

目次

1 序論と定義	1
1.1 正確さと精度	2
1.2 有効数字	3
例題 1.1 温度表示と有効数字	5
1.3 誤差限界	5
例題 1.2 不確かな限界をもつ体重	6
1.4 不確かさまたは誤差のタイプ	7
1.5 ま と め	9
1.5.1 本書の構成	9
1.5.2 リンク（連動）した事例のロードマップ	10
1.5.3 導入例	13
例題 1.3 精度と正確さ	14
例題 1.4 有効数字の練習	14
1.6 問 題	15
例題 1.3 の答え (17) 例題 1.4 の答え (17)	
2 クイックスタート：反復誤差の基本	19
2.1 はじめに	19
例題 2.1 家から職場までにかかる通勤時間の適切な見積もり	22
例題 2.2 自宅からの平均通勤時間に対する第 2 の見積もり	24
2.2 データの抽出	27
2.2.1 連続確率変数	28
2.2.2 確率密度関数	30

例題 2.3	通勤時間の可能性	31
2.2.3	正規分布の標本：スチューデント t 分布	36
2.3	反復誤差限界	42
2.3.1	誤差限界の基礎	42
例題 2.4	連続確率変数による確率：平均的な棒の長さの保証	43
例題 2.5	スチューデント t 分布で遊ぶ： 測定される流体密度における有効数字	46
2.3.2	平均値の信頼区間	50
例題 2.6	信頼度による誤差限界：測定された流体密度の再検討	50
例題 2.7	通勤時間の再検討	55
例題 2.8	実験室での反復による密度	57
例題 2.9	実験室での反復による密度：4桁の有効数字での評価	58
例題 2.10	反復の力：比重瓶からの密度	60
例題 2.11	反復なしで密度の不確かさを見積もる	62
2.3.3	x の次の値に対する予測区間	62
例題 2.12	統計を用いて密度の外れ値を特定する	63
例題 2.13	学生の流体密度の測定値の予測区間	65
例題 2.14	新しい密度データ点の品質の評価	66
例題 2.15	通勤時間の再々度の検討	67
例題 2.16	デジタル温度計での温度の反復測定	68
2.3.4	基本的な練習：データ取得のランダム化	70
例題 2.17	流量計の較正	70
例題 2.18	流量計の較正の再検討	74
例題 2.19	Cannon-Fenske 粘度計での粘度の真の反復測定	77
2.4	誤差における有効数字	80
2.5	まとめ	82
2.6	問題	83
3	読み取り誤差	89
例題 3.1	異なる分解能の温度計	89
例題 3.2	ゆらぎのある単一の電流測定における誤差	91
3.1	読み取り誤差の要因	92
3.1.1	感度による読み取り誤差	94
例題 3.3	感度についての経験則（温度）	95
3.1.2	目盛りからの読み取り誤差	100

3.1.3	ゆらぎからの読み取り誤差	101
例題 3.4	温度計の読み取り誤差	102
3.2	標準読み取り誤差	103
例題 3.5	読み取り誤差偏差の標本分布の平均と標準偏差	106
例題 3.6	ゆらぎのある単一の電流測定における誤差の再検討	107
3.3	標準誤差の結合	109
3.4	読み取り誤差の扱い	111
例題 3.7	メスシリンダーの読み取り誤差	112
例題 3.8	比重瓶の読み取り誤差	113
例題 3.9	デジタルマルチメータを用いた電流読み取り誤差（ゆらぎなし）	114
例題 3.10	異なる分解能の温度計の再検討	115
3.5	まとめ	118
3.6	問題	119
4	較正誤差	123
例題 4.1	実験室の温度計のばらつき	123
4.1	較正について	126
例題 4.2	*リンクした事例* 較正曲線の使用：差圧計	128
4.2	較正誤差の決定	130
4.2.1	経験則による較正誤差	132
4.2.2	製造業者からの較正誤差	133
4.2.3	ユーザーによって決定される較正誤差	134
4.3	動作の下限と上限における特別な考慮事項	135
4.3.1	下限	135
4.3.2	上限	137
4.4	較正誤差の扱い	138
例題 4.3	体重計での質量の測定	138
例題 4.4	比重瓶の較正誤差	141
例題 4.5	実験室の温度計のばらつきの再検討	143
例題 4.6	温度表示と有効数字の再検討	148
例題 4.7	電流のゆらぎ測定と非ゆらぎ測定の読み取り誤差の解決	149
例題 4.8	*リンクした事例* 差圧 (DP) 計のユーザー較正	151
4.5	まとめ	155

4.6 問題	156
5 誤差伝播	159
5.1 はじめに	159
例題 5.1 反復なしで密度誤差を見積もるの再検討	160
5.2 誤差の伝播方法	161
例題 5.2 1回の測定と2回の測定による長さ	163
例題 5.3 温度差の定量限界 (LOD)	164
例題 5.4 反復なしで密度誤差を見積もるの解決	166
5.3 誤差伝播ワークシート	168
5.4 誤差伝播の操作	173
例題 5.5 反復測定による密度誤差と伝播による誤差	174
例題 5.6 *リンクした事例* 圧力計からの差圧の不確かさ	176
例題 5.7 *リンクした事例* DP計校正データ集合の不確かさ	182
例題 5.8 Cannon-Fenske 粘度計で決定された粘度の不確かさ	187
例題 5.9 *リンクした事例* 校正曲線の使用：差圧計の再検討	193
5.5 まとめ	195
5.6 問題	196
6 モデルフィッティング	203
6.1 はじめに	203
6.2 線形モデルの最小二乗法	205
6.2.1 線形回帰用のソフトウェアツール	206
6.2.2 通常の最小二乗法による線形回帰	207
例題 6.1 *リンクした事例* 差圧計の校正曲線の決定	210
6.2.3 モデルパラメータの誤差	214
例題 6.2 *リンクした事例* 通常の最小二乗法フィッティングからのDP計信号の誤差	217
例題 6.3 傾きの不確かさ：毛細管流量計からの壁せん断応力	221
例題 6.4 切片の不確かさ：毛細管の入口圧力損失に対するBagleyプロット	224
6.2.4 関数値の誤差	227
6.2.5 次の計測値に関する予測区間	232

6.2.6 モデルにおける不確かさの実行	234
例題 6.5 二重管式熱交換器における総括伝熱係数の測定における不確かさ	234
例題 6.6 *リンクした事例* 線形校正曲線の誤差：一般の場合 (DP計にも当てはまる)	237
例題 6.7 *リンクした事例* DP計の校正曲線からLODを決定する	242
例題 6.8 *リンクした事例* 校正曲線の使用：DP計 (結論)	244
6.3 多項式モデルの最小二乗法	246
6.3.1 一次多項式のフィッティング	246
6.3.2 二次の多項式曲線フィッティング	249
例題 6.9 行列を用いた流動的 (レオロジー) 入口圧力損失データへの多項式のフィッティング	250
6.3.3 多項式フィッティングパラメータの誤差	253
6.3.4 多項式フィッティングの信頼区間と予測区間	254
例題 6.10 レオロジーの入口圧力損失データに対する多項式フィッティングパラメータの誤差	256
例題 6.11 レオロジーの入口圧力損失データに対する多項式フィッティングの誤差限界	257
6.4 最小二乗法の他のモデルへの拡張	259
例題 6.12 一次応答モデルの温度データへのフィッティング	261
6.5 物理学を基礎とするモデルによる最小二乗法	264
例題 6.13 球の強制対流伝達係数の測定	264
6.6 まとめ	266
6.7 問題	268

付録 A 誤差解析のワークシート 275

反復誤差ワークシート (275) 読み取り誤差ワークシート (276)
校正誤差ワークシート (277) 誤差伝播ワークシート (279)

付録 B 有効数字 280

B.1 有効数字の定義	280
B.2 加算, 減算, 乗算, 除算の有効数字への影響	282
B.3 対数と有効数字	283

B.4 有効数字の規則の制限事項	283
付録 C 誤差解析における Microsoft Excel 関数	284
付録 D 誤差解析のための MATLAB 関数	287
D.1 MATLAB-Excel の表	287
D.2 選択した例題の MATLAB コード	288
付録 E 統計トピックス	305
E.1 確率密度関数の性質	305
例題 E.1 分散恒等式	306
E.2 古典的な分布	306
E.3 不確かさと誤差限界の組み合わせ (GUM)	308
E.4 その他の統計トピックス	311
付録 F 経験的モデルの選択	315
F.1 直線, 放物線, および三次関数	315
F.2 指数関数	319
F.3 べき乗則	324
参考文献	327
索引	331