

## 資 料

### 太平洋北西沿岸の三陸大津波の前駆異常音について\*

中 村 重 久\*\*

#### A note on an acoustic tsunami precursor off Sanriku in the northwestern Pacific\*

Shigehisa NAKAMURA\*\*

**Abstract:** This work aims to get a more reasonable understanding about an acoustic tsunami precursor off Sanriku in the northwestern Pacific. In 1986, Nakamura has given a hypothetical model for an acoustic tsunami precursor, however it cannot necessarily well interpret the past records and descriptions which had been kept by those who had lived in the Sanriku district with coasts facing the Pacific. Here, the author introduces a bold model to reveal why a sound of boom was awared on the coast just after each shock of the significant earthquakes and in advance of tsunami arrival, in terms of a possible distribution of water temperature off Sanriku. The most important factors are a warm-core ring above the tsunami sources, a warm longshore water and a cold water mass intrusion between the above two waters. Furthermore, it is necessary that isotherms have an appropriate curvature to form a thermal field with parallel isotherms between the source of sound and the coastal zone. Especially, the curvature is essential to realize a boom off Sanriku before a big tsunami hit after the main shock of an earthquake.

#### 1. 緒 言

中村 (1986a) は日本南岸の黒潮流域付近における海洋音速場について検討し、その結果にもとづいて、わが国の太平洋沿岸の巨大地震による津波前駆異常音についての海洋物理学的仮説を提唱した (中村, 1986b)。この仮説は、あたかも太平洋沿岸での現象をうまく説明できる根拠を与えたかの感を与えるが、まだ多くの問題点を残している。それでも、一方において、日本の太平洋沿岸の大地震の例にかぎって、沿岸に津波が来襲する前に沖合あるいは海中で大砲のような音をしたという記述が多数残されている。この記述は、明治以前の例にかぎらず、明治以降・昭和の大地震についても残されており、

その記述と同じことを体験したと言う人々も現存している。中村 (1987a) は、このような仮説が1983年日本海中部地震の例にも適用できるかどうかを検討し、日本海沿岸と南海道沖とはかなり水温・塩分の分布が異なり、その差異が日本海中部地震の例では、沖合で音が認められなかったひとつの原因であるとみている。その地震がマグニチュード7.7の程度であって (たとえば、渡辺, 1985)、いわゆる大地震ではなかったことによるのであろう。ここでは、海洋物理学的側面について考える。海底からの音波の径路について、関連分野の資料 (たとえば、CLAY and MEDWIN, 1977) を参考にして、水中音波の減衰についても検討した (中村, 1987b)。

巨大地震時の津波前駆音に関する検討を省りみて、なお、海洋物理学的仮説の妥当性あるいは限界にはっきりしない点がある。本文では、とくに三陸大津波に焦点を絞って、津波前駆音が認知され、過去の記録に残される必要条件は何かということ、単純化したモデルによって検討した。

\* 1986年10月20日受理 Received October 20, 1986

\*\* 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, DPRI,  
Kyoto University, Katada-Hatasaki, Shirahama,  
Wakayama, 649-22 Japan

## 2. 三陸沖地震による大津波の代表的な例

三陸沖地震およびそれによる津波は、過去に多数の例がある(渡辺, 1985)。しかし、現在までのところ、中村(1986b)が記しているように、三陸大津波に関するかぎり、沖合で大砲の音がした後津波が来襲したという記述は、明治29年と昭和8年との例に限られるようである。この例について、渡辺(1985)の津波年表を参考にして、地震・津波の特徴の概要を記すとつぎのようになる。

- ① 明治29年(1896年)6月15日, 19時32分, 波源(震源)  $144^{\circ}\text{E} \cdot 29.5^{\circ}\text{N}$ , マグニチュード  $M=6.8$  [理科年表では大津波陸前吉浜にて高さ25mとある]。
- ② 昭和8年(1933年)3月3日, 2時31分, 波源(震源)  $144^{\circ}31'\text{E} \cdot 39^{\circ}14'\text{N}$ , 深さ10km, マグニチュード  $M=8.1$  [理科年表では大津波綾里湾にて高さ24mとある]。

このようにみえてくると、1983年の日本海中部地震でマグニチュード  $M=7.7$  であったことをあわせ考え、上記明治三陸津波の際は1983年の例より地震のマグニチュード  $M$  の値は小さかったことになって、仮説の妥当性の一部に疑念が残る。本文は、この仮説が、どのような条件を満せば十分であるかについても検討する。

## 3. 三陸大津波の波付近の水温と塩分

海中を伝わる音波の速度は、水温・塩分・圧力によって定まる(たとえば、中村, 1986a)。前節の三陸津波当時の三陸沖の水温・塩分の分布がわかれば、巨大津波の前駆現象としての異常音の仮説が妥当なものかどうか、あるいは、さらに、どのような条件が必要か明らかになるはずである。すでに、中村(1986a, 1987a)などでもみとめられたように、海面から主サーモクラインの下部(音速極小層)までは、音速に対してとくに水温の影響が大きい。さらに深くなると圧力の効果が顕著となる。

ところで、明治三陸津波時の三陸沖の水温・塩分については全く資料がない。昭和三陸津波以後は系統的海洋観測が三陸沖でも実施されている(川合英夫京大教授よりの個人的情報)。海上保安庁水路部データ・センターによれば、観測船“駒橋”(昭和8年7月1日~10月26日)の観測データおよび農林省水産試験場(当時)の昭和9年6月発行の海洋調査要報第53報(昭和8年7~12月の観測記録)が最も古い。また、岩手県水産試験場では、三陸沖の水温・塩分の観測記録で最も古いのは、昭和8年8月5~12日であった。結局、三陸津波波源域付近の当時の水温と塩分の分布を知ることはできなかつ

た。

最近では、日本周辺の海洋観測も密になり系統的になるとともに、観測技術にも顕著な進歩発展がみられているし、観測成果についての検討もいろいろの面から推進されている。たとえば、東北区水産研究所では、東北海区の暖水塊について検討がすすめられている(安田ほか, 1986)。安田らによれば、東北海区の海底地形を対比しながら三陸沖の冷水塊の中心の移動経路をみると、KITANO(1975)や秦(1974)の例も含めて、“暖水塊の中心は、南北にはしる日本海溝およびそれから北東にのびる千島・カムチャッカ海溝の深度の勾配の大きい約3,000から6,000m(の等深線)に沿って分布移動していることがわかる”。本文では、暖水塊についての力学的機構についてこれ以上たちいった議論をするつもりはない。ここではっきりさせておきたかったことは、上述の暖水塊の中心の経路は、さきに示した三陸大津波の波源域のほとんど真上を通過して北上しているということである。

このようなことから、三陸沖の水温・塩分の鉛直分布についての特徴は、最近の観測資料によってもとらえることができ、それでも的確な判断を下すことはないものと考え、函館海洋気象台の海洋速報(1983年度分)および岩手県水産試験場の昭和57・58年度漁海況速報をも参考することにした。

## 4. 水温・塩分の鉛直分布と海中音波の経路

すでに中村(1986b)が述べているように、海底から発した音波は音速極小層を通過して海面に達するまでに、その経路に屈折がみられる。海面付近であれば、海中音速はとくに水温に強く影響をうけ、高温になるほど音速は速くなる傾向がある。中村(1986b)が音波の経路鉛直断面内での海底から海面までについて考えたことを、単純に深さ方向に均質な海水の水平面内について考えたとしたらどうであろうか。沖合の波源域が水温が高く、沿岸域も水温が高く、その中間に両水域よりも低温なところがあったとしたらどのようなことになるであろうか。このような水温の水平分布は、三陸沖の表層ではしばしばみとめられる。三陸大津波の例では、波源域から海岸線まで約150kmの距離があった。したがって、ここで対象とする水温・塩分の分布もその程度の水平スケールで考えることにする。

一方において、黒潮が蛇行して本州東方沖で切離した場合、関連の資料によれば、暖水塊は少なくとも1,000m以上の深さまで、切離前の水温・塩分の状態を維持して

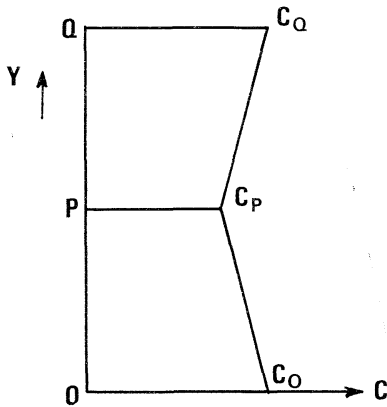


Fig. 1. A schematic model of horizontal sound speed distribution along the Y axis from a source (O) to a coastal zone (Q) through an area of minimum sound speed at P on the Y axis. The sound speeds  $C$  in the sea at O, P and Q are denoted as  $C_O$ ,  $C_P$  and  $C_Q$ , respectively.

いることも知られている。ここで、このようなこともあわせて考え、暖水塊の半径は約 20 km のスケールとする。

簡単のため、三陸海岸は南北に直線状であるとし、深さ方向に均質な海水の水温分布について、等温線は海岸線に平行であるとする。ここで、沖合の音源O点から海岸線Q点まで Fig. 1 のように海中音速分布が与えられている場合を考える。音源と海岸線との中間P点では水温が極小であるとする、点O, P, Q での音速  $C_O$ ,  $C_P$ ,  $C_Q$  を Fig. 1 のように想定することは、ここで水温分布を上述のように仮定したことに対応する。

考えやすくするために、2点OPの距離を25kmとし、2点OQの距離を50kmとする。水温が点O, P, Qでそれぞれ、 $15^{\circ}\text{C}$ ,  $4^{\circ}\text{C}$ ,  $15^{\circ}\text{C}$ のモデルを考える。つまり、これに対応して、O, P, Q点のモデルの海中音速は、それぞれ1,516 m/s, 1,466 m/s, 1,516 m/sとする。このような条件下で、音源から海岸線に向かって音波が水平方向に伝わる問題を考えよう。

音源から50kmの距離の海岸まで等温線が平行であれば、音源から海岸までの音波の経路は放射状となる。とくに、線OQに対して点Oから $81^{\circ}$ ないし $90^{\circ}$ の角で出た音波の経路を $1^{\circ}$ ごとに計算して図化すると Fig. 2 のようになって、海岸の近くになっても音波の経路は交叉したり caustics を形成しない。この Fig. 2 で、音波からY軸(2点OQを結ぶ線)に対して $90^{\circ}$ の角でX軸に沿って出た音波の経路は、図中最も右側の曲線のよ

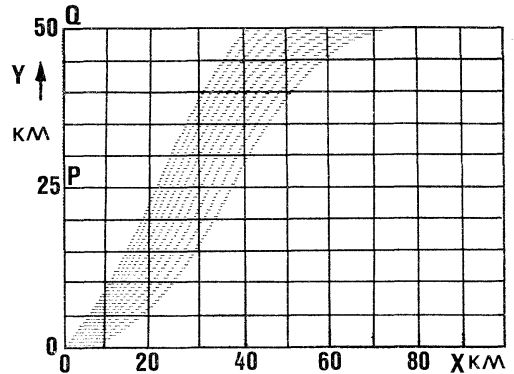


Fig. 2. An example of acoustic rays profiles from the source O to the coastal zone on an Oxy plane for acoustic rays at the angles between  $81$  and  $90$  degrees (at the step of  $1$  degree) when the coastline is a straight line crossing at Q perpendicular to the Y axis.

うになる。

岩手県水産試験場の昭和57・58年度の資料によれば、音速に強い影響を及ぼす水温の差は、点O, P, Qに対応して、海面付近では $3-7^{\circ}\text{C}$ であり、しかも、点OおよびQの水温はほぼ等しい。このことから、Fig. 2の計算例は、著者としては当初水平音速伝播における caustics 形成の例として試みたものであったが、明らかに失敗例である。

したがって、現実には、モデルで考えたよりも点O, P, Qでの水温差が小さいことを考えても、2点OQの水平距離が三陸津波の例では約150kmでありモデルの50kmよりも遠いことを考えても、音波が海中を水平に伝わって caustics を形成することはできないことになってしまう。これは、三陸大津波の前駆異常音の海洋物理的モデルとして妥当ではない。

しかも、現実の三陸沖の親潮系の冷水域における水温・塩分の鉛直分布の年周変化には特徴があり、それは、どちらかといえば能代沖の例に近い。その点では、問題は南海道沖よりも単純ではない。

## 5. 三陸沖の津波前駆音に対する仮説

本文の初めのところで述べたように、三陸大津波の前駆異常音の記録が残されていて、それを虚報と考えないかぎり、力学的にあるいは物理的現象としての説明がつけられねばならない。もし、それが可能となれば、この現象は大津波来襲の前兆として、実用上、津波予警報に役立てる道も開けてくる。

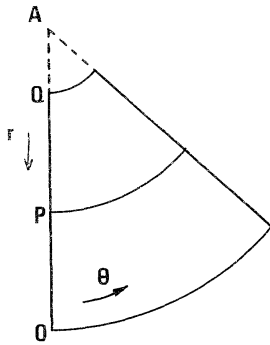


Fig. 3. A polar co-ordinate and notations in which the notations O, P and Q are taken corresponding to those in Figs. 1 and 2.

ここで、いま、Fig. 1 のかわりに、Fig. 3 を考える。すなわち、点Aを中心として、等音速線（近似的にみれば等温線）は平行ではあるが曲率半径をもっているという例である。音源Oでの等音速線の曲率半径は  $r_0$  であり、音速極小域Pおよび沿岸域Qの曲率半径は、それぞれ  $r_P$  および  $r_Q$  であるとする。この場合、直線OAを基線とする動径  $r$  および基線からの偏角  $\theta$  によって表わされる  $r\theta$  座標系での問題を考えることになる。この  $r\theta$  座標系は、数学的にみればひとつの2次元直交座標系である。そして、さきに考えた Fig. 2 の XY 座標系もひとつの2次元直交座標系である。数学的直交座標変換では、音速の局所的屈折角は変わらないことを利用すれば、Fig. 3 における問題も Fig. 1 の計算結果をそのまま活用できることになる。

いま、Fig. 3 の例で、もし曲率半径  $r_Q, r_P, r_0$  がそれぞれ 1 km, 26 km, 51 km とすると、音源からの音波の経路は Fig. 4 のようになる。この例では、点Qを通る曲率円上における音波の経路の密集度は、音源から半径 1 km における音波の経路の密集度と同じ程度ということになる。さらに言うならば、音源から 1 km の距離で聞こえるのと同じ程度の音が、点Qを通る曲率円上の一部で聞こえる可能性は高い。この場合も、音源から音波の経路は放射状になる。基線 OA に対して音源から  $90^\circ$  の角度で出た音波の経路は Fig. 4 の右端に示されるような曲線になり、 $81^\circ$  から  $90^\circ$  までの角度で出た音波の経路を  $1^\circ$  ごとにもとめ Fig. 4 のような曲線群が得られる。

ここで、Fig. 4 では、実際の音波の経路が直交座標変換で示されているために、実際の経路がどのようなものかわかりにくい面がある。この Fig. 4 を Fig. 3 のように極座標系で表わすと Fig. 5 のようなる。ただし、

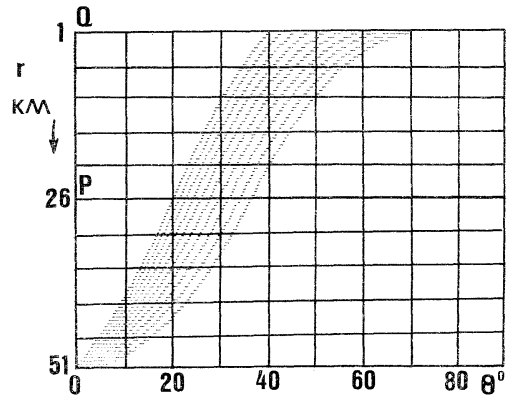


Fig. 4. An example of acoustic rays profile from the source to the coastal zone on an  $Ar\theta$  plane of a polar co-ordinate. The acoustic rays emitted radially from the source and only the rays for  $81$  to  $90$  degree (at the step of  $1$  degree) are shown on an orthogonal  $r-\theta$  diagram.

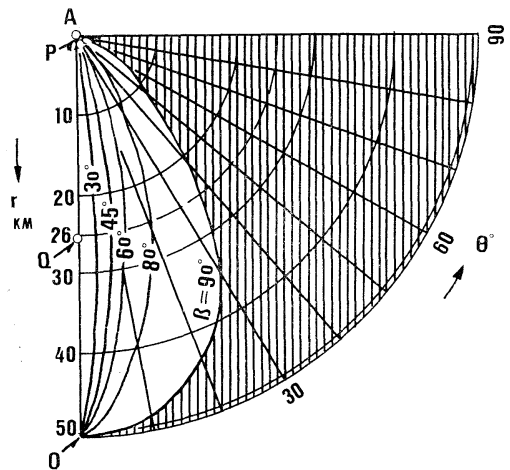


Fig. 5. An idealized expression of profiles of the acoustic rays emitted at angle  $\beta$  from the source (O) to the coastal zone (P) through the zone Q. The hatched area is a shadow zone where no direct emission of any acoustic ray can be seen.

Fig. 5 では、音源から点Pを通る曲率円までの音波の経路を、音源から出る時の角  $\beta$  をパラメータとして示した。この図で斜線部は、音源からの音波が直接伝わらない範囲であり、影 (shadow zone) とよばれる領域である。

三陸沖では、沖合に位置する黒潮系の暖水塊と三陸海岸沿岸域の水温の高い沿岸水あるいは津軽暖流との間に親潮系の冷水域があって、等温線が平面的にみて曲率を

もった平行線である特殊な場合に限って、音源域付近に近い状態が沿岸域付近にもあらわれ、海岸のすぐ沖で大砲のような音としてとらえられても不思議ではない。しかも、そのような音が地震後、津波来襲の前に聞こえることは、大津波への予警報や対策上利用できるものと考えられる。

ここでは、三陸沖の地震を例として、大津波来襲前に沖合で大砲のような音がするという資料や記録の海洋物理学的説明にあたってどのような条件を考慮に入れるべきかについて簡単な検討を試みた。

本文をまとめるにあたり、多数の観測資料を参考にした。そのため、関係機関・関係官庁の各位より御好意ある助言・協力を得た。また、この種の問題に関心を寄せられ、いろいろの方々から有益な御意見をいただいた。

#### 文 献

CLAY, C.S. and H. MEDWIN (1977): *Acoustic Oceanog-*

*raphy*. Wiley-Intersci. Pub., N.Y. 544 pp.

秦 克己 (1974): 黒潮から分離した暖水塊の変動について. 研究時報, **26**, 295-321.

KITANO, K. (1975): Some properties of warm eddies generated in the confluence zone of the Kuroshio and Oyashio Currents. *J. Phys. Oceanogr.*, **5**, 245-252.

中村重久 (1986a): 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.

中村重久 (1986b): 巨大津波の前駆異常音について. *La mer*, **24**, 48-52.

中村重久 (1987a): 能代沖の海洋音速場と1983年日本海中部地震津波について. *La mer*, **24**, 186-192.

中村重久 (1987b): 水中音波の減衰について. *La mer*, **24**, 198-201.

渡辺偉夫 (1985): 日本被害津波総覧. 東京大学出版会. 206 pp.

安田一郎・奥田邦明・水野恵介 (1986): 境界付近の渦についての数値実験—東北海区の暖水塊についての考察一. 東北区水産研究所研究報告, (48), 67-86.