

4章 点目標のレーダー方程式

防災科研 瀧下恒星

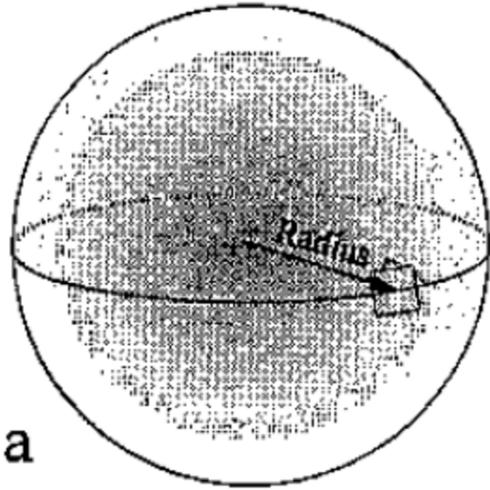
レーダーデータを使ってやりたいこと

- 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？

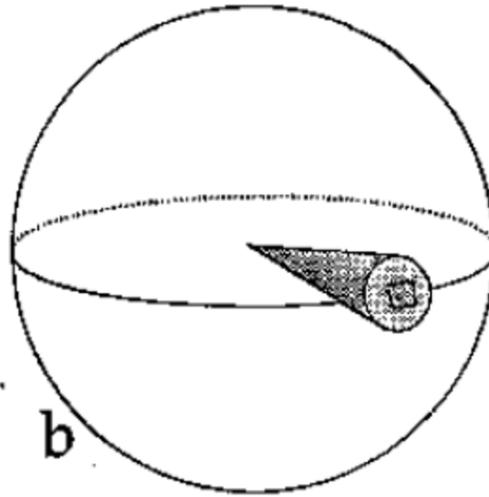
4章の概要

- 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）

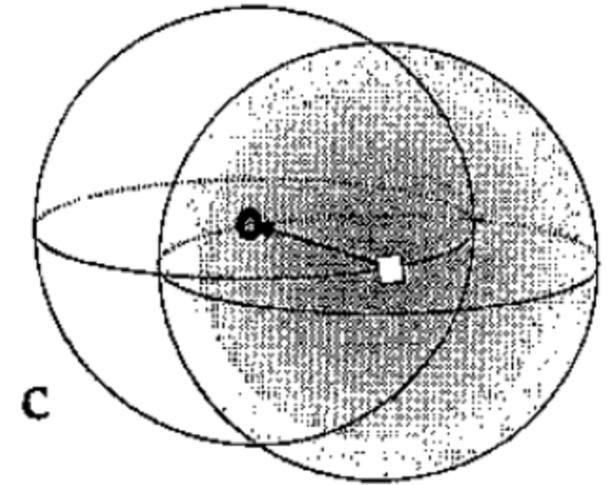
アンテナのシグナル検知の流れ



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_σ の目標が遮るパワー p_σ 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_σ (W)	目標が遮るパワー量	λ (m)	波長
S (W/m ²)	パワー密度	$ K $	物質の複素屈折率 パラメータ
A_σ (m ²)	目標の面積	σ (m ²)	球体の後方散乱断面積
A_e (m ²)	アンテナの有効面積	σ_o (m ²)	複数の目標の 総計散乱断面積
A (m ²)	レーダーから見た目標の 幾何学的面積	σ_i (m ²)	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 λ 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_σ は後方散乱断面積 σ に置き換えなければならない \rightarrow (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 σ/A_σ に相当

球体の後方散乱断面積 σ

- 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

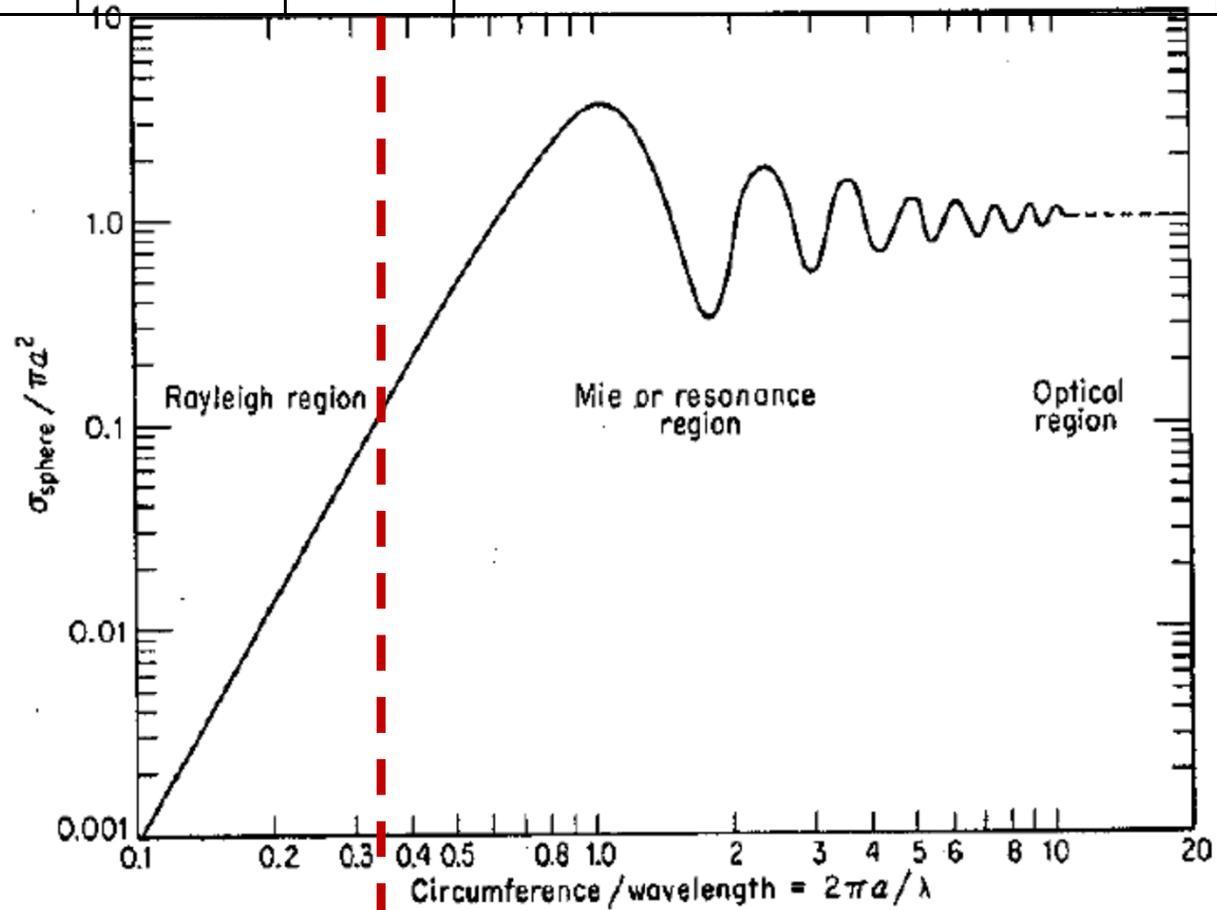
$$\sigma = \frac{\pi^5 |K|^2 D^6}{\lambda^4} \quad (4.9)$$

- 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 σ 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 σ 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

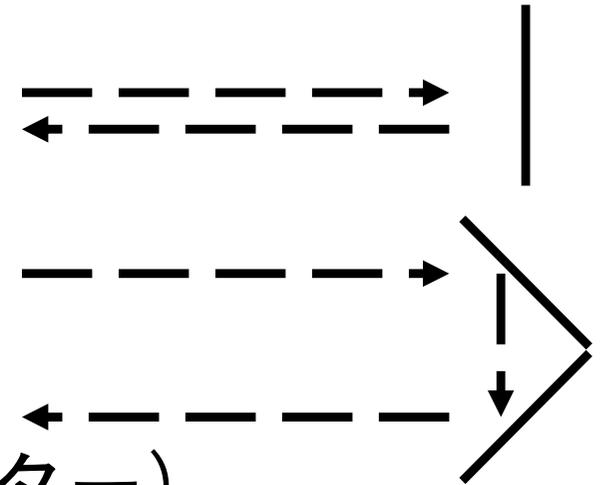
レーダー
波長に比べて
大きい粒子

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 cm² (ムクドリ, 鳩), 80-90 cm² (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