

^7Be 太陽ニュートリノ検出による太陽物理学，素粒子物理学の新展開



●研究代表者

鈴木 厚人 物理学専攻・ニュートリノ科学研究センター・教授
Atsuhito Suzuki

●メールアドレス…suzukia@awa.tohoku.ac.jp

●専門分野…素粒子実験

●主な研究課題…
 ・ニュートリノによる太陽エネルギー生成機構の究明
 ・星の進化初期過程の実証
 ・太陽ニュートリノ振動現象の精密測定と素粒子基本対称性の検証

●研究目的

太陽の中心部では、陽子からヘリウムを合成する熱核融合反応が進行し、これによって太陽エネルギーが生成される。この太陽熱核融合反応においては、星の進化の初期段階である陽子・陽子連鎖反応が最も重要な役割を果たす。そして、各反応過程で生成されるニュートリノを測定することによって(右図参照)、太陽内部診断および星の進化過程の研究が可能になる。太陽ニュートリノを検出する最初の実験は、R.デービス(2002年ノーベル物理学賞受賞)のグループによって1970年に始まった。しかし、測定結果は理論予想値の1/3しかなく、“消えた太陽ニュートリノの謎”と呼ばれ、30年以上もの間、未解決課題として研究者を悩ませた。しかし、その後の太陽ニュートリノ実験とカムランドによる原子炉ニュートリノ検出実験から、ニュートリノが質量を持つことに起因するニュートリノ振動が原因であることが判明した。太陽ニュートリノ欠損問題が解決したのである。ニュートリノ振動現象を考慮に入れることによって、R.デービスが30年前に抱いた夢＝ニュートリノ太陽物理学の研究が、これからようやく実現されようとしている。

●研究内容

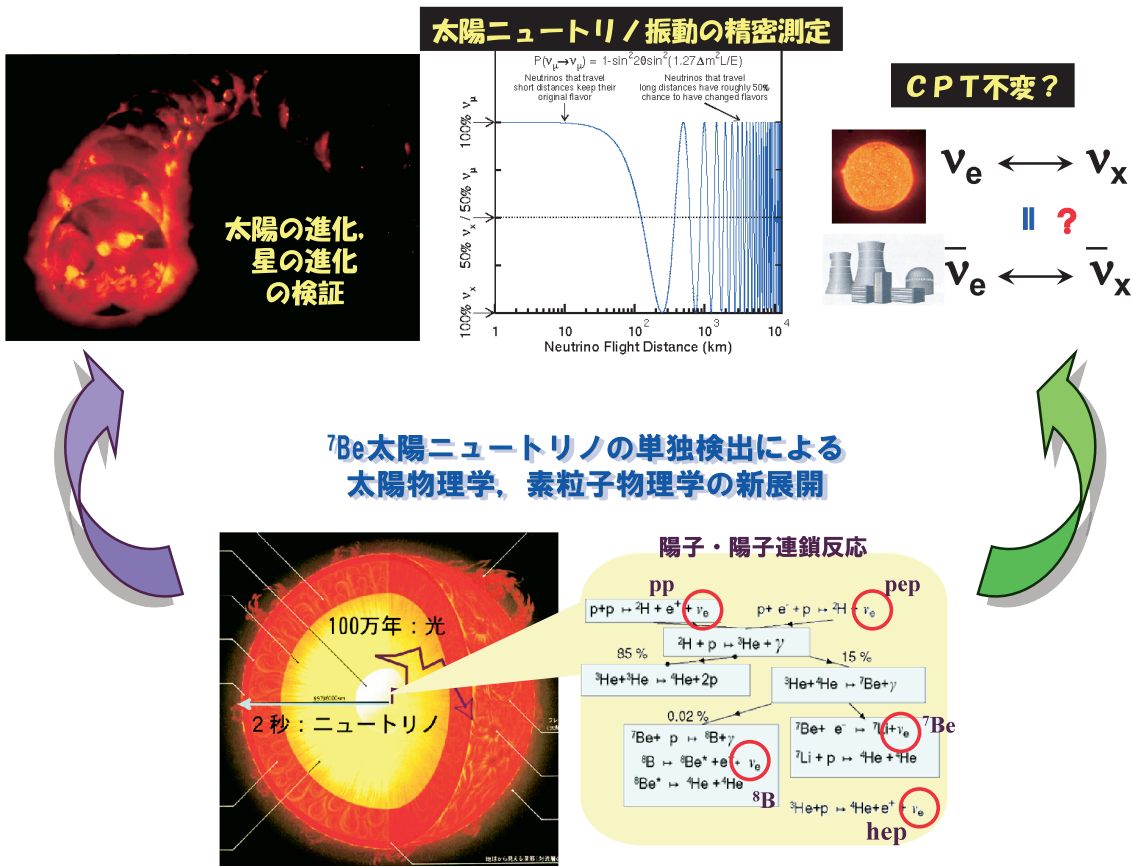
本研究では、全太陽ニュートリノの15%を占める ^7Be 太陽ニュートリノの初の単独検出を試みる。カムランドを用いると、有効標的体積：600トンの場合、1日に約200個の ^7Be 太陽ニュートリノ・電子散乱現象が観測される。この大頻度事象数のお陰で、特色ある研究が可能になる。この検出は、pp連鎖反応の重要な分岐点である $^3\text{He} + ^4\text{He}$ 反応と $^3\text{He} + ^3\text{He}$ 反応の比 $= 2 \times ^7\text{Be}$ フラックス/ $(\text{ppフラックス} + ^7\text{Beフラックス})$ を決定し、

軽元素間の核融合反応によって太陽が輝いている根本的な仮説を検証する。一方、太陽表面の輝度のデータと比較することによって、太陽表面からのエネルギーの放出と、内部での生成が平衡状態にあるかどうか判定される。これらはまた、星が誕生し核融合反応によって燃え、巨大白色矮星や超新星爆発で最期をとげる星の一生の進化論の検証でもある。

^7Be 太陽ニュートリノの検出は素粒子物理学研究においても重要である。原子炉反電子ニュートリノ振動は、CPT対称性の仮定の基に、太陽ニュートリノ(電子ニュートリノ)振動と同等である。このため、太陽ニュートリノ単独で、ニュートリノ振動の詳細な解析を行い、これと高統計の原子炉反電子ニュートリノ振動の解析結果と比較することによって、CPT対称性の実験的検証が可能になる。ここでも、 ^7Be 太陽ニュートリノの大頻度事象数が威力を発揮する。特に地球が太陽の周りを楕円運動するための公転半径の変化による太陽ニュートリノ量の季節変動や、地球を透過することによる振動効果の昼夜変動の検出を用いて振動現象の詳細な解析が可能になる。

太陽ニュートリノ欠損現象は、ニュートリノ振動が主要因であることが確定したが、2次要因として未発見のニュートリノの種類を転換する相互作用の存在も可能性として残されている。つまり、ニュートリノ振動＋未知のニュートリノ相互作用が、太陽ニュートリノ欠損現象を引き起こすとする仮説である。未知のニュートリノ相互作用の発見は、素粒子物理学に多大の影響を与えるために、この仮説をあなどることはできない。 ^7Be 太陽ニュートリノの検出と(2-5) MeV領域の ^8B 太陽ニュートリノの検出が重要であり、本研究で挑戦する。

研究分担者	井上 邦雄	(物理学専攻・ニュートリノ科学研究センター・教授)
	白井 淳平	(物理学専攻・ニュートリノ科学研究センター・助教授)
	末包 文彦	(物理学専攻・ニュートリノ科学研究センター・助教授)
	古賀 真之	(物理学専攻・ニュートリノ科学研究センター・助教授)
	岸本 康宏	(物理学専攻・ニュートリノ科学研究センター・助手)
	滝川 昇	(物理学専攻・教授)
	斉尾 英行	(天文学専攻・教授)
研究協力者	三井 唯夫	(物理学専攻・ニュートリノ科学研究センター・研究員)
	古野貢一郎	(物理学専攻・ニュートリノ科学研究センター・研究員)



⁷Be太陽ニュートリノの単独検出による 太陽物理学、素粒子物理学の新展開

太陽は、水素を燃やしてヘリウムを生成する一連の核融合反応サイクルによってエネルギーを放っている。太陽ニュートリノ（電子ニュートリノ： ν_e ）は、この核融合反応サイクルの随所、陽子+陽子→重陽子+陽電子+ニュートリノ反応（ppニュートリノ）、陽子+陽子+電子→重陽子+ ν_e 反応（pepニュートリノ）、⁷Beの電子捕獲反応（⁷Beニュートリノ）、⁸Bの崩壊（⁸Bニュートリノ）で生成される。

大量に生成される⁷Be太陽ニュートリノの単独検出が成功すると、高統計データを用いてニュートリノ太陽物理学の展開、さらに、ニュートリノ振動現象の精密測定や、自然界の最も基本的な対称性であるCPT対称性の検証等の素粒子物理学の新展開が実現される。

● 代表的な発表論文

- 1) A High Sensitivity Search for Anti-neutrino($\bar{\nu}_e$)s from the Sun and Other Sources at KamLAND.
KamLAND Collaboration, Phys. Rev. Lett. **92**, 071301 (2004).
- 2) First Results from KamLAND: Evidence for Reactor Anti-Neutrino Disappearance.
KamLAND Collaboration, Phys. Rev. Lett. **90**, 021802 (2003).
- 3) Solar B-8 and hep Neutrino Measurements from 1258 Days of Super-Kamiokande Data.
Super-Kamiokande Collaboration, Phys. Rev. Lett. **86**, 5651 (2001).
- 4) Evidence for Oscillation of Atmospheric Neutrinos by Super-Kamiokande Collaboration.
Super-Kamiokande Collaboration, Phys. Rev. Lett. **81**, 1562 (1998).
- 5) Observation of a Neutrino Burst from the Supernova SN1987A.
Kamiokande Collaboration, Phys. Rev. Lett. **58**, 1490 (1987).