

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 1 日現在

機関番号：62616

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2012

課題番号：23654071

 研究課題名（和文）短ミリ波帯アンテナ鏡面パネルのコストダウン研究  
 --事象の地平線観測に向けて

 研究課題名（英文）Attempt of Cost-down of Antenna Panel for Receiving Shorter Millimeter  
 Waves -- Towards Observing Black Hole Horizon

 研究代表者 三好 真 (MIYOSHI MAKOTO)  
 国立天文台・電波研究部・助教  
 研究者番号：50270450

研究成果の概要（和文）：短ミリ波帯アンテナのコストダウンをめざし、へら絞り法による加工アンテナ面の特性について調べた。既存の金型による加工において、既に面精度 r. m. s. 60 ミクロンが達成されている。熟練工によるへら絞り加工ではアンテナ面精度は主に金型精度に依存する。従って精度の高い金型を形成して用いるならば、さらに精度の良いアンテナ面、r. m. s. 30 ミクロンレベルの面を廉価に形成できる。アンテナ面の形状は作成後 1～2 年間のうちには劣化せず、加工時の面精度を維持していることも確認した。アンテナ面自体は非均一な外圧によって容易に変形するので、支持機構を工夫する必要がある。

研究成果の概要（英文）：In order to realize the cost-down in making a high precision antenna panel for receiving shorter millimeter wave, we examined the accuracy of the surface of antennas made by metal spinning method. Using an existing mold we could attain a surface accuracy as well as 60 micron r. m. s. easily. As the results, we found that the surface accuracy depends mainly on the accuracy of the mold. If we can use a higher precision mold in metal spinning, the more accurate the antenna surface will become. The surface accuracy will reach as well as r. m. s. 30 micron level if we use such a new mold. The surface accuracy of the metal spinning antenna maintained within the 2 years of our research period. Because the metal spinning antenna is very thin, the surface can be deformed easily by adding force non-uniformly. In practical use, a supporting structure of the antenna surface is very important to maintain the high accuracy of the surface.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：天文学・天文学

キーワード：電波天文学・一般相対論

## 1. 研究開始当初の背景

我々は、black hole horizon の存在確認やその近傍の解像を目的として、南米アンデス山脈ペルー・ボリビア域などに複数の電波望遠鏡を展開、VLBI 観測を行うプロジェクト、「きゃらばん・サブミリ (Caravan-submm)」を構想している。

サブミリ波に近い短ミリ波帯、230GHz 帯の観測のできる大型固定局 2、移動 VLBI 局 1 の最低 3 局を展開、1~2 千 km の VLBI 短基線を実現、visibility 解析から銀河系中心、SgrA\* を観測、black hole horizon の世界初検出を目指す。さらに ALMA など世界のサブミリ波望遠鏡と協力して、ブラックホール近傍の撮像（降着円盤、ジェット生成現場や black hole horizon の形状の観測）やメーザ源の高空間分解能観測を行う。

現在、装置全体のコストダウンによって本計画の実現を果たそうと考えている。

「きゃらばん・サブミリ (Caravan-submm)」の一番の特徴は移動 VLBI 局である。移動 VLBI は測地 VLBI 観測では 40 年近い歴史がある。この移動局というアイデアを電波天文 VLBI へ応用する。アンデス高地を移動して観測点を変え、様々な uv (空間フーリエ成分) を確保する。移動局の望遠鏡の性能仕様としては、230GHz 受信が可能にある鏡面精度 r. m. s. 100 ミクロンをもつ実効口径 5m 相当を考えている。廉価な望遠鏡を実現するには、大型の精密製作設備、材料を必要とする特殊仕様を極力排し、既成部品を大幅に用いる製法を確立する必要がある。口径 2m の廉価

で軽量の小型パラボラを数枚、複合させ、口径 5m 相当の単一電波望遠鏡とすることを検討している。

高精度の望遠鏡を、しかし廉価に製作しようとする動きは近年顕著になっており、この動きは電波望遠鏡よりも京都大学 3.8m 望遠鏡計画のような光学赤外線望遠鏡、また、宇宙線研のチェレンコフ望遠鏡アレイ CTA (Cherenkov Telescope Array) などにおいて先行していると言ってよい。

移動を前提とする望遠鏡においては全体の軽量化が求められる。架台部に関しては既に優れた先行研究が日本にはある。その応用によって我々の移動型電波望遠鏡においても、軽量かつ高精度の架台が実現できる見通しがたっている。従って、我々は重点を軽量かつ高精度のアンテナの開発に於くことにした。

## 2. 研究の目的

高精度アンテナ・パネルを安価に製作するため、日本独自の工法である「へら絞り法」に着目した。センチ波帯用のアンテナでは安価に製作した実績が既にある。例えば、早稲田大学・大師堂研が作った 20m 干渉計ではへら絞り加工によるアンテナが使用されている。また測地 VLBI 用の 2.4m 口径鏡に於いても「へら絞り法」が使われた例がある。

「へら絞り法」によって高精度アンテナ・パネル（面精度 100 ミクロン以下）を実現できるならば、「へら絞り法」の加工費はそもそも安価であるので高精度アンテナ・パネ

ルのコストダウンが実現する。そのために「へら絞り法」での面精度を何が決めているのかを調べる。

### 3. 研究の方法

新しい金型を作り、その金型の面形状を数ミクロン精度で計測、絞り法で作成したアンテナ面のそれと比べることが望ましい。予算の範囲内では新しい金型を作成するには能わず、実施できなかった。

そこで、既存の古い金型を用い、同一の材質のアルミによって2枚のアンテナ面を制作、面の形状を比較し、再現性を調べることにした。口径1.8mの既存金型を用い、2m四方の厚み3ミリのアルミ板を素材として口径1.8mのパラボラ面をへら絞り法にて作成した（その金型は20年以上前のものであり、鉄製のため所々さびから面に小さなくぼみが見受けられる）。2m近い面を数ミクロン精度で計測する装置は、国立天文台には無く、京都・クリスタル光学の、東洋最大の三次元精密測定器により、面精度を測定した。4センチ間隔の格子1604点の実測に6時間、その準備に半日を要し、2枚の面測定は3日かかった。2枚の形状は非常に似ており、半径に依存し面精度が変わる。全体では250ミクロンrmsであるが、半径によっては70ミクロンrmsを示す部分もある。この特徴は目測で判断した金型の特徴と一致している。

### 4. 研究成果

口径90cmの既存の金型での「へら絞り加工」により、既に残差60ミクロンの面精度のパラボラ面が実現されている。しかもその

部分的な面では10ミクロン台を達成している。

アンテナ面の形状にはアルミ板の圧延時についたと思われるアルミ板の癖が影響し、その残差のかなりの部分はアルミ板の癖のせいである。しかし、「なまし」によって、アルミ板の癖は解消できるので、へら絞り加工によるアンテナの面精度はさらに向上すると期待できる。

また、加工時の面精度のばらつきは、手作業による加工であるにもかかわらず、大きくはない。むしろ、金型自体の面形状、面精度に強く依存してアンテナ形状と面精度はきまる。

従って、金型を高精度にして、なましによって材料であるアルミ板の癖を解消すれば、230GHz対応は容易に、そしてTHz受信も見込める高精度アンテナが実現すると期待できる。しかも「絞り加工」によるアンテナの製作費は廉価である（口径2mアンテナで20万円）。

このように、高精度アンテナの大幅なコストダウンの実現が見込める。しかも、へら絞りアンテナは軽量である（1m口径1.5mm厚アルミ板で3kg、2m口径3mm厚アルミ板で20kg）。アンテナ面の後部支持機構を含めても2m口径で数十kg以下であろう。

移動に適した望遠鏡は超軽量であることが望まれるが、へら絞りアンテナはその要求を満たしたアンテナである。

「へら絞り加工」によって形成されたアンテナ面の形状は外力によってひずむ。しかし外力が無くなると形成時の形状にもどる。

アンテナ面の形状は加工後、1, 2年では失われぬ。アンテナを重ね置きした程度では面形状はいたまない。

移動に適した望遠鏡では、若干手荒な扱いをしてもよい強いアンテナが望まれるが、この点からも希望がもてる。

つまり「へら絞り加工」によって、安定して一定水準以上の高精度アンテナを製作でき、その耐久性のあるものとなる。

ただ、アンテナ面は薄いため、加工時のアンテナ面精度を維持するための支持法を考える必要がある。

本研究における測定時の支持法の工夫から、アンテナ面維持には中心部分ではなく、むしろ比較的剛性のあるアンテナの縁を使って支持すると良いと思われる。

今後、精度の高い金型を新規に製作し、口径 2m のへら絞りアンテナを製作、精度を保つ後部支持機構を考案し、アンテナ複数枚を複合した超軽量のサブミリ波電波望遠鏡の開発につなげてゆきたいと考える。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① SUB-MILLIMETER H<sub>2</sub>O MASER IN CIRCINUS GALAXY - A NEW PROBE FOR THE CIRCUMNUCLEAR REGION OF ACTIVE GALACTIC NUCLEI, Hagiwara, y., Miyoshi, M., Doi, A., Horiuchi, S., ApJ, 768, L38, (2013)

<http://stacks.iop.org/2041-8205/768/L38>(査読有り)

② Analysis of H<sub>2</sub>O masers in Sharpless 269 using VERA Archival Data - Effect of maser Structures on astrometric accuracy. Miyoshi, M., Asaki, Y., Wada, K., & Imai, H. New Astronomy, 17, 553-564, (2012) DOI: 10.1016/j.newast.2012.01.002 (査読有り)

[学会発表] (計 4 件)

- ① 2013 年 日本天文学会・春季年会(2013 年 3 月 22 日、埼玉大学・埼玉県)「キャンバン・サブ、2013 年春現況」三好真, 加藤成晃, 高遠徳尚, 岡田則夫, 三ツ井健司, 大淵喜之, 萩原喜昭, 宮地竹史, 川口則幸, 近藤哲朗, 関戸衛, 小山泰弘, 氏原秀樹, 入交芳久, イシツカホセ, ビダル エリック, 根本しおみ, 朝木義晴, 坪井昌人, 竹内央, 春日隆, 新沼浩太郎, 江里口良治, 吉田慎一郎, 谷口敬介(東大), 富松彰, 南部保貞, 高橋真聡, 斉田浩見, 町屋修太郎, 小出眞路, 高橋芳太, 岡朋治, 古澤純一, 面高俊宏, 西尾正則, 今井裕, 亀野誠二, 高羽浩, 須藤広志, 若松謙一, 大師堂経明
- ② 2013 年 日本天文学会・春季年会(2013 年 3 月 22 日、埼玉大学・埼玉県)「きゃらばんによるブラックホール解像 simulation」三好真, 加藤成晃, 高橋真聡, 朝木義晴, 高橋芳太
- ③ 2012 年 日本天文学会・秋季年会 (2012

年9月21日、大分大学、大分県)「キャ  
ラバン・サブ、2012 年秋現況」三好真、加  
藤成晃、高遠徳尚、岡田則夫、三ツ井健  
司、大淵喜之、萩原喜昭、宮地竹史、川  
口則幸、近藤哲朗、関戸衛、小山泰弘、  
氏原秀樹、入交芳久、イシツカ ホセ、  
ビダル エリック、根本しおみ、朝木義  
晴、坪井昌人、竹内央、春日隆、新沼浩  
太郎、江里口良治、吉田慎一郎、谷口敬  
介、富松彰、南部保貞、高橋真聡、齊田  
浩見、町屋修太郎、小出眞路、高橋芳太、  
岡朋治、古澤純一、面高俊宏、西尾正則、  
今井裕、亀野誠二、高羽浩、須藤広志、  
若松謙一、大師堂経明

- ④ 2012 年 日本天文学会・秋季年会 (2012  
年9月21日、大分大学、大分県)「ミ  
リ波望遠鏡の安価な製作法についての考察  
5」春日隆、三好真、新沼浩太郎、三ツ  
井健司、岡田則夫、大淵喜之、イシツカ  
ホセ

[図書] (計3件)

- ① 「ASTRO EXPRESS: Analysis of H<sub>2</sub>O Masers  
in Sharpless 269 Using VERA Archival  
Data —Effect of Maser Structures on  
Astrometric Accuracy VERA データを用  
いた星生成領域 S269 の水メーザ解析  
メーザ源の構造がその位置測定に与える  
影響について」三好 真・朝木義晴・和  
田桂一・今井 裕、天文月報 2012 年 11  
月号
- ② 「ブラックホールって本当にあるの?」、  
ニュートン 2012 年 5 月号 p46-57, 協

力 嶺重 慎、原田知広、三好 真

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

三好 真 (MIYOSHI MAKOTO)

国立天文台・電波研究部・助教

研究者番号：50270450

### (2) 研究分担者 該当なし

### (3) 連携研究者

春日 隆 (KASUGA TAKASHI)

法政大学工学部創生科学科 教授

研究者番号：70126027

新沼 浩太郎 (NIINUMA KOUTARO)

山口大学 理工学研究科 特任助教

研究者番号：30434260