

# 4章 点目標のレーダー方程式

防災科研 瀧下恒星

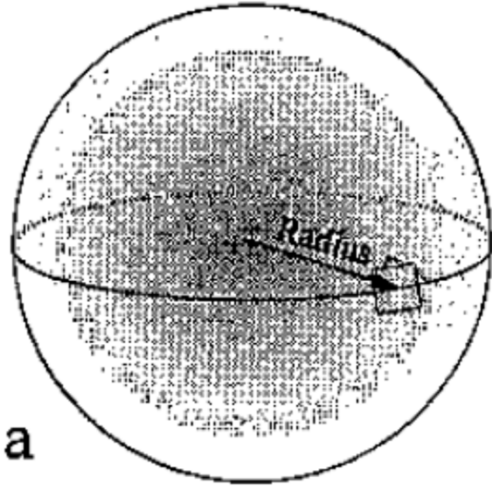
# レーダーデータを使ってやりたいこと

- 降灰シミュレーション結果の検証
  - 地上での計算結果の検証はディストロメータのデータを使って行ってきた
  - 上空の定性的な濃度分布としてレーダーデータを活用したい
  - 高反射強度領域と一致しているか？

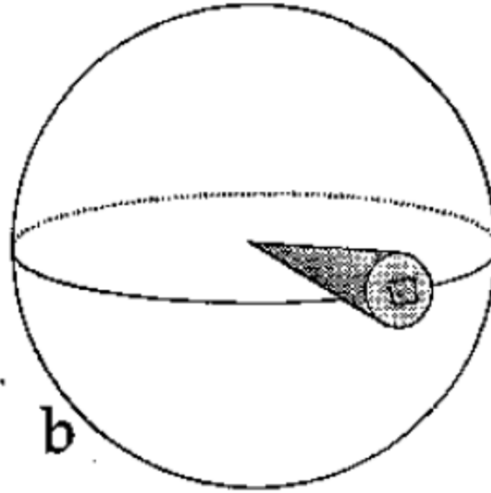
# 4章の概要

- 一つの目標をどう捉えるか？
- 球体とみなせるもの
  - 標準目標（キャリブレーションに有用なもの）：球体
  - 標準目標2：反射鏡（平板，二面，三面）
  - 鳥
  - 飛行機
- 建物
  - 給水塔と電波塔
  - 分散点目標（ビル群，林など）

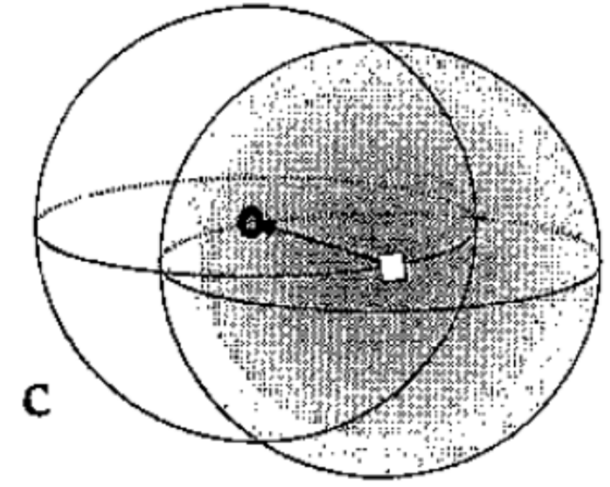
# アンテナのシグナル検知の流れ



等方放射体が  
ビームを放射する  
ときの単位面積  
あたりのパワーの  
模式図



実際には指向性の  
あるアンテナが  
ビームを出して  
目標にぶつかる



目標は等方放射体  
と同様に遮断した  
ビームを反射する  
アンテナのある  
方向へのビームが  
検知される

# エネルギーのカバー面積とパワー密度

- 面積 $=4\pi r^2$
- 単位面積あたりのパワーは $S = p_t / (4\pi r^2)$  (4.2)
- 実際のアンテナを使用すると、パワー量は等方放射体よりも大きくなる
  - このときの倍率 $g$ をアンテナ利得と呼ぶ
  - 索引での説明：等方放射体と比較した指向性アンテナの有効性を示す指標で、最大値が慣例的にアンテナ利得と呼ばれる
- 面積 $A_\sigma$ の目標が遮るパワー $p_\sigma$ は
$$p_\sigma = SgA_\sigma = (p_t g A_\sigma) / (4\pi r^2) \quad (4.3)$$

# 変数一覧

変数 (単位)	説明	変数 (単位)	説明
$r$ (m)	レーダーからの距離	$g$	アンテナ利得
$p_t$ (W)	レーダーが放出するパワー量	$D$ (m)	球体の直径
$p_\sigma$ (W)	目標が遮るパワー量	$\lambda$ (m)	波長
$S$ (W/m <sup>2</sup> )	パワー密度	$ K $	物質の複素屈折率 パラメータ
$A_\sigma$ (m <sup>2</sup> )	目標の面積	$\sigma$ (m <sup>2</sup> )	球体の後方散乱断面積
$A_e$ (m <sup>2</sup> )	アンテナの有効面積	$\sigma_o$ (m <sup>2</sup> )	複数の目標の 総計散乱断面積
$A$ (m <sup>2</sup> )	レーダーから見た目標の 幾何学的面積	$\sigma_i$ (m <sup>2</sup> )	個別後方散乱断面積
$l$ (m)	二面体または三面体の 一辺の長さ		

# レーダーが検出するエネルギー

- レーダーが検出するエネルギーは

$$p_r = p_\sigma g A_e / 4\pi r^2 \quad (4.4)$$

– (4.3)式の $p_\sigma \rightarrow p_r$ ,  $p_t \rightarrow p_\sigma$ ,  $A_\sigma \rightarrow A_e$

– 整理すると

$$p_r = p_t g A_\sigma A_e / (4\pi)^2 r^4$$

- アンテナの有効面積はアンテナの利得 $g$ とレーダー波長 $\lambda$ から以下のように表される：

$$A_e = g \lambda^2 / 4\pi \quad (4.5)$$

- (4.4), (4.5)式から

$$p_r = p_t g^2 \lambda^2 A_\sigma / 64\pi^3 r^4 \quad (4.6)$$

- 目標の物理的な面積 $A_\sigma$ は後方散乱断面積 $\sigma$ に置き換えなければならない→(4.7)式

# アンテナ利得と後方散乱断面積への理解

- アンテナ利得はレーダーの放射特性
  - $g$ は等方放射に対する倍率に相当
- 後方散乱断面積は目標の散乱特性
  - 後方散乱は発射点の方に返ってくる散乱
  - 等方散乱強度に対する後方散乱強度の倍率が  $\sigma/A_\sigma$  に相当



# 球体の後方散乱断面積 $\sigma$

- 球体がレーダーの波長よりも大きい場合

$$\sigma = \pi D^2 \quad (4.8)$$

- 球体がレーダーの波長よりも小さい場合

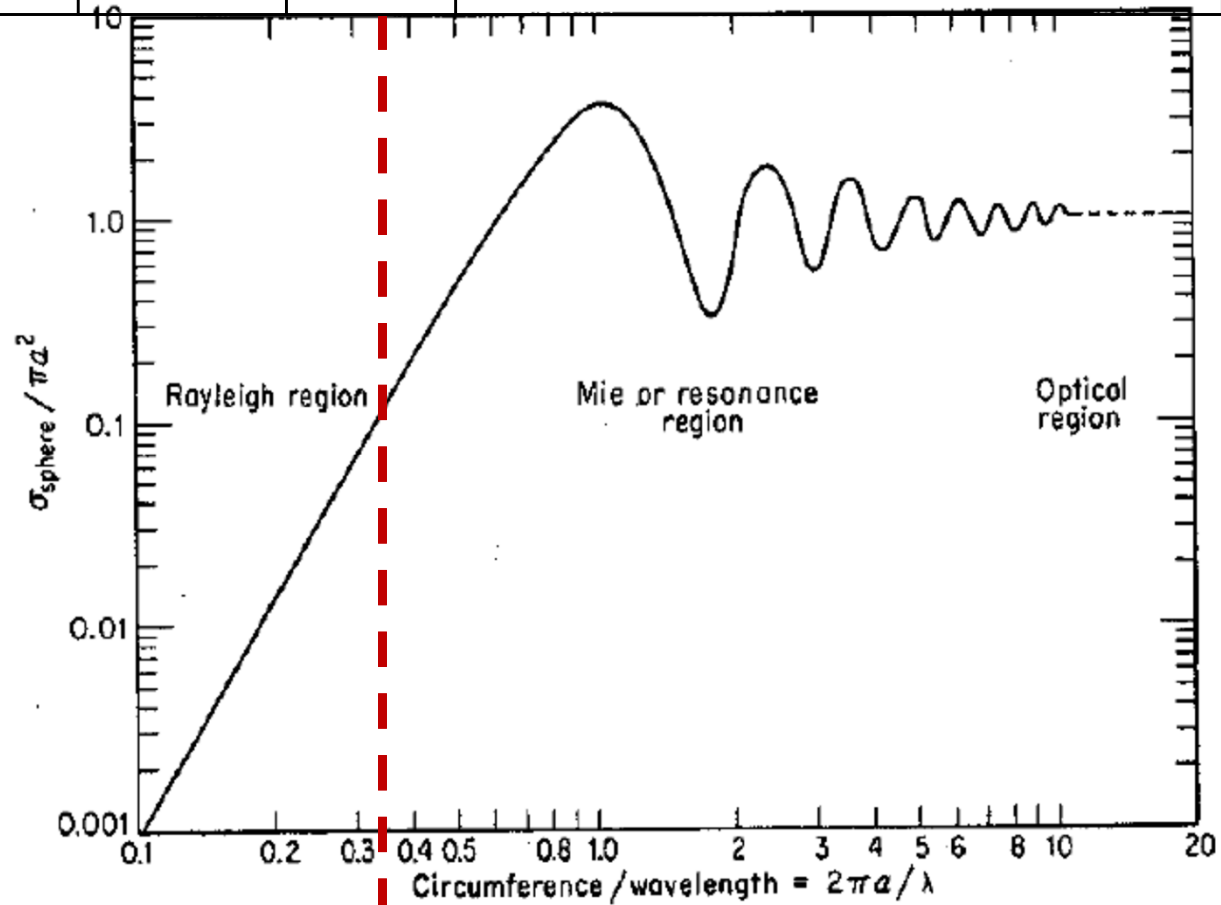
$$\sigma = \frac{\pi^5 |K|^2 D^6}{\lambda^4} \quad (4.9)$$

- 多くの粒子はレーダー波長よりも小さいので (4.9)式が適用される
- 中間的な大きさの粒子の  $\sigma$  の評価は困難
  - 異なる波長のレーダーを使用して  
ひょうの検出などに活用されている

# 粒径と後方散乱断面積 $\sigma$ の関係

	波長			
Ka	7.5-12	0.75		7.5
Ku	17-25	1.7		17
X	25-40	2.5		25

(mm)



レーダー  
波長に比べて  
小さい粒子

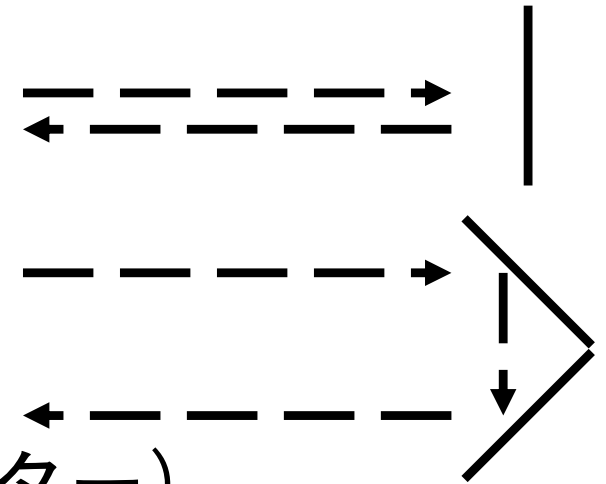
レーダー  
波長に比べて  
大きい粒子

# 点以外の目標

- 雨雲は非常に多くの雨粒からなる  
→点目標ではないため、詳細な検討が必要
- レーダー特性が正確にわかっている球体標準目標  
– (4.8)式と同様、球の半径の2乗に比例

- 平板反射鏡

$$\sigma = 4\pi A^2 / \lambda^2 \quad (4.11)$$



- 二面体反射鏡

- 三面体反射鏡 (コーナーリフレクター)

$$\sigma = 4\pi(0.289l^2)^2 / \lambda^2 \quad (4.12)$$

# その他の目標：鳥と飛行機

- 鳥類：同じ質量の水の球体に第一近似できる
  - 点目標なので探知距離の4乗に反比例  
→ 近距離（～数マイル）でのみ使用可能
  - 小さい：後方散乱断面積はSバンドで10-20 cm<sup>2</sup>（ムクドリ，鳩），80-90 cm<sup>2</sup>（カモメ，鴨）
- 航空機：方位に決定的に依存
  - 鳥類と同様距離の4乗に反比例して減衰するがより大きいので中距離まで使用可能
  - 例示されているレーダーは1000km

# その他の目標：建物，分散点目標

- 建物は幾何学的面積と後方散乱断面積がほぼ同じ
  - 二面体や三面体と同様の働き
- 給水塔や電波塔：十分高い，距離と方位が一定，後方散乱断面積が一定なので有用
- 分散点目標：個々の後方散乱断面積を足し合わせて分布面積で割る

$$\sigma_o = \frac{\sum \sigma_i}{area} \quad (4.13)$$

- レーダークラッタ（ディスプレイ上の所望の信号の観測を妨害するエコー）のレーダー方程式も導ける。クラッタまでの距離の3乗に反比例