

48. 超短波無線搬送式遠隔記録地震計

地震研究所 { 宮村 撰三
辻 浦 賢

(昭和 30 年 6 月 28 日発表—昭和 30 年 9 月 30 日受理)

§1. はしがき

有線搬送式遠隔記録地震計 LTS-I および LTS-II については別に報告した.¹⁻²⁾ 一般に無人観測点用搬送式遠隔記録地震計の必要性和それらによる集中記録の地震観測上の利点については、そこでくわしくのべたので、ここではそれらのことがらは省略し、簡単に本機を製作した目的をのべ、装置の概要、動作原理、特性等を説明し、なお改良すべき点や、今後の応用などについてしるし、読者の批判をえたいと思う次第である。

1952 年からはじめた和歌山附近頻発地震群研究のための臨時精密観測網では、関西電力の専用電話線を利用し有線搬送式遠隔刻時方式を採用し、また有線搬送式遠隔記録地震計による無人観測点を設置してきたが、海岸方面など必要な方面において、利用しうる適当な既設電話線のないところから観測点の不足があり、これをおぎなうために無線搬送式の遠隔記録地震計による無人地震観測点を設置する必要が生じた。³⁾ このような無線式遠隔地震計は有線搬送式のものと同様、大地震にともなう余震の観測、大爆破による地震動の観測、噴火にともなう地震群の観測、あるいは常時微動による地盤調査などにも利用でき、観測の能率化と精度の向上に役立つとおもわれ、さらに将来は、ある程度常時観測業務にもとりいれられ、特につなみ警報など、すみやかに資料の整理計算を必要とする業務に採用されれば、非常に有効であろうと考えられる。

われわれは 1954 年 10 月 60.17 メガサイクル A9 電波全国陸上移動局として、周波数認可をうけ、1954 年 11 月に開局した。1954 年 11~12 月和歌山地震群の観測に利用し、1955 年 2 月大阪市地盤調査に試験的に使用、1955 年 6 月以降筑波山支所の微小地震観測を東京の本所で受信記録して長時間使用試験をおこない、充分実用の域に達したと思われるに到つた。

§2. RTS-I 型遠隔記録地震計

無線搬送式遠隔記録地震計としては GANE⁴⁾が Johannesburg, South Africa で Wit-

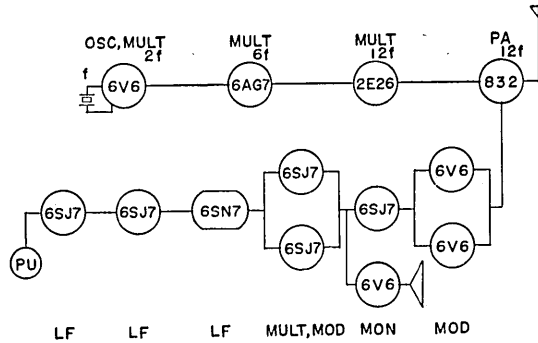
1) 宮村撰三・辻浦賢・松本英照 高周波無線搬送による地震動波形の遠隔記録 (S. MIYAMURA, M. TSUJURA, H. MATUMOTO, Telerecording of Seismic Wave Forms by High Frequency Bare Line Carrier Waves), *Zisin*, [ii], **6** (1954), No. 4.

2) 宮村撰三・松本英照 有線搬送式遠隔記録地震計 (S. MIYAMURA and H. MATUMOTO, Line Carrier Telerecording Seismograph.), *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **33** (1955), 715.

3) 宮村撰三・外 和歌山附近頻発地震群の観測, 中間報告. 1955 年 11 月 3 日地震学会第 14 回学術講演会 (京都).

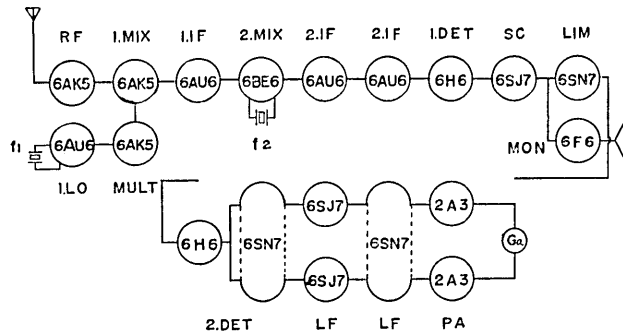
4) P. G. GANE, H. J. LOGIE and J. H. STEPHENS, "Triggered Telerecording Equipment for Seismic Observations," *Bull. Seism. Soc. Am.*, **39** (1949), 119-143.

watersrand 附近の局地地震を観測するのにつくつたものがあるが、われわれのものも、それとほとんど同様に、使用波長も同じく超短波帯のものである。有線搬送式を LTS というのに対し、この無線搬送式のものを RTS (Radio Telerecording Seismograph) となづける。



第 1 図 超短波無線搬送式遠隔記録地震計 RTS-I 型構成図 送信部. Schematic diagram of VHF radio telerecording seismograph, Type RTS-I. Transmitting Part.

$f = 60.17/12 \text{ Mc} = 5014.167 \text{ kc}$. Crystal Oscillator. OSC. 発振管 Oscillator, MULT: 通倍管 Multiplier, PA: 送信出力管 Transmitting Power Amplifier, PU: 地震計換振器 Seismometer (Moving-Coil Transducer RGES Type), LF: 低周波増巾管 Low Freq. Amplifier, MULT: マルチ発振管 Multivibrator, MOD: プッシュプル変調管 Push-Pull Modulator. MON: モニター Monitor.



第 2 図 超短波無線搬送式遠隔記録地震計 RTS-I 型構成図 受信部. Schematic diagram of VHF radio telerecording seismograph, Type RTS-I. Receiving Part.

RF: 無線周波増巾管 Radio Freq. Amplifier, MIX: 混合(変換)管 Mixer, IF: 中間周波増巾管 Intermediate Freq. Amplifier, LO: 局部発振管 Local Oscillator, $f_1 = (60.17 - 5)/12 \text{ Mc} = 4.5975 \text{ Mc}$, DET: 検波管 Detector, SC: 副搬送周波増巾管 Subcarrier Freq. Amplifier, LIM: 制限管 Limiter, MON: モニター Monitor, LF: 低周波増巾管 Low Freq. Amplifier, PA: 電力増巾管 Power Amplifier, Ga: 記録電流計 Recording Galvanometer.

本機 RTS-I 型の構成の大要は、送信部第 1 図、受信部第 2 図にしめすとおりである。装置の外観は送信部第 3 図、受信部第 4 図にみるごときのものである。つぎに本機の動作原理を簡単に説明する。まづ無人観測点となるべき送信部を説明する。

電磁地震計換振器に誘起した地震動による電圧は 6SJ7, 6SJ7, 6SN7 3 段の超低周波増巾器によつて増巾され、6SJ7 2 本よりなるマルチ発振回路の格子にくわえられる。そうすると、LTS の報告²⁾で説明したように、マルチ発振回路の中心周波数 (800 Hz) を中心として最高 ± 300 Hz の周波数変調がおこなわれる。入力がかわわらない場合、すなわち換振器の出力電圧がない場合、このマルチ回路の発振は 800 Hz の短形波であるが、入力がかわわるとき、つまり地震動がくるときは、これが 800 ± 300 Hz 以内で周波数変調される。

このマルチ発振回路の 800 Hz を補助搬送波 (Subcarrier) とし、これを 6SJ7 で増巾し、変調管 6V6 Push Pull を励振する。

無線搬送波は、割当周波数 60.17 MHz の 1/12 (5014.17 kHz) の基本周波数の水晶で発振し、これを 6V6, 6AG7, 2E26 で $2 \times 3 \times 2 = 12$ 通倍して、出力管 832 に 60.17 MHz の励振をあたえる。補助搬送波がここでこれを増巾変調し、出力 10 watt にて三素子八木空中線により水平偏波として空中に輻射される。饋電線は同軸型インピーダンス 75 Ω , 15 m, 減衰は 0.07 db/m になつている。

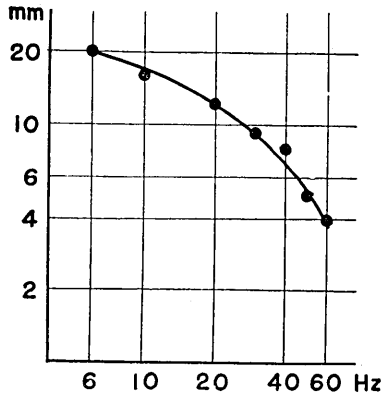
つぎに受信部を説明する。受信空中線は送信空中線に対応した三素子八木空中線水平偏波受信空中線をもちている。饋電線は高周波平衡型 15 m, インピーダンス 300 Ω である。受信機は 0 db 入力に対し S/N 20 db の電気的特性を有し、第 1 中間周波数 5 MHz, 第 2 中間周波数 455 kHz のダブルスーパーヘテロダイン方式で、各周波数変換部はともに水晶により制御されている。空中線で受信した電波は 6AK5 で 1 段増巾し、これをつぎの 6AK5 で第 1 中間周波数に周波数変換をおこない、これをつぎの 6AU6 で 1 段増巾し、さらにつぎの第 2 中間周波数変換管 6BE6 によつて 455 kHz の中間周波数をつくり、これを 6AU6 の 2 段で増巾、つぎの 6H6 で検波して 800 ± 300 Hz の補助搬送波を再現する。ここでまた、同時に AVC, ANL を附加し、回路の安定化をはかつている。あとは大体 LTS-II の回路方式と同様であるが、ただ低周波部は第 2 検波以後全部プッシュプルでとりだし、出力管は 2A3 の Push Pull である。

電源は商用交流 50~60 c/s 切かえ、90~110 V, 消費電力は送信 約 250 W 受信 約 200 W である。

第 5 図は送受信機の周波数特性で、低周波発振器の出力を 30 μ V (実効値) 一定として、地震周波数入力のかわりにあたえたときの、記録振巾の周波数による特性をあらわしたものである。第 6 図は電磁式地震計もふくめた装置全体の周波数特性であり、地震計を振動台⁵⁾にのせて記録した結果で、振動台の振巾は 20 μ 一定として検定した。第 7 図の直線 a はこの装置の最高感度特性ともいうべきもので、地震周波数雑音 (地震計換振器をおいた土地の地面の雑振動) と無線周波数雑音 (送受信局間の空中雑音、特に受信

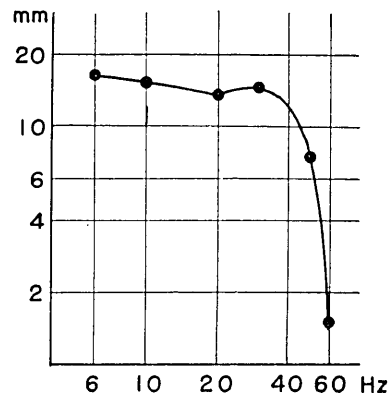
5) 明石製作所製。

点近傍の雑音) とがすくない場合は、この感度で観測ができる。しかし実際にはこれらの雑音があつてこの感度では観測できないことが多く、和歌山附近あるいは筑波—東京での観測ではたとえば第 6 図の直線 *b* の感度 ($30 \mu\text{V eff./mm double amplitude}$) で観測をおこなつた。観測された記録の例は第 9, 10 図に示す。⁶⁾



第 5 図 RTS-I 送受信機総合特性(換振器をのぞく) Frequency characteristics of RTS-I (excepting pickup).

よこ軸 Abscissa: テストオシレーター周波数 Frequency of test-oscillator in Hz or c/s. たて軸 Ordinate: 記録振巾 Recorded amplitude of the galvanometer. (テストオシレーターによる入力電圧 $30 \mu\text{V}$ 一定にて実験. Input voltage $30 \mu\text{V}$ constant by test-oscillator.)



第 6 図 RTS-I 送受信機総合特性(換振器をふくむ) Over-all frequency characteristics of RTS-I (including pickup).

よこ軸 Abscissa: 振動台周波数 Frequency of vibration table in Hz or c/s. たて軸 Ordinate: 記録振巾 Recorded amplitude of the galvanometer (振動台は 20μ 一定の変位振動をあたえる. Vibration table displacements are 20μ constant)

第 8 図 T, H は送受信側で同一地震動を同時に記録した例であり、筑波山 (T) に送信機を、本郷 (H) に受信機をおき、送信側の低周波増巾部 6SN7 に別個の電力増巾器をつないでとつた記録 (T) と、本郷で記録した本装置として記録 (H) とを対比してある。本機の送受信機の低周波部の特性は同一でなく、受信部で高周波を切つてあるので、その影響がややみえてはいるが、それ以外はまったく相似の波形をしめしているの、一応正しい遠隔記録がおこなわれているとみなされる。

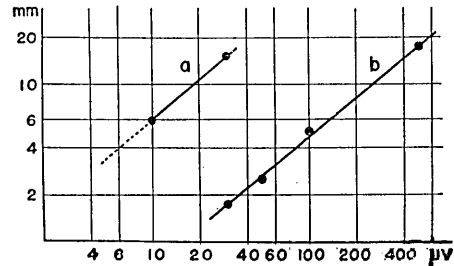
なお、本機の電波到達距離、すなわち観測可能限界は、地形により左右されるが、市街地で約 20 km、筑波山—本郷のような見とおしのところでは大体 100 km あまりとおもわれる。

以上で RTS-I 型遠隔記録地震計についての概要をのべたが、最後に現在の装置の欠点として、電源変動に対する安定装置其他の不備があるし、観測の安定に対する妨害とし

6) 文献 2) Fig. 10 にもあり。

て、受信点近傍の自動車雑音、おそらくは飛行機々々体による反対電波の干渉とおもわれるゆつくりした時間的に対称な振動(第10図の左上に2ヶ所その後半分があらわれてる)などが時々本郷ではあらわれた。電源安定装置は将来施設するとしても、あとの受信電波の妨害は現在対策がない。自動車雑音については将来FM方式のものを採用すれば、ずつと改良されるであろうと思われる。

今後このような遠隔記録地震計を多重化して、すくなくとも1点から2成分以上を送れるようにし、一方そのような無人観測点を数点つくり、それらの集中記録により自然地震および爆破地震の観測の精度向上(特に後者の場合深部反射の検出も容易になろう)とそれら野外作業の業務能率の増進に資したい。その場合この方式では特に各点ごとに別の周波数割当をえなくてはならないので、今日わがくにの電波事情から超短波帯(VHF)では非常に問題となる。現在UHFにおいて、指向性空中線により偏波面を利用一つの周波数で何点もの無人点からの記録を分離して受信し、遠隔記録をおこなうような方向に研究をすすめている。



第7図 RTS-I感度特性の直線性 Linearity of sensitivity characteristics of RTS-I.

よこ軸 Abscissa: テストオシレーター 10 c/s 入力電圧 Input voltage from test-oscillator at 10 c/s. たて軸 Ordinate: 記録振巾 Recorded amplitude of the galvanometer.

- a. High Sensitivity Curve
- b. Medium Sensitivity Curve

§3. 謝 辞

本装置の開発をはじめるとき、御後援、御教示をたまわつた、郵政省電波局元陸上課長谷村功氏(現電気通信大学教授)、同鈴木清次氏はじめ同局陸上課、周波数課および関東電波監理局の関係官各位にあつく御礼申しあげたい。また本装置の製作に従事された岩井電気株式会社の八木純一氏の御協力に感謝したい。松下電器株式会社よりは和歌山における観測網に60MHz帯を利用できるか否かをしらべるための電波伝播試験に協力をえた。御援助を感謝する。なお和歌山では県および関西電力株式会社よりつねにあらゆる面で御援助をえているので特に記して深甚の謝意をのべておく。

本機の製作費は主として地震研究所の「国際地震観測」の特別事業費より支出され、実験費の一部は和歌山県より支出された。後者については和歌山県副知事荒木和成氏、前土木部長鈴木直彦氏および前企画広報課長藤田定基氏に、前者については本所那須所長および萩原教授に御後援を感謝する。なお本研究によせられた本所技術部長実川技官はじめ技術部の方々の御援助に感謝の辞をのべたい。筑波山支所での実験観測には同支所渡辺正雄氏、技術部鈴木喜吉氏および観測部の方々の御支援をえた。振動台による検定には萩原研究室齋藤貞夫氏のお世話をうけた。同僚松本英照氏、堀実氏には本研究中たえず御協力をえた。附記して感謝する次第である。

第 I 表 超短波無線搬送式遠隔記録地震計 RTS-I 型要項

VHF Radio Telerecording Seismograph, RTS-I						
送信機 Transmitter			受信機 Receiver			
	送信部 RF	増幅・変換部 VLF・LF	電源部 Power Supply	受信部 RF	変換・増幅部 LF・VLF	電源部 Power Supply
外形	220 × 350 × 400 mm	220 × 350 × 400 mm	220 × 350 × 400 mm	220 × 350 × 400 mm	220 × 350 × 400 mm	220 × 350 × 400 mm
重量	13 kg	13 kg	32 kg	14 kg	13 kg	31 kg
真空管	GT 6 Special 1	GT 6 Special 2	ST 3	MT 8 GT 3	GT 6 ST 2	GT 1 ST 2
電源	{ DC 350 V DC 250 V AC 6 V	{ DC 250 V DC 6 V AC 6 V	AC 100 V 50~60 c/s 250 W	{ DC 250 V AC 6 V	{ DC 250 V DC 6 V AC 6 V	AC 100 V 50~60 c/s 180 W
備考	60.17 MHz A9 wave. 10 W	VLF 3~20 Hz (Seismic freq.) LF (Subcarrier) 800 ± 300 Hz		Double Super- heterodyne 1. IF 5 MHz 2. IF 455 kHz	Output 50 W	
空中線	半固定用軽金属組立式水平偏波三素子八木空中線 長さ 2.5 m, 重さ約 2 kg, 支柱の高さ 3 m. 利得 5.5 db.					

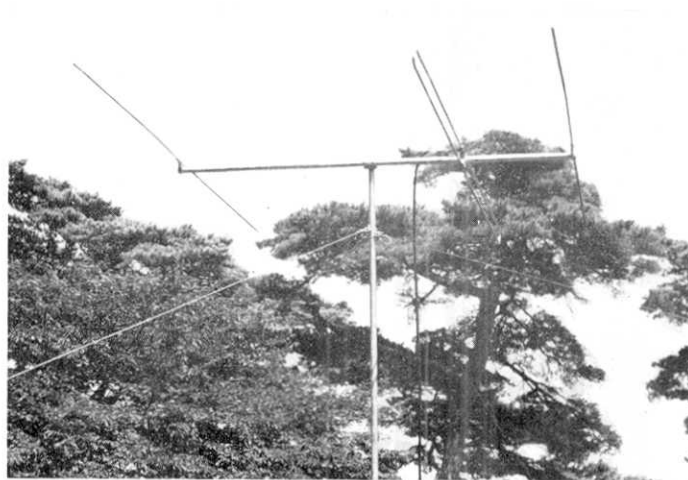
48. A VHF Radio Telerecording Seismograph (abbr. RTS).

By Setumi MIYAMURA and Masaru TSUJIURA,

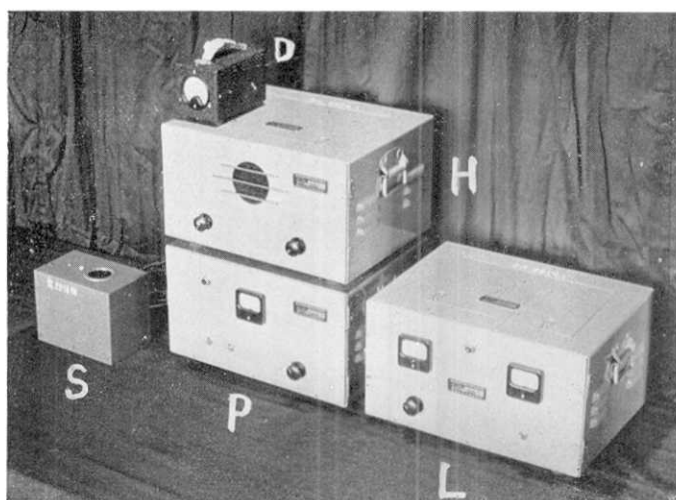
Earthquake Research Institute.

A VHF radio-linked telerecording seismograph was designed and constructed, in order to add an unattended substation for the local seismological network of Wakayama earthquake swarms in those regions, where no telephone lines were available for either transmitting the time signals by line telerecording chronograph system (LTC) or sending the seismograms by carrier line telerecording seismograph (LTS). Being constructed as portable, these telerecording systems will be also useful for other seismometric observations in earthquake and explosion seismology. It may also be useful in the future routine seismological network, especially in speeding up the tsunami warnings.

Schematic diagrams in Figs. 1 and 2 show the essentials of the transmitting and receiving sets of the radio telerecording seismograph named RTS-I. Appearances of the antennae and sets of RTS-I are shown in Figs. 3 and 4. The transmitting waves used are VHF waves of 60.17 Mc, that is, the amplitude modulated by 800 c/s subcarriers, the



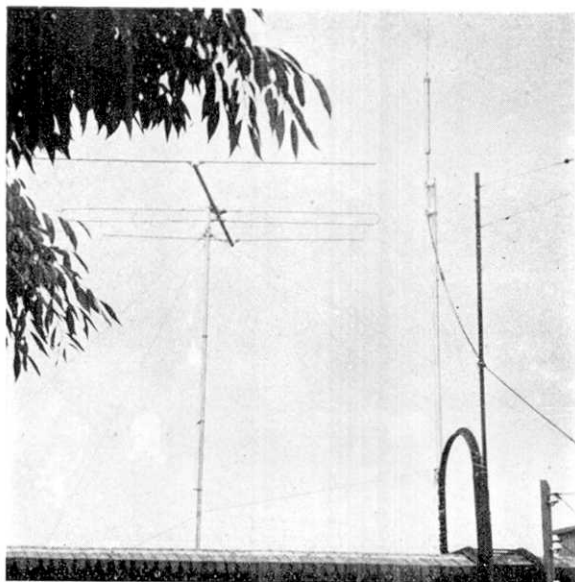
A



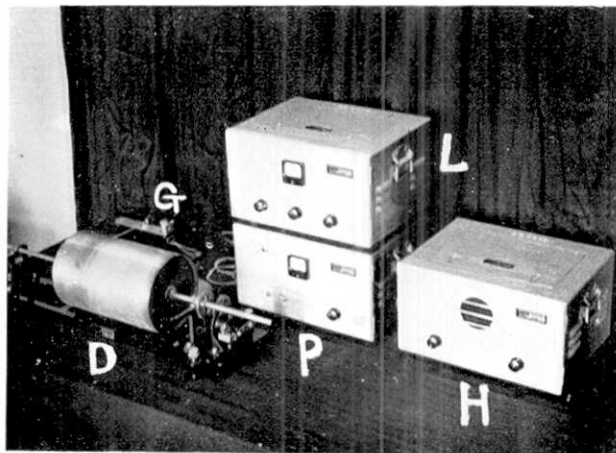
B

第3図 超短波無線搬送式遠隔記録地震計 RTS-I 型送信部. VHF Radio Telerecording Seismograph, Type RTS-I. Transmitting Part.

- A: 送信空中線, 三素子水平偏波指向性八木空中線 (筑波支所屋上設置) Transmitting antenna. 3-elements horizontal polarized directive YAGI antenna. (On the roof of Tsuba-san Seism. Obs., E.R.I.)
- B: 送信装置. Transmitting Set.—S: 地震計 Seismic transducer, D: 擬似空中線 Dummy load, P: 交流電源部, AC Power supply, L: 低周波増巾部 Low freq. amplifier, R: 無線周波送信部 Radio freq. transmitter.



A

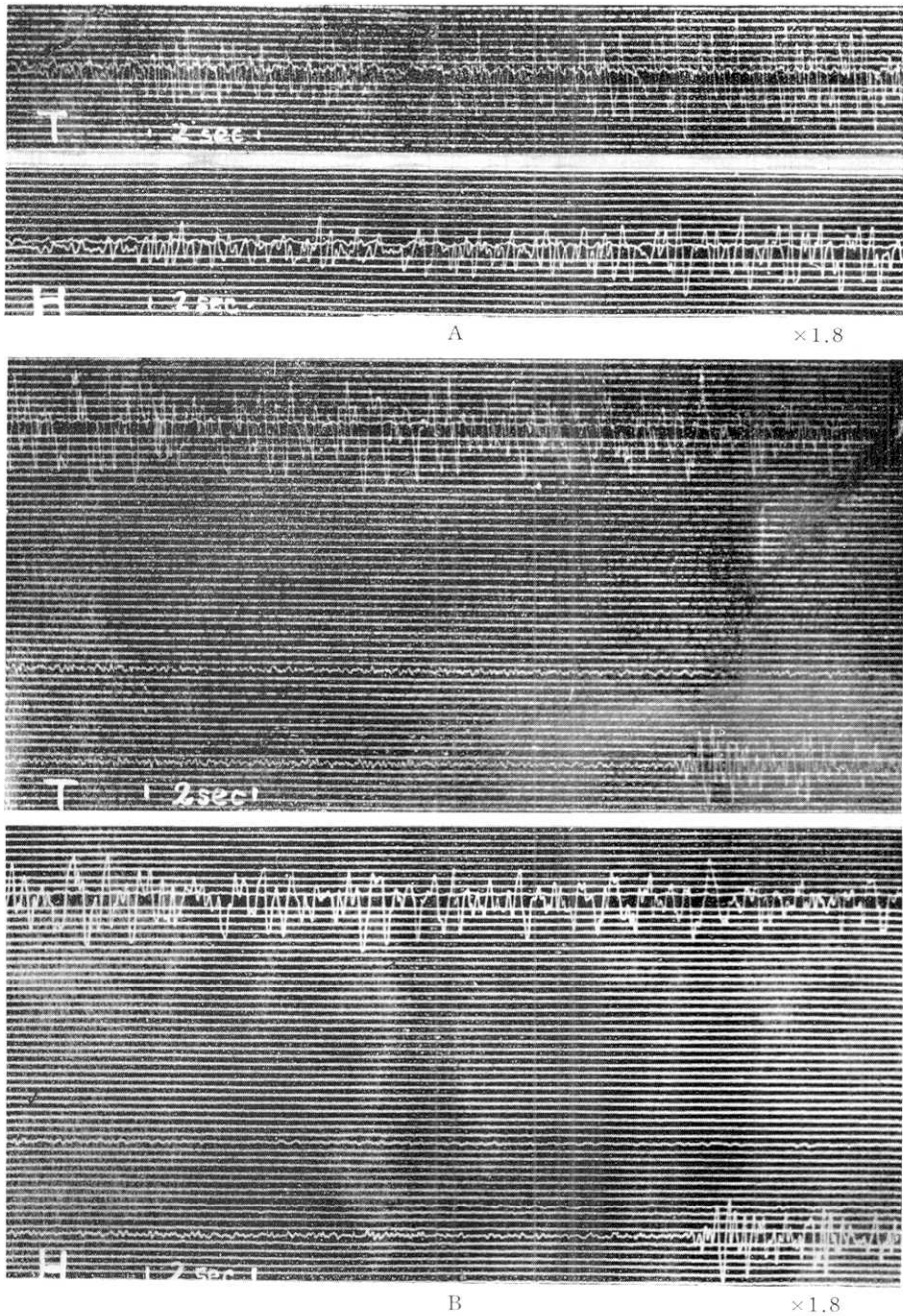


B

第4図 超短波無線搬送式遠隔記録地震計 RTS-I 型受信部 VHF Radio Telerecording Seismograph, Type RTS-I. Receiving Part.

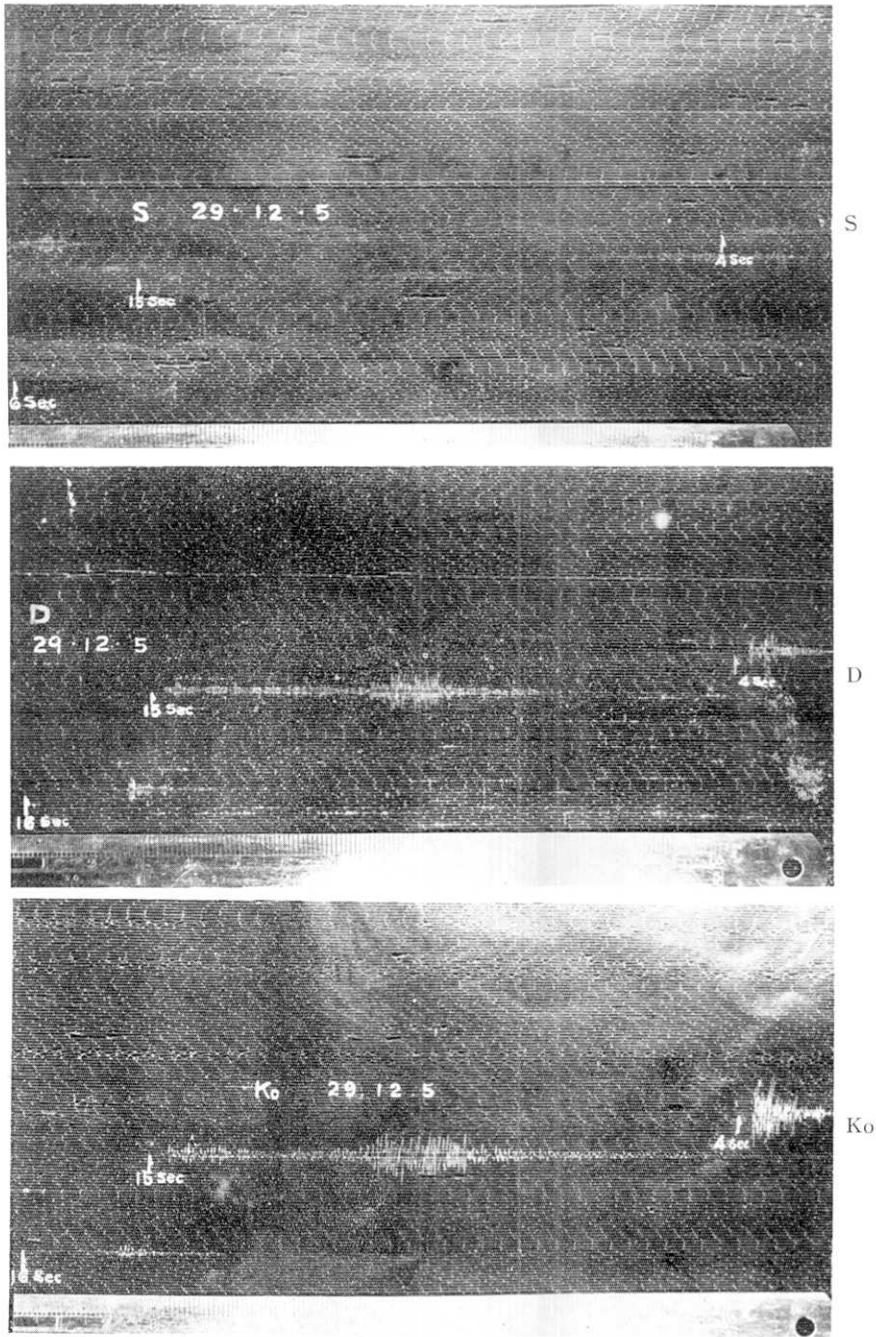
A: 受信空中線 (本郷震研屋上) Receiving antenna. (On the roof of the Institute, Hongo) 右は VHF (150 Mc) 通話用無線局空中線および時報受信用短波空中線の一部. Righthand canbe seen VHF slive antenna for communication and HF receiving anntenna for standard time signal.

B: 受信装置 Receiving Set.—H: 無線周波受信部 Radio freq. receiver, L: 低周波増巾部 Low freq. amplifier, P: 交流電源部 AC Power supply, G: 記録電流計 Recording galvanometer, D: 記録円筒 Recording drum.



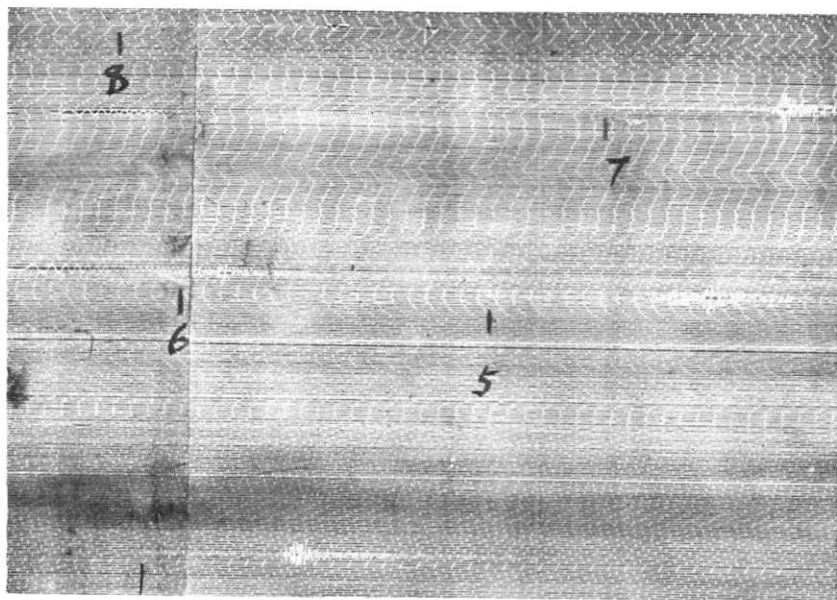
第 8 図 RTS-I の送信波形 (T) と受信波形 (H) との比較. Comparison of transmitted (T) and received (H) wave forms by RTS-I.

1955 年 6 月 7 日の小地震を筑波で RTS-I の低周波増巾部から別の電力増巾器を通じ記録したもの (T) と、本郷で受信記録したもの (H) であり、B の上部の振動は A の地震のつぎである。



第9図 和歌山地震群の琴浦 (Ko) 基地における集中記録の一例. An example of central registration of Wakayama earthquake swarms at Kotono-ura.

- S: 三田無人観測点の震動 (V) の LTS による記録 Seismogram of shocks at unattended station, Santa, recorded at Kotono-ura by LTS.
 D: 出島無人観測点の震動 (H) の RTS による記録 Seismogram of shocks at unattended station, Dezima recorded at Kotonoura, by RTS.
 Ko: 琴浦基地における震動 (V) Seismogram of shocks at the central station, Kotono-ura recorded at the same place. Sensitivity: S $150 \mu\text{V}/\text{mm}$, D $30 \mu\text{V}/\text{mm}$, Ko $10 \mu\text{V}/\text{mm}$ (effective voltage/double amplitude)



第 10 図 RTS-I により筑波山支所における小地震を約 75 km はなれた本郷地震研究所内にて記録観測せる一例. 1955 年 6 月 12~13 日. 感度: $30 \mu\text{V}$ eff/mm 全振巾.

An example of seismograms of small earthquakes at Tukuba recorded in the institute at Hongo, about 75 kms from Tukuba. Seismograms on June 12~13, 1955. Sensitivity $30 \mu\text{V}$ effective value/mm double amplitude.

latter being the frequency modulated within the range of ± 300 c/s by seismic frequencies. Antennae used are the three-elements directive YAGI-antennae with horizontal polarizations, which are constructed of several light metal sections so as to be portable.

Some details of the transmitter and receiver are given in Table I. Frequency and sensitivity characteristics of the set are given in the Figs. 5-7. Distortionless transmission by the instrument was verified by the results of experiment executed between Tukuba and Hongo, ca. 75 kms in distance. Transmitted and received seismograms are compared wave to wave in the reproduction of Fig. 8.

As an unattended substation in the swarm earthquakes observations in Wakayama region in 1954, RTS-I worked for a considerable time (from October to December) in excellent condition with over-all sensitivity of $30 \mu\text{V/mm}$ (Effective voltages to double amplitude). From June to August in 1954 it was used to record small earthquakes of Tukuba in the laboratory of the Institute at Hongo, during which observations the above-mentioned experiment on distortionless transmission was done. Seismograms obtained in Wakayama and Hongo are reproduced in Figs. 9 and 10 respectively. (Read June 28th, 1955.)