

ICRR Spring School 2024

2024年3月6日

ニュートリノ研究 ～私の20代の頃のことを中心に～



東京大学宇宙線研究所 梶田隆章

目次

- カミオカンデ以前の宇宙線研究所でのニュートリノ研究
- 大学院生の頃
- カミオカンデ実験開始
- その後
- 大気ニュートリノの異常
- ニュートリノ振動
- 今の研究
- まとめ

カミオカンデ以前の宇宙線研究所でのニュートリノ研究

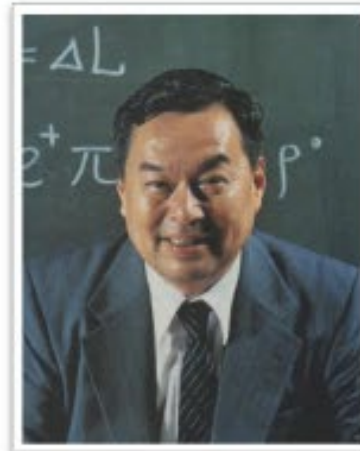
大気ニュートリノの発見(1965年)



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)



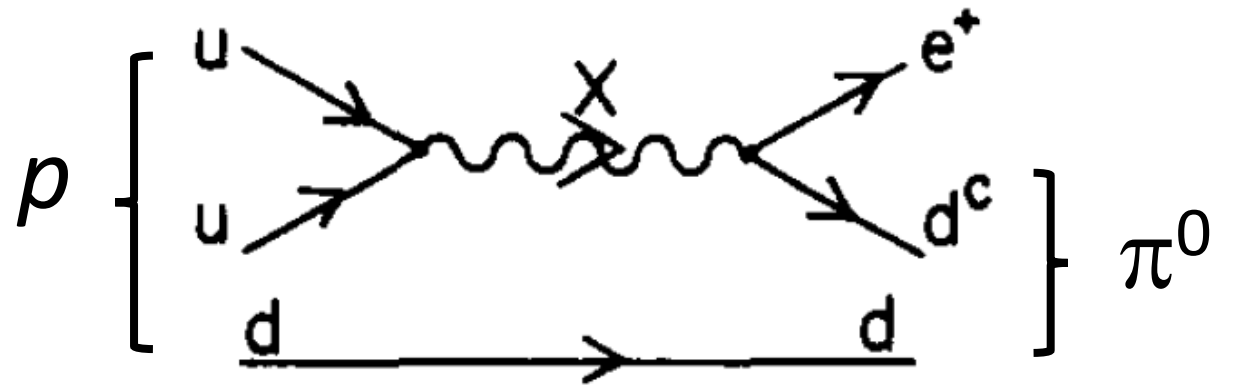
三宅三郎元所長
(1965年当時は大阪市立大)
(写真の提供元不明、すみません)



大学院生の頃

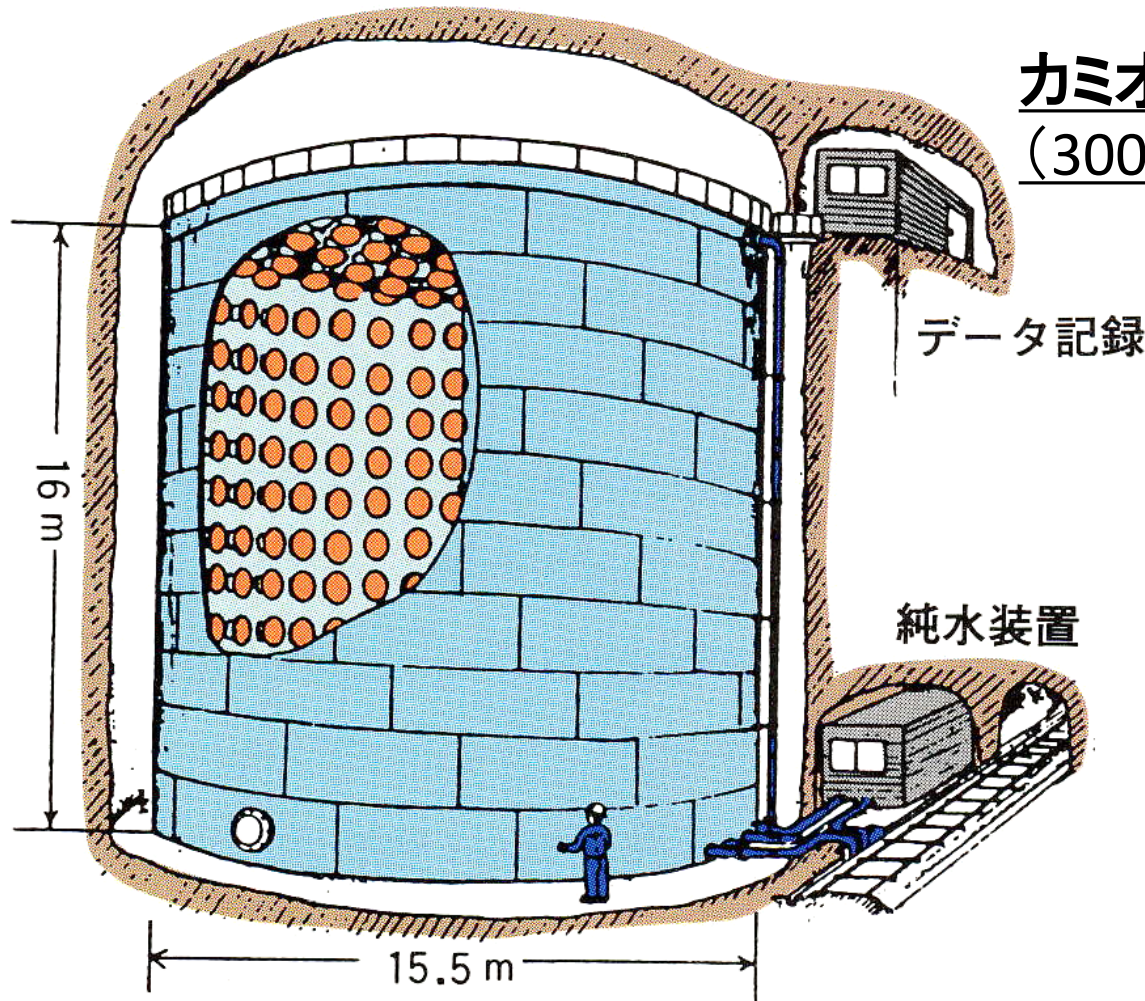
きっかけ

- ✓ 1970年代、素粒子の間に働く3つの力(強い力、電磁力、弱い力)を統一して記述する大統一理論が提唱されました。
- ✓ これらの理論は原子核内にある陽子や中性子がおおよそ 10^{30} 年の寿命で崩壊すると予言しました。

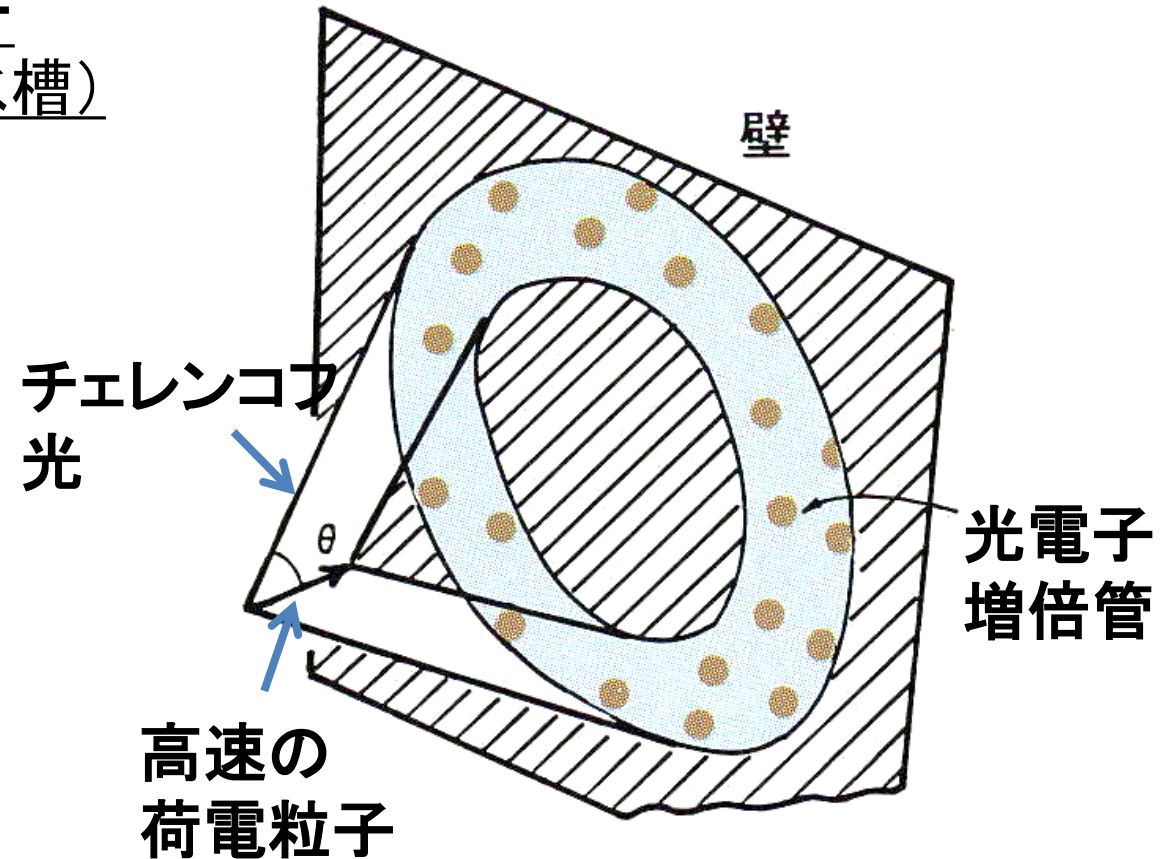


神岡核子崩壊実験(カミオカンデ)

- ✓ この予言を受けて、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Kamiokande (Kamioka Nucleon Decay Experiment, カミオカンデ) 実験でした。



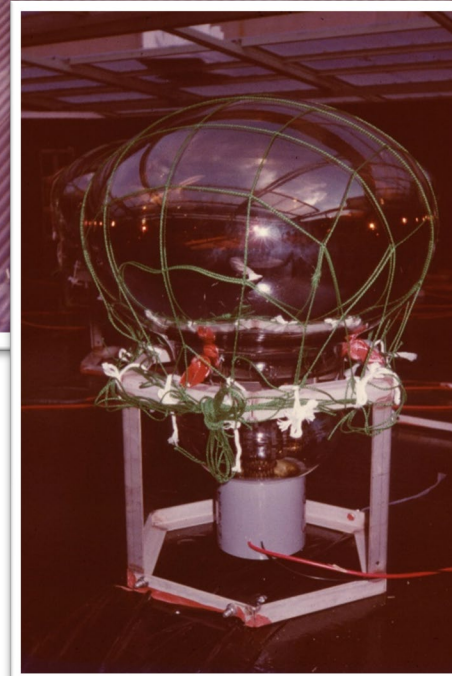
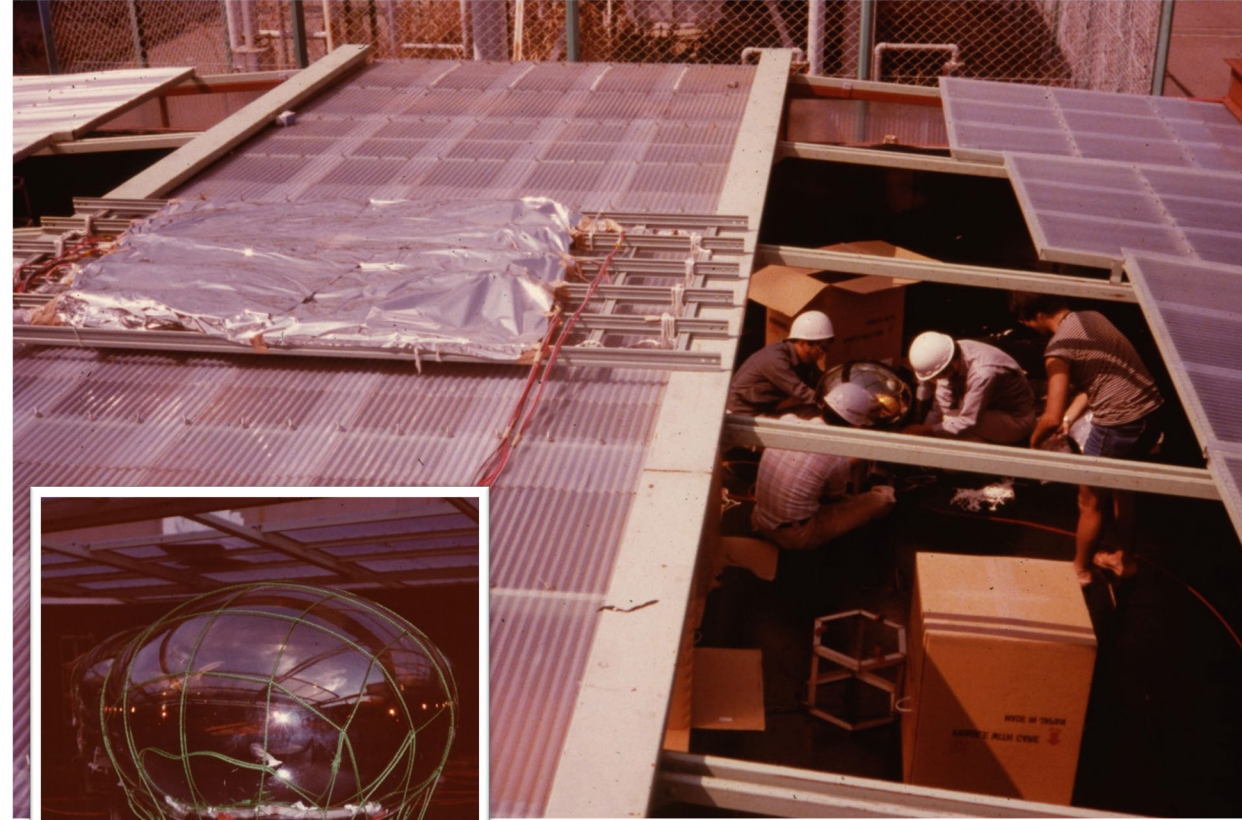
カミオカンデ
(3000トン水槽)



大学院修士1年の頃



修士1年の春:新たに開発された光電子増倍管の試験(浜松)



KEK(つくば)に水槽を作っているいろいろな試験

研究場所付近(現在の岐阜県飛騨市神岡町)



大学院修士1～2年の頃



修士1年の終りの頃？ 坑内での最初の計測（私はこの後に行きました）

光電子増倍管1000本のキャリブレーション（修士2年の秋、主に中畑君（現所長）と）

光電子増倍管の坑内への搬入



カミオカンデ建設(1983年春、博士課程1年)



瀧田君 梶田(D1)
中畑君

有坂さん



鈴木先生



須田先生

戸塚洋二先生

小柴昌俊先生
(2002年ノーベル物理学賞)

木舟正先生

カミオカンデへ



カミオカンデ建設 (1983年春)



底面と側面2列の光電子増倍管を取り付け終えた時の写真。

この時、小柴先生と、現地での建設の責任者だった須田先生の間で、すぐに水を入れるか、信号の確認をしてから水を入れるかの大議論。

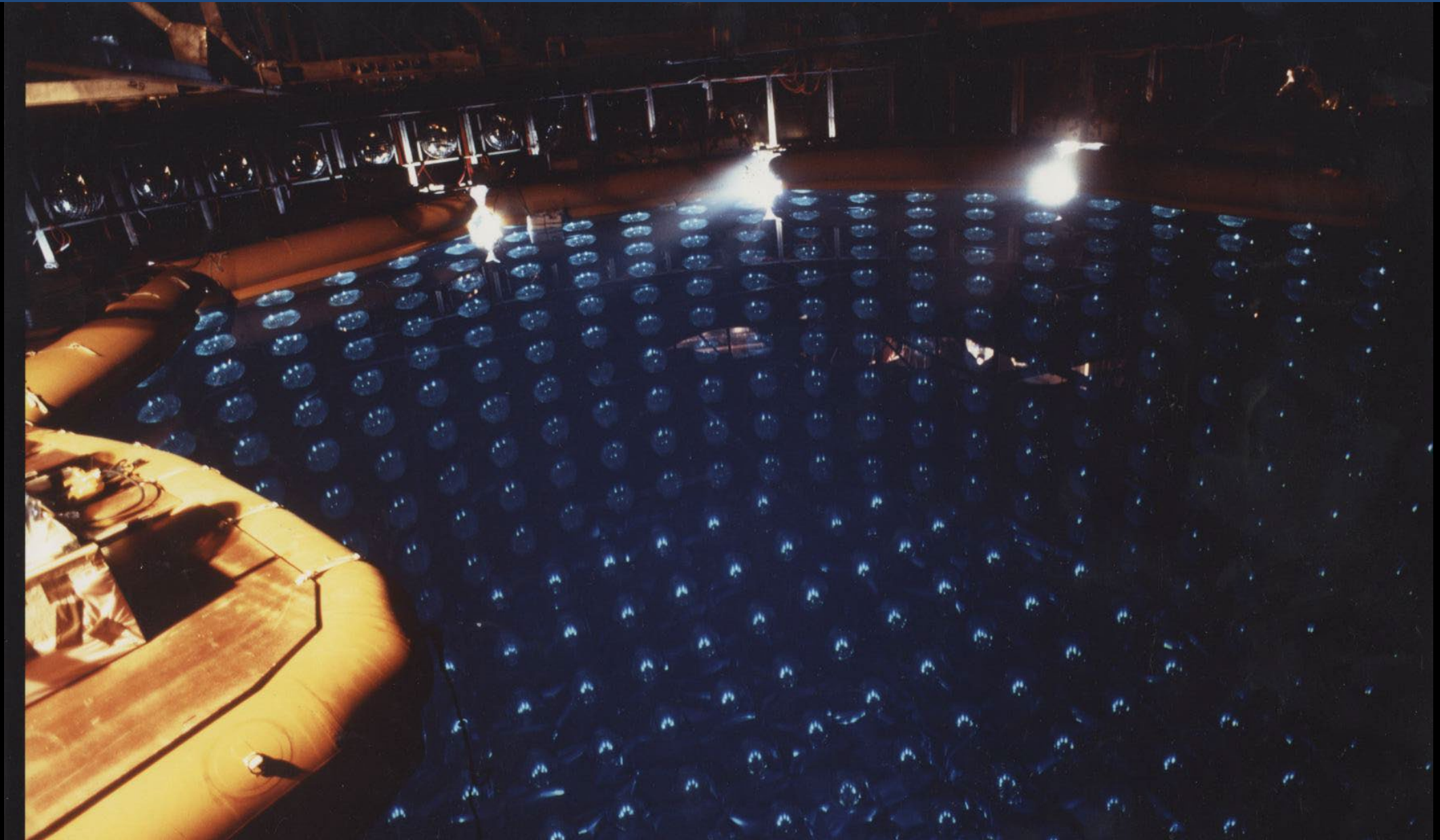
結局、とにかく少数でも確認することにして確認したところ、全ての高電圧がショートしていることがわかり、全部接続をやりなおし。

カミオカンデ建設 (1983年春)



カミオカンデ実験開始

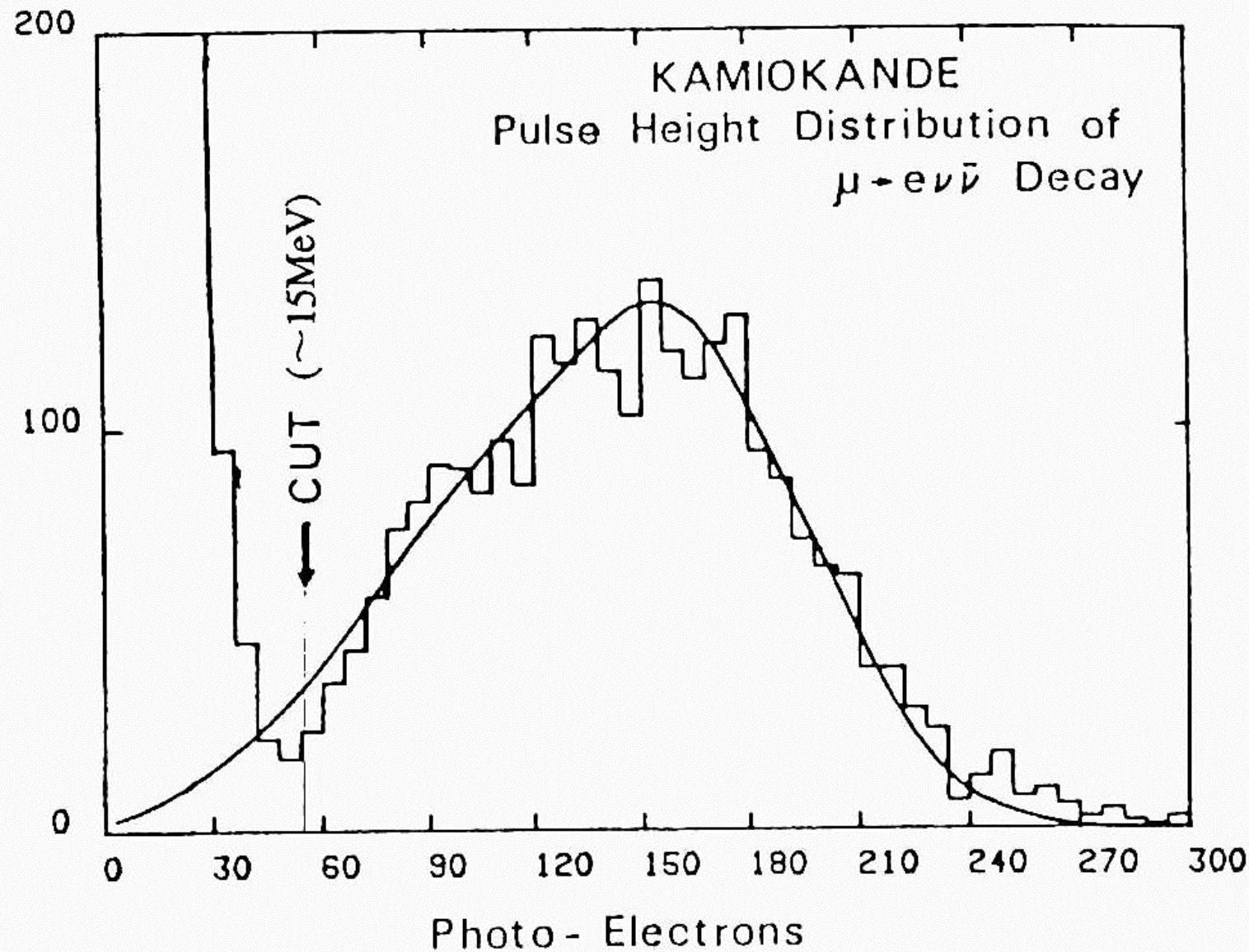
カミオカンデ実験開始 (1983年 7月 6日)



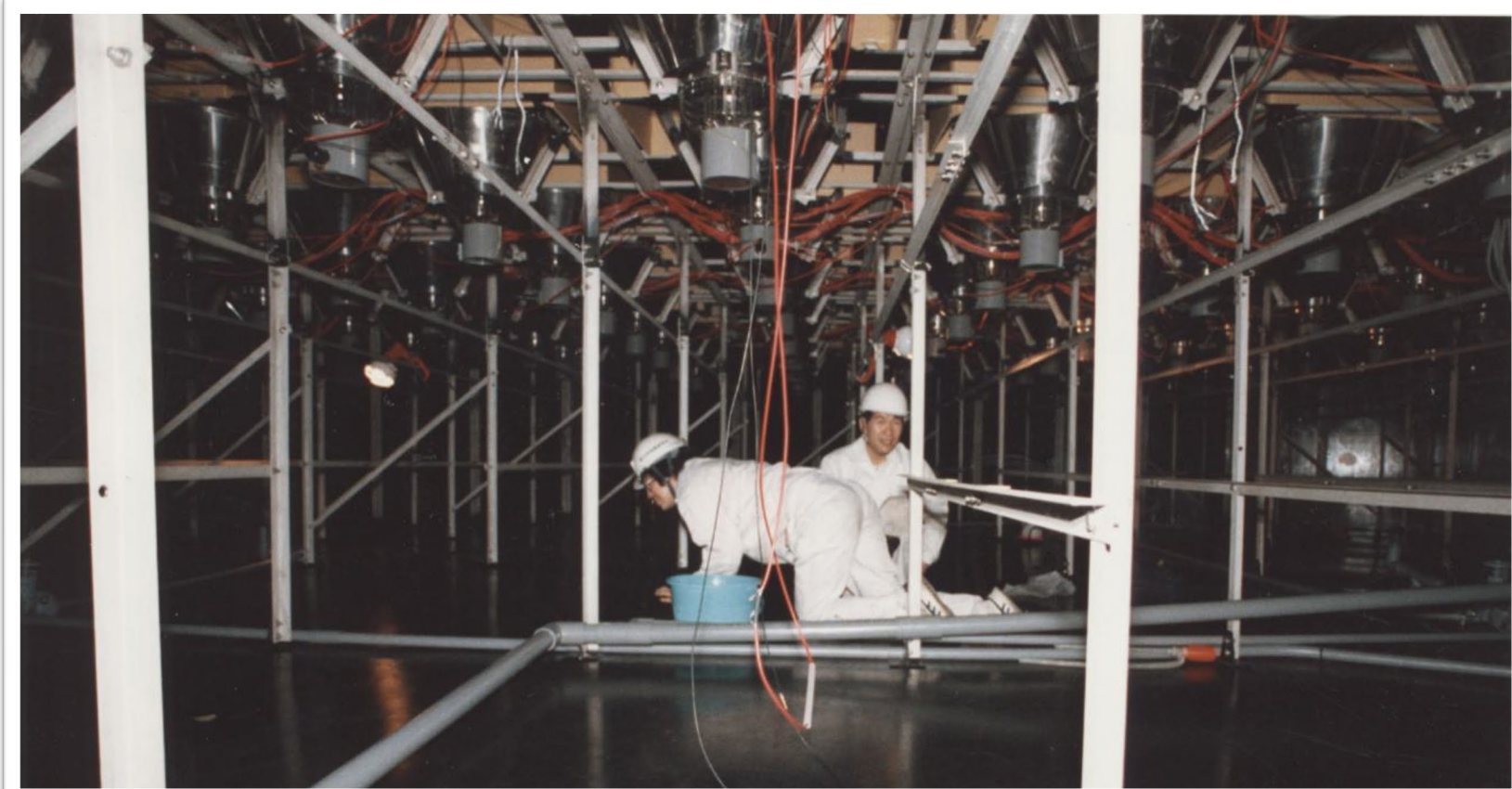
$\mu \rightarrow e$ decay



- 陽子崩壊の明確な信号は見えませんでした。
- 一方、写真のカミオカンデの光検出器の性能は非常によく、宇宙線ミュオンの崩壊電子のデータ(右図)から、**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)。



太陽ニュートリノの観測に向けた改造(カミオカンデ-II)



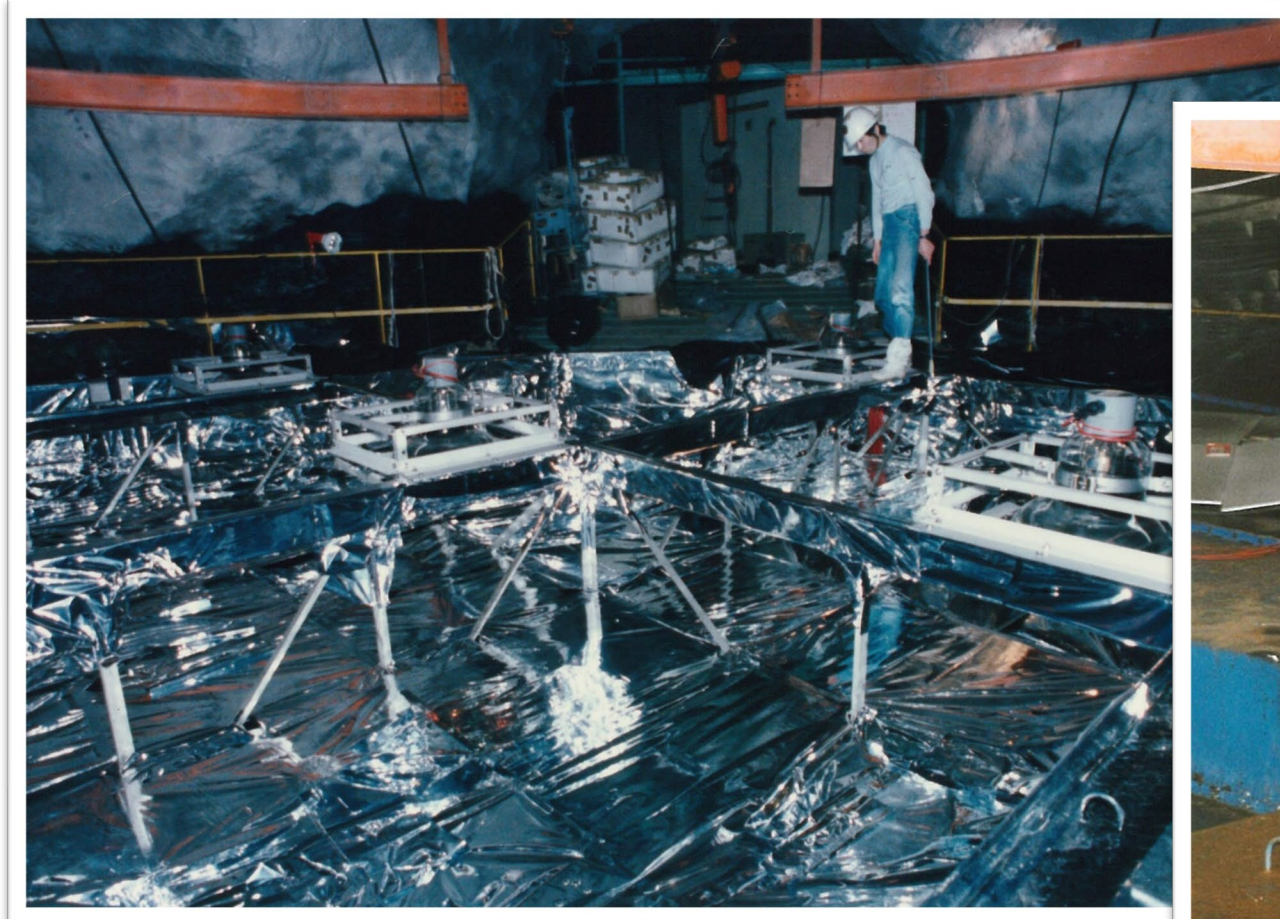
3000トンタンクの底での作業

共に1984(博士課程2年)-85年(博士課程3年)頃

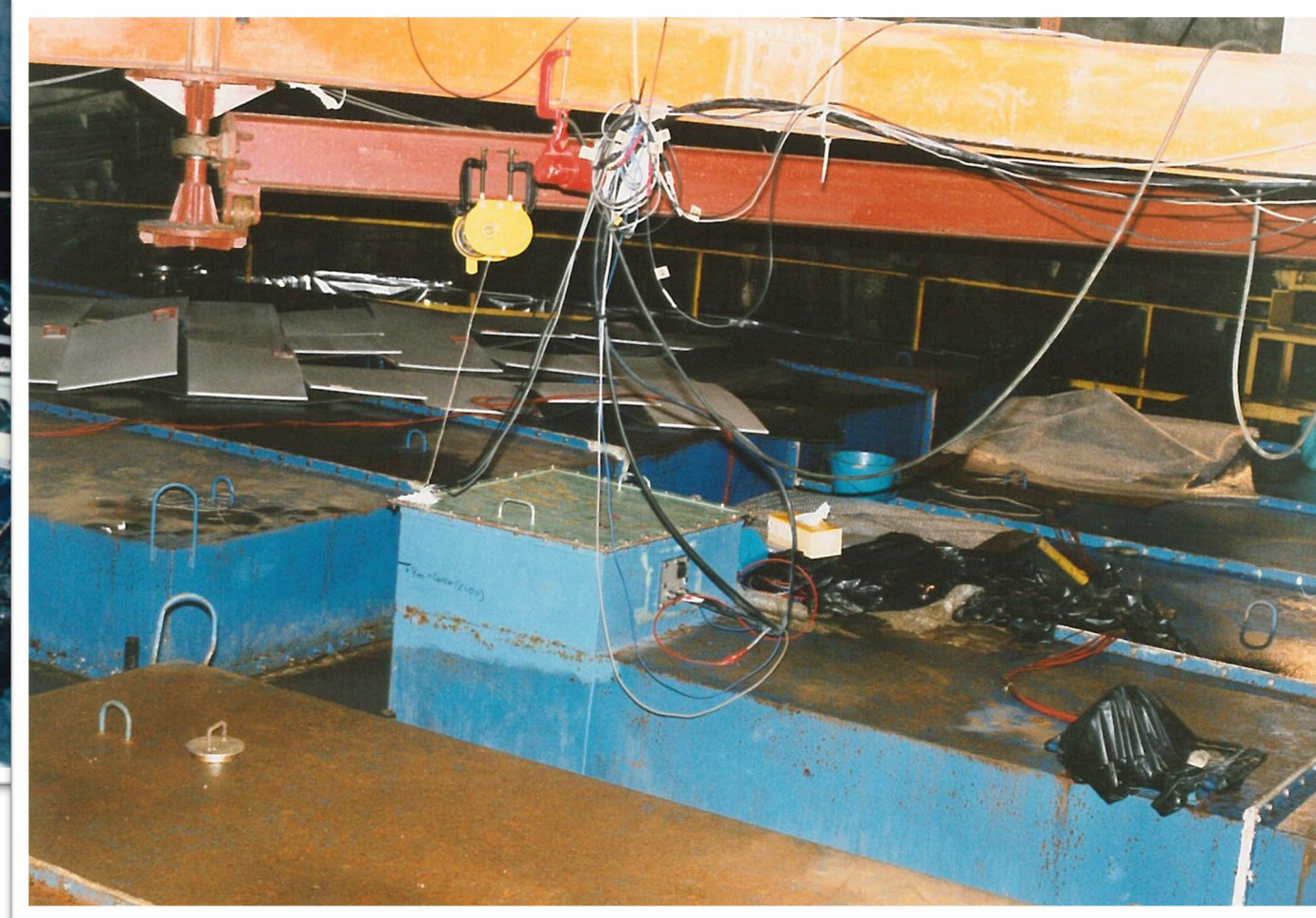
3000トンタンクと岩盤との間に外水槽測定器を設置

太陽ニュートリノの観測に向けた改造(カミオカンデ-II)

水槽上面の気密化(これは1987年か?)



水槽上面に反射シートを貼って、
外水槽測定器へ(85年頃)



ともかく、大学院生活を楽しみました

博士論文

こんなことをやりながら、何とか博士3年で博士論文を書きました(1986年3月博士)。

“Search for Nucleon Decays into Anti-neutrino plus Mesons”

(もちろん、陽子の崩壊は発見できませんでした。)

日本学術振興会のPDは不採用。ありがたいことに、東大の素粒子センターに助手として1年(最終的に2年)おいてもらえることに。

UTICEPP-86-03
Feb. 1986

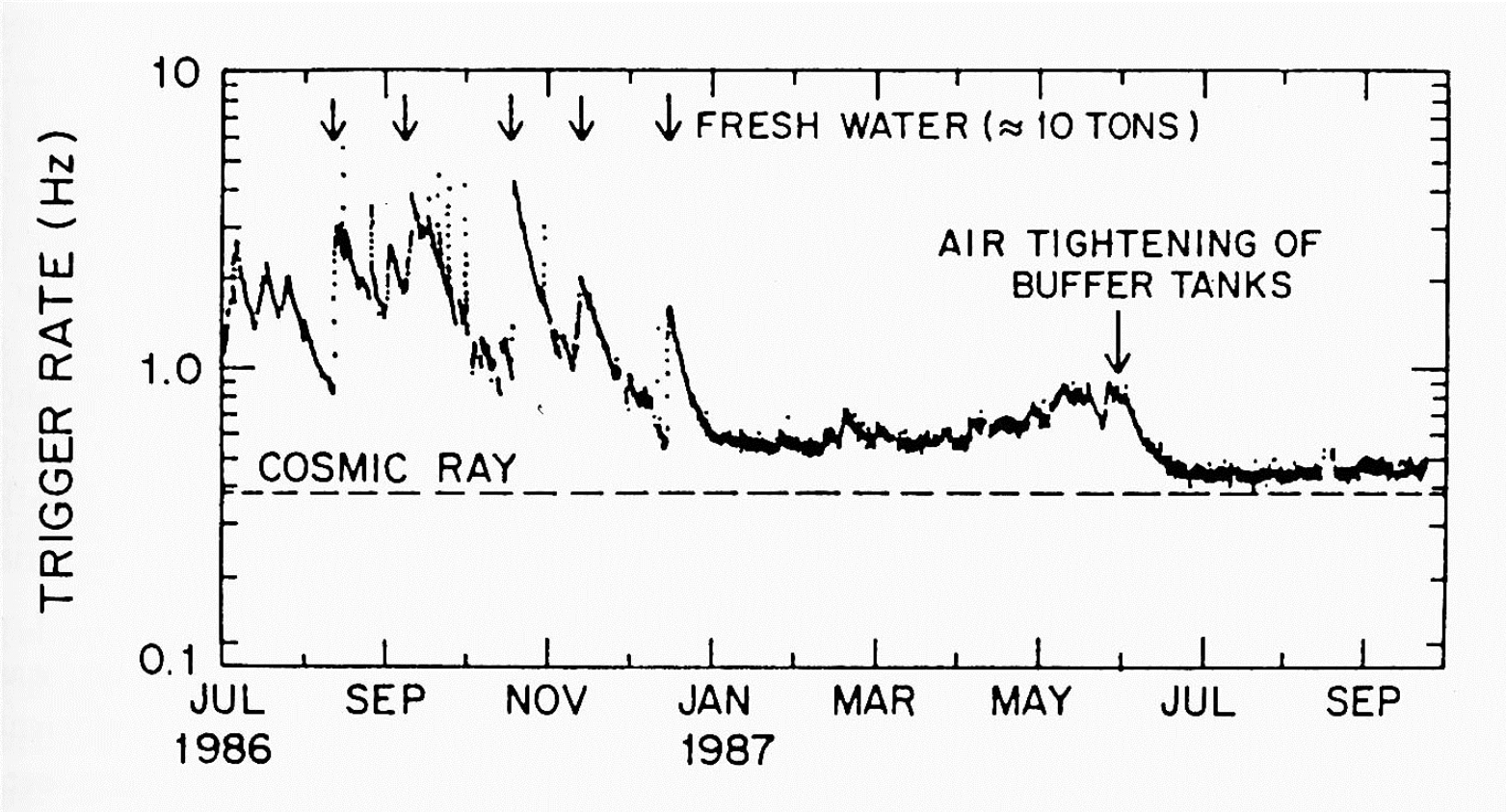
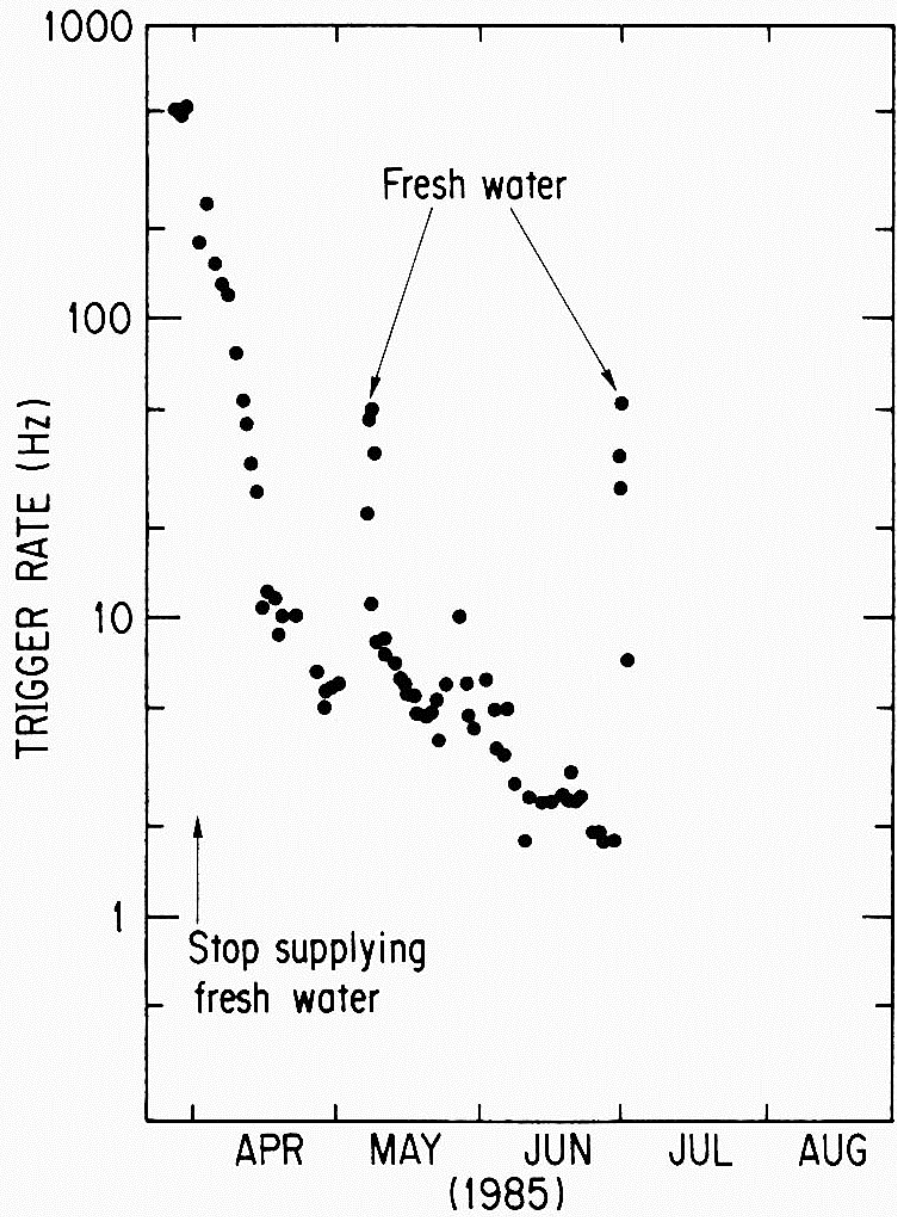
Search for Nucleon Decays into Anti-Neutrino plus Mesons

TAKA AKI KAJITA

Department of Physics, Faculty of Science,
University of Tokyo

その後

太陽ニュートリノの観測に向けて(カミオカンデ-II)

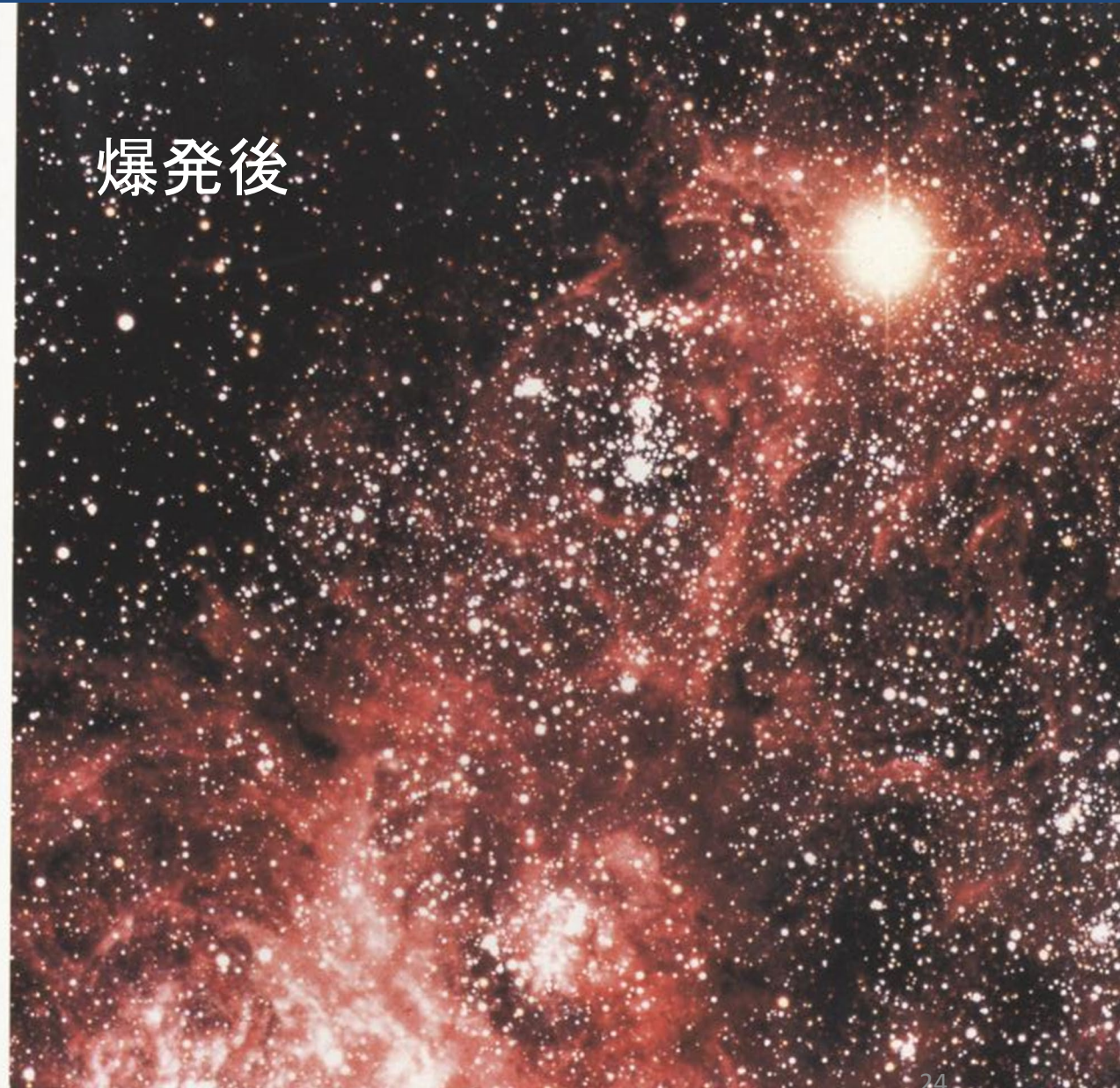


超新星爆発

SN1987A
爆発前

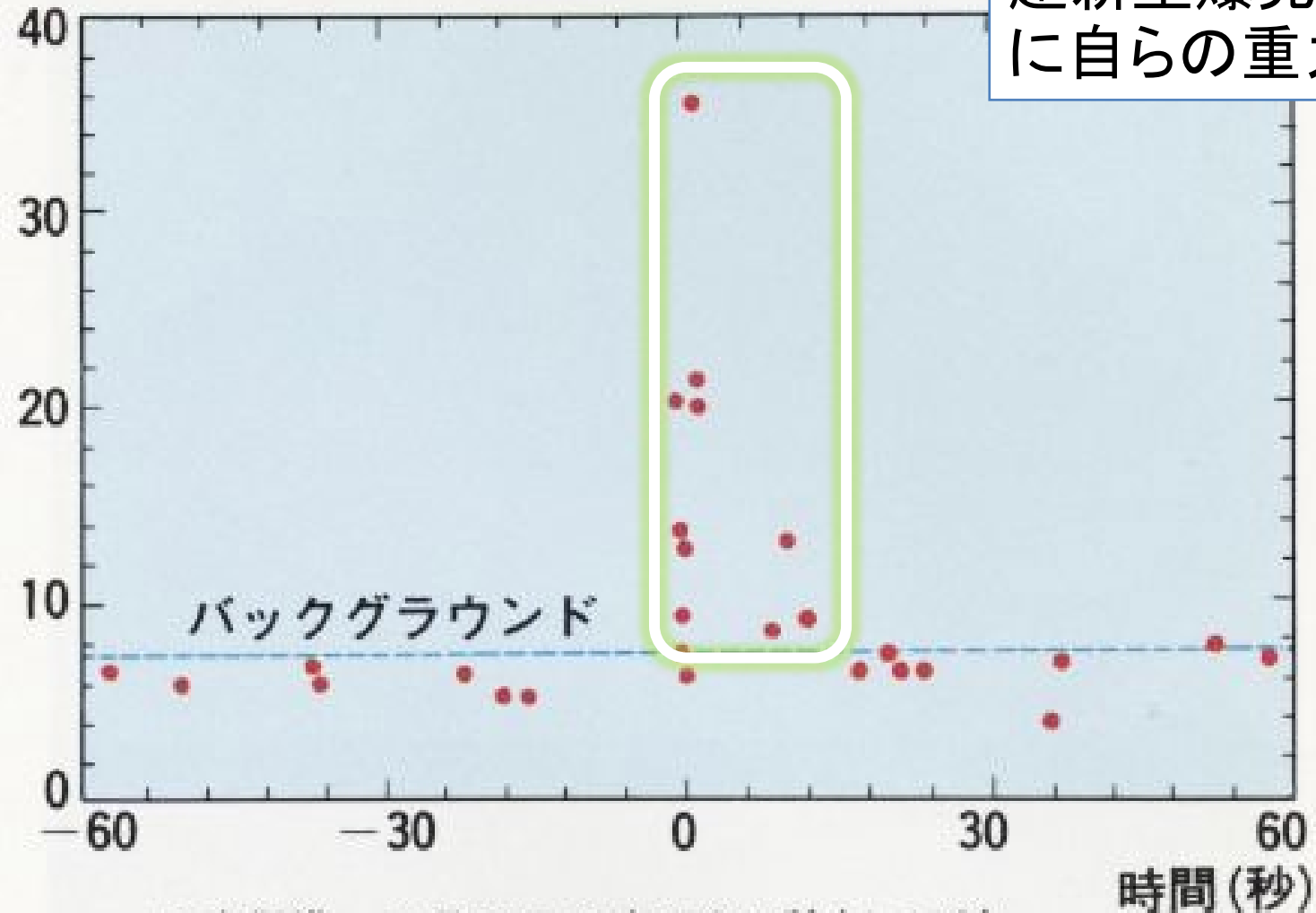


爆発後



超新星SN1987A (1987年2月23日)

二次電子のエネルギー (MeV)



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現象)の解明

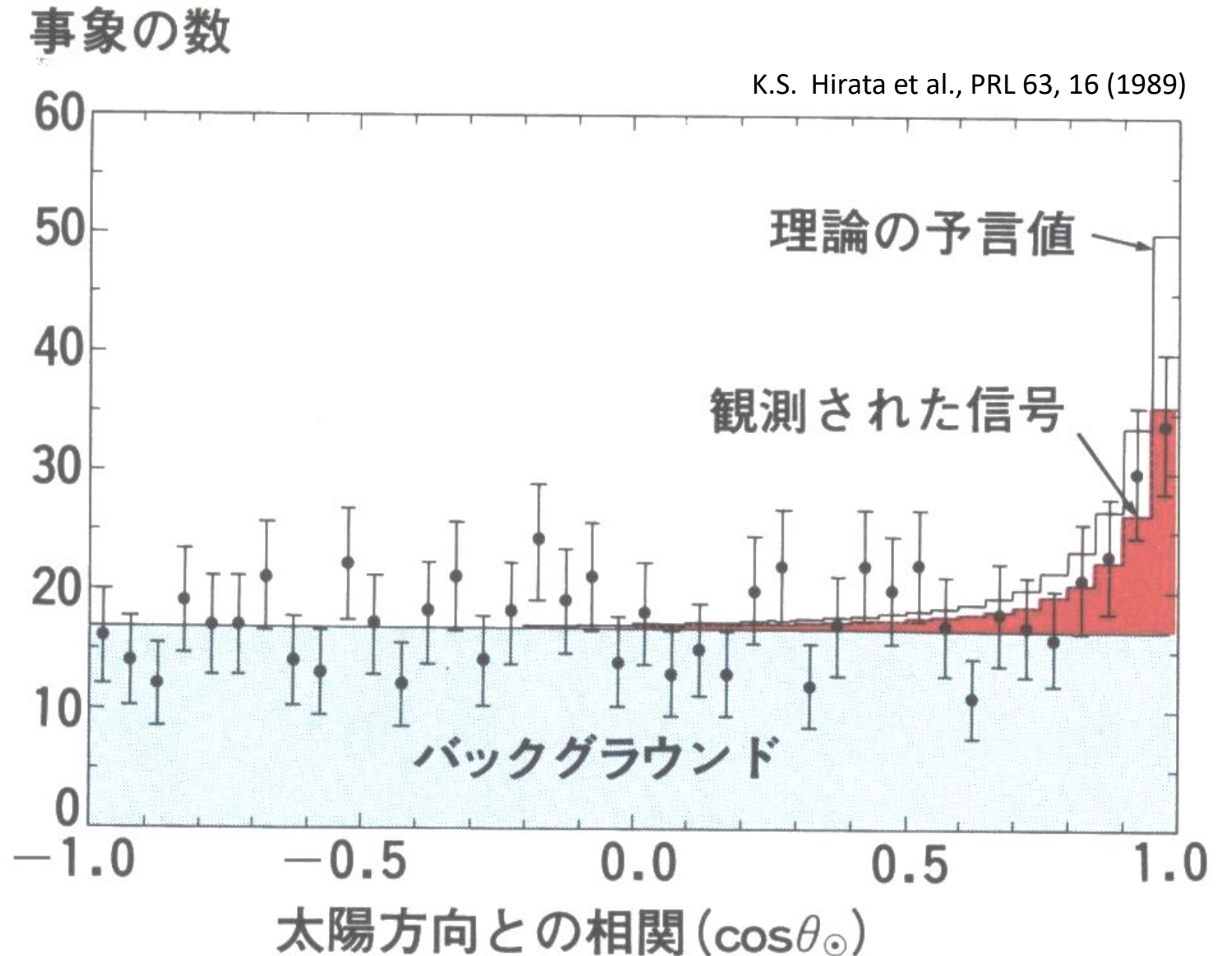


→ ノーベル賞
(小柴先生、2002年)

日本標準 2月23日16時35分35秒(±1分)

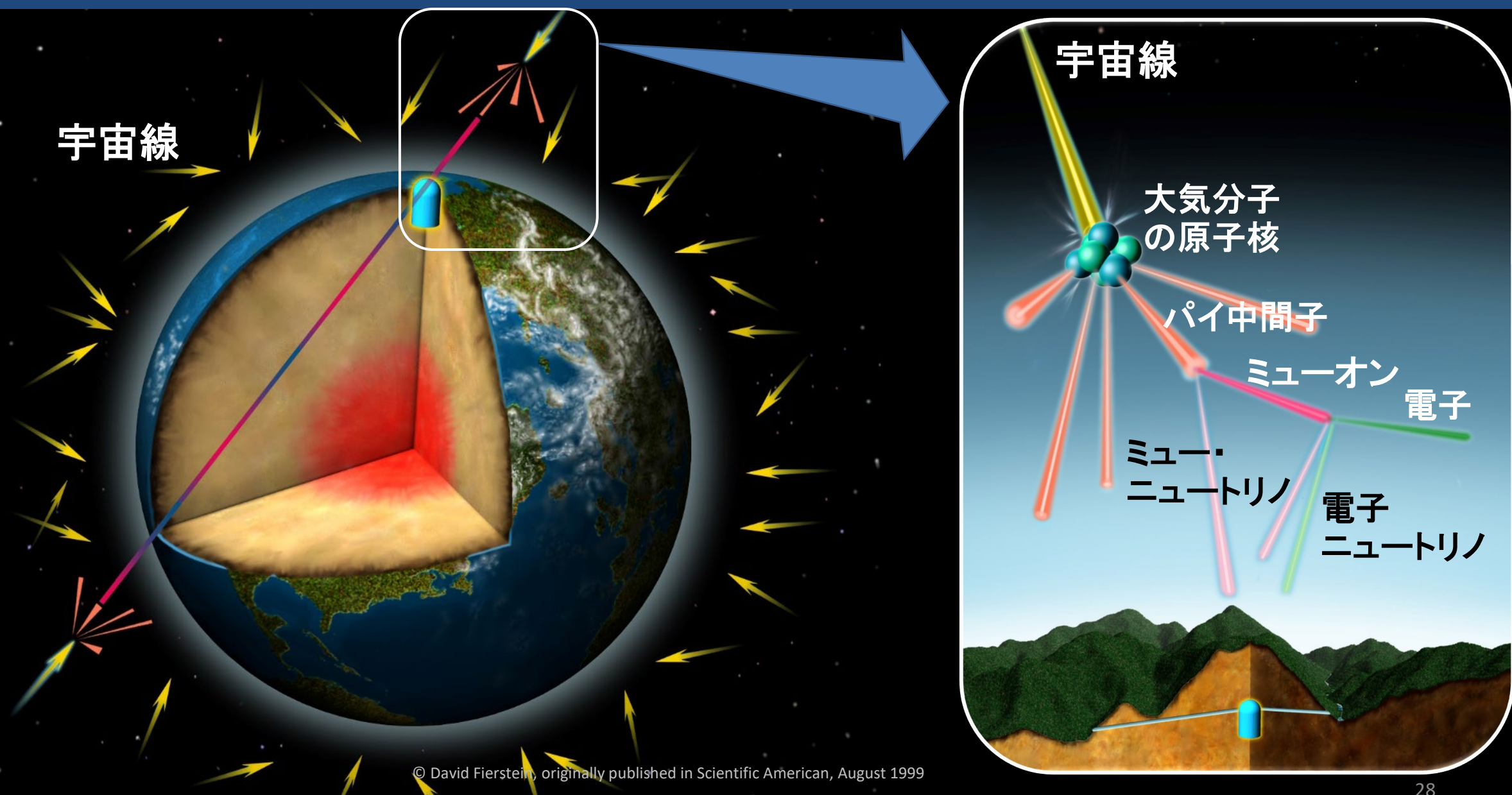
太陽ニュートリノは？

- 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）（中心人物：中畑現所長）
- その後、今世紀になって、あとで出てくるスーパーカミオカンデやカナダのSNO実験、東北大学のカムランド実験の活躍などで太陽ニュートリノ問題はニュートリノ振動によるものとわかりました。



大気ニュートリノの異常

大気ニュートリノ

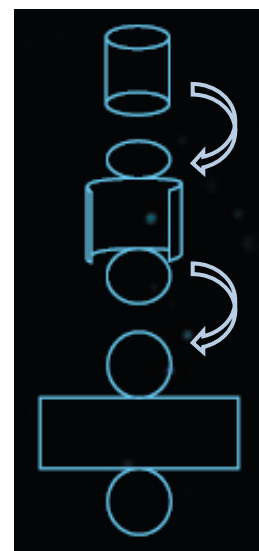


© David Fierstein, originally published in Scientific American, August 1999

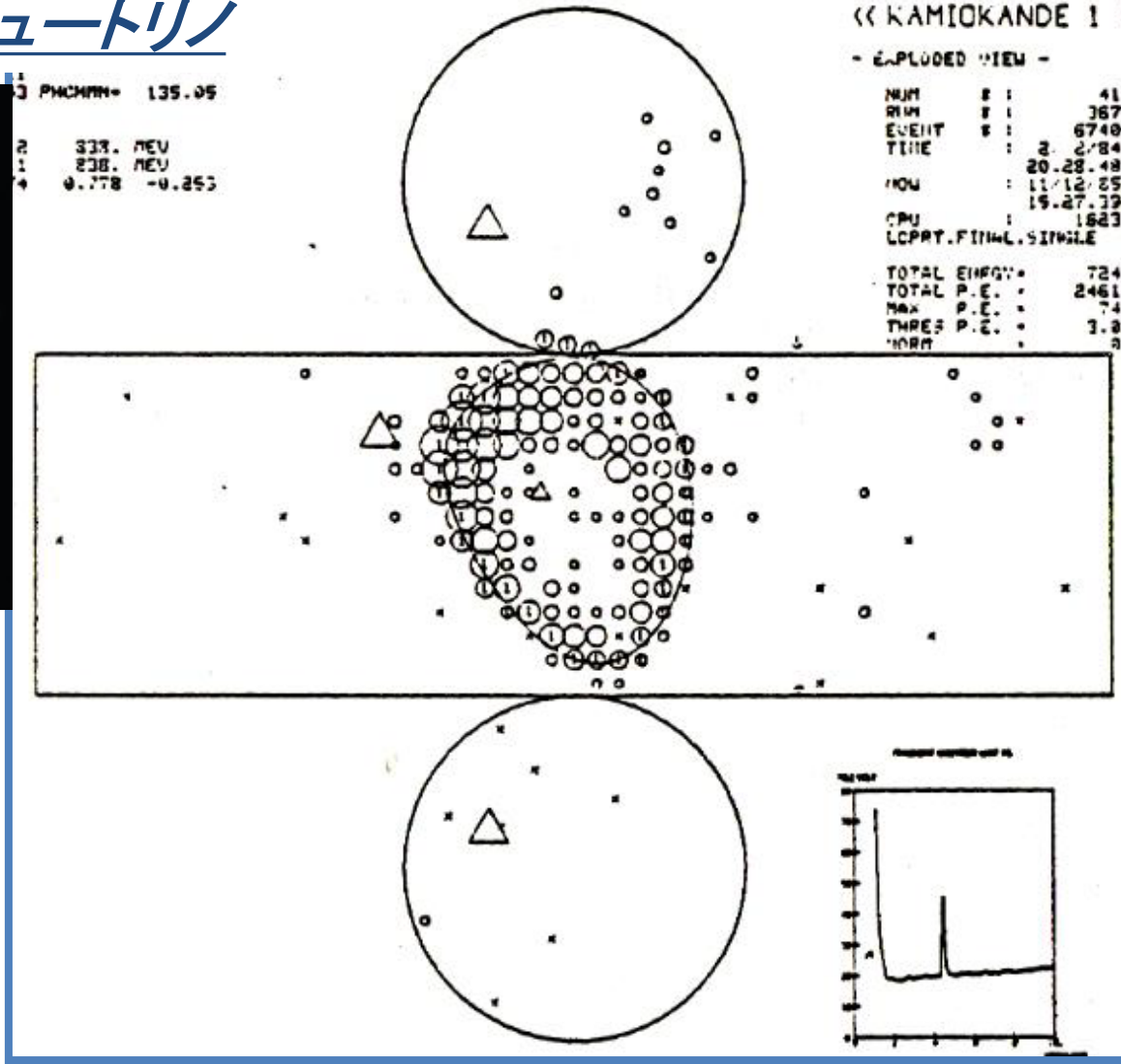
1986年頃

- 博士論文を書きながらデータ解析には改善の余地があると考えていました。そこで、博士論文を提出すると解析ソフトの改良に着手。
- 改良の一つは、観測されたチェレンコフ光のリングについて、それが電子によるものかミューオンによるものかを判別するもの。
- ところが、データに適用したところ、ミュー・ニュートリノ事象の数が予想値よりずっと少ない....。
- どこかで間違えているはず。
- ということで、1986年暮れころから、間違い探しを開始。

カミオカンデで観測されたニュートリノ

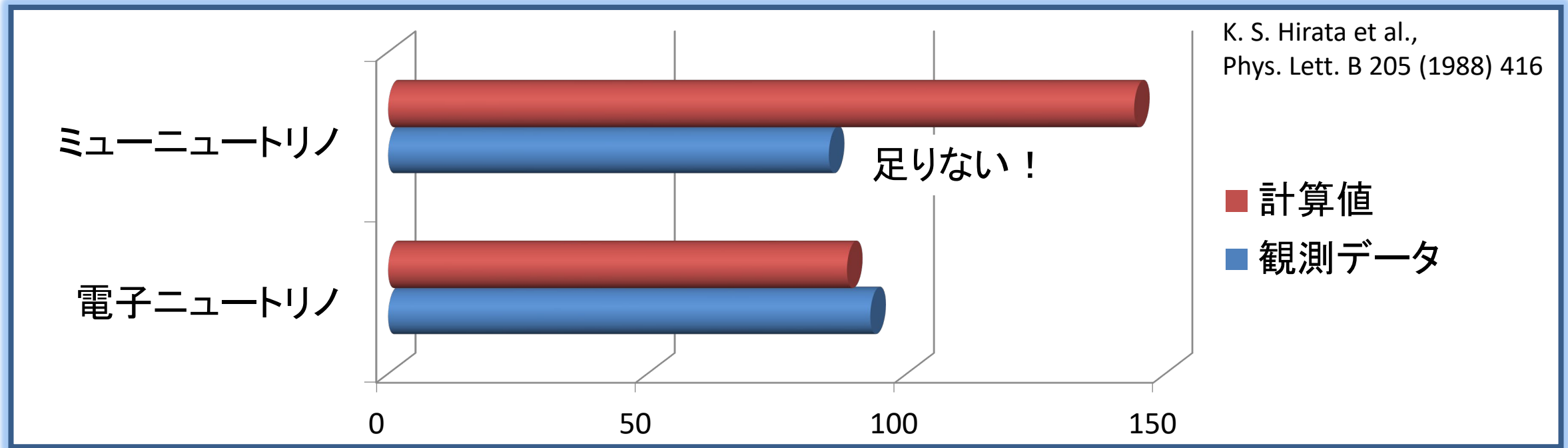


1 PNCN= 135.05
2 333. NEV
3 238. NEV
4 0.778 -0.253



大気ニュートリノ(ミューニュートリノ)がたりない (1988年)

一年間調べましたが、特に間違いは発見できませんでした。ということで、何か我々が知らない現象が起こっている可能性もあり、論文としてまとめることにしました。



参考: 当時の思い:

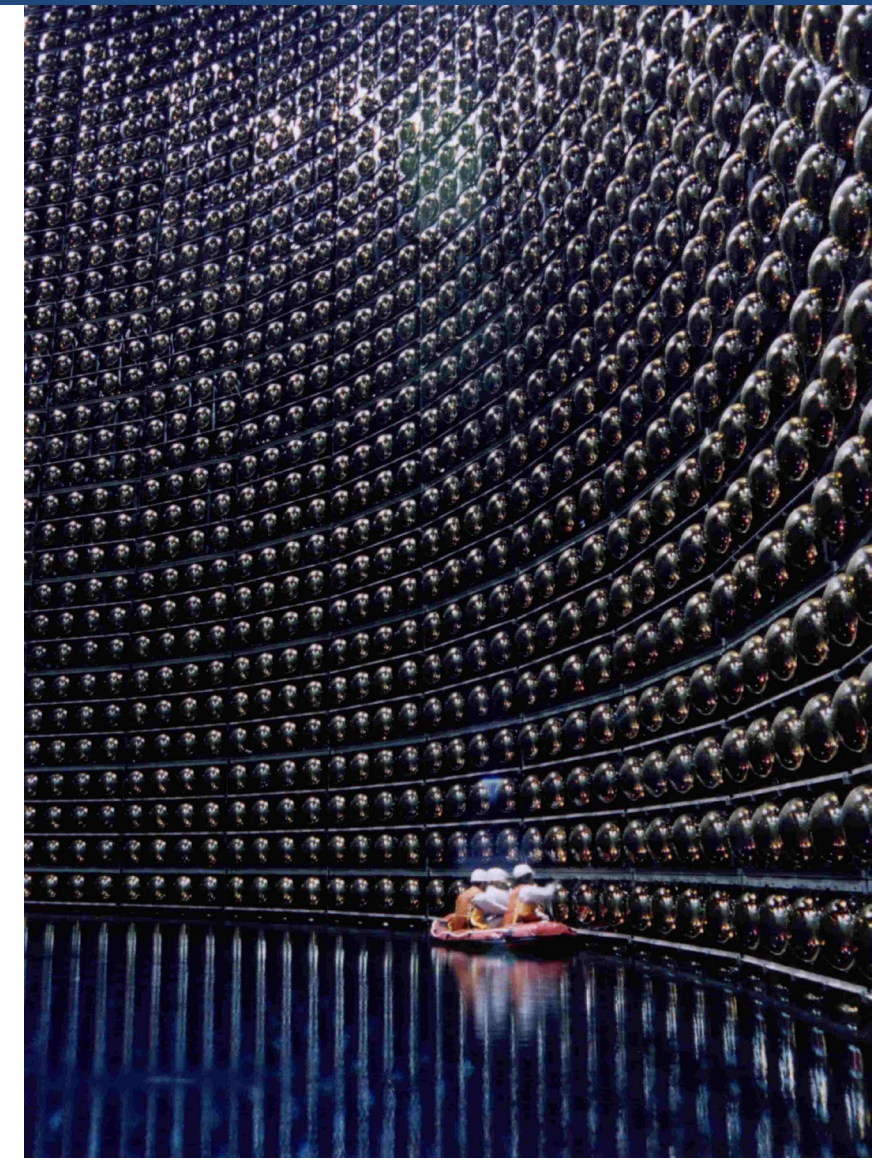
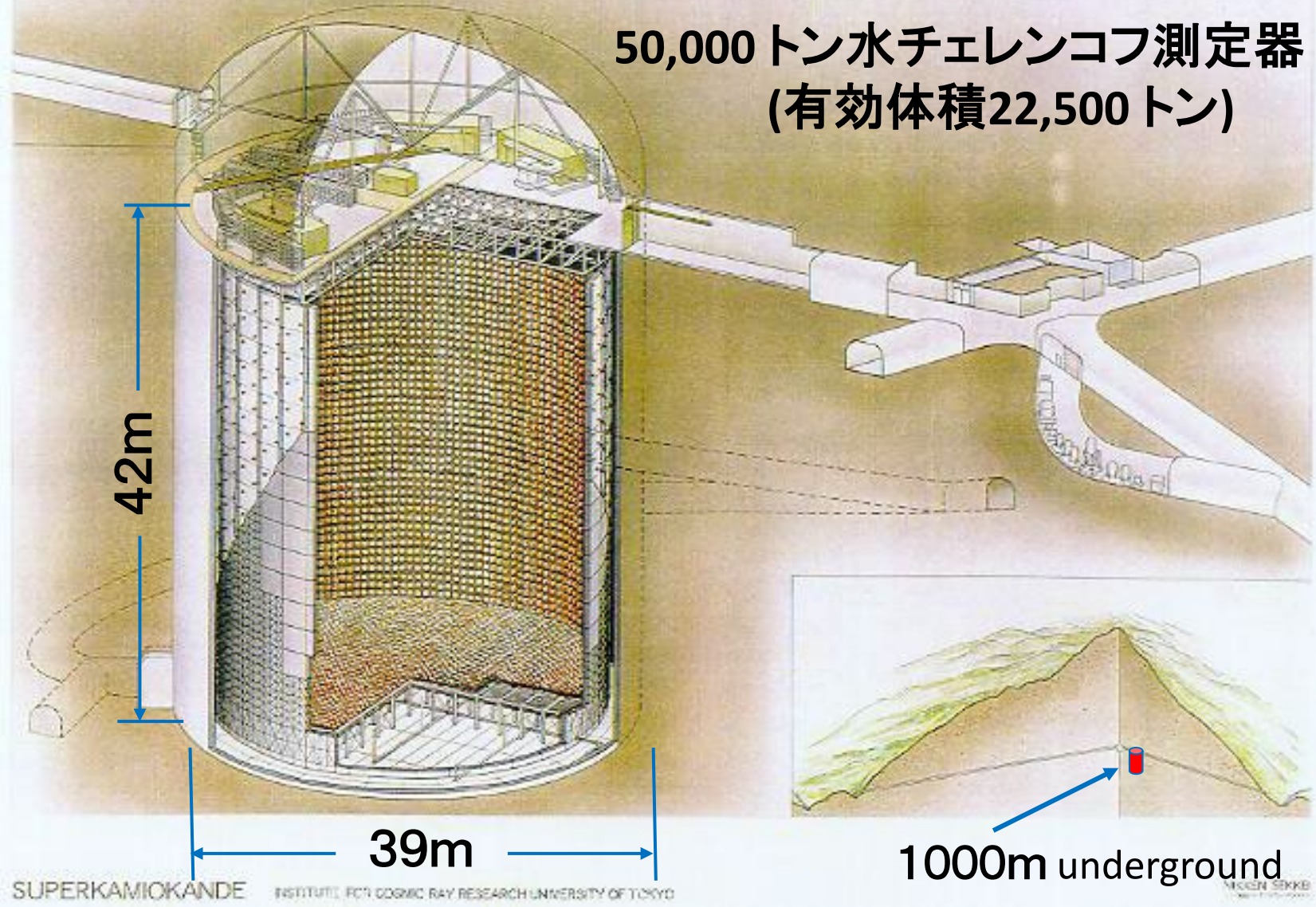
世界的にはこのデータは評判が悪かったのですが、このデータをすごく重要に感じて、この謎を解明することに専念することにしました。

研究者としてはこのころが一番楽しかったです。

ニュートリノ振動

スーパーカミオカンデ

50,000 トン水チェレンコフ測定器
(有効体積22,500 トン)



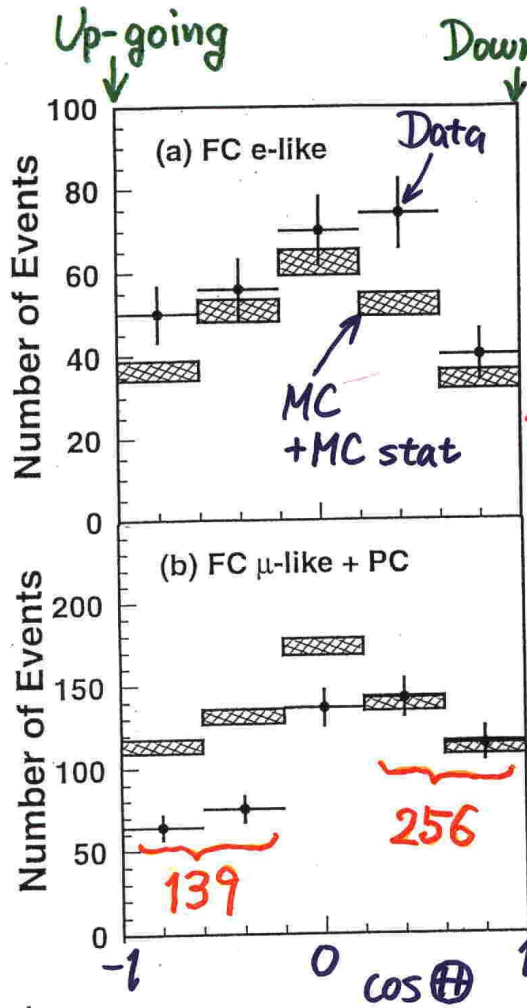
~230人の共同研究

ニュートリノ振動の証拠 (高山でのニュートリノ'98国際会議)

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

Zenith angle dependence (Multi-GeV)

(e)



$\chi^2(\text{shape}) = 2.8/4 \text{ dof}$

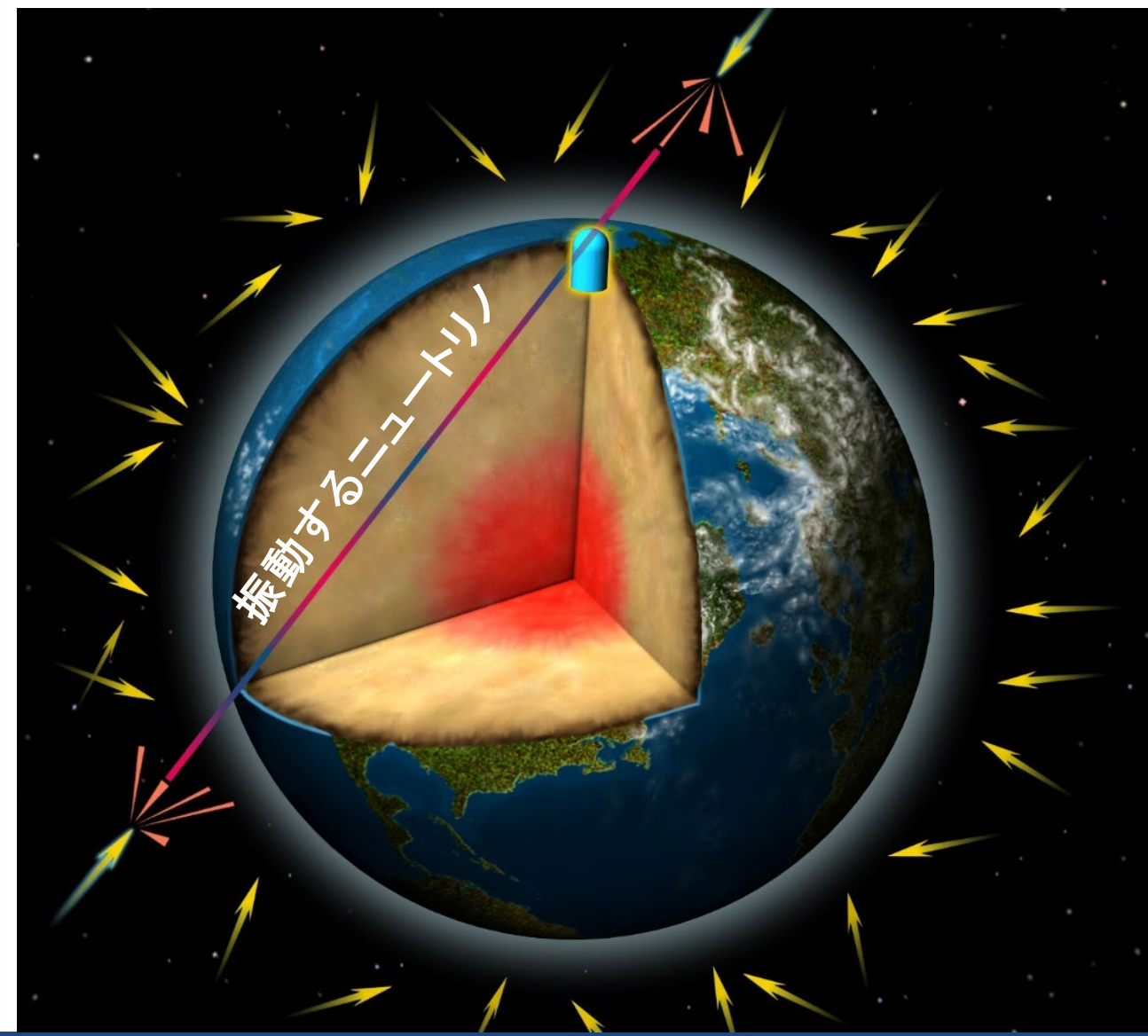
$\frac{Up}{Down} = 0.93^{+0.13}_{-0.12}$

$\chi^2(\text{shape}) = 30/4 \text{ dof}$

$\frac{Up}{Down} = 0.54^{+0.06}_{-0.05}$

(6.2 σ !!)

(μ)



今私が参加している研究

- 長年ニュートリノの研究をしてきましたが、1998年のニュートリノ振動の発見、そしてその後のいろいろな研究を経て、だいたい2005年頃には、とりあえず研究がひと段落したと内心では感じるようになっていました。
- 一方、目を周りに向けると、まだわからないことはたくさんあります。
- その中でも、重力波は当時未発見で、重力波を使って宇宙のブラックホールや一般相対性理論の研究をしていく分野に魅力を感じていました。
- また1990年代半ば頃から、研究所のスーパーカミオカンデの次の重要な課題としては重力波が取り上げられていました。
- 2008年、宇宙線研究所の所長になった機会に、(今までのように研究に専念するわけにはいかないので、自分の一部の時間を使って貢献をすべく)ニュートリノの研究から重力波の研究に軸足を移しました。

重力波望遠鏡 KAGRA



- 大学院時代は、研究の入り口。
- 理学系の大学院に行く人は、自分が本当にやりたい研究は何かを考え、自分のやりたい研究ができる研究室を選んでください。
- 多くの場合、大学院の時代の研究室がその後の研究者人生を大きく左右します。研究室選びは大切です。
- スプリング・スクール(も後半ですが)、楽しんでください。