

3.8m望遠鏡用 面分光装置開発

- KOOLS-IFU観測状況 -
- データ解析ソフトウェア開発 -

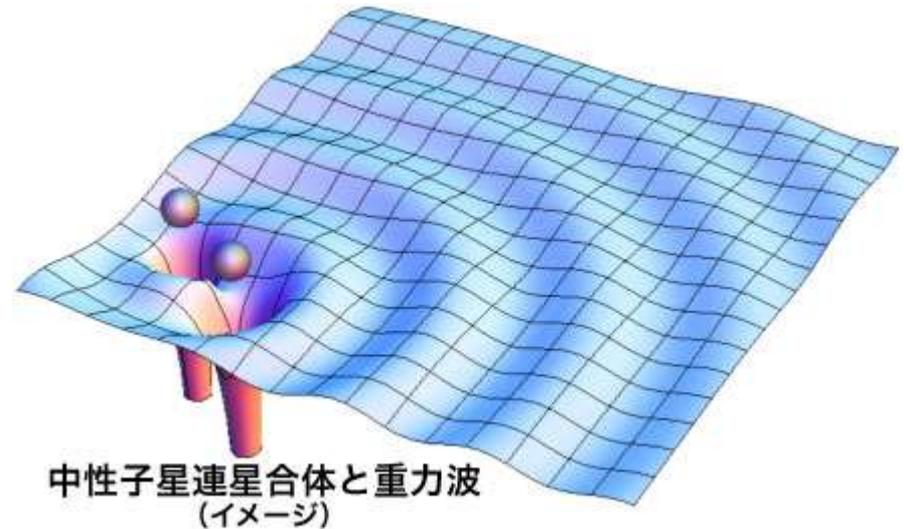
松林 和也、太田 耕司 (京都大学)

目的と研究計画

重力波源候補天体の即時分光データを取得し、
天体までの距離や運動状態などを明らかにする

研究計画

- 光ファイバーを用いた面分光ユニットを開発
- 既存の分光器KOOLSに面分光ユニットを組み込む
- 188 cm望遠鏡、3.8 m望遠鏡で観測



(大阪市立大学ホームページ
より)

初めての重力波の直接検出！

PRL 116, 061102 (2016)

 Selected for a **Viewpoint** in *Physics*
PHYSICAL REVIEW LETTERS

week ending
12 FEBRUARY 2016



Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger

B. P. Abbott *et al.*^{*}

(LIGO Scientific Collaboration and Virgo Collaboration)

(Received 21 January 2016; published 11 February 2016)

On September 14, 2015 at 09:50:45 UTC the two detectors of the Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory simultaneously observed a transient gravitational-wave signal. The signal sweeps upwards in frequency from 35 to 250 Hz with a peak gravitational-wave strain of 1.0×10^{-21} . It matches the waveform predicted by general relativity for the inspiral and merger of a pair of black holes and the ringdown of the resulting single black hole. The signal was observed with a matched-filter signal-to-noise ratio of 24 and a false alarm rate estimated to be less than 1 event per 203 000 years, equivalent to a significance greater than 5.1σ . The source lies at a luminosity distance of 410_{-180}^{+160} Mpc corresponding to a redshift $z = 0.09_{-0.04}^{+0.03}$. In the source frame, the initial black hole masses are $36_{-4}^{+5} M_{\odot}$ and $29_{-4}^{+4} M_{\odot}$, and the final black hole mass is $62_{-4}^{+4} M_{\odot}$, with $3.0_{-0.5}^{+0.5} M_{\odot} c^2$ radiated in gravitational waves. All uncertainties define 90% credible intervals. These observations demonstrate the existence of binary stellar-mass black hole systems. This is the first direct detection of gravitational waves and the first observation of a binary black hole merger.

日本の電磁波フォローアップ観測

- 重力波イベントに対して、電磁波フォローアップ観測を行う日本のプロジェクト (J-GEM) を結成
- 重力波イベント GW150914 への対応
(Morokuma et al. 2016, submitted to PASJ, arXiv: 1605.03216)
 - 木曾1.05 m / 広視野カメラ KWFC 撮像観測
 - Boller & Chivens 61 cm / Tripole5 撮像観測
 - 重力波源天体と思われる天体は見つからず
- 有力な可視光対応天体が見つからなかった
ので、KOOLS-IFUは観測せず

short-GRB (重力波源候補) ToO観測

- 岡山188 cm望遠鏡 2016年前期のToO観測プログラムとして採択
 - 3時間 x 4回 (1晩に1回)
- GRB 160303Aに対してアラート発令し観測！
 - 観測したものの、天体が暗すぎて検出できず
 - 発生後1.8—90分後の観測で $r' = 22.95$ mag (GCN Circular 19131)

通常の (ToOでない) 観測

- 2015年12月: 松林他、銀河の観測
- 2016年1月: 市川 (国立天文台) 他、銀河の観測
- 2016年2月と4月: 大宮 (国立天文台) 他、星の観測
- どれも装置トラブルはほぼ無し

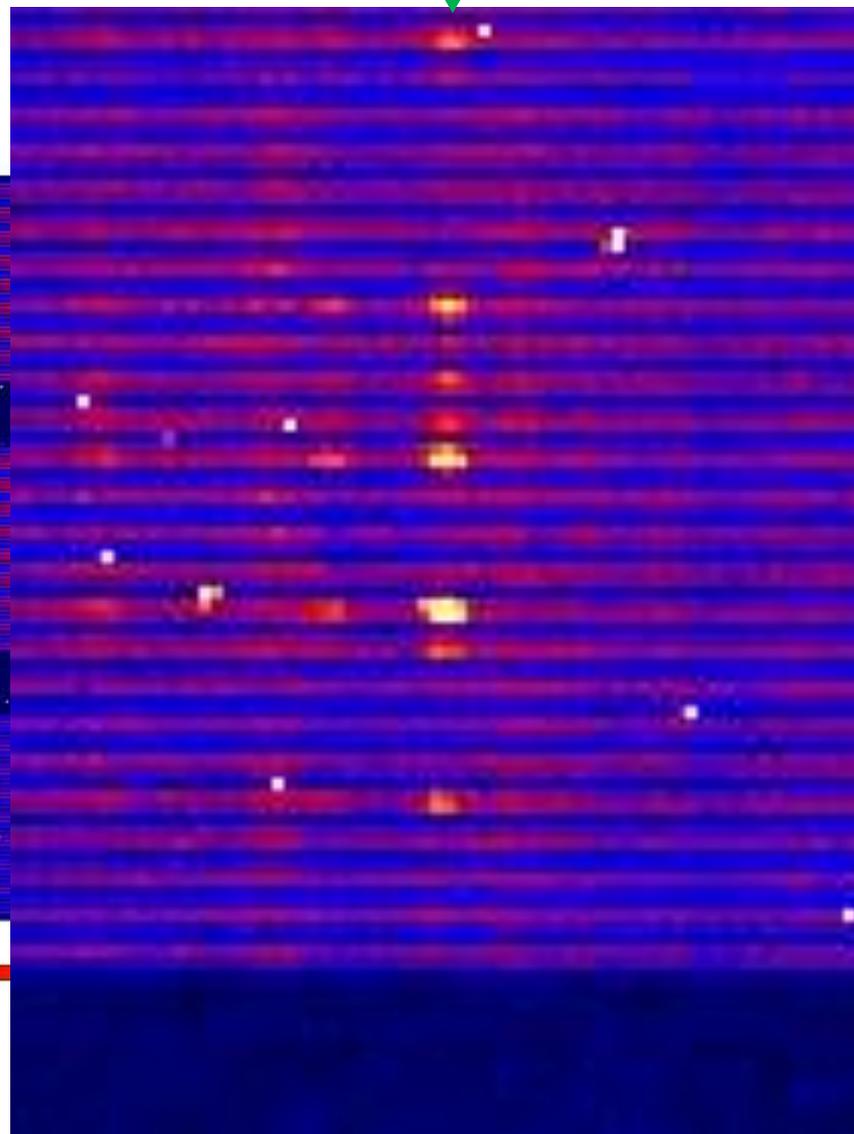
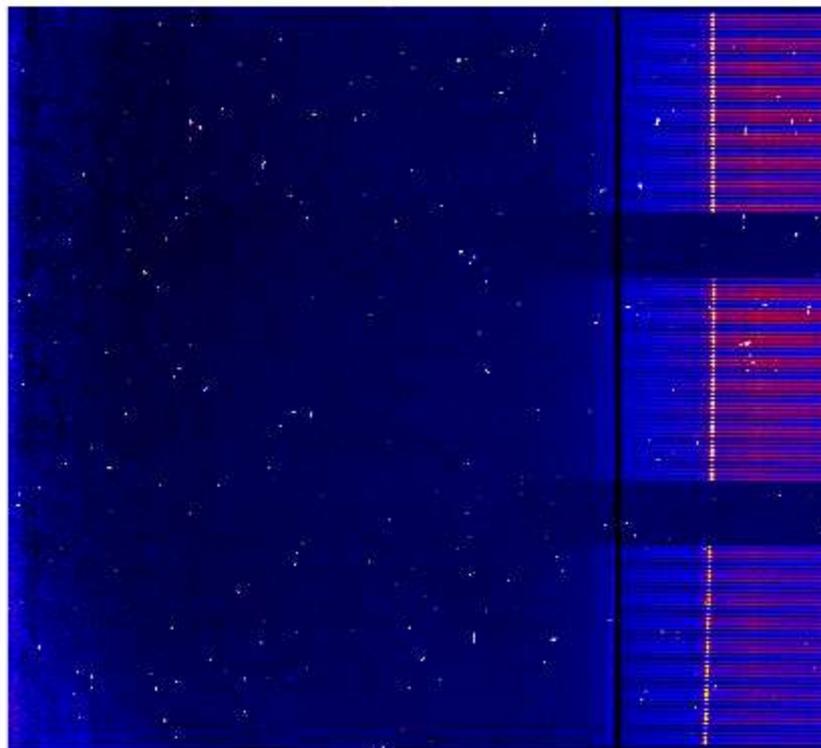
データ解析ソフトウェア開発

- cosmic ray除去 -

- 複数フレーム足し上げ -

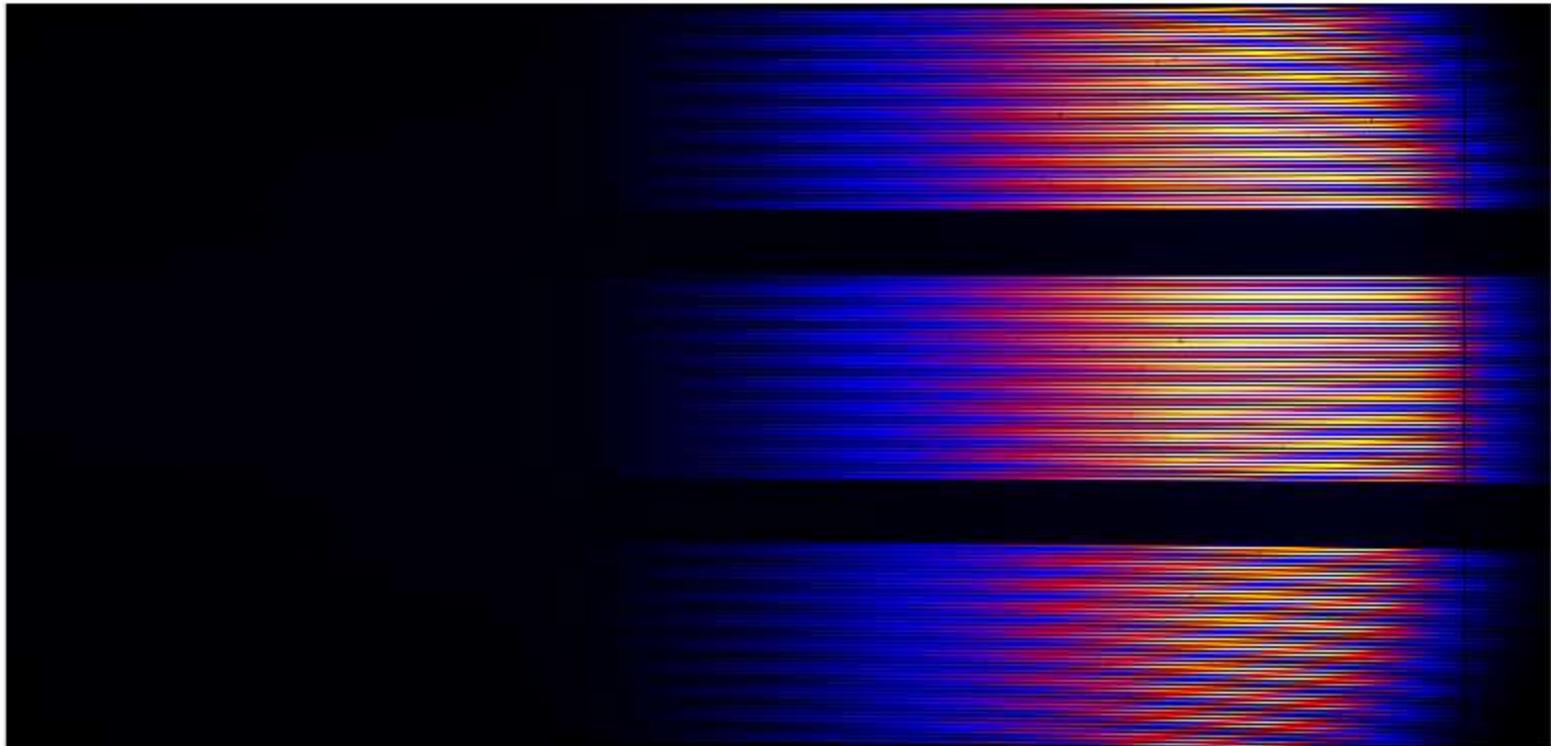
cosmic ray取り除き前

天体輝線



フラットフレーム

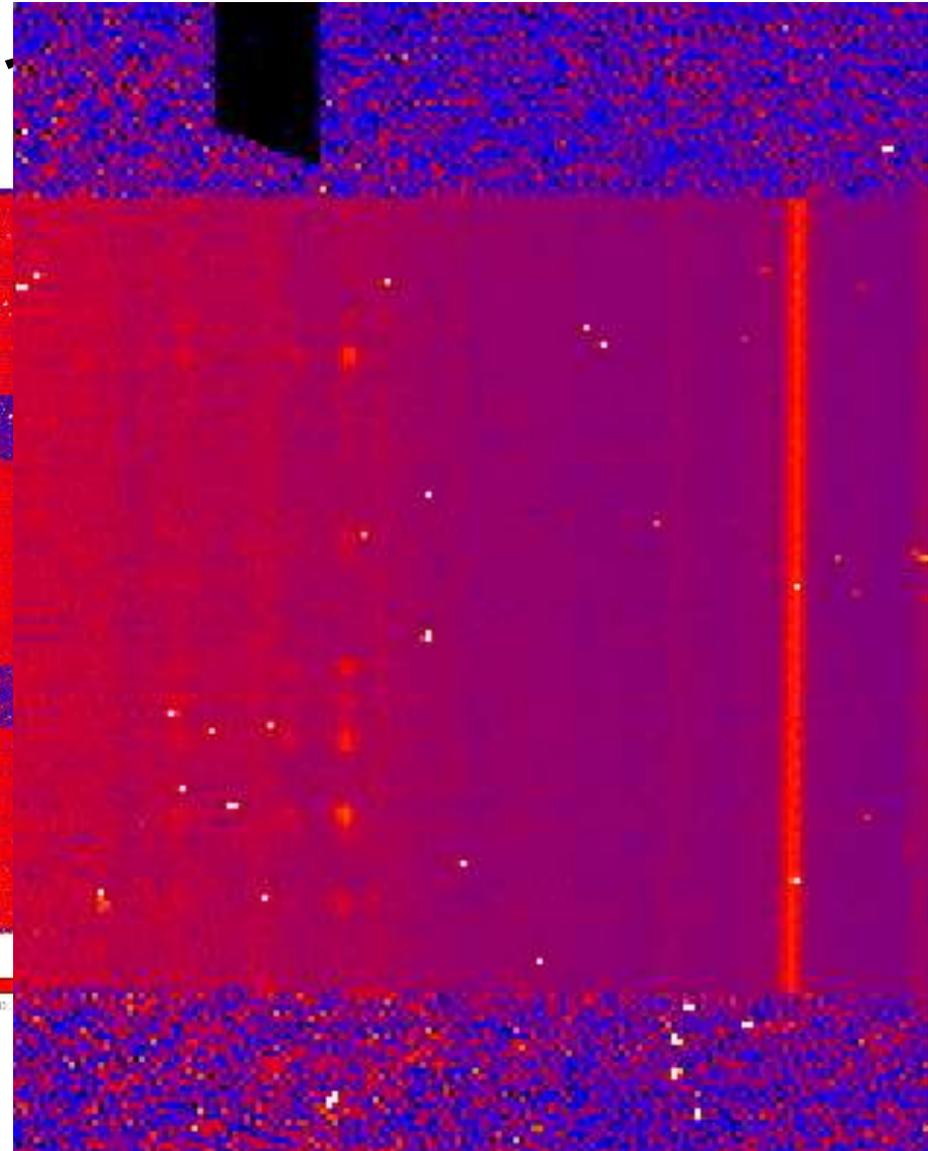
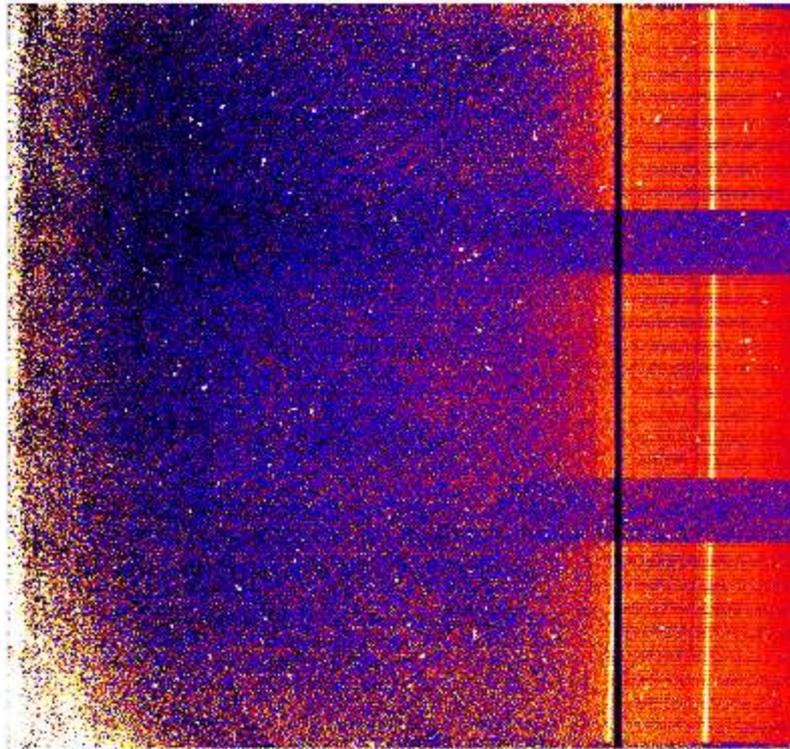
天体フレームをフラットで割って見たらどうか？



4850 5800 6564 6700 7000 7500 7700 8000 8200

天体 / フラットフレーム

cosmic rayが目立



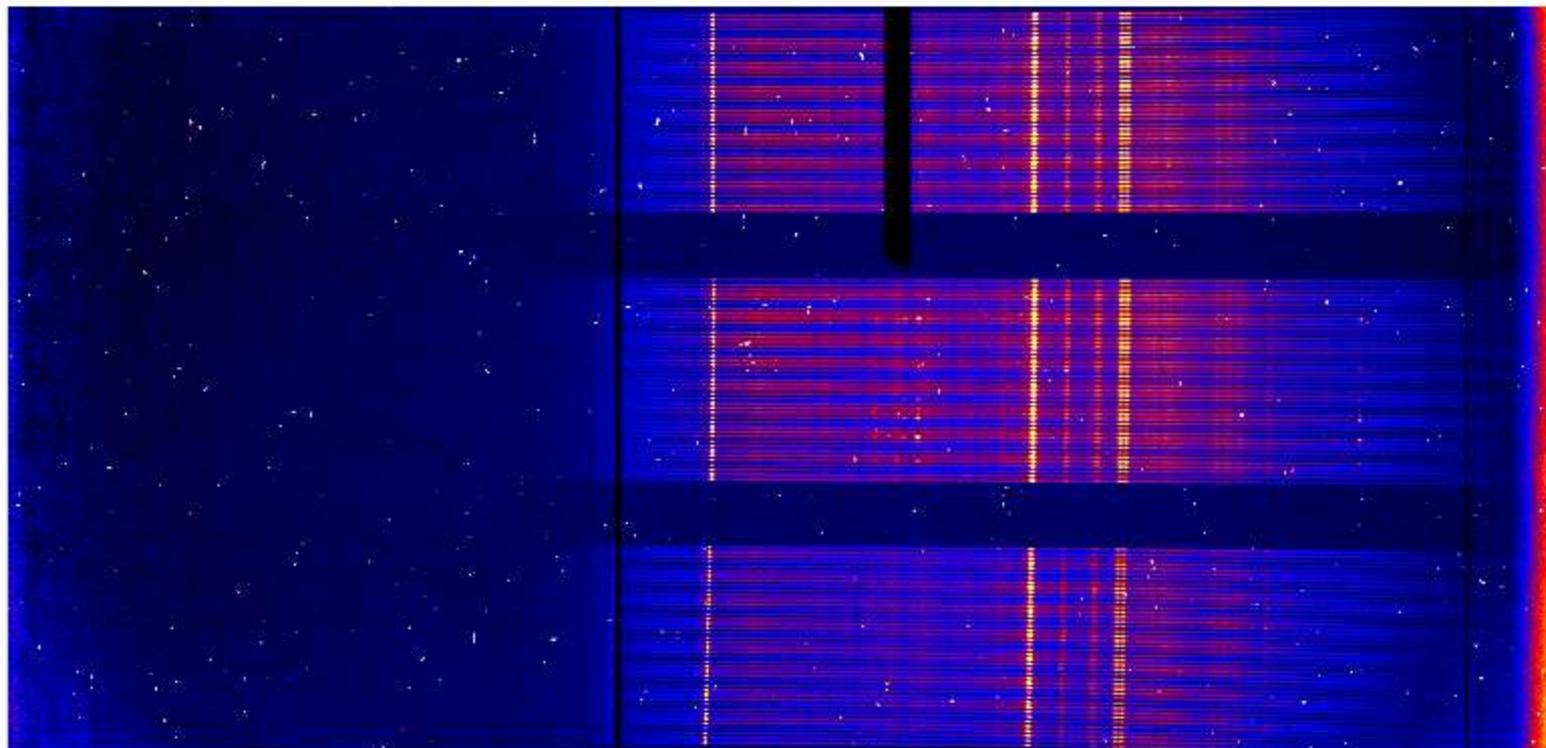
cosmic ray自動検出アルゴリズム

1. 天体 / フラットフレーム上で、あるpixelのx方向の両隣3 pixelずつのカウント値の平均と標準偏差を計算し、中心のpixelが閾値 $x \sigma$ より高いカウント値のpixelをcosmic rayとする
2. 手順1を全pixelに対してx方向とy方向で行う
3. 新しいcosmic rayが見つからなくなるまで手順2を繰り返す

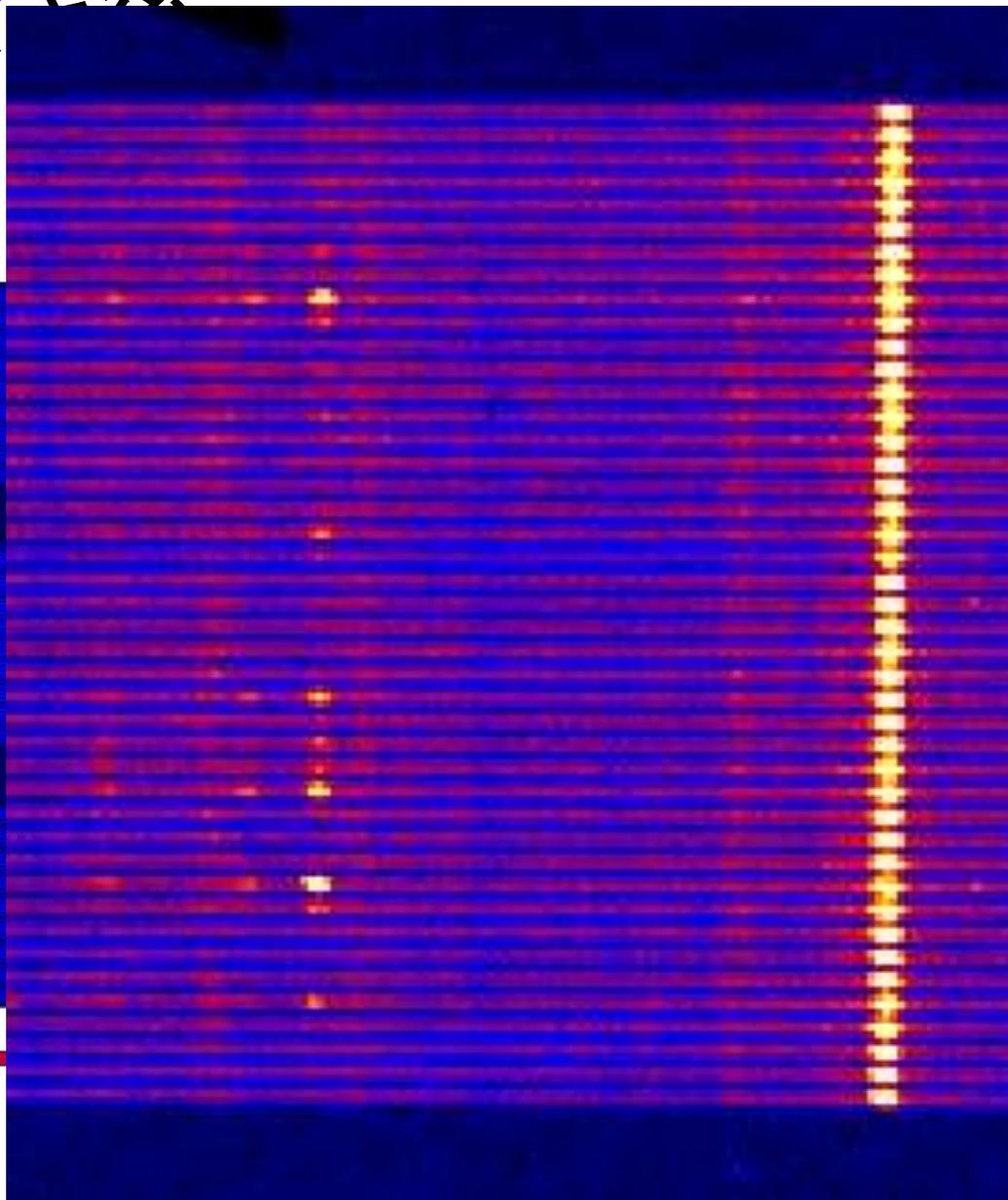
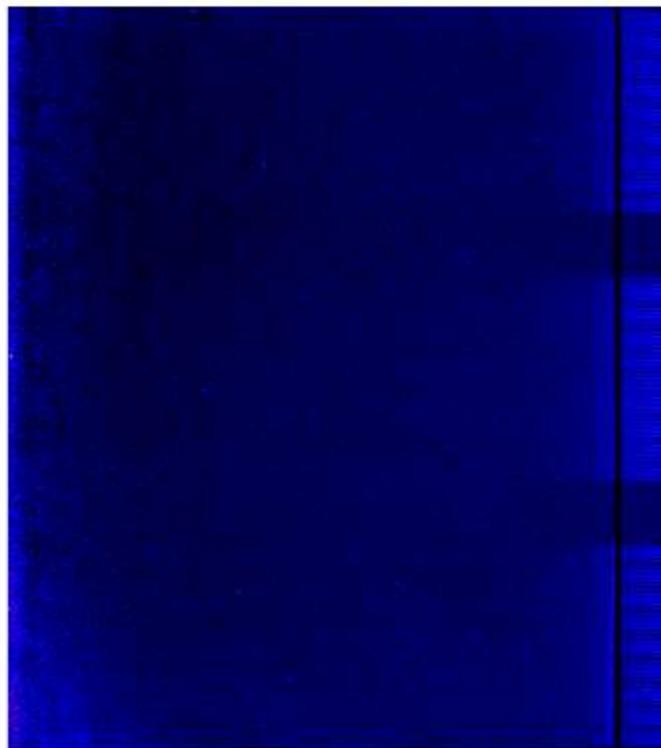
+



cosmic ray取り除き前

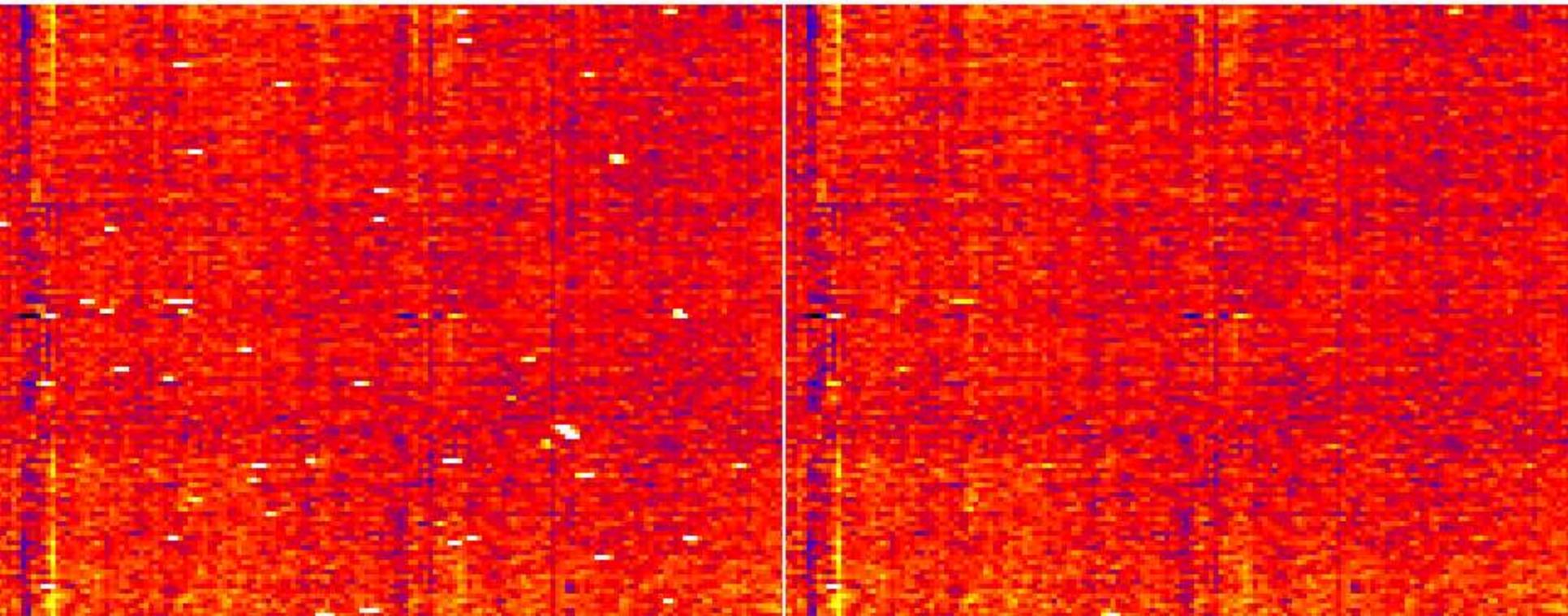


cosmic ray取り除き後



cosmic ray取り除き後

スペクトル切り出し、波長校正、背景光引き後

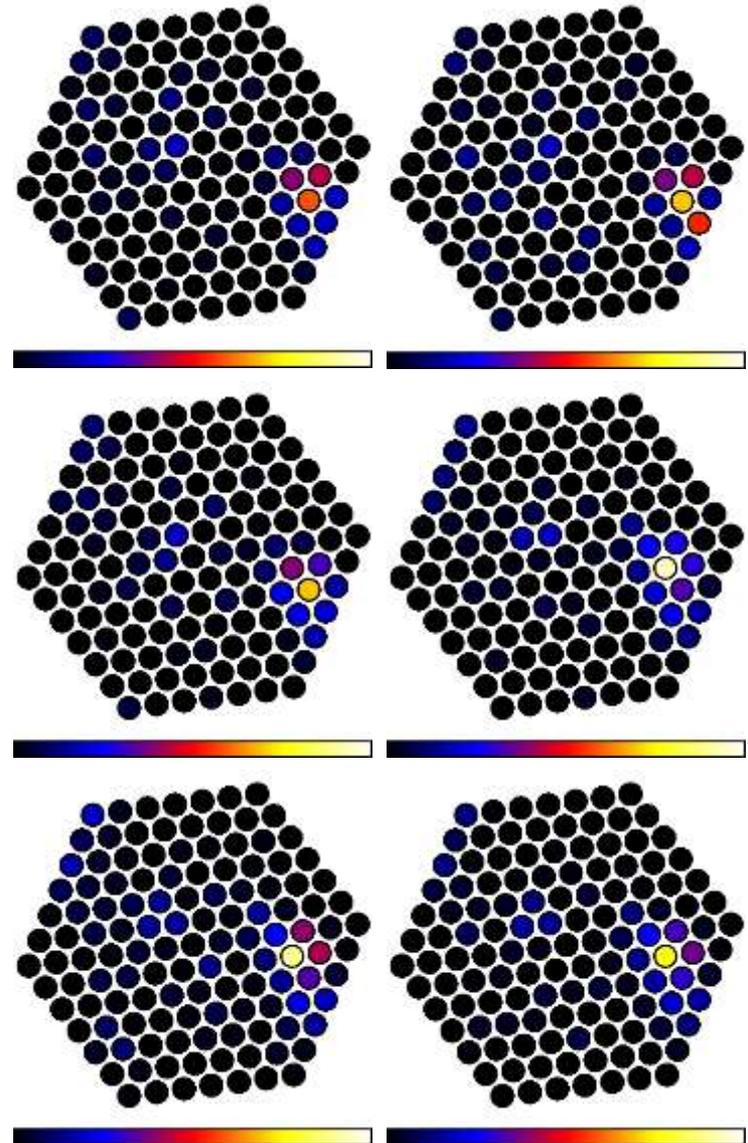


CR取り除き前

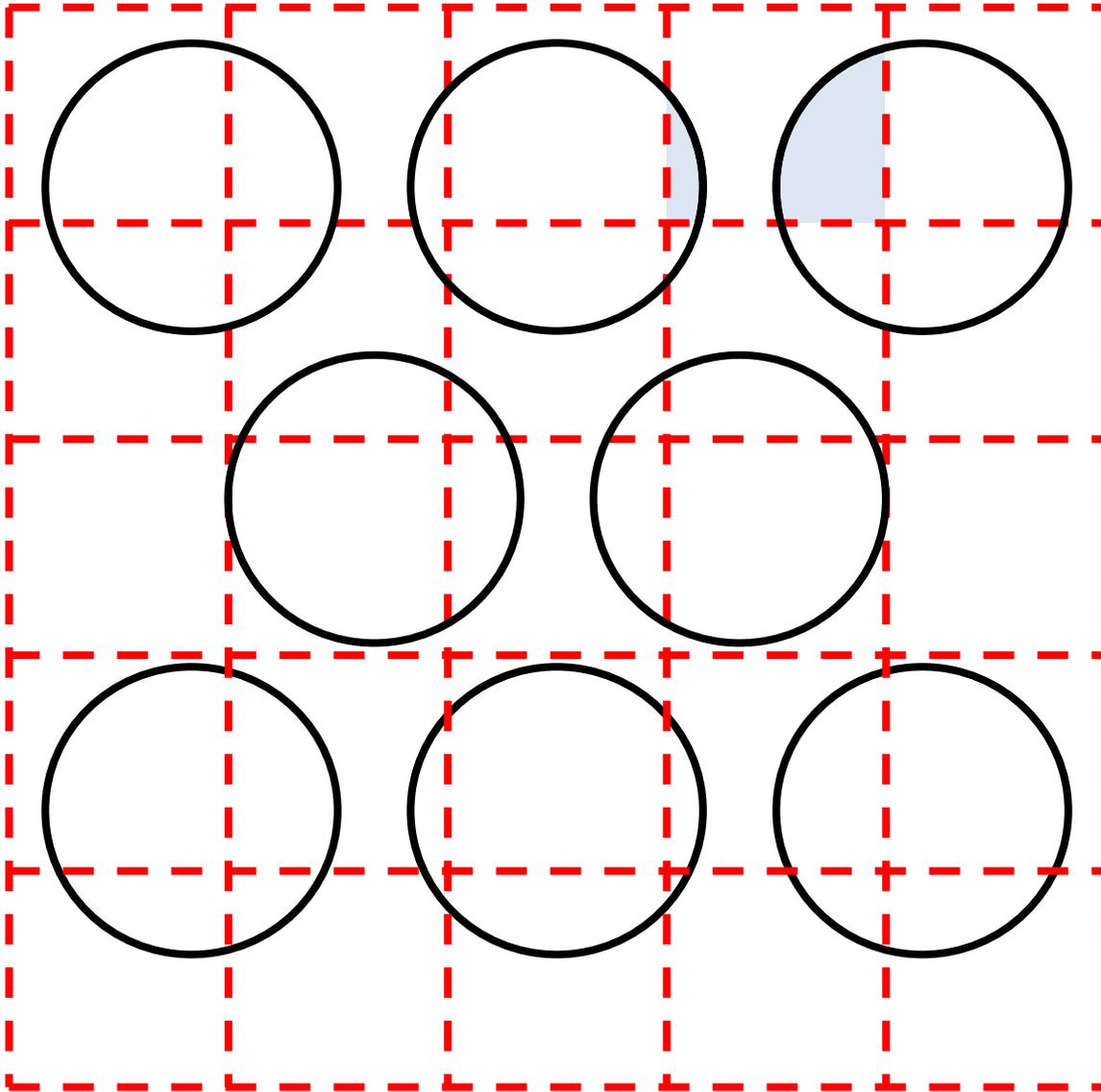
CR取り除き後

複数フレーム足し上げ (UGC 993 H α マップ)

- S/Nを上げるために、複数フレームを足し上げたい
- フレームごとに視野 (天体位置) が異なる
- ファイバー配置が円の最密重点配置で、かつファイバー間に隙間あり
- 正方格子グリッドに変換したい



ファイバー占有面積で規格化して足す

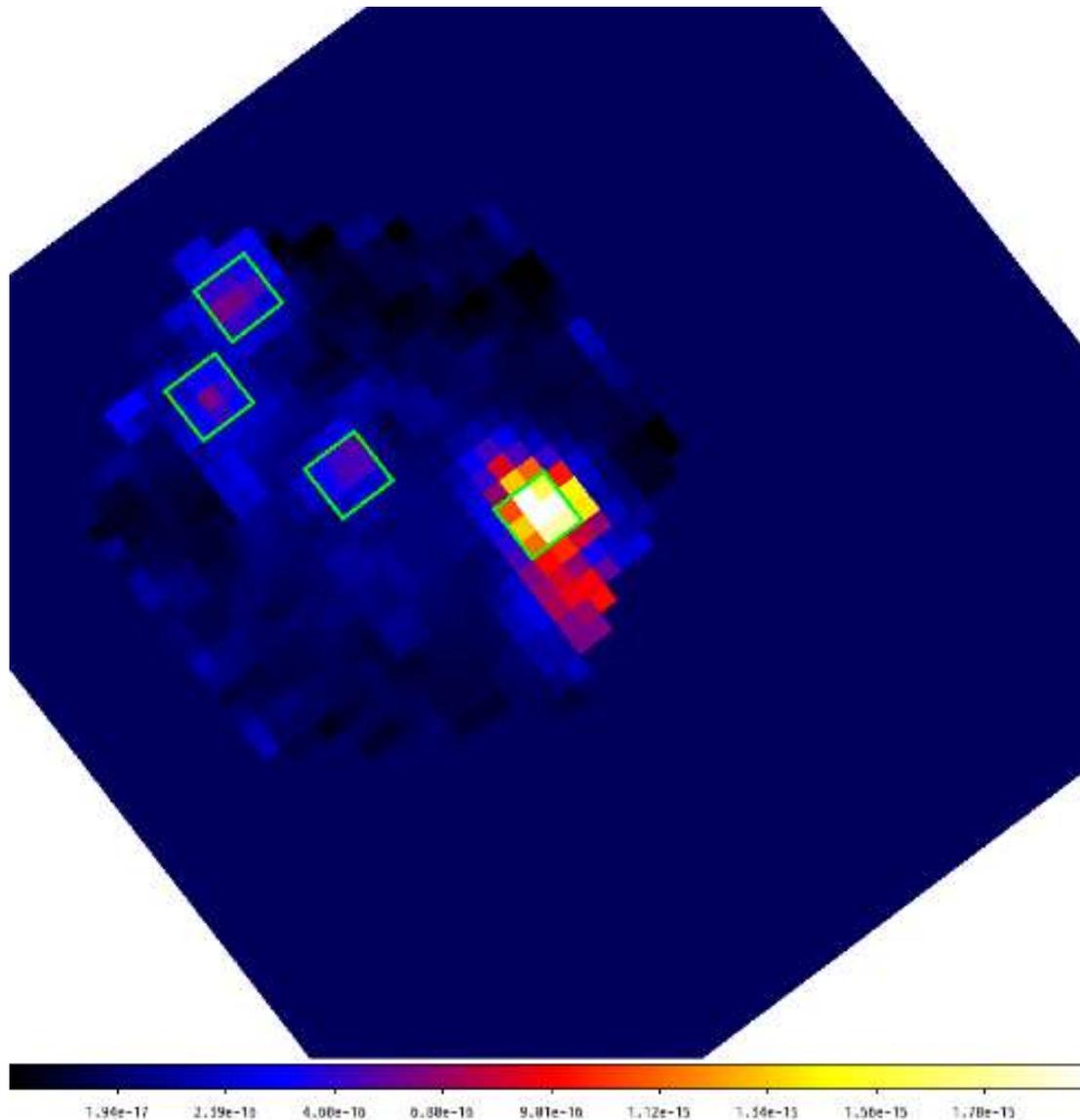


- drizzle方式
- $f_{i,j}$: ファイバーの flux
- $s_{i,j}$: 各グリッド内における、ファイバーの面積割合
- i : ファイバーID
- j : フレームID

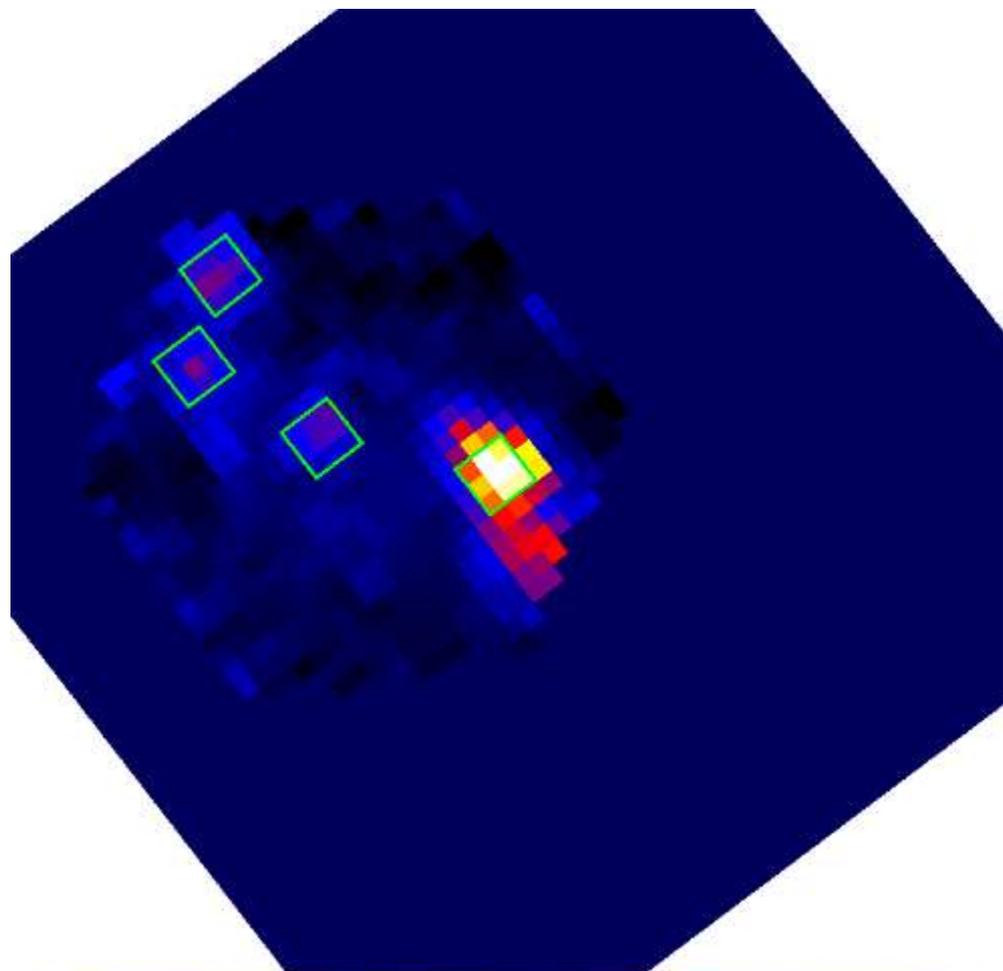
- グリッドの flux $F = \frac{\sum_{i,j}(f_{i,j} s_{i,j})}{\sum_{i,j}(s_{i,j})}$

複数フレーム足し上げ後

(UGC 993
H α マップ)

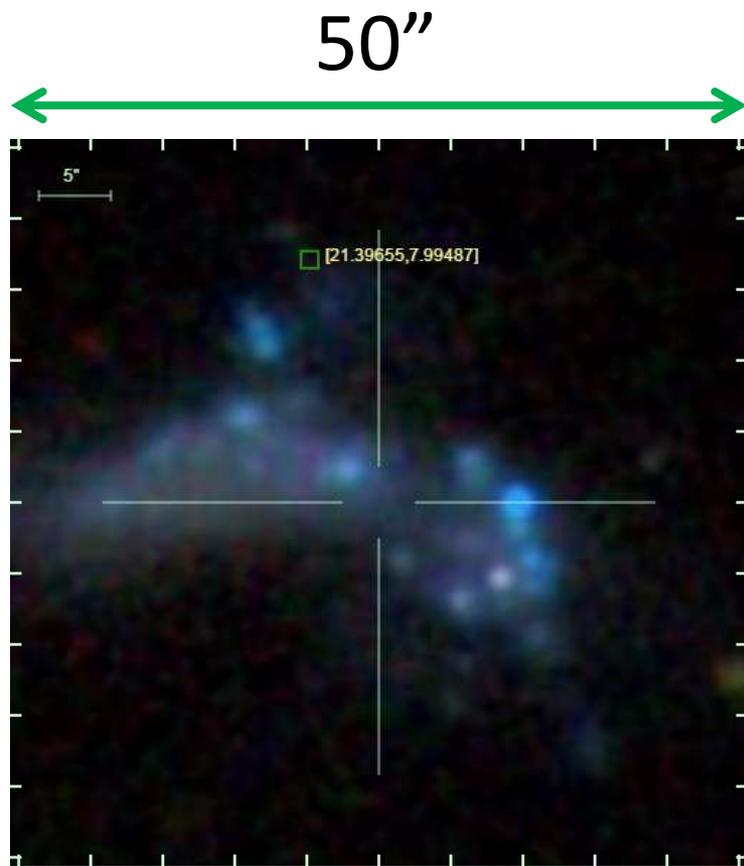


複数フレーム足し上げ後



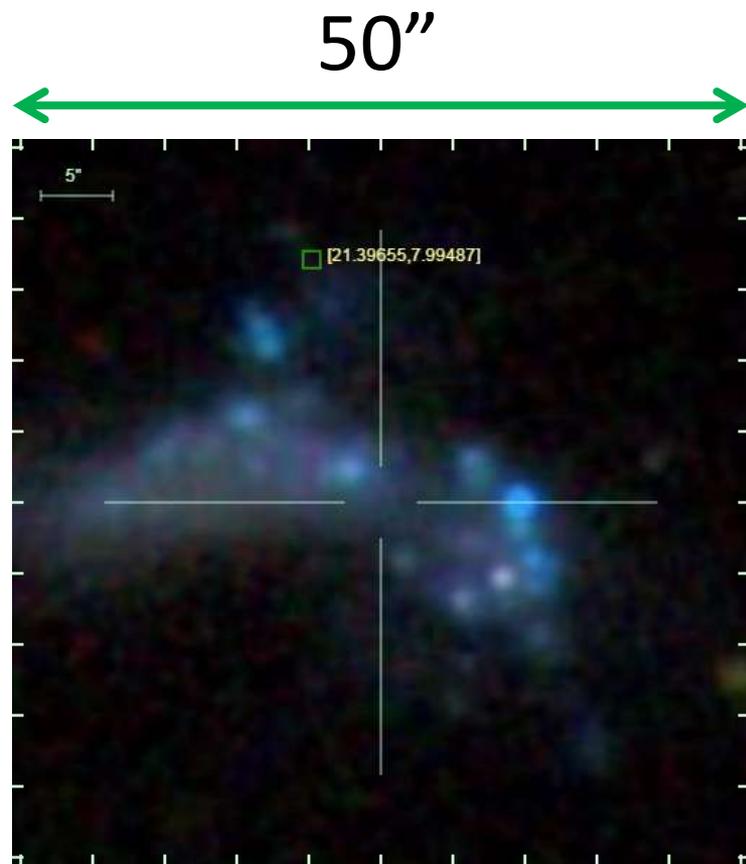
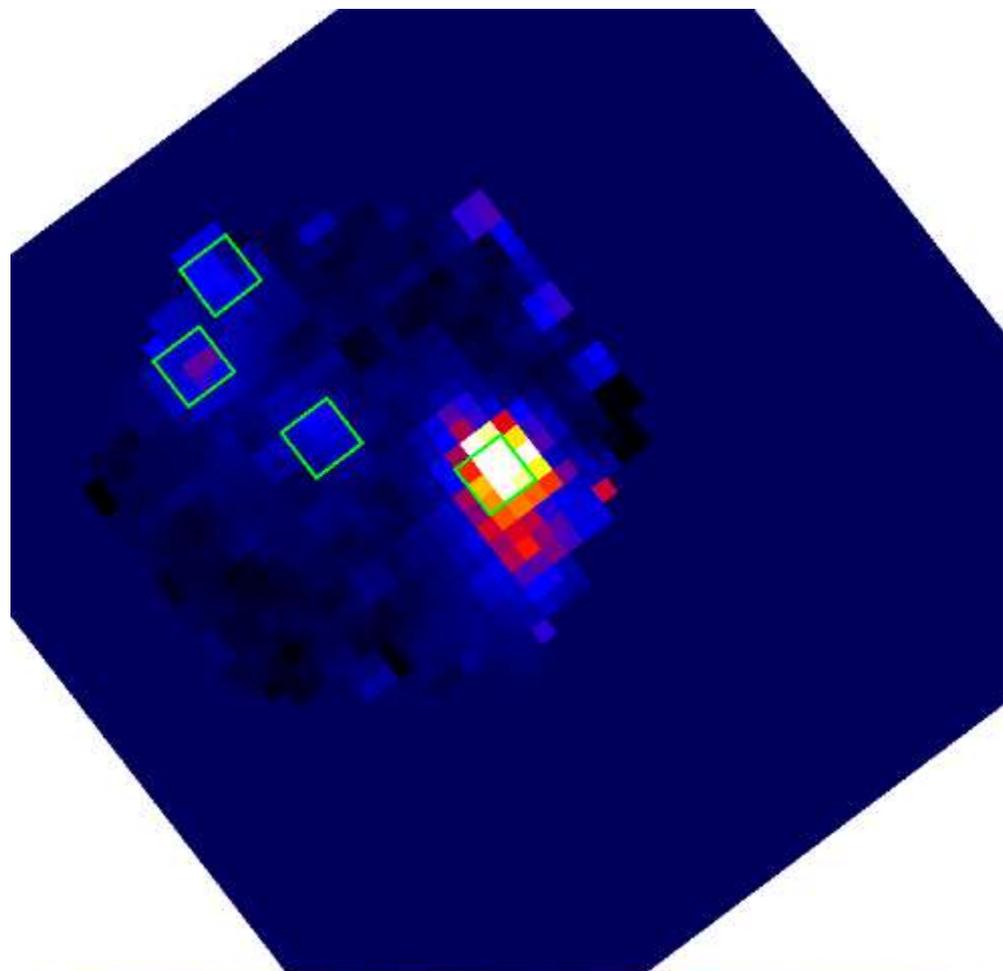
1.96e-17 2.39e-16 4.00e-16 6.80e-16 9.81e-16 1.12e-15 1.54e-15 1.96e-15 1.78e-15

KOOLS-IFU H α 画像



SDSS

複数フレーム足し上げ後



SDSS



KOOLS-IFU [OIII] λ 5007画像

まとめ

- **重力波が直接検出できる時代が来た！**
- 次の重力波源天体、short GRBのフォローアップ
分光観測に向けて準備・待機中
- データ解析ソフトウェアを開発
 - cosmic ray除去
 - 複数フレーム足し上げ + 正方格子グリッドに変換
- KOOLS-IFUデータ解析マニュアルとともにホームページで公開中