

《公開！ウチの研究室(18)》

早稲田大学教育学部、及び
大学院理工学研究科
実験天体物理学研究室〈干渉計によるパルサーサーベイ
プロジェクト〉

私達の研究室で行っている2次元観測までの話は天文月報1995年11月号に書きましたので、以下では研究室の紹介とパルサーサーベイに必用な(2+1+2)次元FFTや、この研究の背景などをお話ししましょう。IAU1997に向けてわが国の天文学を紹介するCDROMが国立天文台広報室により備中ですが、干渉計や球面鏡の写真はそこにも載る予定です。

1. 研究室の概要

私どもの研究室のメンバーは、私(大師堂)、助手の田中尚樹を先頭に、ふつうの年で数名(学部生、修士、博士)です。ちょうど、1996年度～2000年度の5年計画でパルサーサーベイプロジェクト(特別推進研究)を開始したところです。1997年春の今、1年目のとりまとめにあわただしい毎日を全員が過ごしています。田中はVerilog HDLを用いてRadix-4 FFTを含むLSIの開発、D1の竹内央はパルサーの周期と周波数分散を求める 2^{24} 点FFT装置の設計とアセンブラによるFFTプログラミング、M2で卒業の須藤進と斉藤裕一郎、鈴木芽衣はそれぞれ、位相キャリブレーション法の確立、15mの固定球面鏡と位相合成ラインフィードの製作、干渉計のデジタル信号のベースバンド並列光伝送とローカル信号の分配やアラン分散の測定、を行っています。新M2の足立政彦は、64台の受信機のNFとGainの精密自動測定、学部生の磯野武彦、成塚はそれぞれ、2次元テーラー

展開により位相誤差の分布を高速に決定する方法を見だし、量子化誤差の影響を調べています。トランジェント電波源やガンマ線キューサーの観測は、全員が行います。私自身は授業期間中は結構忙しいので、夏冬春の休みに集中して開発研究を行うようにしています。

特色といえば遊馬、西掘、中島、乙部、渡辺、小林、斉藤(友)、高木、をはじめ苦勞を共にした卒業生がよく訪ねてくれ、その議論の中から先端技術を吸収しながら研究を進めていることです。また学部1年生用に、ランダム過程やフーリエ解析、デジタル信号処理、黒体輻射とナイキストの定理、位相測定とアラン分散、不確定性関係、などを実験を通して体得するコースをつくってあります。これらを身につけておくことは、多くの実験系で不可欠ですが一人で学ぶには時間がかかりすぎます。大学院生はTAとしてこれらを1年生に教えながら自分も学ぶことができます。理論分野をやってきた人も短期間で研究の最前線につくことができ、最近では他学部や近隣の大学からこのコースの全部あるいは一部を受講する学生がいます。実験室の人数の許す範囲で、受講していただいています。宇宙へのあこがれだけでは、研究の最前線に立てません。物理学、数学、エレクトロニクス、コンピュータ、の深い理解の上ですぐれた研究が可能になると考えています。

2. 研究の背景

6年かけて建設した現在の64素子の電波干渉計は、受信機交換により3倍の感度向上を達成し、CygX-3などのトランジェント電波源のバーストモニターに加え、 γ 線キューサー、変動の速いBL Lac天体などの観測を継続しています。

この装置は、世界で初めてナイキストレートで直接像合成を可能にしたものであり、その特徴を生かし、上記パルサーサーベイプロジェクトを今年度からスタートさせました。これまでの世界の電波干渉計は、すべて細密な電波地図をつくることを目

的とした Fourier 合成干渉計（間接像合成干渉計）でした。ケンブリッジ大学が開発した、この方式は最少のアンテナ数で、できるだけ細かい地図を描けるように最適化したもので、数学的には Wiener-Khinchin の定理を使います。その際、入力信号がエルゴード的（時間平均＝アンサンブル平均）であることが要求されます。

通常は天体からの電波は激しく変化しないので、このエルゴード性は満たされているのですが、パルサーや通信の信号は非エルゴード的ですから、Fourier 合成干渉計でパルサーを捜すことはできません。

一方、早稲田大学が開発した直接像合成干渉計では、座標表示と運動量表示が Fourier 変換で結ばれている性質を利用し、ハードウェアによる空間 FFT 演算で入力電波を振幅のまま方向識別するので、ナイキストレートで像が得られます（理科年表の干渉計の分類は誤りです。3年生の藤居君から指摘を受けました）。このプロジェクトでは主として、パルサーサーベイ用の、デジタル信号処理システム（空間・時間 FFT をはじめとする 5 次元 FFT）の開発を行い、既存の 64 素子干渉計（本部キャンパス 15 号館屋上）を用いて観測を行います。しかしその処理システムは、320 m × 320 m に展開する 256 台の 1.4 GHz 低周波大型電波干渉計において、その最大限の性能を發揮します。これは早稲田大学の将来計画として、検討されており、完成すれば、パルサーサーベイの効率でアレシボの 300 倍、タイミング観測でもアレシボをしのご世界最大の集光力の電波望遠鏡になります。この将来の大型干渉計の各アンテナ要素としては、安い経費で大型のものが建設可能な固定球面鏡を想定しており、直径 15 m のものを屋上に作っています。現在、網を張り終えたところです。

3. 中性子星研究の曙と観測計画

早稲田大学には、中性子星の先駆的な研究があります。山田勝美先生（理工総研）は、パルサー



写真：64 素子干渉計と建設中の 15m 固定球面鏡

の発見される 1 年前に当時幻の天体であった中性子星の状態、質量を、原子核の質量公式を用いて詳しく計算されました（「超高密度星の理論」, 理工研報告 1966）。パルサー発見でノーベル物理学賞（1974）を受賞した A. Hewish 教授（ケンブリッジ大）が、1990 年 10 月に早稲田を訪れたときの夕食会で、「山田教授の研究を知っていたら、我々はあれほど遠回りをしなかっただろう」と、山田先生に語っていたのが強く印象に残っています。実際 Hewish 達は、パルサーの発見直後、白色わい星の脈動モデルを集中的に調べていたのです。

さて、この干渉計計画では原子時計の精度を越えるミリ秒パルサーを沢山捜すことをめざします。特に、相手の星（伴星）が中性子星やブラックホールであって、短周期の連星系に属し、軌道面上に地球がいるようなものが望ましい。食の近くでは、中性子星やブラックホール近傍の強い重力場を通過してくる電波が観測でき、Kerr 解に現れる慣性系の引きずりの検証ができるからです。ぜひとも大型電波干渉計を実現させ、20 世紀の物理学に残された難問、強重力場における重力理論の観測的検証を実現させたいと願っています。みなさまの御支援、ご協力をお願いいたします。（1996 年度卒業生向けに物理学科の小冊子に書いた文を、一部使っております）

大師堂経明（早稲田大学教育学部理学科）