

地震予知研究ノート No.4

佃 為成
(東京大学地震研究所 地震地殻変動観測センター)

2009年1月

目次

		ページ
地震予知の研究体制	佃 為成	2～7
地震研究所の予知研究	佃 為成	8～11
地震研究所改組の経過	佃 為成	12～17
付録：地震研究所改組試案（1992年）	佃 為成	18～25
付録：懇談会議事録（1992年）	佃 為成	26～36
微小地震分布	佃 為成	37
破壊の結合確率モデルと地震の規模別頻度分布	佃 為成	38～57
共存する震源クラスターのサイズと分布間隔の関係	佃 為成	58～62
地鳴り観測		
佃 為成・大橋心耳・山下晃一・菅谷茂樹・酒井真雄・鶴 秀生		63～68
地下からのサインを追って ～ 水・電気・ガス・波	佃 為成	69～80
未来へ繋ぐ ～ たかが水温・されど水温	佃 為成	81～89

地鳴りの観測

佃 為成 (東大地震研究所)・大橋心耳・山下晃一・菅谷茂樹・酒井真雄・鶴
秀生 (日東紡音響エンジニアリング)

Observation of Earthquake Sound

T. Tsukuda (Earthquake Research Institute, Univ. Tokyo), S. Ohashi, K. Yamashita, S.
Sugaya, M. Sakai, and H. Tsuru (Nittobo Acoustic Engineering Co., Ltd.)

Abstract

Roaring sounds at the time of an earthquake were sometimes said to precede to shaking. There have been a case people heard only sounds without shaking. Those events happen repeatedly for some time in a certain region. The source of the earthquake sounds should be ground motions due to the earthquake. Then, such small vibrations of the ground as people could not perceive the motion can excite the audible sounds. We want to confirm it by making observation of real earthquake sounds.

Earthquake sounds are considered to be generated by the vibration of ground. An experiment for confirming this was conducted at the site of aftershock region of a strong earthquake of M5.5. We detected tens of earthquakes with audible sounds for human beings. Low frequency particle velocity at the ground surface is transformed into air pressure waves with a constant amplification rate. However, high frequency components greater than 50-60Hz are generated after the disturbance of earthquake motion by the non-linearity phenomena.

§ 1. 序論

大地震に地鳴りが伴うことは昔から知られている。1995年兵庫県南部地震でも、本震の際、揺れを感じない数秒前からゴーという音を聞いたと証言した人が多い。音波より地中を伝わる地震波の方が速度が速いので、地鳴り発生時にはすでに地震波が到達していたはずである。震動の揺れよりも音の方が人間には感じ易かったことを意味する。地震の始まりでは、地面の震動が小さいが、可聴域の音波を生成するような高周波震動があったということの意味している。

大きな地震に伴うものばかりではなく、小規模の群発地震などで、地震とともに鳴動と呼ばれる音が発生する。また、鳴動は聞こえるが、地震としての震動は感じない場合もある。鳴動が頻発したので地震計を設置してみたがいっこうに地震が記録されなかったという話もある。地震には、高周波を多く含んだ地震とそうでない地震が存在するらしい。震源での破壊過程において高周波を発する初期

破壊があったのか、衝撃波の伝播に伴って新たな小破壊が次々に発生し、高周波震動を作りだしている可能性もある。

地鳴りの発生について、どこまで、我々の理解が得られるか、そして、実際の地震動にはどのくらいの高周波が含まれていたのか、その強さがどうであったのかを知る手段として、人々の証言を検証し、地震動の定量的な推定に役立ててみよう。

以前、松代群発地震の際に、同じような観測が試みられた（関谷・飯沼，1968）。また、米国でも地鳴りの観測が行われた（Hill et al., 1976）。今度はもっと周波数帯域を広げ、高周波震動による音波強度の時間分布や波動の周波数特性と、低周波の震動との関連などを詳しく調べる。

新潟県阿賀野市（旧笹神村）にある清掃センターの地下マンホール内にマイクロホンを設置して、1995年5月30日から観測を始めた。その後10月14日から、地上においても、4台のマイクを立体的に設置し、地鳴りの伝播方向の推定のための試験観測をおこなった。2002年7月9日には、旧笹神村出湯温泉に場所を移し、現在でも観測を続行している。このほか、静岡市中島において中島浄化センター内で1997年8月20日から新潟と同じような観測を実施、2001年11月9日に焼津市の寺院林そう院に観測点を移し、現在もここで観測をおこなっている。

今回の報告は、初期の頃の観測で得られた結果である。

§ 2. 新潟県での観測

地鳴りや鳴動と呼ばれる地震に伴う可聴領域の空気振動を観測し、高周波震動の実態や地鳴り発生の仕組みの解明の糸口を見いだそうという観測を新潟県阿賀野市（旧笹神村）の阿賀北広域組合清掃センターにおいて実施した。観測点は、1995年4月1日に発生したM5.5の地震の余震域のほぼ真上である。観測は1995年5月30日に開始した。観測システムの構成を図1に示した。

効率よく地鳴りの記録をとるため、コンデンサーマイクロホンを地下のマンホール内にぶら下げ、通常地震計（速度型3成分と上下動加速度計）を地上に設置し、信号を高速サンプリングでA/Dし、トリガー収録する。マイクロホンは1Hz-1kHzでフラットな音圧特性をもつ。各波形成分は-24 dB/Octのローパスフィルターを用いて帯域を制限し、1kHzまたは2kHzサンプリングでデータをハードディスクに収録している。マイクロホン波形には、空気の流れ（風）に伴う大きな振幅をもつ低周波のノイズが存在するので、10Hzのローカットフィルター（微分回路）を使用している。

マンホールの大きさは、1m x 1m x 1.6m（深さ）、外壁のコンクリートの厚さは10cmである。下部には水が溜まっている。実効的な深さは1m その深さに電気配管用の直径8cmのパイプが2本走っている。このパイプのほとんどは水に浸かっているが、空気の流れが生じているらしい。マンホールの蓋は直径60cmで

ある。

エレクトレットコンデンサー・マイクロホーンは、薄手のビニールと棕櫚で覆い、その周りは直径 20cm の球状の通気性スポンジ（ウレタン）で覆われている。上から落ちてくる水滴がセンサーにつかないようになっている。

このマイクロホーンは蓋の下にぶら下げてあり、通気性スポンジの下部は蓋から 45cm のところになる。

マンホールの埋設パイプがつくる空洞内の音響変換効率が変化する大雨の後、内部に水が溜まった状態では、空洞の大きさが制限され、音圧レベルが低下するらしい。

§ 3. 地震動と音圧

マイクロホーンには地面の震動の速度に比例した空気圧振動が入力される。地面に垂直に入射する平面波 u （震動速度）に対して、空気の密度を ρ 、音速を c とすると音圧 p は、応力の連続性から

$$p = \rho \cdot c \cdot u$$

と書ける。地鳴り音の音圧は地上の震動の速度に比例している。 $\rho \cdot c$ は音響インピーダンスと呼ばれる。0 ~ 25 °C, 1 気圧の空気は $\rho \cdot c = 42.3 \text{ g/cm}^2 \cdot \text{s}$ であるから、 $100 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ の震動があった場合、 $4.23 \times 1/10 \text{ Pa}$ の音圧になる。音響学では $p_0 = 20 \mu \text{ Pa}$ を基準にして、音圧レベルを測る。phone（あるいは dB） $= 20 \log(p/p_0)$ であるから、このままの音圧では、86 ホーン（あるいは dB）となる。地震波は 10Hz ぐらいにピークがあり、可聴域の 50Hz では 50dB ぐらい小さいので、実際の音は 30dB 程度であろう。

M3.3 の地震の場合、50Hz で 30 phone のレベルの音を記録した。地震動（速度）の P 波スペクトルは 10Hz 付近にピークを持ち、200 mkine である。

これまでに 10 数回の地震について地鳴りを観測した。波形の例を図 2 に示す。今回、それらの地震の波形について、地震計の速度波形並びに、P 波、S 波の部分の音圧波形のスペクトルを比較した。P 波到着時と S 波到着時の音圧スペクトルの特性はほぼ同等である。音の信号は、暗騒音レベルとの比較を行うと、図 3 に示したように、約 140Hz までの成分を有していることがわかる（8 ~ 20dB）。50Hz 付近までの低周波では、地上の震動の速度と音圧のスペクトルはよく似ている。

§ 4. 高周波音波の励起

図 3 のスペクトルにおいて、地震計の震動波形には、ほとんどレベルが認められないのに、音波には 60Hz 以上の成分が励起されている。広い帯域で、同じレ

ベルであり、バックグラウンドノイズと同じスペクトルをもつ。

地震波がそのまま音波に変換されるのであれば、スペクトルは相似になるはずである。確かに、低周波成分は相似性が確認できる。高周波音波はどのように生成されるのであろうか。

現象としては非線形効果が考えられる。低周波のエネルギーが地上へ達して、乱雑な高周波エネルギーへと変換される。最初は、地上の大きささまざまな物体の振動が起こり、それが音波へ変換される。

今回は詳しい分析ができなかったが、今後の課題として、地震波到着直後と経過後の違い、地震動が大きいほど高周波の励起が大きいかの検証などが残っている。

§ 5. まとめ

地震に伴う地鳴りや鳴動は、地面の振動で励起されと考えられる。実際にその音を観測し、地鳴り発生の実態を研究した。

実験は、M5.5 の地震の余震を対象に行われた。震源は深さ 4 ~ 5km にあり、観測点はそのほぼ真上（震央距離 1km 以内）である。約 1m 立方のマンホールを利用した。地上に速度型地震計 3 成分、マンホール内の上部にマイクロホンを吊した。

50 ~ 60Hz 以下の低周波領域では、地面の振動の速度に比例した空気中の音圧振動が得られたが、それより高周波側では、地面の振動がそのまま空気振動になったものではなく、地震動をきっかけにして地面付近の空気層に非線形効果として励起されたものと考えられる。

参考文献

Urick, R. J., 水中音響の原理, (土屋 明訳), 共立出版, 1978.

Hill, D. P., F. G. Fischer, K. M. Lahr and J. M. Wakley, Earthquake sounds generated by body-wave ground motion, Bull. Seism. Soc. Am., 66, 1159- ,1976.

関谷 浩・飯沼竜門, 第 6 章 地震に関連した現象 6.1 地鳴り, 松代群発地震調査報告, 気象庁技術報告 第 62 号, 125-137, 1968.

Sekiya, H. and T. Iinuma, Phenomena which accompanied with the earthquakes, Report on the Matsushiro Earthquake Swarm, August 1965- December 1967, Technical report of the Japan Meteorological Agency, No.62, 125-137, 1968.

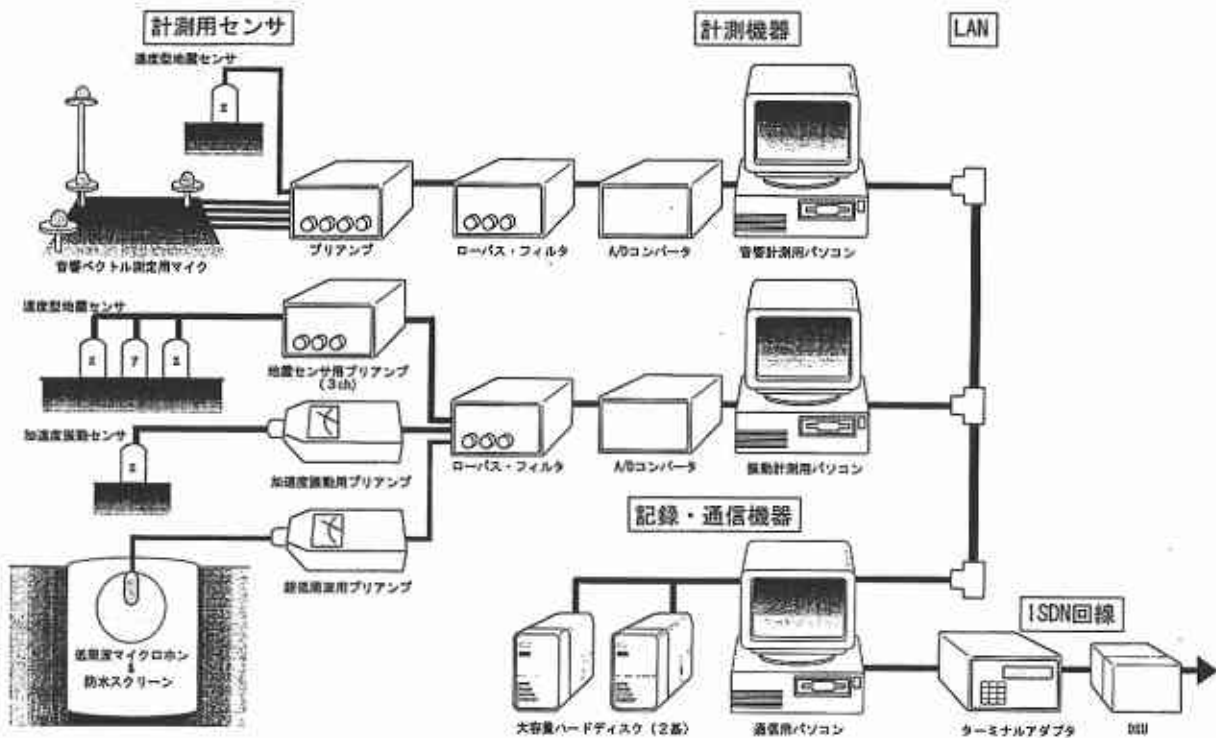


図 1. 観測システム

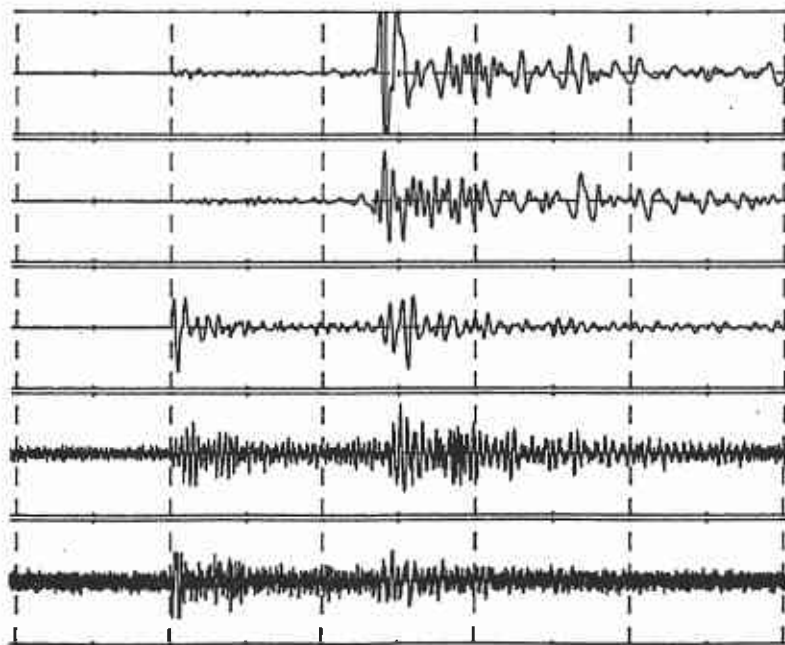


図 2. 観測波形の例. 1995年7月14日, M3.3の地震. 上から, 速度型地震計記録東西成分, 南北成分, 上下成分, 音波記録, 加速度計記録上下成分. 時間の区切りは1秒間隔.

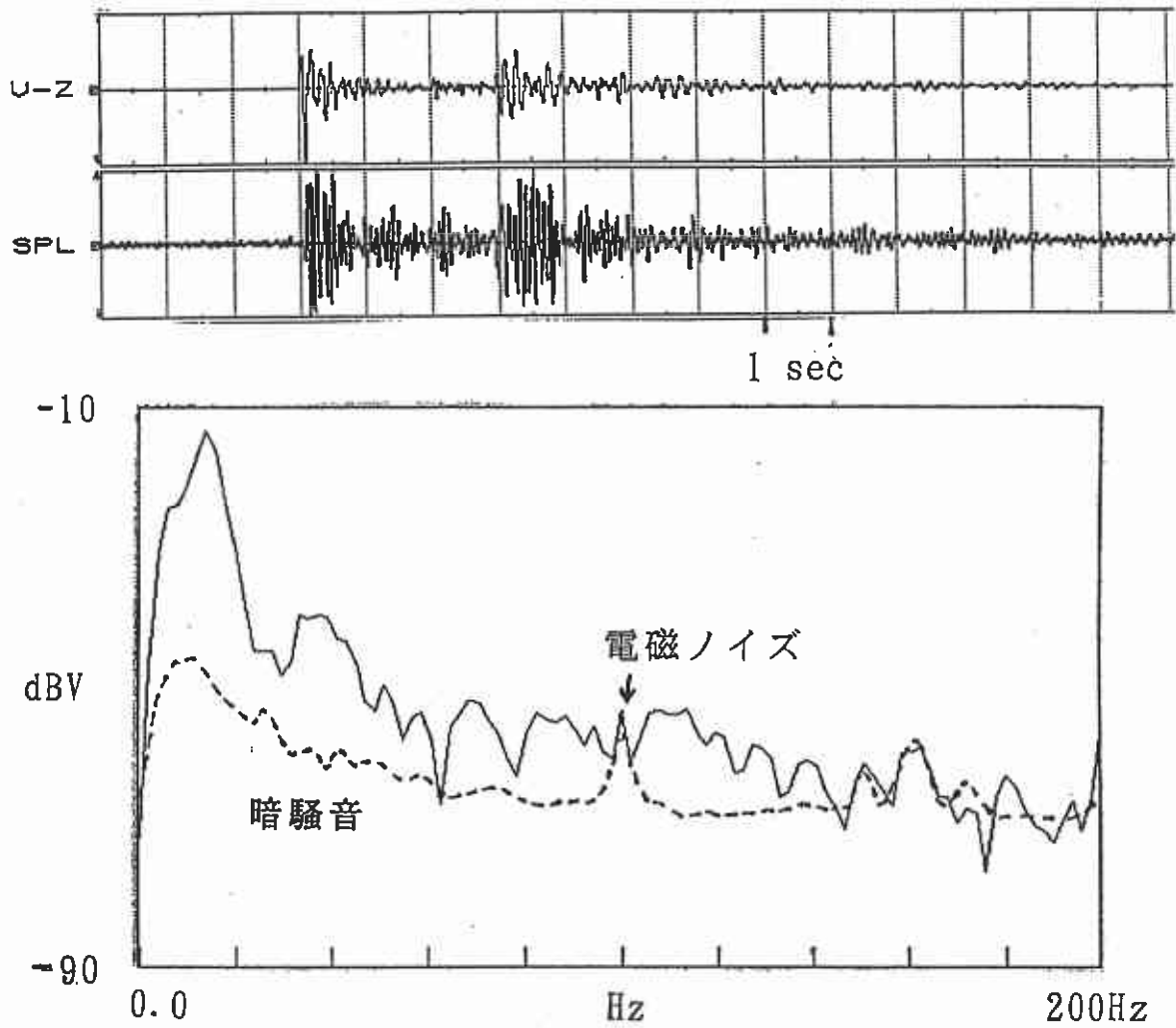


図3. 1995年10月6日, M3.3の地震について. 上から, 速度計上下成分波形, マンホール内の温圧波形, 温圧スペクトル (パワー).