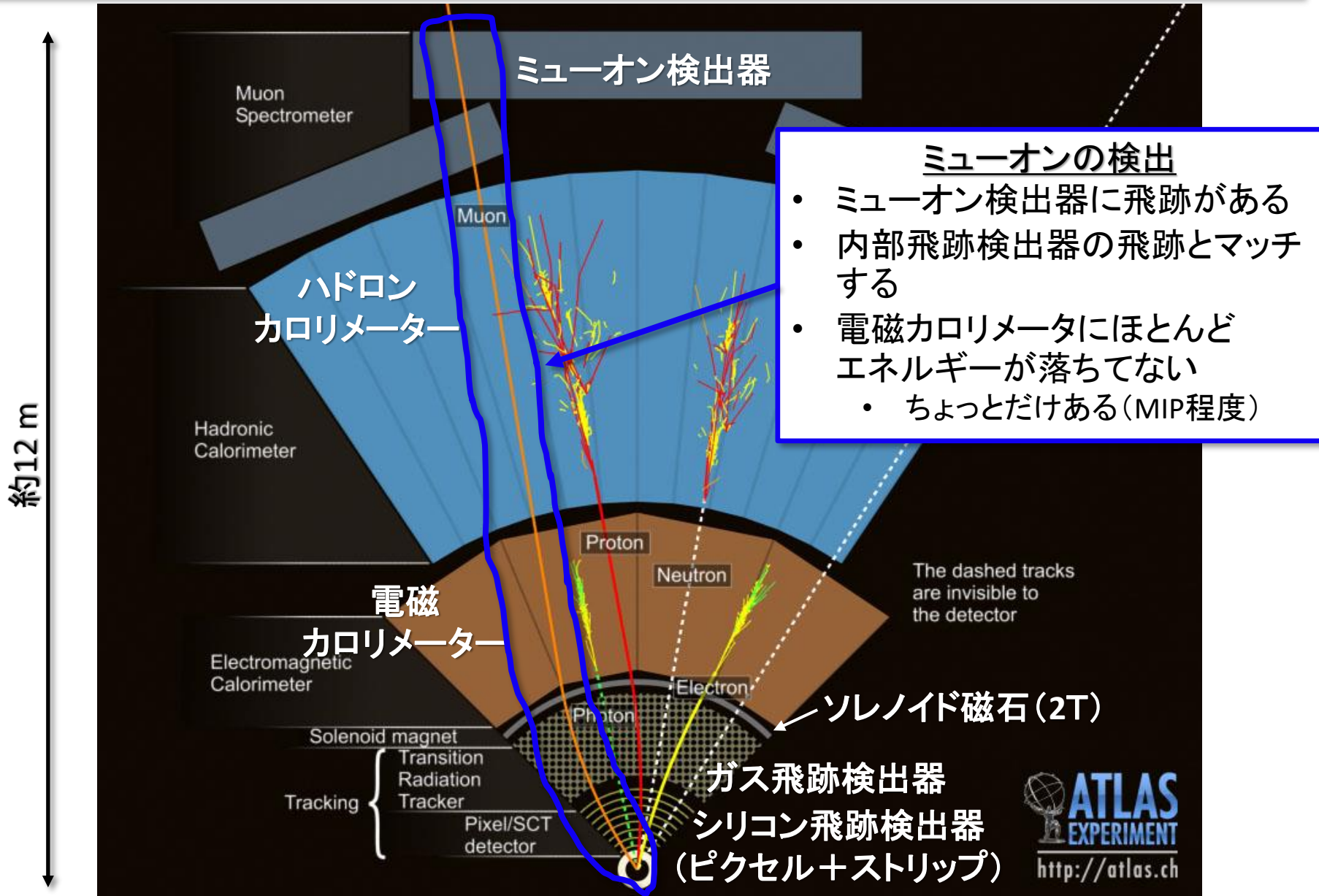


- 構造はだいたい Belle II と一緒
- 内側にシリコン検出器: ピクセル 2層 + ストリップ 4層
 - その外側にガス検出器: Xeガスによる遷移輻射で e ID
 - ソレノイドの外側にカロリメータ
 - 最外層にミュオン検出器
 - ちょっと違うところ
 - ハドロンカロリメータがある (Belle IIだとKLMがその役割)
 - トロイドがミュオン検出器を取り囲む → 高運動量
ミュオンの同定、精度よい運動量測定

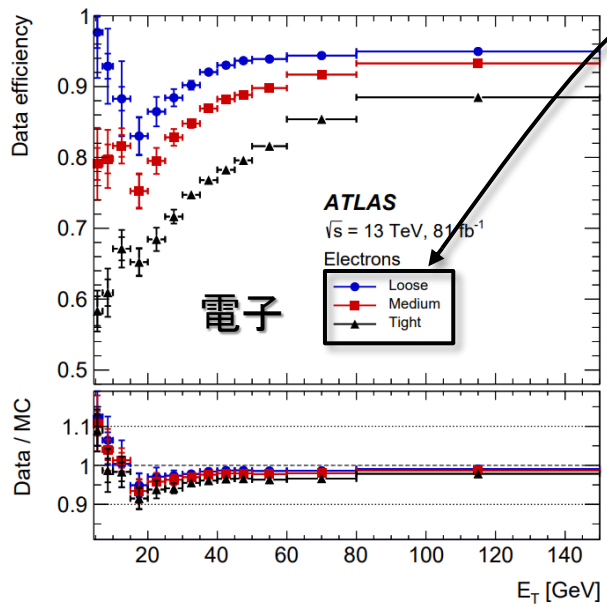
■ ATLASでの電子・ミューオンの検出



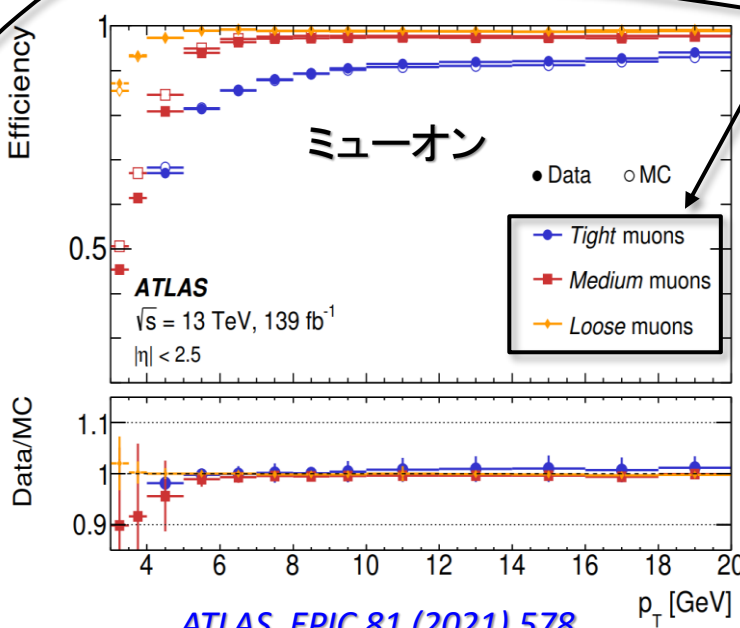
■ ATLASでの電子・ミューオンの検出



■ ATLASでの電子・ミュオン識別



ATLAS, JINST 14 (2019) P12006



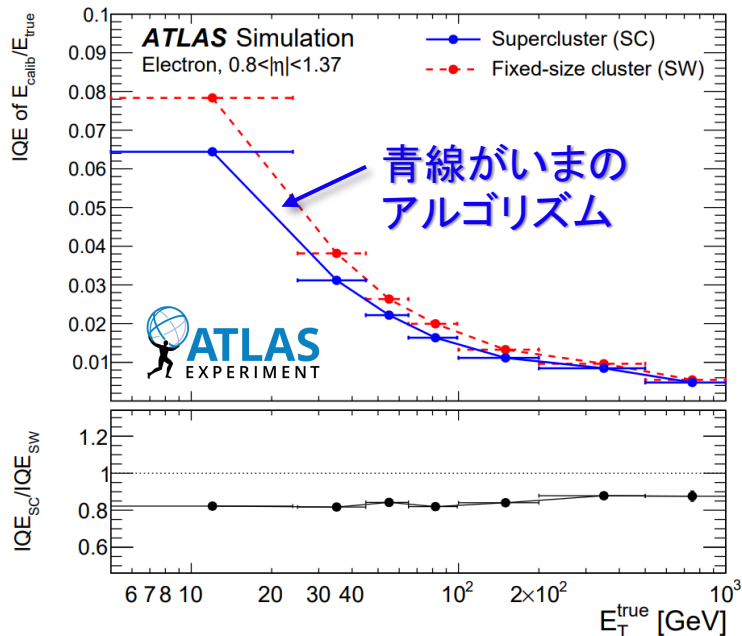
ATLAS, EPJC 81 (2021) 578

Working point

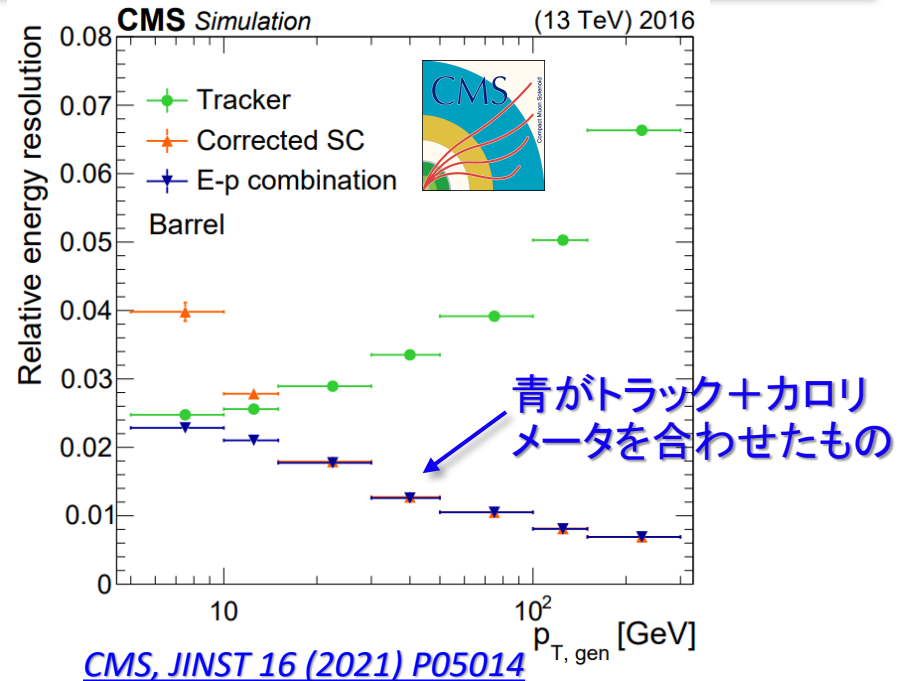
- 原理的には解析ごとに ID eff. vs bkg. rejectionを見ながらカットを決めればよい
- ただし、キャリブレーションはカットごとに行う必要がある
- LHCでのキャリブレーションは大変複雑なので、普通は3~4か所の "working point"から選ぶ

- 低 p_T では効率が低い、ある程度高 p_T ではほぼ一定
- $Z \rightarrow ee, \mu\mu$ を使ってキャリブレーション

ATLAS vs CMS: 電子



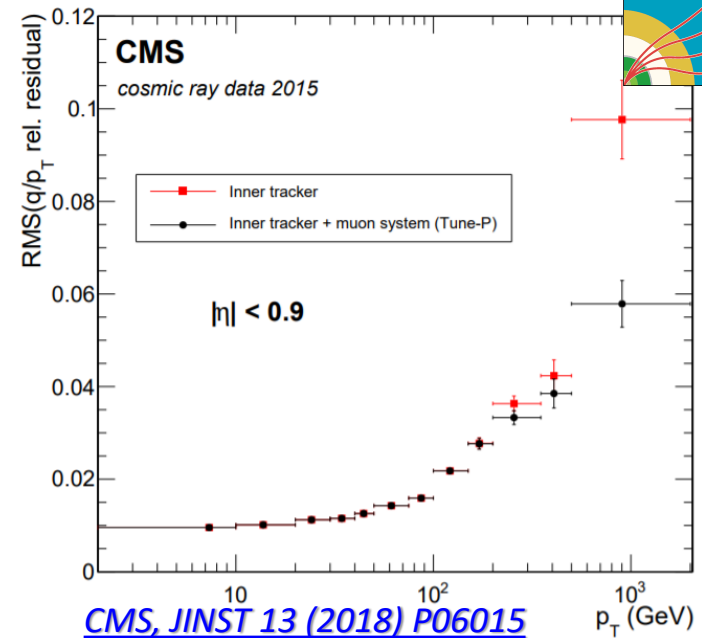
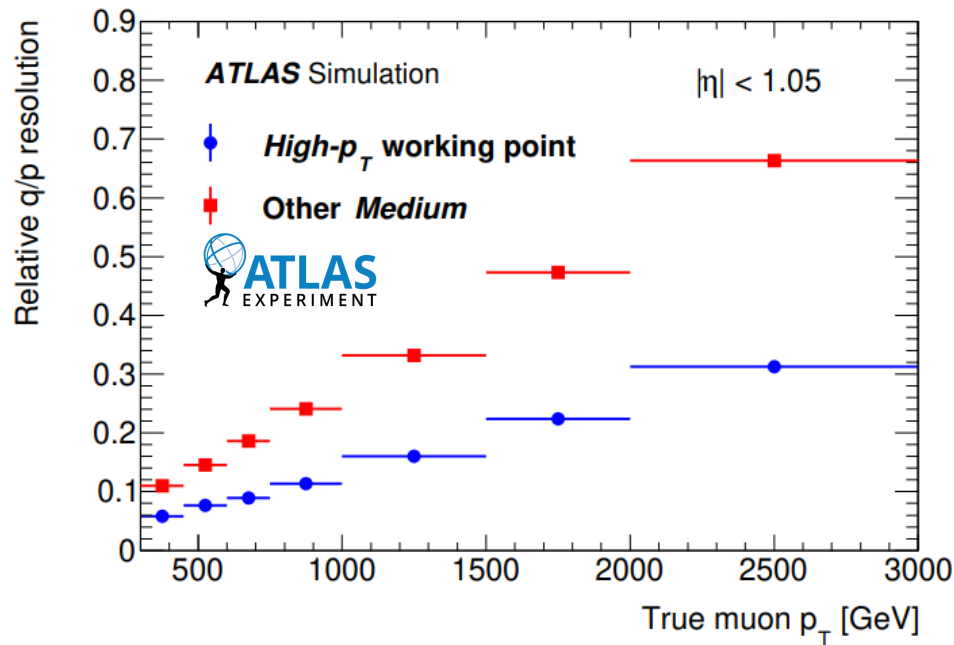
[ATLAS, JINST 14 \(2019\) P12006](#)



[CMS, JINST 16 \(2021\) P05014](#)

- 高運動量ほど分解能が良い
 - クラスタに含められなかったエネルギーの量が相対的に減るため
- 低 p_T ではCMSの方が分解能が良い
 - 全吸収型カロリメータの威力
- $p_T > 100$ GeVではそこまで大きくは変わらない

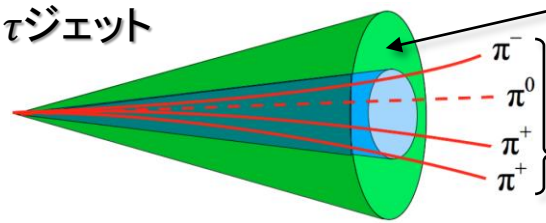
■ ATLAS vs CMS: ミューオン



- 高運動量ほど分解能が悪くなる
 - 電子と真逆！飛跡が直線に近づいて行ってしまうため
- 低運動量だと飛跡検出器での測定が重要
 - 磁場が強いCMSが有利
- 高運動量だとミューオン検出器での測定が重要
 - レバーアームが長く、トロイド磁石を持つATLASが有利

■ τ レプトンの再構成

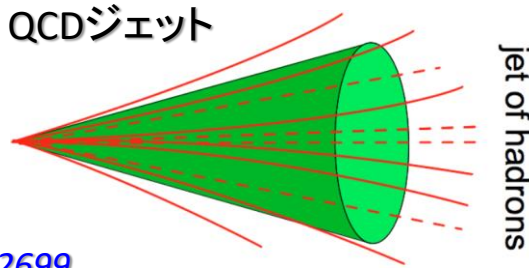
τ ジェット



比較的細いので、この辺り
(緑の領域)には何もない

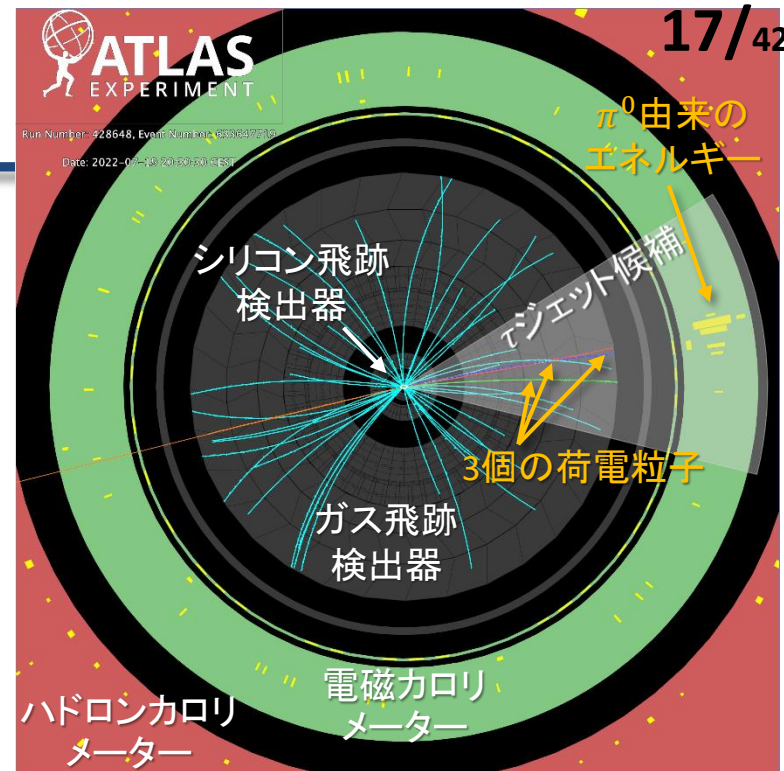
1個か3個の荷電ハドロン
と π^0 由来のエネルギー
クラスターを含む

QCDジェット



jet of hadrons

[1409.2699](#)



[ATLAS Event Display Repository](#)

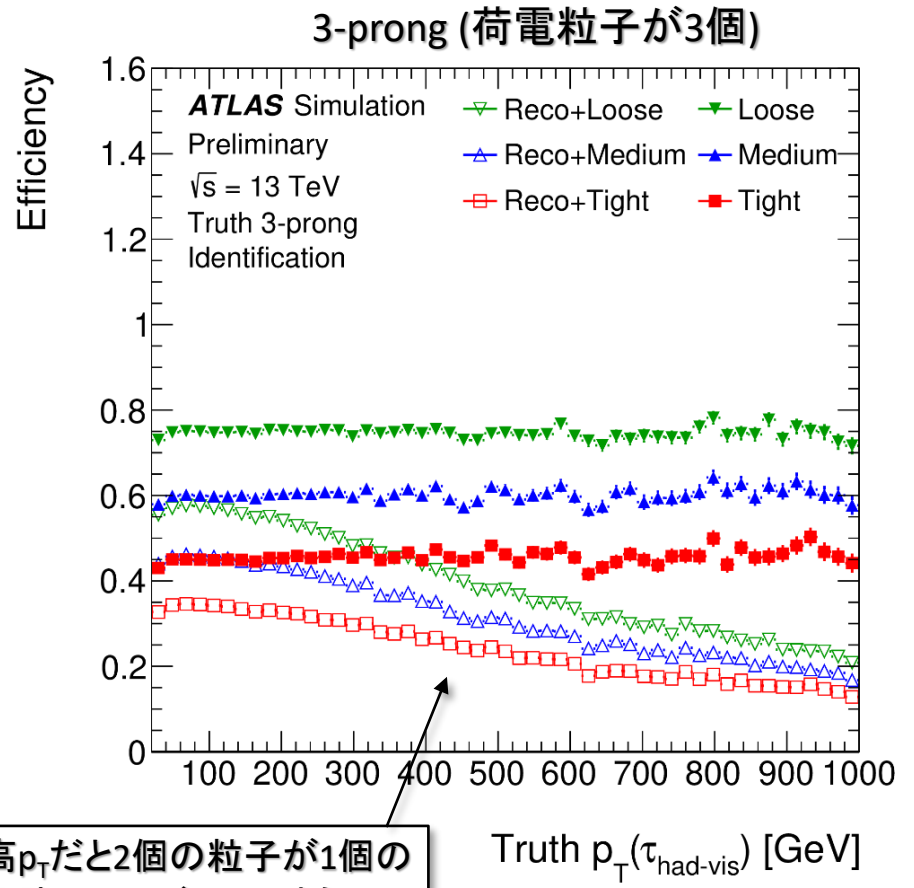
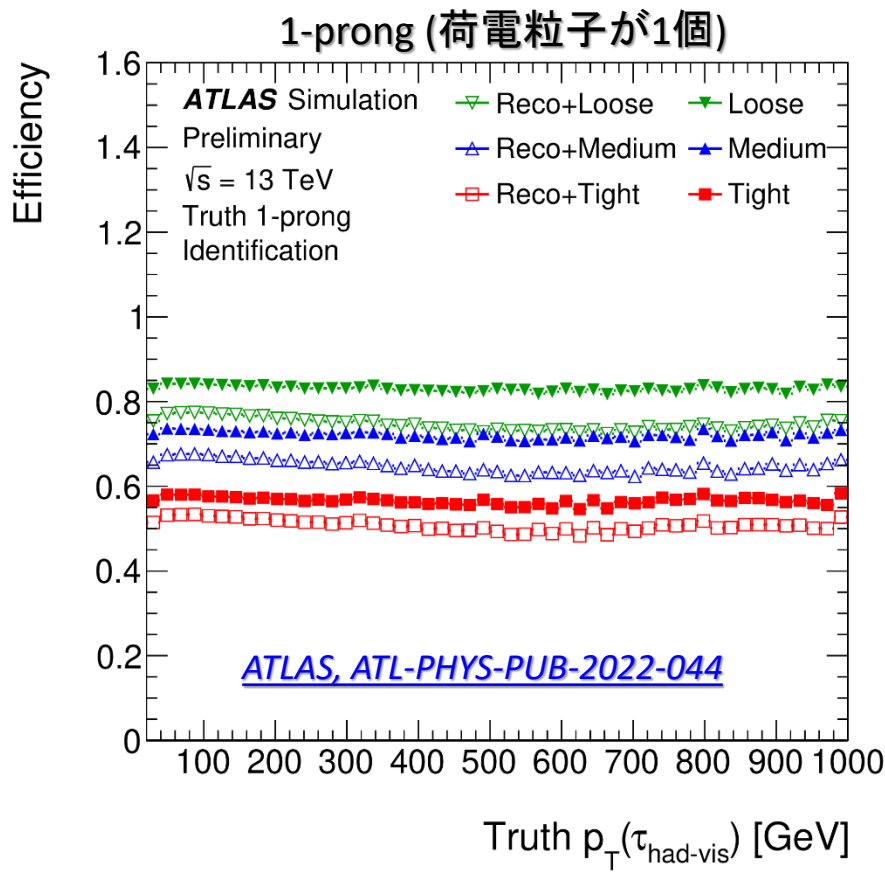
- τ は崩壊する

- レプトニック崩壊の場合: 孤立した e もしくは μ としてとらえる
- ハドロニック崩壊の場合: ハドロンジェットとしてとらえる
→ QCDジェットとの区別が難しい

- 機械学習を利用して効率よく τ 同定

- ATLASの場合... [ATL-PHYS-PUB-2022-044](#)
 - τ っぽい荷電粒子を選ぶためのニューラルネットワーク
 - τ ジェットとQCDジェットを区別するためのニューラルネットワーク
 - 電子と区別するためのニューラルネットワーク

■ τ レプトン再構成のパフォーマンス

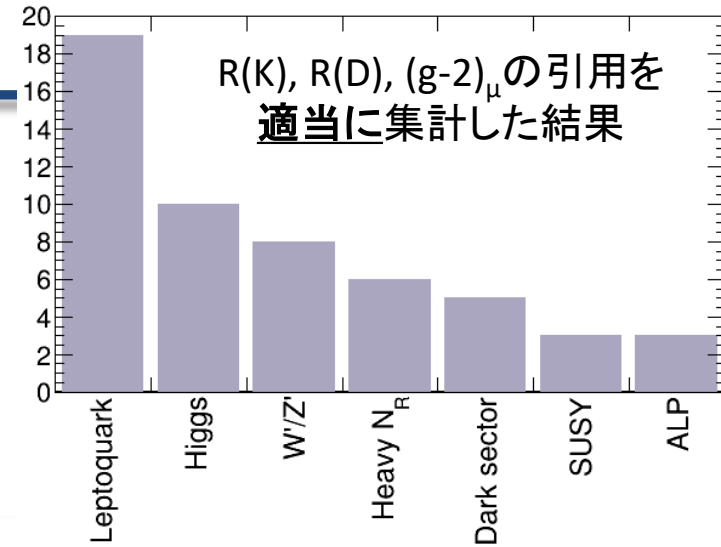


高 p_T だと2個の粒子が1個の飛跡にマージしてしまうので再構成効率が下がる

- 1-prongで70%、3-prongで45%程度の再構成効率 (Middle WP)
 - CMSも同程度 [CMS, JINST 17 \(2022\) P07023](#)

■ LQ に着目する

- アノマリーを説明するモデルは様々
- 全部は説明しきれないので、今回は LQ を中心に紹介します
 - 他の新物理モデルの探索でも、LHCでの実験的な手法はまあ似てる すーじーのはなしありません。。。



[T. Kitahara, Physics in LHC and beyond](#)

Leptoquark catalogue

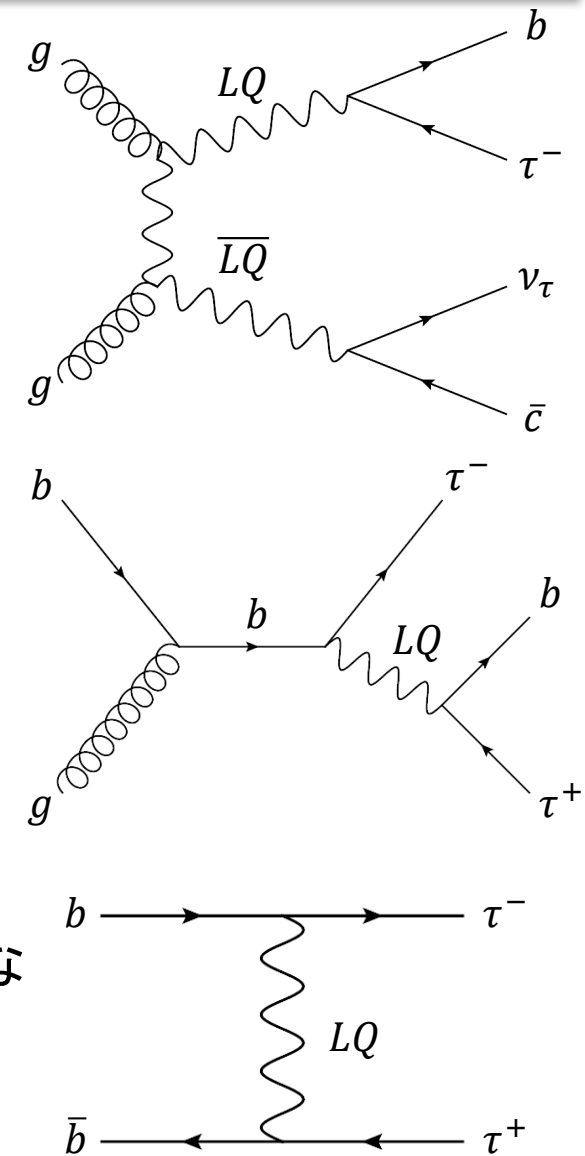
[cf. Angelescu, Bečirević, Faroughy, Jaffredo, Sumensari, [2103.12504](#); Athron, Balazs, Jacob, Kotlarski, Stockinger, Stockinger-Kim, [2104.03691](#)]

- ◆ Leptoquarks that do not lead to proton decay and can contribute precision measurements

Label	Spin	Charge	R(D ^(*))	R(K ^(*))	muon g-2	Mw
S_1 LQ	0	$(\bar{3}, 1, 1/3)$	✓	Loop	✓	With S_3
U_1 LQ	1	$(3, 1, 2/3)$	✓	✓	✗	✗
R_2 LQ	0	$(3, 2, 7/6 [1/6])$	✓	Loop	✓	Small
V_2 LQ	1	$(\bar{3}, 2, 5/6)$	Small	Electron	Small	✓
S_3 LQ	0	$(\bar{3}, 3, 1/3)$	✗	✓	✗	With S_1
U_3 LQ	1	$(3, 3, 2/3)$	✗	✓	✗	?

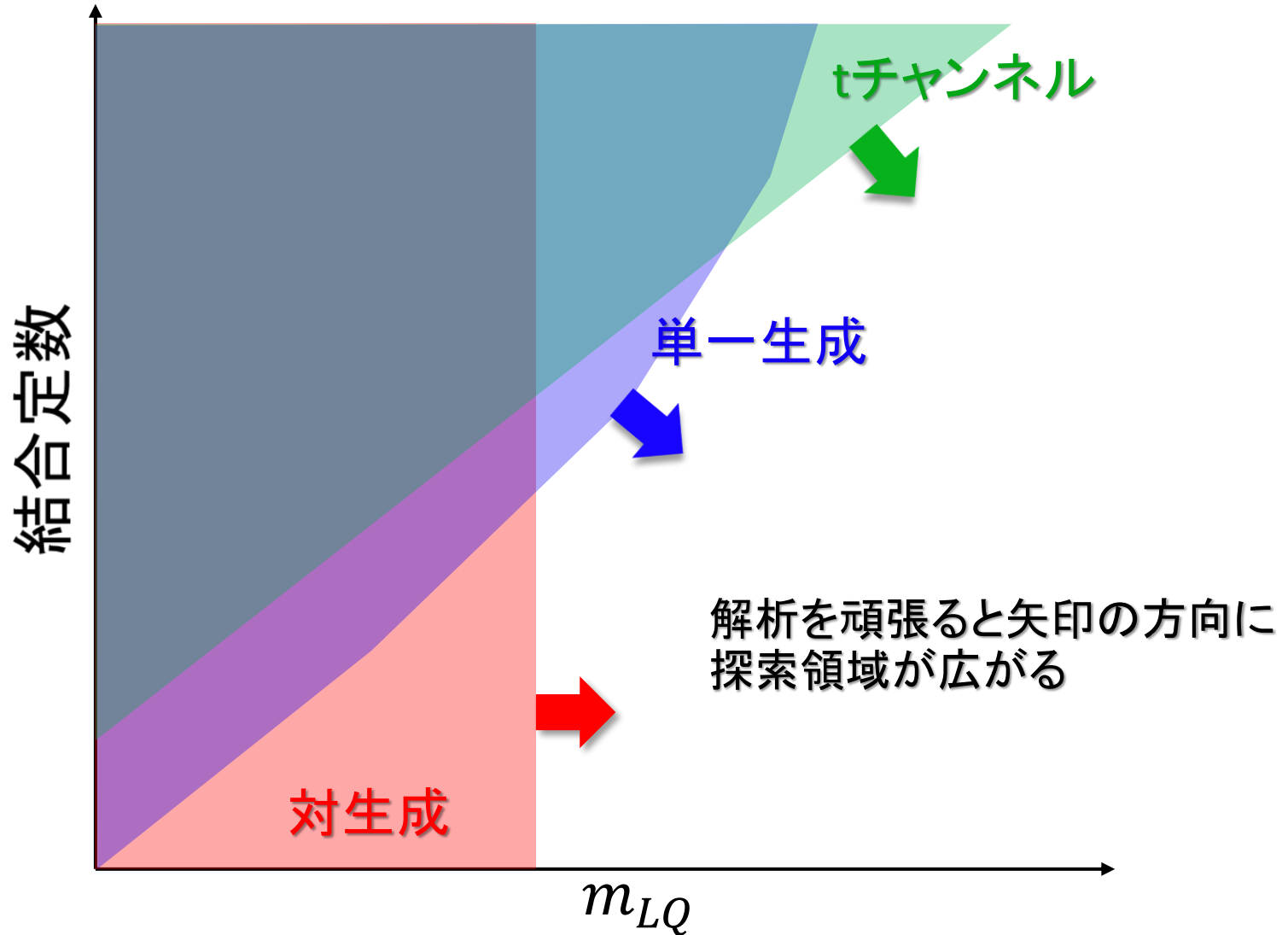
■ 3つの探索パターン

- 対生成
 - 一番王道(?)な探索
 - 探索感度は結合定数にあまり依存しない
 - 2個の重い LQ を生成 $\rightarrow m_{LQ}$ に対する感度が制限される
- 単一生成
 - b クォークを1個PDFから引き出して LQ をつくる
 - 結合定数が高いほど生成断面積が大 \rightarrow より重い LQ まで探索できる
- t チャンネル生成
 - b クォークを2個PDFから引き出し、 LQ をその間に飛ばす
 - off-shellで良いので、(結合定数/ m_{LQ})のような依存性で探索感度がある
 - 共鳴状態にならないので、バックグラウンドの理解がより難しい



■ 3つの探索パターン

- 探索感度のイメージ

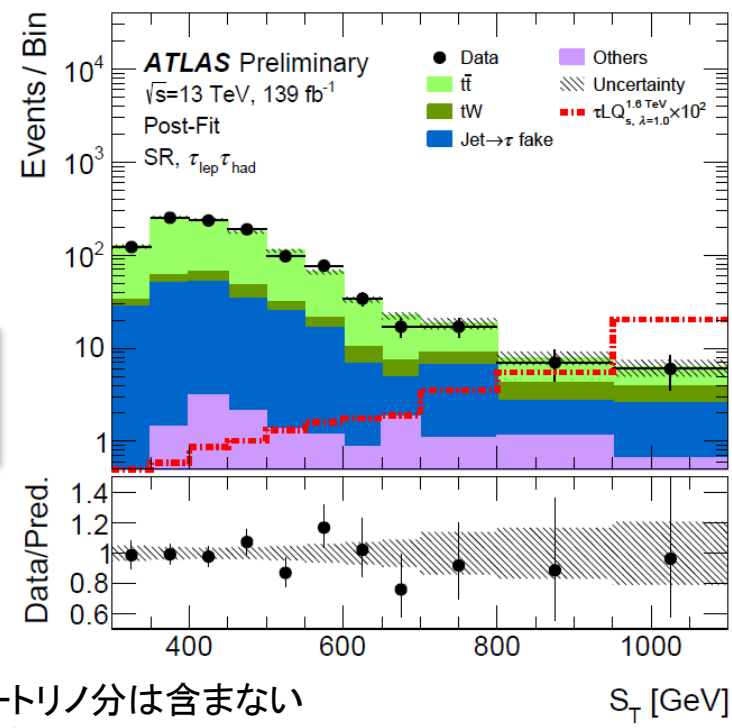
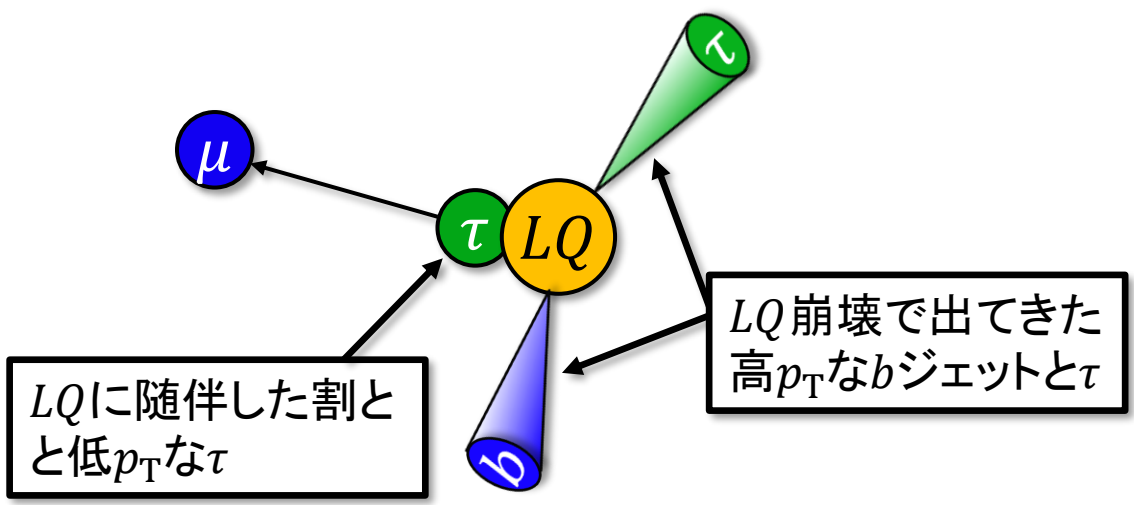


■ 探索の一例: $LQ \rightarrow b\tau$



さっきの「単一生成」を狙った解析

ATLAS-CONF-2022-037



- LQ の崩壊物は高運動量

$$S_T = p_T(b_{LQ}) + p_T(\tau_{LQ}) + p_T(\tau)$$

がよいdiscriminatorになる (m_{LQ} を組もうとするより分離が良い)

- コンセプトは割と単純

– バックグラウンドの見積もり(特にJet \rightarrow τ fake)は結構大変だが...

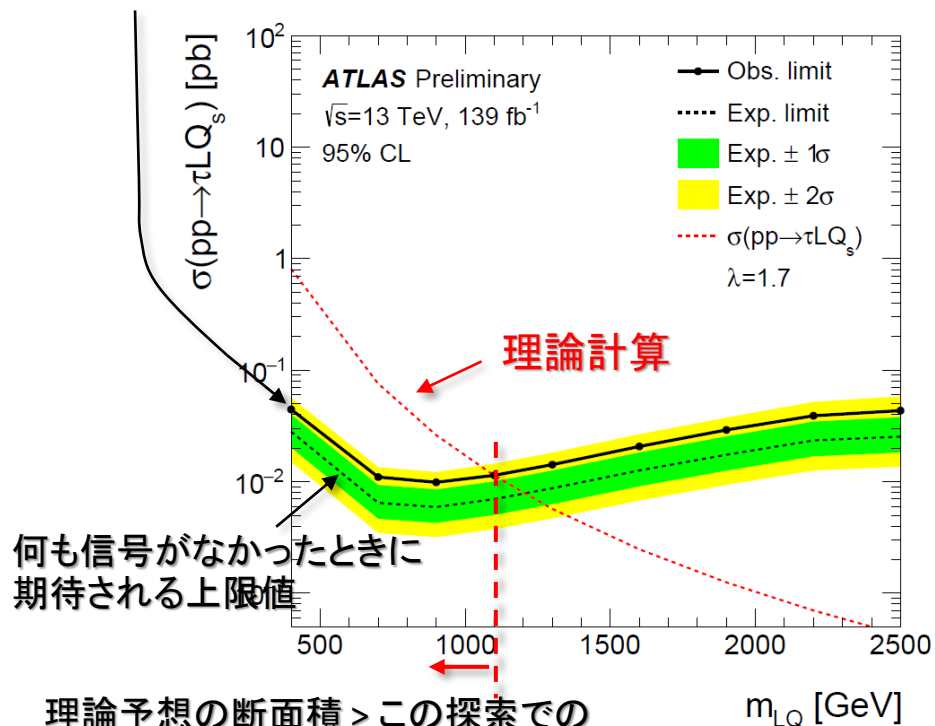
ニュートリノ分は含まない

■ 探索の一例: $LQ \rightarrow b\tau$

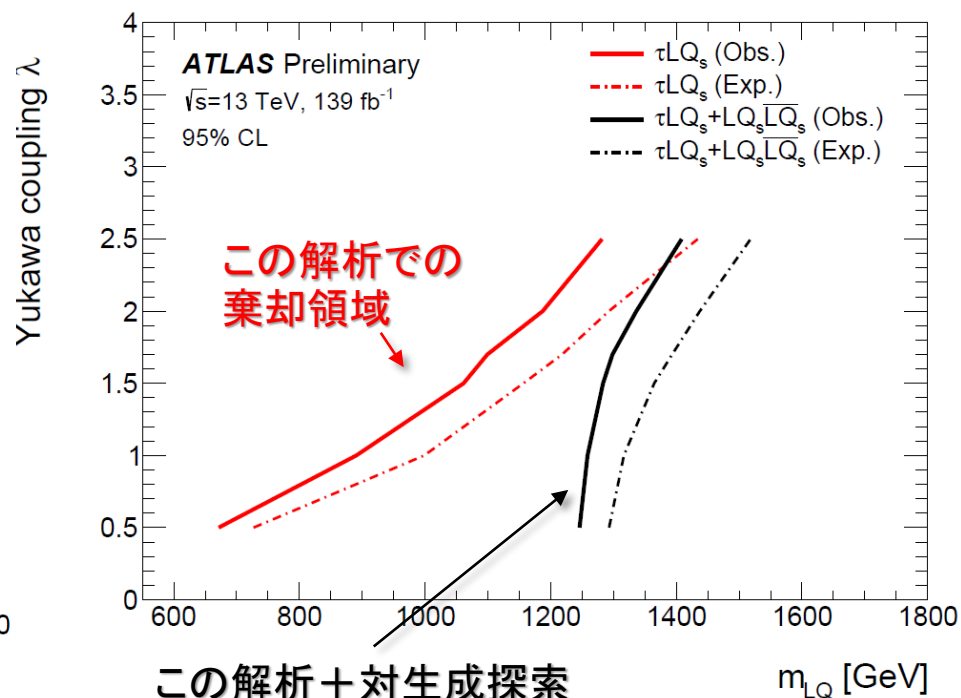


ATLAS-CONF-2022-037

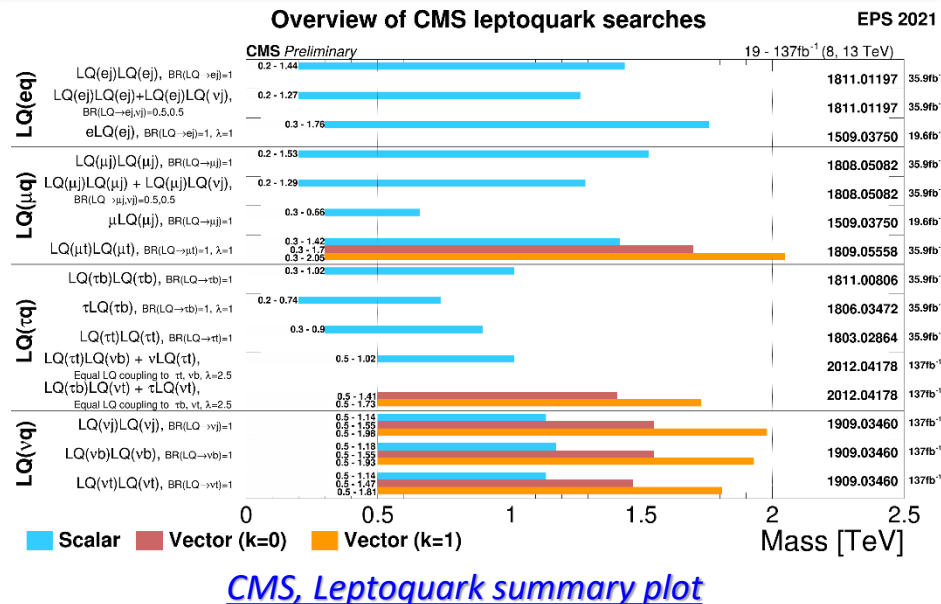
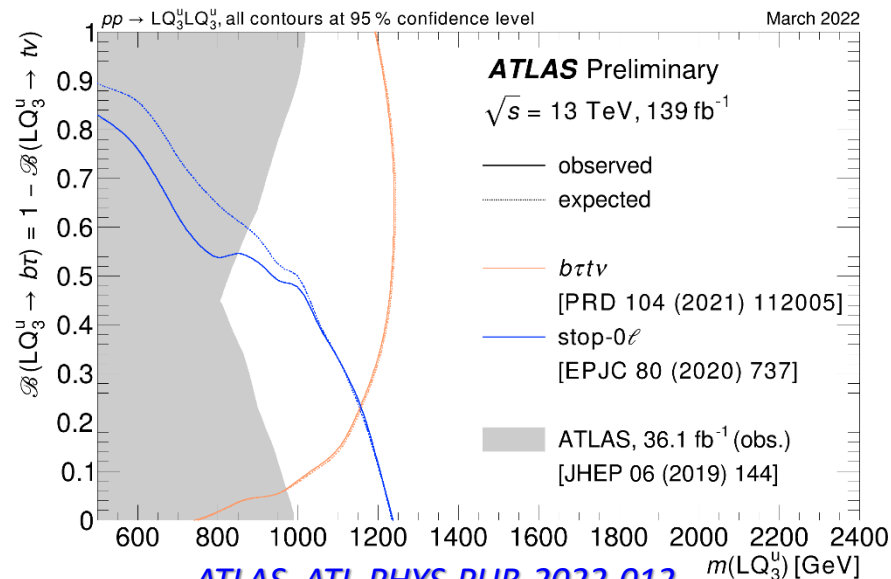
もし信号があると、実際の上限值は期待値より上に出る
(まあこの図は 1σ ちよつとなのでただの上ぶれかな?)



理論予想の断面積 > この探索での
上限値となる領域は棄却された

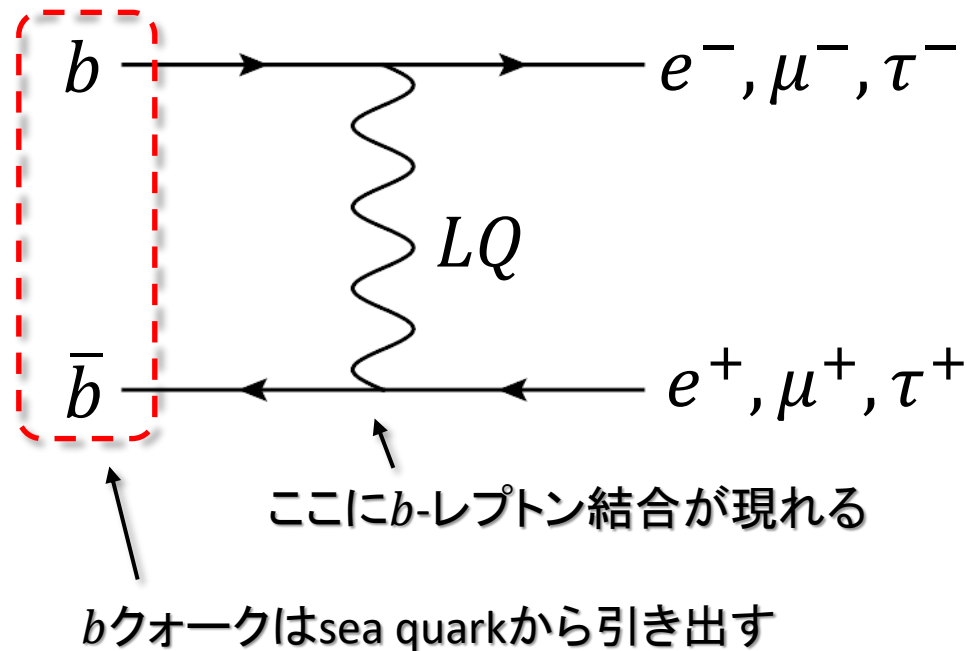


- この解析では信号の兆候は見えなかった
 - λ と m_{LQ} の関数として生成断面積に対する上限値を設定
→理論計算との比較で、 λ - m_{LQ} 平面上で棄却領域を設定した
- だいたい1.2 TeVぐらいまで棄却された



- 色々な生成・崩壊過程の探索で、~1 TeVまで棄却されている
 - ATLASは今のところスカラーLQのみ
 - CMSはベクターLQ解釈もしている
 - スピンがある分、スカラーの場合と比べて力学的分布が異なる
 - 断面積がスカラーLQよりも大きいので、制限が強めになる
- LQの共鳴状態探索では、いまのところ何も見えていない
 - だからtチャンネルが面白い！

■ tチャンネルで探す

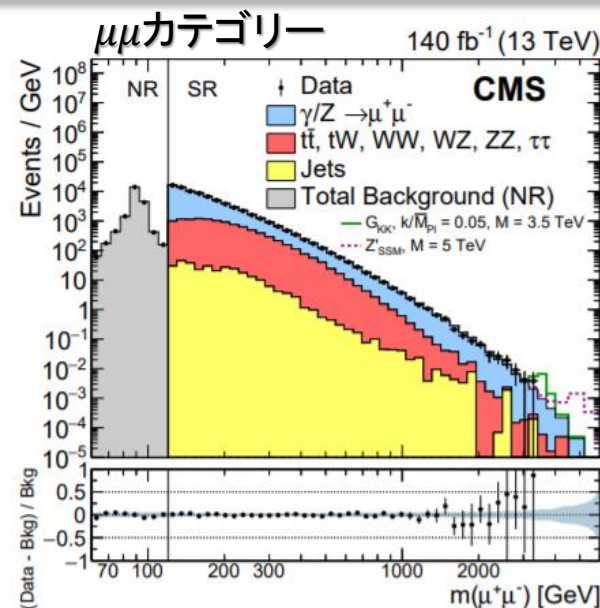
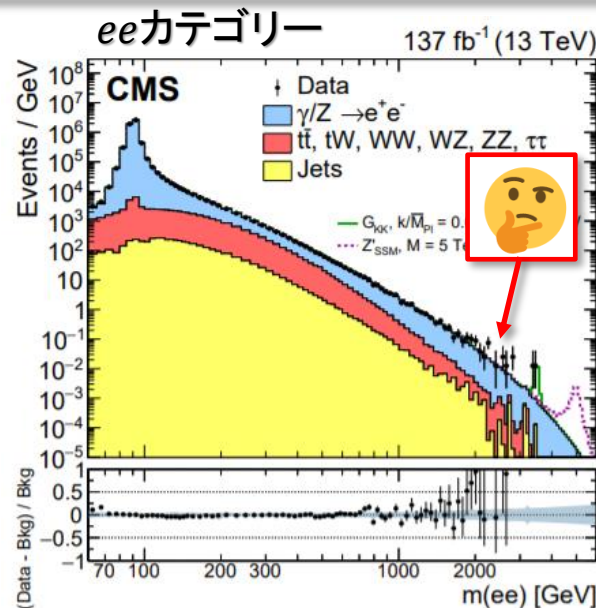
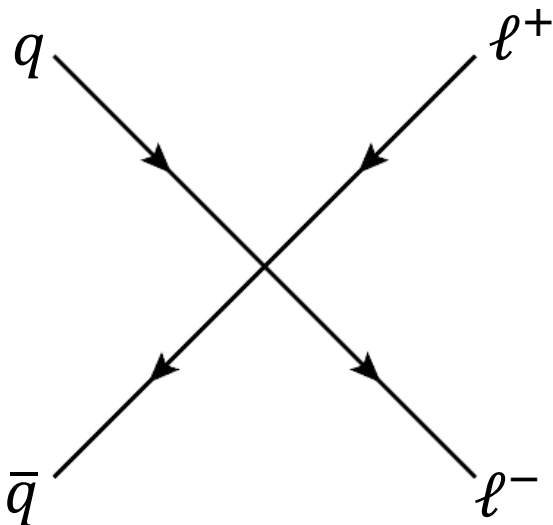


- シンプルに $ee, \mu\mu, \tau\tau$ な終状態で探索する
 - これらの比の測定はLFUの検証そのもの
- *b*クォークを随伴させてSM背景事象を抑制する
- 片側を ν にしてみる → $\tau\nu$ 終状態

■ $ee, \mu\mu$ 終状態の探索



CMS, JHEP 01 (2021) 208

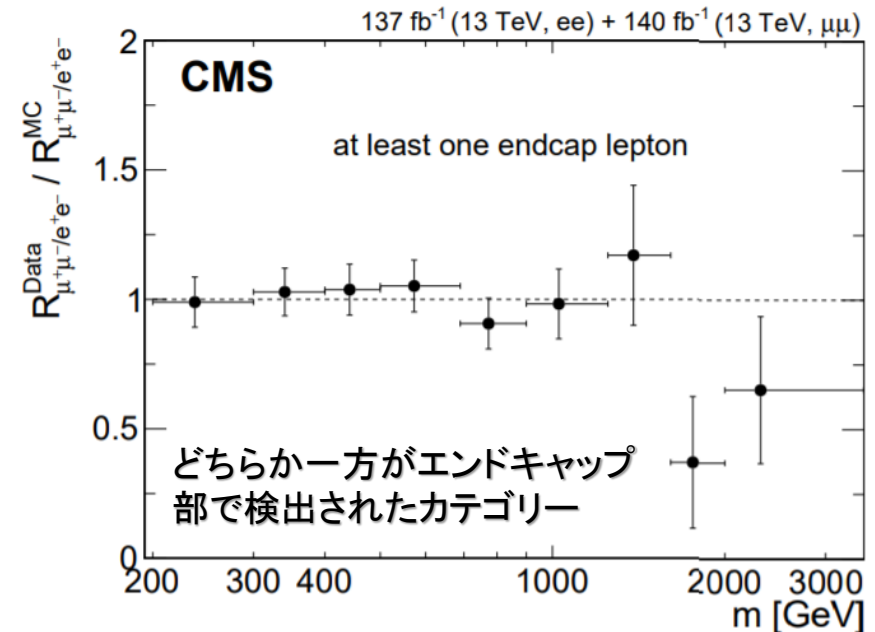
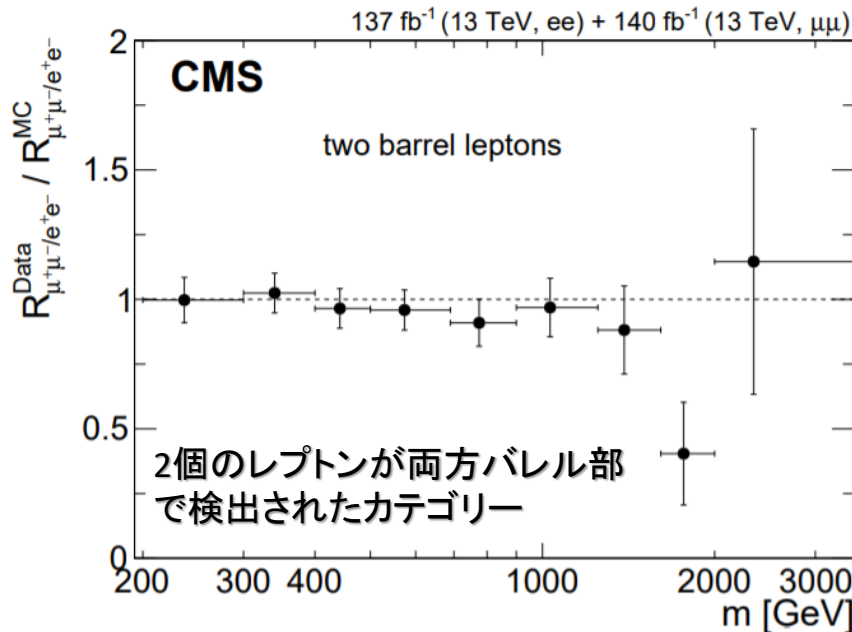


- $ee, \mu\mu$ 対を見つけて不変質量を組む、シンプルな解析
 - $b \rightarrow s\ell^+\ell^-$ をずらすBSM過程に感度がある...かも
- 高い $m_{\ell\ell}$ での $Z/\gamma^* \rightarrow ee, \mu\mu$ の理解が重要
 - 低 $m_{\ell\ell}$ 領域での見積もりを外挿するのが基本思想
- $m_{\ell\ell} > 2 \text{ TeV}$ でなんか ee が多い？

■ $ee, \mu\mu$ 終状態の探索



[CMS, JHEP 01 \(2021\) 208](#)

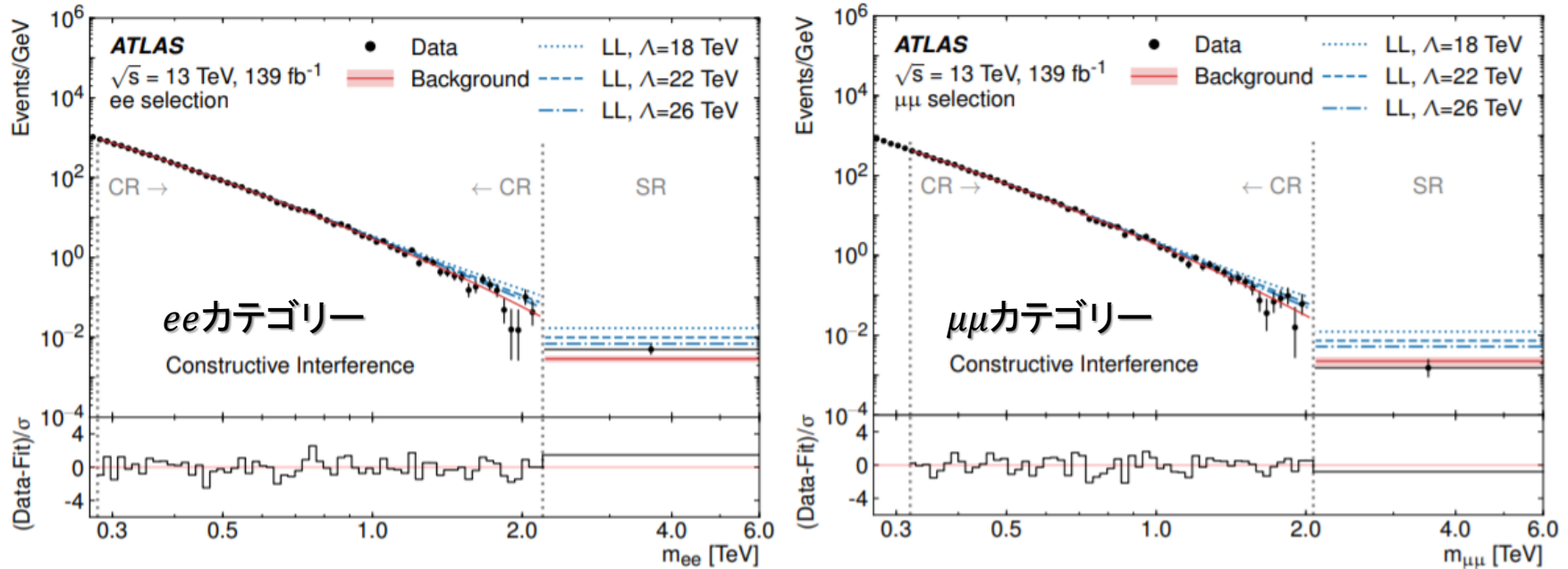


- > 1.8 TeVの領域で、 $\mu\mu/ee$ の比に約 2σ のずれ
- 実験的には結構むずかしい
 - 分解能が e と μ でかなり違う(さっき見た通り)
→ だからdata vs MCでdouble ratioをとっている
 - さらにdata vs MCで $m_{\mu\mu}$ 分解能がずれており、最大約15%の補正をしている

■ $ee, \mu\mu$ 終状態の探索

• ATLASの場合

[ATLAS, JHEP 11 \(2020\) 005](#)



- ドレルヤンの見積もりは、CMSより少し保守的
 - CMS: MCによりテンプレートを生成
 - ATLAS: low mass側に関数をフィット → パラメータを決定し、SRに外挿

$$f_b(m_{ee}) = f_{\text{BW},Z}(m_{ee}) \cdot (1 - x^c)^b \cdot x^{\sum_{i=0}^3 P_i \log(x)^i}$$

- ATLASでは ee の大きな超過は見えていない(上振れはしてるけど... 1σ 程度だし...)

■ $\tau\tau$ 終状態の探索



CMS-PAS-HIG-21-001

- ベクター-LQのtチャンネル生成を探索

– $\phi \rightarrow \tau\tau$ のような共鳴状態の探索も同じ解析でやっている

- m_T をつかって信号を抽出

なんか 2σ ぐらいの超過があるとか
いってんなあ。。。 (ばっくあっぷ)

$$\left(m_T^{ij}\right)^2 = 2p_T^i p_T^j (1 - \cos\Delta\phi)$$

基本的には粒子*i*と粒子*j*で計算した不変質量
なんだけど*r-φ*平面だけで計算した量

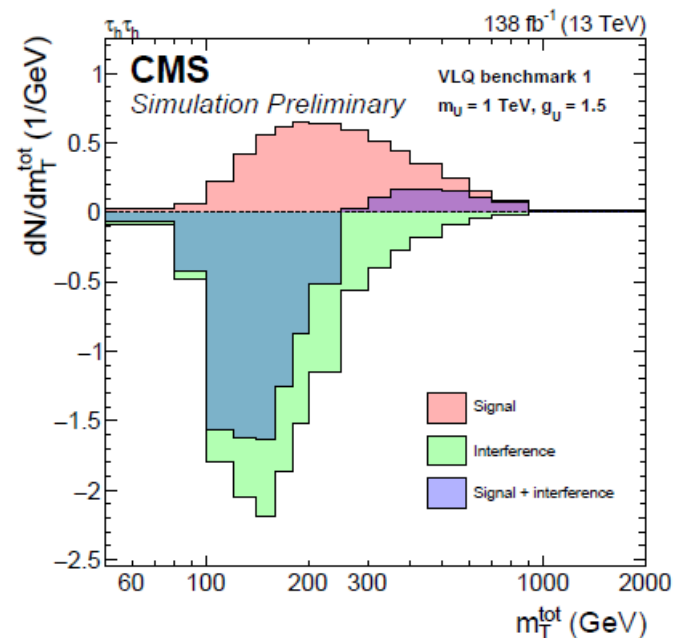
- 2個の τ +欠損横運動量で3パターンの m_T を計算でき、

$$m_T^{\text{tot}} = \sqrt{\left(m_T^{\tau_1, \tau_2}\right)^2 + \left(m_T^{\tau_1, \text{miss}}\right)^2 + \left(m_T^{\tau_2, \text{miss}}\right)^2}$$

がよいdiscriminantとなる

- $Z/\gamma^* \rightarrow \tau\tau$ とめちやくちや干渉するので、ちゃんと干渉を考慮してテンプレートをつくる

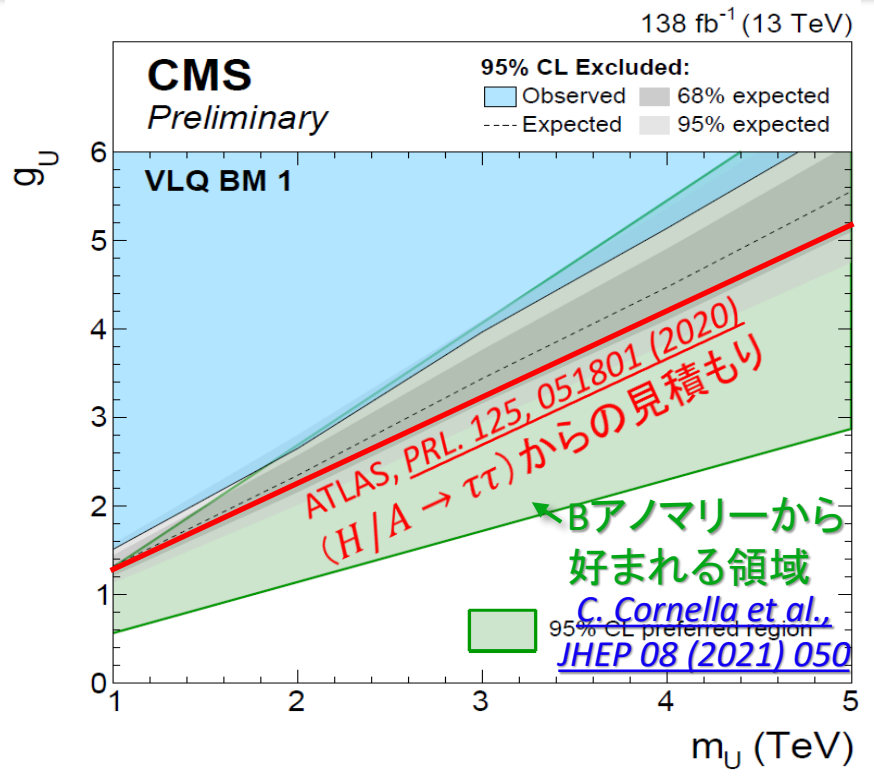
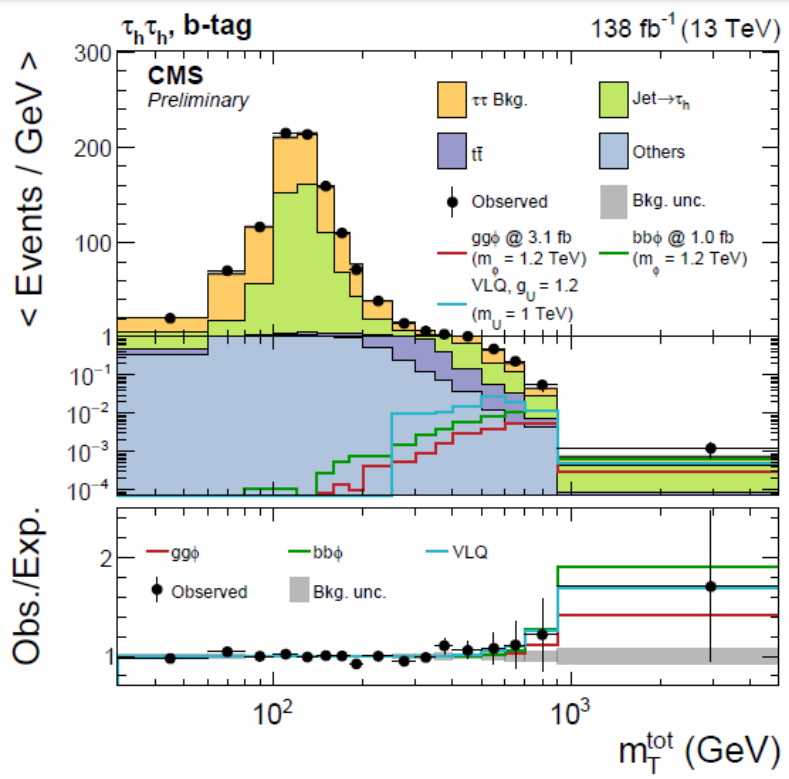
- < 200 GeVでは「負の信号」が観測される
(干渉を無視すると見落とす)



■ $\tau\tau$ 終状態の探索



CMS-PAS-HIG-21-001



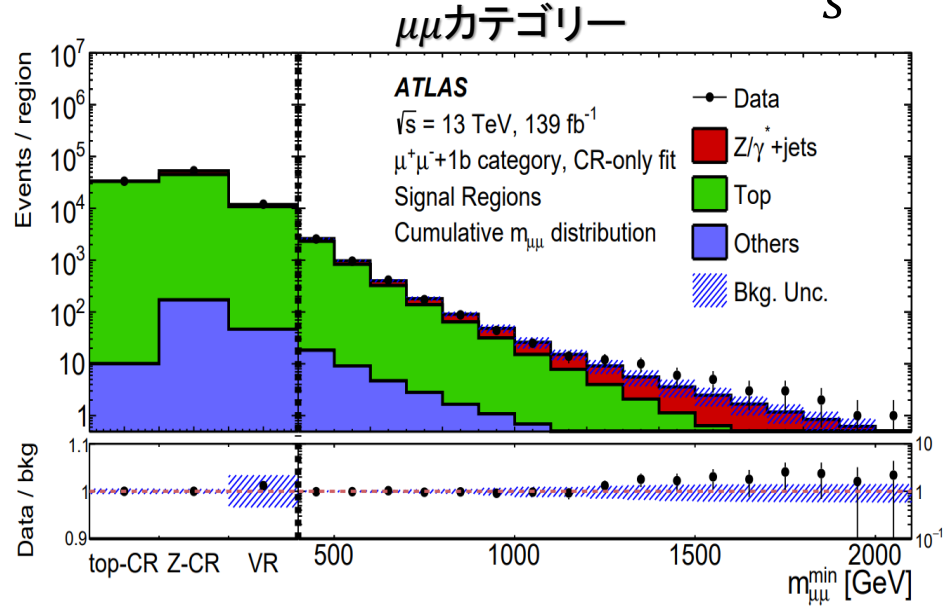
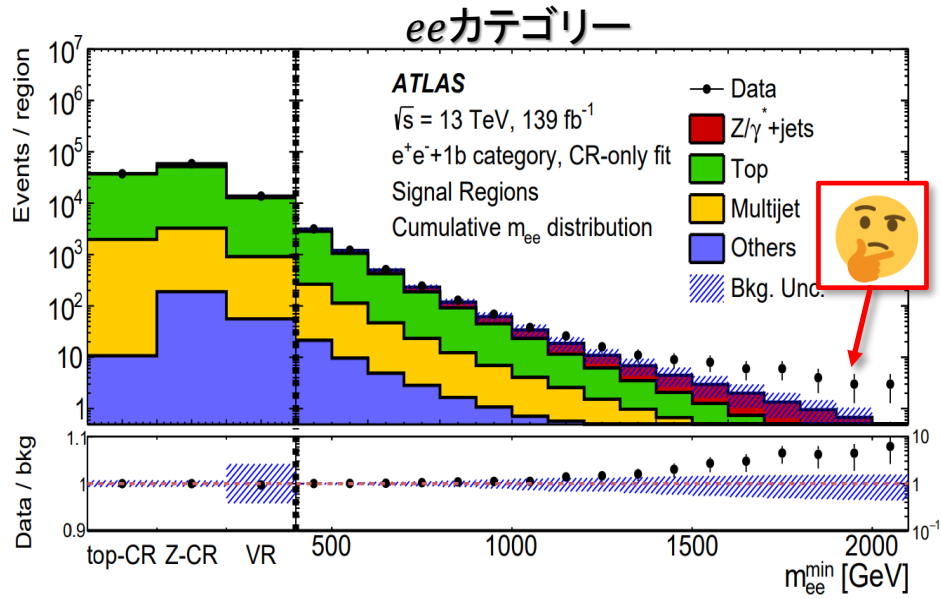
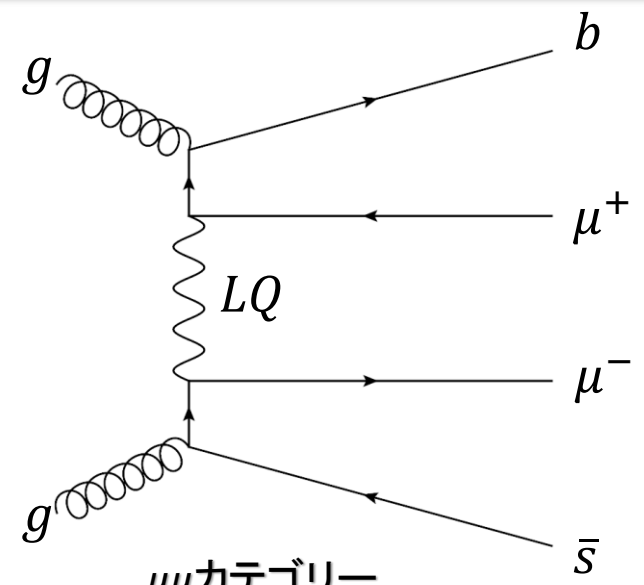
- τ レプトンの崩壊によって別々のカテゴリーを設定
 - $e\mu, \tau_h e + \tau_h \mu, \tau_h \tau_h$ (τ_h は $\tau^- \rightarrow \pi^- \nu_\tau$ のようなハドロニック崩壊)
 - ee と $\mu\mu$ は $Z/\gamma^* \rightarrow ee, \mu\mu$ のバックグラウンドが大きいので使わない
- Bアノマリーから好まれる領域に制限をかけたつある

■ $b+ee, \mu\mu$ 終状態の探索



ATLAS, PRL 127, 141801 (2021)

- b ジェットを要求すると、より直接的に b -レプトン結合をプローブできる
- t クォーク生成や $Z \rightarrow \ell\ell$ が主なバックグラウンド
 - low mass側でコントロール
- $m_{\ell\ell}^{\min}$ 以上にある事象数を数える

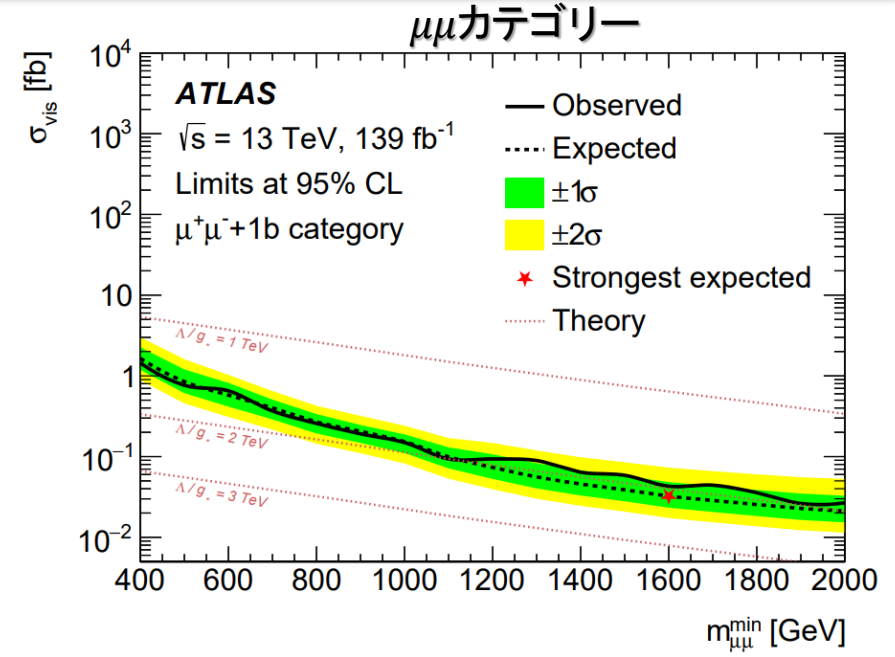
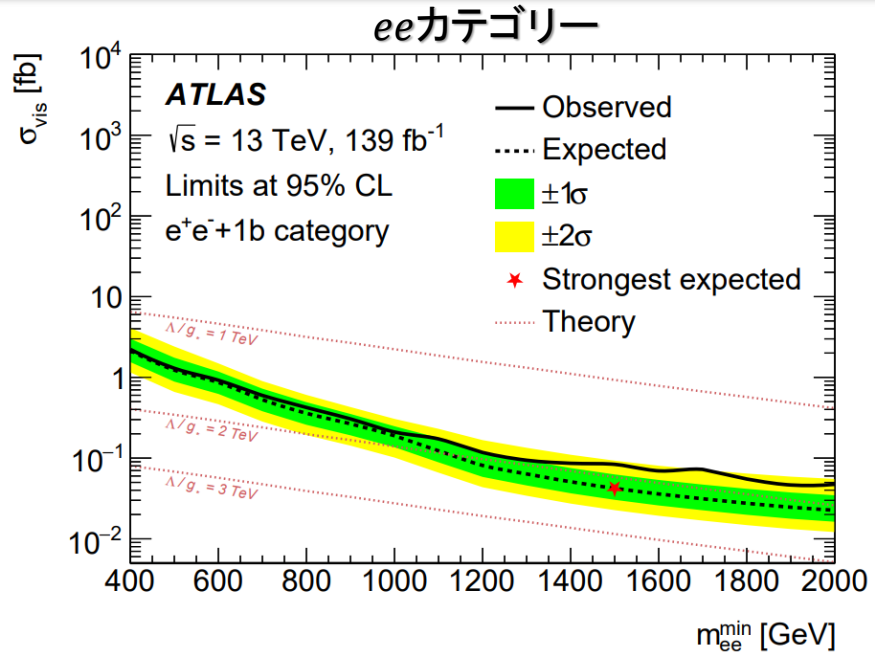


(相補) 累積分布になっていることに注意！

■ $b+ee, \mu\mu$ 終状態の探索

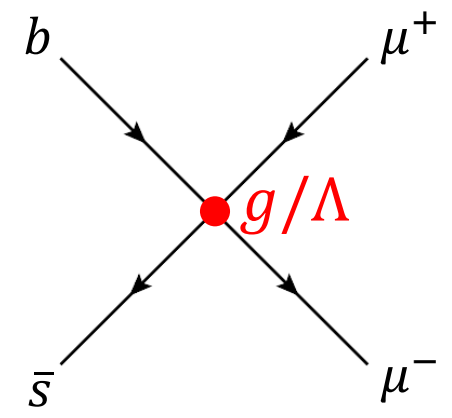


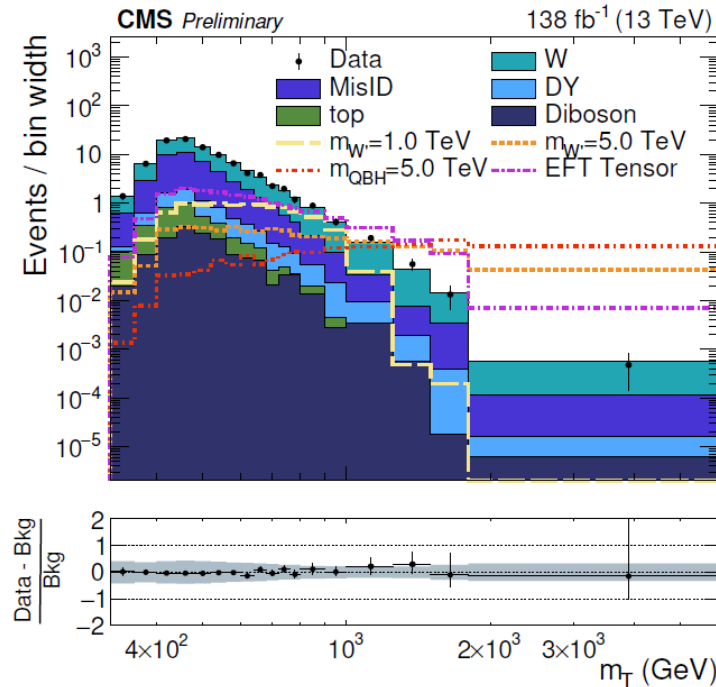
ATLAS, PRL 127, 141801 (2021)



- だいたい0.1 fbまで棄却
- $\Lambda/g \sim 2 \text{ TeV}$ まで制限をかけた
 - $b \rightarrow s\ell\ell$ アノマリーをつくるBSMスケールは30 TeVぐらいなのでまだまだ遠い。。

[M. Alquero et al., EPJC 82 \(2022\) 326](#)





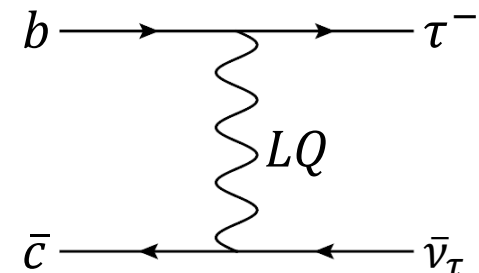
- 終状態に τ が1個 + 欠損運動量

- τ ジェット1個だけなので、ただのジェットに由来する偽 τ ジェットのバックグラウンドが多い

- 主に $W' \rightarrow \tau\nu$ のような重い共鳴状態を狙った解析

- ATLAS: $m_{W'} < 5.0$ TeVを排除
 - CMS: $m_{W'} < 4.6$ TeVを排除
- } だいたいおなじ

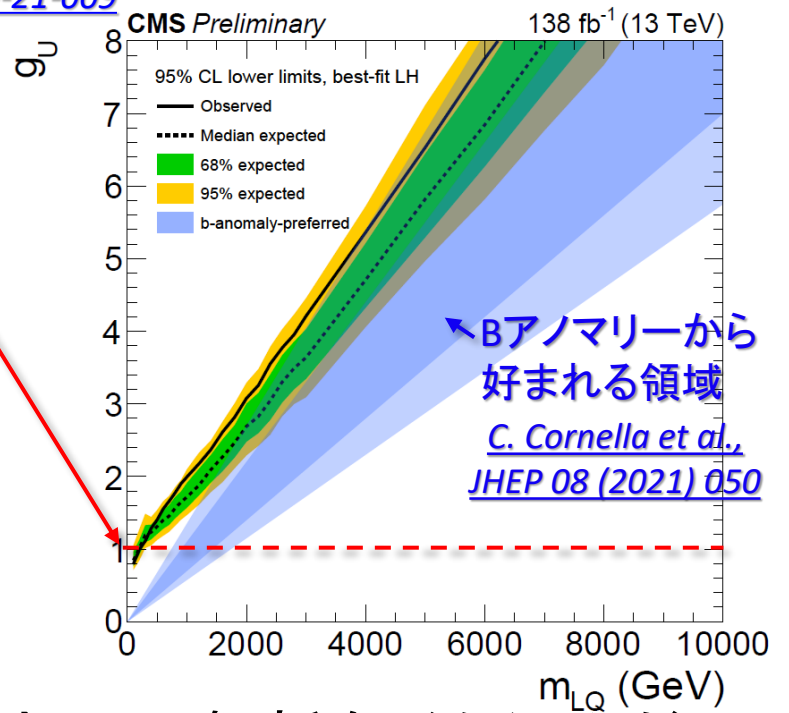
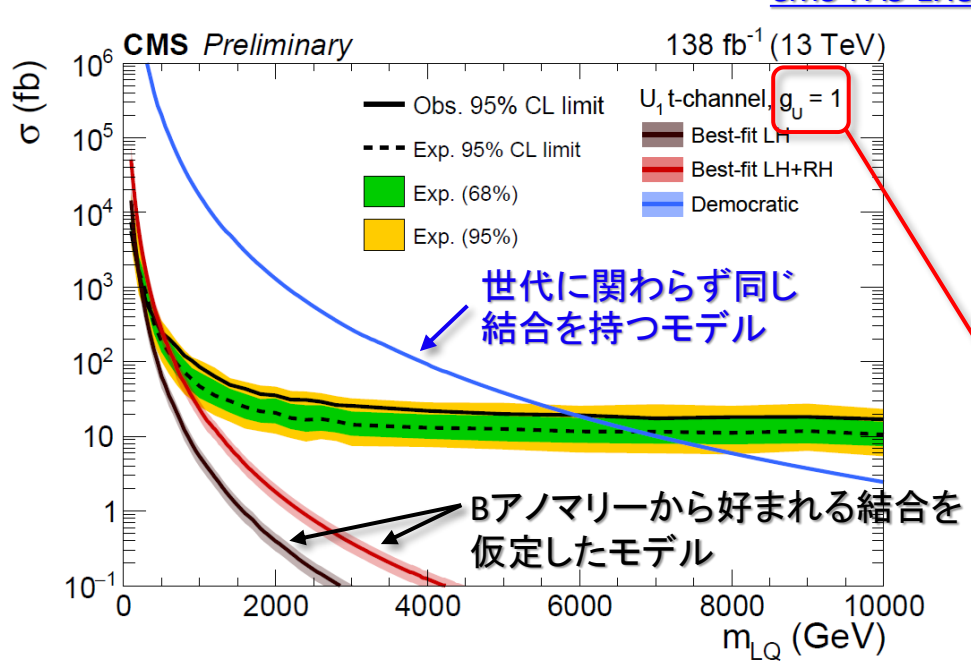
- 同じ解析で LQ t-チャンネル生成も探索できる



■ $\tau\nu$ 終状態の探索



CMS-PAS-EXO-21-009



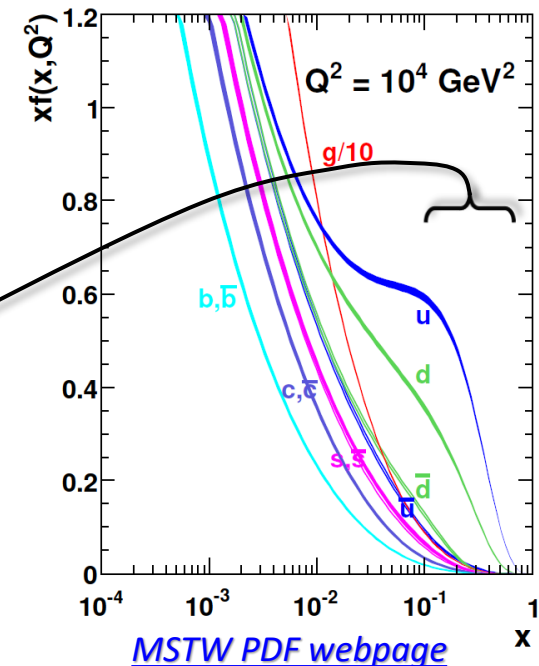
- $W' \rightarrow \tau\nu$ 解析に、後からt-チャンネルLQ解析をぶち込んだ
 - ので、必ずしも解析は最適化されていない...と思いきや、意外と最適だったらしい [高橋, 高エネルギーニュース Vol. 41, 2 \(2022\) 43](#)
- 生成断面積 ~ 10 fbまでを排除
 - Bアノマリーから好まれる領域に食い込みつつある
- 1個の**b**が随伴するプロセスは感度がよいという噂もある [M. Endo et al., JHEP 02 \(2022\) 106](#)

■ 今後の方向性

LHCでもBアノマリーを検証できそうなところまでできているが...

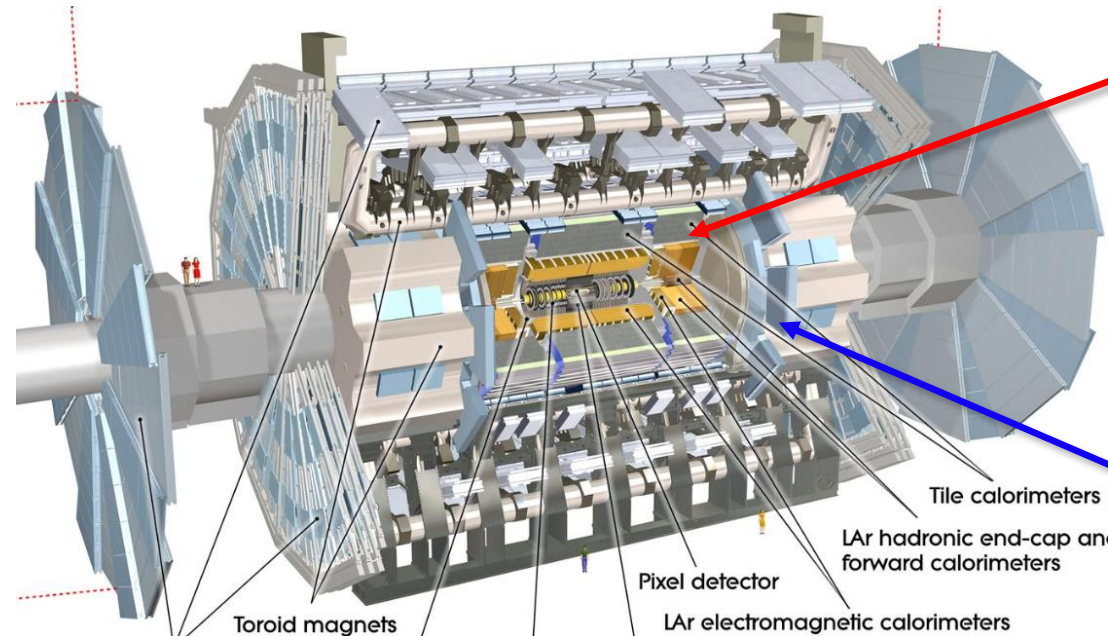


- 今年7月からLHC Run 3が始まった
 - 重心系エネルギーは、13 TeVから少し上がって13.6 TeV → 今後、14 TeVまでしか上がらない
- 統計は増加する
 - ハドロンコライダーではこれが大事！ x が大きいパートン同士の衝突事象数を稼げる
 - 現在: 25 fb^{-1} (7-8 TeV) + 139 fb^{-1} (13 TeV)
 - Run 3終わりまでにさらに 260 fb^{-1} (13.6 TeV)
 - HL-LHC終わりまでに 4000 fb^{-1} (14 TeV)



■ ATLASアップグレード: Phase-1

- Run 2からRun 3の間(2019-2021)に行ったアップグレード



カロリメータ

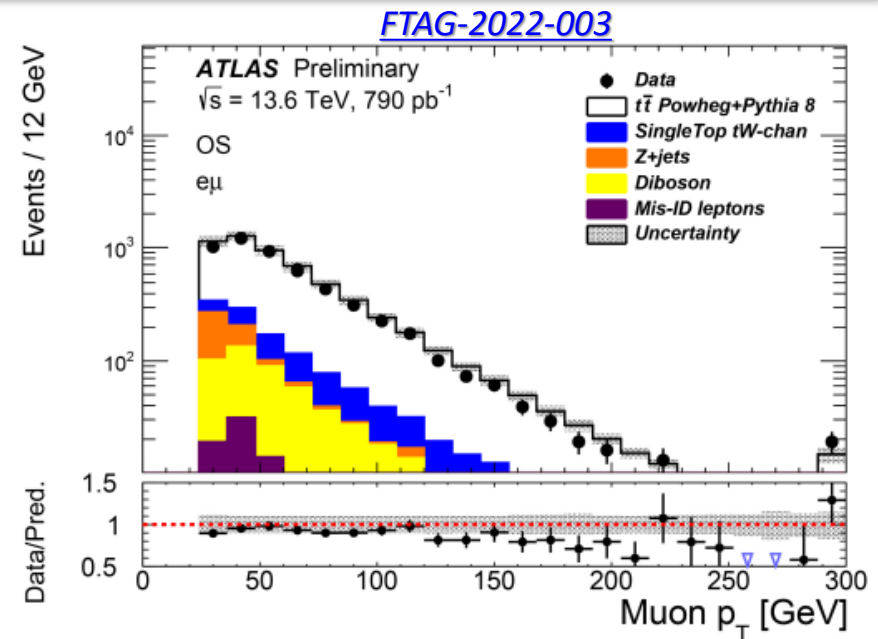
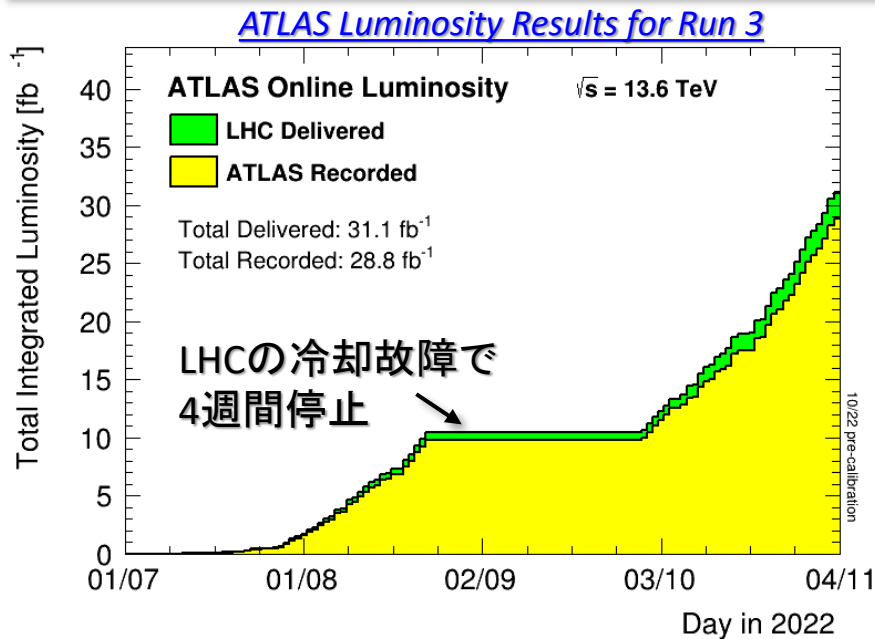
- 新しいL1トリガー回路により、エネルギー分解能を向上
- シャットダウン中に回路を総入れ替えした

ミュオン検出器

- エンドキャップ部内側 (Small Wheel) を刷新、16層でtrackingできるように
- バレル部の「穴」を埋めるように新しいRPCを配置
- 新しい検出器によるL1トリガー回路を実装

- 新しいハードウェアは無事すべてRun 3開始前に実装完了
 - 今年はコミッショニングし、来年から本格的に使用する

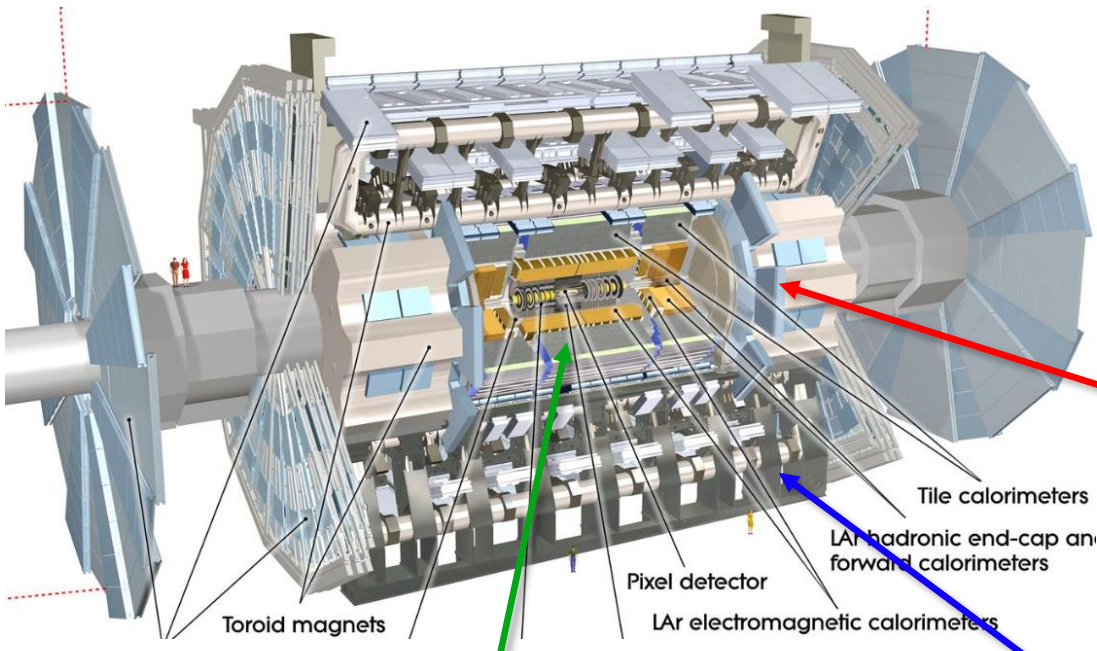
LHC Run 3の状況



- 2022年7月5日に13.6 TeVでのデータ収集を開始
 - ヒッグス粒子発見から10年と1日目
 - 初期に色々トラブルだったが、8月頃からは比較的安定してデータを収集
 - すでに30 fb⁻¹を超えた → 11/28で今年の運転を終了
- 13.6 TeV初期のデータでの結果を近日公表予定
 - $t\bar{t}$ やヒッグスなどの生成断面積測定結果など

■ ATLASアップグレード: Phase-2

- Run 3の後(2026-2028)に行うアップグレード



トリガー・DAQ回路

- 新しいスキームに刷新

High Granularity Timing Detector

- エンドキャップ部に時間分解能を持ったシリコン検出器(LAD)を導入
- 飛跡のタイミングを $\sigma_t \sim 30$ psで捕え、前方飛跡の衝突点同定精度を上げる

ミュオン検出器

- バレル部の「穴」を埋めるように新しいRPCを配置 → アクセプタンス($|\eta| < 2.7$)を75% → 95%に改善
- ミュオントリガー回路を刷新

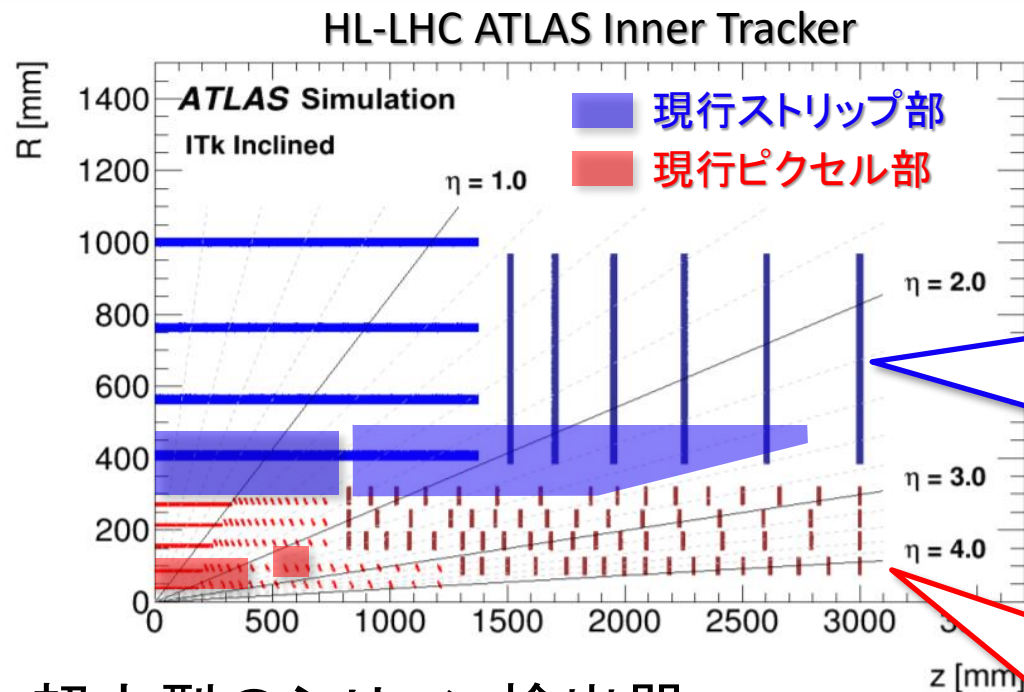
- 各コンポーネントの基礎開発から量産のフェーズに入りつつある

シリコン検出器(ITk)

- シリコン+ガスだったのを、総シリコン製のものに置換
- $|\eta| < 2.5$ から $|\eta| < 4.0$ までアクセプタンスを拡大 → 前方ジェットに飛跡を付随させ、vertexの特定を可能に

HL-LHCに向けて: ITkの例

ほかにもミュオン、トリガー、TDAQ、
マグネットなども...日本が様々な貢献

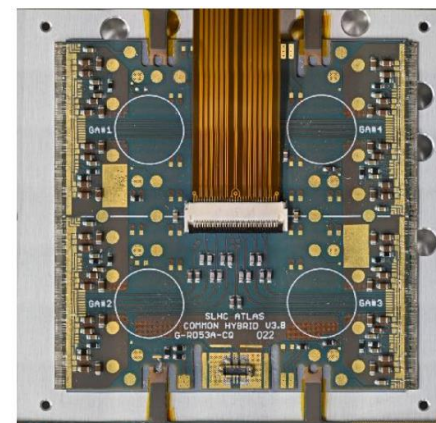


シリコンストリップ



9.7 cm

シリコンピクセル

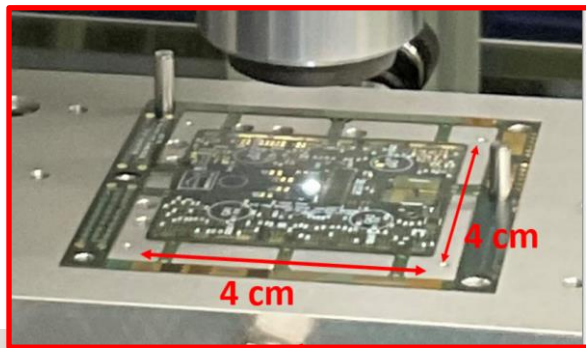


4 cm

- 超大型のシリコン検出器
 - 表面積約180 m² (現在は約60 m²)
 - 読み出しチャンネル数約50億 (現在は約9000万)
- 日本グループが重要な役割を担う
 - ピクセル: 2,800モジュール (out of 8,372) の製作
 - ストリップ: 6,350センサー (out of 22,080) の検査

HL-LHCに向けて

- いよいよ量産の準備が進行中！

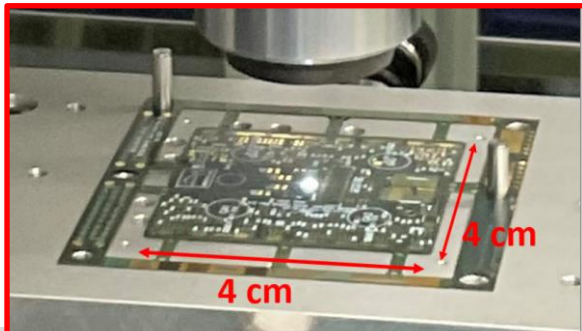


↑KEK富士実験棟クリーンルームでの作業
REPIC館山工場のITkピクセルモジュール量産現場→



■ HL-LHCに向けて

- いよいよ量産の準備が進行中！



(時間がないので細かいことは説明できませんが...)

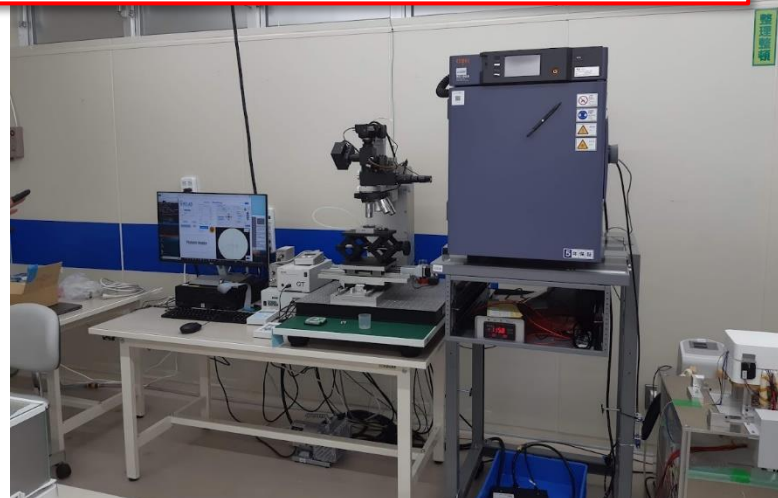
**いよいよみんなで力を合わせて本番用検出器をつくる、
とっても大事な時期に入っていきます**

...というのがtake-away messageです。



↑KEK富士実験棟クリーンルームでの作業

REPIC館山工場のITkピクセルモジュール量産現場→



■ まとめ

- ATLAS & CMSでの新物理探索
 - 重い未知粒子により直接的にアクセスできる
 - Run 2までのデータ($\sim 140 \text{ fb}^{-1}$)で、LQをはじめいろいろなBSMに対して1 TeV以上の領域まで探察しつつある
 - 残念ながら、いまのところ何も見つかっていない
 - 何かのヒント? 単なるふらつき? というエクセスはいくつか
- 今後数年間、結構アツい
 - LHC Run 3は1年延長 → 目標ルミノシティは 260 fb^{-1} 300 fb^{-1} の望みも...
 - 当初は 160 fb^{-1} だった
 - フレーバー側からの進展
 - LHCbはRun 3から40 MHzトリガー、検出器も大部分を入れ替えた
 - Belle IIはBelleのデータ量を超え始める
 - Muon g-2もデータ量を大幅に増やしたアップデートがあるはず
- さらにその先、HL-LHC
 - これまでのデータ量が25倍 (!!)に → 探索感度が劇的に向上
 - もしRun 3で何かヒントが見えれば、HL-LHCが「精密測定マシーン」に