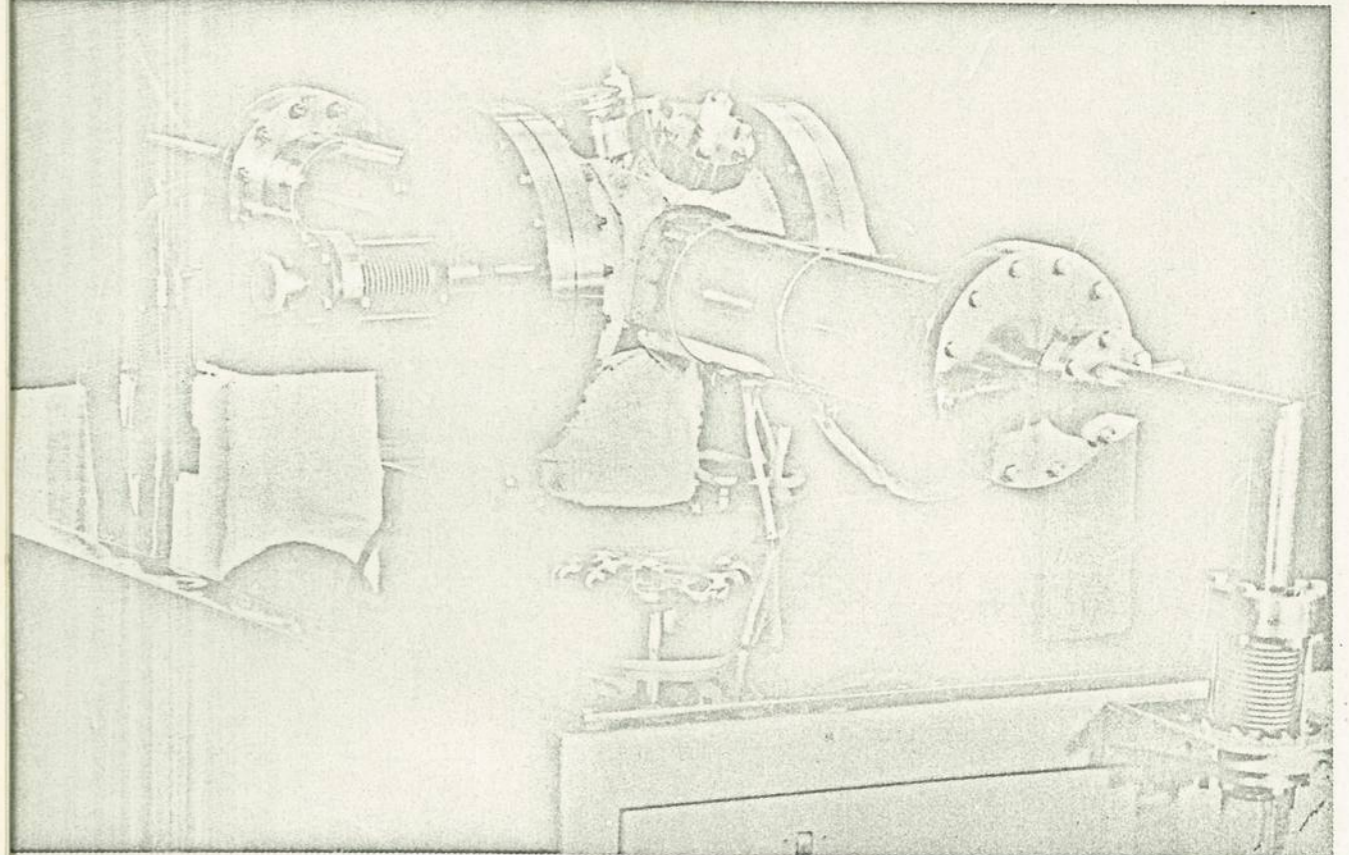


1) 電波研究所, 東京, 1961. 11.  
 2) 電波研究所, 東京, 1961. 11.  
 3) 電波研究所, 東京, 1961. 11.  
 4) 電波研究所, 東京, 1961. 11.  
 5) 電波研究所, 東京, 1961. 11.  
 6) 電波研究所, 東京, 1961. 11.  
 7) 電波研究所, 東京, 1961. 11.  
 8) 電波研究所, 東京, 1961. 11.  
 9) 電波研究所, 東京, 1961. 11.  
 10) 電波研究所, 東京, 1961. 11.

1) 電波研究所, 東京, 1961. 11.  
 2) 電波研究所, 東京, 1961. 11.  
 3) 電波研究所, 東京, 1961. 11.  
 4) 電波研究所, 東京, 1961. 11.  
 5) 電波研究所, 東京, 1961. 11.  
 6) 電波研究所, 東京, 1961. 11.  
 7) 電波研究所, 東京, 1961. 11.  
 8) 電波研究所, 東京, 1961. 11.  
 9) 電波研究所, 東京, 1961. 11.  
 10) 電波研究所, 東京, 1961. 11.



# JJY 標準電波 の しおり

1964.6.1

### 表紙説明

表紙の写真は、わが国の周波数と時間の標準の決定に用いられている電波研究所のアンモニアメーザ型原子周波数標準器の外観を示したもので、アンモニア  $N^4H_3$  の 3-2 線による分子発振を利用し、水晶発振器などの周波数を 1000 億分の 3 ( $\pm 3 \times 10^{-11}$ ) 以上の精度で定めることができます。

# 標準電波のしおり

## 目次

1. まえがき	1	4.3. 可聴周波数の利用	5
2. 標準値の決定法と精度	1	4.4. 時刻の利用	5
3. 標準電波の送信方法	3	4.5. 時間の利用	5
3.1. 1時間のスケジュール	3	4.6. 電波警報の利用	6
3.2. 秒(分)信号	3	4.7. 混信	6
3.3. 1,000サイクルの連続変調と無変調の時間	3	4.8. 特に高精度で利用する場合の注意	6
3.4. 局符号, 時刻符号, 電波警報符号および音声アナウンス	4	4.9. 標準電波の偏差表	6
4. 標準電波利用上の注意	5	4.10. 標準電波の実験局	7
4.1. 受信可能時間	5	5. 主要国の標準電波局	7
4.2. 搬送波の利用	5	6. あとがき	8

## 標準電波

### 1. まえがき

標準電波は周波数の非常に正確な電波に正確な報時信号をのせたもので、利用者に対して主として無線周波数と時間の基準を供給し、時刻を通報する目的で送信されていますが、わが国においては、これ以外に可聴周波数の基準として1,000サイクルの周波数を、また電波の伝わり方の異常の有無を知らせるため電波警報符号もつけています。

この電波は昭和15年1月、標準周波数の専用業務として送信が開始され、その後昭和23年8月には報時業務を、昭和24年11月には電波警報業務も兼ねるようになり、昭和32年1月には4Mc系の電波を現在の5Mc系に切替えるなど、この間に幾多の変遷はありましたが、1日の休みもなく業務が続けられています。

また送信電波の周波数精度は、開局当時100万分の1程度であったものが、水晶標準器、計測器などの不断の研究改良により年々その精度を向上し、昭和19年には1000万分の3、昭和25年には1000万分の1、昭和29年には1億分の2となり、昭和34年ごろから実用化され始めた原子周波数標準器の進歩と相伴って、昭和36年には10億分の5、昭和39年には100億分の5以上に達しております。特に37年からは、周波数と時間(時間間隔)を決定するための基準は、従来の天文観測から得られる時間にかわって原子周波数標準器が正式に採用されております。

標準電波の利用についても、開局当初は電波規正の面が主でありましたが、現在では有無線関係は勿論、天文、測地、重力、地震、航行、人工衛星観測、製造工業など各方面の関係者に広く利用されており、利用の方法も多岐多様にわたっております。

### 2. 標準値の決定法と精度

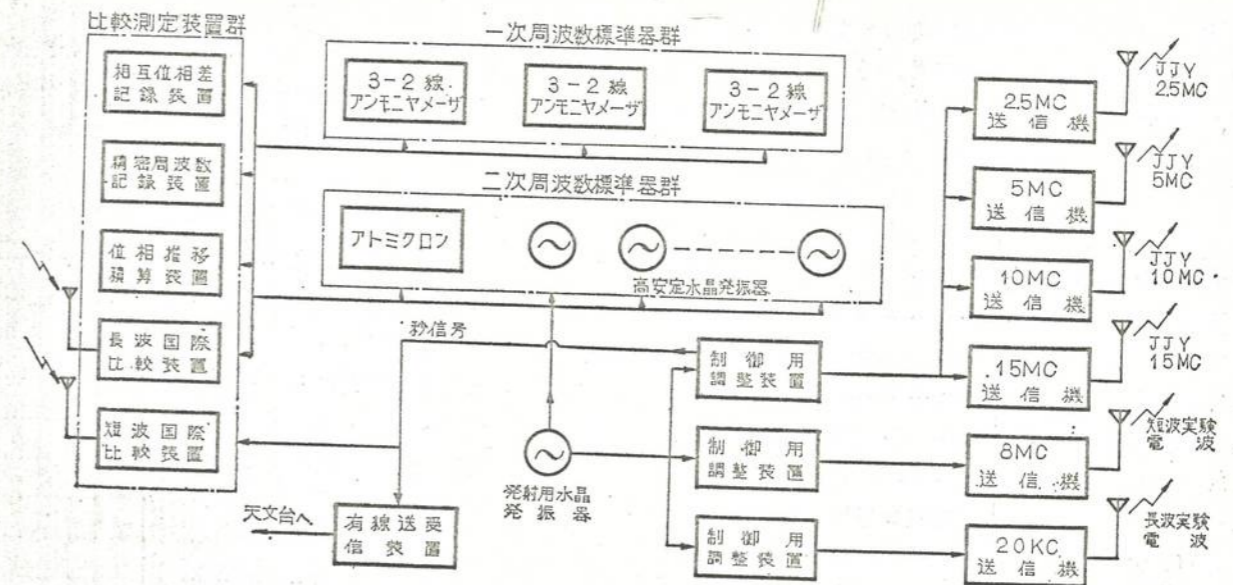
周波数と時間の標準は、水晶発振器を主体とする2次標準器によって常時高精度に維持されており、その標準値は1次標準器のアンモニャメーザ型原子周波数標準器によって決定されております。

標準電波発射用の原器は水晶発振器で構成され、送信される周波数は、常時2次標準器を仲介して1次標準器によって規正されており、その分秒信号は、発射用原器の発振周波数を通降して作り出されております。

さらに、国際的な標準を確立するために、主要国との間ではたえずこれらの標準電波を仲介して相互に周波数と時間標準の比較交換が行なわれており、これがまたわが国の標準値の決定の一つの要素となっております。

以上これらの構成を第1図に、各々の精度を第1表に示しました。写真1は、2次標準器および発射用の水晶発振器に多数使用されているGTカット型水晶振動子を示したものであります。

以上のように、周波数標準は原子周波数標準器を中心にして標準値が決定されておりますが、この標準器は原子の遷移周波数が一定不変であることを利用したもので、発生される周波数は次表に示すように非常に正確なものであって、この周波数から得られる時間は原子時系



第1図 構成図

第1表 標準電波と周波数標準の精度

	区 分	精 度	備 考
標準電波	1. 搬送周波数	$\pm 5 \times 10^{-10}$	100億分の5
	2. 変調周波数	$\pm 5 \times 10^{-10}$	ただし、局、時刻、電波警報の符号用の1,000サイクルは除く。
	3. 時間(時間間隔)	$\pm (5n \cdot 10^{-10} + 10^{-6})$ 秒	$n$ 秒間で周波数偏差から生ずる時間の偏差に、1マイクロ秒を加えたもの。
	4. 時刻	0.1秒	日本中央標準時に対する値。(※下記説明参照)
周波数標準	5. 1次周波数標準(アンモニアメーザ)	$\pm 3 \times 10^{-11}$	1000億分の3(当所で開発された)
	6. 2次周波数標準(アトミクロン)	$\pm 1 \times 10^{-10}$	100億分の1(市販されている米国製のセシウム型原子周波数標準器)
	7. 2次周波数標準(水晶標準器)	$\pm 1 \times 10^{-10}$	当所で開発された。

上表の1. 2. 3項はオフセット値を標準とした精度であります。

(AT)を構成し、歴表時(ET)に等しいものとして用いられております。

すなわち、以前はUT2によって周波数が決定されておりましたが、この時系は地球の自転を基にして得られるため、自転速度の永年変化や不規則変化などにより影響を受け、時間が変動することがだんだん判明してきました。そこで、わが国では昭和33年に地球の公転を基にした時系ETが採用されました。このETは不変の時系とされ、計量単位として用いることになっておりますが、

残念なことに、観測精度が低く、決定には相当の年月がかかるため、原子周波数標準器の周波数をETに関して求めておき、この周波数から得られるATを計量単位として使用しております。

※しかしながら、われわれが日常生活に用いている時刻はUT2によっているため、標準電波の分秒信号をATのまま送信すれば、計量単位としては便利ですが時刻を知らせることができなくなります。そこでこの解決の方法として送信周波数を一定量ずらし(オフセット)こ

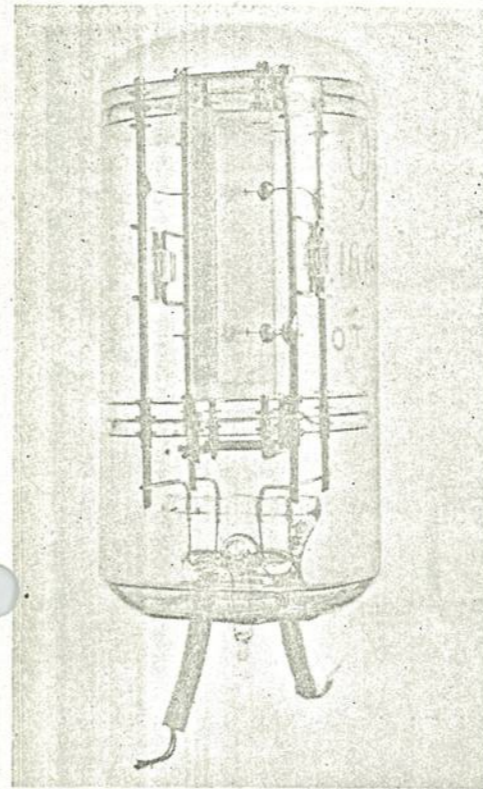


写真1. 当所の  
水晶振動研究室  
で開発された  
900型100kc, G  
Tカット水晶振  
動子, Qの値は  
約350万

の周波数から得られる時間がUT 2 (日本の場合は日本中央標準時で東京天文台で現示される) となるべく一致 (0.1秒) するようにして送信しております。もっとも国際会議ではこの方法を過渡的なものとする意見が強くなってきております。このオフセット値は各国共通の値を採用し、年間を通じ変更しないことになっており、例えば昭和38年のオフセット値は  $-130 \times 10^{-10}$  であり、昭和39年は  $-150 \times 10^{-10}$  であります。

また、わが国の標準電波は米、英、加、独、仏、伊、豪、南アなどの国々と同期圏を構成し相互の報時信号は常に1000分の1秒以内の精度で同期して送信されており、報時信号を調整する必要がある場合は同期圏の国々は一せいに同量だけ信号を進めたり遅らせたりすることになっております。

### 3. 標準電波の送信方法

標準電波は 2.5Mc, 5Mc, 10Mc, 15Mc の標準搬送周波数により終日送信され、出力は各波とも 2kW であ

り、空中線も各波とも無指向性の垂直ダイポール型を採用しております。また局の位置は東経 139度31分、北緯 35度42分 (東京都小金井市) であります。写真2は送信機室の外観を示したものであります。

#### 3.1. 1時間のスケジュール

2.5, 5, 10, 15Mc とも第2図に示すスケジュールで送信されております。毎時25分から34分の間は国際間の比較交換をするため電波の送信を停止しております。

#### 3.2. 秒 (分) 信号

秒 (分) 信号は標準搬送周波数を常時 1,600 サイクルの標準可聴周波数により 0.005 秒間変調して表わし、変調の始点が秒 (分) の時刻を示します。

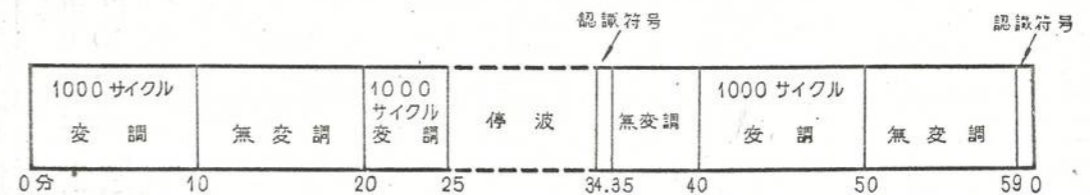
第3図はこの秒信号波形を示したもので、標準 1,000 サイクルによる連続変調時間中 (3.3項参照) は図のように秒信号の前後おのおの0.04秒間だけ無変調としております。

分の表示は毎分 59.045 秒から 59.700 秒まで、0.655 秒の間標準搬送周波数を標準 600 サイクルによって変調し次の秒信号が分であることを示します。

第4図は59秒前から0秒後までを示したものであります。

#### 3.3. 1,000 サイクルの連続変調と無変調の時間

毎時0分~10分, 20分~25分, 40分~50分の3回合計25分の間は、標準搬送周波数を標準 1,000 サイクルにより連続変調しております。ただし3.2項でものべたように秒信号および秒信号の前後各0.04秒、合計0.085秒の間、ならびに毎分59秒から0秒まではこの変調は中断されます。このように、秒信号の前後を無変調とすることによって、秒信号の受信を容易にし、国際間における報時信号の比較交換を行なう場合に、変調波が妨害を与えぬよう考慮したものであって、(各国の標準電波は同一の搬送波を使用しており、同期圏諸国の相互の報時信号の伝搬による遅れは0.04秒以下となる) これにより、報時信号の利用者にも可聴周波数の利用者にも同時に満足されるようにしたものであります。また、毎時10分~20分, 35分~40分, 50分~59分の3回合計24分の間は、無変調の時間としております。ただし秒 (分) 信号による変調は続けられております。



第2図 1時間のスケジュール



写真2 送信機室：ここに短波送信機7台，長波送信機1台が設置されている。

3.4. 局符号，時刻符号，電波警報符号および音声アナウンス

毎時34分～35分，59分～0分の2回，次の順序で送信されます。

(1)呼出符号(J J Y) 2回 A 2 変調周波数は1,000サイクル

(2)時刻符号(4数字) 1回 A 2 " "

(3)呼出符号(J J Y) 2回 A 3

(4)日本中央標準時(24時制) 1回 A 3 日本語による

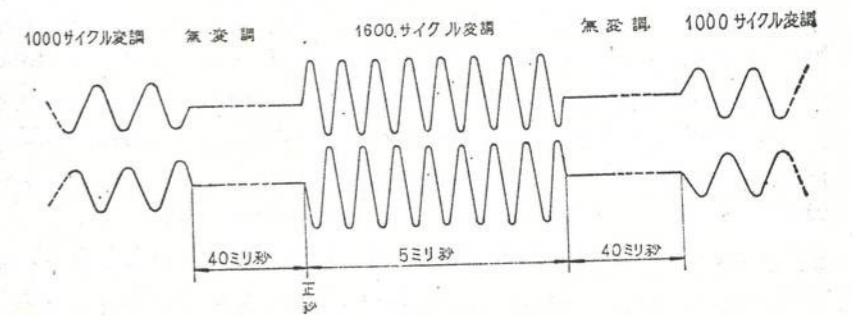
(5)電波警報符号 5回 A 2 変調周波数は1,000サイクル

上記の変調周波数の1,000サイクルは，標準低周波ではありませんから御注意下さい。またこの間も秒信号で変調しておりますが，3.3項の場合と異なり秒信号の前後の無変調時間は特に考慮してありません。

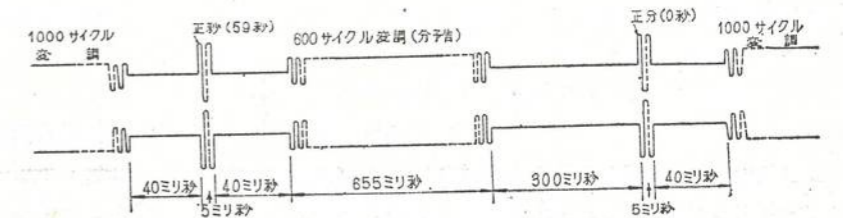
時刻符号ならびに音声アナウンスで知らせる時刻は，次に出る分を24時間式で表わしたものであります。念のためモールス符号を例示すると次のようになります。

. . . . . J J Y  
 . . . . .  
 . . . . . 19時50分

電波警報は次の3種類の符号によっ



第3図 秒信号波形

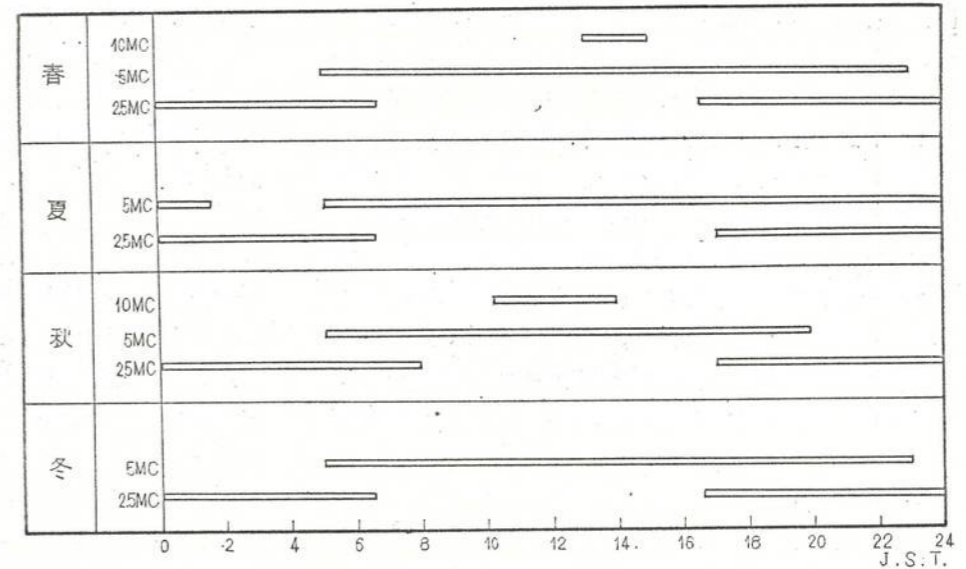


第4図 分信号の表示法

て送信されます。

- (1) W(・—) 12時間以内に電波伝搬上の異常現象の発生が予想されるとき、または現に異常現象が発生しているとき。
- (2) U(・・—) 12時間以内に電波伝搬上の異常現象の発生が予想されるが確実性の少ないとき。
- (3) N(—・) 電波伝搬上の異常現象がなく安定しているとき。

第2表 標準電波受信可能時間 (20dB以上)



#### 4. 標準電波利用上の注意

標準電波の利用者は非常に広範囲にわたり利用方法も多岐多様にわたっている関係上、ここでは標準電波を利用する場合の一般的な注意事項をかかげます。

##### 4.1. 受信可能時間

受信可能時間は、受信月日、地域および時刻により異なってきますが、受信周波数を適当に選ばふことにより日本全国のどこでも、またいつでも受信できます。

第2表は1964年～1966年ぐらいの間の700km地域の受信可能予想表であり、300km～1,000kmに使用しても大差なく利用できます。また、この表はスポラデックE層による伝搬を考慮してありませんから実際には可能時間が延長される日が多いと思われる。

この表に示すように10Mcの受信可能時間が少ないのは、1964年前後は、太陽面活動がもっとも平穏の期間にあたっているためであります。勿論、15Mcの国内での利用はほとんど不可能であり、専ら国際間の比較交換および国外における船舶などで受信されております。

##### 4.2. 搬送周波数の利用

標準電波を受信して受信機の見盛りの較正に、電波伝搬の研究に、方向探知機のチェックなどにも利用できますが、一般には発振器の発振周波数の較正のために利用されており、ダブルビート法によって $10^{-7}$ 程度の精度で較正することができます。これ以上の高精度を必要とする場合は4.9項を参照して下さい。

##### 4.3. 可聴周波数の利用

3.3項の連続変調の時間中は、受信機の低周波出力から直接1,000サイクル標準信号を取り出すことができますから、これをブラウン管または記録紙上に画かせることにより可聴周波数の標準として利用できます。また直

接耳による較正にも利用できます。しかし秒信号の前後0.085秒は、この変調が中断されますから測定の方法によっては較正に困難を感じることもあると思われます。

また、この1,000サイクルは標準搬送周波数と同じ精度で送信されておりますが、受信側では、至近距離を除いて、高精度の較正はほとんど不可能であると考えられますので、高精度の低周波が必要な場合には、標準搬送周波数によって発振器を較正し、この発振器の周波数を分周して低周波を得る方法をおすすめいたします。

これは変調周波数は搬送周波数に比べ、はるかに周波数が低いため、較正に長時間を要することと、受信点においては一般に伝搬途中における選択性のフェージングなどのため搬送波と両側帯波間の位相ならびに振幅関係がくずれ、検波して得られる変調周波数の振幅は歪を生じ、位相も変動するためであります。したがって日中の安定した時刻を選んで2～3時間の連続比較を行なっても、せいぜい $10^{-6}$ 以下の精度しか期待できません。

可聴周波数は上記のほか、3.2項の秒信号の1,600サイクル、および分子予告信号の600サイクルとともに標準搬送周波数と同じ精度で送信されております。

##### 4.4. 時刻の利用

毎時34分ならびに59分から送信される時刻符号あるいは音声アナウンス(3.5項参照)によって時刻を知ることができます。また1,000サイクルによる連続変調と無変調の切れ目が、毎時10分、20分、40分、50分であることに注目し、時刻符号に代用させることもできます。

##### 4.5. 時間の利用

4.4項と併用して受信音を聴きながら時計を較正しますと1秒程度の精度で時刻を合わせることができます。また受信機の低周波出力から直接報時信号を取り出して

時間(秒間隔)の標準に利用できます。水晶時計などを較正する場合は、時計の秒信号と報時信号を印字機のテープ上に記録すると1000分の1秒以上の精度で、またシンクロスコープなどで観察すれば、1万分の1秒以上の精度で比較できます。紙テープなどに記録する場合には、1,000サイクルの抑圧フィルタをつければきれいに分秒信号が記録できます。

#### 4.6 電波警報の利用

1時間に2回送信される電波警報を受信して、交信計画の参考にすることができます。なお参考までに、この電波警報は、電波研究所平磯電波観測所(茨城県)において太陽電波、太陽黒点、地磁気、地電流などの観測結果にもとづいて、同観測所で決定されます。

#### 4.7 混信

標準電波の保護バンドは、他の業務に比較して広く取ってありますから、混信は少ないはずですが、現実には混信に悩まされる場合は、最寄りの電波監理局監視部へ、混信局名、周波数、時刻、使用受信機の特徴などを連絡下されれば、ここで調査し処置することになっております。

ただし外国の標準電波との混信は各国とも、同一搬送周波数を用いているために起るもので、今のところ対策はありませんが、これらの国の周波数精度も、日本のものと同じ程度であると考えられますので、特に高精度で測定する場合以外はそのまますま周波数較正に利用して差支えありません。また報時信号は、その変調周波数の違いを利用して検出できます。第2節で説明した同期圏諸国の報時信号は、1000分の1秒以内で同期を保っているため、日本付近で報時信号を受信すると、両者には伝搬時間の差があるためJJYの報時信号より遅れて観測されます。

#### 4.8 特に高精度で利用する場合の注意

標準電波の周波数、時間および時刻を利用する場合、一般には、これらは全く誤差のない正確なものとして使用して差支えありませんが、特に高精度で利用する場合は、受信計測装置の測定精度、周波数安定度について入念に検討を加えることが必要であることはいうまでもありませんが、その伝搬による精度低下の統計量(末尾の文献参照)についての知識を得られるとともに送信測の精度(第2節参照)、偏差表(4.9項参照)も参考にして下さい。下記に基本的な注意事項を例挙してみますと、

(1) 受信時刻は、日出、日没時の前後各3時間程度はさけ、なるべく正午を中心とした4~5時間内に行なうようにして下さい。これは電離層が日出、日没時には急激に変化するためドップラー効果による受信周

波数ならびに時間の精度低下が大きいからです。勿論日中、夜間も多少の変動はありますが、一般に日中がいちばん安定しております。第5図に測定の1例を示しました。

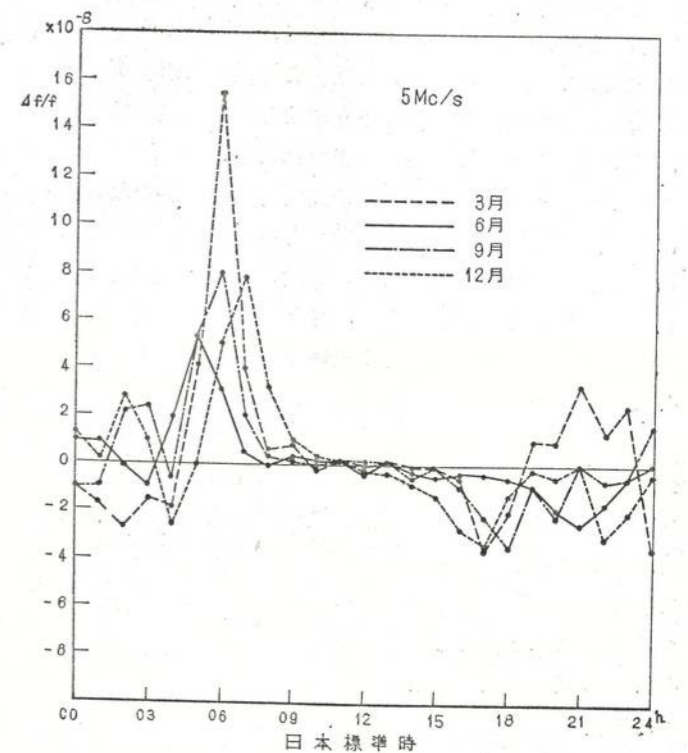
(2) 京浜地方の利用者は常時2.5Mc、5Mcの利用が可能であり、2.5Mcを日中利用すれば $10^{-8}$ ~ $10^{-9}$ の桁で、受信空中線の指向性を鋭くし、測定時間を長くとればより以上の精度での比較が期待できます。

(3) 遠距離の利用者で $10^{-9}$ 程度以上の比較較正を行なうのは非常に困難であります。現在使用されている最良の方法は、水晶発振器を分周し、これにより時計を長期間運転し、その秒信号と報時信号を比較して歩度を求め、この歩度から平均周波数を求める方法であります。ただし短時間の特性を求めることは、この方法では不可能であります。

(4) 正確に計量単位としての時間や周波数を求める場合は、その年のオフセット値を補正する必要があります。(第2節および4.9項を参照)

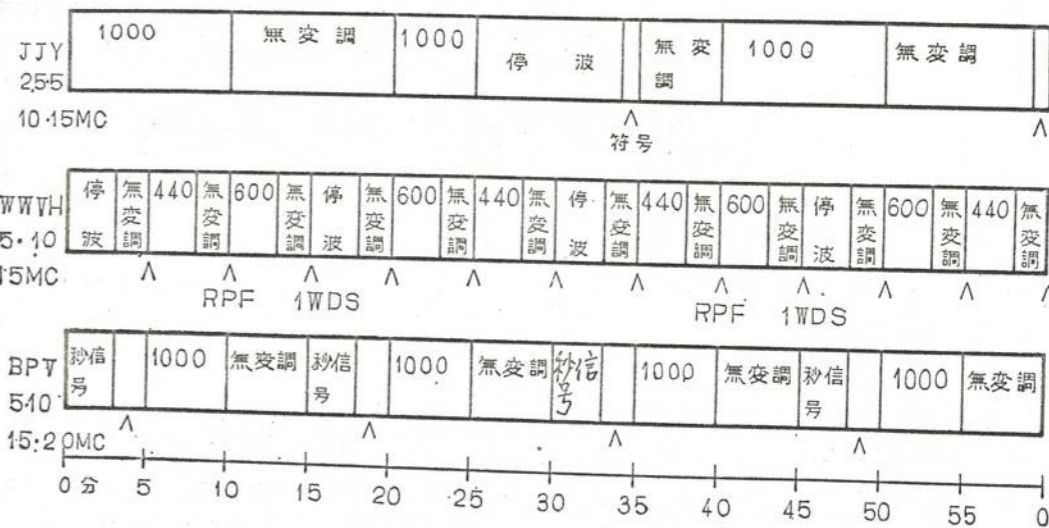
#### 4.9 標準電波の偏差表

高精度の利用者の便に供するために、標準電波の周波数と時刻の偏差を、毎月電気通信学会と電波時報に掲載し発表しております。この周波数の偏差値は、電波研究所の原子周波数標準器によって決定される周波数標準により算出し、時刻の偏差値は、東京天文台が決定する日



第5図 JJY 5Mcの季節別周波数変化率曲線  
1958年 同志社大学における毎日の測定を月ごとに平均した値  
(測定距離 360km)

本中央標準時により算出して、電波研究所が発表するものであります。また周波数と時刻の偏差表の発表月が異っているのは、標準時の決定は周波数の決定に比べ算出に期間を要し、発表が遅れるためであります。



第6図 JJY, WWVH, BPVの1時間スケジュール

4.10. 標準電波の実験局

4.8項で説明したように短波標準電波で  $10^{-9}$  以上の比較測定を行なうには相当の困難が伴います。しかし超長波(VLF)や長波(LF)によって標準電波を送信しますと、これらの電波は地上波によるカバー範囲も広く、遠距離でも安定なD層によって伝搬するため、短時間で高精度の比較ができます。例えば送受信点間の距離が5,000 kmの場合、短波標準電波では  $1 \times 10^{-9}$  の比較精度を得るためには、約1週間を要するのに、VLFでは1日で  $1 \times 10^{-10}$  の比較が可能であると報告されてお

ます。  
これらの観点から当課では、小規模ですが20kcと16.2kcの実験局を開設し、送受信の研究を行っており、他の周波数で大電力長波標準電波の実用化も目下計画中であります。

また短波標準電波の研究実験は8Mcの実験局によって行なわれております。

5. 主要国の標準電波局

世界の短波標準電波局は、\*JJYのほかに\*WWV, \*WWVH(米), \*ZUO(南ア), ATA(インド), FFH(仏), \*HBN(スイス), IAM, IBF(伊), LOL(アルゼンチン), \*OMA(チェコ), \*RWM(ソ), ZLFS(ニュージーランド)の14局が5 Mc系の同一周波数で運用して

\* MSTF(英)

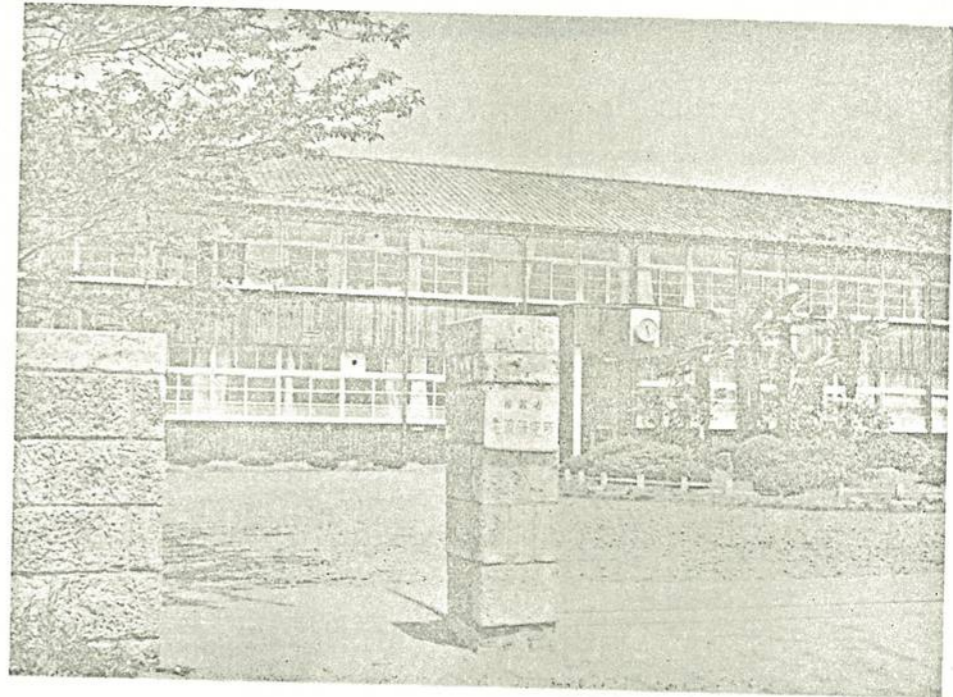


写真3 郵政省電波研究所標準課庁舎

おり、このほかに標準電波と推定される\*BPV(中共)があります。

(\*は連日24時間業務を行なっている局です)

長波標準電波はWWVL(米)において、また超短波標準電波はSAZ, SAJ(スウェーデン), ZUO(南ア)において送信されており、これ以外にDCF77(ドイツ, 報時用), GBR(英, 報時用), NBA(米, 報時用), NAA, NPM, NSS, NPG(米, 軍用)の局がその長波搬送波を、CHU(カナダ, 報時用), VPH(豪, 報時用)の局がその波(短搬送波)を、それぞれ周波数安定化して標準周波数電波としても利用できるようにしております。またほかに実験用の電波も多数送信されております。



