

平成 25 年度科学研究費助成事業（特別推進研究）自己評価書 〔追跡評価用〕

◆記入に当たっては、「平成 25 年度科学研究費助成事業（特別推進研究）自己評価書等記入要領」を参照してください。

平成 25 年 4 月 26 日現在

研究代表者 氏 名	芝井 広	所属研究機関・ 部局・職	名古屋大学・大学院理学研究科・教授
研究課題名	遠赤外線干渉計を用いた高解像撮像による星形成現象の詳細研究		
課題番号	15002006		
研究組織 (研究期間終了時)	研究代表者 芝井 広（名古屋大学・大学院理学研究科・教授） 研究分担者 川田 光伸（名古屋大学・大学院理学研究科・講師） 佐藤 紳司（名古屋大学・大学院理学研究科・助教） 土井 靖生（東京大学・大学院総合文化研究科・助教） 金田 英宏（宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究本部・助教） 松浦 周二（宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究本部・助教）		

【補助金交付額】

年度	直接経費
平成 15 年度	68,000 千円
平成 16 年度	72,000 千円
平成 17 年度	85,000 千円
平成 18 年度	52,000 千円
平成 19 年度	9,000 千円
総 計	286,000 千円

1. 特別推進研究の研究期間終了後、研究代表者自身の研究がどのように発展したか

特別推進研究によってなされた研究が、どのように発展しているか、次の(1)～(4)の項目ごとに具体的かつ明確に記述してください。

(1) 研究の概要

(研究期間終了後における研究の実施状況及び研究の発展過程がわかるような具体的内容を記述してください。)

本特別推進研究の期間は 2003 年から 2007 年だったが、研究目標であった気球搭載遠赤外線干渉計 FITE のフライトが 2008 年度に延期されたため、2007 年度の研究費の一部を次年度に繰り越した。そのため実際には 2008 年度末までが研究期間であった。

2008 年度に JAXA 宇宙科学研究所、ブラジル宇宙科学研究所 (INPE) との共同研究として、ブラジルにおいて気球フライトを実施するべく進めた。器材の輸送、現地での準備作業をほぼ終え、「フライト・レディ」状態で待機することができた。しかしながら、気象条件が悪化し、フライト可能期間内にフライトを実施することができなかった。

そこでこの一旦完成した遠赤外線干渉計 FITE を用いて、高空間分解能の遠赤外線観測を実施することを目的とした研究を科研費で申請し、2010 年度に基盤研究 A (海外) と基盤研究 S が採択された。前者はすぐに辞退し、後者で研究を進めることとした。

本研究の発展 (基盤研究 S)

2010-2014 年 (詳細は 1-(3)) の期間で研究が採択された。これはブラジルの気球基地においてフライトを行い、オリオン-KL と大マゼラン雲の大規模星形成領域について、遠赤外線干渉計観測を行うことを目的とするものである。2010 年に、再度、ブラジル気球基地においてフライトを行うこととし、準備を進めた。ところがフライト直前になって、重要装置が 2 回の故障を起こした。その都度、修理のために日本国内のメーカーに送り返したり、代替品を調達したりしたが気象条件が悪化してしまったため、フライトを見送った。

2011 年度は故障した重要装置の原因究明に日時を要したためフライトを見送った。2012 年度には、JAXA の大気球観測事業が、フライト場所をブラジルからオーストラリアに変更することになった。理由はブラジルの気象条件、フライト航行の安全確保などである。オーストラリアでは中心部のアリススプリングに気球フライト基地があり、この点では条件が優れている。ただし、オーストラリアで気球フライトをするための安全基準が、NASA の基準と同等にすることになり、我々の遠赤外線干渉計 FITE の構造を強化せざるを得なくなった。2012 年度には強化した構造を設計・製作した。2013 年度には強度試験を行って実証し、2014 年度 5、6 月期にフライトを行う計画である。このように、多くの困難に遭遇しつつも一つ一つ解決していくしかなく、それによって研究が前進し、成果につながる筈である。

欧米への波及

我々の研究活動は欧米でも注目されている。NASA ゴダード宇宙センターにおいては、当初、彼らの観測装置を我々の干渉計に搭載してほしいと希望してきたが、我々は自主開発の高感度遠赤外線センサーを持っているために断った。それと同時に、NASA でも同様のものを製作してはどうかと提案し、我々の設計をすべて供与した。2011 年度には NASA で開発費が認められ、同じ思想の「気球搭載 2 ビーム遠赤外線干渉計」の開発が始まっている。NASA の方針によって正式な共同研究にはなっていないが、実質的に緊密に交流している。

一方、オランダの SRON から、彼らが Herschel に搭載したサブミリ波装置の改良版を我々の干渉計に搭載できないか打診があった。これについても、まずは我々の遠赤外線センサーで成果が得られた後に検討したいと断った。

スペース赤外線干渉計

近い将来、必ず、スペースにおける光赤外線干渉計が必須になり、実現されるにちがいない。太陽系外惑星の大気の光赤外線分光、宇宙最初の水素ガス収縮現場の赤外線輝線検出など、天文学上の最重要課題に必須の手法と考えられている。我々の研究は、この方向に向けて最初の第一歩を踏むという意味があり、このために欧米研究者も関心を示し注目している。NASA の TPF や ESA の Darwin、あるいは同種のプロジェクト提案の際には我々の研究が「プリカーサー」として認識されて提案の Co-I になっている。とても難しい技術に挑戦していることも事実であるが、成功させて天文観測における一つの源流を生み出したい。

1. 特別推進研究の研究期間終了後、研究代表者自身の研究がどのように発展したか（続き）

(2) 論文発表、国際会議等への招待講演における発表など（研究の発展過程でなされた研究成果の発表状況を記述してください。）

論文発表

本研究の代表者は、2008年度以降に64編の論文を発表した。そのうち査読付き論文は25編である。この間に主著論文はないが、指導する大学院生が執筆した査読付き主著論文は8編であった。64編の論文についての総引用件数は572件である。これらの論文の多くは、本研究の直接的な成果ではないが、宇宙遠赤外線の高精度観測あるいは宇宙空間ダストの赤外線放射の高精度観測による研究であり、広い意味で関係の深い成果である。以下に本研究の直接的成果の発展状況について述べる。

本研究で開発した宇宙赤外線干渉計 FITE に関しては、2008年度までの実質的研究期間内にフライトが実施できなかった。したがって最終的な研究成果の発表はおこなっていない。しかしながら開発途上で以下のような多くの新たな知見が得られ、以下のように査読付き論文で公表した。

干渉計を用いた宇宙観測は従来、電波天文学観測で広く用いられてきた。しかしながら地上に固定した複数の電波アンテナの受信波を干渉させる手法であるため、各電波アンテナ素子が受信する天体電波の光路長の差を補正するための相関器、あるいは遅延線（極めて高精度の装置）が必要であった。本研究では「干渉」を用いた新しい観測手法を定式化することができた。Fizeau 型干渉計が生成する焦点部のフリンジパターンが、遅延線による光路差スキャンで得られるパターンと等価であることを用いて、焦点部に置いたアレイセンサーによって一時にフリンジパターンが計測でき、実際に像再生が可能であること、有効波長帯域や有効視野についての限界を定量化すること、これらを実験室で実証することに成功した。(Matsuo & Shibai 2008)

科学観測用大気球を用いて宇宙観測を行う場合、高精度の姿勢制御技術が鍵となる。宇宙空間における3軸制御法は適用できず、大気球に適した手法、「重心懸下による3軸制御」を新たに考案し実現した。これは最大の外乱要因である振り子運動の影響を抑制することで、1秒角以下の姿勢安定性を実現するものである。(Nakashima, et al., 2011)。

遠赤外線波長域において高感度の観測を実現するためには、センサーはもとより光学系大半を極低温冷却すべきである。2ビームを合成するとともに、迷光除去、フィルタリング、F変換、シャッターなどの光学系すべてを遠赤外線アレイセンサーとともに2K以下に冷却する、大気球搭載可能なシステムを開発した。(Kohyama, et al., 2010)

Fizeau 型2ビーム干渉計を2枚の軸外し放物面鏡で実現する。このために放物面鏡の位置と姿勢を高精度で調整する必要がある。このシステム（リモートコントロール）を新規開発した。(Kato, et al., 2010)

また研究の途上で得られた多くの成果については、上記以外に、日本天文学会や日本赤外線学会などで報告してきた。これまでに日本天文学会の年会で18件、それ以外の国内学会で11件の発表を行った。

国際会議

天文観測技術分野で最も高いレベルとみなされる SPIE の天文アセンブリ（隔年開催）においては、「光赤外線干渉計セッション」の SOC メンバーとして、毎回、招聘され貢献してきた。また毎回1、2編の発表を、この開発研究に携わる大学院生が行ってきた。そのうち一編は優秀発表3編中の1編に選ばれた。この SPIE からはホームページの「News Room」覧に FITE の寄稿を要請してきたので、2010年に寄稿し掲載された（下図参照）。2009年にバルセロナで開かれた ESA 関係の国際会議「生命居住可能な系外惑星探査」でも SOC を務めるとともに、本研究の現状報告の発表を行った。

1. 特別推進研究の研究期間終了後、研究代表者自身の研究がどのように発展したか（続き）

(3) 研究費の取得状況（研究代表者として取得したもののみ）

2010年度に基盤研究 A（海外）と基盤研究 S が採択された。前者はすぐに辞退し、後者で研究を進めることとした。

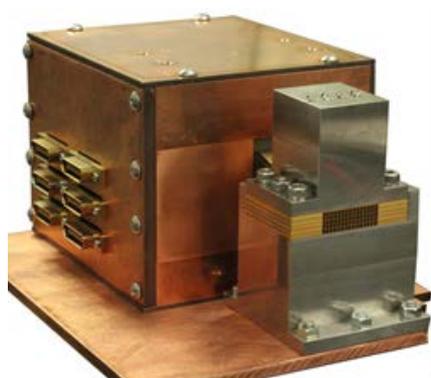
基盤研究 S （2010年度－2014年度）（代表：芝井 広）

研究課題 秒角撮像遠赤外線干渉計による星生成領域核心部の観測

直接経費 30,300 + 31,500 + 39,200 + 22,400 + 27,900 = 151,300 （千円）

この研究費は、開発した宇宙遠赤外線干渉計 FITE を海外基地においてフライトし、Orion-KL や大マゼラン雲の大規模星生成領域（30 Dor など）を高空間分解能観測することが目的である。前述したように、海外フライト場所がブラジルからオーストラリアに変わったために、観測装置全体の構造を再製作することが必要になり、現在再製作中である。2014年 5,6 月期にオーストラリアでフライトする予定である。

また単年度 1000 万円以下ではあるが、遠赤外線センサーを一次元 15 素子から二次元 15×5 素子のアレイに高性能化するための研究費を、JAXA 宇宙科学研究所の搭載機器基礎開発費として認められた。期間は 2009-2011 年度、合計で 1300 万円である。これで製作したもの（右図）を、次回のフライトで用いることにしている。素子数が 5 倍になった分だけ、観測効率は向上することになる。



新遠赤外線アレイセンサーシステム

(4) 特別推進研究の研究成果を背景に生み出された新たな発見・知見

前述したように、直接の最終的研究成果が得られていない。しかしながら、研究の途上で、以下の重要な観測技術上の知見が得られた。

将来はスペースにおいて干渉計を実現したいが、1000 億円以上、10 年以上の巨大プロジェクトになることが避けられない。いきなりこれを始めるにはあまりにもリスクが大きいため、日米欧の宇宙機関の共通認識は、科学観測用大気球を用いて、技術と科学の両面において可能なステップを積み上げる方法が妥当というものである。

大気球を用いた天文観測において最も重要な技術課題は、気球に吊った状態での高精度姿勢制御である。外乱が極めて少ない宇宙空間で 3 軸自由な科学衛星・探査機と異なり、「気球に吊られている」という条件での高精度姿勢制御は、とても重要な開発要素である。我々はこれを実現するために、「重心懸下 3 軸制御」を提案し、実験室での実証に成功した（Nakashima 他、日本航空宇宙学会誌で公表）。気球で吊った状態での最大の姿勢外乱は、気球を支点とする振り子運動である。この影響を克服するために、観測装置の重心で吊ることでモーメント外乱を受けないようにし、その条件下で 3 軸制御する方式である。この方式は米国とドイツで 20 年以上前に試みられたことがあるが、普及しなかった。我々が成功すれば、大気球による高精度天文観測研究が大きく発展すると期待される。

また、高精度制御のためには高精度センサーが必須である。別用途に開発され販売されているリングレーザージャイロを用いた 3 軸姿勢センサーを採用することとしたが、メーカーの公称精度は 7、8 秒角であった。我々は「原理的には 1 秒角以下の精度が得られる筈」と考え、精度悪化の原因を突き止めてデータ処理で克服することで、0.1 秒角の精度が得られている。

2. 特別推進研究の研究成果が他の研究者により活用された状況

特別推進研究の研究成果が他の研究者に活用された状況について、次の(1)、(2)の項目ごとに具体的かつ明確に記述してください。

(1) 学界への貢献の状況（学術研究へのインパクト及び関連領域のその後の動向、関連領域への関わり等）

1-(1)後半で記述したことの繰り返しになるが、本研究の最終目的が達成できなかったため、その成果による直接的な波及はない。しかしながら、天文学観測研究の新しい手法を開拓しようとし、あるレベルまで実現できていることが知られるにつれて、以下のような波及がある。

欧米への波及

1-(1)に既述したので省略

スペース赤外線干渉計

1-(1)に既述したので省略

気球搭載電波干渉計プロジェクト

これ以外に、電波天文学への波及がある。天文学における干渉計観測は電波天文学でもっばら用いられ、発展してきた。これまでに大陸内、大陸間干渉計（VLBI）、開口合成（野辺山ミリ波干渉計やALMAが良い例）をはじめ、スペース電波干渉計衛星「はるか」があった。スペースとの干渉計技術はわが国が初めて本格的に成功したものである。「はるか」の成功を受けて次のスペース干渉計計画が推進されたが、技術的理由により中止になった。そもそも干渉計技術は、高い解像度を得るためであり、「基線長を伸ばす」あるいは「観測を短波長で行う」のどちらかで達成できる。この状況の中で日本の電波天文学研究者が、地上電波望遠鏡と気球搭載望遠鏡との間で干渉計を実現するプロジェクトの検討を始めた。基線長は地球のサイズを超えることはできないが、短波長側を観測することによって、従来より高解像度の観測が可能になる。気球搭載望遠鏡が干渉計の一つの「エレメント」として使えるならば、電波天文干渉計において新しい発展が期待される。このプロジェクトは、本研究の成果に基づいており、私は技術的側面から貢献が期待されている。

新しい像再生手法の定式化が干渉と像再生の一般化に波及

これまで電波天文学などで一般に用いられてきた干渉計観測データを用いた像再生手法は、基本的には「マイケルソン型」と呼ばれる瞳合成干渉計のためのものであった。我々は本研究のために、新しい像再生手法を提案し、定式化、実験室実証を行い、発表した（記述）。この論文の主著者であった院生がその後、JPLの当該分野の第一人者のPDとして研究をつづけ、さらに一般化した論文を公表することができた。つまり、Fizeau型干渉計の像面において多素子センサーを用いれば、光路差を走査するための遅延線装置は不要という理解である。この研究の発案の根幹部は私自身のものであったが、共同研究者との議論により、「アパーチャの配置・基線長」あるいはこれらと、「実効解像度」、「有効スペクトル帯域」、「有効視野」の関係が整理され、世界で共通理解に達したと認識している。

2. 特別推進研究の研究成果が他の研究者により活用された状況（続き）

(2) 論文引用状況（上位10報程度を記述してください。）

【研究期間中に発表した論文】

No	論文名	日本語による簡潔な内容紹介	引用数
1	"Planetary Formation Scenarios Revisited: Core-Accretion versus Disk Instability" Matsuo, Shibai, Tamura, & Ootsubo, ApJ, 662, 1282-1292, 2007	太陽系外惑星の形成過程には、「コア集積」と「円盤不安定」の2説あるが、形成されうる惑星の場所と質量についての制限を明らかにした。円盤の遠赤外線高分解能観測で温度がわかれば、さらに明確な制限がつくと期待できる。	20
2	"Common Correlations between 60, 100, and 140 μ m Intensities in the Galactic Plane and Magellanic Clouds" Hibi, Shibai, Kawada, Ootsubo, & Hirashita PASJ, 58, 509-519, 2006	銀河系空間の星間に漂う個体微粒子（星間塵）は10-30Kの温度で遠赤外線放射をしている。この放射スペクトルの遠赤外での色解析を行った。その結果、銀河系、大小マゼラン星雲で同じ特徴があることがわかった。	12
3	"Cryogenic Capacitive Transimpedance Amplifier for Astronomical Infrared Detectors" Nagata, Shibai, et al. IEEE Trans. Electron Devices, 51, 270-278, 2004	遠赤外線センサーは2K以下の極低温に冷却される。センサーを多素子化するには、極低温下にプリアンプを置くことが必須。そこで高性能の極低温プリアンプを開発した。	8
4	"Far-infrared dust properties in the Galaxy and the Magellanic Clouds" Hirashita, Hibi & Shibai MNRAS, 379, 974-984, 2007	銀河系と大小マゼラン雲の遠赤外放射の色の特長は、星間塵の光学的性質に強い制限を与えることがわかった。	8
5	"Wide-Area Mapping of 155 Micron Continuum Emission from the Orion Molecular Cloud Complex" Arimura, Shibai, et al., PASJ, 56, 51-60, 2004	気球遠赤外線望遠鏡でオリオン分子雲全体の遠赤外線高分解能サーベイ観測（1分角分解能）に成功した。この時点では最も高い解像度の強度マップであったが、その後、ESAのHerschel望遠鏡が10秒角分解能の観測に成功した。	3
6	"Far-Infrared Interferometric Telescope Experiment (FITE): sensor optics" Kohyama, Shibai, et al., SPIE, 7013, 70133O, 10 pages, 2008	本研究で開発した気球搭載遠赤外線干渉計のセンサー一部の光学系の開発成果。2ビームを極低温下で色分割、迷光除去、フィルタリング、F変換などの機能を実装している。PhD 院生優秀発表賞受賞。	1
7	"Novel Spectral Imaging Method for Fizeau Interferometers" Matsuo, Shibai, et al., PASJ, 60, 303-314, 2008	本研究で開発した2ビーム干渉計の理論的根拠の成果報告。従来の干渉計とはことなる、赤外線の多素子アレイセンサーを用いた、新しい像再生手法を初めて定式化することに成功した。	0
8			
9			
10			

【研究期間終了後に発表した論文】

No	論文名	日本語による簡潔な内容紹介	引用数
1	"Darwin-A Mission to Detect and Search for Life on Extrasolar Planets" Cockell,, Shibai, et al., Astrobiology, 9, 1-22, 2009	ESA が中心になって提案した、系外惑星の生命現象を検出することを目的とした計画。スペース赤外線干渉計ミッション。	41
2	"Exoplanet Characterization and the Search for Life" Kasting,, Shibai, et al., Astro2010: The Astronomy and Astrophysics Decadal Survey, Science White Papers, no. 151	同様に ESA が中心になって提案した、系外惑星の生命現象を検出することを目的とした計画。まずは系外惑星の大気を赤外線分光するための、スペース赤外線望遠鏡ミッション。	4
3	"A New Galactic Extinction Map of the Cygnus Region" Kohyama, Shibai, Fukagawa, Hibi, ApJ, 719, 873-880, 2010	銀河系星間空間の個体微粒子（星間塵）が特徴的な遠赤外色相関を持つことを用いて、白鳥座方向の星間塵の柱密度を導出した。光赤外線観測の減光補正に應用可能。	3
4	"Far-Infrared Interferometric Experiment (FITE): Toward the First Flight" Shibai, et al. Proc., "Pathways Towards Habitable Planets", ASP, 430, 541, 2010	本研究の経過報告を国際会議「生命居住可能惑星の発見に向けて」で行ったもの。	2
5	"A New Galactic Extinction Map in High Ecliptic Latitudes" Kohyama, Shibai, et al., PASJ, 65, 13, 14 pages, 2013	銀河系星間空間の個体微粒子（星間塵）が特徴的な遠赤外色相関を持つことを用いて、全天の約半分の方向の星間塵の柱密度を導出した。光赤外線観測の減光補正に應用可能。	0
6	"Development of new optical adjustment system for FITE (Far-Infrared Interferometric Telescope Experiment)" Sasaki, Shibai, et al., SPIE, 8445, 84452Z, 9 pages, 2012	本研究で開発した気球搭載遠赤外線干渉計の光学調整機構を、新しいアイデアである「2ビーム同時 Shackハルトマン波面測定法」で改良した。	0
7	"Is Space-based Interferometry Dead?" Leisawitz,, Shibai, et al, Bulletin of AAS, 43, 2011	NASA の研究者と共同で、スペース赤外線干渉計の重要性についてアメリカ天文学会で報告したもの。	0
8	"Far-Infrared Interferometric Telescope Experiment (FITE): Three-Axis Stabilized Attitude Control System" Nakashima, Shibai, et al., Transac. JSAIATJ, 8, Tm_19-Tm_24, 2011	本研究で開発した気球搭載遠赤外線干渉計の3軸姿勢制御システムについて報告したもの。	0
9	"Far-Infrared Interferometric Telescope Experiment (FITE): II. Sensor Optics" Kohyama, Shibai, et al., Transac. STJ, 7, Tm_55-Tm_60, 2010	本研究で開発した気球搭載遠赤外線干渉計のセンサー一部の光学系の最終的成果報告。	0
10	"Far-Infrared Interferometric Telescope Experiment : I. Interferometer Optics" Kato, Shibai, et al., Transac. STJ, 7, Tm_47-Tm_53, 2010	本研究で開発した気球搭載遠赤外線干渉計の光学系全般（センサー光学をのぞく）の最終的成果報告。	0

3. その他、効果・効用等の評価に関する情報

次の(1)、(2)の項目ごとに、該当する内容について具体的かつ明確に記述してください。

(1) 研究成果の社会への還元状況（社会への還元の程度、内容、実用化の有無は問いません。）

本研究は直接的に実社会での実用を目的とするものではなく、学術的な新たな知見を得ることを目的としているため、「還元」という言葉に適するものはない。社会への貢献としては、以下の項目であろう。

若手大学院生の教育による社会への貢献（次ページに詳述）

高度技術に関する、製造会社との知見の蓄積

・リングレーザージャイロの高精度化手法

本研究では、宇宙遠赤外線干渉計の姿勢制御のために、高精度の姿勢レートセンサーであるリングレーザージャイロを採用した。製造会社の仕様性能は数秒角にとどまっていたが、技術的な検討を行った結果、実力は一ケタ以上高精度であると判断し、データ処理を工夫することによって、0.1秒角に迫る姿勢センサー精度があることが実証できた。本研究ではこのデータ処理手法を使用している。この成果は、リングレーザージャイロの各方面の応用において利用される可能性がある。

・極低温下で使用するインコネル皿バネの開発

本研究で使用する遠赤外線アレイセンサーは、ガリウムを少量ドーピングしたゲルマニウム単結晶を使用するが、さらに圧力をかけることによって結晶を歪ませて低エネルギー光子（5meV）まで検出できるようにする。このためには、極低温下で安定に力を伝える小型の機構が必要であり、直径3mm弱のインコネル皿バネを新規に開発した。

一般社会での初等教育・啓蒙・報道

【高校などでの授業】

- ・智弁学園奈良カレッジ（145名）・兵庫県立小野高校2回（53名）（90名）・兵庫県立明石西高校（50名）
- ・兵庫県立宝塚北高校（42名）・群馬県立前橋高校（42名）・大阪府立富田林高校（90名）
- ・兵庫県立龍野高校（120名）・大阪府立大手前高校2回（38名）（40名）・大阪市立東中川小学校（120名）
- ・大阪市立東生野中学校（300名）・三重県立四日市高校（50名）・西宮市立西宮東高校（50名） 他多数

【新聞記事】

- ・気球から宇宙観測、中日新聞、2005年10月29日朝刊
- ・銀河の「あかり」鮮やかに、朝日新聞、2006年5月23日朝刊
- ・星雲の姿くっきりー赤外線衛星初画像、中日新聞、2006年5月23日朝刊
- ・衛星「あかり」の画像公開ー100万画素で鮮明に、日刊工業新聞、2006年5月23日
- ・地球から2400万光年の銀河、名大が発見、日刊工業新聞、2007年9月6日
- ・星誕生、銀河の端でも 名大など「あかり」で観測、朝日新聞（朝刊）、2007年9月6日
- ・衛星「あかり」赤外線観測成果発表、毎日新聞（朝刊）、2007年9月6日
- ・DO科学「星の年齢、どうしてわかるの」、朝日新聞（日曜版）、2009年4月25日
- ・「アジア学術セミナー」インド地方新聞、2011年10月31日

【TV番組】

- ・「東海バネ工業」、テレビ東京「カンブリア宮殿」、2011年6月23日
- ・「宇宙の夢」、テレビ朝日（大阪ローカル）「おはようコールABC」、2012年1月4日

【一般講演】

- ・日本天文学会公開講演会「遠くの宇宙に第二の地球を探す赤外線望遠鏡」117名、大阪府立大学、2009年
- ・光学5学会連合講演会「赤外線に擁る天体観測ー太陽系外の惑星に生命を探す」60名、大阪、2010年
- ・北陸電力エネルギー館「地球外生命・宇宙生命を探す」12名、富山市

【執筆】

- ・日本赤外線学会誌 特集「日本の宇宙科学・天文学における赤外線技術」（編集・執筆）
- ・「宇宙誌を物理学で読み解く：素粒子から物質・生命まで」（分担）
- ・シリーズ現代の天文学大6巻「星間物質と星形成」（分担）
- ・天文月報2009年3月号「赤外線観測で迫る原始惑星系円盤の総合的描像」
- ・生産と技術2009年4月号「太陽系外惑星探査ー第2の地球発見を目指して」

3. その他、効果・効用等の評価に関する情報（続き）

(2) 研究計画に関与した若手研究者の成長の状況（助教やポストドク等の研究終了後の動向を記述してください。）

研究分担者のその後

本研究当時、JAXA 宇宙科学研究所の助教は、その後名古屋大学・理学研究科・素粒子宇宙物理学専攻の准教授として採用され、さらには教授に昇格した。赤外線センサーの開発、宇宙赤外線望遠鏡の開発・試験技術はもとより、超新星残骸の赤外線観測による研究を国際的にリードし、多数の顕著な研究成果を上げている。さらには次期の宇宙赤外線望遠鏡衛星計画 SPICA においては、日本の中心メンバーの一人として、特に、赤外線コロナグラフ装置の開発とこれ用いた太陽系外惑星の研究に活躍が期待されている。

同じく本研究当時の名古屋大学の講師は、その後 JAXA 宇宙科学研究所の准教授に採用された。次期の宇宙赤外線望遠鏡衛星計画 SPICA において、日本の中心メンバーの一人として、特に、国際共同研究として参加してきているヨーロッパコンソーシアム（英蘭独仏）チームとの対応に活躍しており、ともに、次世代の赤外線天文学のリーダーとして嘱望されている。

その他 2 名も、やはり次期の宇宙赤外線望遠鏡衛星計画 SPICA において、重要な役割を果たすことが期待されている。1 名は名古屋大学における教育研究において、堅実な貢献を積み重ねている。

大学院生のその後

実は本研究を実質的に進めてきたのは、多くの大学院生であった。世界初の遠赤外線干渉計を実現するべく、それぞれの役割をみずからの研究テーマとして、精力的、献身的に貢献してきた。新しいアイデアに基づいて、装置を自ら設計し製作、試験するという経験、チームで一つの目標に向かって進む経験、海外基地に長期滞在して実験するという経験など、実社会で大変役に立つであろう教育ができたと判断している。

このうち 1 名については特筆すべきである。2007 年度に名古屋大学において博士学位早期取得し、JSPS 特別研究員に採用された。この期間の約半分、NASA の JPL に滞在し、赤外線観測時技術の屈指の研究者との共同研究を実施した。この間、干渉計観測、コロナグラフ観測など広い意味の波面制御技術において重要な研究成果を論文として発表し、注目された。残りの期間に国立天文台に滞在し、すばる望遠鏡による太陽系外惑星探査の主要メンバーとして活躍した。これらの研究は現在も継続している。さらに JSPS 特別研究員の任期後に京都大学特任准教授に採用され、京都大学新技術望遠鏡、国際共同の 30m 望遠鏡 (TMT) プロジェクトその他に極めて価値の高い観測技術提案を行い、その一部を実現しつつある。本研究を通じて培われた実力が、他の大望遠鏡プロジェクトにも大変役立っていると判断している。

・その他の博士学位取得者の現職

JAXA 地球観測本部・研究員 南京紫金山天文台・研究員 民間光学機器会社・研究系社員

・博士後期課程中途退学者の現職

国立大学・技術職員 私立大学・特任准教授 民間電気会社・技術系社員 高校教員

・博士前期課程修了生の就職先

JAXA 地球観測本部・研究員 日本科学未来館・学術員 日本放送協会・ディレクター
民間会社・技術系社員 9 名 高校教員 2 名

このように、物理学の原理に基づき、実験物理学的手法を用いて、新しい天文観測装置を考案、設計、製作、試験、使用、解析、発表を行うというスタイルを、若手研究者・大学院生と一体となって継続してきたことが、次世代を担う人材養成に貢献してきたと考えている。また上記のうち 3 名の修士課程卒業生が、科学研究成果をマスコミなどを通じて社会に発信する職種を志望し、当該分野で活躍している。