

基礎からわかる リモートセンシング

日本リモートセンシング学会 編

理工図書

基礎からわかる リモートセンシング

日本リモートセンシング学会 編

理工図書

まえがき

地球観測衛星 Landsat-1 が打ち上げられた 1972 年以來，リモートセンシングは新しい技術として世界に広まり，様々な分野で用いられてきた。例えば，天気予報，漁場予測，資源探査，収穫量予測，森林管理，災害状況把握など社会活動に直接的に関係するような分野で用いられてきている。また，1980 年代以降，温暖化をはじめとする地球環境問題が一般人にも認識されるようになり，環境変動がどのような要因とメカニズムで起こるかを研究する科学の重要性が増してきた。このような科学研究において，リモートセンシングは地球表層（大気，陸域，海洋）の広い領域での環境の状態とその変化に関する情報を得るための強力な手段として必要不可欠な技術となってきた。

リモートセンシングに関する書物は現在まで数多く出版されているが，大学の講義に使える初学者的な教科書はなかった。本書は大学または大学院において初めてリモートセンシングを学ぶ学生を対象とした教科書である。日本リモートセンシング学会が本書の出版を企画したきっかけは，2008 年にリモートセンシングの発展のために何をなすべきかを学会の理事会において議論したことに始まる。このとき，リモートセンシングの講義に使える教科書が必要との意見が出された。これを受けて本書を編集すべく 2009 年に学会内に教科書編集委員会が設置された。本書は日本リモートセンシング学会が総力をあげて編集したリモートセンシング教科書の決定版といえる。

本書の特徴は次のとおりである。

- (1) 著者はリモートセンシングの各分野における日本を代表するエキスパートである。
- (2) 90 分講義 15 回分として 15 章の構成とし，各章に学習目標を明示した。
- (3) リモートセンシングがどのように社会に役立っているかを理解してもらうためにリモートセンシングの応用例を第 2，3，4 章で紹介した。
- (4) 本教科書内の図および編集の都合で本書に含めることができなかった画像の講義用パワーポイントファイルは <http://www.rssj.or.jp/ppt/pptsys.html> から入手可能である。本書の図表はすべて白黒であるが，パワーポイントファイルはカラーで表示されている。
- (5) 本書の中心的な読者として理系の専門課程の大学生および大学院生を想定している。
- (6) より発展的な解説はコラム欄に記述した。

本教科書により，わずかでもリモートセンシングの理解が広がり，また将来のリモートセンシング専門家を目指す学生が増えれば，それは日本リモートセンシング学会の本望とするところである。

2011 年 1 月

編集委員長 建石隆太郎

本書の使い方

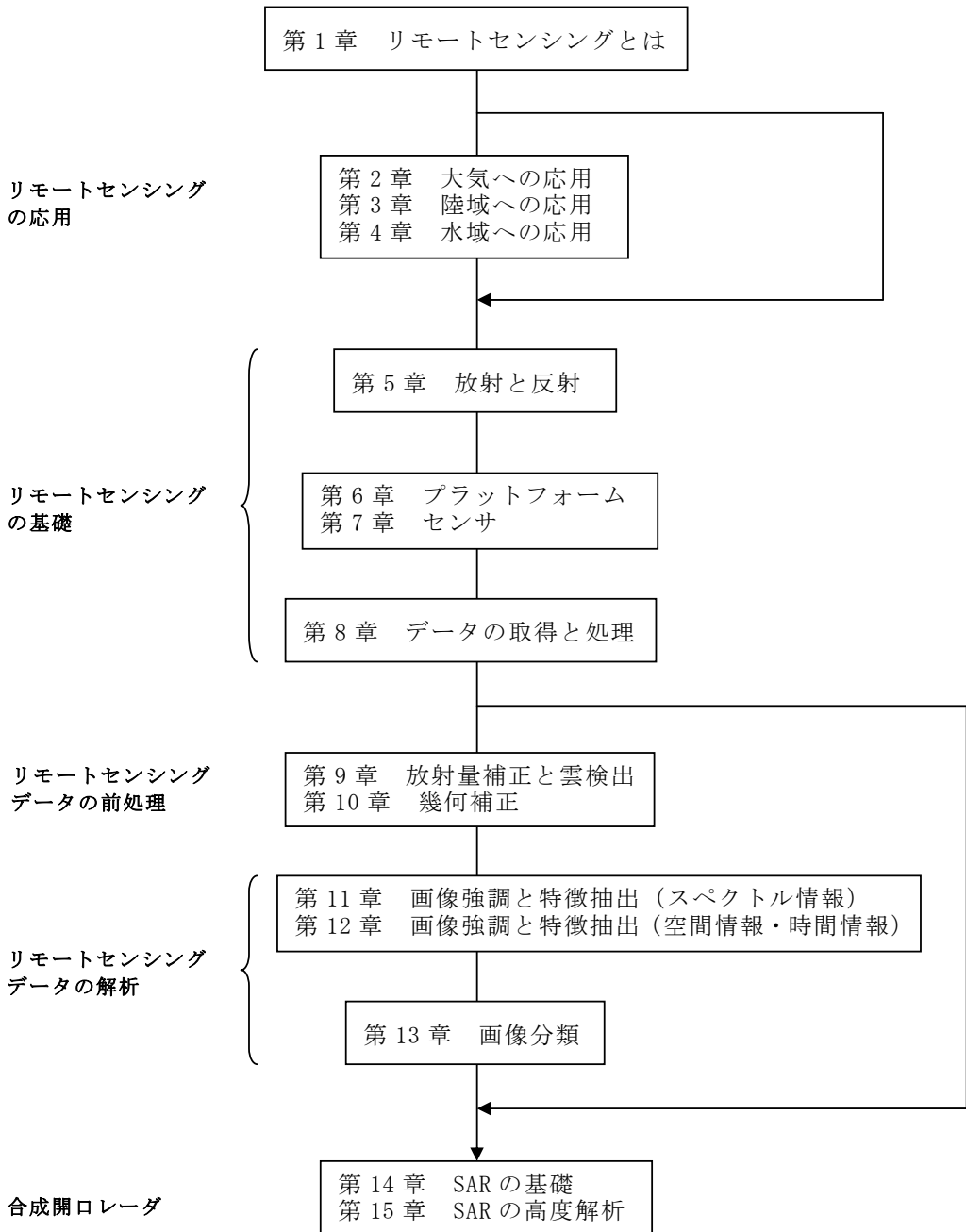
本書の使用法を以下に述べる。

《本書を講義用教科書として使われる教員に対して》

- (1) 基本的には1章が90分講義1回分であるが、講義回数の制限により1.2の章を省いてもよい。第2, 3, 4章における応用例の各節は講義し易い項目を取捨選択して用いるとよい。多くの章では90分講義以上の内容を含んでいるため、適宜内容を取捨選択していただきたい。
- (2) 必ずしも章の順番に講義する必要はない。例えば、最後の2章の合成開口レーダ関係は前に回して講義してもよい。次ページに各章の関係を示す。
- (3) 講義でパワーポイントファイルを使用される場合は、本書からのスライドと各先生がお持ちのスライドを組み合わせることで独自のスライドセットを作成して講義されることをお勧めする。

《本書を自習用として使われる学生、専門家の方々に対して》

- (1) リモートセンシングの初学者は第1章から順に通読されるとよい。ただし、応用例を紹介した第2, 3, 4章は興味に応じて後で読んでもよい。
- (2) 既にリモートセンシングを学んだことのある読者は、確認したい内容の章を選んで読むとよい。学び漏らしていた知識の確認に役立つはずである。



各章の関係と講義の順序

目 次

まえがき

第1章 リモートセンシングとは	1
1.1 リモートセンシングとは何か	1
1.2 リモートセンシングの歴史	4
1.3 リモートセンシングのタイプ	5
1.4 デジタル画像	7
第2章 大気への応用	9
2.1 雲と降雨、エアロゾルの観測	9
2.1.1 雲の観測	9
2.1.2 降雨の観測	11
2.1.3 エアロゾルの観測	13
2.1.4 ライダーによる大気観測	16
2.2 成層圏オゾンの観測	18
2.3 温室効果ガスおよびそのほかの大気中微量成分や気温の観測	20
2.3.1 衛星による温室効果ガスリモートセンシングの意義	20
2.3.2 短波長赤外域における温室効果ガスリモートセンシングの原理	21
2.3.3 衛星による温室効果ガスリモートセンシングの例	22
2.3.4 熱赤外域リモートセンシングによる大気サウンディング	22
2.4 気象業務におけるリモートセンシングの利用	25
第3章 陸域への応用	31
3.1 土地利用・土地被覆	31
3.2 DEM・地図	36
3.3 都市の熱環境	36
3.4 災害	38
3.5 農業	41
3.6 自然環境	43
3.7 森林・林業	45
3.8 水収支・熱収支	47
3.9 砂漠化	50
3.10 資源探査	52
3.11 氷河・氷河湖	55

第4章 水域への応用	61
4.1 水質・海色	61
4.1.1 水質と分光特性	61
4.1.2 沿岸域・湖沼	63
4.1.3 外洋	63
4.1.4 油汚染	65
4.2 海面水温	66
4.2.1 海面からの熱放射	66
4.2.2 海面水温推定のための大気補正	67
4.2.3 沿岸域と外洋域への応用	68
4.3 サンゴ礁・藻場・水生生物	70
4.3.1 海底のリモートセンシングの基本と水深推定	70
4.3.2 サンゴ礁・藻場	71
4.3.3 水生生物	72
4.4 マイクロ波による外洋の観測	73
4.4.1 海水	73
4.4.2 海上風と波浪	73
4.4.3 海面高度と表層海流	74
4.4.4 海面塩分	75
4.5 水産業における利用	76
4.5.1 海面漁業への応用	76
4.5.2 海面増養殖業への応用	78
第5章 放射と反射	83
5.1 電磁波の特徴	83
5.2 熱放射とプランクの放射則	84
5.3 物質表面における電磁波の反射	87
5.4 分光反射率	89
5.5 大気の散乱と吸収	91
第6章 プラットフォーム	97
6.1 プラットフォームの概要	97
6.1.1 プラットフォームとは	97
6.1.2 プラットフォームの高度	98
6.2 人工衛星	99

6.2.1	人工衛星システム	99
6.2.2	軌道	101
6.3	航空機	105
6.3.1	航空機の種類と特性	105
6.3.2	航空機の運航計画	106
6.3.3	航空機の位置姿勢測定	107
6.4	そのほかのプラットフォーム	109
6.4.1	成層圏プラットフォーム	109
6.4.2	UAV	110
6.4.3	車両	111
6.4.4	船舶	112
第7章 センサ		115
7.1	センサの体系	115
7.2	センサの原理	116
7.2.1	光学センサの原理	116
7.2.2	マイクロ波センサの原理	118
7.3	センサの特性	125
7.3.1	光学センサの特性	125
7.3.2	マイクロ波センサの特性	127
7.4	センサの代表例	129
7.4.1	光学センサの代表例	129
7.4.2	マイクロ波センサの代表例	134
第8章 データの取得と処理		139
8.1	ミッションの計画と運用	139
8.1.1	観測要求	139
8.1.2	運用制約	141
8.1.3	運用計画	143
8.2	リモートセンシングデータの受信と処理	144
8.2.1	入射電磁エネルギーからデータへの変換、幾何学的情報の記録	144
8.2.2	データの伝送	145
8.2.3	プロダクトのレベル	148
8.3	リモートセンシングデータの配布と利用	150
8.3.1	データの形式	150
8.3.2	データの入手方法	152

8.3.3	リモートセンシングデータからの情報抽出	154
第9章	放射量補正と雲検出	157
9.1	放射量校正	157
9.1.1	放射量校正とは	157
9.1.2	可視～短波長赤外波長帯の放射量校正	159
9.1.3	熱赤外波長帯の放射量校正	160
9.2	画質改善処理	162
9.3	大気補正	164
9.3.1	大気補正とは	164
9.3.2	可視～短波長赤外波長帯の大気補正	166
9.3.3	熱赤外波長帯の大気補正	168
9.4	雲検出	170
9.4.1	雲の影響	170
9.4.2	雲検出手法	170
第10章	幾何補正	177
10.1	幾何補正とは	177
10.2	幾何補正の原理と座標系	179
10.2.1	地球の形と地図座標系	179
10.2.2	座標系とシステム補正の考え方	183
10.3	幾何補正の方法	185
10.3.1	衛星画像の処理レベル	185
10.3.2	システム補正後のパラメータに用いた再配列	186
10.3.3	精密補正	187
10.3.4	オルソ補正	188
10.3.5	内挿手法	191
10.4	幾何補正の精度の評価	192
10.4.1	検証点を利用した方法	192
10.4.2	シミュレーション画像を利用した方法	194
10.5	モザイク処理	194
第11章	画像強調と特徴抽出（スペクトル情報）	199
11.1	スペクトル情報の強調	199
11.1.1	画像濃度値の変換	200
11.1.2	色空間への変換	204

11.2	スペクトルデータからの特徴抽出	207
11.2.1	スペクトルデータに含まれる有用情報	207
11.2.2	植生指数	211
11.2.3	植生以外の指数	213
11.2.4	ハイパースペクトルデータの利用	214
第 12 章 画像強調と特徴抽出 (空間情報・時間情報)		219
12.1	空間情報の画像強調と特徴抽出	219
12.1.1	鮮鋭化とエッジ・線の抽出	219
12.1.2	テクスチャ特徴量の抽出	223
12.2	時系列画像間処理	224
第 13 章 画像分類		231
13.1	画像分類の流れ	231
13.2	トレーニングデータと画像分類の定義	235
13.2.1	トレーニング領域とトレーニングデータ	235
13.2.2	教師付き分類と教師無し分類の定義	236
13.3	教師無し分類 (非階層的クラスタリング)	237
13.3.1	K 平均法	237
13.3.2	ISODATA 法	240
13.4	教師付き分類	241
13.4.1	マルチレベルスライス法	241
13.4.2	決定木法	242
13.4.3	最短距離法	242
13.4.4	最尤法	244
13.5	画像分離精度の評価方法	247
13.5.1	画像分類精度評価の考え方	247
13.5.2	分類精度表 (判別効率表)	248
13.5.3	画像分類精度評価指標	248
第 14 章 SAR の基礎		255
14.1	SAR の観測原理	255
14.1.1	SAR の概要	255
14.1.2	実開口レーダと SAR	259
14.1.3	合成開口技術	263
14.2	SAR の画像再生	264

14.2.1	パルス圧縮	265
14.2.2	合成開口処理	267
14.2.3	グラントレンジ変換と SAR 画像の幾何学的歪	269
14.3	SAR 画像の特徴	271
14.3.1	マイクロ波散乱と SAR 画像強度	271
14.3.2	表面散乱と体積散乱	274
14.3.3	スペckルノイズ	277
第 15 章 SAR の高度解析		281
15.1	干渉 SAR データ解析	281
15.1.1	干渉 SAR 観測原理	281
15.1.2	干渉 SAR データ解析手順	285
15.1.3	解析結果例	287
15.2	多偏波 SAR データ解析	288
15.2.1	多偏波 SAR の観測原理	288
15.2.2	多偏波 SAR の解析手法	290

第1章 リモートセンシングとは

〈この章で学ぶべきこと〉

本章では、リモートセンシングとは何か、リモートセンシングの歴史、リモートセンシングのタイプについて学び、リモートセンシング画像の例をみて何が判読できるかを体験する。

学習目標：

- ① リモートセンシングの概念，歴史を学ぶ。
- ② リモートセンシングの特徴と可能性を理解する。
- ③ 電磁波の波長帯による呼称を学ぶ。

キーワード：

反射率 (reflectance), 放射率 (emissivity), センサ (sensor), プラットフォーム (platform), 可視・反射赤外リモートセンシング (visible-reflected IR remote sensing), 熱赤外リモートセンシング (thermal remote sensing), マイクロ波リモートセンシング (microwave remote sensing), レーダ (radar), 検知素子 (detector), 画素 (pixel)

1.1 リモートセンシングとは何か

通常、リモートセンシングは、上空から地球表面あるいは大気を観測し、知りたい情報を得る技術（あるいは科学）の意味で用いられる。

言葉としてのリモートセンシングは、広義には、対象物に接触することなしに離れた (remote) 場所から観測する (sensing) ことを意味する。人間の五感 (視・聴・嗅・味・触) に例えると、視覚、聴覚、嗅覚がリモートセンシングに相当する。感じているものは、それぞれ光 (電磁波)、音波、気体分子である。

一般的な意味でのリモートセンシングは視覚に相当する。観測するものは光を含む電磁波である。これに対して、広い意味でのリモートセンシングの中には聴覚に相当するものがある。例えば、海面から音波を出し、反射音波により海底の深度を観測する音波測深機がこれにあたる。

一般にリモートセンシングは上空から地球表面を観測するが、広義のリモートセンシングでは地上の観測装置で離れた位置の地上または大気を観測することも含めてよい。また、現時点ではほとんどの対象は地球であるが、将来は月、惑星を対象としたリモートセンシングも増えてくるだろう。

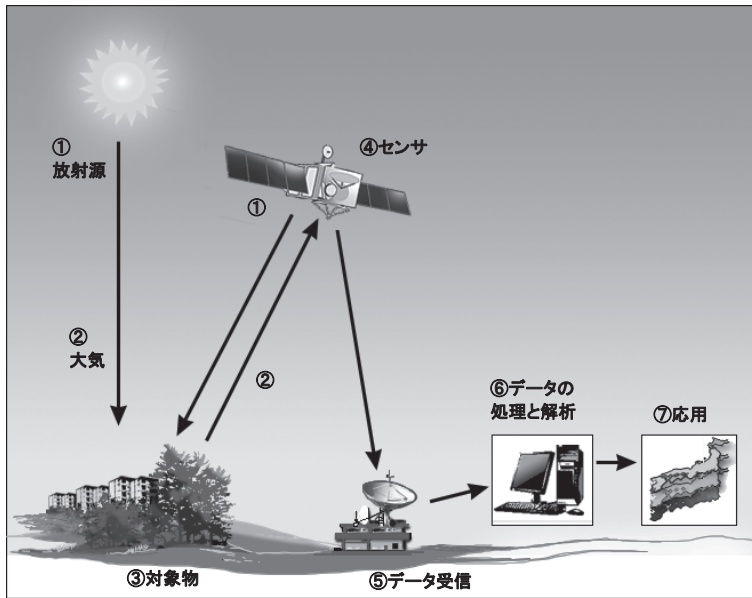


図 1.1 リモートセンシングの概念図

図 1.1 は、リモートセンシングの概念を示したものである。

①放射源：放射源とは、電磁波を出す（放射する）源のことである。自然の放射源の例として、太陽、地球表面がある。一方、人工的な放射源の例としてレーダの送信機などがある。

②大気：電磁波が大気中を通過するとき、大気により吸収、散乱の影響を受ける。また、大気自身も電磁波を放射する。

③対象物：対象物から上空に向かう電磁波の強さは対象物の特性により決まる。対象物の特性は、太陽が放射源の場合は対象物の反射率によりあらわされる。また、地表面自身が放射源の場合は放射率および温度、レーダの場合は散乱断面積（レーダで観測した時の対象物からの反射の大きさ、14.3節参照）などのパラメータによりあらわされる。

④センサ、プラットフォーム：対象物の方向から進んでくる電磁波を観測する装置をセンサという。日常的に用いるカメラもセンサと同様に電磁波（光）の強さを記録する機能を持っている。カメラが人間の知覚できる光（可視光）を撮影するのに対し、センサは可視光を含んだより広い範囲の電磁波を観測する。センサを搭載した移動体をプラットフォームという。人工衛星、航空機は代表的なプラットフォームである。

⑤データの受信：プラットフォームが人工衛星の場合、センサで観測された電磁波の強さはデジタルデータに変換され、電波で地上の受信局へ送られる。

⑥データの処理と解析：観測されたデータは前処理され、視覚判読あるいはデジタル処理により対象物に関する情報を得る。

⑦応用：上記のプロセスで得られた対象物に関する情報を様々な分野に利用する。例えば、地球環境のある側面を理解するための科学研究、あるいは気象予報、土地利用調査、地図作成、農業、林

業、環境保全、資源探査などの社会での実利用に応用する。これらの詳細は第2章～第4章において紹介する。

ここで、リモートセンシングを改めて定義すると次のようにいえる。リモートセンシングとは、主として地球表面の対象物からの電磁波を人工衛星などのプラットフォームに搭載されたセンサーで観測し、対象物に関する情報を得て、様々な分野に利用する技術（あるいは科学）である。

リモートセンシングにおいて情報を伝達する媒体である電磁波についての詳細な説明は第5章で述べるが、ここでは電磁波の波長による呼称のみ表 1.1、図 1.2 に紹介する。電磁波の呼称は、特に赤外線領域において、専門分野により異なり、それぞれの呼称が示す波長帯の領域は厳密なものではない。赤外線領域では、近赤外、中間赤外、遠赤外という呼称と短波長赤外、中波長赤外、長波長赤外という呼称があるが、リモートセンシングの分野ではこれらを混合して用いている。また、太陽光が地表面で反射する成分の赤外線を反射赤外といい、地表面自身が放射する赤外線を放射赤外という。地表面付近においては約 $3\mu\text{m}$ （大気と地表面の状態によりこの値は約 $3\text{--}4\mu\text{m}$ 間を変動する）より短い波長帯領域では反射赤外が放射赤外より卓越している。地球表面を対象とするリモートセンシングで主に利用される電磁波は、紫外線の一部 (0.3 to $0.4\mu\text{m}$)、可視光、近赤外、短波長赤外、中間赤外、熱赤外、マイクロ波である。

表 1.1 電磁波の波長帯による呼称

電磁波の呼称		波長
ガンマ線	Gamma rays	<0.03 nano m
X 線	X-rays	$0.03\sim 30$ nano m = $0.03\mu\text{m}$
紫外（線）	Ultraviolet (UV)	$0.03\sim 0.4\mu\text{m}$
可視光（線）	Visible	$0.4\sim 0.7\mu\text{m}$
赤外（線）	Infrared (IR)	$0.7\mu\text{m}\sim (0.1\text{ または }1)\text{ mm}$
近赤外	Near IR	$0.7\sim 1.3\mu\text{m}$
短波長赤外	Short wave IR	$1.3\sim 3\mu\text{m}$
中間赤外	Middle IR	$1.3\sim 8\mu\text{m}$
熱赤外	Thermal IR	$8\sim 14\mu\text{m}$
遠赤外	Far IR	$8\mu\text{m}\sim (0.1\text{ または }1)\text{ mm}$
反射赤外	Reflected IR	$0.7\sim 3\mu\text{m}$
放射赤外	Radiative IR or Emissive IR	$3\mu\text{m}\sim (0.1\text{ または }1)\text{ mm}$
電波	Radio wave	$> (0.1\text{ または }1)\text{ mm}$ 周波数： $<300\text{GHz}$ または 3THz)
マイクロ波	Microwave	$(0.1\text{ または }1)\text{ mm}\sim 1\text{m}$ 周波数： $300\text{MHz}\sim (300\text{GHz}$ または $3\text{THz})$

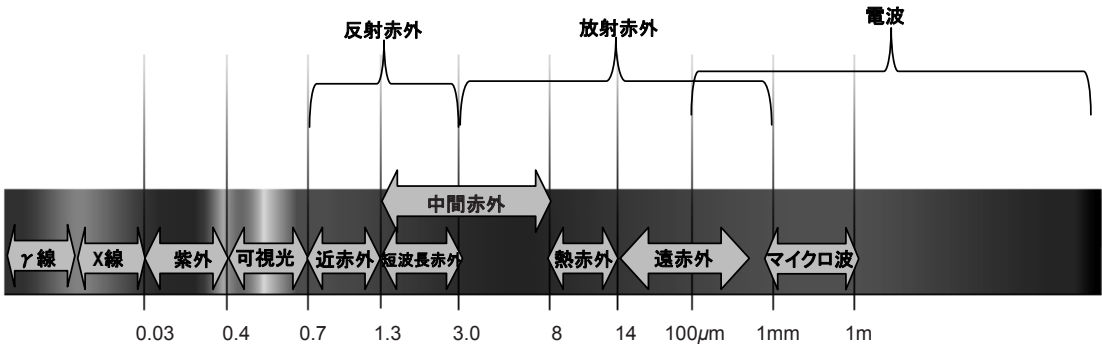


図 1.2 電磁波の波長帯による呼称

1.2 リモートセンシングの歴史

リモートセンシングの出現は、センサ、プラットフォーム、コンピュータの3つの技術の進歩に基づいている。

電磁波（光）の強さを記録するセンサの歴史は、紀元前4世紀にアリストテレスが実験したカメラ・オブスキュラ（camera obscura：ラテン語「暗い部屋」）に遡れる。これはピンホールカメラの原理で外の風景を暗い部屋に映すものであったが、映像の記録はできなかった。その後の化学的な技術の発展により、映像を銀塩で固定するダゲレotyp・カメラが1839年フランスにおいて開発された。これがいわゆる写真のはじまりであり、センサのはじまりといえる。その後、写真技術が発展するとともに、新しいタイプのセンサ、すなわち熱赤外センサ、レーダなども開発され、第二次世界大戦（1939-1945年）で用いられた。戦後は、応答時間の早い検知素子が開発され、現在のセンサに繋がっている。

代表的なプラットフォームは人工衛星と航空機である。ライト兄弟により飛行機が発明される1903年以前は、鳩、凧、気球にカメラが搭載された時期があった。1860年前後には気球から地上の写真が撮られた。米国の南北戦争における偵察撮影もその一例である。飛行機が使われるようになった第一次世界大戦（1914-1918年）では空中写真が偵察に使われた。その後、空中写真は地質、森林、農業など様々な分野で利用されるようになった。第二次世界大戦では飛行機は、写真カメラ、熱赤外センサ、レーダを搭載し再び偵察によく使われるようになった。1957年、はじめての人工衛星がソ連により打上げられた。その後、多くの地球観測の人工衛星が打上げられ現在に至っている。

現在のコンピュータは第二次世界大戦後に発展しはじめた。1950年前後から現在に至るまで発展し続けている。コンピュータは人工衛星の打上げ、制御に必要なだけでなく、観測したデータを処理・解析するときにも必要である。

「リモートセンシング」という言葉は、1950年代末に米国の海軍研究所の地理学者によりはじめて使われた。1972年、米国が地球観測衛星 Landsat を打上げた後、その言葉は世界的に広まった。日

本では、「遠隔探査」と訳したこともあったが、カタカナ表記が定着している。

1980年代にはフランス、日本、インドなども地球観測衛星を打上げ、現在では地球環境の監視および災害、農業、資源探査などの様々な利用のために多くの地球観測衛星が運用されている。

1.3 リモートセンシングのタイプ

リモートセンシングをある視点でみてタイプにわけて呼ぶことがある。まず、放射源の視点から、太陽、地表面などの自然の放射源に由来する電磁波を観測する場合を受動型リモートセンシングと呼ぶ。一方、レーダのように人工的に送信する電磁波を観測する場合を能動型リモートセンシングと呼ぶ。

電磁波の波長の視点から、可視・反射赤外領域を観測する場合を可視・反射赤外リモートセンシングと呼び、同様に熱赤外リモートセンシング、マイクロ波リモートセンシングと呼ぶ。可視・反射赤外領域および熱赤外領域は受動型リモートセンシングであり、マイクロ波領域は能動型リモートセンシングが中心であるが、受動型もある。図 1.3 は波長によりわけた3つのタイプのリモートセンシングを示したものである。

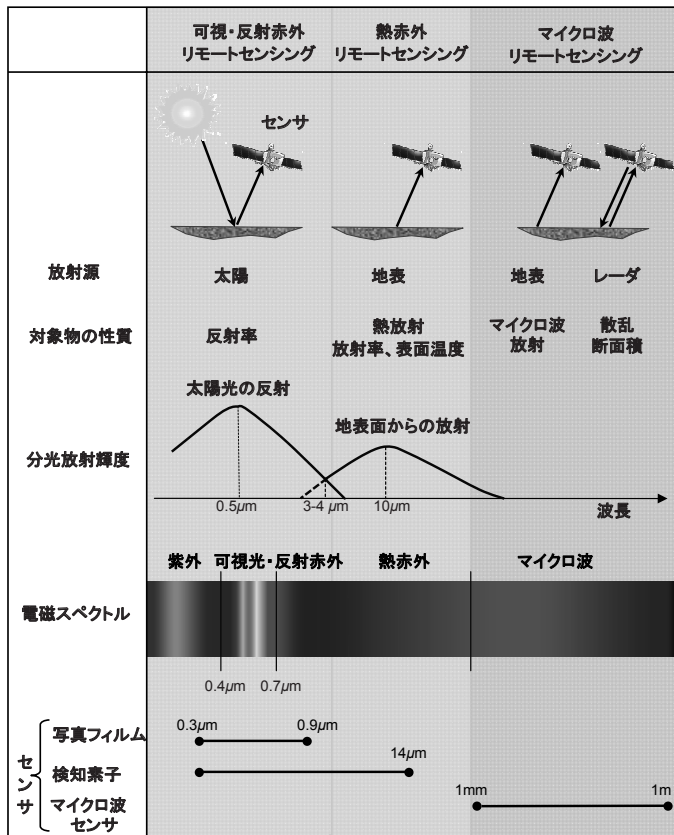


図 1.3 波長帯による3タイプのリモートセンシング

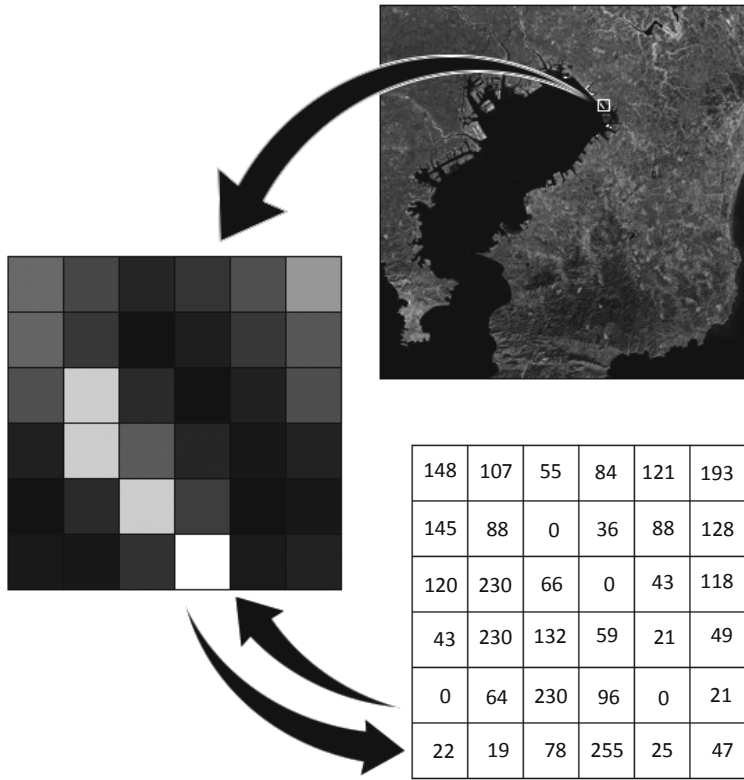


図 1.4 デジタル画像

リモートセンシングの応用分野の視点から、大気リモートセンシング、海洋リモートセンシング、地質リモートセンシング、農業リモートセンシング、森林リモートセンシング、植生リモートセンシングなどの言い方をする場合もある。

プラットフォームの視点から、衛星リモートセンシング、航空機リモートセンシングと呼ぶことがある。衛星リモートセンシングはいわゆるリモートセンシングの中心である。衛星リモートセンシングの特徴は次のとおりである。

- 1) 広い地域をほぼ同時に観測できる（広域同時性）
- 2) 決まった周期で反復して観測できる（反復性）
- 3) 可視光だけでなく様々な波長帯で観測できる（多波長性）

一方、衛星リモートセンシングのみならず一般にリモートセンシングの短所は、電磁波を媒介して対象物の情報を得るため、電磁波に影響を及ぼさない対象物の特性は直接的には観測できないことである。例えば、海面の温度は観測できるが、海中の温度は直接的には観測できない。また、地表面の形態は観測できるが、地中の鉱物は直接的には観測できない。

1.4 デジタル画像

センサに入射した電磁エネルギーの強さはデジタルデータの値として記録される。記録されたデジタルデータの値を濃淡に置きかえ、センサが電磁波を観測した順序に並べると、画像として表示できる。このとき、ひとつのデジタルデータに対応する画像の構成単位を画素、あるいはピクセル (pixel) という。このようにデジタルデータで記録した画像をデジタル画像という。

リモートセンシングにより観測されたデータは通常、**図 1.4** に示すようにデジタル画像として記録される。本書の第9章～13章ではデジタル画像からいかにして対象物に関する情報を得るかについて学ぶ。また、レーダで観測されたデータは特別な処理をする必要があるため、第14, 15章において別途学ぶ。

編集委員会

編集委員長

建石隆太郎 千葉大学 環境リモートセンシング研究センター 工学博士

編集委員 (50 音順)

赤松幸生 国際航業株式会社 技術開発部 博士 (工学)
浅沼市男 東京情報大学 総合情報学部 工学博士
石山 隆 千葉大学 環境リモートセンシング研究センター 学術博士
小島尚人 東京理科大学 理工学部 博士 (工学)
外岡秀行 茨城大学 工学部 博士 (工学)
松永恒雄 (独) 国立環境研究所 環境計測研究センター 博士 (工学)
若林裕之 日本大学 工学部 博士 (工学)

著者

第 1 章

建石隆太郎 千葉大学 環境リモートセンシング研究センター 工学博士
杉村俊郎 (財) リモート・センシング技術センター 博士 (工学)

第 2 章

中島 孝 東海大学 情報技術センター 博士 (理学) (2.1.1)
岡本謙一 鳥取環境大学 環境情報学部 理学博士 (2.1.2)
中島映至 東京大学 大気海洋研究所 理学博士 (2.1.3)
長澤親生 首都大学東京 大学院システムデザイン研究科 理学博士 (2.1.4)
杉田考史 (独) 国立環境研究所 地球環境研究センター 理学博士 (2.2)
横田達也 (独) 国立環境研究所 地球環境研究センター 工学博士 (2.3.1-3)
吉田幸生 (独) 国立環境研究所 地球環境研究センター 理学博士 (2.3.1-3)
今須良一 東京大学 大気海洋研究所 博士 (理学) (2.3.4)
内野 修 (独) 国立環境研究所 地球環境研究センター 理学博士 (2.4)

第 3 章

建石隆太郎 第 1 章に同じ (3.1)
杉村俊郎 〃 (3.1)
政春尋志 国土地理院 基本図情報部 博士 (工学) (3.2)
梅干野晃 東京工業大学 大学院総合理工学研究科 工学博士 (3.3)
大倉 博 広島工業大学 環境学部 博士 (理学) (3.4)
本郷千春 千葉大学 環境リモートセンシング研究センター 博士 (農学) (3.5)
金子正美 酪農学園大学 環境システム学部 学術修士 (3.6)
平田泰雅 森林総合研究所 温暖化対応推進拠点 農学博士 (3.7)
近藤昭彦 千葉大学 環境リモートセンシング研究センター 理学博士 (3.8)
星野仏方 酪農学園大学 農食環境学群 理学博士 (3.9)
加藤雅胤 (財) 資源・環境観測解析センター 利用技術研究部 (3.10)
藤田耕史 名古屋大学 大学院環境学研究科 博士 (理学) (3.11)

第 4 章

浅沼市男 東京情報大学 総合情報学部 工学博士 (4.1.1/4.1.3/4.1.4)
 作野裕司 広島大学 大学院工学研究院 博士 (工学) (4.1.2)
 川村 宏 東北大学 大学院理学研究科 理学博士 (4.2)
 山野博哉 (独) 国立環境研究所 生物生態系環境研究センター 博士 (理学) (4.3)
 江淵直人 北海道大学 低温科学研究所 博士 (理学) (4.4)
 齊藤誠一 北海道大学 大学院水産科学研究所 水産学博士 (4.5)

第5章

久世宏明 千葉大学 環境リモートセンシング研究センター 理学博士

第6章

杉村俊郎 第1章に同じ (6.1)
 五十嵐保 (独) 宇宙航空研究開発機構 宇宙利用ミッション本部 理学博士 (6.2)
 斉藤和也 アジア航測株式会社 空間情報技術統括部 博士 (工学) (6.3/6.4.3/6.4.4)
 佐々修一 (独) 宇宙航空研究開発機構 無人機・未来型航空機チーム 工学博士 (6.4.1/6.4.2)

第7章

岩崎 晃 東京大学 大学院工学系研究科 博士 (工学) (7.1/7.2.1/7.3.1/7.4.1)
 浦塚清峰 (財) 情報通信研究機構 電磁波計測研究所 工学博士 (7.2.2/7.3.2/7.4.2)

第8章

山口 靖 名古屋大学 大学院環境学研究科 理学博士 (8.1)
 渡辺 宏 国立環境研究所 地球環境研究センター 工学博士 (8.2)
 関根秀真 株式会社三菱総合研究所 科学・安全政策研究本部 博士 (工学) (8.3)

第9章

外岡秀行 茨城大学 工学部 博士 (工学) (9.1.1/9.3.1)
 新井康平 佐賀大学 工学系研究科&低平地沿岸海域研究センター 工学博士 (9.1.2/9.3.2)
 森山雅雄 長崎大学 工学部 学術博士 (9.1.3/9.3.3)
 浦井 稔 産業技術総合研究所 地質情報研究部門 博士 (理学) (9.2)
 中島 孝 2.1.1 に同じ (9.4)

第10章

建石隆太郎 第1章に同じ (10.1/10.3.3)
 政春尋志 3.2 に同じ (10.2)
 飯倉善和 弘前大学 理工学研究科 工学博士 (10.3.1/10.3.2/10.3.4/10.4)
 田殿武雄 (財) 宇宙航空研究開発機構 宇宙利用ミッション本部 博士 (工学) (10.3.5)
 沖 一雄 東京大学 生産技術研究所 博士 (都市・地域計画) (10.5)

第11章

長 幸平 東海大学 情報技術センター 博士 (工学) (11.1)
 井上吉雄 (独) 農業環境技術研究所 農学博士 (11.2)

第 12 章

六川修一 東京大学 人工物工学研究センター 工学博士 (12.1)
村松加奈子 奈良女子大学 共生科学研究センター 博士 (理学) (12.2)

第 13 章

小島尚人 東京理科大学 理工学部 博士 (工学) (13.1/13.2/13.5)
外岡秀行 茨城大学 工学部 博士 (工学) (13.3/13.4)

第 14 章

大内和夫 防衛大学校 電気情報学群 Ph.D (14.1/14.3)
伊藤陽介 鳴門教育大学 学校教育研究科 博士 (工学) (14.2)

第 15 章

木村 宏 岐阜大学 工学部 博士 (工学) (15.1)
小林達治 (財) 情報通信研究機構 電磁波計測研究所 博士 (理学) (15.2)
若林裕之 日本大学 工学部 博士 (工学) (15.2)

基礎からわかるリモートセンシング

2011年6月8日 初版第1刷発行

2020年3月26日 初版第5刷発行

編 著 日本リモートセンシング学会

発 行 者 柴 山 斐 呂 子

検印省略

発 行 所 理工図書株式会社

〒102-0082 東京都千代田区一番町27-2
電話03 (3230) 0221 (代表)
FAX03 (3262) 8247
振替口座 00180-3-36087番
<http://www.rikohtosho.co.jp>

©2011 日本リモートセンシング学会

Printed in Japan ISBN978-4-8446-0779-3

印刷・製本：藤原印刷株式会社

*本書の内容の一部あるいは全部を無断で複写複製（コピー）することは、法律で認められた場合を除き著作者および出版社の権利の侵害となりますのでその場合には予め小社あて許諾を求めて下さい。

*本書のコピー、スキャン、デジタル化等の無断複製は著作権法上の例外を除き禁じられています。本書を代行業者等の第三者に依頼してスキャンやデジタル化することは、たとえ個人や家庭内の利用でも著作権法違反です。

★自然科学書協会会員★工学書協会会員★土木・建築書協会会員