

2. 地震観測における刻時の問題について

地震研究所 { 瀬戸 憲彦
石 柊 征夫
小 谷 啓子
堀 本 貴代子

(昭和48年1月20日受理)

最近、地震観測において安定度、精度共に高い測定機器が要求されるようになってきた。電子部品の精度が向上している中で地震観測装置の改善改良が行なわれるのは当然であろう。その中で刻時の問題について和歌山微小地震観測所が数年前より取組んできた。それらの結果について次のような項目で報告する。

1. 定常観測に使用している時計の安定度について
2. 時計の安定度改良のための水晶発振子恒温槽の温度制御について
3. 現在試験中の J. J. Y. による時計較正装置の問題点について
4. ラジオマーク表示の問題点について

1. 定常観測に使用している時計の安定度について

現在和歌山微小地震観測所で使用している時計は東洋通信機社製のもので、精度は $\pm 1.1 \times 10^{-6}$ である。日差にすると約0.1秒になる。しかしながら実際に使用してみると安定度は第1図に示すような状態である。1図において横軸は時間、縦軸は1日の平均日差を示す。この記録は和歌山微小地震観測所の委託観測点で使用されている時計の日差の動きを調べたものである。この図からわかることは外気温が上昇するにつれて時計内の水晶発振周波数が低くなり時計は遅れ方向になる。また逆に外気温が低くなると周波数が高くなり時計は進み方向となる。これらの原因としては恒温槽内の温度制御にサーモスタットを用いているため槽内温度と外気温との温度差の大小によってサーモスタットの作動特性が若干変わってくるものと考えられる。またこの図から日差の年変動の振幅は約0.3 sec/day、周期は1年である。日差の変動の最低周期は、外気温変動周期と振幅にもよるが、だいたい5日位である。ということは外気温が5日ないしそれ以上の周期で変動すると水晶発振器は影響を受ける。

図の中ですべての時計の変動曲線が0 sec/day を中心に変動していないのは水晶発振周波数微調整がなされていないことによる。しかしながら、ある時に0 sec/day に調整しても意味がなく年変動の正弦カーブの中間点の季節で（あるいは温度で）調整しなければならない。これはたいへん厄介なことである。その他に機器によっては急激に日差が変わって、約1ヶ月ないし2ヶ月位安定しており、しばらくすると、もとの日差付近に落着くことがあるが、これらの原因はまだわかっていない。このように時計にとって悪条件の環境の中で使用されると、いろいろな問題が出てくる。

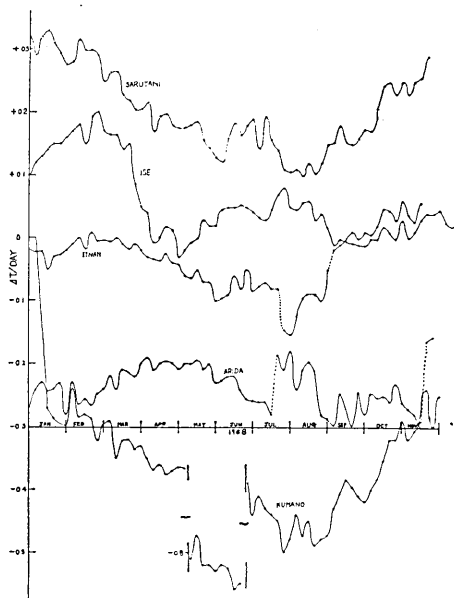


Fig. 1. Variation of $\Delta T/\text{day}$ at each station.

2. 時計安定度改良のための水晶発振子恒温槽の温度制御について

図1からもわかるように、日差の変動は、ひとつには水晶発振子恒温槽の温度制御不良によるものであるということがわかった。

これらを改良するためには現在使用されているようなメカニカルな温度制御器を用いなくて、もっと安定度の高い温度制御器が使用されなければならないと考え、和歌山微小地

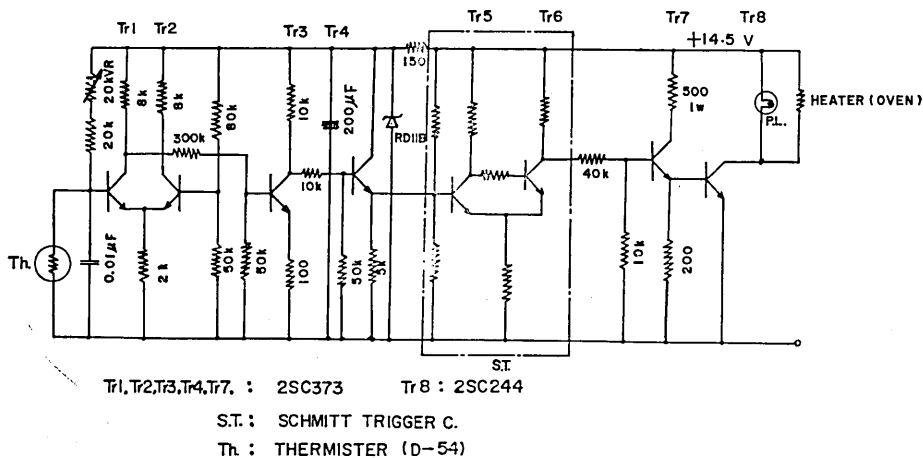


Fig. 2. Temperature control circuit for crystal oscillator.

震観測所は電子的無接点恒温槽を試作し現在稼動中である。図2に温度制御回路を示す。

原理は今までの恒温槽内ヒーターを使用し、このヒーター電流をトランジスタにより断続的に制御するもので、感温素子には NEC 社製サーミスタ D-51 を使用した。

図2から、Tr1, Tr2 は回路に対する外温からの影響を小さくするための差動増幅回路、Tr3 は1段増幅、Tr4 はエミッターフロアー、Tr5, Tr6 はシュミットトリガー回路、Tr7・Tr8 のドライバー用トランジスタ、Tr8 は無接点スイッチ用トランジスタでヒーターには約1[A]流れるように設計されている。

図3には、温度制御回路に使用されているサーミスタ D-54 の温度抵抗特性を示す。

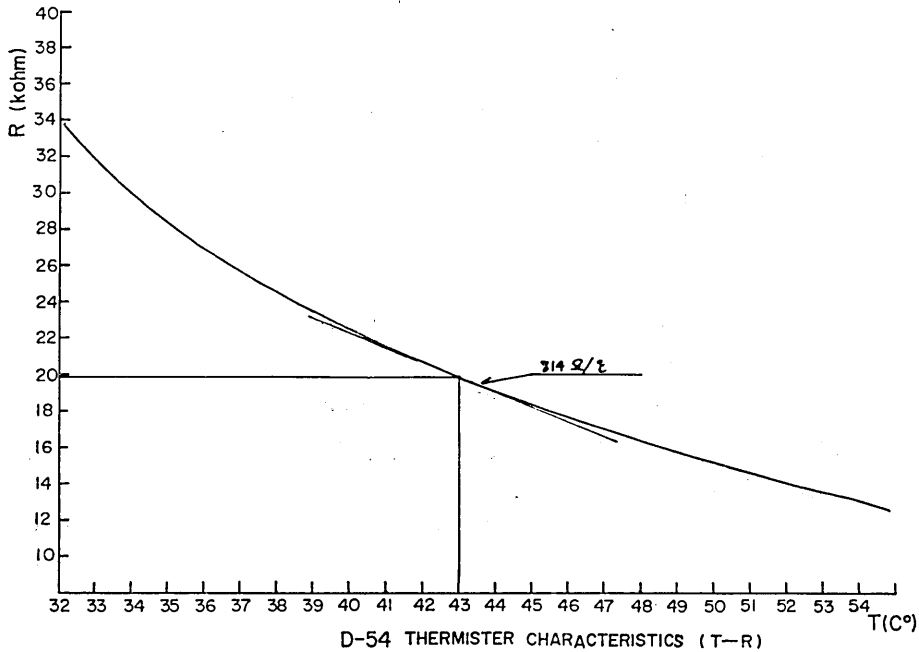


Fig. 3. Temperature-resistance characteristics of thermister.

現在恒温槽内の設定温度は水晶により若干違ってくるが約43°Cで、その付近の温度でのサーミスタ D-54 の抵抗勾配は約810 Ω/°Cである。ここで恒温槽の安定度は±0.3°Cにおさえることができる。恒温槽の問題点として、もうひとつ考えなければならないことは、今までは(恒温槽自体が)時計体のシャーシーに直接取付けられていたため、直接外気温の影響を受けやすかったことである。このため我々は水晶を含む恒温槽を別に、ポリスチロールで包み別個のケースに設置した。

次に水晶温度制御改良後の日差の変動を図4に示す。この記録は改良後約1年間のものである。

この図からわかることは、日差の変動幅が改良前の約半分になっていること。(ただし猿谷と日高の日差異常の原因については、いまだはっきりしていない。)しかしながらほとんどの観測点がだいたい同じような動き方をしている。改良前と比べると日差の細かい変

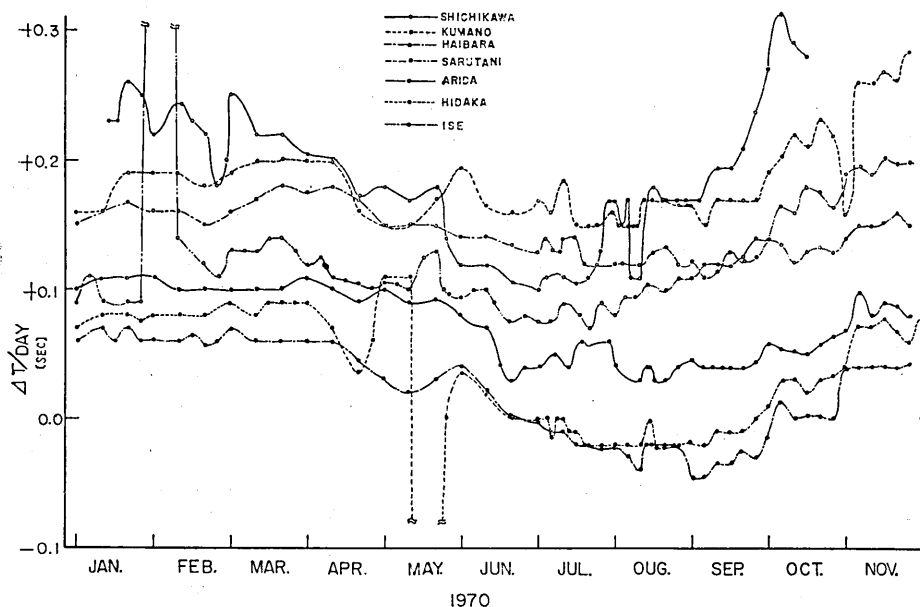


Fig. 4. Variations of $\Delta T/\text{day}$ under improved temperature control system.

動は小さくなっている。このように水晶の温度制御改良によって日差の変動幅をかなりおさえることができるが、厳密に言えば水晶温度制御回路自身の温度特性も入ってくるため、恒温槽の温度制御回路をかなり高級なものにしなくては、変動幅を零近くまですることはできない。

ちなみに改良前と後とを比較をしてみると、次のようになる。

改良前	日差の変動幅	± 0.1 [sec] Max.
	時計の精度に直すと	$\pm 1.1 \times 10^{-6}/\text{day}$
改良後	日差の変動幅	± 0.05 [sec] Max.
	時計の精度に直すと	$\pm 5.7 \times 10^{-7}/\text{day}$

最後に地震観測における時計の安定度はどのくらいあればよいかについて少し述べてみる。これは本来最初に書くべきだったかもしれない。

地震の長期連続観測、臨時観測点相互間の時計の指示が一致していることは記録の整理のみならず、各観測点での記録方法の改善もされ、トリガー地震計とか、その他時間スケールに対する議論を助けるものになることは言うまでもない。

では、実際にはどのようにすべきか。時計の指示が J. J. Y. にすべて一致していれば良いが、これは前述したとおり、たいへんむずかしい。例えば、現在和歌山微小地震観測所でのドラム記録だと送り速度 4 mm/sec で、時間スケールでの読取り誤差 20×10^{-3} [sec] となる。時計のチェックを年一回とすると、時計の必要精度は $20 \times 10^{-3} \text{ sec/year}$ であり、これを日差に直すと $54 \times 10^{-6} \text{ sec/day}$ にあたる。時計体の周波数安定度で考えた場合は 6.4×10^{-10} となる。これはあくまで変動が直線的に動くものとしての値である。

このような高精度の水晶発振器はたいへん高価なものになってくる。現在当観測所が使

用している時計の水晶発振器の精度を 10^{-6} まであげることは不可能であろう。最近オープンを含む水晶発振器（単体プラグイン方式）で 10^{-9} の精度のものがでている。日差にすると 8.64×10^{-5} sec/day となるが、オープンの温度制御形式によっては年精度がどのようなになるかわからない。

一般に水晶発振器の精度のよしあしは水晶発振子のカットの仕方および水晶が安定に動作する温度、すなわち零温度係数を与える温度が一定に保たれることであることはいうまでもない。図5に一般的な水晶発振子の温度特性曲線を示す（これは水晶片のカット方法によって変わってくることを示す）。

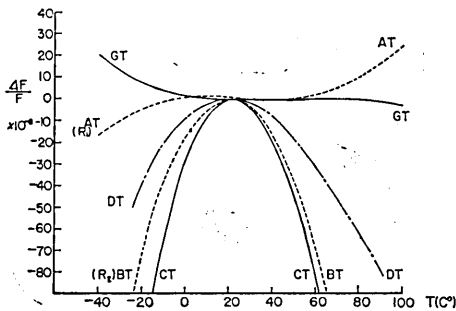


Fig. 5. General characteristic curves of crystal oscillator.

今、当観測所が使用している時計の水晶発振子は C. T. あるいは D. T. カットのような放物型の温度特性を持っている。この図からわかるように C. T., B. T., D. T. カットのような水晶では零温度係数、すなわち $\Delta F/F=0$ となる温度範囲がたいへんせまいことである。水晶の切り方によっては図に示すとおり A. T. カット (R_1 カットとも言う), G. T. カットのように水晶の零温度係数を与える温度範囲の大きいものもある。またカット方法とは別に、発振周波数によっても安定度は変わってくる。これは水晶片の大きさ、形状によってきまってくるもので、だいたい 100 KHz 付近が、水晶片にとって、いちばん安定な発振周波数だといわれている。その他に、水晶発振回路の発振周波数を感温素子を利用し、外気温の高低によって発振回路のキャパシテイを変え、発振周波数を一定にさせる方法もとられている。この方法だと発振回路自体の Q (選択度) が下がり発振周波数が不安定となるおそれがある。

ところで本論にもどって、それではどこまで安定度を要求するか、ということであるが、最初に述べたように年差 20 m sec, であれば良いが、この要求だと、時計 1 台 100 万円はかかるであろう（これはあくまで製品として）。

今、筆者が考えているのは 20 万ないし 25 万円（時計体、デジタル出力信号を含む）で 10^{-9} の精度（日差 86×10^{-6} sec/day）の時計ができれば、次に述べるところの J. J. Y. による時計較正を含めて（J. J. Y. の受信方法にも若干問題があるが、この点については次に述べる） $\Delta T=0$ に持ってゆくことは充分可能であると考え。また 10^{-9} の精度は今のエレクトロニクスにおいて充分可能な値でもある。

時計試作の案（発振子、消費電力、分周回路およびデジタル出力方式）については、次号で述べることにする。図6に日差と、それに相当する周波数偏差（安定度）の関係を図示した。

3. 現在実験中の J. J. Y. による時計較正装置の問題点について

(1) 較正装置の概略

先にも述べたように、時計の ΔT をなくすことによる意義は、今後の地震観測上たいへ

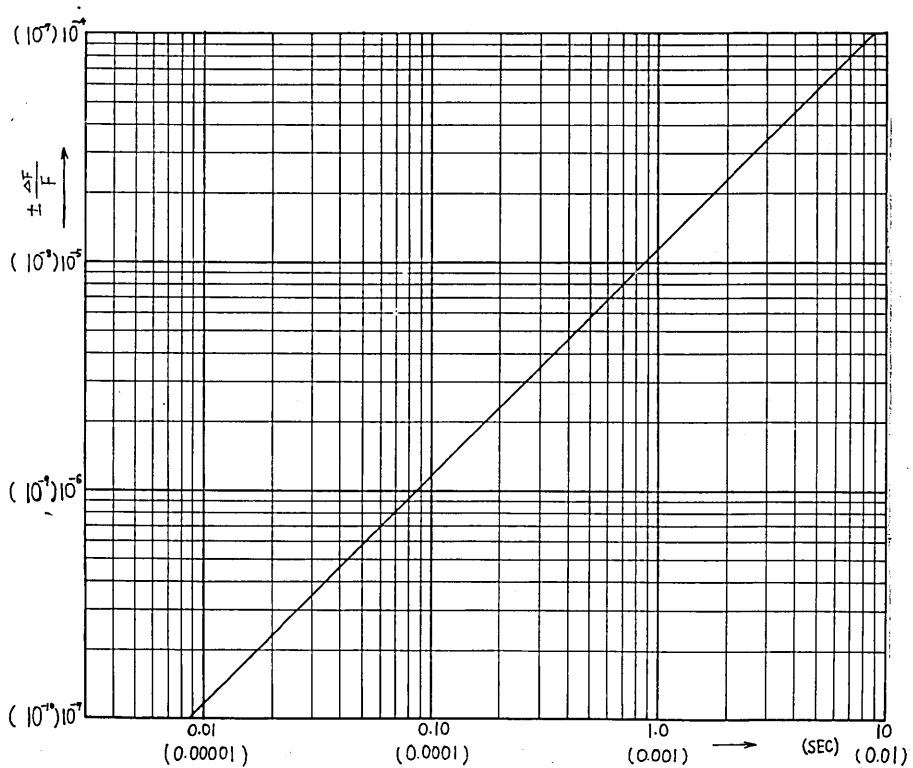


Fig. 6. Stability of crystal oscillator versus ΔT .

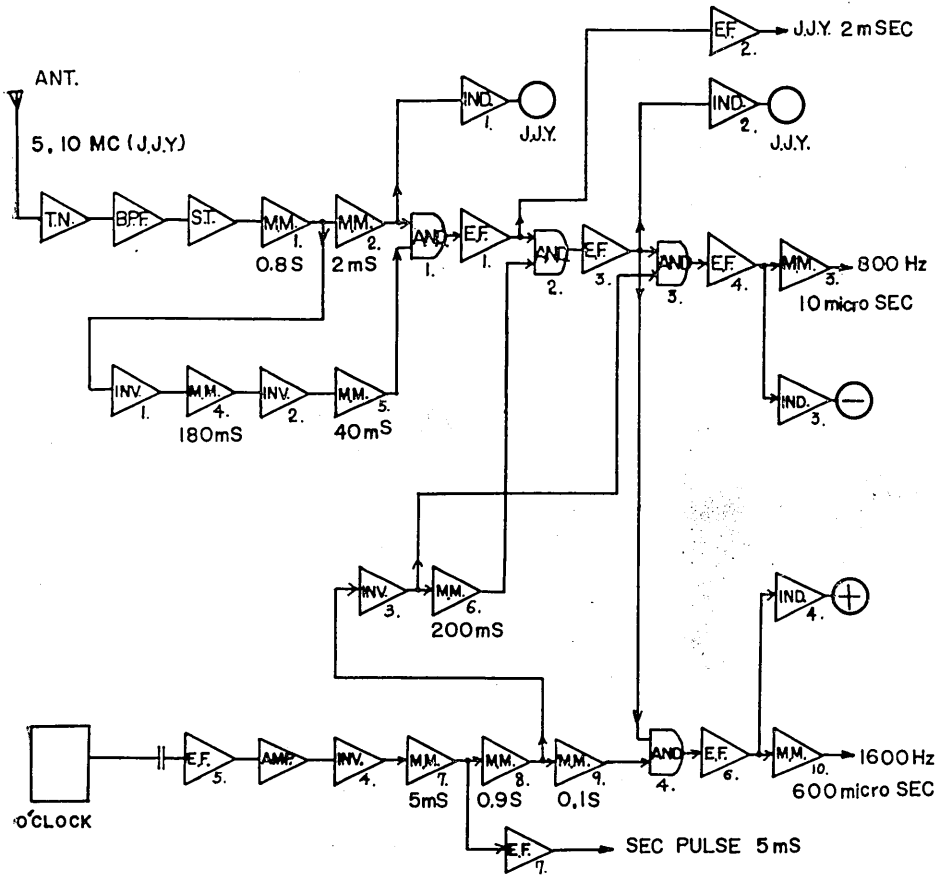
ん大きいものがあると考え、数年前より時計の J. J. Y. による較正ということについて、装置の改良に改良を続けてきた。

その結果 1 年前各観測点に設置したが、あらためて問題点を浮彫りにされた感がある。ここでは最初の考え方、実験の結果、問題点と今後の方針について述べることにする。

最初に J. J. Y. による時計較正概略について述べる。簡単に言えば時計の秒信号と J. J. Y. による秒信号とを電氣的論理回路により、時計の進み遅れを判断させ、さらに時計を J. J. Y. に一致させるような装置である。

図 7 に具体的な論理回路を示す。

図 7 より、チューナーによって撰択された J. J. Y. の周波数 5 MHz、あるいは 10 MHz から、バンドパスフィルターによって秒信号 1600Hz をとり出し、次のシュミットトリガー回路 (S. T.) に入れ任意のパルスを作る。そのパルスにより、モノステーブルマルチバイブレーター (M. M. I.) をたたき、パルス幅 0.8(sec) のパルスを作る。さらにその信号で 2 (m sec) のパルスを作り、同時に 0.8(sec) のパルスを INV. 1 により反転させ、M. M. 4 で 180 [msec] のパルスを作る。これを INV. 2 により反転させ、M. M. 5 で 40 [m sec] のパルスを作る。この 40 [m sec] のパルスと 2 [m sec] のパルスとをアンド回路 (AND. 1) に送り、40 [m sec] のパルスの中に 2 [m sec] のパルスが入っていないければ、すなわち、これは秒信号かノイズかを判定する回路で、正秒 ± 20 [m sec] 以



T.N. : TUNER E.F. : EMITTER FOLLOWER
 B.P.F. : BAND PASS FILTER IND. : INDICATOR
 S.T. : SCHMITT TRIGGER C. INV. : INVERTER
 M.M. : MONOSTABLE MULTIVIBRATOR AMP. : AMPLIFIRE
 AND : AND C. (logical circuit)

Fig. 7. Logical block diagram of automatic control system for crystal clock.

内の秒信号のみが次の段に送られるというものである。次の AND. 2 は時計の秒マークが不意の事故でとまった時、時計の遅れ進みを判定させないように J. J. Y. の信号を次段に通さないようにするための論理回路。時計側からの秒信号は M. M. 7 によって 5 [m sec] のパルスが作られる。さらに M. M. 8 によって 0.9 [sec] のパルスが作られ、INV. 3 に送られ、反転させて AND. 3 に送られる。一方は M. M. 9 により 0.1 [sec] のパルスを作り AND. 4 に送られる。すなわち時計からの秒信号は正秒 ± 0.1 [sec] のパルス幅をもったゲートパルスを AND. 4 と AND. 3 に送ったことになり、J. J. Y. の 2 [m sec] の秒信

号がそのゲートパルスのどちらに入れるかによって、時計の進み遅れを判定するものである。判定された信号は IND. 3 または 4 によりネオン表示させると同時に時計が遅れた場合は、時計の水晶発振周波数分周回路の適当な段にその段の周波数より高い周波数のパルスを送り込み周波数を上げてシンクロナスモーターの回転を上げる。また時計が進んでいる場合は逆に分周回路の任意の段の周波数より低い周波数を送り込み周波数を下げて、モーターの回転を下げる。以上が時計較正回路の概略である。

(2) 装置適用の結果とその問題点について

時計較正装置適用の手始めとして有田観測点と日高観測点に設置し、しばらく様子をみることにした。尚、装置がうまく働いているかどうかをチェックするために、時計の分マークの中心を正分とし、J. J. Y. がうまく受信できている時は必ず分マークの中心に逆向きのパルス (J. J. Y. の秒信号) が入るようにした。

この結果、日高観測点は1969年6月6日より9月30日までの約4ヶ月間ほとんど何事もなく順調に動作した。それ以後はやはり時計の急激な日差異常と季節的な J. J. Y. 電波の受信不良とにより較正のゲート範囲 (正分 ± 0.1 秒) から時計がはみ出しまい較正不能となった。

有田観測点は最初から時計の異常進み現象によって、較正のゲート範囲からはずれてしまい較正されなかった。尚時計が J. J. Y. の秒信号によって較正されているか、いないかを、有田観測点での時計異常時の ΔT グラフによって見る事ができる。図8に示す。

図8から、黒点が J. J. Y. 信号のよく受信されている時で、その時は秒ごとに良く較正

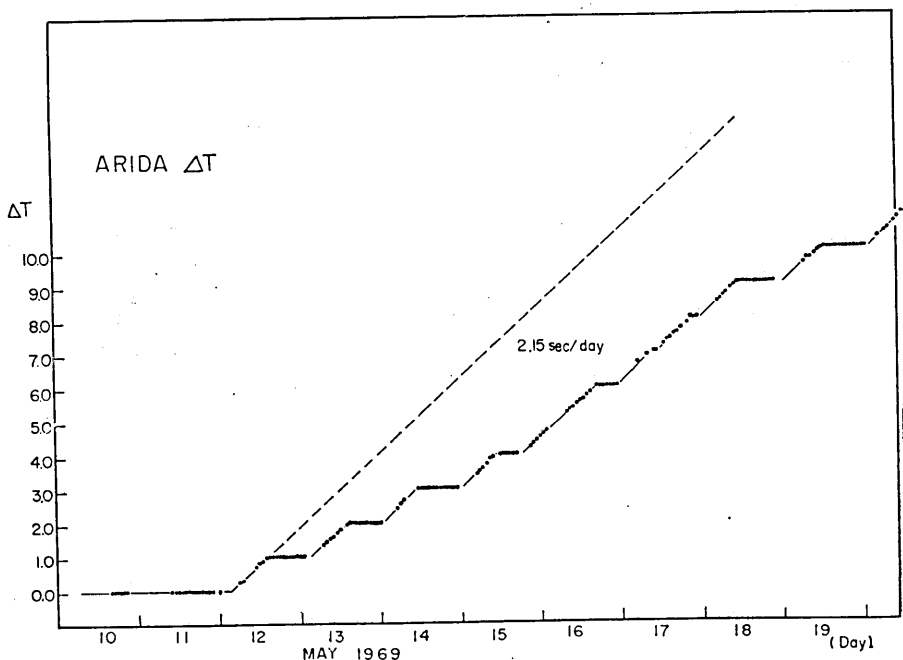


Fig. 8. An example of uncontrolled ΔT change at Arida station.

されているのがわかる。このグラフは時計の進み現象の時であるが、遅れの場合も同様に実験で確かめられている。

次に較正装置の問題点を個条書にしてみると次のようになる。

1. 時計の精度不良によって較正の範囲からすぐでしてしまうこと
2. J. J. Y. 電波の受信可能時が、時間帯あるいは季節によって変わってくる
3. 較正装置のモノマルチ (M. M.) で 0.8 [sec] から、それ以上のパルス幅をもつもので、それらの安定度の再検討 (温度特性を含めて) をする必要がある。

今後の方針について

まず、1と2については相互関係があり、どちらか一方を良くすれば他方はそれほど精度を上げなくても良い。ただし、短波帯の受信は空中状態あるいは電離層状態によって、受信不能な時は、それほど感度を上げて受信できないという特徴を持っているので必要以上に受信機の受信感度を上げて意味がない。ただ現在は 5 MHz、または 10 MHz のどちらかで受信しているが、他に 2.5 MHz あるいはそれ以下の J. J. Y. 周波数を同時に受け、受信できる周波数帯から信号を取出すことは可能であろうが、各周波数間の相互干渉は新しい問題として残ることが予想される。このように考えると、J. J. Y. 受信がそれほど改善されるとは思えない。ちなみに、和歌山微小地震観測所で受信した J. J. Y. の秒信号受信状態は、24時間中 10 MHz が約 10 時間、5 MHz は 1 時間、2.5 MHz は 6 時間位である。ただしこれは天気は晴れ、アンテナは逆 L 型 60[m] のものを使用した。空中線高さは約 7[m]。このように考えると、最初に述べたように、時計の開発に力を入れるほうが賢明であると考え。当観測所が使用している、メカニカルな機構部分を含む時計では安定度改良に限度があると思われる。

4. ラジオマーク表示の問題について

地震の定常観測において、発震時の絶対時間を得る方法として、N.H.K. の時報をもちいることは、今までよくなされてきたし、今後も利用されるであろう。

絶対時間の表示については、これまで二通りの方法をとってきた。ひとつは N.H.K. の時報を受信すること。他は J. J. Y. を受信することである。ただし J. J. Y. は短波帯であり、中波帯のように受信が良くないため、あまり利用されないが、N.H.K. マークと併用されることは多い。J. J. Y. は時間精度が高く、地殻構造等決定のために行なわれる爆破観測等に利用されることが多い。

ここでは N.H.K. の時報受信方法とそれらの長、短所について述べてみる。

第 1 は、時報の 880 Hz の周波数だけフィルターで取出し、整流してリレーを駆動し、接点を介し、メインアンプの最終段に入れる方法。

第 2 には、時計を若干進めておいて、時計の正時のマークリレーを利用し、N.H.K. の時報を入れるゲートを作り、そのゲート時間の間に時報を入れるようにしたものがある。

第 1 番目の方法には 880 Hz のバンドパスフィルター、バンドエレイズフィルターと時間信号判定回路が必要となってくるが、2 番目の方法だとリレーと、簡単な波形成回路があればよい。しかし時計が進みすぎたり、遅れすぎたりする時はすぐに調整しなければならず、長期間無人連続観測にとっては、保守がたいへんである。ただうまく時計が動い

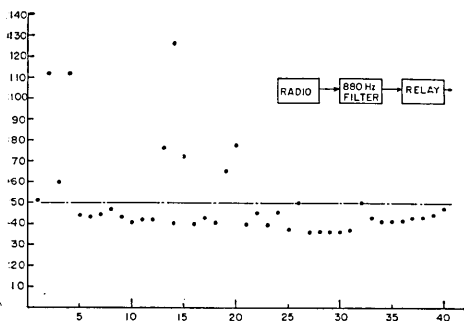


Fig. 9. Variation of difference between radio time signals and JJY.

（遅れ時間）で、だいたい 40 [m sec] に集中している。ただし横軸は時報を測定した回数で、約 3 日間、最初から順番にプロットしたものである。時には 0.1 [sec] を越すものも出てきたが、これは電源電圧の影響あるいは、時報の時に放送が入っていたか、どちらかであろう。いずれにしても測定器の特性は、はっきりしておかねばならない。

現在、当観測所では N. H. K. 時報、信号の S/N 改良と、同調周波数の変動を防ぐために A. F. C. 内蔵の F. M. 受信アダプターを設置し、試験中である。ただし A. F. C. を入れた場合は電波が停波し、再送される時、周波数がずれて A. F. C. が動作しない場合も考えられるので、現在では A. F. C. をはずして動作試験中である。880 Hz のフィルターを用いる場合は、その特性が問題になってくる。現在ではフィルターを用いる場合は、その特性が問題になってくる。現在ではフィルターの選択度 Q を得るために音さフィルターを使用し、これの遅れ時間はリレー回路を含み、約 35 [m sec]、ただしフィルターの出力回路、すなわち負荷のダンピングインピーダンスによって変わってくることはいうまでもない。これらの遅れ時間は J. J. Y. の秒信号によって補正されている。

おわりに

地震観測のための測定器の開発、改良は現在のエレクトロニクスにおける部品の精度および安定度の向上にもかかわらず、長期連続観測用として簡易なものはあまり見られない。このたびの刻時に関する問題ひとつをとってみても、改良しようとすればするほど新しい問題が次から次へと出て、なかなかうまくいかないのが現実である。ひとつひとつの機器の長期間および温度特性を含む性質について、もっと徹底した試験をしなくてはならない。このような問題は実際に観測している所でないとは感じないものと思う。研究観測として行なわれている地震観測をほんとうの研究のための観測とするためには定常業務の労力をできるだけ減らしてゆかなければならない。そのためには今後の長期的地震観測のあり方を踏まえた上での装置の改良、応用、開発がされなければならないと考える。

これをまとめるにあたり、当観測所の皆様にご協力を得たこと、また時計の問題については、御指導いただいた宮村教授に感謝する。

時計装置の改良、実験
時計の変動 $4T$ グラフ作製

石桁 征夫 瀬戸 憲彦
小谷 啓子

整 図
ま と め

December 30, 1971, 南極観測船ふじにて

堀本貴代子
瀬戸 憲彦

(和歌山ノート No. 3 1972. 4.19)

2. *Some Problems on Time Marking Technique for Seismological
Observations.*

By Norihiko SETO, Yukio ISHIGETA, Keiko KOTANI and
Kiyoko HORIMOTO,

Earthquake Research Institute.

Higher stability and accuracy are going to be required recently for seismological observation, particularly in time marking technique. Experimental results are described on the problems to improve stability and accuracy of time marking carried out at Wakayama Micro-earthquake Observatory.