

# 授賞者の研究業績の紹介

## 2015年度 第8回宇宙科学奨励賞授賞者

宇宙理学分野

NASA ゴダードスペースフライトセンター・研究員  
メリーランド大学カレッジパーク校・助教（兼任）  
山口 弘悦（やまぐち ひろや；1980年生）

業績の題目：「すざく」衛星を用いたIa型超新星の起源解明と、宇宙における非平衡プラズマ物理学の開拓

我が国5機目のX線天文衛星「すざく」は、2005年の打ち上げ以来、様々な観測成果をあげてきた。山口弘悦氏は、「すざく」搭載のx線CCD検出器につき、打ち上げ前の検出器開発、地上較正試験、軌道上性能評価・観測運用に一貫して関わり、その性能を極限まで高める努力を続けてきた。そして、その性能を最大限に生かしたデータ解析を行い、インパクトが大きく、世界的にも注目度の高い成果を数多くあげてきた。彼の貢献は、「すざく」の国際的な評価を大いに高めたと同時に、宇宙科学だけでなく基礎物理学全般に対して大きな進展をもたらしたと言える。その根拠となる代表的成果を以下にまとめる。

### 1) Ia型超新星の起源と元素合成機構の解明

白色矮星の爆発的核融合によって起こる「Ia型超新星」は、宇宙の標準光源として宇宙論の研究にも利用される重要天体である。しかしその起源や爆発機構は未だ解明されていない。特に、Ia型超新星が、単一の白色矮星(single degenerate: SD)が起こすものなのか、白色矮星連星の合体(double degenerate: DD)で起こるものなのか、の解明が大きな課題になっている。山口氏は、SDの場合にのみ、超新星爆発時に、クロムやマンガン、安定核ニッケルが多量に生成される事実いち早く気づき、「すざく」を用いてIa型超新星残骸の元素量精密測定を行った。その結果、銀河系内のIa型超新星残骸「3C 397」から極めて強いクロム、マンガン、ニッケル輝線を世界で初めて検出し、それらの量がSD起源を強く示唆するものであることを示した（論文1）。本研究は、Ia型超新星の起源と元素合成機構の両問題に対して強い観測的制限を与えた重要成果として、米国NASAウェブサイトのトップページなどでも大きく取り上げられた。

### 2) 宇宙における「非平衡プラズマ物理学」の開拓

一般に高温のX線プラズマでは、自由電子の温度が数1000万度に達し、酸素や鉄などの元素がヘリウム状や水素状のイオンに電離する。しかし、超新星残骸などの「若い」天体は、プラズマ形成後の経過時間が短いため、電子温度も低く、イオンの電離が十分に進まない。これが、「電離非平衡」と呼ばれる概

念である。山口氏は、米国の原子物理学者との連携を通じて、非平衡プラズマの X線スペクトルモデルの構築に取り組み、その成果を世界に先駆けて発表した(論文1と3)。これによって、非平衡プラズマの分光研究が、初めて可能になった。山口氏が構築した非平衡プラズマモデルは、史上最高精度での元素量測定を可能にただけでなく、基礎物理学としても重要な諸現象の発見にも繋がった。その代表例が、「ティコの超新星残骸」の逆行衝撃波における「無衝突電子加熱」の発見である(論文3)。無衝突電子加熱とは、粒子衝突ではなく電磁場を介して行われるエネルギー散逸過程であり、非熱的な高エネルギー粒子の生成(宇宙線加速)にも深い関連があることが知られている。山口氏は、Fe K $\beta$ 輝線を利用して衝撃波直後のプラズマ温度を決定し、そこで無衝突電子加熱が起こっているらしいことを初めて示した。これは、プラズマ物理学や流体力学などの諸分野に対しても強いインパクトを与えるものである。

### 3) 超新星残骸の系統分析研究

超新星残骸の観測は国内外の多くの研究者によって行われているが、そのほとんどが単一の天体のみに注目した各個撃破的なアプローチだった。山口氏は、非平衡プラズマの特性に着目して多数の天体を系統的に取り扱い、親星の分類を行うとともに各種族の物理的特徴を帰納的に引き出す、全く新しい研究手法を確立した(論文2)。彼はこの研究で、「すざく」がこれまでに観測した全ての超新星残骸のデータを一挙に解析し、鉄K殻輝線の中心エネルギーと絶対強度がIA型と重力崩壊型の残骸を明確に切り分けられることを見出した。さらに、理論シミュレーションとの比較から、IA型超新星の周辺環境に強い観測的制限を与えた。

### 4) 「すざく」搭載 X線 CCD の開発と較正

上記全ての観測研究には、山口氏が大学院生時代に開発した、「すざく」搭載 X線 CCD 検出器 (XIS) が用いられている。彼は、CCD の不感領域となる電極部を X線入射面の逆側に置くことで軟 X線の検出効率を向上させた「裏面照射型チップ」の地上較正試験を全面的に担当した。衛星打ち上げ後も、XIS が世界で初めて搭載した「電荷注入機能」を駆使して、放射線損傷によるエネルギー分解能の劣化を最小限にとどめる努力を行った。これによって、XIS は史上最高レベルの輝線検出能力の維持に成功した。事実、3C 397 からの Cr, Mn, Ni 輝線や、ティコの超新星残骸からの Fe K $\beta$  輝線の検出は、いずれも XIS だけが成し得た成果であり、山口氏自身が主導した 開発・較正が観測の成功に大きく寄与している。「自分たちで作り上げた装置で世界をリードする成果を挙げる」研究スタイルは、日本の宇宙科学が古くから貫いてきたものでもあり、実験・観測研究者の模範として奨励すべきものである。

以上のように山口氏は、基礎物理学に対する深い理解、実験・観測データを読み解く際の注意深さ、明確な目的意識と独創性、関連する世界の研究者との広い連携と言った、実験系宇宙物理学研究を遂行する上での高い能力を活かして、

「すざく」衛星の持ち味をハードウェア・サイエンスの両面から最大限に引き出し、世界に誇る多数の成果を挙げてきた。以上の理由により、山口弘悦氏に第8回（平成27年度）宇宙科学奨励賞を授与することとなった。

#### 関連する論文リスト

1. Hiroya Yamaguchi, Carles Badenes, Adam R. Foster, Eduardo Bravo, Brian J. Williams, Keiichi Maeda, Masayoshi Nobukawa, Kristoffer A. Eriksen, Nancy S. Brickhouse, Robert Petre, Katsuji Koyama  
*“A Chandrasekhar Mass Progenitor for the Type Ia Supernova Remnant 3C 397 from the Enhanced Abundances of Nickel and Manganese”*  
The Astrophysical Journal Letters, Vol. 801, p. L31, 2015
2. Hiroya Yamaguchi, Carles Badenes, Robert Petre, Toshio Nakano, Daniel Castro, Teruaki Enoto, Junko S. Hiraga, John P. Hughes, Yoshitomo Maeda, Masayoshi Nobukawa, Samar Safi-Harb, Patrick O. Slane, Randall K. Smith, Hiroyuki Uchida  
*“Discriminating the Progenitor Type of Supernova Remnants with Iron K-shell Emission”*  
The Astrophysical Journal Letters, Vol. 785, p. L27, 2014
3. Hiroya Yamaguchi, Kristoffer A. Eriksen, Carles Badenes, John P. Hughes, Nancy S. Brickhouse, Adam R. Foster, Daniel J. Patnaude, Robert Petre, Patrick O. Slane, Randall K. Smith  
*“New Evidence for Efficient Collisionless Heating of Electrons at the Reverse Shock of a Young Supernova Remnant”*  
The Astrophysical Journal, Vol. 780, p. 136, 2014