
OPERAにおける 崩壊事象探索

フレーバー物理研究会

2012/07/06

名古屋大学 F研究室

中塚 裕司

Flow

- OPERAの概要・目的
- ECCの解析、タウニュートリノ反応とImpact Parameterについて
- 崩壊事象探索の方法
- Short Decay 解析、Pattern Matching Method.
- Summary

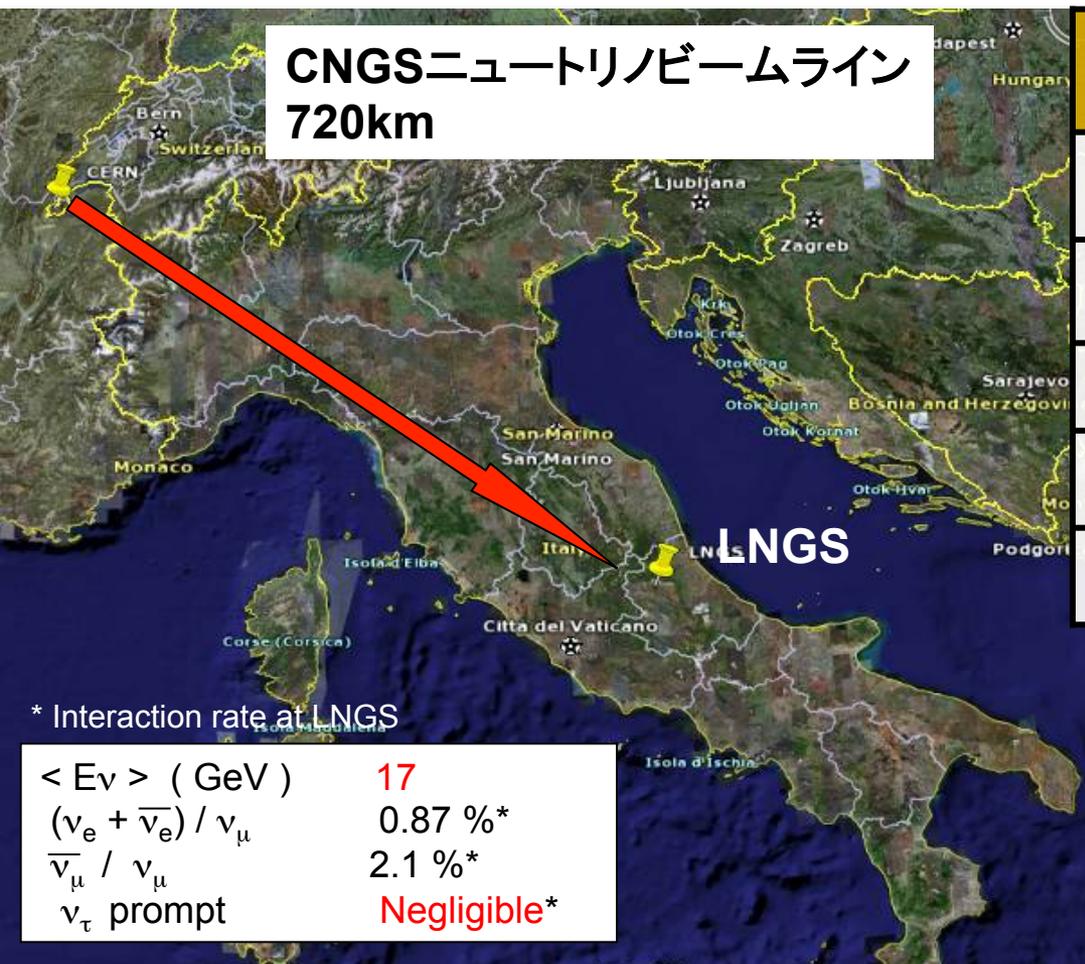
OPERA Collaboration

Belgium ULB Brussels		Italy Bari Bologna LNF Frascati L'Aquila LNGS Naples Padova Rome Salerno		Korea Jinju	
Croatia IRB Zagreb				Russia INR RAS Moscow LPI RAS Moscow ITEP Moscow SINP MSU Moscow JINR Dubna	
France LAPP Annecy IPNL Lyon IPHC Strasbourg					
Germany Hamburg		Japan Aichi edu. Kobe Nagoya Toho Utsunomiya		Switzerland Bern ETH Zurich	
Israel Technion Haifa				Turkey METU Ankara	

(11 countries, 30 Institutes, ~160 researchers)

OPERA実験

原子核乾板を用い $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$ 振動アピアランスを示す



Year	その年のPOT	ニュートリノ 反応数	積分POT プロポーザル比
2008	1.78×10^{19}	1698	7.9%
2009	3.52×10^{19}	3557	23.6%
2010	4.04×10^{19}	3912	41.5%
2011	4.84×10^{19}	4207	63.0%
2012	$(\sim 4.7 \times 10^{19})$	(~ 4050)	$(\sim 84\%)$

Expected: ~5events

$$P(\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau) \sim \sin^2(2\theta_{23}) \cdot \sin^2\left(1.27 \cdot \Delta m^2_{23} \cdot \frac{L}{E}\right) \sim 1.7\%$$

Gran Sasso 国立研究所



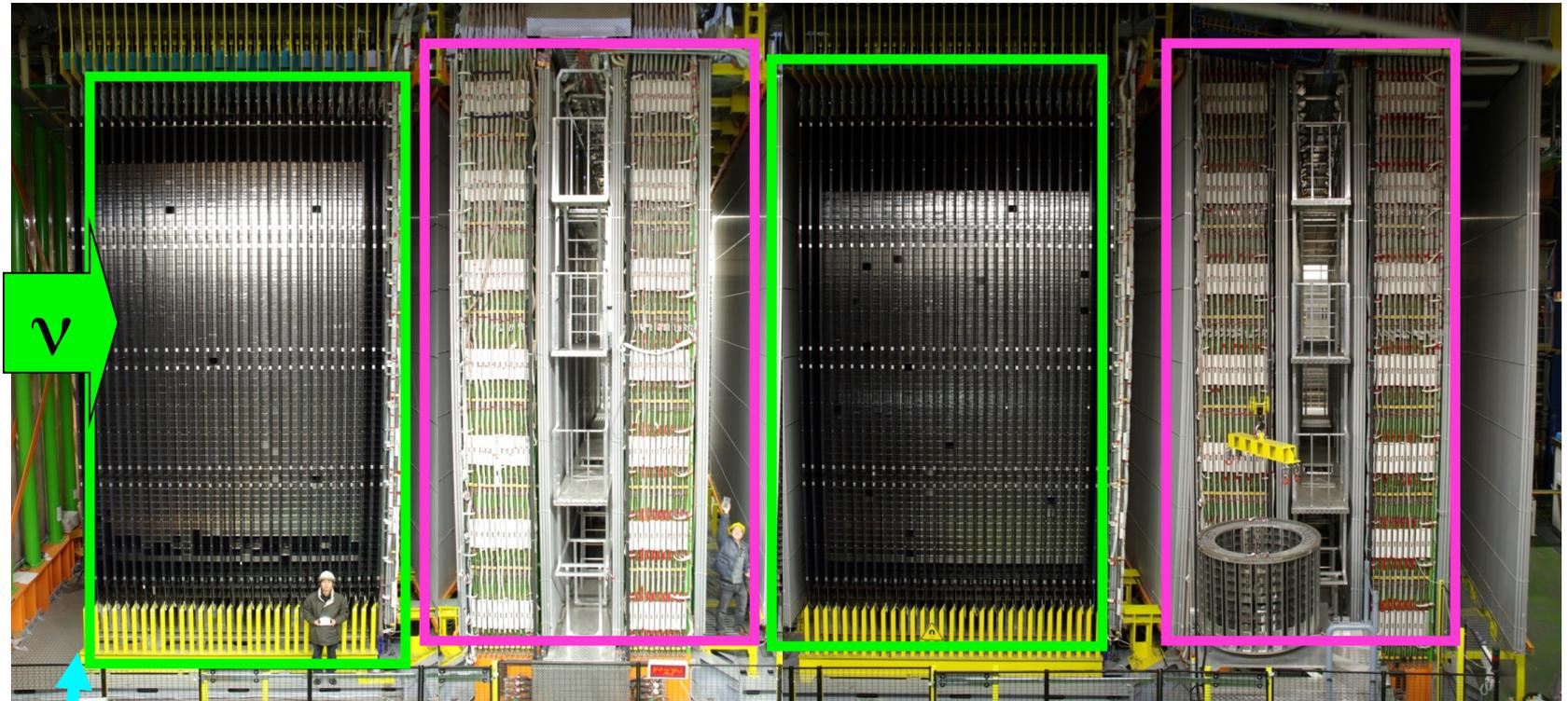
As a Brick HundlingShifter



Detector : Electronics and Nuclear Emulsion

OPERA検出器
イタリアGranSasso地下

ECC 約15万個、標的質量約1250t



Veto Target area

Muon spectrometer

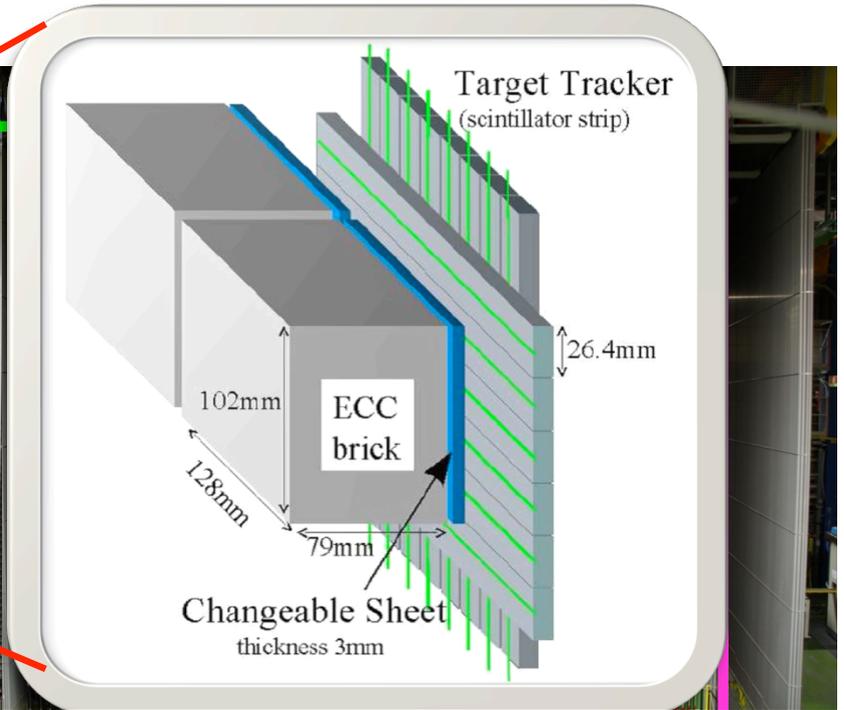
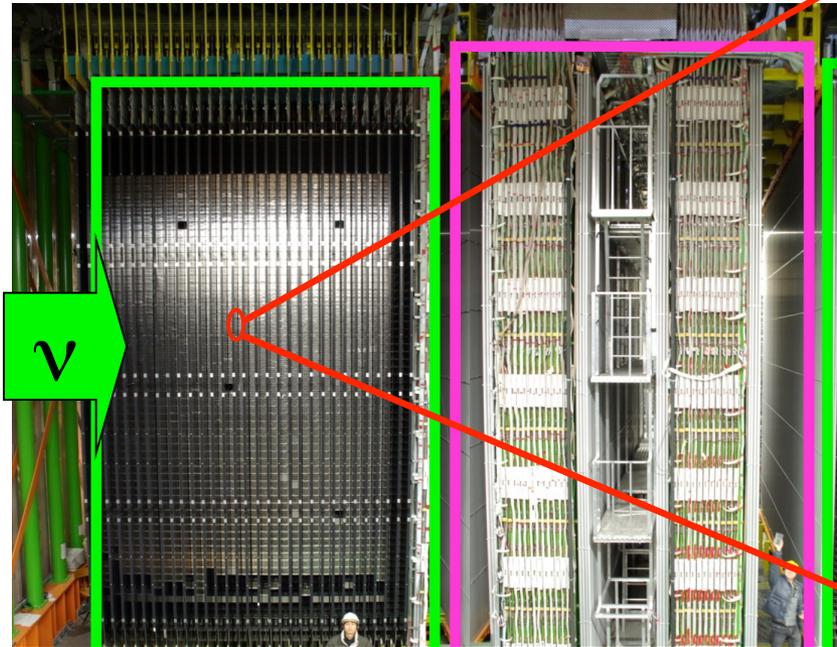
Target area

Muon spectrometer

Detector : Electronics and Nuclear Emulsion

OPERA検出器
イタリアGranSasso地下

ECC 約15万個、標的質量約1250t



ECC finding:

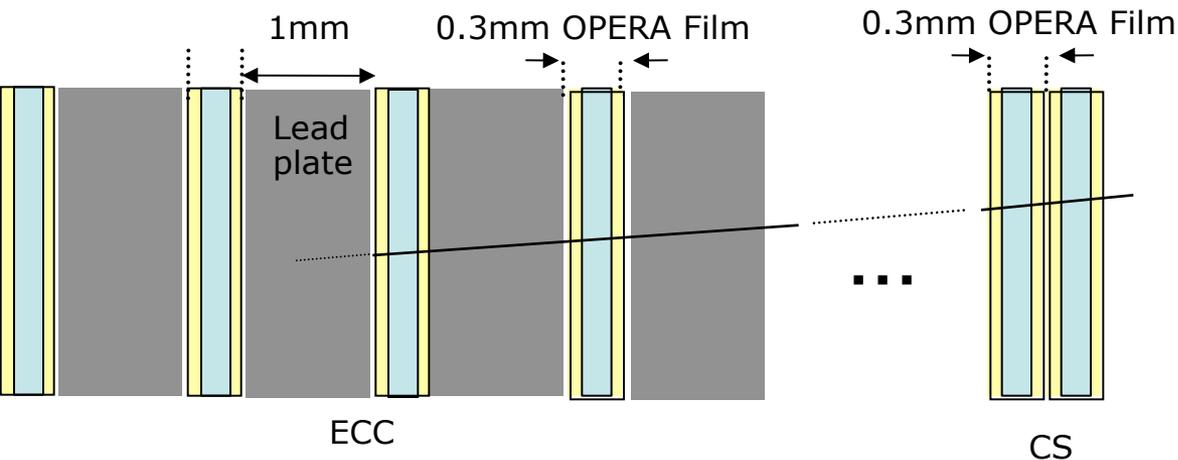
T.T.からニュートリノ反応がどのECCで起こったかを特定する。

CSを取り出し、ニュートリノ反応からの飛跡が写っているかを確認し、

ECCを現像する。(CS解析)

明日の大村の発表で詳しく。

ECC (Emulsion Cloud Chamber) Analysis

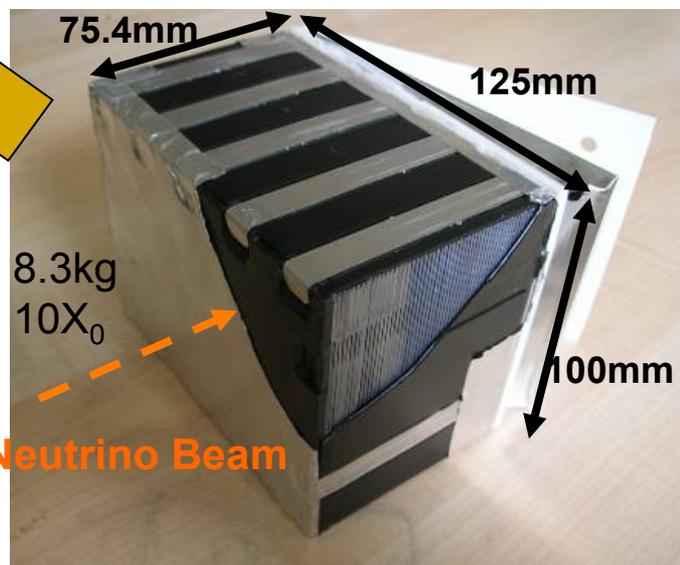


CSで見つかった飛跡を
ECC中へつないで追いつける

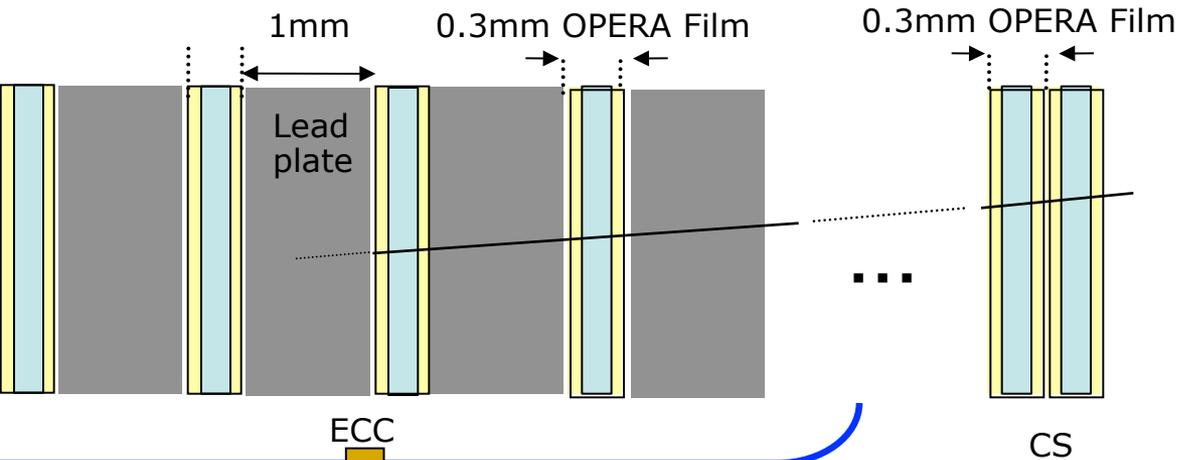
OPERA ECC
OPERA Film 57枚+Lead Plate 56枚

Locationの流れ
ECC Finding, CS解析

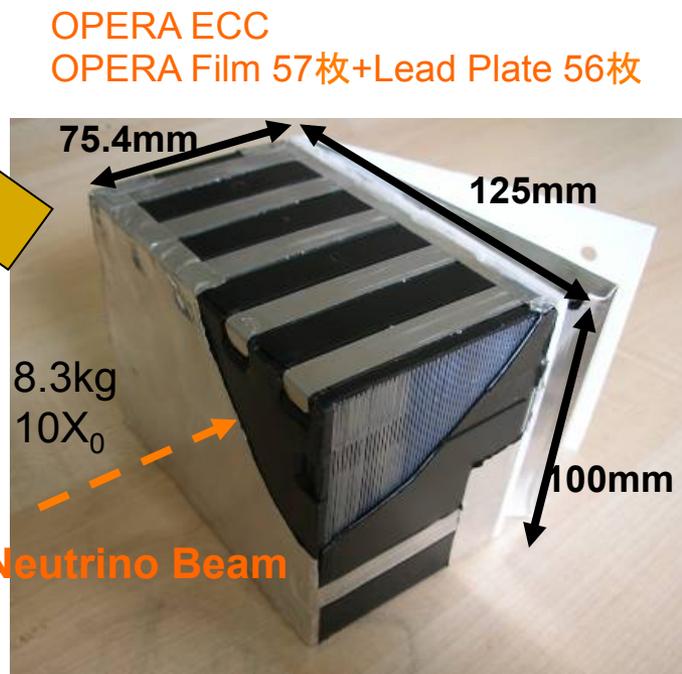
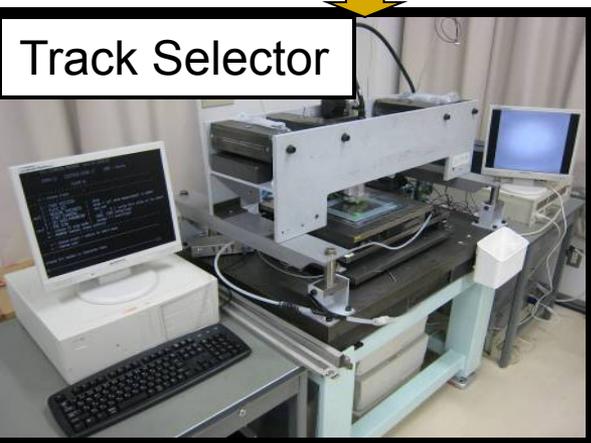
->ECC内への解析へ



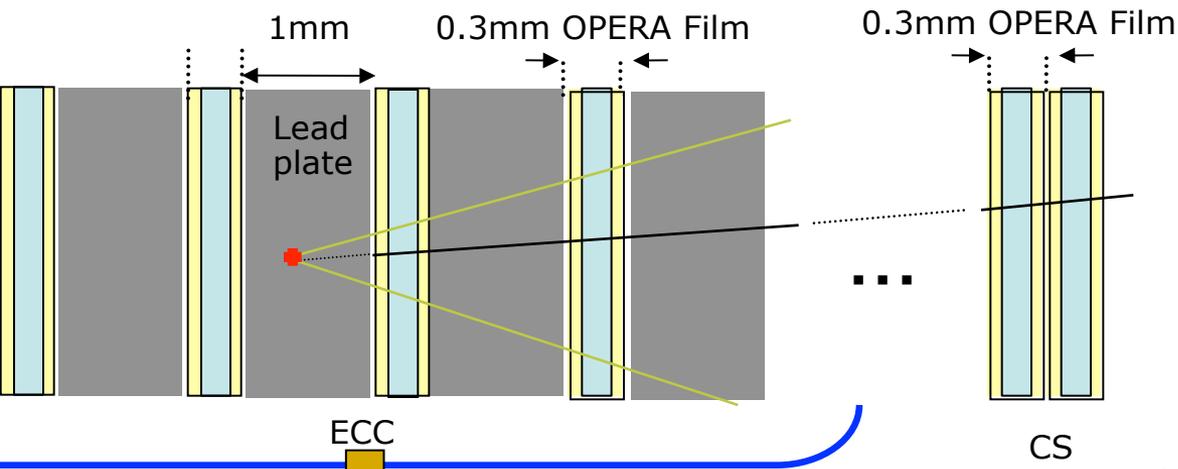
ECC (Emulsion Cloud Chamber) Analysis



飛跡がstopしたフィルムの
上流3枚、下流7枚を読み取り



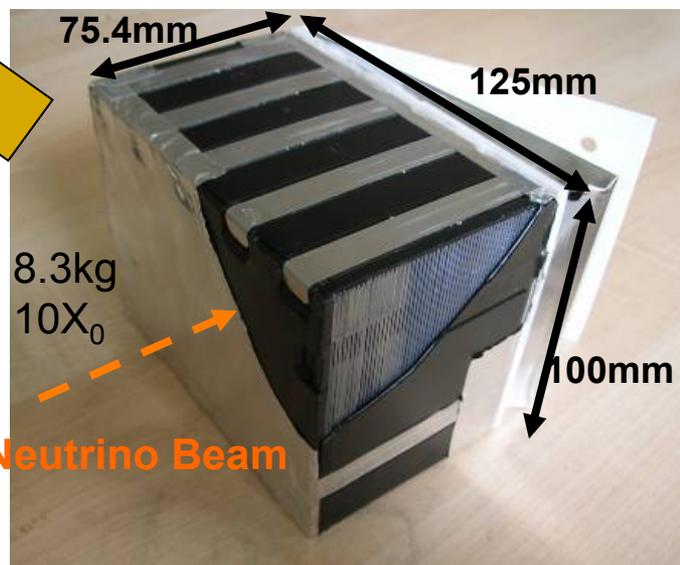
ECC (Emulsion Cloud Chamber) Analysis



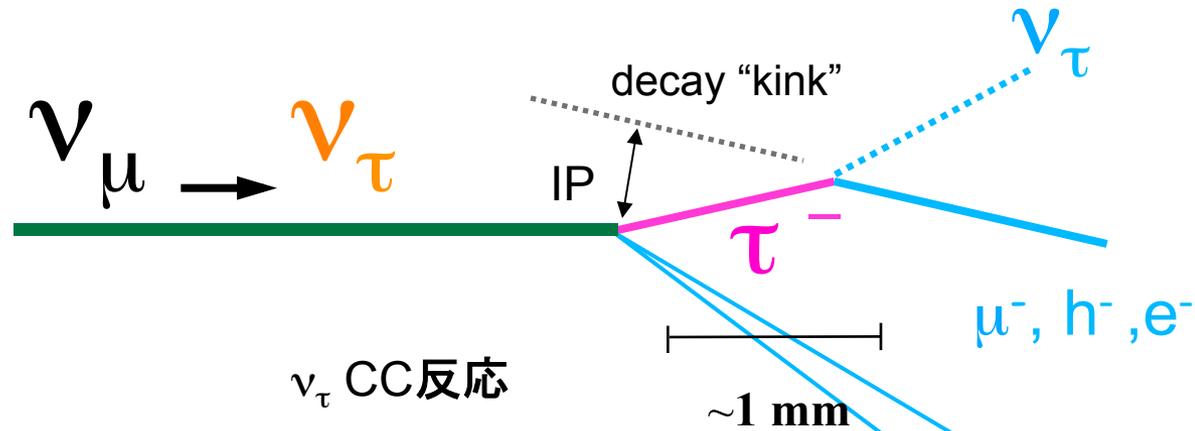
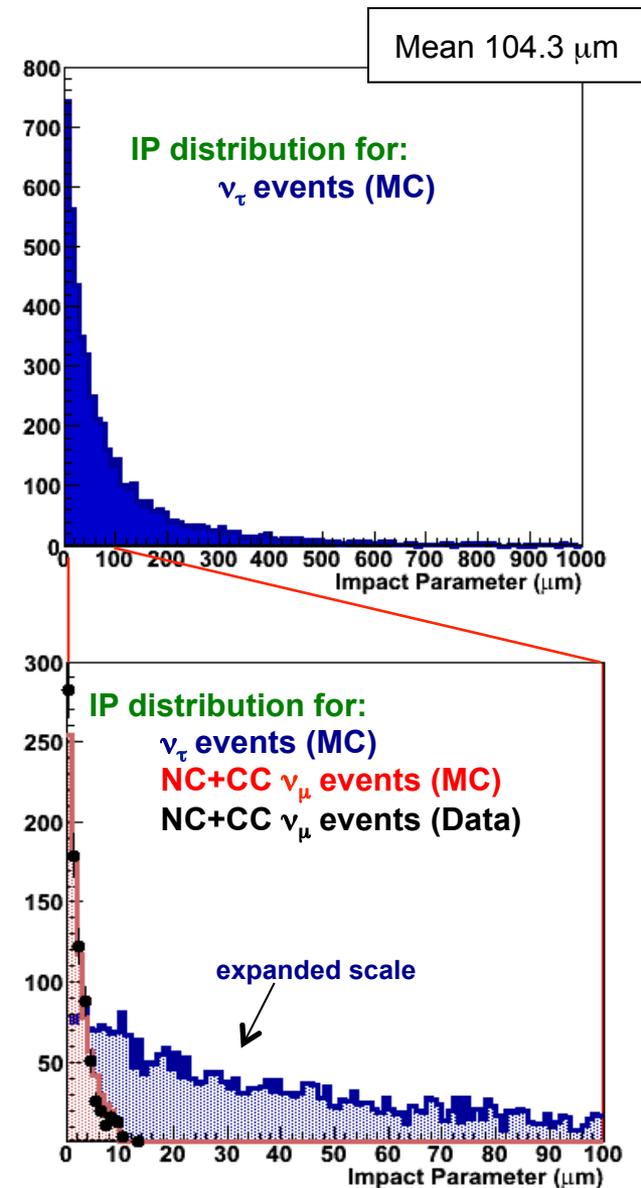
Stopした飛跡と組む他のtrackを探し、Vertexを見つける。



OPERA ECC
OPERA Film 57枚+Lead Plate 56枚

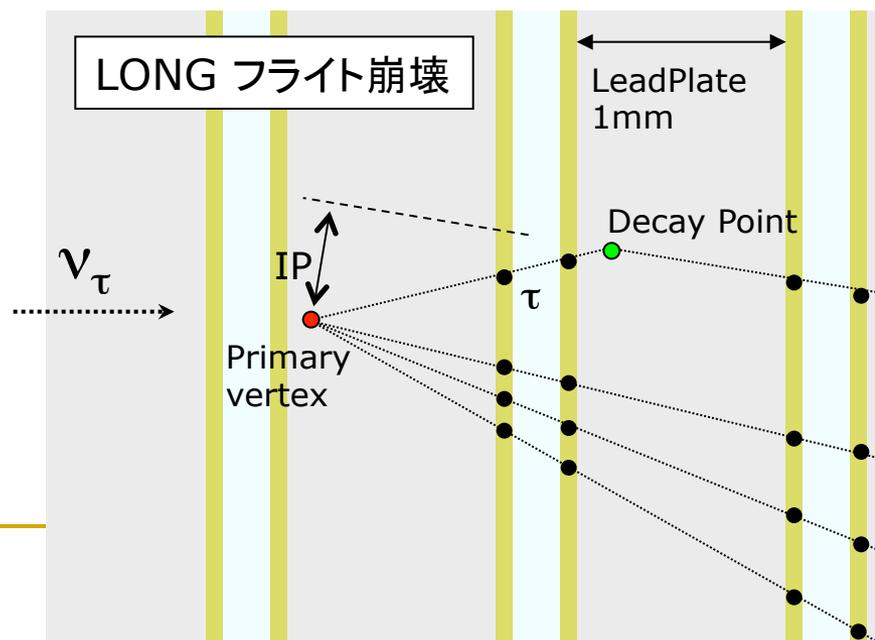
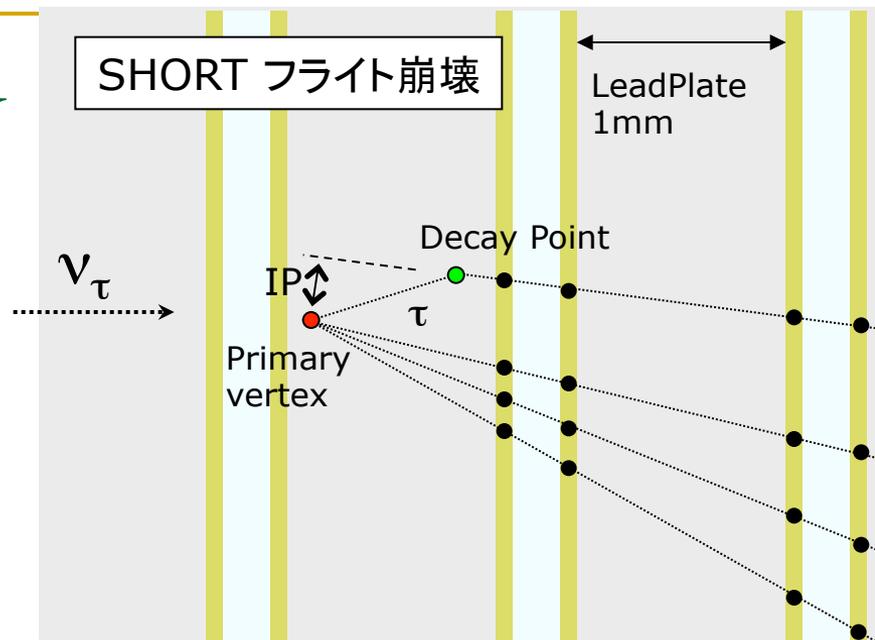
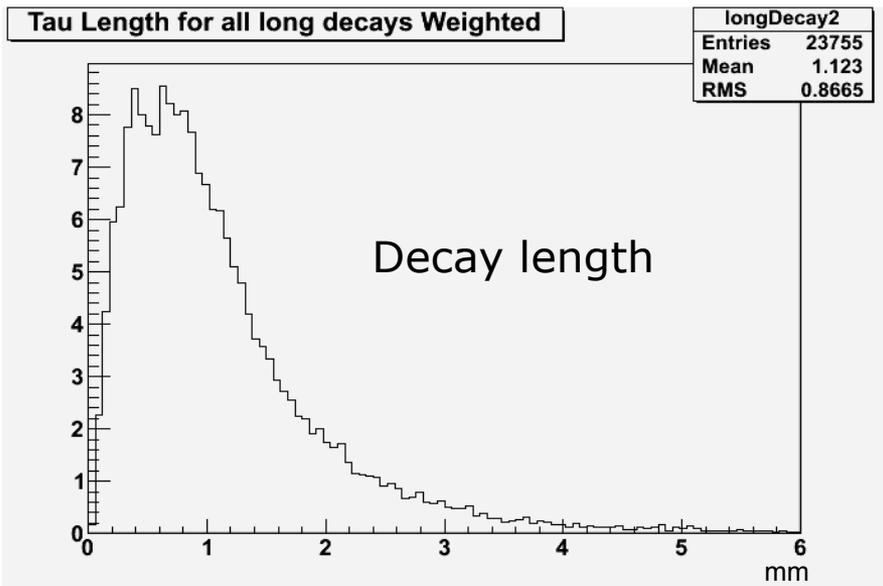


Search for Tau Decay and IP distribution



原子核乾板の位置分解能 $\sim 1\mu\text{m}$ 以下
を用い、Decay Topologyを特定する。

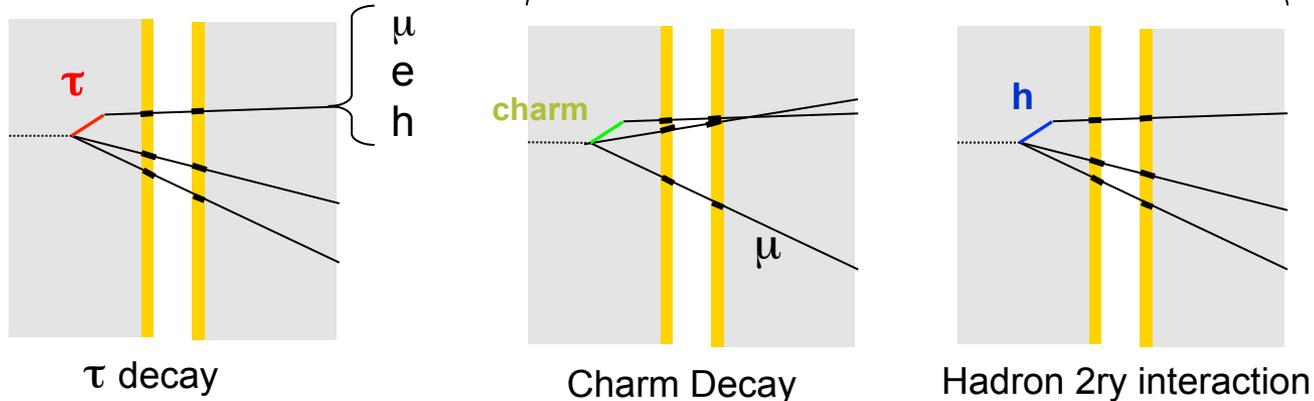
Short and Long Decay



Primary vertexにleptonが付いていないことを要求する。

Decay Topogy and Back Ground

似たトポロジーを示すもの



Charm Decay -> Primary Vertexにmuonが付いていることによりIDできる。
 2ry interaction -> BGを除外する為に運動学的カットを要求する。

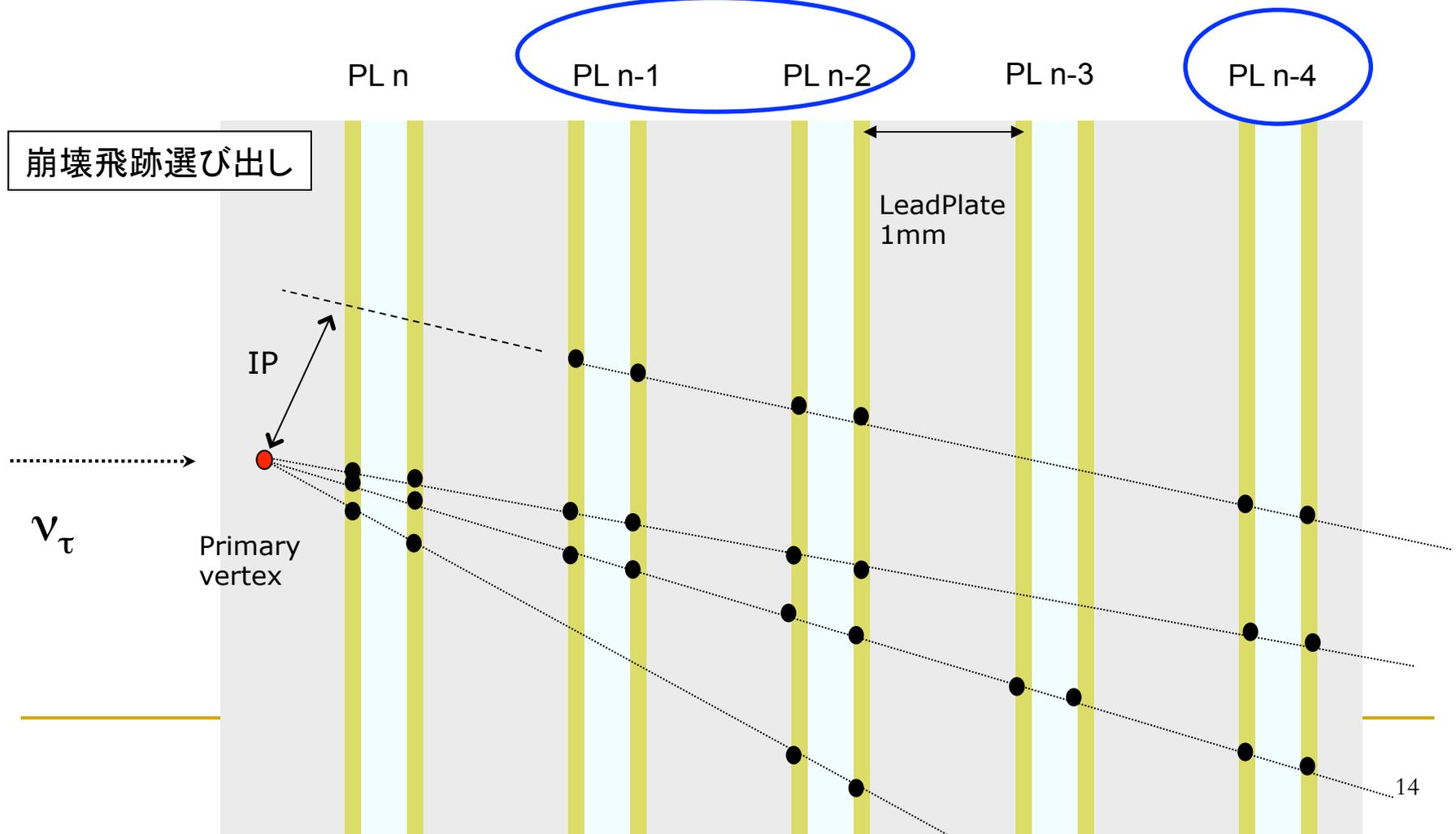
1-prong	$\tau \rightarrow \mu$ ~17.4%	$P > 1 \text{ GeV}/c, P_t > 0.25 \text{ GeV}/c$
	$\tau \rightarrow e$ ~17.8%	$P > 1 \text{ GeV}/c, P_t > 0.1 \text{ GeV}/c$
	$\tau \rightarrow h$ ~49.5%	$P > 2 \text{ GeV}/c, P_t > 0.6 \text{ GeV}/c$
3-prong	$\tau \rightarrow 3h$ ~15.2%	

Selection of Decay Candidate Track

of reconstructed track segment ≥ 3

Large impact parameter to confirmed vertex .

$$10 + 0.01 * DZ \text{ um} < IP < 500 \text{ um} \quad DZ < 3600 \text{ um}$$



Decay Analysis

- Hadron fragment -> Black Track Search
- 電磁成分->Gamma Search, ($\tau \rightarrow \rho$)
- Particle ID : ECC to ECC connection
- 運動力学的解析
- 運動量測定
- P_t
- Phi angle
- Invariant mass

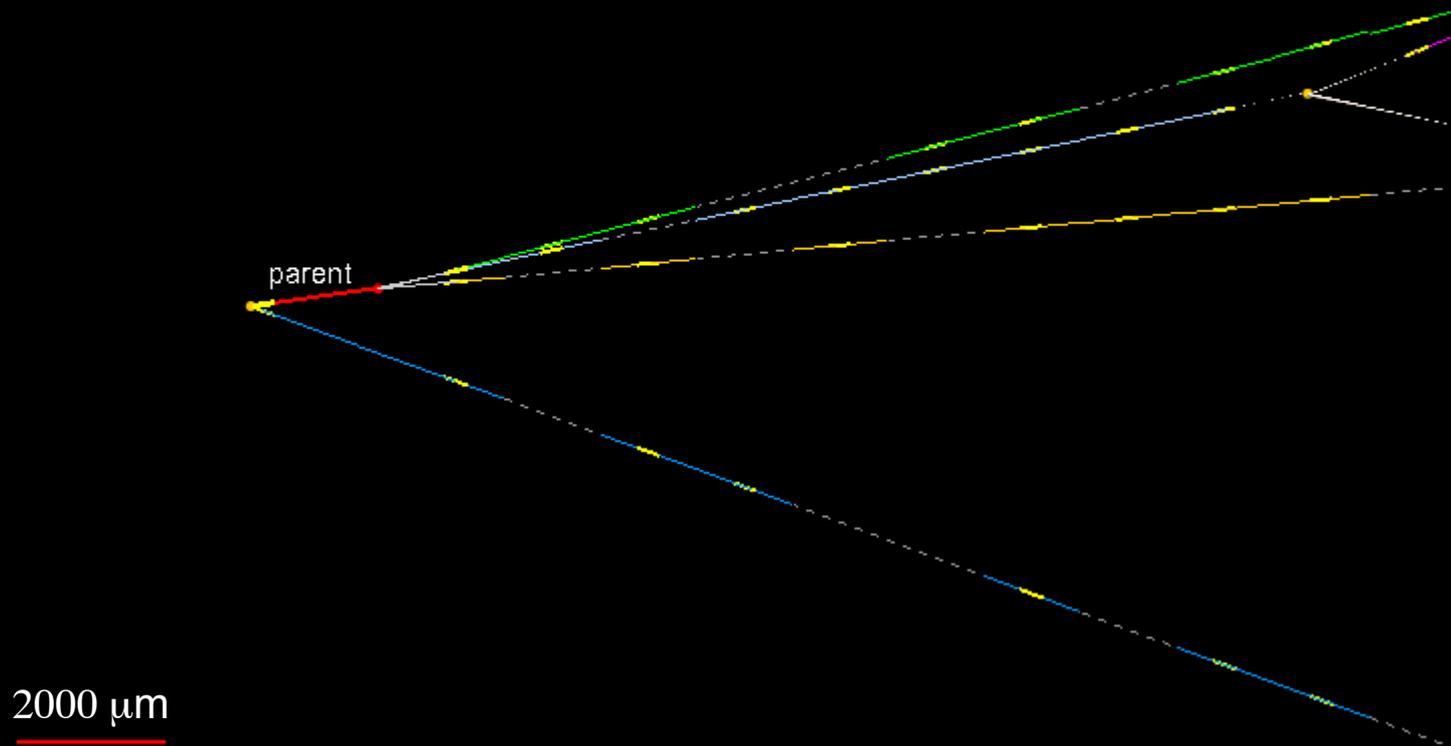
Decay Search Status

Years	Status	# of events for Decay search	Expected ν_τ (Preliminary)	Observed ν_τ Candidate Events	Expected BG for ν_τ (Preliminary)
2008-2009	Finished	2783		1	
2010-2011	In analysis	1343		1	
2012	Started				
Total		4126	2.1	2	0.2

Tau Candidate Event

- **New event : tau -> 3h , Neutrino 2012 で紹介**

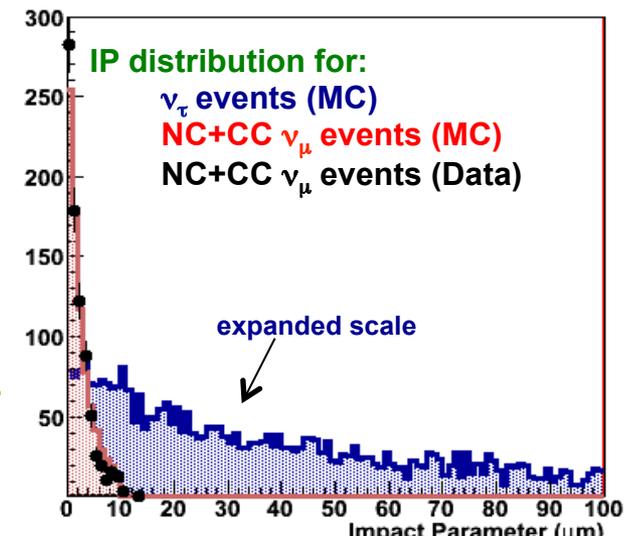
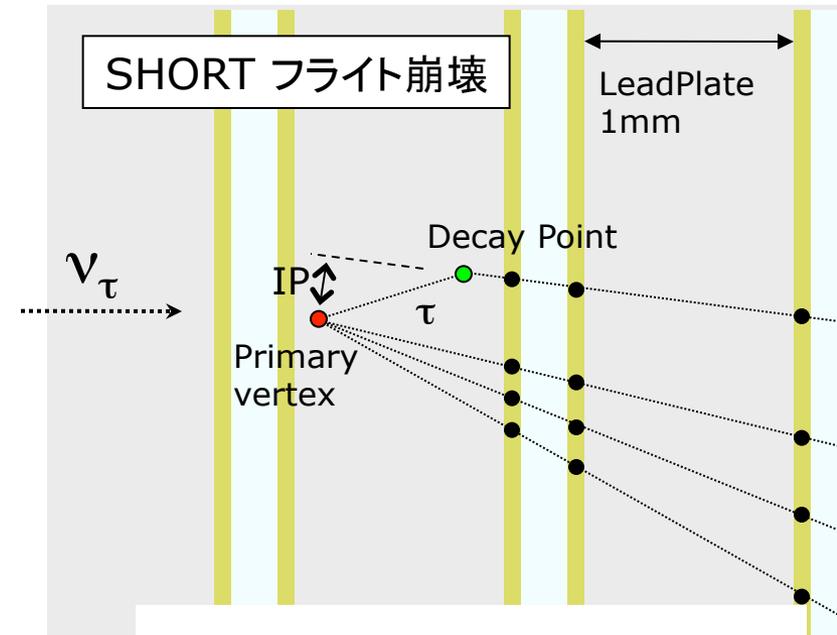
New ν_τ Candidate Event



Detailed Analysis for Short Decay

目的

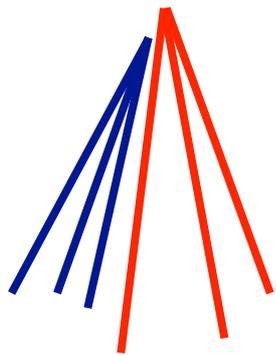
- ν_τ 反応を探し尽くす
- IPによる崩壊事象判定のぎりぎりのところまで迫る必要がある。
- 特にShort Decayについては、まだ十分に検出効率の向上の研究がなされていない。
- $IP < 10\mu\text{m}$ でのDecay Daughterの分離を目指す。
- そのためには、原子核乾板の性能を限界まで引き出す精密測定手法の確立が不可欠。



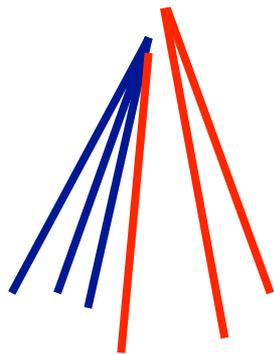
Vertex Separation for Short Decay Event

- 飛跡は位置と角度情報を持つ。
- IPの原因: 位置、角度精度エラー、鉛中での scattering.

$$IP = \sqrt{IP_{err}^2 + IP_{scatt}^2}$$

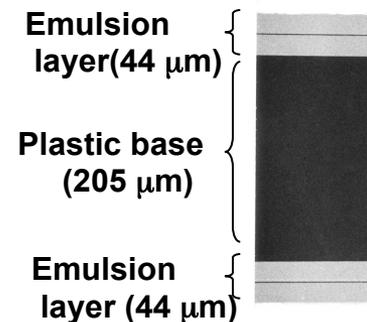


3+3 topology



2+4 topology

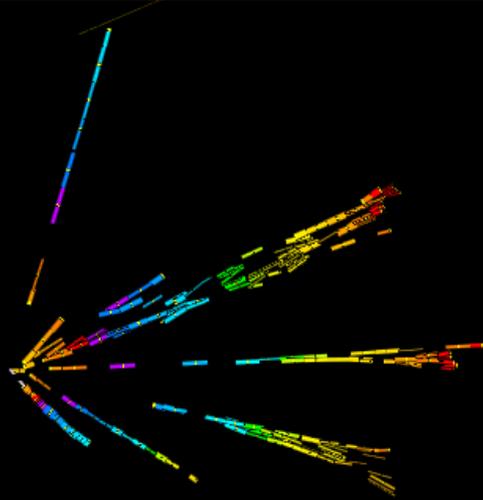
Section of film



IP<10umでの精度でVertexが分離できるか？

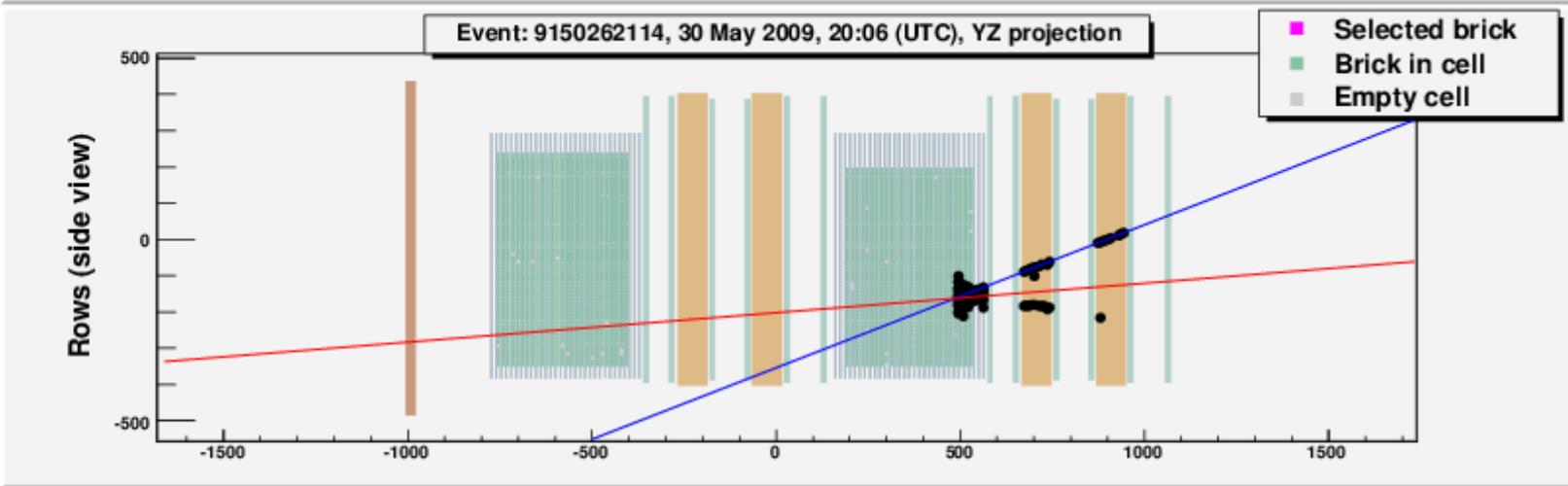
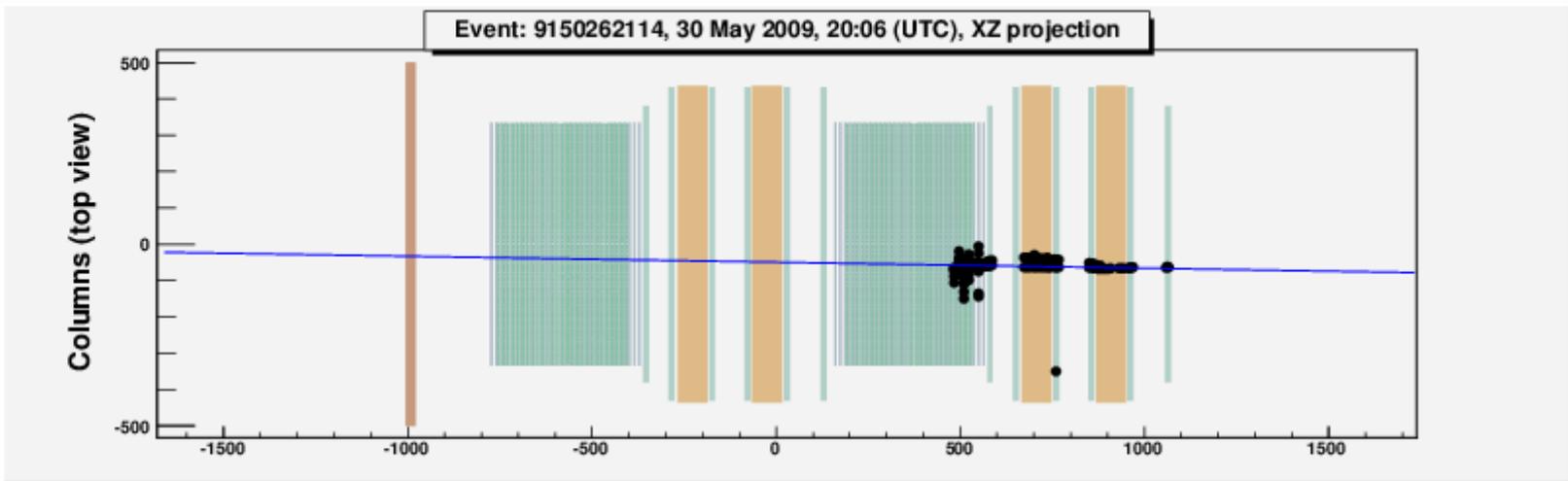
Short Decay Analysis by Pattern Matching Method

■ Charm Short Decay Candidate Event



Mu+5h+3gamma

id	AX[rad]	AY[rad]	P[GeV/c]	
105886	0.087	-0.090	2.5[1.9-3.1]	hadron
74262	0.008	-0.005		e-pair
74277	-0.013	-0.011		e-pair
74264	0.092	0.196	1.1[0.7-1.8]	hadron
74265	-0.182	-0.110	0.8[0.6-0.9]	hadron
84054	-0.313	-0.247	0.4[0.3-0.5]	Hadron
84753	-0.022	0.365	2.8[1.8-4.1]	muon
93426	0.133	0.099	1.1[0.7-1.4]	hadron
Vertex Plate より下流				
70911	0.003	-0.196		gamma
75235	0.063	-0.087		gamma
75252	0.040	-0.102		gamma



Previously defined brick information: Super module 2

BrickId	Wall	Side	Column	Row	Prob	CS x	CS y
brick 1:	1101750	26	-1	22	22	1.00	72.5 8.7

Muon track parameters:

Momentum:

Angle XZ (rad): -0.017

Angle XZ (rad): 0.375

Vertex Point

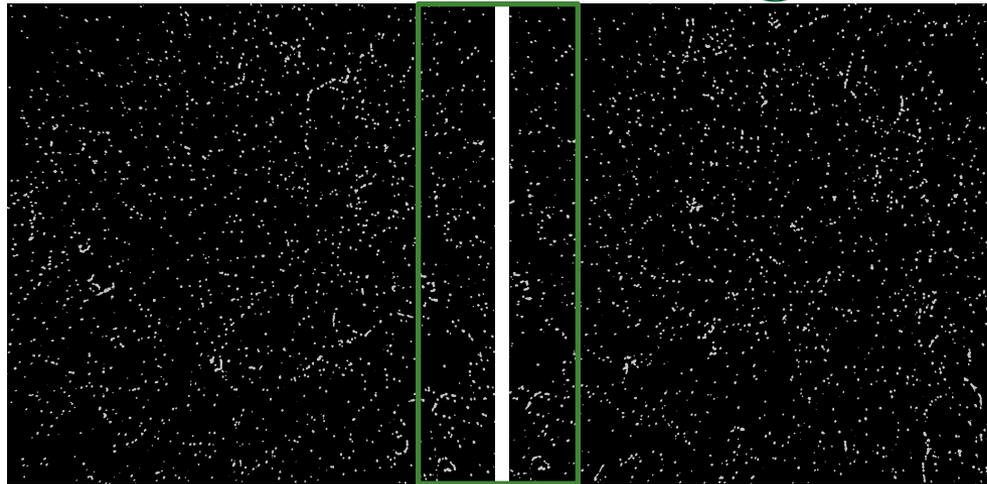
- 現在Track Selectorでは位置決定精度0.3um.角度精度2-3mrad.。しかしVertex plateにinefficiencyがある場合がある。
- 専用stageでのmanual測定でも同じような位置,度精度で測定が出来る。
- さらに精度を上げる測定をするために、Stageでの移動によるずれを消したい。

w.r.t 1ry Vertex		depth = -1027um	depth = -1023um	
id	P[GeV/c]	Track Selector Data [um]	Manual Measurment [um]	
105886	2.5	54.1	63.7	hadron
74262		23.6	29.3	e-pair
74277		26.9	33.0	e-pair
74264	1.1	164.5	65.4	hadron
74265	0.8	12.9	3.1	hadron
84054	0.4	55.3	37.5	hadron
84753	2.8	3.0	0.3	muon
93426	1.1	3.0	0.3	hadron

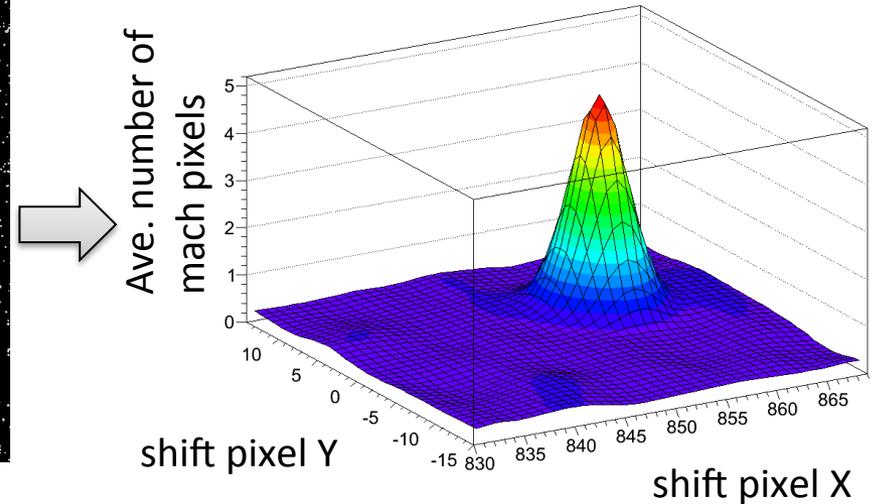
w.r.t 2ry Vertex		depth = -364um	depth = -379um	
id	P[GeV/c]	Track Selector Data [um]	Manual Measurment [um]	
105886	2.5	6.4	0.6	hadron
74262		4.4	2.4	e-pair
74277		5.0	1.5	e-pair
74264	1.1	6.4	0.6	hadron
74265	0.8	127.0	119.9	hadron
84054	0.4	184.6	188.0	hadron
84753	2.8	252.2	249.0	muon
93426	1.1	124.6	127.5	hadron

Pattern Matching of Views of Micro Scope

085_084_3lay_lr_d.txt

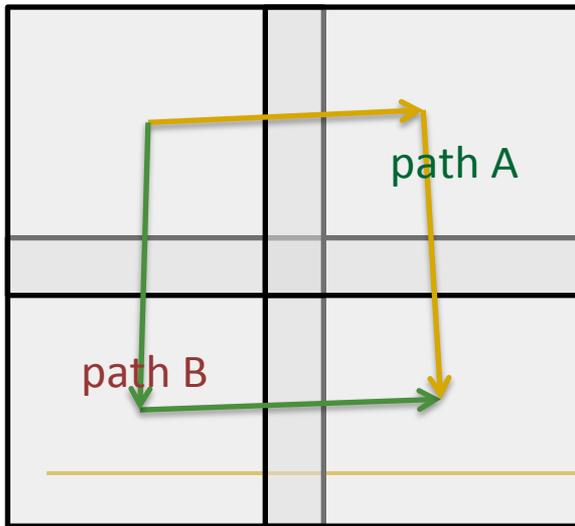


compare overlapped area.



fitted 2D Gaussian function

$$y = \sqrt{a^2 + \left[b \exp\left(\frac{-(x-x_0)^2}{2\sigma_x^2} + \frac{-(y-y_0)^2}{2\sigma_y^2} \right) \right]^2}$$



$$\left| dx_{passA} - dx_{passB} \right|$$

$$\left| dy_{passA} - dy_{passB} \right|$$

compare displacement of 2 passes.

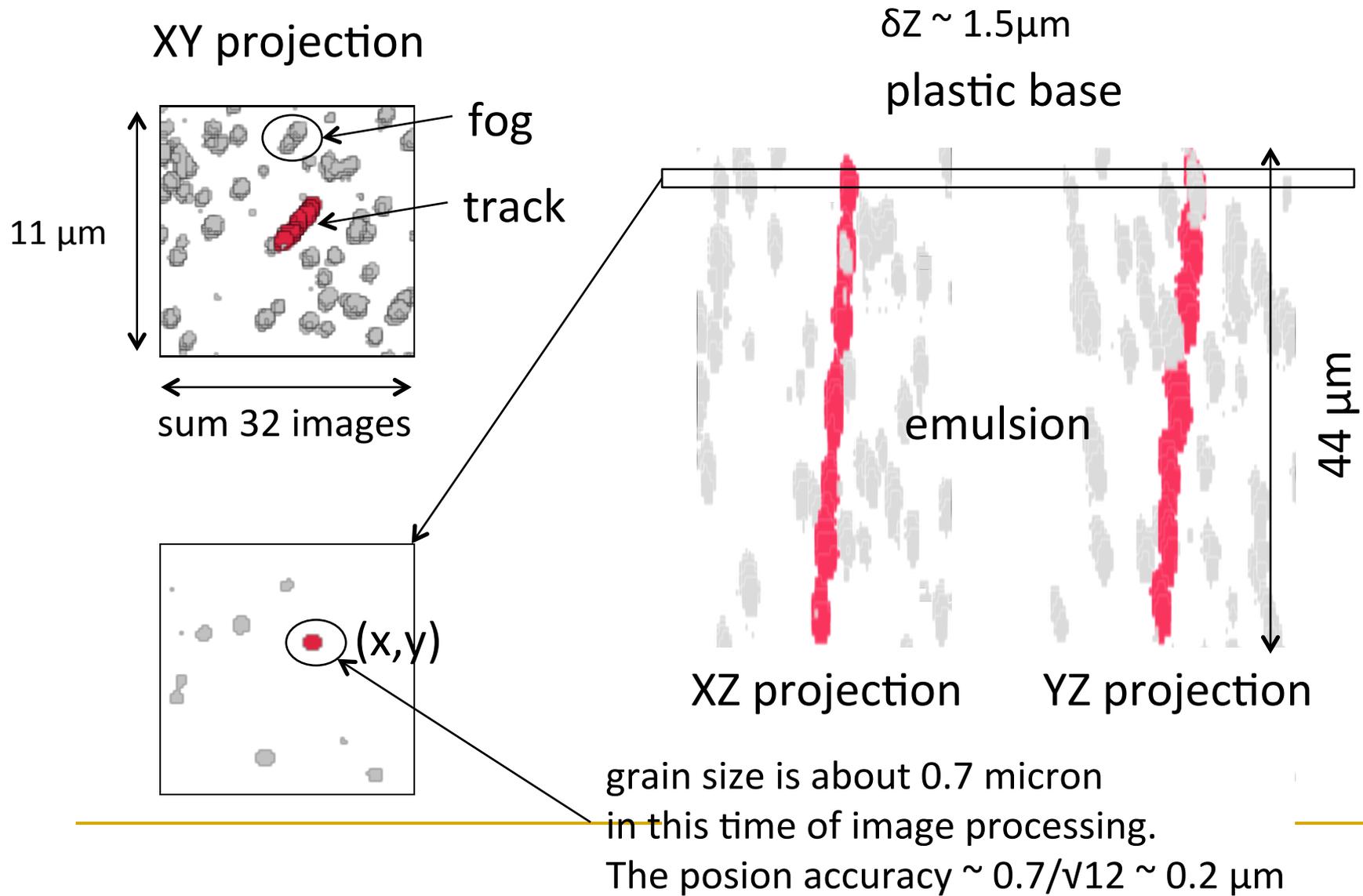
	dx	dy
Mean	0.085	0.086
StdDev	0.057	0.075

[pixel]

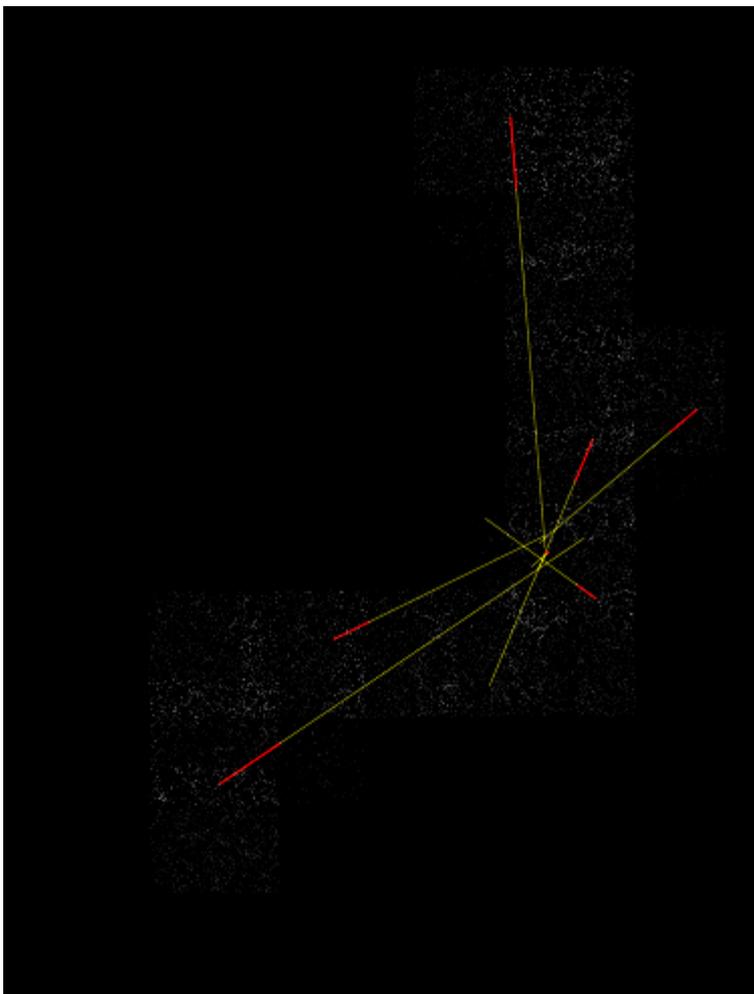
Accuracy is **12 +/- 10 [nm]**
when 1pixel = 0.14 micron.

entries 16

Grain Measurement



Pattern Matching Calculation



w.r.t 1ry Vertex		depth = -1027um	depth = -1023um	depth = -975um	
id	P[GeV/c]	Track Selector Data [um]	Manual Measurement [um]	Pattern matching [um]	
105886	2.5	54.1	63.7	63.1	hadron
74262		23.6	29.3	33.3	e-pair
74277		26.9	33.0	33.3	e-pair
74264	1.1	164.5	165.4	166.1	hadron
74265	0.8	12.9	3.1	6.5	hadron
84054	0.4	55.3	37.5	35.4	hadron
84753	2.8	3.0	0.3	0.0	Muon
93426	1.1	3.0	0.3	0.0	hadron

w.r.t 2ry Vertex		depth = -364um	depth = -379um	depth = -360um	
id	P[GeV/c]	Track Selector Data [um]	Manual Measurement [um]	Pattern matching [um]	
105886	2.5	6.4	0.6	0.2	hadron
74262		4.4	2.4	2.5	e-pair
74277		5.0	1.5	1.0	e-pair
74264	1.1	6.4	0.6	0.2	hadron
74265	0.8	127.0	119.9	120.9	hadron
84054	0.4	184.6	188.0	186.2	hadron
84753	2.8	252.2	249.0	246.4	Muon
93426	1.1	124.6	127.5	128.7	hadron

精度評価

- Pattern Matchingでの位置、角度精度評価中...
- 運動量、測定精度から言えるVertex probabilityを出す。
- $IP < 10\mu\text{m}$ までを言い切りたい。

Summary

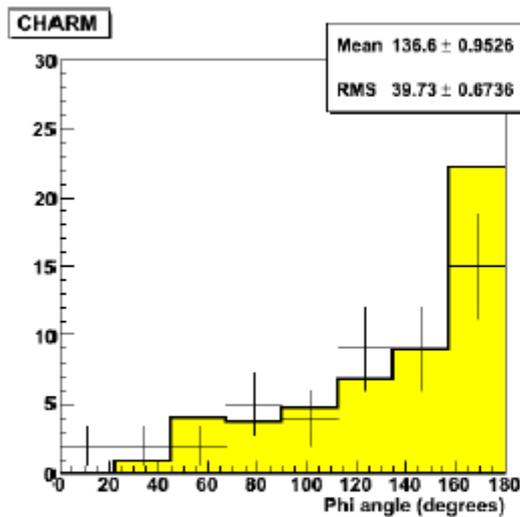
- OPERA Collaborationとして精力的にロケーション、崩壊事象探索を行っている。
- τ の検出効率を上げる研究が必要である。
- Short Decayのサーチをpattern matchingにより押し進める。IPの組みの悪いイベントにpattern matchingを適用していく。
- どこまでのIPまで迫れるかの評価を秋の学会で結果を報告する。

Back Up

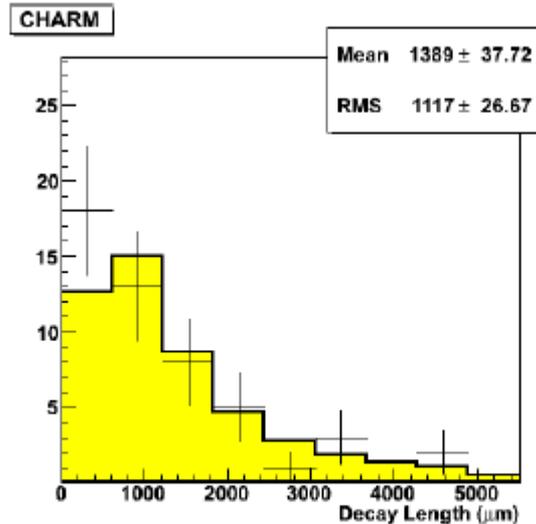
Decay Search Status

Charm Data/MC Comparison

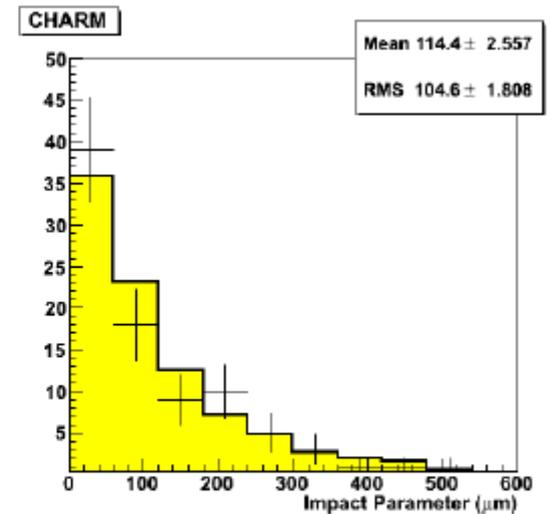
- **Detected 49 events Expected 51 \pm 7.5 events**



Phi angle



Decay length



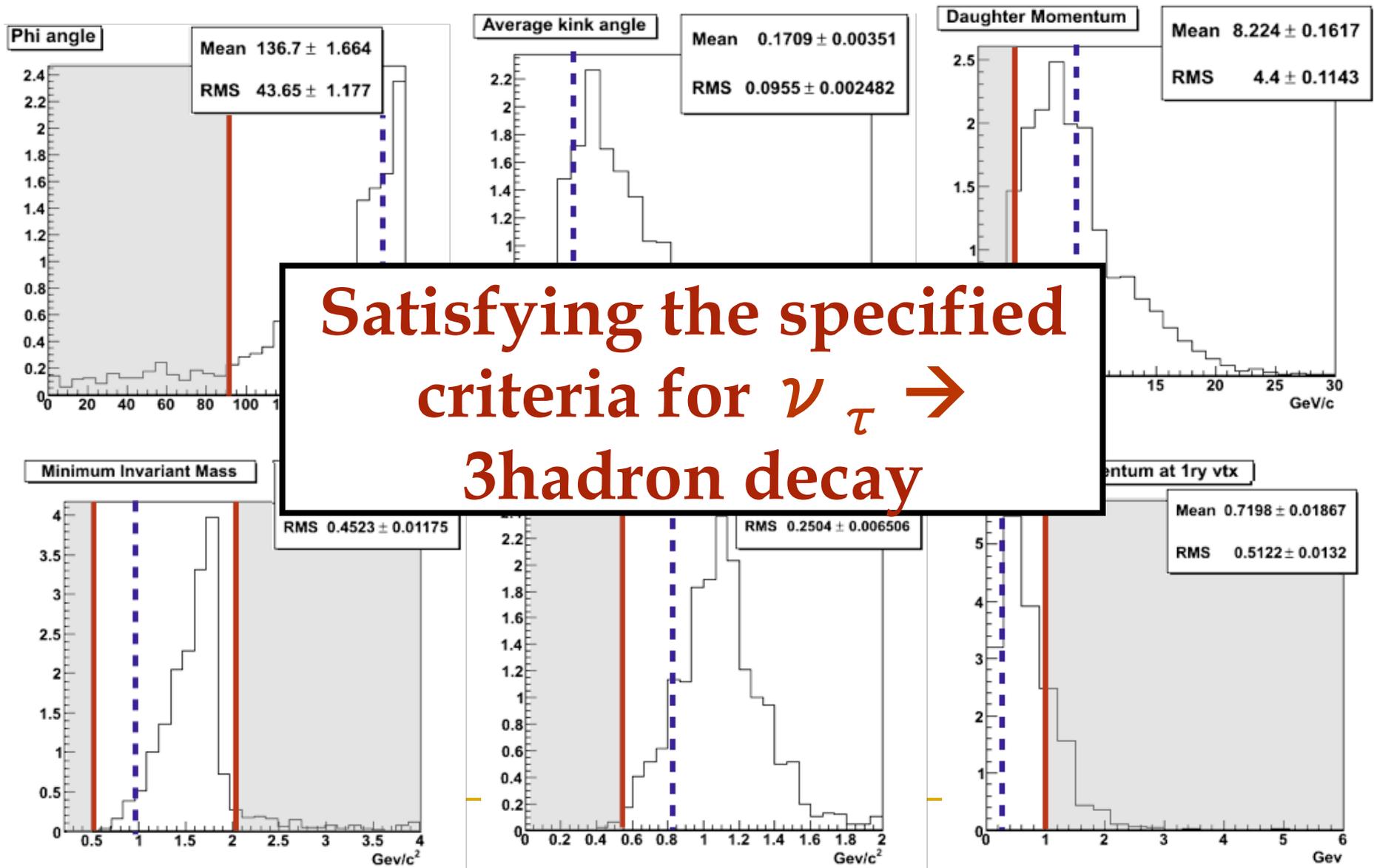
Impact Parameter

Kinematics of the New Candidate Event

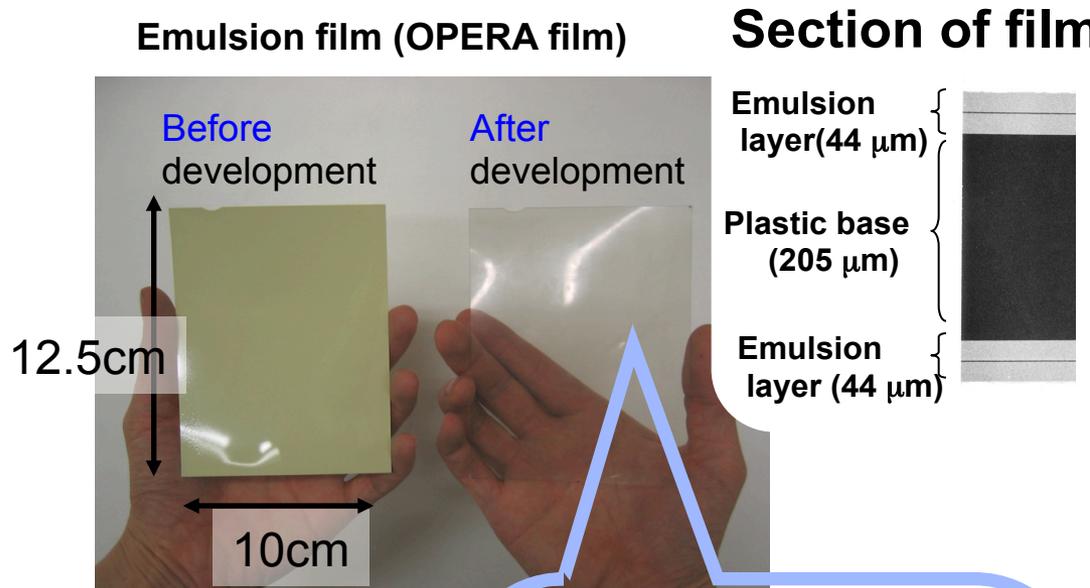
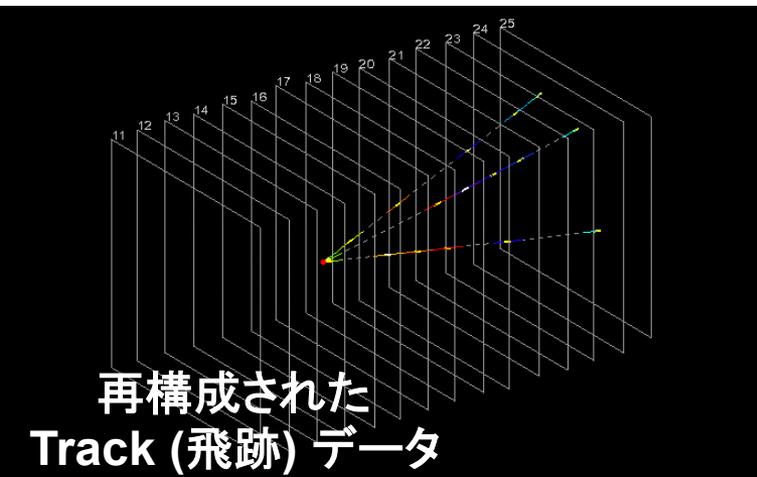
	Cut	Value	Error
Phi (Tau - Hadron) [degree]	>90	167.8	± 1.1
average kink angle [mrad]	< 500	87.4	± 1.5
Total momentum at 2ry vtx [GeV/c]	> 3.0	8.4	± 1.7
Min Invariant mass [GeV/c ²]	0.5 < < 2.0	0.96	± 0.13
Invariant mass [GeV/c ²]	0.5 < < 2.0	0.80	± 0.12
Transverse Momentum at 1ry vtx [GeV/c]	< 1.0	0.31	± 0.11

Kinematics of the New Candidate Event

candidate
cut



OPERA Emulsion Film



Super-UltraTrackSelector 飛跡読み取り装置



Microscopic Image

Recorded as silver grains along the line where a charged particle passed through

