

修士論文

連続分光イメージャを用いた
地上観測による月面表層鉱物の広域分布調査

宮城教育大学大学院教育学研究科[修士課程]

教科教育専攻・理科教育専修

03084 齋藤正晴

論文要旨

月の火成活動で形成された二次地殻の物質とその分布を調査することは、溶岩のマグマの起原とマグマだまりを形成する上部マントル層の構造等、月表層付近の進化史を明らかにしていく上で重要である。月の岩石サンプル数・量は限られており、広域調査のためには、地上からの分光観測は有益な手段の一つである。特に、有色鉱物の含有量比は、月の玄武岩の分類の指標となり、これらは、可視・近赤外線波長領域に見られる吸収帯の形状に現れる[Pieters, et al., 1993]。そこで、月の表側の海の領域を対象とし、特に 1 μm 付近の吸収帯に着目した連続スペクトルが取得可能な分光イメージャーを開発した。

この分光イメージャーは、ロングスリット分光器と 2 次元 CCD を併用することにより、1 次元の空間情報と分光スペクトルデータを同時に撮像可能なシステムである。赤道儀の駆動部を恒星追尾にして、月の日周運動に合わせて 21 秒単位で自動撮像を行うことにより、空間方向と垂直方向に撮像位置をシフトさせる。隣接領域を連続撮像すれば、最終的に 2 次元平面の各地点における、連続スペクトルを得ることができ、2 次元平面と 1 次元連続スペクトルからなる 3 次元データを取得できる。撮像可能波長領域は、600 - 1600 nm、波長分解能は、可視光で 8 nm、近赤外線領域で 8 nm、月面での空間分解能は、可視領域で、9 km、近赤外線領域で 20 km である。近赤外線画像は画像の重ね合わせにより、SN 約 200 が期待できる。

月面分光イメージャーは、集光部、分光部、撮像部、位置確認用撮像部、駆動部から構成される。集光部は、ニュートン式天体望遠鏡と補正レンズからなり[高橋製作所製 MT-300, F5.5, 焦点距離 150 cm]、月面の反射光をスリットに集光し、分光部へ導く。分光部[ジェネシア製]は、集光部からの光を回折格子にて分散させ、ダイクロイックミラーで可視光領域[600 - 1000 nm]と近赤外線領域[1000 - 1600 nm]に分離し、各スペクトルを 2 台のカメラに結像させるシステムである。カメラには民生用の可視冷却 CCD カメラ[SBIG 社製, ST-7E, Si-CCD センサー]、ならびに、近赤外線ビデオカメラ[SU Inc, SU320-1.7RT-D, InGaAs-CCD センサー]を用いている。

撮像位置の確認は、位置確認撮像部の、分光部のスリット部上の鏡によって反射された光をは結像レンズ系を通り、位置確認撮像カメラ上にスリット部以外の月面像を結像する。この撮像カメラには、PC カメラ[Phillips co. ToUCam-Pro]を用いた。駆動部は、ドイツ式赤道儀[高橋製作所製, EM-500, Temma PC]である。この位置確認用撮像部と駆動部は、インターネット経由の遠隔制御が可能である。また、波長較正は、Ar, Kr, Hg 等の波長校正用ランプを利用する。

目次

論文要旨

1. 序論

1-1. はじめに

1-1-1. 月の二次地殻形成

1-1-2. 月岩石・鉱物のスペクトル特性

1-2. 研究目的

2. 連続分光イメージャ仕様

2-1. 連続分光イメージャ概要と設計仕様

2-2. 集光部・駆動部

2-3. 分光部・撮像部

2-3-1. 可視 CCD センサー ST-7E の仕様

2-3-2. 近赤外線カメラ SU320-1.7RT-D の仕様

2-3-3. 位置確認カメラ ToUcampro の仕様

2-3-4. ダイクロイックミラー仕様

2-4. 性能評価テスト

2-4-1. 結像性能評価テスト

2-4-2. 波長分解能評価

2-4-3. 検出器のピント位置調整

2-5. 月面連続分光撮像テスト

2-5-1. 取得画像

2-5-2. 地形による輝度パターンの比較

2-5-3. スペクトルへの変換

2-5-4. 空間方向のシフトについて

3. 撮像方法

3-1. フラットフィールドについて

3-1-1. ディフューザー検討

3-2. フードの設計

3-2-1. フード仕様素材の検討

3-2-2. フード評価

3-3. 波長較正について

3-3-1. 波長較正ランプ評価

3-3-2. 波長較正ランプの検討

3-4. 空間位置の対応について

4. 結果とまとめ

参考文献

謝辞

付録 近赤外線検出器操作マニュアル

序論

1-1. はじめに

1-1-1. 月の二次地殻形成

月面は初期地殻の形成後、主に大型クレーター形成による地殻構造変化と海の溶岩流出という二大表層進化を経ている。流出した溶岩は二次地殻と呼ばれ、そのほとんどが衝突盆地内部に分布している[Head, 1976]。

クレーター盆地構造は、

[1]中央部の上層物質の放出と下部物質の上昇

[2]発達した断層構造によるリング形成

で特徴づけられ、この地殻構造変化 - インパクトテクトニクスが地殻・上部マントルは、圧力・熱状態に影響を及ぼし、火成活動を誘引したと考えられる。

ほとんどの海は円形状で、月地殻が形成された直後、巨大天体が衝突し形成された盆地内に溶岩が流出して形成されたと考えられている。衝突の影響は月全面に及んだものと思われ、月高地の堆積物もこのような巨大な衝突クレーターの放出堆積物と考えられている。溶岩は鉄およびマグネシウムに富む粘性の低い玄武岩であるが、地域や噴出年代によりチタンの含有量の異なるいくつかの溶岩流が知られている。月の溶岩は非常に流動性に富み、その容積と流れの規模は非常に大きく、爆発性の火山地形を示さないという特徴がある。月の溶岩の流出形態とその堆積物は、地球上の玄武岩質溶岩流に類似している[武田, 1984]。

1-1-2. 月岩石・鉱物のスペクトル特性

月岩石主要構成鉱物であるかんらん石、単斜輝石、斜方輝石のような有色鉱物では、鉱物中に存在する Fe^{2+} が可視・近赤外領域の光を吸収することで、反射スペクトルに吸収帯が生じる。月岩石サンプル中の斜長石、かんらん石、単斜輝石、斜方輝石の反射スペクトルを示す[Figure 1-1]。

さらに、宇宙風化作用の程度・複数の鉱物含有量比・レゴリス粒子サイズにより反射スペクトルの吸収帯の中心波長や深さ、幅などが変化する[Pieters, 1993]。これを Figure 1-2 に示す。これらの要因と反射スペクトルの相関関係について、月岩石サンプルや隕石、様々な鉱物を用いた研究が行われており、定量的な扱いも可能となりつつある[Lucey et al., 1995; Blewett et al., 1997; Lucey et al., 1998; Lucey et al., 2000]。

1-2. 研究目的

本研究では、地上からの月面連続分光スペクトルの撮像によって月表側の岩石種マップを作成、これをインパクトテクトニクスの観点から分類し、地殻・上部マントルの成層構造とその進化を解明することと最終目的としている。

そのためには、溶岩流出に対するインパクトテクトニクスの関与、特に、火成活動が活発であった 30-40 億年前の地殻と上部マントルの成層構造[構成岩石種・深度・温度・圧力状態]、すなわち、二次地殻の物質調査を行うことが必要となる。我々は今回、二次地殻物質調査実現のため、地上観測装置の開発、観測技術の確立、データ解析手法の確立を含む、地上観測による可視・近赤外線領域の連続分光スペクトルのイメージング装置を開発した。

スペクトルを月表側全域でマッピングし、主要構成鉱物と風化度を決定し、二次地殻をはじめとする月表側の岩石種マップが作成できれば、流出場所と衝突地形との位置関係から二次地殻が起源とするマントル層の深さが推定できる。そこで、マグマソースの鉱物組成と深さを関連づけることにより、地殻・上部マントルの水平・垂直方向の二次元岩石分布構造が把握でき、これらが部分熔融するための条件から溶岩流出時の温度・圧力等の物理状態も推定できる可能性を秘めている。これらによって、過去に提唱されている月の上部マントル成層構造モデルに制限を加えることも可能である。月面探査機クレメンタインの画像調査では、巨大クレーター盆地内の溶岩流の FeO, TiO₂ 含有量と、クレーターのサイズとの相関も見いだされている[Takata and Hori, 2002]。狭帯域フィルターによる月面分光イメージングでは、FeO, TiO₂ 量の分布がクレメンタインのデータ解析[35km/画素 解像度: Lucey et al., 1998]と整合的な結果が取得され、さらに各海の溶岩組成の違いを明らかにされた[Matsumoto and Takata, 2002]。

現在のところ、探査機用の連続分光イメージングの機械開発は実施されていない。そこで、地上観測による月面連続分光撮像システムを開発した。溶岩を特徴づける斜方輝石・単斜輝石・かんらん石・斜長石は、0.6-1.5[μm]付近に特徴的な吸収帯が存在する。そこで、主要鉱物組成を詳細に決定するために、可視光領域・近赤外線領域を含めた連続分光スペクトルのイメージング装置 - 月面連続分光撮像装置 - を製作した。この月面連続分光イメージャーは、ロングスリット分光器と可視冷却 CCD カメラ[0.4-1.0[μm]]と近赤外線カメラ[0.9-1.8[μm]]の 2 次元 CCD を併用することにより、1 次元の空間情報と分光スペクトルデータを同時に撮像可能なシステムである。赤道儀の微駆動により、空間方向と垂直方向に撮像位置をシフトし、隣接領域を連続撮像すれば、最終的に 2 次元平面の各地点における連続スペクトルを得ることができ、2 次元平面と 1 次元連続スペクトルからなる 3 次元データを取得できる。

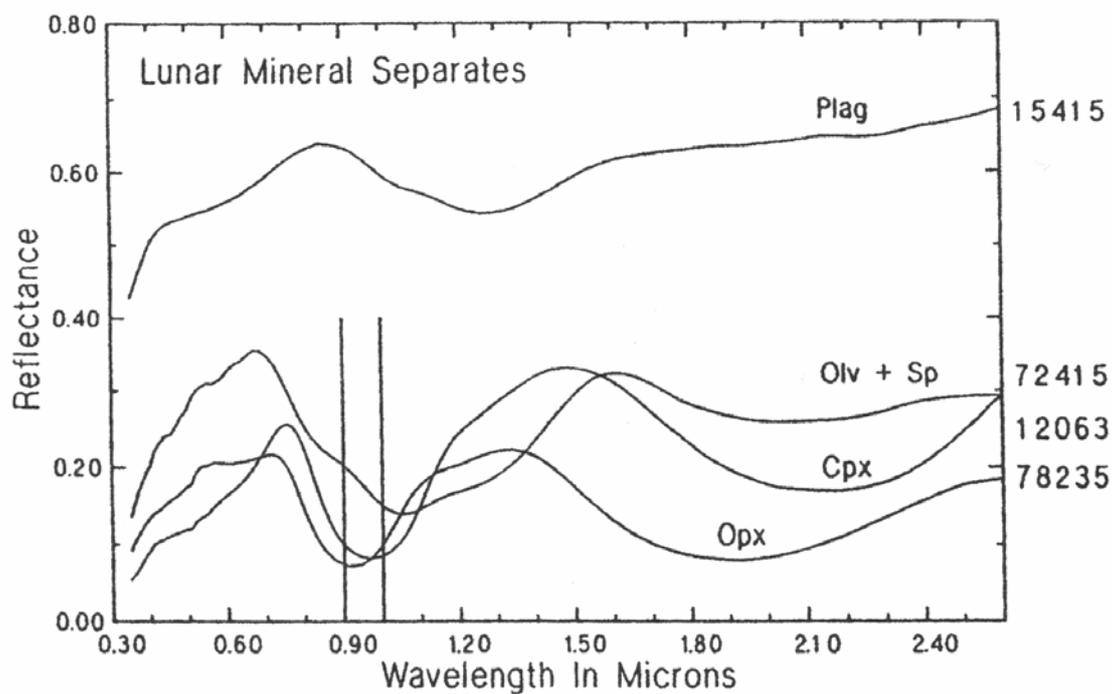
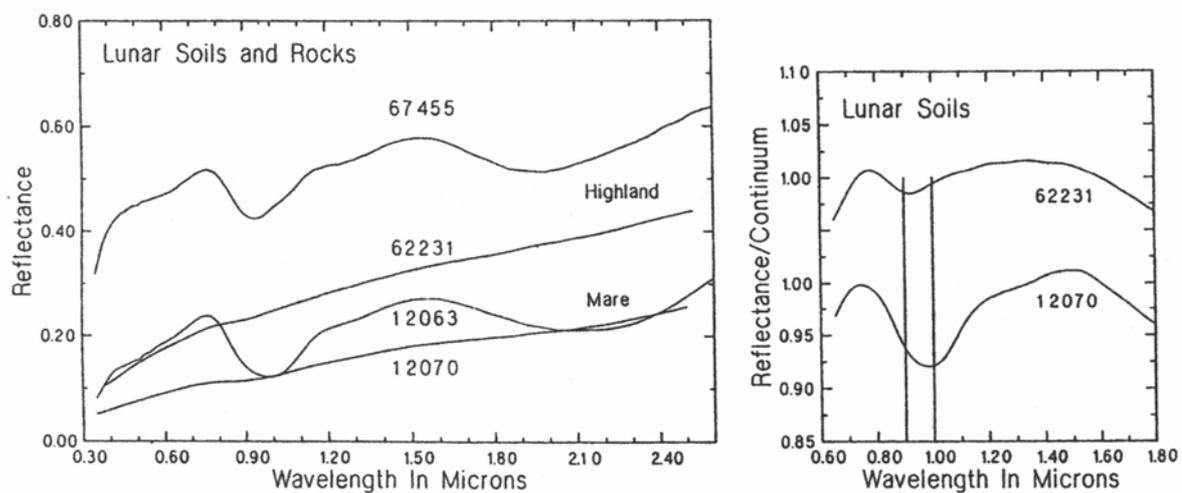


Figure 1-1 月岩石サンプルに含まれる鉱物の反射スペクトル．Plag=plagioclase[斜長石]；Olv+Sp=olivine with spinel[スピネルを含むかんらん石]；Cpx=clinopyroxene[単斜輝石]；Opx=orthopyroxene[斜方輝石]．[Pieters et al. , 1993]



[a]

Figure 1-2 [a] 月の岩石パウダーと土壌の反射スペクトル．

2. 月面連続分光イメージャ仕様

2-1. 月面連続分光イメージャ概要

月面連続分光イメージャは、可視冷却 CCD エリア検出器・近赤外線エリア検出器、分光器、天体望遠鏡を主要として、集光部・分光部・撮像部・位置確認用撮像部・駆動部の各部から構成されている。

集光部は、ニュートン式天体望遠鏡と補正レンズ(F5.5 補正,口径 300 mm,焦点距離 1500 mm,高橋製作所製 MT-300) からなり月面の反射光をスリットに集光し、分光部へ導く。

分光部(ジェネシア製)は、集光部からの光を回折格子にて分散させ、ダイクロイックミラーで可視光領域と近赤外線領域に分離し、各スペクトルを 2 台の検出器に結像させるシステムである。

本研究の分光撮像では、600-1800[nm]の波長領域のスペクトル取得を目的としているが、実際にこのような広範囲で高い感度を持つ検出器は少なく、非常に高価となってしまふ。そのため、撮像部の検出器には可視光領域撮像用検出器と近赤外線領域用検出器の 2 台を用いる。可視光領域には可視冷却 CCD カメラ(SBIG 社製,ST-7E,Si-CCD センサー)、近赤外線領域には近赤外線ビデオカメラ(SU Inc, SU320-1.7RT-D, InGaAs-CCD センサー)をそれぞれ用いることとした。

スペクトルの撮像だけでは月面のどこを分光撮像しているのかが分からない。そのため月面における撮像位置の確認を、位置確認撮像部で行う。分光部のスリット部に鏡を用いることにより、スリット部を通過せずに鏡に反射された光が結像レンズ系を通り、位置確認撮像カメラに月面画像を結像させる。これにより位置確認月面画像には、分光された位置以外の月面画像が表れる。この位置確認撮像カメラには、Web カメラ(Phillips co. ToUCam-Pro)を用い、安価で軽量のシステムを実現した。

駆動部には、ドイツ式赤道儀(高橋製作所製,EM-500, Temma PC)を用い、付属のハンドコントローラーや PC による微駆動が可能である。



Figure 2-1 月面連続分光イメージャ全容

2-2. 集光部・駆動部

集光部は、ニュートン式望遠鏡天体と補正レンズから構築される。ニュートン式望遠鏡天体望遠鏡天体には、S/N 比・架台の耐荷重などを考慮し、Takahashi MT-300V ニュートン反射望遠鏡を使用することとした。MT-300V の有効径は 300 mm、焦点距離は 1500 mm の F5.0 (F 値 = 焦点距離/口径) の光学系である。望遠鏡の口径・焦点距離は既に固定されているため、F 値は決定されてしまう。しかし、検出器上での波長分解能、空間分解能、また S/N を本研究の目的に合わせた適正值を得るため、補正レンズを装着し、F 値を変換することが必要である。本研究で目標とする波長分解能、空間分解能、S/N は、600-1600 nm の波長範囲において、波長分解能は NIR で 10 nm/pix、空間分解能は NIR で 10 km/pix、S/N は双方とも 100 以上となる。波長分解能は 1000 nm 付近における Fe^{2+} の吸収帯の様子を見るために必要な分解能であり、空間分解能は月の海の組成を調査するために必要な分解能である。

空間解像度に関してはスリット幅を、近赤外線エリアセンサにおいて 2 ピクセルに相当させる。これにより、近赤外線エリアセンサの空間解像度では、20 km/2 pix が目標となる。この分解能を実現するときの F 値を算出すると、F 値は 5.1 である。S/N に関しては近赤外線領域では画像の加算、両領域で画像をビニングすることで 100 以上を達成できる。これらの結果と結像性能を考慮し、補正後の F 値を F5.5 と決定した。

架台・駆動部には 2 軸モーター内蔵のドイツ式赤道儀 Takahashi EM-500 を使用する。耐荷重(同架重量)は 40 kg となっており、付属のハンドコントローラー・PC との接続による制御が可能である。

2-3. 分光部・撮像部

分光部・撮像部は、分光部・可視 CCD センサー・近赤外線エリアセンサ・位置確認撮像カメラから構成する。集光部からの光を回折格子にて分散させ、ダイクロイックミラーで可視光領域と近赤外線領域に分離し、各スペクトルを 2 台のカメラに結像させるシステムである。分光部スリット部上の鏡によって反射した月面像を、位置確認撮像カメラに結像し、撮像位置の確認を行う。

2-3-1. 回折格子の設計仕様

分光部の分散素子には回折格子を使用する。回折格子の溝本数によって波長の分散幅が変化する。本研究での目標波長分解能は近赤外線領域において 10 nm/pix と設定している。ここで、近赤外線エリア検出器のピクセルサイズを 40 μm と考え、波長分散は溝の本数は 200g/mm と決定した。

2-3-2. 可視 CCD センサー-ST-7E の仕様

600 nm-1000 nmの可視・近赤外線領域のスペクトル撮像，およびイメージングには，SBIG社製のSi-CCDカメラ，ST-7Eを用いる(Figure 2-5)．ST-7Eに搭載されているCCDチップはKAF-0401Eセンサ (Kodak社製) で，ピクセルサイズは $9\ \mu\text{m} \times 9\ \mu\text{m}$ ， 765×510 ピクセル(約40万画素)，チップサイズは $6.885\ \text{mm} \times 4.59\ \text{mm}$ となる．KAF-0401Eセンサは350-1050 nmの波長領域で感度を持つ．

露出時間は回転式シャッターで制御され，0.01 sec 刻みで 0.11-3600 sec までの露出が可能である．センサからの出力はA/Dコンバーターにより16 bit に変換され，輝度値は65536段階でパソコンに表示される．CCDセンサにはペルチエ冷却素子(Thermo Electric Cooler: TEC)が内蔵されており，冷却する反作用で発生する熱を外部に放出するため，カメラ背面には放熱ファンが取り付けられている．カメラとパソコンはパラレルケーブルで接続され，露出時間の設定やセンサの温度制御，及び撮像のコントロールは付属ソフトのCCDOPSを使用する．

(SBIG社製 ST7(E) 取扱説明書)

2-3-3. 近赤外線カメラ SU320-1.7RT-D の仕様

1000 nm-1600 nm の近赤外線領域のスペクトルイメージングには，InGaAs-CCD カメラ，SU320-1.7RT-D(SU Inc.社製)を用いる．SU320-1.7RT-D は 900-1700 nm で感度を持つSU320-1.7T1 センサを内蔵している．このセンサのピクセルサイズは $28\ \mu\text{m} \times 28\ \mu\text{m}$ で，総画素数は横 320×縦 240 ピクセル(76,800 ピクセル)で CCD チップを構成している．

このセンサでは隣り合うピクセル間に $12\ \mu\text{m}$ の間隔があり，中心距離は $40\ \mu\text{m}$ となっている．この隣り合うピクセルの中心距離が pitch と呼ぶ．受光量の検討を行う場合には，ピクセルサイズが有効となり，空間解像度の検討を行う場合は，pitch が有効サイズとなる．

このカメラでは露出時間を0.127-16.27 msecまでの8段階のチャンネルで決定されるため，露出時間の自由設定はできない．センサからの出力はA/Dコンバーターにより12 bitに変換され輝度値は4096 段階で表される．画像入力ボードとPCは，NI社製のIMAQ SCB-100 Shielded I/O Connector Block and IMAQ D100100 Cableで接続している．PCに取り込んだデータは，NI社製の計測制御ソフトウェア LabVIEW およびIMAQ Visionを用いて作成したプログラム[平尾，2001]によりデータの取得を行う．センサは291 K(18)に一定に自動制御される仕組みになっている．これにより外部に特別な冷却装置の装着・撮像時の冷却作業が不必要であるが，これ以上の冷却ができずノイズが大きくなる．

(SENSORS UNLIMITED Inc., SU320-1.7RT InGaAs Area Camera Operation Manual)

2-3-4. 位置確認撮像部

分光器スリットの位置確認撮像カメラ（スリットビューアー）として、Web カメラを使用する。Web カメラは一般的にインターネットを介した通信手段として利用されている。本研究における利点は、CCD 素子を使用しており高感度が期待できる、高感度検出器が安価で入手できる、望遠鏡架台の耐荷重を考慮しなくてよいほど非常に軽量であることがあげられる。

ToUCam Proに搭載されているCCDチップは、ICX098BQ(SONY製)で、有効画素数が659 × 494ピクセル、5.6 × 5.6 μmのピクセルサイズである。ただし、ToUCam Proの実際の仕様有効画素数は640 × 480ピクセル(307,200ピクセル)である。

集光部ユニット(MT-300 + 補正レンズ $f=1650$, F5.5)による取得スリットビューアー画像の仕様画角は $7'28'' \times 5'36''$ (0.7"/pixel)、月面分解能の仕様としては 865×649 km (1.35 km/pixel) となるが、VIS カメラの仕様分解能とスリットビューアー画像の分解能を同等にするため、ToUCam Pro を含む光学系ユニットを装着し、F 値を 3.3 に補正した。このとき、ToUCam Pro の画面上に表れるスリット長は、CCD 長辺方向の $2/3$ 程度でとなり、位置確認は可能である。

2-3-5. ダイクロイックミラー仕様

ダイクロイックミラーは多層膜干渉フィルターの一種で、入射してきた光をある特定の波長で反射する成分と透過する成分に分けることができる反射鏡である。本研究では、可視光を反射させ VIS カメラで検出、赤外光を透過させ NIR カメラで検出する。

ダイクロイックミラーの切り換え波長幅(Transition Zone)と切り換え中心波長は、両検出器の S/N を考慮し、Transition Zone 950-1050 nm と決定した。



Figure 2-1. F 值補正光学系

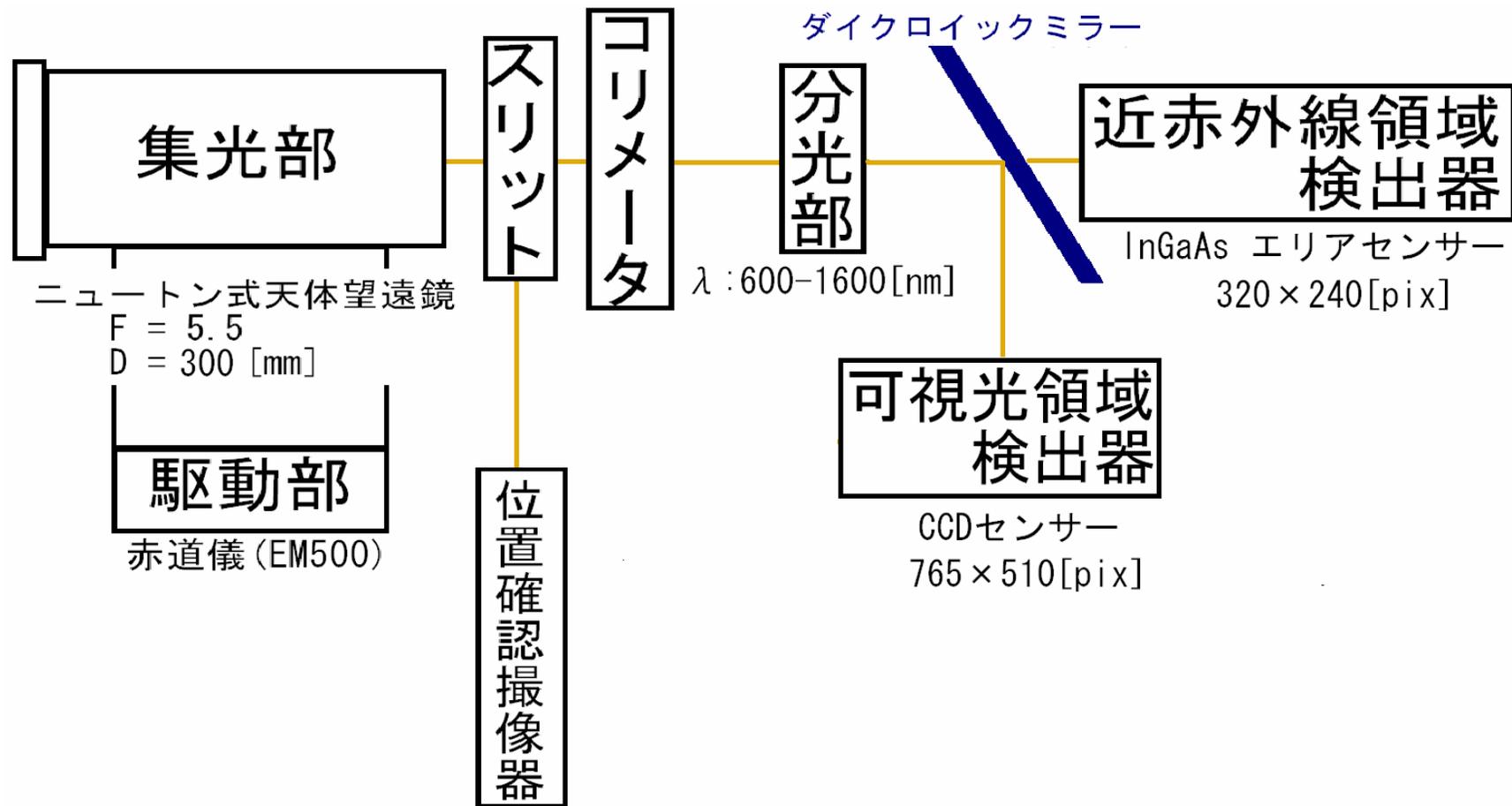
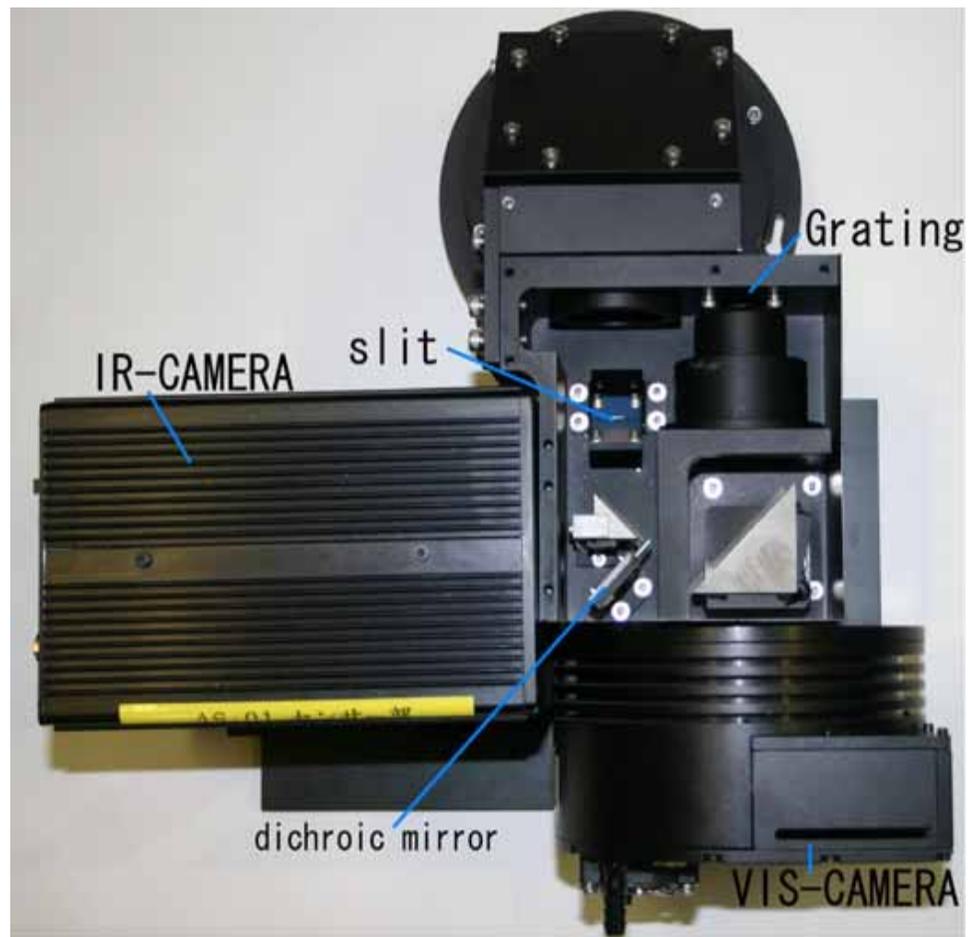


Figure 2-2. 連続分光イメージャ簡略図



[a]



[b]



[c]

Figure 2-3. [a]分光イメージャ分光部・撮像部 . [b]分光部拡大図 . [c]ダイクロイックミラー .



[a]



[b]

Figure 2-4. [a] 分光イメージャ分光部・撮像部は位置確認撮像部に集光するため、蓋には穴が開いている。[b]位置確認撮像ユニットを装着後。

table2-1 分光イメージシステム設計仕様

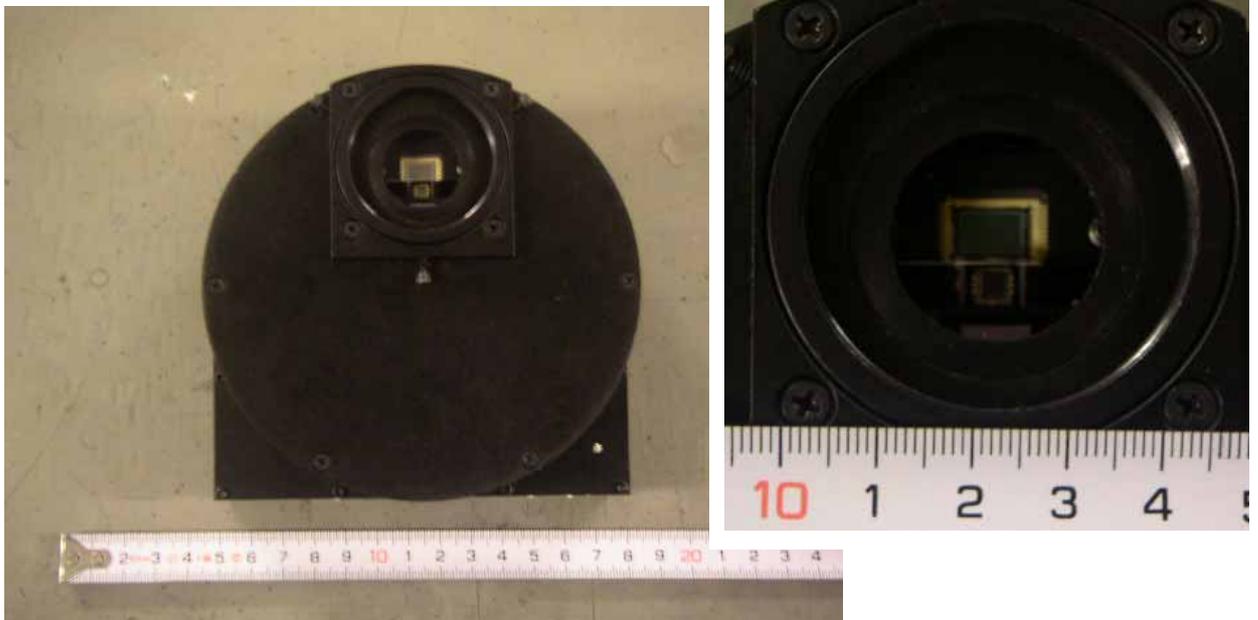
サブシステム	製品	仕様	
集光部	高橋製作所製 EM300	F	5(extend 5.5)
		D	300 mm
分光部	ジェネシア製	波長幅	600-1600 nm
		倍率	1
		スリットサイズ	0.08 x 4 mm
		回折格子溝本数	200 g/mm
撮像部			
可視カメラ	SBIG社製 ST7	センサー	Si area
		画素数	765x510
		画素サイズ	9 x 9 um
近赤外カメラ	SUInc.社製 SU320 -1.7RT	センサー	InGaAs area
		画素数	320x240
		画素サイズ	40 x 40 um
位置確認用撮像部			
ビューアーカメラ	フィリップス社製	センサー	Si area
		画素数	659x494
		画素サイズ	5.6x 5.6 um
ビューアー光学系	ジェネシア製	F	reduced 3.3
駆動部			
赤道儀	高橋製作所EM500		

table2-2 波長分解能・空間解像度設計仕様

波長分解能	可視領域	10nm	(2.3nm / pix)
	近赤外領域	20nm	(10nm/pix)
空間解像度	可視領域	4.48"	(1.12"/pix)
		9.0km	(2.25km / pix)
	近赤外領域	10"	(5.0"/pix)
		20km	(10km/pix)



(a)



(b)

Figure 2-5 (a)可視・近赤外線 Si-CCD カメラ SBIG ST-7E . (b)Si-CCD エリアセンサ , エリアセンサの拡大図



Figure 2-6 KAF-0401E の量子効率 . [Santa Barbara Instrument Group]

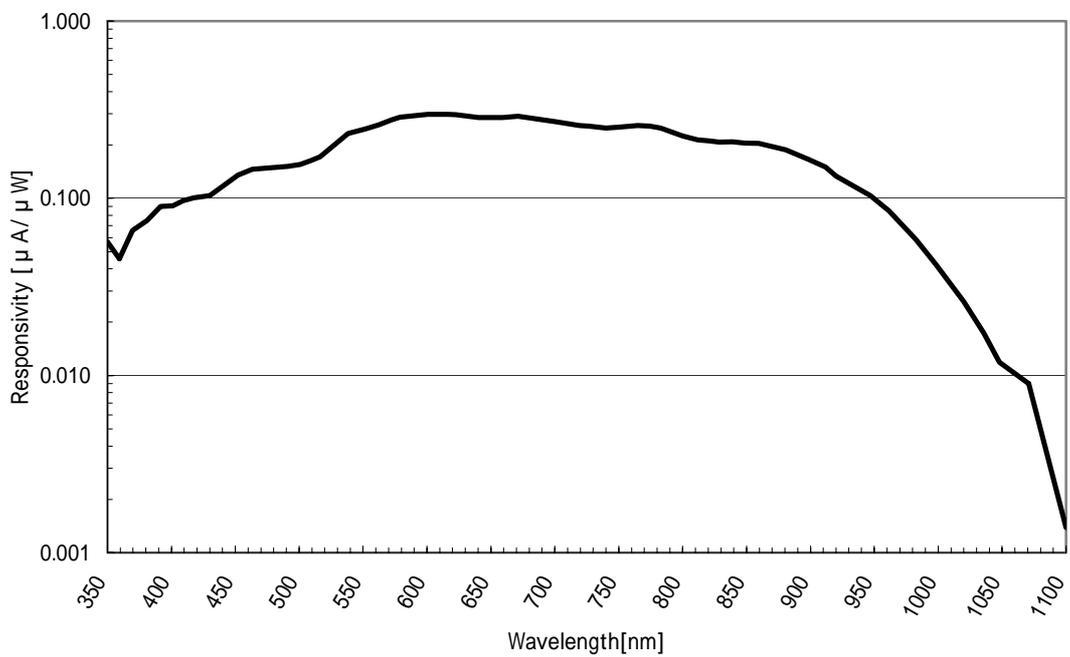
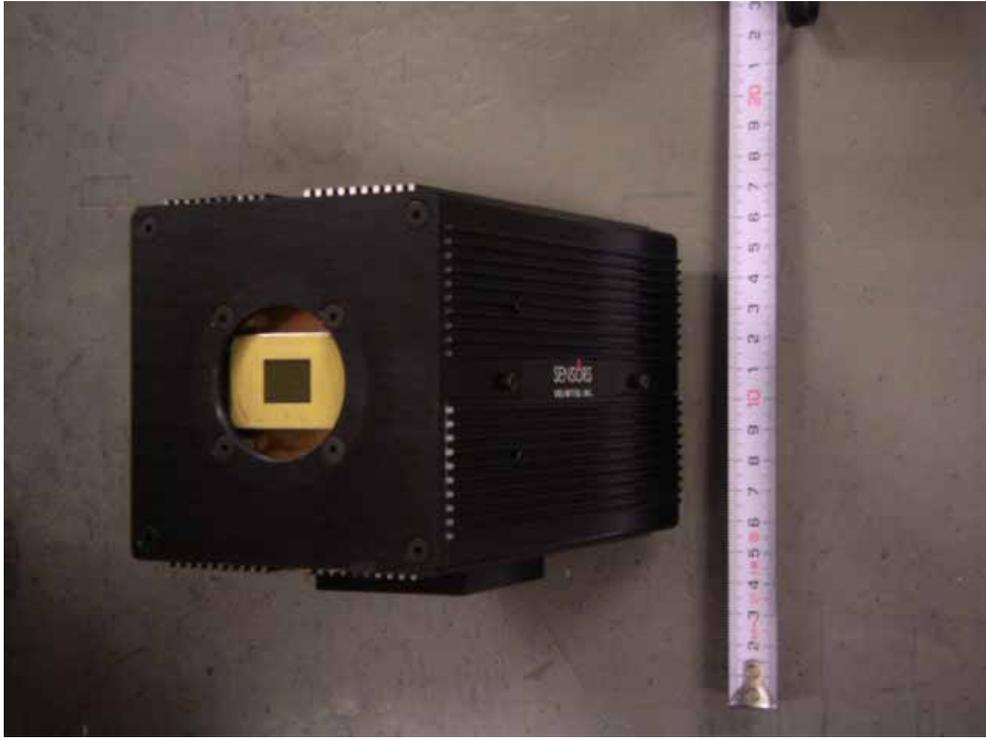
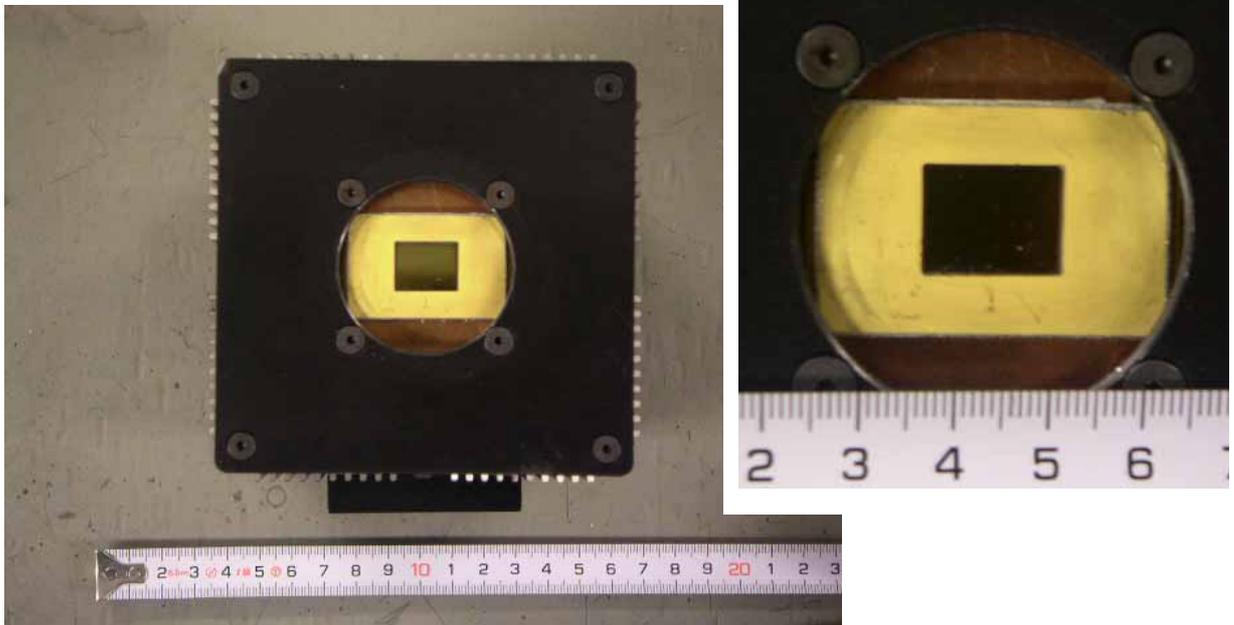


Figure 2-7 KAF-0401E の分光感度 . [Santa Barbara Instrument Group]



(a)



(b)

Figure 2-8 近赤外線 InGaAs-CCD カメラ SU320-1.7RT-D . (b)InGaAs-CCD エリアセンサ .
(c)SU320-1.7RT-D の概要図

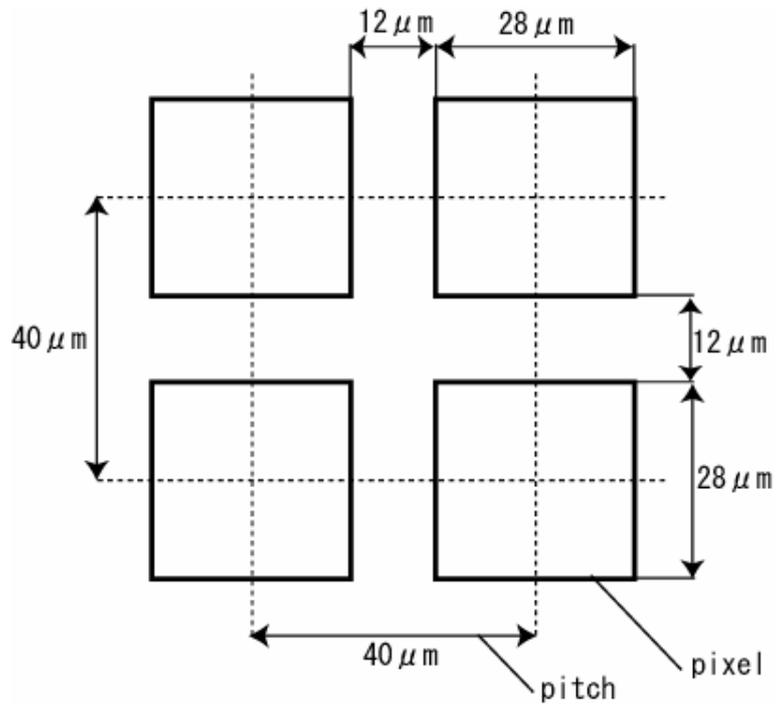


Figure 2-9 ピクセルと pitch .

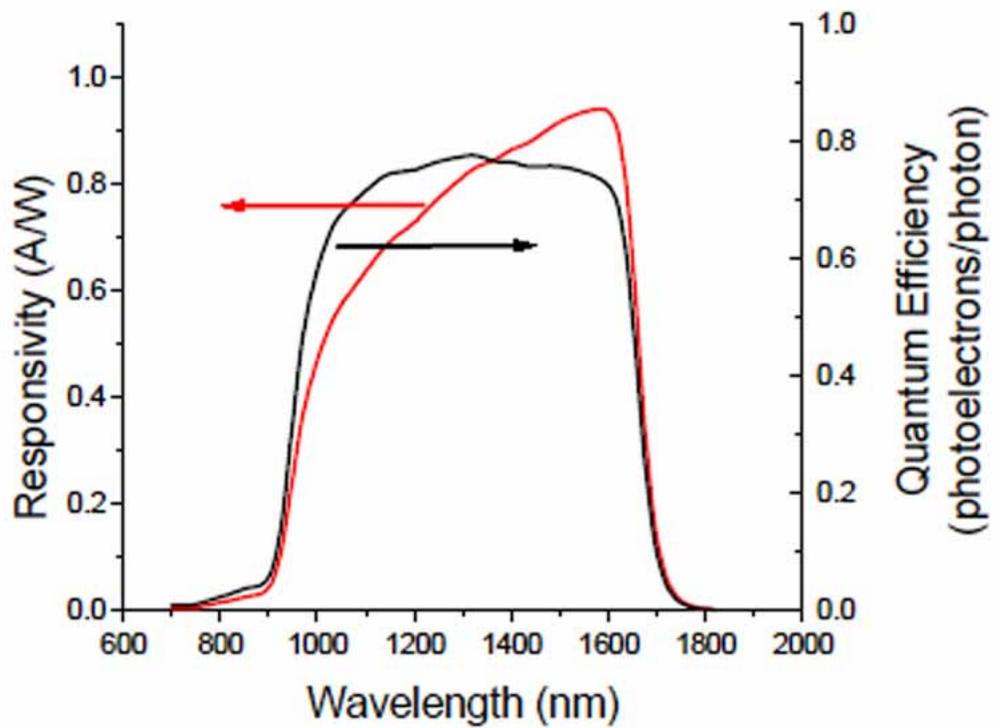
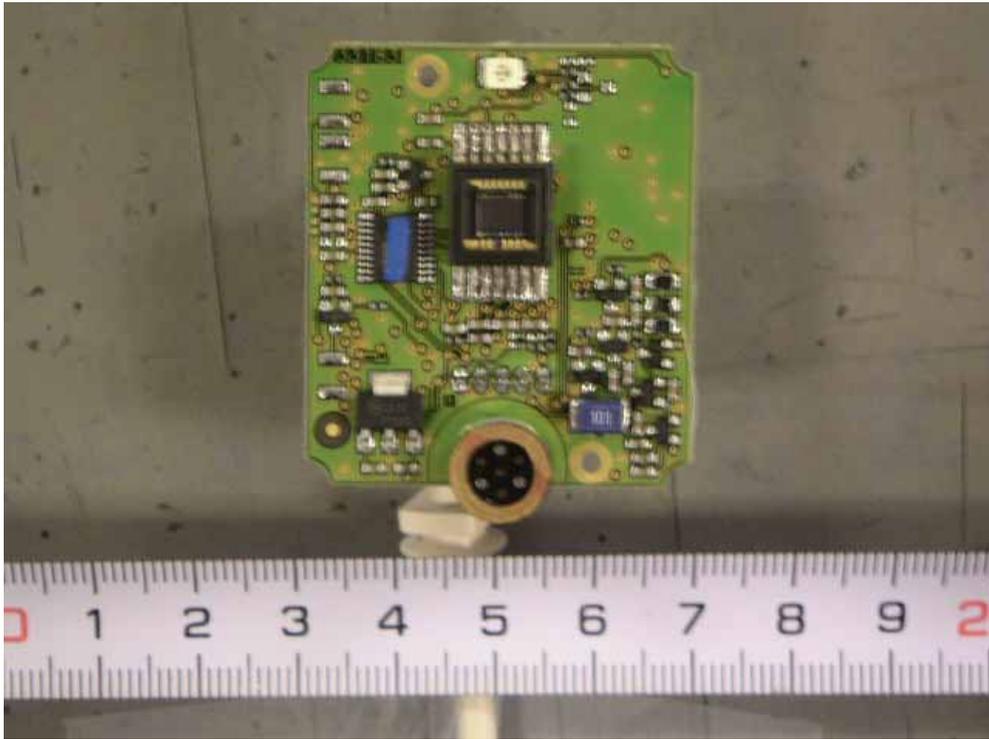


Figure 2-10 SU320-1.7T1 の量子効率と分光感度 [Sensors Unlimited Inc.]



(a)



[b]

Figure 2-11 [a]ToUCam Pro の基盤と CCD センサ . [b] 基盤をスリットビューア光学系用の BOX に固定したところ .

分光感度特性例（ただし、レンズ特性および光源特性を除く）

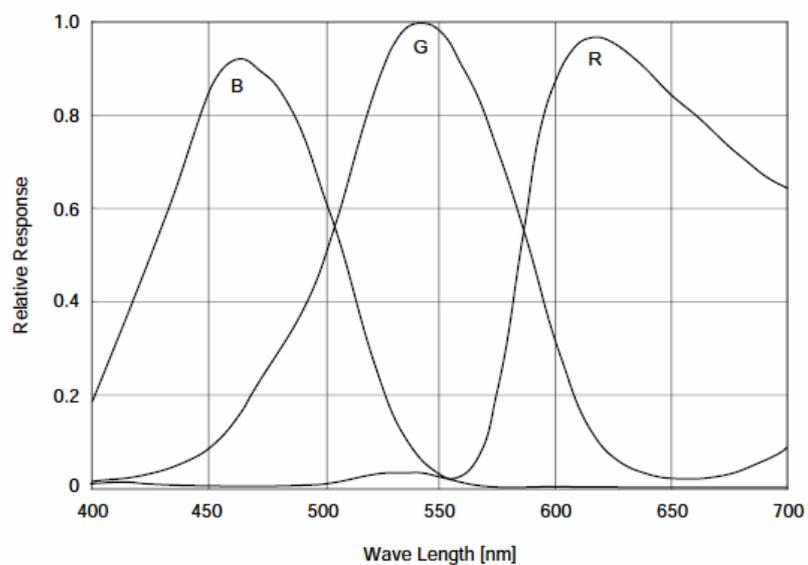


Figure 2-12 ICX098BQ の分光感度



Fig 2-13 スリットビュー光学系全容 .

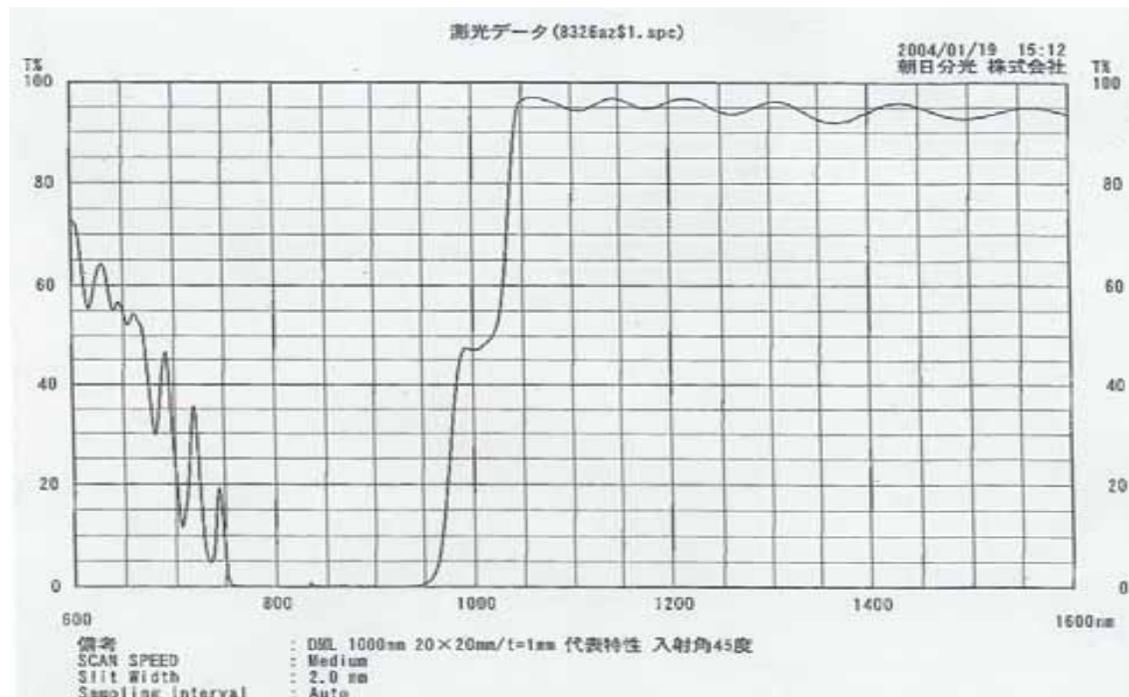


Fig 2-14 ダイクロミックミラー仕様グラフ

Table 2-3 ダイクロミックミラー仕様

分離波長(T=50%)	1000nm ± 10nm
透過率	> 90 % @1050nm - 1600nm < 5 % @750nm - 950nm (反射率 > 95%) < 80 % @600-750nm
サイズ	20mm × 20mm
厚さ	1mm
面粗度	< /10 以下

2-4. 性能評価テスト

月面連続分光イメージャの性能評価テストとして、1.結像性能評価、2.波長位置・波長分解能評価、3.月面連続分光撮像テストによる輝度値分布評価を実施した。

2-4-1. 結像性能評価テスト

月面分光イメージャシステム全体の結像性能を表すスポットダイアグラムから算出された分散効率の Fig 2-15 に示す。Fig 2-15 [a]は 750nm、[b]は 1600nm の波長の光を入射した時の分散効率である。このグラフから収差は、可視光領域で 40 μm 、近赤外線領域では 70 μm 以内に収まる事がわかる。

さらに分光器を組み立て後、実際にレーザー光を入射した分光器コリメータユニット部の結像性能評価を、光学機器会社のジェネシアにて行った。結像性能評価の方法として、コリメータユニットに 633nm のレーザー光をコリメータレンズにより平行光にして入射し、ビームプロファイラで点像分布関数 (point spread function, PSF) を測定した。点像分布関数とは、点光源を結像光学系によって結像させた時の収差や回折の影響を含む、光学系点像の広がり強度分布をいう。コリメータユニット部に通した点像をビームプロファイラで撮像した結果を Fig 2-19 に示す。点像強度分布の閾値を 85% とすると、2.2 ~ 2.4 μm の範囲内に光束が収まるので、本研究で必要とする IR カメラの 1 pix = 40 μm 内に結像できることがわかる。しかし、本研究で着目すべき波長は 633 nm ではなく、1000[nm]の近赤外線領域である。これに関しては光学ガラスの波長依存性は固体によっては屈折率の下 5 桁目くらいでばらつくが、今回のレンズでは全くそれが問題になるほどではないので、ある一波長の測定で、他の波長の性能も保証できることになり、結像性能が Fig 2-15 の分散効率を実現できることがわかる。同様の実験を、コリメータユニットの光軸に対して入射光を傾けて光を入れて行った。この時の斜度は 8 度である。一般的に ± 5 度傾けて、分布が必要範囲内であれば性能は保証される。こちらでも 2.5 μm 以内に光束が収まるので、分散効率はほぼ実現される。

さらに、位置確認撮像 (スリットビュア) 光学系ユニットについても、結像性能評価試験を行った。この結果を Fig 2-21 に示す。スリット使用する ToUcamPro のピクセルサイズは 5.6 μm \times 5.6 μm である。こちらでも、85% が 2.3 ~ 2.4 [μm] 以内に収まっているため、結像に問題がないことがわかる。

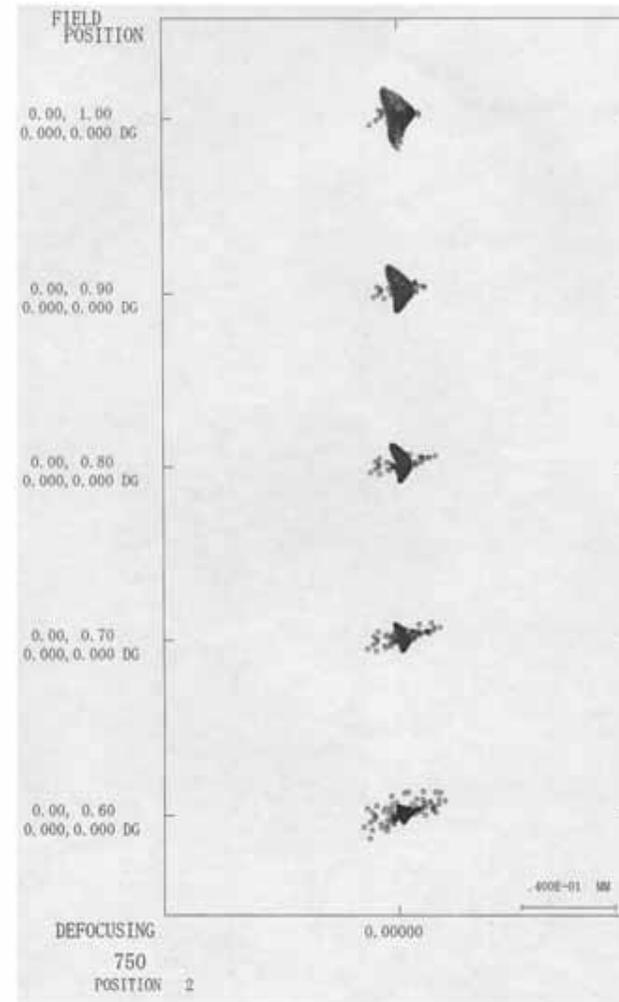
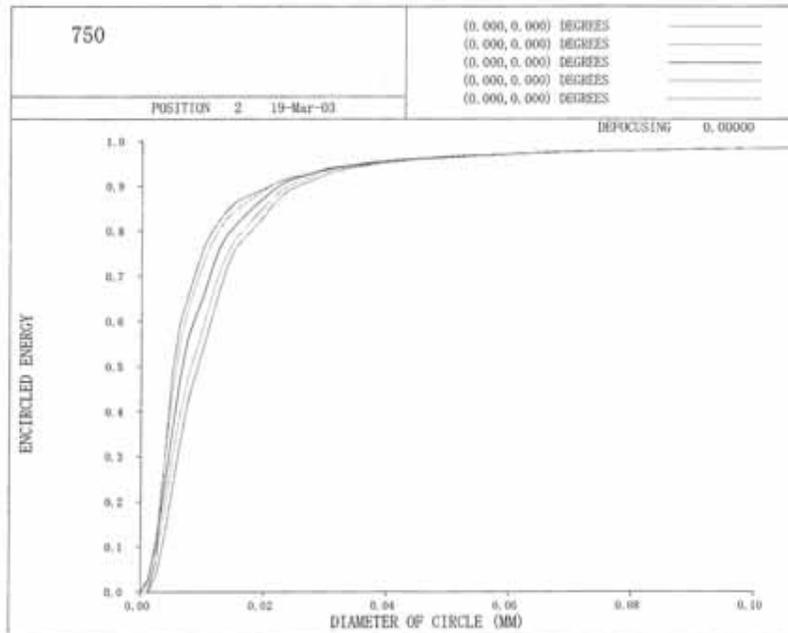
2-4-2. 波長分解能評価

本研究では 600～1700nm の範囲でのスペクトル取得を行うため、この範囲で較正が可能な輝線スペクトルをもつ光源ランプを使用する必要がある。ランプの選定については第 3 節で詳しく述べるが、現段階での波長分散及び波長分解能評価にはスペクトル光源用ランプ（東芝製）Hg-Ar ランプを使用する。Hg-Ar ランプの点光源からの光を F5.5 の光学系を通してスリット部に結像し分光部を通して撮像した画像を Fig. 2-23 に示す。左側可視画像・右側が近赤外線である。この像の分散波長を輝線と対応させることによって得られた 1 画素あたりの波長幅は、可視領域（550nm 以上，1100nm 以下）で 0.82 nm/画素，近赤外線領域（1000 nm 以上，1700 nm 以下）で 3.3nm/画素と算出された。波長分解能は、約 2 画素で考えるので、可視領域（550nm 以上，1100nm 以下）で 1.6nm，近赤外線領域（1000nm 以上，1700nm 以下）で 6.5nm となる。

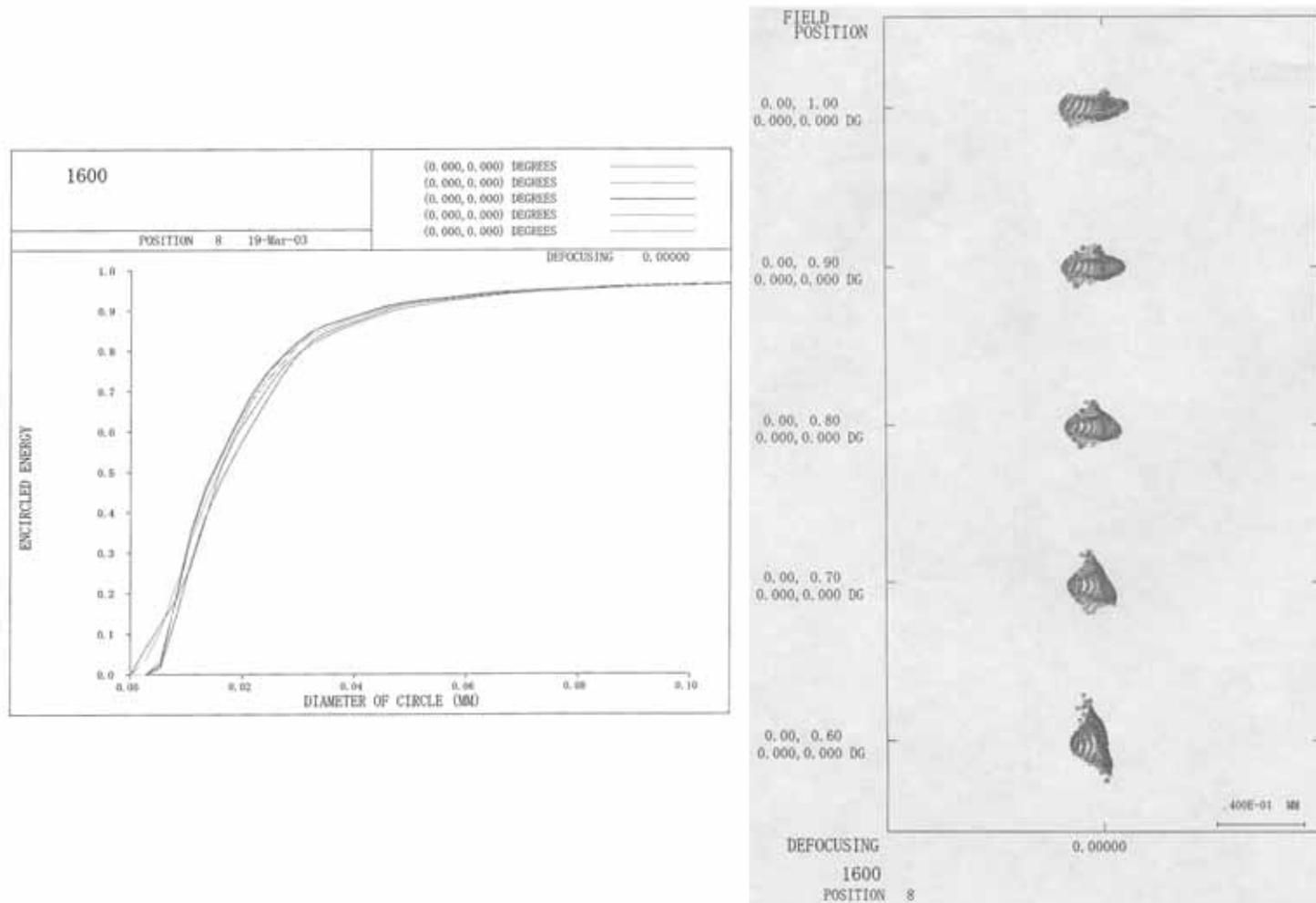
2-4-3. 検出器のピント位置調整

分光部で分散された光は検出器に結像するしくみになっているが、スペクトルが結像する位置に検出器を配置する必要がある。スペクトルの結像位置に検出器を配置するため、両検出器は X-Stage に装着されており、分光部からの距離が調節できるしくみになっている。分光イメージャの光学系と同じ F5.5 の光学系に点光源を結像させ、その結像位置の確認を行った。

位置の決定方法は、



[a]



[b]

Fig 2-15 分光イメージャ全体の分散効率計算値 [a]750nm 波長光の場合 [b]1600nm 波長光の場合

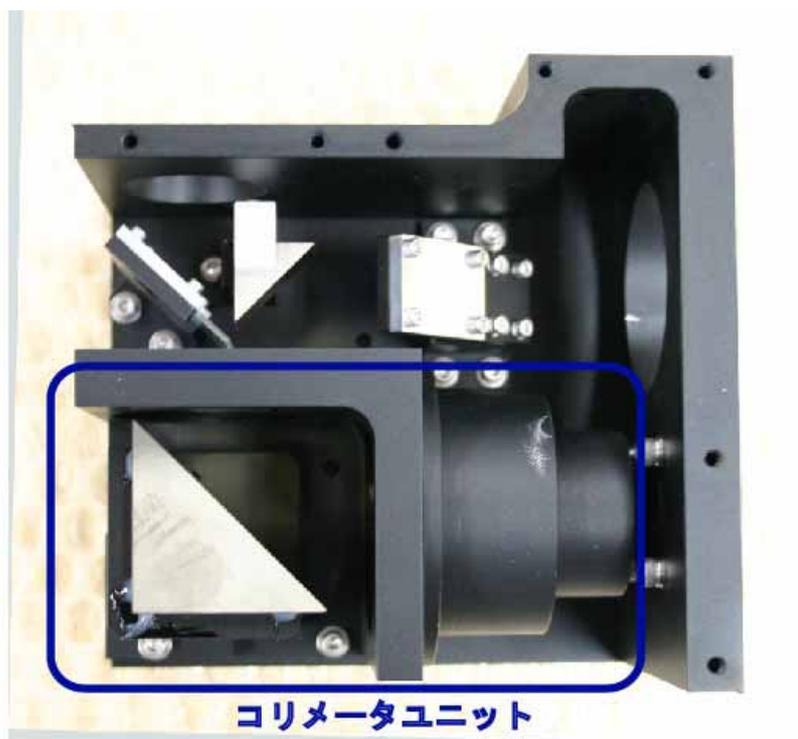


Fig 2-16 分光部におけるコリメータユニット位置

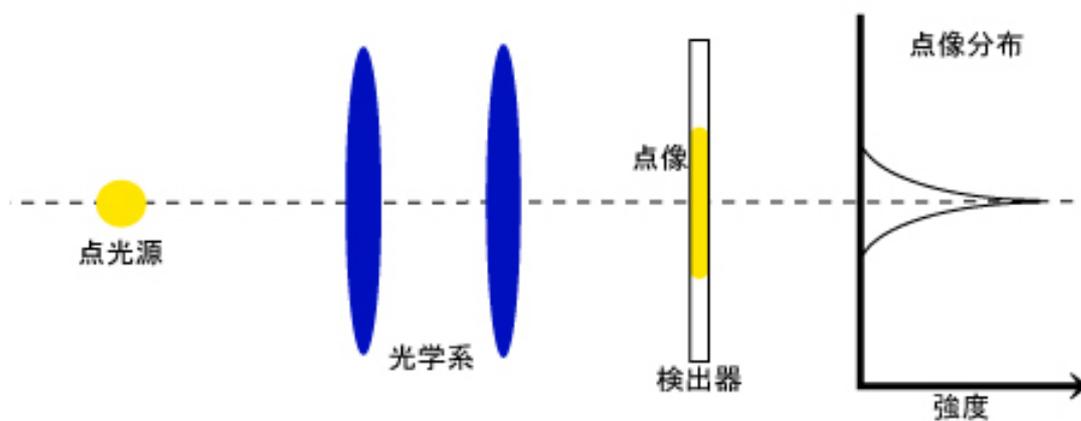
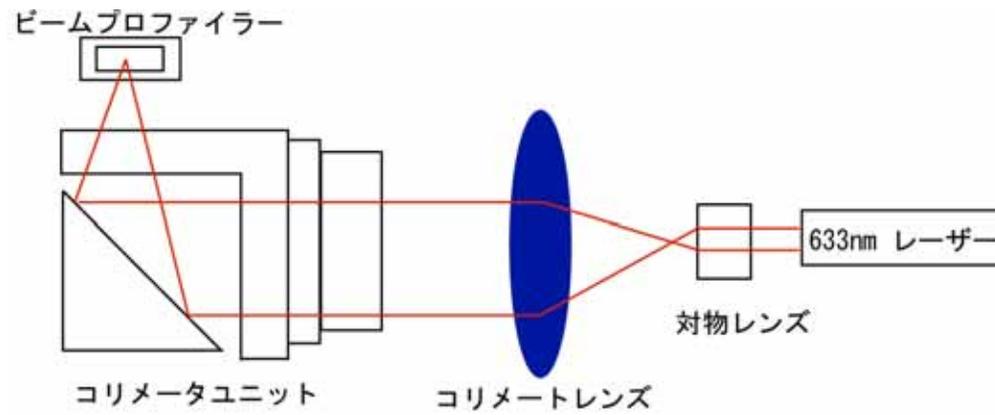
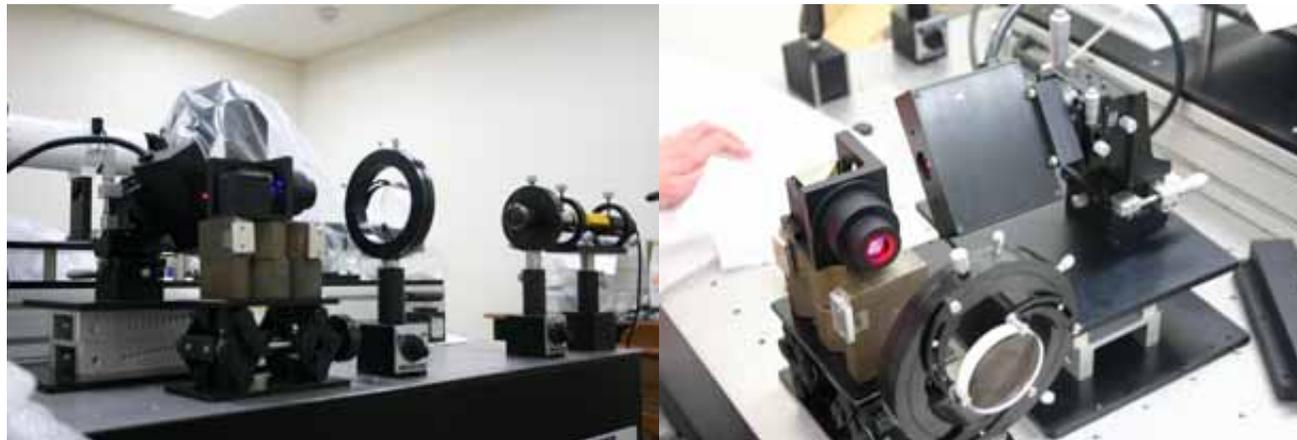


Fig 2-17 点像分布関数



[a]



[b]

Fig 2-18 [a]点像分布関数調査試験システム概要 [b]実験設備

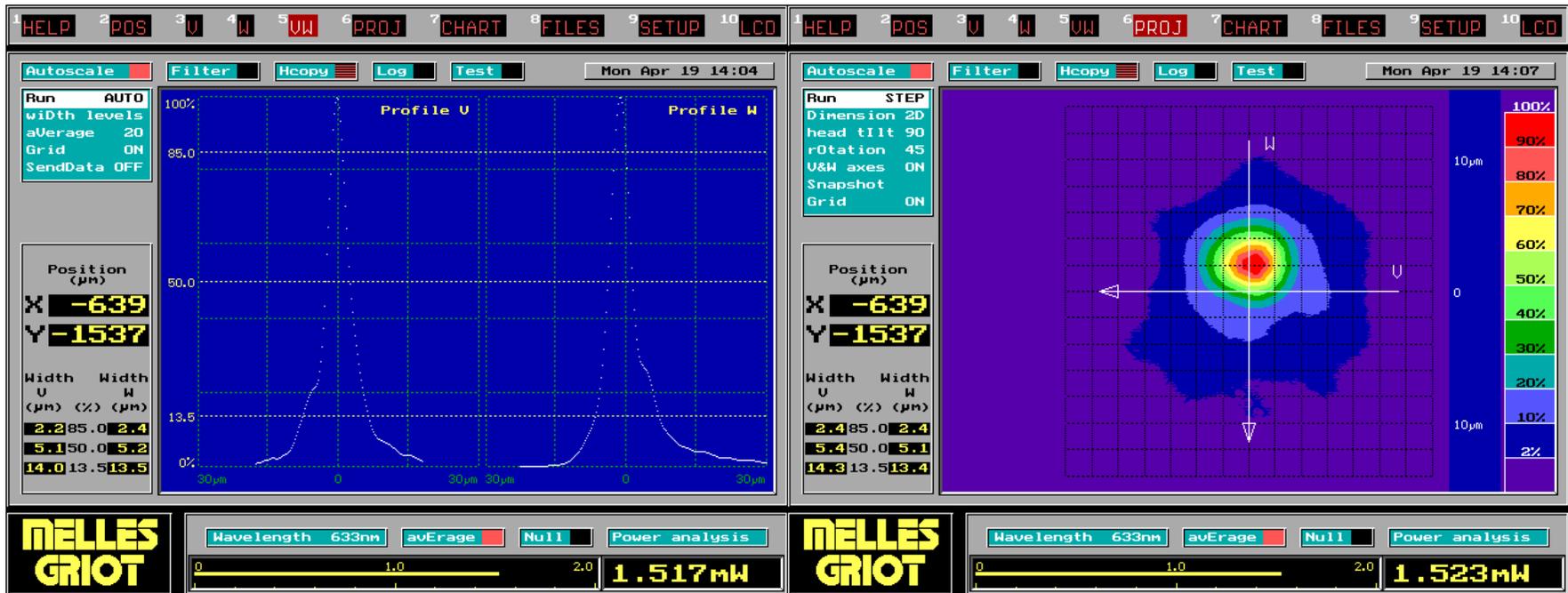


Fig 2-19 コリメートユニットの点像分布関数

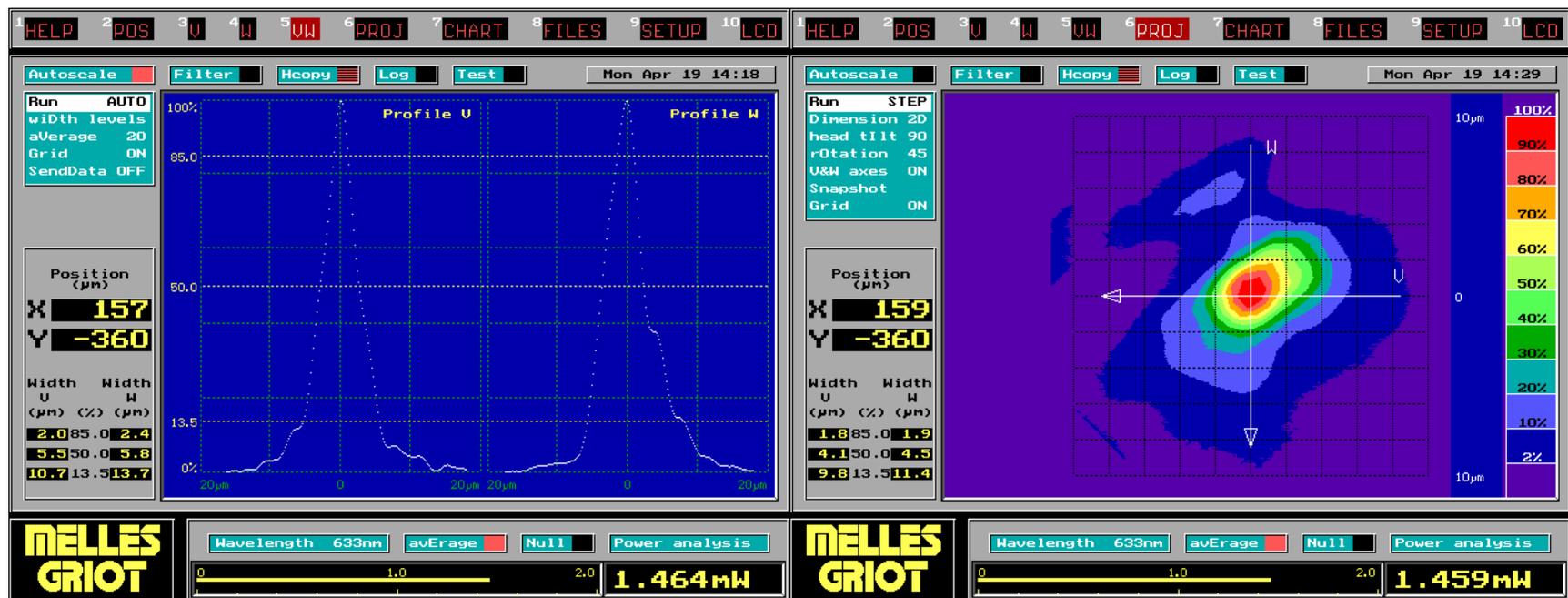


Fig 2-20 入射角を8度ずらした時のコリメートユニットの点像分布関数

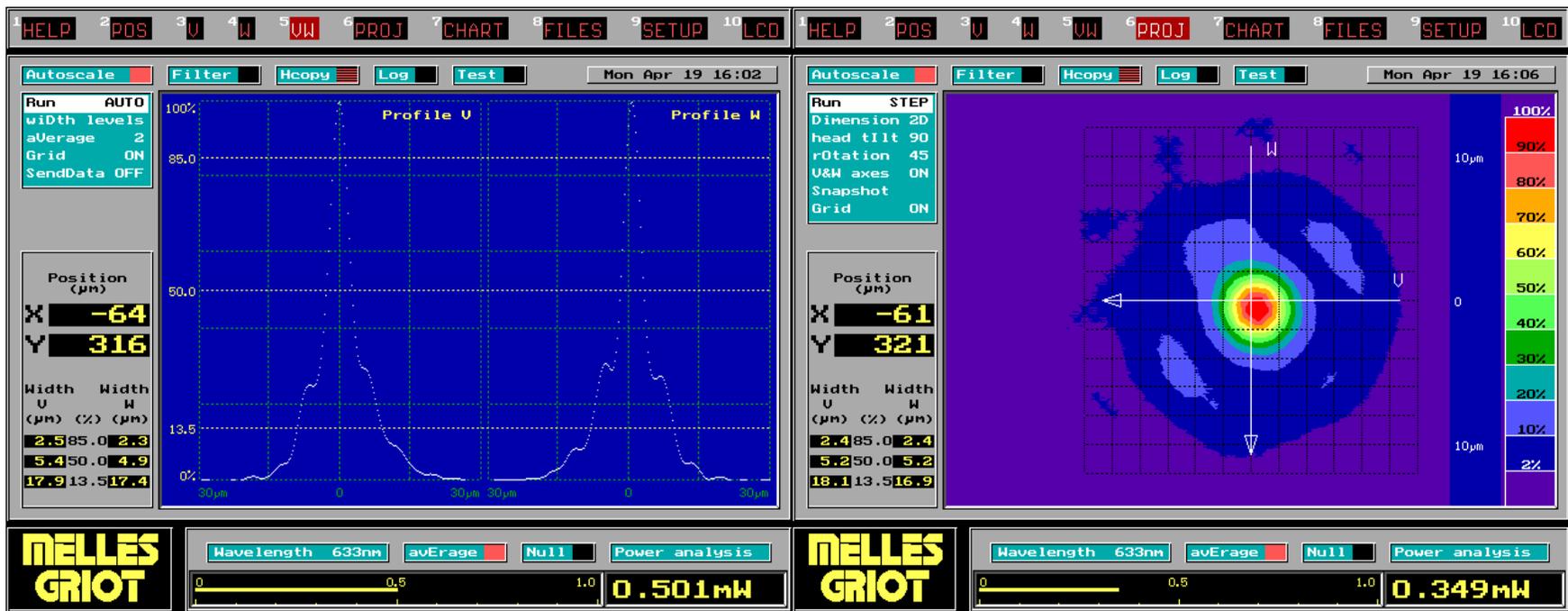
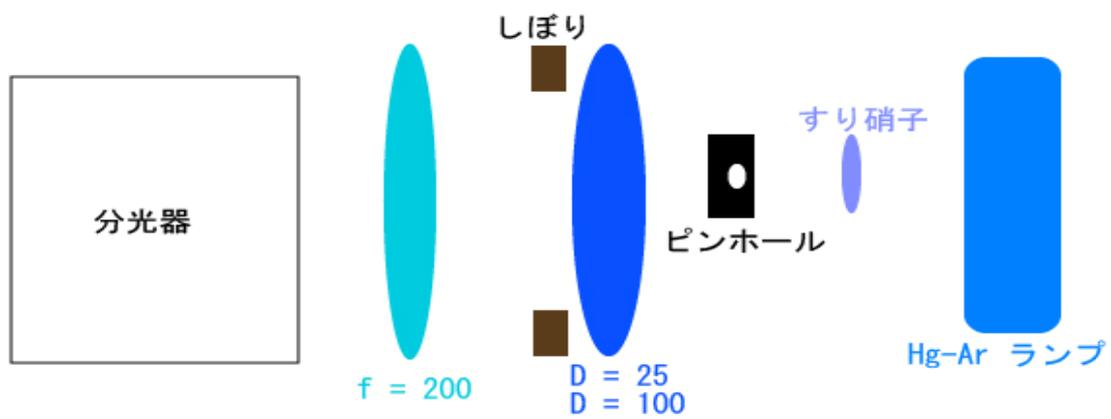
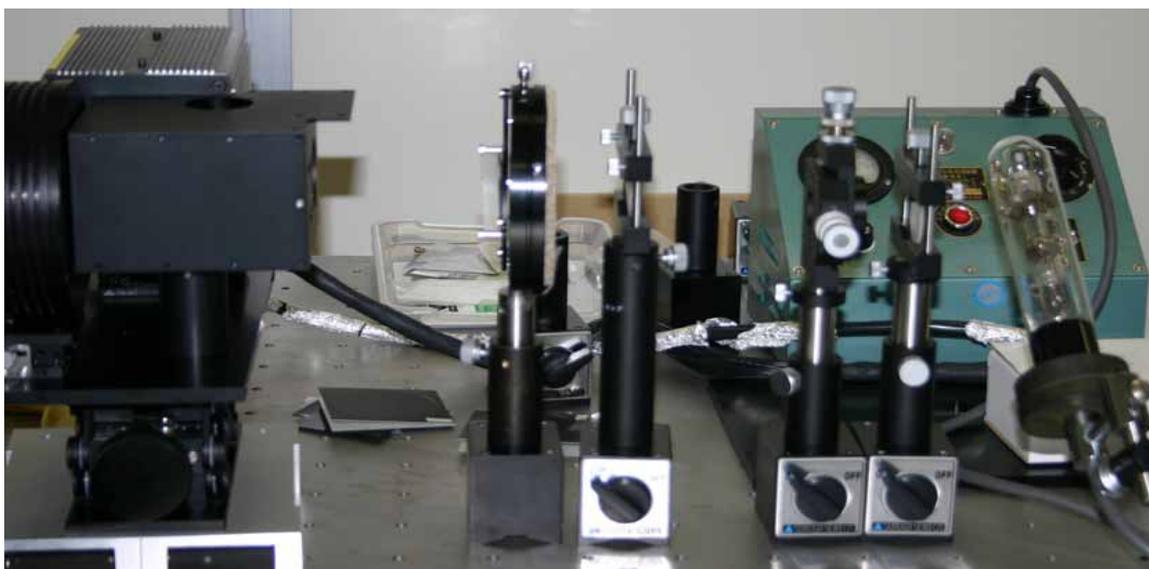


Fig 2-21 スリットビュア光学系の点像分布関数

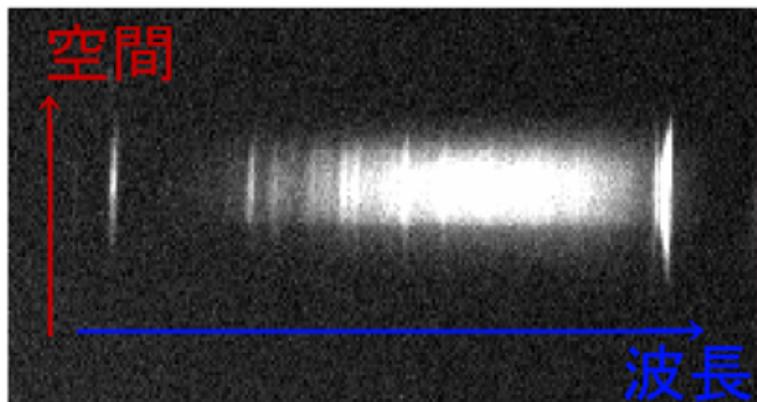


[a]

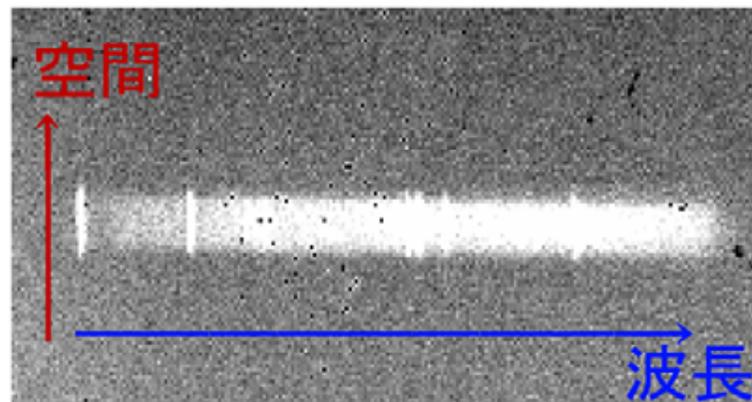


[b]

Fig 2-22 [a]波長位置・波長分解能評価テスト概要 [b]評価テスト設備



[a]



[b]

Fig 2-23 [a]可視光領域センサーで撮像した画像 [b]近赤外線領域センサーで撮像した画像

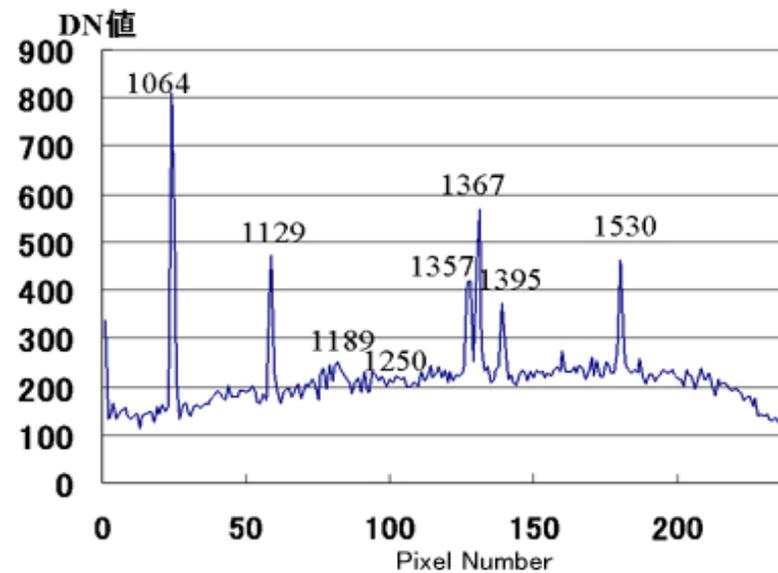
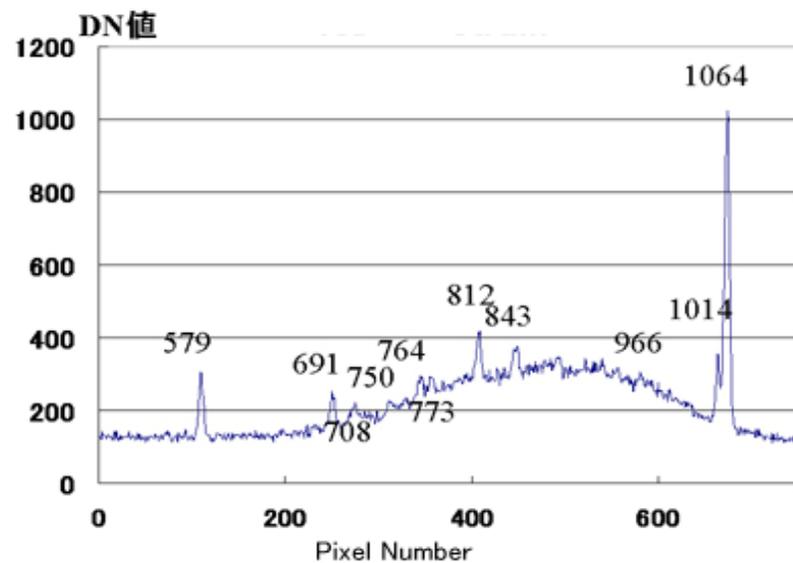
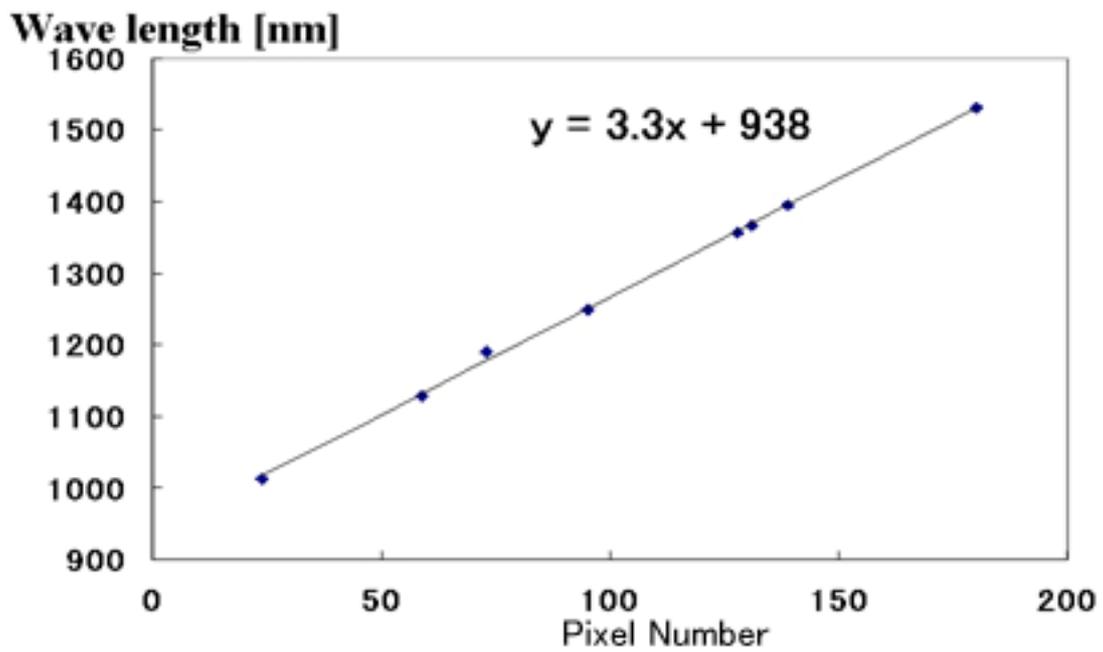
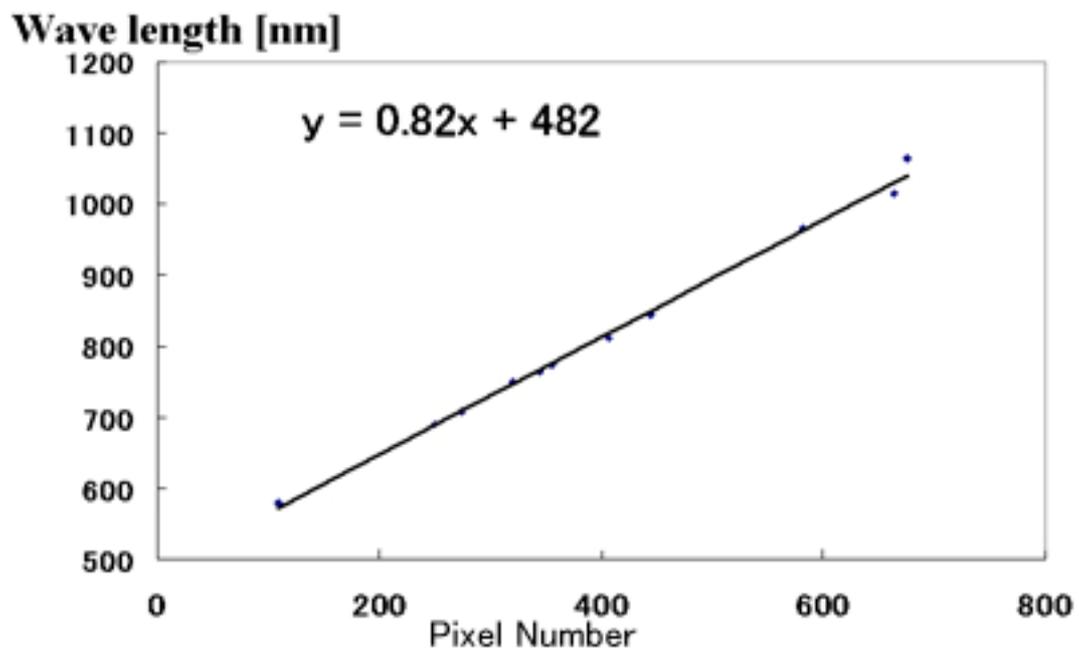


Fig 2-24 分光強度から輝線と対応し波長位置を確認した



[a]



[b]

Fig 2-25 波長分散は可視領域[a]で 0.82nm/画素，近赤外線領域[b]で 3.3nm/画素である

2-5. 月面連続分光撮像テスト

全光学系を含めたシステム統合テストとして、天体望遠鏡と分光撮像システムを統合して、月面の撮像を実施した。実施は数回行い、2004年5月7日（月齢17）に分光撮像テストを行った結果を Fig2-26 に、2004年9月1日（月齢16）に撮像した結果を Fig2-28 に示す。

2-5-1. 取得画像

2004年5月7日の取得画像を Fig 2-26 に示す。左の画像はスリットビューアー撮像画像。中心の黒線がスリット部である。スリット部が晴れの海から静かの海に渡っていることがわかる。スリット部に集光したの光は回折格子で分散し、可視カメラ2次元センサー（右上）と近赤外線カメラ2次元センサー（右下）に結像する。可視・近赤外画像の各々の列はスリット像に対応し、その垂直方向に分散光が短波長から長波長へ結像するシステムが確認できる。

2004年9月1日撮像取得画像は Fig 2-28 に示す。(a)はスリットビューアー画像、(b)はスリットを通過し、分光撮像された地域の画像、(c)は可視光領域センサーで撮像されたスペクトル、(d)は近赤外線領域センサーで撮像されたスペクトルである。可視光領域は本来 600nm からの撮像が可能であるが、調整に不備がありこの時は 700nm からのスペクトル取得となった。点線 A は晴れの海、B は静かの海、C はプリニウスクレーターの各地点を表しており、各地点の波長方向の分散された輝度値パターンを Fig 2-29、空間方向の分散を Fig 2-30 に示す。

2-5-2. 地形による輝度パターンの比較

2004年5月7日撮像の晴れの海 (Fig 2-26 の **印部, 赤線), 静かの海 (Fig 2-26 の *印部, 青線) の両地点が示された位置を反映し, 各波長に対する輝度値分布を示したものが Fig 2-27 である. 大気中の水などの吸収帯が見られている. 近赤外線領域のスペクトルは, 画像 20 枚を合成した結果を示している. このスペクトルのノイズが大きい原因として, 撮像部と分光部の接合部が, 焦点距離の微調整のため被覆していないためにシステム外からの遮光が入ったことが挙げられる. また, 可視画像も想定より露出を小さくして撮像していること, 近赤外線センサーと同様, 分光部との接合部を被覆していないこと等の原因により予想以上にノイズが大きい結果となっている.

2004年9月1日撮像の輝度パターンは Fig 2-29 に示す. Fig 2-28 の点線 A は晴れの海, B は静かの海の各地点を表しており, 各地点の波長方向の分散された輝度値パターンを 1000nm の輝度値を 1 として規格化したものである. Fig 2-30 はピュアー・750nm・1000nm・1300nm での A 地点から B 地点までの空間方向の輝度値分布を示している. 途中プリニウスレーターの地点で輝度値が高くなっている.

2-5-3. スペクトルへの変換

分光撮像で取得した輝度パターンには, 大気の吸収やセンサーの特性を含んでいるため, 実際の取得地点のスペクトルデータではない. そのため, 取得した輝度データをスペクトルに補正する必要がある.

Fig 2-31 は 2004年9月1日に取得した A および B の地点の輝度値を [Pieters and Pratt, 2000] による晴れの海 (N18.7 E21.4 地点[nb0916]) の取得スペクトルに基づいて標準化した反射率スペクトルを示している. 各反射率は 1000nm の反射率によって規格化してある. また, 可視光領域のデータに関しては波長方向に 10 ピクセル・空間方向に 4 ピクセルのビニング, 近赤外線領域のデータに関しては画像を 20 枚加算した後, 波長方向に 2 ピクセル・空間方向に 2 ピクセルのビニングを行った.

データのばらつきが非常に大きい波長域においては, 大気の吸収帯による S/N の低下などによる影響があると考えられる.

2-5-4. 空間方向のシフトについて

本研究では、赤道儀の微駆動により、空間方向と垂直方向に撮像位置をシフトし、隣接領域を連続撮像することによって2次元平面と1次元連続スペクトルからなる3次元データを取得する。しかし、駆動部である『赤道儀 Takahashi EM-500』では、恒星時を基準とした追尾モードのみ対応であり、月の日周運動を正確に追尾することは不可能である。そのため、恒星時追尾モードにして、月の日周運動に合わせて撮像を行う方法を考えた。

月の日周運動（地球から見た）

- ・15日間で西から東への移動（約180度）する。

恒星の日周運動（地球から見た）

- ・15日で東から西へ約15度移動する。

以上より15日間で恒星と月の日周運動のズレは195度となる。これより、1秒間に恒星と月は0.54ズレると算出できる。スリット幅は月面において12の幅を持っているので、

$$12 \div 0.54 = 22.22 \text{ 秒}$$

と算出でき、22.22秒ごとに撮像を行えば、月面全域の撮像が可能になると判断した。しかし、撮像範囲の漏れや各センサーの操作時間を考慮し、21秒単位に撮像行うこととした。

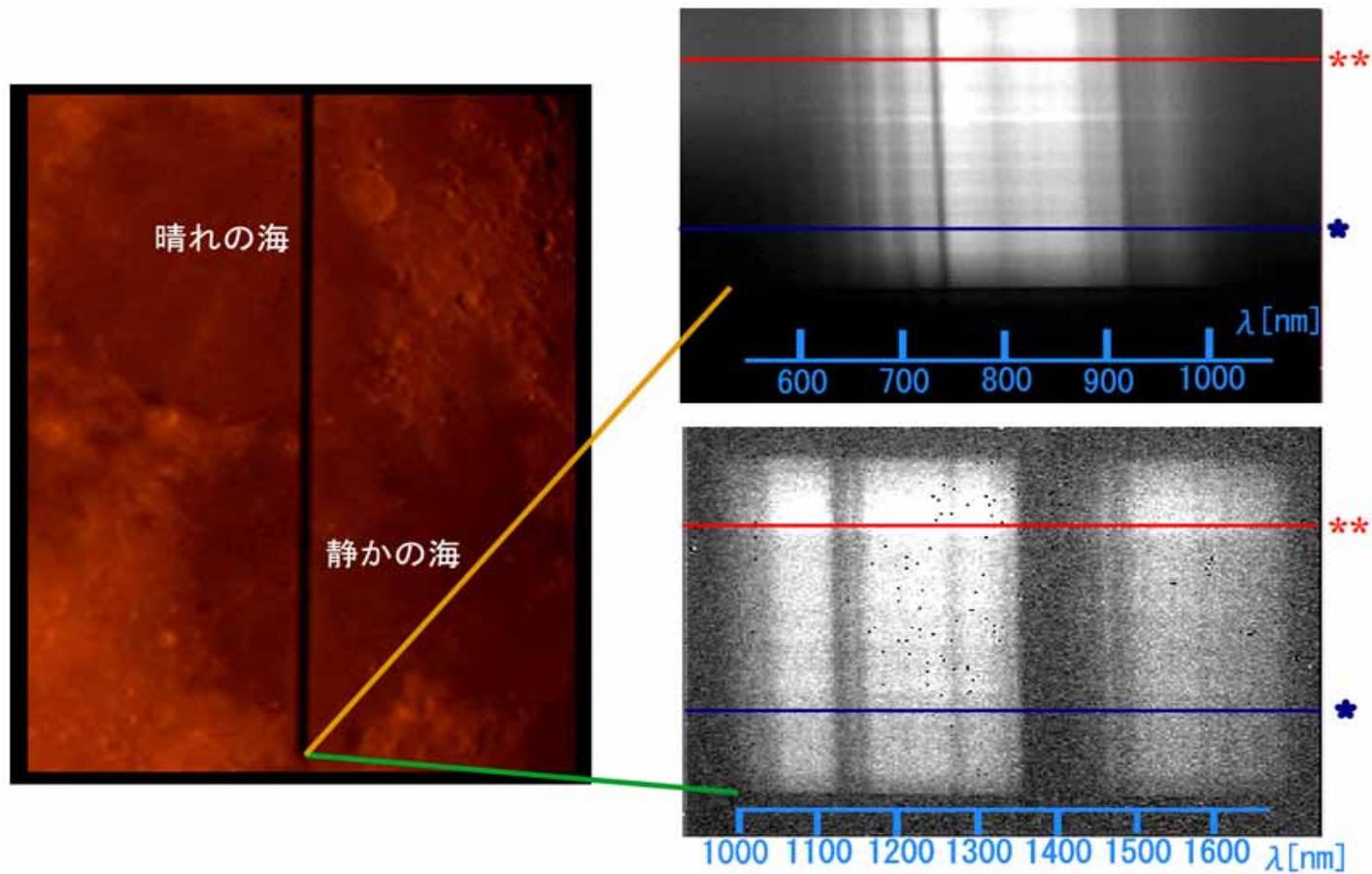


Fig 2-26 分光撮像画像. 左の画像はビューアー撮像画像. 中心の黒線がスリット部. スリット部からの光は回折格子で分散し, 可視カメラ 2 次元センサー (右上) と近赤外線カメラ 2 次元センサー (右下) に結像する. 可視・近赤外画像の各々の列はスリット像に対応し, その垂直方向に分散光が短波長から長波長へ結像する.

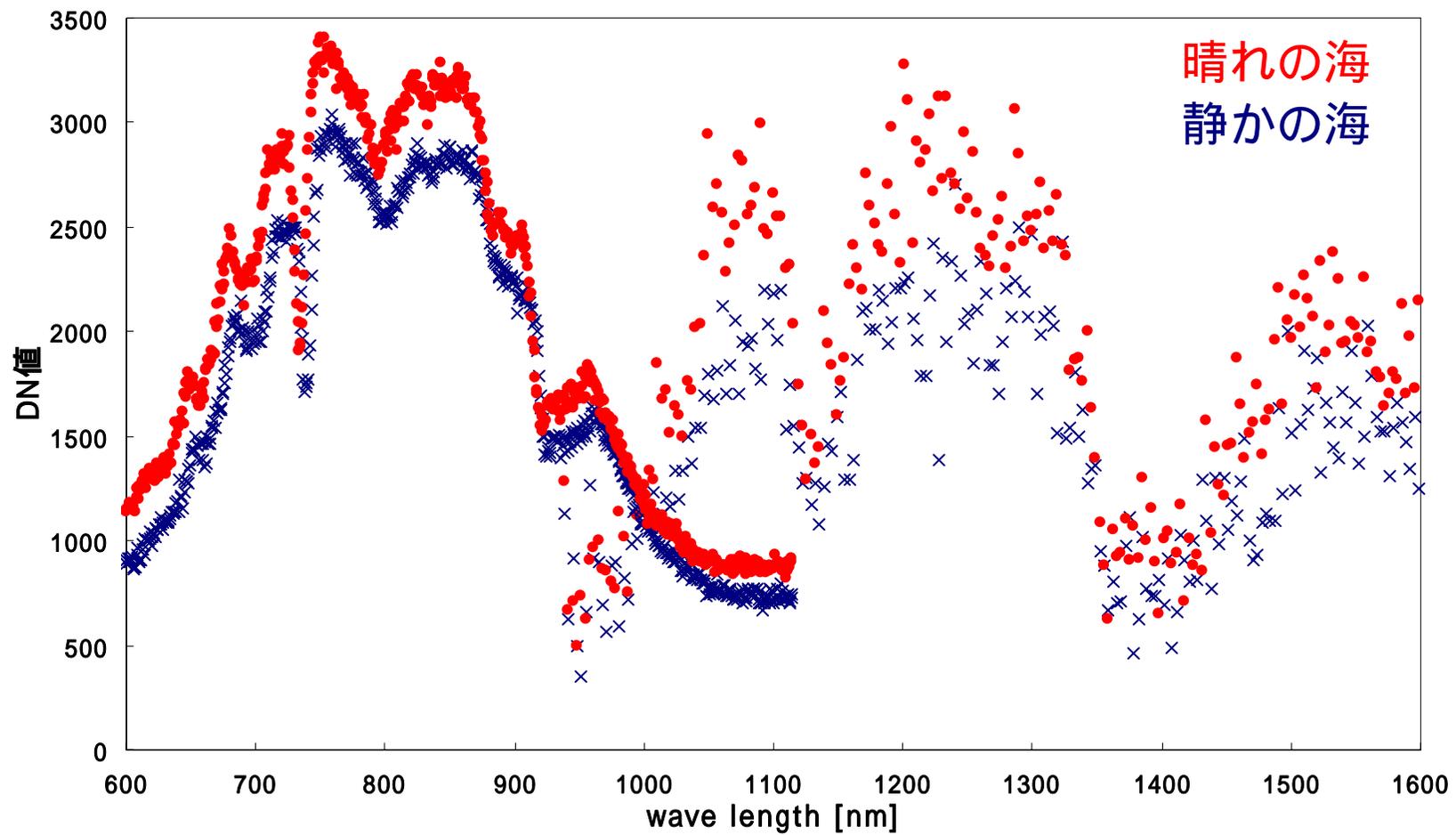


Fig 2-27 晴れの海 (Fig 2-26 * * 印部 , 赤線) , 静かの海 (Fig 2-26 * 印部 , 青線) の分散方向の輝度値分布. 大気中の水などの吸収帯が見られている.

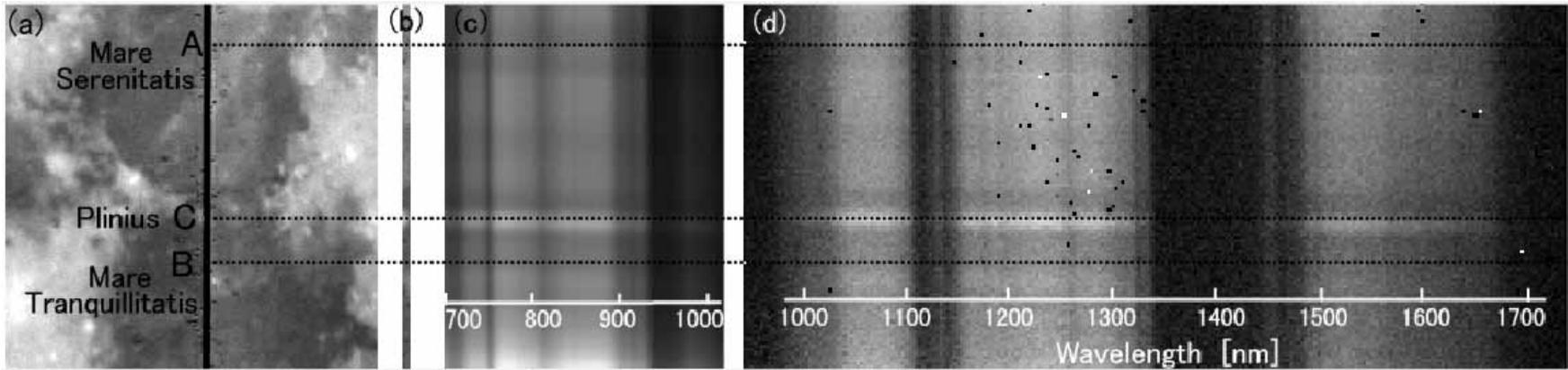


Fig 2-28 (a)はスリットビューアー画像，(b)はスリットを通過し分光撮像された地域，(c)は可視光領域センサーで撮像されたスペクトル，(d)は近赤外線領域センサーで撮像されたスペクトル。

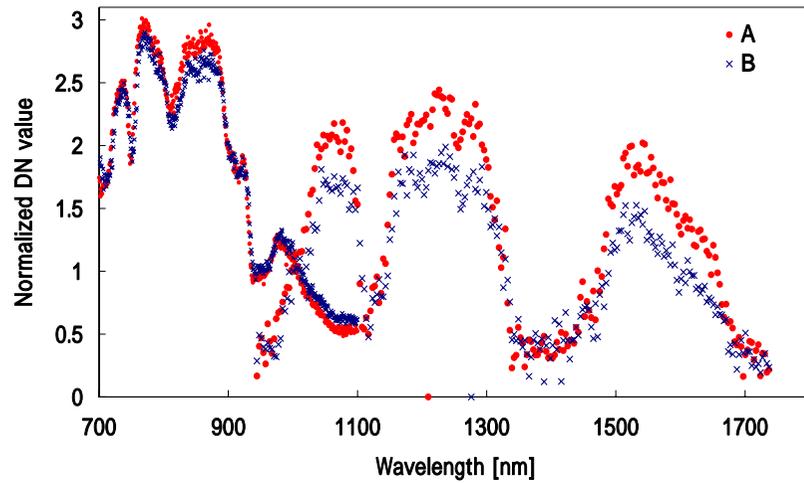


Fig 2-29 Fig 2-28 の点線 A・B 各地点の規格化したもの

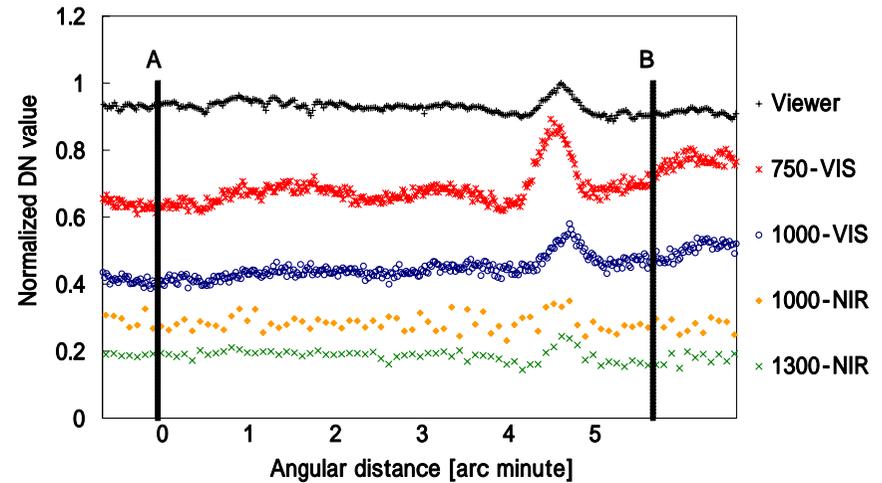


Fig 2-30 ビューアー・750nm・1000nm・1300nm での A 地点から B 地点までの空間方向の輝度値分布

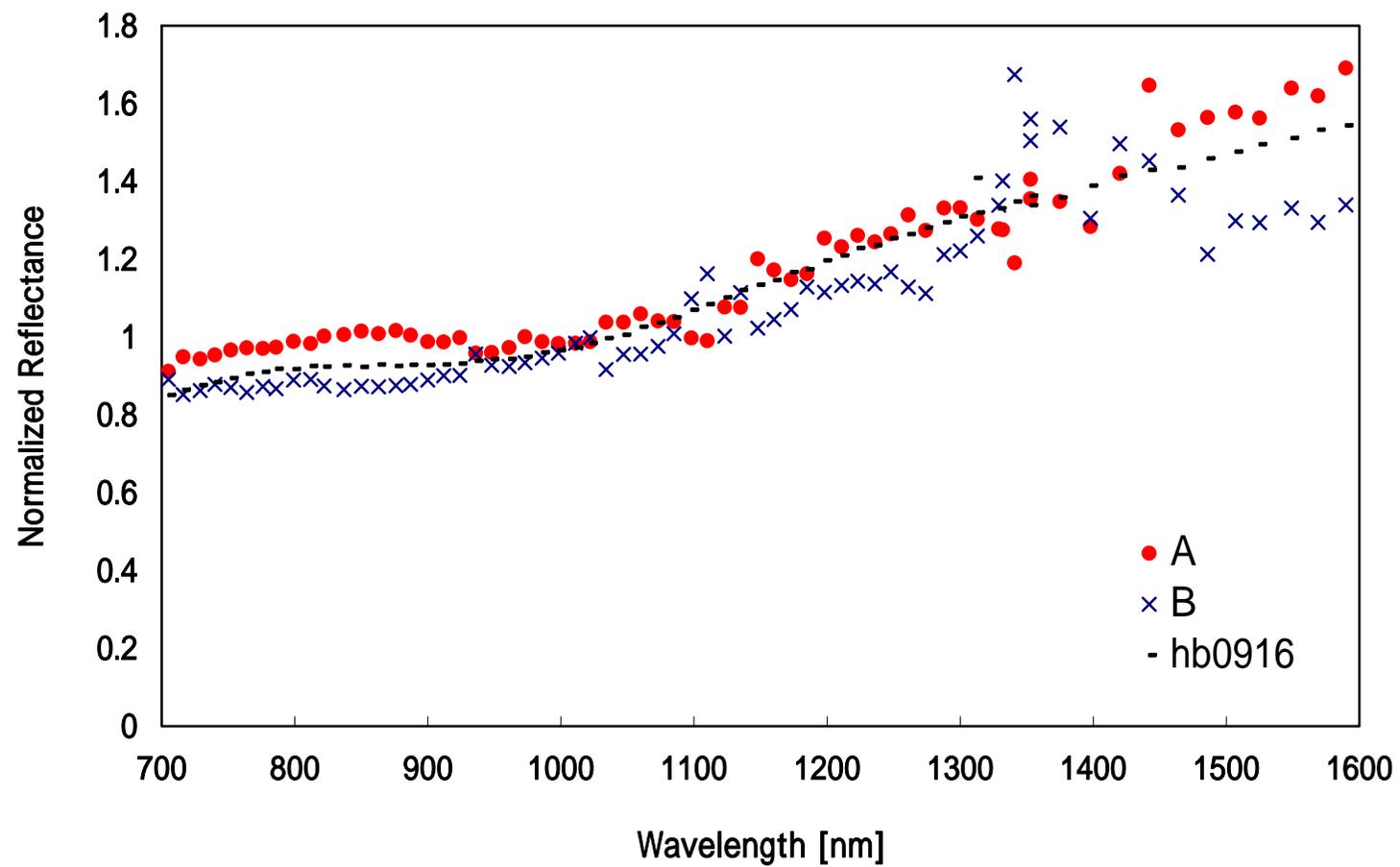


Fig 2-31 2004年9月1日に取得したAおよびBの地点の輝度値を，[Pieters and Pratt, 2000]による晴れの海（N18.7 E21.4 地点[nb0916]）の取得スペクトルに基づいて標準化した反射率スペクトル

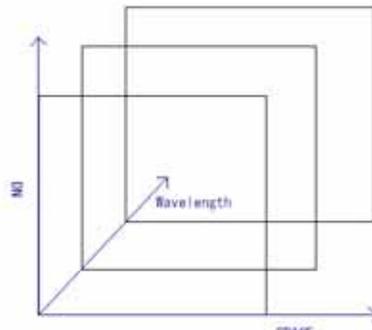
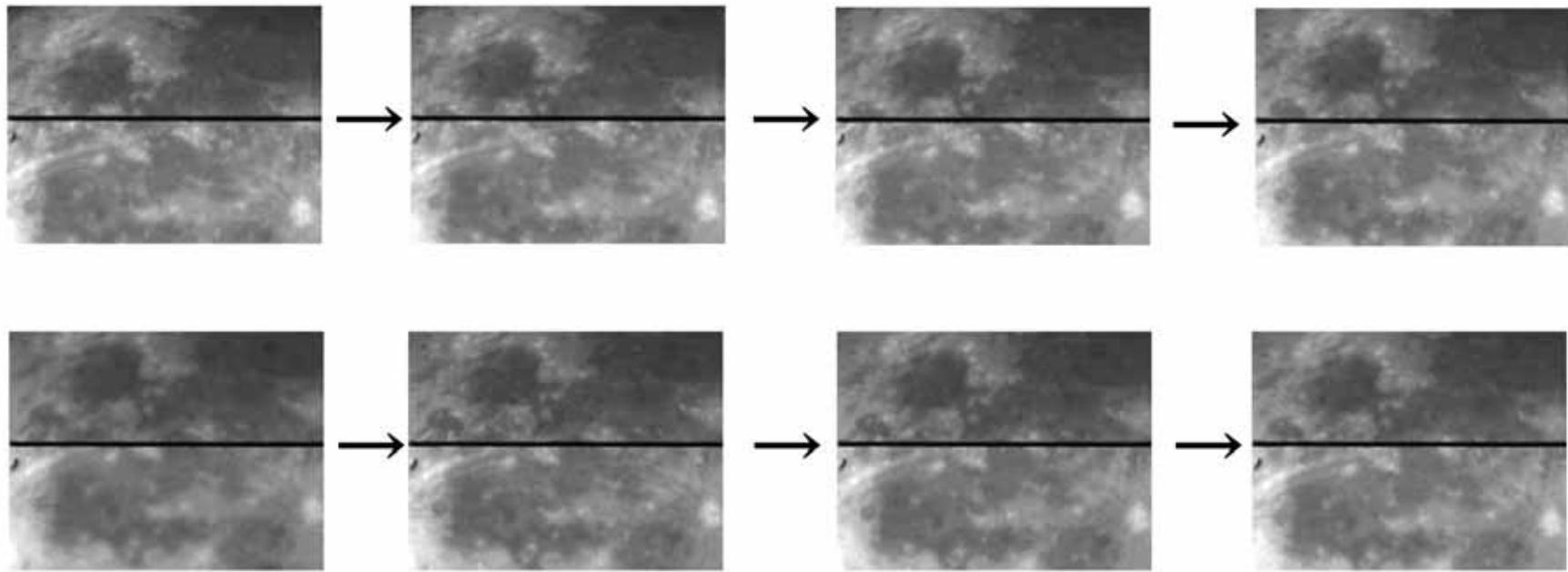


Fig 2-32 駆動部を恒星追尾にして，月の日周運動に合わせて 21 秒単位に撮像を行うことにより，空間方向と垂直方向に撮像位置をシフトさせる．隣接領域連続撮像により 2 次元平面と 1 次元連続スペクトルからなる 3 次元データを取得できる．

3. 撮像方法

3-1. フラットフィールドについて

フラットフィールド画像とは、均一な散乱光を撮像した画像をいう。冷却 CCD カメラで撮像した画像には CCD 各画素の感度ムラや光学系による周辺減光・フィルターに付着したゴミなど、光量ムラなどの情報も含まれる。測光をする場合ムラがあると、画素ごとに、撮像対象の光量以外の情報が加えられるので、そのままでは、高精度な結果は得られない。このムラは、フラットフィールド画像で補正することで軽減される。【隅山 2001】

フラットフィールド補正は、それぞれの画像からダーク処理を行ってから行う。算出方法は補正画像を G・ライトフレーム画像を LL・フラットフィールド画像を FL・フラットフィールド画像の平均輝度値を M として式に表すと

$$G = M \times (LF / FL)$$

で表される。

【福島 1996】

これまでは、月面撮像を実施した際にスクリーンに対し 45° の角度で左右から照射することによってフラットフィールド画像を取得する方法を用いていた。この方法では月面撮像時に比べて望遠鏡の姿勢が大きく変化するため、各所での歪みの発生・光軸のズレによるフラットフィールドのシフトなど、補正に合わないフラットフィールド画像になってしまう可能性がある。また、この他にもスクリーンについたゴミや風によるスクリーンの歪みなどによる影響も考えられる。よって、ディフューザー（散光板）を使用したフラットフィールド画像と、従来のスクリーンを使用したフラットフィールド画像を取得し、比較検討を行った。

3-1-1. ディフューザーの検討

ディフューザーとは光を拡散させる板のことで、ケラレや縁が光らないように鏡筒の外径よりも大きいものが必要である。本実験では、アクリサンデー社製のアクリル板を数種使用し、比較を行った。光源として昼の晴れた空を撮像する方法とスクリーンに光を当てて撮像する方法の 2 方法を比較する。さらに、アクリル板の性質が裏・表で異なるためどちらを望遠鏡側に向けてフラット撮像を行うのが好ましいか評価した。

まず、材質に関してはアクリル（厚）を使用した方が標準偏差値が小さく、フラットフィールド画像として適した撮像ができることがわかる。

表・裏に関して、アクリル（厚）ではつやのある方を望遠鏡側に向けた時は主鏡の 2 次反射が懸念されたものの、標準偏差値は低くなる傾向がある。つやのある方を望遠鏡側に向けた方がフラットフィールドとして適していると考えられる。

光源に関しては、スクリーンでの撮像よりも空を光源として撮像を行う方が明らかに標準偏差値は小さくなることがわかる。

table 3-1 ディフューザーと光源の組み合わせ

Data name	使用板の材質	望遠鏡側の表・裏	光源
01	アクリル(厚)	表(ざらざら)	sky
02	アクリル(厚)	裏(つやつや)	sky
03	アクリル(薄)	裏(つやつや)	sky
04	アクリル(薄)	表(ざらざら)	sky
05	アクリル(厚)	表(ざらざら)	screen
06	アクリル(厚)	裏(つやつや)	screen
07	アクリル(薄)	裏(つやつや)	screen
08	アクリル(薄)	表(ざらざら)	screen

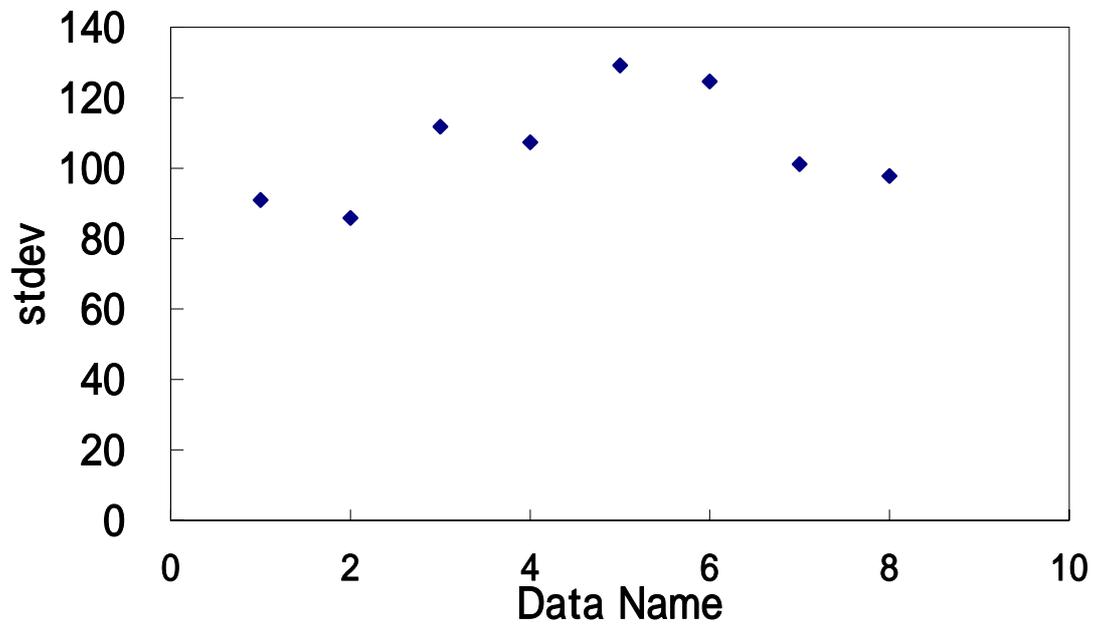


Fig 3-1 データによる標準偏差値に変化

3-2. フードの設計・作成

フードは月面光に無関係な周囲光をカットし、望遠鏡内での乱反射を防いだり、検出器の測定精度を高める役割をする。フードは長ければ長いほど余計な光を遮ることができるが、あまりに長いと「ケラレ」が発生する。ケラレとはフードを装着して撮影したときに、画面に表れる黒いワクのことである。これが出てしまうと正確な光量を算出できないため、Fig3-3 をもとにフード長をどこまで伸ばせるかを算出した。

R : MT - 300 Vの内径...320[mm]

D : 主鏡有効径...300[mm]

f : 補正焦点距離...1650[mm]

l : 近赤外 CCD サイズ... $0.04 \times 320 = 12.8$ [mm]

L : hood + 1440 [mm]

これらを式に入れてフードをどこまで伸ばせるかを計算した。

$$320 = 300 + L \times 12.8 / 1650$$

$$L = 2578[\text{mm}]$$

鏡筒の長さが 1440[mm]であるので、この値から引いてフードの可能最大長は、

1138[mm]となる

しかし、フードの重量・フード装着による前方への重心移動などで重量負荷が懸念される。これは追尾精度にも影響を与えるため、作成材料との兼ね合いも考慮し、その約半分となる 510mm のフードを設計した。

3-2-1. フード仕様素材の検討

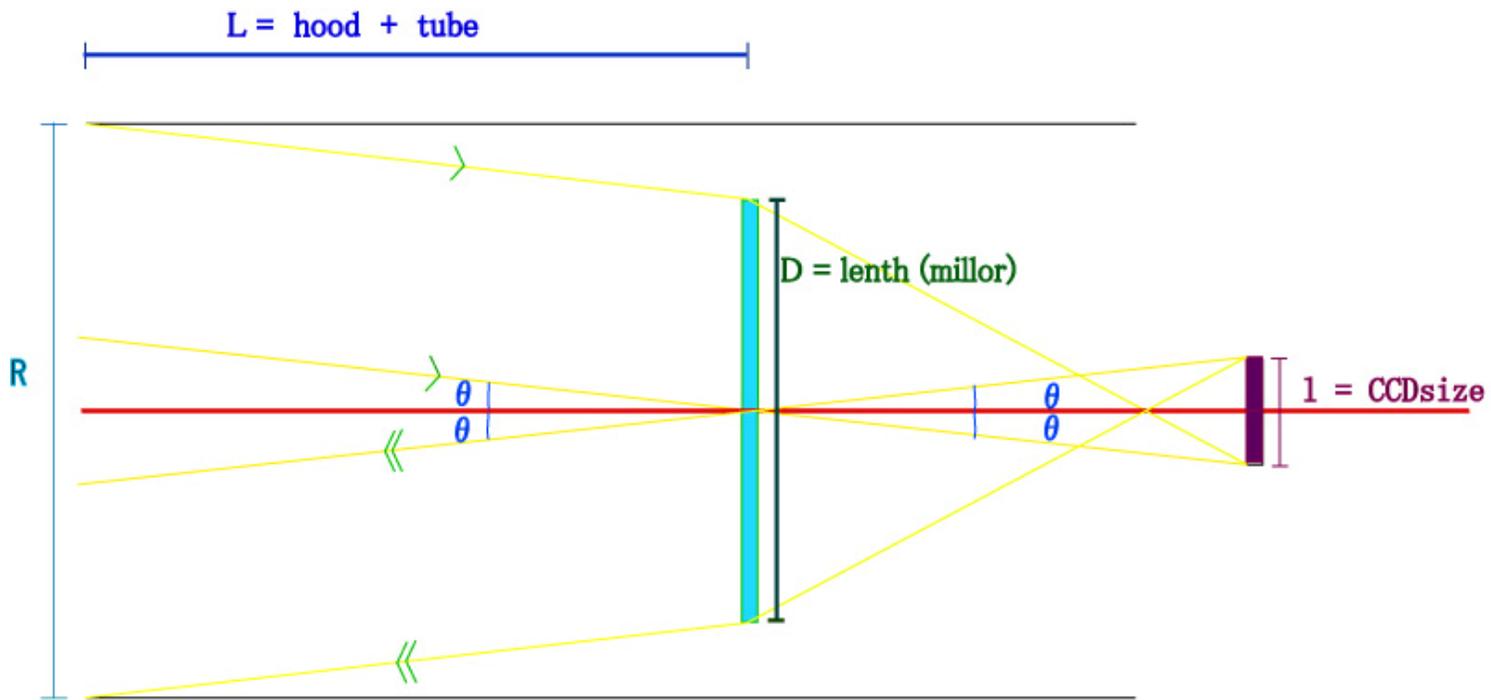
フード内での乱反射を防ぐため、近赤外・可視領域において反射率が低いものを使用しなくてはならない。フードの基となる素材は黒いプラスチック板であるため、乱反射の恐れがある。そのため、フード内に反射率の低い布などを接着する必要がある。その資材の検討を行った。可視光領域での反射率は目視でも確認できるため、近赤外線エリア検出器で黒手染め綿、スポンジゴム、シールフェルト、黒く染め済み綿（既製品）の候補素材の撮像を行い、適正布を調査した。

調査結果は、Fig 3-5 の通りである。反射率が最も低いのは手染めの布であるが、table3-2 を考慮し、布の染まりが均一で、大きくとることができる既製品の綿を採用することとした。

3-2-2. フード性能評価

実際に作成したフードの性能評価を実際に月面撮像を行い調査した。Fig 3-8 は実際にフードを装着して月面撮像を行った画像であり，左図が近赤外線領域画像，右図が可視光領域画像である。可視光領域画像・近赤外線領域画像の双方とも，フードによる光路・視野の妨害はないことがわかる。

次に雨の海で実際に輝度値を比較する。フードを装着した状態・しない状態で撮像を行い雨の海（30×30pix）の比較で調査を行い，その結果を Fig3-8 と table3-3 に示す。フードの効果によるものか，フード装着時は若干光量がおさえられていることがわかる。



最大可能光径 $R = D + 2 \times L \times \tan \theta$

$\tan \theta = 1 / 2f$

$R = D + L \times f / l$

Fig 3-2 フード長の算出図

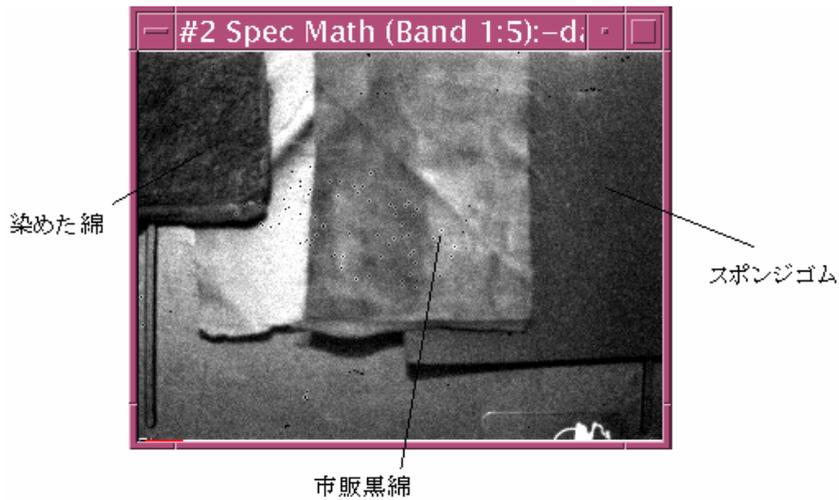


Fig 3-3 近赤外線エリア検出器による布の撮像

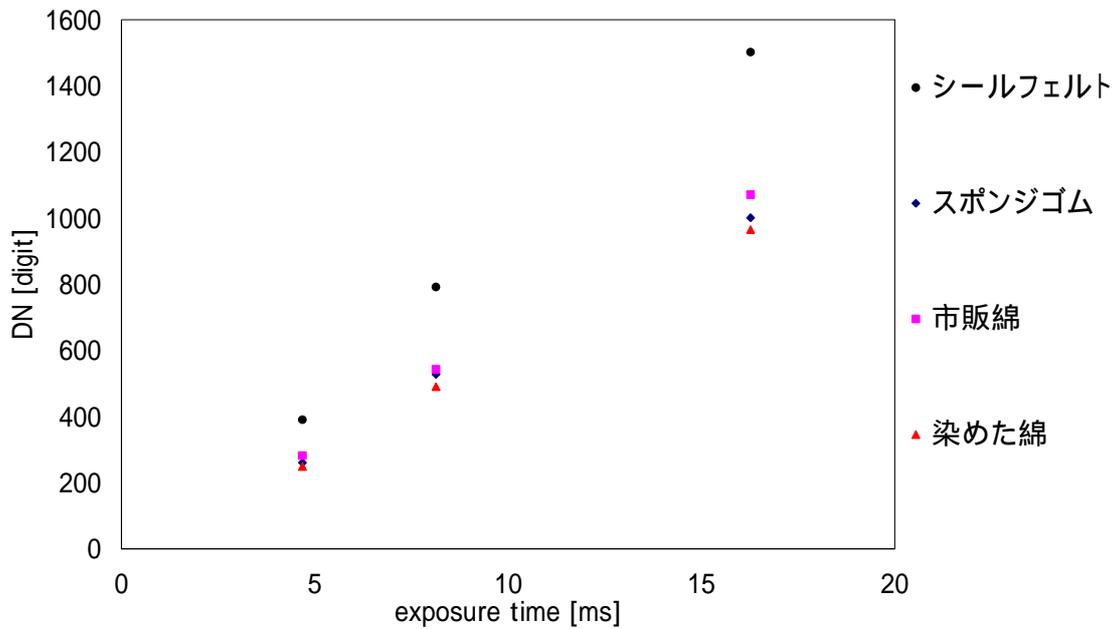


Fig 3-4 露出時間に伴う各素材の平均輝度値

Table 3-2 調査結果と考察

資材名	反射率	長所	短所
染め布		反射率が非常に低い	均一性に不安 重ねて使用するため重量負荷がかかる
スポンジゴム		反射率が非常に低い	フード内で気流の発生が懸念される
既製綿		染め方が均一で大きい	他の二つに比べて反射率が高い

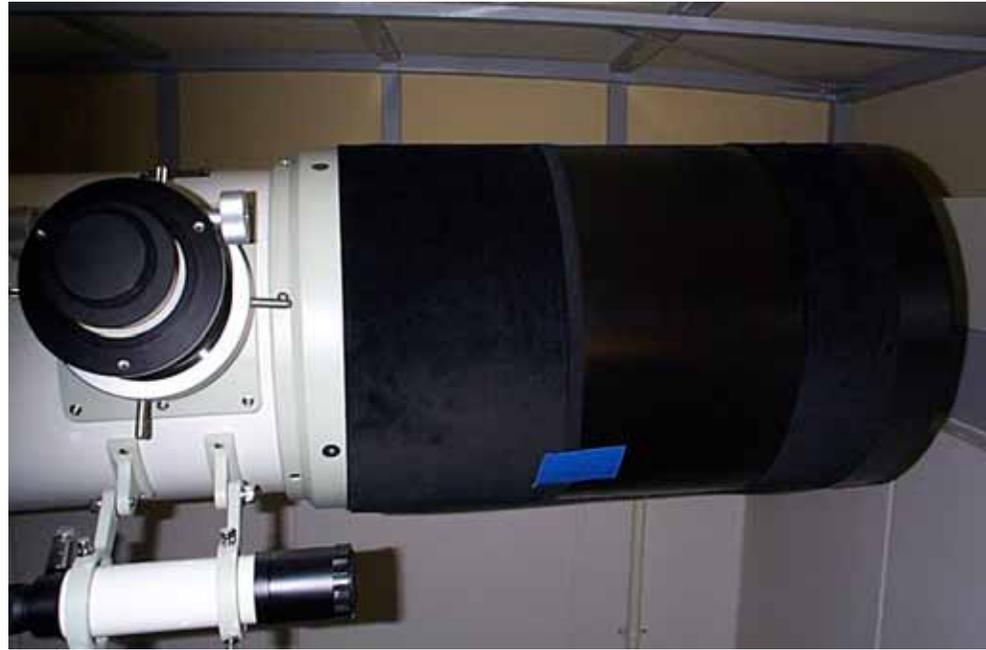


Fig 3-5 左図・完成フード，右図・フードを望遠鏡に装着



Fig 3-6 実際にフードを装着して月面撮像を行った画像である.フードによる光路・視野の妨害はないことがわかる.

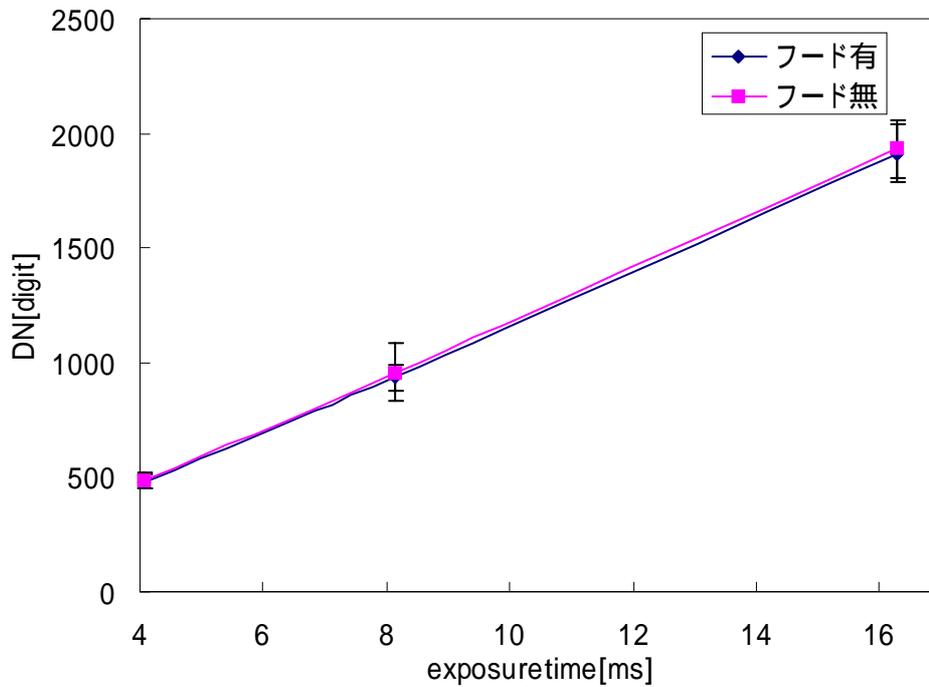


Fig 3-7 フード装着時未装着時の光量変化の比較

Table 3-3 フードの有無による輝度値の変化

exposure time [ms]	フード有		フード無	
	mean	stdev	mean	stdev
4.068	481.1	31.1	485.9	32.7
8.135	934.7	59.0	958.8	123.9
16.27	1911.8	123.9	1931.6	127.8

3-3. 波長正較について

未知のスペクトルを測定する際、検出器上においてどの波長のデータが画像のどこに現れるのか判断できない。そのため、既知のスペクトルを測定装置と同じ光学系で分光測定し、波長の位置づけを行う。これを波長較正と呼ぶ。波長較正には一般的に、既知スペクトルを持つ元素を封入したランプを使用する。天体の分光観測では、恒星を標準星として波長較正を行う場合もある。

3-3-1. 波長較正ランプ評価

本研究では可視光領域から近赤外線領域(600~1600nm)までの波長範囲で分光撮像を行う。この波長範囲において較正が可能となる較正ランプが必要となる。我々が保持しているスペクトル光源用ランプ(東芝製)はHgスペクトルランプとNaスペクトルランプである。この2つのランプについて実際に可視光領域での分光器を通し観測した。使用した分光器は宮城教育大学千葉研究室所有の分光スペクトル測定器『MCPD-1000』(大塚電子株式会社)で、分光撮像可能波長範囲は300~1100nmまでである。

まず我々の保有ランプが実際に使用できるものであるかを評価するため、千葉研究室所有のHgスペクトルランプを同じ条件下で測定した。調査結果をFig3-8に示す。

Hgランプでは360nm・550nm・1010nm付近で多少のズレが見られるが、現れるスペクトルの形はほぼ重なるためランプに異常はないと判断できる。

また、数値データと照らし合わせると、Hg元素だけでは輝線が存在しない波長にまでスペクトルが現われていることがわかる。これに関して、東芝社のランプカタログによると、それぞれの元素金属と微量のアルゴンガスが封入されている、という記載があるので、Hgだけでなく、Arガスが同時に発光していることが理由として考えられる。

3-3-2. 波長較正ランプの検討

Hg ランプについて測定した結果の中で、Ar 元素の影響による輝線も含んでることが判明した。これによって封入された Ar が波長較正に影響する可能性があり、これをキャンセルする・あるいは較正に使用するためにも Ar ランプを使用した較正も必要となる。

本研究では 10nm 単位での波長較正を理想としている。Ar は 1000nm 前後にも輝線が 10nm 以上の間隔で輝線が表れるので、この長波長範囲における我々の較正に有効であるが、数値データ・測定結果からもわかるように 700 nm ~ 900nm 前後で輝線の現れる波長間隔が非常に短く、輝線が撮像画面上で潰れてしまい較正に使用できない可能性もある。このため、この範囲で輝線の表れるランプが必要となる。700nm ~ 900nm で本研究に有効な較正ランプを考えた場合、数値データからもクリプトン (Kr) 元素が適していると考えられる。そのデータを Ar のデータと共に示し、市販の Kr ランプデータを示す。

本研究における波長較正には、Hg ランプを使用し、輝線が潰れる・輝線が表れない等による較正範囲の欠損が生じ、較正が不可能になる場合は、Ar・Kr を使用することとした。

Table 3-4 Hg・Ar・Krの輝線データ

Hg[nm]	強度
1711	2
1707	2
1692	2
1530	5
1395	4
1367	8
1357	6
1189	1
1129	9
1014	10
773	6
708	4
691	10
623	8
612	6
607	5
579	10
577	10
568	5
546	10
496	5
492	5
436	10
435	6
434	6
408	7

Ar[nm]	強度
1372	4
1351	4
1250	30
1159	8
1064	12
966	7
923	5
912	10
852	5
843	10
841	6
827	5
812	10
801	8
795	5
772	5
764	6
750	4
738	5
707	5
695	6
687	4
675	5
667	5
642	6
639	4
622	4
617	4
610	4
604	6
603	6

Kr[nm]	強度
893	1
878	3
851	2
830	6
828	3
826	4
819	6
811	10
810	7
806	4
786	7
769	8
769	7
760	10
759	10
690	5
646	5

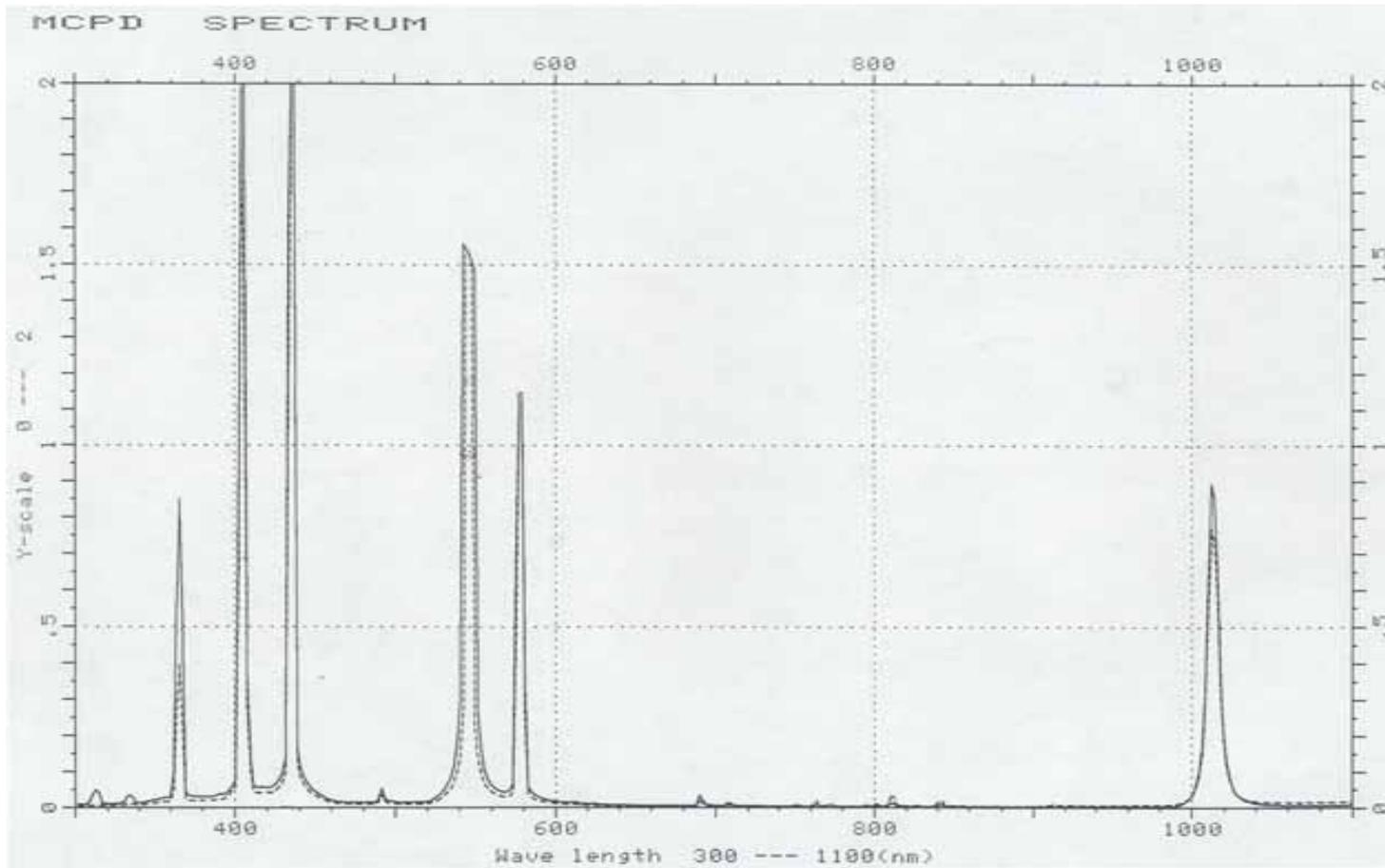


Fig 3-8 分光器による Hg ランプの性能評価結果

————— 千葉研究室所有ランプのスペクトル
 - - - - - 高田研究室所有ランプのスペクトル

3-4. 空間位置の対応について

分光観測を行う際、可視光領域と近赤外線領域でセンサーが異なるため、スリットを通過した光が検出器上のどの部分に分光されて現れるのかを調査し、一致させる必要がある。そのため、F5.5 の光学系を再現し、分光器に点光源を結像させてその調査を行った。その結果を Fig3-9 に示す。これによって、スリットビューア・可視光領域画像・近赤外線領域画像の空間対応をつけることができる。

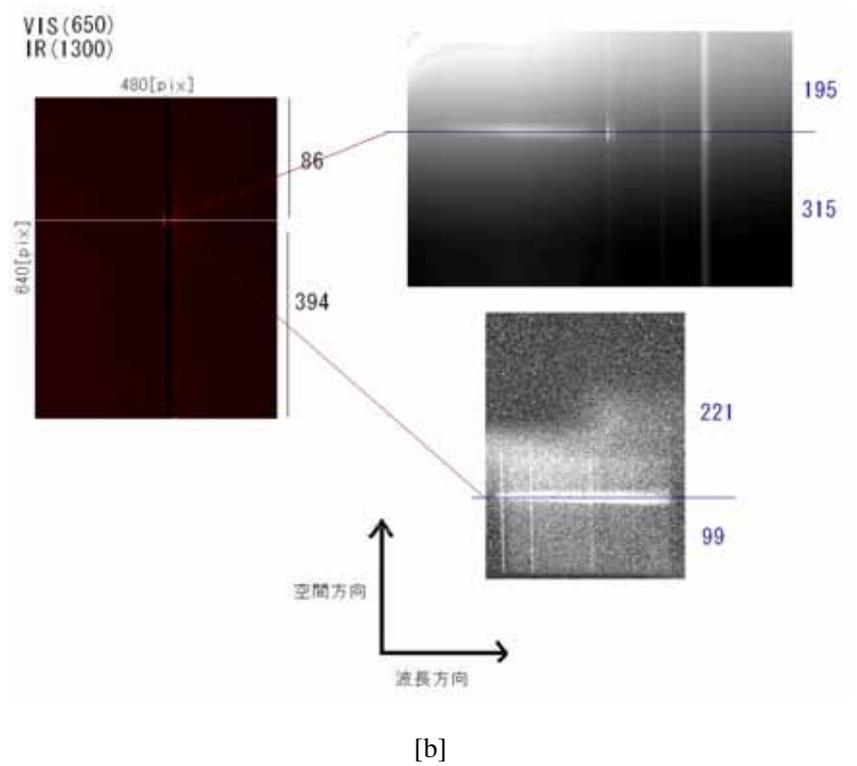
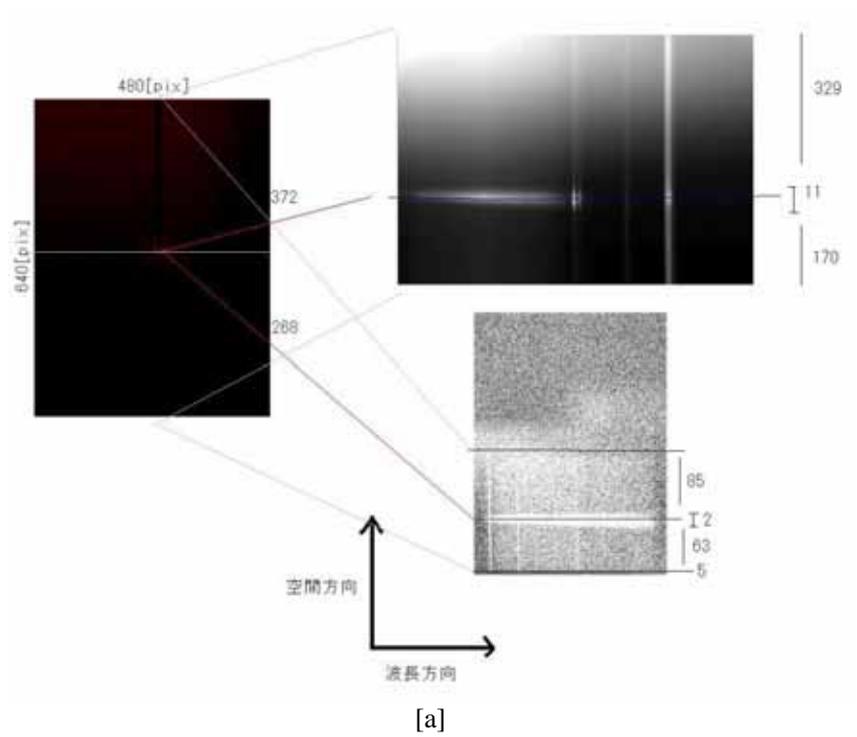


Fig 3-9. 各検出器上における位置対応調査

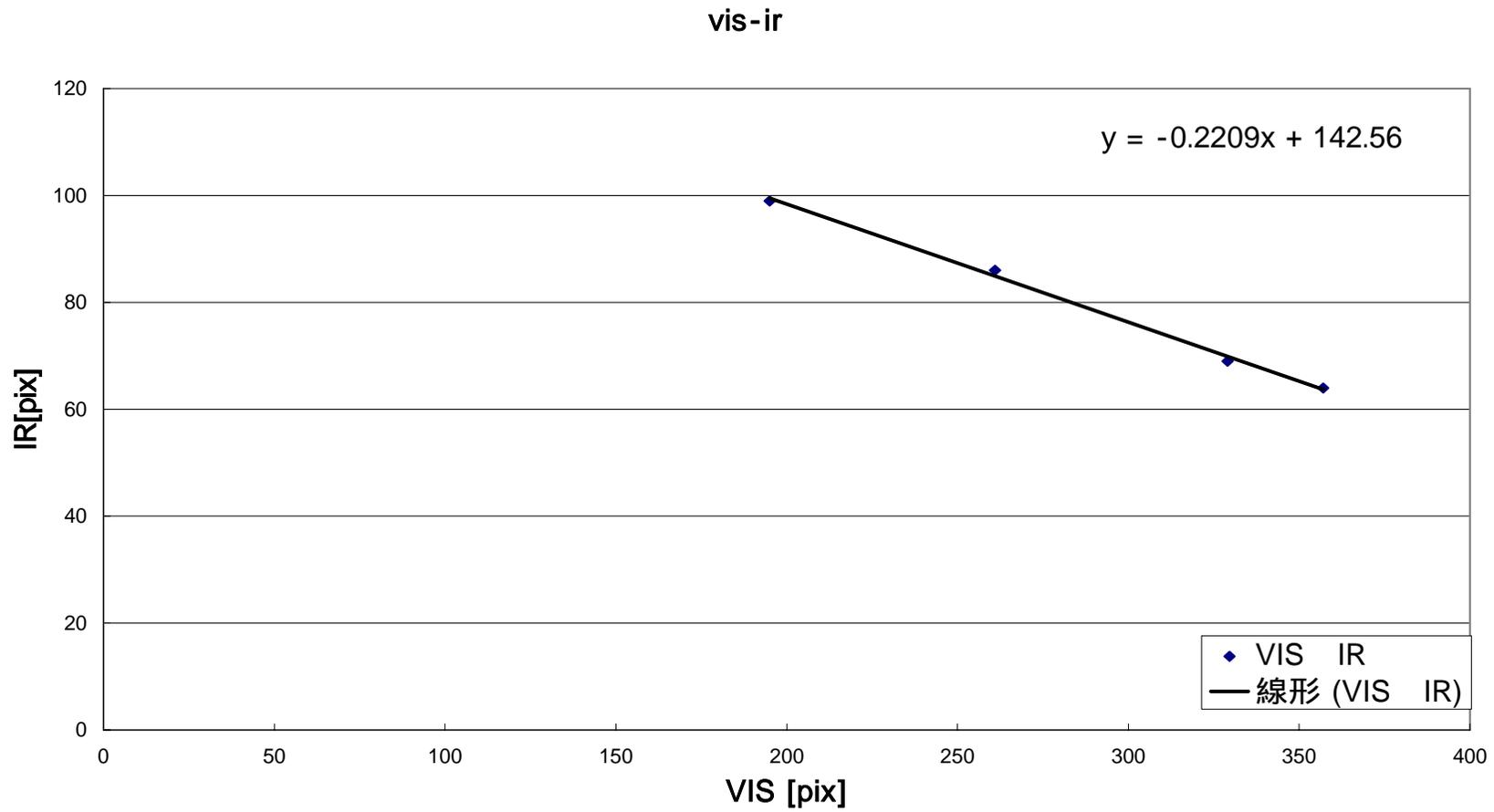


Fig 3-10. 可視光領域センサーと近赤外線センサーの位置対応

4. 結果とまとめ

分光イメージャシステムに実際に光を入れ、波長分解能・空間解像度の性能評価をすることはできた。実際に月面分光撮像も行い、月面の3次元スペクトルデータが取得することも確認できた。しかしながら、分光イメージャの微調整や撮像方法の確立が依然として不十分であり、解析に至る正確なデータの取得に至っていない。また、1度の撮像で取得できるデータが膨大であるため、解析の系統化と効率化も必要となる。今後は、これらの解決が課題となる。

参考文献

Pieters et al. (1993) : 「Remote Geochemical Analysis: Elemental and Mineralogical Composition」 Cambridge University Press

Lucey et al. (1998) : 「Mapping the FeO and TiO₂ content of the lunar surface with multispectral imagery」 Journal of Geophysical Research, Vol.103, No.E2 American Geophysical Union

Blewett et al. (1997) : 「Clementine images of the lunar sample return stations Refinement of FeO and TiO₂ mapping techniques」 Journal of Geophysical Research, Vol.102, No.E7 American Geophysical Union

福島英雄 (1996) : 「天文アマチュアのための冷却CCD 入門」, 誠文堂新光社

武田弘 (1984) : 「月の科学」, 岩波書店

平尾直久 (2001) : 「水星探査機用 可視・近赤外分光撮像装置の基礎開発」

隅山智子 (2001) : 「可視近赤外分光観測による月面組成分布の調査」

松下真人 (2002) : 「月面分光撮像システムの構築および画像解析による月面表層物質の組成分布調査」

松下真人 (2004) : 「月面分光撮像システムの構築ならびに月面表層鉱物組成マップの作成」

池田優二 (2002) : 「分光について」

謝辞

本研究を進めるにあたり，適切なお助言ならびに懇切丁寧なご指導をいただいた宮城教育大学教育学部理科教育(地学科)の高田淑子助教授に深く感謝いたします。

また，同大学地学科の青木守弘教授，川村寿郎教授，同物理科の千葉芳明教授，同化学科の池山剛教授には，日頃から実験機材を使用させていただくなど，様々な面からご支援いただいたことに深く感謝いたします。

東北大学理学研究科の平尾直久様，株式会社ジェネシアの池田優二様，武山芸英様，山梨県立科学館の松下真人様には，丁寧なご指導，ご助言をいただいたことに深く感謝いたします。

さらに，研究活動全般を通して，夜間の観測などさまざまなご協力，ご援助をいただいた同研究室の千島拓朗君，佐藤拓也先生，平吹研究室の中條裕君に感謝いたします。

付録

近赤外線検出器操作マニュアル

L a b V I E W	
data_acq_I16binary.vi を起動し、 撮像プログラムを立ち上げる	data_acq_I16binary.vi ファイルによってLabview が起動する。
Image Type (信号単位) の設定	標準設定の Image Type が 8bit となっているので、 ボタンで設定を 16bit にする。
scan number (撮像枚数) の設定	標準設定では 0 枚になっているので、そのままでは プログラムは作動しない。 ボタンか、数字の直接入力 によって撮像枚数を決定する。
path (保存先アドレス) の指定	保存する場所のアドレスを指定する。ドライブやフ ォルダの区切りにはバックスラッシュ (¥) を使用する。例えば C ドライブの IR というフォルダの中の 001 というフォルダの中に画像を保存したい場合、この欄 には 『 C ¥ IR ¥ 001 』 と指定する。ここで指定したフォルダ中に、 で指定 した枚数の画像が全て自動的に保存される。名前は撮 像した順番に、0 から始まる数字で付けられていく。 また、フォルダを変更せずに撮像を行うと全く同じ 名前のファイルを作成しようとするので、上書きして 良いか注意書きが現われるので、フォルダの指定に注 意すること。
撮像の実行	メニューバーの < 操作 > < 実行 > から撮像を実 行できる。また、キーボードの Ctrl キーと R キーの同 時押しでも撮像を実行できる。 画像は指定した枚数分、自動的に保存される。現在 撮像されている画像は scan number now? という欄に、 現在何枚目の画像を撮像しているのか表示される。
撮像画像の確認	撮像している画像は強度グラフ欄に、強度が色分けに よって表示される。
画像のデータ値確認	データ数値は、data 欄に、画像の中からランダムに 56 ピクセルを選択し、その強度を数値で示される。

ファイル(F) 編集(E) 操作(O) プロジェクト(P) ウィンドウ(W) ヘルプ(H)

12pt アプリケーションフォント

For a description
select Show VI Info
from the Windows menu.

Interface Name
img0

① Image Type
8 bits

② scan number
0

③ path
C:\data

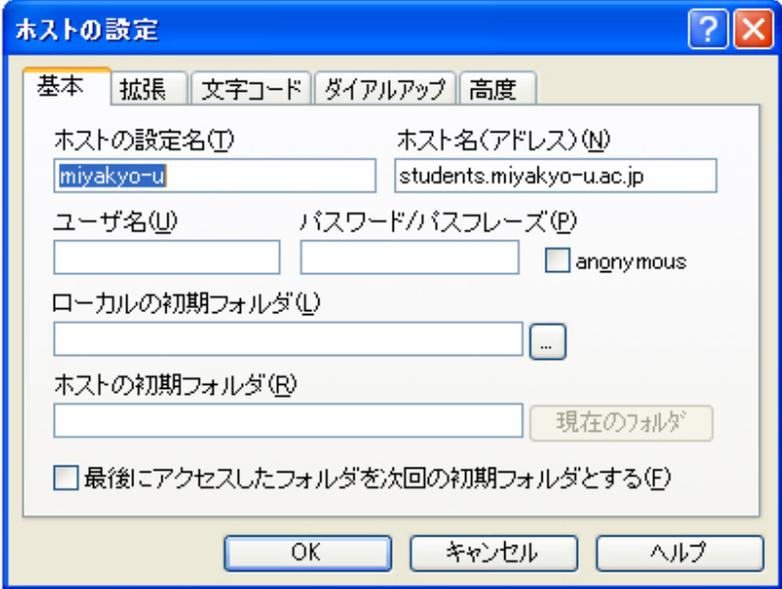
④ scan number now?
0

NOTE: You must have IMAQ Vision installed to run this example.

⑤ 強度カラ

⑥ data (符号なし16ビット整数)

0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0

FFFTP	
FFFTPを起動し，procsv サーバに画像を送る	画像処理は，procsv サーバ上で行うため，処理する画像をサーバに送る．
procsv サーバに接続する	<p>ホスト一覧からprocsv.miyakyo-u.ac.jpを選択して [接続] する． (ユーザー名(学籍番号)とパスワードを入力)． ホスト一覧にprocsv.miyakyo-u.ac.jpがない場合は新規ホストから図のようにホスト設定を行い接続する．</p> 
画像を転送する.	転送元と転送先を指定し，転送したいファイル(フォルダ)をバイナリモードでアップロードする．