

ICRR Spring School 2018

2018年3月6日

若い頃の神岡での研究

東京大学宇宙線研究所

梶田隆章

目次

- 大学3年生の頃
- 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

大学3年生の頃

- 私は埼玉大学(理学部物理)出身です。
- ただ、多くの時間を弓を引くことに費やしました。
- 3年の秋に、ともかく大学院で物理学研究を試みたいと決断。そのため、(大分遅くなったけど)勉強に励み、大学院を受験することにしました。
- ありがたいことに、東大の小柴研究室に入れてもらえました。なお、理論は考えていませんでした。能力がないし、体を動かしているのが好み。

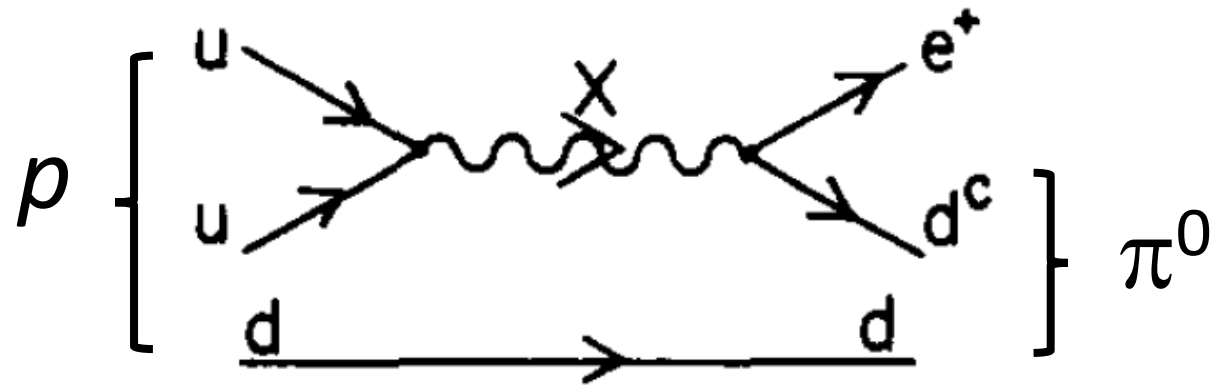
埼玉大学3年の4月、埼玉県大宮市氷川神社の花まつり弓道大会



大学院生の頃

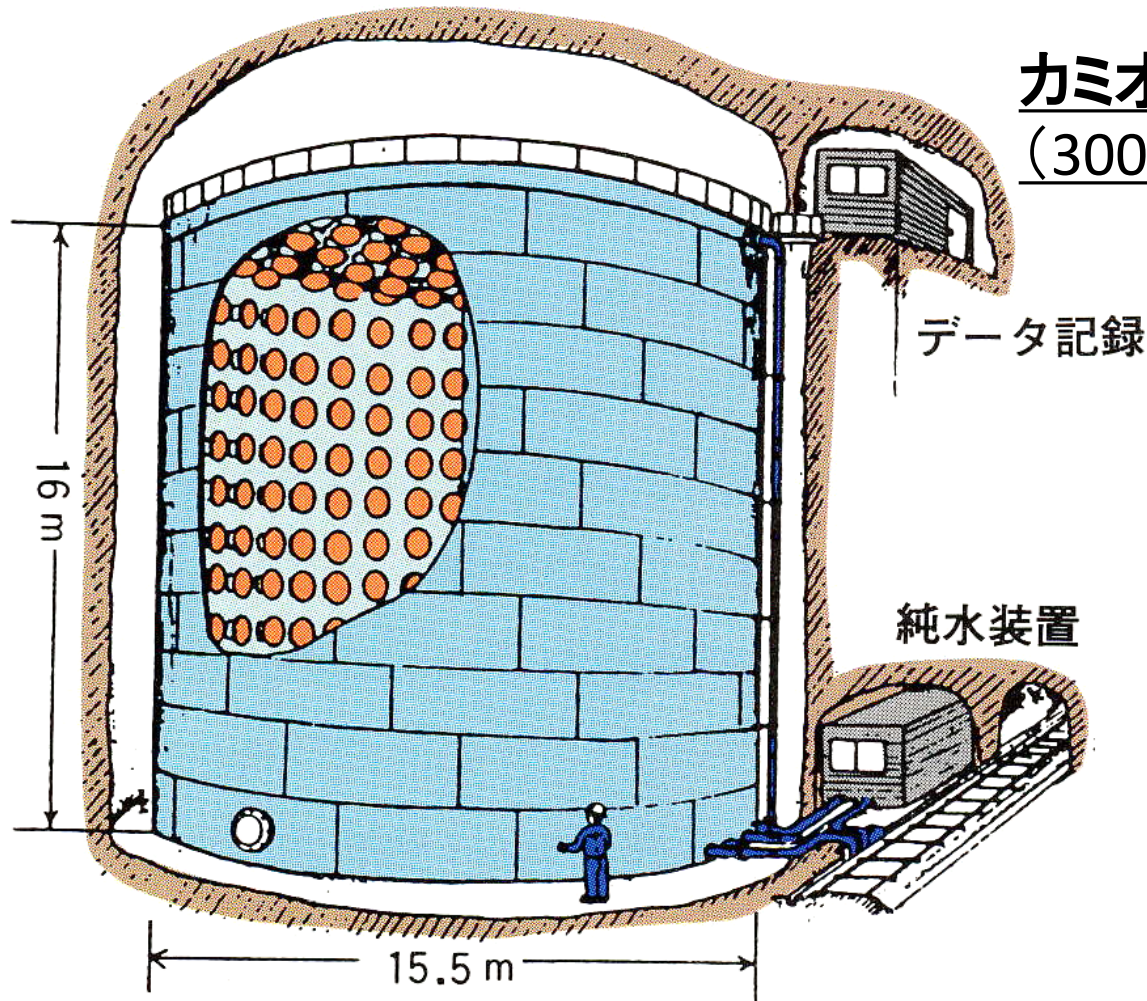
事の始まり

- ✓ 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。

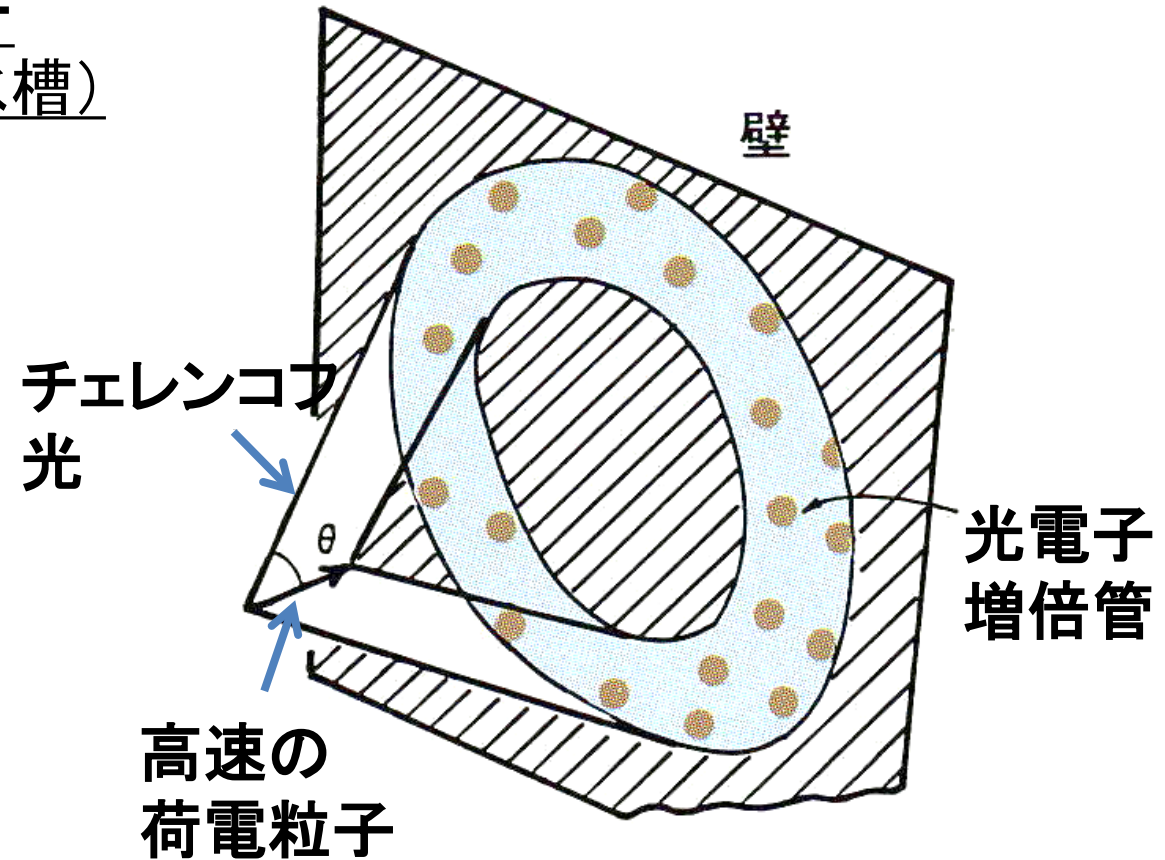


神岡核子崩壊実験(カミオカンデ)

- ✓ 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)

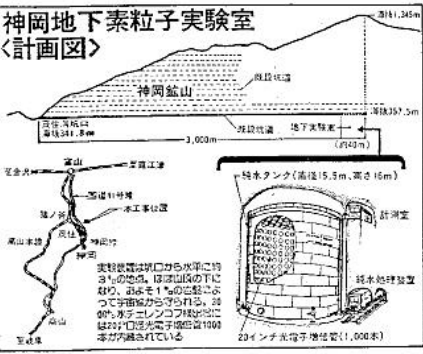


サイエンス *Exciting* ドキュメント

レクチャー：三宅三郎東京大学 宇宙線研究所長 — 総予算5億の空前のビッグ・プロジェクト！ 神岡鉱山地底での“陽子消滅実験”がめざす驚異の真実を徹底レポート!!

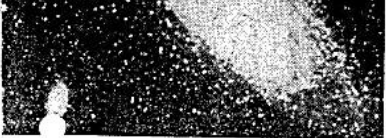


日本の最高頭脳集団が宇宙大崩壊の証拠探しに挑戦



神岡地下素粒子実験室〈計画図〉
神岡鉱山は標高1,345m、最深部は標高357.3m、最深部から約3,000m掘削した地下実験室に、直径14.6m、高さ16mの円筒形のタンクを据え、その中に約1,000トンの超純水を入れ、その中に約1,000トンの超純水を満たす。このタンクの中に、直径14.6m、高さ16mの円筒形のタンクを据え、その中に約1,000トンの超純水を入れ、その中に約1,000トンの超純水を満たす。

人、水、火、空気。宇宙の森羅万象を形成する物質ほど不思議なものはない。万物は流転する……これまで物質は分裂、反応はしても消滅することはないと信じられてきた。また物質の最終単位(素粒子)も、原子核を構成する陽子・中性子・中間子レベルで説明されてきた。大学入試ならそれで間に合う。しかし、極小の“粒”はまだ存在していたのだ。物質の物質と、それを支配している法則への飽くなき探究は、ついに驚嘆すべき帰結に達した。物質は死ぬ。しかも、この超ミクロにおける発見は、超マクロ宇宙の誕生と滅亡の謎を一挙に解いてくれるのだ!!



宇宙はいつか誕生したがいつかに滅亡するか……それはなぜか。謎がいま解かれた

この宇宙最大の目的は、陽子崩壊という現象の存在を正証することだ。陽子とは、中性子とともに原子核の材料となる粒子の一種だ。でもこの特殊現象を以てされて、遠い将来、宇宙のすべてが消滅し、光だけが残ってしまおうという驚くべき解明が正視される。それだけではなく、大統一理論と、重力を除く宇宙すべてを説明しようとする理論だ。したがって、宇宙誕生からつわら重大な謎——宇宙が通常の物質と異なる性質を帯び、その反応が異なる——の物理学的法則と矛盾する原因も解明されるはずだ。この計画は、35年から50年にかけて本格的にはじまる。陽子崩壊……

宇宙が誕生した瞬間に決定された。現実も崩壊の運をまっしぐらに運んでいく。大統一理論は主眼を、宇宙の誕生と物質の存在に決めている。また、その存在に死、ゲイムオーバー、宇宙の崩壊……(フレイバー)崩壊現象(ニュートリノ)が開始された。東大宇宙線研究所長三宅三郎教授と代表に第一線の物理学者が総動員、ビッグ・プロジェクトはスバリ大統一理論の確立。この宇宙最大の目的は、陽子崩壊という現象の存在を正証することだ。陽子とは、中性子とともに原子核の材料となる粒子の一種だ。でもこの特殊現象を以てされて、遠い将来、宇宙のすべてが消滅し、光だけが残ってしまおうという驚くべき解明が正視される。それだけではなく、大統一理論と、重力を除く宇宙すべてを説明しようとする理論だ。したがって、宇宙誕生からつわら重大な謎——宇宙が通常の物質と異なる性質を帯び、その反応が異なる——の物理学的法則と矛盾する原因も解明されるはずだ。この計画は、35年から50年にかけて本格的にはじまる。陽子崩壊……

物質の死を示す直徑10cmの光の環が地底に走る

物質の死を示す直徑10cmの光の環が地底に走る。物質の死を示す直徑10cmの光の環が地底に走る。物質の死を示す直徑10cmの光の環が地底に走る。

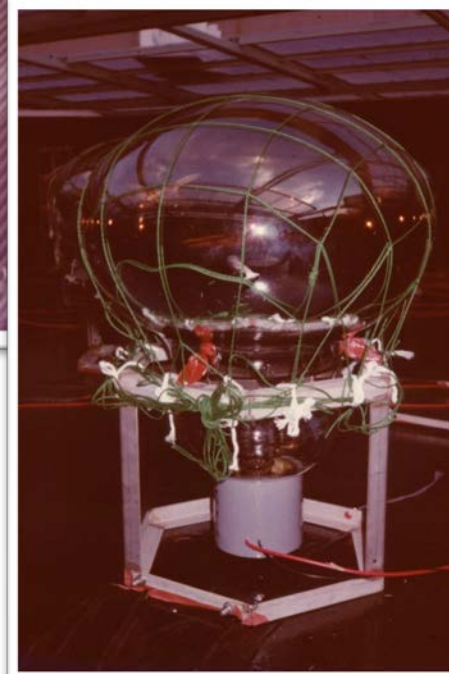
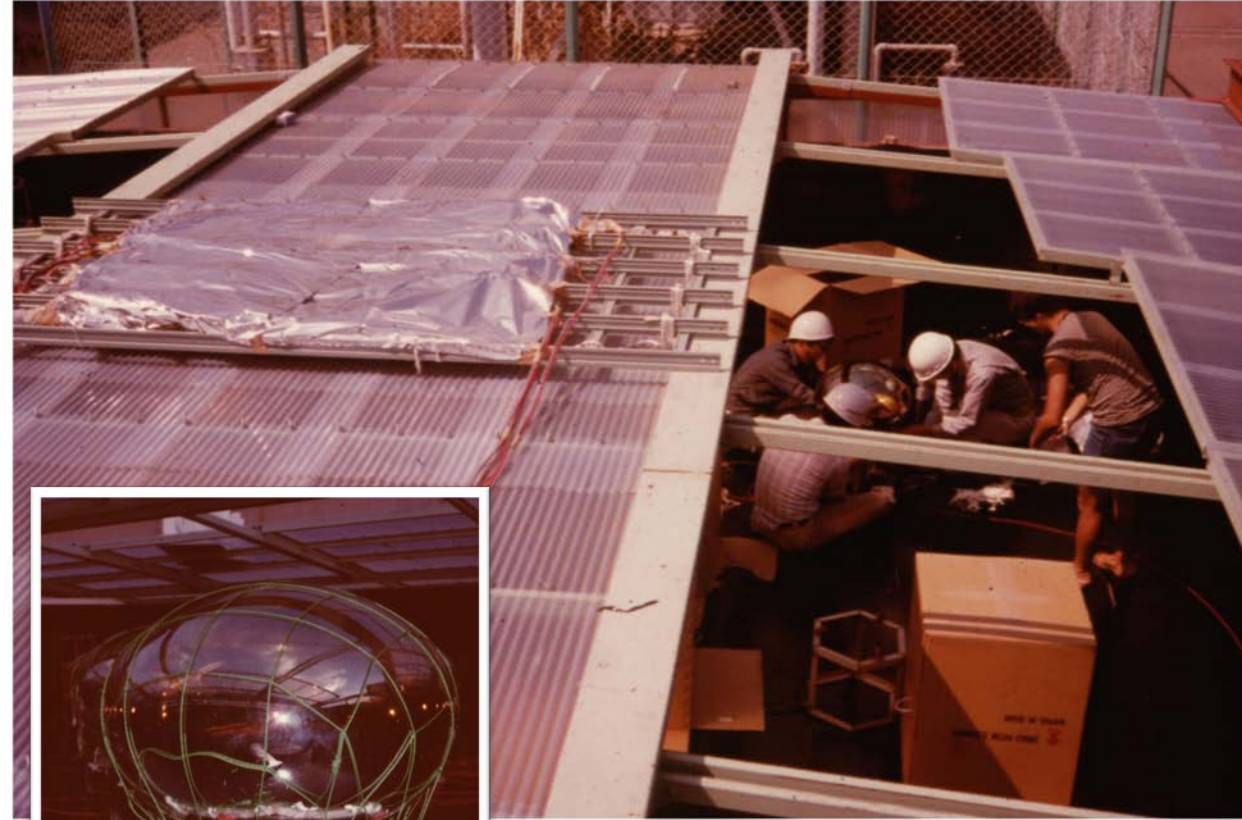
現代物理学の予言
10年後 物質はすべて消滅する
“陽子は不死身”の神話が、今破られようとしている



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に水槽を作っている
いろいろな試験。

研究場所付近



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。

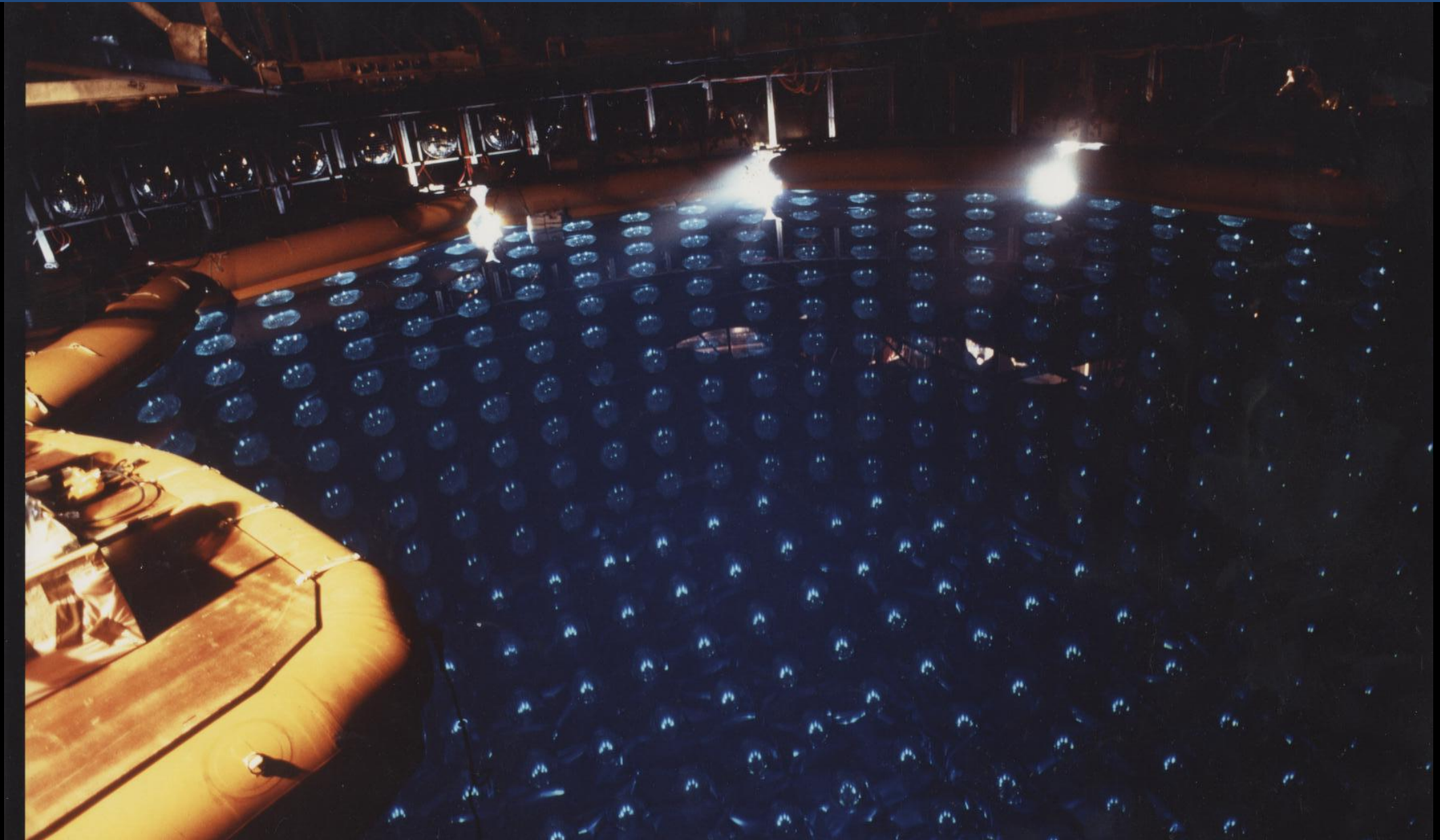
(雑誌の記事のコピー。出所不明)

カミオカンデ建設 (1983年春)



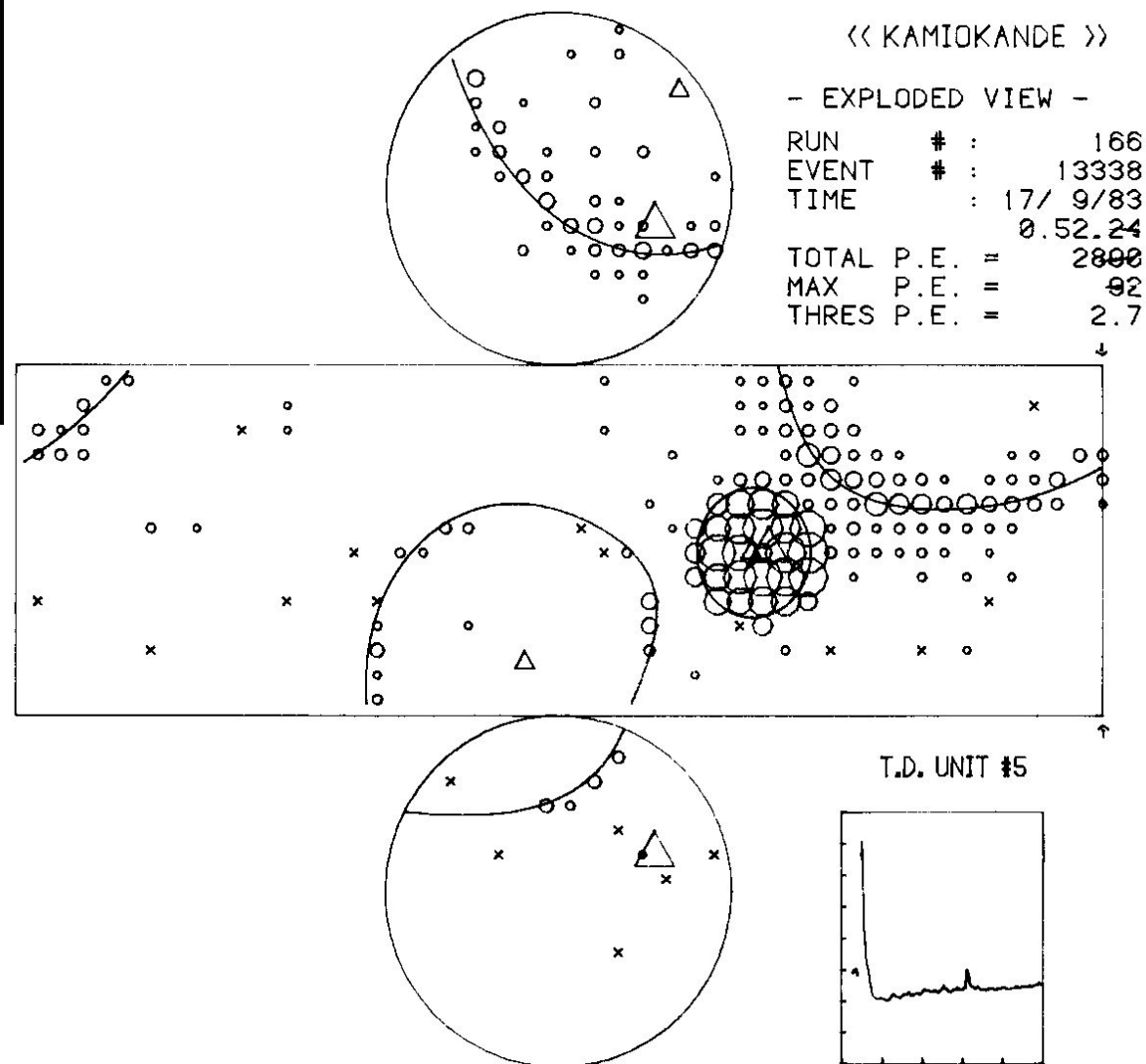
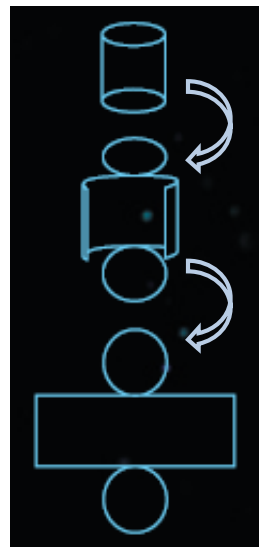
カミオカンデ実験開始

カミオカンデ実験開始 (1983年 7月 6日)

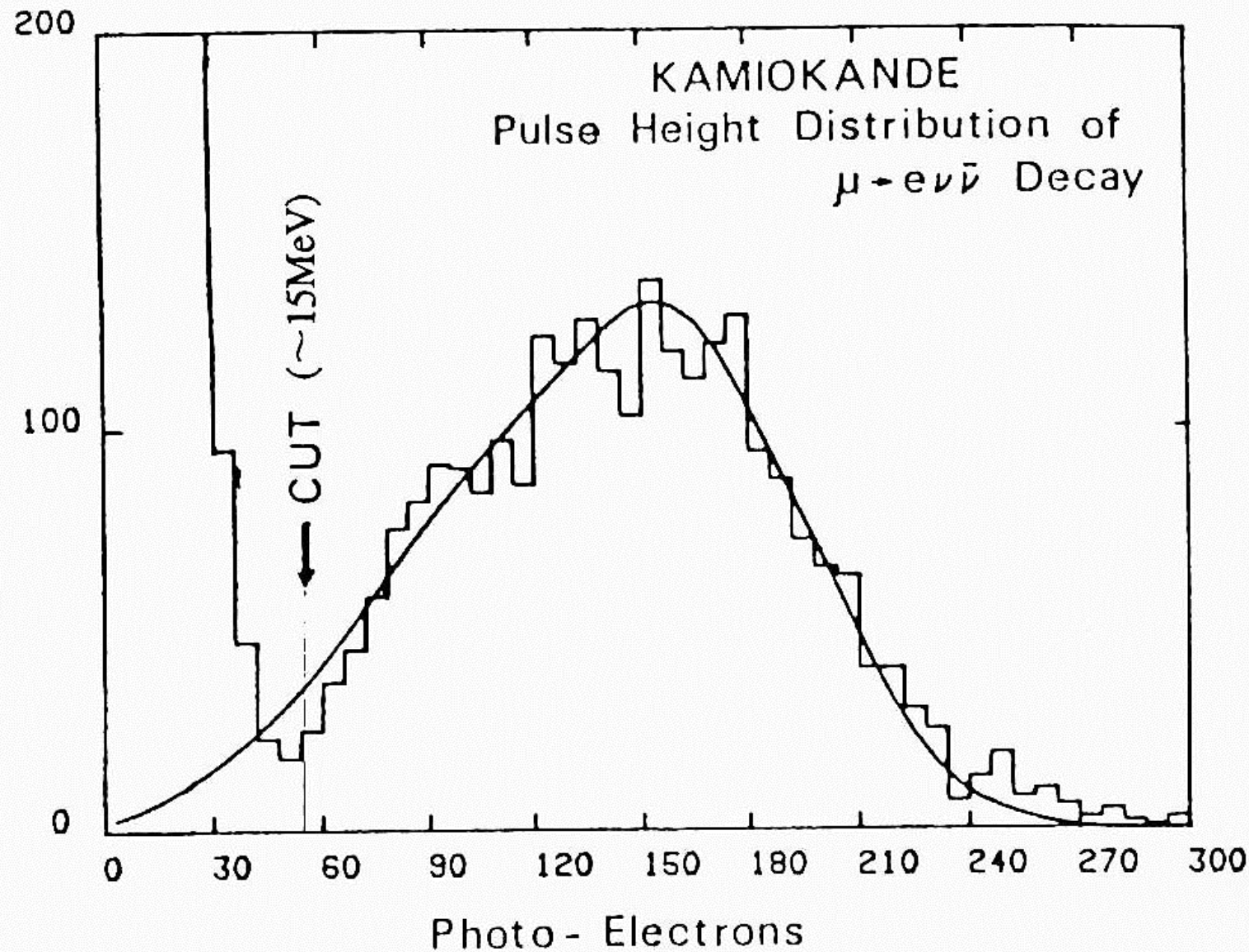


陽子崩壊を探す

- 実験が始まるとすぐにデータ解析体制。ただし、ソフトウェアの開発は非常に遅れていたもので、開発しながら解析。
- 陽子崩壊と考えると矛盾ないイベントも観測（右図、 $p \rightarrow \mu^+ \eta (\rightarrow \gamma)$ とコンシステント。ただし運動量の総和が大きすぎ。）
- ともかく、明確な陽子崩壊の兆候は観測できませんでした。

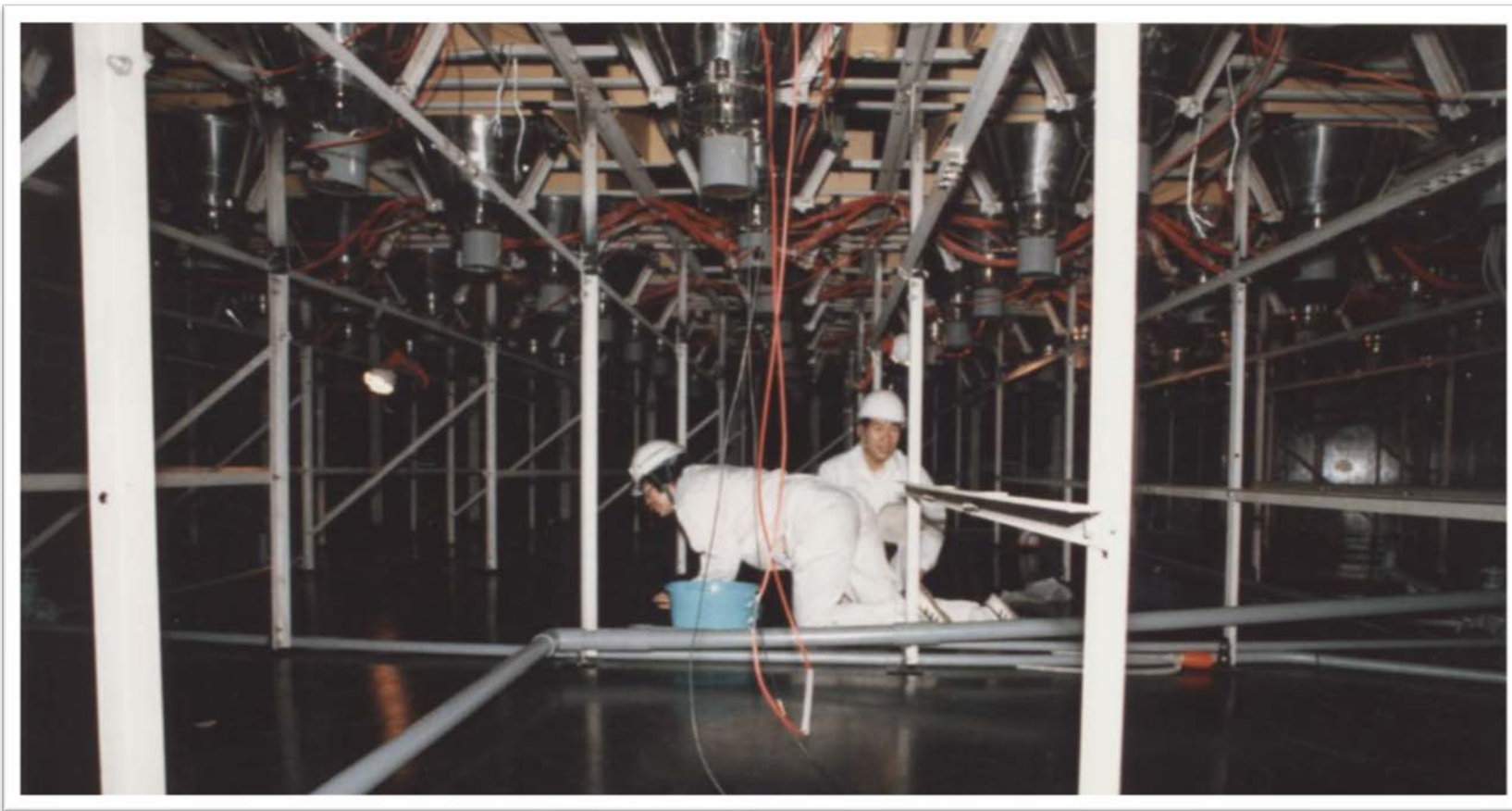


$\mu \rightarrow e$ decay



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)



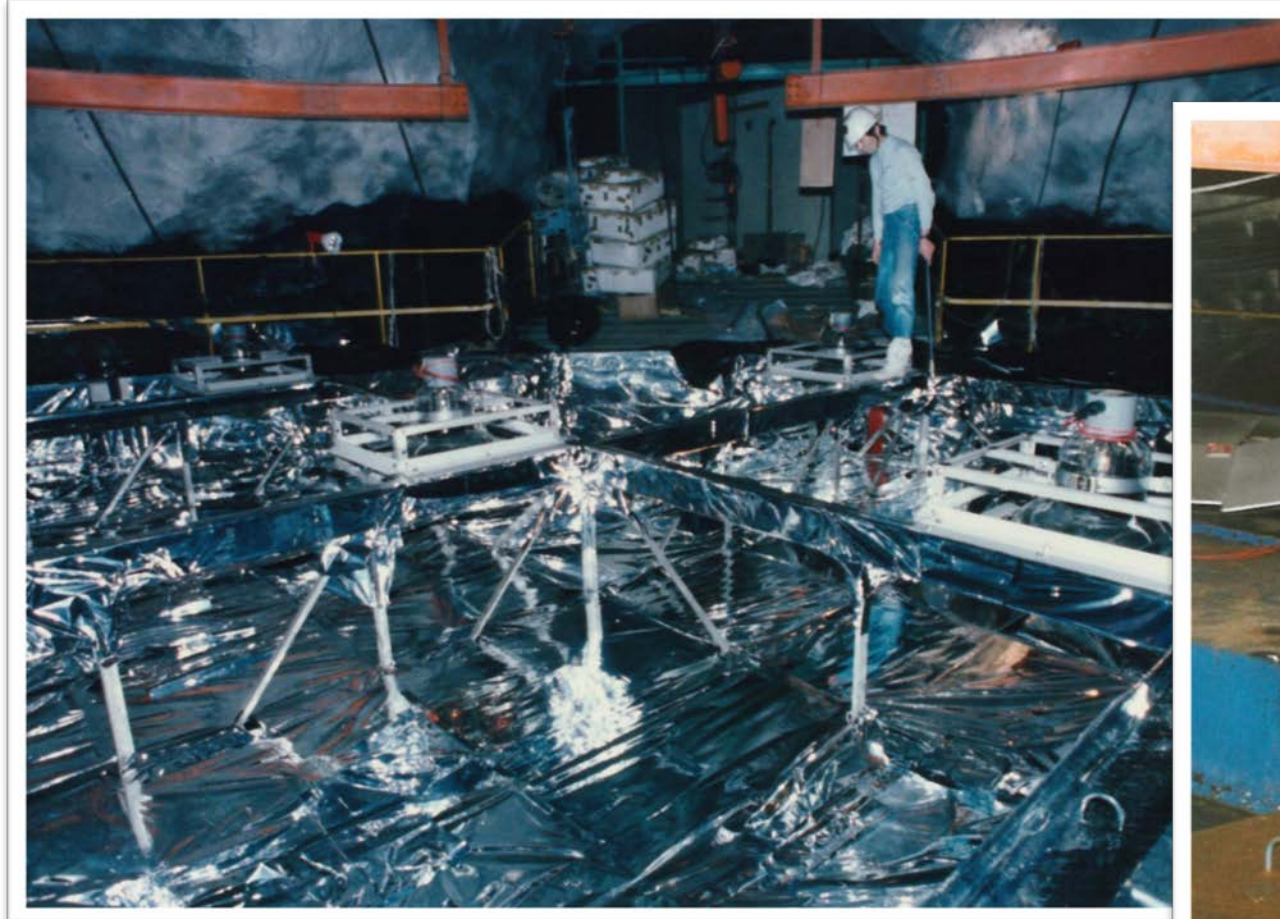
3000トンタンクの底での作業

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、陽子の崩壊は見えませんでした。)

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

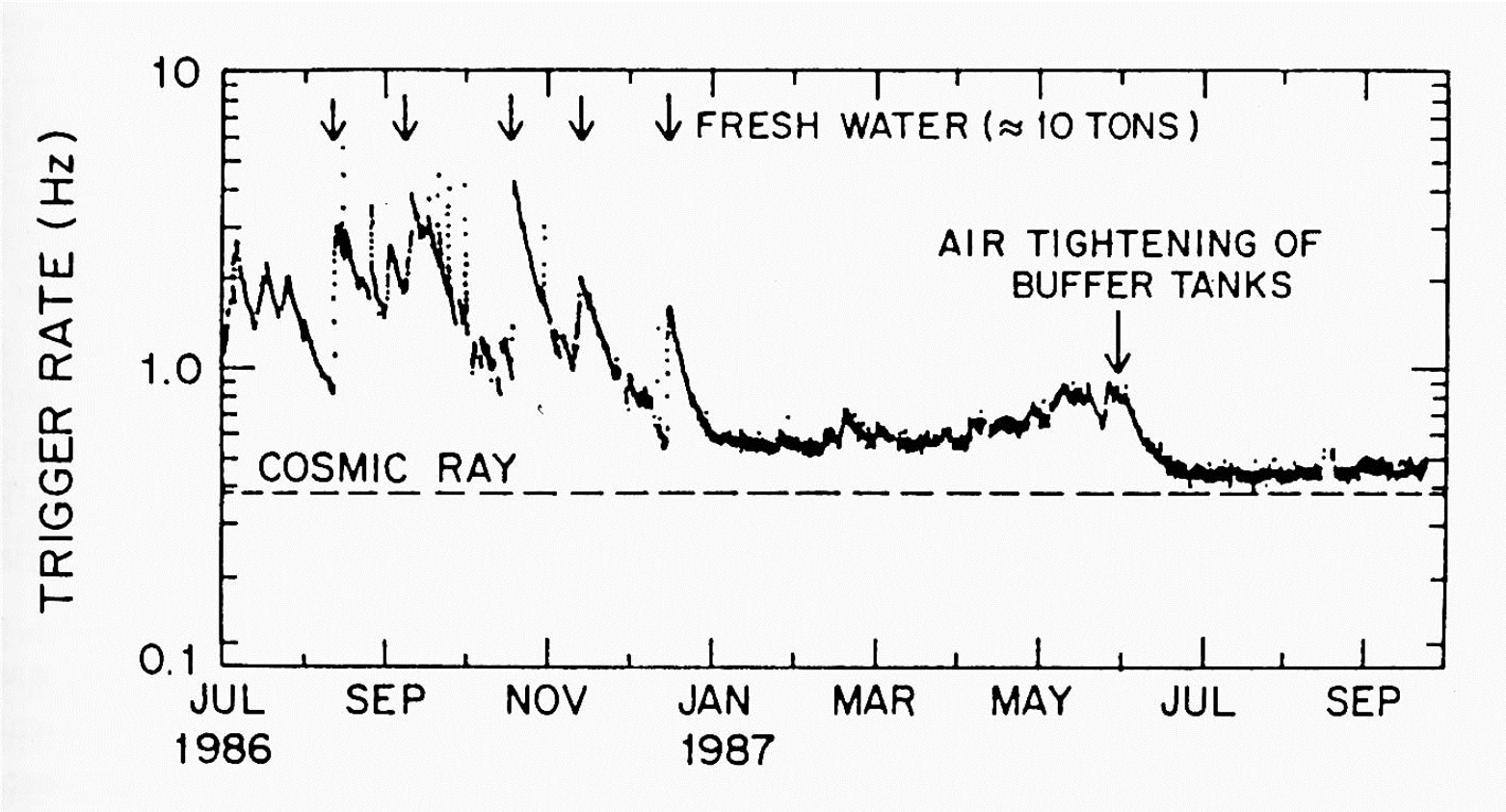
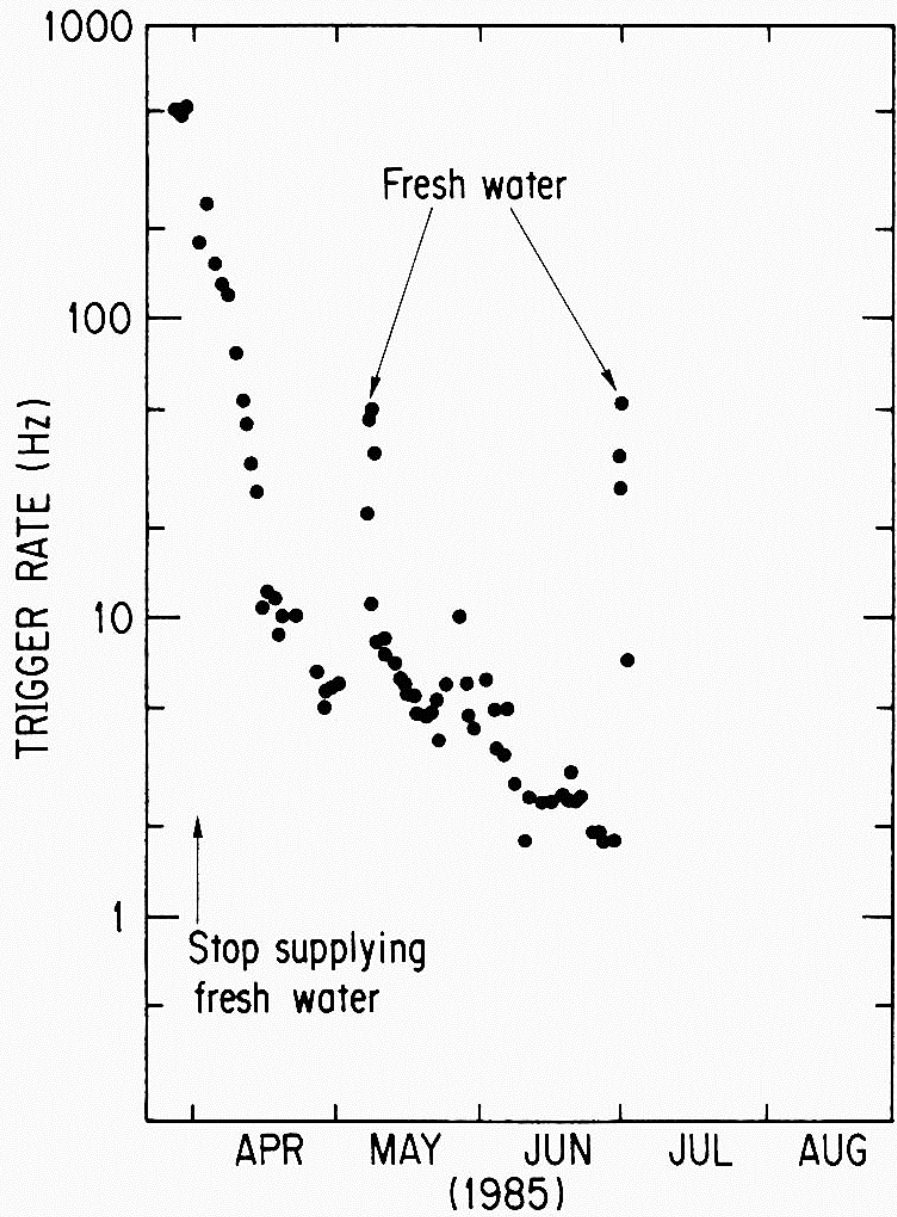
Search for Nucleon Decays into Anti-Neutrino plus Mesons

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)

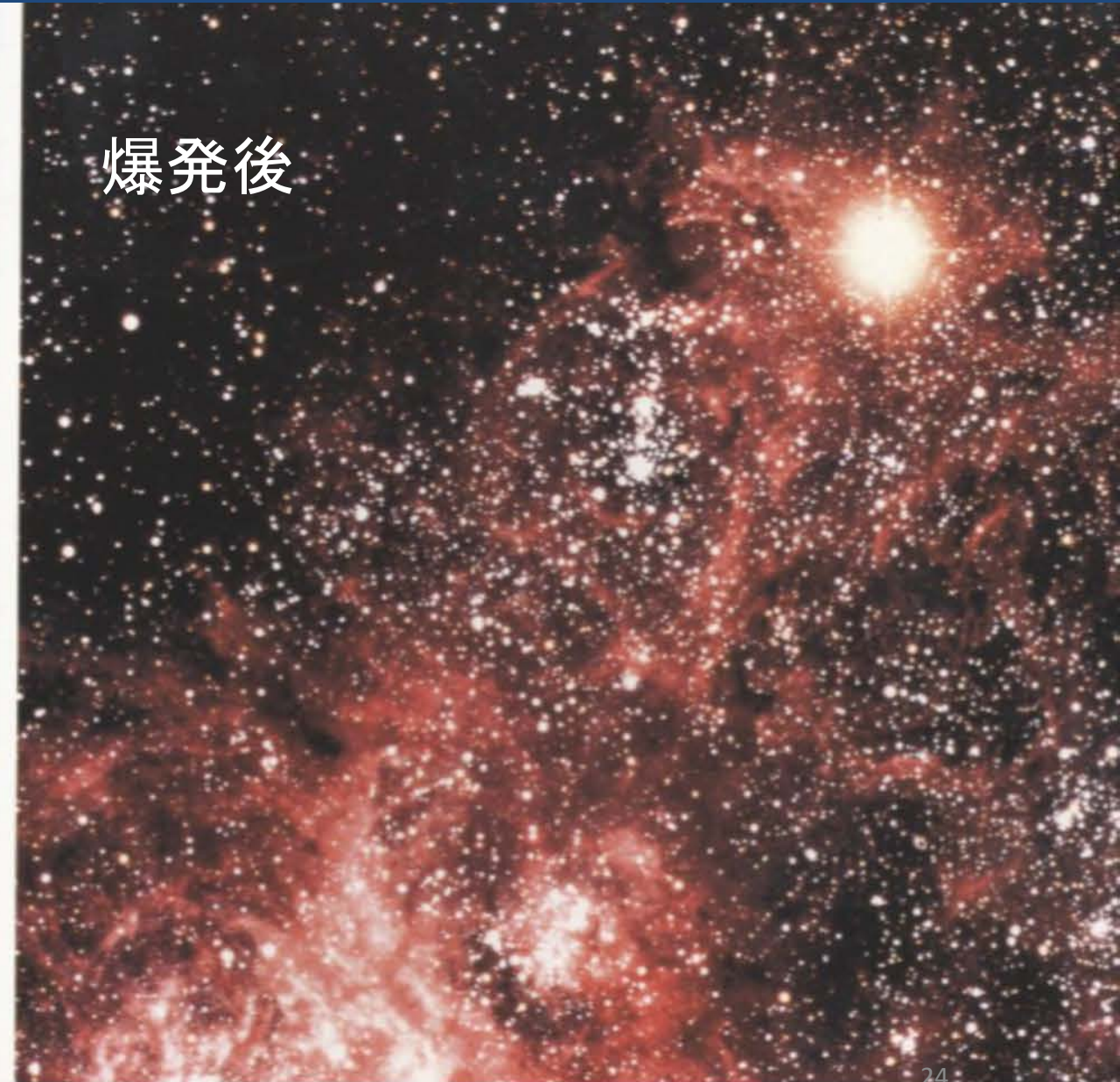


超新星爆発

SN1987A
爆発前

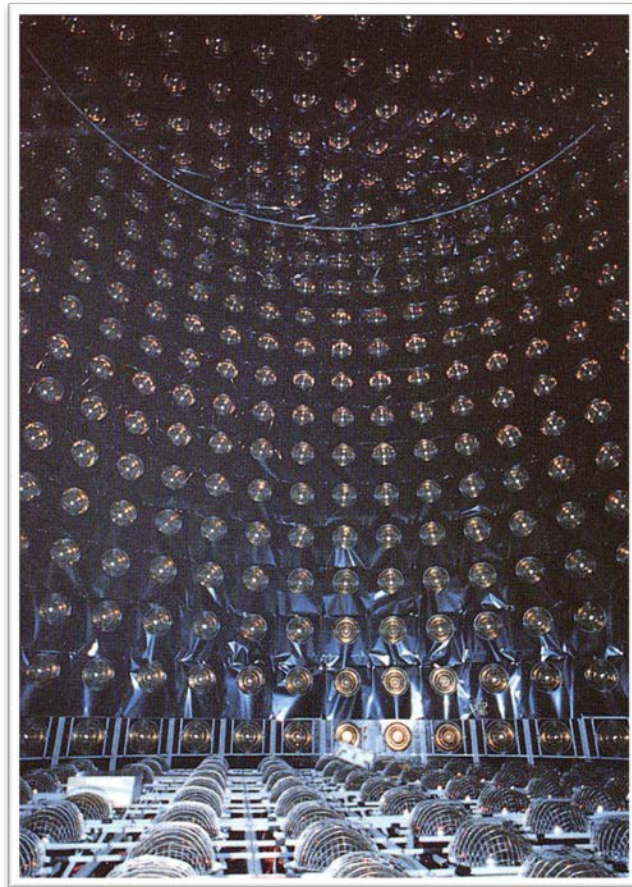


爆発後

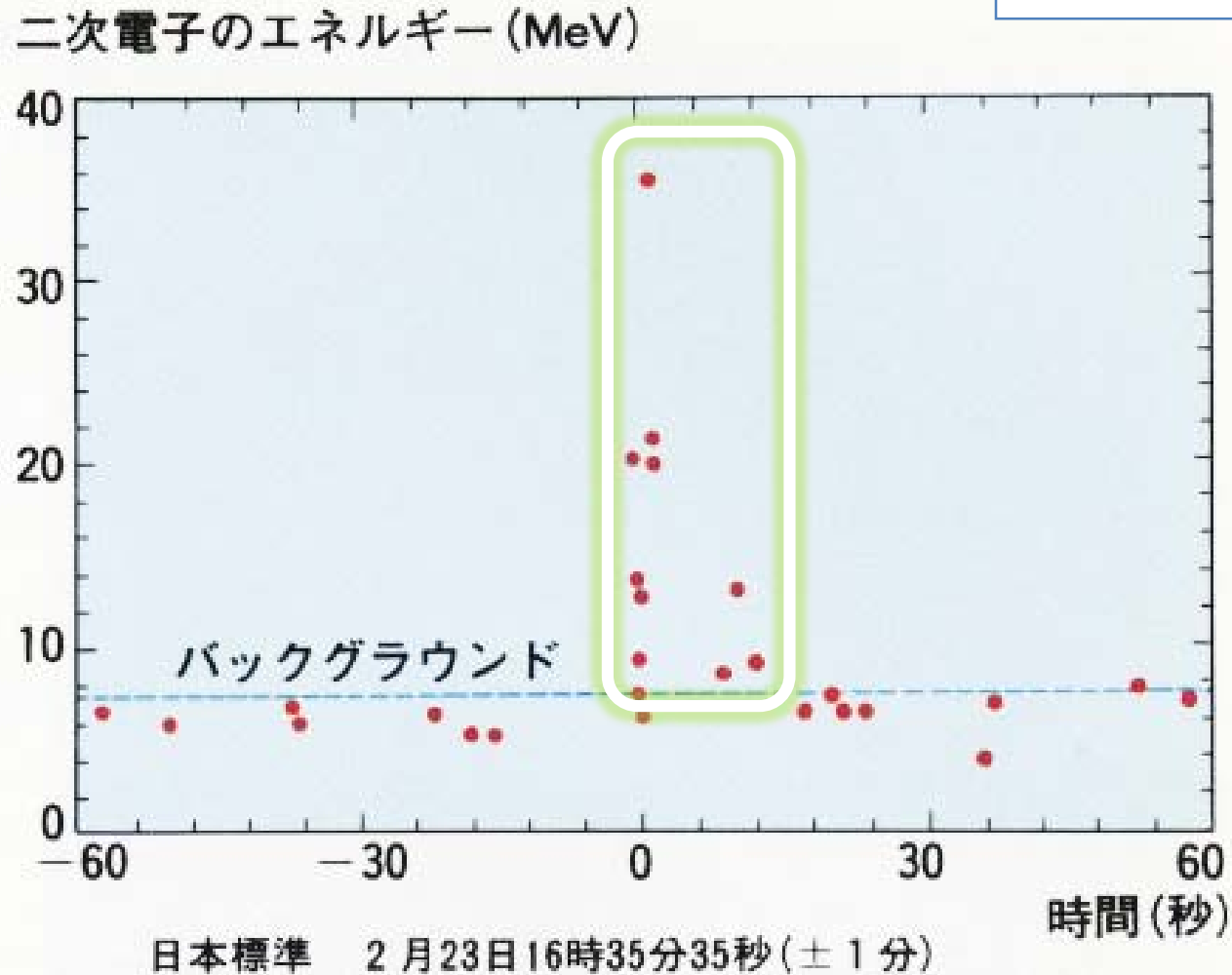


超新星SN1987A (1987年2月23日)

超新星爆発の謎の解明



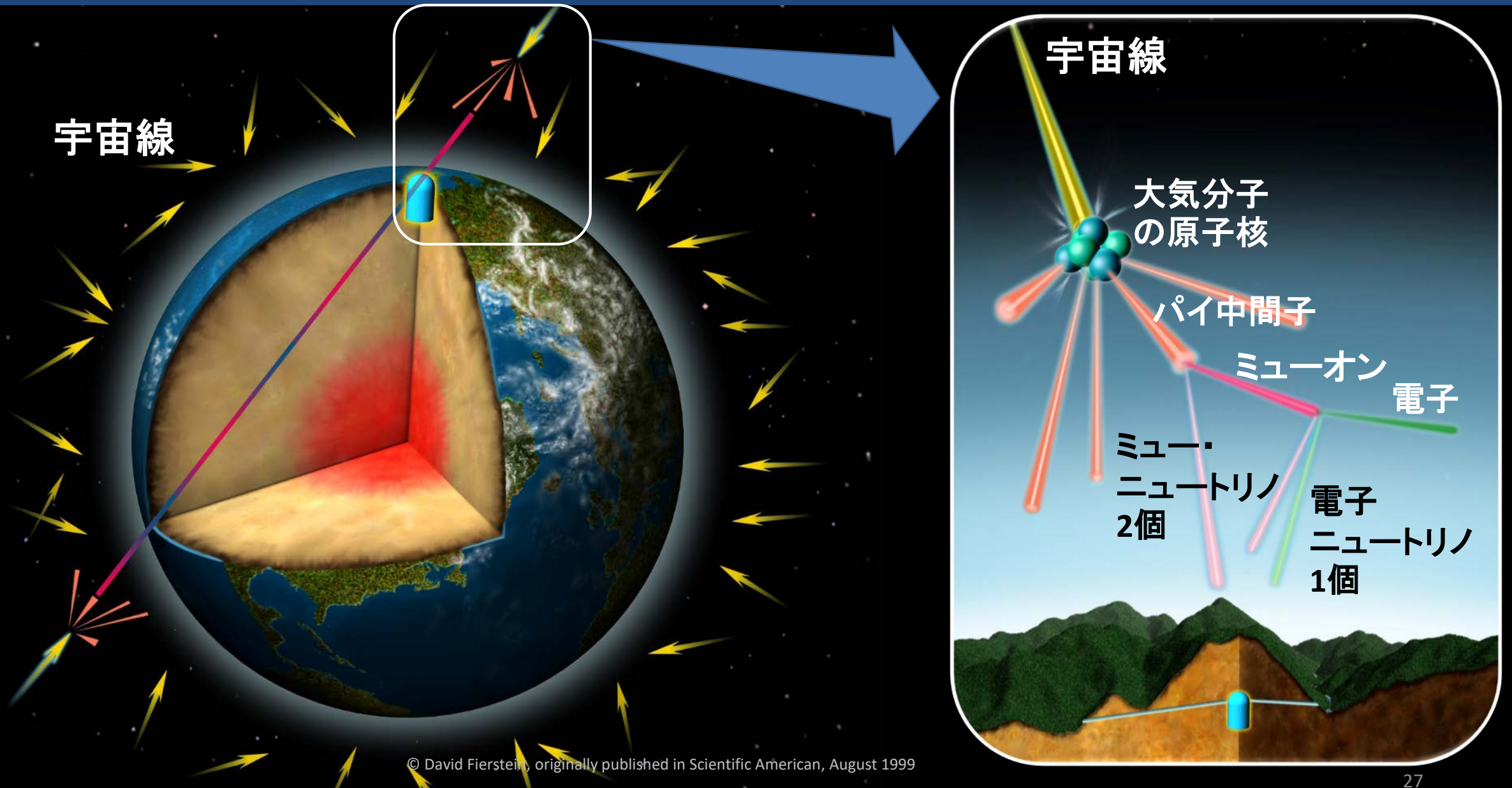
水を抜いたカミオカンデの内部(1984年頃)



→ ノーベル賞
(小柴先生、
2002年)

大気ニュートリノの異常

大気ニュートリノ

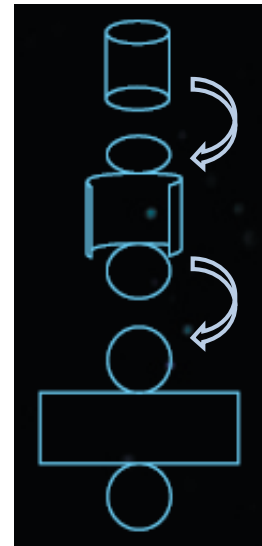


© David Fierstein, originally published in Scientific American, August 1999

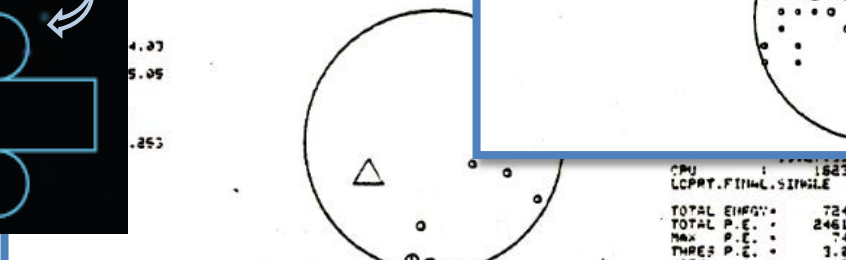
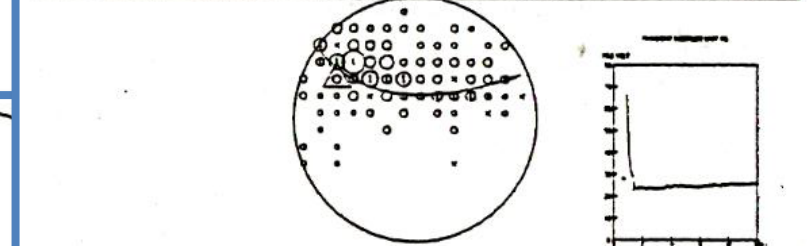
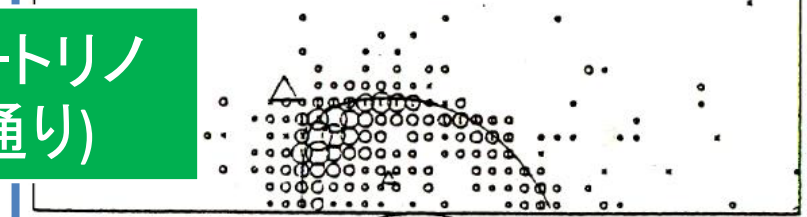
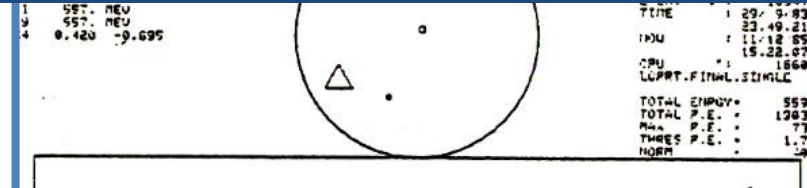
1986年頃

- 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



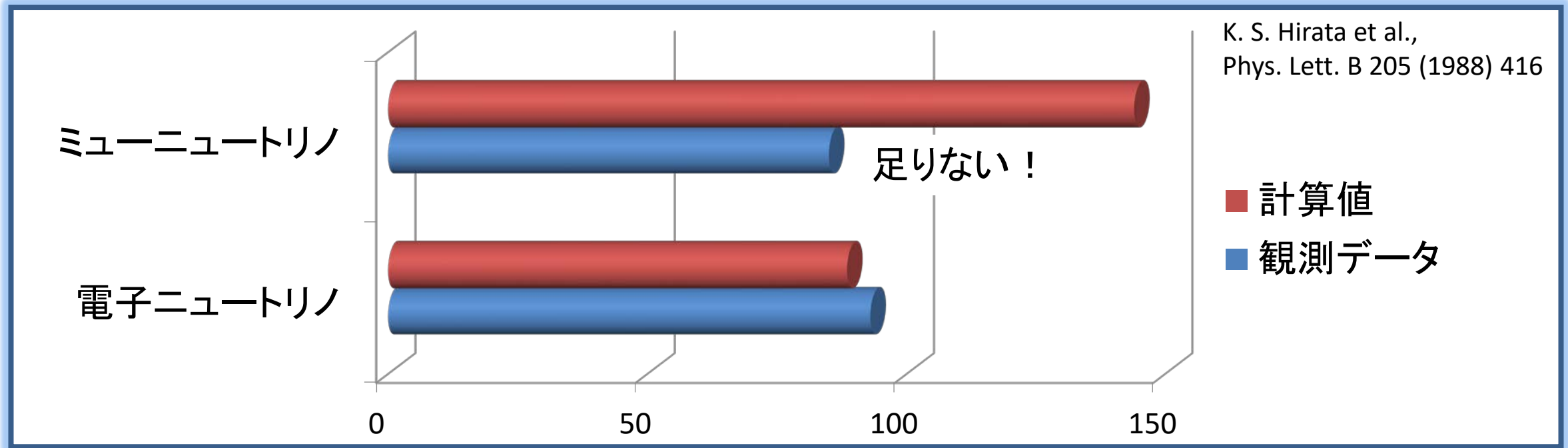
電子ニュートリノ
(OK, 予想通り)



ミューニュートリノ
(足りない)

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。



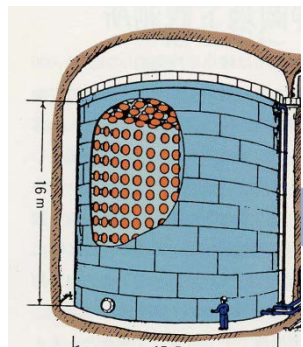
参考: 当時の思い:

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なりました。

研究者としてはこのころが一番楽しかったです。

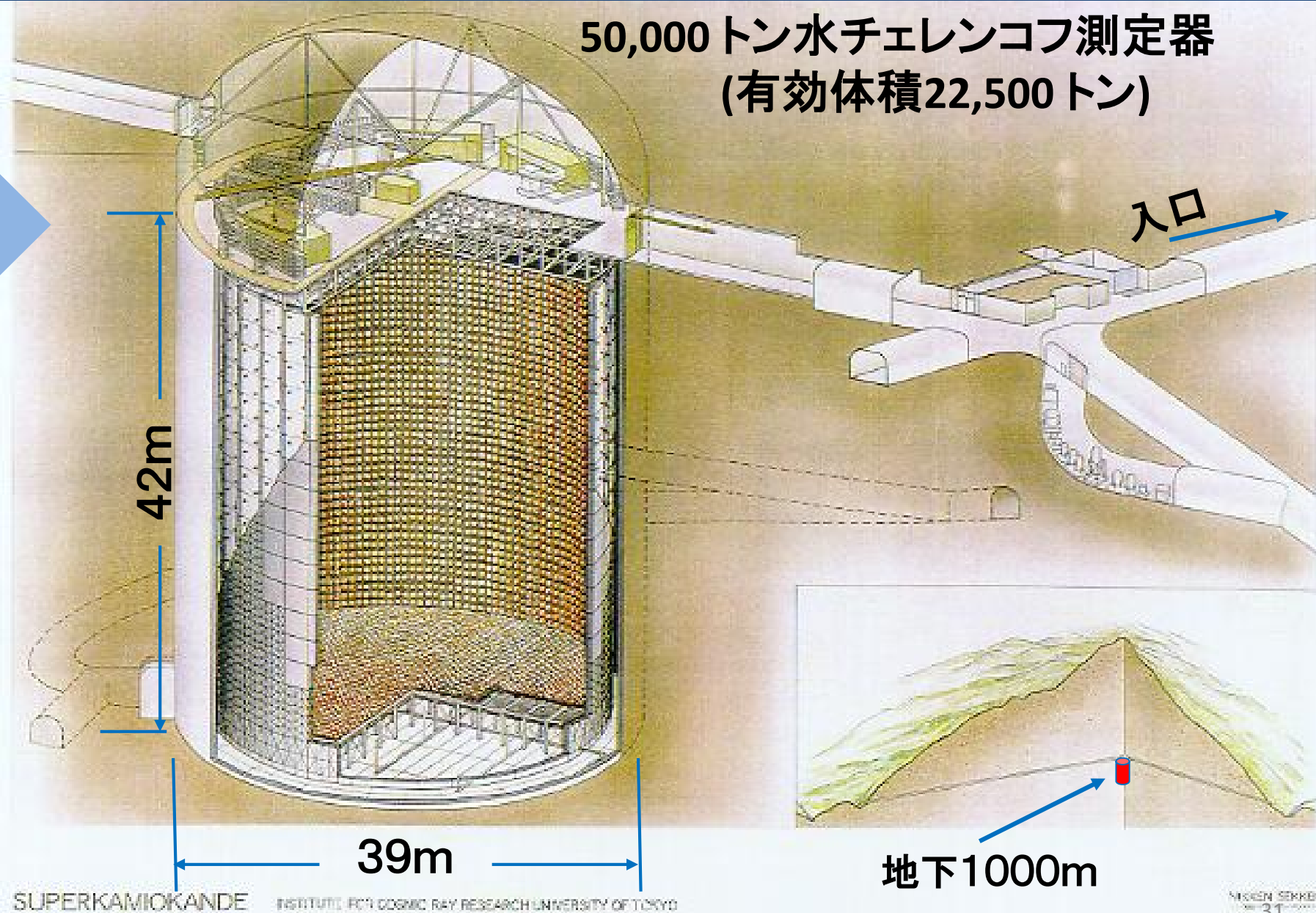
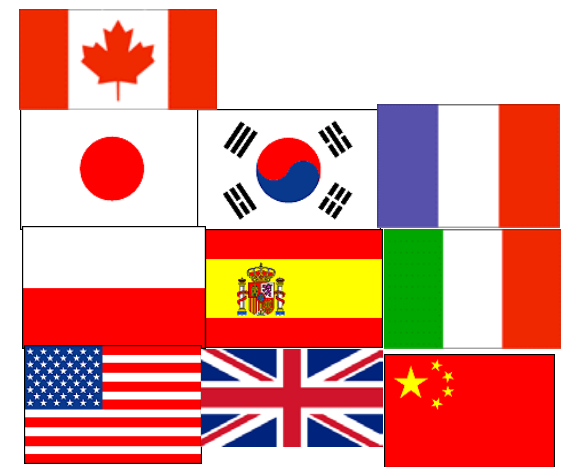
ニュートリノ振動

スーパーカミオカンデ測定器



約20倍の大きさ

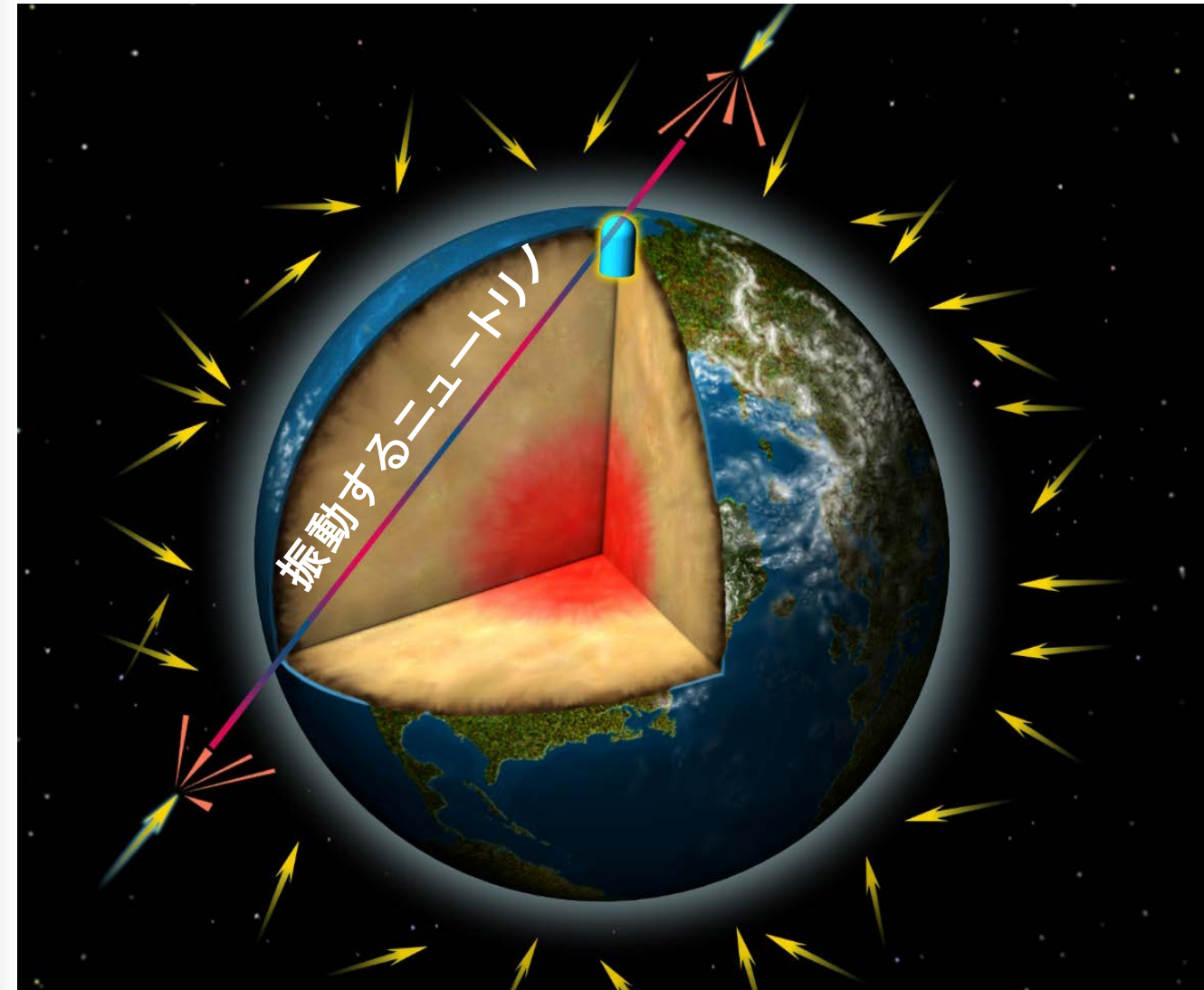
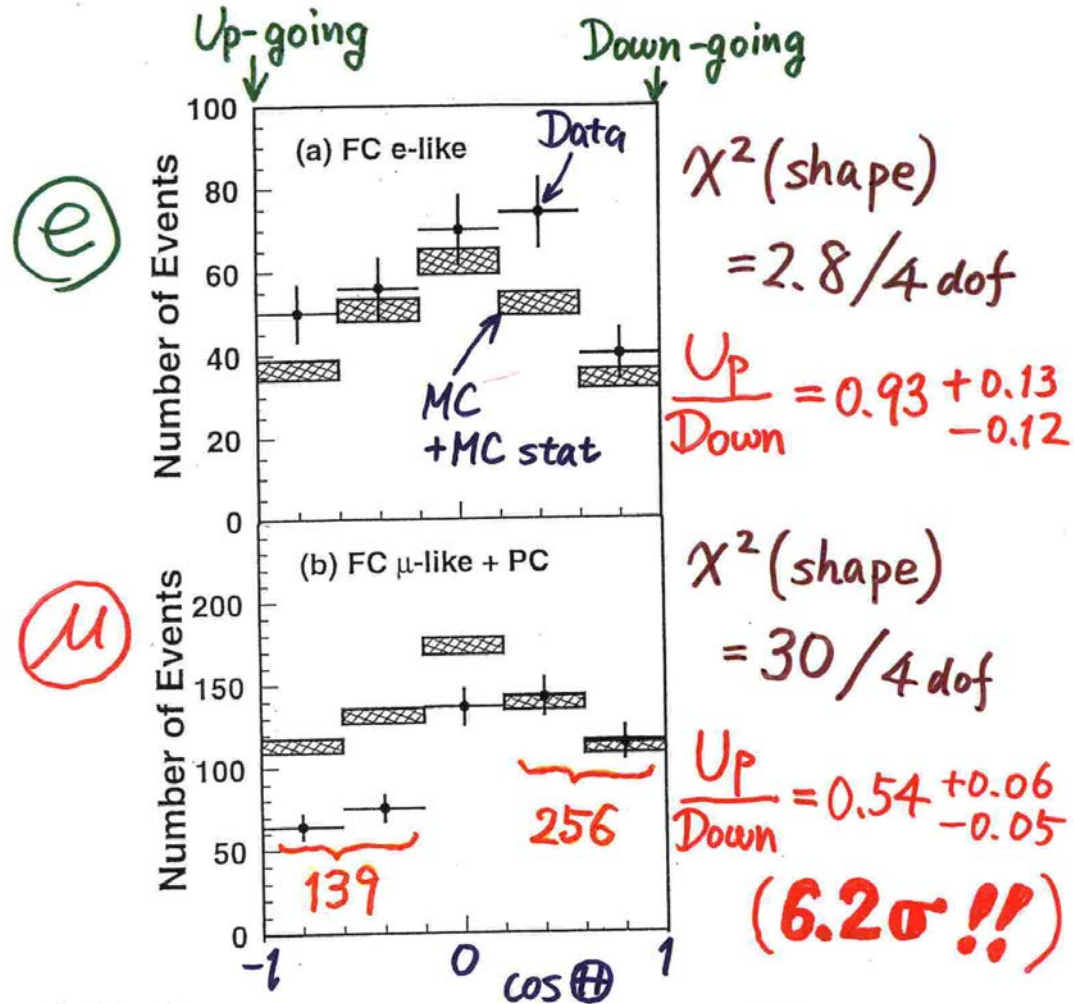
~160人の共同研究



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)



今の研究

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、自分の興味(と能力)に従って、自分のやりたい研究ができる研究室を選ぶのがよいと思います。
- 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。よい研究室を選んでください。