

航行用100KHz電波帯の伝播特性の解析と それらによる船位精度の改善—Ⅱ.

ロランC—Ⅱ

田口一夫*・松野保久*

Studies on the Propagational Characteristics of Radio
Waves of 100KHz band for Navigation and
Improvement of Ship's Position by Them—Ⅱ.

Loran C—Ⅱ.

Kazuo TAGUCHI and Yasuhisa MATSUNO

Abstract

These measurements were used by visual Loran C receivers. Following results were obtained.

1) The deviation of integer multiplies of $10\mu s$ was analysed further. The polarity of it was also determined by the application of JOHLER's theory(NBS circular 573).

2) The maximum coverage of this receiver was defined for about 700 nautical miles by U.S. Coast Guard, but the author suggested the coverage is to be extended. If the evaluation test were practiced enough, the W slave station would be situated in 1,384 n.miles, and the signals would be measured in the accurated values.

3) The winter data at Tanegashima showed the following results, i)the W slave signals were distributed at random, compared with these were constant in summer. ii) the phenomena of $10\mu s$ deviations of Y slave were concentrated on $20\mu s$ and $30\mu s$.

1. 序 論

先にわが国近傍のロランCシステム，SS3チェーンの伝播特性について筆者らは，女島，

Table 1. Measuring data

Receiving point	Position		Date of observation	No. of receivers set	No. of observations	No. of observers person
	Lat.	Long.				
Mejima	31°59'.4 N	128°21'.5 E	1967 Aug.23-Aug.26	3	120	8
Yamakawa	31°12'.1	130°37'.1	1967 Mar.26-Mar.28	1	85	2
Kadokura	30°20'.7	130°53'.7	1967 Aug.24-Aug.26	1	94	2
Kumano	30°27'.5	130°57'.6	1966 Dec. 23-Dec. 26	1	128	3

*鹿兒島大学水産学部航海学教室 (Laboratory of Navigation, Faculty of Fisheries, Kagoshima University) .

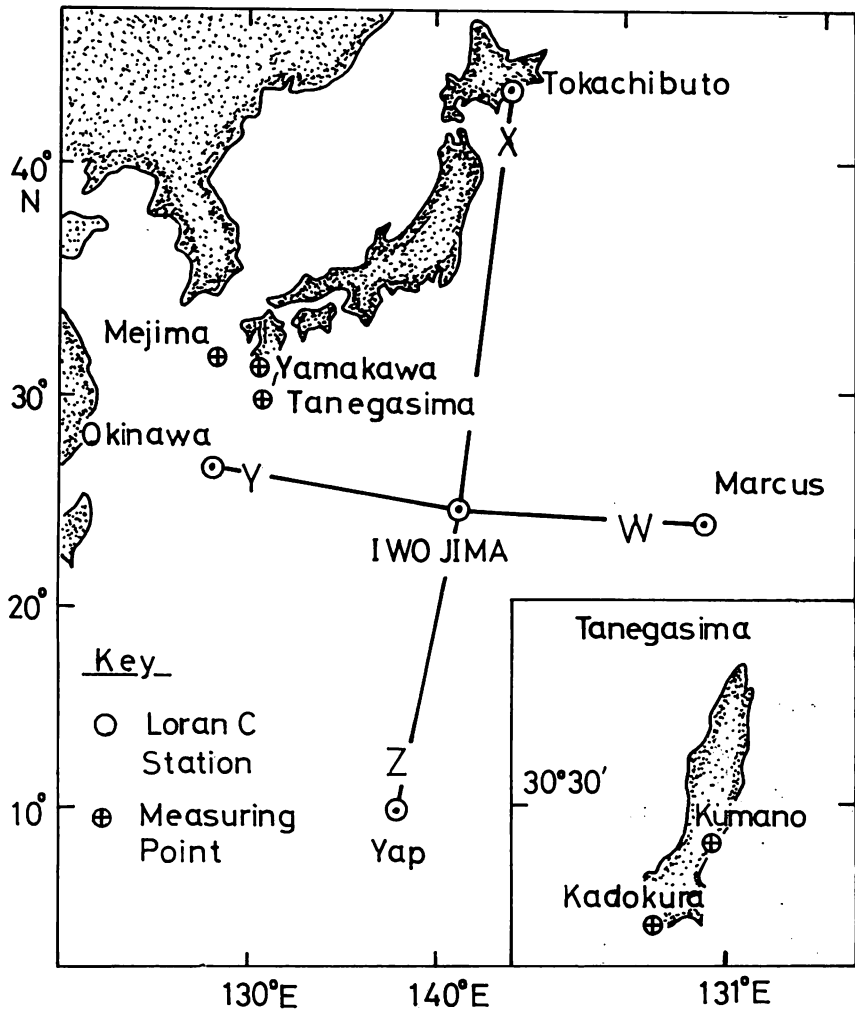


Fig. 1. Configuration of Loran C stations, SS3 Chain, and measuring points.

種子島の同時観測結果を用い解析を行った。一方、わが国においても広く使用されている可視式ロランC受信器は、その技術的制約条件の為に航海者にとっては、必ずしも満足すべきデータを得ることができないと考えられている。しかしながら、このことについて筆者らはその測定した1967年のデータから、かなりの精度をもつ船位を測得しようとした。¹⁾ 上述の既成概念は、この種受信器が充分なる評価試験を航海者の立場から行はれていないことに起因しているとし、適切な使用法と広範囲な評価試験の必要を感じた。

これと共にD領域における空間波伝播特性の不規則性、特に日出没時の変動は度々指摘されているが、^{2) 3)*} われわれもこれによる諸現象を多く経験した。従って、これらが可視式ロランC受信器の利用を制限しているともいえよう。

*多くの論文がみられるが、その中の代表的なものとしてこれらをあげた。

前測定成果の解析は本報一Ⅰ¹⁾に述べたが、さらに熊野測定（1966年12月）を加えての解析を行った。なおこれらの全測定値及びその整理したものを末尾にまとめた。又測定法などの関連事項及びその検討方式は前報のようである。

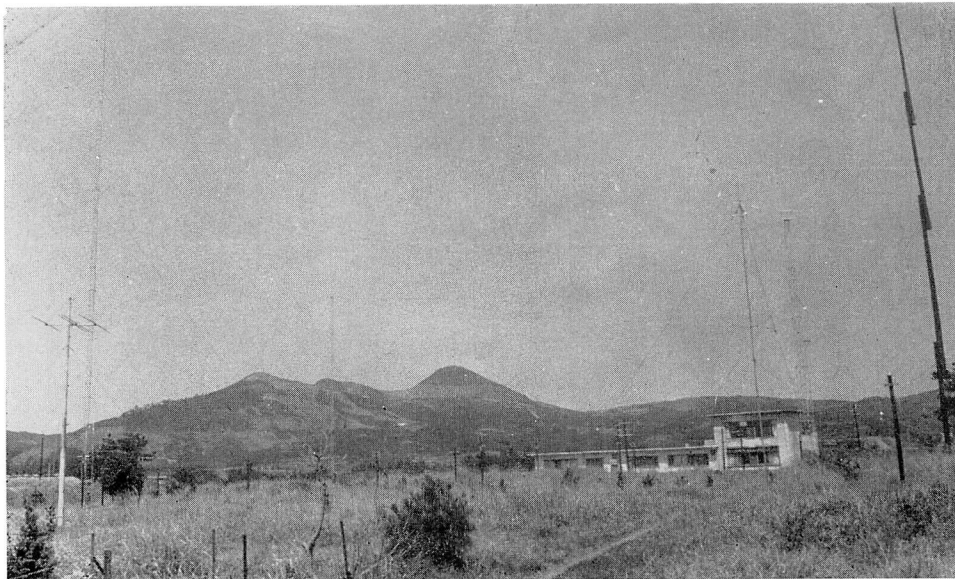


Fig. 2. Measuring point

a. Yamakawa. (Radio Research Laboratory,
Yamakawa Radio Wave Observatory)

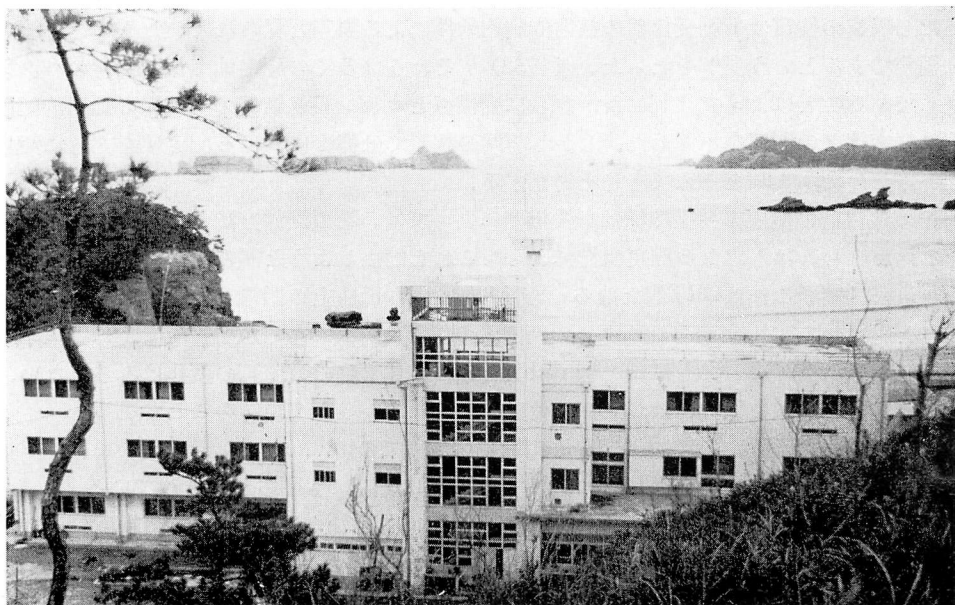


Fig. 2. b. Kumano, Tanegashima



Fig. 2. c. Mejima (Maenohama)

2. 解 析

2.1.1 10 μ s偏差の特性と発生原因

可視式ロランC受信器（以下本受信器とよぶ）において発生するこの現象については米沢（1966）⁴⁾によって報告され、使用に際し誰しも無意識に又は意識していることであった。ただし現象の性質は上記受信器の技術的制約条件による誤差と見られていたものを、筆者らは偏差であるという見解をとった。（1968）¹⁾それらは多くの測定地点毎に個有のパタンを呈していることによって立証した。さらに受信点とロランC送信局の主従局の地理的配置、特に経度線との関連を示唆した。しかし前回の解析では熊野における測定値を十分に活用しなかったので、これを加えて本題を考察する。

10 μ s整数倍の偏差の発生機構は本受信器にあっては、その測定方法からみて容易に推定できる。われわれは入念なる測定操作によってこれを消去しようと試みたが、さしたる効果はなかった。結局これはCRT像となるべき前段階、即ち伝播上の問題とも併せて考えるべきが妥当と思はれる。10 μ s = 1 サイクルの時間差の偏差はenvelope matching時に発生するが、例えば1 サイクル違ってもcycle matching時の値（1位の数値）の変化はみられない。このような両測定値の独立性は、ロランC受信器の回路からみて当然のことである。

しかしL Fが伝播する際には、2次位相定数を含めてのphase velocityとgroup velocityを考慮せねばならないことはJOHLER（1956）⁵⁾らによっても明らかにされている。

伝播による位相速度の変化が基準値の $\pm 5 \mu$ s以内に近づくとすれば、当然10 μ s偏差の発生は予測される。⁶⁾⁷⁾殊に本受信器にあっては、CRT像の第1サイクルの立上りは電界強度の変化を含め種々なる現象に影響されやすいので、第1サイクルであることの判定は困難となり偏差発生のお機会が多くなる。

10 μ s偏差の性状は単なる10 μ sのみのもものと、整数倍偏差の2種に大別できる。前者は上述の発生機構によるものとして考察できるが、後者は他の要因が作用したと考えざるをえない。

2.1.2 一般10 μ s偏差の発生原因の解析

主従局より共に地表波が到達していると推定できる女島のX, Y局測定値について考察する。主従局よりの信号のモード判定を前回¹⁾のまま使用すると、いずれの測定点においてもY従局は完全な地表波であるが、主局信号の一部は女島において空間波に移行する時がある。

Table 2. Distance table between receiving points and transmitting stations. (): dist. overland

	Mejima	Tanegashima	Yamakawa	Master
Master	808 n.m.	647n.m.	684 n.m.	— n.m.
Slave W	1,385	1,236	1,261	642
Slave X	973(212)	950(500)	932	1,082
Slave Y	323	267	305	720
Slave Z	1,452	1,312	1,383	935

これら測定点と主従局の距離関係はTable 2に示されているが、測点からするW, X, Z従局はいずれも主局より遠距離にあり、Y局のみこれと反対な関係になる。

一方100KHz電波地表波の位相速度と群速度との関係を述べた、既出 JOHLER の理論を適用すると、本測定でのY局信号は位相が進むことになる。又この理論を基にした retardation from free space propagation²⁾ によって女島、種子島における位相差を算出したのがTable 3である。但しいずれも海面上のみを伝播するものとして(X局を除く)導電率 $\sigma =$

Table 3. Calculated values of envelope to cycle introduced from secondary factor over seawater. (Sigma=5.0 mho/m)

Slave station	Mejima		Kadokura		Yamakawa	
	Dist. from slave st.	Value	Dist. from slave st.	Value	Dist. from slave st.	Value
W	1,384 n.m.	— 1.88	1,236	— 1.92	1,261	— 1.74
X*	973	—	950	—	932	—
Y	323	+ 1.56	267	+ 1.18	305	+ 1.21
Z	1,452	— 2.07	1,312	— 2.16	1,383	— 2.25

Deduced from ref. 6). *: overland

5 σ /mはすべて等しいとみなした。しかしこの海面、殊にY従局の経路における σ について筆者は先に異った見解を発表したが、²⁾ここではそれは一応無視したい。

Fig. 4に示すY局の地表波(GG)の測定値はいずれも \ominus 側にてているが、cycle matching値が(Table 3)偏差値をもつようになると、envelope matching値は1サイクル又は整数倍サイクルだけジャンプすると考えられる。又その極性もTable 3の位相遅れの極性からきまってくると思はれる。

2.1.3 整数倍10 μ sのジャンプ発生原因

発生機構は前項と同様と考えるが、ジャンプ範囲が2～数サイクルに達する。これはenvelopeのleading edgeの異常なる歪によることは明らかである。女島におけるY局測定値はほぼ12時頃より $\ominus 20\mu\text{s}$ の発生が見られ、Z局の相関よりこの原因は主局信号の歪が作用したと考える。主局からの伝播経路はほぼ東西であるが、その変化は時間と相関しているから、先ず太陽の影響を考慮すべきであろう。又100KHz長波帯において雑音の無い、いわゆる“日中”という現象は、その地の午前中のみといわれることから、⁷⁾ 雑音の多い夏季の午後になると、envelopeのS/Nが悪化することが予測できる。しかし今回はS/Nの測定を行っていない為にその立証はできない。

熊野測定における $10\mu\text{s}$ 偏差の回数は……… $10\mu\text{s}$ —8回、 $20\mu\text{s}$ —4回、 $30\mu\text{s}$ —61回、 $40\mu\text{s}$ —8回、全測定—123回………である。これらは条件の悪いと考えている女島に比較しても、かなり大きい偏差であるが、この値は冬季のものであるから同一に論ずることはできない。これについての考察は2・3に述べた。

$10\mu\text{s}$ 偏差の特性についての原因考察において、筆者らは先に経度線に対す東西関係に言及した。さらに上述の群速度と位相速度の差による時間差への影響も勘案すべき要素としたい。

2.2 可視式ロランC受信器による地表波使用範囲の検討—II

2.2.1 地表波の使用可能範囲

本測定における各局の受信電波モード判別の概要は既に発表した⁹⁾が、その後入手した資料とこれとの関連事項を検討する。米国東岸局で行った評価試験から本受信器の使用範囲は、送信局より約700哩といわれている。(1962)⁹⁾これは地表波と空間波のcontaminationから、両者間の識別が困難になることが理由である。

女島における前述のモード判別では、沖繩従局から常に地表波のみ受信出来るものとして判定の基準とした。この結果各従局から日中においては全局の地表波が到来したとみなすことができ、その最遠距離はZ局の1,452哩であった。一方contaminationの影響をみる為にFig. 4のGG線上への測定値分布状況を調べると、ランダムなものがあるとはいえかなり集中している。殊にW局、X局のそれは著しい。(但しY局は除く)

従ってかなり精度のよいGG値が測得できたことで、それは既述の700哩限界を大きく上廻った海域でも使用可能を意味する。GG値自体の時間的変動はあるが、評価試験が充分に行はれれば、安定した時間差をかなりうることができると推定される。これは既述のような本受信器の地表波受信範囲を大きく広げたことになって、従来からロランA船位の信頼性に欠ける、東支那海方面の船舶にとっては、より有用なる船位決定手段が増加したともいえよう。

2.2.2 地表波と空間波のcontamination

地表波と空間波の識別上、第一に考慮すべきは、それぞれの電界強度の比である。これを見出すのに、導電率を考慮した距離対電界強度カーブ¹⁰⁾によって電界強度を算出する。さらに発表された¹¹⁾送信出力を考慮した次式によって得た係数を乗じた、女島の電界強度をTable 4に示す

$$\text{求める地点の電界強度 (db)} = \left\{ 300\text{kwで計算した距離に対す電界強度 (db)} \right\} \times \sqrt{\frac{P}{300}} \quad P: \text{送信局の出力}$$

Table 4. Calculated ground wave field strength at Mejima. (over seawater, $\sigma = 5 \text{ mho/m}$). * : overland

Transmitting station		Field strengt for 300 KW introduced from curve ⁹⁾	Conversion factor	Calculated field strength
Name	¹⁴⁾ Power			
Master	4 mw	56.0 db	3.5	196 db
W	3	34.5	3.2	110
X	0.6	*	—	—
Y	0.6	75.0	1.4	115
Z	3	33 0	3.2	106

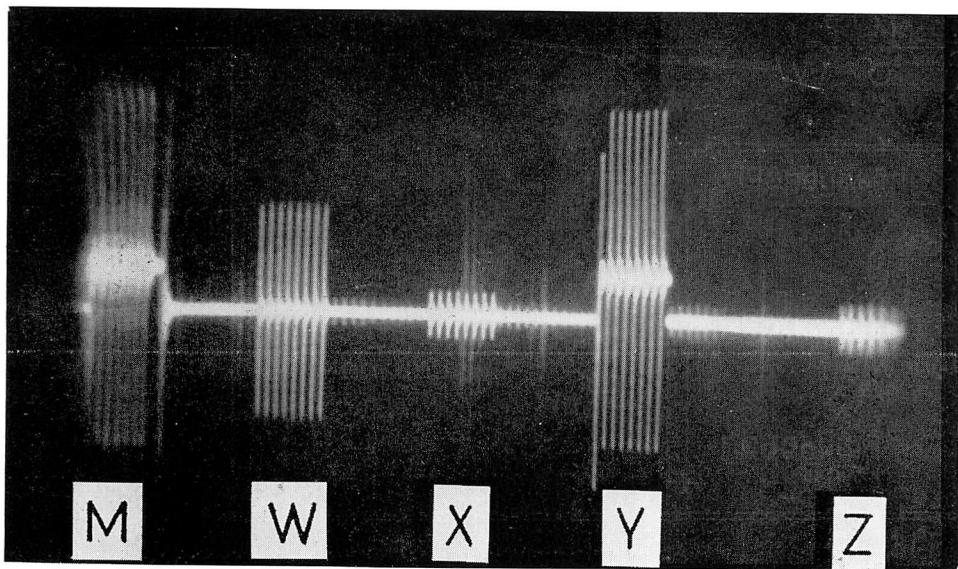


Fig. 3. Daytime oscillogram of the SS 3 Chain (North West Pacific), at Kagoshima. Dec. 1966.

一方、鹿児島におけるSS 3チェーンのCRT像 (Fig. 3) の振巾から、各局の電界強度を知ることが出来る。両者を比較するとかなりの違いが見受けられるが、ここでは写真判定の相対強度を用いて考察する。

鹿児島の電界強度の中、X局を除いてはそのままの比率で女島まで適用できる。(測定中のスケッチによっても立証できる) 振巾の比をとると主局信号とZ局信号は約1 : 8になることから、これらのenvelope matching操作では著しく従局の感度をあげねばならない。

一方、女島の1回反射遅延量の $38\mu\text{s}$ は昼間値 73km 高の反射層によったが、これが前報に記したように 60数km となった時には数 μs 少なくなり、sampling pointの $30\mu\text{s}$ との間隔は著しく近く、電界強度は雑音レベルよりかなり高いにもかかわらず、主従局の電界強度の比が大

大きく働くことになる。加えて envelope は雑音の影響を受けやすい。これらが累乗効果となって目視像は大きく歪むことが予想される。反対に計算値の強度を有すれば測定値はより安定すべきであると推定される。又 contamination と強度比の関連は今後の宿題としたい。

なお女島におけるこれらの測定値は、3台の受信器によったものであったが、それぞれから得た値が同時刻にGS、GG値及びランダム値を示している。この現象はZ局信号において著しく、ヤップ島の位置する雑音帯の影響と電界強度の減少に起因すると思はれる。それは種子島測定値の安定した分布からみても明らかである。このことは同一個所における測定でも、受信器の相違が受信モードの相違を生じたことを意味するものであり、使用者側にとっては重要な問題を提起されたといえる。

2.3 熊野測定 (Fig.5)

冬季におけるSS3チェーンの測定例である。受信環境としてはFig.2に示すように海に面し、Y局以外のすべての信号は海面より飛来する。Y局は種子島の陸上8哩を通過する。

測定期間中は終始、季節風WNWが連吹し、少雨が交代した典型的な冬の悪天候であった。なお測定中にロラン局の故障の為測定が中断された事が5度あり、最長40分に及んだ。これらの結果と考察は次のようである。

1) W局………全般的にランダムな分布をしている。W局からの空間波の反射層の日変化は認めるが、それは受信点の日出より約1~2時間遅れてD値に移行し、その間はフェージングの為に測定不能となる。

これを夏の種子島、女島、春の山川の値と比較する時、それらはランダム値が点在しているが、全般的にはほぼ一定値に集中していたから、上述の現象は理解しがたい。この理由を強いてあげるならば、北西太平洋上の電離層高さの不安定か、又は電子密度の変化といえよう。南北方向にあるZ局のGS値をきめる空間波反射高さにはさしたる変化はないと思われる。又屈折率の変化による原因も考えられるが、北大西洋の実測例⁹⁾からはこの場合には無視できる。従って次回の測定を待ちたい。

2) X局………X局信号は日本列島を約500哩縦断するが、これは伝播距離の半分以上にあたることから、陸上伝播の影響を十分に考慮せねばならない。

GS_D、GS_Nのいずれの値も算出空間波遅延値より約4~5 μ s少ないから、一定偏差とみなすことができる。なお昼夜共空間波が陸上 ($\sigma=0.005$) を通過する時には、遅延値よりさらに7 μ sの減少があったことが報告されている。⁷⁾従って上述の夏、冬の種子島における偏差値は、陸上通過の影響と考えるべきであるし、それによる伝播速度変化も予期されるところである。

W局と同じように空間波の値は26日の日出時から24時まで不安定となっている。これは太平洋上の東西方向、殊に硫黄島より東方の電離層の状態に起因するとみたい。なお観測期間における電波伝播関係データを参考にしたが、太陽黒点、SIDなどについて平常であった。

3) Y局………10 μ s整数倍偏差方向は他地点のそれと同様であるが、前項に述べたように20 μ s、30 μ sずれのパターンが連続している。このような大きい偏差は女島のそれにもみることができ、従来の山川、門倉では単なる10 μ s偏差のみであった。又U.S.Coast Guardの報告⁹⁾では0~20 μ s偏差現象についてはふれているが、30 μ s偏差には言及していないことから、これが本海域のみの現象であるかは今後の課題にしたい。

Y局のみは山川及び種子島でも日変化が見られないが、夏の測定でも同様である。しかし十分な地表波の電界強度が得られる地点でありながら、このように異常に大きい偏差が生じた事は注目すべきことといえよう。Fig. 4にみられる主、従局信号の電界強度はほぼ等しいので、envelope matching時に歪が作用したとも考えられない。日変化がなかったことは、40KHz電波の伝播¹¹⁾ (内之浦—川崎)においても記録されたが、いずれもまだ解明しがたい。

4) Z局……Z局からは24時間中空間波のみ受信しているが、それらの日変化の相関は著しい。これは伝播経路が南北であって、その経度差が6度しかないことによって、太陽天頂角と電離層変動が一致したといえよう。^{11), 12)} しかもGSD値において⊕側に5 μ sの偏差がみられるので、春の山川測定に用いた方法により電離層高さを概算すると78.5kmとなる。同じGSN値の⊕8 μ sは100kmとなる。

12月24日と25日の22時～04時の測定値パターンが極めて似ていることは、夜間における電離層高さを規則的変動を示すものとして注目したい。(Fig. 5矢印)これは北半球冬期の太陽位置の関係から電離層の電子密度は低い、殊に上述のように夜半にその傾向が著しく進展したことによると思われる。26日のそれはW、X局と同様現象であろう。

以上の結果冬期の種子島測定値は夏季のそれと測定パターンに相違がみられる。一面SS3局の故障信号の発生回数が毎月減少していることから、局そのものの不安定さが原因と考えられないこともないが、ランダムなパターンが発生していることは伝播が主因と考える。季節変化が少ないのがロランCシステムと述べられているが、⁹⁾ わが国近傍でも同様かは今後の研究課題である。

3. 結 論

これらの測定はすべて可視式ロランC受信器を用いたもので次のことを考察できた。

1) 10 μ s偏差及び10 μ s整数倍偏差についてさらに解析を行い、それらの特性についてはJOHLERらのいうphase velocityとgroup velocityからきまる遅延値を用いることによって一部の解析が可能である。

2) 可視式ロランC受信器の使用可能範囲を再検討し、米国東岸チェンの700哩より広いことを確認した。女島においても充分なる評価を行えば距離1,384n.m.のW局の信号でも使用可能である。

3) 種子島における冬期の測定値から i) W局信号は全面的にランダムである。ii) X局は全伝播距離の半分以上は日本本土を通過するので一定の偏差(4～5 μ s)が生ずることを認めた。iii) Y局の10 μ s偏差の発生回数は8, 20 μ s—41, 30 μ s—61, 40 μ s—8であった。主として20 μ sと30 μ sに集中し、前報のそれと著しく異っている。iv) Z局は日変化が明らかである。

4. 謝 辞

次の方々の協力があったことによって、本研究がなされたものであることを記し、心から感謝するものである。

受信器を貸して下された東京計器製造所、日本無線株式会社、光電製作所、古野電気株式会社、未刊行であるにも拘らずロランC表の抜すいをお送り頂いた U.S.Oceanographic Office 及び同G.N.WESTON氏、助言と場所の使用を許可された郵政省電波研究所越智文雄企画第一課長及び山川観測所渡辺所長、技術協力の東京計器—大橋係長、小林三郎、斉藤 茂、

岡崎浩一, 光電一大崎多喜生, 日本無線一宮崎碩文の諸氏。種々御便宜を下された鹿児島交通矢崎常務。練習船南星丸乗組員。本学学生合志 昭, 園田喬一両君。

文 献

- 1) 田口一夫・松野保久・合志 昭(1968): 航行用100KHz電波帯の伝播特性の解析とそれらによる船位精度の改善—I., ロランC—I, 日本航海学会誌, 39, 110—101.
- 2) LANDMARK, B(1966): D-region structure and formation, "Progress in scientific radio, 15th Gen. Assem. URSI", 144-150.
- 3) DOHERTY, R.H., HEFLEY, G. and LINFIELD, R.H.(1961): Timing potential of Loran C, *Proc. IRE*, 49 (11), 1659—1673.
- 4) 米沢弓雄(1967): 手動測定機によるロランC方式測定結果について, "航海", 25, 86—92.
- 5) JOHLER, J.R., KELLAR, W.J. and WALTERS, L.C. (1956): Phase of the low radiofrequency ground wave. NBS Circular 573.
- 6) U. S. COAST GUARD (1961): "An anlysis of the envelope-to-cycle discrepancy in the Loran-C system", U. S. Coast Guard Engineering report No.L-31.
- 7) DICKSON, W.T. (1959): "Engineering Evaluation of the Loran-C navigation system", (Final report), Jansky & Bailey, Inc. , U.S.A.
- 8) 田口一夫(1967): ロラン地表波測定値に変動を与える要因—V., 日本航海学会誌, 35, 15—21.
- 9) JANSKY & BAILEY INC. (1962): "The Loran-C system of navigation".
- 10) 国藤嘉之(1968): 私信,
- 11) SHARPIRO, L.D.(1965): Loran-C timing, *Frequency*, March/April, 1965
- 12) DOHERTY, R.H. (1964): Oblique incidence pulse measurements at 100kc/s, "Propagation of radio waves at frequencies below 300kc/s", 133-148, Pergamon Press, N.Y.
- 13) K.DEAVIES (1966) (槽谷 績外 8名訳): "電離層電波伝搬", コロナ社.
- 14) MATHISON, E.P. (1968): Private Communication.
- 15) U.S. OCENOGRAPHIC OFFICE (1967): Excerpts from "H.O.Pub.#221 (2007) , (2008) , (2009)" and SS 3-W computer print out (preliminary table format) .

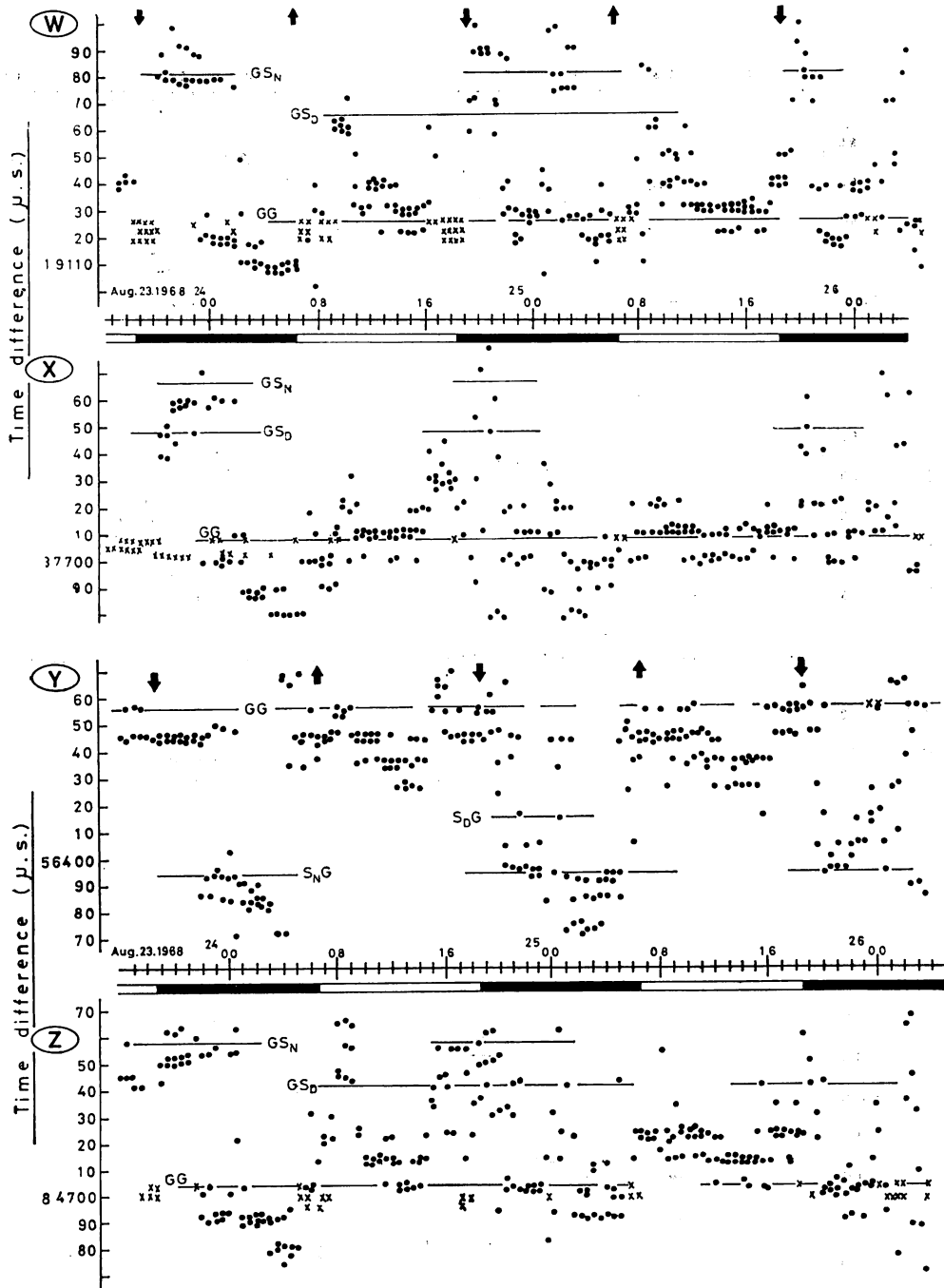


Fig. 4. Measured time difference versus JST, Aug. 23-26, 1967. (Mejima)

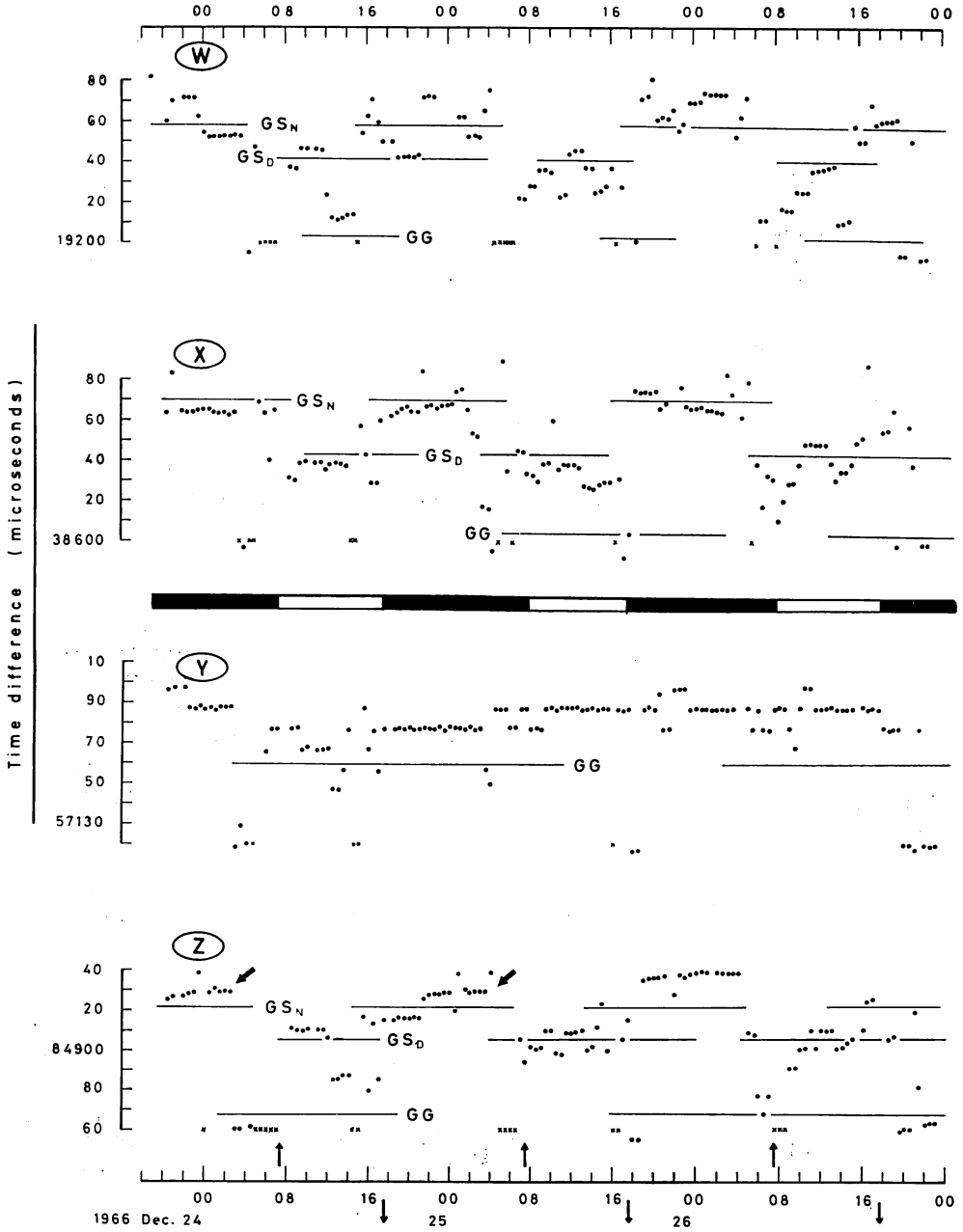


Fig.5. Measured time difference versus JST, Dec. 23-26, 1966. (Kumano)

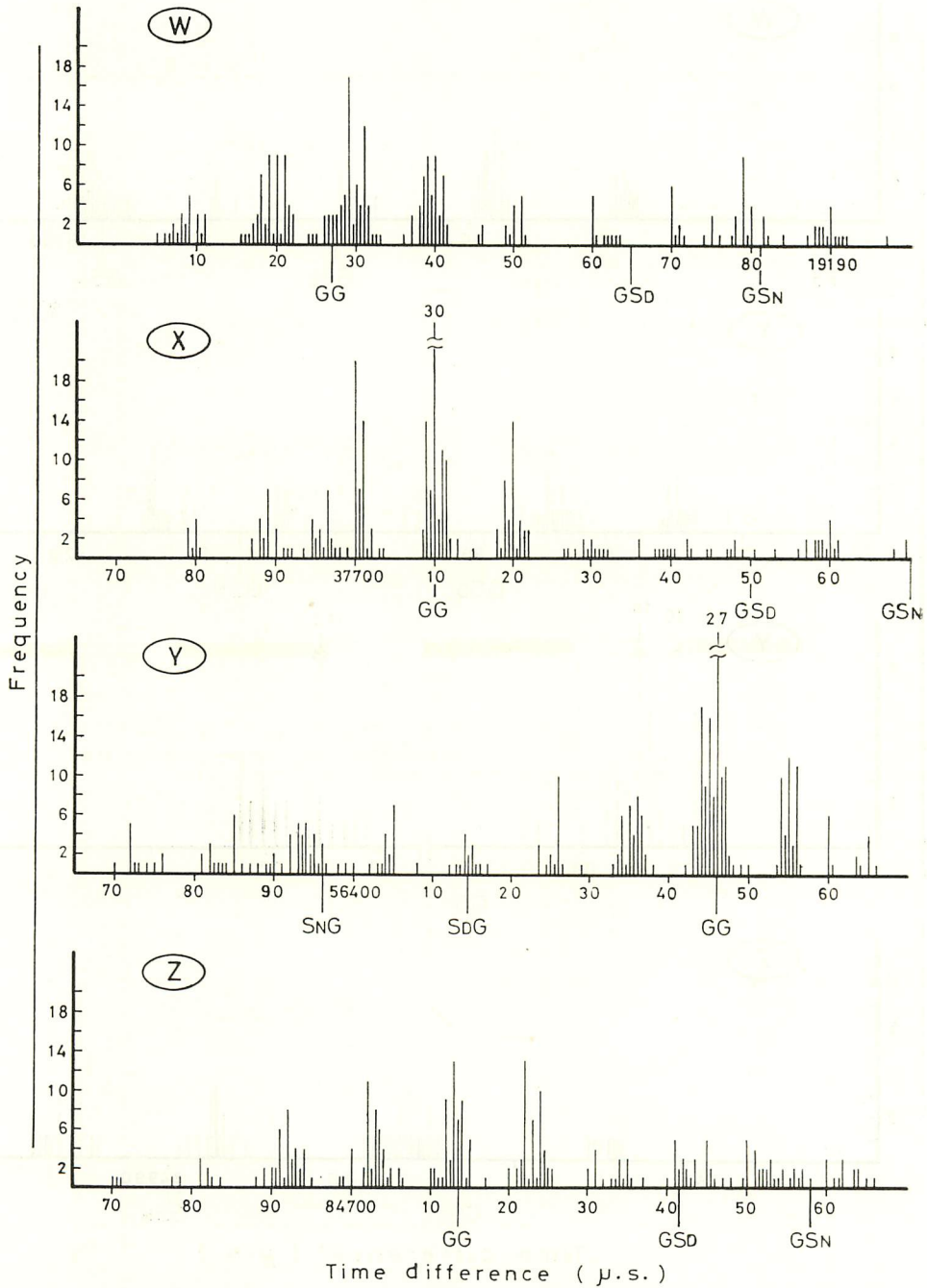


Fig. 6. Frequency of observed time difference, Aug. 23-26, 1967. (Mejima)

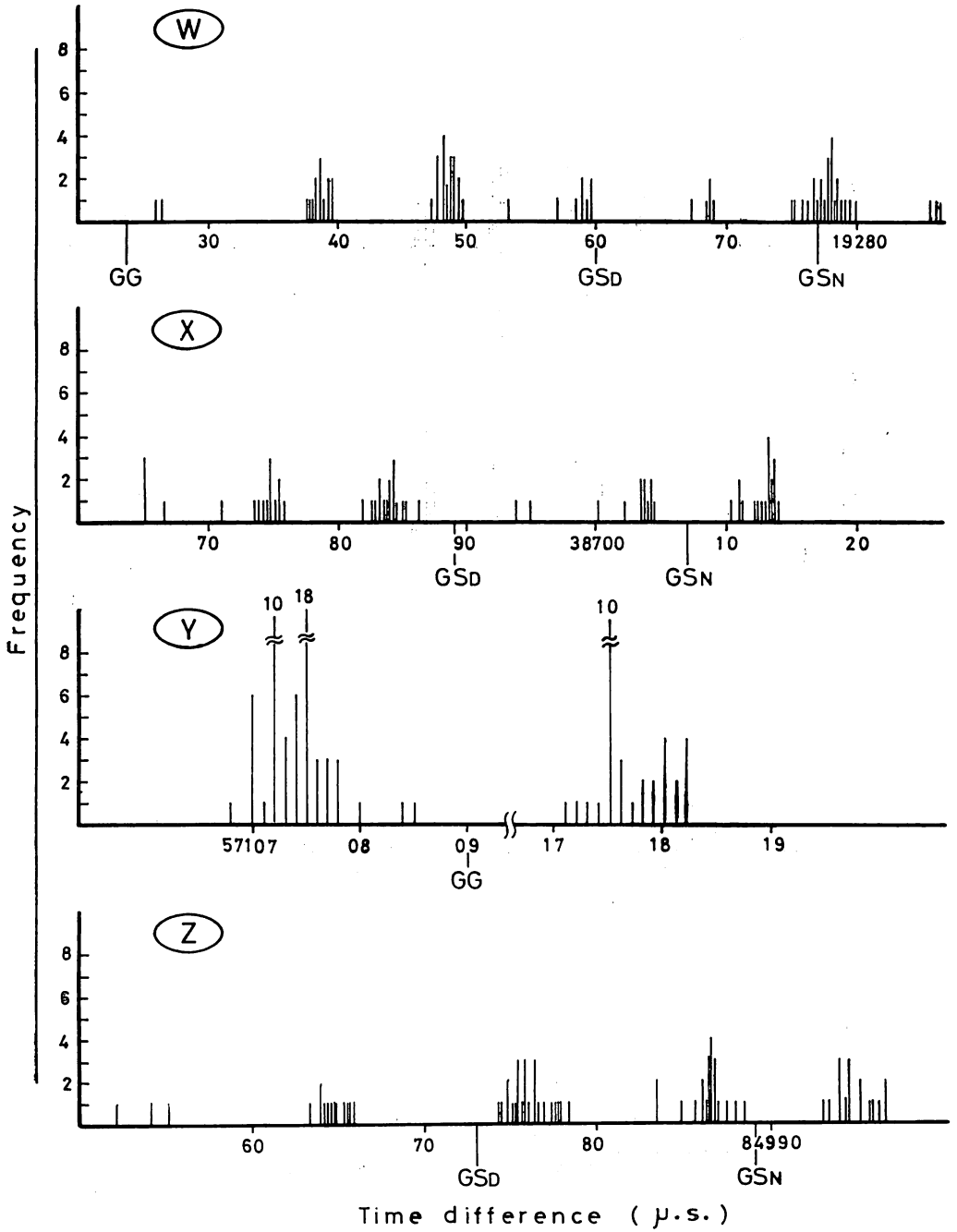


Fig.7. Frequency of observed time difference, Aug. 24-26, 1967. (Kadokura)

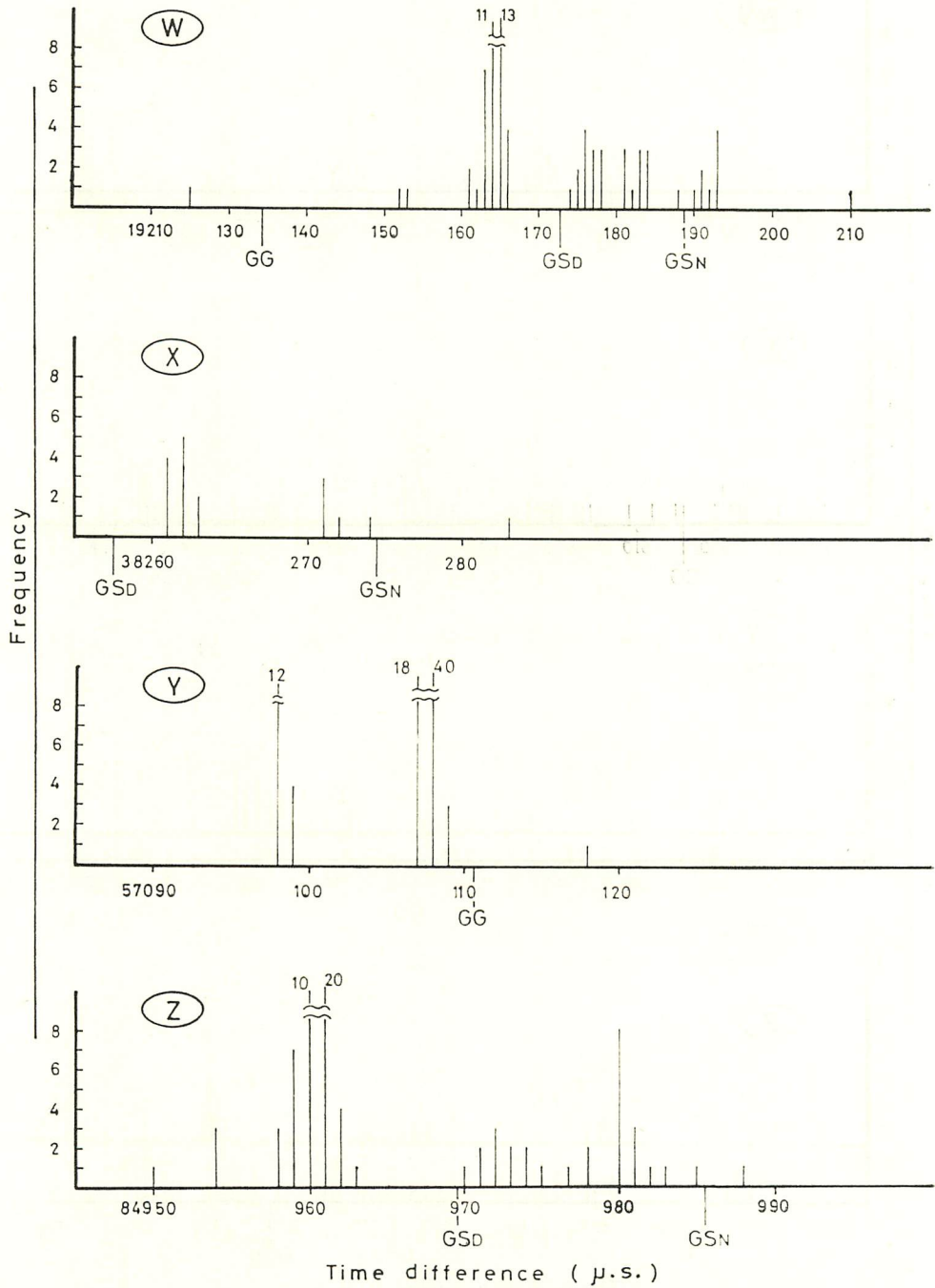


Fig. 8. Frequency of observed time difference, Mar. 26-28, 1967. (Yamakawa)

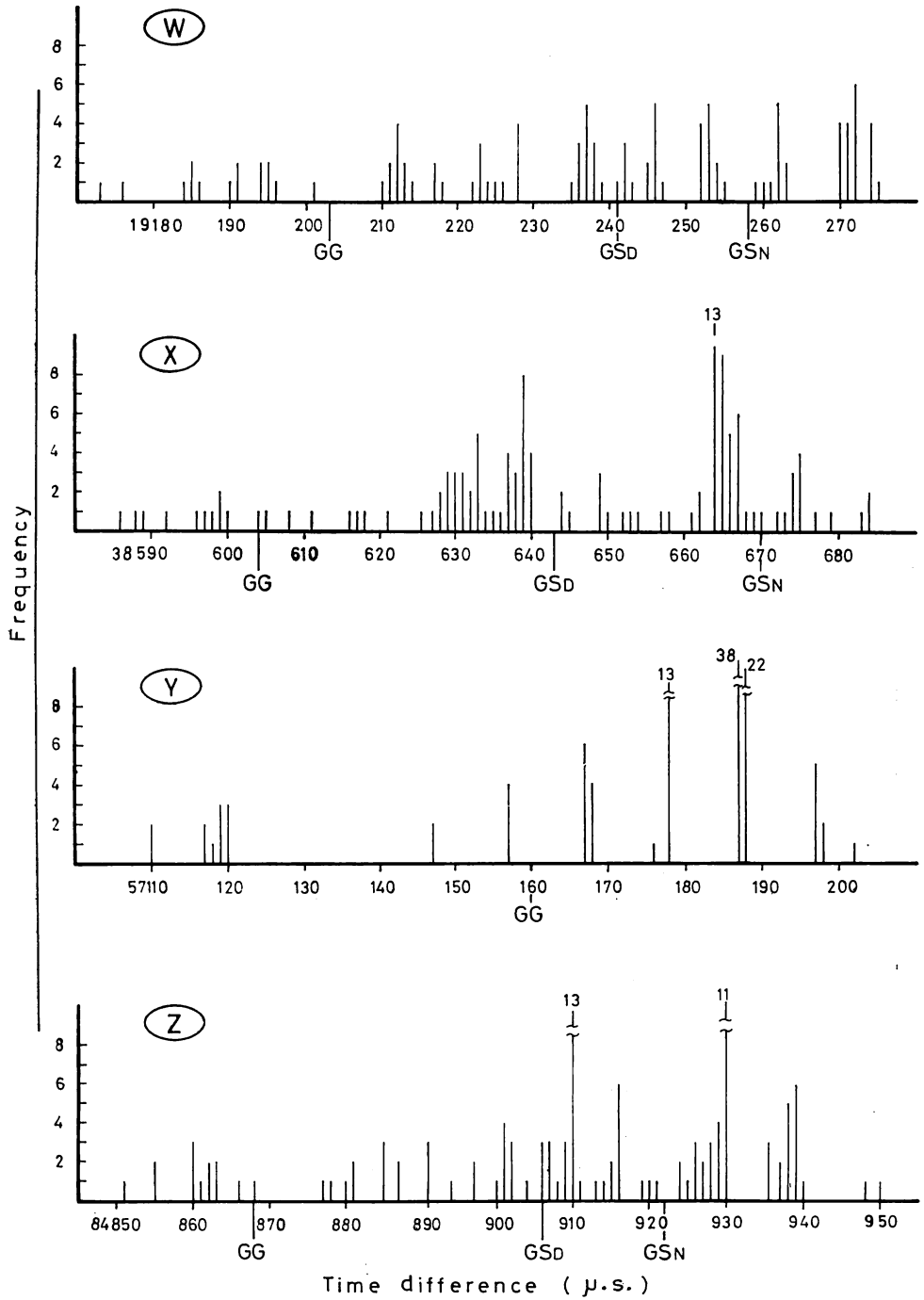


Fig. 9. Frequency of observed time difference, Dec. 23-26. (Kumano)