

音が遠くまで届くのは、直進しないからである

— 海の音速は深さ 1000 m で最小 **1482.7386** m/s をとり、海面 (**1521.5200**) と海底 (**1530.7386**) の
両側から挟まれている — 10 度で出た音線は深さ **2429.6** m で折り返し、海底に届かない — 水温を一
定にすると閉じ込めが消える — [論文395]

山岸 勇輝 (Yuuki YAMAGISHI)

Yamagishi Complexity Torus Lab, Japan | 山岸勇輝ラボ

2026年9月

— From thinking to syncing. —

要旨

音が遠くまで届かないのは、途中で減衰するからだと思える。本稿が示すのは曲がることが損失ではなく、閉じ込めの機構であることである——直進すれば、かえって失われる。新しい定理も法則も主張しない。第一に、音速は温度と深さの両方で決まり、両者の効きが逆向きである（第1節）。第二に、そのため深さ 1000 m で最小 **1482.7386** m/s をとる（第2節）。第三に、これが本稿の芯である。最小の両側で音速が高いので、音線は最小へ向かって曲がり、閉じ込められる（第3節）。第四に、10 度で出た音線は深さ **2429.6** m で折り返し、**4000** m の海底に届かない（第3節）。第五に、水温を一定にすると音速が単調増加になり、閉じ込めが消える（第4節）。第六に、分離子は「音速に最小があるか、単調か」である（第5節）。

本稿の射程（射程注記）：新しい定理も法則も主張しない——海中音速式、SOFAR チャンネル、スネルの法則による音線の屈曲はすべて海洋音響学で既知である。音響機器を設計しない——ソナーや水中通信は主題ではない。音速分布と音線の折返しだけを見る。減衰を扱わない——吸収や散乱による減衰は主題ではない。幾何音響だけを見る。実海域を主張しない——水温分布は模型の値であり、季節・緯度で大きく変わる。形が同じであることだけを言う。波動を扱わない——モード理論や回折は主題ではない。音線近似だけを用いる。距離を主張しない——何 km 届くかは減衰と雑音で決まり、本稿の外である。既刊との関係：論文384 は自由空間損失の周波数の項が受信側から出ることを示した——ここでは「損失」に見えるものが閉じ込めである。論文393 は二つの単調な項の和が内点に最小をもつことを示した——ここでも音速が内点に最小をもつ。論文390 は頭打ちが向きで決まることを示した——ここでは届く距離が出射角で決まる。論文300 は同根か別根かが判定できることを示した——温度の効きと圧力の効きは、その基準で別根である。加えたのは、九つの深さで音速を数に出したこと、最小の位置と値を求めたこと、二つの出射角で折返し深さを出したこと、等温にすると閉じ込めが消えることを対照で示したこと、分離子を「最小があるか」に置いたことである。

1. 記法と問い

設定：海水の音速を、温度 T ・深さ z ・塩分 S の関数として書く。

$$c = 1449.2 + 4.6T - 0.055T^2 + 0.00029T^3 + (1.34 - 0.010T)(S - 35) + 0.016z$$

$S = 35$ とし、水温は表面 20 度から 1000 m の 4 度まで直線に下がり、以深は 4 度一定とする。

観察 1.1

温度の項は正で、深さの項も正である。どちらも上げれば音速が上がる——ところが海では、深くなると温度が下がる。

観察 1.2

だから深さは二重に効く。直接は $+0.016z$ 、温度を通じては負——浅いところでは温度が勝ち、深いところでは圧力が勝つ。

観察 1.3

勝ち負けが入れ替わる深さで、音速は最小をとる。論文393 と同じ形——二つの単調な効きの和が、内点に極値をもつ。

問い：音はなぜ、海の中を数千 km も伝わるのか。

2. 音速は深さ 1000 m で最小になる

計算 2.1：深さに対する水温と音速（本稿で計算）。

深さ [m]	水温 [度]	音速 [m/s]
0	20.00	1521.5200
200	16.80	1515.5319
500	12.00	1504.9811
800	7.20	1492.3770
1000	4.00	1482.7386
1500	4.00	1490.7386
2000	4.00	1498.7386
3000	4.00	1514.7386
4000	4.00	1530.7386

観察 2.2

最小が上下の両方から挟まれている。海面の 1521.5200、海底の 1530.7386、そのあいだの 1482.7386——谷である。

観察 2.3

谷の深さは上下で違う。海面まで 38.78 m/s、海底まで 48.00 m/s——非対称だが、どちらも閉じている。

観察 2.4

1000 m より下では、温度が変わっていない。4 度一定——そこから先の上昇は、圧力の項 $0.016z$ だけである。

観察 2.5

1000 m より上では、温度の項が勝っている。20 度から 4 度へ—— $0.016z$ の 16 m/s より、温度による低下のほうが大きい。

3. 10 度で出た音線は、海底に届かない

計算 3.1：スネルの法則による折返し（本稿で計算）。音速最小の軸から角度 θ_0 で出た音線は、音速が $c_{\min}/\cos\theta_0$ になる深さで折り返す。

出射角 [度]	折返しの音速 [m/s]	折返しの深さ [m]
5	1488.4024	1354.0
10	1505.6122	2429.6
(海底)	1530.7386	4000

観察 3.2

これが本稿の芯である。どちらの音線も海底に届かない——1354.0 m と 2429.6 m で折り返し、4000 m の海底に触れない。

観察 3.3

触れないから、失われない。海底に当たれば散乱と吸収で減る——曲がること、その損失を回避している。

観察 3.4

角度が大きいほど、深く潜ってから折り返す。5 度で 1354.0 m、10 度で 2429.6 m——ある角度を超えると海底に届き、そこで閉じ込めが破れる。

観察 3.5

上向きにも同じことが起きる。音速の谷は上下対称ではないが、両側が高い——海面反射も避けられる。

観察 3.6

論文384 と同じ形である。論文384 では「損失」が損失ではなかった——ここでは「曲がる」ことが損失ではない。どちらも、悪いことのように聞こえる語が、実際には別の働きをしている。

4. 等温にすると、閉じ込めが消える

計算 4.1：対照（本稿で計算）。水温を全深度で 4 度に固定する。

観察 4.2

そのとき音速は深さについて単調増加になる。 $0.016z$ だけが残る——最小が消える。

観察 4.3

最小が無ければ、音線は下向きに曲がり続ける。谷が無い——海底に当たって失われる。

観察 4.4

つまり閉じ込めは、水温分布が作っている。圧力だけでは足りない——太陽が海面を温めていることが、深海の音の道を作っている。

観察 4.5

論文300 の基準で別根である。温度の効きは太陽と混合が、圧力の効きは重力が決める——同じ音速という一つの量に、根の違う二つが入っている。

観察 4.6

高緯度では谷が海面に上がる。表層が冷たい——音の道の深さが、緯度で変わる。

5. 分離子：音速に最小があるか、単調か

観察 5.1

分離子——深さ方向の音速に谷があるか、無いか。

音速分布	音線	境界に当たるか	届く距離
最小がある	最小へ向かって曲がる	当たらない	長い
単調（等温）	一方向に曲がる	当たる	短い

観察 5.2

差は減衰ではなく、幾何から出ている。吸収係数は同じ——当たるか当たらないかだけが違う。

観察 5.3

だから「よく届く」は媒質の性質ではない。同じ海水——分布の形が決めている。

観察 5.4

分離子は動かせる。季節で表層水温が変われば、谷の深さも閉じ込めの強さも動く——同じ海が、季節によって別の伝わり方をする。

観察 5.5

正直に言えば——**1482.7386 m/s** も **2429.6 m** も、直線的な水温分布を置いた模型の値である。実海域の水温分布はこれより複雑である——動かないのは、温度と圧力の効きが逆向きで、そのために内点に最小が立つことである。

観察 5.6

最後に一つ——直進は、最短ではあっても最良ではない。直進した音は境界に当たって失われる——曲がった音だけが、遠くまで残る。

6. 点呼と結び

1. 温度と圧力の効きが逆向き（観察 1.2）：深さが二重に効く。
2. 最小は **1000 m** で **1482.7386 m/s**（計算 2.1）：谷である。
3. 海面 **1521.5200**、海底 **1530.7386**（計算 2.1）：両側から挟まれている。
4. 谷は非対称（観察 2.3）：**38.78** と **48.00 m/s**。
5. **5 度**は **1354.0 m** で折り返す（計算 3.1）：海底に届かない。
6. **10 度**は **2429.6 m**（計算 3.1）：これも届かない。
7. 角度が大きいほど深く潜る（観察 3.4）：超えると破れる。
8. 等温なら単調増加（観察 4.2）：閉じ込めが消える。
9. 閉じ込めは水温分布が作る（観察 4.4）：圧力だけでは足りない。
10. 直進は最良ではない（観察 5.6）：曲がった音だけが残る。

結び：音が遠くまで届かないのは途中で減衰するからだと思える——だが海の中では、曲がるのが損失ではなく閉じ込めの機構である。海水の音速は温度と深さの両方で上がるが、海では深くなると温度が下がる——だから深さは二重に効き、浅いところでは温度が勝ち、深いところでは圧力の項 $+0.016z$ が勝つ。勝ち負けが入れ替わる深さで、音速は最小をとる。論文393 と同じく、二つの単調な効きの和が内点に極値をもつ。最小は深さ **1000 m** の **1482.7386 m/s** である——海面の **1521.5200 m/s** と海底（**4000 m**）の **1530.7386 m/s** に上下から挟まれた谷であり、海面まで **38.78 m/s**、海底まで **48.00 m/s** と非対称だが、どちらも閉じている。**1000 m** より下では温度が **4 度**で一定なので、上昇は圧力の項だけである。そして音線は最小へ向かって曲がり、境界に届かない——軸から角度 θ_0 で出た音線は音速が $c_{\min}/\cos\theta_0$ になる深さで折り返すので、**5 度**なら **1354.0 m**、**10 度**なら **2429.6 m** で折り返し、**4000 m** の海底に触れない。触れないから失われない——海底に当たれば散乱

と吸収で減るところを、曲がることでその損失を回避している。角度が大きいほど深く潜り、ある角度を超えると海底に届いて閉じ込めが破れる。論文384で「損失」が損失でなかったのと同じ形で、悪いことのように聞こえる語が、実際には別の働きをしている。水温を一定にすると、閉じ込めが消える——全深度を4度に固定すると音速は0.016zだけで単調増加になり、最小が消える。最小が無ければ音線は下向きに曲がり続け、海底に当たって失われる。つまり閉じ込めは水温分布が作っており、太陽が海面を温めていることが、深海の音の道を作っている。論文300の基準で別根で、温度の効きは太陽と混合が、圧力の効きは重力が決める。分けているものは一つ——深さ方向の音速に谷があるか、無いか。差は減衰ではなく幾何から出ている——吸収係数は同じで、境界に当たるか当たらないかだけが違う。だから「よく届く」は媒質の性質ではない。同じ海水であり、分布の形が決めている。季節で表層水温が変われば谷の深さも閉じ込めの強さも動き、同じ海が季節によって別の伝わり方をする。正直に言えば——1482.7386 m/s も 2429.6 m も、直線的な水温分布を置いたモデルの値であり、実海域の水温分布はこれより複雑である。動かないのは、温度と圧力の効きが逆向きで、そのために内点に最小が立つことである。最後に一つ——直進は、最短ではあっても最良ではない。直進した音は境界に当たって失われる。曲がった音だけが、遠くまで残る。

参考文献

1. Ewing, M., Worzel, J. L. (1948). Long-Range Sound Transmission. *Geological Society of America Memoirs*.
 2. Medwin, H. (1975). Speed of sound in water: A simple equation for realistic parameters. *The Journal of the Acoustical Society of America*.
 3. Urick, R. J. (1983). *Principles of Underwater Sound* (3rd ed.). New York: McGraw-Hill.
 4. Munk, W., Worcester, P., Wunsch, C. (1995). *Ocean Acoustic Tomography*. Cambridge: Cambridge University Press.
 5. 山岸勇輝 (2026). 『第三百回の点呼——同根か別根かは判定できる』 [論文300]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22171914
 6. 山岸勇輝 (2026). 『「自由空間損失」は損失ではない——真空は何も吸収していない』 [論文384]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22699073
 7. 山岸勇輝 (2026). 『速くなるほど風が強くなる——だから帆走艇は風より速く走れる』 [論文390]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22699203
 8. 山岸勇輝 (2026). 『重心を一切動かさずに、積荷を増やすだけで復原力が下がる』 [論文393]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22699247
-

— From thinking to syncing. —

山岸 勇輝 (Yuuki YAMAGISHI)

© 2026 Yamagishi Complexity Torus Lab, Japan · Licensed under Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)