

デジカメによる天体の色と明るさ
の定量的観測方法の開発
-デジカメで挑戦する HR 図-

飯塚 丈善(高1)

鈴木 一真(高2)

亀田 宏輝(高1)

仲野 祐貴(高1)

千葉県立船橋高等学校 地学部

1. はじめに

天体写真撮影の方法として、以前は銀塩写真が主であった。しかし、銀塩写真からでは天体の明るさや色を定量化することができないので、アマチュアの天文写真家は天文学的な研究からは遠いところにいた。しかし、近年はデジタルカメラや画像処理ソフトが普及し、アマチュアでも天体の定量的な観測ができる可能性が開けてきたと考えられる。

デジタルカメラは、受け取った光を電圧に変換し、その強さを記録するという作業を行っている。そこで、記録された電圧（輝度）を計測すれば、もとの光の強さが分かることになる。実際には、光の三原色（赤、緑、青）ごとの輝度を記録し、カラー画像としている。私たちは国立天文台が配布しているすばる画像処理ソフトマカリに、輝度を計測する機能があることを知り、これを使えばアマチュアでも星の色と明るさを定量化し、天文学的な研究ができるのではないかと考えた。そこで、HR 図の自作など、高校生が天体の観測的研究に参加する道を切り開きたいと思い、研究を始めた。

本研究は本校地学部における研究として始まり、その一部は既に千葉県科学作品展において発表した。さらにその後、船橋高校理数科課題研究として研究したものである。また、船橋高校 SSH の特別講座（ぐんま天文台研修）の成果を一部に利用している。

2. 研究目的

デジカメを利用して、輝度と色の定量的観測方法を開発し、天体の観測的研究を実現する。

- (1) 星団をデジタルカメラで撮影し、得られた画像をもとに星団を構成する恒星の色と明るさを数値化し、HR 図を作成する。
- (2) HR 図の作成において問題となった露光オーバーを解決し、正確な測光技術を開発する。
- (3) 冷却 CCD カメラとデジカメによる観測結果を比較することで、デジカメの特性に起因する影響を探る。

3 (1). HR 図の作成

使用機材

〈デジタルカメラ〉 Canon Eos Kiss X2(赤外カットフィルタ除去)

Canon Eos Kiss F

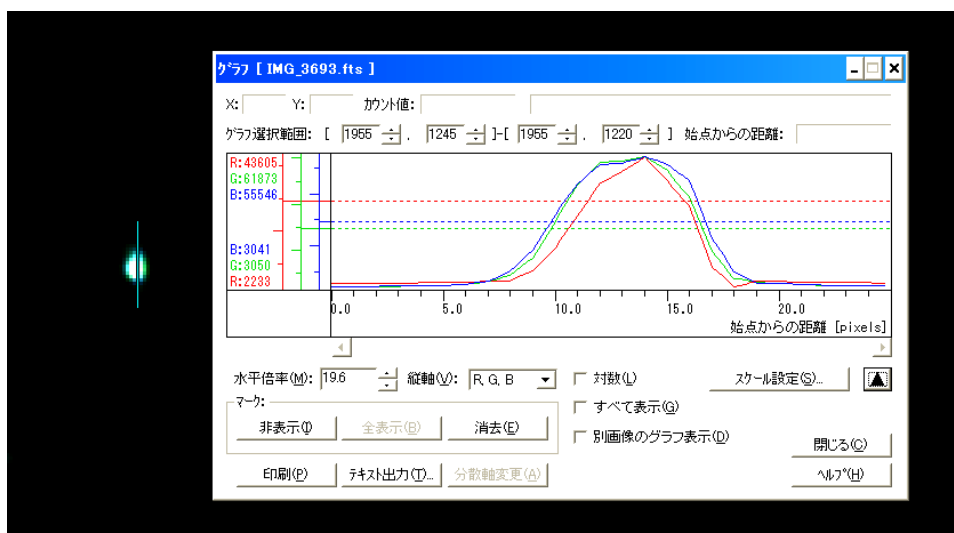
〈レンズ〉 Canon EF200 mm

〈望遠鏡〉 高橋製 TSA-102 10cm 屈折望遠鏡

〈画像処理ソフト〉 ステライメージ Ver6、すばる画像処理ソフトマカリ

手順

- ①デジタルカメラとレンズや望遠鏡を用いて、各星団を RAW 形式で撮影する。
- ②撮影して得られた各星団の RAW 画像を、ステライメージ Ver.6 を使って FITS 形式に変換する。
- ③星団を構成すると思われる恒星を囲むように、円を描く。このとき描いた円の中にある恒星全てからデータを取ることにする。
- ④すばる画像処理ソフトマカリのグラフ機能を用いて、それぞれの恒星を横切るように引いた直線上の各ピクセルにおける輝度（明るさ）・R（赤色の輝度）・G（緑色の輝度）・B（青色の輝度）を数値化する。



- ⑤グラフにおいて背景に対して山をなす部分のうち、輝度が上位 10%以内のピクセルの輝度・R・G・B の値をそれぞれ平均し、その恒星の輝度・R・G・B の値とする。色を表す指標としては B/R の値を用いた。グラフでは対数 ($\log_{10}B/R$) で表す。
- ⑥Excel で各恒星の輝度-色(B/R)グラフを作成し、これを HR 図(輝度-色グラフ)とした。

B/R を用いた理由

本来 HR 図ではスペクトル型を用いるが、恒星のスペクトル型を直接観測することはできないので、代わりに B/R 値を用いることにした。

スペクトル型は恒星の表面温度に対応し、恒星は表面温度に応じた色の光を放つ。恒星の光の色は温度が高くなるにつれて「赤→黄→白→青」と移っていく。そこで、R と B の比を求めれば恒星の色が赤と青のどちらにどのくらい近いのかが分かる。このため B/R を採用しても HR 図は作ることができると判断した。

結果



図 1

撮影日時 ; 2010/09/04 02:59:46

撮影条件 ; Canon Eos Kiss F レンズ…Canon EF200 mm ISO…200 f=5.6 17sec.

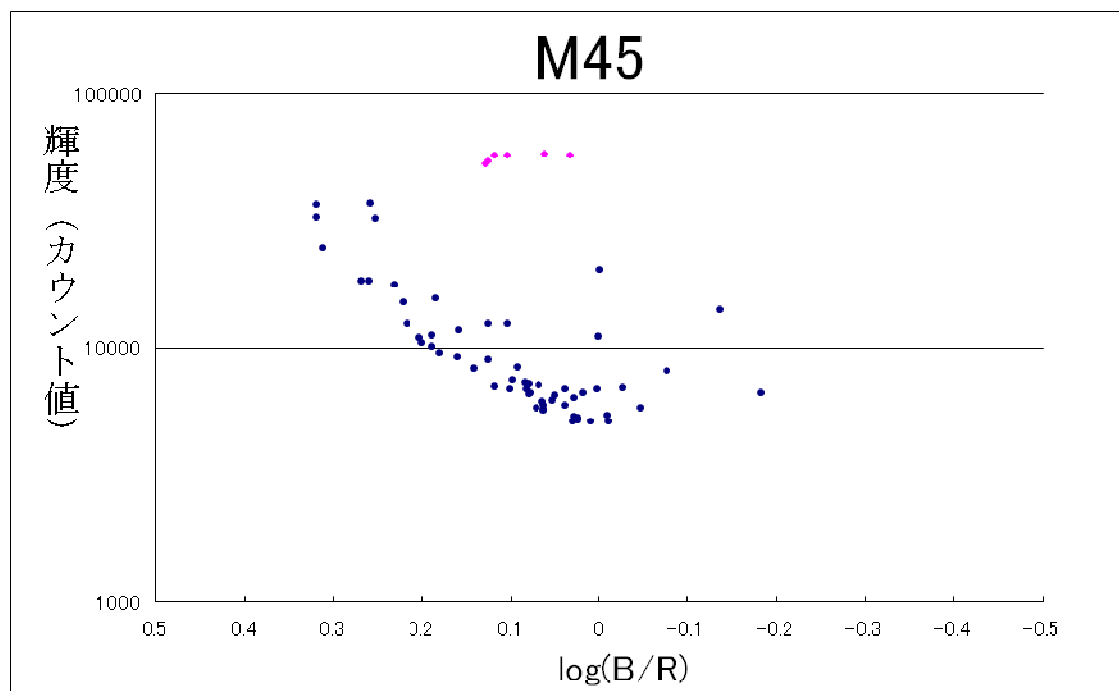


図 2



図 3

撮影日時 ; 2010/09/04 00:00:23

撮影条件 ; Canon Eos Kiss X2 (ローパスフィルター除去) 直焦点撮影 (高橋製 TSA-102 10cm 屈折望遠鏡) ISO=400 f=8.0 40sec.

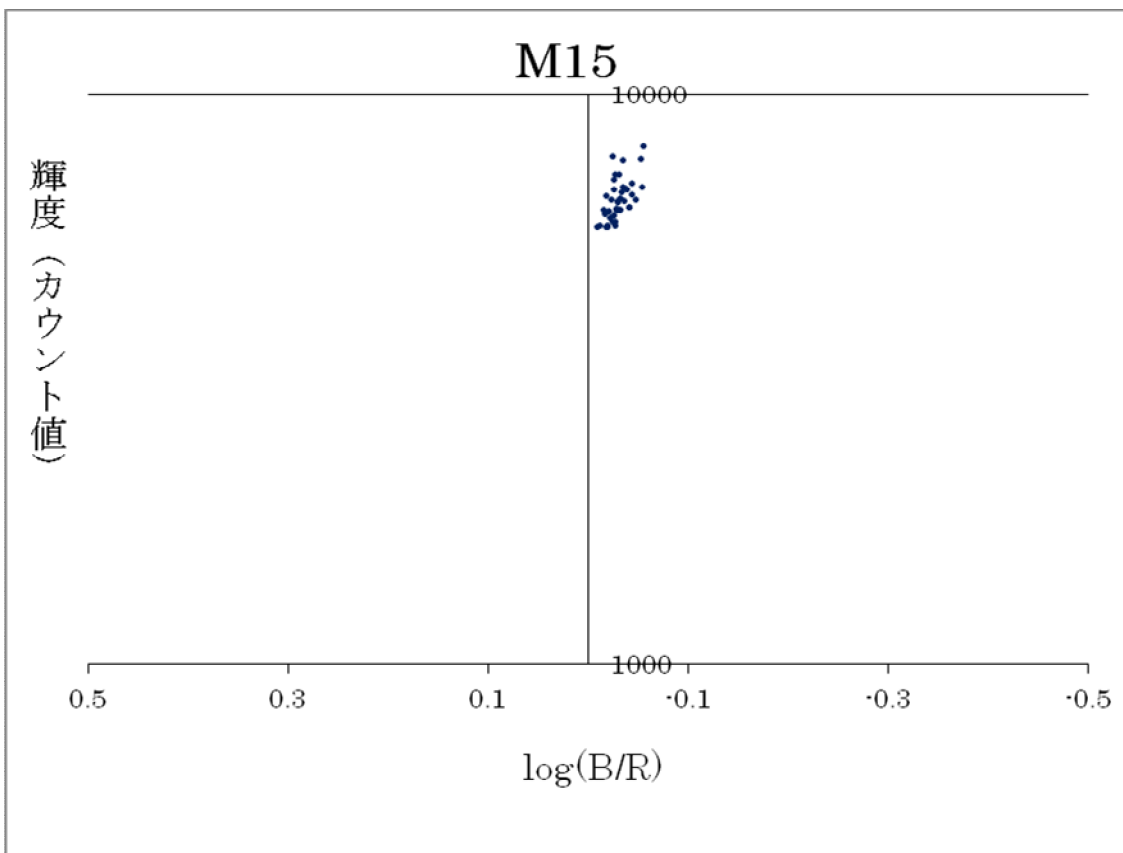


図 4

考察

M45

特に明るい恒星■（露光オーバー）を除くと青い恒星ほど明るいという関係が得られた。明るく青い恒星は進化の過程で早く赤くて明るい赤色巨星となるが、この星団は明るく青い恒星があるため、若い星団だと考えられる。

M15

赤い色に偏り、明るくなるとわずかに赤くなる関係が得られた。赤色巨星が見られるため、古い星団だと考えられる。また、分解能が低いことと露出アンダーが原因で、暗い主系列星が観測できなかったと考えられる。

露光オーバーの影響について

デジタルカメラには受け取ることのできる光の量に限界があり、光が一定以上の強さになると正しい明るさが記録されなくなる。特に明るい恒星■は $\log(B/R)$ が0に近づいてしまった。その理由として、露光オーバーによって明るい恒星■の赤と青の輝度の差が実際よりも小さくなり、 B/R の値が1に近づいたことが考えられる（図5参照）。

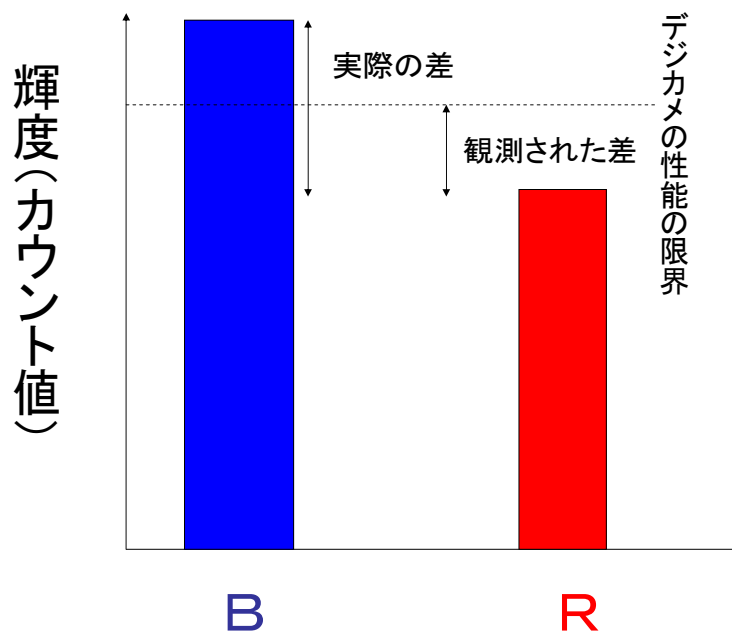


図 5

3 (2). デジカメの入出力値の関係の検証

使用機材

〈デジタルカメラ〉 CanonEosKissX2(赤外線カットフィルタ除去)

〈レンズ〉 Canon EF 18-55mm

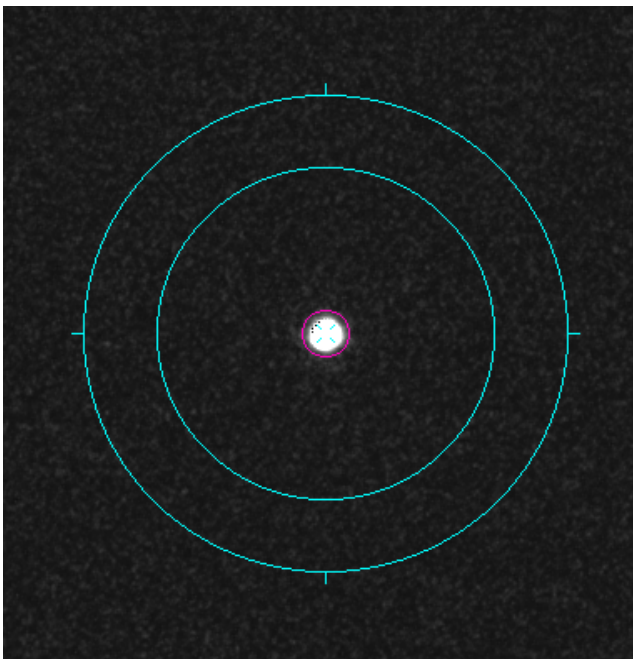
〈光源〉 三原色 LED ライト、電池 (1.5V) 2個

〈画像処理ソフト〉 ステライメージ Ver.6

すばる画像処理ソフトマカリ

研究方法

- ①暗室で LED (3色点灯) を ISO100, レンズ 35mm, F 値 5.6 で露出時間のみを変えて撮影する。(各3枚)
- ②同条件でレンズにフタをしてダークノイズの画像を撮影する。(各3枚)
- ③ステライメージでダーク補正と合成を行う。
- ④すばる画像処理ソフトマカリを用いて測光する。今回はデジカメの R,G,B 値の内、R 値の輝度について検証を行った。
(全ピクセル中のうちの最大輝度ピクセルの値)-(バックグラウンドの平均輝度) を測光値とした。



結果

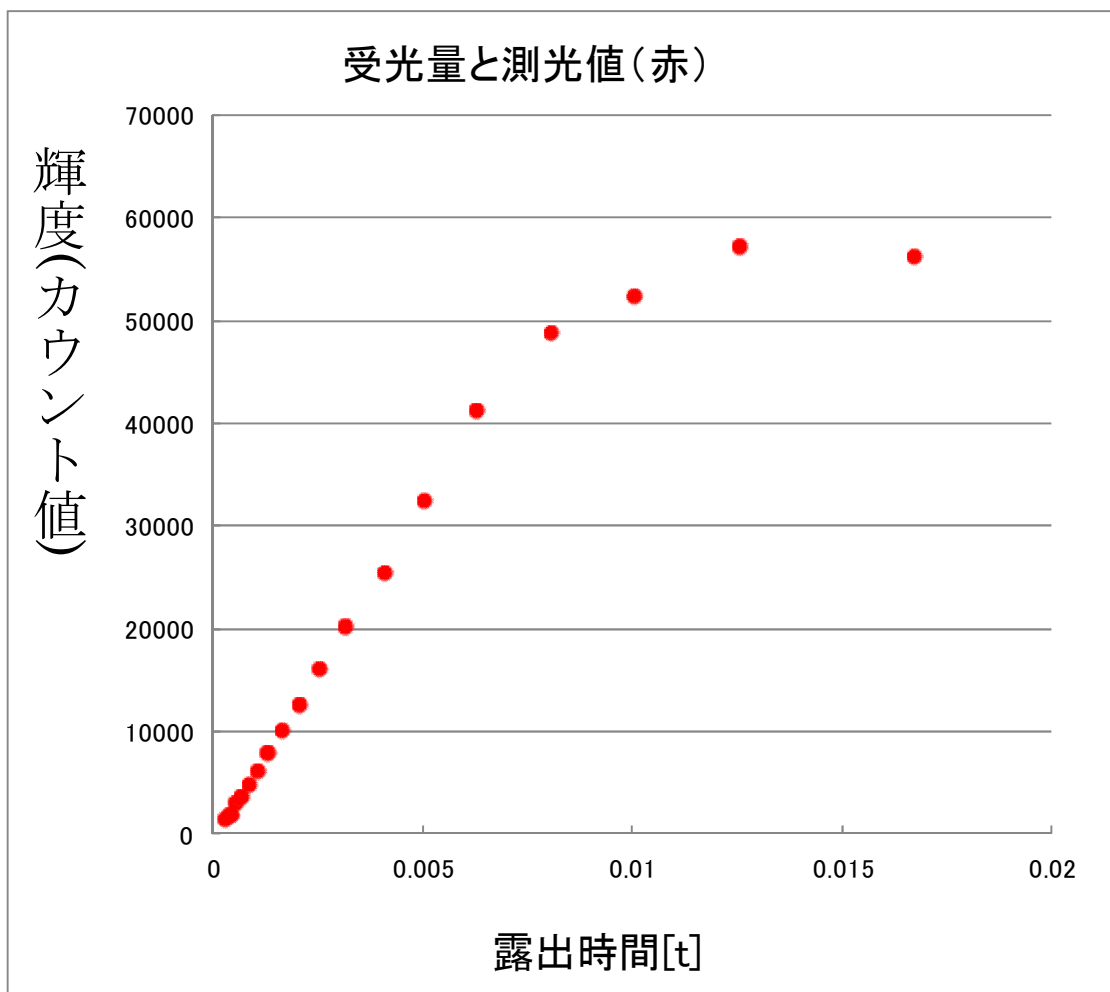


図 6

図 6 において、最も比例関係が得られるところを抜粋し、近似曲線を引いたグラフが図 7 である。

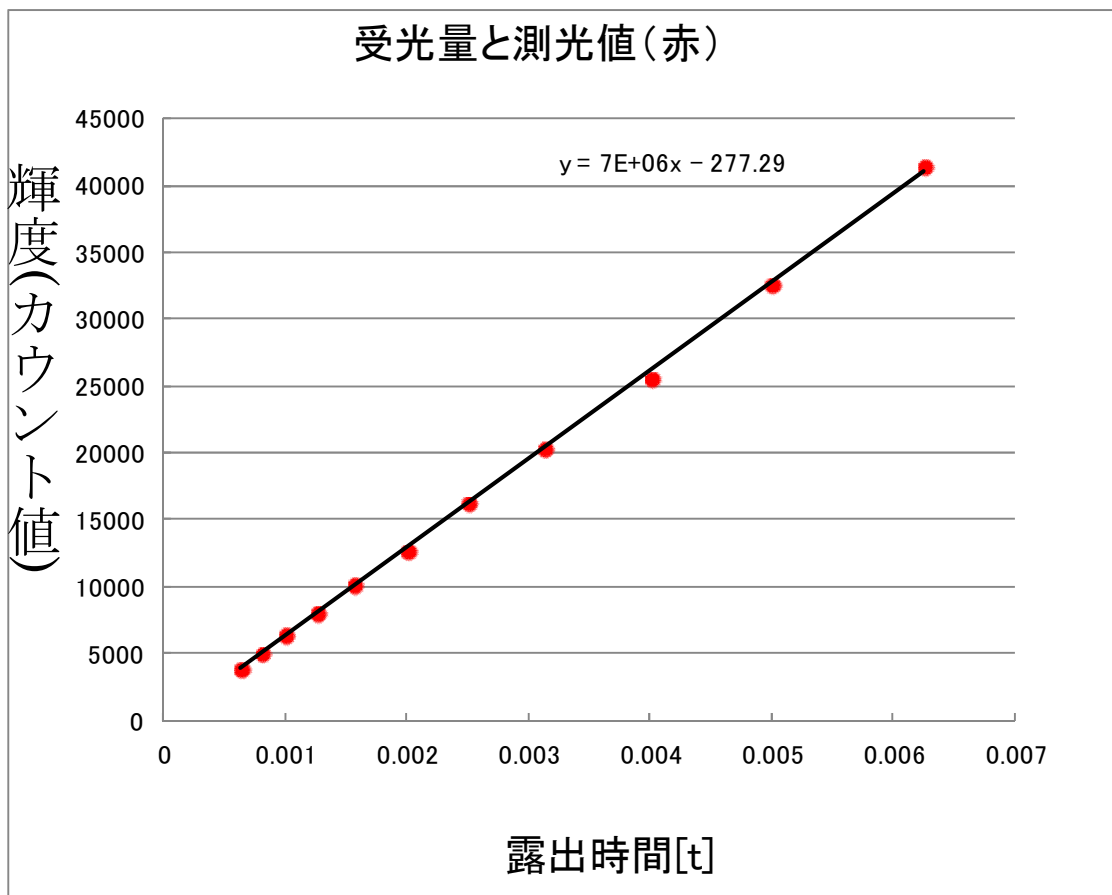


図 7

考察

図 7 において、受光量と測光値は極めて比例関係に近いことが検証された。このことから、デジカメの輝度を 5000~40000 の範囲内に調整して撮影することで高精度な測光観測が行えることがわかった。

3(3).冷却 CCD カメラとデジカメの比較

使用機材

- 〈天体望遠鏡〉 25cm 反射望遠鏡 (群馬県立ぐんま天文台)
〈冷却 CCD カメラ〉 BITRAN 社製冷却 CCD カメラ (群馬県立ぐんま天文台)
〈デジタルカメラ〉 CanonEosKissX2(赤外フィルター除去)
〈画像処理ソフト〉 ステライメージ Ver.6、すばる画像処理ソフトマカリ

研究方法

撮影 2010 年 12 月 4 日(土)深夜 群馬県立ぐんま天文台

- ①NGC884 を冷却 CCD カメラに R フィルタ (赤い波長の光を通す)、B フィルタ (青) を付け、それぞれ撮影する。
- ②ダークノイズ画像を撮影する。
- ③アクリル板を通した反射光(均一光)をそれぞれのフィルタで適正露出で撮影し、フラット画像とする。
- ④冷却 CCD と同じ光学系を用いてデジカメ CanonEosKissX2 で撮影する。
ISO800 (フィルタは装着しない)
- ⑤デジカメでダークノイズ画像を撮影する。

撮影条件

冷却CCD	フィルタ各10秒4×2枚	10秒5枚	フィルタ各6枚
デジカメ	30秒6枚	30秒5枚	なし

- ④ダーク補正を行う。さらに、冷却 CCD 画像においては、フラット補正を行う。
- ⑤NGC884 の中心に合わせて円を引き、内部の星に対し、マカリで開口測光を行う。
(星として写っている全ピクセルの輝度の総計) - (周囲の背景ピクセルの輝度の平均 × 星のピクセル数) が測光値となる。

結果

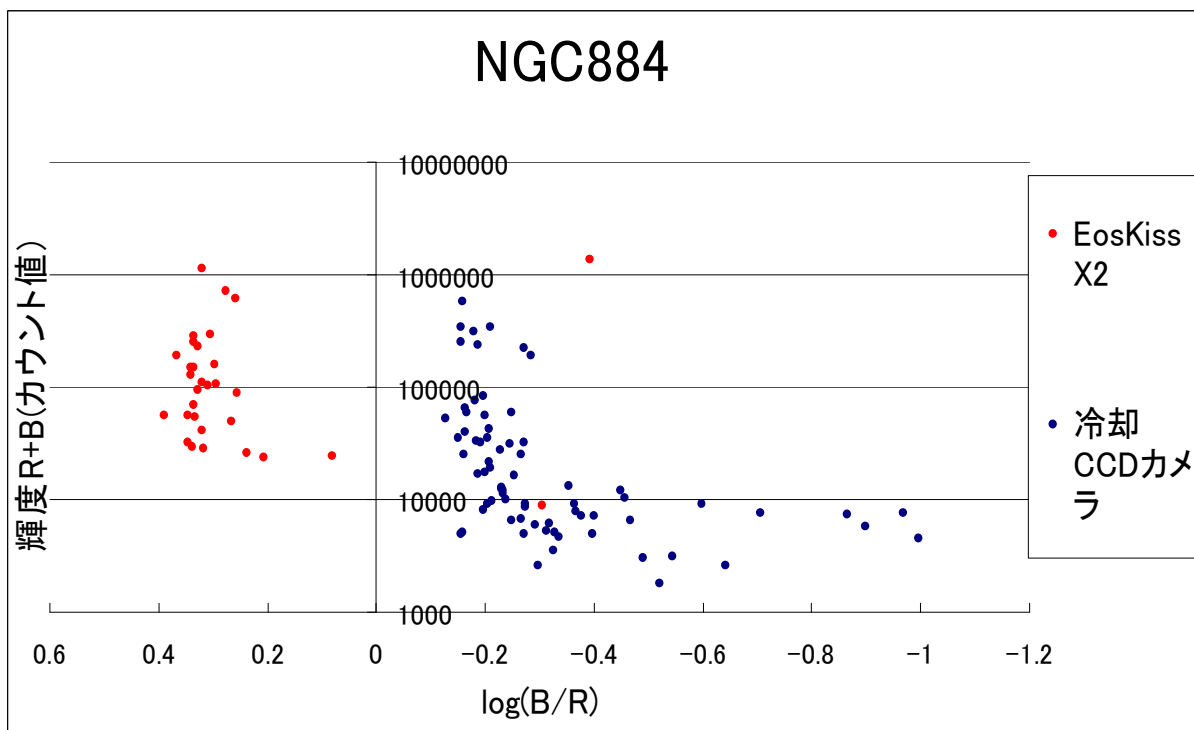
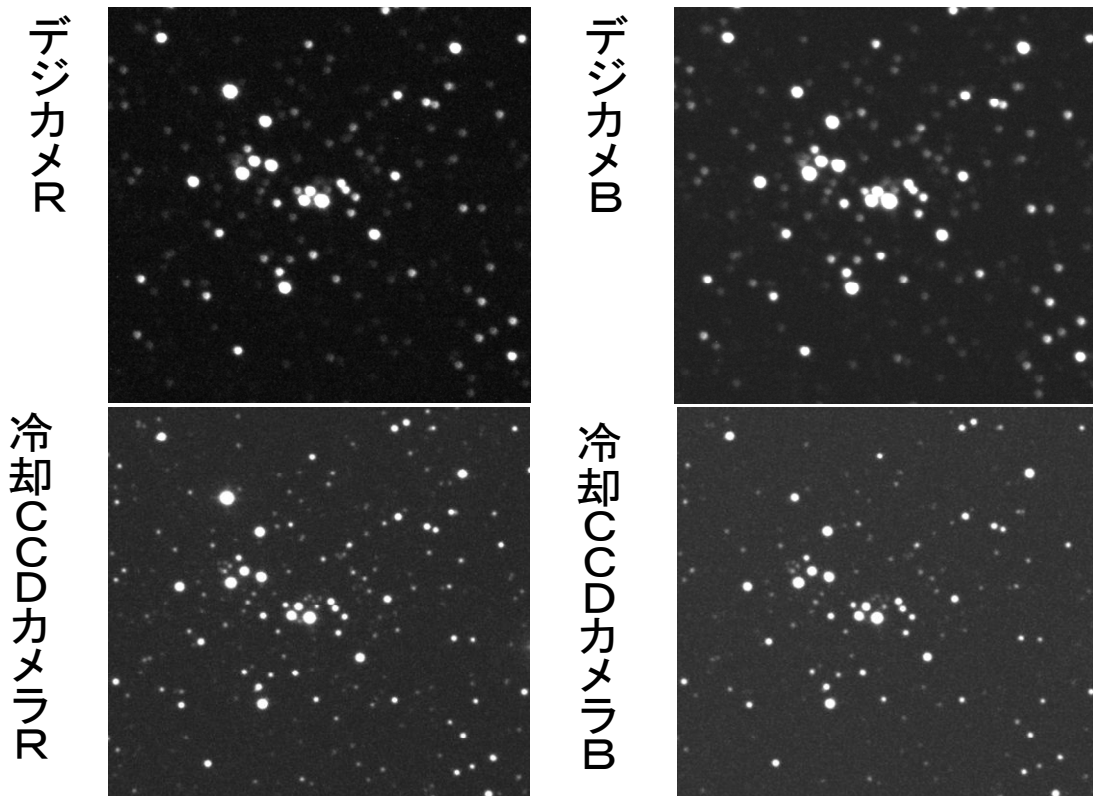


図 8

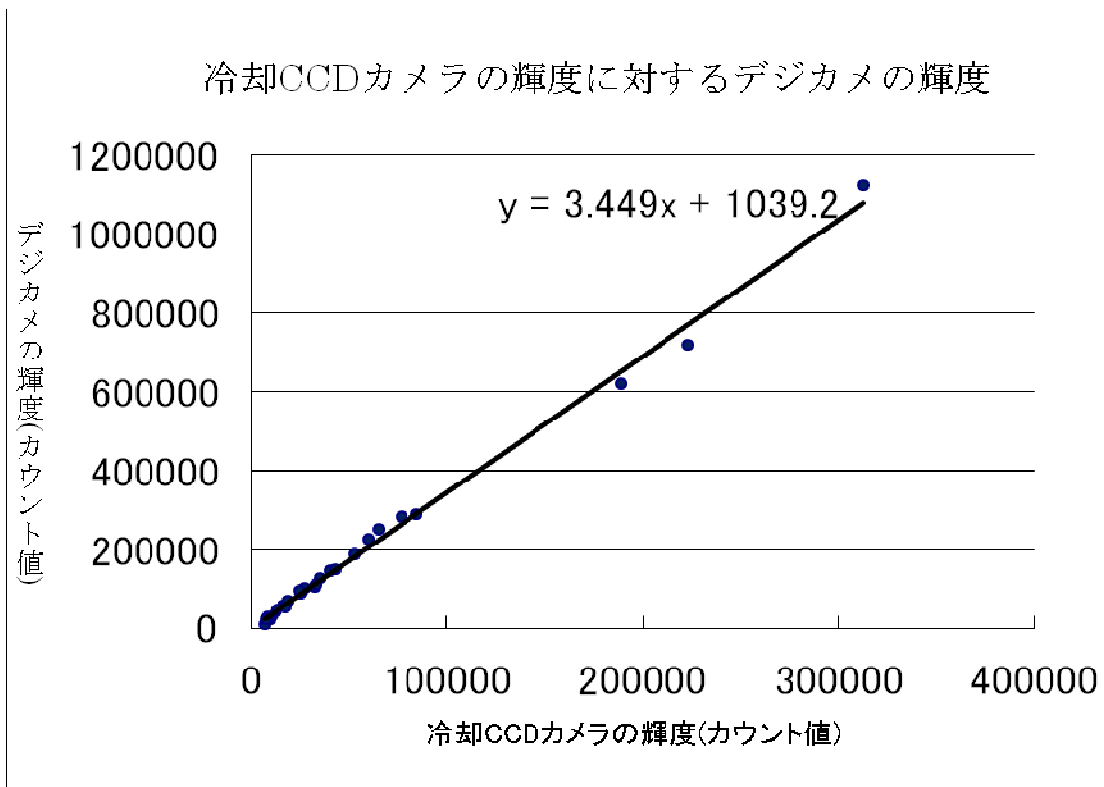


図 9

考察

図 8 を見ると、冷却 CCD とデジカメのいずれの測光値集団においても、輝度と色 (B/R) の相対的な関係が同じであり、どちらも同じようにこの星団の特徴を表すことができた。ただし、デジカメではピントと露出時間が原因で等級の大きな星が少なかったと考えられる。また、図 9 でそれぞれの恒星の輝度を比較した結果、誤差が見られるものの比例関係が得られることがわかった。以上のことから、HR 図作成において、デジカメは冷却 CCD カメラと同様の観測ができることがわかった。

4.まとめ

当初の目的であった HR 図を作成することができた。

デジカメは適正露出(Canon Eos Kiss X2 において輝度 5000~40000)で高精度な測光観測が可能であること、冷却 CCD カメラと同様な観測ができることがわかった。

5. 今後の課題と展望

課題

デジカメの緑、青についての入出力の関係

高度による天体の色と輝度の変化

光害の影響

フラット画像の撮影方法

B / R のスペクトル型への変換

展望

二色図の作成(G 値の利用と色の推定)

高精度な測光観測による変光星や銀河の観測

6. 謝辞

群馬県立ぐんま天文台の濱根寿彦先生には講義、望遠鏡の使用において大変お世話になりました。ここにお礼申し上げます。