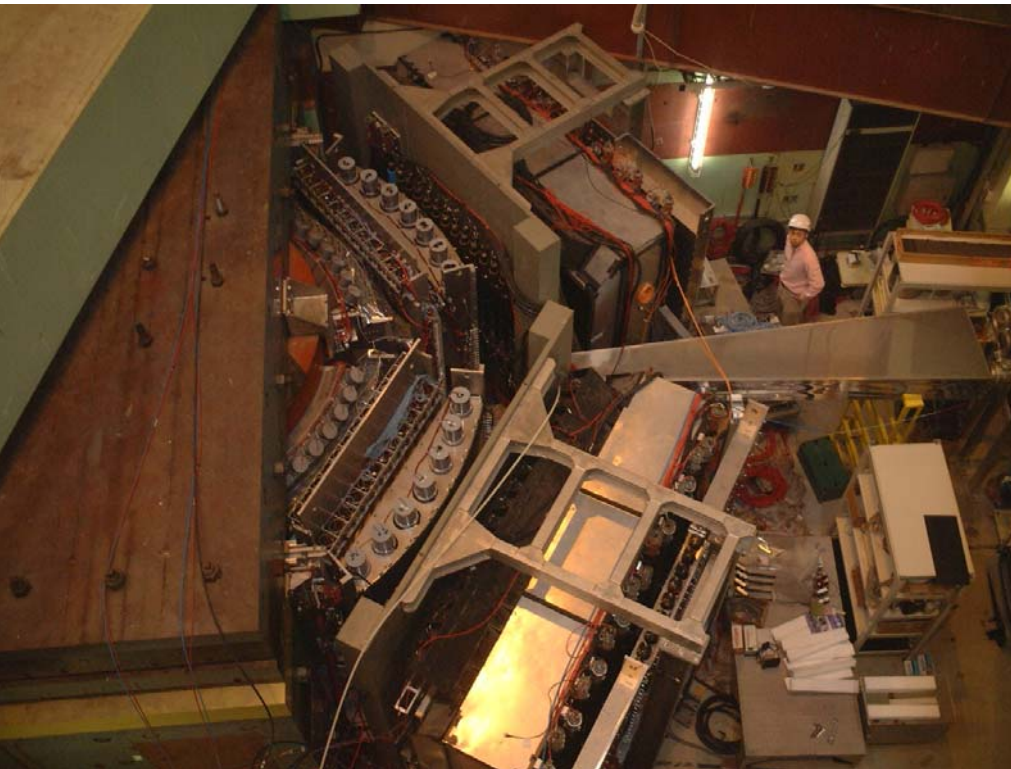


# KEK-PS E325実験における、 $12\text{GeV } p+A \rightarrow \phi+X$ を用いた ベクター中間子の質量に対する核物質効果の測定

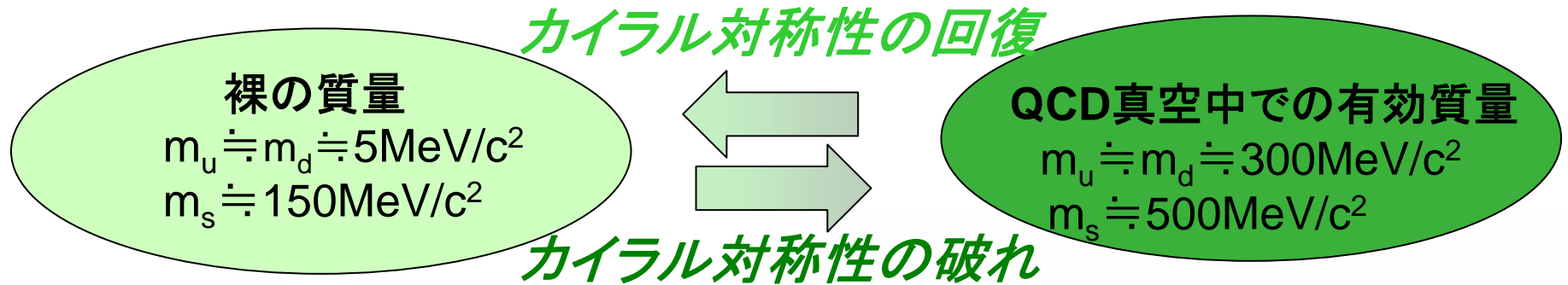
京大理, 高工研<sub>A</sub>, 理研<sub>B</sub>, 東大CNS<sub>C</sub>, 東大ICEPP<sub>D</sub>, 東北大<sub>E</sub>, 阪大<sub>F</sub>  
佐久間史典, 千葉順成<sub>A</sub>, 延與秀人<sub>B</sub>, 深尾祥紀, 舟橋春彦, 浜垣秀樹<sub>C</sub>,  
家入正治<sub>A</sub>, 石野雅也<sub>D</sub>, 神田浩樹<sub>E</sub>, 北口雅暁, 三原智<sub>D</sub>, 三輪浩司,  
宮下卓也, 村上哲也, 武藤亮太郎<sub>B</sub>, 名倉照直, 成木恵, 能町正治<sub>F</sub>,  
小沢恭一郎<sub>C</sub>, 佐々木修<sub>A</sub>, 佐藤博紀, 関本美智子<sub>A</sub>, 田原司睦<sub>B</sub>,  
田中万博<sub>A</sub>, 外川学, 山田悟, 四日市悟<sub>B</sub>, 吉村善郎



- Physics motivation
- E325 Setup
- Data analysis
  - Kaon channel
- Summary

# Physics Motivation

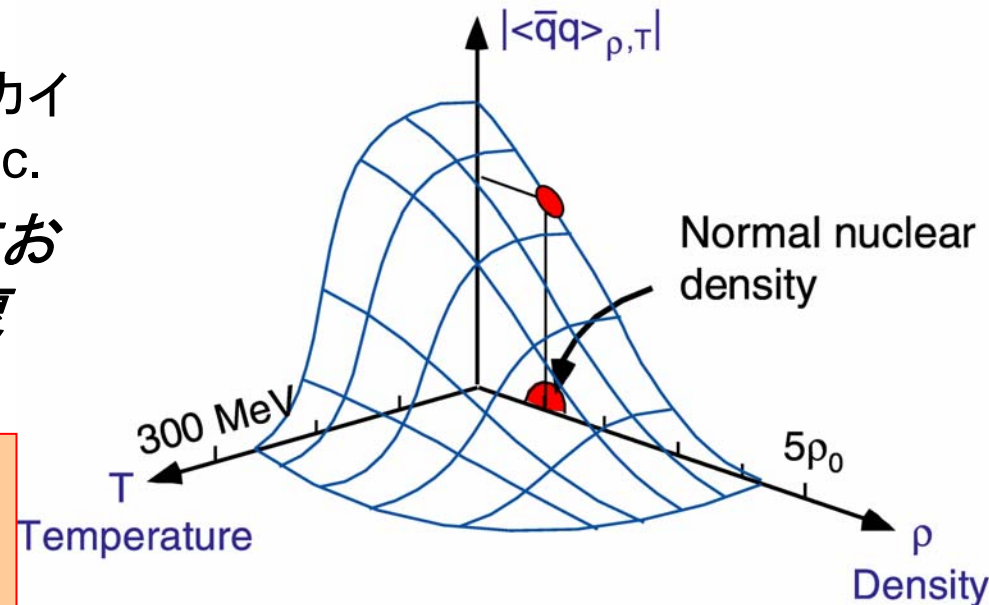
## クォークの質量獲得メカニズム



## どのようにして検証するか？

- QGPのような高温高密度の下でのカイラル対称性の回復 ... RHIC, LHC, etc.
- 原子核中のような有限密度下におけるカイラル対称性の部分的回復

ベクターメソンを用いた  
不変質量分布の変化の測定



# Vector Meson

## mass

$2xM_q + (\text{small interaction term})$

クォークの有効質量の変化をとらえやすい

## $\rho/\omega$

●真空中に比べて通常原子核密度内での質量変化は  $\sim 150 \text{ MeV}/c^2$

・・・しかし、 $\rho/\omega$ の区別は難しい &  $\rho$ の幅は広くて分かりにくい

## $\phi$

●真空中に比べて通常原子核密度内での質量変化は  $\sim 20\text{-}40 \text{ MeV}/c^2$

● $\sim 4.3 \text{ MeV}/c^2$ の狭い崩壊幅

⇒mass spectrum の変化に敏感

●小さいQ value ( $Q_{KK} = 32 \text{ MeV}/c^2$ )

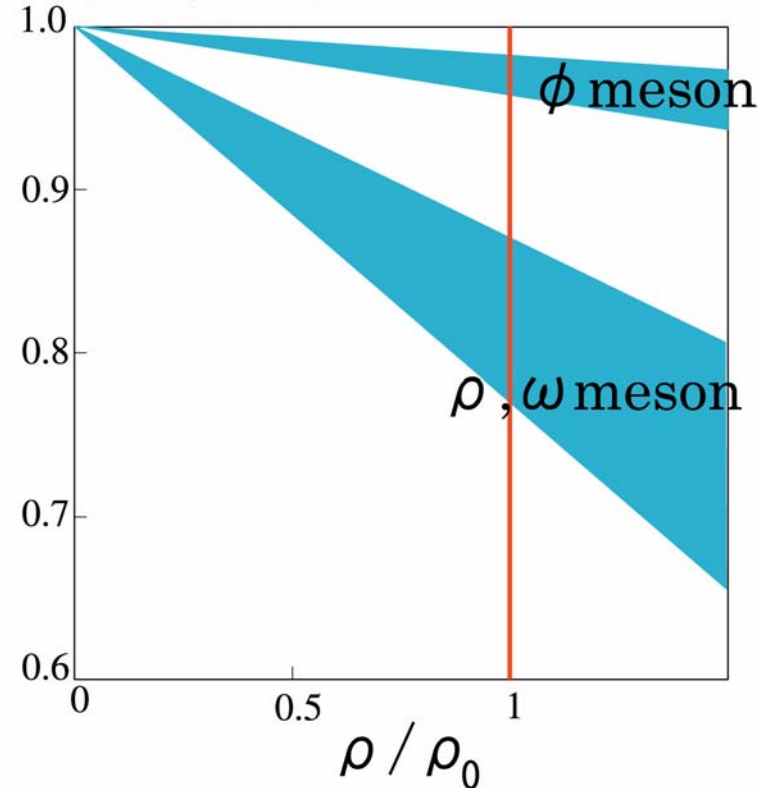
⇒核物質効果が崩壊比の差となって現れる

$\Gamma(\phi \rightarrow K^+K^-) / \Gamma(\phi \rightarrow e^+e^-)$

## predictions of vector meson modification in medium

Brown, Rho(1991), Hatsuda, Lee(1992), Klinge, Keiser, Weise(1997), etc.

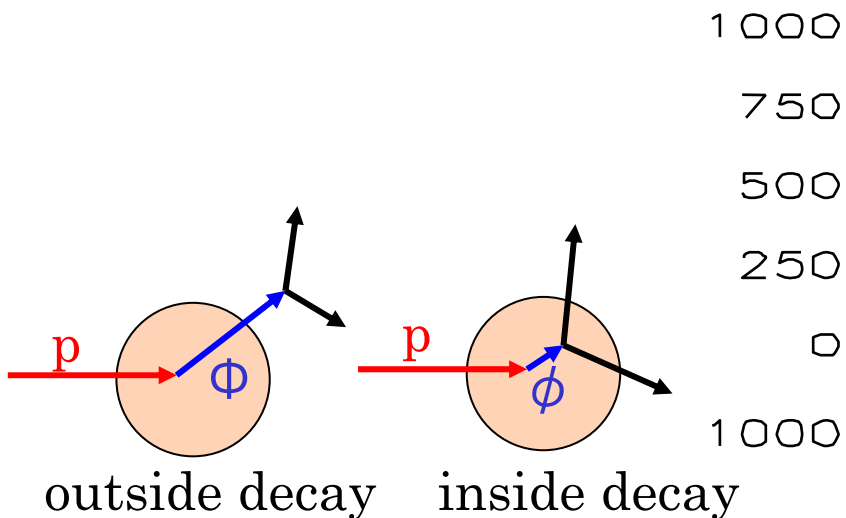
$M(\rho)/M(\rho=0)$



$\rho_0$  :: normal nuclear density

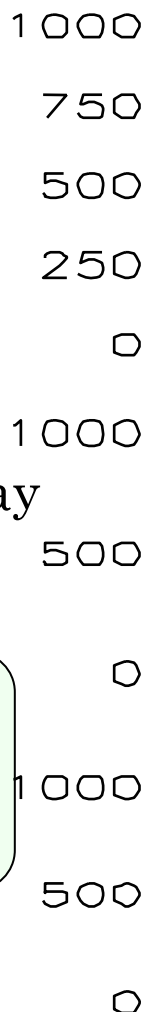
*T.Hatsuda, S.H.Lee,  
Phys. Rev. C46 (1992) R34*

# $\Phi$ Expected Shape

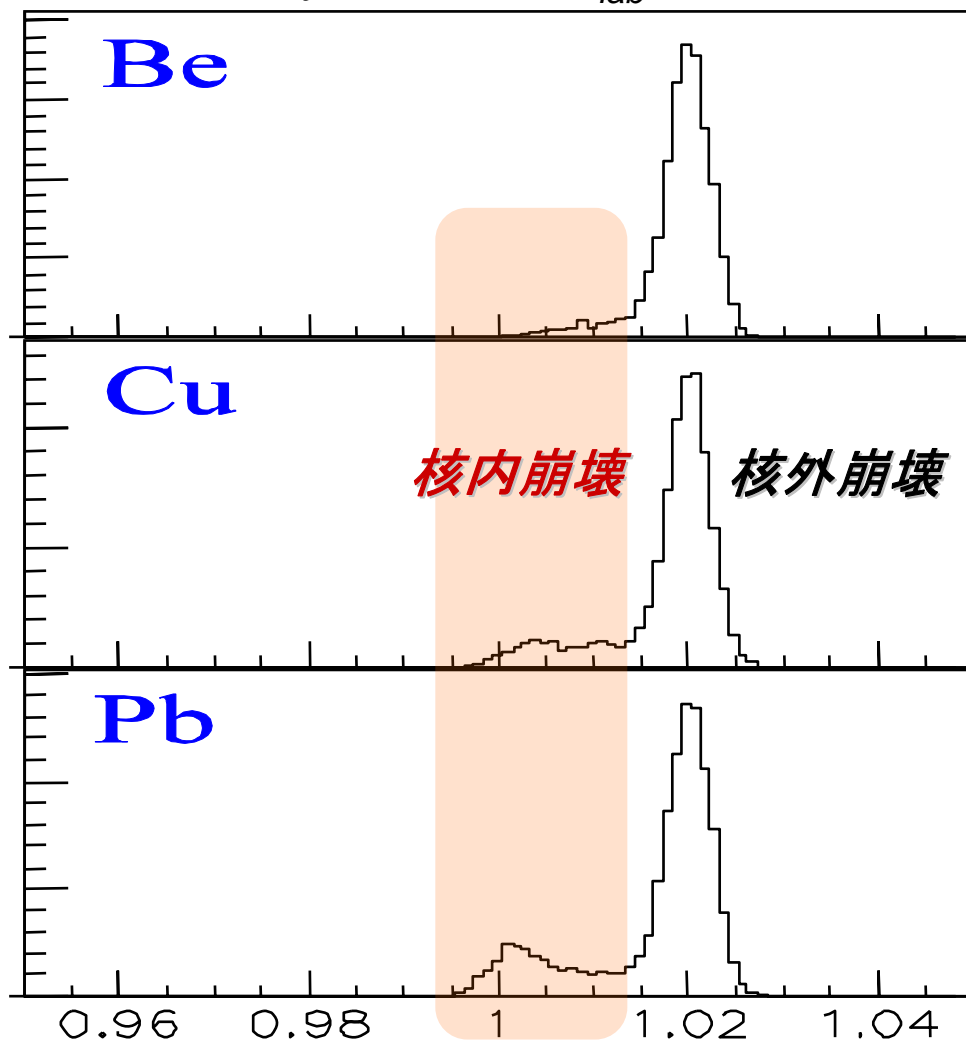


$$m^*/m = 1 - 0.15y \rho / \rho_0$$

$$y \equiv 2 \langle \bar{s}s \rangle_N / (\langle \bar{u}u \rangle_N + \langle \bar{d}d \rangle_N)$$



$y=0.12, \beta \gamma_{lab} \sim 1$



Invariant Mass (GeV)

# KEK-PS E325

## Measurements

12GeV  $p+A \rightarrow \rho, \omega, \phi + X$   
 **$e^+e^-$ ,  $K^+K^-$  invariant mass**

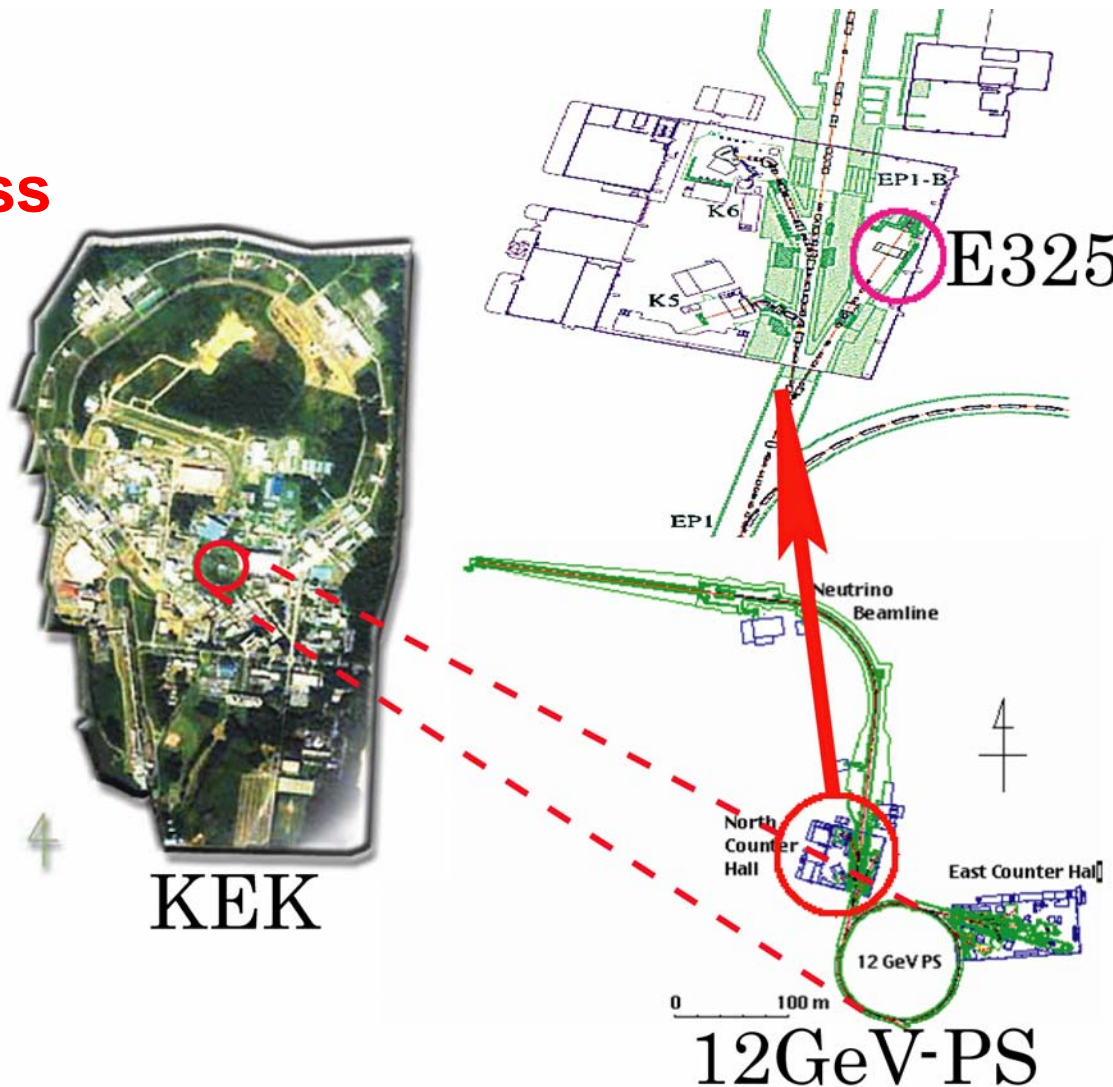
核内で崩壊する $\sim 2\text{GeV}/c$ の  
遅いベクターメソンを測定する

## Beam

Primary proton beam  
( $\sim 10^9/\text{spill}/1.8\text{s}$ )を用いる

## Target

$\gamma$  conversionを減らすために  
薄いターゲットを用いる  
(0.4% radiation length &  
0.2% interaction length @C)



# Setup

Forward LG Calorimeter

Rear LG Calorimeter

Side LG Calorimeter

Barrel Drift Chamber

Cylindrical DC

12GeV proton beam

B

Start Timing Counter

Hodoscope

Aerogel Cherenkov

Forward TOF

Rear Gas Cherenkov

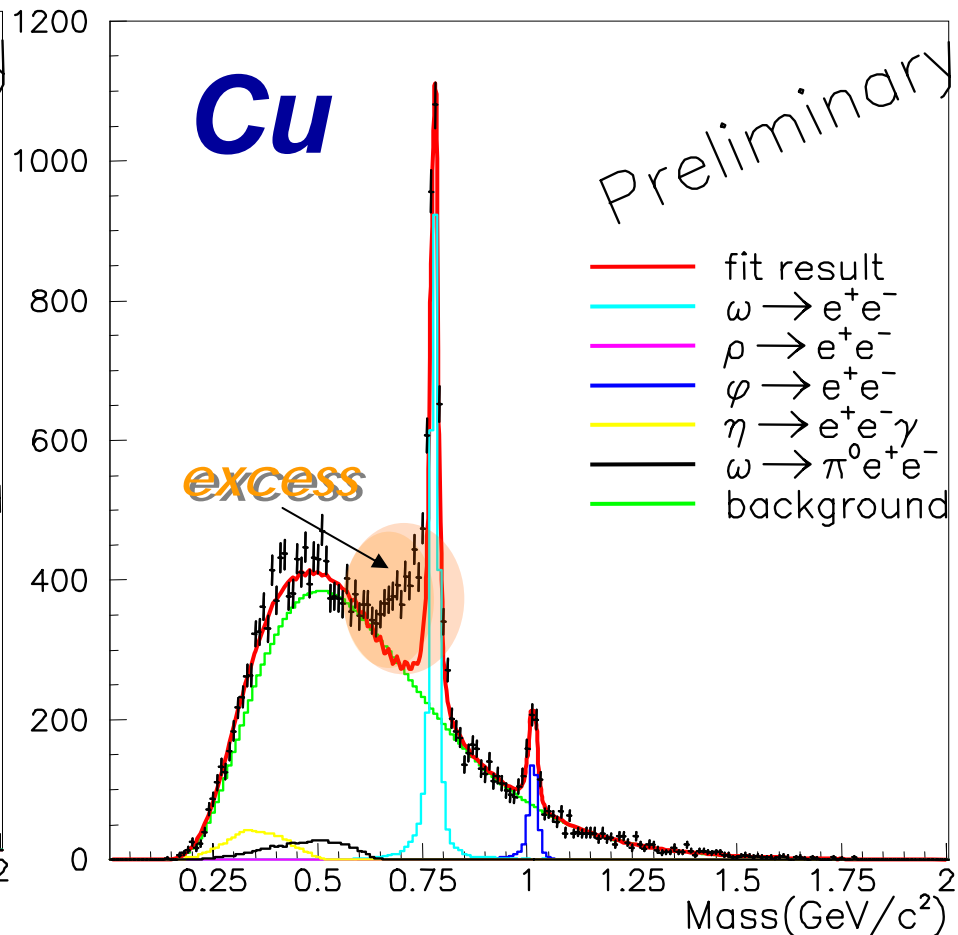
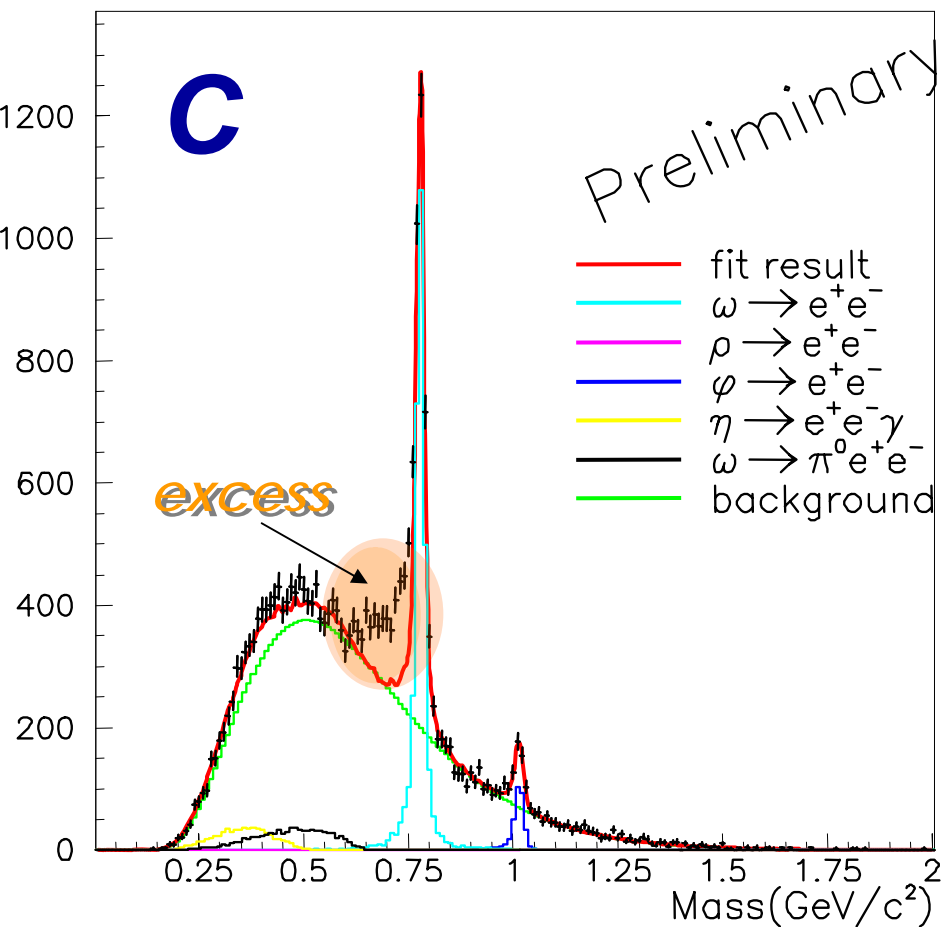
Vertex DC

Front Gas Cherenkov

1m

# $e^+e^-$ mass spectra

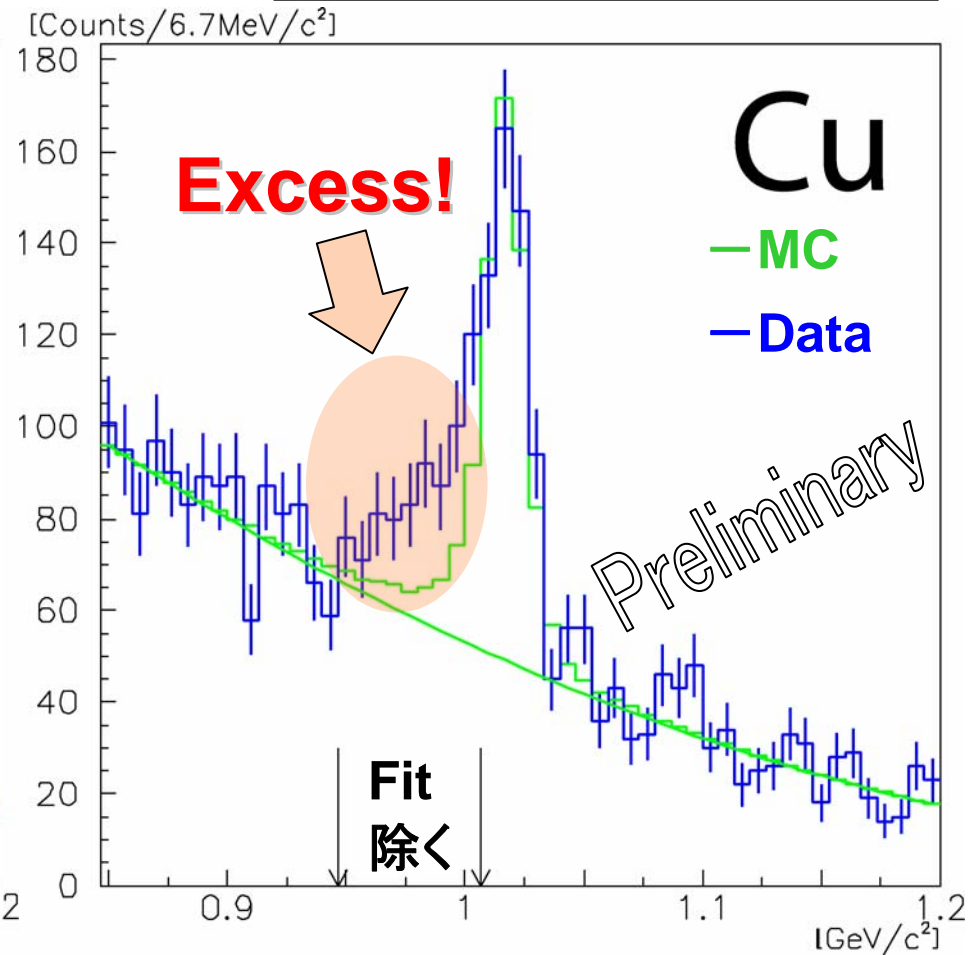
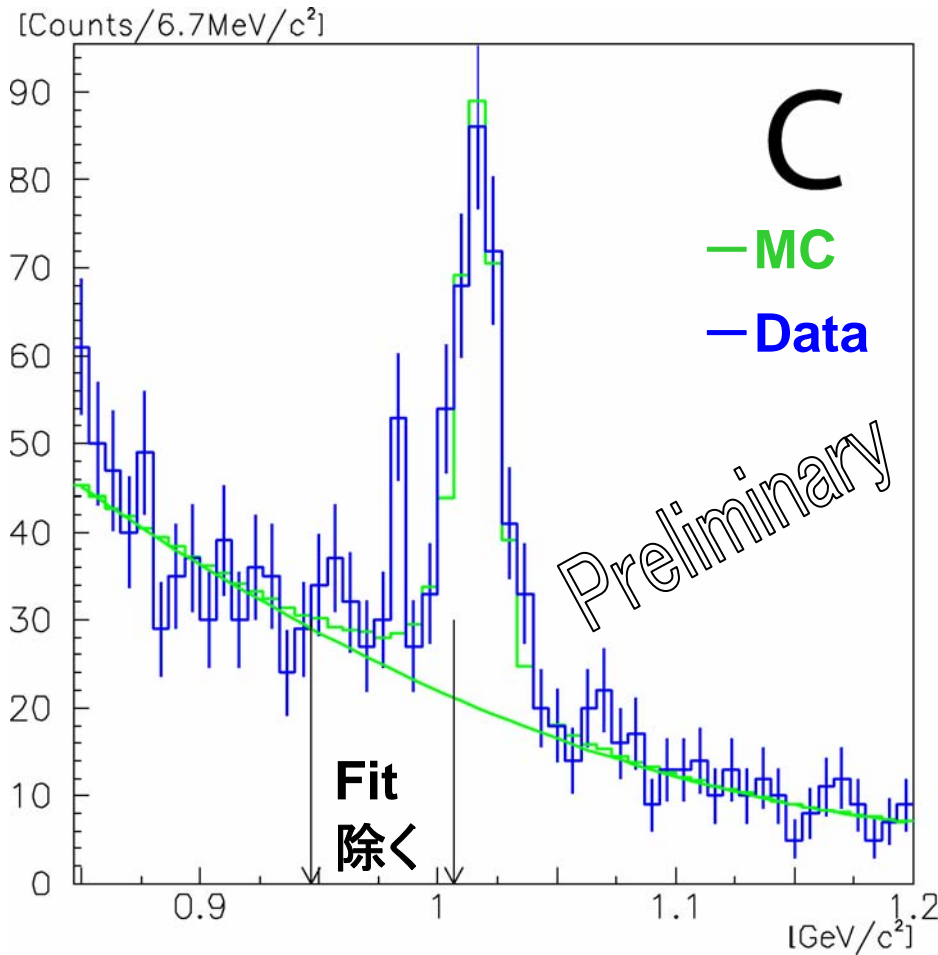
Resonance :: Breit-Wigner+Geant4  
Background :: combinatorial background



$\omega$  の peak の左側に既知の hadronic source からは説明不可能な **excess** が見られる

# $\Phi \rightarrow e^+e^-$ Mass Spectra

$\beta \gamma < 1.35$   
Slowly moving  $\phi$

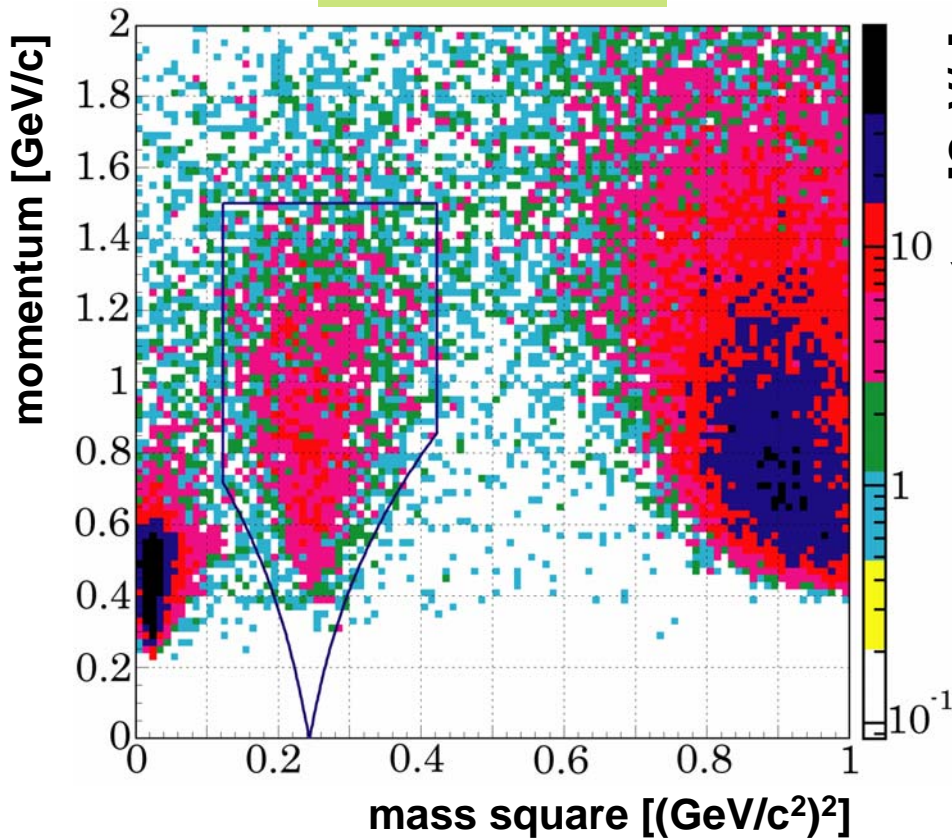


Cu-targetにおいて、  
 $\phi$  のpeakの左側に excessが見られる

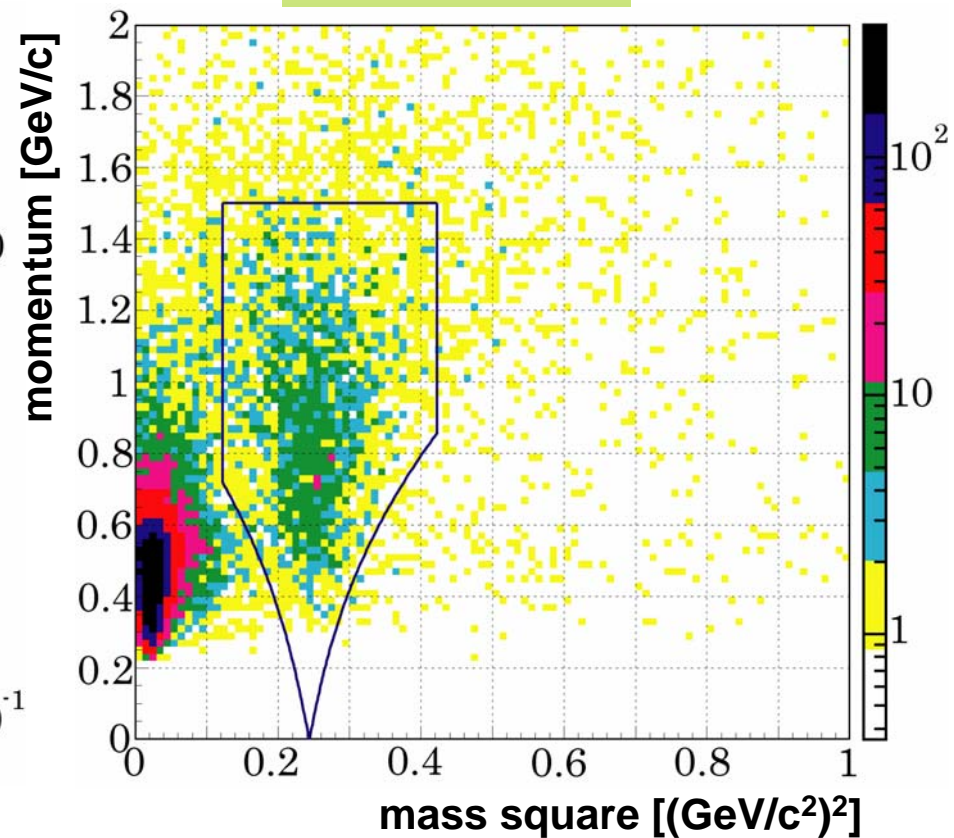


# Kaon Identify (1)

+ charge



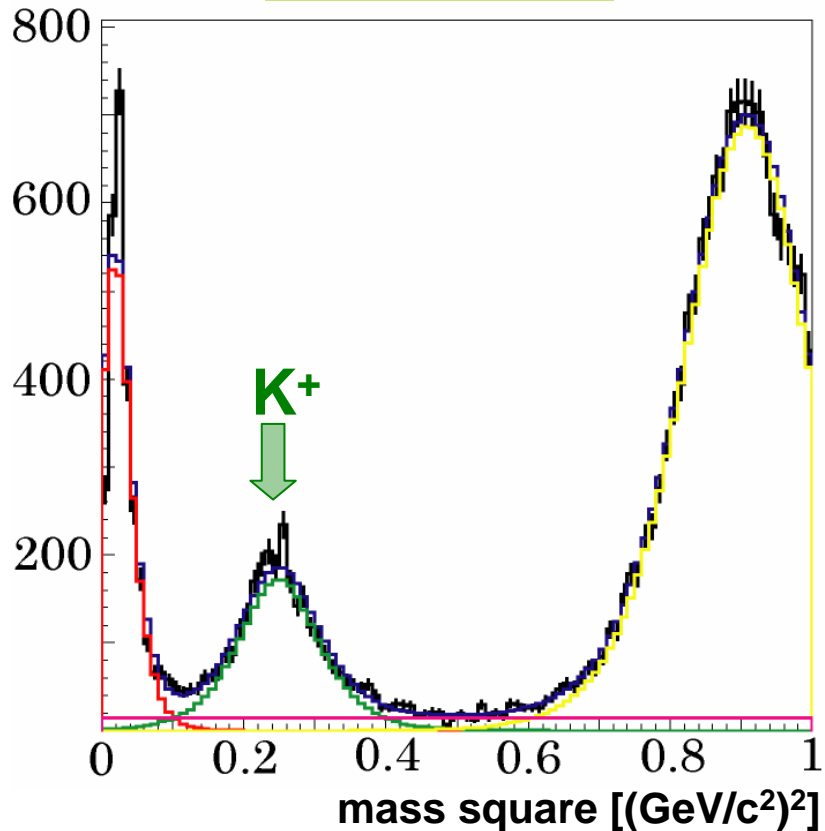
- charge



***TOF resolution :: 360ps***

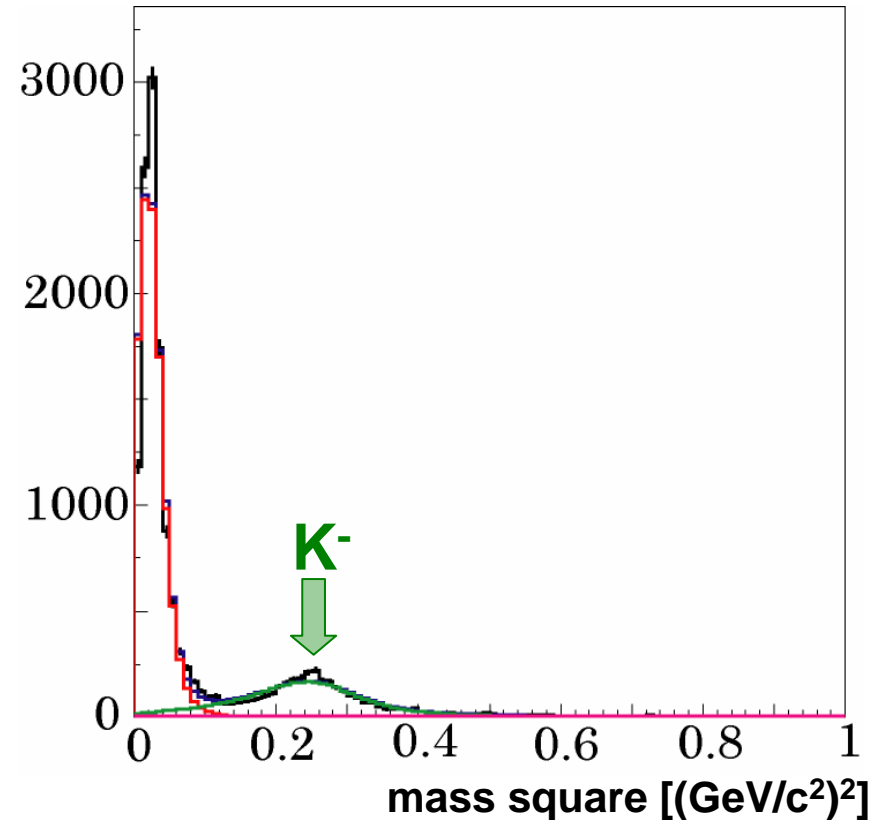
# Kaon Identify (2)

+ charge



$K^+$  purity =  $85 \pm 7$  %

- charge

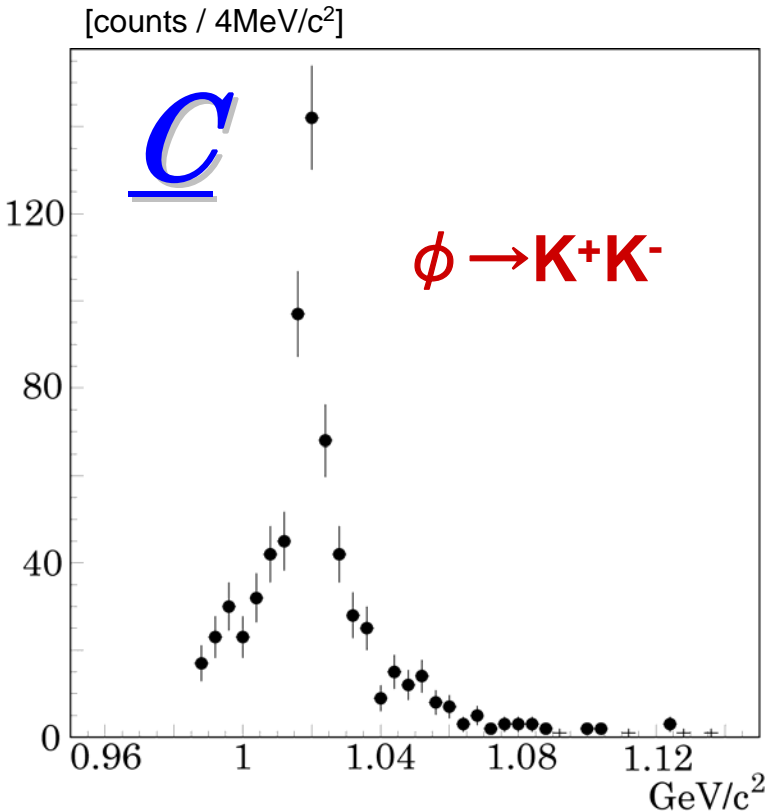


$K^-$  purity =  $96 \pm 8$  %

$K^+K^-$  purity =  $82 \pm 9$  %

# Observed $K^+K^-$ invariant mass spectra

2001 run data

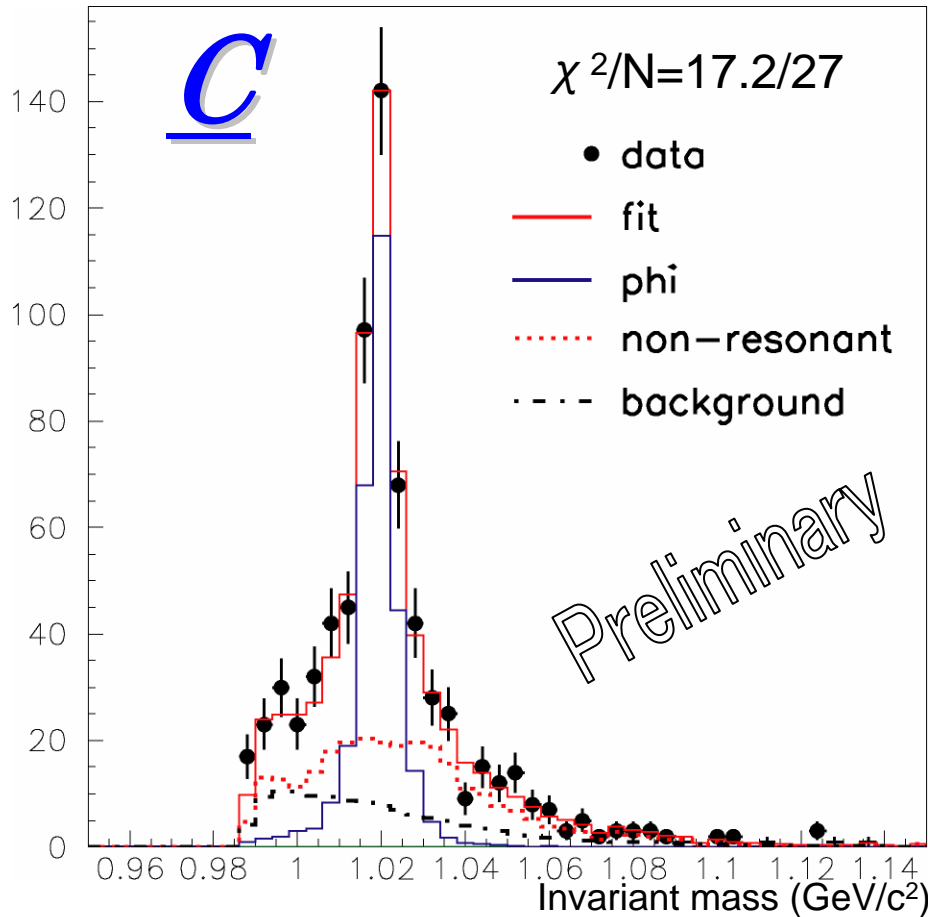


## Fitting with known sources

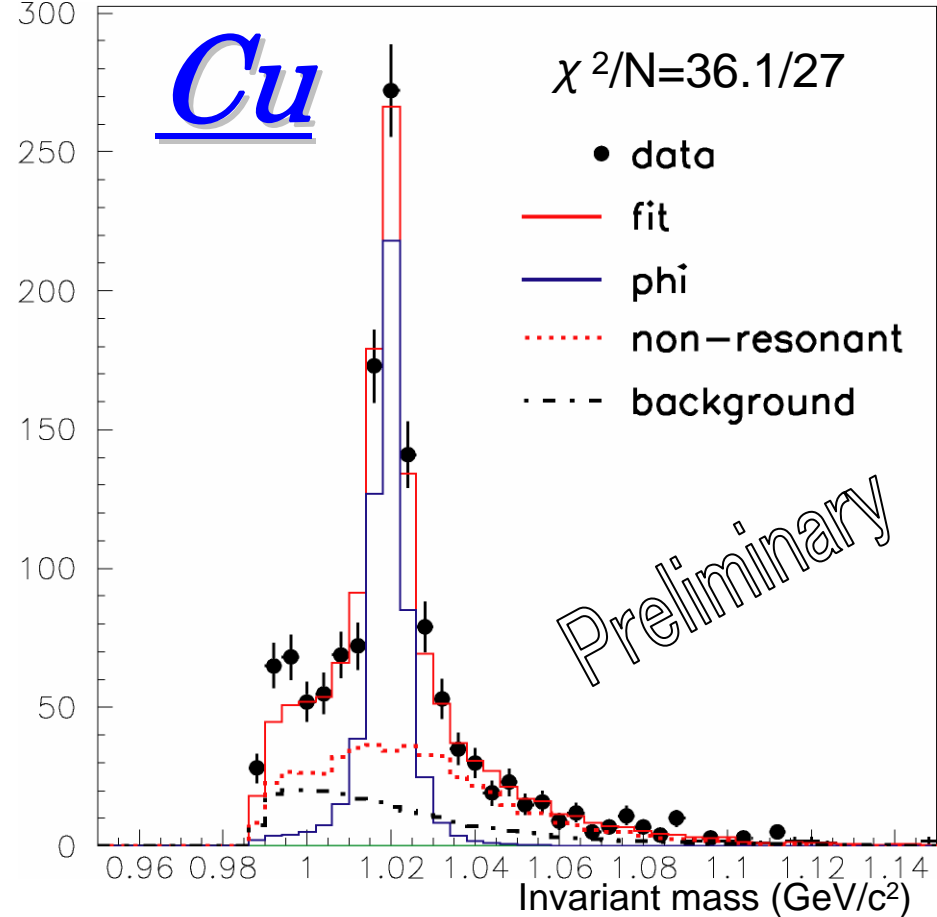
- **Hadronic source of  $K^+K^-$  (JAM results)**
  - $\phi \rightarrow K^+K^-$ ,  $a_0/f_0 \rightarrow K^+K^-$   
with Breit-Wigner shape (no modification)
  - Non-resonant  $K^+K^-$   
 $K^+K^-$  pair NOT from  $\phi$  and  $a_0/f_0$  decay
  - Detector simulation by Geant4 (energy loss, acceptance, etc.)
- **Background from miss pID**
  - combinatorial background obtained by mixed events
- **Relative abundance of mesons and background**
  - parameter(1) ::  $\phi \rightarrow K^+K^-$
  - parameter(2) :: Non-resonant  $K^+K^-$
  - parameter(3) ::  $a_0/f_0 \rightarrow K^+K^-$
  - fixed :: Background with a ratio to all  $K^+K^-$  events

# $K^+K^-$ mass spectra w/o $a_0/f_0$

[Counts/4MeV/c<sup>2</sup>]



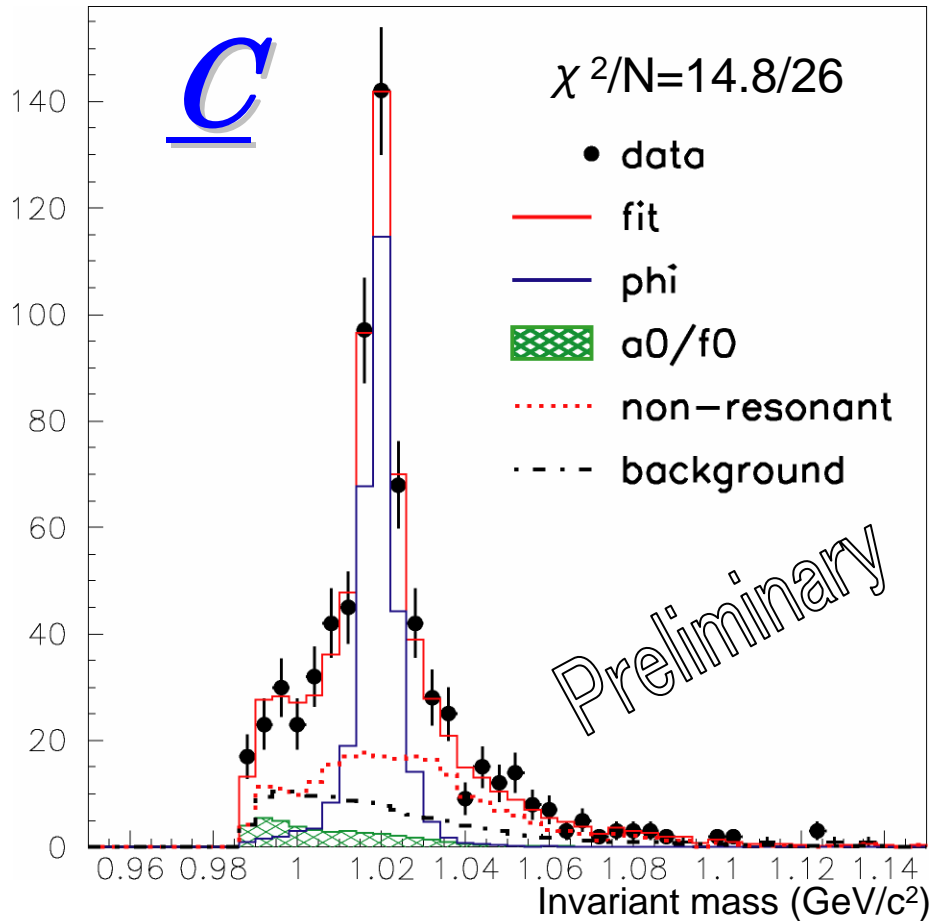
[Counts/4MeV/c<sup>2</sup>]



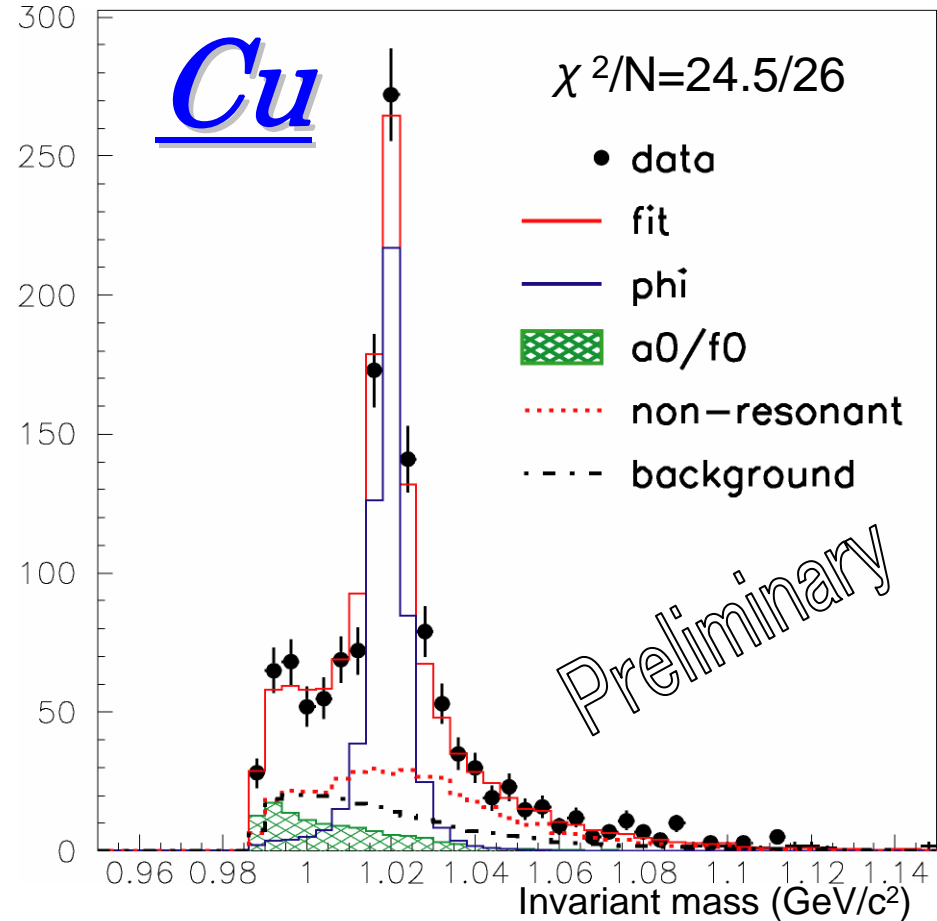
Cu-targetにおいて、 $\phi$  のpeakの左側に、よく知られたhadronic-sourceでは再現しきれない部分がある

# $K^+K^-$ mass spectra w $a_0/f_0$

[Counts/4MeV/c<sup>2</sup>]



[Counts/4MeV/c<sup>2</sup>]



$a_0/f_0$ を導入することにより、  
 $\phi$  のpeakの左側を再現できる

# summary

- KEK-PS E325実験は $12\text{GeV}/c^2 p+A = \rho, \omega, \phi + X$ において、 $e^+e^-$ ,  $K^+K^-$ 両channelの測定を行う実験で、ベクターメソンに対する通常原子核密度下における核物質効果の測定を目的として行った
- $\phi \rightarrow e^+e^-$ では、Cu-targetにおいて、遅く動く $\phi$ のpeakの左側にexcessが見える
- $\phi \rightarrow K^+K^-$ では、Cu-targetにおいて、 $\phi$ のpeakの左側に、 $\phi$ , non-resonant, backgroundを用いたfitでは再現しきれない部分が見られるものの、 $a_0/f_0$ を導入したfitでは $\phi$ のpeakの左側を再現する

## Next Step

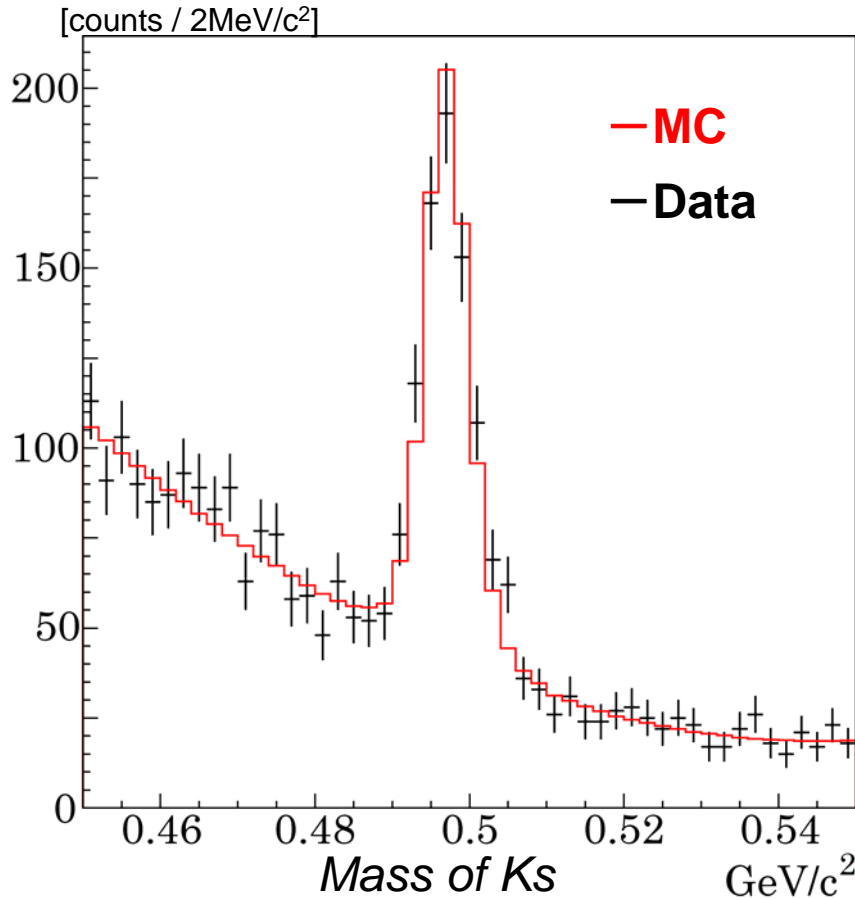
### $e^+e^-$ と $K^+K^-$ を合わせた解析

- ✓  $\phi \rightarrow K^+K^-$ における、 $e^+e^-$ と同様なkinematical cutのstudy
- ✓  $\Gamma(\phi \rightarrow K^+K^-) / \Gamma(\phi \rightarrow e^+e^-)$ についてのstudy

# Back-up

# Spectrometer Performance

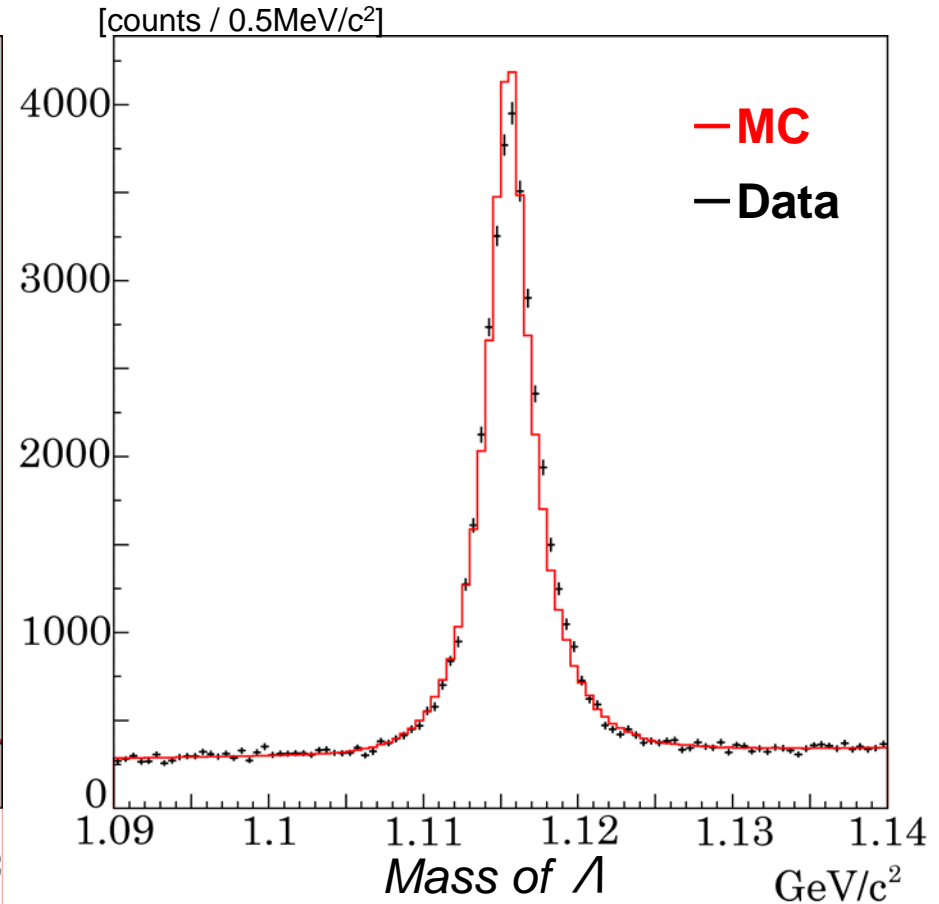
$$K_0^S \rightarrow \pi^+ \pi^-$$



$$M = 496.8 \pm 0.3 \text{ (MC } 496.9 \pm 0.1) \text{ MeV/c}^2$$

$$\sigma = 3.9 \pm 0.4 \text{ (MC } 3.5 \pm 0.1) \text{ MeV/c}^2$$

$$\Lambda \rightarrow p \pi^-$$

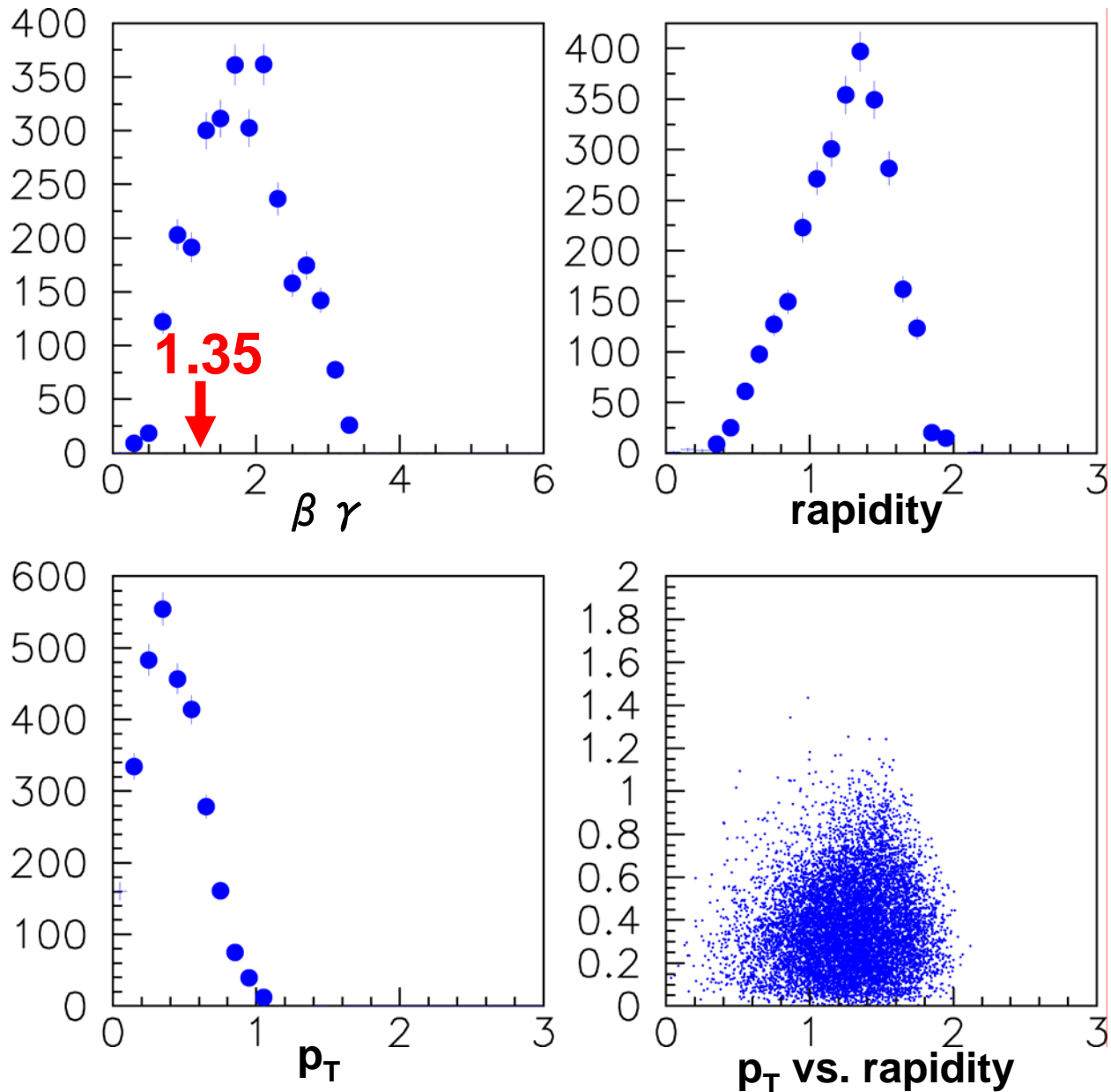


$$M = 1115.71 \pm 0.02 \text{ (MC } 1115.53 \pm 0.01) \text{ MeV/c}^2$$

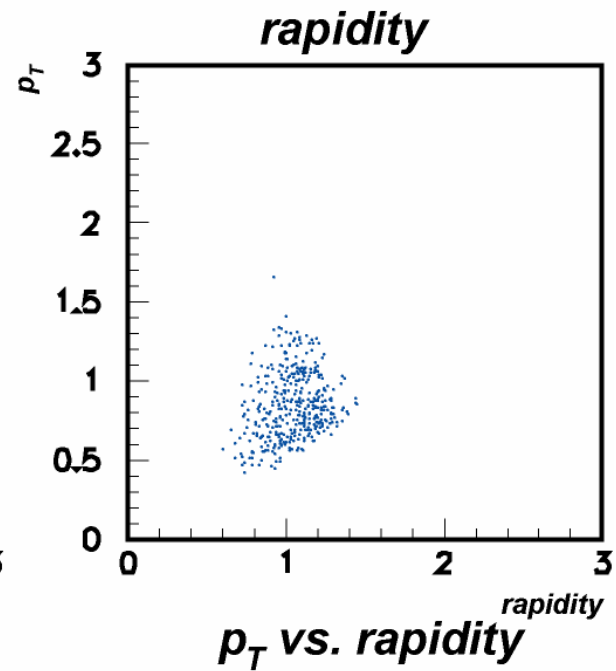
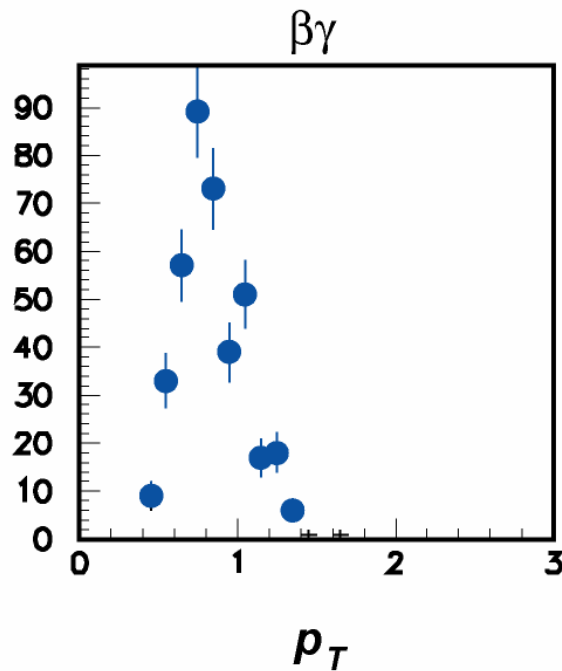
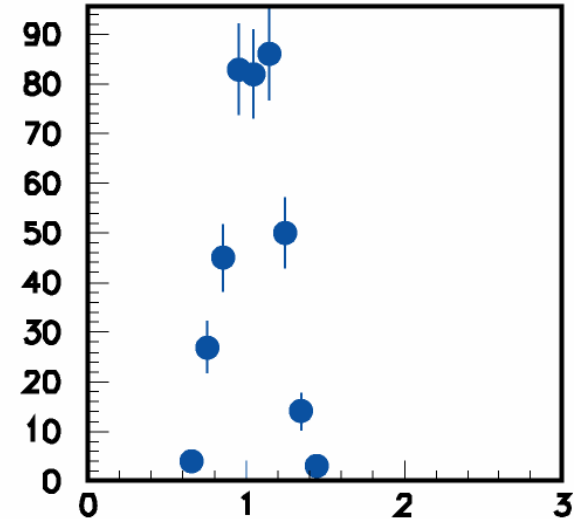
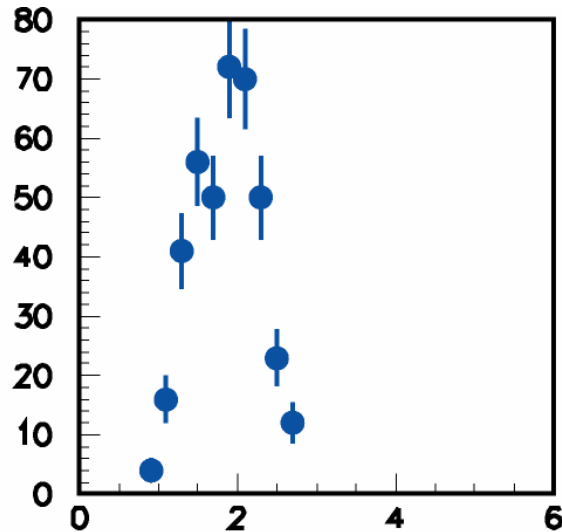
$$\sigma = 1.73 \pm 0.02 \text{ (MC } 1.62 \pm 0.01) \text{ MeV/c}^2$$



# Parameters for $\phi \rightarrow e^+e^-$



# Parameters for $\phi \rightarrow K^+K^-$



# Number of **EXCESS** in $\phi \rightarrow e^+e^-$

## For All Sample

	C		Cu	
$N(\phi)$	1612	$\pm 66$	2073	$\pm 81$
$N(\text{excess})$	141	$\pm 47$	276	$\pm 59$
$N(\text{excess})/(N(\phi)+N(\text{excess}))$ [%]	<b>8</b>	<b><math>\pm 3</math></b>	<b>12</b>	<b><math>\pm 3</math></b>

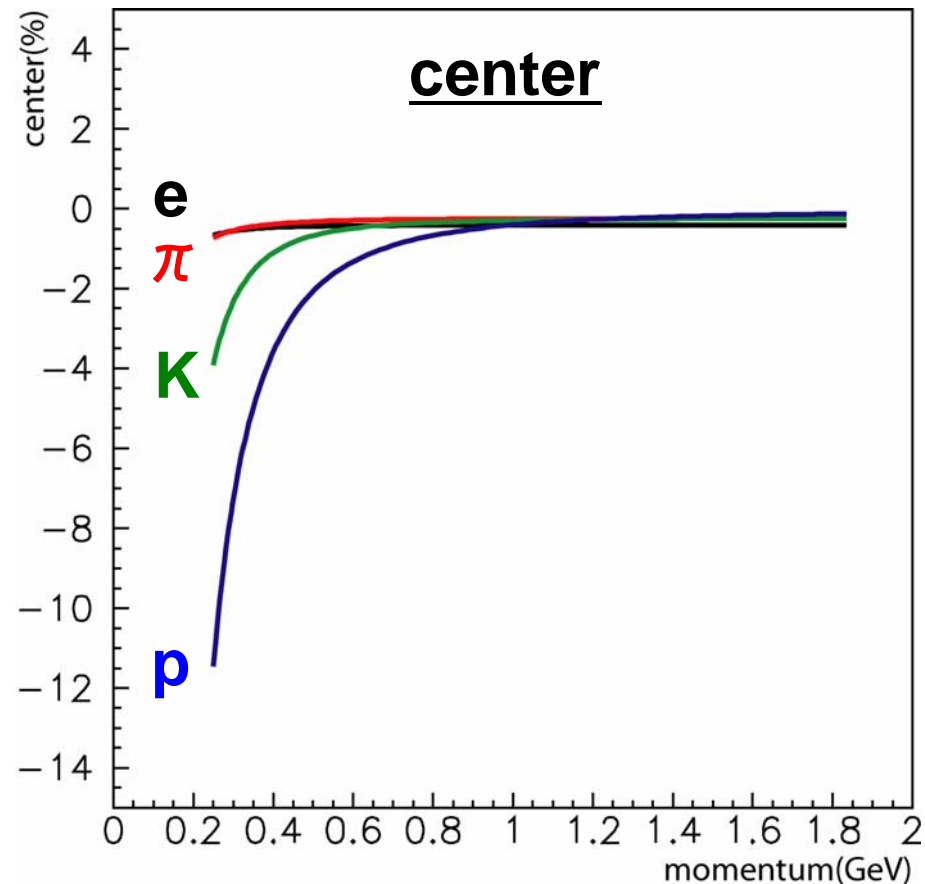
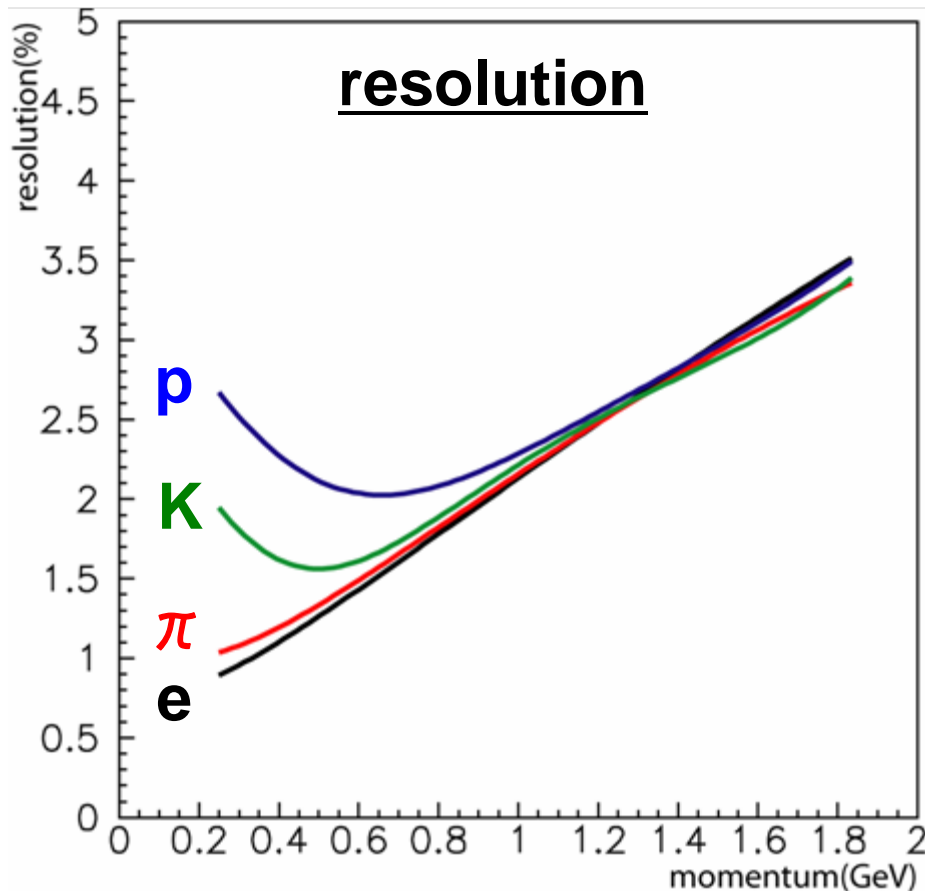
## For Slow Component ( $\beta \gamma < 1.35$ )

	C		Cu	
$N(\phi)$	285	$\pm 26$	505	$\pm 36$
$N(\text{excess})$	43	$\pm 18$	155	$\pm 29$
$N(\text{excess})/(N(\phi)+N(\text{excess}))$ [%]	<b>13</b>	<b><math>\pm 6</math></b>	<b>24</b>	<b><math>\pm 5</math></b>

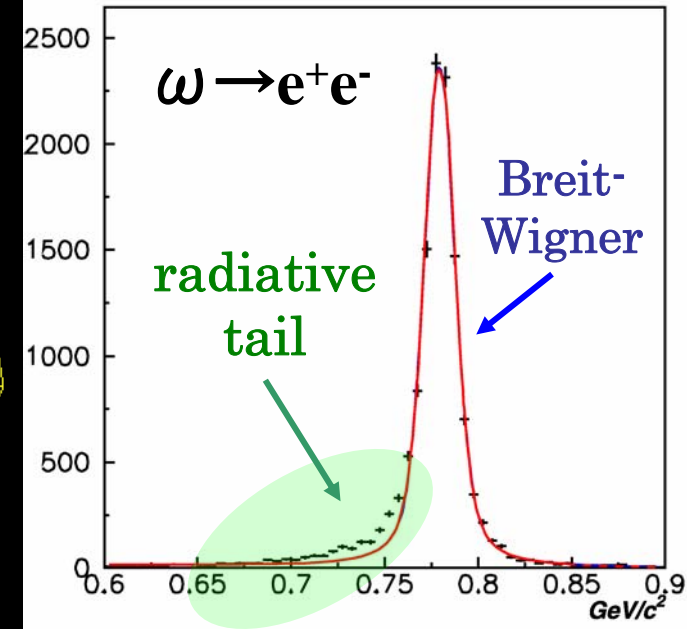
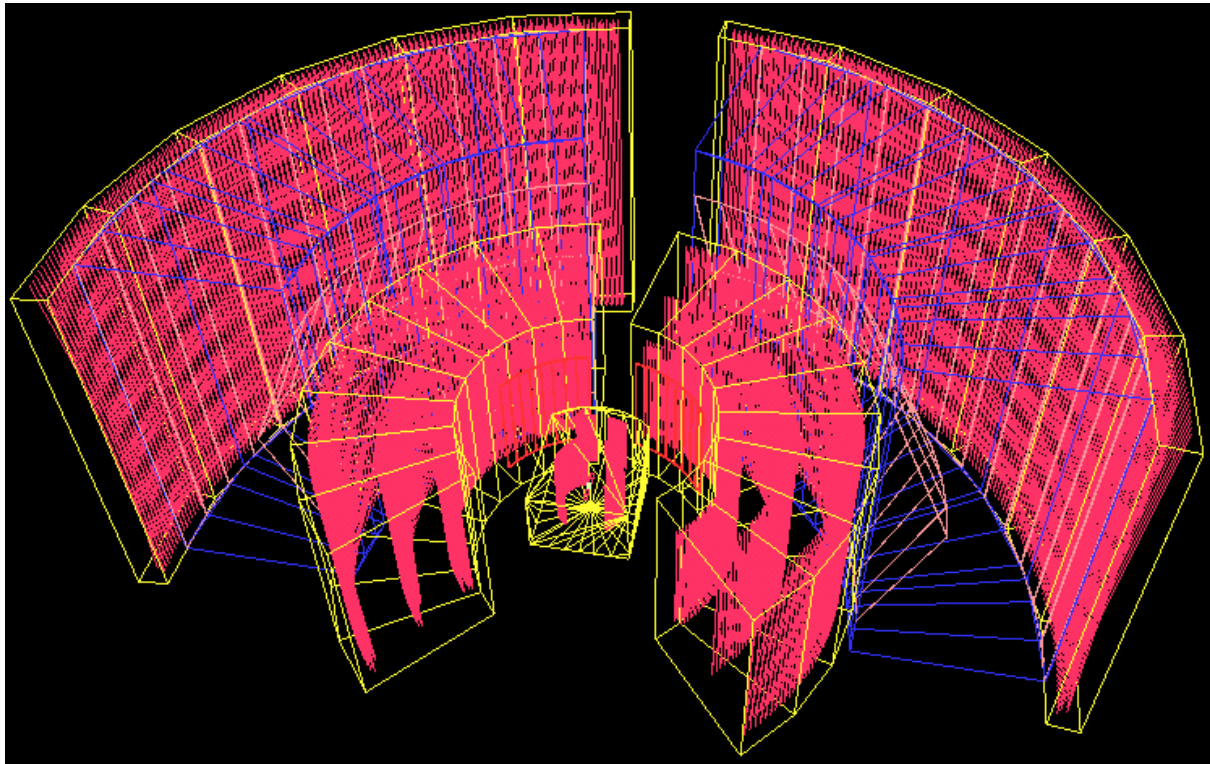
# Single Track Momentum Resolution

## Include all effect

- chamber resolution, chamber efficiency
- energy loss, multiple scattering



# Detector Simulation by Geant4



- ◆ tracking region の物質を全て再現
  - chamber wire も1本1本全て入っている ~20,000本
- ◆ 考えているPhysics
  - Energy loss (Ionization, Bremsstrahlung)
  - Multiple Scattering
- ◆ acceptance の再現
- ◆ chamber resolution, efficiency の再現