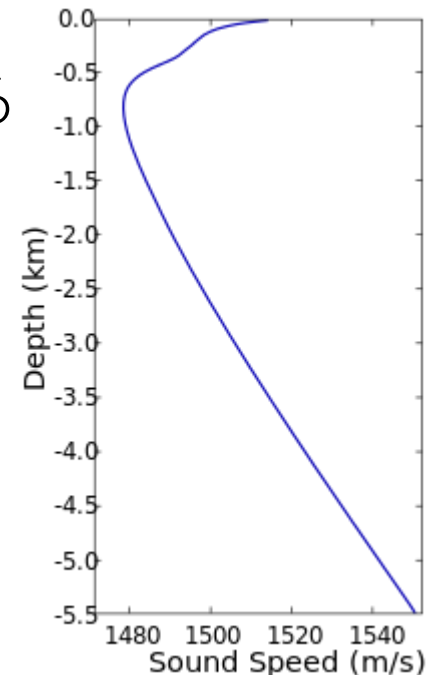


海洋における音波の伝搬 補足

音波の海中伝搬

- 海中での音速の性質
 - 深度によって音速が変化
 - 音速が異なる層を進む音波は曲がる
- いろんな伝搬モードが生じる



ハワイ諸島北方太平洋の
音速プロファイル
Wikipedia より

混合層のサウンドチャンネル

混合層(海洋の表層部分に生じるトラップ、ダクトを形成する層)

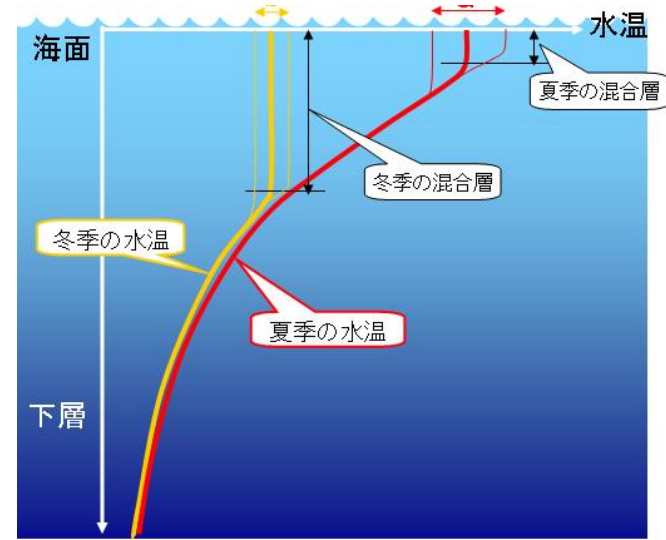
雲で覆われたり風波のある海域における水温

→ 等温層が存在

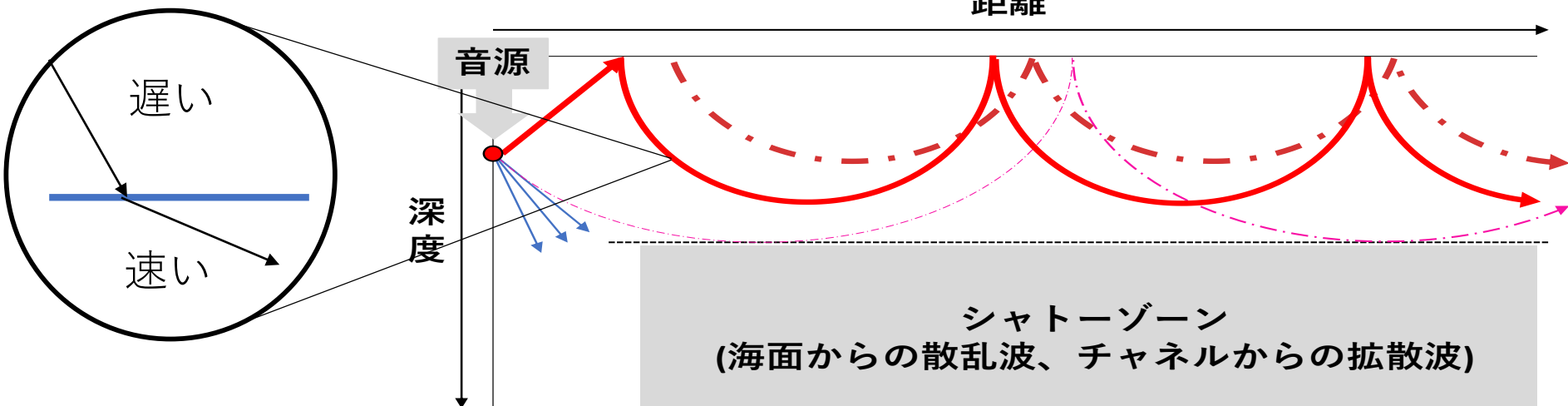
海面付近の水が風で混合され形成、持続

深度とともに圧力が増加 → 速度増加

音波は長い円弧を形成して遠くまで伝搬



表面混合層[1]



チャネル内の音波の減衰

ダクト中を伝搬する音波の最大波長

$$\lambda_{max} = \frac{8\sqrt{2}}{3} \int_0^H \sqrt{N(z) - N(H)} dz$$

$N(z)$: ダクト内の深度 z における屈折率

$N(H)$: ダクトの下底 H における屈折率

λ_{max} 以上 → 急激に減衰
 λ_{max} 以下 → 吸収と漏洩によって減衰



その層からの音波の漏洩が
最小となる最適周波数が存在

伝搬損失モデル

無指向性音源から出ていく音線のうち角度 2θ 以内にあるものだけがチャネル内に残る

$$TL = 10 \log_{10} \frac{A_2}{A_1} - (a + a_L)r \times 10^{-3}$$

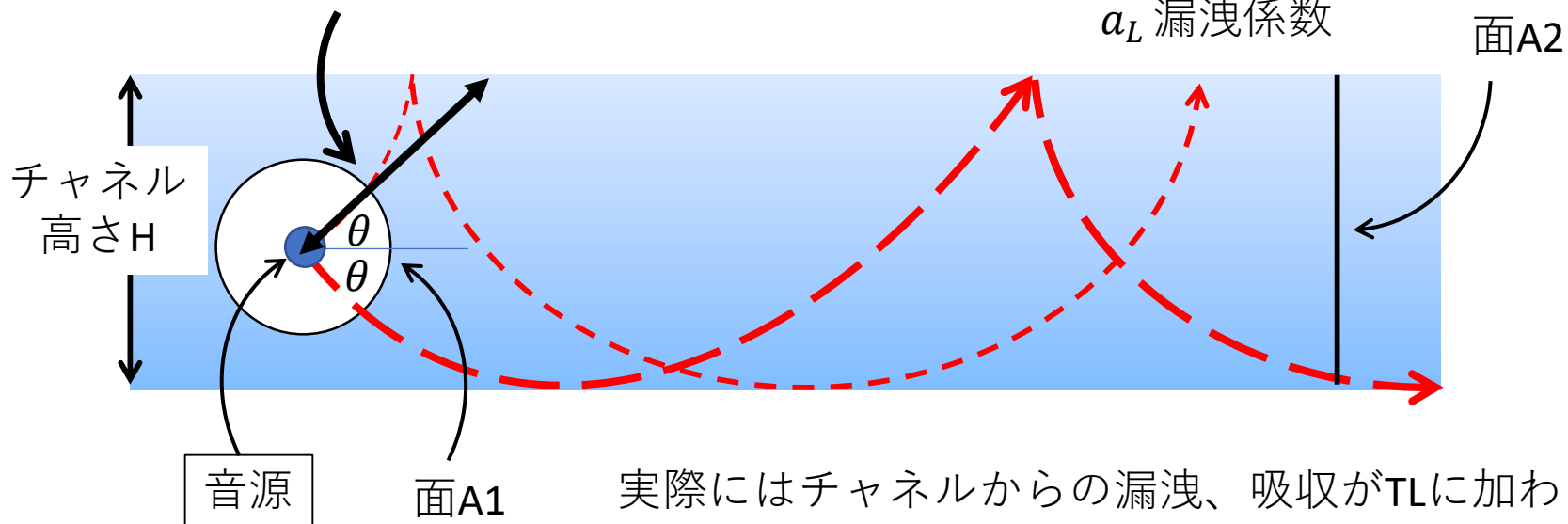
$$A_2 = 2\pi r H$$

$$A_1 = 2\pi \int_{-\theta}^{\theta} \cos(\theta) d\theta$$

a 吸収係数

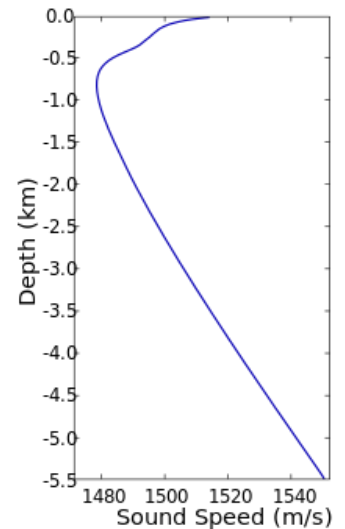
a_L 漏洩係数

音源から角度 θ 方向に伝搬する音波は
矢印の範囲まで球面拡散
以降は円筒拡散



深海サウンドチャネル 伝搬特性-伝搬損失

- サウンドチャネルの形成
 - 深海における特徴的な音速プロファイルによって生じる
 - 深海サウンドチャネル内の音源から放射されたエネルギー→チャネル内にとどまる。
→海底、海面の損失がない
- 深海サウンドチャネルの伝搬損失モデル
 - 混合層と同様な方法(球面拡散→円筒拡散)
 - これに、距離に比例した損失を加えた形で表現



ハワイ諸島北方太平洋の
音速プロファイル
Wikipedia より

中間層サウンドチャネル

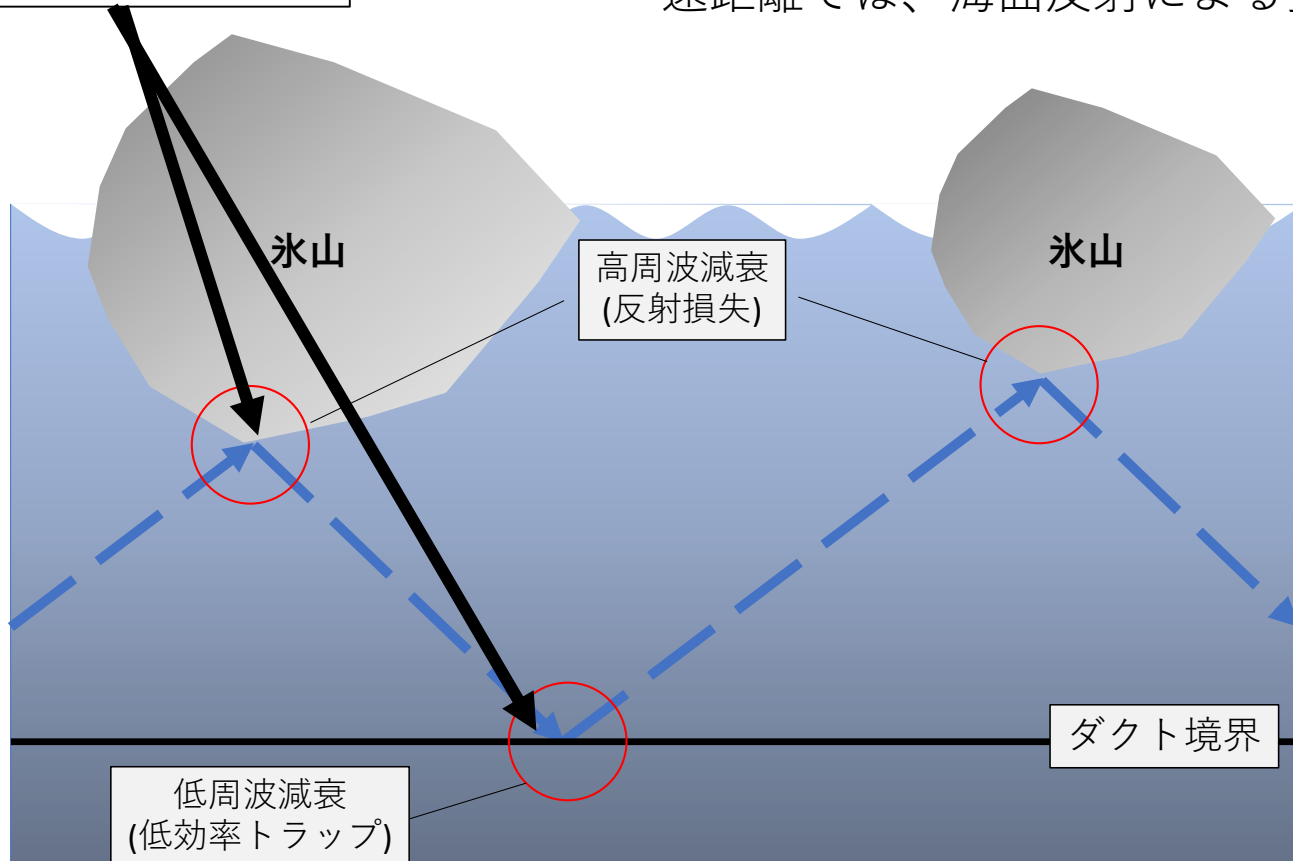
- サウンドチャネルの軸が**3000～4000ft**にある深海サウンドチャネルと、氷で覆われた北極海のように海面または、その直下に存在するサウンドチャネルとの間の中間深度に、より、限定された海域で季節的に起こるサウンドチャネルがある。
- 浅い深度に軸があり、局地的で一時的に生じる
→ソーナーの運用に影響
- 例 ロングアイランドとバミューダ諸島の間、地中海、東シナ海

北極海域における音波伝搬

伝搬損失

中、近距離ではダクトの伝搬によって低損失
遠距離では、海面反射による損失で伝搬悪い

帯域フィルタの効果

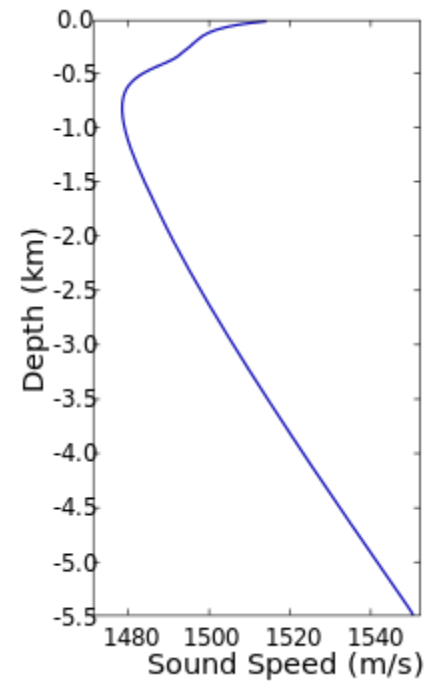


海面反射の損失

混合層からの損失

海底損失

音波

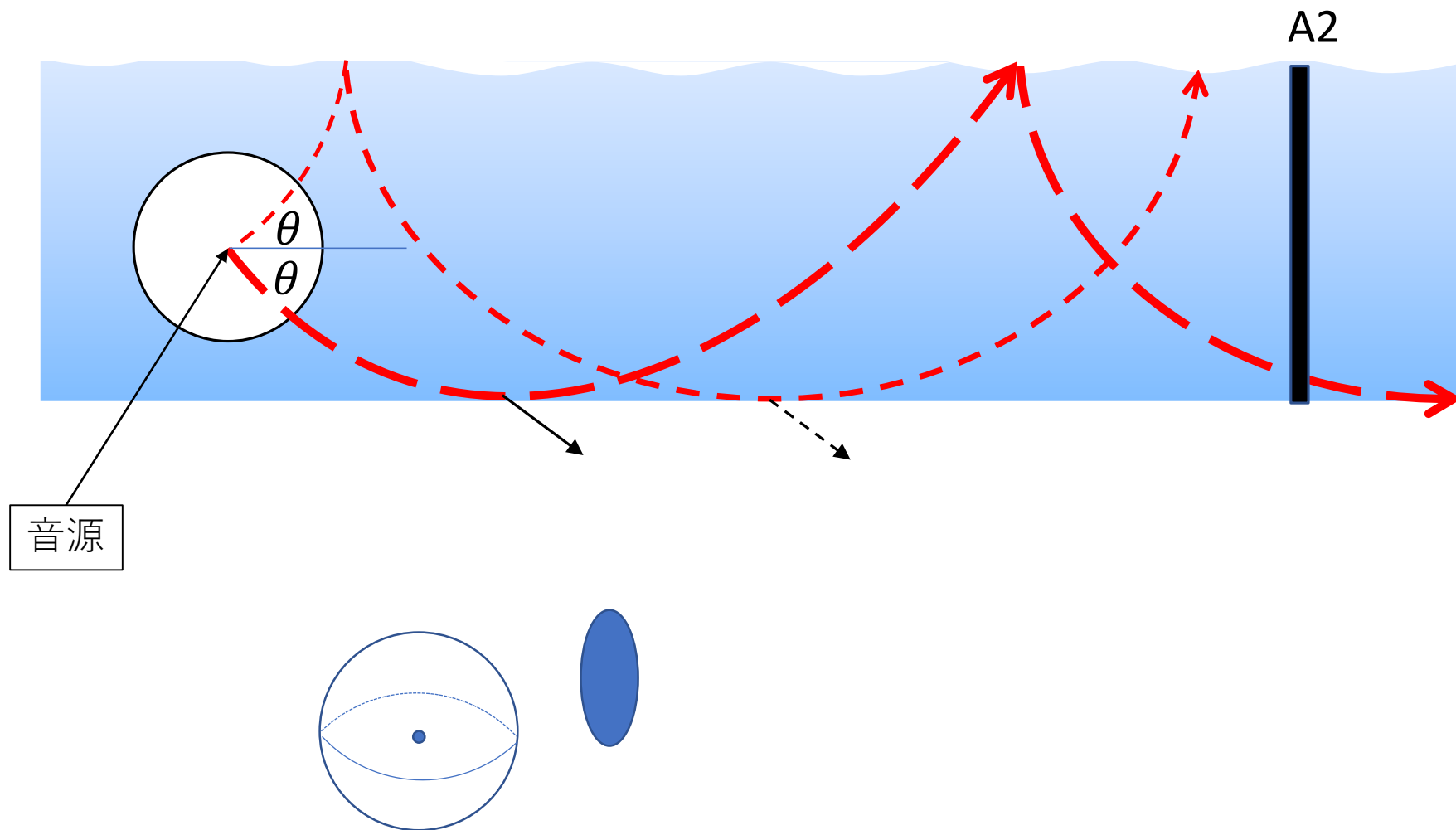


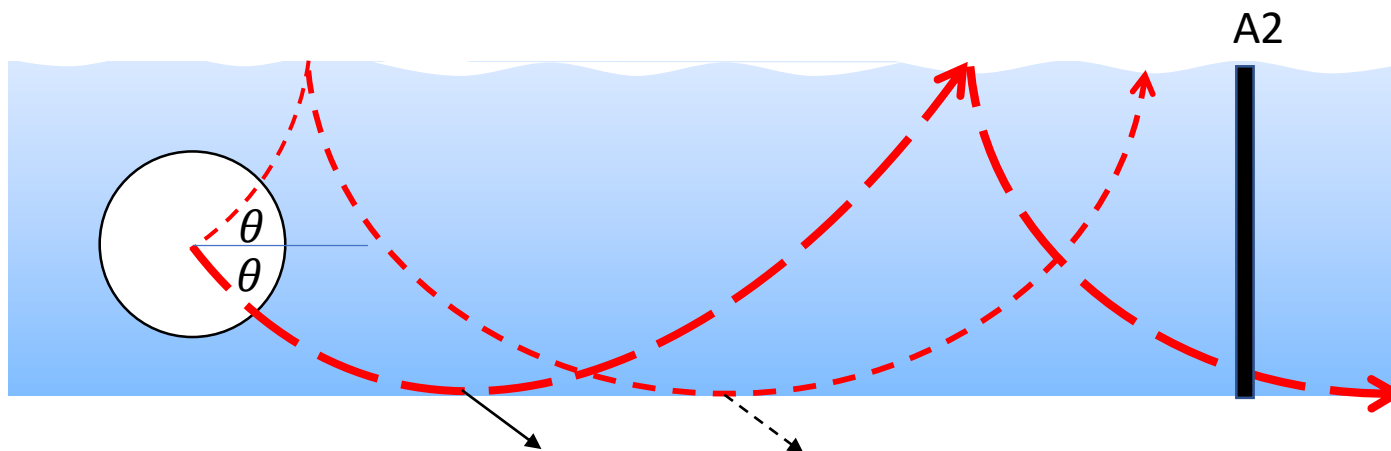
ハワイ諸島北方太平洋の
音速プロファイル
Wikipedia より

内容 ○

1. 混合層のサウンドチャンネル
2. 深海サウンドチャンネル
3. 焦線および収束帯
4. 中間層サウンドチャンネル
5. 北極海域における音波伝搬
6. 浅海チャンネル
7. シーステートと海面損失
8. 混合層からの損失
9. 海底損失

伝搬損失モデル

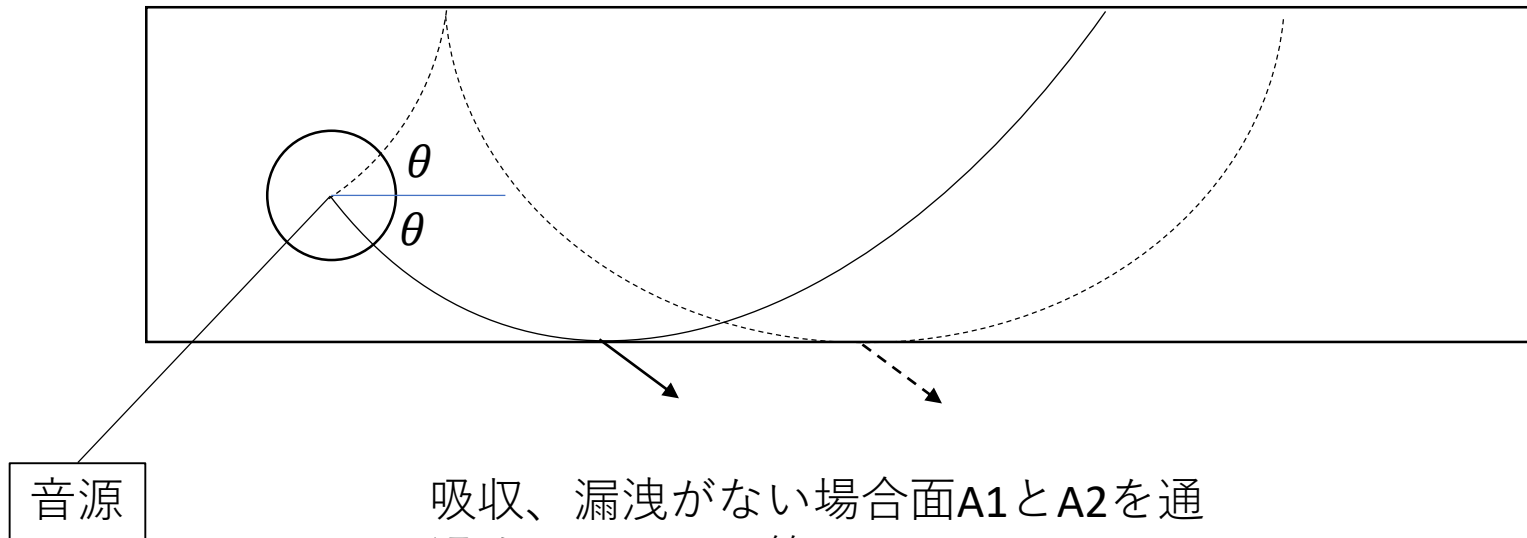




A2

音源

伝搬損失モデル



吸収、漏洩がない場合面A1とA2を通過するパワーは等しい
距離 r までのダクトの厚さ H で平均した伝搬損失は

$$TL = 10 \log_{10} \frac{A2}{A1}$$
$$A2 = 2\pi rH$$
$$A1 = 2\pi \int_{-\theta}^{\theta} \cos(\theta) d\theta$$

層からの音波の漏洩

- 非常に低い周波数ではサウンドチャンネル内をトラップされない

代表的な伝搬曲線

- 非常に低い周波数ではサウンドチャンネル内をトラップされない

焦線-収束帯

- 浅海収束帯

焦線-収束帯

- 深海収束帯

中間層サウンドチャネル

- サウンドチャネルの軸が**3000～4000ft**にある深海サウンドチャネルと、氷で覆われた北極海のように海面または、その直下に存在するサウンドチャネルとの間の中間深度に、より、限定された海域で季節的に起こるサウンドチャネルがある。
- 浅い深度に軸があり、局地的で一時的に生じる
→ソーナーの運用に影響
- 例 ロングアイランドとバミューダ諸島の間、地中海、東シナ海

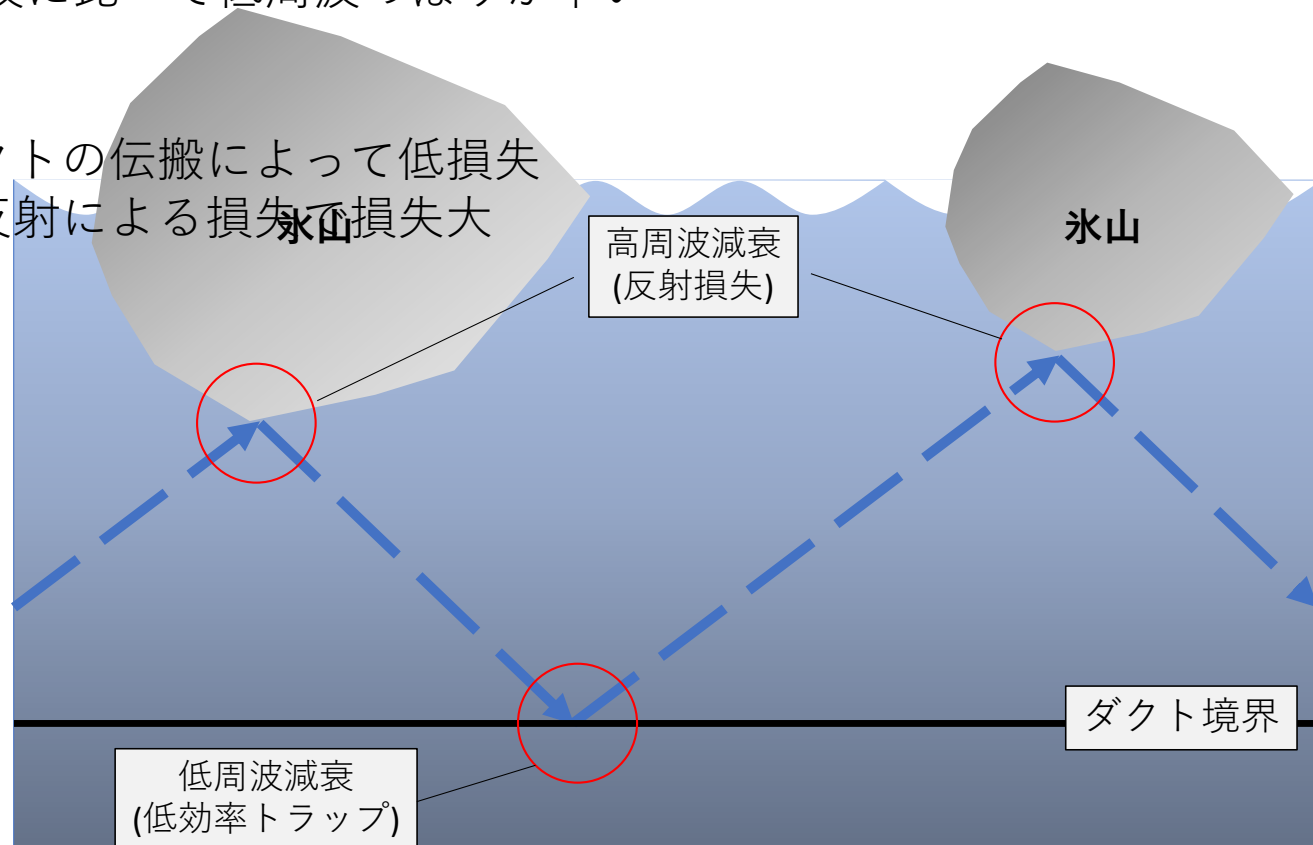
北極海域における音波伝搬

二つの特徴がある

- 帯域フィルタの効果(高周波氷による反射損失、低周波ダクトの原理)
- 伝搬速度が高周波に比べて低周波のほうが早い

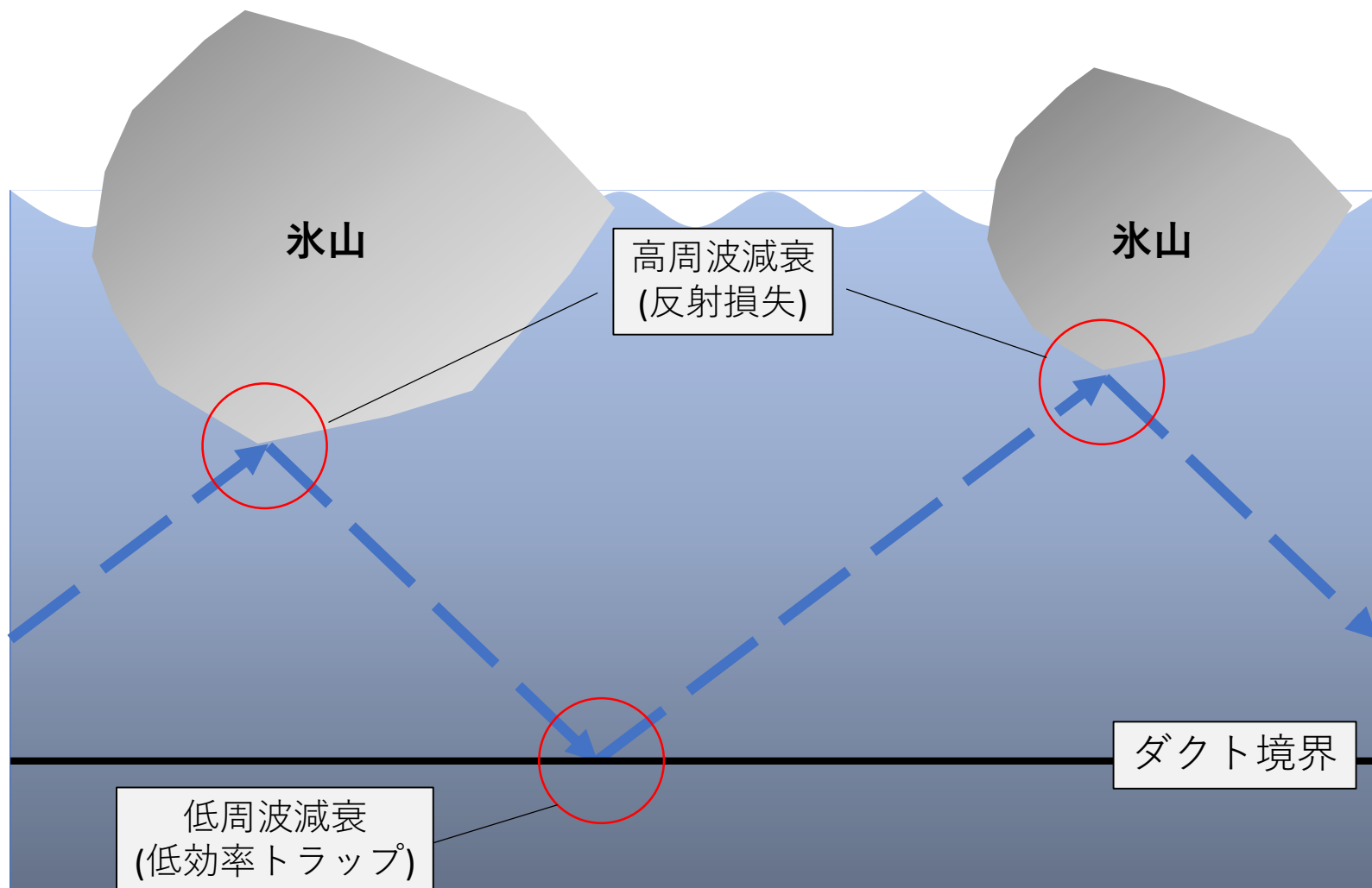
伝搬損失

中、近距離ではダクトの伝搬によって低損失
遠距離では、海面反射による損失で損失大

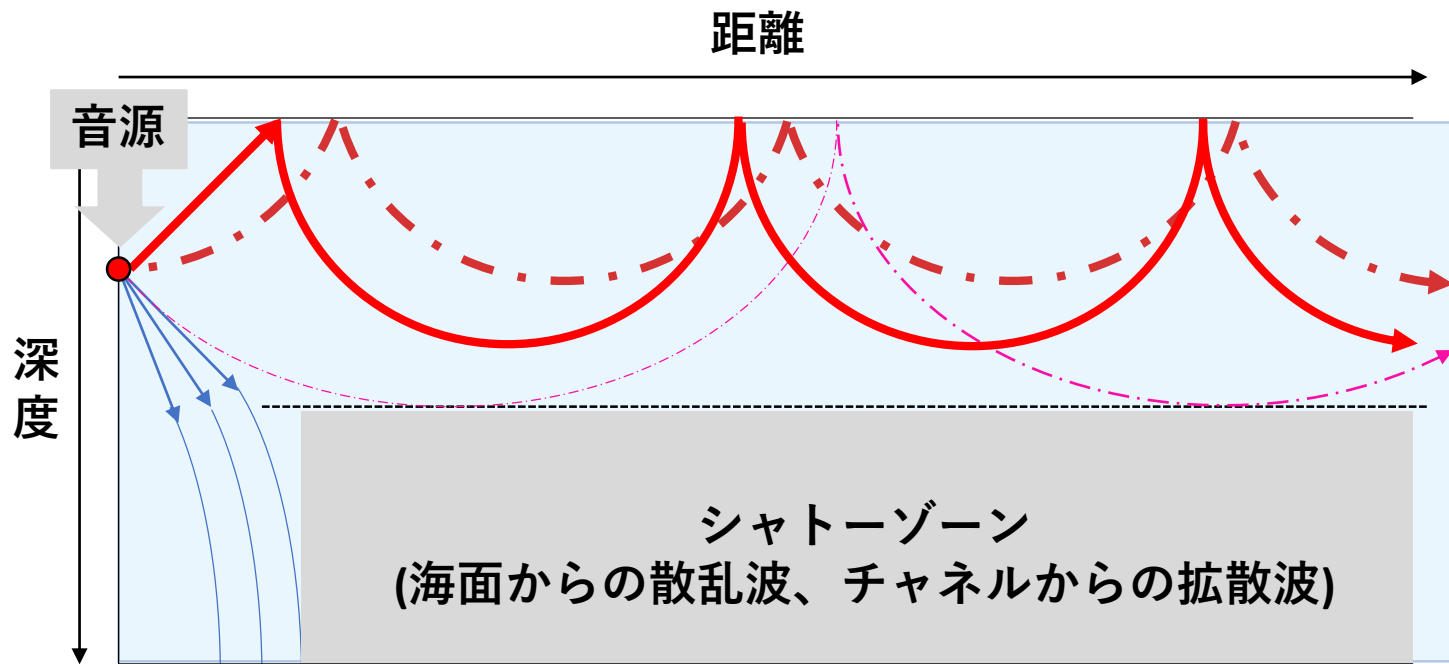


海面反射による損失

北極海域における音波伝搬

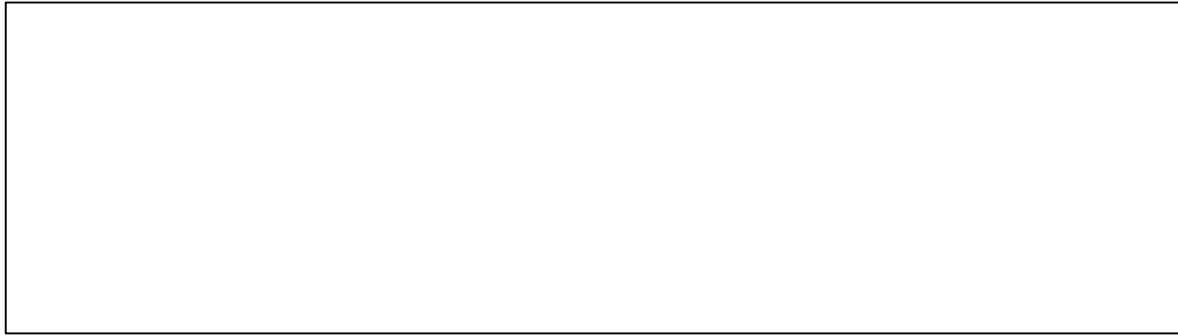


混合層のサウンドチャンネル



海底反射による損失

音波伝搬モード



SD(Surface Duct) :

CZ(Convergence Zone) :

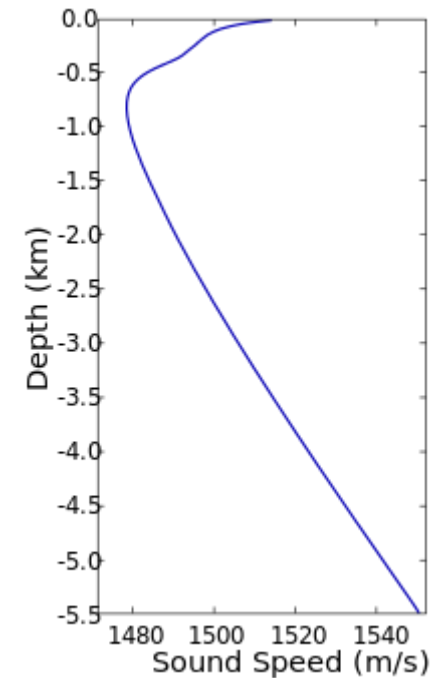
SC(Sound Channel) :

BB(Bottom Bounce) :

DP(Direct Path) :

音速プロファイル

- 3つの層に分けられる



ハワイ諸島北方太平洋の
音速プロファイル
Wikipedia より

混合層サウンドチャンネル

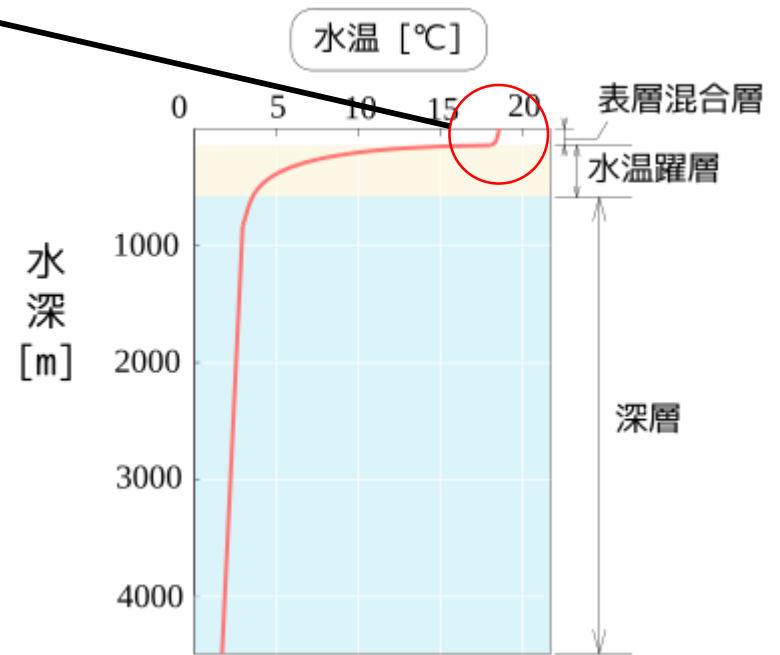
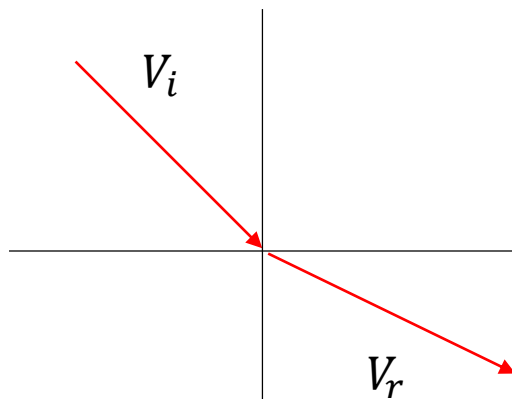
雲で覆われたり波風のある海域における水温の鉛直分布

海面付近の水が強風で混合されて等温層が形成、持続される

音速 (Medwinの式)

水温、塩分濃度、深度によって変化

水温、塩分濃度が一定とすると
深度高くなると音速が増加



混合層内では音波は上方向に屈折