

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 10 日現在

機関番号：17701

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2015

課題番号：25610043

研究課題名(和文)水酸基メーザー天体に対する広域探査と高精度位置計測手法の確立

研究課題名(英文) Large area sky surveys of hydroxyl maser sources and establishment of their high precision trigonometry

研究代表者

今井 裕 (IMAI, Hiroshi)

鹿児島大学・理工学域理学系・准教授

研究者番号：70374155

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：天の川銀河の立体構造及びマゼラン銀河の軌道を描き出す上で重要な測量用光源として、水酸基メーザー源に注目して研究を進めた。その結果、水酸基メーザーを伴う星々の分布が無バイアスな掃天観測によって初めて明らかにされ、その総数が期待以上の数に達することが推察された。また、水酸基メーザー源に対する高精度三角測量にも、新しいデータ校正法を通して初めて成功した。これらの成果により、天の川--マゼラン銀河系の構造とその歴史を解明を目指す近未来の研究において利用されるべく、強力な手法を新たに確立する方向へと着実に進むことができたと思われる。

研究成果の概要(英文)：We have explored hydroxyl maser (microwave amplification by stimulated emission of radiation) sources, which are expected as important standard candles for the study on the structure of the Milky Way Galaxy and the kinematics of the Magellanic Clouds orbiting the Milky Way. Through unbiased sky survey, we have elucidated the true distribution of hydroxy maser sources in the Galactic plane, enabling us to precisely estimate the total number of visible hydroxy maser sources in the whole Milky Way. The estimated number is larger than expected. Moreover, we succeeded in trigonometric measurement for hydroxy maser sources by using a new data calibration technique on the Galactic scale. Thus we have been convinced that hydroxyl masers are quite useful for elucidating the dynamics of the Milky Way--Magellanic Clouds system and its history in the near future and we could take great progress in developing effective strategy on maser surveys and high precision trigonometry.

研究分野：恒星・星間物理学

キーワード：水酸基メーザー 高精度天体測量 広視野掃天観測 天の川銀河 星周ガス縁

1. 研究開始当初の背景

Square Kilometre Array (SKA) はその名前の通り、今までにない大集光力を持つ電波望遠鏡群である。その 80%は南アフリカ及びオーストラリア西部に集約されると共に、それらから数千キロ離れた地域にわたり多数望遠鏡が展開配置される。目指す科学的目標には、宇宙における物理の基礎法則、物質や生命の起源と言った自然科学における根源的な課題が掲げられている。SKAの1%スケールであるASKAP(Australian SKA Pathfinder)においても、それら課題に対して先駆的な目標が設定されている。その中で本研究が関わるものは、(1)近傍宇宙、特に天の川銀河におけるバリオンの分布と運動、(2)高精度での時空の計測・把握である。(1) バリオンのほとんどが星と星間ガスで占め、後者の大部分は HI ガスとして存在する。従って、 $\lambda=21\text{cm}$ HI 輝線の深くかつ詳細な輝度分布の把握が本質的に重要となる。また、星間ガスは高密度に集積して星を誕生させ、その死期に再び星間空間へと還元されるので、そのような星-星間空間内のガスの出入りの把握も必要である。 $\lambda=18\text{cm}$ OHメーザー源は、誕生と死の段階を迎えた星々にのみ付随し、現在宇宙におけるこのようなガスの出入りの目印となる天体である。(2) 2-3 年程度の継続的な天体の高精度位置計測によって、太陽系近傍ならば年周視差(天体距離計測)、より遠方でも天球面上での動き(固有運動)の検出につながる。現在の技術で既にマイクロ秒角台の相対天体位置測定精度が一部達成されている。従って、年周視差ならば天の川銀河の中心や大小マゼラン雲中の天体、固有運動ならばおとめ座銀河団中の天体についてそれらが検出できることになる。しかし実際は、観測装置や地球大気、星間物質、手前に見える天体の重力による屈折の効果を受ける。多数の天体に対して一度に高精度位置計測を行い、これらの効果を見分けるところが課題となる。パルサーと共に OH メーザー源は理想的な点源に近く、高精度位置計測に適した電波源である。これらを実装することが、現在の喫緊の課題となっている。

2. 研究の目的

本研究の当初目的は、将来の SKA で展開される、天の川-マゼラン銀河系全体における物質循環の把握やこの系における立体構造・力学的構造の研究において重要な研究対象となる OH メーザー源について、それらの大探査とそれらに対する高精度測量技術の確立を目指すものであった。既存観測装置を利用した掃天大探査を通して、天の川銀河中の OH メーザー源を約 10 000 個同定しそのカタログを完成させることと、VLBI 観測におけるデータ校正法を確立して OH メーザー

源の年周視差計測を可能とすることが、主要到達点と位置付けられた。

3. 研究の方法

OH メーザー源の大掃天観測には当初 ASKAP を使う事を想定していたが、広視野受信システムの導入や試験観測が遅れたために、それは実現しなかった(2017年からの開始予定)。その代わりに、視野が限定的ながらもその先駆的な観測が Parkes 64m 鏡を用いて実施されたので(SPLASH=Southern Parkes Large-Area Survey for Hydroxyl, Dawson et al. 2014)、そのデータを利用して OH メーザー源の探査を進めた。天の川銀河円盤の垂直方向に沿った OH メーザー源の分布変化を捉え、簡単な銀河円盤モデルを立ててメーザー源分布の厚み(スケール高)の推定を行った。また、SPLASH 検出総数から、SPLASH と同程度の検出感度で天の川銀河全体を探査した場合に期待される検出総数も見積もった。

その一方で、年周視差計測のためのデモ観測は米国 VLBI を主に用いて実施し、一部南半球の LBA でも測量を開始した。測量精度を向上させるためのデータ校正手法がオーストラリアの共同研究者により提唱されたので、得られた観測データに対してその校正法を適用することを試みた。

4. 研究成果

SPLASH データの精査によって、1612 MHz OH メーザー源が掃天視野中に約 550 個検出され(図 1)、そこから、天の川銀河全体ではこのようなメーザー源が約 5000 個存在することを推定できた。より感度の高い感度を実現する ASKAP による大探査では、当初の予想(10 000 個)以上の OH メーザー源の同定が期待される。また、メーザー源分布のスケール高が 140-490 pc であることが判明し、これは、「薄い天の川銀河円盤」よりも分厚いものの比較的大質量の星々が進化してこのような OH/IR 星になった場合の円盤への密集で説明できる。星形成領域及び進化末期星(主に OH/IR 星)それぞれに付随する OH メーザー源の分布スケール高があまり変わらないことから、このことが支持される。

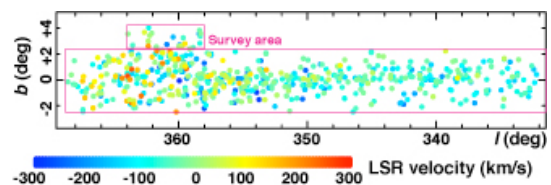


図 1: SPLASH で同定された 1612 MHz OH メーザー源の分布 (Shinano et al. in prep.)

一方 OH メーザー源の年周視差計測においては、200 マイクロ秒角の年周視差(距離 5 kpc に相当)の検出に成功した(図 2)。また、

新データ校正法を適用してさらに測量精度の向上が期待されるところまで確認することができた。これらの成果は、研究開始当初に想定した目標にほぼ近いものとなった。

現在これら成果の査読論文を進めている。一連の研究においては、大学院博士後期課程の大学院生や卒業研究に関わった学部4年生が大活躍を遂げ、それぞれ海外研究集会や日本天文学会で成果報告を行った。研究代表者自身も SKA 関連の会合でこれらを報告すると共に、SKA で推進すべき研究の提言

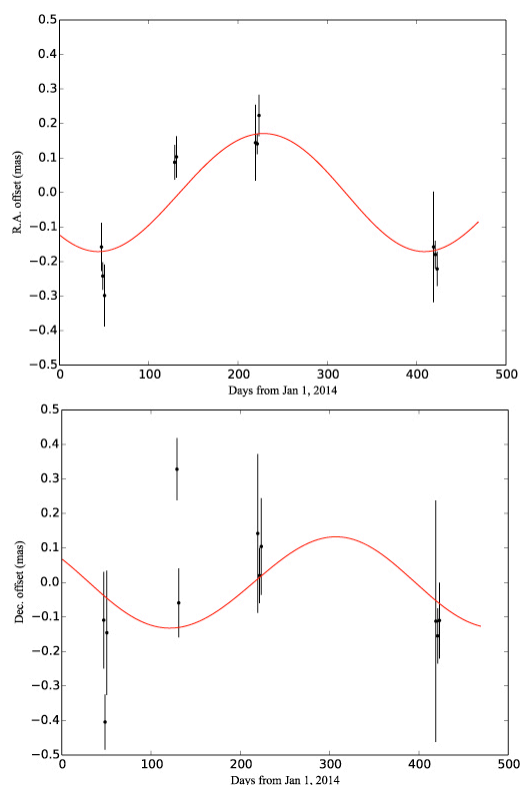


図 2 : 1612 MHz OH メーザー源に対する年周視差計測の実例(Orosz et al. in prep.)。

をとりまとめ、世界への情報発信と著名研究者との交流・意見交換を進めることができた。

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 13 件)

1. Burns, R.A., Handa, T., Hirota, T., Motogi, K., Imai H., Omodaka, T., “Molecular jet emission and spectroscopic survey of S235AB”, *Astronomy and Astrophysics*, 586, 34(5pages) (2016) [査読有り](#)

2. Qiao, H.-H., Walsh, A.J., Gomez, J.F., Imai, H., Green, J.A., Dawson, J.R., 8, 9, Z.-Q., Ellingsen, S., Breen, Jones, P.A., “Unusual Shock-excited OH maser emission in a Young Planetary Nebula”, *The Astrophysical Journal*, 817, 37(7pages)(2016) [査読有り](#)

3. Yoshiura, S., Shimabukuro, H., Takahashi, K., Momose, R., Nakanishi, H., Imai, H., “Sensitivity for 21cm Bispectrum from Epoch of Reionization”, *Monthly Notice of the Royal Astronomical Society*, 451, 266-274(2015) [査読有り](#)

4. Chong, S.-N., Imai, H., Diamond, P.J., “Water Masers in W43A: Early Morphological Changes of a Future Planetary Nebula”, *The Astrophysical Journal*, 67, 53(9 pages)(2015) [査読有り](#)

5. Nakanishi, H., Sakai, N., Kurayama, T., Matsumoto, M., Imai, H., Burns, R.A., Ozawa, T., Honma, M., “Outer rotation curve of the Galaxy with VERA. II. Annual parallax and proper motion of the star-forming region IRAS21379+5106”, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 67, 68(13pages)(2015) [査読有り](#)

6. Burns, R.A., Imai H., Handa, T., Omodaka, T., Nakagawa, A., T., Ueno, Y., “A Water Spout Maser Jet in the S235AB-MIR Massive Young Stellar Object”, *Monthly Notice of the Royal Astronomical Society*, 453, 3163-3173(2015) [査読有り](#)

7. Asaki, Y., Imai, H., Sobolev, A. M., Parfenov, S. Yu., “Distance and Proper Motion Measurement of Water Masers in Sharpless 269 IRS 2w”, *The Astrophysical Journal*, 787, 54 (9pages)(2014) [査読有り](#)

8. Hirota, T., Tsuboi, M., Kurono, Y., Fujisawa, K., Honma, M., Kim, M.K., Imai, H., Yonekura, Y., “VERA and ALMA Observations of the H₂O supermaser burst in Orion KL”, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 66, 106 (16 pages)(2014) [査読有り](#)

9. Dawson, J. R., Imai, H.(17th author), et al.(23 authors), “SPLASH: the Southern Parkes Large-Area Survey in Hydroxyl - first science from the pilot region”, *Monthly Notice of the Royal Astronomical Society*, 439, 1596—1614(2014) [査読有り](#)

10. Chibueze, J.O., Omodaka, T., Handa, T., Imai, H., Kurayama, T., Nagayama, T., Sunada, K., Nakano, M., Hirota, T., Honma, M.,

“Astrometry and Spatio-kinematics of H₂O Masers in the Massive Star-forming Region NGC 6334I(North) with VERA”, The Astrophysical Journal, 784, 114(8 pages)(2014) 査読有り

11. **Imai, H.**, Nakashima, J., Yung, B.H.K., Deguchi, S., Kwok, S., Diamond, P.J., “EXPLORATION OF A RELIC CIRCUMSTELLAR ENVELOPE IN THE “WATER FOUNTAIN”, SOURCE IRAS 18286-0959”, The Astrophysical Journal, , 771, 47 (11pages) (2013) 査読有り

12. **Imai, H.**, Nakashima, J., Deguchi, S., Kwok, S., Diamond, P.J., “The Spatio-Kinematical Structure of H₂O and OH Masers in the ‘Water Fountain’ Source IRAS 18460-0151”, The Astrophysical Journal, 773, 182 (12 pages)(2013) 査読有り

13. Kusuno, K. Asaki, Y., **Imai, H.**, Oyama, T. “DISTANCE AND PROPER MOTION MEASUREMENT OF THE RED SUPERGIANT, PZ CAS, IN VERY LONG BASELINE INTERFEROMETRY H₂O MASER ASTROMETRY”, 774, 107 (16 pages)(2013) 査読有り

[学会発表] (計 4 件)

1. **今井裕**, Alexey Alakoz, Andrey Sobolev, James M.Moran, Willem Baan, ほか, “Radio Astron 観測で検出された宇宙で最も輝度温度の高い水メーザー”, 日本天文学春季年会、2016 年 3 月、首都大学東京 (東京都八王子市)

2. 品野晃介, **今井裕**, Joanne Dawson, Andrew Walsh, ほか SPLASH チーム, “SPLASH で検出された天の川銀河内 OH メーザー天体の統計的特徴”, 日本天文学春季年会、2016 年 3 月、首都大学東京 (東京都八王子市)

3. **今井裕**, SKA-jp Astrometry sub-Working Group, “SKA による電波源高精度位置計測に基づく天の川銀河・局所銀河群の動力学的構造の探求”, 日本天文学秋季年会, 2015 年 9 月 甲南大学 (兵庫県神戸市)

4. **今井裕**, Joanne Dawson, Andrew Walsh, SPLASH チーム, “SPLASH による OH メーザー源探査の初期成果”, 日本天文学秋季年会、2014 年 9 月、山形大学 (山形県山形市)

[図書] (計 2 件)

1. **Imai, Hiroshi**, Burns Ross A., Yamada, Yoshiyuki, Goda, Naoteru, Yano, Tahei, Orosz, Gabor, Niinuma, Kotaro, Bekki, Kenji, “Radio Astronomy towards the Nearby Universe with the SKA”, arXiv 1603.02042, 16pages (2016)

2. 日本 SKA コンソーシアム, “日本 SKA サイエンスブック”, 自主出版 326 pages (2015)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

特になし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

今井 裕 (IMAI, HIROSHI)

鹿児島大学・理工学研究科 (理学系)・
准教授 研究者番号: 70374155

(2) 研究分担者

朝木 義晴 (ASAKI, YOSHIHARU)

国立天文台・大学共同利用機関等・准教授
研究者番号: 00332148

中西 裕之 (NAKANISHI, HIROYUKI)

鹿児島大学・理工学研究科 (理学系)・
准教授 研究者番号: 90419846

(3) 連携研究者 なし