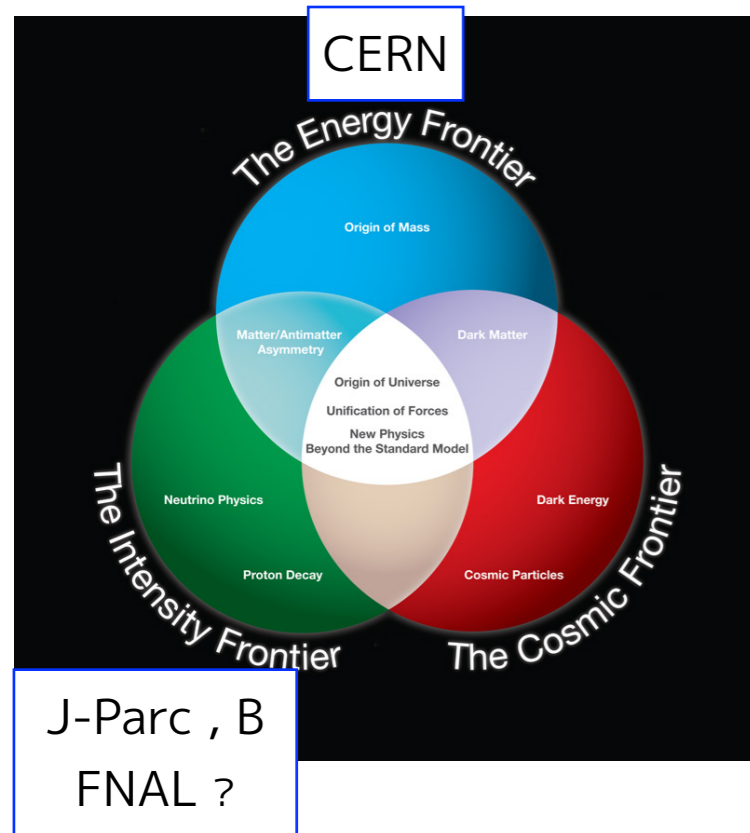


高エネルギー現象 ~ 初期宇宙の研究における

LHC・ATLAS実験



● **直接**加速器で粒子を衝突 : High Energy Frontier

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

● 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

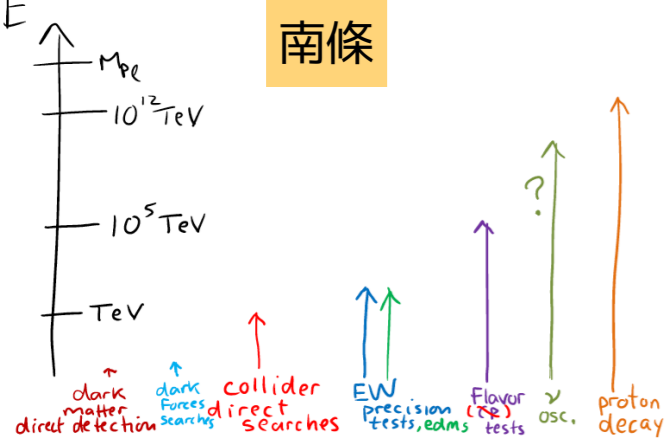
● 宇宙初期の様子を再現できる($10^{-12} \sim 10^{-14}$ sec)

● $E=mc^2$: 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

南條

project mapping by Ligeti

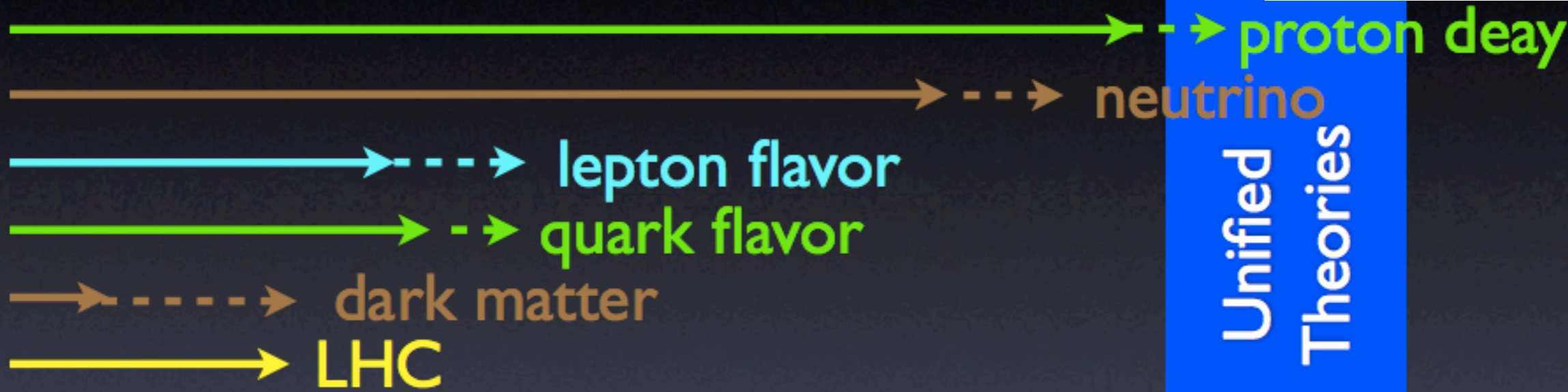
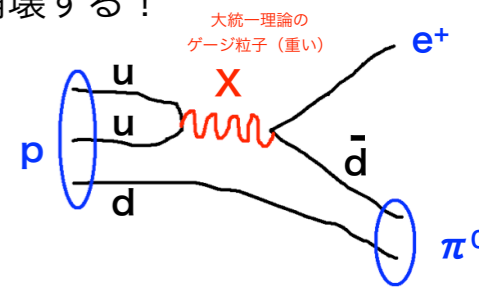


探検力 (?)

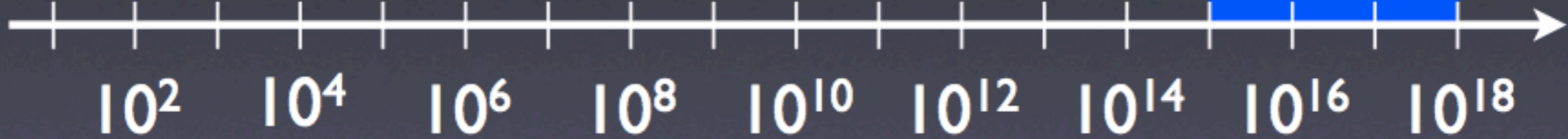


Power of Expediatio

陽子が崩壊する!



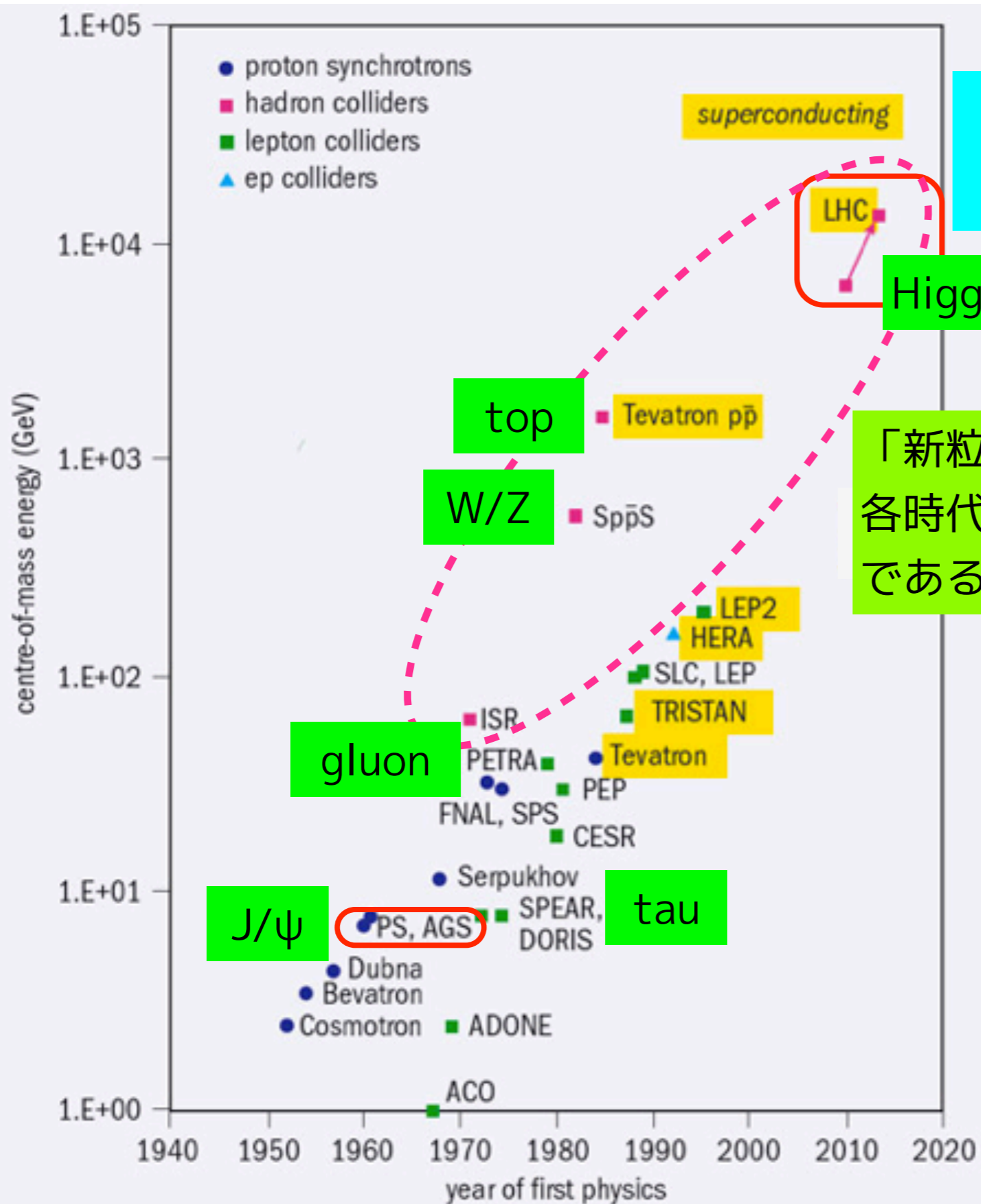
「いけるところまでしか、いけない」のは事実だが、、、



experimental reach [GeV]
(with significant simplifying assumptions)

courtesy Zoltan Ligeti

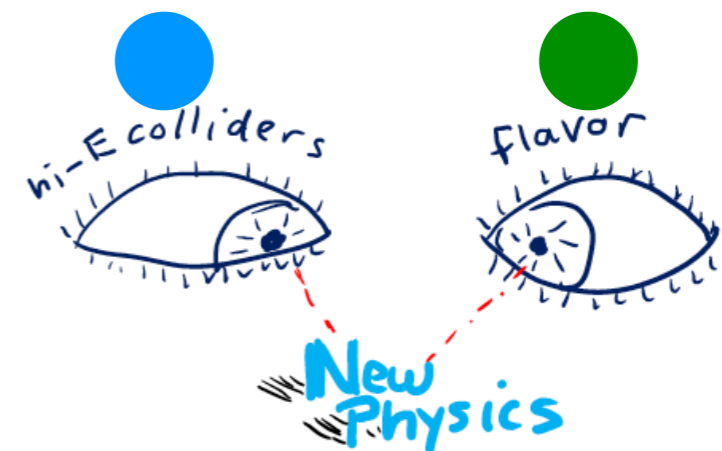
加速器の history ・ 発見した粒子



LHC
7 → 8 → 13 → 14 TeV

Higgs

「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ンであるのも、また事実



南條

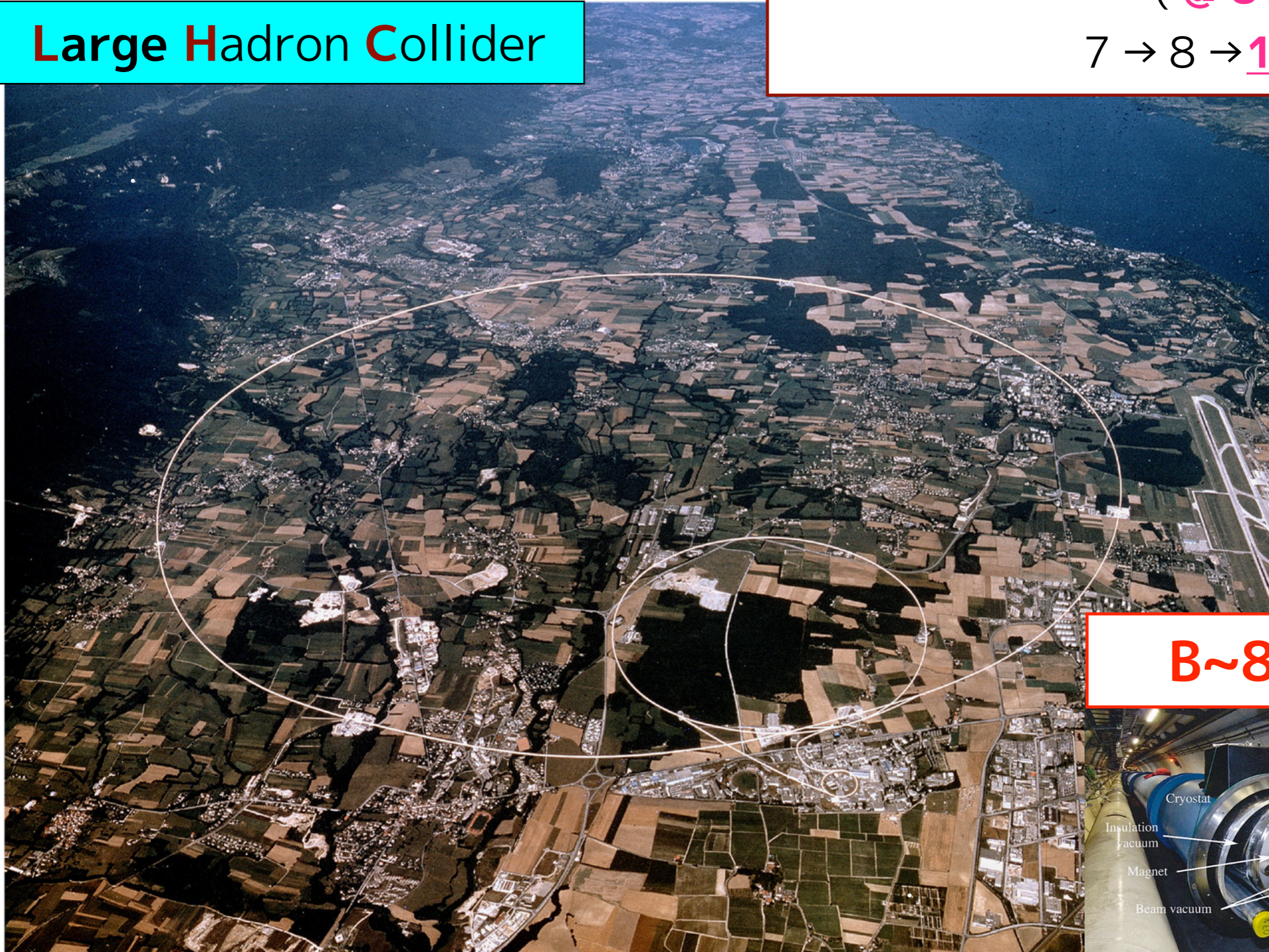
Flavor expt. is tool for discovery & understanding of New Physics.

4
Recent Physics results from

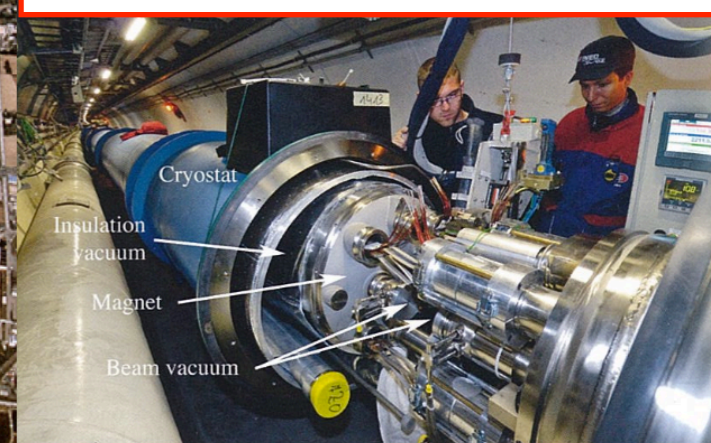
LHC experiments

- 27km = 18km(bent) + 9km(straight)
- proton-proton collider @ 14TeV
(@ 8TeV in 2012)
7 → 8 → 13 → 14TeV

Large Hadron Collider



B~8.3[T]

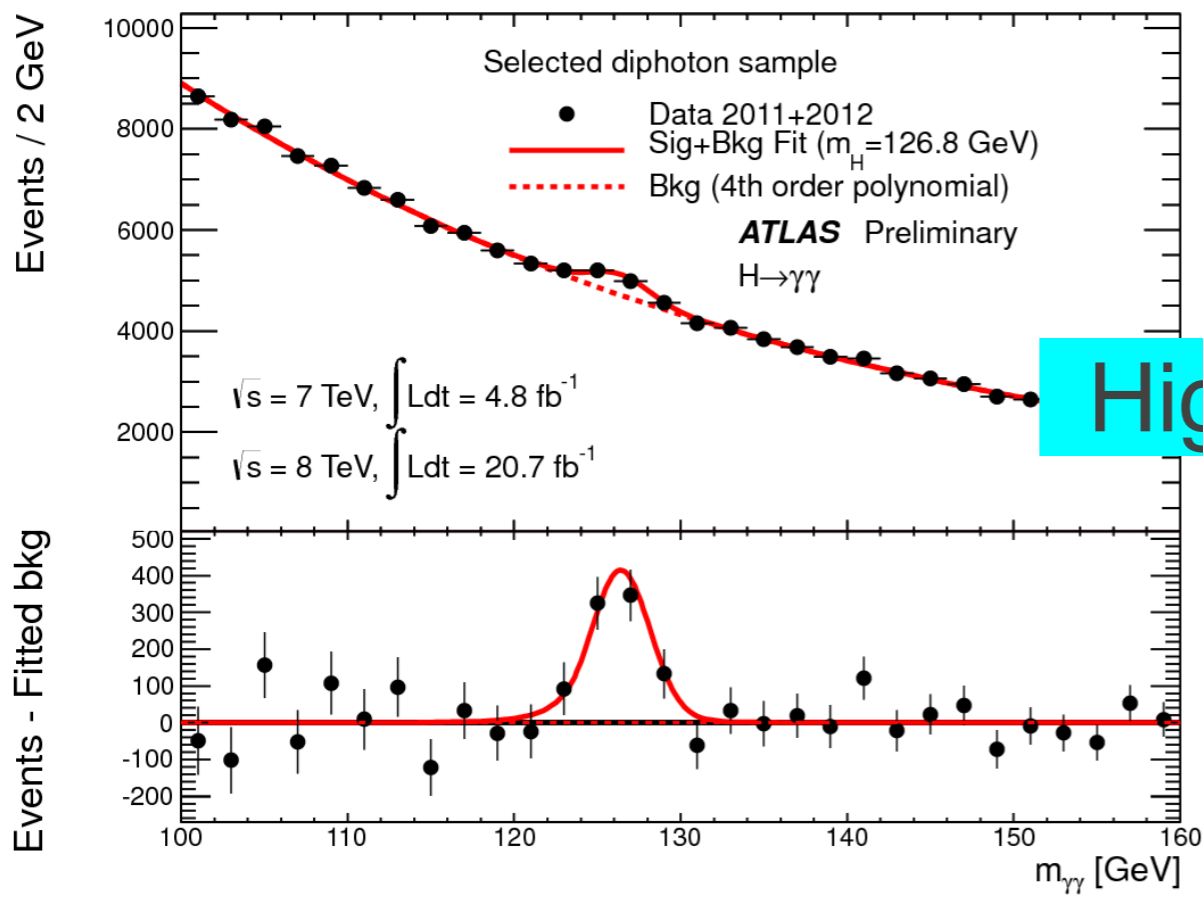
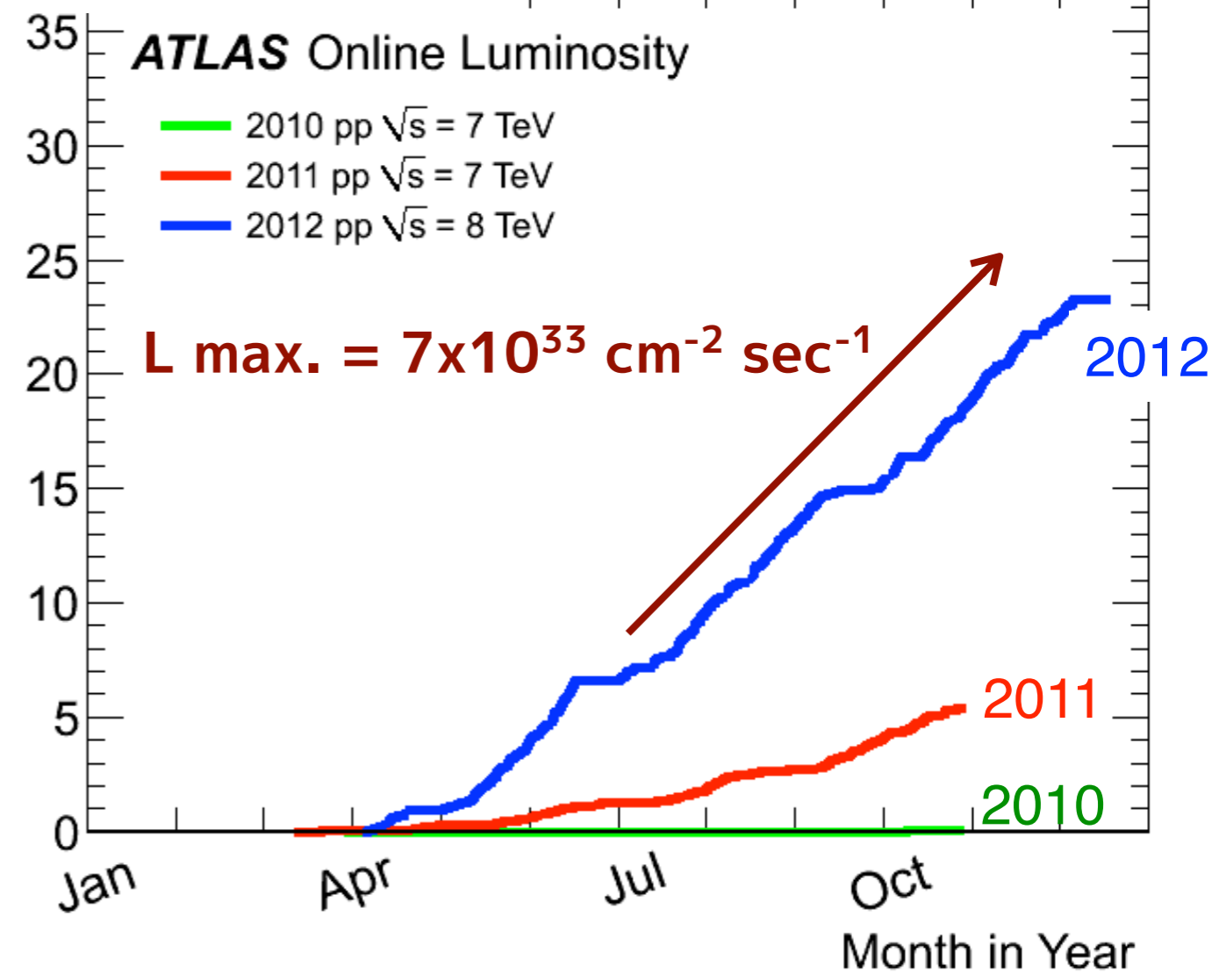


LHC Run-1 : 2010 - 2012

Integrated Luminosity

2010 : 0.05 fb^{-1} (7TeV)
 2011 : 5 fb^{-1} (7TeV)
 2012 : 23 fb^{-1} (8TeV)

積分 Luminosity [fb^{-1}]



Higgs : (発見) → その性質へ

高統計Higgs

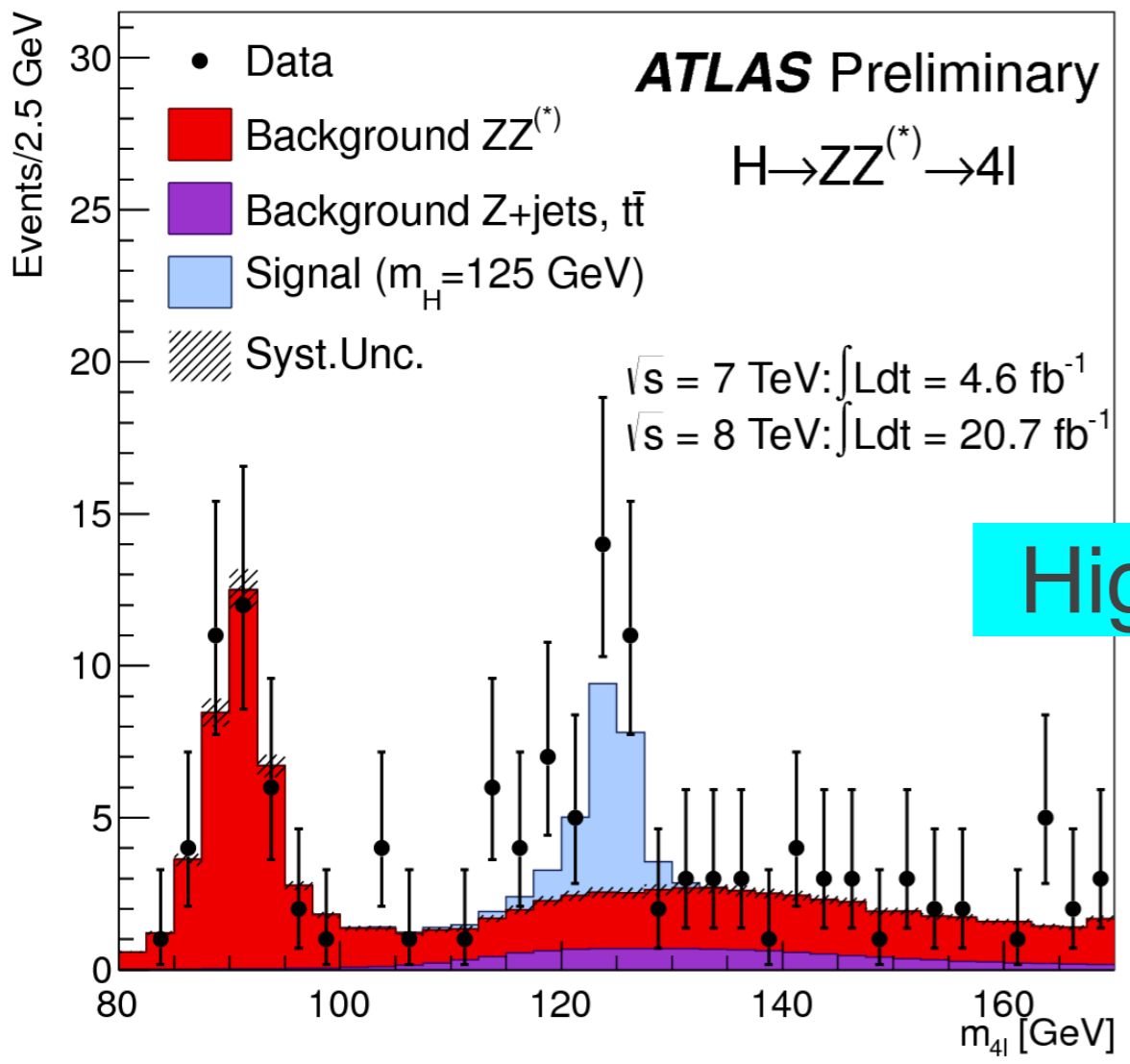
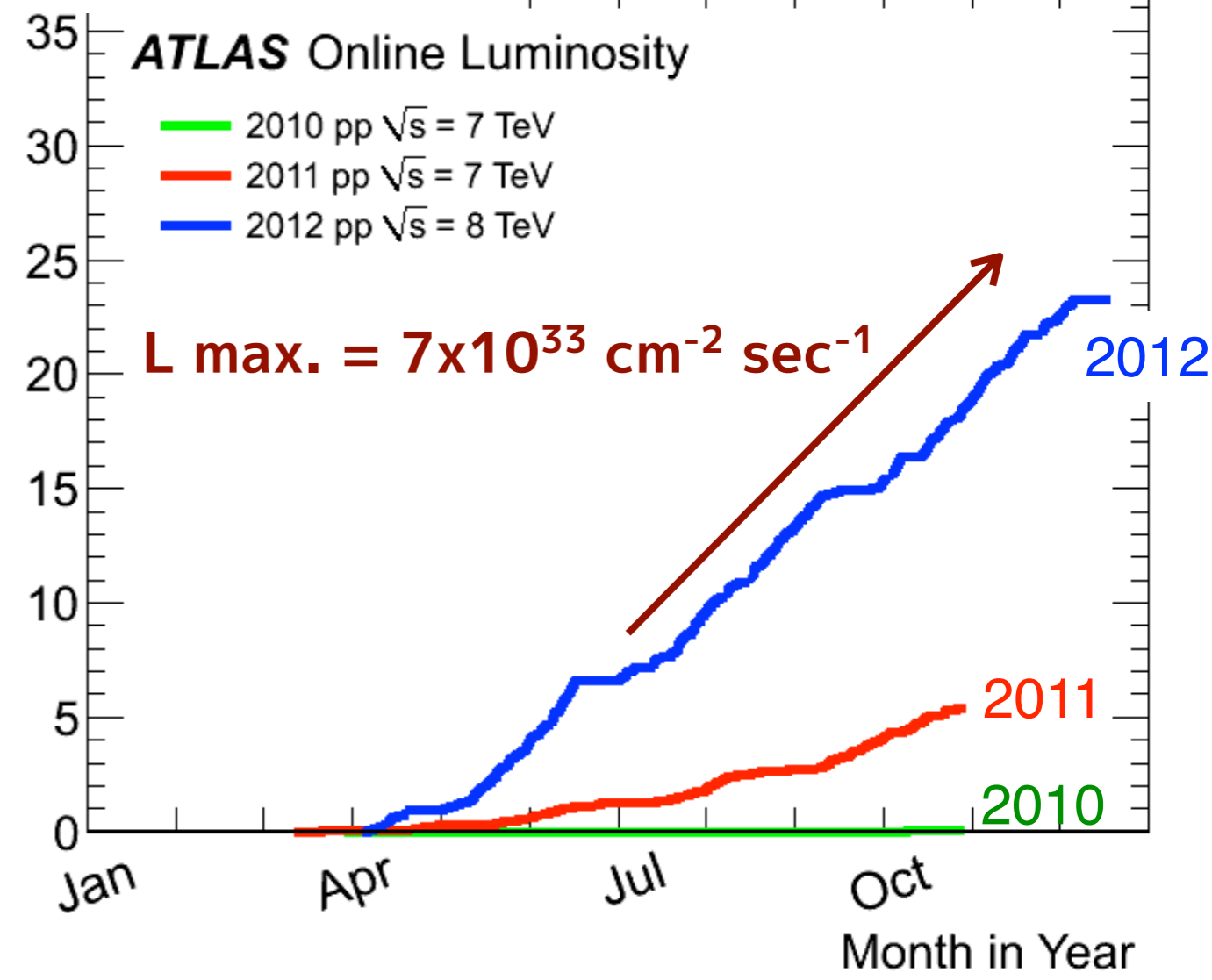
LHCの輝度上昇

LHC Run-1 : 2010 - 2012

Integrated Luminosity

2010 : 0.05 fb^{-1} (7TeV)
 2011 : 5 fb^{-1} (7TeV)
 2012 : 23 fb^{-1} (8TeV)

積分 Luminosity [fb^{-1}]



Higgs : (発見) → その性質へ

高統計Higgs

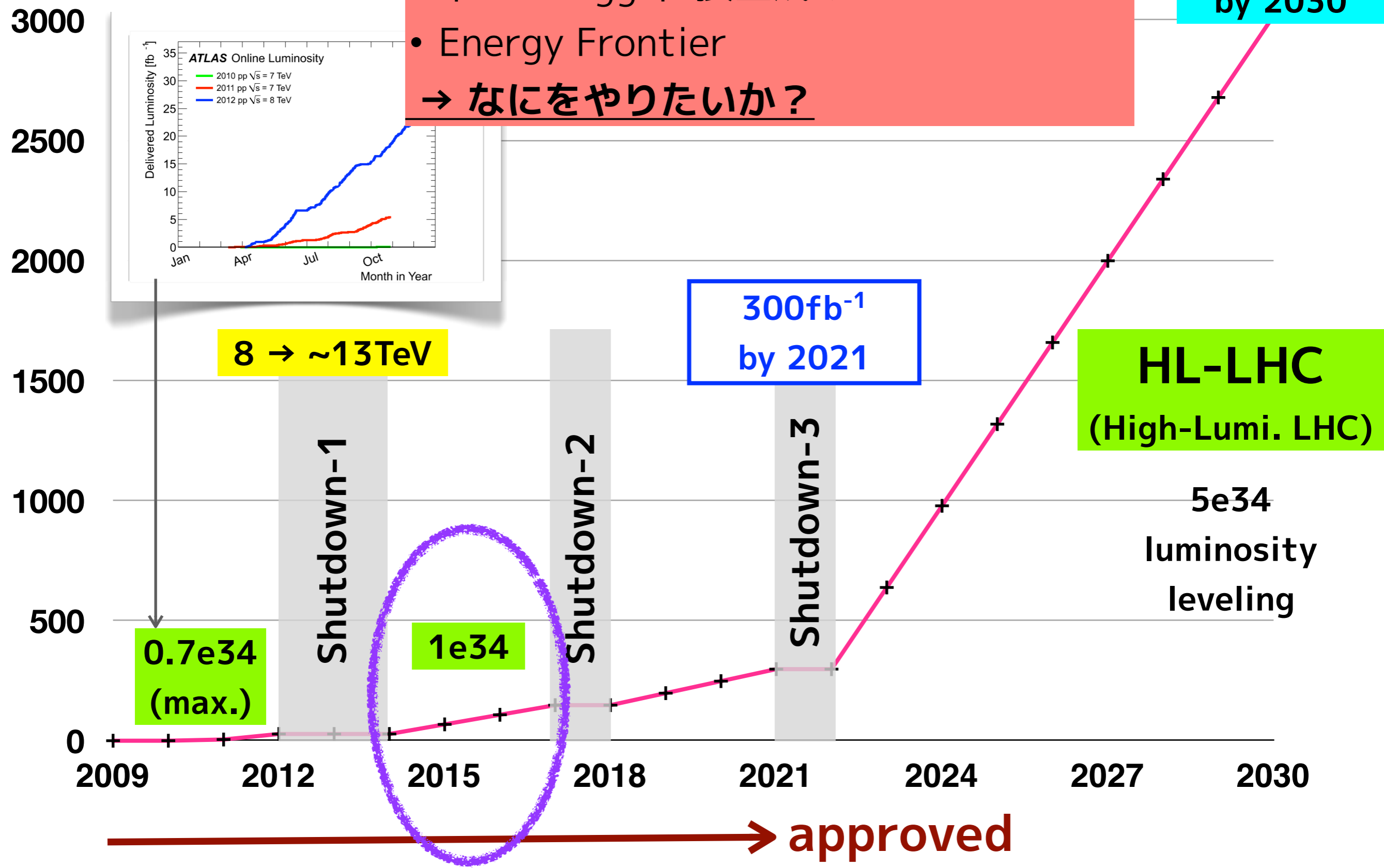
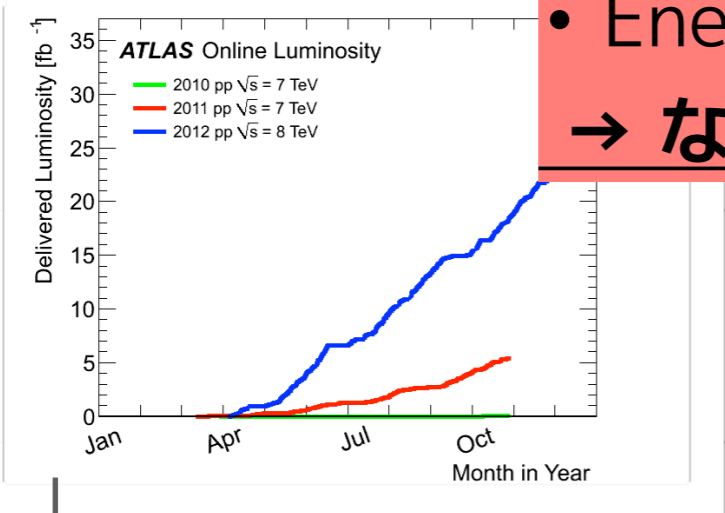
LHCの輝度上昇

LHC : 2010 → 2021 → 2030

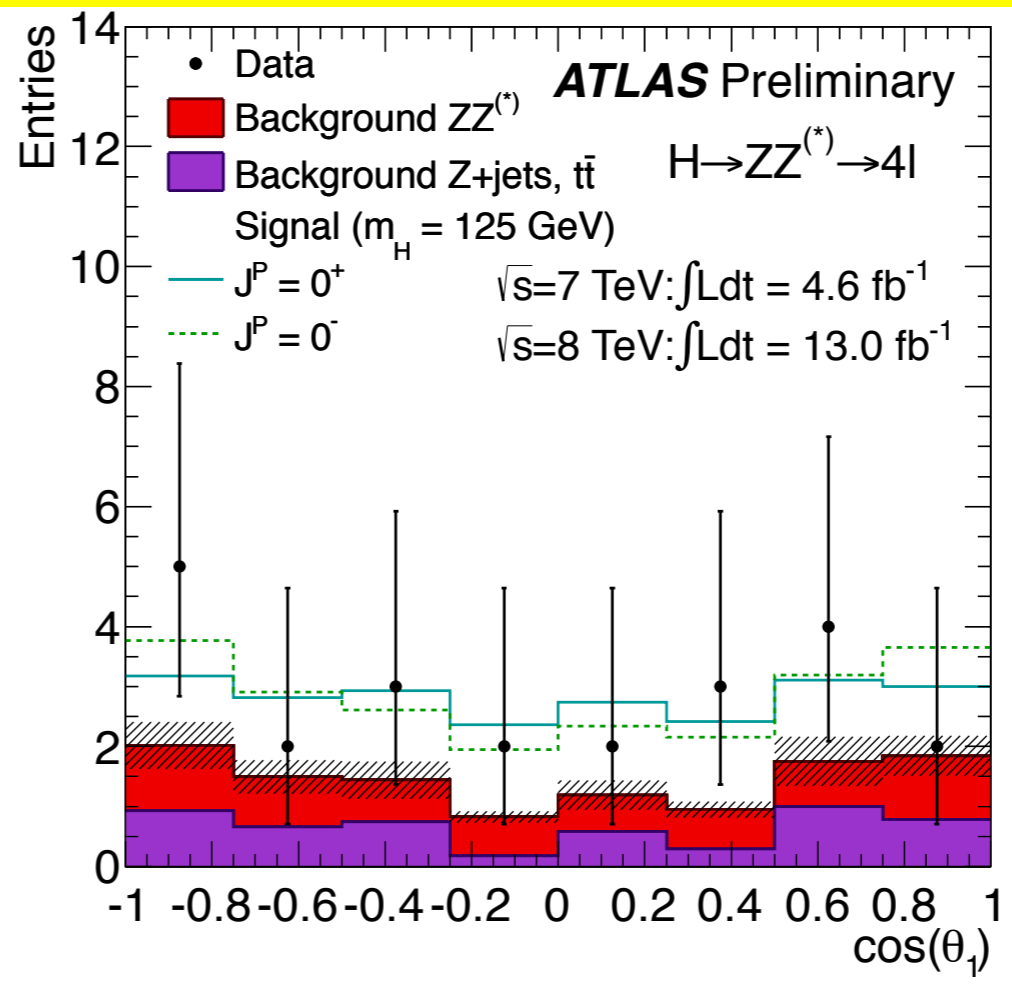
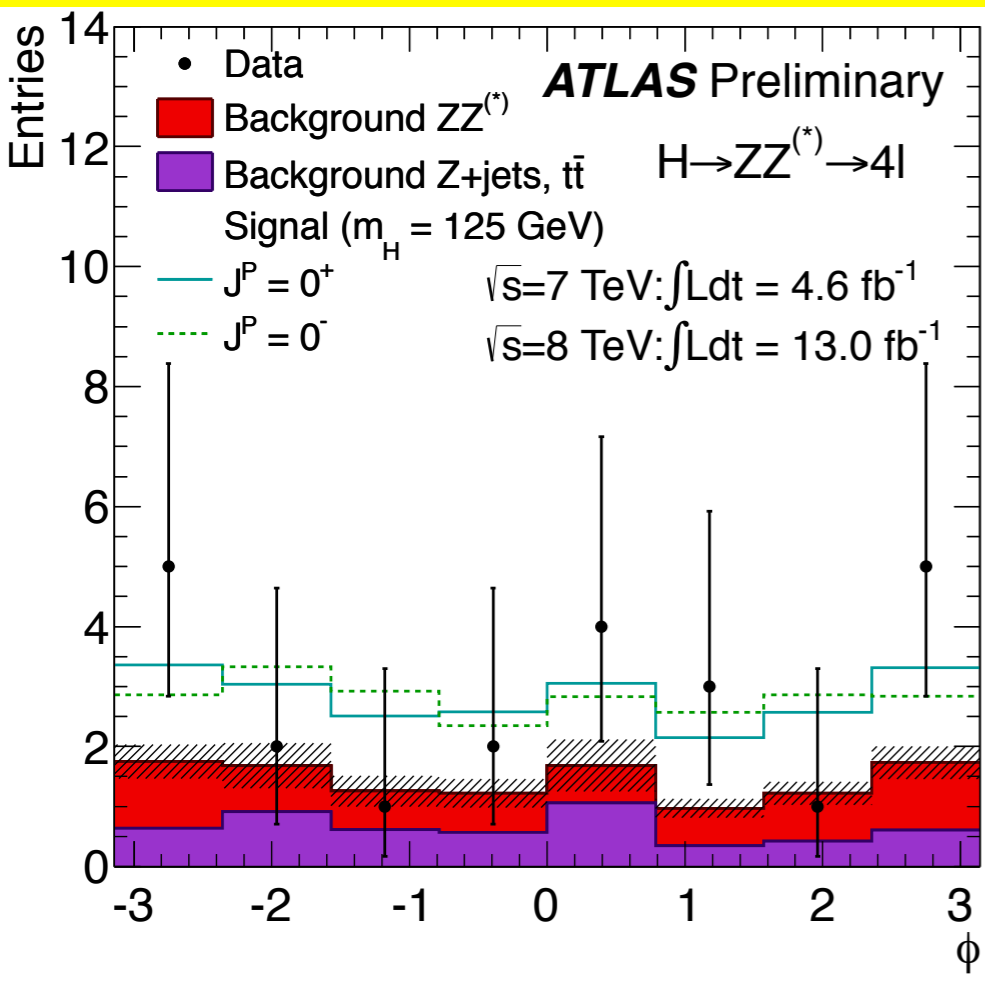
L. Rossi (+ my interpretation)

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

→ なにをやりたいか?



Higgs の spin-parity : ZZ

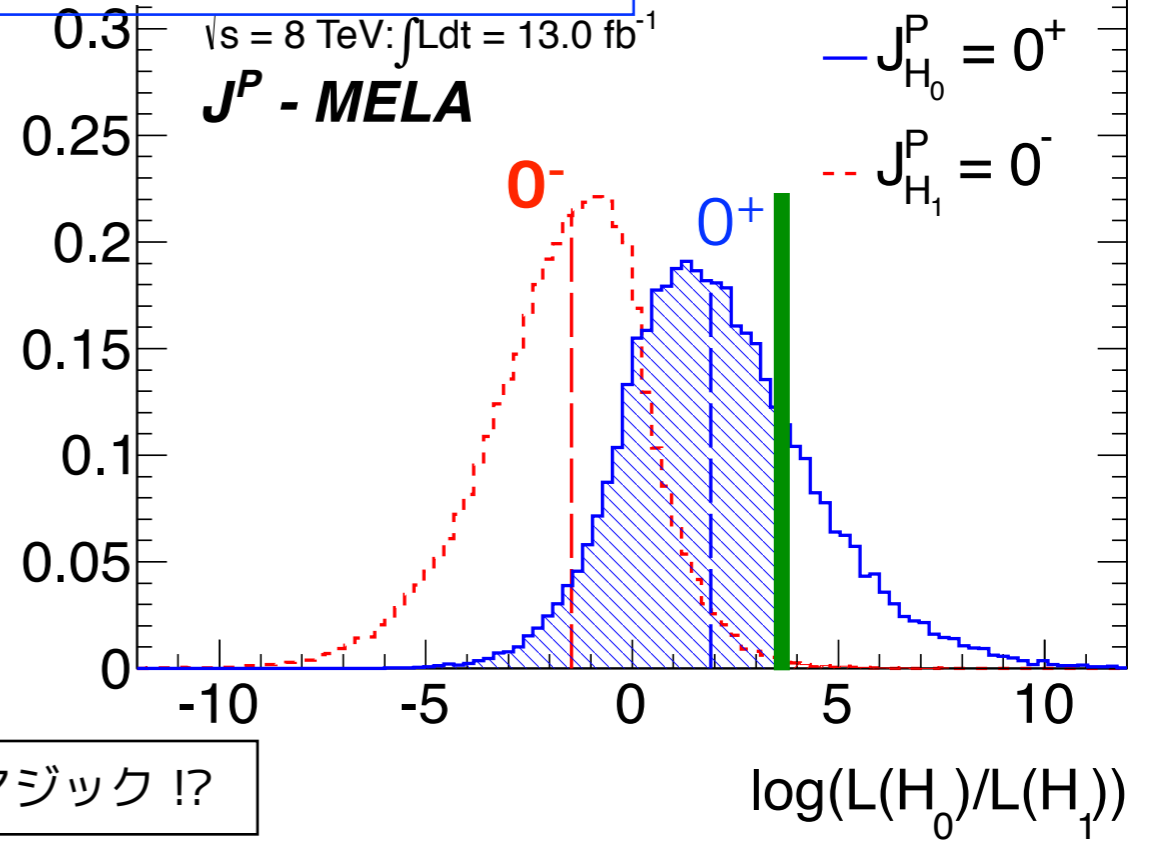
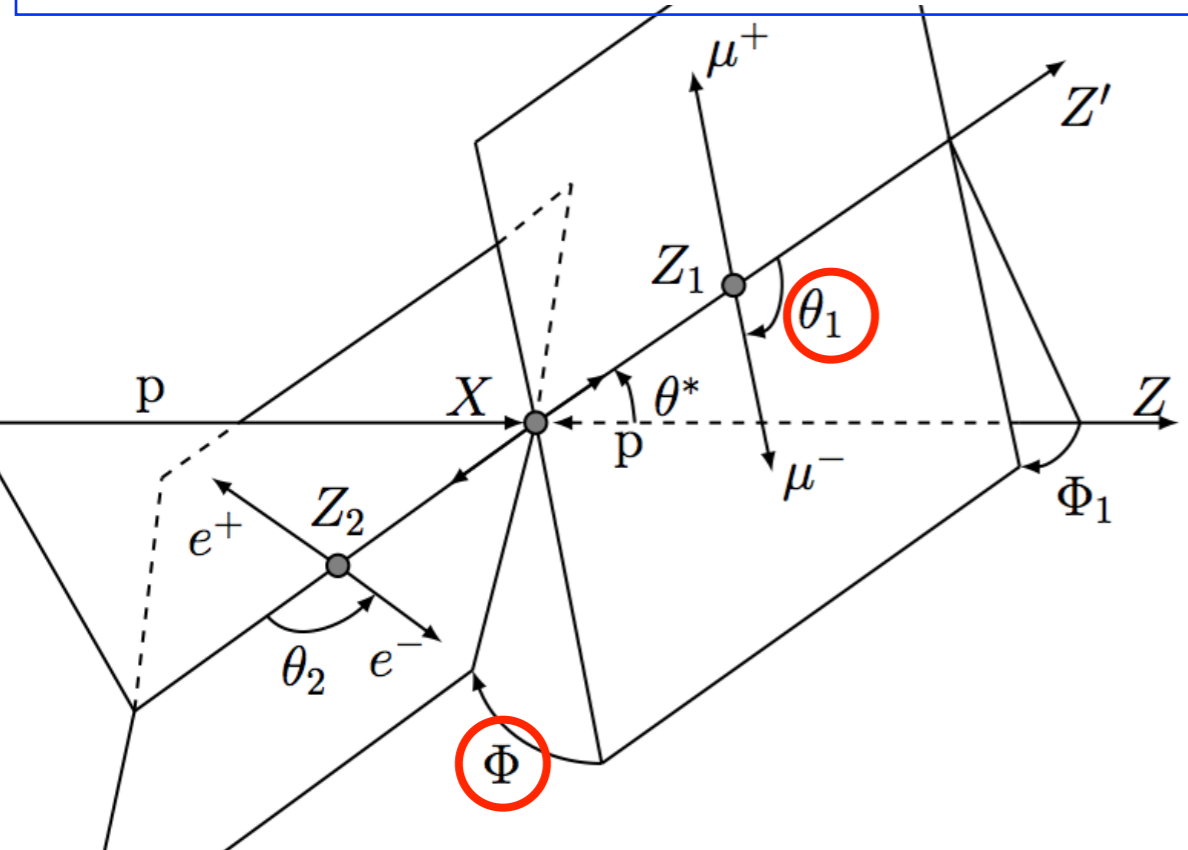


もし Higgs の Spin-Parity が $0^+ / 0^-$ の時、
緑色のところにくる確率は

[p₀-value]

0^- 0.28%

0^+ 76%
(0.7 σ deviation)



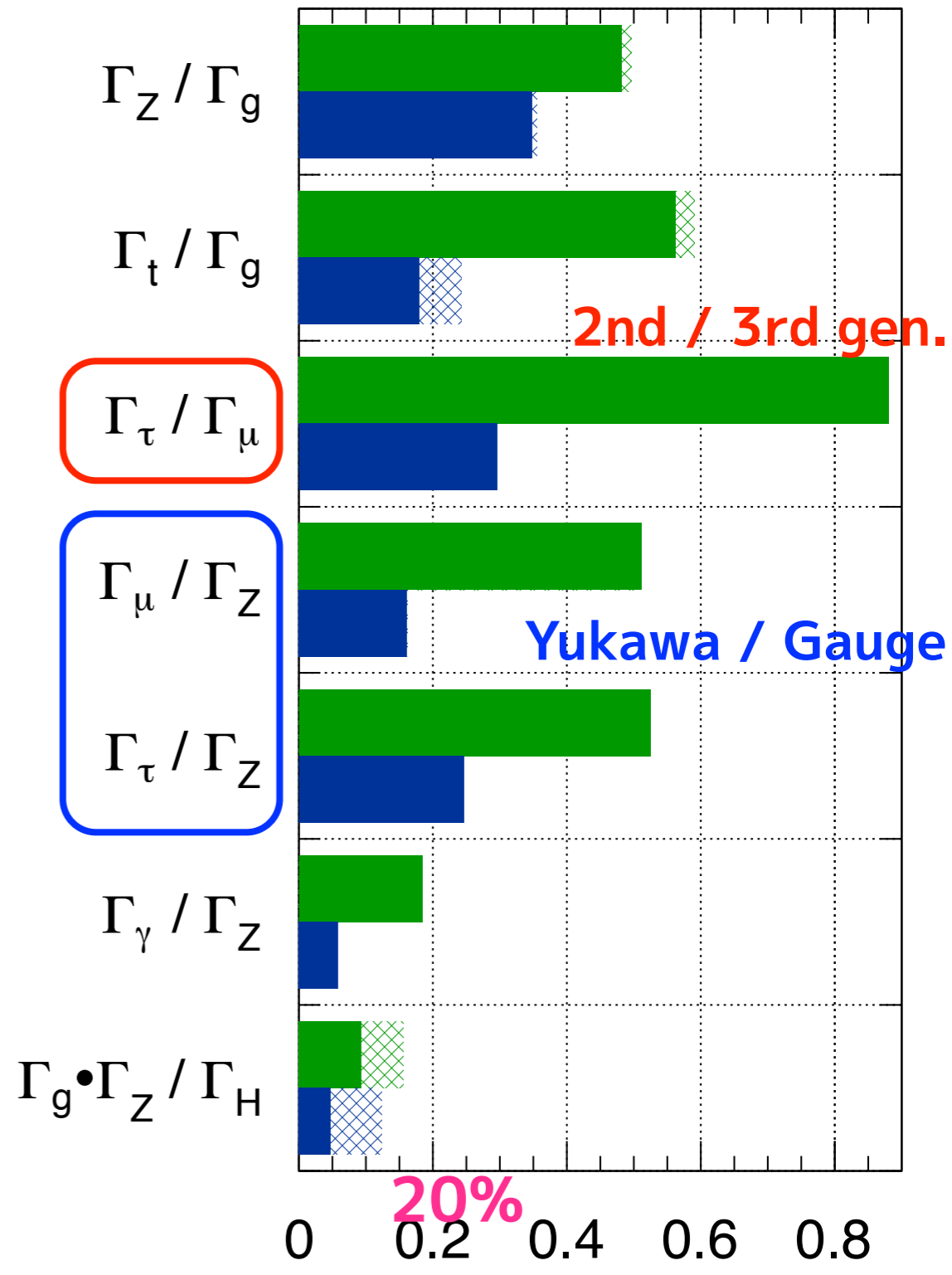
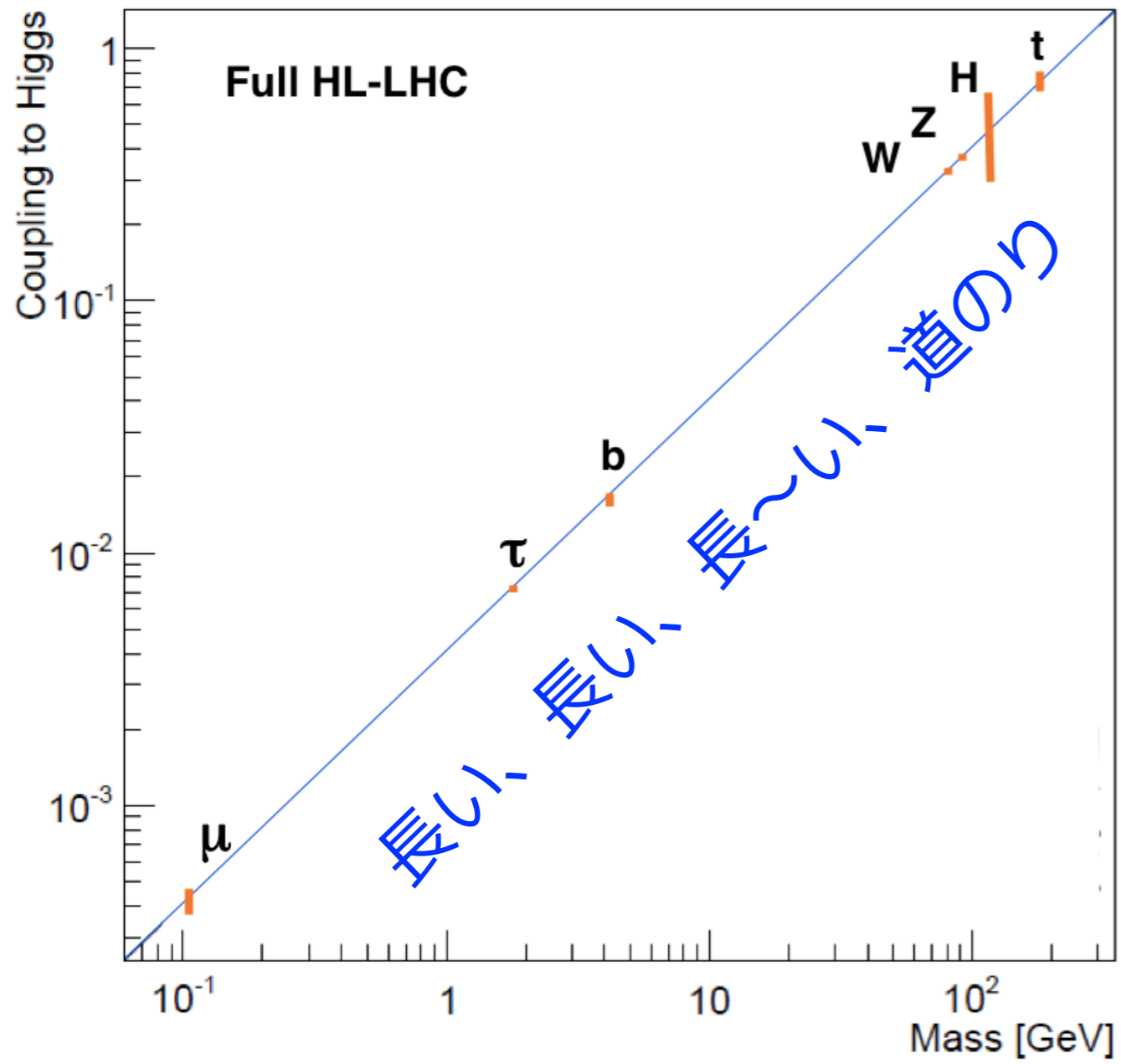
統計マジック !?

$\log(L(H_0)/L(H_1))$

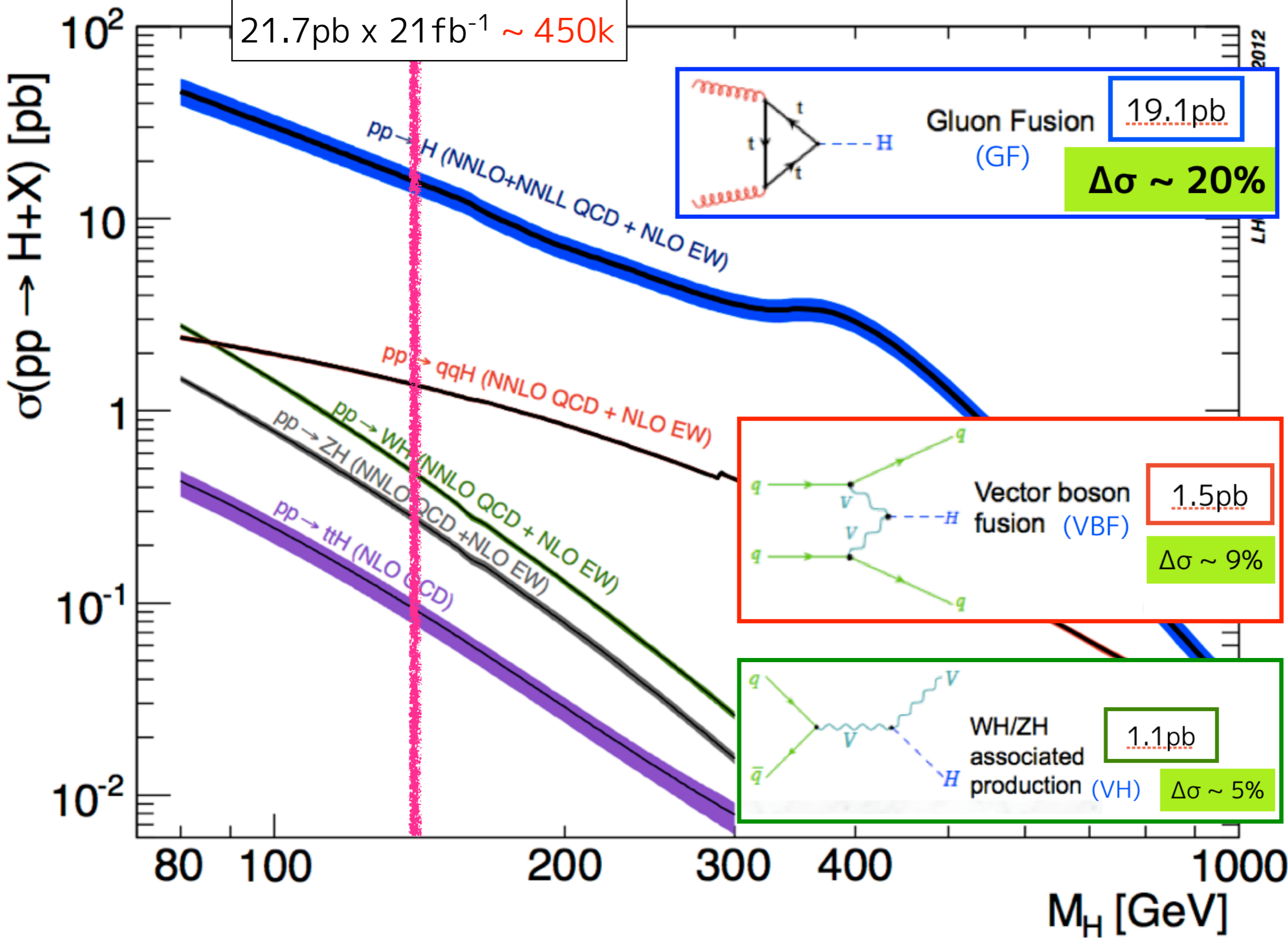
Higgs-Fermion , Higgs-Gauge 結合定数の (精密) 測定

「Branching Ratio の比」
の測定精度

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



各 Higgs Productionプロセスにわけて...



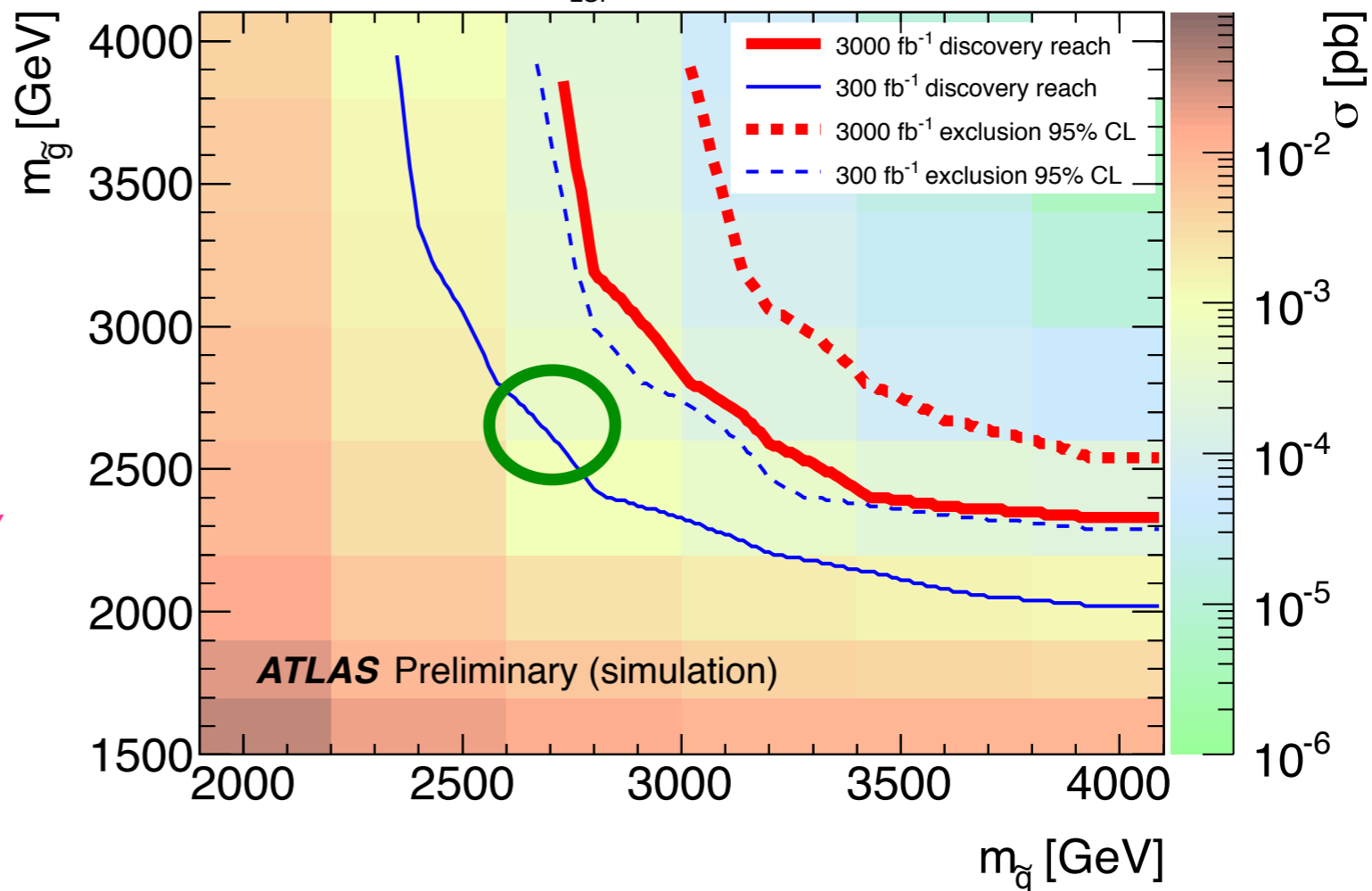
階層性問題

南條

- 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、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。

(color) SUSY search : どこまで手が届く？

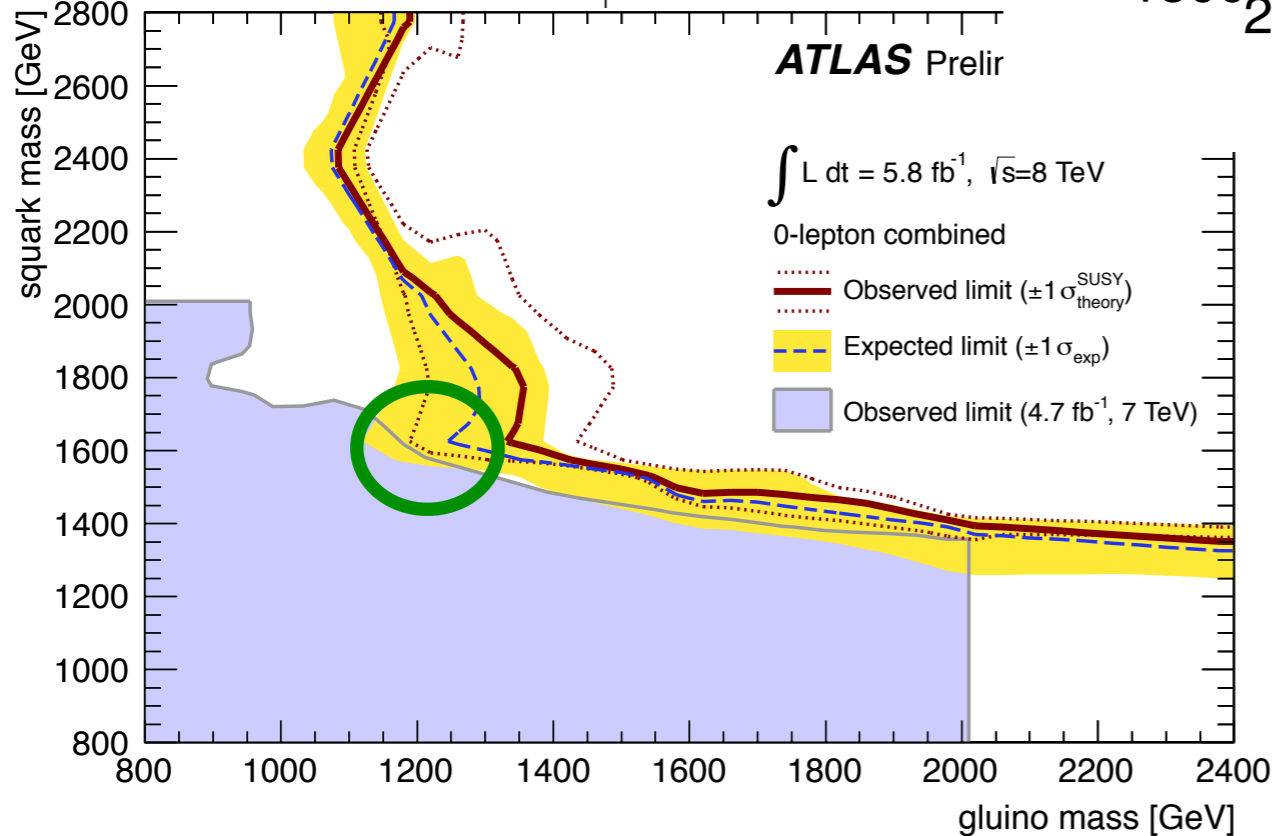
Squark-gluino grid, $m_{LSP} = 0$. $\sqrt{s} = 14$ TeV



縦・横、ひっくりかえって
いるけれど ...



Squark-gluino-neutralino model, $m(\tilde{\chi}_1^0) = 0$ GeV



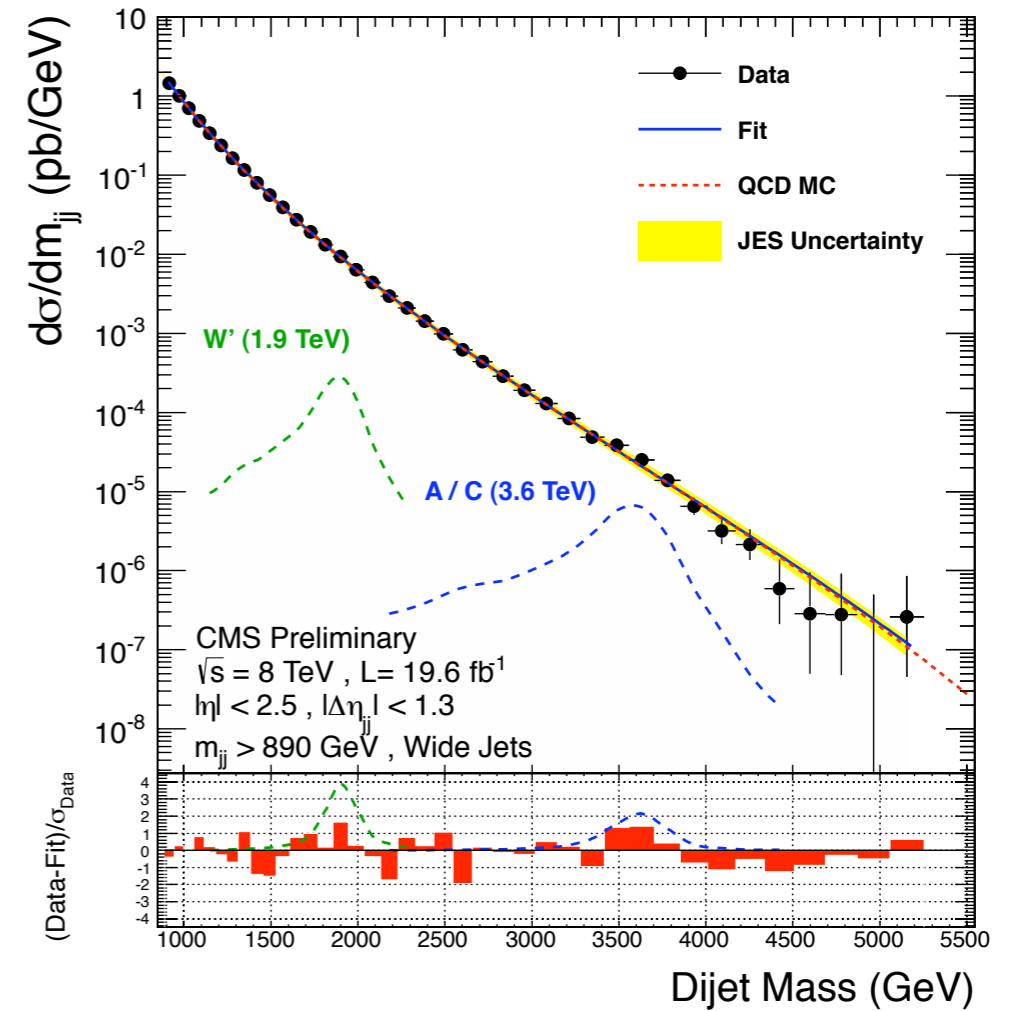
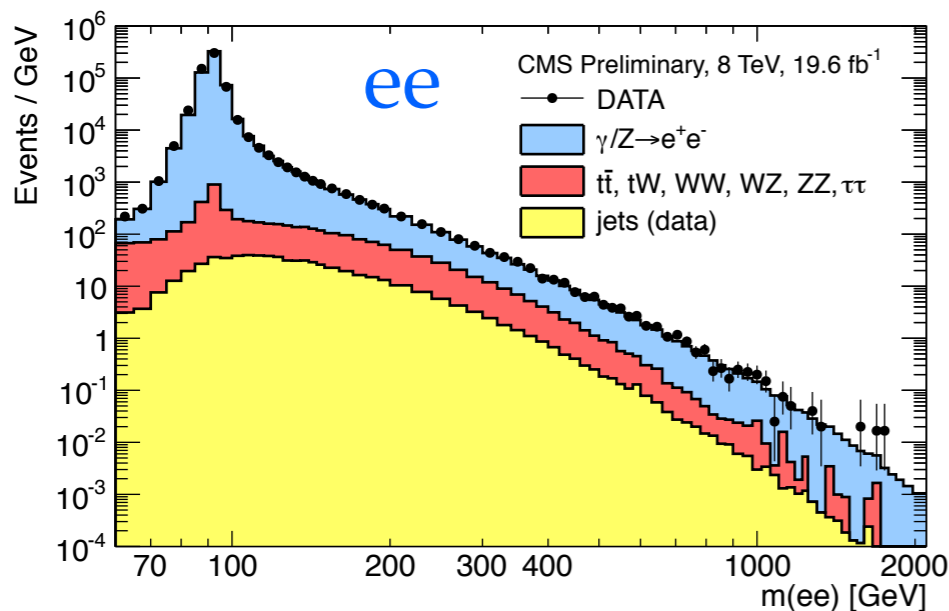
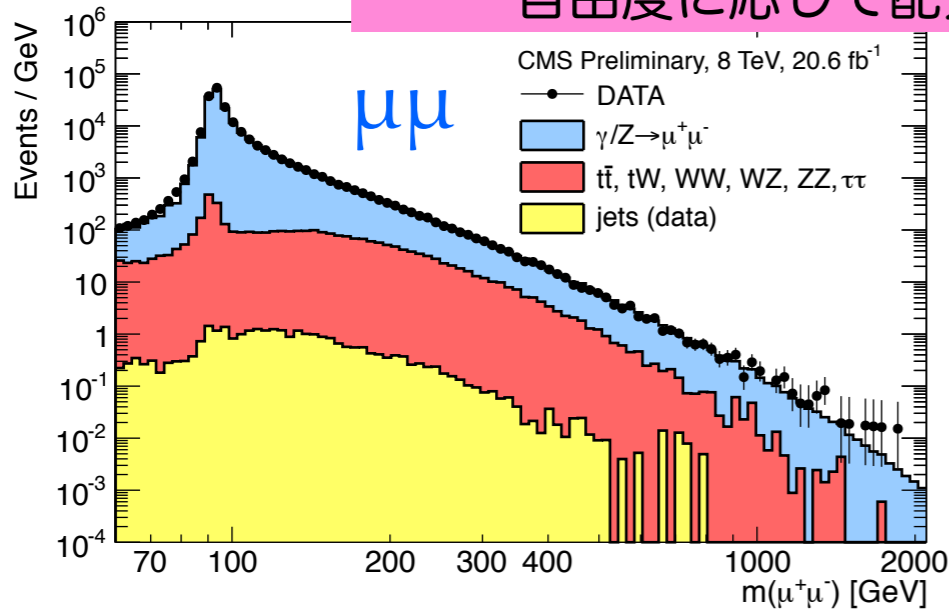
Large Extra Dimension

「発散するような高エネルギースケール
M_{Plank} は小さくしてしまえばいい
(真のPlank Scale ~ 1TeV)

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

Graviton の resonance : $\rightarrow 2j, 2\mu, 2e$
分岐比は spin, flavor, color の

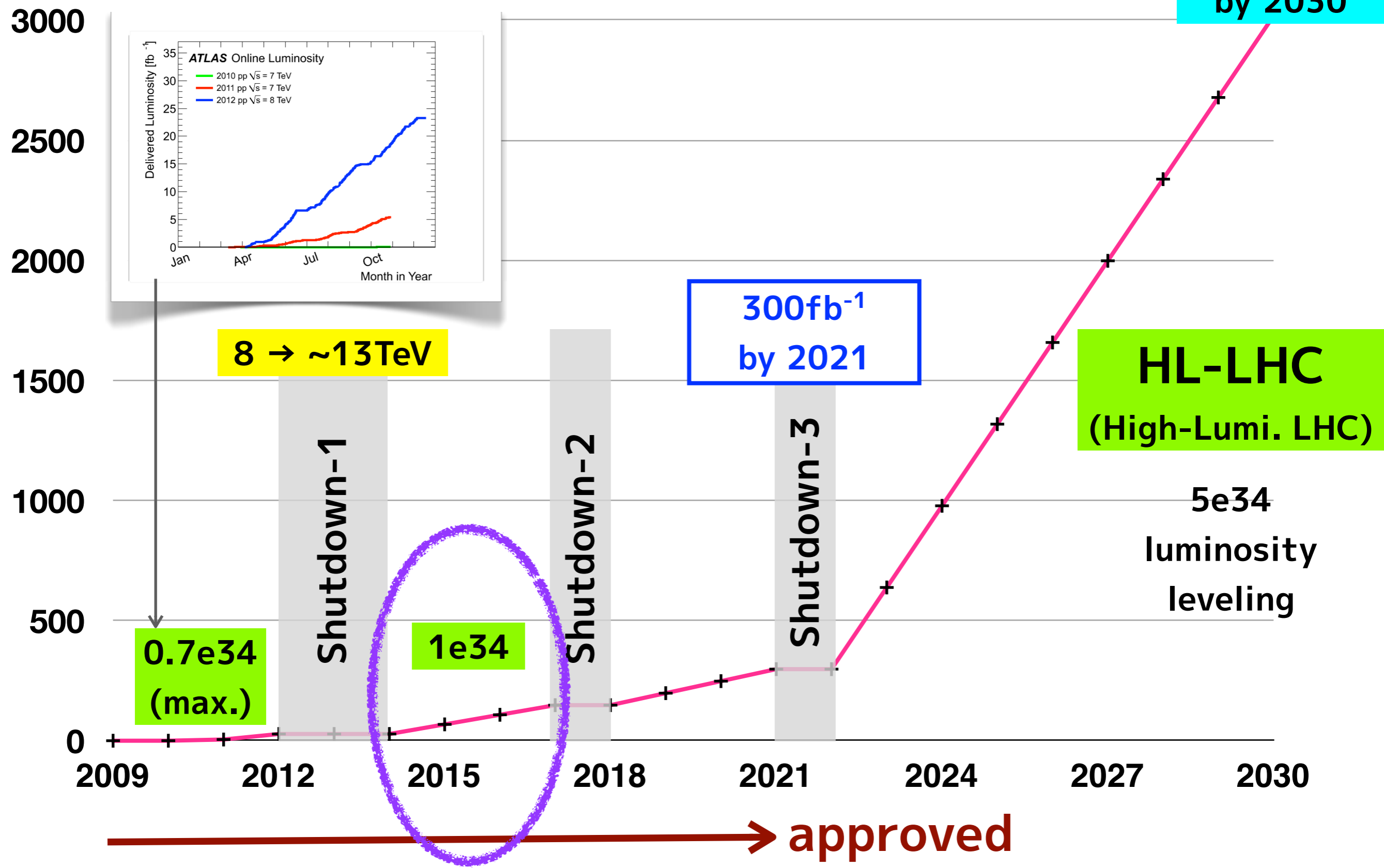
自由度に応じて配分



時空構造・入れ物へのアプローチ

LHC : 2010 → 2021 → 2030

L. Rossi (+ my interpretation)



8 → ~13 TeV

300fb⁻¹ by 2021

HL-LHC (High-Lumi. LHC)

5e34 luminosity leveling

3,000fb⁻¹ by 2030

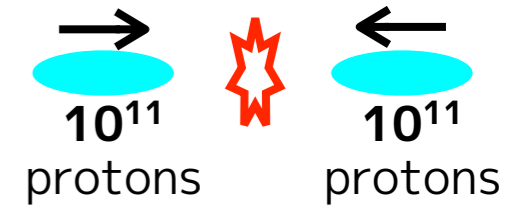
0.7e34 (max.)

1e34

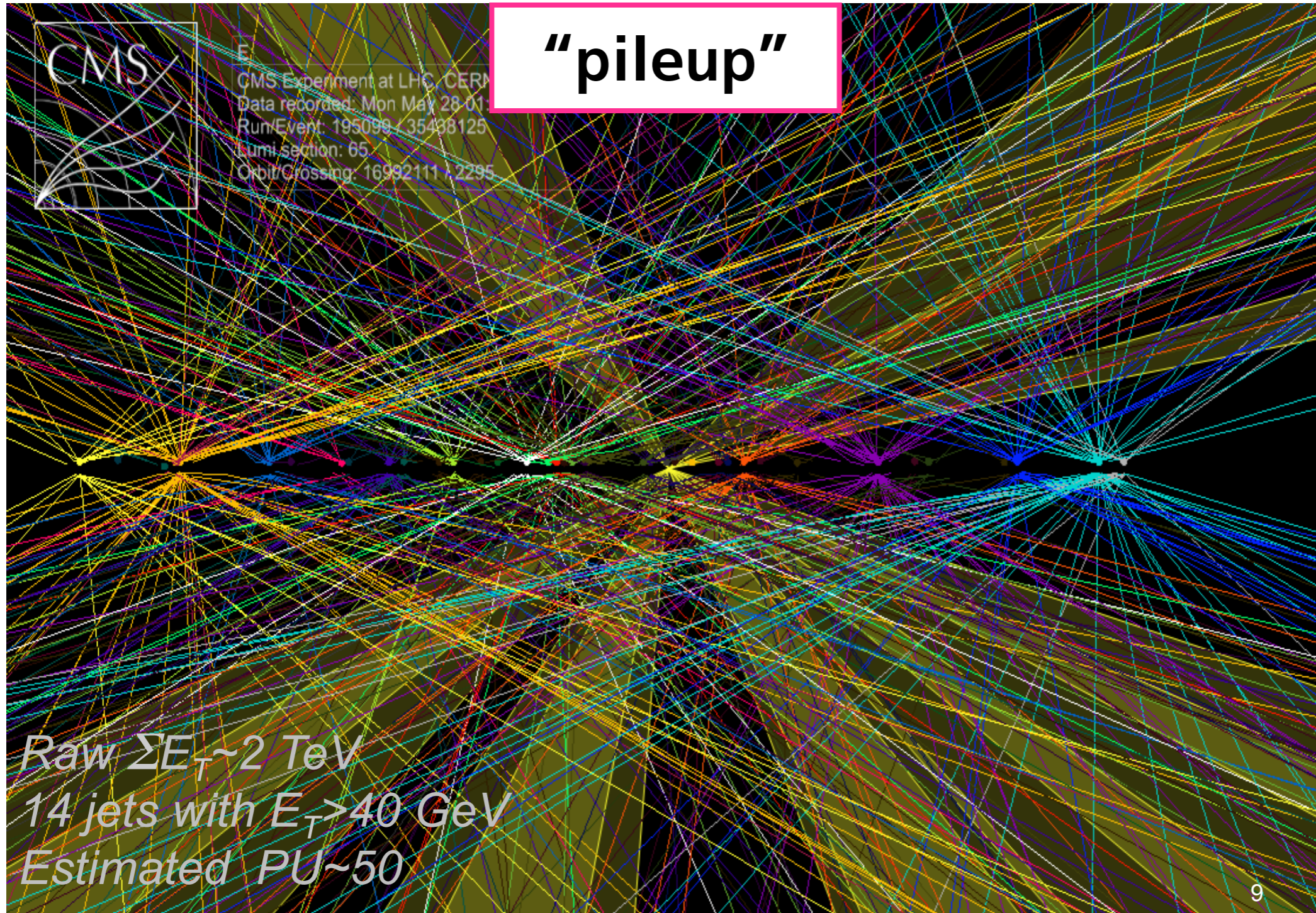
→ approved

event pileup

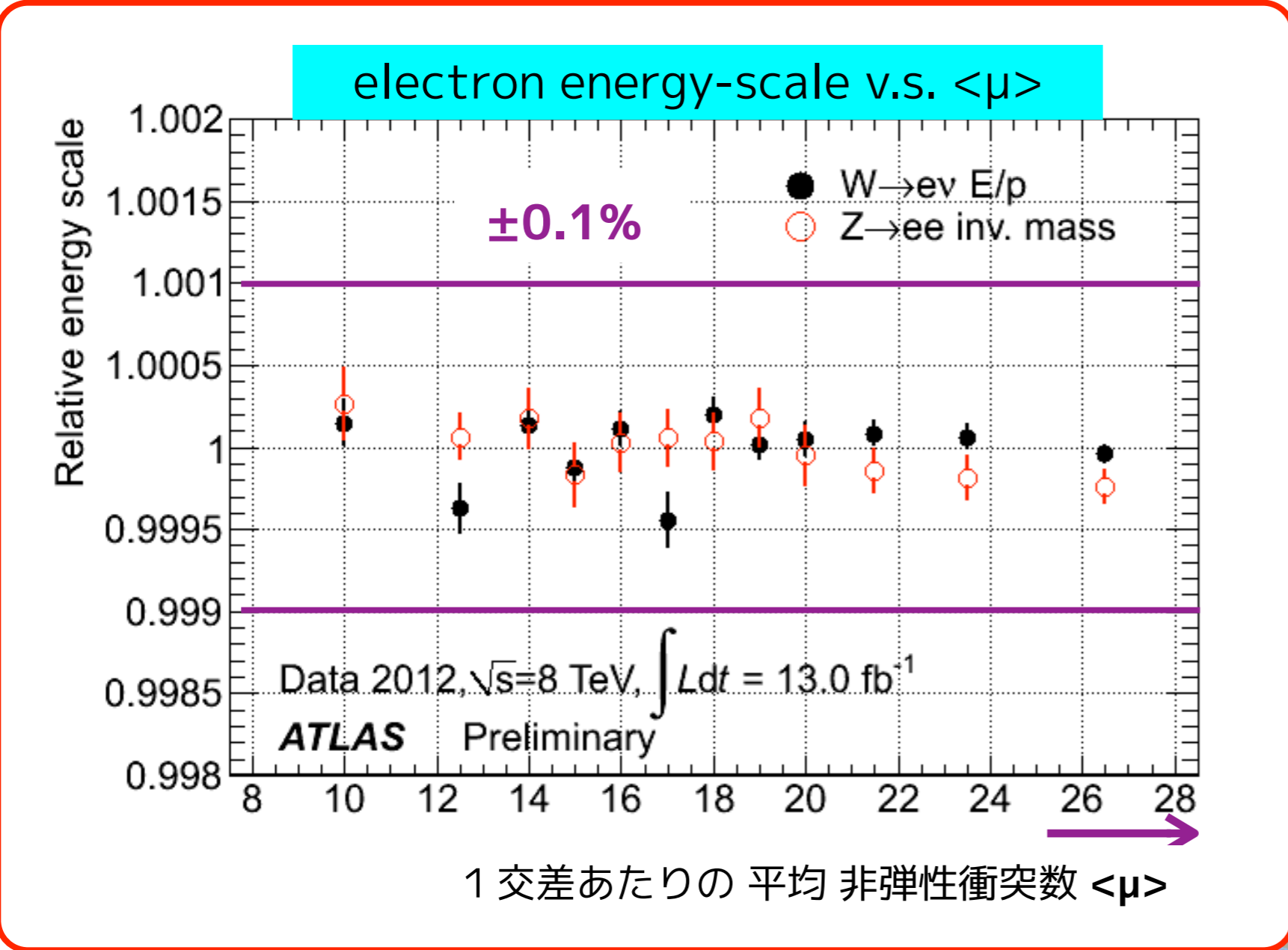
1 バンチ交差で 50 interactions (max. in 2012)



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



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



→ ☆ ←

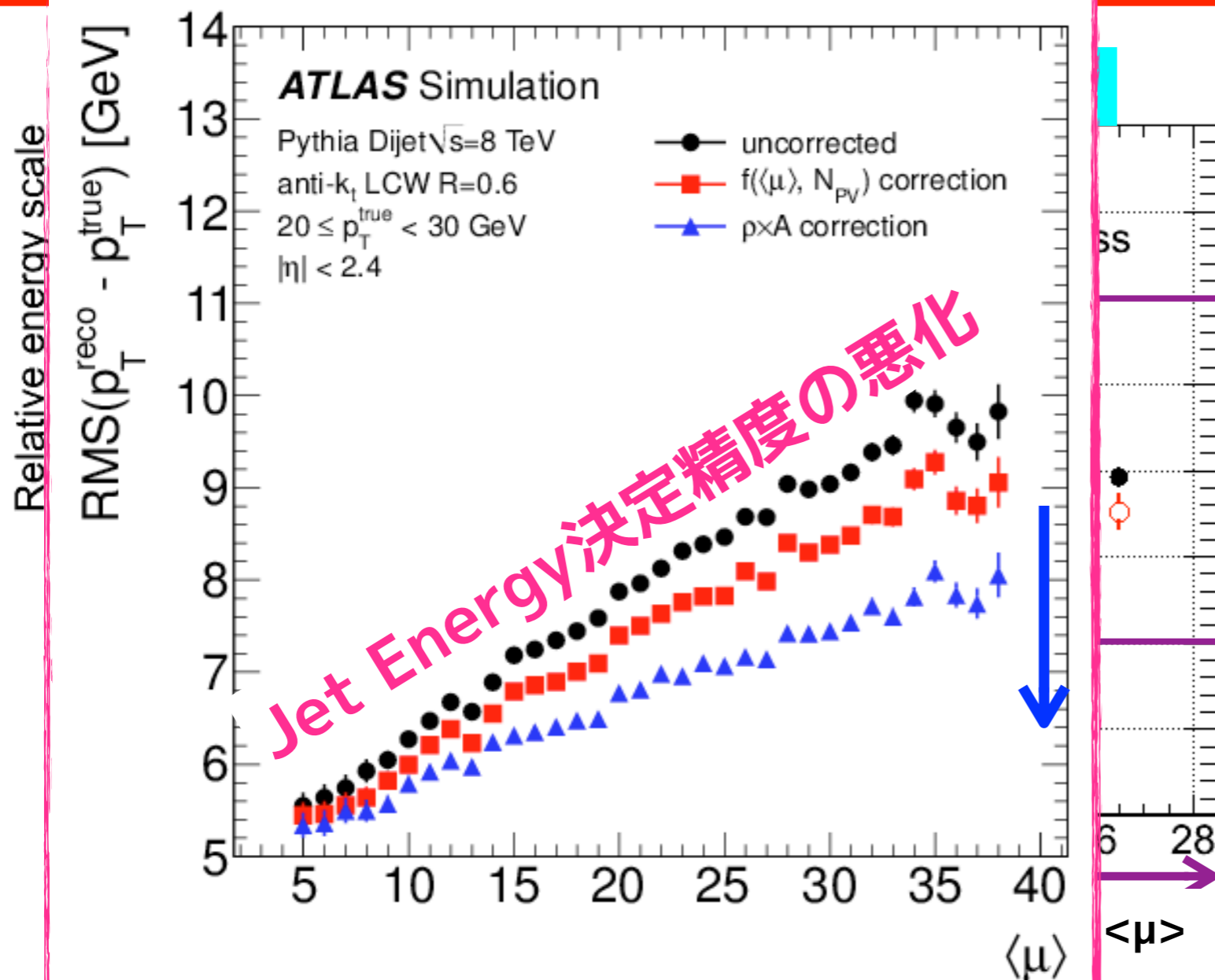
工夫・努力によって、pileupの影響を消している

が、

コントロールしきれていないものもある
(e.g. jet E-reso.)

能天気には **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

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、

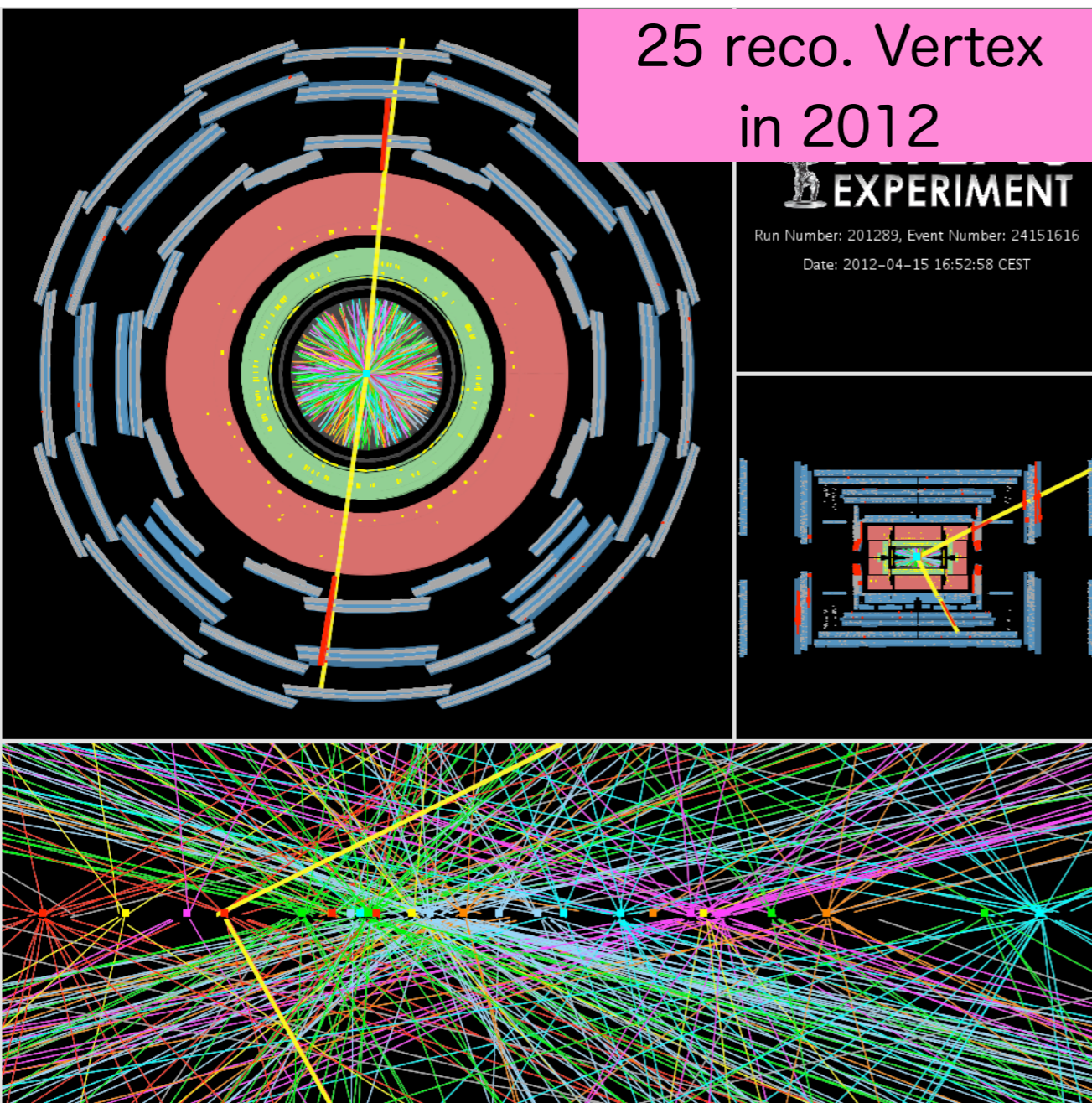
コントロールしきれて
 いないものもある
 (e.g. jet E-reso.)

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

よいデータをとる・よい物理をだす



イベントの重なり

- Jet エネルギーの測定精度を悪くする
- トリガーレートの L^n ($n>1$) 上昇
- ...

いろいろの困難を引きおこす
解析・ハードウェア、進化させ続ける

3,000人のグループだと、だまって座っていてもデータは「出てきて」しまう。

が、

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た次の
ステップへ行ってほしい

→ 2つの可能性

可能性 1

JETのキャリブレーションとその物理

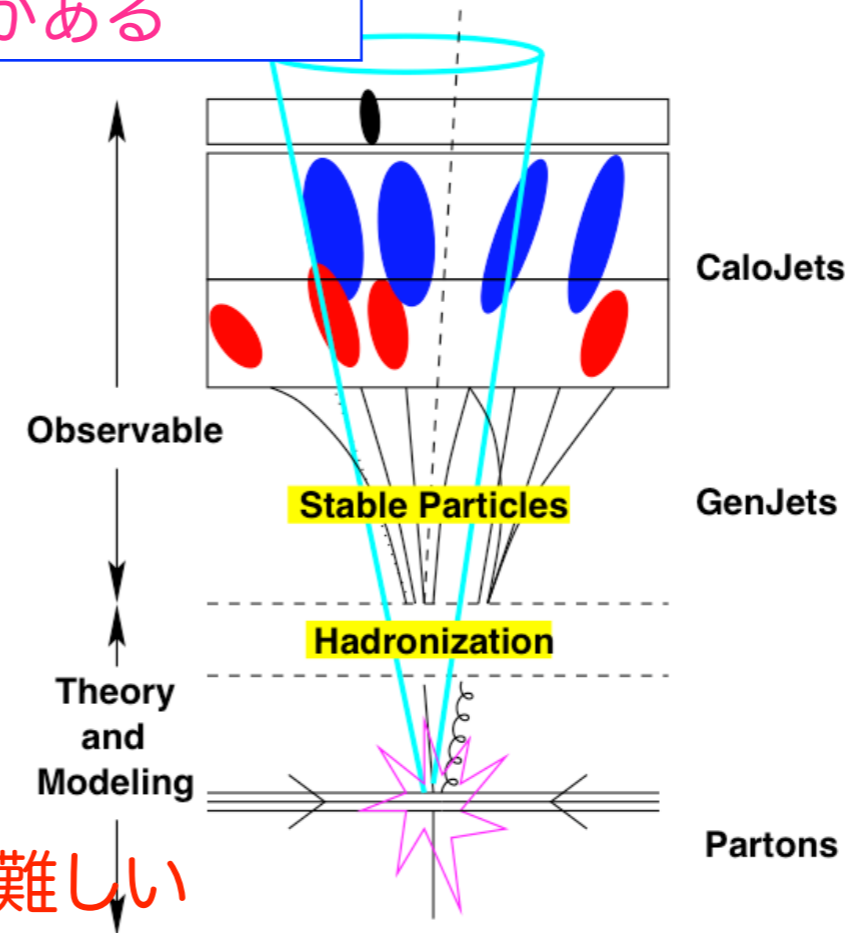
なにせ、LHCはハドロンコライダー
 95%の物理チャンネルで JET とは縁がある

- 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**

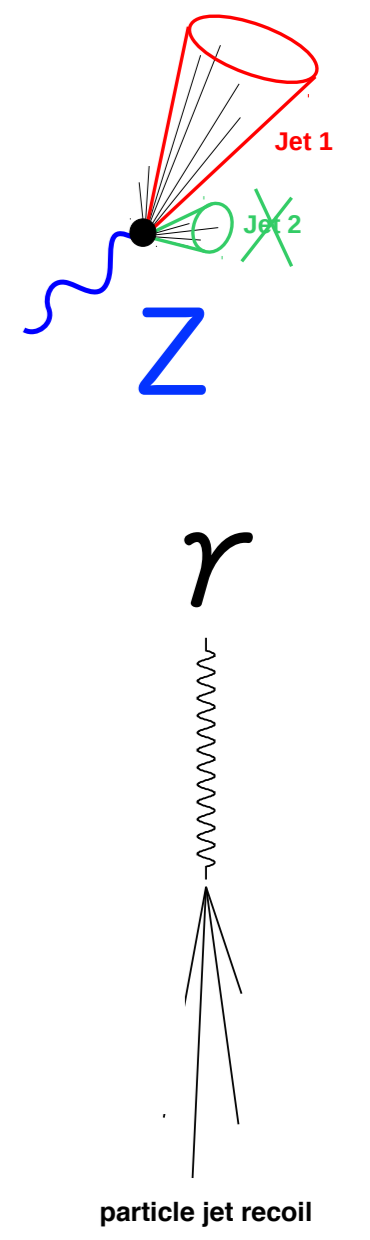
間に物事がはさまりすぎていて、元々、なにが起こっているのか見通しにくい

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

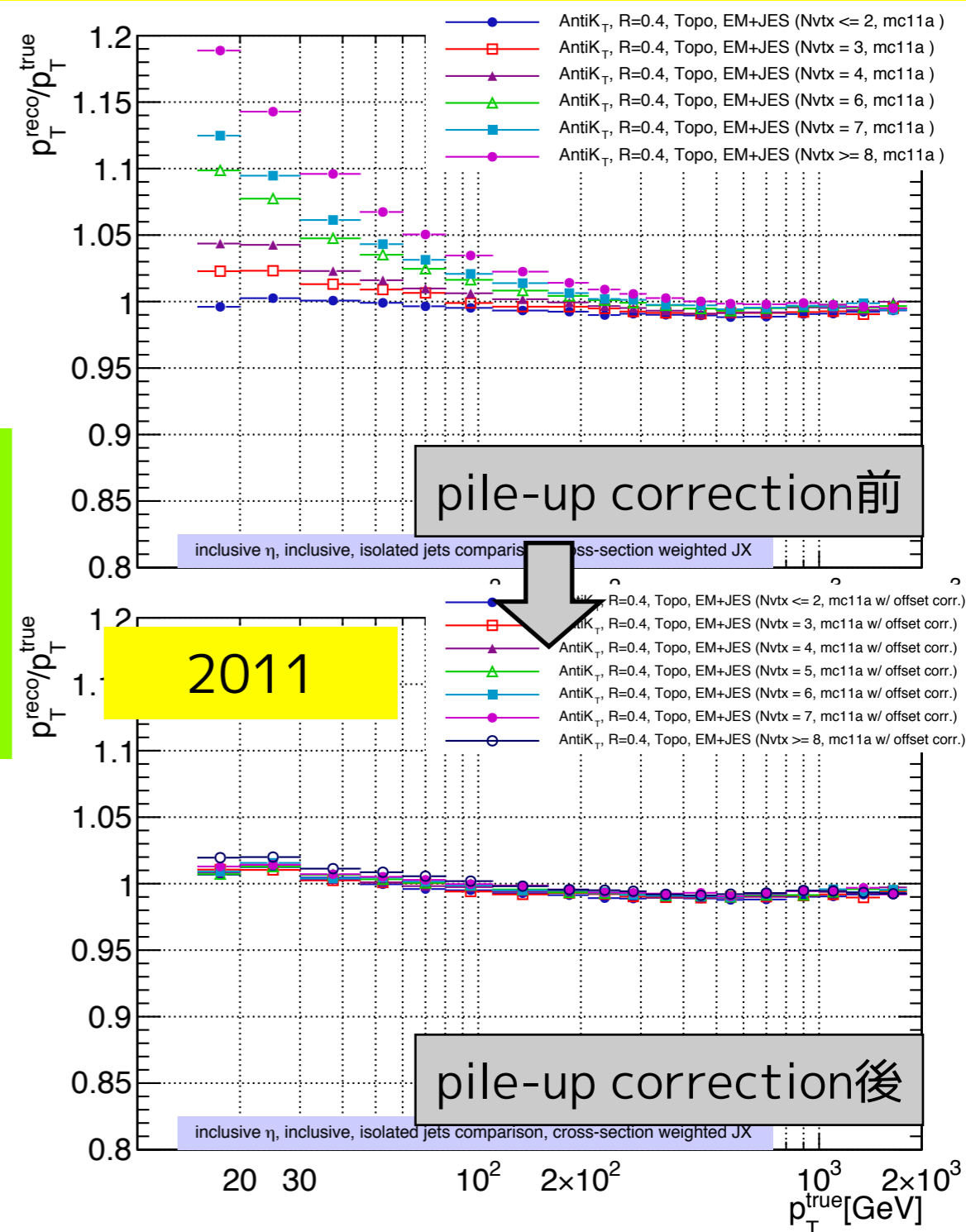
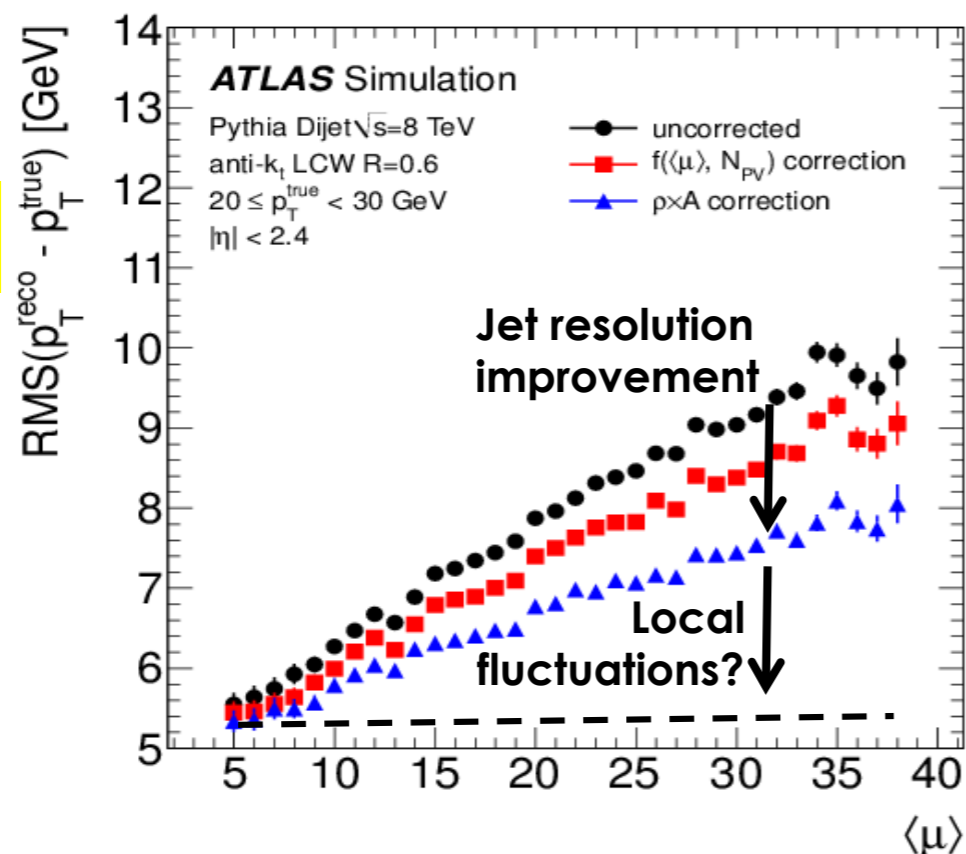


pile-up 対策

- ✓ 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

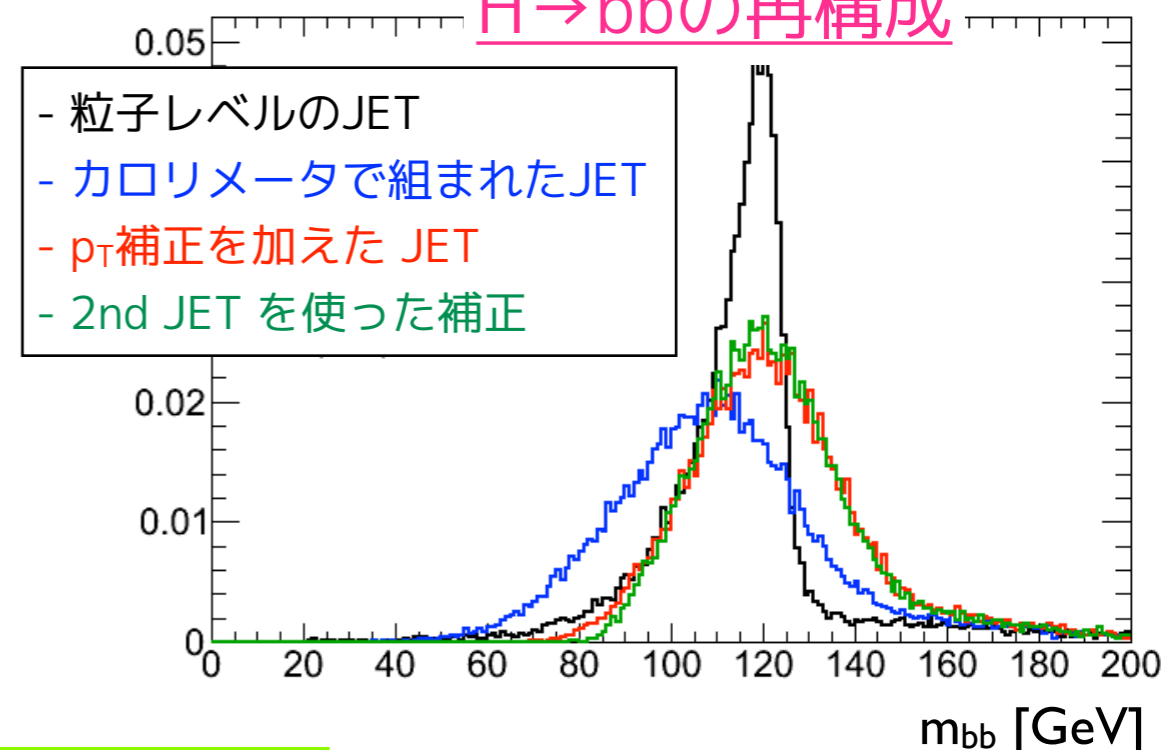
2012



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

よい物理を出すために、その1-3: JET calibration

H→bbの再構成

• (例えば) b-JET の測定

- * ヒッグスの未発見の崩壊モード $H \rightarrow bb$
- * 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

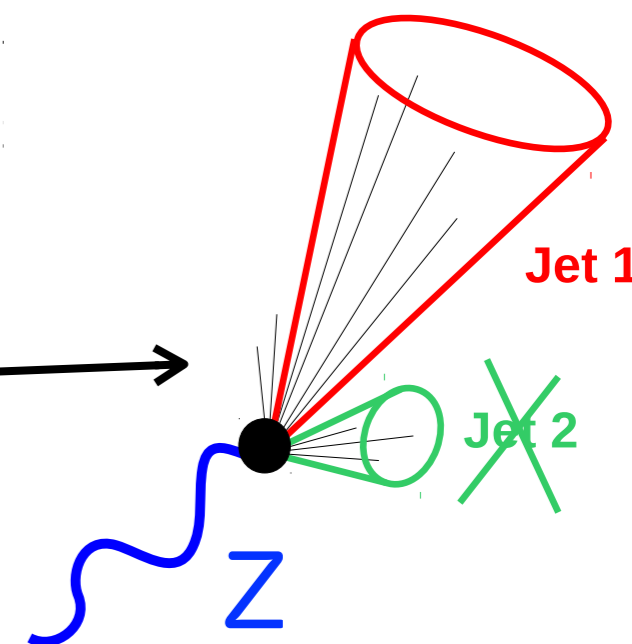
- ✓ B-ハドロンが、レプトンとニュートリノを含んだ崩壊をするとエネルギーを逃がしてしまう
- ✓ b-JET は、シミュレーションのモデル毎にジェットの作られ方が大きく異なる

- まずやるべき事 / やれる事

✓ 新しい pileup 補正関数を用いた b-JET の calibration

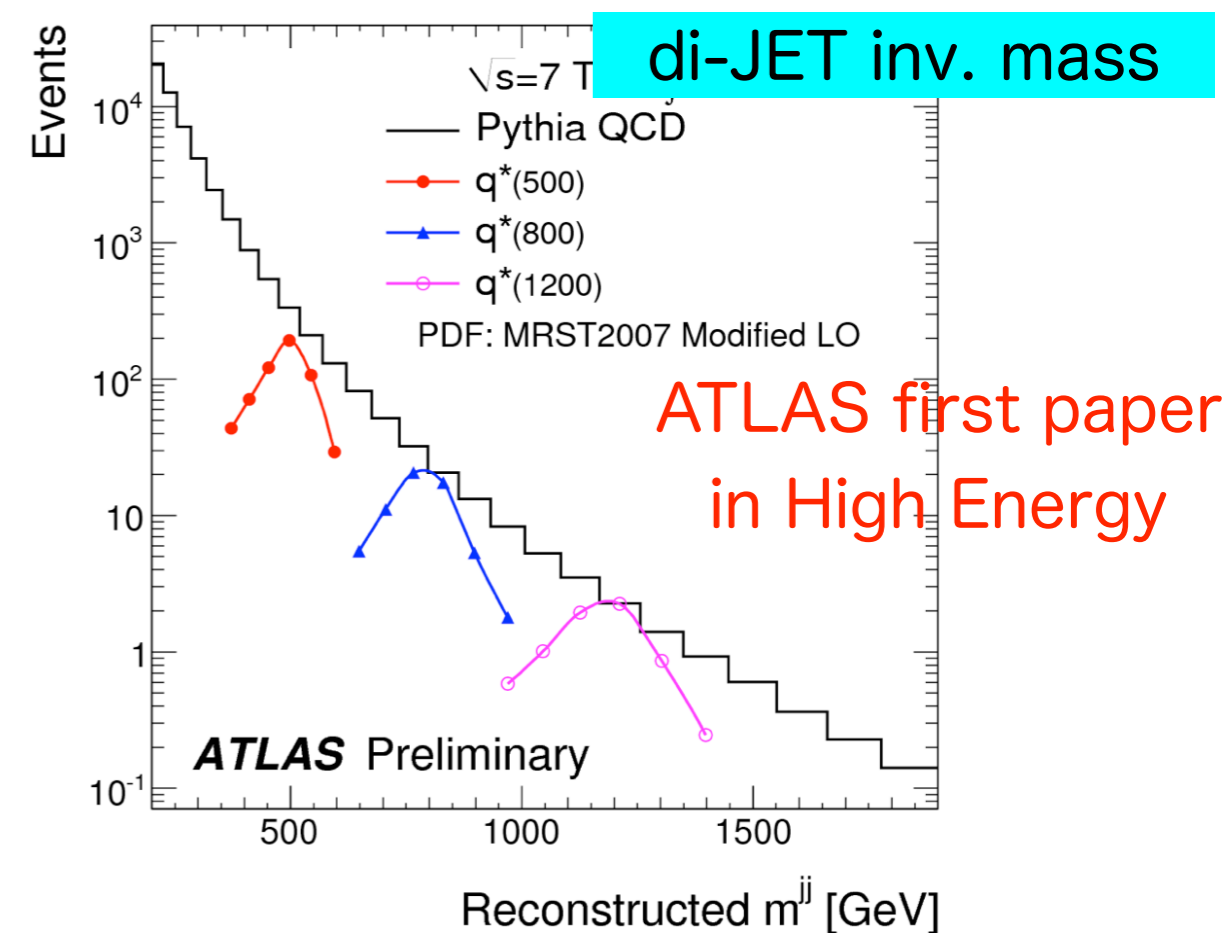
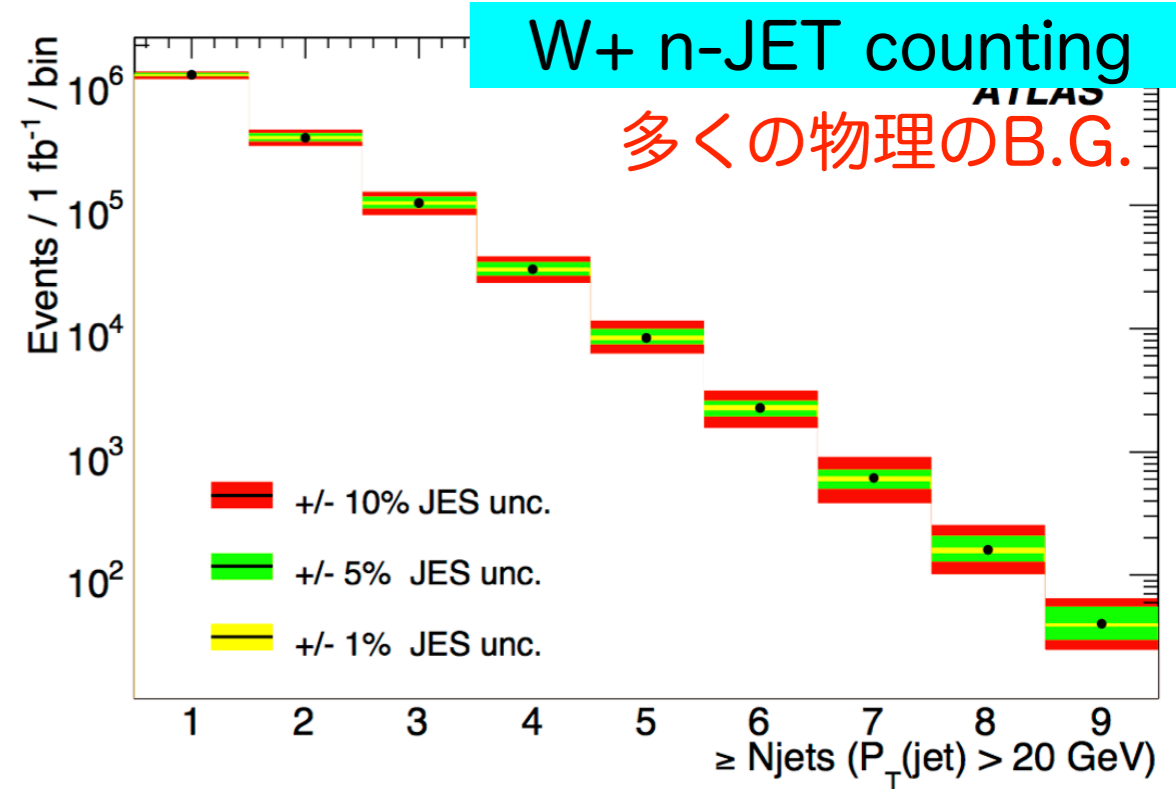
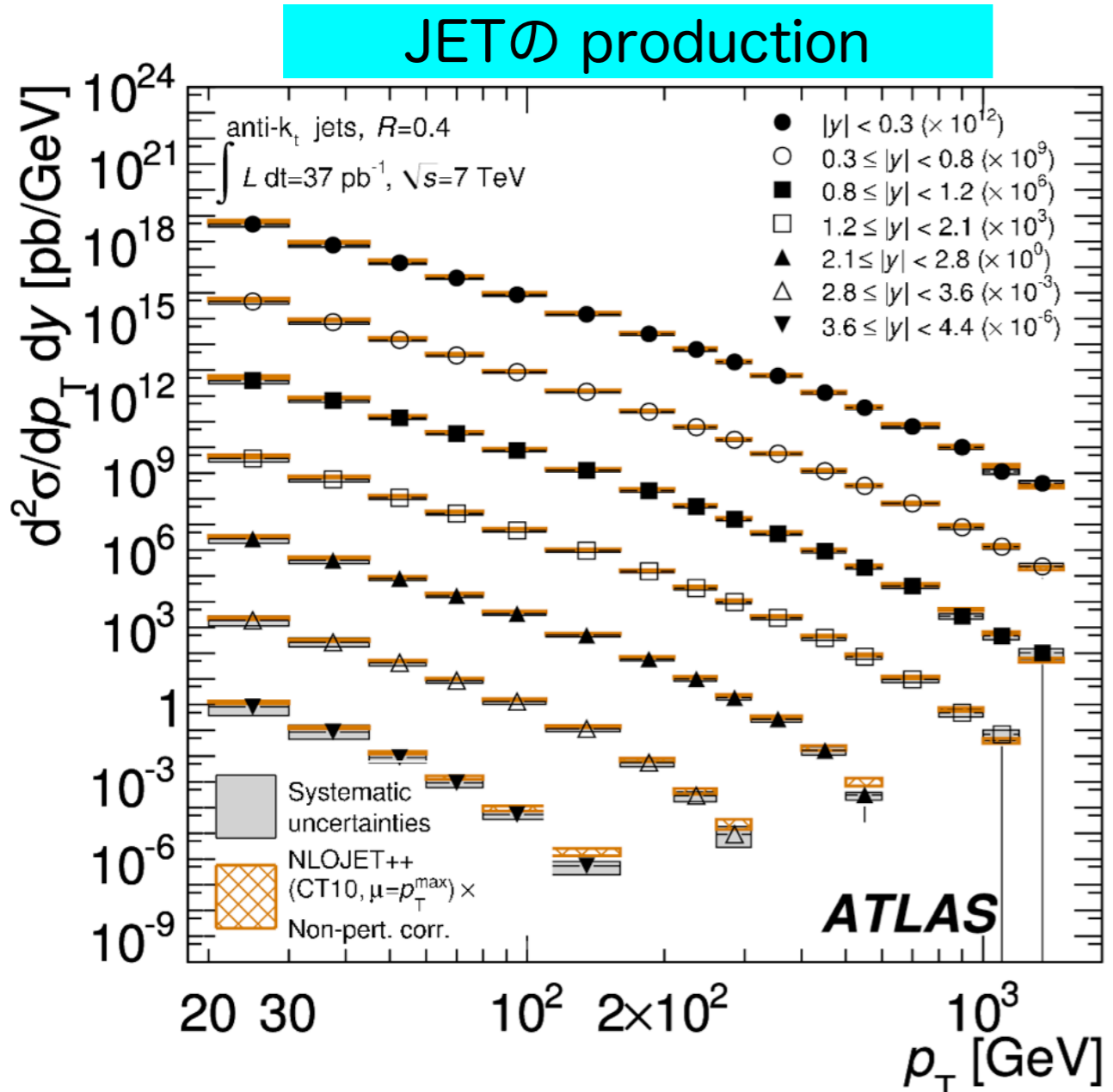
✓ さらに、それをデータを使って確認。

- * 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。
- * ミューオンを含んだ b-JET の反応の測定。



ご利益 : JET calibration

- JETを使ってできる、直結した物理がある。
→ よい calibration → D論の軸にすえる
- どんな物理をやってもJETとは縁がきれないので、将来性もある だろう



可能性 2

ミューオントリガーの 回路・検出器開発

40MHz → 400Hz

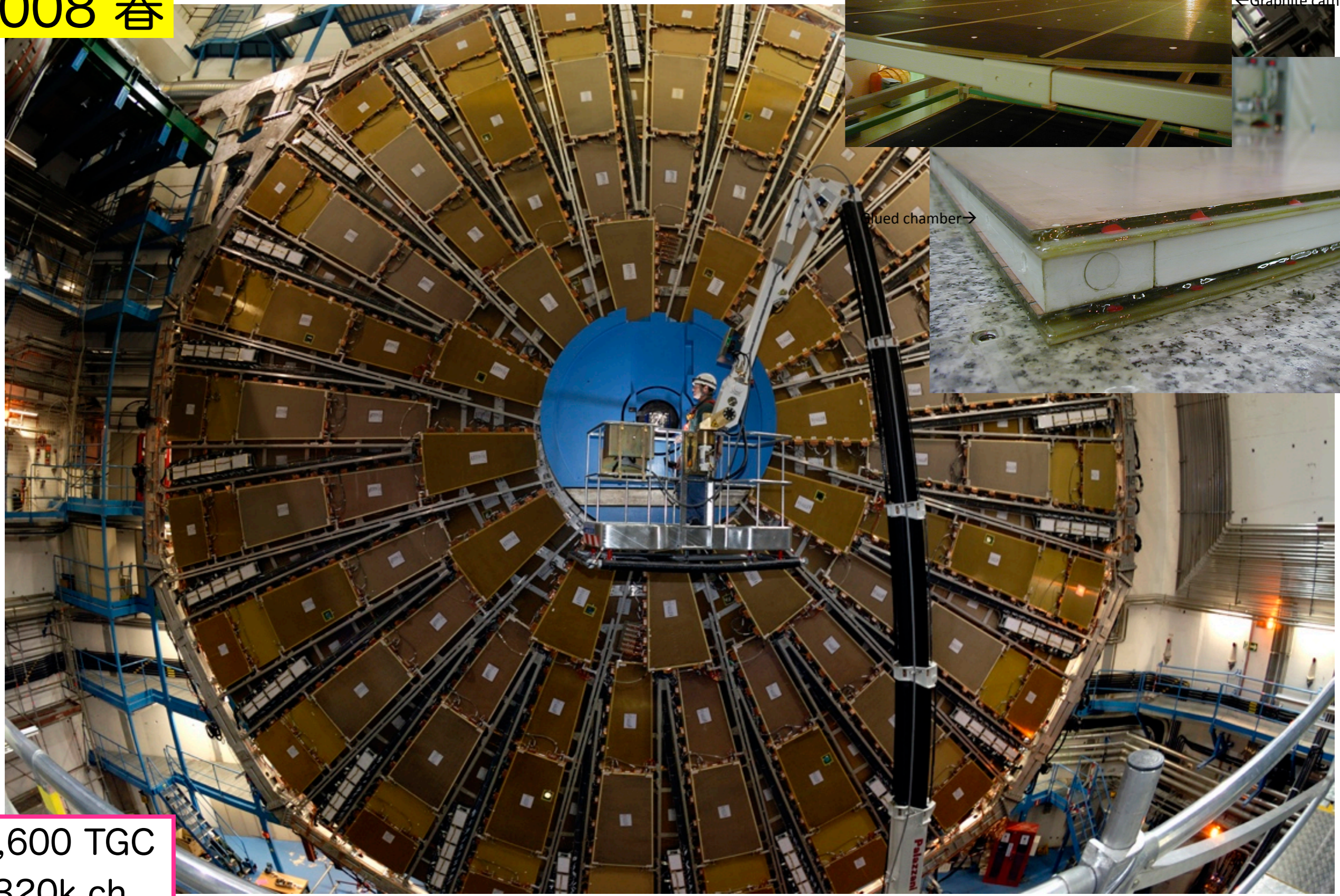
どのイベントを記録するか？（捨てるか）

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

LVL1_Muon Trigger

2008 春



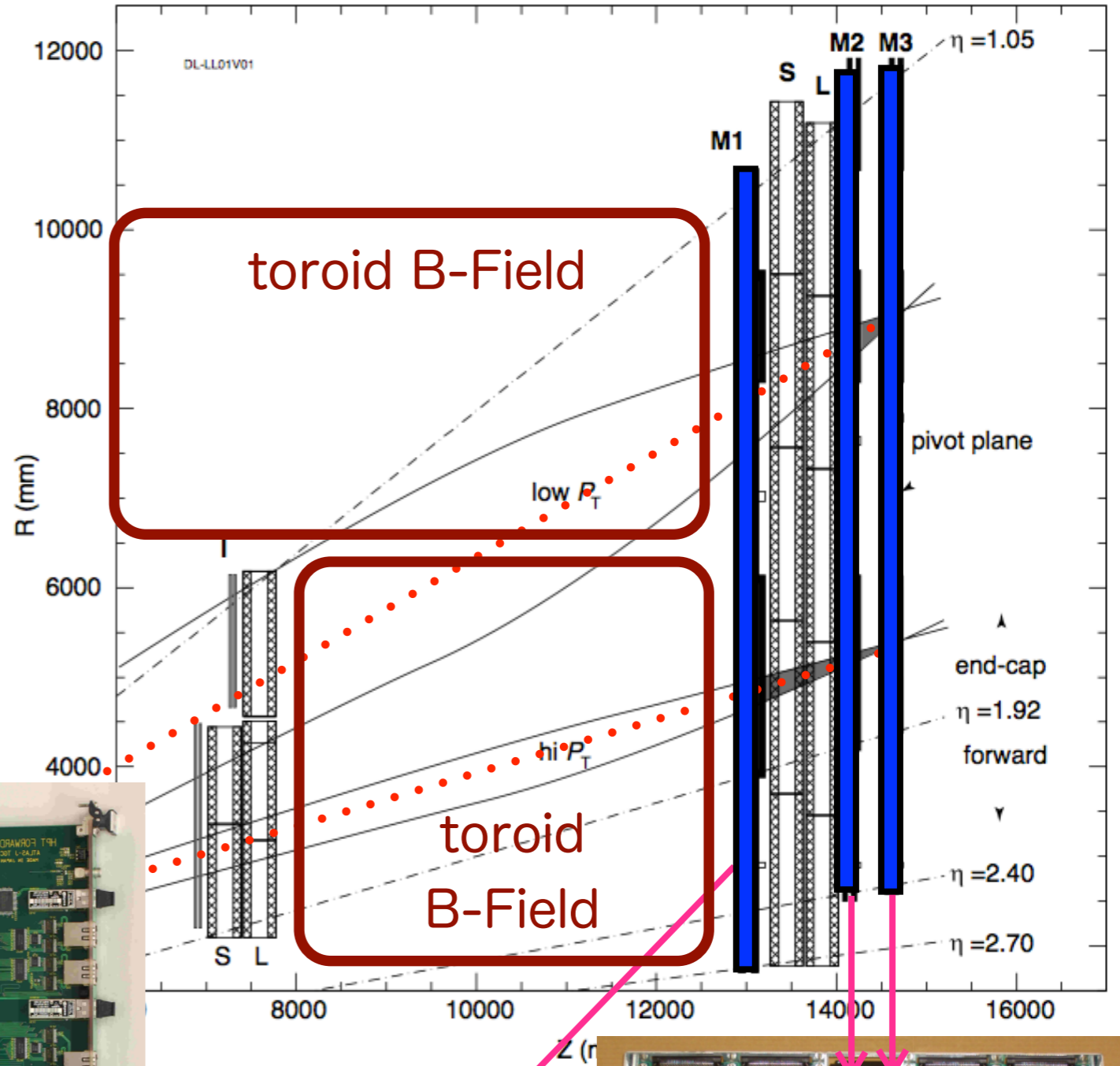
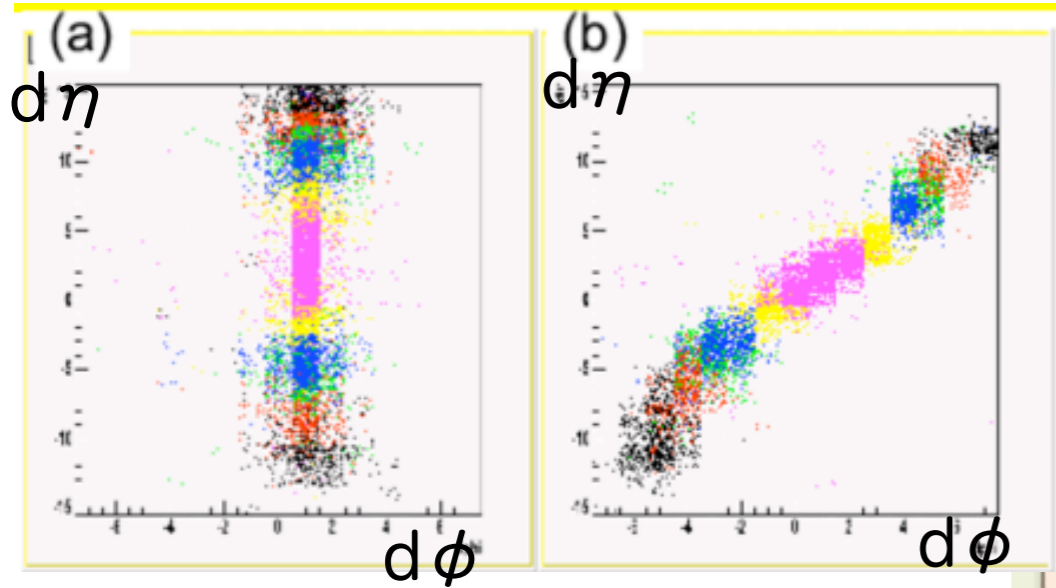
← Graphite cathode

Glued chamber →

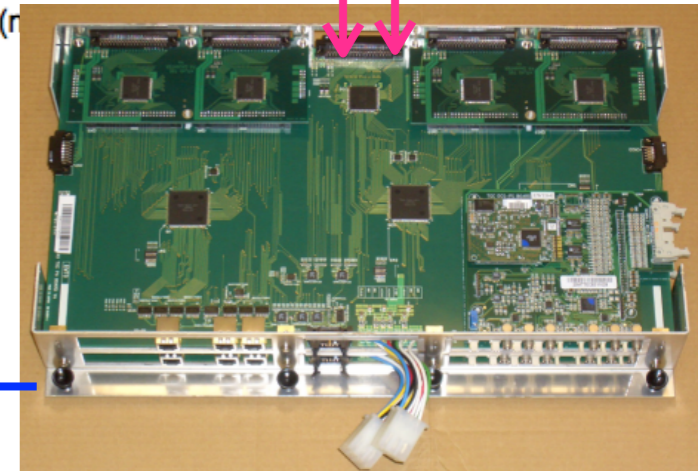
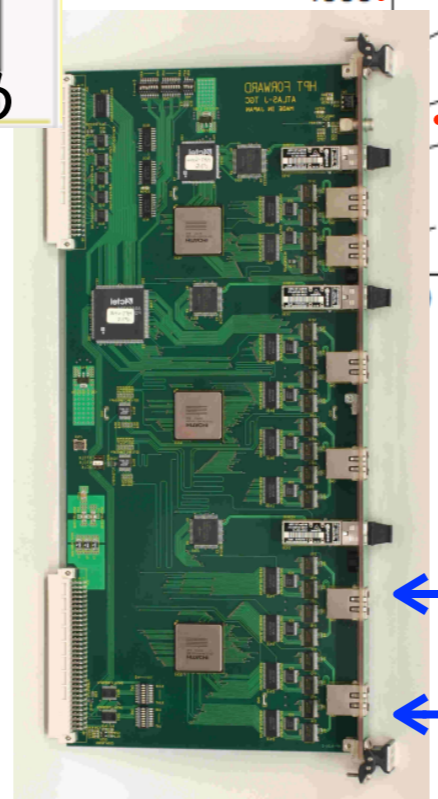
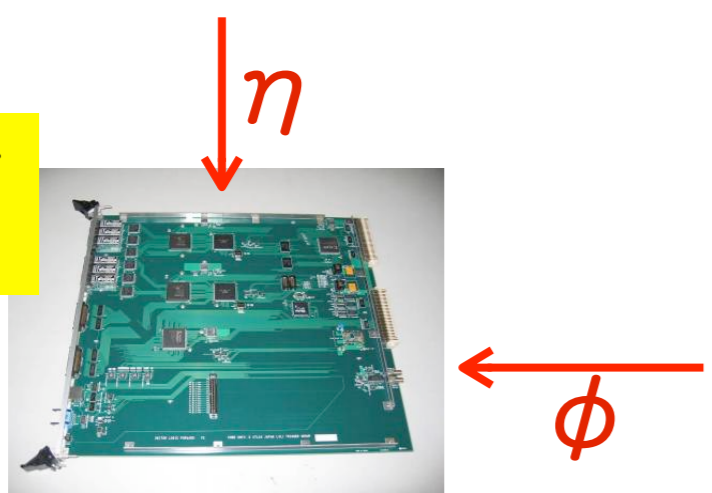
3,600 TGC
320k ch.

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

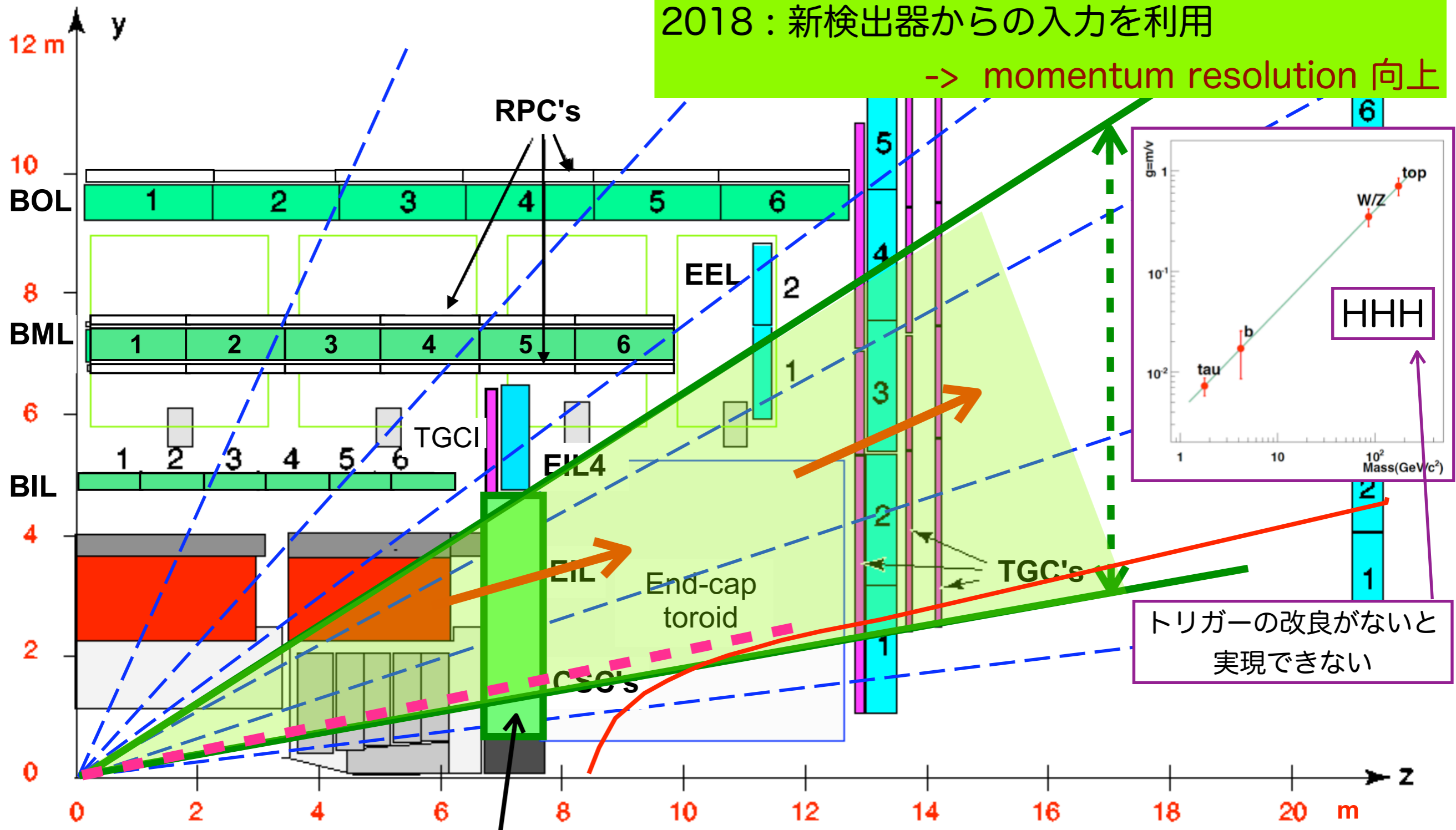


セクター
ロジック



μ Spectrometer - Phase0 , 1 アップグレード

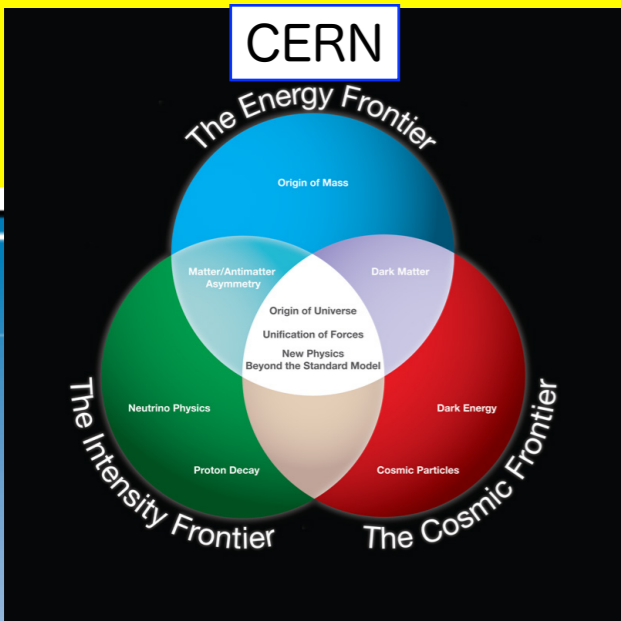
[Sector-Logic 回路]
 2013 : 現行の検出器のヒット要求 -> ゴミ掃除
 2018 : 新検出器からの入力を利用
 -> momentum resolution 向上



新検出器、それ自体の R&D

放射線耐性 , neutron/ γ , 性能評価 , ...

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

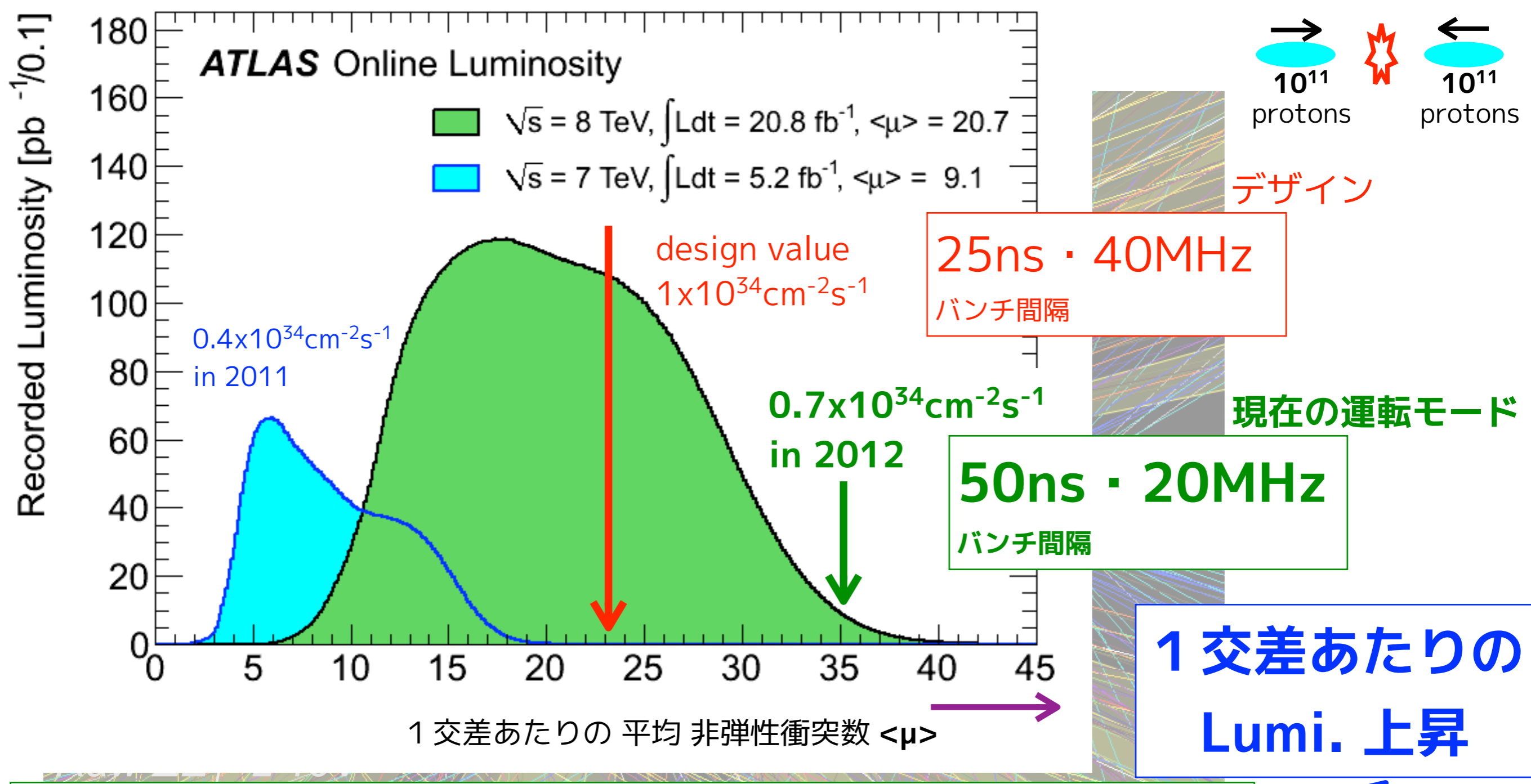
• 「歯車」？ → 立派な歯車になれてから 悩んでみたら？

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

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



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 $1.15 \times 10^{11} \rightarrow 1.6 \times 10^{11}$: x 1.4²
 - (norm.) emittance : $3.75 \rightarrow 2.5 [\mu\text{m}]$: x 1.4
- injector
よい性能

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

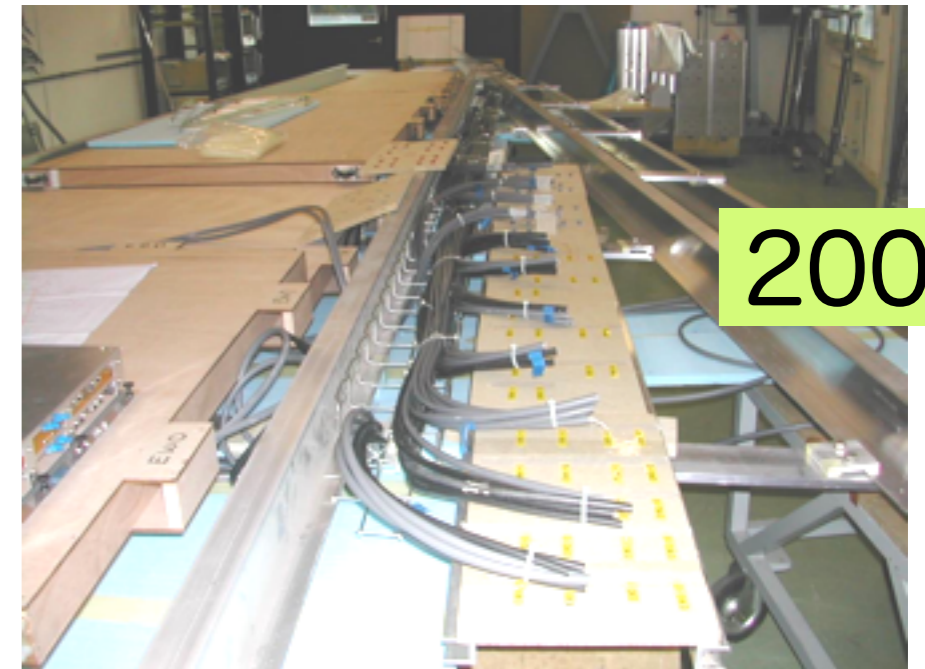


「歴史」 @ CERN

2002

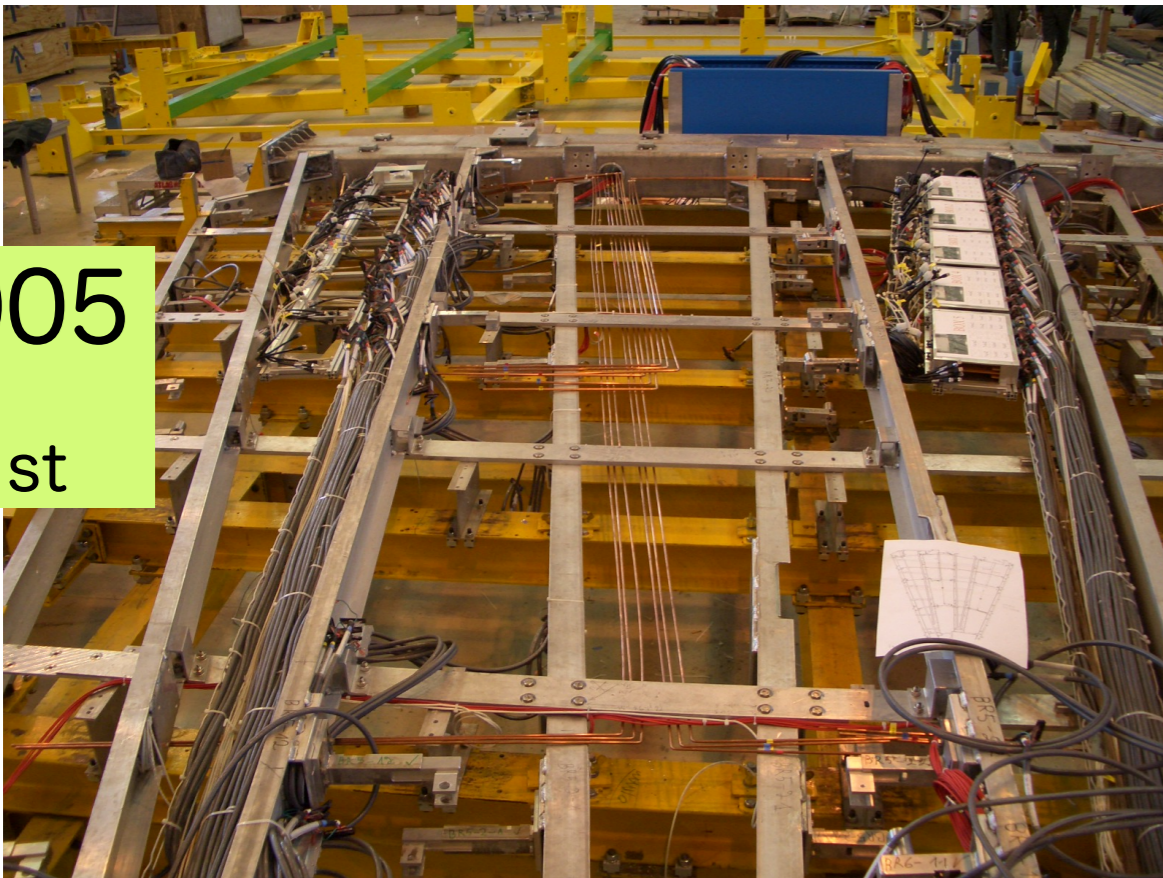


2003



2005

1st



2007

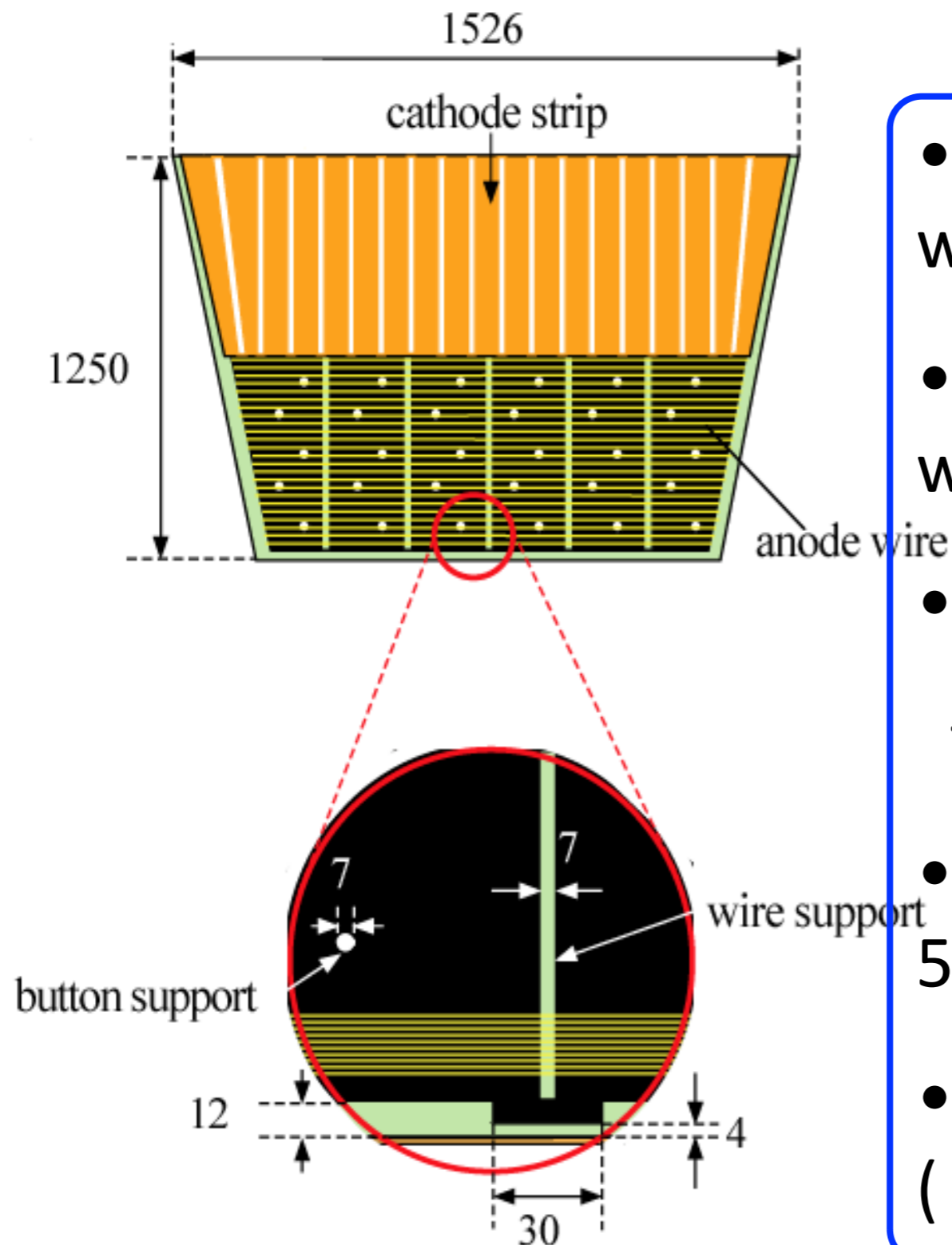
72th



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 CO_2 and **n-Pentane** (55 : 45)

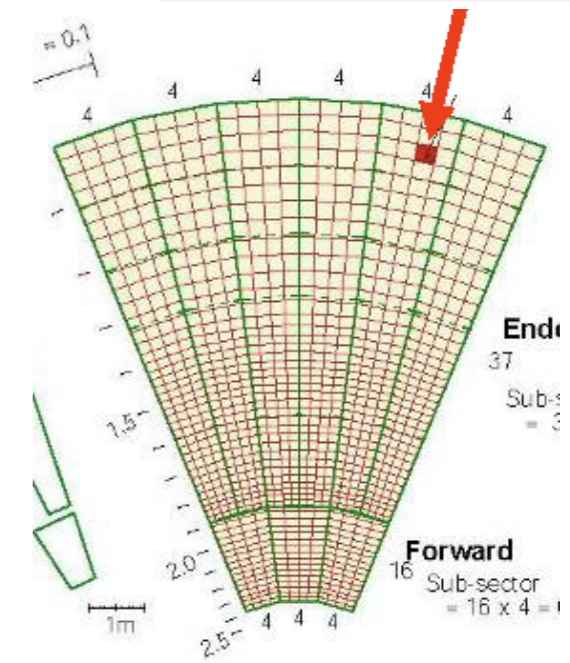
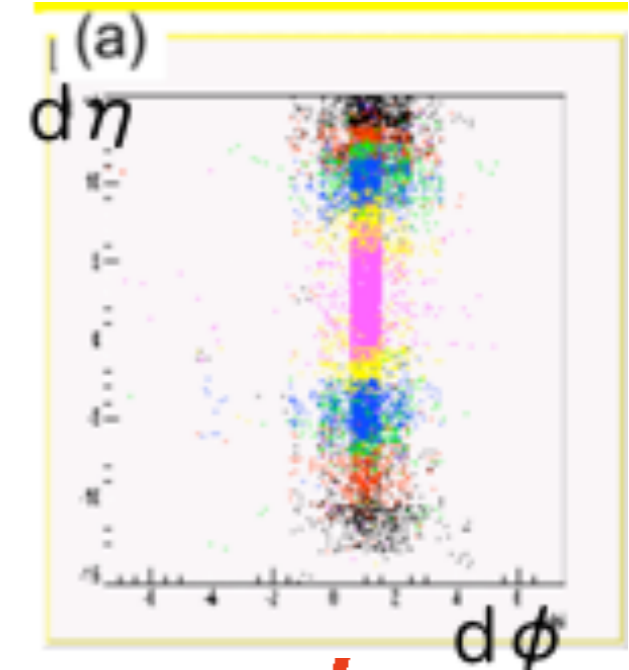
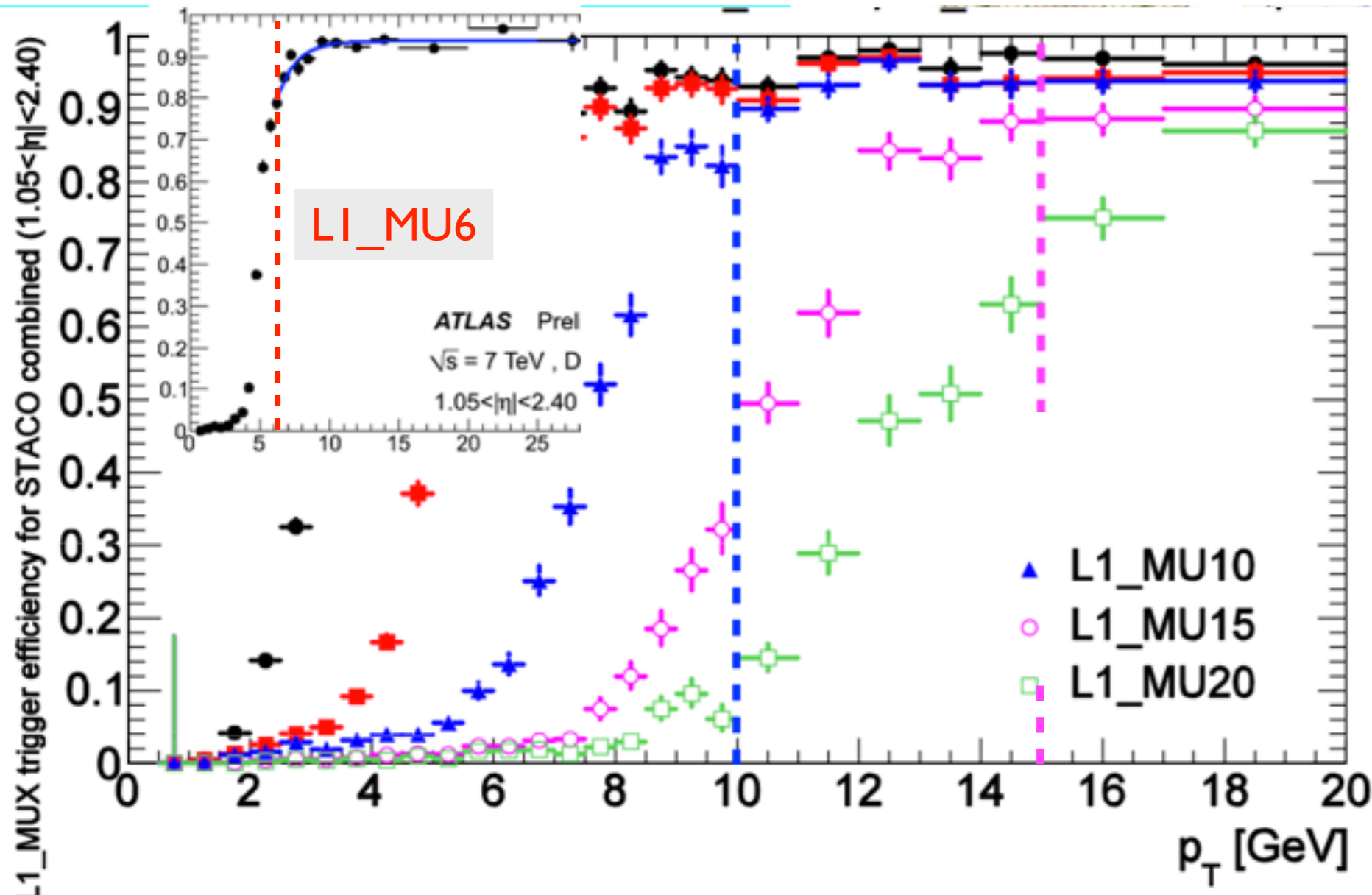
LVL1 μ -トリガースキーム

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

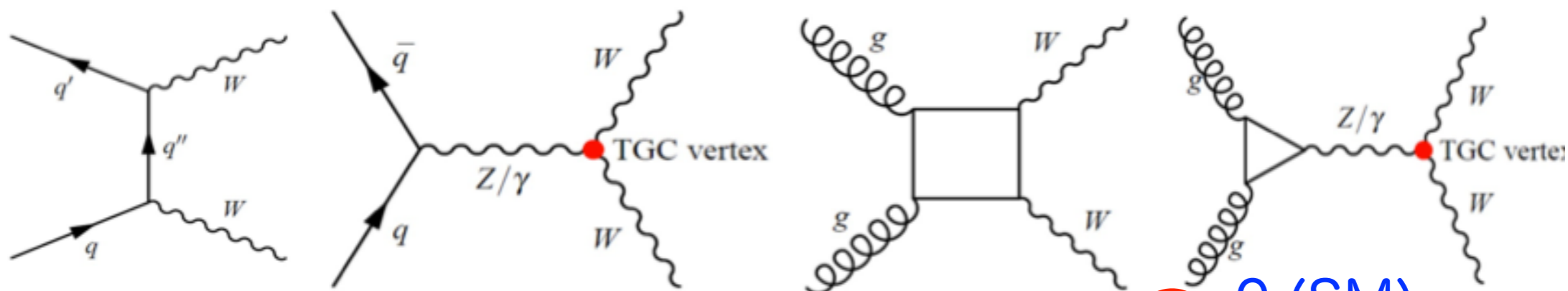
1,080 Look-Up-Table



μ -トリガー \rightarrow WW

mu20 (or 2mu10)

W/Z (+jets), WW, WZ, ZZ, W γ , Z γ

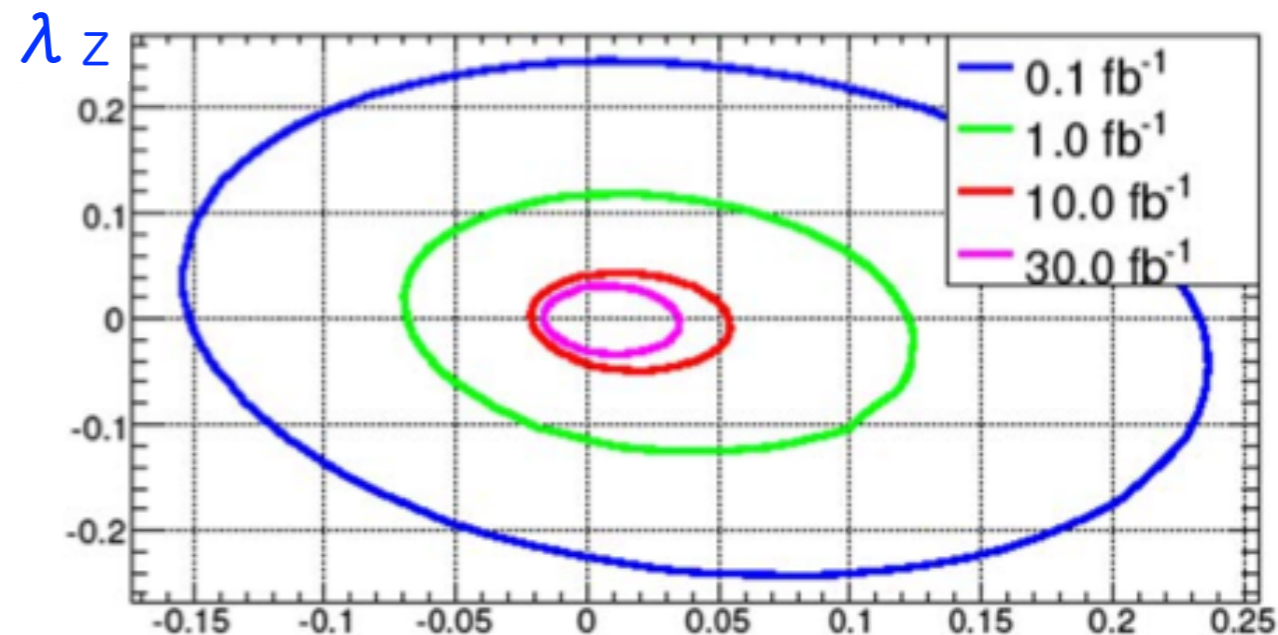


$$L/g_{WWV} = \underbrace{g_1^V}_{1(\text{SM})} (W_{\mu\nu}^* W^\mu V^\nu - W_{\mu\nu} W^{*\mu} V^\nu) + \underbrace{i\kappa^V}_{1(\text{SM})} W_\mu^* W_\nu V^{\mu\nu} + \underbrace{\lambda^V}_{0(\text{SM})} \frac{1}{M_W^2} W_{\rho\mu}^* W_\nu^\mu V^{\nu\rho}$$

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 ν , 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

