

目次

はじめに	i		
第 1 章 序論	1		
1.1 合成開口レーダとリモートセンシング	1		
1.2 合成開口レーダの応用分野	5		
1.2.1 海洋	5		
1.2.2 雪氷	7		
1.2.3 水文学	8		
1.2.4 地学	8		
1.2.5 農学	12		
1.2.6 森林学	12		
1.2.7 都市	12		
1.2.8 考古学	13		
1.3 本書の構成	14		
1.3.1 参考文献について	17		
第 2 章 合成開口レーダの概要	21		
2.1 合成開口レーダの歴史	21		
2.1.1 SAR の特徴	21		
2.1.2 SAR の発展過程	22		
2.2 SAR の原理と光学ホログラフィ	26		
2.2.1 空間分解能	26		
2.2.2 光学ホログラフィの原理	29		
2.2.3 レンズの役目をするゾーンプレート	32		
2.2.4 アジマス方向の合成開口技術	34		
2.2.5 レンジ方向のパルス圧縮技術	36		
2.2.6 SAR プロセッサ	38		
第 3 章 電磁波の基礎概念	41		
3.1 電磁波と波動	41		
3.1.1 スペクトルによる電磁波の分類	42		
3.1.2 電波スペクトル	46		
3.1.3 マイクロ波スペクトル	47		
3.2 電磁波の定量的記述	48		
3.2.1 マクスウェル方程式	49		
3.2.2 マイクロ波の発生源	51		
3.2.3 ベクトル波動方程式	53		
3.2.4 ヘルムホルツ方程式	53		
3.3 ヘルムホルツ方程式の解	55		
3.3.1 平面波	55		
3.3.2 電場と磁場の直交性	58		
3.3.3 ポインティング・ベクトル	59		
3.4 偏波特性	60		
3.4.1 直線偏波	60		
3.4.2 円偏波	62		
3.4.3 だ円偏波	63		
3.4.4 偏波していない電磁波	65		
3.4.5 レーダ・ポラリメトリ	66		
3.5 電磁波の減衰と散乱係数	69		
3.5.1 電磁波の減衰	69		
3.5.2 反射係数：境界条件	72		
3.5.3 反射と屈折	73		
3.5.4 反射係数：水平偏波	76		
3.5.5 反射係数：垂直偏波	78		
3.5.6 ブリュースタの角	79		
3.5.7 反射係数の振幅と位相	80		
第 4 章 レーダ方程式とマイクロ波の散乱	85		
4.1 レーダ方程式	85		
4.1.1 バイスタティック・レーダ	86		
4.1.2 モノスタティック・レーダ	89		
4.1.3 レーダ散乱断面積の例	89		

4.1.4	規格化レーダ散乱断面積	91	5.4.6	周波数領域でのパルス圧縮	143
4.1.5	デシベル表示	93	5.4.7	パルス圧縮の概要	144
4.1.6	レーダ画像のラジオメトリック補正	94	5.4.8	チャープ信号のスペクトル	145
4.2	アンテナパターン	94	5.4.9	マッチトフィルタリング	148
4.2.1	電磁波の回折	95	第 6 章	合成開口技術とアジマス方向の画像生成過程	151
4.2.2	アンテナによる回折パターン	100	6.1	アジマス方向の分解能	151
4.2.3	重み付きアンテナパターン	101	6.1.1	一様なビームパターン	151
4.3	マイクロ波の散乱	103	6.1.2	sinc 関数のビームパターン	151
4.3.1	散乱現象	103	6.2	合成開口技術の概要	154
4.3.2	表面散乱	104	6.2.1	パルス圧縮された 2 次元信号	154
4.3.3	表面散乱のモデル	107	6.2.2	レンジマイグレーション	157
4.3.4	体積散乱	111	6.2.3	コーナーターニング	160
第 5 章	パルス圧縮技術とレンジ方向の画像生成	115	6.2.4	ドップラー信号	161
5.1	画像レーダの概念	115	6.2.5	相関処理の概要	162
5.1.1	2次元レーダ画像	115	6.2.6	焦点深度	166
5.1.2	ラジオメトリック分解能	118	6.2.7	アジマスビーム幅と分解能	167
5.1.3	入射角	118	6.2.8	アルゴリズムの種類	170
5.2	非圧縮パルスによるレンジ方向の画像生成	120	6.3	時間領域での合成開口処理	171
5.2.1	分解能	120	6.3.1	レンジマイグレーション	172
5.2.2	観測幅	122	6.3.2	時間領域での相関処理	174
5.2.3	アンテナパターン	124	6.3.3	時間領域のプロックダイアグラム	175
5.2.4	レンジアンビギュエティ	125	6.4	周波数領域での合成開口処理	176
5.3	ジオメトリック画像変調	128	6.4.1	相関処理の基本演算	177
5.3.1	フォアショートニング	128	6.4.2	時間領域でのレンジスキュー補正	178
5.3.2	レイオーバー	128	6.4.3	周波数シフト	179
5.3.3	陰影効果	129	6.4.4	周波数領域でのレンジカーバチャ補正と相関処理	182
5.3.4	幾何学的効果の定量的記述	130	6.4.5	レンジマイグレーション補正精度	182
5.4	パルス圧縮技術を使ったレンジ方向の画像生成	131	6.4.6	周波数領域のみでのレンジマイグレーション補正と相関処理	185
5.4.1	FM パルス	131	6.4.7	ドップラースペクトル	186
5.4.2	受信信号	132	6.4.8	マッチトフィルタリング処理	190
5.4.3	時間領域でのパルス圧縮	134	6.4.9	ステップ変換処理	191
5.4.4	相関積分の図解	138	6.4.10	ω - k アルゴリズム	193
5.4.5	分解能の基準	141	6.4.11	チャープスケーリング	195

6.5 アジマスアンビギュイティ	198	7.2.3 ホワイトノイズ近似	258
6.5.1 サンプリング定理	199	7.2.4 平均画像強度での線形システム	260
6.5.2 エイリアシング	201	7.3 スペックル	261
6.5.3 アンビギュイティ画像の位置	202	7.3.1 複素振幅の1次統計特性	262
6.6 マルチルック処理	204	7.3.2 強度の1次統計特性	264
6.6.1 時間領域での処理	206	7.3.3 複素振幅の2次統計特性	266
6.6.2 周波数領域での処理	209	7.3.4 強度の2次統計特性	268
6.7 オートフォーカス	210	7.3.5 スペックル自己相関関数の例	269
6.7.1 マルチルック・レジストレーション法	211	7.4 スペックル軽減	272
6.7.2 マルチルック・コントラスト最適化法	215	7.4.1 マルチルック画像のスペックル相互相関	273
6.7.3 プロミネント・ポイント処理法	215	7.4.2 スペックルの和の統計解析	276
6.7.4 位相差法	216	7.4.3 ピクセル平均によるマルチルック画像	278
6.8 移動体の画像	218	7.5 ガウス統計にしたがわないスペックル	280
6.8.1 レンジ方向の速度	218	7.5.1 対数正規分布	281
6.8.2 レンジ方向の加速度	224	7.5.2 K -分布	281
6.8.3 アジマス方向の速度	225	7.5.3 ワイブル分布	282
6.8.4 アジマス方向の加速度	226	7.5.4 非ガウス分布の画像例	282
6.9 SARの種類	227	第8章 合成開口レーダの新展開	287
6.9.1 ビームモード	227	8.1 SAR搭載の衛星と航空機	287
6.9.2 クロストラック干渉 SAR	229	8.2 近年のトレンド	290
6.9.3 差分干渉 SAR	232	8.2.1 プラットフォームの軽量化	290
6.9.4 アロングトラック干渉 SAR	233	8.2.2 回帰日数の短縮	290
6.9.5 インバース SAR	236	8.2.3 バイスタティック SAR	291
第7章 SAR画像解析の基礎	239	8.2.4 高分解能化	291
7.1 3次元散乱面の複素画像	239	8.2.5 UAV搭載 SAR	292
7.1.1 コンボルーションモデル	239	8.2.6 干渉 SAR	292
7.1.2 コンボルーション積分の例	244	8.3 ポラリメトリ	294
7.1.3 ランダムな後方散乱場のコンボルーション	246	8.3.1 偏波だ円と幾何学的パラメータによる記述	296
7.1.4 線形システム	249	8.3.2 数学的記述	297
7.1.5 周波数領域での線形システム	251	8.3.3 散乱マトリックス	299
7.2 強度画像生成プロセス	252	8.3.4 偏波シグネチャ	300
7.2.1 アンサンプル平均と自己相関関数	253	8.3.5 散乱ベクトル	301
7.2.2 アンサンプル平均画像強度	256	8.3.6 散乱成分の分解	304

8.3.7 固有値解析	306
8.3.8 ポラリメトリック InSAR	310
8.3.9 スペックル軽減	311
付録 A 波動の複素関数表示	313
A.1 複素関数と特性	313
A.2 波動の複素振幅と強度	315
付録 B コヒーレンス	317
B.1 時間的コヒーレンス	317
B.2 空間的コヒーレンス	318
付録 C フーリエ変換と応用	321
C.1 デイラックのデルタ関数	321
C.1.1 デルタ関数の定義	321
C.1.2 デルタ関数の特性	321
C.2 フーリエ変換	324
C.2.1 1次元のフーリエ変換	324
C.2.2 離散的フーリエ変換	326
C.2.3 サイン変換とコサイン変換	326
C.2.4 フーリエ変換の例	329
C.2.5 加法定理と相似定理	333
C.2.6 シフト定理	333
C.2.7 コンボリューション積分	333
C.2.8 自己相関関数	334
C.2.9 相互相関関数	335
付録 D 主要パラメータのリスト	337
参考文献	343
索引	365