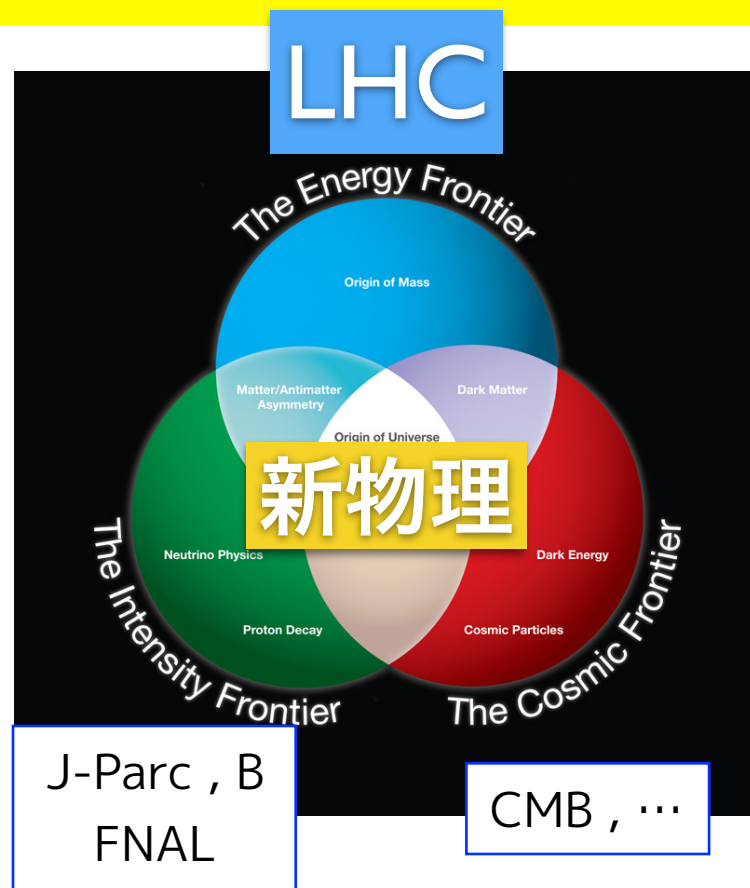


高エネルギー現象の「直接」測定

LHC・ATLAS実験



● 直接加速器で粒子を衝突 : High Energy Frontier

- $\Delta E \cdot \Delta t \sim h$

● 短時間の事象(稀事象)に、高いエネルギースケールの物理の寄与を探る。

- 当然標準理論からの寄与は、強く抑制されていないと、見えない → 見つけにくいものをがんばって探すことになる。

- Rare decay : 大強度ビーム : Intensity Frontier

南條

● 宇宙初期の様子を再現できる($10^{-12} \sim 10^{-14}$ sec)

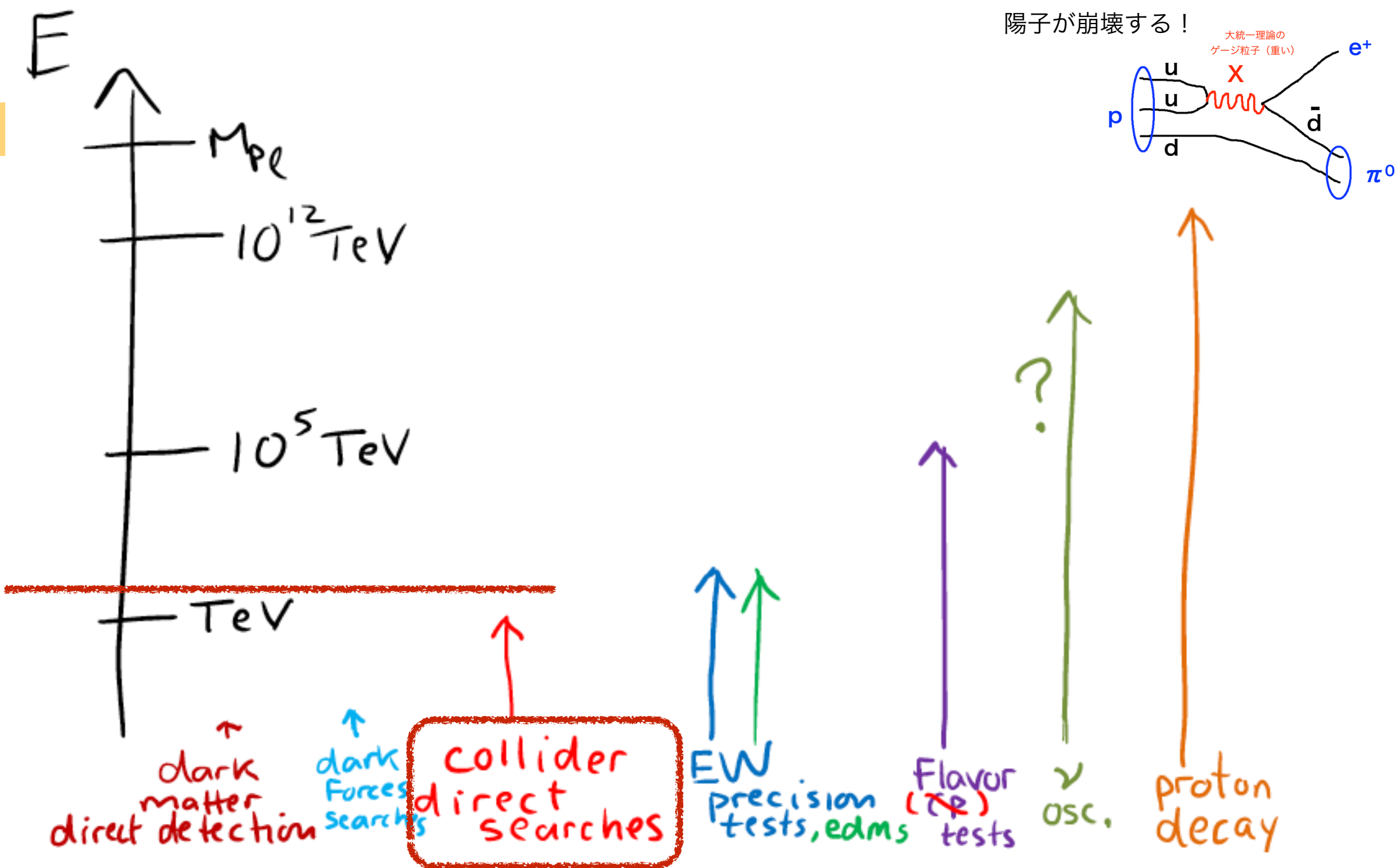
● $E=mc^2$: m 大 → 重い粒子をつくれる

● $E=h\nu=h \cdot (c/\lambda)$: 小さな構造を探れる : 10^{-18} m

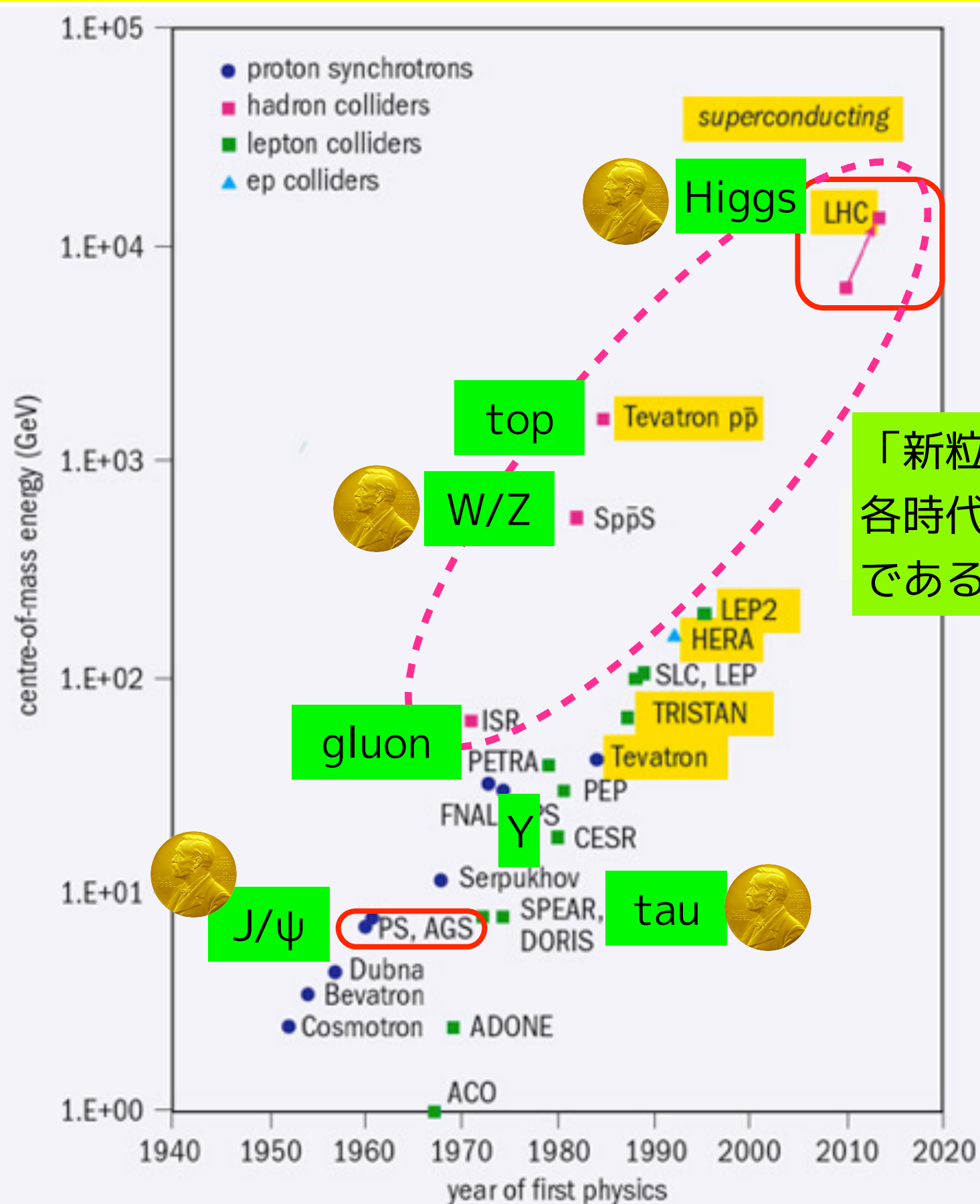
project mapping by Ligeti

「いけるところまでしかいけない」が、
人工的に作って・見るアプローチは**王道だ**

南條



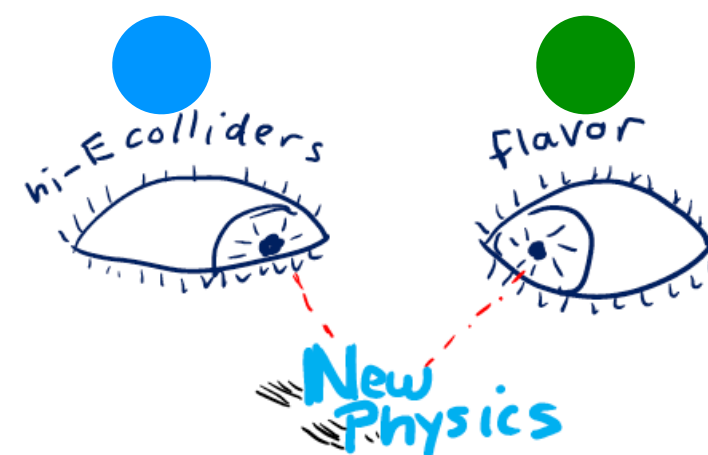
加速器の history ・ 発見した粒子



LHC

7 → 8 → **13** → 14 TeV

「新粒子」の**直接**発見をリードしてきたのが
各時代の高エネルギーフロンティアマシーン
であるのも、また事実



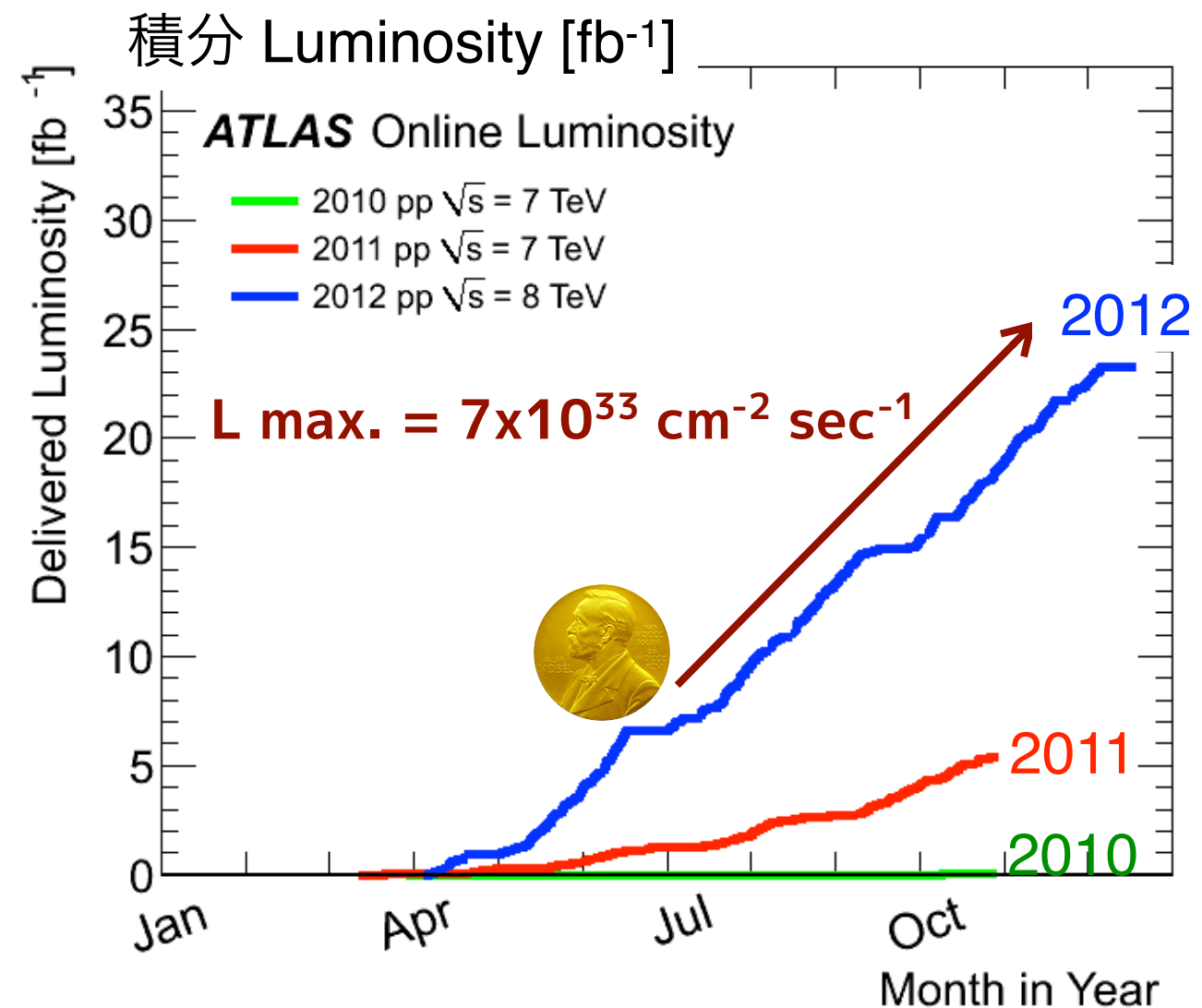
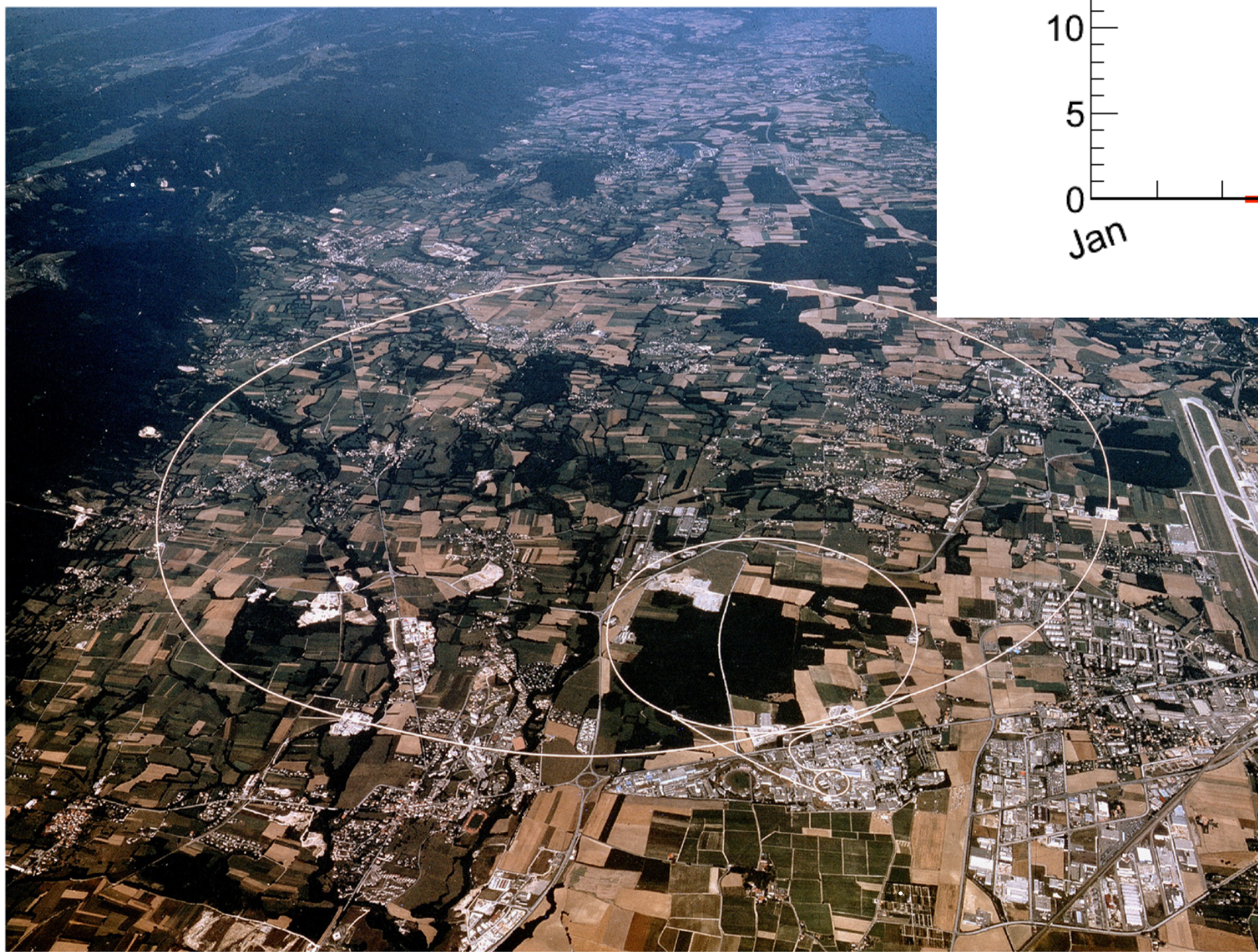
南條

Flavor expt. is tool for
discovery & understanding
of New Physics.

Recent Physics results from

LHC experiments

Large Hadron Collider



8TeV p-p , 125 GeV ($\rightarrow$ 20pb)

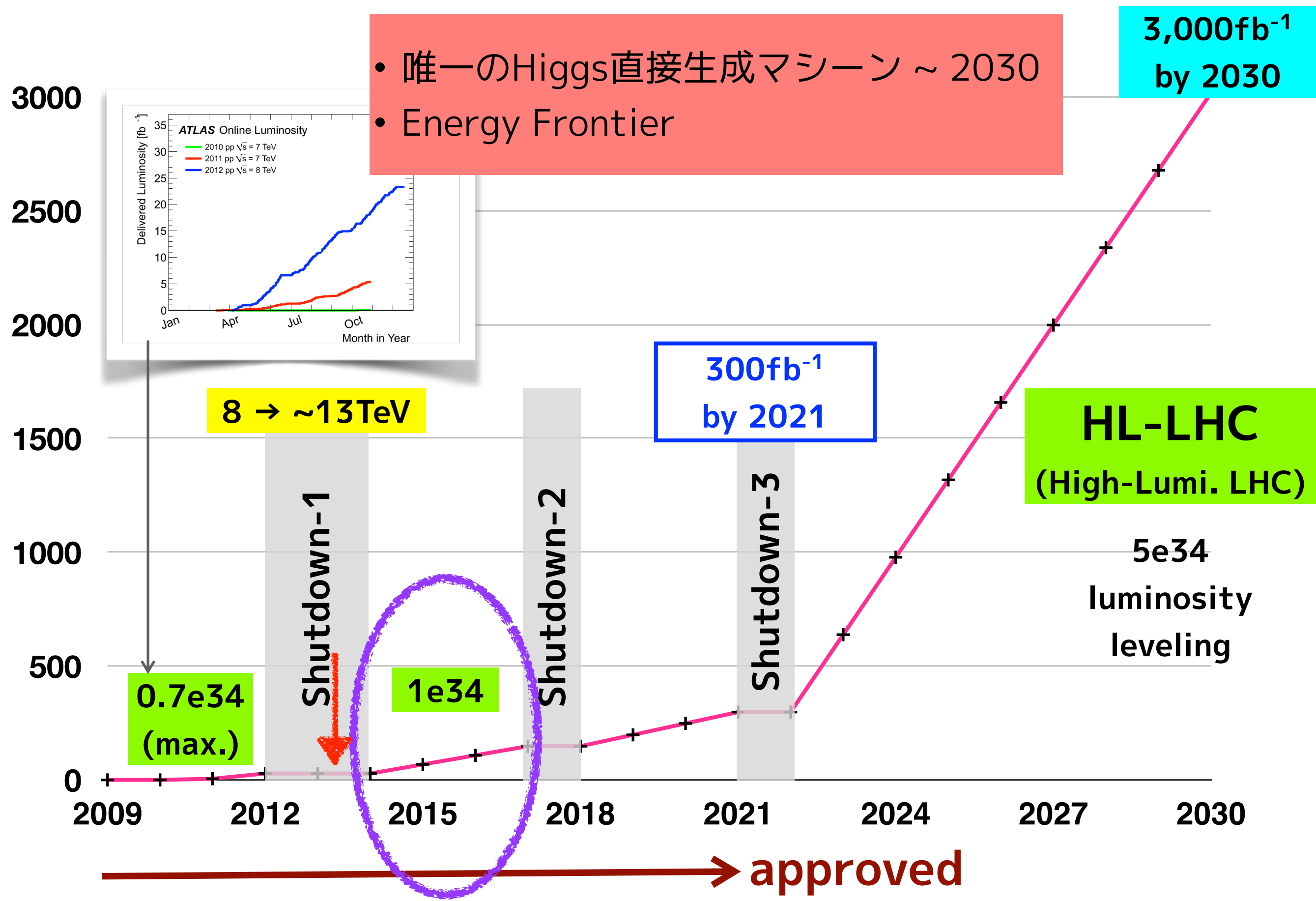
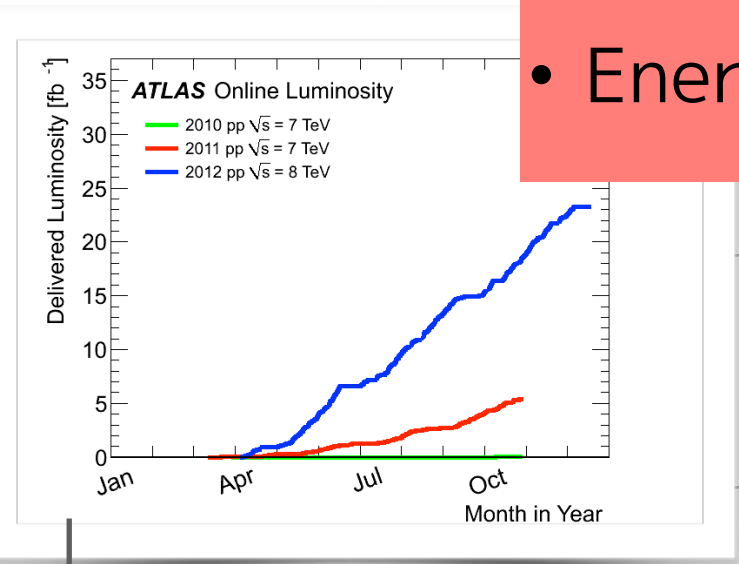
$$\begin{aligned}
 &20\text{pb} \times 25\text{fb}^{-1} \\
 &= 500 \times 10^{-12} \times 1/10^{-15} \\
 &= 500,000 \text{ 個}
 \end{aligned}$$

p-p 衝突 E

7 $\rightarrow$ 8 $\rightarrow$ **13** $\rightarrow$ 14TeV

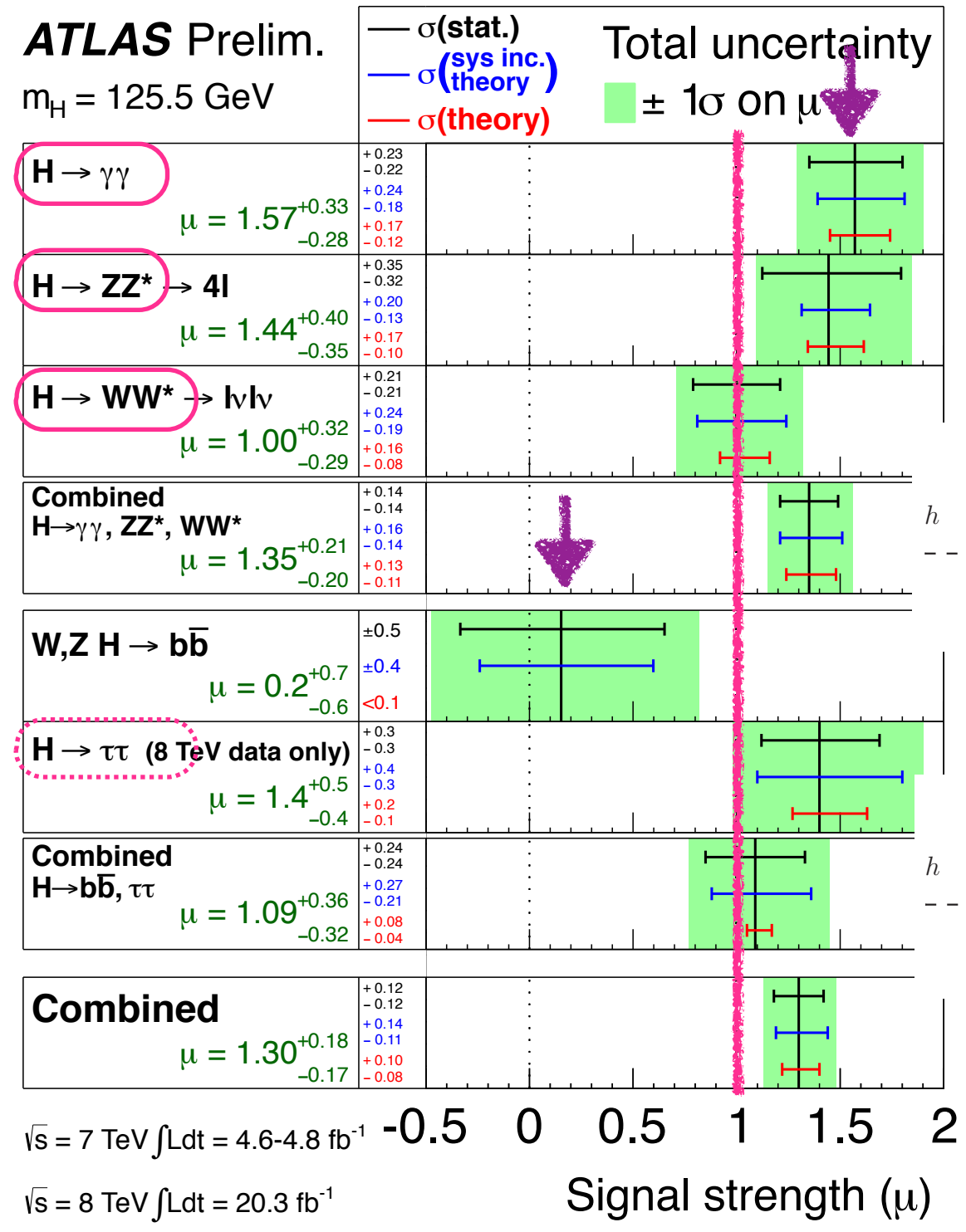
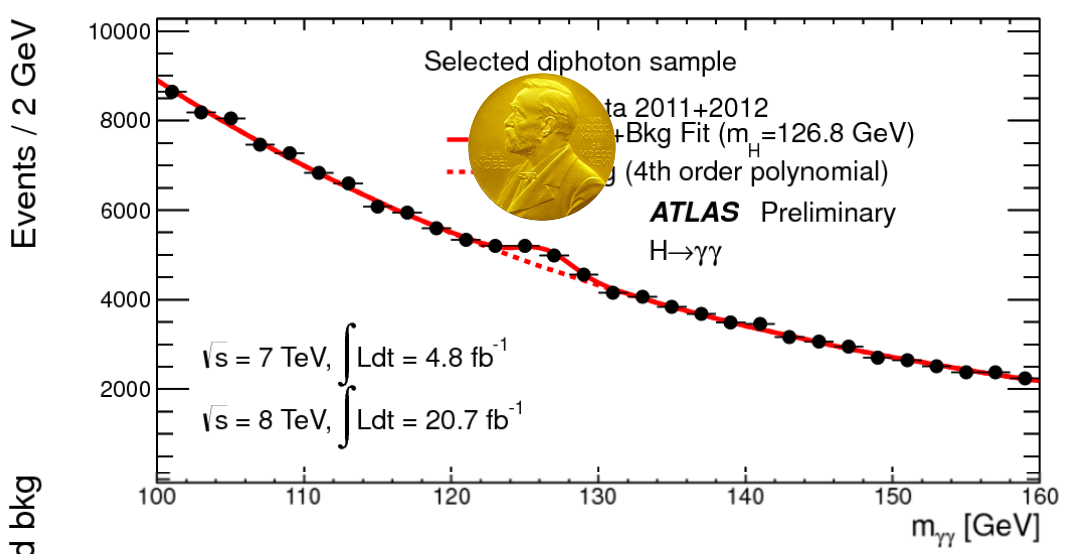
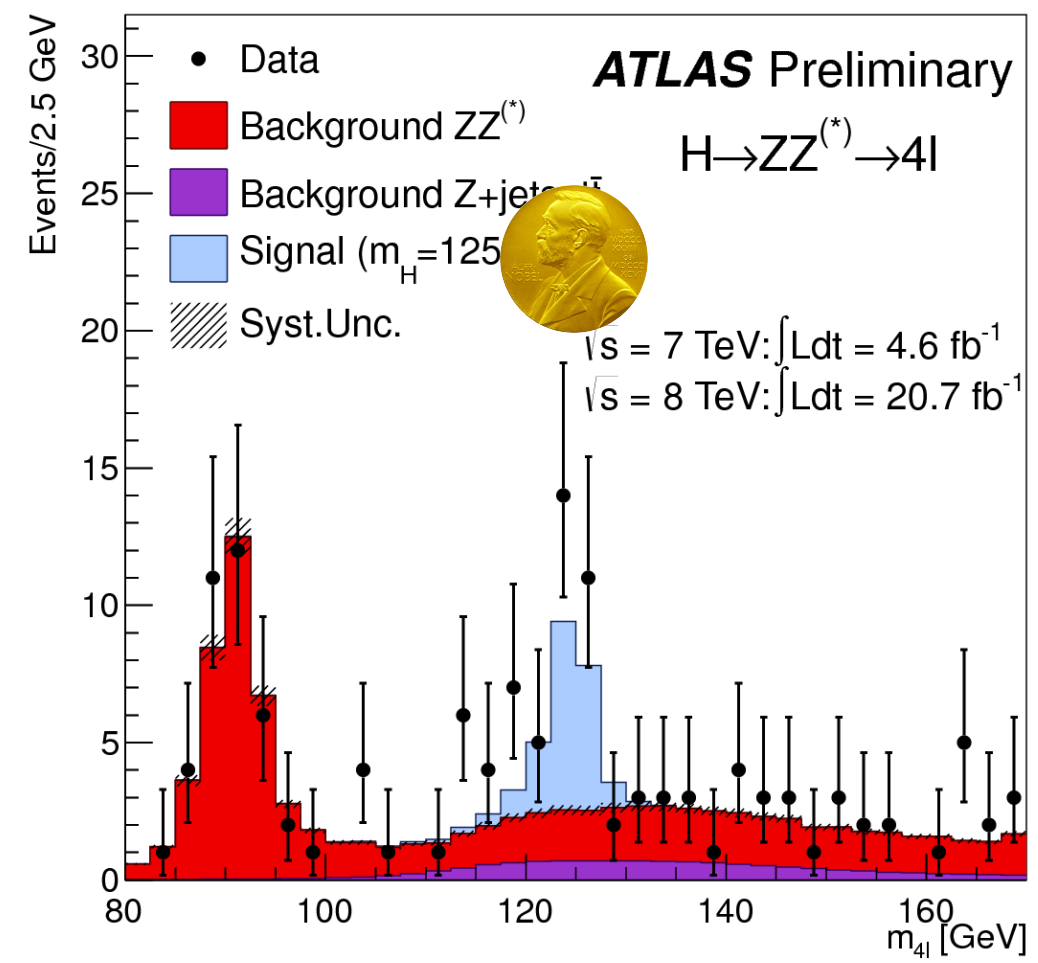
LHC : 2010 → 2021 → 2030

- 唯一のHiggs直接生成マシーン ~ 2030
- Energy Frontier



LHC Run-1 : 2010 - 2012

Higgs :発見した → それで？

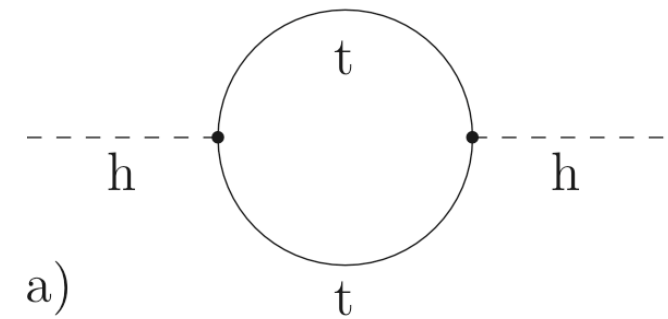


階層性問題

- Higgs粒子は発見された

- 階層性問題

- 標準理論を高いエネルギースケールに適用しようとすると、Higgs粒子の質量は2次発散し、非常に大きくなる。
- 高いエネルギースケールからスタートすると、ここで与えられる巨大な質量が、異様に正確にあたえられないと、現在のHiggs質量が導けない。
- 不自然 → 1TeVくらいでNew Physicsがあったらいいな。。。なかなかみつからない。

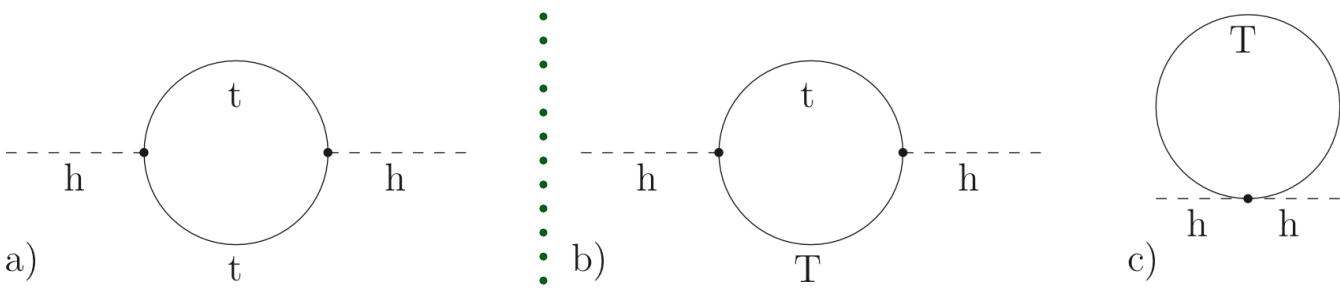
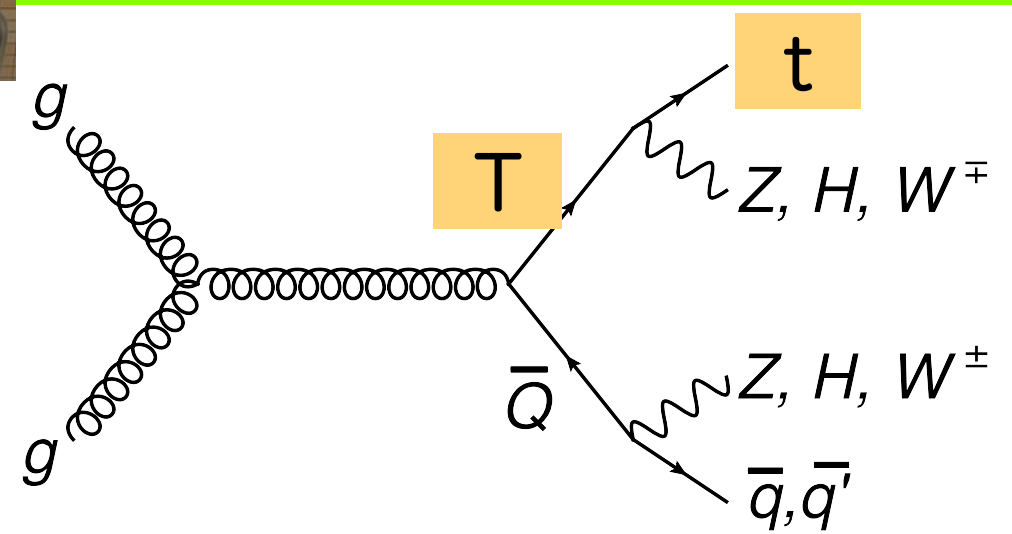


ここから先は、筋書きのないドラマ …
各自の嗅覚とセンスでアプローチ

8 階層性の問題を いわゆる M_{Pl} より手前で解決する



田代 (D2) の探しもの
Vector-Like-Quark



発散

それをキャンセル

LHC : 7 -> 8 -> 13 -> 14TeV
新粒子を見つけるなら, 「今」

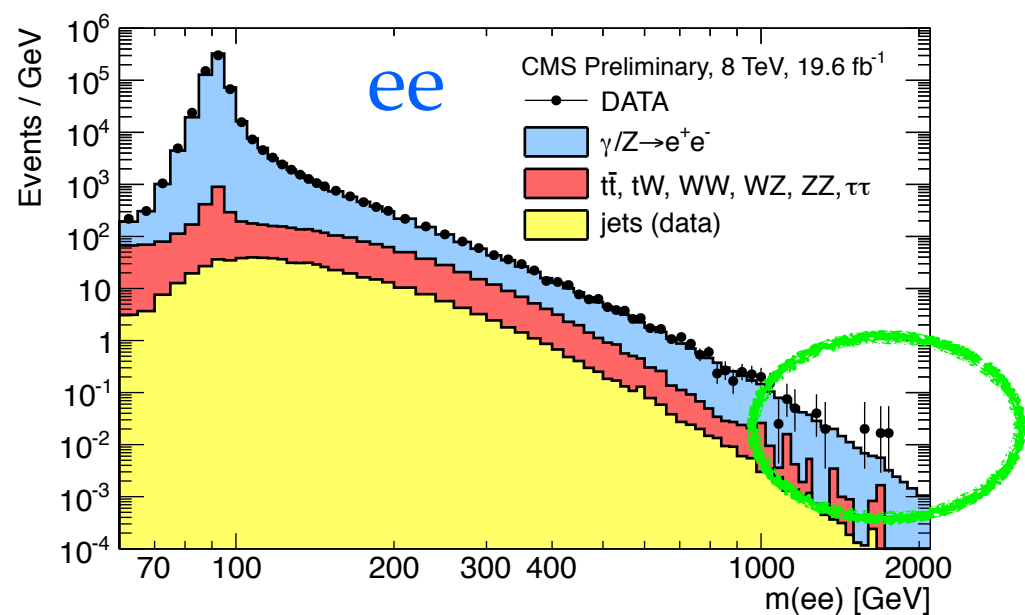
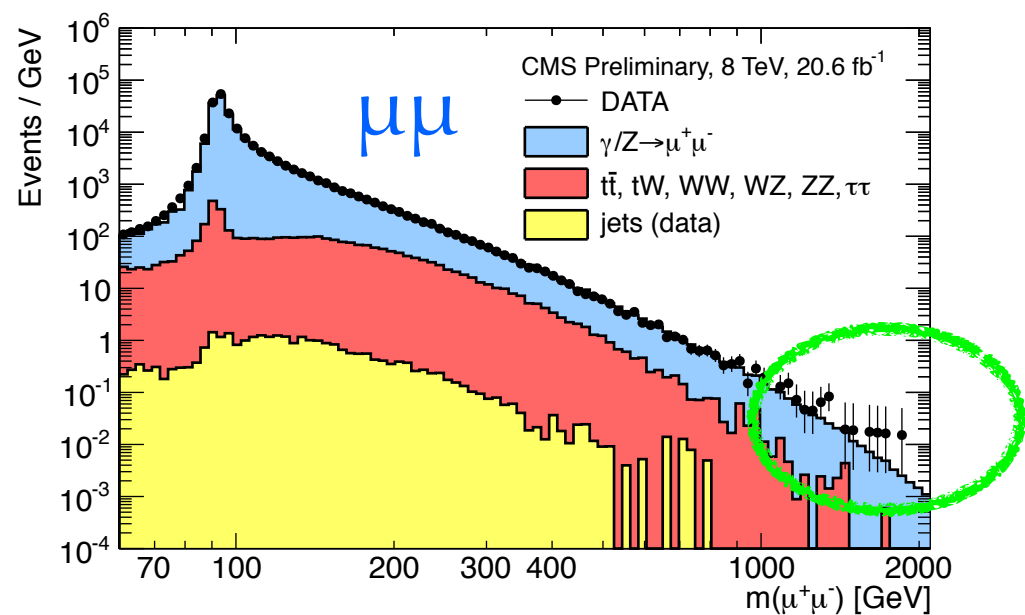
新粒子 → 新物理

例) ~TeV Graviton の resonance

→ $2j, 2\mu, 2e$

分岐比は spin, flavor, color
の自由度に応じて配分

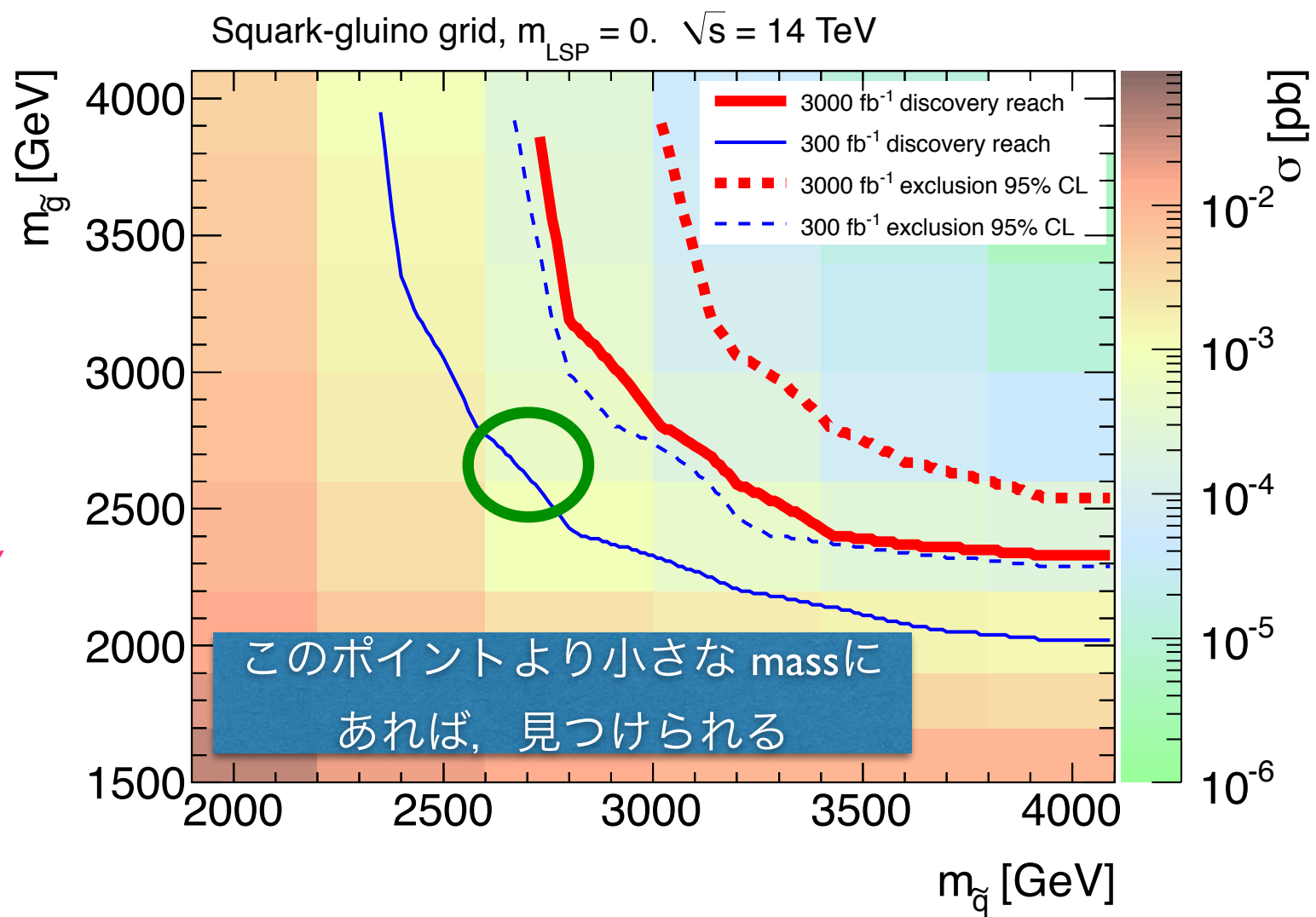
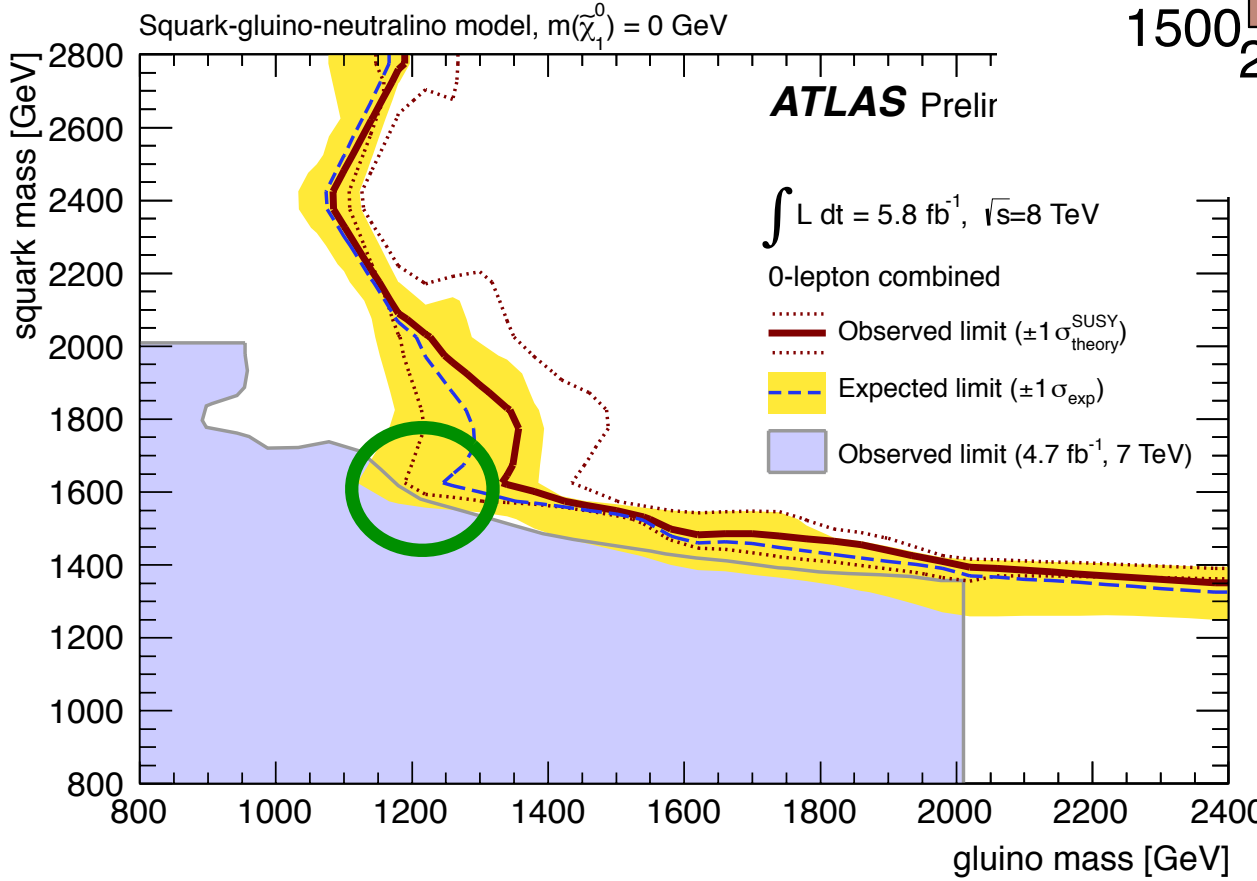
(真のPlank Scale ~ 1TeV)



(colored) SUSY search : より conservative ?

新粒子 → 新物理

縦・横、ひっくりかえって
いるけれど ...



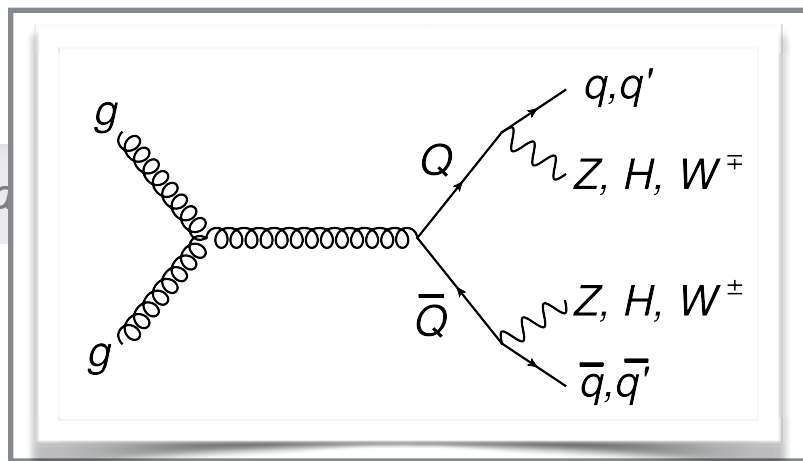
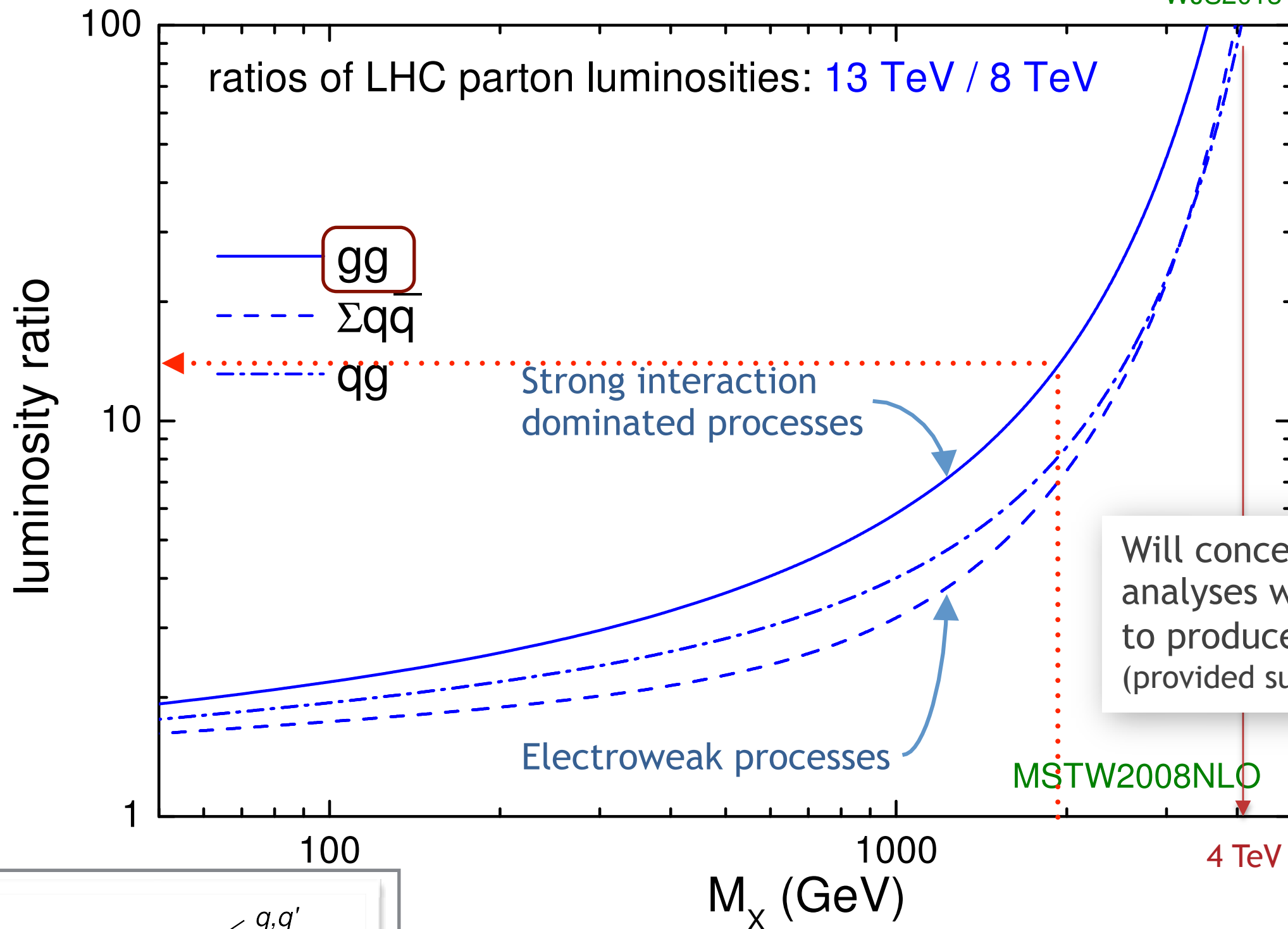
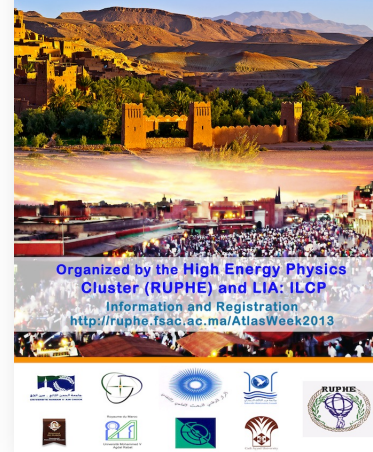
LHC

7 → 8 → **13** → 14 TeV

いずれにせよ ...

Facts:

WJS2013

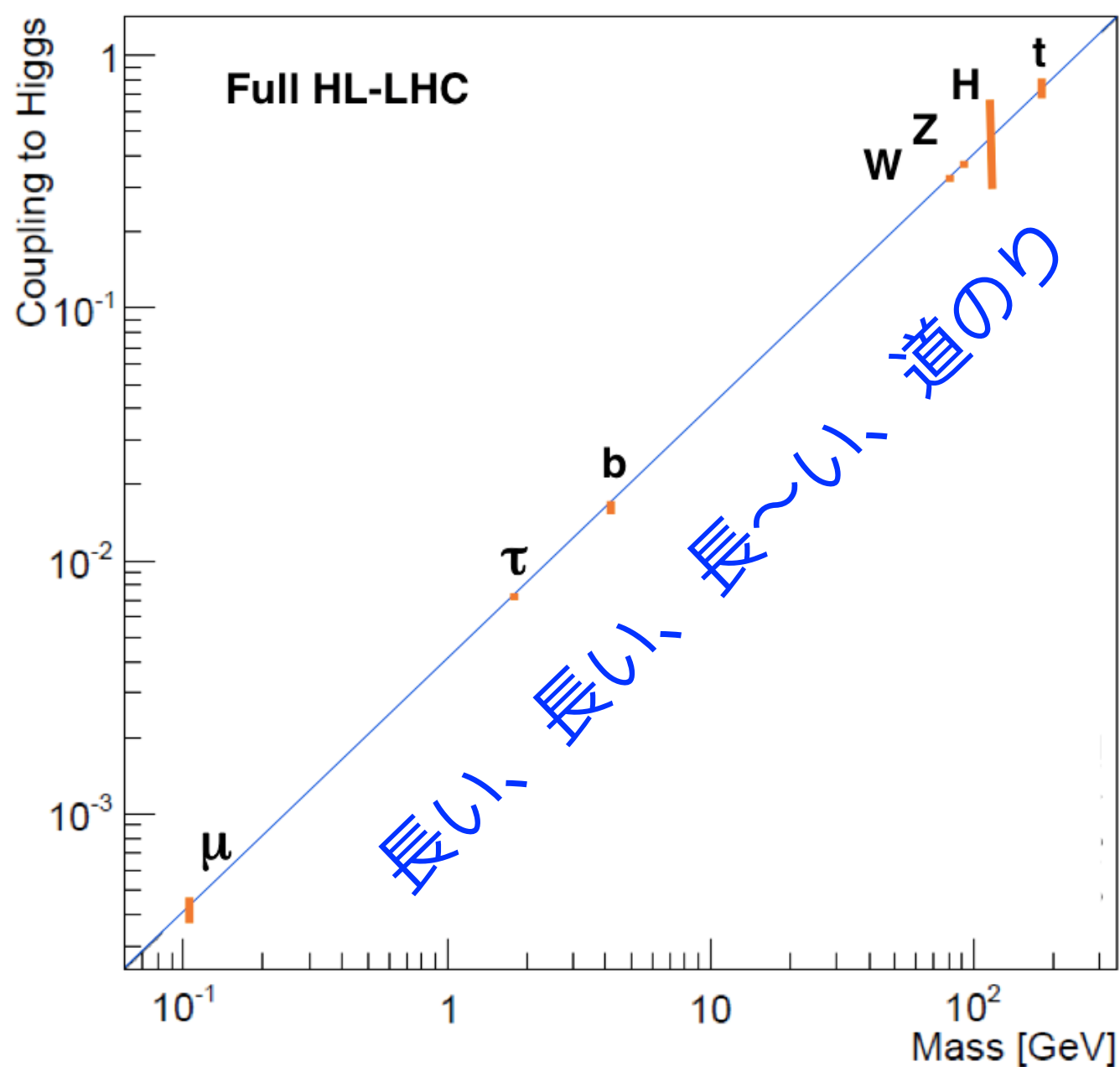


LHC : 7 -> 8 -> 13 -> 14TeV

と増加していく時は、new particle searchに、とてもよい季節 (10年に1度)

Higgs-Fermion , Higgs-Gauge 結合定数の (精密) 測定

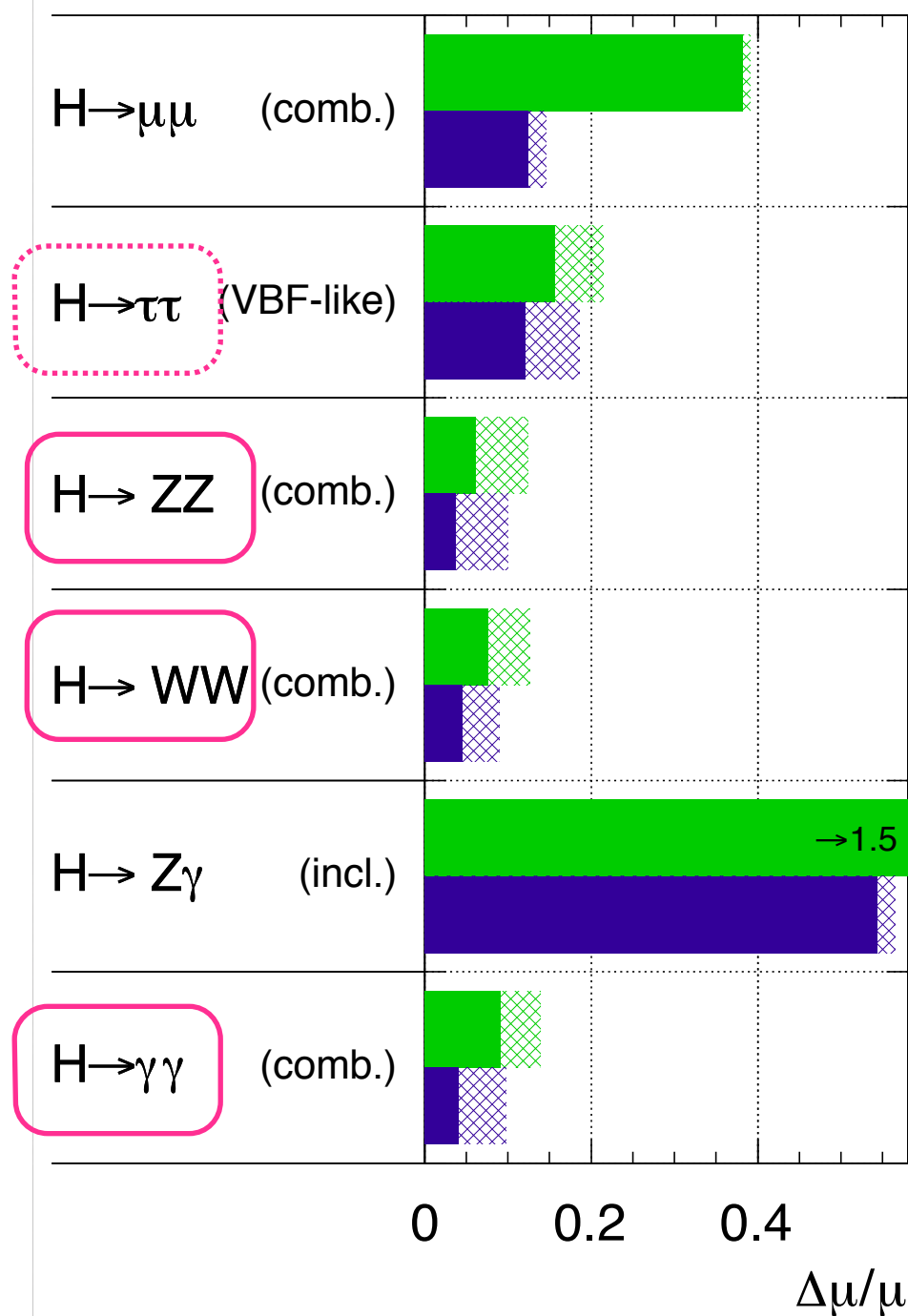
SMからのズレ → 新物理



「Branching Ratio」の測定精度

ATLAS Simulation Preliminary

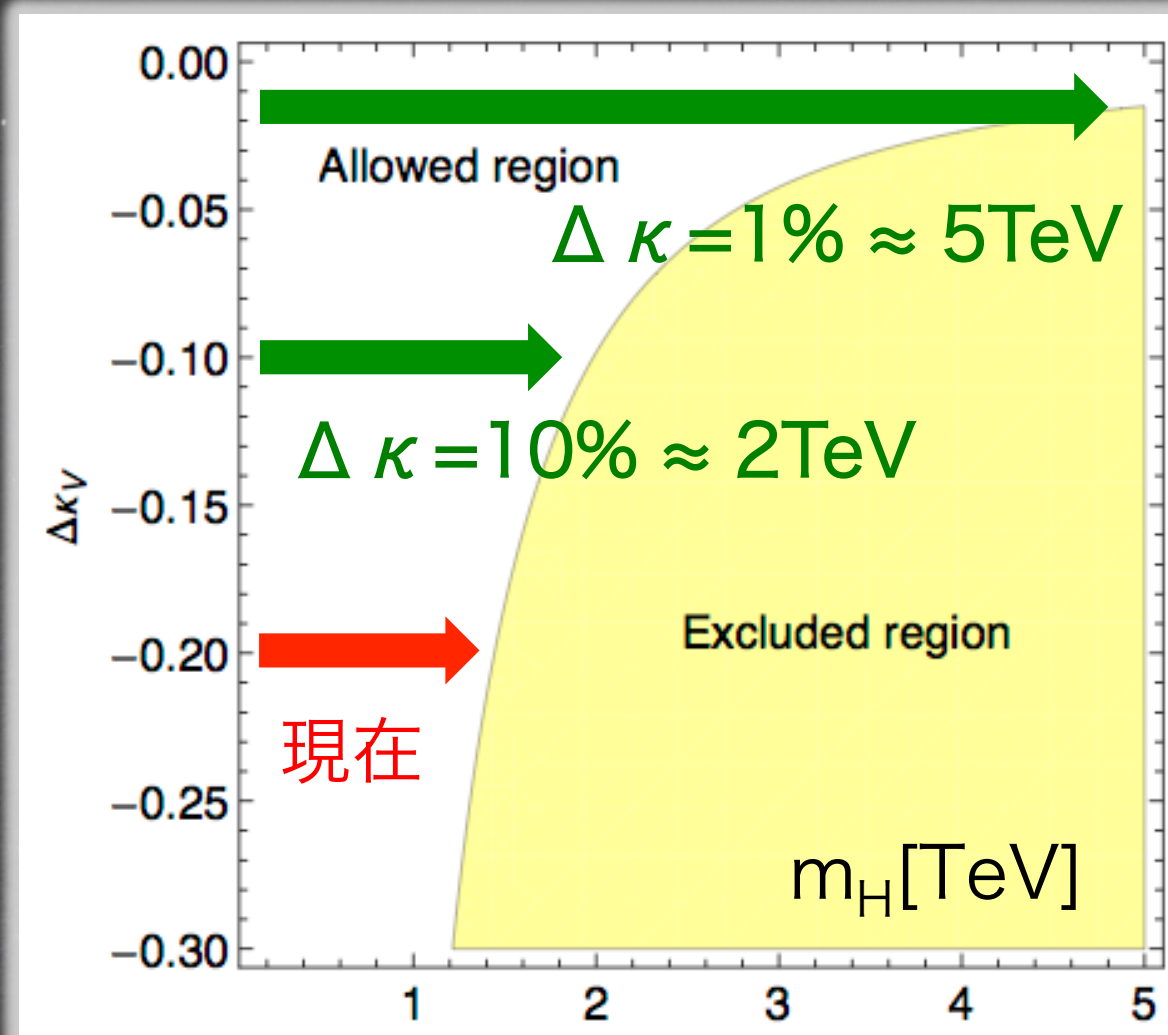
$\sqrt{s} = 14 \text{ TeV}$: $\int \mathcal{L} dt = 300 \text{ fb}^{-1}$; $\int \mathcal{L} dt = 3000 \text{ fb}^{-1}$



SMからのズレ→ 新物理

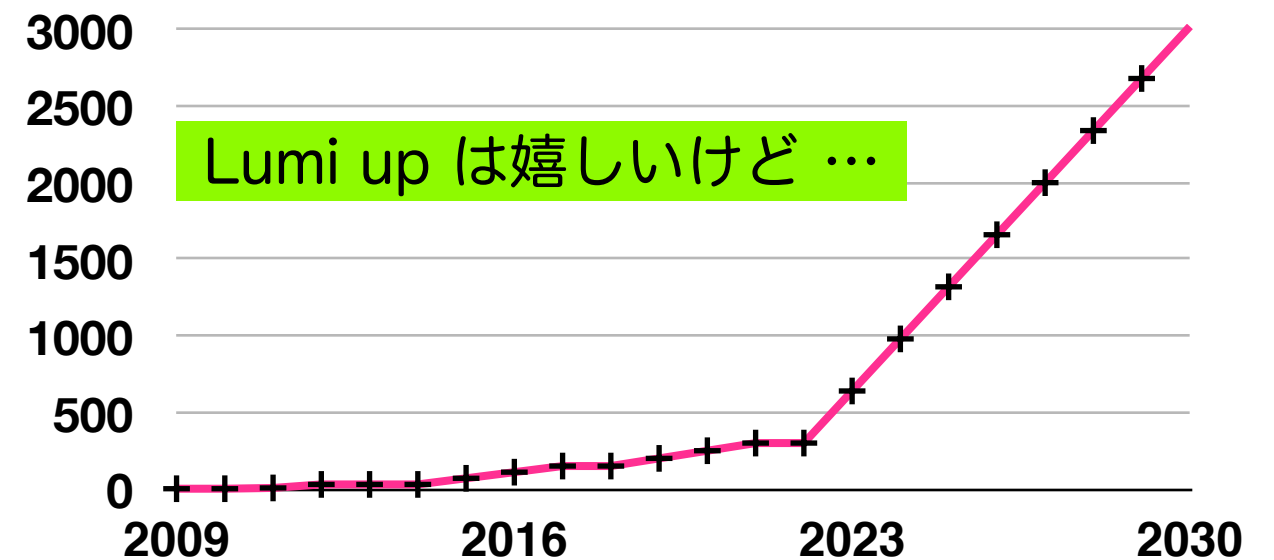
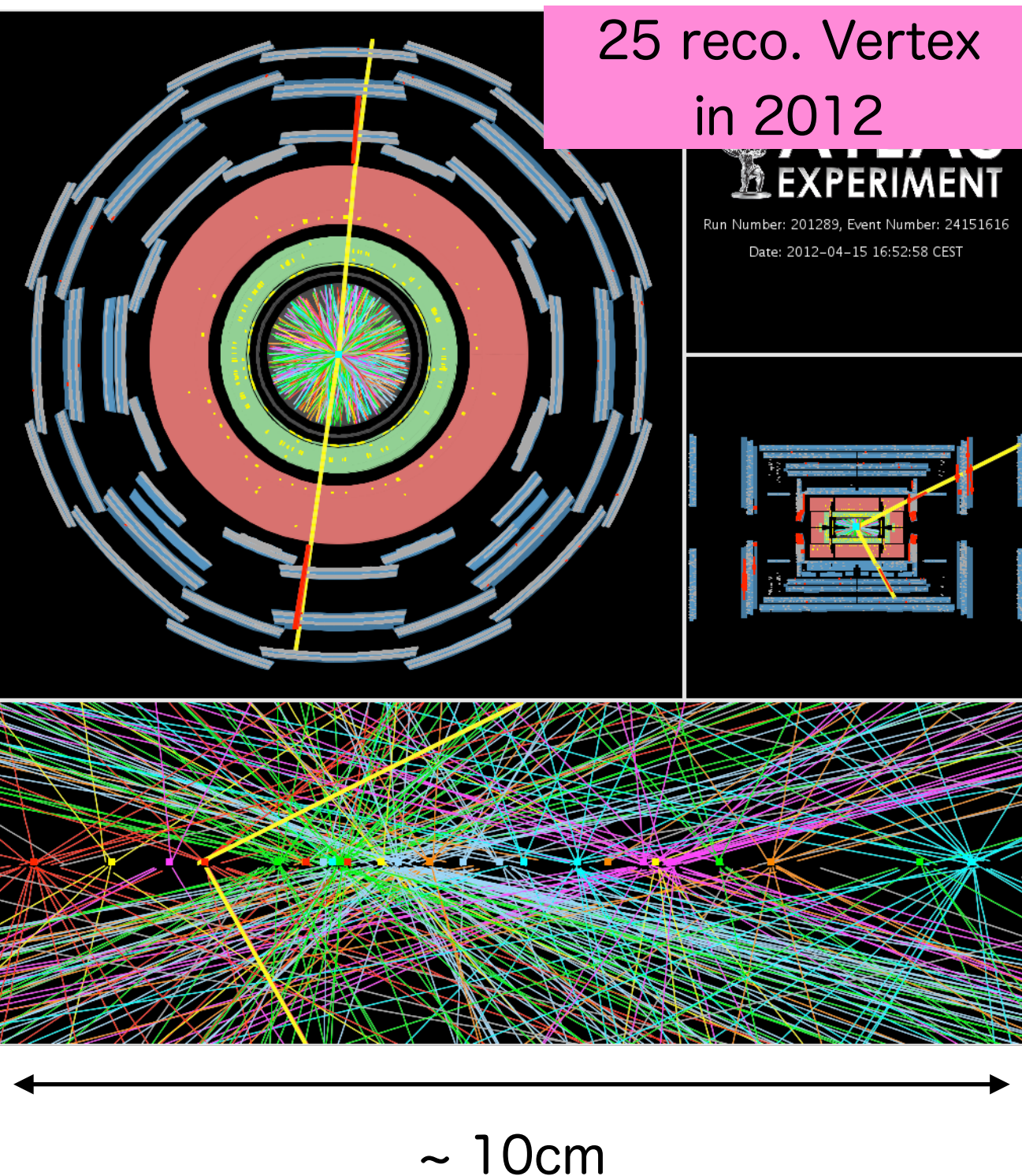
2nd ヒッグスへの制限

$$\Delta\kappa_W \equiv 1 - \kappa_W$$

Kang-Park 13
Grinstein-Murphy14

ヒッグスの結合のズレに応じて、
2nd ヒッグスが現れるスケールに
制限が付く

よいデータをとる・よい物理をだす



イベントの重なりが、困難を引きおこす
ハードウェア・解析、進化させ続ける

よいデータ・よい物理を引き出すための努力
自分の名刺がわりになるような仕事をひとつ
やって、ドクター論文を仕上げて次の
ステップへ行ってほしい

→ 2つの可能性

可能性 1

ミューオン トリガー (ハードウェア・L1)

の回路・検出器開発

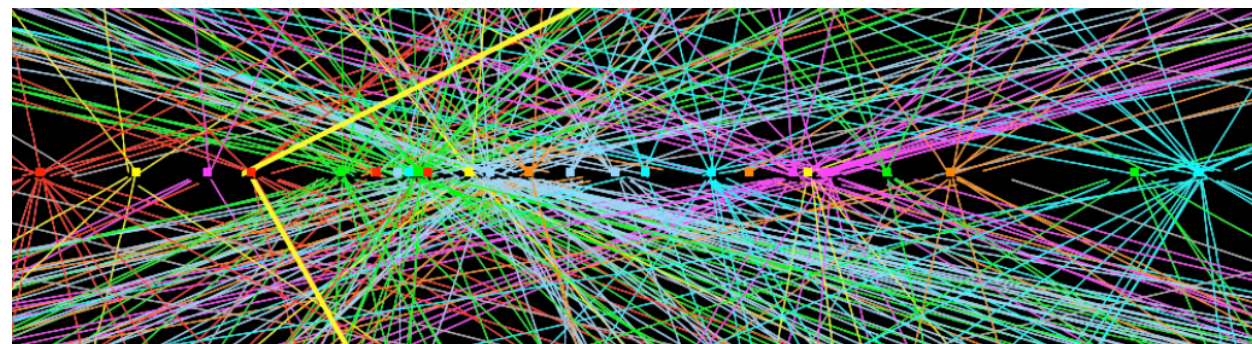
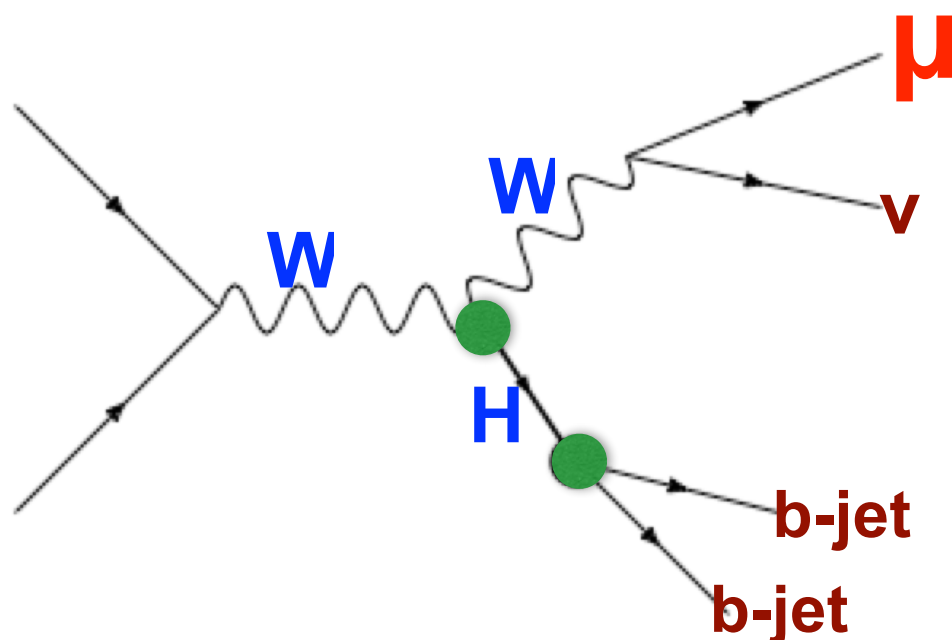
40MHz $\rightarrow$ **100KHz (L1 $\cdot$ 2 μ sec)** $\rightarrow$ 400Hz

どのイベントを記録するか? (捨てるか)

選択するのはトリガー

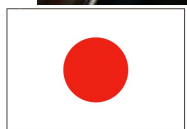
ハドロンコライダーの物理はトリガーで決まる

100mb (inelastic)	10^{-1} b
$\rightarrow$ 10nb (Z)	10^{-8} b
$\rightarrow$ 10pb (H)	10^{-11} b



LVL1_Muon Trigger

2008 春



開発



製作



くみたて



運転

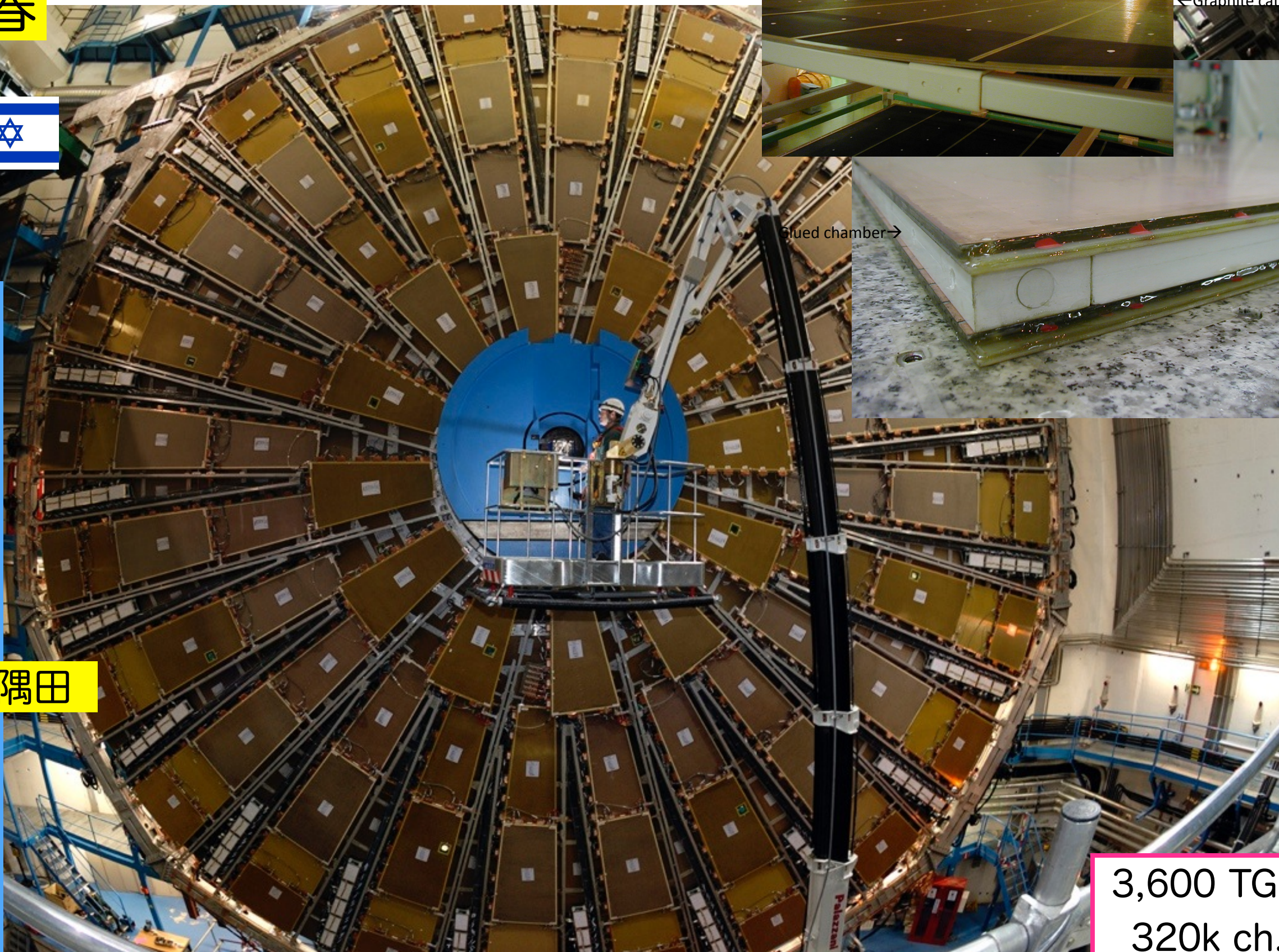
隅田



評価



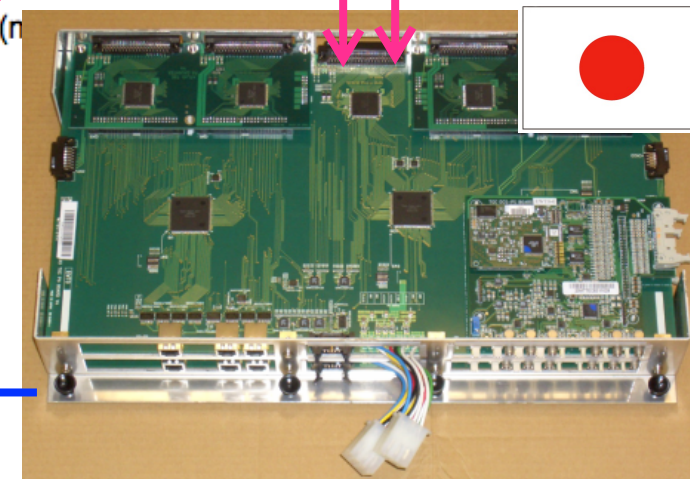
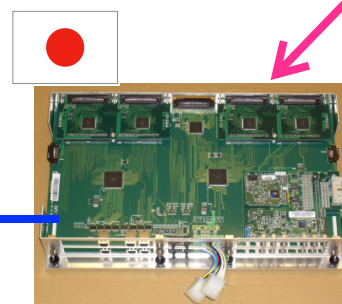
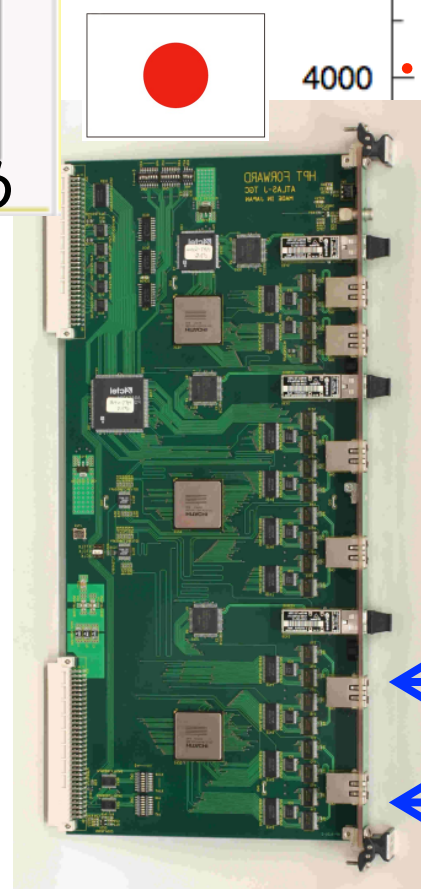
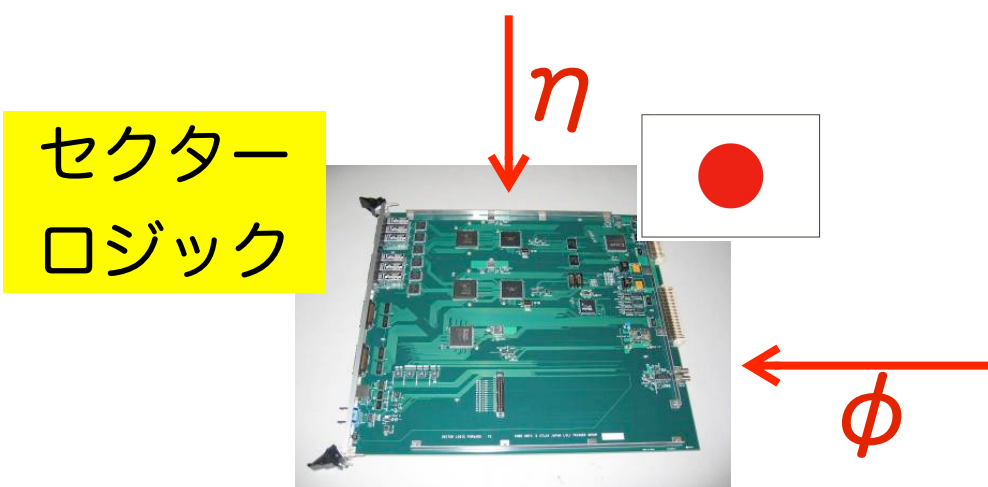
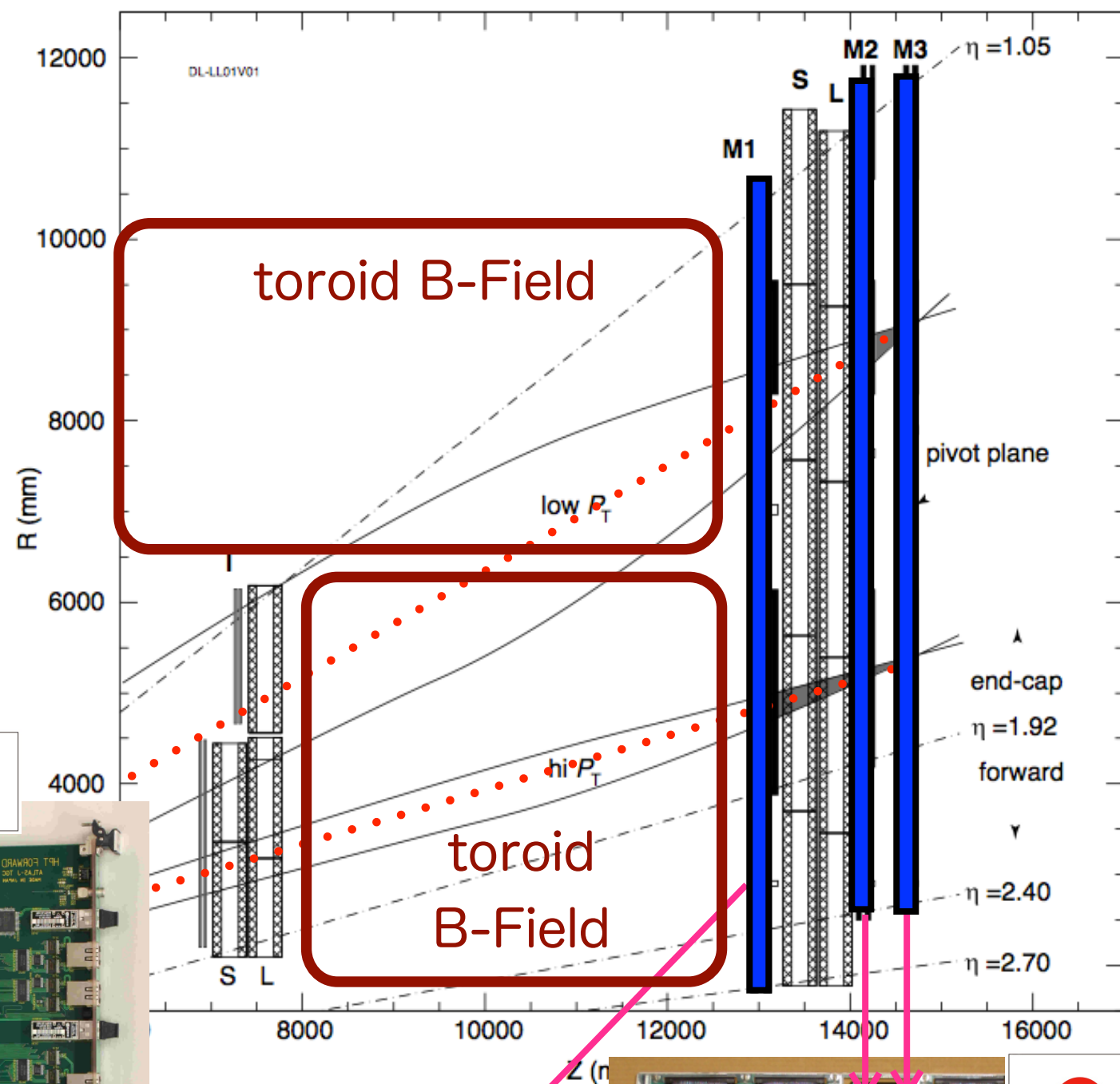
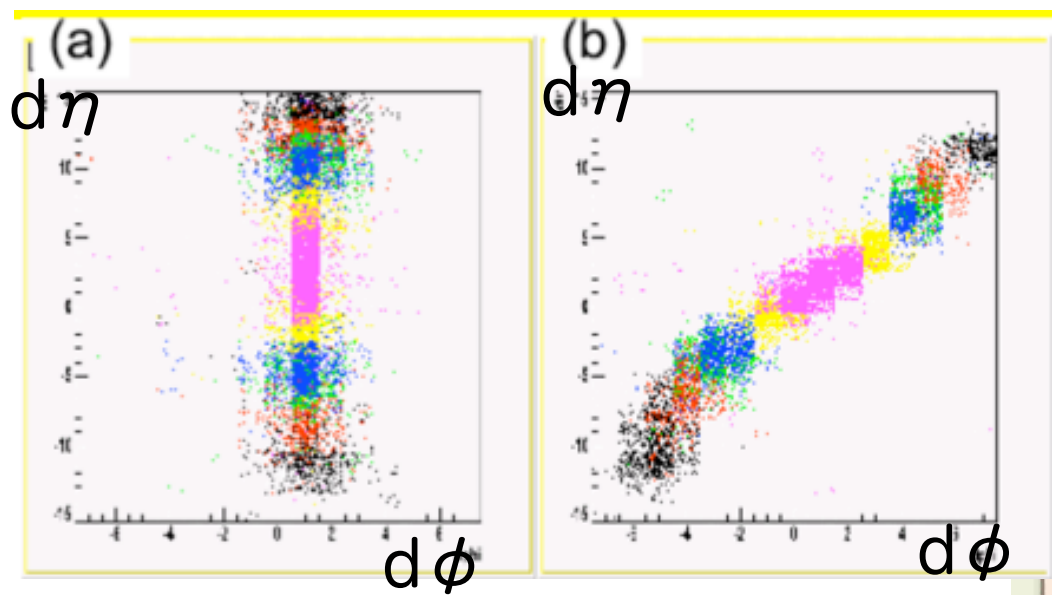
改良



3,600 TGC
320k ch.

LVL1 μ -トリガースキーム

1. IPから μ (仮定)
2. 3/4 coincidence (1/2)
3. 全 layer coincidence
4. $d\eta$ v.s. $d\phi$ map --> P_T



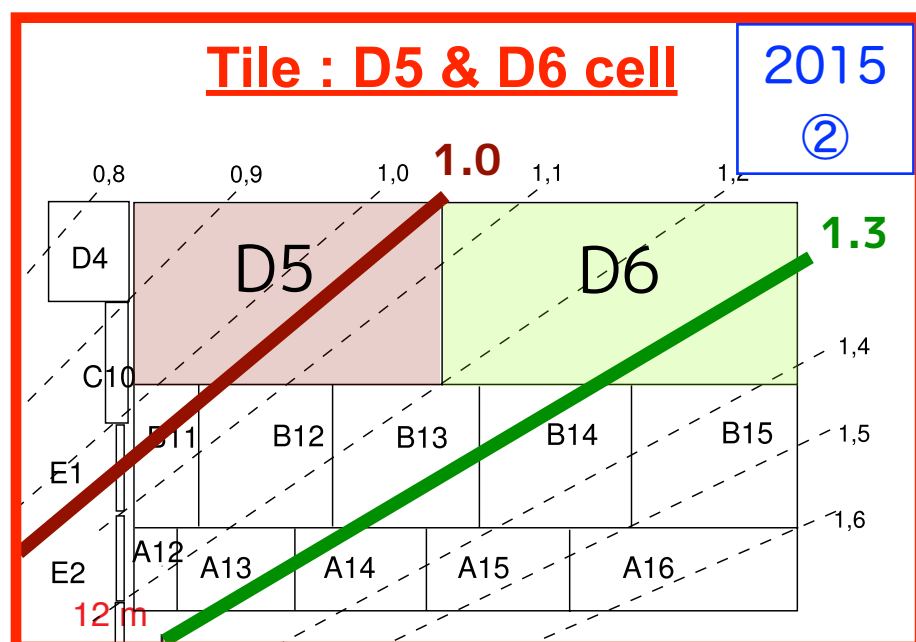
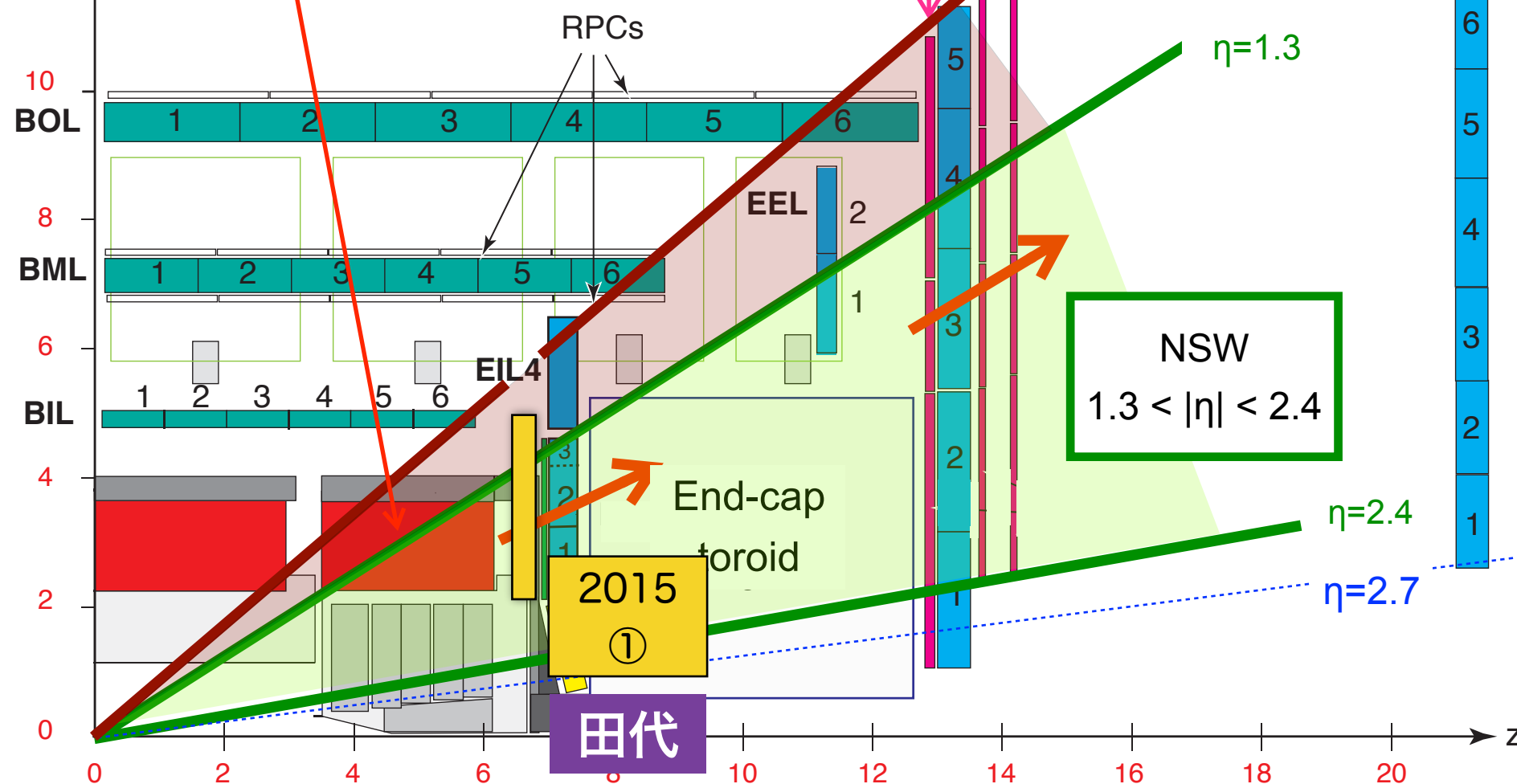
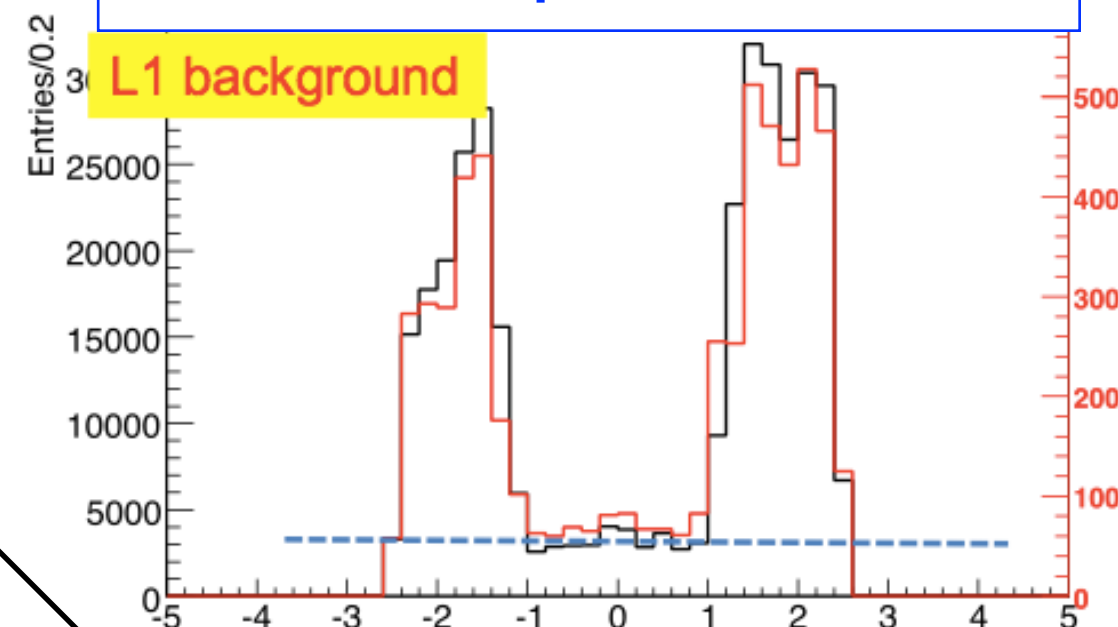
2015

救仁郷 + 神戸大

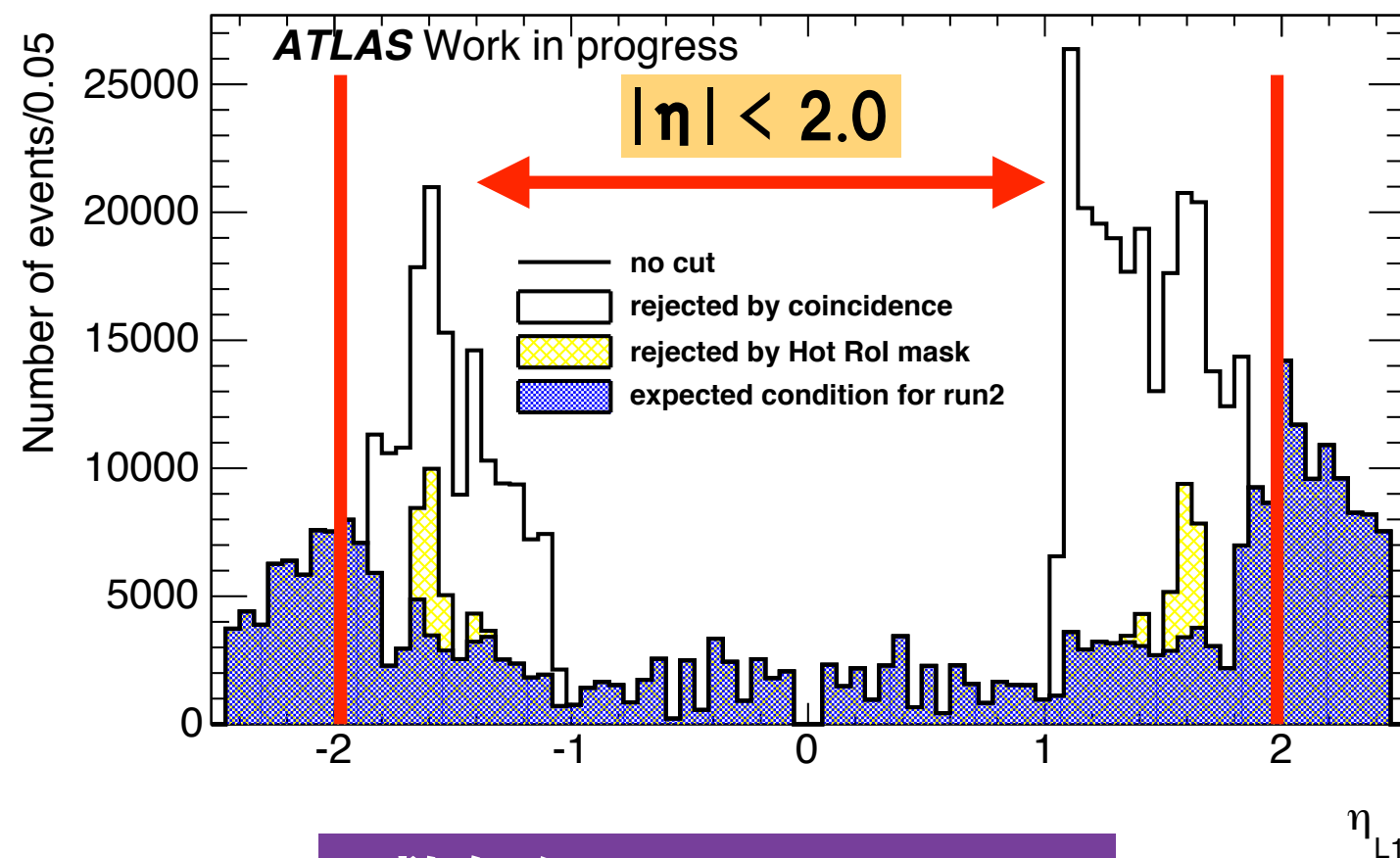
Tile : D5 & D6 cell

2015

②

ほとんど $\neq \mu$ (2010-2012)

ご利益の数値化 → 書き物



救仁郷，田代，隅田，石野

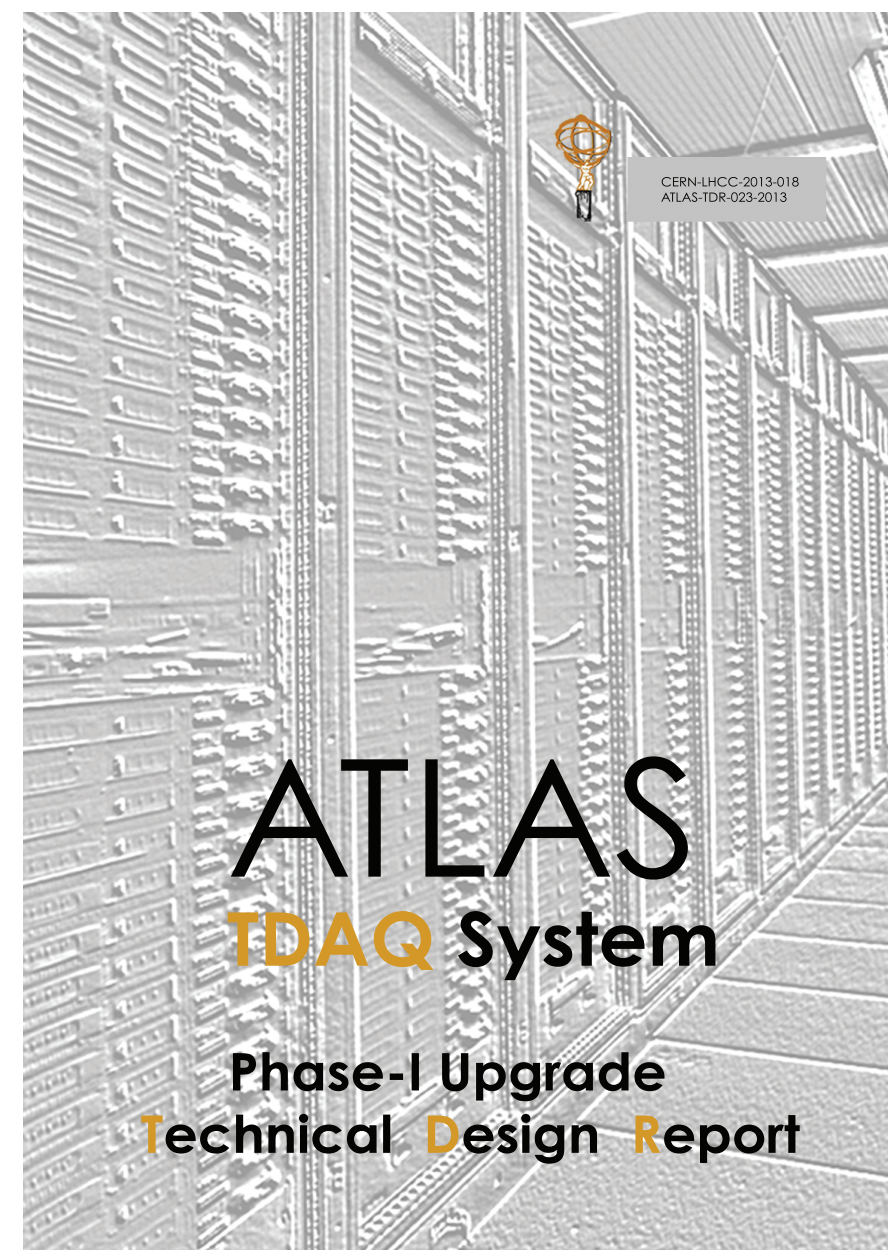
10年参照される数字

	rate reduction (%)	efficiency (%)	Trigger Rate (kHz)
no cut	100.0	100.0	34
FI + Tile (Tile only)	53.4	98.1	21
Hot Rol mask	48.9	97.4	19
$ \eta < 2.0$	29.8	84.5	12

救仁郷による発表

@CERN : 2回

@学会 : 1回

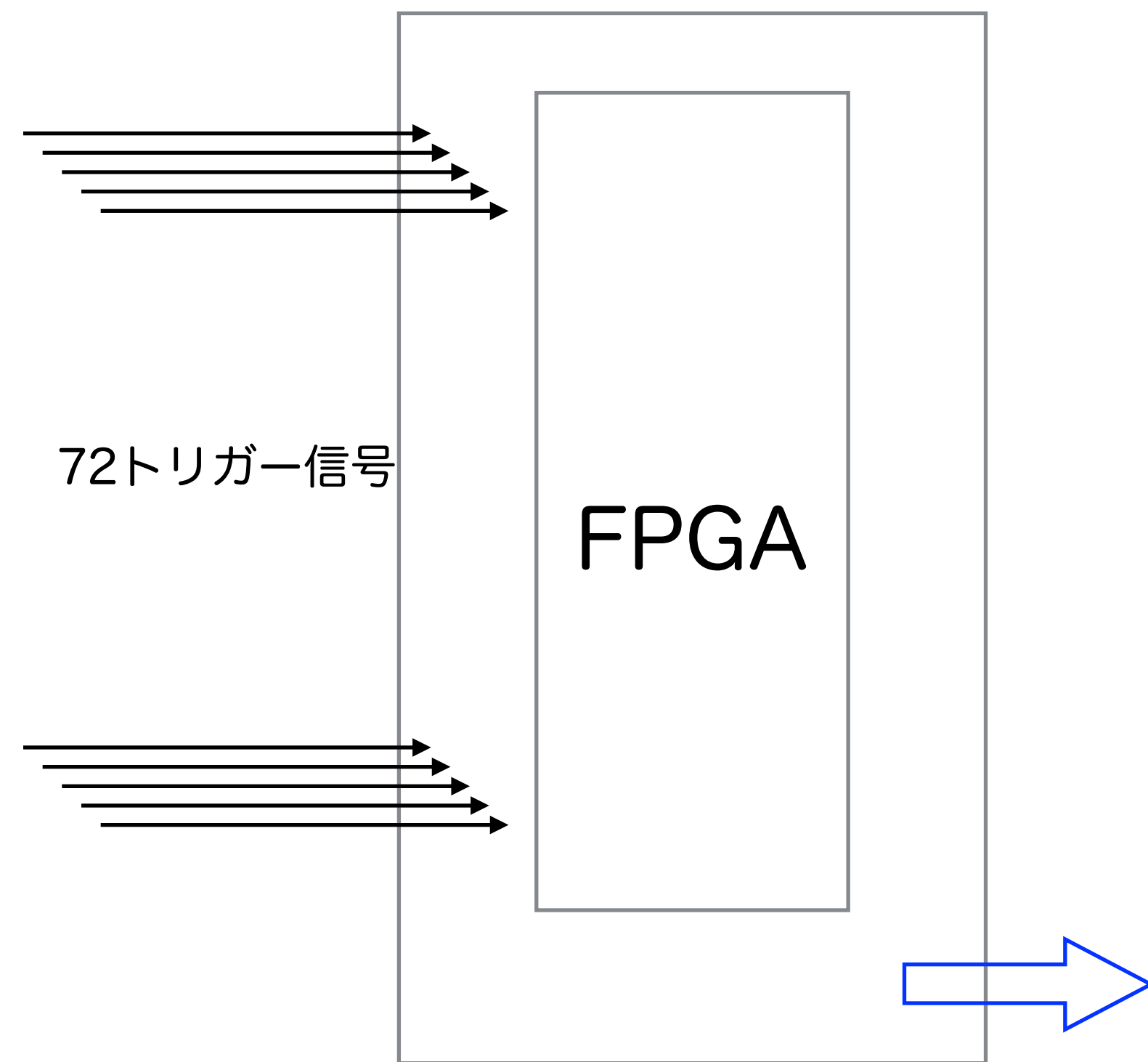


Technical Design Report for the Phase-I
Upgrade of the ATLAS TDAQ System

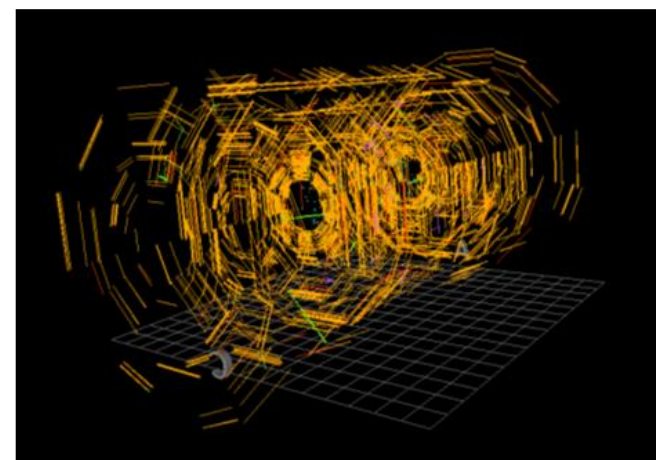
The ATLAS Collaboration

Tile- μ , New-SW , Trigger-Rate

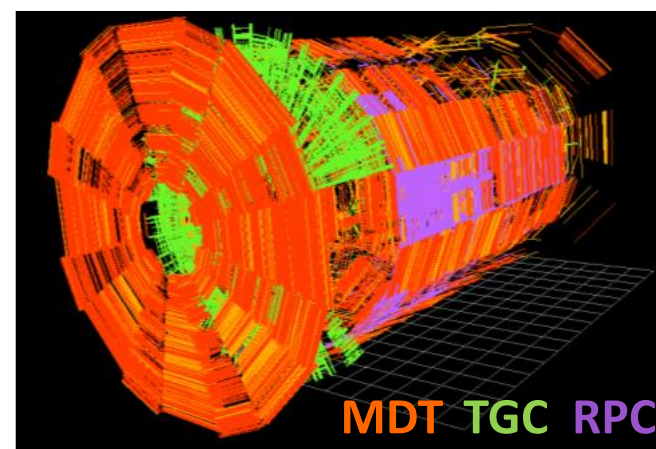
VMEモジュールの作成 (on going ...)



ふつう



異常

こんなのが $10\mu\text{s}$ 続く

素性を知るために、1バーストにつき
1発、確実に記録したい

という処理をする回路

回路開発のための、テストベンチ 160号室



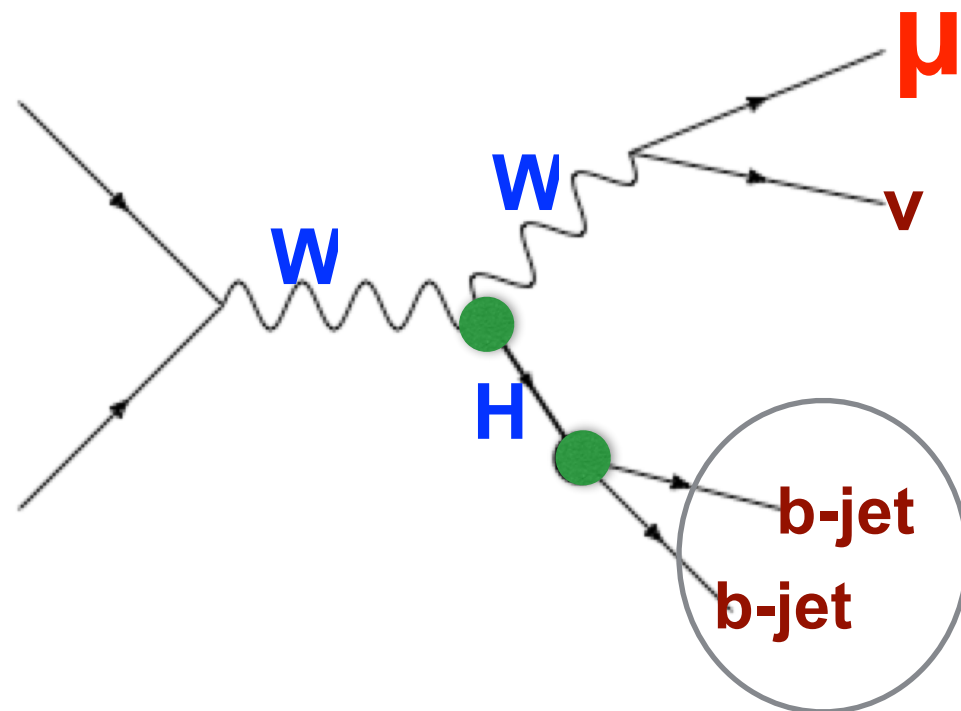
**CERN・KEKのものより、
コンセプトは2歩先を行っている**

だが、

**動作状況は、
3歩、遅れをとっている ...**

可能性2

b-Jet のキャリブレーション

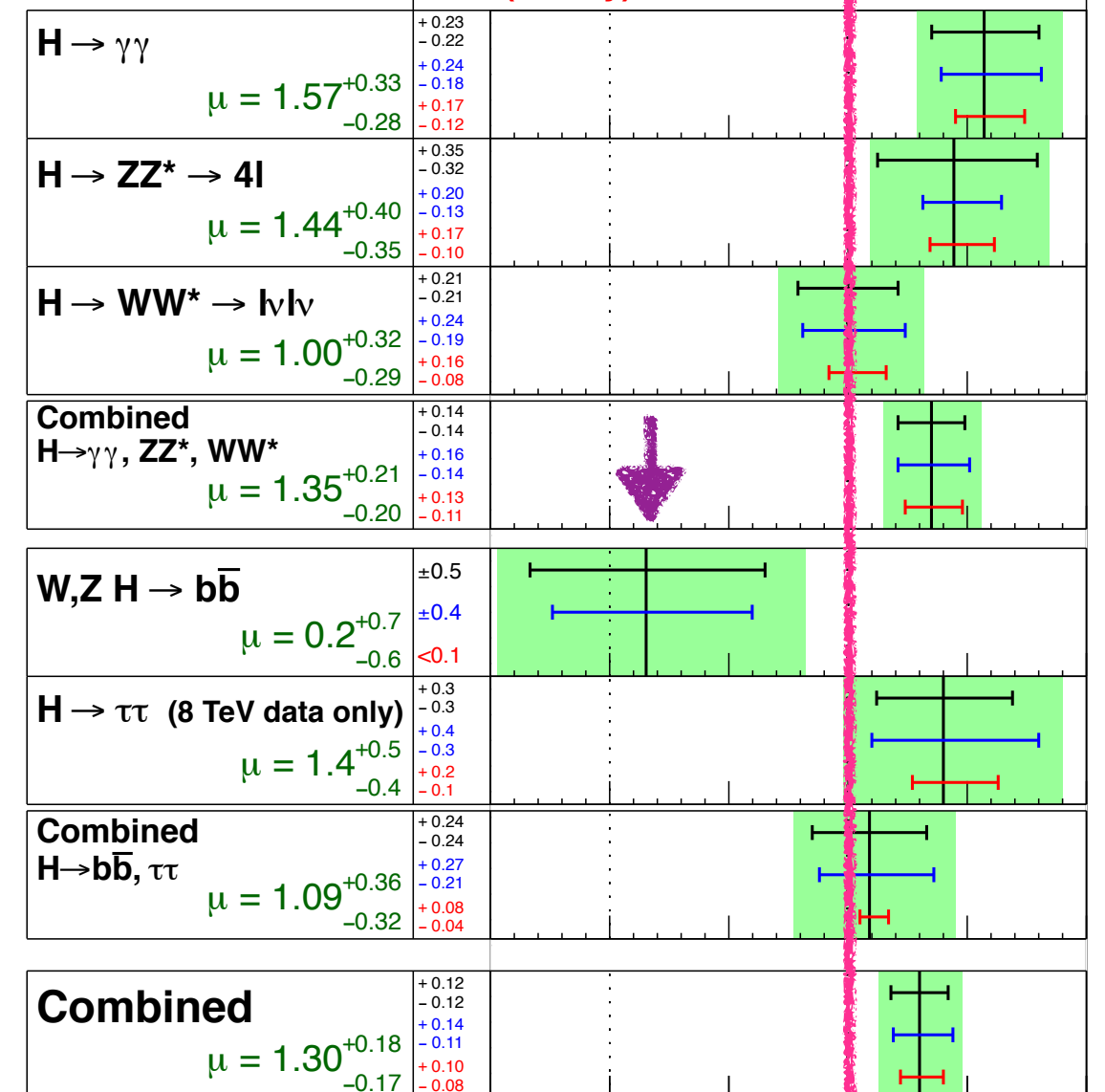


ATLAS Prelim.

 $m_H = 125.5 \text{ GeV}$

— $\sigma(\text{stat.})$
 — $\sigma(\text{sys inc.})$
 — $\sigma(\text{theory})$

Total uncertainty
 ■ $\pm 1\sigma$ on μ



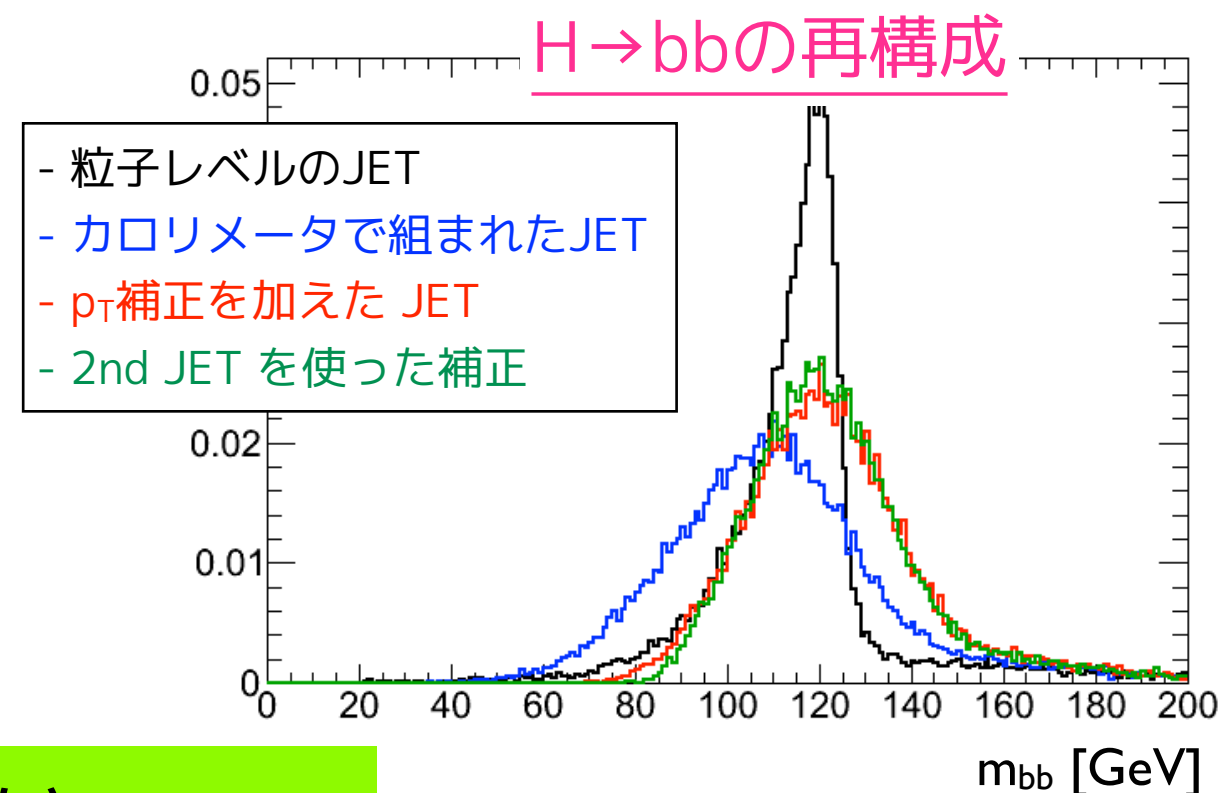
$\sqrt{s} = 7 \text{ TeV } \int \mathcal{L} dt = 4.6\text{-}4.8 \text{ fb}^{-1}$

$\sqrt{s} = 8 \text{ TeV } \int \mathcal{L} dt = 20.3 \text{ fb}^{-1}$

Signal strength (μ)

モチベーション

- * ヒッグスの未発見の崩壊モード $H \rightarrow b\bar{b}$
 - * トップクォークの質量精密測定 $t \rightarrow bW$
 - * (多くのmodelで)一番軽い超対称性粒子 $\tilde{t} \rightarrow b\tilde{\chi}^\pm$
- これらの発見/測定において非常に重要なので、
これをきちんと測りたい。



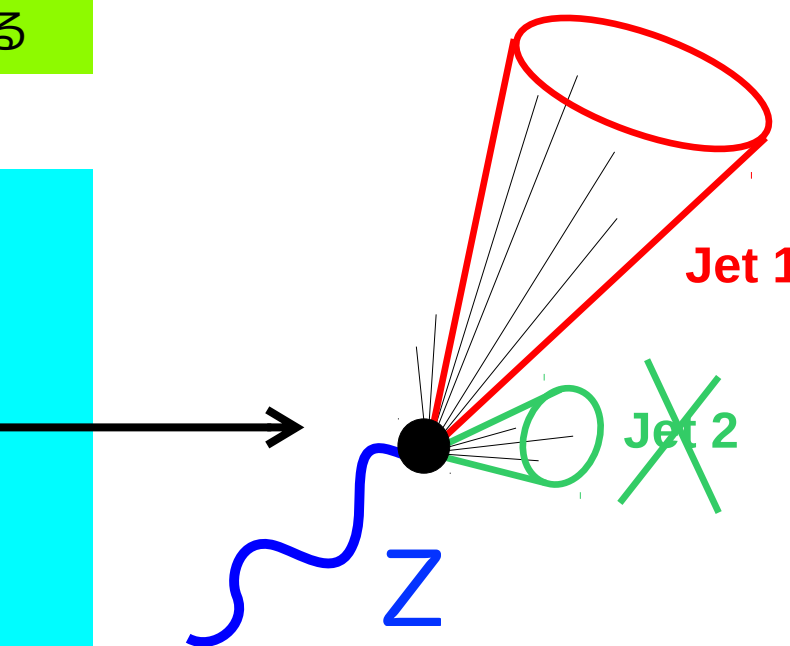
しかし… b-JET の精密な較正は難しい

- ✓ B-ハドロンが、レプトンとニュートリノを含んだ崩壊をするとエネルギーを逃がしてしまう
- ✓ b-JET は、シミュレーションのモデル毎にジェットの作られ方が大きく異なる

→ 算出値とZの E_T とを比較

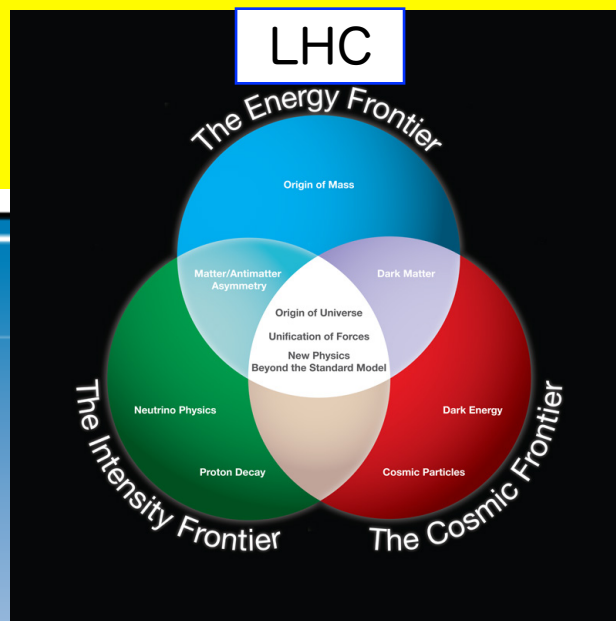
-アプローチ

- ✓ (新しい pileup 補正関数を用いた b-JET の calibration)
- ✓ さらに、それをデータを使って確認
 - * Z-ボソンと b-JET がバランスするイベントを使って、エネルギースケールの確認/補正



こちらは正確にわかるので →

final words



- ❑ **38 Countries**
- ❑ **174 Institutions**
- ❑ **~ 2950 active scientists:**
 - ~ 1840 with a PhD → contribute to M&O share
 - ~ 1100 students

- 個人のアイデア・スキルを発揮する場は 本当にいっぱいある
- CERNに集まった多くの優れた人間と戦えるのは、とても面白い
- 「歯車」？ → 立派な歯車になれてから 悩んでみたら？

Argentina
Armenia
Australia
Austria
Azerbaijan
Belarus
Brazil
Canada
Chile
China
Colombia
Czech Repu
Denmark
France
Georgia
Germany
Greece
Israel
Italy
Japan

Poland
Portugal
Romania

Albany, Alberta, NIKHEF Amsterdam, Ankara, LAPP Annecy, Argonne NL, Arizona, UT Arlington, Athens, NTU Athens, Baku, IFAE Barcelona, Belgrade, Bergen, Berkeley LBL and UC, HU Berlin, Bern, Birmingham, UAN Bogota, Bologna, Bonn, Boston, Brandeis, Brasil Cluster, Bratislava/SAS Kosice, Brookhaven NL, Buenos Aires, Bucharest, Cambridge, Carleton, CERN, Chinese Cluster, Chicago, Chile, Clermont-Ferrand, Columbia, NBI Copenhagen, Cosenza, AGH UST Cracow, IFJ PAN Cracow, SMU Dallas, UT Dallas, DESY, Dortmund, TU Dresden, JINR Dubna, Duke, Edinburgh, Frascati, Freiburg, Geneva, Genoa, Giessen, Glasgow, Göttingen, LPSC Grenoble, Technion Haifa, Hampton, Harvard, Heidelberg, Hiroshima IT, Indiana, Innsbruck, Iowa SU, Iowa, UC Irvine, Istanbul Bogazici, KEK, Kobe **Kyoto**, Kyoto UE, Lancaster, UN La Plata, Lecce, Lisbon LIP, Liverpool, Ljubljana, QMW London, RHBNC London, UC London, Lund, UA Madrid, Mainz, Manchester, CPPM Marseille, Massachusetts, MIT, Melbourne, Michigan, Michigan SU, Milano, Minsk NAS, Minsk NCPHEP, Montreal, McGill Montreal, RUPHE Morocco, FIAN Moscow, ITEP Moscow, MEPhI Moscow, MSU Moscow, Munich LMU, MPI Munich, Nagasaki IAS, Nagoya, Naples, New Mexico, New York, Nijmegen, Northern Illinois University, BINP Novosibirsk, NPI Petersburg, Ohio SU, Okayama, Oklahoma, Oklahoma SU, Olomouc, Oregon, LAL Orsay, Osaka, Oslo, Oxford, Paris VI and VII, Pavia, Pennsylvania, Pisa, Pittsburgh, CAS Prague, CU Prague, TU Prague, IHEP Protvino, Regina, Rome I, Rome II, Rome III, Rutherford Appleton Laboratory, DAPNIA Saclay, Santa Cruz UC, Sheffield, Shinshu, Siegen, Simon Fraser Burnaby, SLAC, South Africa Cluster, Stockholm, KTH Stockholm, Stony Brook, Sydney, Sussex, AS Taipei, Tbilisi, Tel Aviv, Thessaloniki, Tokyo ICEPP, Tokyo MU, Tokyo Tech, Toronto, TRIUMF, Tsukuba, Tufts, Udine/ICTP, Uppsala, UI Urbana, Valencia, UBC Vancouver, Victoria, Waseda, Washington, Weizmann Rehovot, FH Wiener Neustadt, Wisconsin, Wuppertal, Würzburg, Yale, Yerevan

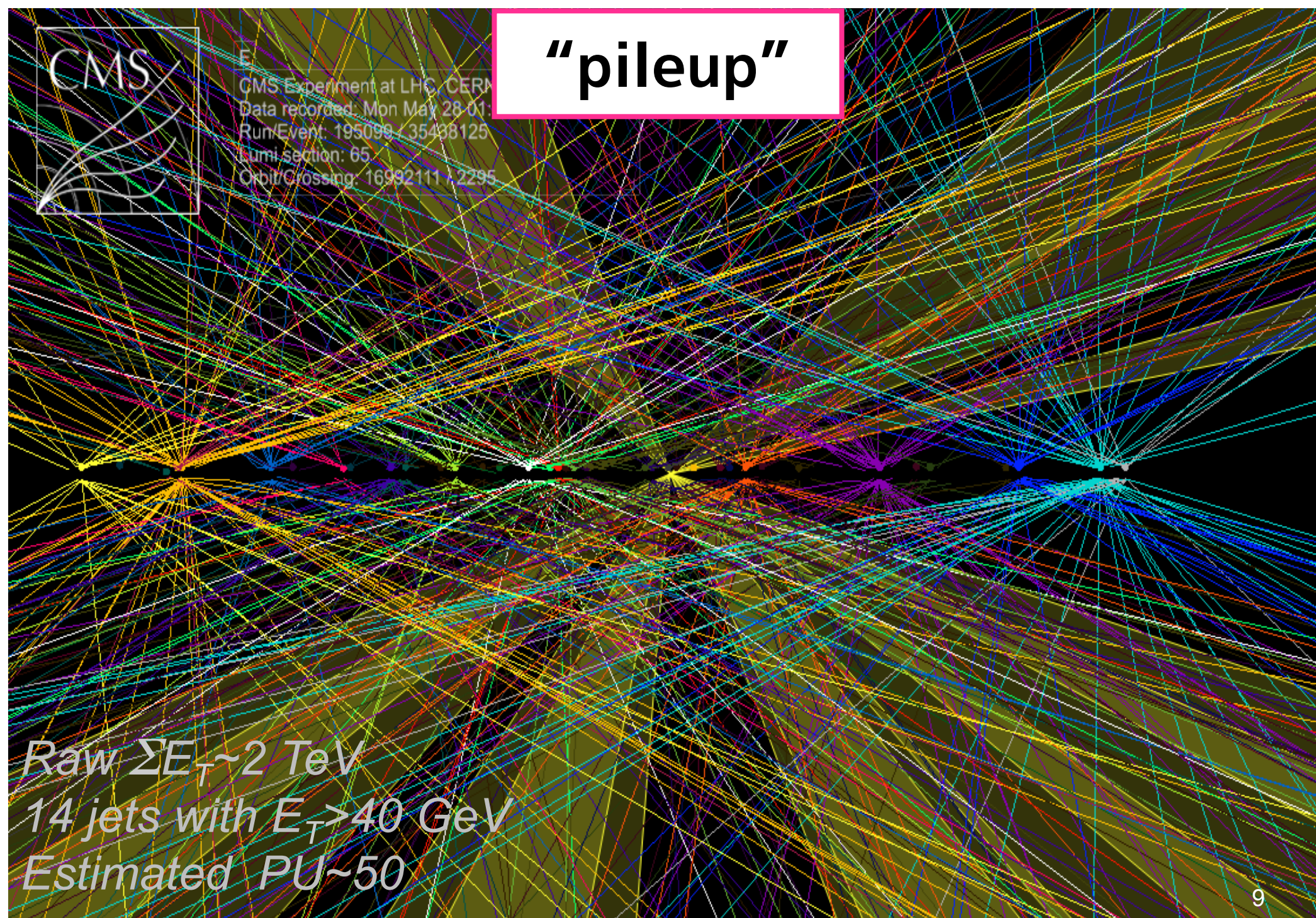


可能性 1

JETのキャリブレーションとその物理

event pileup

1 バンチ交差で 50 interactions (max. in 2012)

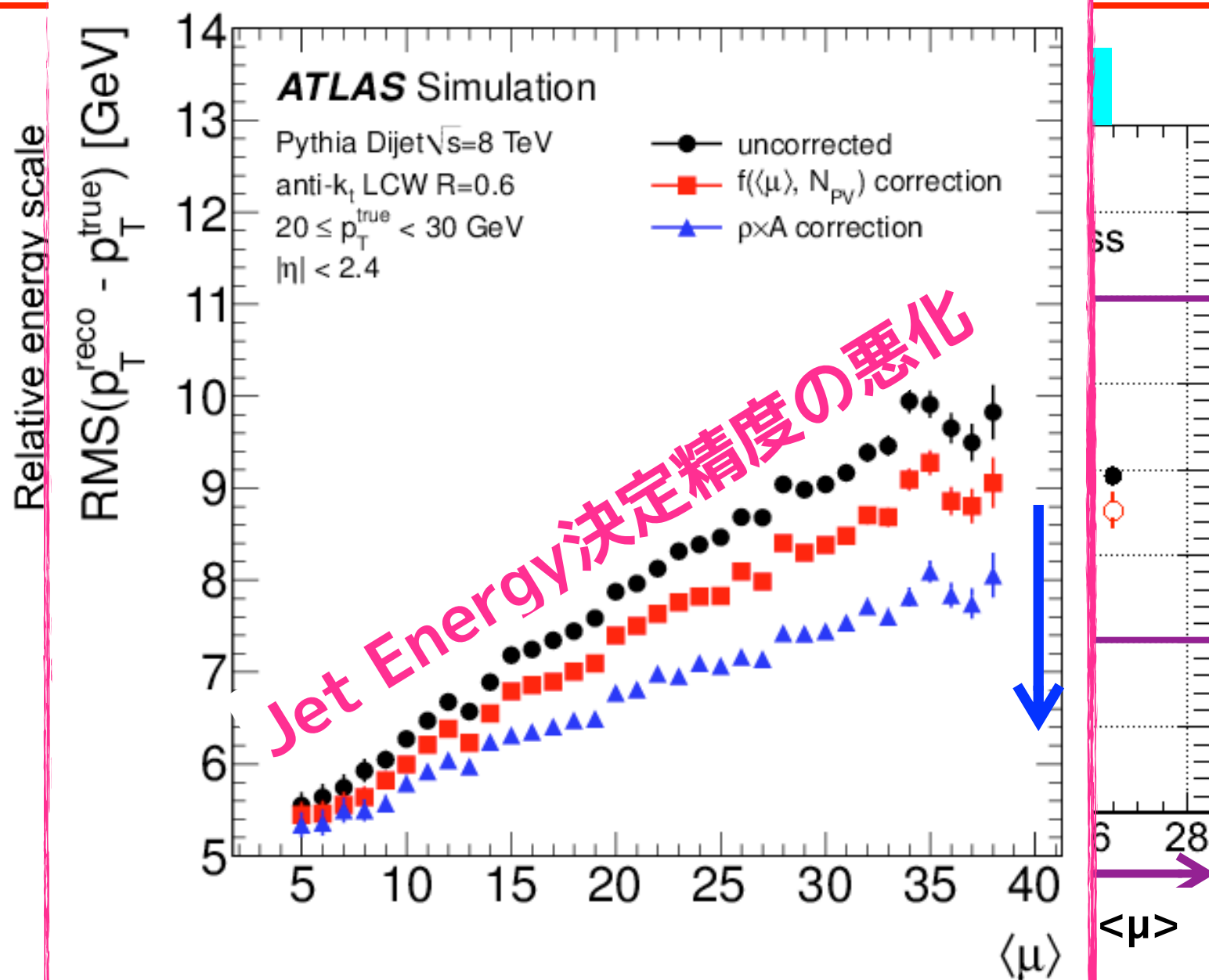


$\rightarrow$ 10^{11} protons
 $\star$
 $\leftarrow$ 10^{11} protons

$\Phi \sim 16 \mu\text{m}$
 $L \sim 10\text{cm}$

$\longleftrightarrow$
 $\sim 10\text{cm}$

実験サイドの努力 v.s. high- $\langle\mu\rangle$



工夫・努力によって、
 pileupの影響を
 消している

が、

コントロールしきれて
 いないものもある
 (e.g. jet E-reso.)

能天気な 50nsバンチ間隔 のまま、

1.65×10^{11} pps(微増) ・ より短い $\beta^* < 0.5\text{m}$ ・ ε^* キープ

[1.6×10^{34} , $\mu \sim 73$] と進むと、**現行**の検出器の実験は困る

なにせ、LHCはハドロンコライダー

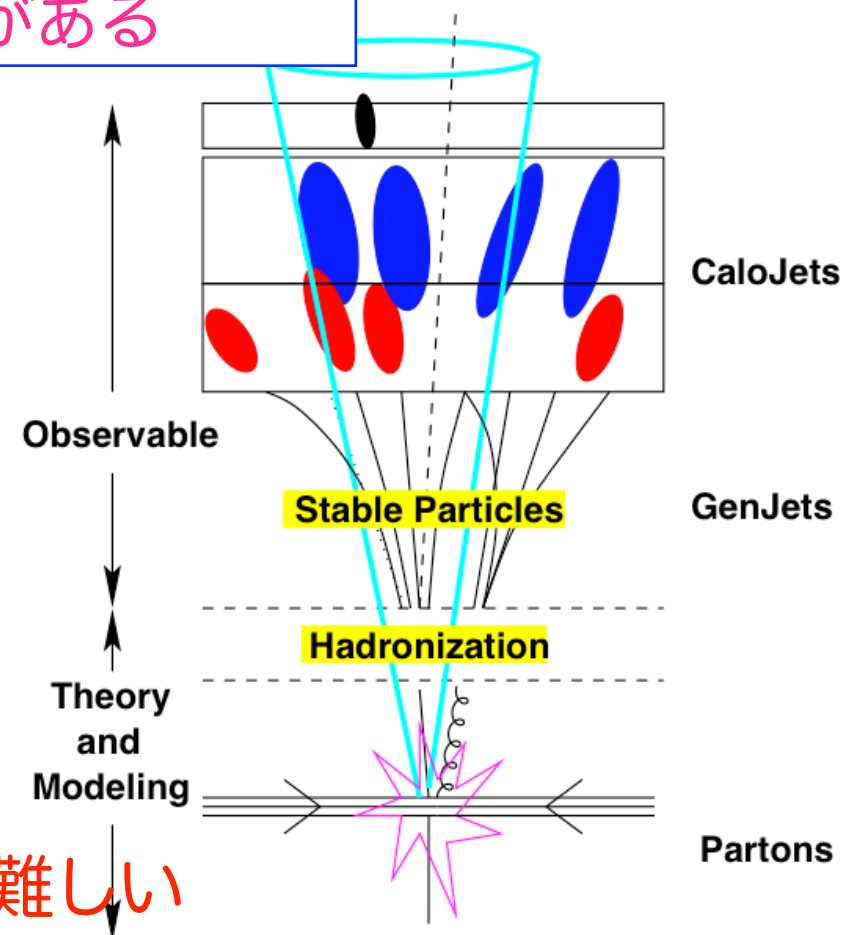
95%の物理チャンネルで JET とは縁がある

- Jet の横方向運動量(p_T)を正しく測る事は、あらゆる物理解析において最重要項目の一つ
 - この測定自体が、
 - ▶ パarton分布
 - ▶ 高エネルギーpartonのハドロン化
 - ▶ 検出器中の物質質量
 - ▶ カロリーメータのノイズ
 - における不定性を含むので**非常に難しい**

間に物事がはさまりすぎていて、元々、なにが起きているのか見通しにくい

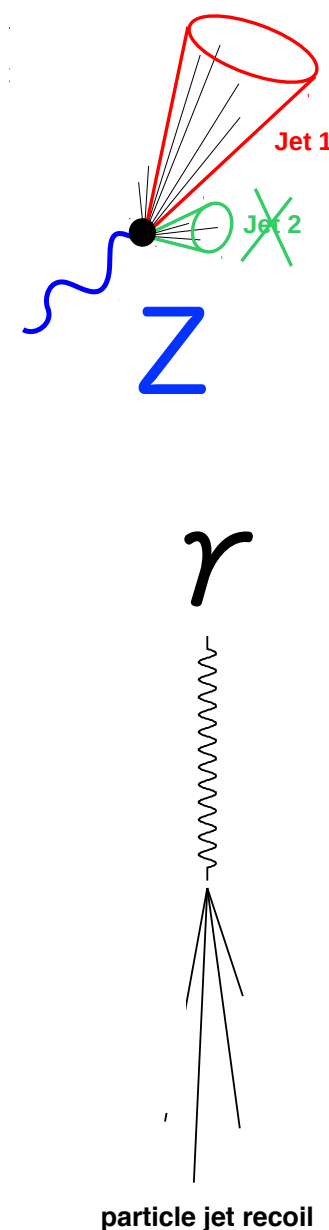
が、観測量 → 元々 どんなpartonがでてきたのか？
 焼き直さねば物理はできない → **Jet Energy Calibration**

LHC energy上昇 → 高い p_T まで calibration する



MC base

in situ

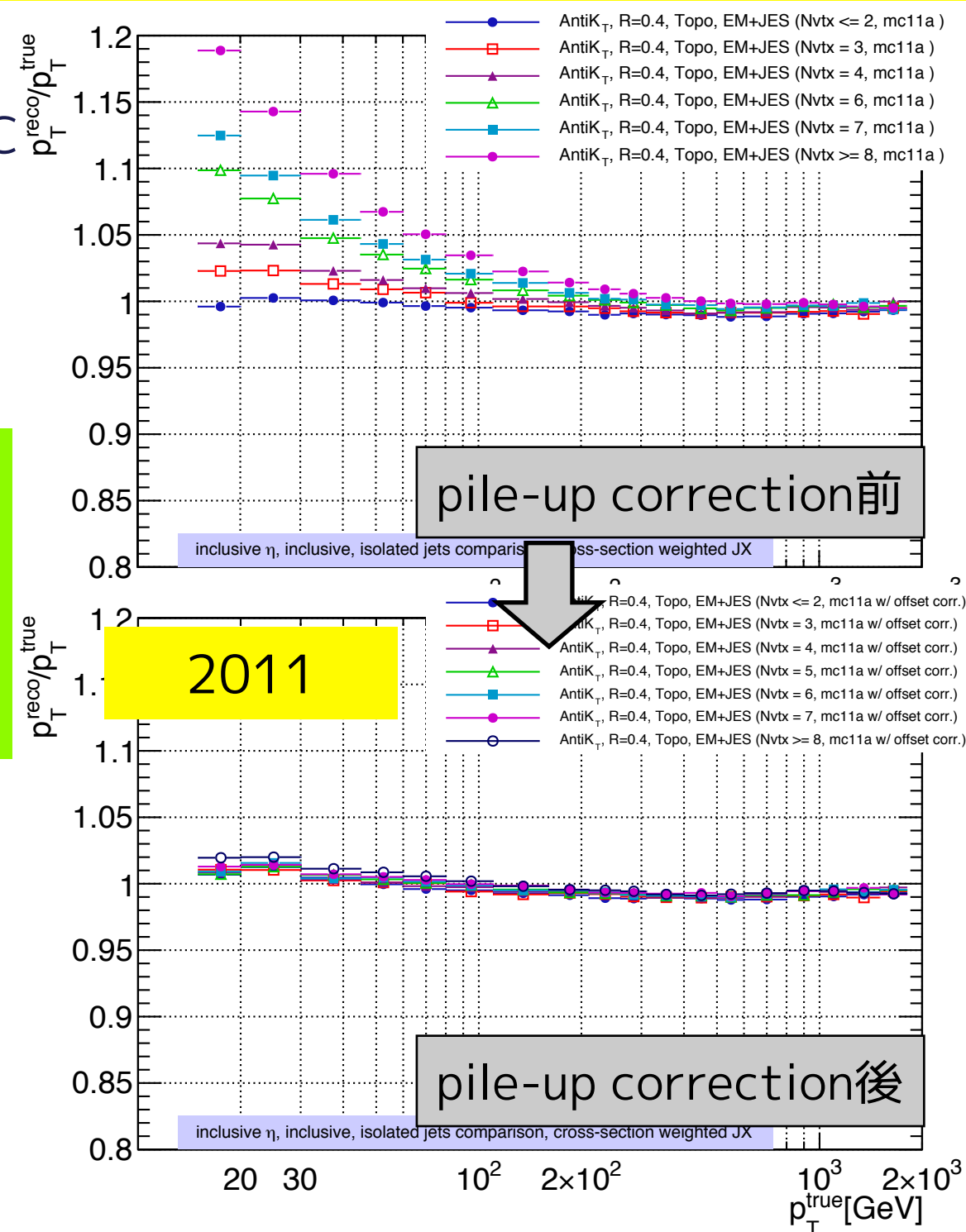
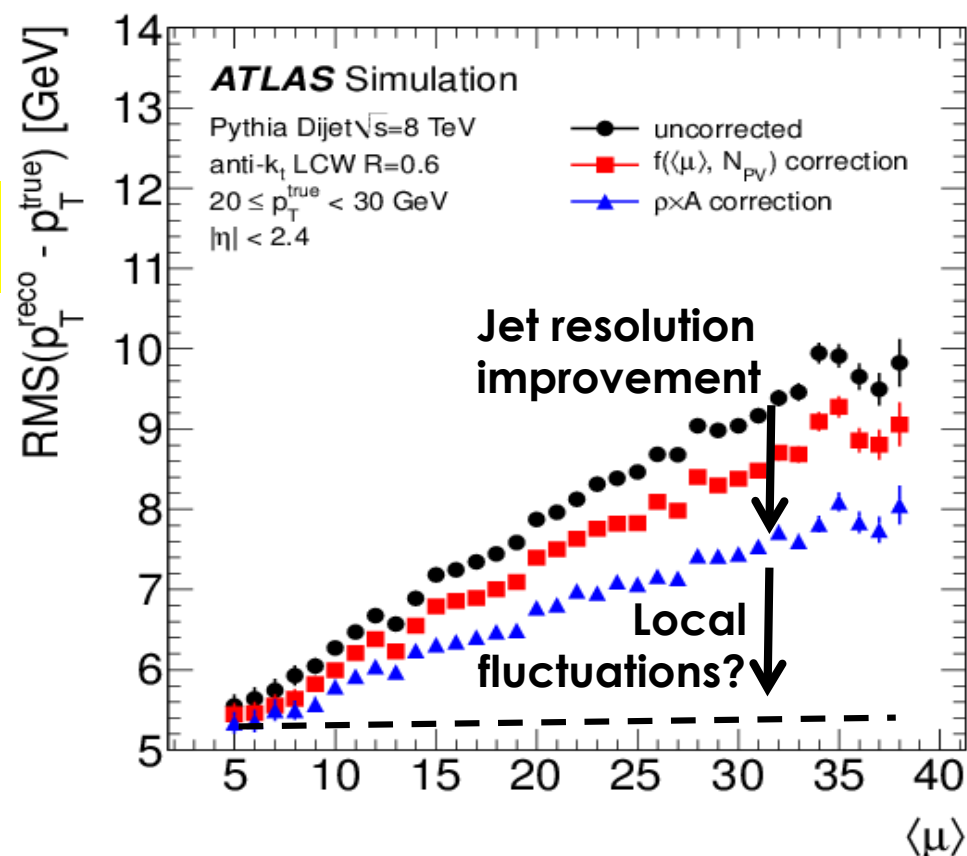


pile-up 対策

- pile-upからのエネルギーの補正関数を作成、MCを使った検証を行った。
- 2012年には、イベント毎の pile-up の様相を取り入れた補正関数へと改良した。

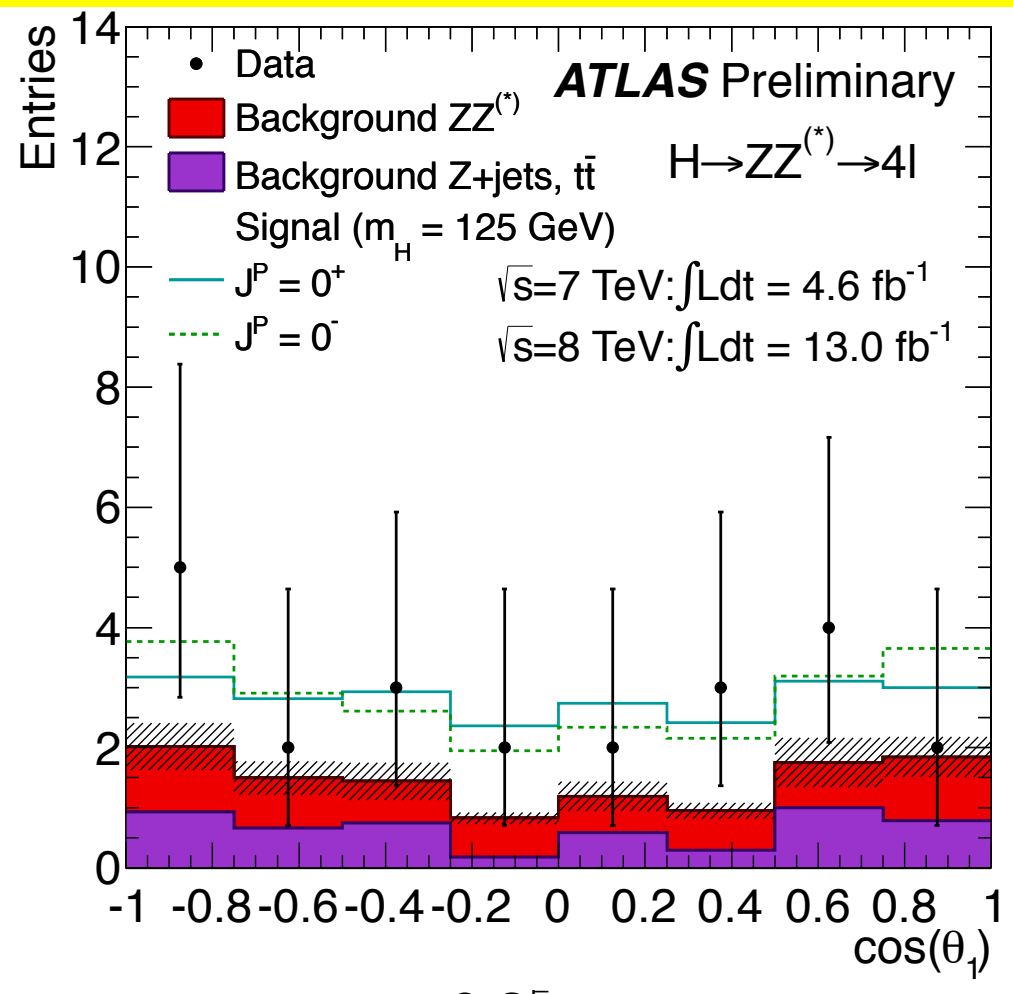
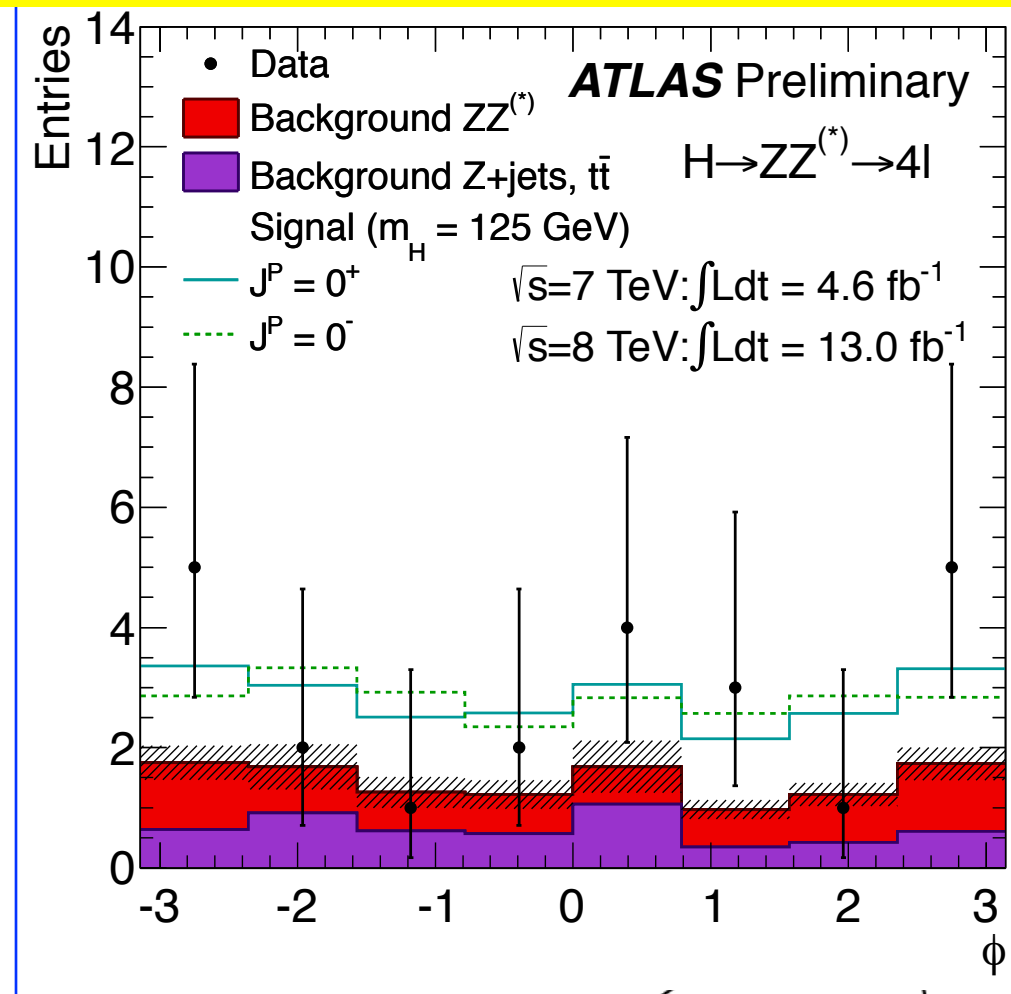
- 現時点でのベスト、
- でも、**よりよい方法**についてのアイデアは多数。
- LHCが進化する(ルミノシティが上昇する)度に必ず直面する問題

2012



大きい $\langle\mu\rangle$ でも働く良い一般解をみつけると
 業界に名を残す仕事になるでしょう

Higgs の spin-parity : ZZ



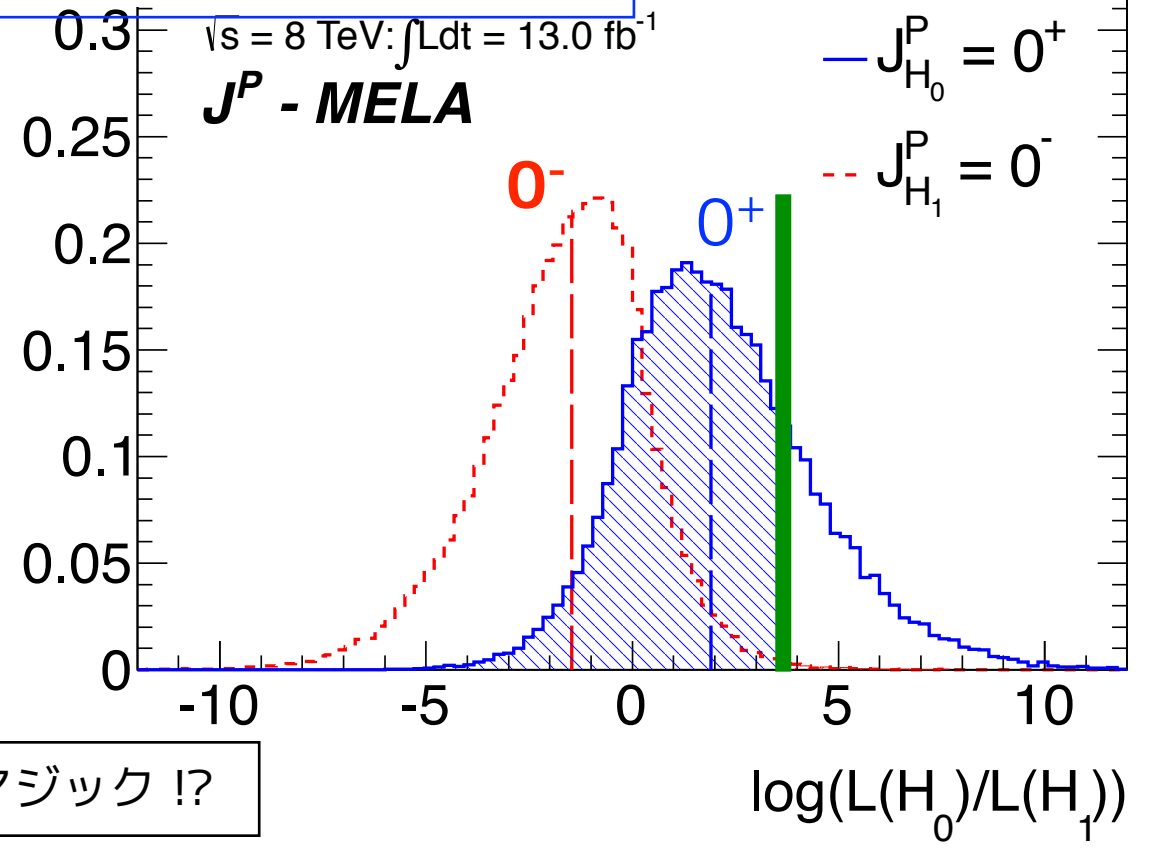
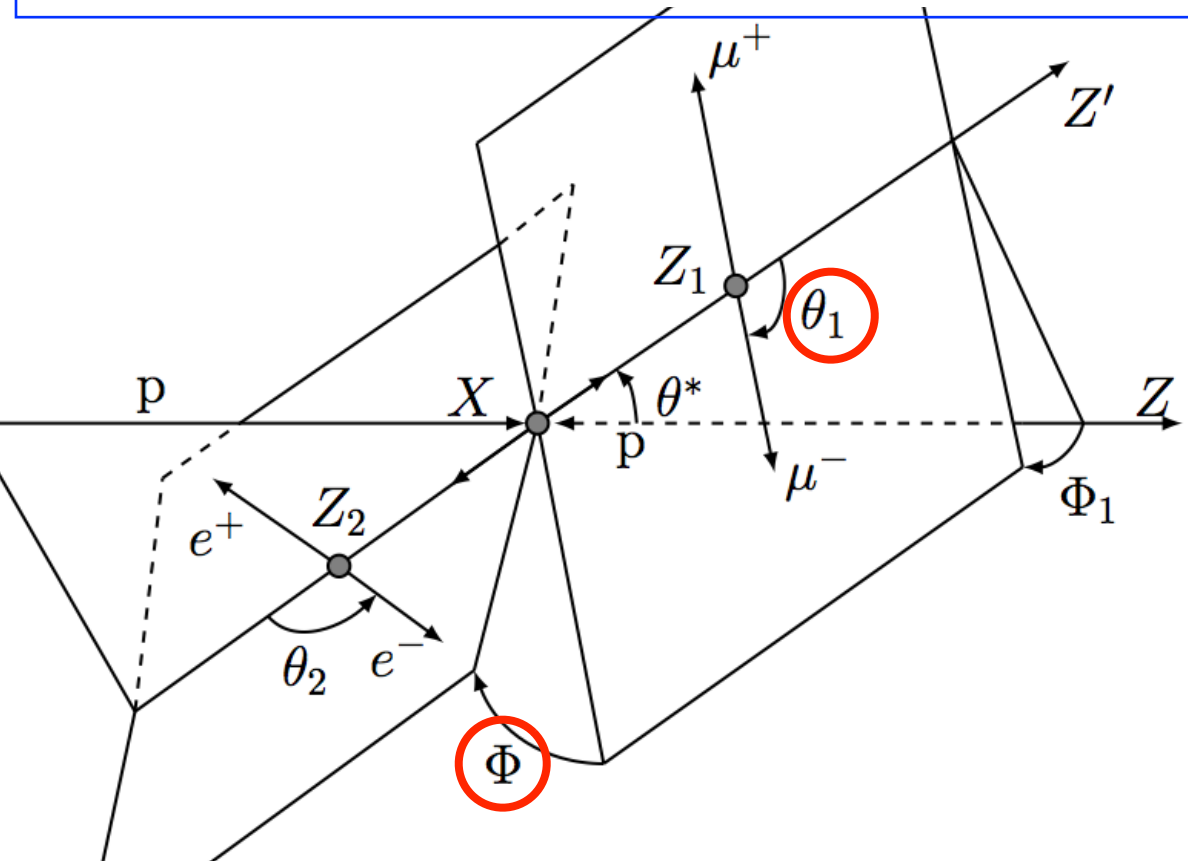
もし Higgs の Spin-Parity が $0^+ / 0^-$ の時、
緑色のところにくる確率は

[p₀-value]

0^- 0.28%

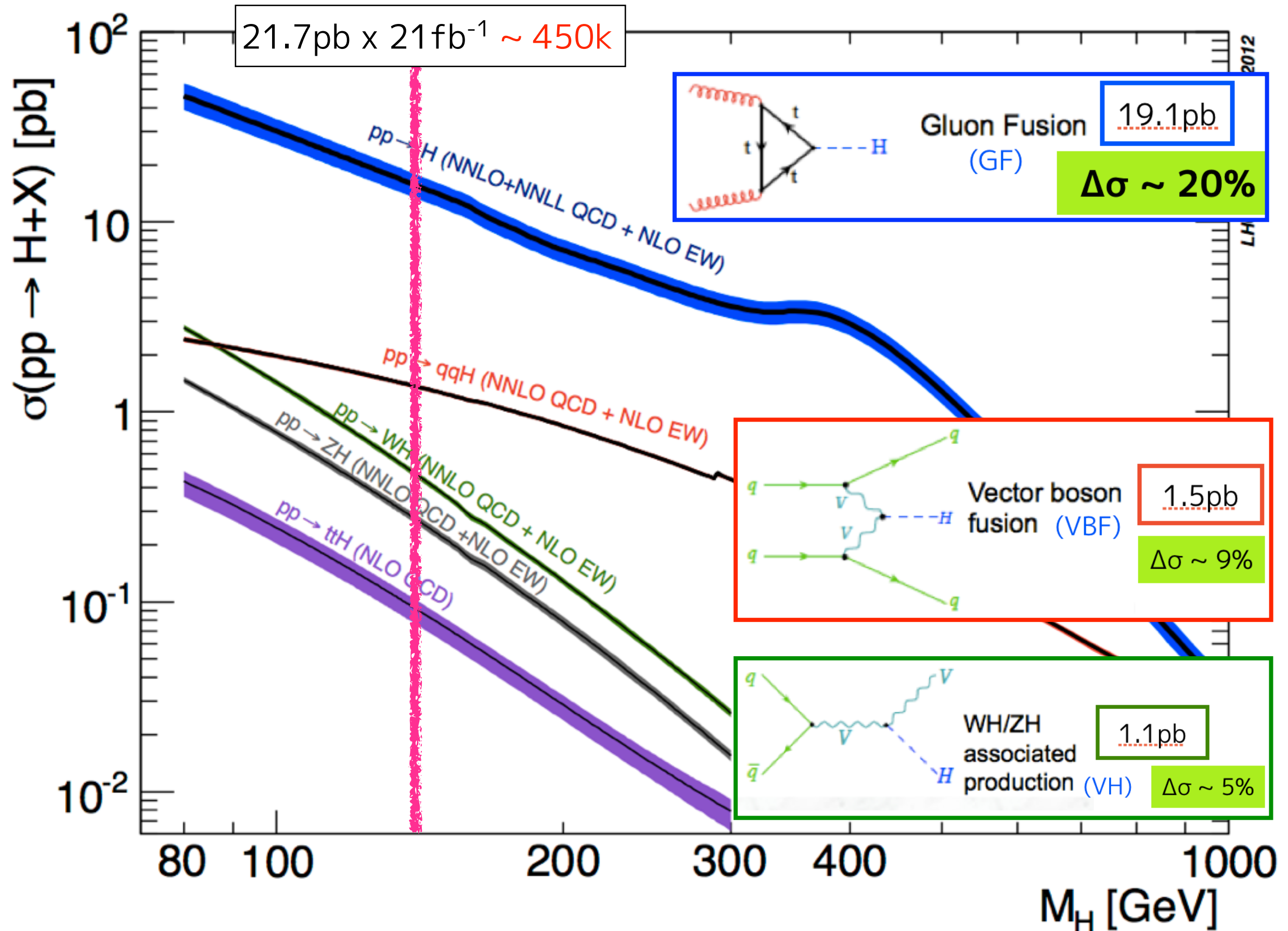
0^+ 76%

(0.7 σ deviation)

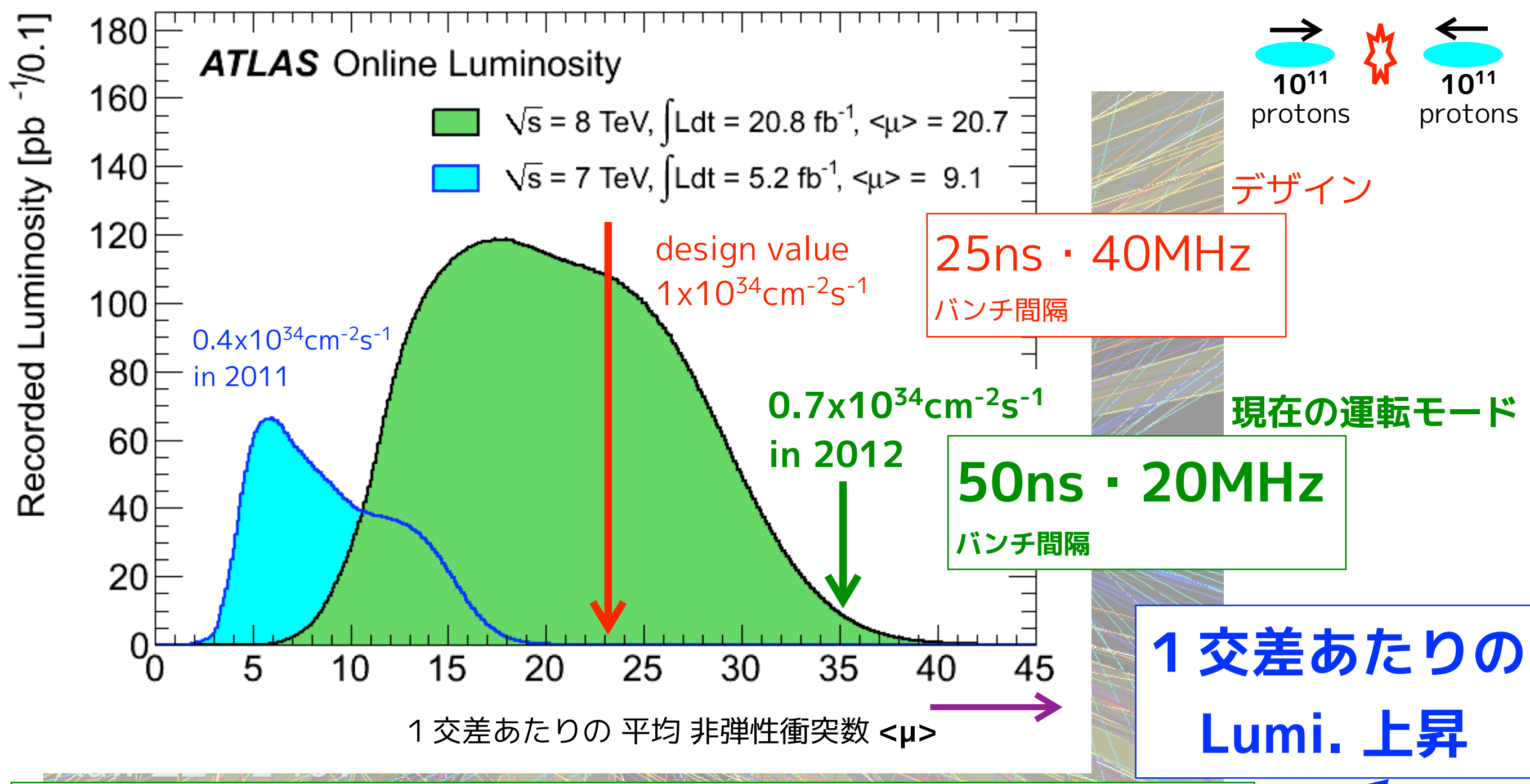


統計マジック !?

各 Higgs Productionプロセスにわけて...



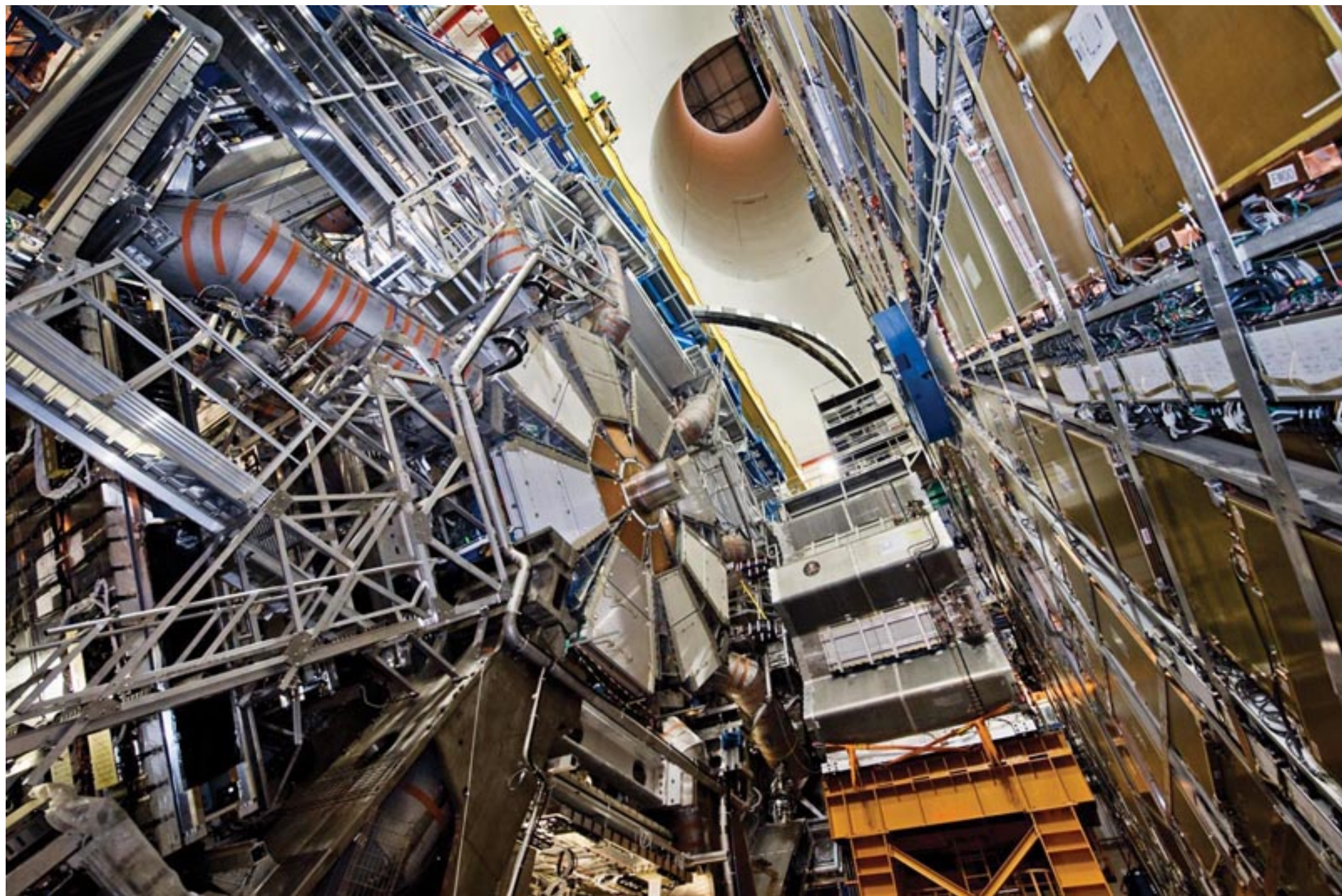
2012年の $0.7 \times 10^{34} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ の実現方法



- bunchあたりの陽子数 $1.15 \times 10^{11} \rightarrow 1.6 \times 10^{11}$: $\times 1.4^2$
- (norm.) emittance : $3.75 \rightarrow 2.5 [\mu\text{m}]$: $\times 1.4$

injector
よい性能

$1.4^3 \times 0.57(\epsilon) \times 0.5(f) \times 0.92(\beta^*) \sim 0.72$

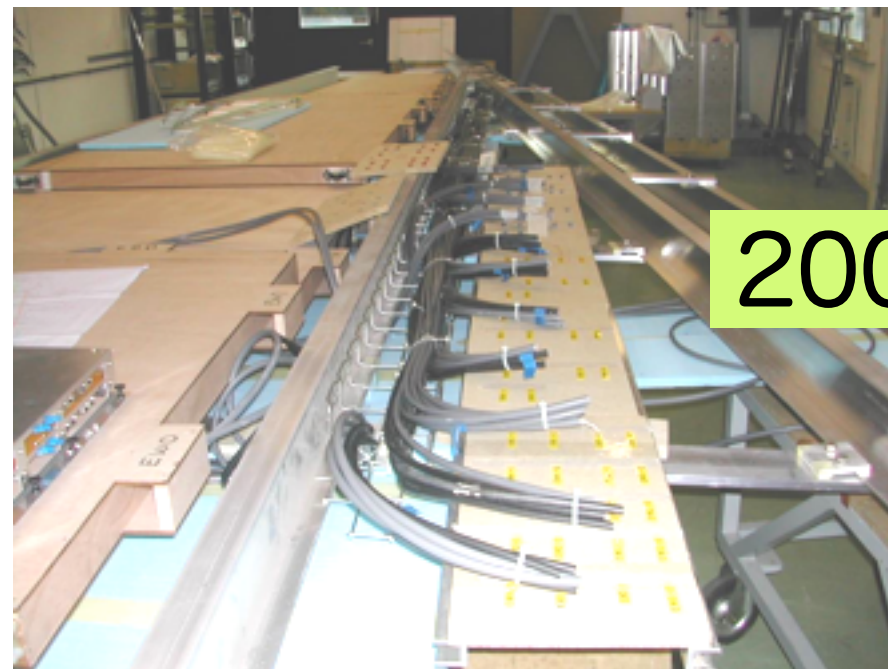


「歴史」 @ CERN

2002

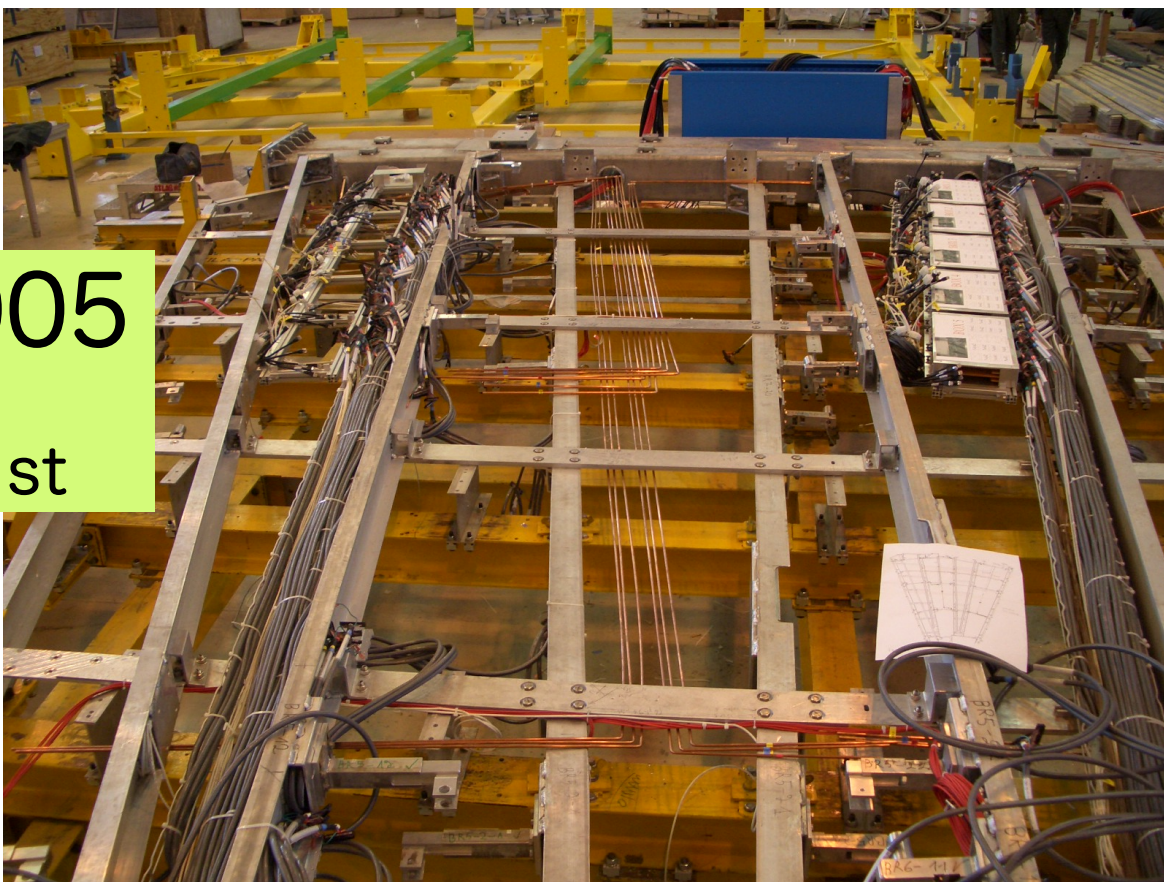


2003



2005

1st



2007

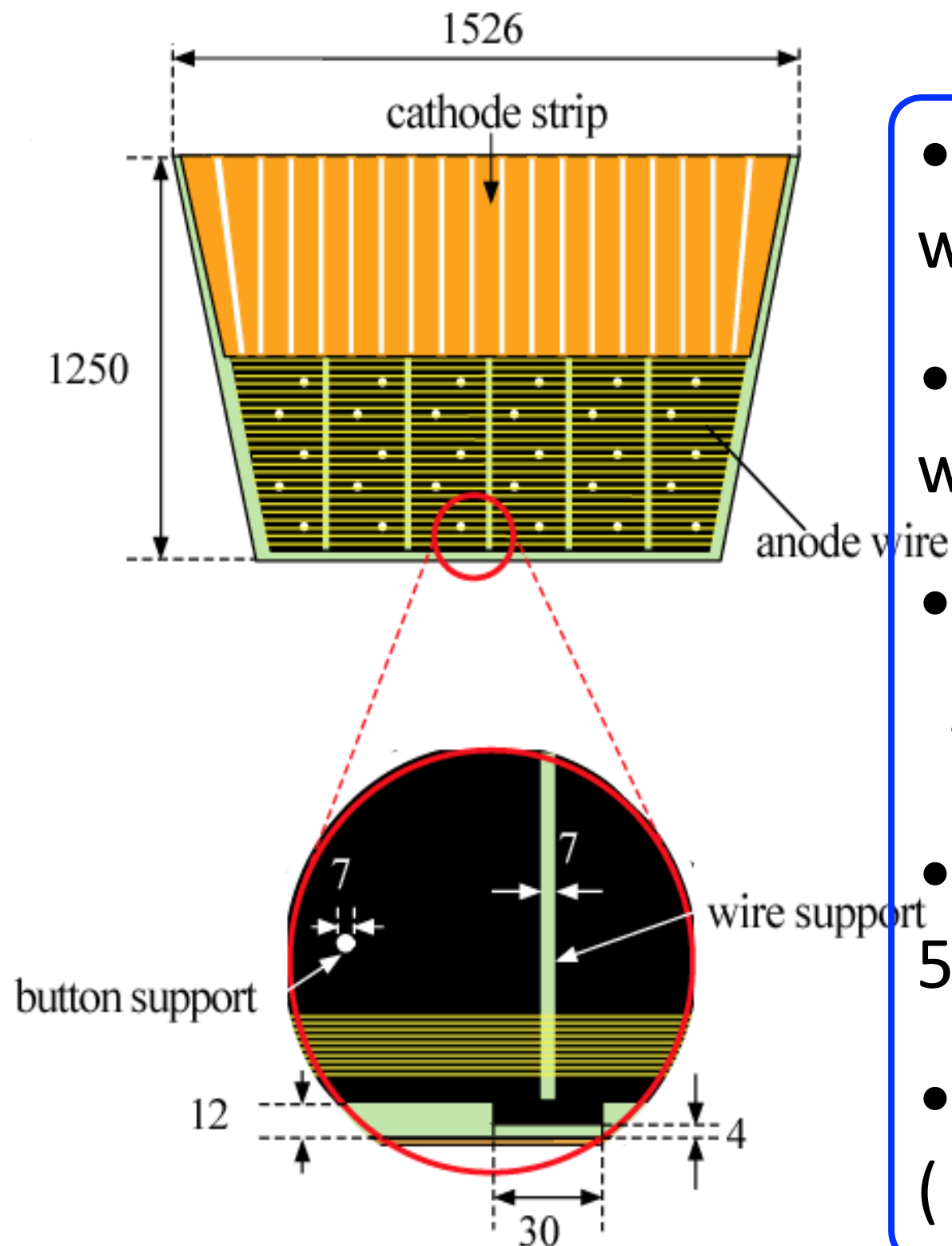
72th



point of no-return

モックアップから完成品まで
そのすべてに 指紋と思考の跡が刻みこまれています

TGC : Thin-Gap-Chamber



- the basic structure is like MWPC with graphite cathode
- the signal is read from both anode wire (η) and cathode strip (ϕ)
- the wire spacing is 1.8 mm
- the gap between a / c is 1.4 mm
- The diameter of tungsten wire is 50 micron
- the gas is CO₂ and n-Pentane (55 : 45)

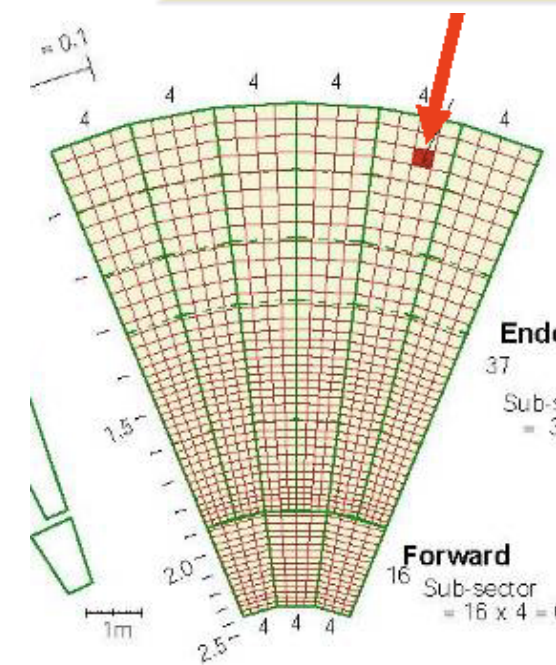
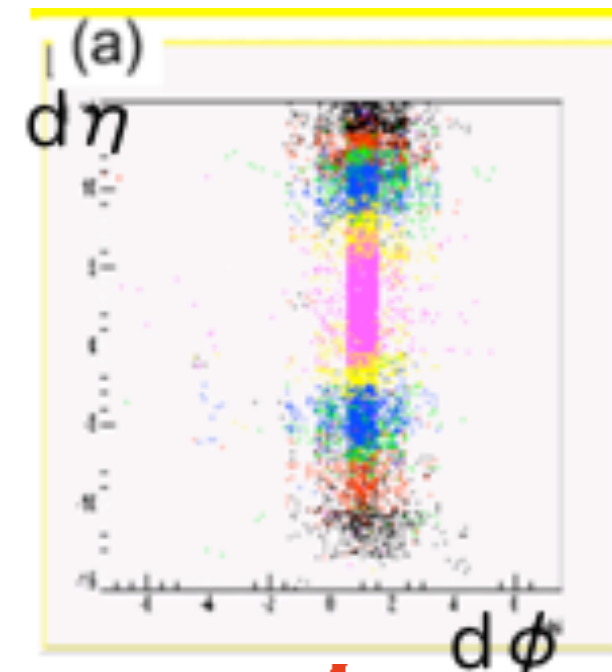
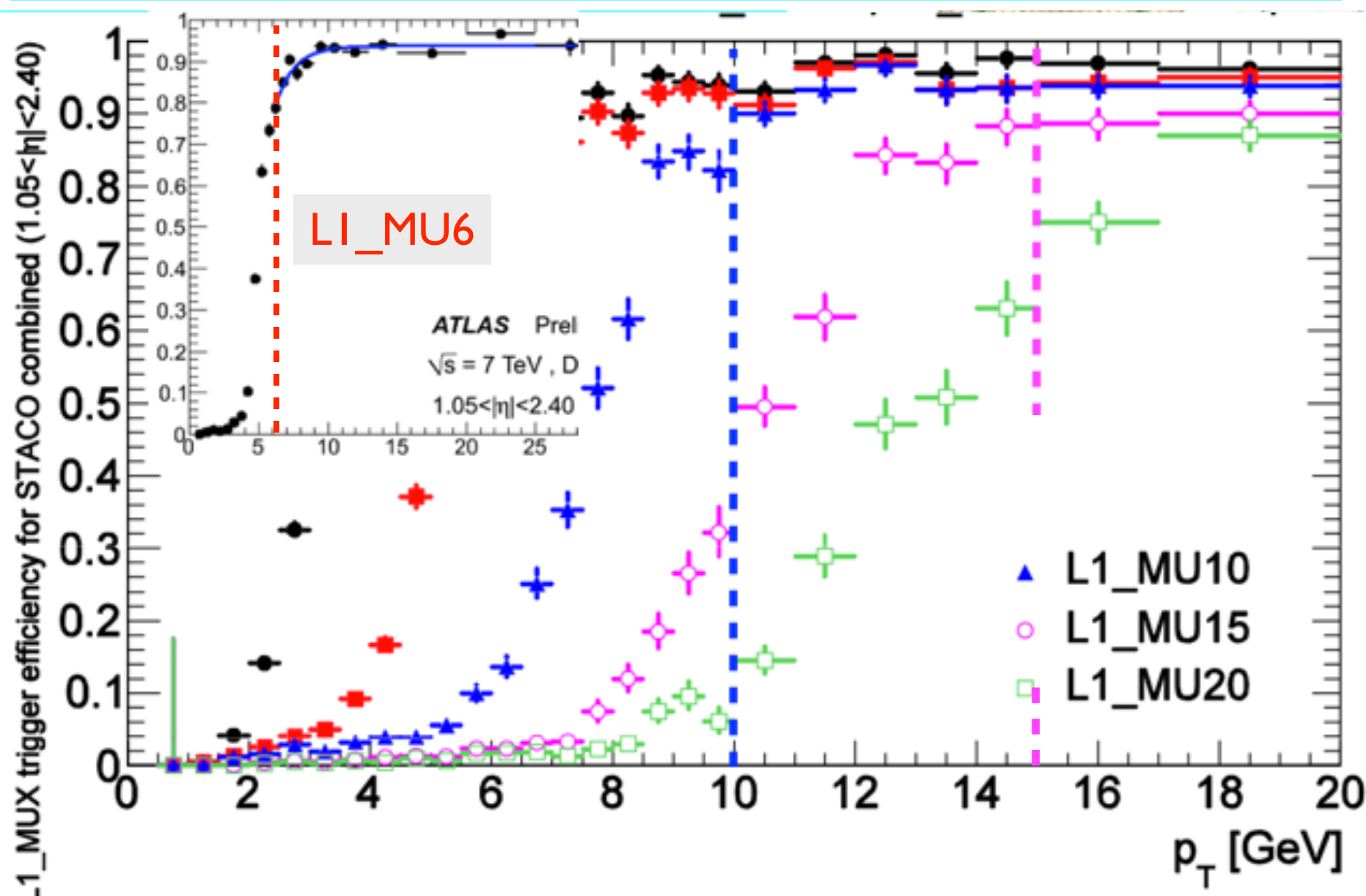
LVL1 μ -トリガースキーム

IP - HIT位置を結んだ直線からのズレ

$(d\eta, d\phi)$

different color $\leftrightarrow$ different P_T

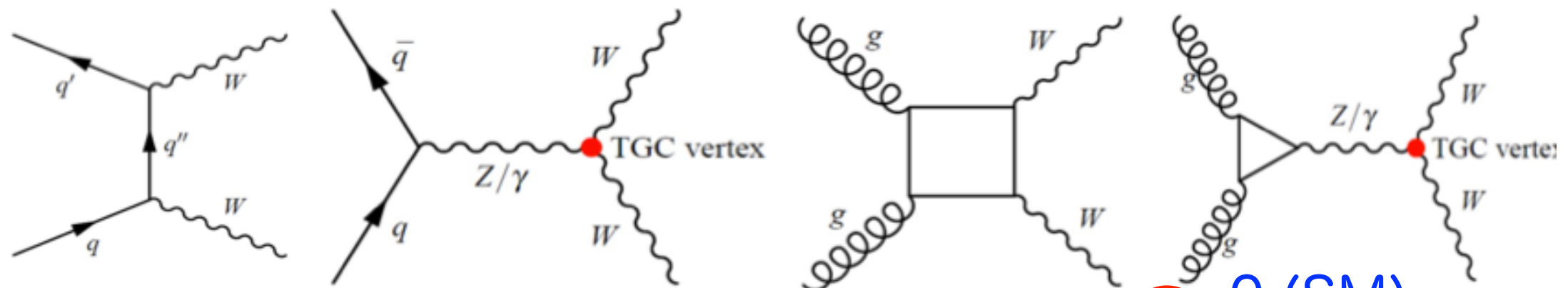
1,080 Look-Up-Table



μ -トリガー $\rightarrow$ WW

mu20 (or 2mu10)

W/Z (+jets) , WW , WZ , ZZ , $W\gamma$, $Z\gamma$

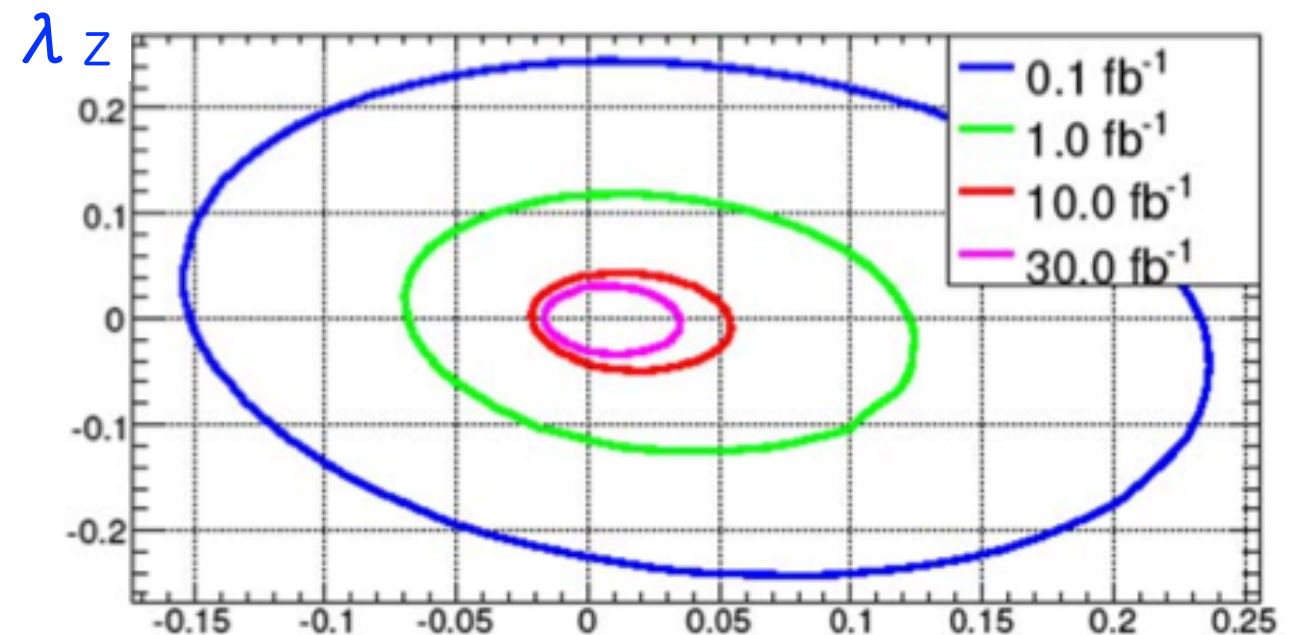


$$L/g_{WWV} = \underbrace{g_1^V}_{1(\text{SM})} (W_{\mu\nu}^* W^\mu V^\nu - W_{\mu\nu} W^{*\mu} V^\nu) + \underbrace{i\kappa^V}_{1(\text{SM})} W_\mu^* W_\nu V^{\mu\nu} + \underbrace{\lambda^V}_{0(\text{SM})} \frac{1}{M_W^2} W_{\rho\mu}^* W_\nu^\mu V^{\nu\rho}$$

もし “anomalous coupling” あれば、 g , κ , λ の値が 1, 1, 0 ではなくなり、観測 σ_{WW} が σ_{SM} と異なる。

10^{-2} までしかいかない。 $W \rightarrow WZ$ (I, II) の方が sensitivity 良い (10^{-3} くらい行きたい)

2Lepton Opposite-Sign + MET
Higgs $\rightarrow$ WW と同じトポロジー
よく研究しておく



LHC : 2010 -> 2021

