

# みんなが右へ行ったら、左へ行く

飯尾能久 教授 (防災研究所)

## 1. はじめに

私は、1976年4月に理学部に入学した。新入生ガイダンスのことを今でもよく覚えている。司会の方が、傍らの先生を指して、「君ら、この人を知ってるか？」とおっしゃった。私は、右も左も分からない一少年で、「顔見ただけでわかるような有名人がいるのか？、京大はすごいところだな。」と感心した。その先生は日高敏隆さんで、ガイダンスの担当をされていたようだ。日高さんの発言内容は何も覚えていないが、その後、学生代表？と思われる方の発言が、非常に印象に残っている。「京大では、みんなが右へ行ったら、左へ行く」。



私は、兵庫県明石市出身、学区の2番手だった高校はのんびりしたところで、勉強もスポーツその他もそれなりの、のほほんとした高校時代を過ごしていた。つまり、普通の高校生だったので、この発言を大変新鮮に思った。その意味は、徐々に理解していったと思われるが、このことが深く脳裏に刻み込まれたらうことは、その後の私の研究者人生、いや、人生そのものにとって、非常に大きなことであると思っている。その意味でも、私のような普通の高校生を入学させていただけたことは、大変有難いことだと感謝している。本小文では、このことに絡めて、研究を始めた頃のことを簡単に紹介させていただく。

## 2. 阿武山地震観測所

私は、1979-80年に課題研究で週に一度程度阿武山に通った。大学院に入学後も阿武山で過ごした。指導教員だった渡辺晃先生から最初に言われたことはよく覚えている。「勉強はしない方がいい。教科書は読んではいけない」。解説を要する言葉であるが、当時、データは圧倒的に不足しており、そういうものに基づいて得られた結果に惑わされてはだめで、自分の手できちんとしたデータを取りなさいということと言われたかったものと思われる。また、研究テーマは自分で探すようにも言われた。数か月間色々と考えたが、テーマになりそうなことは出てこなかった。これはある意味当然である。勉強はしないので知っている情報はすごく少なく、まだ観測は行っていないので手持ちのデータも無い。一向に進展が見られないので、渡辺先生もこれはダメだと思われたようで、行竹英雄助手の手伝いで、鉾山で

の微小破壊観測をすることになった。たまたまそうなったのだが、このことが、それ以降の私の研究の方向を大きく左右することになった。

### 3. 鉦山での微小破壊の観測

□1982年に博士課程に進学した。研究テーマは、地震のスケーリングの研究である。スケーリングとは、研究対象とする現象の性質が、その大きさによってどのように変わるかを調べるものである。地震については、Aki(1967)のスケーリング則が有名であり、大きな地震と小さな地震は相似であり、大きさ以外には何も変わらないということが定説になっていた。しかし、それでは、何が地震の大きさを決めるのかがよくわからない。台風であれば、中心気圧が低い「強い」台風ほど暴風雨半径が大きな「大きい」台風である傾向があると思うが、地震時の応力低下量は地震の大きさによらず一定であるということが知られていた(現在でもそういうことになっている)。そこで、大きな地震と小さな地震は、大きさ以外には本当に何も変わらないのかどうかを調べてみようとしたわけである。仮に、その違いがあったとしても微妙であると予想されるので、出来るだけ大きさの異なった地震を比較することが望ましい。そのため、非常に小さな地震を観測しようとした。自然地震では限界があるので、鉦山で起こる微小破壊も観測対象とした。

図1に、中竜鉦山の最深部付近の坑道と地震観測点の配置図を示す(飯尾, 1984a; 飯尾, 1984b)。各点のデータはA,B2つの場所に集められ、アナログデータレコーダーで連続記録された。自然地震よりもずっと高周波の波形であるため、通常の地震観測に用いられるシステムはそのままでは使うことが出来ず、アンプなどを自作し、短周期まで特性の伸びた独自の観測システムを構築した。電気的なノイズの軽減についても考慮した。これらの経験は、後ほどの自然地震の観測において生かされることとなった。

## 中竜鉱山での微小破壊の観測 (飯尾,1984,1984,地震) 博士課程

記録装置(テープレコーダー・アンプなど)

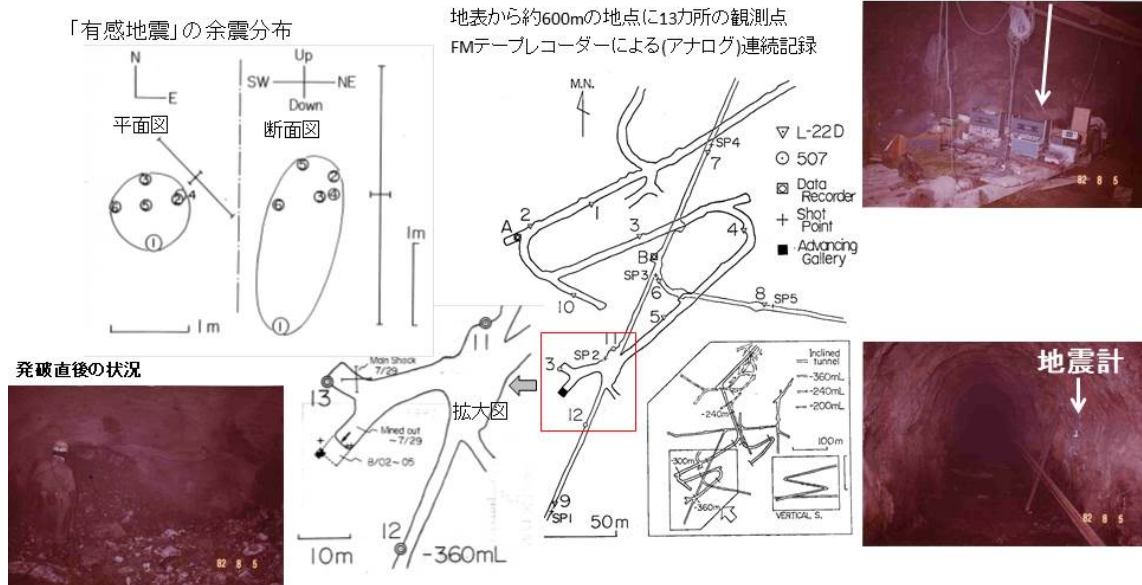


図1 中竜鉱山の最深部付近の坑道と地震観測点の配置図。右下の囲みの中により広い領域の平面図と断面図を示す。S字型の坑道は地表からダンプが直接入坑できる斜坑である。観測点13の近くで坑道掘削のための発破が行われ、直後に微小破壊が多数発生した。また、その近くで余震を伴う「有感地震」も発生した(エラーバーの位置)。その余震分布を上左に示している(①が本震)。SPは、相対震源決定精度を上げるために人工的に振動を起こしたshot pointである。

### 4. 長野県西部地震の発生直後の高周波の余震観測

1984年9月には長野県西部地震(M6.8)が発生した。内陸の浅い大地震だったので、至近距離で小さな余震を観測することが可能と考え、余震観測に出た。土砂崩れ等で道路が寸断されており、長野県側から車では余震域に近づけないという情報をいただき、岐阜県側から徒歩で山越えをして余震域を目指した。実は途中で力尽きて、予定していた余震域直上までは行きつけなかったのだが、それでも、5分に一回程度有感地震があり、モニターしていたシンクロスコープの画面は、ほとんど揺れっぱなしであった。徒歩だったため、通常の観測システムは用いることは出来ず、軽量の爆破観測用のカセットレコーダーで連続記録を行ったが、幸いなことに、高周波まで十分に観測帯域が伸びたシステムであった。観測だけでなく、データの再生も高周波まで帯域が伸びていることが必要なので、行竹英雄助手の使われていた、岩石実験のAE計測用のトランジェントメモリーにより、アナログデータのAD変換を行った。そのため、十分な高サンプリングで地震波形を見ることが出来た。その結果、図2に示すように、S-P timeが約55ms、震源距離が約400m、卓越周波数が100Hzを超えるような地震を見出すことが出来た(飯尾, 1986)。それまでは誰も見たこともないものであり、研究者として自分に少し自信を持つことが出来た。

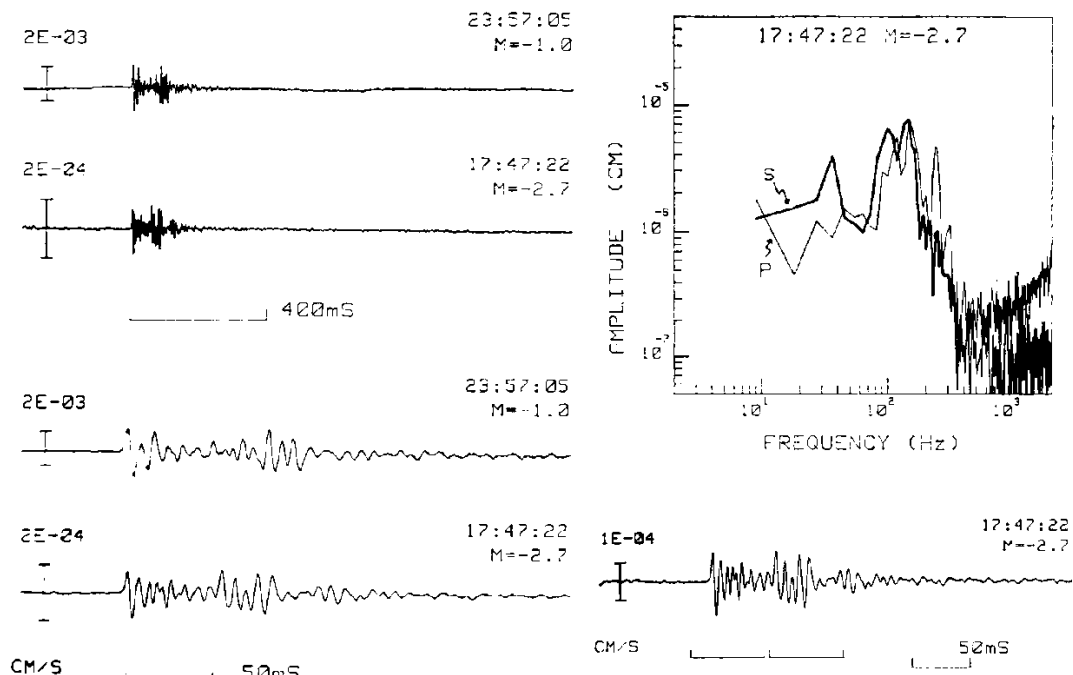


Fig. 8. P and S wave velocity spectrum for

図2 長野県西部地震の余震波形(地動速度 cm/s)と観測速度スペクトル。左図の下側は、上側の波形の時間軸を拡大したもの。マグニチュードは渡辺の式による。

余震波形を見ていて、偶然ではあったが、大きな発見をした。図3にP波の速度波形の初動付近の約40ミリ秒間の波形を示す。アンプの倍率をlow gainとhigh gainと2通りに変えて記録していたので、波形も二通り表示されている(Iio, 1992)。一見、両者の初動位置は違っているように見えるが、これは、P波の初動が非常に小さく「ゆっくりと」立ち上がっているためである。これをslow initial phaseと名付けたが、世界的にも大きな論争を巻き起こした。それは、このphaseが、震源核形成過程と呼ばれる破壊の種(準静的にゆっくり破壊が広がるステージ)を反映している可能性があったからである。この非常に小さく「ゆっくりと」した立ち上がりはこれまで誰も気づいていなかったが、私は、至近距離で観測された波形を数十kHzという高サンプリングで再生していたために気づいたものと思われる。しかしながら、このphaseは震源特性を反映しているのではなく、伝播経路における減衰のために高周波が減衰して「なまっている」ためという強い反論があった。

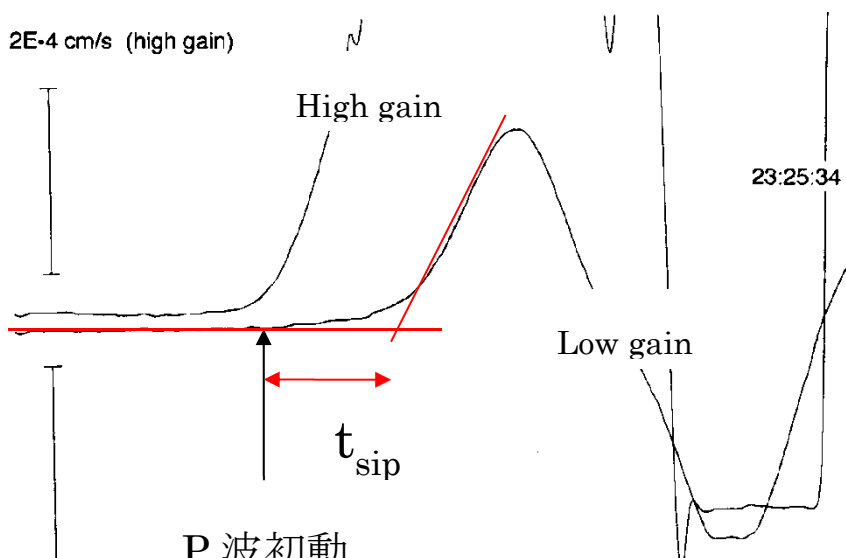


図 3 長野県西部地震の余震波形(地動速度)の P 波初動部分を拡大したもの。high gain の波形はオーバースケールによりクリッピングしている。単純な震源モデルによると、震源の極近傍では速度波形は直線的に立ち上がる(tsip に続く直線的な部分がそれにあたる)。

#### 5. 長野県西部地域における 10kHz サンプリングの高精度地震観測

1993 年に私は防災科学技術研究所に移動した。そこで、直下型地震のダイナミクスというプロジェクトの一環として、長野県西部地域で 10kHz サンプリングの地震観測を多点で行うこととなった。地震計も含めた観測システム全体の周波数帯域は 1kHz 以上までフラットであり、通常の地震観測システムに比べて桁違いに高周波まで特性の伸びているシステムである(Iio et al., 1999)。収録装置 EDR-6600 は、近計システムさんと共同で開発したものであり、トリガー方式により、大型バッテリー 2 個で 2 週間ほど観測可能だった。

図 4 に、時空間的に集中して発生した地震群の P 波初動部分(速度波形)を拡大したものを示す(Iio, 2009)。これは、産総研のボアホール観測点(深度 800m)で得られたものである。赤色で示した波形は顕著な sip を示さず、直線的に立ち上がっている。また、この波形を単純な扇型のクラックモデルでモデル化することにより、破壊伝播速度が S 波速度と同程度であることが分かった。図 4 の真ん中のパネルにおいて、赤色以外の波形の立ち上がり付近は、赤色の波形と似たような始まりを示しており、傾きも最初は同程度であるが、その後時間とともに急になっている。赤色の波形は、通常の破壊伝播速度によるものなので、それ以外の傾きの大きな部分においては、通常と異なる震源過程となっていると考えられる。おそらく、断層のすべり速度が加速したものと推定される。また、一番下のパネルにおいて、各波形の極初期の部分はいずれも似たような形で曲がっていることが分かる。これが、伝播経路における減衰のために高周波が減衰して「なまっている」現象であり、非弾性減衰のパラメータ  $Q=600$  程度で説明可能である。

これにより、sip は伝播経路の効果による見掛けのものではなく、震源過程を反映していることが明確となった。しかしながら、それは震源核形成過程と呼ばれる破壊の種を反映しているのではなく、むしろ通常の震源過程によるものであり、その後の急な立ち上がりがあるむしろ特徴的なもので、震源過程が加速したことが示唆された。

## 時空間的に集中して発生した地震群の波形の比較

Earthquake nucleation process  
Iio (2009), Earthquakes, Tsunamis, and Volcanoes in Encyclopedia of Complexity and Systems Science, Springer

Iio et al. (2009)

Magnitude 0.5~2.0

Focal distance ~3.6km

Relative location <200m

直線的に立ち上がるものがある

他の曲がりは震源過程を反映

直線的な地震の破壊伝播速度は普通  
震源核形成過程を反映していない

最初のゆっくりした立ち上がり(SIP)が  
普通、その後の急に曲がる部分が大き  
めの地震に特有のものである可能性

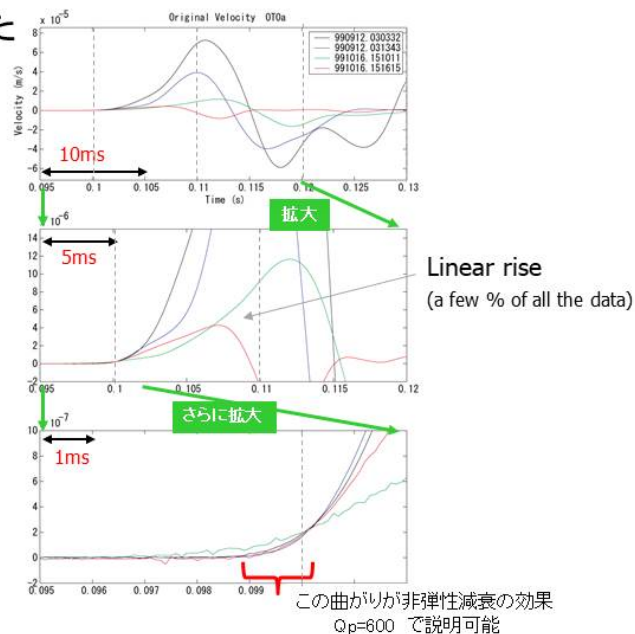


図4 時空間的に集中して発生した地震群のP波初動部分(速度波形)を拡大したもの。赤で示した波形はsipを示さず、直線的に立ち上がっている(少数派ではあるが)。

ちなみに、各パネルにおいて縦の点線の位置が、通常の地震観測で用いられる100Hzサンプリングのタイミングを示している。一番下の波形では枠内に1個だけ、真ん中の波形でも3個だけであり、100Hzサンプリングでは、波形の詳細は見えないことがよくわかる。

## 6. おわりに

修士論文のテーマに困っていたことから、鉦山の微小破壊の観測を行うことになり、そのことが、高周波帯域において震源に近づいて地震を観測するという、普通ではやらない地震観測に自然につながった。震源に近づくためにAC電源はあきらめざるを得ず、AC電源の存在を前提としている既存のシステムは使えないため、独自の観測システムを開発することになった。データ処理・解析においても、室内実験に用いる装置を流用させていただくことで、普通では見えないものを見ることが出来た。結果的には、「みんなが右へ行ったら、左へ行く」ようなことを実践したことになっている。その際に、特に抵抗もなく自然にそうすることが出来たが、その背景には、このフレーズが脳裏に刻み込まれていたことがあったものと推定される。実際には、生起している現象を可能な限り正確に捉えようとしていただけかもしれないが、「みんな」のことをあまり気にしない習慣は、突飛なことをやる上では、重要なことなのだろうと思っている。

いずれにしても、これまでお世話になった方々に深く感謝申し上げる。

文 献

- Aki, K., Scaling law of seismic spectrum. *J. Geophys. Res.*, 72, 1217-1231, 1967.
- 飯尾能久, 発破によって誘発される微小破壊, *地震* 2, 第 37 卷, 109-118, 1984a.
- 飯尾能久, 余震を伴う微小破壊, *地震* 2, 第 37 卷, 599-606, 1984b.
- 飯尾能久, 地表近くで発生した極微小地震  $M=-3$ , -1984 年長野県西部地震の余震一, *地震* 2, 第 39 卷, 645-652, 1986.
- Iio, Y., Slow Initial Phase of the P-wave Velocity Pulse Generated by Microearthquakes, *Geophys.Res.Lett.*, 19, 477-480, 1992.
- Iio, Y., Earthquake nucleation process - Does the initiation of earthquake rupture know about its termination?, 2538-2555, *Earthquakes, Tsunamis, and Volcanoes in Encyclopedia of Complexity and Systems Science*, edited by R. A. Meyers, Springer, New York, 2009.
- Iio, Y., S. Ohmi, R. Ikeda, E. Yamamoto, H. Ito, H. Sato, Y. Kuwahara, T. Ohminato, B. Shibasaki, and M. Ando, Slow initial phase generated by microearthquakes occurred in the Western Nagano prefecture, Japan -the source effect-, *Geophys.Res.Lett.*, 26, 13, 1969-1972, 1999.