



# Super-Kamiokande LowE/astro group

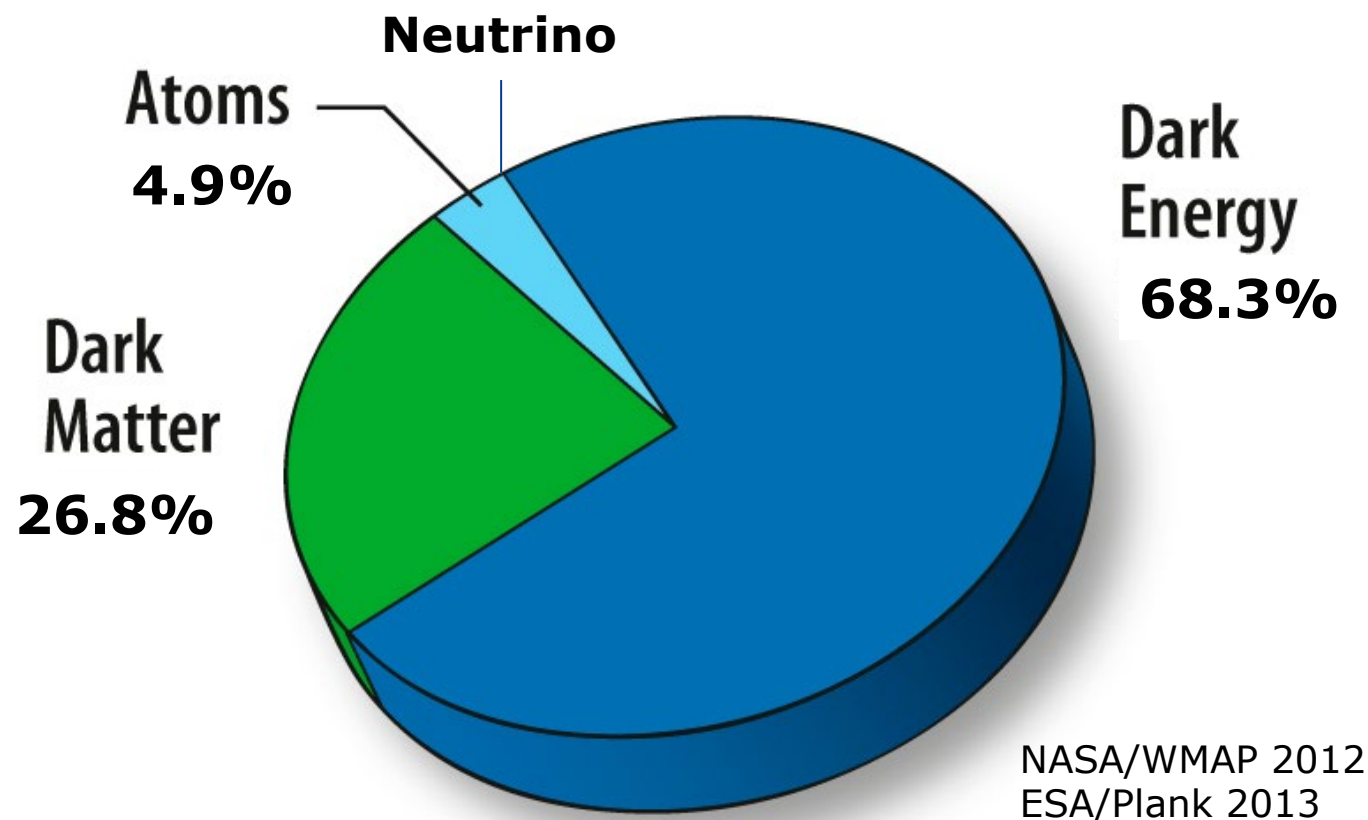
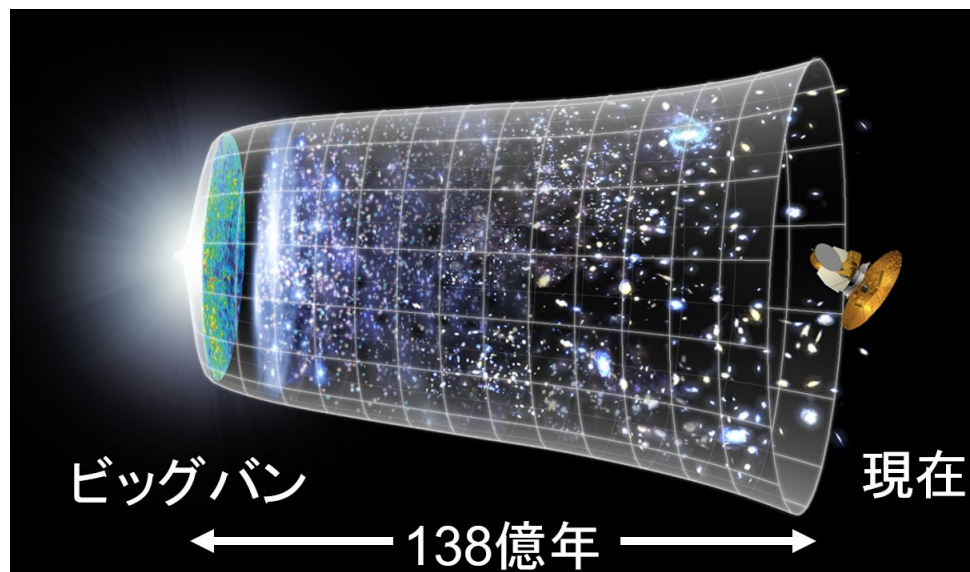


宇宙線研究所 宇宙ニュートリノ研究部門  
関谷洋之

# 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

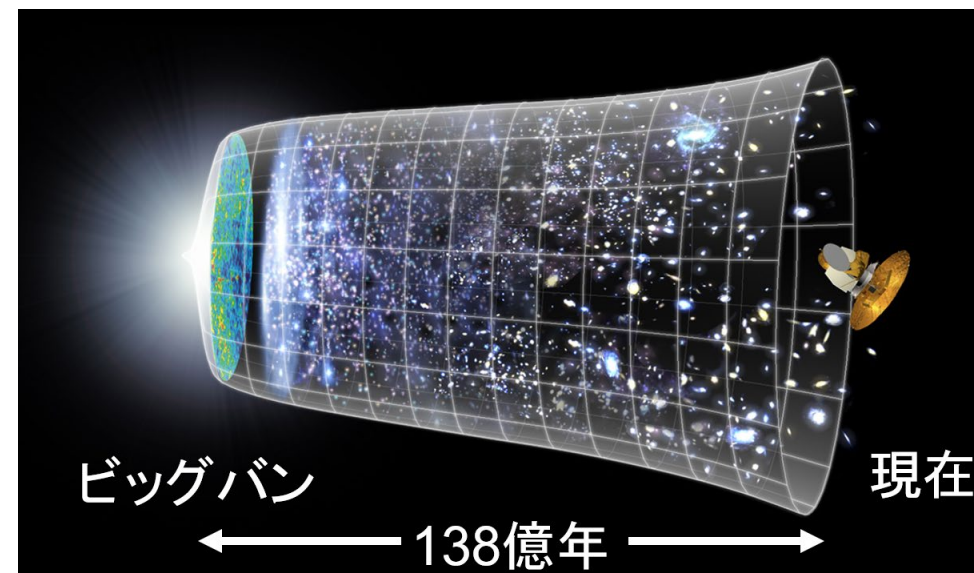
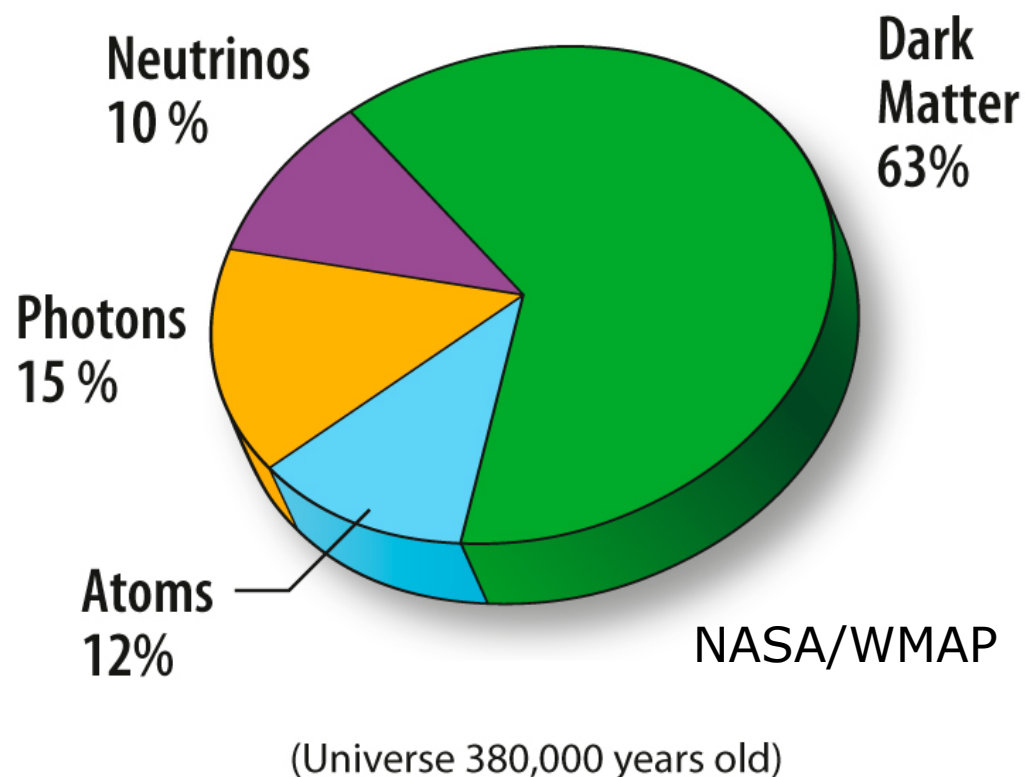
- 宇宙は何でできているのか



# 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



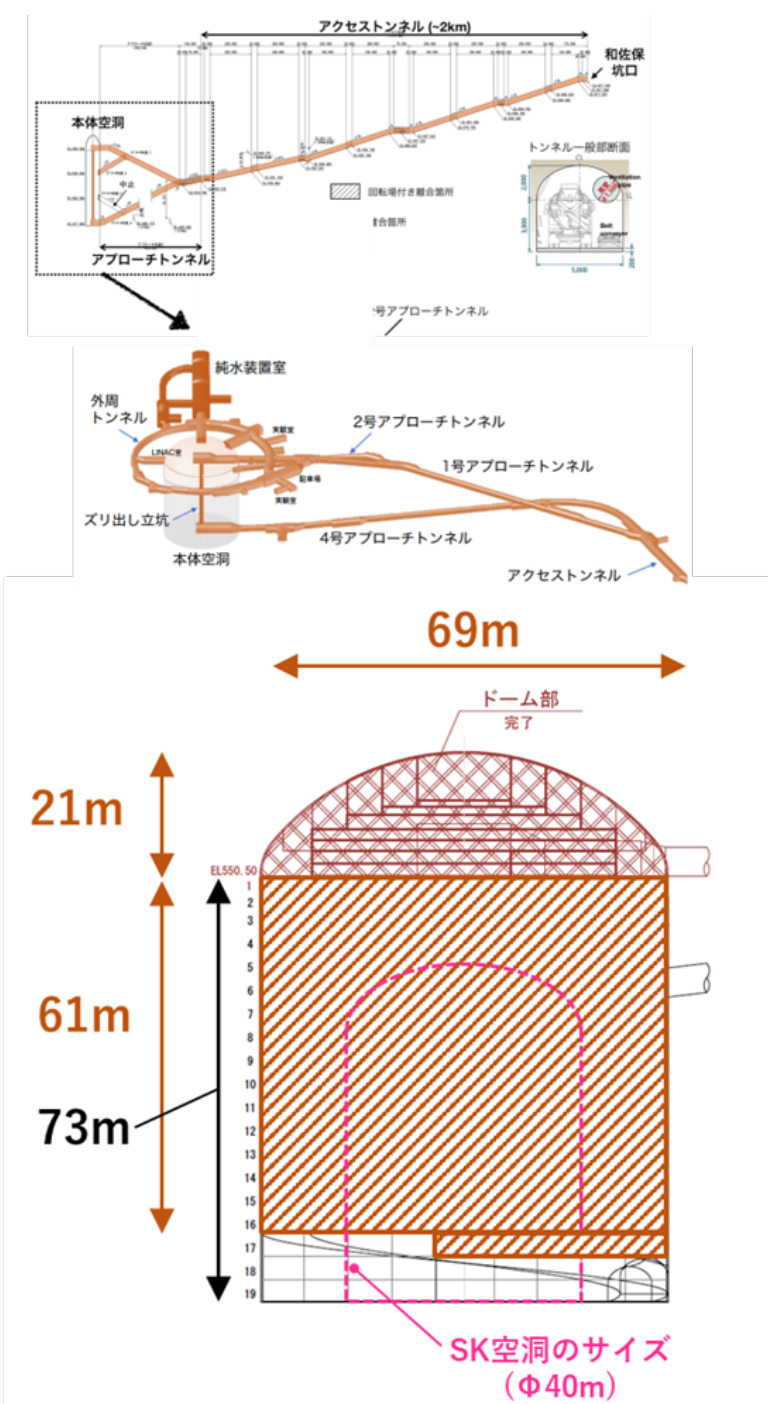
具体的な実験  
Super-Kamiokande、T2K、暗黒物質直接探索  
Hyper-Kamiokande

# Super-Kamiokande Gd Project

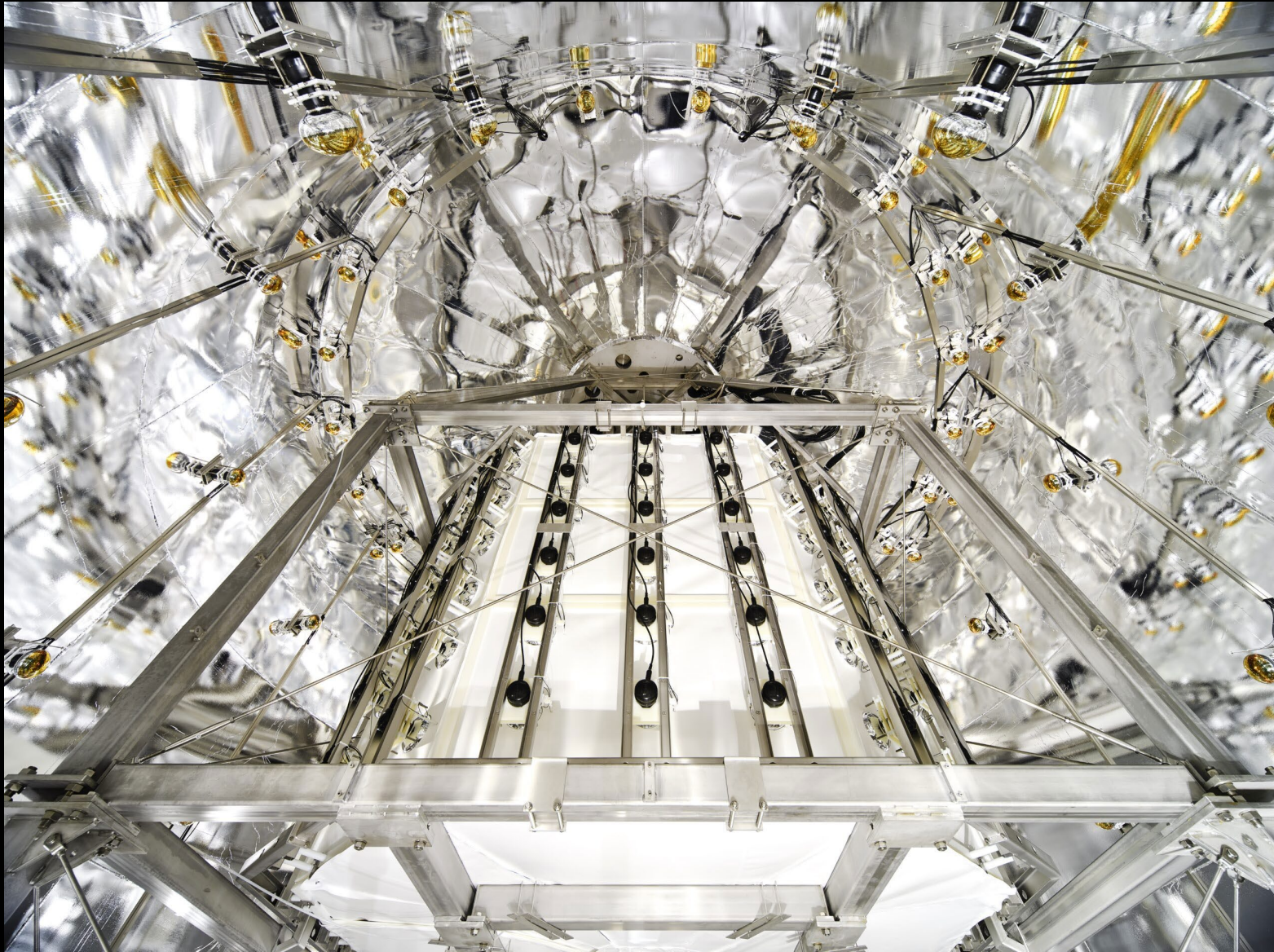
スーパーカミオカンデの大幅アップグレード  
2022年実施！

電子ニュートリノと反電子ニュートリノを区別可能に！  
超新星ニュートリノ発見を目指す

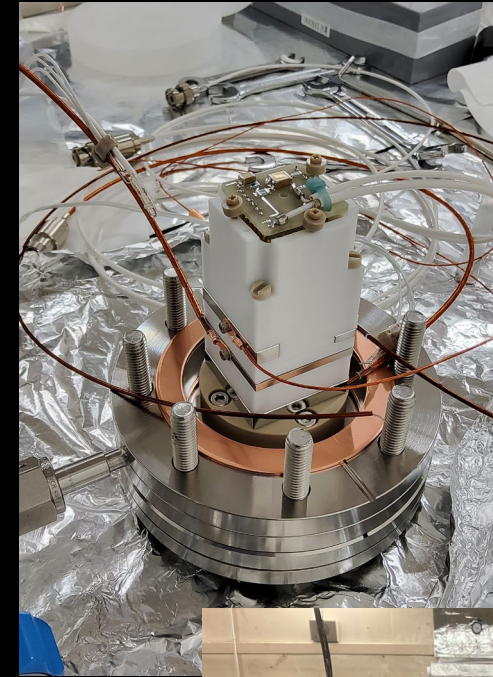
# Hyper-Kamiokande 2028年開始に向け順調に建設中



# 暗黒物質探索



**XENON Experiment@イタリア**



**R&D  
@神岡**



**R&D@つくば**

# 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 2 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

|    |           |         |
|----|-----------|---------|
| 奥村 | SK atm/pd | T2K HK  |
| 伊藤 | SK atm/pd | 暗黒物質 HK |



塩澤



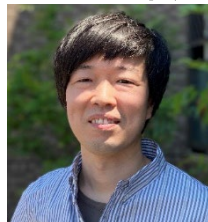
森山



早戸



関谷



中山



竹田



浅岡

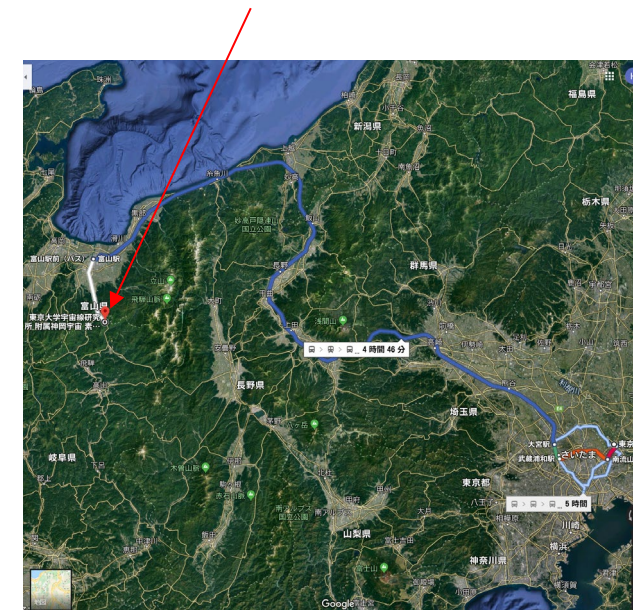


奥村



伊藤

神岡宇宙素粒子研究施設



- 修士は柏が本拠地  
神岡に「通う」

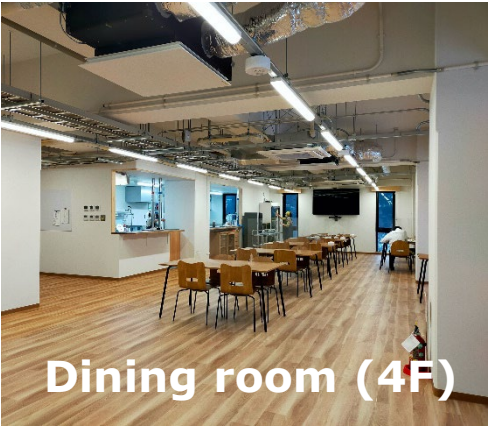
# 神岡宇宙素粒子研究施設の地上設備



【令和7(2025)年6月 献立表】

※都合により予定無く変更する場合があります。

| 日 | 曜日 | 朝食 | 昼食                                     | 夕食                                      |
|---|----|----|----------------------------------------|-----------------------------------------|
| 1 | 日  | ○  |                                        |                                         |
| 2 | 月  |    | カレーライス<br>コロッケとサラダのワンプレート<br>フルーツヨーグルト | 天ぷら<br>ピーマンの卵炒め<br>大根サラダ                |
| 3 | 火  | ○  | 三色丼<br>厚揚げのうま辛煮<br>春雨サラダ               | 鶏の唐揚げ<br>じゃがいもとさつま揚げの煮物<br>わかめときゅうりの酢の物 |
| 4 | 水  | ○  | ミートソーススパゲッティ<br>ジャーマンポテト<br>グリーンサラダ    | ハンバーグ<br>一口ガンモの含め煮<br>新玉ねぎのおかか和え        |
| 5 | 木  | ○  | アジフライ<br>ポテトサラダ<br>厚揚げのきのこの七味煮         | カニ玉<br>マーボー豆腐<br>もやしと青菜のわさび和え           |
| 6 | 金  | ○  | 朴葉味噌の牛肉炒め<br>かぼちゃの煮物<br>切干大根のハリハリ      | トンカツ<br>パンサンスー<br>大根と揚げのけんちん煮           |
| 7 | 土  | ○  | チキンライス<br>煮奴<br>スパゲッティサラダ              | ちくわの磯辺揚げ<br>ニラ豚チャンプルー<br>青菜のゴマ和え        |



大学院生室(個人のブース)は柏と神岡の両方にあります。

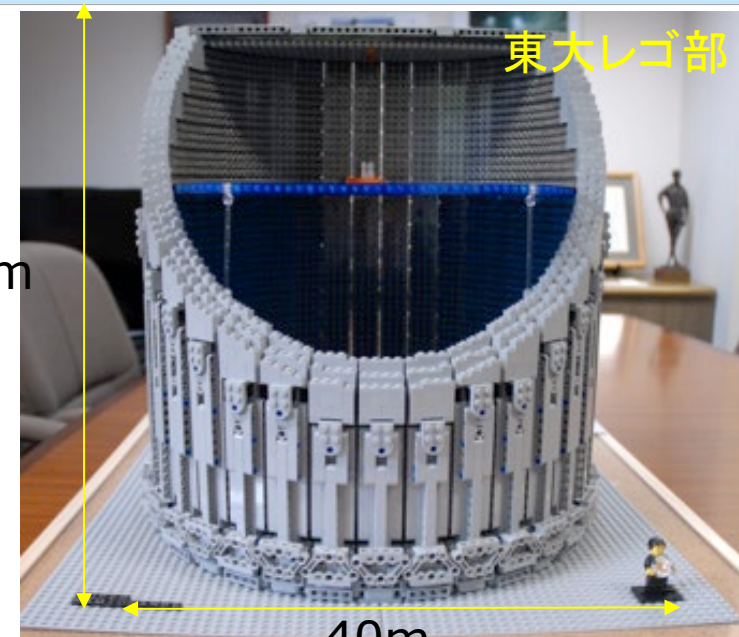
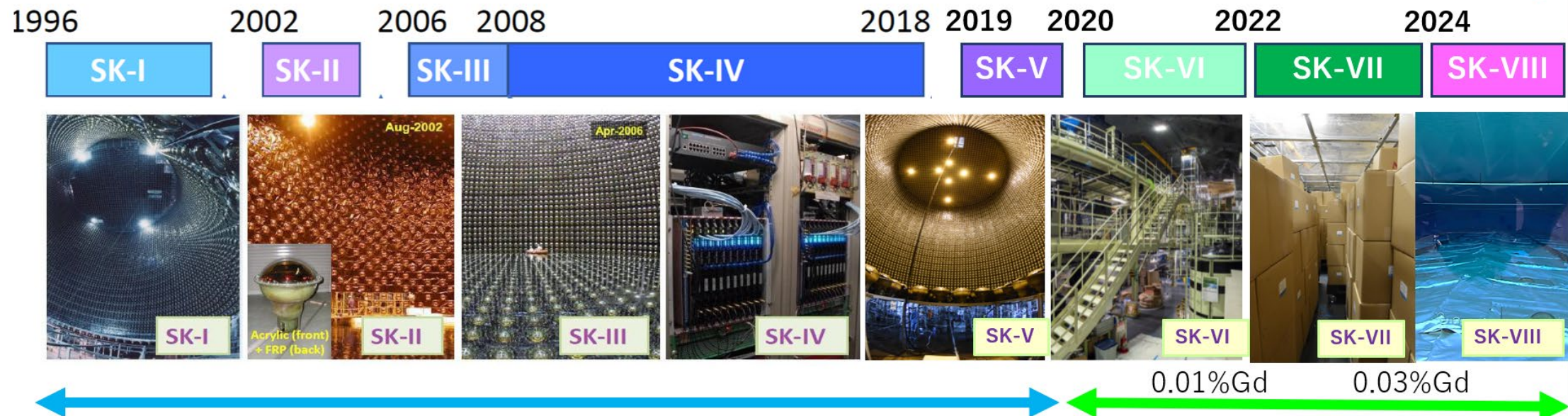
# Super-Kamiokande

- 基幹プロジェクト

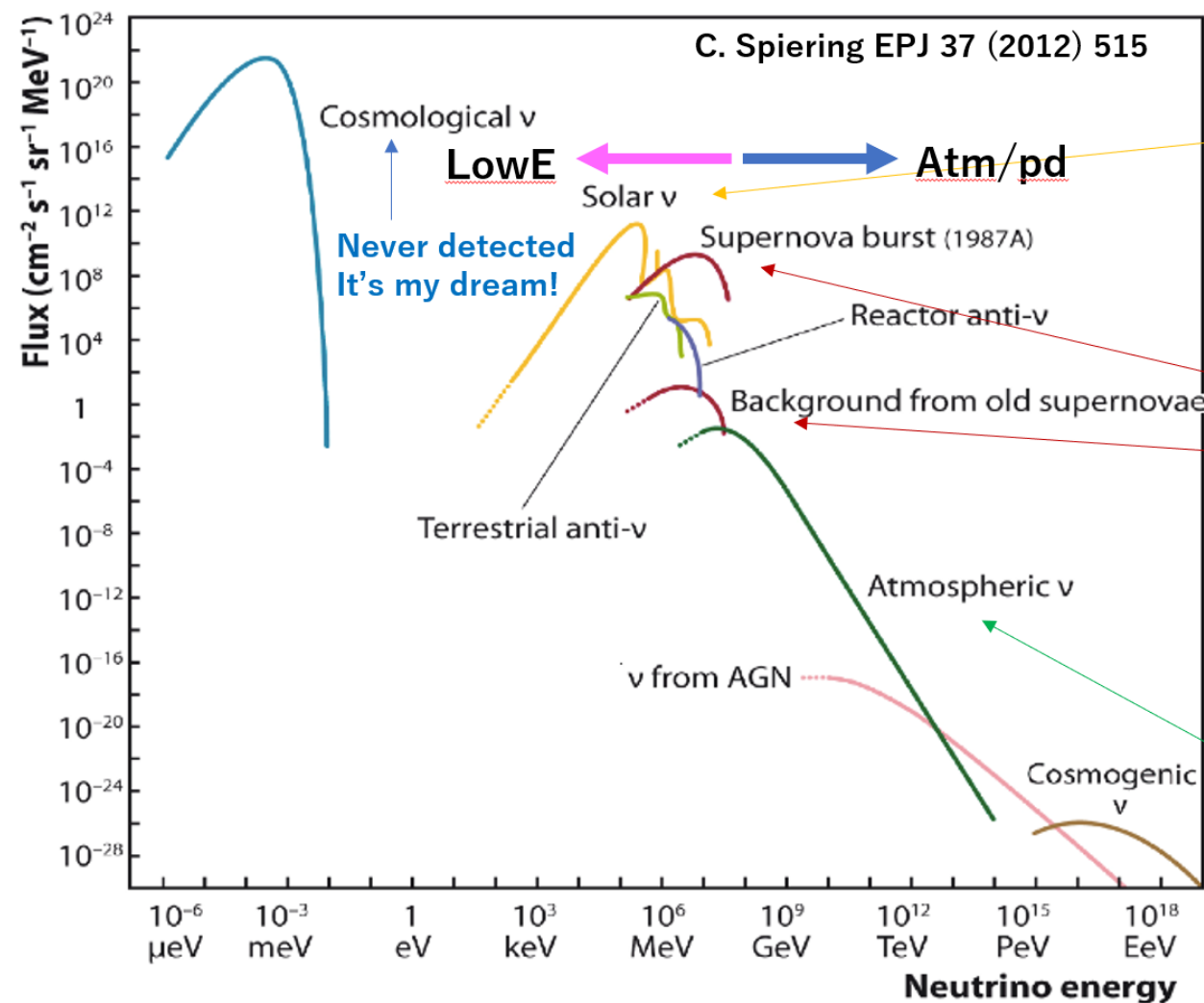
- 水をためて、光センサーで見ているだけなのに信じられないほど、重要で、数多くの物理を研究できる奇跡の検出器、しかも29年以上たった今でも常に進化している。

2024年9月12日からSK-VIIIを開始

SK will celebrate its 30th anniversary in 2026



# 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)

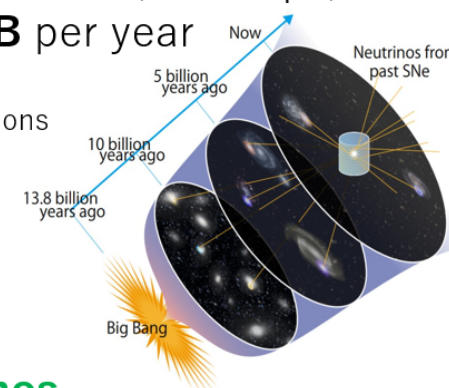
Expect a few **DSNB** per year

Neutrinos from  
past supernova explosions

**Atmospheric neutrinos**

100 MeV ~ a few 100 GeV

~ 10 events/day



# The Super-Kamiokande Collaboration

~240 collaborators  
from 55 institutes in 11 countries

毎週の各グループ打ち合わせはオンライン  
5月27日 コラボレーションミーティング@富山

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  
Chonnam National University, Korea  
Duke University, USA  
Gifu University, Japan  
GIST, Korea  
University of Glasgow, UK  
University of Hawaii, USA  
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  
University of Liverpool, UK  
LLR, Ecole polytechnique, France  
University of Minnesota, USA  
Miyagi University of Education, Japan  
ISEE, Nagoya University, Japan  
NCBJ, Poland  
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

日中は地下の現場でシフト  
夜は世界でオンラインでデータ  
収集を監視する



# SKの論文について

- 実験開始から29年経過してなお、一線級論文を継続して出版している。
- Gdの導入により、論文量産中
- 解析を主導した学生が書くことが多い。ちゃんと1st authorになれる！

数年後、ここに皆さんの名前も

PHYSICAL REVIEW D **110**, 112011 (2024)

Search for proton decay via  $p \rightarrow e^+ \eta$  and  $p \rightarrow \mu^+ \eta$  with a 0.37 Mton-year exposure of Super-Kamiokande

N. Taniuchi,<sup>49,\*</sup> K. Abe,<sup>1,50</sup> S. Abe,<sup>1</sup> Y. Asaoka,<sup>1</sup> C. Bronner,<sup>1</sup> M. Harada,<sup>1</sup> Y. Hayato,<sup>1,50</sup> K. Hiraide,<sup>1,50</sup> K. Hosokawa,<sup>1</sup> K. Ieki,<sup>1,50</sup> M. Ikeda,<sup>1,50</sup> J. Kameda,<sup>1,50</sup> Y. Kanemura,<sup>1,50</sup> R. Kaneshima,<sup>1</sup> Y. Kashiwagi,<sup>1</sup> Y. Kataoka,<sup>1,50</sup> S. Miki,<sup>1</sup> S. Mine,<sup>1,7</sup>

PHYSICAL REVIEW D **110**, 082008 (2024)

Measurements of the charge ratio and polarization of cosmic-ray muons with the Super-Kamiokande detector

H. Kitagawa,<sup>36</sup> T. Tada,<sup>36</sup> K. Abe,<sup>1,49</sup> C. Bronner,<sup>1</sup> Y. Hayato,<sup>1,49</sup> K. Hiraide,<sup>1,49</sup> K. Hosokawa,<sup>1</sup> K. Ieki,<sup>1,49</sup> M. Ikeda,<sup>1,49</sup> J. Kameda,<sup>1,49</sup> Y. Kanemura,<sup>1</sup> R. Kaneshima,<sup>1</sup> Y. Kashiwagi,<sup>1</sup> Y. Kataoka,<sup>1,49</sup> S. Miki,<sup>1</sup> S. Mine,<sup>1,7</sup> M. Miura,<sup>1,49</sup> S. Moriyama,<sup>1,49</sup> M. Nakahata,<sup>1,49</sup> Y. Nakano,<sup>1,\*</sup> S. Nakayama,<sup>1,49</sup> Y. Noguchi,<sup>1</sup> K. Okamoto,<sup>1</sup> K. Sato,<sup>1</sup> H. Sekiya,<sup>1,49</sup> H. Shiba,<sup>1</sup> K. Shimizu,<sup>1</sup> M. Shiozawa,<sup>1,49</sup> Y. Sonoda,<sup>1</sup> Y. Suzuki,<sup>1</sup> A. Takeda,<sup>1,49</sup> Y. Takemoto,<sup>1,49</sup> A. Takenaka,<sup>1</sup> H. Tanaka,<sup>1,49</sup> S. Watanabe,<sup>1</sup> T. Yano,<sup>1</sup> S. Han,<sup>2</sup> T. Kajita,<sup>2,49,23</sup> K. Okumura,<sup>2,49</sup> T. Tashiro,<sup>2</sup> T. Tomiya,<sup>2</sup> X. Wang,<sup>2</sup> S. Yoshida,<sup>2</sup> G. D. Megias,<sup>3</sup> P. Fernandez,<sup>4</sup> L. Labarga,<sup>4</sup> N. Ospina,<sup>4</sup> B. Zaldivar,<sup>4</sup> E. Kearns,<sup>5,49</sup> J. L. Raaf,<sup>5</sup> L. Wan,<sup>5</sup> T. Wester,<sup>5</sup> B. W. Pointon,<sup>6,53</sup> J. Bian,<sup>7</sup> N. J. Griskevich,<sup>7</sup> S. Locke,<sup>7</sup> M. B. Smy,<sup>7,49</sup> H. W. Sobel,<sup>7,49</sup> V. Takhistov,<sup>7,25</sup> A. Yankelevich,<sup>7</sup> J. Hill,<sup>8</sup> M. C. Jang,<sup>9</sup> S. H. Lee,<sup>9</sup> D. H. Moon,<sup>9</sup> R. G. Park,<sup>9</sup> B. Bodur,<sup>10</sup> K. Scholberg,<sup>10,49</sup> C. W. Walter,<sup>10,49</sup> A. Beauchêne,<sup>11</sup> O. Drapier,<sup>11</sup> A. Giampaolo,<sup>11</sup> Th. A. Mueller,<sup>11</sup> P. Paganini,<sup>11</sup> B. Quilain,<sup>11</sup> R. Rogly,<sup>11</sup> A. D. Santos,<sup>11</sup> T. Nakamura,<sup>12</sup> J. S. Jang,<sup>13</sup> L. N. Machado,<sup>14</sup> J. G. Learned,<sup>15</sup> K. Choi,<sup>16</sup> N. Iovine,<sup>16</sup> S. Cao,<sup>17</sup> L. H. V. Anthony,<sup>18</sup> D. Marin,<sup>18</sup> N. W. Prouse,<sup>18</sup> M. Scott,<sup>18</sup> A. A. Sztuc,<sup>18</sup> Y. Uchida,<sup>18</sup> V. Berardi,<sup>19</sup> N. F. Calabria,<sup>19</sup> M. G. Catanesi,<sup>19</sup> E. Radicioni,<sup>19</sup> A. Langella,<sup>20</sup> G. De Rosa,<sup>20</sup> G. Collazuol,<sup>21</sup> F. Jacob,<sup>21</sup> M. Lamoureux,<sup>21</sup> M. Mattiazzi,<sup>21</sup> L. Ludovici,<sup>22</sup> M. Gonin,<sup>23</sup> L. Perisse,<sup>23</sup> G. Pronost,<sup>23</sup> C. Fujisawa,<sup>24</sup> Y. Maekawa,<sup>24</sup> Y. Nishimura,<sup>24</sup> R. Okazaki,<sup>24</sup> R. Akutsu,<sup>25</sup>

PHYSICAL REVIEW D **109**, L011101 (2024)

Letter

Measurement of the neutrino-oxygen neutral-current quasielastic cross section using atmospheric neutrinos in the SK-Gd experiment

S. Sakai,<sup>34</sup> K. Abe,<sup>1,46</sup> C. Bronner,<sup>1</sup> Y. Hayato,<sup>1,46</sup> K. Hiraide,<sup>1,46</sup> K. Hosokawa,<sup>1</sup> K. Ieki,<sup>1,46</sup> M. Ikeda,<sup>1,46</sup> J. Kameda,<sup>1,46</sup> Y. Kanemura,<sup>1,46</sup> R. Kaneshima,<sup>1,46</sup> Y. Kashiwagi,<sup>1,46</sup> Y. Kataoka,<sup>1,46</sup> S. Miki,<sup>1</sup> S. Mine,<sup>1,6</sup> M. Miura,<sup>1,46</sup> S. Moriyama,<sup>1,46</sup> Y. Nakano,<sup>1,46</sup> S. Nakayama,<sup>1,46</sup> Y. Noguchi,<sup>1,46</sup> K. Sato,<sup>1,46</sup> H. Sekiya,<sup>1,46</sup> H. Shiba,<sup>1,46</sup> K. Shimizu,<sup>1,46</sup> M. Shiozawa,<sup>1,46</sup> Y. Sonoda,<sup>1,46</sup> Y. Suzuki,<sup>1,46</sup> A. Takeda,<sup>1,46</sup> Y. Takemoto,<sup>1,46</sup> H. Tanaka,<sup>1,46</sup> T. Yano,<sup>1,46</sup> S. Han,<sup>1,46</sup> T. Kajita,<sup>1,46</sup> K. Okumura,<sup>1,46</sup>

THE ASTROPHYSICAL JOURNAL, 970:93 (32pp), 2024 July 20

© 2024. The Author(s). Published by the American Astronomical Society.

OPEN ACCESS

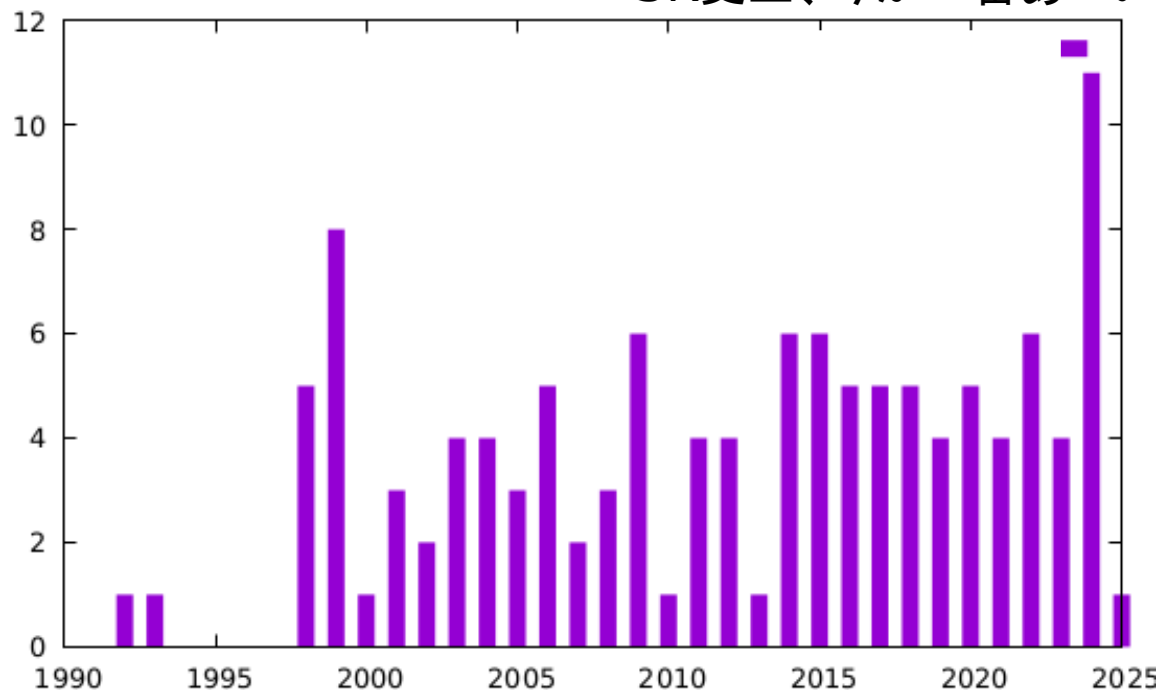
Performance of SK-Gd's Upgraded Real-time Supernova Monitoring System

Y. Kashiwagi,<sup>1</sup> K. Abe,<sup>1,2</sup> C. Bronner,<sup>1</sup> Y. Hayato,<sup>1,2</sup> K. Hiraide,<sup>1,2</sup> K. Hosokawa,<sup>1</sup> K. Ieki,<sup>1,2</sup> M. Ikeda,<sup>1,2</sup> J. Kameda,<sup>1,2</sup> Y. Kanemura,<sup>1</sup> R. Kaneshima,<sup>1</sup> Y. Kataoka,<sup>1,2</sup> S. Miki,<sup>1</sup> S. Mine,<sup>1,3</sup> M. Miura,<sup>1,2</sup> S. Moriyama,<sup>1,2</sup> Y. Nakano,<sup>1,2</sup> M. Nakahata,<sup>1,2</sup> S. Nakayama,<sup>1,2</sup> Y. Noguchi,<sup>1</sup> K. Sato,<sup>1</sup> H. Sekiya,<sup>1,2</sup> H. Shiba,<sup>1</sup> K. Shimizu,<sup>1</sup> M. Shiozawa,<sup>1,2</sup> Y. Sonoda,<sup>1</sup> Y. Suzuki,<sup>1</sup> A. Takeda,<sup>1,2</sup> Y. Takemoto,<sup>1,2</sup> H. Tanaka,<sup>1,2</sup> T. Yano,<sup>1</sup> S. Han,<sup>4</sup> T. Kajita,<sup>2,4,5</sup> K. Okumura,<sup>2,4</sup> T. Tashiro,<sup>1</sup> T. Tomiya,<sup>4</sup> X. Wang,<sup>4</sup> S. Yoshida,<sup>4</sup> P. Fernandez,<sup>6</sup> L. Labarga,<sup>6</sup> N. Ospina,<sup>6</sup> B. Zaldivar,<sup>6</sup> B. W. Pointon,<sup>7</sup> E. Kearns,<sup>2,9</sup> J. L. Raaf,<sup>9</sup> L. Wan,<sup>9</sup> T. Wester,<sup>9</sup> J. Bian,<sup>3</sup> N. J. Griskevich,<sup>3</sup> S. Locke,<sup>3</sup> M. B. Smy,<sup>2,3</sup> H. W. Sobel,<sup>2,3</sup> V. Takhistov,<sup>3,10</sup> A. Yankelevich,<sup>3</sup> J. Hill,<sup>11</sup> M. C. Jang,<sup>12</sup> S. H. Lee,<sup>12</sup> D. H. Moon,<sup>12</sup> R. G. Park,<sup>12</sup> B. Bodur,<sup>13</sup> K. Scholberg,<sup>2,13</sup> C. W. Walter,<sup>2,13</sup> A. Beauchêne,<sup>14</sup> O. Drapier,<sup>14</sup> A. Giampaolo,<sup>14</sup> Th. A. Mueller,<sup>14</sup> A. D. Santos,<sup>14</sup> P. Paganini,<sup>14</sup> B. Quilain,<sup>14</sup> R. Rogly,<sup>14</sup> T. Nakamura,<sup>15</sup> J. S. Jang,<sup>16</sup> L. N. Machado,<sup>17</sup> J. G. Learned,<sup>18</sup> K. Choi,<sup>19</sup> N. Iovine,<sup>19</sup> S. Cao,<sup>20</sup> L. H. V. Anthony,<sup>21</sup> D. Martin,<sup>21</sup> N. W. Prouse,<sup>21</sup> M. Scott,<sup>21</sup> A. A. Sztuc,<sup>21</sup> Y. Uchida,<sup>21</sup> V. Berardi,<sup>22</sup> M. G. Catanesi,<sup>22</sup> E. Radicioni,<sup>22</sup> N. F. Calabria,<sup>23</sup> A. Langella,<sup>23</sup> G. De Rosa,<sup>23</sup> G. Collazuol,<sup>24</sup> F. Jacob,<sup>24</sup> M. Mattiazzi,<sup>24</sup> L. Ludovici,<sup>25</sup> M. Gonin,<sup>5</sup> L. Pêrisse,<sup>5</sup> G. Pronost,<sup>5</sup> C. Fujisawa,<sup>26</sup> Y. Maekawa,<sup>26</sup> Y. Nishimura,<sup>26</sup> R. Okazaki,<sup>26</sup> R. Akutsu,<sup>10</sup> M. Friend,<sup>10</sup> T. Hasegawa,<sup>10</sup> T. Ishida,<sup>10</sup> T. Kobayashi,<sup>10</sup> M. Jakkapu,<sup>10</sup> T. Matsubara,<sup>10</sup> T. Nakadaira,<sup>10</sup> K. Nakamura,<sup>2,10</sup> Y. Oyama,<sup>10</sup> K. Sakashita,<sup>10</sup> T. Sekiguchi,<sup>10</sup> T. Tsukamoto,<sup>10</sup> N. Bhuiyan,<sup>27</sup> G. T. Burton,<sup>27</sup> F. Di Lodovico,<sup>27</sup> J. Gao,<sup>27</sup> A. Goldsack,<sup>27</sup> T. Katori,<sup>27</sup> J. Migenda,<sup>27</sup> R. M. Ramsden,<sup>27</sup> Z. Xie,<sup>27</sup> S. Zoldos,<sup>2,27</sup> A. T. Suzuki,<sup>28</sup> Y. Takagi,<sup>28</sup> Y. Takeuchi,<sup>2,28</sup> H. Zhong,<sup>28</sup> J. Feng,<sup>29</sup> J. R. Hu,<sup>29</sup> Z. Hu,<sup>29</sup> M. Kawae,<sup>29</sup> T. Kikawa,<sup>29</sup> M. Mori,<sup>29</sup> T. Nakaya,<sup>2,29</sup> R. A. Wendell,<sup>2,29</sup> K. Yasutome,<sup>29</sup> S. J. Jenkins,<sup>30</sup> N. McCauley,<sup>30</sup> P. Mohr,<sup>30</sup> A. Tarnat,<sup>30</sup> Y. Fukuda,<sup>31</sup> Y. Iwano,<sup>32,33</sup> H. Morita,<sup>32</sup> K. Niimi,<sup>32</sup> Y. Yoshida,<sup>32</sup> L. Legzdins,<sup>34</sup>

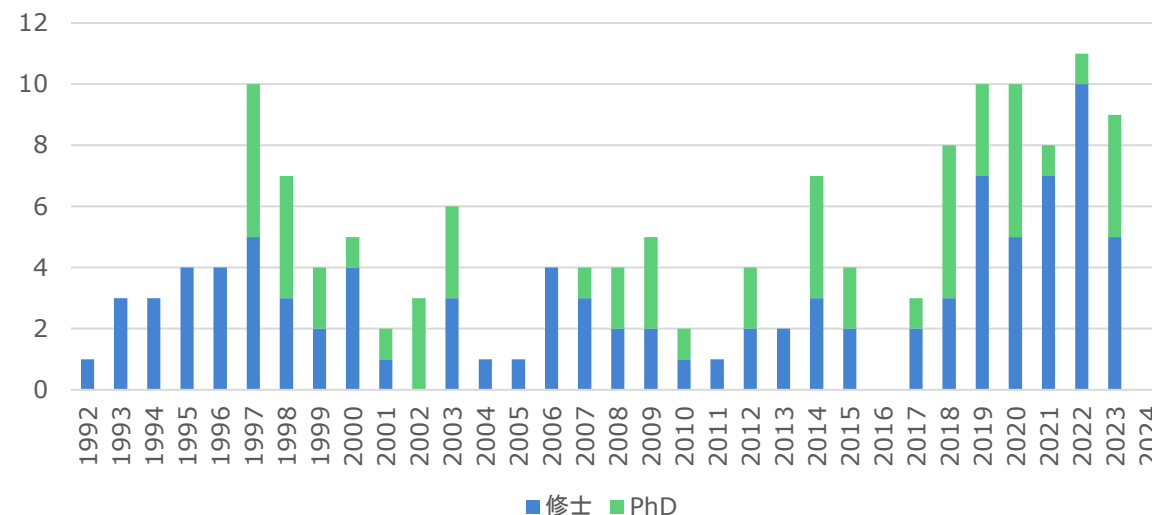
# SKの論文について

- 論文 計**121**本
  - SK-Gd Project以降 5本/年
  - 2024年は1998年を超えた
  - 今後も量産予定

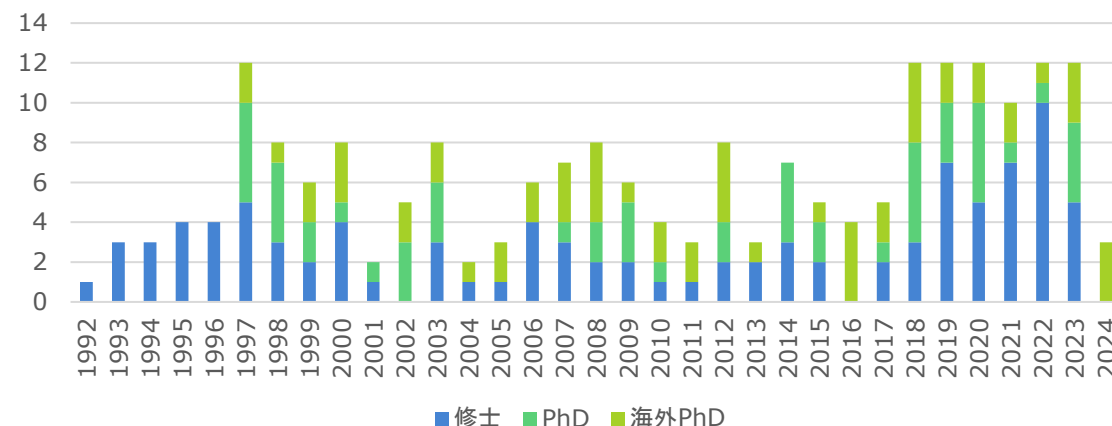
SK史上、今が一番あつい！



SK学位取得者数一国内研究機関のみ



海外PhD込み



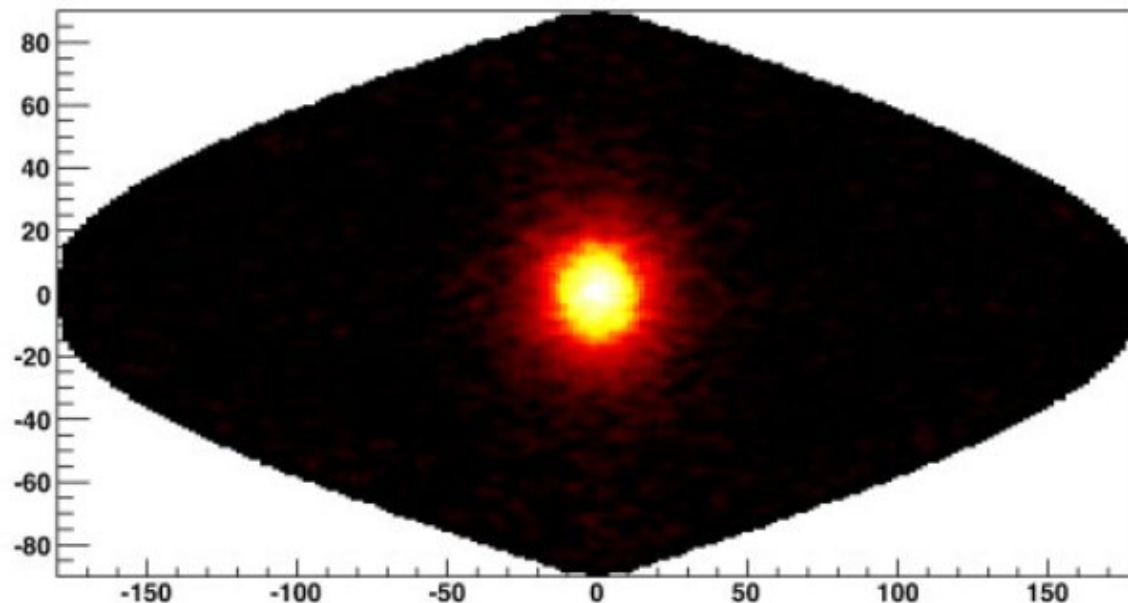
- 国内 修士**98**人 博士**54**人
  - 海外 **Ph. D. 58**人
- SK-Gd Project以降 増加中**

# SK LowE 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

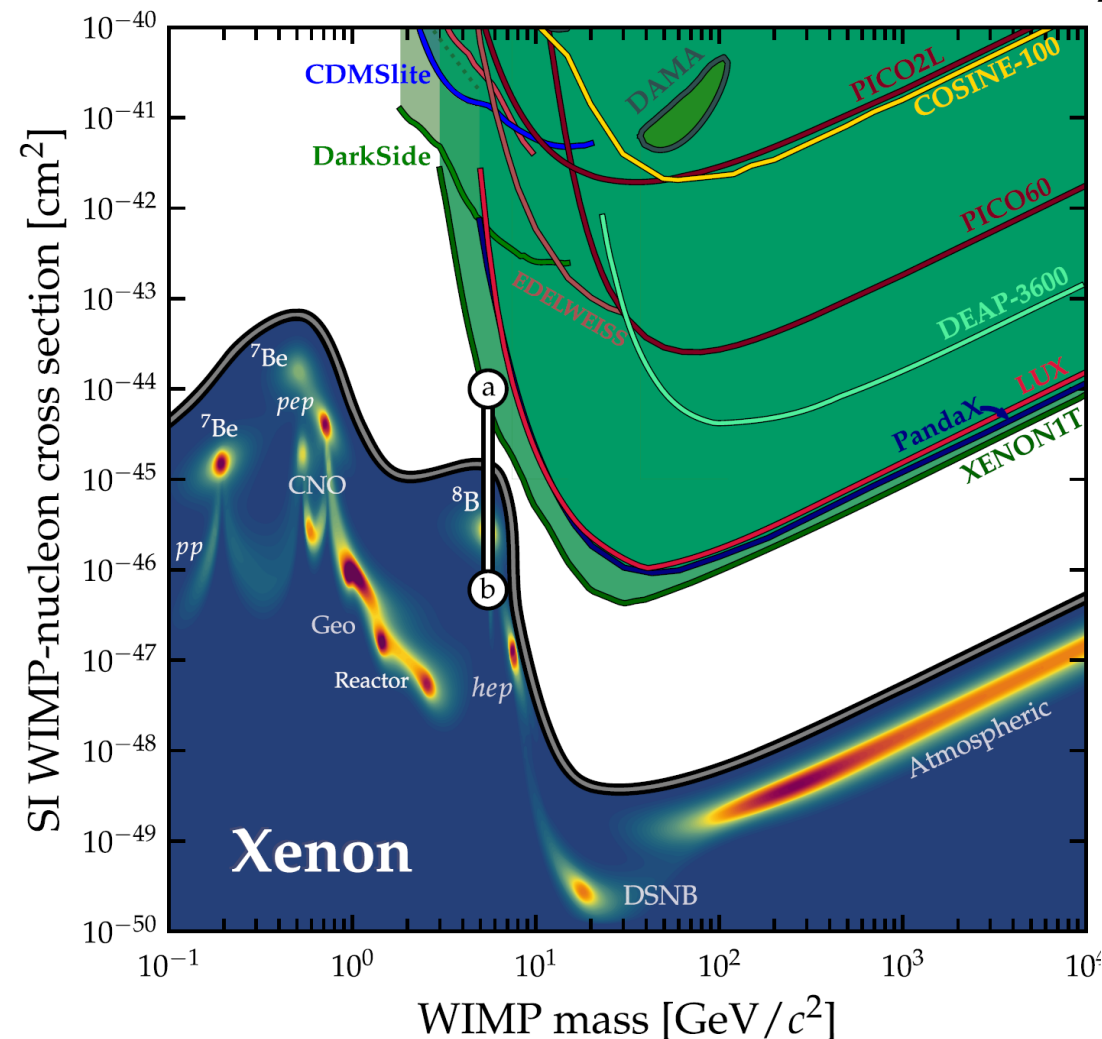
- 1987年に13秒間でKamiokandeが11現象、IMBが8現象捉えたのみ。
- 19現象では爆発の詳細なメカニズムがわからなかった。
- 我々を構成する元素の起源を探る
  - ・ 「私たちは星のかけらだった」



1987a

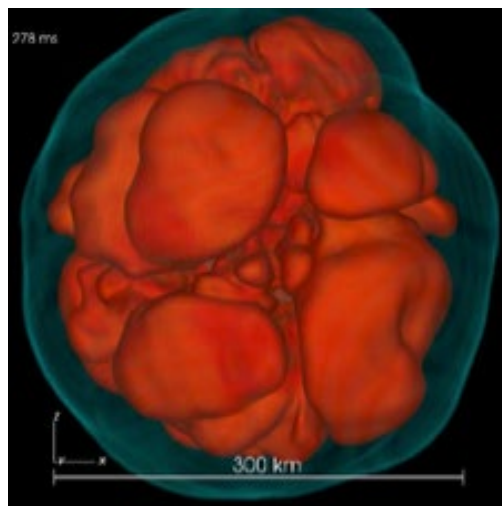
# 暗黒物質探索に立ちはだかるニュートリノでもある

C. O'Hare Phys. Rev. Lett. 127, 251802

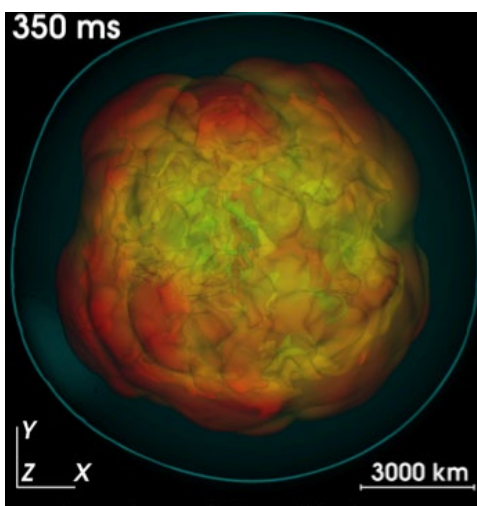


# 超新星爆発はニュートリノが引き起こす

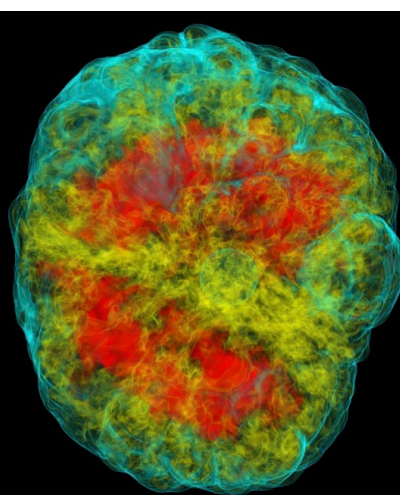
- 爆発のシミュレーション→ニュートリノによるエネルギー輸送



Hanke+'13



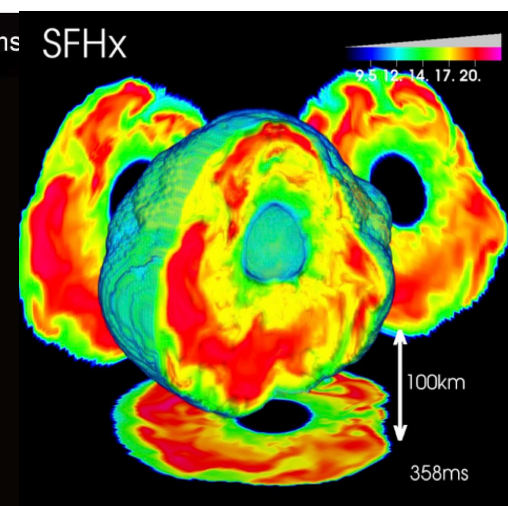
Melson+'15



Roberts+'16



Takiwaki+'16

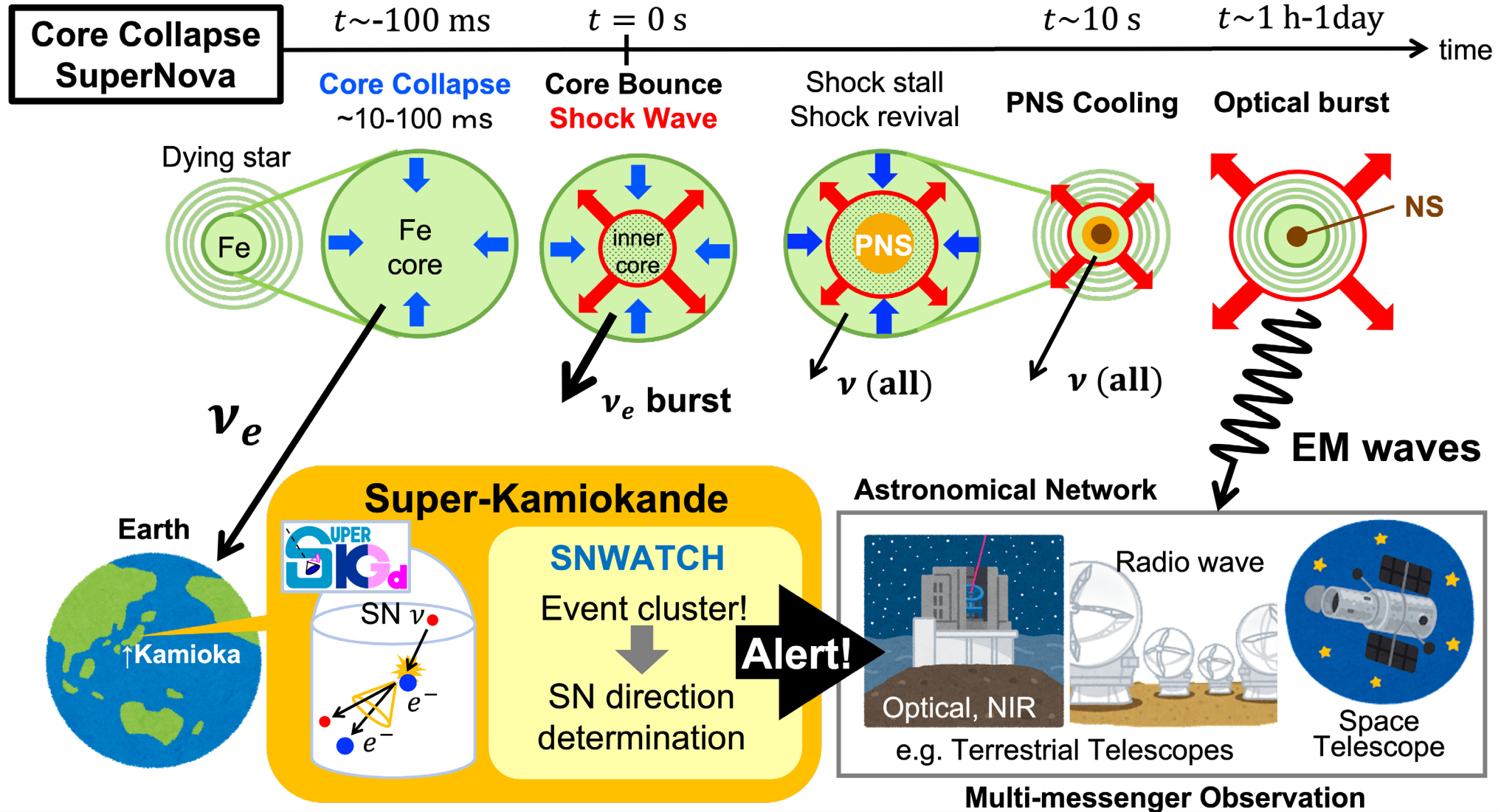


Kuroda+'16

- モデルを作るには1987Aのデータはものすごく重要。ニュートリノによる衝撃波の再加熱をいれることで、最近ようやく爆発”できるように”なった。
- とにかくデータが必要 エネルギーや時間の情報が要る。

# SKの唯一無二の役割

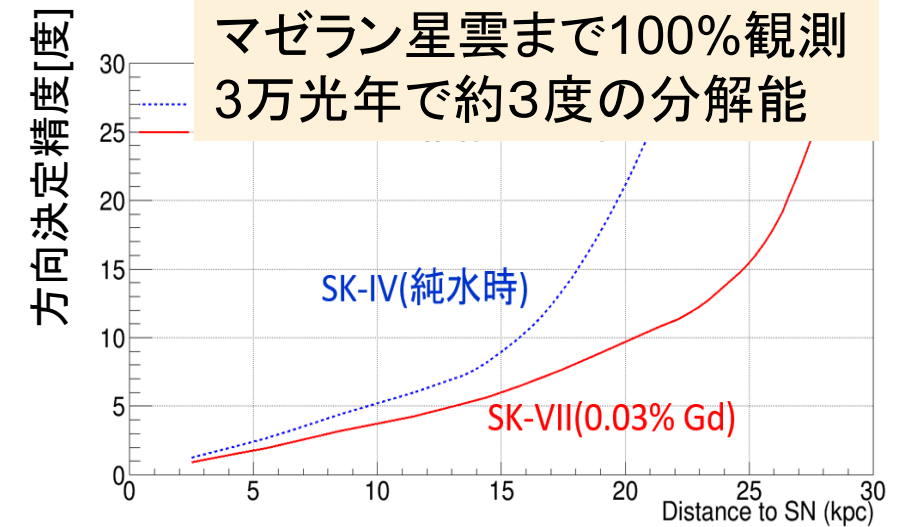
光で爆発の前にニュートリノで方向を決定する



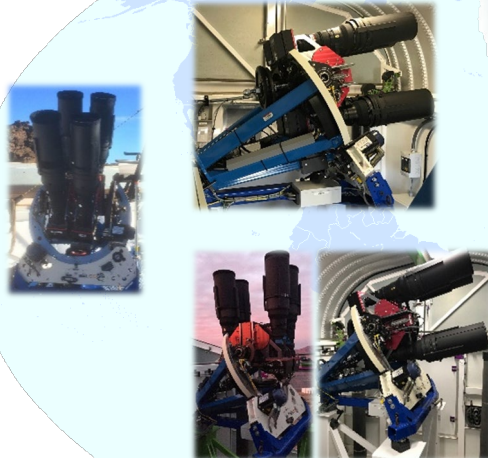
# マルチメッセンジャー天文学の推進

Gd信号を用い自動情報発信システムを稼働～1分で発信

- さらなる高速化
  - さらなる高精度化
- を目指し開発をすすめている

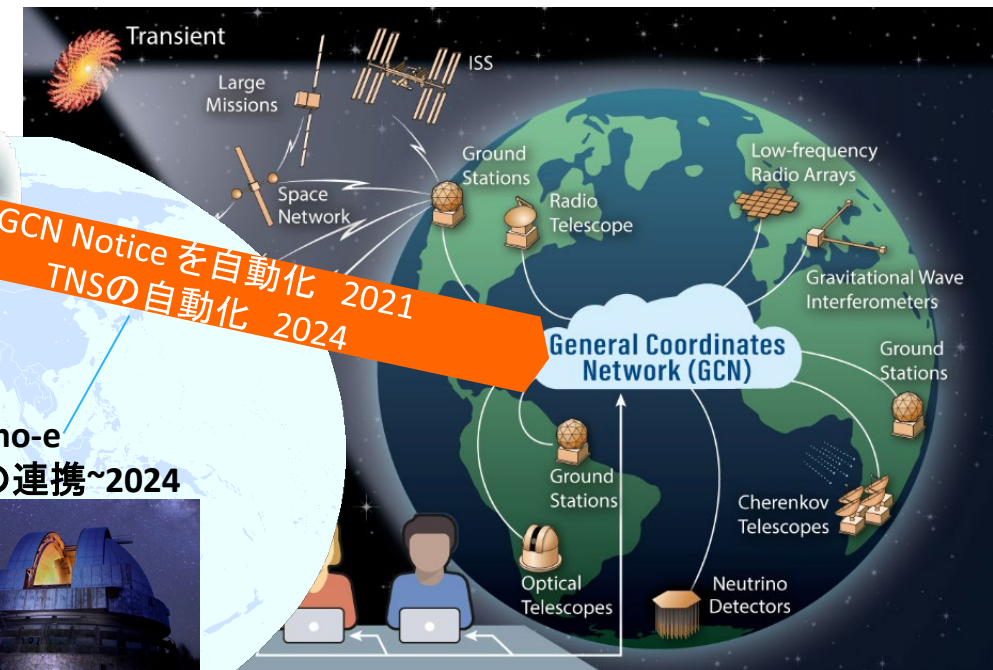
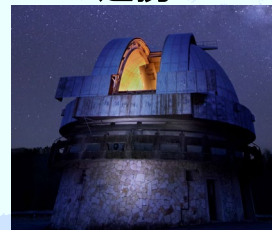


ASAS-SNとの連携～2023



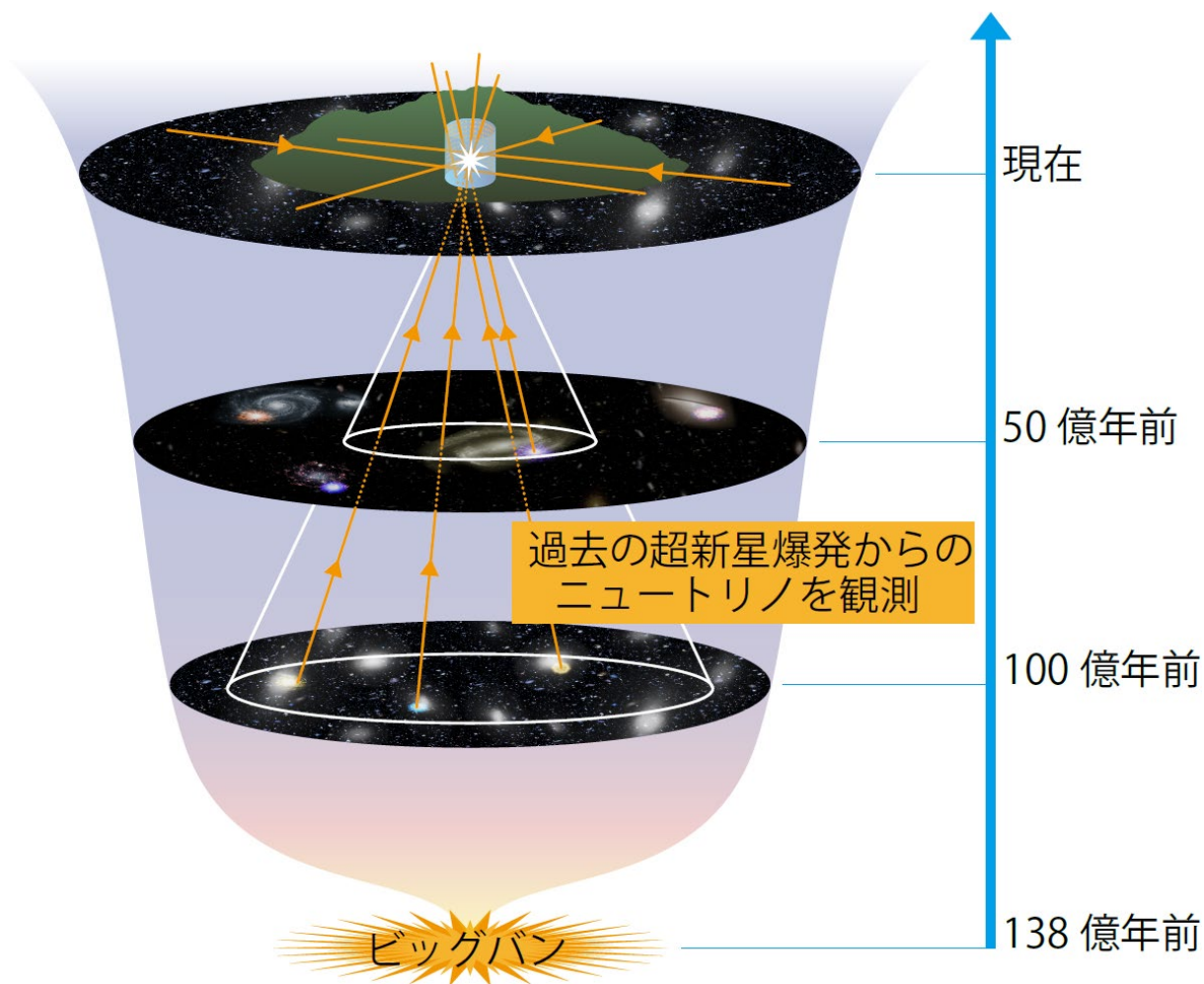
GCN Notice を自動化 2021  
TNSの自動化 2024

Tomo-e  
との連携～2024



<https://gcn.nasa.gov/>

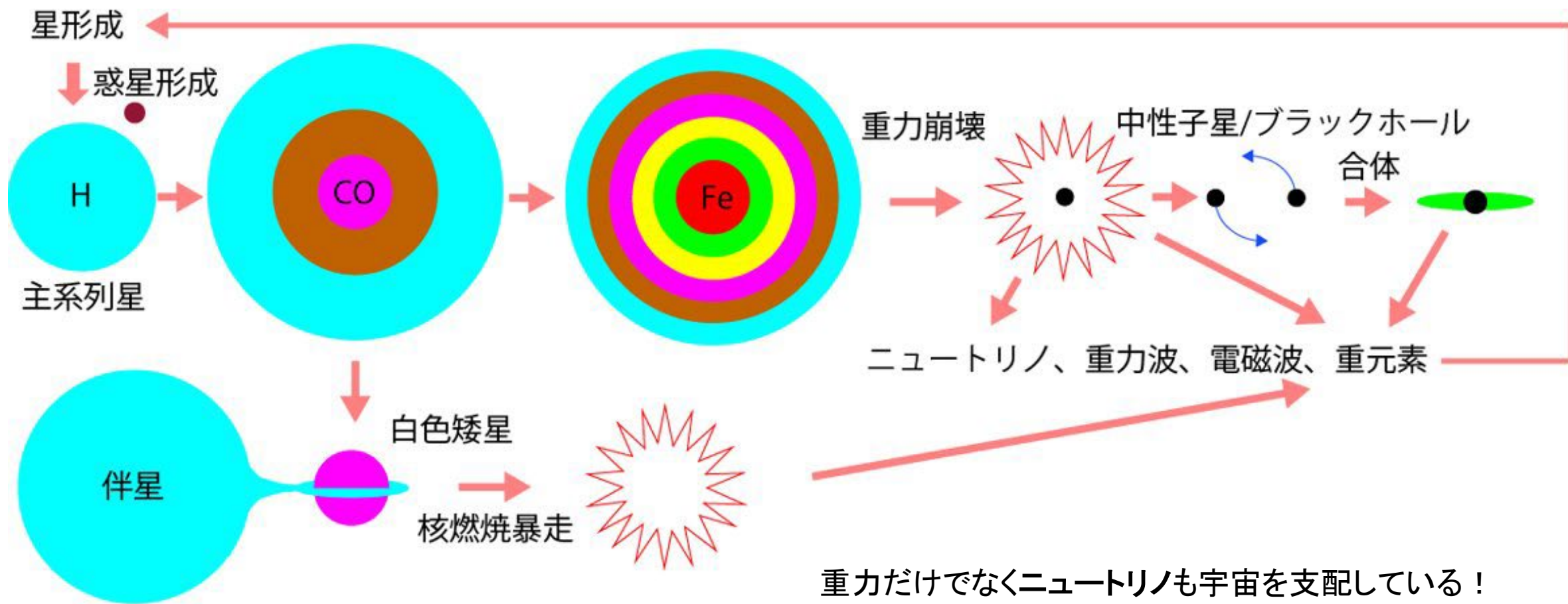
# 待つだけでなく、超新星背景ニュートリノを捕まえにいく



- 宇宙には $10^{22-23}$ 個の恒星 ( $\sim 10^{11}$ 個の銀河  $\sim 10^{11-12}$  恒星/銀河)
- 現時点では宇宙の開闢からの $10^{17}$ 個の超新星爆発からのニュートリノを受けていることになる。
- それにともなって放出されたニュートリノが宇宙に満ちている。
- 確実に「ここ」にある。
- 超新星背景ニュートリノを観測すれば宇宙の初めからの重元素合成の歴史を探ることが出来る！

# ブラックホールや中性子星連星だってもとは超新星

- とにかく超新星爆発が先に起きないと始まらない！
  - 超新星爆発の歴史を調べる重要性



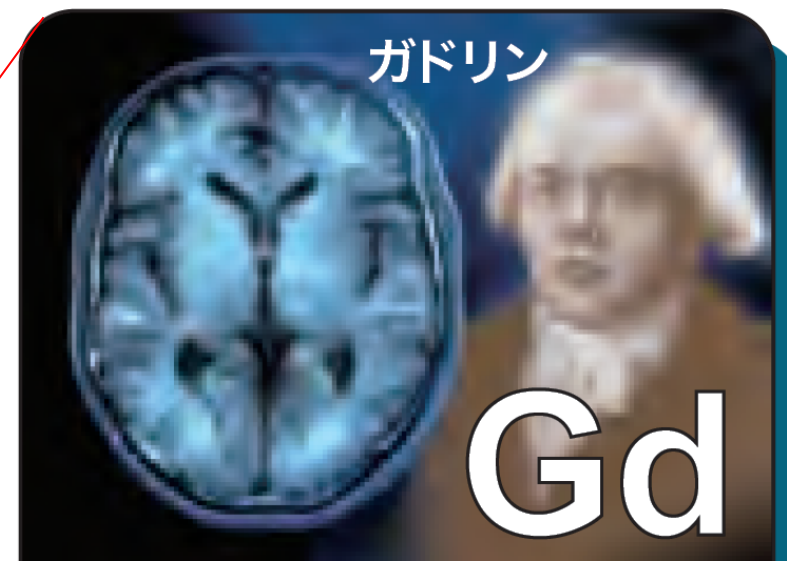
重力だけでなくニュートリノも宇宙を支配している！

# 118個の元素(武器)の中には使えるものはないか？

◇ ガドリニウムは中性子吸収してガンマ線を出す

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

一家に1枚周期表



医療診断用MRIの画像強調剤  
熱中性子ラジオグラフィー  
(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

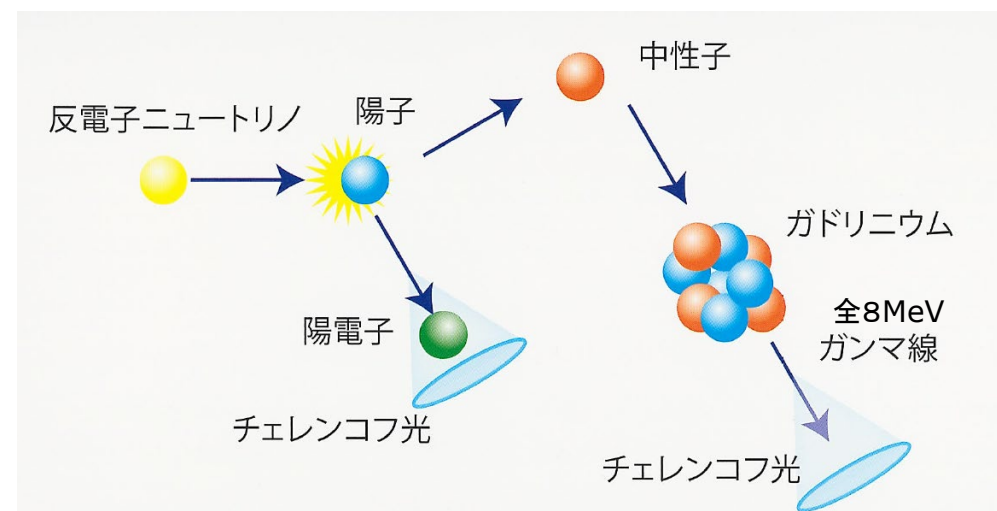
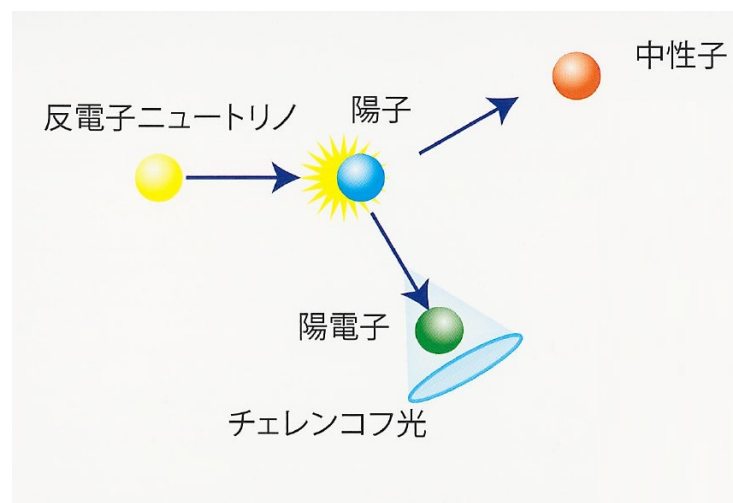
# SK-Gd

硫酸ガドリニウム8水和物

- $\bar{\nu}_e$  の判別するため、ガドリニウムを加えた。
- Gdの熱中性子に対する断面積は48.89kb
- 中性子吸収後、全8MeVのガンマ線をだす。
- 種々の研究により硫酸ガドリニウムを溶かす
- 超新星背景ニュートリノだけでなく、そのほかの物理にも！



水チェレンコフ検出器の性能を飛躍的に高める



- ◇ ガドリニウムを入れることで反電子ニュートリノは2つ目のチェレンコフ光を出す
- ◇ 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

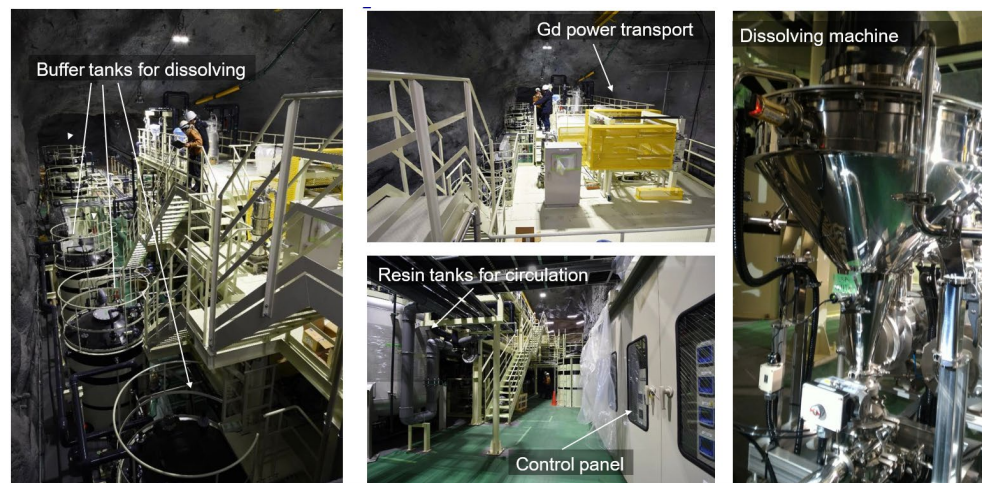
# 2022年0.03%Gd濃度達成

高純度の硫酸ガドリニウムを開発  
Gd0.03%= 40トン

- 2020年 26個の500kgフレコン



- 溶解装置

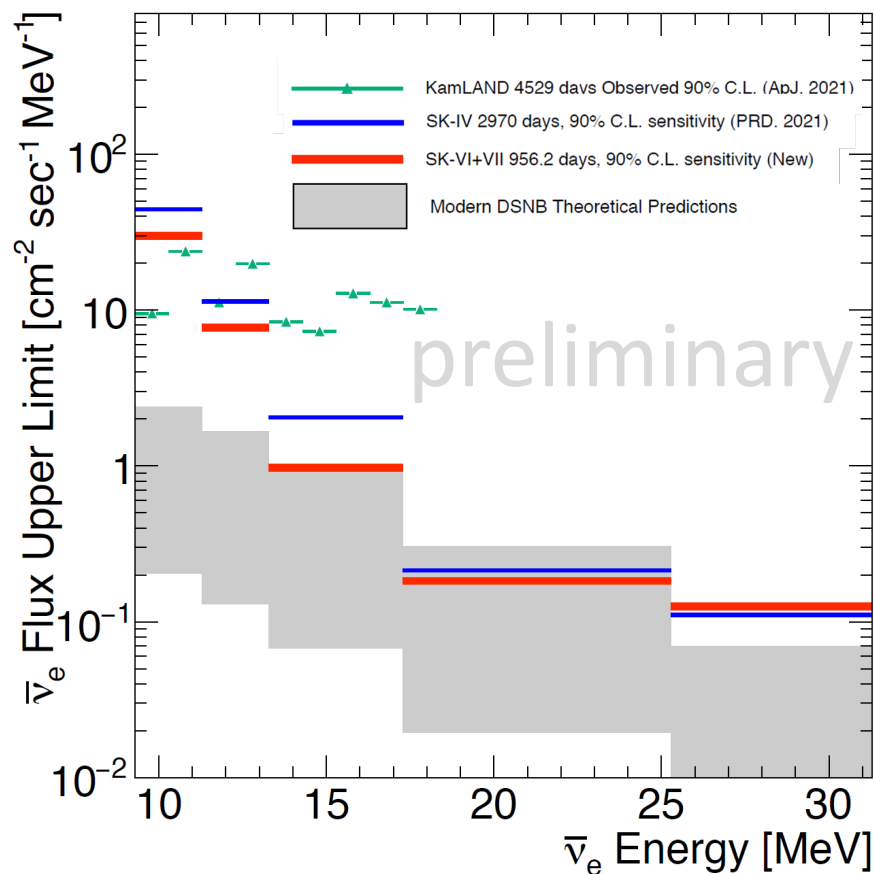


- 2022年 1350箱の20kg入り段ボール



# 超新星背景ニュートリノ(DSNB)観測の現状

超新星背景ニュートリノのフラックス



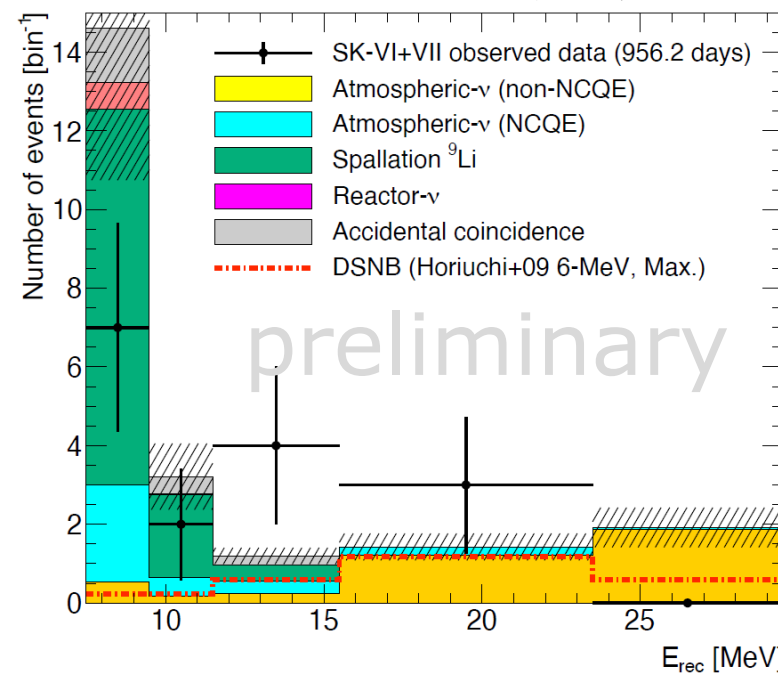
←2023年9月までの観測感度

SK-IV 10年 (純水)

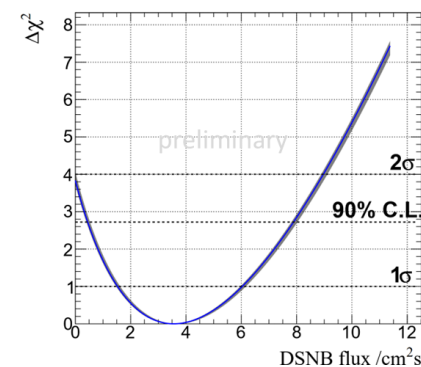
SK-VI+VII 2.5年 (Gd 0.01%と 0.03%)

理論予想

これまでのデータ

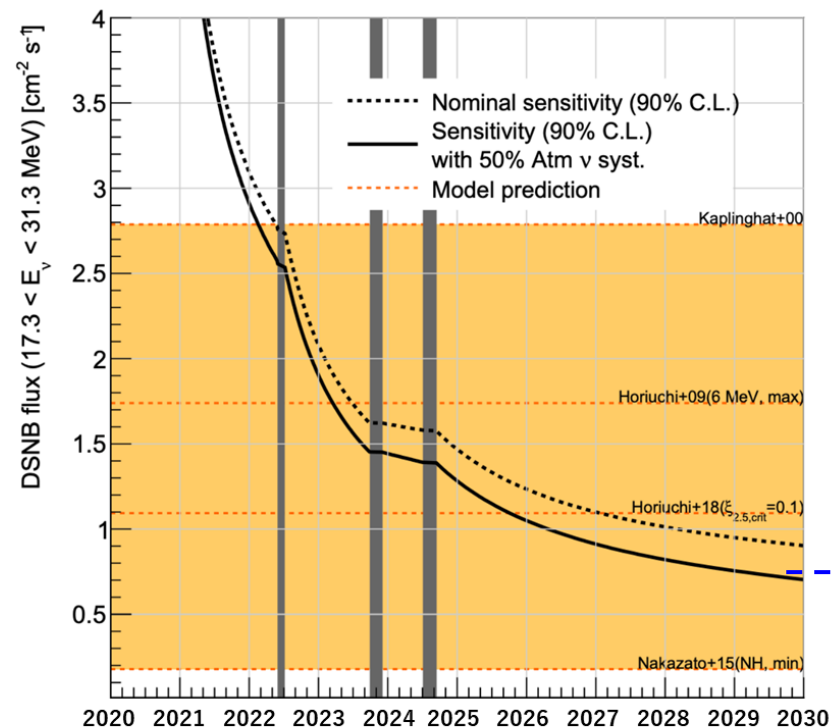


兆候？



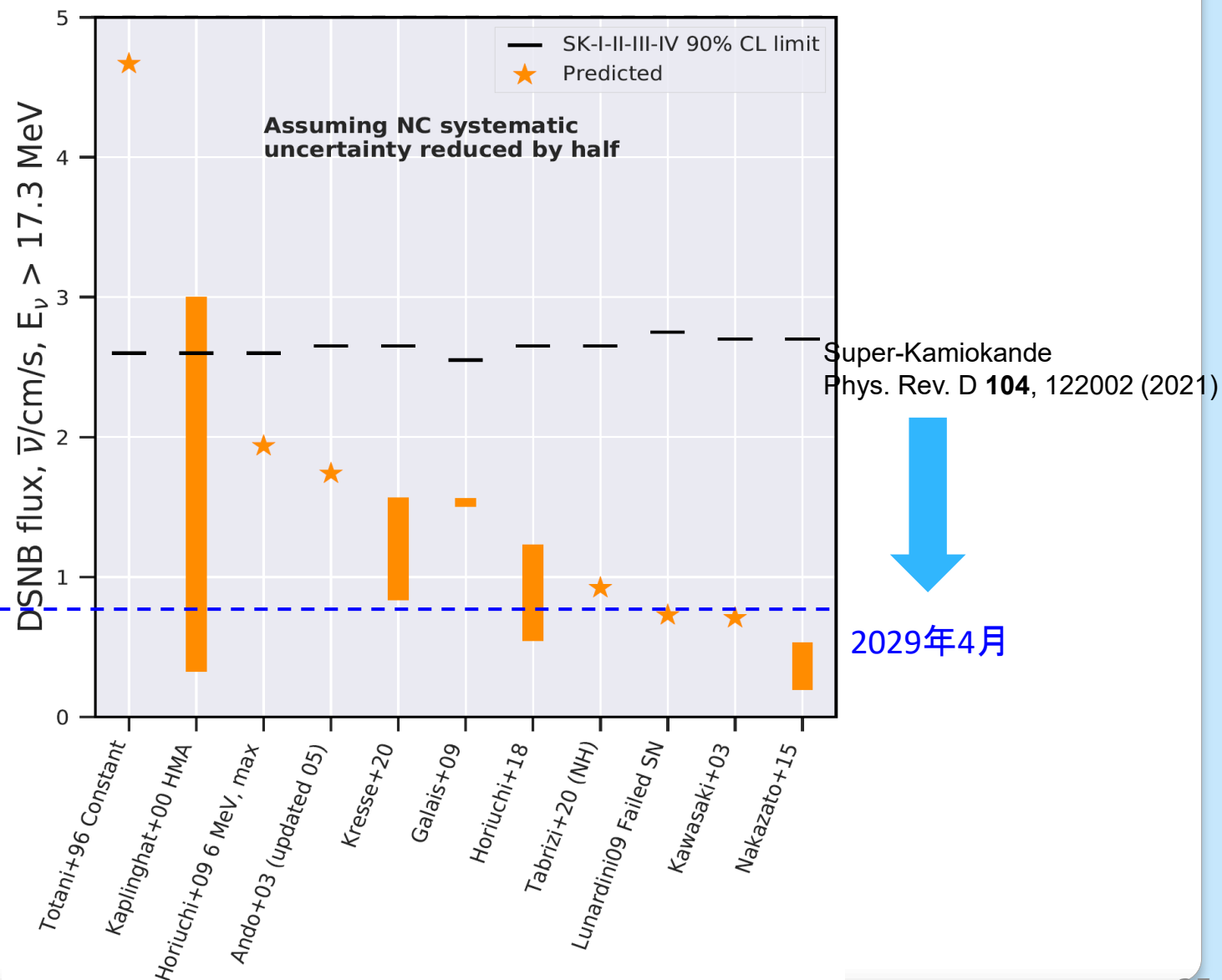
# 今後のDSNB探索

感度(90%CL)予測



- “兆候”を確認し数年の観測で発見をめざす！

- 解析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、発見もしくは各モデルの検証を目指す



# 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  
これから新しいデータが！  
2～5年で大発見を目指す



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

