放射線計測の理論と演習（上）基礎編

目　　次

訳　序 …… i
序　文 …… iii

第1章　放射線測定序論

1.1 放射線とは何か …… 1
1.2 放射線放出の統計的性質 …… 2
1.3 測定の誤差，正確さおよび精度 …… 3
1.4 誤差の種類 …… 5
1.5 放射線測定装置 …… 6
1.5.1 序　論 …… 6
1.5.2 検出器 …… 7
1.5.3 NIM の概念 …… 10
1.5.4 高電圧電源 …… 10
1.5.5 前置増幅器 …… 12
1.5.6 主増幅器 …… 15
1.5.7 オシロスコープ …… 16
1.5.8 波高弁別器またはシングルチャネル波高分析器（SCA） …… 18
1.5.9 スケーラ …… 20
1.5.10 タイマ …… 20
1.5.11 マルチチャネル波高分析器 …… 21
参考書 …… 21
参考文献 …… 21

第2章　統計と誤差

2.1 序　論 …… 22
2.2 確率の定義 …… 22
2.3 確率の基本定理 …… 23
2.4 確率分布と確率変数 …… 27
2.5 位置指数（最頻値，中央値，平均値） …… 29
2.6 分散指数（分散および標準偏差） …… 32
2.7 共分数と相関 …… 33

2.8 二項分布 ……34
2.9 ポアソン分布 ……36
2.10 正規分布（ガウス分布） ……39
2.10.1 標準正規分布 ……42
2.10.2 放射線測定における正規分布の重要性 ……44
2.11 ローレンツ分布 ……46
2.12 標準誤差，確率誤差および他の誤差 ……47
2.13 代数平均とその標準偏差 ……49
2.14 信頼限界 ……51
2.15 誤差の伝播 ……53
2.15.1 無相関変数の関数の誤差の伝播の諸例 ……55
2.16 データの良さ－カイ二乗検定－データの棄却 ……57
2.17 放射線測定値の統計誤差 ……60
2.18 計数率の標準誤差 ……62
2.18.1 複数回測定を繰り返した場合の計数率の標準誤差 ……65
2.19 正味計数率の測定誤差を減らす方法 ……66
2.19.1 バックグラウンドが一定で試料の測定時間を変えられない場合 ……66
2.19.2 バックグラウンドと試料の計数時間の和Tが一定の場合 ……67
2.19.3 指定した精度で計数率を測定するのに必要な計数時間の計算 ……68
2.19.4 誤差の諸成分の重要性 ……69
2.20 最小検出可能放射能 ……69
2.21 検出装置の不感時間の補正法と不感時間の測定法 ……70
演習問題 ……73
参考書 ……76

第3章 原子および原子核の物理

3.1 序 論 ……77
3.2 相対論運動学 ……77
3.3 原 子 ……81
3.4 原子核 ……84
3.5 原子核の結合エネルギー ……86
3.6 原子核のエネルギー準位 ……90
3.7 原子核が壊変する際のエネルギー関係 ……92
3.7.1 ガンマ壊変 ……93
3.7.2 アルファ壊変 ……95
3.7.3 ベータ壊変 ……97

3.7.4 粒子，反粒子および電子陽電子消滅 ……102
3.7.5 複雑な壊変図式 ……103
3.8 放射性壊変の法則 ……103
3.9 原子核反応 ……108
3.9.1 一般的注意 ……108
3.9.2 原子核反応の運動学 ……110
3.10 核 分 裂 ……114
演習問題 ……117
参 考 書 ……120
参考文献 ……120

第4章 物質中の放射線のエネルギー損失と透過

4.1 序 論 ……121
4.2 荷電粒子のエネルギー損失の機構 ……122
4.2.1 クーロン相互作用 ……122
4.2.2 電磁放射線（制動放射線）の放出 ……123
4.3 電離および励起による阻止能 ……124
4.4 制動放射線放出によるエネルギー損失 ……131
4.5 化合物または混合物中の dE/dx の計算 ……133
4.6 荷電粒子の飛程 ……134
4.6.1 重い粒子の飛程（$Z \leq 2$, $A \leq 4$: 陽子，重陽子，三重陽子，アルファ粒子の場合） ……135
4.6.2 電子および陽電子の飛程 ……139
4.6.3 ベータ粒子の透過 ……143
4.6.4 厚さ t の物質を透過した後のエネルギー ……144
4.7 重イオン（$Z>2$, $A>4$）の阻止能と飛程 ……146
4.7.1 序 論 ……146
4.7.2 dE/dx の計算 ……146
4.7.3 重イオン（$A>2$）の飛程 ……153
4.8 ガンマ線・X線と物質の相互作用 ……153
4.8.1 光電効果 ……154
4.8.2 コンプトン散乱またはコンプトン効果 ……155
4.8.3 電子対生成 ……158
4.8.4 全減弱係数 ……160
4.8.5 光子エネルギー吸収係数 ……163
4.8.6 ビルドアップ係数 ……164

4.9 中性子と物質の相互作用 ……166
4.9.1 中性子相互作用の種類 ……166
4.9.2 中性子断面積 ……167
4.9.3 中性子束 ……172
4.9.4 エネルギースペクトルを持つ中性子の相互作用率 ……173
演習問題 ……173
参 考 書 ……175
参考文献 ……176

第5章 ガス入り検出器

5.1 序 論 ……177
5.2 収集電荷と印加電圧の関係 ……178
5.3 ガス入り検出器の種類 ……180
5.4 電 離 箱 ……183
5.4.1 電離箱中のパルスの形成 ……183
5.4.2 電流型電離箱 ……187
5.5 比例計数管 ……189
5.5.1 比例計数管中のガス増幅 ……189
5.5.2 比例計数管の出力パルス波形 ……192
5.5.3 印加電圧対計数率－高電圧プラトー ……194
5.6 ガイガーミュラー（GM）計数管 ……196
5.6.1 GM計数管の動作と放電の消滅法 ……196
5.6.2 GM計数管の出力パルス波形と不感時間 ……198
5.7 ガスフロー型計数管 ……199
5.8 内部ガス計数法 ……202
5.9 ガス計数管の構造に関する一般的事項 ……202
演習問題 ……204
参 考 書 ……205
参考文献 ……205

第6章 シンチレーション検出器

6.1 序 論 ……206
6.2 無機シンチレータ（結晶シンチレータ） ……207
6.2.1 シンチレーション過程の機構 ……207
6.2.2 光子放出の時間依存性 ……210
6.2.3 各種無機シンチレータの特性 ……211

6.3 有機シンチレータ ……213
6.3.1 シンチレーション過程の機構 ……214
6.3.2 有機結晶シンチレータ ……215
6.3.3 有機液体シンチレータ ……215
6.3.4 プラスチックシンチレータ ……216
6.4 ガスシンチレータ ……217
6.5 パルス波高と入射粒子のエネルギー，種類の関係 ……217
6.5.1 無機シンチレータの応答 ……217
6.5.2 有機シンチレータの応答 ……218
6.6 光電子増倍管 ……220
6.6.1 一般的説明 ……220
6.6.2 光電子増倍管中の電子増倍 ……222
6.7 シンチレーション検出器の組み立てと光パイプの役割 ……223
6.8 シンチレーション検出器の不感時間 ……225
6.9 シンチレーション検出器中のバックグラウンドの原因 ……225
6.10 ホスウィッチ型検出器 ……226
演習問題 ……227
参考書 ……228
参考文献 ……228

第7章 半導体検出器

7.1 序 論 ……230
7.2 固体の電気的性質による分類 ……231
7.2.1 固体中の電子状態とフェルミ分布関数 ……231
7.2.2 絶縁物 ……233
7.2.3 導 体 ……234
7.3 半導体 ……234
7.3.1 温度による禁止帯幅エネルギーの変化 ……236
7.3.2 半導体の電気伝導度 ……237
7.3.3 不純物半導体と真性半導体－不純物の役割 ……239
7.4 p—n 接合 ……242
7.4.1 検出器として動作させた p—n 接合 ……244
7.5 半導体検出器の諸形式 ……246
7.5.1 表面障壁型シリコン検出器 ……247
7.5.2 拡散接合型シリコン検出器 ……247
7.5.3 リチウムドリフト型シリコン〔Si(Li)〕検出器 ……248

7.5.4 リチウムドリフト型ゲルマニウム〔Ge(Li)〕検出器 ……252
7.5.5 全体空乏層型検出器 ……254
7.5.6 高純度ゲルマニウム (hpGe) 検出器 ……255
7.5.7 CdTe 検出器，HgI_2 検出器およびその他の検出器 ……256
7.6 半導体の放射線損傷 ……257
演習問題 ……258
参 考 書 ……259
参考文献 ……259

第8章 相対測定と絶対測定

8.1 序 論 ……261
8.2 幾何条件の影響 ……263
8.2.1 線源と検出器の間の媒質の影響 ……263
8.2.2 立体角の一般的定義 ……263
8.2.3 等方点線源と円形状入射窓を持つ検出器の立体角 ……265
8.2.4 円形状入射窓を持つ検出器と平行な円板状線源の立体角 ……268
8.2.5 長方形入射窓を持つ検出器と等方点線源の立体角 ……270
8.2.6 長方形入射窓を持つ検出器と円板状線源の立体角 ……271
8.2.7 モンテカルロ法による立体角の計算 ……273
8.3 線源の影響 ……273
8.3.1 線源の自己吸収係数（f_a） ……273
8.3.2 線源の後方散乱係数（f_b） ……275
8.4 検出器の影響 ……278
8.4.1 検出器の入射窓による散乱と吸収 ……278
8.4.2 検出器の効率（ε） ……279
8.4.3 検出器効率の測定 ……281
8.5 計数率と線源強度の関係 ……284
演習問題 ……285
参考文献 ……287

第9章 放射線測定に使用される電子回路

9.1 序 論 ……289
9.2 抵抗，静電容量，インダクタンス，インピーダンス ……289
9.3 微分回路 ……293
9.4 積分回路 ……295
9.5 遅 延 線 ……296

9.6 パルス整形 ……297
9.7 タイミング ……300
9.7.1 リーディングエッジタイミング法 ……300
9.7.2 ゼロ交差タイミング法 ……301
9.7.3 コンスタントフラクションタイミング法 ……302
9.7.4 ARCタイミング法 ……302
9.8 同時計数－逆同時計数測定 ……304
9.9 パルス波形弁別（PSD） ……310
9.10 前置増幅器 ……312
9.11 主増幅器 ……315
9.12 アナログディジタル変換器（ADC） ……317
9.13 マルチパラメータ分析器 ……320
9.14 計数率計 ……322
演習問題 ……324
参考書 ……325
参考文献 ……325

索 引 ……327
演習問題解答 ……339