2026/4/30

伊藤悠風

Activity details

- Introducing TauFinder
  (Check simulation results)

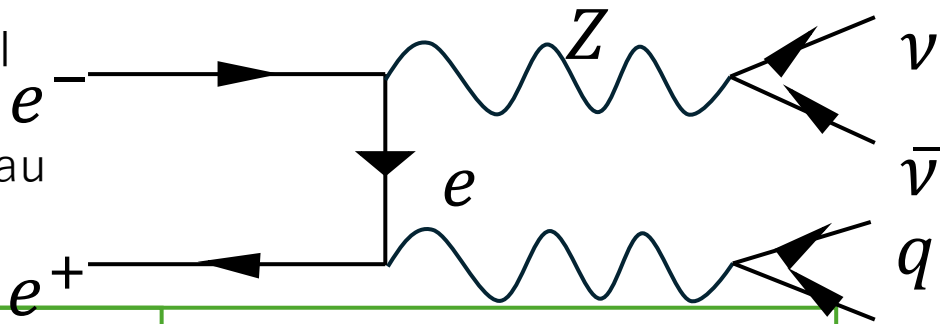
2026/4/23 Thu	2026/4/24 Fri	2026/4/25 Sat	2026/4/26 Sun	2026/4/27 Mon	2026/4/28 Tue	2026/4/29 Wed
Taufinder was applied to 2f_leptonic_eL_pR		Check the hard process of the event (Primary PDGS)	Searching for the parent particle of tau			

Motivation : Optimization of Tau Finder

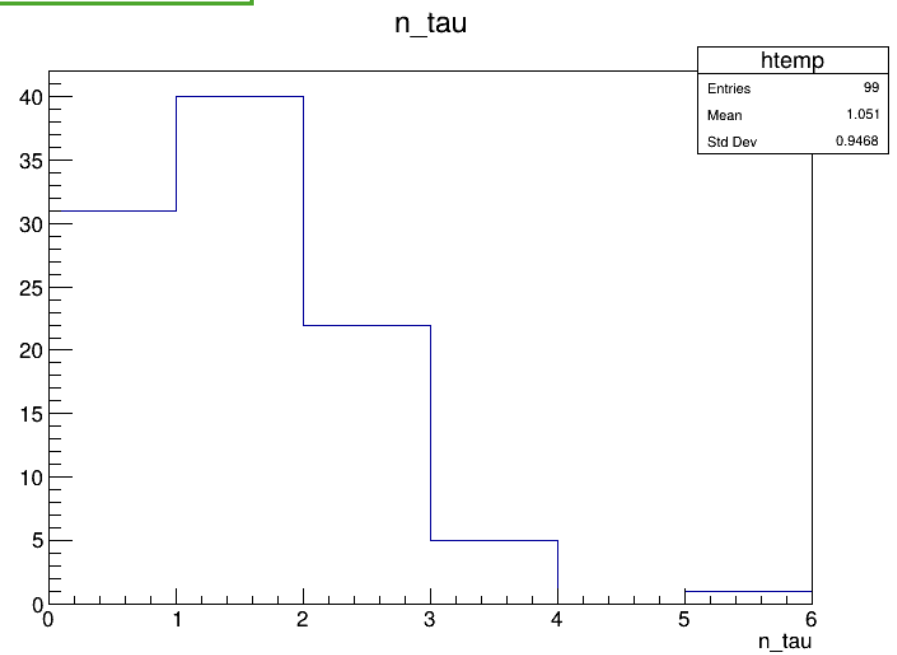
- Objective: Maximize the sensitivity of the $\nu\bar{\nu}H(H \to s\bar{s})$ analysis
- Challenge:
  The $H \to s\bar{s}$ branching ratio is extremely small (~0.024%), making background rejection critical.
  Hadronic tau decays ($\tau \to hadrons + \nu$) produce narrow jets that perfectly mimic strange jets, forming a massive background.
- Necessity of Tau Identification:
  Taus are often excluded in other channels (e.g., $Z \to ll$) due to poor reconstruction resolution caused by missing neutrino energy. However, in this analysis, a highly efficient “Tau Veto” is strictly required to identify and reject tau events.
- Approach:
  Tune and optimize a high-precision tau finder to maximize the background rejection capability.

Taufinder was applied to 4f_zznunu_semileptonic

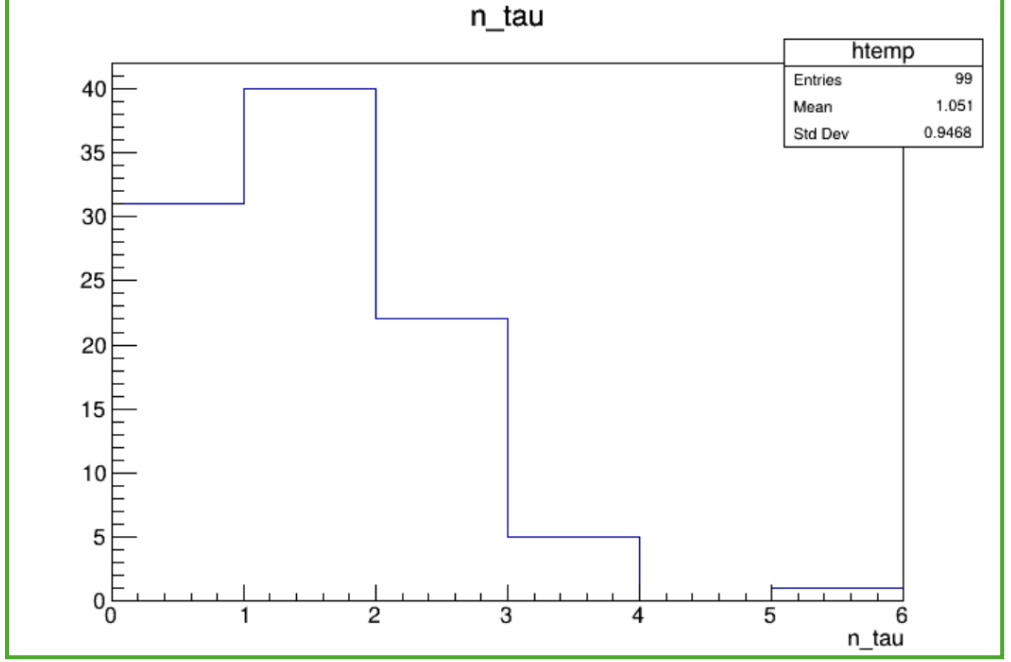
Since my senior was using 4f_zznunu_semileptonic, I tried it to see if I would get the same results.My results turned out to be exactly the same as my senior's.Since 4f_zznunu_semileptonic doesn't produce tau as the main reaction, it's strange that there are so many instances where at least one is found.



My result



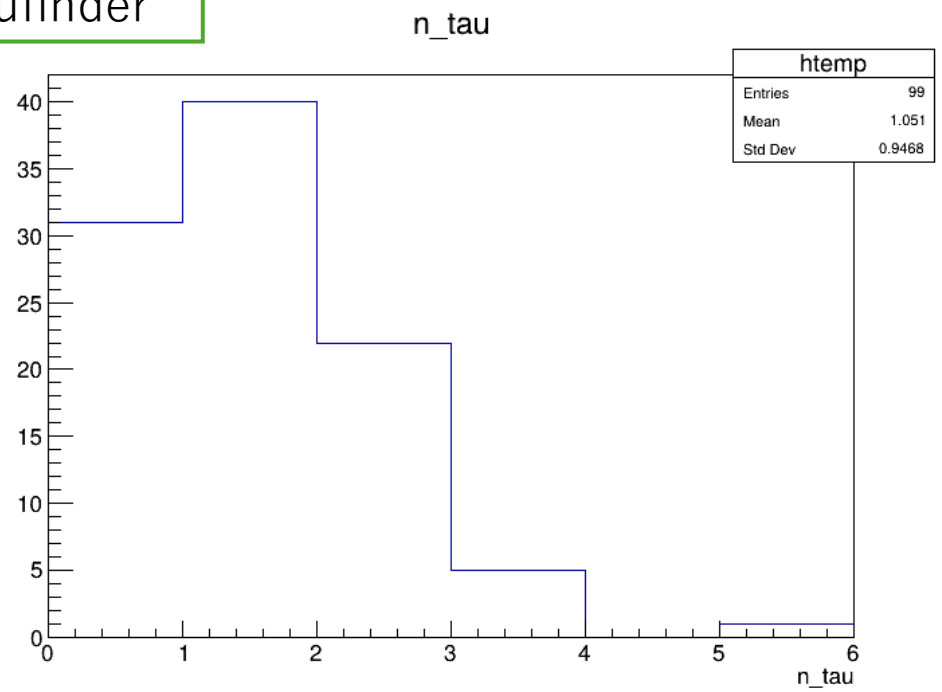
先輩's result



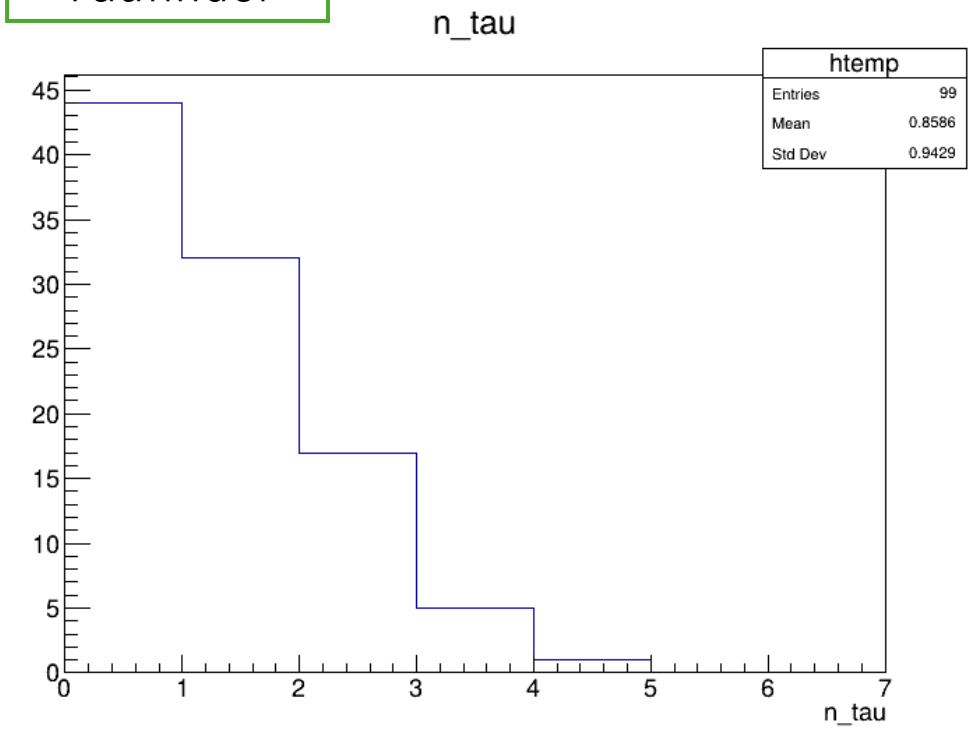
末原先生's Taufinder

The number of what appear to be Tau has been decreasingAlthough the number is decreasing, they are still being found

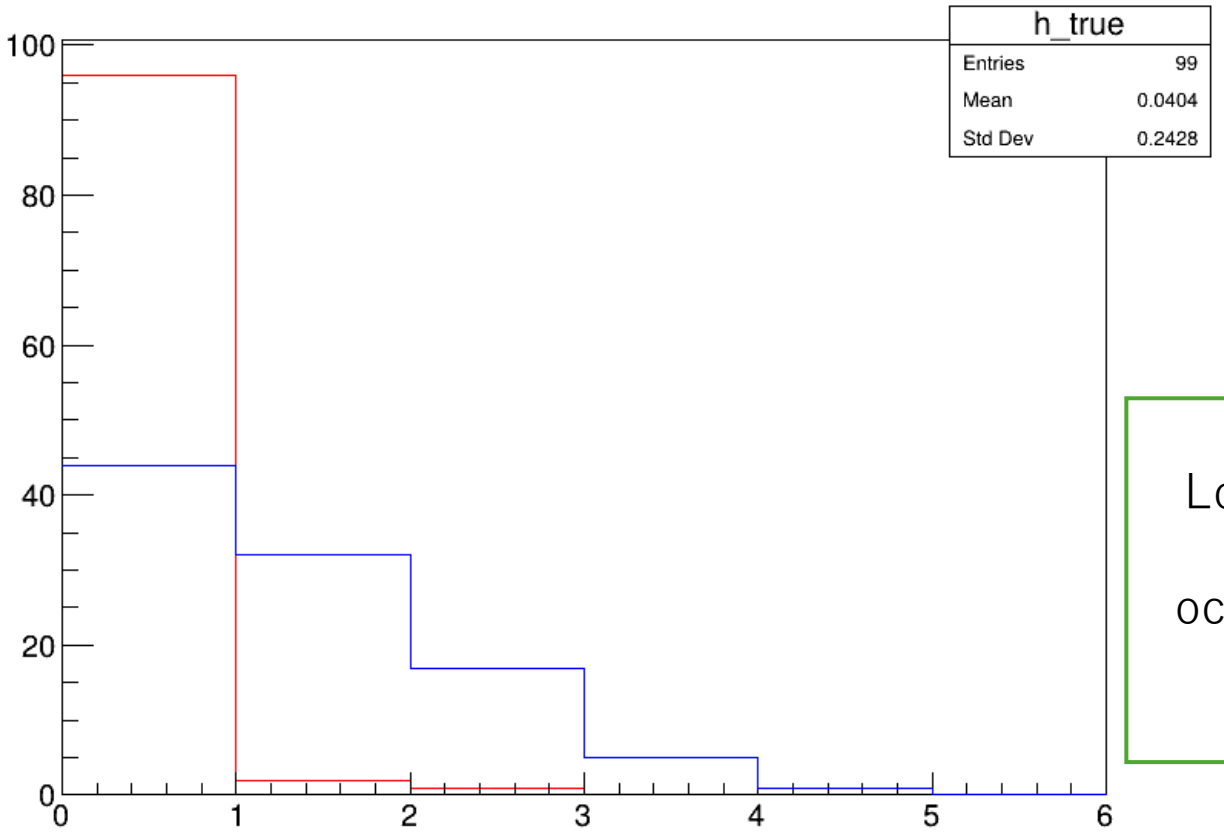
先輩's Taufinder



先生's Taufinder



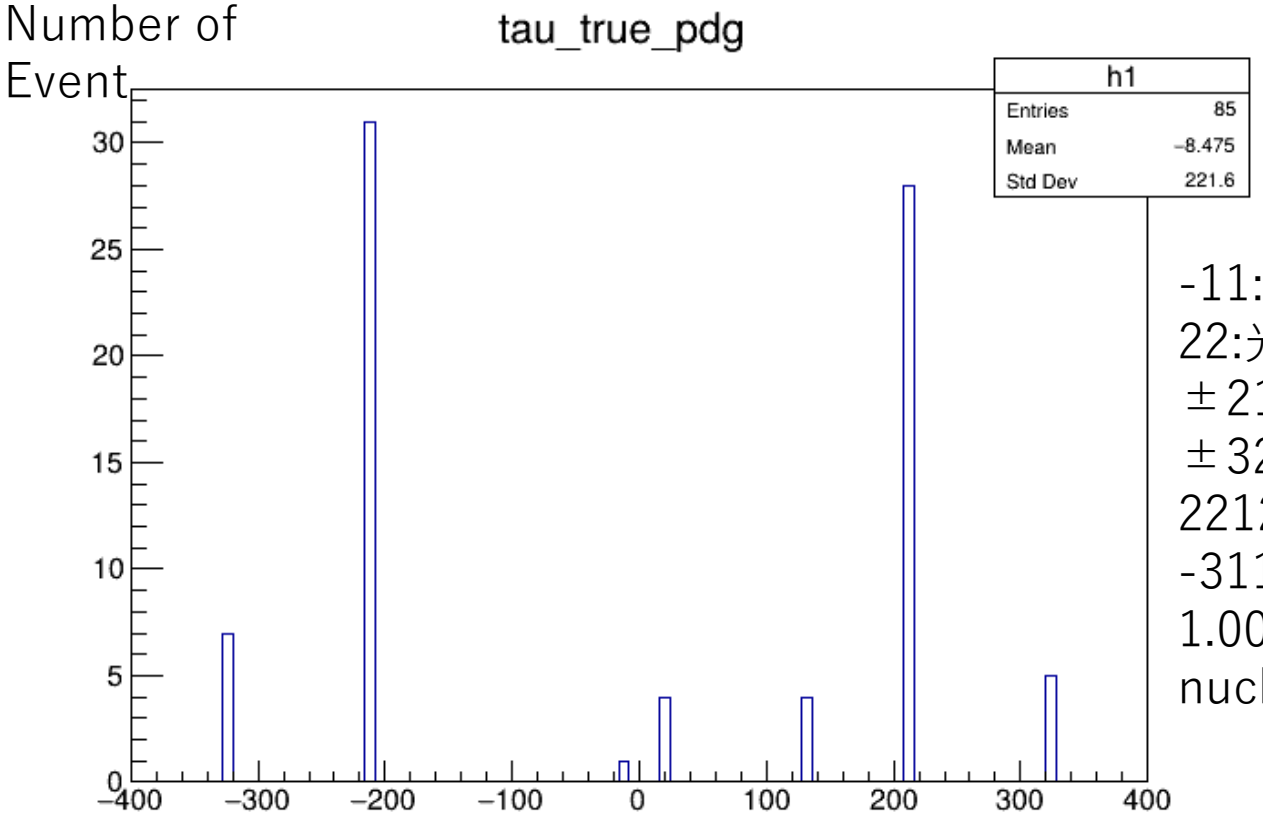
True Tau Number and Taufinder result



赤：True Tau Number
青：taufinder result

Looking at the actual number of tau events, there are very few events where tau actually occurs.However, about half of the events detected by taufinder are actually such occurrences.

Taufinder Result's PDG Code (4f_zznunu_semileptonic)



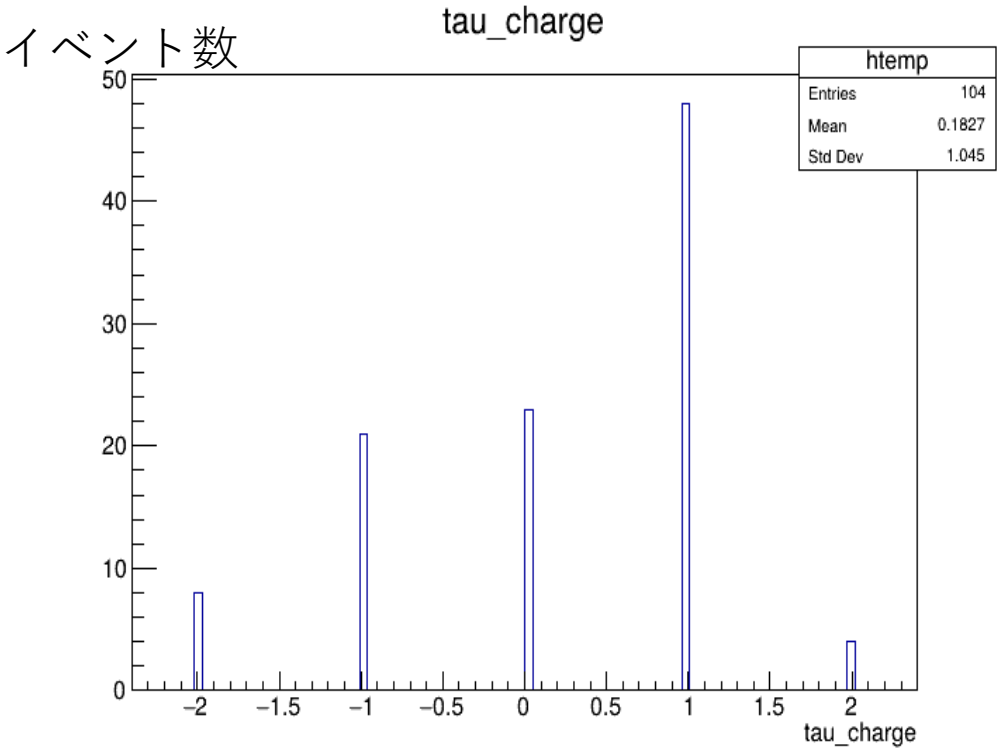
-11:陽電子(Positrin)
22:光子(Photon)
±211:π 中間子(Pion)
±321:K中間子(Kion)
2212:陽子(Proton)
-3112:シグママイナス(Sigma minus)
1.000e+09:原子核の破片？(Fragment of an atomic nucleus?

True tau parent PDG (4f_zznunu_semileptonic)

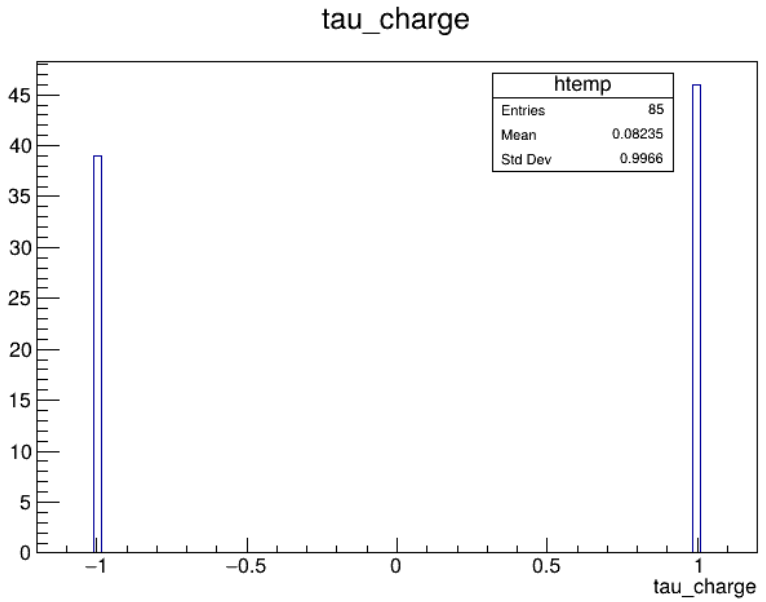
- ± 521: $B^{\pm}$ meson
  Zボソンから生まれたボトムクォーク(b)は、周りの真空から軽いクォークを拾ってきて、B中間子という重い粒子のかたまりになる
  B中間子は不安定で、約1ピコ秒後に別の粒子に崩壊(弱い相互作用)するときに、約2.5%の確率でτとν_τを吐き出す
  $$Z \to b\bar{b} \to B^{\pm}(521) \to \text{何らかの粒子} + \tau^{\pm} + \nu_\tau$$
- 431:D_s^+ meson
  Zボソンからチャームクォーク(c)が生まれた場合、あるいはB中間子が崩壊した過程でD_s^+ 中間子という、チャームクォークと反ストレンジクォークが合体した粒子が出来ることがある。
  このD_s^+ 中間子は、約5.5%という確率で、直接τ^+とν_τに順レプトン崩壊して消滅する。
  $$Z \to c\bar{c} \to D_s^+(431) \to \tau^+ + \nu_\tau$$

4f_zznunu_semileptonicで見つけられたものの電荷

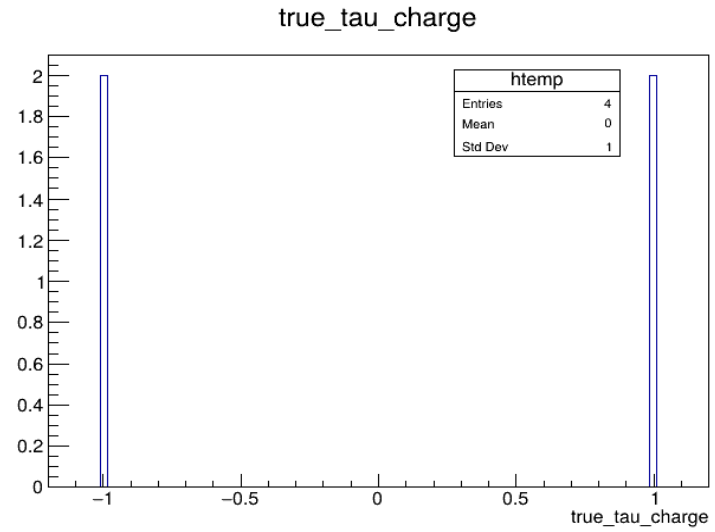
菅原先輩



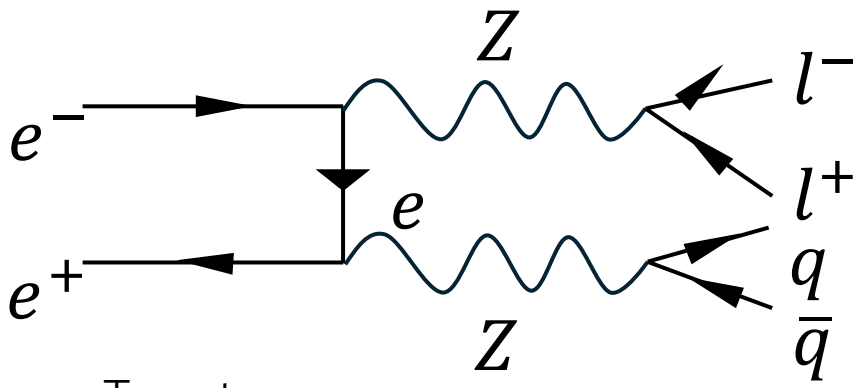
末原先生



本物

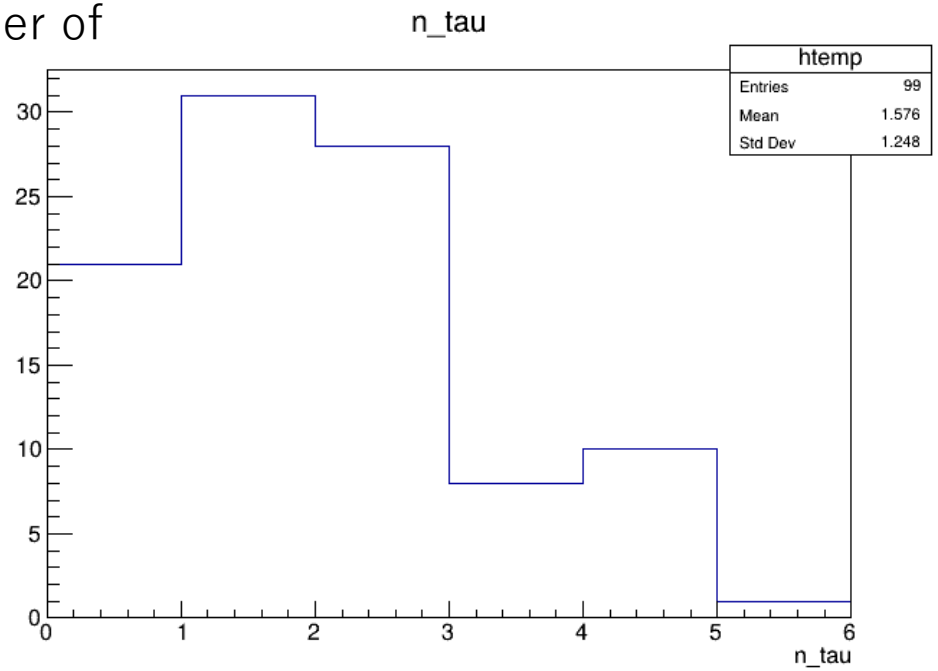


Taufinder was applied to 4f_ZZ_semileptonic



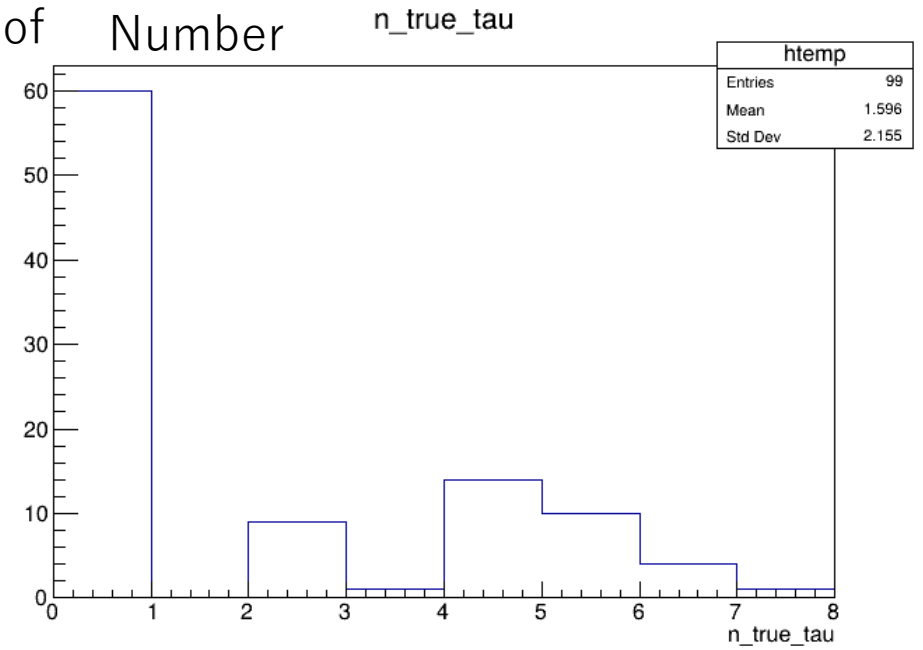
Rsult of Taufinder

Number of Event



True tau Number

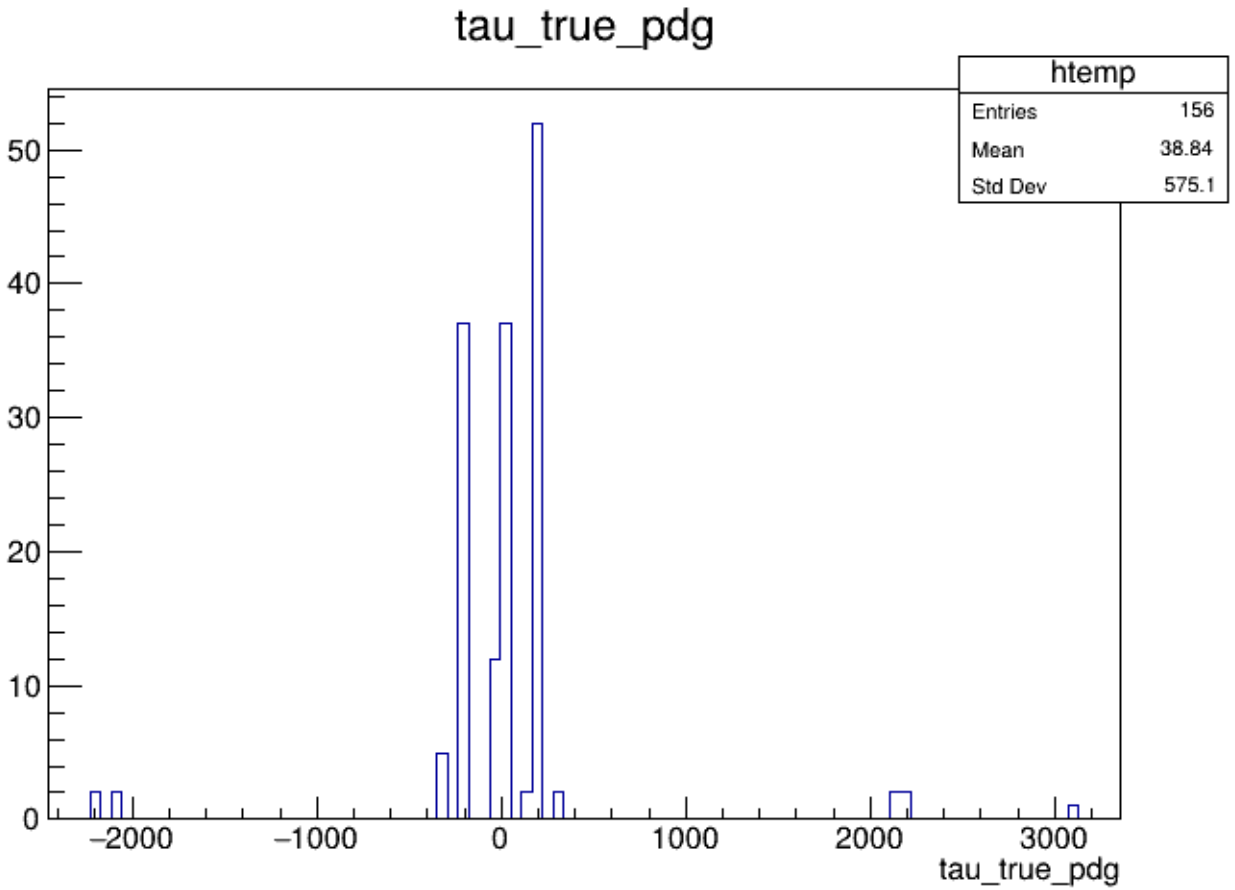
Number of Event

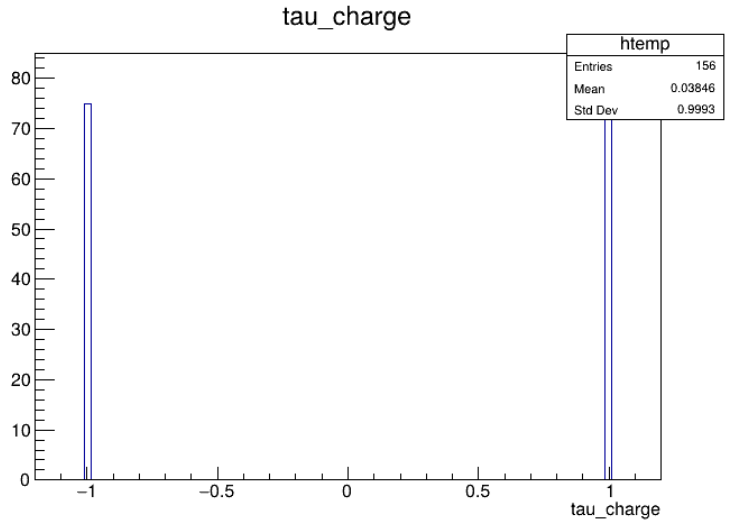


True tau parent PDG (4f_ZZ_semileptonic)

- 11 e^- 23 Zboson
  電子と陽電子が正面衝突して（あるいはZボソンを経由して）、直接タウのペアが生まれたという大元の反応($e^+e^- \to Z \to \tau^+\tau^-$)を表す。第一世代の純正なタウ
- ±15　tau
  シミュレーションソフト（Whizard/Pythia）の記録のクセ。本物のタウが飛んでいる途中で、光子（γ）を少し放出（制動放射：FSR）してエネルギーが減ったとします。するとシミュレーションは、光子を出す前の古いタウを親として、光子を出した後の新しいタウを子どもとして新しく配列に記録する。つまり、同一人物の0.0001秒後の姿が記録されているだけなので、これも立派な本物のタウ。
- 94 ジェネレーターの計算の跡
  シミュレーションソフトが計算の途中で使うストリング（ひも） / クラスターと呼ばれる架空の状態のID
- 521 B^+ meson -511
  ILCのシミュレーションデータには、現実に即したノイズ（ビームストラールングによる$\gamma\gamma \to hadrons$)が、すべてのイベントに最初から重ね掛け（オーバーレイ）されている。つまり、メインの電子・陽電子が綺麗にタウを作っているすぐ横で、ビームの周りを漂っている光子（γ）同士が勝手にぶつかって、クォーク（ノイズ）をパラパラと撒き散らしている。そのノイズから偶然B中間子が生まれ、さらにそこからタウが生まれたという、超リアルな検出器環境の証拠がここに現れている。

4f_ZZ_semileptonicのpdgcode





11:電子
-11:陽電子
13:ミューオン
22:光子
130:中性K中間子K_L^0
$\pm$211:π 中間子
$\pm$321:K中間子
2212:陽子
2112:中性子
3112:シグマバリオンΣ^-

中性
崩壊した後の荷電粒子の片方がうまく観測されていなかったりする？

Charge reversal

+211 is represented by π^+, which has a positive charge,
but is being judged as having a negative charge.

Reason:
The momentum was too high, causing the track to straighten, and the detector misinterpreted how it would curve in the magnetic field?

Tau_charge

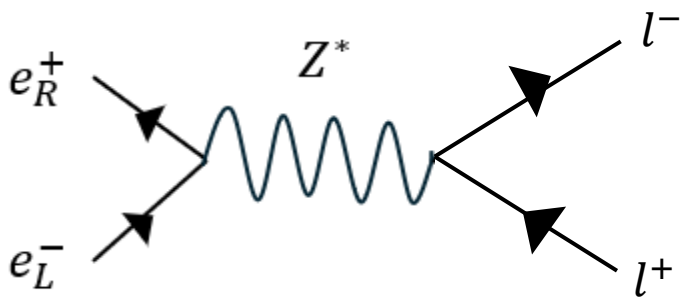
Row	Instance	tau_charg
1	0	-1
1	1	1
1	2	-1
1	3	1

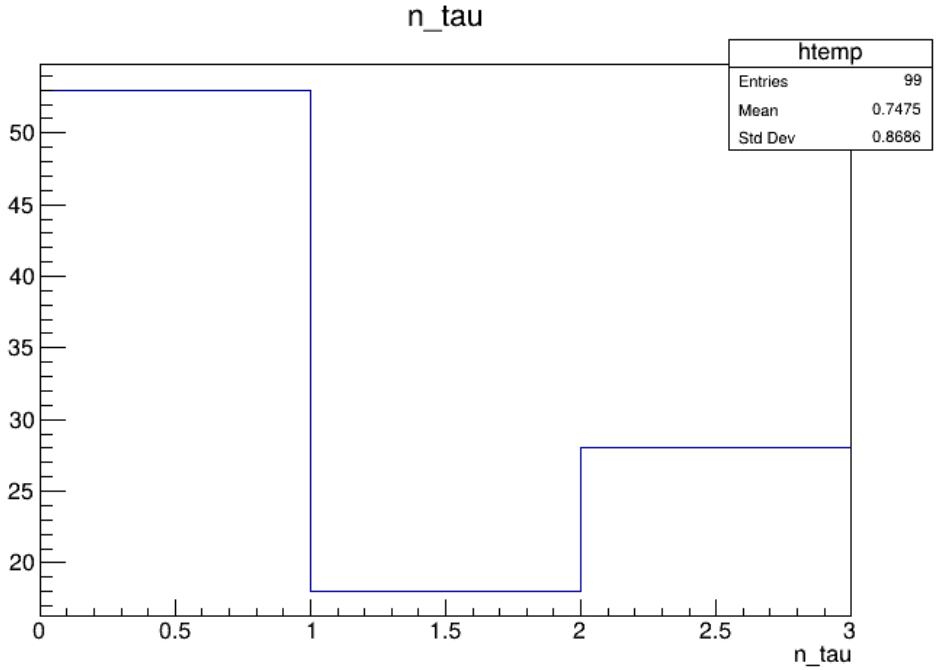
同じ列にあるからって同じとは限らない
確認しなおし

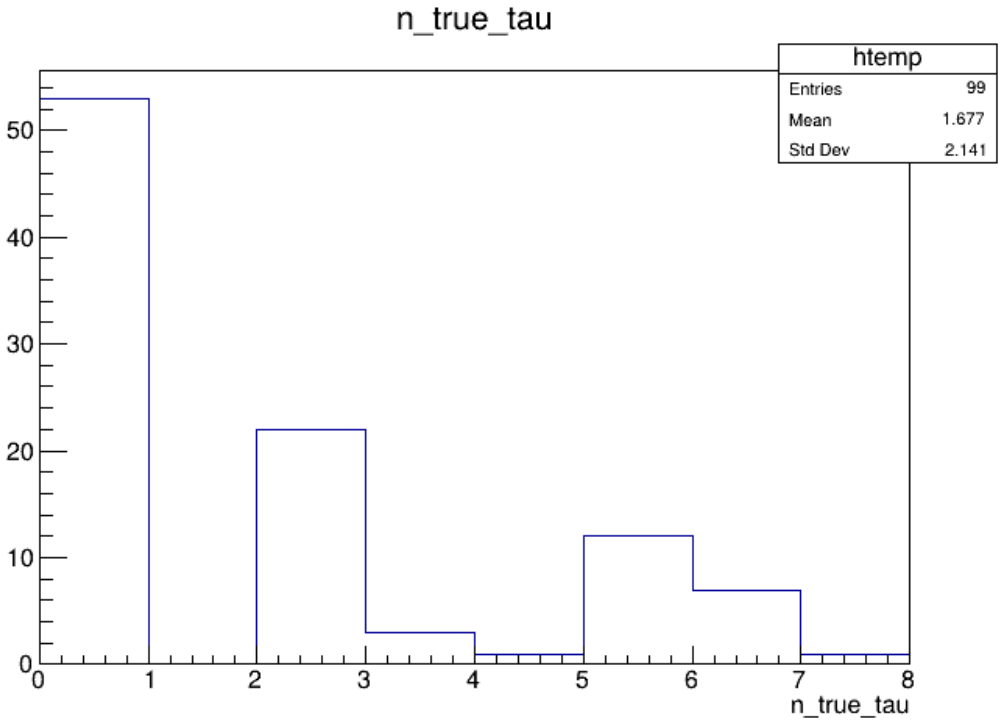
Tau true pdg

Row	Instance	tau_true_
1	0	211
1	1	11
1	2	13
1	3	211

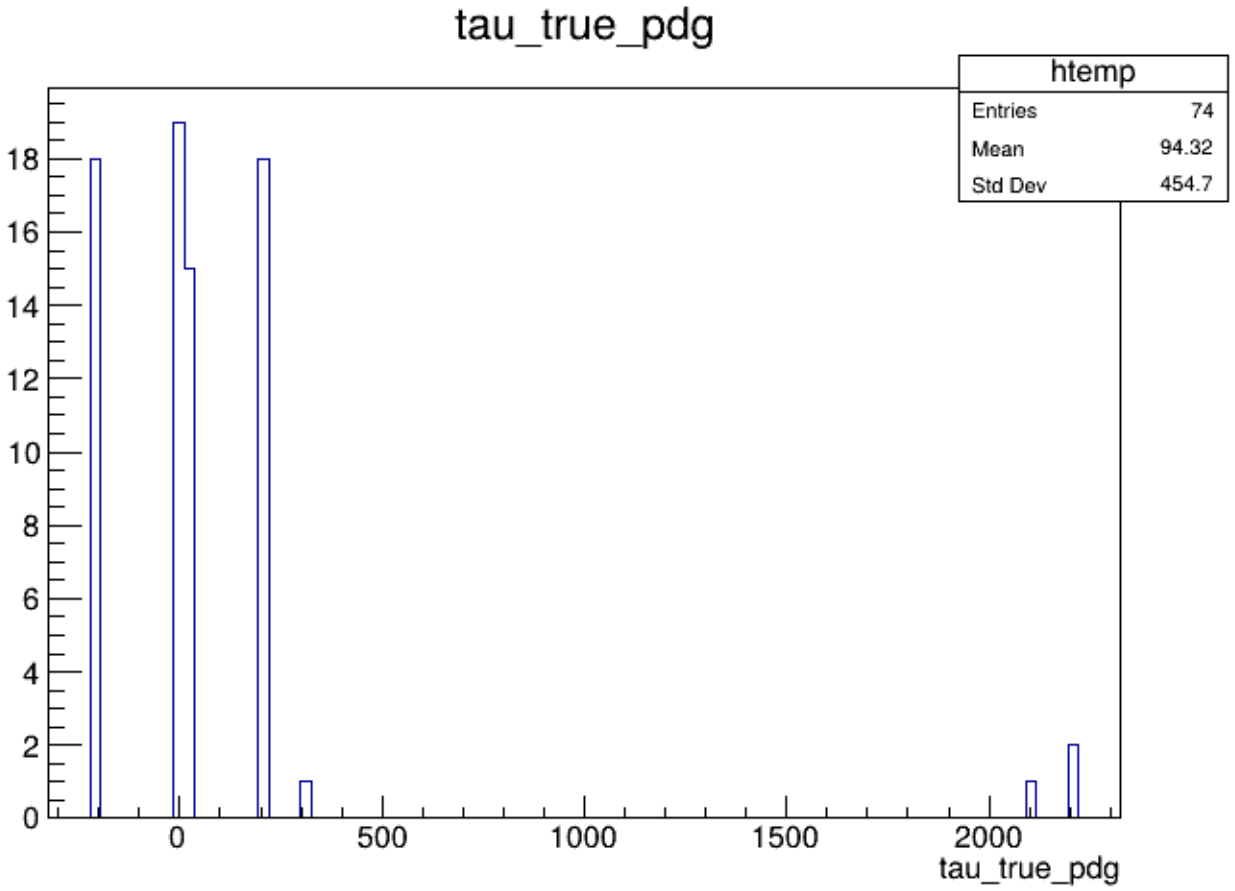
Taufinder was applied to 2f_leptonic_eL_pR

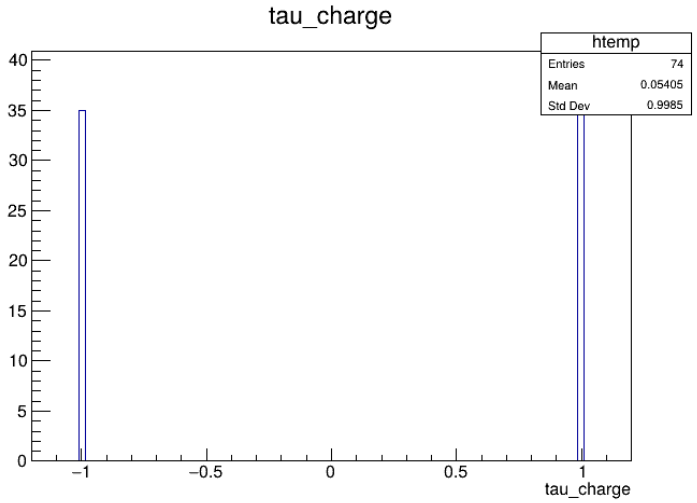






Taufinder Result's PDG code (2f_leptonic_eL_pR)





11:電子(Electron)
-11:陽電子(Positron)
13:ミューオン(Muon)
22:光子(Photon)
±211:π中間子(π meson)
±321:K中間子(K meson)
2212:陽子(Proton)
2112:中性子(Neutron)

True tau parent PDG (2f_leptonic_eL_pR)

- 11 e^- 23 Zboson
  電子と陽電子が正面衝突して（あるいはZボソンを経由して）、直接タウのペアが生まれたという大元の反応($e^+e^- \to Z \to \tau^+\tau^-$)を表す。第一世代の純正なタウ
- ±15　tau
  シミュレーションソフト（Whizard/Pythia）の記録のクセ。本物のタウが飛んでいる途中で、光子（γ）を少し放出（制動放射：FSR）してエネルギーが減ったとします。するとシミュレーションは、光子を出す前の古いタウを親として、光子を出した後の新しいタウを子どもとして新しく配列に記録する。つまり、同一人物の0.0001秒後の姿が記録されているだけなので、これも立派な本物のタウ。
- 94 ジェネレーターの計算の跡
  シミュレーションソフトが計算の途中で使うストリング（ひも）/クラスターと呼ばれる架空の状態のID

Future plans

- ZZtautauqqとかちゃんと出ているのをみる
- Understanding the root causes of reconstruction artifacts
- Let's try changing the Taufinder parameters and see what happens.

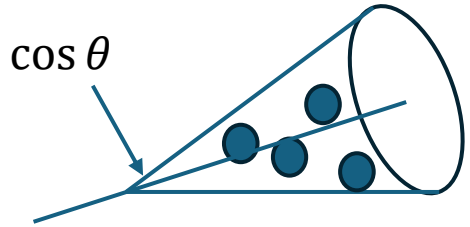
Back Up

Hard process of 4f_zznunu_semileptonic

Hard process of 4f_ZZ_semileptonic

Hard process of 2f_leptonic_eL_pR

TauFinder①：Tauらしきものを捕まえるプロセッサ



条件

- 角度の制限（コサインを用いたクラスタリング）
  粒子間の成す角のコサイン($\cos\theta$)
  tauのローレンツブースト(高速度による前方への集中)を評価
  アルゴリズムは、最もエネルギーの高い軌跡(シード)に対して、 $\cos\theta > 0.98$といった円錐の中にいる粒子だけを同じtauから生まれた仲間としてひとまとめ(クラスタリング)する

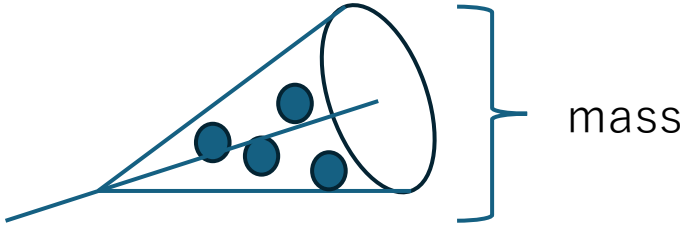
菅原先輩

```
<parameter name="cosT_cut" type="float">0.99 </parameter>
<!--Outer isolation cone around search cone of tau jet in rad (relativ to cone angle)-->
<parameter name="isolationConeAngle" type="float">0.02 </parameter>
<!--Opening angle of the search cone for tau jet in rad-->
<parameter name="searchConeAngle" type="float">0.05 </parameter>
```

末原先生

```
<parameter name="ConeMaxCosAngle" type="double">1 </parameter>
<parameter name="ConeMaxEnergyFrac" type="double">0.1 </parameter>
<parameter name="ConeMinCosAngle" type="double">0.9 </parameter>
<parameter name="TauCosAngle" type="double">0.98 </parameter>
```

TauFinder②



条件
- 質量の制限（不変質量の上限カット）
  束ねた粒子の不変質量(Invariant Mass;M_{inv})
  エネルギー保存則に基づく親粒子の質量上限を表している。崩壊生成物の4元運動量を足し合わせて計算した不変質量は、親であるtauの質量(約1.777GeV)を原則的に超えない。閾値を超える重い束はクォーク由来のジェットとみなして排除する

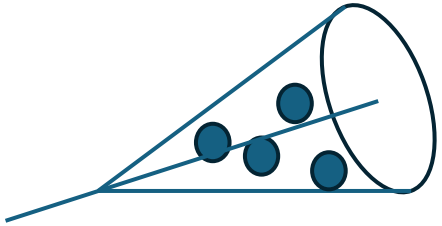
菅原先輩

```
<!--Upper limit on invariant mass of tau candidate-->
<parameter name="invariant_mass" type="float">2 </parameter>
```

末原先生

```
<parameter name="TauMass" type="double">2 </parameter>
```

TauFinder③



条件

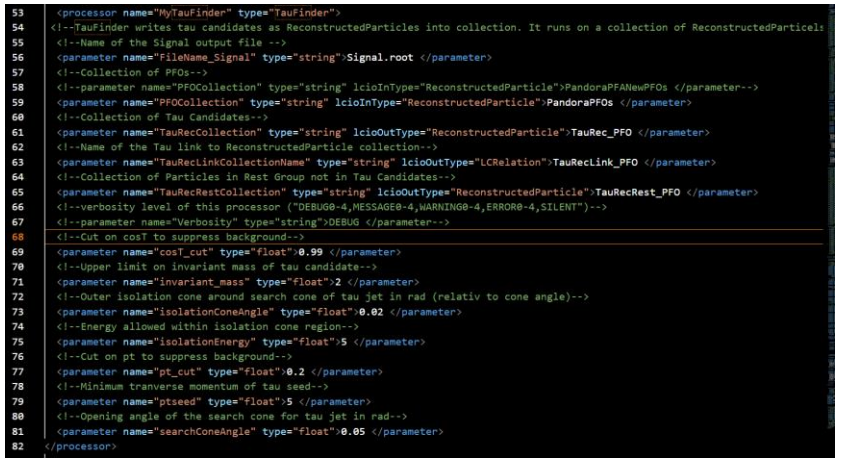
- エネルギー・運動量の制限（シードとジェットの最低要件）
  各トラックの最低エネルギー(E_{track})とジェットの総エネルギー(E_{jet})
  Zボソンやヒッグスの崩壊など(ハードな物理事象)に由来する本物の信号であることの担保。シードとなる軌跡は1.0GeV以上、束ねた後の総エネルギーは5.0GeV以上などの閾値を設けることで、検出器の電気的ノイズや、ビーム由来の低エネルギーな背景事象を誤ってタウの芯として拾ってしまうのを防ぐ

末原先生

```
<parameter name="EMaxCalByTrack" type="double">1.1 </parameter>
<parameter name="EMinCalByTrack" type="double">0.9 </parameter>
<parameter name="EMinFracEcal" type="double">0.97 </parameter>
<parameter name="IPCutsMinimumTrackEnergy" type="double">1 </parameter>
<parameter name="LeptonCutsMinimumTrackEnergy" type="double">5 </parameter>
<parameter name="MinimumJetEnergy" type="double">5 </parameter>
<parameter name="MinimumTrackEnergy" type="double">1 </parameter>
<parameter name="MuMaxCalByTrack" type="double">0.5 </parameter>
<parameter name="MuMaxFracEcal" type="double">0.5 </parameter>
```

```
<parameter name="TauMass" type="double">2 </parameter>
```

先輩のTauの探し方



```
<processor name="MyTauFinder" type="TauFinder">
<!--TauFinder writes tau candidates as ReconstructedParticles into collection. It runs on a collection of ReconstructedParticels
<!--Name of the Signal output file -->
<parameter name="FileName_Signal" type="string">Signal.root </parameter>
<!--Collection of PFOs-->
<!--parameter name="PFOCollection" type="string" lcioInType="ReconstructedParticle">PandoraPFANewPFOs </parameter-->
<parameter name="PFOCollection" type="string" lcioInType="ReconstructedParticle">PandoraPFOs </parameter>
<!--Collection of Tau Candidates-->
<parameter name="TauRecCollection" type="string" lcioOutType="ReconstructedParticle">TauRec_PFO </parameter>
<!--Name of the Tau link to ReconstructedParticle collection-->
<parameter name="TauRecLinkCollectionName" type="string" lcioOutType="LCRelation">TauRecLink_PFO </parameter>
<!--Collection of Particles in Rest Group not in Tau Candidates-->
<parameter name="TauRecRestCollection" type="string" lcioOutType="ReconstructedParticle">TauRecRest_PFO </parameter>
<!--verbosity level of this processor ("DEBUG0-4,MESSAGE0-4,WARNING0-4,ERROR0-4,SILENT")-->
<!--parameter name="Verbosity" type="string">DEBUG </parameter-->
<!--Cut on cosT to suppress background-->
<parameter name="cosT_cut" type="float">0.99 </parameter>
<!--Upper limit on invariant mass of tau candidate-->
<parameter name="invariant_mass" type="float">2 </parameter>
<!--Outer isolation cone around search cone of tau jet in rad (relativ to cone angle)-->
<parameter name="isolationConeAngle" type="float">0.02 </parameter>
<!--Energy allowed within isolation cone region-->
<parameter name="isolationEnergy" type="float">5 </parameter>
<!--Cut on pt to suppress background-->
<parameter name="pt_cut" type="float">0.2 </parameter>
<!--Minimum tranverse momentum of tau seed-->
<parameter name="ptseed" type="float">5 </parameter>
<!--Opening angle of the search cone for tau jet in rad-->
<parameter name="searchConeAngle" type="float">0.05 </parameter>
</processor>
```

- ① 中心を決める（Seed）
  ptseed が5 GeV以上の、勢いよく横方向pTに飛んでいる粒子を見つけ、それをタウの芯とする
- ② 内側をかき集める（Search Cone）
  芯の周りの狭い角度（searchConeAngle: 0.05 rad）に円を描き、そこに入った粒子を種類や電荷を問わずすべてタウの候補として足し合わせる
- ③ 外側が静かか確認する（Isolation Cone）
  そのすぐ外側にドーナツ状の領域（isolationConeAngle）を描き、そこに落ちたエネルギーが5 GeV以下（isolationEnergy）であれば、孤立して飛んでいるからタウだと判定

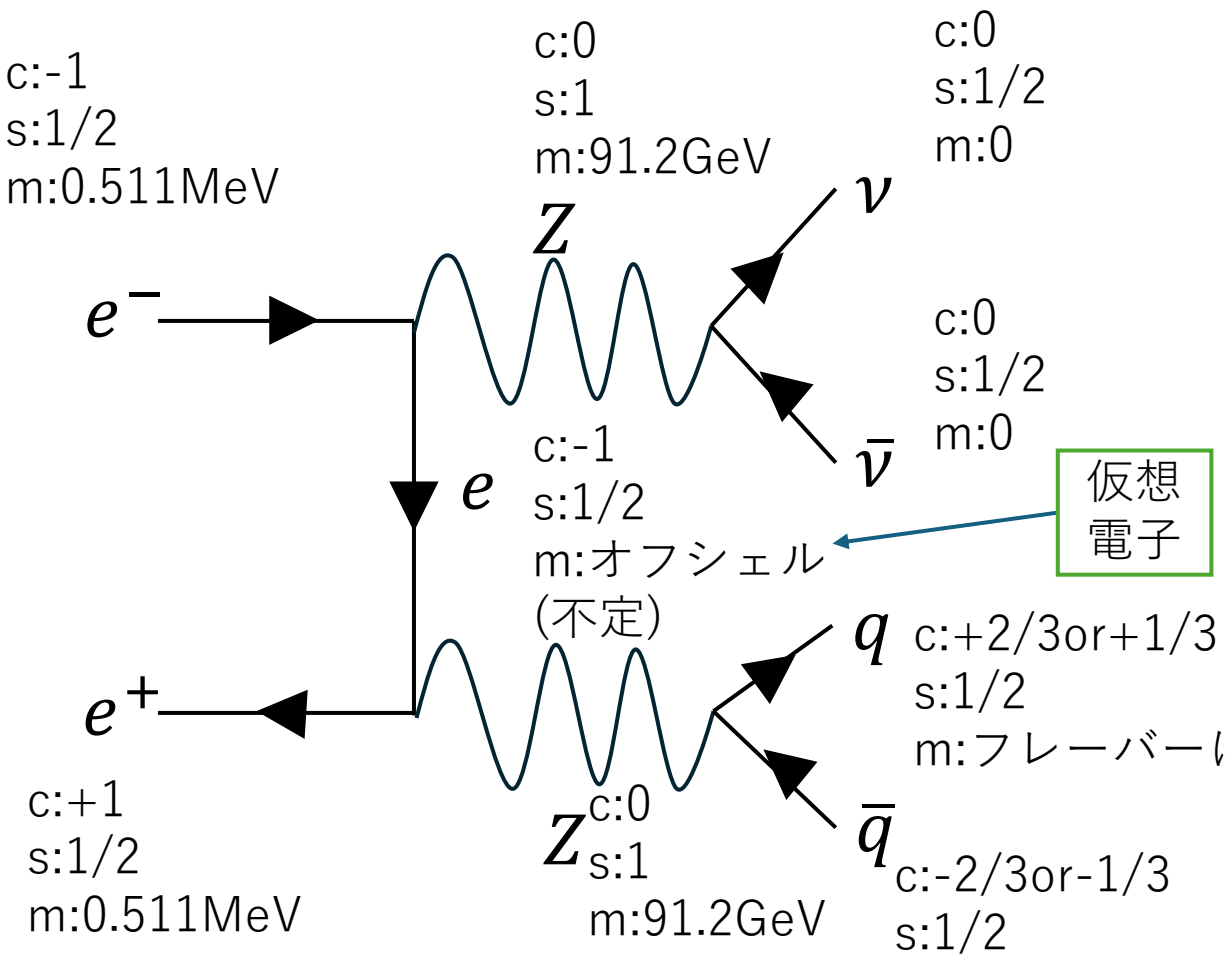
末原先生の探し方

- ① 飛跡の本数と電荷を絞り込む（Prong Cuts）
  IPCutsSigmaOneProng や IPCutsSigmaThreeProng... といったパラメータがこれに該当。荷電トラックが1本、または電荷の合計が ¥pm 1 になる3本の組み合わせしかタウとして認めない。これが電荷が綺麗に揃う理由
- ② 飛跡の質を担保する（Track Energy）
  MinimumTrackEnergy（1 GeV）や LeptonCutsMinimumTrackEnergy（5 GeV）により、低エネルギーのゴミ（ノイズ）の飛跡はタウの主成分として計算に入れないという処理をしている
- ③ カロリメータの情報を統合する
  EMaxCalByTrack や MuMaxFracEcal など、飛跡（Track）の勢いと、カロリメータ（Ecal等）に落ちたエネルギーのバランスをチェックし、それが電子らしいか、ミューオンらしいか、パイ中間子らしいかまで判別して精度を上げている

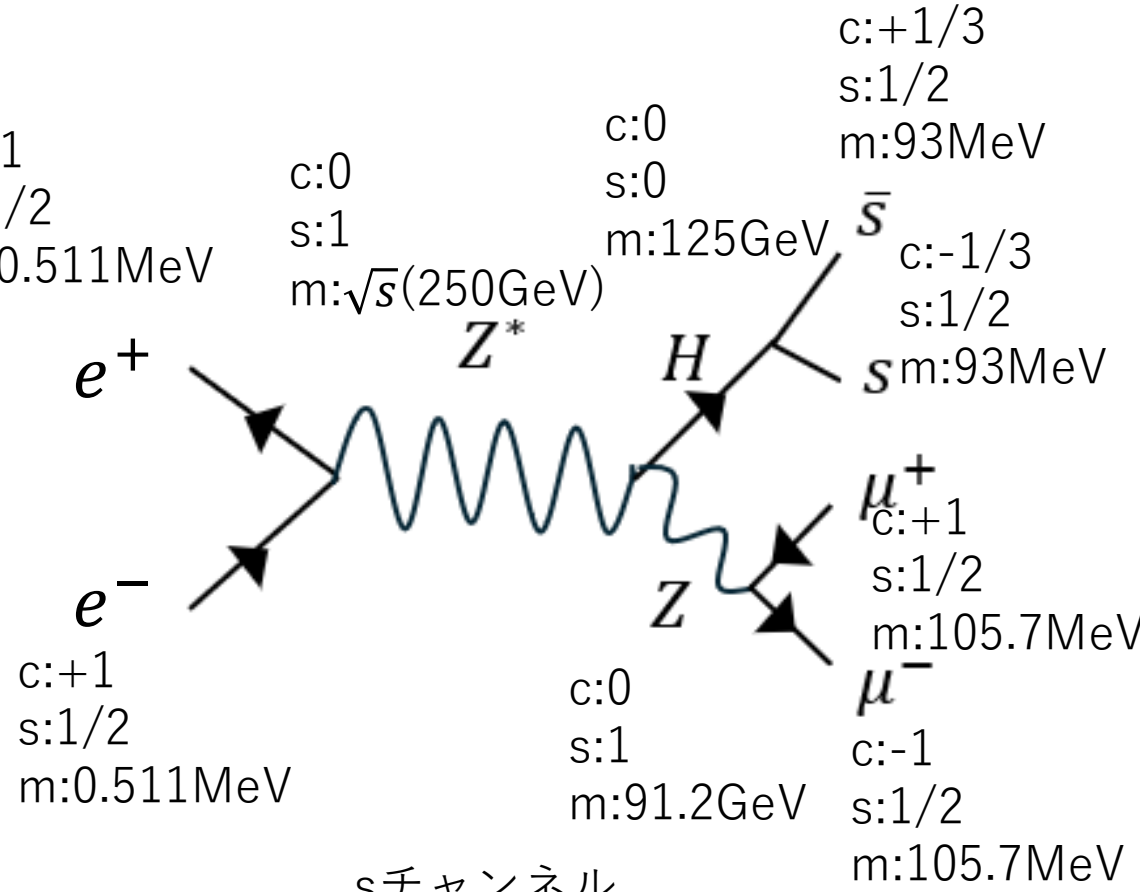
保存則

- c:電荷 → 各頂点(vertex)で$c_{in} = c_{out}$の単純計算
- s:スピン → 角運動量の合成則 ex $\frac{1}{2} \otimes \frac{1}{2} = 1 \oplus 0$
- p:4元運動量 → $\sum p_{in} = \sum p_{out}$
- m:質量 → 保存しない

$\sqrt{s}$:重心系エネルギー



t(u)チャンネル



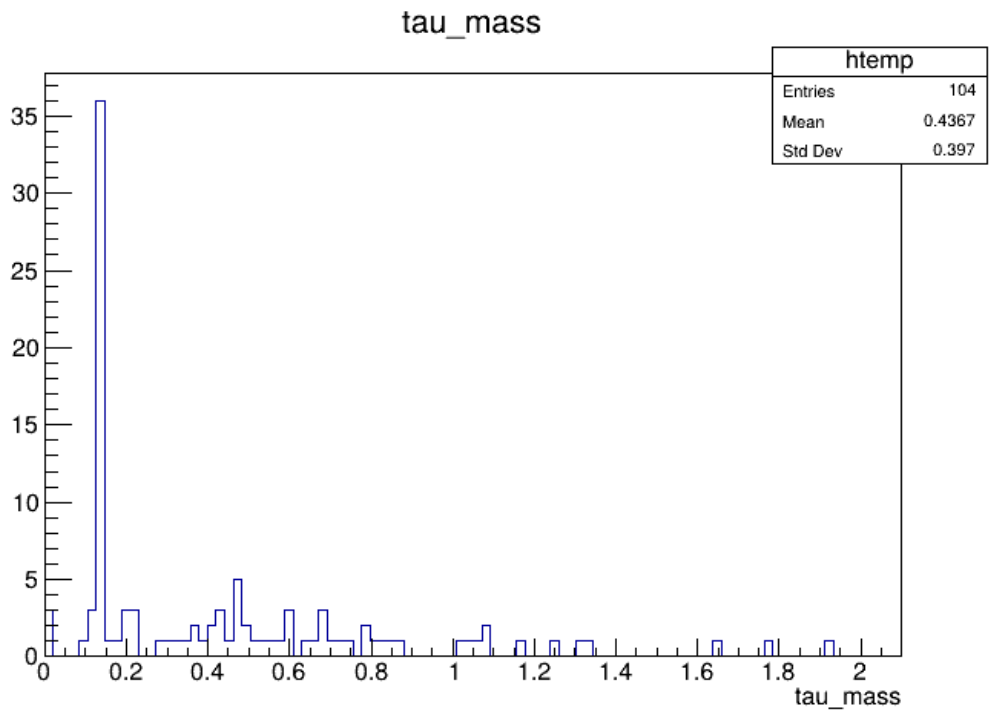
sチャンネル

Tau τ

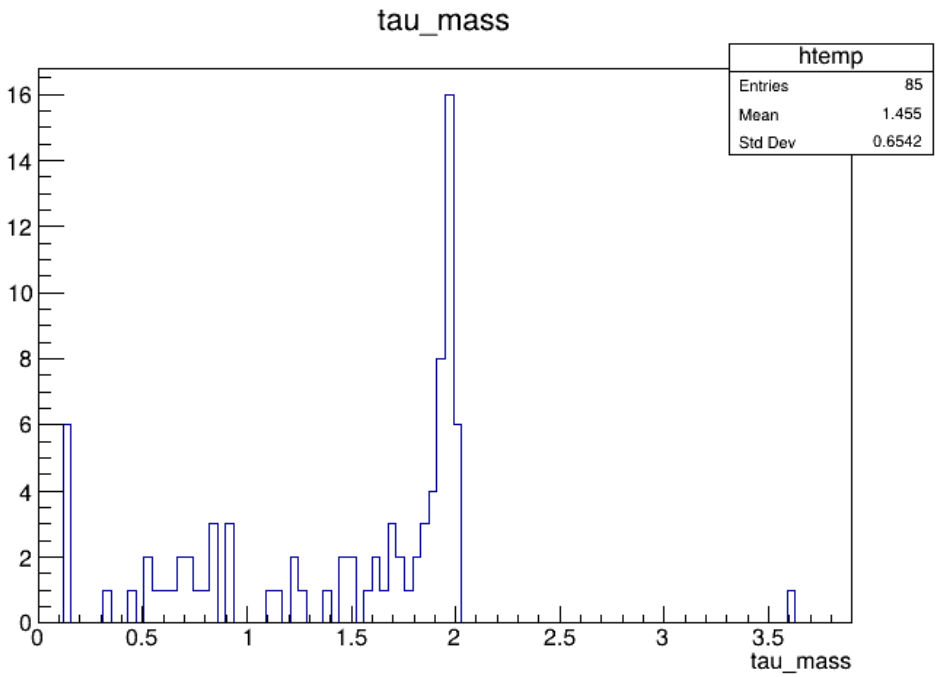
- 第3世代のレプトン
- 質量:約1.777GeV(電子の約3500倍、ミューオンの約17倍)
- レプトン(軽粒子)の仲間でありながら重いので、レプトンの中で唯一、ハドロン(クォークからなるπ中間子など)に崩壊できる

4f_ZZnunu_semileptonic

菅原先輩

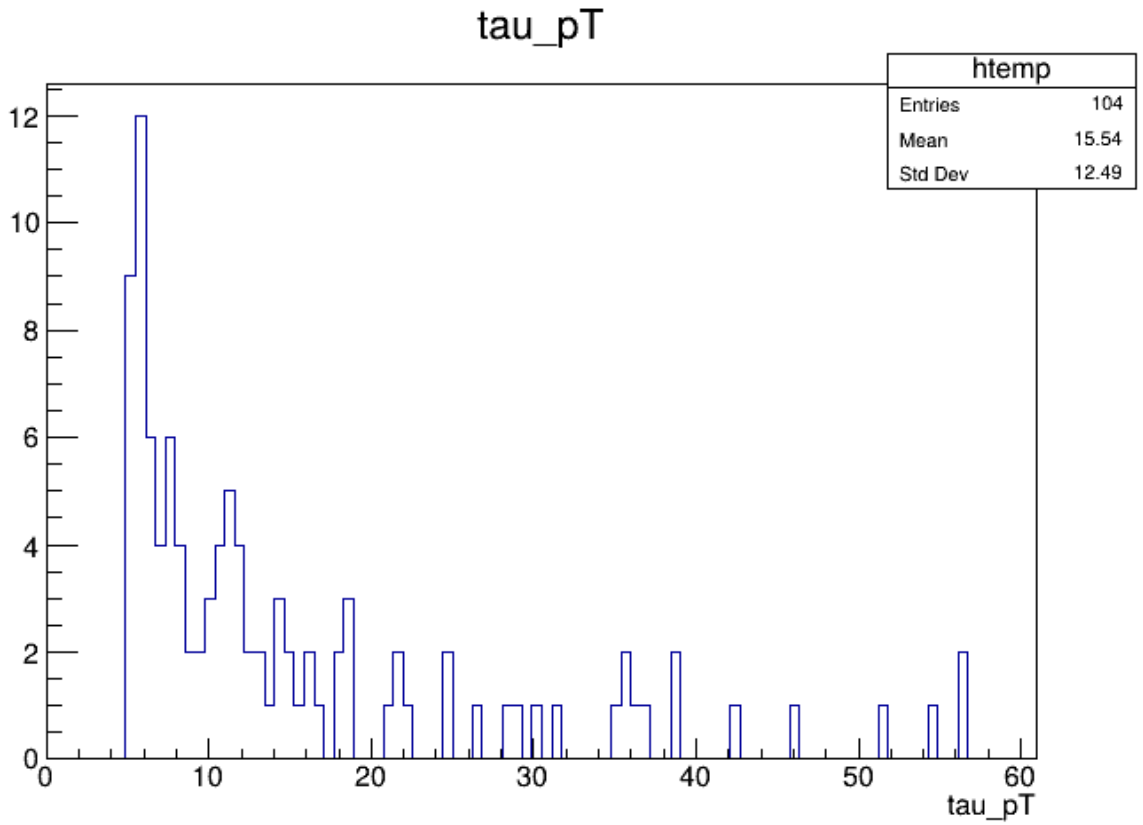


末原先生



4f_ZZnunu_semileptonic

先輩



末原先生