

天文観測とデータ科学による 問題解決

池田思朗 統計数理研究所

光赤天連シンポジウム2020

2020/9/14

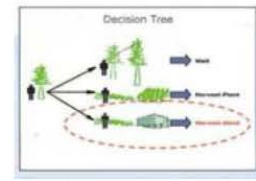
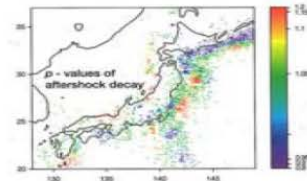
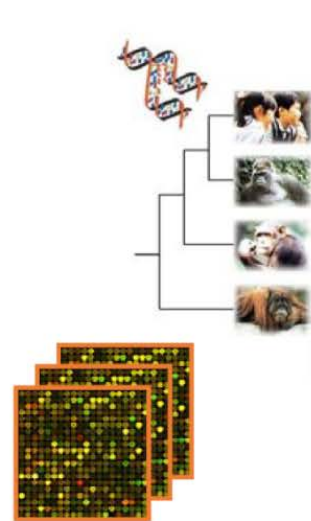
統計数理研究所

統計科学（データ科学）を専門に行う研究所

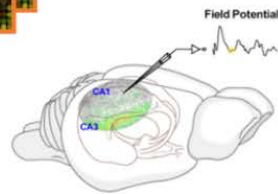
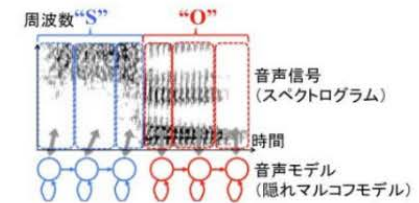
- 創立 1944
- 2010年, 港区南麻布から立川市に移転.
- 22の大学共同利用機関のひとつ.
- 教員50人弱, ビジター約80人/年, ポスドク約70人, 院生約30人.

Theory and Methodology

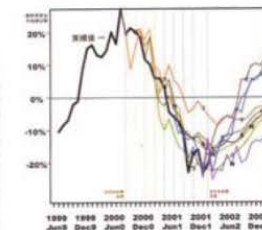
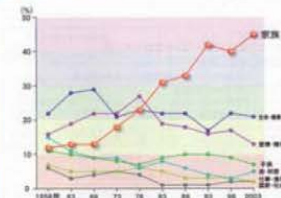
- Information Criterion
- Time series analysis
- Survey methodology
- Quantification theory
- Multivariate analysis
- MCMC, particle filter
- Ensemble machine
- Sparse modeling
- Kernel method
- Meta-analysis
- Bayesian modeling
- Data assimilation method



データ科学の研究と普及・教育



ランダム化臨床試験のデザインの一例



天文学がデータ科学に求めるもの

- 新しい機械学習の手法を使って性能を上げたい。
 - スパース推定, 深層学習, MCMC, etc.
- おそらく, 思っている以上にデータ科学の方法による改善の可能性はある.
- これまで行ってきた例をいくつか挙げる.
- **天文データに対するデータ科学の応用**

内容

- Tomo-e Gozen のデータ圧縮
- HSCにおける超新星の発見
- Tomo-e Gozen の観測スケジュール
- Shack-Hartmann波面センサーの時系列解析
- X線と可視光光度曲線のタイムラグ解析

内容

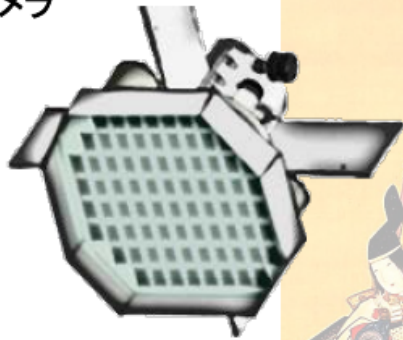
- Tomo-e Gozen のデータ圧縮
- HSCにおける超新星の発見
- Tomo-e Gozen の観測スケジュール
- Shack-Hartmann波面センサーの時系列解析
- X線と可視光光度曲線のタイムラグ解析

Tomo-e Gozen のデータ圧縮

Morii, Ikeda, Sako & Ohsawa (2017) ApJ, 835, 1

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

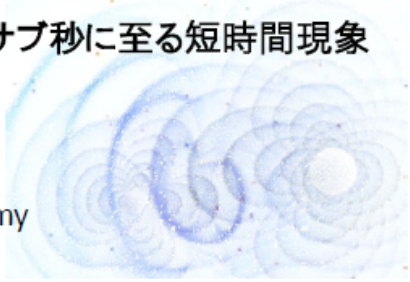
- Field of view : 20 deg² in ϕ 9 deg
- Sensor: 84 CMOS chips
- Frame rate : 2 frames/sec (max)
- Commissioning : 2017



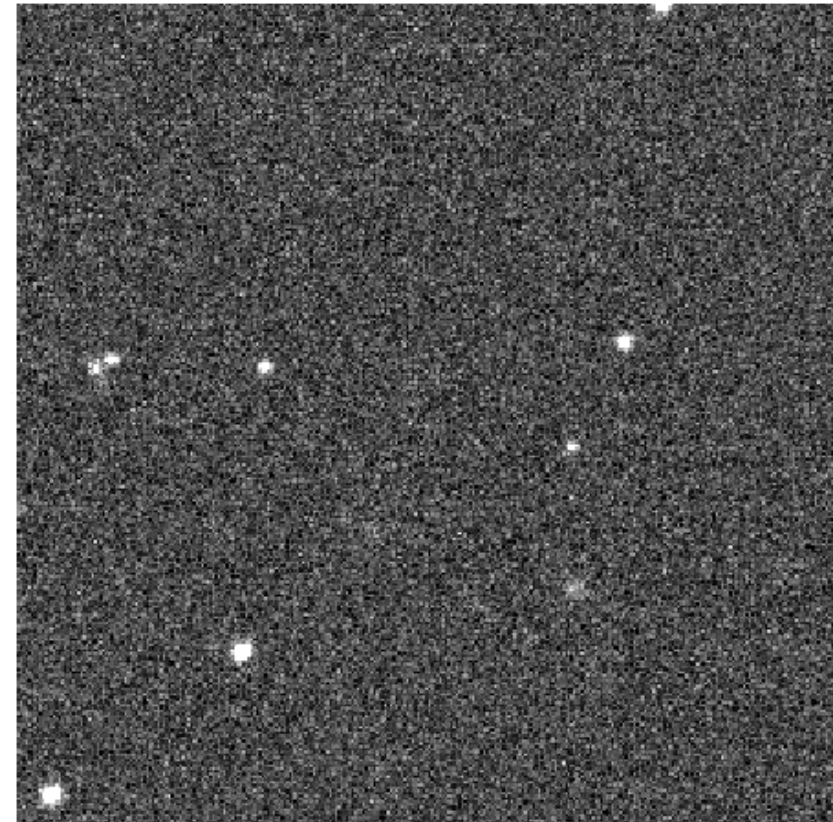
▼ 観測戦略

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



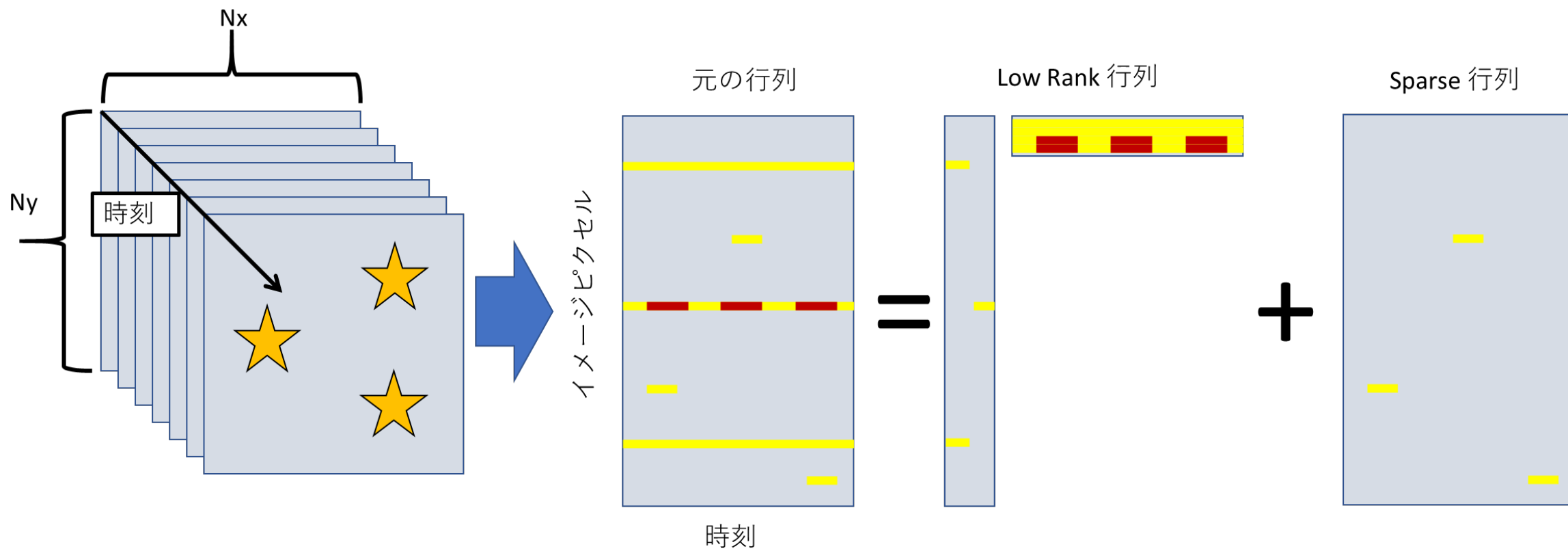
http://www.ioa.s.u-tokyo.ac.jp/kisohp/RESEARCH/symp2015/sako_2015.pdf



Tomo-e Prototype model による動画(2 Hz) 酒向さん、大澤さんより提供

Tomo-e Gozen のデータ圧縮

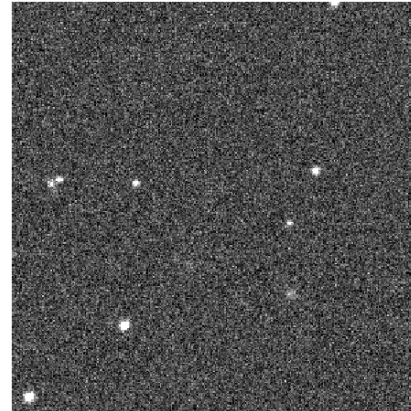
Morii, Ikeda, Sako & Ohsawa (2017) ApJ, 835, 1



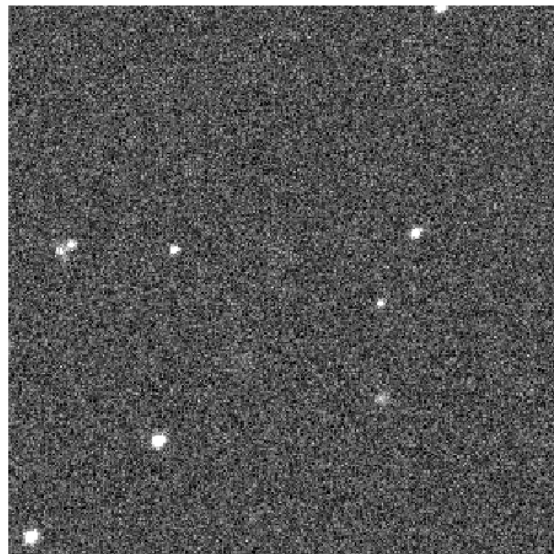
Tomo-e Gozen のデータ圧縮

Morii, Ikeda, Sako & Ohsawa (2017) ApJ, 835, 1

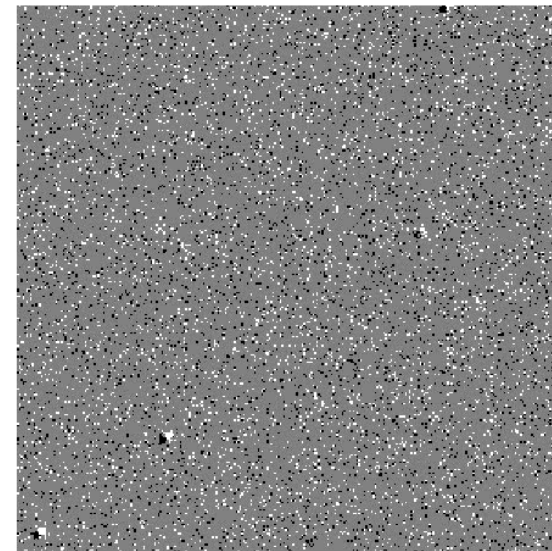
分解前



Low Rank



Sparse

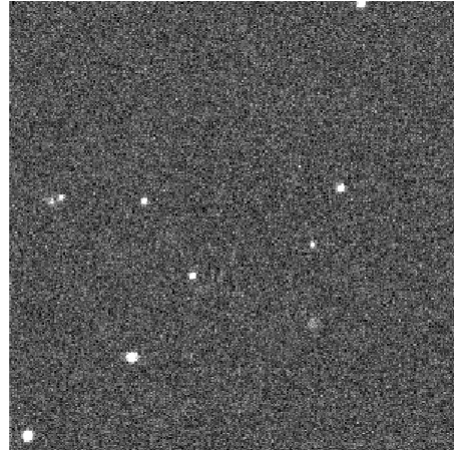


Tomo-e Gozen のデータ圧縮

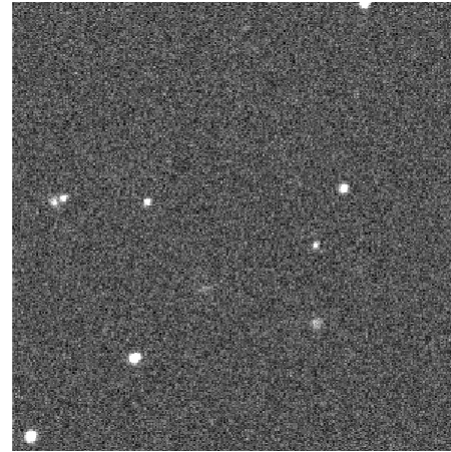
Morii, Ikeda, Sako & Ohsawa (2017) ApJ, 835, 1

突発天体？

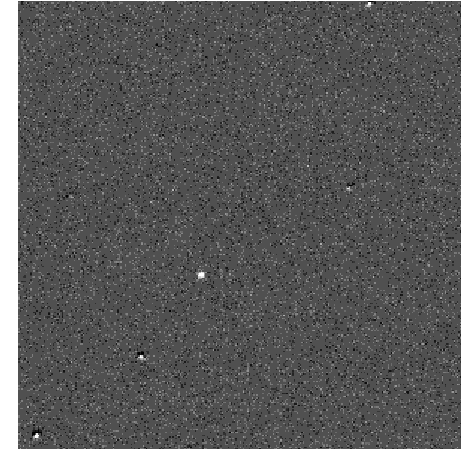
元画像



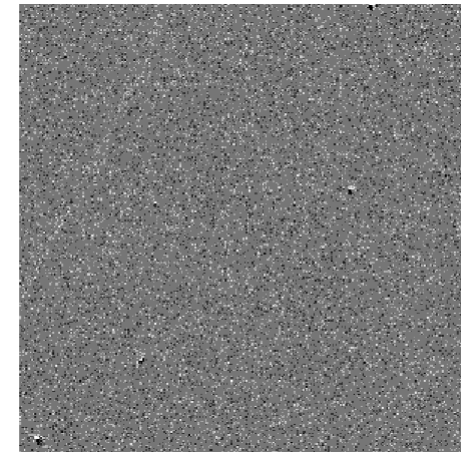
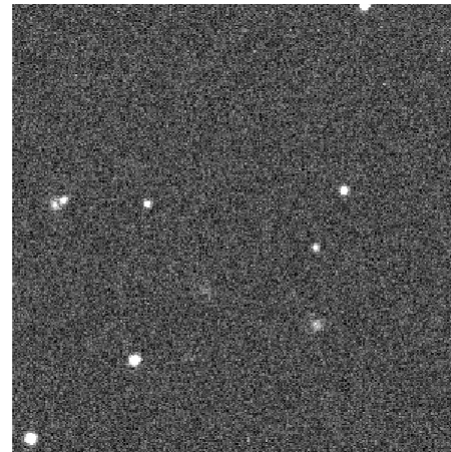
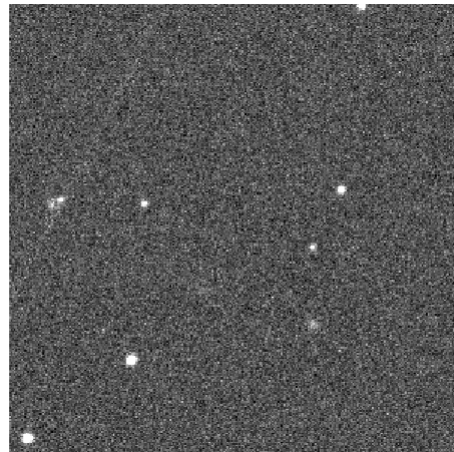
Low Rank



Sparse



流星

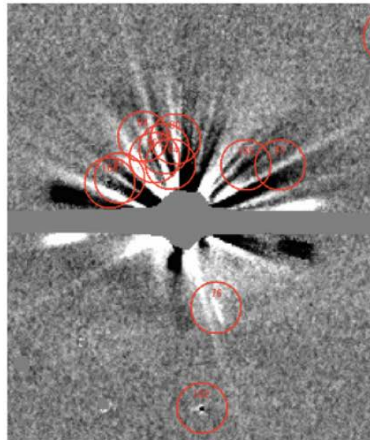


内容

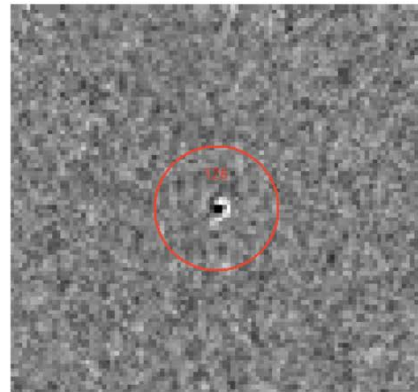
- Tomo-e Gozen のデータ圧縮
- HSCにおける超新星の発見
- Tomo-e Gozen の観測スケジュール
- Shack-Hartmann波面センサーの時系列解析
- X線と可視光光度曲線のタイムラグ解析

HSCにおける超新星の発見

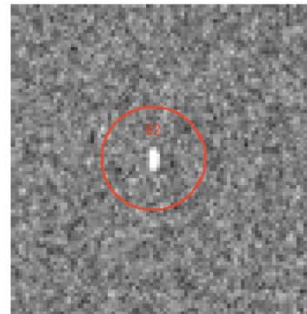
Morii, et al., PASJ, 68, 2016



Around a bright star



Incomplete convolution



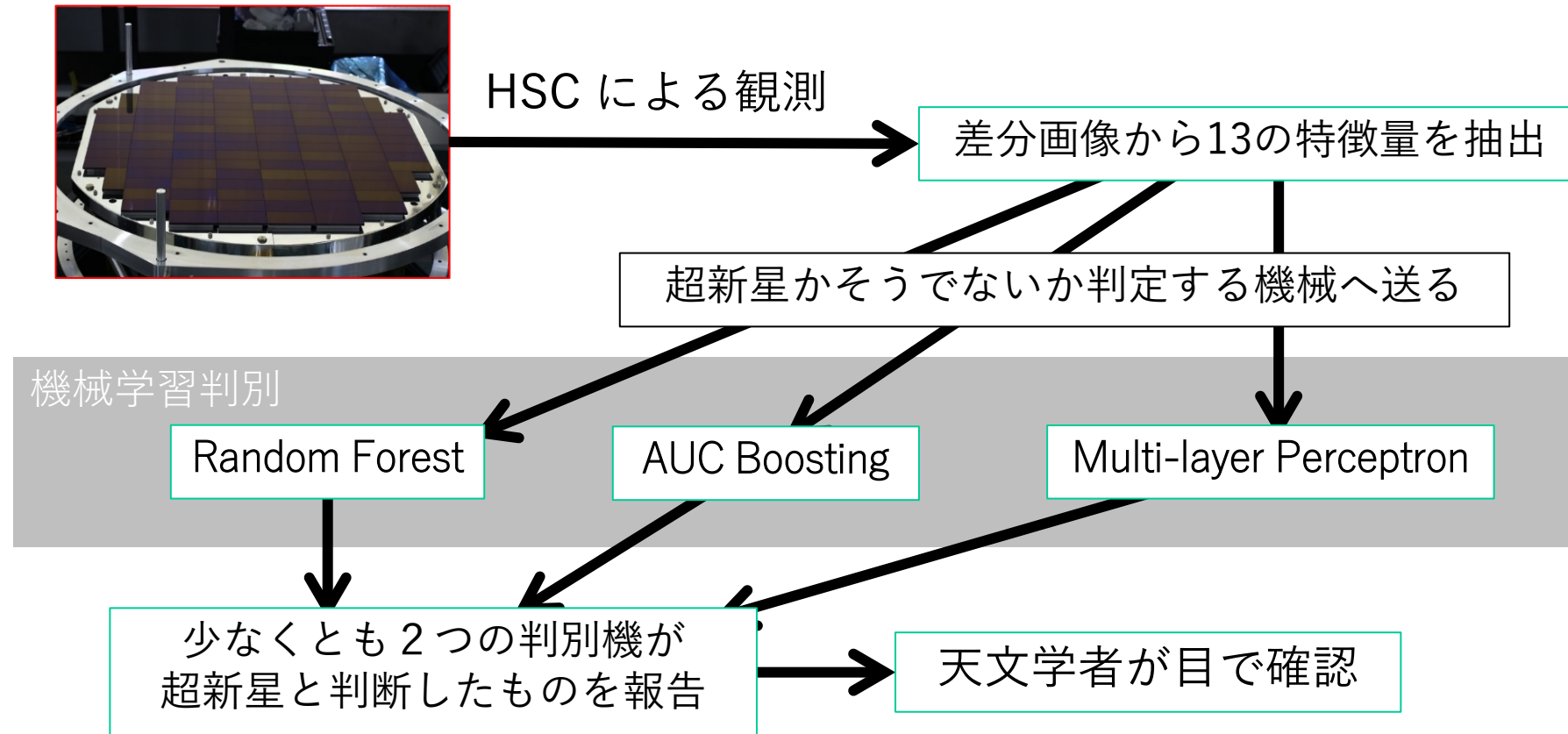
Cosmic-ray

©Masaomi Tanaka

うまく差し引けることは少ない。
引残し：10~100 k / night
超新星：10~100 / night

HSCにおける超新星の発見

Morii, et al., PASJ, 68, 2016



内容

- Tomo-e Gozen のデータ圧縮
- HSCにおける超新星の発見
- Tomo-e Gozen の観測スケジュール
- Shack-Hartmann波面センサーの時系列解析
- X線と可視光光度曲線のタイムラグ解析

Tomo-e Gozen のスケジューリング

Pedroso (ポルト大), 諸隈, 池田



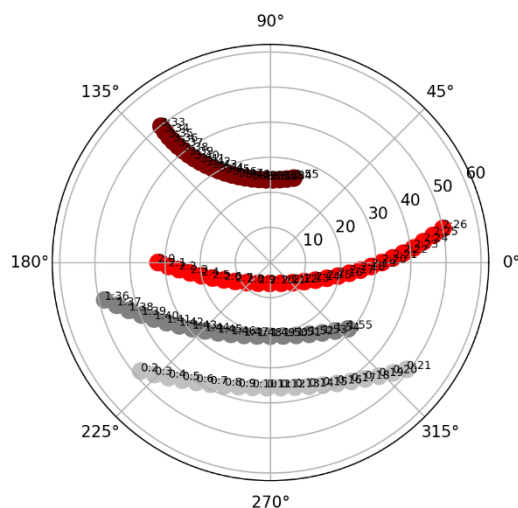
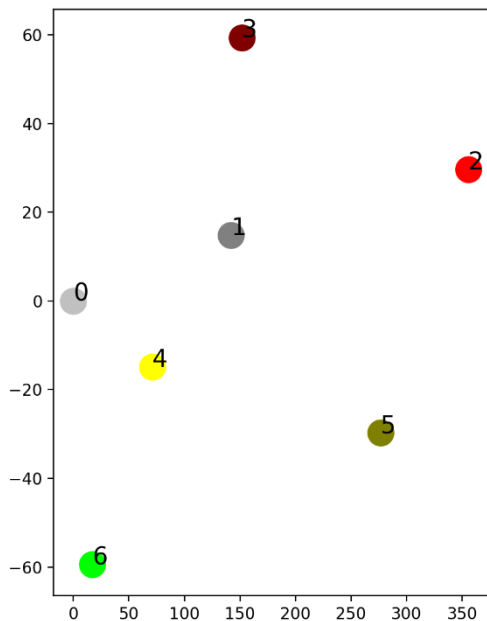
- Tomo-e は天球上の広い面を観測できる.
- 一晩に 3 回, 同じ場所を観測したい.
- 同じ場所には 2 時間以上空けて再訪.

望遠鏡の観測スケジューリング

これは最適化問題

Tomo-e Gozen のスケジューリング

Pedroso (ポルト大), 諸隈, 池田

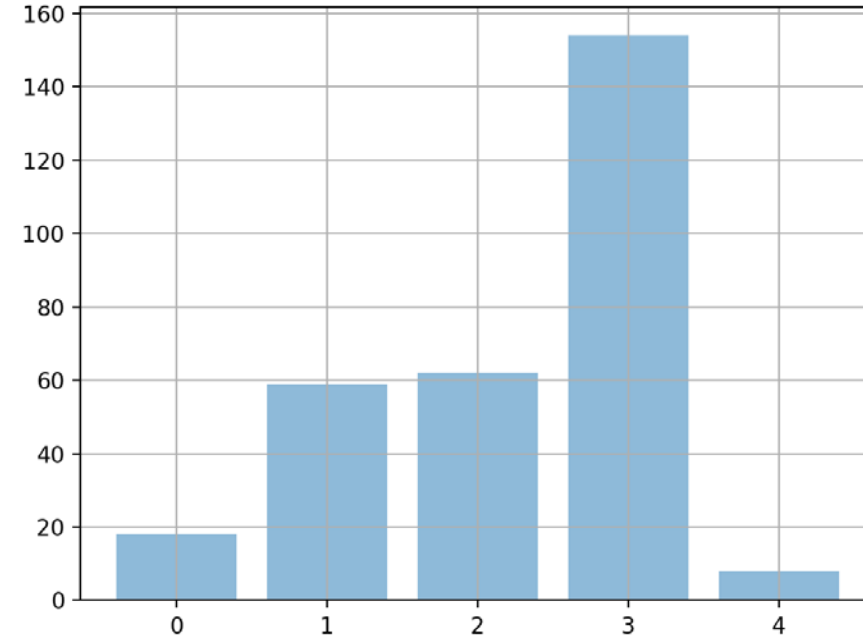
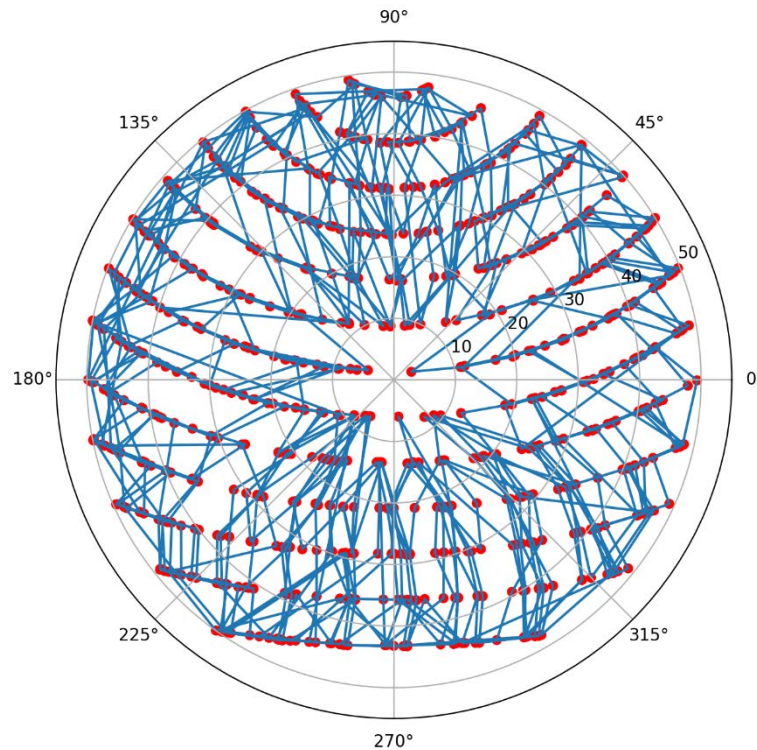


- 巡回セールスマン問題 (TSP) と近い。TSP は NP 困難で最適解を求めるのは難しい。
- 天球上の位置は時間とともに変化するので、もっと難しい。

最適解は求まらないが、TSP に対して知られているヒューリスティックスを利用して解く

Tomo-e Gozen のスケジューリング

Pedroso (ポルト大), 諸隈, 池田



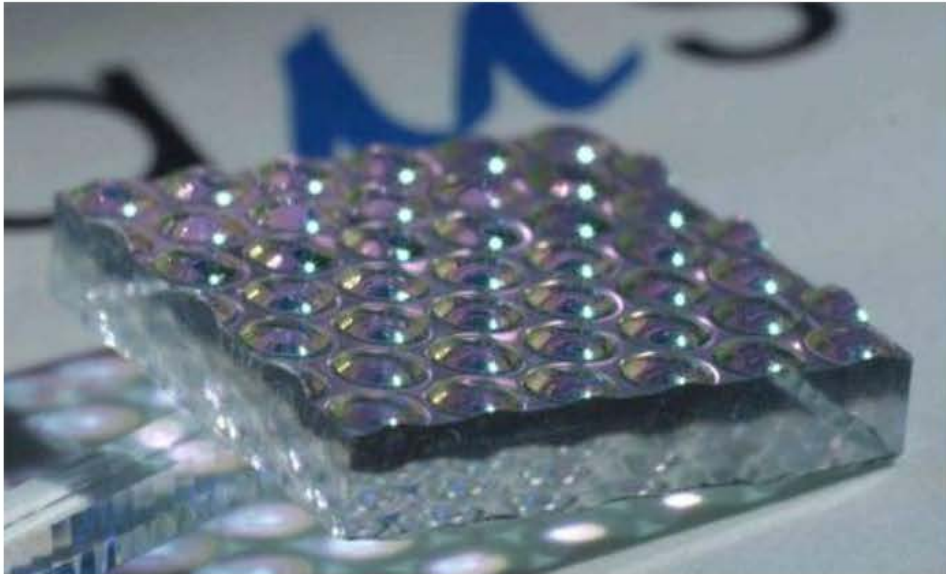
- 天球上の150以上の点を2時間以上空けて一晩に3回観測できる。
- 実装したプログラムは Tomo-e で利用できる。
- 計算は軽く， 中断してもすぐにスケジューリングを計算し直せる。

内容

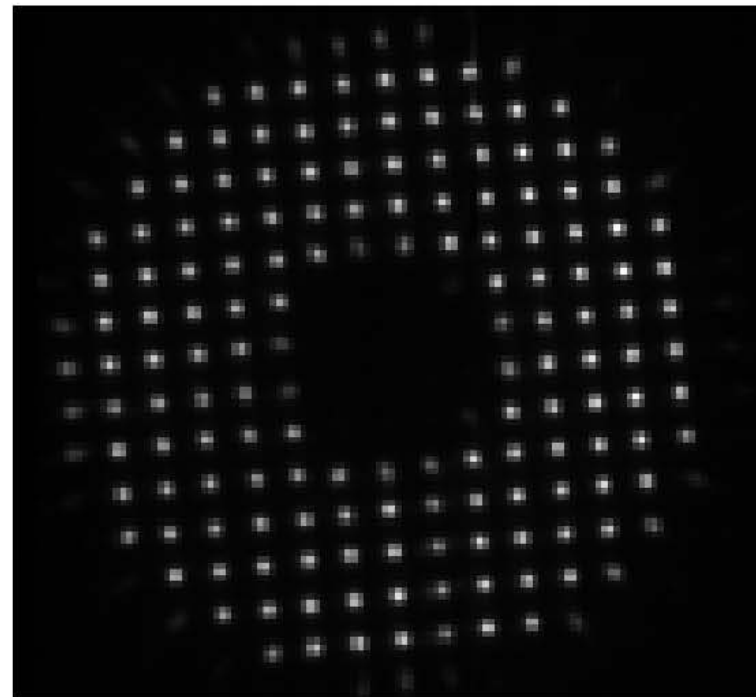
- Tomo-e Gozen のデータ圧縮
- HSCにおける超新星の発見
- Tomo-e Gozen の観測スケジュール
- Shack-Hartmann波面センサーの時系列解析
- X線と可視光光度曲線のタイムラグ解析

Shack Hartmannセンサーの時系列解析

大金, 秋山 (東北大), 大野 (天文台), 池田



http://www.luminex.co.jp/products/products04/products04_09.html

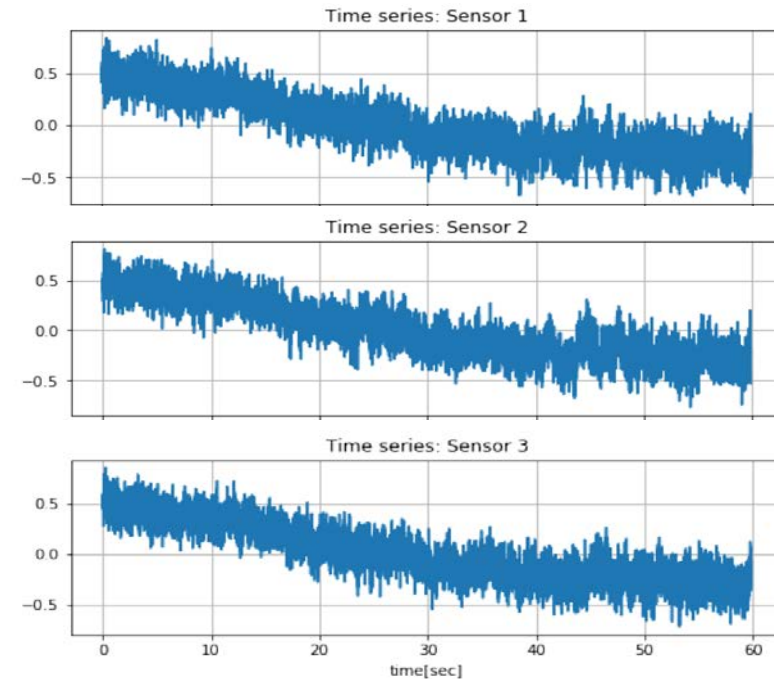
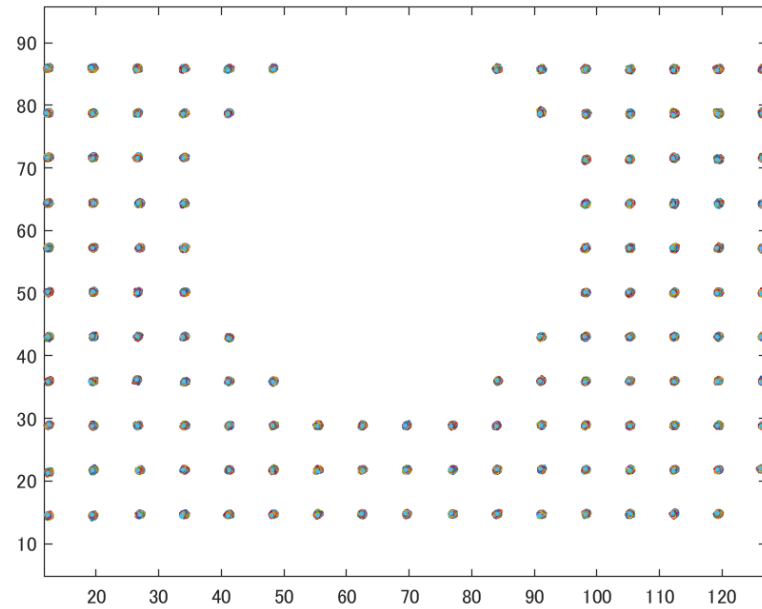


左：マイクロレンズアレイ (MLA) の例。
右：単一の星を MLA を通してカメラで撮像した画像の例。

大金 (東北大) 提供

Shack Hartmannセンサーの時系列解析

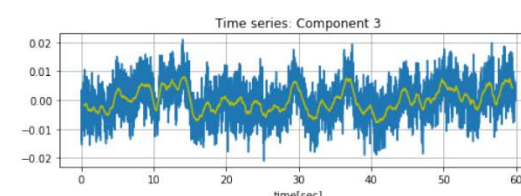
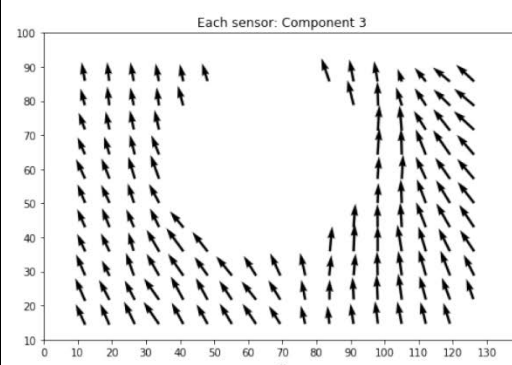
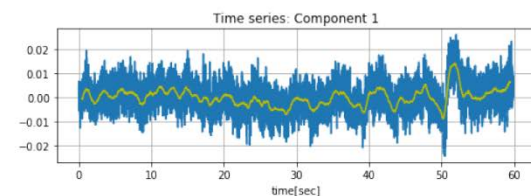
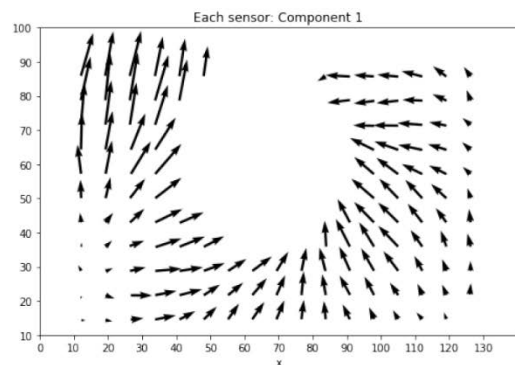
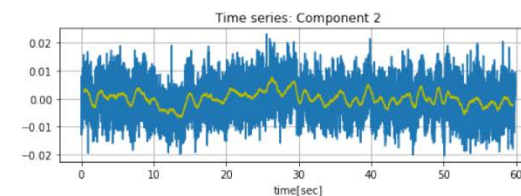
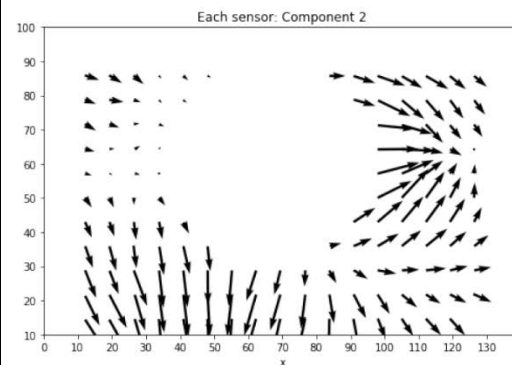
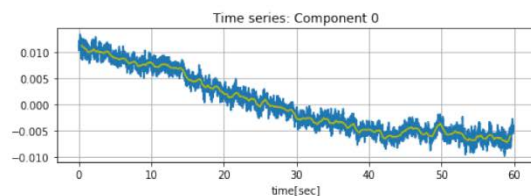
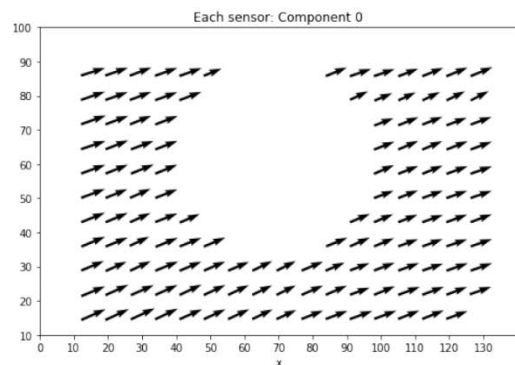
大金, 秋山 (東北大), 大野 (天文台), 池田



- 500 Hz, 60秒の134のセンサーの時系列データ.
- 異なる層の大気の揺らぎを重ねたものであるはず.
- 独立な複数の成分に分離してみる (独立成分分析).

Shack Hartmannセンサーの時系列解析

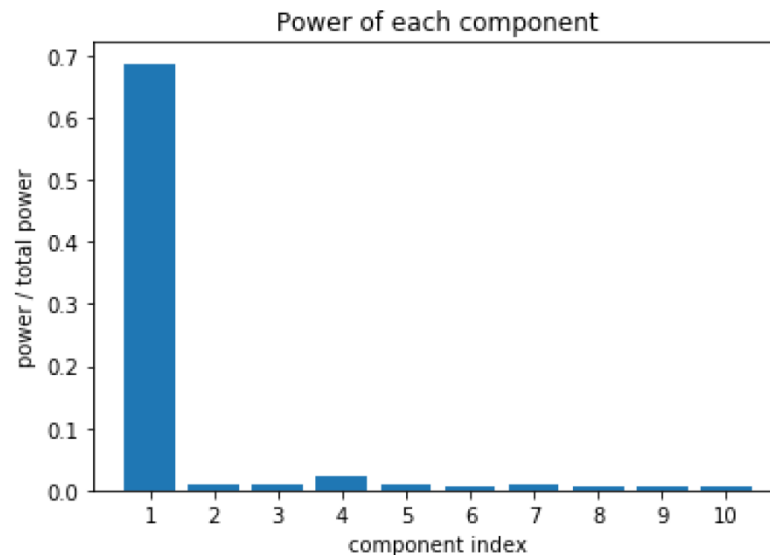
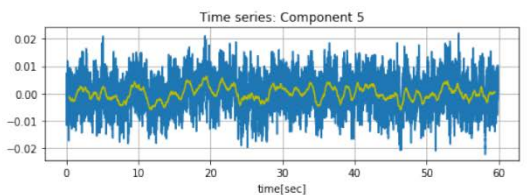
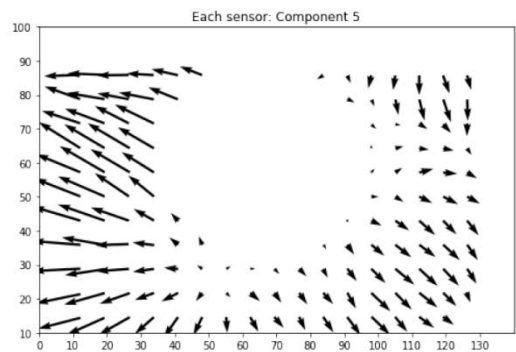
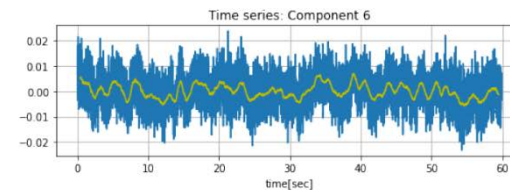
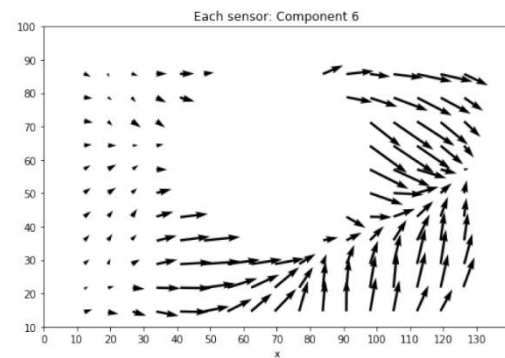
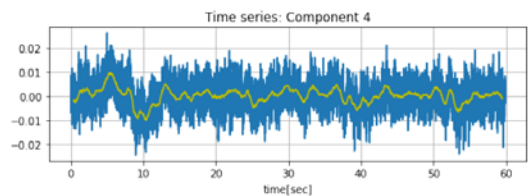
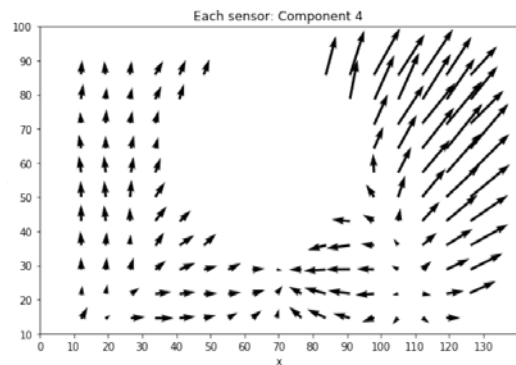
大金, 秋山 (東北大), 大野 (天文台), 池田



- 独立な成分は空間的に意味のありそうな分布をしている。
- どのように補償光学に使えるかはこれからの課題。

Shack Hartmannセンサーの時系列解析

大金, 秋山 (東北大), 大野 (天文台), 池田



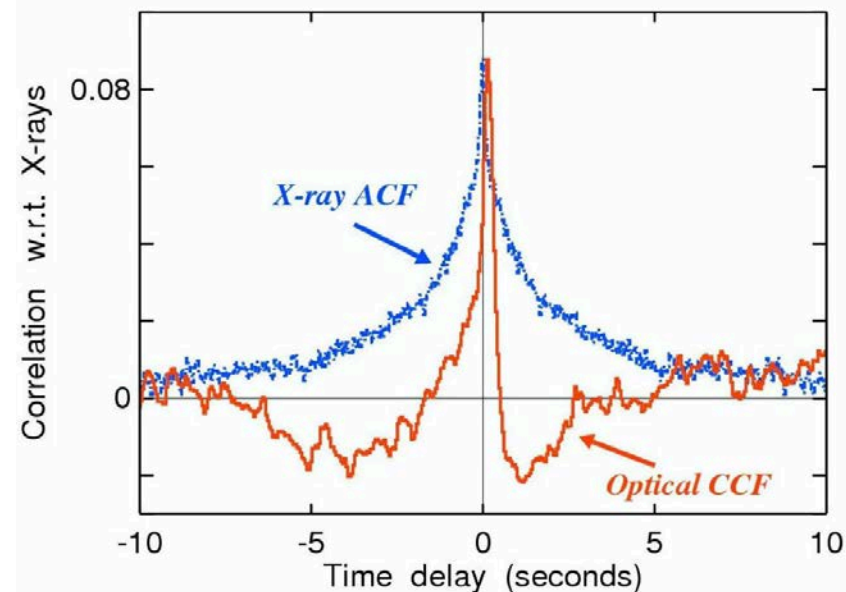
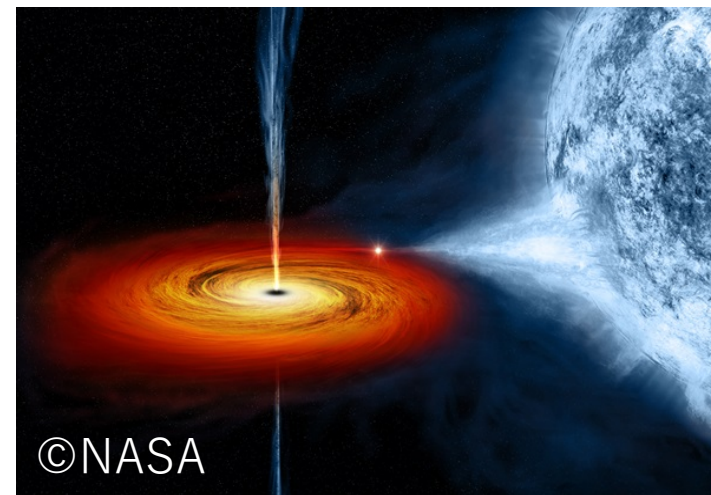
内容

- Tomo-e Gozen のデータ圧縮
- HSCにおける超新星の発見
- Tomo-e Gozen の観測スケジュール
- Shack-Hartmann波面センサーの時系列解析
- X線と可視光光度曲線のタイムラグ解析

X線と可視光光度曲線のタイムラグ解析

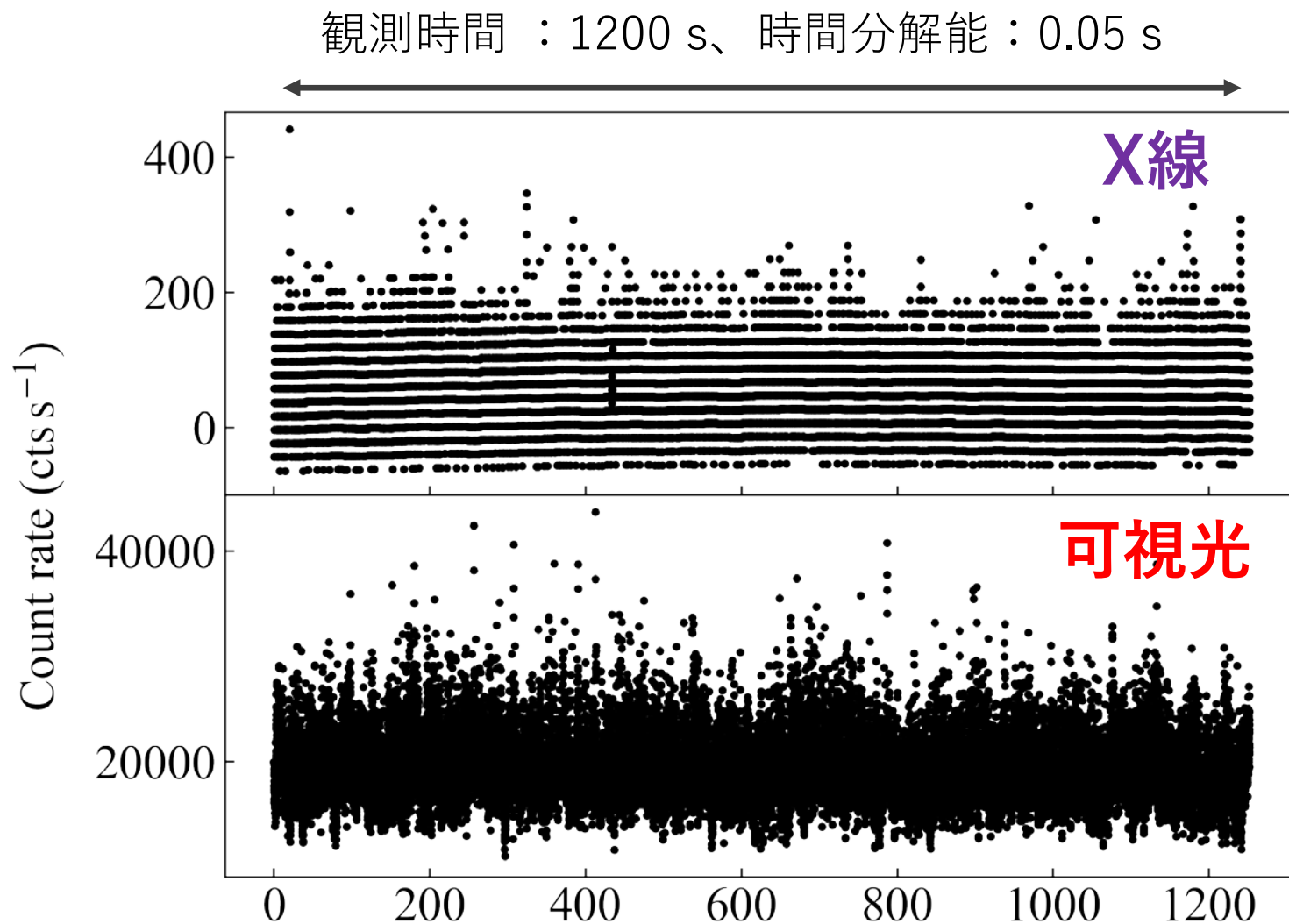
大間々，植村（広大），池田，森井（Datum Studio）

- ブラックホールX線連星（BHXRБ）
- GX 339-4のハード状態
（Gandhi+08, +10）
 - 波長帯：X線 vs. 可視光
 - 可視光タイムラグのCCF
 - **+0.15 sの順相関**
 - **-4 sと+1 sの反相関**



X線と可視光光度曲線のタイムラグ解析

大間々，植村（広大），池田，森井（Datum Studio）

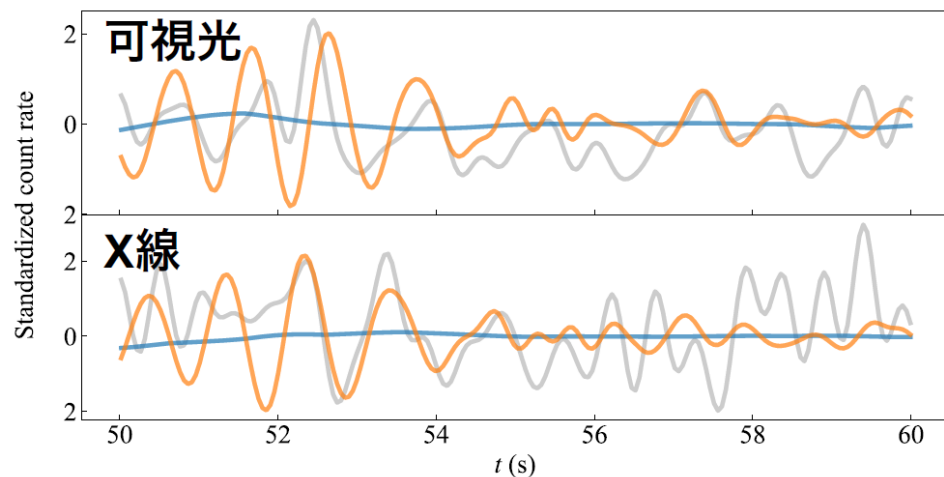


- X線と可視光の光度曲線から共通する周波数成分を取り出し，どのような時間信号かを見て，既知のタイムラグを持つかを確認。

X線と可視光光度曲線のタイムラグ解析

大間々，植村（広大），池田，森井（Datum Studio）

表示時間長：10秒期間

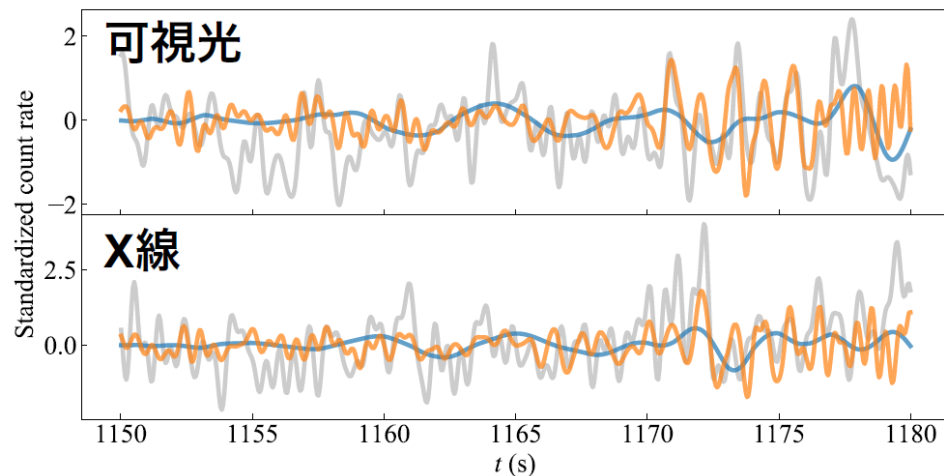


フィルターを通した観測データ（灰色）

順相関信号（橙）

- タイムスケール ~ 0.5 s
- X線が先行して変動する信号

表示時間長：30秒期間



反相関信号（青）

- タイムスケール ~ 5 s
- 反相関でX線が先行する信号よりも **順相関で可視光が先行する信号に近い**（タイムラグ $\sim +1$ s）

まとめ

- データ科学には様々な方法がある.
- それらをうまく組み合わせることによって、新しい天文学的な発見に結び付けられる可能性がある.
- 今が方法を更新する良い時期であろう.
- 何か興味がある問題があれば御連絡を.