

物理学概論第一

第 12 回

波動のパート講義計画

第 10 回: 波動 ① - 波の性質

第 11 回: 波動 ② - 波動方程式, 重ね合わせの原理

第 12 回: 波動 ③ - 波面, 反射の法則, 屈折の法則

第 13 回: 波動 ④ - 反射波の位相, 定在波

第 14 回: 予備 (進捗によっては休講)

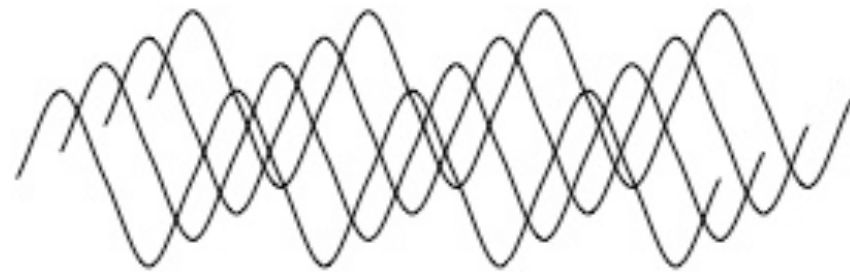
期末試験 (木曜日)

波面という概念

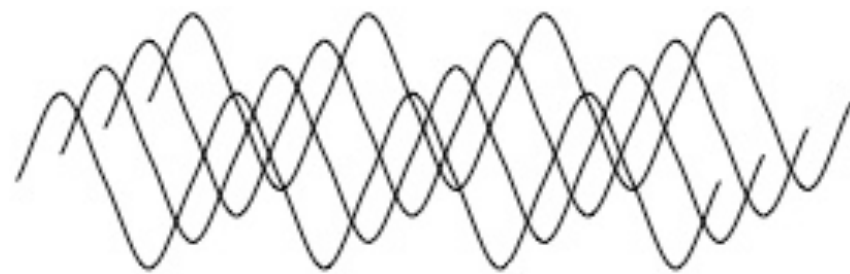
2

- 空間を波が伝わるとき、波の**位相**が同じ点をつなぎ合わせてできる面を**波面**と呼ぶ

空間を伝わっていく波 →

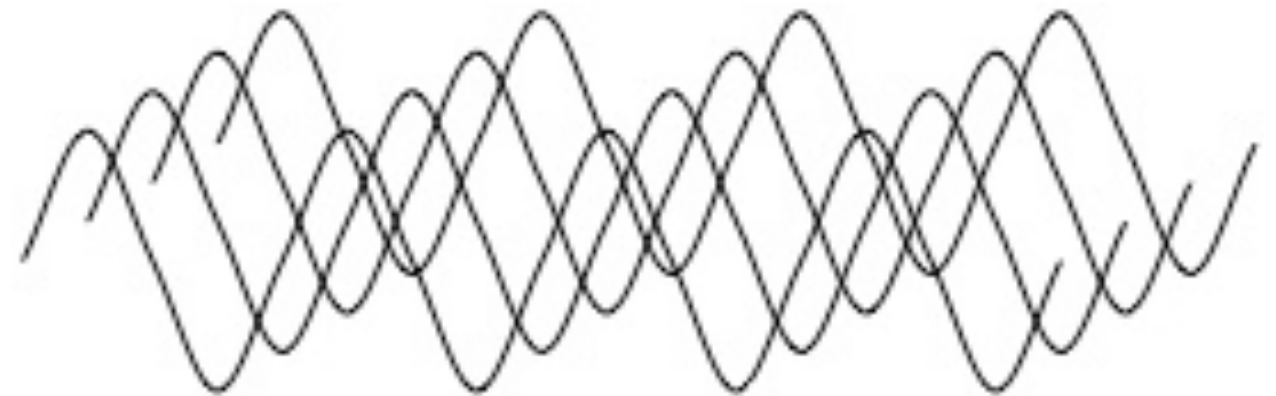


山はどこか?



波の進行方向

波の山の部分で特徴づけられる波面



波の進行方向

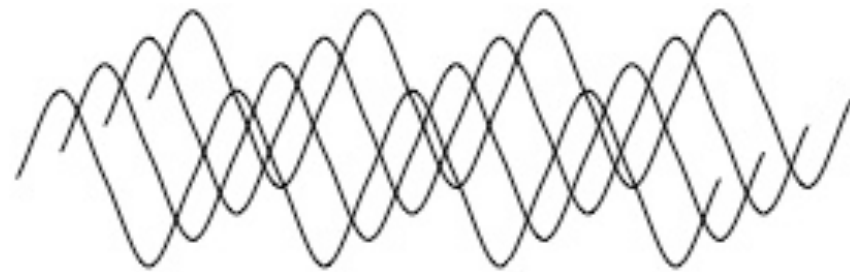
波面という概念

$$y(x,t) = A \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$$

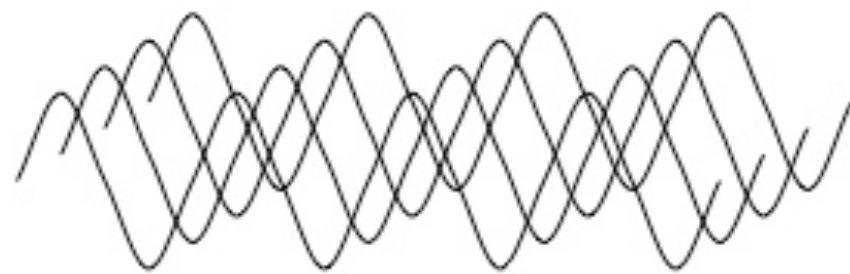
②

- 空間を波が伝わるとき、波の**位相**が同じ点をつなぎ合わせてできる面を**波面**と呼ぶ

空間を伝わっていく波 →

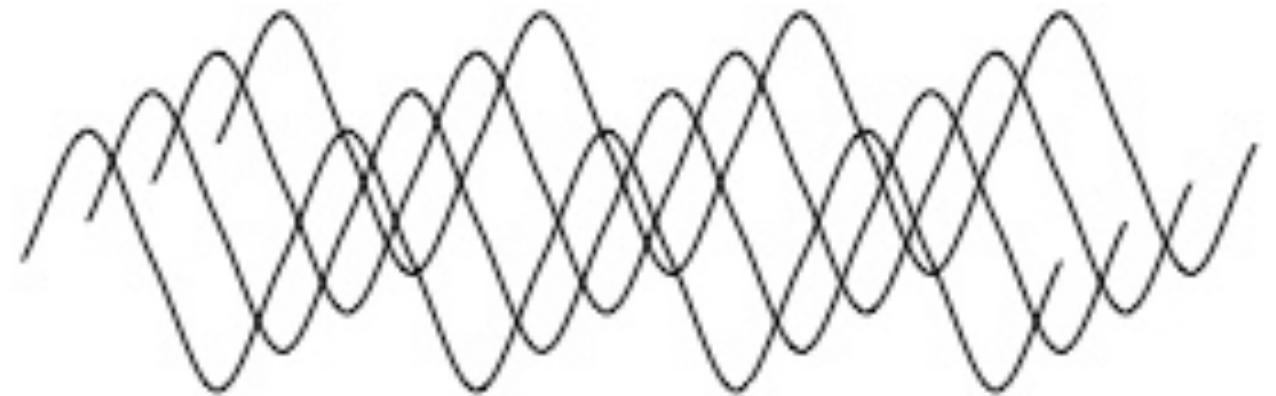


山はどこか?



波の進行方向

波の山の部分で特徴づけられる波面



波の進行方向

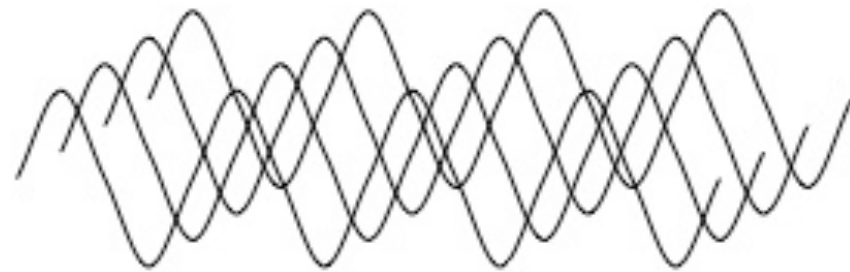
波面という概念

$$y(x,t) = A \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$$

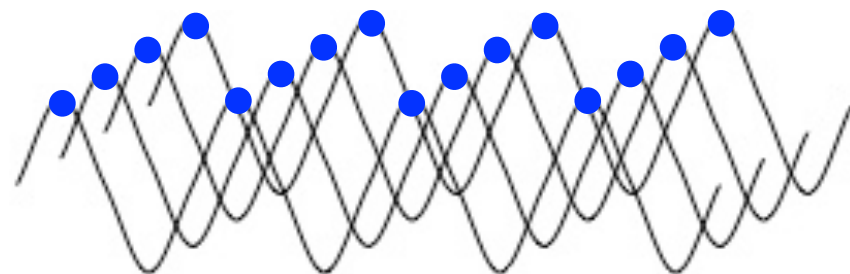
②

- 空間を波が伝わるとき、波の**位相**が同じ点をつなぎ合わせてできる面を**波面**と呼ぶ

空間を伝わっていく波 →

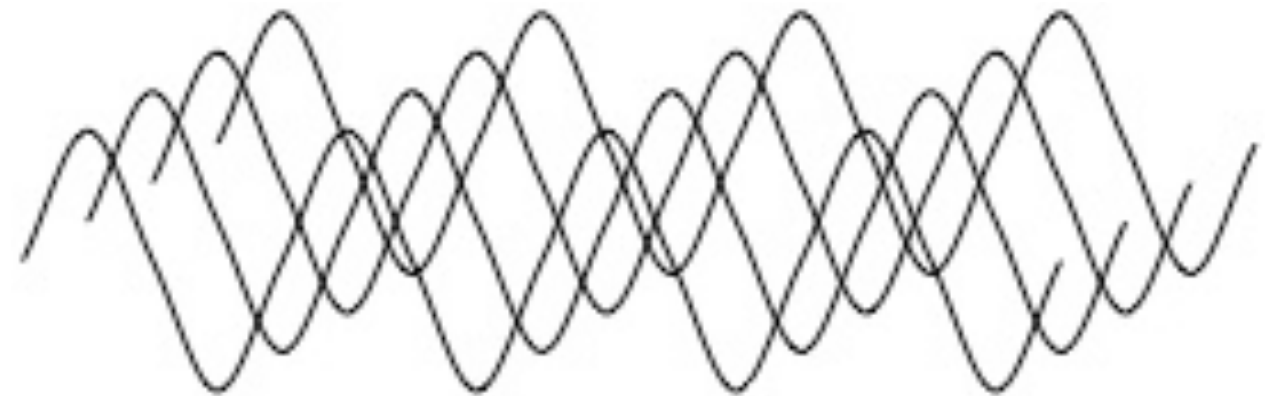


山はどこか?



● → 波の進行方向

波の山の部分で特徴づけられる波面



● → 波の進行方向

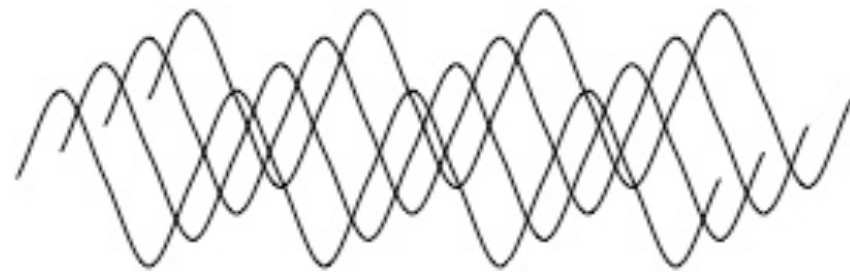
波面という概念

$$y(x,t) = A \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$$

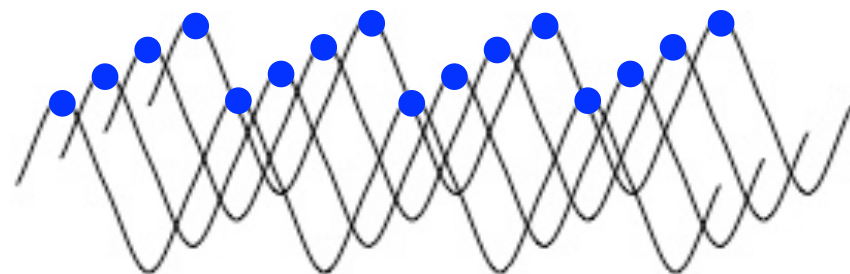
②

- 空間を波が伝わるとき、波の**位相**が同じ点をつなぎ合わせてできる面を**波面**と呼ぶ

空間を伝わっていく波 →

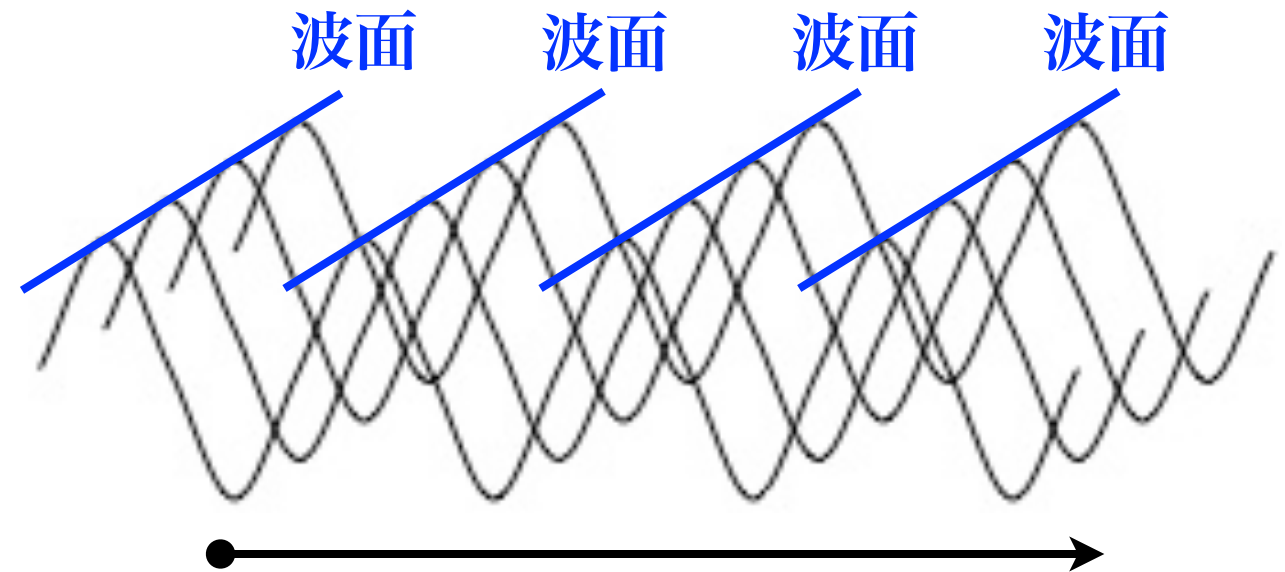


山はどこか?



波の進行方向

波の山の部分で特徴づけられる波面

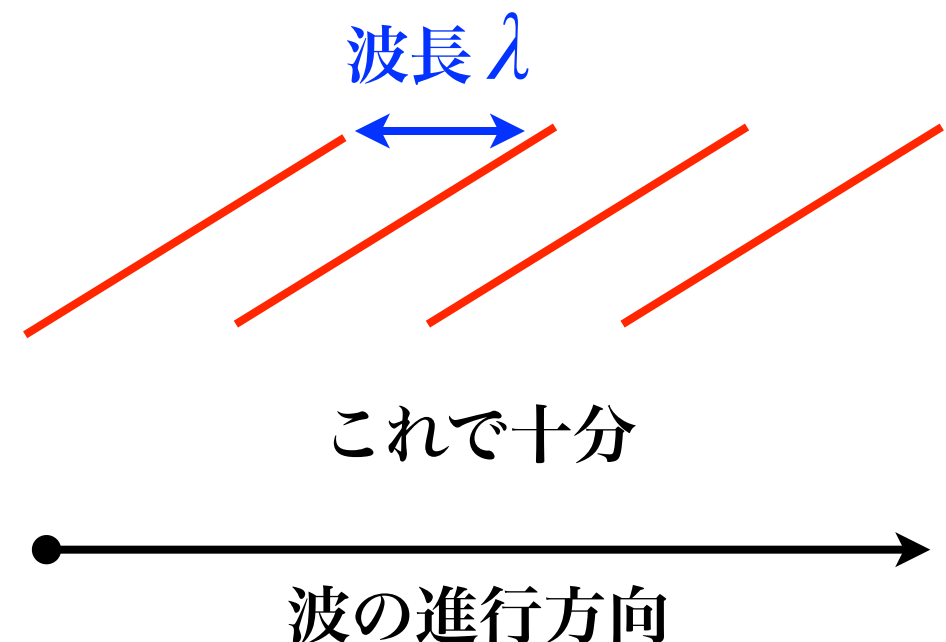
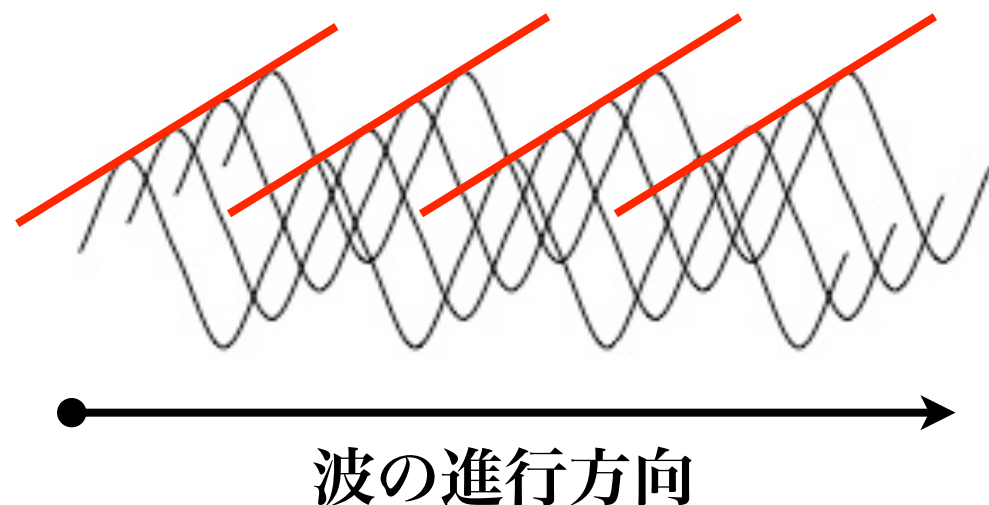


波の進行方向

波面を考える意味

③

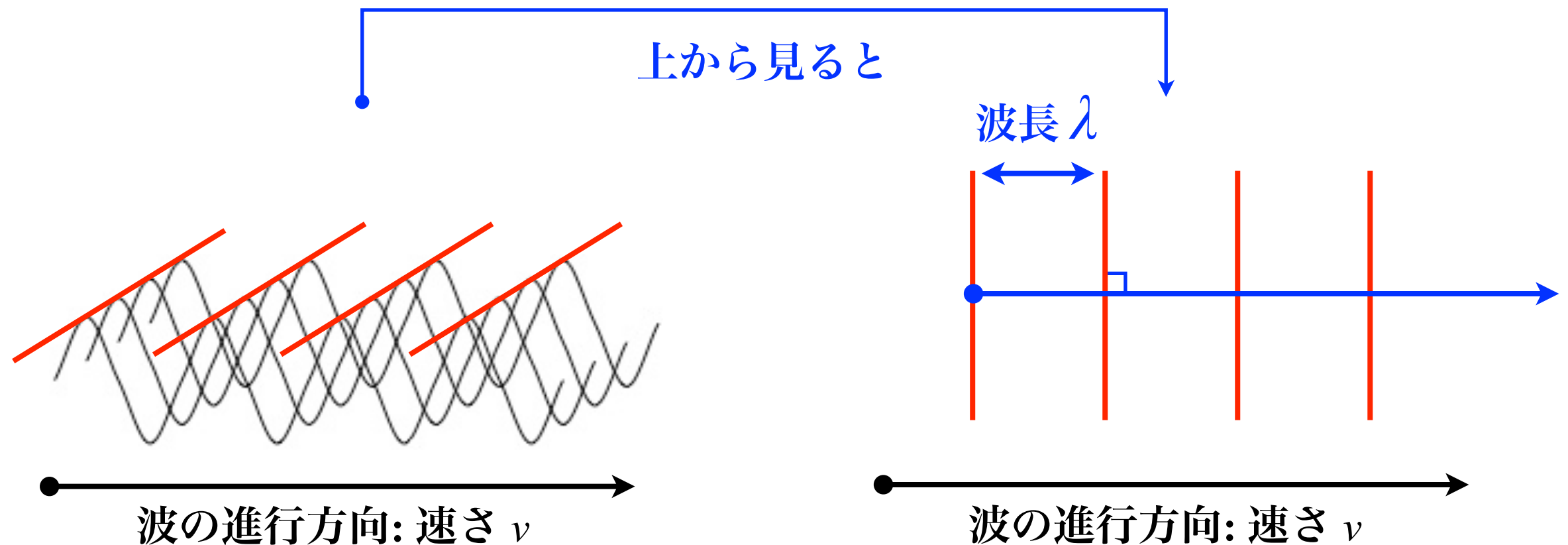
- 波をいちいちナミナミな形で描くのが面倒くさいから、波面で波の構造を簡略化する
- 波面の変化を追いかけることで、波がどう“**反射, 屈折, 回折**”するかが観察できる



波面の性質

4

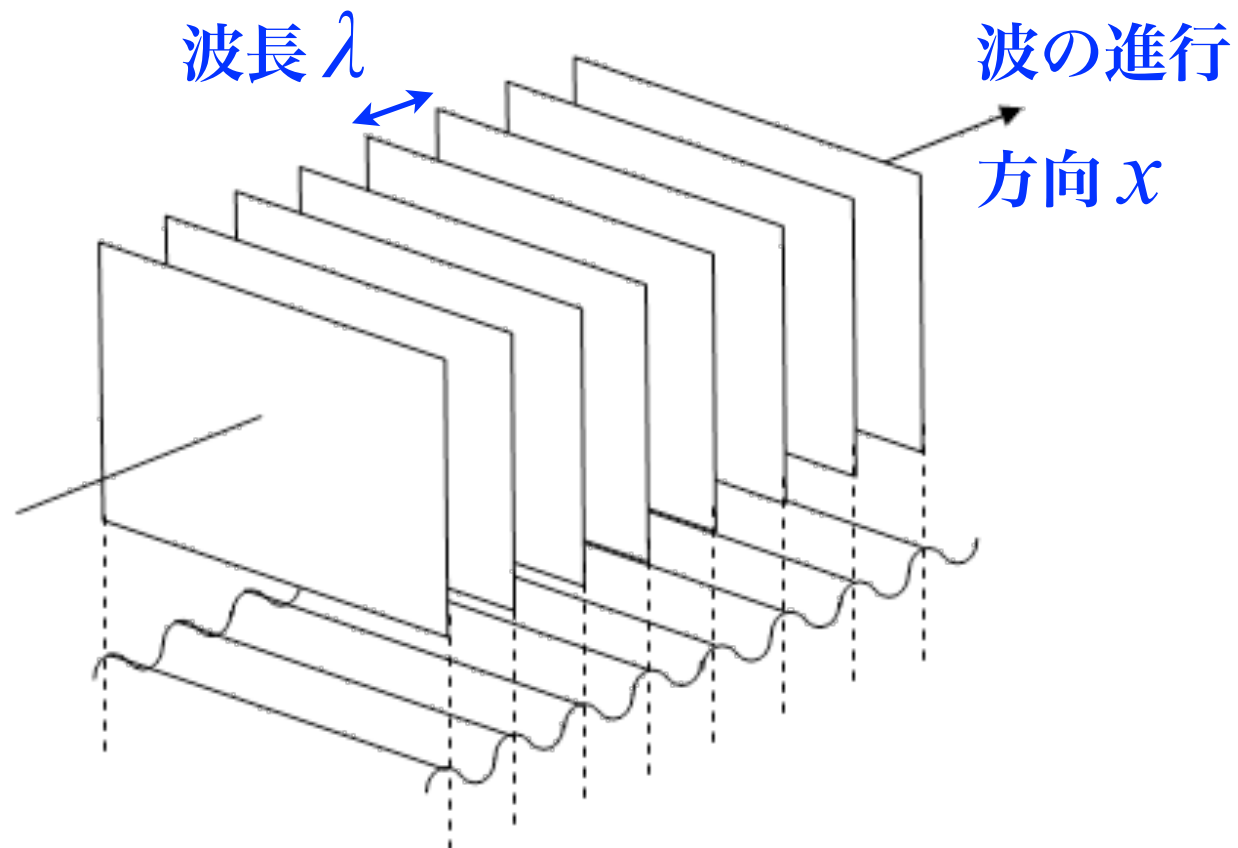
- 波面には以下の 2 つの性質がある
 - 1) 波面は波の速さ v で伝わる
 - 2) 波面の各点での波の進行方向は波面に垂直



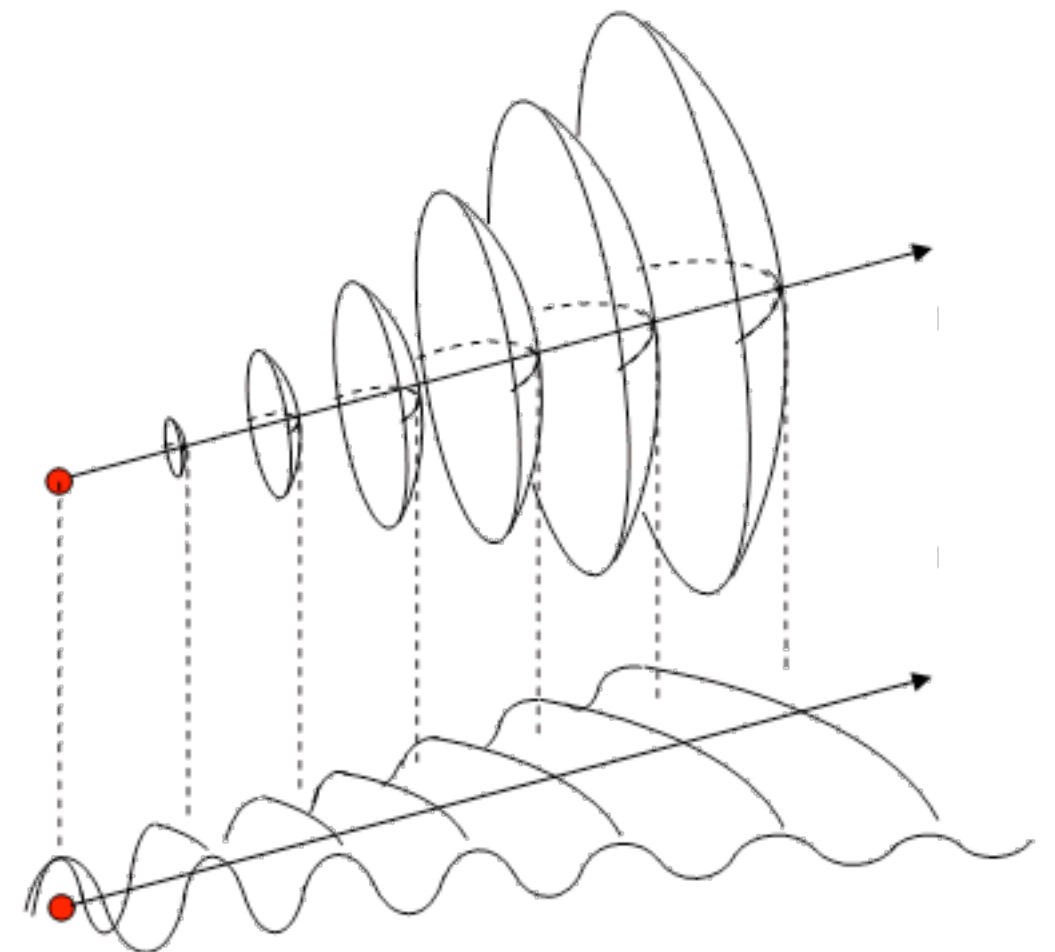
平面波と球面波

5

波面が平面の波は
平面波



波面が球面の波は
球面波

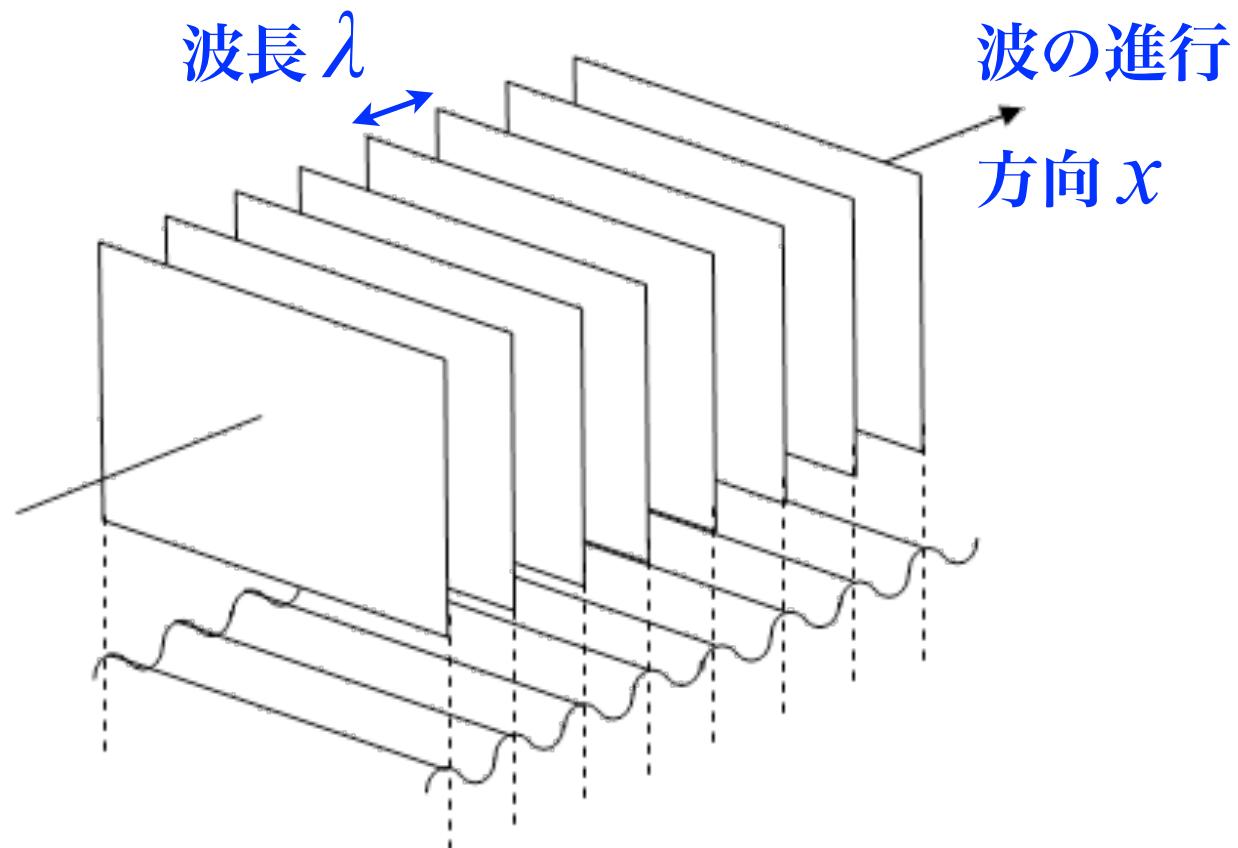


平面波と球面波

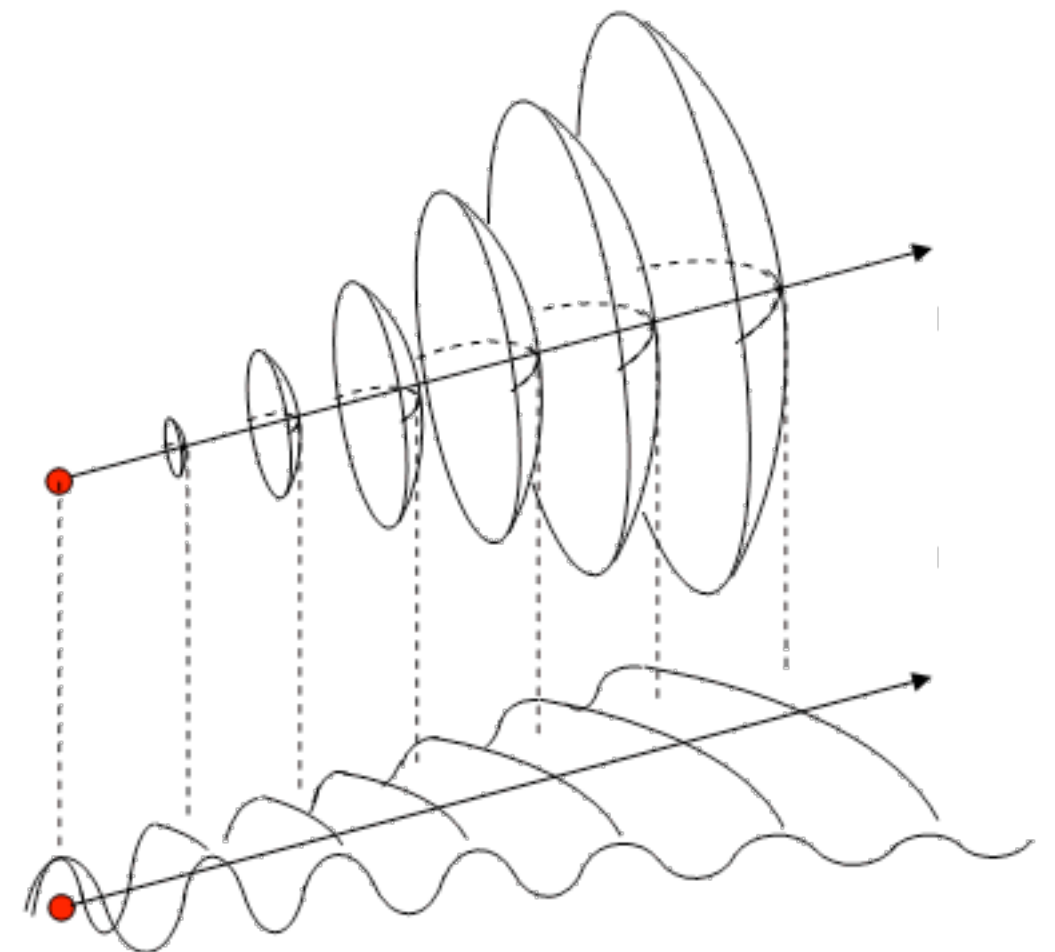
5

波面が平面の波は
平面波

$$y(x,t) = A \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$$



波面が球面の波は
球面波

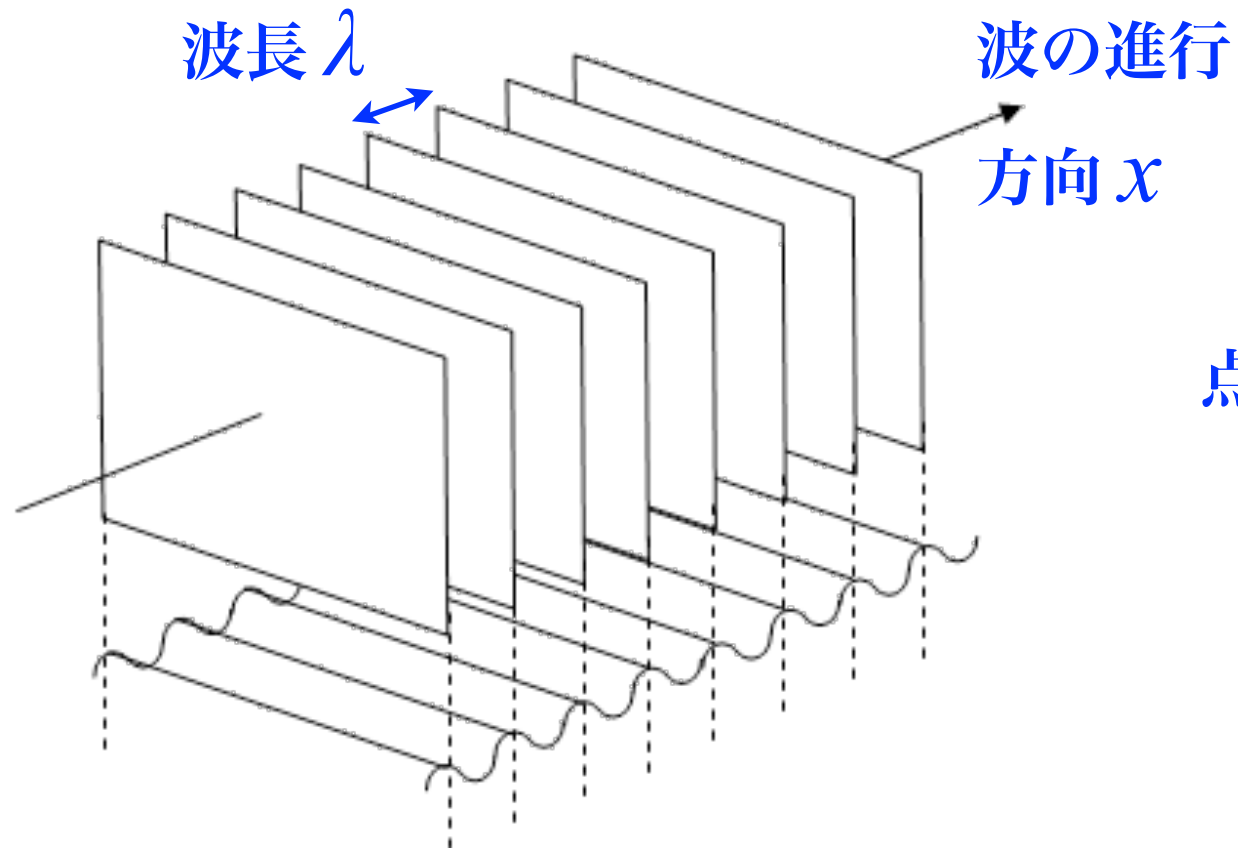


平面波と球面波

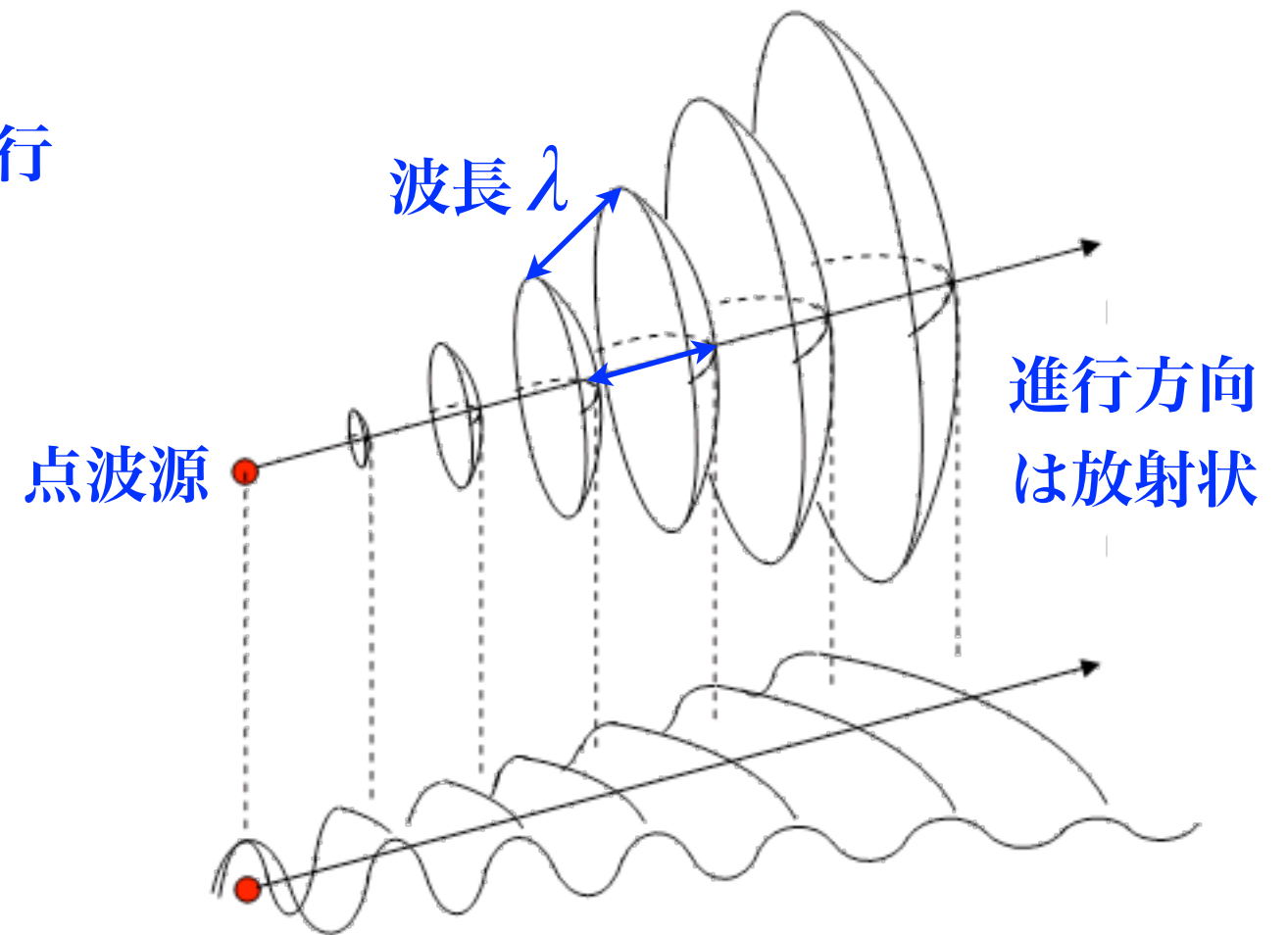
5

波面が平面の波は
平面波

$$y(x,t) = A \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$$



波面が球面の波は
球面波

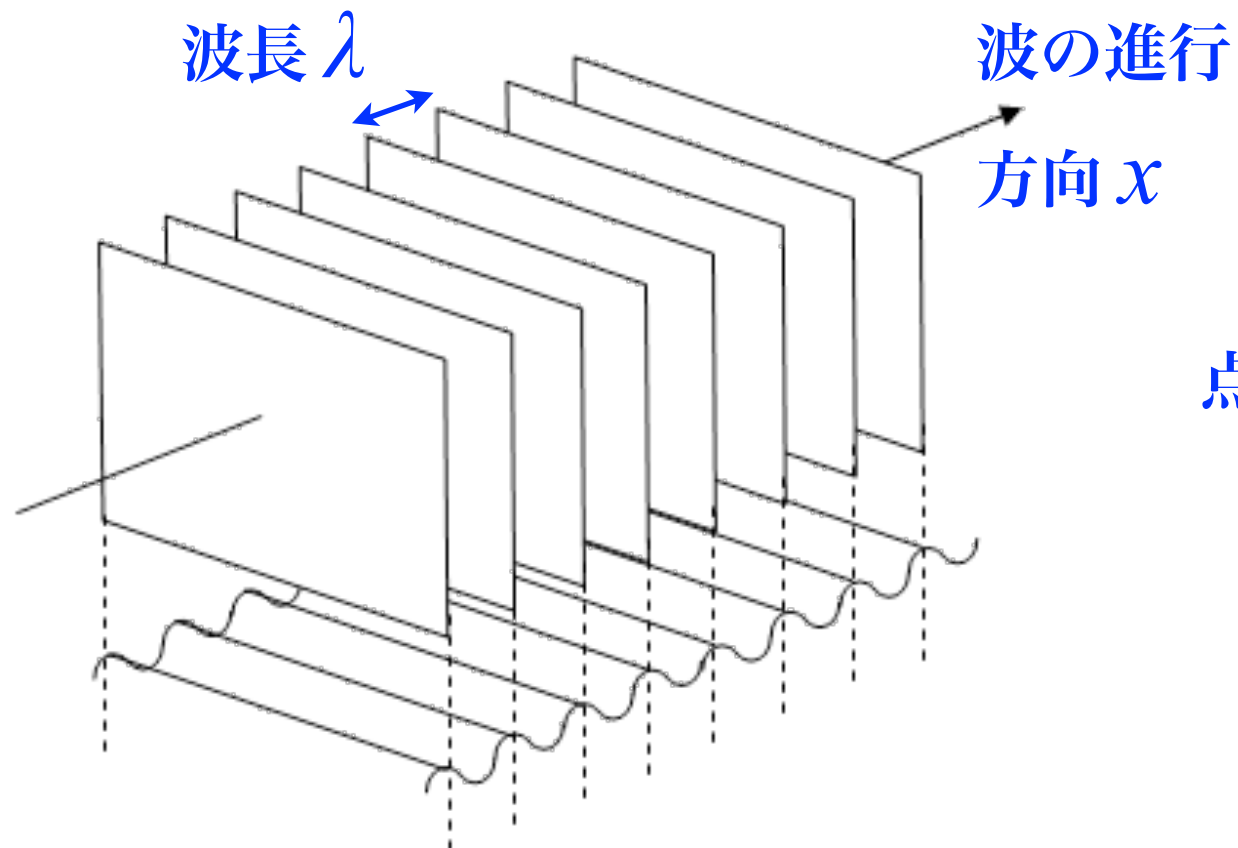


平面波と球面波

5

波面が平面の波は
平面波

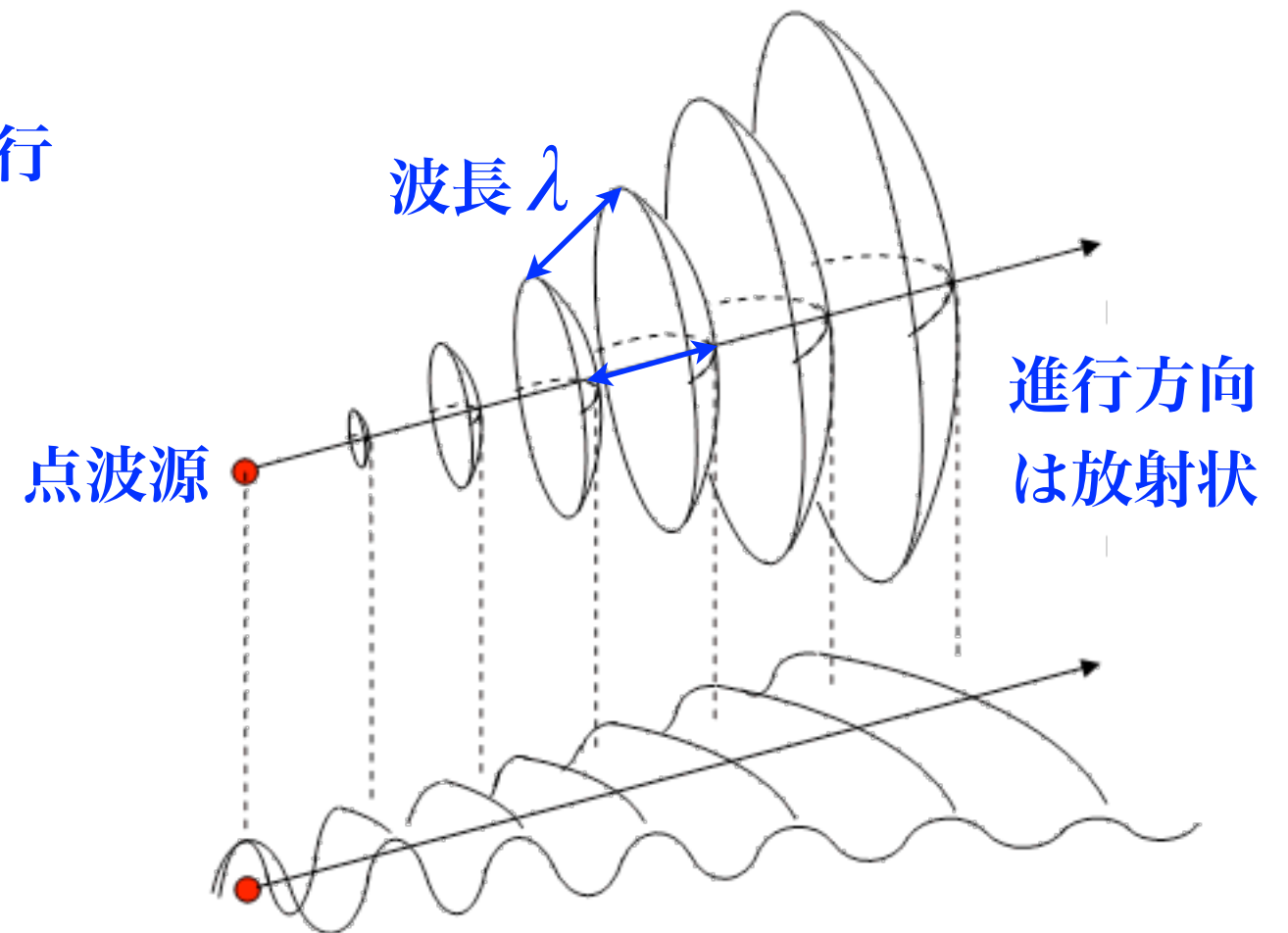
$$y(x,t) = A \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$$



波面が球面の波は
球面波

波源からの距離
↓
 r

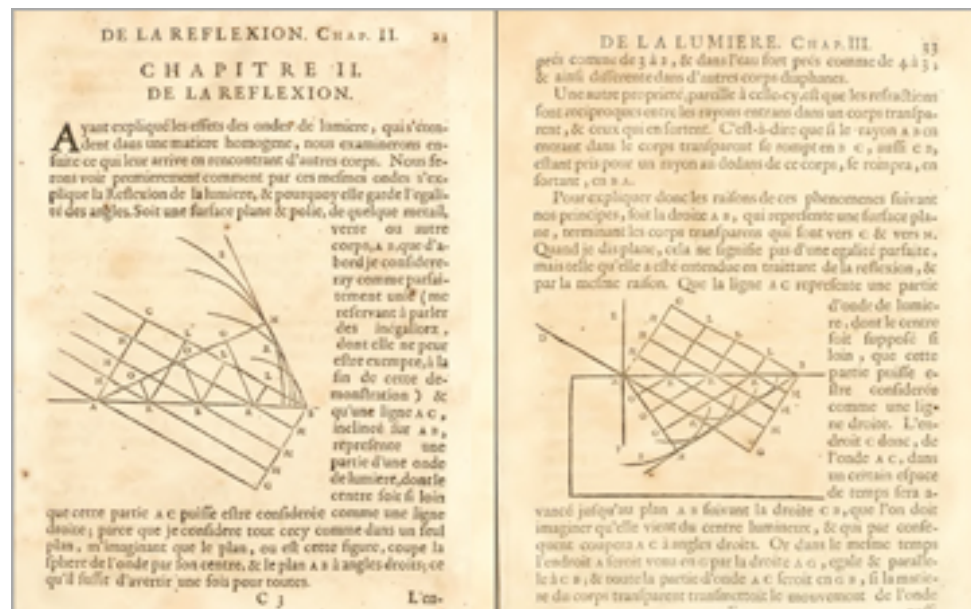
$$y(r,t) = A \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{r}{\lambda} \right)$$



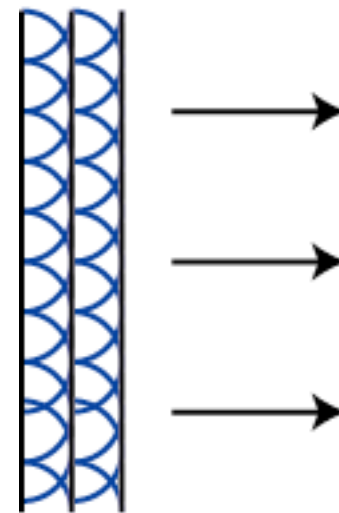
ホイヘンスの原理

⑥

- 波の反射, 屈折, 回折を考える上で重要な概念
- 前進波の波面の各点は, 二次波 (素源波) と呼ばれる球面波の波源となり, 前進波の全体は, 全ての素源波を重ね合わせになる

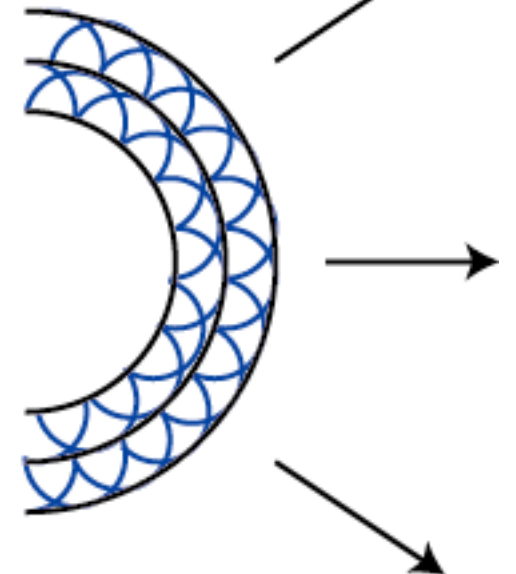


平面波の場合



次の波面
は素源波
の包絡線

球面波の場合

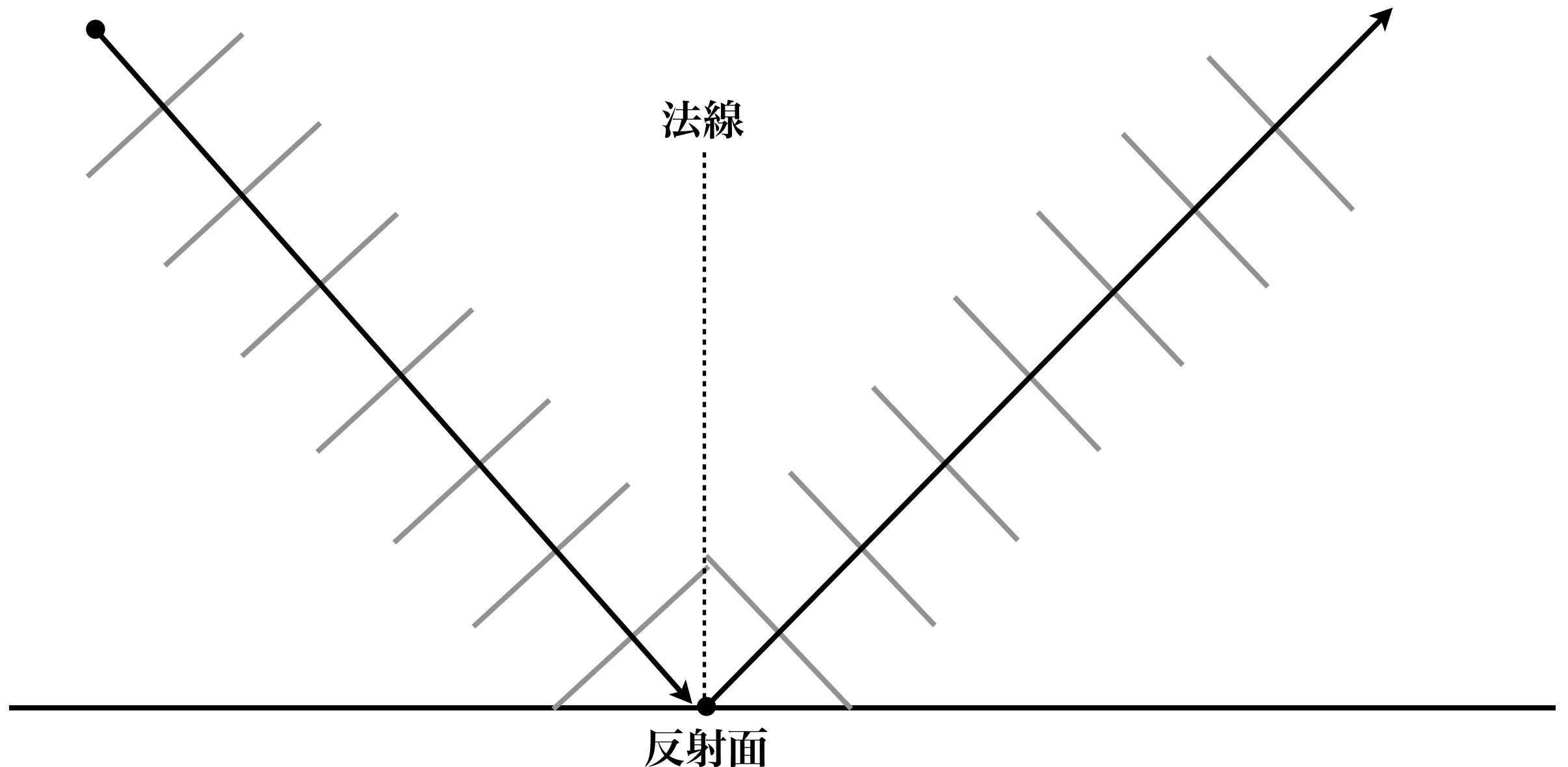


波の反射

7

- 反射の法則 「入射角 θ_i = 反射角 θ_r 」

入射波 λ, f, v ← 波のパラメータは同じ → 反射波 λ, f, v

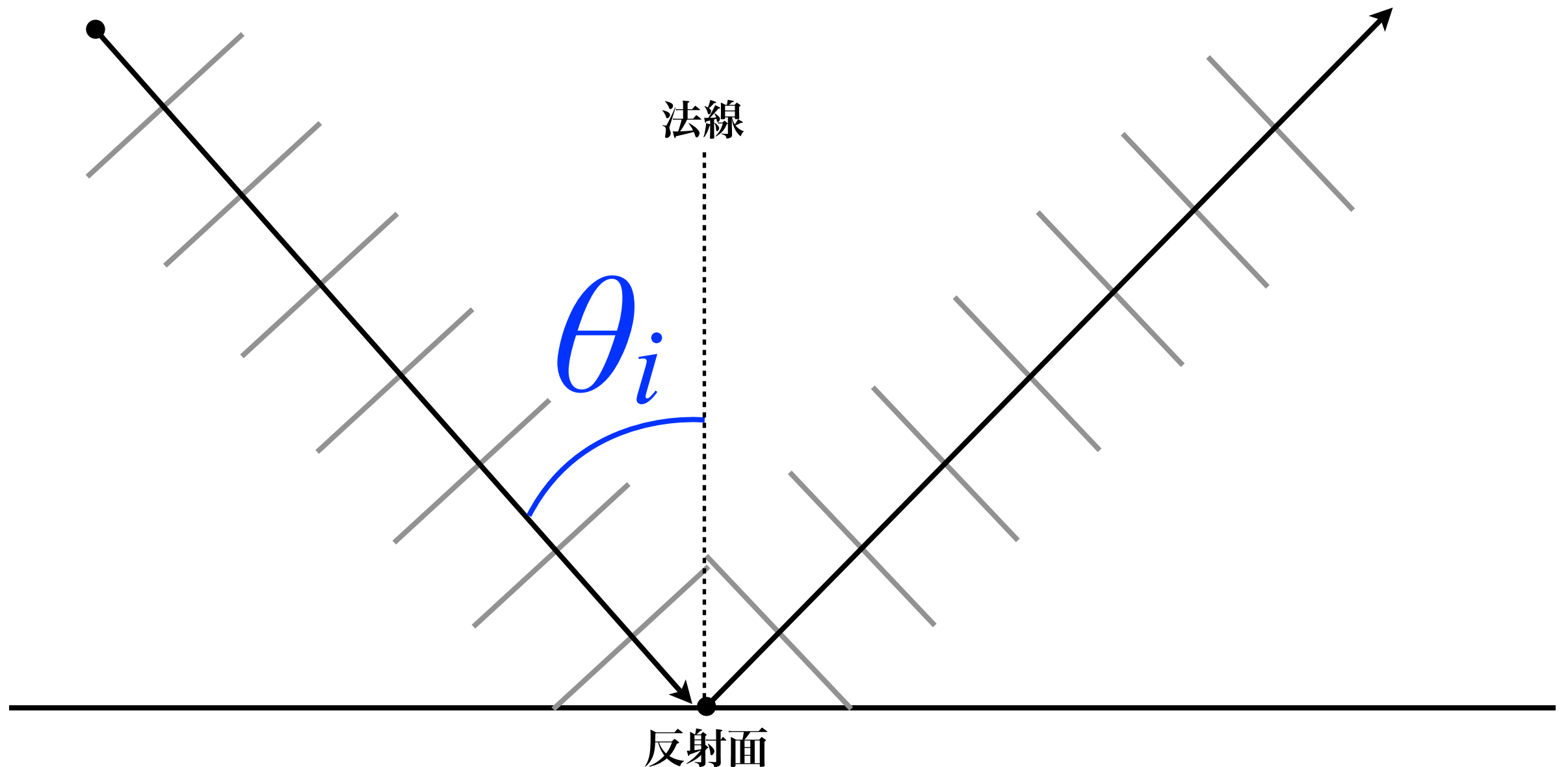


波の反射

7

- 反射の法則 「入射角 θ_i = 反射角 θ_r 」

入射波 λ, f, v ← 波のパラメータは同じ → 反射波 λ, f, v

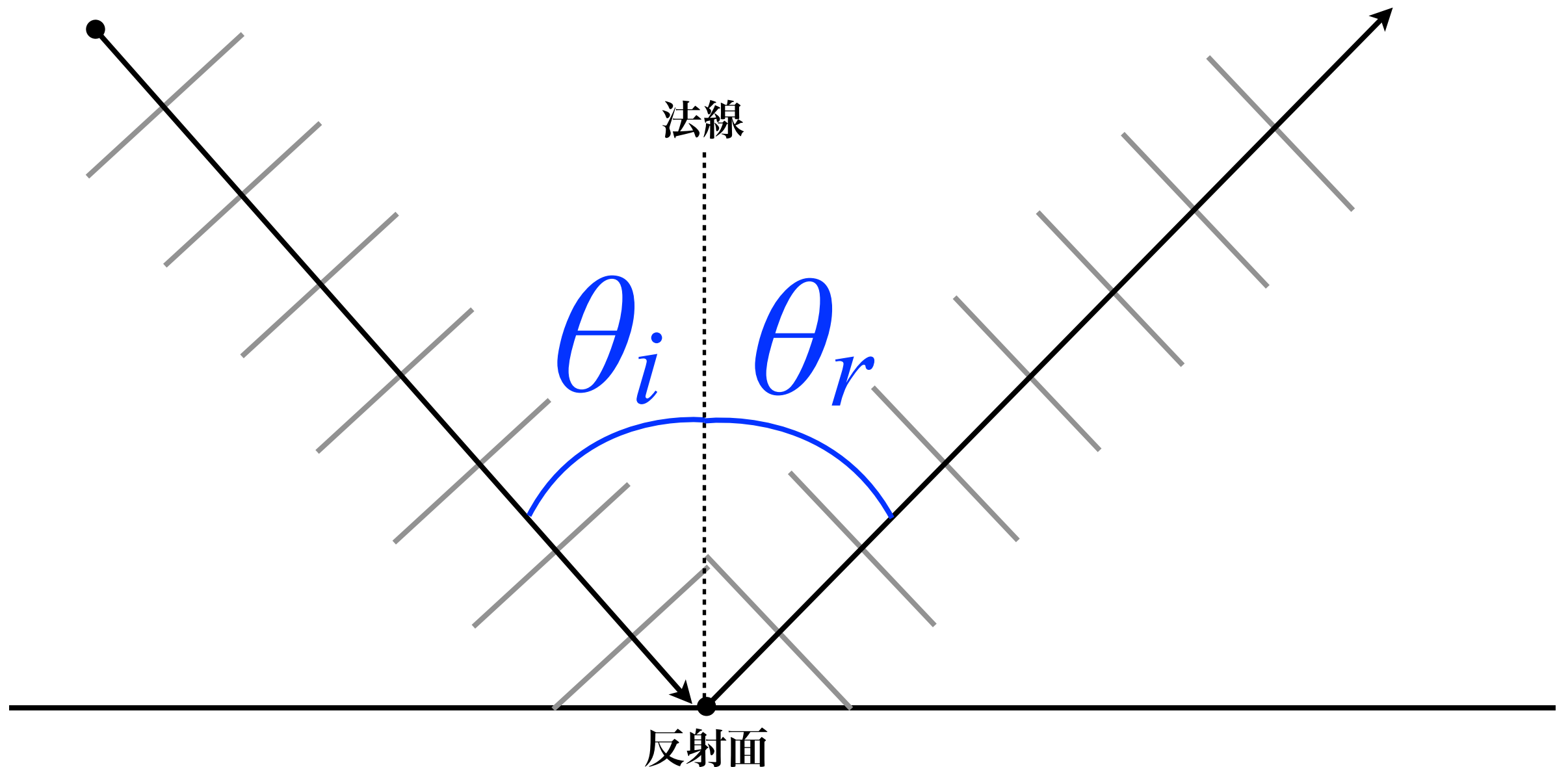


波の反射

7

- 反射の法則 「入射角 θ_i = 反射角 θ_r 」

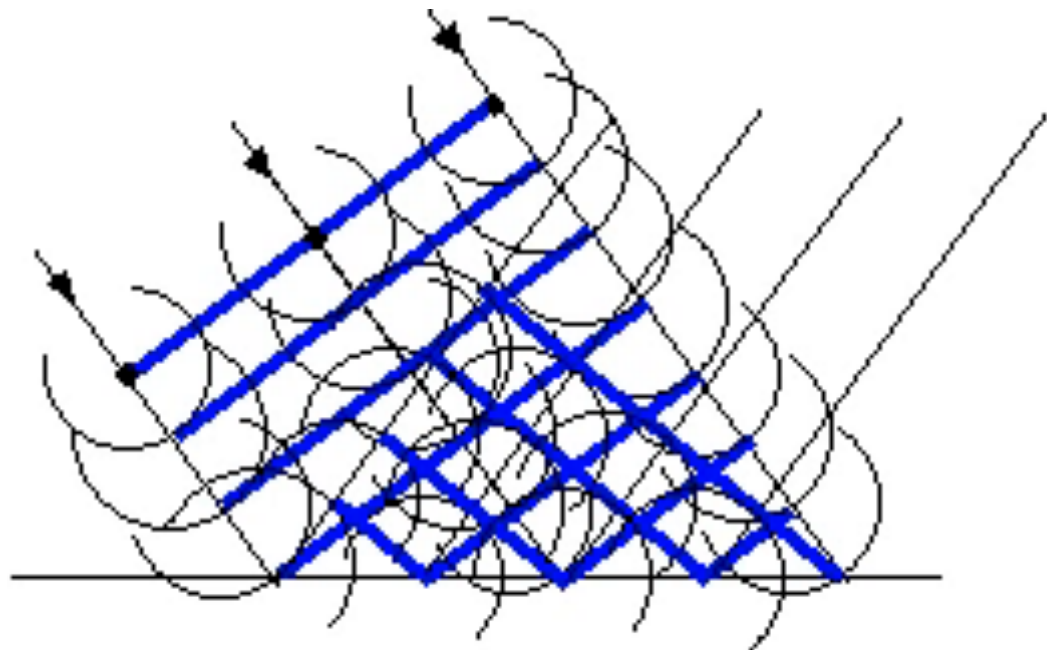
入射波 λ, f, v ← 波のパラメータは同じ → 反射波 λ, f, v



反射とホイヘンスの原理

⑧

- 反射面から出る二次波の包絡線が反射波の波面を構成
- この包絡線を追跡すると $\theta_i = \theta_r$ となる

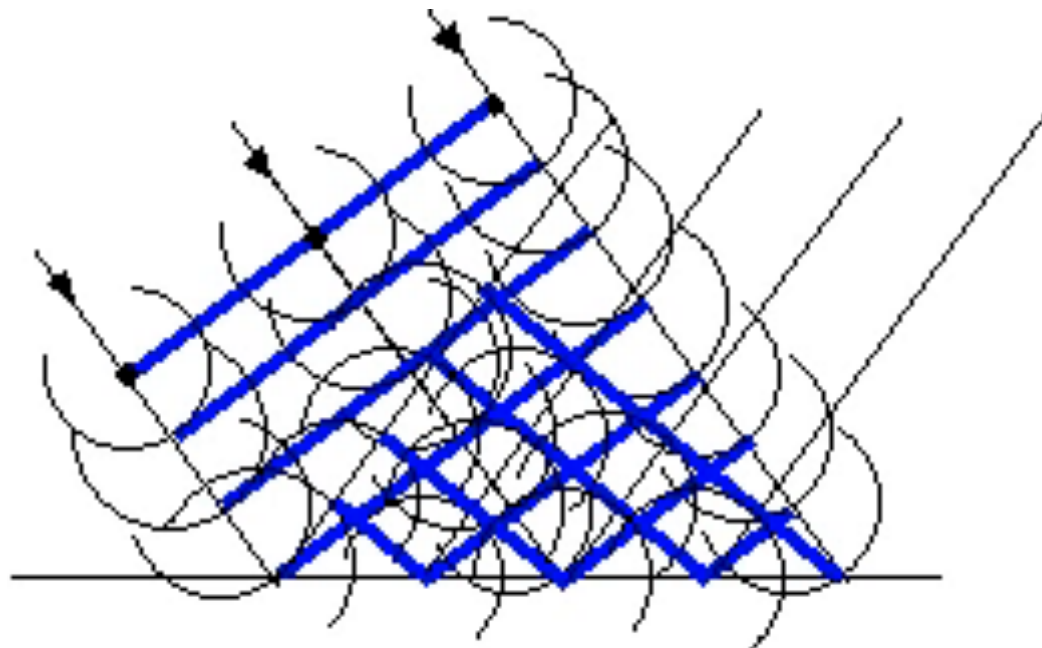
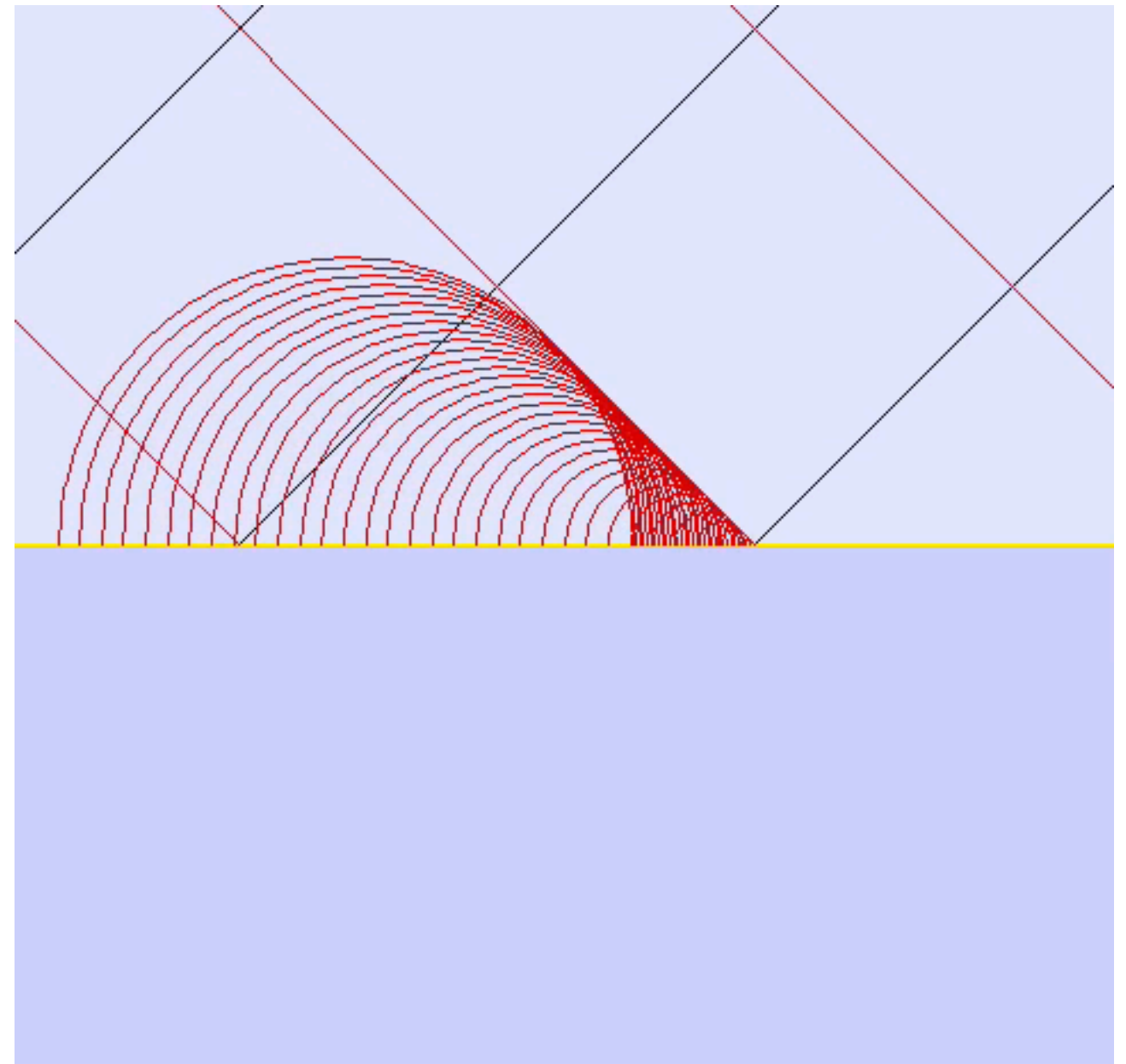


反射とホイヘンスの原理

⑧

- 反射面から出る二次波の包絡線が反射波の波面を構成
- この包絡線を追跡すると $\theta_i = \theta_r$ となる

黒線: 入射波, 赤線: 反射波, 赤丸: 二次波の波面



波の屈折

9

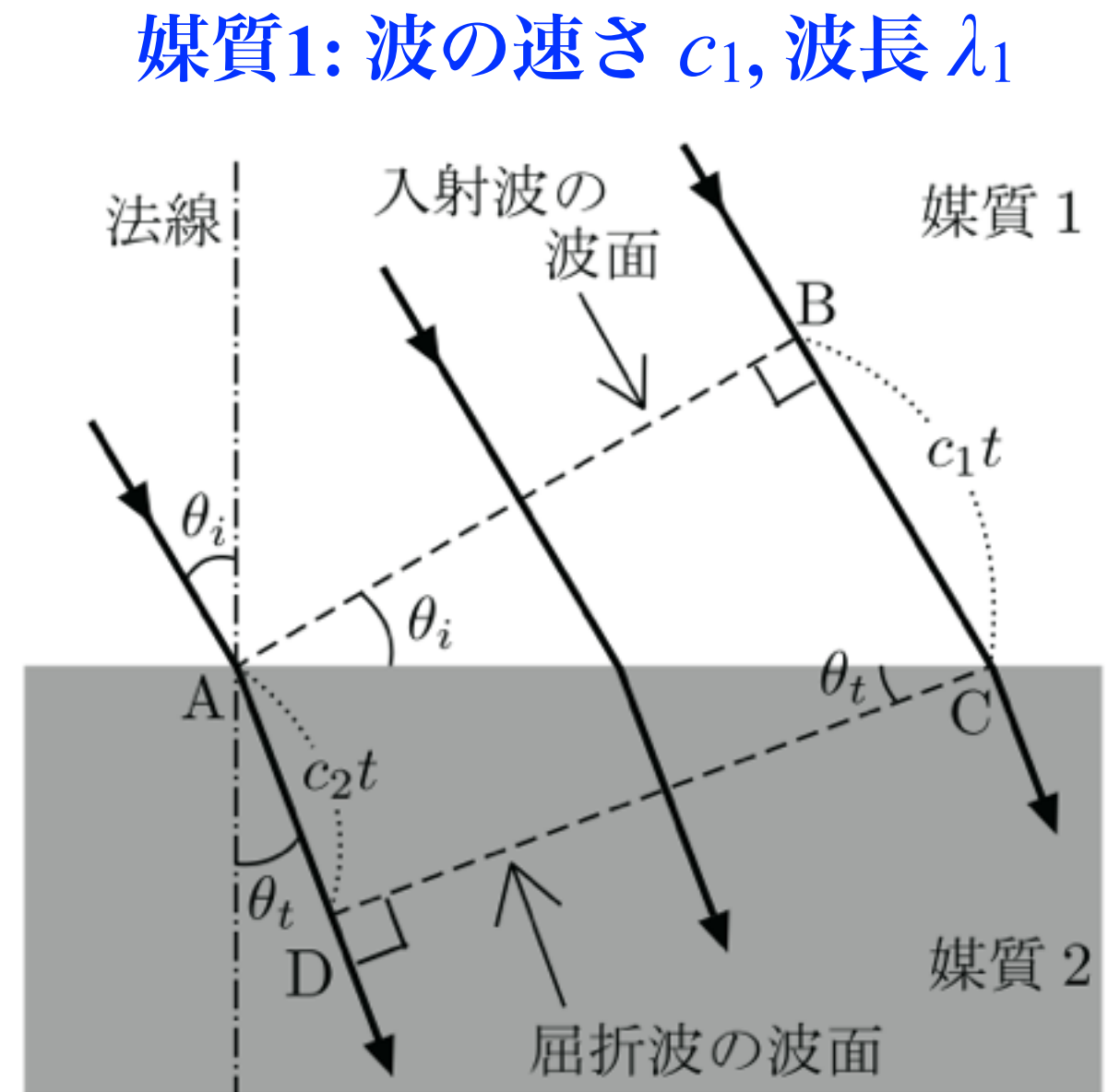
- 屈折の法則（スネルの法則）

$$\frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_t} = \frac{c_1}{c_2}$$

- 以下の 2 式を両辺割算

$$c_1 t = \overline{AC} \sin \theta_i$$

$$c_2 t = \overline{AC} \sin \theta_t$$



媒質2: 波の速さ c_2 , 波長 λ_2

波の屈折

9

- 屈折の法則（スネルの法則）

$$\frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_t} = \frac{c_1}{c_2}$$

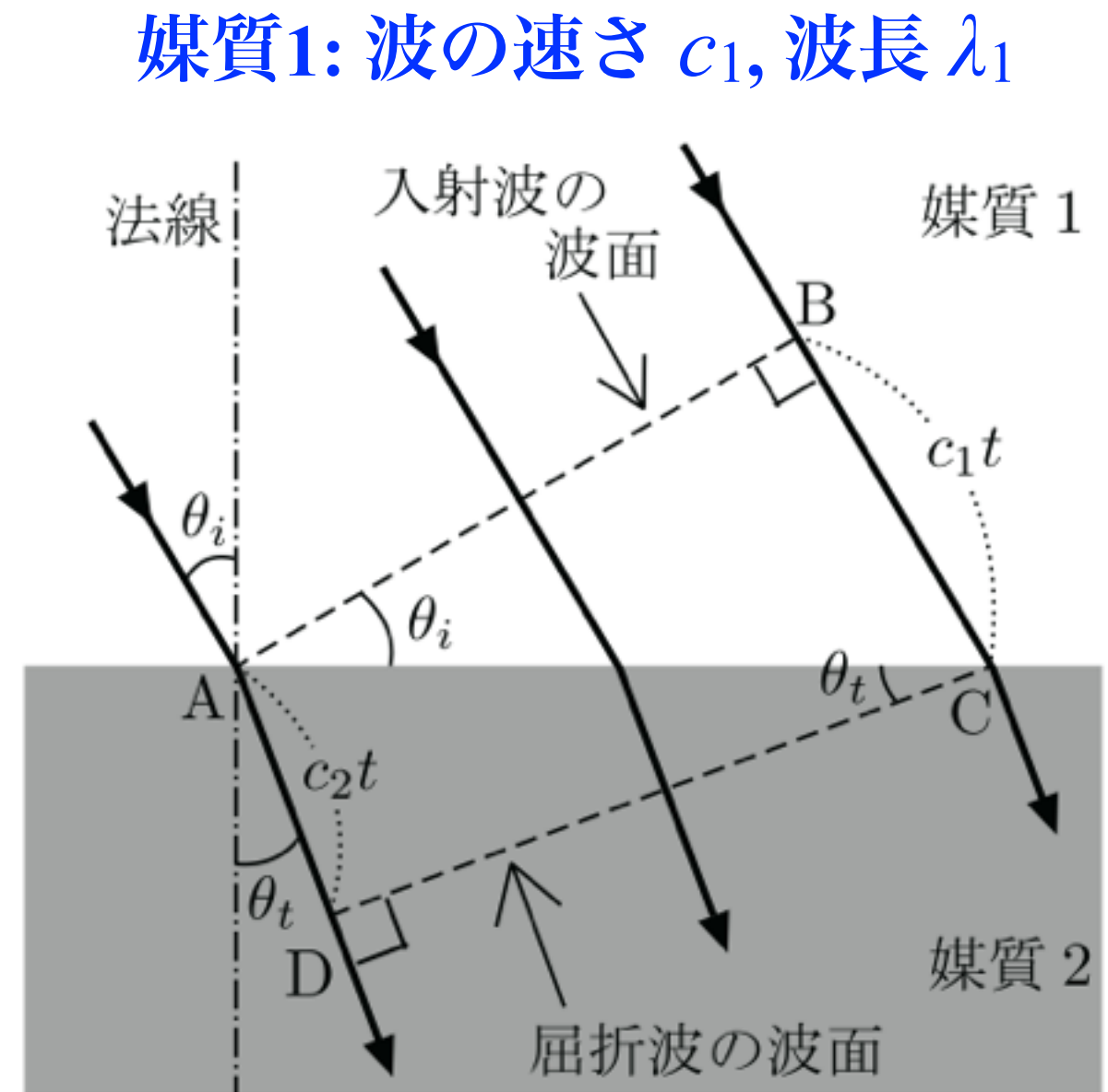
入射角 θ_i (indicated by a blue arrow pointing to the angle)

屈折角 θ_t (indicated by a blue arrow pointing to the angle)

- 以下の 2 式を両辺割算

$$c_1 t = \overline{AC} \sin \theta_i$$

$$c_2 t = \overline{AC} \sin \theta_t$$



媒質2: 波の速さ c_2 , 波長 λ_2

波の屈折

9

- 屈折の法則（スネルの法則）

$$\frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_t} = \frac{c_1}{c_2}$$

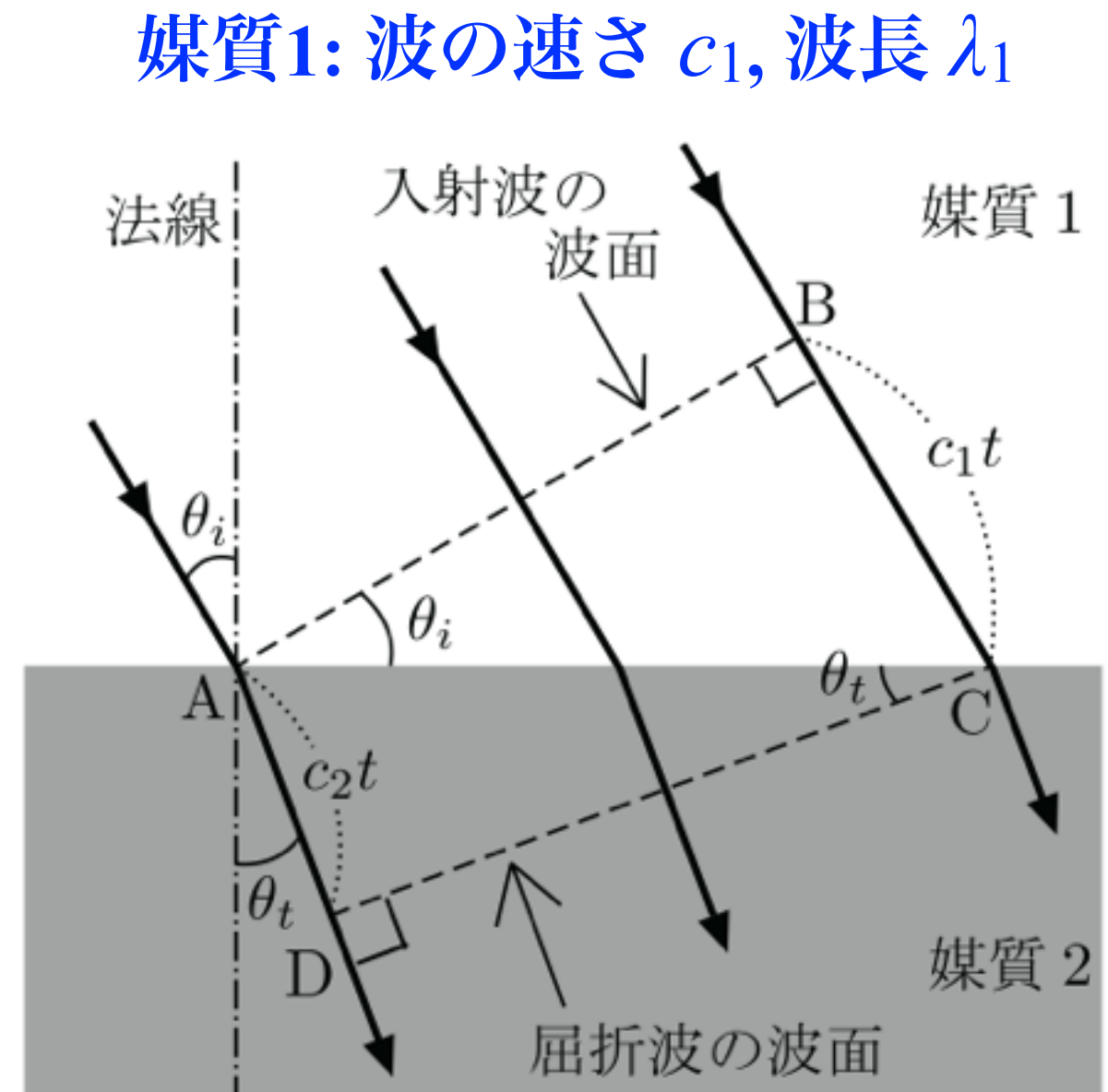
入射角 θ_i (indicated by a blue arrow pointing to the angle)

屈折角 θ_t (indicated by a blue arrow pointing to the angle)

- 以下の 2 式を両辺割算

$$c_1 t = \overline{AC} \sin \theta_i$$

$$c_2 t = \overline{AC} \sin \theta_t$$



媒質2: 波の速さ c_2 , 波長 λ_2

屈折率について

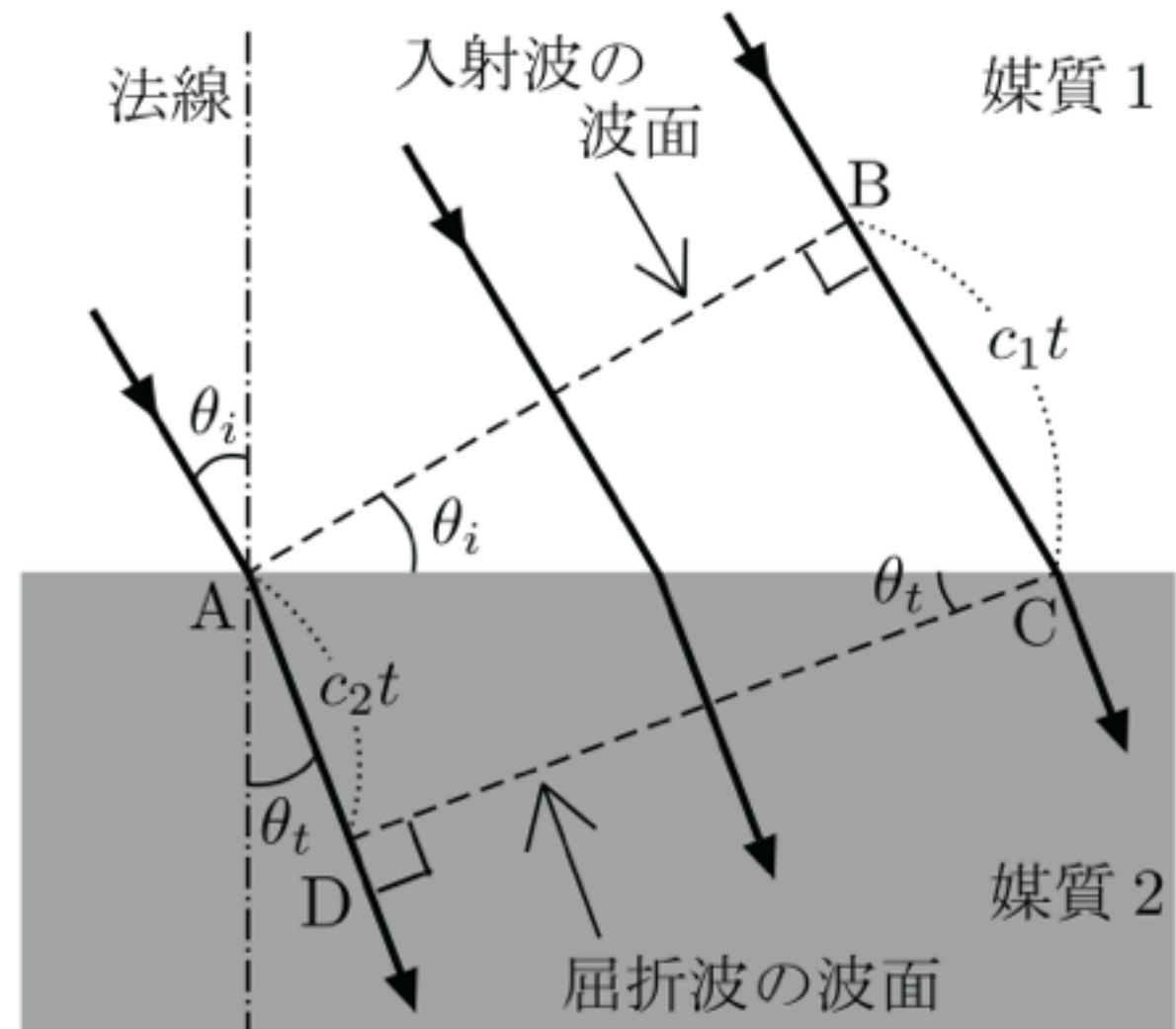
10

- 波の振動数 f は不変なので $c = f\lambda$ より

$$\frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_t} = \frac{c_1}{c_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$
$$= n_{1 \rightarrow 2} = n_{2 \rightarrow 1}^{-1}$$

媒質1 に対する
媒質2 の屈折率
(相対屈折率)

媒質1: 波の速さ c_1 , 波長 λ_1

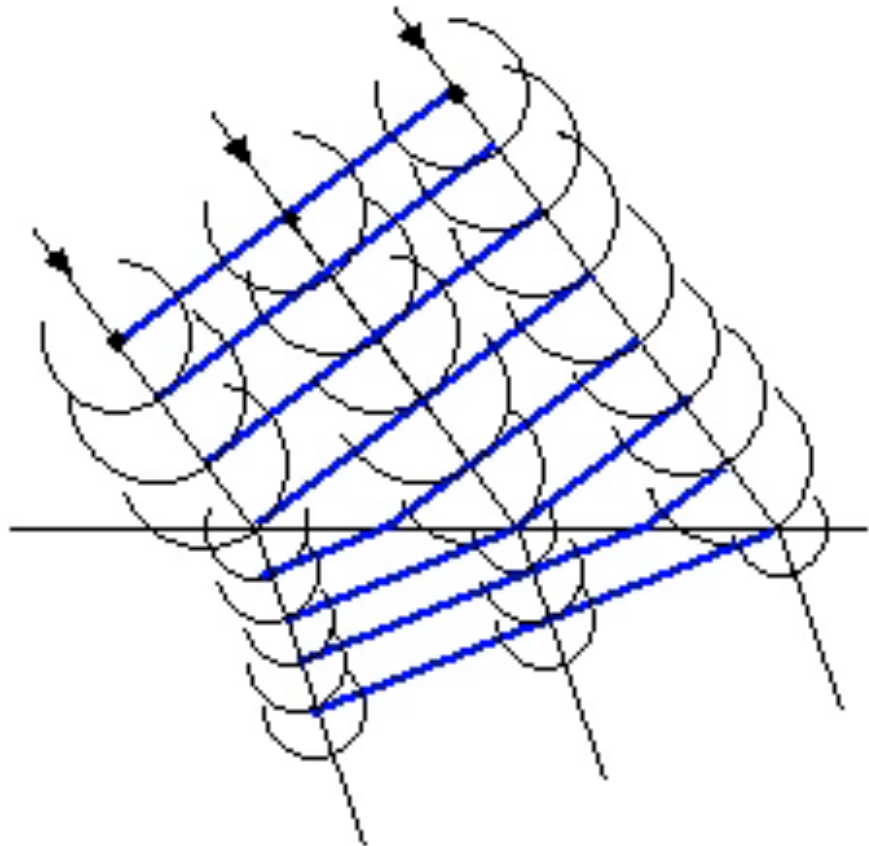


媒質2: 波の速さ c_2 , 波長 λ_2

屈折とホイヘンスの原理

11

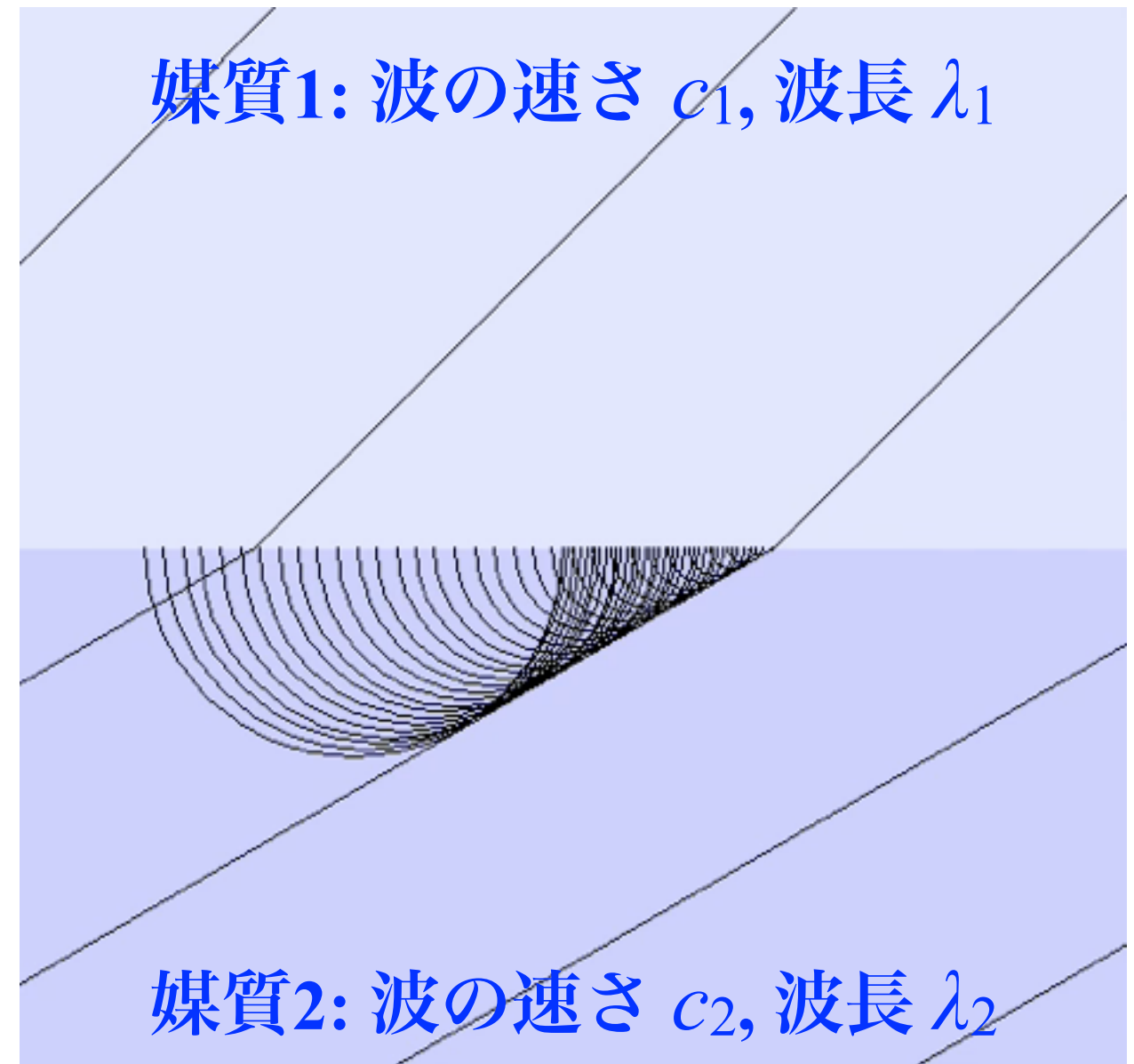
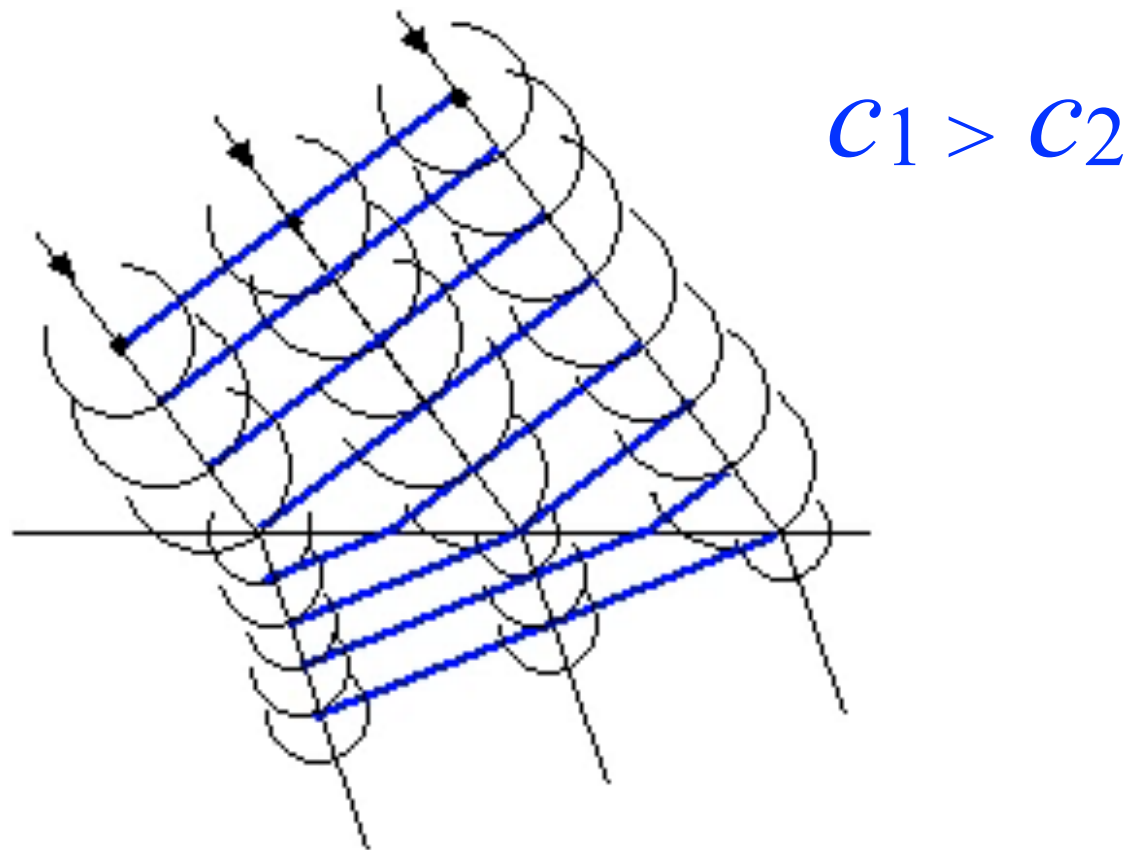
- 波面の一部の進行速度が変わること曲がる
- 二次波を書いて、
包絡線を描く



屈折とホイヘンスの原理

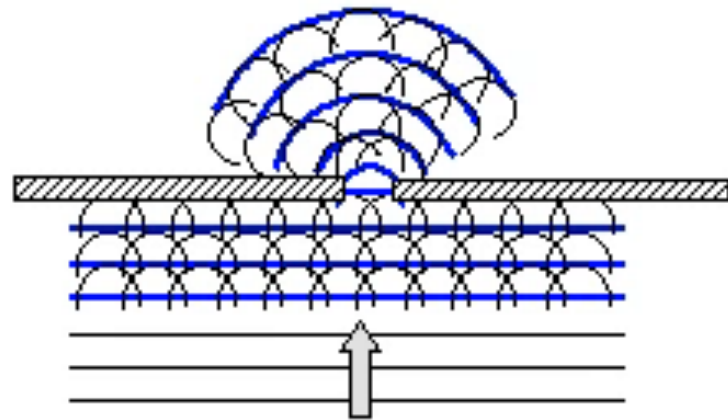
11

- 波面の一部の進行速度が変わること曲がる
- 二次波を書いて、
包絡線を描く



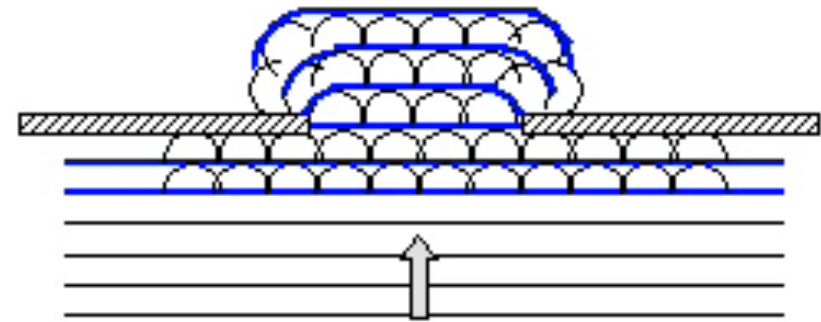
- 進路に障害物があるとき, 波が回り込むこと
- 波の波長が, 隙間よりも長い場合に顕著

回折（回り込み）が顕著



波長が隙間と同じか
少し長い場合の回折

直進性が強い状態



波長が隙間よりも
短い場合の回折

回折の例

+ α



回折の例

+ α

音の波長

(可聴域の音の波長は1.7 cm - 17m程度)

光の波長

(可視光の光の波長は $4 - 7 \times 10^{-7}$ m 程度)



回折の例

+ α

音の波長

(可聴域の音の波長は1.7 cm - 17m程度)

光の波長

(可視光の光の波長は $4 - 7 \times 10^{-7}$ m 程度)

隙間に比べて音の波長が長いので音は
回り込むことができる

光の波長は短いので直進性が強い

