SPAM を用いた GMRT 木星観測データの再解析及び先行研究との比較

管野瑠海*1,北元*1

*1 東北工業大学工学部情報通信工学科

1. 目的

木星は強い固有磁場を持ち,様々な波長の電磁波を放射する電波源であるが,0.1-10GHz の非熱的電 波は木星放射線帯中の相対論的電子からのシンクロトロン放射(Jupiter's Synchrotron Radiation, JSR)に 起因することが知られている.JSR は,数日から数週間の長さの短期変動現象と,数年の長さの長期変動 現象の2 種類があり,短期変動現象には太陽紫外線強度の変化と有意な相関関係が存在する可能性が指 摘されている[1].

低周波(主に 1 GHz 以下)による観測では電離圏較正の必要性が高まる. SPAM(Source Peeling and Atmospheric Modeling)は,低周波電波干渉計観測データの高解像度処理を目的としたデータ処理スクリ プトであり,視野内の複数の電波源を用いて電離層の位相スクリーンモデルを生成し,それに基づいて direction-dependent ionospheric calibration を行うという特徴をもつ[2].

SPAM を用いた解析により画像の高解像度化が期待できることと、低周波における太陽紫外線強度の 短期変動現象との相関関係を示した SPAM を使用していない先行研究[3]があることから、本研究では、 SPAM を用いた低周波の木星観測データの解析方法の検討と SPAM による解析データの先行研究との比 較を目的とした.

2. 方法

本研究では、インドの電波干渉計 GMRT (Giant Metrewave Radio Telescope)によって観測されたデー タを用いた. 観測情報を表1に示す[3].

観測日時	2003/2/24-2003/3/3 各日 12:30-22:30 (UT)			
観測周波数帯	610 MHz, 235 MHz			
Flux calibrator	3C147, 3C286			
Phase calibrator	1021+219			

表1 観測情報

木星の観測時間について、観測の基本単位である 1scan は約 30 分であった.

なお、木星は天球上を移動するため、背景の電波源が重なった場合、JSR の空間分布に影響を及ぼす. 木星近傍の電波源のため、2/2 と 2/3 のデータについては考慮しなかった.また、235 MHz のデータは 解析が困難だったため、本研究では 610 MHz のデータのみを議論することとした.

解析方法については、235 MHz のデータに対して SPAM pipeline と pybdsf によるカタログ出力を行 い、そのカタログを用いて、610 MHz のデータに対し SPAM pipeline を実行した.その上で、scan ごと に画像を出力し、トータルフラックス(flux)、トータルフラックスの標準偏差(dflux)、背景領域の標準偏 差(Root Mean Square, RMS)を算出した.加えて、木星の自転に起因する JSR の強度変動を考慮して、 beaming curve と呼ばれる式(1)を fitting し、観測日ごとに日平均 flux を算出した.

$$S = A_0 \{ 1 + \sum_{i=1}^{3} A_i \sin[i(\lambda + \phi_i)] \}$$
(1)

*S*は観測時の中央子午線経度(λ)における電波強度, *A*₀はその自転での平均電波強度である[1]. *A*₁~ *A*₃および $\phi_1 \sim \phi_3$ については, 文献[4]の値を用いた.

3. 結果及び考察

本研究の結果を表 2, 図 1 及び図 2 に示す. なお,以下の表 2~表 5 に示す flux・dflux・RMS は 4.04 AU における数値である.



(a)2003/2/24 16:04:01.84(UT)



(d)2003/2/27 16:09:18.31(UT)



(b)2003/2/25 15:56:48.47(UT)



(e)2003/2/28 16:16:59.74(UT)



(c)2003/2/26 16:15:30.52(UT)



(f)2003/3/1 15:53:47.23(UT)

図 1 解析結果の例						
		表 2	日平均 flu	X		
	2/24	2/25	2/26	2/27	2/28	3/1
日平均 flux(Jy)	5.21	4.46	5.15	3.63	5.07	4.05



図2 本研究における日平均 flux の変動

表2は、観測日ごとの日平均 flux を示す.図1は、解析によって得られた画像を例として示しており、 画像の質にはばらつきがあることがわかる.また、太陽の波長 10.7cm の電波強度は経験的に太陽紫外線 強度と高い相関関係があることが知られ、紫外線よりも観測が容易であることから広く代理パラメータ として使用されている[5].先行研究[3]では、木星に到達したと考えられる太陽の波長 10.7cm の flux が 観測期間中に約 20%単調増加し、それに伴って JSR の flux の約 20%の増加が確認されている.しかし図 2 に示すように、本研究では JSR の flux が単調増加とならず、太陽の 10.7 cm の flux 増加と JSR の flux の増加に相関が認められない結果となった.また、先行研究より全体的に flux が低くなった.以上より、 解析方法の更なる改良が必要と考え、以下の 2 つの解析方法について検討を行った.

1つ目として、robust の変更を試みた. JSR の空間スケールは数分角程度であるが、SPAM で用いられ ているイメージング手法である CLEAN は点源の集合体で輝度分布を表現するため、広がった構造の再 現に弱い側面がある. robust>4 では natural weighting に近くなり、robust<-4 では仮想的に uniform weighting となる[6]. 当初の解析方法では SPAM のデフォルトである robust=-1 で解析を行っていたが、 一般に natural weight が広がった天体のイメージングに適していることから、木星が広がったソースであ ることを踏まえて適切な重みづけを探るため、2003/2/24 観測分のデータに対し robust を変更して解析 を行った. 表 3 に 2003/2/24 観測の robust 変更時の日平均 flux を示す. また、図 3 に同じ scan の画像 を示し、表 4 で robust ごとの flux、dflux、RMS を示す. robust を上げるほど flux は低下傾向となったた め、先行研究と比べて flux が低い原因は robust ではないと考えた.

	robust	-1	0	1	2	4	-
	日平均 flux(Jy)	5.21	4.65	2.92	2.77	3.04	-
-		÷	2	÷			*
(a)robust=-1	(b)robu	ust=0	(c)robust=1		(d)robust=2	(e)robu	ist=4

表 3 2003/2/24 観測の robust 変更時の日平均 flux

図 3 2003/2/24 観測分の同じ scan の画像

		=1131	, _	,	
robust	-1	0	1	2	4
flux (Jy)	5.18	4.5	2.93	2.56	2.96
dflux (Jy)	0.0351	0.0421	0.0387	0.0442	0.0568
RMS (Jy/beam)	0.000897	0.00146	0.00334	0.00465	0.00609

表4 図3に示す画像の robust ごとの flux, dflux, RMS

2つ目として, AIPS(Astronomical Image Processing System)による self-calibration の追加を検討した. self-calibration は目的天体自身のビジビリティを使って位相と振幅の較正をする較正方法である[7]. こ れは SPAM を用いた解析方法ではデータを scan ごとに分割した後に self-calibration を実行しておらず, このことが flux に影響しているのではないかと考えたためである. 図4は self-calibration の実行前後の同じ scan の画像である. self-calibration の追加により画像に変化 は見られたが、大幅な画質の向上は確認されなかった.



(a)self-calibration前の画像



(b)self-calibration後の画像

図4 self-calibration の前後の画像

また,表5は図4に示す画像のRMSを示している.self-calibrationの追加によりRMSが下がることを期待したが,RMSに顕著な変化は見られなかった.

表 5	self-calibration	前後の	RMS
-----	------------------	-----	-----

	self-calibration 前	self-calibration 後
RMS (Jy/beam)	2.63E-3	2.72E-3

4. まとめ

SPAM による解析によって得た画像の質にばらつきがあったこと,先行研究の結果と乖離があること から,解析方法の更なる検討が必要である.また,robustの変更のみによる画像の質の向上は見込めない と考える.加えて self-calibration の追加は実行方法の更なる検討が必要である.

参考文献

[1] 三好由純他 (2001);4.7 木星シンクロトロン放射強度短期時間変動の観測;通信総合研究所季報 Vol.47 No.1 pp.169-177.

[2]H. T. Intema et al. (2009); Ionospheric calibration of low frequency radio interferometric observations using the peeling scheme I. Method description and first results; A&A501,1185–1205(2009).

[3] Anil Bhardwaj et al. (2009); GMRT Observation of Jupiter's Synchrotron Radio Emission at 610 MHz; The Low-Frequency Radio Universe ASPC, Vol. 407, p.369.

[4]M.J. Klein et al. (1989); Systematic observations and correlation studies of variations in the synchrotron radio emission from Jupiter; in NASA Special Publication, vol. 494, 1989, pp. 151–155.

[5]高橋幸弘(2013);太陽活動と地球環境変動; J. Plasma Fusion Res. Vol.90, No.2 (2014) 128-131.

[6] AIPS HELP File (version 31DEC25) for ROBUST; <u>http://www.aips.nrao.edu/cgi-bin/ZXHLP2.</u> PL?ROBUST; 2025/03/18参照.

[7]干渉計サマースクール 2005 教科書:国立天文台 編.