



# Super-Kamiokande LowE/astro group

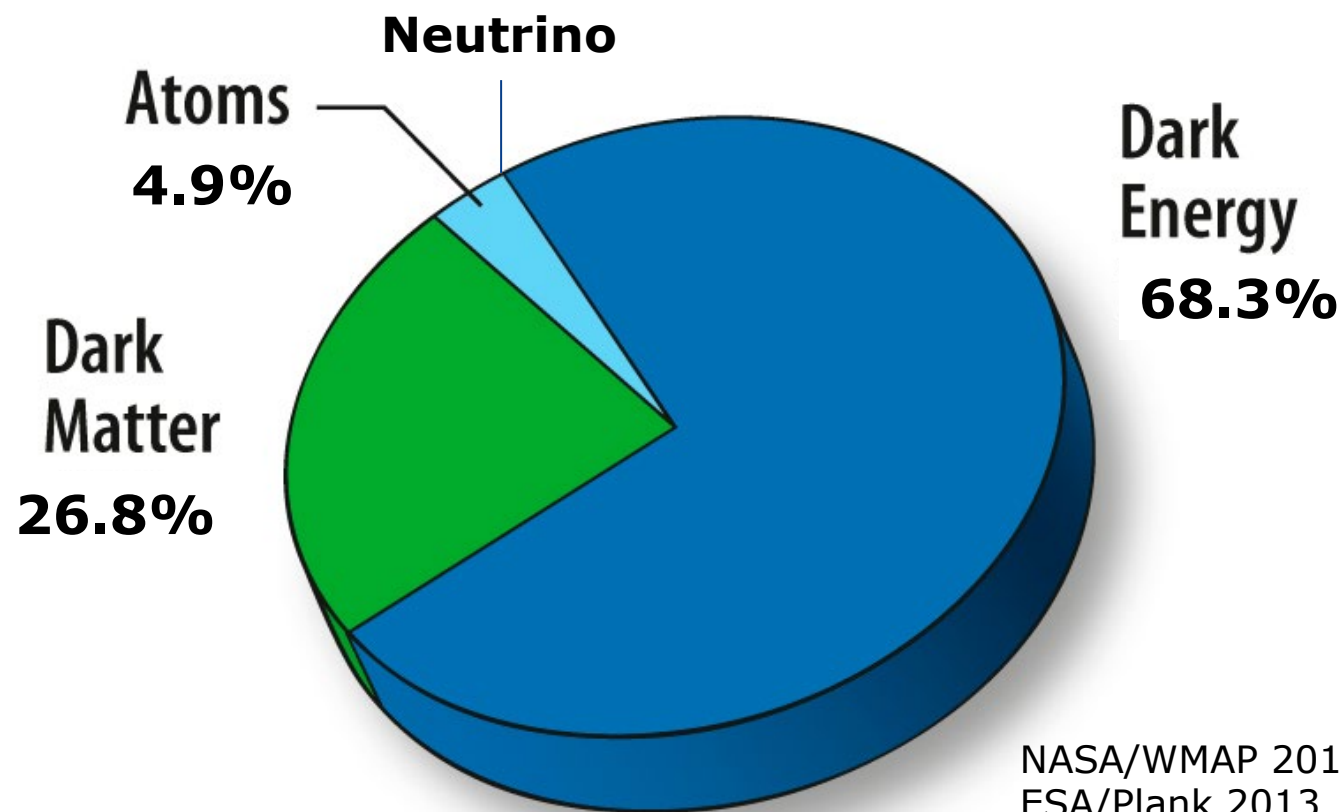
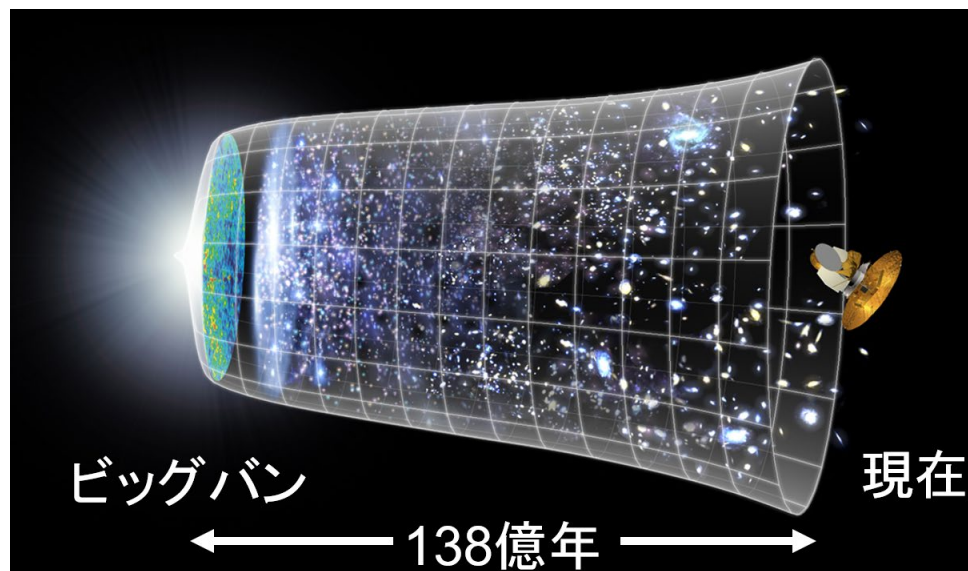


宇宙線研究所 宇宙ニュートリノ研究部門  
関谷洋之

# 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

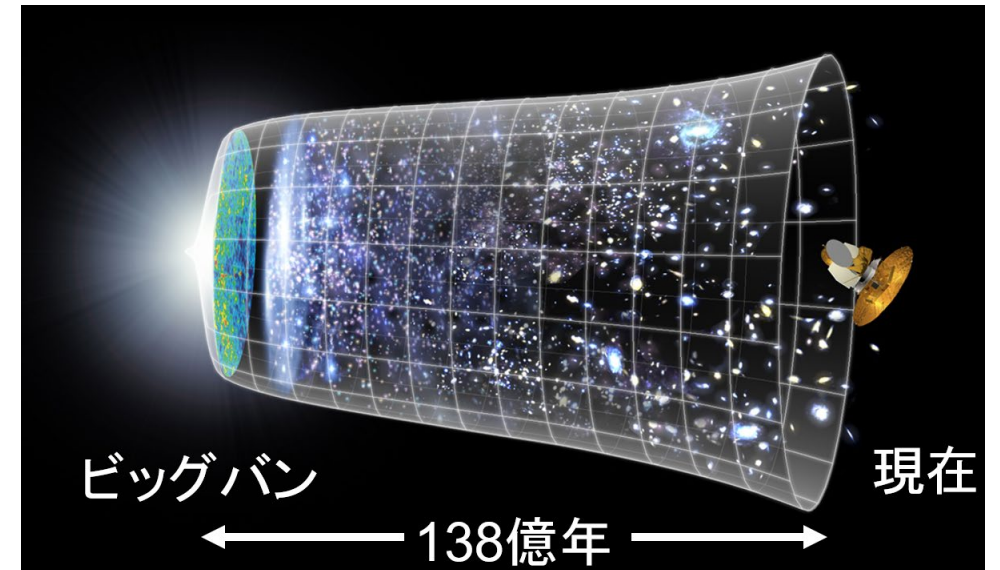
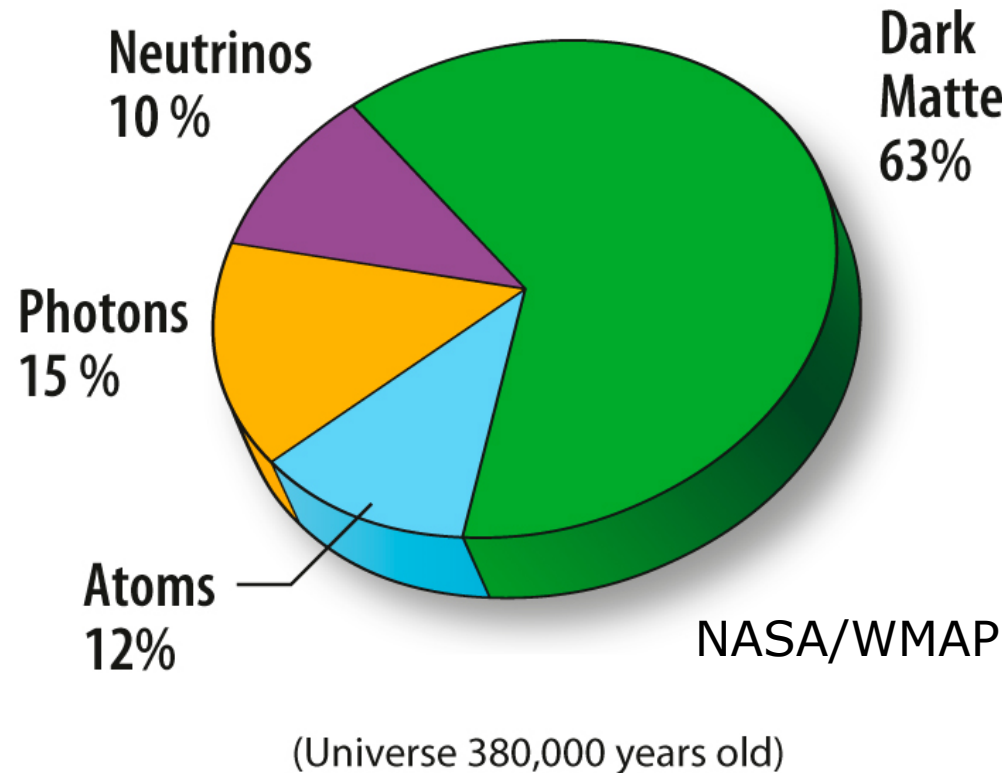
- 宇宙は何でできているのか



# 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

# 宇宙ニュートリノ部門の教員と主な研究内容

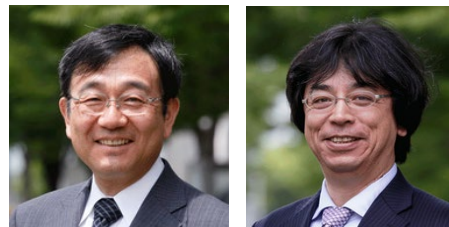
神岡6名・柏2名の教授/准教授

- **神岡**宇宙素粒子研究施設

中畑	SK LowE(募集無し)	
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

- **柏**宇宙ニュートリノ観測情報融合センター

梶田	SK atm/pd	T2K HK(募集無し)
奥村	SK atm/pd	T2K HK



中畑



塩澤



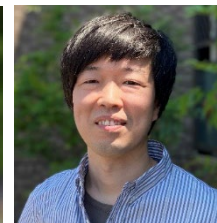
森山



早戸



関谷



中山

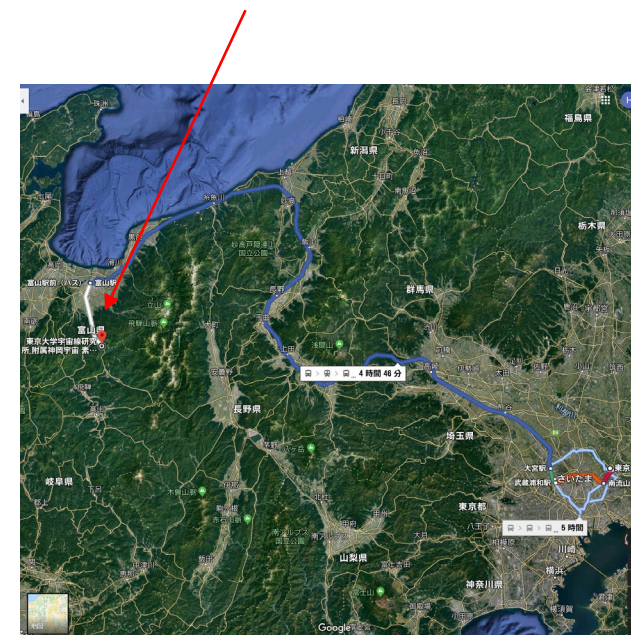


梶田



奥村

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



新研究棟

2021年10月11日

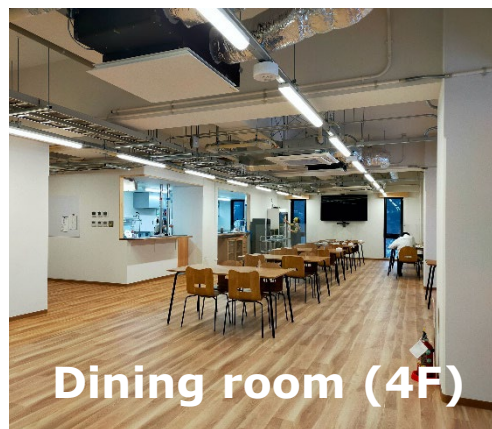


宿泊棟

シングル 17室  
和室大部屋 1室



Open space (3F)



Dining room (4F)

【令和5(2023)年6月 献立表】

7	水	○	オムライス 煮奴 スパゲッティサラダ	ちくわの磯部揚げ ニラ豚卵とじ 青菜のゴマ和え
8	木	○	牛肉のしぐれ煮 コンニャクのピリ辛炒め シーザーサラダ	ささみフライ じゃがいものカレー煮 パプリカのレンジマリネ
9	金	○	もやしと豚肉の味噌炒め 高野豆腐の含め煮 大根と赤カマの和え物	ふんわり卵 厚揚げと牛肉のオイスターカレー煮 きゅうりとジャコの酢の物
10	土	○	マーボー豆腐 魚の西京焼き 切干大根とほうれん草のサラダ	油揚げ餃子 おでん ブロッコリーと新玉ねぎのサラダ

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 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 2027年開始  
に向け順調に建設中



暗黒物質探索実験室(XMASS)

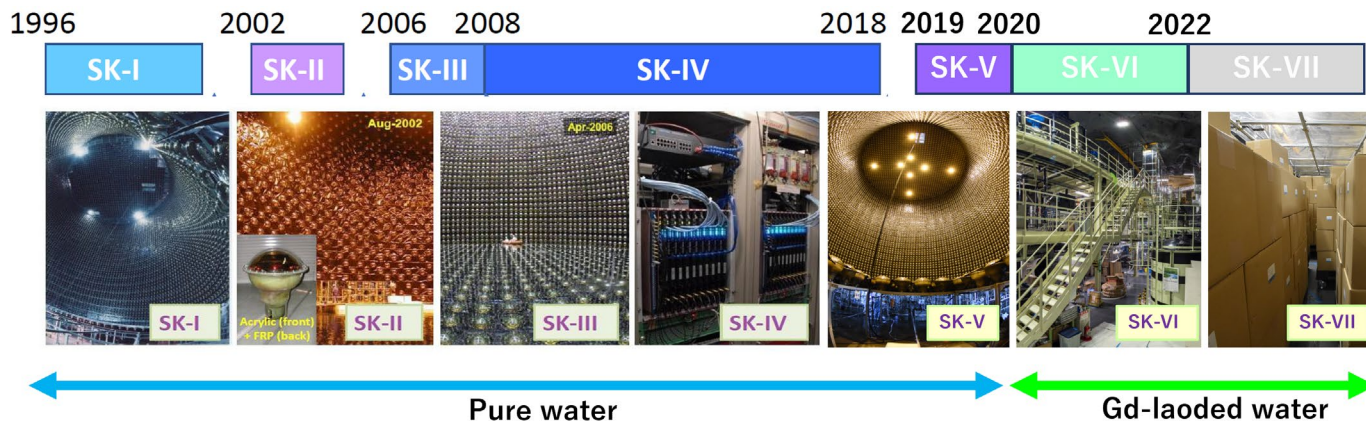


# Super-Kamiokande

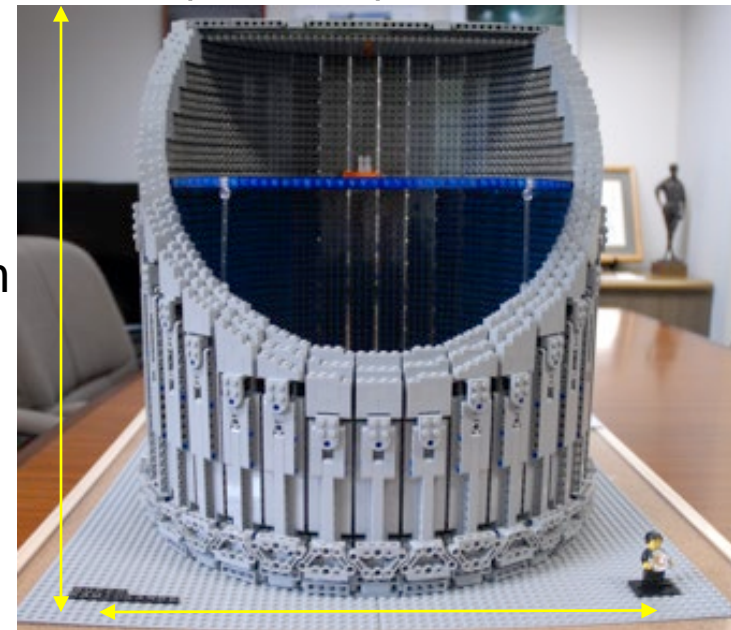
- 基幹プロジェクト

- 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25年以上たった今でも常に進化している。

41.4m



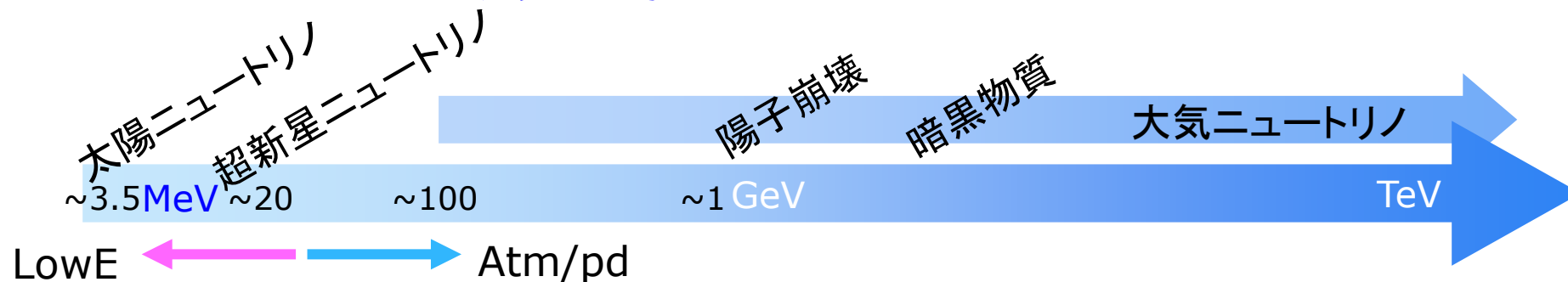
東大レゴ部の作品



40m

2022年6月1日からSK-VIIを開始

## スーパーカミオカンデの研究対象



# The Super-Kamiokande Collaboration



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  
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

INFN Bari, Italy  
NFN Napoli, Italy  
INFN Padova, Italy  
INFN Roma, Italy  
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  
Miyagi University of Education, Japan  
ISEE, Nagoya University, Japan  
NCBJ, Poland  
Nihon University, 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  
Sungkyunkwan University, Korea  
Stony Brook University, USA  
Tohoku University, Japan  
Tokai University, Japan  
The University of Tokyo, Japan  
Tokyo Institute of Technology, Japan  
Tokyo University of Science, Japan  
TRIUMF, Canada  
Tsinghua University, China  
University of Warsaw, Poland  
Warwick University, UK  
The University of Winnipeg, Canada  
Yokohama National University, Japan

~230 collaborators from 53 institutes in 11 countries

みんなで協力しつつ競いつつ結果をだす



日中は地下の現場でシフト（2人）  
夜は世界でオンラインでデータ収集を監視する

毎週の各グループ打ち合わせもオンライン  
コラボレーションミーティングは富山

# SKの論文について

- 実験開始から27年経過してなお、年間5編以上の一線級論文が出版されている！
- 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！

PHYSICAL REVIEW D 107, 092009 (2023)

Measurement of the cosmogenic neutron yield in Super-Kamiokande with gadolinium loaded water

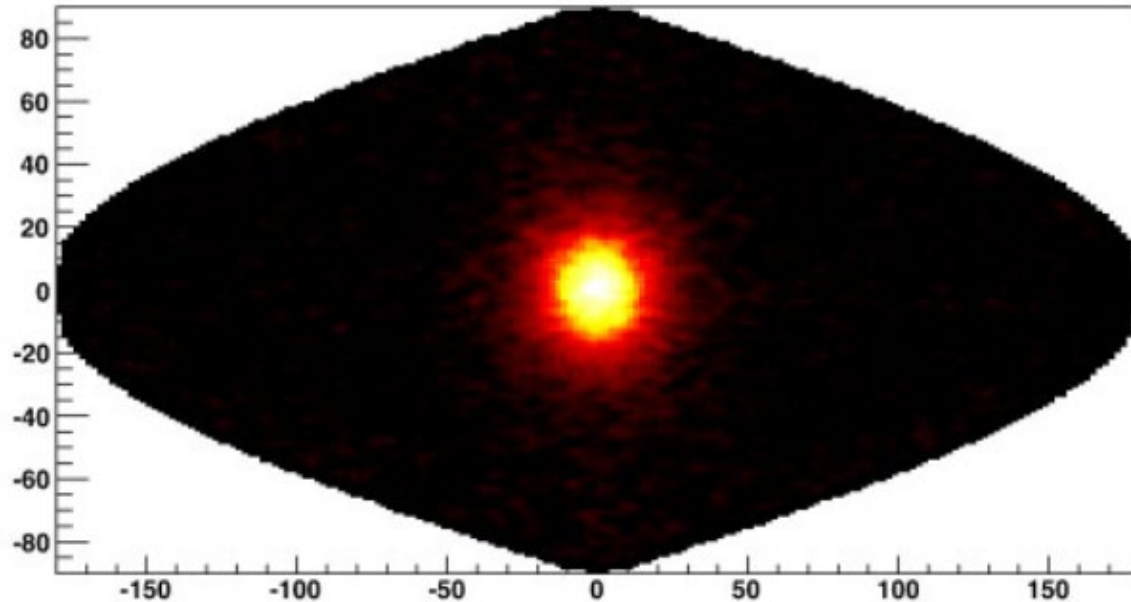
M. Shinoki<sup>49</sup>, K. Abe<sup>1,47</sup>, Y. Hayato<sup>1,47</sup>, K. Hiraide<sup>1,47</sup>, K. Hosokawa<sup>1</sup>, K. Ieki<sup>1,47</sup>, M. Ikeda<sup>1,47</sup>, J. Kameda<sup>1,47</sup>, Y. Kanemura<sup>1</sup>, R. Kaneshima<sup>1</sup>, M. Nakahata<sup>1,47</sup>, S. Shiozawa<sup>1,47</sup>, Y. Sonoda<sup>1</sup>, T. Yano<sup>1</sup>, S. Han<sup>2</sup>, T. Kajita<sup>2</sup>, P. Fernandez<sup>4</sup>, L. Labarga<sup>4</sup>, N. J. Bian<sup>7</sup>, N. J. Griskevich<sup>7</sup>, W. R. Kropp<sup>7</sup>, S. Locke<sup>7</sup>, M. B. Smy<sup>7</sup>, H. W. Sobel<sup>7</sup>, V. Takhistov<sup>7,47</sup>, A. Yankelevich<sup>7</sup>, L. N. Machado<sup>10</sup>, L. Wan<sup>10</sup>, T. Wester<sup>10</sup>, J. Hill<sup>8</sup>, J. Y. Kim<sup>9</sup>, I. T. Lim<sup>9</sup>, R. G. Park<sup>9</sup>, B. Bodur<sup>10</sup>, K. Scholberg<sup>10,47</sup>, C. W. Walter<sup>10,47</sup>, L. Bernard<sup>11</sup>, A. Coffani<sup>11</sup>, O. Drapier<sup>11</sup>, A. Giampaolo<sup>11</sup>, Th. A. Mueller<sup>11</sup>, A. D. Santos<sup>11</sup>, P. Paganini<sup>11</sup>, B. Quilain<sup>11</sup>, T. Ishizuka<sup>12</sup>, T. Nakamura<sup>13</sup>, J. S. Jang<sup>14</sup>, J. G. Learned<sup>15</sup>, K. Choi<sup>16</sup>, S. Cao<sup>17</sup>, L. H. V. Anthony<sup>18</sup>, D. Martin<sup>18</sup>, M. Scott<sup>18</sup>, A. A. Sztuc<sup>18</sup>, Y. Uchida<sup>18</sup>, V. Berardi<sup>19</sup>, M. G. Catanesi<sup>19</sup>, E. Radicioni<sup>19</sup>, N. F. Calabria<sup>20</sup>, L. N. Machado<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>21</sup>, M. Gonin<sup>23</sup>, G. Pronost<sup>23</sup>, C. Fujisawa<sup>25</sup>, Y. Maekawa<sup>24</sup>, Y. Nishimura<sup>24</sup>, M. Friend<sup>25</sup>, T. Hasegawa<sup>25</sup>, T. Ishida<sup>25</sup>, T. Kobayashi<sup>25</sup>, M. Jakkapu<sup>25</sup>, T. Matsubara<sup>25</sup>, T. Nakadaira<sup>25</sup>, K. Nakamura<sup>25,47</sup>, Y. Oyama<sup>25</sup>, K. Sakashita<sup>25</sup>, T. Sekiguchi<sup>25</sup>, T. Tsukamoto<sup>25</sup>, T. Boschi<sup>26</sup>, F. Di Lodovico<sup>26</sup>, J. Gao<sup>26</sup>, A. Goldsack<sup>26</sup>, T. Katori<sup>26</sup>, J. Migenda<sup>26</sup>, M. Taani<sup>26</sup>, Z. Xie<sup>26</sup>, S. Zsoldos<sup>26,47</sup>, Y. Kotsar<sup>27</sup>, H. Ozaki<sup>27</sup>, A. T. Suzuki<sup>27</sup>, Y. Takeuchi<sup>27,47</sup>, S. Yamamoto<sup>27</sup>, C. Bronner<sup>28</sup>, J. Feng<sup>28</sup>, T. Kikawa<sup>28</sup>, M. Mori<sup>28</sup>, T. Nakaya<sup>28,47</sup>, R. A. Wendell<sup>28,47</sup>, K. Yasutome<sup>28</sup>, S. J. Jenkins<sup>29</sup>, N. McCauley<sup>29</sup>, P. Mehta<sup>31</sup>, K. M. Tsui<sup>29</sup>, A. Tarrant<sup>29</sup>, Y. Fukuda<sup>30</sup>, Y. Ito<sup>31,32</sup>, H. Menjo<sup>31</sup>, K. Ninomiya<sup>31</sup>, J. Lagoda<sup>33</sup>, S. M. Lakshmi<sup>33</sup>, M. Mandal<sup>33</sup>, P. Mijakowski<sup>33</sup>, Y. S. Prabhu<sup>33</sup>, J. Zalipska<sup>33</sup>, M. Jia<sup>34</sup>, J. Jiang<sup>34</sup>, C. K. Jung<sup>34</sup>, M. J. Wilking<sup>34</sup>, C. Yanagisawa<sup>34,5</sup>, M. Harada<sup>35</sup>, H. Ishino<sup>35</sup>, S. Ito<sup>35</sup>, H. Kitagawa<sup>35</sup>, Y. Koshio<sup>35,47</sup>, W. Ma<sup>35</sup>, F. Nakanishi<sup>35</sup>, S. Sakai<sup>35</sup>, G. Barr<sup>36</sup>, D. Barrow<sup>36</sup>, L. Cook<sup>36,47</sup>, S. Samani<sup>36</sup>, D. Wark<sup>36,41</sup>, A. Holin<sup>37</sup>, F. Nova<sup>37</sup>, J. Y. Yang<sup>38</sup>, M. Malek<sup>39</sup>, J. M. McElwee<sup>39</sup>, O. Stone<sup>39</sup>, L. F. Thompson<sup>39</sup>, H. Okazawa<sup>40</sup>, S. B. Kim<sup>42</sup>, M. Shinoki<sup>42</sup>, T. Suganuma<sup>42</sup>, M. Yonemaga<sup>42</sup>, J. F. Martin<sup>42</sup>, H. A. Tanaka<sup>42</sup>, T. Towstego<sup>42</sup>, S. Chen<sup>42</sup>, B. D. Xu<sup>42</sup>, B. Zhang<sup>42</sup>, M. Posiadala<sup>42</sup>, B. Jamieson<sup>42</sup>, L. I. Marti<sup>42</sup>, M. J. Wilking<sup>42</sup>, C. Yanagisawa<sup>42,53</sup>, M. Harada<sup>42</sup>, H. Ishino<sup>42</sup>, S. Ito<sup>42</sup>, H. Kitagawa<sup>42</sup>, Y. Koshio<sup>42</sup>, W. Ma<sup>42</sup>, F. Nakanishi<sup>42</sup>, S. Sakai<sup>42</sup>, G. Barr<sup>42</sup>, D. Barrow<sup>42</sup>, L. Cook<sup>42</sup>, S. Samani<sup>42</sup>, D. Wark<sup>42</sup>, A. Holin<sup>42</sup>, F. Nova<sup>42</sup>, J. Y. Yang<sup>42</sup>, M. Malek<sup>42</sup>, J. M. McElwee<sup>42</sup>, O. Stone<sup>42</sup>, L. F. Thompson<sup>42</sup>, H. Okazawa<sup>42</sup>, S. B. Kim<sup>42</sup>, M. Shinoki<sup>42</sup>, T. Suganuma<sup>42</sup>, M. Yonemaga<sup>42</sup>, J. F. Martin<sup>42</sup>, H. A. Tanaka<sup>42</sup>, T. Towstego<sup>42</sup>, S. Chen<sup>42</sup>, B. D. Xu<sup>42</sup>, B. Zhang<sup>42</sup>, M. Posiadala<sup>42</sup>, B. Jamieson<sup>42</sup>, L. I. Marti<sup>42</sup>, M. J. Wilking<sup>42</sup>, C. Yanagisawa<sup>42,53</sup>, M. Harada<sup>42</sup>, H. Ishino<sup>42</sup>, S. Ito<sup>42</sup>, H. Kitagawa<sup>42</sup>, Y. Koshio<sup>42</sup>, W. Ma<sup>42</sup>, F. Nakanishi<sup>42</sup>, S. Sakai<sup>42</sup>, G. Barr<sup>42</sup>, D. Barrow<sup>42</sup>, L. Cook<sup>42</sup>, S. Samani<sup>42</sup>, D. Wark<sup>42</sup>, A. Holin<sup>42</sup>, F. Nova<sup>42</sup>, J. Y. Yang<sup>42</sup>, M. Malek<sup>42</sup>, J. M. McElwee<sup>42</sup>, O. Stone<sup>42</sup>, L. F. Thompson<sup>42</sup>, H. Okazawa<sup>42</sup>, S. B. Kim<sup>42</sup>, M. Shinoki<sup>42</sup>, T. Suganuma<sup>42</sup>, M. Yonemaga<sup>42</sup>, J. F. Martin<sup>42</sup>, H. A. Tanaka<sup>42</sup>, T. Towstego<sup>42</sup>, S. Chen<sup>42</sup>, B. D. Xu<sup>42</sup>, B. Zhang<sup>42</sup>, M. Posiadala<sup>42</sup>, B. Jamieson<sup>42</sup>, L. I. Marti<sup>42</sup>, M. J. Wilking<sup>42</sup>, C. Yanagisawa<sup>42,53</sup>, M. Harada<sup>42</sup>, H. Ishino<sup>42</sup>, S. Ito<sup>42</sup>, H. Kitagawa<sup>42</sup>, Y. Koshio<sup>42</sup>, W. Ma<sup>42</sup>, F. Nakanishi<sup>42</sup>, S. Sakai<sup>42</sup>, G. Barr<sup>42</sup>, D. Barrow<sup>42</sup>, L. Cook<sup>42</sup>, S. Samani<sup>42</sup>, D. Wark<sup>42</sup>, A. Holin<sup>42</sup>, F. Nova<sup>42</sup>, J. Y. Yang<sup>42</sup>, M. Malek<sup>42</sup>, J. M. McElwee<sup>42</sup>, O. Stone<sup>42</sup>, L. F. Thompson<sup>42</sup>, H. Okazawa<sup>42</sup>, S. B. Kim<sup>42</sup>, M. Shinoki<sup>42</sup>, T. Suganuma<sup>42</sup>, M. Yonemaga<sup>42</sup>, J. F. Martin<sup>42</sup>, H. A. Tanaka<sup>42</sup>, T. Towstego<sup>42</sup>, S. Chen<sup>42</sup>, B. D. Xu<sup>42</sup>, B. Zhang<sup>42</sup>, M. Posiadala<sup>42</sup>, B. Jamieson<sup>42</sup>, L. I. Marti<sup>42</sup>, M. J. Wilking<sup>42</sup>, C. Yanagisawa<sup>42,53</sup>, M. Harada<sup>42</sup>, H. Ishino<sup>42</sup>, S. Ito<sup>42</sup>, H. Kitagawa<sup>42</sup>, Y. Koshio<sup>42</sup>, W. Ma<sup>42</sup>, F. Nakanishi<sup>42</sup>, S. Sakai<sup>42</sup>, G. Barr<sup>42</sup>, D. Barrow<sup>42</sup>, L. Cook<sup>42</sup>, S. Samani<sup>42</sup>, D. Wark<sup>42</sup>, A. Holin<sup>42</sup>, F. Nova<sup>42</sup>, J. Y. Yang<sup>42</sup>, M. Malek<sup>42</sup>, J. M. McElwee<sup>42</sup>, O. Stone<sup>42</sup>, L. F. Thompson<sup>42</sup>, H. Okazawa<sup>42</sup>, S. B. Kim<sup>42</sup>, M. Shinoki<sup>42</sup>, T. Suganuma<sup>42</sup>, M. Yonemaga<sup>42</sup>, J. F. Martin<sup>42</sup>, H. A. Tanaka<sup>42</sup>, T. Towstego<sup>42</sup>, S. Chen<sup>42</sup>, B. D. Xu<sup>42</sup>, B. Zhang<sup>42</sup>, M. Posiadala<sup>42</sup>, B. Jamieson<sup>42</sup>, L. I. Marti<sup>42</sup>, M. J. Wilking<sup>42</sup>, C. Yanagisawa<sup>42,53</sup>, M. Harada<sup>42</sup>, H. Ishino<sup>42</sup>, S. Ito<sup>42</sup>, H. Kitagawa<sup>42</sup>, Y. Koshio<sup>42</sup>, W. Ma<sup>42</sup>, F. Nakanishi<sup>42</sup>, S. Sakai<sup>42</sup>, G. Barr<sup>42</sup>, D. Barrow<sup>42</sup>, L. Cook<sup>42</sup>, S. Samani<sup>42</sup>, D. Wark<sup>42</sup>, A. Holin<sup>42</sup>, F. Nova<sup>42</sup>, J. Y. Yang<sup>42</sup>, M. Malek<sup>42</sup>, J. M. McElwee<sup>42</sup>, O. Stone<sup>42</sup>, L. F. Thompson<sup>42</sup>, H. Okazawa<sup>42</sup>, S. B. Kim<sup>42</sup>, M. Shinoki<sup>42</sup>, T. Suganuma<sup>42</sup>, M. Yonemaga<sup>42</sup>, J. F. Martin<sup>42</sup>, H. A. Tanaka<sup>42</sup>, T. Towstego<sup>42</sup>, S. Chen<sup>42</sup>, B. D. Xu<sup>42</sup>, B. Zhang<sup>42</sup>, M. Posiadala<sup>42</sup>, B. Jamieson<sup>42</sup>, L. I. Marti<sup>42</sup>, M. J. Wilking<sup>42</sup>, C. Yanagisawa<sup>42,53</sup>, M. Harada<sup>42</sup>, H. Ishino<sup>42</sup>, S. Ito<sup>42</sup>, H. Kitagawa<sup>42</sup>, Y. Koshio<sup>42</sup>, W. Ma<sup>42</sup>, F. Nakanishi<sup>42</sup>, S. Sakai<sup>42</sup>, G. Barr<sup>42</sup>, D. Barrow<sup>42</sup>, L. Cook<sup>42</sup>, S. Samani<sup>42</sup>, D. Wark<sup>42</sup>, A. Holin<sup>42</sup>, F. Nova<sup>42</sup>, J. Y. Yang<sup>42</sup>, M. Malek<sup>42</sup>, J. M. McElwee<sup>42</sup>, O. Stone<sup>42</sup>, L. F. Thompson<sup>42</sup>, H. Okazawa<sup>42</sup>, S. B. Kim<sup>42</sup>, M. Shinoki<sup>42</sup>, T. Suganuma<sup>42</sup>, M. Yonemaga<sup>42</sup>, J. F. Martin<sup>42</sup>, H. A. Tanaka<sup>42</sup>, T. Towstego<sup>42</sup>, S. Chen<sup>42</sup>, B. D. Xu<sup>42</sup>, B. Zhang<sup>42</sup>, M. Posiadala<sup>42</sup>, B. Jamieson<sup>42</sup>, L. I. Marti<sup>42</sup>, M. J. Wilking<sup>42</sup>, C. Yanagisawa<sup>42,53</sup>, M. Harada<sup>42</sup>, H. Ishino<sup>42</sup>, S. Ito<sup>42</sup>, H. Kitagawa<sup>42</sup>, Y. Koshio<sup>42</sup>, W. Ma<sup>42</sup>, F. Nakanishi<sup>42</sup>, S. Sakai<sup>42</sup>, G. Barr<sup>42</sup>, D. Barrow<sup>42</sup>, L. Cook<sup>42</sup>, S. Samani<sup>42</sup>, D. Wark<sup>42</sup>, A. Holin<sup>42</sup>, F. Nova<sup>42</sup>, J. Y. Yang<sup>42</sup>, M. Malek<sup>42</sup>, J. M. McElwee<sup>42</sup>, O. Stone<sup>42</sup>, L. F. Thompson<sup>42</sup>, H. Okazawa<sup>42</sup>, S. B. Kim<sup>42</sup>, M. Shinoki<sup>42</sup>, T. Suganuma<sup>42</sup>, M. Yonemaga<sup>42</sup>, J. F. Martin<sup>42</sup>, H. A. Tanaka<sup>42</sup>, T. Towstego<sup>42</sup>, S. Chen<sup>42</sup>, B. D. Xu<sup>42</sup>, B. Zhang<sup>42</sup>, M. Posiadala<sup>42</sup>, B. Jamieson<sup>42</sup>, L. I. Marti<sup>42</sup>, M. J. Wilking<sup>42</sup>, C. Yanagisawa<sup>42,53</sup>, M. Harada<sup>42</sup>, H. Ishino<sup>42</sup>, S. Ito<sup>42</sup>, H. Kitagawa<sup>42</sup>, Y. Koshio<sup>42</sup>, W. Ma<sup>42</sup>, F. Nakanishi<sup>42</sup>, S. Sakai<sup>42</sup>, G. Barr<sup>42</sup>, D. Barrow<sup>42</sup>, L. Cook<sup>42</sup>, S. Samani<sup>42</sup>, D. Wark<sup>42</sup>, A. Holin<sup>42</sup>, F. Nova<sup>42</sup>, J. Y. Yang<sup>42</sup>, M. Malek<sup>42</sup>, J. M. McElwee<sup>42</sup>, O. Stone<sup>42</sup>, L. F. Thompson<sup>42</sup>, H. Okazawa<sup>42</sup>, S. B. Kim<sup>42</sup>, M. Shinoki<sup>42</sup>, T. Suganuma<sup>42</sup>, M. Yonemaga<sup>42</sup>, J. F. Martin<sup>42</sup>, H. A. Tanaka<sup>42</sup>, T. Towstego<sup>42</sup>, S. Chen<sup>42</sup>, B. D. Xu<sup>42</sup>, B. Zhang<sup>42</sup>, M. Posiadala<sup>42</sup>, B. Jamieson<sup>42</sup>, L. I. Marti<sup>42</sup>, M. J. Wilking<sup>42</sup>, C. Yanagisawa<sup>42,53</sup>, M. Harada<sup>42</sup>, H. Ishino<sup>42</sup>, S. Ito<sup>42</sup>, H. Kitagawa<sup>42</sup>, Y. Koshio<sup>42</sup>, W. Ma<sup>42</sup>, F. Nakanishi<sup>42</sup>, S. Sakai<sup>42</sup>, G. Barr<sup>42</sup>, D. Barrow<sup>42</sup>, L. Cook<sup>42</sup>, S. Samani<sup>42</sup>, D. Wark<sup>42</sup>, A. Holin<sup>42</sup>, F. Nova<sup>42</sup>, J. Y. Yang<sup>42</sup>, M. Malek<sup>42</sup>, J. M. McElwee<sup>42</sup>, O. Stone<sup>42</sup>, L. F. Thompson<sup>42</sup>, H. Okazawa<sup>42</sup>, S. B. Kim<sup>42</sup>, M. Shinoki<sup>42</sup>, T. Suganuma<sup>42</sup>, M. Yonemaga<sup>42</sup>, J. F. Martin<sup>42</sup>, H. A. Tanaka<sup>42</sup>, T. Towstego<sup>42</sup>, S. Chen<sup>42</sup>, B. D. Xu<sup>42</sup>, B. Zhang<sup>42</sup>, M. Posiadala<sup>42</sup>, B. Jamieson<sup>42</sup>, L. I. Marti<sup>42</sup>, M. J. Wilking<sup>42</sup>, C. Yanagisawa<sup>42,53</sup>, M. Harada<sup>42</sup>, H. Ishino<sup>42</sup>, S. Ito<sup>42</sup>, H. Kitagawa<sup>42</sup>, Y. Koshio<sup>42</sup>, W. Ma<sup>42</sup>, F. Nakanishi<sup>42</sup>, S. Sakai<sup>42</sup>, G. Barr<sup>42</sup>, D. Barrow<sup>42</sup>, L. Cook<sup>42</sup>, S. Samani<sup>42</sup>, D. Wark<sup>42</sup>, A. Holin<sup>42</sup>, F. Nova<sup>42</sup>, J. Y. Yang<sup>42</sup>, M. Malek<sup>42</sup>, J. M. McElwee<sup>42</sup>, O. Stone<sup>42</sup>, L. F. Thompson<sup>42</sup>, H. Okazawa<sup>42</sup>, S. B. Kim<sup>42</sup>, M. Shinoki<sup>42</sup>, T. Suganuma<sup>42</sup>, M. Yonemaga<sup>42</sup>, J. F. Martin<sup>42</sup>, H. A. Tanaka<sup>42</sup>, T. Towstego<sup>42</sup>, S. Chen<sup>42</sup>, B. D. Xu<sup>42</sup>, B. Zhang<sup>42</sup>, M. Posiadala<sup>42</sup>, B. Jamieson<sup>42</sup>, L. I. Marti<sup>42</sup>, M. J. Wilking<sup>42</sup>, C. Yanagisawa<sup>42,53</sup>, M. Harada<sup>42</sup>, H. Ishino<sup>42</sup>, S. Ito<sup>42</sup>, H. Kitagawa<sup>42</sup>, Y. Koshio<sup>42</sup>, W. Ma<sup>42</sup>, F. Nakanishi<sup>42</sup>, S. Sakai<sup>42</sup>, G. Barr<sup>42</sup>, D. Barrow<sup>42</sup>, L. Cook<sup>42</sup>, S. Samani<sup>42</sup>, D. Wark<sup>42</sup>, A. Holin<sup>42</sup>, F. Nova<sup>42</sup>, J. Y. Yang<sup>42</sup>, M. Malek<sup>42</sup>, J. M. McElwee<sup>42</sup>, O. Stone<sup>42</sup>, L. F. Thompson<sup>42</sup>, H. Okazawa<sup>42</sup>, S. B. Kim<sup>42</sup>, M. Shinoki<sup>42</sup>, T. Suganuma<sup>42</sup>, M. Yonemaga<sup>42</sup>, J. F. Martin<sup>42</sup>, H. A. Tanaka<sup>42</sup>, T. Towstego<sup>42</sup>, S. Chen<sup>42</sup>, B. D. Xu<sup>42</sup>, B. Zhang<sup>42</sup>, M. Posiadala<sup>42</sup>, B. Jamieson<sup>42</sup>, L. I. Marti<sup>42</sup>, M. J. Wilking<sup>42</sup>, C. Yanagisawa<sup>42,53</sup>, M. Harada<sup>42</sup>, H. Ishino<sup>42</sup>, S. Ito<sup>42</sup>, H. Kitagawa<sup>42</sup>, Y. Koshio<sup>42</sup>, W. Ma<sup>42</sup>, F. Nakanishi<sup>42</sup>, S. Sakai<sup>42</sup>, G. Barr<sup>42</sup>, D. Barrow<sup>42</sup>, L. Cook<sup>42</sup>, S. Samani<sup>42</sup>, D. Wark<sup>42</sup>, A. Holin<sup>42</sup>, F. Nova<sup>42</sup>, J. Y. Yang<sup>42</sup>, M. Malek<sup>42</sup>, J. M. McElwee<sup>42</sup>, O. Stone<sup>42</sup>, L. F. Thompson<sup>42</sup>, H. Okazawa<sup>42</sup>, S. B. Kim<sup>42</sup>, M. Shinoki<sup>42</sup>, T. Suganuma<sup>42</sup>, M. Yonemaga<sup>42</sup>, J. F. Martin<sup>42</sup>, H. A. Tanaka<sup>42</sup>, T. Towstego<sup>42</sup>, S. Chen<sup>42</sup>, B. D. Xu<sup>42</sup>, B. Zhang<sup>42</sup>, M. Posiadala<sup>42</sup>, B. Jamieson<sup>42</sup>, L. I. Marti<sup>42</sup>, M. J. Wilking<sup>42</sup>, C. Yanagisawa<sup>42,53</sup>, M. Harada<sup>42</sup>, H. Ishino<sup>42</sup>, S. Ito<sup>42</sup>, H. Kitagawa<sup>42</sup>, Y. Koshio<sup>42</sup>, W. Ma<sup>42</sup>, F. Nakanishi<sup>42</sup>, S. Sakai<sup>42</sup>, G. Barr<sup>42</sup>, D. Barrow<sup>42</sup>, L. Cook<sup>42</sup>, S. Samani<sup>42</sup>, D. Wark<sup>42</sup>, A. Holin<sup>42</sup>, F. Nova<sup>42</sup>, J. Y. Yang<sup>42</sup>, M. Malek<sup>42</sup>, J. M. McElwee<sup>42</sup>, O. Stone<sup>42</sup>, L. F. Thompson<sup>42</sup>, H. Okazawa<sup>42</sup>, S. B. Kim<sup>42</sup>, M. Shinoki<sup>42</sup>, T. Suganuma<sup>42</sup>, M. Yonemaga<sup>42</sup>, J. F. Martin<sup>42</sup>, H. A. Tanaka<sup>42</sup>, T. Towstego<sup>42</sup>, S. Chen<sup>42</sup>, B. D. Xu<sup>42</sup>, B. Zhang<sup>42</sup>, M. Posiadala<sup>42</sup>, B. Jamieson<sup>42</sup>, L. I. Marti<sup>42</sup>, M. J. Wilking<sup>42</sup>, C. Yanagisawa<sup>42,53</sup>, M. Harada<sup>42</sup>, H. Ishino<sup>42</sup>, S. Ito<sup>42</sup>, H. Kitagawa<sup>42</sup>, Y. Koshio<sup>42</sup>, W. Ma<sup>42</sup>, F. Nakanishi<sup>42</sup>, S. Sakai<sup>42</sup>, G. Barr<sup>42</sup>, D. Barrow<sup>42</sup>, L. Cook<sup>42</sup>, S. Samani<sup>42</sup>, D. Wark<sup>42</sup>, A. Holin<sup>42</sup>, F. Nova<sup>42</sup>, J. Y. Yang<sup>42</sup>, M. Malek<sup>42</sup>, J. M. McElwee<sup>42</sup>, O. Stone<sup>42</sup>, L. F. Thompson<sup>42</sup>, H. Okazawa<sup>42</sup>, S. B. Kim<sup>42</sup>, M. Shinoki<sup>42</sup>, T. Suganuma<sup>42</sup>, M. Yonemaga<sup>42</sup>, J. F. Martin<sup>42</sup>, H. A. Tanaka<sup>42</sup>, T. Towstego<sup>42</sup>, S. Chen<sup>42</sup>, B. D. Xu<sup>42</sup>, B. Zhang<sup>42</sup>, M. Posiadala<sup>42</sup>, B. Jamieson<sup>42</sup>, L. I. Marti<sup>42</sup>, M. J. Wilking<sup>42</sup>, C. Yanagisawa<sup>42,53</sup>, M. Harada<sup>42</sup>, H. Ishino<sup>42</sup>, S. Ito<sup>42</sup>, H. Kitagawa<sup>42</sup>, Y. Koshio<sup>42</sup>, W. Ma<sup>42</sup>, F. Nakanishi<sup>42</sup>, S. Sakai<sup>42</sup>, G. Barr<sup>42</sup>, D. Barrow<sup>42</sup>, L. Cook<sup>42</sup>, S. Samani<sup>42</sup>, D. Wark<sup>42</sup>, A. Holin<sup>42</sup>, F. Nova<sup>42</sup>, J. Y. Yang<sup>42</sup>, M. Malek<sup>42</sup>, J. M. McElwee<sup>42</sup>, O. Stone<sup>42</sup>, L. F. Thompson<sup>42</sup>, H. Okazawa<sup>42</sup>, S. B. Kim<sup>42</sup>, M. Shinoki<sup>42</sup>, T. Suganuma<sup>42</sup>, M. Yonemaga<sup>42</sup>, J. F. Martin<sup>42</sup>, H. A. Tanaka<sup>42</sup>, T. Towstego<sup>42</sup>, S. Chen<sup>42</sup>, B. D. Xu<sup>42</sup>, B. Zhang<sup>42</sup>, M. Posiadala<sup>42</sup>, B. Jamieson<sup>42</sup>, L. I. Marti<sup>42</sup>, M. J. Wilking<sup>42</sup>, C. Yanagisawa<sup>42,53</sup>, M. Harada<sup>42</sup>, H. Ishino<sup>42</sup>, S. Ito<sup>42</sup>, H. Kitagawa<sup>42</sup>, Y. Koshio<sup>42</sup>, W. Ma<sup>42</sup>, F. Nakanishi<sup>42</sup>, S. Sakai<sup>42</sup>, G. Barr<sup>42</sup>, D. Barrow<sup>42</sup>, L. Cook<sup>42</sup>, S. Samani<sup>42</sup>, D. Wark<sup>42</sup>, A. Holin<sup>42</sup>, F. Nova<sup>42</sup>, J. Y. Yang<sup>42</sup>, M. Malek<sup>42</sup>, J. M. McElwee<sup>42</sup>, O. Stone<sup>42</sup>, L. F. Thompson<sup>42</sup>, H. Okazawa<sup>42</sup>, S. B. Kim<sup>42</sup>, M. Shinoki<sup>42</sup>, T. Suganuma<sup>42</sup>, M. Yonemaga<sup>42</sup>, J. F. Martin<sup>42</sup>, H. A. Tanaka<sup>42</sup>, T. Towstego<sup>42</sup>, S. Chen<sup>42</sup>, B. D. Xu<sup>42</sup>, B. Zhang<sup>42</sup>, M. Posiadala<sup>42</sup>, B. Jamieson<sup>42</sup>, L. I. Marti<sup>42</sup>, M. J. Wilking<sup>42</sup>, C. Yanagisawa<sup>42,53</sup>, M. Harada<sup>42</sup>, H. Ishino<sup>42</sup>, S. Ito<sup>42</sup>, H. Kitagawa<sup>42</sup>, Y. Koshio<sup>42</sup>, W. Ma<sup>42</sup>, F. Nakanishi<sup>42</sup>, S. Sakai<sup>42</sup>, G. Barr<sup>42</sup>, D. Barrow<sup>42</sup>, L. Cook<sup>42</sup>, S. Samani<sup>42</sup>, D. Wark<sup>42</sup>, A. Holin<sup>42</sup>, F. Nova<sup>42</sup>, J. Y. Yang<sup>42</sup>, M. Malek<sup>42</sup>, J. M. McElwee<sup>42</sup>, O. Stone<sup>42</sup>, L. F. Thompson<sup>42</sup>, H. Okazawa<sup>42</sup>, S. B. Kim<sup>42</sup>, M. Shinoki<sup>42</sup>, T. Suganuma<sup>42</sup>, M. Yonemaga<sup>42</sup>, J. F. Martin<sup>42</sup>, H. A. Tanaka<sup>42</sup>, T. Towstego<sup>42</sup>, S. Chen<sup>42</sup>, B. D. Xu<sup>42</sup>, B. Zhang<sup>42</sup>, M. Posiadala<sup>42</sup>, B. Jamieson<sup>42</sup>, L. I. Marti<sup>42</sup>, M. J. Wilking<sup>42</sup>, C. Yanagisawa<sup>42,53</sup>, M. Harada<sup>42</sup>, H. Ishino<sup>42</sup>, S. Ito<sup>42</sup>, H. Kitagawa<sup>42</sup>, Y. Koshio<sup>42</sup>, W. Ma<sup>42</sup>, F. Nakanishi<sup>42</sup>, S. Sakai<sup>42</sup>, G. Barr<sup>42</sup>, D. Barrow<sup>42</sup>, L. Cook<sup>42</sup>, S. Samani<sup>42</sup>, D. Wark<sup>42</sup>, A. Holin<sup>42</sup>, F. Nova<sup>42</sup>, J. Y. Yang<sup>42</sup>, M. Malek<sup>42</sup>, J. M. McElwee<sup>42</sup>, O. Stone<sup>42</sup>, L. F. Thompson<sup>42</sup>, H. Okazawa<sup>42</sup>, S. B. Kim<sup>42</sup>, M. Shinoki<sup>42</sup>, T. Suganuma<sup>42</sup>, M. Yonemaga<sup>42</sup>, J. F. Martin<sup>42</sup>, H. A. Tanaka<sup>42</sup>, T. Towstego<sup>42</sup>, S. Chen<sup>42</sup>, B. D. Xu<sup>42</sup>, B. Zhang<sup>42</sup>, M. Posiadala<sup>42</sup>, B. Jamieson<sup>42</sup>, L. I. Marti<sup>42</sup>, M. J. Wilking<sup>42</sup>, C. Yanagisawa<sup>42,53</sup>, M. Harada<sup>42</sup>, H. Ishino<sup>42</sup>, S. Ito<sup>42</sup>, H. Kitagawa<sup>42</sup>, Y. Koshio<sup>42</sup>, W. Ma<sup>42</sup>, F. Nakanishi<sup>42</sup>, S. Sakai<sup>42</sup>, G. Barr<sup>42</sup>, D. Barrow<sup>42</sup>, L. Cook<sup>42</sup>, S. Samani<sup>42</sup>, D. Wark<sup>42</sup>, A. Holin<sup>42</sup>, F. Nova<sup>42</sup>, J. Y. Yang<sup>42</sup>, M. Malek<sup>42</sup>, J. M. McElwee<sup>42</sup>, O. Stone<sup>42</sup>, L. F. Thompson<sup>42</sup>, H. Okazawa<sup>42</sup>, S. B. Kim<sup>42</sup>, M. Shinoki<sup>42</sup>, T. Suganuma<sup>42</sup>, M. Yonemaga<sup>42</sup>, J. F. Martin<sup>42</sup>, H. A. Tanaka<sup>42</sup>, T. Towstego<sup>42</sup>, S. Chen<sup>42</sup>, B. D. Xu<sup>42</sup>, B. Zhang<sup>42</sup>, M. Posiadala<sup>42</sup>, B. Jamieson<sup>42</sup>, L. I. Marti<sup>42</sup>, M. J. Wilking<sup>42</sup>, C. Yanagisawa<sup>42,53</sup>, M. Harada<sup>42</sup>, H. Ishino<sup>42</sup>, S. Ito<sup>42</sup>, H. Kitagawa<sup>42</sup>, Y. Koshio<sup>42</sup>, W. Ma<sup>42</sup>, F. Nakanishi<sup>42</sup>, S. Sakai<sup>42</sup>, G. Barr<sup>42</sup>, D. Barrow<sup>42</sup>, L. Cook<sup>42</sup>, S. Samani<sup>42</sup>, D. Wark<sup>42</sup>, A. Holin<sup>42</sup>, F. Nova<sup>42</sup>, J. Y. Yang<sup>42</sup>, M. Malek<sup>42</sup>, J. M. McElwee<sup>42</sup>, O. Stone<sup>42</sup>, L. F. Thompson<sup>42</sup>, H. Okazawa<sup>42</sup>, S. B. Kim<sup>42</sup>, M. Shinoki<sup>42</sup>, T. Suganuma<sup>42</sup>, M. Yonemaga<sup>42</sup>, J. F. Martin<sup>42</sup>, H. A. Tanaka<sup>42</sup>, T. Towstego<sup>42</sup>, S. Chen<sup>42</sup>, B. D. Xu<sup>42</sup>, B. Zhang<sup>42</sup>, M. Posiadala<sup>42</sup>, B. Jamieson<sup>42</sup>, L. I. Marti<sup>42</sup>, M. J. Wilking<sup>42</sup>, C. Yanagisawa<sup>42,53</sup>, M. Harada<sup>42</sup>, H. Ishino<sup>42</sup>, S. Ito<sup>42</sup>, H. Kitagawa<sup>42</sup>, Y. Koshio<sup>42</sup>, W. Ma<sup>42</sup>, F. Nakanishi<sup>42</sup>, S. Sakai<sup>42</sup>, G. Barr<sup>42</sup>, D. Barrow<sup>42</sup>, L. Cook<sup>42</sup>, S. Samani<sup>42</sup>, D. Wark<sup>42</sup>, A. Holin<sup>42</sup>, F. Nova<sup>42</sup>, J. Y. Yang<sup>42</sup>, M. Malek<sup>42</sup>, J. M. McElwee<sup>42</sup>, O. Stone<sup>42</sup>, L. F. Thompson<sup>42</sup>, H. Okazawa<sup>42</sup>, S. B. Kim<sup>42</sup>, M. Shinoki<sup>42</sup>, T. Suganuma<sup>42</sup>, M. Yonemaga<sup>42</sup>, J. F. Martin<sup>42</sup>, H. A. Tanaka<sup>42</sup>, T. Towstego<sup>42</sup>, S. Chen<sup>42</sup>, B. D. Xu<sup>42</sup>, B. Zhang<sup>42</sup>, M. Posiadala<sup>42</sup>, B. Jamieson<sup>42</sup>, L. I. Marti<sup>42</sup>, M. J. Wilking<sup>42</sup>, C. Yanagisawa<sup>42,53</sup>, M. Harada<sup>42</sup>, H. Ishino<sup>42</sup>, S. Ito<sup>42</sup>, H. Kitagawa<sup>42</sup>, Y. Koshio<sup>42</sup>, W. Ma<sup>42</sup>, F. Nakanishi<sup>42</sup>, S. Sakai<sup>42</sup>, G. Barr<sup>42</sup>, D. Barrow<sup>42</sup>, L. Cook<sup>42</sup>, S. Samani<sup>42</sup>, D. Wark<sup>42</sup>, A. Holin<sup>42</sup>, F. Nova<sup>42</sup>, J. Y. Yang<sup>42</sup>, M. Malek<sup>42</sup>, J. M. McElwee<sup>42</sup>, O. Stone<sup>42</sup>, L. F. Thompson<sup>42</sup>, H. Okazawa<sup>42</sup>, S. B. Kim<sup>42</sup>, M. Shinoki<sup>42</sup>, T. Suganuma<sup>42</sup>, M. Yonemaga<sup>42</sup>, J. F. Martin<sup>42</sup>, H. A. Tanaka<sup>42</sup>, T. Towstego<sup>42</sup>, S. Chen<sup>42</sup>, B. D. Xu<sup>42</sup>, B. Zhang<sup>42</sup>, M. Posiadala<sup>42</sup>, B. Jamieson<sup>42</sup>, L. I. Marti<sup>42</sup>, M. J. Wilking<sup>42</sup>, C. Yanagisawa<sup>42,53</sup>, M. Harada<sup>42</sup>, H. Ishino<sup>42</sup>, S. Ito<sup>42</sup>, H. Kitagawa<sup>42</sup>, Y. Koshio<sup>42</sup>, W. Ma<sup>42</sup>, F. Nakanishi<sup>42</sup>, S. Sakai<sup>42</sup>, G. Barr<sup>42</sup>, D. Barrow

# 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

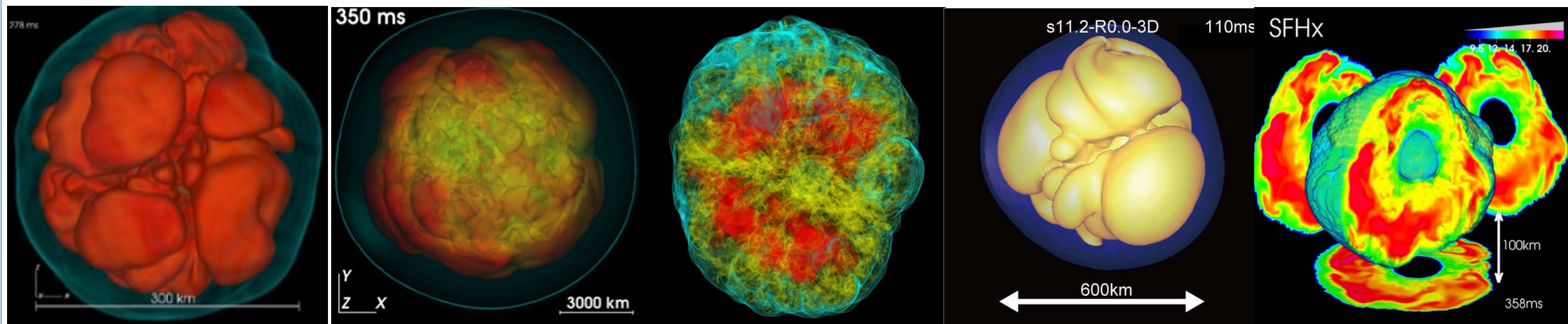
- 1987年に13秒間でKamiokandeが11現象、IMBが8現象捉えたのみ。
- 19現象では爆発の詳細なメカニズムがわからなかった。
- 我々を構成する元素の起源を探る
  - 「私たちは星のかけらだった」



1987a

# 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

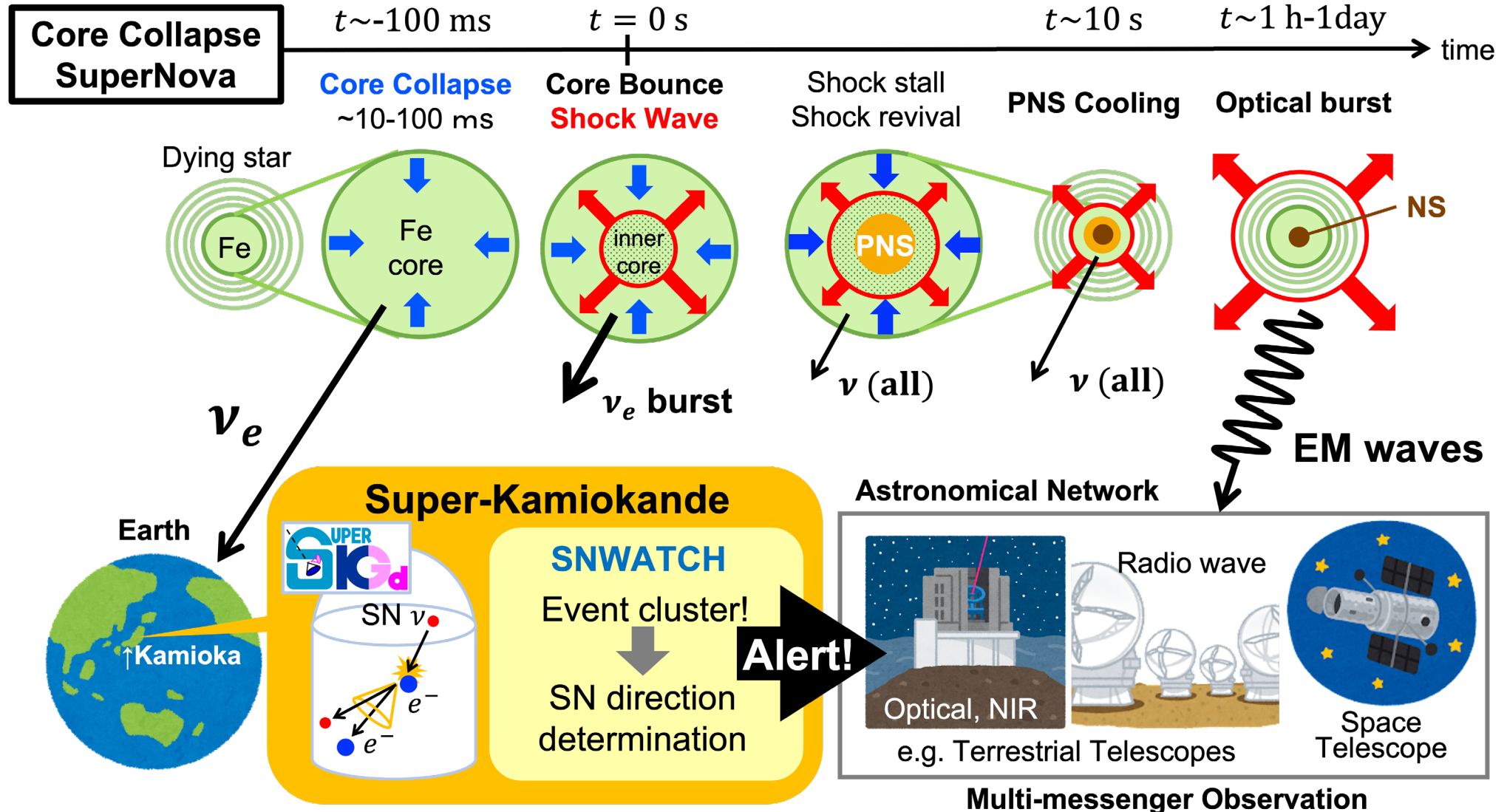
Takiwaki+'16

Kuroda+'16

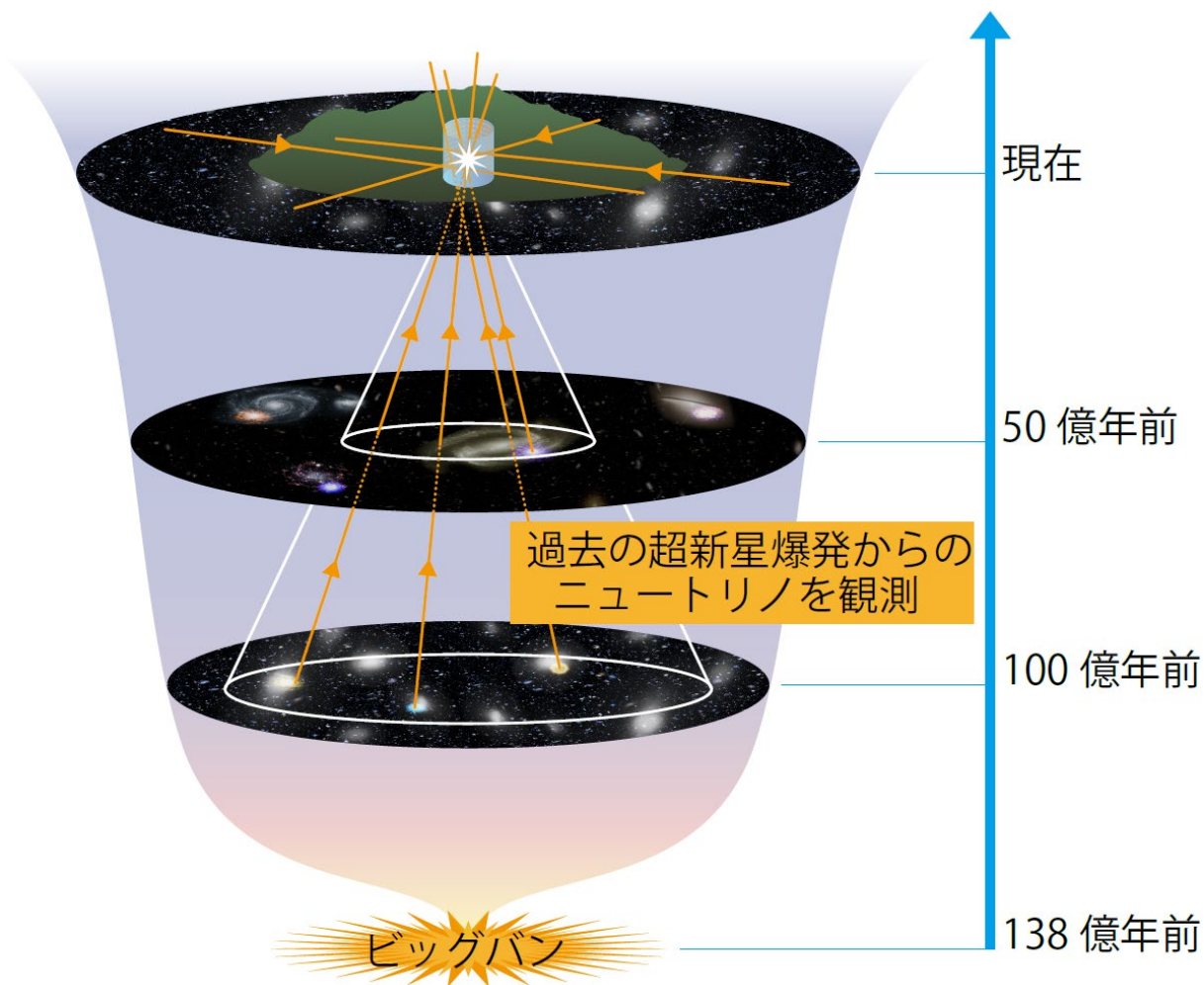
- モデルを作るには1987Aのデータはものすごく重要。ニュートリノによる衝撃波の再加熱をいれることで、最近ようやく爆発”できるように”なった。
- とにかくデータが必要 エネルギーや時間の情報が要る。

# 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



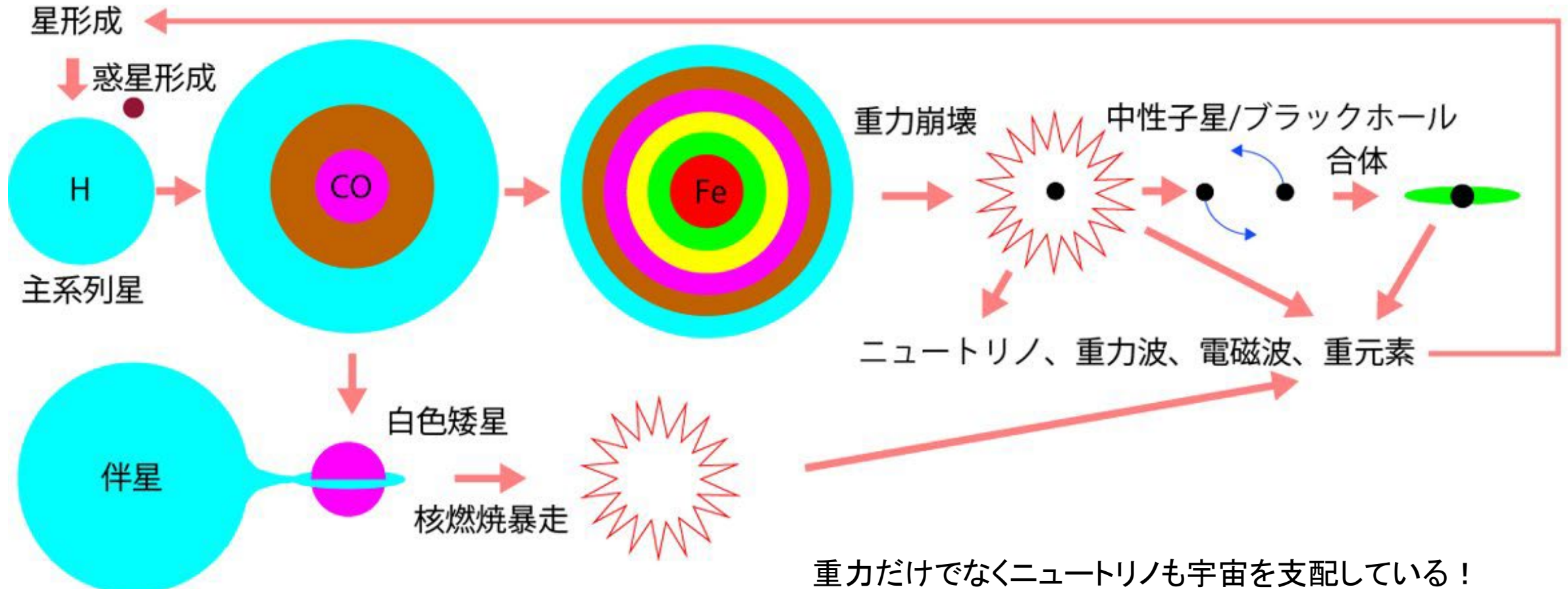
# 待つだけでなく、超新星背景ニュートリノを捕まえにいく



- 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



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

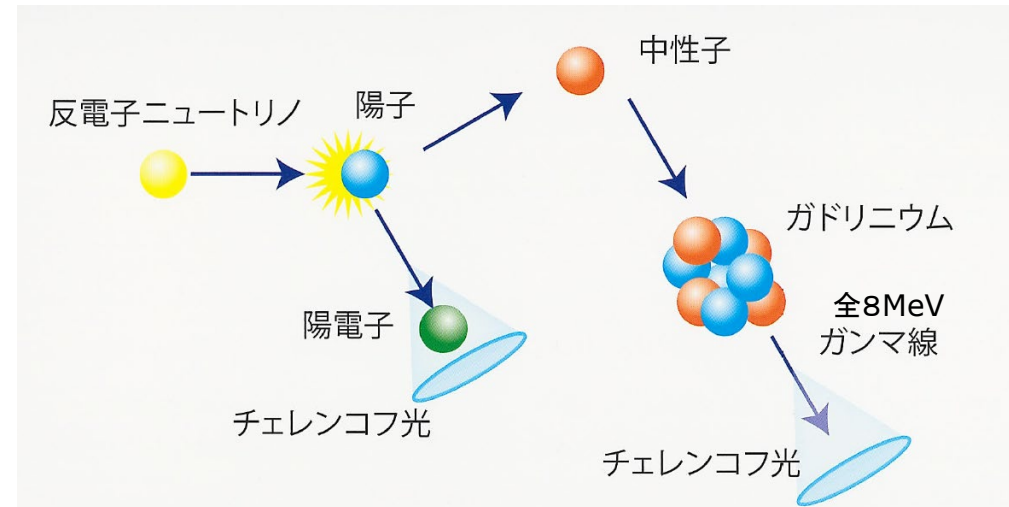
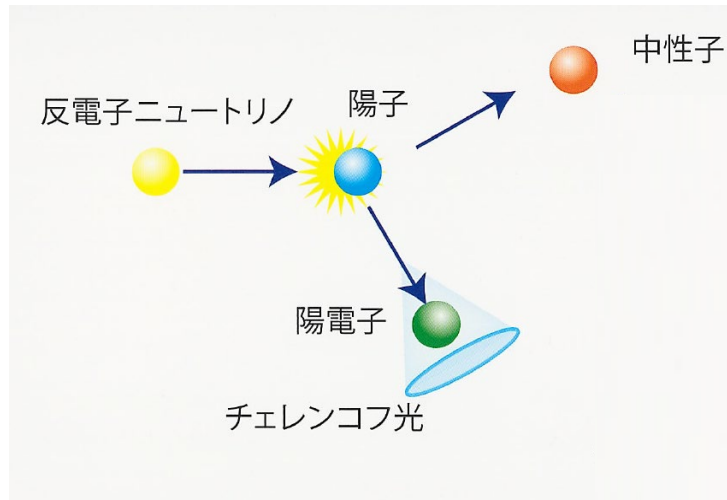
# SK-Gd計画

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

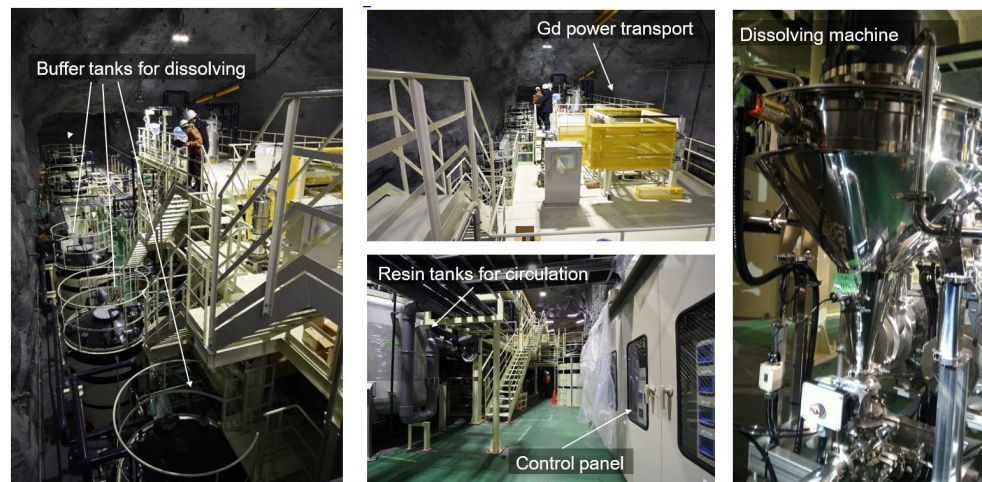
# 2022年0.03%Gd濃度達成

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



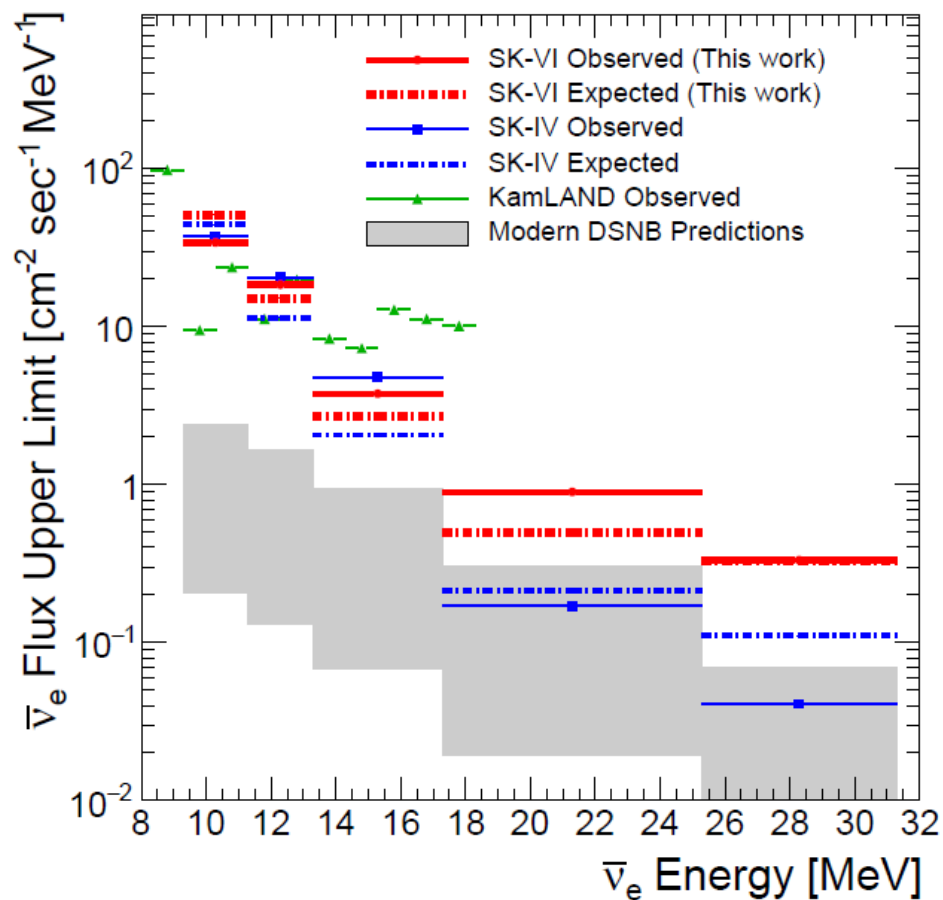
- 2022年 1350箱の20kg入り段ボール



# 超新星背景ニュートリノ観測の現状

6月8日 ApJ LにAccepted

超新星背景ニュートリノのフラックス



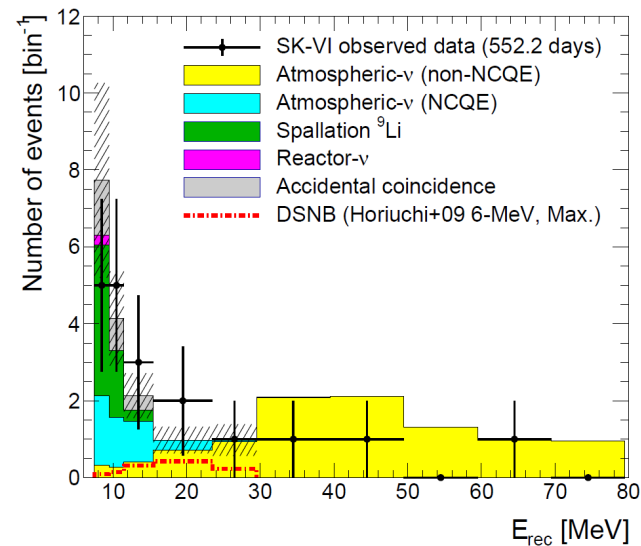
←これまでの観測結果

SK-VI 1.5年 (Gd 0.01%)

SK-IV 10年(純水)

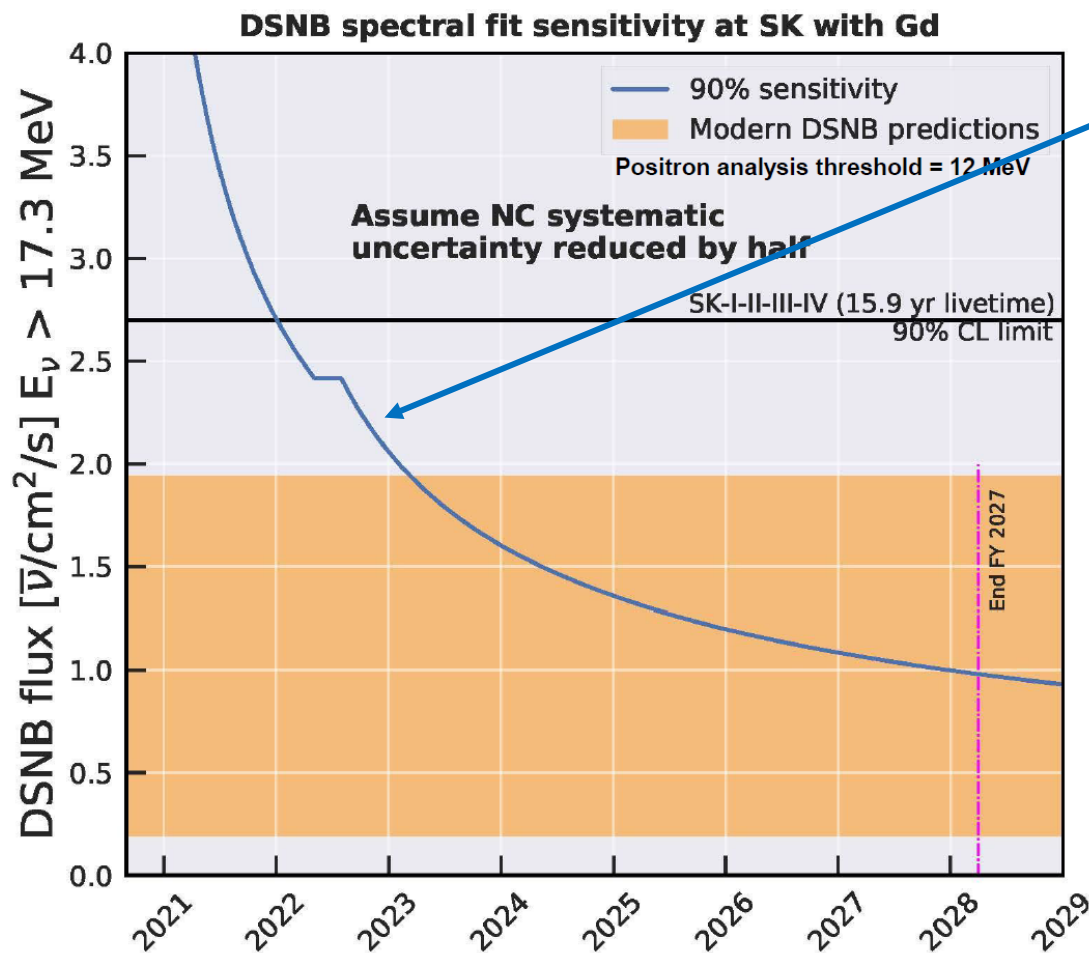
これより上では見つかりませんでした

理論予想



# 超新星背景ニュートリノ観測の現状

超新星背景ニュートリノのフラックス



SK-Gdの感度予想

理論予想の範囲

- 今後5年くらいの観測で発見をめざす！

# 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

SK史上最大のアップグレード完了  
まさにこれから新しいデータが！  
2~5年で大発見を目指す



関谷

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

