

# 冷却 CCD カメラによる微弱画像処理技術の習得

工学部技術部エレクトロニクス応用技術系

藤村 久

## 1、はじめに

実験研究に写真を利用する機会が非常に多く、そのほとんどを銀塩材料に頼ってきた。近年デジタルによる写真が、その画素数の増加に伴って銀塩材料に変わりつつある。銀塩写真は一部を除いて、現像処理などを経て初めて目に見えるようになり、特殊な撮影には撮影時にフィルタを使うなど光学系を変えるか、現像段階(焼き付け処理を含む)で処理方法を変えるかであった。その点、デジタル写真はパソコンに取り込むことでいかようにも処理が可能になり、かつ撮影とリアルタイムでその処理ができるようになった。

しかし、デジタル写真にはノイズというやっかいな問題が付きまとうことも忘れてはならない。とくに私が関わる暗く微弱な画像ではノイズ問題が極めて大きな要素となってくる。本研修は、微弱画像に含まれるノイズの種類と発生源を知り、それを除去する方法を学ぶことを主な目的とする。工学部技術部の平成 14 年度系別研修でこの機会を頂いたので報告する。

## 2、デジタル画像と雑音

CCD (Charge Coupled Device) は、固体撮影デバイスまたは電荷結合素子とも訳されているとおり、各画素 (ピクセル) に蓄えられる光の情報を得るため、画素毎の電荷信号を結合しながら転送する方式のイメージセンサーといえる。この電荷信号はアナログで伝送されながら、A/D 変換器でデジタル信号に変換されメモリに記憶される。

これらの過程で、デジタル信号の中にはいろいろな原因で生じたノイズが紛れ込み、そのままでは鮮明な画像が得られない。ノイズには次のようなものが考えられる。

### 2.1 暗電流ノイズ

CCD は、まったく光があたっていない状態でも暗電流が生じ、ランダムな電荷信号として出力される。本研修で使用した CCD に使用されているシリコンのように、エネルギーバンド

ギャップが小さい場合、価電子帯の電子が熱的に励起されて伝導帯に分布しやすいことが暗電流発生の原因となる。暗電流は次式のように温度の関数として表される。

$$I(t) = CT^{3/2} \cdot \exp\{-E_g/2kT\}$$

$I(t)$  ; 暗電流 (温度の関数)

$C$  ; ピクセルの受光面積に関する定数

$T$  ; 絶対温度

$E_g$  ; シリコンのエネルギーバンドギャップ

$k$  ; ボルツマン定数

この式から温度が高いほど暗電流によるノイズが多くなることが分かる。また露光時間が長いほど暗電流ノイズが多く蓄積されることが実験から分かったので、高温・長露光時間という悪条件下でノイズを意識的に多く拾いその対策を考えてみた。

何も写らないはずの真っ暗な状態で、暗電流ノイズや次の項で触れる読み出しノイズだけの画像 (ダークフレームという) を撮影し、もとの画像から差し引く処理をソフト上で行うことにより鮮明な画像が得られた。暗い微弱な画像を扱う際、最も影響が大きいと考えられるダークフレーム処理を中心に報告する。

### 2.2 読み出しノイズ

電荷信号伝送中や増幅回路、スイッチングなど電子回路で発生する電氣的ノイズをまとめていう。微弱画像撮影でも、暗電流ノイズが目立たないほどの短時間露光時(例えば 1 秒以下)に現れ、各画素間の電荷信号の変動や筋状のノイズとなって画像に影響を及ぼす場合がある。

### 2.3 感度・光量斑 (むら)

CCD の各素子間には微妙に感度斑がある。これはノイズとはいえないかもしれないが、精密な光量計測などには補正が必要になると思われる。同じような斑に、光学系が原因で生じる光量斑があり、レンズを使用した時の周辺減光が顕著である。これらの斑はフラットフィールドと呼ぶ。今回、光源とレンズの間に乳白色

の亚克力板を置き拡散させ、均一な光線を作りフラットフィールドを撮影し補正したが、暗い画像には顕著な影響がなかったのでここでは省略する。

### 3、冷却 CCD カメラシステム

#### 3.1 CCD 素子

本研修で使用した CCD の仕様は次のとおり。

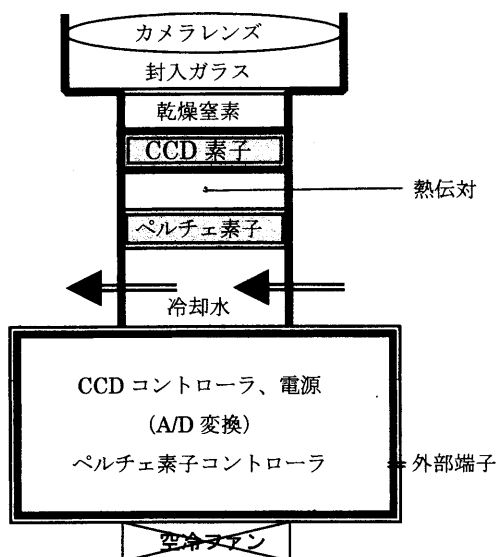
SONY ICX085AL (シリコン基板)

- チップサイズ ; 10.0×8.7mm (2/3 inch)
- 有効画素数 ; 1,300×1,030 (約 130 万画素)
- ピクセルサイズ ; 6.7×6.7 μm
- A/D 変換 ; 14bit (16,384 階調)
- 転送方法 ; インターライン方式

#### 3.2 CCD の冷却

前項で触れたように、CCD から出力する電荷信号にはノイズが含まれ、とくに影響が大きい暗電流によるノイズを軽減するために CCD を冷却する。

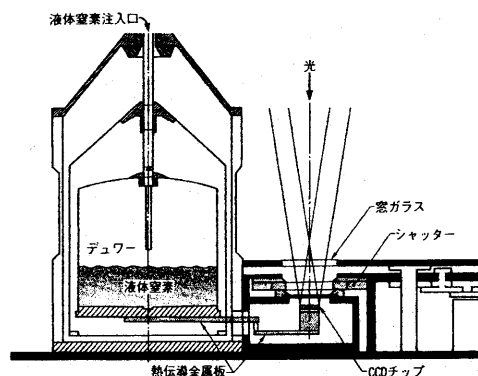
本研修で使用したカメラは CCD の後ろにペルチェ素子を置き、その廃熱のために冷却水を流してより冷却効率を上げることにした。また冷却水を流すことにより、ペルチェ素子の温度管理が長時間に渡って正確にできるようになった。CCD の背後に熱伝対を挿入し温度をモニタした。



(図 1) 冷却 CCD カメラの構造

ペルチェ素子と冷却水の使用で、 $-20^{\circ}\text{C}$ まで安定して長時間撮影ができた。しかし、 $0^{\circ}\text{C}$ 以下になると CCD 表面に結露が生じるため、乾燥窒素を封入しガラスで密閉する必要があった。カメラレンズと CCD カメラの間は C マウントを使用した。

天文台でも最近では CCD による撮影を行っていると聞き、岡山天体物理観測所を見学した折、CCD の冷却方法を質問してみた。



(図 2) 天文台で使用した冷却系

以前は、図のようにドラム缶程のデュワー瓶に大量の液体窒素を注ぎ込んで使用していたと聞き驚いた。現物は、188 cm 望遠鏡のある天文ドームの隅に処分されずに置かれていた。現在は、ペルチェ素子を 2 段 3 段に使用し、 $-80^{\circ}\text{C}$ 以下を簡単に得ることができダークノイズの影響がほとんどないと説明を受けた。

#### 3.3 PC への取り込みと画像処理ソフト

CCD からの電荷信号は、PCI インターフェースボードを介しパソコンに取り込んだ。画像処理のために高速転送 (14 bit ; 130 万画素を 0.7 秒で転送) を選んだため USB が使用できなかった。

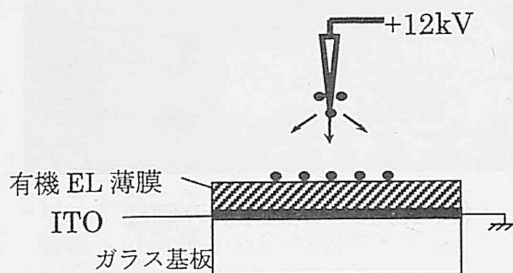
画像処理用のソフトは BITRAN 社の BS-H シリーズで「微弱光用」を使用した。パソコンの表示能力が 8 ビットと制約があったので、14 ビットの CCD 電荷信号を 8 ビットに変換するのに、画像全体を変換するのではなく最終的に必要な光量のみ変換させることにした。また、コントラストを得るために、切り出すレンジ (表示する上限と下限) をある程度狭くすることも必要であった。ソフト上で、ライトフレーム (もとの画像) にダークフレーム (ノイズだけの画像) 処理とフラットフレーム (感度斑、光量斑だけの画像) 処理を行った。

## 4、撮影

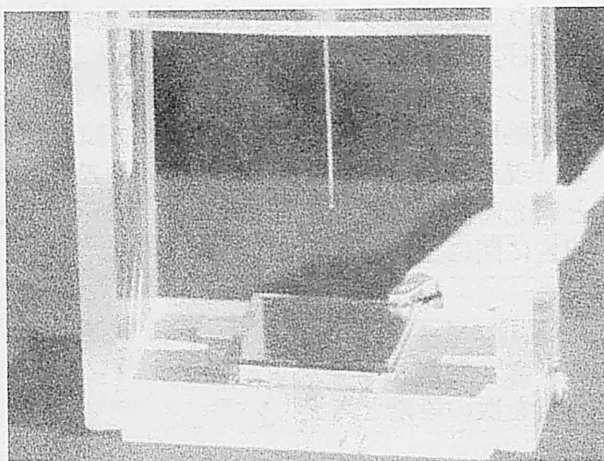
### 4.1 EL 発光素子とポーリング装置

微弱画像撮影のサンプルとして、研究室から有機 EL 基板とそれを発光させるコロナポーリング装置の提供を受けた。

発光基板は、ITO ガラス基板上に  $0.44\mu\text{m}$  の厚さの有機材料薄膜を作製してある。(図 3) これを図 4 のように、細い針状の電極で  $12\text{kV}$  の直流電界をかけることで、約  $440\text{nm}$ (淡い青色)で EL 発光する状況を写真で観察する。発光は非常に弱く肉眼ではまったく観測できず、針状の電極の先にコロナ放電がわずかに見られる程度であった。



(図 3) 有機 EL 発光基板

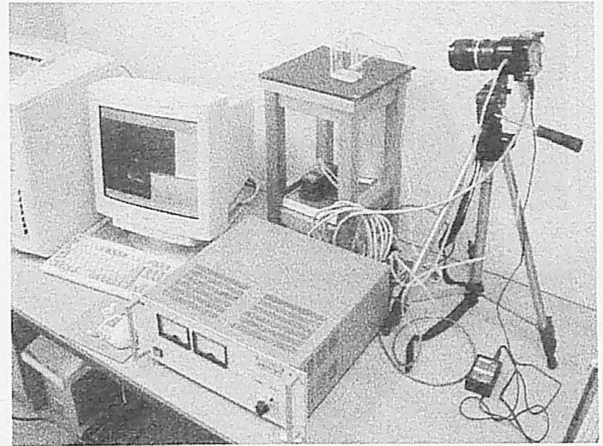


(図 4) コロナポーリング装置

### 4.2 撮影装置

肉眼で確認できない淡い EL 発光を撮影するために、完全暗室を必要とした。データを取り込むパソコンのディスプレイや SW 類のパイロットランプの明かりすら厳禁である。撮影後なぜかポーリング装置の枠などが明るく写っていたのは、非常用電源の PL であった。

図 5 に装置全景を示す。右上から CCD カメラ、ポーリング装置、高圧直流電源、パソコン、机の下に水冷用タンクとポンプなどが配置されている。

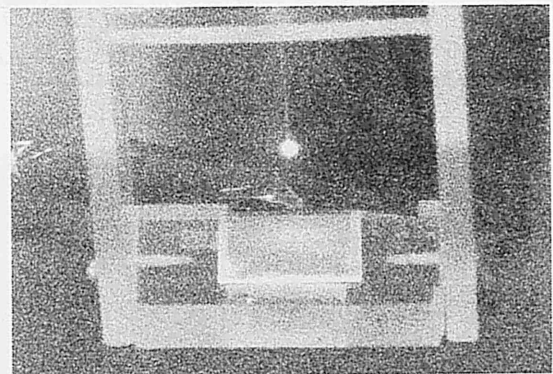


(図 5) 撮影装置全景

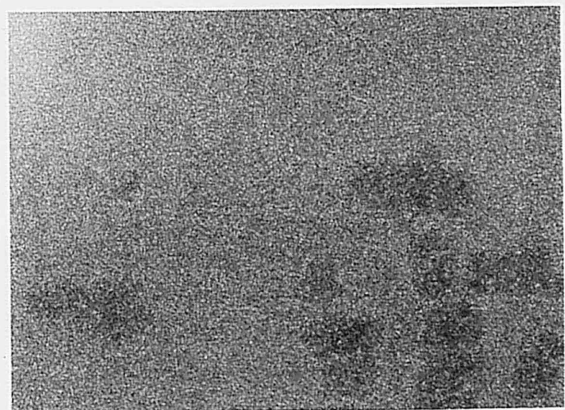
## 5、画像処理

### 5.1 撮影し取り込んだ画像

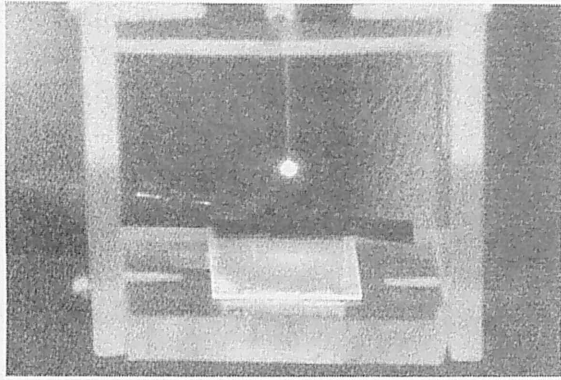
撮影条件は、 $-20^{\circ}\text{C}$  から室温 ( $20^{\circ}\text{C}$ )、露光時間はすべて 30 分とした。ここでは、室温と  $-20^{\circ}\text{C}$  を比較した画像を示す。



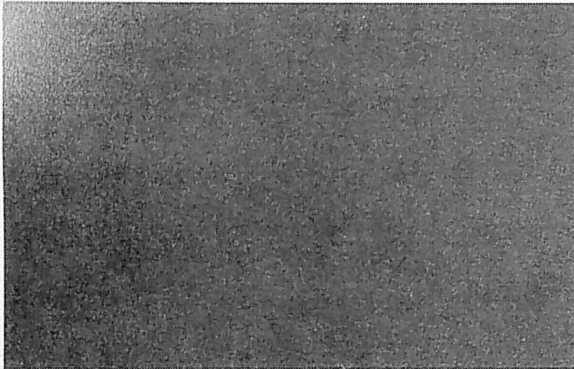
(図 6-1) 室温  $20^{\circ}\text{C}$  で 30 分露光



(図 6-2) 同ダークフレーム画像

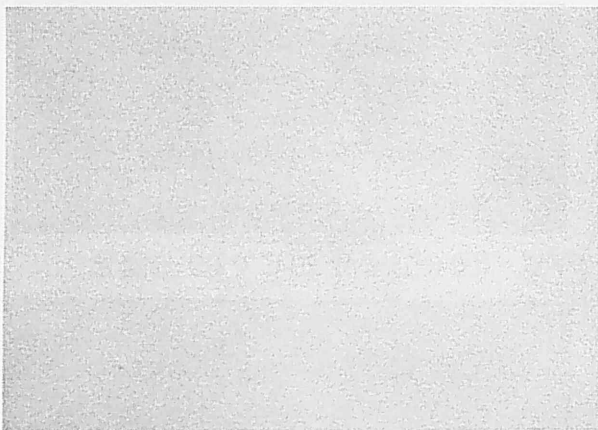


(図 7-1)-20°Cで 30 分露光



(図 7-2)同ダークフレーム画像

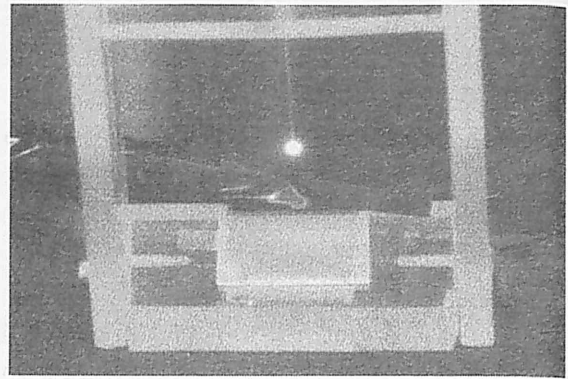
画素間の感度斑や光学系の光量斑を含んだフラットフィールド画像を撮影したものが、図 7 である。中心部分に比べ周辺が暗く写っている。これは主にレンズの周辺減光であると考えられる。フラットフィールドは、温度と露光時間には直接影響を受けない。



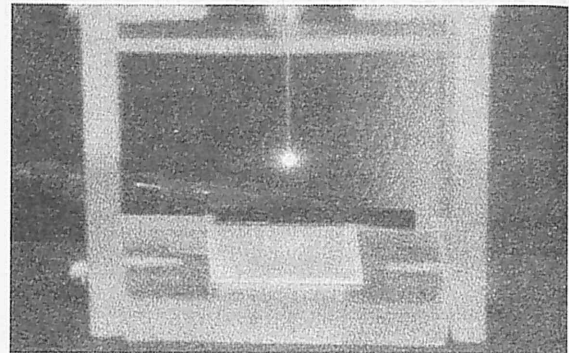
(図 8)フラットフィールド

## 5.2 画像処理

図 6 および図 7 で得られた画像に、ダークフレーム処理ならびにフラットフレーム処理を行ない補正した画像を次に示す。



(図 9)図 6 の処理済み画像



(図 10)図 7 の処理済み画像

## 6、まとめ

暗電流ノイズを含むダークフレーム処理等を行うことにより、鮮明な画像が得られることを学び実習した。

レンズの周辺減光斑を含むフラットフィールド処理は、暗い画像を扱ったためか顕著な効果は現れなかった。また、暗電流ノイズを温度と露光時間の関係を定量的に示したかったが、報告に間に合わなかった。

CCD から取り込んだ電荷信号を数値化し、エクセル等汎用ソフトで処理しグラフ化する作業を次の段階と考えている。

最後に、本研修を行うにあたり CCD を提供して下さるとともに、撮影や画像処理に協力して下さった NEDO 養成技術者であり、地域共同センター受託研究員の車彦龍博士に感謝します。

## 参考文献

- 1) 福島英雄：冷却 CCD 入門 誠文堂新光社
- 2) 大野 信他：デジタル写真入門 コロナ社