

巨大津波の前駆異常音について*

中 村 重 久**

On an acoustic precursor of the big tsunami

Shigehisa NAKAMURA

Abstract: According to ancient manuscripts, a big tsunami arrives at the coast, sometimes following a boom as an acoustic precursor. A hypothetical interpretation of the boom pathway is proposed; there are combinations of the bottom geometry of the continental slope, the vertical profile of sound velocity and the epicenter location favorable for the boom production and its arrival to the coast.

1. 緒 言

海底で大地震が発生した場合、かならず津波をともなっている。地震発生から津波到達までにどのようなことがみられるかは、津波の予警報や対策のあり方とも関連して興味のあるところである。ここでは、とくに、わが国の沿岸での巨大津波に関する過去の記述的資料を整理し、津波に先だって大砲のような音響が聞かれたという記事に注目し、その科学的意味づけの可能性をさぐろうとした。すなわち、地震発生と同時に音波として水中を伝わること、あるいは空中を伝わるものが考えられるかどうか仮説をたててみた。

2. 史料における前駆現象

大地震の発生にともなう前駆現象については、とくに最近50年間の例については記述を見出すことができない。これは、そのような現象は認められないということの意味しているのであろうか。過去の歴史的な大地震については数多くの前駆現象の記述がある。ただ、江戸時代より以前の記述は被害の範囲に限定され、詳細は不明である。前駆現象としては大別して光と音とがあるが、このうち、ここでは音についてのみ考えることにする。以下に、津波来襲までの経過についての記述を抜き出して

みた。これを見ると、対象となった地震の地域などに共通したところがあることに気がつく。ここに紹介できなかったもので現在までのところその共通性をはずれるものはなかった。表現はできるだけ原文の記述あるいはそれにできるだけ近いものとするよう努めた。

(1) 宝永4年(1707)¹⁾ 南海道沖地震

(i) '地震海溢考' 大阪大地震津浪之事より

'宝永四年……十月四日 昼未の刻より地震半時計ゆる(中略)此地震に而桿ニ打れ死する人々を知らず大阪に而は天津は大潮西之方と思しくて鳴音しければ又地震のゆりかつしかと心も空に成し処ニ西海夥しく鳴渡りて大山の如く大潮さし込……' (和田義翁の坐右録に同文の記述あり)。

(ii) '南北堀江誌' 大阪府より

'宝永四年十月四日大地地震之事……然るに申の上刻頃から海底どうどうと鳴出し、何事ならんと驚く折しも、木津川に一の洲の海底から、俄かに大潮湧き上り来ること凡そ二十丈許り……'。

(2) 安政元年(1854) 東海道沖地震

(i) '熊野年代記' (那智勝浦町史 p. 93)²⁾ より

'安政元年十一月四日の朝四ツ半時(午前11時)震動し……凡そ半時(今の1時間)其後海鉄砲と申して洋中にて鉄砲の音聞え、西の方に当り、雲中に折々ドンドンの甚しく、……'。

(3) 安政元年(1854) 南海道地震

(i) 大阪屋定次郎より園部弾次郎宛書状の一部(大阪市)³⁾ より

'昨五日朝より七ツ時半迄震不申、漸安心仕候程之儀

* 1985年8月5日受理

** 京都大学防災研究所附属白浜海象観測所,
〒649-22 和歌山県西牟婁郡白浜町堅田畑崎
Shirahama Oceanographic Observatory, Disaster
Prevention Research Institute, Kyoto University,
Katada-Hatasaki, Shirahama, Wakayama, 649-22
Japan

に御座候処、風も無之、快晴に御座候処、近海沖、雷鳴之如く、五ヶ度程相聞候に付、不審に奉存候、無間も津波潮押寄、……’。

(ii) 名屋浦鑑⁹⁴より(現在の御坊市)

‘今日(五日)申下刻又大地震、西南海大に震動すること数万之雷一時に落る如し。暫くして大津浪来り地震は尚止まず海中鳴ること炮の如し、地震頻りに震、大なるもの世の常ならず次第に相滅じて兩三年にして止む炮の如く鳴るもの俗名海鉄炮といふ。……’。

(iii) 山本清七記‘つなみ心得咄’⁹⁵(現在の御坊市)より

‘当日(五日)七ツ時大地震誠に諸人心配致し候処、未申の間にて山もくずる様にどンドン鳴り、此上鳴り止り候節津波上り、……’。

(iv) 中岩家文書(和歌山県白浜町富田)⁹⁷⁾

‘同日(五日)申刻頃烈敷大地震暫良くの間不止……小し大ゆりも静まりしより、西南の方へ当り、大砲を打つごとくドンドンと鳴り出し、……’。

(v) 出羽島貞之助‘嘉永七年寅年十一月五日津波一卷書記’(牟岐町史より)⁹⁸⁾

‘……(十一月五日)七ツ半時(午後5時)頃俄に大地震無程海中鳴出し其厳き事無警方、大木は如顛、大地如破、海中より鳴出ス。其音如大筒切ニぼんぼんと鳴出し半時余りにして海中波の高き事如大山暫時大潮渦卷来り、……’。

(4) 明治29年(1896)三陸沖地震

(i) 岩手県大船渡市盛町洞雲寺‘大海嘯記念碑’(明治35年6月15日建立)(山下の著 p. 37より)⁹⁹⁾

‘明治29年6月15日……午後7時を過ぎし、大砲の如き音、聞えければ、怪しみて耳敏つる程こそあれ。……’。

(ii) 山下の著 p. 144より⁹⁹⁾

‘(田老村にて)15日は午後3時頃からにわか雨が大きいに降り、7時30分頃、1-2度地震があった。いずれも強いものでなかったが、普通の地震に比べると振動している時間を長く感じた。ところが8時12分と覚しき頃となり、東北の方であたかも空砲でも発するような音が前後3回つづき、人びとはこれを怪しみかつ恐れて、みな戸外に出て佇んだ。……’。

(iii) 山下の著 pp. 145-146より⁹⁹⁾

‘(田老村にて)津波の来襲前、東北の方で大砲のような音が前後3回あって、三百余間ほど潮が引くと共に、「朗月の如き光」が海面を照し、同時に数丈の波が押し寄せて、全村が洗いきられるように流失した。……’。

(iv) 山下の著 pp. 146-147より⁹⁹⁾

‘田老の漁師六〇名は津波の当日十五隻の小舟で東北の方向、二里ばかりの沖合で鮪漁をしていた。波は比較的静かで潮流にも特に異常なかったが、突然、北の方で砲声のような大きな音がきこえ、岸の方では汽車の走るとような怪音がした。異変が起ったのかと急いで綱をあげて、港をめざして漕ぎ戻った。

途中で二、三の大波に出会い、辛うじて港の口まで来たが、全村が真暗で一つも灯火が見えないばかりか、木材などが大量に流れ出て来た。波浪も激しく、しかたなく港口で一夜を過した。夜が明けてからはじめて陸上の荒涼たる様子を目撃し、大津波のあったことを知ったという’。

(5) 昭和8年(1933)三陸沖地震

(i) 田老村津浪誌(山下の著 pp. 283-284)⁹⁹⁾

‘3月3日の午前2時半頃、突然風の吹いてくるような地鳴りがして、大地が揺れ出した。……そのとき、遠く沖のかなたで大砲を打ったような音が2つつづきまにした。だが人びとは道路工事の夜業のハッパぐらいに考えてあまり気にとめなかった。……’。

(ii) 山下の著 p. 270より⁹⁹⁾

‘(釜石町にて)三日午前二時三十五分頃突然激しい上下動がしたとみる間に、沖合の海面に稲妻のような怪しい光がかがやき、物凄い海鳴りが始まった。あっという暇もなく海水は急に引き去り、人々が津波だ、逃げる!と叫び出したときには海は小山のように盛りあがり、……’。

(iii) 山下の著 p. 276より⁹⁹⁾

‘(山田町にて)山田郵便局電話交換手沼崎ツイさん(21)、内館アキさん(20)、湊チャヤさん(19)の三名は、大槌局から“ただ今、沖が鳴っているから津波が来ましよう”という警告をうけて、しばらくのあいだ警戒していたが、いっこうその様子もないので、念のため大槌局に問い合わせると、音波に乗って、津波だ、津波だ!という声がかすかに聞こえてきた。三人は、すぐさま百余の加入者に対し、“津波が来るから避難するように”と警告したので、町民は時を移さず龍昌寺、小学校、小倉山、八幡神社などの高所へ避難した。……’。

3. 地震に伴う擾乱の伝播として可能な型態

海底地震が発生した場合、震源から沿岸まで擾乱がどのような型態で伝わるかを考えてみると、つぎのようになる。第1に、地震波として、P波が最初に到達する。津波は海底地震にともなう海底地殻の変動がつくった重力長波である。また、地震時の擾乱が音波として水中を

Table 1. Propagation time of disturbances accompanied by an underwater earthquake.

category	speed	propagation time for 100 km distance
seismic wave (P wave)	8 km/s (for 100 km depth)	12.5 sec
acoustic wave in water	1500 m/s	67 sec
acoustic wave in atmosphere	331.45 m/s (for 0°C, 1 atm. pres.)	333 sec
long gravity wave as tsunami	100 m/s (for about 1000 m depth)	1999 sec

伝わることも可能であるし、震源の直上から空中を音波として伝わることも考えられないことはない。いずれの型態も可能であるとして、その伝播の特徴をとらえるために、大ざっぱではあるが、水平距離約 100 km を伝わるのに要する時間の比較を試みた (Table 1)。

この比較によると、地震波が10数秒であり、その後、水中音波は約 1 分、空中音波は約 5 分である。津波としての重力長波は地震後約15分経過しないと到達しない。

前節に示した史料の記述では、時間的にどの程度の精度で上の例に対応づけられるのかについては相当の主観的判断が介入する可能性が高い。一方、いずれの史料の記述にも共通しているのは、地震についで海中又は沖合で音が聞え、その後津波が来襲したということである。記述が事実を記しているとみるかぎり、この共通のパターンには物理的特性としての意味づけが可能であることを予想させる。

さて、大気中の音響の異常伝播の研究については藤原 (1911)¹⁰⁾ があるが、この異常伝播が超高層大気 (地上 30-60 km) の高温によって起ることは WHIPPLE (1923) によって明らかにされた。戦争中に観測された砲声やダイナマイトの爆発の聞こえる地域は音源を中心としてドーナツ型にひろがっている。音響は音源をはなれるにつれて一様に減衰するのではなくて、途中で音の聞えない区域 (半径約 200 km) があって、さらにその外側には音響の伝わる区域がリング状 (半径約 400 km) にとりまいている¹⁰⁾。地震によって生じた擾乱が音波として大気中を伝わることは可能性として考えられるが実際の現象として存在しうるものであろうか。今後の検討をまたねばならない。あるいは、数百キロメートル距ったところで津波に原因する音を聞くことができるであろうか。これも興味ある問題である。さらに、前節の史料の記述にあったような、一回の海底地震に対して数回大砲のような音がくりかえされることを説明できるであろうか。

ここで、水中を伝わる音波として海底地震による擾乱が伝わる可能性についても検討してみよう。

海洋中の音場をみると、海中音速の鉛直分布には、2 つの典型的なパターンが考えられる (たとえば、CLAY and MEDWIN, 1977)¹¹⁾。すなわち、海面から鉛直下方に軸をとるとき、海中音速 $c(z)$ の鉛直分布として (a) $dc/dz < 0$ と (b) $dc/dz > 0$ とが考えられる。一定水深の海で、震央位置を原点として水平方向に x 軸をとることにし、海底地震を音源とする擾乱音の伝播経路は模式的に Fig. 1 のようになるものと考えられる。図中 (a) の場合には、震央から出た音は矢印のような経路で海中を伝わるが、いずれの経路も上に凸である。とくに、海面上の点 x_a に接するような経路に注目しよう。 $x > x_a$ の海域で海面と経路 R_a との間には音源から直接音波は到達しない。この区域は音場の影 (shadow zone) である。そこでは、海底で反射したものが、海面で一度反射した後海底で反射したものを感知されることになる。ただし、反射時に音のエネルギーは一部失われ、また、経路の長さも長くなるため伝播の途中の音の減衰も考えられる。他方、図中 (b) の場合には震央から出た音波は矢印のように上に凹な経路をとる。音源で海底に接するように出た音波は経路 R_b を経て海面の点 x_b に到達するが、音源からの直接の音波はこの経路 R_a と海底との間の区域に入ることはない。これも影の区域 (shadow zone) である。この区域では、海面で反射した音波が伝わることは考えられる。しかし、実際の海洋中の音場は

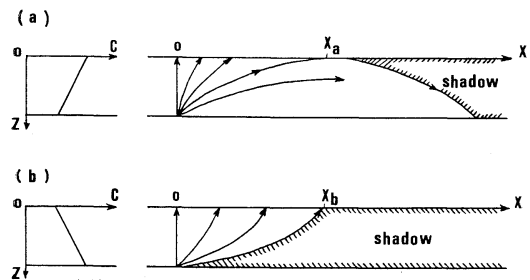


Fig. 1. Two basic patterns of acoustic rays.

一般に複雑である(たとえば, 中村, 1985)¹²⁾。さらに, 海底地震が起りやすい場合は, たとえば環太平洋地震帯といったように, 海洋でも特定の場所に限定されている。前節の例にみたような日本周辺で起った巨大津波地震の震央では水深は 1000 m から 4000 m 程度と考えられ, そこから海岸線までには陸棚があり, 海底地形は岸に近づくほど複雑となり, さきに Fig. 1 で考えたような単純なものではなくなってくる。

ここで, Fig. 1 よりさらに実際の海洋の音場に近い模式的例として Fig. 2 を考えることにしよう。

いま, ここで, 約 4000 m の水深に対して音速の鉛直分布は Fig. 2 左のように与えられているとする。このとき, 音源から経路 R_b あるいは R'_b を経た音波は 500m 以浅で $x < x_b$ の区域の一部に直接伝わる。これは, もし海底断面形状が R_b あるいは R'_b に近いもので与えられたとしても十分考えられる。一方, 経路 R_b を経て(水深 500 m で $x = x_b$ を通り), 海面に $x = x_a$ で接するような場合には, $x > x_a$ の影の区域 (shadow a) では音源から直接到達する音波はとらえられない。そして経路が R_b と R'_b との間である場合には, 経路は $x_a < x < x_c$ なる区間内で海面に最も近づき, その後, 方向を下にとって, 海面下 500 m では $x_c < x < x'_c$ なる区間内を通ることになる。このとき, 海面上の点 $(x_a, 0)$ を起点として, $x_a < x < x'_c$ の区間の音波の経路の集中による caustics が形成される。音源から 20~30 km の距離にこのような caustics があらわれれば, 30 km 以上音源から距

った位置で海中から衝撃的な音が聞こえても不思議ではない。このことは, 仮に海底断面が Fig. 2 の shadow のようであったとしても考えられうることである。

以上は音源から直接伝わった音波についての検討であるが, 同様なことは海面で反射しさらに海底で反射した音波についても考えられる。したがって, $x > x_a$ なる区間でいくつかの caustics が形成され, そこでいくつかの衝撃的な音が何回か聞こえることも十分考えられる。

CLAY and MEDWIN¹¹⁾ は大西洋の典型的海中音場についての図 (Figs. 3.2.7) を示した。基本的には, その音場の特性は日本太平洋沿岸¹²⁾でも同じであると考えられる。深海で水平に進む音波はその経路を次第に上向きに変える。概略の傾向として 3000-5000 m の深さで水平に進む音波の経路はそこから 25-35 km 距った海面に接する。深さが 3000 m 以浅で水平に進む音波ははじめ上向きに進んで海面に接近するが, 海面下およそ数百メートルで向きを下向きに変える。このようなことから, caustics が海面あるいは海面のごく近くに形成されるのは, 音源が海面下 3000-5000 m の場合に限られるものと推定される。したがって, 海底地震の震央が海面下 3000-5000 m であれば, 津波来襲前に沖合で海中異常音として, 大砲のような音が数回聞こえることは, 物理的にみてもありうることである。

いま, もし, 海底断面が Fig. 2 の R''_b のように急峻である場合には, 音波の経路はすべて海面へと向かい, 海面で反射することになるが, 海底断面が R'_b の場合のように海面付近に音波の経路の集中による caustics があらわれる可能性は高いとはいえない。つまり, たとえ音源が海面下 4000 m であっても海底が急峻ならば, 衝撃的な音が聞こえる可能性は考え難い。ただ, 音源での擾乱に相当する擾乱が海面で認められるにすぎないであろう。

参考文献

- 1) 東京大学地震研究所編 (1983): 新収日本地震史料. 第3巻別巻 (宝永4年10月4日). 273-395.
- 2) 那智勝浦町史編纂委員会 (1976): 那智勝浦町史料編一. 460 pp.
- 3) 震災予防調査会 (1894): 大日本地震史料, 震災予防調査会報告. No. 46 乙, 595 pp.
- 4) 和歌山県日高郡役所 (森彦太郎編) (1923): 日高郡誌. 1694 pp.
- 5) 中村重久 (1985a): 和歌山県日高川の津波史料について. La mer, 23, 26-31.
- 6) 中村重久 (1984): 田辺・白浜における津波について. 京都大学防災研究所年報, No. 27B-2, 591-610.

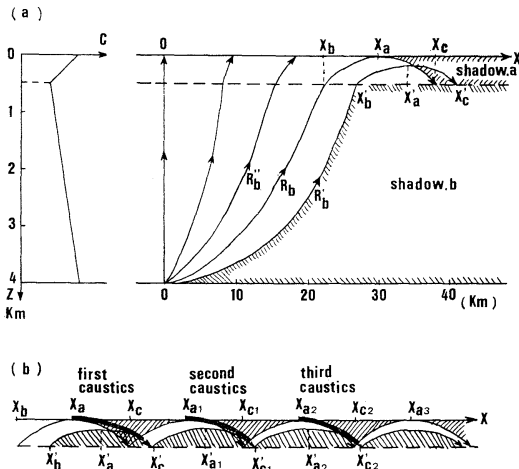


Fig. 2. Hypothetical interpretation of the boom arrival. (a) vertical profile of sound velocity and acoustic rays. (b) resulting boom formation on the continental shelf.

- 7) 楠本慎平 (1965): 近世における富田郷の災害対策に関して一宝永の「津波警告板」の意味するもの一. 田辺文化財和 No. 9, 和歌山県田辺市教育委員会, 42-47.
- 8) 猪井達雄・澤田健吉・村上仁士 (1982): 徳島の地震津波一歴史資料から一. 徳島市民双書16, 徳島市立図書館, 235 pp.
- 9) 山下文男 (1984): 哀史三陸大津波. 岩手文庫, 青磁社, 413 pp.
- 10) 気象学ハンドブック編集委員会編 (1959): 気象学ハンドブック. 技報堂, 1321 pp.
- 11) CLAY C.S. and H. MEDWIN (1977): Acoustic Oceanography. Wiley-Intersci. Pub., N.Y., 544 pp.
- 12) 中村重久 (1985b): 日本南岸の黒潮流域付近における海洋音速場について. La mer, **24**, 42-47.