

帯広における地震の最大動振幅特性について*

小林 政樹**

§ 1. はじめに

帯広の地盤は、主に砂礫と火山灰からなる沖積層によって構成され軟弱な地盤に属している。このため、帯広で観測される地震動の振幅は、標準的な地盤上で観測された振幅（標準振幅）より著しく増幅されている。

この増幅された振幅を補正するための係数（振幅係数）が勝又（1954）、矢久保・大西（1984）らによって求められ0.4なる数値が得られている。

しかし、地震計に記録される最大振幅はいろいろな要素によって影響を受けているので、その値は地震の震源位置によっても違ってくるはずである。したがって、振幅係数を単一な値とするには多少疑問がある。これまでの調査では、地震の発生地域を分割していないか、分割していても大ざっぱであるため、ここでは震央分布の地域を細分化し、震央距離、震源の深さ、地震計の種類および成分の相違などを考慮して帯広における振幅との関係について調査した。

§ 2. 調査方法および調査の対象とした地震

2.1 調査方法

気象庁で決定したマグニチュードを M_j 、帯広で観測された水平動の最大振幅から求めたマグニチュードを M_0 、振幅係数を K とすると、これらの間には次式が得られている。

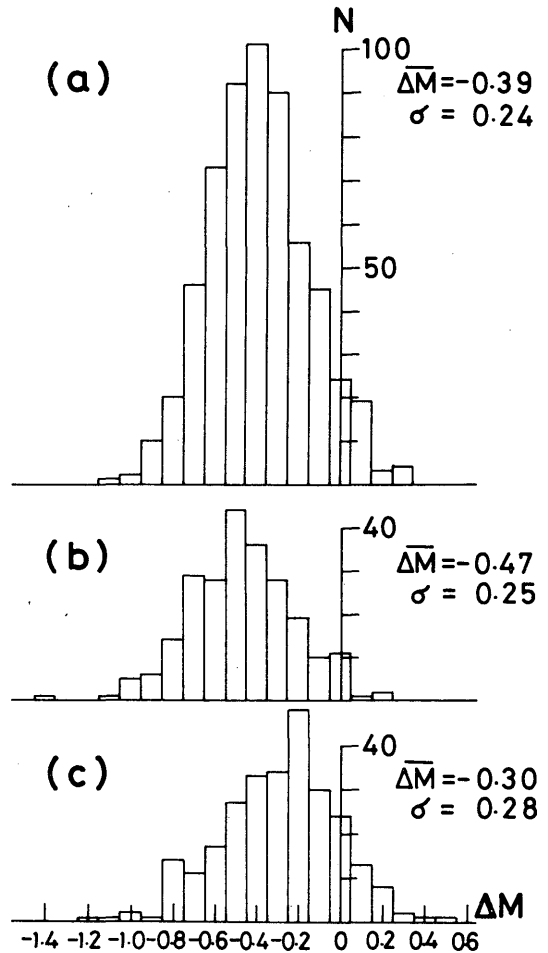
$$\log K = \log \frac{A_j}{A_0} = \Delta M \quad \dots\dots\dots (1)$$

ただし、 $\Delta M = M_j - M_0$ 、 A_j 、 A_0 はそれぞれ M_j 、 M_0 に対応する振幅を表す。また、 M_0 は深さ70km以浅の地震を坪井（1954）、70km以深の地震を勝又（1964）から算出した。

したがって、 ΔM がわかれば振幅係数が求められる。ここでは、振幅係数の代わりに ΔM を用い、各要素と ΔM の関係について検討した。

2.2 調査の対象とした地震

帯広における59型地震計(VI)と52型強震計(S)の



第1図 ΔM の頻度分布

$\Delta M = M_j - M_0$, M_j : 気象庁のマグニチュード, M_0 : 帯広の観測値から求めたマグニチュード

- (a) 59型地震計(VI) $H < 70\text{km}$
- (b) 52型強震計(S) $H < 70\text{km}$
- (c) VIとS $H \geq 70\text{km}$

* Masaki Kobayashi Maximum Amplitude Characters recorded at Obihiro (Received July 3, 1987)

** 釧路地方気象台

地震記象を対象とした。なお、期間は次のとおりである。

VI : 1976年4月~1984年10月

S : 1965年1月~1984年10月

調査対象としたのは、VIで全振幅 ≥ 3 mmの地震であるが、VIが振り切れたものはSの記象によった。

§ 3. 各要素と ΔM の関係

3.1 ΔM の頻度分布

帯広で観測された地震を深さ(H)70kmを境界として、 $H < 70$ km, $H \geq 70$ kmに分けて ΔM の頻度分布を示すと第1図のようになった。

$H < 70$ kmに発生する地震の ΔM の平均値は、VIで-0.39, Sでは-0.47となる。これは、Sで観測される振幅は、VIに比べて2割程度大きく記録されていることを示している。一方、これらの ΔM の標準偏差はVIで0.24, Sでは0.25の値を有する。つまり、 ΔM は平均値の周囲にかなりの幅をもって分布していることを示している。

また、 $H \geq 70$ kmに発生する地震の ΔM の平均値は-0.30となり、 $H < 70$ kmに発生する地震に比べ振幅の増幅度は小さい。このことは、震源の深さによっても振幅係数が異なることを示している。

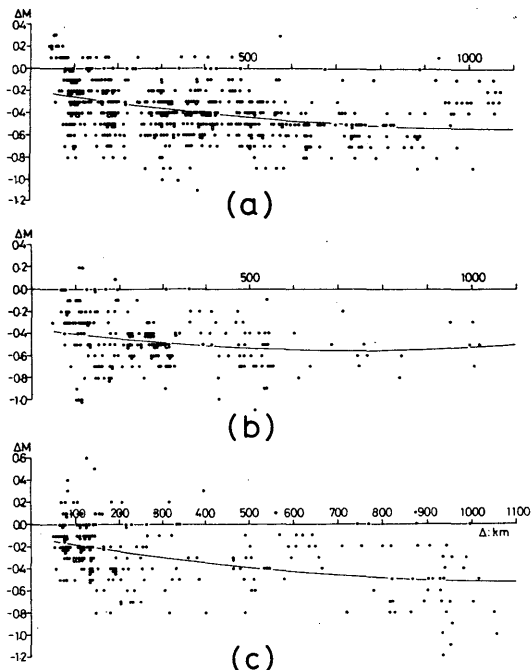
3.2 震央距離(Δ)と ΔM の分布

Δ に対する ΔM の分布を第2図に示す。目のことでみると、 Δ に対する ΔM の値のばらつきは大きく、両者を直線関係で結びつけることは無理である。しかし、 Δ の増大に伴い右下り、すなわち $M_j < M_0$ になる傾向は認められる。

注目すべきことは、 Δ に対応する ΔM の分布は、 $\Delta < 500$ kmで非常にばらつきが大きく(a図)、 Δ が増大するほどばらつきが小さいことである(b図)。これは、 Δ が減少するほど ΔM が震源の深さ、発震機構による地震波の進入経路など、種々の影響が大きくなっていることを示している。つまり、 ΔM は地震の発生地域によっても大きく影響を受けていることを意味している。

なお、第2図(b)でははっきりしないが、(a)において $\Delta \approx 900$ kmで ΔM の分布に不連続がみられる。これは、震源が遠距離となるために、周期の長い表面波の影響を受けていると思われるが、ここではこれ

以上言及しない。しかし、(c)ではこの不連続はみられない。(c)における $\Delta > 900$ kmでは、震源が深い短周期の卓越する地震が含まれていることが影響しているものと思われる。



第2図 ΔM と震央距離(Δ)との関係

図中の曲線は計算値による重回帰曲線
(a), (b), (c)は第1図と同じ

3.3 震央の分布と ΔM の関係

震央地域と ΔM との関係を検討するために、細分した地域区分を第3図に示す。これは、気象庁で用いている震央区域名を参考に、便宜上13の区域に分割したものである。この細分した地域ごとに ΔM の平均値($\overline{\Delta M}$)、標準偏差(σ)、 M_j と M_0 の相関係数(r)を計算したものを第1表に示す。この表には更に現業作業の利便を考慮し、水平2成分の振幅のうち、いずれか大きい方を用いて算出した値を $\overline{\Delta M}_m$ として記した。

第1表によると

- 1) 全地域の $\overline{\Delta M}$ は、Kに換算すると勝又、矢久保らが求めた調査結果と一致する*。
- 2) $\overline{\Delta M}$ は、地域によってかなりの相違がある。
- 3) 1区(内陸で $\Delta < 100$ km)における $\overline{\Delta M}$ は、H

*勝又と矢久保らのK値は、調査方法が多少異なるため、同じ0.4の値でも内容的には若干の相違がある。この場合、 $H < 70$ kmにおいて勝又のは $\Delta M(VI)$ に、矢久保らのは $\overline{\Delta M}_m(S)$ に対応する。

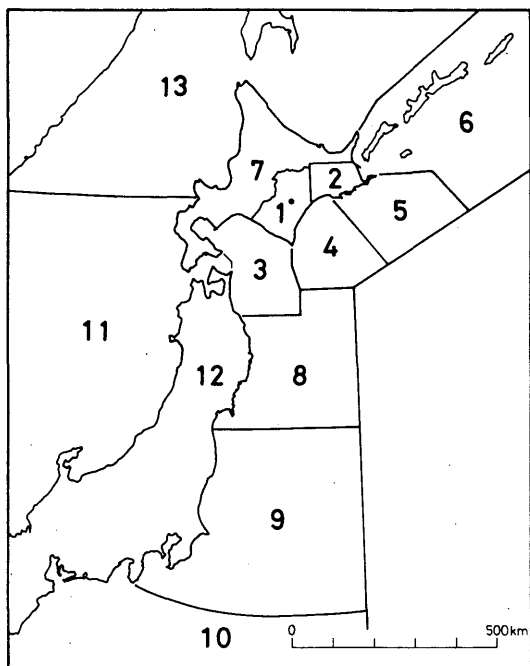
<70kmの場合、他の地域と大きく異なっている。

- 4) 4, 5区では、 $H < 70\text{km}$ と $H \geq 70\text{km}$ とでは $\overline{\Delta M}$ に大差がみられる。
- 5) 3区と4, 5区の $H \geq 70\text{km}$ の地震の場合、同じ太平洋側に位置しながら(4も同程度)、 $\overline{\Delta M}$ に大

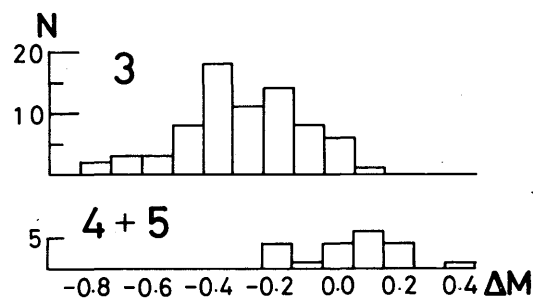
きな違いがみられる。
などが目につく。

ここでは、第4図に $H \geq 70\text{km}$ の地震の3区と4, 5区における ΔM の分布を示す。この図から、両地域における違いが明瞭である。

次に、地域ごとに求められた $\overline{\Delta M}$ と、そこに存在する地震の M_0 との差($M_c = M_0 - \overline{\Delta M}$)から個々の地震についての補正を試みた。その補正值 M_c と M_j との差($\Delta M_c = M_j - M_c$)を求め、その頻度分布を第5図に示した。これは、第1図と同じ意味をもつ図であるが、両図を比較すると帯広の M_0 がかなり改善されていることがわかる。



第3図 地域区分

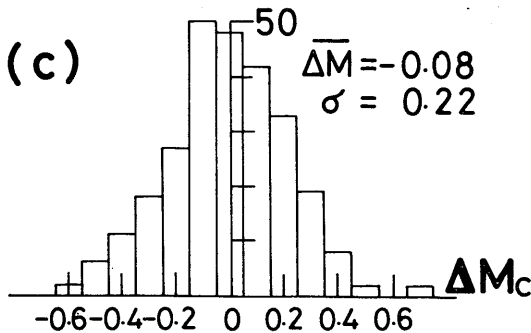
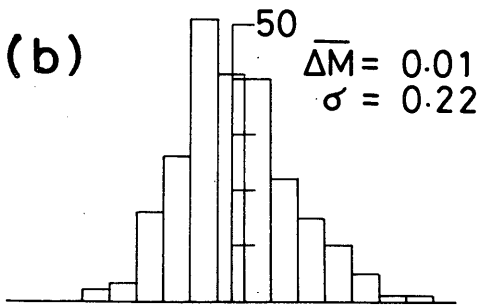
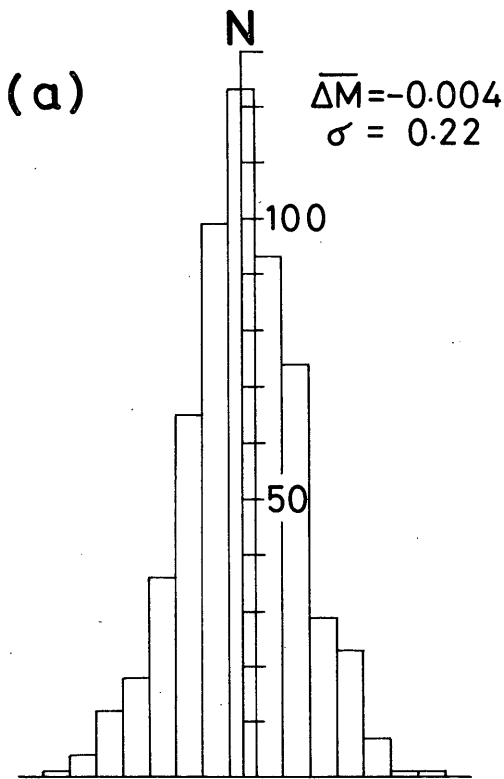


第4図 3区と4・5区との $H \geq 70\text{km}$ の地震における ΔM の比較

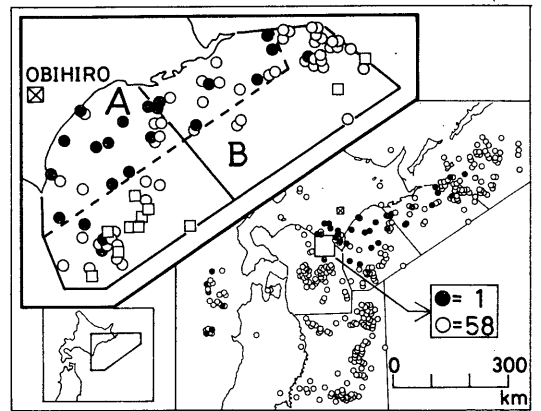
第1表 地域区分による各要素の値

N: 地震数, $\overline{\Delta M}$: 地域の ΔM の平均, σ : ΔM の標準偏差, r: M_j と M_0 の相関係数,
 $\overline{\Delta M}_m$: 水平成分のいずれか大きい方の振幅から求めた ΔM の平均

ZONE		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	TOTAL
VI ($H < 70$)	N	28	1	114	37	54	84	5	111	83	21	28	11	8	585
	$\overline{\Delta M}$	-0.09	-0.8	-0.35	-0.30	-0.38	-0.43	-0.60	-0.46	-0.55	-0.30	-0.25	-0.34	-0.64	-0.39
	σ	0.22		0.19	0.29	0.22	0.22	0.06	0.18	0.17	0.26	0.27	0.23	0.19	0.24
	r	0.79		0.91	0.66	0.84	0.85	0.97	0.88	0.90	0.75	0.90	0.93	0.93	
	$\overline{\Delta M}_m$	0.03	-0.7	-0.24	-0.20	-0.27	-0.32	-0.49	-0.38	-0.45	-0.20	-0.14	-0.47	-0.53	-0.28
S ($H < 70$)	N	16	6	52	21	41	23	0	45	9	5	9	3	4	234
	$\overline{\Delta M}$	-0.21	-0.95	-0.42	-0.47	-0.46	-0.48		-0.57	-0.63	-0.34	-0.39	-0.57	-0.30	-0.47
	σ	0.14	0.08	0.27	0.29	0.20	0.19		0.22	0.09	0.08	0.19	0.05	0.07	0.25
	r	0.97	0.99	0.90	0.84	0.94	0.94		0.90	0.99	0.95	0.97	0.99	0.99	
	$\overline{\Delta M}_m$	-0.11	-0.85	-0.31	-0.39	-0.38	-0.40		-0.47	-0.52	-0.23	-0.28	-0.47	-0.20	-0.39
VIS ($H \geq 70$)	N	38	0	74	11	9	30	13	4	9	11	34	14	21	268
	$\overline{\Delta M}$	-0.14		-0.32	0.05	0.03	-0.21	-0.05	-0.35	-0.61	-0.48	-0.56	-0.46	-0.31	-0.30
	σ	0.18		0.20	0.17	0.14	0.24	0.24	0.18	0.17	0.19	0.30	0.16	0.24	0.28
	r	0.97		0.90	0.96	0.91	0.96	0.78	0.97	0.90	0.95	0.90	0.96	0.93	
	$\overline{\Delta M}_m$	-0.03		-0.29	0.14	0.12	-0.11	0.04	-0.24	-0.51	-0.40	-0.45	-0.38	-0.21	-0.20



第5図 補正後の ΔM_c の頻度分布
 $\Delta M_c = M_j - M_c$, $M_c = M_o - \Delta \bar{M}$,
 $\Delta \bar{M}$: 地域ごとに求められた ΔM の平均値
 (a), (b), (c)は第1図と同じ



第6図 ΔM の震央分布 (VI, $H < 70$ km)

- 左上図 ●: $\Delta M \geq 0.0$
 ○: $-0.5 \leq \Delta M < 0.0$
 □: $\Delta M \leq -0.6$
 右下図 ●: $\Delta M \geq 0.0$
 ○: $\Delta M < 0.0$

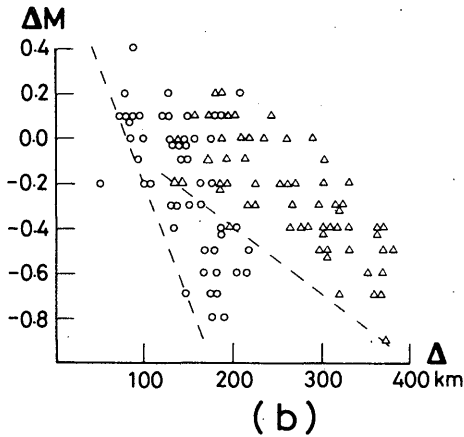
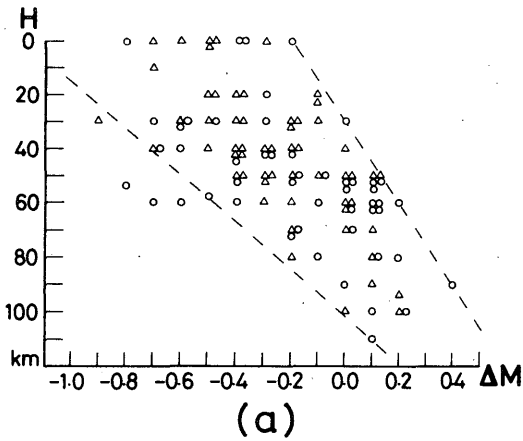
3.4 震源の深さ及び震央距離と ΔM

第1表から4, 5区の ΔM は震源の深さによって大きな差のあることがわかった。ここではまず、4, 5区において $H < 70$ kmの地震についても深さによって ΔM に違いがあるのかどうかを検討する。

第6図は、4, 5区を対象に $H < 70$ kmの地震における個々の ΔM の分布を示したものである。これによると、数個の例外はあるが、震央が陸地に近い地震は $\Delta M > 0$ になり、陸地から遠い地震は $\Delta M < 0$ になる傾向がみられる。一般に、この地域の地震は、海溝から陸地側に近づくにしたがい震源が深くなることが知られている。したがって、第6図の ΔM の分布は、震源の深さの違いによっても影響を受けていると言てよい。

前述のことを確かめるため、4・5区を震源とする全ての地震について ΔM と震源の深さ(H)、震央距離(d)の関係を調べた。その結果を第7図に示す。この図から、 ΔM は震源が深くなるほどプラス側(a)に、 d が大きくなるほどマイナス側(b)に傾くことが認められる。すなわち、 ΔM と H 、 d との対応は明瞭である。

次に、第6図での ΔM の分布をもとに、4, 5区をA, B区に分割することを試みた(第6図参照)。 $H < 70$ kmの地震について、それぞれの ΔM の平均値を求めると、第2表のような値が得られた。この結果、この区域における標準偏差(σ)は、A, B区に分



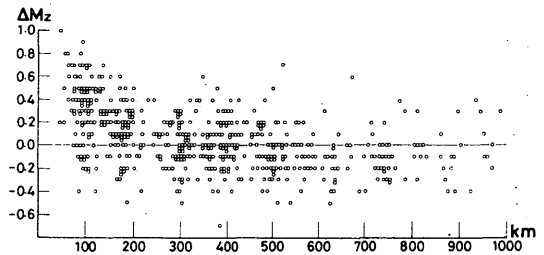
第7図 4, 5区の ΔM と震源の深さ(H)および ΔM と震央距離(Δ)の関係(VIの全地震)
(a)は ΔM とH, (b)は ΔM と Δ との関係を示す。
○: 4区の ΔM △: 5区の ΔM

第2表 4, 5区とA, B区の $\overline{\Delta M}$ の比較

要素 地域	4区	5区	A区	B区	1区
$\overline{\Delta M}$	-0.30	-0.38	-0.09	-0.42	-0.09
σ	0.29	0.22	0.16	0.22	0.22

割することによってかなり小さくなるのがわかる。すなわち、4, 5区においては、A, B区に分割した方が妥当と考えられる。

また、A区の $\overline{\Delta M}$ が1区と同じ数値になることは興味深いことである。ところで、佐田・加藤(1965)によれば、帯広の地震記象型は1区とA区では同じ記象型であると言われている。1区とA区における $\overline{\Delta M}$ が等しいことは、その事実を裏付けているのかもしれない。



第8図 ΔM_z と震央距離(Δ)との関係(VI, H<70km)
 ΔM_z : 帯広の上下動の最大振幅から求めたマグニチュード

3.5 上下動の最大振幅と ΔM

軟弱な地層上にある観測所では、水平動の振幅が著しく増幅されているのに対し、上下動はさほど増幅されていないことが勝又(1965)によって調べられている。したがって、帯広における上下動の振幅からマグニチュードを求めることによって、 M_j に近い値が得られることが考えられる。そこで、 $H < 70$ kmの地震について調べてみた。

1) VIの上下動振幅と ΔM

まず、震央距離(Δ)と ΔM_z の関係について検討する。ただし、 ΔM_z は上下動振幅から求めたマグニチュード(M_z)と M_j との差($M_j - M_z$)を表わす。 Δ に対応する ΔM_z の分布を第8図に示す。全体的にみると、 ΔM_z の分布は $\Delta M_z = 0$ の周辺にばらついている。これは、 Δ に対して ΔM がマイナス側に分布している水平動の場合とは大きく異なっている(第2図参照)。

さらに、第8図では、 ΔM_z が $\Delta < 200$ kmで $\Delta M > 0$ になる傾向を示しているが、 $\Delta > 200$ kmでは $\Delta M_z = 0$ の周囲にほぼ一様に分布していることがわかる。したがって、 $\Delta > 200$ kmの地震の $\overline{\Delta M_z}$ は、0に近づき上下動振幅から求めた M_z と M_j との差は小さくなることが予想される。

いま、上下動の最大振幅を A_z とすると、 ΔM_z は次式から得られる。

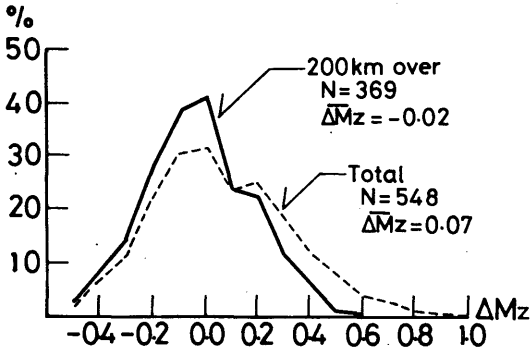
$$\Delta M_z = M_j - M_z = \log A_j - \log A_z \quad \dots\dots (2)$$

ところで、帯広の上下動振幅(A_z)と水平動振幅(A_o)の間には、 $A_o/A_z = 3.0$ の関係が得られている(図は省略)。これを(2)式に代入すると

$$\Delta M_z = \log A_j - \log A_o + \log 3.0 \quad \dots\dots (3)$$

となる。ここで、 $\log A_j - \log A_o = -0.39$ (第1表参照)であるから、結局 $\Delta M_z = 0.09$ となる。

この計算結果を実際の上下動振幅の観測値から統



第9図 ΔM_z の頻度分布 (VI, $H < 70$ km)

破線：上下動の振幅から求めた全ての地震の ΔM , 実線： $\Delta > 200$ kmの地震の ΔM , 縦軸はパーセント

計的に求められた ΔM_z との比較を行なった。第9図(破線)に観測値から求められた ΔM_z の分布を示す。すなわち、この ΔM_z の平均値は0.07, $\sigma = 0.27$ となり、上述の計算値0.09とほぼ一致する。これは、水平動振幅から求められた $\overline{\Delta M} = -0.39$ と比較すると、かなり M_j に近い値である。しかし、これらの値は前に述べたように $\Delta < 200$ kmで系統的に $\Delta M > 0$ になる地震を多数含まれた結果である。そこで、 ΔM_z が $\Delta M = 0$ の周囲にほぼ一様に分布している $\Delta > 200$ kmの地震について同様の検討を行った。その結果、 $\overline{\Delta M_z}(\Delta > 200) = -0.02$, $\sigma = 0.21$ となり、 $\overline{\Delta M_z}(\Delta > 200)$ は更に M_j に近い値となった(第9図実線)。

したがって、VIで $\Delta > 200$ kmの地震の場合、上下動振幅を用いることによって、ほぼ妥当な M を見積れることがわかった。

2) Sの上下動振幅と ΔM

SについてもVI同様に、上下動振幅の観測値から ΔM_z を求めてみた(ただし、この場合上下動振幅200 μ 以上の地震88個について検討した)。この結果、 ΔM_z の平均は-0.04, $\sigma = 0.32$ が得られた。 ΔM_z と Δ との関係における ΔM_z の分布は、 $\Delta > 150^*$ kmで $\Delta M_z > 0$, $\Delta < 150$ kmで $\Delta M_z = 0$ 付近にばらついている(図は省略)。そこで、 $\Delta > 150$ kmの地震(63個)について ΔM_z の平均を求めると、 $\overline{\Delta M}(\Delta > 150) = -0.12$, $\sigma = 0.26$ となった。これは、Sの場合、 M を多少大きく算出することになる。しかし、坪井式の M の精度(± 0.3)を考慮すると、Sの上下動振幅は、緊急時において大ざっぱな M を知りたいよう

な場合など役に立つものと思う。

§ 4. むすび

以上、帯広における地震の各要素と振幅係数(ΔM で代用)との関係を検討した。それらを要約すると次のようになる。

- (1) 帯広の振幅係数は、観測された $H < 70$ kmの全ての地震について平均すると、これまでの調査結果とほぼ一致する。しかし、地震の発生地域を細分すると振幅係数の地域差が非常に大きくなることがわかった。
- (2) 4区と5区に発生する地震の振幅係数は、陸地に近い所と遠い所ではかなりの違いがみられる。これは、震源の深さによる相違が大きく影響していることがわかった。したがって、4, 5区は陸地と平行なA, B区に分割することが妥当である。
- (3) $H < 70$ kmにおいてVIで $\Delta > 200$ km, Sで $\Delta > 150$ kmの上下動振幅は標準振幅と一致する。したがって、この点を考慮するならば、緊急時において M の推定が可能である。

参考文献

- 勝又護(1954):地震動振幅の地盤係数(その1), 験震時報, 19, 7~10
 勝又護(1965):地震動振幅の地盤係数(その2), 験震時報, 30, 1~8
 市川政治(1958):日本の各地震観測点における地震の規模 M の系統的な偏差について, 験震時報, 22, 23~30
 佐田喜雄・加藤公司(1965):帯広の観測資料からみた北海道周辺の地震活動について, 験震時報, 32, 9~16
 矢久保敏雄・大西功一(1984):津波予報技術の検討(その3), 札幌管区気象研究会誌, 197~198
 気象庁(1968):地震観測指針(参考編)

* Sの Δ に対する ΔM_z の分布は、VIの場合と若干異なり Δ が150kmを境にしてVI($\Delta > 200$ km)と同様の分布を示すことが確かめられた。