

## 長波 40 KHz 受信機の製作と受信環境評価

瀬戸憲彦\*・橋本信一\*\*

### Design for Standard Time Signal Receiver Using Low-frequency Radio Waves (JG 2A S, 40 KHz) and Evaluation of Environments for Receiver

Norihiko SETO\* and Shin'ichi HASHIMOTO\*\*

#### はじめに

地震観測において、長期間正確な時刻を維持することは重要である。従来これらの時刻校正は短波による標準電波 (JJY) を使用してきた。最近 GPS による時刻校正が主流になりつつある。短波帯による標準時刻のサービスは 2001 年 3 月より廃止となり、主として長波帯 (40 KHz, 60 KHz) による電波のみになる予定である。40 KHz による標準電波は 1999 年 6 月から本格的に送信が開始され、60 KHz による電波の送信施設は福岡県と佐賀県の県境に 2001 年の開局をめざして建設されつつある。

長波による受信機はその受信回路が簡単で安価に製作できることから、電波時計などに利用されている。地震観測において、これらの長波標準電波の安定した伝播特性を生かすことが可能であるなら、安価な観測システム製作をすることができる。瀬戸 (1976) は長波標準電波の試験放送時にこれらの受信機を製作し、ドラム記録に直接刻時を試みた。残念ながら、当時は連続送信ではなく (標準周波数実験局 JG 2A S)、さらに防衛庁 (JJF-2) の優先使用というところもあって初期の目的を達成できなかった。

今回、長波標準電波システムが本格的に運用され、また受信専用 IC が開発されたことにともない、あらためて受信機を製作し複数の地点での電界強度の測定と C/N の評価をおこない、これらが地震観測などの仕様を満足できるかを検討した。

#### 標準周波数局諸元および電波伝播特性

2000 年 10 月 3 日受付, 2000 年 10 月 27 日受理.

\* 東京大学地震研究所地震地殻変動センター和歌山地震観測所.

\*\* 信越地震観測所.

\* Wakayama Seismological Observatory,

\*\* Sin'etsu Seismological Observatory, Earthquake Observation Center, Earthquake Research Institute, University of Tokyo.

長波標準電波送信局 (40KHz) の実効輻射電力は約 10 KW である。実験中の電波形式は 100% 変調の A1 電波 (500 msec のマーク、スペース) であったが、現在は 2 種類のコード体系をもつ BCD (Binary Coded Decimal) によるスロー時刻コードを送信している (図 1 参照)。またマークとスペースの比は 10 対 1 である (木下, 2000)。60 KHz の標準電波もほぼ同じ仕様と思われる。図 2 と図 3 は距離対受信電界強度を示す (間, 1987)。図 3 の受信電界強度は昼間の平均値で、ほぼ 8 dB/octave で減衰する。一般に近距離 (50 Km)、中距離 (500 Km)、遠距離 (1,000 Km) での受信レベルの変動量はそれぞれ数 dB, 10 dB, 10 dB 程度の変動があるといわれている。また昼間は夜間より数 dB 低い (間, 1987)。

#### 40 KHz 受信機の製作

最近、長波標準電波受信用 IC (LA 1650) が三洋電機株式会社から発売された (三洋電機株式会社セミコンダクターカンパニー, 1999)。この IC は簡単なバーアンテナを使用し、RF アンプ、整流、検波、タイムコード出力の機能を持ち、乾電池 (1.5 V) により低電圧、低消費電流 (500  $\mu$ A) での駆動を可能とする。回路は帯域フィルターとして 40 KHz の水晶振動子 (-3 dB 帯域幅 9 Hz) の外部接続を可能とし、AGC (Automatic Gain Control) の範囲として 40 dB 以上を持ち、最大 90 dB のアンプを有する。この IC 単体の受信機感度は 0 dB $\mu$  である。

この IC の前段に 50 dB のプリアンプを付加し、さらにアンテナと受信機間を同軸で結ぶためのアンテナカプラーを製作した。消費電流は 35 mA/9 V である。図 4, 図 5 と図 6 はそれぞれ製作した受信機のブロックダイアグラム、回路図と全体写真である。本来前段のプリアンプは必要ないが、電界強度を測定する目的で付加した。テスト端子 (TP) と前段のメカニカルフィルター (40 KHz, -3 dB 帯域幅 120 Hz) は C/N の測定のためである。通常このよう

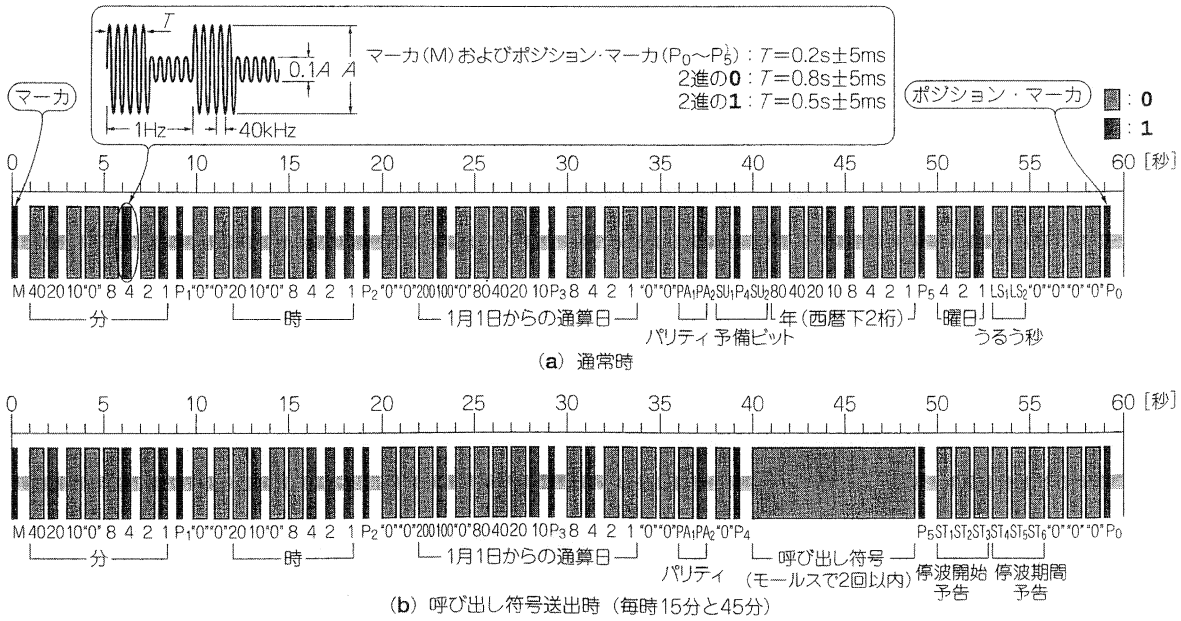


図 1. 長波標準電波 (40 KHz) の時刻スローコード. 時刻のコードは 2 種類あり, 上記の呼び出し符号時と通常時である. 1 フレームは 60 秒で, いずれのコードも 1 月 1 日からの通算日と時, 分を含む. A1 電波の変調度は 90% である. 木下 (2000) より転載.

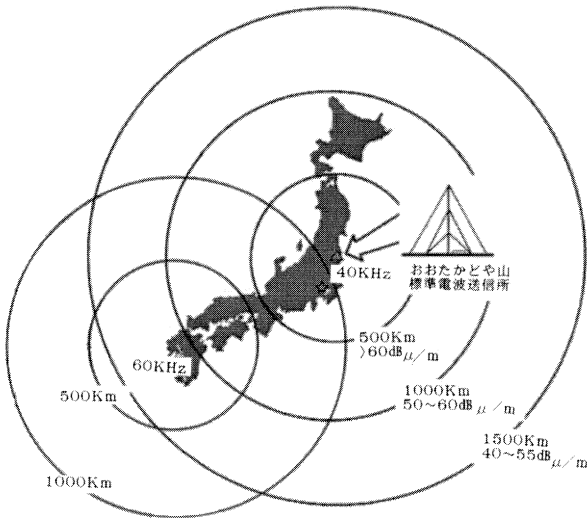


図 2. 長波標準電波 (40 KHz, 60 KHz) の国内サービスエリアと 500 km 毎の推定電界強度. 郵政省通信総合研究所のホームページ (<http://www.crl.go.jp/pub/whatsnew/press/990518/990518.html>) の図に 60 KHz 標準電波の部分を加筆.

な長波の帯域では C/N を稼ぐためメカニカルフィルターを使用するが, 波形の立ち上がり特性はおのずと悪くなる. 回路図中, TP 端子におけるバースト波の立ち上がりの様子を図 7, 図 8 に示す. 図 9 は擬似ノイズを付加し, バースト波の立ち上がりと検波後の TTL 出力との差 (遅延時間) を測定したものである. これによれば, C/N が 15 dB 以上で, C/N の変動がなければ遅延量の変動幅は +/−3 msec になる. このような環境を厳密に維持すること

は難しいと考える. 電波研究所 (現, 郵政省通信総合研究所) の本間 (1975) は長波標準時刻信号について, 受信電界強度と C/N, 受信機帯域幅と時刻の精度について調べている. これによると, 同期時刻の変動幅は受信機内のメカニカルフィルターの帯域幅と受信波の C/N に依存し, その値は C/N が 11 dB から 27 dB の範囲でそれぞれ 1.1 msec から 0.77 msec である. 今回使用した IC での実験結果ではこの値より劣っていることがわかる.

### 電界強度の測定とその受信環境

筆者らは製作した受信機により複数の地点で受信レベルを測定した. これらの値について, 北海道勇払郡早来町 (距離 600 Km), 和歌山市 (距離 600 Km) 数点, 長野市 (距離 200 Km) の地点で電界強度を測定し, それぞれ 53 dBμ/m, 52 dBμ/m, 60 dBμ/m の値を得た. 今回測定した期間は短時間であり, 上記の値が継続しているとは言えない. 各地点の測定値を図 3 に加筆した. 今回の測定に際し, アンテナからの受信電圧は垂直アンテナを使用する場合, アンテナ高  $h$  (m) / 2 と受信点の電界強度  $E$  (dBμ/m) の積で表される. 以後の測定では  $h=2$  (m) として計算している.

最近, 長波を利用した時計が各種測定器に組み込まれつつある. しかしながら, 比較的受信電界強度が大きいと推定される場所でうまく受信されなかったという例が少なくない. これらは受信環境, すなわち受信地点での人工的ノイズが影響を与えているものと推定される. 仮に, 時刻の

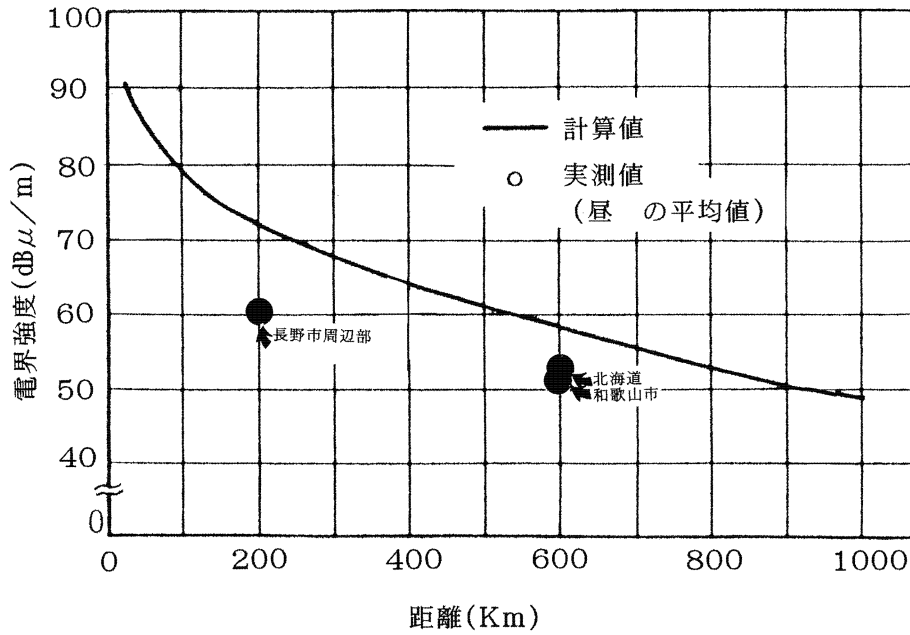


図 3. 長波標準電波 (40 KHz) の距離特性. 受信レベルの実測値は距離にして 600 km, ほぼ同じ距離にある和歌山市と北海道勇払郡早来町および 200 km の距離にある長野市である. どちらも 2~3 m 程度の垂直アンテナを使用した. 北海道での C/N は 20 dB 程度あったが, 和歌山市でのそれは 6 dB であった. 間 (1987) に加筆.

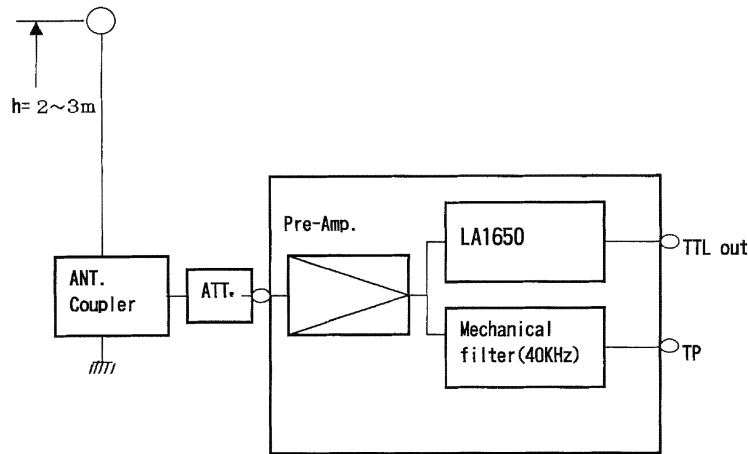
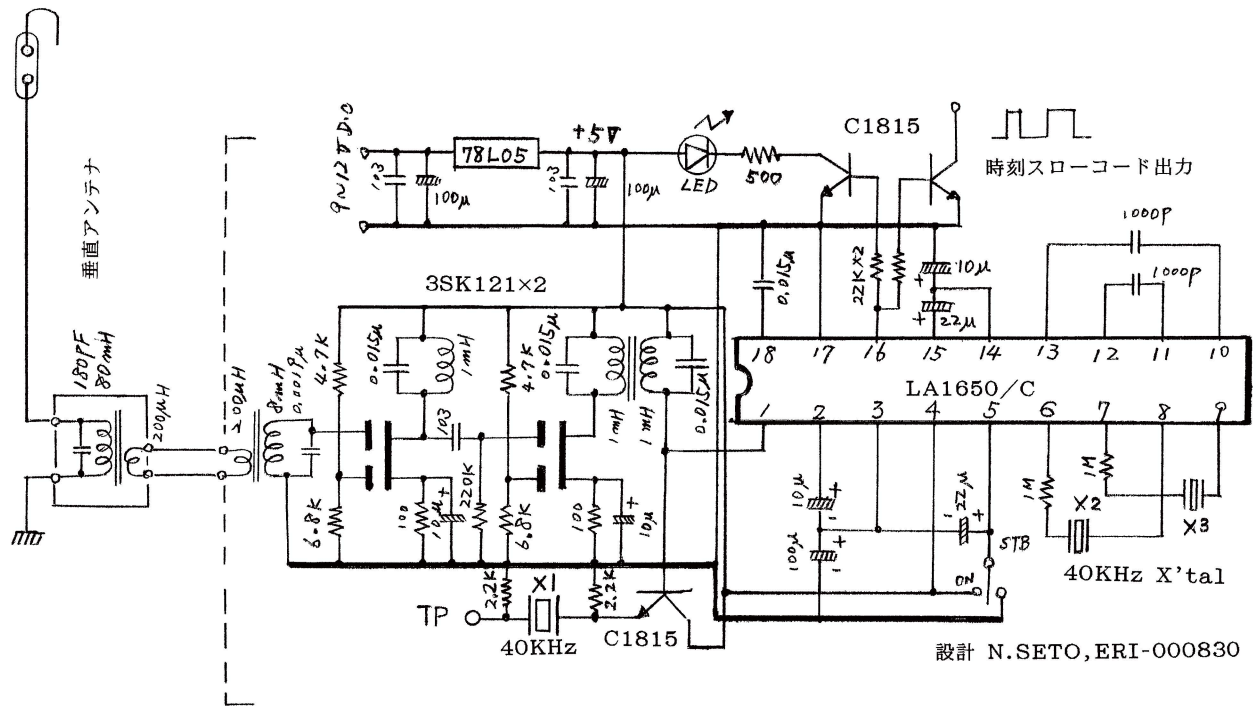


図 4. 長波標準電波受信機の試作機のブロックダイアグラム. アンテナカプラーと ATT., 本体 (プリアンプ gain=43 dB, と IC (LA 1650), メカニカルフィルター (40 KHz, -3 dB 帯域 120 Hz)) から構成されている. 受信機前段の減衰器 (ATT.), メカニカルフィルターは特に必要ないが, 受信レベル, C/N の測定に使用するため付加した.

精度 (変動幅) を 1 msec とすれば, C/N は 20 dB 程度必要である. たとえば距離 600 km (図 3 参照) の地点で許容できるノイズレベルは 40 dB $\mu$ /m 以下に抑える必要がある. もちろん時刻の精度をあまり気にしなければ C/N が 6 dB 以上あれば可能である. 計算上, 距離 200 km, 100 km ではおおよそ 50 dB $\mu$ /m, 60 dB $\mu$ /m まで許容できる.

図 10 中 A, B, C はそれぞれ和歌山地震観測所 (市内), 住宅地 (市内), 郊外のそれぞれの場所に垂直 5m 程度のアンテナを設置し, 40 kHz 付近のノイズのスペクトラムで

ある. 図からわかるように, 郊外になるほどノイズレベルが下がっている. A と B 地点では C/N を 6 dB 以上確保できなかったため受信機は時刻コードを出力しなかった. 40 KHz 付近のノイズレベルの実測値は 37 dB $\mu$ /m~50 dB $\mu$ /m になる. この時, 各 A, B, C の地点での C/N は, それぞれ 0, 0, 10 dB となった. これらのノイズは主として各種パソコンから発生する電磁波, 特に DC/DC, AC/DC コンバーターなどで使用されている周波数 (高, 低調波) によるノイズと考えられる.



設計 N.SETO, ERI-000830

図 5. 長波 40 KHz 受信機の回路図. 前段のアンプは 3SK 121×2 段 (43 dB) で構成した. LA 1650 に使用した水晶フィルターの帯域幅は 6 Hz, TP 前段にあるものは 120 Hz である. LA 1650 の入力レベルは最小 1  $\mu$ Vrms (0 dB $\mu$ ), 最大 0.1 Vrms である. LED は秒の表示に, 右側の C1815 のコレクターは TTL 出力である. 電源は 9~12 V の範囲で動作可能.

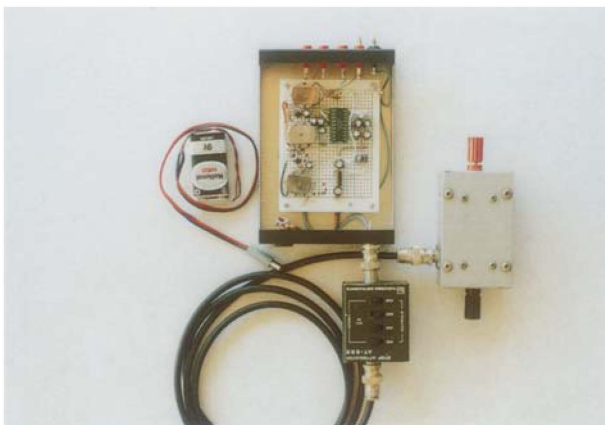


図 6. 受信機の完成写真. 本体の内部は LA 1650 とポットコア 3 個が見える. その他はアンテナ, アンテナケーブル, 3D2V 型同軸ケーブル, 電源 (006P).

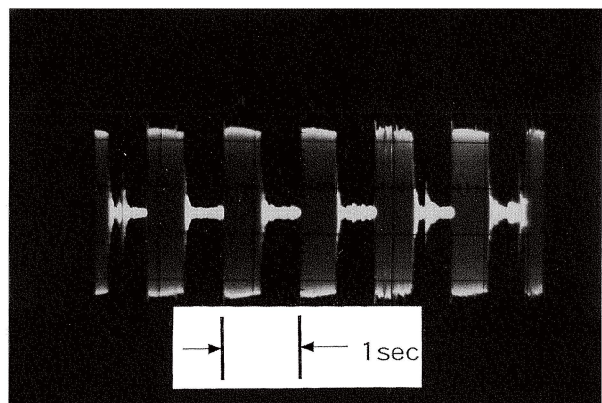


図 7. 受信された 40 KHz の波形 (A1 電波, バースト波), C/N は約 20 dB.

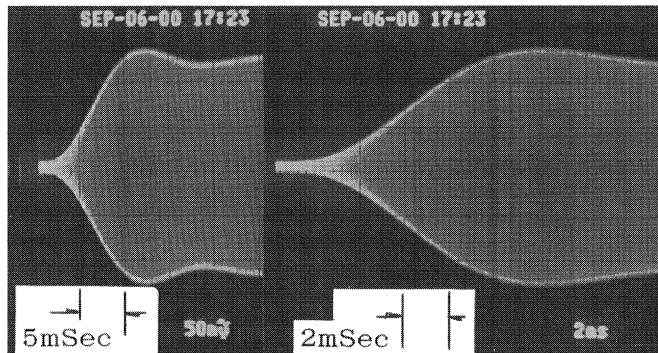


図 8. 受信されたバースト波の立ち上がりの例. 時間軸は左右おのおの 5mSec/div, 2mSec/div. メカニカルなフィルターによって C/N を確保するため, ダンピングがかかり, 時間とばらつきを生む.

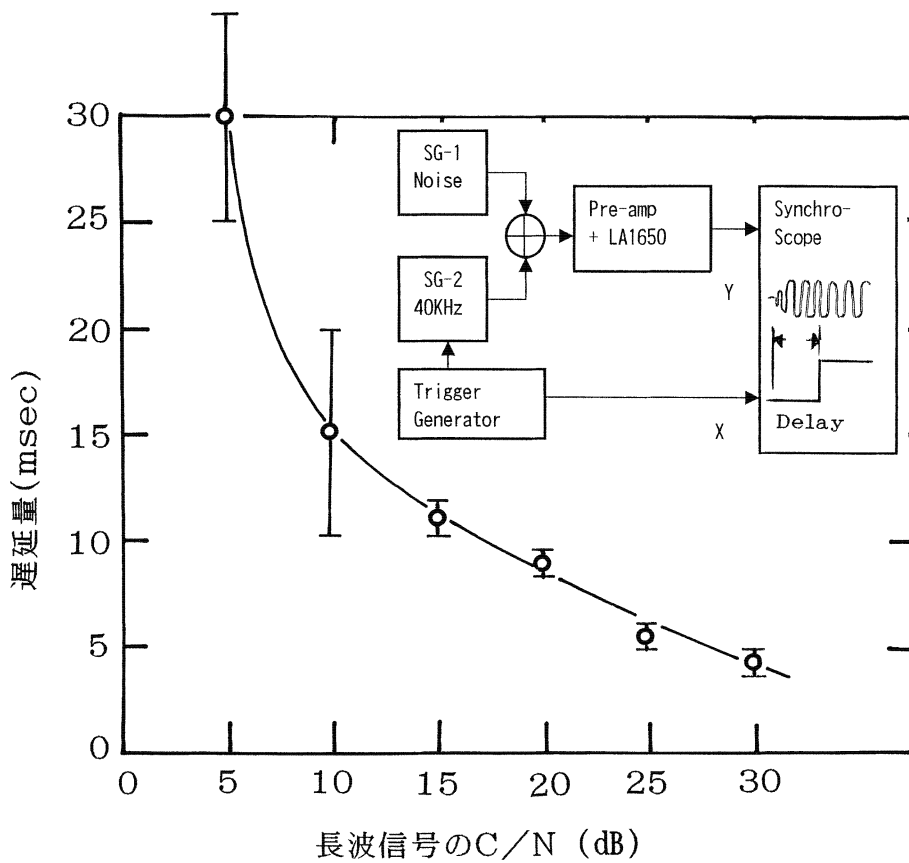


図 9. 長波受信機の特性 (C/N 対遅延量)

ノイズ発生器, 40 KHz の SG, トリガー SG とシンクロスコープにより, 40 KHz バースト波の C/N を変化させ, LA 1650 の出力 (16 番ピン) でその遅延量を測定した. 結果によれば, C/N が 15 dB 以上であれば  $\pm 2 \sim 3$  msec 以内のばらつきであるが, それ以下だと急激に悪くなる. 図中, 各測定値の縦棒は変動幅を示す.

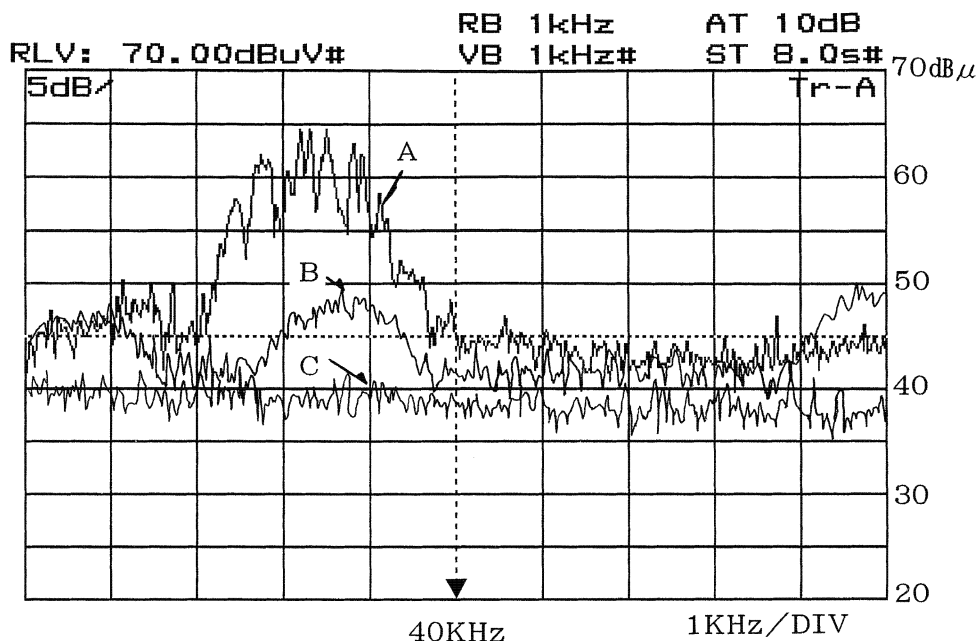


図 10. 40 KHz 付近のノイズレベルの実測値. A, B, C の代表的な 3 地点での実測値例.

A: 和歌山地震観測所敷地内 (和歌山市内) 40 KHz の信号は見えず, ほぼ同じレベルのノイズ, 特に D/C, A/C コンバーターなどの発生源が近くにあるからだと推察する. B: 和歌山市内住宅地域 ここでも A と同じ状況であった. C: 和歌山市郊外 (田園地帯) ここでは信号を受けることができたが, C/N は 10 dB 程度, 秒信号をデコードできた.

アンテナは簡単なビニール線であり, 木の枝につるしたため, 厳密な意味での正確なレベルではなかったかもしれない.

## ま と め

長波標準電波 40 KHz の受信機を製作し, 各地域での電界強度とノイズレベルを測定した. これによって C/N の測定を行い, 受信時刻の変動幅の推定を行った. また, ノイズレベルの測定を行うことによって受信環境の評価を行った. 結果として, 距離 600 km の地点での受信電界強度は計算上の値より 10 dB 程度低い. さらにノイズレベルは思った以上に大きく, 一律に必要な C/N を確保することが難しいことがわかった. すなわち C/N は VHF あるいは UHF 帯の周波数に比べ受信場所のノイズに大きく依存する. 時刻の精度は一定の環境条件のもとで  $\pm 3$  msec 程度が限度ではないかと考える. 送信点からの距離が 200 km 以内では受信レベルの絶対値がそれより大きくなり, 一見 C/N を確保できると思われるが, 実際はノイズレベルの変動幅が大きく (特に各種の電子機器稼働している場所において) 単純に前もって C/N を計算できないのが難点である. 今回の実験では簡易な垂直アンテナを大木の枝などに吊るし受信レベルを測定したため, 厳密な意味での受信レベルであったかどうか若干の疑問が残る. ま

た, 長時間の連続受信におけるレベル変動は確認していない.

長波標準電波は, 第 1 に周波数標準として使用することが主であり, 標準時刻としての精度は落ちる. しかし, スローコードが使用できることから, 生の波形 (時刻コード) を連続で収録できればその価値は大きい.

謝 辞: 森田助教授, 大竹助手には原稿の査読をしていただきました. 記して感謝いたします.

## 文 献

- 本間重久・加藤清治, 1975, 40 KHz 標準電波による自動同期時計装置, 電波研究所季報, 21, No. 114, 165-176.
- 間 幸久, 1987, 長波標準電波 (JG2AS) の受信と利用, HAM Journal, No. 51, 2-10.
- 木下雅貴, 2000, JJY タイム・コード復調用 IC LA 1650, トランジスタ技術, 1月号, 352-353.
- 三洋電機株式会社セミコンダクターカンパニー, 1999, LA 1650/C 開発速報.
- 瀬戸憲彦, 1976, VLF (40 KHz) 標準電波受信機の試作と, それによる直接刻時の可能性について, 和歌山地震観測所季報, 第 8 号, 37-47.
- 郵政省通信総合研究所ホームページ (<http://www.crl.go.jp/pub/whatsnew/press/990518/990518.html>), 2000.