



Title	8. 地表の微動について
Author(s)	本谷, 義信; MOTOYA, Yoshinobu
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 9, 77-86
Issue Date	1962-03-06
DOI	<a href="https://doi.org/10.14943/gbhu.9.77">https://doi.org/10.14943/gbhu.9.77</a>
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/13839">https://hdl.handle.net/2115/13839</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	9_p77-86.pdf



# 8. 地表の微動について

本谷 義信

(北海道大学理学部地球物理学教室)

— 昭和36年8月受理 —

## I. ま え が き

ここで取扱った微動はその周期が1秒以下の常時微動とか雑微動とかいわれているものである。微小地震や爆破地震動を観測する時に土地のノイズの性質ないしは大きさを知っておくことが必要となる。

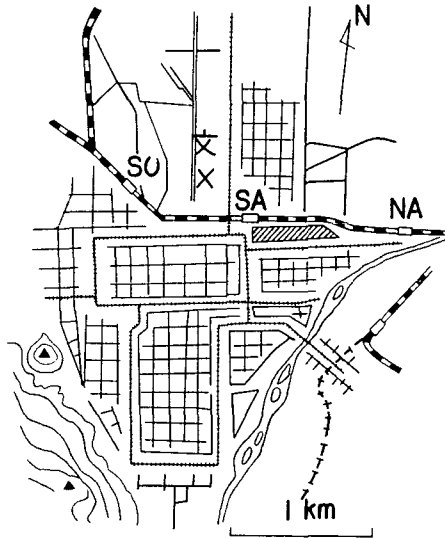
## II. 観測器械及び観測方法

観測に用いた器械は固有周波数1 c/sの電磁式水平動地震計3台、1 c/s上下動1台、増幅器及び電磁オシログラフで、ガルヴァノメーターの固有周波数は30 c/sである。系全体の周波数特性は第1図に示すように4~10 c/sではほぼ平らであり、記録上の振幅が約1 cm (地動の約15,000倍) となるようにして観測した。

観測は大学の構内にある土中室のコンクリート床上 (地下約1 m) に地震計を置いて日変化などの観測を行なった。又屋外で3点観測を行なった (第2図)。

観測期間は昭和35年12月から翌年4月迄である。

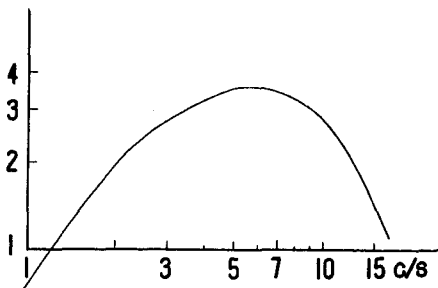
得られた記録から、1) 振幅の日変化、2) 波



第2図 観測点附近の地図

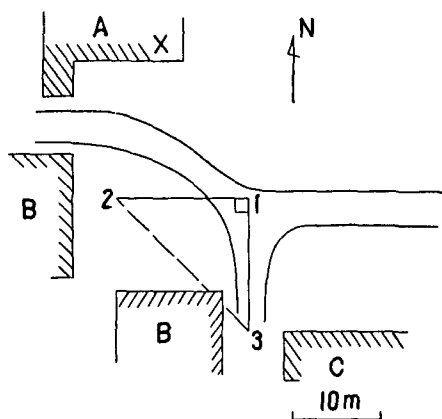
×: 観測点, SO: 桑園駅, SA: 札幌駅  
NA: 苗穂駅

Fig. 2. Sketch map of observation point.  
×: observation point, SO: Sôen station,  
SA: Sapporo st. NA: Naebo st.



第1図 周波数特性曲線 (縦軸は任意対数目盛)

Fig. 1. Frequency response curve  
(ordinate is arbitrary).



第3図 観測点のまわりの状況

A: 土中室 (×: 観測点)  
 B: 低温科学研究所  
 C: 同附属液体窒素工場  
 1, 2, 3は3点観測網

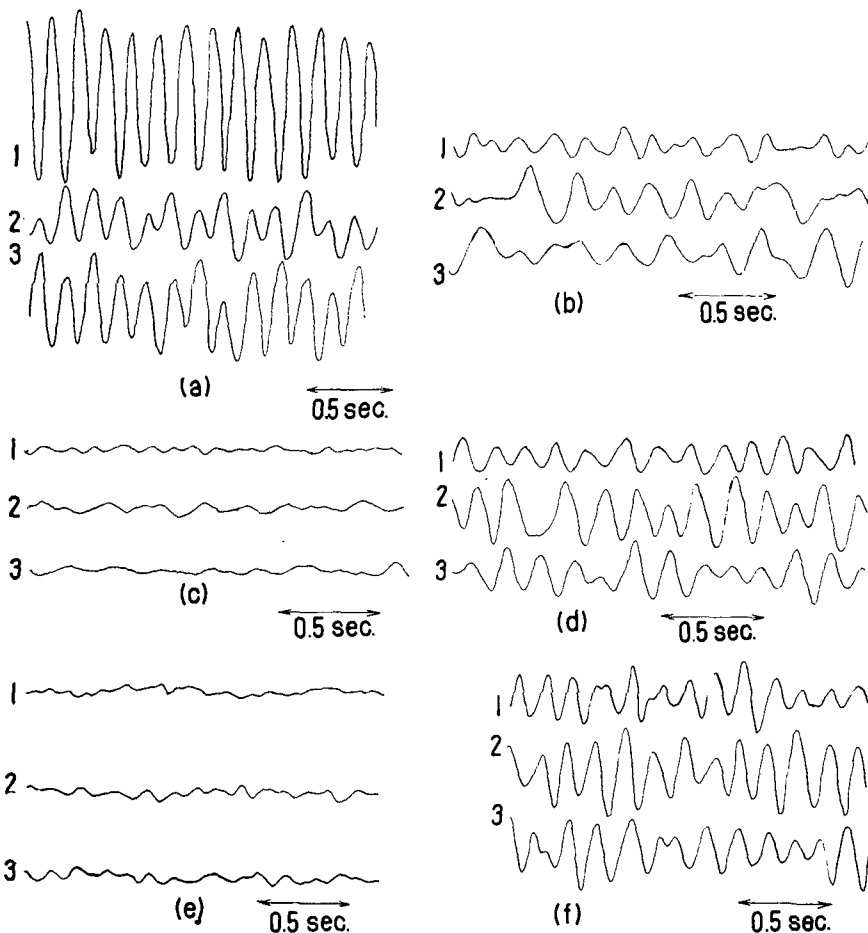
Fig. 3. Situation around the observation point.

A: observation cellar (×: observation point).

B: Low Temperature Science Institute.

C: Laboratory workshop.

Triangle represents the tripartite network.



第4図 (a) 機械運転時 (増幅器の感度 (b)×1/4), (b) 12月26日14時, (c) 12月26日2時, (d) 12月26日0時, (e) 5月5日2時57分, (f) 5月5日3時04分 (汽車による微動), 1—UD成分, 2—EW成分, 3—NS成分.

Fig. 4. (a) Tremors due to the machines (amplification is a quarter of (b)), (b) Dec. 26, 14 h, (c) Dec. 26, 2 h, (d) Dec. 26, 0 h, (e) May 5, 2 h 57 m, (f) May 5, 3 h 04 m (tremors due to trains) 1: UD-component, 2: EW-comp. 3: NS-comp.

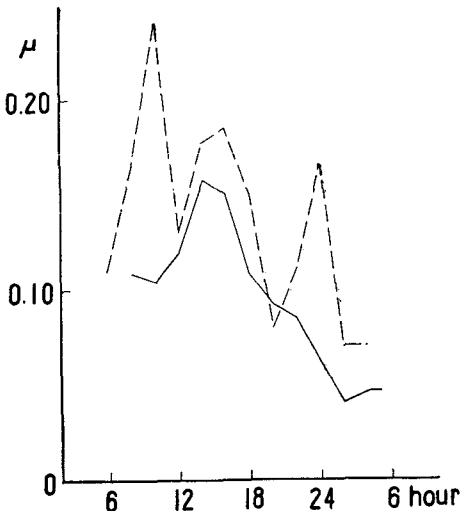
の周期, 3) 波の伝播速度及び方向などについて調べた。

### III. 振幅について

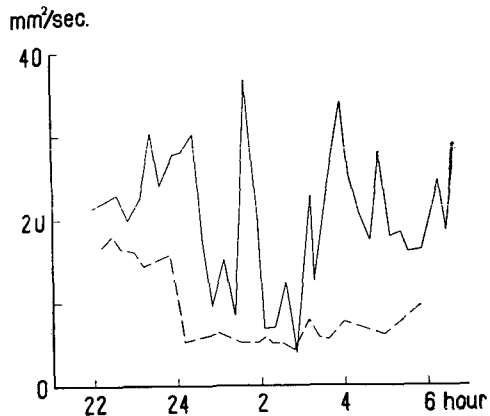
1) 機械による微動。観測点のすぐ近くに液体窒素製造のための工場があり (第3図), この機械の動いている時に得られた記録は振幅が非常に大きく波形の乱れもほとんど認められない (第4図(a)). 振幅はNS成分  $2.2\mu$ , EW成分  $1.4\mu$ , UD成分  $4.6\mu$  で機械の運転ない場合の約10倍もあり周期は0.12秒で一定している。従って微動の日変化などを調べるための観測は工場の休みの日及び夜に行なった。

2) 振幅の日変化。2時間毎に得られた約1分間の記録について振幅を読みとりその平均値を求めた (第5図)。1分間に含まれる波の数は300~500である。11月28日の場合にはきれいな日変化が認められ昼と夜の振幅比は約4:1である。記録には5c/s位の波が多く, 既に指摘されているように1c/s以上の微動は交通機関に関係があるという事がここに表われていると考えてよい。次に12月26日の例では非常に変化の激しいことが注目される。この原因は気象条件によるかも知れぬと調べて風速, 天候との関係を調べたが説明がつかなかった。特に24時に異常に大きな振幅が表われているが, この時の記録を見ると振幅, 周期とも普通に昼間に得られる記録と非常に似ていることがわかった (第4図(b), (d)). このことはコレログラムにも明らかに表われている。従ってこの時には何か昼間と同じ種類の微動源が予想される。

3) 汽車による微動。夜間に大きな振幅が記録される場合の実体をさらに詳しく調べるた



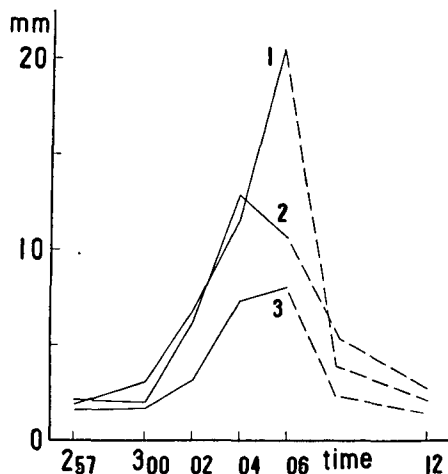
第5図 振幅の日変化  
 — 11月27—28日, ---- 12月25—26日  
 Fig. 5. Daily variation of amplitudes of microtremors.  
 — Nov. 27—28, ---- Dec. 25—26



第6図 夜間の振幅変化の様子  
 — 記録を直接平均したもの  
 ---- 汽車による微動を除いて平均したもの (ノイズレベル)  
 Fig. 6. Variation of average amplitudes in night expressed by the area of envelopes of wavelets.  
 — average including tremors due to trains  
 ---- average excluding tremors due to trains (noise level)

めに記録印画紙を 1 m/hour の遅送りにして記録をとった。これでは勿論送りの速度が遅すぎて個々の波の振幅を読みとることは出来ないが記録用光源が単位時間に印画紙上に描く面積は振幅に対応すると考えられるから、この面積を読みとって振幅の変化の様子を調べることにした。第 6 図から明らかのように 15 分間毎の平均値を作ってもその変化は予想以上に大きい。

この時の記録を調べて見るとノイズレベルより明らかに大きい部分が 1 時間に 2~3 回の割で認められそのいずれも大体同じ形をしていることもわかった。夜間にこのような規則的な振動を与えるものは汽車以外に考えられないので列車運行ダイヤとの対応を調べて見るとほとんど完全に対応のつくことがわかった。なお 3 点観測から波の伝播方向を調べても矛盾しない結果が得られた。従って汽車による微動と思われる部分を除いて考えるといわゆるノイズレベルは 0 時から 5 時迄はほとんど一定して非常に低いことがわかる。第 7 図に示すように汽車の通過の際には平均振幅で 10 倍位の変化が記録される。昼になるとノイズレベルが高くなり記録上で汽車による微動を見分けることは出来なくなる。



第 7 図 汽車の通過に伴う微動の記録上の振幅の変化

1: NS 成分, 2: EW 成分, 3: UD 成分

Fig. 7. An example of variation in trace amplitudes when a train passes.

1: NS-component, 2: EW-comp, 3: UD-comp.

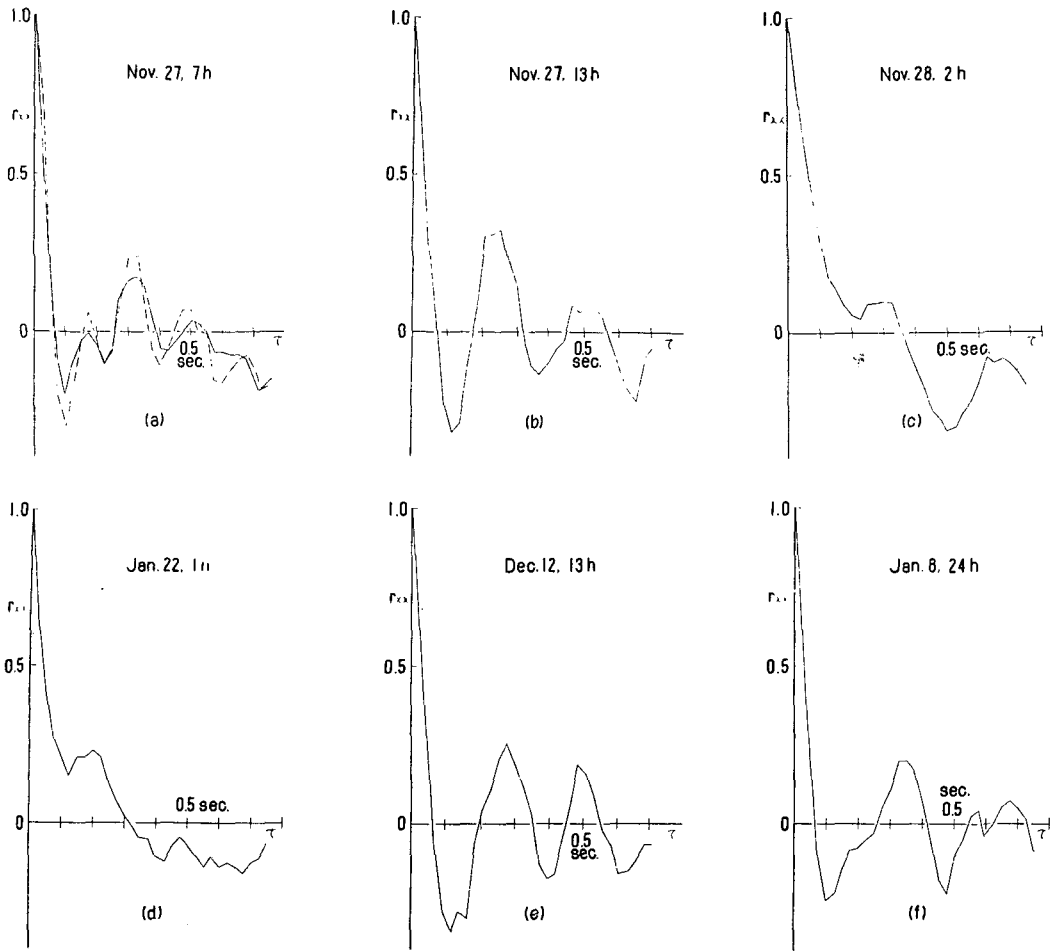
#### IV. 周期について

1) コレログラムによる解析。一つの記録のシリーズについて任意の時刻から 6 秒間をとり 1/50 秒毎に振幅を読みとった。従ってサンプルの数は 300 である。振幅の積  $f(t)f(t+\tau)$  で  $\tau=k\tau_0$  として  $\tau_0=1/50$  秒,  $k=1, 2, \dots, 30$  までとり、友田の方法<sup>1)</sup>で振幅を +, - で読みとり相関係数を求めてコレログラムを作った。第 8 図に示すように実際に振幅値を読みとって計算した場合と友田の方法によって計算した場合はかなりよく一致している。サンプルを 300 以上とれば微動の場合には +, - でも実際に振幅を読みとる場合と同様に扱うことが出来るのである<sup>2)</sup>。

得られたコレログラムを見ると昼と夜とでは明らかに差が認められる (第 8 図 (b), (c), (d), (e))。昼のものは周期約 0.2 秒で振動しているが直接記録を見ても主な波はコレログラムにあらわれる 4~6 c/s の波から成立していることがわかる。夜のもの周期はあまりはっきりせず大

1) 友田好文: 「級間の数を 2 として簡単に相関係数を求める方法」, 地震, Ser. 2, 7 (1954), 55.

2) K. Akamatu: Tomoda's Method for Calculating the Correlation Coefficients as Applied to Microtremor Analysis. Jour. Physics of the Earth, 4 (1956) 81-83.



第 8 図 コレログラム

---- 通常の方法によるもの, —— 友田の方法によるもの

Fig. 8. Correlograms.

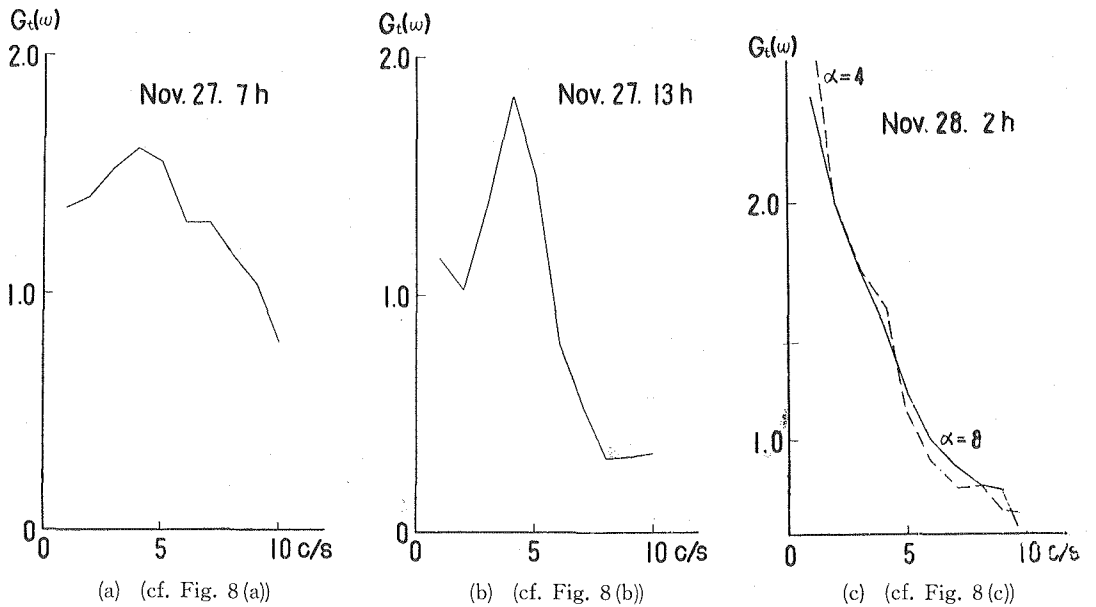
---- obtained by the usual method, —— obtained by the Tomoda's method

体非常に長周期のものがあると考えられる。この時の記録では 1c/s 位の波に 5c/s 位の波が重なってあらわれているのである。又夜間に大きな振幅が記録される場合 (汽車による微動) のコレログラムは昼の形に近いことがわかる (第 8 図 (e), (f))。

次にスペクトラムを作った。短時間自己相関函数  $\phi_e(\tau)$  とパワースペクトラム  $G_e(\omega)$  との関係は次のように与えられる。

$$G_e(\omega) = \int e^{-a\tau} \phi_e(\tau) \cos \omega\tau d\tau$$

解析時間  $a$  は相関係数の減衰の状態から考えて  $a=4\sim 8$  にとり、この積分を

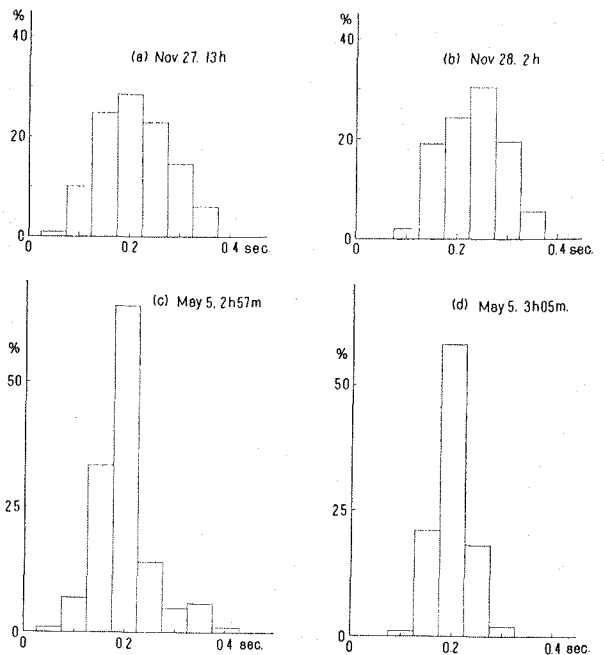


第9図 スペクトラ  
Fig. 9. Spectra.

$$\sum_{k=1}^{30} \phi_k(\tau) e^{-\alpha\tau} (\cos \omega\tau) \tau_0 \quad (\tau = k\tau_0, \omega = 2\pi f)$$

として計算した。結果を第9図に示す。昼の場合は4 c/sにスペクトラムの山が現われるが夜になると山がなくなり長周期の波が多いことになる。しかし実際には小振幅の短周期の波が重なっているのであり長周期の波にかくれてしまうものと思われる。

2) 周期別頻度図。実際に卓越している周期を見るために、波の山一山、谷一谷の間を読みとりこれを周期とみなして周期別頻度図を作った(第10図)。即ち昼夜共0.2秒附近に卓越周期のあることがわかる。但しこの場合は夜でも1秒程度の波は全く現われて来ないのであり、2つのかなり異なった周期の波が重なっ



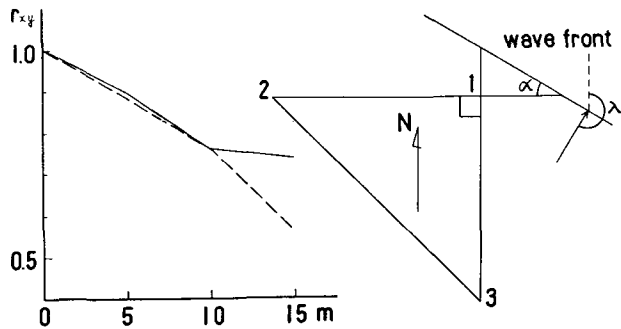
第10図 周期別頻度図 ((d) 汽車による微動)  
Fig. 10. Frequency distributions of wave period.  
((d) tremors due to trains)

ている記録の周期の読みとりには注意しなければならない。次に汽車の通過する際に周期が変化するかどうかを調べたがほとんど変わらないようであった(第10図(c), (d))。さらにフーリエ解析の結果からも同じことがわかった。昼間には大きな振幅を持っている5 c/s位の波は夜間には非常に小振幅となるため夜の記録では長周期の波がやや目立って来るのであろう。そしてこの5 c/s位の波は交通機関などの人工的擾乱源と関係が深いようである。

V. 3点観測

3点観測の際の地震計の配置は第3図及び第11図に示した通りである。

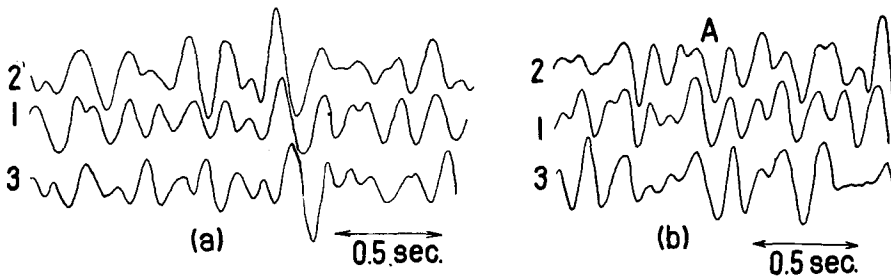
1) 2点間の相関について。もし土地が一様に振動しているものならある程度へだたった2点での記録の相関はいつまでも大体高い値をとると考えられる。地震計2を2, 5, 10, 15 mの各点において地震計1との相関を調べると第11図のように距離と共に相関が低くなるのが認められ15 mで相関係数は0.7位となる。又地震計3と地震計1については15 mで相関係数0.5とやや相関が悪くなっている。これについては地震計3を置いた場所の土地の性質がひどく違うとは考えられないので、そこが丁度建物にはさまれた位置になっているため波長の短い波は建物の影響を受けるものと考えられる。記録を見ると長周期のものはかなりよく対応が付き短周期の部分で波形のくずれがひどい。なお次に述べるように相互相関をとれば15 m離れてもまだ高い相関を示



第11図 左: 相関係数の距離による減衰。—— (1-2); ---- (1-3)

右: 3点観測網, 番号は記録の番号に対応する。

Fig. 11. left: Space correlation. —— (1-2); ---- (1-3) right: Tripartite network. Observation points (1, 2, 3) correspond to record numbers in Fig. 12.



第12図 3点観測による記録

(a) (1-2), (1-3)—各15 m, (b) (1-2), (1-3)—各10 m (第11図参照)

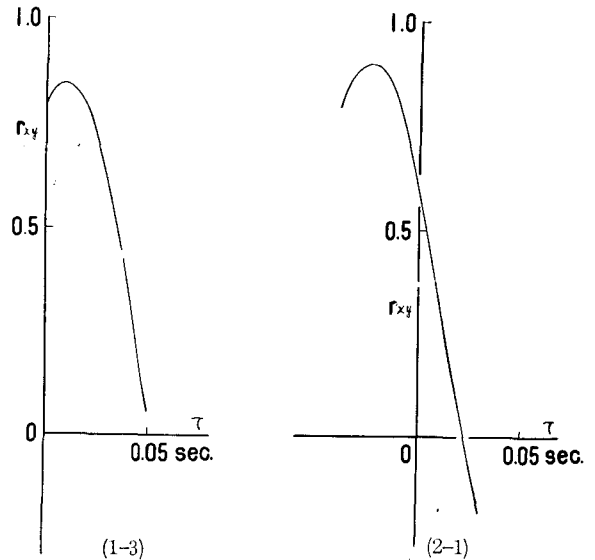
Fig. 12. Records obtained by tripartite observations.

(a) (1-2), (1-3)—15 m, (b) (1-2), (1-3)—10 m respectively (cf. Fig. 11)

すことがわかる。

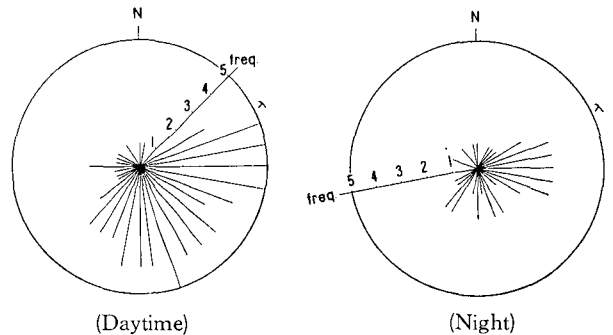
2) 波の伝播方向, 速度について。2点の記録について比較的規則正しく並んだ4~5山づつを選び出し1/100秒毎に振幅を読みとり1/100秒毎にづらして相互相関のグラフを書いた(第12図)。従って $\tau=0$ から最初の山迄は2点での波の位相のずれを表すから波の到着する時間のずれがわかり波の伝播する方向及び位相速度を求めることが出来る。この場合については(1-2), (1-3)の距離は共に10m,  $t_{21}=1/100$ 秒,  $t_{31}=2.5/100$ 秒だから $\lambda=201^{\circ}48'$ ,  $v=371$  m/sec.となる。多くの波について伝播速度, 伝播方向を求めるために3点の記録についてよく対応の

ついている波を選び出しその山一山, 谷一谷の時間間隔を読みとり赤松のノモグラム<sup>5)</sup>を利用した。3点共対応がよくつく部分はせいぜい3~4周期位の比較的振幅の大きい規則的な波でありその周波数はコレログラムによく現われる4~6 c/s附近のものである。この様な波が3点共対応がよくつく部分は記録上ではごくわずかである。2点の波形はよく対応がついても3点目の波形はくづれていて対応がつかない部分もある。又3点共完全に対応がついても波の到着時刻に全然ずれのないものもありこれはいろいろな方向から伝播して来る波の存在することを示す証拠であろう。得られた伝播方向及び位相速度から $(f_{i-1}+2f_i+f_{i+1})$ なる平均をとってその頻度分布を調べた。伝播方向はかなりばらついているが卓越方向(第14図)と観測点の位置(第1図参照)とをくらべて見るところで観測される微動は人工的擾乱源と関係があることがわかる。



第13図 第12図-A から得られた相互相関函数

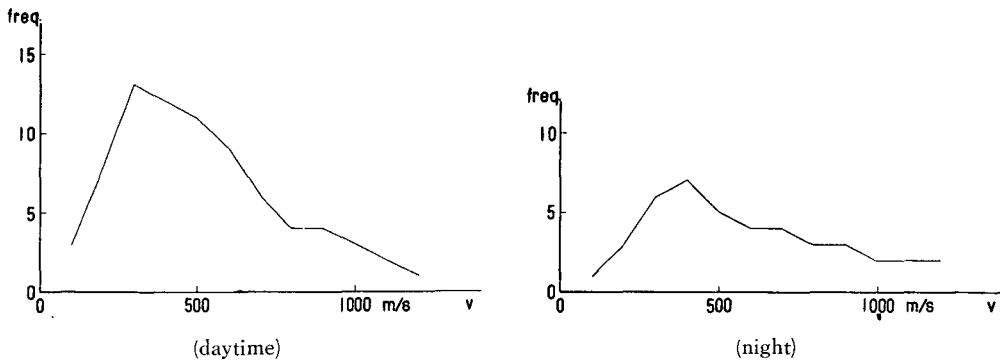
Fig. 13. Cross-correlation functions obtained from Fig. 12-A.



第14図 伝播方向の頻度分布

Fig. 14. Frequency distributions of the direction of wave propagation.

3) K. Akamatu: On Microseisms in Frequency Range from 1 c/s to 200 c/s. Bull. Earthq. Res. Inst., 39 (1961), 23-75.



第15図 伝播速度の頻度分布図

Fig. 15. Frequency distributions of the phase velocity.

第15図に示すように伝播速度は200~500 m/sec.が多く表面波に相当するものと考えられる。3点観測と3成分観測を同時に行っていないので個々の波について軌道 (orbit) と伝播方向とを対応させて考えることが出来なかつたが、軌道の形からは Rayleigh 型、Love 型の波がまじっていることが予想出来る。

## VI. あとがき

本学構内での微動の観測結果から知られたことは

1. 振巾の日変化は昼と夜で約4:1である。
2. 卓越周波数は昼・夜共4~6 c/sである。
3. 4~6 c/sの波についてはその伝播する方向、位相速度を求めることが出来たが、その速度から考えるとこれらの波は表面波と考えられる。
4. 4~6 c/sの波は交通機関などの人工的擾乱源によるものである。
5. 一般には常時微動の観測は任意の数分間の記録を解析して充分であるが、ここでは夜間に非常に大きな振幅が記録されることがあるので注意を要する。

今回の微動観測の目的の一つに冬期間の降雪及び積雪による影響があるかどうかを調べることがあったが、これに関しては何もはっきりしたことがわからなかつたのは残念である。

終りに終始熱心に御指導、御激励をいただいた松沢教授をはじめ地球物理学教室の皆様へ感謝致します。

## 8. On Microtremors

By Yoshinobu MOTOYA

(Department of Geophysics, Faculty of Science, Hokkaido University)

We find it difficult to distinguish the initial movements from ground noises in seismograms of microearthquakes and explosion seismics. So it is necessary to investigate microtremors of a given place.

This paper reports microtremors with frequencies higher than 1 c/s which are observed at the campus of our university in Sapporo. Equipments used were 1 c/s horizontal seismometers of moving coil type, 1 c/s vertical one, amplifiers with a band of amplification between 1-20 c/s and a recording oscillograph with 30 c/s galvanometers.

The results of the observations and analyses are :

1. The ratio of amplitudes of tremors in day times to those in night is about 4:1.
2. Tremors with frequencies 4-6 c/s are predominantly found all the day and they seem to be caused by traffics and other artificial disturbances.

3. By using the data from tripartite observation difference of arrival times of a particular wave between two points was obtained by the method of crosscorrelation in order to determine the direction of wave propagation and the phase velocity. Judging from their phase velocity and orbital motions, tremors are mainly composed of surface waves.