

# スーパーカミオカンデにおける Geant4ベースのシミュレーション開発

岡山大学 萩原 開人

原田将之, 小汐由介

for Super-Kamiokande collaboration

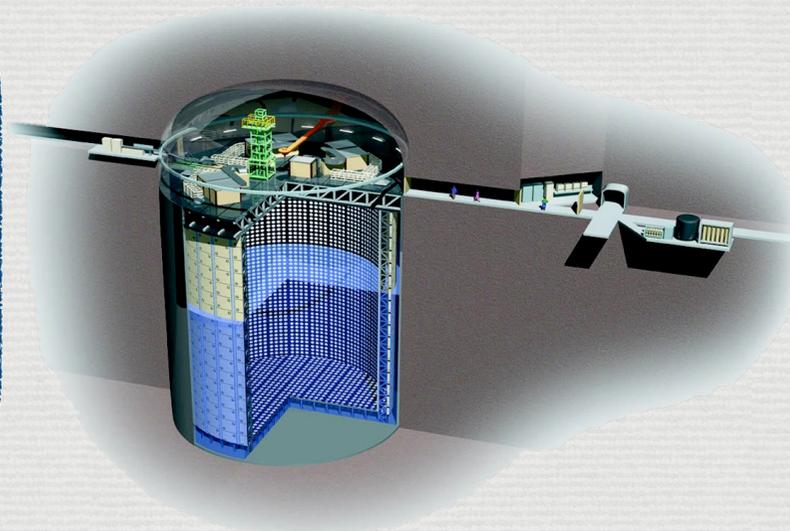


# 目次

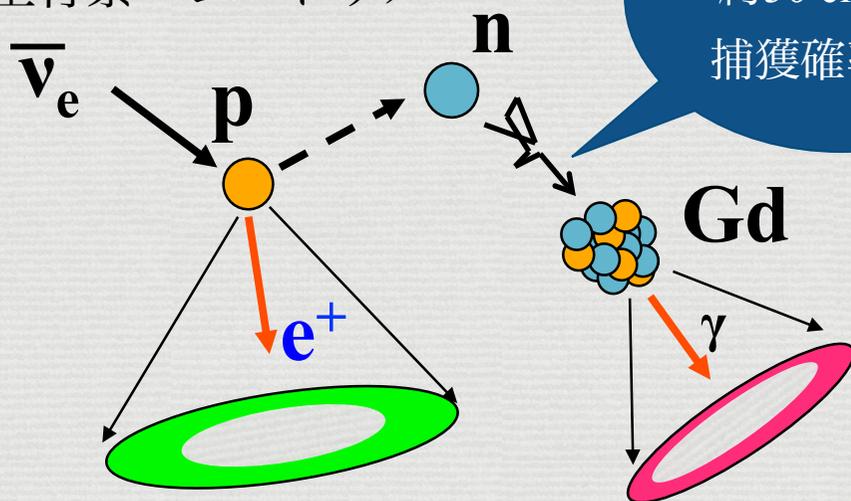
1. 研究背景・目的
2. Geant4ベースのSKシミュレーション
3. 従来のシミュレーションとの比較
4. まとめと今後

# 1-1. ガドリニウム(Gd)を用いたニュートリノ観測

スーパーカミオカンデ(SK)の超純水に硫酸Gdを0.2%溶かすことにより、バックグラウンド事象を落とし、反電子ニュートリノを識別する。「SK-Gd実験」



超新星背景ニュートリノ

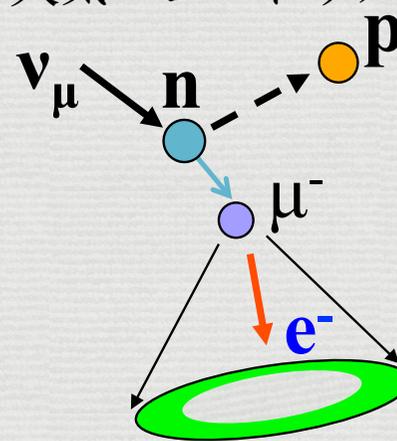


約30  $\mu\text{sec}$   
約50 cm以内  
捕獲確率90%

信号

遅延信号

大気ニュートリノ



バックグラウンド

# 1-2. SKでのシミュレーション

現在SKで使用されているシミュレーション(SKDetSim)は、Geant3をベースに構築されている。しかし、維持や拡張性の観点から、最新のGeant4をベースとしたシミュレーションの構築が望まれている。そこで、新たにGeant4をベースにしたSKのシミュレーション(SKG4)を構築した。

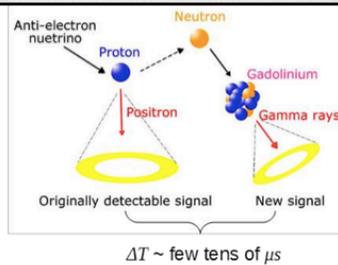
	SKDetSim	
シミュレーション	Geant3	Geant4
使用言語	FORTRAN	C++
物理モデル	更新終了	最新

# 2-1. SKにおけるGeant4を用いた研究

Ka Ming さん

## Introduction

- Super-Kamiokande Detector Simulator (**SKDETSIM**)
- Based on GEANT3, with low energy neutrons are simulated by MICAP:  
No support for Gadolinium x-sec & interactions → interface to GEANT4 with updated data & flexibility to give **Gd-SKDETSIM**
- Neutron gun results shown in last JPS meeting → validation of atmospheric neutrino simulation & neutron tagging algorithm in this talk



JPS Spring Meeting 2017

2

JPS Spring Meeting 2017

Geant3ベースの「SKDetSim」を用いるが、中性子発生からGdに捕獲されるまでをGeant4でシミュレートする。

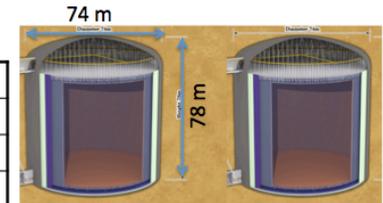
岡島さん

## ハイパーカミオカンデ

- 大容量水チェレンコフ型ニュートリノ検出器を用いた将来実験計画
  - スーパーカミオカンデの17倍の有効体積 → 統計数増加
  - 光センサの高感度化 (SKの2倍)、高時間精度化(2倍)により測定精度向上

### 検出器ベースラインデザイン

光電面被覆率	40% (Super-K: 40%)
有効体積	187 kton x 2 (Super-K: 22.5)
光センサ数 (内水槽)	~40000 x 2 (Super-K: 11129)
内水槽の光センサ	Box & Line PMT



### 主な目的

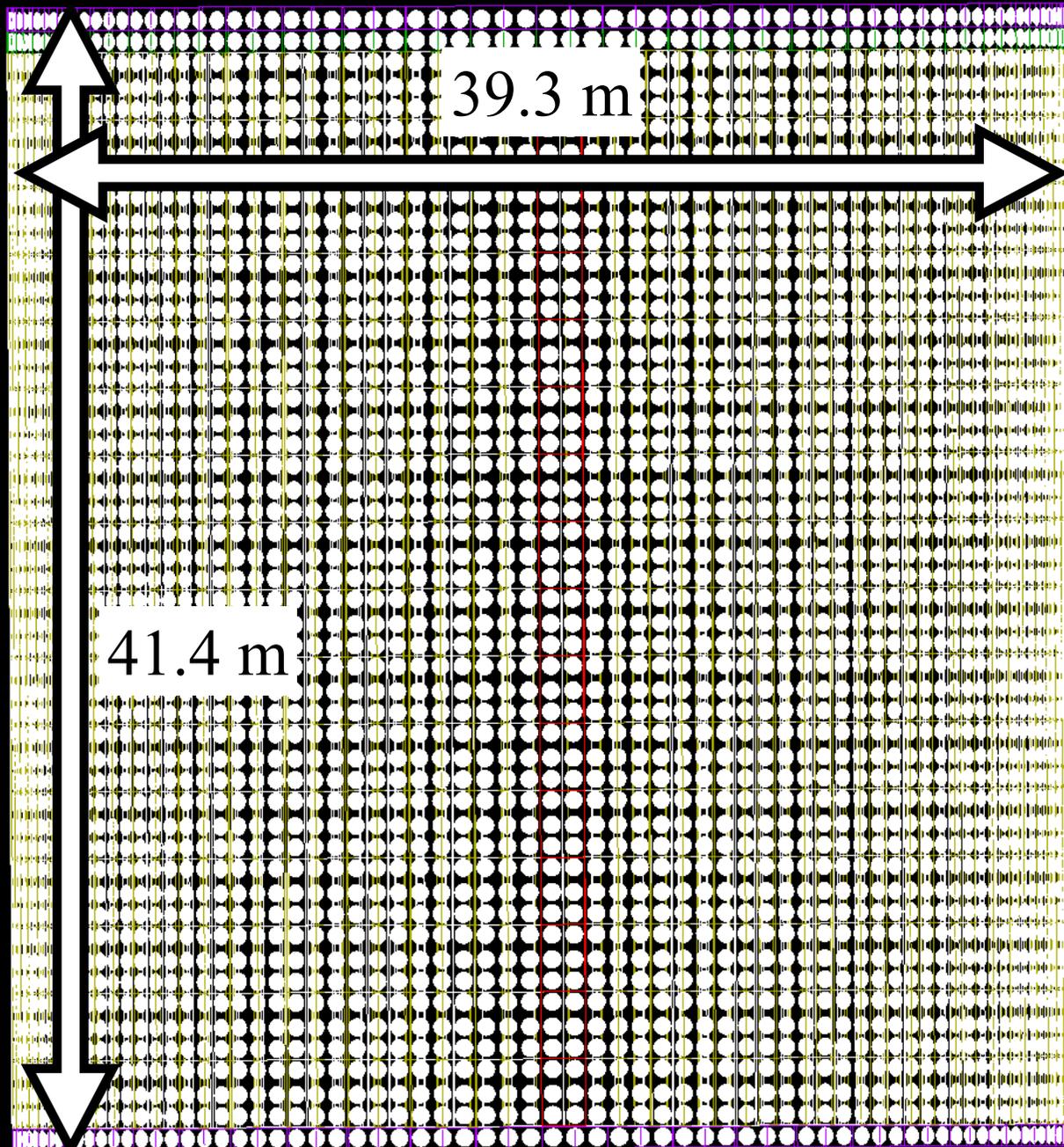
- 核子崩壊の観測による大統一理論の検証
- レプトンのCP対称性の破れの検証などに向けたニュートリノ振動の観測
- 超新星爆発由来のニュートリノの観測などの宇宙物理学に関する研究

2

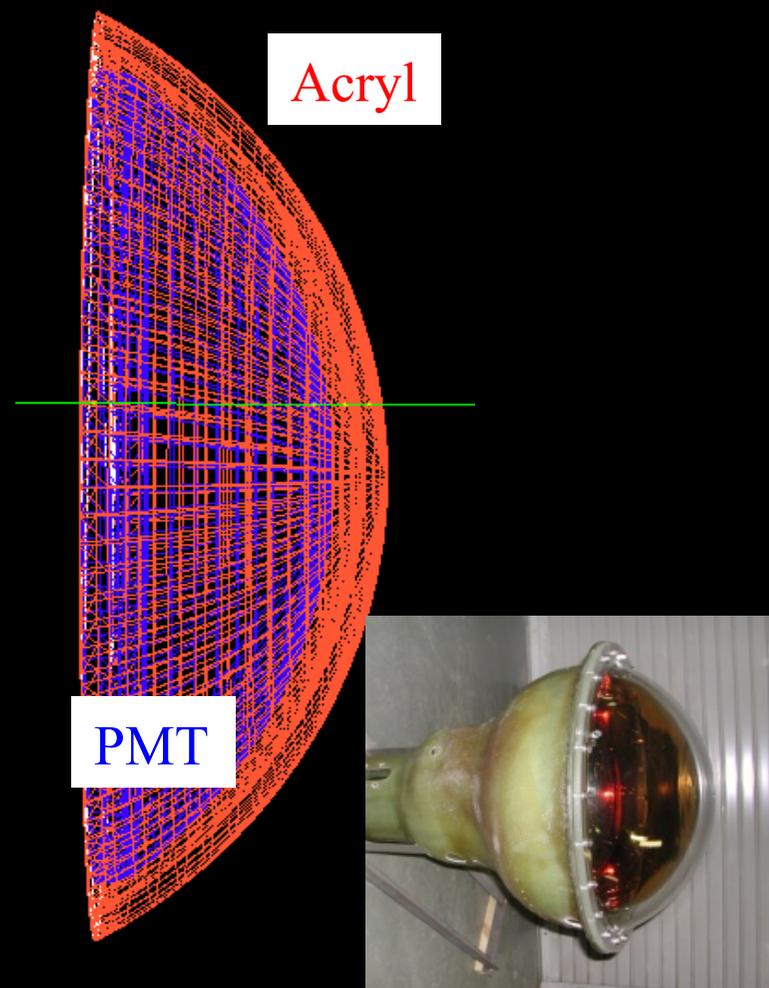
JPS Autumn Meeting 2016

ハイパーカミオカンデ計画のためにGeant4ベースのシミュレーション「WCSim」を作成。

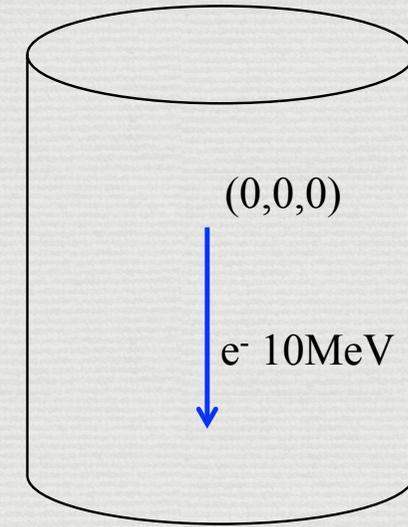
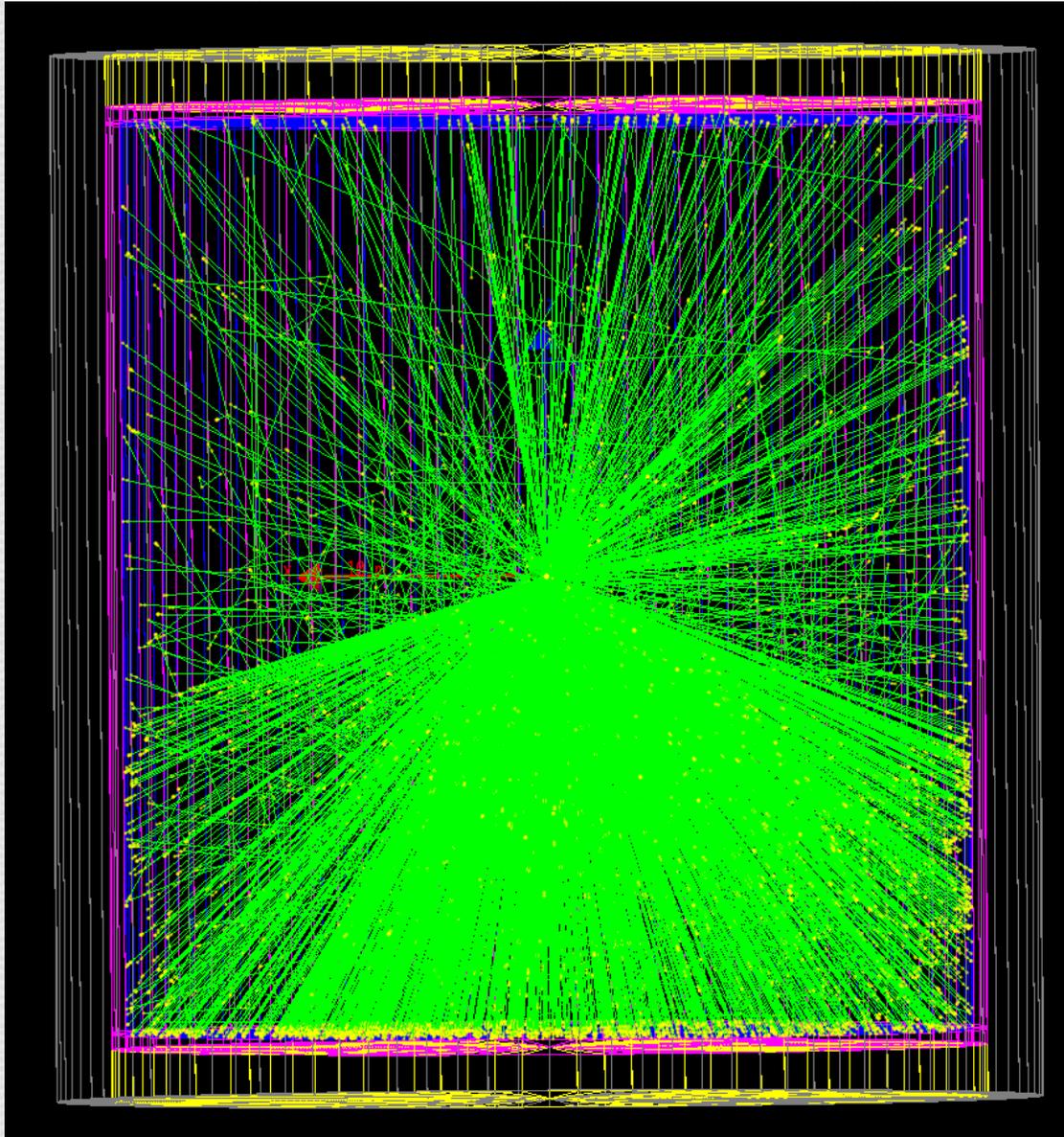
# Geometry of SK



Geant4.10.03.p02でSKを再現した。寸法はSKDetSimの値を用いた。



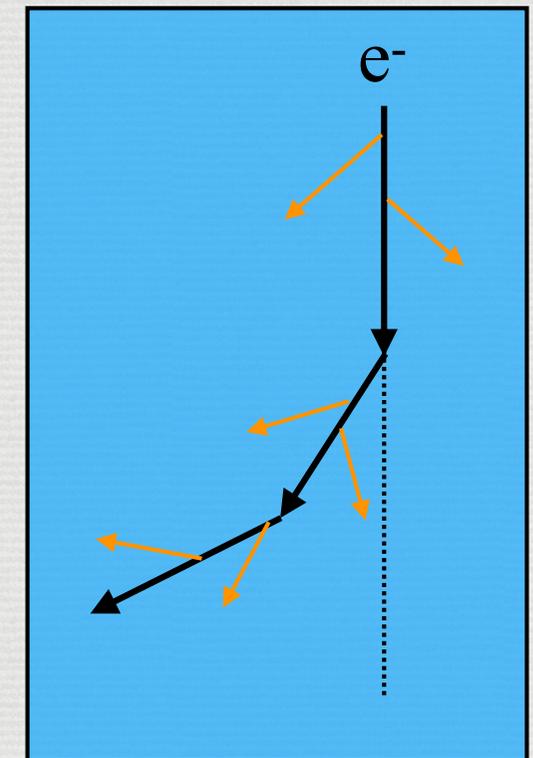
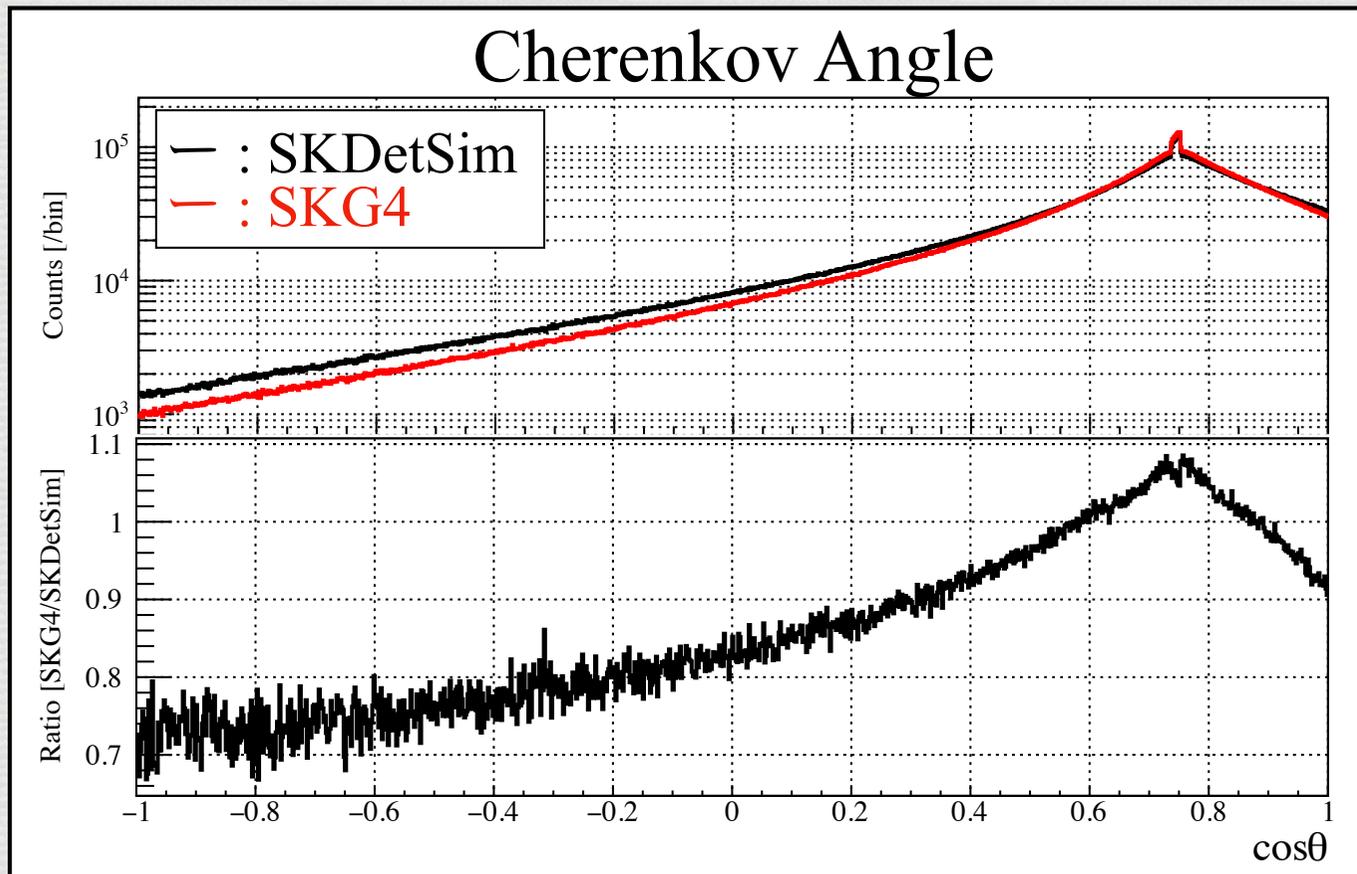
# 3-1. チェレンコフ光の評価



タンク中心から下向きに電子 ( $E=10 \text{ MeV}$ ) を1万回、入射した際のチェレンコフ光子の挙動を評価する。(光の吸収散乱を考慮しない)

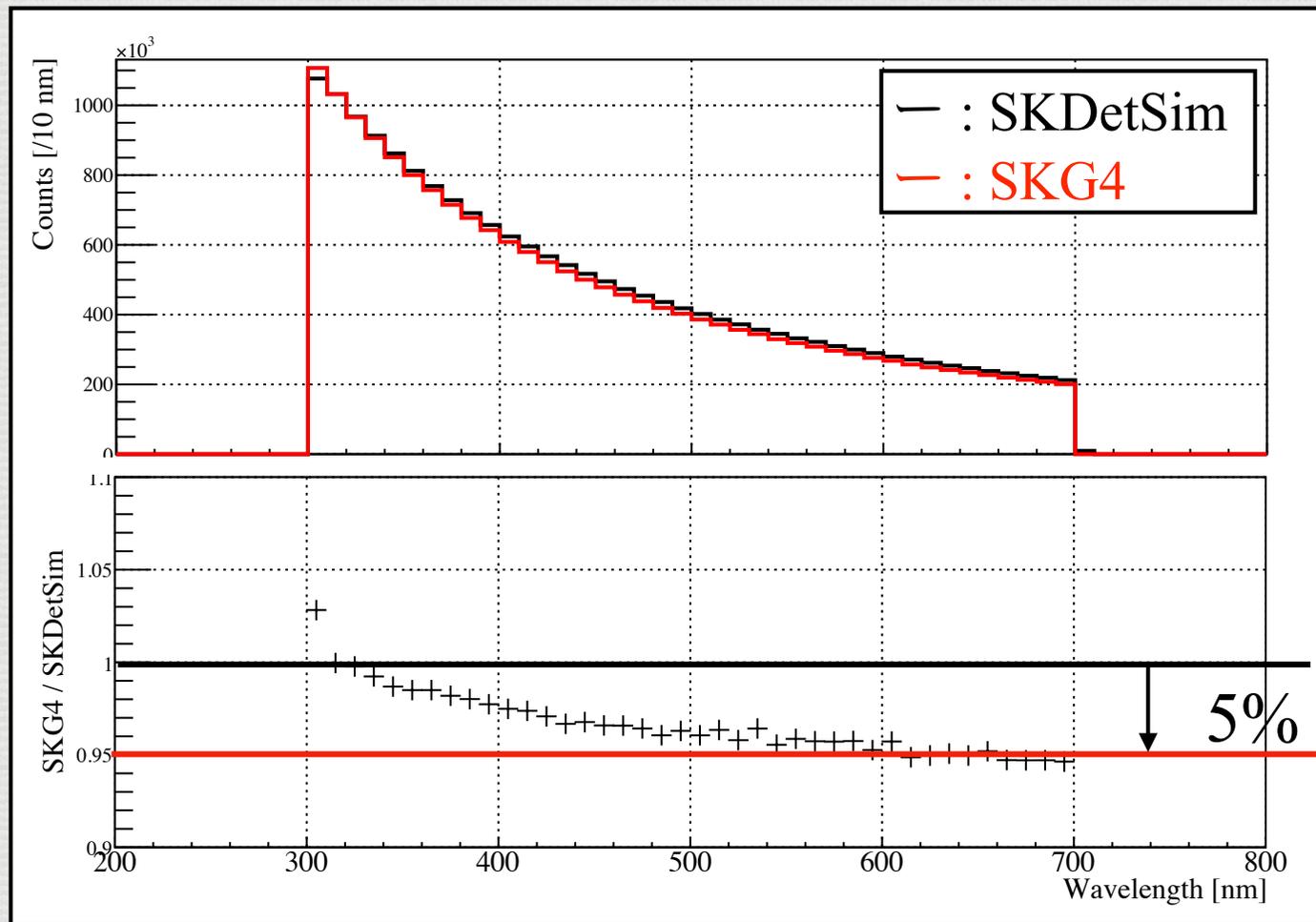
# 3-2. チェレンコフ光放出角度

鉛直下向き(0, 0, -1)とチェレンコフ放射との成す角をプロットした。電子のMultiple Scatteringによる違い (Geant3とGeant4のモデルの差) が高角度領域で見られる。



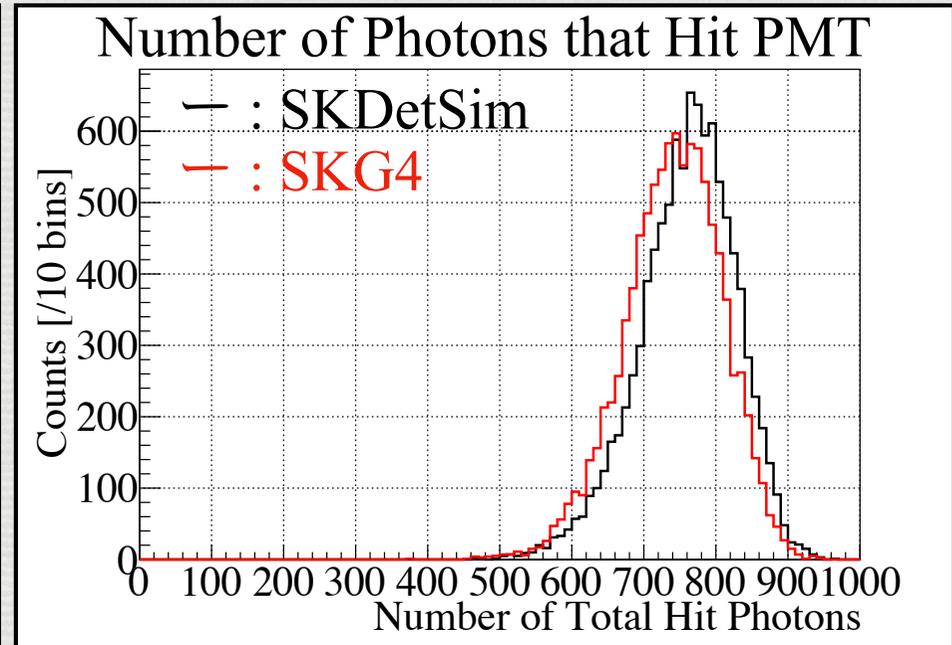
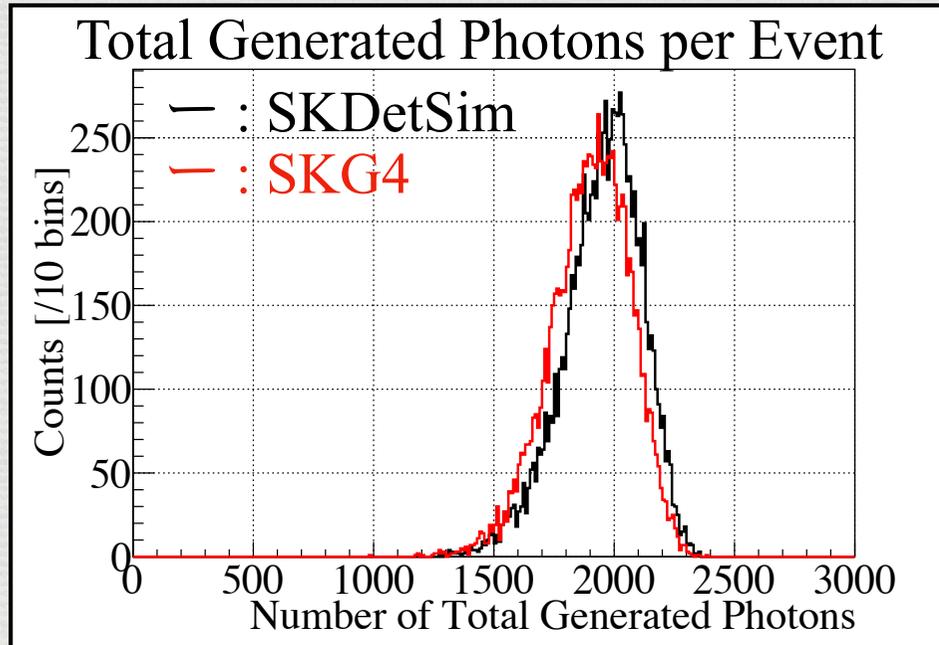
# 3-3. チェレンコフ光放出波長

電子から放出される光子の波長分布。波長の長い領域で約5%の差が出た。  
SKG4では屈折率は波長依存している。しかし、SKDetSimではチェレンコフ  
光放出計算の際に、一定値の屈折率を使用している。



# 3-4. チェレンコフ光放出数

チェレンコフ光子の総放出数と検出光子数を比較した。SKDetSimとSKG4で共に2.6%の差がみられる。屈折率の取り扱いの違いによるものと考えられる。



	SKDetSim		SKG4		Ratio (SKG4/SKDetSim)
	Mean	Sigma (Resolution)	Mean	Sigma (Resolution)	Mean
Total Generated Photons per Event	1950	162.3 (8.3%)	1900	165.6 (8.7%)	97.4%
Number of Photons that Hit PMT	760.2	66.85 (8.8%)	740.4	68.07 (9.2%)	97.4%

# 3-5. 光子の水中での振る舞い

これまでの解析では、水中での光子の散乱吸収を考慮してこなかった。Absorptionのみを導入して、同様の条件でSKG4とSKDetSimを比較した。

## 水中での光子の反応

<b>Absorption</b>	波長依存し、媒質（超純水 or Gd水溶液） の状態に依存
<b>Rayleigh Scattering</b>	散乱強度は波長の4乗に反比例 ほぼ等方散乱
<b>Mie Scattering</b>	散乱強度、散乱方向共に複雑
<b>Top Bottom Asymmetry</b>	SK固有の問題、タンク上部と下部で水の性質が異なる

# 3-5. 光子の水中での振る舞い

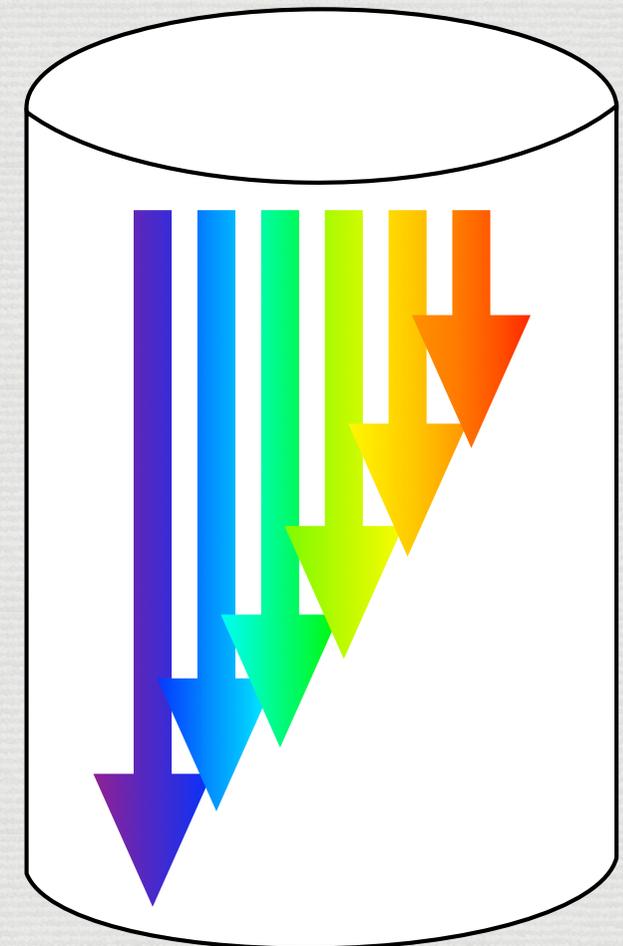
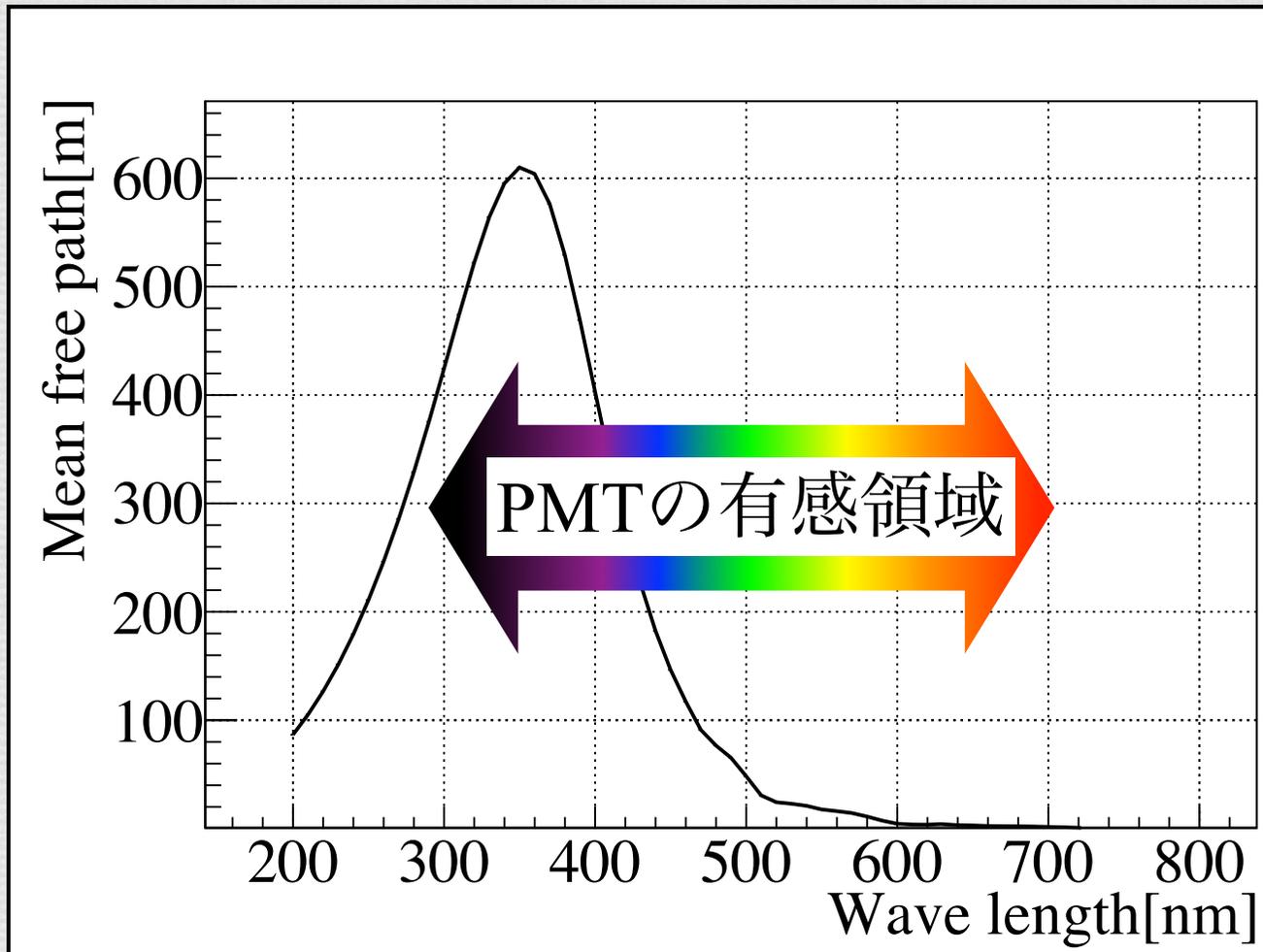
これまでの解析では、水中での光子の散乱吸収を考慮してこなかった。Absorptionのみを導入して、同様の条件でSKG4とSKDetSimを比較した。

## 水中での光子の反応

<b>Absorption</b>	波長依存し、媒質（超純水 or Gd水溶液） の状態に依存
<b>Rayleigh Scattering</b>	散乱強度は波長の4乗に反比例 ほぼ等方散乱
<b>Mie Scattering</b>	散乱強度、散乱方向共に複雑
<b>Top Bottom Asymmetry</b>	SK固有の問題、タンク上部と下部で水の性質が異なる

# 3-6. 水中での光子の吸収

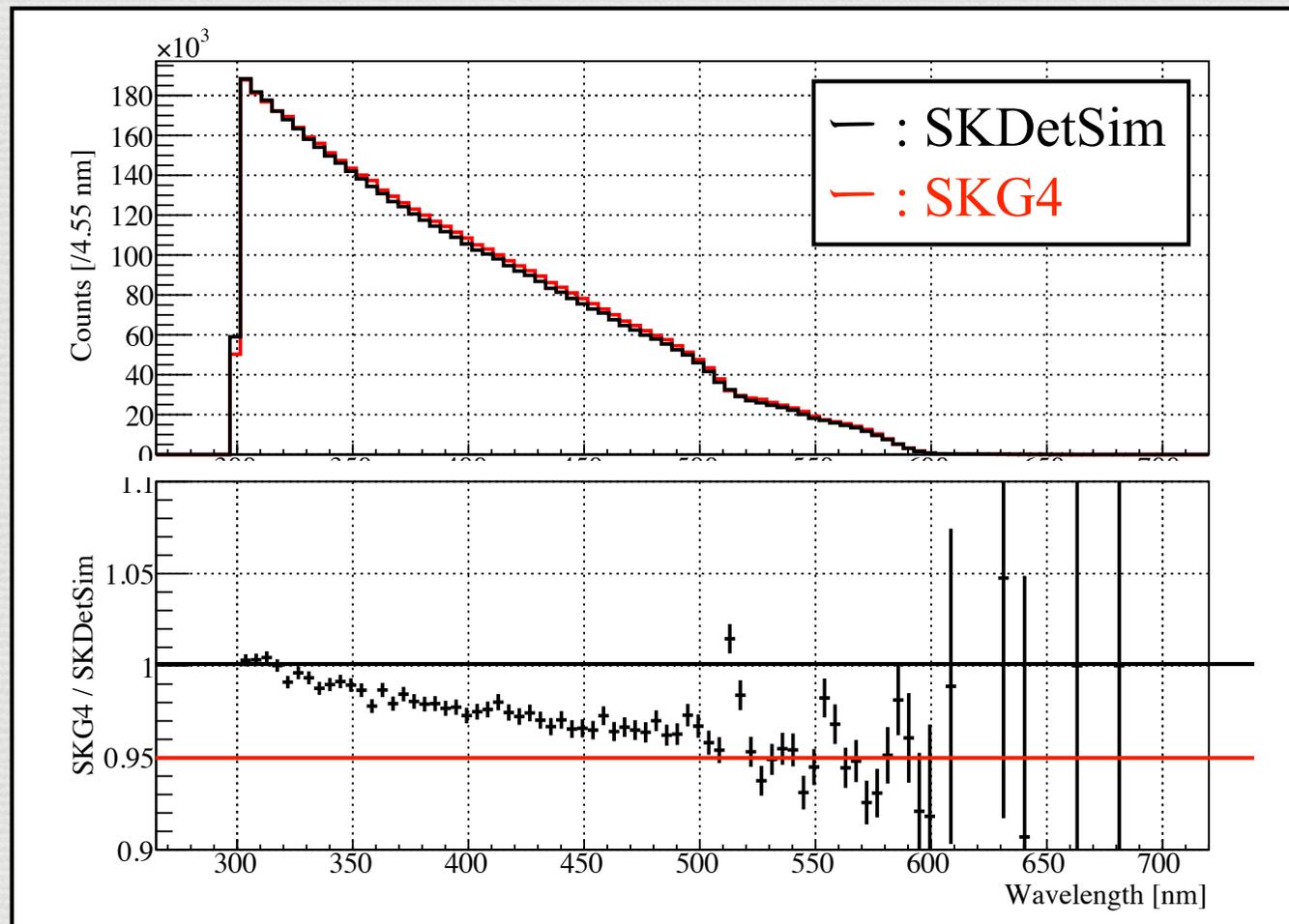
過去の実験データ (SK-Calibration data) を元に吸収反応を導入した。SKDetSimとSKG4では同じ平均自由行程を使用した。



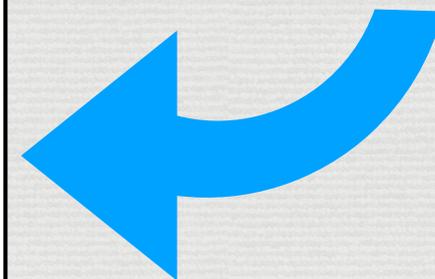
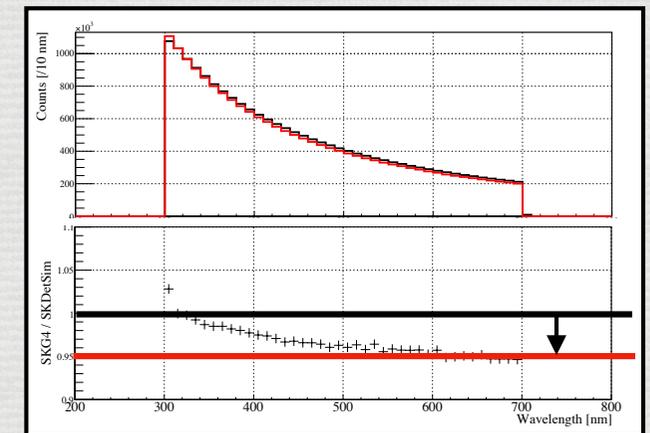
\*イメージです。

# 3-7. 吸収の波長依存

PMTで光子が観測された際の波長分布。波長の長い（エネルギーの低い）光子は、PMTに到達する前にほとんどが吸収される。

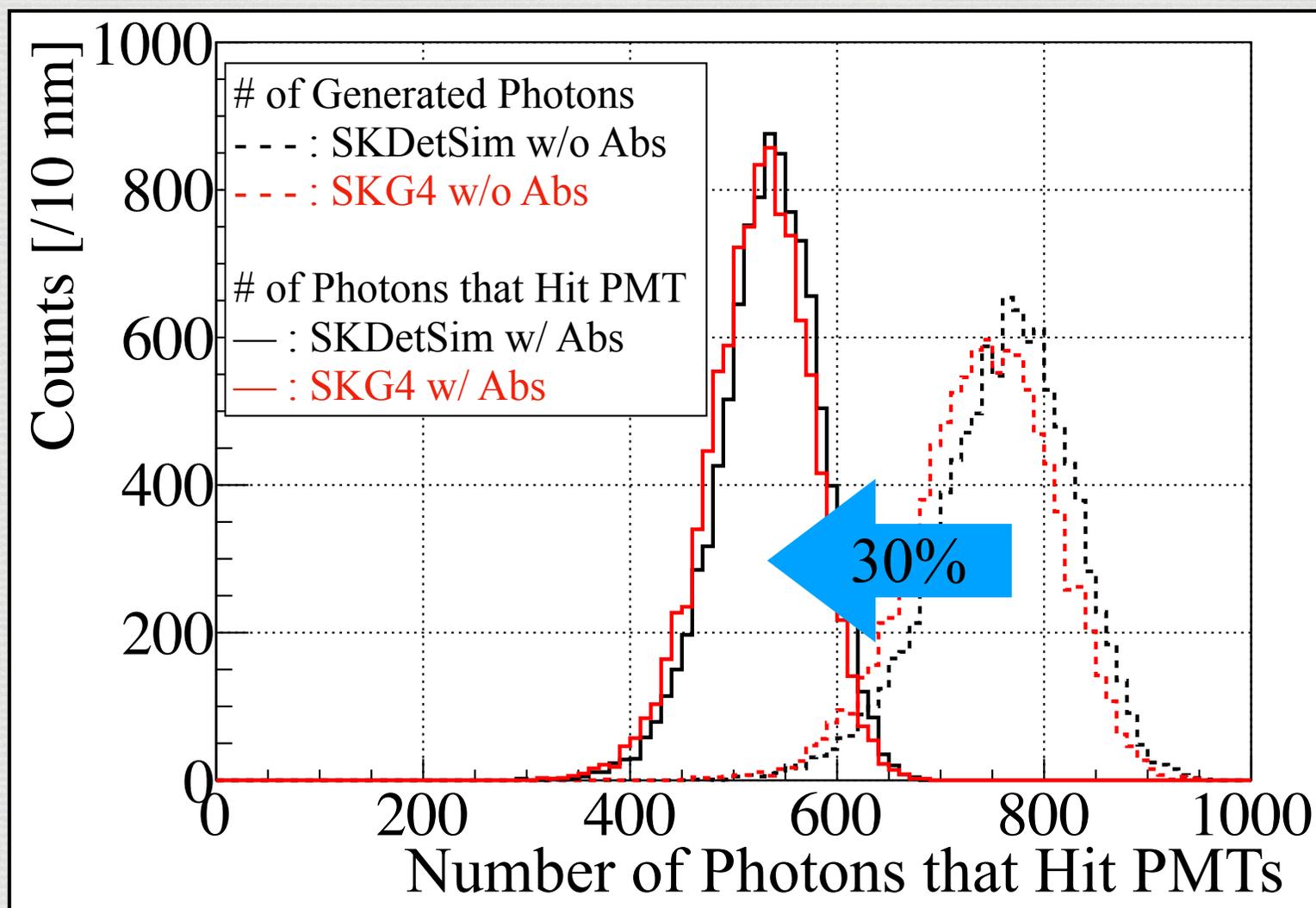


チェレンコフ放出時の波長



# 3-8. 吸収による効果

SKのタンク中心付近から放出されたチェレンコフ光は、PMTに到達するまでに約30%が水に吸収される。



# 4. まとめと今後

## 目的

Geant4ベースのSKシミュレーションを新たに構築する。

## 結果

10 MeV電子を利用して、水中での振る舞いを評価した。

SKDetSimとSKG4とで、Multiple Scatteringのモデルの差による違いが確認された。

吸収プロセスはSKDetSimとSKG4で良い一致を得た。

## 今後

SKの超純水特性の理解と評価

PMT特性の理解と評価