

関東・東海地域の高感度地震観測点における地動ノイズの特徴

岡田義光*・小原一成*

Ground Noise Levels at High Sensitivity Seismic Stations in the Kanto-Tokai Region, Central Japan

By

Yoshimitsu OKADA* and Kazushige OBARA*

**National Information Center for Earthquakes and Disasters
National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Japan*

Abstract

Ground noise levels for the last 5 years at 134 seismic stations of the Kanto-Tokai observation network were systematically investigated. As a general feature, it was found that the noise level is higher in the daytime and lower at night as a daily fluctuation, while it is higher on weekdays and lower on holidays as a weekly fluctuation. This reflects the pattern of human activity. Also, the noise level is higher in winter and lower in summer, which seems to be affected by meteorological and oceanographical conditions. As a secular change, some stations show a steady increase of ground noise level, while others show a steady decrease. These may correspond to the environmental changes surrounding the stations.

The fluctuations in noise level are directly related to the changes in detection capability of earthquakes. We have selected four swarm regions in the Kanto-Tokai area and examined the hourly, weekly, and monthly distributions of the earthquake numbers detected in the last 20 years. We have found that there is a tendency for earthquake numbers to be relatively few during the day compared to nighttime. But weekly and yearly changes were unclear.

Next, a ranking of seismic stations was made using yearly means of ground noise levels. It was found that about 76% of 123 stations remain at a level lower than 30 microkine in peak to peak amplitude, which can detect an event of M1.5 with a focal depth of 15 km at an epicentral distance of 30-40 km. We could not find any dependency of the yearly mean and amplitudes of daily and yearly variations on the burial depth of seismometers. But a positive correlation was found between the yearly mean value and the amplitudes of daily and yearly variations.

Key words: Kanto-Tokai area, High sensitivity seismic station, Ground noise

1. はじめに

防災科学技術研究所では、特別研究「関東・東海地域における地殻活動に関する研究」によって、1978～1983年度の6年間に50ヶ所の高感度地震観測施設からなる関東・東海地殻活動観測網を新設し、1979年7月より震源決定等の定常的なデータ観測処理作業を開始した（浜

田ほか、1982）。また1984年度には、より高度な地震データ処理と地震前兆の自動的解析をめざす「地震前兆解析システム」の開発が進められ、翌1985年度末から稼働を開始した（岡田、1987；浜田、1988）。この間、同システムには、「関東・東海」特研以前に特別研究促進調整費によって整備された12観測点や、特別研究「首都圏南部における地震活動に関する研究」によって整備された岩槻・下総・府中の3,000 m級深層観測施設を始めとして、他の特別研究や科学技術振興調整費等によって整備がな

*防災科学技術研究所 防災研究データセンター

された観測点のデータが接続され、また、気象庁ほかの外部機関から分岐提供された8観測点のデータも接続されるようになった。さらに1991~1995年度には、「首都圏直下型地震予知のための広域深部観測施設の整備」計画により、首都圏周辺に3,000m級の江東地殻活動観測施設と14ヶ所の2,000m級地震観測施設、および相模湾内の6点からなるケーブル式海底地震観測施設の建設が進められ、これらのデータも同システムに一体化された(岡田, 1992)。これに加えて、1995年度より国の地震調査研究推進本部の施策として開始された「地震に関する基盤的調査観測計画」の一環として、全国的な高感度地震観測施設の整備を当研究所が担当することとなり、このうち初年度の事業として中部地方西部ほかに建設された22観測点については、暫定的な措置として、そのデータが既存の関東・東海地殻活動観測システムに接続され、他の観測点と併せてデータ処理がなされることとなった。以上のような経緯を経て、1999年8月現在、同システムに接続され、地震データ処理の対象となっている高感度地震観測施設の総数は134ヶ所にのぼっている。

高感度地震観測を実現する上でもっとも大切な要件は、静かな観測環境をいかに確保するかという点である。微小あるいは極微小地震の検知能力を高め、良好なSN比の記録に基づく高精度の震源決定等を行なうためには、できる限り地動ノイズの少ない場所を選定することがまず重要である。高感度地震計の設置場所としては、市街地を離れた岩盤堅牢な地点が望ましいとされており、また、人間活動や気象要素等による雑微動の多い地表付近を避けて、横坑や縦孔内に地震計を設置する手段がとられることが多い。しかし、観測点設置を希望する地点の地質状況は必ずしも良好であるとは限らず、また、定常観測を継続するためには商用電源と電話回線が確保できること、観測機器の点検・修理など観測維持の利便性からは観測地点へのアクセスが容易であること等、様々な制約条件がある。現実には、これらの諸条件を総合的に配慮して具体的な地点選定が行なわれ、また必要な観測井掘削深度等が決められる。

いったん観測施設が完成し定常観測が始まると、地動ノイズを超える地震波の検出をもってトリガ記録の収録がなされ、これに基づいて一連の検測や震源決定等の作業が続けられることになる。しかし、地震の発生していない常時における地動ノイズ信号は単なる背景雑音としてかえりみられないことが多く、安価な大容量記憶装置の出現によって地震波形の全収録が可能となった最近に至るまで、雑微動部分のデジタル記録は捨てられることが通常であった。しかし、これらの地動ノイズデータには、どのような観測条件で地震波が収録されているかを示す貴重な情報が含まれており、また、地動ノイズレベルの経年変化は、観測環境の悪化等を客観的にモニターするための基礎資料として有用である。

本報告では、関東・東海地殻活動観測網を構成する高感度地震観測施設について、最近の5年間における地動ノイズ状況を組織的に調査した結果を示し、その特徴や

統計的性質、時間的変遷等についての考察を行なう。

2. 地動ノイズレベルの算出

地震前兆解析システム(平成10年度に地殻活動解析システムと改称)においては、地震波の検出を行うため、まず80Hzサンプリングの原データ $\{x_n\}$ に下記(1)式によるデジタルフィルターを通してトリガのための信号レベル $\{y_n\}$ を算出し、さらにその短時間平均(STA)と長時間平均(LTA)を下記の(2)および(3)式により計算したのち、その比を連続的にモニターしている(松村ほか, 1988)。

$$y_n = |x_n - x_{n-2}| + |x_n - x_{n-160}| \quad (1)$$

$$STA(k) = y_n + y_{n+1} + y_{n+2} + \dots + y_{n+79} \quad (2)$$

$$LTA(k) = 59/60 * LTA(k-1) + 1/60 * STA(k) \quad (3)$$

上記(1)式は、直流成分をカットすると同時に、20Hzにピークを持つ第1項で短周期に富む近地地震からの地震波を検出し、また4秒にピークを持つ第2項で遠地地震の拾い上げを行っている。STAは1秒間の信号レベルの積算値であり、また、LTAは時定数1分の時間幅で見た信号レベルの代表値を与える。このSTAとLTAの比を用いて、地震波の検出は通常次のように行われている。

- (1) STA/LTAが2.5を超える状態が連続3秒続いたらトリガオンとする。
- (2) トリガオンとなった時点でLTAの計算は中断し、値を固定する。
- (3) STA/LTAが1.5を下回る状態が連続2秒続いたらトリガオフとする。
- (4) トリガオフとなった時点でLTAの計算を再開する。
- (5) ただしトリガオン後10分を経過したら、トリガオフを待たずにLTAの計算を再開する。

上記の(5)は、環境変化や計器故障等によって信号レベルが突然上がりっぱなしになったような場合に、10分後からSTA/LTAの値を強制的に1に漸減させ、データ収録を打切るためのルールである。

このようにして計算されたLTAの毎正時における値は一定の期間ディスク内に保存され、後に参照できるようになっている。(3)式からわかる通り、地震波のやっつこない通常時には $LTA(k) = STA(k)$ となり、LTAは雑微動の平均的レベルを表わすデータとなっている。

ここで、LTAの計算値と、入力 $\{x_n\}$ の振幅との関係を求めておこう。いま、入力波形を $x(t) = A \exp(j\omega t)$ とすれば、入力時系列 $\{x_n\}$ およびフィルター出力 $\{y_n\}$ は以下のようなになる。

$$x_n = A \exp(j\omega n \Delta t) \quad (4)$$

$$y_n = |x_n| \{ |2j \cdot \exp(-j\omega n \Delta t)| |\sin(\omega \Delta t)| \}$$

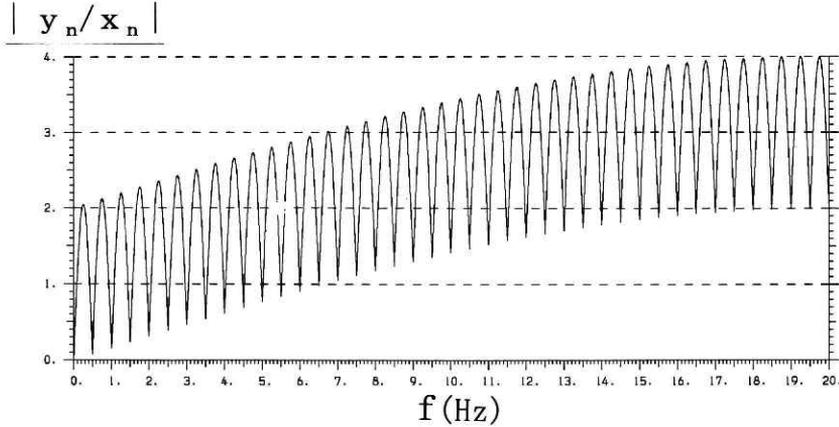


図1 入力 $\{x_n\}$ とフィルター出力 $\{y_n\}$ との振幅比の周波数特性.

Fig. 1 Frequency characteristics of the amplitude ratio of filter output $\{y_n\}$ to input $\{x_n\}$.

$$+ |2j \cdot \exp(-80j\omega n \Delta t)| |\sin(80\omega \Delta t)| \quad (5)$$

$$|y_n/x_n| = 2(|\sin(\omega \Delta t)| + |\sin(80\omega \Delta t)|) \quad (6)$$

ここで、 $\Delta t = 1/80 \text{sec}$ はサンプリング間隔を表わしている。図1は、上記(6)式に示される入出力振幅特性 $|y_n/x_n|$ を図示したものであるが、これを $0 \sim 20 \text{ Hz}$ の範囲で積分すれば、

$$\int |y_n/x_n| d\omega = 320 = (2\pi \cdot 20) \times 8/\pi \quad (7)$$

となる。すなわち、全周波数の平均をとれば、 $\{y_n\}$ の $\{x_n\}$ に対する振幅応答は $8/\pi (= 2.54648)$ 倍となることがわかる。上に述べた通り、ノイズレベルが安定している場合には $LTA(k) = STA(k) = y_n + y_{n+1} + y_{n+2} + \dots + y_{n+79}$ となるので、 LTA の入力 $\{x_n\}$ に対する振幅応答は、上記のさらに80倍となる。

したがって、得られた LTA の値に $\pi/640$ を乗じることによって、入力ノイズレベルを実効的な意味の片振幅として計算することができる。また、これを peak to peak 振幅値に換算するには、正弦波形の半波長 ($0 \sim \pi$) の積分値が2であることから、 $1/(2/\pi)$ の2倍、すなわち π を乗じればよいことがわかる。結局、ノイズレベルの実効片振幅値 N_{eff} 、および peak to peak 振幅値 N_{p-p} は、次のようにして求めることができる。

$$N_{eff} = \pi/640 * LTA \quad (8)$$

$$N_{p-p} = \pi * N_{eff} \quad (9)$$

上記によるノイズレベルの見積りの妥当性を確認するため、図2に1999年12月20日08時前後のASY(芦安)観測点における上下動成分の地動ノイズ波形と、上記(9)式により LTA から導かれた N_{p-p} の大きさを示した。この図に見られる通り、 N_{p-p} の見積りはおおむね適当であると考えられる。

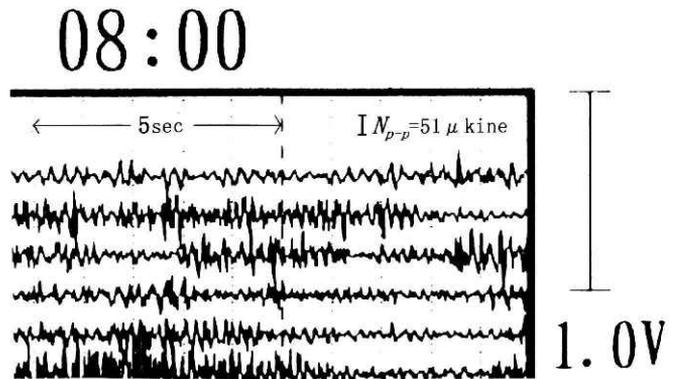


図2 1999年12月20日08時前後の芦安観測点における上下動成分の地動ノイズ波形。 N_{p-p} は本文の(9)式から導いたノイズレベルを示す。

Fig. 2 Ground noise of UD component at the ASY station around 08:00JST on December 20, 1999. N_{p-p} is the noise level calculated from equation (9) in the text.

3. 地動ノイズレベルの特徴

前節で述べた通り、データ収録と地震波の検出を担当する地殻活動解析システムの1号機(ミニコン)では、毎秒毎に LTA の値を算出し、その毎正時における値を一定の期間(50日間)、ディスク内に保存している。このデータは、ユーザからのリクエストにより図3のような月報の形でプリントアウトすることができる。図3は1990年9月における岩槻観測点での例を示しており、毎時の LTA と日平均値のほか、月間の毎時平均値と月平均値がリストアップされている。これらの数値は計算機で内部処理されたデジタル値そのままであるが、これに前節の(8)または(9)式を適用し、地震計の感度定数を乗じることによって、物理的な地動ノイズレベルの値に換算することができる。

システムの稼働後しばらくの間、これらの LTA データは特別な措置がされないまま50日を経過すると捨て

***** MONTHLY HR NOISE-LEVEL REPORT ***** 1990 (SEP) STN = IWT CH =

DAY	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	MEAN
1	701	815	867	937	1169	1188	1097	1079	1282	1445	1500	1352	1179	1397	1192	1169	1074	821	780	772	689	702	678	611	1020
2	533	541	500	512	494	651	720	681	675	659	684	628	665	711	663	625	603	568	605	600	640	709	609	593	622
3	644	833	755	814	1203	1191	1097	1155	1525	1619	1825	1637	1537	1761	1750	1673	1475	1329	1292	1145	1230	1264	1308	1203	1301
4	1351	1294	1355	1419	1685	1645	1531	1500	1716	1835	1878	1740	1574	1753	1659	1617	1526	1271	1038	1067	1072	1114	1102	1152	1453
5	1102	1144	1222	1368	1717	1672	1346	1521	1759	1765	1727	1657	1364	1556	1494	1322	1211	890	939	761	795	814	810	671	1267
6	759	784	777	1001	1196	1238	928	1032	1472	1189	1426	1480	1256	1297	1324	1220	1264	898	751	652	700	754	749	686	1043
7	705	739	799	950	1068	1242	1051	1333	1350	1524	1473	1659	1400	1401	1542	1281	1084	862	800	835	757	781	794	822	1093
8	757	748	811	926	1093	1097	1067	1126	1381	1450	1433	1329	1194	1393	1362	1384	1153	902	764	768	822	722	636	618	1039
9	596	585	608	662	580	698	686	695	754	742	771	844	673	858	679	718	651	765	610	664	555	613	549	545	671
10	597	651	732	887	1186	1162	963	942	1573	1376	1376	1247	2079	1583	1510	1222	1087	835	740	664	699	704	588	747	1047
11	633	604	736	881	1113	1146	911	952	1355	1374	1323	1216	1167	1380	1394	1353	1297	1009	969	1054	861	893	820	864	1054
12	852	939	948	1127	1345	1386	1279	1260	1564	1770	1719	1658	1501	1646	1629	1804	1548	1355	1111	1304	1240	1126	1188	1048	1347
13	1094	1146	1229	1254	1375	1498	1240	1298	1588	1648	1731	1571	1392	1544	1601	1714	1614	1126	1155	1169	1347	1535	1294	1513	1403
14	1122	1139	1165	1272	1325	1341	1339	1206	1476	1566	1666	1511	1405	1478	1230	1146	1037	834	820	789	755	818	735	679	1148
15	768	763	798	830	959	1168	1074	1268	1430	1345	1512	1216	1321	1353	1185	1184	1210	993	951	931	836	838	801	701	1059
16	712	666	689	606	645	709	668	708	830	811	810	683	831	677	669	646	723	591	642	780	676	666	690	732	702
17	699	734	878	913	1215	1202	1026	1039	1342	1415	1434	1495	1523	1451	1331	1294	1251	1057	970	944	946	883	1026	1026	1149
18	1241	1005	1120	1256	1702	1571	1401	1397	1544	1537	1682	1926	1568	2020	1567	1585	1543	1203	1118	1001	957	1002	1035	927	1371
19	946	1068	1096	1333	1491	1341	1209	1313	1620	1549	1642	1677	1477	1620	1591	1664	1524	1406	1561	1526	1678	1616	1702	1769	1475
20	2166	2791	2771	3197	2862	3235	3281	2869	2953	3089	3075	2737	2810	3170	3074	3106	2749	3318	2901	2814	2715	2563	2458	3153	2910
21	2325	2540	2361	2203	2259	2371	1969	1818	2118	2053	1912	1991	1949	1915	1799	1809	1684	1339	1350	1277	1314	1165	1176	1045	1822
22	1280	1104	1391	1458	1430	1713	1454	1549	1680	1686	1651	1587	1501	1611	1331	1391	1253	1042	942	824	827	825	850	741	1295
23	719	602	679	664	758	730	710	774	790	793	757	800	673	763	691	658	674	668	639	821	573	584	524	548	691
24	499	548	546	543	665	961	1273	1728	1607	1040	1011	1196	802	964	892	979	869	762	771	733	683	690	662	661	878
25	701	818	896	934	1272	1226	1039	1152	1417	1501	1513	1528	1281	1452	1430	1428	1239	1026	880	876	870	882	875	823	1127
26	798	836	963	1130	1326	1403	1160	1163	1333	1452	1405	1364	1392	1475	1472	1390	1240	936	1109	1050	935	1012	1022	918	1178
27	912	946	1105	1197	1436	1460	1294	1264	1561	1630	1734	1574	1599	1730	1604	1639	1551	1792	1330	1267	1192	1175	1094	1058	1381
28	1078	1003	1208	1192	1415	1333	1284	1202	1546	1678	1673	1441	1513	1672	1620	1434	1510	956	933	890	931	897	861	853	1255
29	820	847	882	1021	1669	1189	1104	1165	1359	1349	1449	1289	1246	1372	1409	1272	1187	862	805	744	773	721	664	743	1080
30	592	645	676	646	726	732	942	855	1113	1197	1106	1094	1645	1346	1478	1573	2079	2131	2627	2410	2731	2700	3692	3203	1580
MEAN	923	967	1013	1104	1279	1316	1204	1228	1456	1476	1436	1450	1383	1478	1405	1376	1297	1118	1063	1037	1026	1031	1033	1021	1215

図3 IWT (岩槻) 観測点の1990年9月における地動ノイズレベルの集計表。内部デジタル値により、毎時のLTA値とその日平均値、および月間の毎時平均値と月平均値が示されている。

Fig. 3 A table of ground noise levels at the IWT station in September 1990. Hourly values of LTA and their daily means are listed as raw digital values, as well as hourly means and the monthly mean.

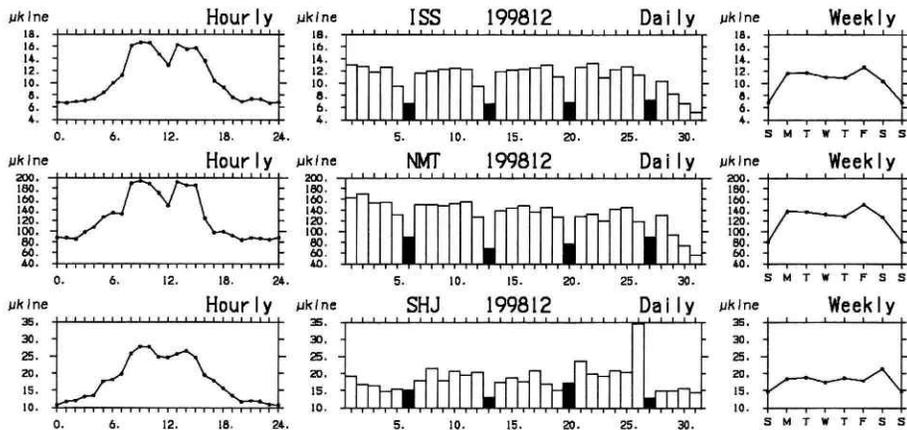


図4 ISS (伊勢崎), NMT (那珂湊), SHJ (精進) 観測点の1998年12月における地動ノイズレベル状況 (peak to peak 振幅値)。左から、平均的な日変化、日平均値の月変化、平均的な週変化を示す。月変化の棒グラフで黒く塗りつぶされているのは日曜日に対応している。

Fig. 4 Ground noise levels at the ISS, NMT, and SHJ stations in December 1998 (peak to peak amplitude). Changes in hourly, daily and weekly means are shown in turn. The black columns in the daily mean diagram correspond to Sundays.

られてきた。しかし、1994年8月からは、「地殻活動研究基礎資料作成作業」の一環として、このデータを同システムの3号機(汎用機)に移して保存すると同時に、毎月のノイズレベル状況を図化する作業が行われるようになった。その出力例として本報告末尾にのせた図12の左側には、1998年12月における全地震観測点134ヶ所のノイズレベル状況が示されている。

図4は、この図12から3つの観測点をピックアップ

し、月間のノイズ状況を再掲したものである。選ばれた観測点は、上から伊勢崎(群馬県:設置深度2,000m)、那珂湊(茨城県:設置深度98m)、および精進(山梨県:地表設置)である。ノイズレベルはすべて上下動成分のものであり、(9)式で示す peak to peak 振幅値 N_{p-p} を示している。縦軸は全体の最大値・最小値を含む範囲にノーマライズされており、観測点ごとに目盛は異なっている。同図左側の折線グラフは、毎時のノイズレベルの月間平

均値によるノイズの日変化パターンを示しており、当然のことながら、夜間はノイズが低く、昼間は高い状態となっているが、昼の12時前後には谷状のパターンが見られる。これは、昼休みに対応して世の中の動きが全体として静かになることを示している。中央の棒グラフは、ノイズレベル日平均値の変化を示しており、黒く塗りつぶされているのは日曜日に対応している。同図右側の折線グラフは、これを曜日ごとの平均値として集計したものである。ここでも人間活動のパターンを反映して、日曜日には静かになる傾向が明瞭である。また、たまたまこの月末は大晦日に向かう年末時期にあたっており、ISS(伊勢崎)とNMT(那珂湊)では平日にも拘らずノイズレベルが低くなっている。もちろん、上に述べたノイズレベルの特徴はあくまで典型的なものであって、個々の観測点はそれぞれの環境の違いによって自ずと異なる特性を有していることは言うまでもない。図5は、図12の全観測点におけるノイズレベルの日変化、週変化および年変化のパターンを重ね書きしたものである。この図を見ると、一般的傾向として上に述べた特徴がよく現れており、とくに日変化はきわめて明瞭である。しかし週変化や年変化は、観測点ごとのばらつきが大きいせいか、日変化ほどはっきりしたパターンは見出せない。

以下では、図12に示される各観測点のノイズレベルのパターンを眺めながら、また関連するデータの集計結果を見ながら、より詳しい地動ノイズの特徴について述べる。なお、図12では、縦軸として地動速度を示す慣用単位 μkine (kineは cm/sec を表わし、 $1\mu\text{kine} = 10\text{nm}/\text{sec}$) が用いられているが、一部の観測点では縦軸に digit と表記されているものがある。これは、地震計の劣化やその他の理由によって、地震計の感度定数が不明確なために、計算機内部処理で用いられたデジタル値そのものがプロットされているものである。

3.1 地動ノイズレベルの日変化

地動ノイズレベルが図4のように昼と夜とで数倍異なる

ことはかなり一般的な傾向であり、とくに観測点が市街地周辺に立地し、工場や生活道路等が近くにある場合は、昼夜の差が顕著である。このことは、3,000 m級の深層観測施設(FCH(府中), IWT(岩槻), KOT(江東), SHIM(下総))とて例外ではない。これとは逆に、山間の観測点(たとえばACH(阿智), GER(下呂), KIB(北茨城), KRK(玄倉), SSW(下諏訪)など)や海底の観測点(ST1~ST6(相模), TK1~TK4(東海))では、昼夜のノイズレベルに系統的な違いは見られない。また、海岸に近い観測点(CHS(銚子), KTU(勝浦)など)や島嶼部の観測点(MKE(三宅), NJM(新島)など)では、海象に起因するノイズによって人工的ノイズがマスクされるために、ノイズレベルの昼夜差がなくなっている。このように、観測点毎に固有のくせはあるものの、全体として見れば、人間活動のパターンに対応した地動ノイズレベルの規則的な日変化が多くの観測点で認められる。

さて、このような地動ノイズレベルの変動があると、当然、地震の検知能力も日変化することになり、夜間は昼間よりも検知力が数倍向上するため、検出される地震数も増えることが予想される。しかし、実際に関東・東海地域における震源決定数の時間分布を調べてみると、むしろ昼間の方が夜間よりも2~3割、地震数が多いという結果が得られる。これは、採石発破等の人工震源が混入するという別の要因が働いたためである(岡田, 1996)。また、単純に時間帯ごとの地震数を集計すると、大きな地震が発生した際にはその直後に大量の余震を伴い、その時間帯の地震数を増やしてしまうという問題もある。そこで、検知能力の日変化が震源決定数の時間分布に影響を与えているかどうかを調べるためには、定常的な地震活動が発生している小領域を選択し、長期間のデータに基づいて地震数の統計を行う必要がある。このような考えに基づき、図6には(a)長野県西部、(b)日光・足尾周辺、(c)山梨県東部、(d)伊豆半島東方沖の4地域について、

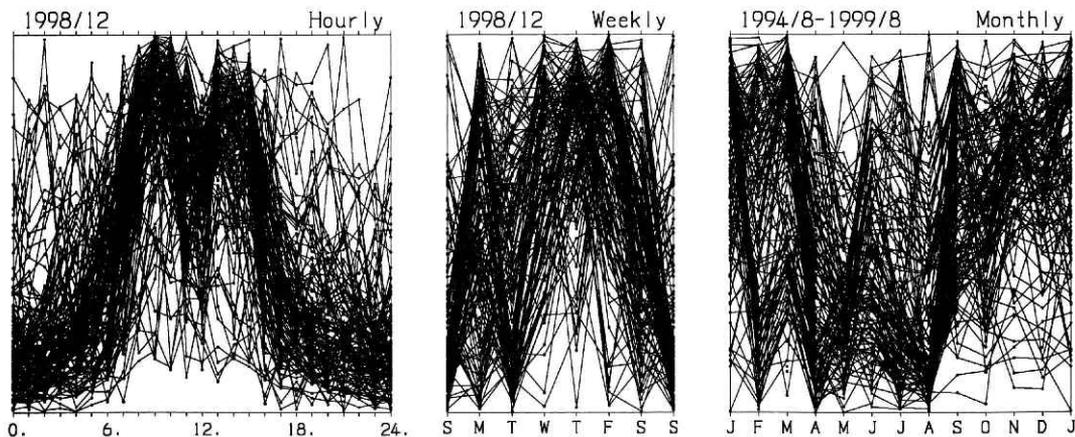


図5 図12の全観測点におけるノイズレベルの日変化(左)、週変化(中央)、および年変化(右)のパターンを重ね書きしたもの。

Fig. 5 Overlapped patterns of daily (left), weekly (center), and yearly (right) changes in ground noise levels at all the stations in Fig. 12.

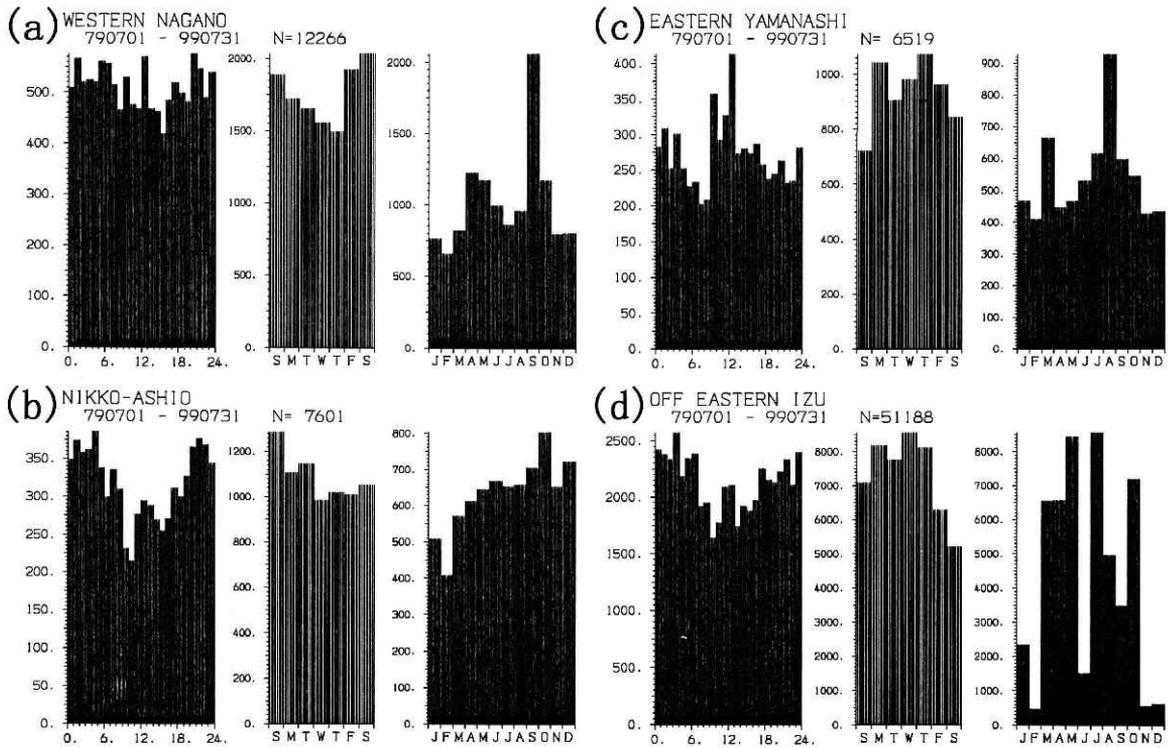


図6 (a)長野県西部, (b)日光・足尾周辺, (c)山梨県東部, (d)伊豆半島東方沖の4地域における, 最近20年間にわたる震源決定数の時間別(左), 曜日別(中央), および月別(右)分布。

Fig. 6 Hourly (left), weekly (center), and monthly (right) distributions of earthquake numbers located in the last 20 years in the (a) western Nagano, (b) Nikko Ashio, (c) eastern Yamanashi, and (d) off eastern Izu regions.

最近20年間にわたる震源決定数の時間別分布を各図の左側に示した。これらの各地域は、それぞれ(35.82 N, 137.55 E), (36.65 N, 139.40 E), (35.43 N, 139.04 E), (34.95 N, 139.15 E)を中心として、東西・南北・深さがすべて30 kmの立方体領域として定義されている(岡田, 2000)。これらの図を見ると、地震検知数は昼間少なく、夜間に多い一般的傾向が認められ、とくに(b)日光・足尾周辺および(d)伊豆半島東方沖ではこのような傾向が明瞭である。さらに、この2地域では、昼の12時前後におけるノイズレベルの低下に呼応して、地震検知数が増えているようにも見られる。

3.2 地動ノイズレベルの週変化

日曜日に地動が静かになるといった、産業活動に起因するノイズレベルの週変化は、図4に取り上げた3観測点のみならず、図12中の多くの観測点に共通して見られる特徴である。これも日変化と同じく、工場や市街地に近い観測点ほどその傾向が顕著であり、山間の観測点や海底の観測点等ではあまり明瞭でなくなる。なお、相模湾の海底に設置されたST1~ST6で見ると、沖合い(ST1)から陸寄り(ST6)になるにしたがって、週変化のパターンが顕著となり、陸上のノイズ環境の影響を受け易くなることがわかる。

勿論、このようなノイズレベルの日々の値は、定常的な人間活動や産業活動の影響のほか、その日の天候や

風速、観測点の周囲で実施される各種の作業など、様々な要因によって大きく変動する。しかし、長期の平均をとれば、やはり土曜日や日曜日にはノイズレベルが低くなるという一般的傾向が現れる。したがって、日曜日は他の曜日に比べて地震の検知能力が高くなり、地震の検知数も増える筈である。前節と同じ4つの定常的地震発生地域を対象として、この20年間にわたる曜日ごとの震源決定数を調べてみた結果が図6の各図中央に示されている。このうち、(a)長野県西部と(b)日光・足尾周辺では週末に検知される地震数が多いようにも見られるが、他の2地域ではむしろ平日の方が地震検知数が多くなっている。図5に見られる通り、曜日別のノイズレベルの変動は日変化ほどはっきりしていないため、その影響は現われにくいものと思われる。

ところで、図12の棒グラフで示される1ヶ月間の地動ノイズレベルの変動を見ると、きわめて安定した規則的なパターンを見せる観測点(たとえばFJM(富士宮), ISS(伊勢崎), IWT(岩槻), KNH(此花)など)と、日毎の変化がかなり不規則で安定していない観測点(たとえばGJK(御神火茶屋), HTN(畑薙), ICH(市原)など)とがある。一般に、地震計がかなり深部に設置されている場合は前者に、地表設置など、地震計が浅いところに設置されている場合は後者に属する傾向があるように見受けられるが、そのほか、観測点周囲のノイズ環

境の違いが色濃く反映されていることは勿論である。

3.3 地動ノイズレベルの季節変化および経年変化

地動ノイズレベルデータの保存は1994年8月から開始され、すでに約5年間のデータが蓄積された。本報告末尾の図12の右端は、各観測点における地動ノイズレベルの月平均値の変化を時系列として示したものである。ただし、1995年4月と1999年2月および4月はデータが欠損している。同図を見ると、いくつかの観測点でははっきりとしたノイズレベルの季節変化が認められる（たとえばACH（阿智）、CBA（千葉）、CKR（千倉）、GER（下呂）、ICH（市原）など）。その変動のパターンは、いずれも夏に小さく、冬に大きくなる傾向があり、これは冬季における風の強さや、海が荒れることに原因があるものと思われる。相模湾の海底地震計（ST1～ST6）では、先端点のST1に若干の季節変動が現れているものの、その他の観測点では顕著な変化が見られない。

このようなノイズレベルの季節変化に伴って、地震検知数は夏に多く冬に少なくなるかどうかを確かめるため、前の2節と同様に、4つの定常的地震発生地域について、この20年間における月別の震源決定数を調べてみた結果が図6の各図右側に示されている。この中で、(d)伊豆半島東方沖の群発地震活動はバースト的傾向が強いいため、このような考察からは除外すべきである。その他の3地域については、(a)における1984/9/14長野県西部地震（M6.8）と(c)における1983/8/8山梨県東部地震（M6.0）によるピークを除けば、おぼろげながら、冬に較べて夏の方が地震検知数が多いように見受けられる。ただ、図5に見られる通り、ノイズレベルの年変化は日変化ほどははっきりしていないため、地震数分布への影響もあまり明瞭でない。

一方、この5年間における地動ノイズレベルの経年的な変化としては、MOT（茂木）やYMI（吉見）で長期的なノイズレベルの増大が見られるのに対し、MKB（三ヶ日）やNRY（韮山）では長期的な減少傾向が伺われる。また、AKW（愛川）、FJW（藤原）、HMO（浜岡）、MNB（万場）などのように、一時的なノイズレベルの増大を示したり、HKN（箱根）、MAT（松代）、MOK（真岡）、OHR（大平）のように、ある時期からステップ状にノイズレベルが変化するなどの観測点も少なくない。これらは、地震計や通信回線の障害、電気的ノイズの混入などハード的な理由によるもの、大雨や台風など気象的要因によるもののほか、観測点周辺の開発や諸々の工事等、さまざまな社会的要因によるノイズ環境の変化を反映しているものと思われる。

3.4 データ伝送パケットサイズの変化

前節までに見た地動ノイズレベルの変動を別の角度から検証するため、図7に、防災科研から気象庁へ地震データの伝送を行っているパケットサイズの、ある1日および2週間における変化を示した。防災科研の全観測点のデータは、気象庁現業における常時監視に資するため、win形式（卜部、1994）により圧縮され、常時伝送がなさ

れているが、この圧縮法は基本的に前データとの差分情報を送る形式なので、信号レベルの変化が少ないほど圧縮効率がよく、パケットサイズは小さくなる。すなわち、図7に見られるパケットサイズの時間変化は、地動ノイズレベルの変動をそのまま反映していることになる。

図7上段は、2000年3月14日における1分ファイルの大きさの時間変化を示したものであり、スパイク状に見える部分は地震の発生に伴うパケットサイズの増大を、また全体のベースとなっているパターンは地動ノイズレベルの日変化を、それぞれ表わしている。パケットのサイズは夜に小さく昼に大きくなり、しかも12時から13時の間は落ち込んでいる。このような特徴は、図5および図12に見られる地動ノイズの典型的な日変化に符合している。一方、図7下段は、2000年1月23日～2月5日の2週間における1時間ごとの圧縮ファイルのサイズの時系列を示したものである。ここでは、日変化のパターンとともに、日曜日にファイルサイズが小さくなるという週変化が明瞭に現れている。

4. 地動ノイズレベル絶対値による観測点のランキング

これまで、主として地動ノイズレベル変化のパターンのみについて議論を行ってきたが、本節では各観測点における地動ノイズレベルの絶対値について比較・検討を行う。

表1は、1998年の1年間について関東・東海観測網の123観測点における地動ノイズレベルデータを集計し、観測井の深さとともに示したものである。なお、地震計の感度が不明なため、地動ノイズレベルの絶対値を算定できなかった11観測点は、この表から除かれている。ここで、 m は地動ノイズレベルの年間平均値（peak to peak 振幅値：単位 μkine ）であり、 a 、 b は365日の日変化を加算平均して求めた標準的な日変化の最大値と最小値を示す。また、 c 、 d は日平均値の年間における最大値と最小値である。同表では、これらの値に基づき、ノイズレベルの平均的な日変化振幅 $a-b$ と、日平均値の年変化振幅 $c-d$ がリストアップされ、また、それらの年間平均値 m に対する比率が計算されている。123観測点の年間平均値 m の相乗平均は $16.6 \mu\text{kine}$ であり、また、日変化幅 $a-b$ と年変化幅 $c-d$ の相乗平均はそれぞれ $5.9 \mu\text{kine}$ 、 $38.5 \mu\text{kine}$ となる。一方、 $(a-b)/m$ および $(c-d)/m$ の相加平均は 0.44 および 2.71 であり、年変化幅と日変化幅の比 $(c-d)/(a-b)$ の相加平均は 10.04 となる。

表1に示された123観測点を対象として、ノイズレベルの年間平均値 m （単位 μkine ）の値による分類を行ってみると、以下のようになる。

$3 \leq m < 10$	48 観測点
$10 \leq m < 30$	45 観測点
$30 \leq m < 100$	23 観測点
$100 \leq m < 300$	7 観測点
	計 123 観測点

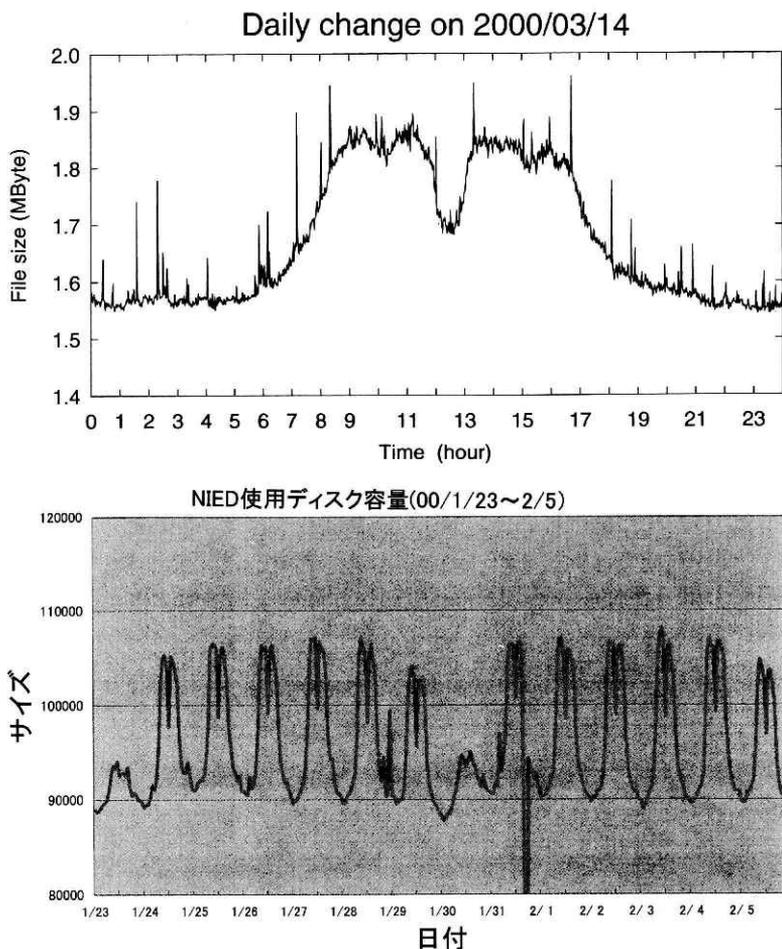


図7 防災科研から気象庁へ地震データの伝送を行っている win 方式パケットサイズの日変化（上段）および圧縮波形ファイルサイズの2週間における変化（下段）。

Fig. 7 (top) Daily changes in the size of "win" packets for data transmission from NIED to JMA. (bottom) Changes in the size of compressed waveform files within a two week period.

ほとんどの観測点で、ノイズレベルの peak to peak 振幅値は $30 \mu\text{m}$ 程度以下となっているが、海に近い観測点ではノイズレベルが高い傾向にあり、また地域的には、島嶼部や房総半島においてノイズレベルが高くなっている。

図8は、ノイズレベル年間平均値 m の逆数を各観測点における地震検知能力の尺度とみなして、その地理的分布を見たものである。表1に挙げられた123観測点については、 m の逆数に比例した大きさの丸印が付きされており、この円の直径が大きいほど地震検知能力は高いことになる。総体として、山岳部は検知力が高く、平野部では検知力が低い傾向が伺われる。なお、地動ノイズレベルの絶対値が算定されていない11観測点 (CDP, GJK, MAT, MIN, NIU, NSI, TK 1-4, YFT) については、観測点の位置にコードのみが下線を施して記されている。図8によれば、関東平野内の観測点は深層観測施設を除いて一般にノイズレベルが高く、とくに房総半島と三浦半島では地震の検知能力が劣っていることがわかる。一方、長野県北部のOTR (小谷) は、元来ノイズレベルが低く地震検知能力の高い観測点であったが、

図12に見られる通り、1998年には異常にノイズレベルが増大している。これは、観測点の近傍でダム工事が開始された事情によっており、この観測点は1999年3月、観測停止のやむなきに至っている。このように、1998年限りの特殊事情により検知能力が見掛け上低下している観測点は、ほかにもAKW (愛川)、TRU (都留)、YRO (養老) が挙げられる。

次に、地動ノイズレベルと地震計設置深度との関係を見るため、図9(a)~(c)に、各観測点の観測井深度に対する、地動ノイズレベルの年間平均値 m 、標準的日変化幅 $a-b$ 、年変化幅 $c-d$ のプロットを示した。横軸、縦軸はともに対数スケールとなっており、地表設置の観測点については、便宜上、図の左端近くに点を打ってある。図9(a)の年間平均値 m で見ると、100 m 級の浅層観測施設でやや小さな値を示すようであるが、全体として、設置深度に対する系統的なノイズレベルの違いは見られない。これは、地表の雑微動が大きい地点ほど深い観測井を掘削していることの帰結であろう。図9(b)の標準的な日変化 $a-b$ では、100 m 級の観測点に対して、2,000~3,000 m 級の観測点の方が全体として大きな値

表 1 (1/2) 1998年の1年間における123地震観測点の地動ノイズレベルデータの集計結果。m は年間
 平均値 (peak to peak 振幅値: 単位 μ kine), a, b は365日の日変化を加算平均して求め
 た標準的な日変化の最大値と最小値, c, d は日平均値の年間最大値と最小値を示す [ABN
 -MSK].

Table 1 (1/2) Statistics of ground noise levels at 123 seismic stations of the Kanto-Tokai
 network in 1998. Yearly mean, m, max. and min. values of hourly means, a and
 b, max. and min. values of daily means, c and d, are listed with the installation
 depth of seismometer [ABN-MSK].

station	depth	Total avr	max.H.avr	min.H.avr	Daily var		max.D.avr	min.D.avr	Yearly var		Yearly/Daily (c-d)/(a-b)
		m (μ kine)	a (μ kine)	b (μ kine)	a-b (μ kine)	(a-b)/m	c (μ kine)	d (μ kine)	c-d (μ kine)	(c-d)/m	
ABN	0m	11.92	14.14	9.92	4.22	0.35	31.93	4.11	27.82	2.33	6.59
ACH	106m	7.79	8.35	7.10	1.25	0.16	14.04	3.73	10.31	1.32	8.27
AKW	91m	24.29	26.70	22.60	4.10	0.17	57.56	2.32	55.24	2.27	13.46
ANJ	1080m	8.44	10.15	7.23	2.92	0.35	16.63	3.77	12.86	1.52	4.40
ASG	94m	20.82	24.80	18.56	6.23	0.30	56.39	9.17	47.21	2.27	7.57
ASH	204m	5.51	5.95	5.08	0.87	0.16	18.96	2.36	16.60	3.01	19.08
ASO	0m	6.44	7.62	5.77	1.84	0.29	35.51	2.63	32.87	5.11	17.83
ASY	0m	38.51	58.09	26.91	31.17	0.81	98.85	9.10	89.75	2.33	2.88
ATG	1800m	11.37	13.93	9.64	4.29	0.38	19.58	5.52	14.06	1.24	3.28
ATM	303m	12.04	12.69	10.75	1.94	0.16	27.71	5.05	22.65	1.88	11.70
OBA	2000m	29.45	36.25	23.64	12.61	0.43	57.32	15.14	42.18	1.43	3.34
OHS	94m	56.65	60.52	53.37	7.14	0.13	143.89	17.66	126.23	2.23	17.67
OKR	732m	36.95	39.83	34.96	4.87	0.13	102.87	11.58	91.29	2.47	18.74
EDS	1200m	6.72	9.09	5.12	3.96	0.59	15.44	2.34	13.10	1.95	3.30
ENZ	89m	10.72	18.66	6.07	12.59	1.18	70.25	5.31	64.94	6.06	5.16
FGH	2781m	10.73	13.09	8.84	4.25	0.40	19.74	5.78	13.96	1.30	3.29
FJM	197m	47.01	55.78	42.05	13.73	0.29	105.66	23.76	81.90	1.74	5.97
FJW	0m	7.31	10.47	5.01	5.47	0.75	19.63	4.32	15.31	2.09	2.80
FRK	103m	5.14	6.32	4.50	1.82	0.35	15.14	2.10	13.04	2.54	7.16
FUT	2000m	83.56	89.35	77.88	11.48	0.14	105.01	57.27	47.75	0.57	4.16
GER	0m	5.78	6.73	5.22	1.51	0.26	16.82	2.31	14.52	2.51	9.61
HAS	790m	22.44	28.26	18.87	9.39	0.42	54.25	4.50	49.74	2.22	5.30
HAZ	404m	7.88	9.20	6.45	2.75	0.35	20.05	3.63	16.42	2.08	5.98
HCJ	0m	128.71	156.32	113.38	42.94	0.33	2090.10	36.13	2053.97	15.96	47.83
HDA	101m	9.38	10.38	8.43	1.95	0.21	25.76	3.57	22.20	2.37	11.36
HDK	1800m	14.34	16.35	12.74	3.61	0.25	24.00	6.31	17.69	1.23	4.90
HHR	0m	15.34	17.68	12.11	5.57	0.36	37.56	9.79	27.77	1.81	4.98
HKN	101m	13.61	25.25	11.10	14.15	1.04	33.78	5.04	28.74	2.11	2.03
HKW	106m	6.51	7.89	5.89	2.00	0.31	18.02	2.77	15.25	2.34	7.62
HMO	98m	72.23	88.10	59.50	28.60	0.40	168.82	40.27	128.55	1.78	4.49
HOU	103m	6.34	6.77	5.90	0.87	0.14	19.35	2.57	16.78	2.65	19.29
HRM	540m	83.57	108.05	62.39	45.66	0.55	168.69	43.31	125.38	1.50	2.75
HRN	0m	5.45	6.87	4.51	2.36	0.43	20.48	2.10	18.38	3.37	7.80
HRT	189m	19.31	22.13	15.87	6.27	0.32	77.45	11.14	66.31	3.43	10.58
HTN	0m	28.59	30.94	26.76	4.18	0.15	329.63	6.62	323.02	11.30	77.25
HTS	94m	33.51	38.17	31.02	7.15	0.21	143.06	8.93	134.13	4.00	18.77
ICH	178m	130.23	151.36	108.87	42.50	0.33	312.68	49.86	262.83	2.02	6.18
ISS	2000m	9.06	13.02	6.02	7.00	0.77	13.28	4.20	9.08	1.00	1.30
ITO	92m	22.28	26.08	19.81	6.26	0.28	68.22	8.61	59.61	2.68	9.52
IWK	50m	27.35	31.46	24.14	7.32	0.27	73.38	10.70	62.68	2.29	8.56
IWT	3510m	6.76	8.49	5.20	3.28	0.49	14.30	3.71	10.59	1.57	3.23
JIZ	0m	13.74	15.33	12.98	2.36	0.17	49.56	5.58	43.98	3.20	18.67
KGI	103m	8.26	10.73	6.81	3.92	0.47	16.85	3.59	13.26	1.60	3.38
KGN	0m	5.60	7.24	4.43	2.82	0.50	12.81	2.38	10.44	1.87	3.70
KGW	99m	8.07	8.67	7.69	0.98	0.12	23.63	2.39	21.25	2.63	21.75
KHZ	0m	202.67	270.56	163.59	106.97	0.53	982.60	78.66	903.94	4.46	8.45
KIB	98m	10.83	11.62	10.17	1.45	0.13	30.61	3.29	27.33	2.52	18.87
KNH	2030m	7.33	10.27	5.28	4.99	0.68	15.74	5.11	10.63	1.45	2.13
KOT	3000m	14.10	21.22	8.60	12.61	0.89	33.68	5.87	27.82	1.97	2.21
KRK	171m	7.36	7.96	6.89	1.07	0.15	34.95	3.21	31.75	4.31	29.63
KSG	103m	12.21	16.02	10.22	5.80	0.47	22.41	3.36	19.04	1.56	3.28
KSH	97m	5.51	7.16	4.62	2.54	0.46	14.65	2.07	12.57	2.28	4.95
KTU	108m	75.12	79.09	72.24	6.85	0.09	256.82	7.78	249.04	3.32	36.36
MKB	99m	7.94	8.91	7.19	1.72	0.22	22.07	3.78	18.29	2.30	10.62
MKE	95m	86.55	91.40	82.69	8.71	0.10	268.97	24.56	244.41	2.82	28.08
MNB	0m	4.94	6.38	4.09	2.29	0.46	11.77	2.08	9.69	1.96	4.23
MNK	0m	7.51	10.31	4.86	5.45	0.73	15.08	4.09	10.99	1.46	2.02
MNZ	165m	23.16	34.68	17.92	16.75	0.72	71.32	11.08	60.25	2.60	3.60
MOK	1650m	17.53	20.27	15.85	4.42	0.25	26.35	5.82	20.53	1.17	4.64
MOR	20m	280.88	393.03	178.71	214.32	0.76	419.33	111.42	307.91	1.10	1.44
MOT	0m	14.16	17.61	11.36	6.25	0.44	76.84	5.99	70.84	5.00	11.34
MSK	79m	8.00	9.24	7.37	1.87	0.23	20.08	2.35	17.74	2.22	9.49

表1 (2/2) 1998年の1年間における123地震観測点の地動ノイズレベルデータの集計結果。m は年間
 平均値 (peak to peak 振幅値: 単位 μ kine), a, b は365日の日変化を加算平均して求め
 た標準的な日変化の最大値と最小値, c, d は日平均値の年間最大値と最小値を示す [NEO
 -YST].

Table 1 (2/2) Statistics of ground noise levels at 123 seismic stations of the Kanto-Tokai
 network in 1998. Yearly mean, m, max. and min. values of hourly means, a and
 b, max. and min. values of daily means, c and d, are listed with the installation
 depth of seismometer [NEO-YST].

station	depth	Total avr m (μ kine)	max.H.avr a (μ kine)	min.H.avr b (μ kine)	Daily var a-b (μ kine)	(a-b)/m	max.D.avr c (μ kine)	min.D.avr d (μ kine)	Yearly var c-d (μ kine)	(c-d)/m	Yearly/Daily (c-d)/(a-b)
NEO	103m	10.68	13.65	8.33	5.32	0.50	47.29	6.76	40.54	3.80	7.63
NGO	100m	44.76	61.21	35.28	25.93	0.58	90.44	13.83	76.60	1.71	2.95
NJM	0m	206.79	214.18	203.11	11.07	0.05	579.16	42.57	536.59	2.59	48.47
NMT	98m	130.01	201.59	83.87	117.73	0.91	217.41	38.60	178.80	1.38	1.52
NMZ	96m	51.50	67.63	40.54	27.09	0.53	126.92	21.72	105.20	2.04	3.88
NOM	0m	14.40	20.63	12.01	8.62	0.60	29.51	4.63	24.88	1.73	2.89
NRT	1336m	9.74	11.61	8.52	3.09	0.32	23.35	3.15	20.19	2.07	6.55
NRY	105m	12.70	20.48	7.70	12.79	1.01	21.47	5.98	15.49	1.22	1.21
NSH	1206m	5.60	8.57	3.85	4.72	0.84	12.81	1.81	11.00	1.96	2.33
NUK	103m	8.65	10.80	6.85	3.95	0.46	19.76	3.86	15.90	1.84	4.03
ODK	50m	17.05	20.68	14.95	5.74	0.34	81.70	3.96	77.74	4.56	13.55
ODW	98m	10.07	12.29	8.41	3.88	0.39	77.76	4.37	73.39	7.29	18.92
OHR	0m	15.37	20.88	11.41	9.47	0.62	37.25	7.31	29.94	1.95	3.16
OHS	135m	34.49	38.25	31.80	6.45	0.19	113.76	12.34	101.42	2.94	15.72
OKB	102m	8.53	9.26	7.99	1.27	0.15	26.51	3.42	23.08	2.71	18.19
OMC	0m	15.88	22.49	9.50	12.99	0.82	50.47	6.88	43.58	2.74	3.36
OMM	0m	8.68	18.49	3.74	14.76	1.70	79.73	1.73	78.00	8.98	5.29
OOH	76m	34.84	46.64	29.99	16.65	0.48	86.75	11.71	75.04	2.15	4.51
OSM	101m	78.95	84.44	74.77	9.67	0.12	562.10	19.95	542.15	6.87	56.05
OTR	0m	72.10	156.21	32.77	123.44	1.71	319.34	5.96	313.38	4.35	2.54
OYM	203m	7.26	8.46	6.34	2.12	0.29	34.50	2.61	31.88	4.39	15.06
SDM	106m	4.85	5.52	4.50	1.01	0.21	11.87	2.32	9.54	1.97	9.41
SHJ	0m	17.79	26.92	11.17	15.75	0.89	38.44	12.33	26.11	1.47	1.66
SHM	2330m	10.01	12.32	8.17	4.15	0.41	20.33	4.74	15.59	1.56	3.76
SIZ	103m	6.84	9.10	5.82	3.28	0.48	18.02	3.02	15.00	2.19	4.58
SMB	97m	4.98	5.90	4.43	1.48	0.30	23.51	2.18	21.33	4.28	14.44
SMD	88m	12.23	13.68	11.09	2.59	0.21	28.07	4.69	23.38	1.91	9.03
SMY	97m	4.70	5.57	3.73	1.83	0.39	10.60	1.44	9.16	1.95	4.99
SSN	0m	75.68	121.88	50.52	71.36	0.94	197.25	15.67	181.58	2.40	2.54
SSW	101m	5.41	6.14	5.07	1.06	0.20	11.60	3.02	8.58	1.58	8.08
ST1	0m	16.69	18.52	15.54	2.98	0.18	37.52	8.72	28.79	1.73	9.68
ST2	0m	17.41	21.74	14.57	7.18	0.41	38.96	9.76	29.20	1.68	4.07
ST3	0m	20.73	24.93	16.68	8.24	0.40	37.04	12.02	25.02	1.21	3.04
ST4	0m	25.68	33.62	20.16	13.46	0.52	47.44	11.09	36.35	1.42	2.70
ST5	0m	29.54	44.19	22.03	22.17	0.75	56.83	13.05	43.79	1.48	1.98
ST6	0m	12.76	14.75	11.21	3.54	0.28	36.05	8.02	28.03	2.20	7.91
SYK	103m	4.59	6.25	3.39	2.86	0.62	11.52	1.74	9.78	2.13	3.42
TAG	103m	6.41	7.27	5.90	1.37	0.21	16.08	2.60	13.48	2.10	9.86
TBY	1199m	16.34	21.89	7.07	14.82	0.91	30.06	6.93	23.13	1.42	1.56
TJR	1532m	9.38	11.27	7.05	4.22	0.45	37.87	4.12	33.75	3.60	7.99
TKN	405m	64.44	96.47	38.61	57.86	0.90	116.27	21.62	94.65	1.47	1.64
TKR	1993m	19.84	25.31	14.52	10.79	0.54	30.06	9.92	20.14	1.02	1.87
TKT	205m	7.56	9.50	6.01	3.49	0.46	18.35	3.23	15.11	2.00	4.33
TNR	74m	9.51	11.52	8.74	2.77	0.29	29.01	3.47	25.54	2.69	9.21
TOE	0m	7.13	10.07	5.43	4.64	0.65	16.79	2.97	13.82	1.94	2.98
TR2	440m	12.64	15.20	10.52	4.68	0.37	25.13	4.93	20.20	1.60	4.32
TRU	160m	5.91	6.52	5.54	0.98	0.17	13.16	3.35	9.81	1.66	10.01
TYH	363m	18.24	26.44	13.36	13.08	0.72	45.38	7.18	38.20	2.09	2.92
TYM	0m	81.04	99.82	68.12	31.70	0.39	169.70	31.36	138.34	1.71	4.36
TYO	1200m	16.31	18.53	14.75	3.78	0.23	46.91	4.20	42.71	2.62	11.29
URS	103m	6.13	6.56	5.63	0.93	0.15	27.54	2.35	25.18	4.11	27.17
USD	0m	8.77	13.74	6.31	7.44	0.85	31.13	5.26	25.86	2.95	3.48
WAT	115m	9.37	9.79	8.74	1.05	0.11	40.63	4.51	36.12	3.86	34.42
YKH	2000m	30.79	39.77	24.04	15.73	0.51	40.62	14.83	25.79	0.84	1.64
YKI	178m	173.77	198.62	147.21	51.41	0.30	397.04	60.39	336.65	1.94	6.55
YMI	102m	16.62	18.71	15.11	3.60	0.22	90.97	4.57	86.40	5.20	24.00
YMK	101m	4.77	5.20	4.52	0.68	0.14	15.52	2.32	13.19	2.77	19.44
YOK	143m	31.08	39.96	23.72	16.24	0.52	144.03	10.88	133.15	4.28	8.20
YRO	2000m	33.22	44.30	26.27	18.03	0.54	131.15	10.75	120.40	3.62	6.68
YSK	50m	95.20	114.15	74.35	39.80	0.42	288.91	47.45	241.46	2.54	6.07
YST	98m	9.88	11.07	8.95	2.12	0.21	69.13	3.20	65.93	6.67	31.05

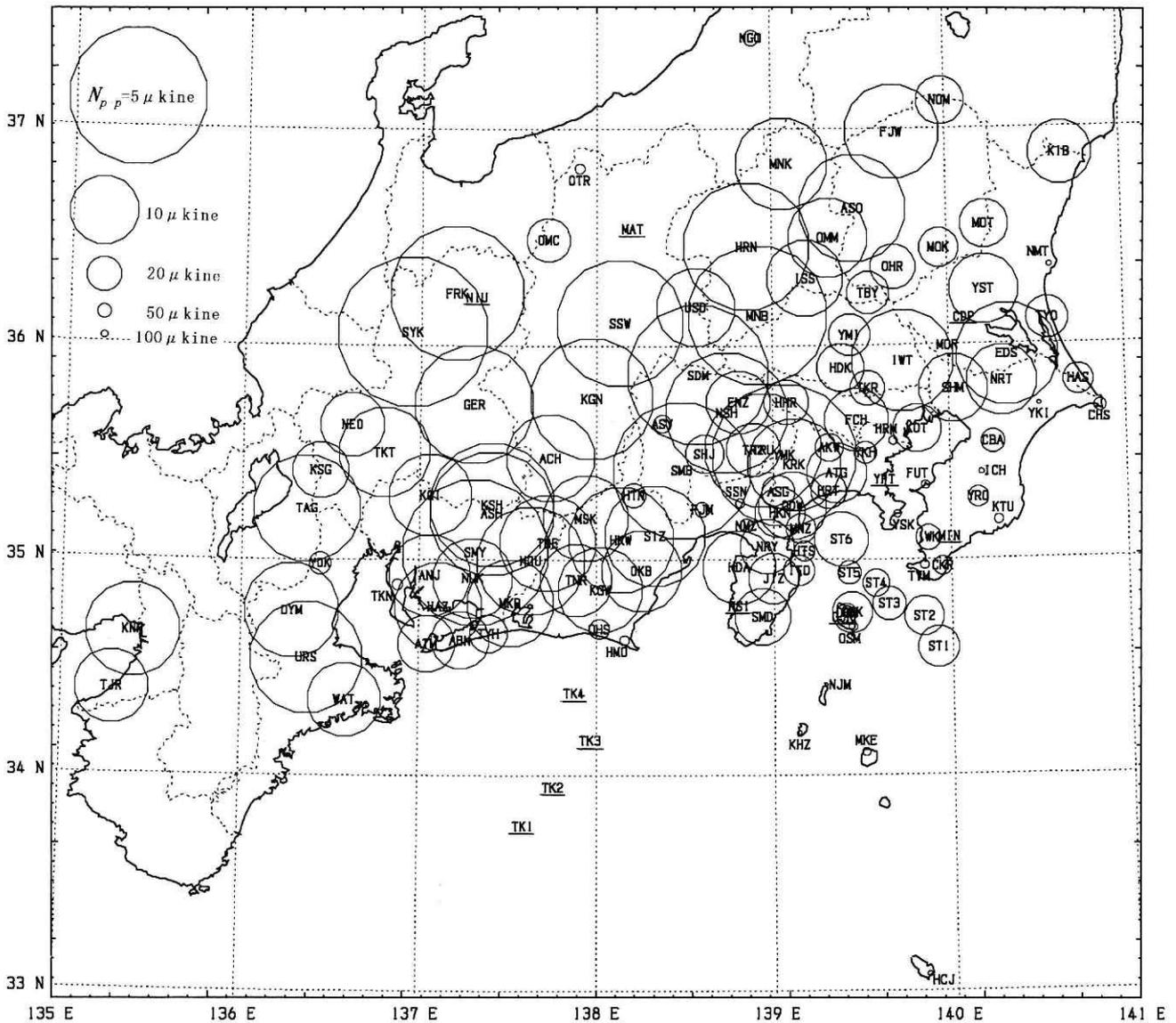


図8 関東・東海観測網各観測点の地震検知能力分布。表1に示された123観測点については、1998年の地動ノイズレベル年間平均値 m の逆数に比例した大きさの円が描かれている。なお、表1にない11観測点は、下線付きのコードで示されている。

Fig. 8 Distribution of detection capability for seismic stations in the Kanto-Tokai network. Each circle is plotted with a diameter inversely proportional to the yearly mean of ground noise level, m , in 1998 listed in Table 1. Only station codes are shown with underlines for the other 11 stations.

を示している。これは、後者が一般に大都市部に位置しており、人工的原因による雑微動の昼夜差が大きいと思われる。一方、図9(c)の年変化 $c-d$ では、地表設置の観測点、100 m級の観測点、2,000~3,000 m級の観測点の順に変動量が小さくなる傾向が見られ、長期的な地動ノイズレベルの安定性としては、深い観測井ほど優れていることが伺われる。

視点を交えて、図9(d)は、各観測点の地動ノイズレベルの年間平均値 m に対する、標準的な日変化 $a-b$ (黒丸)、および年変化 $c-d$ (白丸) の関係を見たものである。図から明らかなように、これらの間には明瞭な正の相関関

係があり、平均値の小さい観測点ほど、日変化も年変化も小さいという一般的傾向を読み取ることができる。

図10は、表1のデータに基づいて、地動ノイズレベルの年間平均値 m のランキングを示したものである。横軸は対数目盛となっており、(8)(9)式で定義したノイズレベルの実効片振幅値 N_{eff} と、peak to peak 振幅値 N_{p-p} の双方が示されている。また、同図には、標準的な日変化の最大値 a と最小値 b の範囲を棒線で、また、年間における日平均値の最大値 c と最小値 d を小さな丸印で、それぞれ示してある。高感度地震観測点としては、地動ノイズレベルの絶対値が低いことが重要な条件である

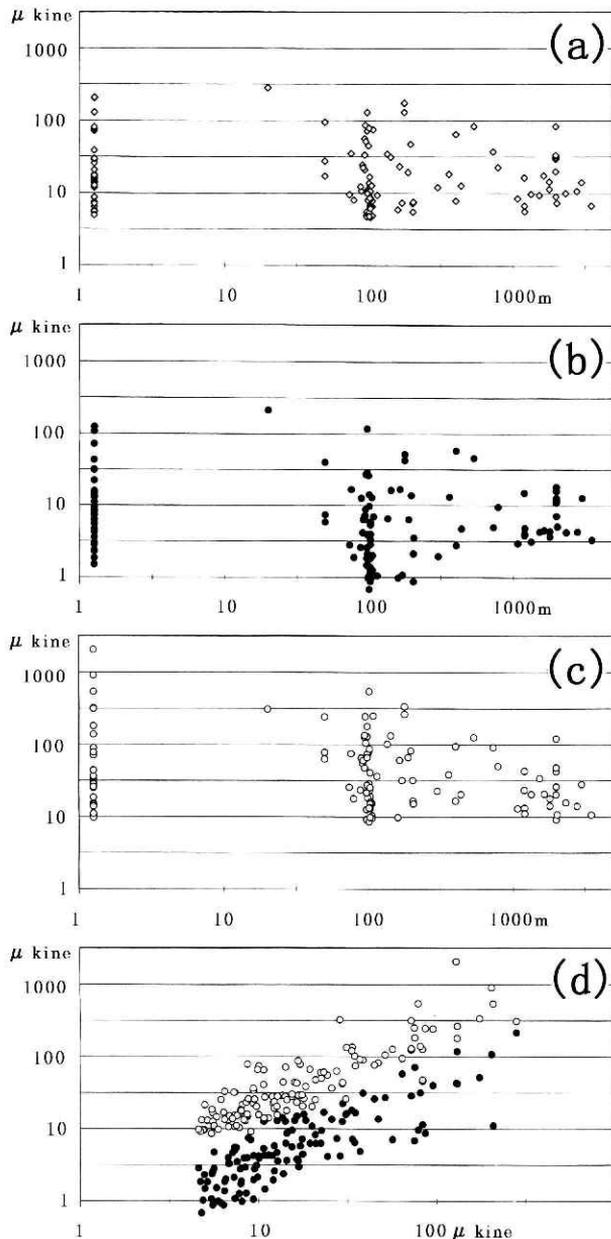


図9 表1の123観測点の観測井深度に対してプロットした、地動ノイズレベルの(a)年間平均値 m , (b)標準的日変化幅 $a-b$, (c)年変化幅 $c-d$. また(d)は、各観測点の地動ノイズレベルの年間平均値 m に対する、標準的日変化 $a-b$ (黒丸) および年変化 $c-d$ (白丸) の関係を示す。

Fig. 9 Relations between the installation depth of seismometers and the (a) yearly mean, m , (b) daily variation, $a-b$, and (c) yearly variation, $c-d$, of ground noise levels at 123 stations in Table 1. (d) shows the dependency of $a-b$ (closed circles) and $c-d$ (open circles) on m .

が、それとともに、昼夜の変化(棒線の長さ)や年間の変化(小丸印の範囲)が少ない観測点というのも、検知能力の変動が少なく安定な観測が維持できるという意味で、良い観測点の条件になる。

なお、対照すべき参考資料として、図11には、関東・東海観測網とは別システム(Hi-net 97)として近畿地方周辺に整備を行なった基盤的高感度地震観測施設38地点について、同様の地動ノイズレベル・ランキングの結果を示した。これらの観測点では、フレームリレーを用いた新しい方式のテレメータによって24 bit, 100 Hz サンプリングのデータ収集がなされている。図11は、毎時01分からの10秒間の上下動波形データに基づくrmsノイズレベル N_{rms} を35日間にわたって算出し、その平均値を小さい順に並べて示したものである。白丸印は生波形のままの算定値を、また黒丸印は1 Hzのハイパスフィルターを通した波形についての算定値を、それぞれ示している。これら38観測点の N_{rms} は10~100 nm/sの範囲に分布しているが、これは関東・東海観測網に関する調査結果である図10における横軸 N_{eff} の1~10 μ kine に対応しており、両者の絶対値や全体の分布の様子は、よく整合している。

5. 考察

地動ノイズとして観測される雑微動には、以下の2種類があることが知られている。

- (1) 人工ノイズ：交通機関や工場などの人工的要素が原因となって、広い周波数帯域にわたって発生する。大都市周辺でとくに大きく、深夜や早朝は小さくなる特徴がある。
- (2) 脈動：海岸に打ち寄せる波や、風雨などの自然現象が原因となって、数秒の周期を中心として発生する。台風が接近したり、海が荒れると、脈動のレベルはふだんの数10倍以上になることがある。

これらの雑微動のエネルギーは、そのほとんどが表面波として伝わるため、地中深くなると急激に振幅が小さくなる性質がある。ただし、脈動は周期が長いため、地下数kmまで浸透し、また、海岸からかなり離れた地点にも大きな影響を及ぼす。前節までに見た各地点の地動ノイズレベルの特徴は、このような雑微動の一般的性質に加えて、個々の観測点の立地条件や地震計の設置状況に大きく依存している。

地震観測の立場からすると、雑微動が見えないような観測は高感度観測とは言えず、少なくとも0.1 μ kine以下の分解能が望まれるが、この条件は、通常の動電コイル型地震計と低雑音増幅器の組合わせて十分実現できる。観測倍率の方は、増幅器の増幅率を高くすることによって技術的にはいくらでも上げることが可能であるが、現実には雑微動があるために極端な高倍率にはできない。とくに周期が数秒の脈動はあまり減衰せずに伝わり、大陸の奥地でも観測されるために、このような制約が現実の観測倍率を決定してしまう。結局、ある地点でどのくらい小さな地震まで検知可能かということは、その場所における雑微動の大小が左右することになり、いかに静かな観測環境を得るかという地点選定作業が高感度地震観測施設を設置する際の最重要課題となる。

それでは、高感度地震観測点に許される地動ノイズレ

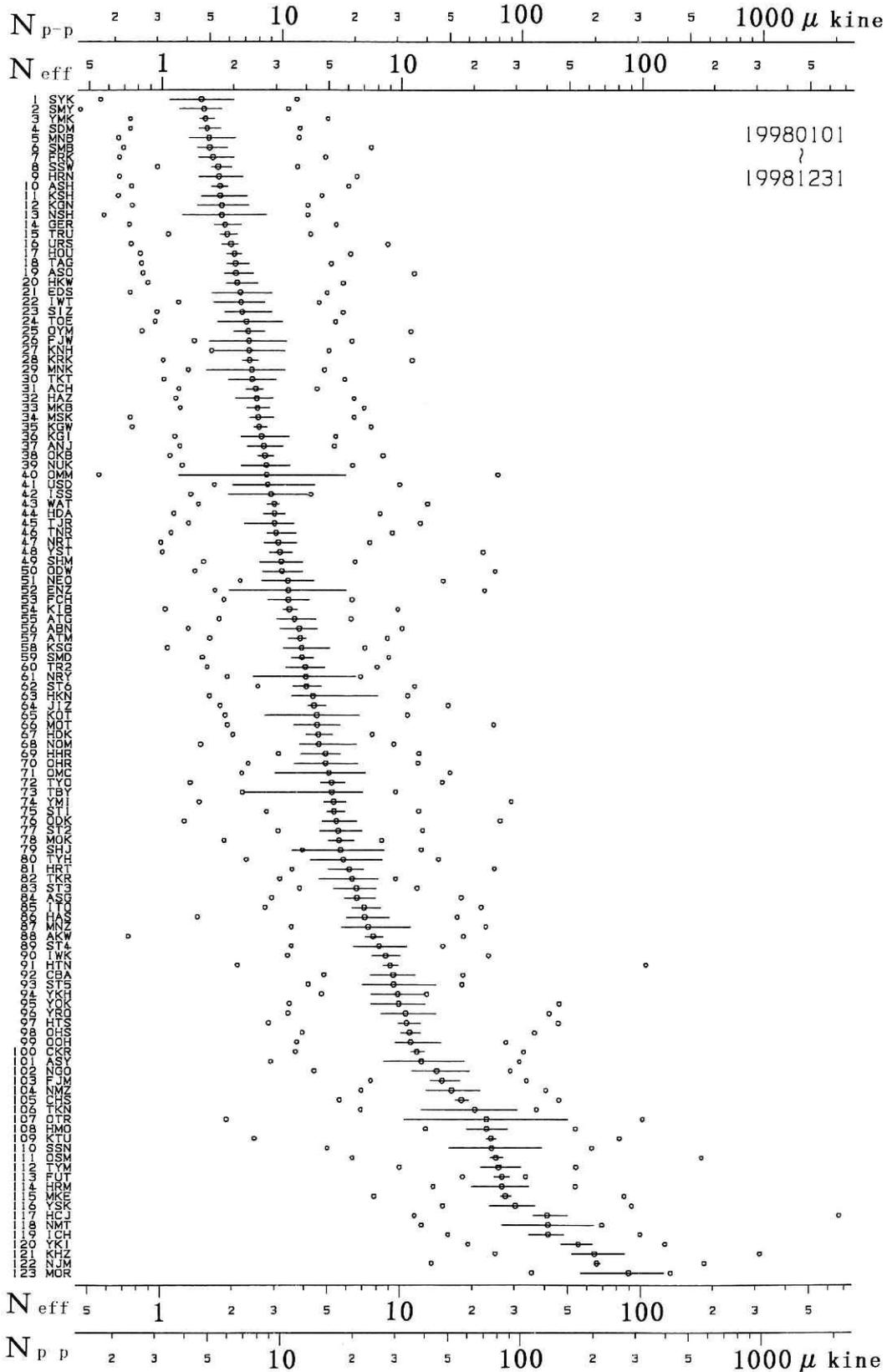


図10 表1のデータに基づく、1998年における123観測点の地動ノイズレベル年間平均値 m のランキング。標準的な日変化の最大値 a と最小値 b の範囲は棒線で、また、年間における日平均値の最大値 c と最小値 d は小さな丸印で、それぞれ示す。

Fig. 10 Ranking of the yearly means of ground noise level, m , in 1998 for 123 stations listed in Table 1. The bars show the ranges of hourly means, a and b , while the set of small circles show the max. and min. daily means, c and d .

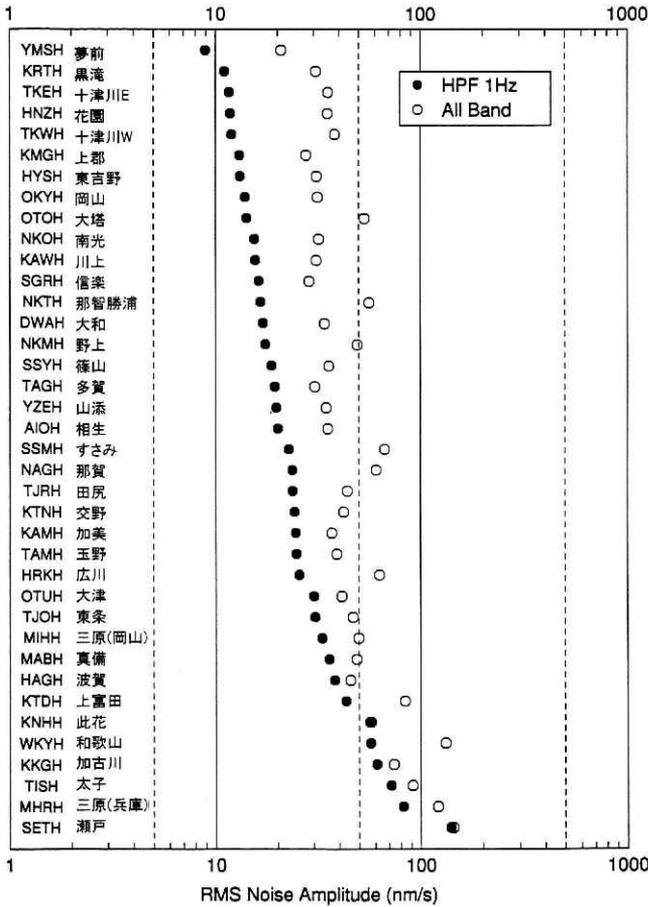


図11 近畿地方周辺に整備された基盤的高感度地震観測施設38地点に関する地動ノイズレベルのランキング。白丸は生波形に対するrms値、黒丸は1 Hzのハイパスフィルターを通した波形に対するrms値を示す。

Fig. 11 Ranking of the monthly means of ground noise level in March 1999 for 38 seismic stations newly constructed around the Kinki region. Open circles show rms-values for raw data, while closed circles show rms-values for waveforms through 1Hz HPF.

レベルは、どの程度の大きさであろうか。内陸に発生する地震の深さの下限は一般に15~20 kmとされているため、ここでは15 kmの深さに震源を有するM 1.5の地震を、震央距離30~40 kmで捉える場合を例にとって検討してみよう。

震源から観測点に届く地震波の信号の大きさは、微小地震観測においてMの決定によく用いられている、下記の渡辺(1971)の式で見積もることができる。

$$0.85M - 2.50 = \log Av + 1.73 \log r \quad (r < 200 \text{ km}) \quad (10)$$

ここで、 Av は速度振幅(片振幅; 単位 kine=cm/sec), r は震源距離(km)である。今の場合、期待される地動の速度振幅 Av は、震央距離30 kmの場合に137 μ kine, 40 kmの場合に90 μ kineとなる。ただし、ここで計算さ

れた Av は地震記録の最大片振幅であり、通常、最大振幅を与えるのはS波部分である。震源決定では地震波の立ち上がり部分、すなわちP波到着時の検知がもっとも重要であって、今問題としているのは、この初動部分が地動ノイズレベルに打ち克って精度良く検出できるかどうかということである。したがって、S波ではなくP波部分の振幅の見積もりが必要となる。弾性論によれば、ダブル・カップルによって生じる遠方での変位のP波部分とS波部分の振幅比は、放射特性の影響を別にすれば、P波速度とS波速度を α, β として $(\beta/\alpha)^3 = 1/5.196$ となることが期待される。したがって、速度振幅の比は $(\beta/\alpha)^2 = 1/3$ である。すなわち、上の例の場合に観測点で期待される初動部(P波)の片振幅は、震央距離30 kmで46 μ kine, 震央距離40 kmで30 μ kineということになる。

前述の通り、防災科研では地動レベルの短時間平均値STAと長時間平均値LTAの比を用いて、 $STA/LTA = 2.5$ を地震検知のトリガ条件として用いている。したがって、各観測点に許される雑微動のレベルとしては、上記の期待される初動部振幅の1/2.5以下であることが必要とされる。すなわち、上記例のように、深さ15 kmに発生したM 1.5の地震を震央距離30 kmの観測点で捉える場合、その観測点に許される地動ノイズレベルの大きさは最大18 μ kineとなる。また、これを震央距離40 kmの観測点で捉える場合は、地動ノイズレベルが12 μ kineを上回ってはならない。

以上を勘案すると、高感度地震観測施設における雑微動のレベルとしては、片振幅でおおむね15 μ kine以下、peak to peak振幅ではおよそ30 μ kine以下であることが望ましい。第4節で調査を行った123観測点については、うち93観測点(約76%)がこの基準を満たしている。なお、前述した通り、地動ノイズレベルの絶対値が小さいことだけでなく、その変動が少ないことも、良質な高感度地震観測点の条件である。

謝辞

当研究所地震調査研究センターの松村正三室長、および財団法人地震予知総合研究振興会の木大丹氏には、関東・東海地殻活動観測網およびデータ処理システムの一般的な状況について色々とお教えいただいた。また、本報告の基礎となった地動ノイズレベルデータの編集については、同振興会の菊地昌江および高橋裕美の両氏に負うところが大きい。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 浜田和郎・大竹政和・岡田義光・松村正三・山水史生・佐藤春夫・井元政二郎・立川真理子・大久保正・山本英二・石田瑞穂・笠原敬司・勝山ヨシ子・高橋博(1982): 関東・東海地域地殻活動観測網—国立防災科学技術センター。地震, 35, 401-426.
- 2) 浜田和郎(1988): 地震前兆解析システム開発の背景とその意義。国立防災科学技術センター研究報告, No. 41, 31-35.

- 3) 松村正三・岡田義光・堀 貞喜(1988)：地震前兆解析システムにおける地震データ(高速採取データ)の処理. 国立防災科学技術センター研究報告, No. 41, 45-64.
 - 4) 岡田義光(1987)：地震前兆解析システム. プロメテウス, No. 60, 58-61.
 - 5) 岡田義光(1992)：首都圏直下型地震の予知に向けて—広域深部観測施設の整備計画—. 防災科学技術, No. 70, 5-12.
 - 6) 岡田義光(1996)：関東・東海地域における人工震源の分布とその時間的変遷. 防災科学技術研究所研究報告, No. 57, 33-57.
 - 7) 岡田義光(2000)：関東・東海地域の地震クラスター. 地震予知連絡会会報, 63, 105-112.
 - 8) ト部卓(1994)：多チャンネル地震波形データのための共通フォーマットの提案. 日本地震学会講演予稿集, No. 2, 384.
 - 9) 渡辺晃(1971)：近地地震のマグニチュード. 地震, 24, 189-200.
- (原稿受理：2000年1月17日)

要 旨

防災科学技術研究所の関東・東海地殻活動観測網を構成する134ヶ所の高感度地震観測施設について、最近の5年間における地動ノイズ状況を組織的に調査し、その特徴や統計的性質、時間的変遷等についての考察を行なった。

地動ノイズレベルの一般的性質として、昼に高く夜に低くなる日変化や、平日に高く休日に低くなる週変化が見られる。これらは、人間活動や産業活動のパターンに対応したものであろう。一方、年変化で見ると、冬に高く夏に低くなる傾向があり、これは気象や海象の影響であると思われる。このほか、経年的なノイズレベルの増大または減少が見られる観測点があり、観測施設周辺環境変化に対応しているものと思われる。

このようなノイズレベルの変動は地震の検知能力の変動に直結し、地震の検出数を左右している可能性があるため、関東・東海地域の4つの定常的地震発生地域を選んで、この20年間における地震検出数の時間別・曜日別・月別分布を調べてみた。その結果、地震数の日変化については、昼に少なく夜に多くなる傾向が認められたが、週変化や年変化については、あまりはっきりした差が見られなかった。

次に、地動ノイズレベルの絶対値を算出できた123観測点について、1998年の1年間におけるノイズレベルの平均値に基づき観測点のランキングを行った。その結果、深さ15 kmに発生したM1.5の地震を震央距離30~40 kmで検知可能な地動ノイズレベルである30 μ kine (peak to peak 振幅値)を下回っている観測点の数は、全体の約76%であることがわかった。一方、地震計の設置深度と、地動ノイズレベルの年間平均値、日変化幅、年間変動幅の間には明瞭な相関関係が認められなかったが、年間平均値の小さな観測点ほど、日変化幅や年間変動幅は小さくなる傾向があることが明らかとなった。

キーワード：関東・東海地域、高感度地震観測点、地動ノイズ

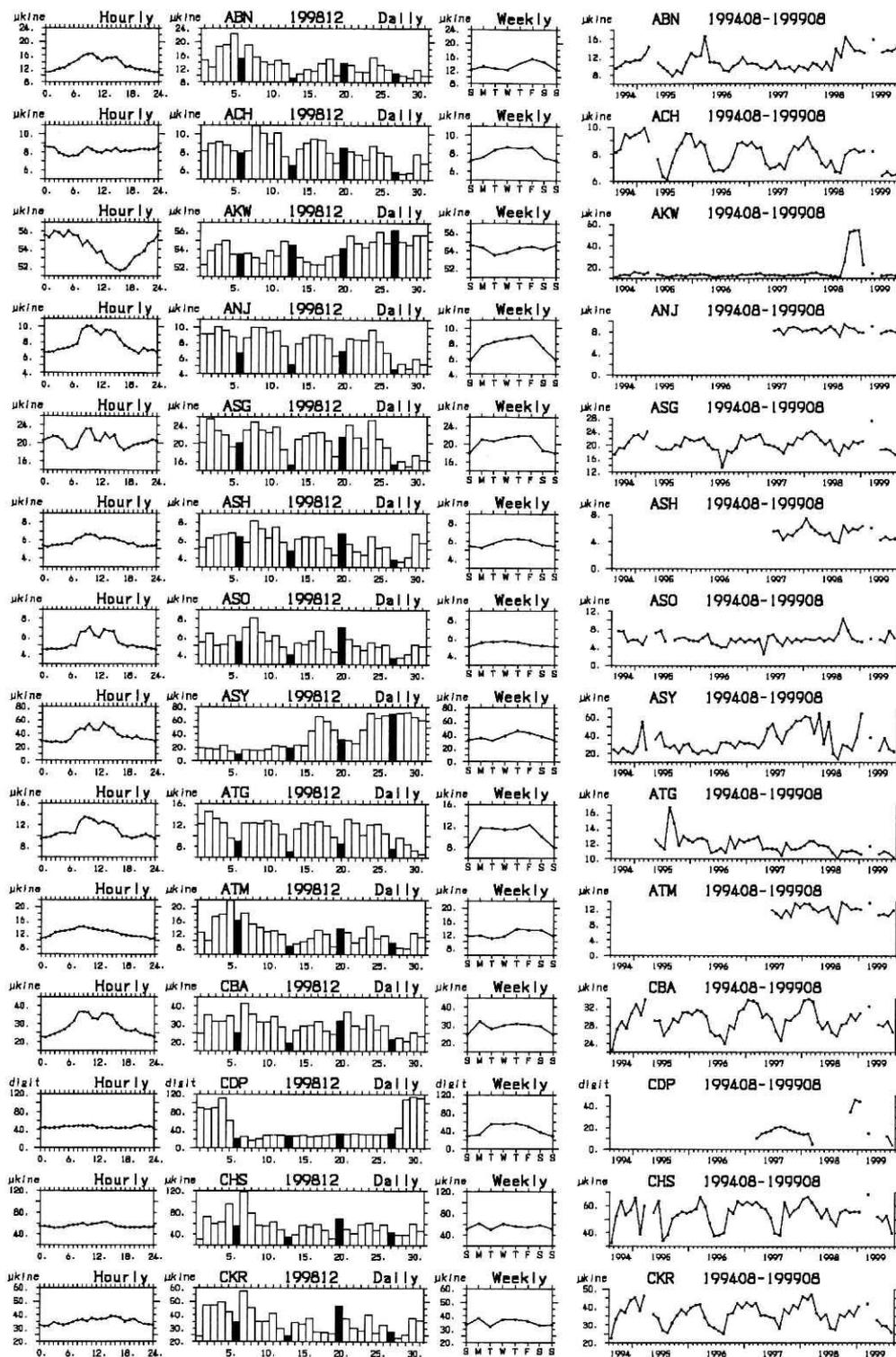


図12(1/10) 関東・東海観測網に接続された134地震観測施設における地動ノイズレベル状況 [ABN-CKR]。左側の3つは、1998年12月における平均的な日変化、日平均値の月変化、平均的な週変化を示す。月変化の図で黒く塗りつぶされているのは日曜日に対応している。また右端は、1994年8月から1999年8月までの月平均値の変化を示す。

Fig. 12 (1/10) Ground noise levels at 134 seismic stations belonging to the Kanto-Tokai observation network [ABN-CKR]. The three diagrams on the left show the changes in hourly, daily, and weekly means in December 1998. The black columns in the daily mean diagram correspond to Sundays. The diagram on the right shows the changes in monthly means during the 5 year period, from August 1994 to August 1999.

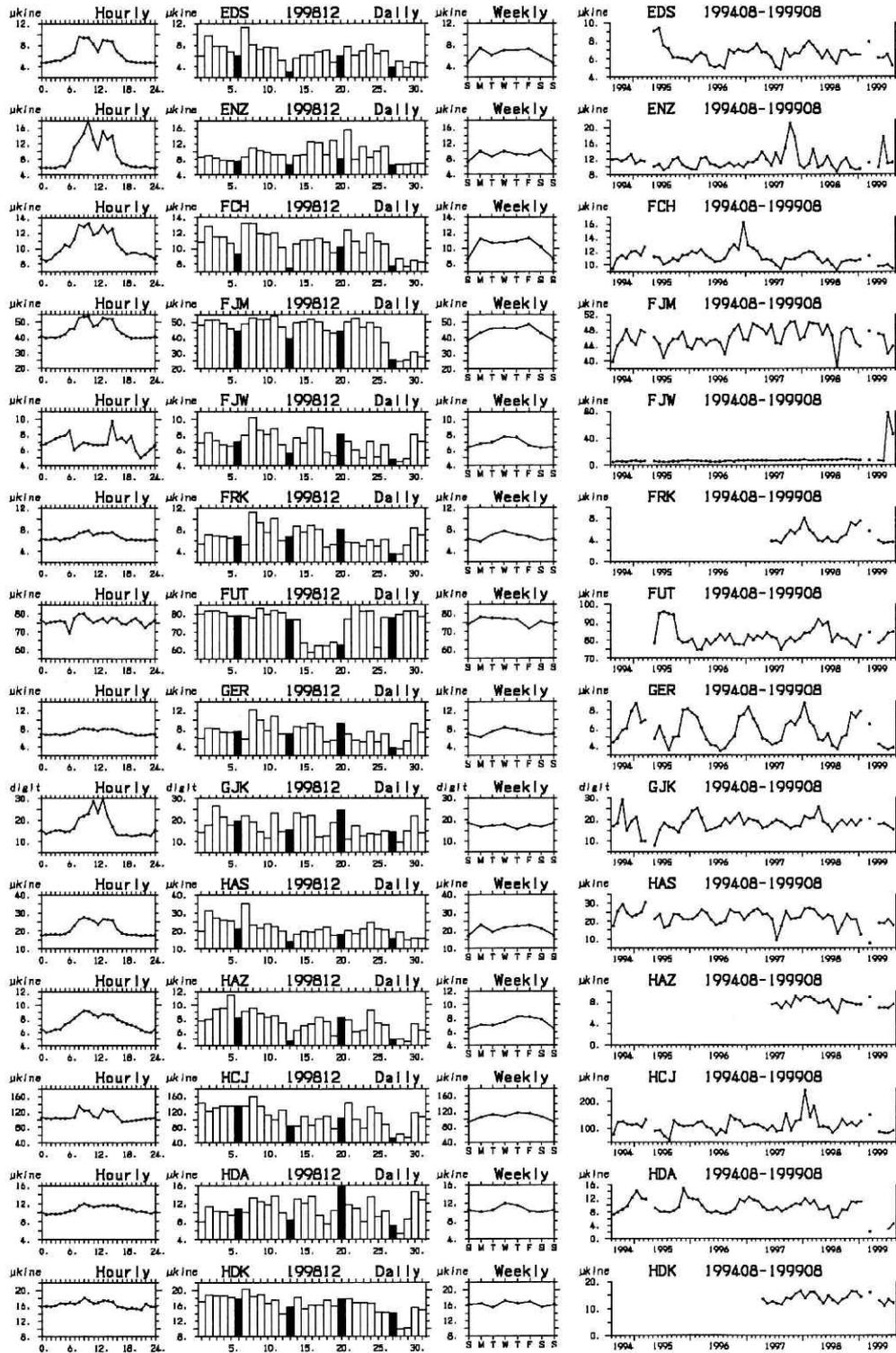


図12(2/10) 関東・東海観測網に接続された134地震観測施設における地動ノイズレベル状況 [EDS-HDK].

Fig. 12 (2/10) Ground noise levels at 134 seismic stations belonging to the Kanto-Tokai observation network [EDS-HDK].

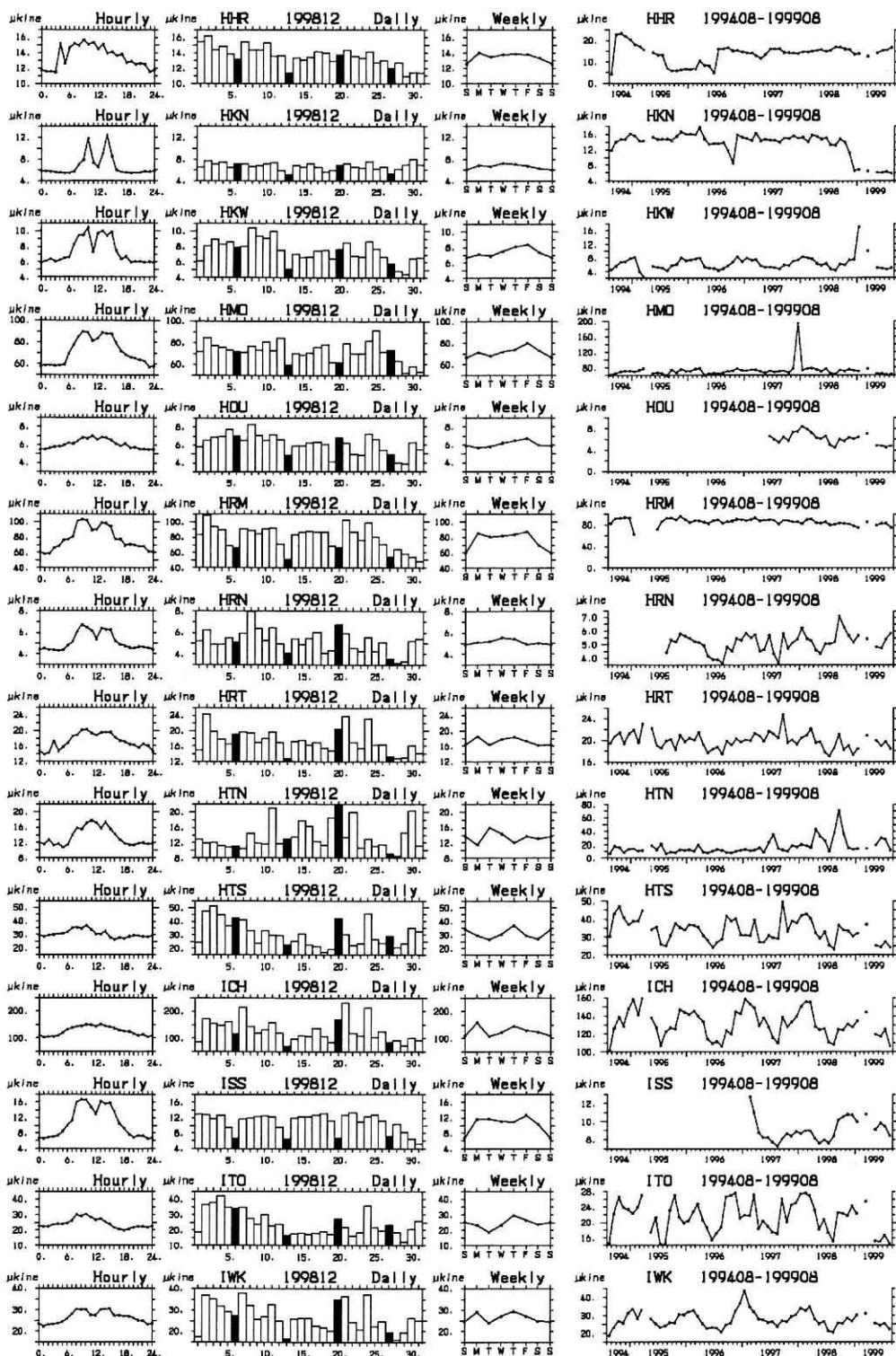


図12(3/10) 関東・東海観測網に接続された134地震観測施設における地動ノイズレベル状況 [HHR-IWK].

Fig. 12 (3/10) Ground noise levels at 134 seismic stations belonging to the Kanto-Tokai observation network [HHR-IWK].

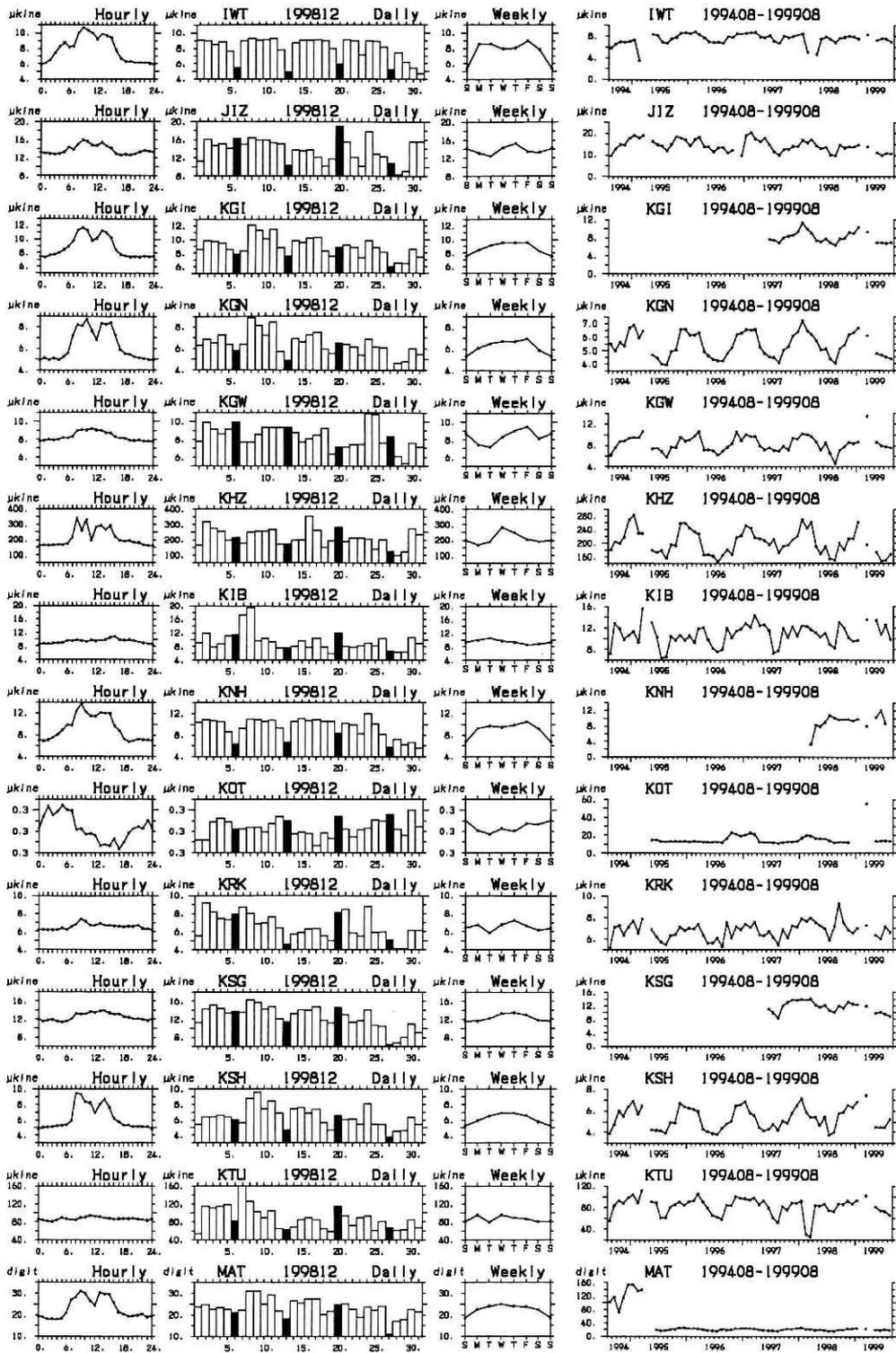


図12(4/10) 関東・東海観測網に接続された134地震観測施設における地動ノイズレベル状況 [IWT-MAT].

Fig. 12 (4/10) Ground noise levels at 134 seismic stations belonging to the Kanto-Tokai observation network [IWT-MAT].

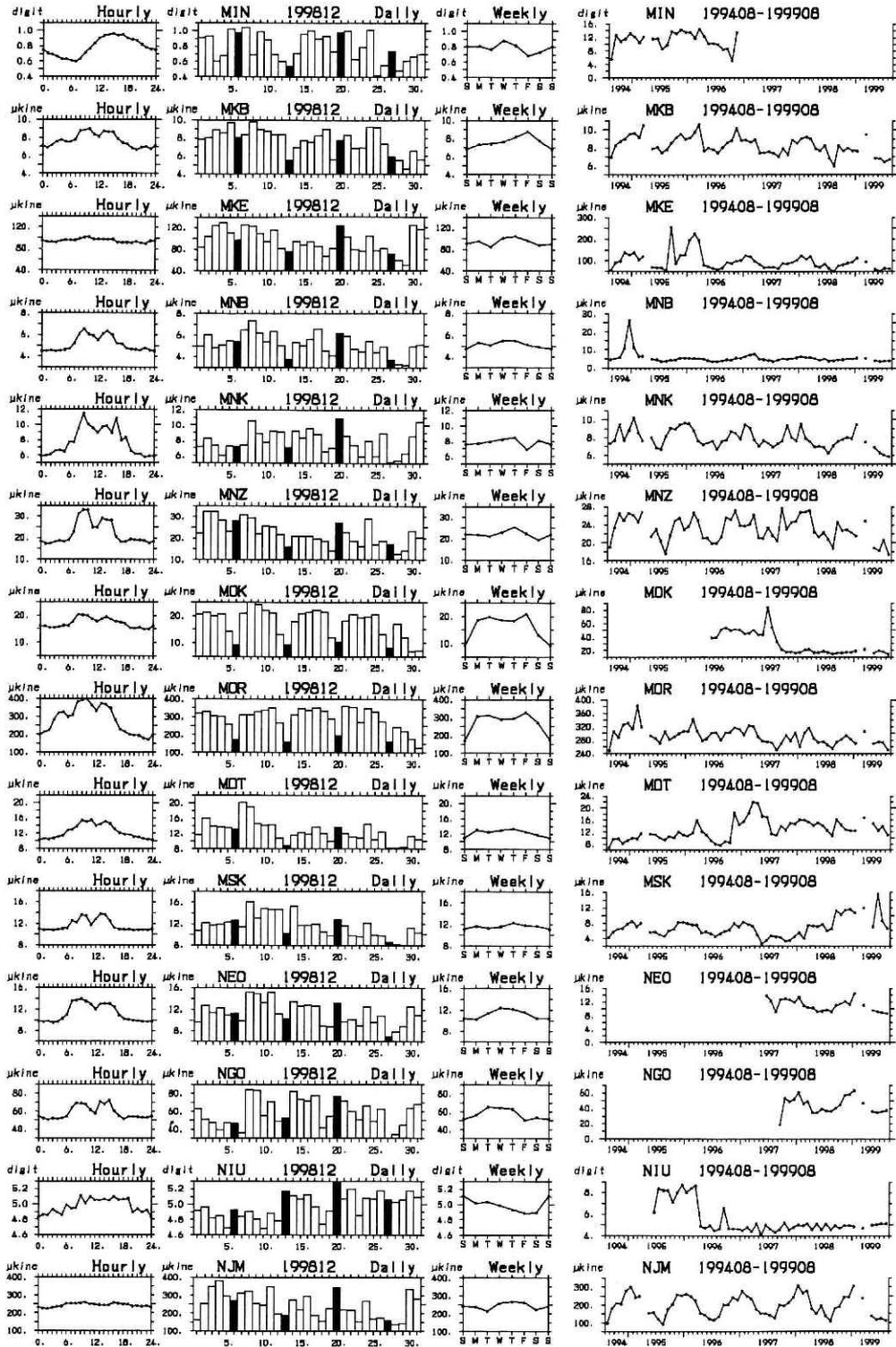


図12(5/10) 関東・東海観測網に接続された134地震観測施設における地動ノイズレベル状況 [MIN-NJM].

Fig. 12 (5/10) Ground noise levels at 134 seismic stations belonging to the Kanto-Tokai observation network [MIN-NJM].

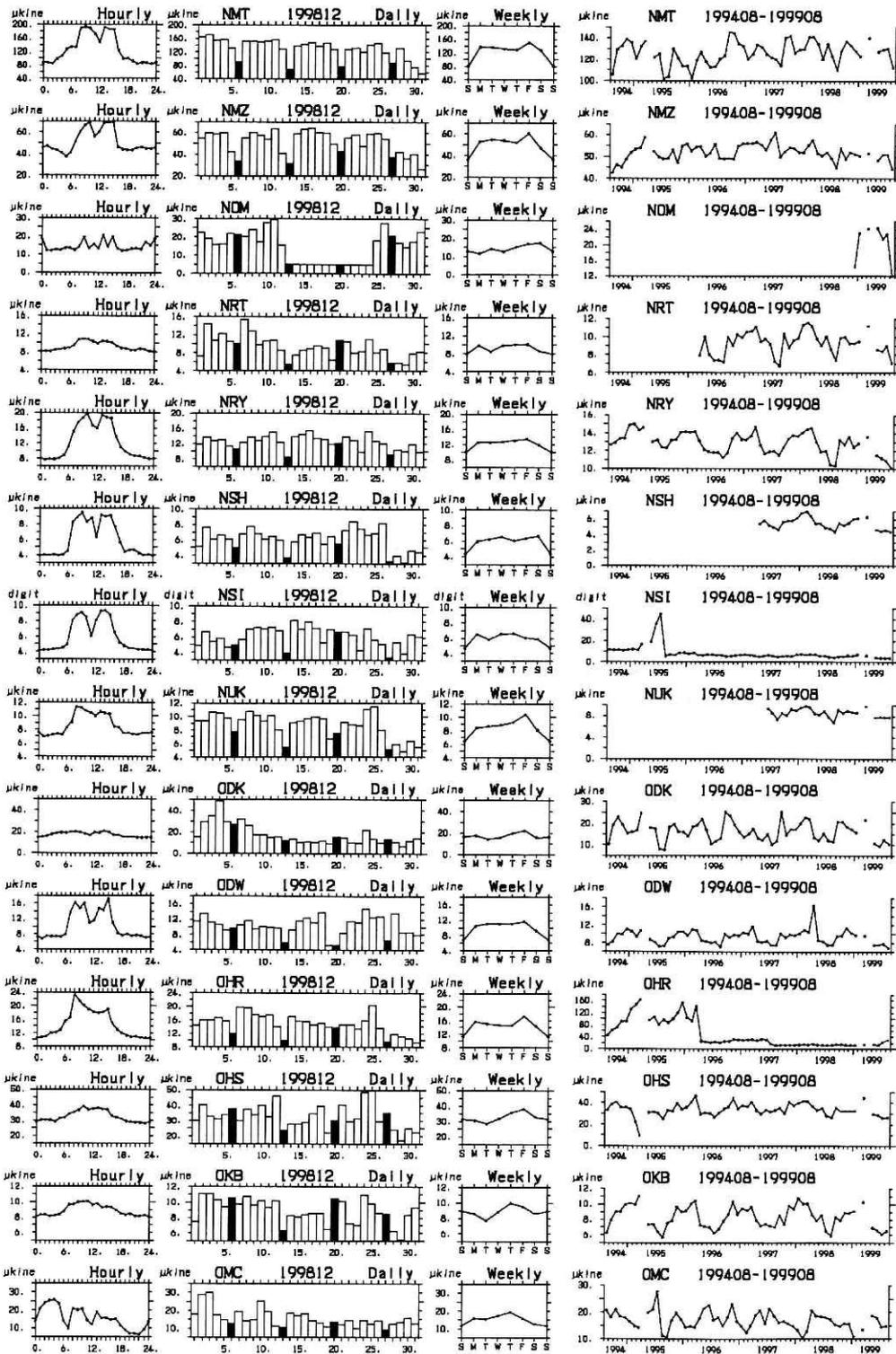


図12(6/10) 関東・東海観測網に接続された134地震観測施設における地動ノイズレベル状況 [NMT-OMC].

Fig. 12 (6/10) Ground noise levels at 134 seismic stations belonging to the Kanto-Tokai observation network [NMT-OMC].

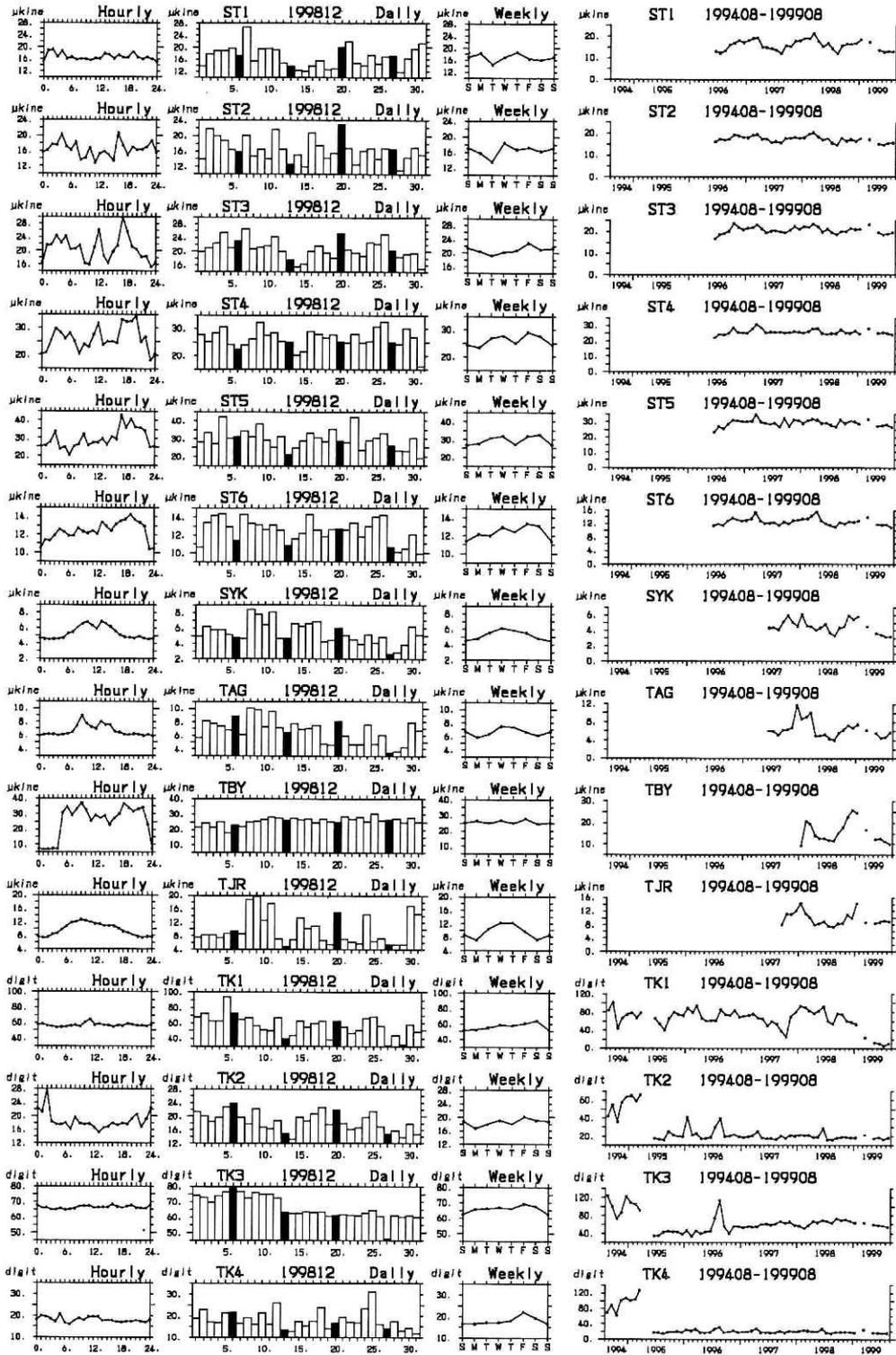


図12(8/10) 関東・東海観測網に接続された134地震観測施設における地動ノイズレベル状況 [ST1-TK4].

Fig. 12 (8/10) Ground noise levels at 134 seismic stations belonging to the Kanto-Tokai observation network [ST1-TK4].

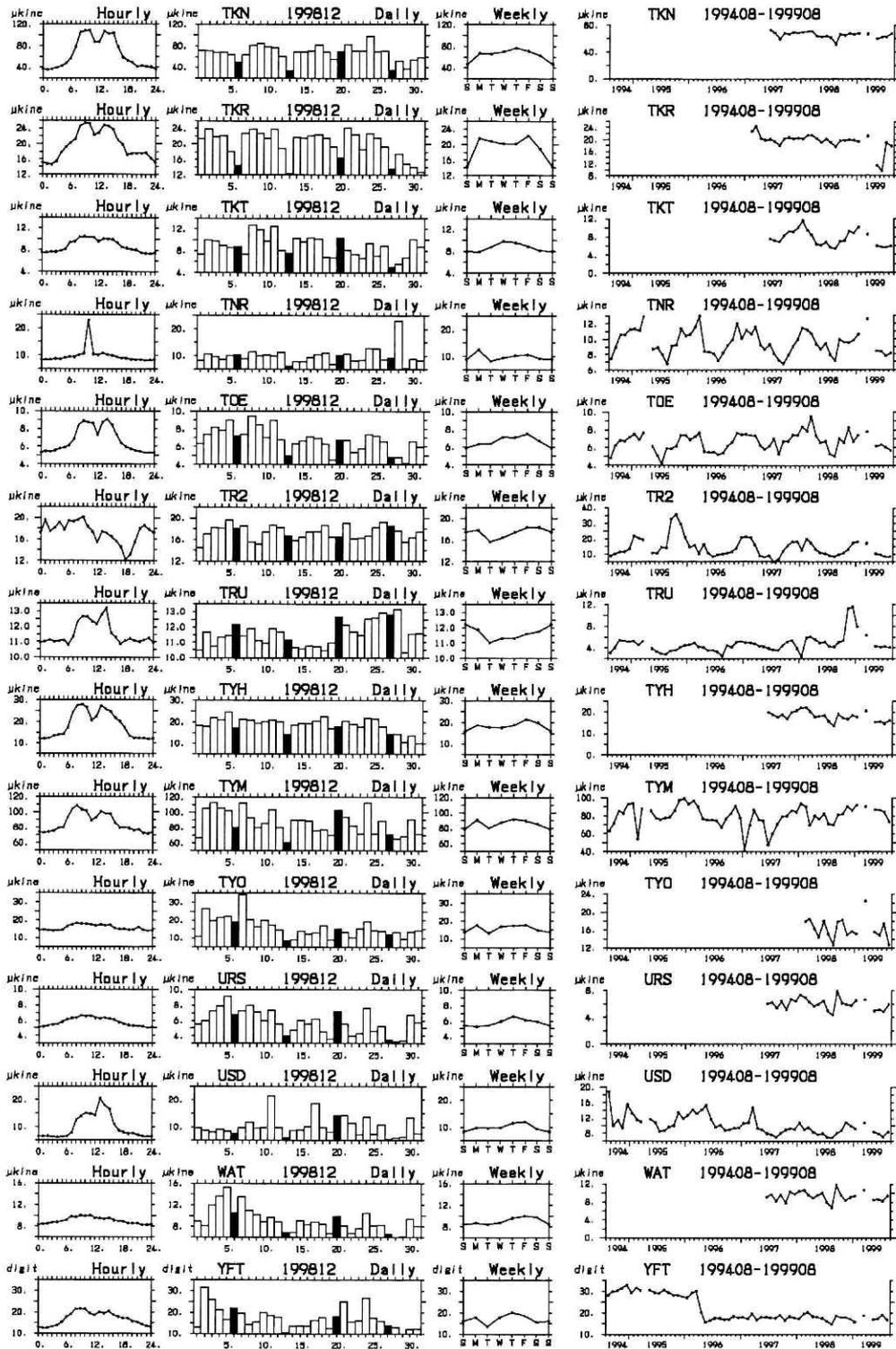


図12(9/10) 関東・東海観測網に接続された134地震観測施設における地動ノイズレベル状況 [TKN-YFT].

Fig. 12 (9/10) Ground noise levels at 134 seismic stations belonging to the Kanto-Tokai observation network [TKN-YFT].

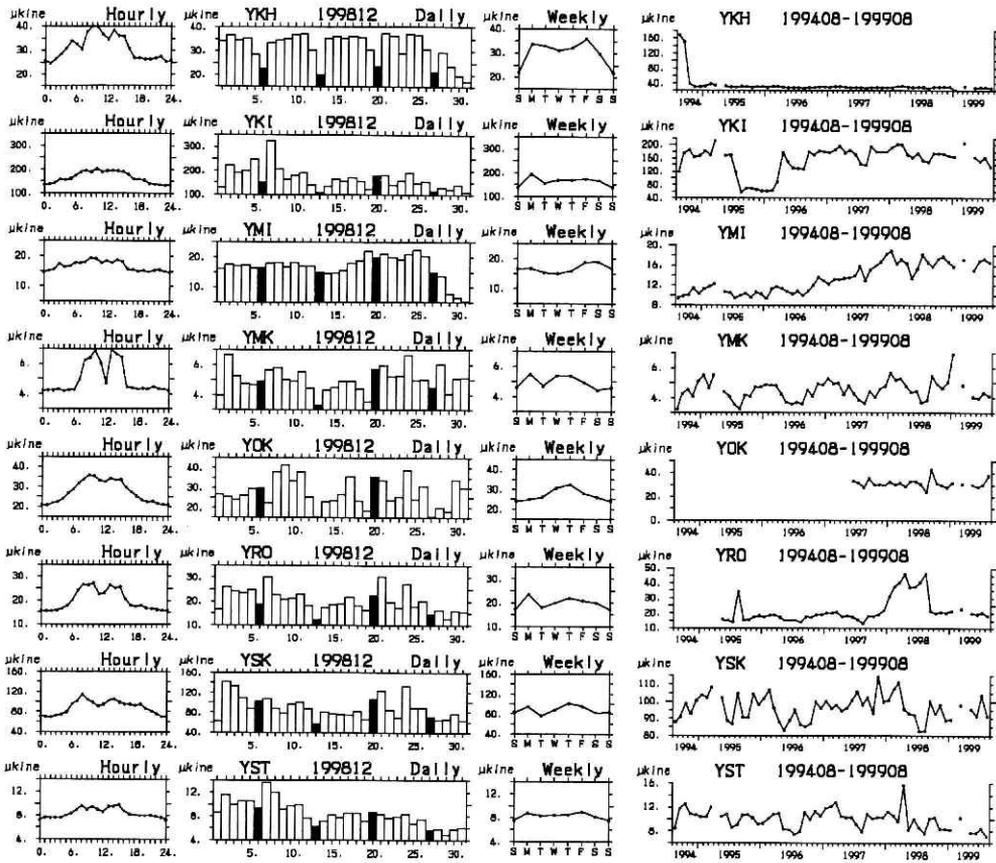


図12(10/10) 関東・東海観測網に接続された134地震観測施設における地動ノイズレベル状況 [YKH-YST].

Fig. 12 (10/10) Ground noise levels at 134 seismic stations belonging to the Kanto-Tokai observation network [YKH-YST].