

# 2kCCDカメラを用いた 狭帯域撮像

八木雅文(国立天文台)

2011/09, 11, 2012/02 の3回のショートプログラム  
で、2kCCD を用いた狭帯域撮像を行った。

テーマは、

- ・マゼラニックストリームに付随するH $\alpha$

(八木雅文、小宮山裕、吉田道利)

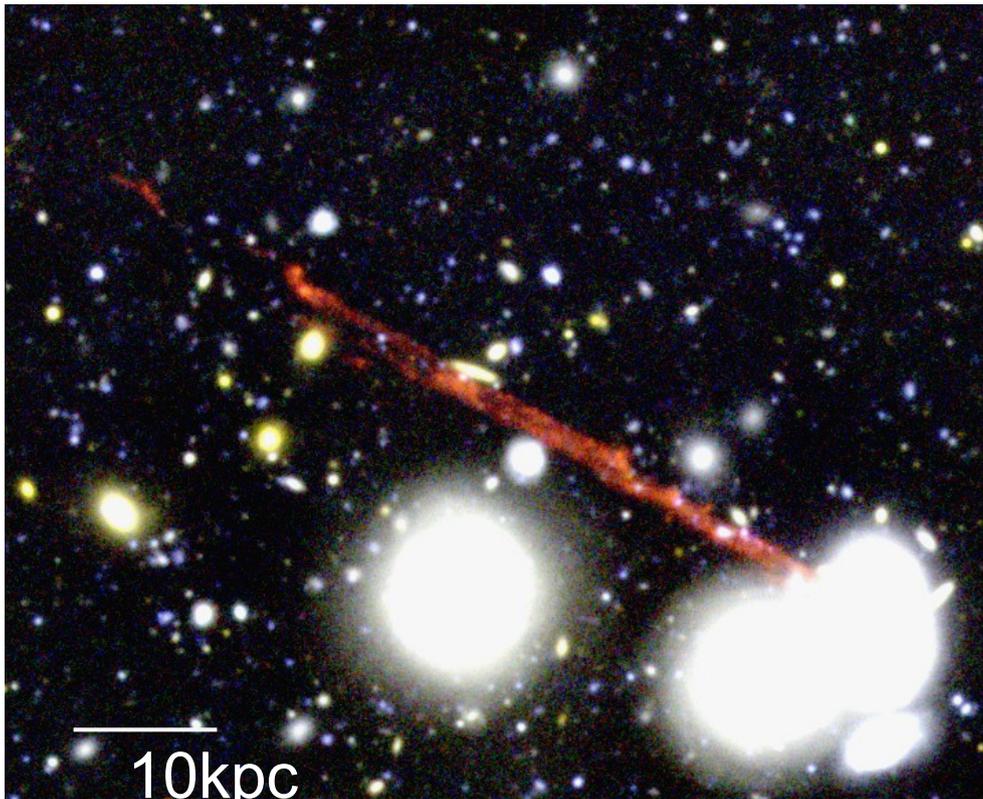
- ・近傍コンパクト銀河群のH $\alpha$ 輝線銀河

(八木雅文、西浦慎悟、小宮山裕、吉田道利、田中伸広)

である。概要、観測、解析状況、成果と、  
解析の際に気づいた点などに関し報告する。

# 課題(その1)の背景

- ・すばる望遠鏡の主焦点カメラを用いて、深いH $\alpha$ 撮像を行なっていると、どうにも変な天体を見つけてしまい、正体がわからない。

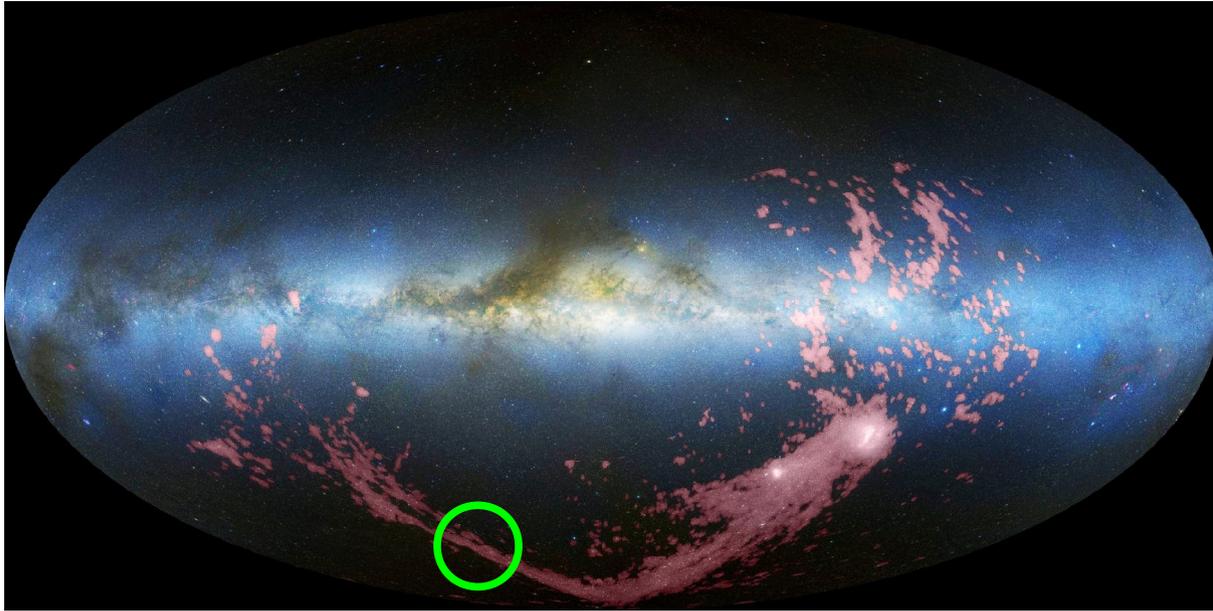


Yagi et al. 2007, 2010

B, R, H $\alpha$ の  
3色合成。  
かみのけ座銀河団の  
銀河。  
赤い部分はH $\alpha$ のみ  
continuum なし領域

星もないようなのに  
どうやって電離??

# マゼラニックストリーム(MS)



APODより。

銀河系の周りで  
天球半周くらいある  
細長い水素ガスの帯  
大部分は中性で  
星もないが  
一部でH $\alpha$ が出てる  
という観測報告。  
⇒似てる！

しかし、過去分光観測はファブリペロの積分以外なし。精密な場所もよく分かってない。

⇒じゃあ Suprime-Cam の狭帯域で撮像だ！

⇒2回プロポーザル落とされる

⇒別の望遠鏡も考えるか(2011/04末)⇒木曾！

# 観測計画

フィルターレスポンスが今ひとつよくわからない・・・  
とりあえず、頑張ってH $\alpha$ とRで積分して、  
何か見えたら御の字、という方向で計画。

結果的に、後から観測所に調査いただいた結果、  
WWW上のフィルター情報の一部は平行光  
一部はF/3のレスポンスだった

とか

N657(FWHM=40 Å) は中心と端で  
10 Å 透過波長がずれていた(でも仕様範囲内)  
など、驚愕の事実が明らかになる・・・

教訓: 事前にきちんと調べてから観測に臨みましょう。

# 観測(2011/09)

十数年ぶりの木曾。

台風で交通乱れまくるが、予定通り到着。

三鷹は停電。居室計算機にアクセスできず、軽くパニック。教訓：ネットを信じるな。

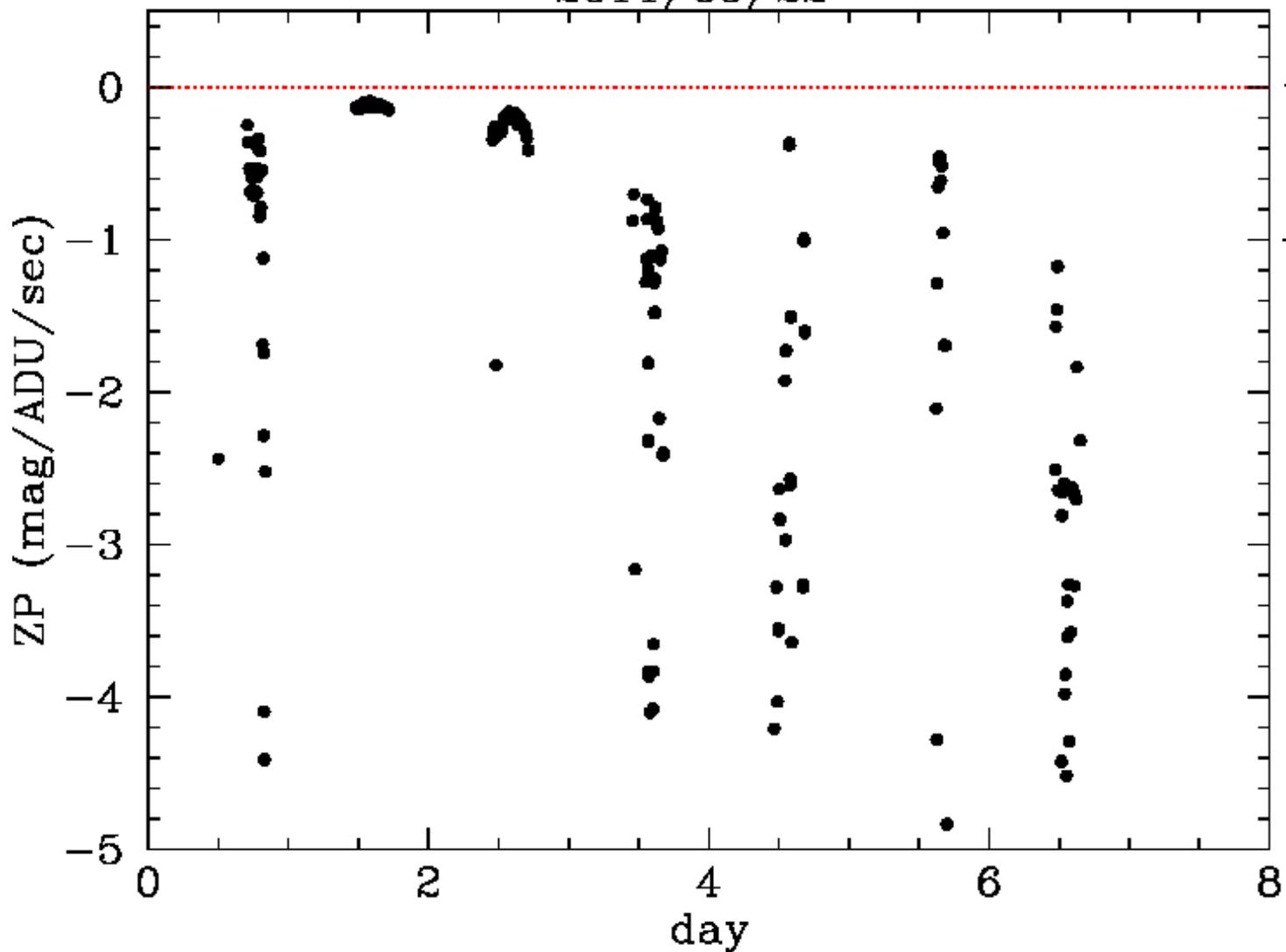
- ・フラットパターンがSMOKAのと異なっていた  
⇒迷光漏れを修正いただく。
- ・AGは故障で全滅
- ・フィルター交換で焦点位置が変わらない  
トラブル数回
- ・霧が何度か発生。
- ・ $\delta$ 方向にトビが発生することがあった。

8日中7日間くらいは何らかの観測はできた。

MS領域は、天候の様子を頻繁に伺いつつ、狭帯域の10分や5分積分を繰り返す。

# 透過率推定(2011/09)

2011/09/22-



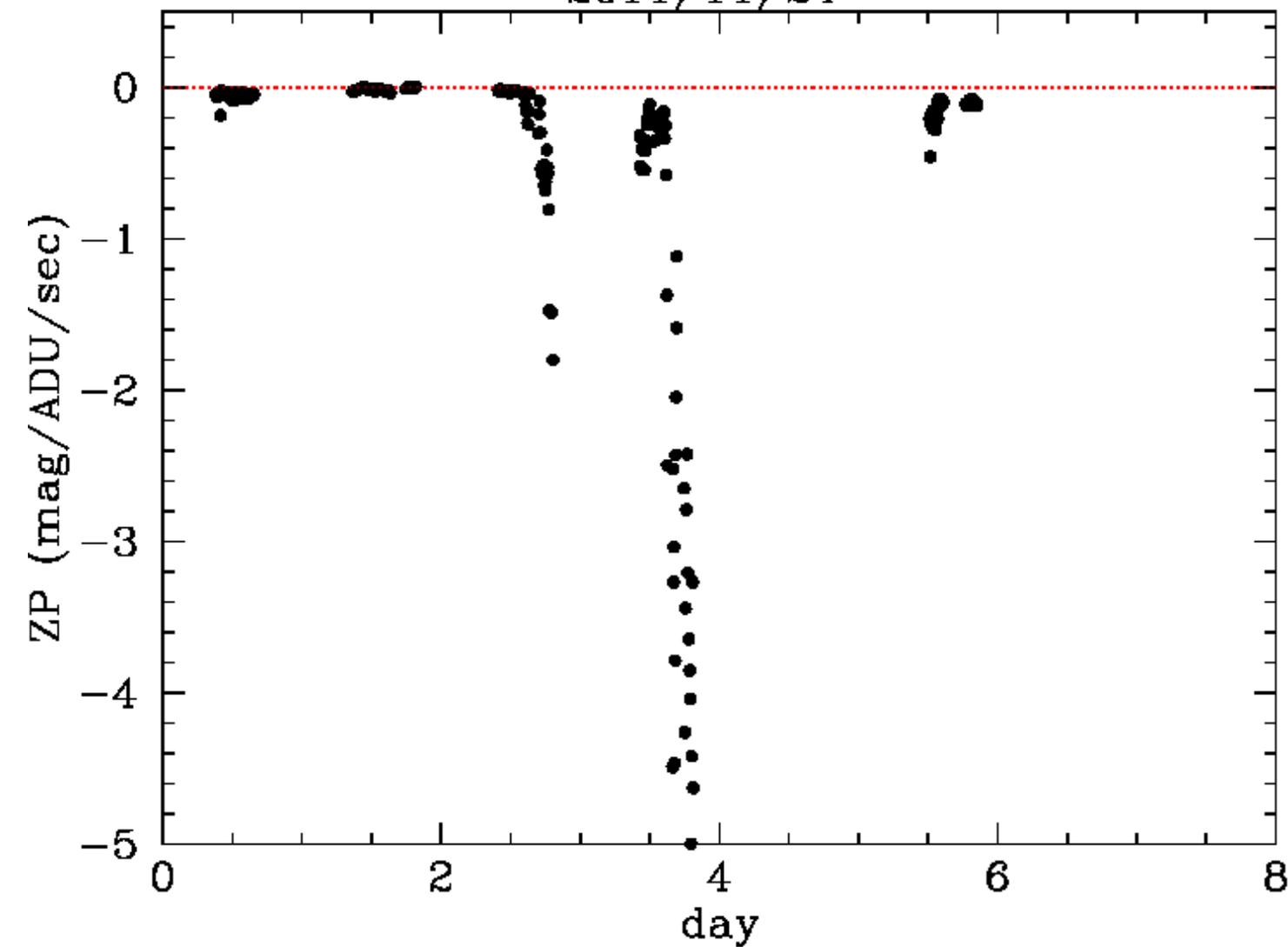
←1等の減光

大気吸収は  
未補正。  
開口は  
30秒角固定  
R,Iと狭帯域  
全部重ねた。

イマイチな透過率の中、頑張って重ねました。

# 透過率推定(2011/11)

2011/11/24-

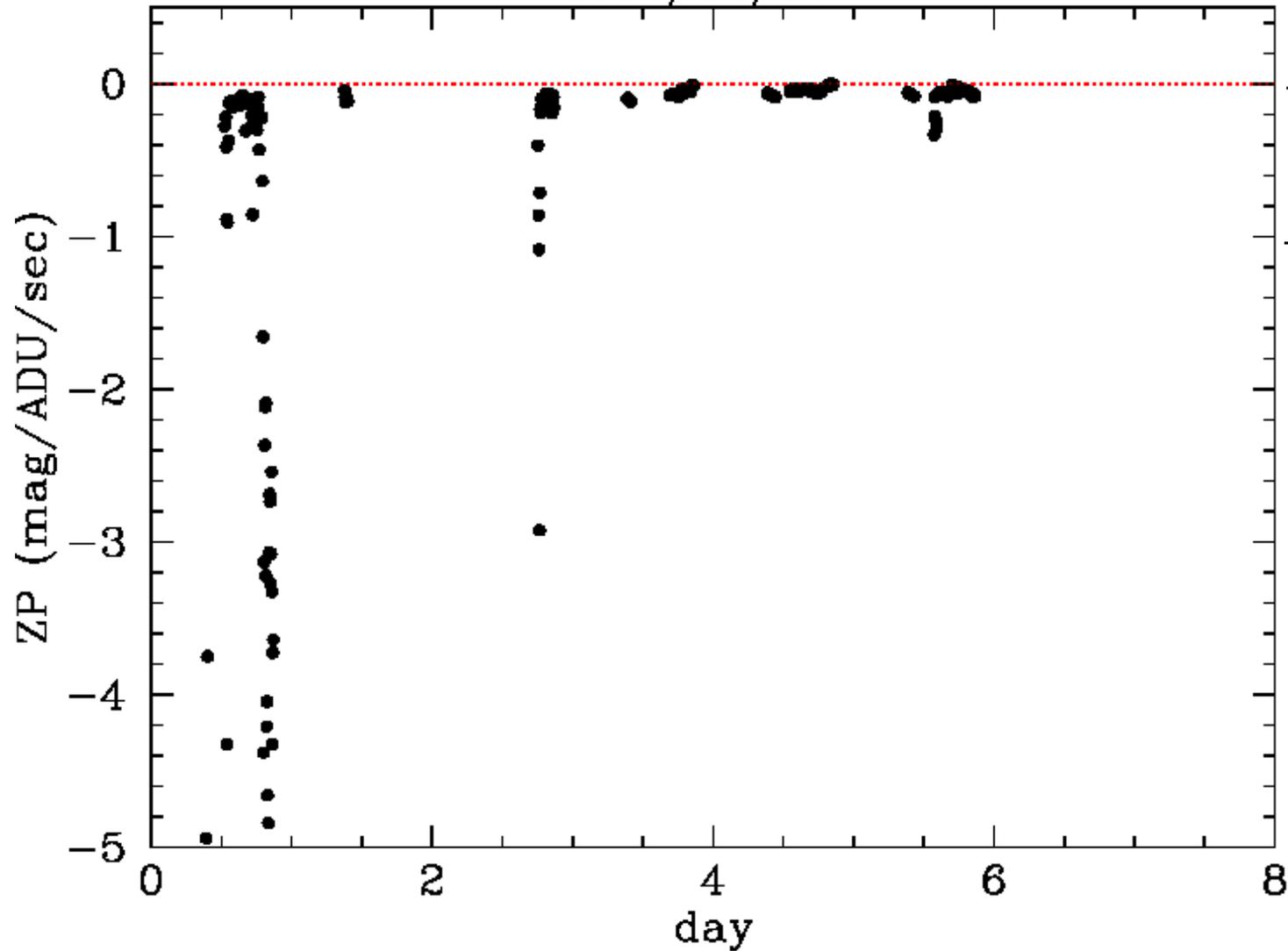


← 1等の減光

大気吸収  
未補正。  
開口は  
30秒角固定。

# 透過率推定(2012/02)

2012/02/15-



← 1等の減光

大気吸収  
未補正。  
開口は  
30秒角固定。

# 観測した天域

目標天域(MSIV)は1晩6時間ほどしか上がらない。

- ・MS IV-C: 一番見込みがあると思っていた領域  
1晩重ねて何も見えなかったなので  
断念して次の領域へ

R(5分), N657(151分)

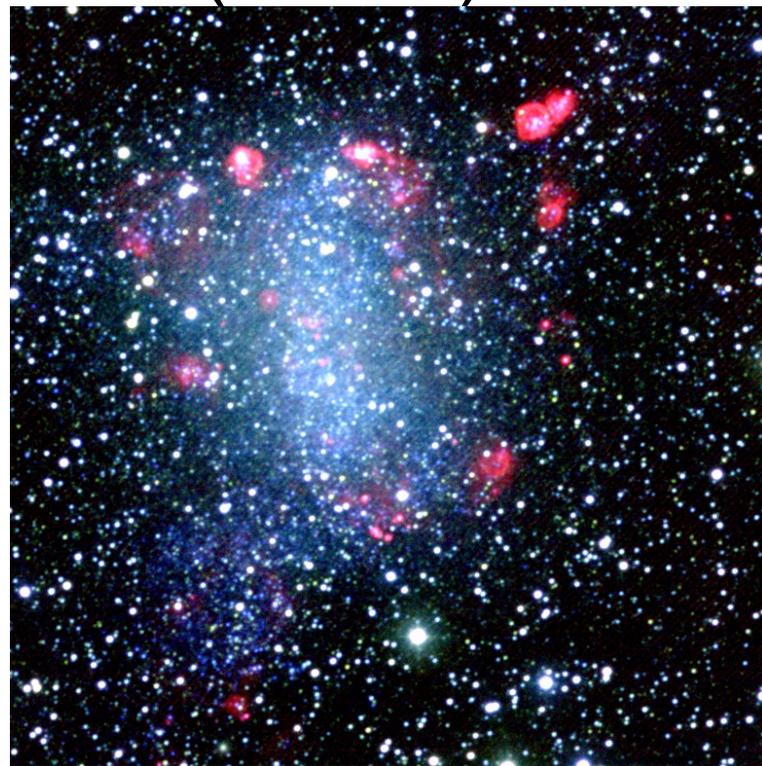
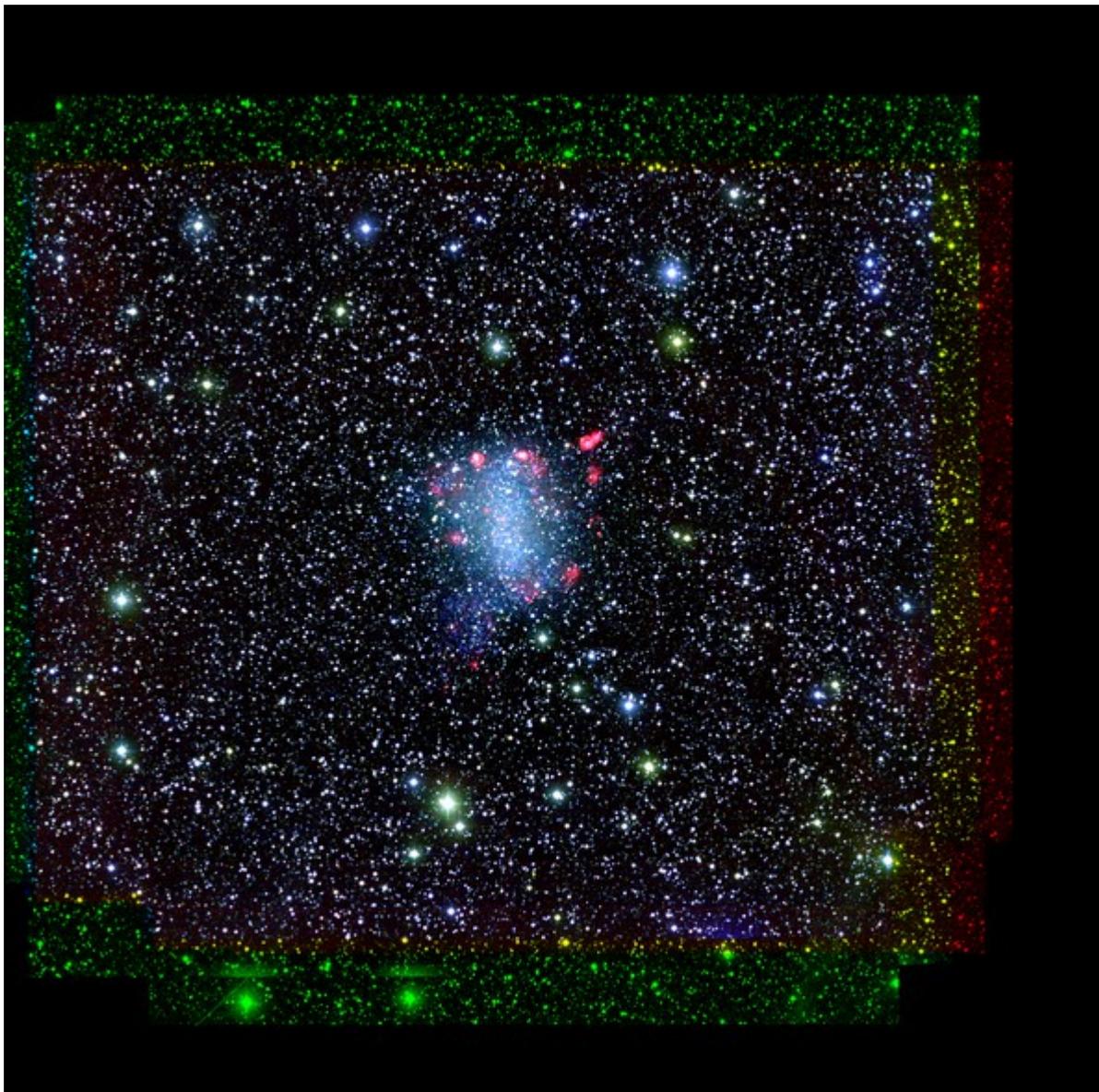
- ・MS IV-D: もう一つの候補。1晩重ねると、  
何となく何かが見えたような気がしたので、  
薄曇りの中、積分を重ね続けた。

R(45分), N657(451分), Ha6577(250分),  
Ha6417(50分)

その他、空き時間に色々と試し撮り。

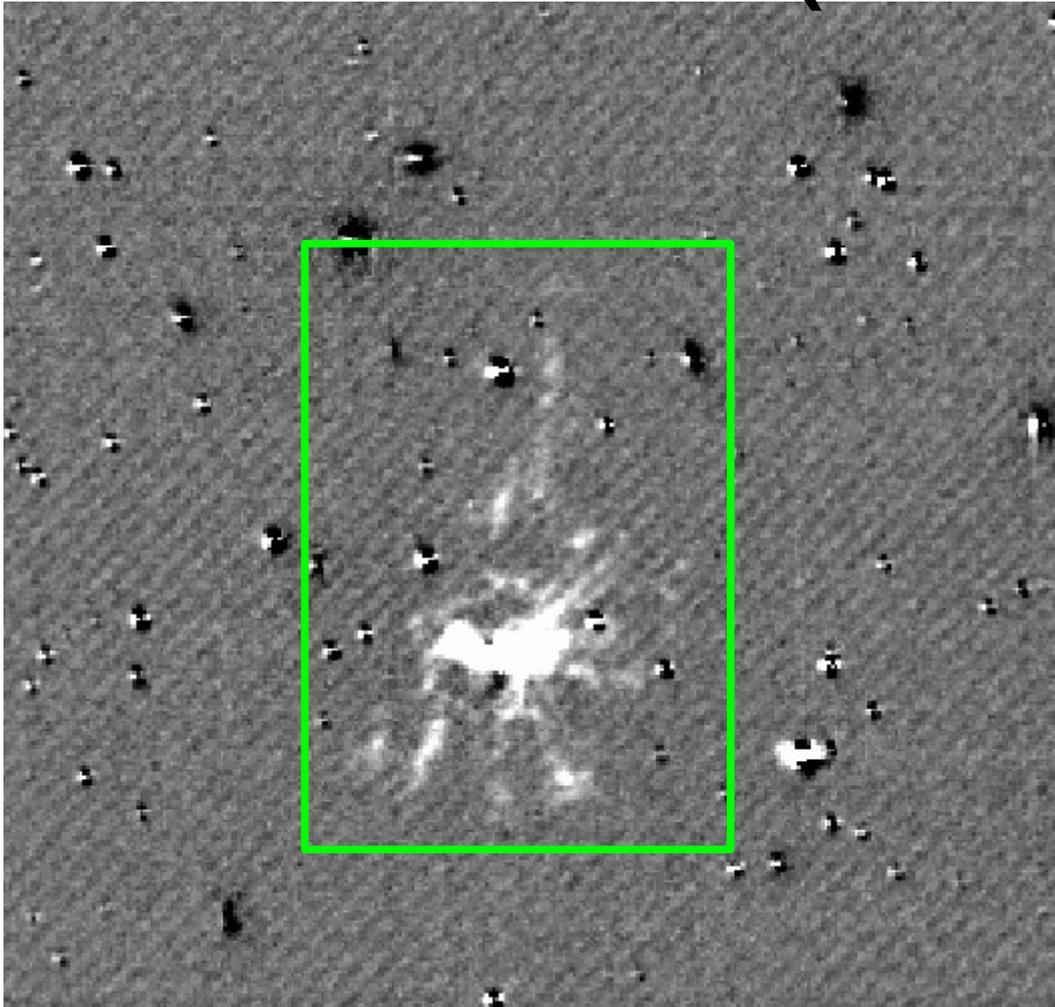
# おまけ(NGC6822)

空き時間に撮った N6822 の3色合成(BRHa)



B(30分)R(19.5分)Ha(94分)  
ここで見えてる  
HII領域は  
全て既知でした

# おまけ(NGC1275)



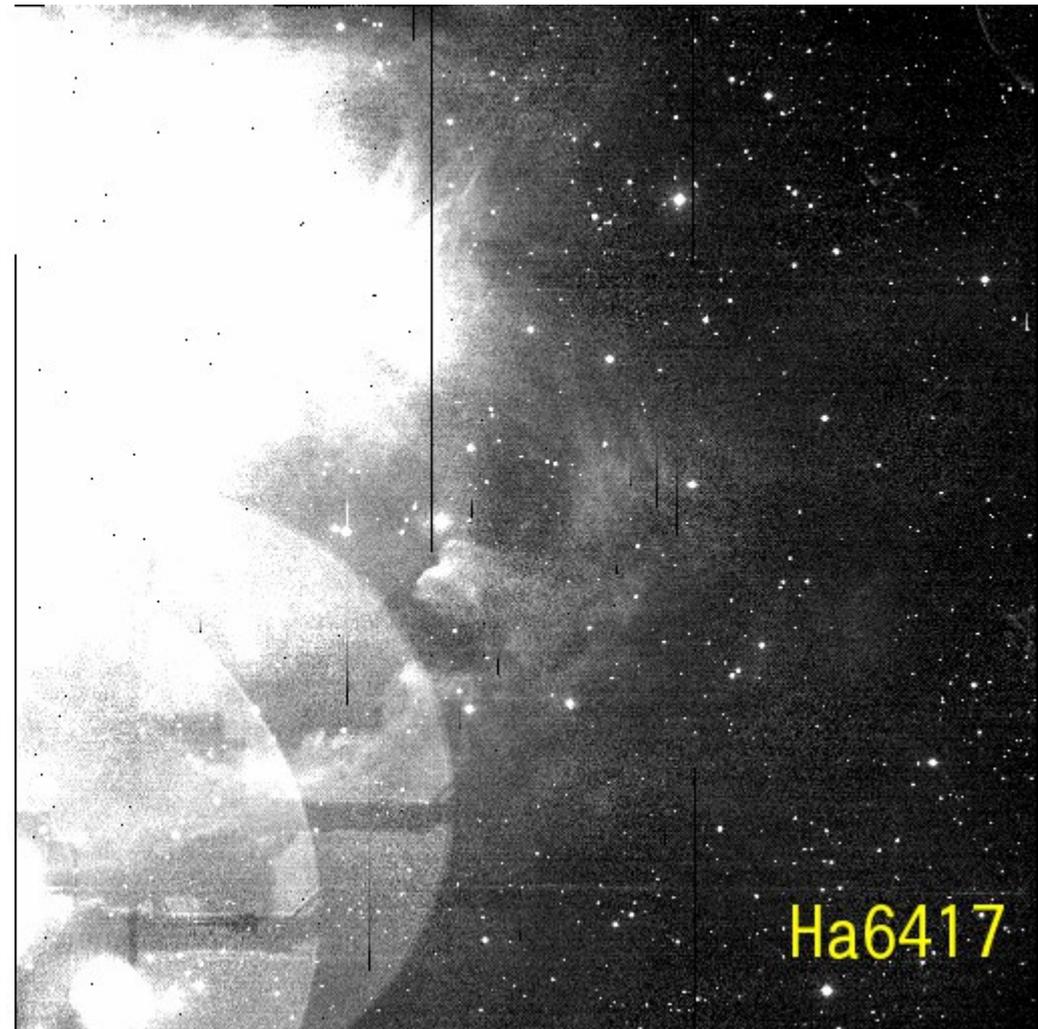
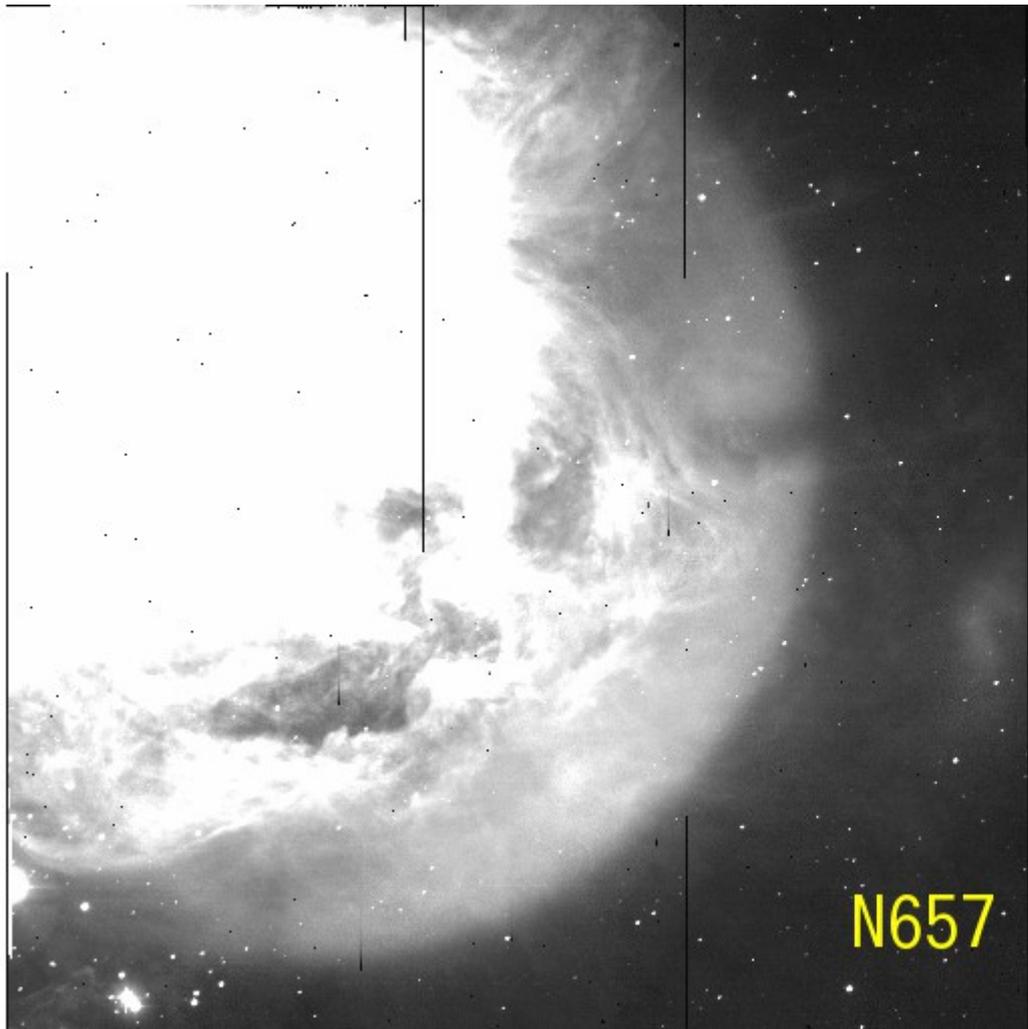
木曾。N668(105分)-R(18分)  
中心部の切り出し。  
緑枠が右の範囲に対応。



APOD, Wiyn3.5m。  
多分B(36分),R(27分)  
H $\alpha$ (40分) Conselice+2001  
AJ122,2281

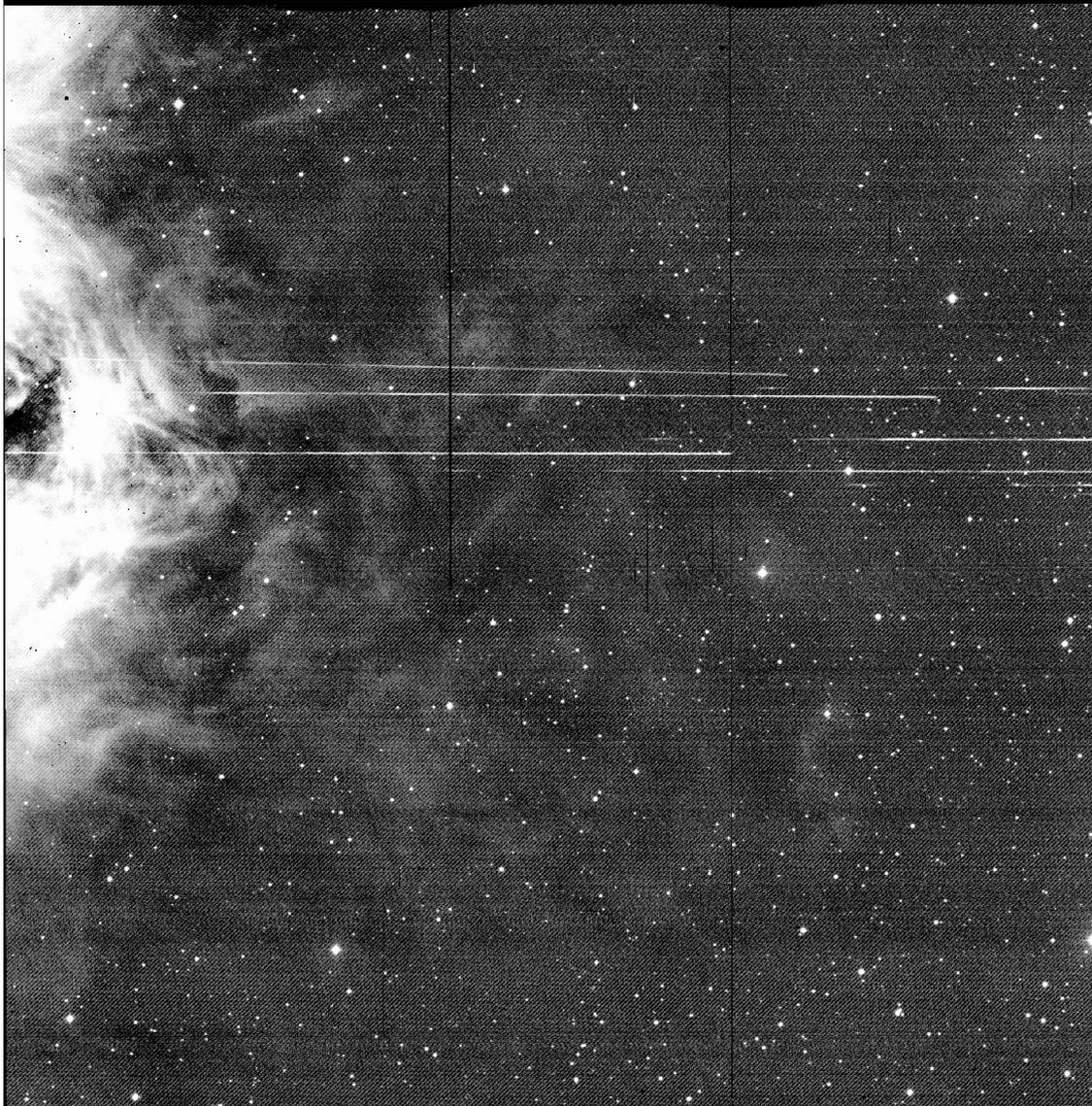
有名天体撮っても  
よほど工夫しないと  
新しいものは厳しそう...

# ゴースト



明るい星からはこんな形でゴーストが出ました。

# 静止衛星



最初CCDが  
壊れたかと思った。

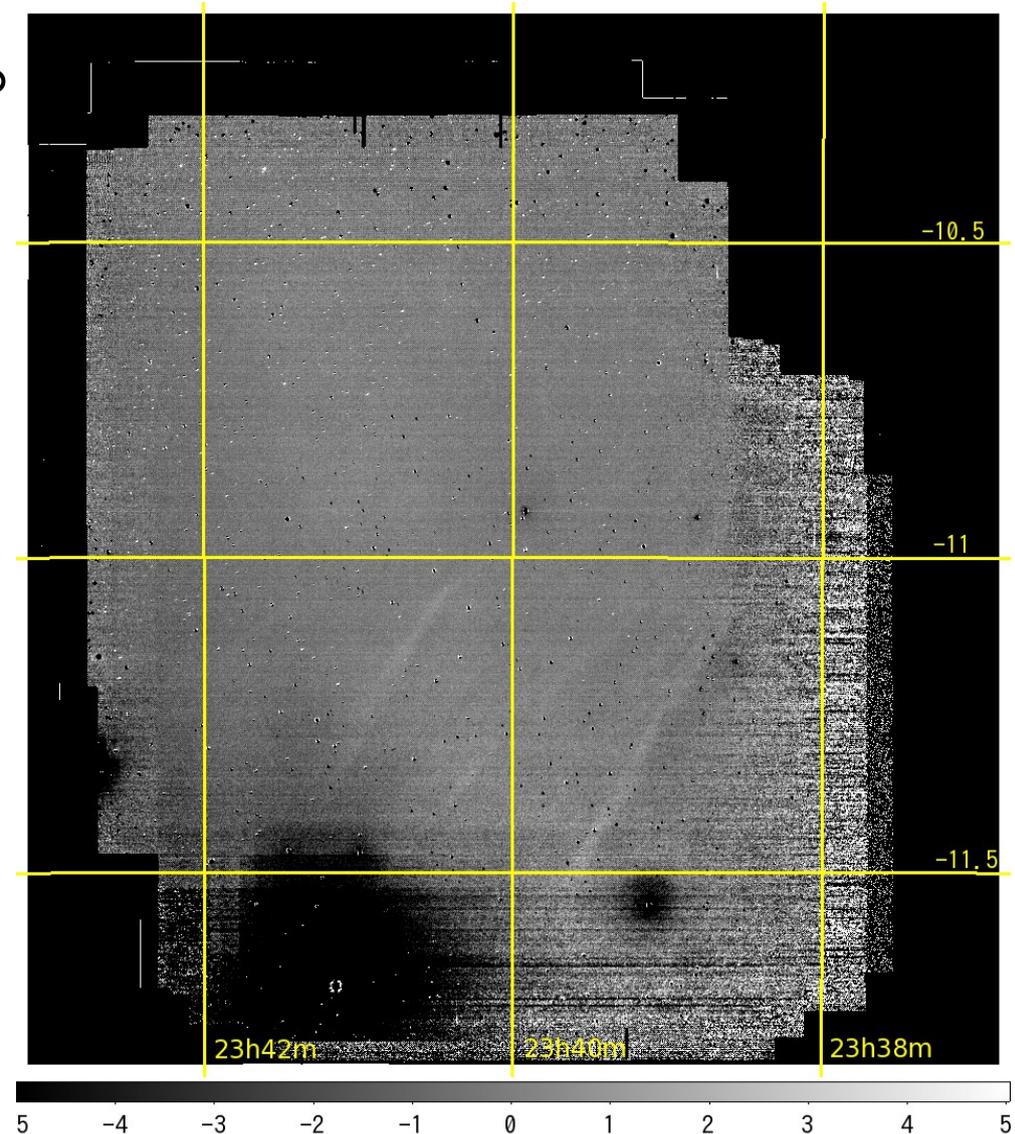
赤道の静止衛星は  
木曾からは  
ちょうどこのくらいの  
赤緯( $-05^{\circ}30'$ )  
に見える、らしい

# 本題(MSIV-D)

積分は正味約5時間相当。  
10x10pix でビンして  
限界面輝度はH $\alpha$ で  
1 $\sigma$  27.3等/平方秒程度。

見えている構造は  
2e-18 erg/s/cm<sup>2</sup>/sqsec  
くらいのH $\alpha$ + [NII]に相当。

頑張ると、イマイチの  
天気の中のHa-R でも  
これだけいける

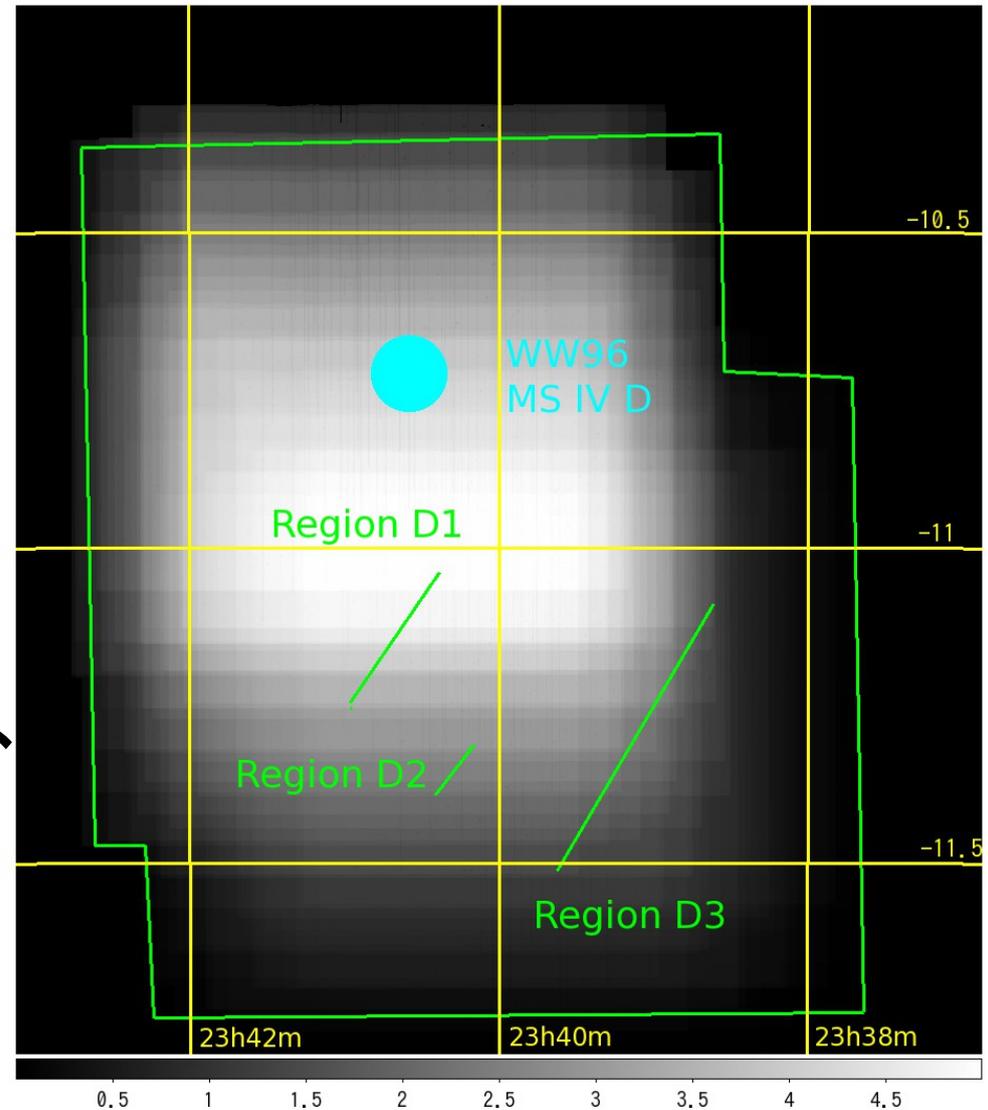


# 細長い電離ガス雲

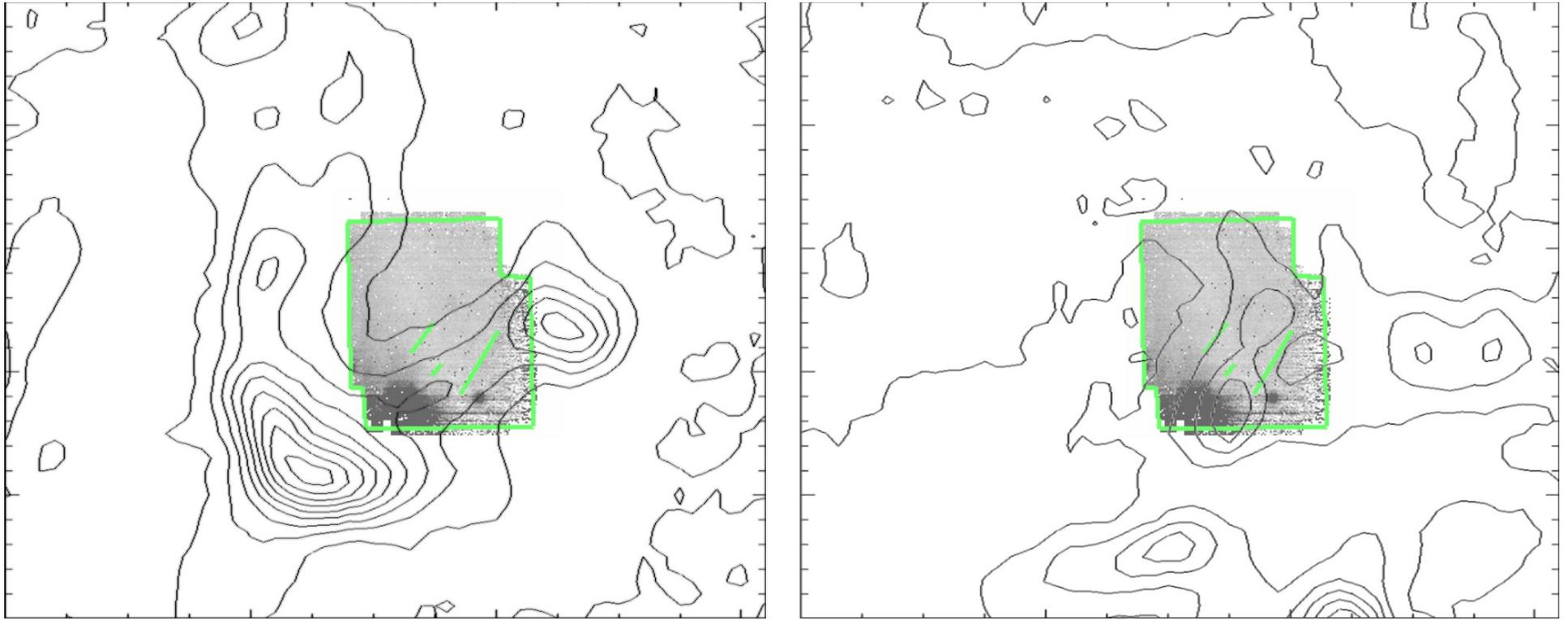
3本のほぼ平行で  
まっすぐな細い帯。

幅2分角で、長さは  
16,6,29分角、  
間隔は12分角。

MSの距離(55kpc)にあると、  
幅30pc, 長さ100-500pc  
間隔は200pc



# 遠くなのか、近くなのか

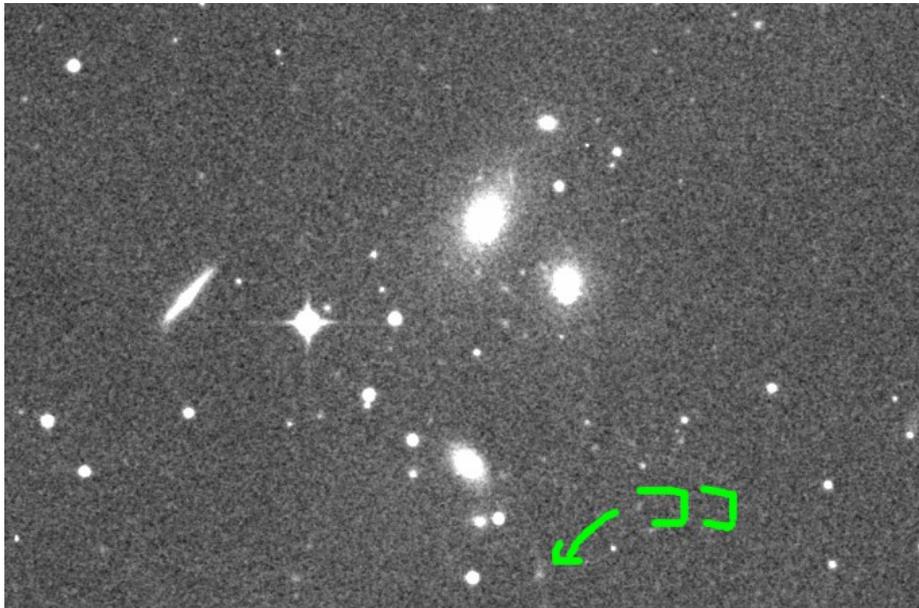


コントアはHI。左はMS成分(-200km/s)、右は近傍成分。  
近傍の場合は、どうやって細長い領域を電離するかが  
結局また困る・・・⇒早く分光したい！(2012Bは落選)

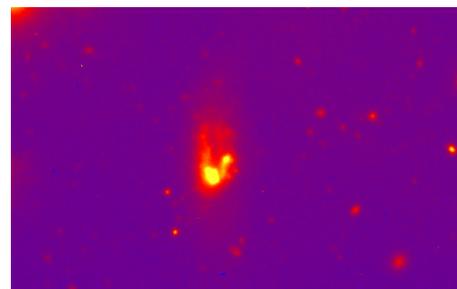
# 課題(その2)の背景

かみのけ座銀河団のH $\alpha$ 輝線天体を調べてたのだが、  
他ではどうなのか？

すばるのプロポーザル $\times$ 切直前(2011/03)頃、  
すばるの $z=0.022$ (Coma)のH $\alpha$ フィルターが使える  
同じくらいの赤方偏移の天体探してアーカイブ漁り。  
 $\Rightarrow$ コンパクト銀河群で変なものを見つける。

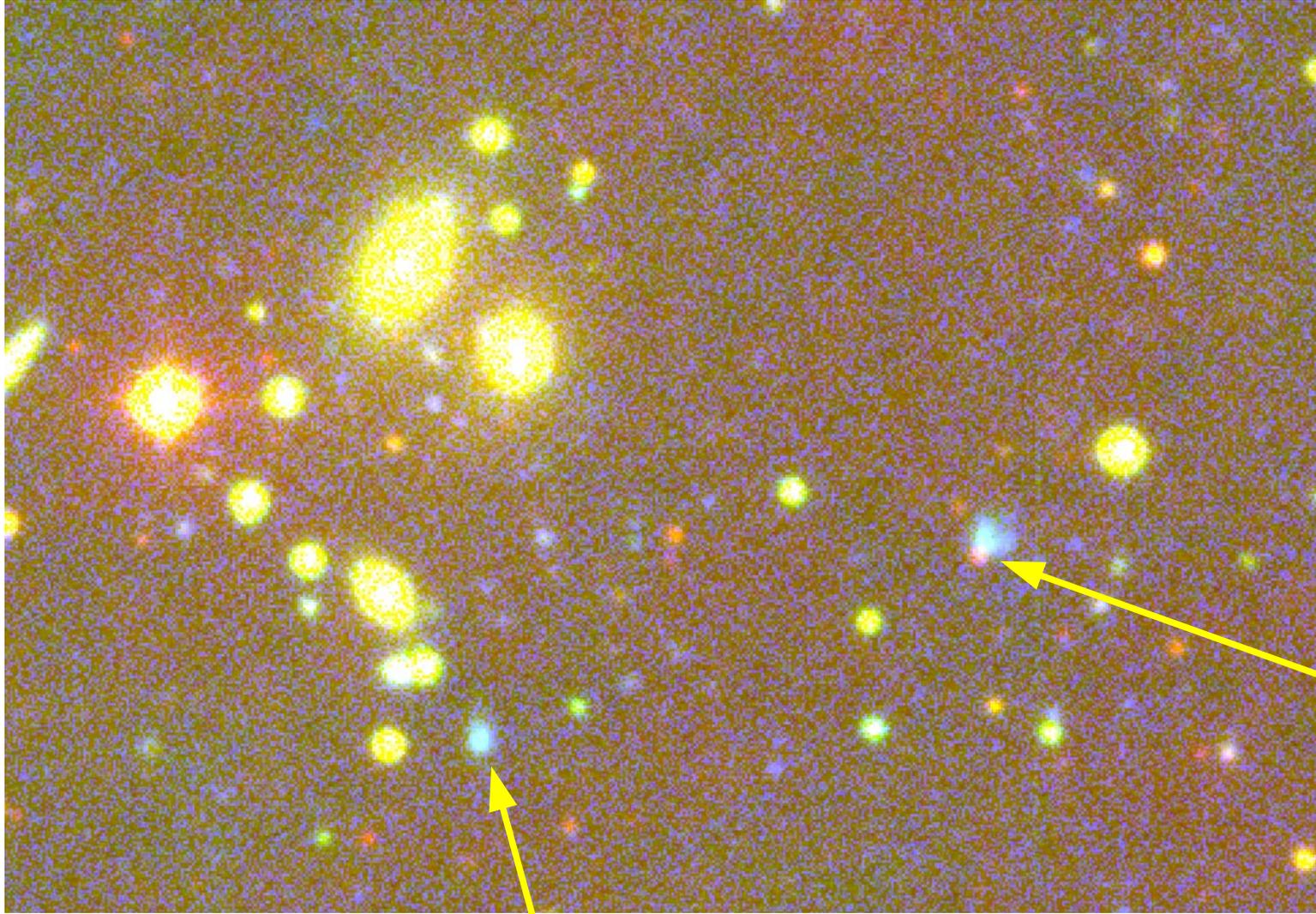


DSS



Gemini r-band

# 紫外線で明るい銀河



GALEX NUV,  
Kiso B, I  
の3色合成  
木曾のデータは  
SMOKAから。

そして  
こいつは何？

こいつ。めっちゃ若そう。

# $z \sim 0.02$ H $\alpha$ 天体

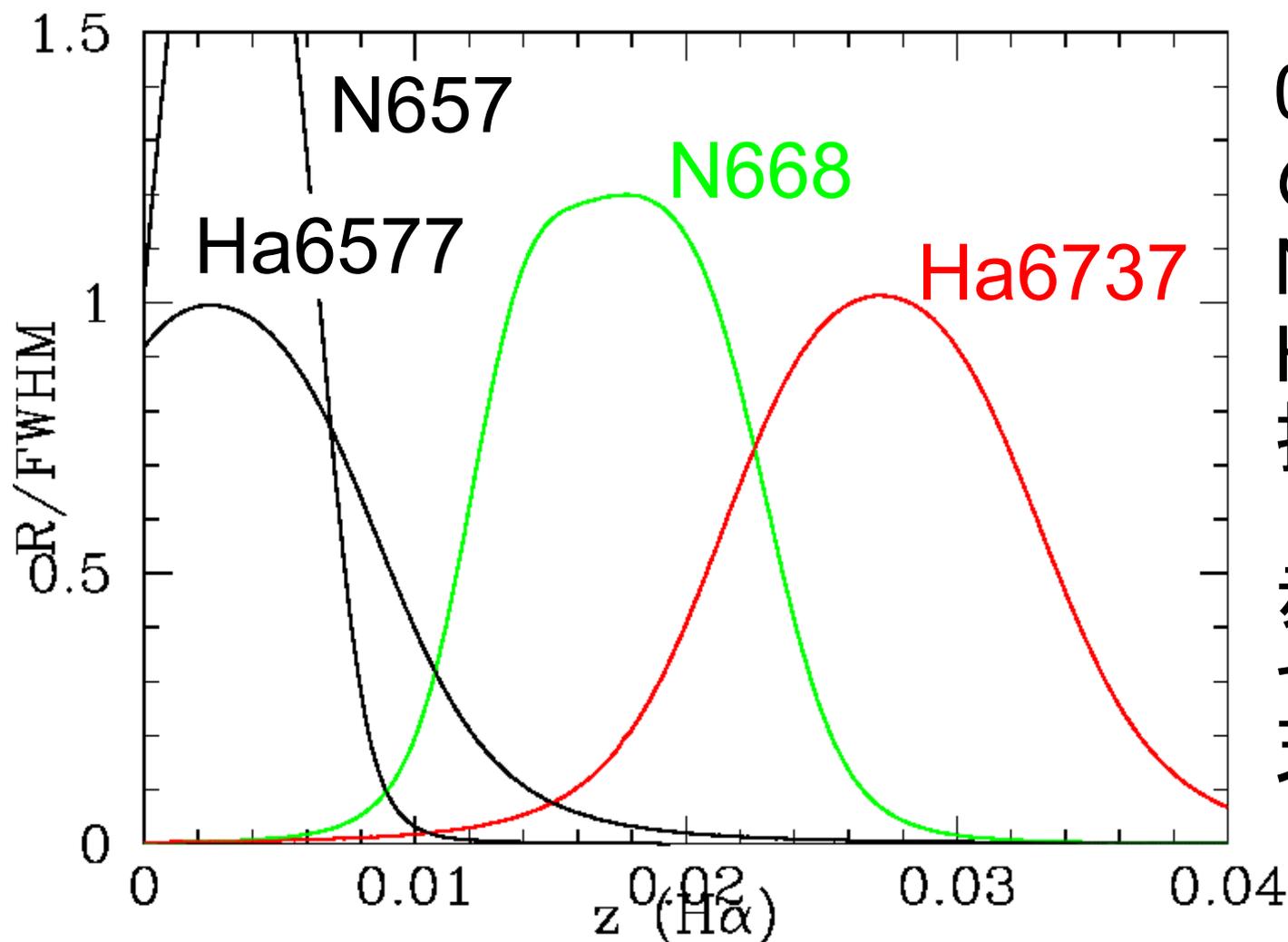
すばるのプロポーザルには間に合わなかったが、  
木曾にも [SII] があるので、 $z=0.022$  の H $\alpha$   
拾えるんじゃないだろうか？  
と頭の片隅に置いておく。

⇒2011/07 すばる主焦点事故。1年休み。  
⇒よろしい、ならば木曾だ (2011/09)

(時間を 2011/10-12 に貰えれば、  
時間のやりくりで、マジェラニックストリームの  
落穂拾いもできると皮算用・・・)

⇒割り当てていただきました。

# 2kCCDフィルターとH $\alpha$



0.013 < z < 0.035  
のH $\alpha$ は  
N668 か  
Ha6737 で  
拾える可能性。

赤方偏移が  
その範囲の  
天体を狙う

この図は透過曲線をF3に修正済。後述。

# 観測(2011/11)

2011/09は雲モニタが露降りまくりだったので、  
薄い雲の確認に持ち込みのコンデジを使ってみた。  
9月に使ったサイバーショットS90が非常に良かった。  
このランと次で使ったLumix のFX150 もそこそこ。  
そのほか、

- ・AG は復活せず
- ・ドーム閉めて撮ってたフラットのカウン트가急上昇。  
⇒夜9時に望遠鏡閲覧室の電気が点灯したため。  
なにそれこわい。  
⇒停電工事の際に時計がずれたためだったと  
翌日判明。
- ・望遠鏡制御不能のトラブル。夜中に助けてと電話。  
⇒古いモータの不具合が電源ブレーカ落として  
全系ダウンだったらしい。夜明け前に復旧。大感謝。

# 手動雲モニタリング



コンパクトデジカメでも、  
案外雲が写る。  
Lumix FX150 F開放(F/2.8)、  
30秒、三脚固定。  
左下は晴天。

# 観測(2012/02)

雪が残っていた中、水道管老朽化？による夜間断水。とてもキツかった、主に精神面で。「そういう情報は前もってメールで連絡下さいよ！」と心底思う。

- ・ドーム大移動。

ディザ中にドームが北東と北西を往復したりする。  
⇒原因はδのエンコーダの問題、らしい。

FITS ヘッダのδもおかしくなる場合がある。

- ・AG 復活！

しかし、ディザする場合の自動食いつきには対応してなかったなので、結局利用断念。復旧催促した挙句、使わないという暴挙。ごめんなさいごめんなさい。

# 余談。雪の氷結



# 余談。晴れていても雪



30秒露出。星が見えてる。



1秒露出+フラッシュ。  
星は写っていない。

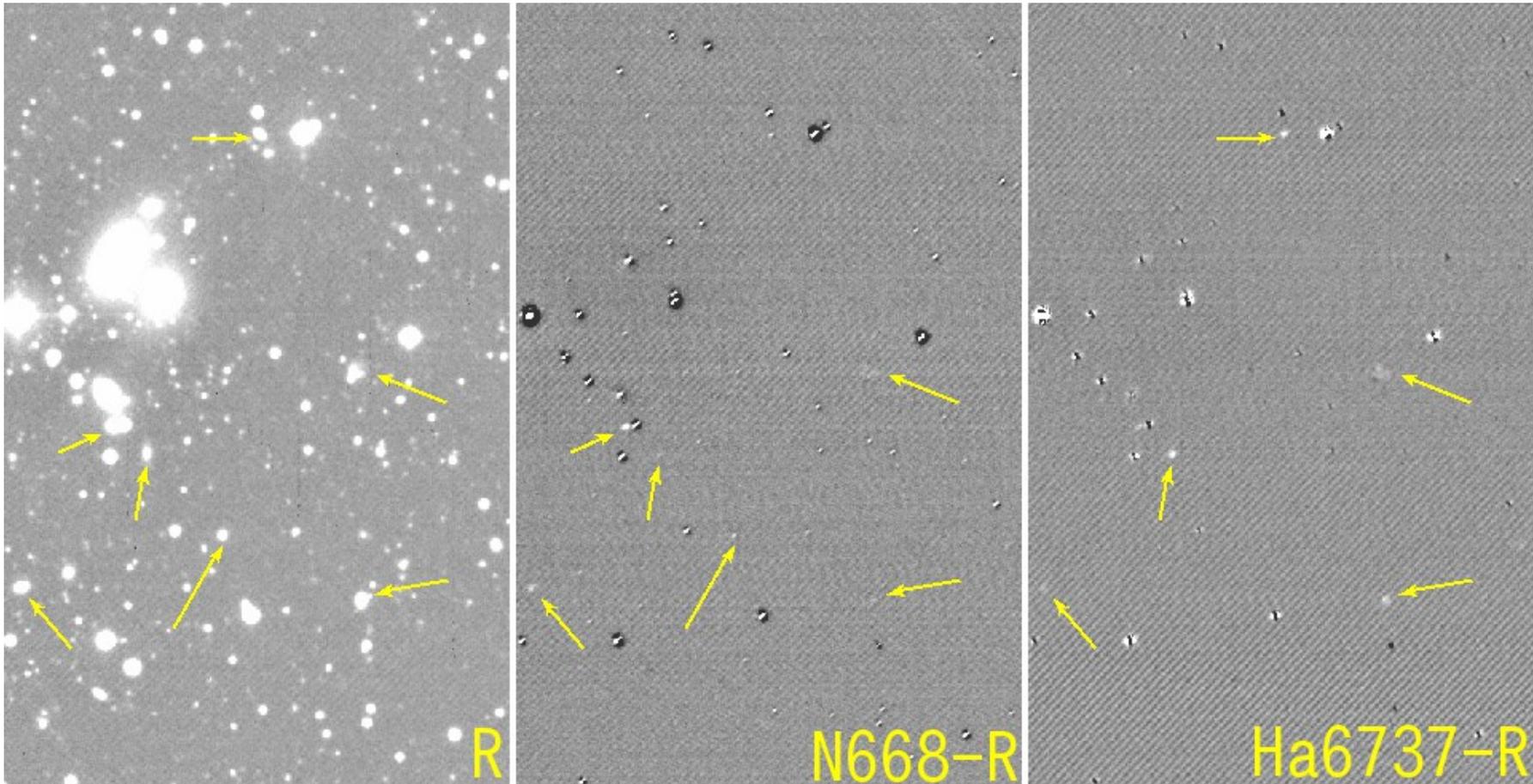
# 観測した天体

Coma N668(110), Ha6737(100), R(38), I(10),  
HCG10 N668(215), R(26), I(33),  
HCG25 N668(160), Ha6737(161), R(15), I(22),  
HCG33 N668(75), Ha6737(246), R(33), I(67),  
HCG34 Ha6737(105), R(10), I(10),  
HCG37 N668(225), Ha6737(105), R(30), I(48),  
HCG42 N668(80), R(10), I(22),  
HCG57 Ha6737(80), R(14), I(10),  
HCG58 N668(125), R(24), I(12),  
HCG59 N668(105), R(22), I(10),  
HCG79 N668(135), R(36), I(52),  
HCG93 N668(130), Ha6737(30), R(12), I(8),  
HCG97 N668(142), Ha6737(115), B(25), R(29),  
HCG100 N668(125), R(11), I(12),

※途中でやめた2天体は載せてない

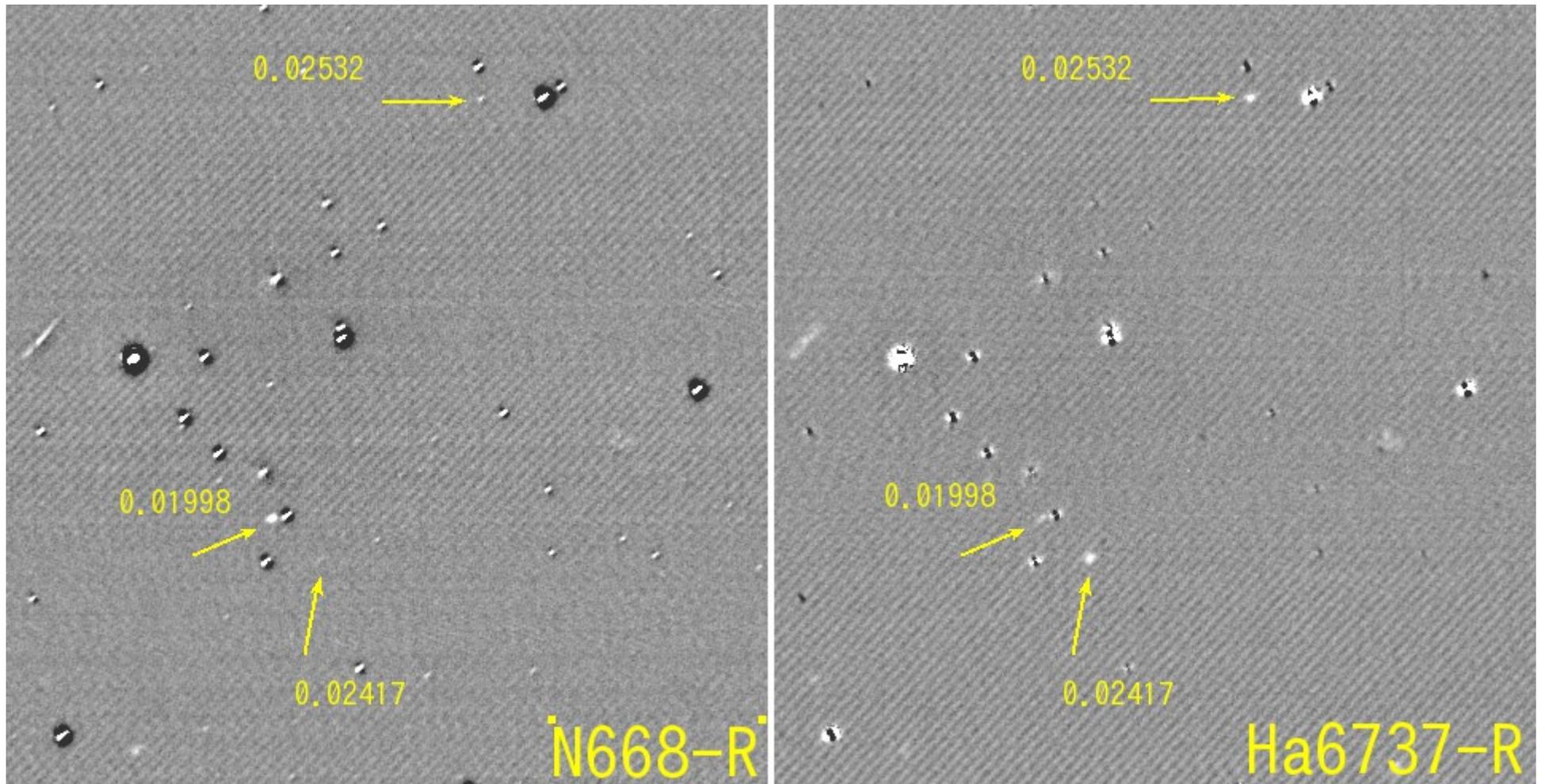
# 観測結果例

H $\alpha$ 輝線天体が見つかる。



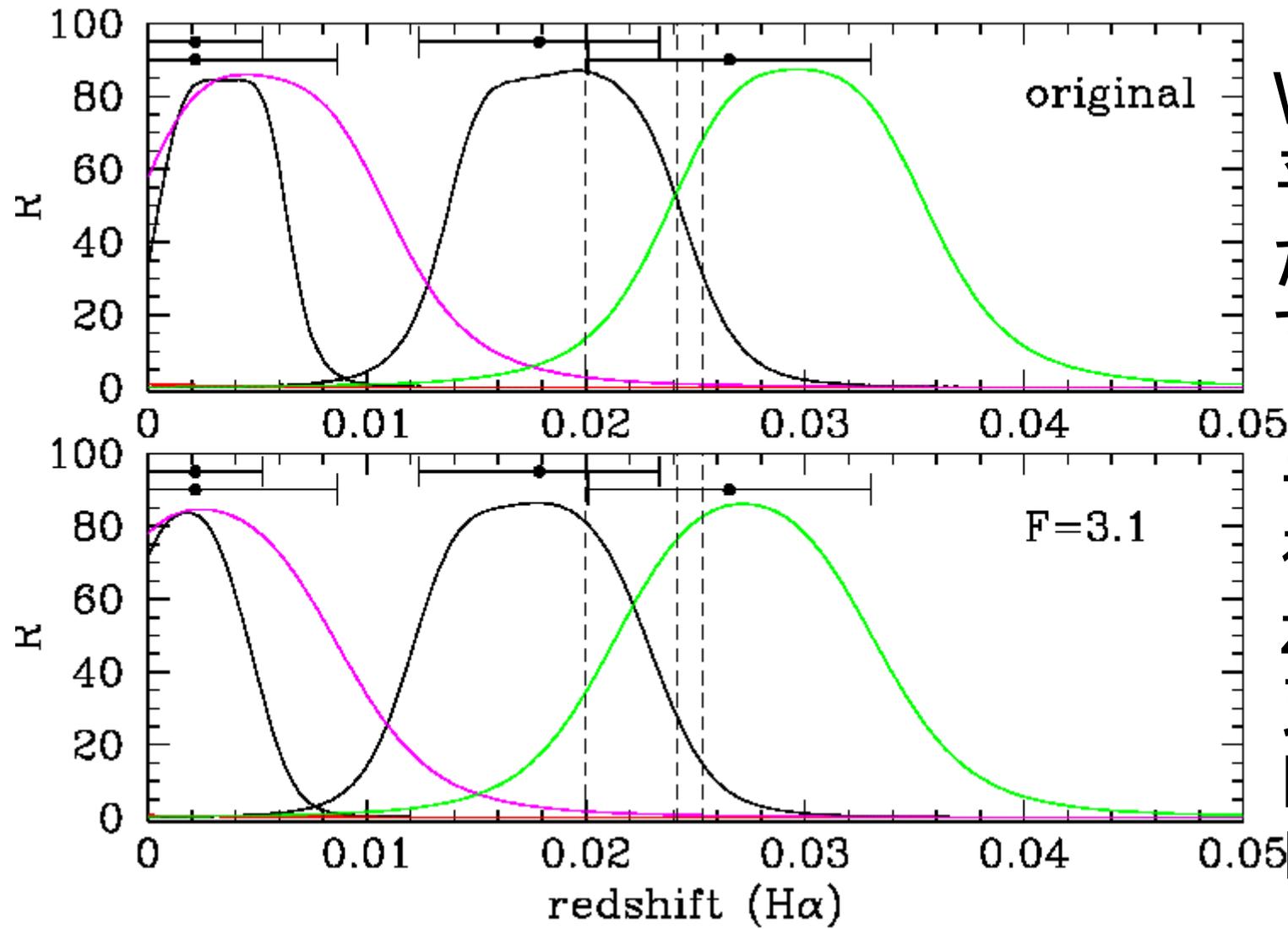
この銀河群( $z=0.22$ )では、銀河毎の後退速度の違いで、写り具合が異なる！

# 赤方偏移の違いがわかる



このほか、既知の天体以外にも  
銀河群の赤方偏移に近い輝線天体複数発見

# フィルターレスポンス



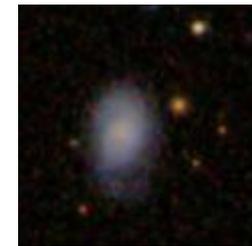
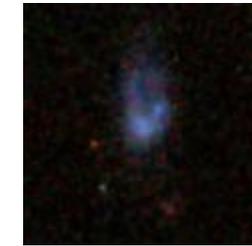
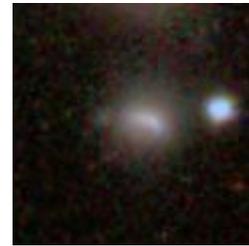
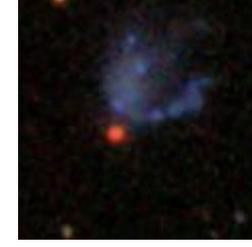
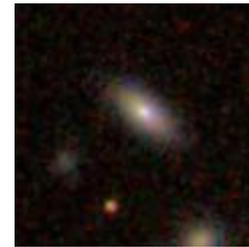
WWWの値は  
平行光やF10  
だったので、  
ずれていた...

モデルを仮定し  
補正した後。  
z既知の輝線  
天体2つが  
Ha6737で  
明るいのと整合

↑CCDレスポンスと望遠鏡透過特性は未考慮

# 輝線天体の様子

SDSS-DR8 から絵を拾ってみる。それっぽい。



他、13銀河群も  
鋭意解析見込み

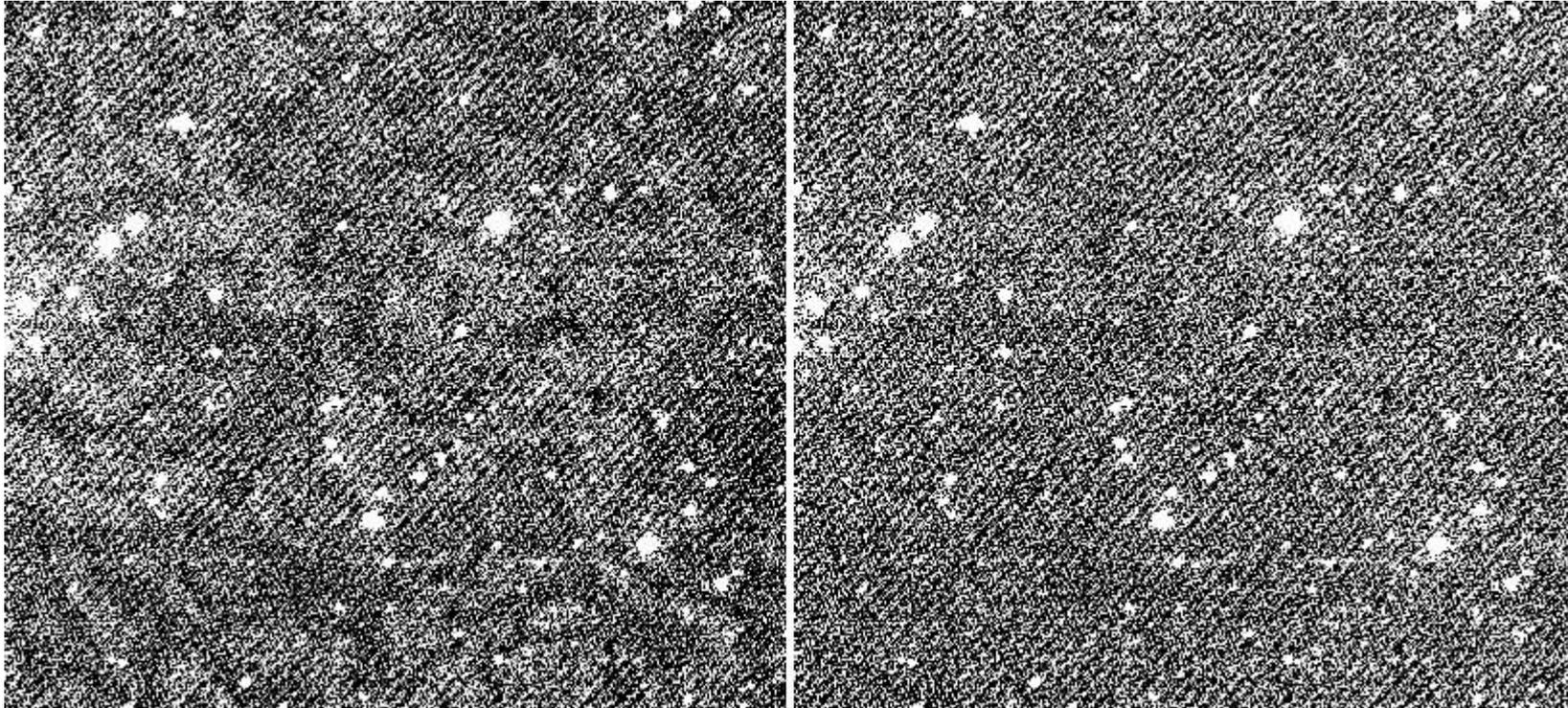
# 解析関連

基本的に、元木曾モザイク2号機解析用ソフトから進化してきたコード群を元に独自で改変。  
外部ソフトとして WCSTools と SExtractor を使う。

特徴？

- ・フィルター毎のピクセルスケールの違い( $\sim 0.1\%$ )を補正、微分大気差も補正
- ・位置較正は半自動。
- ・測光零点はSDSSから色変換して自動。
- ・現場でも使える。flat とSDSSカタログ切り出しが準備してあれば、撮像終わって数分で零点までおよそ求まる。
- ・FRINGE自動補正は現在格闘中。

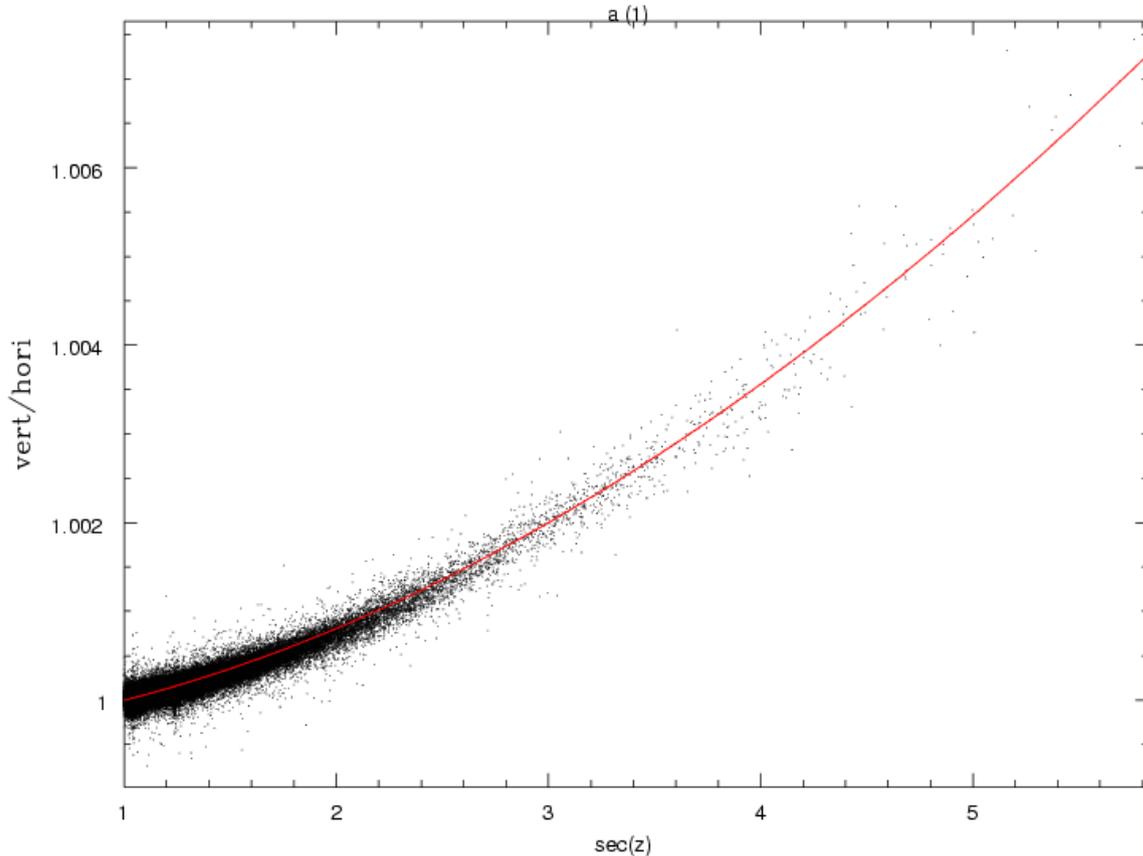
# フリッジ補正



I-band のフリッジパターンの自動補正を試行錯誤中。  
flat 後の I-images をスカイで規格化、  
median 取ったあと、1引いてスカイレベルを0にし、  
そのパターンをスカイの高さでスケールして  
差し引いてみたのが上の例。・・・そこそこ。

# 微分大気差モデル

2011/10/ 2 6:42:57



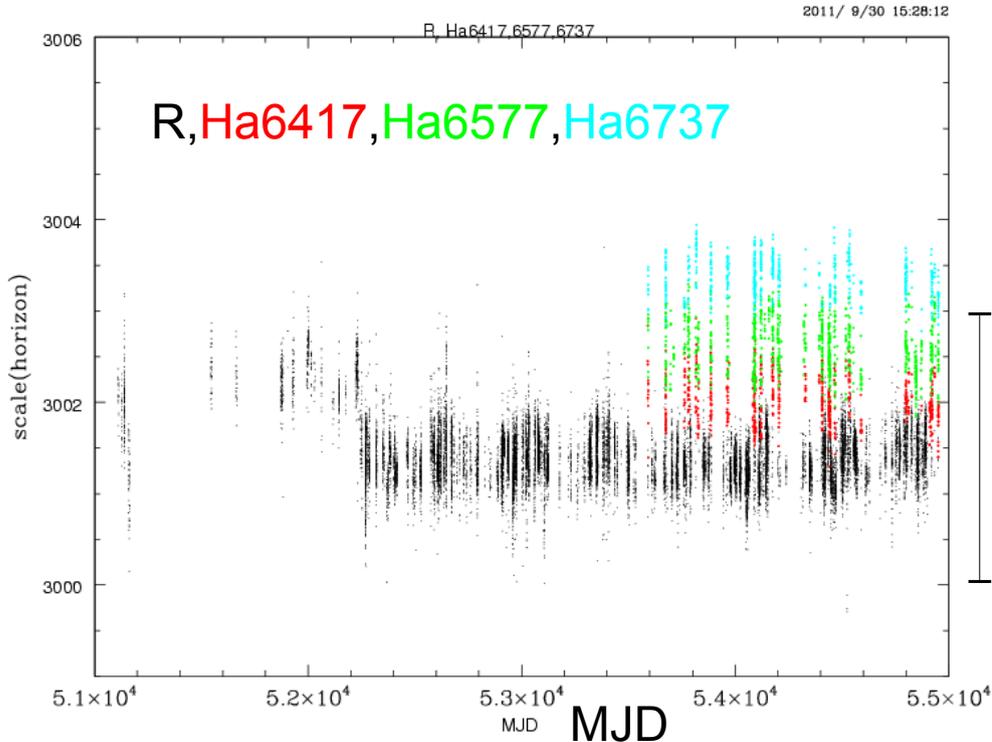
水平方向スケールと鉛直方向スケールの比UBVRIで打った。同じとしてもよさげ

赤線は適当にフィットした3次関数。これを使って補正。

方位角はHA,decから正弦定理で求めて補正

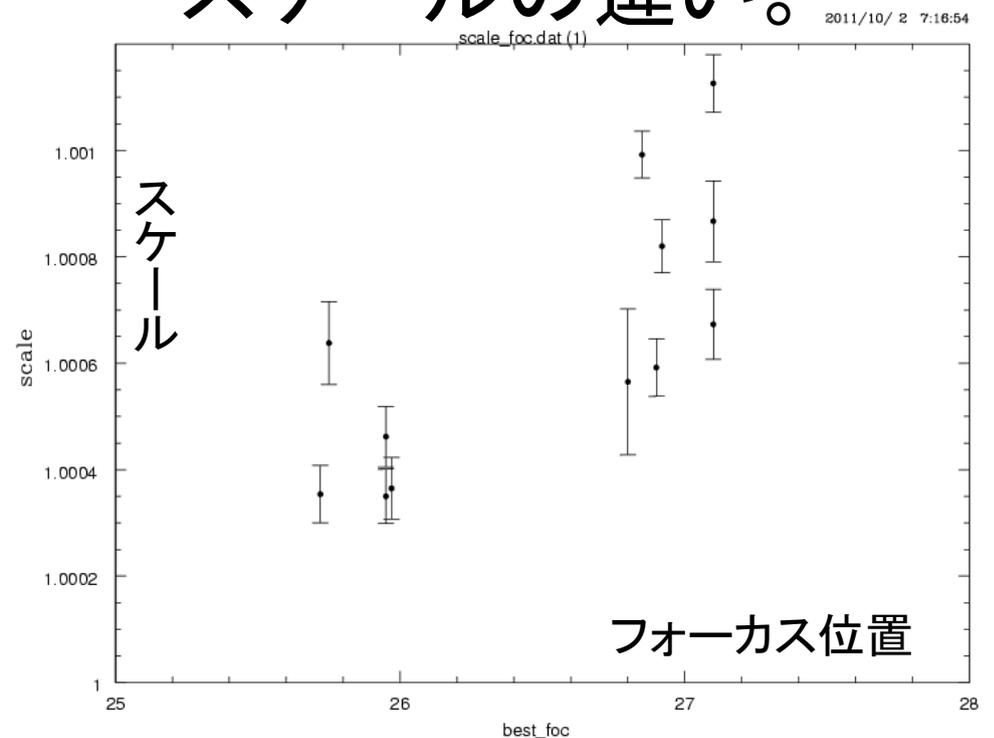
secz=1.41 (EL=45)で、2048pixに対し、0.6pixくらいの縮み

# ピクセルスケール補正

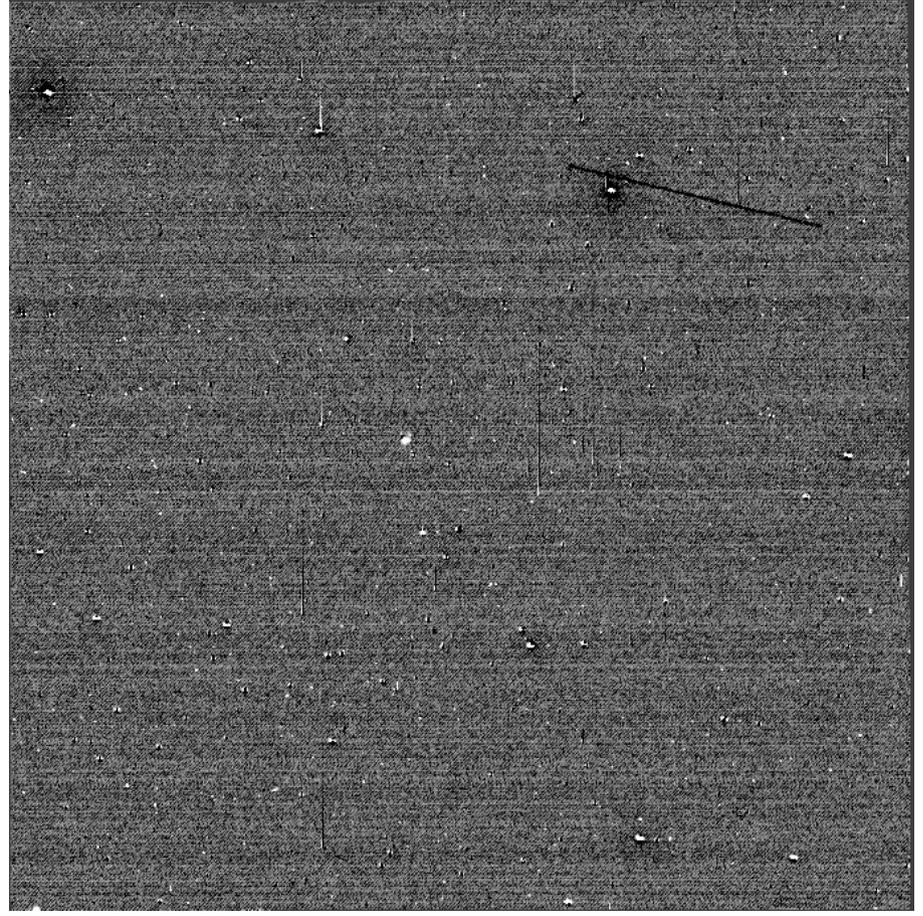
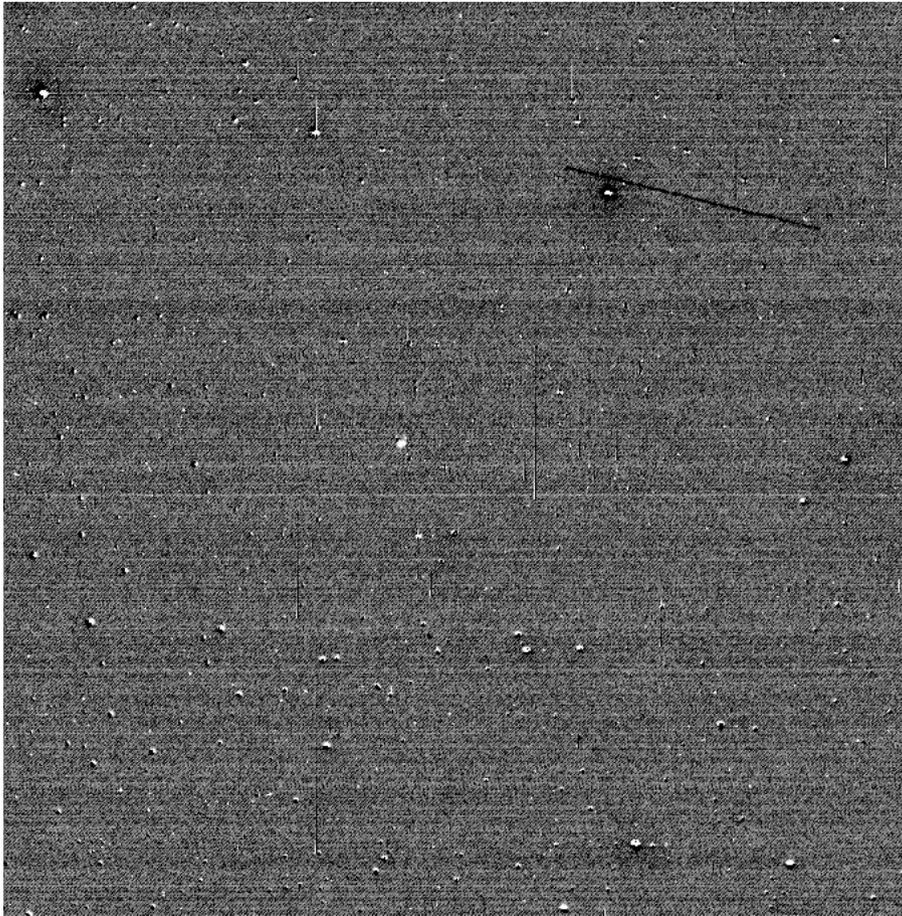


SMOKA の長期の  
位置較正結果を頂き  
水平スケールを調査  
フィルターごとに、  
0.1% レベルでの  
スケールの違い。

フォーカス位置の違いとは  
相関なさそう。



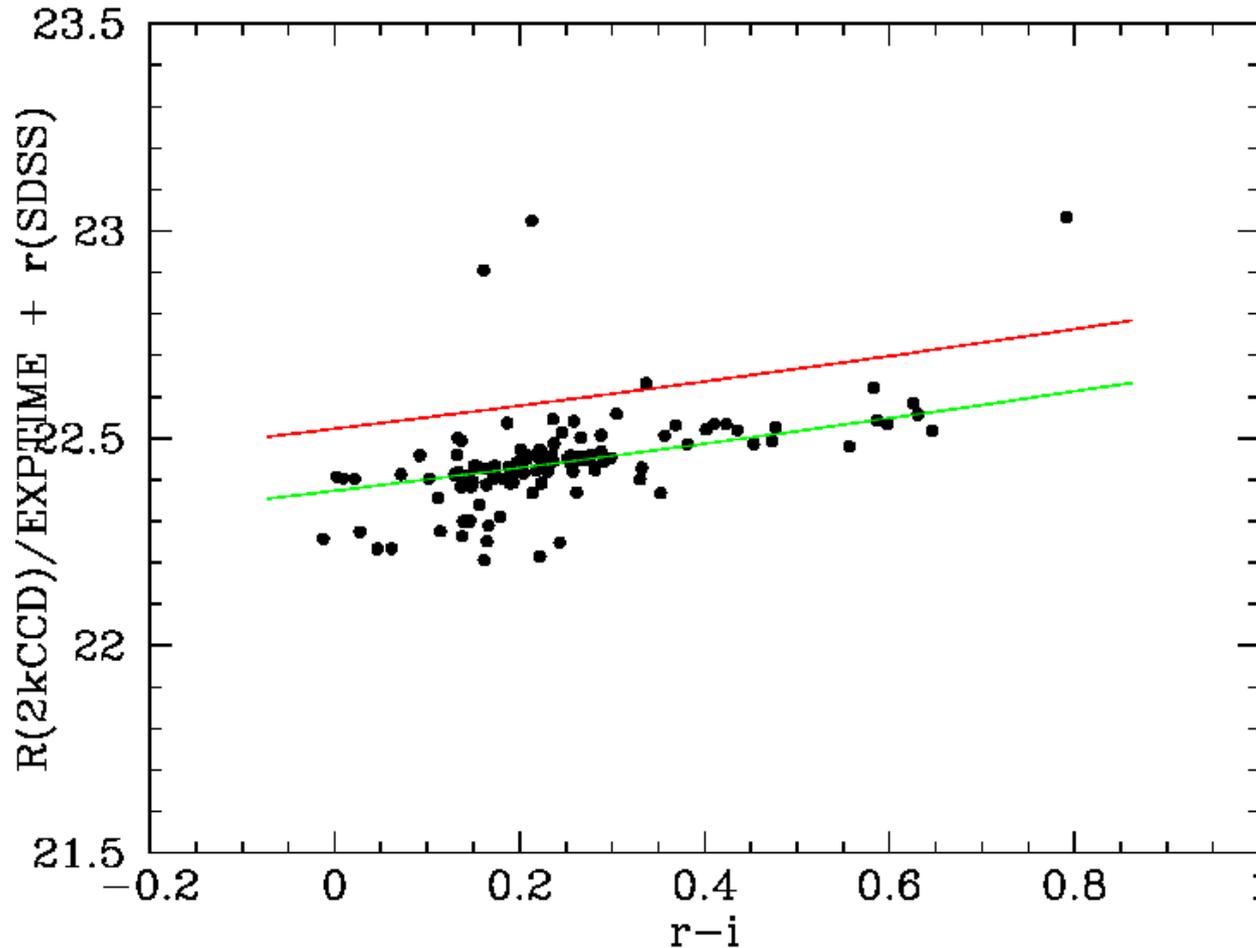
# ピクセルスケール補正



補正前後での狭帯域から広帯域画像差し引き例。  
左(補正前)だと軸対称に見える白黒二重極が  
右(補正後)だとノビ違いの四重極が主。…見える？

# 零点推定

SDSSと重なった領域で、星を同定して比較。



関数形は  
BPGS ライブラリの  
SEDから色を計算。  
分布をフィット。  
分散の少ない  
色範囲で区切る。

Yagi et al. (2010,2012)

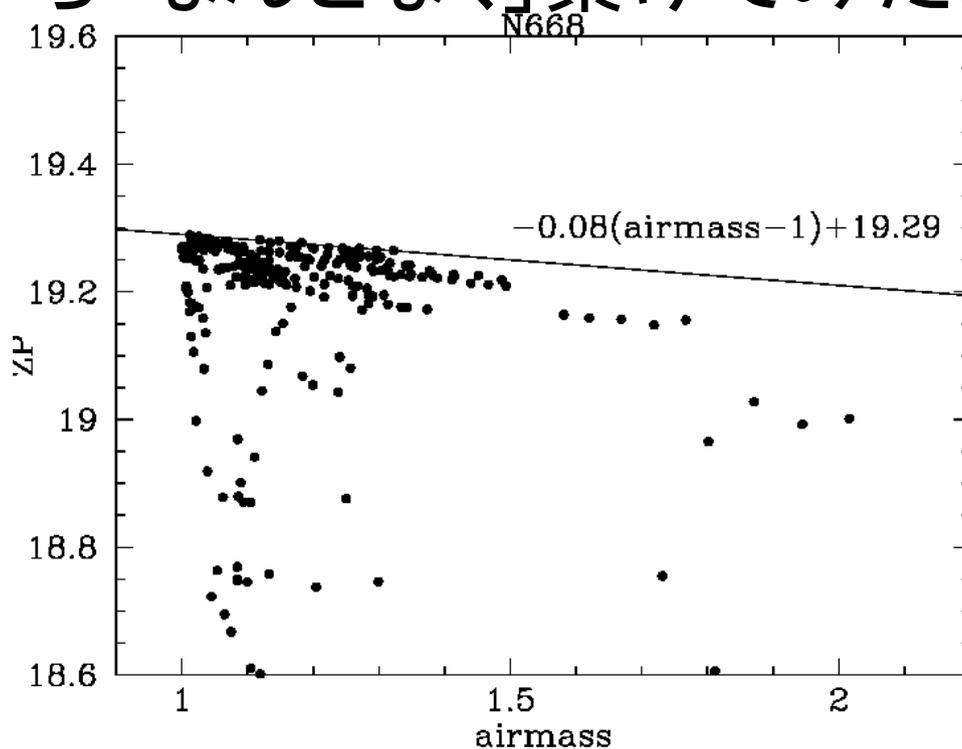
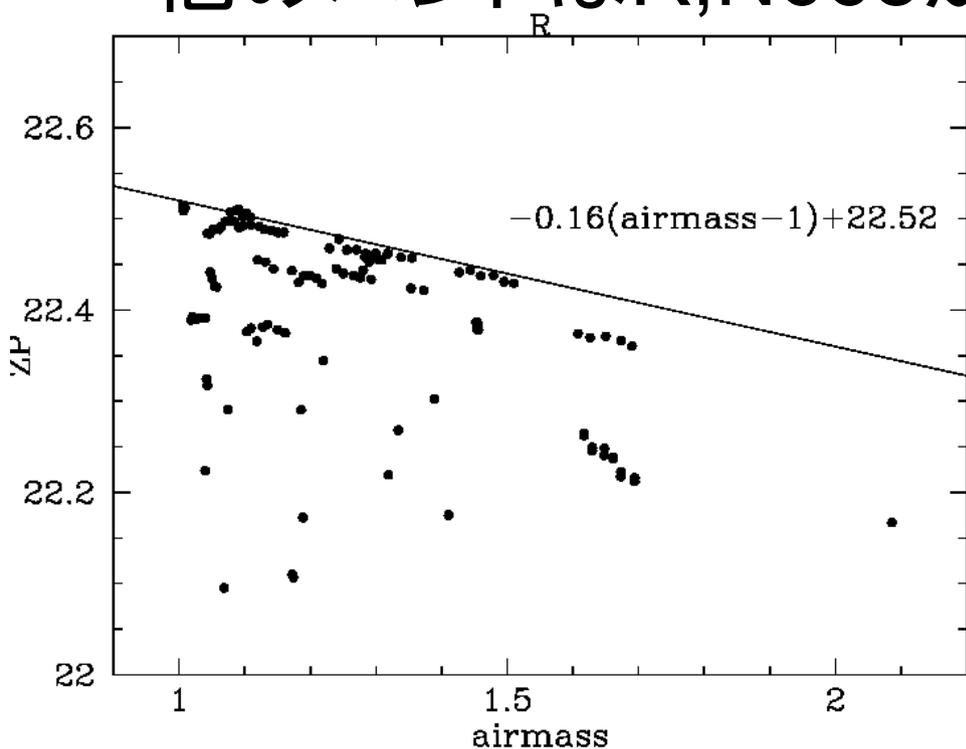
ベストフィット(緑)  
の切片が零点。  
これと理想値(赤)  
の差が減光量。

1枚の画像の複数の星が各点。

# 理想の透過率の推定

Flat の規格化係数の効果はとりあえず無視。

- ・3ランのベストを R、N668 で求める。
- ・傾きは適当。本当は大気モデルとフィルター特性で求まるはずなんだけどやってない。
- ・他のバンドはR,N668から「なんとなく」繋げてみた。



各点が各画像の零点

# まとめ

- ・ショートプログラム3ラン頂き、観測を行なった。
- ・予想以上に晴れた。
- ・マジェラニックストリームのH $\alpha$ は検出！  
論文出版済。
- ・頑張って積分すると、案外深くまで見える。
- ・コンパクト銀河団のH $\alpha$ も見えている。鋭意解析中
- ・フィルター透過曲線の情報収集は大事。  
三鷹等でF3で再測定が望ましいと思われる。
- ・輝線撮像を行なう場合、有名天体は既に他で  
やられてる可能性が高い。変なものを狙うと  
案外まだ狙いシロはありそう、な気がする。
- ・データ解析に当たり、スケールの違いなど  
新しい事も見えた・・・もっとも2kCCDは終了間近。