

μ 粒子の稀崩壊現象の探索

ニュートリノ物理

2018/03/10

尾崎雄太 田中亮太 富田直哉 富永愛侑 前村直哉

Introduction

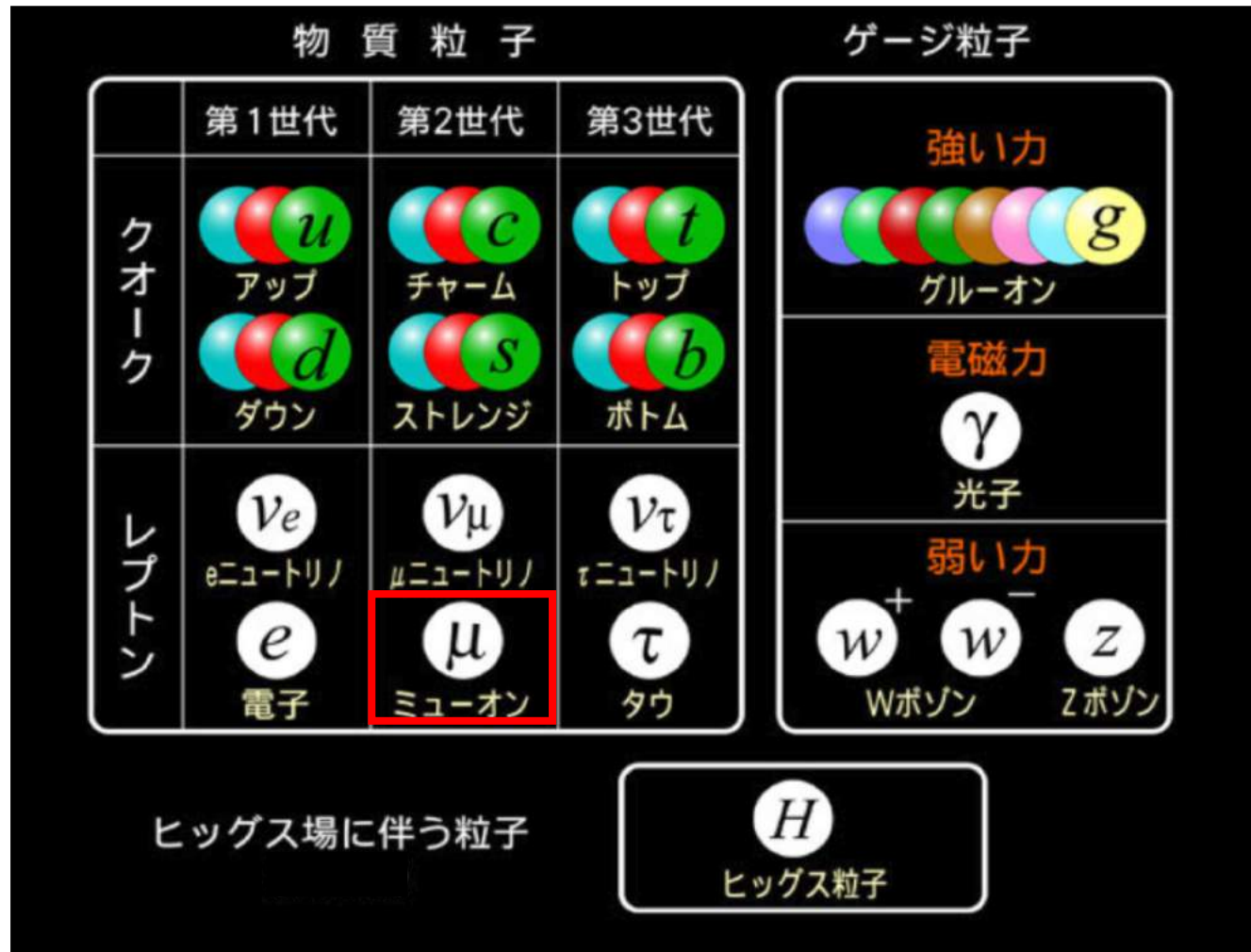
解析内容

解析 1

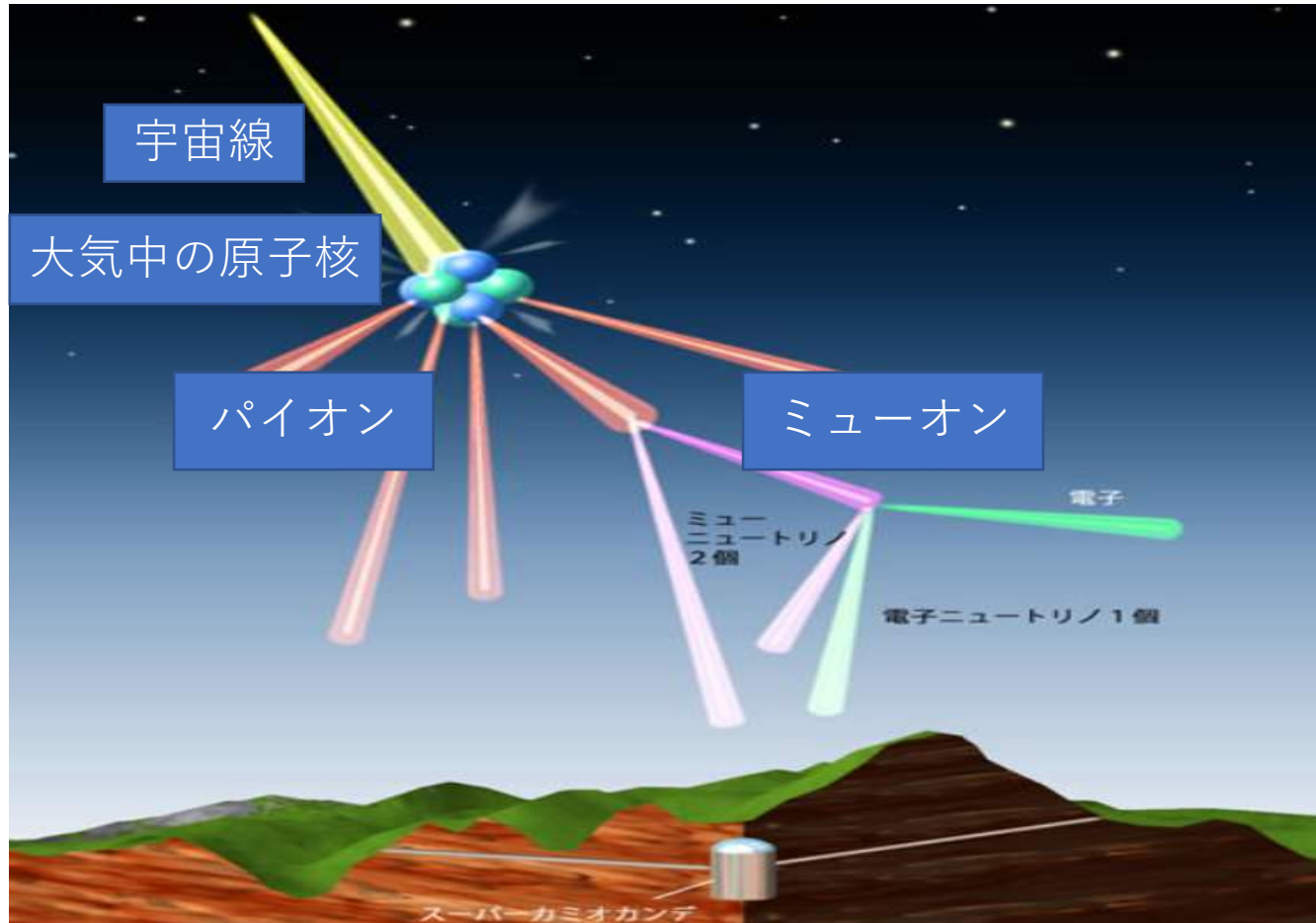
解析 2

まとめ

イントロダクション



どういふミューオンを用いるか



崩壊のルール（レプトン数保存）

レプトン世代数	+1	-1
第一世代 L_e	$e^- \quad \nu_e$	$e^+ \quad \bar{\nu}_e$
第二世代 L_μ	$\mu^- \quad \nu_\mu$	$\mu^+ \quad \bar{\nu}_\mu$
第三世代 L_τ	$\tau^- \quad \nu_\tau$	$\tau^+ \quad \bar{\nu}_\tau$

ニュートリノ振動を除いてはそれぞれの世代でレプトンの和は保存される。

ex) $\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu$

$$\begin{array}{lcl} L_\mu & 1 & = \quad 0 \quad + \quad 0 + 1 \\ L_e & 0 & = \quad 1 \quad + \quad (-1) + 0 \end{array}$$

ミューオンの崩壊の物理

- ・通常のミューオンの崩壊

$$\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu$$

➡ 質量エネルギーは106MeV

$$\text{Br} (\mu \rightarrow e \nu \nu) \approx 100 \%$$

$$\text{Br} (\mu \rightarrow e \nu \nu \gamma) = (6.0 \pm 0.5) \times 10^{-6} \% \quad E_\gamma > 40 \text{MeV}$$

$$\text{※1961年のデータは} (1.4 \pm 0.4) \% \quad E_\gamma > 10 \text{MeV}$$

- ・レプトン数保存則の破れ(Lepton Flavor Vioration)

$$\mu^- \rightarrow e^- + \gamma$$

$$\text{Br} (\mu \rightarrow e \gamma) < 10^{-11} \% \text{ の上限値}$$

(スイスのMEG実験より)

Br：分岐する確率(Branching Ratio)

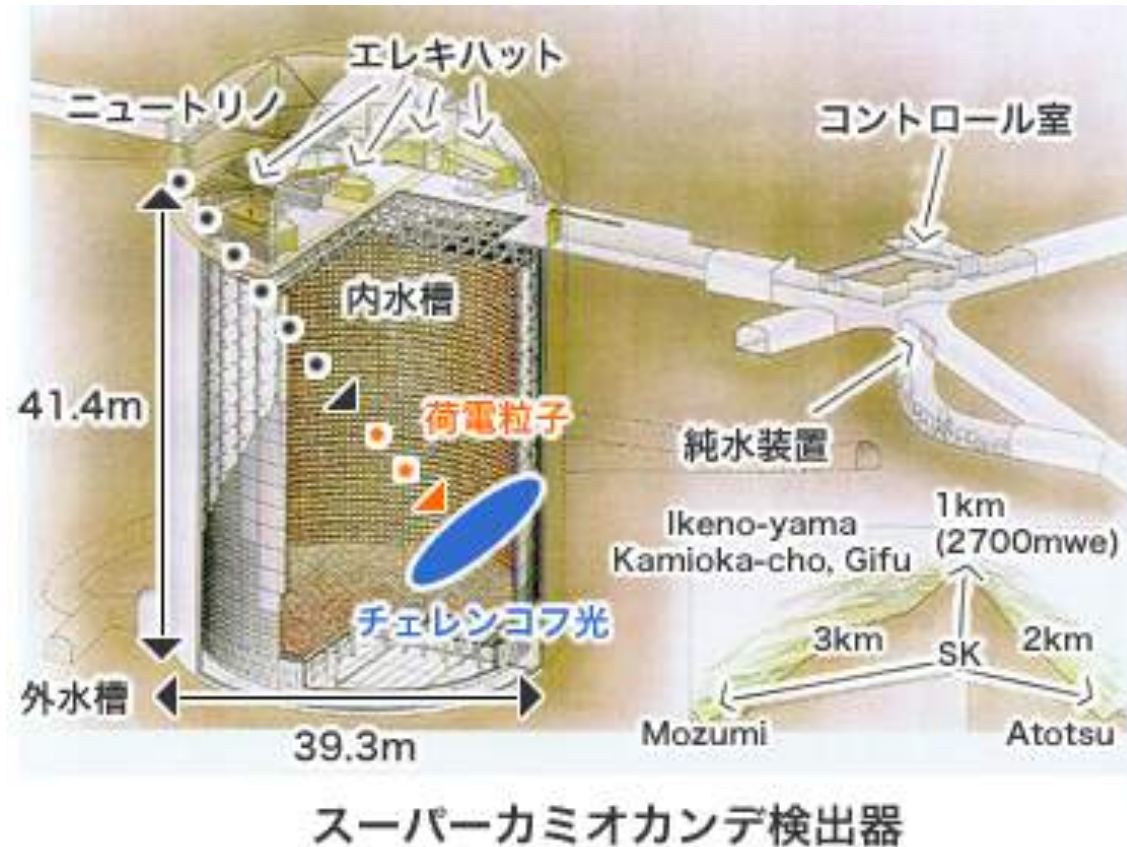


新物理の
発見！

観測装置

スーパーカミオカンデ

- ・ 水チェレンコフ宇宙素粒子観測装置
- ・ 約13000本の光電子増倍管(PMT)



荷電粒子

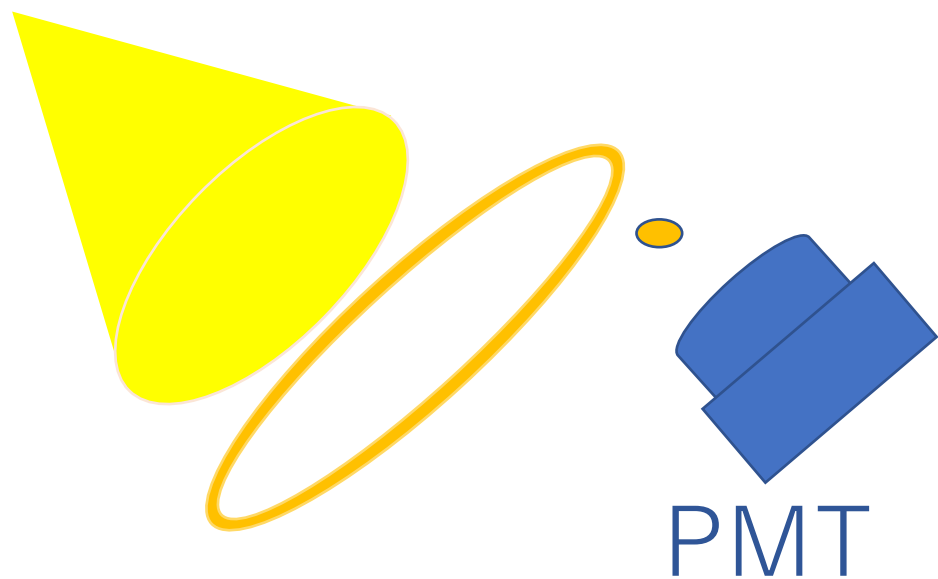
(水中の光速)

(素粒子の速度)

チェレンコフ光

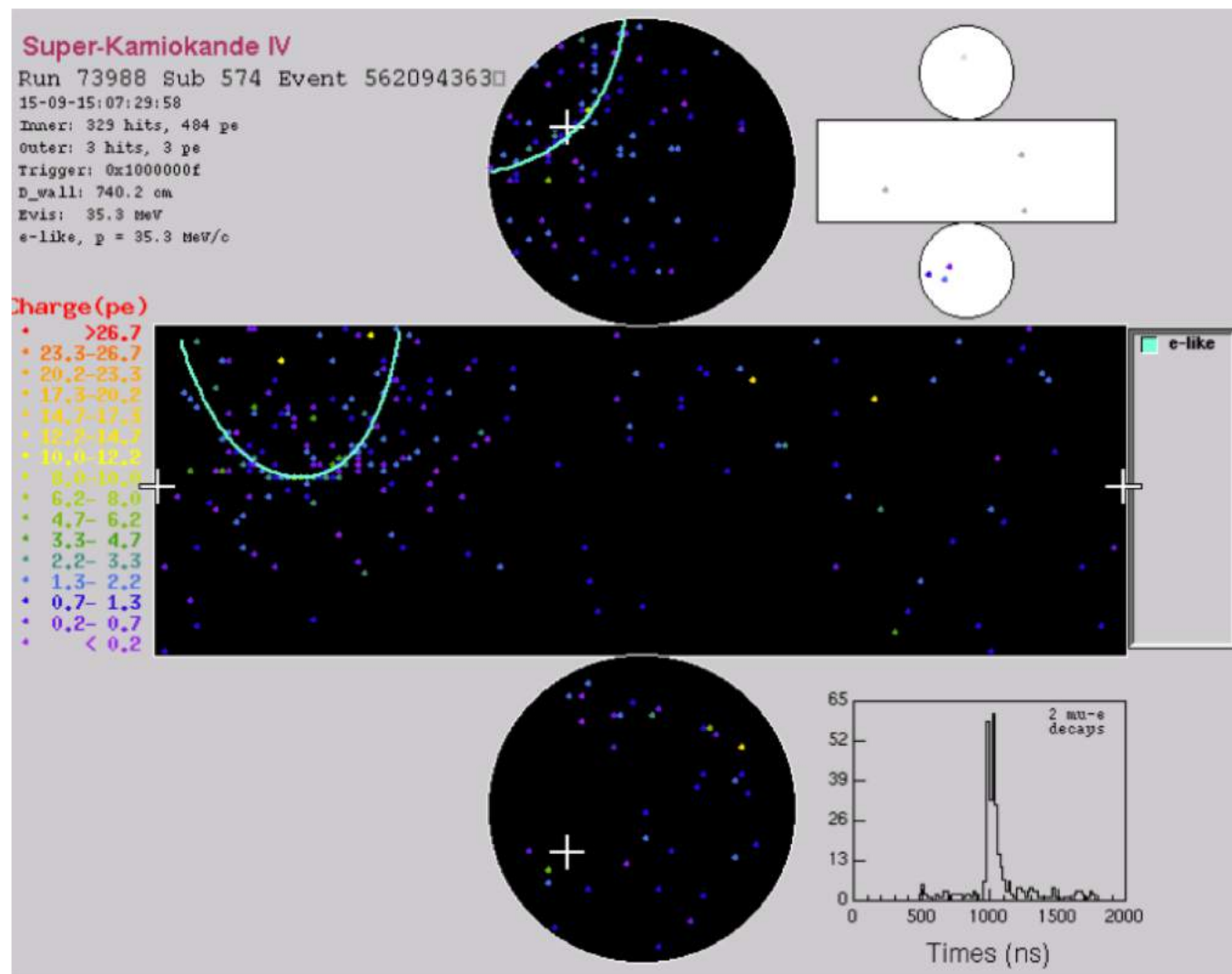
リング状に広がる
PMTで観測！

光電子増倍管の反応



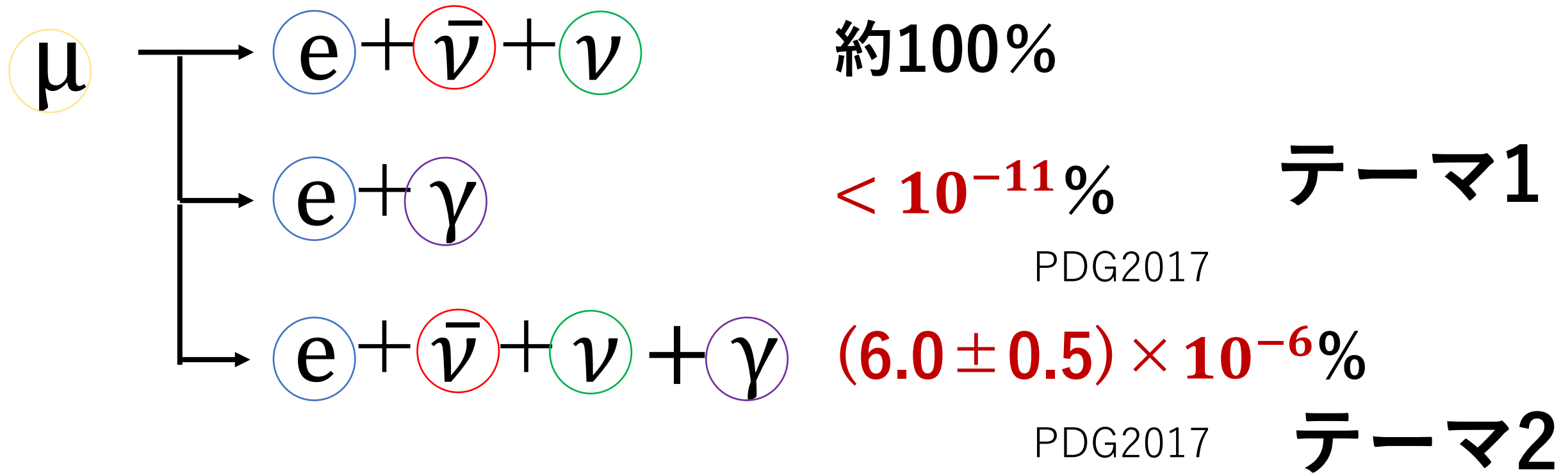
光電効果により、光子が
電子の信号に変わる

観測したデータ



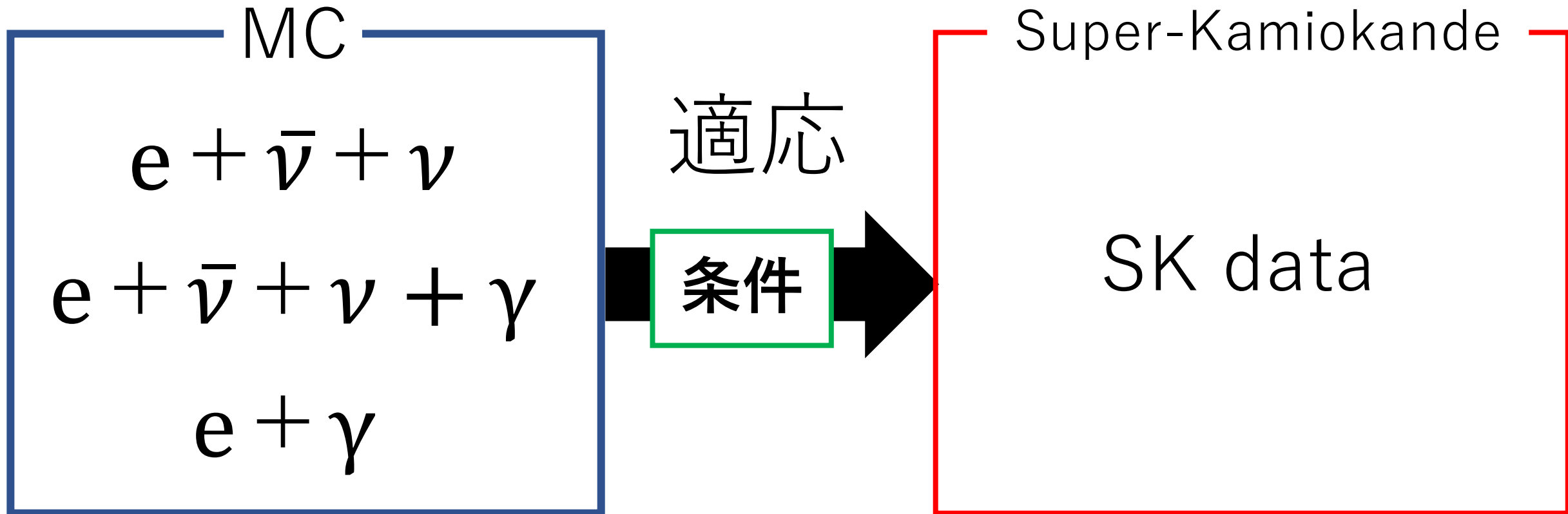
ミューオンの崩壊

分岐比



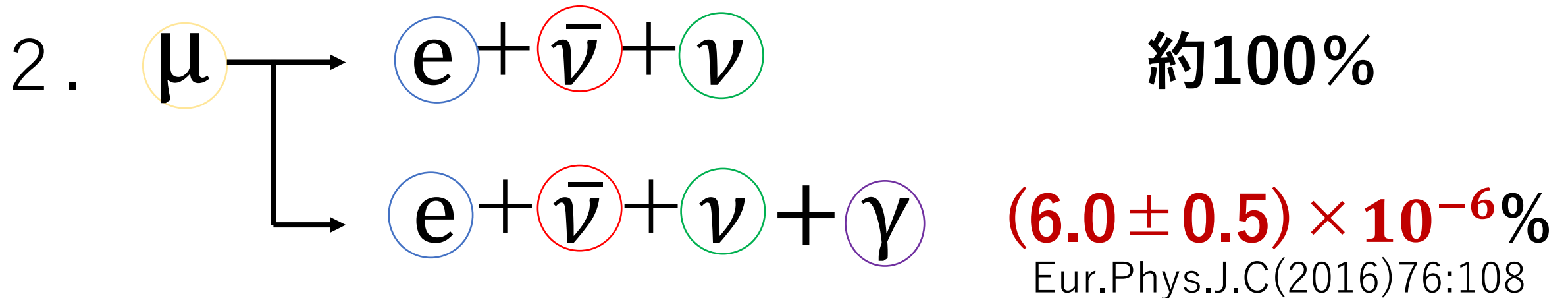
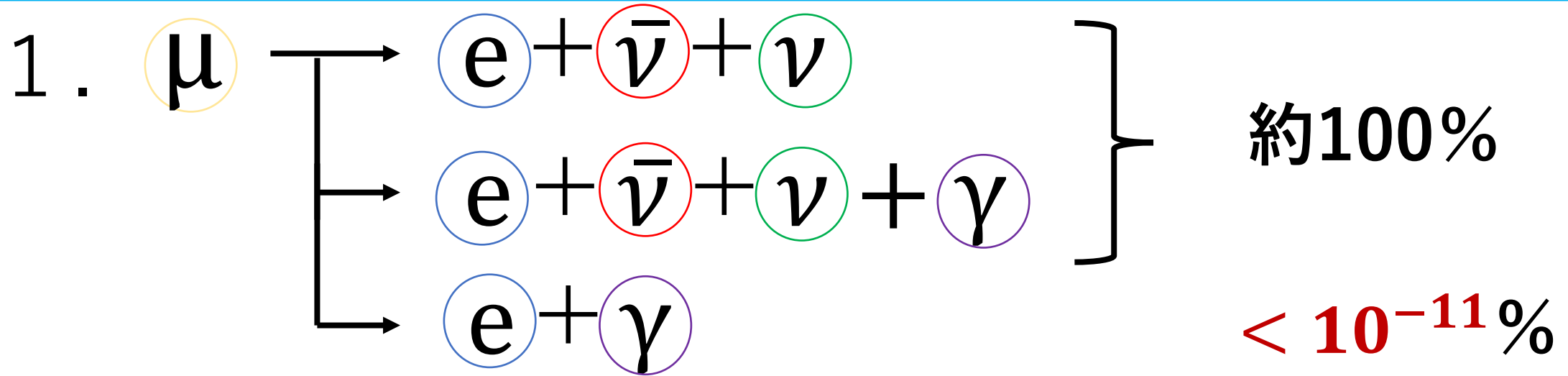
解析手法 < テーマ 1、テーマ 2 >

モンテカルロ法 (Monte Carlo method)



ミューオンの崩壊

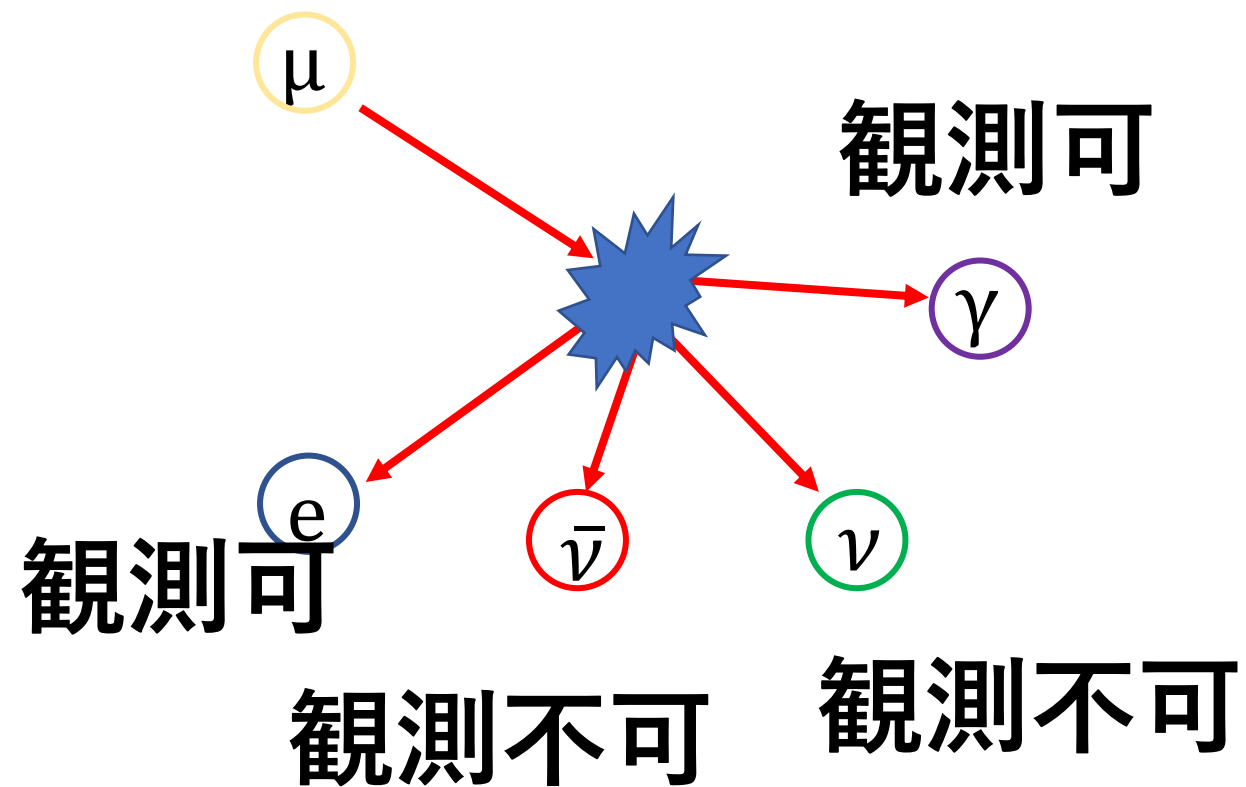
分岐比



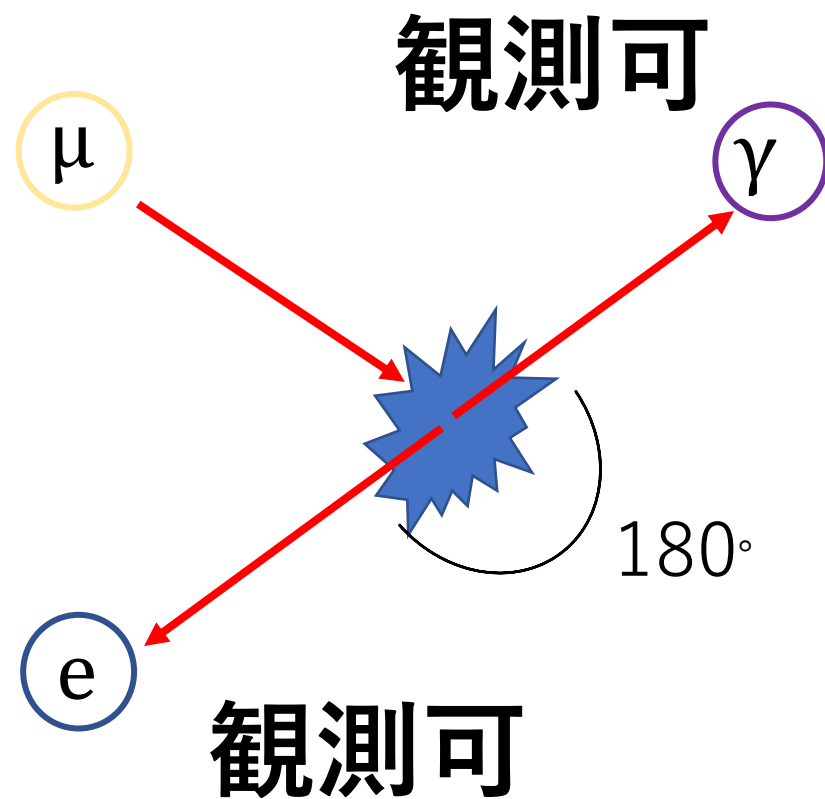
解析手法～テーマ 1～

エネルギー保存
運動量保存

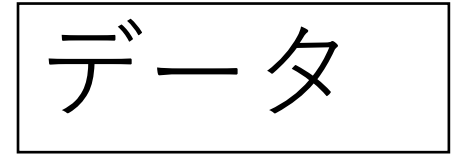
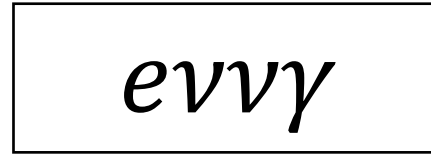
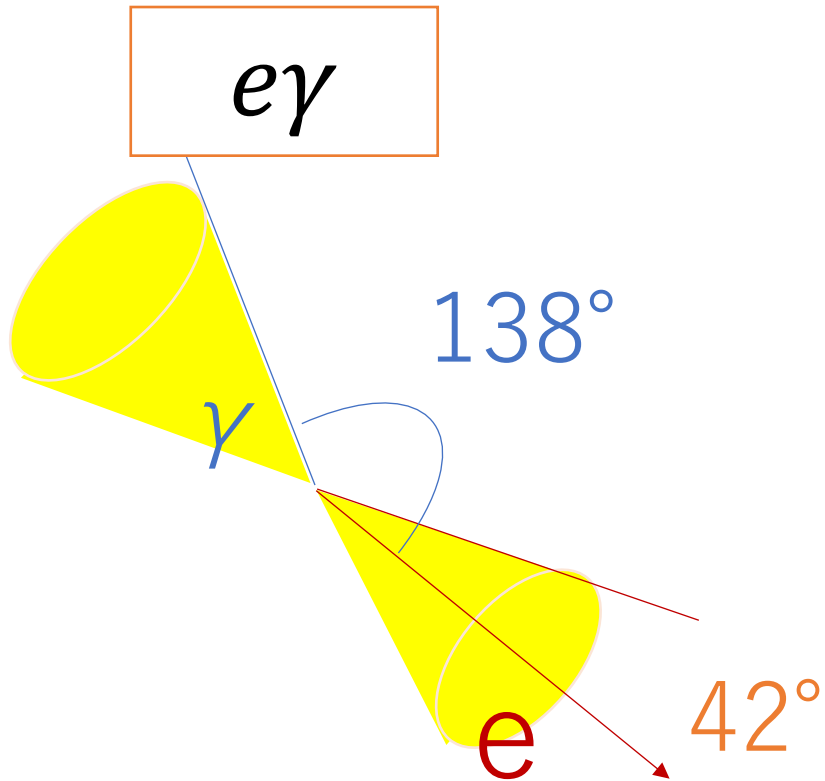
$$e + \bar{\nu} + \nu + \gamma$$



$$e + \gamma$$



解析手法 ～テーマ1～

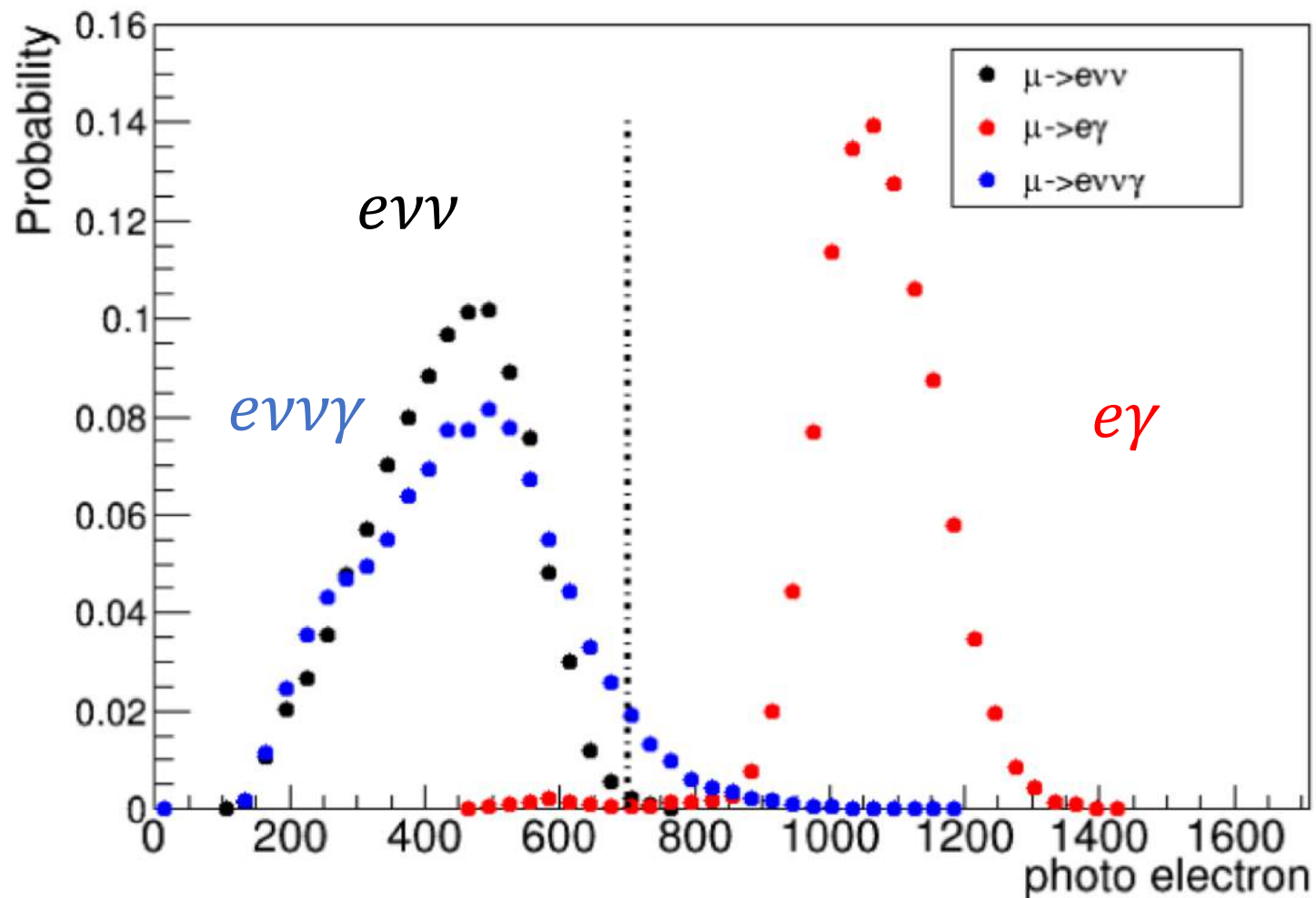


信号はあるのか??

水中の屈折率=1.33
チェレンコフリングの開き角=42°

解析手法 ～テーマ1～

光量の分布



データの中に $e\gamma$ 崩壊
があるか？



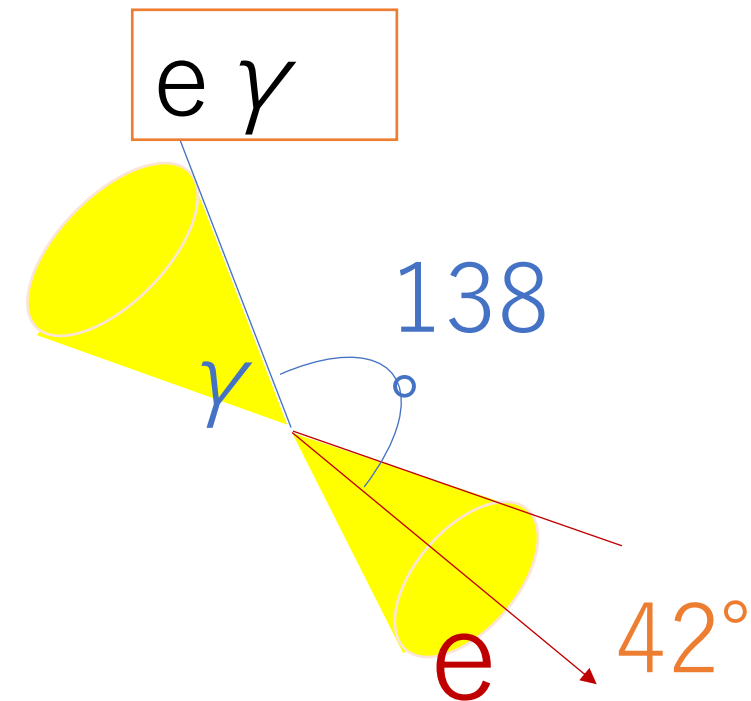
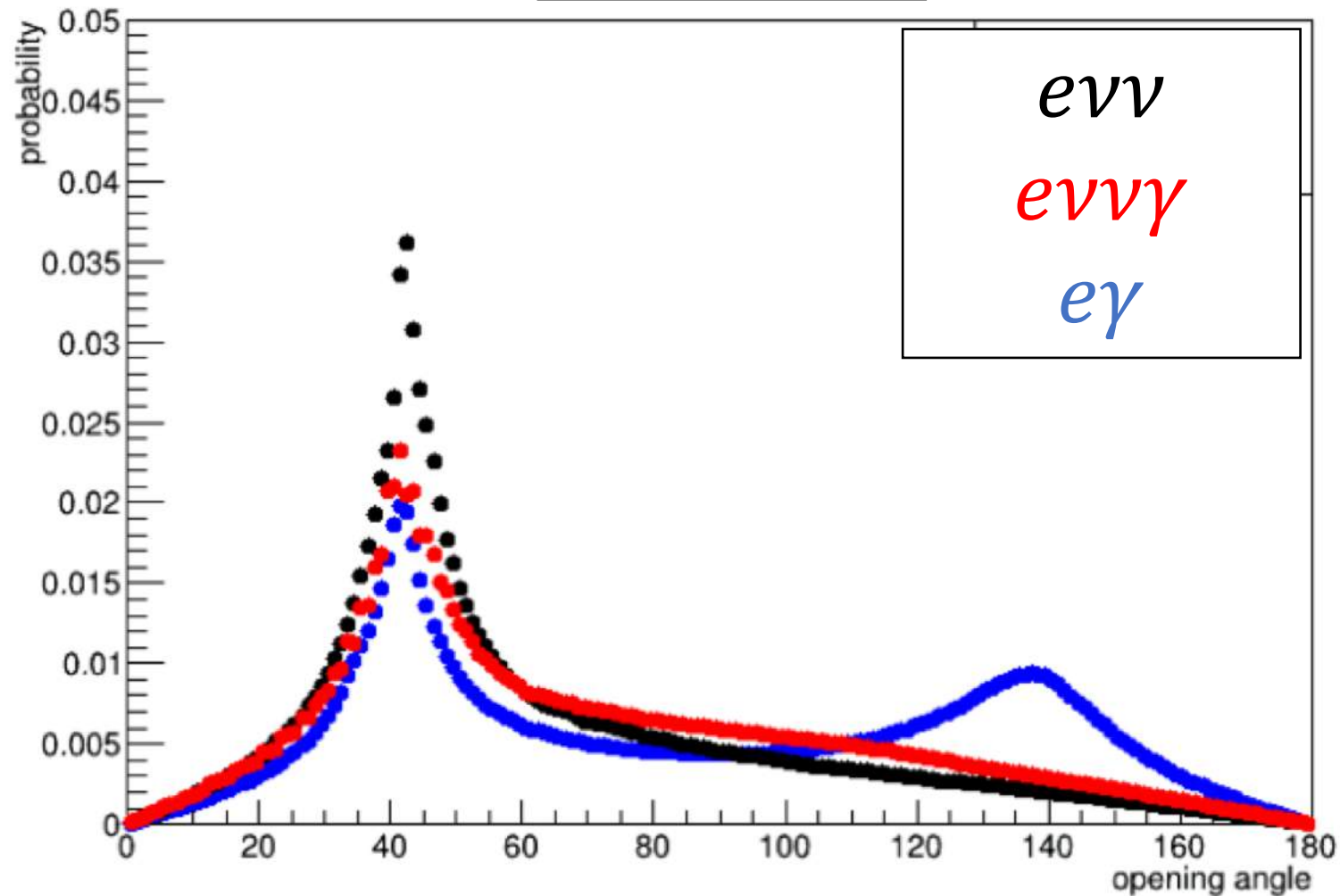
エネルギーの和は
106MeVのはず！

光量（エネルギー
依存量）を比べ
る！

光量 > 700.0

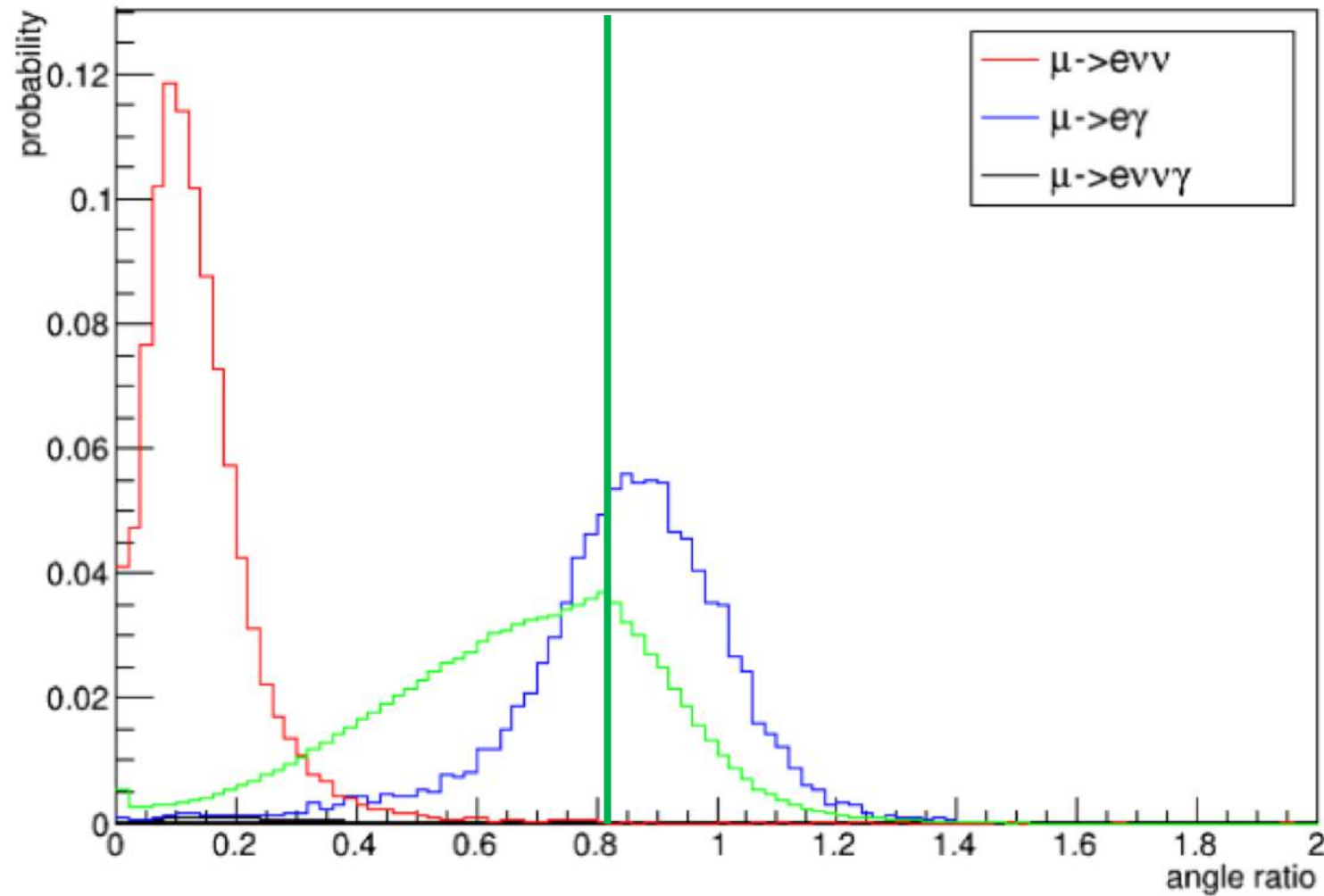
138° にピークがあるのは $e\gamma$ のみ！

角度分布



138° 付近に光量がどれくらいあるか…？

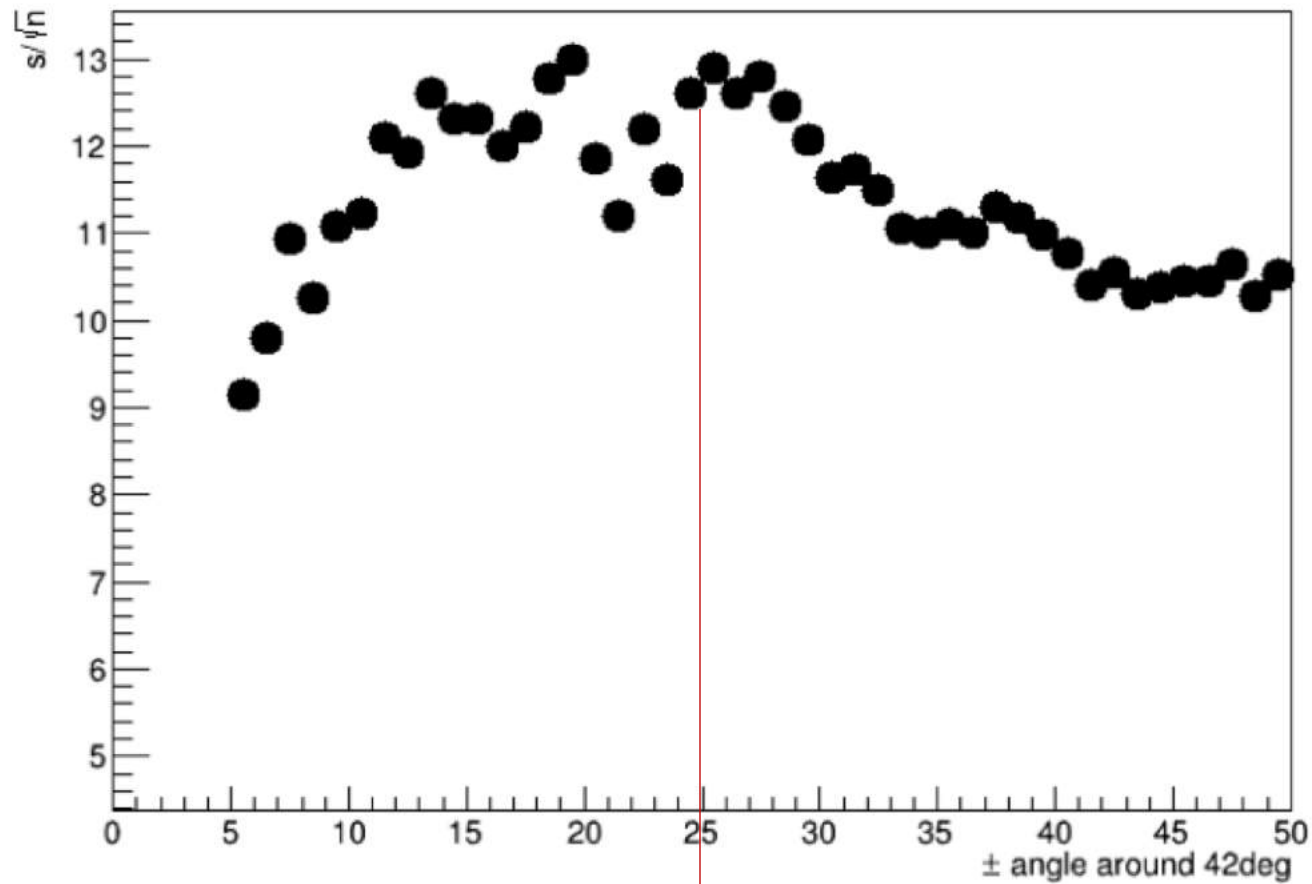
$$\text{angle ratio} = \frac{138^\circ \text{ 付近にある光量}}{42^\circ \text{ 付近にある光量}}$$



どこをangle ratio
の境界にするか？

シグナルノイズ比
が最も高くなると
ころ！

最大シグナルノイズ比



$\pm 25^\circ$

角度幅を変える...

最大のシグナルノイズ比が**さらに最大である角度は？**



$\pm 25^\circ$ を採用

angle ratio > 0.83

解析手法　～テーマ1～

シミュレーションの結果

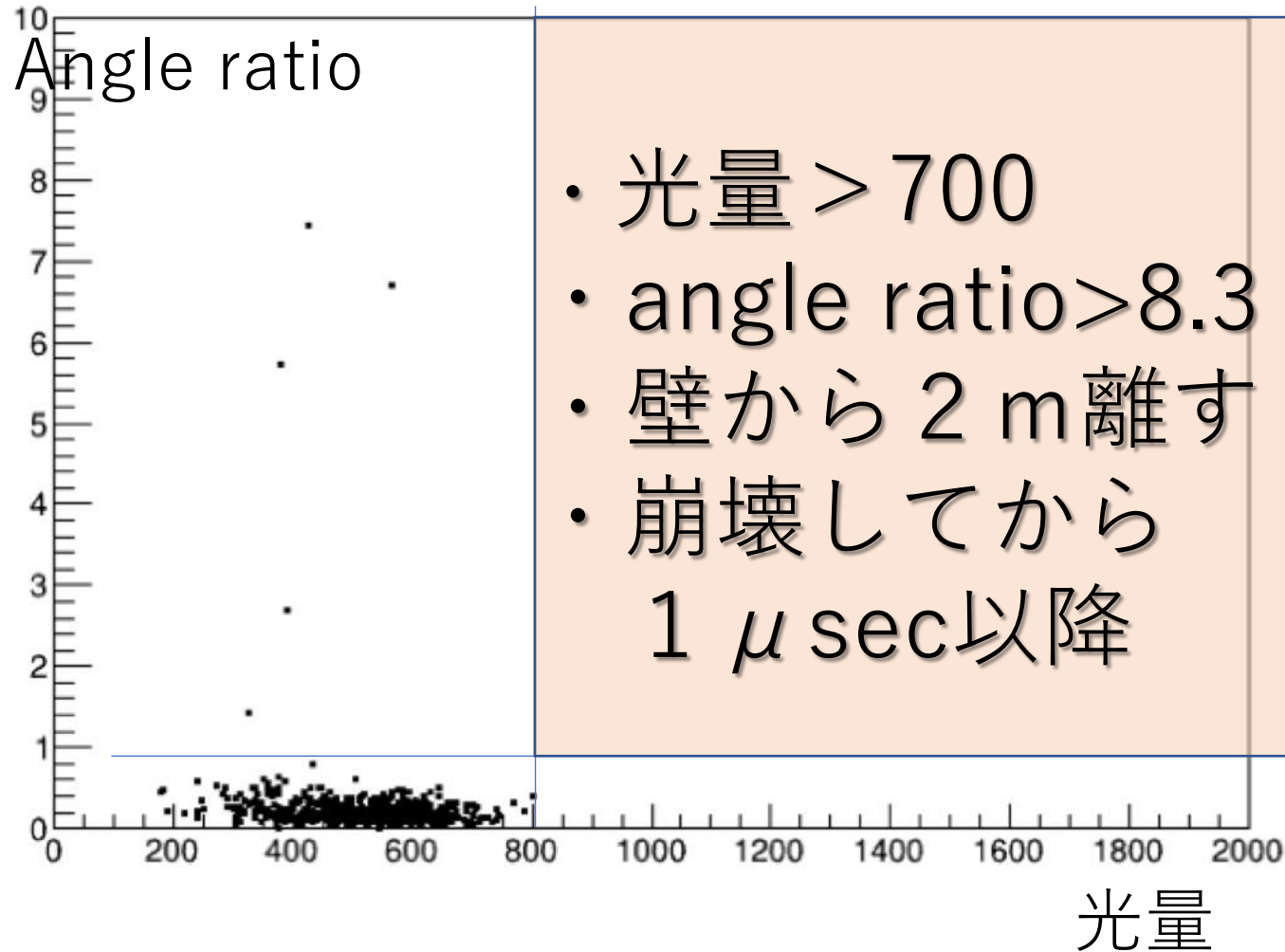
	バックグラウンド		シグナル
	$E \nu \nu$ (Br=100%)	$E \nu \nu \gamma$ (Br= $10^{-6}\%$)	$e \gamma$
入力した イベント数	29313	8236	7187
当てはまった イベント数	0	34	4099
選別効率	$0 \pm 0.003\%$ (60%の信頼度)	0.4128% 分岐比考慮で ほぼ0%	57.033%

- 光量 > 700
- angle ratio > 8.3
- 壁から 2 m 離す
- 崩壊してから
1 μ sec以降



結果～テーマ1～

qismask vs q ratio

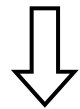


	イベント数
Cut前	292,490
Cut後	60

分岐比 $(3.60 \pm 0.09) \times 10^{-4}$

考察 ～テーマ1～

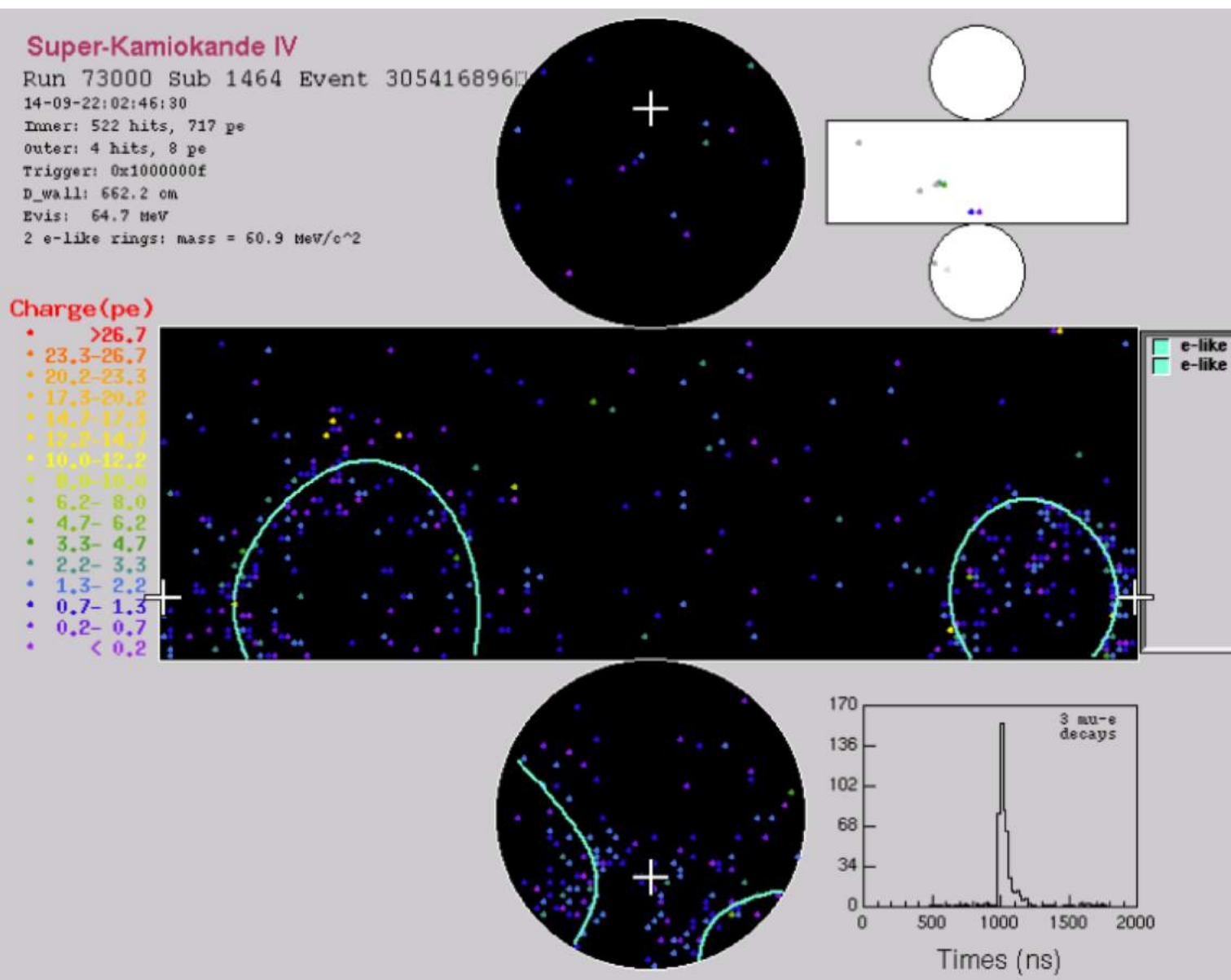
- データ数 30万中に期待される
バックグラウンド数
 - 10イベント（60%信頼度）
 - 実際：60イベント



バックグラウンドでは説明できない
イベントがあった

展望 ～テーマ1～

$e\gamma$ とは考えにくい



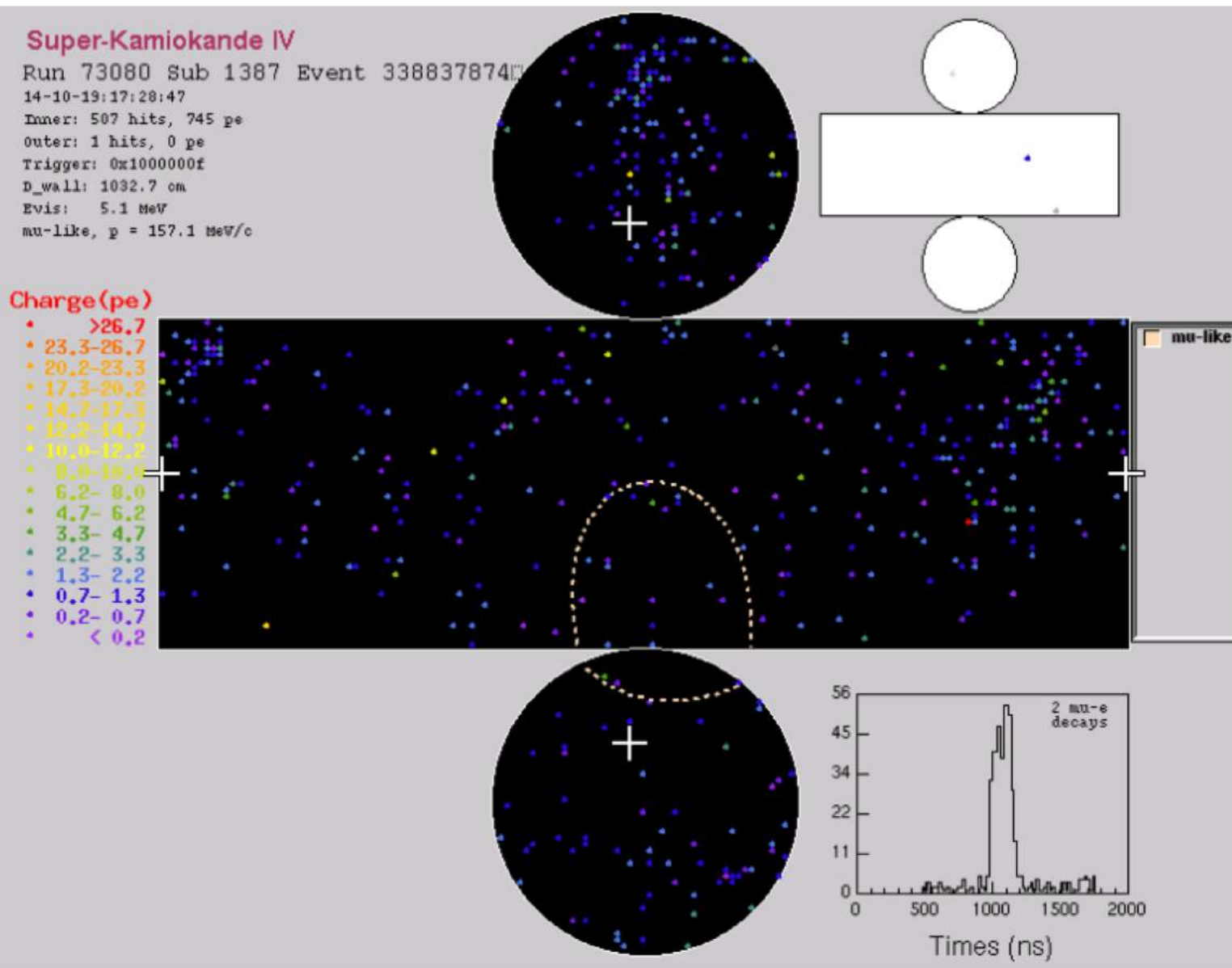
2つのリングが見えていたもの：**6イベント**

⇐ リングのエネルギー
： 31.9MeV, 32.7MeV



$e\nu\nu$ を検出しているのかも…

残りの54イベントは...



2つのリングが
見えない！

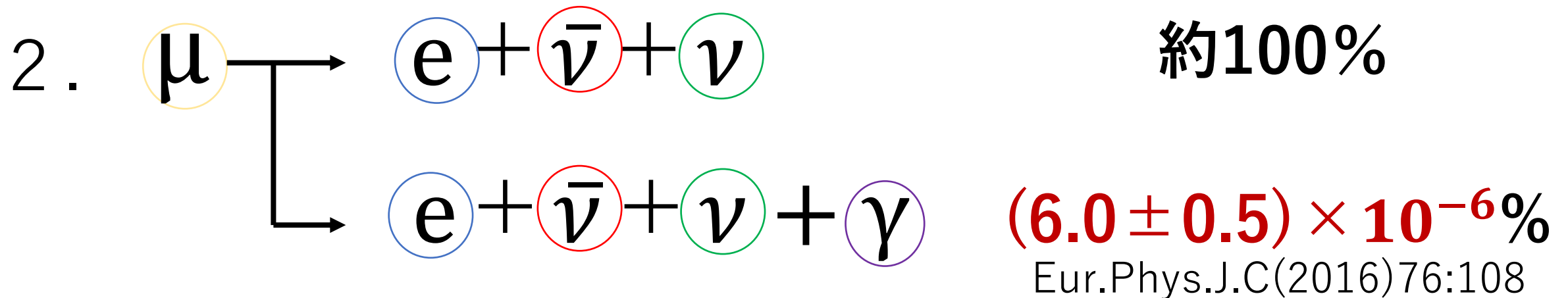
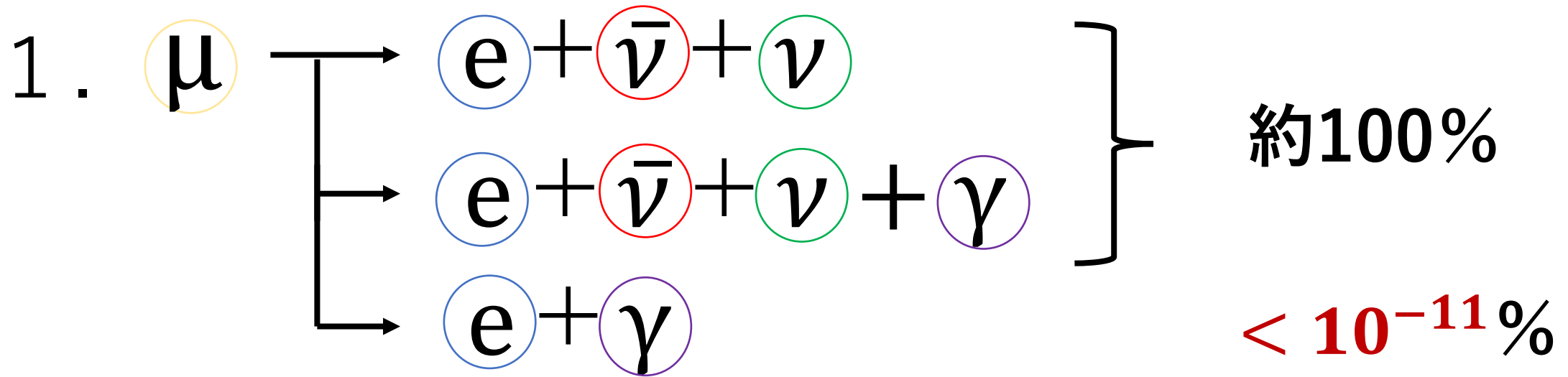
シミュレーションでは
予想できなかった
現象がある



改良の余地あり！！

ミューオンの崩壊

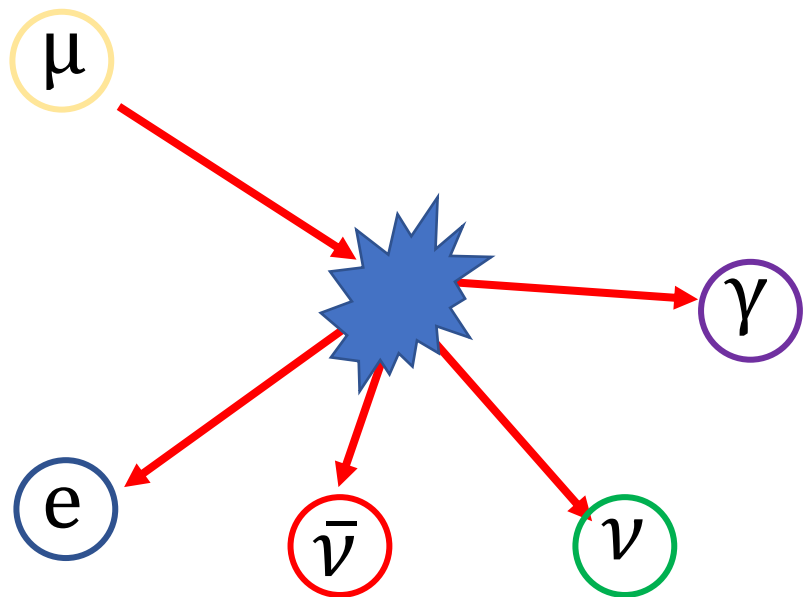
分岐比



解析手法 < テーマ 2 >

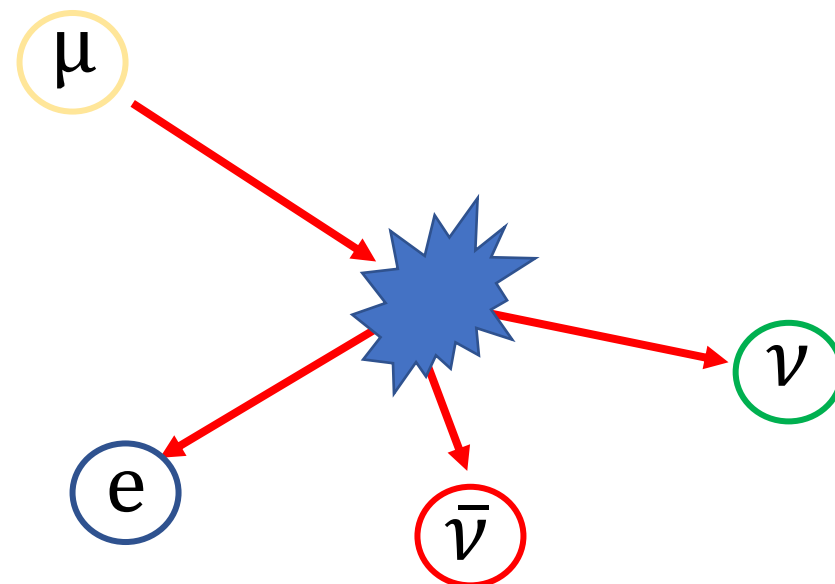
signal

$$e + \bar{\nu} + \nu + \gamma$$

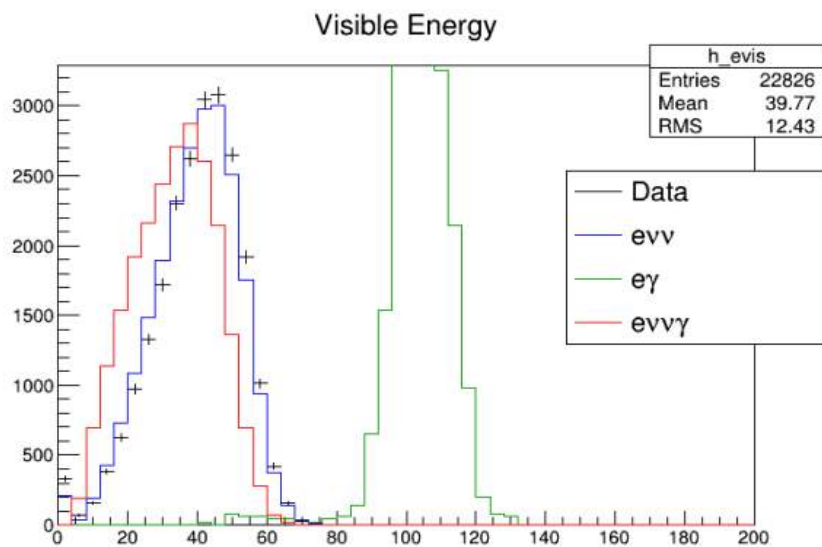


back ground

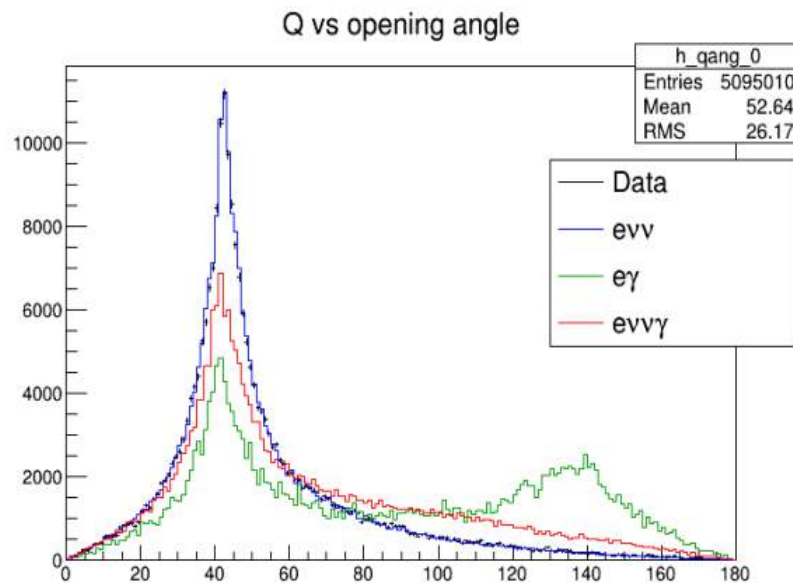
$$e + \bar{\nu} + \nu$$



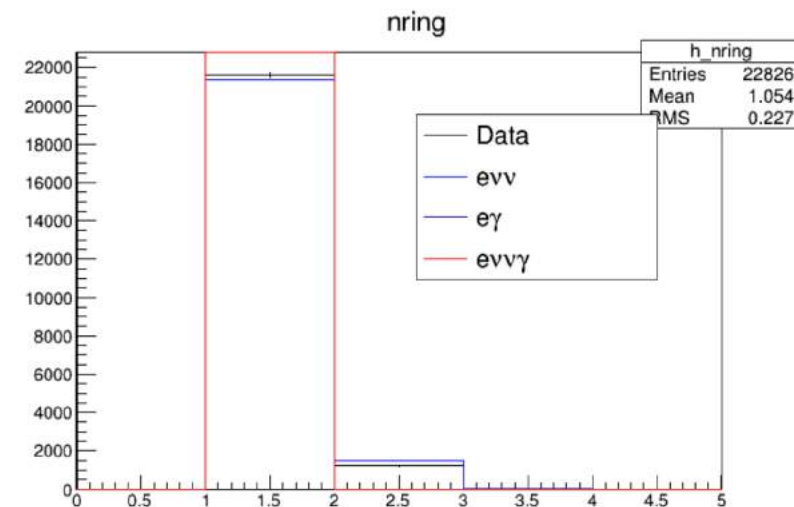
解析手法<テーマ2>



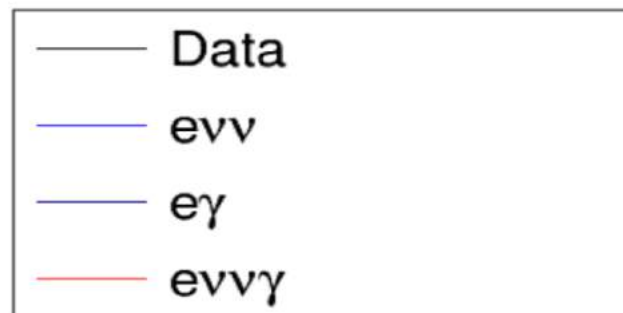
観測したエネルギーの総和 E_{vis}



1つ1つのPMTが観測した光量
と角度の関係



MCが判断した崩壊別のring数



解析手法～テーマ2～

機械学習で条件を見つける



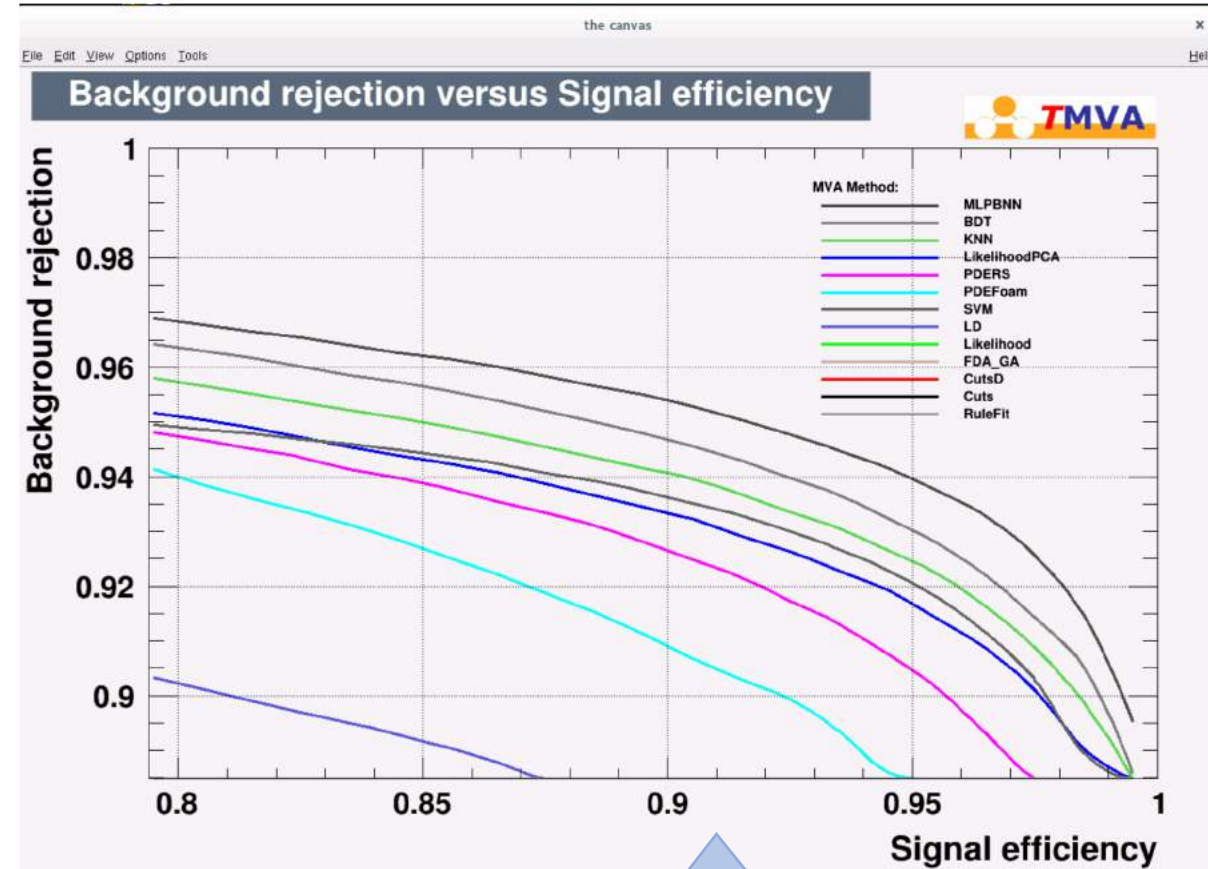
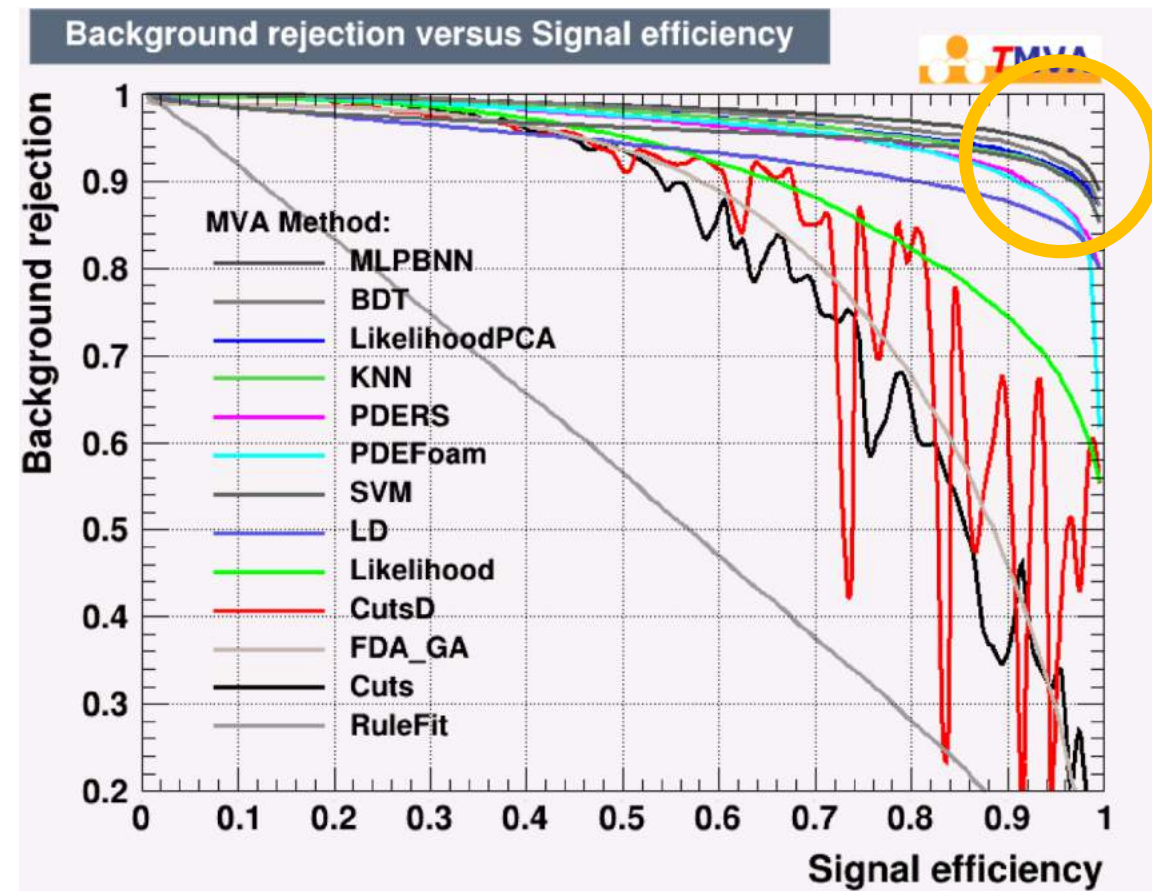
Super-Kamiokandeデータに適用



Fittingから割合の算出

解析手法～テーマ2～

ROOTの機械学習ツール「TMVA」



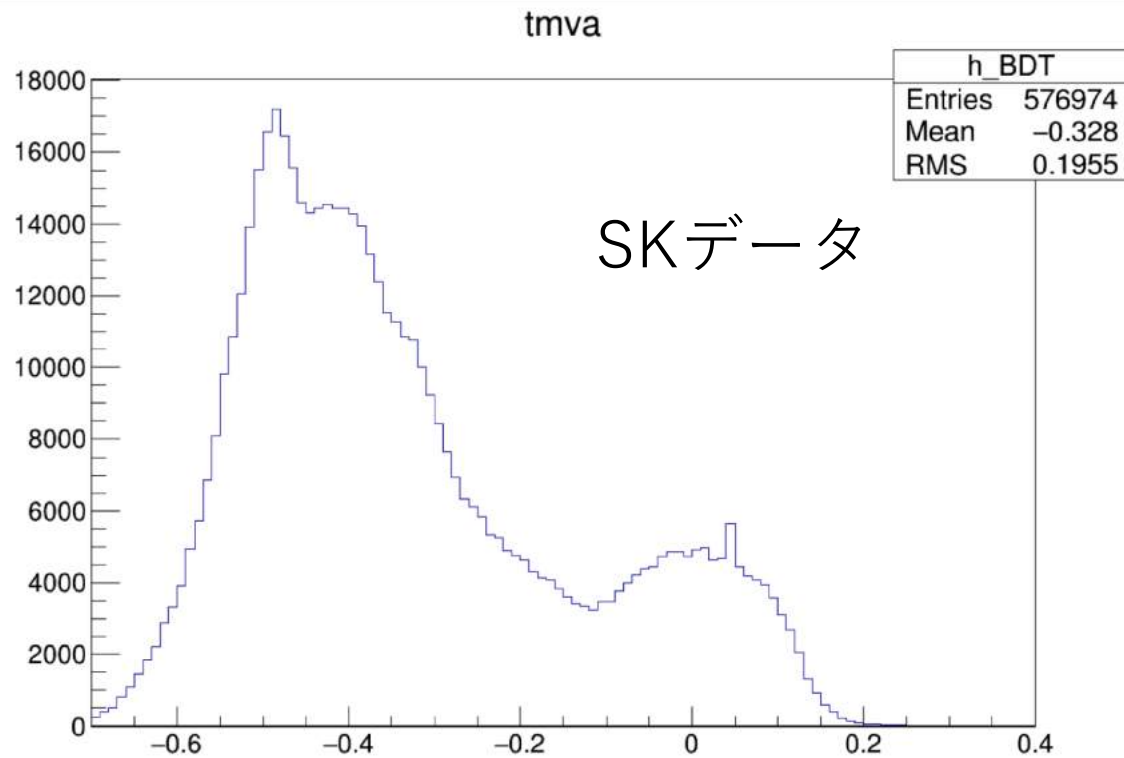
q50 : 光量
n50 : ヒットの有無
pe-frac60 : 角度
dwall : 壁との距離
towall : 上面との距離

今回使ったアルゴリズム

1番 : MLPBNN

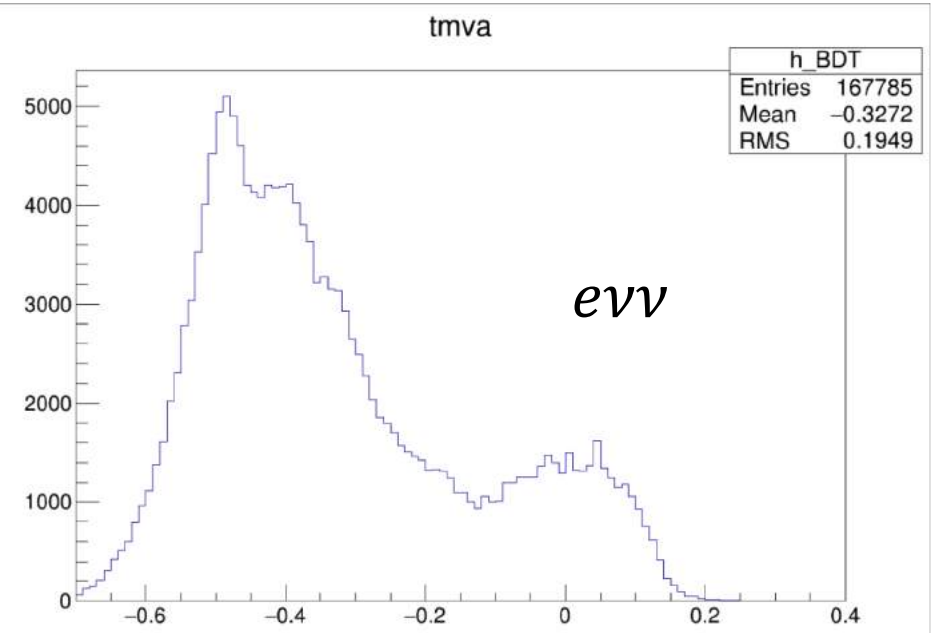
2番 : BDT

解析手法～テーマ2～



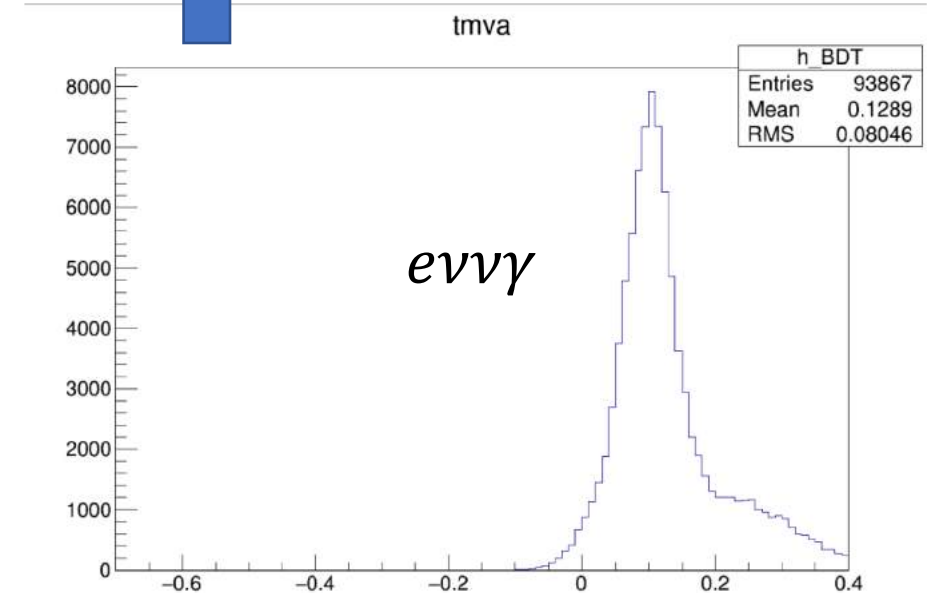
=

α



+

β

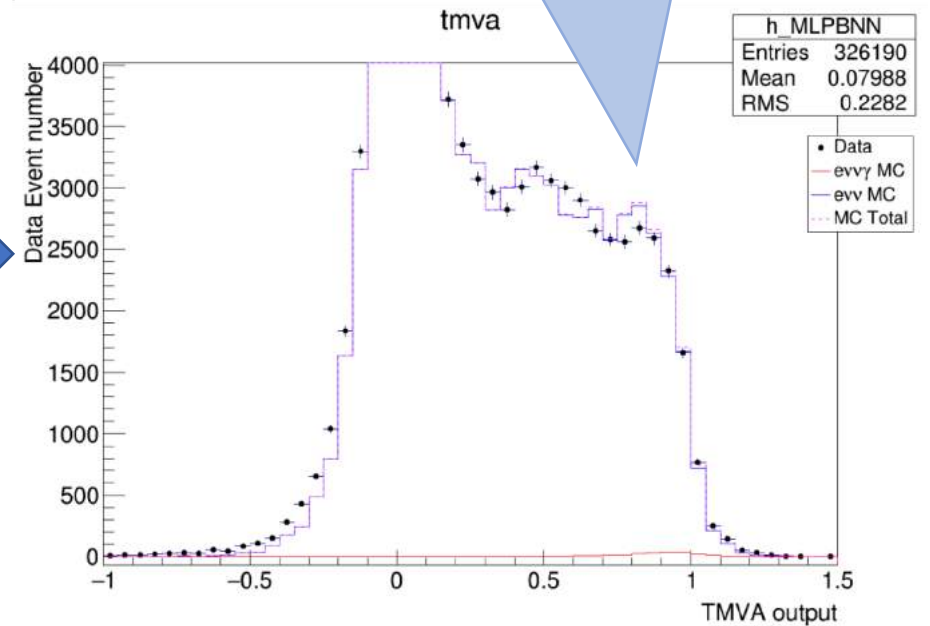
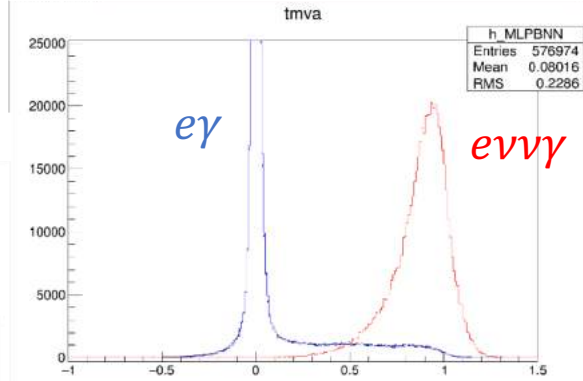
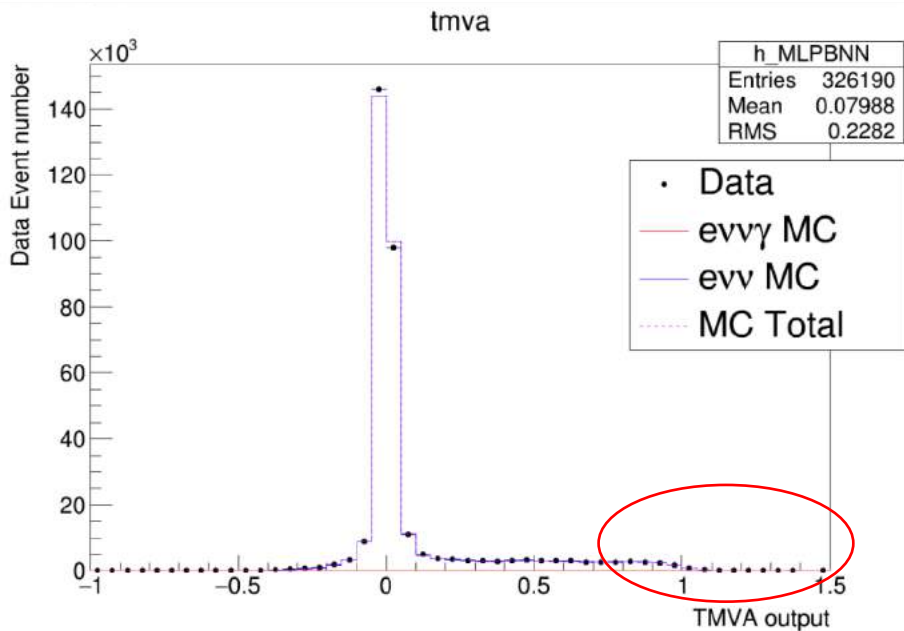


1つのヒストグラムの階級に
イベントが10個以上入っているもの

$$\chi^2 = \sum_{i:\text{bin}} \frac{(N_i^{\text{data}} - C_1 N_i^{\text{evv}} - C_2 N_i^{\text{evv}\gamma})^2}{(\sigma_i^{\text{data}})^2 + C_1^2 (\sigma_i^{\text{evv}})^2 + C_2^2 (\sigma_i^{\text{evv}\gamma})^2}$$

Fittingより α と β を求め割合の算出

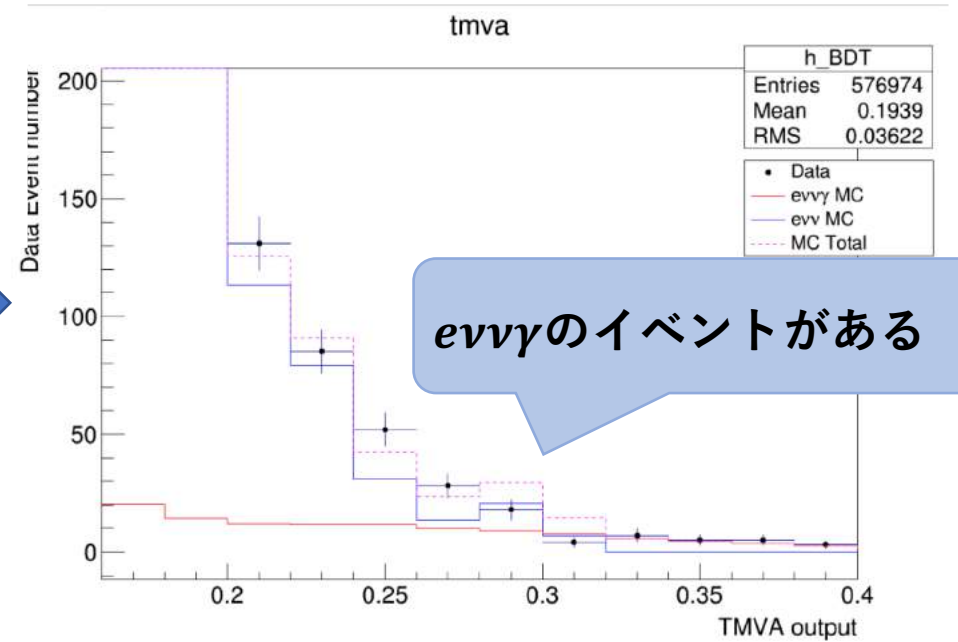
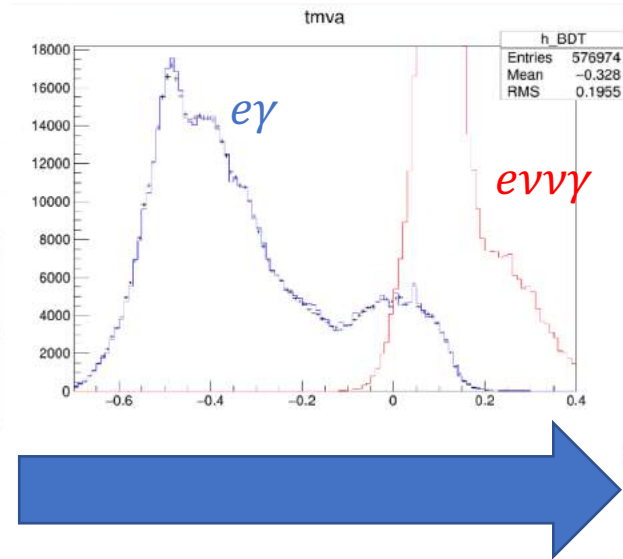
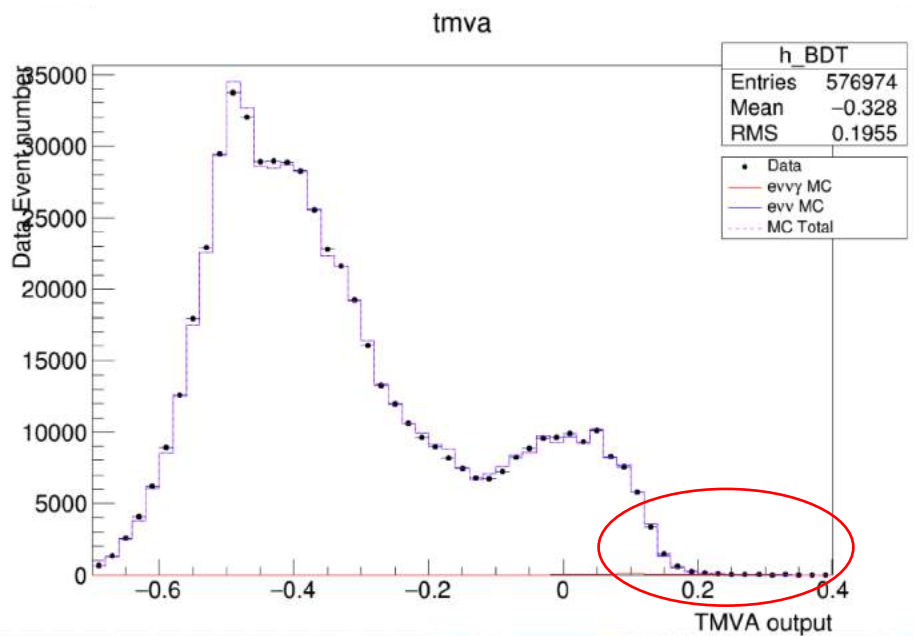
解析手法～テーマ2～



evv γ のイベントがある？

MLPBNN $0.069 \pm 0.063\%$

解析手法～テーマ2～



BDT $0.081 \pm 0.037\%$

考察～テーマ2～

分岐の割合

文献(2016) ^[1]	➡	$(6.0 \pm 0.5) \times 10^{-6} \%$	$E_\gamma > 40 \text{MeV}$
文献(1961) ^[2]	➡	$(1.4 \pm 0.4) \%$	$E_\gamma > 10 \text{MeV}$
今回(MLPBNN)	➡	$(0.069 \pm 0.063) \%$	制限なし
今回(BDT)	➡	$(0.081 \pm 0.037) \%$	制限なし

理想的な変数を見つけることで、よりはっきりと分離

機械学習のアルゴリズムを改良

[1]Ew.Phys.J.C(2016)76:108

[2]Phys.Rev.(1961)121,1823

まとめ

テーマ1

我々のまだ知らない現象が起きている可能性がある

$ev\gamma$ が検出できたかもしれない

テーマ2

2つの手法で分岐の確率が大きく違わない

1961年よりいい精度

ガンマ線のエネルギーに制限がないから新物理の可能性がある

新物理を発見するような実験データが得られた

謝辞

本研究を進めるにあたってご指導いただいた
Supervisorの奥村公宏准教授に感謝いたします。

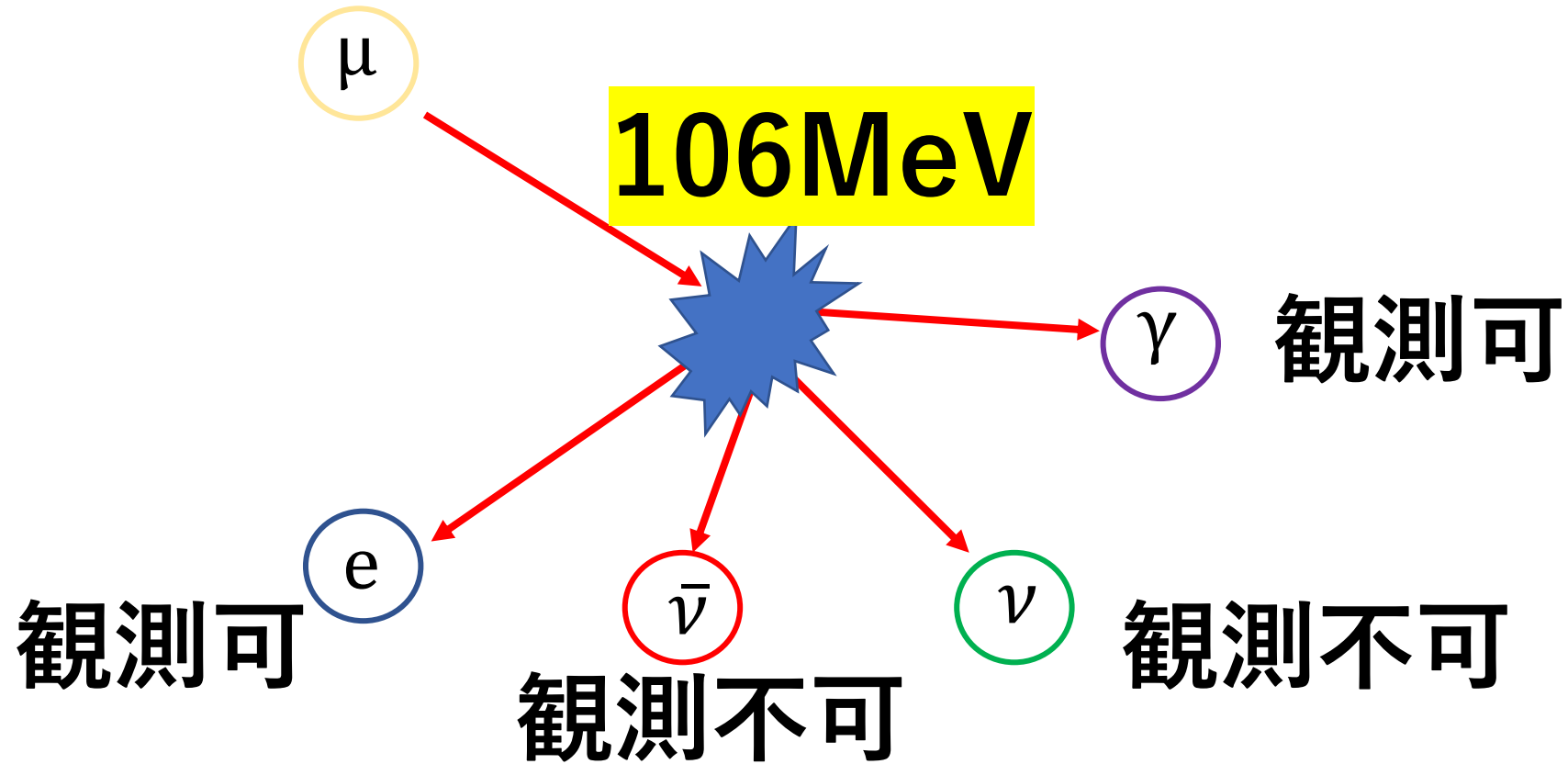
また、多くの知識や示唆をいただいたSuppoterの
園田祐太郎さん、鈴木拓実さんに感謝いたします。

質問用スライド

質問対応

解析手法 < テーマ 2 >

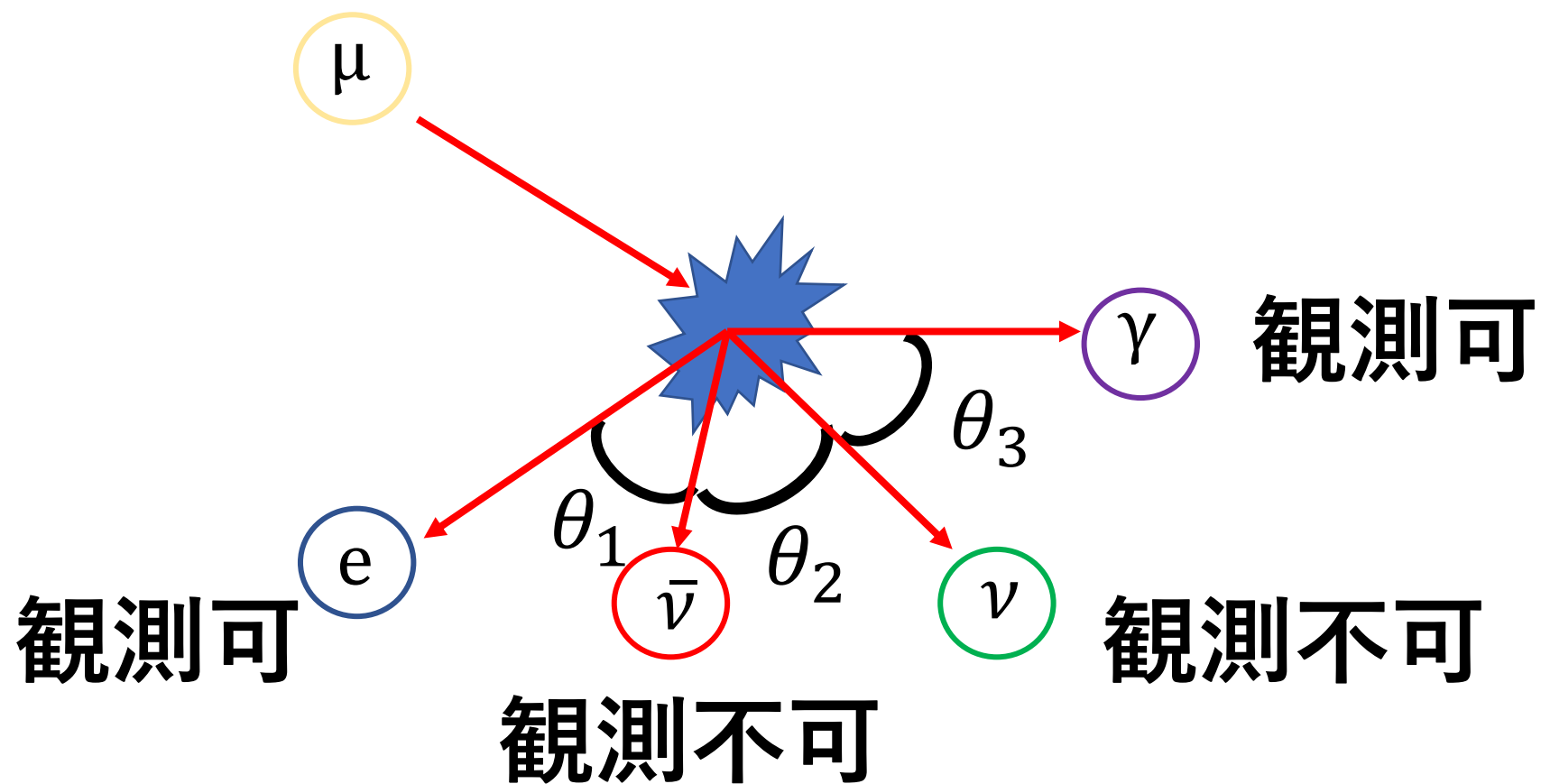
$$e + \bar{\nu} + \nu + \gamma$$



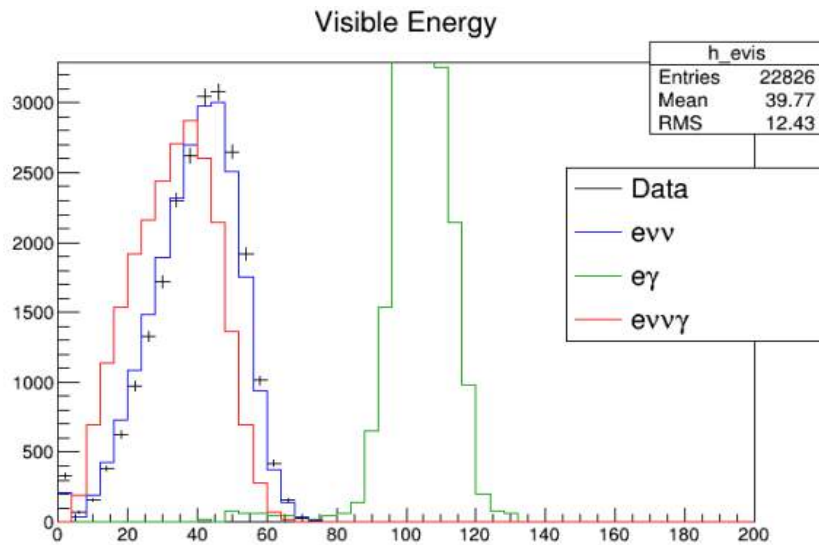
質問対応

解析手法 < テーマ 2 >

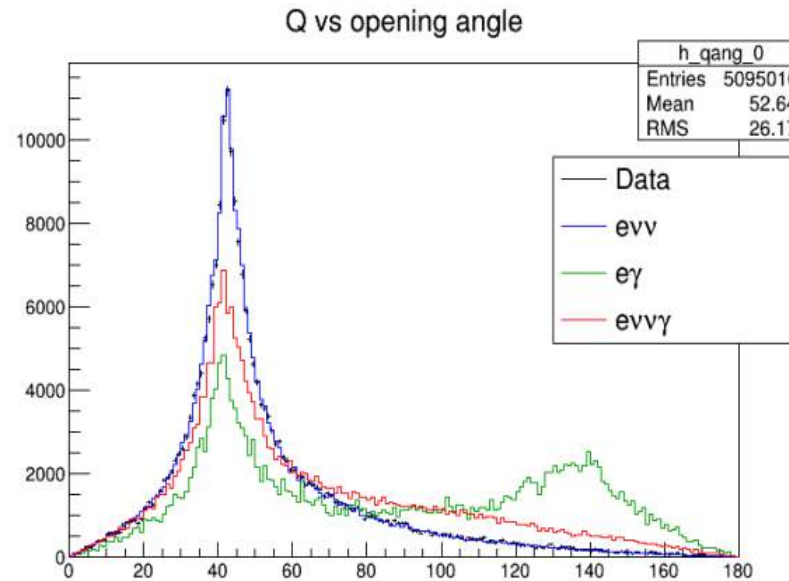
$$e + \bar{\nu} + \nu + \gamma$$



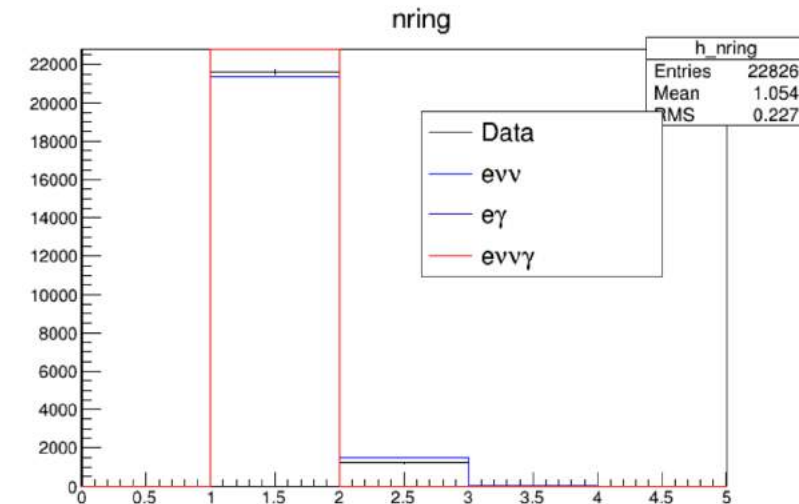
質問対応 解析手法<テーマ2>



観測したエネルギーの総和 E_{vis}



1つ1つのPMTが観測した光量
と角度の関係



MCが判断した崩壊別のring数

