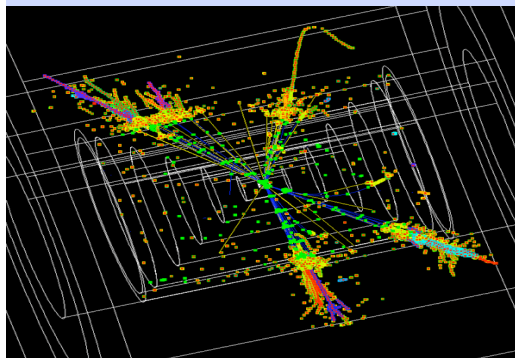
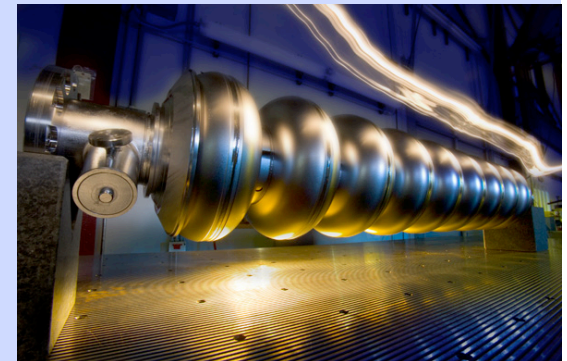


ILC実験における余剰次元模型の 右巻きニュートリノに関する測定精度 の評価

東北大学 齋藤智之



2010年
ICEPPシンポジウム@白馬

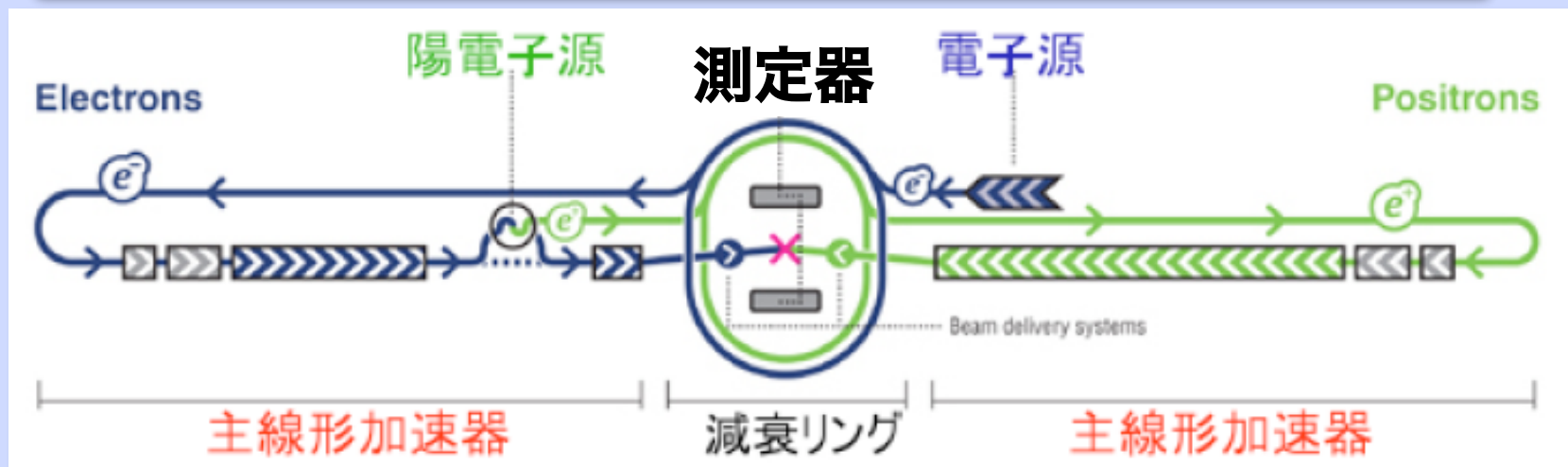




ILC計画

電子・陽電子衝突器

- 全長 : 約 31 km
- 重心エネルギー : 500 GeV (\rightarrow 1 TeV)
- 積分ミノシティ (4年間) : 500 fb⁻¹
- 測定器案 : ILD, SiD
- 2012年、工学設計書提出



クリーンな環境で新物理の精密な解析が行える

シーソー機構

なぜSMの ν は軽いのか？

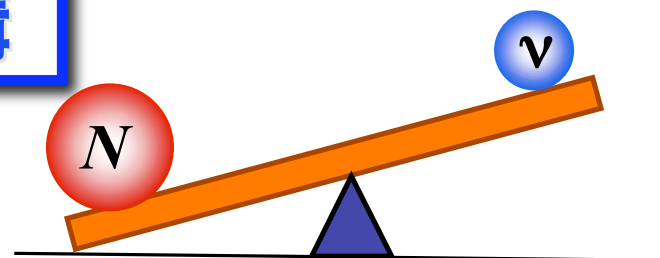
シーソー機構

Answer.

右巻きニュートリノが重いから

$$M_\nu = \frac{v^2 y^2}{2M_N} \simeq 0.1 eV$$

y : 湯川カップリング
 v : 真空期待値



重すぎる！

$$y = 1 \rightarrow M_N = 10^{14} \text{ GeV}$$

$$M_N = 10^2 \text{ GeV} \rightarrow y = 10^{-6}$$

弱すぎる！

N は観測できない！

右巻きニュートリノ in 余剰次元模型

余剰次元導入 (arXiv:0707.4058v3[hep-ph],
arXiv:0901.4596v1[hep-ph])

$$M_N = \frac{2n - 1}{2R} (n = 1, 2, \dots)$$

$\left[\begin{array}{l} n : \text{KKモード} \\ R : \text{余剰次元の半径} \end{array} \right]$

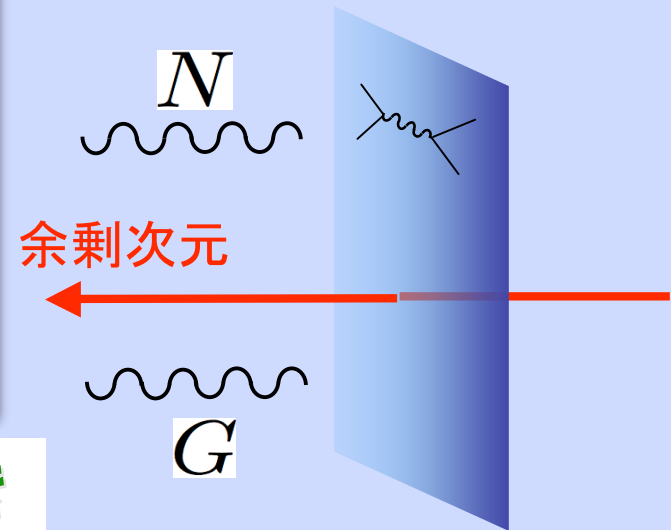
余剰次元がTeVスケールに存在するとき

$$1/R \sim 100 \text{ GeV} \Rightarrow M_N \sim 100 \text{ GeV}$$

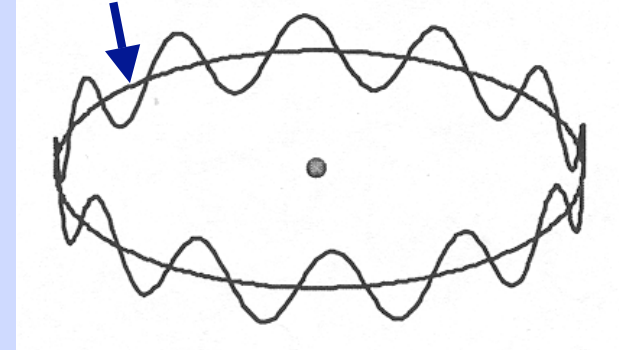
N はILCで観測可能

N の観測可能性を検証
 $\Rightarrow \nu$ の質量の起源、余剰次元

N は余剰次元を移動可



余剰次元はコンパクト化



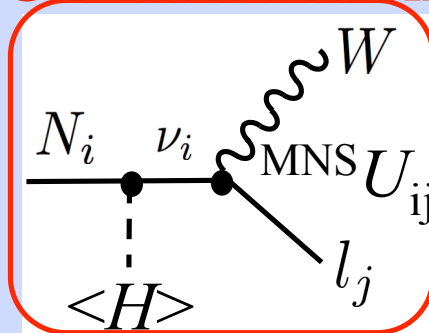
Nの相互作用

N はどのように観測されるのか

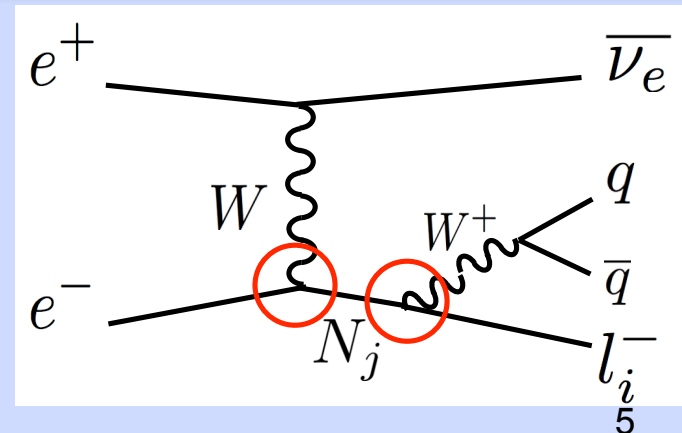
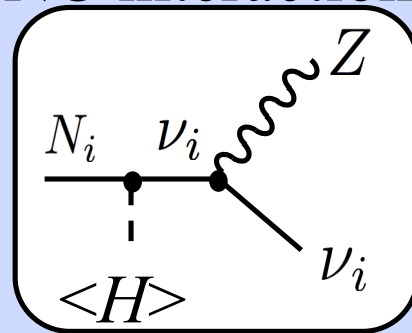
Nの相互作用

- N は弱い相互作用によりHiggsを介してSMの粒子と反応
- N は**CC interaction**による崩壊を用いて再構成される
 ⇒ MNS行列によりフレーバーの混合が生じる

CC interaction



NC interaction



研究の流れ

- 1、イベントジェネレータの作成
- 2、シミュレーション
- 3、物理事象の再構成
- 4、バックグラウンドの除去
- 5、シグナルの精度の評価

イベントジェネレータ

N を含む反応を計算するイベントジェネレータの作成

Physsim

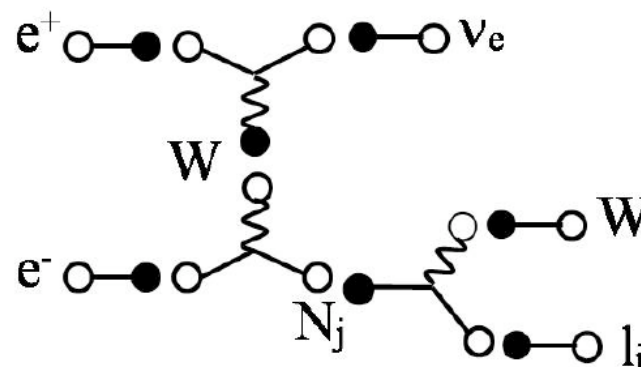
N を含むイベントの生成



JSFHadronizer

崩壊
パートン化
ハドロン化

- HELAS, BASES/SPRING
- Feynman図の内線と外線をつなぐ関数が存在



反応断面積を計算

シミュレーション

シミュレーション条件

ILDのクイックシミュレータ

重心エネルギー : **500 GeV, 1TeV**

ルミノシティ : **500 fb⁻¹**

Beamstrahlung, ISR を考慮

右巻きニュートリノ

マヨラナ

質量

N_1 : 100 GeV

N_2 : 300 GeV

N_3 : 500 GeV

N_4 : 700 GeV

ニュートリノの質量の階層性

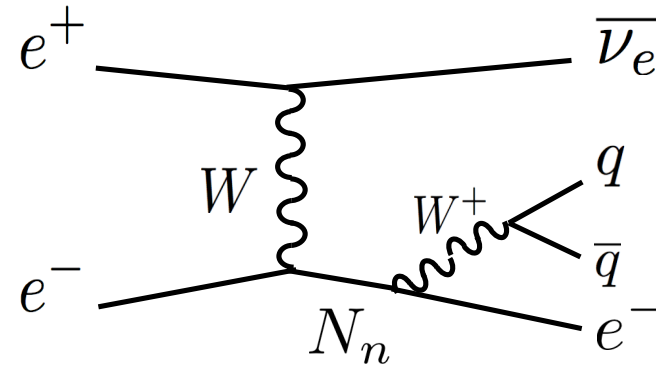
	Normal	Inveted	Degenerated
ν_e (eV)	0	0.041	0.20
ν_μ (eV)	0.009	0.05	0.21
ν_τ (eV)	0.059	0	0.26

Degeneratedでシミュレーションを行う

シグナル

シグナル

- 終状態の選択
 $2\text{jet} + e^- + \nu_e$
- N はKKモードを持つ



シグナルの反応断面積

$E_{\text{cm}}=500\text{GeV}$

KK mode	cross section(fb)
1st KK	378.64
2nd KK	14.61

$E_{\text{cm}}=1\text{TeV}$

KK mode	cross section(fb)
1st KK	427.00
2nd KK	25.29
3rd KK	6.74
4th KK	2.08

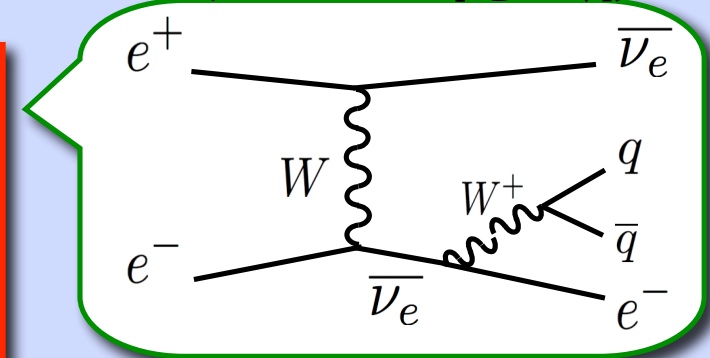
バックグラウンド

バックグラウンド：終状態が1レプトン+2jetになり得るもの

バックグラウンドの反応断面積

Background	cross section (fb)	
	500GeV	1TeV
evW	4462	10320
WW -> lvqq	660	280.3
ZZ -> llqq+vvqq	163	32.79
tt	531	29.43

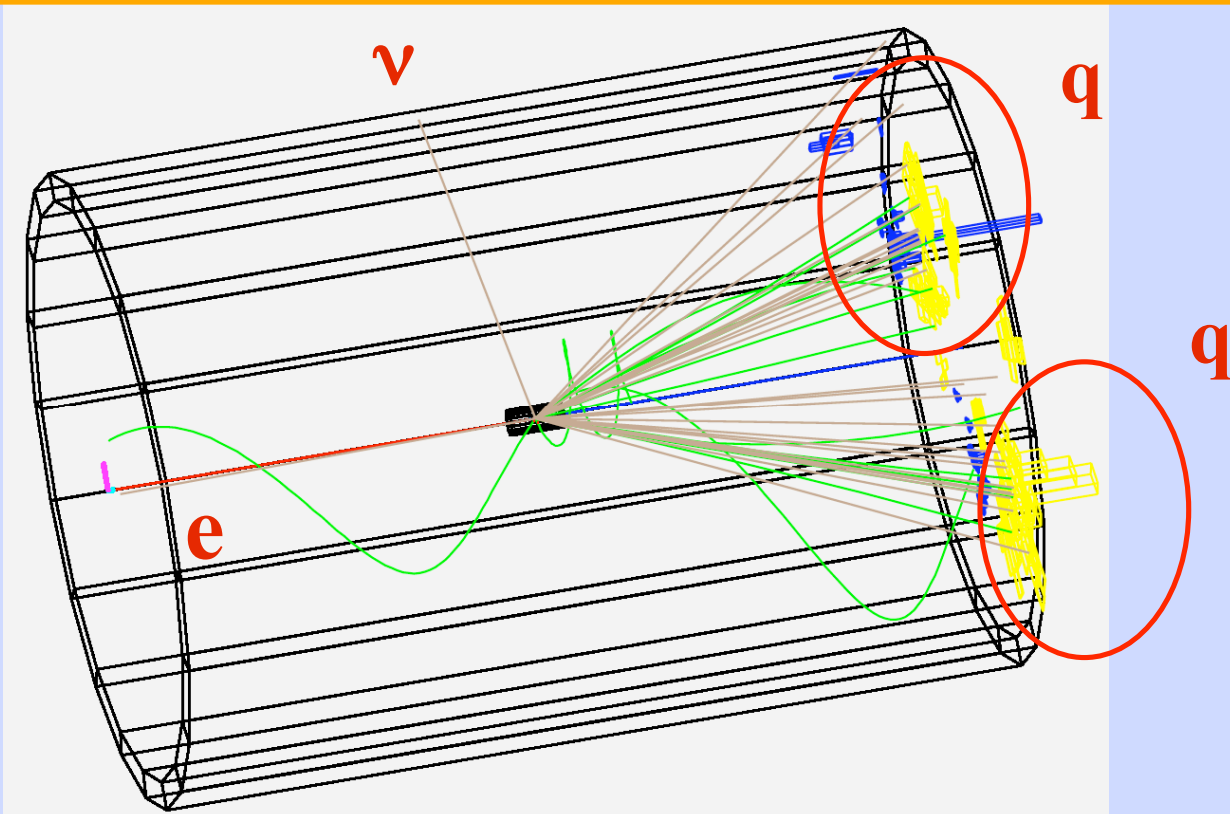
シグナルと同じ形



バックグラウンドの反応断面積は大きい

検出器シミュレーション

イベントジェネレータの情報 → ILDのクイックシミュレータへ



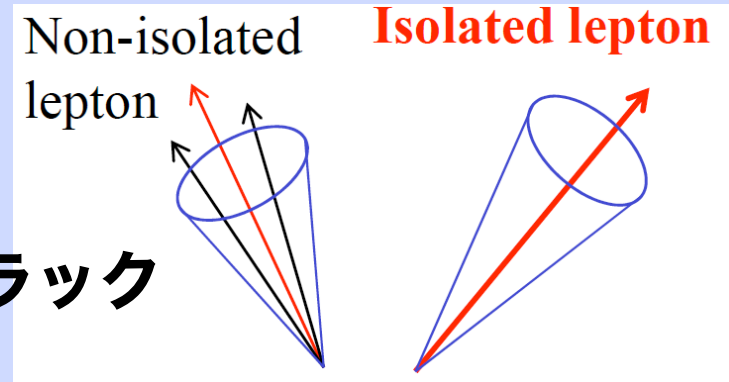
2jet+電子+ニュートリノを再現できている

イベント再構成

終状態の情報から右巻きニュートリノの質量を再構成

1、終状態のトラックからレプトンを識別

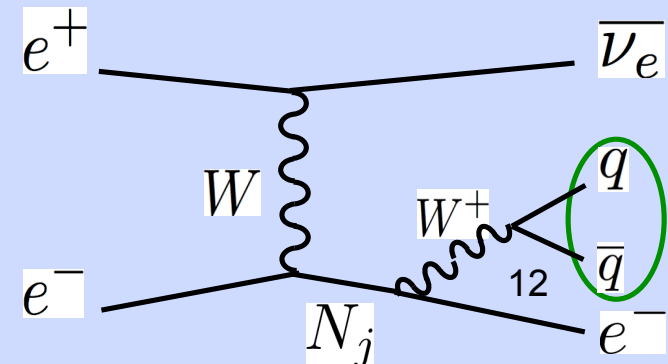
- ① **トラックの周りのエネルギー損失** $< 5 \text{ GeV}$
- ② その内**最も高いエネルギー**のトラック
 \Rightarrow **レプトン候補**



2、レプトン候補を除き、**2ジェット事象**として再構成 \Rightarrow **Wを再構成**

3、**右巻きニュートリノ**を再構成

$$P_N = P_W + P_l$$



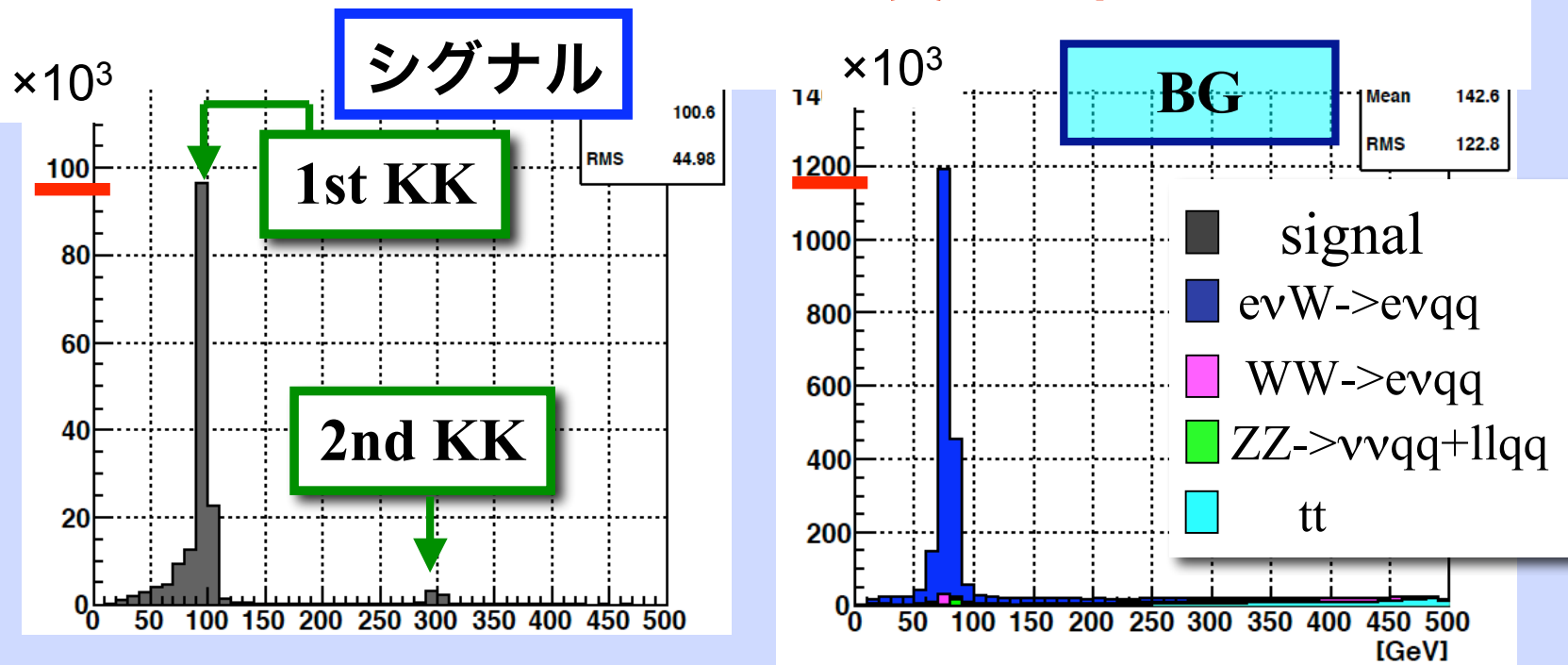
500 GeVの解析

(1st KK N)
(2nd KK N)

N の質量の再構成

再構成した粒子の情報から N の質量を再構成

右巻きニュートリノの質量分布



バックグラウンドの除去が必要

バックグラウンドの除去

- ▶ **レプトンエネルギーカット** →
 - ▶ $10 \text{ GeV} < 1st < 100 \text{ GeV}$
 - ▶ $10 \text{ GeV} < 2nd < 350 \text{ GeV}$

レプトンIDができていない
イベントカット

- ▶ **2jetの質量カット** →
 - ▶ $60 \text{ GeV} < W \text{ mass} < 100 \text{ GeV}$

Wの再構成ができていない
イベントカット

- ▶ **2jetのエネルギーカット**
 - ▶ $135 \text{ GeV} < 1st < 290 \text{ GeV}$
 - ▶ $100 \text{ GeV} < 2nd < 250 \text{ GeV}$

- ▶ **シグナル領域選択**
 - ▶ $90 \text{ GeV} < 1st < 100 \text{ GeV}$
 - ▶ $280 \text{ GeV} < 2nd < 320 \text{ GeV}$

反応断面積の精度

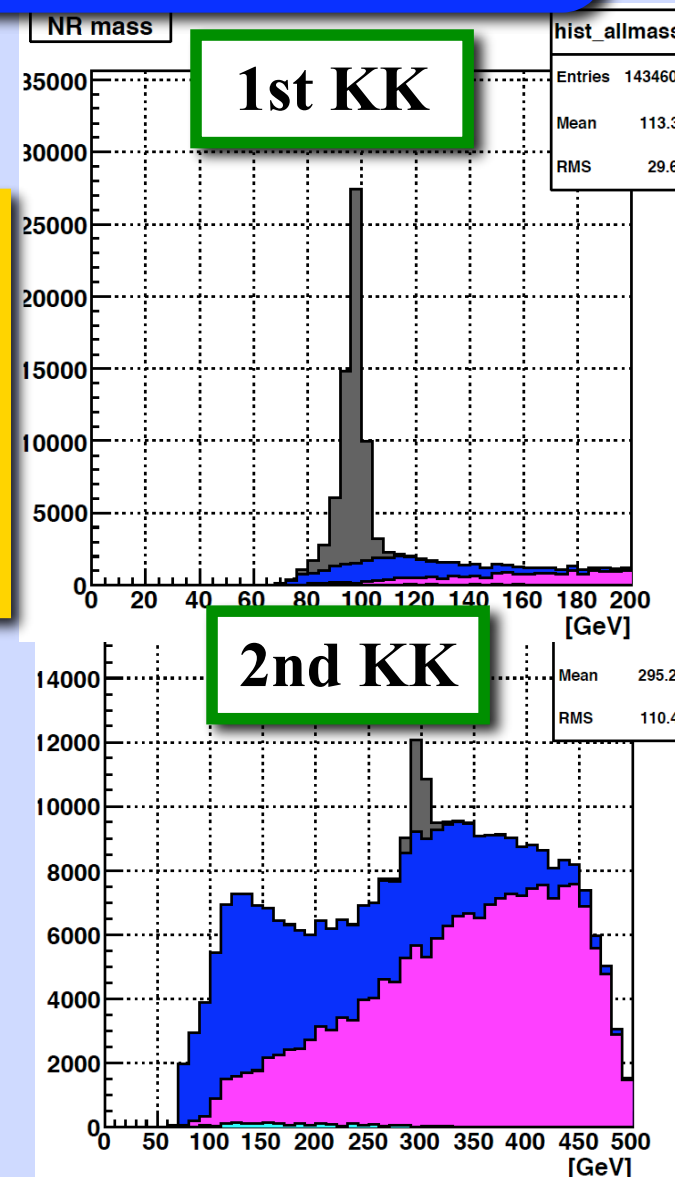
カット後のNの質量分布 →

- ▶ カット後のイベント数 (選択効率)
 - ▶ [1st KK] シグナル : 58429 (30.9 %)
BG : 36044 (0.4 %)
 - ▶ [2nd KK] シグナル : 5379 (73.6 %)
BG : 36429 (6.7 %)

▶ 反応断面積の精度

- ▶ 1st KK : 0.5 %
- ▶ 2nd KK : 3.8 %

十分精度よく観測可能



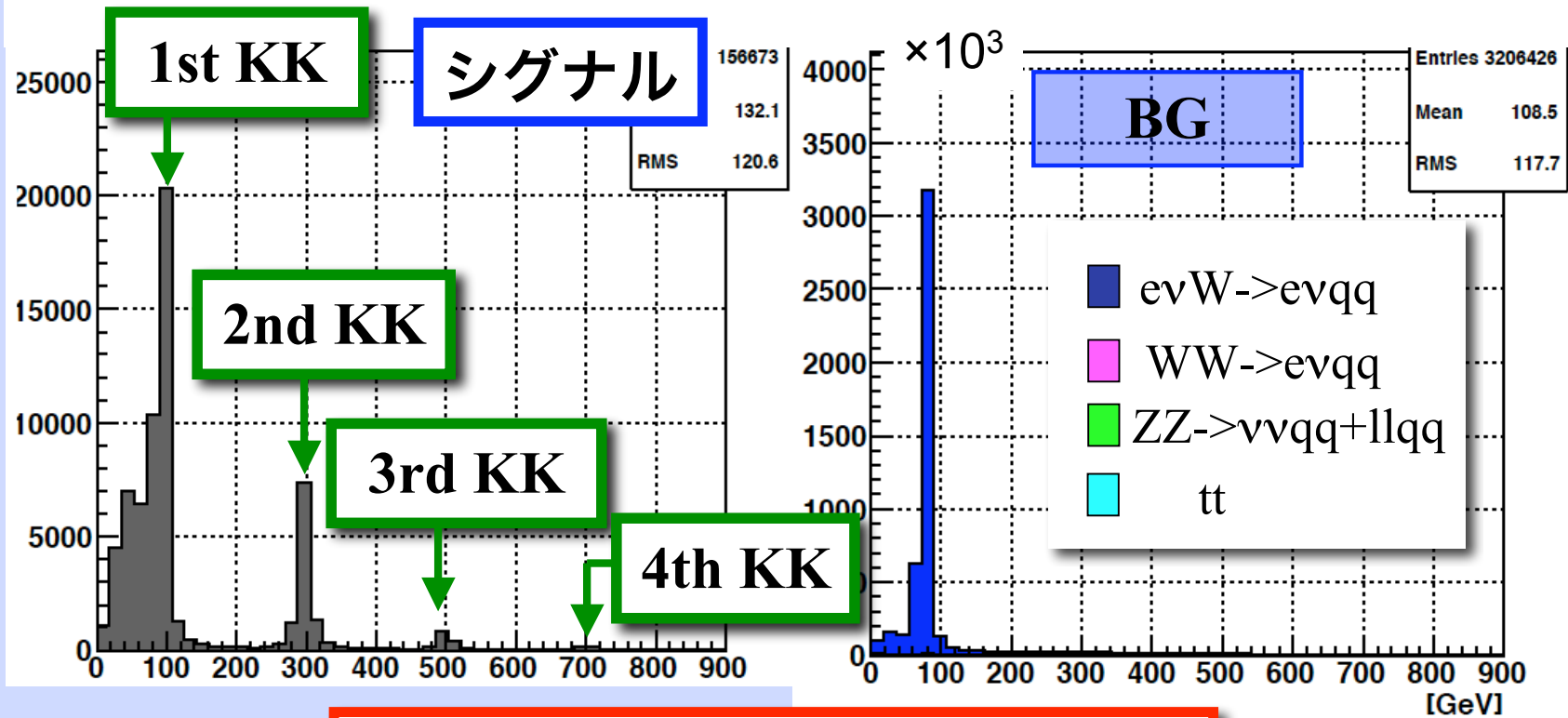
1TeVの解析

〔
1st KK
2nd KK
3rd KK
4th KK
〕

Nの質量の再構成

再構成した粒子の情報からNの質量を再構成

右巻きニュートリノの質量分布



バックグラウンドの除去が必要

バックグラウンドの除去

- ▶ **レプトンエネルギーカット**
 - ▶ $10 \text{ GeV} < 1\text{st} < 100 \text{ GeV}$
 - ▶ $10 \text{ GeV} < 2\text{nd} < 500 \text{ GeV}$
 - ▶ $10 \text{ GeV} < 3\text{rd} < 700 \text{ GeV}$
 - ▶ $10 \text{ GeV} < 4\text{th} < 540 \text{ GeV}$
- ▶ **2jetの質量カット**
 - ▶ $60 \text{ GeV} < W \text{ mass} < 100 \text{ GeV}$
- ▶ **2jetのエネルギーカット**
 - ▶ $80 \text{ GeV} < 1\text{st} < 290 \text{ GeV}$
 - ▶ $180 \text{ GeV} < 2\text{nd} < 560 \text{ GeV}$
 - ▶ $220 \text{ GeV} < 3\text{rd} < 470 \text{ GeV}$
 - ▶ $280 \text{ GeV} < 4\text{th} < 440 \text{ GeV}$
- ▶ **シグナル領域選択**
 - ▶ $90 \text{ GeV} < 1\text{st} < 110 \text{ GeV}$
 - ▶ $280 \text{ GeV} < 2\text{nd} < 320 \text{ GeV}$
 - ▶ $480 \text{ GeV} < 3\text{rd} < 520 \text{ GeV}$
 - ▶ $670 \text{ GeV} < 4\text{th} < 730 \text{ GeV}$

反応断面積の精度 (1st, 2nd KK)

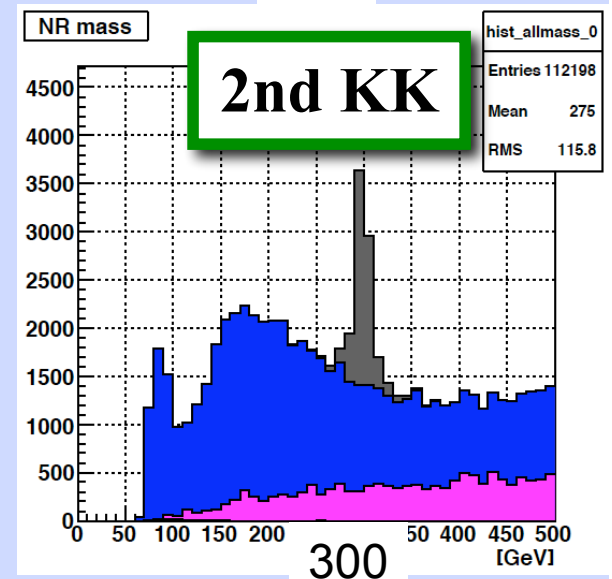
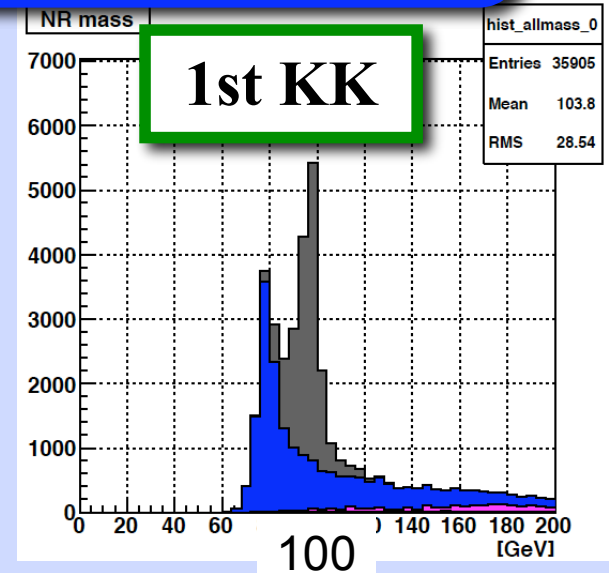
カット後のNの質量分布 →

- ▶ カット後のイベント数 (選択効率)
 - ▶ [1st KK] シグナル : 11201 (5.2 %)
BG : 3734 (0.2 %)
 - ▶ [2nd KK] シグナル : 4660 (36.9 %)
BG : 3789 (0.2 %)

▶ 反応断面積の精度

- ▶ 1st KK : 1.1 %
- ▶ 2nd KK : 2.0 %

十分精度よく観測可能



反応断面積の精度 (3rd, 4th KK)

カット後のNの質量分布 →

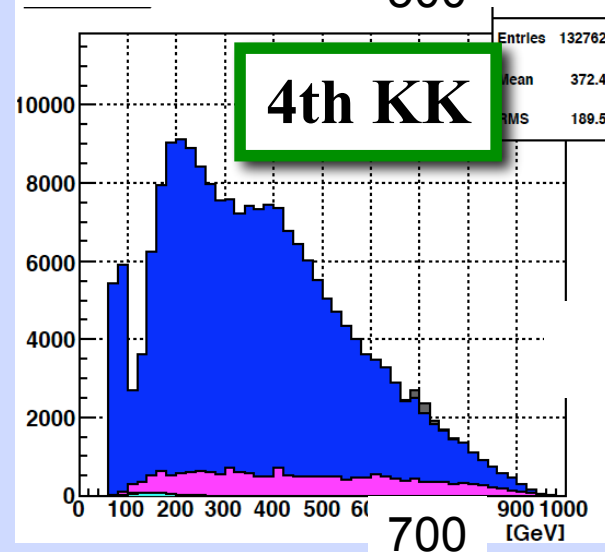
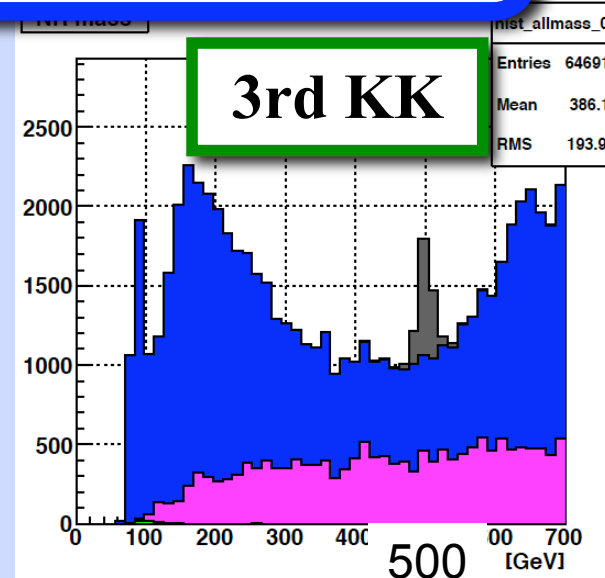
➤ 選択効率

- ▶ [3rd KK] シグナル : 1359 (40.3 %)
BG : 3016 (0.9 %)
- ▶ [4th KK] シグナル : 546 (49.6 %)
BG : 6725 (0.8 %)

➤ 反応断面積の誤差

- ▶ 3rd KK : 4.9 %
- ▶ 4th KK : 15.6 %

3rd KK 観測可能、4th 厳しい



まとめ

余剰次元模型の右巻きニュートリノの反応の500GeVと1TeVのILCでの精度を検証した

結果

- 1st, 2nd, 3rd KK
 - 十分精度よく観測可能
- 4th KK
 - 信号有意度6.4

ERROR (%)	500GeV	1 TeV
1st KK	0.5	1.1
2nd KK	3.3	2.0
3rd KK	/	4.9
4th KK	/	15.6

予定

τ モードの解析を行い分岐比の比を調べる

Back up

ラグランジアン

$$\begin{aligned}
 \mathcal{L}_{\text{int}} = & -\frac{g}{\sqrt{2}} \bar{e} \not{W} U_{\text{MNS}} P_L \nu + h.c. \\
 & -\frac{g}{\sqrt{2}} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\pi R m_n} \bar{e} \not{W} X P_L N^{(n)} + h.c. \\
 & -\frac{gZ}{2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\pi R m_n} \bar{\nu} \not{Z} \left(\frac{2m_\nu}{\mathcal{M}} \right)^{1/2} \mathcal{O} P_L N^{(n)} + h.c. \\
 & -\frac{gZ}{2} \sum_{n,m=1}^{\infty} \frac{1}{\pi^2 R^2 m_n m_m} \bar{N}^{(n)} \not{Z} \left(\frac{2m_\nu}{\mathcal{M}} \right) P_L N^{(m)} \\
 & -\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\pi R v} h \bar{\nu} \left(\frac{2m_\nu}{\mathcal{M}} \right)^{1/2} \mathcal{O} P_R N^{(n)} + h.c. \\
 & -\sum_{n,m=1}^{\infty} \frac{1}{\pi^2 R^2 v m_m} h \bar{N}^{(n)} \left(\frac{2m_\nu}{\mathcal{M}} \right) P_L N^{(m)} + h.c.
 \end{aligned}$$