

## 屈折法地震探査の理解のための実験・演習教材の開発と実践

仲西理子\*, 桑野修, 柳澤孝寿, 山下幹也, 小俣珠乃,  
今村仙子, 諸橋葉子, 首藤慶子, 佐藤紀彦 (海洋研究開発機構)

### Development and practice of laboratory seismic experiment course and teaching material for understanding realistic seismic refraction survey

Ayako Nakanishi\*, Osamu Kuwano, Takatoshi Yanagisawa, Mikiya Yamashita, Tamano Omata, Hisako Imamura, Yoko Morohashi, Keiko Shudo, Norihiko Sato (JAMSTEC)

**Abstract:** We developed a laboratory experiment to simulate a seismic refraction survey for educational purposes. The experiment is tabletop scaled experiment using the soft hydrogel as an analogue material of a layered crust. So, we can conduct the experiment in a laboratory or a classroom. The softness and the transparency of the gel material enable us to observe the wave propagation with our naked eyes, using the photoelastic technique. By analyzing the waveforms obtained by the image analysis of the movie of the experiment, one can estimate the velocities and the structure of the gel specimen in the same way as an actual seismic survey. We report details of the practical course and the public outreach activities using the experiment and the effectiveness of them.

#### 1. はじめに

地球科学の現象の中で、海洋や気象、火山に関するものについては、実際に目で見るができるものもあり、実験や教材を用いたデモンストレーションも考案され実施されている(例えば木村, 2001; 林, 2006)。一方で、地震現象に関する教材は少なく、とくに動的な地震現象がイメージできるものはほとんどない。地震現象に関する既存の実験としては、たとえば小麦粉とココアを用いた断層形成実(岡本, 1999)が考案されているが、動的な地球物理現象としての地震のイメージには結びつきにくい。

そこで、我々は、実際に見て触って実感できる教材や実習が必要と考え、動的な地震現象の理解のための実験演習教材を開発する研究に着手した。ここでは、屈折法地震探査によって地下構造を推定する方法とその重要性について学習するための実験演習教材とその実用例、および教育的効果について紹介する。

#### 2. ゲルを利用する室内での屈折法地震探査実験

ここでは、地殻模擬物質として寒天ゲル(アガロースゲル)を用いる室内での屈折法地震探査実験(桑野, 2015)について紹介する。

地震現象を目で見ることは、地震波の伝播速度が速

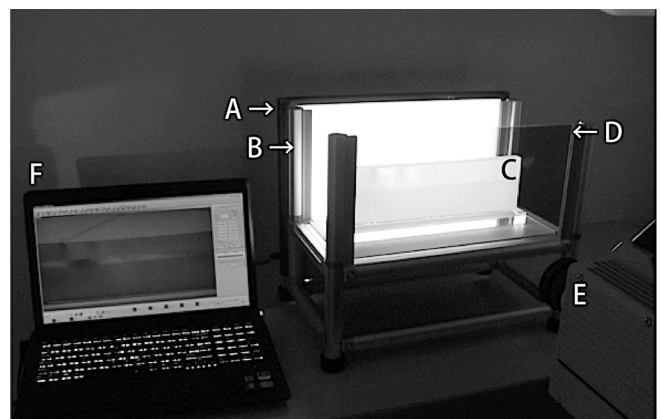


Fig. 1 Setup of the laboratory seismic survey experiment . A: Plane light source, B, D : Polarizer, C: gel specimen (simulating the layered crust), E: Camera, F: PC.

いため困難である。大学の講義、演習などで実施する従来の屋外での地震探査実習では、人工的に震動を与えることで発生させた地震波を、測線上に並べた複数の地震計で観測し、データを研究室に持ち帰った後、処理、解析する方法が一般的である。この方法では、実習中には現象を観察することはできず、ハンマーで地面を叩く等の作業に没頭することになる。そのため、地震学や物理学の知識が必ずしも十分でない対象者にとって、地震波が地下を伝播して地震計まで到達してきたことや、そのようなデータを用いた探査手法で地

下構造を推定できることをその場で実感することが困難である。本実験では波の伝播を直感的に理解できるように、地震波伝播速度の遅い寒天ゲルを地殻を模した物質として使用する。この室内屈折法地震探査実験では、地震波が寒天媒質を伝わる様子をその場で一目で容易に把握することが可能であり、さらに解析に必要な波形データを取得することもできる。

寒天ゲルなどのハイドロゲルには、光弾性による歪みの可視化が可能、地震波速度が小さくカメラ観察が容易、試料の加工が容易、といった利点がある。寒天ゲルなどの透明な物質は、歪みに応じて屈折率の異方性が生じ複屈折を示す光弾性の性質を持つ。偏光板を使うことで、媒質の歪みに応じて複屈折した光を干渉させ、歪みを可視化することができる。寒天ゲルの S 波速度は濃度約 1% で約 4-5m/s で、地震波伝播の様子を肉眼で観察することも可能である。P 波は速度が水に近く (1.5km/s)、高速なため観察できない。地震波速度はゲルの濃度に依存し、試料の加工も容易なので、任意の速度構造を設計することもできる。

室内屈折法地震探査実験装置を図 1 に示す。装置は奥から順に、面光源、偏光板、ゲル試料、偏光板、高速度カメラで構成されている。記録の取得は、カメラに接続した PC で行う。ゲル試料のサイズは、幅約 350mm、高さ 100mm、厚み 20mm である。ゲル試料上面を叩くことで生じた地震波を光弾性により可視化し、高速度カメラで撮影する。図 2 は水平 2 層構造のゲル試料での実験を撮影した動画のスナップショットである。直達波の波面だけでなく屈折波の直線的な波面が確認できる。この動画の任意の点の輝度(明暗)の時間変化を書き出せば波形が得られる。画像上の任意の点に仮想的な地震計を設置できるのである。図 3 は水平 2 層構造で得られた輝度波形のペーストアップである。実習では実際の地震波データと同様にこの波形データから走時を読みとって解析を行う。

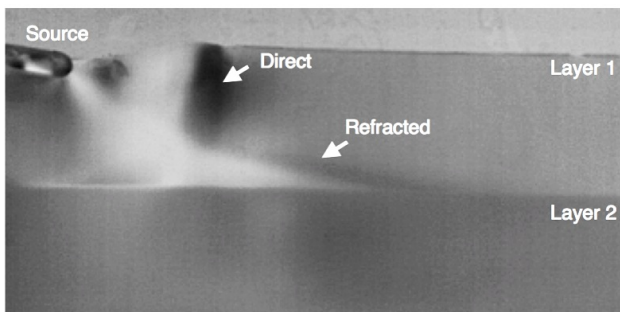


Fig. 2 A snapshot of propagating seismic waves in the horizontal two-layered structure. Wave fronts of direct and refracted wave are visible.

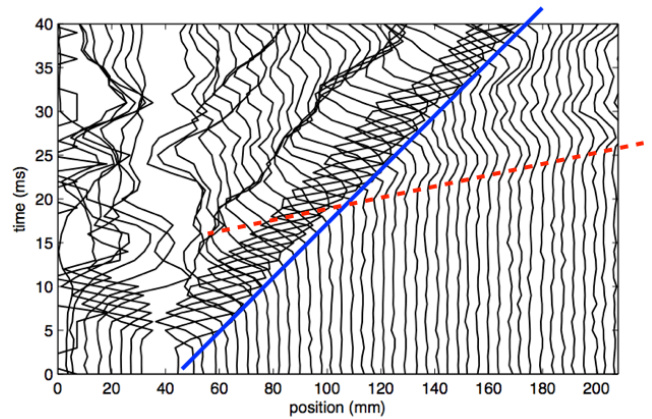


Fig. 3 An example of waveforms obtained from the experiment movie as the time series of luminance at each pixel near the top surface of the specimen. Solid lines and broken line indicate the arrival time of the direct wave and the refracted wave from 2<sup>nd</sup> layer, respectively.

### 3. 室内での屈折法地震探査実習と教育的効果

海洋研究開発機構では、2013 年より、主に高校をはじめとする教育機関向けに、屈折法地震探査による地下構造調査研究の重要性および成果の情報発信と併せてゲルを利用する室内での屈折法地震探査実習プログラムの提供を始めている。これまでの実績を表 1 にまとめる。

実習ではまず、地下構造調査研究の重要性について地球科学的立場、および減災に貢献する立場からの説明を簡単にする。その認識を有した上で、均質な寒天模擬地殻を用いて地震波の伝わる様子を実際に見せながら、地震探査の原理を解説する。その後、2 層構造の寒天模擬地殻を用いて地震探査実習を行う。模擬地殻をハンマーで叩いてもらい、波の伝わる様子を高速カメラで撮影しつつ、肉眼や撮影した動画で観察してもらう。画像処理から得られた波形をプリントアウトして、走時を読み取り、第 1 層と第 2 層の地震波速度と層境界の深さを推定してもらう。推定した層境界の深さは寒天模擬地殻に定規をあてて答え合わせをする。最後に講義のまとめとして、実際の地震探査による最新の研究成果を紹介する流れとなっている。

これまでの実習の前後で生徒にアンケート調査を行った結果をまとめたものを図 4 に示す。アンケートから、生徒は地震研究に対する興味は高いものの、実際の研究現場でどのように研究が行われているかをよく知らないことが分かった。実習後は地震探査と地震波伝播について実感を持って理解してもらえたようである。また最新の研究成果等も紹介し、実習の内容が調査や研究の現場でも活用されていることへの理解を深める構成として実習プログラムを組んだことで、実習前後で地震探査への認知度も増していると推測できる。

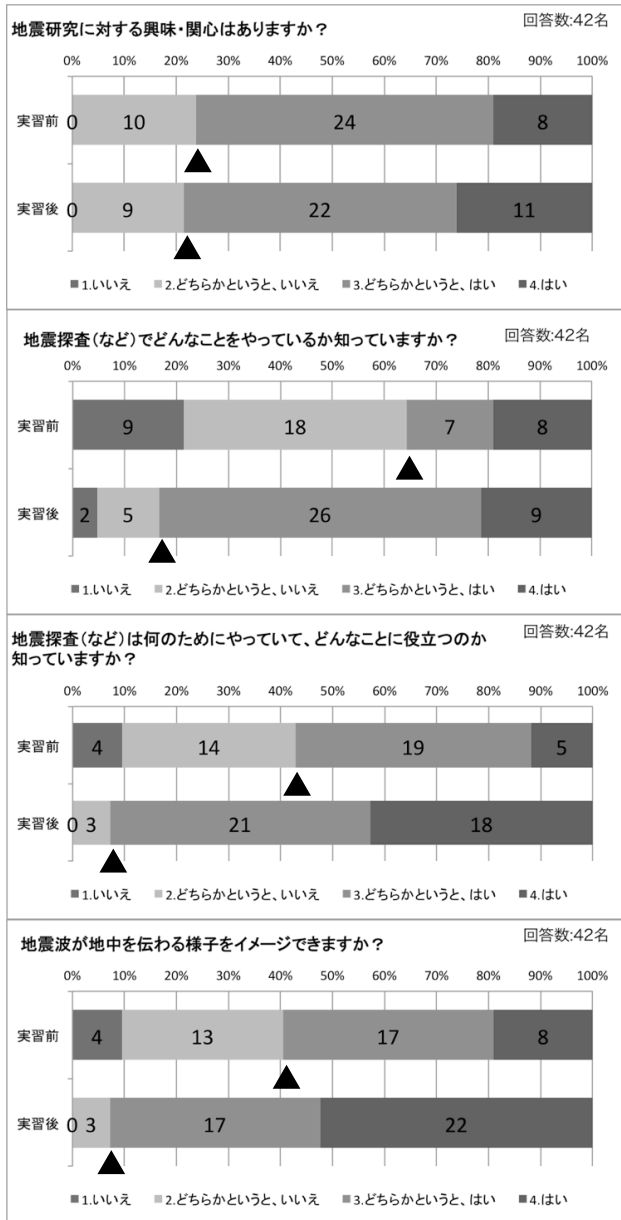


Fig. 4 Results of questionnaire surveys before and after the practice course using the laboratory seismic experiment. The triangles indicate the border between "rather no" and "rather yes".

講義では、実際に波の伝播を撮影し、動画再生で見たときの聴衆の反応が大きく、実際に自らが起こした現象を目で見ることの重要性を感じた。高校生の感想では「寒天実験はとても見ていて楽しかった」、「地震が身近な科学だと知った」、「いろいろな構造をつかって実験をしてみたい」など、室内地震探査実験装置ならではの効果があったと考えられるものが多かった。

#### 4. 今後の展開と課題

寒天ゲルを用いた室内地震探査実験装置は、学校の授業などで簡単に実験ができるよう、教材パッケージ化を目指している。これら動的な地震現象の理解のための実験・演習教材は、中高校生向けの教材だけでなく、一般向けのデモンストレーションから大学での授業まで、幅広く活用できると考えている。また、今後、震源の改良を含む教材の高度化を図ることで、地震探査入門者、技術者などへの研修材料としての可能性も検討しているところである。物理探査の専門家からのご意見、ご提案などを期待する。

#### 参考文献

岡本義雄(1999): ココアと小麦粉で断層を作ろう, なみふる, 13, 7.  
 木村龍治(2001): 大規模な大気海洋現象の実験室モデル, ながれ, 20, 165-172.  
 桑野修(2015): 寒天ゲルを用いた室内地震探査実習装置の開発と実践, 平成26年東レ理科教育賞受賞作品集.  
 林信太郎(2006): 世界一おいしい火山の本-チョコココアで噴火実験-, 小峰書店, 127pp.  
 Blue Earth 127号, 研究の現場から, 2013, Vol. 127, 24-27.

年月	対象	備考
2013/7	横浜高等学校	科学技術振興機構サイエンスパートナーシッププログラム事業として実施(Blue Earth, 2013)
2013/9	地質学会	海洋研究開発機構展示ブースにてVTR紹介
2013/10	一般	海洋研究開発機構横浜研究所一般公開にて実演
2013/10	日本地震学会	海洋研究開発機構展示ブースにて実演
2014/4	日本地球惑星科学連合大会	海洋研究開発機構展示ブースにて実演
2014/7	横浜サイエンスフロンティア高校	学校の夏休み特別講座として出前形式にて実施
2014/9	名古屋大学減災館関係職員	実験教材の紹介。2015年1月より減災館にて常設展示開始。
2014/10	八戸北高等学校	VTR利用での実験紹介
2014/12	深谷第一高等学校	学校の教育行事の一環として実施
2015/2	東京学芸大附属高等学校	学校の教育行事の一環として実施

Table. 1 List of the practical courses and the public outreach activities conducted by our group.