

松代地震観測所で観測した地下核爆発と 自然地震の地震波動について*

—(1)おもに W. W. S. S を用いた場合—

山 岸 要 吉**・泉 末 雄**
山 本 雅 博***

550.340

Comparison between Earthquakes and Underground Explosions Observed at the Matsushiro Seismological Observatory

(First paper; Analyses of World Wide Standard Seismogram)

Y. Yamagishi and S. Izumi

(Matsushiro Seismological Observatory, J. M. A.)

M. Yamamoto

(Seismological Division, J. M. A.)

Many underground nuclear explosions, announced or presumed, have been observed at the Matsushiro Seismological Observatory since 1961. We investigate natures of seismic waves for shallow earthquakes and explosions, which occurred in and near Nevada Test Site and Kazakh region. For each region, explosions and earthquakes more than $mb: 5.0$ are mostly detectable at Matsushiro.

Systematic differences of the P -wave spectra between earthquakes and explosions are analysed by the Fourier analysis method. The spectra of earthquakes predominate at lower frequency and their patterns are more complicated than that of explosions.

The period of maximum amplitude of the P -wave by SP (WWSS; $T=0.6$) about 0.6 sec. for explosions in Kazakh region and about 1.0~1.2 sec. for explosions in N. T. S.. Whereas, for earthquakes such a period is longer and changes according to their magnitude. Therefore the deviation of mb value [$mb(MAT) - mb(NOAA)$] have a significant relation to the period. The deviations are mostly minus when the period is shorter than about 1.0 sec. for explosions and about 1.2~1.4 sec. for earthquakes. In other cases, the deviations are mostly plus. This can be regarded as the response of SP. Since SP has the maximum magnification at 0.6 sec., the maximum trace amplitude on seismograms does not necessarily mean maximum ground amplitude.

It is well known that the M_s values of explosions are smaller than that of earthquakes for the same mb . In re-examination using Matsushiro data, it is possible to distinguish explosions from earthquakes using $M_s(MAT)$ and $mb(NOAA)$ relation. M_s data of small explosions, however, are difficult to determine because of small trace amplitude and this relation alone cannot be employed for discrimination.

1. まえがき

近年アメリカ・ソ連では多くの地下核爆発が実施されている。地震観測所(松代)では、これらの地下爆発による地震波を数多く記録してきた。今回、アメリカ西部(おもに Nevada Test Site (NTS) 周辺)とユーラシ

ア地域(おもに Kazakh, Novaya Zemlya 周辺)の地下爆発と自然地震の地震波動の性質の違いを調査した。読み取り基準にしたのは WWSS (World Wide Standard Seismograph) の SP (Short Period seismograph) と LP (Long Period seismograph) である。

一般に地下爆発による地震と自然地震とは次のような違いがあると考えられる。

(1) 震源の深さ

* Received July 2, 1973

** 地震観測所

*** 気象庁地震課

多くの地下爆発は地表付近(最も深いものでも約3 km)であるのに対して、自然地震の多くは極く浅いものでも爆発よりも深く今回調査した自然地震の多くは30 km 前後のものである。

(2) Time Function

通常の地下爆発が Impulsive な震源過程であるのに対し、自然地震はある有限な時間過程で発生するものと思われる。

(3) Source Dimension

自然地震はある大きさの体積(マグニチュードに関連する大きさ)が関与する現象であるのに対し、地下爆発に関係する体積は非常に小さい。

(1),(2),(3)等の震源過程の違いが自然地震と地下爆発による波動発生機構の差の大きな要因になると思われる。

本論文で使用しているマグニチュードは、次式を用いて算出した。

(1) *mb* (Body Wave Magnitude)

$$mb = \log(A/T) + Q \quad (1)$$

A および T は SP (WWSS の Short period) の上下動成分で初動から約10秒以内の最大振幅およびその周期である。Q は震央距離と震源の深さによって決まる定数である。

(2) *Ms* (Surface Wave Magnitude)

$$Ms = \log(A/20) + 1.66 \log \Delta + 3.3 \quad (2)$$

A は 17~23 秒周期の Rayleigh 波の水平動振幅、Δ は震央距離(度)である。

これら、(1),(2)の式は現在 NOAA でマグニチュー

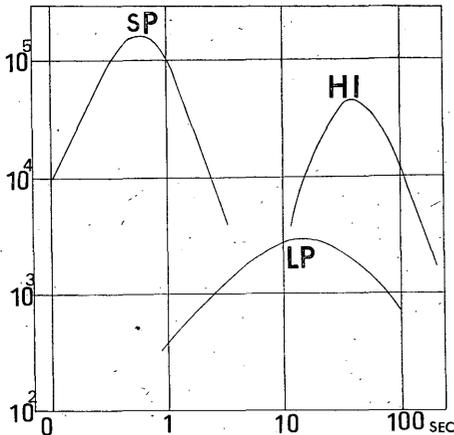


Fig. 1 Response curves of seismographs (SP, LP and HI) installed at the Matsushiro Seismological Observatory

Table 1. Seismograph constants at Matsushiro.

V max: Maximum magnification in displacement

To : Period of pendulum

Tg : Period of galvanometer

Instrument	V max	To sec	Vg sec
SP (WWSS) (N, E, Z)	160,000	1.00	0.75
LP (WWSS) (N, E, Z)	3,000	15	100
HI (H. G. L. P) (N, E, Z)	42,800	30	100

ド算出に用いているものである。

Fig. 1, Table 1 に SP, LP の周波数特性と常数を示す。なお、今回は使用しなかったが 1972 年 12 月以降設置されている HGLP (High Gain Long Period Seismograph) についても示しておく。

2. 資料

今回調査に使用した地下爆発と自然地震を Tale 2 に示す。これらの震央位置、震源の深さ、マグニチュードは NOAA の PDE (Preliminary Determination of Epicenters) によった。MAT (松代) の *mb*, *Ms* は(1), (2)式を用いて算出したものである。DIST は震央距離(度)、AZIM は松代の震源に対する方位を北から反時計まわりにはかった(度)のものである。

3. 松代の SP を用いた場合の検知能力

世界の地震に対しての松代の Detection Capability については山岸他 (1972) により詳しく調べられている。それによれば、SP を用いた場合 *mb* が 5 以上の地震の松代での検知力は、ユーラシア中部で 80~90%、アメリカ西部でも約 80% となる。

一方、地下爆発に対しても同程度の検知能力を示している。Fig. 2 は NTS と Kazakh, Novaya Zemlya で実施された地下爆発に対する松代の検知回数と検知出来ない回数である。この図から両地域の地下爆発のうち *mb* 5 以上のものの大部分が検知されており、山岸らの調査と矛盾しない。Kazakh 地域は松代からの震央距離が約 45 度であり、NTS は約 80 度である。しかし、松代では NTS の地下爆発の方が検知しやすいと思われる。これは次章で述べるように Kazakh 地域の地下爆発の松代での *mb* が NOAA のものより 0.4~0.6 程度小

Table 2. List of Events Explosions and Earthquakes which occurred near Kazakh and Nevada Test Site.

Date	Origin Time (G. M. T)	Lat.	Long.	Depth (km)	NOAA		MAT		DIST (°)	AZIM (°)
					<i>mb</i>	<i>Ms</i>	<i>mb</i>	<i>Ms</i>		
USSR Presumed Explosion										
66 02 13	045757.9	49.8	78.1	0	6.2	—	5.7	—	44.6	53.1
66 10 27	055757.7	73.4	54.9	0	6.3	—	Sat	5.2	53.5	20.8
67 10 17	050358.0	49.8	78.1	0	5.7	—	5.1	—	44.6	53.1
67 10 21	045958.1	73.4	54.8	0	5.9	—	5.8	4.5	53.5	20.8
68 09 29	034257.5	49.8	78.2	0	5.8	—	5.6	—	44.6	53.1
68 11 07	100205.3	73.4	54.9	0	6.0	—	6.0	4.7	53.5	20.8
69 03 07	082657.5	49.8	78.2	0	5.5	—	5.0	—	44.6	53.1
69 05 16	040257.1	49.8	78.1	0	5.3	—	4.8	3.5	44.6	53.1
69 05 31	050156.6	50.0	77.7	0	5.4	—	5.1	—	44.9	52.8
69 07 04	024657.0	49.7	78.2	0	5.3	—	4.8	—	44.6	53.2
69 07 23	024658.1	49.9	78.3	0	5.5	—	5.1	—	44.5	53.0
69 09 11	040157.1	49.7	78.1	0	5.0	—	4.7	—	44.6	53.2
69 09 26	065955.8	45.9	42.5	0	5.6	—	5.9	—	68.4	48.4
69 10 01	040257.6	49.8	78.2	0	5.3	—	4.7	—	44.6	53.1
69 10 14	070006.2	73.4	54.8	0	6.1	—	6.1	4.8	53.5	20.8
69 11 30	033257.2	49.9	79.0	0	6.0	—	5.9	4.4	44.0	53.0
69 12 06	070257.4	43.8	54.8	0	5.8	—	6.2	4.4	61.6	54.9
69 12 28	034658.0	50.0	77.8	0	5.7	—	5.6	—	44.8	52.8
70 01 29	070257.5	49.8	78.2	0	5.6	—	5.0	4.0	44.6	53.1
70 06 28	015757.7	49.8	78.2	0	5.9	—	5.1	—	44.6	53.1
70 07 21	030257.1	50.0	77.8	0	5.4	—	5.2	—	44.8	52.8
70 07 24	035657.4	49.8	78.2	0	5.3	—	4.8	—	44.6	53.1
70 09 06	040257.4	49.8	78.1	0	5.6	—	5.1	—	44.6	53.1
70 10 14	055957.1	73.3	55.1	0	6.7	5.1	Sat	5.5	53.5	20.9
70 11 04	060257.0	50.0	77.8	0	5.4	—	5.2	—	44.8	52.8
70 12 17	070057.4	49.7	78.1	0	5.5	—	4.7	—	44.6	53.2
70 12 12	070057.3	43.9	54.8	0	6.1	—	6.6	4.5	61.5	54.8
70 12 23	070057.3	43.8	54.8	0	6.1	—	6.7	4.6	61.6	54.9
71 03 22	043257.8	49.7	78.2	0	5.8	—	5.2	4.3	44.6	53.2
71 03 23	065956.0	61.3	56.5	0	5.6	—	5.5	4.3	54.9	35.7
71 04 25	033258.0	49.8	78.1	0	5.9	—	5.5	4.3	44.6	53.1
71 06 06	040257.1	50.0	77.8	0	5.5	—	5.4	—	44.8	52.8
71 06 19	040357.6	50.0	77.7	0	5.5	—	5.2	—	44.9	52.8
71 06 30	035657.2	50.0	77.1	0	5.4	—	4.9	—	44.0	52.9
71 07 10	165959.3	64.2	55.2	0	5.3	—	4.7	—	54.8	32.1
71 10 09	060257.1	50.0	77.7	0	5.4	—	5.0	—	44.9	52.8
71 10 21	060257.3	50.0	77.6	0	5.6	—	5.3	—	44.9	52.8
71 12 22	065956.3	47.9	48.2	0	6.0	—	5.6	3.7	64.0	48.5
71 12 30	062057.7	49.8	78.1	0	5.8	—	5.3	4.3	44.6	53.1
72 02 10	050257.0	49.0	79.0	0	5.5	—	4.8	—	44.1	54.3
USSR Earthquake										
70 01 19	003152.6	41.1	69.3	43	5.0	—	5.2	—	52.6	62.6
70 02 06	221041.6	23.1	100.8	33	5.4	6.1	5.6	6.2	34.9	102.1
70 02 19	071001.8	27.4	94.0	18	5.5	—	5.7	5.1	38.3	90.8
70 03 10	052010.3	26.8	97.0	33	5.4	—	5.2	—	36.2	93.6
70 03 28	094457.8	52.2	105.8	33	5.2	—	4.8	4.3	27.7	45.3
70 04 23	180218.8	37.5	72.6	46	5.1	—	5.0	4.3	51.4	67.9
70 05 15	171315.1	50.2	91.3	33	5.9	6.7	6.0	—	36.1	52.8
70 06 05	045306.4	42.5	78.8	20	6.0	6.6	6.4	—	45.4	63.4
70 06 05	103154.3	63.4	146.2	33	5.5	5.4	5.4	4.7	27.3	352.2
70 07 29	055056.4	39.9	77.8	13	5.2	5.5	5.3	5.3	46.8	66.6
70 07 30	005219.5	37.8	55.9	19	5.7	6.6	5.9	6.9	63.4	61.4
70 07 31	131047.4	28.6	103.6	25	5.5	—	4.7	5.0	30.1	95.2
70 08 08	114631.3	44.3	81.2	33	4.7	—	4.2	4.4	43.3	61.4
70 09 05	133734.9	32.0	101.2	33	5.0	—	5.0	4.7	30.8	87.5
70 09 18	200225.0	36.4	68.9	33	5.1	—	5.1	—	54.6	67.9

Date	Origin Time (G. M. T.)	Lat.	Long.	Depth (km)	NOAA		MAT		DIST (°)	AZIM (°)
					<i>mb</i>	<i>Ms</i>	<i>mb</i>	<i>Ms</i>		
70 10 07	022036.7	27.8	56.5	43	5.0	—	4.8	—	67.8	71.2
70 10 09	134852.6	39.1	71.7	46	5.2	—	5.1	—	51.5	65.7
70 10 15	035516.1	39.8	77.2	33	4.9	—	5.2	—	47.3	66.6
70 10 25	112218.2	36.8	45.1	19	5.5	4.8	5.6	4.8	71.4	57.7
71 02 02	075957.0	23.8	91.8	48	5.4	—	4.8	4.4	41.7	94.4
71 02 23	194123.0	39.6	27.4	15	5.0	5.4	5.6	5.3	81.1	47.0
71 03 23	095212.3	41.5	79.3	33	5.7	—	5.4	—	45.3	64.9
71 03 24	135417.7	35.5	98.2	13	5.8	6.4	6.2	6.0	32.2	79.7
71 03 24	205428.6	41.5	79.5	18	5.3	—	4.8	4.6	45.1	64.9
71 03 24	210154.9	41.4	79.4	25	5.3	—	5.0	—	45.2	65.0
71 03 28	025412.2	19.1	96.3	34	4.4	—	4.6	—	40.6	103.8
71 03 31	081619.6	26.2	96.6	22	5.0	—	4.7	5.2	36.7	94.3
71 04 03	044903.4	32.3	95.1	33	5.7	—	5.8	6.4	35.6	83.9
71 04 03	045045.6	32.3	95.4	33	5.8	—	5.5	—	35.4	84.1
71 04 06	064952.9	29.8	51.9	10	5.2	5.1	5.2	5.3	70.2	67.2
71 04 12	190325.9	28.3	55.6	44	6.0	5.9	5.8	5.8	68.2	70.3
71 04 13	125234.6	39.0	29.9	13	5.1	—	5.1	5.3	80.0	48.7
71 04 28	153200.9	22.9	101.0	15	5.6	6.3	4.7	—	34.8	102.5
71 05 03	003322.5	30.8	84.5	16	5.4	—	5.0	—	44.6	81.1
71 05 10	145146.8	42.8	71.4	33	5.6	5.4	6.0	5.6	50.6	61.1
71 05 12	062513.0	37.6	29.8	23	5.5	5.9	5.6	6.0	80.9	49.8
71 05 12	101037.2	37.5	29.7	33	5.5	—	5.5	5.1	81.0	49.8
71 05 12	125724.8	37.6	29.6	33	5.4	5.2	5.3	5.6	81.0	49.6
71 05 22	164358.7	38.8	40.5	3	6.0	6.7	6.2	—	73.4	53.9
71 05 22	200332.4	32.4	92.1	33	5.6	6.1	5.9	—	38.0	82.4
71 05 25	054327.0	39.0	29.7	24	5.8	5.5	5.9	5.7	80.1	48.6
71 05 26	024146.0	35.5	58.2	26	5.4	5.4	5.8	—	62.8	64.6
71 05 30	115559.9	25.3	96.4	33	4.9	—	5.4	5.1	37.3	95.5
71 05 30	154415.7	25.2	96.4	15	5.8	6.1	6.1	6.4	37.4	95.6
71 05 30	213900.5	25.3	94.4	33	4.9	—	5.1	—	38.9	94.1
71 05 31	051359.7	25.2	96.5	33	5.3	6.1	6.1	5.7	37.3	95.7
71 06 08	234255.2	37.6	29.7	28	4.8	—	5.1	4.7	81.0	49.7
71 06 14	134855.7	56.2	123.6	33	5.6	5.7	5.6	5.3	22.0	22.1
71 06 15	073937.1	41.5	79.4	33	5.6	—	5.1	—	45.2	64.9
71 06 15	220413.4	41.5	79.3	33	5.6	5.6	5.4	5.6	45.3	64.9
71 06 16	005837.4	41.5	79.4	33	5.4	5.5	5.0	—	45.2	64.9
71 06 19	172302.7	41.5	79.3	33	5.2	5.3	5.2	4.9	45.3	64.9
71 06 28	050148.6	37.9	106.2	33	5.2	—	4.4	4.7	25.5	77.2
71 06 29	090811.7	37.1	36.8	35	5.0	5.5	5.6	5.4	76.8	53.6
71 07 11	201254.8	37.2	36.8	9	5.2	5.8	4.7	5.8	76.7	53.5
71 07 17	150055.4	26.5	93.2	49	5.3	5.1	5.0	5.0	39.3	91.6
71 07 24	114338.8	39.5	73.2	33	5.6	—	5.4	4.5	50.3	65.7
71 08 05	223710.9	12.6	94.8	31	5.0	—	5.4	5.4	45.6	110.1
71 08 07	152152.5	36.1	77.7	33	4.8	—	4.8	—	48.0	71.5
71 08 16	045800.3	28.9	103.7	33	5.5	—	5.2	5.6	29.9	94.7
71 08 16	185354.7	28.9	103.7	33	5.3	5.6	5.1	—	29.9	94.7
71 08 16	223733.6	28.8	103.6	33	5.4	—	5.1	5.1	30.0	94.8
71 08 17	093645.5	28.9	103.7	33	4.9	—	4.6	4.9	29.9	94.7
71 08 17	170740.4	28.9	103.7	33	4.9	—	4.4	4.2	29.9	94.7
71 08 23	053611.4	28.8	103.7	33	5.2	—	4.7	—	29.9	94.9
71 09 02	182447.3	34.1	50.8	45	5.1	—	4.9	—	70.9	66.4
71 09 02	222139.0	39.1	50.8	39	5.0	—	4.8	—	70.9	66.4
71 09 04	011033.0	29.0	103.7	33	5.0	—	4.7	4.3	29.9	94.6
71 09 06	003325.9	33.2	69.9	37	4.9	—	5.0	—	55.1	71.9
71 10 28	133057.1	41.9	72.4	22	5.5	—	5.5	5.1	50.1	62.5

Date	Origin Time (G. M. T)	Lat.	Long.	Depth (km)	NOAA		MAT		DIST (°)	AZIM (°)
					<i>mb</i>	<i>Ms</i>	<i>mb</i>	<i>Ms</i>		
71 10 29	171652.1	34.1	86.3	33	5.0	—	4.7	4.3	42.0	77.4
71 11 06	194346.8	39.0	29.7	16	5.0	—	5.1	4.6	80.1	48.6
71 11 08	030636.4	27.1	54.5	36	5.6	5.9	5.8	5.8	69.7	70.9
71 11 18	073132.8	38.3	66.8	30	5.3	—	5.8	4.9	55.4	65.0
71 11 19	010001.0	41.9	72.4	33	4.9	—	5.1	4.6	50.1	62.5
NTS Explosion										
68 04 27	150000.1	37.3	-116.5	0	6.3	—	7.1	5.3	79.8	308.9
68 09 06	140000.1	37.2	-116.5	0	5.6	—	5.9	—	79.8	308.9
68 12 19	163000.0	37.2	-116.5	0	6.3	5.6	6.8	5.4	79.8	308.9
69 01 15	193000.0	37.2	-116.2	0	5.3	—	5.7	—	79.6	308.7
69 01 30	150000.0	37.1	-116.0	0	4.8	—	4.8	—	79.6	308.5
69 03 20	181200.0	37.0	-116.0	0	4.6	—	5.4	—	79.7	308.5
69 04 30	170000.0	37.1	-116.0	0	5.3	—	5.5	—	79.6	308.5
69 05 07	134500.0	37.3	-116.5	0	5.8	—	5.9	—	79.8	308.9
69 05 27	141500.0	37.1	-116.0	0	5.0	—	5.2	—	79.6	308.5
69 07 16	130230.4	37.1	-116.1	0	4.7	—	4.9	—	79.6	308.6
69 07 16	145500.0	37.1	-116.1	0	5.6	—	5.7	—	79.6	308.6
69 09 16	143000.0	37.3	-116.5	0	6.2	5.1	6.8	5.1	79.7	308.9
69 10 08	143000.0	37.3	-116.5	0	5.5	—	5.7	4.7	79.8	308.9
69 10 29	193000.0	37.1	-116.1	0	5.1	—	5.0	—	79.7	308.6
69 10 29	200000.0	37.1	-116.1	0	5.0	—	5.1	—	79.6	308.6
69 10 29	220151.4	37.2	-116.1	0	5.7	—	5.9	—	79.6	308.6
69 11 21	145200.0	37.0	-116.0	0	5.0	—	5.0	—	79.6	308.5
69 12 05	170000.0	37.2	-116.2	0	5.0	—	5.1	—	79.7	308.7
69 12 17	150000.0	37.0	-116.0	0	4.8	—	5.6	—	79.7	308.5
69 12 18	190000.0	37.1	-116.0	0	5.2	—	5.1	—	79.6	308.6
70 02 04	170000.0	37.1	-116.0	0	5.6	—	6.1	—	79.6	308.5
70 02 26	153000.0	37.1	-116.1	0	5.3	—	5.5	—	79.6	308.6
70 03 23	230500.0	37.1	-116.0	0	5.5	—	5.6	—	79.6	308.5
70 03 26	190000.2	37.3	-116.5	0	6.5	5.3	6.9	5.1	79.8	309.0
70 05 05	153000.2	37.2	-116.2	0	5.2	—	5.6	—	79.6	308.7
70 05 15	133000.0	37.2	-116.0	0	5.3	—	5.3	—	79.6	308.6
70 05 21	141500.0	37.1	-116.0	0	5.1	—	4.9	—	79.6	308.5
70 05 26	141600.2	37.2	-116.2	0	5.0	—	4.9	—	79.6	308.7
70 05 26	150000.0	37.1	-116.1	0	5.6	—	5.7	—	79.6	308.6
70 10 14	143000.0	37.1	-116.0	0	5.5	—	5.8	—	79.6	308.5
70 12 16	160000.1	37.1	-116.0	0	5.1	—	5.3	—	79.6	308.5
70 12 17	160500.2	37.1	-116.1	0	5.7	—	5.6	—	79.6	308.6
70 12 18	153000.2	37.2	-116.1	0	5.2	—	5.1	—	79.6	308.6
71 06 23	153000.0	37.0	-116.0	0	4.8	—	4.5	—	79.6	308.5
71 06 24	140000.2	37.2	-116.1	0	5.2	—	5.1	—	79.6	308.6
71 07 08	140000.1	37.1	-116.0	0	5.5	—	5.5	—	79.6	308.6
71 10 08	143000.1	37.1	-116.0	0	4.7	—	4.5	—	79.6	308.6
California Earthquake										
69 03 20	081741.9	31.3	-114.3	20	5.4	5.7	6.0	5.6	84.7	305.2
69 03 21	035342.4	31.2	-114.2	33	5.3	5.0	5.9	5.2	84.7	305.1
69 03 21	045620.3	31.2	-114.2	33	5.4	5.5	6.1	5.6	84.7	305.1
69 03 21	063422.2	31.1	-116.2	4	5.5	5.4	5.8	5.5	84.8	305.0
69 03 21	072111.6	31.3	-114.2	33	5.1	5.2	5.7	5.4	84.6	305.1
69 03 21	101010.7	31.2	-114.2	5	5.4	4.9	5.9	5.2	84.7	305.1
69 03 24	090232.1	31.3	-114.2	25	4.9	4.8	4.8	4.8	84.6	305.1
69 04 28	232042.9	33.4	-114.4	20	5.7	5.2	5.9	5.2	82.1	305.8
69 08 17	201458.9	25.0	-109.5	33	6.1	6.6	6.0	6.8	92.3	303.5
69 08 18	032154.0	24.9	-109.0	22	5.3	5.5	5.9	5.6	92.0	303.1
69 08 18	035449.8	24.8	-109.1	33	5.3	5.2	5.7	—	92.1	303.1
69 08 21	142551.5	23.2	-110.6	15	5.3	5.2	6.1	5.2	92.9	301.6
69 11 01	110820.9	23.1	-107.9	33	5.6	6.6	6.2	6.5	95.2	303.6
69 11 05	175413.6	34.8	-121.2	33	5.8	5.8	6.3	5.1	77.9	304.3

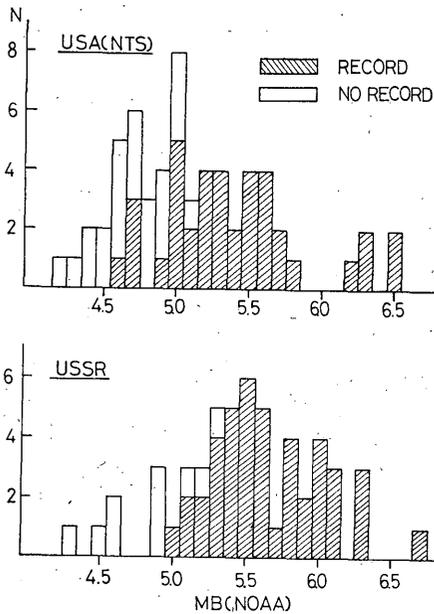


Fig. 2 Number of Events. Hatched areas show numbers of detected events

さくなることと関係があるように思われる。

M_s については資料が少ないので、ここでは検知力についての議論はしない。

4. mb について

mb を算出するためには P 波群の最大振幅とその周期が必要である。

i) 周期について

最大振幅をあたえる波の周期は、

(イ) マグニチュードの大きさ

(ロ) 地下爆発が自然地震であるか

(ハ) 震央位置

の違いによって以下に述べるような関係を示している。

Fig. 3は Kazakh 地域と NTS 地域での自然地震と地下爆発の mb と周期の関係を示す。Kazakh 周辺の自然地震ではマグニチュードの小さなものは周期が短く、大きいものは周期が長くなっている。地下爆発では相関はみられず、ほとんどが1秒以下に集中している。NTS 地域では、資料が少なく顕著ではないが、地下爆発のマグニチュードと周期の関係はあるようにもみられる。

Fig. 4は、両地域の地下爆発と自然地震での最大振幅を与える波の周期の出現頻度を示したものである。Kazakh 地域の地下爆発は0.6秒前後に、NTSでは1秒前後に集中している。一方、自然地震は両地域とも地下爆発よりも長い周期であり、ばらつきも大きい。

NTSの地下爆発や自然地震が、Kazakh 地域のものより、周期が長くなるのは、震央距離の差によるものと考えられる。

ii) mb と周期について

Fig. 5は mb の偏差 [$mb(\text{MAT}) - mb(\text{NOAA})$] と最大振幅をあたえる波の周期との関係である。Kazakh 周辺と NTS 地下爆発は、約1秒より短い周期の波の資料から算出された $mb(\text{MAT})$ 値は $mb(\text{NOAA})$ 値よりも小さい値を示し、1秒より長い周期のものは、逆に大きな

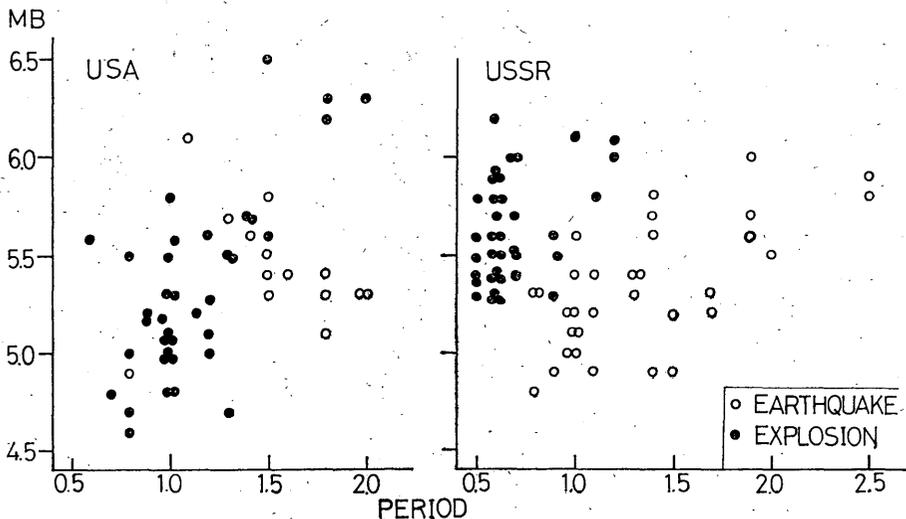


Fig. 3 Periods of max. amplitude of P -wave train versus mb (NOAA)

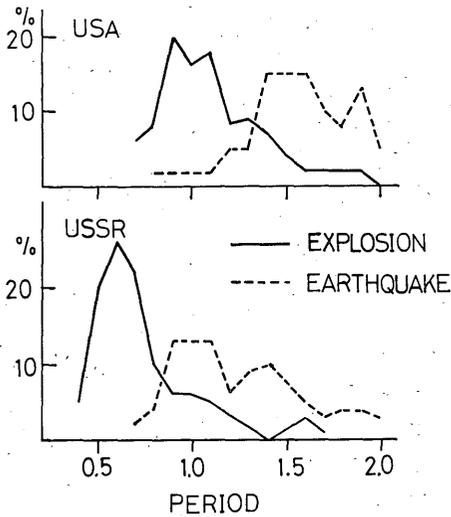


Fig. 4 Difference of predominant period between earthquakes and explosions

値を示す傾向がある。一方、自然地震では1.2~1.4秒を境にして地下爆発と同数な傾向を示している。Kazakh地域の地下爆発は0.6秒前後の周期に集中しているため、松代の mb 値はNOAAのものより0.2~0.9程度小さいものとなっている。NTSの地下爆発は1.0秒以上の周期の場合が多く、一般にNOAAの値より大きくなっている。

このような周期とマグニチュード偏差の関係は地震計(SP)の周波数特性に起因するものと思われる。Fig. 1のようにSPは0.6秒前後で最高倍率であるため、記録紙上では0.6秒前後の周期の波が最大振幅となりやすく、記録紙上の最大振幅が必ずしもP波群の最大変位を示すものではない。NOAAの mb 値は短周期からもっと長い周期の波の資料を用いている。(結果的には、地下爆発では1秒前後、自然地震では1.2~1.4秒前後の波

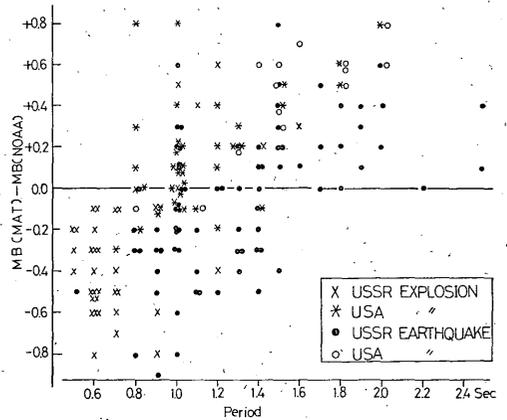


Fig. 5 Deviations of mb [$mb(MAT)-mb(NOAA)$] versus periods of max. P -wave
 x : Kazakh explosions
 * : NTS explosions
 ● : Eurasian earthquakes
 ○ : Californian earthquakes

が平均的なものになると思われる。)したがって、地下爆発や自然地震のうち、SPの記録紙上、最大振幅になる周期が短いものは、NOAAの値より小さく、長いものは大きくなると考えられる。

5. M_s について

今回、用いた資料では $M_s(MAT)$ 値と $M_s(NOAA)$ 値とは mb 値においてみられたような顕著な偏差はみられない。算出した $M_s(MAT)$ と $M_s(NOAA)$ の関係は $M_s(MAT)=1.0M_s(NOAA)-0.2$ となるが、資料が少ないので今回、松代のステーションコレクションは考慮しない。

松代の長周期地震計(LP)では、NTS周辺の地震のうち $M_s=5$ 程度、Kazakh程度、周辺の $M_s=4.5$ 地震の

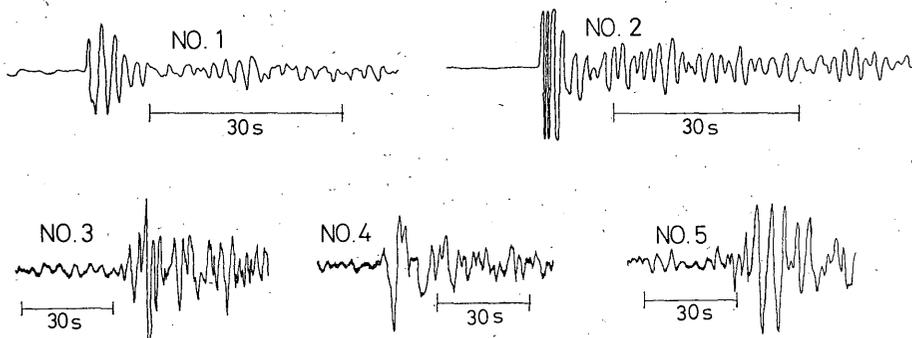


Fig. 6 Examples of seismogram, recorded at Matsushiro

程度以下のものに対しては、非常に検知力は悪くなると
 思われる。なお、山岸他（前出）によれば現在、松代の
 LP は両地域の $m_b \geq 5.0$ 以上の地震に対して、約 60%
 の表面波を検知できるとしている。

6. P波のスペクトル

松代には比較的周波数帯域の広い長周期 磁気テープ
 式地震計（固有周期30秒）が設置されている。（竹山他

（1972））

この地震計の上下動成分を用いて、P波の初動から約
 1分間を30サイクルでサンプリングをおこない、フーリ
 エ解析した。対象とした地下爆発と自然地震は、Table 3
 に示したものである。これらのアナログ記録は Fig. 6
 である。

Fig. 7 は各々最大値を1とした時の各周期に対する
 相対振幅を示している。

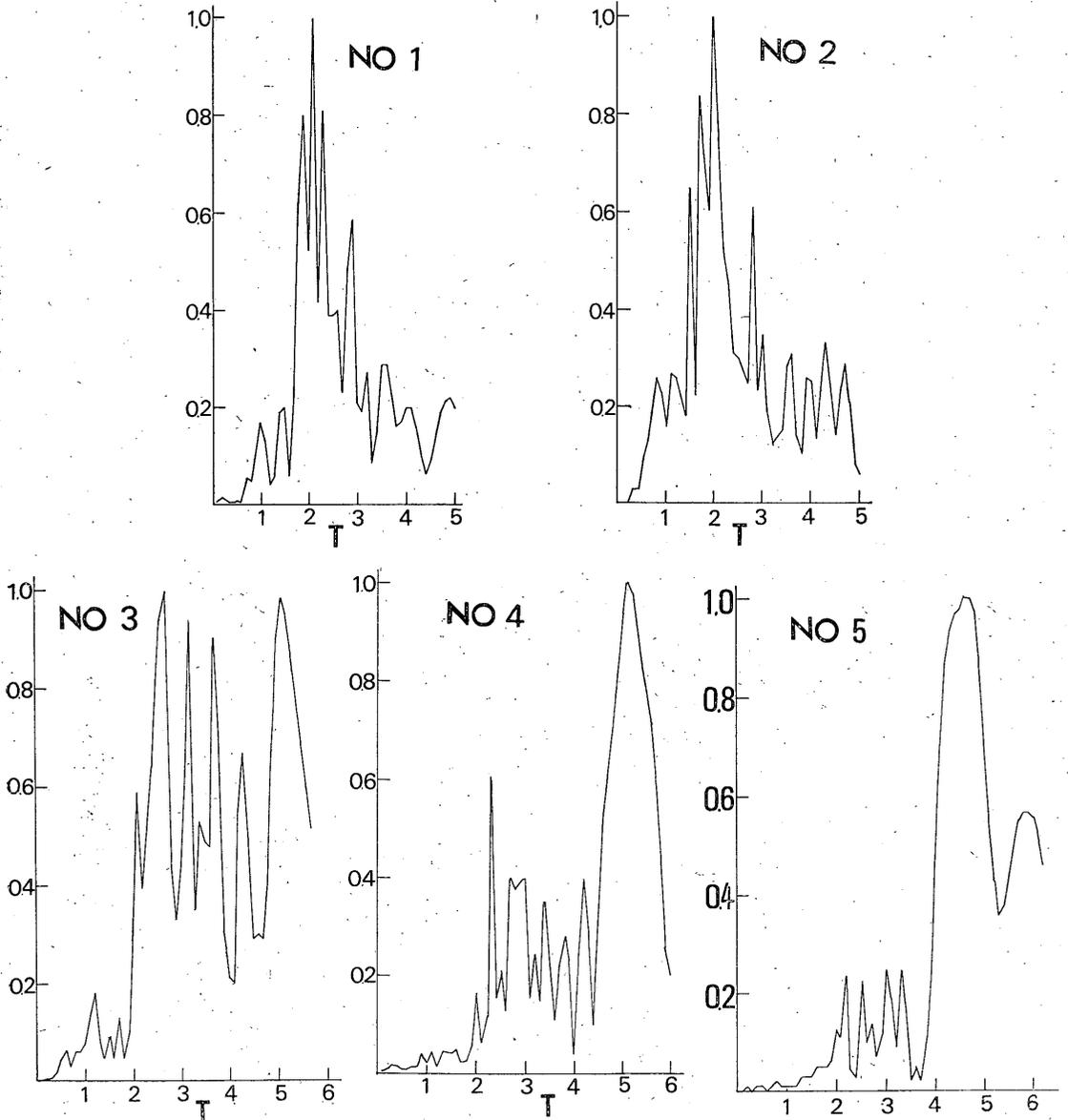


Fig. 7 Examples of spectra

Table 3. List of Events used P-wave Fourier Analysis

No.	Region	Origin Time (Z)	LAT	LONG	Depth (km)	NOAA	
						<i>mb</i>	<i>M_s</i>
1	N. T. S (Explosion)	1970. MAR. 26 190000.2	37.3°N	116.5°W	0	6.5	5.3
2	RAT Is. (Explosion)	1970. NOV. 6 220000.1	51.5°N	179.1°E	2	6.8	5.7
3	Eastern Caucasus	1970. MAY. 14 181228.0	43.0°N	47.1°E	44	5.6	6.5
4	USSR-Mongolia Border	1970. MAY. 15 171315.1	50.2°N	91.3°E	N	5.9	6.7
5	Gulf of California	1971. SEP. 30 081754.6	26.8°N	110.8°W	33	5.6	6.6

No. 1 と No. 2 は地下爆発である。No. 1 の NTS の地下爆発は、2秒前後にピークをもち、長周期の波は2秒前後の波に較べて相対的に小さい振幅である。またスペクトルの形状は単純なものとなっている。No. 2 はアムチトカ島での地下爆発である。これはNo. 1とは異った地点の地下爆発であるが、スペクトルの形状等はほとんど同じ結果となっている。Fig. 7の地震波形でも似かよった波形（P波波形群では、初動付近で最大振幅となりあとは単純な減衰をしている）を示している。

一方、No. 3, 4, 5 は自然地震であるが、いずれも地下爆発とくらべると複雑な地震波形であり、スペクトルの形状も複雑である。また、ピークとなる周期も、爆発のものより長くなっている。

上記のような、地下爆発と自然地震の波形やスペクトル形状の違いは、それぞれの震源過程を反映しているものと考えられる。つまり単純な震源過程である地下爆発に較べ、自然地震の発生機構はより複雑であることを示しているように思われる。

7. *M_s*(MAT) と *mb*(NOAA)

地下爆発と自然地震を識別する一方法として *mb* と *M_s* の関係を用いることがよく知られている。

mb(MAT) 値は、先に述べたように NOAA の値に対して顕著な偏差を示すので、ここでは NOAA の *mb* 値を用いる。Fig. 8 は Kazakh 周辺と NTS 周辺の自然地震と地下爆発に対する *mb*(NOAA) と *M_s*(MAT) の関係を示す。図から明らかなように、同じ *mb* 値である地下爆発と自然地震の *M_s* 値を比較すると、顕著な差が認められる。つまり地下爆発から発生する表面波は、非常に小さい。このため松代では、地下爆発の *M_s* 値を算出できる率は自然地震に較べ小さく、資料は十分ではな

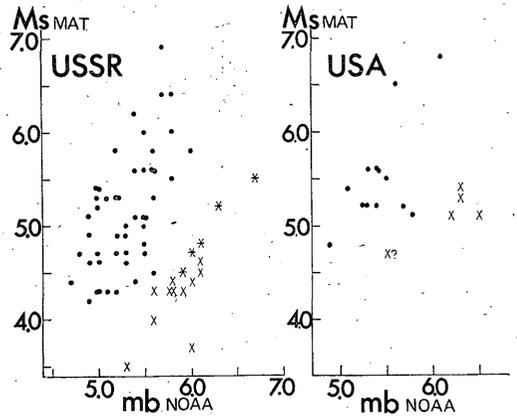


Fig. 8. *mb* versus *M_s* for explosions and earthquakes The *mb* values are from NOAA. The *M_s* are determined by the authors.

いが、松代の *M_s* と NOAA の *mb* の関係を用いると Kazakh, NTS 地域の地下爆発と自然地震とは明確に区別することが出来る。松代の *mb* と *M_s* 値を用いると幾分、分離は悪くなるが、分離可能である。

しかし、地下爆発は上に述べたように表面波マグニチュードで換算すると小さな値になってしまう。したがって松代で観測する場合、LP ではその性能からみて、多くの場合、地下爆発による表面波の記録は微弱なものであるため今後は、HGLP を用いた精度良い解析に興味がある。

8. まとめ

NTS と Kazakh 周辺で行なわれた地下爆発と、その周辺で発生した自然地震を、松代での記録を用いて各々

の地震波の性質を調べた。

地下爆発と自然地震とでの定性的な違いとして次のようである。

(1) 地下爆発による地震波のP波のスペクトルは、自然地震によるものより、短い周期の波が卓越し、長い周期のもの割合は少ない。またその形状は自然地震に比べ単純である。

(2) 松代の資料から算出された mb 値のうち、Kazakh 地域の地下爆発の mb 値は NOAA の値に比べ 0.2~0.6 程度マイナスの偏差を示す。一方、NTS の地下爆発に対してはプラスの偏差となる。これは地震計 (SP) の周波数特性と地下爆発による地震波の周期に起因するものと思われる。

(3) M_s と mb の関係を用いると、松代の資料で

は、ある程度以上 (NTS では $M_s=5.0$ 以上、Kazakh 周辺では $M_s=4.5$ 程度以上) の地下爆発と自然地震の識別は可能である。

御便宜を図って頂きました松代地震観測所長窪田健次氏ならびに所員の皆様に感謝します。また気象庁地震課末広重二氏、勝又護氏、気象研究所長宗留男氏、山川宜男氏、佐藤馨氏の御助言を得た。ここに謝意を表します。

参 考 文 献

- 竹山一郎、柴田武男、佐藤 馨 (1972): 地震波形の処理に関する研究 (I), 気象研究所研究報告, 23, 361~379.
山岸 登、斎藤 進、末広重二 (1972): 松代地震観測所の Detection Capability について, 気象研究所研究報告, 23, 197~213.