

ロラン—A地表波測定値の検討—* II

田 口 一 夫**

Studies on the Measured Data of Loran-A Ground Wave-II.

Kazuo TAGUCHI**

Abstract

Since 1962, measurements of the time differences of Loran ground waves propagating over the sea surface off Southern Kyūshū has been performed to investigate the characteristics of variations. In the previous papers, the author suggested that the velocity of Loran ground wave over the sea surface is faster than that of the standard used on a computed Loran table.

As is shown in Figure 3,4 and Table 3,4,5, though the distances over the land to the section I, IV and V nearly the same, there is the difference that amounted to about 3 microseconds between the errors of 2S6 and 2S7 in these sections.

But the errors of 2S7 in the three section were almost equal. Therefore, it is suggested that these differences are due to the probable variations in the conductivity of the path over the sea. The deviation may be enhanced with increasing distances of propagation. The conductivity may vary with some physical conditions of the path, which in this case would be influenced by the warm current "Kuroshio".

1. 序 論

既発表のロラン地表波測定値の検討—I においては従来精度が高く安定しているとみられるロラン地表波も陸上を越えて伝播する時には誤差を生ずると共に極端な場合は使用不能になることを解明した。田口等(1963)¹⁾ その後の研究では測定値解析の単純化を目的として主として海上のみを伝播するロラン地表波の測定を行なった。この結果海上伝播する地表波測定値は殆んど○値をとるが、これらの結果について検討した処；ロラン電波伝播速度は表算出のものよりも早いことに起因するとした。田口(1964)²⁾

以上の経緯から本論においては伝播経路が主として海上であるロラン地表波測定値変動の解析を行なった。

2. 測 定

2.1 測定方法

本論の測定海面並びに測定方法は Fig. 1, 2 及び Table 1 に示す如くである。

使用船のカタマラン艇はガラス繊維製であり、竹製のマストを接合して9mの高さを保ち

* 本論文のロランとはロランAを意味し、文中では従来の呼称のままで記述す。ロラン・システムにはAとCがあり、前者は現用のものである。後者は Cytac と呼んでいたが、最近広く使用されるようになりロランCと改称された。

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

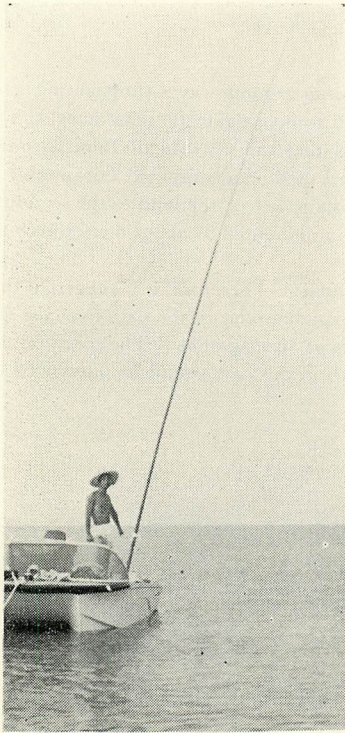


Fig. 1 The glass fiber boat used for observation trips and a bamboo antenna mast.

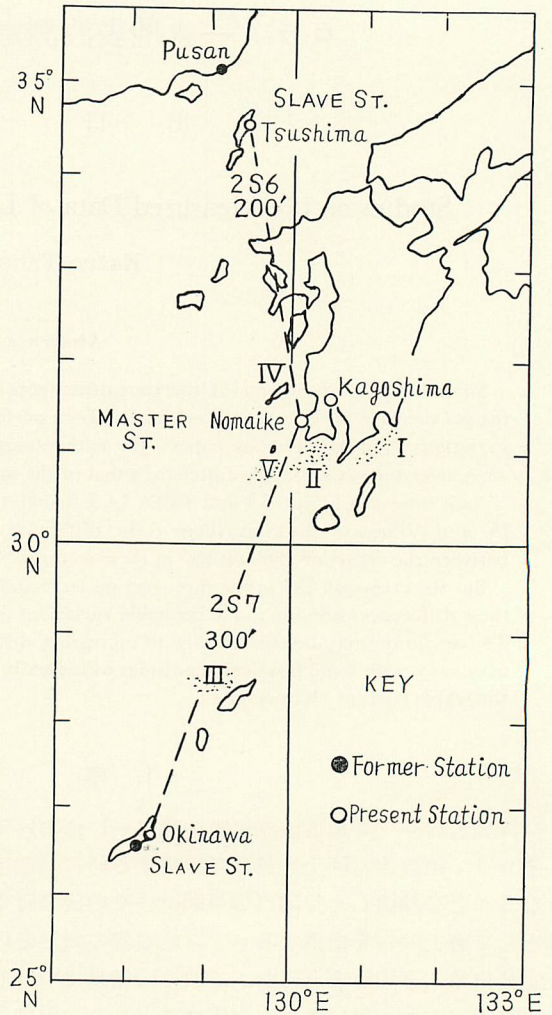


Fig. 2 Loran chains of the western waters of Kyūshū

Table 1. Methods of measurement

| No. of measurement | Date | Location | Method of Po. fix | Weather | Type of Loran receiver | Type of boat |
|--------------------|-----------|------------------|-------------------|---------|------------------------|---------------------------------|
| 64-1 | Aug. '64 | Koshiki Id. (IV) | Cross bearing | B | JNA-102 (JRC) | Glass fiber boat |
| 64-2 | Sept. '64 | Uji Id. (V) | Cross bearing | B | JNA-102 (JRC) | "Shiroyama" 18 tons wooden boat |

Table 2. Expected maximum time difference due to an error of 100 meters in ship's position. (in microsecond)

| Section No. | Loran rate | |
|-------------|------------|-----|
| | 2S6 | 2S7 |
| IV | 0.6 | 0.3 |
| V | 0.3 | 0.6 |

これにアンテナを展張した。以上の装備の為船体に誘起する電磁界の影響は殆んど無視しうる事が可能である。方位測定は携帯用ボート・コンパスを用いたがその測定誤差は5度をこえることはない。又距離測定は目測によったが、筆者自身の練度と数回の交叉方位による船位決定法からみて誤差は50m以内である。因みに本測定海面において100mの誤差を有するとした時のロラン位置の線の誤差はTable 2に示した。従って既述の方法によるカタマラン艇の船位の精度は本測定に対して充分なものであるといふことができる。なお蛇足であるが本艇の使用により理想的受信態勢ができ、小人数により経済的な測定が実施可能となった。〓しろやま〓にあつては通常の磁気コンパスによる交叉方位の船位決定を行なつたが充分な精度をえた。

測定方法及びにロラン測定値の誤差の検出は既報のものと同じである。前回までのロラン、レート2H3, 2H4は39.7.1より従局が対馬、比田勝及び沖繩、慶佐次に移転し2S6, 2S7と変つたが、伝播経路の性状を旧レートと比較してもさしたる変化はないと考えられる。

2.2 観測海面

本測定ではロラン電波伝播経路の単純化の為にその経路が殆んど海面でしかも船位の精度が容易に保てる測点が望ましく、極限すれば地上伝播の影響がない程度の小島といふか礁の如きものが点在しているような海面が理想的である。しかしこのような条件の充足は困難であるが、少くもShadow Sector¹⁾の生起することのない山岳の存在を考慮すべきである。更に障害となることの予期される地形の影響を避けるには移動しつつ測定点を増加することが必要である。

これらの観点と共に耐航海性は劣るが機動力に優れるカタマラン艇を使用する為にFig. 1の如く鹿児島県西方、東支那海にある甌列島と宇治群島の近傍海面を本論の測定点に選定した。

2.2.1 海域IV (甌列島附近)

全長約38Kmの島で全般に200~600m級の山が島を覆い岸まで迫っているが、著名目標多く船位決定が容易である。しかも孤立岩が処々に点在するので洋上におけると同じ条件をえやすい。2S6レートは略々基線上にある為極めて精度がよく主局からは近距離で海上伝播するから安定した信号がえられた。2S7レートも2S6レートと同一であった。

2.2.2 海域V (宇治群島附近)

全長約5Kmで地形は200m級の山が海岸に迫っている。その他は一般的に甌島と酷似している。2S6, 2S7両レートの往復路とも殆んど海上伝播をするので本測定には理想的な位置を

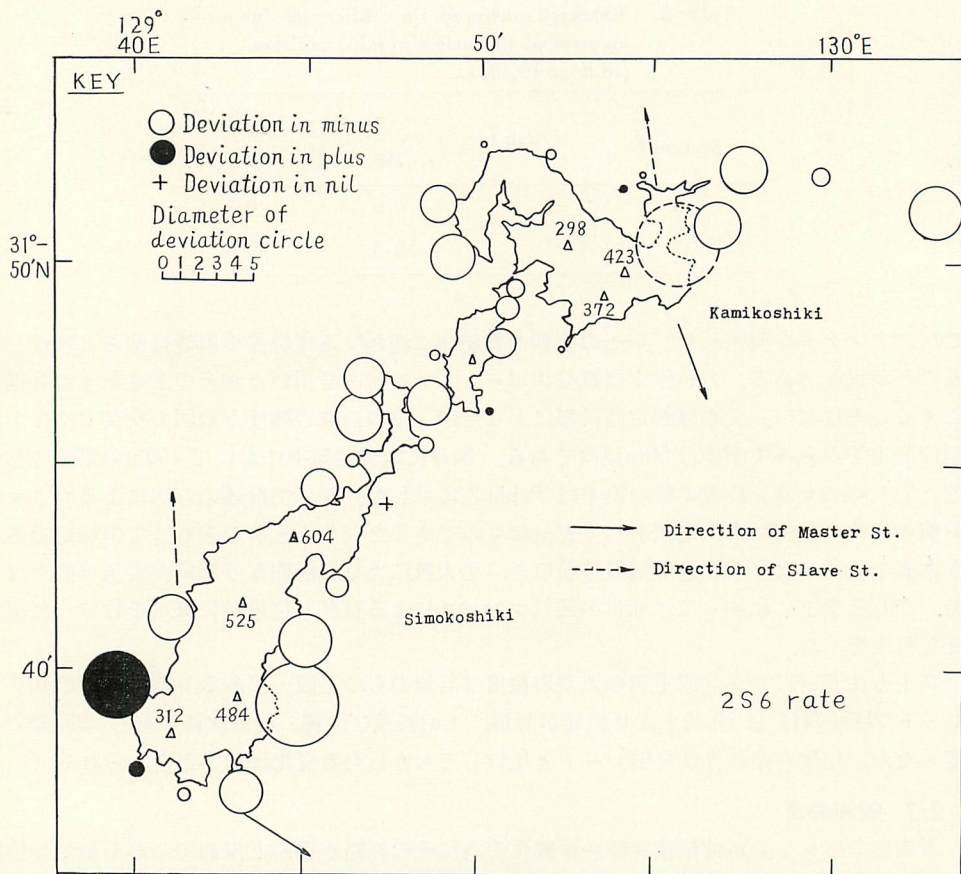


Fig. 3 a Loran observation points and its deviations from the standard in the adjacent waters Koshiki Islands.

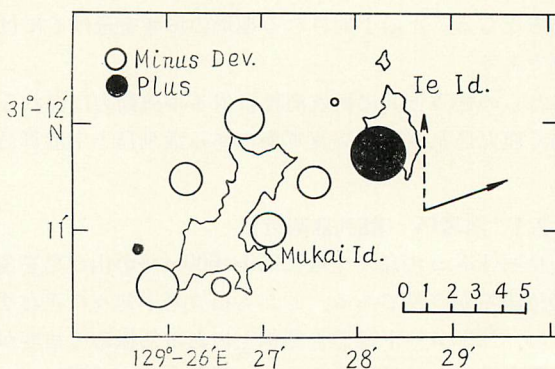


Fig. 4 a Loran observation points and its deviations from the standard in the adjacent waters of the Uji Islands.

a.) 2S6 rate

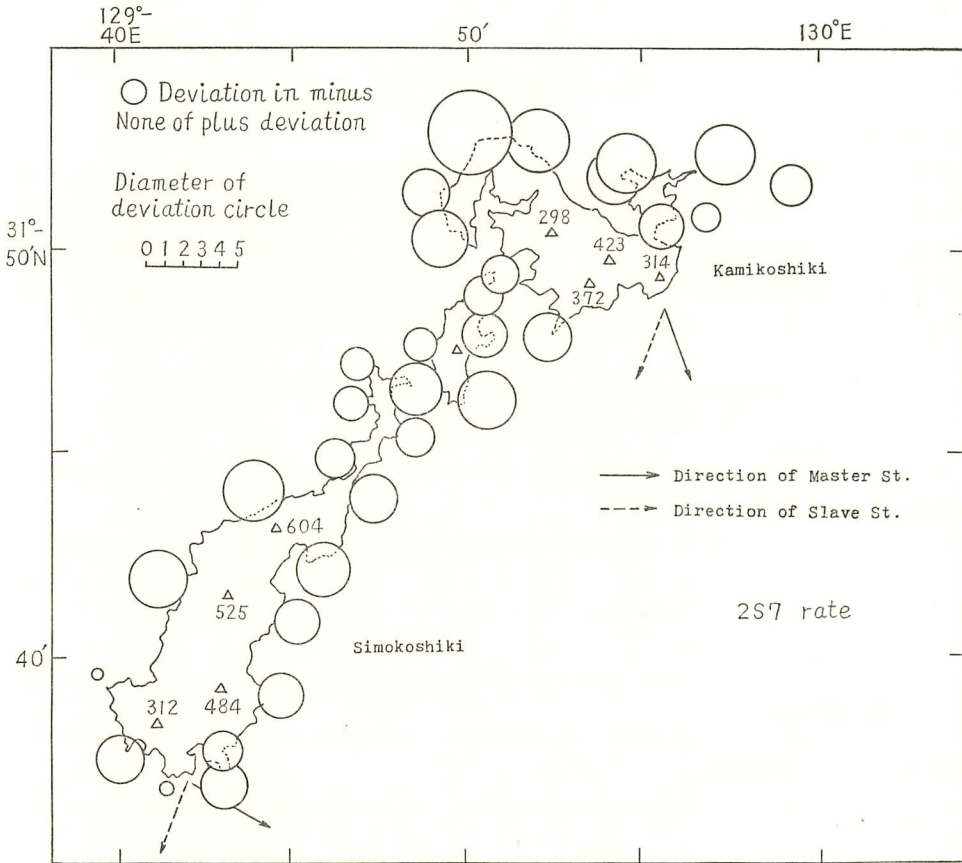


Fig. 3 b

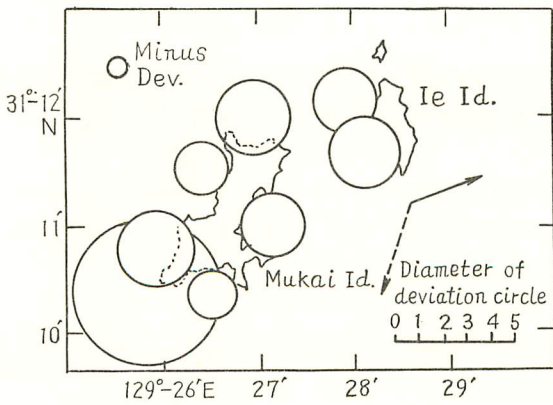


Fig. 4 b

b.) 2S7 rate
 —→ Direction of Master St.
 - - - → Direction of Slave St.

占めている。

3. 測定結果とその考察

3.1 測定結果

海域IV, Vにおける測定値の誤差量の変化と地形的要因との関係をみるために記入したのが Fig. 3a, b, 4a, b, である。同図における円はその直径を誤差量に相当するもので表わした。又島の両端において主従局の方向を示すことにより島の地形と伝播経路の相関関係を示ることができる。誤差の度数分布を表わしたのが Table 3 であり、その平均値及び海域 I, II, III のものも併せて記入したのが Table 4, 5 である。

Table 3. Frequency of the deviation of Loran ground wave time difference in the western waters off Kagoshima.

a) 2S6 rate

| Section No. | Deviation | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------------|-----------|----|----|----|---|---|---|---|
| IV | + | 3 | — | — | 1 | 2 | — | 1 |
| | — | 11 | 10 | 10 | 2 | 1 | — | 1 |
| V | + | — | 2 | — | 1 | 2 | — | — |
| | — | — | 3 | 6 | 3 | — | — | — |

b) 2S7 rate

| Section No. | Deviation | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|-------------|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|
| IV | — | 2 | 3 | 3 | 9 | 9 | 7 | 8 | — | — | 1 | — | — |
| V | — | — | 1 | 1 | 3 | 7 | 2 | — | — | — | — | — | 2 |

* e. g. heading 1 represents the value between 1.0 and 1.9 microsecond

3.2 伝播経路の考察

3.2.1 2S6 の伝播特性

主局から従局への信号は天草並びに長崎県下を通過し、陸上と海上の伝播距離はそれぞれ50哩と150哩になる。従って従来の結果からは陸上伝播による遅延が推定される。

海域 I (甕島)

従局からの信号は1部長崎県下を鋭角的に通過するからこれによる Coastal Refraction も予想されるが陸上伝播距離は主局、従局間に比し著しく少い。主局からの信号は海上のみを伝播し近距離にあるので信号強度は大である。

海域 V (宇治群島)

主局からの信号は海域 IV と同一である。従局からのものは殆んど海上伝播であってその距離は約150哩である。

3.2.2 2S7の伝播特性

海域 IV

主従局の信号はいずれも海上伝播のみである。ただし従局からのものの伝播距離は約 300

裡で、これに主従局の距離300裡を加えると600裡となり、黒潮の流路とその経路の大部分は平行しているが九州近傍においてはこれを横切っている。

海域 V

伝播状態については海域 IV と同様であるが誤差円の状態からみて地形的相関における差異はみられない。

3.3 2S6, 2S7 の一般的検討

3.3.1 2S6 レート

Table 3.4 より両海域における 2S6 の生起誤差には \oplus 値がある程度みられるが、 \ominus 値の平均は両者とも酷似して $1.8\mu\text{sec}$. 前後とみられる。この値は実測数からして鹿児島西方海上における代表値とすることができる。即ち i) 主 \rightarrow 従局の $\frac{1}{4}$ が陸上を伝播し従局よりは殆んど海上を通過する。ii) 2S7 で検討する現象に起因するとみられる。従って \oplus 値の生因はこれら 2つの原因により速度の遅延が全面的にあり、更には受信点の状態によると思われる。

海域 IV

全体としての \oplus 値頻度数は $\frac{7}{42}$ で17%。この中分布の集中している $\ominus 0\sim 4\mu\text{sec}$. をこの海域における代表値とみなすと \ominus 値は $1.6\mu\text{sec}$. となる。ここにおける \oplus 値の出現の中で値の大きいものは主従局からの信号が陸上を通るか又は Coastal Refraction を招来することが予想される点にある。

海域 V

海域 IV と同一現象を呈していてその \ominus 誤差の平均値も同様である。家島西方の \oplus 値については10時間の間隔を置いて3回観測したにも拘らず略々同一値がみられた。このような周囲との値が著しくはなれた現象は甕島北部においてもみられる。従来の実測例では至近距離に陸地があって、主従両局からの信号が共にこれを通過する場合に2つの電波速度が遅延したことがあったが、しかし両者とも陸上距離は極めて短く 2S7 ではみられないことから距離を乗じたことによる速度の遅れではなくて他の原因であろう。これについての結論は次回の観測に期したい。

地理的にみると甕島にあっては 250m の山を、宇治家島は 80m の山を越えてくるが、これらによる Shadow Sector としては高度の点からみて不十分で、むしろ海岸線誤差又は特異なる地質による導電率の変化によるとするのが妥当と思われる。

Table 4. 2H3 (2S6) Loran rate
Average deviation from standard value in these sections

| Section No. | Deviation | | | | | | | |
|-------------|-----------|----|---------|-----------|----|---------|-----------|---|
| | Plus | | | Minus | | | Nil | |
| | Frequency | % | Average | Frequency | % | Average | Frequency | % |
| I | 8/20 | 40 | 3.5 | 11/20 | 55 | 2.0 | 1/20 | 5 |
| IV | 7/42 | 17 | 1.8 | 33/42 | 83 | 1.0 | 0 | 0 |
| V | 5/17 | 30 | 0.6 | 12/17 | 70 | 1.8 | 0 | 0 |

Deviation in microsecond

Table 5. 2H4 (2S7) Loran rate
Average deviation from standard value in these sections

| Section No. | Deviation | | | | | | | |
|-------------|-----------|----|---------|-----------|-----|---------|-----------|----|
| | Plus | | | Minus | | | Nil | |
| | Frequency | % | Average | Frequency | % | Average | Frequency | % |
| I | 2/20 | 10 | 1.5 | 17/20 | 85 | 5.0 | 1/20 | 5 |
| II | 3/28 | 10 | 2.0 | 17/28 | 45 | 1.3 | 8/28 | 35 |
| III | 2/15 | 14 | 3.0 | 12/15 | 80 | 4.1 | 1/15 | 6 |
| IV | 0 | 0 | 0 | 42/42 | 100 | 4.4 | 0 | 0 |
| V | 0 | 0 | 0 | 17/17 | 100 | 4.7 | 0 | 0 |

Deviation in microsecond

3.3.2 2S7レート

海域 IV

誤差は予期の如く \ominus 値のみをとり海上伝播による性向を明らかに示し、且つその値は3~6 μsec . に集中している。しかも主従局の両信号がともに海上伝播のみの甌島南一東岸におけるものは殆んどが4~6 μsec . であって、全海域の平均値 5.0 μsec . と等しい。従って主局からは短距離であるからその影響を無視すると主局→従局→IV の600哩の海面においても電波伝播速度が加速されるものと思われる。

しかし北西岸において3 μsec . の連続して現われる処の地形は300~500m 高の山岳を有する下甌島を通過する伝播経路が最長を示す線上にあるのは興味深いことである。しかも測定点がこれらの山岳の崖線より5 哩内にあることから Shadow sector 及び山岳の屈折の影響があったのではないかと考えられるが、結論は次回の測定後にしたい。

海域 V

1 点において異常に大きい 11 μsec . をえたが、これについては10時間の間隔をおきチェックを行なったが測定値の正しいことが証明された。しかし原因については未だ不明である。本海域の誤差平均値は海域 IV と略々等しい。これによっても海上伝播の特性が十分に判明した。両海域は約30 哩離れているから理論的には時間差誤差に差を生起することが予想されるが、現段階では未だ分明でなく Table 5 にある 2S7 レートの IV と V の差 0.3 μsec . をもってこれに当るとするのは次回にしたい。

3.4 総合考察

本測定海域における 2S7 のように誤差が凡て \ominus 値をとる原因については既報で指摘した如くロラン表算出の電波伝播速度より早い速度であることを再確認した。因みにロランシステムの開設にあたり W.C. Anderson³⁾ は真空中の電波伝播速度を 299.776 km/sec とし、更に同氏が下層大気中の群遅延を考慮してきめた速度は 299.692 km/sec であった。その後我国でのロラン局開設にあたりロラン表作成に海上保安庁は $C=299.698\text{km}/^*$ を用い、現在では $C=299.708\text{km}/\text{sec}$ としている。又英国の Decca 社では $C=299.250\text{km}/^4)^{**}$ とし、

* U.S. Hydrographic Office も同一値を用う。

** ロランとの周波数差を考慮しなければならない。これは Red Lane の値である。

1964年北海道の Decca Navigator Chain の予備調査では $C=299.600$ km/sec を用いた。このように従来発表されていた大気中における電磁波伝播速度は必ずしも完全なものではない。

完全導体に近い場合の $c \cong \sqrt{\frac{2\omega}{\sigma\mu}}$ ⁵⁾ から導電率 σ と誘電率 μ により c の変化することは知られている。しかし海水の導電率⁵⁾ は $\sigma=(1\sim 5)\times 10^{-11}$ (c, m, u) で表わされるようになり幅をもっている。又本研究の経緯から海水の σ は温度にも相関があるように思われる。

2S7 レートにおいて主局から約55哩の陸上伝播距離による遅延が考えられる海域 I と海上伝播のみの海域 IV, V の誤差は概ね等しい処から、従って55哩に起因する遅延を現段階では考慮しなくてもよいようである。一方海域 IV, V における 2S6, 2S7 レートの誤差には約 $3 \mu\text{sec}$. の差があるが、その陸上伝播距離は海域 I のそれと略々等しい。従ってこの差の生起する原因は陸上伝播ではなく Coastal Refraction と海水の導電率によるものと考えられる。これと似た現象が Decca System においてみられることを Feyer も指摘している。しかし前者は電波の入射角度による訳であって、観測点毎に特異性が見出される筈であるが、今回の観測では全般的に平均した値がえられるのでその関係の特徴づけることは困難であった。後者の 2S6 (主局→従局→測定点、海上約300哩) と 2S7 (海上約600哩) レートの伝播経路はなる程、南北に連続する海面であるが、その特異点は微弱なる対馬暖流の縁辺部と強大な黒潮が卓越するという点にある。これらのことから両海面の導電率に著しい差があると思惟される⁶⁾。よって次回には 2S7 レート基線上の黒島、宝島、沖永良部島において同時観測を行ない詳細を解明する予定である。

4. 結 論

1) 既発表の報文において屢々指摘したロラン—A地表波の伝播速度が海上を通過する時には従来の基準値よりは速度が早められることは九州西岸沖合の孤島近傍海面における測定で概ね確定的なものと認めることができる。

2) 主、従局信号が海上のみ伝播する2S7レートをみると、主局、宇治群島間は約40' であり、主局—従局—宇治群島の約600' に比すとこれの影響を無視できる。従って単純には海上伝播600哩において時間差は $5.0 \mu\text{sec}$. 早くなった。その原因は導電体の変化に基づくと思われる。従ってロラン表製作の基準となる電磁波伝播速度については再検討を行なうべきである。因に本海域におけるこのロラン時間差の誤差は最大 ± 0.8 哩の船位誤差となる。

3) 2S6, 2S7 の誤差比較において平均値の差約 $3 \mu\text{sec}$. がある。これは海上伝播距離の比が 1 : 2 であることと共に、海水の導電率が両海域で異なっているのに起因するものとした。

終りに本測定について種々御教示を賜った郵政省電波研究所山川電波観測所長越智文雄氏、電波研究所錦織第一電波観測課長、同桜沢主任研究官、多大の協力を頂いた本学部教官肥後伸夫氏及び「しろうやま」の乗組員各位、更に資料の整理をされた本学学生松野保文、小森田弘の諸君に併せて謝意を表する。

* Observations on changes of Decometer Indications in the GERMAN Decca chain: B. W. Feyer (年号不明)

文 献

- 1) 田口一夫・園田収(1963)：ロラン地表波測定値の検討—I, 鹿大水産紀要, 12(1), 46~50.
- 2) 田口一夫(1964)：ロラン地表波実測値に変動を与える要因—I, 地理的要因(I)日本航海学会誌, 32, 37—42.
- 3) PIERCE, J. A., A. A. McKENZIE and R.H. WOODWARD (1948): "Loran". (MIT Radiation Lab. Series Vol.4) 121 (McGraw-Hill, N. Y., U. S. A.)
- 4) 海上保安庁灯台部電波標識課(1960): デッカ技術資料(2), 3.
- 5) 宇田新太郎(1964): "無線工学—I" 新版 259 (丸善, 東京)
- 6) DICKSON, W. T. (1959): "Engineering Evaluation of the LORAN-C Navigation System" Final Report. 1. 28 (Jansky & Bailey, INC., U. S. A.)