

目次

はじめに

| | |
|-------------------|----------|
| 第 1 章 数学基礎 | 1 |
| 1.1 点と直線 | 1 |
| 1.2 角度 | 3 |
| 1.3 三角形 | 4 |
| 1.3.1 三角形の合同と相似 | 5 |
| 1.3.2 円と三角形 | 6 |
| 1.3.3 ピタゴラスの定理 | 8 |
| 1.4 数の種類 | 11 |
| 1.5 座標 | 12 |
| 1.6 方程式 | 13 |
| 1.6.1 線形方程式 | 14 |
| 1.6.2 連立方程式とその解法 | 14 |
| 1.6.3 非線形方程式 | 15 |
| 1.6.4 二次方程式の解 | 16 |
| 1.7 複素数 | 17 |
| 1.8 関数 | 18 |
| 1.8.1 一次関数, 二次関数 | 18 |
| 1.8.2 三角関数 | 19 |
| 1.8.3 逆関数 | 24 |
| 1.8.4 指数関数, 対数関数 | 25 |
| 1.9 微分 | 26 |
| 1.10 偏微分 | 30 |
| 1.11 積分 | 31 |
| 1.12 ベクトル | 32 |
| 1.12.1 ベクトルとは | 32 |
| 1.12.2 ベクトルの定数倍 | 34 |
| 1.12.3 ベクトルの足し算 | 34 |
| 1.12.4 ベクトルの大きさ | 34 |
| 1.12.5 ベクトルの内積 | 35 |

| | | |
|------------|----------------|-----------|
| 1.12.6 | ベクトルの外積 | 37 |
| 1.13 | 行列 | 38 |
| 1.13.1 | 行列の定数倍 | 39 |
| 1.13.2 | 行列の足し算 | 39 |
| 1.13.3 | 行列のかけ算 | 40 |
| 1.13.4 | 単位行列 | 41 |
| 1.13.5 | 転置行列 | 42 |
| 1.13.6 | 逆行列 | 42 |
| 1.13.7 | 行列とベクトルで表す方程式 | 43 |
| 1.14 | 媒介変数 | 44 |
| 1.14.1 | 円の方程式 | 44 |
| 1.14.2 | 直線の方程式 | 44 |
| 1.14.3 | 2直線の交点 | 45 |
| 1.14.4 | 直線と点との最短距離 | 46 |
| 1.15 | 空間幾何 | 48 |
| 1.15.1 | 三次元空間での直線の表現 | 48 |
| 1.15.2 | 点と線分との関係 | 49 |
| 1.15.3 | 空間における面の表現 | 50 |
| 1.15.4 | 面と点, 直線との関係 | 52 |
| 1.16 | 円錐曲線 | 53 |
| 1.16.1 | 円と球 | 54 |
| 1.16.2 | 楕円 | 56 |
| 1.16.3 | 双曲線 | 61 |
| 1.16.4 | 放物線 | 63 |
| 第2章 | データ処理 | 67 |
| 2.1 | 計測値を用いた計算 | 67 |
| 2.2 | データの統計量 | 69 |
| 2.2.1 | データとヒストグラム | 69 |
| 2.2.2 | 平均, メディアン, モード | 71 |
| 2.2.3 | 分散と共分散 | 72 |
| 2.2.4 | 歪度 | 73 |
| 2.2.5 | 尖度 | 74 |
| 2.3 | 正規分布 | 74 |
| 2.3.1 | 順列と組み合わせ | 74 |
| 2.3.2 | 二項分布 | 75 |
| 2.3.3 | 正規分布 | 75 |
| 2.4 | 計測値の精度 | 79 |

| | | |
|------------|-----------------------|------------|
| 2.4.1 | 誤差の種類と最確値 | 79 |
| 2.4.2 | 平均二乗誤差 | 79 |
| 2.5 | 誤差の伝搬 | 80 |
| 2.5.1 | 誤差のある計測値の定数倍における精度 | 81 |
| 2.5.2 | 誤差のある計測値同士のたし算における精度 | 82 |
| 2.5.3 | 誤差伝搬の法則 | 83 |
| 2.5.4 | 複数回同じ機器で測った平均値の精度 | 84 |
| 2.6 | 最小二乗法 | 85 |
| 2.6.1 | 同一区間を複数回計測した場合 | 85 |
| 2.6.2 | 複数の区間を複数回計測した場合 | 86 |
| 2.7 | 回帰分析 | 86 |
| 2.8 | 座標変換 | 89 |
| 2.8.1 | 原点移動と縮尺 | 89 |
| 2.8.2 | 二次元回転変換 | 90 |
| 2.8.3 | ヘルマート変換 | 91 |
| 2.8.4 | アフィン変換 | 92 |
| 2.8.5 | 三次元回転変換 | 92 |
| 2.8.6 | 射影変換 | 93 |
| 2.8.7 | 座標変換の実際 | 94 |
| 2.9 | 非線形方程式の計算 | 95 |
| 2.10 | テイラー展開 | 96 |
| 2.10.1 | テイラー (Taylor) 級数 | 96 |
| 2.10.2 | マクローリン (Maclaurin) 級数 | 97 |
| 2.10.3 | テイラー展開による三角関数・指数関数の計算 | 97 |
| 2.11 | オイラー (Euler) の公式 | 98 |
| 2.12 | フーリエ (Fourier) 変換 | 100 |
| 2.13 | ベクトル解析 | 102 |
| 2.13.1 | 勾配 | 102 |
| 2.13.2 | 発散 | 103 |
| 2.13.3 | 回転 | 103 |
| 2.13.4 | ラプラシアン | 104 |
| 第3章 | 測量機器による位置計測 | 105 |
| 3.1 | 測度の基準 | 105 |
| 3.2 | 測量機器 | 106 |
| 3.2.1 | トータルステーション | 106 |
| 3.2.2 | レーザースキャナ | 107 |
| 3.2.3 | GNSS | 107 |

| | | |
|------------|-------------------|------------|
| 3.2.4 | INS | 108 |
| 3.3 | 機器のセッティング | 109 |
| 3.4 | 測距と測角 | 110 |
| 3.4.1 | 反復計測と精度 | 111 |
| 3.5 | 基本的な測量方法 | 112 |
| 3.5.1 | 前方交会法 | 112 |
| 3.5.2 | 後方交会法 | 116 |
| 3.6 | 基準点測量 | 119 |
| 3.6.1 | 緯距・経距 | 120 |
| 3.6.2 | トラバース測量 | 121 |
| 3.6.3 | 閉合差・閉合比 | 122 |
| 3.6.4 | 三角・三辺測量 | 124 |
| 3.6.5 | 二つの基準点を利用した方位角計算 | 125 |
| 3.6.6 | 二つの基準点を利用した座標変換 | 126 |
| 3.7 | 水準測量 | 127 |
| 3.7.1 | 水準儀による測量 | 127 |
| 3.7.2 | トランシットによる測量 | 128 |
| 3.7.3 | 高さの基準 | 129 |
| 第4章 | 画像を用いた位置計測 | 133 |
| 4.1 | 光の反射・屈折 | 134 |
| 4.2 | レンズの幾何学 | 136 |
| 4.2.1 | レンズの焦点 | 136 |
| 4.2.2 | レンズの分解能 | 137 |
| 4.2.3 | レンズの明るさ | 139 |
| 4.2.4 | ピントの許容量 | 139 |
| 4.3 | 画像の取得 | 140 |
| 4.3.1 | 適正露出と絞り | 140 |
| 4.3.2 | ホワイトバランス | 142 |
| 4.4 | カメラキャリブレーション | 142 |
| 4.4.1 | 内部標定 | 142 |
| 4.4.2 | 外部標定 | 143 |
| 4.5 | 三次元計測 | 150 |
| 4.5.1 | 立体視 | 150 |
| 4.6 | ステレオ幾何モデル | 151 |

| | |
|---------------------------------|------------|
| 第 5 章 地球規模での位置決定 | 155 |
| 5.1 天体の運行と暦 | 155 |
| 5.1.1 観測点における天体の位置の表現 | 156 |
| 5.1.2 太陽時 | 156 |
| 5.1.3 恒星時 | 159 |
| 5.2 天球上での天体の位置 | 159 |
| 5.3 緯度・経度 | 161 |
| 5.3.1 緯度の計測法 | 162 |
| 5.3.2 経度の計測法 | 163 |
| 5.4 地球を球体としたときの緯度経度の座標変換 | 164 |
| 5.4.1 地心直交座標系から緯度経度への変換 | 164 |
| 5.4.2 緯経度から地心直交座標系への変換 | 165 |
| 5.5 地理緯度と地心緯度との関係 | 167 |
| 5.5.1 楕円体上の法線ベクトルを求める | 168 |
| 5.5.2 卯酉線曲率半径を求める | 168 |
| 5.5.3 点 P の座標を ϕ を用いて計算する | 171 |
| 5.6 地球を回転楕円体としたときの緯度経度の座標変換 | 171 |
| | |
| 第 6 章 衛星リモートセンシングによる位置計測 | 173 |
| 6.1 力学基礎 | 174 |
| 6.1.1 運動の法則 | 174 |
| 6.1.2 円運動 | 178 |
| 6.1.3 角運動量 | 180 |
| 6.1.4 万有引力の法則 | 181 |
| 6.2 ケプラー (Kepler) の法則 | 183 |
| 6.2.1 ケプラーの第一法則 | 183 |
| 6.2.2 ケプラーの第二法則 | 184 |
| 6.2.3 ケプラーの第三法則 | 187 |
| 6.3 人工衛星位置推算の基礎 | 189 |
| 6.3.1 天体の軌道 | 189 |
| 6.3.2 軌道面上の位置 | 190 |
| 6.3.3 地球中心を原点とする三次元座標 | 193 |
| 6.4 人工衛星位置推算の実際 | 194 |
| 6.4.1 軌道要素の入手 | 194 |
| 6.4.2 軌道長半径 a の計算 | 194 |
| 6.4.3 離心近点角 E の計算 | 196 |
| 6.4.4 地球を中心とする人工衛星の三次元座標計算 | 196 |
| 6.4.5 観測時刻におけるグリニッジ子午線の赤経計算 | 197 |

| | | |
|--------------|------------------------------|------------|
| 6.4.6 | 人工衛星の緯度・経度計算 | 198 |
| 6.4.7 | 観測点における人工衛星の方位角と高度 | 198 |
| 6.5 | 地球観測衛星の軌道 | 200 |
| 6.5.1 | 赤道軌道と極軌道 | 200 |
| 6.5.2 | 太陽同期軌道 | 201 |
| 6.6 | 人工衛星画像の幾何学 | 202 |
| 6.7 | GNSS 測量 | 206 |
| 6.7.1 | GNSS 測量の原理 | 206 |
| 6.7.2 | GNSS 測量の種類 | 207 |
| 第 7 章 | 衛星リモートセンシングによる物体判読の基礎 | 211 |
| 7.1 | 電磁気学基礎 | 211 |
| 7.1.1 | 電界 | 211 |
| 7.1.2 | 磁界 | 214 |
| 7.1.3 | 電流 | 216 |
| 7.1.4 | 電流と磁界の関係 | 217 |
| 7.1.5 | マックスウェル (Maxwell) 方程式 | 218 |
| 7.2 | 電磁波の基礎 | 222 |
| 7.2.1 | 電磁波の種類 | 222 |
| 7.2.2 | 電磁波の波動方程式 | 223 |
| 7.3 | 電磁波と物質の相互作用 | 228 |
| 7.3.1 | 電磁波の反射, 屈折, 偏光 | 228 |
| 7.3.2 | 電磁波に関する物理量 | 233 |
| 7.3.3 | 電磁波の放射と吸収 | 234 |
| 7.4 | リモートセンシングにおける電磁波の観測 | 238 |
| 7.4.1 | 可視近赤外リモートセンシング | 238 |
| 7.4.2 | 熱赤外リモートセンシング | 243 |
| 7.4.3 | マイクロ波リモートセンシング | 243 |
| 第 8 章 | 画像処理 | 245 |
| 8.1 | コンピュータにおける画像ファイル | 246 |
| 8.1.1 | ラスタデータとベクタデータ | 247 |
| 8.1.2 | 量子化と標本化 | 248 |
| 8.1.3 | 色の表現 | 249 |
| 8.1.4 | 画像フォーマット | 251 |
| 8.2 | 画像に含まれる系統的誤差 | 253 |
| 8.2.1 | センサ感度 | 254 |
| 8.2.2 | 周辺減光 | 254 |
| 8.2.3 | ダークノイズ | 255 |

| | | |
|------------|----------------------|------------|
| 8.2.4 | 走査角 | 255 |
| 8.2.5 | 大気の影響 | 256 |
| 8.2.6 | 地形の影響 | 258 |
| 8.3 | 画像濃度の変換手法 | 259 |
| 8.3.1 | 画像の統計量 | 259 |
| 8.3.2 | リニアストレッチ | 259 |
| 8.3.3 | ヒストグラム平滑化 | 261 |
| 8.4 | 画像に対する空間フィルタ | 261 |
| 8.4.1 | 移動平均とメディアン | 262 |
| 8.4.2 | ラプラシアンフィルタとシャープ化フィルタ | 263 |
| 8.5 | 画像に対するフーリエ変換 | 264 |
| 8.6 | 分類 | 266 |
| 8.6.1 | バンド間演算 | 266 |
| 8.6.2 | 閾値処理 | 269 |
| 8.6.3 | 教師データを用いた分類 | 271 |
| 8.6.4 | ミクセル分析 | 275 |
| 8.7 | 幾何補正 | 276 |
| 8.7.1 | 地上基準点と画像基準点 | 276 |
| 8.7.2 | 最小二乗法による線形変換 | 277 |
| 8.7.3 | 最小二乗法による非線形変換 | 279 |
| 8.7.4 | 平均二乗誤差による変換式の評価 | 284 |
| 8.7.5 | 画像の再配列 | 284 |
| 8.7.6 | オルソ画像の生成 | 287 |
| 8.8 | 画像マッチング | 289 |
| 8.8.1 | SSDA 法 | 289 |
| 8.8.2 | 相関法 | 290 |
| 8.8.3 | 最小二乗マッチング | 290 |
| 第9章 | 地理情報システム | 293 |
| 9.1 | データモデル | 294 |
| 9.1.1 | 点 | 295 |
| 9.1.2 | 線 | 295 |
| 9.1.3 | 面 | 296 |
| 9.1.4 | グリッド | 298 |
| 9.1.5 | 属性情報 | 298 |
| 9.1.6 | メタデータ | 299 |
| 9.1.7 | GIS データフォーマット | 299 |
| 9.2 | 地図投影 | 301 |

| | | |
|-------|-----------|-----|
| 9.2.1 | 地球全体の投影 | 301 |
| 9.2.2 | 中縮尺図の投影 | 302 |
| 9.2.3 | 大縮尺図の投影 | 304 |
| 9.3 | データ変換 | 304 |
| 9.3.1 | ラスタ・ベクタ変換 | 305 |
| 9.4 | データ内挿 | 308 |
| 9.4.1 | 線内挿 | 308 |
| 9.4.2 | 面内挿 | 311 |
| 9.5 | 空間解析 | 315 |
| 9.5.1 | オーバーレイ | 315 |
| 9.5.2 | 空間検索 | 317 |
| 9.5.3 | バッファリング | 319 |
| 9.5.4 | ボロノイ分割 | 320 |
| 9.6 | 三次元データの処理 | 324 |
| 9.6.1 | データモデル | 324 |
| 9.6.2 | 地形解析 | 326 |
| 9.6.3 | シェーディング | 328 |
| 9.6.4 | 鳥瞰図 | 330 |

おわりに

索引