

**投稿**

# 2015年9月1日のニュートリノ・アラート

**大西浩次（長野工業高等専門学校）**

## 1.はじめに

恒星の中心部での核反応や宇宙の爆発的な現象に伴って、ニュートリノが大量に放出されている[1]。しかし、これらのニュートリノは、通常の物質とほとんど相互作用しないので、物質中をほぼ素通りする。だから、この粒子の検出は非常に難しい。しかし、逆に、これの性質を使えば、恒星の内部の核反応の様子や、宇宙の高エネルギー現象（例えば、超新星爆発、ガンマ線バーストや活動銀河核）などを調べることができる。

このような目的で、太陽ニュートリノや超新星爆発に伴うニュートリノの検出が可能な

カミオカンデやスーパーカミオカンデのようなニュートリノ観測所がいくつか作られている。中には、南極の「氷」の奥深くや地中海の深海に沈めた光電子増倍管群による高エネルギー・ニュートリノの検出のための巨大な施設が作られている[2]。

2015年9月1日07時38分25秒(UT)、地中海の深海にある光電子増倍管群によるニュートリノ観測所ANTARES（アンタレス）[3]が、明るいニュートリノ・バーストを検出した[4,5]。直ちにX線天文衛星スフィフトがフォローアップ観測を行い、ANTARESの検出方向に、カタログには無いX線源を発見し



図1 さそり座とその1等星アンタレス。図中の○は $2^{\circ}$ の範囲で、その中心がANTARESのエラーボックスの領域（撮影：大西浩次。「天文教育」2015年9月号表紙より）

た。ニュートリノ源は、さそり座アンタレスと球状星団 M4 とほぼ正三角形を作る位置を中心の約 18 分角内にある（図 1、2）。

この情報は直ちに世界中に拡散し、多くの望遠鏡が一斉に動き出した。私の手元にも、ニュージーランドの望遠鏡によるフォローアップ観測の相談が届いた。ここで、この現象の世界の動きを時系列に紹介し、いま、どんなことが起きたのか、今後、どんな風に行なわれるのかの一端を紹介したい。なお、情報の時系列は、GCN Circulars と The Astronomer's Telegram (ATel.) [5]より採用している。

## 2. ニュートリノ・アラート

### 2.1 ニュートリノ検出と X 線源の発見

2015 年 9 月 1 日 7 時 38 分 25 秒(UT)、地中海のニュートリノ検出器・ANTARES (アンタレス) が、明るいニュートリノを検出。18 分角の不定性で、RA= 16h 25m 42s、DEC = -27d 23m 24s の位置と判明[6]。ニュートリノ検出から約 10 時間後、X 線天文衛星スウィフト (Swift) 望遠鏡で ANTARES のエラー・ボックス内をフォローアップ観測し、カタログにない変光する X 線源を発見。

GCN#18231 2015/09/03 11:43:31 UT

ATel. #7987 2015/09/03 12:18 UT

### 2.2 光学望遠鏡のフォローアップ観測

アメリカ合衆国ハワイ州の Pan-STARRS1 望遠鏡による X 線源のフォローアップ観測で、I バンド（限界等級 23 等級）で、5 秒角以内に銀河が見つからず。X 線源が、USNO-B1.0 0626-0501169 という R 等級で 12.6 等級の星と一致と判明。フレア一星の可能性があるが、X 線源がこの星かどうか分光観測が必要。

ATel. #7992 2015/09/03 20:08 UT

### 2.3 候補天体の判明

多くの望遠鏡による X 線源候補天体の測光観測と分光観測の結果、これがフレア一星であることを確認。ニュートリノ源と無関係。

GCN#18236	2015/09/04 12:50:00 UT
ATel. #7993	2015/09/04 15:10 UT
ATel. #7994	2015/09/04 15:28 UT
GCN#18239	2015/09/04 19:02:05 UT
ATel. #7996	2015/09/04 21:54 UT
GCN#18241	2015/09/04 21:58:21 UT
GCN#18242	2015/09/05 00:48:24 UT
ATel. #7998	2015/09/04 23:41 UT
ATel. #8002	2015/09/05 12:08 UT
ATel. #8006	2015/09/05 17:11 UT

### 2.4 ガンマ線フォローアップ観測 (1)

ガンマ線衛星 INTEGRAL による ANTARES のニュートリノ検出領域の偶然の観測。ガンマ線源見つからず。

ATel. #7995 2015/09/04 20:51 UT

### 2.5 変動天体の調査 (1)

Kepler 天文衛星の延長ミッション (K2) による光度の時系列を示す曲線（ライトカーブ）から、1.5 日スケールの変動を発見。連星活動によると推定。

ATel. #7996 2015/09/04 21:54 UT

GCN#18242 2015/09/05 00:48:24 UT

### 2.6 電波望遠鏡フォローアップ観測

Jansky VLA (電波アレイ) による L-band (1-2 GHz) 観測で電波変動天体見つからず。USNO-B1.0 0626-0501169 は電波で検出、その強度より、若い高速度回転星と考えられる。その後の追加観測で変動天体を見るが、ニュートリノ源と思われる天体は見つからず。

ATel #7999 2015/09/05 01:10 UT

ATel #8034 2015/09/10 15:49 UT

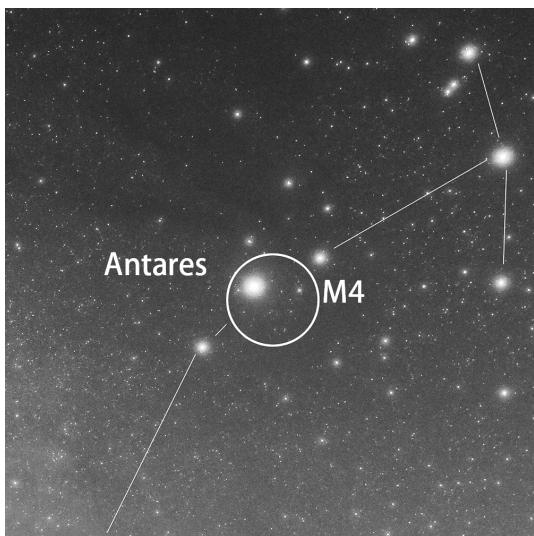


図2 アンタレスと球状星団M4(2° サークルの右。撮影：大西浩次)

## 2.7 変動天体の調査（2）

MASTER ロボット望遠鏡群による光学観測報告。エラーボックス内の光学変動天体見つからず。ニュートリノ源として、球状星団M4 内のミリ秒パルサーや大質量ブラックホールなどを指摘。

GCN#18240 2015/09/04 19:54:20

ATel. #8000 2015/09/05 05:20 UT

## 2.8 変動天体の調査（3）

国際宇宙ステーションに搭載の日本のX線モニタ MAXI の観測で、ANTARES のニュートリノ検出時の X 線変動天体は見つからず。

ATel. #8003 2015/09/05 13:32 UT

## 2.9 変動天体の調査（4）

Pan-STARRS 望遠鏡による広域変動天体観測（9月5日）で、いくつかの変動天体を捉えるも、多くは星によるものであった。銀河の超新星と思われる変動も捉えるも、ニュートリノ源対応天体は見つからず。

ATel. #8027 2015/09/09 14:55 UT

## 2.10 ガンマ線フォローアップ観測（2）

フェルミガンマ線宇宙望遠鏡による3つの方法でのニュートリノ源対応天体探査を行なうも見つからず。

GCN#18352 2015/09/21 13:07:07 UT

## 2.11 別のニュートリノ望遠鏡の再解析

南極のニュートリノ観測所 IceCube による ANTARES の検出時刻前後のニュートリノ検出状況の再解析。ANTARES の報告と同じ方向からのニュートリノは見つからず。

ATel. #8097 2015/09/25 16:26 UT

## 2.12 ガンマ線フォローアップ観測（3）

ラ・パルマ島の標高 2,200m に設置されている直径は 17m の大気チレンコフ望遠鏡 MAGIC による観測。優位なガンマ線源を検出できず。

ATel. #8203 2015/10/21 18:12 UT

## 3. ニュートリノ源対応天体

ニュートリノ・アラートと聞いて、多くの人は、超新星爆発の瞬間を捉えたと考えた[4]。しかし、直後の光学観測によって、スイフト衛星の X 線源が、12.6 等級の星の位置とほぼ一致すること、さらに、分光観測によって、この星（晚期型矮星）のフレア現象であることが確認された。すなわち、ANTARES のニュートリノ源とスイフトの発見した X 線源とは全く無関係だった。では、このアラートは誤報だったのだろうか。ANTARES の検出誤差範囲を広げると球状星団 M4 も含まれる。この中には、ミリ秒パルサーなどが発見されており、多くの中性子連星が存在すると考えられている。もし、このニュートリノ・アラートが、このような中性子連星の合体現象であったとすれば、もうすぐ動き出す重力波望遠鏡などで、同時に検出できていたはずだ[6]。近い将来、ニュートリノ観測所や重力波天文

台などの新しい眼によって、深遠の宇宙の高エネルギー現象や星の最終段階が手に取るようになるか分かるようになるかもしれない。

## 参 照

- [1] 2015 年のノーベル物理学賞は、「ニュートリノの質量の存在を示すニュートリノ振動の発見」によって、東京大学宇宙線研究所所長の梶田隆章教授が受賞した。ニュートリノは原子核反応などのときに生じる粒子であるが、電荷を持たないため、物質とほとんど相互作用をしない幽霊のような粒子である。大気ニュートリノとは、高エネルギーの陽子や原子核である宇宙線が地球の大気に衝突して出来たニュートリノ。カミオカンデで、この電子ニュートリノ成分とミューニュートリノ成分の比が予想に合わず、「大気ニュートリノ異常」と呼ばれた。スーパーカミオカンデを使って、その異常の原因がニュートリノ振動であることを 1998 年に示した。
- [2] ニュートリノが稀に水分子などに衝突したとき、電荷を持つ粒子（電子など）が生成される。これらの荷電粒子の速度が水（氷）の中での光速より速いとチエレンコフ光が発生する。この光を光電子増倍管で検出し、ニュートリノを観測する。稀な衝突現象を検出するために大量の水（氷）が必要となる。さらに、宇宙線などのノイズ源を避けるため、地下深くの鉱山跡（スーパーカミオカンデ）や深海（ANTARES）、あるいは、南極の氷の下（IceCube）に巨大な観測所が作られている。
- [3] ANTARES は、Astronomy with a Neutrino Telescope and Abyss environmental RESearch project の頭文字より来ている。なお、今回の同じ名前のさそり座のアンタレスの近くでの検出は全くの偶然である。

[4] ニュートリノといえば、1987 年に大マゼラン星雲に出現した超新星（SN 1987A）の際のカミオカンデによるニュートリノの検出が有名だ。それまでの理論研究によって、重力崩壊型超新星爆発が起きる際に、星の中心部で短時間に大量のニュートリノが放射されると予測されていた。カミオカンデの検出によって、これまでの予想を確かめただけでなく、重力崩壊の様子が手によるように見えた。このように、ニュートリノによる新しい天文学を拓いたということで、小柴昌俊さんにノーベル物理学賞が授賞された。

- [5] ガンマ線バースト情報サーチュラー (GCN Circulars)  
[http://gcn.gsfc.nasa.gov/gcn3\\_archive.html](http://gcn.gsfc.nasa.gov/gcn3_archive.html)  
 The Astronomer's Telegram (ATel)  
<http://www.astronomerstelegram.org/>

[6] GCN サーキュラー 18231 では、「明るいニュートリノ(bright neutrino)」と書いてあるが、2015 年 10 月に東京大学宇宙線研究所で行われた第 10 回 TeV Particle Astrophysics (TeVPA) 国際会議における ANTARES チームによる発表によれば、1 個の超高エネルギー (60TeV) ニュートリノの検出であったことが判明した。これは、重力崩壊に伴うニュートリノ（超新星起源）ではなく、宇宙論的な高エネルギー現象であろう。



大西 浩次