

実験分野の

日本のニュートリノ研究のこれまで

東京大学宇宙線研究所  
梶田隆章

# 目次

- 1980年代以前
- 1980年代
- 1990年代以降
- まとめ

*1980年以前*

# 大気ニュートリノの発見 (1965)



1965年、世界の2つの実験  
(インドと南アフリカ)で大気  
ニュートリノの発見。

インド-日本-英国の共同研究  
@インド

C.V. Achar et al., PL 18, 196 (1965)



仁科記念賞(1965年、  
三宅三郎先生)  
(写真は小柴先生のご遺族提供)

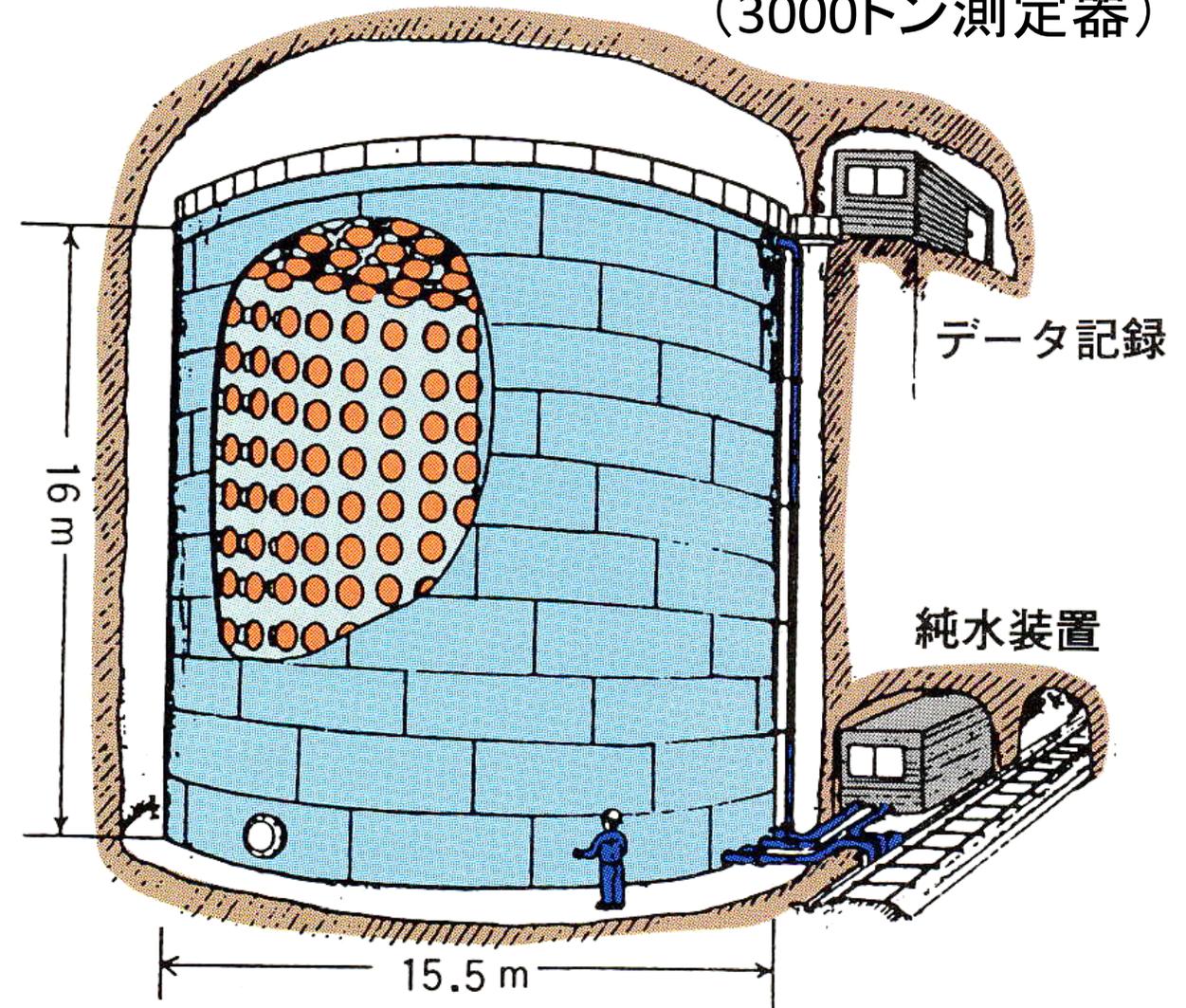


1980年代

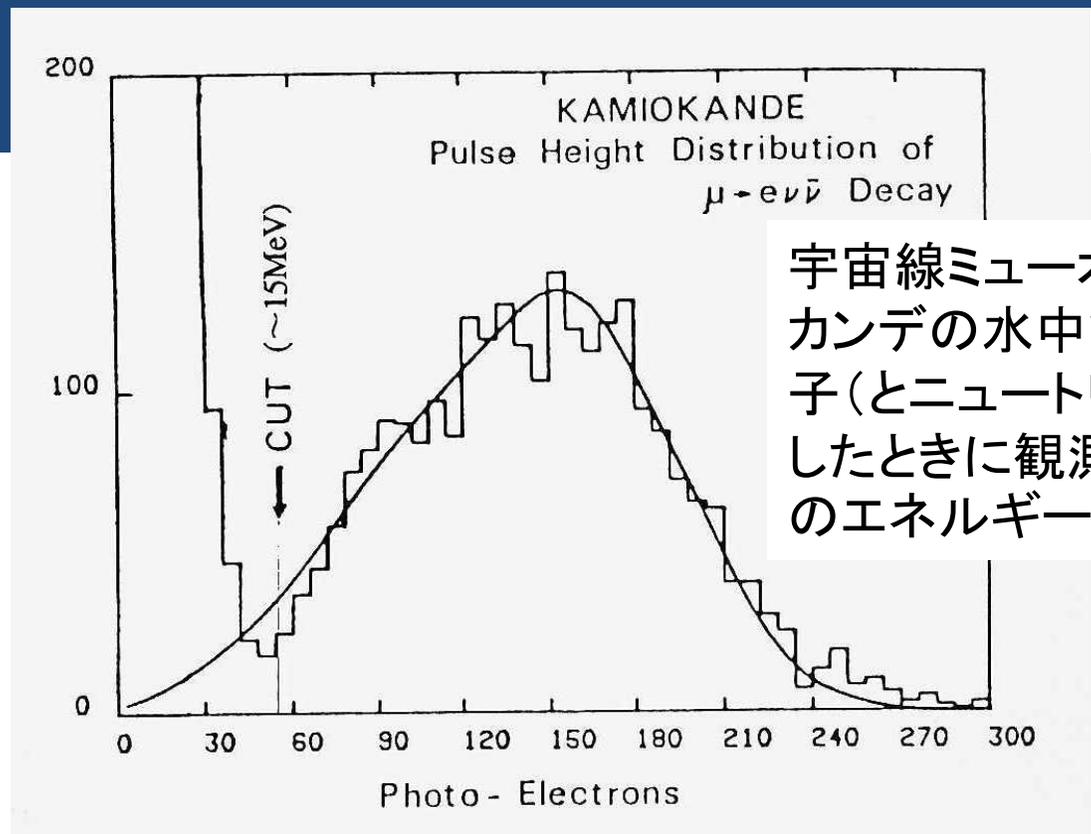
# カミオカンデ

- ✓ 1970年代、素粒子の大統一理論が提唱され、原子核内にある陽子が約  $10^{30}$  年の寿命で崩壊すると预言されました。
- ✓ これを受けて、世界中で陽子の崩壊を検出する実験が開始されました。その一つが日本で行われた **カミオカンデ** (KAMIOKANDE, KAMIOKA Nucleon Decay Experiment) でした。

カミオカンデ  
(3000トン測定器)



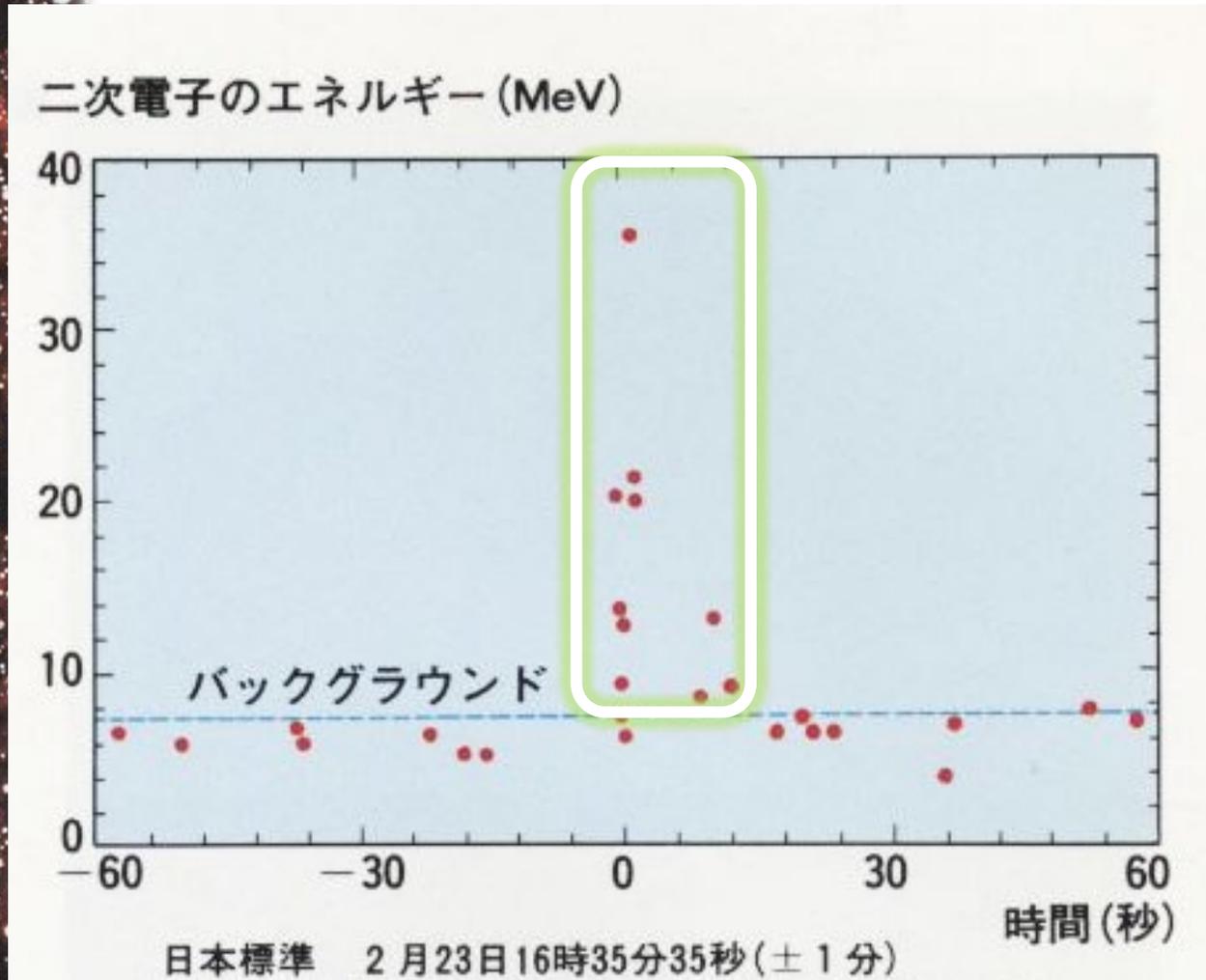
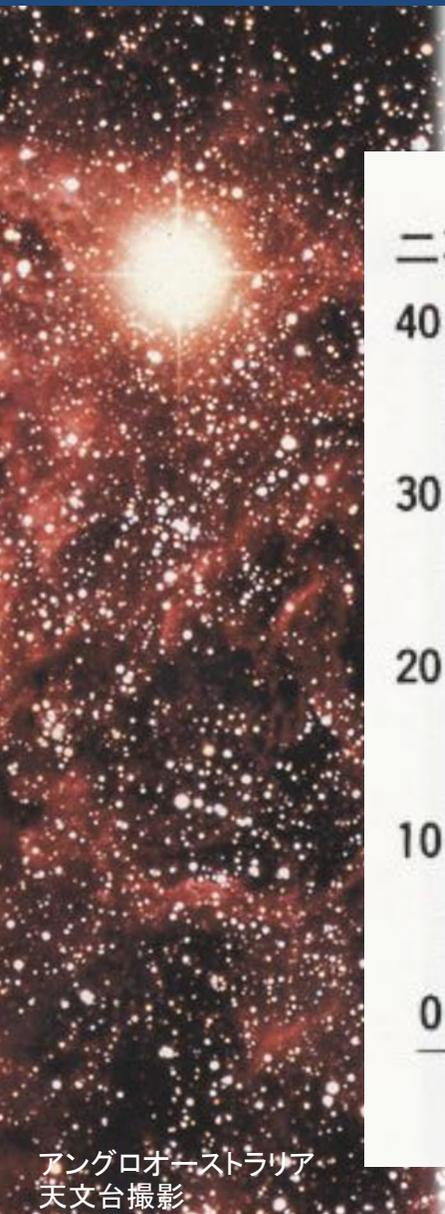
# ニュートリノ実験へ



カミオカンデのために開発された直径50cmの世界最大の光電子増倍管

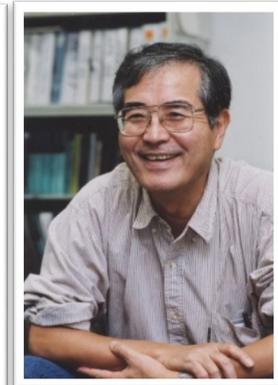
- 1983年7月に実験を開始。陽子崩壊の信号は見えませんでした。
- 一方、写真のカミオカンデの光電子増倍管の性能は非常によく、もう少し頑張って**太陽ニュートリノ**を観測をしようとの提案(小柴先生、1983年秋)。
- 様々な苦勞(省略)を経て、1987年の初めより太陽ニュートリノ観測が可能な閾値での観測開始。

# 超新星 SN1987A (1987年 2月 23日)



超新星爆発のメカニズム(重い星がその最後に自らの重力でつぶれる)の解明。

→ ニュートリノ天文学



→ 仁科記念賞(1987年、小柴昌俊先生、戸塚洋二先生、須田英博先生)

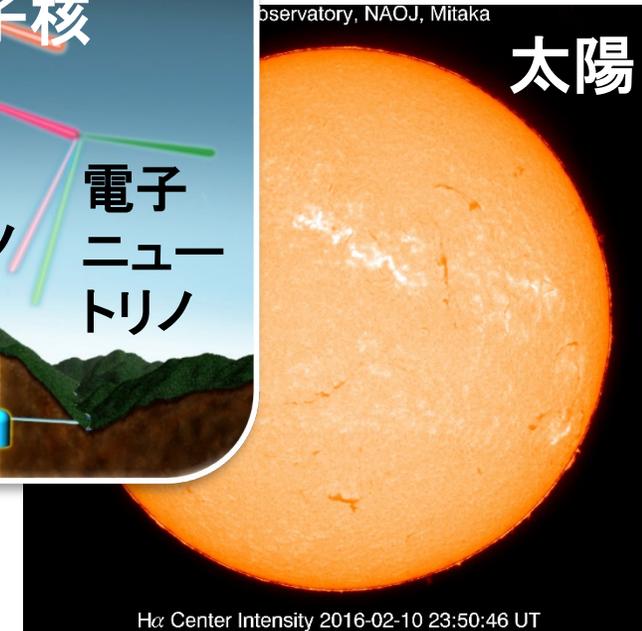
→ ノーベル賞(小柴先生、2002年)

# カミオカンデのニュートリノ研究のまとめ

- 超新星ニュートリノの観測(1987年)
- 大気ニュートリノ中のミューニュートリノが不足していることの発見(1988年)
- 太陽ニュートリノの観測と、太陽ニュートリノ問題の確認(1989年)

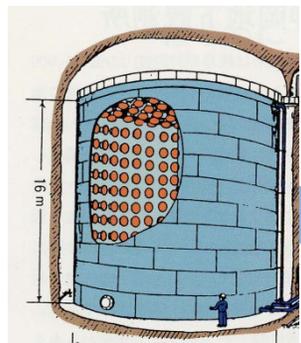


スーパーカミオカンデ

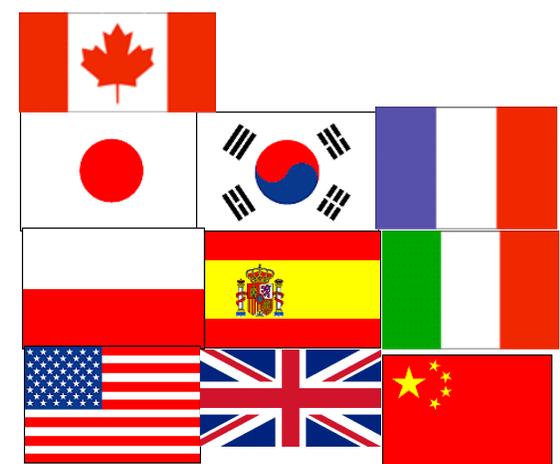
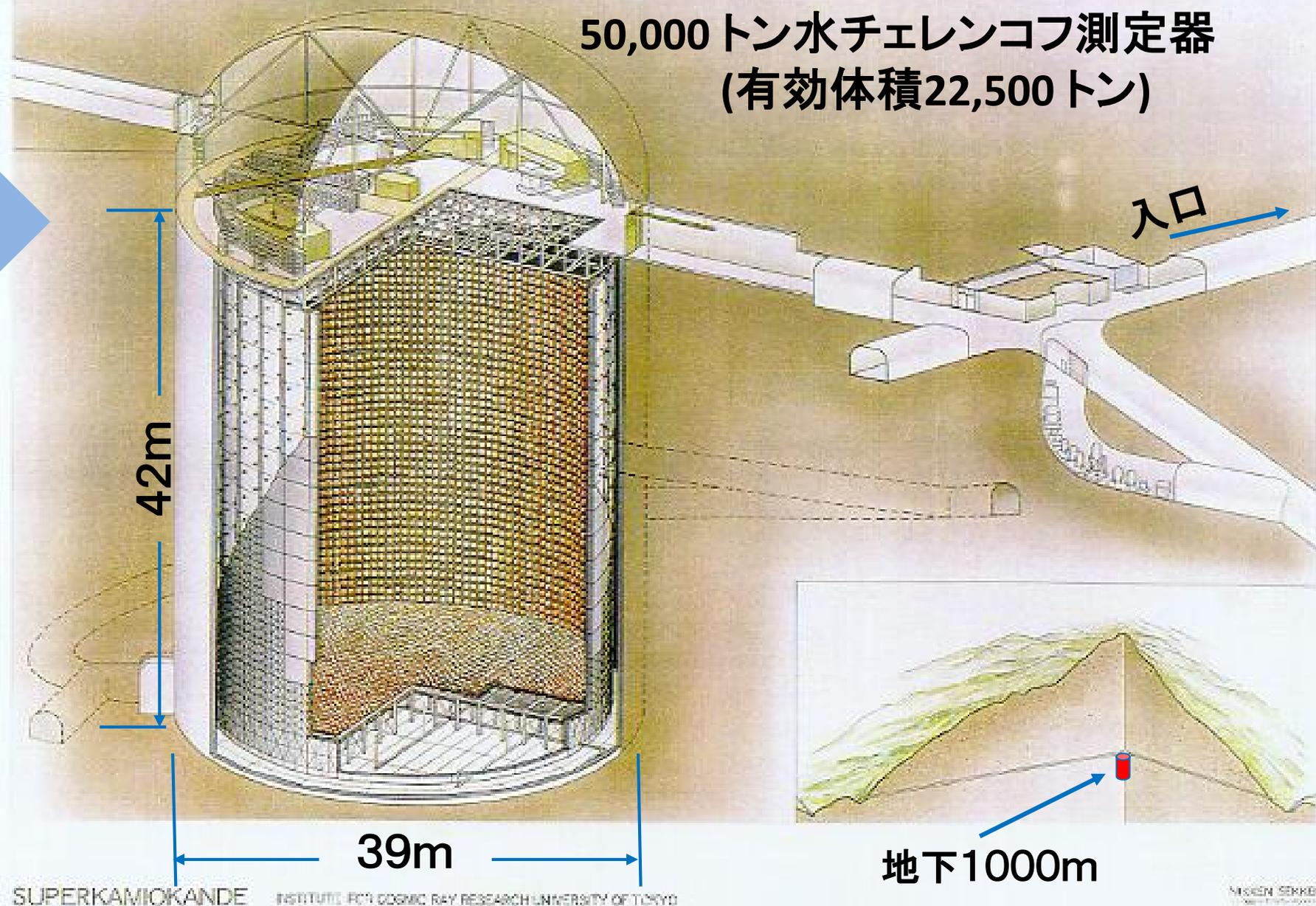


*1990年代以降*

# スーパーカミオカンデ測定器



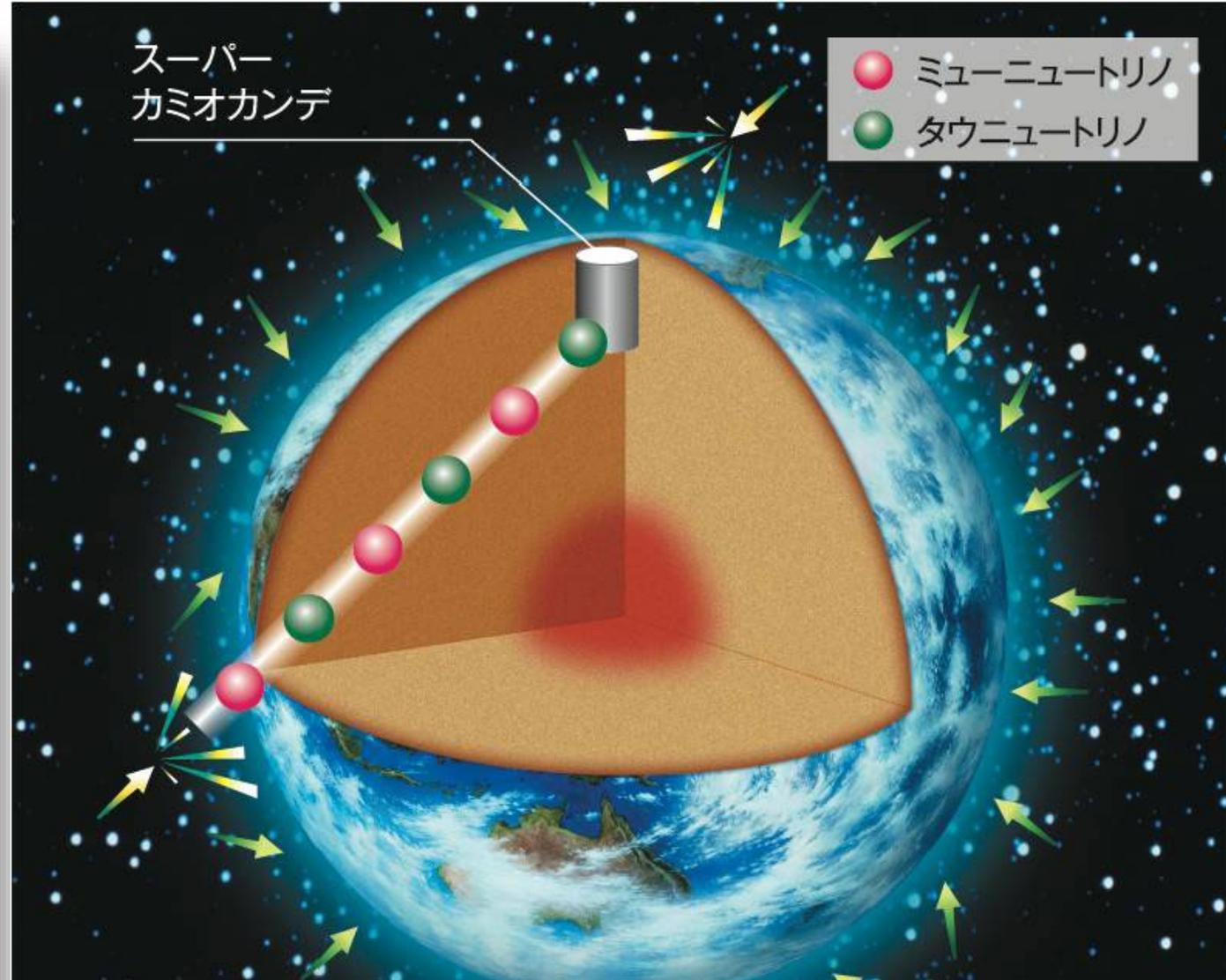
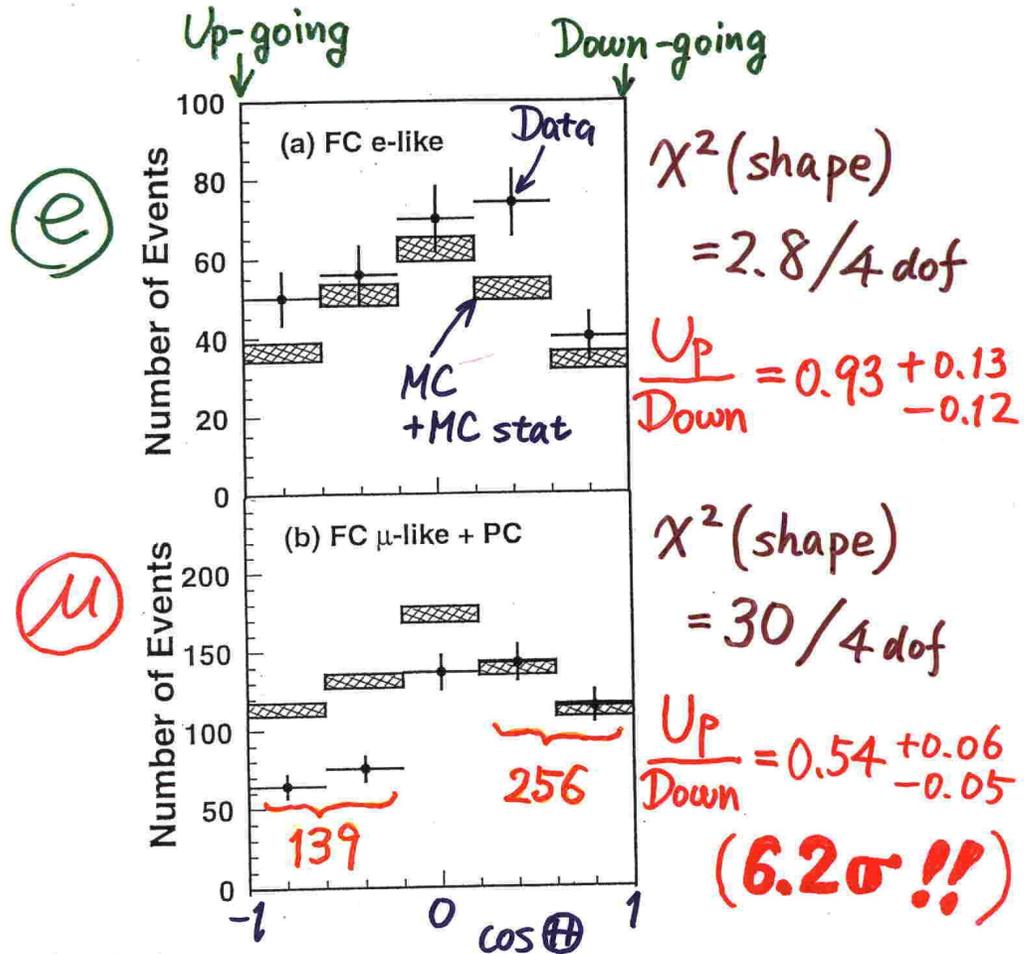
約20倍の大きさ



# ニュートリノ振動の発見

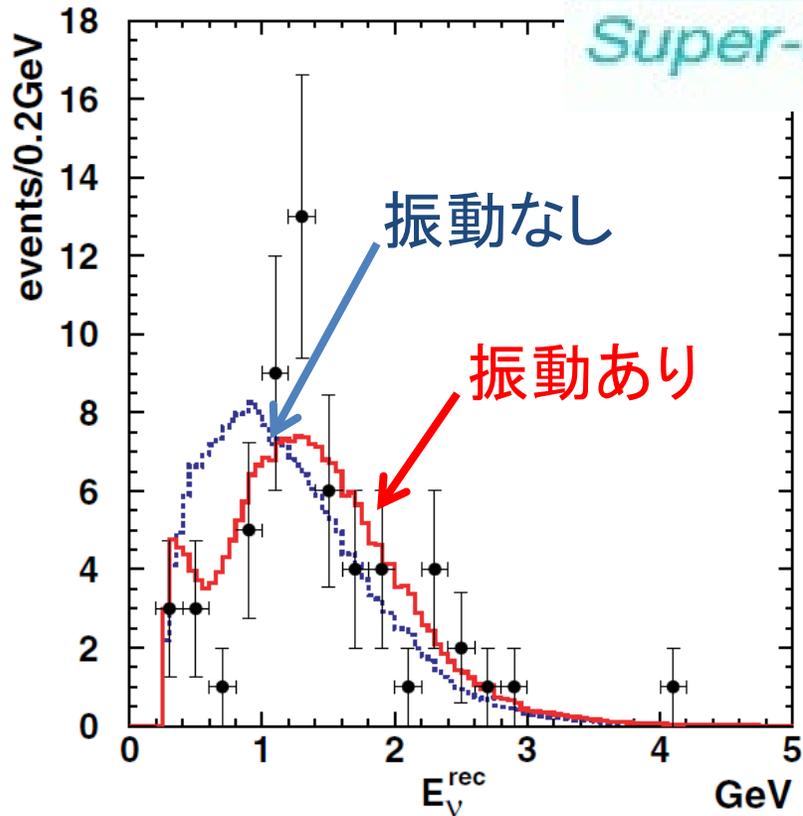
Y. Fukuda et al., PRL 81 (1998) 1562

## Zenith angle dependence (Multi-GeV)



仁科記念賞(1999年、梶田)

# 加速器ニュートリノ振動実験: K2K実験 (1999~2004)

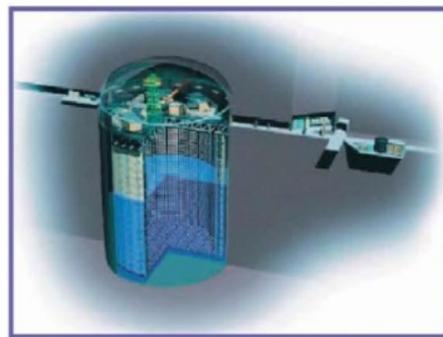


ミューニュートリノ事象数の欠損と共に、エネルギースペクトルの変化を観測し、加速器実験でニュートリノ振動の確認。



仁科記念賞 (2005年、西川公一郎先生)

# 加速器ニュートリノ振動実験: T2K実験 (2010~)



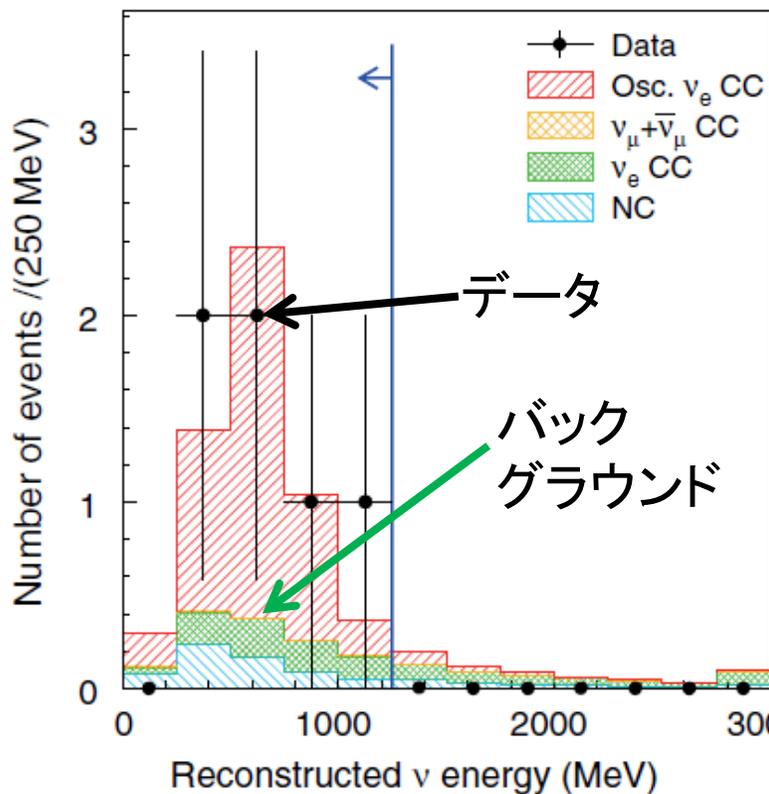
Super-Kamiokande  
(ICRR, Univ. Tokyo)



J-PARC Main Ring  
(KEK-JAEA, Tokai)



T2K; PRL 107, 041801 (2011)



ミューニュートリノから  
電子ニュートリノへの振動の発見。



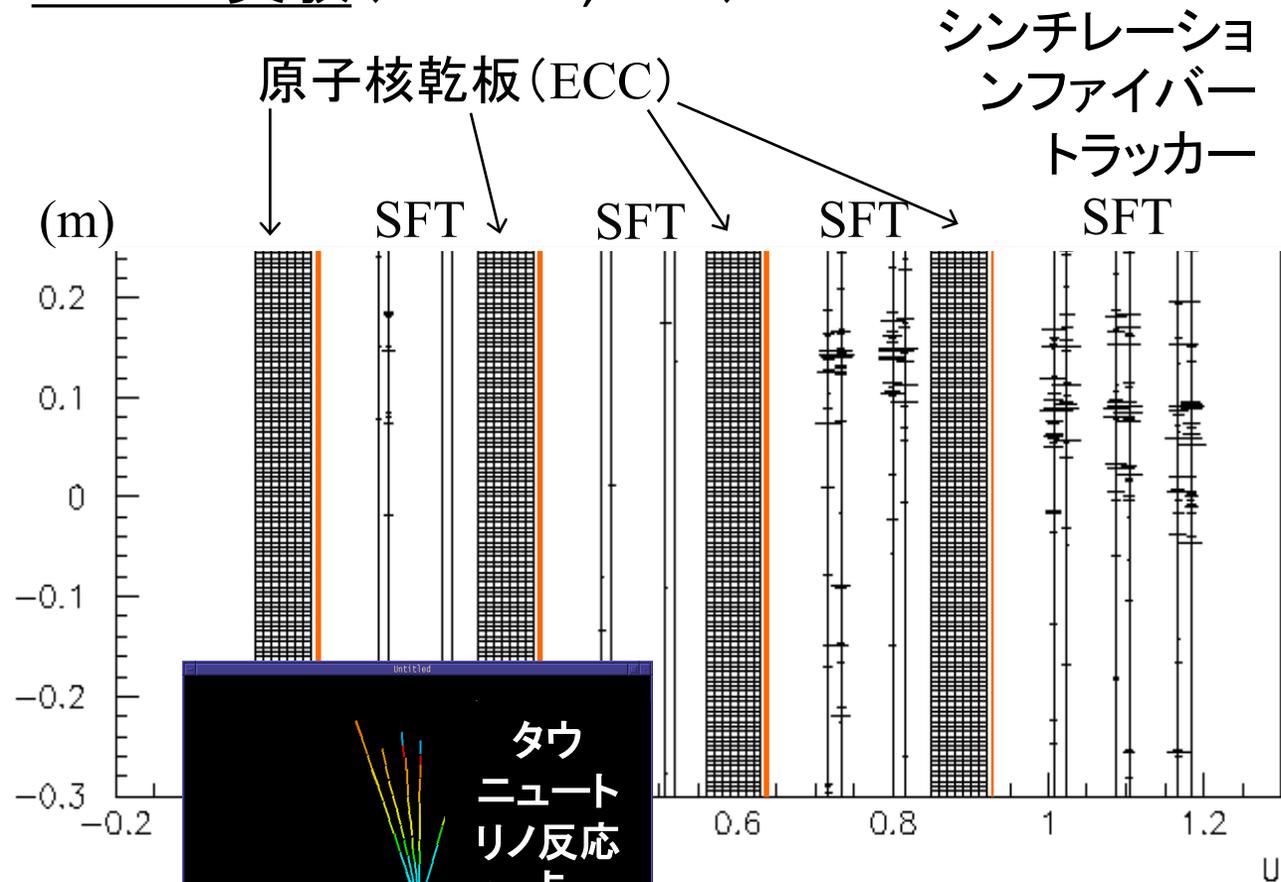
仁科記念賞(2014年、  
小林隆先生、中家剛先生)



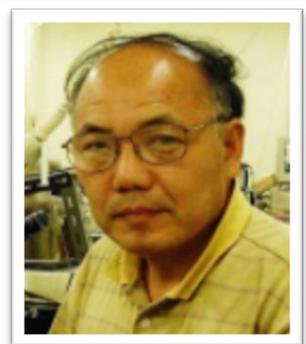
研究は続く  
→ 市川温子先生の講演

# 加速器ニュートリノ(振動)実験: タウニュートリノ

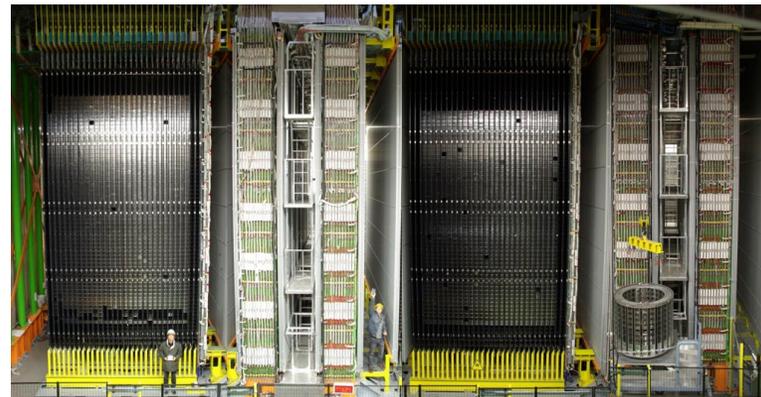
## DUNUT実験 (@FNAL, USA)



(このページの資料は名古屋大学中村光廣先生による)



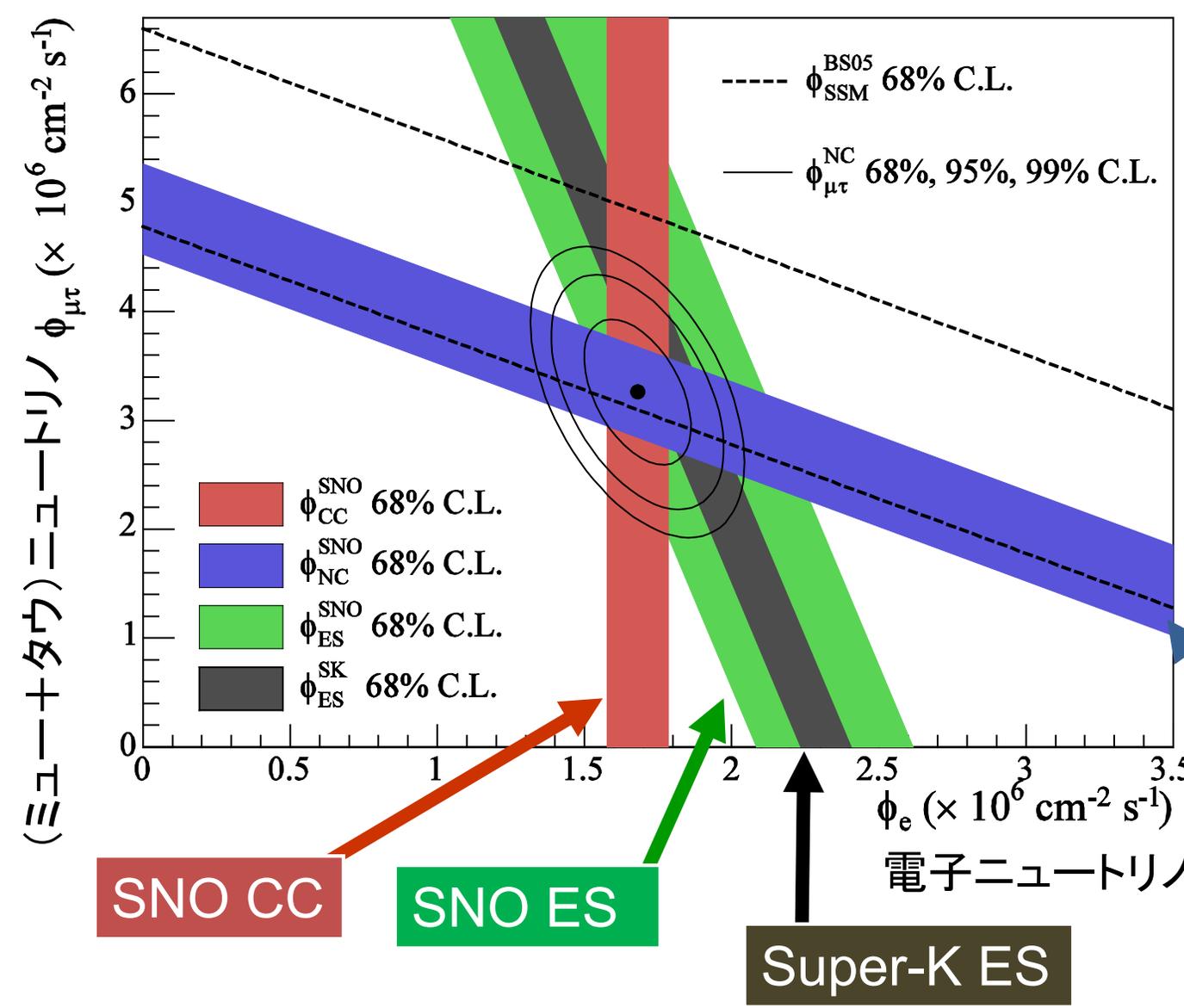
仁科記念賞  
(2004年、  
丹羽公雄先生)



OPERA長基線ニュートリノ振動  
実験 (CERN-GranSasso, 730km)  
でタウニュートリノ出現の観測

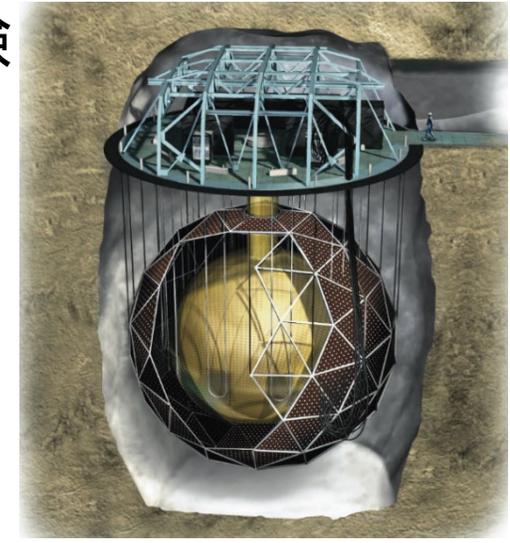
日欧共同研究  
OPERAの  
最初のタウニュート  
リノイベント(2010)

# 太陽ニュートリノ振動 (2001-2002)

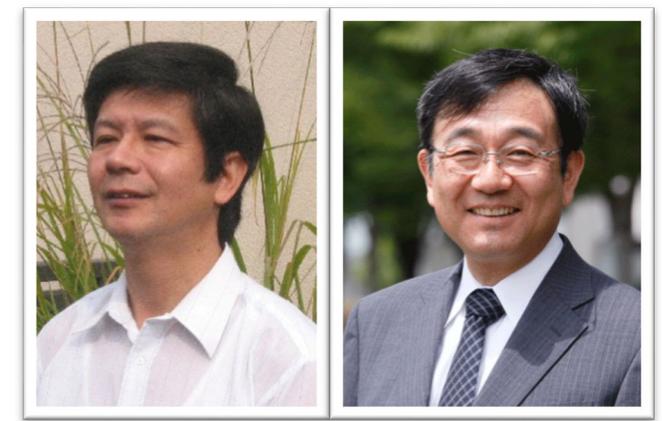


SK, PRL 86 (2001) 5651  
 SNO PRL 89 (2002) 011301  
 SNO PRC 72, 055502 (2005)

SNO実験  
(カナダ)



重水(D<sub>2</sub>O) 1000トン

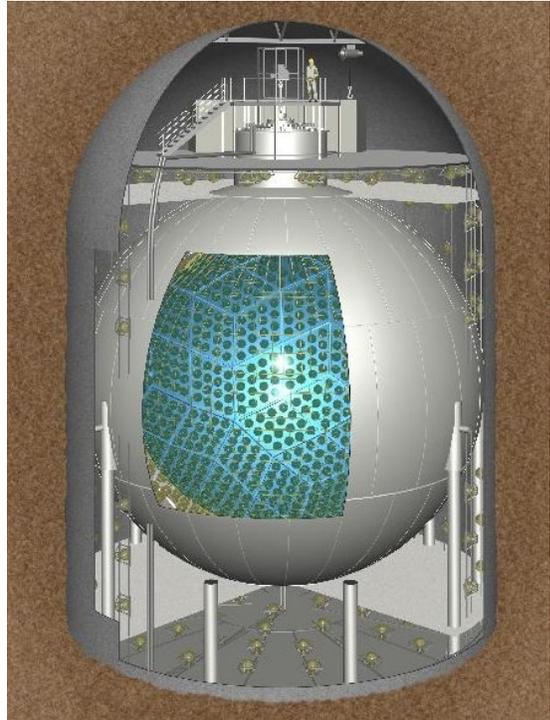


仁科記念賞 (2001年、  
 鈴木洋一郎先生、中畑雅行先生)

# 原子炉ニュートリノの観測と太陽ニュートリノ振動

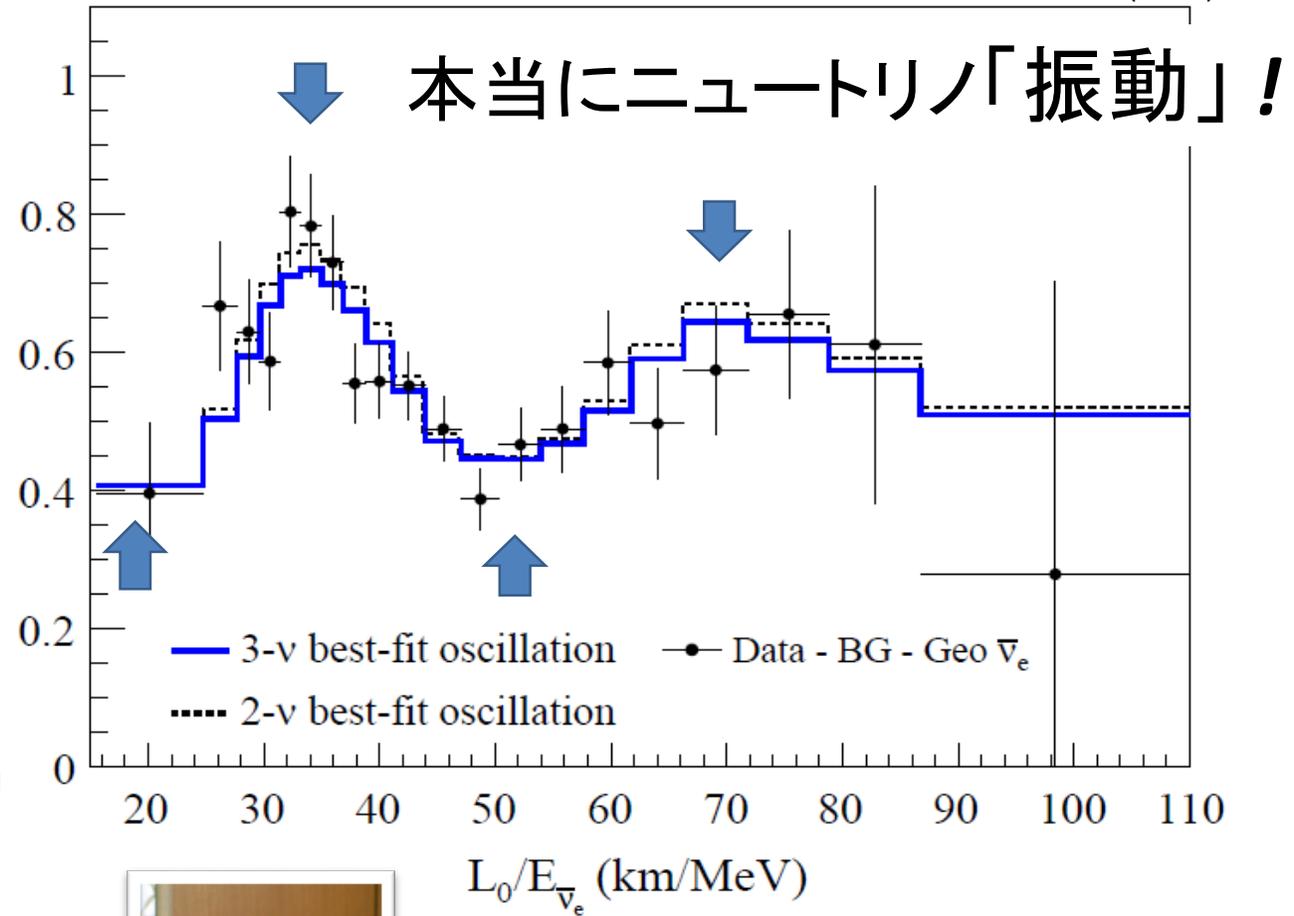
KamLAND, PRD 83, 052002 (2011)

カムランド  
(1000トン液体シンチ  
レータ測定器)



● 原子炉(2011以前)

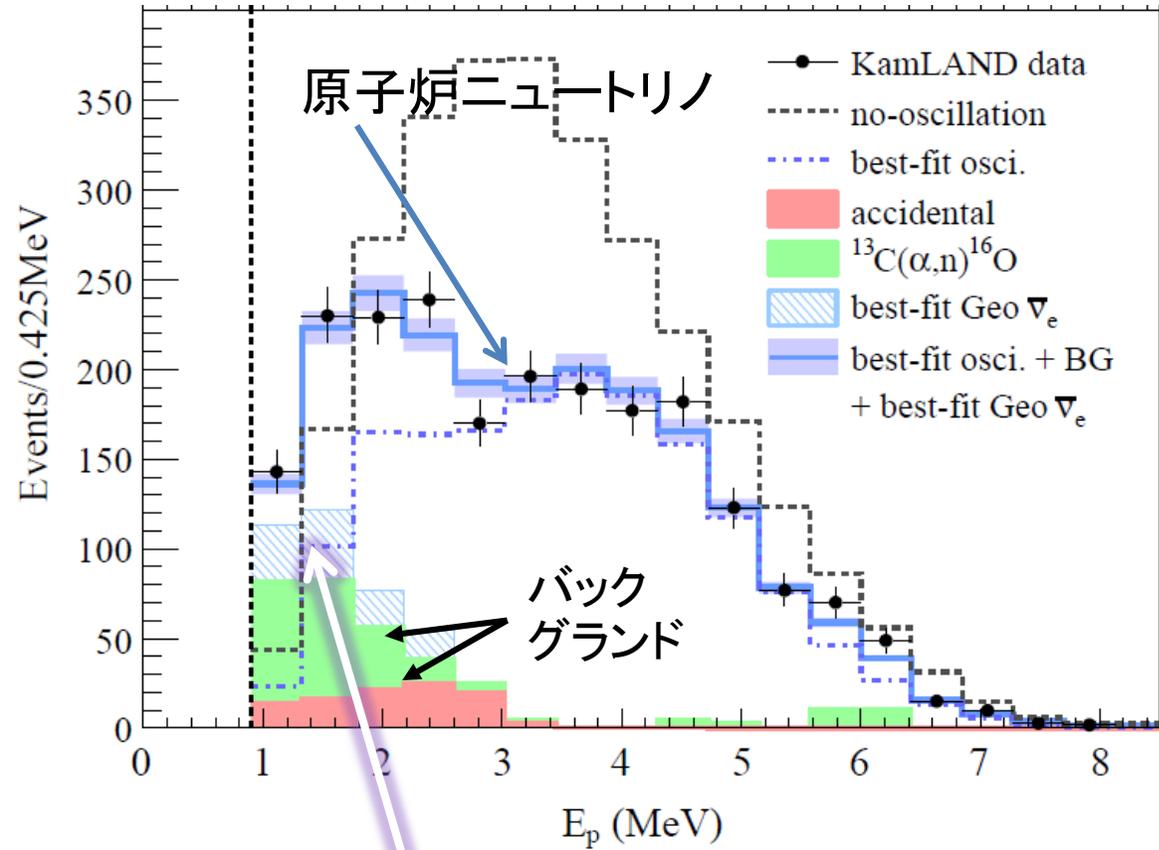
電子ニュートリノが生き残る確率



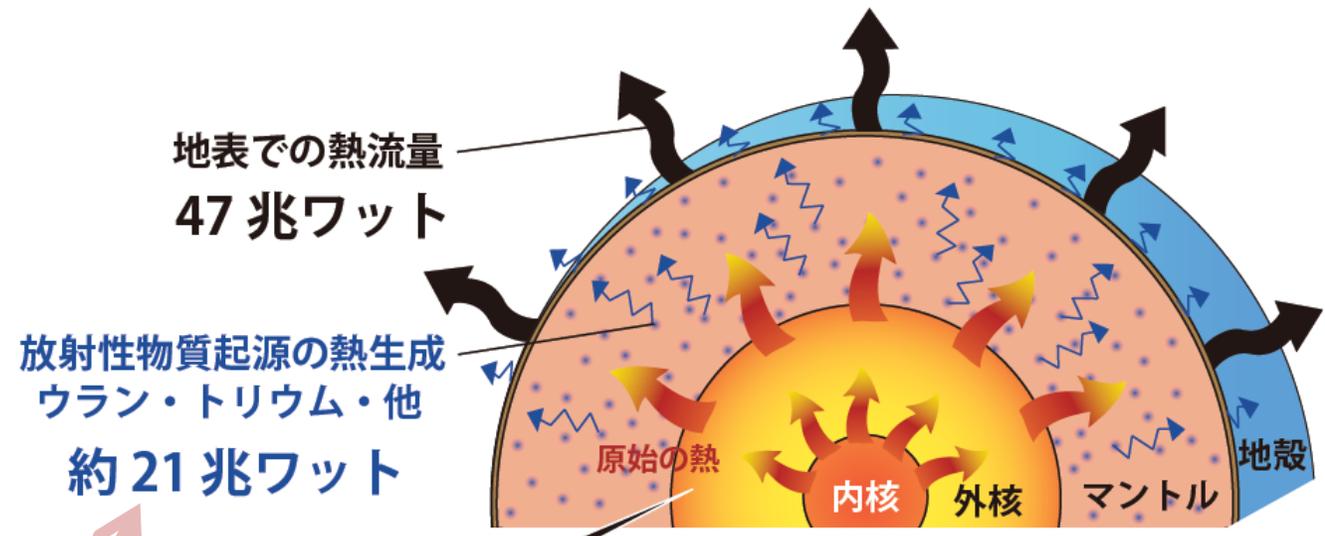
仁科記念賞(2003年、  
鈴木厚人先生)

# 地球ニュートリノの観測

KamLAND, PRD 83, 052002 (2011)



地球ニュートリノ



地表での熱流量  
47 兆ワット

放射性物質起源の熱生成  
ウラン・トリウム・他  
約 21 兆ワット

地球形成時の熱は残存していた

カムランドの測定から

地表での熱流量の全てが放射性物質起源ではないことを示し、原始の熱が残存していることを示した。



仁科記念賞(2012年、井上邦雄先生)

# 宇宙ニュートリノの観測



仁科記念賞(2019年、  
吉田滋先生、石原安野先生)

➔石原安野先生の講演

- 今まで日本のニュートリノ研究は大きな貢献をしてきました。
- これからも貢献し続けてほしいと考えています。本日は、これからの研究の2つの方向性を市川先生と石原先生から聞くのを楽しみにしています。