

知つてますか？？



雑学講座

## トルコ地震に伴う 「モーゼ現象」の模型実験

作・染川 智弘 大阪大学大学院 M2  
池谷 元伺 大阪大学大学院 教授  
〒560-0043 大阪府豊中市待兼山町1-1 TEL/06-6850-5491 FAX/06-6850-5480

### 1 はじめに

1999年8月17日、3時1分（現地時間）、トルコ北西部でマグニチュード7.4の大地震が発生し、1万7000人を超える死傷者と数千人の行方不明者、5万人の負傷者を出した。この地震の前兆現象を調査して、「イズミット湾の海が2つに割れて水の壁ができる」という旧約聖書の出エジプト記にあるモーゼの話のような出来事の目撃者に出会った。

被災地イズミットでの漁師の証言によると、

2時57分：ギョルジュク岬付近で漁をしていて、海底から音が聞こえ振動を感じた。

3時1分：トルコ・イズミット地震

3時4分：海面が下がり海が2つに割れ両側に10~15mの高さの水の壁ができ、船が底に着いたように感じた。

3時5分：大波がきて、船は岸に打ち上げられた。

他に、「イズミット湾で潮が300mほど引いた」という証言もある<sup>1)</sup>。「地震の数時間前に潮が大きく引いた」という報告や「淀川上流の瀬田川の水の流れが逆流した」との報告は古文書にも見られる。本稿では、海が割れ水の壁ができるという「モーゼ現象」を水理模型で実験した結果を報告する。

### 2 割れた海（＝モーゼ現象）

旧約聖書の「出エジプト記（14章）」では、モーゼが岬で手を差し出すと、海が左右に割れて、イスラエル人は海の真ん中の乾いた場所を歩いて渡ることができた。しかし、追いかけてきたファラオの兵はひとり残らず、崩れ落ちてきた海水にのみ込まれてしまう。モーゼが紅海を渡った位置は、はっきりしない。モーゼが渡っ

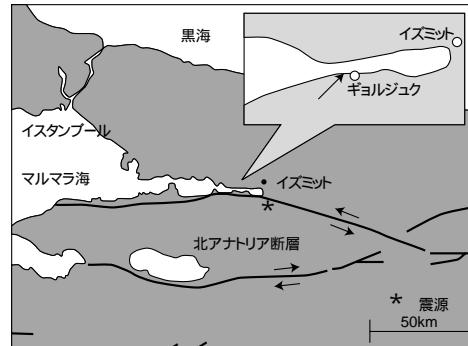


図1 トルコ・イズミット付近の地図

たときには東風が吹いたとあり、イズミットでは地震の前である。

紅海とイズミット湾は共に水路のように細長い。割れた海の発生機構として、断層地震源断層直近の湾内の断層地帯で地震発生後、微小破壊やクラックが走ると、破碎帶に海水が急激に吸い込まれるというメカニズムが考えられる。周囲の海水は水路のように細い地形では、岬などに妨げられて湾の中に十分な海水を供給できない。結果として、湾内の断層地帯で水面が下がり水の壁ができるのではないかと考え<sup>1)</sup>、模型実験で再現を試みた。

### 3 模型による再現実験

#### 3.1 イズミット湾の模型実験

トルコ・イズミット付近の10万分の3の模型（図2）を作り、海が割れるかどうかを調べるために実験を行った（図1とは左右逆になっている）。油粘土で地形を作り、模型の裏側は水ためとした。実際は大量にある外洋の水量をかけたためである。地形の縮尺は3cmを1kmとしたが、深さを証言の10mと考えると0.3mmとなってしまい観察できない。そのため、深さの縮尺を1cmを2mとして模型をつくった。ギョルジュク岬の

## 雑学講座

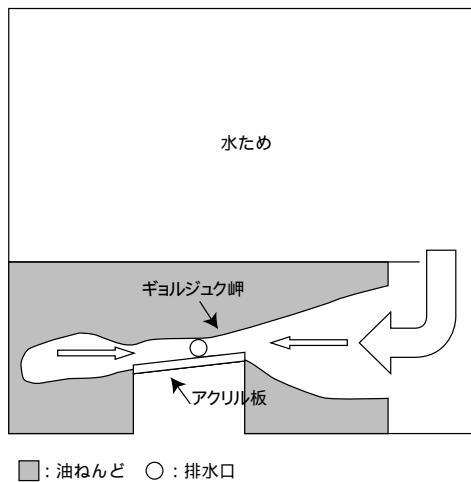


図2 トルコ・イズミットの再現模型  
(105cm×105cm×10cm)

対岸は片面を透明のアクリル板にし、水の壁が観察しやすいうようにした。また、水が流出する部分は栓がしやすいように台所の流しの排水口を用いた(図2)。

水を抜くと外洋の水量が多いので水面の高さは変わらず岬に妨げられて水の壁ができた。イズミットでは潮が引いたという証言通り、深さの縮尺を変えたことから、模型では先に水が干上がってしまい、片側の水の壁しかできなかった(図3)。

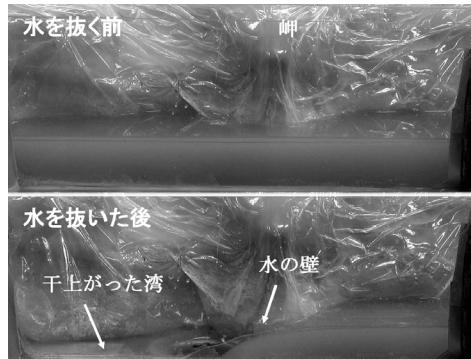


図3 水の壁の写真

### 3.2 単純化した「狭い開放水路」の実験

イズミット湾の模型を用いた実験では、

- ① 深さの縮尺が異なっていること
- ② 水が流出する地割れに相当するものとして排水口を

### 用いたこと

- ③ 水路としての湾の形が複雑であること

といった点から理論的な解析が難しい。

証言での「10~15m の水の壁」は、どのような形をしていたのかを考えるために単純化した「狭い開放水路」を作った。水の壁が観察しやすいように透明のアクリル板を用い、図4に示すような狭い開放水路を作った。排水は  $x>0$  のスリット部分から水を落下させてい

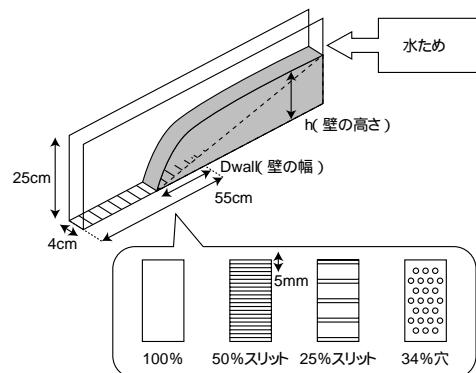


図4 「狭い開放水路」の実験装置

る。水の壁の高さ  $h$  が一定となるように水を供給し、スリットの形状を

- ① スリットなし(排水率100%)
- ② 50%スリット
- ③ 25%スリット
- ④ 空孔率34%の穴

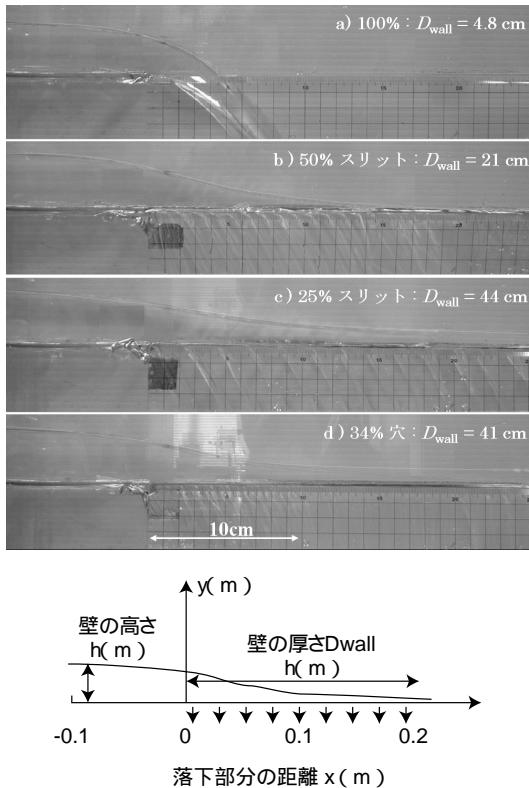
のように変えて水の壁の高さ  $h$  と壁の幅  $D_{wall}$  の関係を測定した。また、落とした水を一定容積の水槽に受け、いっぱいになる時間を測定し、これを平均排出速度とした。これは流れ落ちる水の平均速度を見積もるためにある。

## 4 実験結果と考察

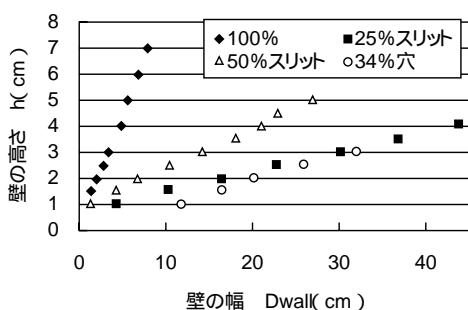
### 4.1 壁の幅 $D_{wall}$ と高さ $h$ の関係

壁の高さ  $h=4\text{cm}$  での実験結果の写真を図5に示す。図の水面は見やすいうように白の点線で示してある。 $D_{wall}$  の値と水面の形がスリットの形状によって変化することがわかる。

$D_{wall}$  と  $h$  の関係のグラフ(図6)より、いずれの場

図 5 「狭い開放水路」の実験写真 ( $h=4\text{cm}$ )

合でも 1 次式の関係にあり、その勾配から 10m の水の壁ができたときを外挿した(図 7)。

図 6 割れた水の壁厚  $D_{\text{wall}}$  と水面の高さ  $h$  の関係

湾内の断層地帯は実験モデルでは水が落下しているスリット部分に相当するので  $2D_{\text{wall}}$  になると考えられる。 $M_W=7$  クラスの破壊領域の幅は 100m 程度かそれ以上であると言われているので一致する。

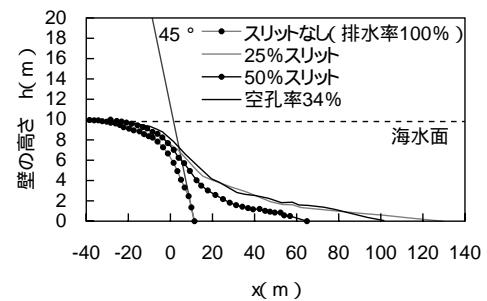


図 7 外挿により再現した海水の壁の形状

#### 4.2 断層に吸い込まれた水（排出量）

排出量を外挿するために水路の水平方向での速度を考える。平均排出速度を実測すると、スリット部分の開口率によらず  $h$  のみに依存した。平均排出速度を水の水平方向の通過断面積でわることで水平速度を計算した。

また、他のデータでは狭い開放水路、水が落下する部分に平行棒スリットを用いた場合では、ベルヌーイのエネルギー方程式

$$E = y + \frac{V^2}{2g}$$

より、水面の形は

$$x = \frac{1}{\varepsilon C} \left( y_1 \sqrt{1 - \frac{y_1}{E}} - y \sqrt{1 - \frac{y}{E}} \right)$$

( $V$  : 水平速度,  $\varepsilon$  : スリットの割合,  $C$  : 排出係数,

$y_1$  :  $x=0$  での水面の高さ)

と求められるので<sup>2)</sup>、この式に実験写真の水面をフィッティングして、いくつかの場合では水平速度を計算した。これがトリシェリの定理

$$V = \sqrt{2gh}$$

に対応する式  $V = A\sqrt{2gh}$  に従うとしてフィッティングを行った結果、 $A=0.6$ 、すなわち

$$V = 0.6\sqrt{2gh}$$

となり、10m の水の壁ができた場合では、水平速度は 8.4m/s となった。水平速度がトリシェリの定理 14m/s より小さくなつたのは水の粘性や周囲の壁との摩擦の影響だと考えられる(図 8)。

粘性を伴う現象を外挿することに問題はあるが、 $V = 0.6\sqrt{2gh}$  が成立していると仮定して、上で求めた水平

## 雑学講座

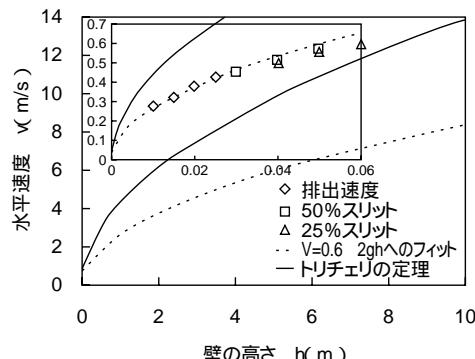


図 8 水平速度  $V$  と高さ  $h$  の関係

速度を用いて、推定排出量を求めた。

$$\begin{aligned} \text{推定排出量} &= \text{割れた海の幅 } 1800\text{m} \times \text{壁の高さ } 10\text{m} \\ &\times \text{水平速度 } 8.4\text{m/s} \times \text{継続時間 } 420\text{s} \times 2 \\ &\quad (\text{両側}) \end{aligned}$$

(割れた海の幅は仮定より推定される海が割れた場所の幅を地図から読み取った。また、継続時間は目撃証言の2時57分から3時4分の7分、420秒とした)として計算した結果、 $1.3 \times 10^8 \text{m}^3$ となり、以下に示す理論排水量  $2.1 \times 10^9 \text{m}^3$ 、野島断層の下  $1.5 \times 10^{12} \text{m}^3$ よりもずっと小さな値となった。

理論排水量は水中で岩石を微小破壊させた場合、体積の0.2%の体積の水を吸い込むことができ<sup>3)</sup>、トルコ地震の破壊過程が長さ70km、深さ15kmと報告されており、幅を100mと仮定すると  $1.1 \times 10^{12} \text{m}^3$ となる。0.2%としても  $2.1 \times 10^9 \text{m}^3$ となり十分に吸い込める量である。

兵庫県南部地震では野島断層の下に大量の水を含んだ層がある<sup>4)</sup>と報告されている。断層近くの微細破壊領域に水が吸い込まれたと考えても十分に起こりうる結果だと言える。

### 4.3 壁の形成時間 $t_0$

水の壁ができるために必要な時間を  $t_0$  とする。水平速度  $V$  で落下し始めた水が時間  $t_0$  で到達する距離が壁の幅  $D_{\text{wall}}$  になるので

$$D_{\text{wall}} = Vt_0$$

と求められる<sup>1)</sup>。

先に求めた  $V=8.4\text{m/s}$  を用いて、外挿して得た  $D_{\text{wall}}$  から壁の形成時間  $t_0$  を計算すると以下の表1のようになる。<sup>\*</sup> 目撃証言の時間420秒から評価した水の壁の幅も載せた。

表1 水深10mに外挿した場合の壁の幅  $D_{\text{wall}}$  と形成時間  $t_0$  の計算値

	$D_{\text{wall}}$ (m)	落下時間 $t_0$ (s)
なし(100%)	12.5	1.5
50%スリット	65.5	7.8
34%穴	102	12
25%スリット	133	16
目撃証言*	(3528)*	420*

## 5 まとめ

大地震に伴う前兆現象は、心理的錯誤とされがちであるが、現実に起こった稀有な自然現象にすぎない場合もある。モーゼ現象や潮が引いた話も簡単な仮説と実験でシミュレートできる。外挿により求めた水の壁はながらかなもので壁には見えないかもしれない。しかし、地震に伴って起こった地盤の沈降、津波などの要素を加えると、漁師が見たという水の壁を再現できる。不思議な地震前兆現象の多くは電磁気現象として説明できるが<sup>5)-7)</sup>、モーゼ現象のみ地殻変動に起因する水理現象であった。

### [参考文献]

- 1) M. Ikeya, H. Sato, U. Ulusoy and R. Kimura, *Proc. Japan Acad.* **78**, Ser..B (2002) 24-29.
- 2) Chow, V. H: "Open Channel Hydraulics" (McGrawHill, New York, 1959).
- 3) S. Yoshida, Oswald C. Clint and P. Sammonds, *Geophys. Res. Lett.* **25**, (1998) 1577-1580.
- 4) D. Zhao, H. Kanamori, H. Negishi, and D. Wiens, *Science*. **274**, (1996) 1891-1894.
- 5) 池谷元伺：“地震の前、なぜ動物は騒ぐのか—電磁気地震学の誕生”(日本放送協会, 1998)。
- 6) 池谷元伺：“大地震の前兆こんな現象が危ない”(青春出版, 2000)。
- 7) M. Ikeya: "EARTHQUAKES AND ANIMALS From Folk Legends to Science" (World Scientific, Singapore, 2004).