

Tomo-e Gozen データ中の 突発現象の選出

森井幹雄

統計数理研究所、統計的機械学習研究センター

2016.07.05(火) (17:35-17:55)

木曾シュミットシンポジウム2016

@東京大学木曾観測所

装置の概要

▼ 東京大学木曾観測所 超広視野高速CMOSカメラ Tomo-e Gozen

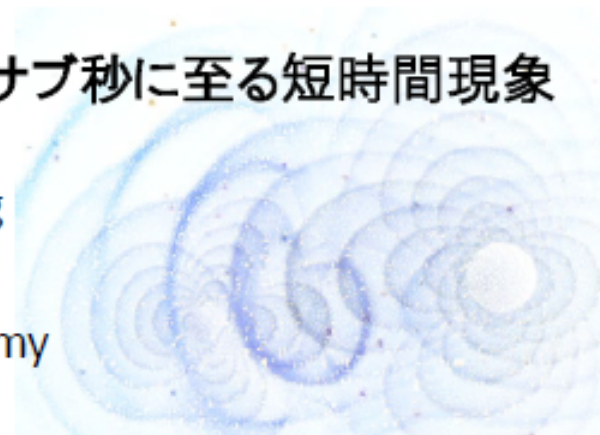
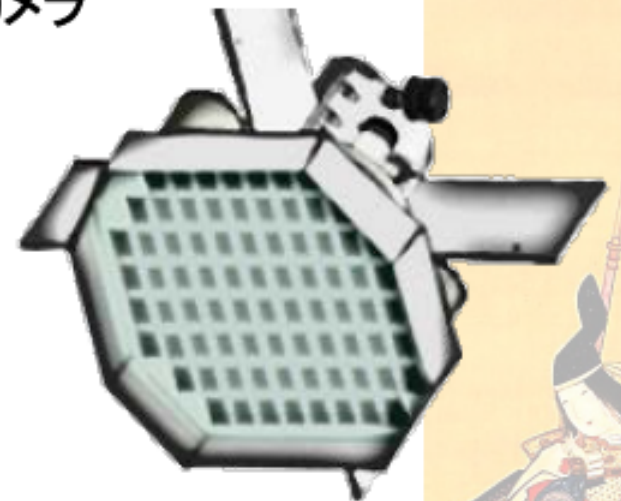
- Field of view : 20 deg² in ϕ 9 deg
- Sensor: 84 CMOS chips
- Frame rate : 2 frames/sec (max)
- Commissioning : 2017

一晩で30 TB程度

▼ 観測戦略

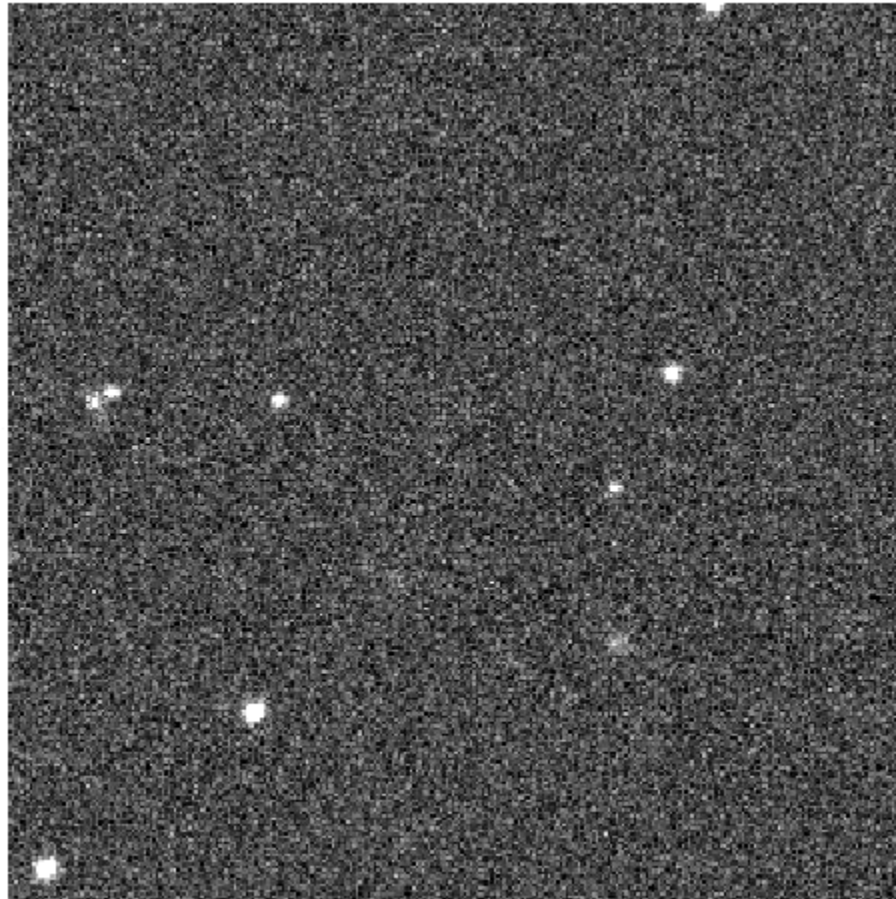
ターゲット → 稀で貴重な突発現象、サブ秒に至る短時間現象

- **1-hour**-cadence **all-sky** monitoring
- **20-fps** wide-field monitoring
- Synergy with **high-energy** astronomy
- **Near** and **interior** Earth objects



実際に撮られた動画

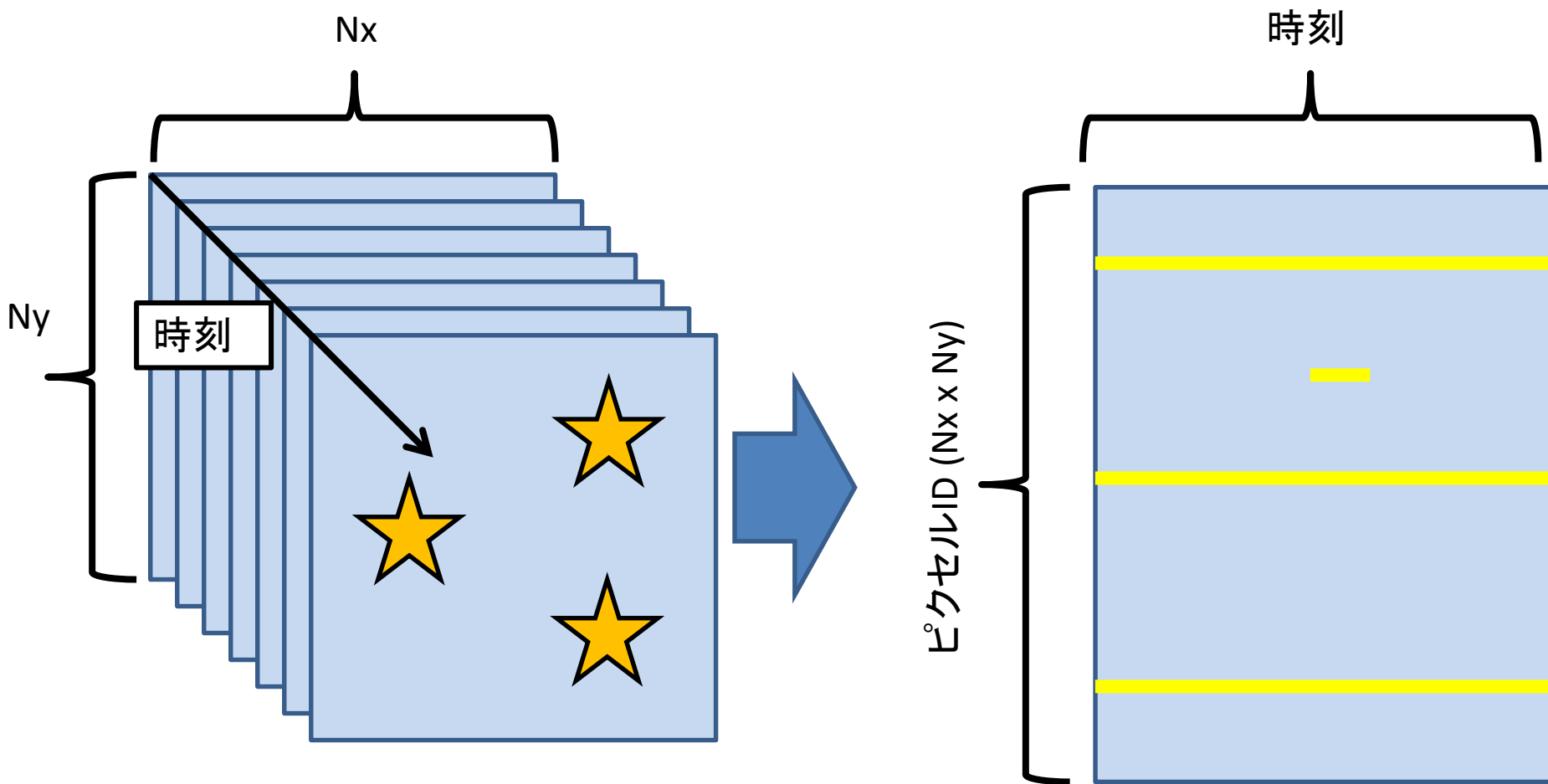
2ヘルツの動画。一部分を抜き出したもの。



酒向さん、大澤さん
より提供して頂いた。

この中から効率的
に突発天体を探し
たい。

3Dデータ(動画)をMatrixで表現



行列分解 (Robust PCA)

- E. J. Candes, X. Li, Y. Ma & J. Wright (2009)

“Robust Principal Component Analysis?”, Journal of the ACM (submitted)

$$\begin{array}{ll} \text{minimize} & \|L\|_* + \lambda \|S\|_1 \\ \text{subject to} & L + S = M \end{array}$$

データ(M) を、
Low Rank Matrix (L) と
Sparse Matrix (S) の和
に分離する。

第1項: Low Rank Matrix の
Nuclear Norm (SVD で得られ
る特異値の和)

第2項: Sparse 行列の l_1 ノルム

パラメータ λ を調整して、
Sparseness を調整する。

行列分解 (GoDec)

- T. Zhou & D. Tao (2011)

“GoDec: Randomized Low-rank & Sparse Matrix Decomposition in Noisy Case”, Proc. of ICML

$$X = L + S + G$$

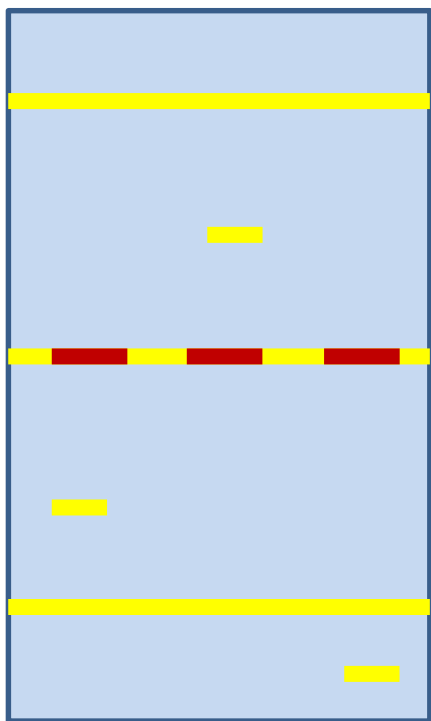
$$\begin{aligned} \min_{L, S} \quad & \|X - L - S\|_F^2 \\ \text{s.t.} \quad & \text{rank}(L) \leq r, \\ & \text{card}(S) \leq k. \end{aligned}$$

X: データを、
L: Low Rank Matrix
S: Sparse Matrix
G: Noise Matrix
の3つの和に分離する

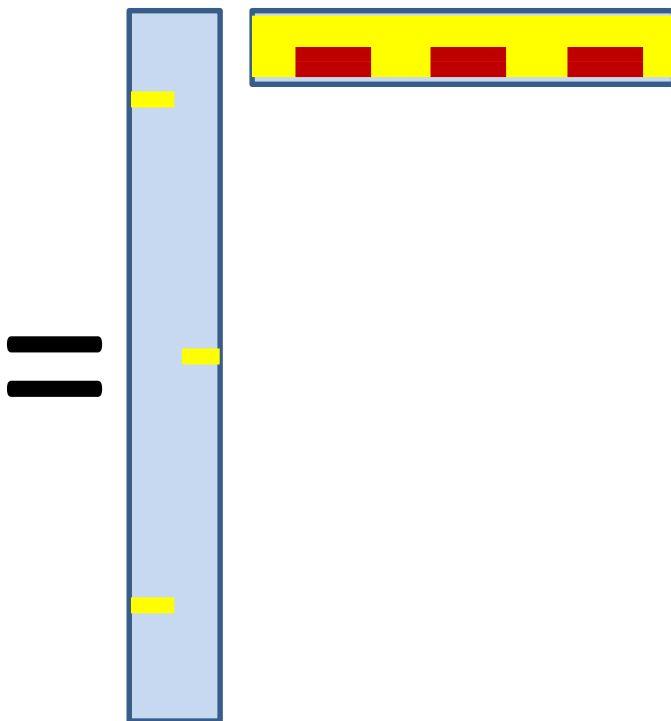
Rank (r)の値と、
sparseness (k)を設定する。

行列分解

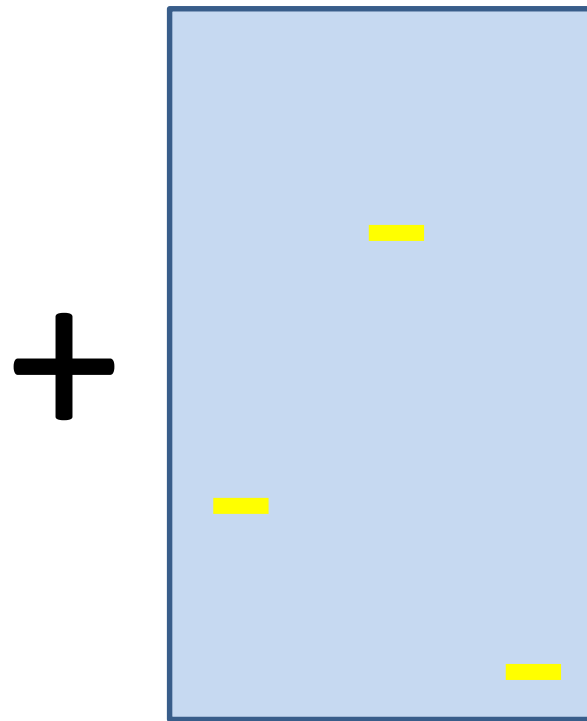
元の行列



Low Rank 行列



Sparse 行列



時刻

イメージピクセル

監視カメラの映像のデモ

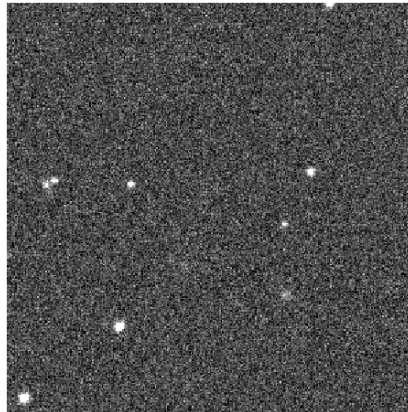
Youtube に在る監視カメラの映像から
動いている人々を抽出するデモ動画

GoDec and Robust PCA for background
modeling on Hall video.mp4

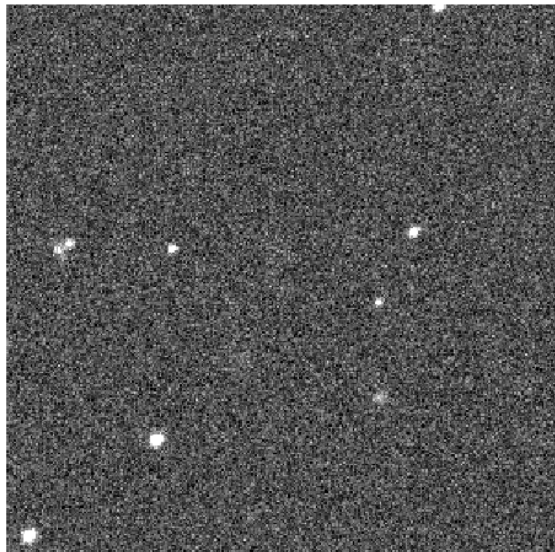
<https://www.youtube.com/watch?v=BTrbow8u4Cw>

行列分解の結果(GoDec)

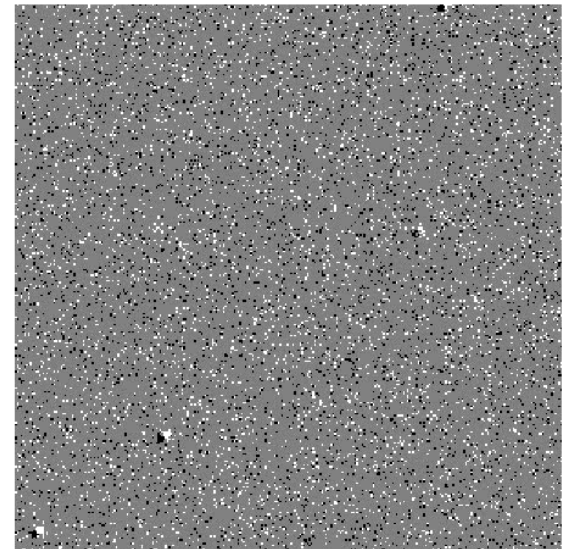
分解前



Low Rank



Sparse



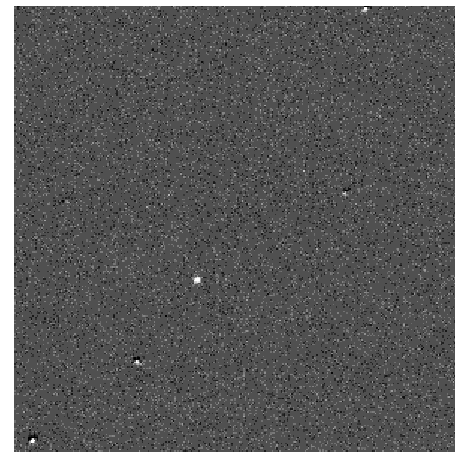
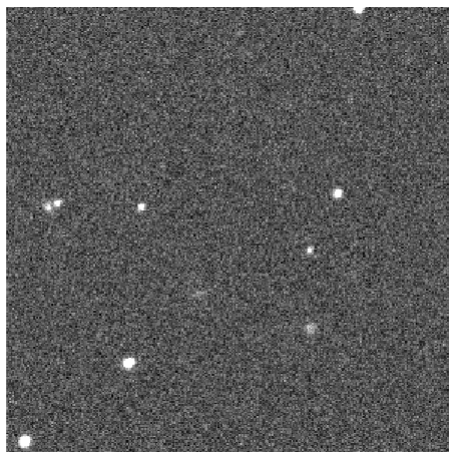
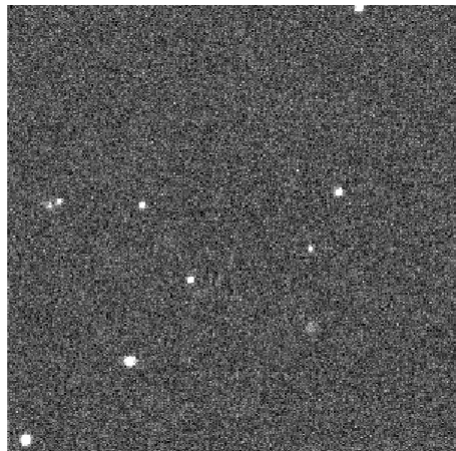
行列分解の結果(GoDec)

元画像

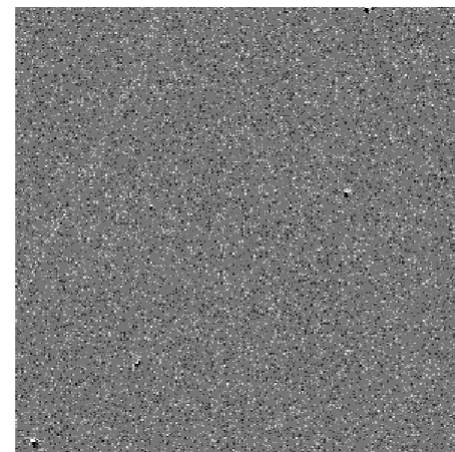
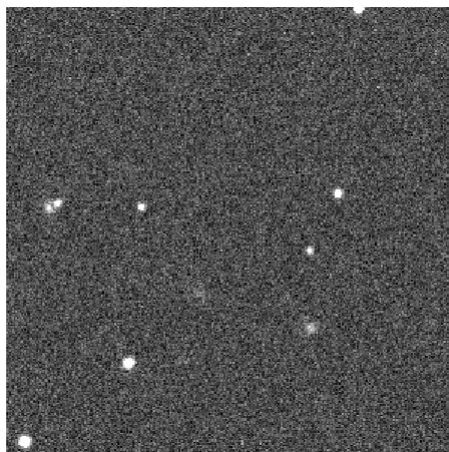
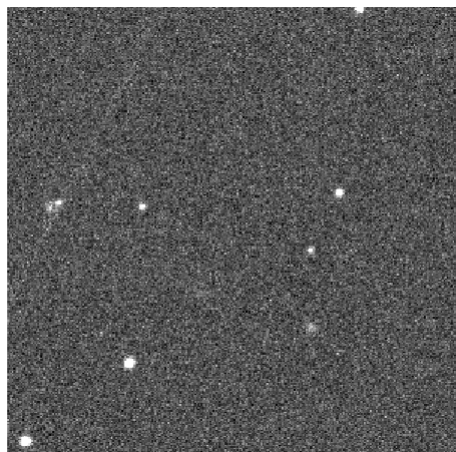
Low Rank

Sparse

突発天
体？



流星

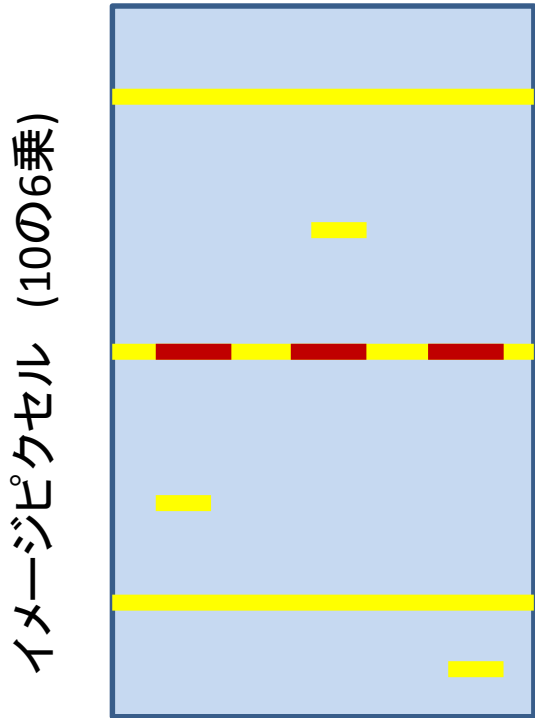


動画観測データから突発天体を探索する方法

- Robust PCA や GoDec で行列分解を行い、Sparse 動画から突発現象だけを抜き出す。
- 明るい天体の場合、星の揺らぎのために、Sparse の画像に混入があるが、低解像度の動画で行列分解を行えば良いだろう。
- 天体と、流星との区別は、PSF の形を調べる。
 - 通常行われる天体検出の方法を用いて天体の形状に関する特徴量を抽出し、さらに、機械学習の方法を使うとよい。
- 行列分解を用いれば、科学的に重要な情報はSparse動画で抽出することができる。定常成分は、Low Rank 動画に含まれるため、データを圧縮できる。
 - 一晩で30 TB 程度データが溜まる。圧縮しないと破綻する。

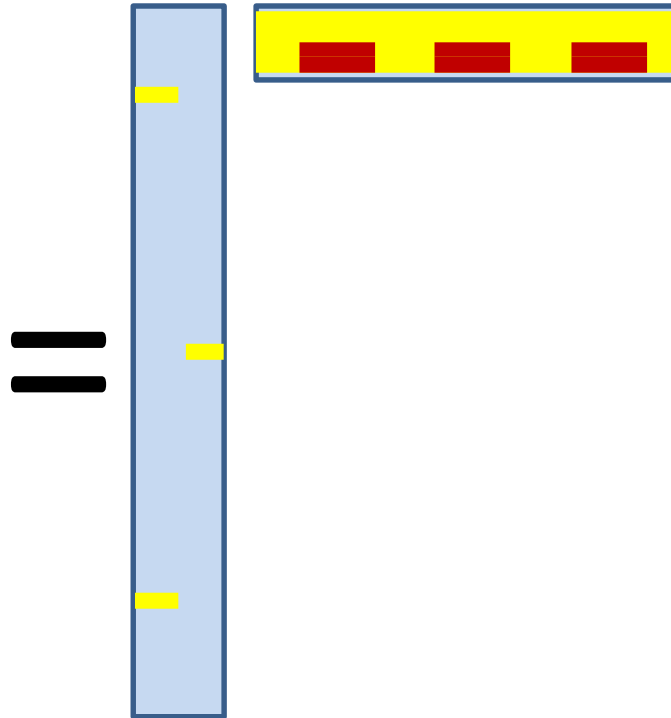
データ圧縮

元の行列



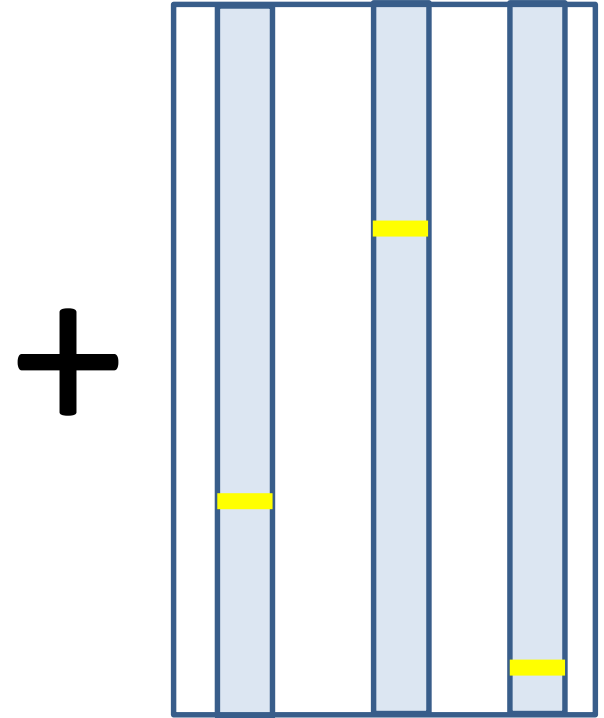
時刻(10の2乗)

Low Rank 行列



Rank (10)

Sparse 行列



10

$$10^6 \times 10^2 = 10^8 \rightarrow$$

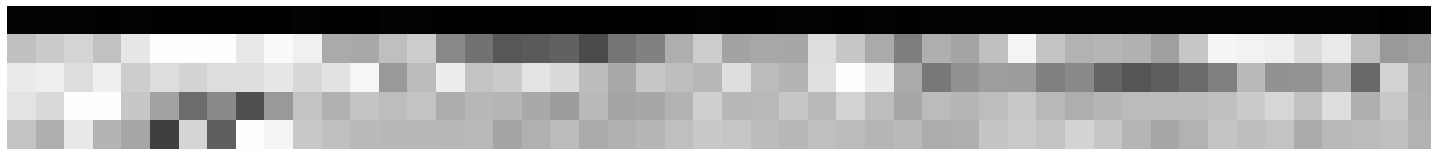
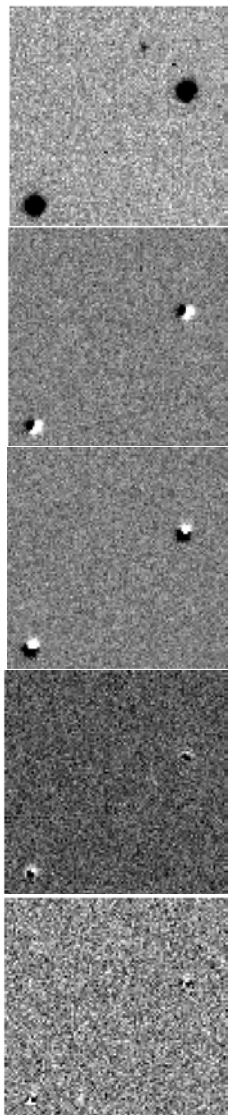
$$10^6 \times 10 + 10^2 \times 10 + 10^6 \times 10 = 10^7$$

10分の1くらいに
データを減らせる。

処理速度の問題

- 2Hzでデータを取った場合、1 chip (1000 x 2000 (pixel)) x 400 (frame)を観測時間(200秒)以内に処理しないとイケない。
 - さもないと、データが貯まる一方で破綻する。
- 高速化の工夫
 - SVD を random projection による Range Finder を用いて高速に行う (Halko et al. 2011) 。
 - 線形代数ライブラリ: OpenBLAS を使用
 - Quick Sort -> quick select
- 320秒で処理できるようになった。
 - 観測は、夜だけなのに対して、処理は24時間できるので、一応破綻しない。
 - もうすこし、高速化の努力を続ける。

Low Rank の動画をSVDする



- Low Rank 動画をSVDした場合、変動天体だけの動画が分離できるのではないかと期待している。
- 実際に、Low Rank 行列の方をさらに、SVDで分解すると、こうなる。
- PSF を多重極展開したような感じ。
- Full frame だと、、、

まとめ

- 木曾超広視野カメラ(Tomo-e)の動画に対し、行列分解の方法を試した。
- Low rank matrix + Sparse matrix に分解する。
- Robust PCA や GoDecを用いると、「突発事象」と「背景」を綺麗に分離することができた。
- 現実的な時間で処理できる。
- Low rank 行列と Sparse 行列に分割することで、重要な情報を落とさずに、データ圧縮できる(10分の1程度: 一晩で30 TB → 3 TB)。
- 動画天文学のツールになるだろう。