

天体画像における深層学習を用いた ラインノイズ除去手法

江良 真結子, 井上 中順, 篠田 浩一 (東工大情報理工), 村田 勝寛, 笹田 真人, 細川 稜平, 庭野 聖史, 谷津 陽一, 河合 誠之 (東工大理)

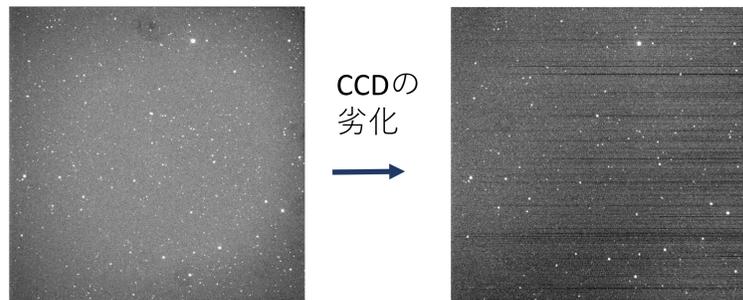
概要 東京工業大学河合研・谷津研が中心に運用しているMITSuME岡山50cm望遠鏡で観測された天体画像には、**CCDの劣化に由来するライン状ノイズが存在し、既存の手法では除去できず正確な測光値を求めることが困難**であった。そこで本研究では、このライン状ノイズを除去するための可逆ネットワークを用いた深層学習手法を提案する。提案手法では、ライン状ノイズの存在する**天体画像に対してロバスト主成分分析**を行い、それにより得られる**スパース画像から擬似劣化観測画像を生成して学習**に用いる。また、学習の**目的関数として観測画像の天体の周りの画素に重みをつけた損失関数**を用いる。評価のために、天体の測光値の確からしさを考慮した指標を新たに導入した。評価実験の結果、3バンドのライン状ノイズパターンのうち2バンドにおいて、提案手法が最も高い性能を示した。

研究背景・目的

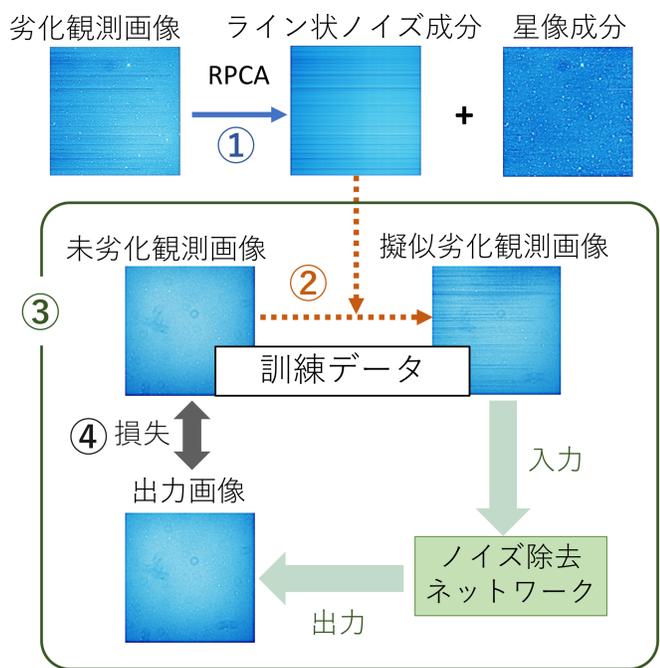
MITSuME望遠鏡のCCDカメラの劣化により、画像内にライン状ノイズが混入
→測光精度に影響

目的 ライン状ノイズ除去による天体画像の復元

復元：劣化が無いカメラでの撮像時に期待される測光値 (=正確な測光値) を持つ画像への変換



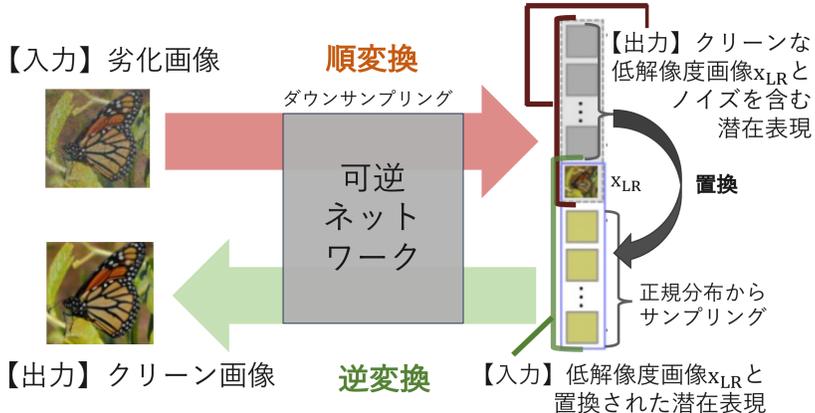
提案手法：擬似劣化観測画像を用いた学習フレームワーク



① ライン状ノイズ成分の抽出
ロバスト主成分分析 (RPCA) [Candes 09]による低ランク行列とスパース行列の分離
・スパース性を制御するパラメータの値は
ライン状ノイズ成分に星像が混入しない適当な値に調整

② 擬似劣化観測画像の生成
ユニークなノイズパターン生成,
未劣化観測画像に加算
生成した擬似劣化観測画像の例

③ ネットワークの学習：InvDN [Liu 21]に適用
InvDN：可逆ネットワークを利用したノイズ除去ネットワーク



④ 天体周辺重み付け損失関数の利用
損失関数で天体周辺の画素に対し重みづけ

$$\mathcal{L} = \frac{\gamma_1}{K} \sum_{i=1}^K \|\mathbf{f}_{LR} - \mathbf{x}_{LR}\|_2 + \frac{\gamma_2}{N} \sum_{i=1}^N \|\mathbf{b} - \mathbf{x}\|_1 + \frac{\lambda_1}{K} \sum_{i=1}^K \|\mathbf{f}_{LR} - \mathbf{x}_{LR}\|_2 \odot \mathbf{M}(\mathbf{x})_{LR} + \frac{\lambda_2}{N} \sum_{i=1}^N \|\mathbf{b} - \mathbf{x}\|_1 \odot \mathbf{M}(\mathbf{x})$$

天体重みづけ項

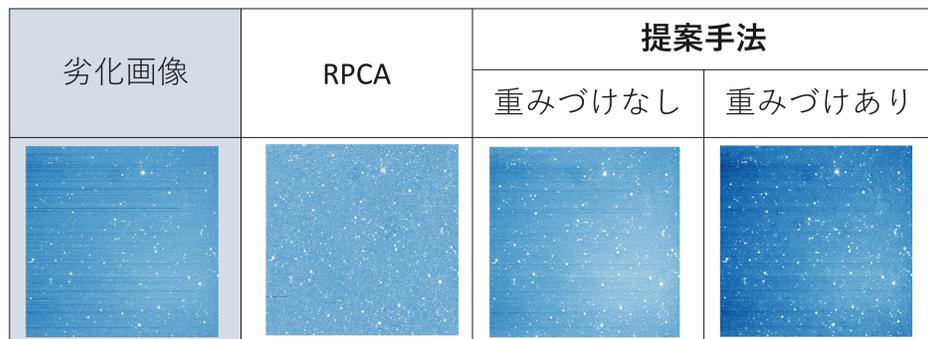
マスク $\mathbf{M}(\mathbf{x}) = \begin{cases} 1 & \text{天体周辺半径}r\text{の円内} \\ 0 & \text{それ以外} \end{cases}$
 \mathbf{x} : 正解画像 \mathbf{x}_{LR} : 低解像度な正解画像 \mathbf{f}_{LR} : 順変換の出力の低周波成分
 K, N : 画素数 \mathbf{b} : 逆変換の出力画像 $\gamma_1, \gamma_2, \lambda_1, \lambda_2$: 寄与率制御の重み

実際の劣化観測画像の復元・評価

実際の岡山MITSuME望遠鏡の劣化観測画像の復元を行い、**RPCAと提案モデル2種 (損失関数の重みづけありとなし)** を評価

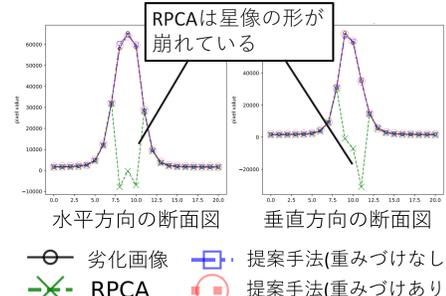
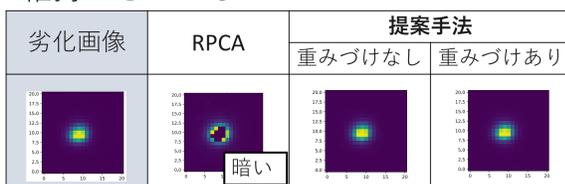
- ・同望遠鏡には3バンド (g', Rc, Ic) 分のカメラ付属
→カメラごとにネットワークの学習
- ・データセットの内訳 (枚) 訓練：600, 検証：200, テスト：27

Rcバンド撮像画像の復元結果の例



画像内の天体の拡大図と断面図の例

・提案手法による復元画像では星像の形を維持できている



測光の確からしさを測る評価指標dの導入

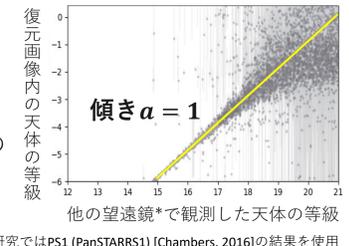
理想的な星の明るさの比は傾き1の線形関係が期待される

データセットのi番目の画像の傾きの値 a_i を用いたdで評価

$$d = \sum_i \frac{|a_i - 1|}{N} \quad (N = \text{画像データの枚数})$$

dが小さくなる = 測光精度向上

理想的な復元画像内の天体の測光結果



実際の劣化観測画像復元に対するdによる評価結果 ($\times 10^{-2}$)

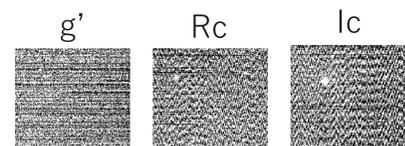
	劣化画像	RPCA	提案手法	
			重みづけなし	重みづけあり
g'バンド画像	10	8.3	24	17
Rcバンド画像	5.3	5.3	1.9	0.98
Icバンド画像	9.5	4.1	32	3.9

測光の確からしさd上では**2バンドにおいて提案手法が優れている**

提案手法におけるg'とRc・Icに対する除去具合の差

ノイズパターンの違いの現れだと考えられる

g' : 木目状で直線的
RcとIc : +さざ波状 → 低ランク性低い



課題

アーチファクトの発生
バッドピクセルが原因だと考えられる
前処理により予防できる可能性あり

