

SINCE 1996



Super-Kamiokande  
30th Anniversary

Kamioka Observatory, Institute for Cosmic Ray Research,  
The University of Tokyo  
Super-Kamiokande Collaboration

# スーパーカミオカンデ

Super-Kamiokande 30th Anniversary

1996 – 2026

宇宙ニュートリノ研究部門  
関谷洋之

2026年5月23日  
富山国際会議場



スーパーカミオカンデ観測30周年記念シンポジウム  
Symposium for the 30th Anniversary of Super-Kamiokande



UTokyo

Message from the President of the  
University of Tokyo

Super-Kamiokande 30th Anniversary Symposium

506

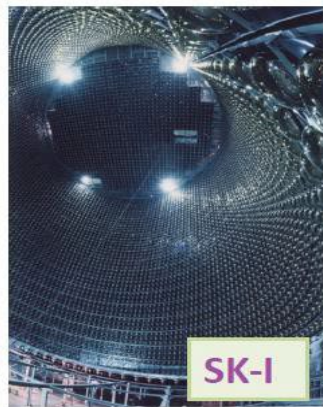
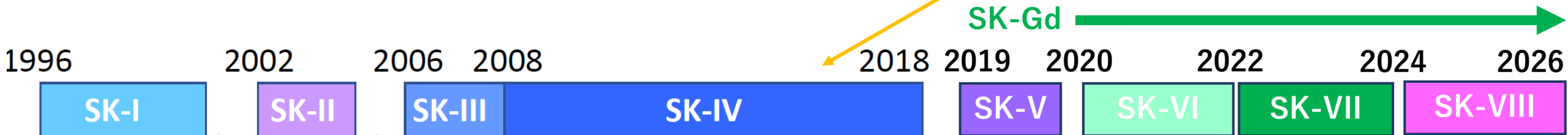


# Super-Kamiokande History

ニュートリノ振動発見の歴史と今後の発見に向けて

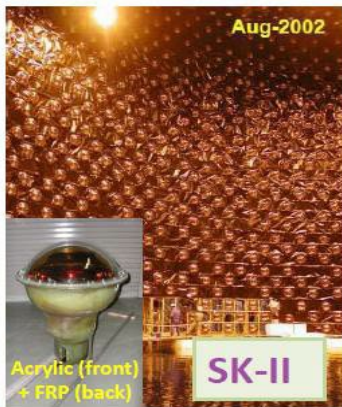


Takaaki Kajita  
梶田隆章  
ノーベル賞(2015)  
Nobel Prize



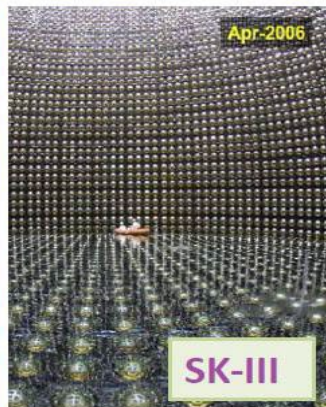
SK-I

Discovery of atmospheric  $\nu$  oscillation  
大気ニュートリノ振動の発見



SK-II

Discovery of solar  $\nu$  oscillation  
太陽ニュートリノ振動の発見



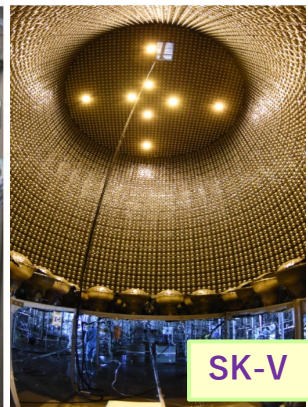
SK-III

Discovery of  $\nu$  oscillation by K2K  
K2K実験によるニュートリノ振動の発見



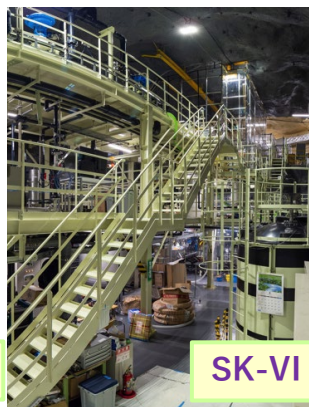
SK-IV

Discovery of  $\nu_e$  appearance by T2K  
T2Kによる電子ニュートリノ出現事象を発見



SK-V

Discovery of  $\nu_\tau$  appearance (atm.  $\nu$ )  
タウニュートリノ出現を発見(大気 $\nu$ )



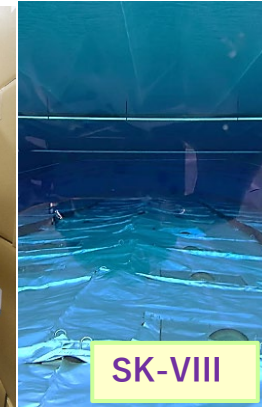
SK-VI

Discovery of day/night effect  
太陽ニュートリノ昼夜変化の発見



SK-VII

Hints of CP violation by T2K  
T2KによるCP破れの兆候



SK-VIII

Hints of DSNB flux  
超新星背景ニュートリノの兆候

# The Super-Kamiokande Collaboration

**~250 collaborators  
from 59 institutes  
in 11 countries**

Kamioka Observatory, ICRR, Univ. of Tokyo, Japan  
RCCN, ICRR, Univ. of Tokyo, Japan  
University Autonoma Madrid, Spain  
BC Institute of Technology, Canada  
Boston University, USA  
BMCC/CUNY, USA  
University of California, Irvine, USA  
California State University, USA  
University of Chinese Academy of Sciences, China  
Chonnam National University, Korea  
Duke University, USA  
Gifu University, Japan  
GIST, Korea  
University of Glasgow, UK  
University of Hawaii, USA  
Hiroshima University, Japan  
IBS, Korea  
IFIRSE, Vietnam  
Imperial College London, UK

ILANCE, France/Japan  
INFN Bari, Italy  
INFN Napoli, Italy  
INFN Padova, Italy  
INFN Roma, Italy  
Institute of Science Tokyo, Japan  
Kavli IPMU, The Univ. of Tokyo, Japan  
Keio University, Japan  
KEK, Japan  
King's College London, UK  
Kobe University, Japan  
Kyoto University, Japan  
Kyungpook National University, Korea  
University of Liverpool, UK  
LLR, Ecole polytechnique, France  
University of Minnesota, USA  
Miyagi University of Education, Japan  
ISEE, Nagoya University, Japan  
NCBJ, Poland

NIT, Nihama college, Japan  
NIT, Numazu college, Japan  
Okayama University, Japan  
Osaka Electro-Communication Univ., Japan  
University of Oxford, UK  
Rutherford Appleton Laboratory, UK  
Seoul National University, Korea  
University of Sheffield, UK  
Shizuoka University of Welfare, Japan  
University of Silesia in Katowice, Poland  
Sungkyunkwan University, Korea  
Tohoku University, Japan  
The University of Tokyo, Japan  
Tokyo University of Science, Japan  
University of Toyama, Japan  
TRIUMF, Canada  
Tsinghua University, China  
University of Warsaw, Poland  
Warwick University, UK  
The University of Winnipeg, Canada  
Yokohama National University, Japan

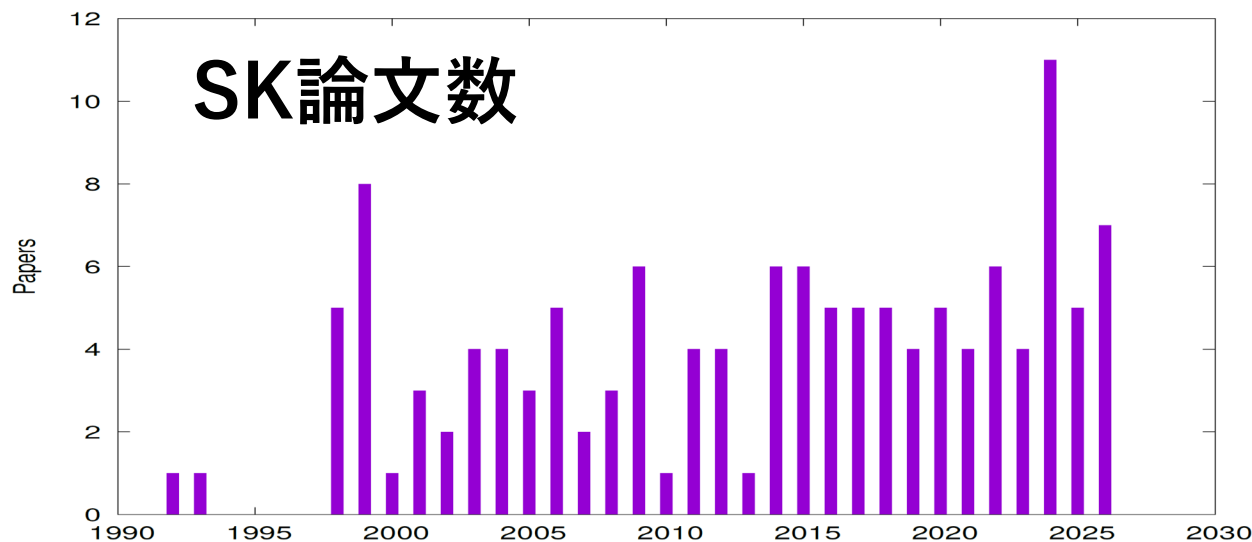
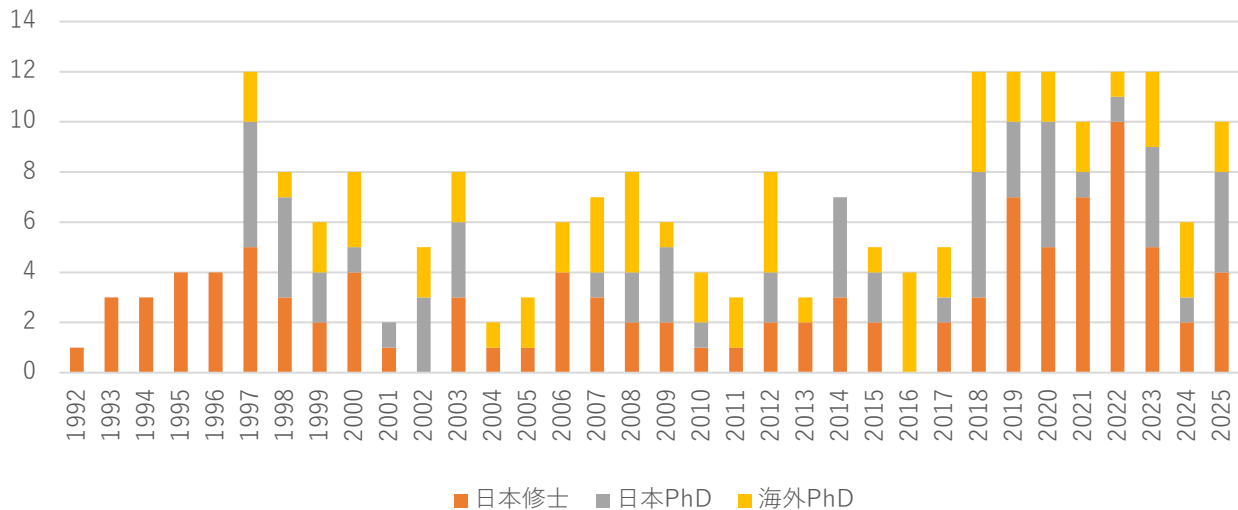


# スーパーカミオカンデの 最大の成果 = 次世代育成

学位取得 (SK だけ K2K, T2K含まず)

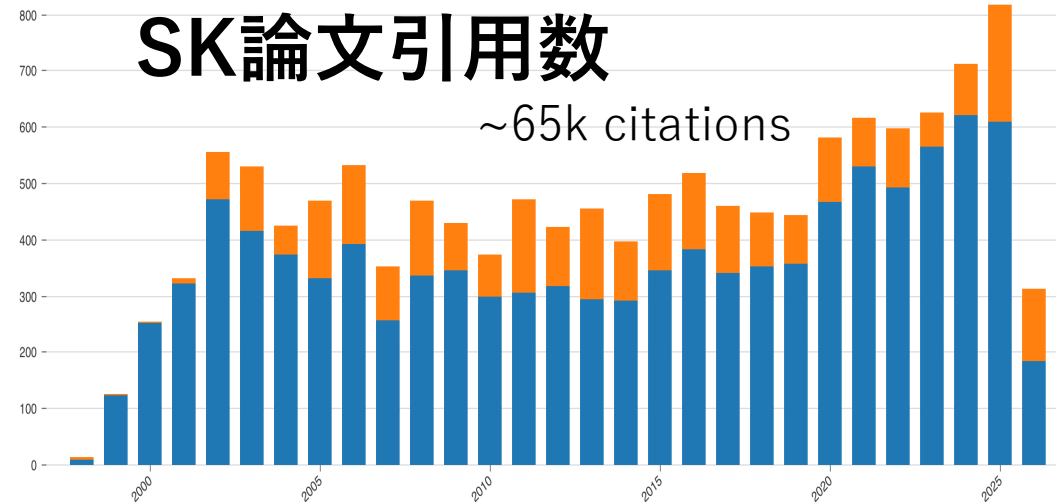
- SK-Gd Project以降 増加中
- 国内 修士102人 博士59人
- 海外 Ph. D. 60人

学位取得者数






- 計132本 2026年5月現在



- SK-Gd Project以降 5本/年 2024年は1998年を超えた
- 今も学生が数多く準備中






2026

- スーパーカミオカンデにおける超新星背景ニュートリノ探索に向けた検出器校正及び原子核反応の研究  
Study of detector calibration and nuclear interaction for the diffuse supernova neutrino background search in Super-Kamiokande  
Hamaguchi Koki, Master Thesis, Okayama University, February 2026  
[PDF](#) 
- スーパーカミオカンデにおける機械学習による画像認識を用いた大気ニュートリノ事象の分類  
Misaki Sugo, Master Thesis, Tokyo University of Science, March 2026  
[PDF](#) 
- 宇宙線ミュウオンの核破碎反応によるB-12 を用いたスーパーカミオカンデ検出器の応答の一様性および安定性の検証  
Miyu Wako, Master Thesis, Tokyo University of Science, March 2026  
[PDF](#) 

2025

- スーパーカミオカンデ-ガドリニウム実験におけるAm/Be 線源を用いた中性子検出効率の測定  
Ryusei Asaka, Master Thesis, Tokyo University of Science, March 2025  
[PDF](#) 
- スーパーカミオカンデにおける宇宙線ミュウオン測定と中空系膜モジュールを用いたラドン濃度測定  
Ren Shimamura, Master Thesis, Yokohama National University, January 2025  
[PDF](#) 

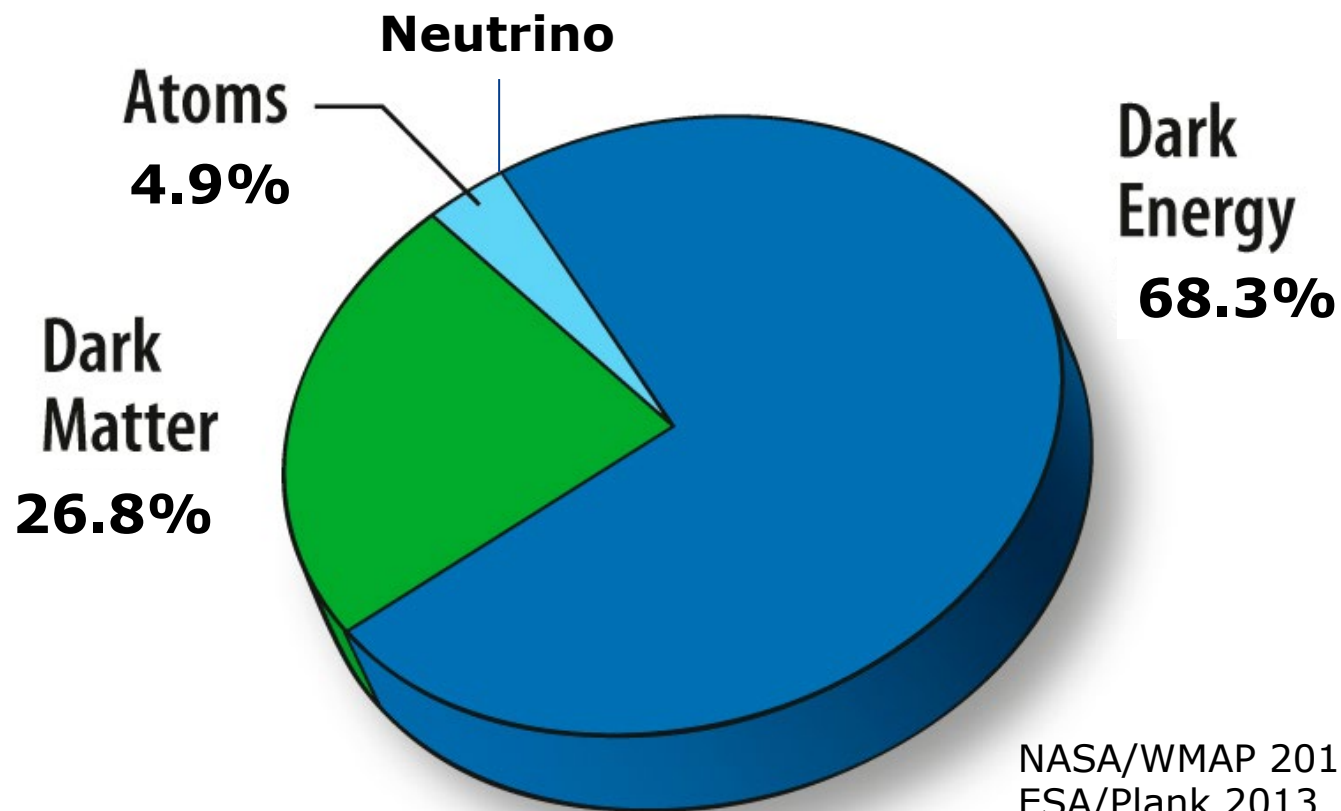
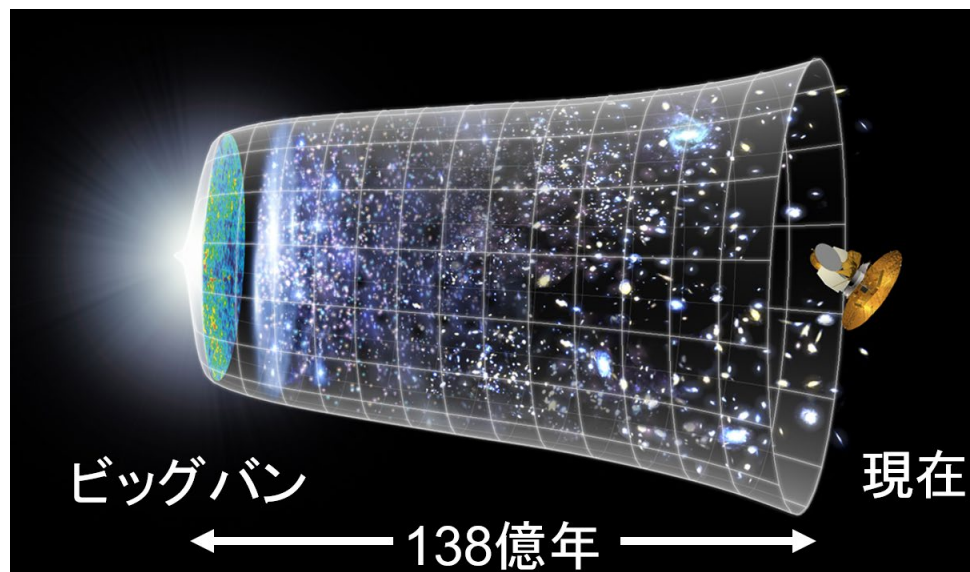
2024

- スーパーカミオカンデにおける大気ニュートリノによる中性カレント反応での入射方向再構成を用いたステライルニュートリノ探索  
Yushi Yoshioka, Master Thesis, Nagoya University, April 2024  
[PDF](#) 
- 大型水チェレンコフ検出器の光センサ応答特性を取り入れた観測精度向上研究  
Reo Okazaki, Master Thesis, Keio University, March 2024  
[PDF](#) 
- スーパーカミオカンデにおける機械学習による画像認識アルゴリズムを用いたタウニュートリノ識別手法の開発  
Tsukasa Yoshida, Master Thesis, Tokyo University of Science, February 2024  
[PDF](#) 
- スーパーカミオカンデにおける光学レーザーを用いた検出器校正と宇宙線ミュウオンの研究

# 宇宙ニュートリノ研究部門

目的 ニュートリノや他の素粒子を通して宇宙・素粒子物理学の謎を解明する

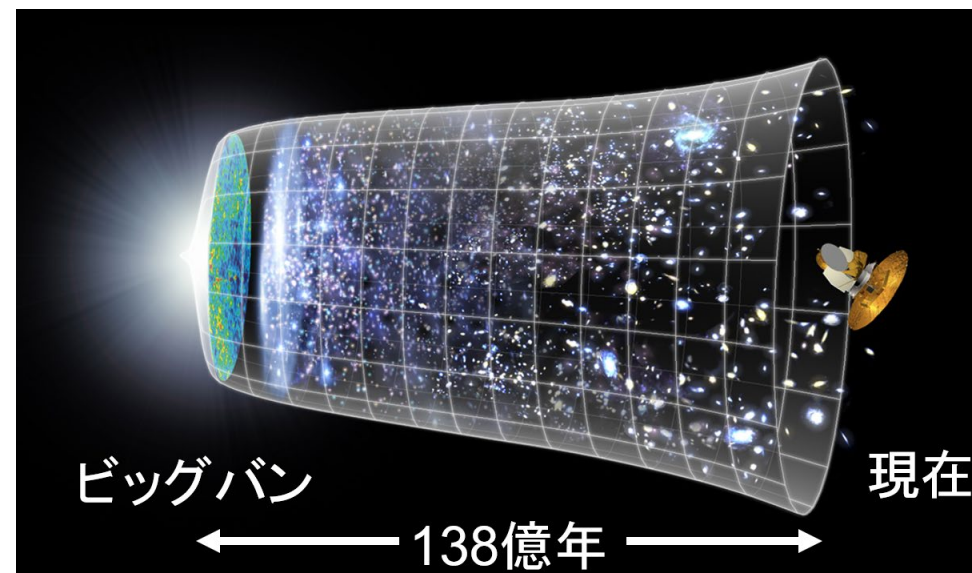
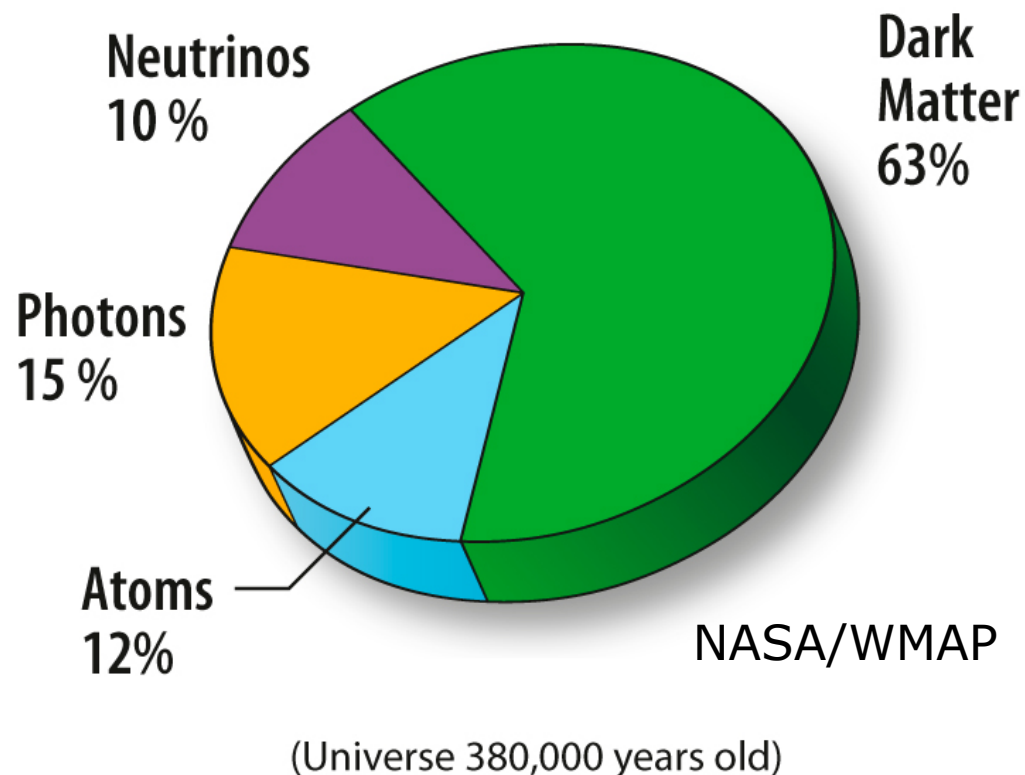
- 宇宙は何でできているのか



# 宇宙ニュートリノ研究部門

目的 ニュートリノや他の素粒子を通して宇宙・素粒子物理学の謎を解明する

- ニュートリノや暗黒物質が決定的な役割を果たしているはず



具体的な実験  
Super-Kamiokande、T2K、暗黒物質直接探索  
Hyper-Kamiokande

# 宇宙ニュートリノ部門の教員と主な研究内容

A8サブコース

神岡7名・柏1名の教授/准教授

- 神岡宇宙素粒子研究施設

塩澤	SK atm/pd	T2K HK
森山	SK atm/pd	暗黒物質 HK
早戸	SK atm/pd	T2K HK
関谷	SK LowE	暗黒物質 HK
中山	SK atm/pd	T2K HK
竹田	SK LowE	暗黒物質 HK
浅岡	HK	

- 柏宇宙ニュートリノ観測情報融合センター

伊藤	SK atm/pd	暗黒物質 HK
----	-----------	---------



塩澤



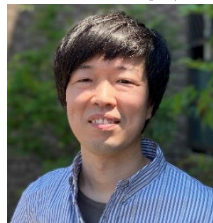
森山



早戸



関谷



中山

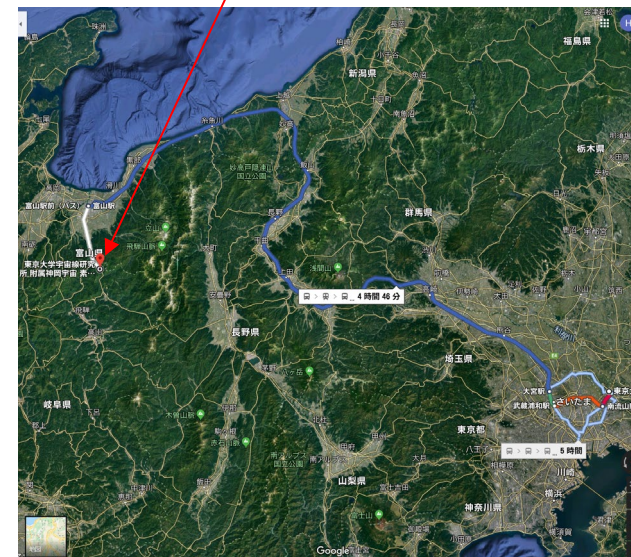


竹田



浅岡

神岡宇宙素粒子研究施設

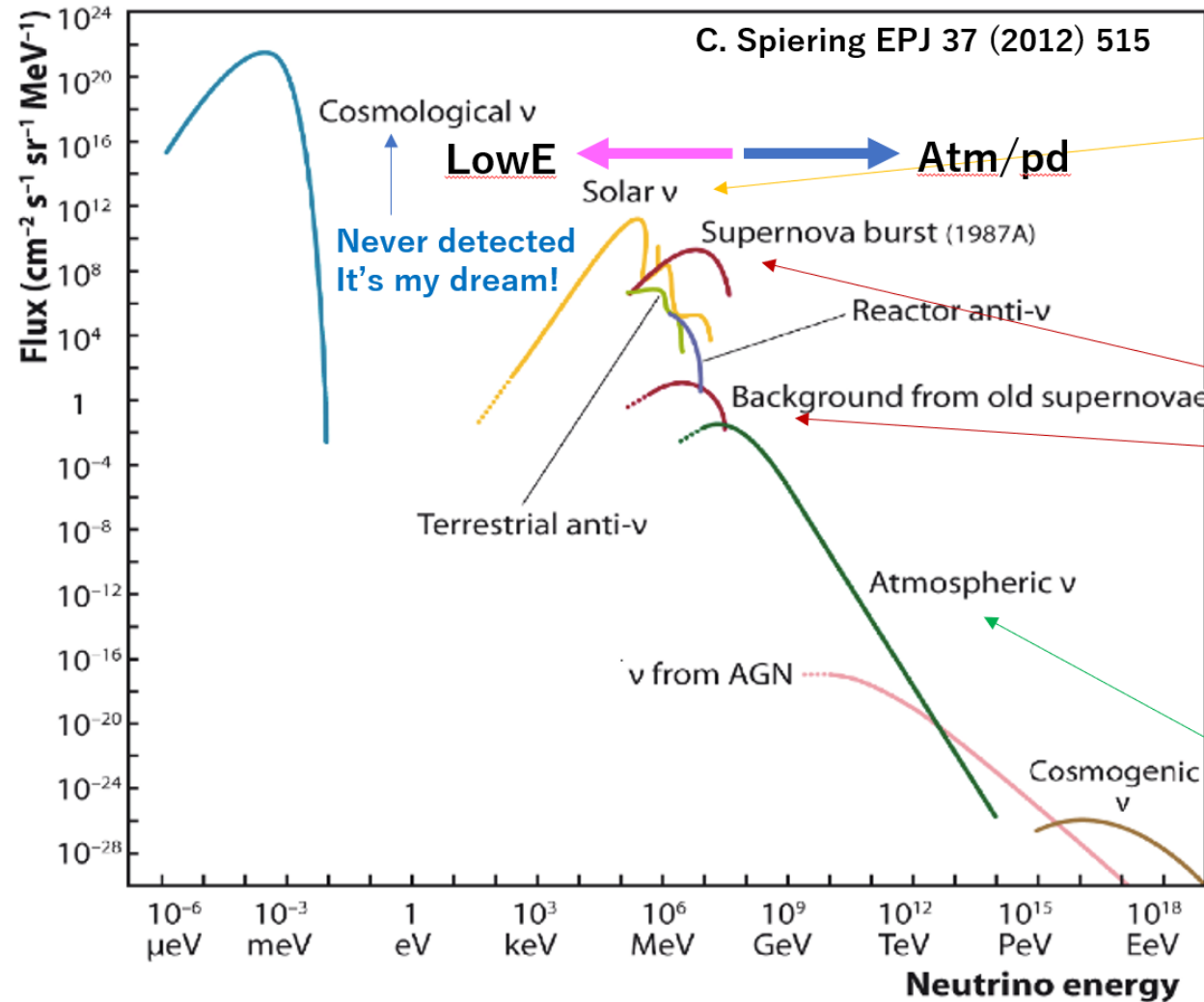


- 修士は柏が本拠地  
神岡に「通う」



伊藤

# ニュートリノフラックスと研究対象



(Energy: Kinetic energy)

## Solar neutrinos

3.5 ~ 20 MeV

~15 events/day

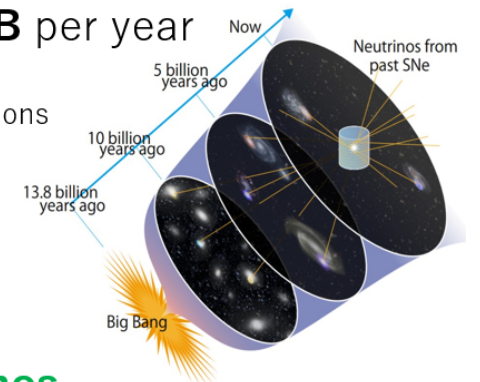
## Supernova neutrinos

A few ~ 20 MeV → **Never detected in SK**

Several thousand events (for 10kpc)

Expect a few **DSNB** per year

Neutrinos from past supernova explosions



## Atmospheric neutrinos

100 MeV ~ a few 100 GeV

~ 10 events/day

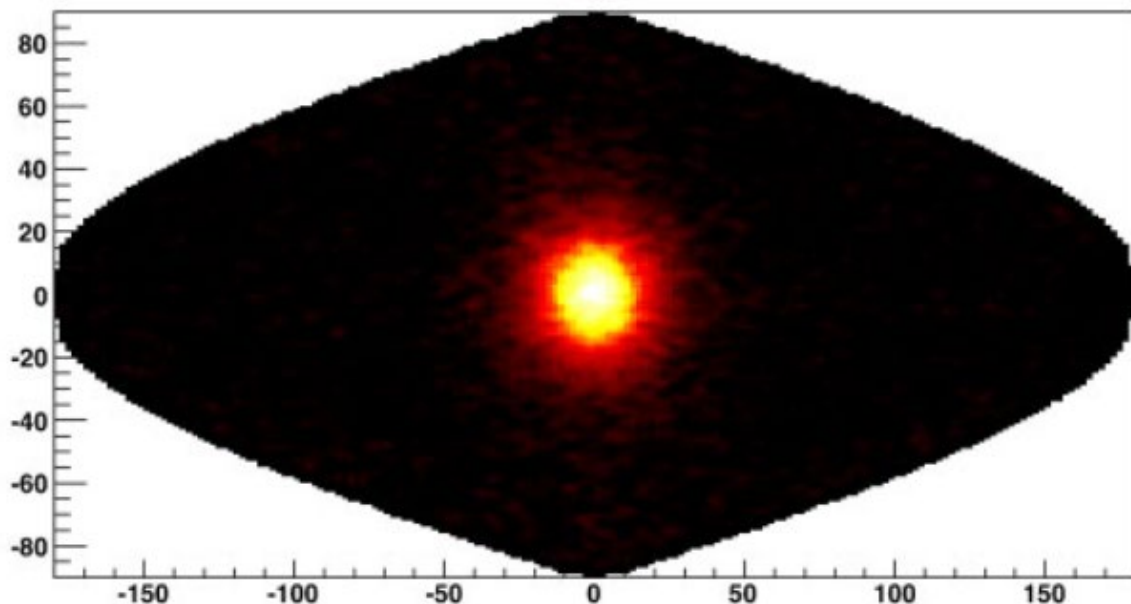
# SK LowE/astro

# ニュートリノ(素粒子)+天文学(宇宙)

## ● 太陽ニュートリノ

- 我々が使える最も強度の強いニュートリノ源
  - 地球の位置でも約660億個/cm<sup>2</sup>/s
- ニュートリノ振動研究のきっかけ

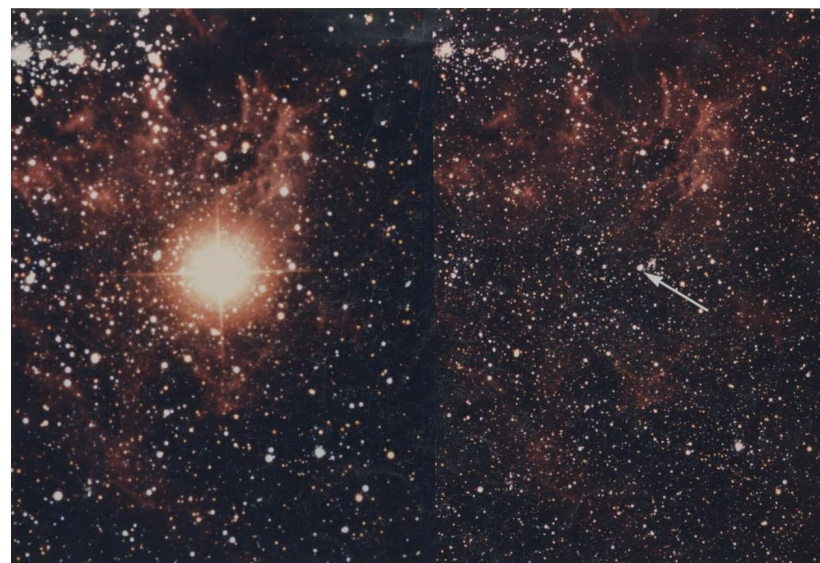
SKでとらえた<sup>8</sup>Bニュートリノによる太陽内部写真



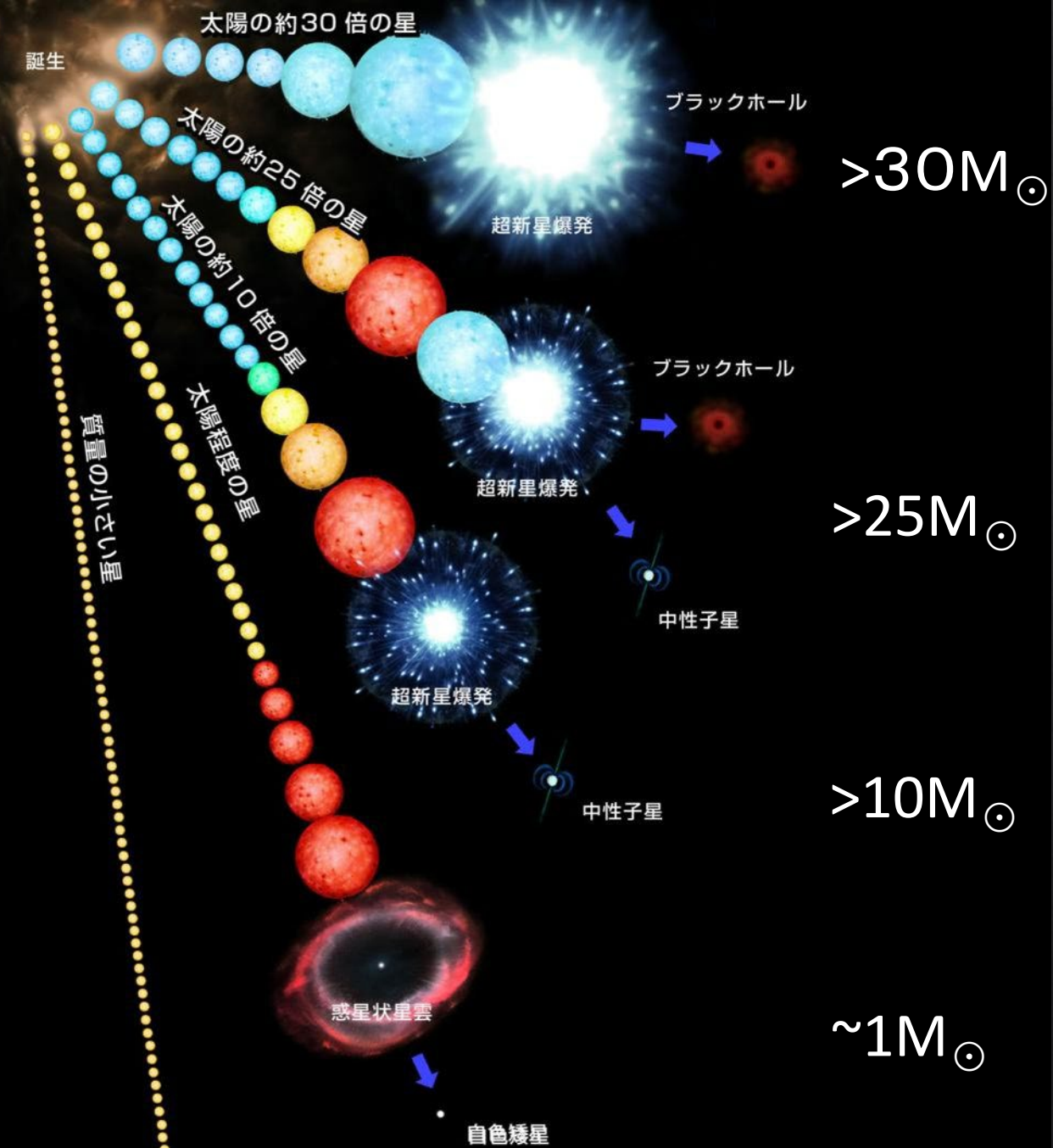
- 依然として数多くの謎(研究対象)がある

## ● 超新星ニュートリノ

- 1987年に13秒間でKamiokandeが11現象、IMBが8現象捉えたのみ。
- 19現象では爆発の詳細なメカニズムがわからなかった。
- 我々を構成する元素の起源を探る
  - 「私たちは星のかけらだった」



1987a



# 重力崩壊型超新星爆発

Core-Collapse Supernovae create Elements

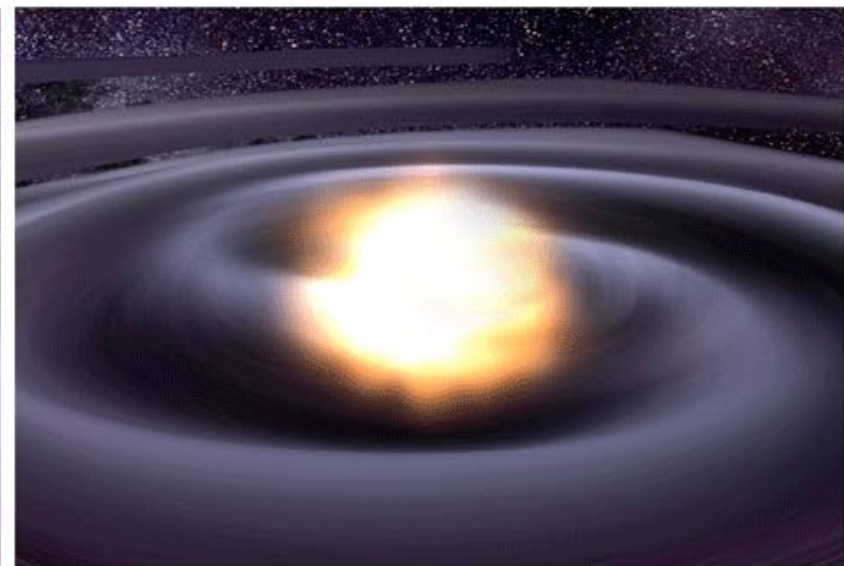
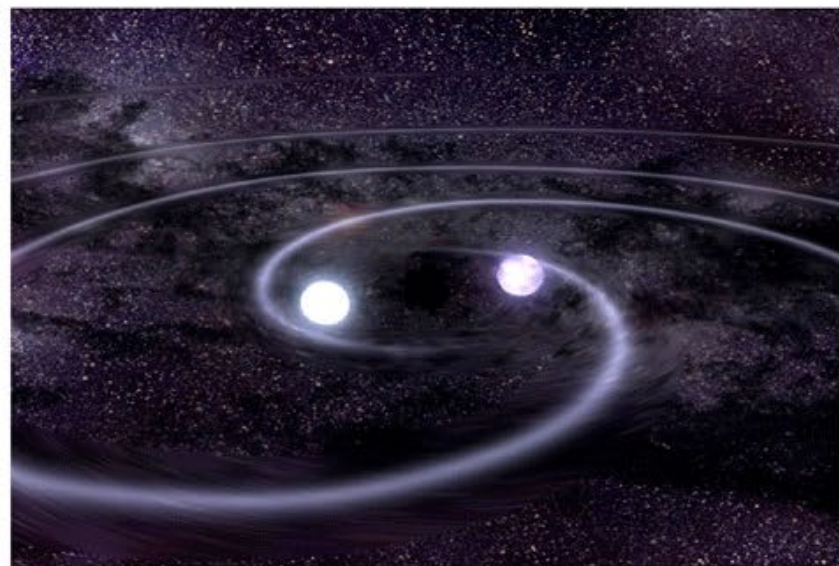
- ◇ 太陽の8倍以上の質量の星の最期  
The final stage of stars with  $M > 8M_{\odot}$
- ◇ 爆発して、ブラックホールや中性子星を生ま出す  
Birth of a Neutron Star or a Black Hole
- ◇ ニュートリノは星から外へ簡単に抜け出せるため、爆発エネルギーの99%はニュートリノが持ち出す  
99% of the total explosion energy is carried away by neutrinos.
- ◇ 普通の物質(元素)のもと!

# 重い元素は、さらにその後の中性子星の合体

The Origin of Heavy Elements: Neutron Star Merger

- ◇ 金、銀、レアメタルなどなど  
Gold, silver, rare metals, etc.
- ◇ 最近、重力波の検出等で分かってきたこと。宇宙には連星系が多い。  
There are many binary systems in the universe. Gravitational waves can be observed even from great distances
- ◇ 中性子がたくさんあって、すごいエネルギー→核融合がすすむ  
Lots of neutrons and tremendous energy → nucleosynthesis
- ◇ 重力波は遠くでも観測できる。 2017年に観測 **KAGRAの観測ターゲット**

Wikipedia



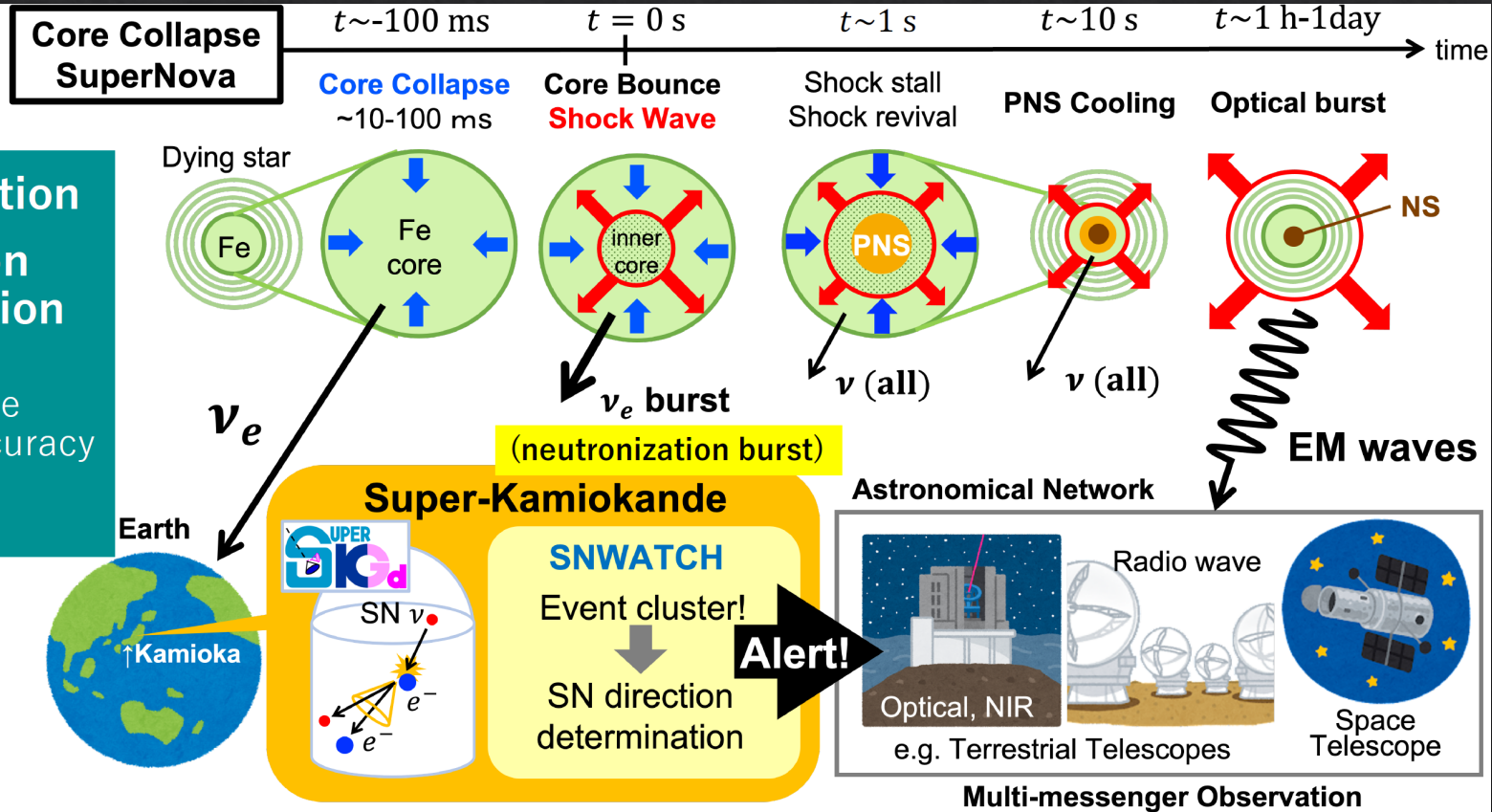
# 超新星爆発におけるSKの重要な役割

The Crucial Role of SK in Supernovae

◇ ニュートリノが一番初めに出てくるので他の光学望遠鏡へ伝える

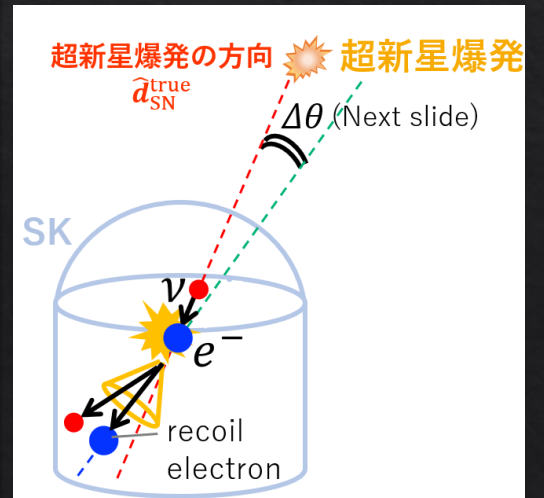
Early Warning System: Since neutrinos arrive first, SK alerts other optical telescopes.

- SN  $\nu$  detection
- SN direction determination  
with the best possible pointing accuracy
- Alert issue



SKのすごいところは  
跳ね飛ばされた電子の方向  
がわかるので 超新星爆発  
の方向がわかる。

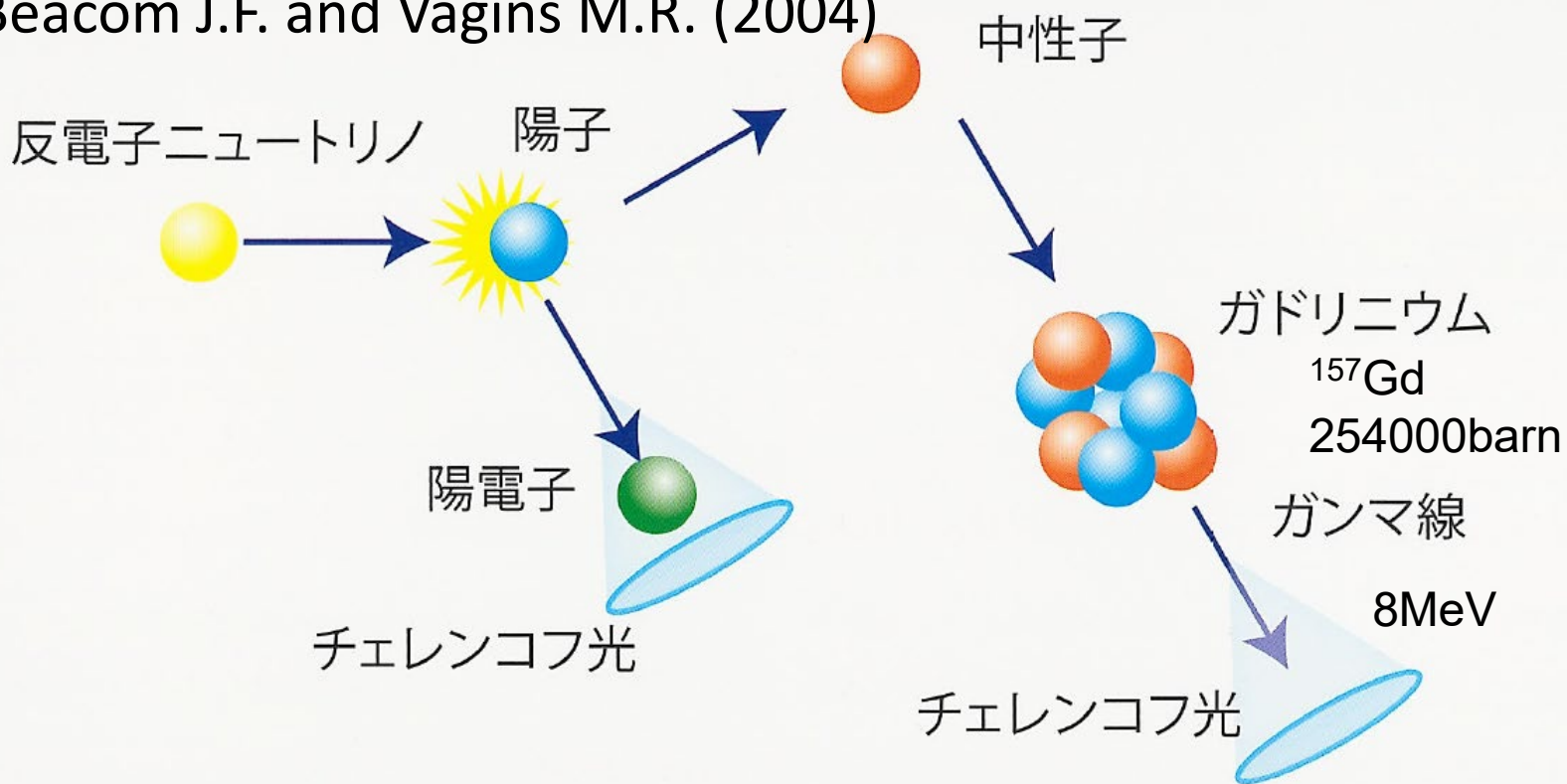
By determining the direction of the  
recoiled electrons, it can point to  
the supernova's direction.



# さらにSKを生かす提案 SK-Gd

Further Enhancing SK: The SK-Gd Project

Beacom J.F. and Vagins M.R. (2004)



ガドリウム

Gd

医療診断用MRIの画像強調剤  
熱中性子ラジオグラフィ  
(金属や植物の内部透過検査法)  
磁気冷凍に用いる磁性材料

**ガドリニウム** 157.3  
**64 Gadolinium**

元素周期表  
Periodic Table of the Elements  
自然も暮らしもすべて元素記号で書かれている

- ◇ ガドリニウムを入れることで電子ニュートリノと反電子ニュートリノが区別できる  
Adding Gadolinium (Gd) allows us to distinguish between electron neutrinos and electron antineutrinos.
- ◇ ガドリニウムの中性子捕獲反応は大きく、0.03%濃度で75%の効率となる  
As its neutron capture cross-section is large, 75% capture efficiency with just a 0.03% concentration.

# ガドリニウムの導入(2020年～2022)

Loading Gadolinium

◇ 40 ton の硫酸ガドリニウムを導入 20kgダンボール2000箱相当



コロナ禍の真っ最中 主に大学院学生  
During the pandemic period



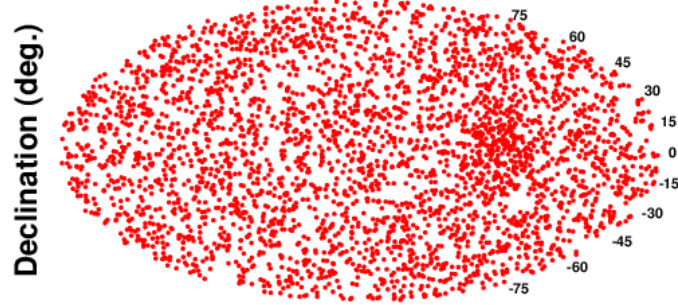
# 銀河系内で起きた超新星爆発の方向再構成のイメージ

10kpc  $M/M_{\odot} = 20, Z = 0.02 \sim Z_{\odot}, t_{\text{revive}} = 200\text{ms}$

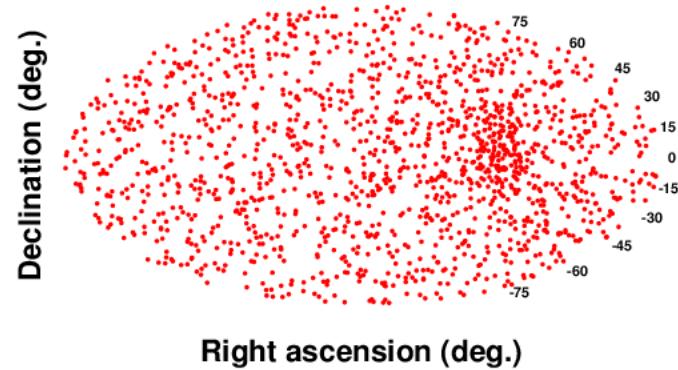
SK-IV  
純水運用時



SK-VI  
0.01%Gd濃度運用時



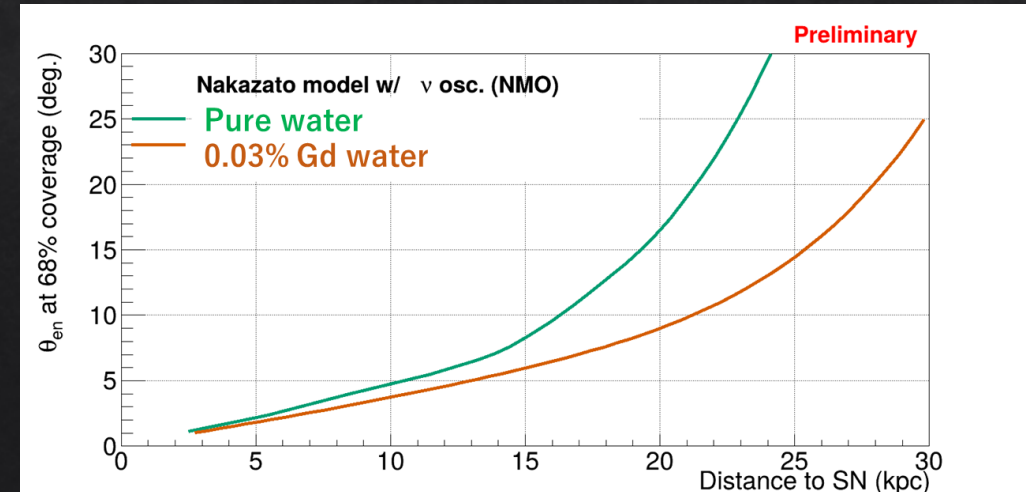
現状  
SK-VIII 0.03% Gd濃度



# ガドリニウム導入による 方向精度向上

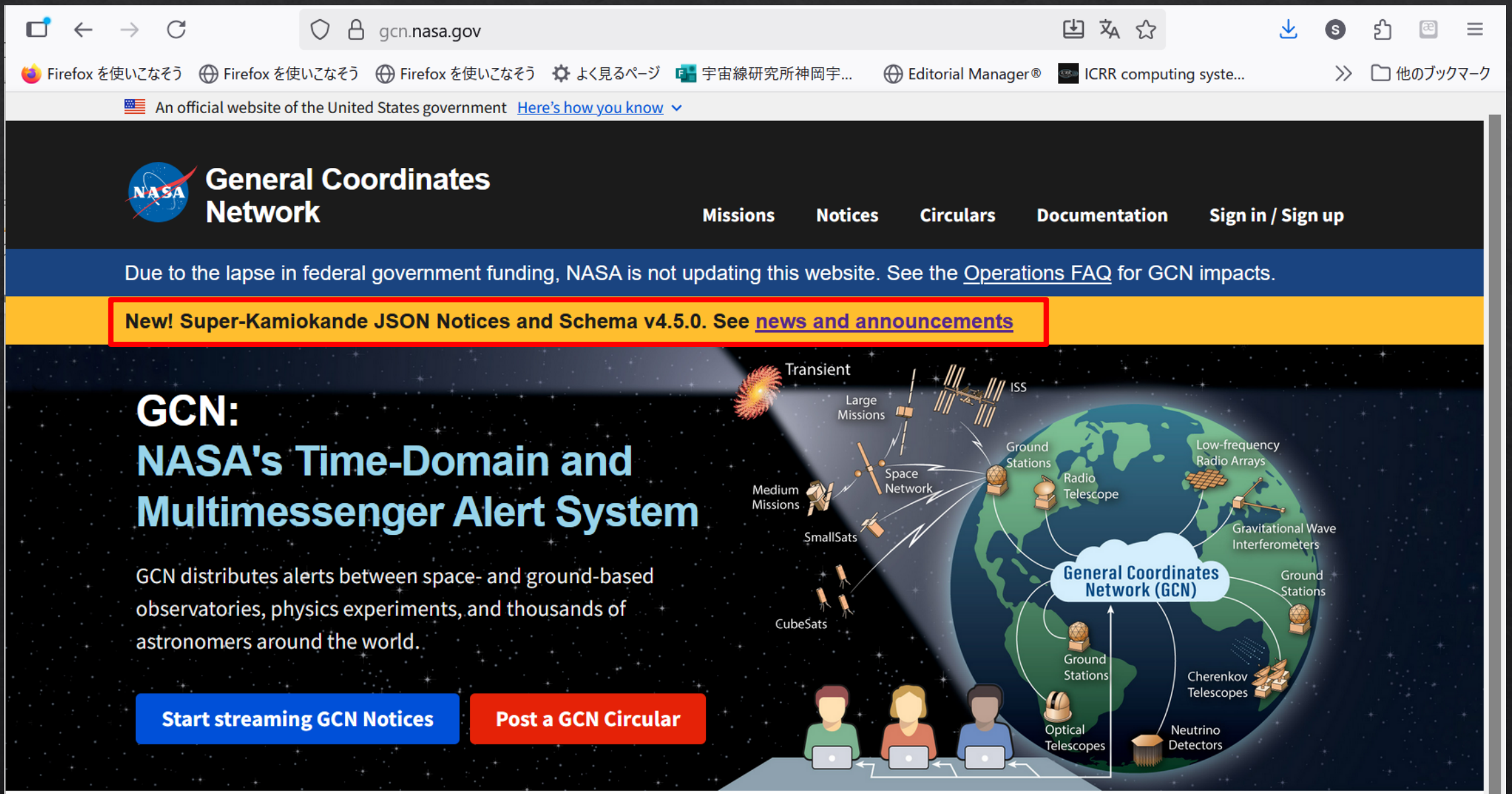
Improved Pointing Accuracy with Gadolinium

- ◇ 方向情報をもった電子との散乱を選べるようになった。
- ◇ 超新星爆発の方向決定精度が飛躍的に向上した。



The accuracy in determining the direction of a supernova explosion has dramatically improved.

# 2025年9月から新システム運用開始



Firefox を使いこなそう Firefox を使いこなそう Firefox を使いこなそう よく見るページ 宇宙線研究所神岡宇... Editorial Manager® ICRR computing syste... 他ブックマーク

An official website of the United States government [Here's how you know](#)

## General Coordinates Network

Missions Notices Circulars Documentation Sign in / Sign up

Due to the lapse in federal government funding, NASA is not updating this website. See the [Operations FAQ](#) for GCN impacts.

**New! Super-Kamiokande JSON Notices and Schema v4.5.0. See [news and announcements](#)**

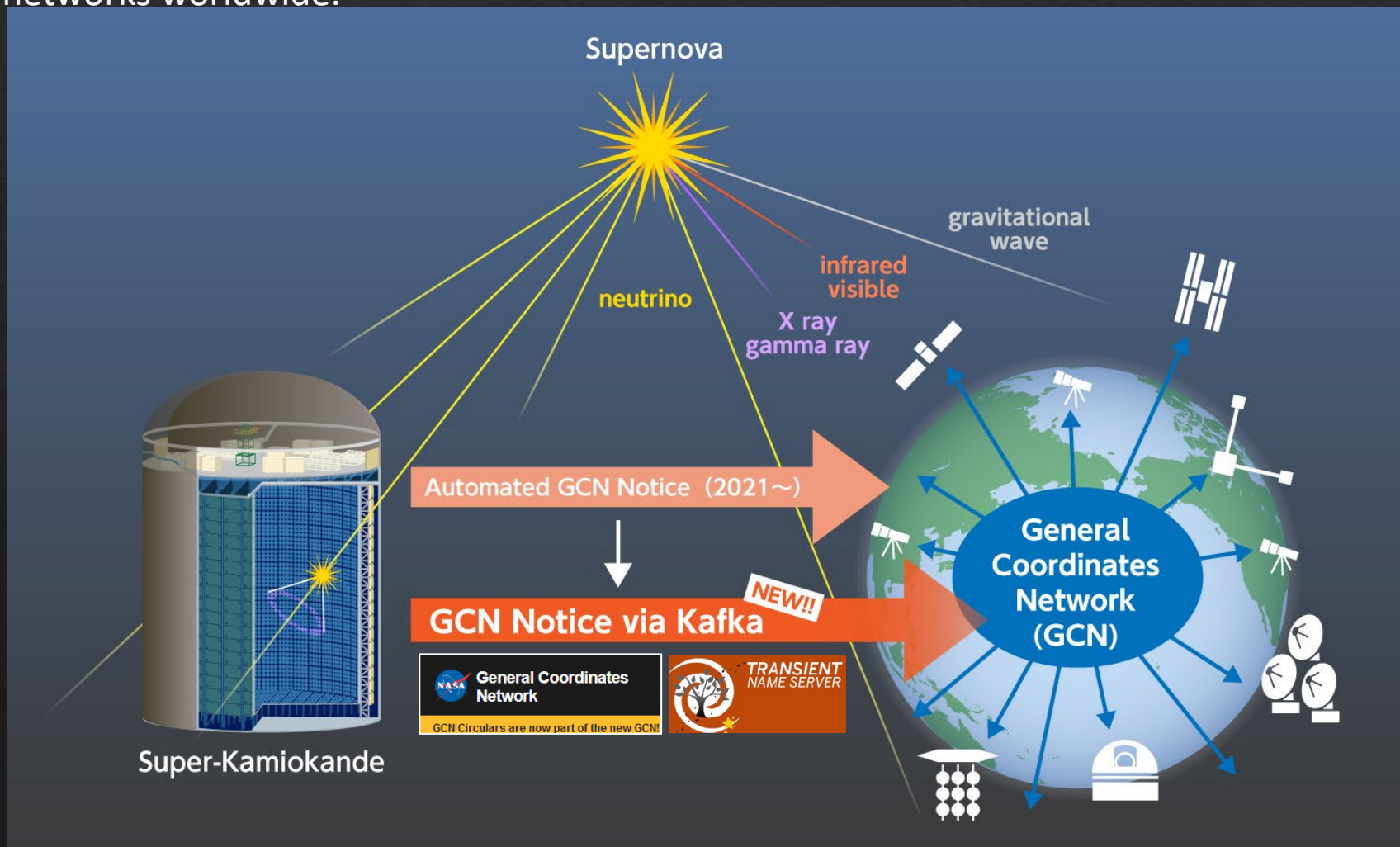
### GCN: NASA's Time-Domain and Multimessenger Alert System

GCN distributes alerts between space- and ground-based observatories, physics experiments, and thousands of astronomers around the world.

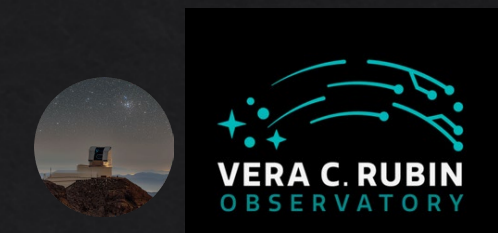
[Start streaming GCN Notices](#) [Post a GCN Circular](#)

# 2025年9月から新システム運用開始

- 90秒以内にNASA GCNに情報を送り世界の天文ネットワークに即時共有  
Transmit information to the NASA GCN server within 90 seconds and instantly share the alert with astronomical networks worldwide.



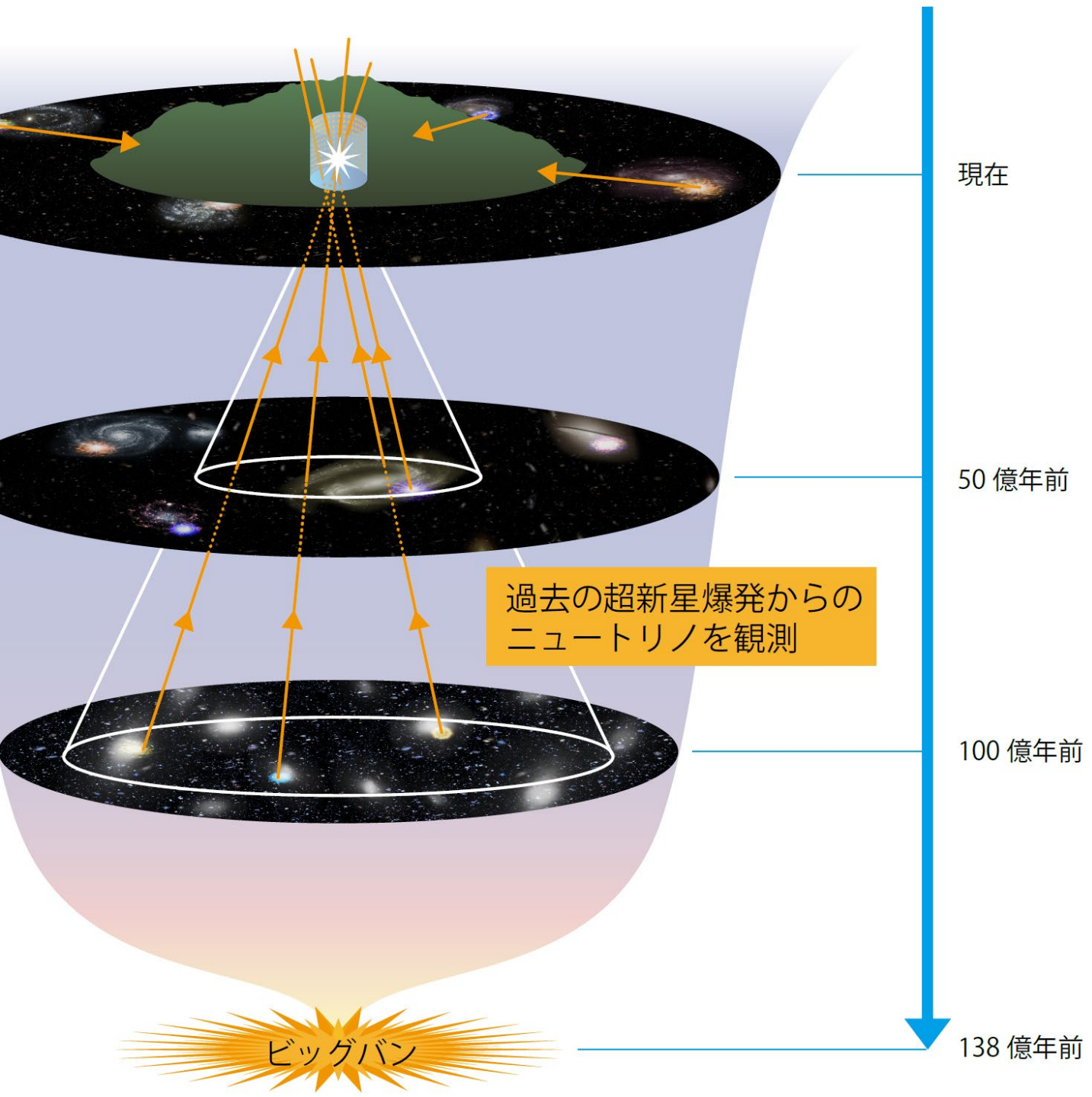
## 密な連携体制構築



# 確実に超新星爆発を観測するための協力体制 超新星マルチメッセンジャー天文学の実現へ

Collaborative Framework for Reliable Supernova Observation  
Towards the Realization of Supernova Multi-Messenger Astronomy

- ◇ 東北大学KamLANDとの同時測定による”予報”
- ◇ 東京大学木曾観測所シュミット望遠鏡 Tomo-e GOZEN とのトレーニング含めた密な連携
- ◇ 国立天文台、北海道大学、埼玉大学、東京大学、東京科学大学、名古屋大学、京都大学、兵庫県立大学、広島大学、鹿児島大学の9大学大学間連携による光・赤外線天文学研究教育拠点のネットワーク OISTER によるフォローアップ観測体制
- ◇ JAXA (+ESA+NASA) X線分光撮像衛星 XRISM 優先観測の枠組み構築
- ◇ オハイオ州立大中心の20台の望遠鏡 All Sky Automated Survey for SuperNovae ASAS-SN
- ◇ NSF-DOE Vera C. Rubin Observatory 8.4mの可視光赤外線望遠鏡
  - ◇ SKトリガー自動観測計画 日米科学技術協力事業に2026年度から2年間 採択！
- ◇ 国立天文台ハワイ観測所すばる望遠鏡とも協議中



## 過去も探す

# 超新星背景ニュートリノ

Searching the Past: Supernova Relic Neutrinos

- ◇ 宇宙には $10^{22-23}$ 個の恒星があって、そのうち現時点では $10^{17}$ 個の超新星爆発からのニュートリノが蓄積していると考えられている

→このニュートリノは、身の回りを  
1000個/cm<sup>2</sup>/sで通り抜けている

It is estimated that neutrinos from  $10^{17}$  past supernova explosions have accumulated up to the present at a flux of 1,000 / cm<sup>2</sup> / s.

- ◇ 太陽ニュートリノ(電子ニュートリノ)は1兆個/cm<sup>2</sup>/s

- ◇ 反電子ニュートリノを探すとよい。

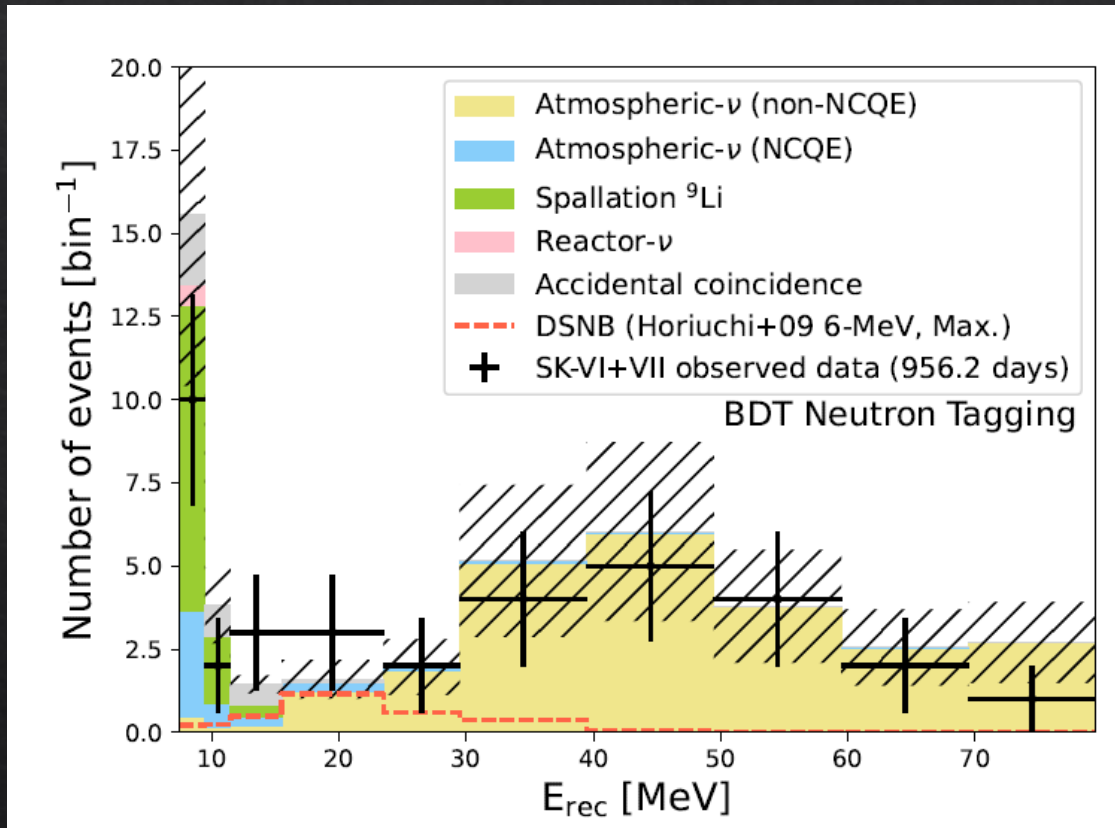
- ◇ SK-Gdで飛躍的に感度が高まった！

We should search for electron antineutrinos.

Sensitivity has dramatically increased with SK-Gd!

# ガドリニウム導入後956日のデータ

Data from 956 Days After Gadolinium Introduction



黒: データ

赤点線: 理論(堀内モデル)予想

その他の色: バックグラウンド予想

統計的に明確な信号とはみとめられないが、兆候？

Not yet recognized as a statistically signal, but a hint?

さらに700日のデータを追加した解析を実施

さらに観測をつづけ兆候から証拠へ！

Currently analyzing an additional 600 days of data.

Continuing observations...from a hint to an evidence!

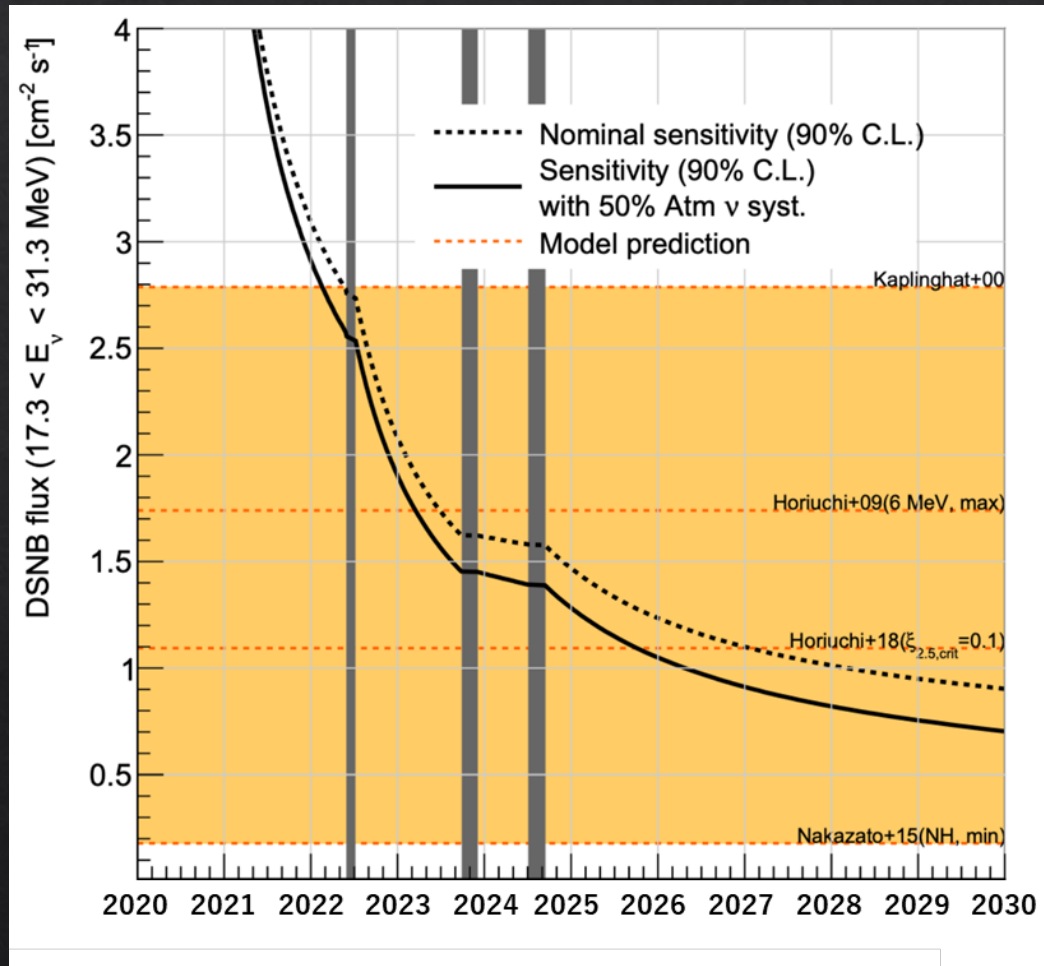
Astrophysical Journal (2026)  
accepted

# 今後の超新星背景ニュートリノ探索

Future Search for Supernova Relic Neutrinos (DSNB)

M. Harada

(Signalがないとした)  
Sensitivity 90%CL



黒線:  
SK探索の感度  
オレンジ:  
様々な理論で予想される範囲

閾値を下げると共に、T2K実験や機械学習の更なる導入により大気ニュートリノBGを理解した解析を実施し、発見もしくは各モデルの検証を目指す。

地磁気補償コイルが切れてしまっていた期間「SK7.5」216日 (Live time 150日) はSK6相当の感度と仮定。実際はもっと良い。

# Super-Kamiokande LowE Group

- ニュートリノを使って天文、宇宙物理をする
- 天体を素粒子研究のためのニュートリノ源と考え実験する

アップグレードされたSKで  
大発見を目指す



関谷



竹田

午後は 宇宙線研6F大セミナー室にて

大きい実験でも、小さい実験と同じ  
神岡:現場で装置を把握して、データをとって、論文を書く

