

# 卒業研究報告

題 目

分光器の使用マニュアルの作成

---

指 導 教 員

神戸宏教授

---

報 告 者

掛水瞳

---

平成 13年 2月 9日

高知工科大学 電子・光システム工学科

## はじめに

今日の人間社会は、光があることを前提に、みな生活している。それだけに、光に関する知識は一般常識となっているように見られている。実際、光の速度が  $3 * 10^8 \text{ m/s}$  であること、太陽光は何らかの作用により7色に分解されること（虹の原理より）などは世間でも良く知られている。

光は感覚的に視覚で捉えることが出来、明暗や、色の善し悪しなどは直感的に判断できる。これは個人の知覚であって、日常生活の判断基準としては差し支えない。しかし光を直感的でなく、光量的な量として捉え、それらを比較しようとする、光についての常識的な範囲を超えてしまうことが多い。例えば、目に見えない赤外や紫外の強さはどうやって測るのか、目にはまぶしく感じるが、手元は全く明るくないことがあったりするのなぜなのか...などを光量的として捉えて説明するとすると、そう簡単には解答が出てこないのではないだろうか。

身の回りの光を観察してみると、様々な使われ方があることに気づく。例えば、コンサートでは、ステージ上の歌手にだけライトが浴びせられる。これにより聴衆の注意はその歌手に向く。また灯台は、レンズで光を特定方向に集中させることにより、遠くからでもその光が見えるようにしている。このように、光にはまず場所とか方向による強さの違いがある。

また、信号機を例にとってみると、光には色の違いがあることに気づく。光は波の1つであって、波長という性質を持っている。可視光の波長は非常に短く  $380\text{nm} \sim 780\text{nm}$  であるが、この波長の大小が色の違いを生み出すのである。このことは、前述の雨上がりに見られる虹からも理解できるであろう。我々が感じる色の違いはこの混ぜ合わせ具合の違いによるものである。

波長によって色の感じ方が違うように、光を当てた相手が受ける影響は波長により全く違う。例えば、日焼けは波長が  $400\text{nm}$  以下の短い波長で起こり、波長が  $600\text{nm}$  のような赤い光ではほとんど起こらない。従って、色々な波長の光がどのような割合で混ざり合っているかを知ることは、光を有効利用する上で大切なことである。

このように、日常化し、また将来ますます発展するであろう光を理解するための第一歩として、私は、本研究の題材として分光器というものを取り上げた。分光器の詳しい説明については、本論で述べることにする。本研究ではまず、分光器の使用法を習得しながら、いくつかの光の特性を測定し、そしてこの分光器を引き継いで使用させるために、また誰もが使えるよう、分かり易く、詳しいマニュアルを作成する事を目的とする。

ここでは第1章に、今回目的とする分光器に関する実験を、そして第2章、第3章では、分光器の使用法をマニュアル化した。また第4章では将来の仕事に役立つであろうプログラム言語 (basic) の基本操作について記述した。

# 目次

はじめに.....	1
<b>1. 分光器のしくみ .....</b>	<b>5</b>
1.1. 分光器のしくみ.....	5
1.1.1. 分光器（モノクロメーター）とは・・・ .....	5
1.1.2. プリズムモノクロメーター.....	5
1.1.3. 回折格子の原理.....	6
1.2. 白色ランプの特性.....	7
1.2.1. 白色光とは.....	7
1.2.2. 実験内容.....	7
1.2.3. 実験.....	7
1.3. 半導体レーザーの特性.....	9
1.3.1. 半導体レーザーとは.....	9
1.3.2. 実験内容.....	9
1.3.3. 測定準備.....	9
1.3.4. 基本操作（クイックマニュアル）.....	10
1.3.5. 測定.....	12
<b>2. マニュアル（ハード）.....</b>	<b>17</b>
2.1. モノクロ分光器とは.....	17
2.1.1. モノクロ分光器の内部構造.....	17
2.1.2. モノクロ分光器の動作原理.....	17
2.2. スペクトロメーター .....	17
2.2.1. スペクトロメーター（Spectrometer）の内部構造.....	17
2.2.2. マルチチャンネル分光器の動作原理.....	18
2.3. CCD.....	18
2.3.1. CCDの波長特性.....	18
2.3.2. 考察.....	19
2.4. 回折格子.....	19
2.4.1. 回折格子駆動方式.....	19
2.4.2. 3種類の回折格子.....	19
2.5. フォーカスミラーとコリメートミラー .....	20
2.6. 液体窒素.....	21
追加実験.....	22
<b>3. マニュアル（ソフト）.....</b>	<b>25</b>
3.1. WinSpecとは.....	25
3.2. 主要ボタンの名称.....	25
3.3. 各機能の詳細.....	26

3.3.1. 分光器への入射.....	26
3.3.2. 回折格子の選び方.....	26
3.3.3. Autoscale (オートスケール).....	27
3.3.4. スリットの調節.....	28
3.3.5. 雑音の取り除き方.....	28
3.3.6. Background (バックグラウンド) の設定.....	29
3.3.7. 画像の保存.....	31
3.4. Winspec の応用的な使い方.....	32
3.4.1. 保存波形をエクセルに入れたい.....	32
3.4.2. Range (X軸、Y軸) 設定.....	35
3.4.3. 波形が出なくなった時.....	37
3.5. まとめ.....	38
<b>4. Basic.....</b>	<b>39</b>
4.1. プログラム (片対数グラフ).....	39
4.2. 使用されている変数、命令コマンド.....	41
4.3. プログラムの説明.....	43
4.4. まとめ.....	43
おわりに.....	<b>44</b>
参考文献.....	<b>44</b>
謝辞.....	<b>45</b>

# 1. 分光器のしくみ

## 1.1. 分光器のしくみ

### 1.1.1. 分光器（モノクロメーター）とは・・・

プリズムなどを使って種々の波長成分をもつ入射光の中から、希望の波長成分の光を取り出す装置である。可視光に対してはガラス、また紫外線に対しては水晶の光学系が用いられる。ここでは、2種類の内部構造（プリズムモノクロメーターと回折格子モノクロメーター）について説明する。

### 1.1.2. プリズムモノクロメーター

モノクロメーターは、入射した光の中から、ある波長成分の光だけを取り出す装置である。どのような原理で、所定の波長成分の光を取り出すのであろうか。太陽光をプリズムに入射させると、透過した光が様々な色のスペクトルに分かれる。これはプリズムを作っているガラスの屈折率が波長に依存しているためである。つまり、波長が長くなるほど屈折率が小さくなるため、波長の長い赤色光はプリズムを通ってもそれほど曲げられないが、波長の短い青色光は大きく曲げられることになる。

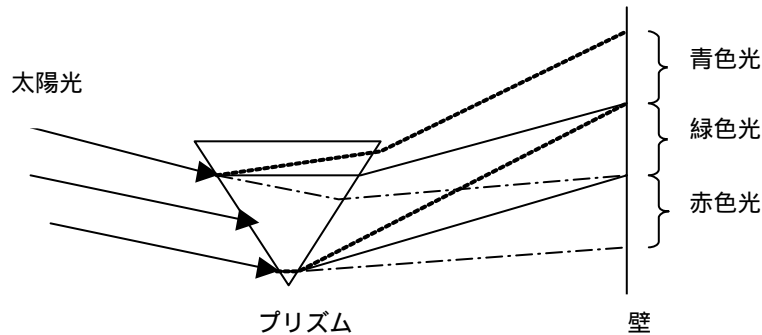


図1 - 1 プリズムを通した光の分かれ方

この現象を利用してモノクロメーターを作ることが出来る。下の図がプリズムモノクロメーターの原理である。

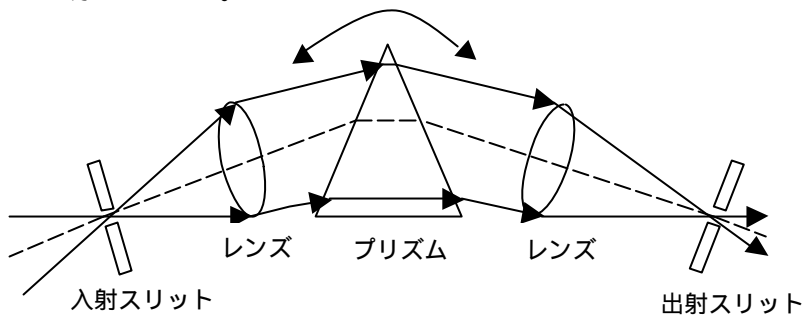


図1 - 2 プリズムモノクロメーターの構造

入射スリットと呼ばれる隙間を通った光はレンズで平行光線にされプリズムへ入射する。プリズムを透過した平行光線を再びレンズに入射させると、ちょうどレンズの焦点のある面の上に入射スリットの像が結ばれる。ところが、プリズムを透過した平行光線は波長によって違う方向に分かれて進むので、入射スリットの像の出来る位置は波長によってそれぞれ違う。このため、この面に出射スリットと呼ばれる別の隙間のある板をおき、出射スリットを通過する光だけを取り出せば、ある波長成分の光だけを取り出すことが出来る。この出射スリットを置く位置を変えることによって、取り出す光の波長を変えることも出来る。実際にはスリットの位置を変えるかわりに、プリズムを回転させることによって、取り出す光の波長を変えている。また、出射光の波長幅はこのスリット幅で決まる。プリズムモノクロメーターは古くから用いられてきて、現在でも特別な場合に用いられることもあるが、通常は回折格子を用いたモノクロメーターが多く利用されている。

### 1.1.3. 回折格子の原理

不透明の板に幅の小さい縦長のスリットを等間隔に多数空けたものを考えてみる。ここに光を入射する。するとスリットを通過した光は回折という現象で、色々な方向に広がっていく。光が波であることは「はじめに」で述べたが、この広がっていく光のうち、ある方向に進んでいく光については、あるスリットから回折する光の波と隣のスリットから回折する光の波が1周期分ずれて、ちょうど波の山と山の位置が一致する。このような関係にある時互いの光同士は強め合い、逆に、隣同士のスリットから回折する光の波が半周期分しかずれないで、山と谷の位置が一致してしまう方向では、弱め合うことになる。このようなスリットを多数空けた場合を考えると、この強め合いと弱め合いの程度はますます顕著になる。これを光の干渉という。この結果、ある波長の光は特定の方向だけに進んでいくようになる。これが回折による光の干渉である。

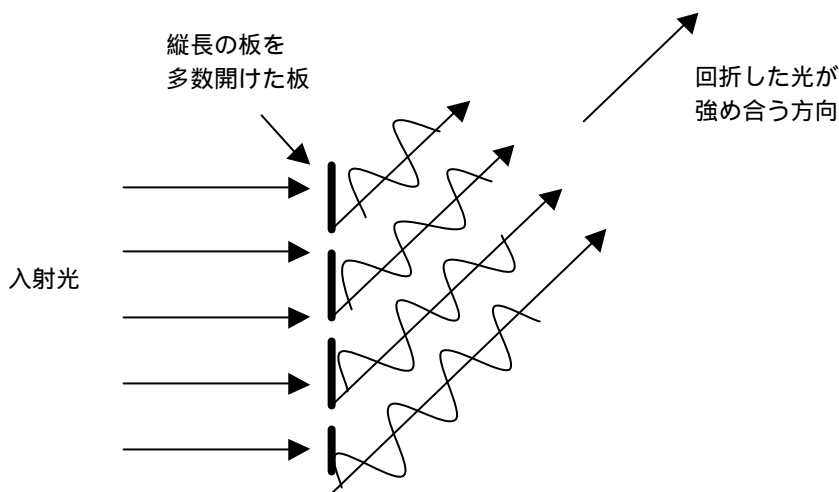


図1 - 3 回折格子の原理

この方向は光の波長によって違う。つまり、入射した光がちょうどプリズムを通った光のように、波長によって方向別に分けられるのである。このように、細かい穴を多数空けた板を回折格子と呼び、特にこの場合は透過光を用いるので、透過形の回折格子という。この

ような現象は反射光の場合でも見られ、微少な溝を規則的に並べた表面からのそれぞれの反射光は、波長によって干渉する位置が異なり、結果として進む方向が違ってくる。回折格子モノクロメーターはこの原理を用いて、入射した光から、ある波長成分の光を取り出す。この構造はプリズムモノクロメーターのプリズムを回折格子に置き換えただけのもので、波長成分を取り出す原理はまったく同じである。

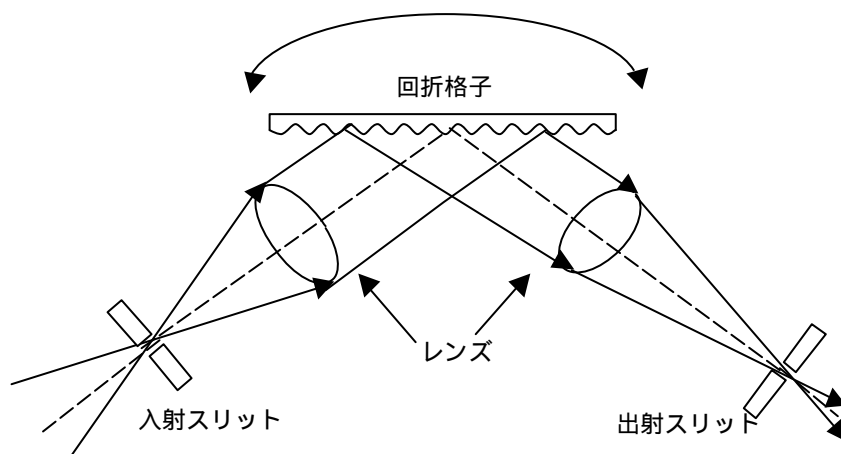


図1 - 4 回折格子モノクロメーターの構造

## 1.2. 白色ランプの特性

### 1.2.1. 白色光とは

太陽や電灯のような通常の光を一般に白色光という。これには、いろいろな波長の光が含まれている。この白色光はプリズムによって単色光の集まりに分けられる。(これを分光作用という)

### 1.2.2. 実験内容

ファン付き白色光ランプをレンズによって絞り込み、それを分光器に入射させ、波長の変化に伴う出力光の色の変化を確認する。また、分光器にフォトマルをセッティングし、波長でその出力から光のスペクトルを求めた。

### 1.2.3. 実験

環境 : 室温で測定した。

使用器具 : 白色光ランプ

レンズ各種

チョッパー

分光器

準備 : ランプの光は広がりやすく、この状態では測定できないため、図1 - 3 - 1に示すようにレンズを配置し、白色光を集束させた。光をチョッパーの穴程度の大きさまで絞り込み、分光器に入射させ、レンズの位置を調節した。白色ランプの入力100W、入射スリット及び出射スリット幅0.1mm、チョッパー321Hz、フォトマル電源0.7kVに設定。

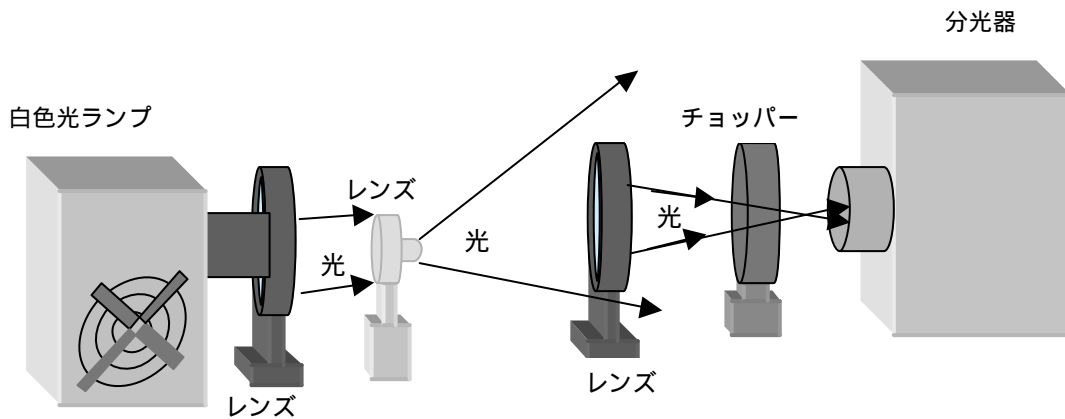


図 1 - 5 レンズを用いた白色光測定装置図

・ 測定 1 まず、波長の変化による色の変化の観測を行った。ここでは、分光器の波長は手動で変化させ、色の確認は出射スリットから行う。

450 nm ~ 650 nm で色の変化（紫～赤）を確認することができた。

・ 測定 2 分光器にフォトマルを付け、波長の変化による出力の変化を測定した。

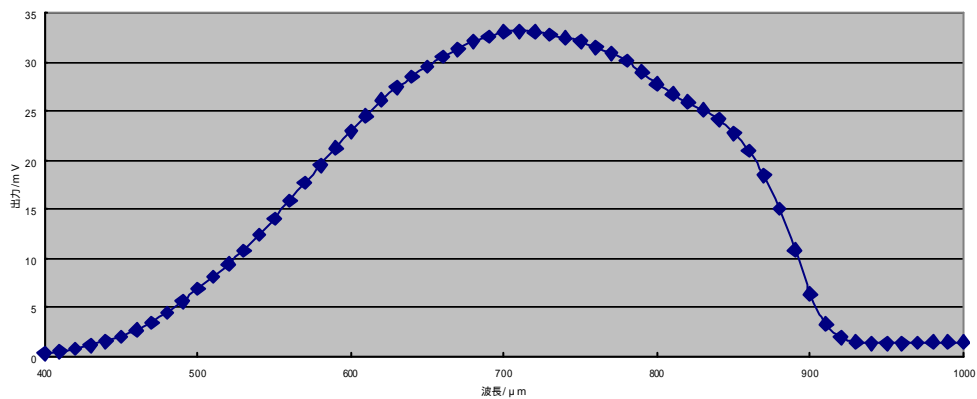


図 1 - 6 波長の変化における出力値（白色光）

・ 結果 色を確かめ、分光器の目盛によって色が変わることは確認した。各色の範囲はほぼ一定である。今回、色によつての波長範囲を確認しなかったため、正確に分光されているのかわからなかった。というのも、分光器というものは垂直に入射しないと、正確な値が得られないからだ。今回の実験では、図 1-5 のように、装置の中にレンズを用いている。自らセッティングをしたため、もしかすると集束の際屈折している可能性がある。しかしながら、分光器を用いた初めての実験だったため、装置に慣れることで分光の面白さを知った。



### 1.3. 半導体レーザーの特性

最も 基礎的な光素子として、半導体レーザーを取り上げ、その発光特性を測定し、理解することを目的とする。

#### 1.3.1. 半導体レーザーとは

半導体レーザーの基本構造は半導体 p n 接合であり、順方向バイアス電圧をかけ、電流を流すと、コヒーレントな光（単一波長で位相の揃った光）を出す。LD またはダイオードレーザーと呼ばれる。

#### 1.3.2. 実験内容

測定内容を次のように「実験 1、実験 2」とし、以下それぞれについて述べる。

実験 1：半導体レーザー（Violet Laser Diode）光を分光器に入射し、計測ソフト（Win spec）で波長と光強度の関係を調べる。

実験 2：電圧計、電流計を用いて半導体レーザー（Violet Laser Diode / 赤色半導体レーザー）の発光特性を明らかにする。また、電流と電圧との関係、及び電流を出力の関係性を測定する。

#### 1.3.3. 測定準備

##### <実験 1>

環境：室温で測定した。分光器出力測定用 CCD 検出器には液体窒素を入れ、- 50 度近くまで冷却し、雑音を低減した。

使用器具：Violet Laser Diode (Lot 0614 DY 8)  
分光器 (Acton Research Corporation Spectra Pro ?300i)  
電源 (R6144 Programmable DC Voltage/Current Generator)  
減衰器

測定順序：(1)最大電流値までのいくつかの動作電流値に設定し、その時のスペクトルを測定する。  
(2)この結果を、テキストに変換後エクセルを用いてグラフにする。  
(3)いくつかのグラフをもとに、電流による最大光強度の変化を図示する。

測定におけるセッティングを右図に示した。

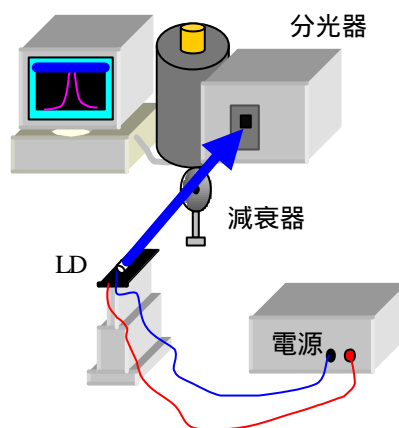


図 1 - 7 LD - 分光器のセッティング図



Winspec (計測用ソフト) を立ち上げる。  
画面上にあるアプリケーション「WinSpec32」をクリック。



図 c

アプリケーションが立ち上がると以下の画面が出る。ここで、左上にあるスタートボタンを押す。

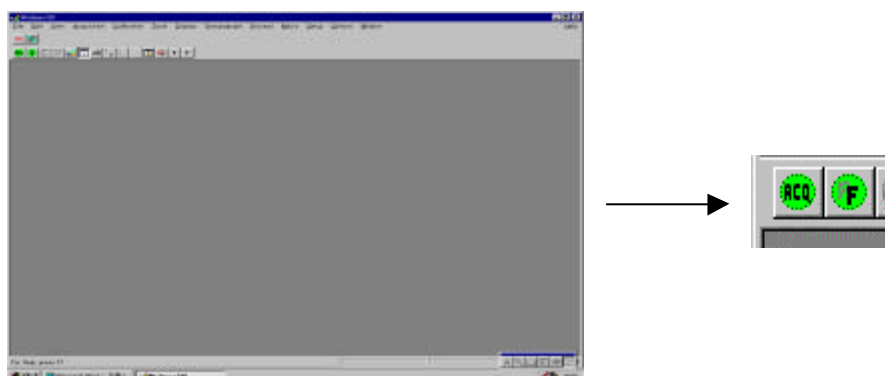


図 d

測定が開始されると下の画面のような波形が観測される。測定を終了するにはストップボタンを押す。

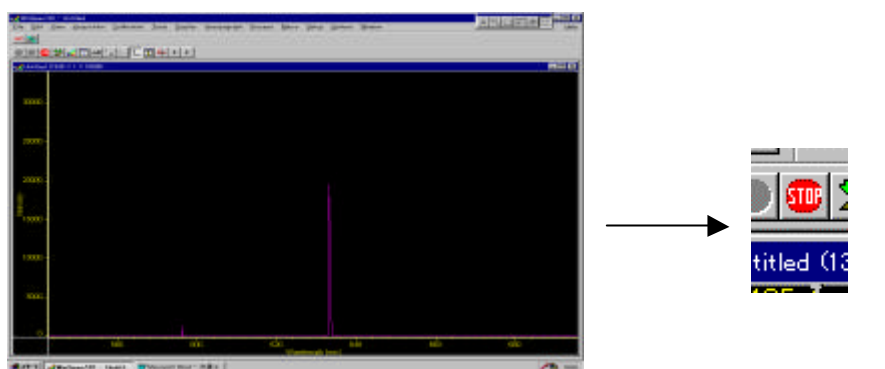


図 e

取り込んだ波形を保存するには、左下のファイルからセーブを選択し、ファイル名を入力してOK をクリックする。

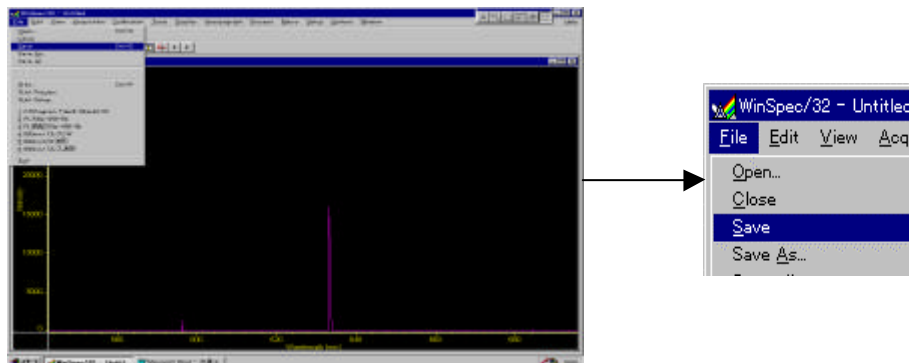


図 f

以上の操作により、測定したい波形の保存までが完了する。

### 1.3.5. 測定

- ・ 考察 1 - 1 LD の出力を直接入射すると、光強度が高く、コンピュータ画面においてピークである 60,000 を超えたため、まず、分光器の入射スリットを最小に狭めた。しかし、それでもなおピークを超えたため、発光源 分光器間に減衰器を置いてみたところ、最大電流時における光強度が 15,000 にまで減少した。

- ・ 考察 1 - 2 (1) の際、LD は < 56 mA ~ 最大 mA > 間しか光を飛ばさず、安定しなかった。2 度測定を試みたが、最小電流値からでは値が乱れ 2 度とも失敗に終わった。再度安定した状態を見計らい、今度は最大電流からの測定を試みた。(70 mA ~ 0.6 mA)

### ・ 測定結果

電流値 70mA 時のスペクトルとその時のデータを下に表した。

波長 / nm	光強度	波長 / nm	光強度
377.354	50	410.505	10062
380.711	112	413.769	6033
384.058	250	417.024	3584
387.396	714	420.27	2233
390.725	1681	423.507	1217
394.045	3315	426.734	694
397.355	6572	429.952	430
400.657	11324	433.161	260
403.949	14577	436.361	171
407.231	14558	441.751	115

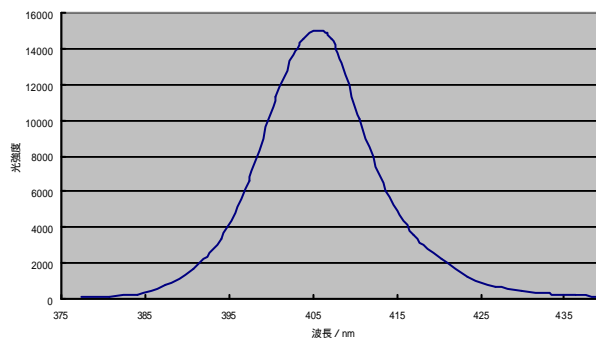


図 1 - 9 Violet Laser Diode のスペクトル

図 1 - 8 Violet Laser Diode のスペクトルデータ

直接、電流と光出力の関係を測定した。その手順と結果を以下に述べる。

環境：室温状態で測定。Power 計測器には LD 以外の余分な光が入射しないよう黒い布をかぶせた。

使用器具： Violet Laser Diode (Lot 0614 DY8)  
 Power 計測器 (Optical Sensor Q82214)  
 電源 (E 3610 A)  
 電流計・電圧計 / Hewlett Rackard 34401A

測定内容： (1)電圧計・電流計・Power 計測器を用いて LD の測定回路を配線。  
 (2)Current を 0.0055mA~72mA 間で少量ずつ流していき、そのときの電圧 Power を測定する。  
 (3)得た値をエクセルに入れ、IV 特性、IP 特性を調べる。

・ 考察 1 - 3  $I_{op} = 7.3 \text{ mA}$  を目安に電流あげた。

↓  
 何度か電流を  $I_{op}$  近くまで流したが、  
 レーザ発振している様子は無かった。

・ **測定結果**

電流は最大電流以下 ( $I_{op} > 72.82$ ) で流すことをやめた。  
 しかし、電圧値は最大電圧以上 ( $V_{op} < 6.848$ ) の値をとった。  
 結局この測定時にもコヒーレント光は出なかった。

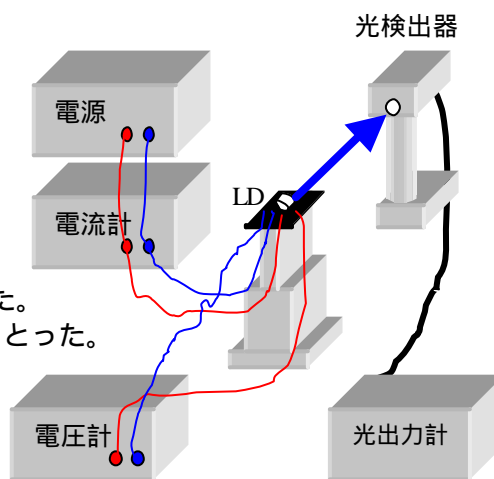


図 1 - 10 計測器を用いた LD の測定回路

・ 考察 1 - 4 電流に対する電圧及び光強度の変化をグラフに表した。

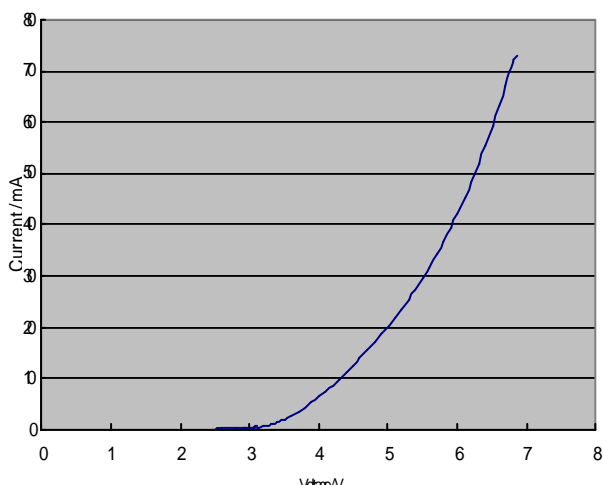


図 1 - 11 Violet Laser Diode の I V 特性

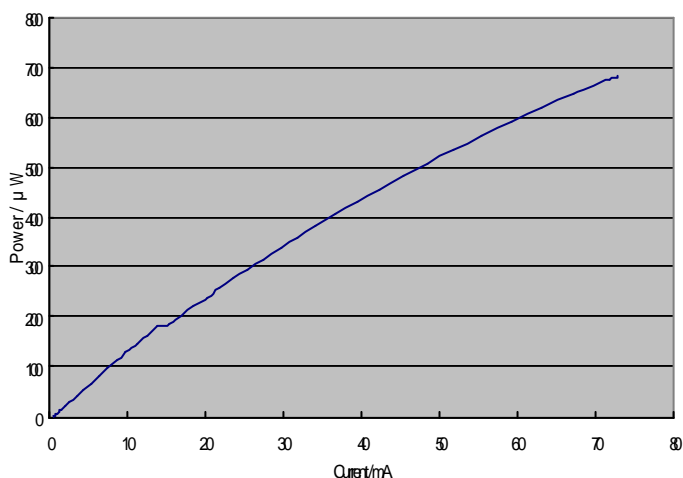


図 1 - 12 Violet Laser Diode の I L 特性

上記の結果、<<I L 特性>>グラフにおいて、しきい値を確認することは出来なかった。またスペクトル測定からも、レーザ発振特性の狭スペクトルが見られなかった。これより、この LD についてはレーザ発振されていないということを確認した。実験 1 の際に発光が不安定だったのも、このことが理由だと思われる。

### < 実験 3 >

次に、赤色半導体レーザを使用して測定をおこなった。  
環境・使用器具・測定内容については実験 2 と同様。

- \* ここで赤色半導体レーザ ( D L - 3148 - 011 ) の特徴について述べる。

He・Ne ガスレーザと同等 670nm

$I_{th} = 35\text{mA}$

↓

これより、電流 0 ~ 40 mA 間で測定を行った。

- \* CCD 検出器付き分光器の Grating を<<1200 BLZ = 500nm>>に設定。

### ・ 測定結果

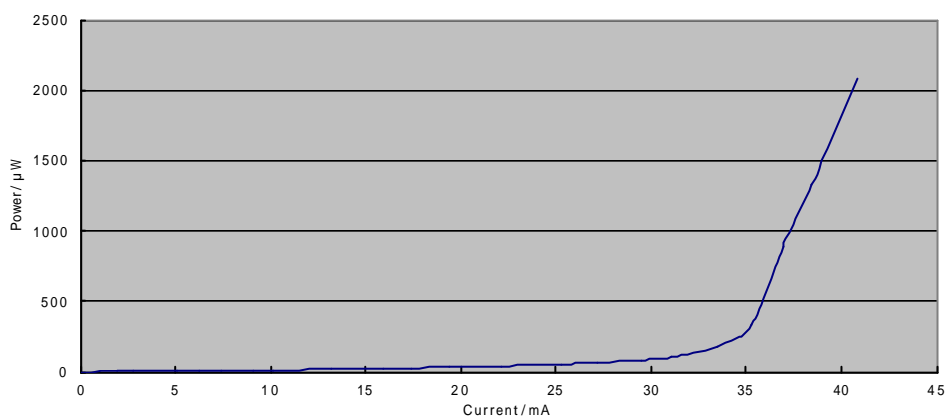


図 1 - 13 赤色半導体レーザにおける I L 特性

- ・ 考察 1 - 5 LD からの出射光を分光器に入射し、光強度と波長の関係を知る。

測定前に光を分光器に直接入射してみたところ、強度 60000 以上となった。そこで、スリットを最小限にしぼり、減衰器を入れた。(75%部分)

波形に雑音が見られたため Background は設定したが、大きな雑音は無かったので液体窒素は使わなかった。

今回は電流 40mA 時のみを測定した。  
以下のグラフは、波長と光強度の関係グラフである。

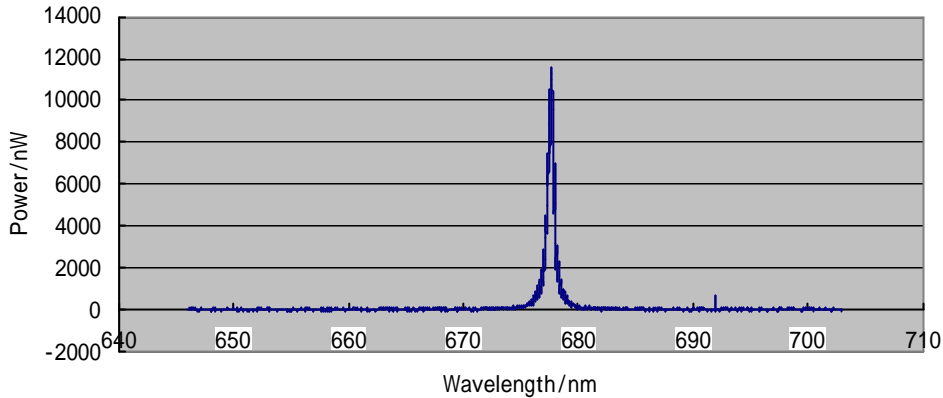


図 1 - 14 赤色半導体レーザ光の波長と光強度の関係

・ 比較 実験 2 と実験 3 を見比べてみると、実験 3 のレーザはコヒーレントな光がでており、これがレーザの特徴的なグラフ (図 1 - 13、図 1 - 14) であった。スペクトルの比較から実験 2 に用いた LD は、スペクトルの広い光を発する LED になっていたことがわかる。実験 3 の LD は 678.7nm と長くなった。

・ 考察 1 - 6 Violet Laser Diode と赤色半導体レーザの量子効率を求める。  
量子効率とは、1 個のキャリアに対するフォトン数である。

波長 [m] の光の電力を L とするとき、単位時間あたりのフォトン数 n は、

$$n = L / hc \quad \dots$$

と表せる。ここで、 $h = 6.626 \times 10^{-34} [\text{Js}]$  はプランク定数、 $c = 2.998 \times 10^8 [\text{m/s}]$  は光の速度である。

また、電流 I [A] のときの単位時間あたりのキャリア数 N は、

$$N = I / q \quad \dots$$

と表せる。ここで、 $q = 1.602 \times 10^{-19} [\text{C}]$  は単位電荷である。

(1) Violet Laser Diode

- ・ キャリア数  $N = I / q$  より  

$$= 72.83 \times 10^{-3} / 1.602 \times 10^{-19}$$

$$= 45.46 \times 10^{16}$$
- ・ フォトン数  $n = L / hc$   

$$= 681.9 \times 10^{-6} \times 405.0 \times 10^{-9} / 6.626 \times 10^{-34} \times 2.998 \times 10^8$$

$$= 1.391 \times 10^{15}$$

- 量子効率 = フォトン数 / 電流のキャリア数  
 $= 1.391 \times 10^{15} / 45.46 \times 10^{16}$   
 $= 3.06 \times 10^{-3}$

(2) 赤色半導体レーザー

- キャリア数  $N = 40.8 \times 10^{-3} / 1.602 \times 10^{-19}$   
 $= 25.47 \times 10^{16}$
- フォトン数  $n = 2.08 \times 10^{-3} \times 678.7 \times 10^{-9} / 6.626 \times 10^{-34} \times 2.998 \times 10^8$   
 $= 147.8 \times 10^{14}$
- 量子効率 =  $147.8 \times 10^{14} / 25.47 \times 10^{16}$   
 $= 5.802 \times 10^{-2}$

- 微分量子効率

これはレーザー発振時の傾きにより求められる量子効率である。以下の図はその時の考え方である。

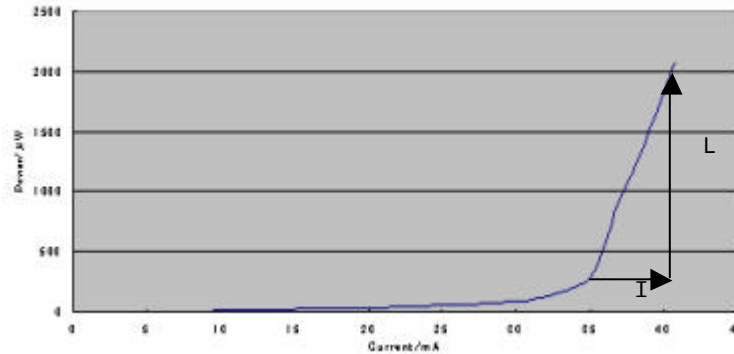


図 1-15 グラフにおいての微分量子効率の考え方

$$\begin{aligned} \text{量子効率} &= n / N \\ &= (L / hc) / (I / q) \\ &= (L / I) * (q / hc) \quad \dots \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{微分量子効率} &= n / N \\ &= (L / hc) / (I / q) \\ &= (L / I) * (q / hc) \quad \dots \end{aligned}$$

式 式 から、 $L / I$  と  $L / I$  の比較により微分量子効率が求まることがわかった。

$$\begin{aligned} \text{倍率} &= (L / I) / (L / I) \\ &= (1.35 \times 10^{-3} / 4.50 \times 10^{-3}) / (2.08 \times 10^{-3} / 10.8 \times 10^{-3}) \\ &= 4.37 \text{ (倍)} \end{aligned}$$

よって微分量子効率は

$$\begin{aligned} \text{微分量子効率} &= 5.802 \times 10^{-2} * 4.37 \\ &= 25.33 \times 10^{-2} \end{aligned}$$



## 2. マニュアル（ハード）

分光器は、複数の色・波長で成り立つ光を、単色・単一波長に分ける（分光）する為に設計された光学装置である。今までの実験において、分光器がどのようなはたらきをするものかを述べた。これからは、これについての構造、特性について調べた結果について述べる。分光器の内蔵はどうなっているのか、部品一つ一つに特性はあるのかなど。これは分光器に関わらず、どのような器材においてもまず、知っておかなければならないことである。

### 2.1. モノクロ分光器とは

#### 2.1.1. モノクロ分光器の内部構造

出口にスリットを配置するモノクロ分光器では、出口スリットの幅により出力された波長の分解能を調節したり、回折格子を回転させる事により出口スリットを、分散された光が横切る（スキャン）特徴を生かして、ある単一波長の光だけを照射光として取り出したり、ある波長範囲をスキャンさせて、それぞれの波長の光強度を測定する事ができる。

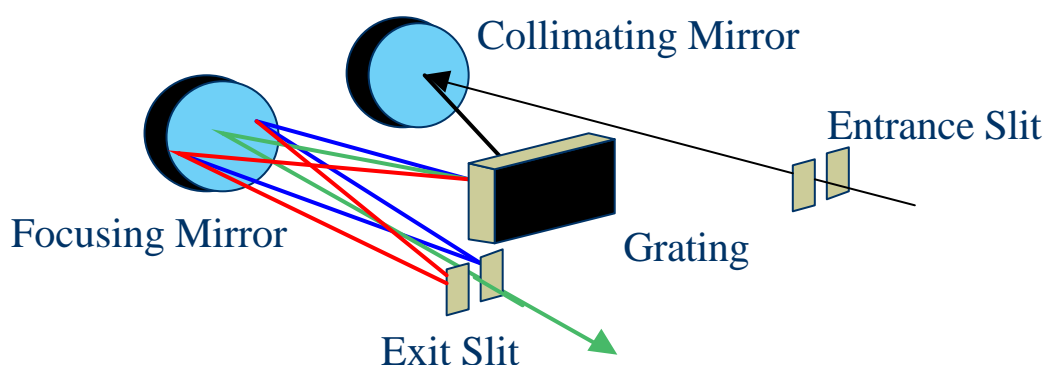


図2 - 1 モノクロ分光器の内部構造

#### 2.1.2. モノクロ分光器の動作原理

入口スリットから入射した光は1つ目のミラーで平行にされる。ミラーにより反射された光は格子によって個々の波長に拡散される。この拡散角は、波長により少しずつ異なるようになっているため、重なり合うことはない。この分けられた光は2つ目のミラーにより反射され、波長により異なった位置に焦点を結ぶ。このため出口スリットからは特定の波長の光だけが出射する。

### 2.2. スペクトロメーター

#### 2.2.1. スペクトロメーター（Spectrometer）の内部構造

スペクトロメーターでは、出口にスリットを置く代わりに CCD ポートが付けられており、分散された光を一度にある範囲を取り出して測定する事ができる。また、ここで用いた ARC の分光器では、モデルにより二つの出口ポートを装着出来る為、スリット、CCD ポートそれぞれ一つずつ持たせる事も可能で、分光器一台で高分解能測定、広範囲波長測定を可能にしている。

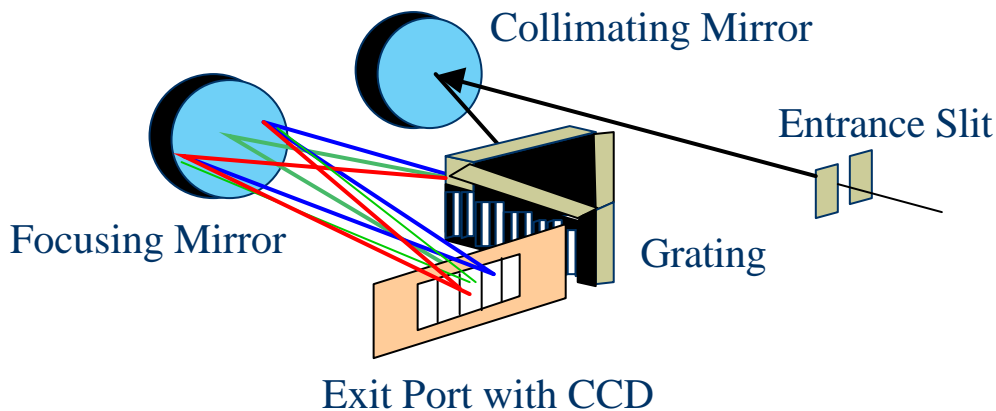


図 2 - 2 マルチチャンネル分光器の内部構造

### 2.2.2. マルチチャンネル分光器の動作原理

光はまず入口スリットから入射され、コリメートミラーによって収束される。収束された光は回折格子に当たり、個々の波長（色）に、横方向に分解される。分解された光はフォーカスマイラーにより CCD ポートに結合される。

### 2.3. CCD

「CCD」とは、Charge Coupled Device を略した名称で、入力された光の明暗に比例した電流を発生する素子であり、「電荷結合素子」と言われている。CCD は写真と同様に 2 次元的な画像を記憶することが出来る。写真フィルムは、光によってハロゲン化銀が還元され潜像を形成するのに対して、CCD は非常に量子効率（入射した光のうち、実際に信号として記録される光子の割合）は良いが、熱によつての電子が蓄えられる性質があり、露出時間が長くなると、熱による電子が光による電子を上回る。これを防ぐために CCD を冷却して熱による電子を減らすものが冷却 CCD である。

#### 2.3.1. CCD の波長特性

ここで用いた CCD の波長に対する量子効率は以下の通りである。（カタログによる）

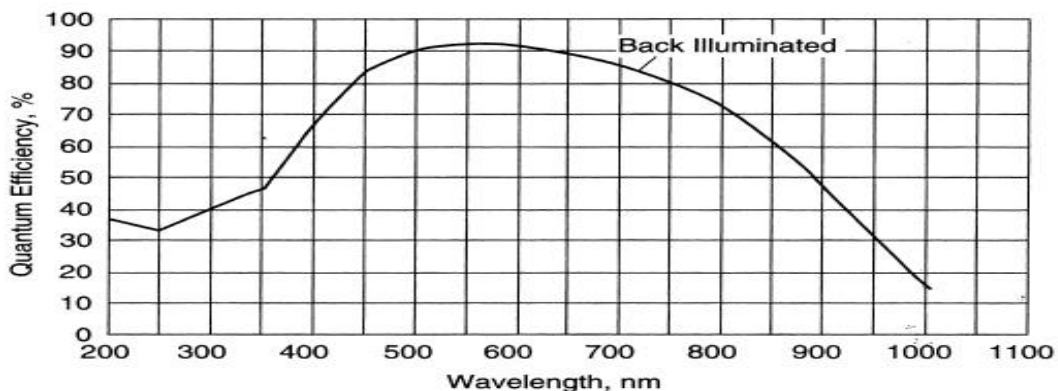


図 2 - 3 CCD の波長別量子効率

## 2.3.2. 考察

図 2 - 3 は波長 1000nm でグラフが終わっている。これはなぜか。

( CCD 材料はシリコンである。 )

光(フォトン)のエネルギーは

$$E = h \nu \quad \dots$$

である。ここで、 $h = 6.626 \times 10^{-34} [\text{Js}]$  はプランク定数、 $c = 2.998 \times 10^8 [\text{m/s}]$  は光の振動数である。

また、 $\nu$  は周波数 (  $f$  ) であり、 $c = f \lambda$  より、

$$\nu = c / \lambda \quad \dots$$

と表せる。式 (1) を式 (2) に代入すると

$$E = h c / \lambda \quad \dots$$

となり、これより「波長が小さくなるほどエネルギーが高くなる」ことがわかる。ここで  $E_g = 1.12 \text{eV}$  はシリコンのバンドギャップである。式 (3) にこれを代入することにより、次の値が求められる。ただし、 $E_g = 1.12 \text{eV} = 1.12 \times 1.602 \times 10^{-19} \text{J}$  である。

$$\begin{aligned} 1.12 \times 1.9 \times 10^{-19} &= 6.626 \times 10^{-34} \times 2.998 \times 10^8 / \lambda \\ &= 6.626 \times 10^{-34} \times 2.998 \times 10^8 / 1.12 \times 1.9 \times 10^{-19} \\ &= 11.085 \times 10^{-7} \\ &= 1109 \times 10^{-9} [\text{m}] \\ &= 1109 [\text{nm}] \end{aligned}$$

これより、1109nm より波長が短い光でないと特性が出ないことがわかる。

## 2.4. 回折格子

### 2.4.1. 回折格子駆動方式

回折格子の回転は、コンピュータコントロールによって行われる。また、複数の回折格子が装着可能なタレットにより、広域波長範囲かつ回折格子に依存した、異なる分解能での測定を可能にした。

### 2.4.2. 3種類の回折格子

実験室で使われている分光器 ( SpectraPro-300i ) には、3種類の格子 ( 600g / 1  $\mu\text{m}$  Blaze、1200g / 300nm Blaze、1200g / 500nm Blaze ) が内蔵されていて、測定したい光 ( 波長 ) に合った格子を選択することが可能である。

波長に対する能率を表したのが次の図 ( 3種類 ) である。

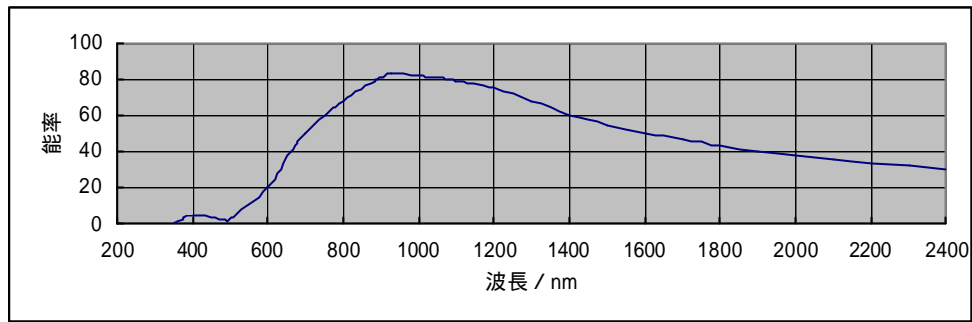


図 2 - 4 600g / 1 μm Blaze

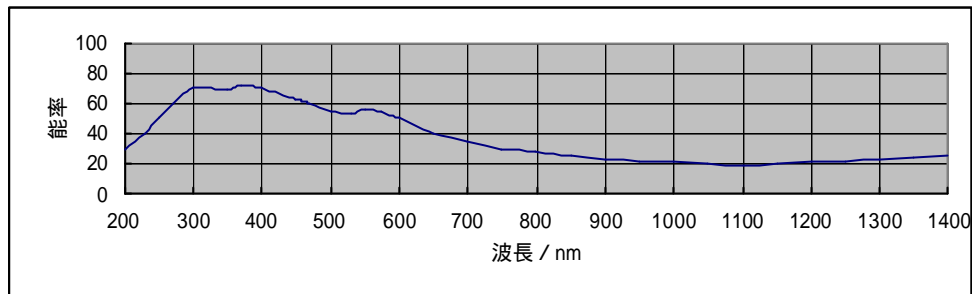


図 2 - 5 1200g / 300 nm Blaze

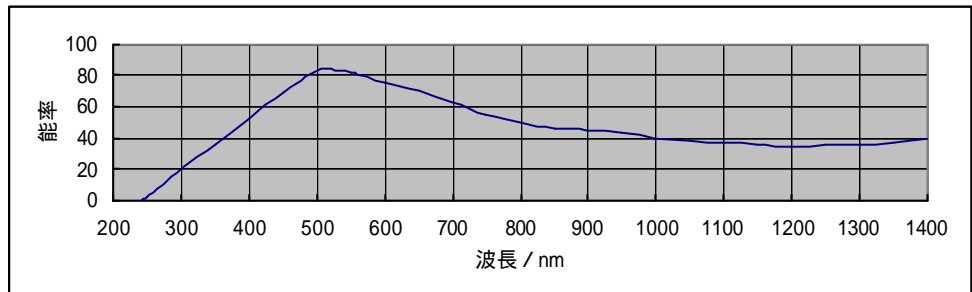


図 2 - 6 1200g / 500 nm Blaze

上のグラフから言えることは、この分光器は200nm～1600nmの波長を持つ光の測定に適している。今回の実験は白色光が700nm、赤色レーザーが680nmで1200g/500nm Blazeの回折格子を、Violet Laser Diodeにおいては、波長が405nmのため1200g/300nm Blazeに設定して測定した。また、200nm～1600nm以外の波長でも能率があまり良くないということで、測定できないというわけではない

## 2.5. フォーカスミラーとコリメートミラー

Spectra Proのミラーは#2000強化アルミニウムによりcoatingされている。これらのミラーは200nm～700nm、そして900nm～で90%以上の反射率を持つ。そのため、ここでの実験に用いるレーザー、白色光及びLDについては問題ないと言える。

### 様々なミラー

この分光器に使われているミラー以外にも、他の分光器には様々なミラーが使われている。これらについて以下説明する。

#300-0C 波長 250 ~ 350nm の範囲内で 95%以上の平均反射率を提供する。

金塗装 波長 800nm からそれ以上（遠赤外）において、96%を超える反射率を持つ。

銀塗装 波長 450nm ~ 800nm の範囲で 96%以上の反射率を持つ。その他赤外部においても良い反射率であるため最適なミラーとして使われる。

### 2.6. 液体窒素

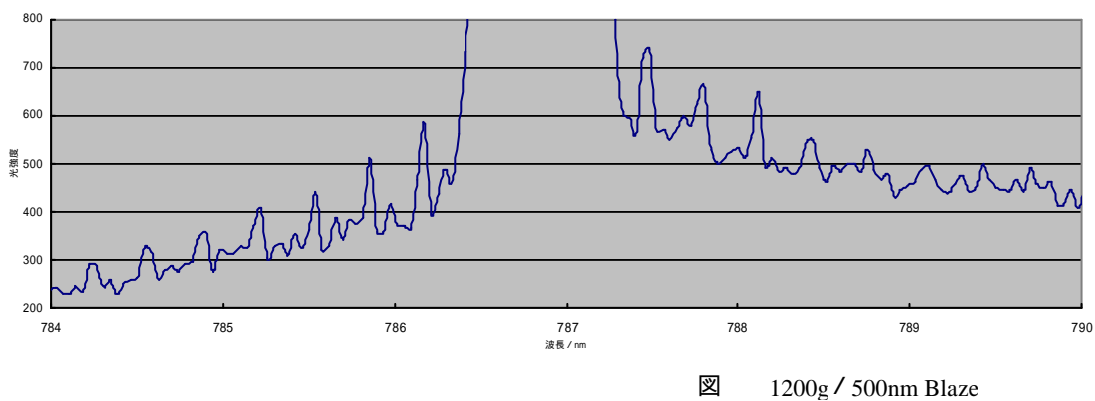
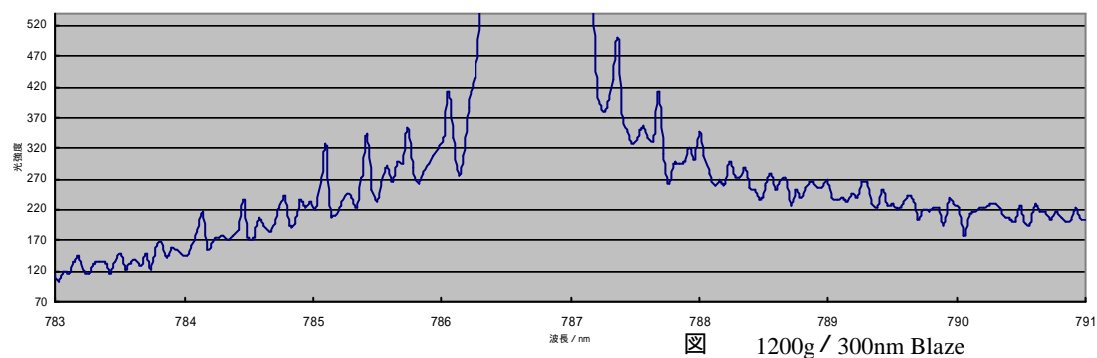
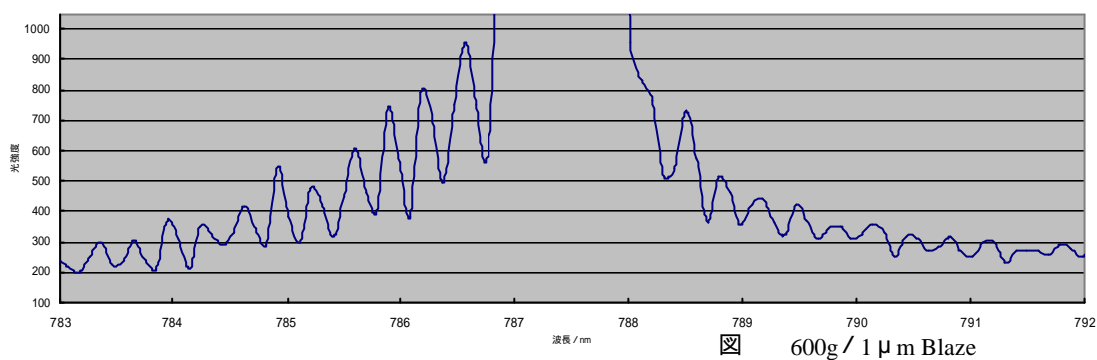
雑音が多く、波形が読み取りにくい場合に用いる。これを用いることにより宇宙線以外の雑音はほとんど消去することができる。ここでは液体窒素により CCD 内を - 50 度まで冷却できる。

## 追加実験

波長 788nm の半導体レーザーを用い、3種類の回折格子における性能の違いや電流の変化による性能の違いを測定する。今回、回折格子は分光器に内蔵されている 600g / 1 $\mu$ m Blaze、1200g / 300nm Blaze、1200g / 500nm Blaze で測定をした。また電流は 40mA、50mA、60mA と変化させた。

3種類の回折格子における性能の違い。

以下のグラフは電流 60mA 時に回折格子を変化させたものである。これら波形の違いにより分光器の分解能を考察する。



前頁 3 種類のグラフ上に現れている縦モード間隔によりだいたいの分解能を下の表に表す。またこれはスリット最小（ほとんど開いてない）状態での結果である。

	図	図	図
60mA	0.329	0.319	0.285

計算法：表の値は縦モード間隔を表している。よって、

**縦モード間隔 = ある波長領域 / その領域に存在するピーク数**

で求める。

結果：分解能は縦モード間隔が狭いほど「高い」とされているので、この場合は回折格子 1200g / 500nm Blaze が最も分解能が高いと思われる。また回折格子により波長が少しずれることも分かった。

電流の違いによる性能の違い。

の計算法より数値をだした結果、電流の違いによる性能の違いは見られなかった。その値を下の表に表す。これはスリットを少し開いた状態で測定した。

	40mA	50mA	60mA
1200g / 500nm Blaze	$(785.336 - 782.139) / 10$ =0.320	$(785.774 - 784.498) / 4$ =0.319	$(785.854 - 785.216) / 4$ =0.319

また、その時に測定した 3 種類のグラフを一つのグラフに表したのが下の図である。下のグラフにより、電流の値によってピーク波長がずれることがわかった。電流 40mA=灰色、50mA=ピンク色、60mA=緑色である。

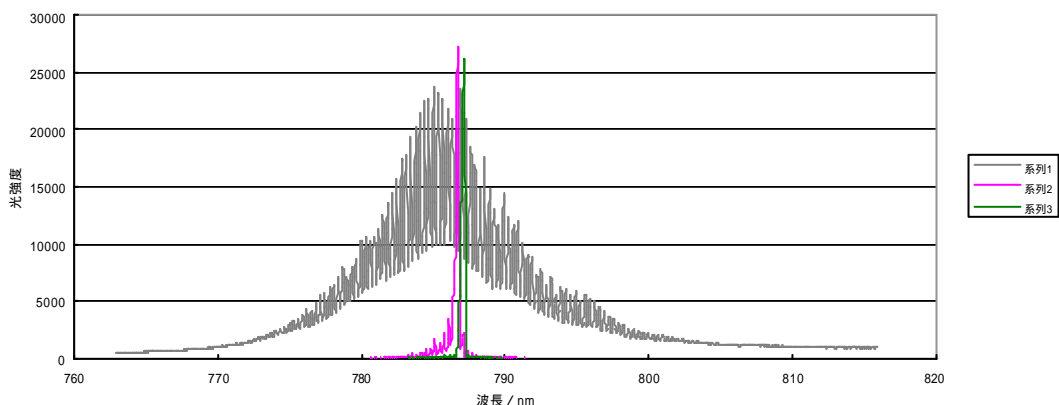


図 電流によるピーク波長の違い

入射スリット開閉の違い。

出力光のパワーが大きいとき、スリットが開いていない状態でもコンピュータ画面上には波形が現れる。そこで、スリットが開いていない時と開いている時では分光器分解能にどのような影響がでるのかを調べる。今回は電流 40mA、回折格子 1200g / 500nm Blaze で測定した。その結果を下の表に示した。

	スリット閉	スリット開
1200g / 500nm Blaze 電流 40mA	$(787.285 - 786.292) / 3$ =0.331	$(785.336 - 782.139) / 10$ =0.320

この結果によりスリット開閉によっても分解能が変化することがわかった。



### 3. マニュアル (ソフト)

WinSpec は、冷却デジタル CCD カメラを使用したスペクトルの測定と解析のために作製された多機能ソフトウェアである。

#### 3.1. WinSpec とは

WinSpec は非常に多機能、高性能なソフトウェアで、露光時間、素子のグルーピング (素子をグループ化すること) など冷却 CCD カメラを制御する機能の他、スペクトルの演算機能、微弱光測定の際に問題となる宇宙線の除去などに有している。

#### 3.2. 主要ボタンの名称

WinSpec では測定に用いる項目をメニューで検索できる他に、よく使われる項目をツールバーとして表記している。ここでは、このボタンの名称を表記する。

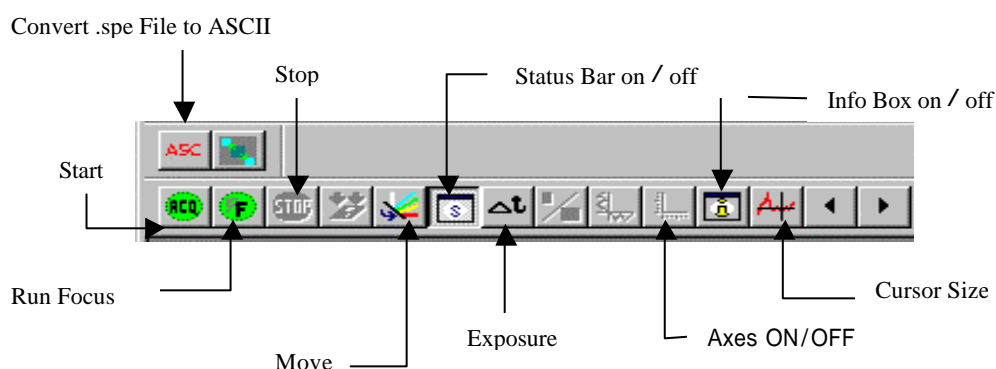


図 3 - 1 ツールバー各部の名称

#### 各ボタンの簡単な説明

上図で表記されている単語の簡単な意味を説明する。

Start	測定をスタートさせる
Run Focus	測定を実行させる (スタートと同様)
Stop	測定をストップさせる
Move Spectrograph	画面に表示される波長の中心を設定
Status Bar on / off	各ボタンの意味を下部の Bar にて表示
Exposure	露光時間
Axes ON/OFF	X,Y 軸のメモリの表記
Cursor Size	波形中にカーソルがあらわれる
Info Box on / off	波形における情報表示
Convert .spe File to ASCII	保存波形をテキストファイルに設定

### 3.3. 各機能の詳細

各機能において、言葉だけでは分かりにくい項目が多いため、一つの実験を進めながら説明していくことにする。

波長 660nm の Dye レーザを分光器に入射し、特性を測定する手順をおってみる。

#### 3.3.1. 分光器への入射

入口スリットに光を入射するとき、光は回折格子に対してできるだけ垂直に入射するように配置する。(図3-2) そのためまず、分光器の入口スリットと光源の出射口の高さを同じにし、適当な高さに固定する。この時、光を出した状態で調節するとよい。

#### 3.3.2. 回折格子の選び方

光を入射したらまず、その光にあった格子を選ばなければならない。WinSpec32には3種類の格子が内蔵されている。それぞれ性能が違うため、その光にあった格子を選択する。

Dye レーザの波長は 660nm 前後であり、これにあう格子は、波長 400nm - 800nm の間でより良い動作を發揮する、「1200g / 500nm Blaze」だと言える。このように適切な回折格子を選ぶ事が必要な分解能でスペクトルをとるのに重要なこととなるのである。

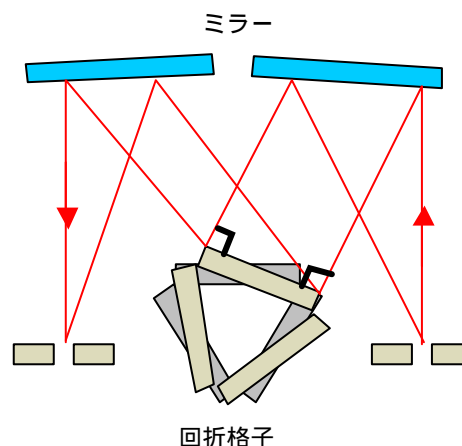


図3-2 回折格子に垂直に当たる入射光

#### ・ 回折格子の設定法

手っ取り早く設定するには、まず画面上にあるツールバーの中の「Move Spectrograph」を選択する。(図a) ここで現れる画面(図b)は、**回折格子の選択 (Grating)** と画面上の波長についての**波長の中心設定**ができるようになっている。また、メニュー項目の「Spectrograph Move」でも同じ画面が表示できる。(図c)

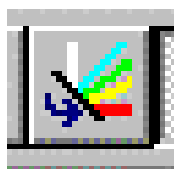


図 a

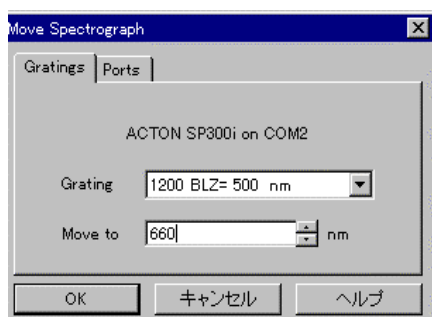


図 b

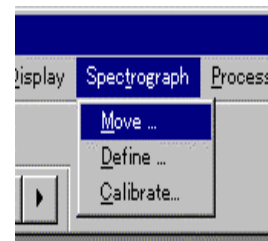


図 c

### 3.3.3. Autoscale (オートスケール)

光源のセッティングのために出射させていた光をいったん止め（紙などで分光器へ入る光を遮っても良い）、画面をスタートさせると（図 d のいずれかを押す）、コンピュータは雑音を読み取る。（図 e）この状態で光（今は Dye レーザ）を入射すると、たいていの場合、波形が飛んで画面上から消えてしまう。（図 f）これは雑音に比べて光強度が極端に強いため、コンピュータが追いつかないことが理由だと考えられる。画面に入りきらないこれらの波形はオートスケール（Autoscale）により解消される。（図 g）



図 d

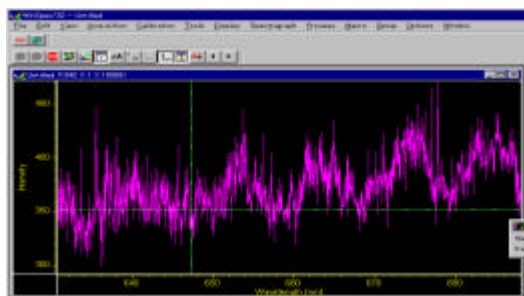


図 e

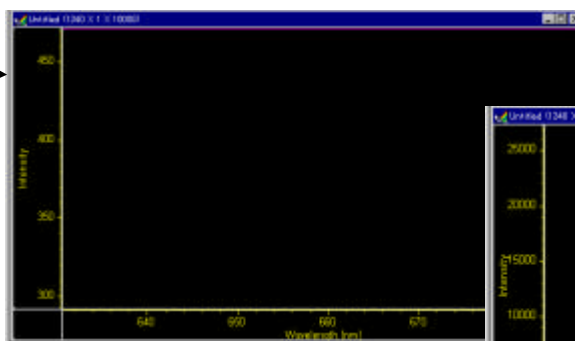
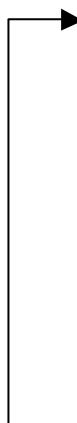


図 f



波形が飛んでしまっている。

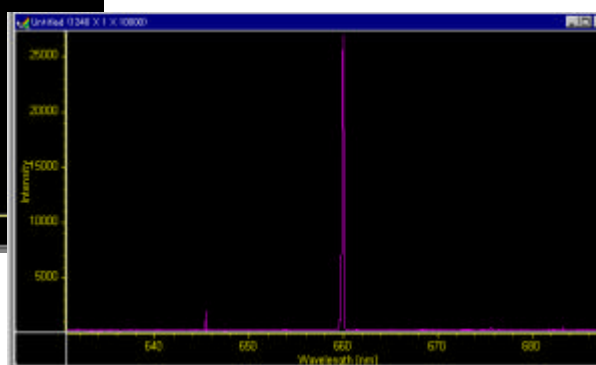


図 g

#### ・ オートスケールの設定法

右クリック（図 h）、もしくはメニュー項目の「Display Autoscale」（図 i）にて設定する。  
Autoscale は今後よく使われるアプリケーションの 1 つなので使い慣れておくこと。



図 h

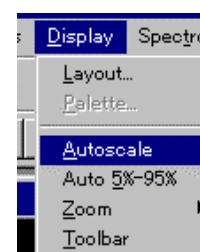


図 i

#### ・ オートスケールに似たアプリケーション

Autoscale によく似た動作をするもの、それが「Auto 5%-95%」である。画面いっぱいに波形が表示される Autoscale に対して、Auto 5%-95% は画面の上下部に少しの余白を作るようにして波形を表示する。実験の際には、自分たちが見やすいほうのオートスケールを使っていくとよいだろう。

### 3.3.4. スリットの調節

オートスケールにより波形を表示させても、それが画面内に入るとは限らない。また光強度 60000 を超えるようなものもあり適切でない。このようなとき、まず考えなければならないのがスリットの調節である。スリットが広ければ、それだけ光を取り入れる量が多くなる。このため、スリットは極めて狭い方がよい。今回は一番小さい1メモリだけを開けた。

次に考えなければならないのが、スリットと光源の距離である。近すぎると光を集めすぎるため（図 j）、適切な値がとれない場合がある。このため、画面の波形を見つつ、光源を分光器から離していき、よりよい波形に近づける。（図 k）光強度の理想は 10000 前後である。

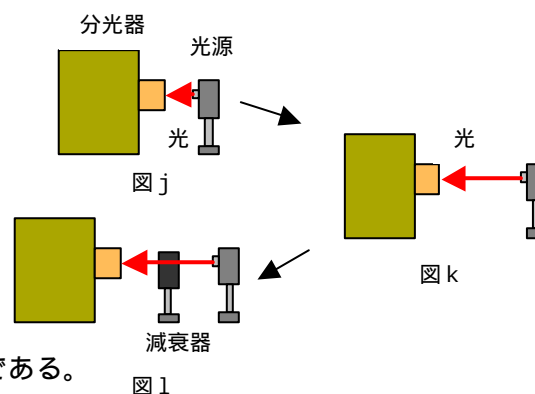
#### ・ 光強度調節の最終手段

いままでのことを行っても

まだ強度が強すぎる・・・

このような場合には分光器と光源の間に減衰器を置かなければならない。（図 l）

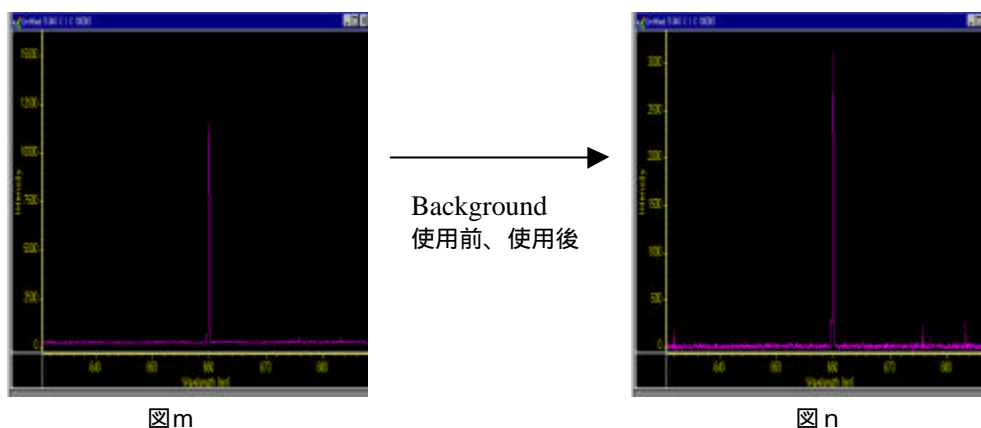
これは光の透過強度を自分の手で調節できるため、自由に強度を設定することができる。あらかじめ設定しておいた、スリットと光源の距離を変えたくない人にもお勧めの方法である。



### 3.3.5. 雑音の取り除き方

画面上に波形が綺麗に出たとしても、それに雑音が混じっていることは確かである。そして大きな光を入射すればするほど、それはわかりにくくなる。これは前にも述べたように、雑音と入射光の強度が極端に違うため、雑音が0に近づくような気がするのである。しかし、だからといって、この雑音は0になるわけではない。（図 m）

この雑音を除く手段が、「**Background の設定**」である。Background とはここでいう雑音を意味する。この雑音を基準とし、0 とすることで、画面上では雑音がなくなるわけである。（図 n）



・ 液体窒素

バックグラウンドを設定し、Y 軸 = 0 にしても、大きな雑音を取り除かれない場合がある。そのようなときには液体窒素を用いて、CCD を冷却したほうがよい。液体窒素に関しては前に述べた通りである。（最適温度は-50 である）

・ 宇宙線の削除

測定したい光とは別に、飛び抜けた波形（雑音？）を読み取るときがある。これが宇宙線である。結構厄介なもので、なぜ現れるのかは分からない。しかし、これも設定により取り除くことが可能である。

（宇宙線消去法）

メニュー項目の「**Experiment Setup**」から **Data Corrections** を選択し、Cosmic Ray Remove（宇宙線の排除）を **Spatial** に設定。今までの実験より、**50%** がベストだと言える。

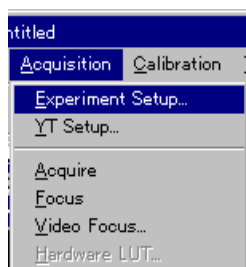


図 o

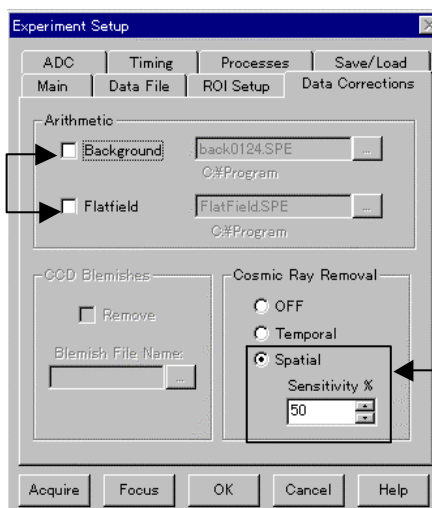


図 p

もし **Spatial** でも宇宙線が消えない場合は他の項目（Off、Temporal）でも試してみる。

**3.3.6. Background（バックグラウンド）の設定**

**1）Background（バックグラウンド）を設定する前に**

バックグラウンドは、前使われたものがそのまま設定されていることが多い。しかし雑音は、毎日毎日違うものであるため、前の設定が今日使えるというわけではない。また、雑音は波長によって違ったりするため、これを設定する時には、「測定したい波長を中心に設定」したうえで行わなければならない。

スリットやオートスケールで設定し終わったことを確認し、いったん分光器への入射をストップさせる。

（紙面等によって隔てをする）(図 q)

最初に見た雑音が表示さる。雑音が見れない場合は、高強度から低強度への変化により、コンピュータが対処しきれていないのかもしれないので Autoscale をしてみるとよい。

ここで少し難しいことを言うが、この雑音は、前に誰かが使った

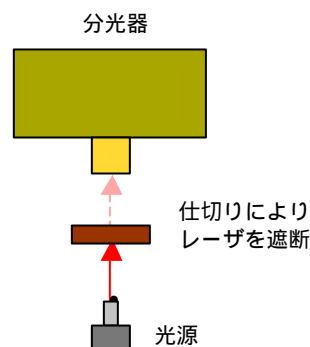


図 q

バックグラウンドが設定されているかもしれない。  
昔の雑音に今の雑音が重なっているとしたら、  
今、画面に現れている雑音は2つの雑音が重なっていることになるのである。

このようなことがないように、次の手順を行う。  
いったん波形をストップさせ(図 r)、メニュー項目  
「Experiment Setup」内のアプリケーション  
「Data Correction」を選択。その画面で  
Background、Flat field 両方にチェックがついていないこと  
を確認する。もしチェックがついていれば消すこと。(図 p)  
OKし、再びスタートボタンを押し、動波形にもどす。  
この雑音が純粋な今日の雑音である。



図 r

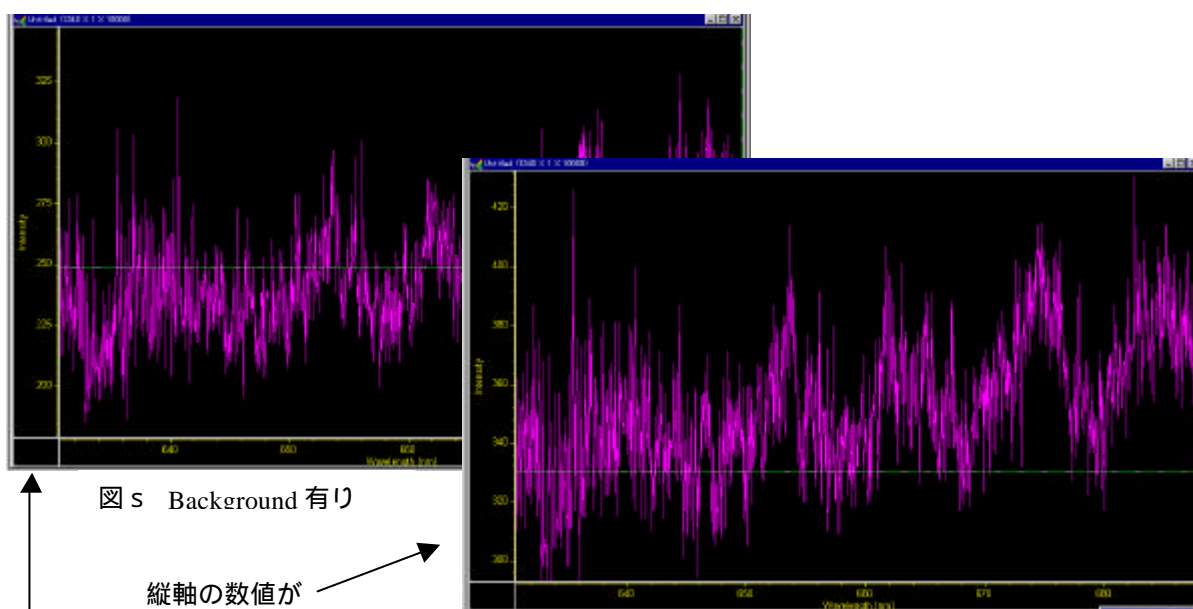


図 s Background 有り

縦軸の数値が  
変わっている

図 t Background 無し

## 2) バックグラウンドの設定

この雑音を基準とするために、まずこの雑音に名前をつけて保存する。  
今日が1月1日ならば「back0101」とすると分かりやすい。

(図 u) 次にこれをバックとするために、

**Experiment Setup Data Correction Background** (宇宙線消去法参照)  
で、さっき保存したバックを設定する。(図 v)

OKすることにより新しく今日のバックグラウンドが設定されたことになる。

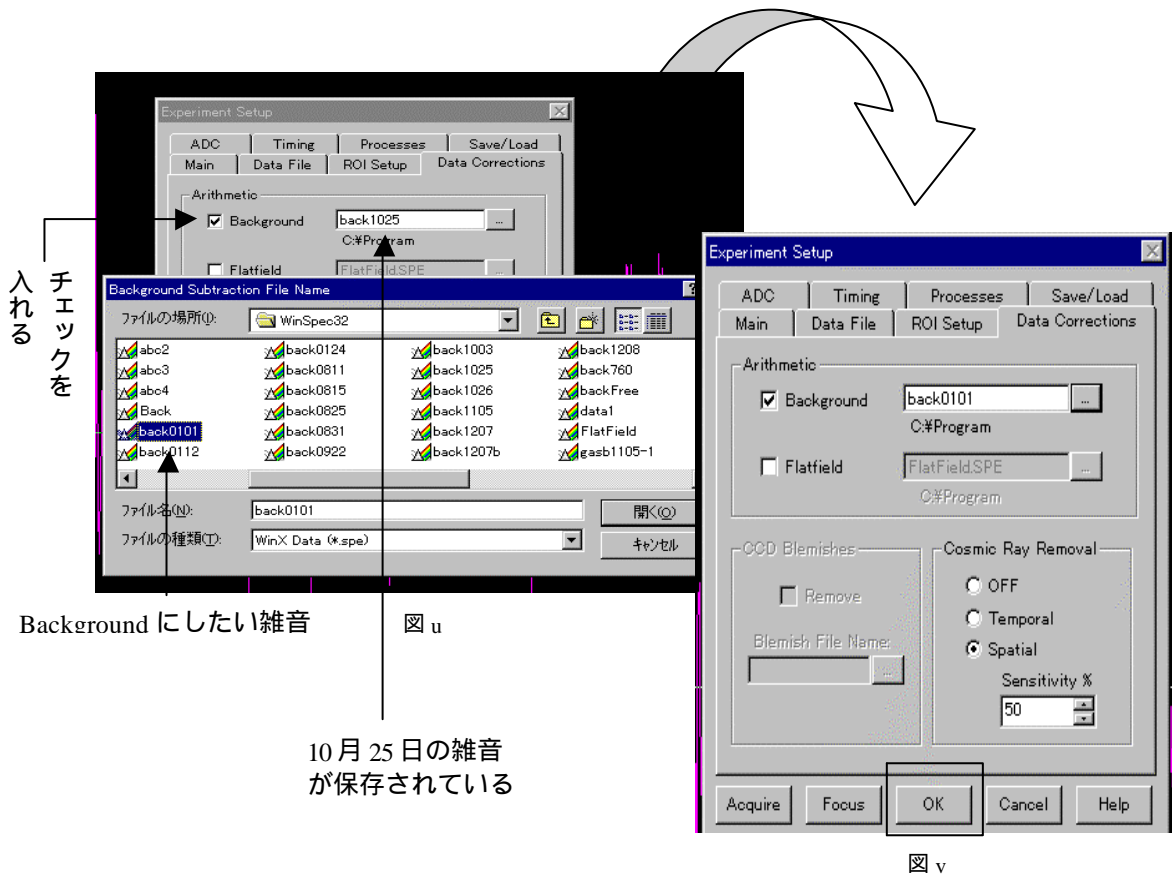


図 v

### 3.3.7. 画像の保存

#### 1) 保存をするにあたって

クイックマニュアル時に簡単に説明したが、ここでは少し詳しく説明する。今までに何度か保存という言葉がでてきた。保存法は極めて単純であり、Word や Excel 等と全く変わらない。しかし、知っておかなければならないこと、それは、うまく保存されないことがあるということだ。Background の設定のための波形保存はたいていがうまくいく。しかし、コンピュータが古いせいか、複数の波形を保存する場合（強度の変化に対する波形の変化など）、それが実行されないことがあるのだ。間違いが起こらないためにも、波形を保存した時には一度確認することをお勧めする。

#### 2) 保存のしかた

波形をいったんストップさせ、メニュー項目中の「File」を選択する。その中の「Save as...」を選択し、(図 w) ファイル名を入力する。(図 x) この時、back... とすると後でわかりやすい。

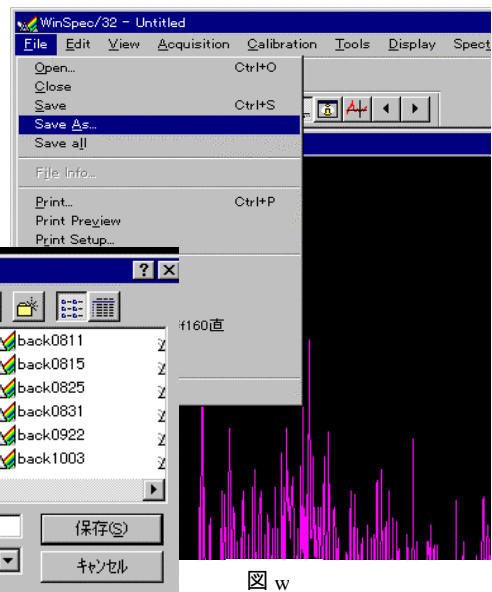


図 w

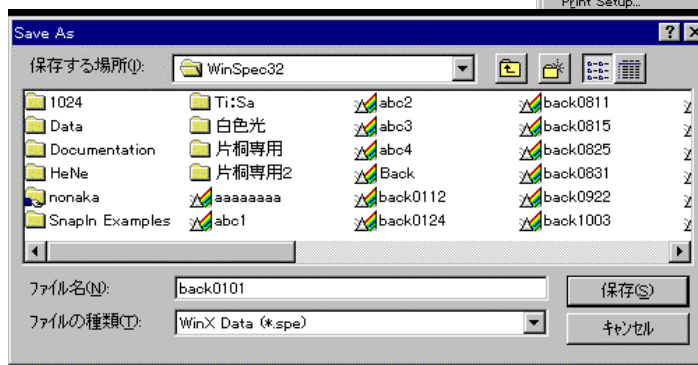


図 x

### 3.4. Winspecの応用的な使い方

#### 3.4.1. 保存波形をエクセルに入れたい

保存した波形を応用して使いたい、例えば Excel に入れて編集したいときにはどうすればよいのか。この波形をそのまま Excel に取り込んでも正確な値は表示されないし、編集することもできない。このような時のために使うアプリケーションが「ASCII」である。エクセルにこの波形を取り込むのに一番重要な事は、これをテキスト形式に変換すること、それを行ってくれるのがこの ASCII なのである。

##### ・ テキストファイルに変換

ここでも、先ほどの実験を例に挙げて説明していく。まず、測定した波形が保存されていることを確認する。次にテキスト変換画面に行くわけだが、ここでも手っ取り早く変換できるようツールバーが表示されている。(図1) 普通にメニュー項目から ASCII 画面に行く場合には「Tools」内の「Convert To ASCII」で表示される。(図2)

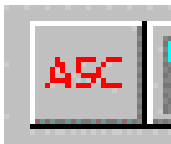


図 1

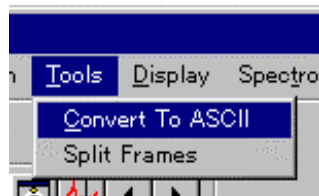


図 2

Convert To ASCII をクリックすると、テキスト変換画面が現れる。(図3)ここで左上のボタン「Retrieve Info」をクリックし保存ファイル一覧画面を出す。(図4)先ほど保存したファイルを選択し開く。中央ボタン「Convert To ASCII」をクリックすると、保存波形がテキストファイルに変換される。(図5)(波形が数値に変換されている)変換されたことは画面に表示されないので注意すること。最後に右上ボタン「Done」をクリックし変換完了である。

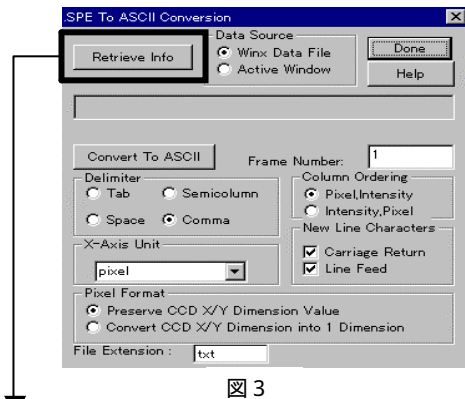


図 3

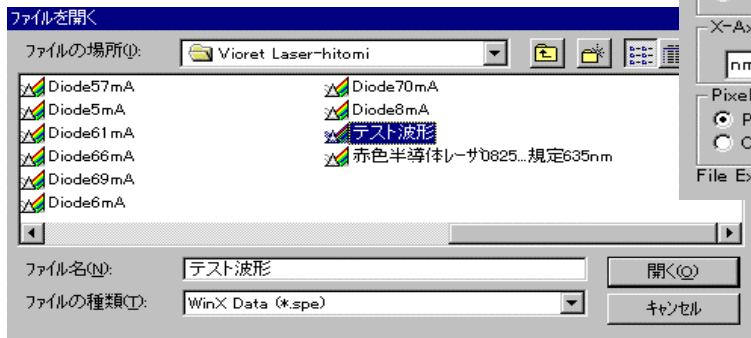


図 4



図 5

Convert To ASCII をクリックすると現れる



・ エクセルで波形を表示

いったん全ての画面を切り、最初の Windows 画面にする。ここからは Excel しか使わない。まず Excel を立ち上げ、メニュー項目「file」で保存ファイルを開く。「ファイルを開く」という画面が出てきたら、まずファイルの種類を「テキストファイル」に設定しなければならない。ASCII での変換がうまくいっていれば、必ずこの中に保存されているはずである。(図 6) 保存した波形と同じ名前のファイル(図 7)を探し出し、それを開く。

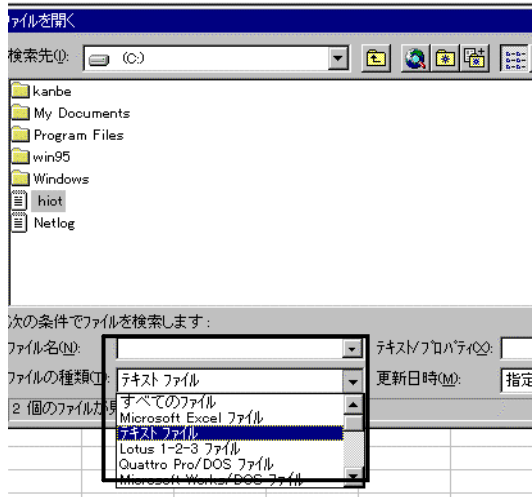


図 6



図 7

これがテキスト変換されたファイルである

テキストファイルを開くと、区切り文字形式選択画面が現れる。(図 8) ここではカンマで区切らなくてはならないため、「カンマやタブなどの区切り文字によってフィールドごとに区切られたデータ」を選択。(これは初めから選択されているはずである) 次の「区切り文字」項目ではタブとカンマにチェックを入れ、最後に「完了」をクリック。

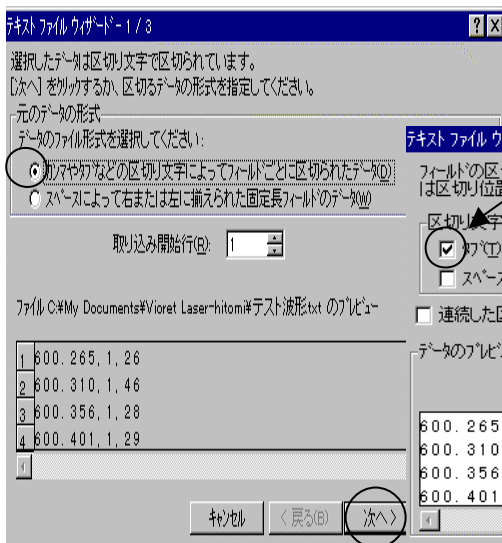


図 8

タブには初めからチェックが入っているため、カンマにのみチェックを入れる

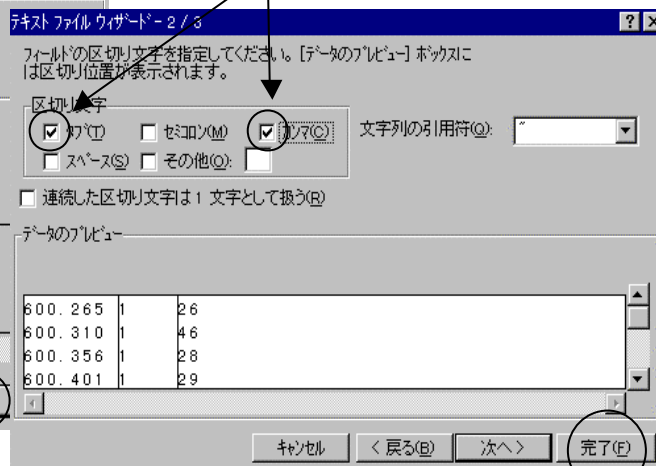


図 9

区切り設定が完了するとエクセル画面に数値が現れる。第1列に波長、第2、第3列に強度が数値で表示される。3行現れた場合は、要らないと思われる列を省き、残りの行でグラフを描く。グラフは常に散布図を用いる。(図10)

右の図はB項目が全て1となっているため、必要ないと考えた。よって、A.Cを用いてグラフを描きだした。

散布図を用いることにより、2つの値を重ね合わせたグラフが表示される。私は散布図のみでグラフを表したが、他の種類を使うとどうなるのか、試してみるのも良いかもしれない。

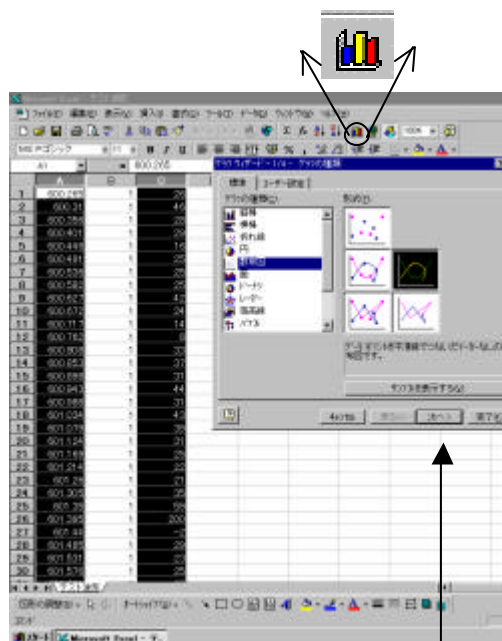


図 1 0

### ・ グラフの比較

ここまでで Excel の波形は表示される。Winspec 上の波形と Excel で作られた波形を比べてみるとどう違うだろうか。

光の強度、波長にずれはないだろうか。値は大雑把にとっていないだろうか。

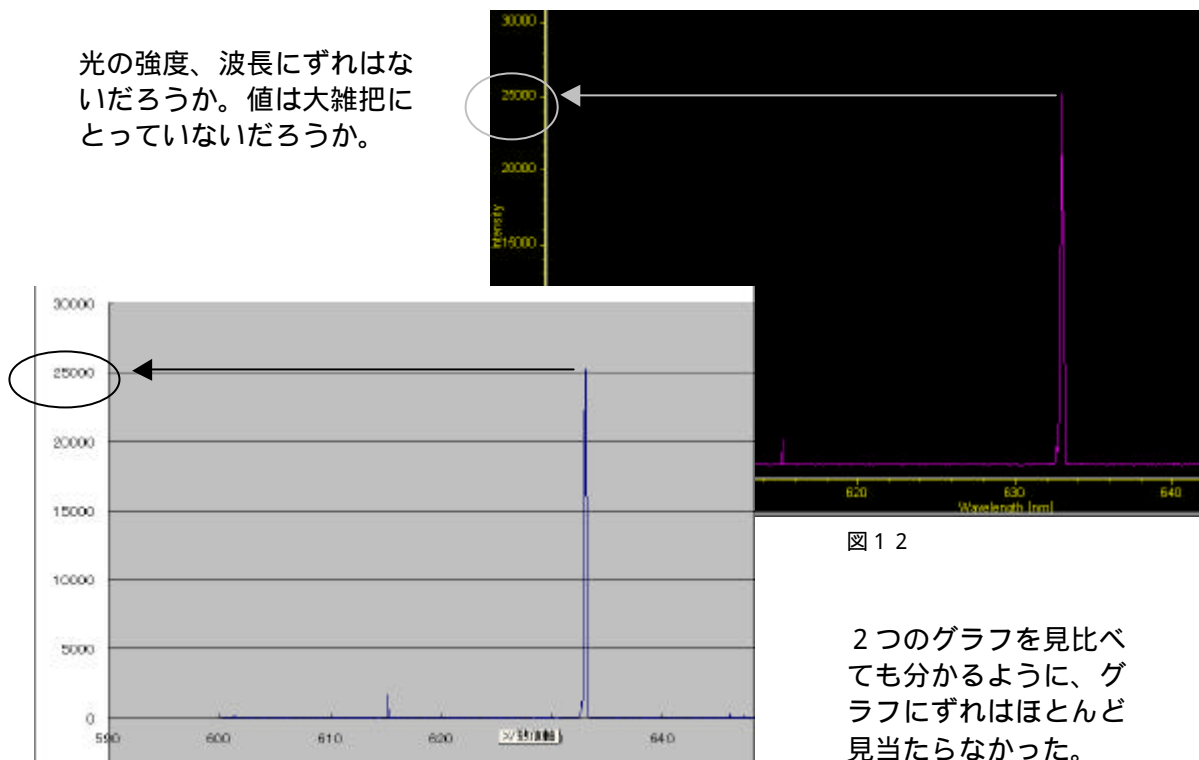


図 1 1

図 1 2

2つのグラフを見比べても分かるように、グラフにずれはほとんど見当たらなかった。

### 3.4.2. Range (X軸、Y軸) 設定

これまで Range (レンジ) に関する事には一切触れず、実験を行ってきた。基本的にレンジは、自動で設定されるようになっており、実験の度に動かす必要はない。そこで、もし故意にレンジの値を動かした場合、どう変化があるのか、またこれがどういう特性を持っているのか等、レンジに関するより詳しい理解をここでは得ようと思う。

#### ・ Range 画面の説明

波長 633 nm のヘリウムネオンレーザを分光器に入れ、レンジを変化させてみる。初めに、光を分光器に入射し、画面上に波形を出す。この時、画面上には 600 nm - 660 nm の範囲で波形が表示されている。この範囲を狭くするにはどうしたらよいだろうか。波長 633 nm を測りたいわけだから、当然上の範囲では余分が多すぎる。そのため、今回は範囲を 620 nm - 640 nm に設定することにした。

メニュー項目「Display」内の「Layout」を選択するか (図 13)、もしくは「右クリック」 (図 14) で Layout 画面を出す。軸の設定は Layout 画面の「Range」項目で行うことができる。(図 15)

Range は 2 つに分かれており、「Intensity は Y 軸、Range は X 軸」を表わしている。

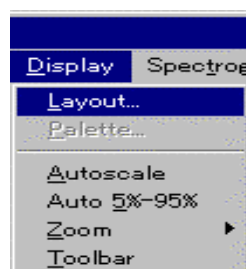


図 13

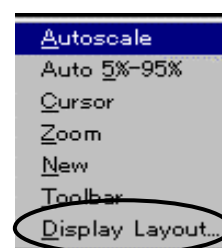


図 14

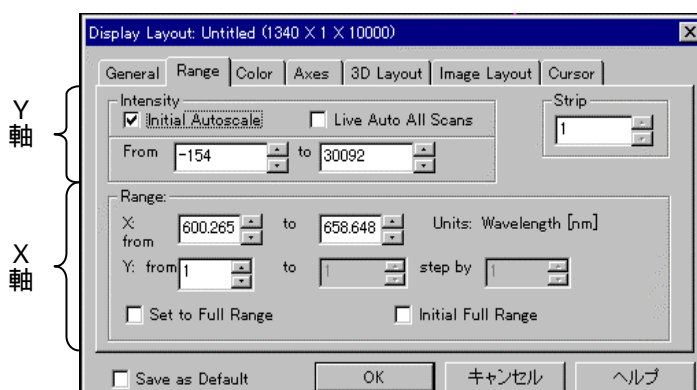
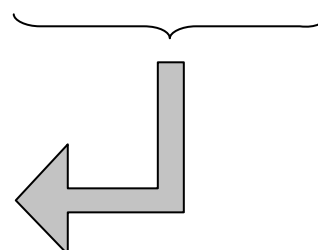


図 15



左図により X 軸 Y 軸両方の設定が可能である。

#### ・ 軸の設定

X 軸 Y 軸について考えてみる。まず Y 軸という、これはほとんどが出力を表わすため、こちらが設定することはほとんどない。よって、Y 軸は Intensity 内のコマンドの意味だけ説明する。(図 16)

Intensity には「Initial Autoscale」と「Live Auto All Scans」がある。たいてい使用するのは、Initial Autoscale のほうでそれをチェックしておくとも自動的に適切な値を示してくれる。またこの場合、波形は軸に合わせて上下運動をする。



図 16

一方、Live Auto All Scans は自動的に範囲をかえてくれるものの、Initial Autoscale とは逆に、波形に合わせて軸が変化するので、値が読み取りにくい。

次に X 軸について説明する。(図 17)  
 X 軸も Y 軸と同じように「Set to Full Range」もしくは「Initial Full Range」で、自動で範囲を変化させることができる。  
 軸を変化させたい場合、例えば 600 nm - 660 nm の範囲から 620 nm - 640 nm にしたい場合には、Set to Full Range、Initial Full Range のチェックを外し、X 項目に値を代入すればよい。

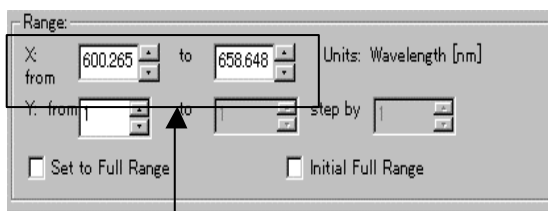


図 17

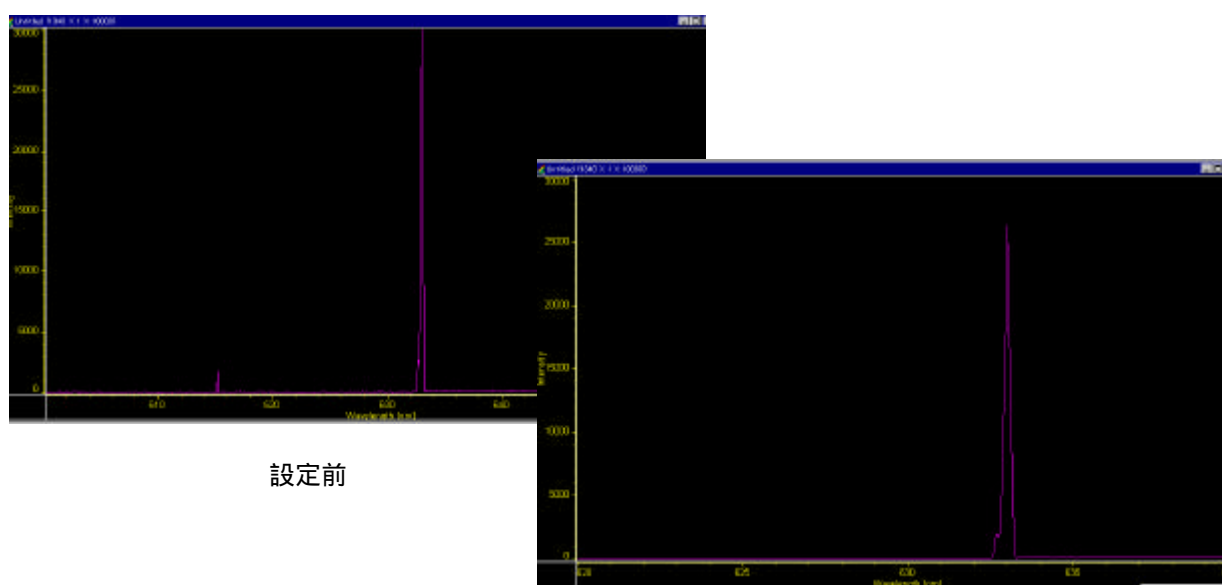
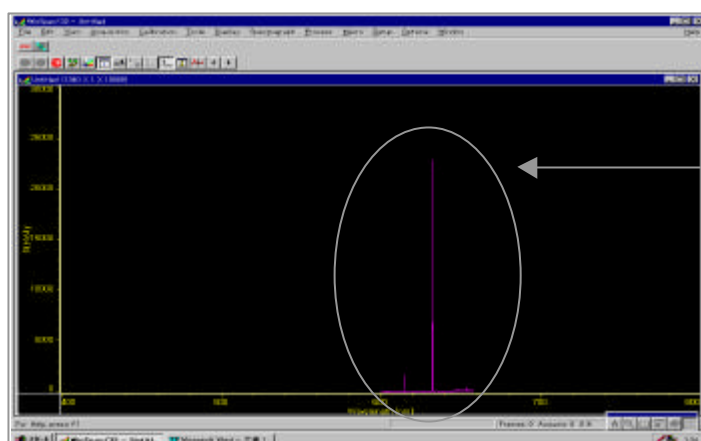


図 18

設定後

幅を狭くすることは割と難なくできた。それでは逆に幅を広げたらどうなるだろうか。同じ波形を用い、400nm - 800nm まで広げてみることにした。すると、最初画面に表示されていた波形しか表示されなかった。



これがその図である。もしかしたら、全てを表示する方法があるのかもしれないが、今回は分からないままで終わった。

図 19

#### ・ 軸設定の際の注意

軸の設定については今までに述べてきたが、この際注意しておかなければならないことがある。それは、その設定を保存することである。もし設定を保存しておかなければ、消してしまった時に前の設定に戻ってしまうのである。保存法は、設定し終わったあと Save as Default にチェックを入れ完了である。(図 20)

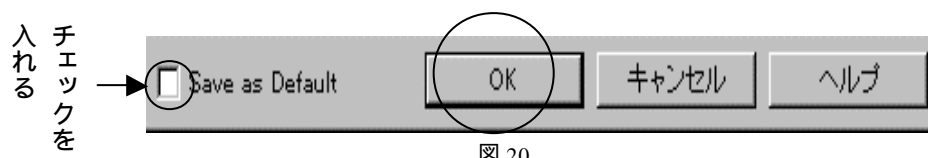


図 20

#### 3.4.3. 波形が出なくなった時

波形を消して再び実験しようとしたとき、画面に波形が出なくなってしまう、ということが頻繁にある。ここではその解消法についていくつか説明したい。ただし、これを行うことにより、必ずしも直るとは限らない。またこれらは波形を停止させた状態で行う。

Move で軸の中心波長を設定する。

Range を全てオートに設定する。

いったん Winspec 自体を消してみる。

メニュー項目 Spectrograph の「Calibrate...」で適切な Grating (回折格子)を設定する。

メニュー項目 Acquisition 中の Experiment Setup 中にある「Save/Load」でロードする。

間違ってもセーブはしないこと。

以上のことを項目別に、もう少し詳しく説明する。ただし、前に説明したものについては簡単に述べている。

Move で軸の中心波長を設定する。

前(3.3.2.図 b)にも説明したように、Move では回折格子と波長の中心軸を設定することができる。いったん波形を消してしまうと中心波長が変わってしまっていることが多い。

Range を全てオートに設定する。

Range はほとんどがオートに設定されている。しかし故意に設定を変えたりした場合、それを引きずってしまっていることが度々ある。ここの設定の仕方は前に述べた通りである。(3.4.2.)

いったん Winspec 自体を消してみる。

Range に関してもそうなのだが、Winspec は前の記録を常に記憶する傾向がある。そのため、それを消す一番手っ取り早い方法が、この Winspec 画面を消すことである。設定を間違ってしまった場合などに実行すると良い。

メニュー項目 Spectrograph の「Calibrate...」(図 21)で Grating (回折格子)を設定する。回折格子の設定は Move で行うことになっているが、しかし ~ の行為を行ってもまだ波形が現れないときがある。その場合、まずメニュー項目 Spectrograph 中の「Calibrate...」(図 22)を選択し、次にその中にある Grating 選択項目で、なんらかの Grating を設定し OK をクリックする。

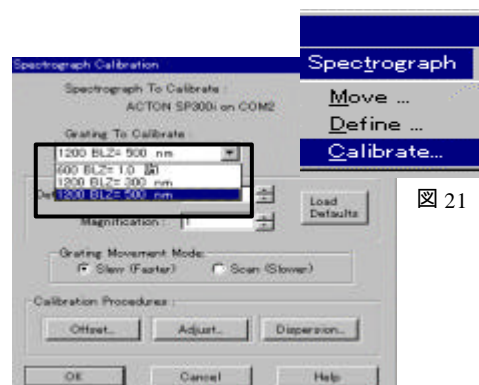


図 21

図 22

メニュー項目 Acquisition 中の Experiment Setup の中にある「Save/Load」でロードする。(図 23) Winspec にとって一番良い状態を「かすたむ」という形で記憶させている。これをロードすることにより、その状態に修正することが出来る。

これは、メニュー項目 Acquisition 中の Experiment Setup を選択し、そこで「Save/Load」画面を表示出来る。

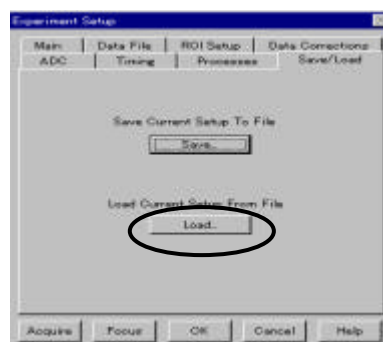


図 23

### 3.5. まとめ

分光器に関してマニュアルとして今まで述べてきたけれども、これはほんの一部にすぎない。今回、分光器本体の構造については、大まかではあるけれども一応は説明したつもりだ。しかし計測用ソフト (Winspec) については、全てを説明したわけではなく、それ以上に私自身理解しきれていない点が多い。もしかすると、実験を進めていくにつれて、まだまだ問題に遭遇するかもしれない。私は、今回一つの実験を通して絶対に必要とされるだろう項目を見つけ出した。また、実験を始めてから今までのうちで、自ら引っかけた問題についてはすべて述べてきたつもりだ。だから、将来誰かがこの分光器を用いて実験する際に、このマニュアルが役に立つのならば、本研究は成功だと言えるだろう。

## 4. Basic

実験結果をグラフに表すとき、一般には Excel のような、数値を打ち込むだけで結果が出力されるものが用いられる。勿論これらは、正確に結果を表示する。しかし自分の思い通りのものになるといってそうでもない。それよりもたいていが納得のいかないものになってしまいがちだ。このような問題を解決する方法は唯一つ、自分でそれを作るのである。作るといっても自分の手で書いていくわけではない。コンピュータ言語を使ってプログラムを作成していくのである。私がここで学んだ言語は Basic というものは、一番馴染みやすく、分かりやすいものである。結果としては自らプログラムを作り出すことは出来なかったが、原作を読み、自分なりに理解した結果をこの章では述べていきたい。

### 4.1. プログラム (片対数グラフ)

複数のグラフを表すために構成されたプログラムの原紙から、私は、グラフの枠組みが出力される部分だけを抜き出し、その意味を習得した。プログラムは以下の通りである。プログラム各部の命令や変数などについては、あとで順を追って説明する。

```
10 ! SIGNAL TO NOISE RATIO
20! RE-STORE "KAKEMIZU"
30 Plotting: !
40 Verti$="*****"
50 Verti2$="*****"
60 Horiz$="*****"
70 Vmin=-60
80 Vmax=-20
90 Hminlog=10^(-2)
100 Hmaxlog=20.
110 Hmin=LGT (Hminlog)
120 Hmax=LGT (Hmaxlog)
130 Vdiff=Vmax-Vmin
140 Hdiff=Hmax-Hmin
150 Vmaxclip=Vmax+.05*Vdiff
160 Vminclip=Vmin-.2*Vdiff
170 Hmaxclip=Hmax+.13*Hdiff
180 Hminclip=Hmin-.2*Hdiff
190 Vdiv=.02*Vdiff
200 Hdiff=.01*Hdiff
210 Vstep=5.
220 Vsmin=Vmin
230 Vsmax=Vmax
240 GRAPHICS ON
250 GINIT
260 DEG
270 WINDOW Hminclip,Hmaxclip,Vminclip,Vmaxclip
280 CLIP Hmin,Hmax,Vmin,Vmax
290 FRAME
300 CLIP OFF
310 LORG 5
320 FOR I=Hmin TO Hmax
330 PLOT I,Vmin
340 PLOT I,Vmin+2*Vdiv,2
```

```

350   PLOT I,Vmax
360   PLOT I,Vmax-2
370   MOVE I,Vmia-2
380   LABEL VAL$(10^I)
390   FOR J=1 TO 9
400     Xx=LGT(J*10^I)
410     IF Xx>LGT(2.E+10)-9 THEN 480
420     PLOT Xx,Vmin
430     PLOT Xx,Vmin+Vdiv,2
440     PLOT Xx,Vmax-Vdiv
450     PLOT Xx,Vmax,2
460   NEXT J
470 NEXT I
480 FOR I=Vmin TO Vmax STEP Vstep
490   PLOT Hmin,I
500     PLOT Hmin+Hdiv,I,2
510   PLOT Hmax-Hdiv,I
520   PLOT Hmax,I,2
530 NEXT I
540 LORG 8
550 FOR I=Vsmin TO Vsmax STEP Vstep*2
560   MOVE Hmin-.01*Hdiff,I
570   LABEL VAL$(I)
580 NEXT I
590 LORG2
600 FOR I=Vsmin TO Vsmax STEP Vstep*2
610   MOVE Hmax+.01*Hdiff,I
620   LABEL VAL$(2*(I+60))
630 NEXT I
640 LORG 4
650   MOVE Hmin+.5*Hdiff,Vminclip+.05*Vdiff
660   LABEL Horiz$
670 LDIR 90
680 LORG 6
690 MOVE Hminclip+.05*Hdiff,Vmin+.5*Vdiff
700 LABEL Verti$
710 LORG 4
720 MOVE Hmaxclip,Vmin+.5*Vdiff
730 LABEL Verti2$
740 PENUP
750 LORG 3
760 LOIR 0
770 MOVE Hmin+.05*Hdiff,Vmax-.05*Vdiff
780 LABEL "*****"
790 END

```



## 4.2. 使用されている変数、命令コマンド

上のプログラムが実行されるとグラフィック画面が現れる。それではまずグラフィックスを描くにはどうすればよいのだろうか。但し、プログラム中の40番 - 230番は代入数値であるため、これに関してはまたのちに説明する。

### ・ 初期設定

グラフを描くには、まず枠組みが必要だ。次の命令を入力することにより、一応の枠組みまでが完成する。

```
240 GRAPHICS ON
250 GINIT
260 DEG
270 WINDOW Hminclip,Hmaxclip,Vminclip,Vmaxclip
280 CLIP Hmin,Hmax,Vmin,Vmax
290 FRAME
```

### GRAPHICS ON

「グラフィックを画面上に出せ」という命令である。

### GINIT

グラフを描くための、画面の「初期設定」を表す。

### DEG

度単位にセットする。この命令はプログラムの後部で使用されているため、ここではまだ必要ないのだが、DEGを用いず実行してしまうと、プログラムはラジアン単位 (RAD)だと判断してしまうため、あらかじめ設定しておくことで間違いはないだろう。プログラム中で角度がでてくることを意味している。

### WINDOW...

座標を決定させる命令である。

WINDOWの後には「Xの最小値、Xの最大値、Yの最小値、Yの最大値」と続く。

例えば、WINDOW 0, 90, 0, 100

を実行すると右図のようになる。

但し、ここでは「フレームを描け」という命令が入っていないため、右図のような枠組みは表示されない。

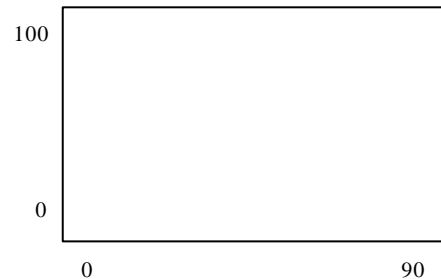


図 4-1 Window 命令の実行図

### CLIP... + FRAME + CLIP OFF

限界座標を再定義する命令である。

ここでは「FRAME」という命令がついているので、本来のグラフ枠組みが表示される。

CLIPの後には「Xの最小座標、Xの最大座標、Yの最小座標、Yの最大座標」と続く。

ここで忘れてはいけないのが「CLIP OFF」である。これをしておかないと、その枠が限界座標となってしまうため、枠外に文字が書けなくなってしまう。

### 座標

今までに何度か座標というものがでてきたが、この限度はどこまでなのか。このプロットエリアには制限がある。実験室で用いている装置はエリア「0, 128.070, 0, 100」であり、これはGDU単位で表されている。

### ・ 命令コマンド

プログラムにはいくつかのコマンドが付けられている。

これらについて順を追って説明していく。

・ 文字位置 (LORG)

グラフの外にはたいてい何らかのコメントを書く。例えば、X軸が何を表しているかや、グラフのタイトル等。これらのコメントを好きな位置に置くことを許すのが、ここでの命令 LORG である。何も命令しなければ LORG 1 で実行される。LORG を言葉で説明すると「ある指定位置からどれくらいの距離のところコメントのどの部分を持ってくるのか」ということなのだが、少しわかりにくいので、図にして説明することにする。



図 2 文字における LORG の位置

LORG は文字式に対して上図のように表す。  
例えば、LORG 4 と設定すると右図のように表記される。

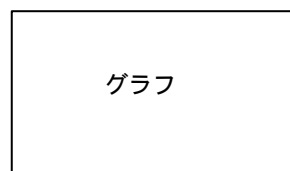


図 4-3 グラフに対する LORG 4 の配置

・ ループ (FOR...TO...)

Basic でよく使われているものの一つに、このループがあげられる。これは、「ある値を範囲内で実行せよ」という意味であり、FOR 最小値 TO 最大値 STEP 数値 で表す。例えば FOR I=1 TO 10 STEP 2 というと、I=1 から順に 2 を加えながら I=10 まで実行される。また、今のように TO の後ろにコメントがない場合、I には 1 ずつ足されていく。

・ 図を描く (PLOT、MOVE)

ある位置からある位置まで線を引きたい、そういうときに用いるのがこの命令である。PLOT、MOVE 共にここでは同じ役割を果たすが、表示法が少し違う。まず MOVE は、図を描いたあと筆が持ち上がり、そこで終了という形になる。それに対し PLOT の場合、図を描いたあと筆がそのままの状態にされる。どういうことかということ、次に PLOT が指定された場合、その場所への道筋にも図が描かれてしまうということだ。今回のプログラムでこれがどういう風に用いられているかは、また後に説明する。

・ 文字を図中に張り付ける (LABEL)

図中にコメントを書きたいときにこのコマンドを用いる。このプログラム内でのコマンド「LORG」はこのために使われている。但しここでは LABEL の後ろにつくものは全て文字として考えるように定義されているので、今回のような計算式 (LABEL VAL\$(10^I)) を使用する場合には、数列から文字列への変換を表すコマンド「VAL\$」を用いる。

・ ラベルの角度を変える (LDIR)

これは、LAVEL で表示された文字の角度を変えるコマンドである。LDIR の後に角度を入力すると反時計回りに文字が回転する。初期設定は LDIR 0 である。プログラム中で DEG コマンドが必要なのは、ここで角度を使用したためである。もし角度の設定を行った場合、この命令はあとのプログラムに影響してくるため、必ず初期 (LDIR 0) に戻す命令を組み込まなければならない。

### 4.3. プログラムの説明

このプログラムを RUN すると、次のように表示される。

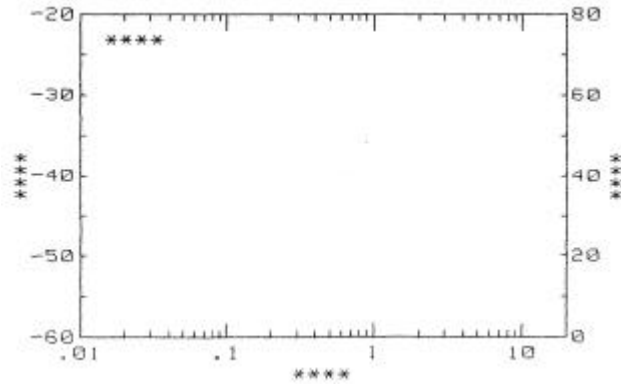


図 4-4 プログラム実行図

それでは、先ほどのプログラムが上図のどの部分を表しているのか、またどう設定されているのか、プログラムを追いながら、順に述べていくことにする。

```
310 LORG 5      470 NEXT I
```

X 軸の設定を示している。まず、「320 470間の FOR - NEXT ループ」では、X 軸の大きい目盛とその値をラベルすることを示している。また、この大きい目盛の間にはいくつかの小さな目盛があるが、それを表しているのが途中の FOR - NEXT ループである。

```
480 FOR I=Vmin TO Vmax STEP Vstep - 630 NEXT I
```

Y 軸の設定を示している。これは3つの FOR - NEXT ループから構成されており、上から、Y 軸へ目盛り付け、左側への文字のラベル、右側への文字のラベルを示している。

```
640 LORG 4~
```

外部または内部の名前を表記する配置場所を示している。

```
40 Verti$="*****" - 230 Vsmax=Vmax
```

目盛の長さやラベルの位置に関する設定法については、最大値と最小値の差を求め、「その何%の長さにしたいのか？」また、「何%分間を空けたいか？」という風に考えていく。それを最初のうちに設定しておくことにより、より見やすいプログラムを作成することが出来る。

### 4.4. まとめ

今実験ではまだこの段階までしか進んでおらず、自らがこのプログラムへグラフを組み込むまでにはいたらなかった。実際、ほとんど知識のなかった BASIC を基礎から学び、本研究と関わりのあるグラフの枠組み作成まで習得できたことは、将来の私にとって大きくプラスとなることだろう。このプログラムは片対数グラフであるが、これは対数なしのグラフにも、両対数グラフにもなり応用が利くため、これからグラフを描く際にどんどん使用したいし、してもらいたい。

## おわりに

研究を行うにあたり、まず分光器の原理を知り、その構造を理解した。そして、分光器がどのような役割を果たしているのかを知るために、何度か実験を行った。これにより、測定法の違う分光器があることを知り、分光器の内部構造を知り、光にどのような特性があるのかを知った。

現在の分光器のほとんどは回折格子型であるが、プリズム式でも差し支えない。私たちの目的は光のスペクトルを問題とした。分光器の分解能は、それぞれの測定に応じて必要な高さがあればよいのである。強い測定光を必要とするとき、分光器分解能の限度を超える場合でも、フィルターの使用で解消できる。また廃棄寸前の旧型分光度計でも分光器部分は大抵しっかりしていると言われている。こういったことから、分光器は昔からしっかりしたものが作られていると言える。分光法は、これからも理論的な進展はもとより、新しい方法論が開発されるだろう。そしてこれから限りなく広い分野で、極めて活発な展開を見せるだろう。光測定時無くしてはならない分光器、これが今後どのように変化を遂げるのか期待したいところである。

光学は、エネルギー、波動、粒子などの概念の本質的な理解を深めるために、非常に役立っている。レーザー光を中心とした分野では、新しい研究が急速に発展していて、その成果が期待されている。光を知るため、分光器を使用する場合、なんらかの手助けになればと思いいこの論文を仕上げた。物足りない点が多いと思われるが、研究の際に役立ててもらいたい。

### 参考文献

<分光器、レーザー実験>

石川光男 / 光学 / 丸善株式会社 / 1978

加藤俊二 / 身の回りの光と色 / 裳華房 / 1993

山田幸五郎 / 光学の知識 / 東京電機大学出版局 / 1996

村岡克紀、前田三男 / プラズマと気体のレーザー応用計測 / 産業図書 / 1995

大津元一 / 入門レーザー / 裳華房 / 1997

大津元一 / 光科学への招待 / 朝倉書店 / 1999

井上頼直 / 微小スペクトル変化の測定 / 学会出版センター / 1983

沢田嗣郎 / 光音響分光法とその応用 PAS / 学会出版センター / 1993

大田登 / 色彩工学 / 東京電機大学出版局 / 1996

社団法人照明学会 / 光をはかる / 日本理工出版会刊 / 1989

## 謝辞

本研究を行うにあたり、ご懇篤なご指導とご高配を賜りました高知工科大学電子・光システム工学科、神戸宏教授に厚くお礼申し上げます。また、有益なご助言を賜りました電子・光システム工学科の教授、助教授、講師の方々に心より感謝致します。高知工科大学、電子・光システム工学科で共に研究し、議論し合った中野雄大さん、加瀬川亮さん、西岡伸博さん、大西健一さん、片桐泰斗さん、伊藤喜英さんに心より感謝いたします。本論文に用いた図や説明文は、私が研究した結果ばかりでなく、多くの成書、論文などから引用した。これらは最後に参考文献として掲載しました。