

1

複数のカメラと選択的平均法による超高感度カメラシステム

小型高感度低ノイズ高ダイナミックレンジ
マルチアパーチャカメラ

研究者：静岡大学 電子工学研究所
准教授 香川 景一郎

説明者：同上

従来技術とその問題点

無照明で超低照度環境をカラー撮影するには、HARPやEM-CCDなどの増幅型のイメージセンサを利用する方法があるが、以下の課題がある。

高電圧と放熱が必要

デバイス寿命・画素欠陥の懸念

明るいレンズを使い多くの光を集める方法もあるが、 $F/1.0$ 以下を実現するには以下の課題がある。

レンズが大型化し、非常に重くなる

収差が大きくなり、空間分解能が低下

撮像素子の画素欠陥の問題は解決されない

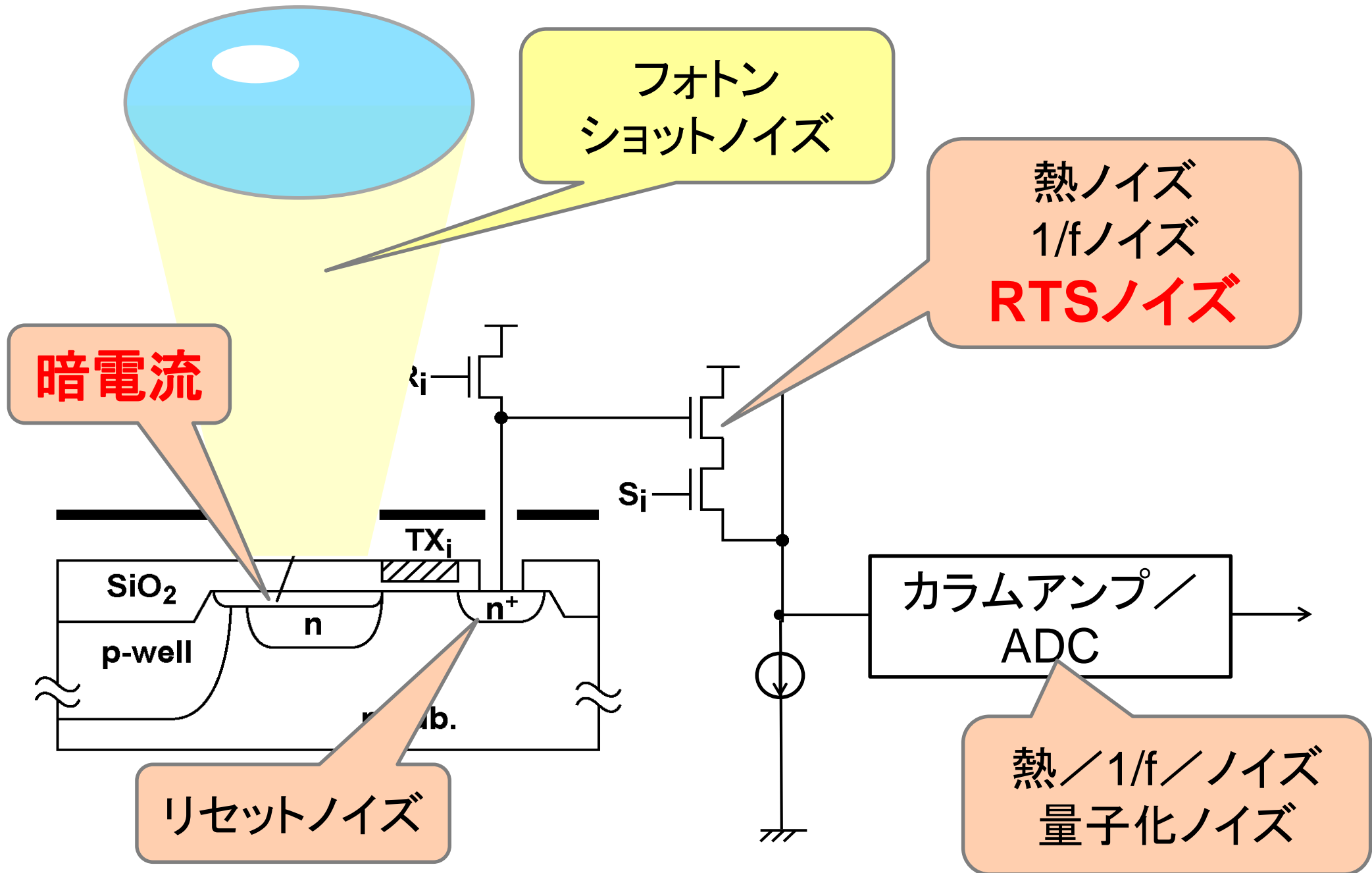
新技術の特徴・従来技術との比較

- 特徴：極めて暗いシーンの撮影が可能
 - 照明不要（照明できない環境に適）
 - 通常の可視光
（近赤外などの特殊光ではないのでカラー撮影可）
- 手法
 - マルチアパーチャカメラ（複数のカメラを利用）
 - 選択的平均法による画像合成
- 効果
 - 補間処理不要
 - 暗電流・アンプノイズの低減（欠陥画素の除去）
 - 信号振幅の増加（S/Nの改善）

想定される用途

- 放送, 監視
 - 無照明もしくはわずかな照明でカラー撮影可
- 天文
 - 撮像素子の欠陥を除去できるため, 小さい光源のわずかな光を捉えられる

撮像システムとノイズ

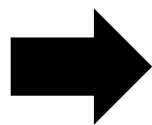
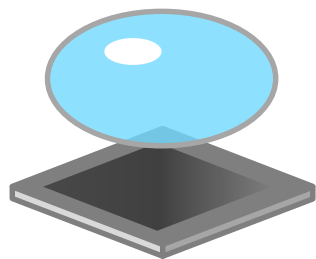


目的

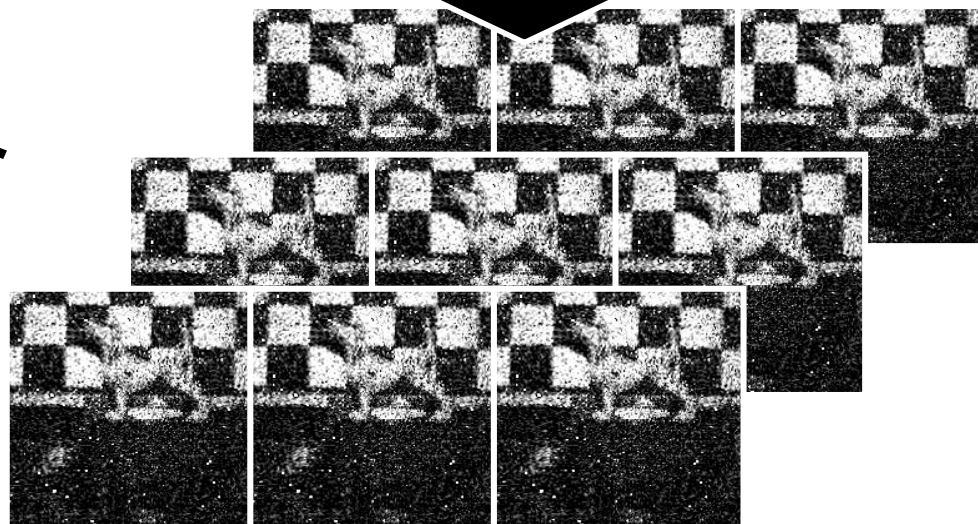
- 極めて暗いシーンの撮影
 - 照明不要(照明できない環境)
 - 通常の可視光(近赤外などの特殊光ではなく)
- 方法
 - ゲインをかける
 - △S/Nは大きくは改善しない
 - ×通常, DR低下
 - センサノイズを減らす
 - フォトン数を増やす
 - 最高でも現状0.5~1電子
 - △蓄積時間を延ばす
 - 明るいレンズを使う

提案手法： マルチアパーチャ + 低ノイズCMOSイメージセンサ

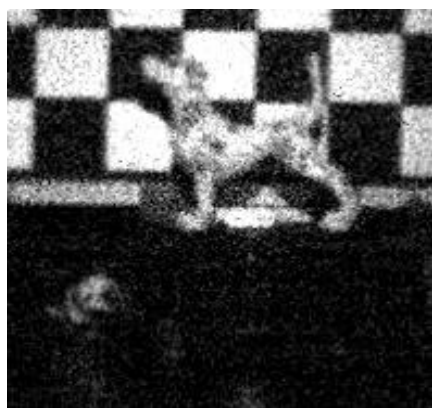
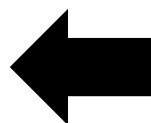
小型軽量の
そこそこ明るいレンズ



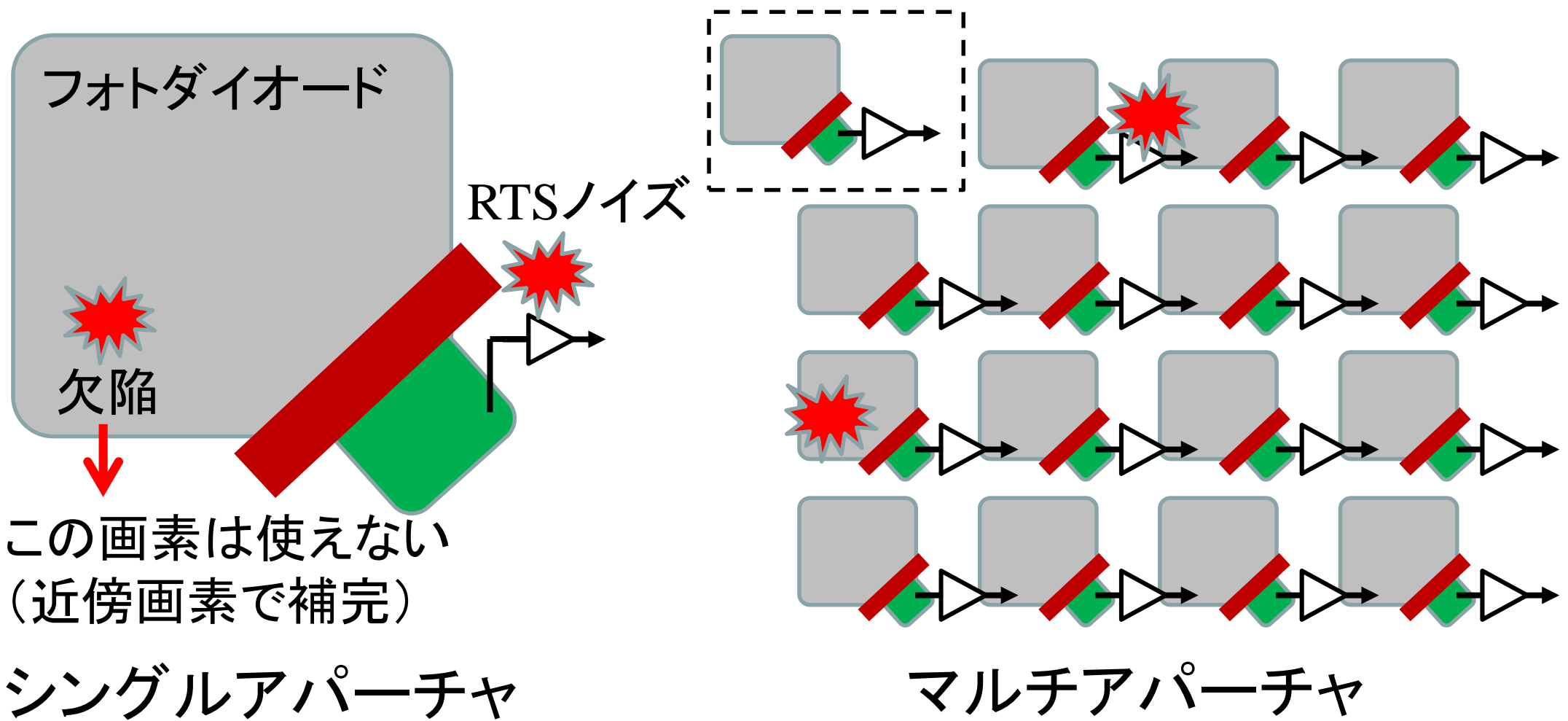
低ノイズ
CMOSイメージセンサ
(ノイズ < 1電子)



統合



基本的なアイデア(画素サイズ)



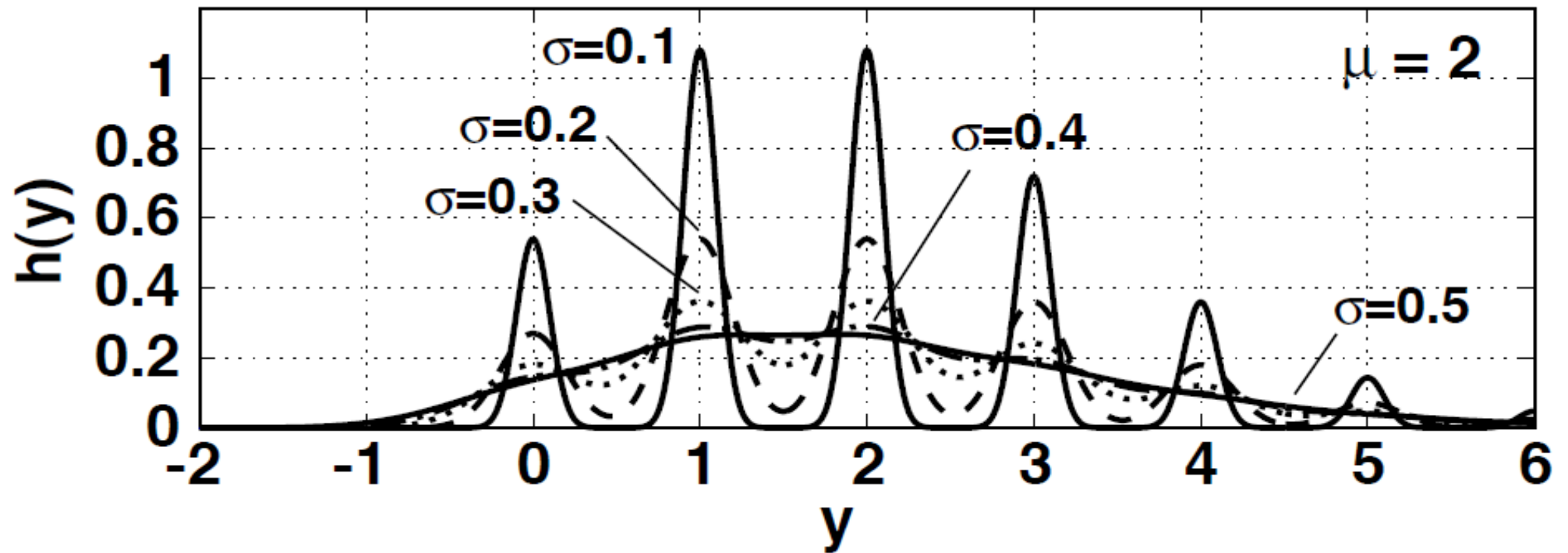
【従来】

- ・ 大面積画素
- ・ 画素内に欠陥があると暗電流大

【提案】

- ・ 小さく複数に分割
- ・ ほとんどのアパーチャは正常

ノイズレス画像加算

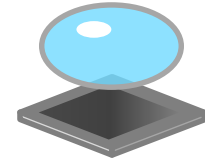


$$h(y) = \sum_{x=0}^{\infty} \frac{\mu^x}{x!} \exp\{-\mu\} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left\{-\frac{(y-x)^2}{2\sigma^2}\right\}$$

SNRの比較

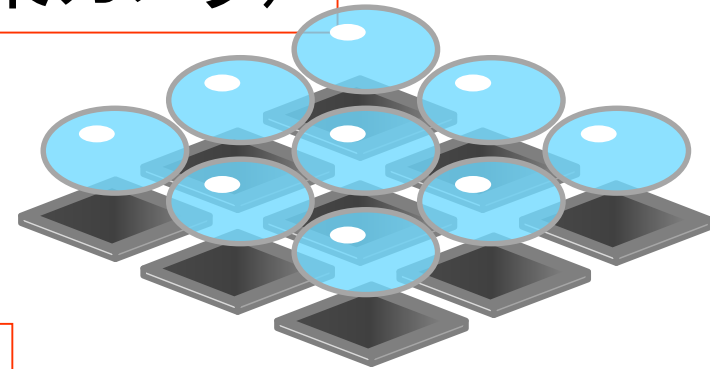
マルチアパーチャ

$$SNR_{MA} = 20 \log_{10} \frac{MN_{ph}}{\sqrt{M\sigma^2 + MN_{ph}}}$$



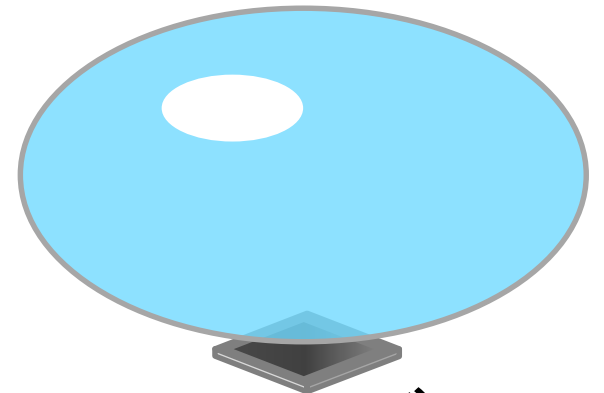
サブアパーチャ(マルチアパーチャの要素カメラ)

$$SNR_{SA} = 20 \log_{10} \frac{N_{ph}}{\sqrt{\sigma^2 + N_{ph}}}$$



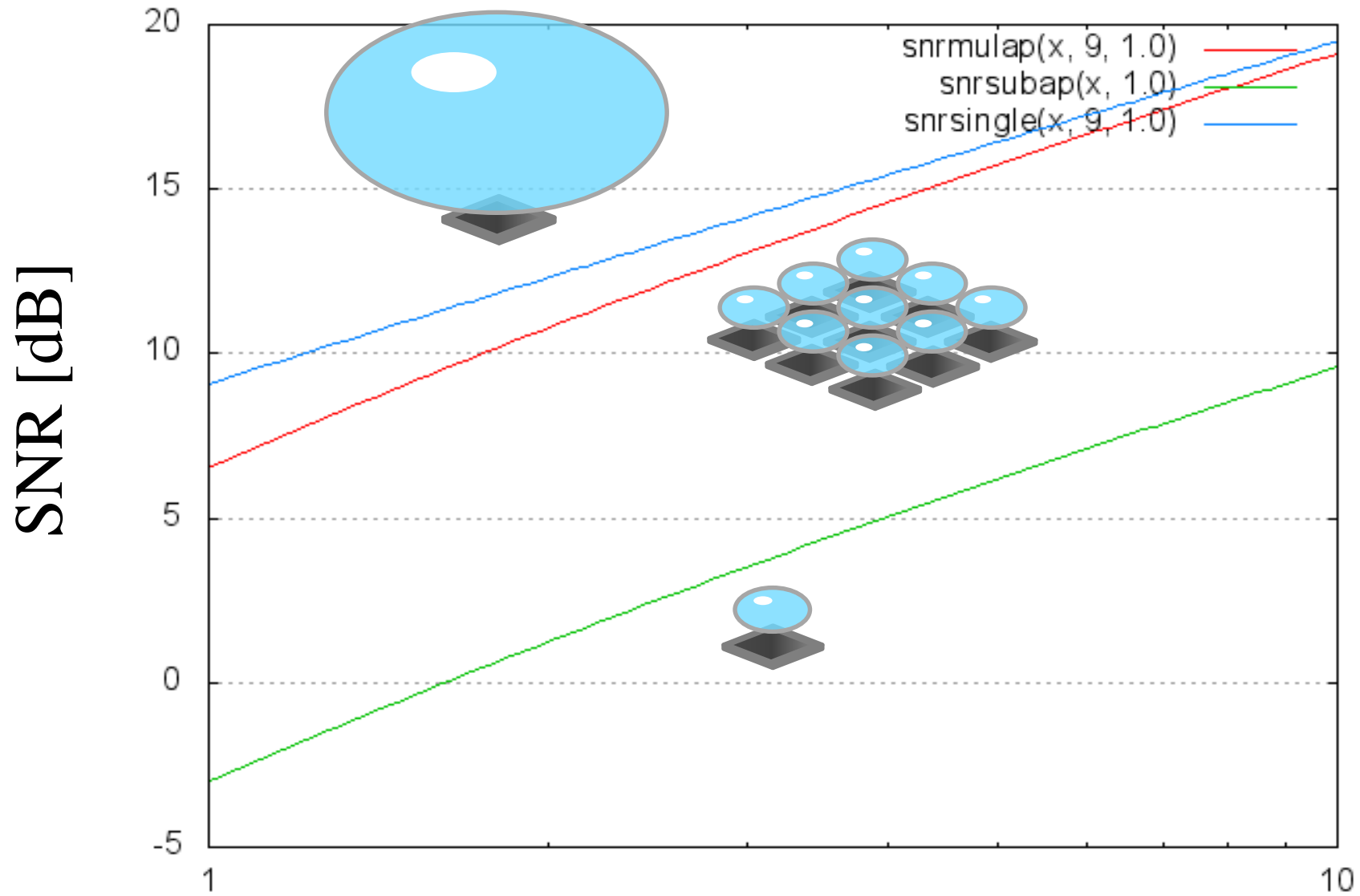
等価な明るさをもつシングルアパーチャ

$$SNR_{SA} = 20 \log_{10} \frac{MN_{ph}}{\sqrt{\sigma^2 + MN_{ph}}}$$



N_{ph} : フォトン数 M : アパーチャ数 σ : センサノイズ

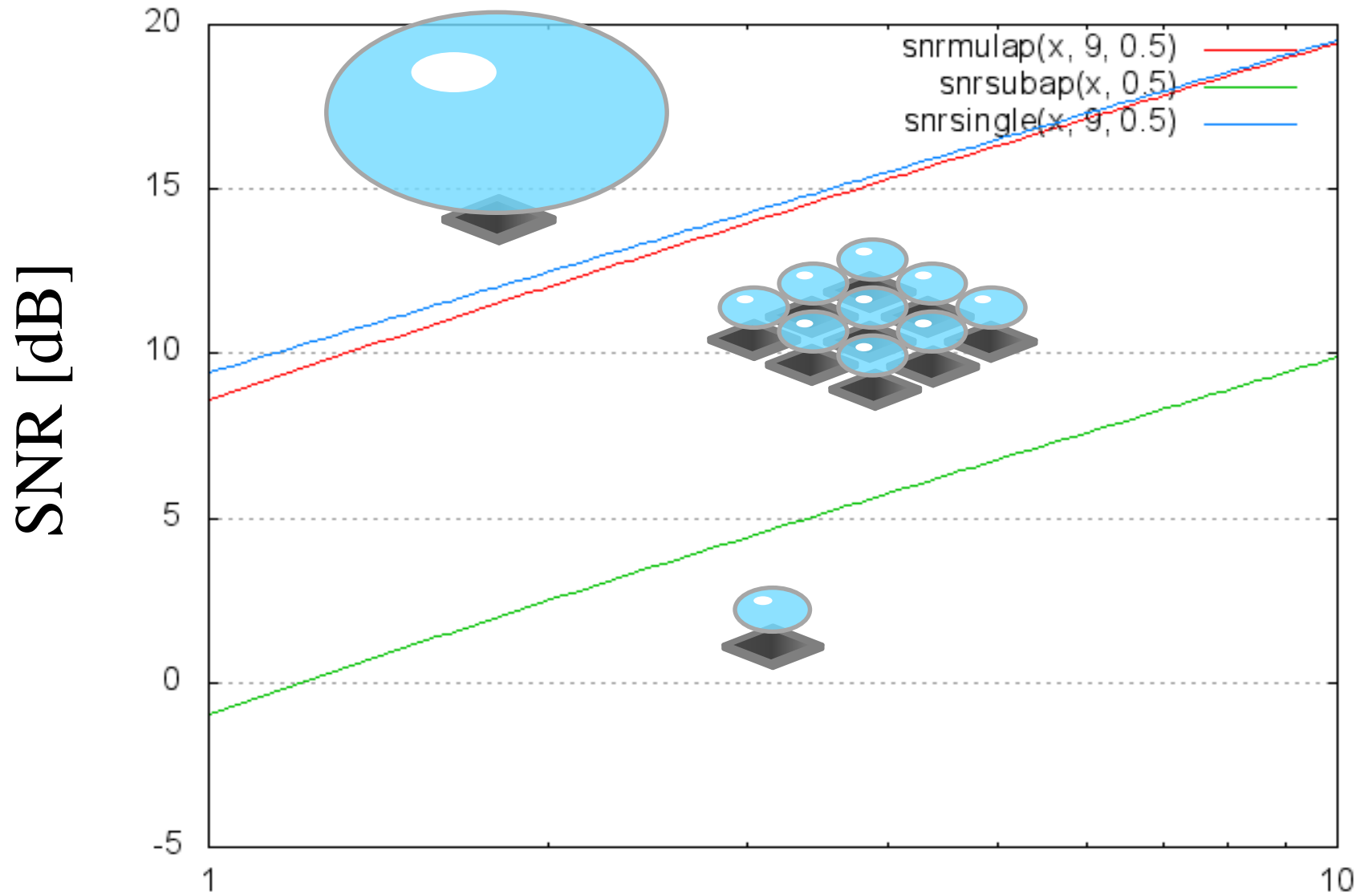
SNRの比較



M=9, $\sigma=1.0$ 電子

フォトン数

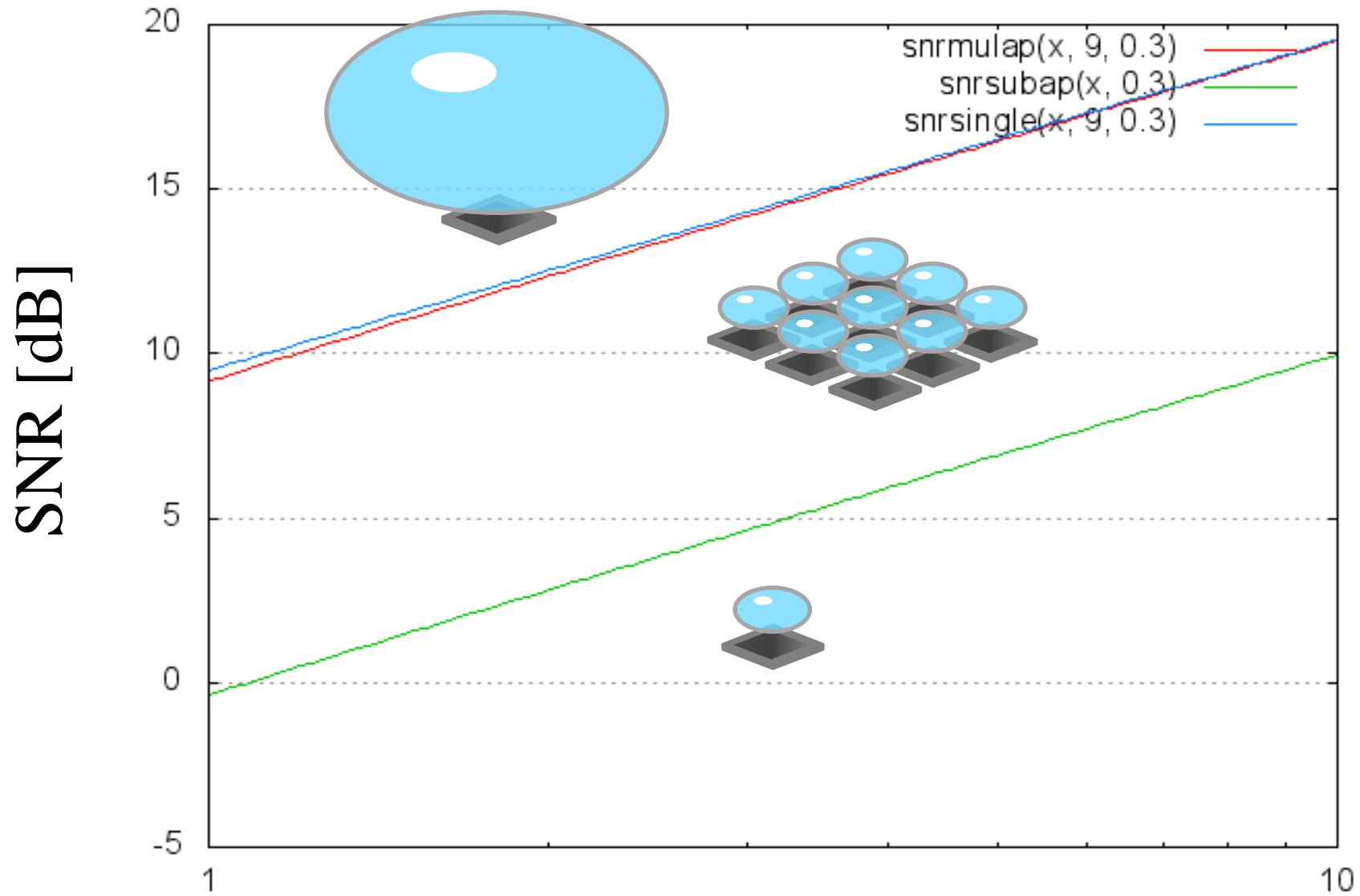
SNRの比較



M=9, $\sigma=0.5$ 電子

フォトン数

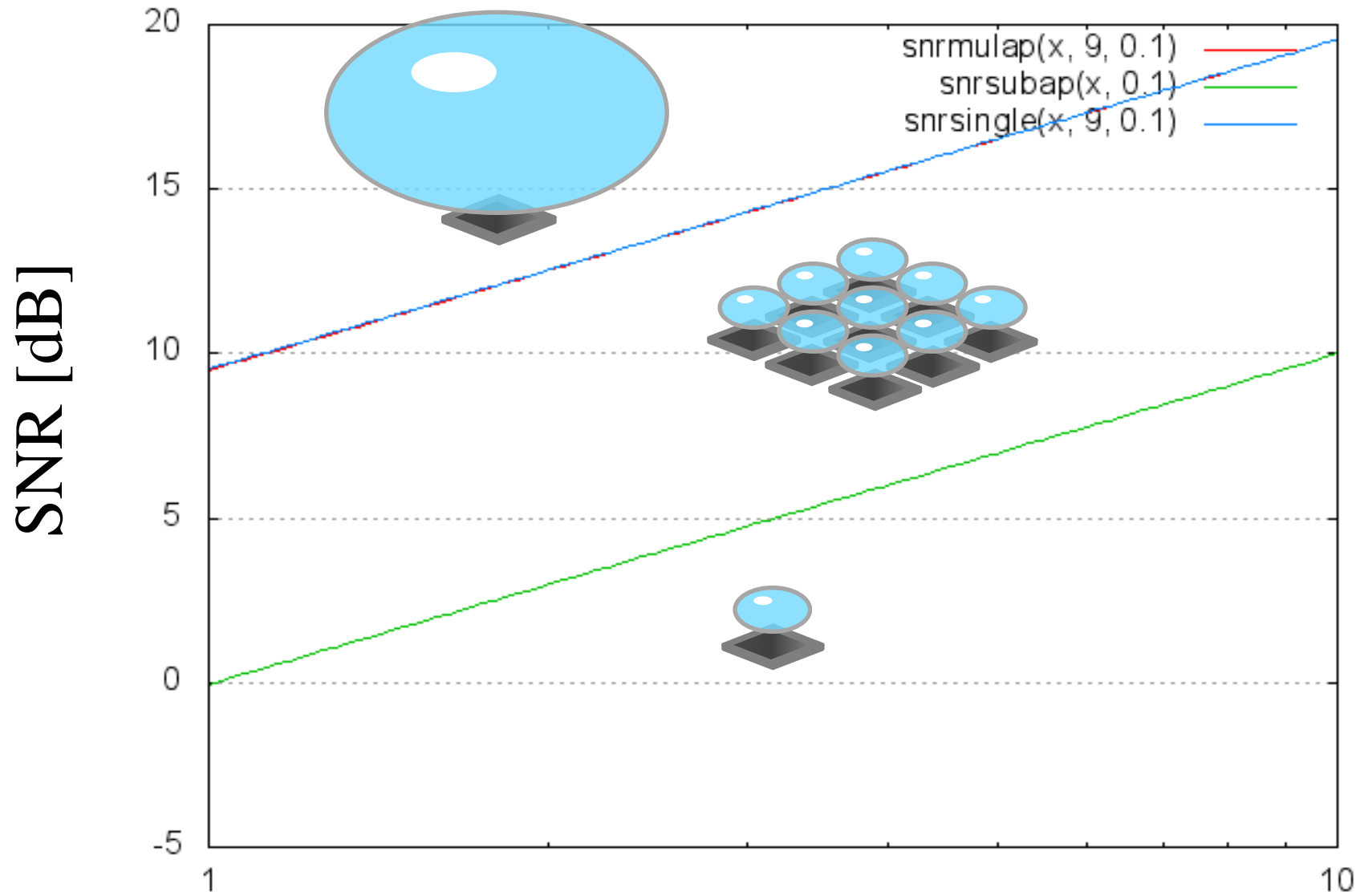
SNRの比較



M=9, $\sigma=0.3$ 電子

フォトン数

SNRの比較



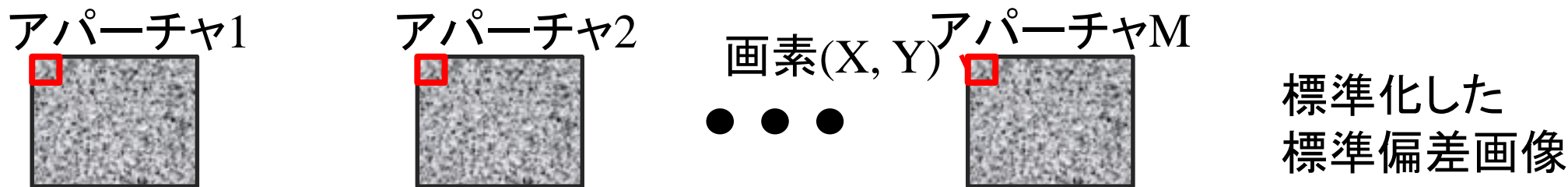
M=9, $\sigma=0.1$ 電子

フォトン数

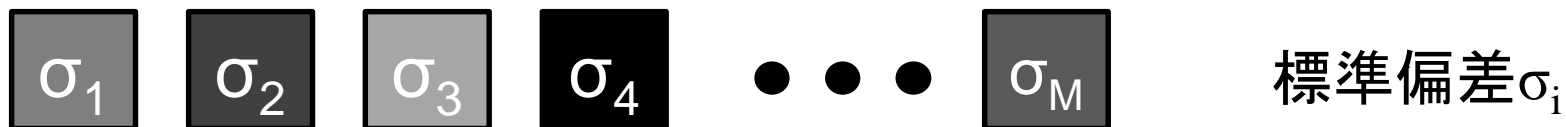
選択的平均化法

- マルチアパーチャ画像を単純に平均すると、RTSノイズ、暗電流は減らない
- 画素単位で、ノイズが最小となるように平均化に考慮するアパーチャを1～M個選択
(M: アパーチャ数)

前処理: アパーチャ選択



画素(X, Y)について



昇順に並べ替え



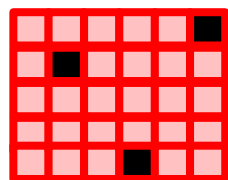
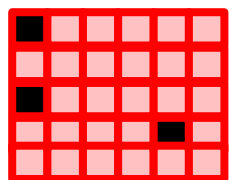
$\sum_{i=1}^m \sigma_{\alpha i}^2 / m^2$ を最小化するmを見つける



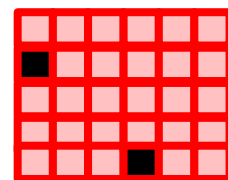
m個

利用するアパーチャのフラグ付け

利用する画素を示すフラグ画像

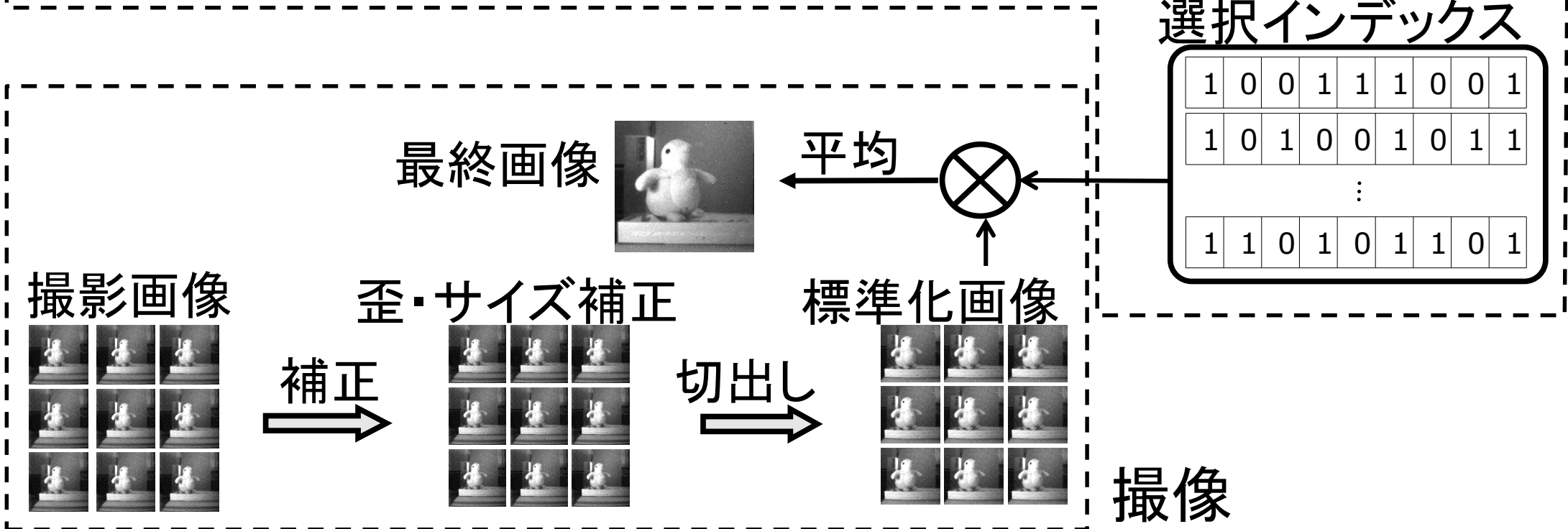
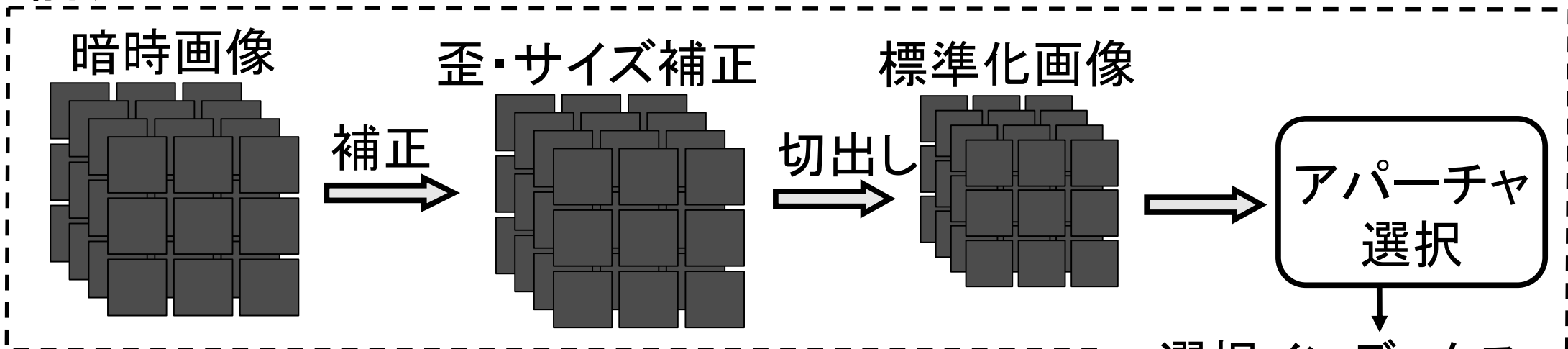


\dots



処理の流れ

前処理



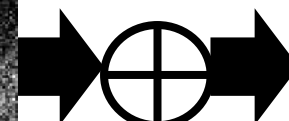
ノイズを考慮した撮像モデル

センサ上の
理想光学像



フォトン
ショット
ノイズ

電子像

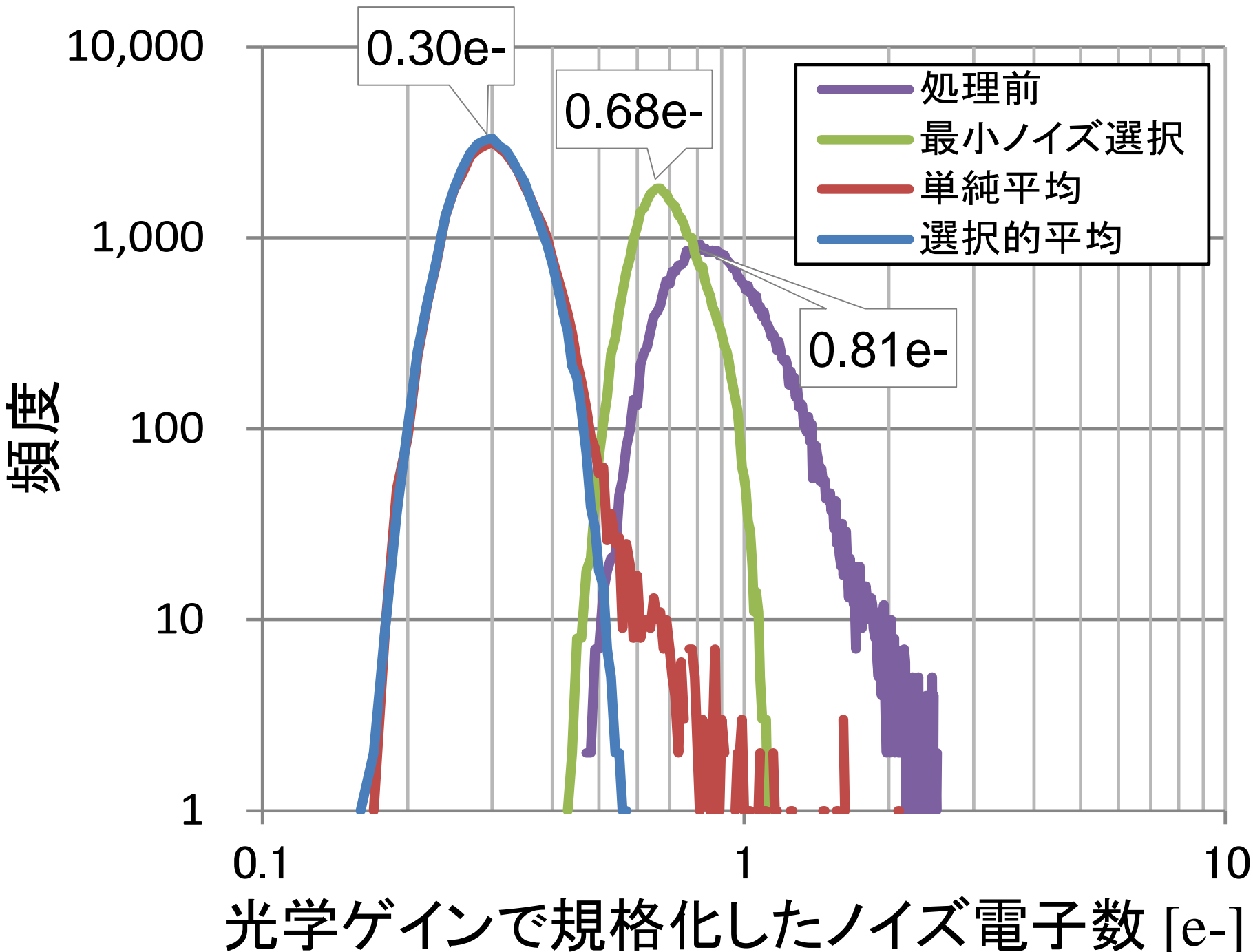


センサ出力画像

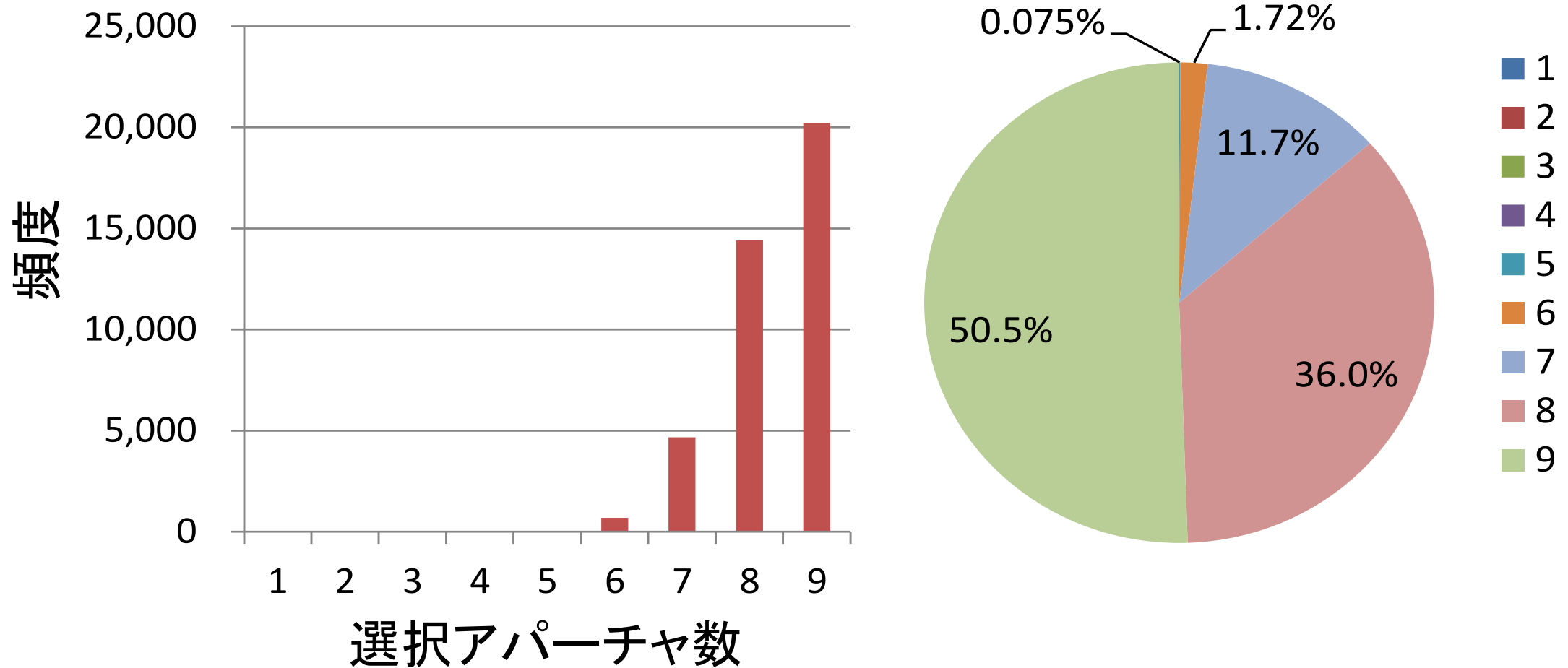


センサの実測値を利用

暗時ノイズヒストグラム (シミュレーション)



選択されたアパーチャ数

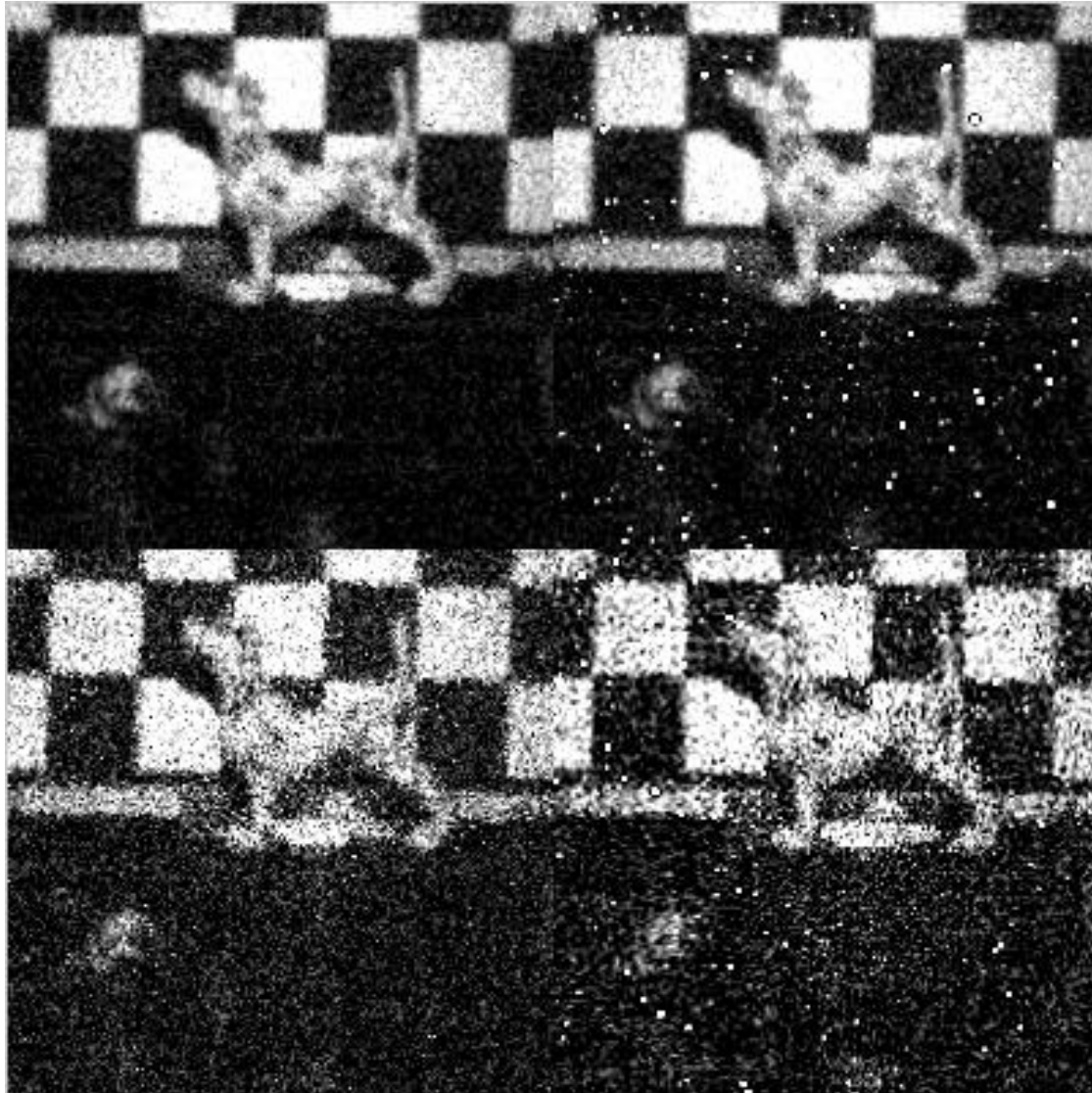


平均8.35アパーチャ,
最小5アパーチャを利用

実写結果

選択的平均

単純平均



選択的平均では、単純平均に見られる白傷とRTSノイズが消えている

最大電子数 : $8e^-$
被写体照度 : $0.031x$
F/3.0 (少しレンズが暗い)

最小ノイズ選択

処理前(1アパーチャ)

現在開発中のプロトタイプ

パラメータ	値
レンズ数	$N \times N$ ($N=3$)
画素／アパーチャ	1280×1024
画素ピッチ	$7.1\mu\text{m} \times 7.1\mu\text{m}$
F値(合成)	0.4



実用化に向けた課題

- 現在までの達成事項
 - 1つの撮像素子を3×3個のレンズで分割して、マルチアパーチャカメラを模擬し、実画像によりオフラインでコンピュータ上でノイズ低減効果を確認
- 今後の課題
 - カラー化
 - リアルタイム画像合成
 - ノイズ状態の温度依存性への対応
 - オートフォーカス, ズーム

企業への期待

- 未解決のリアルタイム化の課題については、FPGAなどを利用した画像処理のハードウェア化により克服できると考えている。
- 画像処理アルゴリズムのハードウェア化の技術を持つ企業との共同研究を希望。
- また、高級高性能監視カメラ, 超広角超高感度監視カメラ, 超高感度カラーカメラを開発中の企業には、本技術の導入が有効と思われる。

本技術に関する知的財産権

- ・ 発明の名称
： 固体撮像装置 (未公開)
- ・ 出願番号： 特願2012-175364
- ・ 発明者： 香川景一郎, 川人祥二
- ・ 出願人： 国立大学法人 静岡大学

◎共同研究および関連する特許については、静岡大学
イノベーション社会連携推進機構にお問い合わせください。

TEL :053-478-1702

Email : sangakucd@cjr.shizuoka.ac.jp



国立大学法人
静岡大学