

2015(平成 27 年度)

卒業論文

岡山天体物理観測所で撮られた 写真乾板のデジタル化と恒星の特徴

岡山理科大学 生物地球学部 生物地球学科 加藤研究室
G12G044 小泉 毅紘

目次

第 1 章	序論	1
1.1	はじめに	1
1.2	スペクトルの歴史	1
1.3	本研究について	3
第 2 章	観測所や観測装置について	4
2.1	岡山天体物理観測所の歴史	4
2.2	188 cm 反射望遠鏡	6
2.3	F/4 分光器	9
2.4	写真乾板	10
2.5	スペクトルの輝線と吸収線	12
第 3 章	デジタル化および研究の方法	14
3.1	市販のスキナーでの乾板データの取得と一次処理	14
3.1.1	乾板のスキャン	14
3.1.2	『Image J』による画像データの引算	16
3.2	データの切り分けと整形	19
3.2.1	各スペクトルの切り分け	19
3.2.2	傾きの補正	20
3.3	画像の一次元化と強度スケールへの変換	20
3.3.1	画像の一次元化	20
3.3.2	バックグラウンドの処理	23
3.3.3	チューブ・データ表の作成と入射光強度への変換	26
3.4	波長スケールへの変換（4 次処理）	31
3.4.1	比較スペクトルの調査と同定	31
3.4.2	波長空間への変換と Fits 化	33
3.5	スペクトルデータのテキスト化と『spshow』	36
3.5.1	スペクトルデータの規格化とテキスト化	36
3.5.2	『spshow』	37
第 4 章	結果	41
第 5 章	考察や問題点	43
5.1	Gam Tau(C4 598)と Alf Cet(C4 593)の比較	43
5.2	HR 4474(C4 1407)と 61UMa(C4 585)の比較	43
5.3	HD 35155(C4 574)と Z Psc(C4 560)の比較	44
5.4	61UMa (C4 585) の輝線？	45
5.5	波長の同定	47
5.6	Z Psc (C4 560)と HD 35155(C4 574)のスペクトル	49
5.7	『spshow』での HD 35155(C4 574)のスペクトル	50
5.8	『spshow』での恒星大気のパラメータ	52
第 6 章	まとめ	53

参考文献	54
付録	55

要旨

岡山天体物理観測所が開所して以来、写真乾板による天体の分光観測が 30 年間続けられ、同観測所の保管庫には、今も大量の分光写真乾板が保管されている。

本研究では、岡山天体物理観測所の 188cm 反射望遠鏡のクーデ分光器で撮られた写真乾板を、アーカイブ化し長期保存をする計画の第一段階として、市販のスキャナーでのデジタル化を行った。さらに、そのデジタル化されたデータから天体の情報を取得し、天体の特徴を比較することや、デジタル化の成果について調べる研究を行った。

第1章 序論

1.1 はじめに

本研究の目的は、岡山天体物理観測所の 188cm 反射望遠鏡のクーデ分光器で撮られた写真乾板のデジタル化をすること、また、その写真乾板のデータから恒星の情報を得ることである。

岡山天体物理観測所の 188cm 反射望遠鏡のクーデ分光器で撮られた 1962 年から 1967 年に撮られた計 313 枚の分光写真乾板を、市販のスキャナーでデジタル化し、その中の数個の天体（スペクトル）について、恒星の特徴などを調べる研究を行った。

岡山天体物理観測所には、1960 年の開所当時から 30 年間続けられた写真乾板が今でも大量に保管されており、これらの写真乾板を利用したい研究者がいる場合、デジタル化をしてアーカイブ化しておくのが望ましいと思われる。筆者自身もこのデジタル化の恩恵について十分に理解した経験がある。

2015 年の 7 月 29 日に、岡山天体物理観測所へ写真乾板を借りに、電車やタクシーで約 1 時間 30 分をかけて伺った。

写真乾板はプレハブの保存室に保存されており、そのまま写真乾板を持ち出す訳はいかず、保存室以外の場所でも保存ができるように紙に入っている写真乾板を特定の封筒へ移し替える作業を行う必要があった。さらに、移し替える作業と並行して、それぞれの写真乾板に欠けがないか等の確認をし、帯出願の用紙に記載をするといった作業を、今回お借りした 313 枚について約 4 時間以上かけて行った。非常に時間のかかる作業であり、毎回借りるときにこの作業を行う必要があるとなると非常に効率が悪いと感じた。さらに、ガラスでできている写真乾板の持ち運びという点にも問題がある。

今回は写真乾板の安全を考えて、岡山天体物理観測所の柳澤氏に大学へ直接、箱に詰めた写真乾板を運んで頂いたが、割れ物である写真乾板を持ち運ぶことも簡単ではないということも実感した。こうした手間を割くことができるのがデジタル化である。デジタル化をすれば現地に取に行く手間や封筒を移し替える作業を省くことができ、研究を効率的に行え、さらに世界中のどこでも写真乾板を見ることもできるのである。



図 1 岡山天体物理観測所内の
写真乾板保存室外観(2010 国立天文台)

1.2 スペクトルの歴史

スペクトルとは、光を波長ごとに分けたもので、連続スペクトルと線スペクトルの 2 種類がある。連続スペクトルはある波長範囲にわたって連続的に現れるスペクトルのことで、太陽や電灯に見られる。



図 2 太陽の連続スペクトル

線スペクトルは、原子や分子による光の放射や吸収により、ある波長範囲に線状になって表れるスペクトルのことである。連続スペクトルは図 2 のように、線が連続して重なっているように見えるが、線スペクトルに分解することはできない。

スペクトル研究は1666年のニュートンに始まる。ニュートンは、太陽光（白色光）をプリズムで分光して7色に分け、それをスペクトルと名付けた。星からの光を波長ごとに分ける（分光）ことで、スペクトルが得られる。現在ではそのスペクトルを分析することで、星の温度のみならず、大気の色やそこに含まれている元素、などの星の特徴を調べることができるため、星の研究をはじめ、天文学にとってもスペクトル分析は非常に大きな役割を果たしている。

星のスペクトルを写真に撮影したのは1872年のヘンリー・ドレーパーが初めてだとされている。ドレーパーの死去後、エドワード・ピッカリングが意思を継ぎ撮影を続け、星のスペクトルを、水素スペクトルの強さでA、B、Cと分類する作業を行った。助手のアニー・ジャンプ・キャンノンは、生涯で約35万個もの星の分類を行った人物であるが、キャンノンは色温度が天体の特徴であることに着目し、温度の高い順にO、B、A、F、G、K、Mの形で星の分類を整理した。この分類法は現在でも使用されている方法であり（表1）、アルファベットが順不同なのはこうした経緯からである。

スペクトルには吸収線や輝線と呼ばれる線があり、天体によってその線の様相が違っていることから分類を行った。

ウィリアム・ワーラーストンが太陽のスペクトルの中に吸収線を初めて見つけたが、1860年ごろに、キルヒホッフとブンゼンによって、この吸収線は、大気の色などによって固有の波長が吸収されるため、だということが明らかになり、スペクトルを含めた分光学はさらに発展していった。

現在ではコンピュータ技術が発展し、乾板の情報（白さや黒さ）を数値データとして扱えるようになっているが、当時では目で小さい乾板の白と黒の線の一つ一つ分類をしていた、というのは驚きである。

岡山天体物理観測所での写真乾板による星の分光観測は1960年の開所当時から行われてきた。現在、分光観測はCCD（電荷結合素子）を用いるのが普通だが、開所から30年間は写真乾板での観測が主だった。写真乾板での観測は、低温度星の分光観測が、当初からかなり大きな比重を占めており、データとしては粗末なものだったが、非常に興味深い結果が得られた。その写真乾板は、かつてのウイリス山天文台でのこの分野の先駆となる膨大な観測に次ぐもので、これだけまとまった低温度星のスペクトル乾板は岡山以外には存在しないであろう。（国立天文台、2001）

表1 星のスペクトル分類(福江ほか 2014)

スペクトル型	表面温度[K]
O	50000-30000
B	30000-10000
A	10000-7500
F	7500-6000
G	6000-5300
K	5300-4000
M	4000-2000
L	2000-1300
T	1300-700
Y	700-

1.3 本研究について

今回用いた写真乾板は、岡山天体物理観測所の 188cm 反射望遠鏡の F/4 分光器で撮られた分光写真乾板の内の、1962 年から 1967 年に撮られた計 313 枚である。

2015 年 8 月 4 日から 9 月 8 日までの約 1 か月かけて、スキャナーでのデジタル化、乾板の画像的な補正を行った。そのデジタル化した中の温度の低い星について G 型、K 型、M 型、S 型、C 型の星のスペクトルを数個選び、解析できるように処理をした。そして、それらの星のスペクトルについて、波長がほぼ同じ領域の星について、恒星大気に含まれる元素や、線の強度の強さに着目して比較し、『Sma4Win』上にグラフとしてまとめた。

なお、今回は加藤研究室のゼミ生で、担当を決めて合計約 500 枚の写真乾板のスキャンに取り組んでいる。その中の 313 枚が、筆者の担当した写真乾板である。

第 2 章では、岡山天体物理観測所、並びに 188cm 反射望遠鏡などの観測機器の詳細や、写真乾板について記載した。

第 3 章では、スキャナーでのスキャンから画像の処理などのデジタル化、およびデータ解析等の処理についての研究の方法について具体的に画像も交えて記載した。

第 4 章では、デジタル化の成果や、データ化した写真乾板から得られた恒星の特徴、ならびにスペクトル同士を、含まれる元素に重点を置いて比較したグラフを載せ、比較結果を載せている。

第 5 章では、第 4 章で得られた比較グラフから、二つのスペクトルの線の強弱の比較や吸収線の元素についての考察、さらに本研究を通しての問題点などを記載した。

第 6 章で、今回のデジタル化や、写真乾板の利用価値などの、全体のまとめを記載した。

第2章 観測所や観測装置について

2.1 岡山天体物理観測所の歴史

岡山天体物理観測所は、岡山県浅口市鴨方町の竹林寺山に位置する国立天文台の一観測施設である。



図 3 岡山天体物理観測所の概観図（国立天文台 2010）

昭和 35 年（1960 年）に、当時の東京大学東京天文台の施設として発足し、当時では日本で一番だった 188 cm 反射式望遠鏡を建設した。

昭和 29 年度から予算がつきはじめ、その年と翌 30 年には観測所の場所を選ぶ仕事が行われた。31 年のはじめには、数々の候補地のなかから、現在の岡山観測所の場所—岡山県鴨方町と矢掛町とにまたがる竹林寺山—が最適であることが内定していた（大沢清輝 1984）。

昭和 63 年（1988 年）に、東京天文台が大学共同利用機関である国立天文台に移行し、現在までに様々な研究がおこなわれており、日本の天文学分野に大きく寄与している。

「晴れの国 岡山」と呼ばれるように、この土地は気候に恵まれており、晴れの日が多く、天体観測には最適であるということと選ばれた。さらに夜間観測に関しては、2001 年から 2009 年における一時間毎に記録された、月毎の平均データがある。

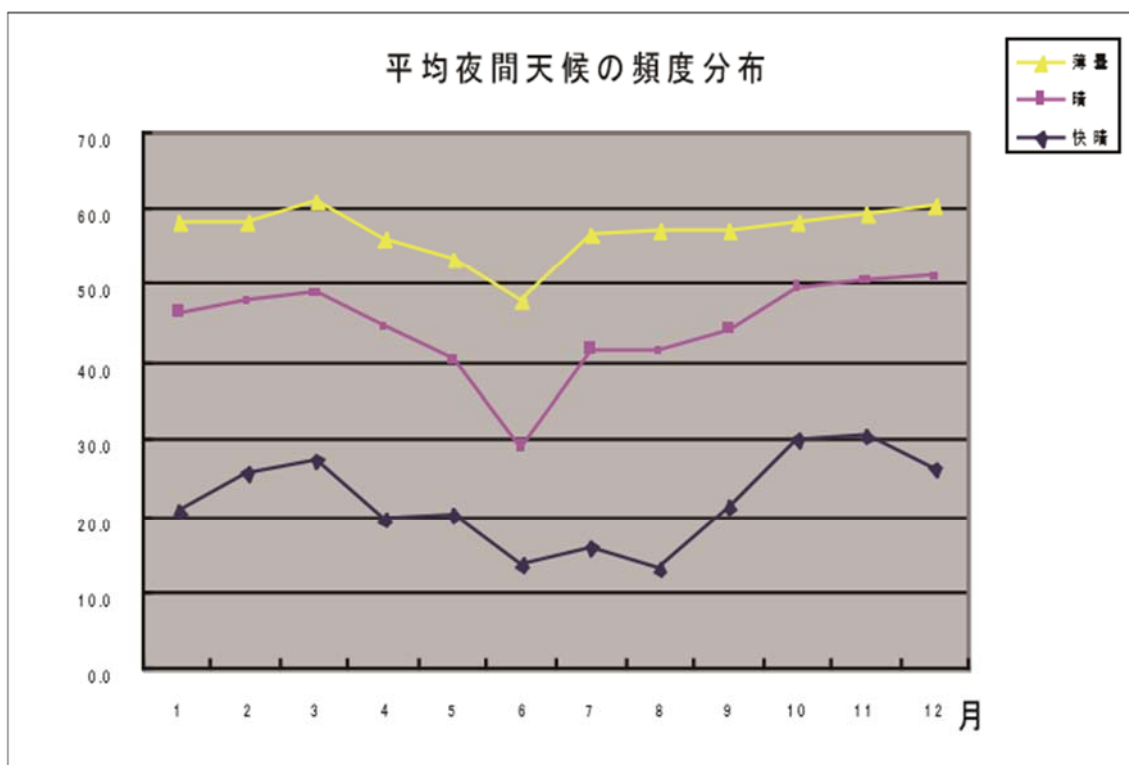


図 4 平均夜間天候の頻度分布 (国立天文台 2010)

天候は薄曇りと晴れと快晴とその他(曇りや雨や雪)で分かれている。測光観測では快晴を必要とするが、分光観測では課題によっては薄曇りでも実行可能である。(国立天文台 2010)

図4にあるように、6月と7月こそ梅雨の時期で晴れの頻度は落ちているが、1年を通じてほぼ60%に近い観測可能天候を示しており、データから見てもこの土地は天体観測に最適だということが分かる。

現在、岡山天体物理観測所は、主に、分光学的観測を行う188 cm反射望遠鏡、光電測光観測による測光学的研究を行う91 cm反射望遠鏡、ガンマ線バーストの観測を行う50 cm反射望遠鏡、太陽観測を行う65 cmクーデ型太陽望遠鏡(運用休止中)の観測施設がある。図3の右上にあるように、口径3.8mの光学赤外線望遠鏡の建設工事が始まった。京都大学やナノオプトニクス研究所が計画を推進しており、今後、試験観測を始める予定となっている。

今回使用した乾板は、188 cm反射望遠鏡で撮られたものであるため、2.2では、188 cm反射望遠鏡についての詳細を記載する。

2.2 188 cm反射望遠鏡

岡山天体物理観測所の施設の一つである 188cm 反射望遠鏡は、国内最大級の光学赤外線望遠鏡である。製作はイギリスのグラブ・パーソンズ社で、製作には 5 年かかり、建物も含め約 3 億円を要した。1960 年の完成当時では日本ではもちろんアジアでも最大の望遠鏡で、世界では第 7 位の口径であり、「東洋一の望遠鏡」と呼ばれていた(国立天文台 2010)。しかし 2015 年現在では、日本ではハワイにある口径 8.2m のすばる望遠鏡、兵庫県立西はりま天文台にある口径 2.0m のなゆた望遠鏡に次ぐ 3 位の大きさとなっている。なお、国内の望遠鏡としては兵庫県のなゆた望遠鏡に次ぐ 2 番目の大きさである。以下に、188cm 反射望遠鏡およびドームの詳細を記載する。データは、(国立天文台 2010) から引用している。

表 2 188cm 反射望遠鏡ドーム

直径	20m
高さ	23m
台車	48 個
回転速度	72° /min
回転部総重量	150t
開口部	幅 6m×長さ 22m110°
スリット	上下開き (2 枚)
スリット開閉時間	660 秒
防風ブラインド	6m×15m
昇降床	直径 10m
	揚程 3.8m
	速度 2m/min (通常)
積載荷重	1t(通常)、 8t (西床微動時)
製造会社	石川島播磨重工業



図 5 188cm 反射望遠鏡ドーム
(国立天文台 2010)



図 6 188cm 反射望遠鏡

表 3 188cm 反射望遠鏡 光学系

望遠鏡	クラシカルカセグレン			
主鏡	有効径	1.88m		
	材質	パイレックス（ピルキントン社）		
	形状	放物線		
	厚み	0.27 m		
	重量	1.7t		
副鏡	種類	ニュートン	カセグレン	クーデ
	材質	溶融水晶	溶融水晶	溶融水晶
	外径	0.533m	0.501m	0.501m
	重量	41kg	34kg	34kg
	形状	平面	双曲面	双曲面
	曲率半径		5.934m	5.171m
焦点	種類	ニュートン	カセグレン	クーデ
	焦点距離	9.15m	33.85m	54.29m
	口径比	4.9	18	29
焦点面	スケール（” /mm）	22.5	6.09	3.80
ハルトマン定数	~0.23			

表 4 188cm 反射望遠鏡 機械系

マウント	方式	イギリス式赤道儀		
	重量	50t		
鏡筒	センターピース 8 角トラス			
	長さ	9m		
駆動速度	モード	クイック	スロー1	スロー2
速度（/min）		40°	18’	5~90”
駆動モータ		DC サーボ	AC インダクション	DC サーボ
赤緯微動 可能範囲	5° 30	セルフセンター機構付き スロー1 スピードで駆動		
表示（読取）	エンコーダー	アブソリュート	インクリメンタル	
	赤経（RA）	0.0625 秒(0.” 9375)	0.” 1	
	赤緯（Dec.）	1.” 5	0.” 1	
指向精度	±15”			

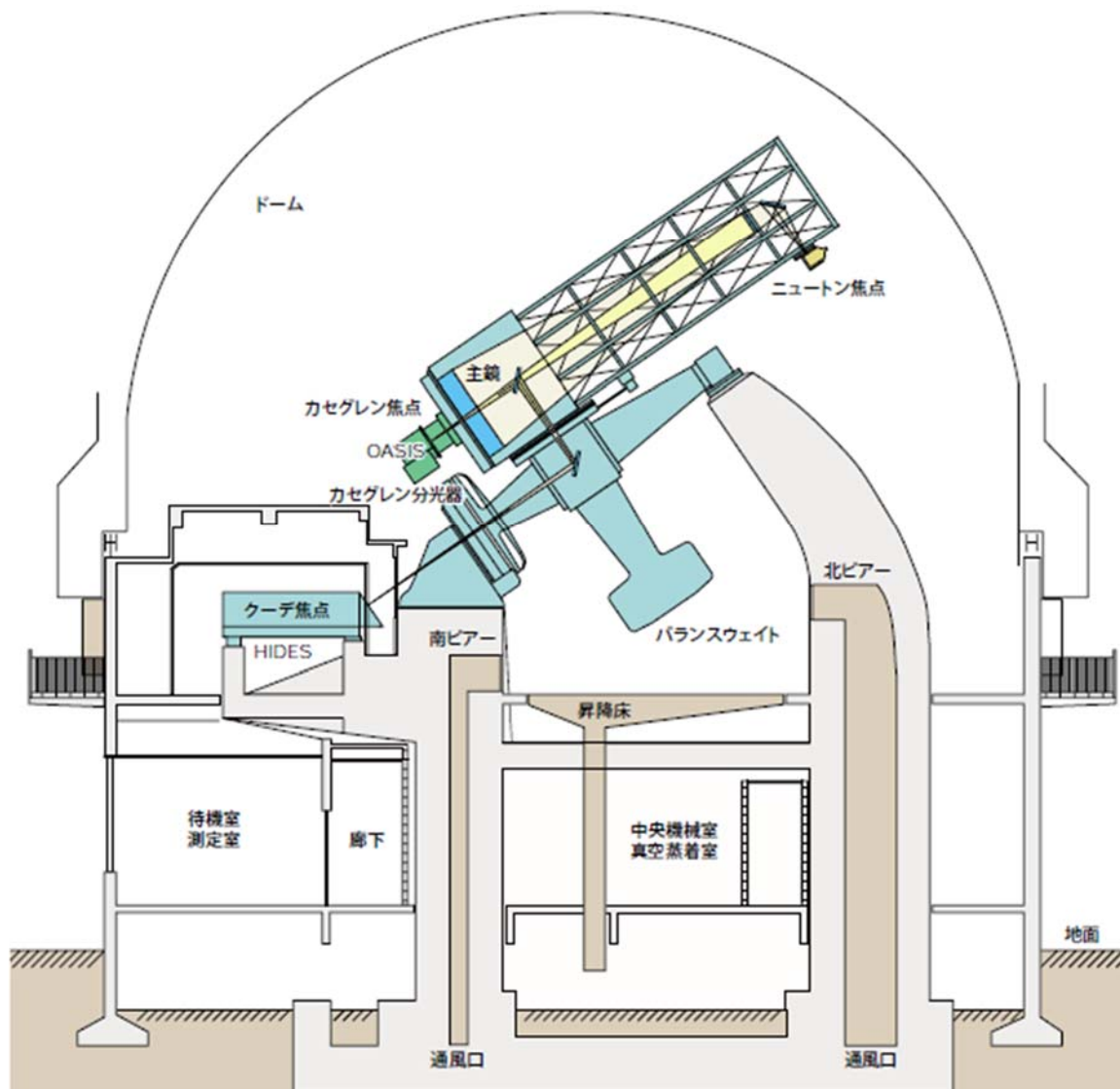


図 7 188cm 反射望遠鏡 ドーム概観図

188cm 反射望遠鏡は図 7 のように、ニュートン焦点、カセグレン焦点、クーデ焦点の 3 つの焦点を持っており、観測目的により観測機器や副鏡の交換を行っている。これら 3 焦点の違いは焦点距離であるが、鏡筒に対する焦点位置が異なるため、取り付け可能な装置の仕様が焦点毎に制限を受ける。一般的には、広視野を観測する軽量装置はニュートン焦点を、姿勢変化を嫌う超精密観測装置はクーデ焦点を、その他にはカセグレン焦点を使用する。近年の共同利用においてはカセグレン焦点 (ISLE、KOOLS そして PI 装置の HBS が装着される) とクーデ焦点 (HIDES) を使用しての観測が行われている。(国立天文台 2010)

今回使用した写真乾板はクーデ焦点の F/4 分光器を用いて観測されているため、次の 2.3 では、F/4 分光器 (クーデ分光器) と写真乾板の詳細を記載する。

2.3 F/4 分光器

分光器とは、光のスペクトルを測定する装置のことである。主に回折格子とレンズを組み合わせることで光を波長ごとに分けることができる。

回折格子とは、マイクロメートル単位の周期で凸凹が刻まれている光学素子のことである。回折格子へ入射した光は回折によって広がって干渉を起こす。波長の整数倍の光路差を持っているという条件を満たす方向の光は強め合い、ある波長の光は特定の方向へ進んでいく。

このように回折格子を含む分光器により、光を波長ごとに分けることができる。クーデ焦点で用いられる F/4 分光器は反射型の回折格子を持つ分光器であり、図 8 の F/4 カメラで撮影されたものが写真乾板である。以下に F/4 分光器の詳細を記載する。データは、(国立天文台 2001)から引用している。

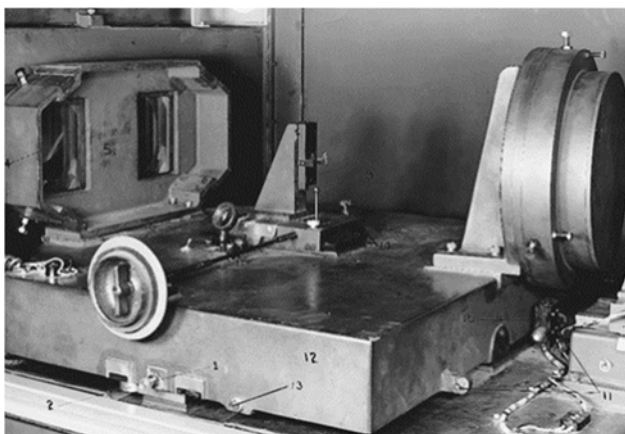


図 8 F/4 カメラ

表 5 F/4 分光器

カメラ	
方式	軸外シュミット型
焦点距離	401mm
縮小率	0.14
	乾板ホルダーに像平坦化レンズが組み込まれている。
波長分解能	10 Å/mm
	4500 Å にグレーティング 1200 本/mm、2 次光使用時
検出器	乾板
サイズ	82×27mm
露出の目安	
	A 型 6 等星
使用乾板	103a0
波長	4000 Å
スリット幅	0.22mm
露出時間	20 分
	グレーティング 1200 本/mm、2 次光使用時
総乾板数	7337
使用期間	1960–1989 年
開発・製作	ヒルガーワッツ社 (英国)

2.4 写真乾板

初期は写真乾板がほとんど唯一の検出器であり、岡山天体物理観測所の開所から 30 年間は、分光用の観測装置が占めていた。後に光電子増倍管から I. I. (イメージ・インテンシファイアー、画像増幅装置) の導入を経て、CCD 等の高感度固体撮像素子へと移ってきた。近年は可視光だけでなく、近赤外線の見出し器も多用されている。(国立天文台 2001)

今回使用した分光写真乾板は、F/4 分光器 (クーデ分光器) で撮られたものである。表 6 に、写真乾板の詳細を記載する。データは (国立天文台 2011) より引用した。

表 6 岡山天体物理観測所の写真乾板

使用期間	1960–1990 年 (一部 1998 年)
使用機器 188cm 反射望遠鏡	
ニュートン焦点	直接撮像
カセグレン焦点	Glass 分光器、Quartz 分光器、I. I. 分光器
クーデ焦点	F/4 分光器、F/10 分光器 イメージ・インテンシファイアー
使用機器 91cm 反射望遠鏡	
カセグレン焦点	プリズム分光器
性能	
	大撮像面積
	量子効率約 2%
	相反則不軌 (低照度不軌) あり
分解能	約 20 μm

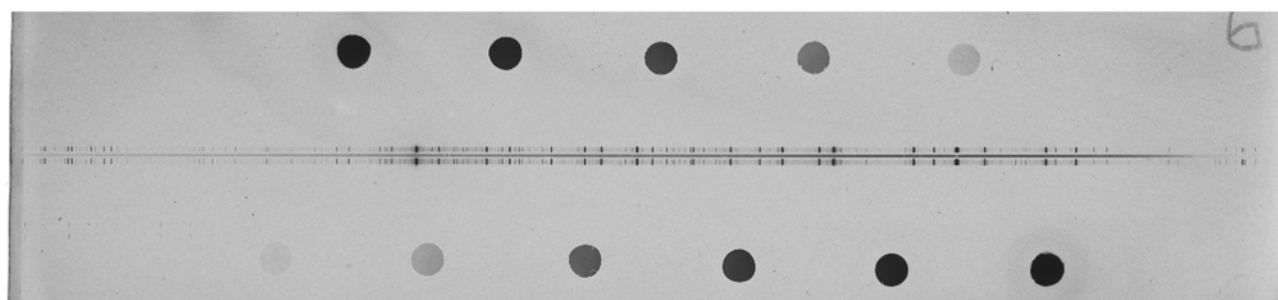


図 9 スキャンした 61UMa(C4 585)の写真乾板の画像

図 9 は、F/4 分光器で 1962 年 12 月に撮られた「61UMa」という天体の写真乾板の画像である。(波長 5328–6987 Å、スペクトル型 G8V) F/4 分光器の写真乾板は、横が 8.2cm で、縦が 2.7cm の透明なガラス板に感光乳剤をつけたものである。

上下にある黒い●は、チューブと呼ばれるものである。チューブは、名前の通り先端にそれぞれ異なる直径の穴が空いた長いチューブ (1m ほど) が並んだもので、チューブを通ってくる間に広がり、乾板上では直径が同じ●として写っている。チューブの向こう側には光源があり、一様にチューブ穴を照らしているから、乾板に届く光の強度は穴の面積に比例することになる。すなわち、乾板に届く光量 (の相対強度) が穴の面積で決まっているのである。このような強度が分かっている光が当たった

時、乾板がどの程度の黒味となるのか、ということは乾板の特性による。よって、チューブ像の黒味を測定すれば乾板の感度特性が分かるので、これを利用して、ある任意の黒味に対する入射光強度、つまり真の強度分布を得ることができる。

今回の分光写真乾板だけでなく、天体を写している写真にもこのチューブは非常に重要になる。いくつかの天体が写っている写真乾板を考えると、チューブがあれば正確な強度が分かるため、それぞれの天体の等級を判別することができる。逆にチューブがなければ、分かるのは写真上での天体の分布ぐらいである。

また、写真乾板の画像の、何も写っていない場所（バック）も、データを補正する上で非常に重要になっている。バックに関する詳細は、第3章の3.3.2に記載した。

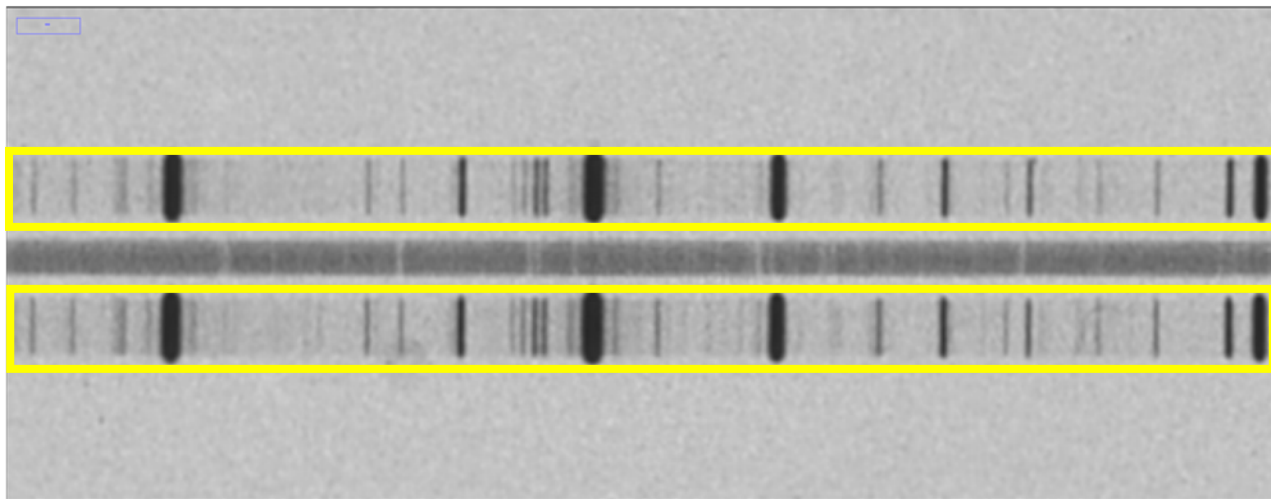


図 10 スキャンした 61UMa(C4 585)の写真乾板の画像の拡大図。比較スペクトルを囲んだ。

図 10 は、図 9 の 61UMa (C4 585) の写真乾板の画像の真ん中あたりを拡大したものである。

黄色い線で囲んだ部分は、比較スペクトルと呼ばれる部分である。

この比較スペクトルの線を用いて、スペクトル本体の波長を同定することができる。比較スペクトルの線は天体（写真乾板）が異なっても、 β （グレーティング角度）毎にほとんど同じ形をしている。そこで、写真乾板の比較スペクトルを、波長の分かっている比較スペクトルと比較し、写真乾板の比較スペクトルの波長を同定する。横軸において、比較スペクトルとスペクトルの位置は同じであるため、比較スペクトルの波長情報をスペクトルに与えることで、スペクトルの波長付けができるというわけである。

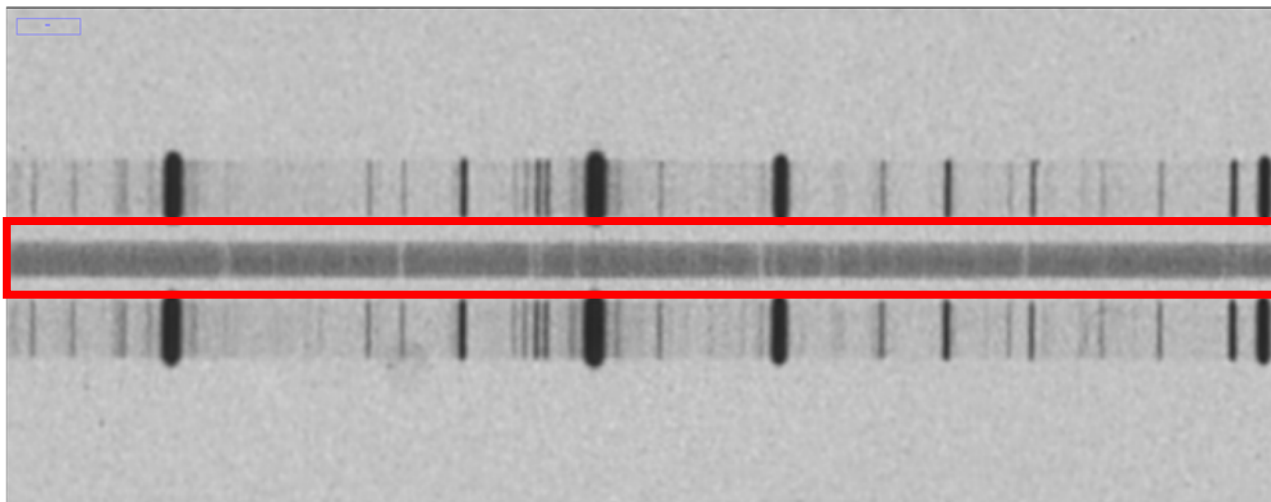


図 11 スキャンした 61UMa(C4 585)の写真乾板の画像の拡大図。スペクトル部を囲んだ。

図 11 は、同じく図 9 の 61UMa (C4 585) の写真乾板の画像の真ん中あたりを拡大したものである。

赤い線で囲んだ部分が、スペクトル本体である。このスペクトルを調べることで天体の情報を得ることができる。実際に解析に使うのはこのスペクトルの部分だけなのだが、チューブや比較スペクトルなどの他の部分は、正しいスペクトルの情報を得るためになくしてはならないものである。

よく見ると、スペクトルの所々に縦に入った白い線がある。これは吸収線というものであり、恒星の大気に含まれる原子や分子によって、ある波長の光が吸収されているため、このように写っている。

2.5 スペクトルの輝線と吸収線

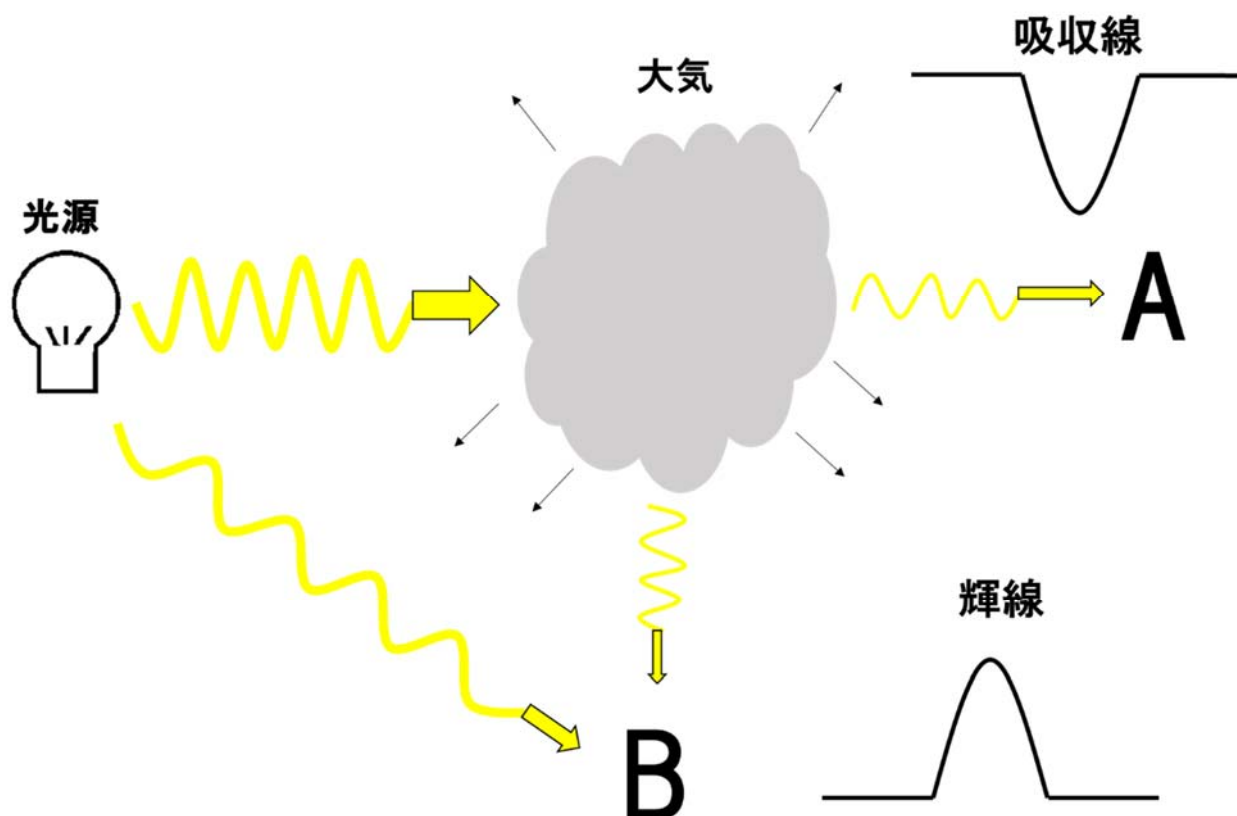


図 12 輝線と吸収線の仕組み

黄色の線は恒星からの光の波長全てを表しているわけではないことに注意。

スペクトルには輝線スペクトルと吸収線スペクトルがある。

光源からある光が放射していると考え、図 12 のように、途中に大気があった場合、大気が光を吸収し、大気の温度が上昇する。A の場合を考えると、光源からの光は大気に吸収されている（厳密には大気に含まれる原子や分子）ので、届く光が弱くなる。その結果、吸収線として、他の部分よりも弱くなった場所が現れる。

B の場合を考えると、光源からの光と、熱を持った大気から放射される光が届くことになり、届く光が強くなる。その結果、輝線として他の部分よりも強くなった場所が現れるのである。

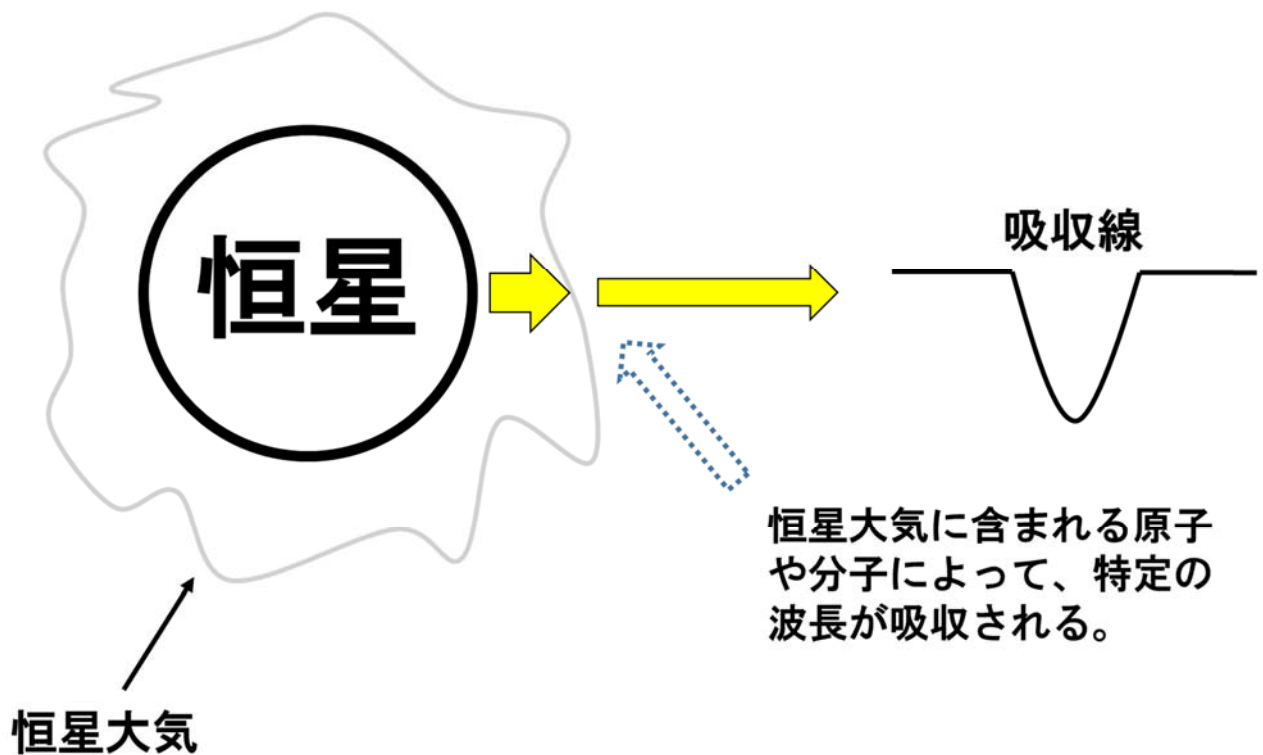


図 13 恒星からの光と吸収線

黄色の線は恒星からの光の波長全てを表しているわけではないことに注意。

先ほどの光源を恒星と考えると、図 13 のようになる。

恒星は、光源の周りに大気があるため、図 12 の A の場合になり、普通は吸収線しか出ないことになる。(連星の場合などは、輝線と吸収線が同じ場所になる時もある。)

恒星の深部からは、黒体放射が外部へ放射され、それが連続スペクトルを形成している。この連続スペクトルが星の大気を通過する際に、大気層に存在する水素や他の元素の束縛-束縛遷移によって線吸収を受けたり、束縛-自由遷移によって連続吸収を受けたりしている。例としては、水素のバルマー吸収線は、水素原子が光子を吸収して第一励起状態からさらに高い水準に遷移する時に生じている(福江ほか、2014)。このようにして、恒星大気では、そこに含まれる原子や分子によって特定の波長の光が吸収され、写真乾板のスペクトルには吸収線が見えているのである。原子や分子によって特定の波長の光が吸収されているということは、逆に言えば、ある天体のスペクトルに水素の吸収線が見えた場合、その天体の大気には水素が含まれているということが分かるのである。

この吸収線を含んだスペクトルを調べることによって、どの波長にどの元素が含まれているかのみならず、恒星大気に関するさまざまな物理情報を得ることができるのである。

第3章 デジタル化および研究の方法

3.1 市販のスキナーでの乾板データの取得と一次処理

3.1.1 乾板のスキャン

写真乾板のスキャンに使用したのは、市販のパソコン用のスキナーEPSON GT-X980 である。これを用いて写真乾板をスキャンしデジタル化、さらに得られた画像を補正する処理を行う。

今回は、岡山天体観測所の 188cm 反射望遠鏡の、クーデ分光器によって 1962 年から 1967 年に撮られた分光写真乾板について、C4 515～C4 628、C4 1316～C4 1415、C4 1636～C4 1743 の中で、番号がある計 313 枚の乾板についてスキャンを行い、デジタル化した。

1. 乾板のセット

- (1) スキナーに、反射率の低い面である膜面を下にして、乾板を縦に 5 枚並べる。(この時、決してガラス面に触れてはいけない。乾板の縁をつまむようにして持つ。)
- (2) 5 枚の乾板の横に、図 14 のように乾板の番号を記載したフィルム片などを置き、後で乾板との照合ができるようにする。

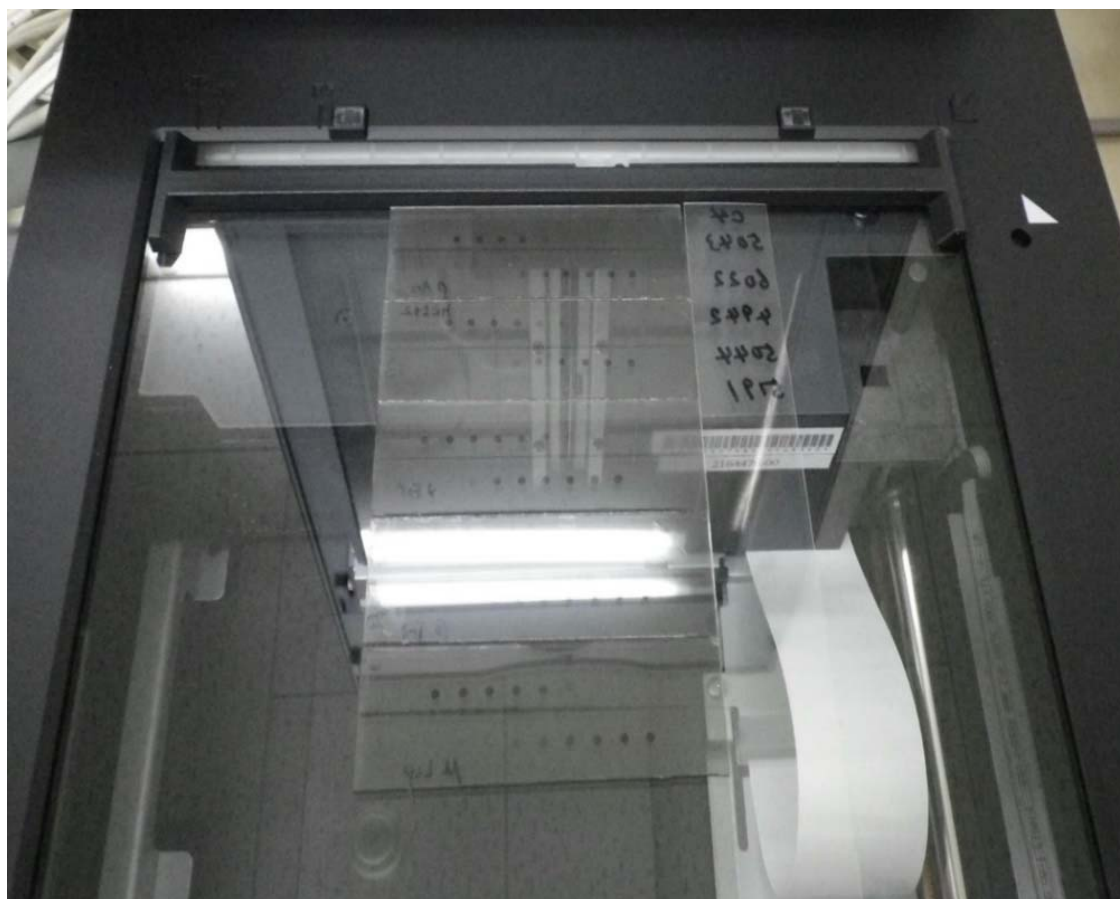


図 14 スキナーへの写真乾板のセット

2. 乾板とフラット面のスキャン

- (1) パソコン上で『EPSON Scan』のプログラムを立ち上げる。
- (2) スキャンの設定は以下のようにし、データは日付などを付け tiff 形式で保存する。

表 7 EPSON GT-X980 スキャンの設定

モード	プロフェッショナルモード
原稿種	フィルム
フィルムタイプ	ポジフィルム
イメージタイプ	16bit グレー
解像度	2400 dpi

- (3) [プレビュー]を押し画像を取得し、乾板とフィルムを含む領域を選択する。

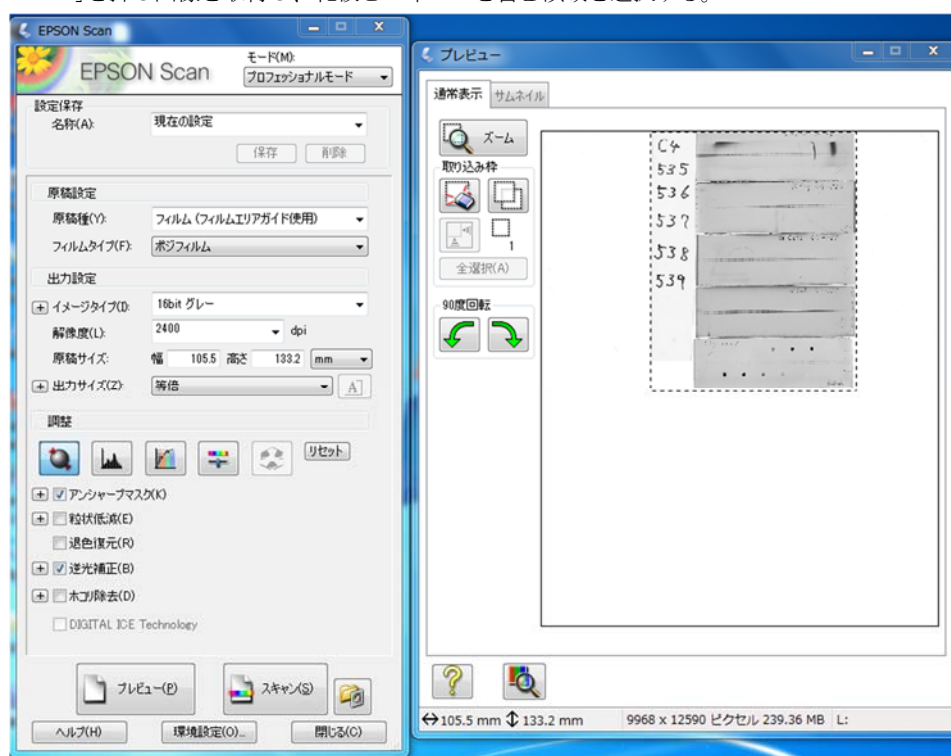


図 15 『EPSON Scan』 乾板のプレビュー

- (4) [スキャン]を押しスキャンを開始する。スキャンが終了したらデータを保存しておく。
- (5) 乾板とフィルム面を取り除き、(3)で選択したものと同一領域を再度スキャンし、何も写っていないスキャナーのフラット面の画像データを取得する。スキャンが終了したらデータを保存する。

3.1.2 『Image J』による画像データの引算

画像処理ソフト『image J』上で、フラット面を用いて乾板の雑音成分を取り除く処理を行う。

フラット面は、載物台に何も置かれていない状態でスキャンされた画像である。このデータには、載物台やスキャナーのセンサー等の特性が入っていると考えられる。載物台の埃や汚れ、または傷などにより乱反射が起こり、実際より明るく表示されている可能性もある。フラット面の画像の値は乾板データに乗っているのので、乾板データからフラット面のデータを引き、こうした雑音成分を取り除くことで真の乾板データを取得する。

1. フラット面の処理

- (1) Image Jを立ち上げ、乾板データとフラット面のデータ両方を表示する。
- (2) フラット面の画像を「Edit/Invert」で反転する。
- (3) 黒い画面をどこでもいいので横長の長方形に囲み、[Analyze/Plot Profile]でデータの様子を見る。ここで、表示された数値の下のほうへカーソルを合わせ、そのベースの値(yの値)をメモしておく。

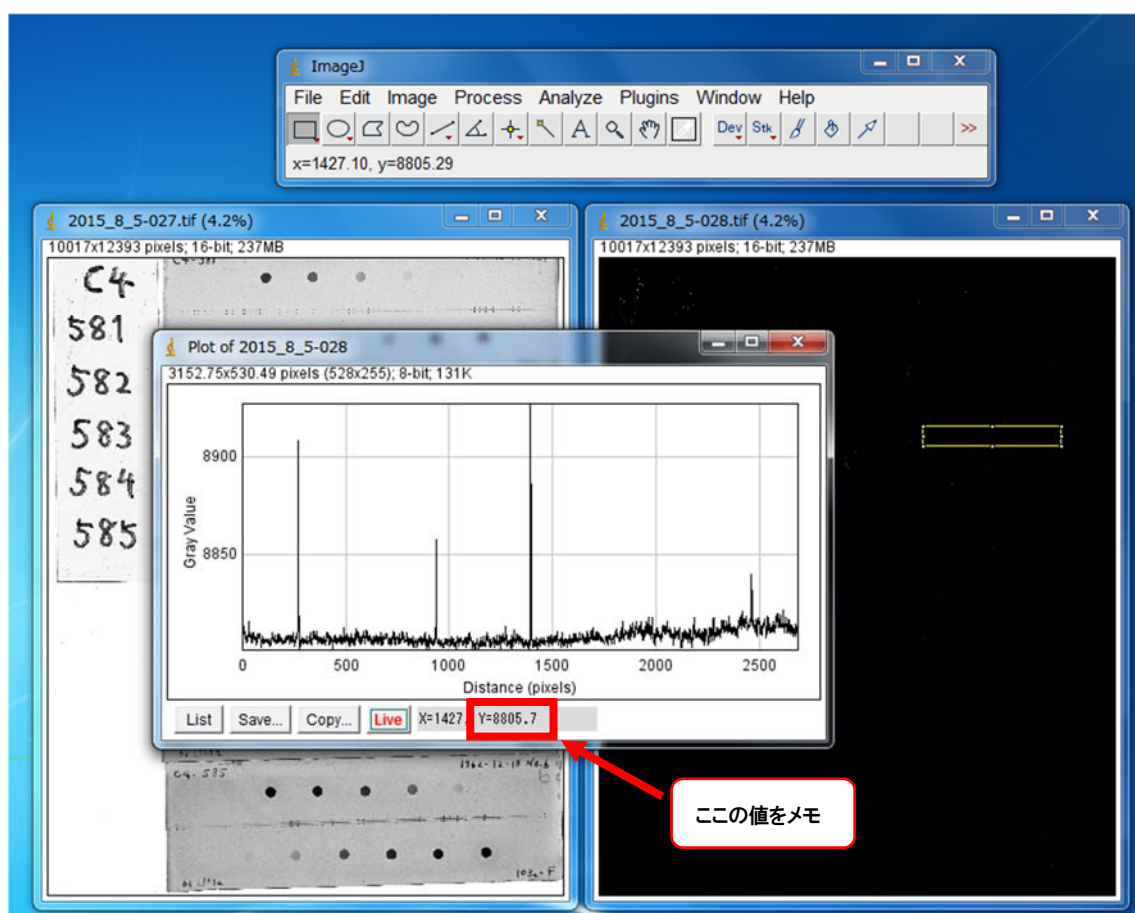


図 16 『Image J』Plot Profile

- (4) 次に、[Process/Math/Subtract]で、黒い画面からメモしておいたベースの値を「Value」に入力する。一律に引き、ベースを0に近い値にずらしておく。

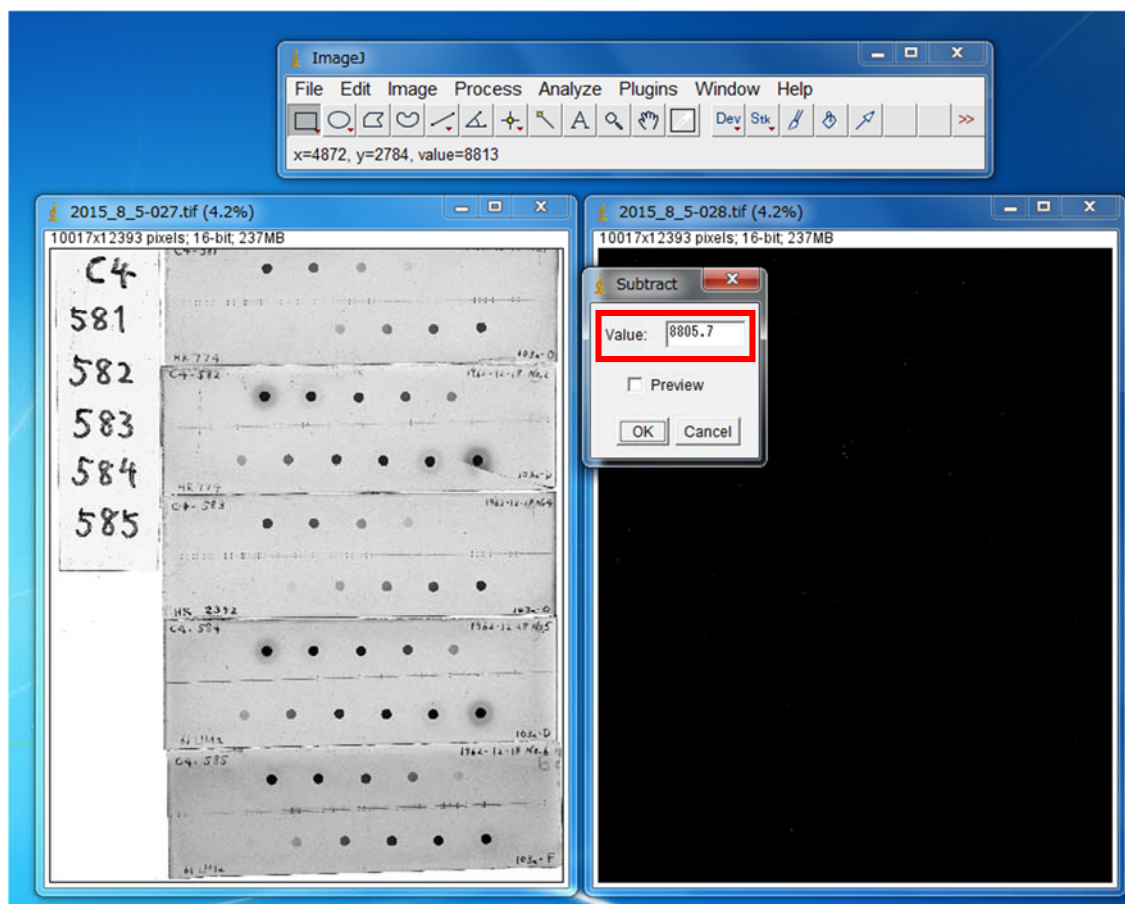


図 17 『Image J』Subtract

- (5) できた画像を[Analyze/Plot Profile]で確認し、500(1%)以上のずれが無いかどうか調べる。乾板の縁や列の途中などでは、大きな差が生じることは考えられるが、スペクトルやチューブが写っている領域であれば信頼できないデータとして捨てて、もう一度スキャンをやり直す。

2. 画像データの引算

- (1) [Process/Image Calculator]を選択する.

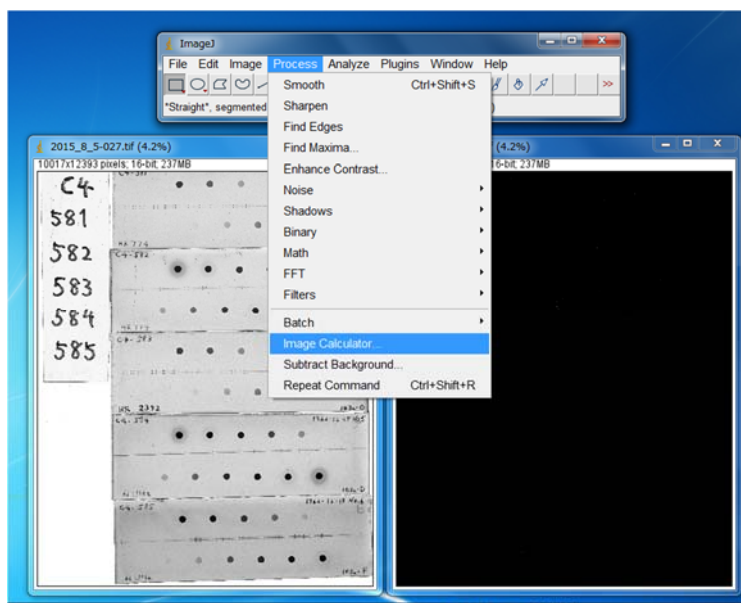


図 18 『Image J』Image Calculator

- (2) image1 には乾板の画像データ、image2 には補正されたフラット面の画像データを選び、[operation]は[Subtract]にして OK を押す。

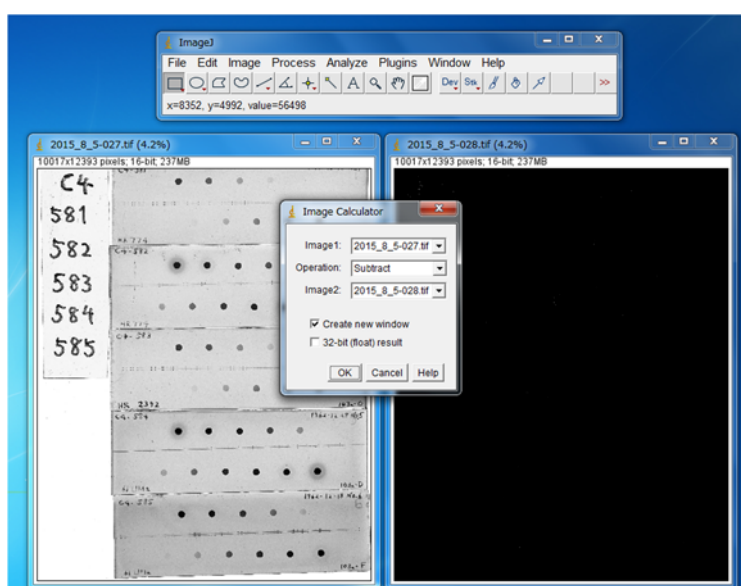


図 19 『Image J』上での乾板画像の引算

- (3) Result of 2015〇〇〇.tif というデータができるので、名前の Result of を削除し Fits 形式で保存する。

3.2 データの切り分けと整形

スキャンされた乾板のデータは、5枚一緒になっていて、それぞれの傾きもまばらである。そこで、『Image J』を用いて個々のスペクトルを切り出し、スペクトルが平行となるように画像の傾きを補正する。

3.2.1 各スペクトルの切り分け

- (1) 『Image J』を用いて先程の fits 形式のデータを読み込む。
- (2) 画像上で切り出したい範囲を黄色で四角に囲み、[Edit/Copy]で一時コピーしておく。
- (3) [File/New/Image]を選択し、新規データを作る。Name には乾板の番号と作業者の名前を入れておき（画像の場合 C4_583_tk）、パラメータはそれぞれ「Type=16bit」「Fill with=Black」「width=7700」「Height=2000」「Slices=1」とする。

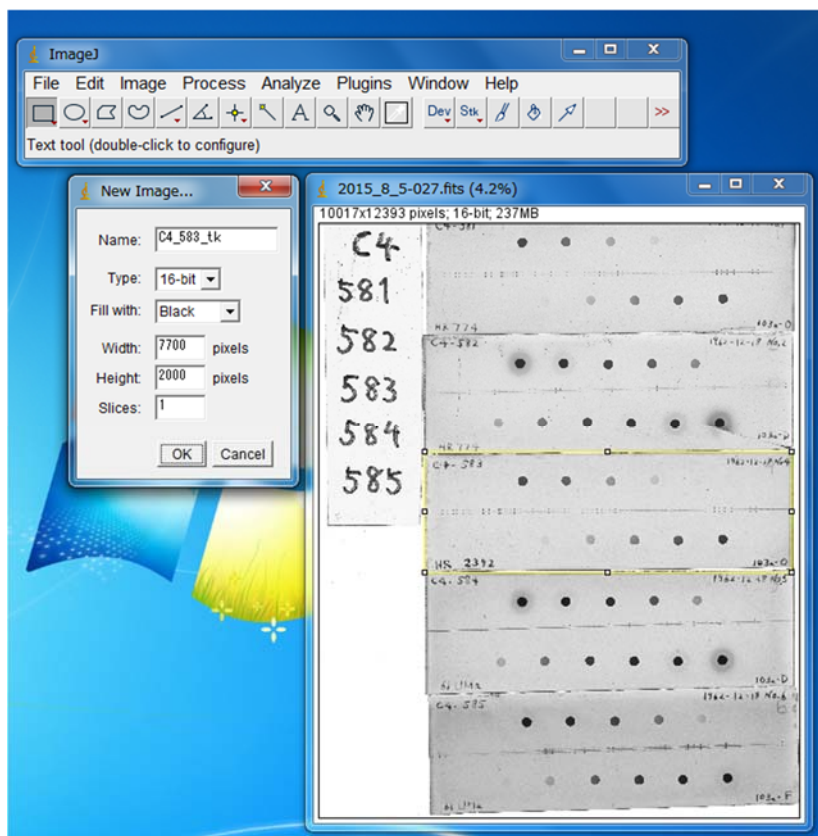


図 20 『Image J』New Image

- (4) 横長の黒い画面が表示される。[Edit/Paste]を選択すると、先程の一時コピーされたものが貼り付けられるので、そのまま保存する。データは tif 形式で保存される。
- (5) 各 5 枚の乾板についてそれぞれ copy&paste をし、画像の切り出しを行う。

3.2.2 傾きの補正

切り分けられたそれぞれの乾板画像データはいくらか傾いている。そこで、この画像の傾きを『image J』を用いて補正し、スペクトルが真横になるようにする。

- (1) 『image J』を用いて、切り分けられた画像の1つを表示する。
- (2) [Image/Transform/Rotate]を選び、「Angle(degree)」の値を入力し、画像が平行になるように調整する。画像を時計回りに回転させたい場合は正数を入れ、反時計回りに回転させたい場合は負数を入力する。画像が表示されている枠の下を縮めて、画像のようにしてやると、平行かどうか分かりやすくなる。

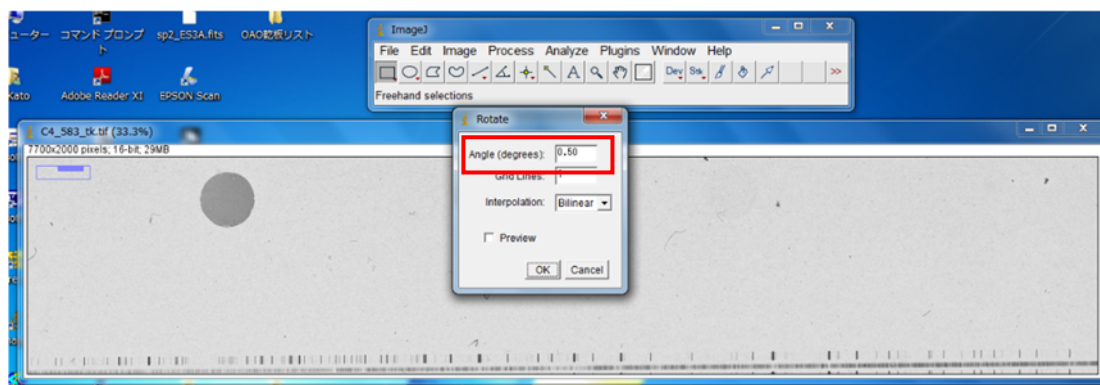


図 21 『Image J』Rotate

- (3) スペクトルが真横になるよう調整したら[File/Save As/Fits]を選び fits 形式で保存する。

ここまでの作業に関しては、計 313 枚の乾板で完了している。

3.3 画像の一次元化と強度スケールへの変換

画像の処理を施した乾板のデータを、後の解析に使用できるようにスペクトル像を強度スケールに変換する。なお、ここからの作業は、313 枚の全ての乾板では時間がかかるので、なるべく綺麗に写っている写真乾板をいくつか選んで進めている。

3.3.1 画像の一次元化

強度スケールに変換できるよう画像を一次元化する。そのためにまずは画像から乾板の各要素（スペクトル、比較スペクトル、チューブ、バック）をそれぞれ個別に切り出し、続いて一次元化を行う。

1. 『image J』による白黒反転

- (1) 作成した fits 画像を『Image J』で表示する。
- (2) [Edit/invert]を選び画像を反転させ、適当な名前をつけて保存する。

2. 『マカリ』による乾板画像の要素の切り出し

- (1) 反転した画像を、すばる画像処理ソフト『マカリ』で読み込む。
- (2) まずはスペクトルを切り出すため、スペクトルの左上の座標と右上の座標を記録しておく。この場合、左上=($x=3$, $y=1093$)、右上=($x=7608$, $y=1075$)になったので、切り出す縦の領域を 19 ピクセルと決定する。
- (3) [切り抜き]を選択し、画像の好きな場所を四角で囲む。
- (4) 図 22 のようにウィンドウが出てくるので x と y それぞれに先程の値を入力する。
(この場合「 $x1=3$ 」「 $x2=7608$ 」「 $y1=1093$ 」「 $y2=1075$ 」)

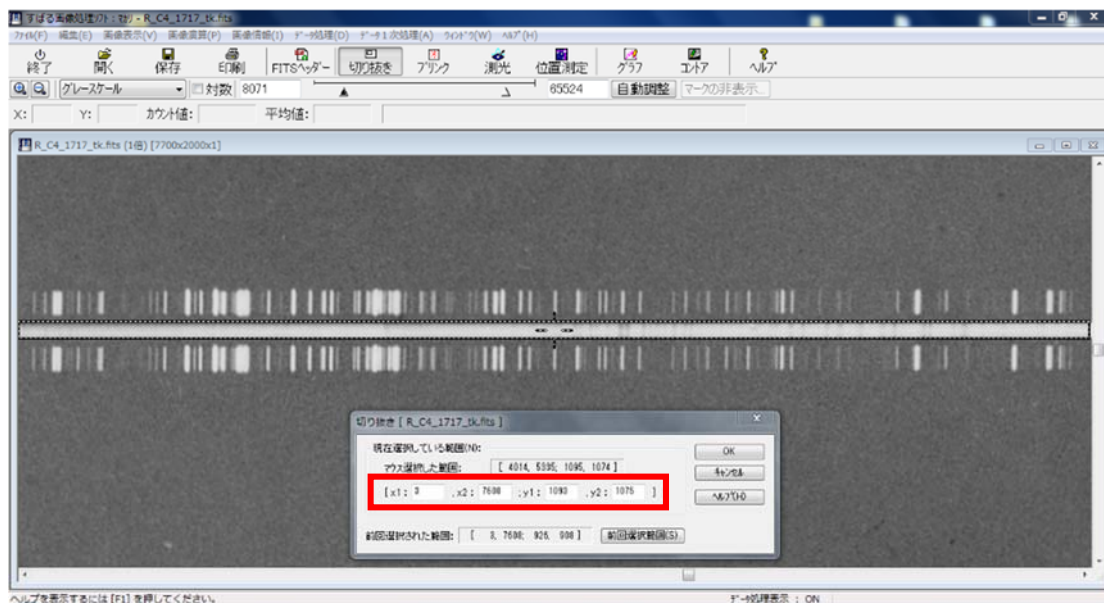


図 22 『マカリ』によるスペクトルの切り出し C4 1717 の例

- (5) 選択した範囲が新しい画像となって切り出されるので、名前をつけて画像を保存する。この場合、spectral C4_1717.fits とした。
- (6) 次に比較スペクトルを切り出す。切り出す範囲は、横はスペクトルと同じ範囲で、縦は縦幅 19 ピクセルで上手く収まる範囲を見つけ、切り出していく。比較スペクトルは片方のみを切り出す。(今回は上を切り出した)
- (7) チューブは上下両方を切り出す。横幅はスペクトルと同じ、縦は縦幅 19 ピクセルで収まる領域を見つけて同じ要領で切り出していく。
- (8) バックは下の比較スペクトルとチューブの間の領域を切り出す。横幅はスペクトルと同じ領域で縦は同じように縦幅 19 ピクセルで切り出す。(ここでは背景光強度がほしいので、できるだけ傷やごみの無い場所を選んで切り出す。)

3. 一次元化

- (1) 『マカリ』を立ち上げる。
- (2) 先程切り取った画像を読み込み、[データ処理/グラフ]を選ぶ。
- (3) 画像上にカーソルを移動させ Shift を押しながら好きな場所を四角で囲む。
- (4) 表示画面に囲んだ部分の座標が出るので、この座標値をこの画像の大きさいっぽうに指定する。この場合画像は 7606×19×1 の大きさなので、グラフ選択範囲には左から、「1」「7606」「1」「19」と入力する。

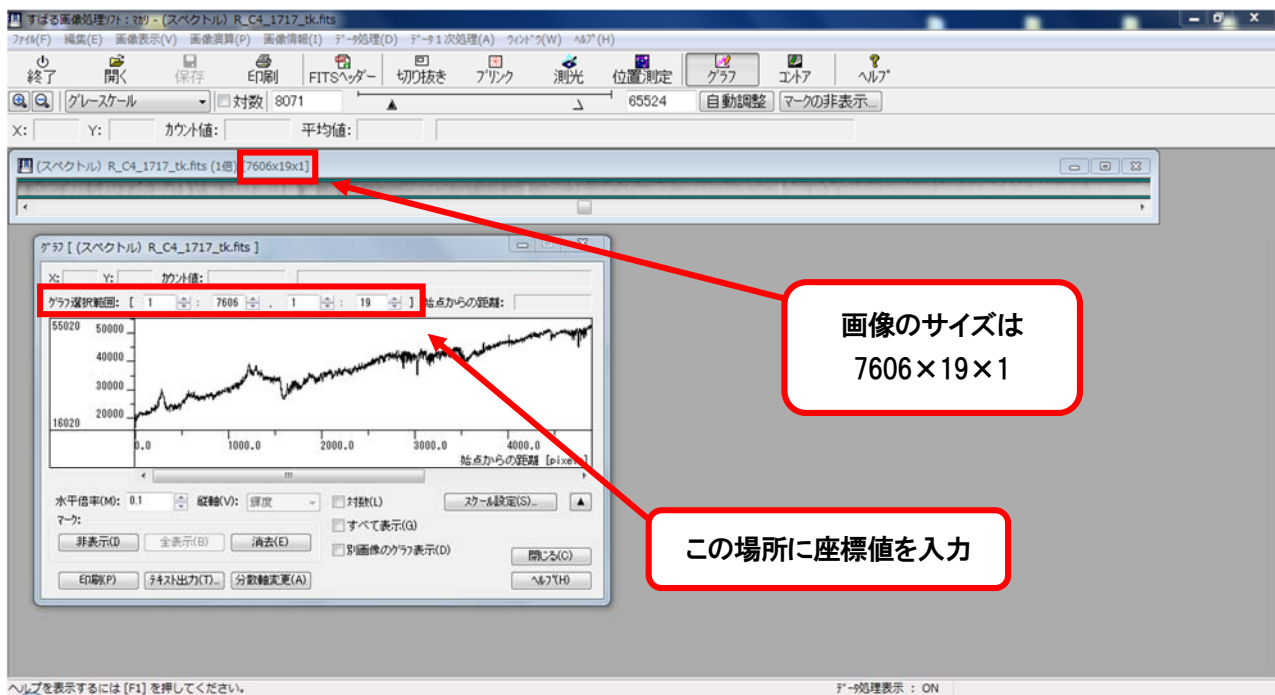


図 23 『マカリ』での画像の一次元化（C4 1717 の例）

- (5) 範囲を指定できたら【テキスト出力】を選び名前をつけて保存する。データは csv ファイルで保存される。
- (6) (2) ～ (5) の作業を、切り出したスペクトル、比較スペクトル、上下のチューブ、バックの全てで行う。

3.3.2 バックグラウンドの処理

バックの画像は、乾板上で何も写っていない場所の画像データである。これは乾板全体にわたって広がっているため、これまで処理してきたスペクトル、比較スペクトル、チューブの各々のデータは、それぞれの固有の値にこのバックの値が加算されたものとなっている。そこで、それぞれの固有の光強度を得るために、『Sma4Win』を用いてこのバックの値を各データから差し引く処理を行う。

- (1) 『Sma4Win』を立ち上げ、先程テキスト出力したバックの csv ファイルを開く。
- (2) y 軸は下に表示されている「y 座標」ではなくカウント値を取りたいので、[x(U)軸 Column]は[1]、[Y(R)軸 Column]は[3]を選ぶ。

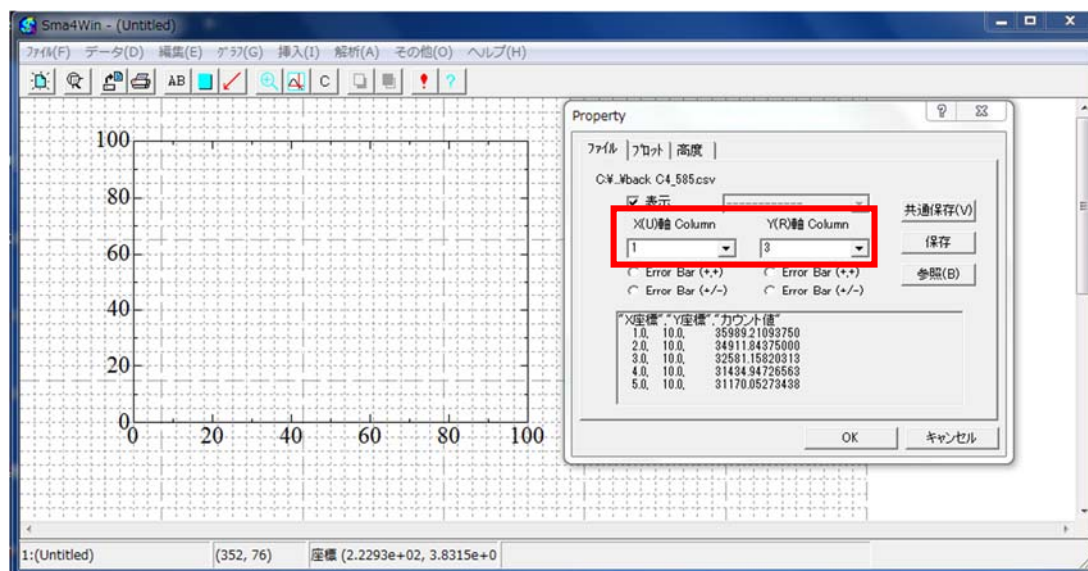


図 24 『Sma4Win』でバックのテキストファイルの表示

図 25 のように、左右でやや異なるように全体的な傾向があり、このブレは傷やごみがあると大きく変動する。一次元化の時に y 方向で平均化はされているが、それでもなお雑音成分が大きい。このまま直接引いたのではまずいので、個々の雑音成分には目をつぶり、二次の放物線で近似することによって、全体的な傾向を差し引くことにする。

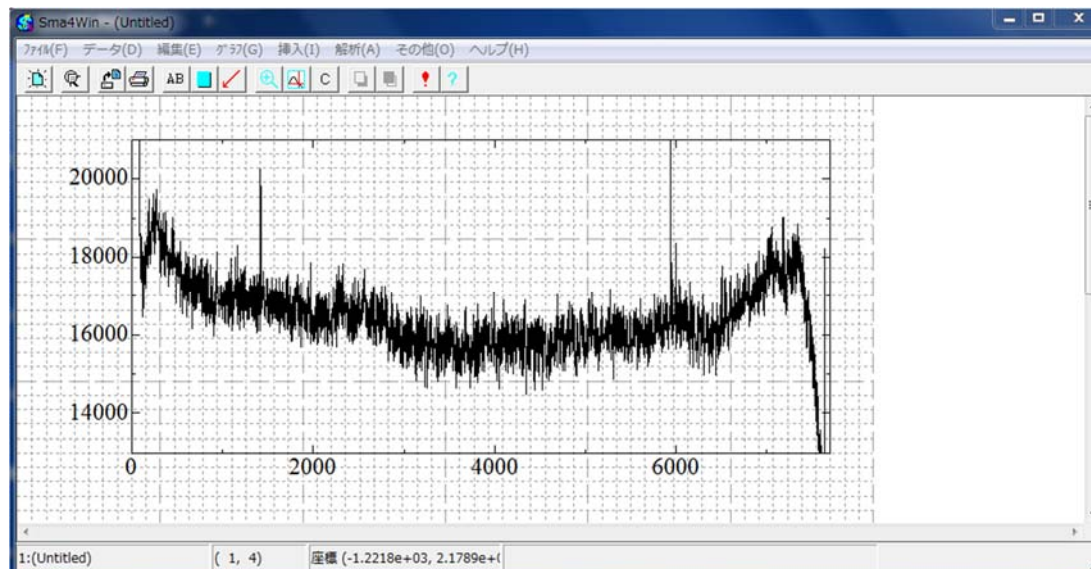


図 25 『Sma4Win』でのバック強度分布 縦軸はカウント値、横軸はピクセル番号。

- (3) [解析/最小二乗/多項式]を選び、[次数]は[2次]を選択する。

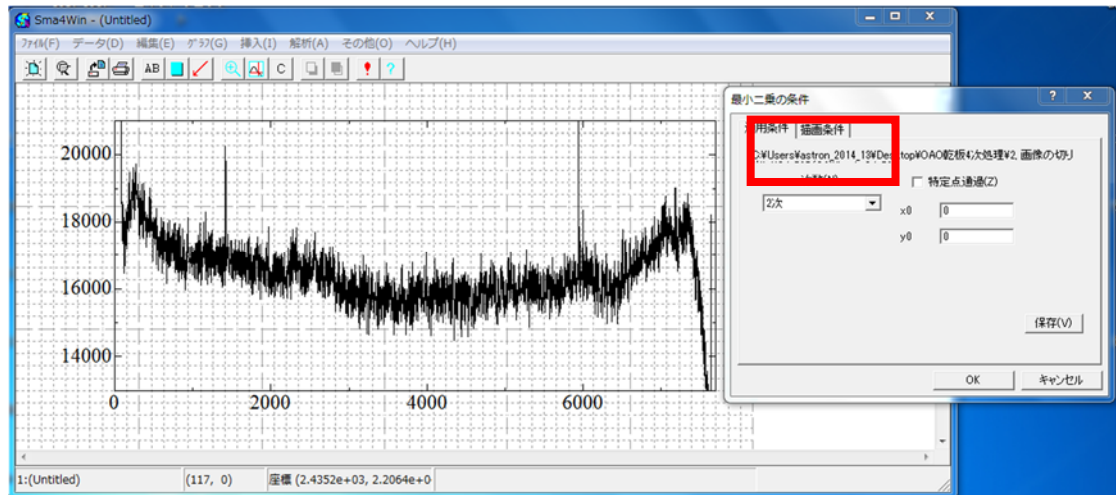


図 26 『Sma4Win』バックの処理 最小二乗 2 次式

- (4) 図 27 の赤線が近似した結果である。この時の係数 3 個が表示されるので、[COPY to Cripboard]で記憶させる。

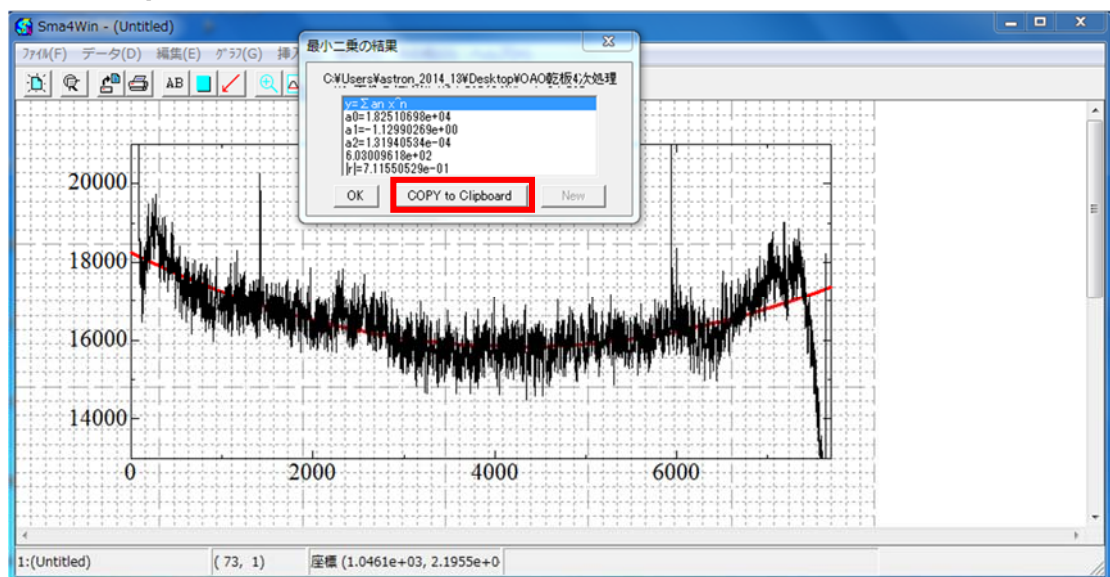


図 27 『Sma4Win』バックの処理 最小二乗の結果

- (5) 適当な名前をつけて（ここでは 585 data_form.txt とした。）テキストファイルを作成する。
- (6) テキスト上で貼り付けを行うと、先程のコピーされた係数などが貼り付けられるので、その下に「スペクトルのデータの名前」、「比較スペクトルのデータの名前」「チューブのデータ二つの名前」を並べ、図 28 のように並べる。（各々のデータの名称の長さは 30 字までにする必要がある）

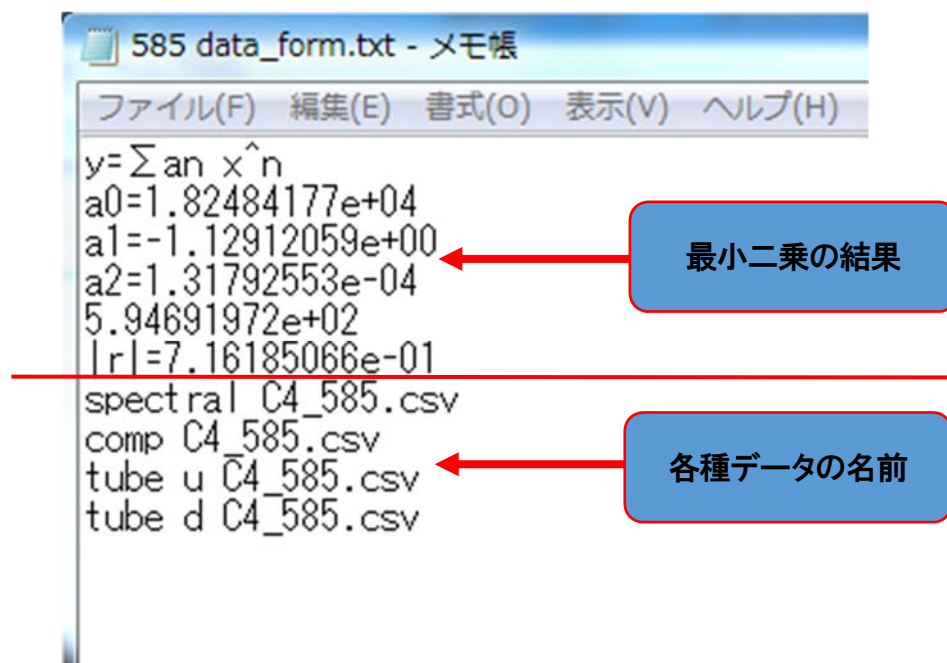


図 28 貼り付けた最小二乗の係数と、データの名前を載せたテキストファイル。

- (7) 同じフォルダに、「RedBack.exe」「バック処理用テキストファイル(585 data_form.txt)」「スペクトルのデータ」「比較スペクトルのデータ」「二つのチューブのデータ」の6つのファイルを入れて、『RedBack.exe』を起動させる。
- (8) データファイルを聞かれるので、「585 data_form.txt」と入力し、「Enter」を押す。これで各々のデータからバックの値が引かれた。結果は新しいファイルとして、名前の先頭に「b_」が付いて作成される。(例：b spectral C4_585.csv)

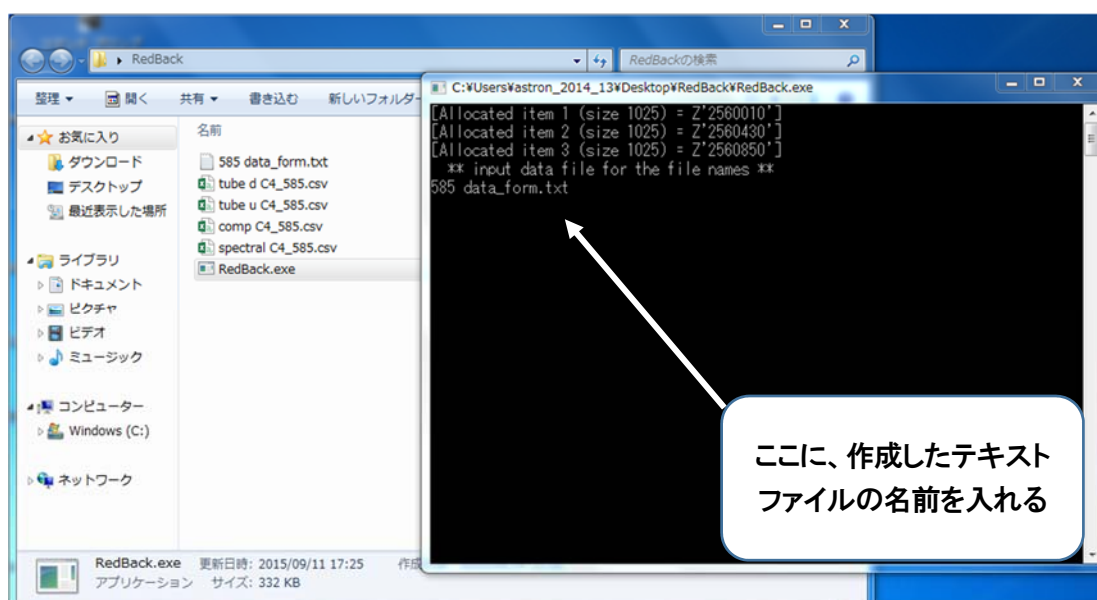


図 29 『Redback』でバックの値を各データから引算中

3.3.3 チューブ・データ表の作成と入射光強度への変換

これまでの作業で、背景光を補正したスペクトルやチューブなどのデータを得ることができた。チューブの説明は第2章の2.4に記載している。ここではチューブの面積を参考にして、実際のチューブとの関係を表すチューブ・データの表を作成し、これを元にスペクトルデータを乾板の黒味から入射光強度へと変換する。

1. チューブ・データ表の作成

チューブの面積は以下の通りである。ただし、対数値で相対的であり、その比にしか意味が無いので注意。

- (1) 2.967 (2) 2.788 (3) 2.635 (4) 2.467 (5) 2.301 (6) 2.170 (7) 1.995 (8) 1.849 (9) 1.696
(10) 1.556 (11) 1.358 (12) 1.316 (13) 1.140 (14) 0.872 (15) 0.836 (16) 0.534 (17) 0.324 (18) 0.375

- (1) 『Sma4Win』を立ち上げてバック値が引かれたチューブのデータを表示する。
(2) [データ/Read Value]でチューブのyの値（突き出している所の上の方）を読み取る。ここで、読み取る値は最大値ではなく、ギザギザの真ん中あたりの値を読み取る。

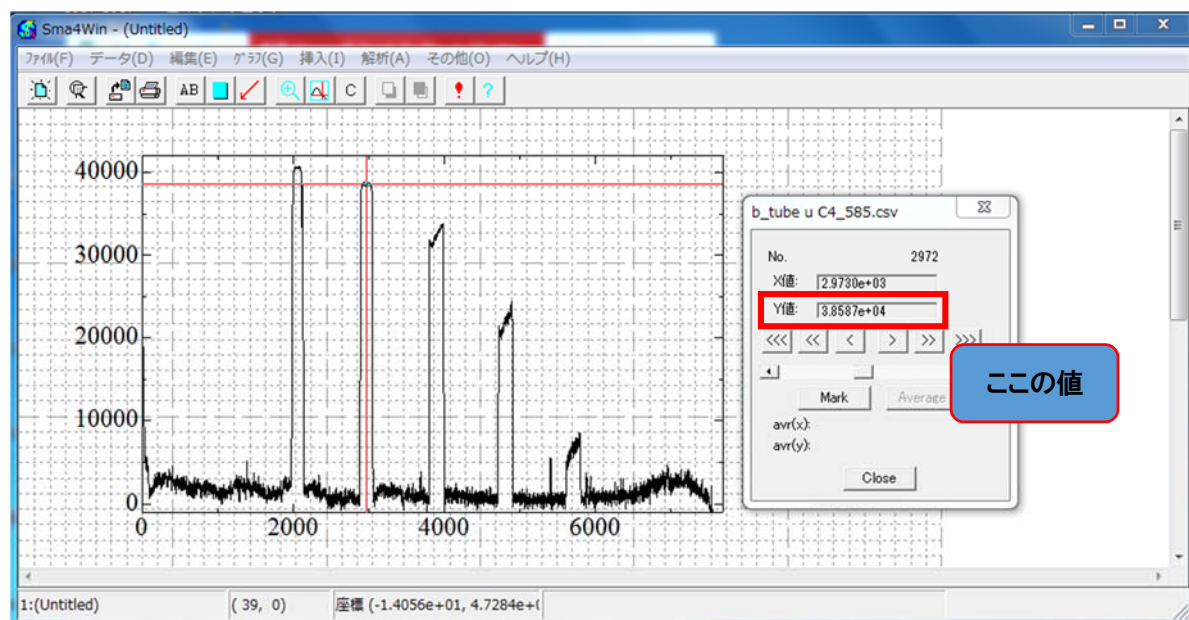


図 30 『Sma4Win』 Read Value

- (3) 今回、写真乾板上の、上のチューブの値は「7100.9 22052 32448 38587 40459」、下のチューブの値は「1657 10124 26692 35175 39828 42071」となった。上下のチューブは交互に並んでいて、奇数列、偶数列となっている。なので、どちらがどの系列に属するかを決める必要がある。ここでは数字の並び方から、上のチューブが偶数列で、下のチューブは奇数列ということが分かった。
- (4) 図 31 のように、チューブの面積と、『Sma4Win』で読んだチューブの値を3列に並べて新しいテキストファイル(585 tube.txt)を作る。

No	r^2+2	
1	2.967	42071
2	2.788	40459
3	2.635	39828
4	2.467	38587
5	2.301	35175
6	2.170	32448
7	1.995	26692
8	1.849	22052
9	1.696	10124
10	1.556	7100.9
11	1.358	1657
12	1.316	
13	1.140	
14	0.872	
15	0.836	
16	0.534	
17	0.324	
18	0.375	

図 31 チューブ・テキストファイルの作成

C4 560 のチューブ・データを見ると、図 32 のように最大値の逆転現象が起こっている。これは飽和現象によるもので、このあたりのチューブの場合、入射光が強すぎて写真の黒味との対応関係が鈍くなってしまっており、正しい値になっていないので、注意しなければならない。

No	r^2+2	
1	2.967	43894
2	2.788	46551
3	2.635	42513
4	2.467	43205
5	2.301	22400
6	2.170	16308
7	1.995	8784
8	1.849	
9	1.696	
10	1.556	
11	1.358	
12	1.316	
13	1.140	
14	0.872	
15	0.836	
16	0.534	
17	0.324	
18	0.375	

図 32 C4 560 チューブの飽和現象

2. 入射光強度(intensity)への変換

- (1) 『Sma4Win』を立ち上げ先程のチューブ・データ(585 tube.txt)のファイルを開く。
- (2) 横軸にカウント値、縦軸にチューブの面積の値を入れたいので、[X(U)軸 Column]は[3]、[Y(R)軸 Column]は[2]を選択する。

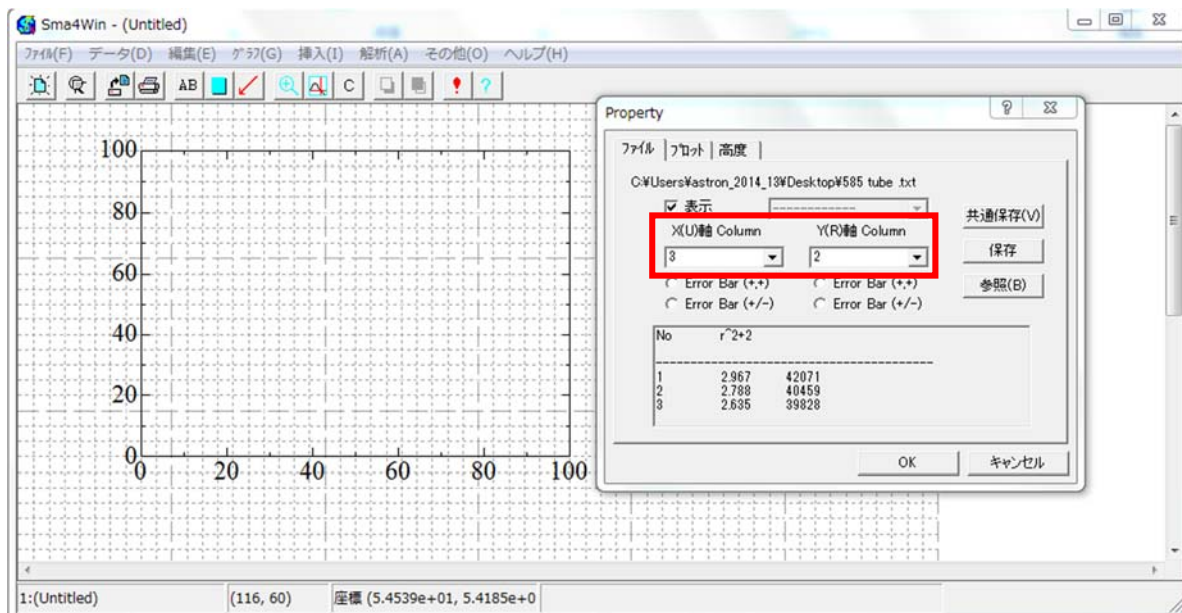


図 33 『Sma4Win』でのチューブ・データの表示

- (3) [解析/最小二乗/多項式]を選び、[次数]は[5次]を選択する。

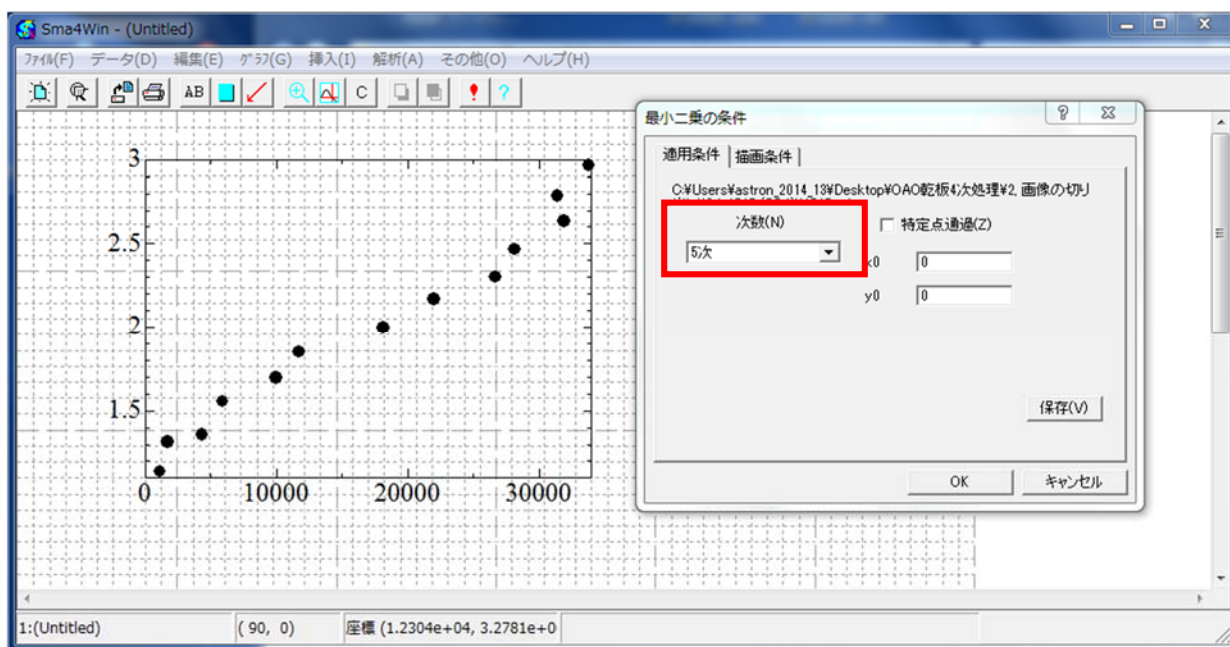


図 34 『Sma4Win』でのチューブ・データ の処理 最小二乗 5次

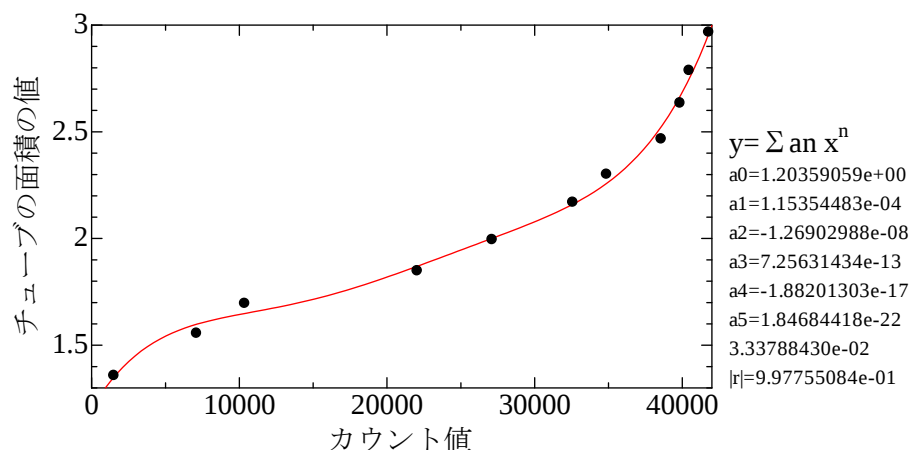


図 35 チューブの面積とカウント値の関係 5次曲線

- (4) [COPY to Clipboard]を押して係数を記憶させておく。
- (5) 新しいテキストファイルを作り、名前を「tube_data.txt」にし、先程のクリップボードの値を貼り付ける。
- (6) 貼り付けたデータの下に、バック処理済のスペクトルのデータ(b_spectral C4_585.csv)の名前を並べる。

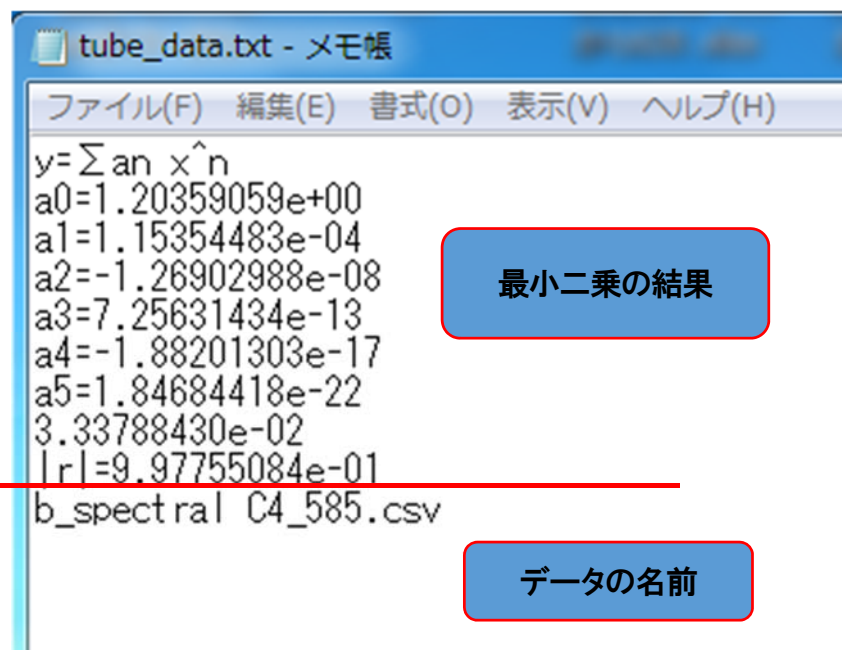


図 36 チューブ・データのテキストファイルの作成

- (7) 同じフォルダに、「toInt2.exe」、「スペクトルデータ(b_spectral C4_585.csv)」、「tube_data.txt」の三つのデータを入れて、『toInt2.exe』を起動させる。
- (8) 同フォルダに名前の上にib_がついたファイル(ここではib_spectral C4_585.csv)が新しくできれば成功で、これで乾板の黒味から入射光強度への変換が完了したことになる。

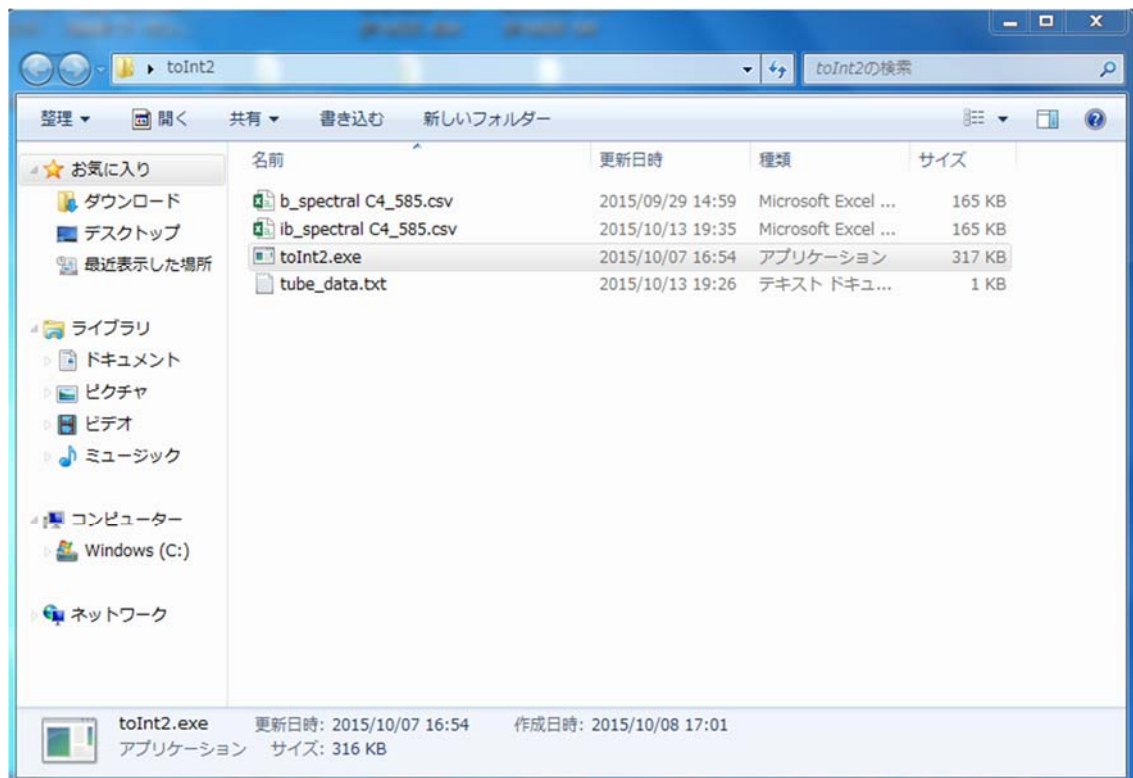


図 37 『toInt2.exe』実行後のフォルダ

ここまでの作業で、C4 528、C4 560、C4 574、C4 585、C4 593、C4 598、C4 1407、C4 1409、C4 1410、C4 1411、C4 1717、C4 1727、C4 1730、C4 1741 の計 14 枚の写真乾板の強度への変換まで完了している。

3.4 波長スケールへの変換(4 次処理)

これまでの処理でスペクトル像を強度に変換することができた。この強度に変換されたスペクトル像を、比較スペクトルを参照しながら、特徴的な強く出ている吸収線を元に、波長を同定し、波長空間に変換する作業を行う。

なお、強度に変換した 14 個のデータには、 β の記載されていない乾板や、比較スペクトルの同定がうまくいかないこともあったため、合計 6 個のデータで波長付けを完了させている。

3.4.1 比較スペクトルの調査と同定

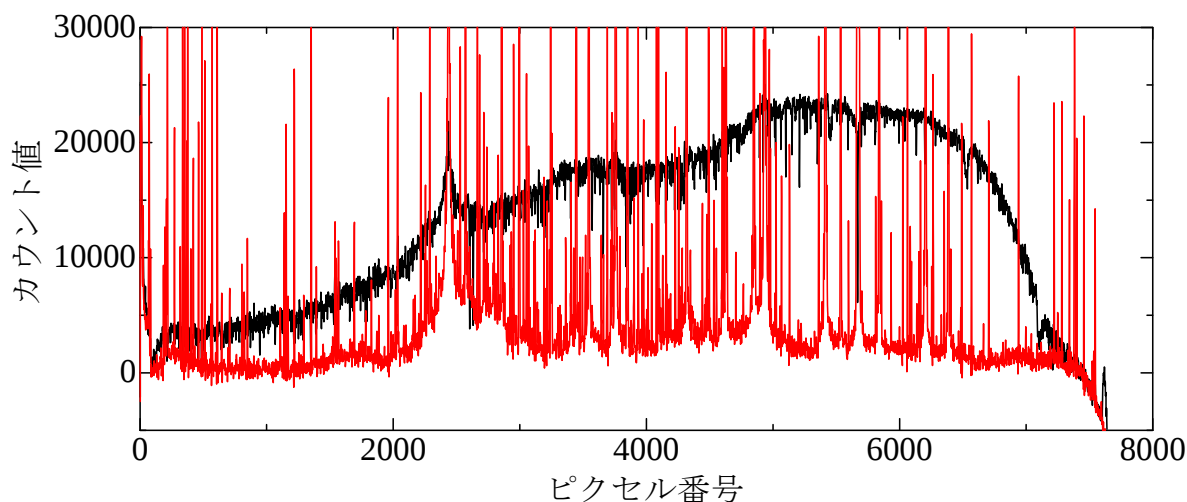


図 38 C4 585 のスペクトル(黒)と、比較スペクトル(赤)の比較

C4 585 の乾板は、 $\beta=357^\circ$ で撮られたもので、黄色～赤の領域である（この場合、右が赤方向）。画像を見ると、2700 番あたりに太い線が 2 本並んでいて、これを Na の D1、D2 線とあたりをつけると、5600 番あたりの吸収線は H- α 線と予想できる。この場合はたまたま右のほうが長い波長になっているので通常通りだが、左が長い波長になっている反対の場合もある。その時は左右反転させて右が長波長になるようにしなければならない。大まかな状況が分かったら、比較スペクトルの比較を行う。スペクトル線の固定用図表を参照しながら、特徴的な強く出ている吸収線を元に、目的の乾板の比較スペクトル線の同定を行う。今回は 500 ピクセルに 1 点の間隔で、比較スペクトル上での位置とその波長を記録した。

- (1) 名前を「c_lines.dat」として新しいデータファイルを作成する。
- (2) 『TeraPad』等で「c_lines.dat」を開く。
- (3) 『Sma4Win』を立ち上げる。
- (4) [Read Value]で比較スペクトルの x 値を読みながら、dat ファイルの 1 列目には目的の比較スペクトルのピクセル番号(x の値)、2 列目にはそのピクセル番号に対応する波長を、並べていく。

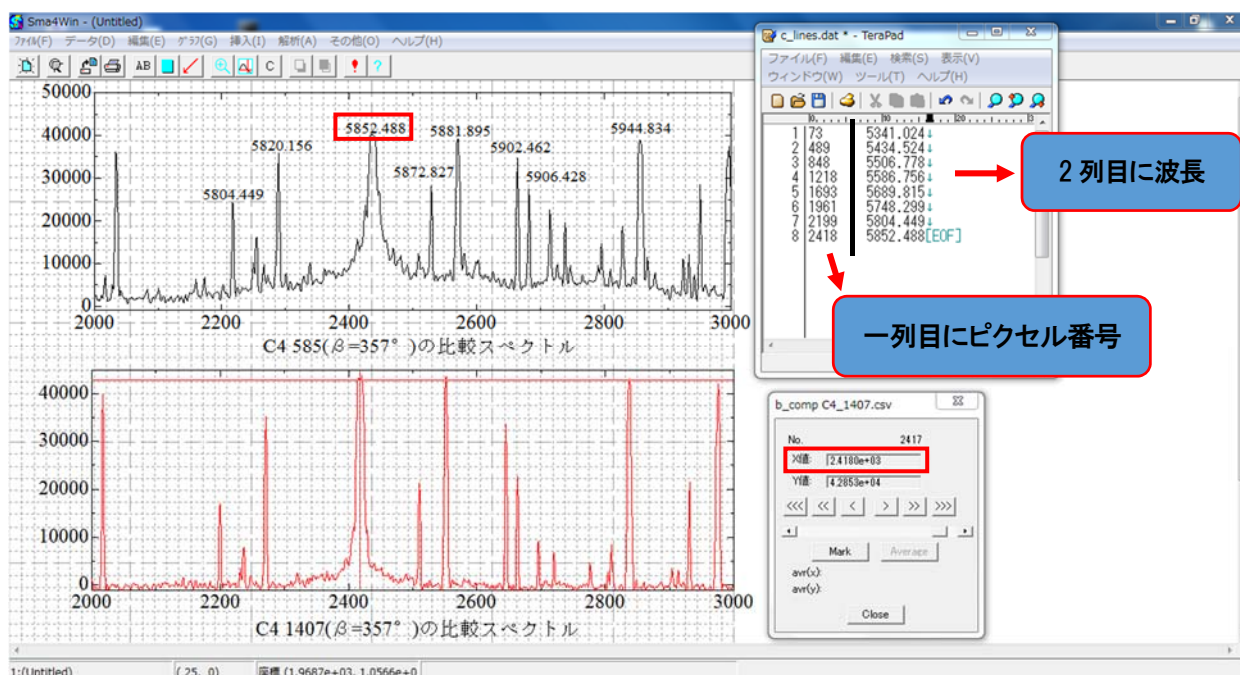


図 39 C4 585 と C4 1407 の比較スペクトルの比較と「c_lines.dat」の作成

この場合、右のほうが長い波長になっていて通常通りだが、反対の場合もある。そのときは、[データ/update]から Property を開き、[プロット]タブの[x 値変換]の左にチェックを入れ、値を[8000-x]（値は乾板により異なる）等と入力すれば、左右を反転させることができる。

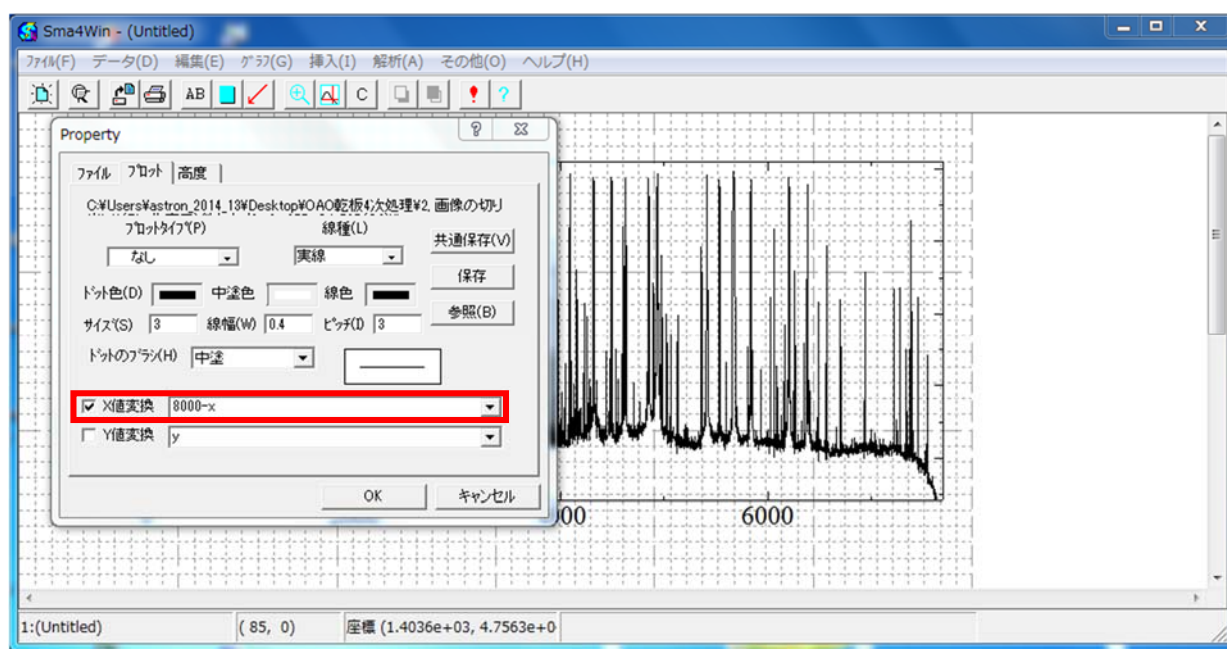


図 40 『Sma4Win』x 値変換に入力し反転

- (5) できた c_lines.dat を『Sma4Win』で開く。（ここで系列から点が外れているようなことがあると、同定作業が適切に行われていなかった可能性がある。）
- (6) [解析/最小二乗/多項式]を選び、[次数]は[3 次]にする。

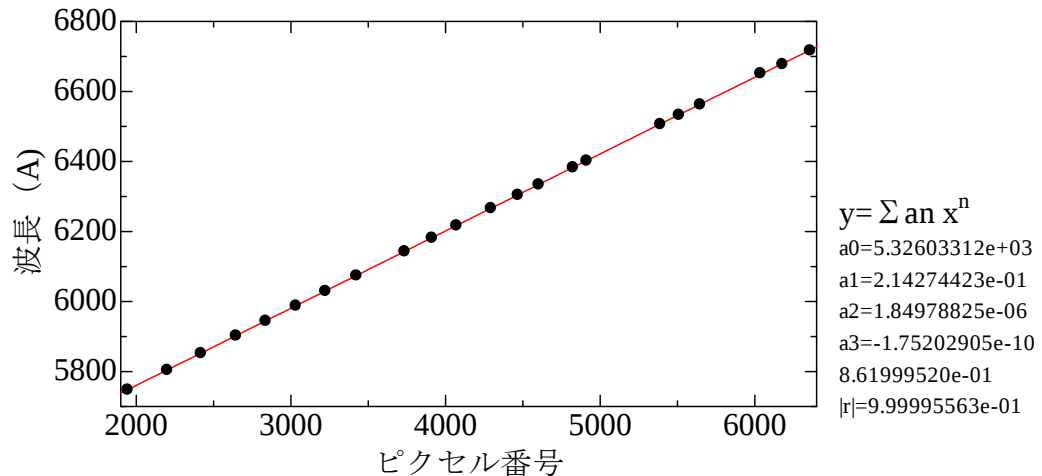


図 41 c_lines.dat の最小二乗の結果

- (7) 結果を[COPI to Cripboard]で記憶させる。
- (8) 新しく「comp.dat」というファイルを作り、そこに記憶させたものを貼り付けて保存する。

3.4.2 波長空間への変換と Fits 化

1. 波長空間への変換

- (1) 強度に変換されたスペクトルのデータ（ここでは ib_spectral C4_585.csv）の名前を「Trace.dat」に変更する。
- (2) この「Trace.dat」とデータファイル「comp.dat」、そしてプログラム「LMDIF5.exe」を同じフォルダに入れる。
- (3) 『LMDIF5.exe』を起動させ、[1]と入力し、[Enter]を押す。
- (4) 「newTrace.dat」というファイルが同フォルダにできたら完了。これで波長付けができた。

2. Fits 化

- (1) 「newTrace.dat」のデータの先頭にヘッダーが付いていたら切り取り、波長と強度の2カラムにする。
- (2) ここで、『0A0tonj.exe』を実行するために、新しいテキストファイル（例：data_form.txt）を作り、入力するファイル名「newTrace.dat」、データ・フォーマット、波長刻み（Å単位）を記載する。

なお、データ・フォーマットとは、並んでいるデータがどのようなものか指定するもので、Fortran の format 文の内容を記したものである。



図 42 data_form.txt の内容

- (3) 先程作った「data_form.txt」と「newTrace.dat」、プログラム「OA0tonj.exe」を同じフォルダに入れ、『OA0tonj.exe』を実行する。
- (4) 『OA0tonj.exe』を立ち上げると名前の入力を聞かれるので、「data_form.txt」と入力し[Enter]を入力する。
- (5) 新しく「NnewTrace.dat」というファイルができれば成功である。

『OA0tonj.exe』は、newTrace.dat だけでなく、比較スペクトルのようにスペクトルと同様の形式になっているファイルなら、データ・ファイル(ここでは data_form.txt)の内容を変えることで、同様に実行することができる。例として C4 585 の比較スペクトルを『OA0tonj.exe』にかけたい場合は、以下のようにデータファイルを書き換える。

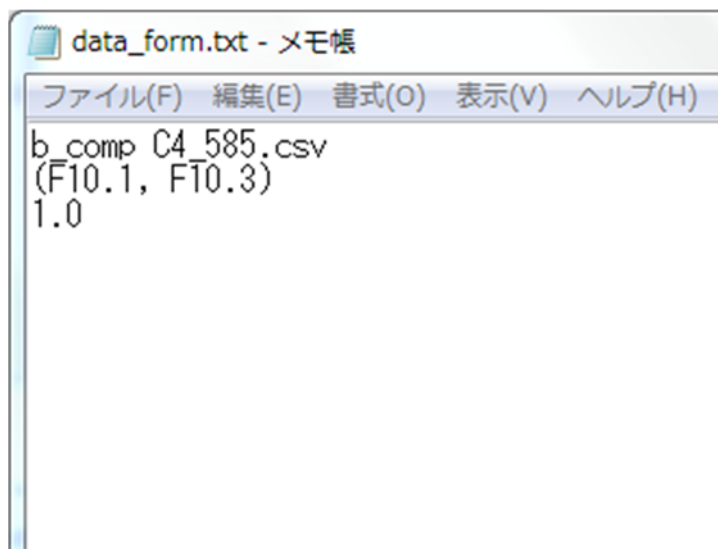


図 43 C4 585 の比較スペクトルの data_form.txt

図 43 では、b_comp C4_585.csv がファイル名で、その中身は小数点以下 1 桁の 10 桁実数と小数点以下 3 桁の 10 桁実数が並んでいて、できたファイルは 1.0 刻みで作られることを意味している。刻みはスペクトルでは 0.02 (A) あたりの任意の数値で良いが、比較スペクトルでは 1.0 でなければならない。こちらの方法で同じように『OA0tonj.exe』を実行すると、最終的に「N b_comp C4_585.csv」というファイルができる。

- (6) 『Nijiboshi』を起動させる。
- (7) [ツール/ascfits.exe]を立ち上げる。元からツールの場所に ascfits.exe はないので、[ツール/設定]から『ascfits.exe』等を追加して、ツールから直接『ascfits.exe』を実行できるようにしている。

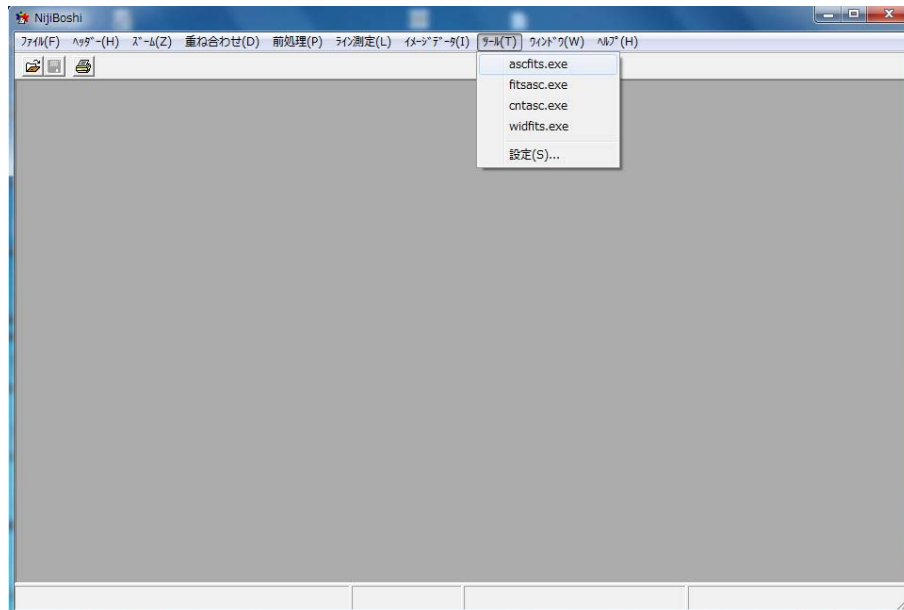


図 44 『nijiboshi』で ascfits.exe の実行

- (8) [ツールの実行]という画面がでるので OK を押すと、[ASCII-FITS 変換プログラムツール]という画面が出る。

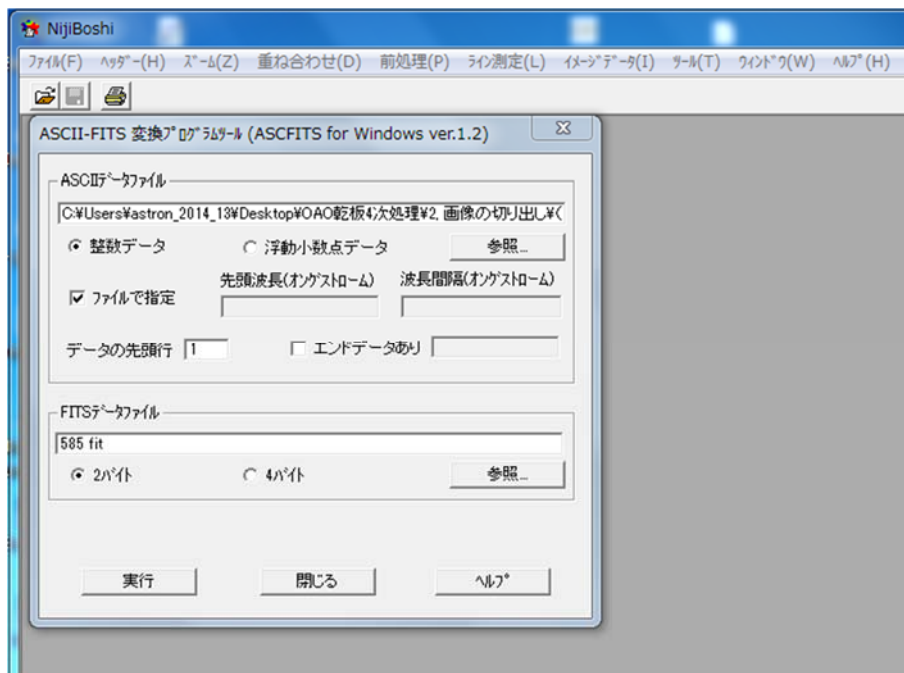


図 45 『nijiboshi』ASCII-FITS 変換プログラムツール

- (9) [ASCII データファイル]に、先程の「NewTrace.dat」を指定し、[FITS データファイル]に適当な名前（今回は 585.fit とした）をつけ、[実行]を押して完了。これで、『Nijiboshi』でスペクトルのデータが読み込める形式となった。

3.5 スペクトルデータのテキスト化と『spshow』

3.5.1 スペクトルデータの規格化とテキスト化

ここからは、『spshow』で作業を行うため、『spshow』で読み込めるようにファイルを変換していく。まずは、雑音成分が大きいスペクトルの像を、『nijiboshi』を用いて規格化し、規格化された fit データをテキスト化する作業を行う。

1. スペクトルデータの規格化

スペクトル線強度や、『spshow』による合成スペクトルと比較したりするために、連続部を 1 とする規格化をしておく必要がある。

- (1) 『Nijiboshi』を起動する。
- (2) 3.4.2 で fit 化されたデータを読み込む。(ここでは 585.fit)
- (3) 上にある[コンティニウムライン]を押す。

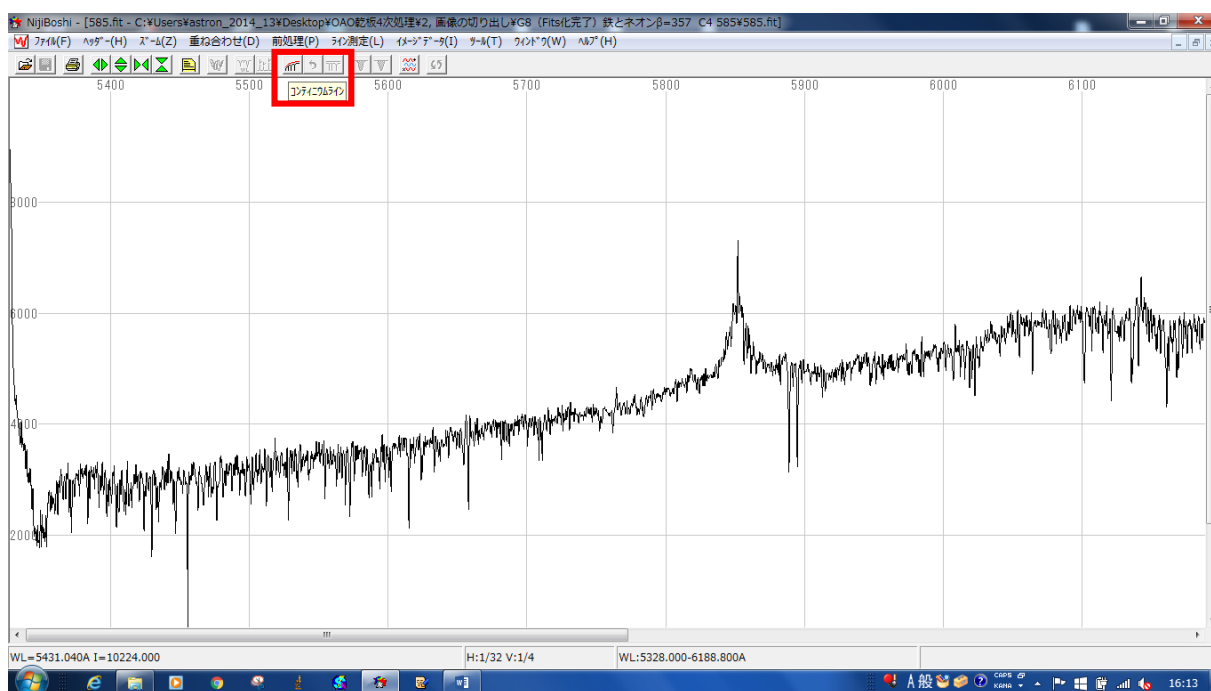


図 46 『nijiboshi』での C4 585(61UMa)のスペクトルの規格化

- (4) 図 47 の画面になり、クリックするごとに点が現れ、点と点を滑らかに結ぶようになっている。スペクトル像にあわせて線をなぞるように、適当な位置でクリックしていく。これは人によって違いが出るため、個性が出るということも良い。

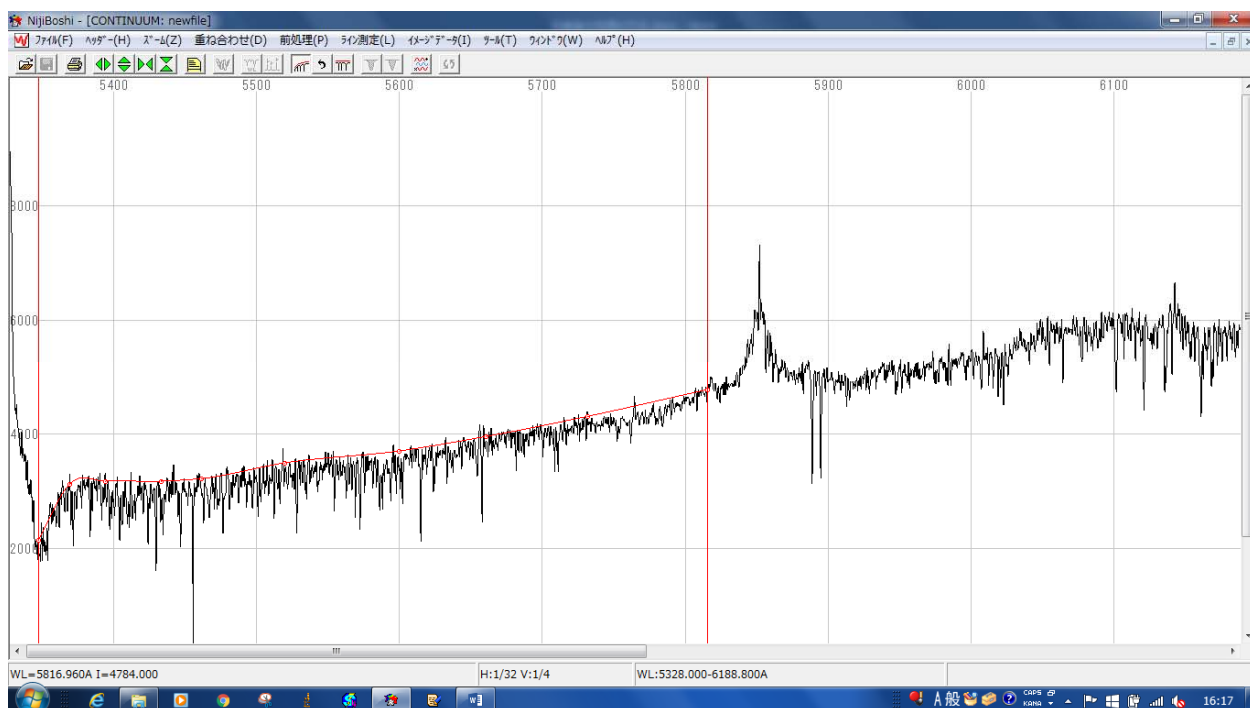


図 47 『nijiboshi』での C4 585(61UMa)のスペクトルの規格化2

- (5) 右端までスペクトルをなぞることができたら、最後に上の[ノーマライズ]を押す。
- (6) 適当な名前を入力しファイルを保存する。(ここでは「c585.fit」とした。)

2. Fits データから txt ファイルへ

- (1) 『Nijiboshi』を起動する。
- (2) [ツール]から[fitsasc.exe]を選択する。(ここでも、先程の[ascfits.exe]と同様に、[ツール]から直接[fitsasc.exe]を選択できるようにしてある。)
- (3) [ツールの実行]というウィンドウが出るので、[OK]を押すと、
「FITS-ASCII 変換プログラムツール」という画面が出る。[FITS データファイル]には規格化したfits(c585.fit)ファイルを選ぶ。
- (4) [ASCII データファイル]には「適当な名前.txt」(ここではc585.txt)と入力し、[ヘッダーを出力しない]にチェックを入れ、[波長と強度]にチェックを入れる。
- (5) 実行を押すと txt ファイルが作成される。これで、『spshow』で読み込める形式となった。

3.5.2 『spshow』

『spshow』は、竹田洋一氏作成のスペクトル解析ソフトのことで、「WIDTH」、「MPFIT」、「SPSHOW」の三つを合わせて SPTOOL と呼ばれている。導入についての詳細は、『spshow』のマニュアルに記載されている。

『spshow』には元素量を細かく調べる、といったことや、恒星の自転速度や視線速度から地球に向かって遠ざかっているか、近づいているか等の様々な恒星の情報を、観測スペクトルを『spshow』に入っている合成(理論)スペクトルに合わせることで、調べることができる。本研究では、恒星大気に含まれる元素に着目し、主に強く出ている吸収線の元素を調べ、『spshow』で解析した元素を、スペクトルを比較したグラフに記載した。

1. 『spshow』の起動

- (1) sptool を用意する。
- (2) フォルダ「sptool」をCディレクトリに入れる。
- (3) Cディレクトリに新しいフォルダを作り（例「0A0」）、その中に観測スペクトルのデータや理論スペクトルのデータを入れる。
- (4) コマンドプロンプトを起動する。
- (5) “sptool”と入力しEnter。
- (6) “cd 0A0”と入力しEnter。
- (7) “spshow cpanel.txt”と入力しEnterを押すと『spshow』が起動し、ウィンドウが立ち上がる。

2. 『spshow』の操作

The screenshot shows the 'spshow' software interface. At the top, there are input fields for 'stellar spectrum' (c585.txt [5800,5900]), 'model atmosphere' (t05507g466x+000m0), and 'line (gf) data file' (va15800.kgf). Below these are checkboxes for 'molecule ON/OFF' and 'ifmole: 1'. To the right, there are input fields for 'microturbulence(km/s)' (0.84), 'vbroad(km/s)' (20.0), and 'spectral resolution' (0). Further right, there are buttons for 'character data input: insert mode' and 'numerical data input: overwrite mode'. The main part of the interface is a table of elemental abundances, with columns for 'A(rel)' and 'A(abs)' for various elements. The table is organized into four groups of 20 elements each. To the right of the table, there are buttons for 'theretical flux representation' (normalized/absolute flux), 'incrementally changing A for all metal elements' (+0.1 dex, -0.1 dex), 'A(rel) reset', and a 'Go' button. At the bottom right, there are 'terminate spshow' and 'stop' buttons. A 'NOTE' box at the bottom left contains text about the correlation between A(rel) and A(abs) and the effect of changing the metallicity factor (xscale).

A(rel)		A(abs)		A(rel)		A(abs)		A(rel)		A(abs)		A(rel)		A(abs)	
1 H	0.00	12.00	21 Sc	0.00	3.10	41 Nb	0.00	1.42	61 Pm	0.00	-7.96	81 Tl	0.00	0.90	
2 He	0.00	11.00	22 Ti	0.00	4.99	42 Mo	0.00	1.92	62 Sm	0.00	1.00	82 Pb	0.00	1.85	
3 Li	0.00	1.16	23 V	0.00	4.00	43 Tc	0.00	-7.96	63 Eu	0.00	0.51	83 Bi	0.00	0.71	
4 Be	0.00	1.15	24 Cr	0.00	5.67	44 Ru	0.00	1.84	64 Gd	0.00	1.12	84 Po	0.00	-7.96	
5 B	0.00	2.60	25 Mn	0.00	5.39	45 Rh	0.00	1.12	65 Tb	0.00	-0.10	85 At	0.00	-7.96	
6 C	0.00	8.56	26 Fe	0.00	7.50	46 Pd	0.00	1.69	66 Dy	0.00	1.10	86 Rn	0.00	-7.96	
7 N	0.00	8.05	27 Co	0.00	4.92	47 Ag	0.00	0.94	67 Ho	0.00	0.26	87 Fr	0.00	-7.96	
8 O	0.00	8.93	28 Ni	0.00	6.25	48 Cd	0.00	1.86	68 Er	0.00	0.93	88 Ra	0.00	-7.96	
9 F	0.00	4.56	29 Cu	0.00	4.21	49 In	0.00	1.66	69 Tm	0.00	0.00	89 Ac	0.00	-7.96	
10 Ne	0.00	8.09	30 Zn	0.00	4.60	50 Sn	0.00	2.00	70 Yb	0.00	1.08	90 Th	0.00	0.12	
11 Na	0.00	6.33	31 Ga	0.00	2.88	51 Sb	0.00	1.00	71 Lu	0.00	0.76	91 Pa	0.00	-7.96	
12 Mg	0.00	7.58	32 Ge	0.00	3.41	52 Te	0.00	2.24	72 Hf	0.00	0.88	92 U	0.00	-0.47	
13 Al	0.00	6.47	33 As	0.00	2.37	53 I	0.00	1.51	73 Ta	0.00	0.13	93 Np	0.00	-7.96	
14 Si	0.00	7.55	34 Se	0.00	3.35	54 Xe	0.00	2.23	74 W	0.00	1.11	94 Pu	0.00	-7.96	
15 P	0.00	5.45	35 Br	0.00	2.63	55 Cs	0.00	1.12	75 Re	0.00	0.27	95 Am	0.00	-7.96	
16 S	0.00	7.21	36 Kr	0.00	3.23	56 Ba	0.00	2.13	76 Os	0.00	1.45	96 Cm	0.00	-7.96	
17 Cl	0.00	5.50	37 Rb	0.00	2.60	57 La	0.00	1.22	77 Ir	0.00	1.35	97 Bk	0.00	-7.96	
18 Ar	0.00	6.56	38 Sr	0.00	2.90	58 Ce	0.00	1.55	78 Pt	0.00	1.80	98 Cf	0.00	-7.96	
19 K	0.00	5.12	39 Y	0.00	2.24	59 Pr	0.00	0.71	79 Au	0.00	1.01	99 Es	0.00	-7.96	
20 Ca	0.00	6.36	40 Zr	0.00	2.60	60 Nd	0.00	1.50	80 Hg	0.00	1.09				

NOTE
The correlation between A(rel) and A(abs) is evaluated by the metallicity factor (xscale) corresponding to the current model atmosphere. Hence, if you are going try a new model atmosphere of "different metallicity (xscale)" for the next simulation, the resulting correlation for the next time would naturally be different, which means that the currently displayed A(rel) and A(abs) values would not hold [more precisely, A(rel)'s are kept but A(abs)'s are destroyed]. For this reason, in case a new model atmosphere of "different metallicity" is going to be specified next, it is strongly recommended to press the "A(rel) reset" button to reset all A(rel) to be zero, before you press "Go" to begin the calculation. (You do not have to worry about such a problem in case of a new model with the same metallicity but different T_{eff} or log g.)

図 48 『spshow』メニュー画面

立ち上げると図 48 の画面が表示される。下に書かれている元素量 A[rel] の値を変えることで、理論スペクトルの吸収線の強弱を変えることができる。A[rel] が「0.00」の時の A[abs] とは、太陽の大気に含まれる元素量の値であり、『spshow』ではこの値が初期値となっている。調べたいスペクトルのテキストファイルや Fits ファイル、特定の波長範囲の理論スペクトルを選択、そして各パラメータを入力し[Go]を押すことで、理論スペクトルと観測スペクトルが表示されたウィンドウが出てくる。今回は例として 61UMa (C4 585) の観測スペクトルを『spshow』で表示する。

(1) [stellar spectrum] に調べたい観測スペクトルのファイル名を入力する。(なおこのファイルは C ディレクトリに作成したフォルダに入れておく。この場合は、0A0 フォルダの中。) ファイル名だけ入力してエラーが出た場合は、図 34 の [5800, 5900] のように、波長範囲を選択する。

(2) [model atmosphere] と [micro turbulence] の場所には、61UMa の天体の恒星大気のパラメータを入力する。

[t05507g466x+000m0] とはそれぞれ、表面の有効温度が 5507、表面の重力加速度が 4.66 という意味である。本研究では、これらの値は SIMBAD の論文検索から天体ごとにパラメータを調べ、引用している

(3) [line date file] には『spshow』に元から入っている kgf ファイルで、目的の天体の波長に合ったものを選択する。ここでは「val5800.kgf」となっており、理論スペクトルは波長 5800 Å から波長 5900 Å ままでが表示される。

(4) 下の各種元素の左の A[rel] という値を変更すると、元素量を変えて表示することができる。しかし数値は対数値であり、右の値の何倍かで変更されることに注意。初期の [0.00] は太陽大気の数値である。

(5) [Go] を押すと、理論スペクトルと観測スペクトルが表示された画面になる。赤色の線が観測されたスペクトル、青色の線が『spshow』での理論スペクトルである。

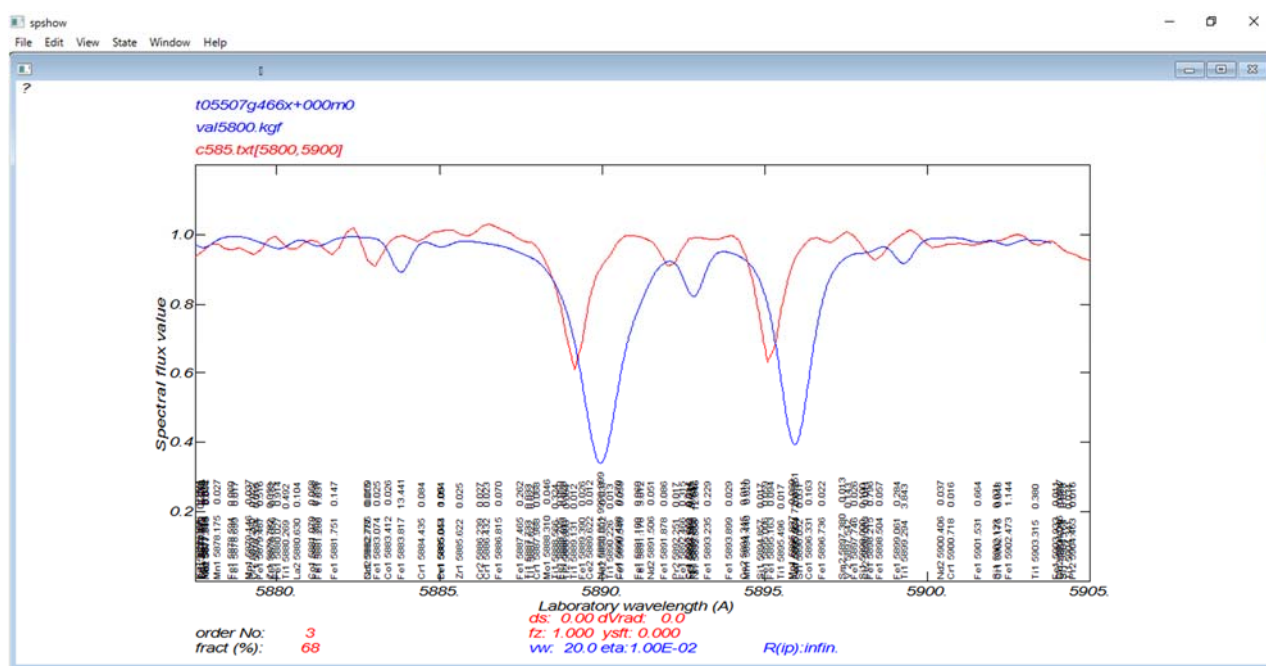


図 49 『spshow』で表示した C4 585 のスペクトル 画像では波長 5875 Å から 5905 Å が表示されている。

(6) [Shift+G] を押すことで先ほどのオプション画面に戻ることができる。

(7) [s] を押し、次に数字を入力して [Enter] を押すことで、赤色の観測スペクトルの左右のずれを変更することができる。

(8) [B] を押すことで自転速度を変更できる。数値を変えると青色の理論スペクトルの線の上下の縮みや幅が変わる。赤色の観測スペクトルの線の幅が広いのは、自転速度が違うか、スリットの幅が広いためである。

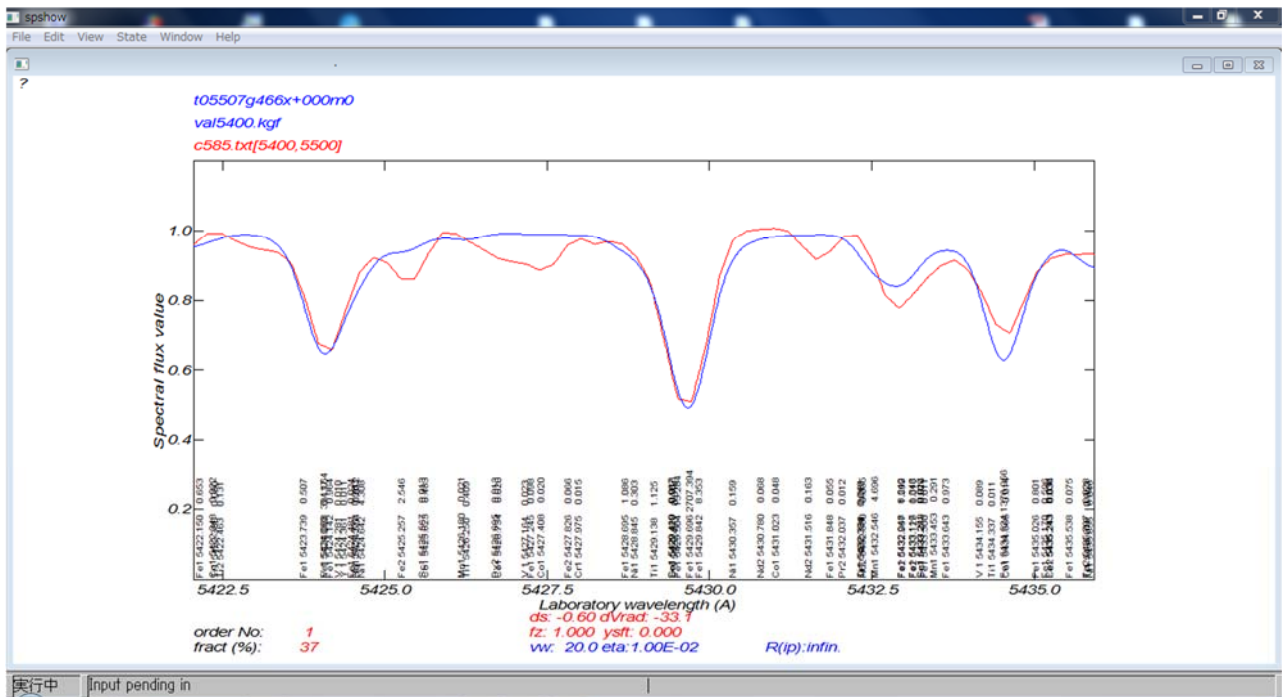


図 50 図 49 の観測スペクトルをずらし、理論スペクトルを合わせた図

元素量をメニュー画面で変更することで、青色の理論スペクトル線を伸ばしたり縮めたりすることができる。

青色の理論スペクトルと赤色の観測スペクトルを合わせることで、観測スペクトルの吸収線がどの元素なのか、元素量はいくらかといったことが分かる。

こうして『spshow』で、Gam Tau(C4 598)、Alf Cet(C4 593)、HR4474(C4 1407)、61UMa(C4 585)、HD 35155(C4 574)、Z Psc(C4 560)のスペクトルデータをそれぞれ解析し、ほぼ同じ波長領域のスペクトル同士を『Sma4Win』で比較したグラフを作成した。結果には、その比較したグラフに『spshow』で解析し、作成したグラフに、主な強く出ている吸収線の元素名を記載したものを載せている。

第4章 結果

今回、『Sma4Win』上で、規格化済み(nijiboshi で)のスペクトルを比較したグラフを作成した。

『spshow』でスペクトルを解析し、吸収線の元素名を得ている。元素名は、主な強く出ている吸収線にのみ着目し、本研究では手書きで記載している。

スペクトルの比較は、波長域が同じところにあるスペクトルを2つずつ比較した。なお、『Sma4Win』で作成した全ての比較グラフにおいて、片方のスペクトルを、比較がしやすいように上の方へずらして表示させている。

次ページの表に、今回使用したスペクトルの天体の情報や、『spshow』で読み取らせた天体の恒星大気のパラメータを載せる。

この恒星のパラメータ（表面温度、表面の重力加速度、マイクロ乱流速度）はSIMBADによる論文検索により、天体ごとに引用している。しかし、『spshow』では引用した数値そのままでは読み取ることができないものもあり（第5章の5.8に記載した）、その場合は引用した数値を参考にして、できるだけ近い数値で読み取らせている。

例：Gam Tau では、参考文献からの引用で表面温度 4865 (K)、表面の重力加速度 2.67 (log g) となっているが、『spshow』では、表面温度 4500 (K)、表面の重力加速度 2.50 (log g) で実行した。

なお、HD 35155 (C4 574) と Z Psc (C4 560) の比較グラフのみ、元素名を記載していない。これは、観測スペクトルの吸収線が非常に多く、理論スペクトルとどうしても合わせることができなかったため、比較したグラフのみを載せることにした。詳細は、第5章の5.3に記載している。

パラメータ表の後に、今回デジタル化した写真乾板のスペクトルの比較グラフを載せる。

表 8 各種 写真乾板の天体の情報と恒星大気のパラメータ

写真乾板	天体名	スペクトル型	等級	グレーティング (β)	比較線	波長($\text{\AA}$)	表面温度 ($T_{\text{eff}}[\text{K}]$)	表面の 重力加速度 (対数)	マイクロ 乱流速度	パラメータ参考
C4 598	Gam Tau	K0 III	3.9	348°	Fe	3763-4566	4865	2.67 (log g)	1.4 (km/s)	Carrera & Pancino 2011
C4 593	Alf Cet	M2 III	2.8	348°	Fe	3755-4573	3796	0.68 (log g)	1.36 (km/s)	Blanco-Cuaresma et al. 2014
C4 1407	HR 4474 (HD 101013)	K0p	6	357°	Ne	5327-6970	4600	1.8 (log g)	2.0 (km/s)	David L. Lambert et al. 1993
C4 585	61Uma (HD 101501)	G8V	5.3	357°	Fe Ne	5328-6987	5507	4.66 (log g dex)	0.84 (km/s)	Sunkyoung Park et al. 2013
C4 574	HD 35155	S4, 1	7	348°	Ne	7520-9128	3670	1.0 (log g $\pm$ 0.2)	1.30 ($\pm$ 0.25 km/s)	Boer & Cottrell 2009
C4 560	Z Psc	C7 3	7.4- 8.1	348°	Ne	7522-9135	2820	0 (log g)	1.8 (km/s)	JORISSEN A et al. 1992

マイクロ乱流速度は、スペクトル線の形成領域にある気体の微小な非加熱成分の速度として定義されている。(Cantiello, 2008)

第5章 考察や問題点

5.1 Gam Tau(C4 598)と Alf Cet(C4 593)の比較

『spshow』で、Gam Tau(C4 598)については、表面温度は4500(K)、表面の重力加速度は2.50(log g dex)、マイクロ乱流速度は1.30(km/s)で実行した。

Alf Cet(C4 593)については、表面温度は3500(K)、表面の重力加速度は1.0(log g dex)、マイクロ乱流速度は1.4(km/s)で実行した。

『Sma4Win』上で、比較がしやすいよう、Gam Tau(C4 598)の線を0.8ポイント上方向に上げて表示させている。波長域は約4000Åあたりから4500Åを50Å刻みで載せた。

- ・この辺りは紫外域なので、非常に吸収線が多い。そのため、ほかの比較グラフとも比較して分かるが、この二つのスペクトルの比較グラフに関してだけは、横軸の波長は50Å刻みで載せている。(残りの二つのグラフは100Å刻み)

- ・HR 4474(C4 1407)と61UMa(C4 585)の比較ではほとんどの吸収線がFeI(鉄)であったが、この二つの吸収線は比較的、TiI(チタン)、MnI(マンガン)、などの元素が多いところもあり、種類も豊富だった。

- ・波長約4226Åあたりに、CaI(カルシウム)の吸収線があり、両方のスペクトルで強く出ている。

- ・波長約4170ÅあたりにGaI(ガリウム)の吸収線がAlf Cet(C4 593)で見えたが、Gam Tau(C4 598)ではその線を確実に認識できなかったのも、信頼性は低いと思われる。

- ・比較的、二つのスペクトルは形や強度がほとんど同じように見えたが、少しだけAlf Cet(C4 593)の方が、線が強く出ているという印象だった。

さらに、波長約4226ÅあたりのCaIの吸収線は、Gam Tau(C4 598)の方は鋭い形をしていて、Alf Cet(C4 593)の方は横に広がった形をしていた。

5.2 HR 4474(C4 1407)と61UMa(C4 585)の比較

『spshow』で、HR 4474(C4 1407)については、表面温度は4500(K)、表面の重力加速度は1.00(log g dex)、マイクロ乱流速度は2.00(km/s)で実行した。

61UMa(C4 585)については、表面温度は5507(K)、表面の重力加速度は4.66(log g dex)、マイクロ乱流速度は0.84(km/s)で実行した。

『Sma4Win』上で、比較がしやすいよう、HR 4474(C4 1407)の線を0.6ポイント上方向に上げて表示させている。波長域は約5350Åあたりから6950Åを100Å刻みで載せた。

- ・この二つの波長域では、全体的にFeI(鉄)が多く、強く出ている吸収線において、他の元素は少しだけしかなかった。

- ・波長約5700Åから5840Åあたりの線は、比較してみると明らかにHR 4474(C4 1407)は形がでこぼこなのに比べ、61UMa(C4 585)は、ほぼ平らであることが分かった。しかし、理論スペクトルで見てもほとんど平らであったため、どちらかという、この波長域においては61UMa(C4 585)の方が線の強さや形は理論スペクトルに近く、HR 4474(C4 1407)の線がかなり強く出ている、という結果となった。

- ・波長約5890Åあたりに2つのNaI(ナトリウム)の吸収線があり、両者とも強く出ていた。これはナトリウムのD1、D2線である。HR 4474(C4 1407)の方が61UMa(C4 585)に比べて強く線が出ていた。

- ・波長約6140ÅあたりにBa2(バリウム)の吸収線があったが、HR 4474(C4 1407)の線の方がかなりよく出ている。

- ・波長約6526ÅあたりにLa2(ランタン)の吸収線がHR 4474(C4 1407)で見られたが、61UMa(C4 585)でその線を確実に認識できなかったのも、信頼性は低いと思われる。

・波長約 6562Åあたりに水素の吸収線があった。これは水素の H α 線である。両者とも強く出ているが、HR 4474 (C4 1407) の方がかなり強く出ている。

・61UMa (C4 585) の、波長約 5455Åあたりの FeI (鉄) の吸収線がものすごく強い。理論スペクトルでも合わせられないほどだった。おそらく、デジタル化によるデータのミスか、写真乾板の性質によるものと思われる。

・HR 4474 (C4 1407) の波長約 5682 Åあたりと、61UMa (C4 585) の波長約 5850Åあたりに輝線のような上に凸の線が見られた。しかし、もうひとつのスペクトルと比較しても、理論スペクトルと比較してもそのような線は見られなかった。

後にこの線は、写真乾板上で比較スペクトルの強度が本体のスペクトルに影響しているためだと分かった。詳細は 5.4 に記載した。

・波長約 6562Åあたりの吸収線で、HR 4474 (C4 1407) は LaI (ランタン) と元素を判別したが、61UMa (C4 585) では SiI (ケイ素) となった。調べると、61UMa (C4 585) の SiI (ケイ素) の元素量は 5.104 とわずかしがなく、線の見間違えか、低い元素量の元素を拾ってしまった可能性もある。どちらにしても LaI (ランタン) の吸収線は 61UMa (C4 585) で確実に認識できなかったため、信頼性は低いと思われる。

・波長約 6850Å以降は理論スペクトルの強度が弱く、観測スペクトルと合わせることができなかったため、元素名は記載せずに比較したグラフのみを載せている。

・両者を比較した結果、全体的に HR 4474 (C4 1407) の方が、線が強く出ているに比べ、61UMa (C4 585) の方はどちらかというと平らな場所があり、線の強さも理論スペクトルと比較しても線が弱かった。しかし、時々 61UMa (C4 585) の方が HR 4474 (C4 1407) よりも吸収線が強く出ている箇所などが何個あったため、データ全体が弱くなっている、というわけではなさそうである。

理論スペクトルと比較してみると、61UMa (C4 585) のように弱く出ている箇所もあり、HR 4474 (C4 1407) は線がかなり強く出ている、という結果となった。これは、温度による違いであると考えられる。温度の低い星のスペクトルは、吸収が強く、線も複雑になるからである。スペクトル型は、温度の高い順から O>B>A>F>G>K>M であり、HR4474 のスペクトル型は K0p で 61UMa のスペクトル型は G8V であるため、G 型より温度の低い K 型の HR4474 の線が、強く出ているのである。

5.3 HD 35155(C4 574)と Z Psc(C4 560)の比較

『Sma4Win』上で、比較がしやすいよう、HD 35155 (C4 574) の線を 1.5 ポイント上方向に上げて表示させている。波長域は約 7600Å あたりから 9000Å を 100Å 刻みで載せた。『spshow』で、HD 35155 (C4 574) については、表面温度は 3500 (K)、表面の重力加速度は 1.00 (log g dex)、マイクロ乱流速度は 1.30 (km/s) で実行し、Z Psc (C4 560) については、表面温度は 3500 (K)、表面の重力加速度は 1.00 (log g dex)、マイクロ乱流速度は 1.80 (km/s) で実行したのだが、『spshow』の理論スペクトルの線がとても小さく、(観測スペクトルの線が強すぎる?) 合わせることができなかった。(5.6 に記載した。)

そのため、HD 35155 (C4 574) と Z Psc (C4 560) の二つのスペクトルについては、元素名は記載せず、比較グラフのみを載せることにした。

5.4 61UMa(C4 585)の輝線？

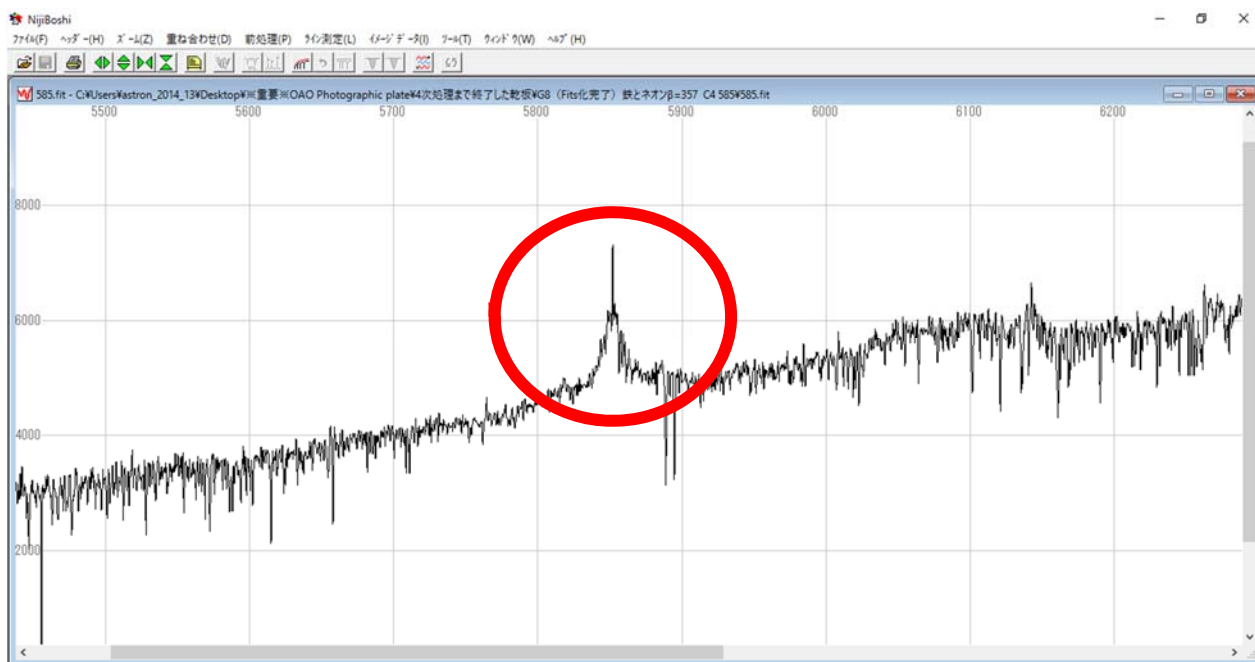


図 94 『nijiboshi』で表示した 61UMa

図 94 のように、61UMa(C4 585)を『nijiboshi』で表示すると、波長が約 5850 Åあたりに、強度が強い輝線と思われる部分があった。

しかし、spshow で 5850 Åあたりを見てみると、図 95 のように赤の観測スペクトル (61UMa) のデータは上に尖っているが、青色の理論スペクトルは尖っていないことが分かる。

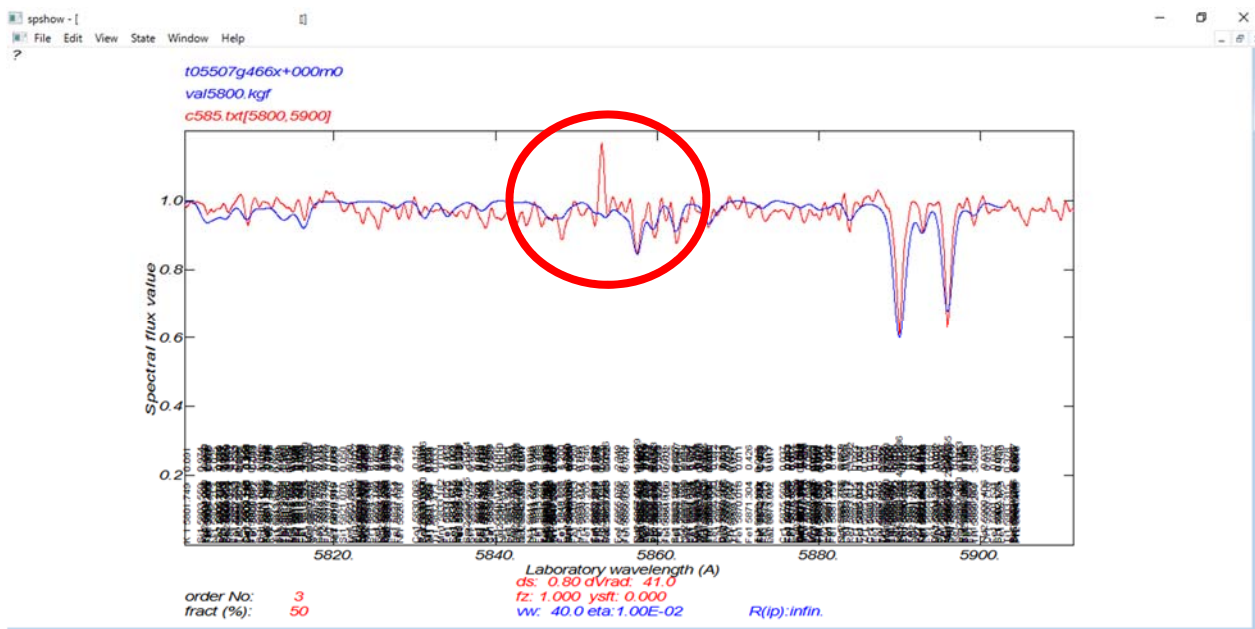


図 95 『spshow』で表示した 61UMa(C4 585) 波長 5800–5900

波長 5850 Åあたりにあるはずの輝線が理論スペクトルで出ていないということは、データ処理のミスか、写真乾板そのものに問題があると考えられる。

そこで写真乾板の画像を見てみると、

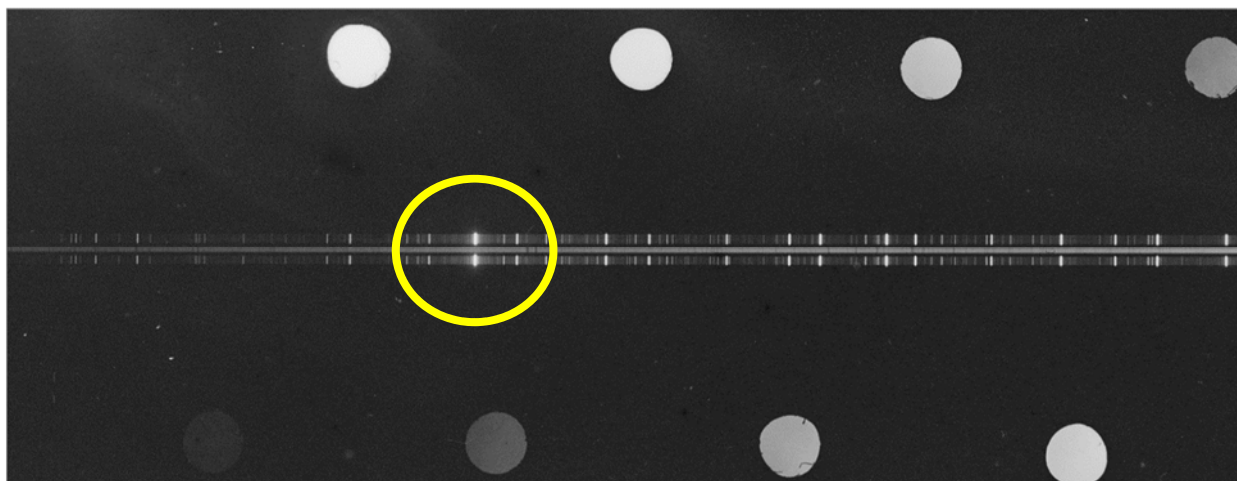


図 96 『マカリ』で表示した 61UMa(G4 585)の乾板画像

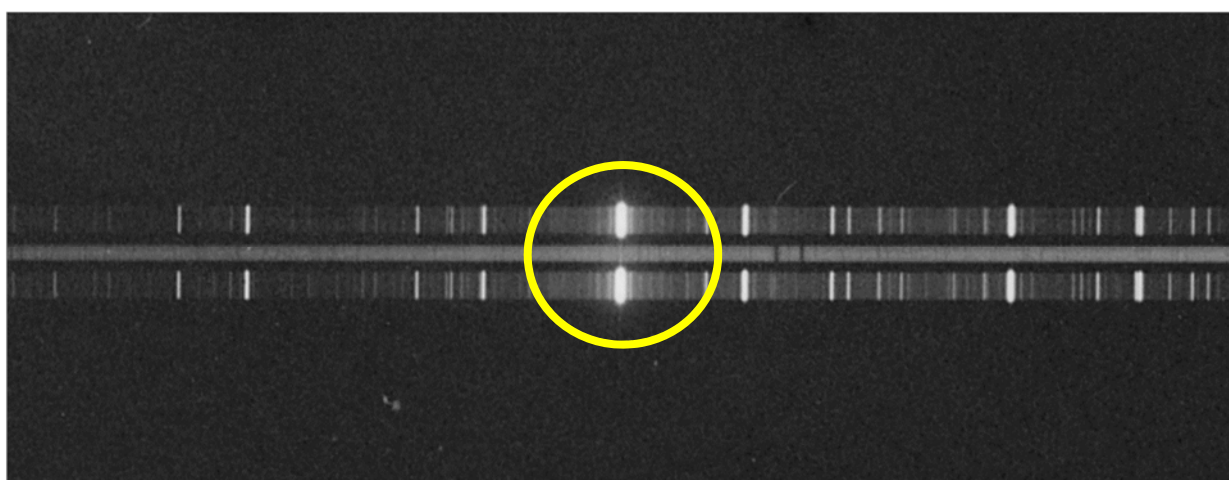


図 97 図 96 の拡大図

図 97 のように、比較スペクトルがかなり強く光っている場所を発見した。(この画像は、スキャンした画像を PC 上で白黒反転させたものなので、実際には黒くにじんでいることになる。)

比較スペクトルが強く光っているところの場所は、『nijiboshi』や『spshow』で輝線らしきものが出ていたところの波長 5850 Åあたりと一致している。

つまり、波長約 5800 Å あたりでの比較スペクトルの感度が強すぎて、本体のスペクトル部分にまで影響し、本体のスペクトルの強度も大きくなり、輝線のように見えたと推測される。

最初、これはデジタル化によるミスだと考えられたが、どうも写真乾板自体の問題のようである。乾板上で比較スペクトルがにじんでおり、スキャンの設定などを直してもこの強度は変えられないだろう。なので、この写真乾板のデータを用いる時は、こういった、にじみの部分だけは使わないようにするのが賢明である。

5.5 波長の同定

波長の同定の際に、比較スペクトル同士を比較するといった作業を行ったが、最初は全く合わせることができず、苦勞した。それは、 β （グレーティング角度）が違うことや、比較スペクトルの線が鉄やネオンで違うというだけで、比較スペクトルの形が大きく異なっているからだった。

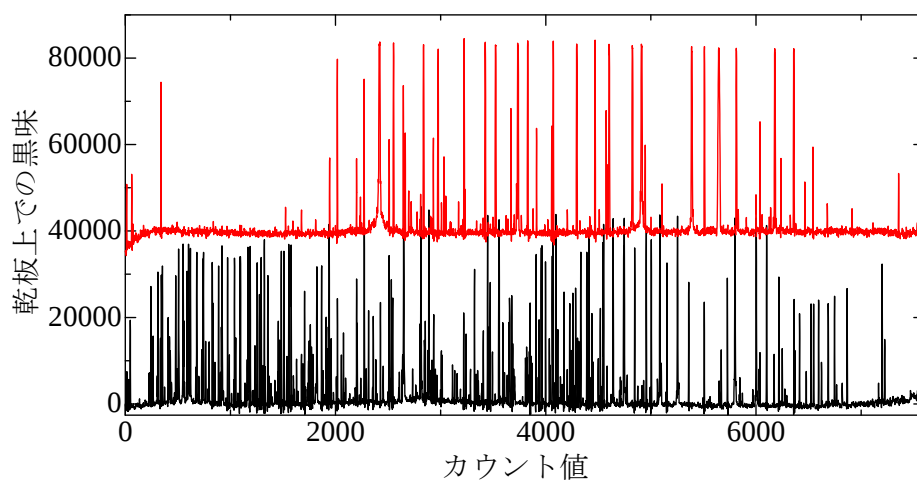


図 98『Sma4Win』での HR 4474(C4 1407)と Gam Tau(C4 598)の、比較スペクトルの比較

(上の赤線)HR 4474→スペクトル型は K0p で、ネオンの比較スペクトル線 β -357°

(下の黒線) Gam Tau→スペクトル型は K0IIIで、鉄の比較スペクトル線 β -348°

比較がしやすいよう、HR 4474 の線を上にずらして表示させている。

図 98 のように、HR4474 と Gam Tau は K 型の同じスペクトル型だが、比較スペクトル線の種類と β の値が違うため、比較スペクトルの様相は非常に異なっている。

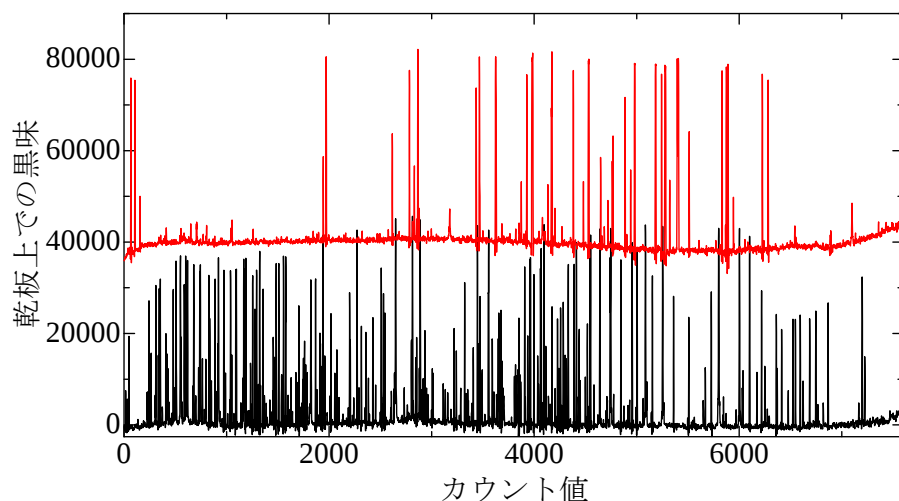


図 99 『Sma4Win』での Z Psc (C4 560)と Gam Tau(C4 598)の、比較スペクトルの比較

(上の赤線)Z Psc→スペクトル型は C7.3 で、ネオンの比較スペクトル線 β -348°

(下の黒線) Gam Tau→スペクトル型は K0IIIで、鉄の比較スペクトル線 β -348°

比較がしやすいよう、Z Psc の線を上にずらして表示させている。

図 99 のように、Z Psc と Gam Tau は、 β の値が同じにも関わらず、比較スペクトルの様相が大きく異なっており、波長の同定をすることが難しかった。このように、 β の値が同じでも、比較スペクトル線がネオンと鉄による違いでも比較スペクトルの様相が異なっているため、比較スペクトルを比較することも簡単ではないことが分かる。

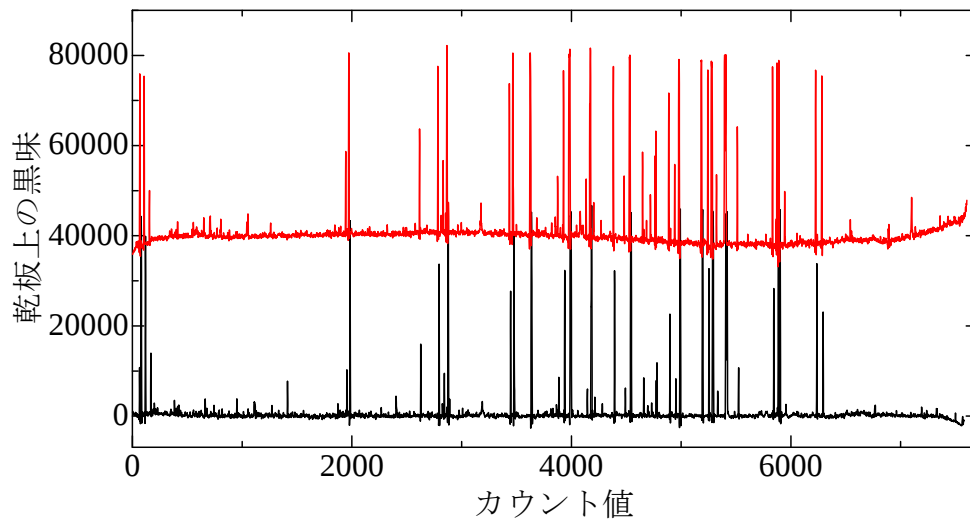


図 100 Sma4Win での Z Psc (C4 560) と HD 35155 (C4 574) の、比較スペクトルの比較

(上の赤線) Z Psc → スペクトル型は C7,3 で、ネオンの比較スペクトル線 $\beta=348^\circ$

(下の黒線) HD 35155 → スペクトル型は S4,1 で、ネオンの比較スペクトル線 $\beta=348^\circ$

比較がしやすいよう、Z Psc の線を上にずらして表示させている。

そこで、図 100 のように β の値と、鉄やネオンといった比較スペクトル線を合わせることで、比較スペクトルの同定を行うことができた。

しかし、 β の値と鉄やネオンが一致しているものが限られており、波長の同定作業にも時間がかかるため、デジタル化した 313 枚の多くを研究に回す、ということができなかった。

5.6 Z Psc (C4 560)と HD 35155(C4 574)のスペクトル

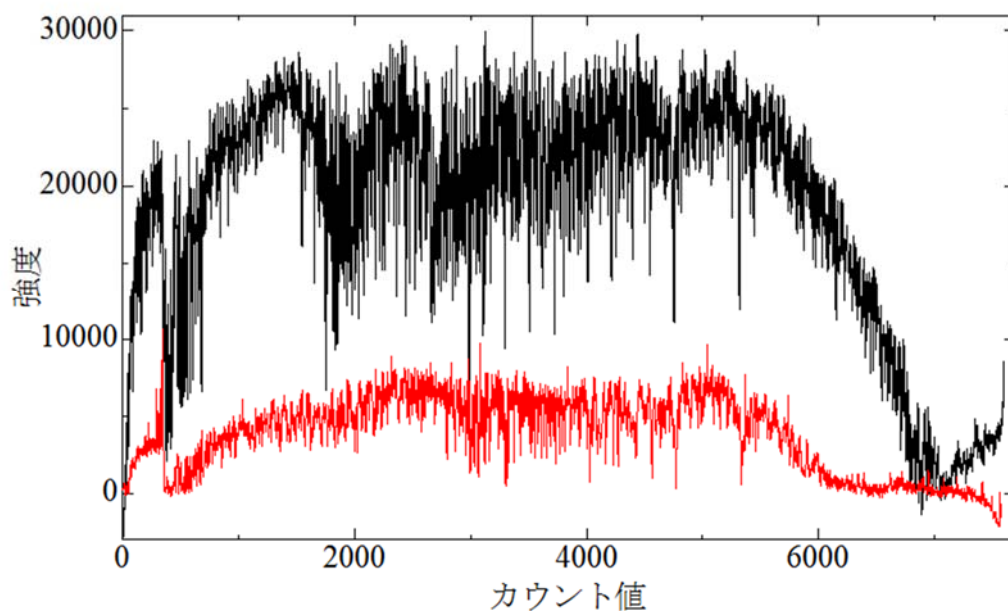


図 101 『Sma4Win』上での Z Psc (上の黒線)と HD 35155(下の赤線)のスペクトルの比較

Z Psc と HD 35155 のスペクトルは、波長が同じ領域であるのにも関わらず、かなり様相が違って見えたため、比較グラフを作るとき、合わせることに苦労した。図 101 のように、『Sma4Win』上で見ると、Z Psc の方の強度がかなり強いことが伺える。

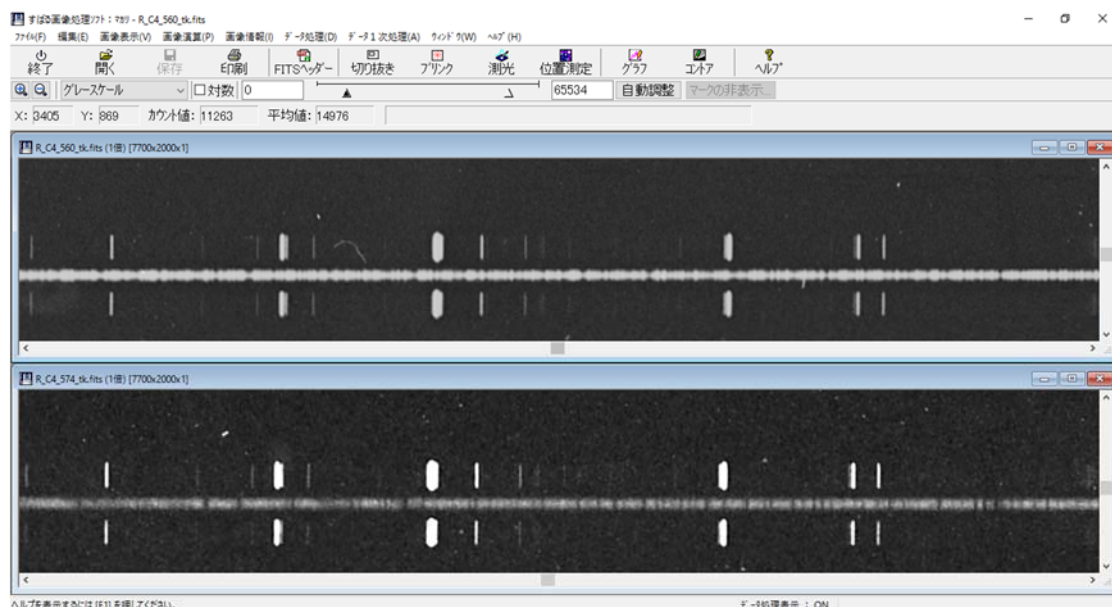


図 102 『マカリ』上での Z Psc (上)と HD 35155(下)の比較

図 102 のように写真乾板上で見ても、Z Psc の方が全体的に光の強度が強いように見える。このスペクトルの強度の差は写真乾板そのものから来ていると推測される。

さらに、温度も調べてみると、Z Psc (C4 560) の方は 2820[K] で、HD 35155 (C4 574) の方は 3670[K] だったため、温度の違いによる影響でこのように様相が違っている、と考えられる。

5.7 『spshow』での HD 35155(C4 574)のスペクトル

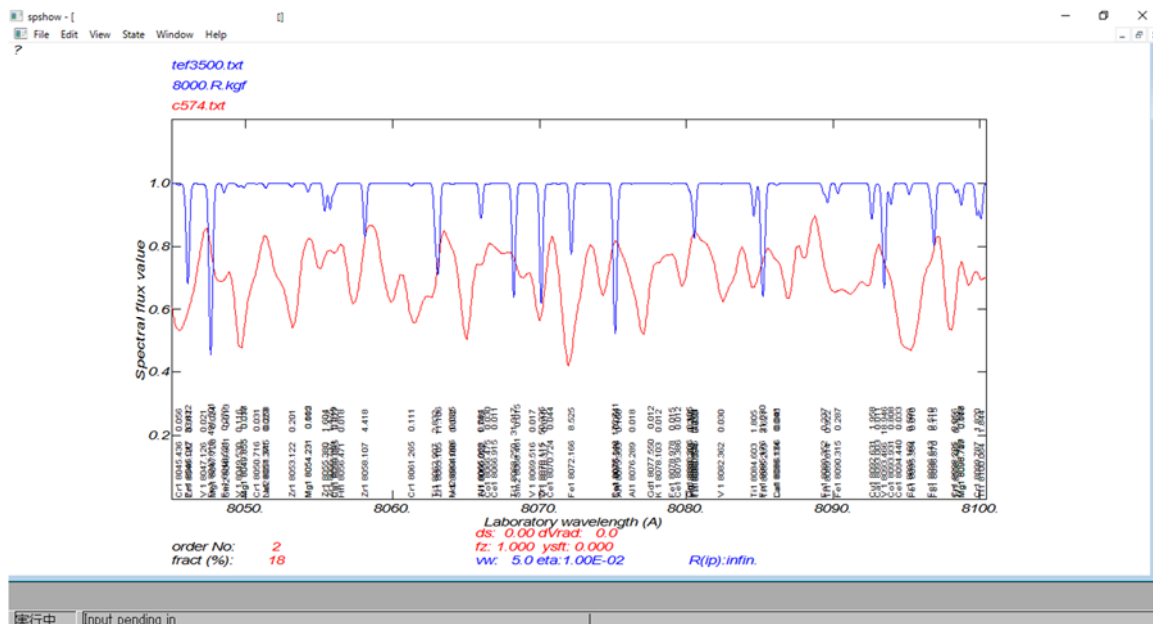


図 103 『spshow』での HD 35155(C4 574)のスペクトル

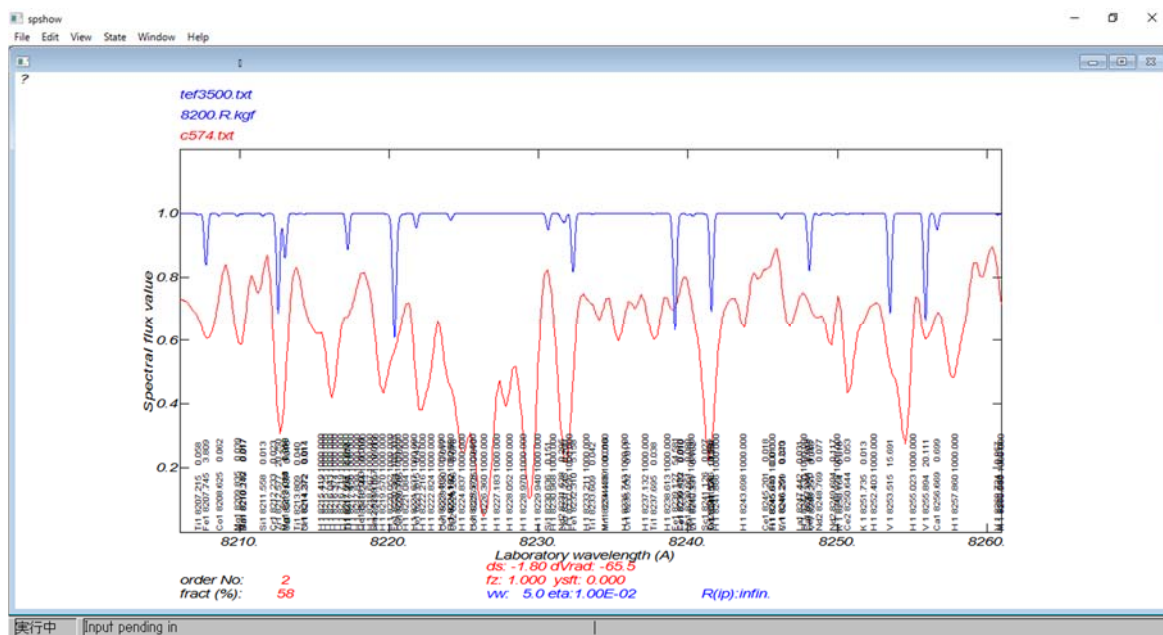


図 104 『spshow』での HD 35155(C4 574)のスペクトル
理論スペクトルの H1(水素)の吸収線がおかしい

図 104 のように波長 8200 Å の理論スペクトルを表示させると、大量の H1(水素)の線が表示された。元素量も 1000.000 となっており、理論スペクトルの線を見ても該当する箇所はないため、理論スペクトルのデータがおかしいのではないと思われる。

・波長 7800 Å のルビジウム の線

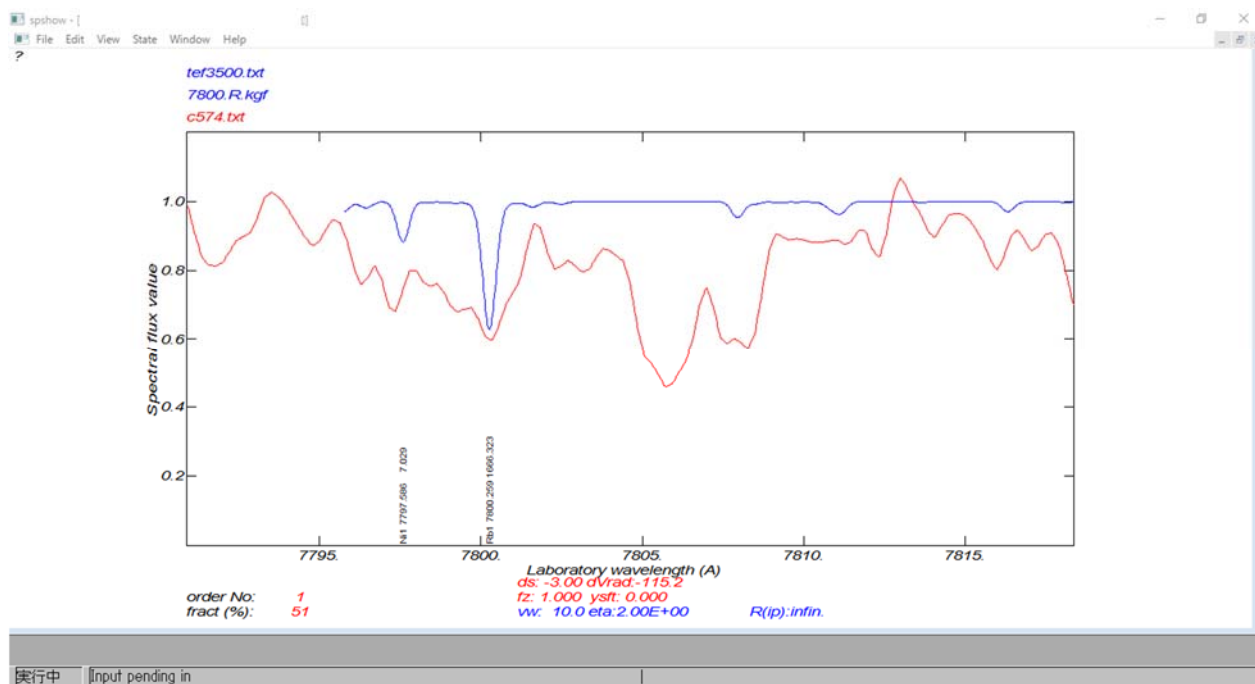


図 105 『spshow』での HD 35155(C4 574)のスペクトル ルビジウム の線？

全体を合わせることはできなかったが、観測スペクトルを 3.0 ほど左側へ動かし、ルビジウムの吸収線と観測スペクトルを無理やり合わせることを試みた(図 105)。論文「ABUNDANCES OF POST-IRON-PEAK ELEMENTS IN HD 35155: A SYMBIOTIC STAR OF SPECTRAL TYPE S」(Andrew D. Vanture et al. 2003) のデータには、図 106 のように HD 35155 の 7800 Å あたりにルビジウムの吸収線が見られる。

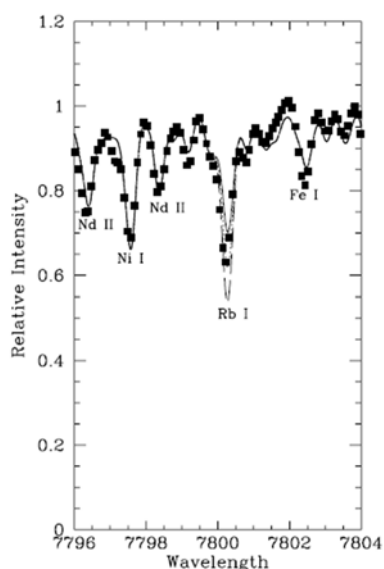


図 106 HD 35155 にルビジウムの吸収線(D.Vanture et al., 2003)

しかし、観測スペクトルと論文のスペクトルを比較しても線が同じだとは到底思えず、このルビジウムの吸収線に観測スペクトルの線を合わせても、他の吸収線を合わせることはできなかった。

以上の理由から、この二つのスペクトルに関してだけは、『spshow』での解析を中断し、比較グラフのみを載せることにした。

5.8 『spshow』での恒星大気のパラメータ

『spshow』で、`t0AAAAgAAx+000m0` のモデル大気のパラメータを入れる場所で、A の文字の場所に表面温度と表面の重力加速度を入力すれば自動で目的のパラメータにあったテキストファイルを作ってくれる仕組みなのだが、どうやら『spshow』では表面温度が 5000 以下になるとエラーになり、自動で作成してくれないようである。そこで、『spshow』に元から入っている大気モデルのテキストデータから、目的の表面温度と重力加速度が書かれている箇所を見つけ、それをコピーして新しいテキストファイルを自分で作る必要があった。

そして、その新しく作ったテキストファイルの名前を「t0AAAAgAAAx+000m0」の場所に入力すれば、目的のパラメータで読み取ってくれる。

```

am10k2.txt - メモ帳
ファイル(F) 編集(E) 書式(O) 表示(V) ヘルプ(H)
BEGIN ITERATION 15 COMPLETED
TEFF 3500 GRAVITY 1.00000 DE
TITLE SDSC GRID [ 1.0] VTURB 2.0 KM/S L/H 1.25
OPACITY IFOP 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0
CONVECTION ON 1.25 TURBULENCE OFF 0.00 0.00 0.00 0.00
ABUNDANCE SCALE 0.10000 ABUNDANCE CHANGE 1 0.91100 2 0.08900
ABUNDANCE CHANGE 3 -10.88 4 -10.89 5 -9.44 6 -3.48 7 -3.99 8 -3.11
ABUNDANCE CHANGE 9 -7.48 10 -3.95 11 -5.71 12 -4.46 13 -5.57 14 -4.49
ABUNDANCE CHANGE 15 -6.59 16 -4.83 17 -6.54 18 -5.48 19 -6.82 20 -5.68
ABUNDANCE CHANGE 21 -8.94 22 -7.05 23 -8.04 24 -6.37 25 -6.65 26 -4.37
ABUNDANCE CHANGE 27 -7.12 28 -5.79 29 -7.83 30 -7.44 31 -9.16 32 -8.63
ABUNDANCE CHANGE 33 -9.67 34 -8.69 35 -9.41 36 -8.81 37 -9.44 38 -9.14
ABUNDANCE CHANGE 39 -9.80 40 -9.54 41 -10.62 42 -10.12 43 -20.00 44 -10.20
ABUNDANCE CHANGE 45 -10.92 46 -10.35 47 -11.10 48 -10.18 49 -10.58 50 -10.04
ABUNDANCE CHANGE 51 -11.04 52 -9.80 53 -10.53 54 -9.81 55 -10.92 56 -9.91
ABUNDANCE CHANGE 57 -10.82 58 -10.49 59 -11.33 60 -10.54 61 -20.00 62 -11.04
ABUNDANCE CHANGE 63 -11.53 64 -10.92 65 -11.94 66 -10.94 67 -11.78 68 -11.11
ABUNDANCE CHANGE 69 -12.04 70 -10.96 71 -11.28 72 -11.16 73 -11.91 74 -10.93
ABUNDANCE CHANGE 75 -11.77 76 -10.59 77 -10.69 78 -10.24 79 -11.03 80 -10.95
ABUNDANCE CHANGE 81 -11.14 82 -10.19 83 -11.33 84 -20.00 85 -20.00 86 -20.00
ABUNDANCE CHANGE 87 -20.00 88 -20.00 89 -20.00 90 -11.92 91 -20.00 92 -12.51
ABUNDANCE CHANGE 93 -20.00 94 -20.00 95 -20.00 96 -20.00 97 -20.00 98 -20.00
ABUNDANCE CHANGE 99 -20.00
READ DECK6 64 RHOX,T,P,XNE,ABROSS,ACCRAD,VTURB
7.17537957E-01 1383.0 7.175E+00 1.347E+05 1.754E-06 3.923E-04 2.000E+05
8.29142186E-01 2396.6 8.292E+00 1.541E+07 4.066E-06 2.388E-04 2.000E+05
9.71067390E-01 2414.1 9.711E+00 1.816E+07 4.324E-06 2.044E-04 2.000E+05
1.14714572E+00 2431.7 1.147E+01 2.156E+07 4.616E-06 1.815E-04 2.000E+05
1.36601883E+00 2448.8 1.366E+01 2.575E+07 4.945E-06 1.658E-04 2.000E+05
1.63817619E+00 2466.4 1.638E+01 3.096E+07 5.326E-06 1.542E-04 2.000E+05
1.97394071E+00 2484.8 1.974E+01 3.742E+07 5.766E-06 1.453E-04 2.000E+05
2.38678679E+00 2504.0 2.387E+01 4.543E+07 6.276E-06 1.383E-04 2.000E+05
2.89145353E+00 2522.9 2.891E+01 5.519E+07 6.852E-06 1.313E-04 2.000E+05
3.50758940E+00 2540.3 3.507E+01 6.697E+07 7.491E-06 1.242E-04 2.000E+05
4.25779134E+00 2557.7 4.258E+01 8.129E+07 8.221E-06 1.179E-04 2.000E+05

```

図 107 『spshow』に入っている大気モデルのデータ
TEFF は表面温度の値、GRAVITY は重力加速度を示している。

しかし問題点があり、表面温度は 3500 より下のデータは入っておらず、表面温度は 250 刻み、表面の重力加速度は 0.5 刻みのデータしか入っていない。そのため、参考文献からパラメータを引用したが、いくつかの天体については、パラメータは参考として値を変えて引用している。

例：表面温度が 2820 (K) の場合は 3500 (K) で、表面温度が 4600 (K) の場合は 4500 (K) で実行した。

第6章 まとめ

今回使用した分光写真乾板は、50 年前に撮られたということもあり、欠けている乾板や、比較スペクトル線の種類、グレーティングの本数や角度 β の値などの乾板情報が記載されていない乾板もあった。

中には 61UMa の写真乾板のように、比較スペクトルがにじんでおり、スペクトルの強度分布で輝線のように見えてしまっているものもあり、乾板自体の性質でスキャンでも修正することが難しいものもあった。

しかし、写真乾板の中には正しく観測されているところもあり、61UMa (C4 585) は、輝線と見られる線を除けば、『spshow』の理論スペクトルと比較してもほぼ一致していることが分かる。

さらに、二つのスペクトルを比較してみても、線の強度は低い温度の方が強く出ており、ナトリウムや水素の吸収線もはっきりと出ていることが分かった。

今回のデジタル化はおおむね成功であるといえる。市販のスキャナーでこれほどのデータを得られたということが大きく、非常に安価に手軽に写真乾板をデジタル化することができるであろう。

さらに今回使用した岡山天体物理観測所にある分光写真乾板の利用価値は十分にあることも分かった。

この時期の写真乾板は低温度星の観測が盛んだった(2010 国立天文台)とあるように、特に低温度星の写真乾板は非常に多く眠っているはずだ。

さらに、この年代のこれだけまとまったデータというのは貴重であるため、時代変化における研究には非常に役に立つであろう。

今回の研究では、波長の同定や、『spshow』での理論スペクトルとの線の比較など、デジタル化に関して、非常に苦労した点や、問題点が多かったように思える。

写真乾板自体のにじみ等によるデータの問題であれば仕方がないが、データ処理で失敗して問題点が出てきたのであれば、非常に悔やまれる。

今回デジタル化（画像処理まで）行ったのは 313 枚であるが、この数は C4 の写真乾板のみで約 6000 枚もあることを考えると、全体的に見ても非常に少ない枚数である。アーカイブ化するとなると、きちんとした、まとまったデータが必要になってくる。しかし、今回筆者が経験したように、画像処理までの 313 枚、そして『spshow』に至るまでの 6 枚の乾板の作業（主に波長付け）でも、相当な時間をかけてしまっているため、この方法で何千枚の写真乾板のデジタル化をするのは、かなり苦労するものと思われる。これだけ時間がかかってしまったのは、作業のほとんどが手動で行っていたため、非常に効率が悪かったことがあげられる。波長の同定の自動化などは難しいかもしれないが、一部の作業をコンピュータによる自動化にすれば、作業を効率的に行うことができ、デジタル化できる枚数も増え、さらにはヒューマンエラーも防ぐことができるであろう。今後のデジタル化は、自動化できるところは自動化を望みたいところである。

参考文献

- R. Carrera and E. Pancino, 2011, " Chemical abundance analysis of the open clusters Berkeley 32, NGC 752, Hyades, and Praesepe" , A&A, 535, A30
- S. Blanco-Cuaresma, C. Soubiran, P. Jofré, and U. Heiter, 2014, " The Gaia FGK benchmark stars. High resolution spectral library" , A&A, 566, A98
- David L. Lambert, Verne V. Smith, and James Heath, 1993, " Lithium in the Barium Stars" , Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 105: 568-573
- Sunkyung Park, Wonseok Kang, Jeong-Eun Lee, and Sang-Gak Lee, 2013, " WILSON-BAPPU EFFECT: EXTENDED TO SURFACE GRAVITY" , AJ, 146:73.
- E. C. Wylie-de Boer and P. L. Cottrell, 2009, " ELEMENT ENHANCEMENTS ALONG THE ENTIRE ASYMPTOTIC GIANT BRANCH PHASE" , The Astrophysical Journal, 692:522-530
- JORISSEN A.; SMITH V.V.; LAMBERT D.L., 1992, " Fluorine in red giant stars : evidence for nucleosynthesis. " , A&A, 261, 164-187
- 前原英夫、渡辺悦二、泉浦秀行、柳澤顕史、浦口史寛、田実晃人、森 淳 編集、
2001、「岡山天体物理観測所 40 周年記念誌」
- 沖田喜一、泉浦秀行、柳澤顕史、岩田生、小矢野久、坂本彰弘、戸田博之 編集、
2010、「岡山天体物理観測所 50 周年記念誌」
- 大沢清輝、1984、「星の色」
- 福江純、沢武文 編集、2014、「超・宇宙を解く一現代天文学演習」
- 国立天文台 岡山天体物理観測所 Web ページ <http://www.oao.nao.ac.jp/>

付録

付録 1 スキャンした写真乾板 C4 515～C4 628

C4-	天体名	等級	スペクトル型	有効露 出 min	grating	β	乾板	日付
515	10 Aql	5.9	A4p	106	150	no	103a-F	1962-09-01
516	Gam Equ	4.8	A7p	215	150	no	103a-O	1962-09-01
517	Bet Ari	2.72	A5 V	78	150	no	103a-F	1962-09-01
518	The Per	4.22	F7 V			no	FL-O	1962-09-01
519	Ups Sgr	4.58	B2Vpe+A2IaShell		1200	350	103a-O	1962-09-02
520	Ups Sgr	4.58	B2Vpe+A2IaShell		1200	359	103a-D	1962-09-02
521-1	Eps Tau	3.6	K0 III	57	1200	350	103a-O	1962-09-05
521-2	HR 774	5.9	G8pBa3	87	1200	343	FL-0	1962-09-09
522	HR 774	5.9	G8pBa3	70	1200	349	FL-0	1962-09-09
523	HR 1233	6.4	F2 V	25	1200	350	103a-O	1962-09-27
524	54 Psc	5.9	K0 V	120	1200	357	103a-F	1962-09-30
525	54 Psc	5.9	K0 V	120	1200	341	103a-D	1962-09-30
526	HR 8832	5.6	K3 V	106	1200	341	103a-D	1962-10-01
527	Eps Eri	3.9	K2 Vk	7	1200	341	103a-D	1962-10-01
528	Zet Cap	3.9	G8IIp+DA2.2	52	1200	348	103a-O	1962-10-05
529	HR 8832	5.6	K3 V	105	1200	348	103a-O	1962-10-05
530	HR 8832	5.6	K3 V	50	1200	357	103a-F	1962-10-05
531	HR 774	5.9	G8pBa3	141	1200	341	103a-D	1962-10-06
532	V444 Cyg	8	WN5+O6II-V	90	600	10	103a-F	1962-10-15
533	V444 Cyg	8	WN5+O6II-V	90	600	10	103a-F	1962-10-15
534	Chi Peg	4.94	M2 III	12	600	4	103a-O	1962-10-15
535	Chi Peg	4.94	M2 III	30	600	0	103a-F	1962-10-15
536	Chi Peg	4.94	M2 III	25	600	4	103a-O	1962-10-15
537	Alp Cet	2.82	M2 III	10	600	4	103a-O	1962-10-15
538	Alp Cet	2.82	M2 III	15	600	4	103a-O	1962-10-15
539	V444 Cyg	8	WN5+O6II-V	120	600	3	103a-F	1962-10-16
540	Ross 730	10.7	M2 V	160	600	no	103a-O	1962-10-16
541	Alp Cet	2.82	M2 III	30	600	0	103a-F	1962-10-16
542	Alp Cet	2.82	M2 III	50	600	0	103a-F	1962-10-16
543	76 Gem	5.4	M0 III	30	600	4	103a-O	1962-10-16
544	76 Gem	5.4	M0 III	65	600	0	103a-F	1962-10-16
545	Ross 730	10.7	M2 V	300	600	0	103a-F	1962-10-17
546	Chi Peg	4.94	M2 III	50	600	0	103a-F	1962-10-17

547	Chi Peg	4.94	M2 III	15	600	4	103a-O	1962-10-17
548	Chi Peg	4.94	M2 III	60	600	0	103a-F	1962-10-17
549	76 Gem	5.4	M0 III	20	600	4	103a-O	1962-10-17
550	76 Gem	5.4	M0 III	80	600	0	103a-F	1962-10-17
551	Pi ⁴ Ori		B2 IIIa	10	600	5	103a-O	1962-10-17
552	The Gem	3.64	A3 III	50	1200	348	103a-O	1962-10-18
553	The Gem	3.64	A3 III	50	1200	344	103a-O	1962-10-18
554	Lam Gem	3.65	A3 V	25	1200	344	103a-O	1962-10-18
555	Lam Gem	3.65	A3 V	20	1200	348	103a-O	1962-10-18
556	WZ Cas	7.7	C9-1	180	1200	348	IN+	1962-11-10
557	Y Tau	6.9-8.9	C7-4	180	1200	348	IN+	1962-11-10
558	RV Mon	7.0-8.2	C5-4	175	1200	348	IN+	1962-11-10
559	RS Cyg	7.5-8.7	C8-2	150	1200	348	IN+	1962-11-11
560	Z Psc	7.4-8.1	C7-3	150	1200	348	IN+	1962-11-11
561	ST Cam	7.8-8.3	C6-4	150	1200	348	IN+	1962-11-11
562	HD 52432	7.5	C4-4	150	1200	348	IN+	1962-11-11
563	HR 2967	5.8	M3 S	60	1200	348	IN+	1962-11-11
564	AX Cyg	7.4-7.9	C7-4	120	1200	348	IN+	1962-11-12
565	RX Peg	7.7-8.6	C5-5	120	1200	348	IN+	1962-11-12
566	U Cam	6.0-9.0	C6-4	90	1200	348	IN+	1962-11-12
567	RT Ori	7.5-8.5	Nb	120	1200	348	IN+	1962-11-12
568	RY Mon	7.7-9.1	C6-5	112	1200	348	IZ+	1962-11-12
569	HD 52432	7.5	C6-5	80	1200	348	IN+	1962-11-12
570	SU And	7.9-8.5	C5-6	120	1200	348	IN+	1962-11-13
571	Z Psc	7.4-8.1	C7-3	87	1200	348	IN+	1962-11-13
572	Bet And	2.4	M0 III	120	1200	342	IN+	1962-11-16
573	Bet And	2.4	M1 III	15	1200	348	IN+	1962-11-16
574	HD 35155	7	S4-1	120	1200	348	IN+	1962-11-16
575	TU Gem	7.4-8.3	C5-3	66	1200	348	IN+	1962-11-16
576	Del Cap	3	Am	30	1200	350	103a-O	1962-11-18
577	Kap Peg	4.3	F5 IV	40	1200	356	103a-F	1962-11-23
578	HR 1242	5.1	F0 II	80	1200	0	103a-D	1962-11-23
579	63 Tau	5.7	Am	130	1200	352	IN+	1962-11-24
580	HR 1242	5.1	F0 II	80	1200	349	IN+	1962-11-24
581	HR 774	5.9	G8pBa3	60	1200	348	103a-O	1962-12-18
582	HR 774	5.9	G8pBa3	90	1200	342	103a-D	1962-12-18

583	HR 2392	6.4	G9.5III:Ba3	97	1200	348	103a-O	1962-12-18
584	61UMa	5.3	G8 V	60	1200	341	103a-D	1962-12-18
585	61UMa	5.3	G8 V	20	1200	357	103a-F	1962-12-18
586	HR 774	5.9	G8pBa3	132	1200	348	103a-O	1962-12-19
587	HR 774	5.9	G8pBa3	211	1200	342	103a-D	1962-12-19
588	Bet UMi	2.2	K4 III	3	1200	341	103a-D	1962-12-19
589	Bet UMi	2.2	K4 III	5	1200	348	103a-O	1962-12-19
590	Rho Boo	3.8	K3 III	20	1200	348	103a-O	1962-12-19
591	Rho Boo	3.8	K3 III	15	1200	341	103a-D	1962-12-19
592	Alp Cet	2.8	M2 III	10	1200	341	103a-D	1962-12-20
593	Alp Cet	2.8	M2 III	10	1200	348	103a-O	1962-12-20
594	HR 774	5.9	G8pBa3	90	1200	357	103a-F	1962-12-20
595	HR 774	5.9	G8pBa3	90	1200	342	103a-D	1962-12-20
596	HR 774	5.9	G8pBa3	145	1200	349	103a-O	1962-12-20
597	HR 8832	5.6	K3V	60	1200	357	103a-F	1962-12-21
598	Gam Tau	3.9	K0 III	25	1200	348	103a-O	1962-12-21
599	Gam Tau	3.9	K0 III	15	1200	341	103a-D	1962-12-21
600	56 Ori	5	K2 II	40	1200	341	103a-D	1962-12-21
601	HR 8832	5.6	K3 V	60	1200	341	103a-D	1962-12-22
602	Eta Cas	3.6	G0 V	12	1200	341	103a-D	1962-12-22
603	Eta Cas	3.6	G0 V	15	1200	348	103a-O	1962-12-22
604	HR 483	4.9	G2 V	45	1200	348	103a-O	1962-12-22
605	Rho Gem	4.2	F0 V	4	1200	344	103a-O	1962-12-23
606	Rho Gem	4.16	F0 V	18	1200	344	103a-O	1962-12-23
607	The Leo	3.41	A2 V	2	1200	350	103a-O	1962-12-23
608	HD 30353	7.7	A5 Iap	180	1200	341	103a-D	1962-12-24
609	The Leo	3.41	A2 V	6	1200	341	103a-D	1962-12-24
610	The Leo	3.41	A2 V	6	1200	357	103a-F	1962-12-24
611	HR 4816	6.3	A0pSrCrEu	29	1200	357	103a-F	1962-12-24
612	HR 4816	6.3	A0pSrCrEu	40	1200	341	103a-D	1962-12-24
613	HD 30353	7.7	A5 Iap	113	1200	350	103a-O	1962-12-25
614	HD 30353	7.7	A5 Iap	140	1200	0	103a-D	1962-12-25
615	The Leo	3.41	A2 V	6	1200	344.5	103a-O	1962-12-25
616	Nu Per	3.93	F5 II	8	1200	344	103a-O	1962-12-26
617	Nu Per	3.93	F5 II	6	1200	350	103a-O	1962-12-26
618	Nu Per	3.93	F5 II	6	1200	0	103a-D	1962-12-26

619	HR 4816	6.3	A0pSrCrEu	85	1200	357	103a-F	1962-12-27
620	HD 25878	7.8	F8I	58	1200	0	103a-D	1962-12-28
621	HD 25878	7.8	F8I	100	1200	345	103a-O	1962-12-28
622	HD 25878	7.8	F8I	28	1200	350	103a-O	1962-12-28
623	SS Vir	7.2-9.0	Np;C6-3	180	1200	348	IN+	1963-01-17
624	Y CVn	4.8-6.0	N3,C5-4	30	1200	348	IN+	1963-01-17
625	π^3 Ori	3.3	F6 V	10	1200	342	FL-F	1963-01-26
626	63 Tau	5.7	Am	42	1200	342	FL-F	1963-01-26
627	63 Tau	5.7	Am	100	1200	340	FL-F	1963-01-27
628	63 Tau	5.7	Am	230	1200	357	FL-F	1963-01-30

付録2 スキャンした乾板 C4 1316～C4 1415

C4-	天体名	等級	スペクトル型	有効露出 min	grating	β	乾板	日付
1316	HD 111133	6.39	A4p	225	1200	352	103a-O	1965-12-31
1317	HD 220825	4.94	A2p	10	1200	348	103a-O	1966-01-01
1318	HD 11187	7.08	A0p	60	1200	348	103a-O	1966-01-01
1319	HD 12446	4.3	Ap	8	1200	348	103a-O	1966-01-01
1320	HD 30353	7.7	H-def	275	1200	356	103a-E	1966-01-01
1321	HD 49976	6.24	A0p	42	1200	348	103a-O	1966-01-01
1322	HD 68351	5.59	A0p	50	1200	348	103a-O	1966-01-01
1323	HD 75333	5.19	B9	15	1200	348	103a-O	1966-01-01
1324	HD 74521	5.58	A0p	20	1200	348	103a-O	1966-01-01
1325	HD 120198	5.53	A2p	20	1200	348	103a-O	1966-01-01
1326	HD 120198	5.53	A2p	60	1200	352	103a-O	1966-01-01
1327	HD 129174	4.94	B9p	30	1200	352	103a-O	1966-01-01
1328	HD 220825	4.94	A2p	15	1200	348	103a-O	1966-01-02
1329	HD 12446	4.3	Ap	8	1200	348	103a-O	1966-01-02
1330	HD 11187	7.08	A0p	200	1200	352	103a-O	1966-01-02
1331	HD 34719	6.81	A0p	50	1200	348	103a-O	1966-01-02
1332	HD 49976	6.24	A0p	135	1200	352	103a-O	1966-01-02
1333	HD 68351	5.59	A0p	50	1200	352	103a-O	1966-01-02
1334	HD 77350	5.45	B9p	55	1200	352	103a-O	1966-01-02
1335	HD 108945	5.39	A2p	50	1200	352	103a-O	1966-01-02
1336	HD 108945	5.39	A2p	15	1200	348	103a-O	1966-01-02

1337	HD 118022	4.93	A2p	30	1200	352	103a-O	1966-01-02
1338	HD 118022	4.93	A2p	10	1200	348	103a-O	1966-01-02
1339	HD 143807	4.91	A0p	15	1200	348	103a-O	1966-01-02
1340	HD 143807	4.91	A0p	35	1200	352	103a-O	1966-01-02
1341	HD 221568	7.6	Ap	90	1200	348	103a-O	1966-01-04
1342	HD 30353	7.7	Apec	200	1200	356	103a-E	1966-01-04
1343	HR 4369	6	Ap	30	1200	348	103a-O	1966-01-04
1344	HR 5355	5.7	Ap	35	1200	348	103a-O	1966-01-04
1345	HD 25354	7.9	A0p	195	1200	348	103a-O	1966-01-14
1346	HD 27309	5.32	A0p	40	1200	352	103a-O	1966-01-14
1347	HD 27309	5.32	A0p	10	1200	348	103a-O	1966-01-14
1348	HD 38104	5.52	A0p	15	1200	348	103a-O	1966-01-14
1349	HD 38104	5.52	A0p	90	1200	352	103a-O	1966-01-14
1350	HD 71866	6.66	A0p	50	1200	348	103a-O	1966-01-14
1351	HD 15089	4.59	A5p	30	1200	352	103a-O	1966-01-15
1352	HD 15089	4.59	A5p	10	1200	348	103a-O	1966-01-15
1353	HD 30353	7.7	Ap	240	1200	356	103a-E	1966-01-15
1354	HD 49713	7.7	B9p	60	1200	348	103a-O	1966-01-15
1355	HD 42616	6.9	A2p	40	1200	348	103a-O	1966-01-15
1356	HD 90569	5.9	A0	15	1200	348	103a-O	1966-01-15
1357	HD 90569	5.9	A0	60	1200	352	103a-O	1966-01-15
1358	HD 133029	6.16	A0p	75	1200	352	103a-O	1966-01-15
1359	HD 221568	8	Ap		1200	344	103a-O	1966-01-22
1360	HD 221568	8	Ap		1200	344	103a-O	1966-01-22
1361	HD 30353	7.7	Ap		1200	356	103a-E	1966-01-22
1361'	HD 30353	7.7	Ap		1200	356	103a-E	1966-01-23
1362	HR 234	6.1	Ap	20	1200	348	103a-O	1966-01-26
1363	HD 88230	8.8	dM0	274	1200	349	I-N+	1966-01-28
1364	HR 774	5.9	K0p	317	1200	349	I-N+	1966-01-29
1365	HR4474 (HD101013)	6	K1p	80	1200	356	103a-F	1966-01-29
1366	HR 774	5.9	K0p	210	1200	349	I-N+	1966-01-30
1367	HD 88230	6.8	dM0	210	1200	349	I-N+	1966-01-30
1368	HR 4474 (HD 101013)	6	K1p	180	1200	349	I-N+	1966-01-30
1369	HR 234	6.1	Ap	25	1200	350	103a-O	1966-02-01
1370	R CMa	5.1	F1 V	30	1200	349	103a-O+	1966-02-02

1371	R CMa	5.1	F1 V	60	1200	349	103a-O+	1966-02-02
1372	R CMa	5.1	F1 V	30	1200	343	103a-O+	1966-02-02
1373	R CMa	5.1	F1 V	30	1200	343	103a-O+	1966-02-02
1374	R CMa	5.1	F1 V	30	1200	349	103a-O+	1966-02-02
1375	R CMa	5.1	F1 V	20	1200	349	103a-O+	1966-02-02
1376	HD 88230	6.8	dM0	132	1200	349	I-N+	1966-02-02
1377	R CMa	5.1	F1 V	50	1200	343.5	103a-O+	1966-02-03
1378	Alp UMa	2	K0 III	100	1200	349	I-N+	1966-02-03
1379	Alp UMa	2	K0 III	30	1200	352	I-N+	1966-02-03
1380	Eps Vir	3	G9 III	50	1200	352	I-N+	1966-02-03
1381	Eps Vir	3	G9 III	60	1200	349	I-N+	1966-02-03
1382	Eps Vir	3	G9 III	60	1200	349	I-N+	1966-02-03
1383	R CMa	5.1	F1 V	75	1200	349	103a-O+	1966-02-04
1384	Alp UMa	2	K0 III	40	1200	349	I-N+	1966-02-04
1385	Alp UMa	2	K0 III	20	1200	352	I-N+	1966-02-04
1386	56 UMa	5.1	G8 II	242	1200	349	I-N+	1966-02-04
1387	R CMa	5.1	F1 V	17	1200	349	103a-O+	1966-02-05
1388	R CMa	5.1	F1 V	30	1200	349	103a-O	1966-02-05
1389	R CMa	5.1	F1 V	35	1200	349	103a-O+	1966-02-05
1390	R CMa	5.1	F1 V	28	1200	349	103a-O+	1966-02-05
1391	R CMa	5.1	F1 V	30	1200	344.5	103a-O+	1966-02-05
1392	Eps Vir	3	G9 III	40	1200	352	I-N+	1966-02-05
1393	R CMa	5.1	F1 V	35	1200	349	103a-O+	1966-02-07
1394	R CMa	5.1	F1 V	30	1200	349	103a-O+	1966-02-07
1395	R CMa	5.1	F1 V	25	1200	349	103a-O+	1966-02-07
1396	R CMa	5.1	F1 V	25		349	103a-O+	1966-02-07
1397	R CMa	5.1	F1 V	25		349	103a-O+	1966-02-07
1398	R CMa	5.1	F1 V	20		349	103a-O+	1966-02-07
1399	R CMa	5.1	F1 V	20		344.5	103a-O+	1966-02-07
1400	R CMa	5.1	F1 V	20	1200	349	103a-O+	1966-02-07
1401	R CMa	5.1	F1 V	10		349	103a-O+	1966-02-07
1402	R CMa	5.1	F1 V	15		344.5	103a-O+	1966-02-07
1403	R CMa	5.1	F1 V	15		349	103a-O+	1966-02-07
1404	R CMa	5.1	F1 V	15		349	103a-O+	1966-02-07
1405	R CMa	5.1	F1 V	23		349	103a-O+	1966-02-07
1406	HR 4474	6	K0p	225	1200	352	I-N+	1966-02-07

1407	HR 4474	6	K0p	80	1200	357	103a-F	1966-02-07
1408	Eps Vir	3	G9 III	20	1200	352	I-N+	1966-02-07
1409	R Gem	8	S3 9e	120	1200	349	I-N+	1966-04-05
1410	R Gem	8	S3 9e	100	1200	351	I-N+	1966-04-05
1411	HD 95735	7.5	M2 V	60	1200	349	I-N+	1966-04-05
1412	R Gem	8	S3 9e	200	1200	351	I-N+	1966-04-08
1413	R Gem	8	S3 9e	120	1200	351	I-N+	1966-04-10
1414	Lam BO+	4.3	A0	30	1200	349	I-N+	1966-06-24
1415	Lam BO+	4.3	A0	300	1200	349	I-N+	1966-06-28

付録 3 スキャンした分光写真乾板 C4 1636～C4 1743

C4-	天体名	等級	スペクトル型	有効露出 min	grating	β	乾板	日付
1636	RR Lyn	5.6-6.0	A5m	60	1200	356	103a-E+	1967-01-25
1637	WW Aur	5.7-6.4	A3m			no	IIa-O+	1967-01-26
1638	WW Aur	5.7-6.4	A3m	28	1200	348	IIa-O+	1967-01-26
1639	WW Aur	5.7-6.4	A3m	13	1200	348	IIa-O+	1967-01-26
1640	TU Mon	9.0-10.9	B5V	83	600	4	103a-O+	1967-01-26
1641	TU Mon	9.0-10.9	B5V	95	600	4	103a-O+	1967-01-26
1642	RR Lyn	5.6-6.0	A5m	60	1200	344	103a-O+	1967-01-26
1643	Iot Boo	4.75	A7V	14	1200	350	103a-O+	1967-01-26
1644	WW Aur	5.7-6.4	A3m	18	1200	348	103a-O+	1967-01-27
1645	TU Mon	9.0-10.9	B5V	200	600	4	103a-O+	1967-01-29
1646-A	RR Lyn	5.6-6.0	A5m	159	1200	348	103a-O+	1967-01-30
1646-B	Alp Lyr	0.1	A0 V	5	1200	348	103a-O+	1967-01-31
1647	RR Lyn	5.6-6.0	A5m	29	1200	348	103a-O+	1967-02-01
1648	RR Lyn	5.6-6.0	A5m	27	1200	348	103a-O+	1967-02-01
1649	RR Lyn	5.6-6.0	A5m	50	1200	348	103a-O	1967-02-01
1650	RR Lyn	5.6-6.0	A5m	60	1200	348	103a-O	1967-02-01
1651	RR Lyn	5.6-6.0	A5m	42	1200	348	103a-O+	1967-02-01
1652	RR Lyn	5.6-6.0	A5m	52	1200	348	103a-O+	1967-02-01
1653	RR Lyn	5.6-6.0	A5m	61	1200	348	103a-O+	1967-02-01
1654	RR Lyn	5.6-6.0	A5m	53	1200	344.5	103a-O+	1967-02-01
1655	RR Lyn	5.6-6.0	A5m	54	1200	348	103a-O+	1967-02-01
1656	RR Lyn	5.6-6.0	A5m	120	1200	344.5	103a-O	1967-02-01
1657	Pi.01 Ori	4.66	A		1200	349	I-N+	1967-02-03

1658	Alp CMa	-1.6	A1 V		1200	349	I-N	1967-02-03
1659	Alp Leo	1.3	B7 V		1200	no	I-N	1967-02-03
1660	Chi Boo	4.25	A2V		1200	no	I-N+	1967-02-03
1661	Bet Ari	2.7	A5 V			no	I-N+	1967-02-04
1662	The Hya	3.9	B9.5V		1200	349	I-N+	1967-02-04
1663	Bet Ari	2.7	A5 V		1200	349	I-N+	1967-02-05
1664	Pi.01 Ori	4.7	A3V		1200	349	I-N+	1967-02-05
1665	Alp CMa	-1.4	A1 V		1200	349	I-N	1967-02-05
1666	Alp Leo	1.3	B7 V		1200	349	I-N	1967-02-05
1667	Lam Boo	4.3	A3V		1200	349	I-N+	1967-02-05
1668	BD +26° 870	6	B	10	1200	349	103a-O+	1967-02-06
1669	BD +26° 870	6	B	2	1200	349	103a-O+	1967-02-06
1670	BD +26° 870	6	B	20	1200	349	103a-O+	1967-02-06
1671	The Hya	3.9	B9.5V		1200	349	I-N+	1967-02-06
1672	Lam Boo	4.3	A3V		1200	349	I-N+	1967-02-06
1673	Lam Boo	4.3	A3V		1200	349	I-N+	1967-02-06
1674	Gam UMi	3.1	A2		1200	349	I-N+	1967-02-06
1675	HD 30353	7.7	H-def	190	1200	356	103a-E	1967-02-19
1676	HR 1902 (BD+26 870)	5.7	B8	40	1200	356	103a-E	1967-02-19
1677	HR 1902	5.7	B8	18	1200	348	103a-O	1967-02-19
1678	Mu UMa	3	M0 III	20	150	353	Ila-O br	1967-02-25
1679	G Her	4.4-5.6	M6 III	120	150	353	Ila-O br	1967-02-25
1680	Alp Tau	0.8	K5 III	20	150	353	Ila-O br	1967-02-26
1681	R Leo	5.0-10.5	gM8	150	150	353	Ila-O br	1967-02-26
1682	R CrB	5.8-14.8	CF pep	170	150	353	Ila-O br	1967-02-26
1683	3C 273	12.85	no			no	103a-O+	1967-03-10
1684	HD 108228	7.6	A0			no	103a-O+	1967-03-12
1685	HD 108228	7.6	A0			no	103a-D	1967-03-12
1686	HD 89822	4.92	Ap			no	103a-F	1967-04-25
1687	HD 89822	4.92	Ap			no	103a-F	1967-04-25
1688	Ome Her	4.53	Ap	30	1200	352	103a-O	1967-04-25
1689	Ome Her	4.53	Ap	8	1200	348	103a-O	1967-04-25
1690	HD 151199	6.16	Ap	110	1200	352	103a-O	1967-04-25
1691	HD 89822	4.92	Ap			no	103a-O+	1967-04-26
1692	HD 89822	4.92	Ap			no	103a-O+	1967-04-26

1693	Chi Ser	5.26	A2p	20	1200	348	103a-O	1967-04-26
1694	HD 151199	6.16	Ap	60	1200	348	103a-O+	1967-04-26
1695	HD 108382	5.04	A4p	50	1200	352	103a-O+	1967-04-29
1696	HD 108382	5.04	A4p	12	1200	348	103a-O+	1967-04-29
1697	HD 108662	5.38	A0p	15	1200	348	103a-O+	1967-04-29
1698	HD 108662	5.38	A0p	95	1200	352	103a-O+	1967-04-29
1699	HD 152107	4.86	A2p	45	1200	352	103a-O	1967-04-29
1700	HD 152107	4.86	A2p	15	1200	348	103a-O	1967-04-29
1701	HD 181615	4.86	H-def	70	1200	356	103a-F	1967-04-29
1702	HD 181615	4.6	H-def	15	1200	348	103a-O	1967-04-29
1703	29 Cyg	4.89	A2p		1200	349	I-N+	1967-05-15
1704	Vega	0.1	A0 V	3	1200	349	I-N+	1967-05-16
1705	Vega	0.1	A0 V	3	1200	349	I-N+	1967-05-16
1706	29 Cyg	4.89	A2p		1200	349	I-N+	1967-05-16
1707	Vega	0.1	A0 V	3	1200	349	I-N	1967-05-16
1708	Vega	0.1	A0 V	3	1200	349	I-N	1967-05-16
1709	Chi Cep	4.4	B9		1200	349	I-N+	1967-05-17
1710	Chi Cep	4.4	B9		1200	349	I-N+	1967-05-17
1711	Del Cyg	3	A0	5	1200	349	I-N+	1967-05-18
1712	R Leo	5.0-10.5	gM8	80	150	353	Ila-O bk	1967-05-28
1713	Alp Boo	0.1	K2 IIIp	10	150	353	Ila-O	1967-05-29
1714	R Hya	4.0-10.0	gM7	220	150	353	Ila-O bk	1967-05-29
1715	Chi Cyg	3.3-14.2	S7,1	150	150	353	Ila-O bk	1967-05-29
1716	Alp Sco	0.9-1.8	M1 Ib	10	600	4	IM+	1967-05-29
1717	Chi Cyg	3.3-14.2	S7,1	100	600	4	IM+	1967-05-29
1718	HD 133029	6.16	A0p	20	1200	348	103a-O	1967-06-20
1719	HD 140728	5.48	A0p	5	1200	348	103a-O	1967-06-20
1720	HD 140728	5.48	A0p	40	1200	352	103a-O	1967-06-20
1721	HD 126515	7.01	A2p	90	1200	348	103a-O	1967-06-21
1722	Nu Sgr	4.58	H-def	30	1200	356	103a-F	1967-06-21
1723	HD 149822	6.29	A0p	30	1200	348	103a-O	1967-06-23
1724	HD 164258	6.29	A2p	60	1200	348	103a-O	1967-06-23
1725	HD 181615,6	4.58	H-def	50	1200	356	103a-F	1967-06-23
1726	Gam Aqr	3.84	A0V	120	1200	349	I-N+	1967-06-23
1727	HD 156074	7.6	C2,2	60	1800	353.5	Ila-O bk	1967-07-13
1728	DS Peg	6.1-7.0	C6,3	60	1800	353.5	Ila-O bk	1967-07-13

1729	19 Psc	5.3	C7,3	30	1800	353.5	Ila-O bk	1967-07-13
1730	19 Psc	5.3	C7,3	10	1800	353.5	Ila-O bk	1967-07-13
1731	V Aql	6.7-8.2	C5,4	2	1800	353.5	Ila-O bk	1967-07-14
1732	HD 182040	7.01	C1,2	60	1800	353.5	Ila-O bk	1967-07-14
1733	Nu Sgr	4.58	H-def	42	1200	356	103a-F	1967-07-14
1734	WZ Cas	7.7	C9,2	110	1800	353.5	Ila-O bk	1967-07-14
1735	Chi Cyg	3.3-13.3	S7,1	75	150	353	Ila-O bk	1967-07-15
1736	CH Cyg	6.6-7.8	M7	180	150	353	Ila-O bk	1967-07-15
1737	Nu Sgr	4.58	H-def	8	150	353	Ila-O bk	1967-07-15
1738	Nova Del	5	no	15	150	353	Ila-O bk	1967-07-15
1739	HD 216672	6.48	S5,1	90	150	353	Ila-O bk	1967-07-15
1740	RR Her	7.8-9.5	K5	180	1800	353.5	Ila-O bk	1967-07-16
1741	HD 180953	6.86	R8	60	1800	353.5	Ila-O bk	1967-07-16
1742	Nova Del	5	no	30	1800	355	Ila-O	1967-07-16
1743	Eps Cyg	2.6	K0 III	4	1800	353.5	Ila-O	1967-07-16