

和歌山県沿岸の津波とその予報に

関する技術的研究*

橋本義愛・三好 力**

550.34

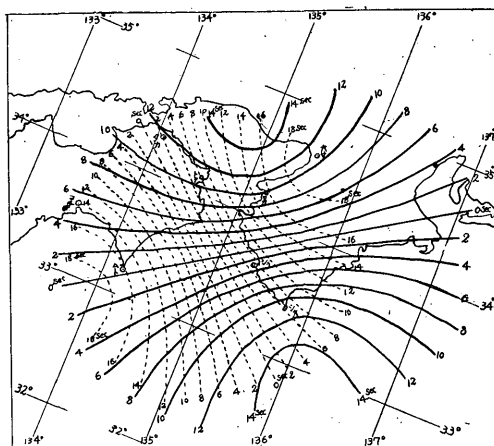
§ 1. は し が き

和歌山県は過去においてしばしば津波に襲われ、その都度甚大な被害を受けてきた。現在気象庁の津波予報業務は判定中枢で各地の資料を集めて地震および津波の有無とその程度を決めるようになっており、地震が発生してから津波の襲来するまでに30分以上の時間がかかるものとして計画されている。しかし後に述べる如く和歌山県、特に紀南地方では過去の実例によれば津波到達時間が早過ぎて中枢の行う津波予報は間に合いかねることが予想される。このような悪条件にさらされている地域を担当している現地官署としては、緊急な場合に自官署の資料のみで津波を判定し、適切な情報をすみやかに発表する必要がある。以上の理由から今回は主として近地地震を対象として和歌山1地点の観測資料から地震規模の判定がどの程度可能かについて調査し、その他2、3の検討結果を用いて津波予報および防災的な情報を発表し得るかについて技術的な若干の考察を試みたのでその結果を報告する。

§ 2. 和歌山の資料のみによる Magnitude の推定

近地地震の発生に際して自官署の地震計の最大振幅と $P\sim S$ 時間（震央距離）から緊急に大略の Magnitude を推定することは津波常襲地の沿岸官署では特に重要である。和歌山県のように津波の襲来が早過ぎ中枢よりの警報伝達が遅れることが予想されるところではなおさらである。したがって地震が発生すれば、まず自官署の P 波初動、 $P\sim S$ 時間、記象型（深い浅い）の判定に基づいて震源を推定し、海底地震と判断される地震について緊急におよその Magnitude を推定し津波の有無とその規模を判定しなければならない。1点観測資料のみで震源を決めることはかなり無理であるが P 波初動、記象型からおよその震央の方向を推定し、 $P\sim S$ 時間から

震源を決めなければならない。この $P\sim S$ 時間は第15～17図の逆伝搬図に示してある。このようにして概略の震源を決めるのであるがさらに他の隣接官署の資料が入手されれば、発震時差線図を用いると便利である。これは和達・益田の走時（ H : 40 km）を使い200万分の1スケールにあわせて作ったもので、第1図にその1例を示す。Magnitude を決める方法はいろいろあるが、



第1図 発震時差線図(和歌山——潮岬) 数字: 秒
和歌山.....室戸岬

ここでは1点の観測資料のみによる方法について述べる。まづ基準に用いる Magnitude (M とする) を決めなければならない。これに用いる資料は、昭和31年以前の地震については地震月報別冊(日本附近の主要地震の表)に掲載の $M4$ 以上のものと、昭和32年以後の地震については地震月報(おもな地震の表)に掲載の $M5$ 以上のものを採用した。これらに掲載されている Magnitude を決める地震の基準は深さ60 km 未満の近地地震で最大振幅の周期5秒以下のものうち振幅係数が1に近い官署のものをとり、用いた式は

$$M = 1.73 \log d + \log \sqrt{A^2_N + A^2_E} - 0.83$$

で d が100～500 km の5官署の平均値をもって M としてある。次に昭和28年以降35年までの8年間の和歌山の資料から周期5秒以下、 d は40～650 km の範囲の

* Preliminary Investigation on Tsunami Warning for the Coast of Wakayama Prefecture (Received Feb. 11, 1963)

** 和歌山地方気象台

第 1 表 昭和 28~35 年のおもな地震

| No. | 発 現 時 | | 震 央 地 名 | 震 度 | 震 源 | | | | | | |
|-----|-------|------------|---------|-----|--------------------------------|---------------------------------|--------|-------------|-----|------|---------|
| | 月 | 日 時 分 | | | φ | λ | h km | Δ km | M | M' | $M-M'$ |
| | 28年 | | | | | | | | | | |
| 1 | 1. | 23. 06. 55 | 紀伊水道 | 1 | 33.7 | 135.0 | 40 | 60 | 4.4 | 4.4 | ± 0 |
| 2 | 5. | 17. 06. 20 | 島根県中部 | 0 | 35.1 | 132.6 | 40ca | 254 | 4.7 | 4.8 | -0.1 |
| 3 | 5. | 30. 23. 37 | 瀬戸内海中部 | 0 | 34.2 | 133.2 | 20 | 214 | 5.5 | 5.1 | +0.4 |
| 4 | 5. | 31. 13. 08 | 福井県沖 | 0 | 36.7 | 136.0 | 20ca | 282 | 5.4 | 5.3 | +0.1 |
| 5 | 7. | 20. 06. 56 | 三重県中部 | 0 | 34.4 | 136.1 | 0~10 | 88 | 4.3 | 3.7 | +0.6 |
| 6 | 7. | 30. 17. 24 | 瀬戸内海西部 | 0 | 34.1 | 132.8 | 10~20 | 218 | 5.2 | 5.5 | -0.3 |
| 7 | 7. | 31. 04. 24 | 紀伊半島沖 | 2 | 33.2 | 134.8 | 20ca | 120 | 5.5 | 5.6 | -0.1 |
| 8 | 9. | 8. 01. 07 | 紀伊水道 | 2 | 33.5 | 135.2 | 20~30 | 82 | 4.6 | 4.9 | -0.3 |
| 9 | 9. | 18. 18. 32 | 和歌山県中部 | 2 | 33.8 | 135.6 | 10ca | 60 | 4.9 | 5.2 | -0.3 |
| 10 | 10. | 8. 08. 53 | 紀伊水道 | 2 | 33.8 | 135.1 | 20ca | 45 | 4.5 | 4.4 | +0.1 |
| 11 | 10. | 28. 11. 08 | 鹿児島県西方沖 | 0 | 31.8 | 129.3 | 20 | 610 | 5.7 | 5.6 | +0.1 |
| 12 | 11. | 7. 23. 39 | 三重県中部 | 0 | 34.7 | 136.4 | 10ca | 120 | 4.9 | 5.2 | -0.3 |
| 13 | 11. | 24. 14. 53 | 京都府中部 | 0 | 35.2 | 135.8 | 20ca | 124 | 4.6 | 4.9 | -0.3 |
| 14 | 11. | 26. 02. 48 | 千葉県沖 | 0 | 34.3 | 141.8 | 40~60 | 610 | 7.5 | 7.1 | +0.4 |
| 15 | 11. | 26. 09. 03 | 千葉県沖 | 0 | 34.4 | 141.8 | 40~50 | 610 | 6.6 | 6.1 | +0.5 |
| 16 | 11. | 26. 17. 14 | 千葉県沖 | 0 | 34.3 | 141.6 | 30~40 | 590 | 6.6 | 6.6 | ± 0 |
| | 29年 | | | | | | | | | | |
| 17 | 3. | 22. 06. 54 | 和歌山県北部 | 4 | 34.2 | 135.2 | 10 | 9 | 4.7 | 4.7 | ± 0 |
| 18 | 4. | 14. 00. 25 | 紀伊半島沖 | 1 | 32.9 | 134.4 | 20ca | 165 | 6.0 | 5.8 | +0.2 |
| 19 | 4. | 20. 13. 13 | 京都府中部 | 0 | 35.2 | 135.5 | 10ca | 112 | 4.3 | 4.2 | +0.1 |
| 20 | 4. | 21. 17. 47 | 奈良県中部 | 1 | 34.3 | 135.9 | 60ca | 67 | 4.6 | 4.8 | -0.2 |
| 21 | 5. | 8. 17. 26 | 島根県中部 | 0 | 35.05 | 132.8 | 10ca | 234 | 4.9 | 4.6 | +0.3 |
| 22 | 5. | 27. 15. 50 | 宮崎県沖 | 0 | 31.7 | 131.7 | 20ca | 434 | 5.4 | 4.8 | +0.6 |
| 23 | 6. | 24. 16. 30 | 福井県南部 | 0 | 35.4 | 135.75 | 10~20 | 142 | 4.4 | 4.9 | -0.5 |
| 24 | 10. | 1. 01. 42 | 紀伊半島沖 | 1 | 33.3 | 134.7 | 20ca | 120 | 4.6 | 4.9 | -0.3 |
| 25 | 10. | 5. 13. 18 | 八丈島近海 | 0 | 33.7 | 141.3 | 50ca | 570 | 5.5 | 5.2 | +0.3 |
| 26 | 11. | 15. 20. 30 | 八丈島近海 | 0 | 33 ³ / ₄ | 141 ¹ / ₄ | 40ca | 566 | 5.1 | 5.0 | +0.1 |
| 27 | 12. | 21. 19. 31 | 京都府東部 | 0 | 35.1 | 135.7 | 20ca | 108 | 4.3 | 4.1 | +0.2 |
| | 30年 | | | | | | | | | | |
| 28 | 2. | 12. 10. 47 | 愛知県中部 | 0 | 34.9 | 136.8 | 10ca | 164 | 4.6 | 4.9 | -0.3 |
| 29 | 2. | 12. 14. 19 | 岐阜県南部 | 0 | 35.3 | 137.1 | 30 | 210 | 4.6 | 4.7 | -0.1 |
| 30 | 2. | 13. 02. 27 | 和歌山県中部 | 2 | 33.9 | 135.2 | 10ca | 36 | 4.3 | 4.0 | +0.3 |
| 31 | 4. | 10. 11. 09 | 徳島県西部 | 0 | 34.1 | 134.2 | 10ca | 98 | 4.6 | 4.6 | ± 0 |
| 32 | 4. | 23. 12. 50 | 瀬戸内海中部 | 0 | 34.4 | 133.4 | 10ca | 186 | 4.4 | 4.6 | -0.2 |
| 33 | 4. | 27. 12. 54 | 三重県東部 | 0 | 34.5 | 136.7 | 30ca | 144 | 4.3 | 4.1 | +0.2 |
| 34 | 5. | 18. 13. 39 | 徳島県南部 | 1 | 33.8 | 134.3 | 0~20 | 94 | 4.9 | 4.8 | +0.1 |
| 35 | 6. | 23. 22. 41 | 鳥取県西部 | 0 | 35.2 | 133.4 | 20ca | 195 | 5.1 | 4.6 | +0.5 |
| 36 | 7. | 27. 10. 20 | 徳島県南部 | 3 | 33.75 | 134.3 | 0~10 | 97 | 6.0 | 6.0 | ± 0 |
| 37 | 7. | 27. 14. 21 | 同上 | 0 | 33 ³ / ₄ | 134 ¹ / ₄ | 0~20 | 100 | 4.5 | 4.6 | -0.1 |
| 38 | 7. | 29. 03. 17 | 同上 | 0 | 33.8 | 134.3 | 0~20 | 94 | 4.5 | 4.7 | -0.2 |
| 39 | 7. | 30. 07. 48 | 同上 | 2 | 33.8 | 134.4 | 0~20 | 85 | 5.3 | 5.1 | +0.2 |
| 40 | 8. | 1. 14. 44 | 同上 | 0 | 33.7 | 134.4 | 0~10 | 90 | 4.8 | 4.5 | +0.3 |
| 41 | 8. | 14. 02. 47 | 同上 | 1 | 33.6 | 134.4 | 0~10 | 100 | 4.7 | 4.9 | -0.2 |
| 42 | 9. | 12. 21. 31 | 瀬戸内海中部 | 0 | 34.2 | 133.6 | 0~20 | 144 | 4.3 | 4.0 | +0.3 |
| 43 | 9. | 19. 00. 19 | 徳島県南部 | 0 | 33.7 | 134.25 | 0~20 | 103 | 4.4 | 4.4 | ± 0 |
| 44 | 10. | 2. 04. 17 | 高知県東部 | 0 | 33.7 | 133.9 | 20ca | 132 | 4.4 | 4.3 | +0.1 |
| 45 | 10. | 13. 20. 30 | 鳥取県中部 | 0 | 35.5 | 134.0 | 10~20 | 180 | 4.8 | 5.4 | -0.6 |
| 46 | 10. | 26. 07. 01 | 徳島県南郎 | 0 | 33.7 | 134.4 | 10ca | 92 | 4.2 | 4.4 | -0.2 |
| 47 | 11. | 14. 21. 37 | 伊勢湾 | 0 | 34.5 | 136.8 | 20ca | 151 | 4.4 | 4.5 | -0.1 |
| 48 | 11. | 17. 03. 52 | 和歌山県中部 | 2 | 33.95 | 135.55 | 20ca | 46 | 4.2 | 4.5 | -0.3 |
| 49 | 12. | 3. 23. 27 | 紀伊水道 | 2 | 33.8 | 135.1 | 20ca | 47 | 5.3 | 4.9 | +0.4 |
| 50 | 12. | 5. 22. 30 | 広島県中部 | 0 | 34.4 | 132.6 | 0~10 | 236 | 5.3 | 5.4 | -0.1 |
| 51 | 12. | 12. 14. 06 | 和歌山県中部 | 2 | 33.9 | 135.4 | 20ca | 41 | 4.5 | 4.5 | ± 0 |
| 52 | 12. | 18. 15. 27 | 紀伊水道 | 3 | 33.8 | 135.1 | 40~50 | 49 | 5.2 | 4.7 | +0.5 |

| No. | 発 現 時 | | 震 央 地 名 | 震 度 | 震 源 | | | | | | |
|-----|-------|------------|---------|-----|--------------------------------|---------------------------------|---------|-------------|---|------|---------|
| | 月 | 日 時 分 | | | φ | λ | h km | Δ km | M | M' | $M-M'$ |
| | 31年 | | | | | | | | | | |
| 53 | 1. | 1. 06. 25 | 和歌山県中部 | 2 | 33.9 | 135.5 | 20~30 | 48 | 4.3 | 4.5 | -0.2 |
| 54 | 1. | 28. 08. 30 | 〃 | 2 | 33.9 | 135.2 | 10ca | 37 | 4.7 | 4.5 | +0.2 |
| 55 | 1. | 30. 14. 45 | 瀬戸内海西部 | 0 | 33.7 | 132.3 | 50ca | 272 | 5.1 | 5.1 | ± 0 |
| 56 | 2. | 8. 10. 42 | 和歌山県中部 | 0 | 34.9 | 137.2 | 20ca | 192 | 5.0 | 5.1 | -0.1 |
| 57 | 2. | 16. 13. 08 | 徳島県南部 | 2 | 33.7 | 134.3 | 10~20 | 100 | 4.9 | 5.1 | -0.2 |
| 58 | 5. | 27. 06. 55 | 紀伊半島沖 | 1 | 33.0 | 134.9 | 40ca | 140 | 4.7 | 4.6 | +0.1 |
| 59 | 6. | 20. 02. 06 | 鳥取県中部 | 0 | 35.3 | 133.7 | 20ca | 178 | 4.4 | 4.5 | -0.1 |
| 60 | 6. | 23. 12. 30 | 熊野灘 | 0 | 34.2 | 136.8 | 40ca | 171 | 5.2 | 5.3 | -0.1 |
| 61 | 7. | 14. 01. 19 | 紀伊半島沖 | 0 | 33.3 | 134.7 | 40ca | 110 | 4.6 | 4.7 | -0.1 |
| 62 | 7. | 18. 00. 42 | 徳島県南部 | 0 | 33 ³ / ₄ | 134 ¹ / ₄ | 0 | 100 | 4.1 | 4.1 | ± 0 |
| 63 | 9. | 14. 23. 58 | 滋賀県西部 | 0 | 35.35 | 135.85 | 10ca | 124 | 4.5 | 4.5 | ± 0 |
| 64 | 9. | 30. 08. 20 | 千葉県中部 | 0 | 35.5 | 140.2 | 70ca | 480 | 6 ³ / ₄ (M _G) | 6.4 | ± 0 |
| 65 | 11. | 12. 09. 58 | 愛知県南部 | 0 | 34.85 | 137.1 | 0 | 190 | 4.2 | 4.6 | -0.4 |
| 66 | 12. | 14. 21. 40 | 徳島県南部 | 0 | 33.7 | 134.2 | 10ca | 106 | 4.8 | 4.4 | +0.4 |
| 67 | 12. | 22. 05. 10 | 八丈島近海 | 0 | 33.75 | 139.55 | 20ca | 407 | 6.0 | 5.8 | +0.2 |
| 68 | 32年 | | | | | | | | | | |
| | 10. | 6. 22. 18 | 岡山県南岸 | 0 | 34.6 | 134.0 | 10 | 115 | 5.0 | 4.8 | +0.2 |
| | 33年 | | | | | | | | | | |
| 69 | 2. | 9. 06. 49 | 紀伊半島南東沖 | 0 | 33.05 | 136.3 | 40 | 166 | 5.0 | 4.9 | +0.1 |
| 70 | 3. | 7. 20. 29 | 徳島県南岸沖 | 1 | 33.5 | 134.7 | 20 | 90 | 5.0 | 4.8 | +0.2 |
| 71 | 9. | 15. 04. 42 | 日向灘 | 0 | 31.8 | 131.9 | 20 | 406 | 5.6 | 4.9 | +0.7 |
| | 34年 | | | | | | | | | | |
| 72 | 6. | 2. 09. 47 | 宮崎県南東沖 | 0 | 31.4 | 132.1 | 20 | 426 | 5.8 | 5.1 | +0.7 |
| 73 | 9. | 24. 07. 23 | 山梨県西部 | 0 | 35.7 | 138.4 | 10 | 336 | 5.8 | 6.0 | -0.2 |
| | 35年 | | | | | | | | | | |
| 74 | 1. | 31. 14. 08 | 室戸岬南東沖 | 3 | 32.9 | 135.0 | Shallow | 144 | 6.1 | 5.6 | +0.5 |
| 75 | 7. | 14. 05. 27 | 新島近海 | 0 | 34.3 | 139.1 | 0~10 | 362 | 5.5 | 4.9 | +0.6 |
| 76 | 9. | 26. 20. 36 | 日向灘 | 0 | 32 ¹ / ₂ | 132. | 20 | 352 | 5.6 | 5.4 | +0.2 |
| 77 | 11. | 7. 22. 23 | 宮崎県東方沖 | 0 | 32.4 | 132.1 | 60 | 350 | 5.8 | 5.5 | +0.3 |
| 78 | 12. | 26. 10. 44 | 三重県中部 | 3 | 34.2 | 136.2 | 60 | 95 | 6.0 | 5.7 | +0.3 |

地震 (40 km 以下 1 個, 500 km 以上 6 個) 78 個 (第 1 表) について検討し Magnitude を推定する。

Magnitude を決めるのに坪井の式と早津の式があり、いずれの場合も検討したが早津の式は良い結果が得られず、和歌山では坪井の式が適当であることがわかったので坪井の方法にしたがって検討した結果について述べる。想定 1 成分の振幅を A' とし、これに振幅係数 (和歌山 1.5) を乗じて Magnitude

$$M = 1.73 \log \Delta + \log(A' \times \text{振幅係数}) - 0.83$$

を求めるのである。この式のノモグラフを作っておくと便利で早い。両対数方眼紙の横軸に Δ 、縦軸に振幅 (単位ミクロン) をとり、あらかじめ $M' : 5.5.5$ に対して $\Delta : 100, 300, 500$ km のときの更正振幅を求め、それをプロットし、 $M' : 5.5.5$ の直線を引き、他の M' については 0.5 間隔に平行移動して求める。さらにこれを 5 等分して M' の $1/10$ までの等 Magnitude 線を求めておく。このノモグラフ第 2 図を基として第 1 表の Δ と最大振幅により M' を求めるのである。

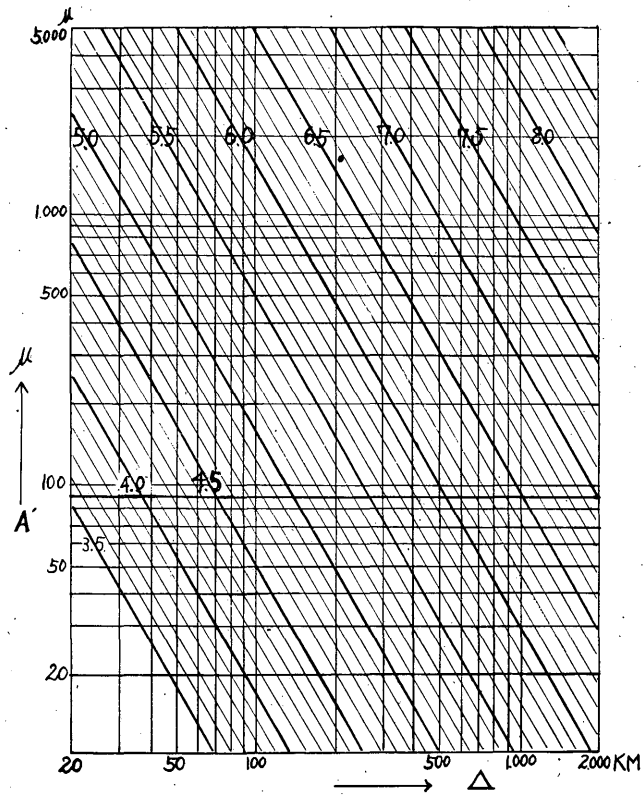
次に $M-M'$ (第 1 表) を求め、第 3 図のような度数分布を作る。この度数分布図によれば極大は負 0.1~0.0 の所に出ており、2 分位法による中央値 (第 4 図) は負 0.02 である。一方 $M-M'$ と Δ の関係を調べたのが第 5 図である。これらにより Δ による違いは少ないことがわかる。 $M-M'$ の符号別の震央分布を示したのが、第 6 図である。

この図から明らかな地域差は見出せないが、若干の例外を除けば太平洋の海底に震央のある地震にはだいたい正の符号が現れている。以上述べた要領により基準の M と比較して、ウイヘルト地震計または強震計の更正最大全振幅の水平 2 成分のうち、大きい 1 成分の読取值 (単位 mm) をそのまま使って Magnitude を決めるノモグラフを作ればよい。和歌山の場合は坪井の方法が適当であるので、

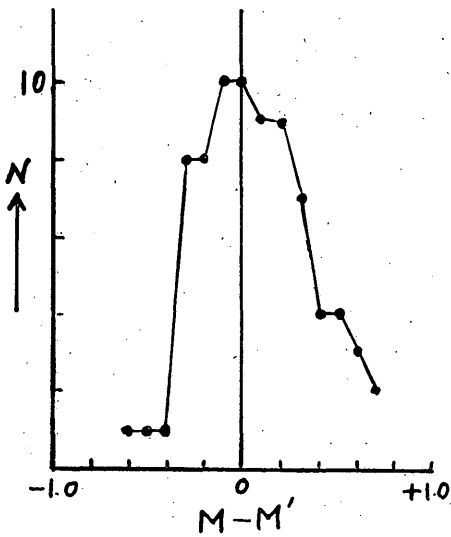
$$M = 1.73 \log \Delta + \log(1.5 A') - 0.83$$

を用いた。但し、

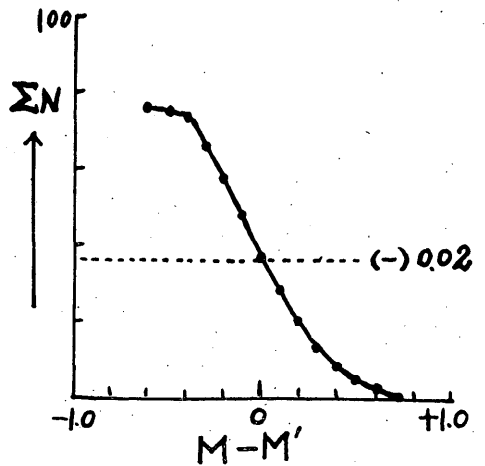
$$A = \frac{A' \times 2 \times V}{1000}$$



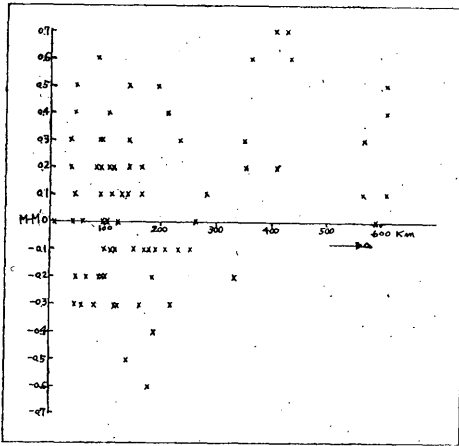
第 2 図 $M' = 1.73 \log \Delta + \log(1.5 A') - 0.83$ のノモグラフ



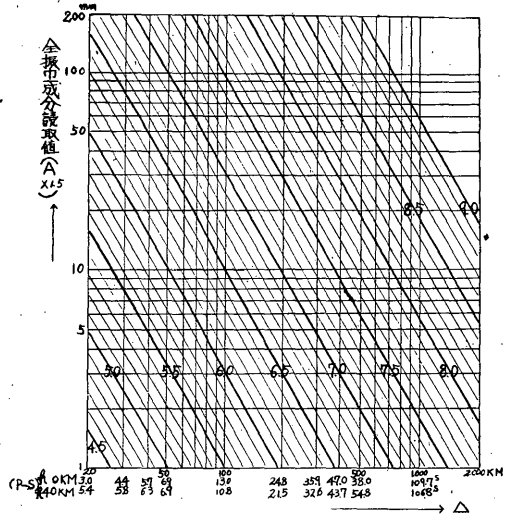
第 3 図 度数分布図 (坪井の平均式)



第 4 図 2 分位法による中央値 (坪井の式)

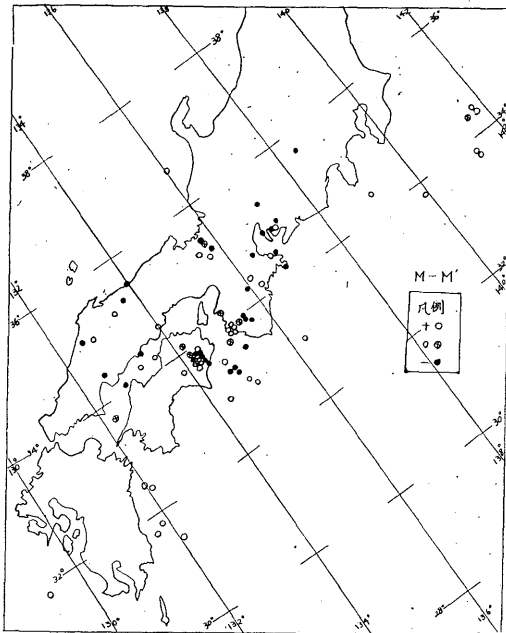


第5図 $M-M'$ と Δ の関係

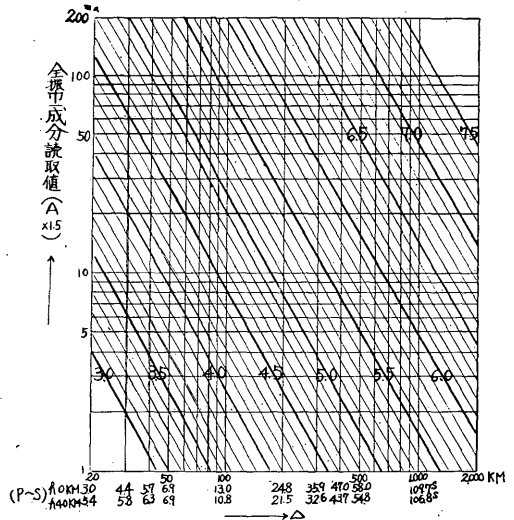


強震計 (1倍)

第7図 模 規 表



第6図 $M-M'$ の符号別震央分布図

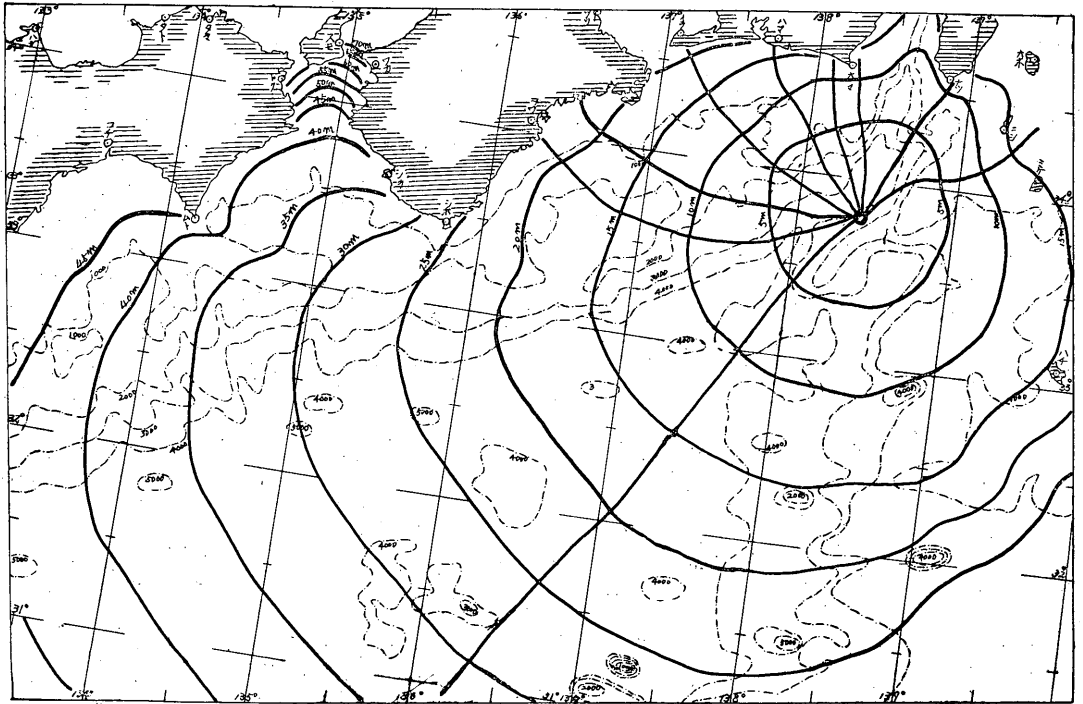


(ウイヘルト地震計80倍)

第8図 規 模 表

A' : 地動1成分最大振幅 (μ)
 A : 記録紙上の1成分最大全振幅 (mm)
 V : 倍率
 かくして M , Δ , A により両対数方眼紙の横軸に Δ ($P \sim S$), 縦軸に振幅をとり、強震計の読取りによって求めたのが第7図、ウイヘルト地震計の場合が第8図である。これが和歌山の1官署の更正最大全振幅(1成分)により、ある地震の Magnitude を決めるノモグラフでその精度は ± 0.3 くらいである。これらの図には横軸

に $P \sim S$ 時間が目盛っているが、1官署の資料のみから震央距離を求めるには $P \sim S$ 時間にたよるより方法がないが、これはある程度の誤差を含んでおり必ずしも正確ではない。また深さ 60 km 未満の近地地震を対象としているので、記象型その他から深発か浅発かの判定をすることも重要である。今後起る地震について基準の M に合致するかをたしかめながら補正を加えよりよいノモグラフを用意すれば、自官署の資料のみでも浅い近地地震の Magnitude をかなりの精度で推定することは技術



第 10 図 津波伝搬予想図

的には可能である。なお M と津波の有無あるいは最大波高との関係については従来いろいろの研究があり、浅発地震ではほぼ $M:7.2$ から「ヨワイツナミ」 $M:7.8$ 以上を「オオツナミ」とみなされている。

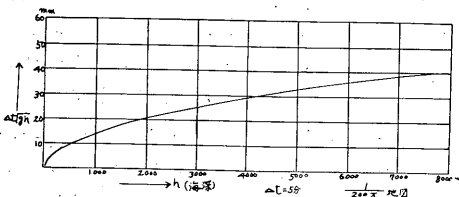
§ 3: 津波の伝搬

過去の津波資料から和歌山県に影響をおよぼすことが予想される津波の波源を 5 点選び津波の伝搬予想図を作成した(第 10~14 図)。方法は長波速度の一般公式、

$$v = \sqrt{gh}$$

(v : 伝搬速度, g : 重力の加速度, h : 海深)

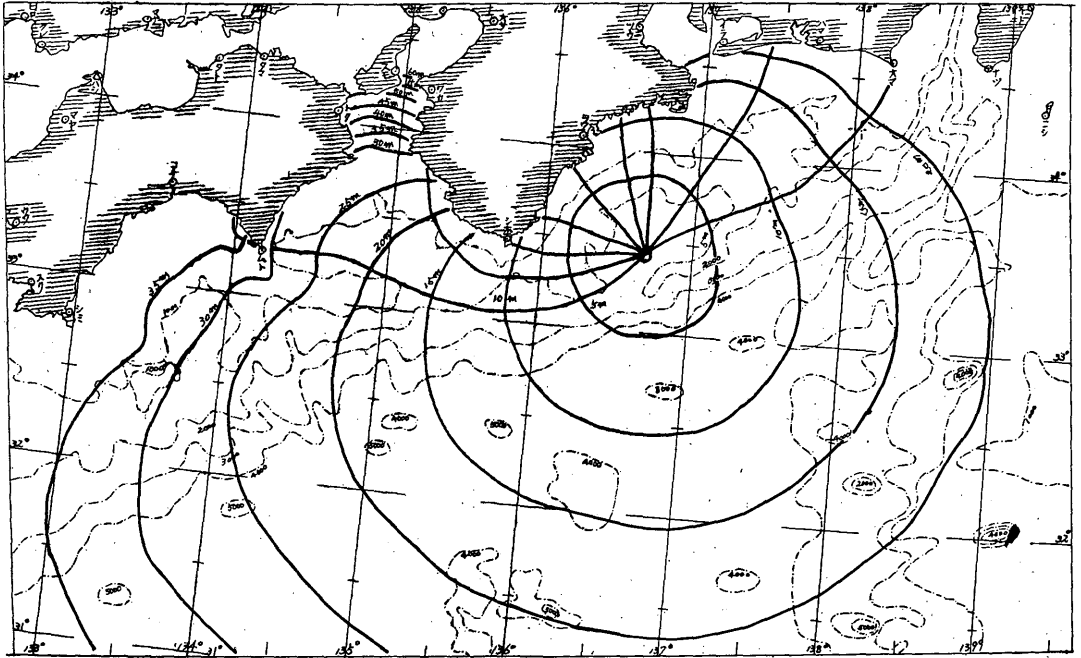
を用い Huygens の原理により、5 分ごとの波面を作図により求めるのである。まづ 200 万分の 1 の地図(気象庁震央決定図第 3 号)に等深線を細分し、1,000~0m ま



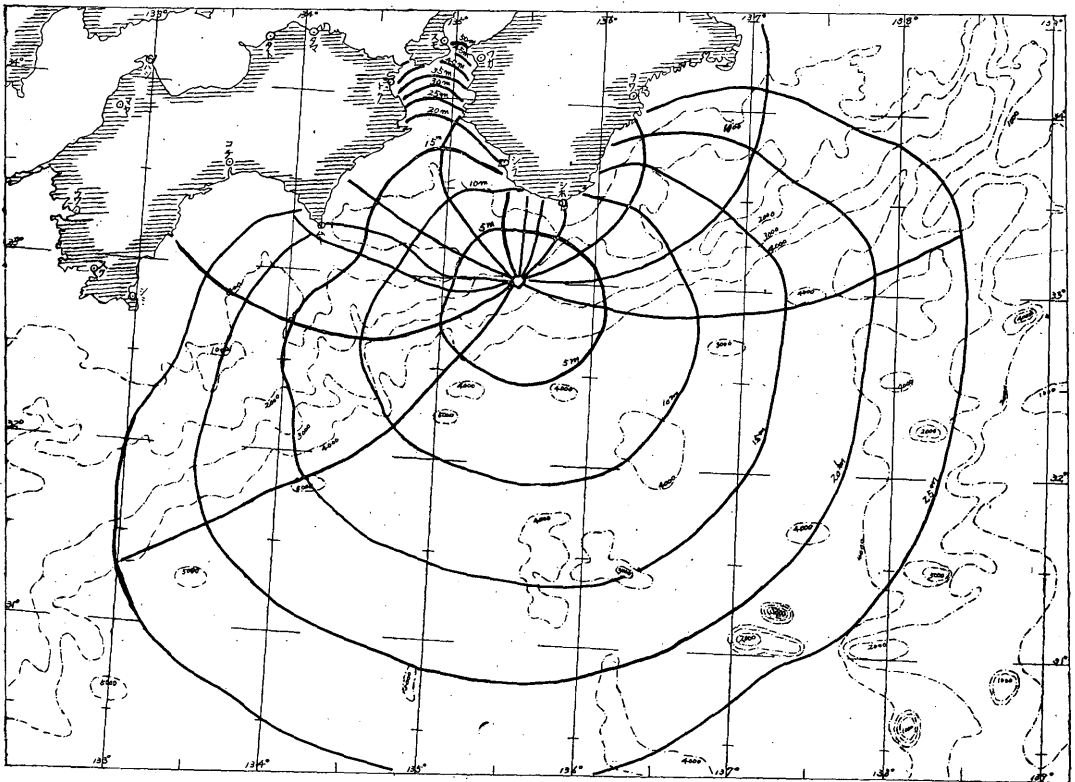
第 9 図 ノモグラフ

での間は海図により 200m 又は 100m 毎の等深線を描く、 \sqrt{gh} を津波の速度とし、5 分ごとの進行距離を地図のスーケルに合せて深さを変数としたノモグラフ(第 9 図)を作っておくと便利である。

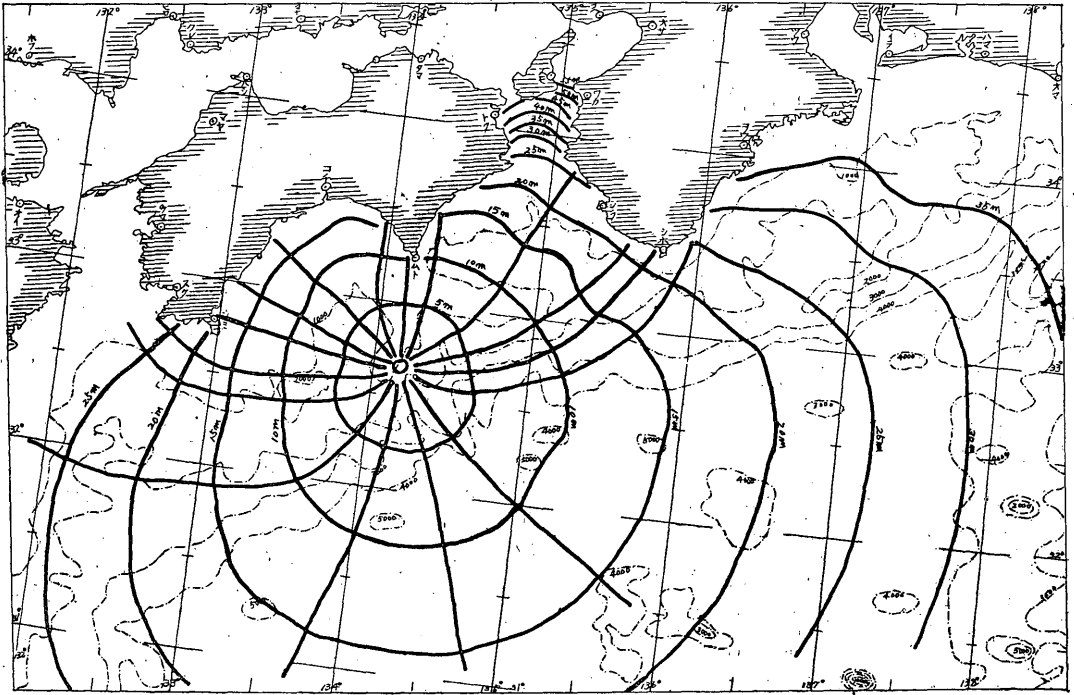
このようにして作成した津波の伝搬予想図に波源における 16 方位線(22.5 度)を延長、波線を引いてみたが陸地に関係のない洋上の波線は省略した。この波線の模様によって津波のエネルギーがどこへ集中するかを知ることができる。つまり津波の被害地域が推定される。顕著な特長は、波源が潮岬沖より東方の場合と西方の場合でエネルギーの集中状況が全く異なっていることである。すなわち波源が東方にある場合には熊野灘に面した沿岸に、また西方の場合には紀伊水道寄りの沿岸に集中している。このことは過去の津波による被害状況ともよく一致しており、防災的には極めて重要な事実を示している。第 11 図、第 12 図はそれぞれ東南海地震と南海道大地震を想定した伝搬予想図であるが、いずれの場合も早い所は 10 分以内に津波の第 1 波の襲来を受けており、紀南の大部分は 20 分以内に襲われている。この事実は最初にも述べた如く中枢の行く津波予報は時間的に間に合いかねるという重要な意味も持っている。従って現地官署としては可能な限り迅速に適切な津波情報を発表する必要



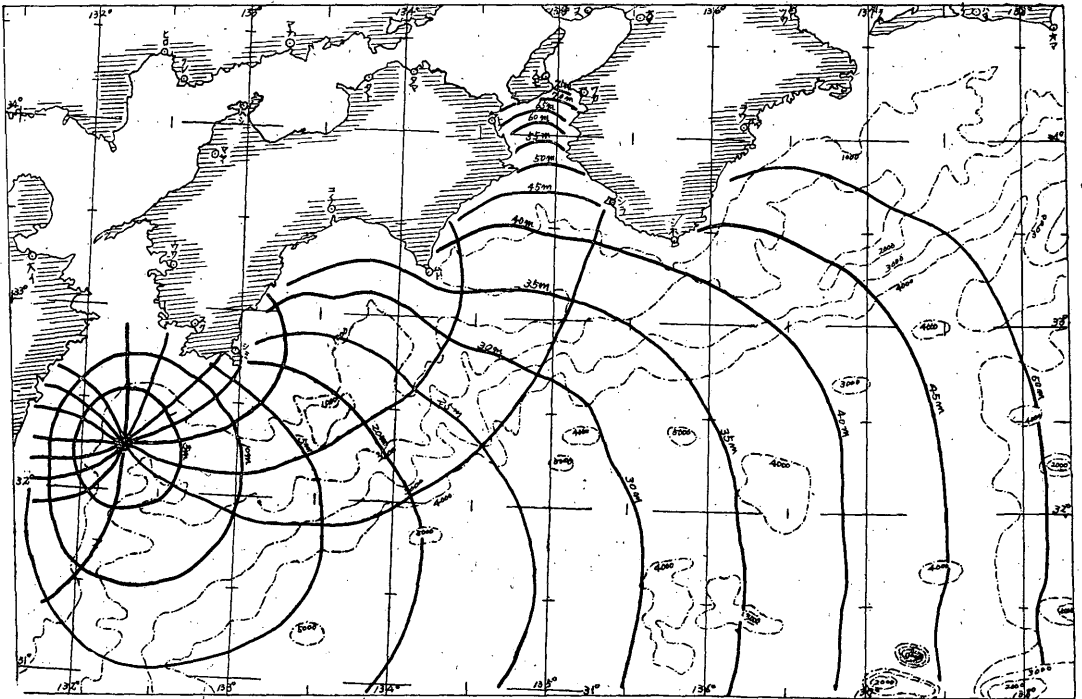
第11図 津波伝搬予想図



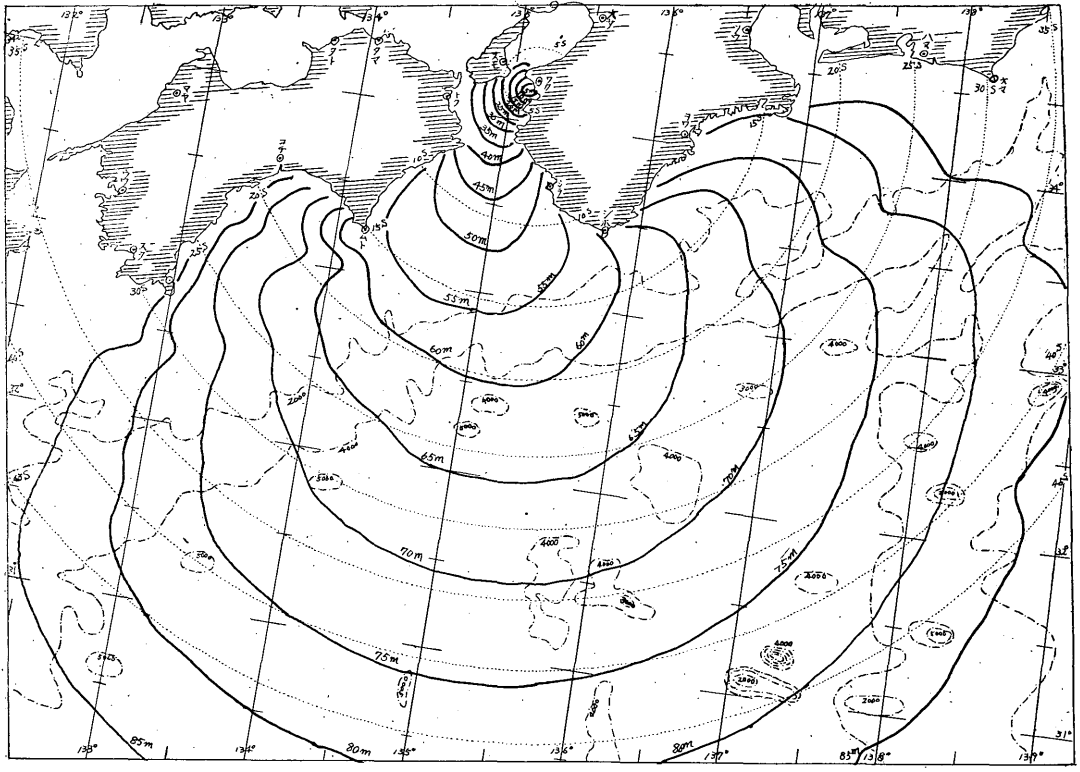
第12図 津波伝搬予想図



第 13 图 津波伝搬予想图



第 14 图 津波伝搬予想图



-----等 P~S 線 (単位秒) — 波面 (単位分)

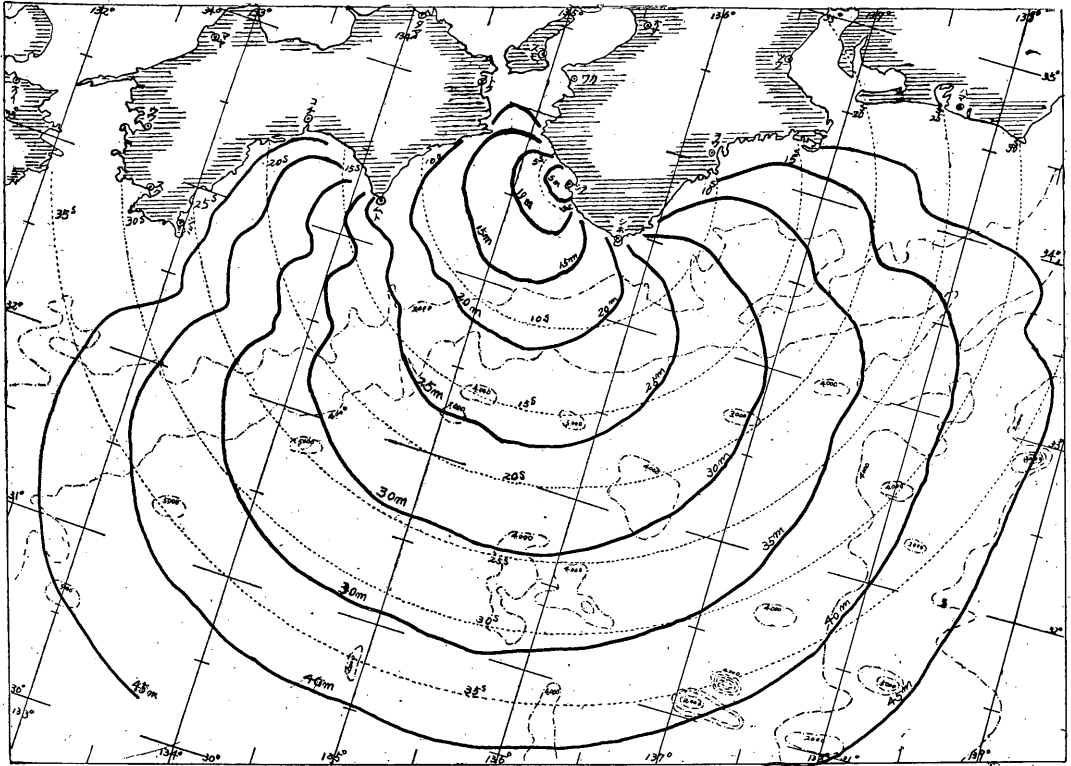
第 15 図 逆伝搬図 (和歌山を中心としたもの)

第 2 表 県下主要港湾の波高予想値と実測値

| | h_0 (m) | h (m) | b_0 (m) | b (m) | H_0 (m) | H (m) | 過去の記録 | | | |
|------|--------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|----------|----------|----------|--|
| | | | | | | | チリ 地震 | 南海 地震 | 安政 地震 | |
| 和歌山港 | 8.0 | 2.0 | 1,800 | 200 | 0.5 | 2.1 | 2.1 | 1.6 | | |
| | | | | | 1.0 | 4.2 | | | | |
| | | | | | 1.5 | 6.3 | | | | |
| | | | | | 2.0 | 8.4 | | | | |
| 海南港 | 6.0 | 1.0 | 850 | 100 | 0.5 | 2.3 | 3.3 | 3.6 | 5.5 | |
| | | | | | 1.0 | 4.5 | | | | |
| | | | | | 1.5 | 6.8 | | | | |
| | | | | | 2.0 | 9.0 | | | | |
| 下津港 | 19.0 | 2.0 | 2,860 | 150 | 0.5 | 3.8 | 3.0 | 3.0 | 5.5 | |
| | | | | | 1.0 | 7.6 | | | | |
| | | | | | 1.5 | 11.4 | | | | |
| | | | | | 2.0 | 15.2 | | | | |
| 湯浅港 | 6.0 | 1.0 | 1,100 | 50 | 0.5 | 3.7 | 3.0 | 3.2 | 5.0 | |
| | | | | | 1.0 | 7.3 | | | | |
| | | | | | 1.5 | 11.0 | | | | |
| | | | | | 2.0 | 14.6 | | | | |
| 由良港 | 26.0 | 2.0 | 1,500 | 100 | 0.5 | 3.7 | 3.0 | 3.8 | 9.0 | |
| | | | | | 1.0 | 7.4 | | | | |
| | | | | | 1.5 | 11.1 | | | | |
| | | | | | 2.0 | 14.8 | | | | |

| | h_0 (m) | h (m) | b_0 (m) | b (m) | H_0 (m) | H (m) | 過去の記録 | | | |
|-----|--------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|----------|----------|----------|--|
| | | | | | | | チリ 地震 | 南海 地震 | 安政 地震 | |
| 文里港 | 8.0 | 1.0 | 750 | 40 | 0.5 | 3.7 | 3.7 | 5.0 | 9.0 | |
| | | | | | 1.0 | 7.3 | | | | |
| | | | | | 1.5 | 11.0 | | | | |
| | | | | | 2.0 | 14.6 | | | | |
| 袋 港 | 20.0 | 2.0 | 3,500 | 150 | 0.5 | 4.3 | 4.0 | 7.0 | 9.0 | |
| | | | | | 1.0 | 8.6 | | | | |
| | | | | | 1.5 | 12.9 | | | | |
| | | | | | 2.0 | 17.2 | | | | |
| 浦神港 | 15.0 | 1.0 | 800 | 80 | 0.5 | 3.1 | 4.2 | | 4.0 | |
| | | | | | 1.0 | 6.2 | | | | |
| | | | | | 1.5 | 9.3 | | | | |
| | | | | | 2.0 | 12.4 | | | | |
| 勝浦港 | 11.0 | 1.0 | 500 | 80 | 0.5 | 2.3 | 3.0 | | | |
| | | | | | 1.0 | 4.6 | | | | |
| | | | | | 1.5 | 6.9 | | | | |
| | | | | | 2.0 | 9.2 | | | | |

h_0 : 湾口附近の水深, h : 湾奥の水深, b_0 : 湾口の幅,
 b : 湾奥の幅, H_0 : 湾口の波高, H : 港湾奥部の波高
 波高 (平均海面上)
 単位 (m)



.....等 P~S 線 (単位秒) — 波面 (単位分)

第 16 図 逆伝搬図 (白浜を中心としたもの)

第 3 表 県下主要港湾固有週期と観測値

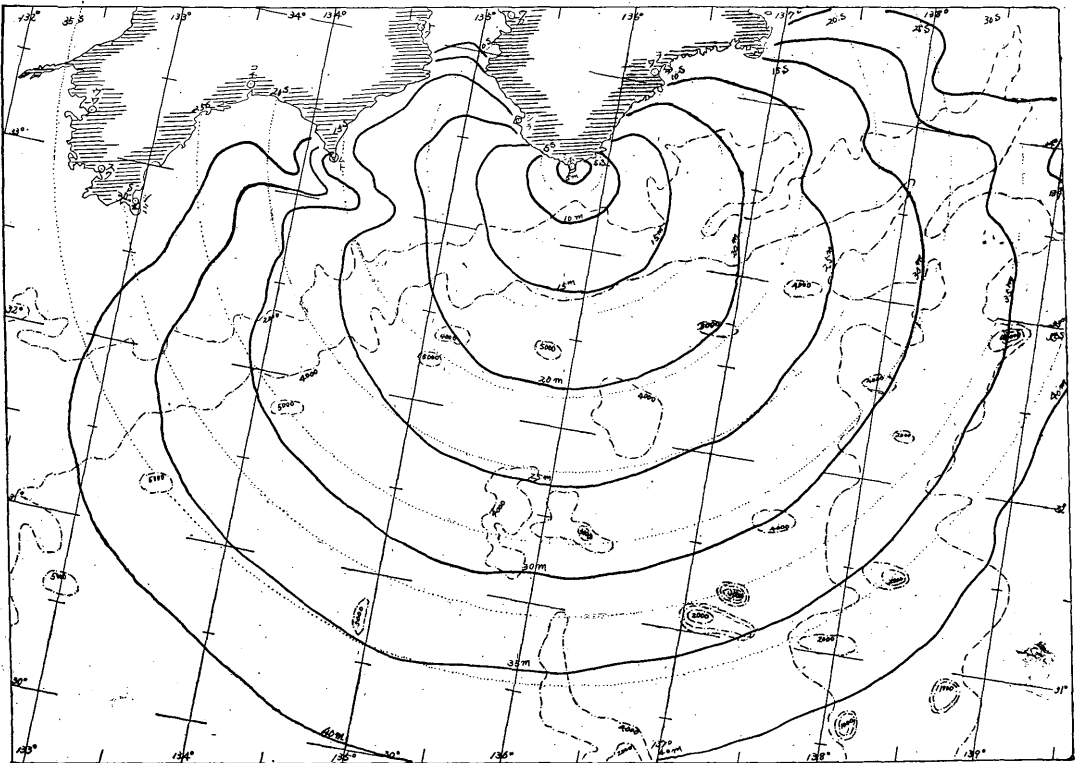
| 港湾名 | h (m) | a (m) | b (m) | T_m min | T min | T_0 min | 備 考 |
|------|------------|------------|------------|--------------|------------|--------------|----------------------------|
| 和歌山港 | 全港 4.3 | 2560 | 1800 | 26.4 | 32.0 | 31.0 | 第5海上保安 の測量による 水深 |
| | 内港 3.6 | | | | | | |
| 海南港 | 3.3 | 1700 | 850 | 19.9 | 25.1 | | 県河港課地図 より水深を求 む (新港) |
| 下津港 | 11.4 | 2860 | 1300 | 18.0 | 22.7 | 19.0 | 吉田耕造著海 の波より引用 |
| 湯浅港 | 3.5 | 1000 | 1100 | 11.2 | 15.0 | | 県河港課地図 より水深を求 む |
| 由良港 | 11.7 | 3300 | 1500 | 20.5 | 25.9 | (約) 25.0 | // 観測値京大検 潮自記紙より |
| 文里港 | 6.0 | 1300 | 750 | 11.3 | 14.0 | (約) 10.0 | // |
| | 3.9 | | | | | | |
| 袋 港 | 15.4 | 3400 | 3000 | 18.3 | 24.5 | 16.5 | 引用第19図に 示す |
| | 18.6 | | | | | | |
| | 11.6 | | | | | | |
| | 5.0 | 1300 | 500 | 12.8 | 15.9 | 13.0 | |

| 港湾名 | h (m) | a (m) | b (m) | T_m min | T min | T_0 min | 備 考 |
|-----|------------|------------|------------|--------------|------------|--------------|-----------------------------|
| 浦神港 | 7.5 | 3050 | 800 | 11.9 | 14.9 | 14.0 | 県河港課地図 より水深を求 む $n=2$ |
| 勝浦港 | 5.0 | 1100 | 500 | 10.5 | 13.2 | | // |

h : 平均の深さ, a : 湾の長さ, b : 湾の幅, T_m : 計算
周期, T : 同補正值, T_0 : 観測周期

湾口補正

| b/a | T/T_m | b/a | T/T_m |
|---------------|---------|----------------|---------|
| 1 | 1,340 | $\frac{1}{5}$ | 1,163 |
| $\frac{1}{2}$ | 1,262 | $\frac{1}{10}$ | 1,107 |
| $\frac{1}{3}$ | 1,218 | $\frac{1}{20}$ | 1,064 |
| $\frac{1}{4}$ | 1,187 | ∞ | 1,000 |



.....等 P~S 線 (単位秒) ——波面 (単位分)

第 17 図 逆伝搬図 (潮岬を中心としたもの)

性を示すものである。さらに平素から紀南地方はこのように悪条件にあることを沿岸住民に周知徹底することにつとめ防災的には自衛上早期の避難を指導することが望ましい。次に和歌山、白浜、潮岬を中心としての津波逆伝搬図を同じ方法で作成した (第 15 図~17 図)。

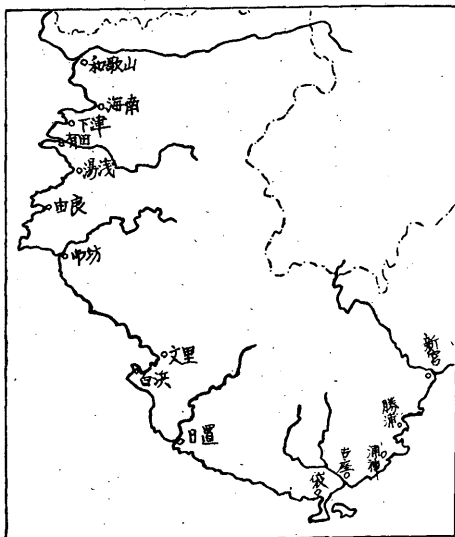
なお図中の実線は 5 分毎の波面 (単位: 分), 点線は等 P~S 線 (深さ 40 km : 単位秒), 鎖線は等深線 (単位: m) を示す。実際の津波は計算値より若干早く到達する傾向があるのでこれらの図を用いるときには注意しなければならない。

§ 4. 津波の高さと湾の固有周期

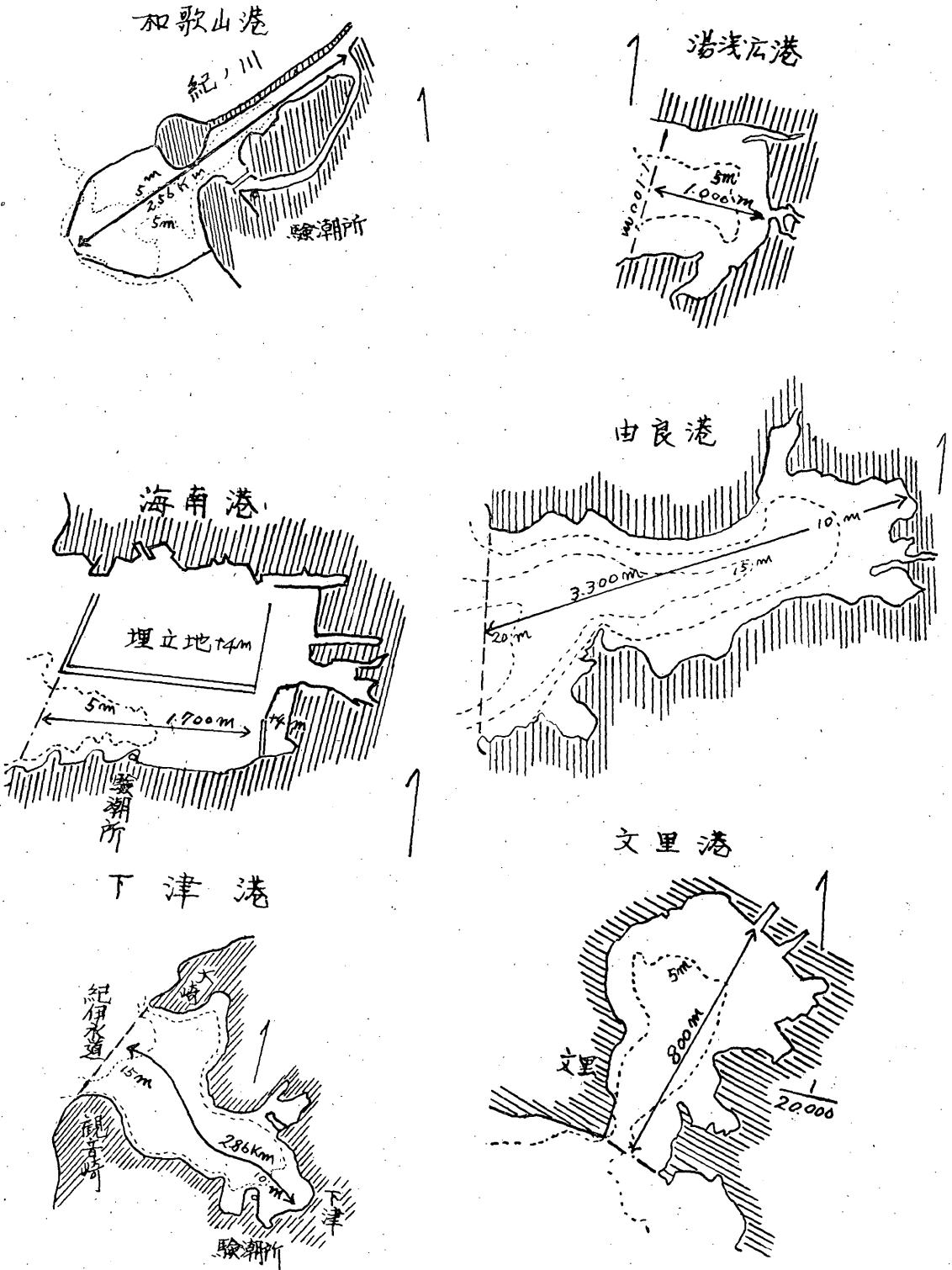
和歌山県下の主要な港湾をえらび (第 18 図参照) 各湾の深さ, 湾の幅を求め, 波の高さ h は G. Green の理論を用いて, 公式

$$H = H_0 \sqrt[3]{h_0/h} \sqrt{b_0/b}$$

により (H : 港湾奥部の波高, H_0 : 湾口の波高, h_0 : 湾口附近の水深, h : 湾奥の水深, b_0 : 湾口の幅, b : 湾奥の幅である) 計算したのが第 2 表である。この表には H_0

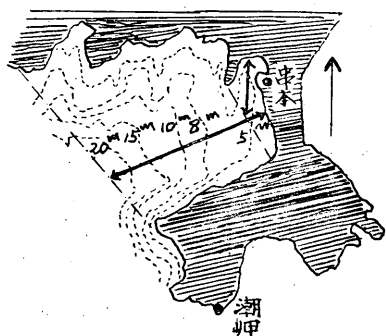


第 18 図 和歌山県下の主要港湾所在地



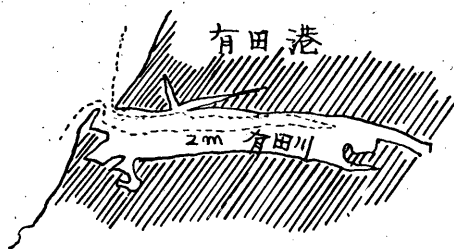
第 19 图 県下主要港湾略图 (1)

袋 港

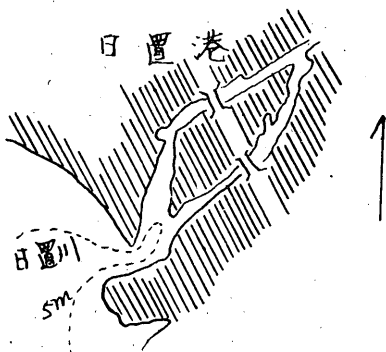


(K. Honda, T. Terada, Y. Yoshida and D. Isitani: An investigation on the secondary undulations of oceanic tides より引用)

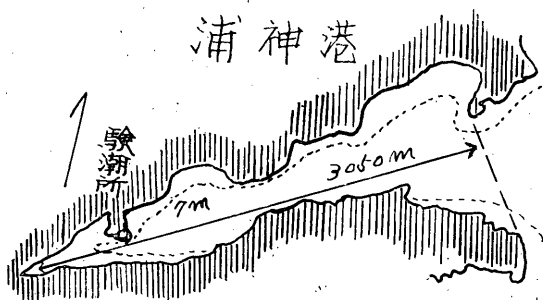
有田港



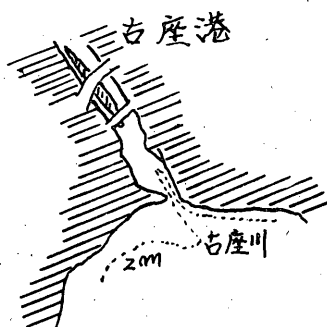
日置港



浦神港



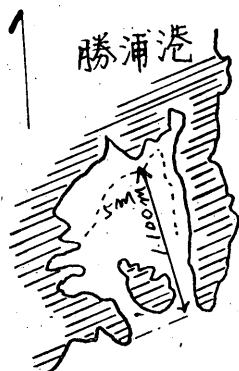
古座港



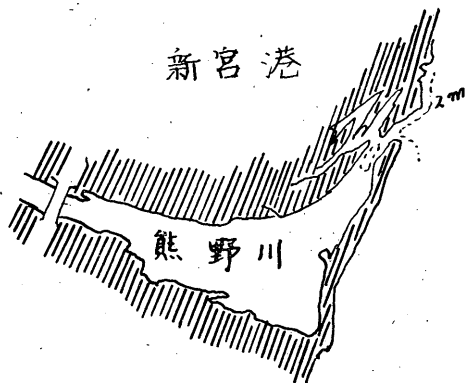
日高港



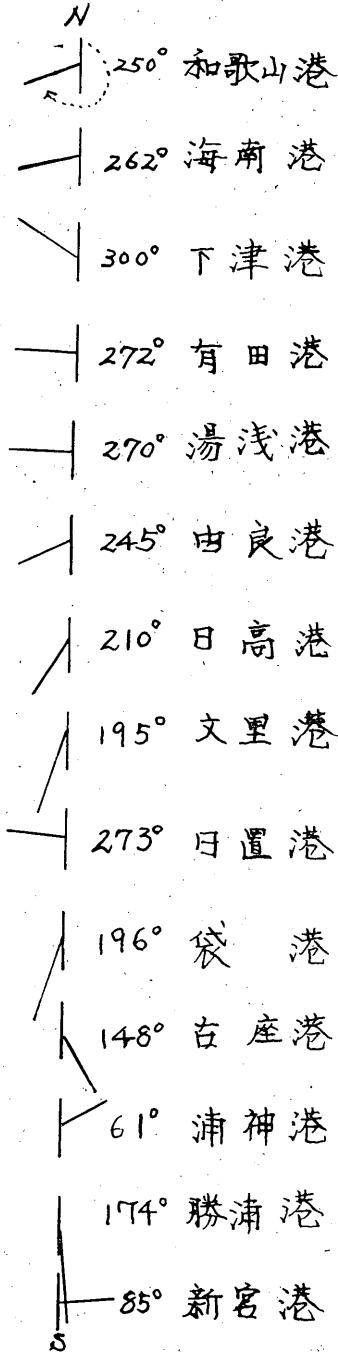
勝浦港



新宮港



第 19 図 県下主要港湾略図 (2)



第 20 図 港 湾 方 位

をそれぞれ 0.5, 1.0, 1.5 および 2.0m と仮定した場合の H が示してある。この計算値は一応の目安で震央距離や湾口の向きによって異なるのは当然である。また参考までに過去の実測記録も示しておいた。次にこれらの港

湾の固有周期がどのくらいになるかを計算してみた (第 3 表)。計算には Merian の式

$$T_m = \frac{4a}{\sqrt{gh}} \quad (n=1, 2, 3, \dots)$$

(T_m : 計算値, h : 平均の深さ, a : 湾の長さ。)を用いた。港湾の深さは所により非常に違うのでこのようにして求めた値はその平均の深さのとり方によってそれぞれ違ってくることを注意しなければならない。参考までに和歌山県の主要港湾の略図を第 19 図に、その港湾主軸の方位を第 20 図に示しておく。津波の高さは外洋では通例数 m に過ぎないがそれが海岸に襲来して湾の奥に達する頃には驚くべき高さに発達することがわかった。湾が深くなるほど津波は発達し、津波の周期と湾の固有周期が共鳴すればよいよ発達するのである。津波の破壊作用は波の高さのみによって決らない。むしろ波の流速に左右されるのである。浜辺に打ちあげられるときの水流の最大速度は大體傾斜に逆比例し、波高に比例し、周期に逆比例すると考えられる。それ故小さな湾ではその流速は驚くべきものになる。また打ち上げられたときの流速も同じように激しいものになる。局所的な波高の大小は、湾奥のすぐ背後に山が迫っているような地形と平野や川などがあって開けた地形では著しく異っている。すなわち前者では一般に高く、後者では低くなる。しかし被害に関係のある破壊作用の方から考えると、前者より後者の方がひどい。その理由は前者では山にぶつかった波は運動が遮断され波の振幅は大きくなるが流速は小さくなり、一方後者の場合には背後が空いているので振幅は大きくならないが水平流速は極めて大きくなるからである。南海道大地震津波の現地踏査報告にもこの辺の事情が述べられている。津波の発達および破壊作用についての詳しい調査は別の機会にゆずり、今回はこのくらいに止めるが現地住民に防災的な教育をする場合や津波情報を発表する際には特に重視しなければならない。

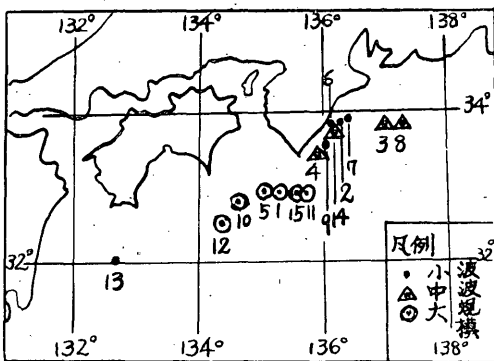
§ 5. 過去の津波記録

和歌山県は昔からしばしば津波に襲われその都度大被害を蒙ってきた。近くは昭和 35 年 5 月 24 日のチリー地震津波の襲来を受けているが、このような遠地震によるものを除き近地地震によるおもな津波の記録を第 4 表に示す。この表に示した 15 回の地震の震央を図示したのが、第 21 図である。この図から震源地は大陸棚の急傾斜している所にほぼ東西に並んでおり特に熊野灘に面した震源地は陸岸から 10km 前後の至近距離にあり、このことは地震発生とほとんど同時に津波第 1 波の襲来が予想され前に述べたように和歌山県は津波に関して極

第 4 表 和歌山県に津波災害を伴った近地地震一覧表

| 番号 | 日本暦 | 西暦 | 地名 | 規模 | 津波被害 | |
|----|----------------------|---------------|------------------------|-----|------|----------------------------|
| | | | | | 程度 | 最大波高 |
| 1 | 仁和3. VII. 30 | 887. VIII. 26 | 京都及五畿七道 | 8.6 | 大 | m 不明 全県津波被害ありと思う |
| 2 | 延喜22. — | 922. — | 紀伊 | 7.0 | 小 | // 奥熊野沖, 紀南地方に津波あり |
| 3 | 永長1. XI. 24 | 1096. XII. 17 | 畿内, 東海, 南海諸国 | 8.4 | 中 | // 紀南地方に津波あり |
| 4 | 正平15. X. 5 | 1360. XI. 22 | 紀伊及諸国 | 7.0 | 中 | // 奥熊野沖, 紀南地方津波あり, 人多く死す |
| 5 | // 16. VII. 24 | 1361. VIII. 3 | 畿内及南海道の一部 | 8.4 | 大 | // 全県津波被害あり, 流失家屋死者多し |
| 6 | 応永10. — | 1403 | 紀伊 | 7.0 | 小 | // 奥熊野沖, 紀南地方津波あり |
| 7 | // 14. XII. 14 | 1408. I. 21 | // 伊勢 | 7.0 | 小 | // 同上 |
| 8 | 明応7. VIII. 25 | 1498. IX. 20 | 東海道全般 | 8.6 | 中 | // 紀南津波被害あり |
| 9 | 永正17. III. 7 | 1520. IV. 4 | 紀伊 | 7.0 | 小 | // 紀南那智民家流失 |
| 10 | 慶長9. XII. 16 | 1605. I. 31 | 東海, 南海, 西海諸国 | 7.9 | 大 | // 全県流失家屋死者多し (特に広村及辰ヶ浜甚し) |
| 11 | 宝永4. X. 28 | 1707. X. 28 | 東海道, 畿内, 南海道及東山西海西道の一部 | 8.4 | 大 | 9 同上 (印南地方及名屋広村甚し) |
| 12 | 嘉永7. XI. 5 (安政地震) | 1854. XII. 24 | 東方伊勢海より西方九州東北部 | 8.4 | 大 | 9 同上 |
| 13 | 明治42. XI. 10 | 1909. XI. 10 | 日向灘 | 7.9 | 小 | 不明 紀南地方津波あり |
| 14 | 昭和19. XII. 7 | 1944. XII. 7 | 東南海沖 E136.2 N 33.7 | 8.3 | 中 | 5 紀南地方に被害多し |
| 15 | 昭和21. XII. 21 | 1946. XII. 21 | 南海道沖 E135.7 N 33.0 | 8.1 | 大 | 8 全県流失家屋死者多し |

(最大波高, 平均海面上)



第 21 図 和歌山県に津波災害を伴った近地地震分布図

めて悪条件な地理的環境におかれていたことをよく表している。

§ 6. む す び

以上で報告を終るがここに得られた結果をワーク・シート式に総合することにより 1 点観測資料からのみでも緊急に或る程度の精度をもって津波の有無や程度を予想

することが可能であることがわかった。したがって調査結果の精度の度合を考慮して防災的な立場から津波常襲地の住民が利益を得られるような情報の発表は技術的にはなし得るものと思う。しかし津波を伴うような破壊的な近地地震が発生したときは通信線の途絶も考えられ、円滑に通報し得るかはなほ心細い。さらに極めて短時間に問題を適切に処理しなければ効果的な防災対策は期待しがたい。平素から関係官公署を通じ一般住民に津波の実態を周知徹底する努力が絶対に必要である。このようにすることによって幾分でも被害を軽減し得るものと信ずる。本報告を終るにあたりいつの日か襲来するであろう津波の判定技術の向上、並びに防災対策に寄与し得るなら筆者らにとって望外の幸せである。

参 考 文 献

- 坪井忠二：地震のマグニチュード M について，地震 10 (1957), 6—23.
 早津昭男：地震の最大振幅が距離に対して減衰する割合—それと地下構造との関係，地震 8 (1955).

75—79.

八木恒介：宮古における津波判定の限界について。研
究時報 7 (1955), 603—606.

中川孝一：佐渡地方における津波の伝搬と波高。験震
時報 18 (1953), 85—88.

中野猿人：地震に伴う津波について。測候時報 4

(1933), 104—109.

仙台管区气象台：地震津波技術打合せ会資料。昭和 37
年 3 月 23 日.

中央气象台：昭和 21 年 12 月 21 日南海道大地震調査
概要.

吉田耕造：海の波，目黒書店.