

平磯リオX-タデータ中に見られる木星デカメータ波放射

近藤哲朗, 磯崎 進, 大内栄治
 (鹿島支所) (大吠電波観測所) (平磯支所)

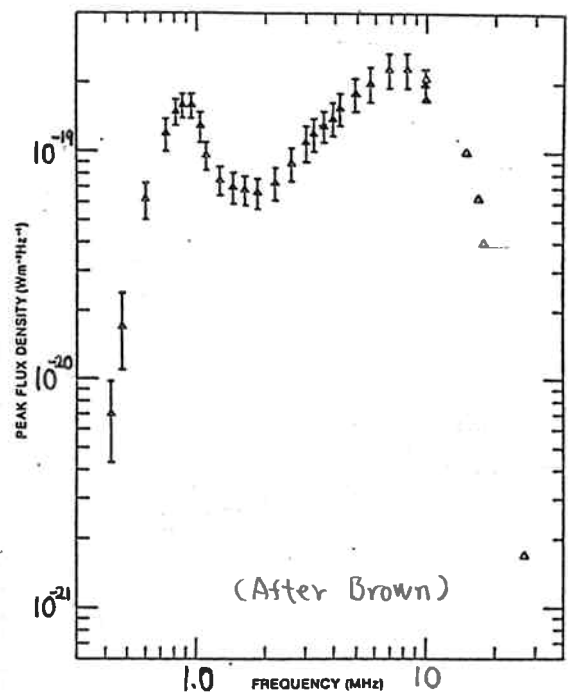
1. はじめに

太陽系最大の惑星である木星は、地球の10倍以上もの強い磁場を持ち早い自転の為(約10時間)、変化に富んだ巨大磁気圏をまとい、そのプラズマ中では激しく電磁現象が展開している。この木星から非常に強いバースト状の電磁波デカメータ波が放射されているがその放出エネルギーは 10^{11} watt にもおよび、地球上では時として太陽電波よりも強い電波として観測される。木星デカメータ波が発見⁽¹⁾されてから20年以上経ち木星デカメータ波の性質が詳しく調べられその発生メカニズムが明らかになりつつある。しかし、木星デカメータ波放射の長年月に亘る出現特性が太陽活動(約11年周期)に関係があるのか、木星の公転周期(約12年)に関係があるのかは明らかになっておらず興味深い問題である。長周期の出現特性を明らかにする為には長期間のデータが必要となるが、日本での木星デカメータ波の定常観測は東北大学が一番古く、1974年からである。ところが、平磯支所では、さらに古い1965年よりリオX-タ(Rio-meter: Relative Ionospheric Opacity-meter)を用いて銀河電波の電離層による吸収量の測定を20, 25, 30, 40 および50 MHz帯に行なっている。このリオX-タデータを木星デカメータ波放射という観点より解析した結果、数多くの木星デカメータ波放射の受信が確認できた。今回は、解析を行なった期間の出現特性について報告する。

2. 木星デカメータ波放射とは

2.1. パワースペクトラム

木星デカメータ波放射のスペクトラムを第1図⁽²⁾に示す。10MHz以下では電離層の影響で地上からは観測することができない為、IMP-6という米国の人工衛星で観測したものであるが、10MHz付近と1MHz付近にピークのある事がわかる。デカメータ波放射の高域カットオフ周波数は木星極域の磁場強度と関係があり約38MHzである。これは後に述べる。木星電



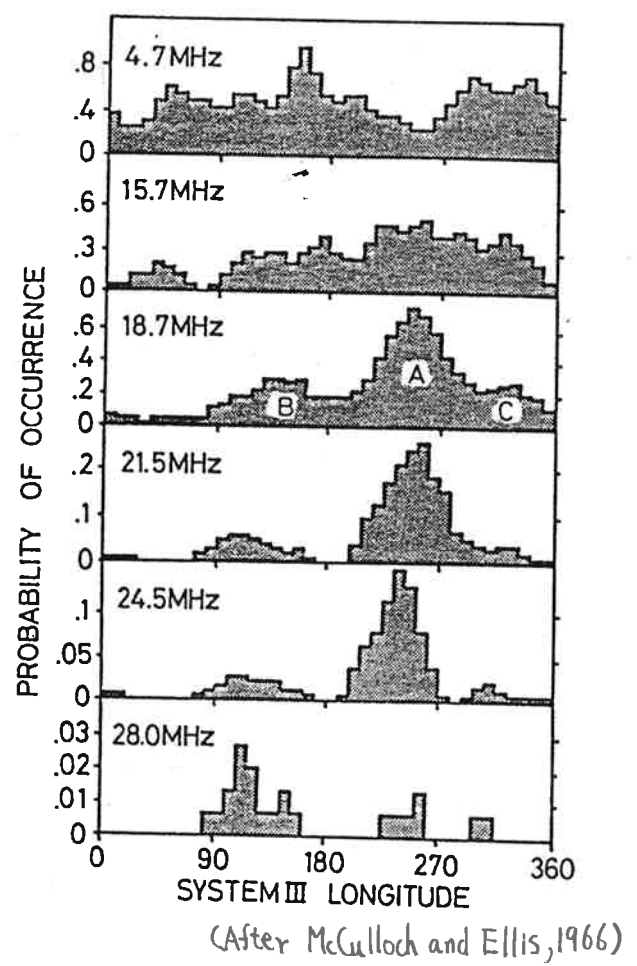
第1図 スペクトラム

波の判定方法のところで用いられる。

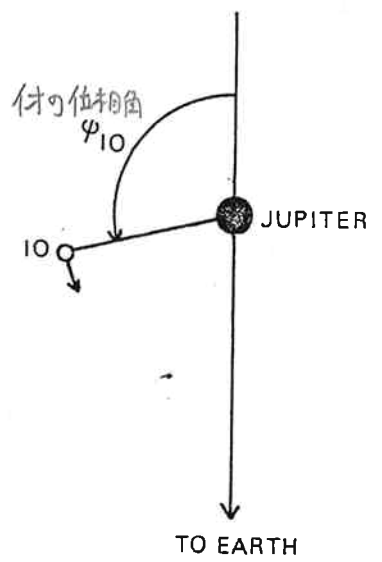
2.2 電波源

電波源には、実際に電波の発生している場所という意味と、統計的に処理をした場合の電波の出現頻度の多い場所という意味の2つの意味があるが、ここでは後者の統計的に処理をした場合の意味で使用する。

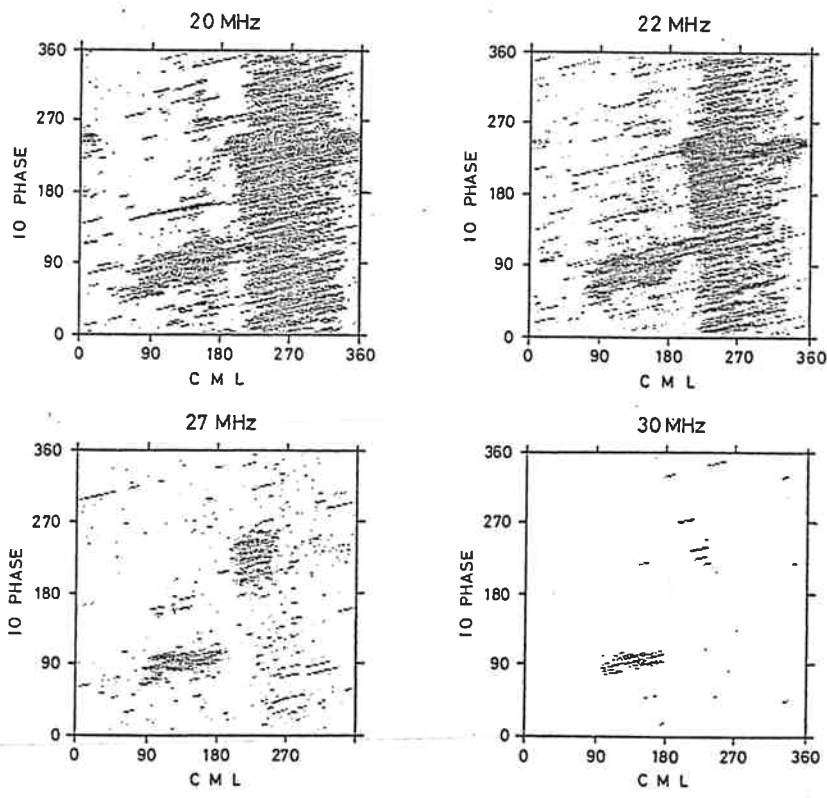
木星の固核の部分の自転周期は、9時間55分29.711秒であり、この自転周期をもとに体系Ⅲ経度が定義されている。オ2図は横軸に地球から見た場合の木星中央子午線経度 (CML: Central Meridian Longitude と呼ぶ) をとり、たて軸に木星デカメータ波の出現頻度をとったものである。18.7MHzの図に示されているが CML に対して大きく3つの電波源に分かれる。経度の若い方から、それぞれ B, A および C ソースと呼ばれる。B および A ソースは 先行電波源 (Early Source) および 主電波源 (Main Source) とも呼ばれる。木星デカメータ波放射にはもう一つ、木星のオ1ガリレオ衛星イオの位置においてコントロールされる成分がある。



オ2図(3) 出現特性



オ3図 イオ衛星の位相角



(After Thielemann, 1979)
 第4回 Io-CML ダイアグラム (4)

イオ衛星の位相角(第3回で定義した)をたて軸にとり、横軸に中央子午線経度CMLをとったIo-CMLダイアグラム上での木星デカメータ波放射の出現特性を第4回に示す。現象は黒い部分で示されるが、周波数が高くなるにしたがってIoの位相角が90°および240°付近の放射にかぎられることがわかる。このようにイオ衛星の位置によってコントロールされるデカメータ波放射をイオ依存性電波源(Io-related Source)、イオ衛星の位置によらず、CML270°付近に出現する電波源を

非イオ依存性電波源(Non Io-related Source)と呼ぶ。先に述べたA、BおよびCソースの分類よりイオ依存性電波源はIo-A、Io-BおよびIo-Cソースと呼ばれる。

2.3. 偏波特性

木星デカメータ波放射のほとんどが右旋円偏波であり、Axial ratioは1に近く、完全円偏波である。楕円偏波成分および左旋偏波はイオ依存性電波源においてのみ見られる。

2.4. 現象タイムスケール

木星デカメータ波放射はバースト状に放射される電波であるがその継続時間は数分から1時間程度である。バースト自体は数秒から数10秒のタイムスケールを持つバーストと呼ばれるグループより構成され、バーストはさらに短い数ミリ秒のタイムスケールのサブバーストから構成される場合がある。このサブバーストは直接に電波発生メカニズムを反映しているものと考えられている。

2.5 発生メカニズム

木星デカメートル波の発生のメカニズムおよびその発生領域に関して、この電波発見以来種々の議論がなされてきている。1970年代初頭までは、サイクロトロン放射およびセレンコフ放射といった放射線帯に存在する高エネルギー粒子から直接に電磁波が発生するという放射機構が考えられた。これらの理論は発生メカニズムとしては理解できるものであるが、木星デカメートル波の場合の強大な放出エネルギーを説明することが不可能であった。現在は、惑星プラズマ中に大量に存在する比較的lowエネルギーの粒子との相互作用によって生じる静電的プラズマ波から電磁波へのモード変換によってデカメートル波放射が起こると考えられている⁽⁶⁾。このモード変換理論は従来の理論では説明できなかった木星デカメートル波の巨大なエネルギーを十分に説明する事ができる。

3. リオメートルデータ解析

リオメートルの受信アンテナは5素子垂直固定八木アンテナである。受信検波器出力の充放電時定数の比は大きくとり、検波出力の最小値のみがとり出される。平磯支所でのリオメートル測定は1965年春ごろから30MHzにおいて開始され引き続き、20, 25, 30, 40および50MHz帯での測定が開始された⁽⁵⁾。

今回のデータ解析では、1965年12月からのデータを使用した。

3.1 木星電波判定方法

リオメートルデータから木星デカメートル波放射現象を抽出する為に以下の述べる4つの条件を用いた。

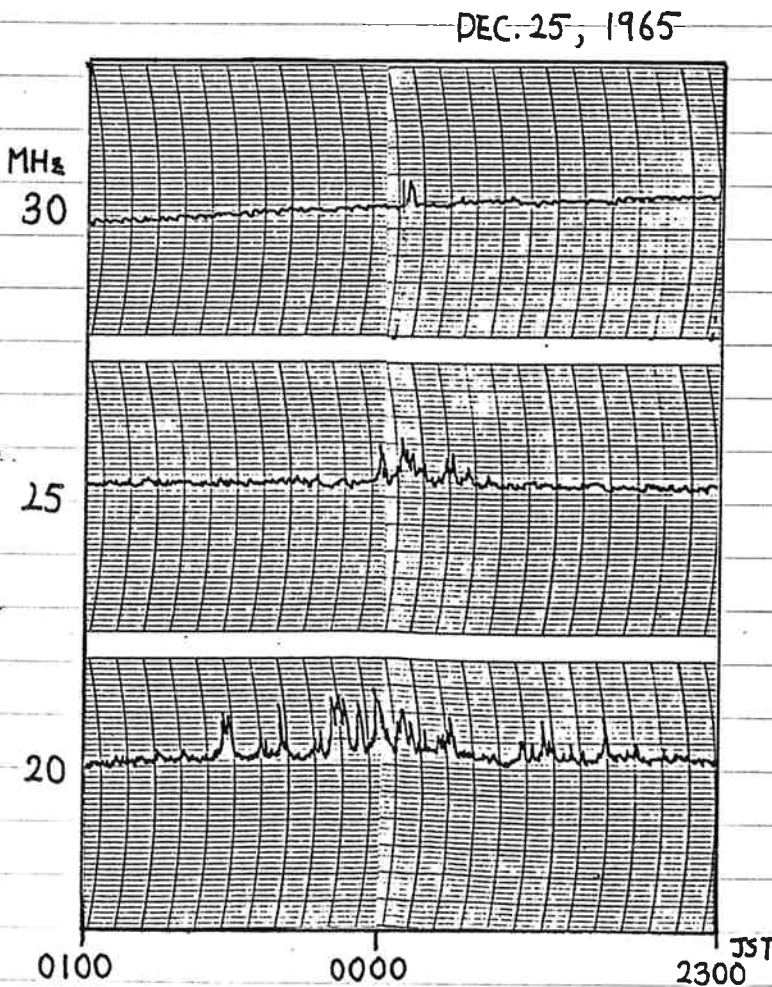
- ① 木星が地平線上に出ている時間のデータである事
- ② 夜間のデータである事
- ③ 20, 25, 30MHz帯の少なくとも2周波で受信され、40および50MHz帯では現象がない事
- ④ 現象がバースト状であり、継続時間が10分以上2時間未満である事

①の条件は当然の事であるが、②は太陽電波の混入および混信をさける為である。③の条件は、木星デカメートル波放射の高域カットオフ周波数が約38MHzであり、それ以下の周波数で広帯域に放射されることによる。④は木星

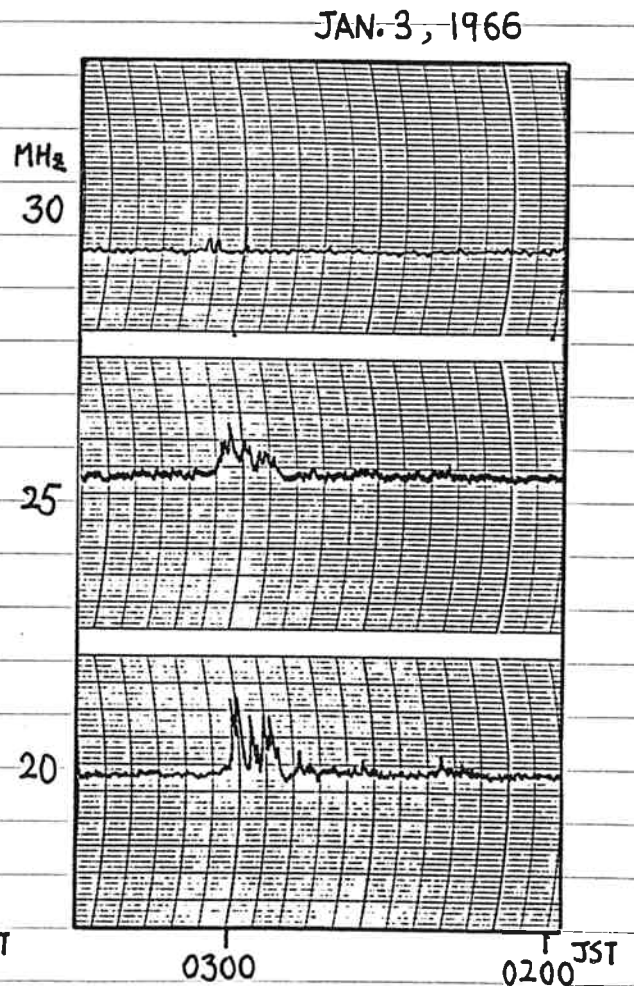
デカX-タ波放射のタイムスケールが与えた条件である。以上の4つの条件を満たす現象を木星デカX-タ波放射であるとした。

3.2 リオX-タデータ中に見られる木星デカX-タ波放射

リオX-タデータ中に見られた木星デカX-タ波受信例をオ5図からオ18図に示す。1965年12月から1969年12月までのデータでの典型的な受信例である。

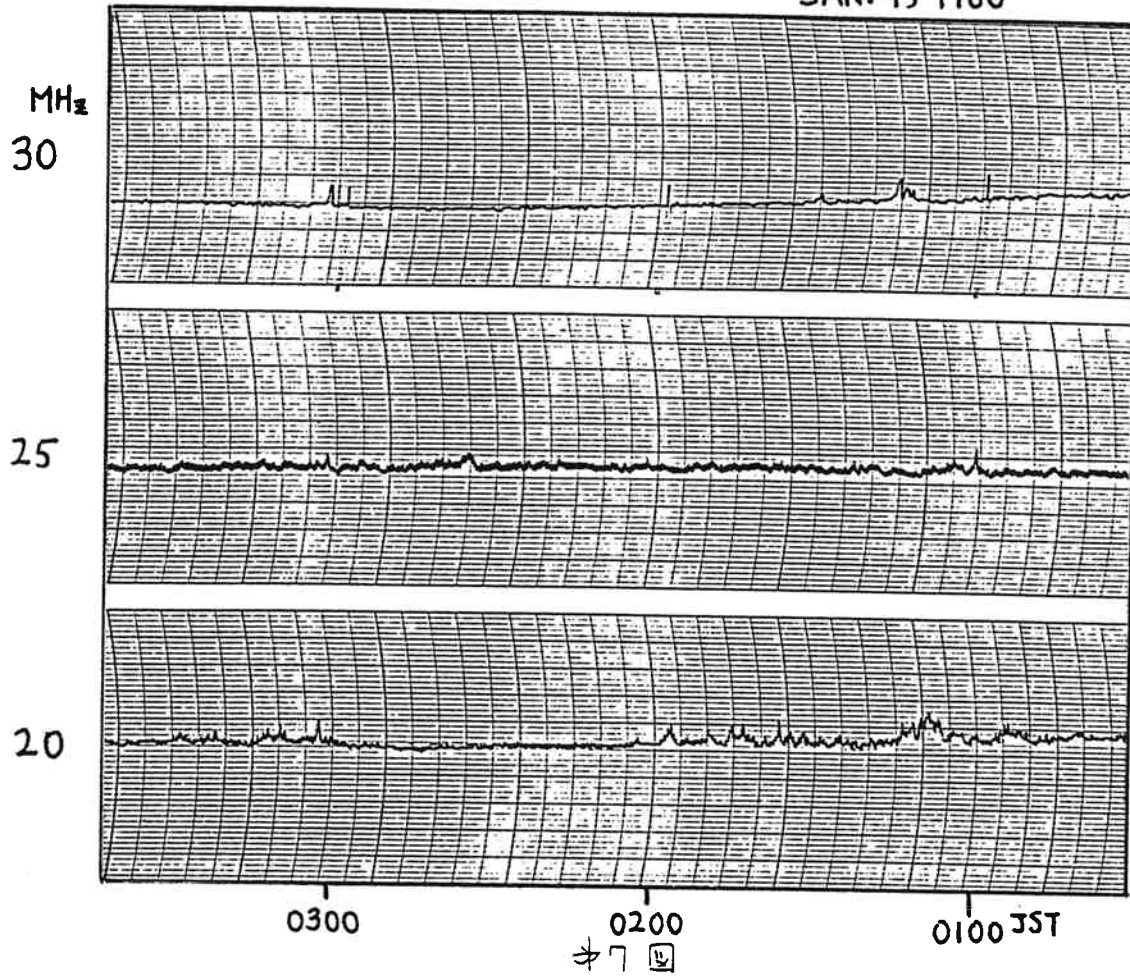


オ5図



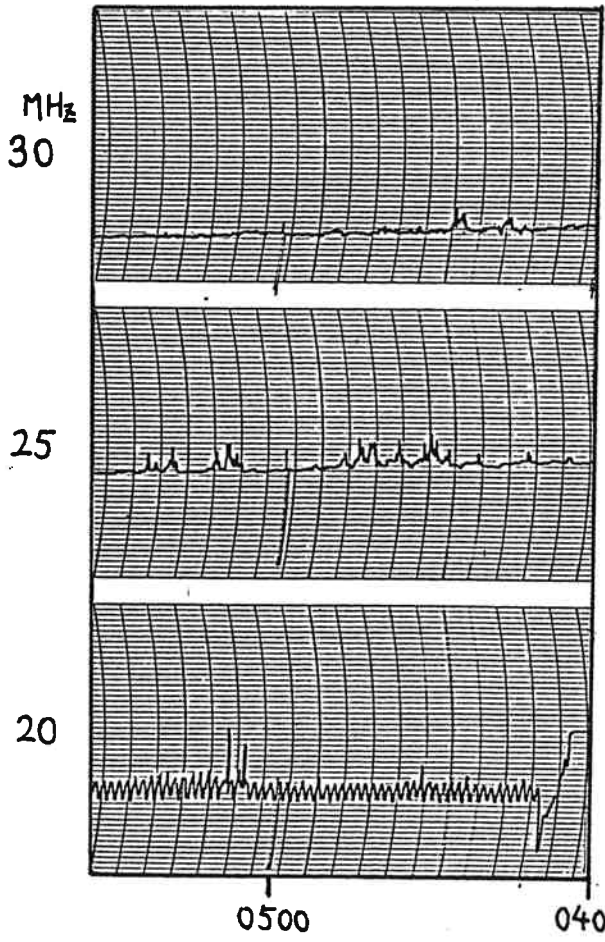
オ6図

JAN. 9, 1966



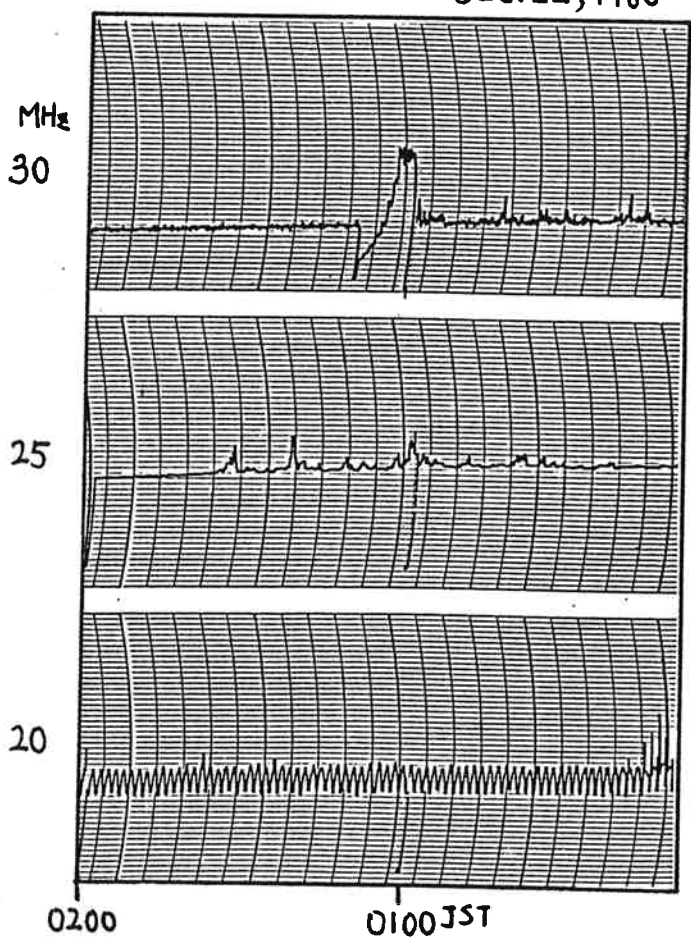
※7回

NOV. 20, 1966



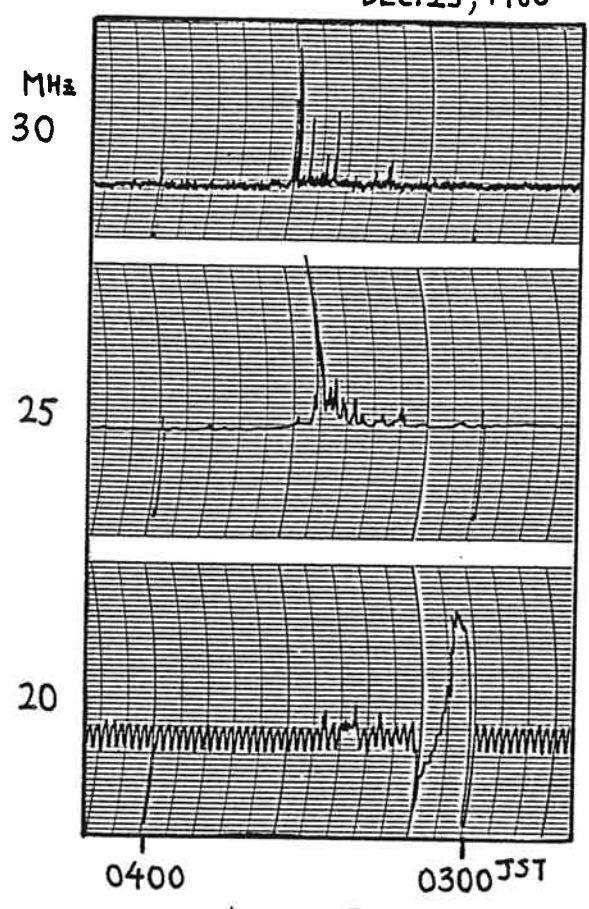
※8回

DEC. 22, 1966



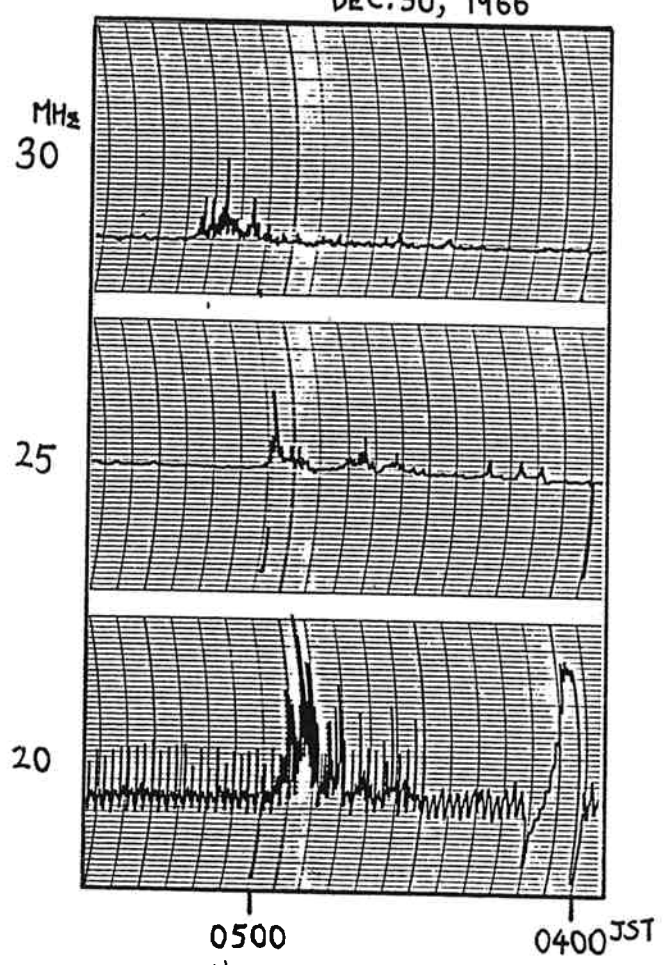
※9回

DEC.23, 1966



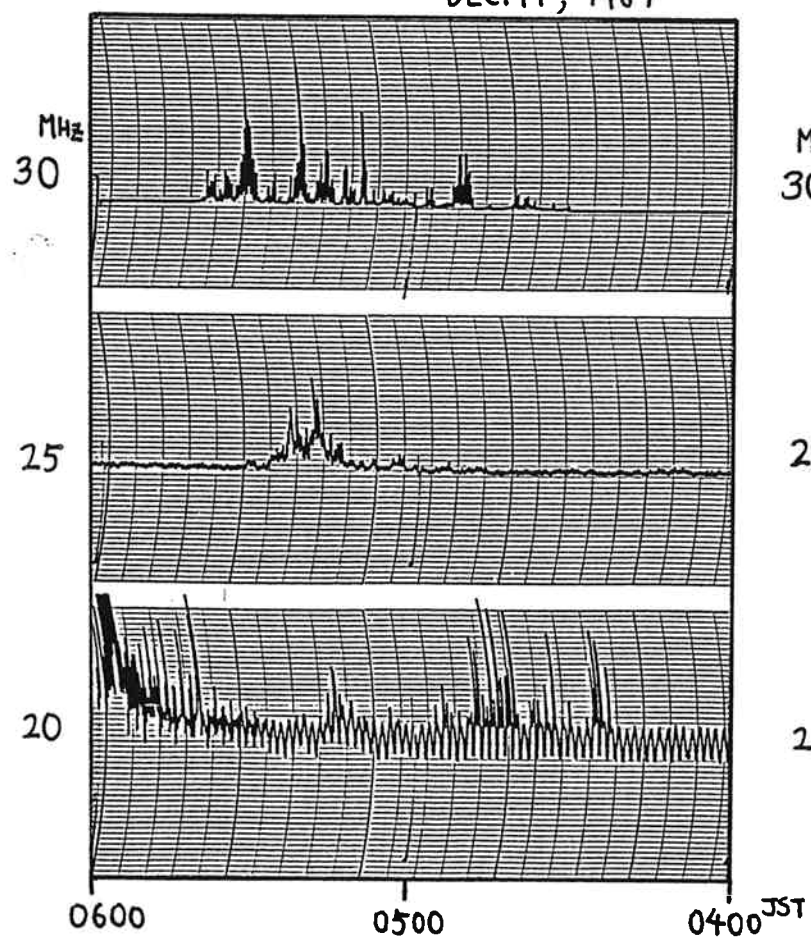
才 10 回

DEC.30, 1966



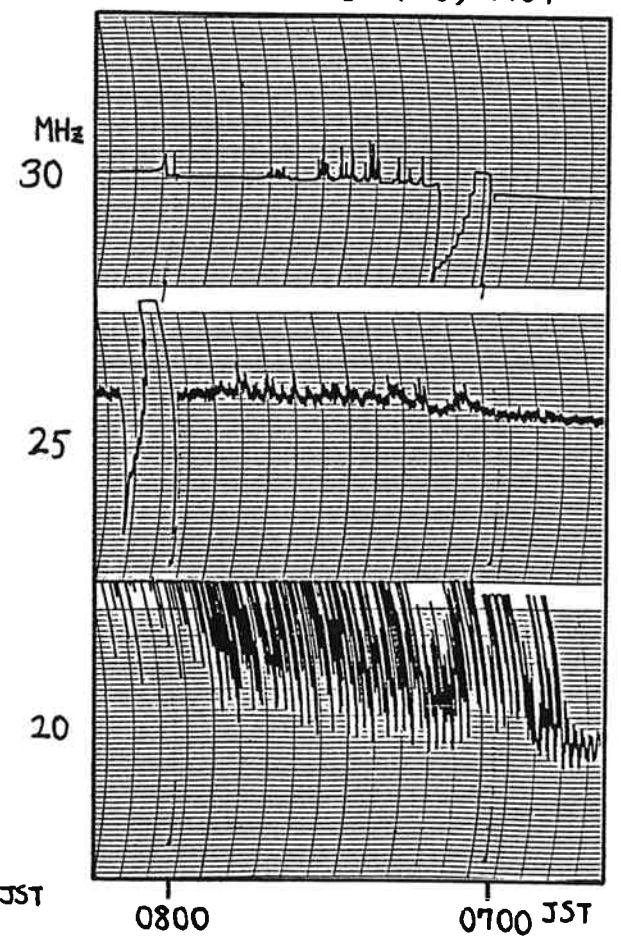
才 11 回

DEC.19, 1967



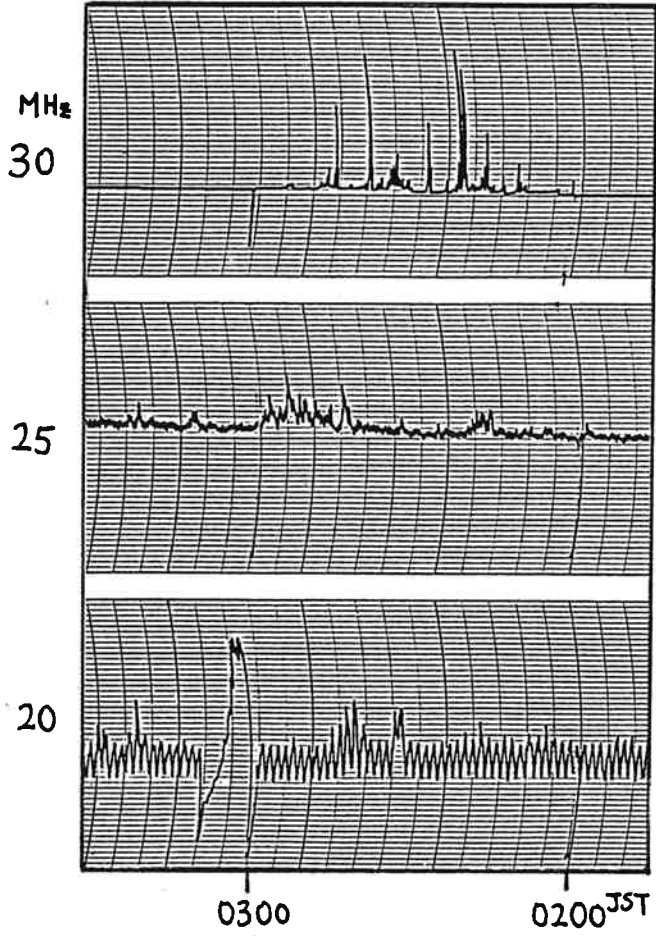
才 12 回

DEC.26, 1967



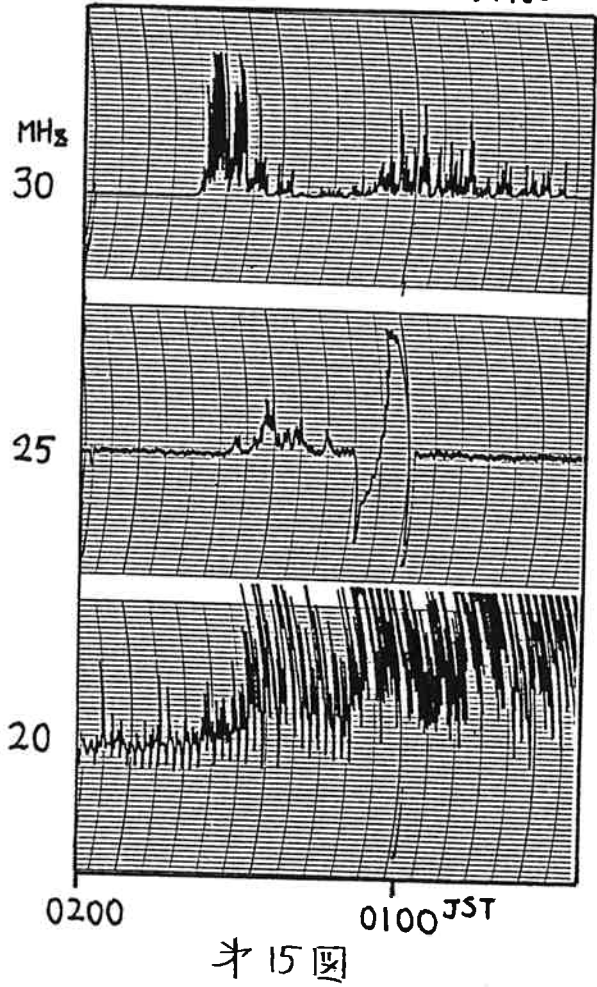
才 13 回

JAN. 27, 1968

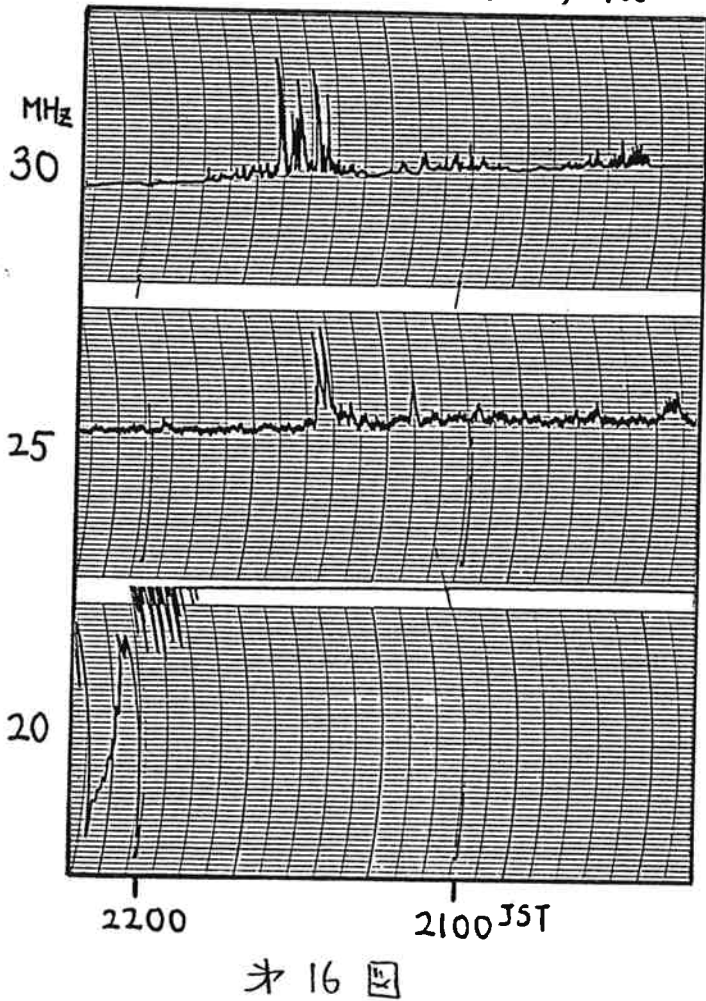


JAN. 20, 1968

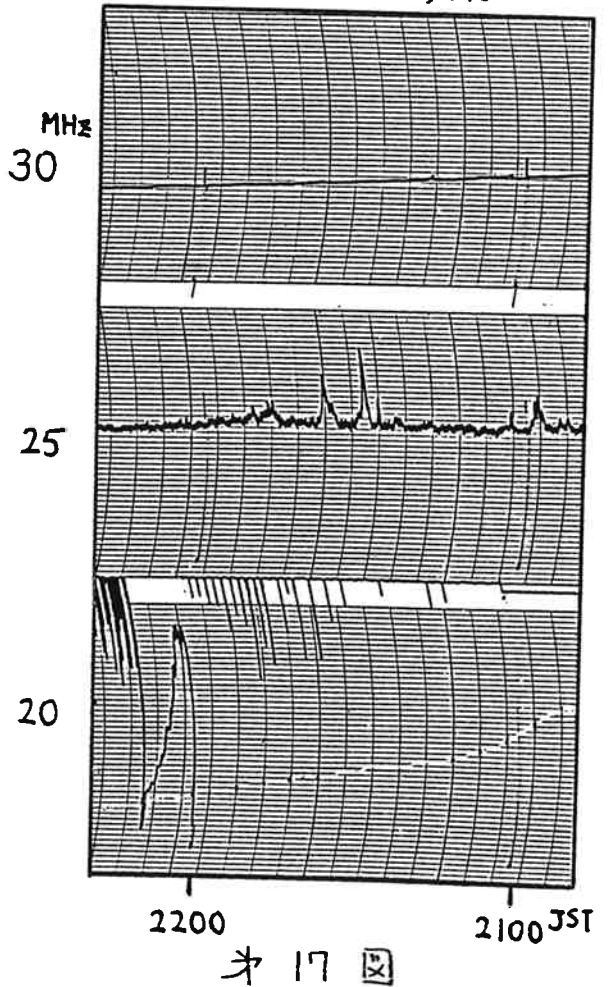
8



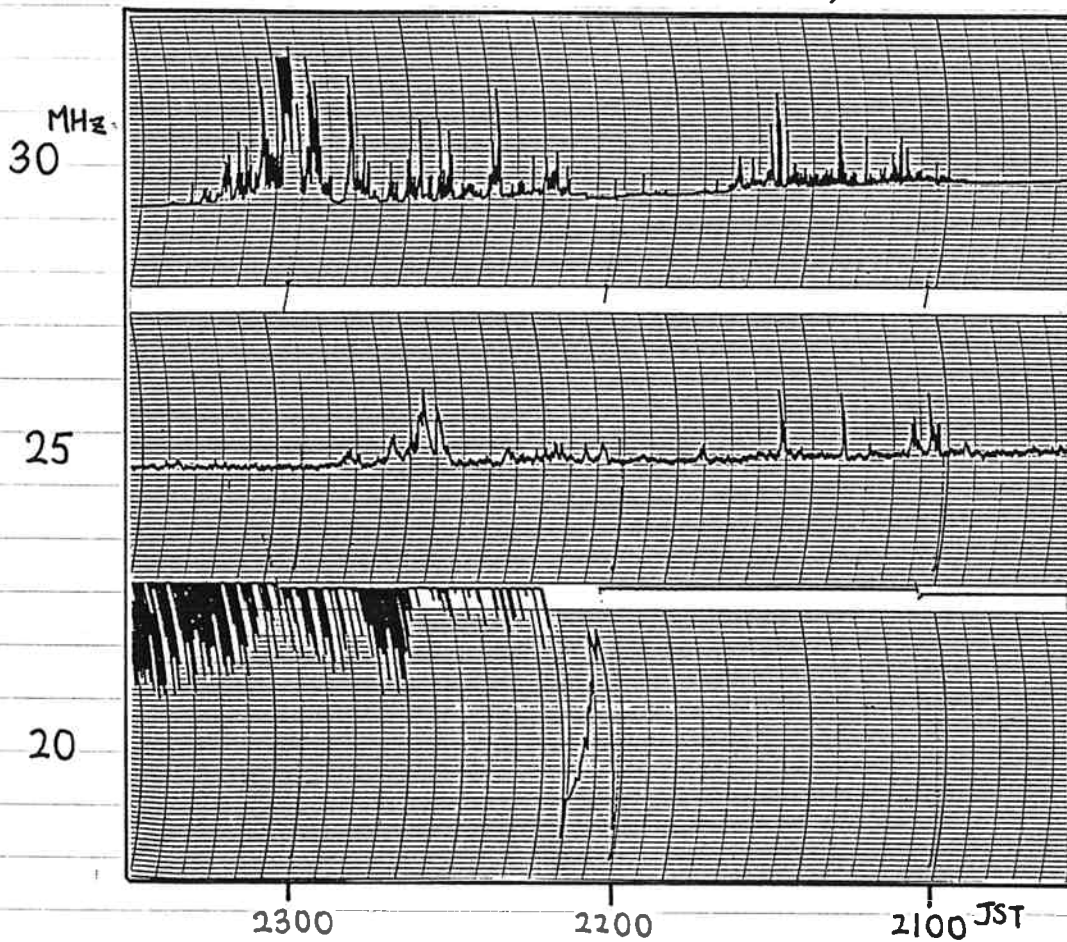
FEB. 20, 1968



FEB. 21, 1968



FEB. 27, 1968



オ18回

3.3 出現特性

1965年12月から1969年12月までのデータ中、木星デカX-タ波放射現象らしき現象は、111例であった。その現象すべての開始時刻と終了時刻およびこれらの時刻に対応した中央子午線経度(CML)および付衛星の位相角を表1に示す。オ19回には表1で示されるデータを横軸CML、たて軸に出現数を示しているが、オ2回に示す出現特性と似ている事がわかる。すなわち、CML 240°付近と120°付近に出現のピークが存在している。この事実は、リオX-タデータ中より抽出された現象の大部分が木星デカX-タ波放射である事を示している。更に詳しく出現特性を見る為に同じデータをたて軸に付衛星の位相角、横軸にCMLをとったIo-CMLダイアグラム上にプロットした(オ20回)。やはり、オ4回、特に周波数が27MHzの出現特性と似た特性となっている。まさに木星デカX-タ波放射の受信が確認された事で

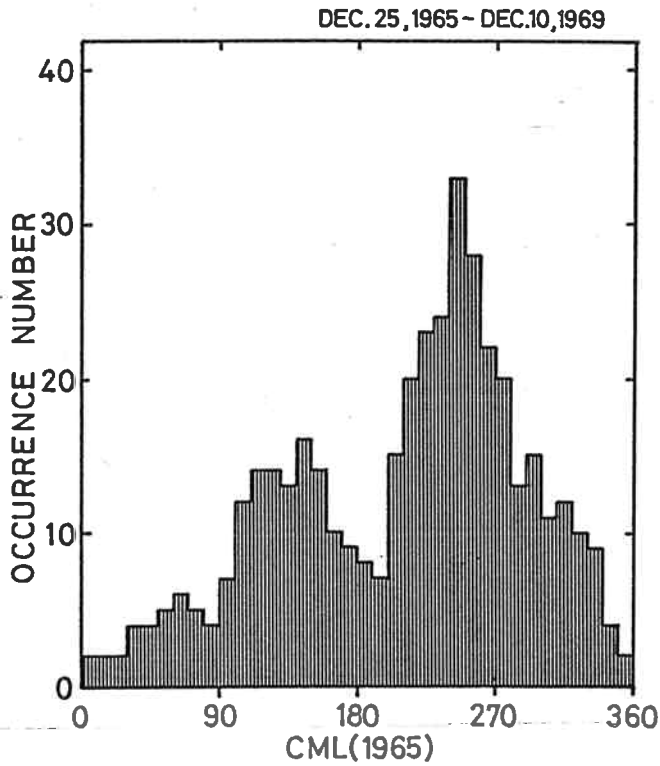
表1. 平磯リオX-タデ-夕中に見られた木星カX-夕波放射

(1965.12 ~ 1969.12)

JDW OCCURRENCE in HIRAISSO RIOMETER			
DATE	J S T	CML(65)	IO-PHASE
1965 DEC. 25	2230-2430	201.4-274.0	231.7-248.6
28	0130-0200	251.6-269.7	304.4-308.6
30	2220-2330	228.6-271.0	168.3-178.2
1966 JAN. 2	0010-0120	236.4-278.7	231.1-241.0
3	0245-0305	120.8-132.9	96.6- 99.5
4	0230-0250	262.3-274.4	298.1-300.9
6	0315-0410	230.8-264.0	351.7-359.5
7	1920-2000	244.8-269.0	331.7-337.4
9	0000-0200	204.7-277.3	214.9-231.9
9	0230-0330	295.4-331.7	236.1-244.6
9	2050-2150	240.5-276.8	31.6- 40.1
9	2250-2310	313.0-325.1	48.6- 51.4
10	0300-0410	104.2-146.5	83.9- 93.8
10	1840-1920	312.5-336.7	216.8-222.5
FEB. 2	1950-2100	217.7-260.1	228.5-238.4
2	2110-2130	266.1-278.2	239.8-242.6
2	2150-2210	290.3-302.4	245.4-248.3
3	2130-2140	68.7- 74.7	86.1- 87.5
9	2130-2210	251.7-275.9	227.1-232.8
13	2040-2100	103.4-115.5	314.0-316.8
16	2100-2150	206.8-237.1	207.3-214.3
19	1840-1930	213.6-243.8	77.9- 84.9
20	2100-2200	88.6-124.9	301.1-309.6
MAR. 8	2030-2100	317.1-335.2	311.7-315.9
14	2000-2100	121.2-157.5	87.8- 96.3
19	2130-2200	207.4-225.6	37.4- 41.6
19	2230-2300	243.7-261.8	45.9- 50.1
24	1930-2120	166.7-233.1	317.3-332.8
MAY 9	1800-1910	186.4-228.7	297.0-306.8
14	1720-1810	193.6-223.9	227.7-234.8
AUG. 4	0630-0800	245.7-300.1	243.8-256.5
9	0700-0930	295.6- 26.2	184.4-205.6
10	0520-0810	25.5-128.2	13.6- 37.6
18	0900-1100	281.3-353.9	230.9-247.9
24	0710-0810	37.1- 73.4	355.2- 3.6
SEP. 13	0630-0730	141.0-177.2	95.8-104.2
20	1000-1030	240.9-259.0	108.8-113.0
OCT. 12	0030-0040	326.6-332.6	182.2-183.7
14	0220-0330	334.1- 16.4	244.6-254.4
19	0930-1050	266.5-314.9	242.3-253.6
NOV. 5	0740-0920	239.1-299.6	85.1- 99.2
8	0430-0800	216.0-342.9	308.6-338.3
11	0640-0730	26.3- 56.5	217.4-224.4
13	0410-0440	236.8-254.9	243.1-247.4
15	0600-0710	244.4-286.8	305.6-315.5
17	0750-0820	252.1-270.3	8.1- 12.4
20	0400-0530	204.9-259.3	226.1-238.9
21	0050-0100	240.6-246.7	42.8- 44.2
21	0740-0900	128.5-176.9	100.7-112.0
DEC. 14	0030-0100	93.1-111.3	41.4- 45.6
22	0020-0130	212.4-254.7	228.6-238.5
23	0320-0335	111.9-121.0	97.7- 99.8
29	0000-0210	175.0-253.6	211.0-229.4
30	0400-0510	110.8-153.2	88.5- 98.4
1967 JAN. 12	0220-0320	209.2-245.5	201.4-209.9
12	0430-0520	287.8-318.1	219.8-226.9
15	2030-2040	240.3-246.4	246.4-247.8
22	2005-2050	199.9-227.1	228.2-234.6
22	2120-2140	245.2-257.3	238.8-241.7
23	2330-2350	114.5-126.6	100.8-103.7
29	2100-2200	207.7-244.0	221.3-229.8
31	2130-2200	167.2-185.3	272.8-277.0
FEB. 7	0130-0200	136.1-154.2	88.4- 92.6
11	1700-1720	220.8-232.9	314.2-317.1
12	2300-2330	229.1-247.2	208.7-213.0
APR. 2	1900-1950	259.1-289.3	66.9- 74.0
10	0000-0200	53.3-125.8	93.2-110.2
11	1740-1830	124.4-154.6	86.4- 93.4
13	2000-2100	149.8-186.0	152.9-161.4
14	1910-2050	269.9-330.4	349.3- 3.4
MAY 10	1710-1900	146.5-213.0	219.8-235.3
18	2245-2310	111.5-126.6	93.7- 97.2
24	2130-2200	248.0-266.2	223.0-227.3
JUN. 18	1800-1900	278.5-314.8	235.8-244.2
NOV. 12	0115-0140	174.0-189.1	98.6-102.1
26	0320-0350	196.7-214.9	84.0- 88.2
26	0400-0430	220.9-239.0	89.6- 93.9
DEC. 1	0350-0400	247.6-253.6	25.4- 26.8
11	0150-0200	240.7-246.7	243.0-244.4
12	0150-0200	31.2- 37.3	86.4- 87.9
13	0550-0610	326.9-339.0	323.8-326.7
19	0430-0540	102.1-144.4	93.4-103.3
23	0130-0140	235.7-241.7	162.0-163.4
23	0210-0230	259.9-272.0	167.7-170.5
26	0650-0750	161.0-197.3	97.8-106.3
1968 JAN. 8	0350-0415	210.4-225.5	198.3-201.8
11	0330-0340	290.3-296.3	86.2- 87.6
11	0350-0400	302.4-308.4	89.0- 90.4
18	2330-2350	270.5-282.6	240.8-243.7
20	0030-0140	97.4-139.7	92.9-102.8
27	0200-0300	126.5-162.8	90.8- 99.3
FEB. 3	0200-0330	101.3-155.7	76.0- 88.8
20	2030-2150	93.9-142.3	94.5-105.8
21	2050-2200	256.7-299.0	301.0-310.9
21	2220-2230	311.1-317.2	313.7-315.1
27	2100-2140	86.7-110.9	84.1- 89.7
27	2210-2310	129.0-165.3	94.0-102.5
28	2000-2050	201.1-231.3	279.2-286.3
MAR. 1	0240-0310	233.6-251.7	179.4-183.6
3	0050-0105	108.4-117.4	211.1-213.2
5	2310-0000	139.8-170.1	87.7- 94.8
8	2335-2345	246.8-252.9	342.1-343.5
13	0005-0015	147.5-153.5	80.7- 82.1
APR. 11	2130-2140	250.5-256.6	45.3- 46.7
MAY 13	2200-2230	42.9- 61.0	80.1- 84.3
JUN. 20	1820-1955	223.2-280.6	216.7-230.1
1969 JAN. 15	0230-0310	119.5-143.7	97.3-102.9
22	0330-0405	130.0-151.2	90.3- 95.2
FEB. 4	0300-0400	270.1-306.3	211.9-220.4
MAR. 17	0020-0045	230.8-245.9	256.6-260.2
DEC. 10	0605-0610	67.9- 71.0	91.4- 92.1

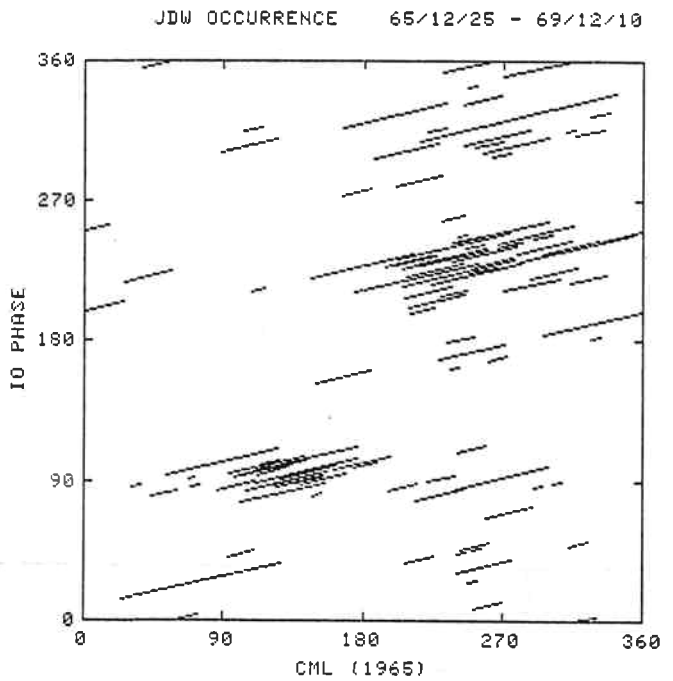
DATA # = 111

(CML(65)とは1965年を元期とするCMLであり、1976年にIAUで決定された)

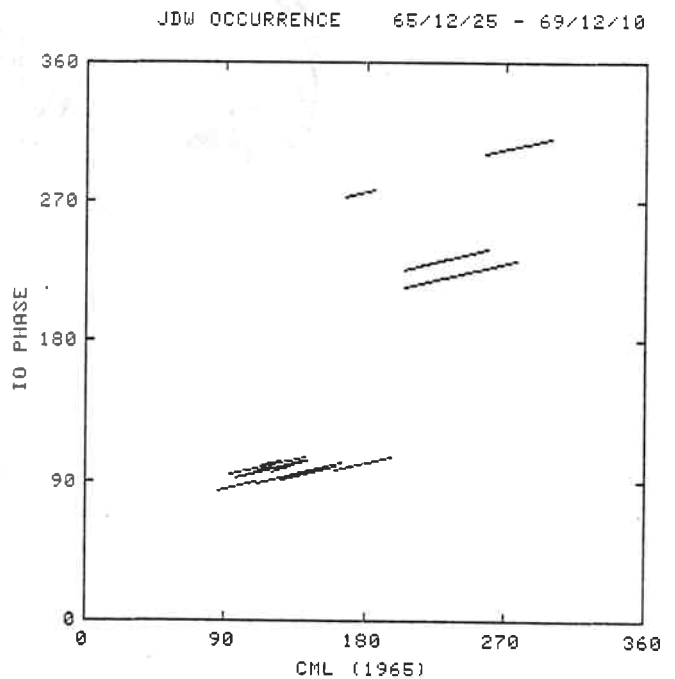


オ 19 図 出現特性

ある。しかし、そのほとんどは、イオ依存性電波源からの放射となっているが、これは非イオ依存性電波源の高度カットオフ周波数が、オ 4 図からもわかるように、約 28MHz であること、リオメータの受信アンテナが天頂方向を向いており、一般に強度の弱い非イオ依存性電波源からの放射は受信が困難であったためと思われる。オ 21 図には、特に強く受信されたデータについてダイアグラム上に表示されているが、イオ依存性電波源に限定されている事がわかる。



オ 20 図 IO-CML 図



オ 21 図 IO-CML 図

4. まとめ

木星デカメートル放射の長年月に亘る出現特性の議論に平磯リオメートルデータが使えないかという立場で今回のデータ解析を行なった。この研究の興味は長周期の出現特性にある訳であるが、その第一歩として、木星デカメートル放射が実際にリオメートルに受信されているかどうかを調べたのである。その結果、多数の木星電波の受信が確認され、長年月の出現特性を調べる目的に使用できる見込みが見ついた。今後は長周期の出現特性に的を絞った解析を行なう予定である。

最後に、リオメートルデータ解析にあたり、平磯支所太陽電波研究室大内室長を初め室員の皆様に大変お世話になりました。深く感謝致します。

参考文献

- (1) Burke, B.F. and K.L. Franklin, Observation of a variable radio source associated with the planet Jupiter, *J. Geophys. Res.*, 60, 213-217, 1955.
- (2) Brown, L.W., Spectral behavior of Jupiter near 1 MHz, *Astrophys. J.*, 194, L159-L162, 1974.
- (3) McCulloch, P.M. and G. R. A. Ellis, Observation of Jupiter's decametric radio emissions, *Planet. Space Sci.*, 14, 347-359, 1966.
- (4) Thieman, J. R., A catalog of Jovian decameter radio observations from 1957-1978, NASA Technical Memorandum 80308, 1979.
- (5) 新野賢爾, 山下不二夫, 藤井周, 磯崎進, 水戸部温; "リオメートルによる電離層吸収の測定と解析", *電波研季報*, 12, 213-220, 1966.
- (6) Oya, H., Origin of Jovian decameter wave emissions - conversion from the electron cyclotron plasma wave to the ordinary mode electromagnetic wave, *Planet. Space Sci.*, 27, 963-972, 1979.