

逐次近似応用再構成の画像評価と 線量低減の可能性について

東北大学病院 診療技術部 放射線部門

佐藤 和宏

CT装置@東北大学病院



本日の内容

- 臨床例（大**動**脈3D）
- フィルタ補正逆投影法の再考
- 逐次近似応用再構成法の画質評価
- 臨床例（小児の肺**動****静**脈・大**動**脈3D）

本日の内容

- **臨床例（大動脈3D）**
- フィルタ補正逆投影法の再考
- 逐次近似応用再構成法の画質評価
- 臨床例（小児の肺動静脈・大動脈3D）

臨床例（大動脈3D）

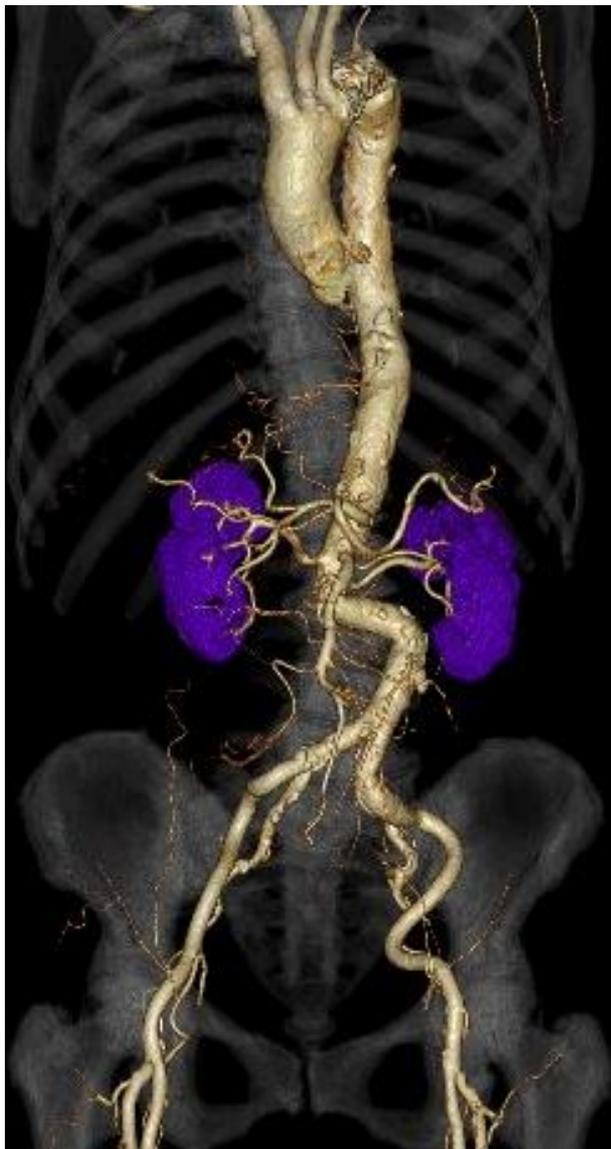
■ 患者情報

- 依頼科：移植再建内視鏡外科 (外来)
- 年齢/性別：81歳/女性
- 身長/体重：146cm/46kg
 - その他：軽度腎機能低下

■ 撮影部位：胸腹部大動脈 (造影)

- 臨床診断：腹部大動脈瘤
- 検査目的：大動脈瘤径の変化

大動脈3D



管電圧 : 100kV

Quality ref. mAs : 90mAs@120kV

回転時間 : 0.33秒

収集 : 0.6mm×128列

撮影長 : 560mm

撮影時間 : 5.3秒

CTDI_{vol} : 4.11mGy

DLP : 240.8mGy · cm

再構成スライス厚 : 1mm

再構成関数 : I30f

SAFIRE : Strength 2

造影剤濃度 : 240mgI/mL

注入速度 : 4.6mL/秒

注入量 : 69mL (360mgI/kg)

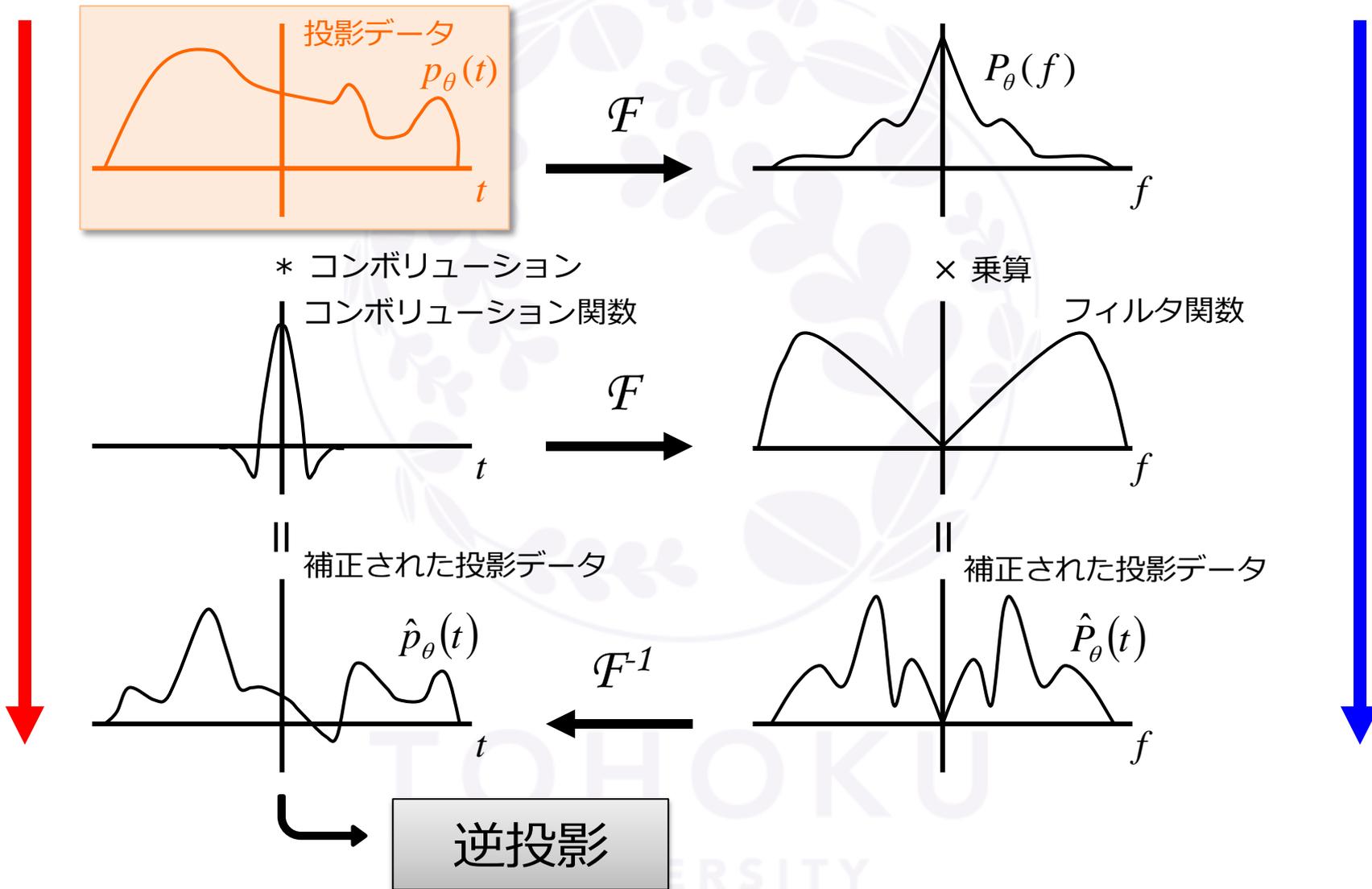
本日の内容

- 臨床例 (大動脈3D)
- **フィルタ補正逆投影法の再考**
- 逐次近似応用再構成法の画質評価
- 臨床例 (小児の肺動静脈・大動脈3D)

逆投影再構成法の概要

コンボリューション補正逆投影法

フィルタ補正逆投影法



逆投影再構成法：一般論

- フィルタ補正逆投影法
(Filtered backprojection ; FBP)
- コンボリューション補正逆投影法
(Convolution backprojection ; CBP)
 - 両者は数学的に等価。
 - フーリエ変換の手間がかかっても、FBPの方が計算時間は短い。
 - 実装されている再構成法は、フィルタ補正逆投影法。

逆投影再構成画像の性質

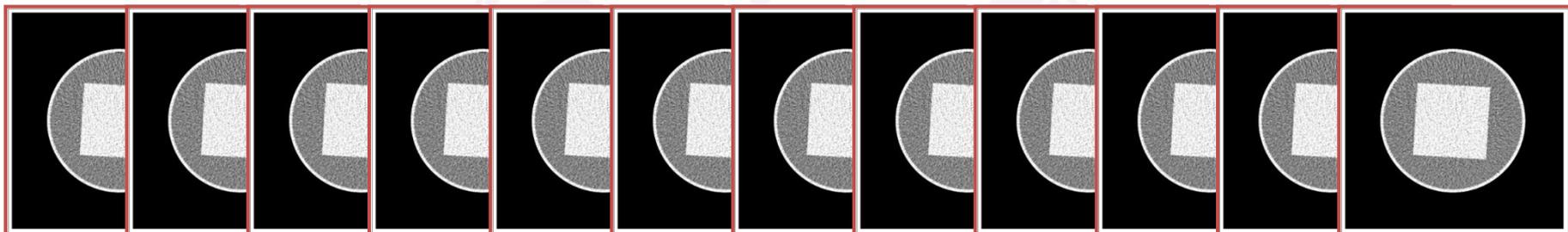
- 逆投影法による再構成画像は線形性が成立¹⁾。
 - 線形とは、
重ね合わせの理が成り立つ
入力と出力との間に比例関係が成り立つ
などということ。
- 線形性が成立しないと、アーチファクトとなる。
 - パーシャルボリューム
 - ビームハードニング

TOHOKU
UNIVERSITY

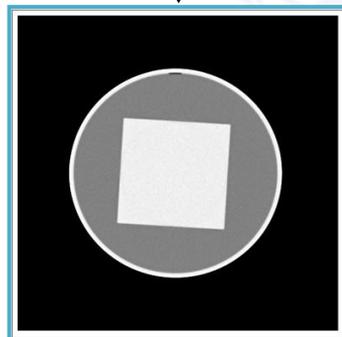
線形性を利用した処理

- 複数枚の高雑音画像を加算平均し、低雑音画像を得る。

高雑音画像群



加算平均



低雑音画像

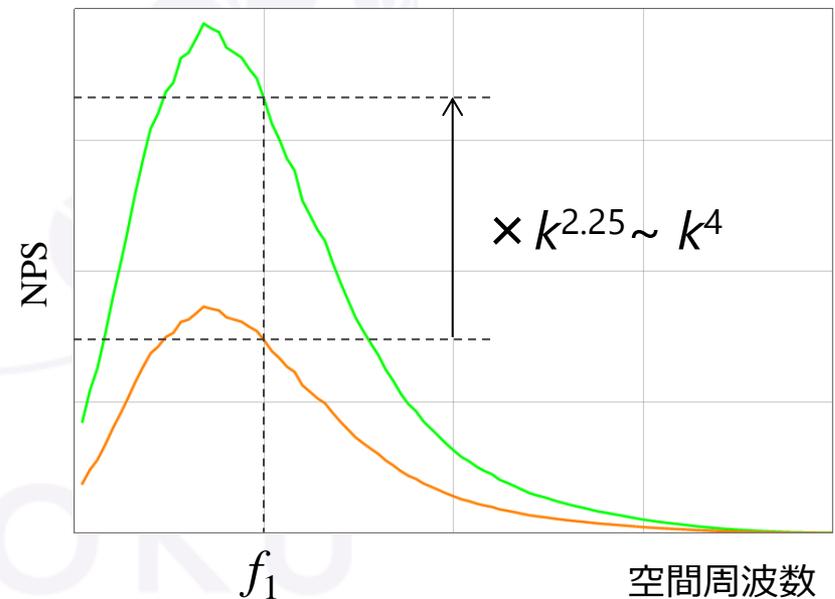
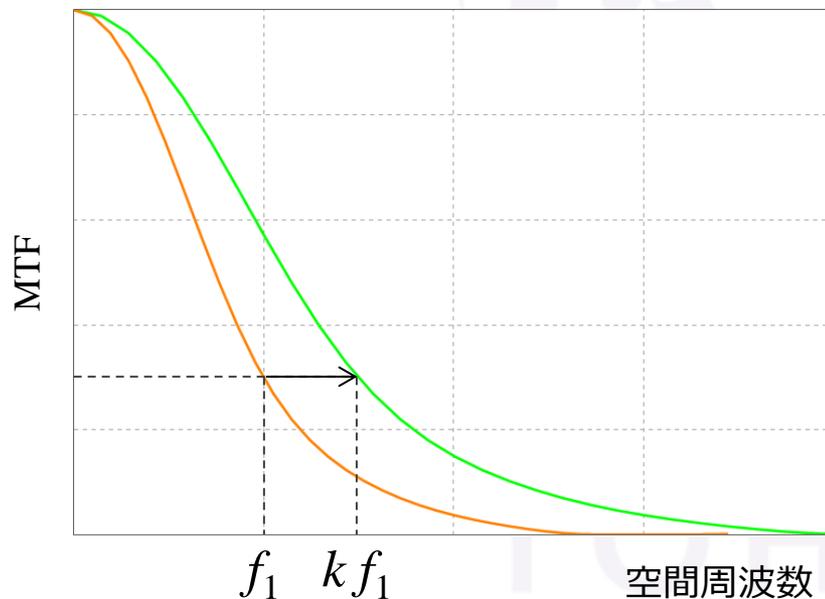
N 枚の画像を加算平均すると、
画像雑音は $1/\sqrt{N}$ に減少する。

加算平均前の雑音標準偏差： σ

加算平均後の雑音標準偏差： σ/\sqrt{N}

逆投影再構成画像の性質：MTFとNPS

- MTFを k 倍に引き延ばすと、NPSは k の $1.5^2 \sim 2^2$ 乗で増大する¹⁾。
 - 標準偏差 σ は、 k の $1.5 \sim 2$ 乗で増大する。
 - MTFが 1.5 倍に引き延ばされたとき、標準偏差が 10HU の画像は標準偏差が $18\text{HU} \sim 23\text{HU}$ になる。

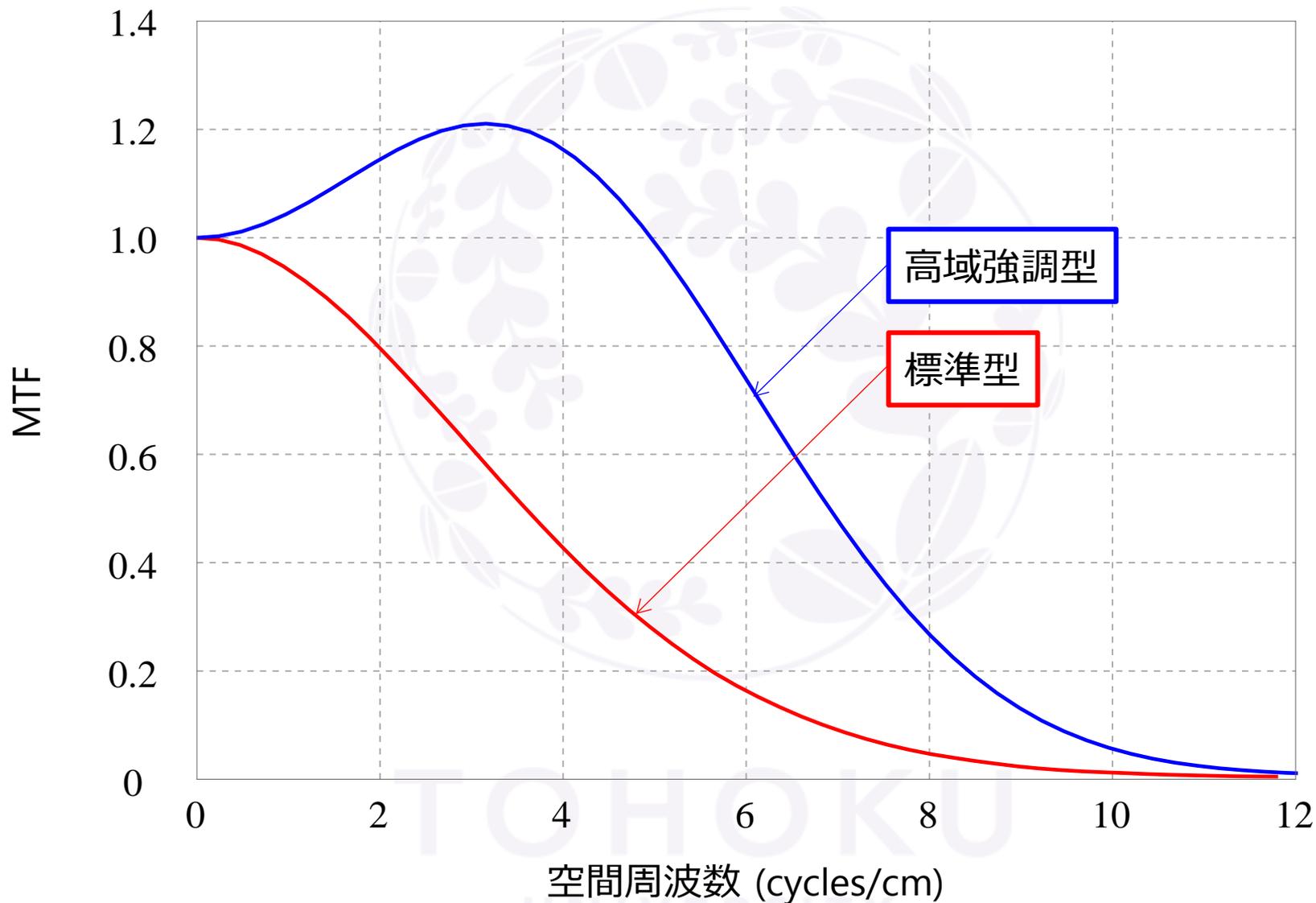


逆投影再構成画像の画質挙動

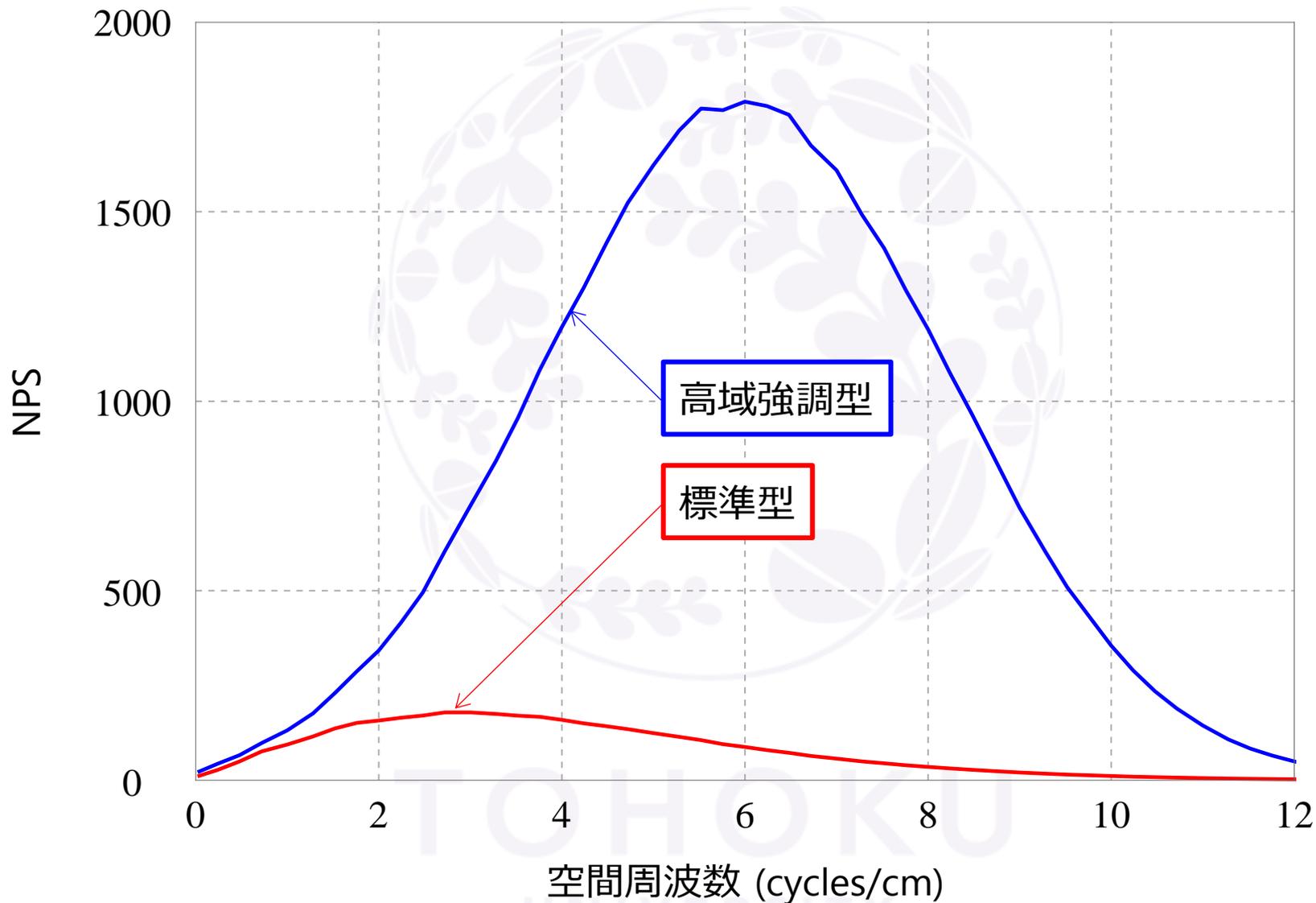
- 信号雑音比の周波数特性は再構成関数に依存しない。
 - 信号雑音比の周波数特性： $SNR(f)$
 - MTFとNPSを総合した評価指標。
 - 以下の式により求められる。

$$SNR(f) = \sqrt{\frac{MTF^2(f)}{NPS(f)}}$$

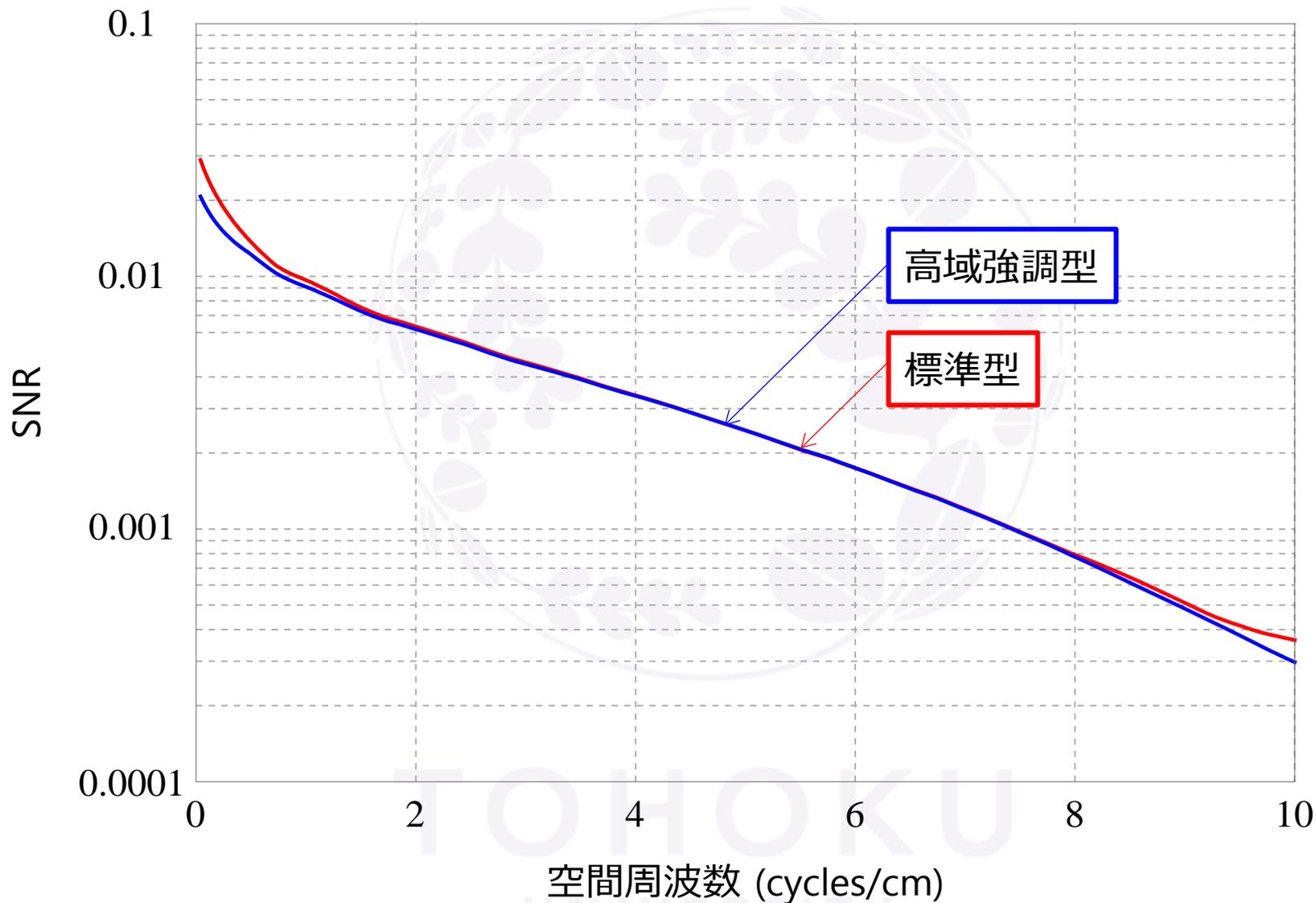
MTF : 再構成関数の違い



NPS : 再構成関数の違い



SNR : 再構成関数の違い

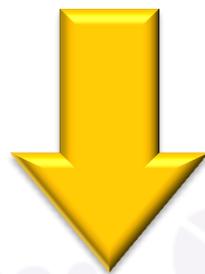


まとめ：逆投影再構成法

- 線形処理により画像が得られる。
 - コンボリューション処理
 - フーリエ変換
 - 逆投影（加算処理）
- 線形性が崩れるとアーチファクトになる。

まとめ：逆投影再構成画像の画質挙動

- 再構成関数を変えて...
 - 分解能を向上させようとする、雑音増加。
 - 雑音を低減しようとする、ぼけを伴う。



再構成関数を変えても、総合的に画質評価すれば損得なし



むすび丸

復興へ
頑張ろう！

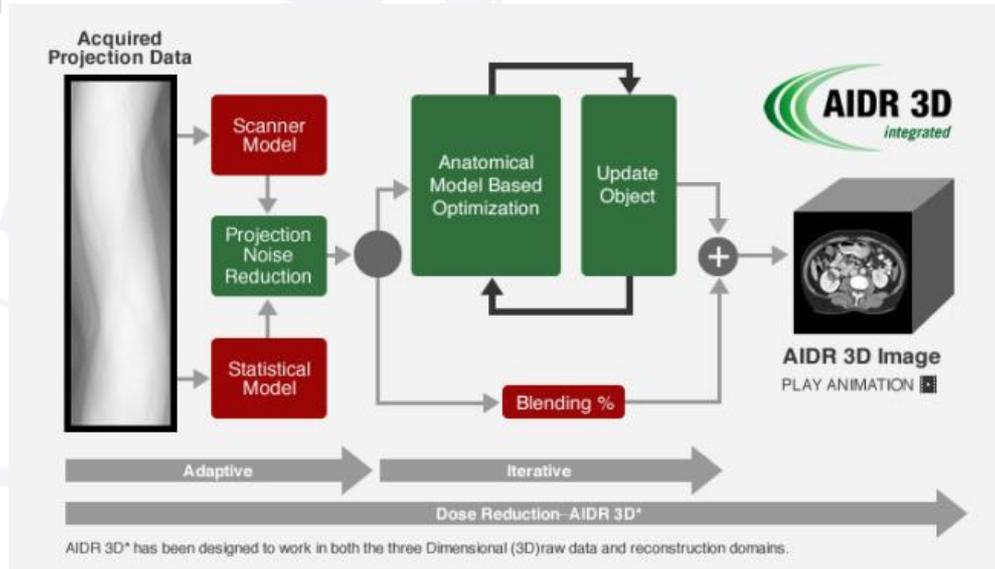
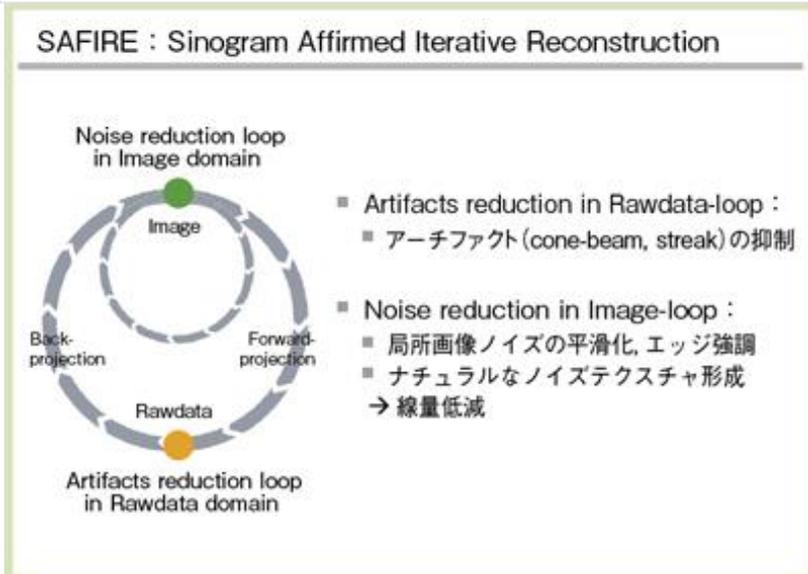
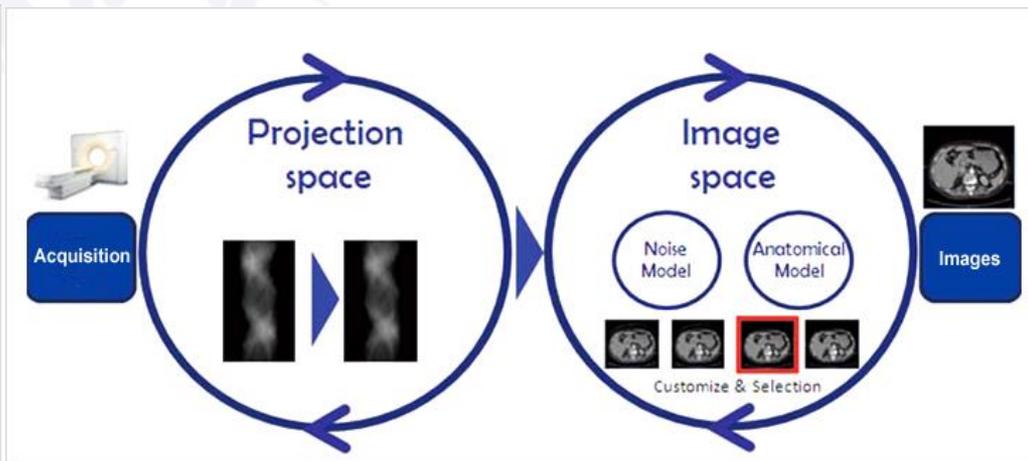
みやぎ

本日の内容

- 臨床例 (大動脈3D)
- フィルタ補正逆投影法の再考
- **逐次近似応用再構成法の画質評価**
- 臨床例 (小児の肺動静脈・大動脈3D)

逐次近似応用再構成法

- The technical details are often a mystery...²⁾



逐次近似応用再構成法

- 本質的にはフィルタ補正逆投影法
- 投影データと画像データに対する画質改善処理
- 考えられる処理内容
 - 投影データ：主に投影データの品質改善処理
 - 画像データ：主に非線形雑音低減処理
- 得られる効果
 - アーチファクトの抑制と画像雑音の低減

画質評価@逐次近似応用再構成の問題点

- 逐次近似応用再構成（以下、IR）法は、線形性が成立しない³⁾。
 - IR法による画質改善効果は、被写体構造や再構成条件によって複雑に変化（以下、非線形挙動）。
- 非線形挙動を示す画質を、線形挙動を前提にした物理指標で評価しても、普遍性のある評価が不可能。
 - 線型挙動を示す物理指標：MTF, NPS, SD, CNR, SNR, etc.
 - 以後、上記のような問題を非線形問題という。

TOHOKU

画質評価@逐次近似応用再構成の妥協策

- 既存の物理指標により評価する場合の前提条件
 - 臨床運用（評価目的）に即した条件で評価。
 - MTF : 目的にあったコントラスト・雑音レベル・再構成視野の画像から計測
 - NPS : 目的に合った雑音レベル・再構成視野の画像から計測
- 視覚的評価
 - 最も臨床を反映した評価。
 - 客観性のあるデータをそろえるには、かなりの時間と労力が必要。

本日の内容

- 臨床例 (大動脈3D)
- フィルタ補正逆投影法の再考
- 逐次近似応用再構成法の画質評価
- 臨床例 (小児の肺動静脈・大動脈3D)

臨床例 (小児)

■ 患者情報

- 依頼科 : 小児外科 (外来)
- 年齢/性別 : 0歳10か月/男性
- 体重 : 4.5kg

■ 撮影部位 : 胸部 (造影)

- 臨床診断 : 肺分画症疑い
- 検査目的 : 分画肺の性状、動静脈の走行、気管支の走行の評価、および血管の3D構築

肺分画症

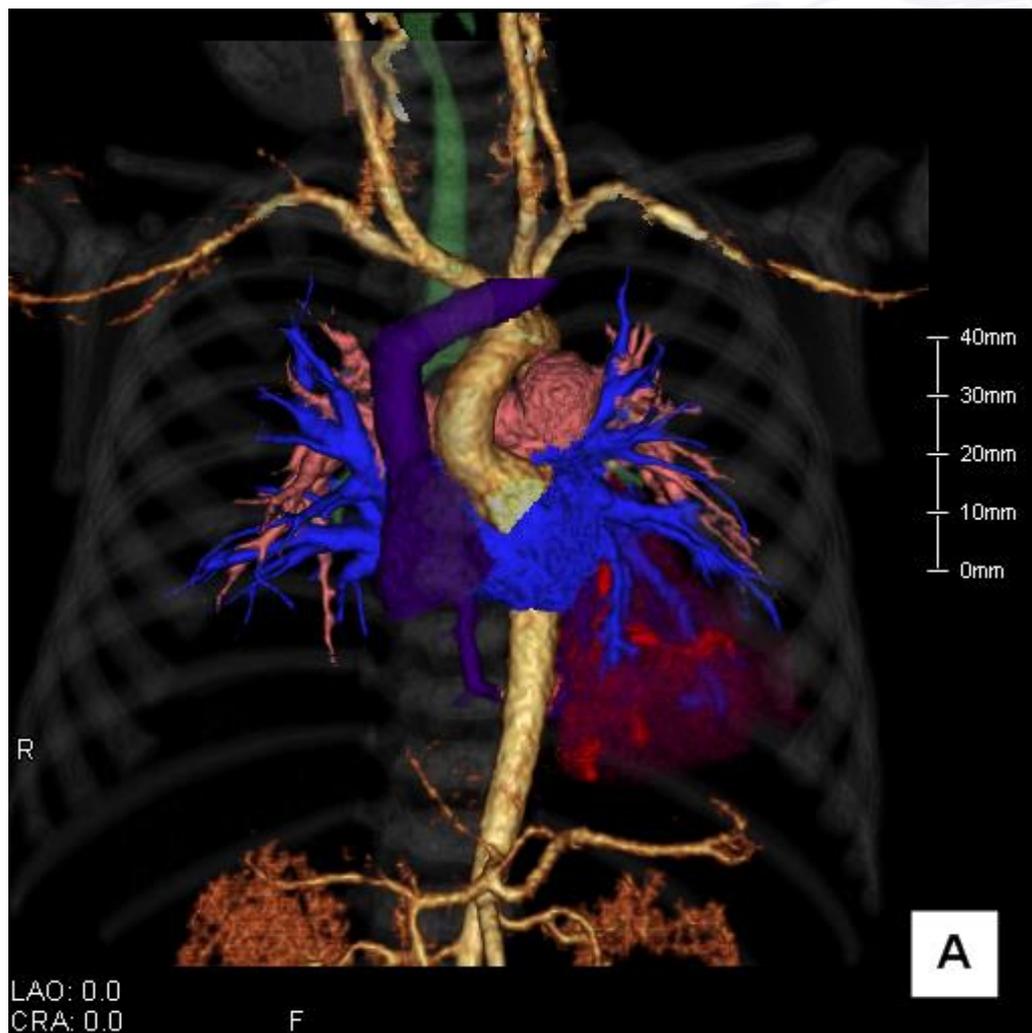


Axial



Coronal

肺動静脈・大動脈3D



管電圧 : 80kV

Quality ref. mAs : 120mAs@120kV

回転時間 : 0.28秒

収集 : 0.6mm×128列

撮影長 : 200mm

撮影時間 : 0.88秒

CTDI_{vol} : 0.39mGy@32cm ϕ

DLP : 8mGy · cm

再構成スライス厚 : 1mm

再構成関数 : I30f

SAFIRE : Strength 3

造影剤濃度 : 300mgI/mL

注入速度 : 1.0mL/秒

注入量 : 9mL

スキャン方式 : Flash spiral

まとめ：逐次近似応用再構成法の臨床応用

- 見えているものを、より見やすくする処理。
 - 見えないものを見えるようにする処理ではない。
 - 微細構造を見えにくくすることもあり得る。
- 拳動を把握すれば、雑音低減が可能。
 - 画像雑音、構造物に依存して効果が変化。
 - 強すぎる処理は逆効果。
- 検査目的や患者の年齢を考え、処理強度を選択。
 - 一般運用では、処理強度は弱く。
 - 幼児・小児には中等度の処理強度。

さいごに

- 撮影線量の見直し
 - AECの条件設定の妥当性を確認
 - 再構成関数
 - 基準線量（基準雑音量）
 - スライス厚
 - 非線形処理の有無
- 控えめなIR法の処理強度
 - 程々の処理強度で、程々の線量低減効果

ご清聴ありがとうございました

これからも、共に生きる。

100th

東北大学病院開設百周年

The 100th anniversary of Tohoku University Hospital

百周年記念事業寄附



Tohoku University Hospital since 1915