



ATLAS検出器におけるBメソン稀崩壊事象 探索のためのミュオントリガーの改良

東工大, 京大理^A, 東大理^B, 東大素セ^C, 神戸大理^D, 高工研^E

野辺拓也, 石塚正基, 石野雅也^A, 奥山豊信^B, 織田勸^C, 管野貴之, 岸本巴^D,
久世正弘, 藏重久弥^D, 小森雄斗^B, 島内明理, 鈴木雄太^D, 道前武^B, 徳宿克夫^E,
長野邦浩^E, 早川俊^D, 山崎祐司^D, 他ATLAS日本トリガーグループ

@関西学院大学

日本物理学会 第67回年次大会



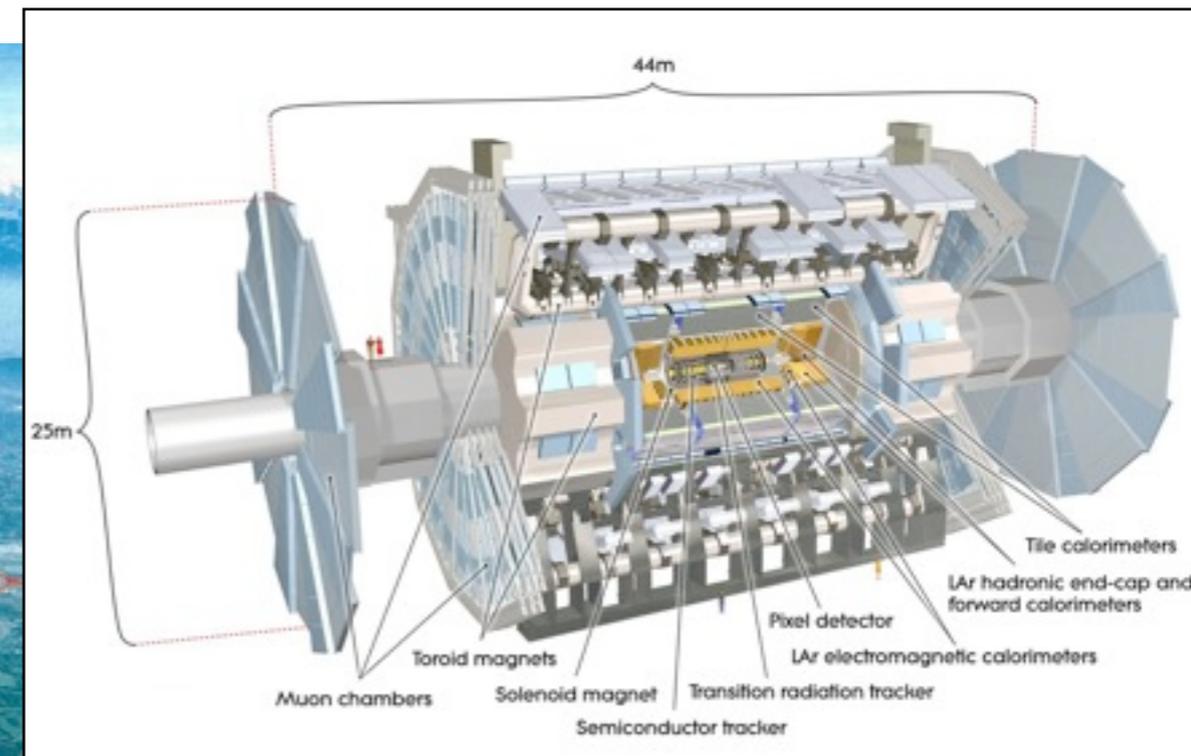
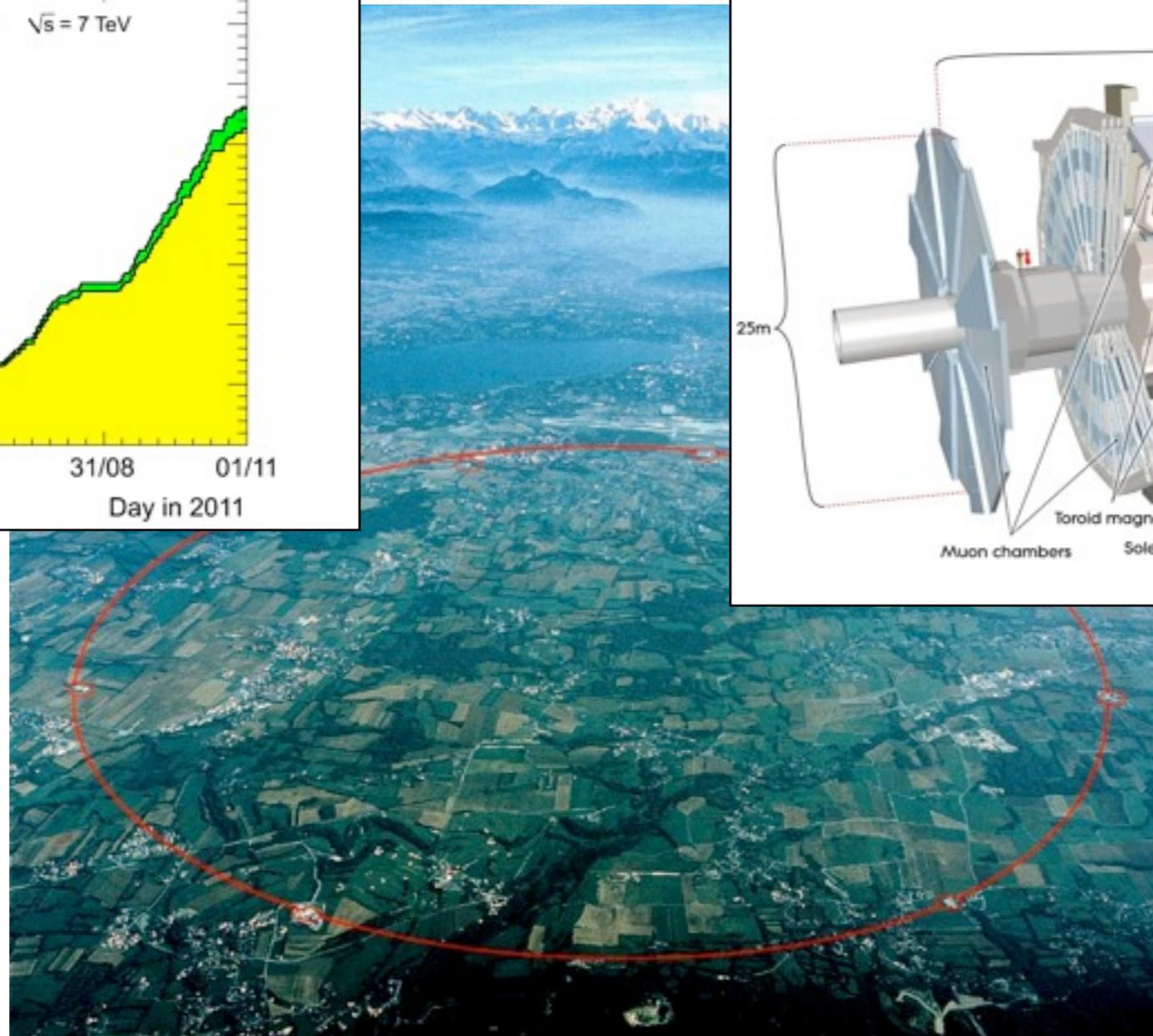
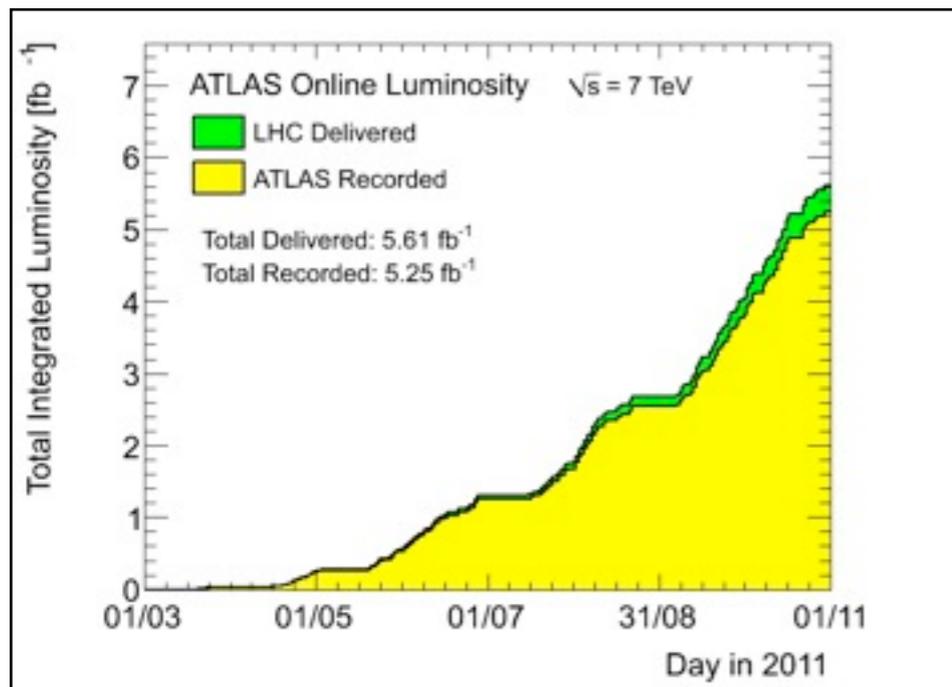
LHC

- スイスジュネーブ郊外のCERNにある陽子陽子衝突加速器
- 重心系エネルギー: 7 TeV(2011年) => 8 TeV(2012年)
- 瞬間最高ルミノシティ(2011年):
 $3.5 \times 10^{33} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ (ハドロン加速器で世界最高)



ATLAS検出器

- LHCに設置された汎用検出器
- 積分ルミノシティ(2011年): 5.25 fb^{-1}
- 内側から内部飛跡検出器、カロリメータ、ミューオンスペクトロメータ



ミューオン検出器

	有感領域	位置分解能	応答速度	用途
MDT	$ \eta < 2.7$	35 μm	-	精密測定
CSC	$2.0 < \eta < 2.7$	40 μm	7ns	
TGC	$ \eta > 1.05$	2-7mm	4ns	トリガー
RPC	$ \eta < 1.05$	10mm	1.5ns	

$$\eta = -\log \left(\tan \frac{\theta}{2} \right)$$

$\eta=0$

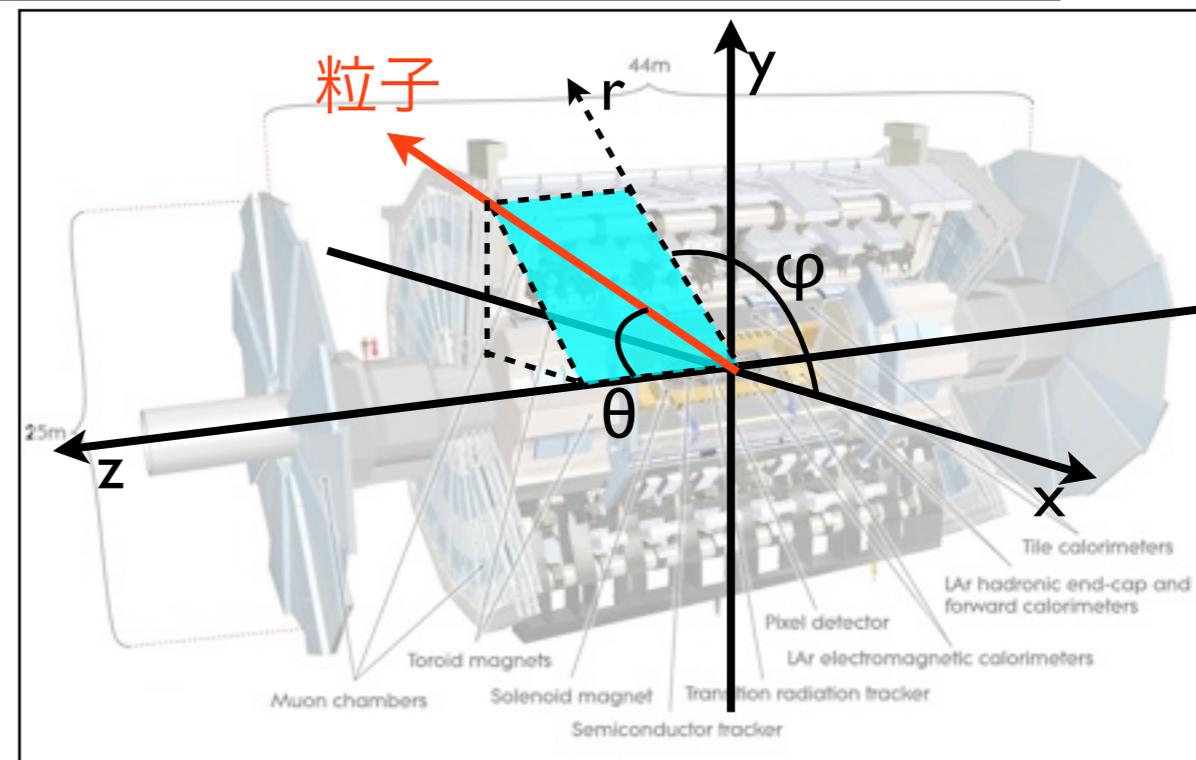
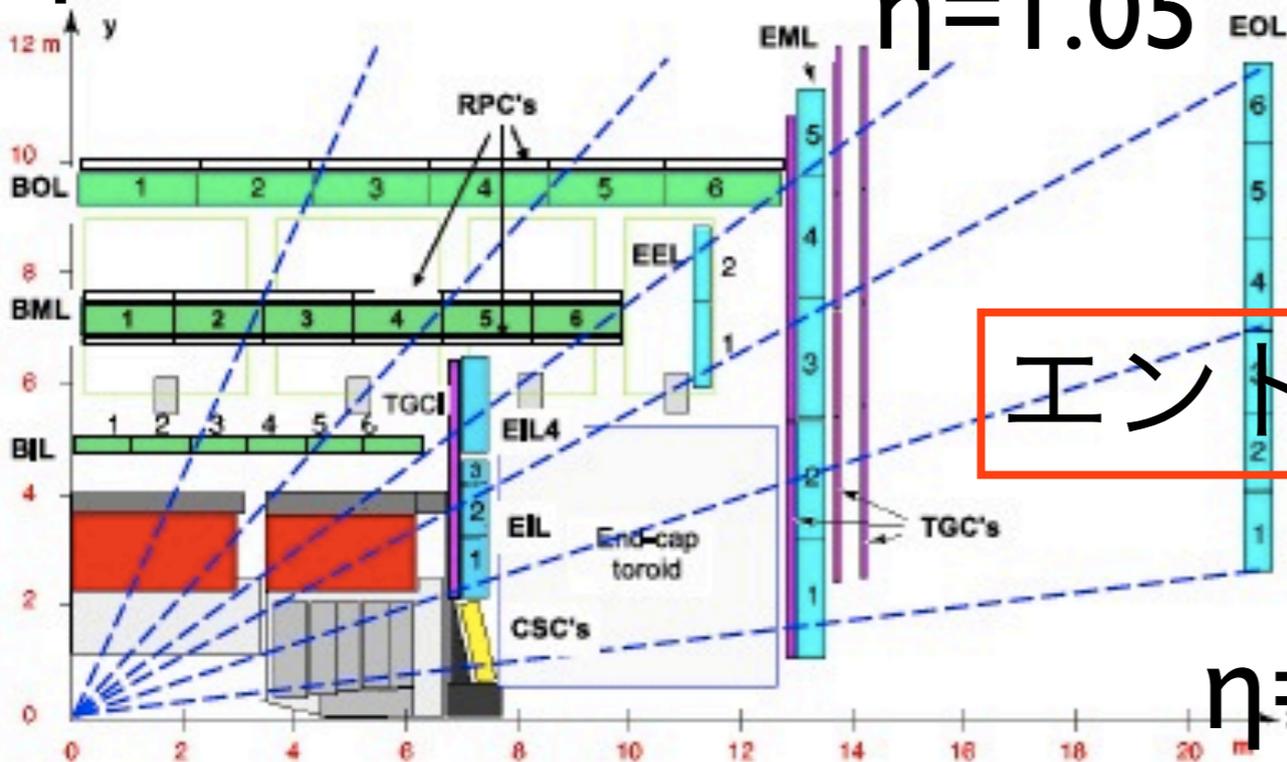
バレル

$\eta=1.05$

エンドキャップ

$\eta=2.4$

$\eta=\infty$



ATLASのトリガーシステム

- ATLASでは3段階のトリガーシステム
電子やミューオン、 τ 、ジェットなどといった特徴的な信号を判別して同定し、それらの"オブジェクト"を使った汎用な論理でトリガーする

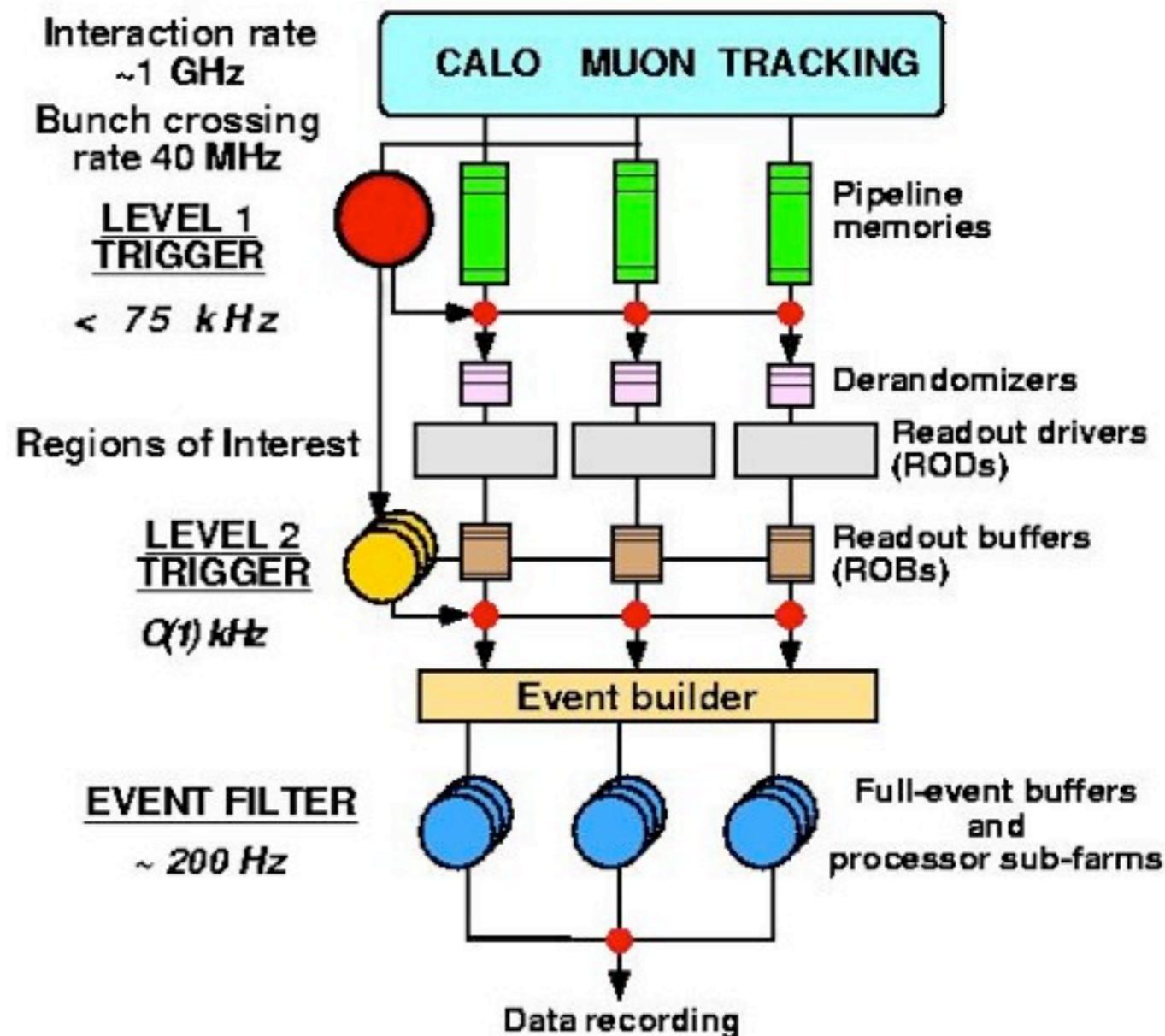
ミューオン候補

LVL.1 高速選別(2.5 μ sec)。ハードウェア(完全同期)によって実現。RoI(Region of interest)情報をLVL.2に渡す

LVL.2 ソフトウェアによる再構成。
RoI情報をもとにより精度の高い選別

Event Filter オフラインとほぼ同様な再構成

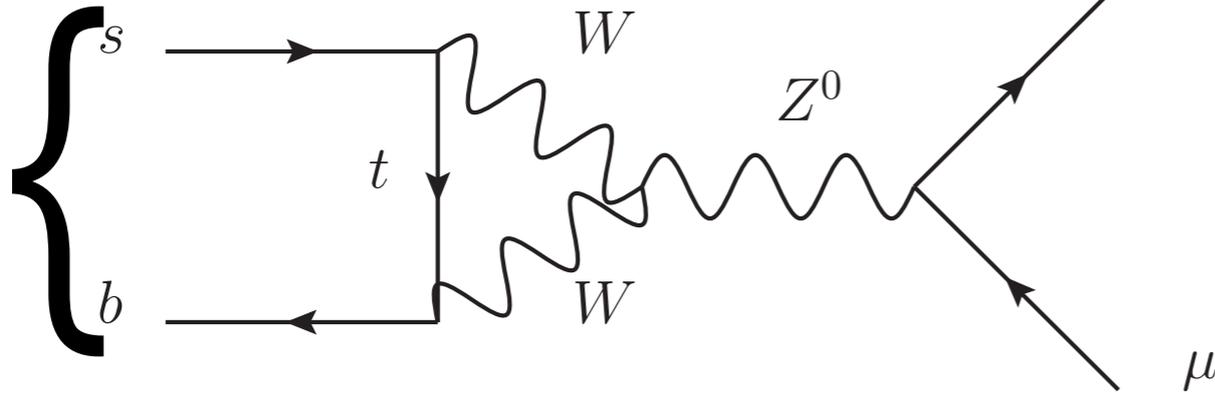
記録



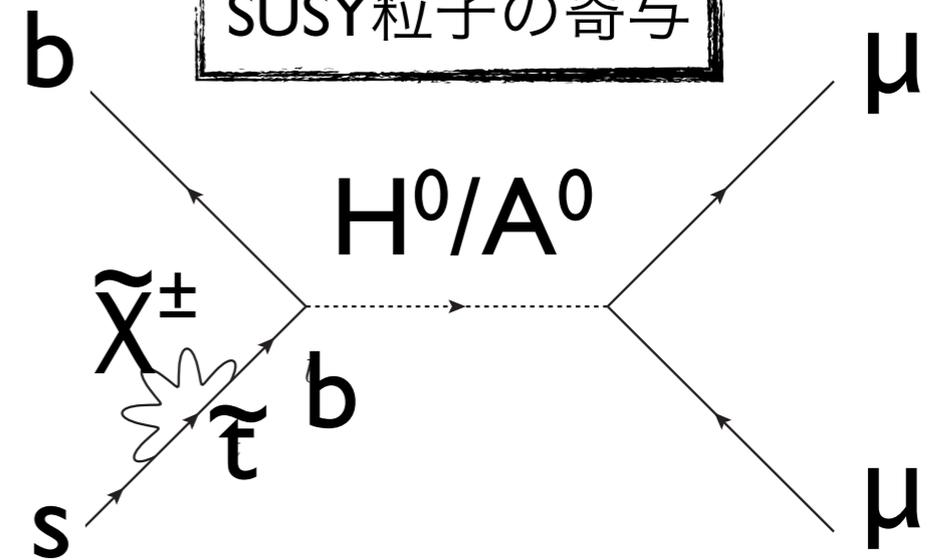
Bs → μμ 事象

Bsメソン
質量 ~5.4GeV

標準模型(ループ)

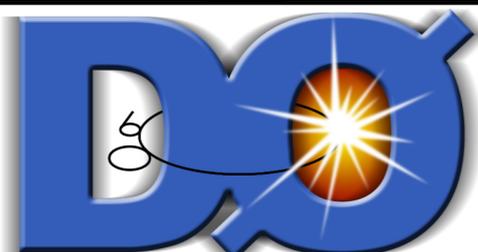


SUSY粒子の寄与



- 本研究で改良したトリガーの目的とする物理チャンネル
- 標準模型のツリーレベルでは厳密に禁止
(フレーバーを変えるニュートラルカレント=FCNC)
- 重いSUSY粒子がある場合、輻射補正による効果が見られる事が期待される
(標準模型を超える物理に対する指標となる)
- 非常にレアな事象 => 多くの統計が必要
- Bファクトリー実験ではΥ(4S)のresonanceで大量のbbを作るのでBs粒子は生成されない
⇔ **LHCでは大量に生成される**

Bs → μμ事象(各実験からの上限値)

	データ	$BR(B_s^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-)$
	1.0 fb ⁻¹	$<4.5 \times 10^{-9}$ (preliminary)
	4.9 fb ⁻¹	$<7.7 \times 10^{-9}$ (preliminary)
	2.4 fb ⁻¹	$<2.2 \times 10^{-8}$ (preliminary)
	9.6 fb ⁻¹	$(1.3^{+0.9}_{-0.7}) \times 10^{-8}$ (preliminary)
	6.1 fb ⁻¹ Phys. Lett. B693 (2010)	$<5.1 \times 10^{-8}$

ATLAS: 今回改良したトリガーで取得されたデータ(2011年後半データ)を用いることでさらに統計を増やした解析が可能

ATLASにおけるBs $\rightarrow\mu\mu$ 取得用トリガー

- 低い p_T のミュオン対事象
(レートが大きいためトリガーで工夫が必要)

L1: ミュオンが1事象中に2本($p_T > 0 \text{ GeV}$)

L2: 2本のミュオンが $p_T > 4 \text{ GeV}$

EF: 2本のミュオンが $p_T > 4 \text{ GeV}$

2本のミュオンから再構成した
不変質量がBs粒子の質量領域である

記録

研究の背景

LHCの2011年運転が非常に好調

=>L1での記録レートが許容可能な値を超えてしまう事が予想された

L1: ミューオンが1事象中に2本($p_T > 0 \text{ GeV}$)

L1_2MU0と呼ぶ

L2: 2本のミューオンが $p_T > 4 \text{ GeV}$

EF: 2本のミューオンが $p_T > 4 \text{ GeV}$

2本のミューオンから再構成した
不変質量がBs粒子の質量領域である

記録

レベルIトリガーレート(2011年運転前半状況)

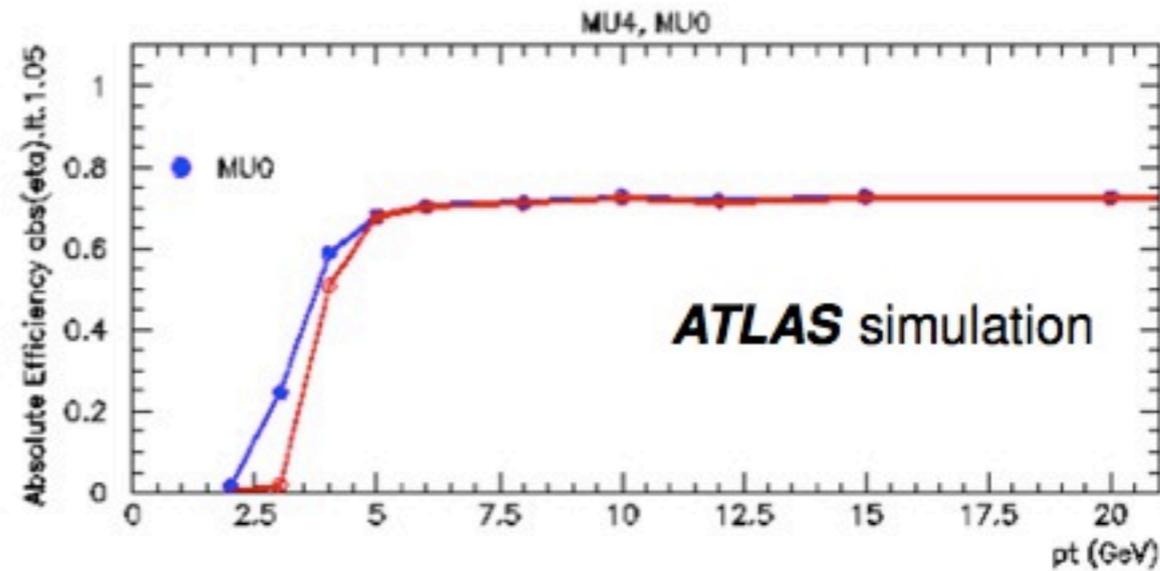
- 瞬間ルミノシティ $2 \times 10^{33} \Rightarrow 5 \times 10^{33} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
を想定したトリガーを準備
- LI_2MU0の予想レート @ $5 \times 10^{33} \Rightarrow \sim 22\text{kHz}$
 - Barrel-Barrel: 8.6kHz
 - Barrel-EndCap: 3.6kHz
 - EndCap-EndCap: 9.7kHz(レベルI全体のレート < 75kHz)
- 全体で半分程度に削減する必要性

Barrel LI トリガー

Simulation truthに対する絶対効率

青線: 従来のトリガー

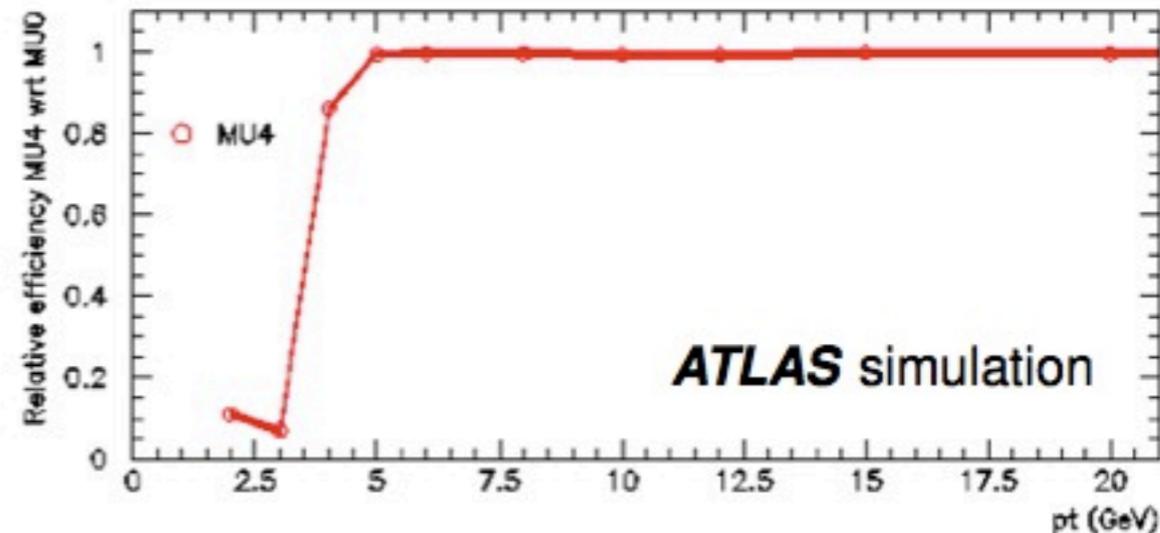
赤線: 新しいトリガー



従来のトリガー(0GeV用)に対する

新しい4GeVトリガーの効率

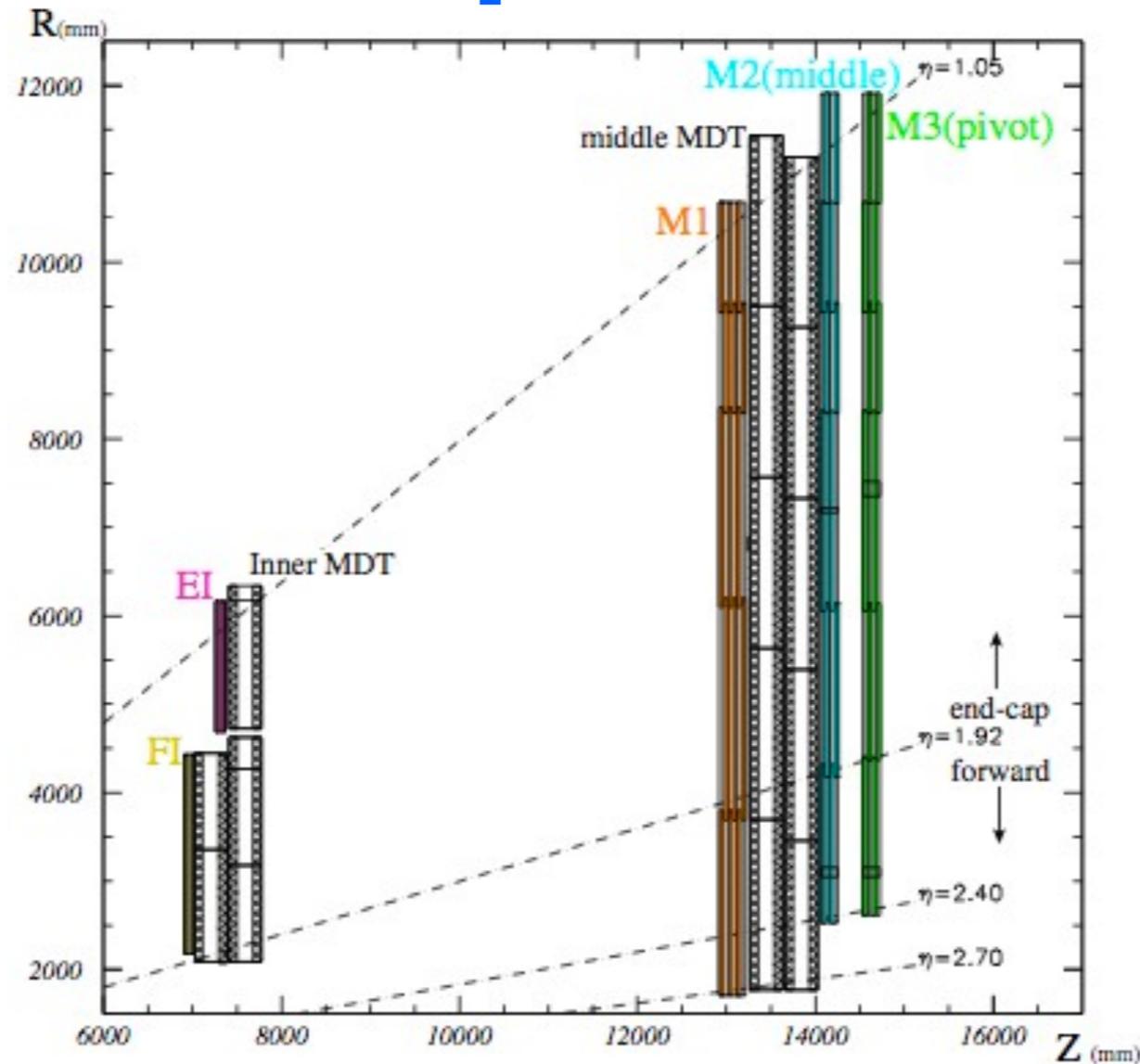
(上図の赤/青の比)



- 新たに4GeV用のしきい値を設定
- 4GeVでの検出効率は従来と比べて86%、5GeVで99%
- 2ミューオントリガーの記録レート(@Barrel-Barrel)は~80%削減(レート およそ1/5)

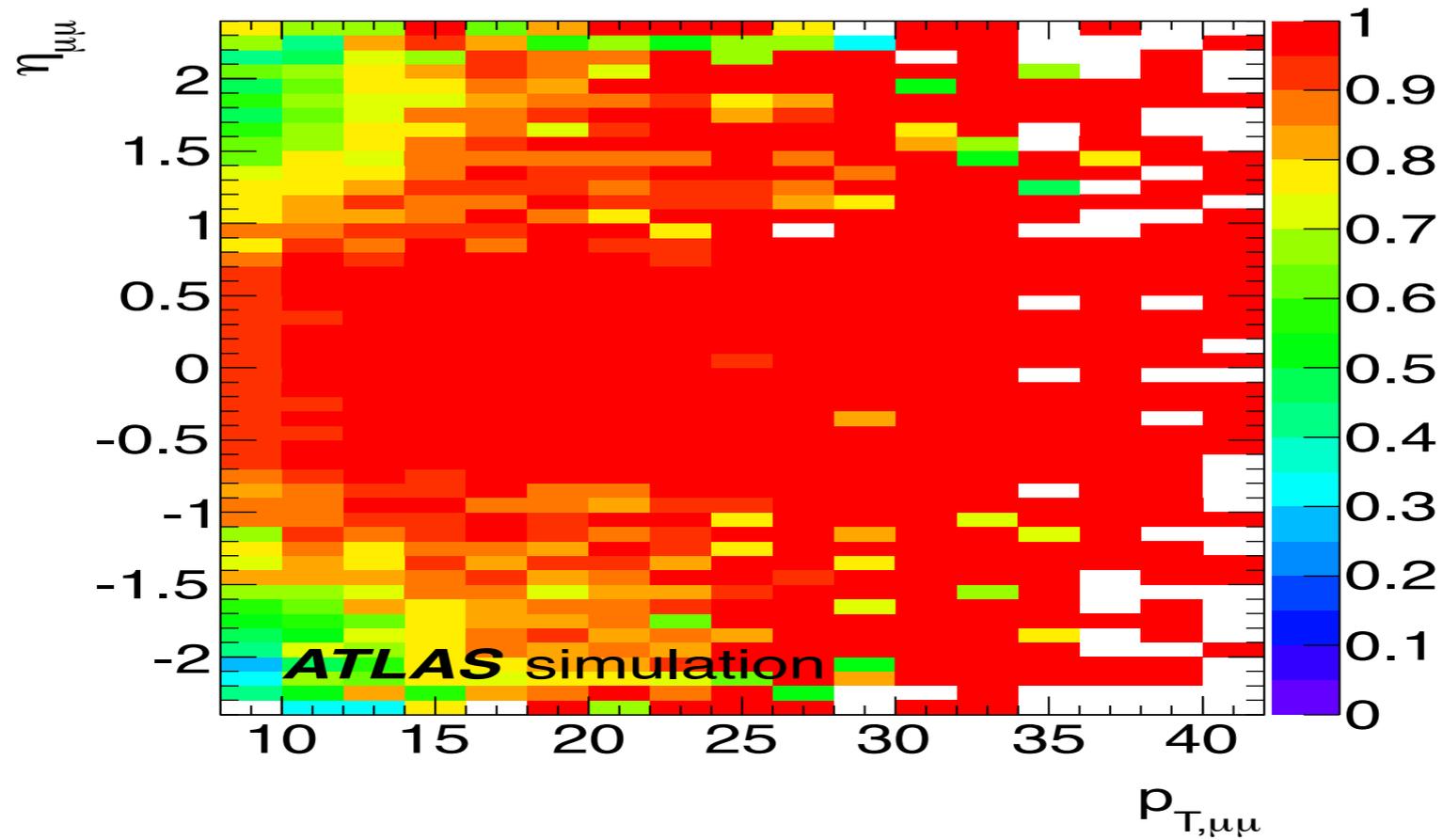
=> EndCapでは40%レート削減が目標

EndCap LI トリガー



- LIではトリガー検出器のヒット情報からテーブルを用いて p_T を粗く判別
- 低い p_T に対してはM2, M3の2層にヒットがあることを要求
高い検出効率 \leftrightarrow 高レート
- さらにM1層にもヒットを要求する(3層トリガー)とレートは90%削減可能
(レート 1/10)

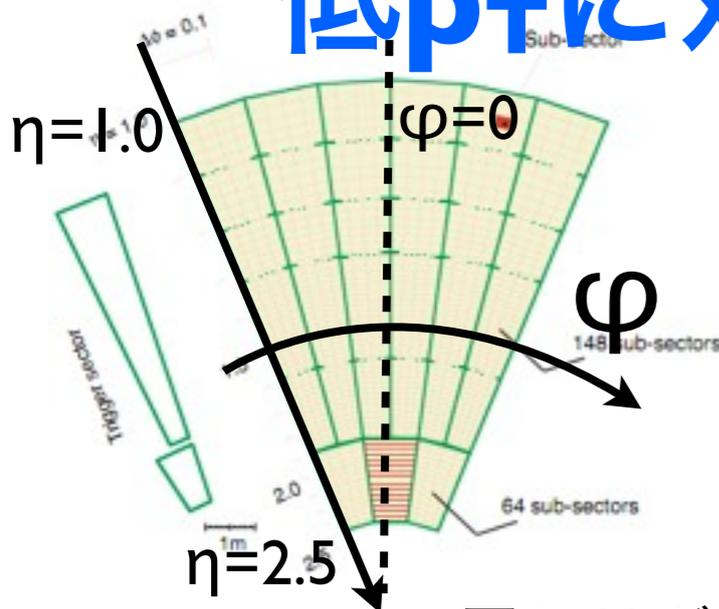
エンドキャップ3層トリガーのBs信号に与える影響



- 多くの信号を失う(従来トリガーに対して~20%のロス)
- η 依存性が確認された
=>高い p_T 領域でも非効率

低 p_T に対するエンドキャップ3層同期

信号を $p_T > 4\text{GeV}$ のミュオンが2本ある事象
 とすると、相対的な非効率率は $\sim 53\%$ にも及ぶ

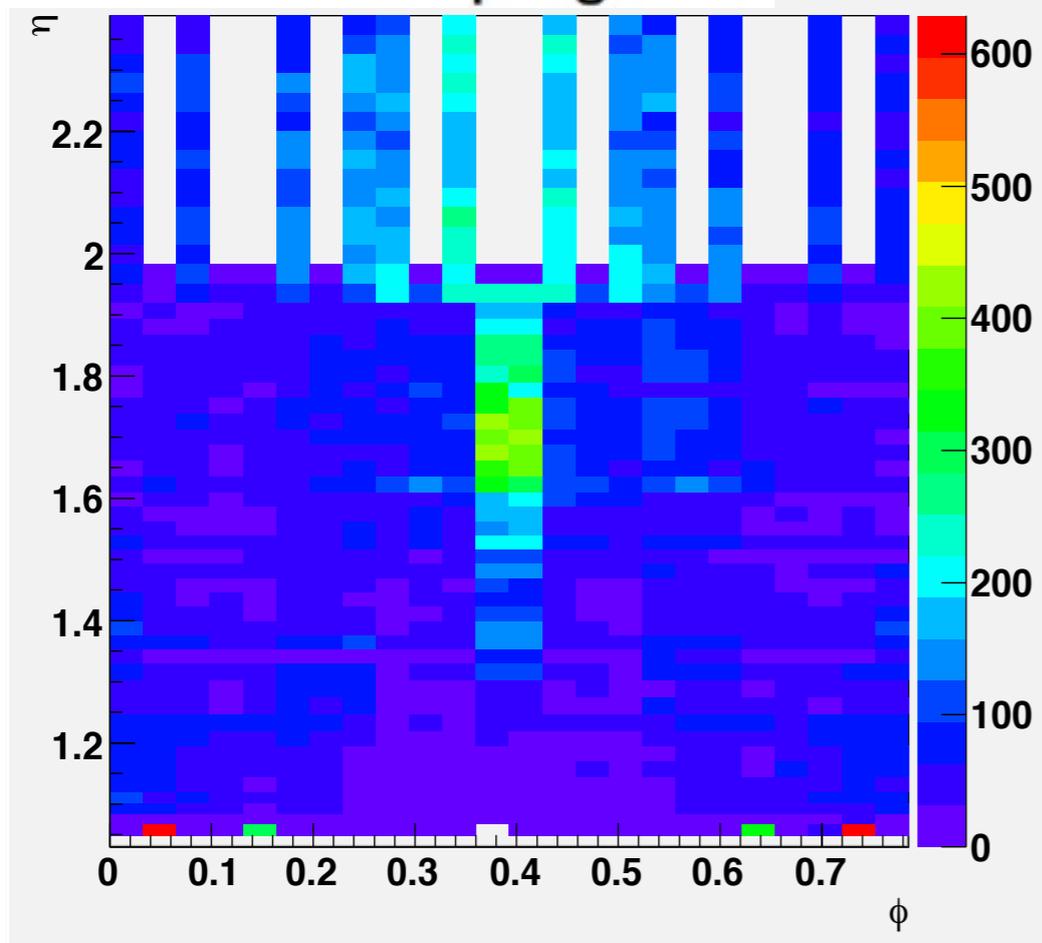


2層トリガーのレート

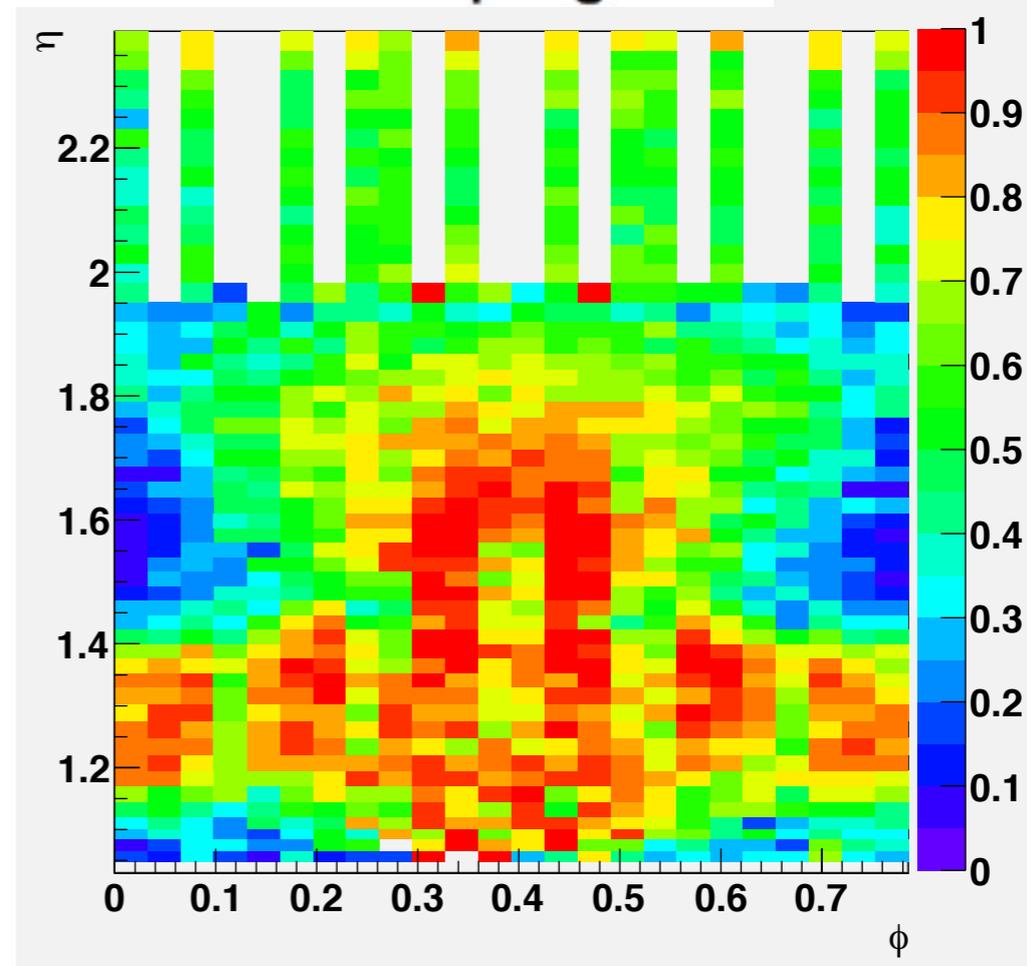
(2ミュオントリガー, 2011年データ)

2層トリガーで取得した $p_T > 4\text{GeV}$
 のミュオンのうち3層トリガー
 がとれる割合(2011年データ)

ATLAS work in progress

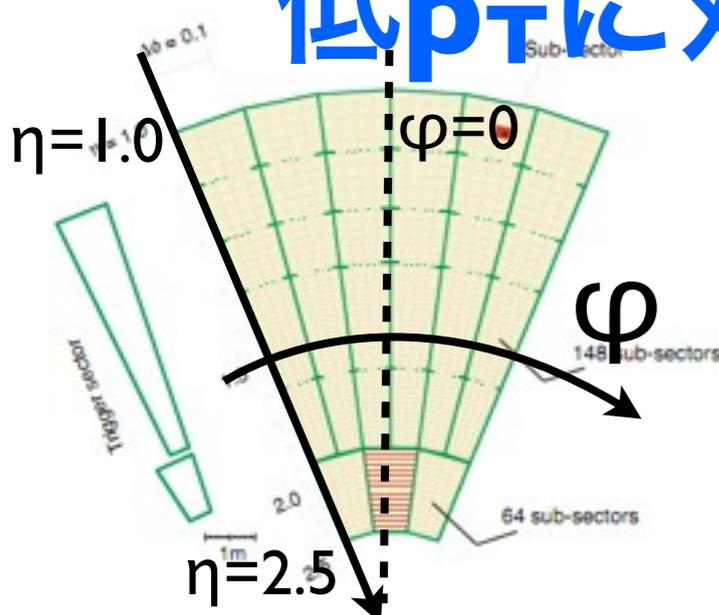


ATLAS work in progress



低 p_T に対するエンドキャップ3層同期

信号を $p_T > 4\text{GeV}$ のミュオンが2本ある事象
 とすると、相対的な非効率率は $\sim 53\%$ にも及ぶ

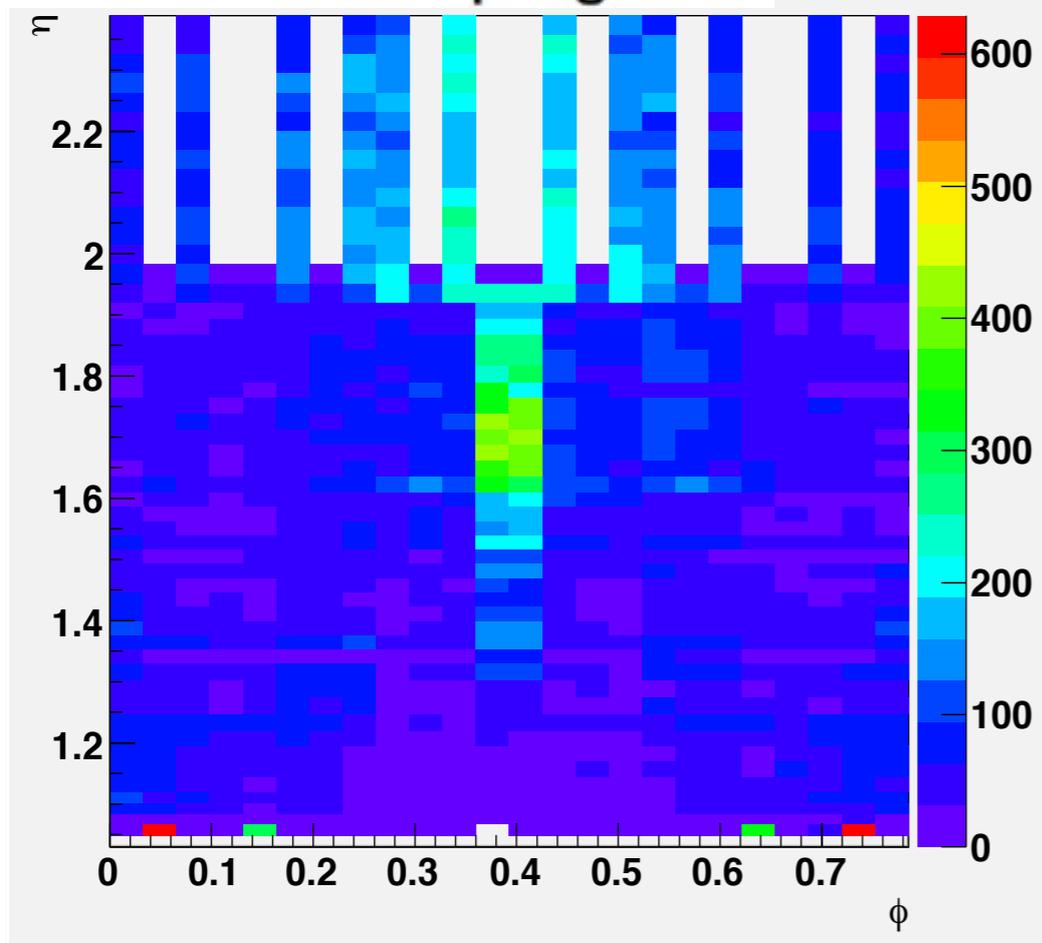


2層トリガーのレート

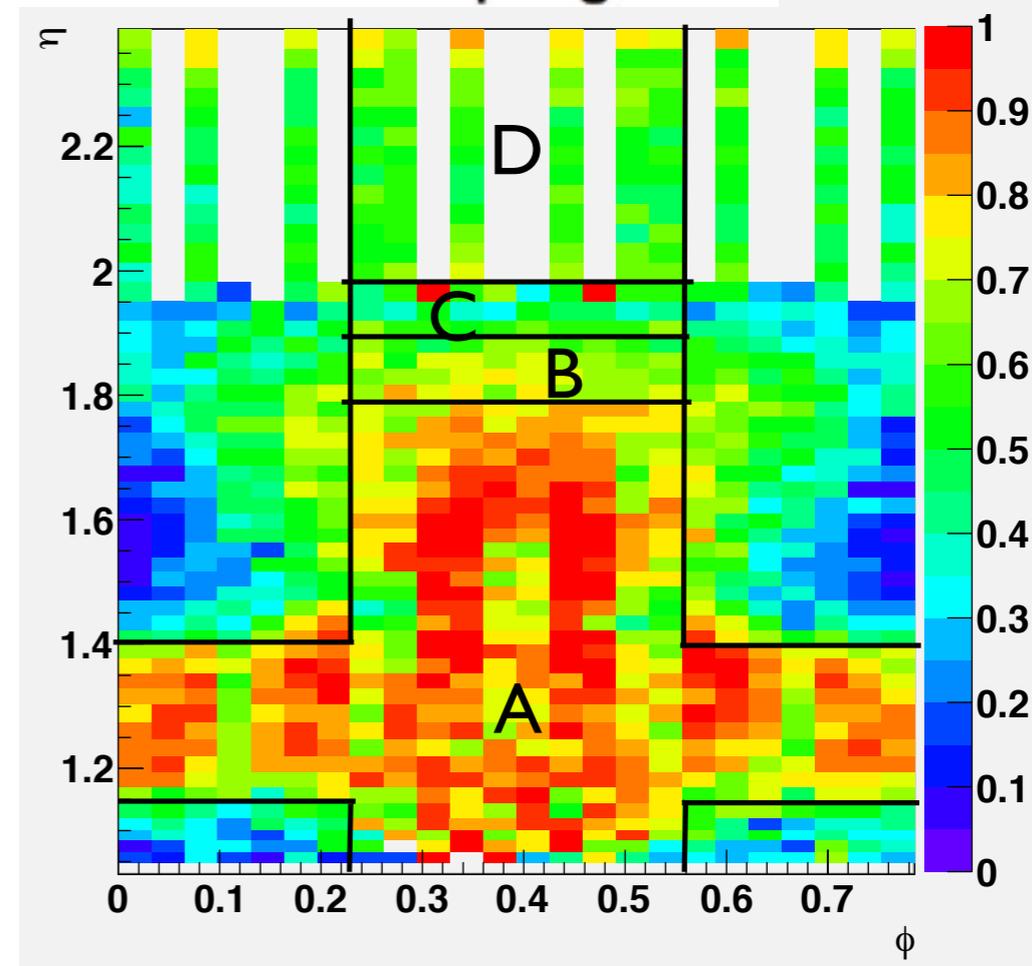
(2ミュオントリガー, 2011年データ)

2層トリガーで取得した $p_T > 4\text{GeV}$
 のミュオンのうち3層トリガー
 がとれる割合(2011年データ)

ATLAS work in progress



ATLAS work in progress



コインシデンス条件の最適化

2011年前半データ(2層トリガー使用)に3層目の同期を要求して研究

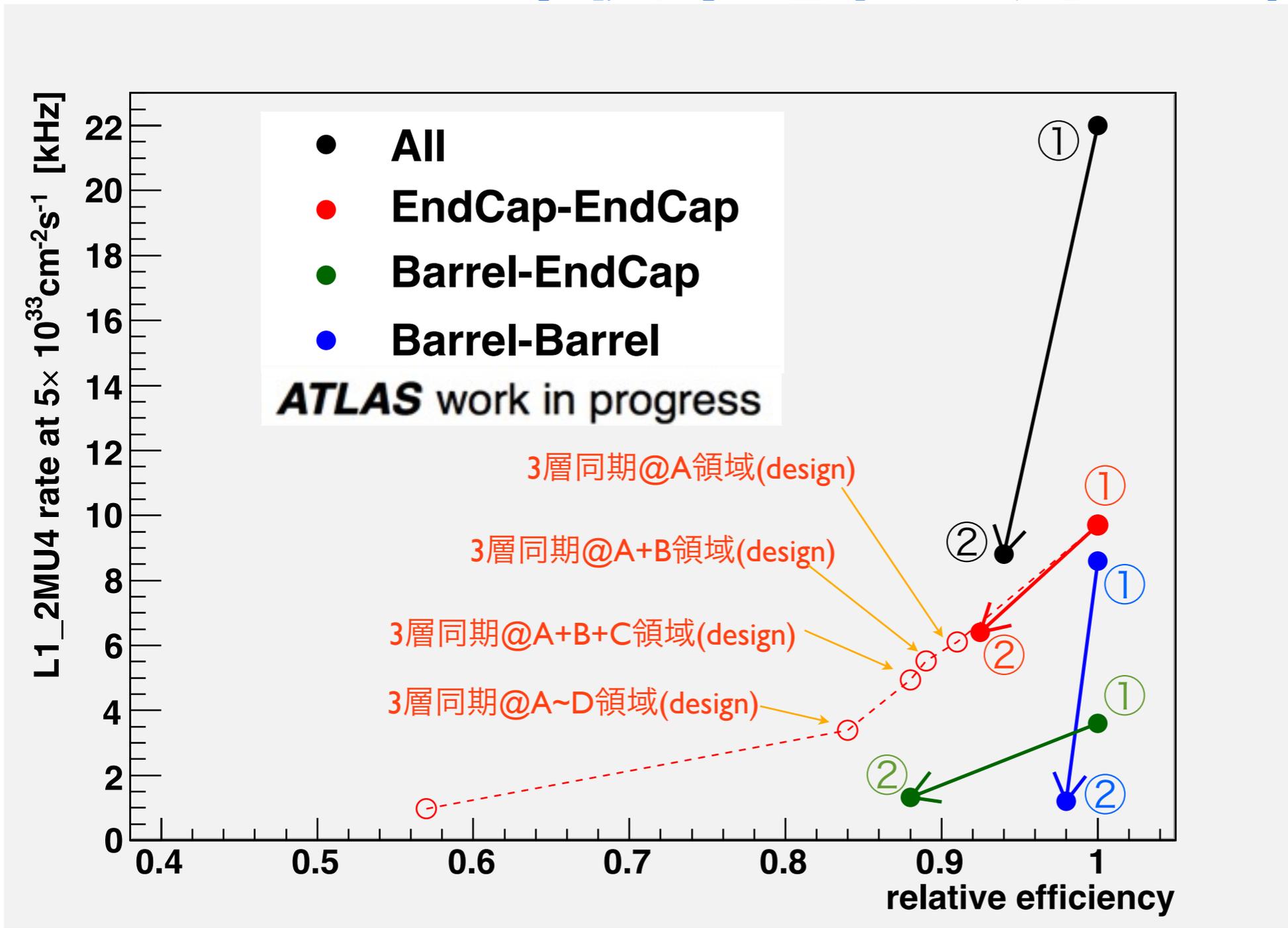
信号: $pT > 4\text{GeV}$ のミュオンが2本

	信号に対する効率	レート削減 (両方がEndCapの場合)
Aのみ3層コインシデンス、 他は2層のまま	91%	37%
A+Bで3層コインシデンス	89%	43%
A+B+Cで3層コインシデンス	88%	49%
A+B+C+Dで3層コインシデンス	84%	65%
すべてで3層コインシデンス	57%	90%

Aのみ3層同期を採用

Barrelの改良と合わせてLI_2MU4と呼ぶ

2011年後半運転を用いた評価



① LI_2MU0
(2011年前半運転)
2層トリガー@Endcap

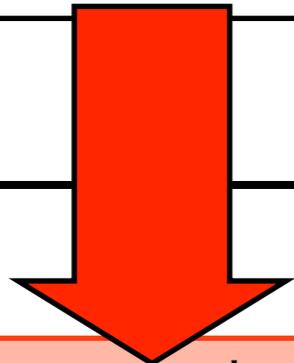
② LI_2MU4
(2011年後半運転)
今回最適化したトリガー

(①と②の効率はそれぞれデータを用い、 J/ψ 粒子の質量カットをいれてルミノシティでスケールして導出している)

全体でも高い効率を保ちつつレートの60%削減(レート ~2/5)に成功

Bs粒子シグナルへの影響

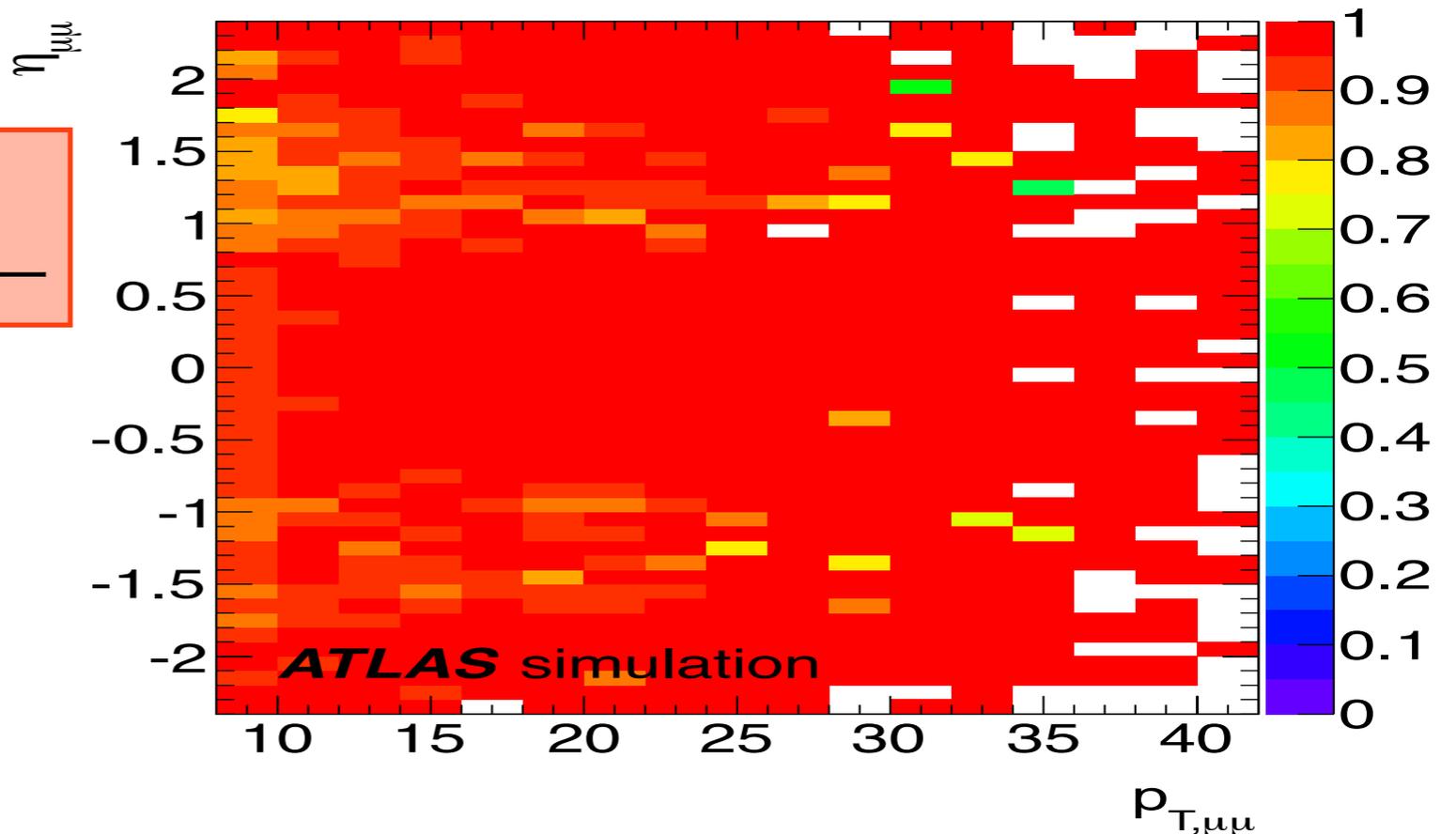
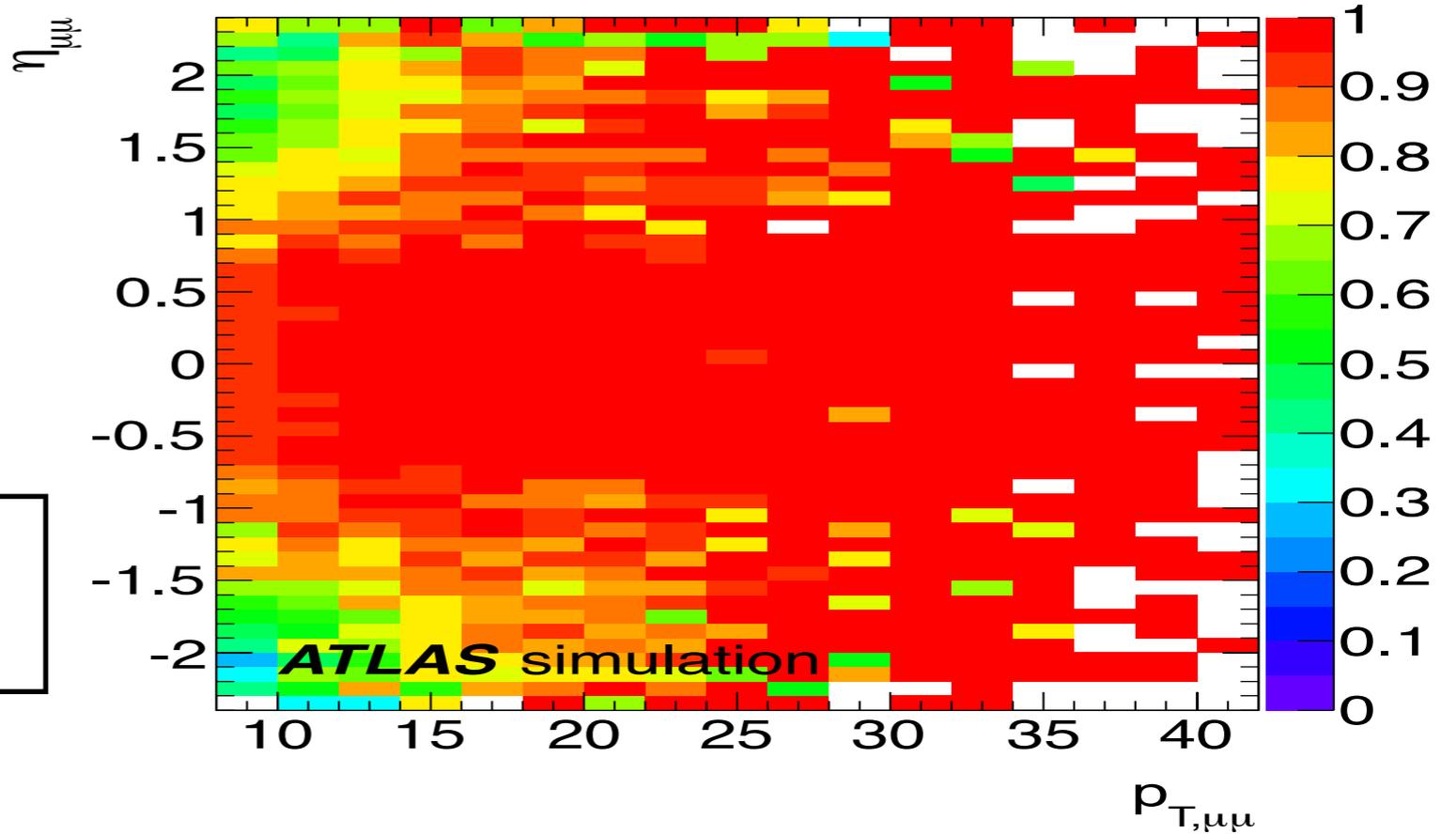
Barrel: 4GeVしきい値
EndCap: 全て3層コインシデンス



Barrel: 4GeVしきい値
EndCap: 本研究で最適化したトリガー

η 依存性の解消

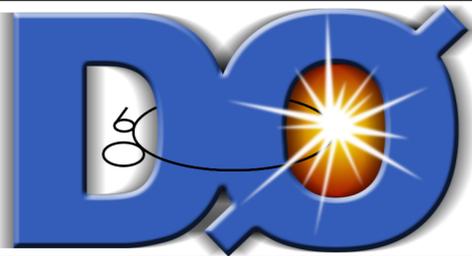
従来比~95%の効率

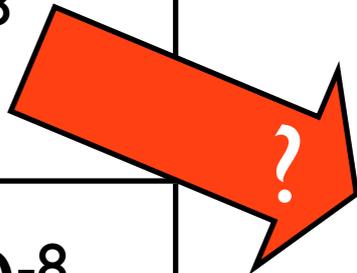


まとめ

- Bs粒子のミュオン対崩壊は標準模型では厳しく制限される
⇔ 新しい物理に対する指標として期待
- ATLASではトリガーを工夫することで、高い統計を用いた解析が可能
- 2011年運転後半においてこのモード取得用トリガーの記録レートが記録可能な値を上回る事が予想された
- 本研究ではL1トリガー条件を最適化することによってエンドキャップにおいてレートの40%削減しつつ、Bs粒子の信号を失う事を回避した
- このトリガーは2011年後半にATLAS実験のデータ取得に使用された(2.4fb⁻¹取得)

Bs → μμ事象(各実験からの上限値)

	データ	$BR(B_s^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-)$
	1.0 fb ⁻¹	$<4.5 \times 10^{-9}$ (preliminary)
	4.9 fb ⁻¹	$<7.7 \times 10^{-9}$ (preliminary)
	2.4 fb ⁻¹ => ~5 fb ⁻¹	$<2.2 \times 10^{-8}$ (preliminary)
	9.6 fb ⁻¹	$(1.3^{+0.9}_{-0.7}) \times 10^{-8}$ (preliminary)
	6.1 fb ⁻¹ Phys. Lett. B693 (2010)	$<5.1 \times 10^{-8}$



ATLAS: 今回改良したトリガーで取得されたデータ(2011年後半データ)を用いることでさらに統計を増やした解析が可能