

# DL技術の活用による前臨床fMRI用Zero TEイメージング高速化

Accelerating Zero TE Imaging for Preclinical fMRI Using Deep Learning Technology

藤田 直人<sup>1</sup>, 寺田 康彦<sup>1</sup>

<sup>1</sup>筑波大学 理工情報生命学術院 数理物質研究群



## 研究背景・目的

### Zero-TE imaging for functional MRI

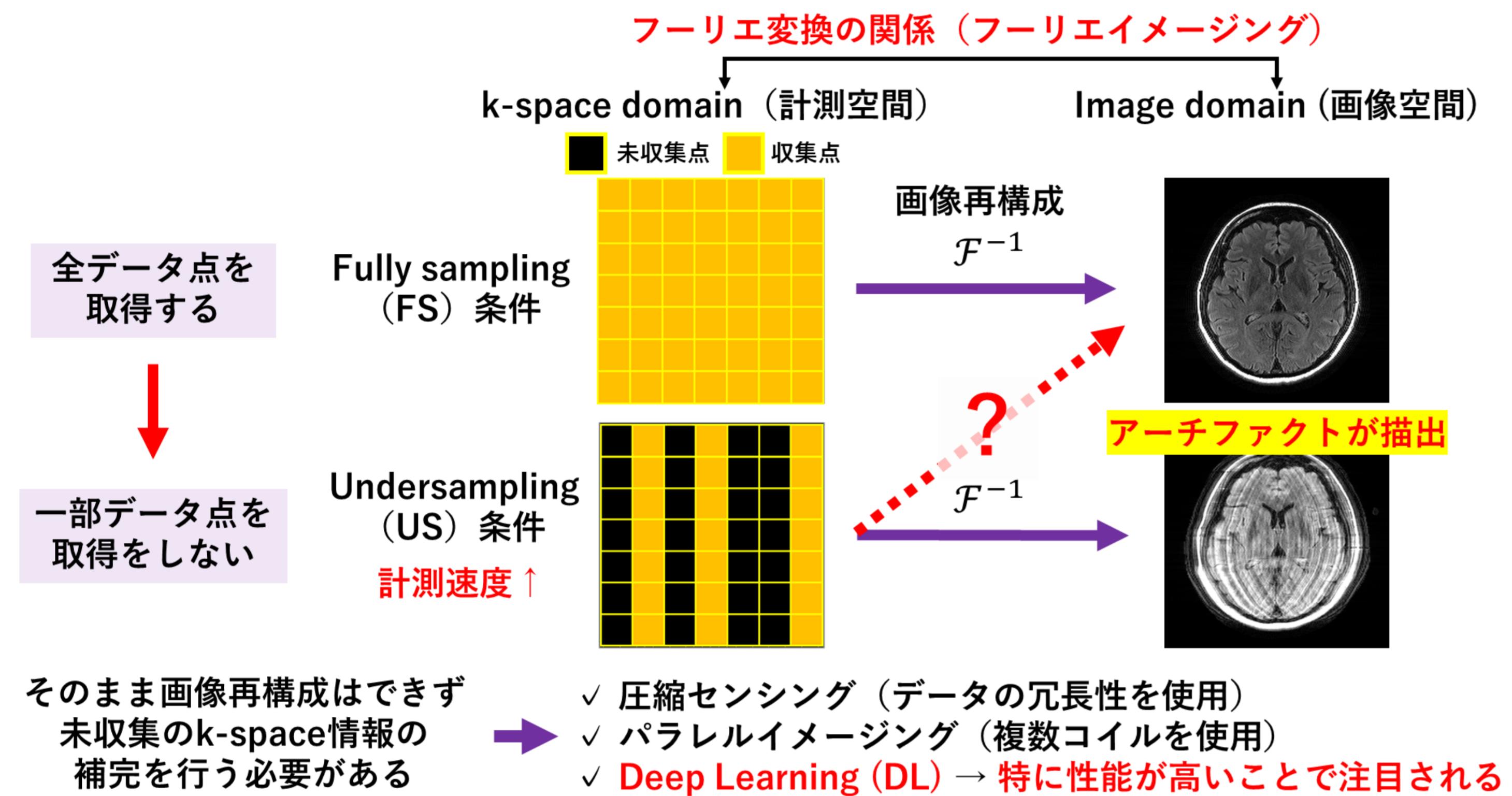
- ✓ Zero Echo Time (ZTE) シーケンス  
通常のMRIでは見ることのできない組織の信号を捉えられる→骨・肺イメージング,fMRI
- ✓ 特にfMRIでは経時的な信号変化による脳活動評価を行う→dynamic撮像が必須
- ✓ 高時間分解能のためには加速係数 (AF) が大きくする必要がある→アーチファクトの描出  
高速化技術: Compressed sensing(CS), Parallel imaging(PI), Deep learning(DL)

### 本研究の目的

Deep learningを使用した高時間分解能撮像の実現

## 実験手法

### データ間引き（アンダーサンプリング）による高速化



### 画像再構成問題とDLへの部分的拡張

#### 画像再構成問題（深層学習ベースL2正則化）[6]

$$x_{rec} = \underset{x}{\operatorname{argmin}} \left\| \sqrt{W_{\Omega}} (y_{\Omega} - F_{\Omega} x) \right\|_2^2 + \lambda \|x - D(x; \theta)\|_2^2$$

$x_{rec}$  Reconstructed image

$y_{\Omega}$  Measured k-space in trajectory  $\Omega$

$F_{\Omega}$  Non-uniform fast Fourier transform (NUFFT) operator in trajectory  $\Omega$

$W_{\Omega}$  Density compensation in trajectory  $\Omega$

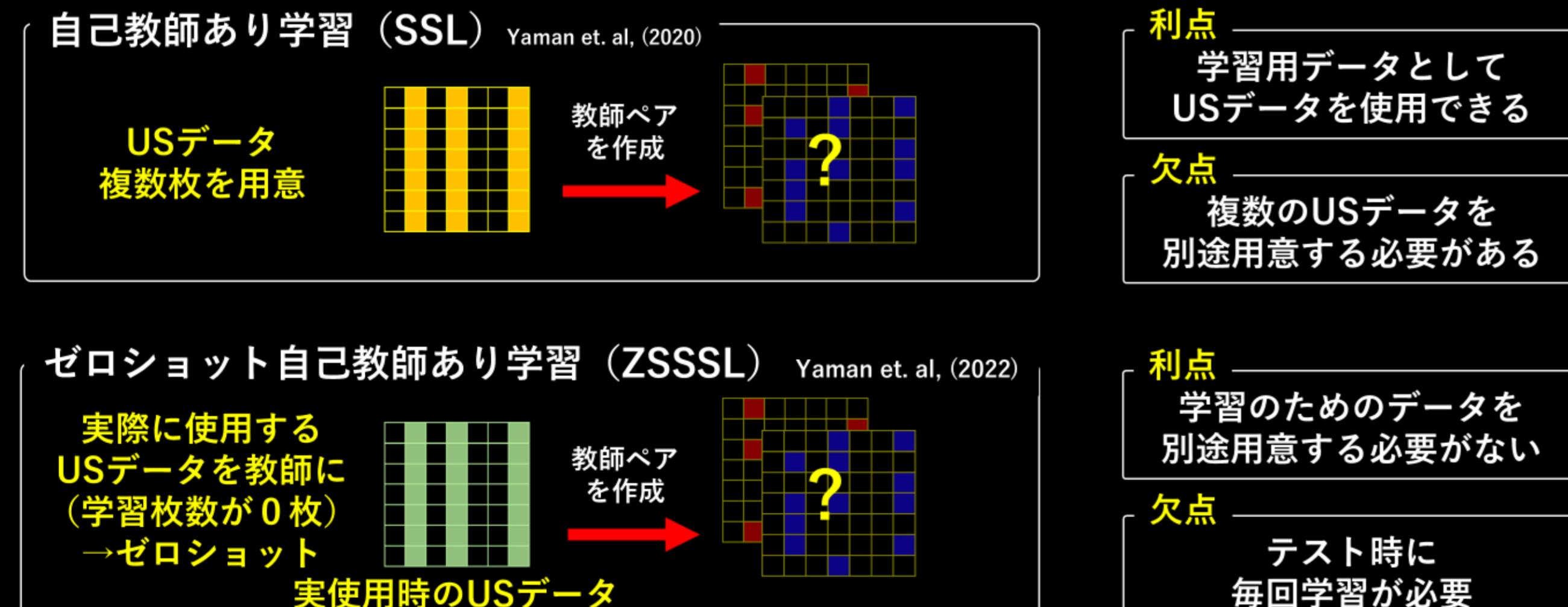
$D(x; \theta)$  DNN denoiser parameterized by  $\theta$

- ✓ 深層学習ベース再構成では正則化項 (R) をDeep Neural Network(DNN)に置き換える  
→既存の正則化項に比べてより柔軟で複雑な表現の獲得ができる

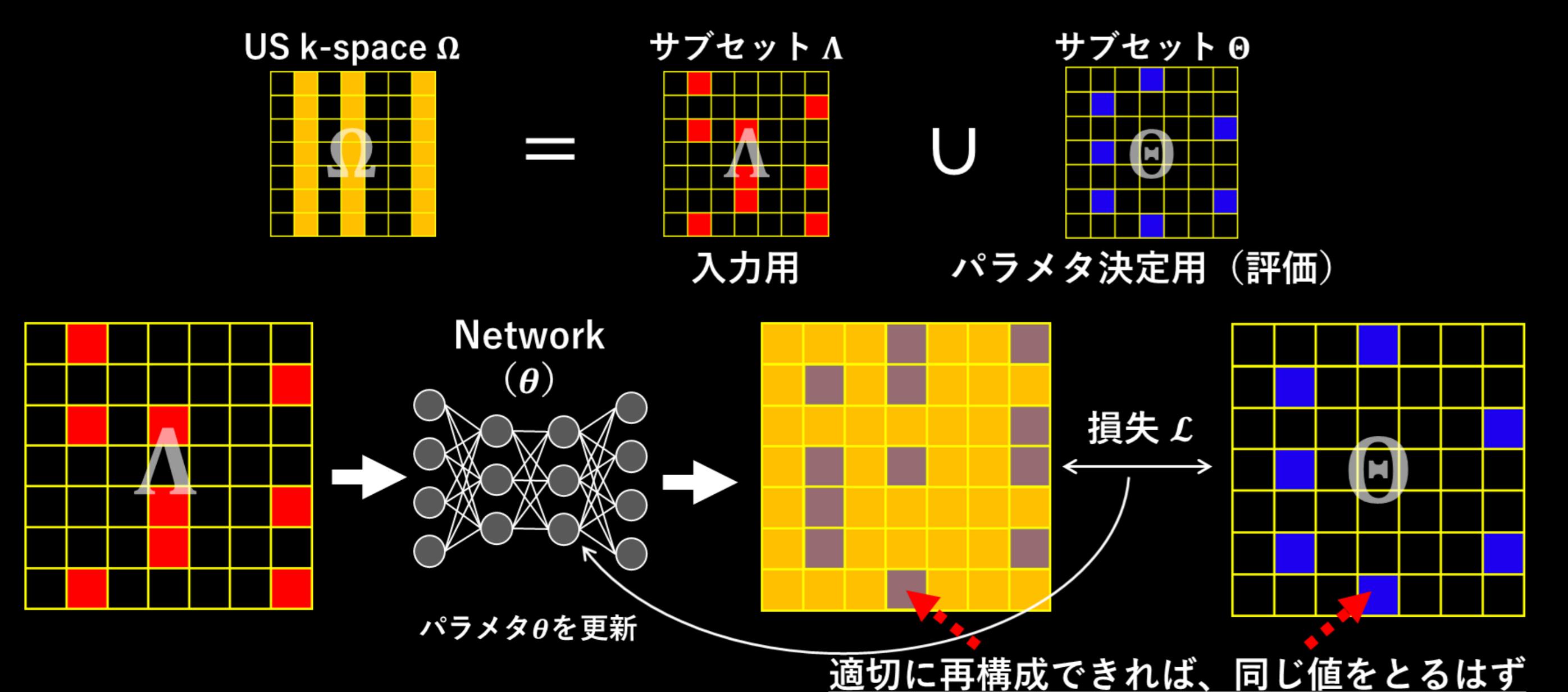
### ゼロショット自己教師あり学習

- ✓ 教師あり学習法の問題点 → 臨床ではアンダーサンプリング (US) が一般的  
フルサンプリング (FS) を含む教師ペアを準備できない

自己教師あり学習の登場: USデータ（=自己）から教師ペアを合成する手法



- ✓ 自己教師あり学習法の戦略 → サブセットの片方をモデルのパラメタ決定用に使用する



再構成結果がネットワークに入力していない領域の観測値と一致するようにパラメタを決定する

## 実験条件

比較モデル: 提案手法 + ベースライン2種

1. Gridding reconstruction
2. Conjugate gradient (CG法)
3. Non-cartesian ZS-SSL

- 正則化はResidual Network(ResNet)を採用

実験1: Non-cartesian 再構成法のみ評価

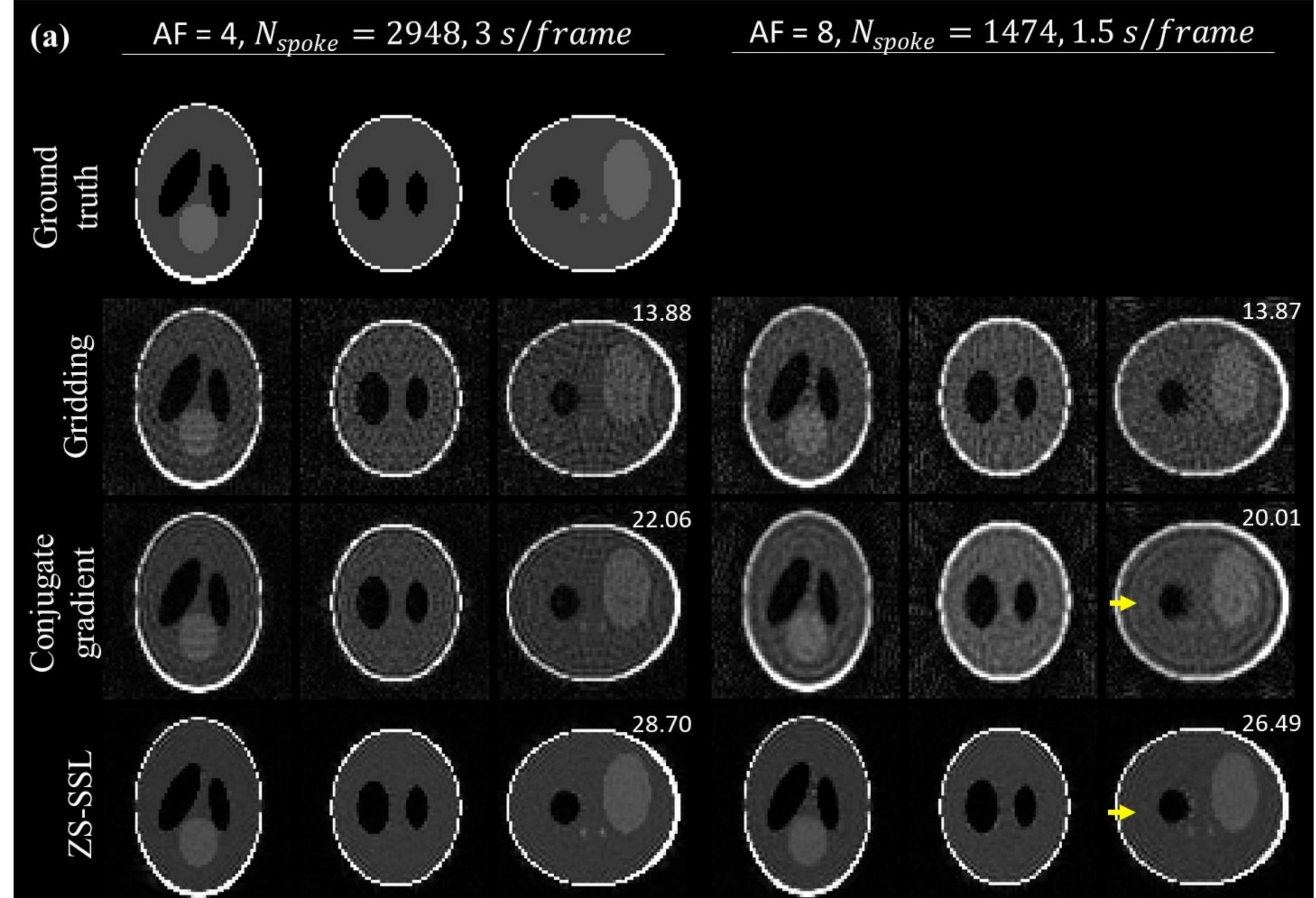
- 3D数値ファントム (Shepp-logan) を使用
- k-spaceの最大強度0.5%の複素ガウシアンノイズを加えてシミュレート
- Peak-signal to noise ratio(PSNR)にて数値評価

実験2: Deadtime補完を含めたZTEシーケンスへの適用

- Bruker 9.4T MRI, 1chボリュームコイル
- TR = 1.018ms, flip angle (FA) = 3°

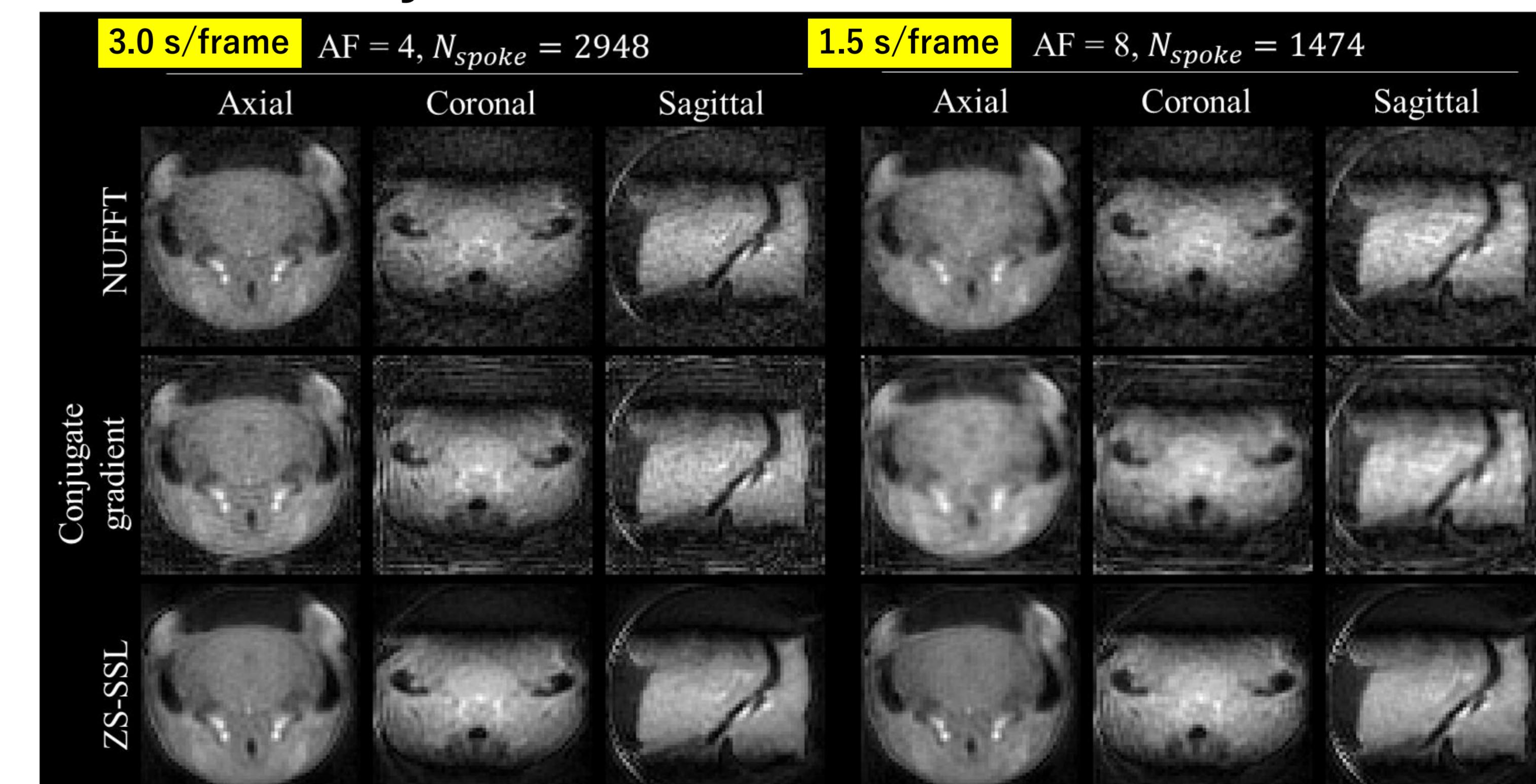
## 実験結果

### Simulation study



- ✓ 視覚的にも数値評価的にもZS-SSLが最も良い
- ✓ NUFFTは全体的にノイズレベルの高い印象
- ✓ CG法では、AF=8で特において強いアーチファクトが残存している
- ✓ ZS-SSLではこれらを効果的に除去

### In-vivo study



- ✓ NUFFT, CG法に比べZS-SSLによる再構成画像の方がアーチファクト、ノイズ共に少なく、明瞭な画像が得られた。
- ✓ AF = 8においては、NUFFTはノイズが増大しているのに対し、ZSSLでは増大が抑えられた。

## 結論・今後の展望

- ✓ ZS-SSLの性能はシミュレーションにおいて数値的、視覚的に高い性能
- ✓ Deadtime補完等を含めたZTEシーケンスにおいても同様に適用が可能
- 撮像されたIn-vivoデータにおいても同様に良好な撮像結果

### 今後の展望

- ✓ ネットワーク構造の最適化
- ✓ 時間方向のトラジェクトリ設計によるさらなる高速化
- ✓ 時間方向の正則化の組み込みによる再構成性能の向上