550.34:681.3

微小地震の自動検出方法について(第2報)

勝山ヨシ子・渡辺一郎

国立防災科学技術センター第3研究部

Automatic Detecting Method for Micro-earthquakes (II)

By

Y. Katsuyama and I. Watanabe

National Research Center for Disaster Prevention, Tokyo

Abstract

The data recorded by the R950 and R922 analog data recorders at Iwatsuki Crustal Activity Observatory were processed, and some experiments were carried out in order to extract the earthquake waves from these data.

In the case of R950, some of very small earthquakes were not extracted, because 4-, 8-, and 16-Hz noises were due to R950 itself, and 4- to 6-Hz noises due to automobiles and factories.

In the case of R922, a number of noises were extracted, partly because 4to 6-Hz noises from automobiles etc. were included in the recorded data, and partly because S/N ratio of R922 is worse than that of R950. But the earthquake waves were separated from the noise waves almost completely, by using the difference in the power spectrum shapes between the earthquake and the noise.

Next, for knowing the P time and S time, some attempts were performed, using the storage tube display device and the tablet type figure input device.

1. はしがき

われわれは先に、アナログ的に磁気テープに記録されている、ノイズに埋まっているよう な地震波をディジタルフィルタによって検出し、これをディジタル化して磁気テープに記録 する方式を開発した.さらに、フィルタをアナログ回路にすることにより、まったく自動的 に、しかも高速に地震波の検出、記録を行なうシステムの可能性をあきらかにした(菅原ほ か、1974).

次に行なうべきことは、実際に記録されたデータを用いて、フィルタ特性、判定基準(す なわち、不完全積分後の値がいくつ以上になったら地震と判定するかを定める値)、*P*波、*S* 波の判定方法、自動検測ハードウェアシステムなどを検討し決定することである。われわれ は岩槻の地殻活動観測施設において観測された、実際のアナログ磁気テープを用いてこれら

| $\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $ | ц | æ | 2.5 | | .3. | 2 | | 2.4.5 | | | 5.5 | 3 | |
|--|-------------------|---------------------------------------|-------------------------------|----------------|---|---|---|---|--|---|--|-----------------------|-------------------|
| $\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$ | IA . | 0 UND 6 | 500 | | 450 | 0 | | 5500 | | | 2000 | | |
| | 00 | RATION | 5. SEC | | | SEC . | | | St C | and the second second second | 10.5 | | and second second |
| $ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$ | 5 O F | | 1 | | 1 | | | j | | | 14.1 | 2982 | 27.5 |
| $ \begin{bmatrix} 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 2, 2, 2, 3, 3, 1, 1, 1, 1, 0, 2, 2, 3, 1, 2, 1, 1, 1, 1, 0, 2, 3, 3, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1,$ | 19 | 50. | - 7451 | *.1 | н г , | | | | 10 | | 51.0 | 2445 | 16.3 |
| $ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$ | 1132 | | | | 11 | | | 11 | | | 23.4 | 2354 | 9 11 |
| | 347 | .17. | 4 140832 | 89.5 | 112.0 | 98763 | 96.5 | 1.714 | 86760 | 83.7 | 115.7 | 115204 | 111 × |
| $ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$ | 1 52: | | | | 1 | water and the | | | | | 10.0 1.0 | 2222 | 13.1 |
| $ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$ | 410 | đ | 3 | | 1 | 1 | : | | | | 16.5 | 2396 | 12.3 |
| $ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$ | EN T | | | | 3 1 | 13 | | r r | | | 46.8 | 2465 | 0.01 |
| $ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$ | 186 | | - | | 22.9 | 4708 | 1.5 | 1 | | | | | |
| No. No. <thno.< th=""> <thno.< th=""> <thno.< th=""></thno.<></thno.<></thno.<> | | | 1 | | 1 10.0 | 4736 | 0.1 | The second second | Contract of the Contract of | And the second second | т. 1 1 | 2788 | 15.4 |
| $ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$ | • 60 | | - | | 1 | | | 1 | | | 153.7 | 3330 | 17.9 |
| $ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$ | 36 1 | | - 70ÅD | n J | 1 001 | 2756 | 5 UC | 1 007 | 6773 | 5.00 | 0.05 10 10 | 2730 | |
| 10 4, 5 1, 5 4, 5 1, 5 1, 5 11 1, 5 4, 5 1, 5 1, 5 1, 5 11 1, 5 1, 5 1, 5 1, 5 1, 5 12 1, 5 1, 5 1, 5 1, 5 1, 5 13 1, 5 1, 5 1, 5 1, 5 1, 5 14 1, 5 1, 5 1, 5 1, 5 1, 5 15 1, 5 1, 5 1, 5 1, 5 1, 5 16 1, 5 1, 5 1, 5 1, 5 1, 5 18 1, 5 1, 5 1, 5 1, 5 1, 5 18 1, 5 1, 5 1, 5 1, 5 1, 5 18 1, 5 1, 5 1, 5 1, 5 1, 5 19 1, 5 1, 5 1, 5 1, 5 1, 5 19 1, 5 1, 5 1, 5 1, 5 1, 5 19 1, 5 1, 5 1, 5 1, 5 1, 5 19 1, 5 1, 5 1, 5 1, 5 1, 5 19 1, 5 1, 5 1, 5 1, 5 1, 5 10 1, 5 1, 5 1, 5 1, 5 1, 5< | 212 | • • • • | - HOLD | | | | | | | | 19.2 | 2630 | 3.3 |
| 3.8 4.1 3.9 4.1 3.94 1.1 3.9 3.1 4.1 3.9 4.1 3.94 1.1 3.9 3.1 5.2 3.1 5.2 2.2 5.2 3.5 3.1 5.2 5.2 2.6 7.6 7.1 2.7 5.8 3.1 5.2 2.2 3.5 2.6 7.6 2.1 2.7 5.8 3.1 5.2 3.1 3.5 2.2 3.5 2.6 7.6 2.1 2.7 3.1 5.8 4.0 1.2 2.7 2.8 2.6 7.1 2.7 3.1 5.1 4.6 1.2 1.2 1.1 2.7 2.8 2.1 3.1 5.1 4.6 1.2 1.2 1.2 1.2 1.1 3.1 5.1 4.6 1.1.2 1.2 1.2 1.2 3.1 5.1 4.6 1.1.2 1.2 1.2 1.2 3.1 5.1 4.6 1.1.2 1.2 1.2 1.2 3.1 5.1 5.1 4.6 1.1.2 1.2 1.2 3.1 5.1 5.1 5.1 5.1 1.2 </td <td>288</td> <td>and the second</td> <td></td> <td></td> <td>1</td> <td>ACCESSION AND ACCESSION</td> <td></td> <td>1</td> <td></td> <td>the second second second</td> <td>17.5</td> <td>25F.7</td> <td>16.3</td> | 288 | and the second | | | 1 | ACCESSION AND ACCESSION | | 1 | | the second second second | 17.5 | 25F.7 | 16.3 |
| 10 4.5 3/3612 5/5.2 2/22.8 3/6076 5/1.6 2/2.1 2/78210 2/2.8 2/78210 2/2.8 2/78210 2/2.8 2/78210 2/2.8 2/78210 2/2.8 2/78210 2/2.8 2/78210 2/2.8 2/78210 2/2.8 2/78210 2/2.8 2/78210 2/2.8 2/78210 2/2.8 2/78210 2/2.8 2/78210 2/2.8 2/78210 2/2.8 <td>1 338</td> <td></td> <td>1.0</td> <td></td> <td>1.)</td> <td></td> <td></td> <td>1.1</td> <td></td> <td></td> <td>64.64 100</td> <td>3159</td> <td>20.0</td> | 1 338 | | 1.0 | | 1.) | | | 1.1 | | | 64.64 100 | 3159 | 20.0 |
| 49. 4. 79.47 4. 79.47 1.1 59.4 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. <td< td=""><td>1 1 2 -</td><td>1000 A 1000</td><td>Charles and the second second</td><td></td><td></td><td>the second second</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>22 8</td><td>240d</td><td>14.2</td></td<> | 1 1 2 - | 1000 A 1000 | Charles and the second second | | | the second second | | | | | 22 8 | 240d | 14.2 |
| 11 < | 154 1 | | | | | second statements and second | TRANSFER REALING DURING TO | | a cure internet and and a | the second second | 38.1 | 55116 | 11.7 |
| $ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$ | 11 2 1 30 1 | | | | 11 | | | 1 | | | 27. A | 2776 | 911-0 2 a |
| 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 | 1 518 | | A LAN MARK | | Trans. and | and here and here and | | 4.5 | 374.7 | 1.1 | | | No. 1995 |
| No. Jadie Sy.2 P.2. Zada P.2. Zada P.2. P.2. <th< td=""><td>. 37-</td><td></td><td>1</td><td></td><td>1 (2.14)</td><td></td><td></td><td>()</td><td></td><td>A STREET AND</td><td>24.0</td><td>5225</td><td>4.10</td></th<> | . 37- | | 1 | | 1 (2.14) | | | () | | A STREET AND | 24.0 | 5225 | 4.10 |
| 1 1 <td>1 533</td> <td></td> <td>5 53612</td> <td>55.2</td> <td>122.8</td> <td>26076</td> <td>50.6</td> <td>1.23.1</td> <td>278.39</td> <td>52.8</td> <td>13.5</td> <td>26775</td> <td>20.97</td> | 1 533 | | 5 53612 | 55.2 | 122.8 | 26076 | 50.6 | 1.23.1 | 278.39 | 52.8 | 13.5 | 26775 | 20.97 |
| 198 1.2 9.33. 1.2 9.33. 9.33. 9.33. 22 22 400.2 466.2 1.2 9.33. 9.35. 9.35. 22 22 400.2 466.3 1.2 9.35. 9.35. 9.35. 22 22 466.2 1.2 9.35. 9.35. 9.35. 22 22 400.2 466.3 1.2 9.35. 9.35. 22 23 1.1.2 9.35. 1.1.2 9.35. 9.35. 23 240.2 5.1 465.3 1.2.2 9.35. 9.35. 24 25.3 1.1.2 9.35. 1.1.2 9.35. 9.35. 24 25.4 1.30.2 5.1 9.35. 1.2.2 9.35. 25 27.3 268. 2.1.6 9.35. 1.2.2 9.35. 25 27.3 268. 2.1.6 9.35. 1.2.6 9.35. 25 25.3 23.2 21.2 9.3.6 1.2.6 9.3.6 25 23.2 33.2 21.2 9.3.6 1.2.6 9.3.6 25 23.2 33.2 21.2 9.3.6 1.2.6 9.3.6 25 <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>The second se</td> <td>and a second second second second</td> <td>In the second second</td> <td></td> <td></td> <td>a strategy and the second s</td> <td>0.1 0 1</td> <td>2604</td> <td>5.5.</td> | | | | | The second se | and a second second second second | In the second second | | | a strategy and the second s | 0.1 0 1 | 2604 | 5.5. |
| 0.00 0.00 0.01 | 101 | 0 21 21 | 1000 100 1000 T | NOS - 200 - 11 | 10 1 | | and the property of the second | 1 | an even of the set | | 53.5 | 2664 | 11.5 |
| 00 01 010 | 14 4 KS | | | | 1 | | | 1 | | | 20.2 | 2256 | 10.6 |
| 1 1 <td>200</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>1 11</td> <td>6.170</td> <td>•</td> <td>C 01.</td> <td>2027</td> <td>5</td> <td>5-IC-1</td> <td>1007</td> <td>2 4 F</td> | 200 | | | | 1 11 | 6.170 | • | C 01. | 2027 | 5 | 5-IC-1 | 1007 | 2 4 F |
| 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 <td>254</td> <td></td> <td>The statement</td> <td>AT 101 14 14</td> <td>40.2</td> <td>4625</td> <td>2.1</td> <td>36.0</td> <td>1524</td> <td>5.1</td> <td>0.204</td> <td>KC CO</td> <td></td> | 254 | | The statement | AT 101 14 14 | 40.2 | 4625 | 2.1 | 36.0 | 1524 | 5.1 | 0.204 | KC CO | |
| 100 11 705 11 705 11 11 12 105 11 705 11 12 11 12 11 12 12 13 11 12 11 12 12 14 12 11 12 13 12 15 11 12 13 13 12 14 12 13 13 13 13 15 13 13 13 13 13 16 11 13 13 13 13 17 13 13 13 13 13 18 13 13 13 13 13 19 13 13 13 13 13 10 13 13 13 13 14 10 13 13 13 14 13 10 13 13 13 14 14 10 13 14 14 14 14 10 13 14 14 14 14 10 13 14 14 14 14 14 14 | 474 | | | | 5 | | | - | | | 39.1 | 2518 | 11.0 |
| 500 101 201 101 101 101 201 101 102 5.1 201 101 105 101 201 101 105 101 201 101 201 201 102 101 201 201 101 101 201 201 101 101 201 201 201 102 201 201 201 103 201 201 201 102 201 201 201 102 201 201 201 103 201 201 201 103 201 201 201 103 201 201 201 103 201 203 201 104 201 203 201 105 202 1030 201 103 202 203 201 201 104 202 1030 201 201 105 202 202 202 201 105 202 203 202 201 | 101 | | 13 | | • 1 | | | r i | | | 51.5 | 2610 | |
| 0 0 <td>1 521</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>-</td> <td>the second second second</td> <td>The second se</td> <td>0</td> <td></td> <td>1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1</td> <td>14.8</td> <td>2752</td> <td>5.0</td> | 1 521 | | | | - | the second second second | The second se | 0 | | 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1 | 14.8 | 2752 | 5.0 |
| X -45.1 719.2 5.1 -10 </td <td>100</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>C C</td> <td></td> <td>1</td> <td>0</td> <td></td> <td></td> <td>9.1</td> <td>52.02</td> <td>1.1</td> | 100 | | | | C C | | 1 | 0 | | | 9.1 | 52.02 | 1.1 |
| No. O.1.2 D.1.1 O.0.2 D.1.1 D.1.2 D.1.2 <thd.1.2< th=""> D.</thd.1.2<> | 2: | in the second second | | and a state | 1 | A STATE OF ST | · · · · · · · · · · · · · · · · · · · | A STATE OF | The second se | A second second second | 21.6 | 3069 | 12.0 |
| 200 7117 7631 5.6 200 7117 7631 5.6 200 7117 7631 5.6 201 713 6.1 201 713 6.1 202 713 6.1 203 731 6.1 204 773 6.1 204 773 6.1 205 71, 8867 8.1 205 71, 916 70, 0 205 71, | 53 | · C3 | - 102 | 1.0 | t t | | | t t | | | 17.3 | 2564 | 10.3 |
| 00 V11 7653 5.6 V19.2 7455 13.8 V11.5 7035 12.8 V 331 27.1 2.0 1.0 2.1 2.1 2.12 V 7 331 27.1 8.7 731 6.1 1.2 7 7 17.9 7 7 17.5 V 7 7 17.5 V 7 17.5 V 7 7 17.5 V 7 7 17.5 V 7 7 17.5 V 7 | 222 7 222 7 | | - 8846 | 8.5 | 11 | | | 1.1 | | | 54.2 | 2567 | 12.1 |
| 30 27.1 8.01 6.0 - 17.9 6.04 17.9 30 27.1 8618 6.0 - - 10.4 17.9 40 27.1 8618 6.0 - <td>1 30r.</td> <td>v 11.</td> <td>7 7853</td> <td>5.6</td> <td>19.2</td> <td>7455</td> <td>13.6</td> <td>11.3</td> <td>37.55</td> <td>1.2</td> <td>. 1 7.6</td> <td>. \$335</td> <td>1.35.</td> | 1 30r. | v 11. | 7 7853 | 5.6 | 19.2 | 7455 | 13.6 | 11.3 | 37.55 | 1.2 | . 1 7.6 | . \$335 | 1.35. |
| 2011 (1.1) 8/18 0.1 422 25/2 88/2 8.2 428 25/2 88/9 8.2 429 25/2 88/9 8.2 429 25/2 88/9 8.2 429 25/2 1089 21.6 1.05.0 5326 21.2 1.146 20.0 121 528 20.1 5.1 529 20.2 5.1 529 20.2 5.1 520 21.2 1.146 20.0 122 520 20.2 5.1 520 20.2 5 | -102 H | 58 | 7 8051 | 6.0 | | and the second second | | 15.5 | 6534 | 17.9 | 1 | | |
| 420 27.3 8667 8.2 - <th< td=""><td>102 1</td><td>55.</td><td>1 8618</td><td>6.0</td><td>1.1</td><td></td><td></td><td>r r</td><td></td><td></td><td>1.1</td><td></td><td></td></th<> | 102 1 | 55. | 1 8618 | 6.0 | 1.1 | | | r r | | | 1.1 | | |
| 430 - 25.2 763 | 42 | | 3 8857 | 8.2 | 1 | and in the raise | and William Street | y James Aug | and the gradient | | No. of the local division of the local divis | And a submittee water | |
| 1 22: 24.4 10394 21.6 23.0 5326 21.2 23.4 7746 20.0 22 1 2 2 40.5 7668 5.2 5.1 5.1 5.1 5.1 5.1 5.2 2.1 2 2.1 5.1 5.1 5.1 5.1 5.1 5.1 5.1 5.1 5.1 5 | 1 4 55 | | 2 8029 | 8.7 | - | | | 1. | the state of the second se | - | | 10104 | Z. L.L |
| 539 40.2 7668 6.2 | 1 525 | 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 | 10894 | 21.6 | 1.35.0 | 5 32 6 | 21.2 | 4.1.4 | 9417 | 20.0 | 1.21.5 | 10254 | 45.7 |
| | H 53% | .U. | 5 7797 | 6.2 | 11 | | | TT | | | 11 | | |
| | H 575 | | | | 1 | a survey of the second s | | 1 | A CONTRACTOR OF A CONTRACTOR A CONTRACT | 10100-004-0010010-0010010 | 23.6 | 2576 | 17.0 |

-28 -

国立防災科学技術センター研究報告 第12号 1975年8月

表 2 表1におけるディジタルフィルタの 特性

| FR | 2.5 | 3.5 | 4.5 | 5.5 |
|----|------|------|------|------|
| ΤА | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.07 |
| ТВ | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |



を決定するための種々の実験を行なったので、これらについて報告するとともに若干の考察 を述べることにする.なお、地震計は、固有周期1秒の速度型である.

2. 新長時間記録による計測値の解析

岩槻の観測施設には、まず TEAC 社の開発になる新しい長時間記録計(以下 R950 と称 する)が、テストも兼ねて設置された.われわれはまず、この R950 による記録の解析を行 なった.

再生のために TEAC 社製データレコーダ R410 を用いた. R950 の記録速度は 0.06 in/s, R410 の再生速度は 3 in/s とした. したがって 50 倍の速度比である.

2.1 各種のディジタルフィルタによる検出

まず,主通過周波数を 2.5, 3.5, 4.5, 5.5 Hz (このような周波数を選んだ理由については 後述する)と変化させて地震波の検出を行なってみた.結果の一部を表1に示す.この表の FR の行が主通過周波数である.フィルタの特性を前報告の記号を用いて書くと表2のよう になる.

前報告において述べたように、コンピュータや磁気テープの速度の制約から、AD 変換の サンプリングタイムを 500 µs より早くすることはできない. 実時間換算ではこの 50 倍の 25 ms, すなわち 40 Hz である. 不完全積分後の値と比較して地震であるとするための判定 値としては、あらかじめ若干の試行をした後、明りょうにノイズと思われるものが地震と判 定されないように適当に定めた. 表1の BOUND の行がこの判定値である. 表1の最左端 は、不完全積分後の値が判定値より大きくなった時刻(図1のA 点),各周波数の列の左端 は A 点の時刻の秒値,中央は図1の AB 間での不完全積分値のビーク値,右端は AB 間の 時間(秒)を示している. なお、DURATION の行の秒数より AB 間の時間が短いものは ノイズとみなしこの表に示していない.

表3は同じ岩槻の観測所のすす書き記録を用い,視察により求めた地震到着時刻を示す. 右端には,表1のデータから対応するものを抽出し,その主通過周波数を求めて記してあ る.不完全積分後の値が判定値より大きくなる時刻は地震到着時刻より遅いので若干のズレ がある.表1のレ印を付けたものが地震である.

| П | 時 | 分 | 秒 | F-P (sec) | 表1のFR | $\frac{P-P \text{ (mm)}}{(10.3 \ \mu \text{ kine/mm})}$ | S-P (sec) |
|------|----|----|------|-----------|--------------------|---|-----------|
| 5/30 | 20 | 02 | 25.5 | - | | 2. | 10. |
| 30 | 20 | 34 | 16.5 | 110 | 2.5, 3.5, 4.5, 5.5 | * | 14.6 |
| 30 | 21 | 39 | 32.0 | _ | | 1.5 | 8. |
| 30 | 22 | 08 | 44.4 | 35 | 5.5 | 2.9 | 9.5 |
| 30 | 22 | 18 | 56.1 | 40 | 2.5, 3.5, 4.5, 5.5 | 2.7 | 23.3 |
| 30 | 23 | 58 | 18.7 | 45 | 2.5, 3.5, 4.5, 5.5 | 11.0 | 17.2 |
| 31 | 01 | 00 | 15.3 | 20 | | 1.5 | 5.9 |
| 31 | 01 | 06 | 43.9 | 25 | 5.5 | 1.5 | 7.1 |
| 31 | 01 | 32 | 24.0 | 25 | 3.5, 4.5, 5.5 | 2.8 | 8. |
| 31 | 02 | 30 | 06.1 | 35 | 2.5, 3.5, 4.5, 5.5 | 4.5 | 12.6 |
| 31 | 02 | 44 | 39.0 | 50 | 5.5 | 2. | 27.5 |
| 31 | 02 | 52 | 20.2 | 45 | 2.5, 3.5, 4.5, 5.5 | 5.0 | 12.8 |

表3 すす書き記録から求めた地震の表(1)

表1,表3から次のことが分かる.

(1) 表1のように判定値を定めると,振幅が非常に小さい地震の若干個を検出すること ができない.判定値を十分に小さくすると,多量のノイズ的なデータを地震と判定してしま う.

(2) ノイズ的データが相当多く検出されるけれども、ディジタル化後のデータ記録量は 全体の約 50% になっている. 昭和 48 年 5 月 30 日から 31 日までのすべてのアナログ記 録をディジタル化すると、2,400 ft のディジタル磁気テープ3本となるが、表 1、表 2 の各 パラメータを持つフィルタにより検出された部分だけをディジタル磁気テープに納めると約 1.5 本となった.

表1に示されているように、ノイズを多く検出しているのは 5.5 Hz のフィルタである. このフィルタは振幅の小さな地震を検出するために必要なのであるが、もしこのフィルタの 判定値 (BOUND) を 3,000 とすると、ディジタルデータの記録量は 20% に減少する.

2.2 昼夜のノイズ周波数の相異

表1の結果は期待していたほど良いものではない. すなわち,フィルタの検出力はあまり 良くない. この原因を調べるため,まず,各フィルタごと,各時間帯ごとに,図1の AB 間 の時間の和を求めてみた. 結果は表4のようになる.

主通過周波数が 2.5 Hz の場合には, 夜中の4時, 5時あたりの割合が他の時間帯にくら べて大きいのに対して, 他のフィルタの場合には, 昼間帯の割合が相対的に大きい.(この 計算においては, 判定値を上下すると時間の和が異なるので,時間帯の相対的比較しか意味 がない.)すなわち, 夜中は 2.5 Hz 付近のノイズが比較的に卓越しており, 昼間はより高周 波のノイズが比較的に卓越しているわけである.

このようなノイズが何によるものであるかは未調査であるが, 2.5 Hz 付近はグラウンドの

表 4 ディジタルフィルタによる検出の相異 (R950)

| DAY | HOUR | 2.5 HZ | 3.5 HZ | 4.5 HZ | 5.5 HZ |
|------|------|----------|------------|----------|----------|
| 30 | 1 | 5.00 | 1.50 | 5.30 | 440.90 |
| 30 | 2 | 123.47 | 21.40 | 49.77 | 537.87 |
| 30 | 3 | 544.72 | 38.32 | 35.52 | 807.62 |
| 30 | 4 | 1064.95 | 129.33 | 62.27 | 833.15 |
| 30 | 5 | 1711.40 | 392.22 | 42.35 | 1019.82 |
| 30 | 6 | 1128.35 | 212.65 | 32.42 | 1022.07 |
| 30 | 7 | 589.67 | 142.35 | 60.00 | 1219.00 |
| 30 | 3 | 558.92 | 551.45 | 244.70 | 2355.75 |
| 30 | 9. | 957.65 | 1140.00 | 380.75 | 2499.57 |
| 30 | 10 | 904.35 | 1180.87 | 383.57 | 2721.77 |
| 30 | 11 | 942.95 | 1010.00 | 453.75 | 2383.82 |
| 30 | 12 | 845.95 | 594.80 | 283.52 | 1440.17 |
| 30 | 13 | 1046.07 | 1054.22 | 330.35 | 2181.00 |
| 30 | 14 | 486.45 | 684.57 | 347.77 | 2384.47 |
| 30 | 15 | 408.45 | 547.20 | 358.42 | 2481.90 |
| 30 | 16 | 372.80 | 528.07 | 291.87 | 2245.90 |
| 30 | 17 | \$9.75 | 142.70 | 62.20 | 1868.77 |
| 30 | 18 | 92.12 | 58.42 | 56.87 | 1092.05 |
| 30 | 19 | 122.07 | 69.10 | 85.47 | 1140.05 |
| 30 | 20 | 114.82 | 97.27 | 83.82 | 738.10 |
| 30 | 21 | 25.00 | 4.67 | 0. | 380.85 |
| 30 | 22 | 15 20 | 20.25 | 23 35 | 468.12 |
| 30 | 25 | 61.75 | 51.55 | 55.25 | 535.87 |
| 31 | 0 | 0.08 | 0. | 0 | 402.00 |
| | 1 | 7.62 | 2.40 | 10.87 | 425.85 |
| 31 | 2 | 236.15 | 35.55 | 39.10 | 417.05 |
| 31 | 3 | 523 27 | 2 12 | 5.12 | 533.47 |
| 31 | 4 | 1708.97 | 40.07 | 25.78 | 764.02 |
| 31 | 5 | 2140.02 | 447.57 | 76.15 | 1268 47 |
| 31 | 6 | 1354.62 | 429.30 | 56.32 | 1278.37 |
| 31 | 7 | 341 22 | 238 42 | 85 35 | 1775 67 |
| 31 | 8 | 767 02 | 752 40 | 627 17 | 3280 65 |
| 31 | 9 | 1453.60 | 1784.20 | 1271.95 | 3404.65 |
| 31 | 10 | 1418 32 | 1766 30 | 1154 47 | 3434 32 |
| 31 | 11 | 1370 22 | 1803 10 | 1349 75 | 3431 12 |
| 31 | 12 | 923.22 | 724.60 | 321.15 | 3053 00 |
| 31 | 1 | 1 189 22 | 1406.15 | 1111.52 | 3487.40 |
| 51 | 14 | 900 90 | 1 326 . 47 | 1129 52 | 3470 92 |
| 31 | 15 | 716 50 | 1070 22 | 721 17 | 1208 12 |
| 31 | 16 | 537 02 | 568.17 | 530 72 | 3348 87 |
| 31 | 17 | 197.22 | 242.35 | 258.00 | 3050.10 |
| 31 | 18 | 87 35 | 52 00 | 35 02 | 2780 60 |
| 31 | 19 | 47 05 | 20.00 | 25 40 | 2722 72 |
| 31 | 20 | 22 70 | 13.05 | 3/ 07 | 1038 55 |
| - 31 | 21 | 16.95 | 0.50 | 7 40 | 1530 60 |
| 31 | 22 | 36.20 | 36.12 | 34.12 | 1720.75 |
| 31 | 23 | 6.95 | 3 17 | 1.05 | 1265 27 |
| | 25 | 0.33 | 5.17 | 4.07 | 1207+21 |
| | | 28428.65 | 21538,42 | 12654.02 | 84886.45 |

基本的な振動, 5.5 Hz 付近は岩槻観測所近 くの工場による振動,国道を通る自動車に よるもの(これを今後,生活雑音と称する) などである疑いが強い. 2.5 Hz 付近がグラ ウンドの基本的な振動であるとすれば,昼 間でも混入しているはずであるが,他の周 波数が卓越しているため明りょうにはみえ ないものと思われる.

2.3 パワースペクトルの分析

ノイズと地震波との関係をさらに明らか にするため、パワースペクトルの計算を行 なった. 典型的な地震, 振幅の小さな地 震, 4~5 時ごろのノイズ, 昼間のノイズ のパワースペクトルを図 2 (1)~(4) に示 す. また, それぞれのペンレコーダによる 出力カーブが図 3 (1)~(4) である.(時刻 は図に付記してある.)

図2をみてわかるように, 4, 8, 16 Hz 付近に顕著な線スペクトル的ビークがある。実は, R950 による計測値の解析を始める前に 試みに 1~2 か所のパワースペクトルを求めたとき, 4, 8, 16 Hz に同じようなビークがあ ったので, フィルタの主通過周波数を, 3, 4, 5 Hz などとすることを避けたのである。

このノイズの原因は未調査であるが、下記のことから R950 に記録するとき混入したもの である疑いが大きい.



— 31 —

国立防災科学技術センター研究報告 第12号 1975年8月



図 3 R950 記録のペンレコーダによる表示

(1) R950 は嶺岡の観測所にも設置されている. この計測値についてのパワースペクトル (図 4) をみても, 4, 8, 16 Hz のビークは明りょうである.

(2) 岩槻の観測井には、地震の振幅の大きさをトリガにして記録する装置も設置されて いる.記録側のデータレコーダは TEAC 社製の R510 と同じものである. R510 を用いて 再生しディジタル化してパワースペクトルを求めたものが図5である. 4, 8, 16 Hz のピー



図4 R950 記録のパワースペクトル (嶺岡)

クは見られない.

(3) 後述するように, 岩槻に R950 の後設置された長時間記録計 (R922) による計測値 のパワースペクトルにも 4, 8, 16 Hz のピークはない.

2.4 まとめ

われわれの検出方法によれば、比較的大きな地震すなわち振幅の大きなものは不完全積分 後の値が大きくなるので容易に検出できる.したがって問題は振幅の小さな地震である.

グラウンドの基本的振動だけの場合のパワースペクトルは図6(イ)のようになると考え られる.これに対して,振幅が大きな,あるいは非常に小さい地震をのぞいた普通の地震の パワースペクトルは図6(ロ)のように高周波分がすこし大きくなるものと思われる.しか し,実際は生活雑音や記録計からと思われる4,8,16 Hzのノイズが混入しているので,図 7(イ),(ロ)のように両者のパワースペクトルの形が似てしまうので,検出が非常に困難に なるのである.

また,現在のサンプリング間隔が 25 ms であるため,10 Hz 付近で1周期あたりのサン プル数が4個程度になってしまうことも検出を困難にする一つの原因である.



— 34 —

結局,さらに検出力を上げるには,次のことを行なう必要があることになる.

(1) 生活雑音を地下の地震計に伝えないようにする.

(2) 記録計からと思われる, 4, 8, 16 Hz のノイズを除去する.

(3) ディジタル化の際のサンプリング間隔を縮める.あるいは記録速度を上げる.

もちろん,現状のままでも、アナログフィルタ回路の改良や後述するパワースペクトルの 形による判定などの工夫により、検出力をより一層あげることは可能であろうが,

(i) 地下の地震計に生活雑音が伝わるのを少しでもすくなくするように, 観測井内にカゴ状のしゃ断物を置くことになった.

(ii) R950 は岩井の観測所に移され,岩槻には従来型(後述の R922)の長時間記録計が 設置された。

こういうことから, R950 による観測データの解析を一時中止し,従来型 (R922) の長時 間記録計による観測データの解析を行なうことにした.

3. 従来型の長時間記録計による計測値の解析

R950 にかわって岩槻に設置された従来型の長時間記録計(以下 R922 という)による計



| SE |
|-------|
| = |
| 核 |
| 2 |
| 3 |
| Æ |
| St |
| 家 |
| 2 |
| 11111 |
| 922 |
| R |
| |
| 10 |
| 表 |

| 260 14H 260 14H 260 14H | BOUND DURATION | 4 4000 | 0 | | | 18000 2.51 | 23 | | | 9000 2.5 | SEC | | |
|-------------------------------|-------------------|------------|--|------------------------------|-----------------------|---------------------------------------|--|-----------------------|---------------------|---------------|---|---------|---------|
| 260 148 | 41M | *33.81 | 65.379 | 17.7 | 0.75 | *32.0v | 34274 | 21.4 | 0.75 | 6,0 *31.87 | 10542 | 4.9 | 0.89 |
| 1111 1111 | 41 3M | 6.8 | 51504 | 5.4 | 0.93 | 1 | | | | 10 | | | 00.0 |
| 26D 14H | W21 | . 1 | And a second | | | C (| | Carl International | and a second second | 32.5 | 9825 | 2.1 | 0.93 |
| 260 14H | 4 9M | 17.2 * | 46805 | 5.7 | 0.75 | * 11.0 * | 34385 | 20.8 | 0.79 | * 2.17 | 22392 | 21.1 | 0.75 |
| 260 14H | 57M | 51.5 | 48442 | 6.3 | 0.86 | | | | | | and the second second | 1 | |
| 260 15H | СM | 1 | Contraction () and | Call of the line of the line | and the second second | T. Harrison | and the second se | and a second second | 10.00 | 9.24 | 10687 | 4.4 | 68.0 |
| 26U 15H | 52 | ۲ ا ۲ | 00121 | 0 1 | 00 0 | r) | | | | - 1 - | 62201 | 3.1 | 0.84 |
| 1151 196 | 180 | **1.20 | 416209 | 1.00 | 20.0 | 10 60* | 0197910 | 87.2 | 0 63 | * 28.91 | 78266 | X3.D | 0 00 |
| 260 15H | 19M | | | | | | 00000 | - | 70.0 | 54.7 | 60601 | 6.1 | 0.85 |
| 260 151 | 218 | 1 23 | 1000 | 1 0 | 00 0 | 1 - 1 | 10110 | 2 6 | 10 0 | 17.1 | 10223 | 5.5 | 0.95 |
| HS1 092 | NL NL | h+06 | | | C | * × × | 10186 | 0.00 | + | 1.004 | | 5161 | 0.81 |
| 26U 15H | 38M | * 3.5 | 55504 | 14.6 | 0.84 | | 20110 | | 10.0 | 1 | | | |
| 260 15H | MAM | 20.5 | 4.2366 | 4.0 | 16.0 | 1 | Contraction (Contraction) | | | | 14 100 HOLES | • • • • | |
| 260 15H | 504 | 2.8 | 56992 | 5.5 | 0.84 | ſ | | | and a second second | 1 | and the second se | | |
| 26D 16H | WZ. | *55.11 | 51777 | 8.9 | 46.0 | *44.20 | 46938 | 62.6 | 0.70 | *44.51 | 28493 | 15.5 | 0.71 |
| 260 151 | 20 | *11.5 | 80615 | 40.0 | . 18.0 | at the set of the | (+())) (+()) | 101 | | r' 4 - | 11000 | .0 | 00 0 |
| 260 16H | 50 | i | | | | C | 03 | | | | 11020 | 0.4 | 0.07 |
| Hor roz | 112 | - W1 2 111 | 10561 | 1 01 | 0.58 | ×11.16 | AYLYL | A ne | 0 50 | | 26862 | 1 20 | 51.0 |
| 101 007 | 1440 | 4+-14 | 102201 | 14.0 | 5000 | 1.01% | 00101 | 0.02 | 10.0 | | 2000 | 0.04 | 09.0 |
| 260 164 | in the second | | of other states and st | - Internet | | | and a second sec | | | 59.0 | 11267 | 4.4 | 0.84 |
| 260 16H | 2714 | 8.0 | 47960 | 4.4 | 16.0 | r | | | | ı | | | ; |
| 26U 16H | 27% | 13.8 | 46686 | 5.8 | 0.92 | | • | | | () | 1.4 | | |
| 260 151 | 55M | *12.41 | 120757 | 30.7 | -0.02 | *11.41 | 219890 | 49.1 - | -0.04 | *11.11 | 128732 | 47.5 - | 40.04 |
| 26D 16H | 552 | 1 | | | | 1 | | | | *59.4 | 9692 | 2.1 | 0.79 |
| 260 161 | 37M | 1 | | 100 0000 | 1411 112 112 112 | i i i i i i i i i i i i i i i i i i i | Contract of American Street | | | * 6 * | 11824 | 1.1 | 0.72 |
| 260 164 | 413 | n-2 | 52086 | | 5.0 | 1 | | | 5 | 1 414 | 27065 | ¢. | 1 |
| 260 160 | 101 | 10.50* | 65240 | N• 2 | CF.0 | 41.72.4 | 14200 | 12.4 | 1.4.0 | 12. PCK | 2825 | 6 C | 200 |
| 191 192 | 2.4.5 | 5 1 | 207.04 | 0 7 | 0 83 | I | | | | | | | 1.0.0 |
| 260 167 | 58M - | ¥05.50 | 52056 | 5.3 | 52.0 | *47.81 | 25703 | 10.9 | 0.80 | *47.61 | 10198 | 2.1 | 0.76 |
| 260 164 | 5 KM | 1 | | | 4 | • | | | 5 | *50.0 | 9620 | 3.6 | CL O |
| 268 17% | 0W | 6.7 | 44.351 | 1.4 | 0.85 | | 1 | | | : | | | - |
| 266 174 | 13 | 1.3 | | | | 1 | | | | *59.21 | 23004 | 25.9 | 0.43 |
| 260 17H | E.S. | * ~ | 2/656 | 15.1 | 0.55 | * 0.01 | 51945 | 13.9 | 0.35 | ſ | | | |
| 111 1092 | 142C | 1.0.2 | 100 NO. 1000 | 104010101040004 | | 23.41 | 24.540 | | 6.89 | | 3670 | 1 | 10 0 |
| 260 17H | E HAL | | | | | | 20172 | 10.01 | 18.0 | | 10187 | | 120 |
| FL. 090 | | | | and a stress | A REAL PROPERTY OF A | | | | Sector A sector of | 30.8 | 15689 | | 22.00 |
| 260 17H | 212 | ī | | | | | | | | 30.2 | 96.36 | 3.5 | 00.0 |
| 260 17H | 5 JM | *12.91 | 323949 | 72.7 | 0.72 | *13.04 | 166634 | 60.8 | 0.72 | *13.14 | 81140 | 63.8 | 64.0 |
| 260 17H | 54M | I | | | | 14.1 | 24745 | 6.4 | 0.82 | 1 | | | |
| 260 176 | 5 5 M | i. | | | - | 1 | | | 2 | *21.90 | 10782 | 3.9 | P. 74 |
| 26U 18H | 15M | 58.6 | 45671 | 4.0 | 0.88 | c | | Concernant States and | | <u> </u> | | | No. 101 |
| 260 18H | 4 5M | *53.04 | 446067 | 91.6 | 0.79 | *52.62 | 166670 | 87.5 | 61.0 | *51.90 | 12305 | 85.9 | 0.79 |
| 260 184 | 4 7M | 1.1 | 55827 | 8°5 | 0.86 | A DESCRIPTION | and the second se | terms to the second | | 25.2 | 10425 | 2.5 | 0.87 |
| 260 18H | X2.4 | ĩ | | | | ŗ | | | | 0.00 | 1016 | 1.1 | 0.82 |
| 26D 18H | 53% | 1 | й | 2 | s a | r i | the state of the s | 3 | | *21.2 | 9223 | 2 | 44.0 |
| 26D 18H | 55M | L | 100 | | | ſ | | | | 38.2 | 11258 | 4.1 | 0.86 |
| 26D 19H | 26M | *411.6v | 65086 | 15.5 | 0.67 | *37.01 | 36906 | 23.8 | 0.68 | *26.34 | 10695 | 6.0 | 0.78 |
| 260 19H | 26M | ï | | | | 1 | | | | *32.5 | 6 5 2 6 | 5.5 | 0.72 |
| 260 19H | 26M | 1 | and the second se | 1000000000 | | 1.4 | | | 1 | *20.01 | 19488 | 1.05 | 0.69 |
| 260 194 | 29M | *44.87 | 65988 | 12.9 | 41.0 | ¥42.81 | 56165 | 2.22 | 44.0 | *10.14 | 2222 | ^ • • | 02.0 |
| 260 19H | 29M | 1211 | A CONTRACT OF A CONTRACT OF A | | | 6 | and a country of the other states | | | 5.62 | 98.34 | 5.2 | 0.86 |

表 6 表 5 におけるディジタルフィルタの 特性

| FR | 3.5 | 6.5 | 10.5 |
|----|------|------|------|
| ΤА | 0.07 | 0.07 | 0.06 |
| ТВ | 1.0 | 1.0 | 1.0 |

測値の解析の場合,再生には R510 を用い,再 生速度を 1 $\frac{1}{8}$ in/s とした.記録時の速度が 0.218 in/s であるから約 8.6 倍の速度比である. ま た,ディジタル化の際のサンプリング間隔はプ ログラムの便宜上, R950 と同じく 500 μ s とし

た. 実時間ではこの 8.6 倍の約 4.3 ms (約 250 Hz) ということになる.

3.1 パワースペクトルの分析

図2に対応するものが図8である. すなわち, (1) 典型的な地震, (2) 小さな地震, (3) 4~5 時ごろのノイズ, (4) 昼間のノイズである. 2.5 Hz 付近のグラウンドの基本的振動と 考えられるノイズ, 5.5 Hz 付近の生活雑音は R950 の場合と同じように見ることができる. しかし, 4, 8, 16 Hz のノイズは存在しない. かわりに 27.9 Hz および 50 Hz 付近のノイ ズが顕著である. これらのノイズが何によるものか未調査であるが, 十分に高周波であり, われわれの検出方法にとって妨げとならないので今後問題にすることはしない.

後でくわしくふれるが、4~5 時ごろでは 2.5 Hz 付近, 昼のノイズでは 5.5 Hz 付近が比較的優勢であり,振幅の大きな地震のパワースペクトルは、低周波から高周波部への落ち方の傾斜が他のものにくらべてゆるやかであること、などが図8をみてわかる.

3.2 各種のディジタルフィルタによる検出

R922 の場合のサンプリング間隔は 4.3 ms (実時間換算) であり、しかも優勢なノイズは 5.5 Hz や 27.9 Hz 付近であるので、ディジタルフィルタの主通過周波数として 6.5 Hz 以 上のものを選ぶことができる.主通過周波数として、3.5、6.5、10.5 Hz の三つを選び検出し た結果の一部を表5に示す.フィルタの特性は表6に示されている.また、表5のレ印のも のは地震である.

表5と対応する期間におけるすす書き記録から求めた地震の表(表7)から,次のことがわ かる。

(1) ノイズ的データがまだ検出されている.しかし, R950 の場合(表1)にくらべて少ない. 磁気テープのディジタル記録量は 5% で, 5.5 Hz のフィルタの判定値を 3,000 としたときの R950 にくらべても約4分の1になっている.

(2) このテストのかぎりでは、すす書き記録から求めた地震をほとんどすべて検出して いる. しかも、不完全積分のビーク値、判定値より大きい時間(図1の AB の長さ)も、 ほとんどのものがノイズにくらべて大きい.

3.3 日曜日と他の曜日との比較

解析に用いた R922 の記録は、たまたま日曜日(8月26日)を含んでいた。そこで、2.2 項の昼夜の比較(表 4)と同じように、日曜日と他の曜日との比較を行なってみた、結果が表8である。予想どおり、日曜日は 2.5 Hz が優勢である。自動車が少なく工場も休みのた

国立防災科学技術センター研究報告 第12号 1975年8月

| 日 | 時 | 分 | 秒 | F-P (sec) | 表 5 の F R | $\frac{P-P \text{ (mm)}}{(10.3 \ \mu \text{ kine/mm})}$ | S-P (sec) |
|------|----|----|------|-----------|----------------|---|-----------|
| 8/26 | 14 | 41 | 29.7 | 120 | 3.5, 6.5, 10.5 | 2.5 | |
| 26 | 14 | 49 | 01.5 | 20 | 10.5 | 2.5 | |
| 26 | 14 | 59 | 58.6 | 5 | 10.5 | 1.0 | |
| 26 | 15 | 18 | 28.4 | 100 | 3.5, 6.5, 10.5 | 7.0 | 27.0 |
| 26 | 16 | 07 | 42.2 | 85 | 3.5, 6.5, 10.5 | 2.5 | 31.6 |
| 26 | 16 | 23 | 58.2 | 40 | 3.5, 6.5, 10.5 | 4.5 | 15.2 |
| 26 | 16 | 35 | 10.5 | 55 | 3.5, 6.5, 10.5 | 23.0 | 7.7 |
| 26 | 16 | 43 | 48.0 | 35 | 3.5, 6.5, 10.5 | 3.5 | 10.8 |
| 26 | 16 | 58 | 40.8 | 20 | 10.5 | 2.5 | 6.5 |
| 26 | 17 | 01 | 58.7 | 30 | 10.5 | 3.0 | 5.5 |
| 26 | 17 | 14 | 44.2 | 70 | | 2.5 | |
| 26 | 17 | 32 | 19.2 | 25 | 6.5 | 1.0 | 8.3 |
| 26 | 17 | 43 | 03.2 | 15 | 10.5 | 1.5 | 4.3 |
| 26 | 17 | 53 | 12.6 | 75 | 3.5, 6.5, 10.5 | 13.0 | 8.8 |
| 26 | 17 | 53 | 55.5 | 25 | | 3.0 | 5.5 |
| 26 | 18 | 45 | 49.8 | 130 | 3.5, 6.5, 10.5 | 8.0 | 29.3 |
| 26 | 19 | 26 | 18.8 | 60 | 3.5, 6.5, 10.5 | 2.5 | 19.3 |
| 26 | 19 | 29 | 12.3 | 65 | 3.5, 6.5, 10.5 | 2.0 | 27.4 |

表7 すす書き記録から求めた地震の表(2)

| 日 | 時 | 分 | 秒 | F-P (sec) | 表5のFR | P-P (mm) (10.3 μ kine/mm) | S-P (sec) |
|------|----|----|----|-----------|----------------|-----------------------------------|---------------|
| 8/27 | 18 | 01 | 27 | 37 | 3.5, 10.5 | - | |
| 27 | 18 | 03 | 00 | 27 | 3.5, 6.5, 10.5 | _ | |
| 27 | 18 | 29 | 50 | 20 | 3.5, 6.5, 10.5 | | <u> Shadi</u> |
| 27 | 19 | 31 | 04 | 100 | 3.5, 6.5, 10.5 | | |
| 27 | 19 | 58 | 00 | 55 | 6.5, 10.5 | | |
| 27 | 20 | 54 | 24 | 110 | 3.5, 6.5, 10.5 | _ | |
| 27 | 21 | 06 | 17 | 10 | | | - |
| 27 | 21 | 08 | 55 | 5 | 6.5, 10.5 | | <u></u> |
| 27 | 21 | 28 | 23 | 100 | 3.5, 6.5, 10.5 | | |
| 27 | 21 | 36 | 31 | 80 | 3.5, 6.5, 10.5 | - | |
| | | | 1 | 1 | 1 | 0 | |

-38-

めであると考えられる.

さらに,図9は,主通過周波数を10.5 Hz としたときの不完全積分後の値をペンレコ ーダに表示したものである。日曜日(1)と その他の曜日(2)との相異は著しい。

以上のことから,日曜日以外の日につい ての検出結果(表 9)には表5の場合より 相当多くのノイズがはいってしまってい る.ディジタル記録量は約50%である(表 9に対応する期間の,すす書き記録から求 めた地震の表は表7にある.)

3.4 パワースペクトルの形を用いた検 出の試み

日曜日のデータによる検出結果(表 7) においても若干のノイズが混入している. そこでさらに、パワースペクトルの形によ って地震とノイズを分離することを試み た.地震、ノイズともに、そのパワースペ クトルの形がいろいろと異なっているので 分離は困難であったが、多くの試行錯誤の 結果、次のような判定基準によって非常に 良く分離できる見通しを得た.

表 8 ディジタルフィルタによる検出の相異 (R922)

| DAY | HOUR | 2.5 /2 | 3.5 HZ | 6.5 HZ | 10.5 HZ | |
|------|------|----------|----------|---------|---------|------------|
| 25 | 19 | 162.64 | 125.56 | 187.93 | 86.41 | |
| | 20 | 117.63 | 132.44 | 353.93 | 207.20 | |
| 25 | 21 | 50.54 | 52.57 | 124.01 | 5.85 | |
| 25 | 22 | 25.62 | 30.08 | 75.03 | 63.25 | |
| 25 | 23 | 167.57 | 71.47 | 1.61 | 13.78 | |
| 26 | U. | 276.00 | 313.94 | 274.75 | 262.39 | |
| : 26 | 1 | 8.64 | 8.15 | 18.68 | 32.06 | |
| 26 | 5 | 220.61 | 194.73 | 178.86 | 207.73 | |
| 26 | 3 | 254.57 | 1.27 | 3.01 | 3.93 | |
| 26 | 4 | 526.26 | 50.89 | 41.52 | 51.60 | Carlo Tale |
| 26 | 5 | 750.16 | 142.67 | 83.53 | 70.58 | |
| 26 | 6 | 416.18 | 143.99 | 32.10 | 27.86 | |
| 26 | 2 | 293.15 | 41.00 | 2.45 | 12.73 | |
| 26 | 8 | 356.79 | 110.19 | 18.81 | 37.75 | |
| 26 | 9 | 497.23 | 485.81 | 89.63 | 85.40 | |
| 26 | 16 | 409.23 | 464.51 | 150.80 | 182.41 | |
| | 11 | 127.80 | 364.34 | 90.04 | 116.62 | |
| 26 | 12 | 505.34 | 132.89 | 94.58 | 105.37 | |
| 26 | 13 | 138.70 | 235.35 | 128.35 | 111.41 | |
| 26 | 14 | 211.22 | 517.90 | 174.00 | 207.84 | |
| 26 | 15 | 157.94 | 186.49 | 116.72 | 114.75 | |
| 26 | 16 | 139.19 | 200.36 | 162.75 | 213.41 | |
| 26 | | /8./1 | 106.70 | 103.74 | 117.95 | |
| 26 | 18 | 96.17 | 117.09 | 90.08 | 100 43 | |
| 20 | 15 | 33.60 | 01.73 | 50.92 | 179 56 | 142.53 |
| 20 | 20 | 194.45 | 200.25 | 107.01 | 174.13 | |
| 20 | 21 | 32.40 | 36.40 | 67.60 | 134.12 | |
| 20 | 24 | 100 400 | 110.52 | 160 52 | 138 63 | |
| 20 | | 100.00 | 20.17 | 24.08 | 100.05 | |
| 27 | | ×1 70 | 10.66 | 14.54 | 19.91 | |
| 27 | ; | 750 56 | 181.87 | 154.63 | 153.79 | 593 |
| 27 | 3 | 1453-06 | 711.91 | 5.73 | 0. | |
| 27 | - ŭ | 2518.47 | 329.19 | 90.06 | 86.37 | 10.02 |
| 27 | 5 | 2862.34 | 1047.09 | 0. | 5.85 | |
| 27 | 6 | 2342.77 | 1155.22 | 5.93 | 7.40 | 1002404 |
| 27 | 7 | 1078.70 | 726.85 | 3.93 | 16.38 | |
| 27 | 8 | 2265.30 | 2652.07 | 244.99 | 634.34 | |
| . 27 | 5 | 2957.27 | 3388.61 | 1019.90 | 1200.77 | |
| 27 | 10 | 2901.36 | 3345.51 | 1033.23 | 1253.32 | ATC: NO. |
| 27 | 11 | 339.58 | 462.08 | 112.32 | 72.61 | |
| - 27 | 12 | | Ο. | 0. | | |
| 27 | 13 | Ο. | Ū. | 0. | · 0. | |
| 27 | 14 | 2322.04 | 2675.62 | 806.23 | 1112.97 | |
| 27 | 15 | 962.40 | 1375.44 | 225.01 | 338.84 | |
| 27 | 15 | 1424.10 | 1750.36 | 508.69 | 569.62 | |
| 27 | 17 | 1156.76 | 1476.58 | 515.23 | 572.18 | |
| 27 | 18 | 380.31 | 343.51 | 58.93 | 124.31 | |
| 27 | 19 | 375.37 | 134.83 | 56.22 | 94.62 | |
| 27 | 20 | 221.15 | 137.69 | 51.06 | \$0.79 | |
| 27 | 21 | 445.61 | 1256.76 | 221.52 | 222.57 | |
| 27 | 22 | 89.43 | 2962.74 | 25.91 | 51.90 | |
| 27 | 1.5 | 33.20 | 1835.36 | 5.81 | 13.03 | |
| 28 | U | 35.30 | 27.05 | 9.42 | 32.57 | |
| 28 | 1 | 89.96 | 2.51 | 1.14 | 20.01 | |
| | | 35264.30 | 31911.40 | 8395.73 | 9895.74 | a |
| | | | | | | |

(i) まず, 主通過周波数を 3.5, 10.5 (あるいはさらに 6.5) として, 検出回路を通過させる. このとき同時に AD 変換を行なってしまう.

(ii) 検出回路を通過したもののうち,図1の AB 間の時間が 10 秒以上のものは地震と みなし,逆に2秒に満たないものはノイズとみなす.

(iii) AB 間の時間が2秒から 10 秒のものについては、AB 間のデータを使ってパワースペクトルを求め、図6(ロ)のようにパワースペクトルの傾斜がゆるやかなものは地震、
 (イ)のように鋭いものはノイズとみなす。(この判定基準の詳細については付録において述べる。)

このような判定方法によって最終的に地震と判定されたものは,表5と表9の*印を付したものである. これと表7とを比較すると,(このデータの範囲内では)ほとんど完全に地震とノイズの分離ができたことがわかる.(表5,表9においてレ印を付したものが地震である.)



表5の 3.5 Hz の列で, 26 日 16 時7分と 26 日 16 時8分の行に*印が付いているが, 後者は前者の続きとみなしてよい.また,いずれかのフィルタにより地震と判定されたもの が,図1の AB 間の前後適当な時間を含めて一つの地震としてディジタル磁気テープに記 録される.このように地震やノイズの記録の数をかぞえることにすると,表5の期間内でノ イズであるのに地震と判定されたものは7個になる.(ただし,小さな地震をノイズと判定 してしまう場合もある.(26 日 14 時 59 分 59 秒, 26 日 17 時 32 分 19 秒))

日曜以外の場合(表 9),ノイズを地震と判定した数は9個である。すなわち、この新しい判定法を用いると、日曜日以外の場合も比較的良い結果が得られることになる。

表 5, 表9には、パワースペクトルの傾斜値も示してある(各周波数の列の右端)が、図 1 の AB 間の時間が 10 秒以上のもので傾斜値が 0.8 を超えるものは少ない. 表5では 16 個中 3 個、表9では 12 個中 4 個であり、しかもこの7 個はすべてノイズである. したがっ て、「AB 間の時間が 10 秒以上のものを地震とする」という判定法を削除し、「2 秒以上で しかもパワースペクトルの傾斜値が 0.8 以下のものを地震とする」という判定法を採用する と、地震と判定されてしまうノイズは、表5では 4 個、表9では 5 個に減少する.

もっと多くのサンプルについて調査する必要があるけれども、パワースペクトルの傾斜値 による判定法は非常に良い方法であると考えられる.ただし、不完全積分後の値が大きくな った部分についてだけパワースペクトルを求め判定するという所が一つのキーポイントであ

| H | | FR BOUNI DURATI | 0 40000 0 4,0000 | C. | | | 18000 | 0 | | | 10.5 9000 2.SE | β | | 1 |
|--|-------|-----------------------|--|------------------------------|------------------|--------------|--|--------------------------------|-------------------|--------------------|--|--------------------------|---|--------|
| | - | MI 10 | 44.85 * | 50660 | 12.0 | 0.85 | | 10101 | 0.01 | . 20 0 | ×10.70 | 13857 | 17.9 | 0.56 |
| $ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$ | 181 | 5H 3M | 24.3 | 50427 | 2.0 | 0.84 | AC-DIK | 16190 | | | | 2 | | |
| 18: 7: 8:1 0:319 11: 0:33 11: 0:33 11: 0:347 31: 0:347 31: 0:347 31: 0:347 31: 0:347 31: 0:347 31: 0:347 31: 0:347 31: 0:347 31: 0:347 31: 0:347 31: 0:347 31: 0:347 31: 0:347 31: 0:347 31: 0:347 31: 0:347 | 3 4 | 8H 6% 3H 7M | 12.8 * 8.1 | 52579 | 2.11 | 0.85 | ¥ 2.4 | 24493 | 13.0 | 0.85 | 54.8 | 13780 | 6.7 | 84.0 |
| 101 101 <td></td> <td>W2 1-8</td> <td>* 19.8</td> <td>49750</td> <td>11.8</td> <td>0.89</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>1.1</td> <td></td> <td></td> <td></td> | | W2 1-8 | * 19.8 | 49750 | 11.8 | 0.89 | | | | | 1.1 | | | |
| 181 715 528.7 5.0 6.85 | -120 | MS HS | 11.7 | 40010 | 4.6 | 6.80 | | | | | | and the second second | | |
| $ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$ | 1 | 6H 20M | 16.3 | 52947 | 0.6 | 0.88 | 1 | | | (constraint) | 1 | | and the second se | ж т |
| $ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$ | 1 4 | 8.4 2.0M | 80 80 C C C C C C C | 53803 | | 28.0 | 11 | | | | î î | | | |
| $ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$ | 1.001 | SH 21M | 16.2 | 45421 | 8.0 | 68.0 | | | | | | | | |
| $ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$ | 31 | 8H 22M | - <u><</u> .12 | 49683 | 6.4 | 0 88 | and a second second | and the second second | | the second second | | the second second second | | |
| 11 21.7 66346 7.3 673 855.11 43216 13.7 65446 31.7 65568 21.7 65568 21.7 65568 21.7 65568 21.7 65568 21.7 65568 21.7 65568 21.7 65568 21.7 65568 21.7 65568 21.7 65568 21.7 65568 21.7 65568 21.8 61.0 21.7 65689 21.8 61.0 21.8 21.0 21.1 21.1 21.1 21.1 21.1 21.1 21.1 21.1 21.1 21.1 21.1 21.1 21.1 21.1 21.1 21.1 21.0 21.1 21.0 <t< td=""><td></td><td>20H 25X</td><td>2.0 k</td><td>53778</td><td>9.0</td><td>20.00</td><td>• •</td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td></td><td></td><td></td></t<> | | 20H 25X | 2.0 k | 53778 | 9.0 | 20.00 | • • | | | | 1 | | | |
| $ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$ | 1.6 | 8H 24M | 5.3 | 1.6546 | 4.8 | 0.93 | ſ | | | | - | 900-1100-00 00 | į, | |
| 11 12 4033 4.27 4033 4.27 4033 4.27 4033 4.27 4033 4.27 4033 4.27 6.3 4.27 6.3 4.27 6.3 4.27 6.3 4.27 6.3 4.27 6.3 4.27 6.3 4.27 6.3 4.27 6.3 5.1 6.3 6. | | 8H 24M | 25.7 | 46547 | 7.3 | 0.92 | | 1001 | C | | - 10 T | 6699 | L. 10 | 1 10 |
| 1 | | 262 H8 | 1001 | 116.851 | y T | 0 20 | *>>.1 | 01764 | · | 01.0 | *)4.14 | 02000 | + 2 | |
| 0.10 9.1, 1 0.89 -1, 1 0.89 -1, 1 0.89 1.11 1.11 0.83 +27.5 20331 2.5 0.83 -2.7 0.83 1.11 1.11 2.11 0.83 +27.5 20331 2.5 0.83 -2.1 0.77 1.11 2.11 2.12 0.83 +2.1 11202 2.11 0.87 1.11 2.11 2.13 0.84 -9.4 0.71 +8.1 11112 2.11 0.73 1.11 2.11 2.11 0.74 2.11 0.74 2.11 0.77 1.11 2.11 2.11 0.74 2.11 0.74 2.11 0.77 1.11 2.11 1.11 2.11 0.71 +8.1 1.11 1.11 2.11 0.74 1.11 1.11 2.11 0.71 +8.1 2.11 0.76 +1.11 1.777 0.71 0.70 2.11 0.70 2.11 0.76 2.11 0.76 2.11 0.76 2.11 0.71 2.11 0.71 | | SH 43% | 14.2 | 53150 | 2.0 | 10 | E. | A NUMBER OF STREET, STREET, ST | | | 1 | | | |
| 188 400 774 0.83 827.5 2079.1 2.5 0.74 0.83 827.5 0.74 0.83 827.5 0.74 0.83 827.5 0.74 0.83 827.5 0.74 0.83 827.5 0.74 0.83 827.5 0.74 0.83 827.5 0.74 0.83 827.5 0.74 0.83 $82.7.5$ 0.74 0.87 0.74 0.87 0.74 0.87 0.74 0.87 0.74 0.87 0.74 0.87 0.74 0.74 0.87 0.74 0.74 0.87 0.74 0.74 0.74 0.74 0.74 0.74 0.74 0.74 0.75 0.74 0.75 0.74 0.75 0.74 0.75 0.74 0.75 0.74 0.75 0.74 0.75 0.74 0.75 0.75 0.75 0.75 0.75 0.75 0.75 0.75 0.75 0.76 0.76 0.77 0.75 0.75 0.77 0.77 0.75 0.77 0.77 0.75 0.77 0.77 0.75 0.77 0.75 0.7 | 16 | 6H 434 | 54.3 | 43819 | 6.9 | 0.89 | a la constante de la constante | | | | 1 | 1 11 12 | a manual a | |
| 181 500 377.4 6810 5.2 0.83 4.41 1122 5.4 0.83 4.41 1122 5.4 0.84 2.1 0.74 2.1 0.74 2.1 0.74 2.1 0.74 2.1 0.74 2.1 0.74 2.1 0.74 2.1 0.74 2.1 0.74 2.1 0.74 2.1 0.74 2.1 0.74 2.1 0.76 | 2 | 8H 49X | 49.4 | 45495 | 4.7 | 0.89 | 1.1 | | 2 | 100 | 1 - 1 - 1 | | | |
| 0.000 0.0000 0.000 0.000 <t< td=""><td></td><td>811 563</td><td>4.75</td><td>49510</td><td>2.0</td><td>000</td><td>*21.5</td><td>1ccn2</td><td>C . 2</td><td>41.0</td><td>1 86</td><td>11322</td><td></td><td>00</td></t<> | | 811 563 | 4.75 | 49510 | 2.0 | 000 | *21.5 | 1ccn2 | C . 2 | 41.0 | 1 86 | 11322 | | 00 |
| Nime Nime <th< td=""><td></td><td>NOC 10</td><td>2. JOK</td><td>20040</td><td>n•/</td><td>41.0</td><td>r</td><td></td><td></td><td></td><td>7 D7*</td><td>12745</td><td>12.8</td><td>0.77</td></th<> | | NOC 10 | 2. JOK | 20040 | n•/ | 41.0 | r | | | | 7 D7* | 12745 | 12.8 | 0.77 |
| $ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$ | | 8H 57M | *17.C | 56745 | 23.8 | 0.86 | \$ 5.6 | 31548 | 26.9 | 0.83 | * 2.2 | 17698 | 22.4 | 0.70 |
| 198 101 +110 11463 49.4 0.71 *8.77 93797 51.4 0.85 64.10 0.65 198 101 15 40.6 0.71 *8.77 93797 51.4 0.73 9351 61.10 0.73 198 101 15 40.6 0.71 *8.77 9379 51.4 0.73 9351 21.10 0.73 198 101 15 54 0.86 287 *23.54 0.87 *23.54 0.87 *23.54 0.87 *23.54 0.67 *11.1 17779 22.11 0.67 198 579 56.5 0.86 287 *23.54 0.86 287 282.11 0.67 28.11 0.67 198 579 56.5 0.86 28.6 0.88 28.6 0.86 28.6 0.67 101 45.5 0.88 0.88 0.8 0.8 0.86 2.41 0.73 0.6 101 45.7 0.87 0.83 0.8 0.8 0.8 0.8 0.6 101 45.7 0.86 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.6 101 45.7 0. | 77 | WL SEE | 1 4 5 | 1.4173 | 2 | 10.0 | 1 - 1 22 | | 391 A.B. | | | HACK | r•2 | 0.84 |
| 199 100 110.00 11483 49.4 0.71 *8.7.9 9513 2610 0.6 199 18.5 48065 5.4 0.80 - 4933 2931 210 0.6 199 18.5 49.6 10115 5.8 0.78 - - 419.3 10709 5.7 0.7 199 578 4.6 10115 5.8 0.78 - 78 10709 5.7 0.7 199 578 4.5 45515 5.8 0.87 - - 419.1 17379 22.1 0.6 199 578 455 5.8 0.80 - - 20617 3.2 0.67 - 414.1 17379 22.1 0.6 199 579 6.8 0.8 - 2.8 0.8 - - 2.8 0.6 201 50 68 0.8 - 2.8 0.8 - - - - 0.6 201 50 68 0.8 - 2.8 0.8 - - 0.6 - - 0.6 201 51 0.67 811.1 10.9 0.67 | | 99 20% | 2.1 | 3, 104 | | | í | | | | 42.1 | 11056 | 4.0 | 0.83 |
| 191 3.0 19. 4.005 5.4 0.80 7.4 0.70 7.9 0.7 191 577 9.1 10119 5.8 0.79 0.7 0.7 0.7 191 577 9.1 10119 5.8 0.79 0.7 0.7 0.7 191 577 9.1 10119 5.8 0.79 0.7 0.7 191 577 9.1 10119 5.8 0.79 0.7 191 577 10.1 5.4 0.85 7.1 0.67 7.1 17379 22.1 0.6 191 577 4101 5.3 0.85 7.3 0.85 7.3 0.81 101 7.1 4103 5.3 0.86 0.8 7.4 0.87 0.6 101 5.2 0.86 0.97 1.1 19521 1.1 1.1 1719 22.1 0.6 101 5.2 0.86 0.87 0.86 1.1 19521 1.1 1.1 1719 22.1 0.6 101 5.2 0.87 0.87 0.87 0.81 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 < | | 9H 31M | *10.04 | 114683 | 49.4 | 0.71 | * 8.7 | 151.86 | 53.4 | 0.70 | * 0.51 | 26316 | 61 . D | 0.68 |
| 181 900 *10.2 400.0 51.0 0.7 181 901 *9.1 40135 54.0 0.85 182 901 401 4135 54.0 0.85 183 901 401 4135 54.0 0.85 183 901 401 4135 54.0 0.85 183 901 41.1 4135 54.0 0.85 184 401 4135 54.0 0.80 184 41.1 4135 54.0 0.80 184 41.1 41.1 41.1 17379 22.1 0.61 184 41.1 41.1 41.1 17379 22.1 0.61 184 41.1 41.1 41.1 41.1 41.1 41.1 41.1 184 41.1 41.1 41.1 41.1 41.1 41.1 41.1 184 41.1 41.1 41.1 41.1 41.1 41.1 41.1 184 41.1 41.1 41.1 41.1 41.1 41.1 41.1 184 41.1 41.1 41.1 41.1 41.1 41.1 41.1 184 41.1 <td></td> <td>91: 5.58</td> <td></td> <td>07077</td> <td>. 4. S. +</td> <td>000</td> <td>in the second second</td> <td>Company of the</td> <td></td> <td></td> <td>1:1*</td> <td>TCCK</td> <td></td> <td>1.0</td> | | 91: 5.58 | | 07077 | . 4. S. + | 000 | in the second second | Company of the | | | 1:1* | TCCK | | 1.0 |
| 15 75 * 0.1 1019 5.8 0 78 15 57 65 53 0 85 23.1 0.67 15 57 65 53 0 85 23.1 0.67 *14.1 15 57 65 45359 5.1 0 87 23.1 0.67 15 57 651 4355 5.1 0 80 23.1 0.61 201 102 651 4355 5.1 0 83 26 201 102 651 4356 0 83 26 201 102 52.1 0 86 28 28 201 102 463 5.6 0 83 26 201 102 52 0 84 26 46 201 201 20 84 26 46 26 201 21 11.1 10321 12.4 0 67 201 21 21 12.5 0 84 26 201 21 21 12.5 12.5 12.5 12.5 201 21 21 12.5 | | 511 50M | <u>.</u> | C000# | ÷. | 00.0 | ľ | | | | *19.8 | 1 0709 | 5.2 | 22.0 |
| $ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$ | | - W25 H6 | * 0.0 | 50119 | 5.8 | 0.78 | 1 1 1 1 1 1 | - | 1. T. L. L. L. | | ı | THE REPORTED CONTINUES. | - | |
| $ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$ | - | S.1 57M | 30.6 | 44755 | 4.5 | 0.85 | 1 | | 9.102 | | | | 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 1 | |
| 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.00 0.1 0.20 0.80 0.85 0.00 0.1 0.20 0.85 0.01 0.1 0.20 0.85 0.01 0.1 0.20 0.85 0.01 0.1 0.20 0.85 0.01 0.1 0.20 0.85 0.01 0.1 0.20 0.85 0.01 0.1 0.20 0.85 0.01 0.1 0.20 0.85 0.01 0.1 0.20 0.85 0.01 0.1 0.1 0.86 0.1 0.1 0.1 0.86 0.1 0.1 0.50 0.84 0.1 0.50 0.85 0.85 0.1 0.50 0.86 0.1 0.50 0.86 0.1 0.50 0.50 0.1 0.50 0.50 0.1 0.50 0.50 0.1 0.50 0.50 0.1 0.50 0.50 0.1 0.50 0.50 0.1 0.50 0.50 0.1 0.50 0.50 0.1 0.50 </td <td></td> <td>MA DA</td> <td>1.75</td> <td>CZECH</td> <td>0.0</td> <td>0.87</td> <td>425.54</td> <td>21074</td> <td>2.2</td> <td>0 67</td> <td>*14.10</td> <td>17379</td> <td>22.1</td> <td>0 K5</td> | | MA DA | 1.75 | CZECH | 0.0 | 0.87 | 425.54 | 21074 | 2.2 | 0 67 | *14.10 | 17379 | 22.1 | 0 K5 |
| 201 101 615 4235 5.0 0 0 0 201 201 17.2 44267 6.7 0 86 201 201 17.2 44267 6.7 0 86 201 201 17.2 44267 6.7 0 86 201 201 17.2 44267 6.7 0 86 201 201 17.3 510 0 87 0 201 2173 5.0 0 87 0 87 202 201 11.3 510 0 87 0 202 201 11.4 207661 1.4 0 65 202 201 21.4 0.56 21.4 0.56 202 201 21.4 0.56 24.4 0.56 202 201 20.5 21.4 0.56 24.6 202 201 20.6 21.4 0.56 24.7 202 201 20.5 20.8 24.60 4.1 0.50 202 201 20.8 24.60 4.1 0.50 26.5 203 203 20.8 24.50 <td>13</td> <td>MP SM</td> <td>40.4</td> <td></td> <td>. 2.0</td> <td>0 80</td> <td></td> <td></td> <td>in manufacture</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>5</td> | 13 | MP SM | 40.4 | | . 2.0 | 0 80 | | | in manufacture | | | | | 5 |
| 201 201 201 17.1 17258 7.5 0.86 001 201 201 201 0.86 0.86 001 201 202 0.86 0.8 001 201 55 0.86 0.8 001 551 55 0.86 111 1253 011 52.0 6.6 *111 19821 3.4 0.58 011 51 5.0 0.91 18871 9.66 *10.6 011 51 5.0 0.60 *11.1 19821 3.4 0.58 011 51 5.0 0.60 *11.1 19821 3.4 0.56 011 2017861 34.7 0.56 *11.1 19821 2.4 0.56 011 201781 34.0 0.56 *25.1 22460 4.1 0.50 011 201781 10.65 *25.1 22460 4.1 0.50 4.5 011 201 55 0.86 *25.1 22460 4.1 0.50 011 201 203 55 0.87 0.83 2.5 0.6 011 201 20 81.7 0.5 | 12 | 0H 10M | 5 | 46335 | 5.0 | 200 | 1 | | | | ŗ | 1 04 100 100 10 | | |
| 0.01 2.01 2.01 3.2 0.84 0.01 2.01 3.2 0.86 - - 0.01 3.01 5.0 0.91 - - 0.01 3.1 5.0 0.91 - - 0.01 5.0 0.91 - - - 0.01 5.0 0.91 - - - 0.01 5.0 1.11 1952 3.4 0.65 0.01 5.0 8.1.11 1952 3.4 0.56 0.01 5.1 1.11 1952 3.4 0.56 0.01 5.1 8.1.11 1952 3.4 0.56 0.01 5.1 8.1.11 1952 3.4 0.50 0.01 5.1 8.1.11 1952 3.4 0.50 0.01 5.1 10.5 8.87 0.50 4.1 0.11 2.1 1.1 0.50 8.7 0.50 0.11 2.1 1.1 1.1 0.50 8.7 0.11 2.1 1.1 0.50 8.7 0.50 0.11 2.1 2.1 1.1 0.50 8.7 0.11 2 | 2 | 0N. 22M | 45.1 | 47258 | 5.5 | 0.88 | | | | | 1 ; • | | | |
| 200 200 - 200 - 10 | 12 | CH 23K | 17.2 | 19244 | 0.1 | 0.86 | | LUJUK | ¢ 1 | | and the state | | 1000 (000000) - VICE | 1000 |
| 0.01 | 20 | 0H 263 | nu. h | 55274 | 5.6 | 778 0 | • I | 10002 | 3 •0 | 10.0 | ſ | | æ | |
| 2 201 400 13.3 5 40103 5.0 6 6 1 1.1 19521 3.4 0.66 *26.44 1/7444 88.3 0.6 6 20 20 20 20 2.4 0.56 2.5 2.5 0.6 2.5 2.5 2.5 0.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2 | 2 | CH 32M | | 51763 | 5.5 | 0.86 | | | the second second | A Data Manager and | | | and the second | 941 A |
| 201 301 4.0 4.0 6.1 0.60 *1.1 1.951 3.4 0.66 *0.0 0.0 201 301 *1.1 207861 34.7 0.55 *2.0 0.56 201 3877 40.6 0.56 *1.1 0.56 *1.2 17631 9.2 0.6 201 201 211 22460 4.1 0.50 *57.2 17631 9.2 0.6 201 211 224 0.51 22460 4.1 0.50 *57.2 17631 9.2 0.6 201 112 22.6 0.81 22460 4.1 0.50 *57.2 17631 9.2 0.6 201 112 22.6 0.81 2360 5.2 0.81 2360 2.6 2.5 0.6 211 124 124 0.66 283 2.2 0.83 2.2 0.6 211 128 23.2 0.83 2.5 171957 81.7 0.66 72.3 0.6 211 224 234 24.7 72.6 171957 81.7 0.6 2.5 0.6 211 224 234 24.7 0.66 | 21 | CH 40M | 13.3 | 20103 | 5.0 | 16.0 | 1 | and a second second | | -14 (14 K) | 1. | | | |
| ZCH 550 ************************************ | 2 | Mine Ho | 1 | | | | 1 | 1003 | 1 1 | | *26.47 | 11111 | 88.5 | 0.60 |
| 201 35 ****** 4446 5** 0.89 ****** 12:0 72877 40.6 25 *57.2* 17531 9.2 0.5 121 31 9.2 0.5 121 31 9.2 0.5 121 121 9.2 0.5 121 121 121 9.2 0.5 121 121 121 121 121 121 121 121 121 12 | NO | , NOV HO | * * | 17871C | C 11. | 0.60 | ** | 19519 | 1.0 | 000 | ji , | 3 | | ŝ. |
| 211 88 57.28 17651 9.2 0.6 211 187 57.1 6496 6.5 0.8 211 187 22.6 64168 5.2 0.8 211 187 12.6 6486 5.5 0.8 211 187 12.9 16691 4.5 0.8 211 287 22.9 171957 81.7 0.66 20 20.8 211 287 21.4 167 21.6 20.8 211 287 21.4 20.8 0.8 211 287 20.6 20.8 0.8 211 287 21.4 20.8 0.8 211 287 21.4 20.8 0.8 211 287 21.4 20.8 0.8 211 287 20.8 0.8 212 287 20.8 0.8 0.8 212 297 20.8 0.8 212 297 20.8 0.8 212 297 20.8 0.8 | | CH 55M | r k | | • | 6.0 | *12.0 | 78877 | 40.6 | 0.65 | r | | * | |
| 2111 127 57.1 6495 6.5 0.87 2111 149 22.6 46169 5.2 0.87 2111 228 22.6 4966 6.6 0.89 2111 228 22.9 4655 6.4 0.8 0.89 2111 228 25.9 4655 6.7 0.80 2111 288 25.7 9 3559 0.66 25.59 171957 81.7 0.66 24.70 82.49 72.3 0.5 2111 288 25.7 9 37937 0.66 25.59 0.66 25.59 171957 81.7 0.66 25.50 170 170 170 170 170 170 170 170 170 17 | N | 1H 84 | | and the second second second | NUMBER OF STREET | | *58.10 | 22460 | 1.1 | 0.50 | *57.24 | 17631 | . 6 | 0.60 |
| 0 2111 1011 24.6 49159 5.4 0.89 0 2111 2011 22.9 40550 4.4 0.89 0 2111 2011 22.9 40550 4.4 0.83 0 2111 2011 2211 2011 31.552 6.7 0.86 0 2111 2011 4.5 1.57937 35.9 0.86 0 2111 2011 4.1.571795 224.8 0.89 0 211 2011 4.1.571795 224.8 0.89 0 211 2011 4.1.571795 224.8 0.89 | NO | 1H 13% | 1.7.5 | 46496 | 6.5 | 0.89 | the second second | A NUMBER OF STREET, STREET, ST | 1000 | 12 U | 11 | 10.00 | A NUMBER OF STREET, ST | 3 |
| 0 211 22H 22H 22.9 4665H 4.15 0 83 0 211 22H 22H 24.1 2 1056Z 6.1 0 85 0 211 22H 22H 25H 25H 25H 0 656 0 211 24H 24H 25H 25H 25H 25H 25H 25H 25H 25H 25H 25 | 10 | 10 140 10 198 | 0.0C | 10107 | 2.6 | 19.0 | ľ | | | | I | | | |
| 1 211 224 20.1 45667 4.1 0.8 20 2.8 25.5 0.8 20 2.5 171957 21.5 0.7 2 24.7 1 24.9 72.3 0.7 2 21. 2 21.2 20 2 20 2 20 2 20 2 20 2 2 | 5 | 1H 22M | 22.9 | 46654 | 4.5 | 0.83 | ir i | | | * | -1 | ł | 1 | |
| 0.2111.261 #20.17 0.016 89.2 0.66 #2.27 1119.27 0.10 0.00 0.011 2.0 0.00 0.011 2.0 0.00 0.0 | N | 1H 22M | 54.3 | 1.5662 | 1.5 0 | 0.80 | 10 363 | | 417 | 77 V. | 16 116* | 82469 | 72.3 | 17 X |
| 0 ZH 354 *********************************** | NN | 1H 28M 1H 34M | *12.6 | 375957 83048 | 345.9 | 0.66 0.89 | 17.07 * | 106111 | 2.10 | 0.66 | 7.1. 1 | c h h 7 u | e*2) | 0 |
| | NO | 1H 35% | *44.61 | 551795 | 224.8 | 68.0 | 1 | | 10.70 | | | | | |

18632 記録を用いた権用結果(日曜以外) 0 って、不完全積分後の値が小さい部分のパワースペクトルを用いる、すなわち、パワースペ クトルの傾斜だけを用いて地震とノイズを分離することは非常にむずかしいのである.いろ いろと試みたが、現在までのところ成功したとはいえない.

なお,0.5 Hz~3 Hz のような比較的長周期の地震は判定値をこえる時間が10 秒以上のも のでも、パワースペクトルの傾斜値が大きい.したがって、判定値をこえる時間が2秒以上 のものについてパワースペクトルの傾斜値を分離基準として採用すると、このような比較的 長周期の地震をノイズとしてしまう.10秒以上を地震とするという判定法を採用したのはこ のためである.また、0.5 Hz、1 Hz などという比較的長い周期の地震も存在するが、これら を検出するためには、主通過周波数2.5、1.5 Hz というようなフィルタが必要となるかもし れない.

3.5 まとめ

R922 の場合には, R950 の場合より自動検出についての見通しは明るいことがわかったのであるが, R922 の欠点もある.

(1) 記録, 再生の速度比が約 8.6 倍であるので, 検出のため R950 の場合にくらべ約 6 倍の時間を必要とする.

(2) 線スペクトル的ノイズは 50 Hz という高周波であり問題ないが, 全体的にノイズ レベルが R950 にくらべ大きい.

このうち,(1)の欠点は問題であり,できうれば R950 を用いることにしたい.再生速度 を 3³,7.5 in/s などとすれば,解析時間は 1² in/s の場合の ½, ½ となり欠点が緩和され るが,実時間換算のサンプリング間隔が長くなるので再検討が必要である.今後の課題の一 つである.

4. P, S 波の判定

検出回路あるいは検出ディジタルフィルタによって検出され、磁気テープに記録されたものは地震波であるらしいということがわかっただけのものである.まず、本当に地震かどうかを判定し、次に地震であるならば *P*,*S* 波を判別し、それぞれの到着時刻を知らなければならない.

この問題についても若干の実験と考察を行なった. コンピュータのプログラムにより,まったく自動的にこれらの仕事を行なうのが理想であるが,非常に困難であるので,今回はペンレコーダや蓄積管型図形表示装置に表示して視察によって求める方法を試みた.

4.1 ペンレコーダによる表示

まず, R950 による記録をペンレコーダに出力した結果(図 3)を用いてみた. 大きな地 震の場合には, *P*, *S* 波の識別は比較的容易である. 時刻も, 図 10 のように, 一緒に記録 されている時計コードとともに拡大してみると判読できる. 図 10 の場合は 5 月 30 日 04 時



図 10 大きな地震のペンレコーダによる表示 (R950, 拡大)





図 11 小さな地震のペンレコーダによる表示 (R950)

50 分 31 秒となり、すす書き記録からの読み取りである、5月 30 日 04 時 50 分 30.5 秒 とほぼ一致する.

一方,小さな地震はノイズと区別しにくく,したがって *P*,*S*の判別もむずかしい(図 11).図 10,図 11 において,最上段が時計コード,次が原記録,次がフィルタ通過後,最下段が不完全積分後の値である.(後述の図 13,図 14 についても同じ.)



図 12 R922 記録のペンレコーダによる表示

- 45 -





- 47 -

R922 の場合の,図 3,図 10,図 11 に対応するものが図 12,図 13,図 14 である.この場合も,R950の場合より明りょうのようではあるが、ノイズと振幅の小さな地震の区別、振幅の小さな地震の *P*,*S* の判別が容易であるとは言えない.図 12 の (1) は典型的な地震,(2) は振幅の小さな地震,(3) は 4~5 時ごろのノイズ,(4) は昼のノイズである.

4.2 蓄積管型図形表示装置による表示

図 11 の小さな地震(R950)を蓄積管型図形表示装置に表示したものが写真1である.同 じく,図 14 の小さな地震(R922)を表示したものが写真2である.蓄積管型ブラウン管の 特性のため,ペン先が太くなってしまうので,ペンレコーダの場合よりも *P*,*S*の判定が困 難である.どちらの写真の場合も,フィルタ通過後の値と不完全積分後の値を表示している が,これを用いてもうまくゆきそうにない.

しかしながら,蓄積管型図形表示装置による表示を自由に消したり,ふたたび表示したり することができるので,タブレット型図形入力装置(渡辺ほか,1975)と組み合わせること により,次のようないろいろなことを行なうことができる.したがって,ペンレコーダより *P*,*S* 波判定の道具として有用な面もある.

(1) 波の任意の場所を,時間軸,振幅方向ともに自由に拡大,縮小し,しかもそのいくつかを同時に表示して比較することができる.

(2) 必要ならば、すでに地震と判明し、*P*,*S*の時点もわかっている波を並べて表示し、 新しい波の *P*,*S* 判定に役立たせることもできる.

(3) P, S 波の開始の場所を視察により知ることができれば、その場所をタブレット型 図形入力装置を通してペンで指示することにより、その時刻を知ることができる. この場



写真 1小さな地震の図形表示装置による表示 (R950)



写真 2小さな地震の図形表示装置による表示(R922)

-48 -



| 省 1頁 目 (| - 2 9 1 | 放光現時 | の刊た | すす書き |
|-----------------|---------|------|------|------|
| 月日 | 時 | 分 | 秒 | 定(秒) |
| 8/26 | 00 | 09 | 03.0 | 01.7 |
| 26 | 00 | 17 | 50.1 | 52.4 |
| 26 | 00 | 37 | 16.4 | 17.6 |
| 26 | 00 | 49 | 05.6 | 07.5 |
| 26 | 00 | 53 | 40.7 | 38.5 |
| 26 | 00 | 54 | 56.7 | 56.8 |

表 10 P 波開始時間の判定値

写真 3 拡大・縮小・開始場所の指示

合,コンピュータのプログラムを用いて自動的に時刻を知ることができるので,ペンレコー ダの場合のように時計コードを視察により調べる必要がない.

そこで、われわれは次のような方法、手順を用いて P,S 波の始まりの時刻を知ることを 考え、開発している.

(1) 検出回路,検出フィルタによって抽出された波を,その不完全積分後の値とともに 写真1や写真2のように表示する.

(2) この状態で P, S 波の開始の場所がわかれば, (4) の動作を行なう.

(3) P, S 波が判然としないときには、タブレット型図形入力装置を通してペンで範囲 を指示し、拡大または縮小の率も指示して、表示する.必要ならば何本でも表示する(写真 3).

(4) *P*, *S* 波の開始の場所がわかれば、図形入力装置を通して、ペンでその場所を指示する(写真 3). そして、この指示された座標点から、プログラムの働きで時刻を知る.

この方法で若干の記録の P, S の始まりの時刻を判定した結果を表 10 に示す.この表に はすす書き記録から求めた到着時刻も併記しておいた.(ただし,すす書きによる時間を知 っているという条件で蓄積管に表示された波を見ているので,表 10 の一致の良さは相当割 り引いて考えなければならない.)

5. あとがき

以上のように実際の微小地震記録を用いた実験においても,自動検出の技術的な見通しは それほど暗くないことがわかった.特に振幅の非常に小さな地震,特殊な地震が検出できな いことがあることをゆるすとすれば,技術的には問題は少ないと思われる.

国立防災科学技術センター研究報告 第12号 1975年8月

しかし、この仕事はまだ緒についたばかりであり、しかも実用に供するためにはまだ解明 し、開発しなければならないことが多くある.

(1) *P*, *S* 波の判定

(2) 自動検出ハードウェアシステムの開発

- (3) アナログ記録計の改良
- (4) 生活雑音の除去

(5) 実用化のための、人間の労力軽減、費用軽減

今後,歩一歩,着実にこれらの問題の解明に努めたいと考えている.

なお,(3)に関連して,R950への入力レベルを上げ,R950の固有ノイズと思われる,4,8,16 Hz 付近の影響を小さくすることも検討すべきであろう.

最後に多くのヒントをいただいた,国立防災科学技術センター菅原正巳所長,多くの資料 と道具を提供していただいた,当センター第2研究部の諸氏に感謝の意をあらわしたい.

(注: フィルタを用いて地震波を自動検出しようとする試みは、米国においても行なわれている (Shlien *et al.*, 1973). しかし、振幅の比較的小さな地震を対象としていること、少ない費用のもとで実用化を図らなければならないこと、など、われわれの方がよりきびしく困難な問題を含んでいるといえる.)

付 録 (赤池, 1968 参照)

時系列 X(n) が定常自己回帰過程

$$X(n) = \sum_{m=1}^{M} a_m X(n-m) + \varepsilon(n)$$

であるならば、この X(n) のパワースペクトル密度関数 $P_{xx}(f)$ は

$$P_{XX}(f) = \frac{\sigma^2}{\left|1 - \sum_{m=1}^{M} a_m \exp\left(-i2\pi fm\right)\right|^2}$$

とあらわせる. ここで $\epsilon(n)$ は白色ノイズ, すなわち $E\epsilon(n)=0$, $E\epsilon(\gamma)\cdot\epsilon(s)=\delta_{s,\gamma}\sigma^2$ ($\delta_{s,s}=1$, $\delta_{s,\gamma}=0$ ($s\neq\gamma$); $\sigma^2>0$) である.

さらに、 $\epsilon(n)$ がたがいに独立な同一の分布にしたがい、しかも $\epsilon(n)$ のモーメントは(4次まで)有限であるならば、 a_m 、 σ^2 の推定値 \hat{a}_m 、 $\hat{\sigma}^2$ を次の式から求めることができる.

$$\sum_{m=1}^{M} C_{XX}(l-m)\hat{a}_{m} = C_{XX}(l) , \qquad (l=1, 2, \cdots, M) ,$$
$$\hat{\sigma}^{2} = C_{XX}(0) - \sum_{m=1}^{M} \hat{a}_{m} C_{XX}(m) .$$

ただし,

$$C_{XX}(l) = C_{XX}(-l) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^{N-|l|} X(|l|+n) \cdot X(n)$$

- 50 -

特に, M=1 とすれば, 推定パワースペクトル密度関数 $\hat{P}_{xx}(f)$ は

$$\hat{P}_{XX}(f) = \frac{\hat{\sigma}^2}{|1 - \hat{a}_1 \exp(-i2\pi f)|^2}$$

となる. ただし

$$\hat{a}_1 = \frac{C_{XX}(1)}{C_{XX}(0)}$$
, $\hat{\sigma}^2 = C_{XX}(0) - \frac{C_{XX}^2(1)}{C_{XX}(0)}$.

したがって、 â1 が大きければ推定パワースペクトル密度関数の傾斜は大きい. この â1 の 値が表5 や表9 に示してあるパワースペクトルの傾斜値である. 良い推定を得るためには、 *M* を適当な大きさにしなければならない. しかし、われわれの最終目的は良い推定値を得 ることではなく、ノイズと地震の分離である. 本文でもふれたように、*M*=1 とすることに よって十分満足できる結果を得ることができる.

われわれの対象としている記録が定常自己回帰過程であるとは厳密には言えないかもしれ ないが、実用的な判定基準として簡単でしかも有用であるという考え方から、この値を採用 することとした.

参考文献

- 1) 赤池弘次 (1968): 時系列解析. 統計数理研究所資料, 36-39.
- 2) 菅原正巳,勝山ヨシ子,大村一夫,福井隆文(1974): 微小地震の自動検出方法について.国立防 災科学技術センター研究報告,第9号,1-9.
- 3) 渡辺一郎,尾崎睿子,勝山ヨシ子,幾志新古,諸星敏一(1975): 図形入力装置の使用例の開発 ----災害・防災情報入力への応用----. 国立防災科学技術センター研究速報,第14号.
- Shlien, S. and Toksöz, M. N. (1973): Automatic event detection and location capabilities of large aperture seismic arrays. Bull. Seismol. Soc. Am., 63, 1275-1288.

(1974年3月2日原稿受理)