

# 4. 圧縮センシング

## ——臨床MRI検査への応用

増井 孝之\*<sup>1</sup>/三好 光晴\*<sup>2</sup>/竹井 直行\*<sup>2</sup>\*<sup>1</sup> 聖隷浜松病院放射線科 \*<sup>2</sup> GE ヘルスケア・ジャパン(株) 研究開発部

圧縮センシングは、数学、工学、コンピュータ科学、天文学、医学など、大量のデータを扱う分野で応用されることが期待され、2006年頃から急速にその研究が展開された<sup>1),2)</sup>。データの性状から、MR画像は圧縮センシングを適用しやすく、新しい高速画像法として注目されている<sup>3),4)</sup>。すでに多くの研究成果や総説が発表され、本誌2013年9月号「Step up MRI」特集でも、圧縮センシングの技術が概説されている<sup>5)</sup>。本稿では、圧縮センシングの簡単な説明と、その臨床画像や画像再構成時間の現状について述べる。

### 圧縮センシングとは<sup>4)</sup>

圧縮センシングは、対象となる信号をできるだけ少ない観察から、復元する技術である。圧縮技術の多くは、いったん観察信号を大容量のデータとして取得した後に圧縮削減するが、圧縮センシングは観察と圧縮を同時に行い、効率的にデータの取得を行うため、大容量で冗長なデータ取得を制限できる利点がある。圧縮センシングが有効に働くためには、「スパース(疎)性」「k-space上でのランダムサンプリング」「ノイズ除去のための繰り返し計算」という条件を満たす必要がある。

#### 1. スパース(疎)性

スパース性とは、ゼロ成分が多く含まれる性質を示し、圧縮センシングではゼロ成分のデータを削減してもキーとなる非ゼロ成分から信号の復元が可能となる。

わかりやすくするために、MRIのデータに絞って話を進める。すべての画像が、スパースなデータから成り立っているわけではないため、画像をスパースなデータに変換する必要がある。理想的なMR画像では、同じ組織の信号強度は等しく、組織の境界でのみ信号強度が変化すると考えられ、境界の位置が重要な情報となる。画像を境界とそれ以外の情報に分離するような画像変換を行えば、スパース性が高くなり、少ない情報から理想的な画像を再現できる。画像の境界の情報を分離する方法の代表例としては、wavelet変換や画像の微分などが用いられている。これらの変換により、境界は非ゼロ成分として認識され、境界がない(信号強度の差がない、またはほとんどない)場合はゼロ成分あるいは閾値以下となり、この領域はノイズとして認識される。MR画像では、軟部組織の多くはそれぞれ近い信号強度を持つため、wavelet変換により得られたデータはゼロ成分が多く、スパースとなる。

#### 2. k-space上でのランダムサンプリング

MR撮像では、k-spaceを埋めるようにデータサンプリングを行う。撮像時間を短縮するには、k-spaceデータのサンプリング数を減らす必要がある。サンプリング数を減らすとき、規則正しくk-spaceデータを間引いてしまうと、フーリエ変換後の画像は周期性を持つ折り返しアーチファクトになってしまう。一方、k-spaceデータをランダムに間引いてサンプリ

ング後にフーリエ変換した場合、MR信号の多くは元の位置に画像再構成されるが、一部の信号は周期性を持たず、全体に散らばったノイズのようなアーチファクトとなる。元の位置にある信号とノイズは差を持っているため、下記のように閾値を設定して繰り返し計算をすることにより、元の位置にある信号を取り出すことができる。このように、k-spaceデータをランダムサンプリングすることが圧縮センシングを行うのに必要な要件となる。

#### 3. ノイズ除去のための繰り返し計算

ノイズを除去する繰り返し計算では、wavelet変換などを行った後に閾値を設定し、閾値を超える信号のみをデータとして採用していく。閾値が適正であるか否かは、ノイズを除去したMR画像を逆フーリエ変換した場合に、元のサンプリングデータとの差がより小さくなること(consistency)や、wavelet変換後のデータがよりスパースになること(sparsity)から判断する。wavelet変換後のデータの各絶対値の和(L1 norm)がより小さいことや、閾値以下の点が多く存在することが、sparsityの判断基準となる。

### 圧縮センシングと パラレルイメージング

MRI領域での圧縮センシングは、高速画像法の一つとして位置づけられる。ほとんどの撮像シーケンスで併用されているパラレルイメージングは、高いaccel-