

日本学士院賞 受賞者

梶 田 隆 章



専攻学科目 宇宙線物理学

生 年 月 昭和三四年 三月
略 歴 昭和五六年 三月

埼玉大学理学部物理学科卒業

同 六一年 三月 東京大学大学院理学系研究科博士課程修了

同 六一年 三月 理学博士

平成 四年 四月 東京大学宇宙線研究所助教

同 一一年 九月 東京大学宇宙線研究所教授（現在に至る）

同 二〇年 四月 東京大学宇宙線研究所長（現在に至る）

理学博士梶田隆章氏の「大気ニュートリノ振動の発見」に対する授賞審査要旨

梶田隆章氏の主要な研究業績は、大気ニュートリノにおけるニュートリノ振動を発見し、それにより、ニュートリノに微小な質量が存在することを実証したことである。

大気ニュートリノとは宇宙線と大気との衝突により生じたニュートリノのことであるが、具体的には宇宙線の主要成分である陽子と大気中の原子の中の原子核が衝突し、その際生じたパイ粒子の崩壊に由来するものが主である。その場合、ミュー・ニュートリノと電子・ニュートリノの数の比はほぼ二・一になることが理論的に予想される。(ここでは粒子と反粒子は区別しない。)これは電荷を持つパイ粒子のほぼすべてがミュー粒子とミュー・ニュートリノに崩壊し、ミュー粒子はさらに電子、電子・ニュートリノ、ミュー・ニュートリノに崩壊するためである。

梶田氏は共同研究者とともに、まずカミオカンデにおける観測により、ミュー・ニュートリノが理論的予想にくらべて著しく少ないことを発見した。この発見は以下のようになされた。カミオカンデ

は神岡鉱山の地下約一〇〇〇メートルにおかれた約三〇〇〇トンの水タンクを用いた観測装置であり、荷電粒子が水中を進む際に発生するチェレンコフ光を測定する。梶田氏らはチェレンコフ光のパターンから荷電粒子がミュー粒子であるか電子であるかを識別する方法を確立し、それによりタンク中の水と反応したニュートリノがミュー型か電子型かを判別した。その結果、ミュー・ニュートリノと電子・ニュートリノの数の比が理論値の約六〇%であり、それが主としてミュー・ニュートリノの欠損によることを示した。さらにその後にかミオカンデで得られたデータを加えて、この現象がニュートリノ振動によるものと仮定した解析を行い、振動のパラメータの範囲をもとめた。

これらの結論は主として、反応の総数に基づいて得られたものであるが、梶田氏らはさらに、生成された粒子の方向からニュートリノの天頂角分布をもとめ、高いエネルギーの反応においては、天頂方向から来るニュートリノに比べて、地球の裏側から飛来するニュートリノに顕著な欠損があることを発見した。ニュートリノの欠損の天頂角依存性は、ニュートリノが地球の直径に相当する距離を飛ぶ間に他の種類のニュートリノに変化(ニュートリノ振動)するたに起きると理解でき、欠損がニュートリノ振動によることを示す有力な証拠となった。

この間、スーパーカミオカンデの建設がすすめられ、一九九六年に稼働を始めると、梶田氏らはスーパーカミオカンデにおいて大気ニュートリノのさらに精密な観測を行った。その結果、大気ニュートリノの異常はニュートリノ振動によるものであることが確立した。この結果は高山で開催された *Neutrino'98* 国際会議において梶田氏より報告され、大きな注目を集めた。

ニュートリノ振動は、ニュートリノが異なる質量を持つニュートリノの重ね合わせの状態である場合に起きる現象であり、ニュートリノ振動の発見は、ニュートリノに質量が存在することを実験的に証明したことになる。

ニュートリノの質量は、従来の方法による測定では、測定限界以下であるため、質量がゼロとみなされることが多かったが、梶田氏らの実験により、質量を持つことの決定的証拠が得られたことの意味は大きい。現在では、太陽ニュートリノの欠損もニュートリノ振動で説明できることが分かっており、電子・ニュートリノ、ミュー・ニュートリノ、タウ・ニュートリノが異なる質量を持つ三種のニュートリノの重ね合わせの状態であると考えられている。これはクォークにおいても見られる事実であるが、ニュートリノの場合の著しい特徴は、その質量スケールが極端に小さいことであり、いわゆる標準模型を超える物理と関連があると考えるのが一般的である。

る。したがって、梶田氏らが発見したニュートリノの質量をめぐっては、今後も新たな展開が予想される。

カミオカンデおよびスーパーカミオカンデは、もともとのテーマである陽子崩壊に加えて、太陽ニュートリノ、大気ニュートリノ、超新星からのニュートリノなど多くの重要な実験課題を持つが、梶田氏は一連の大気ニュートリノに関する研究で中心的役割を果たし、また同時にカミオカンデグループ、スーパーカミオカンデグループにおいて指導的立場にある。

梶田氏はこれらの業績に対し、仁科記念賞、米国物理学会パノフスキー賞、戸塚洋二賞を受賞した。またカミオカンデグループは朝日賞、ブルーノ・ロッシ賞を、スーパーカミオカンデグループは朝日賞を受賞している。

主要な論文目録

Original research papers

1. "Search for Nucleon Decay into Charged Lepton + Mesons", K. Arisaka *et al.*, *J. Phys. Soc. Jpn.* **54** (1985) 3213-3216.
2. "Search for Nucleon Decays into Anti-Neutrino + Mesons", T. Kajita *et al.*, *J. Phys. Soc. Jpn.* **55** (1986) 711-714.
3. "Observation of a Neutrino Burst from the Supernova SN1987A", K. Hirata *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **58** (1987) 1490-1493.
4. "Experimental study of the atmospheric neutrino flux", K.S. Hirata *et al.*, *Phys.*

- Let. B **205** (1988) 416–420.
5. “Experimental Limit on Nucleon Lifetime for Lepton + Meson Decay Modes”, K.S. Hirata *et al.*, Phys. Lett. B **220** (1989) 308–316.
 6. “Observation of ^8B Solar Neutrinos in the Kamiokande-II Detector”, K.S. Hirata *et al.*, Phys. Rev. Lett. **63** (1989) 16–19.
 7. “Results from One Thousand Days of Real-Time, Directional Solar-Neutrino Data”, K.S. Hirata *et al.*, Phys. Rev. Lett. **65** (1990) 1297–1300.
 8. “Observation of a small atmospheric ν_μ/ν_e ratio in Kamiokande”, K.S. Hirata *et al.*, Phys. Lett. B **280** (1992) 146–152.
 9. “Atmospheric ν_μ/ν_e ratio in the multi-GeV energy range”, Y. Fukuda *et al.*, Phys. Lett. B **335** (1994) 237–245.
 10. “Calculation of the flux of atmospheric neutrinos”, M. Honda *et al.*, Phys. Rev. D **52** (1995) 4985–5005.
 11. “A Study of the e/μ Identification Capability of a Water Cherenkov Detector and the Atmospheric Neutrino Problem”, S. Kasuga *et al.*, Phys. Lett. B **374** (1996) 238–242.
 12. “Study of Neutron Background in the Atmospheric Neutrino Sample in Kamiokande”, Y. Fukuda *et al.*, Phys. Lett. B **388** (1996) 397–401.
 13. “Solar Neutrino Data Covering Solar Cycle 22”, Y. Fukuda *et al.*, Phys. Rev. Lett. **77** (1996) 1683–1686.
 14. “Measurement of the Flux and Zenith-Angle Distribution of Upward Through-Going Muons in Kamiokande II+III”, S. Hatakeyama *et al.*, Phys. Rev. Lett. **81** (1998) 2016–2019.
 15. “Measurement of a small atmospheric ν_μ/ν_e ratio”, Y. Fukuda *et al.* (Super-Kamiokande Collaboration), Phys. Lett. B **433** (1998) 9–18.
 16. “Study of the atmospheric neutrino flux in the multi-GeV energy range”, Y. Fukuda *et al.* (Super-Kamiokande Collaboration), Phys. Lett. B **436** (1998) 33–41.
 17. “Evidence for oscillation of atmospheric neutrinos”, Y. Fukuda *et al.* (Super-Kamiokande Collaboration), Phys. Rev. Lett. **81** (1998) 1562–1567.
 18. “Search for Proton Decay via $p \rightarrow e + \pi^0$ in a Large Water Cherenkov Detector”, M. Shiozawa *et al.* (Super-Kamiokande collaboration), Phys. Rev. Lett. **81** (1998) 3319–3323.
 19. “Measurement of the Flux and Zenith-Angle Distribution of Upward Through-going Muons by Super-Kamiokande”, Y. Fukuda *et al.* (Super-Kamiokande collaboration), Phys. Rev. Lett. **82** (1999) 2644–2648.
 20. “Search for Proton Decay through $p \rightarrow \nu K^+$ in a Large Water Cherenkov Detector”, Y. Hayato *et al.* (Super-Kamiokande collaboration), Phys. Rev. Lett. **83** (1999) 1529–1533.
 21. “Observation of the East-West Anisotropy of the Atmospheric Neutrino Flux”, Y. Futagami *et al.* (Super-Kamiokande collaboration), Phys. Rev. Lett. **82** (1999) 5194–5197.
 22. “Neutrino-induced upward stopping muons in Super-Kamiokande”, Y. Fukuda *et al.* (Super-Kamiokande collaboration), Phys. Lett. B **467** (1999) 185–193.
 23. “Tau neutrinos favored over sterile neutrinos in atmospheric muon neutrino oscillations”, S. Fukuda *et al.* (Super-Kamiokande collaboration), Phys. Rev. Lett. **85** (2000) 3999–4003.
 24. “Solar ^8B and Hep Neutrino Measurements from 1258 Days of Super-Kamiokande Data”, S. Fukuda *et al.* (Super-Kamiokande collaboration), Phys. Rev. Lett. **86** (2001) 5651–5655.
 25. “Evidence for an oscillatory signature in atmospheric neutrino oscillations”, Y. Ashie *et al.* (Super-Kamiokande collaboration), Phys. Rev. Lett. **93** (2004) 101801.
 26. “A New Calculation of the Atmospheric Neutrino Flux in a 3-dimensional Scheme”, M. Honda, T. Kajita, K. Kasahara and S. Midorikawa, Phys. Rev. D **70** (2004) 043008.

27. "A measurement of atmospheric neutrino oscillation parameters by Super-Kamiokande-I", Y. Ashie *et al.* (Super-Kamiokande collaboration), Phys. Rev. D **72** (2005) 052007.
 28. "Resolving Neutrino Mass Hierarchy and CP Degeneracy by Two Identical Detectors with Different Baselines", M. Ishitsuka, T. Kajita, H. Minakata and H. Nunokawa, Phys. Rev. D **72** (2005) 033003.
 29. "Evidence for Muon Neutrino Oscillation in an Accelerator-based Experiment", E. Ahn *et al.*, Phys. Rev. Lett. **94** (2005) 081802.
 30. "Measurement of Atmospheric Neutrino Flux Consistent with Tau Neutrino Appearance", K. Abe *et al.* (Super-Kamiokande collaboration), Phys. Rev. Lett. **97** (2006) 171801.
 31. "Calculation of atmospheric neutrino flux using the interaction model calibrated with atmospheric muon data", M. Honda *et al.*, Phys. Rev. D **75** (2007) 043006.
 32. "Search for Proton Decay via $p \rightarrow e + \pi^0$ and $p \rightarrow \mu + \pi^0$ in a Large Water Cherenkov Detector", H. Nishino *et al.* (Super-Kamiokande collaboration), Phys. Rev. Lett. **102** (2009) 141801.
 33. "Atmospheric neutrino oscillation analysis with sub-leading effects in Super-Kamiokande I, II, and III", R. Wendell *et al.* (Super-Kamiokande collaboration), Phys. Rev. D **81** (2010) 092004.
 34. "Indication of electron neutrino appearance from an accelerator-produced off-axis muon neutrino beam", K. Abe *et al.* (T2K collaboration), Phys. Rev. Lett. **107** (2011) 041801.
-
- Review papers
1. "Observation of Atmospheric Neutrinos", T. Kajita, in "Physics and Astrophysics of Neutrinos" Eds. M. Fukugita and A. Suzuki, Springer-Verlag, Tokyo, 1994, pp. 559–605.
 2. "Observation of atmospheric neutrinos", T. Kajita and Y. Totsuka, Rev. of Mod. Phys. **73** (2001) 85–118.
 3. "Oscillation of Atmospheric Neutrinos", C.K. Jung, T. Mann, T. Kajita and C. McGrew, Ann. Rev. Nucl. Part. Sci. **51** (2001) 451–488.
 4. "Atmospheric Neutrinos", T. Kajita, New J. Phys. **6** (2004) 194.
 5. "Astrophysical Neutrino Telescopes", A. B. McDonald, C. Spiering, S. Schonert, E. Kearns and T. Kajita, Rev. Sci. Instrum. **75** (2004) 293.
 6. "Atmospheric neutrinos and neutrino oscillations", T. Kajita and P. Lipari, Comptes Rendus Physique **6** (2005) 739–748.
 7. "Discovery of neutrino oscillations", T. Kajita, Rept. Prog. Phys. **69** (2006) 1607–1635.
 8. "Experimental results on neutrino masses and mixings", M. Koshiba, T. Kajita, T. Kobayashi, T. Nakaya, K. Nishikawa, A. Suzuki, K. Inoue, and M. Nakahata, in "Landolt-Boernstein I 21A: Elementary particles" (2008) pp. 11–1–11–64.
 9. "Atmospheric neutrinos and discovery of neutrino oscillations", T. Kajita, Proc. Jpn. Acad. Ser. B **86** (2010) 303–321.
-
- Conference papers
1. "Atmospheric neutrino results from Super-Kamiokande and Kamiokande – Evidence for ν_μ oscillations –", T. Kajita (for the Super-Kamiokande and Kamiokande collaborations), Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.) **77** (1999) 123–132.