

アマチュア無線家による 国産衛星の電波観測

吉 成 正*

国産科学衛星「大隅」の打上げ以来、日本人にとって人工衛星も大変身近なものとなった。その後打上げられた「新星」「電波」によって本格的な科学観測が行なわれ、着々と成果が上っている事は誠に喜ばしい事である。

吾々アマチュア天文家にとって、直接観測データを集めて処理する術もないが、折角打上げられた衛星だから、大いに利用させて頂いてもよいのではないかと考え、衛星からの電波を受信し、ドップラー効果を確認してみる事を計画した。

ドップラー効果は波動工学に於ける最も興味ある現象の一つである。音波のドップラー現象は、踏切を通過する汽車、電車の警笛や、バトカー、救急車のサイレン等で日常よく経験しているが、それにも拘らず、定量的に教材として提示されることが少ないのは、録音するのが困難である故であろうか。

電磁波に於いては、光速が余りにも大きいために、そのドップラー効果を検知するに困難を伴う。星雲団からの光のスペクトルの赤方偏移とか、太陽の赤道周辺部からの光の波長のずれ等は、一般には実験上検証することなく、知識を一方的に押し付けているのが現実である。

1957年10月スプートニク打上げ以来、地球を取巻く大気圏外には、常時1000個を越す人工天体が運行するようになり、これらの人工天体を利用すれば、ドップラー効果を観測出来る可能性が出て来た。

信号強度と受信機

限られた質量の人工衛星からの電波の出力は、数10 mW～数 W 程度であり、到着距離も天文学的な距離ともなると極めて信号が微弱（-130 dbm 程度）となるので、高利得のアンテナと高感度、狭帯域で S/N の高い受信機が必要である。アマチュア無線家（Ham）用人工衛星「オスカー」の受信経験から、高周波増幅2段付のダブルスーパー以上の受信機と5～7エレメント（素子）の八木アンテナは最低限必要である。

周波数の偏移

ドップラー効果による周波数の偏移 Δf は、発振周波数 f_0 、衛星と観測者の相対速度を v 、観測者に対して $\angle \theta$ の方向に運動しているとすると、

$$\frac{\Delta f}{f_0} = \frac{v \cdot \cos \theta}{c} \quad \dots\dots(1)$$

で表わされ、 $v=7 \text{ km/s}$ 程度では

$$\frac{\Delta f}{f_0} = \frac{7 \times 10^3 \text{ m/s}}{3 \times 10^8 \text{ m/s}} \cos \theta \doteq 2.3 \times 10^{-5} \cdot \cos \theta$$

10万分の2程度の偏移では、ヘテロダイン周波計で測れたとしても精度が、 2.2×10^{-5} ではほぼ等しいため、誤差との区別が出来ない。しかし f_0 が高くなれば、 Δf の絶対値は大きくなるので、クリスタルコンバーター（水晶による周波数変換器）で、超短波の f_0 を短波帯に周波数変換してから読取る事で2桁の精度向上が得られる。

受信装置

受信周波数は国産衛星のビーコン波 136 MHz とし、ハム用の 144 MHz 用を改造することにした。

アンテナは従来使っていた7エレの八木アンテナを、ブーム（横軸）を延長して8エレとし（図1）、ハムと衛星の両用とした。最近のハムはモービル局を相手に垂直偏波を多く使っているので、144 MHz のスプリアス（妨害電波）が有ってもその妨害から逃げるために水平偏波で使用した。追尾は手で、マスト（支柱）を廻わしたり、北極星の方向に傾けて赤道儀式にしたり、毎回軌道に合わせて振り廻らすので、親切な近所の人がわざわざ「アンテナが倒れそうだ」と教えて呉れる事もしばしばであった。

親受信機は万一のトラブル時を考慮して2系統準備した。左チャンネルに米国ハマーランド製スーパープロとヘテロダイン周波計、右チャンネルに国産のトリオ製 SSB 用 JR 310 改造受信機をセットし、共に第1 IF（中間周波）の 5 MHz 帯で動作させ、JJY 用受信機の出力と共に、ステレオテープデッキの左右チャンネルに録音しながら、ステレオヘッドホンでモニターした。生データは出来るだけリアルタイムにノートに残すよう努めた。

周波計は精度 50 Hz であるが直読ではないので測定に

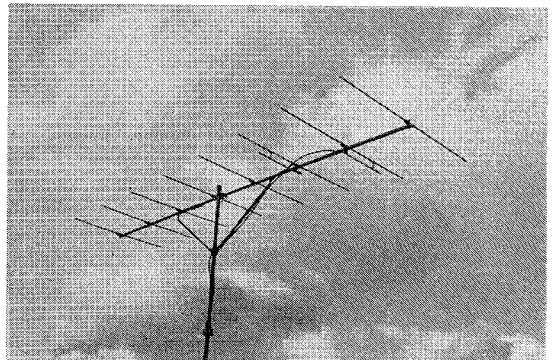


図1 人工衛星追跡用エレメント八木型アンテナ

* 新潟工業高校教諭, JARL 新潟県支部長

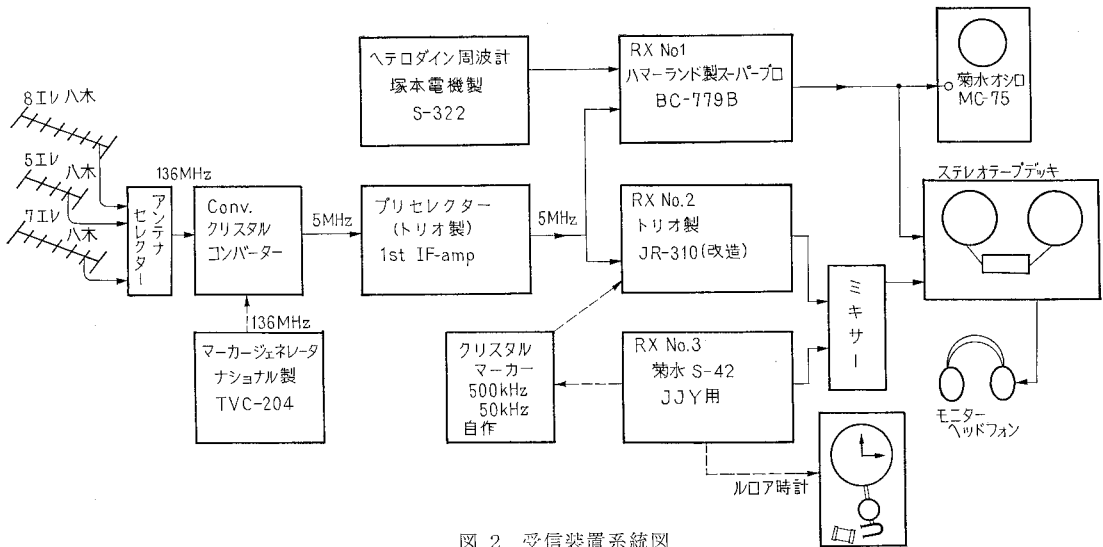


図 2 受信装置系統図

時間が掛るので、SSB (単側帯波) 用受信機の直読ダイヤルを再調整し、トラッキングエラーがパーニヤダイヤルで最小になるようにし、パーニヤに更にパーニヤを追加して最小目盛 500Hz の 1/10 の 50Hz が読めるようになった。ドリフト特性も勿論取ってあり、スイッチオン直後の 3 分間待てば、周波数は満足出来る位安定になり、トランジスターの有難さがしみじみと感ぜられる。長時間使用の変動は温度上昇によるもので、2 時間で約 1kHz であるが、受信周波数の絶対値は必要なく、短時間 (20分位) の偏移分だけ読めればよいので、VFO (可変周波数発振器) は恒温化していないが、現在では温度が読めるよう曲管温度計を組込んである。

クリスタルコンバーター (クリコン) はトランジスタ式で RF (高周波増幅) 2 段付を親受信機から離して、葉の空缶に電池と共に入れ、入力側には 5MHz の IF トラップが入っている。局発水晶は「大隅」のピーコン用に特注したので「新星」では IF 出力周波数が若干変

わり、受信が 2 系統使えるようになった。親受信機との間にプリセクターを入れ、必要に応じて 2 段増幅が働かせられるようにしてある。

アンテナ系は後に 7 エレと 5 エレを追加し、アンテナ切換器で、3 本の八木とブラウン型の計 4 本をシャック (無線室) で、西向、南上空向、東向をバラバラと切換え大変便利になった。

時計は NHK の払下品のルロア型で自家修理し、日差 0.25 秒以内に調整したものを用い、スピン測定用に 1/10 秒のストップウォッチを並用した。(図 2, 3, 表 1 参照)

理論と予想値

前記の(1)式に「新星」のピーコン周波数 f_0 、近地点相対速度 v を代入して、偏移 Δf を求めると、(図 4 参照)

$$\Delta f = -\frac{f_0 \cdot v \cdot \cos \theta}{c} = -\frac{1.36695 \times 10^8 \times 7.288 \times 10^3}{2.997925 \times 10^8} \times \cos \theta \approx -3.32 \times 10^3 \cos \theta \text{ [Hz]}$$

近づく時に Δf だけ高まり、遠去かる時に Δf だけ低くなるので、全偏移 $\Delta F = 2\Delta f$ と観測される。

表 1 受信装置

1. アンテナ 8 エレ八木型 地上 15m 高 手動追尾 後に 7 エレ, 5 エレ八木型追加
2. クリスタルコンバータ RF 2 段出力 5MHz 帯
3. 第 1 IF 用プリセクタ トリオ製
4. 親受信機(A) 米國ハムランド製 スーパープロ BC-779 B
(B) トリオ製 JR 310 読取精度 50Hz
5. JJY 用受信機 菊水 S42 およびクリスタルマーカ
6. ヘテロダイナ周波計 塚本電機製 S-322
7. 時計 ルロア型 (NHK 放送局仕様) ストップウォッチ セイコー 1/10 S
8. オシロスコープ 菊水 MC-75
9. 記録装置 ソニーステレオデッキ TC 255
10. マーカージェネレータ ナショナル製 TVC 204

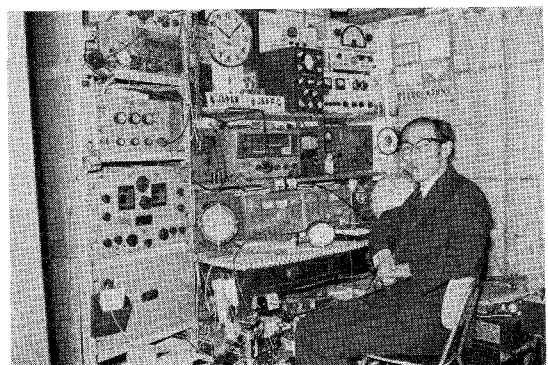


図 3 JAφAW 局

月	日	周	時刻 (JST)	ΔF (kHz)	f'_{max} (kHz/min)
46年					
11/15	(月)	615	18:38:00	5.80	0.95
"	"	616	20:37:30	5.80	1.00
11/16	(火)	628	19:09:20	5.80	1.05
11/17	(水)	641	19:40:30	6.00	1.00
11/19	(金)	666	18:43:18	5.90	1.06
11/20	(土)	679	19:15:00	5.65	1.10
12/12	(日)	956	12:43:50	4.4	0.370
12/19	(日)	1046	14:21:30	1.7	0.160
12/20	(月)	1056	08:52:00	4.55	0.450
47年					
1/ 5	(水)	1256	01:09:45	5.50	1.10
1/ 9	(日)	1319	23:47:36	5.70	1.12
2/ 6	(日)	1671	14:23:15	4.30	0.400
3/ 4	(土)	1921	04:26:00	5.0	1.10
8/15	(火)		19:22:45	5.85	1.10
8/16	(水)		17:54:45	5.775	1.15

即ち中国南部上空 3300 km 付近から地平線に現れ本州南方で高度角 43°, 最短距離 1262 km を通過した。

遠地点付近で接近する時には、地心角 38°, 5500 km の地平線下から、頭上近い高度角 61° で 2260 km 位迄近づいた事になる。

当初アンテナを水平のまま使っていた時、衛星が頭上近くなると聞えなくなるので、上空へ向けたら強く入感するようになった。信号強度は S-8.7 位迄強くなる。地平線下に没してしまっても、尚も聞いていると約 1 分間隔で 3 回位干渉による信号をキャッチする事が出来る。西の地平線から昇る時もビームを正確に向ければ、回折干渉波が漸続して地平線上に現われると急に強くなる。

近地点の接近は、46年 11月 17日から 47年 8月 15日迄の間に 5 回有ったので、1 周するのに 54.4 日掛った事になり、 $\omega = \frac{360^\circ}{54.4d} = 6.618^\circ/d$ が得られた。

自転周期 P は 1319 周迄の前半と後半を比べて見たが、0.011 min 程度の減少で殆んど変化していない。

スピンは絶えず変化しているように思われる。特にデータが回収されている時に、二次または三次曲線的にわ

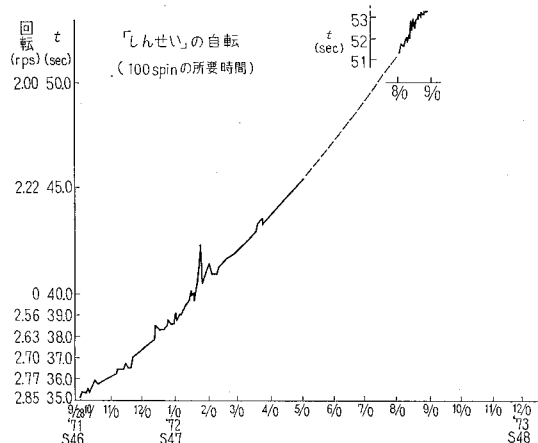


図 5

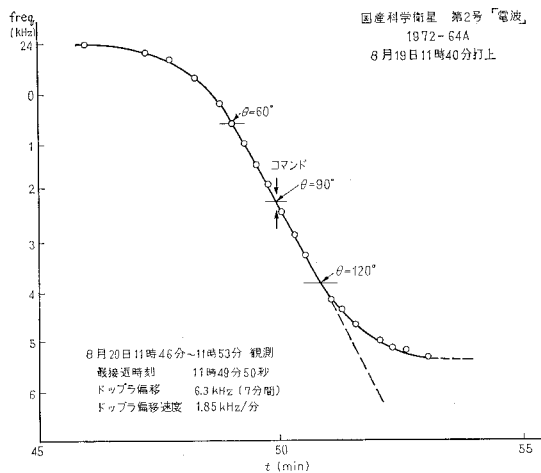
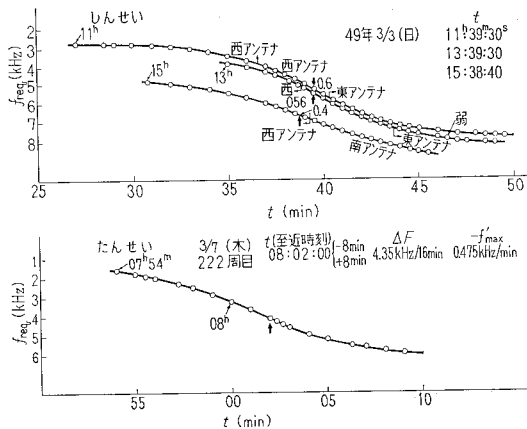


図 6

ずか変化するので、これは私の推測であるが、軸上にセットされた、LEC 製のデータレコーダのテープがエンドレスでなく一方から他方へ移動するために慣性エネルギーが変わるからではないだろうか。スピンのエネルギー損失は大きく、46年 10月始め 2.84 rpm であったが、47年 9月15日には 1.85 rpm に減少してしまった。

2号科学衛星「電波」は打上翌日 8月20日 11時 49分 50秒に接近した時、新星では経験した事もない程の速さで周波数が下がった。毎秒 30.83 Hz のものすごさで、わずか 7 分間で地平線の彼方へ去ってしまった。最大偏移 6.30 kHz, 最短距離 $R_{min} = 830$ km になった。スピンは大変生きが良くて 3.028 rps であったが、9月16日の測定では、2.950 rps に迄減じていた。

当初ドップラー偏移を確認するだけの目的で始めた観測が、「新星」の意外に長い寿命のため、とうとう一年間付合うはめになってしまった。不十分な機材でも調整だ (186頁へつづく)



〔注〕*₁の矢印は最接近

図 7 最近のしんせいおよびたんせいの観測結果