

3次元ボリュームデータ処理

金子邦彦



3次元ボクセルデータ処理入門



学習目標

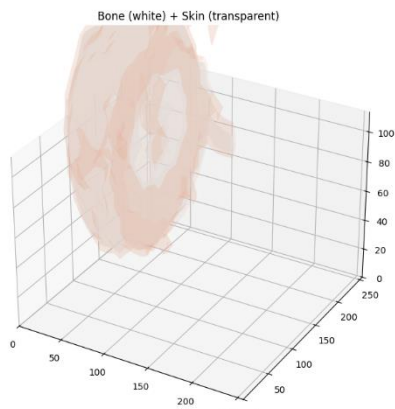
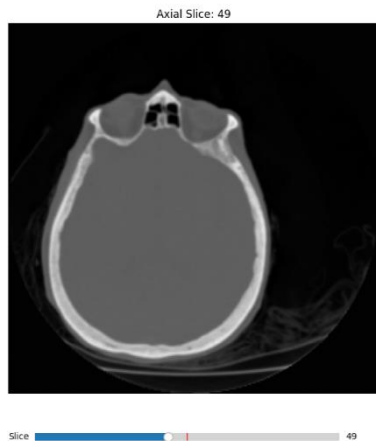
- 3次元ボクセルデータの構造
- 可視化手法（断層表示・等値面表示）
- 空間フィルタリングと補間の原理

使用データ

データ名 CThead（人体頭部CTスキャン）

解像度 256 × 256 × 113 ボクセル

提供元 Stanford Volume Data Archive

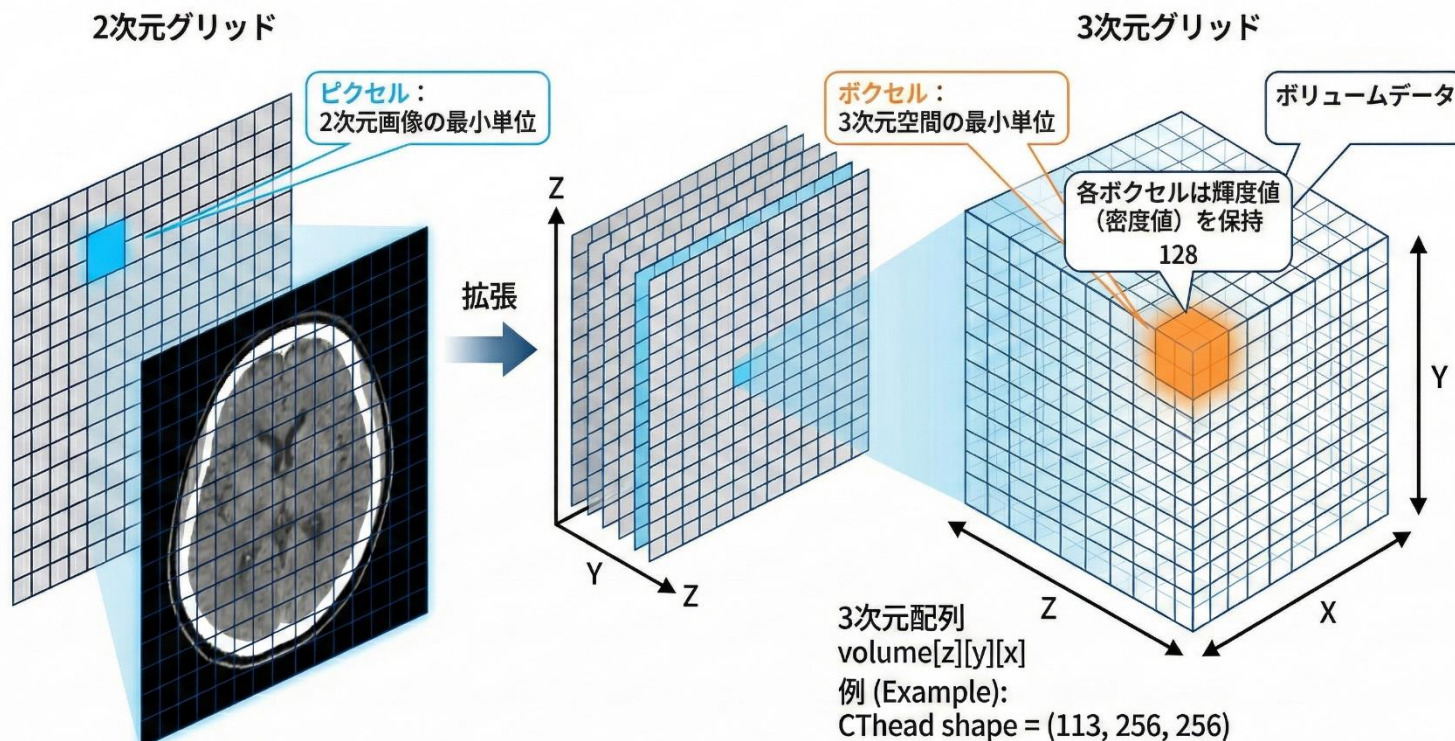


ボクセルとボリュームデータ

ピクセルからボクセルへ

- **ピクセル** (pixel) : **2次元画像**の最小単位
- **ボクセル** (voxel) : **3次元空間**の最小単位

CTheadの場合 : shape = (113, 256, 256)



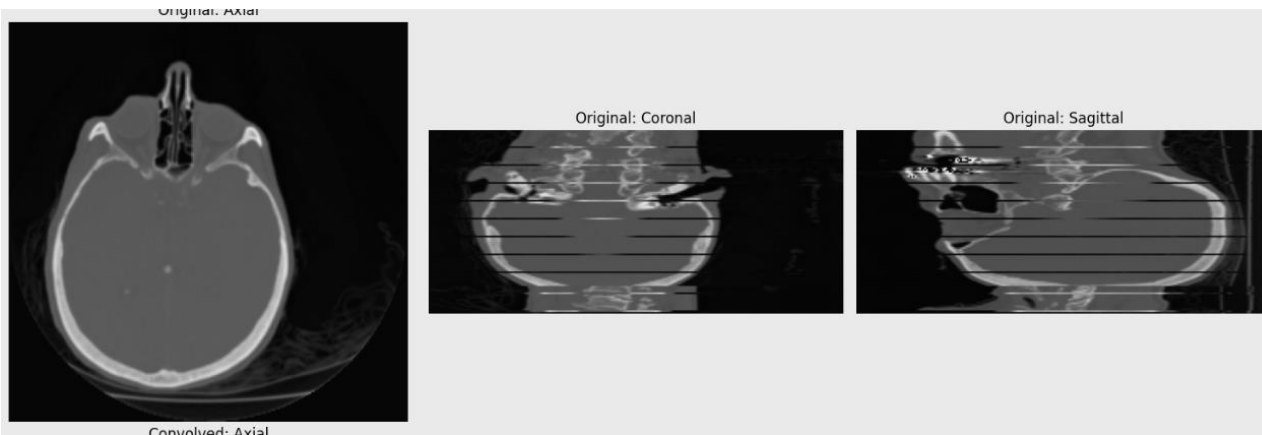
3次元座標系と断面

座標軸

- x軸：左右方向
- y軸：前後方向
- z軸：上下方向

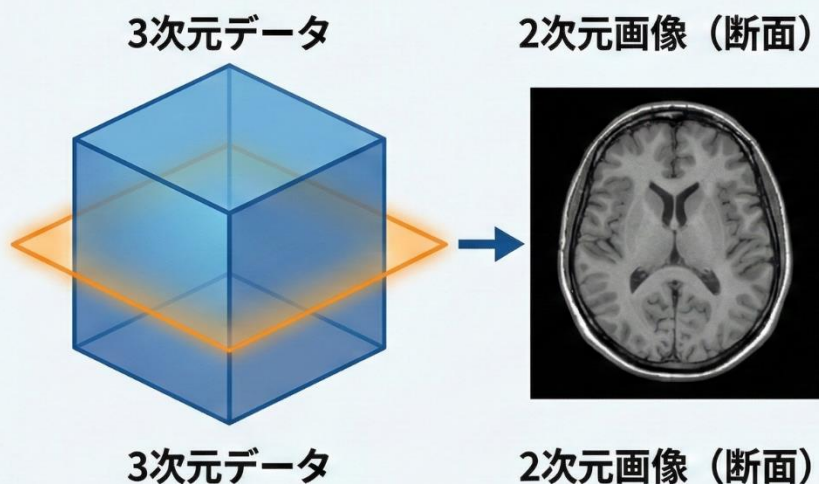
3つの断面

- Axial z軸に垂直 水平断
- Coronal y軸に垂直 冠状断
- Sagittal x軸に垂直 矢状断



断層表示

概要



- 3次元データを特定の平面で切断
- 断面のボクセル値を2次元画像として表示

特徴



- 任意の位置でスライス可能



- CT・MRI診断の標準的観察方法

実装 (Python例)



Axial断面

```
volume[z, :, :]
```



Coronal断面

```
volume[:, y, :]
```



Sagittal断面

```
volume[:, :, x]
```

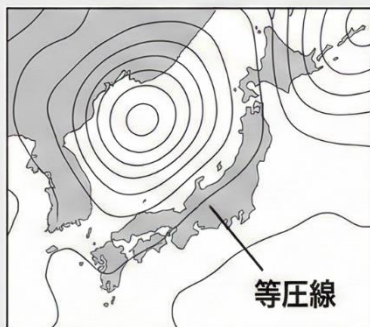
等値面表示

等値面とは：同一輝度値の点を結んだ3次元曲面

等値面とは

2次元：天気図の等圧線

3次元：等値面（3次元曲面）



同一輝度値の点を結んだ3次元曲面

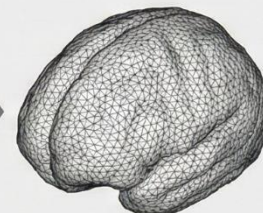
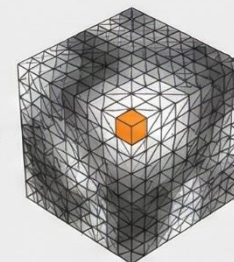
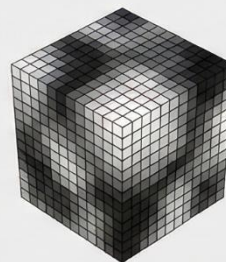
内部構造の観察を可能にする手法

Marching Cubesアルゴリズム

ボクセルデータ

ポリゴンメッシュ生成

ポリゴンメッシュ
(三角形の集合)

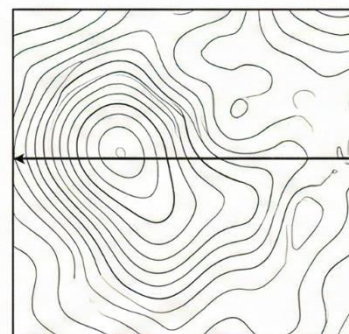



ボクセルデータから
ポリゴンメッシュを生成

三角形の集合で
構成される表面

閾値 (level) で抽出対象を制御

| 閾値 (level) | 抽出される組織 |
|------------|--|
| 約800 |  骨 (Bone)   |
| 約400 |  皮膚・軟部組織 (Skin/Soft Tissue)   |



骨  皮膚



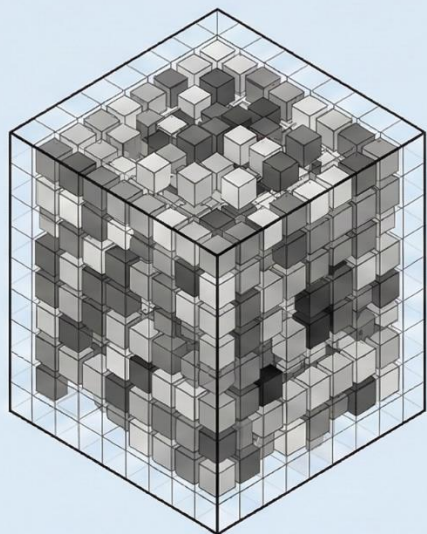
骨と皮膚の重ね合わせ表示

左：2次元での等高線、右：3次元での等値面（骨と皮膚の重ね合わせ表示）

3次元ボリュームデータのポリゴン化 (Marching Cubes法)

① ボリュームデータ

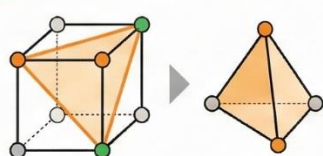
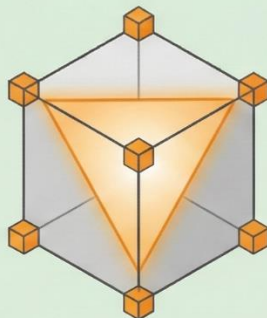
ボクセル (輝度値を持つ3D配列)



3次元配列として格納

② Marching Cubes法

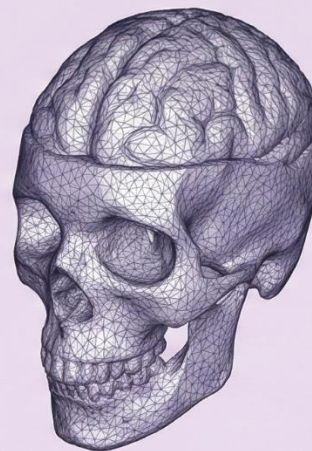
閾値 (レベル) で判定し、
ポリゴンを生成



ボクセル毎に三角形を決定

③ ポリゴンメッシュ

三角形の集合で
構成される表面



等値面 (同一輝度値の3D曲面)

④ 具体例 (閾値による抽出)

低閾値: 皮膚・軟部組織



約400



高閾値: 骨



約800



定義

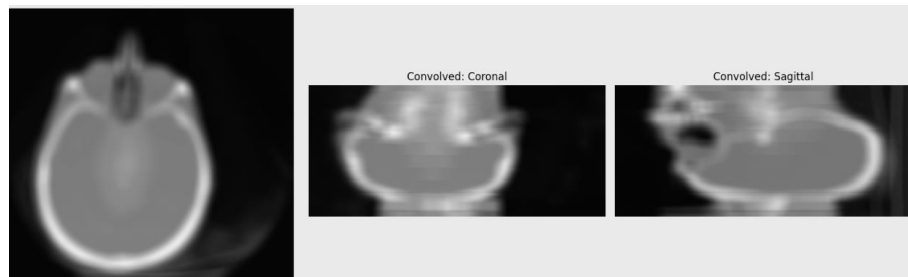
- カーネル（重み付けに用いる小配列）をデータ上でスライド
- 対応要素の積の総和を出力

3次元畳み込みの計算

$$\text{output}(z, y, x) = \sum_{i,j,k} \text{kernel}(i, j, k) \times \text{input}(z + i, y + j, x + k)$$

カーネル例：平均化フィルタ

- サイズ： $11 \times 11 \times 11$
- 全要素： $1/1331$
- 効果：周囲1331ボクセルの平均値で置換



平滑化 (ガウシアンフィルタ)



原理

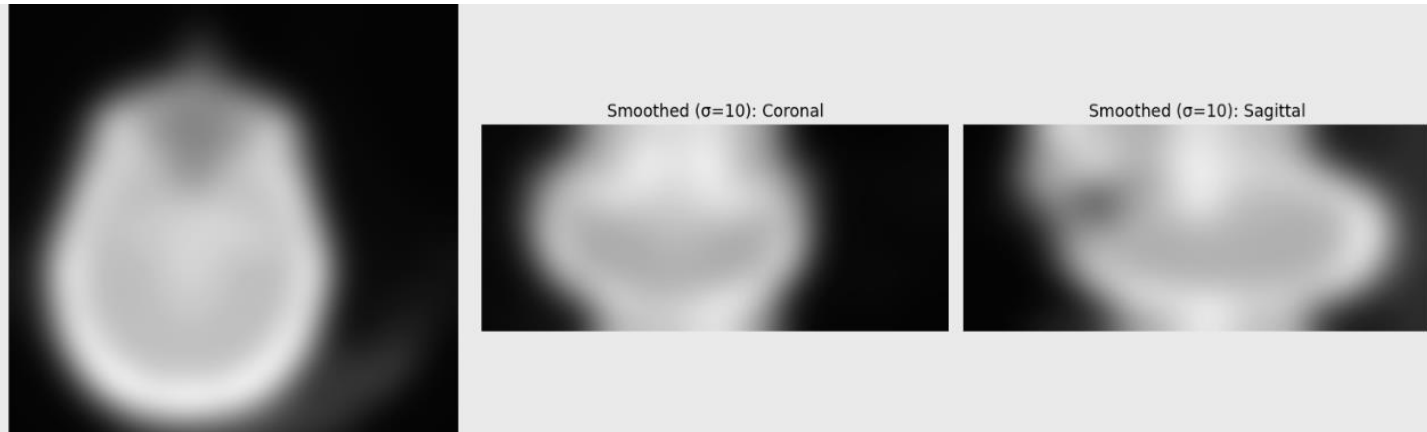
- **正規分布に基づく重み付け平均**
- 中心に近いほど重みが大い

パラメータ σ の効果

- σ (シグマ) は標準偏差を表し、**ぼかしの強さ**を制御する。

小 弱いぼかし、細部保持

大 強いぼかし、ノイズ除去



勾配ベクトル

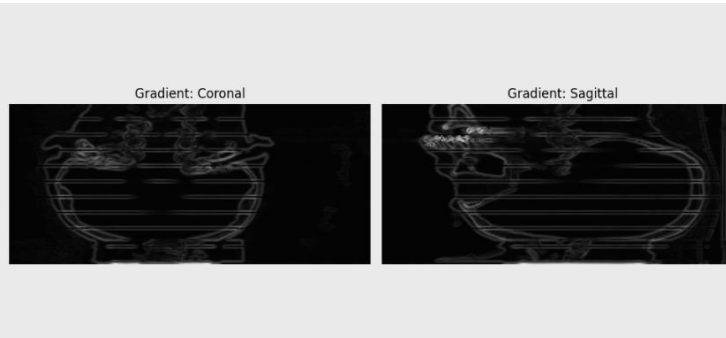
$$\nabla f = \left(\frac{\partial f}{\partial x'}, \frac{\partial f}{\partial y'}, \frac{\partial f}{\partial z} \right)$$

勾配の大きさ

$$|\nabla f| = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z} \right)^2}$$

意味

- 輝度変化の激しさを数値化
- 大きい箇所 = **組織境界（エッジ）** であり、**領域分割の手がかり**となる

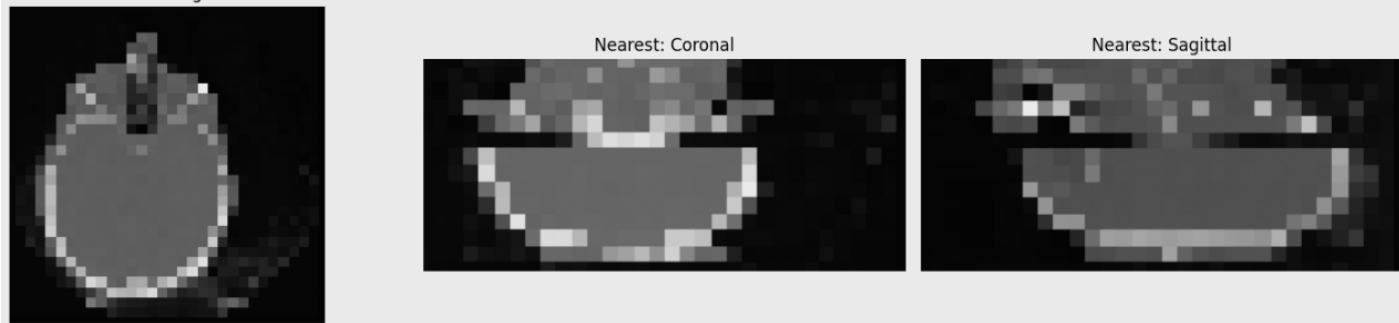


目的

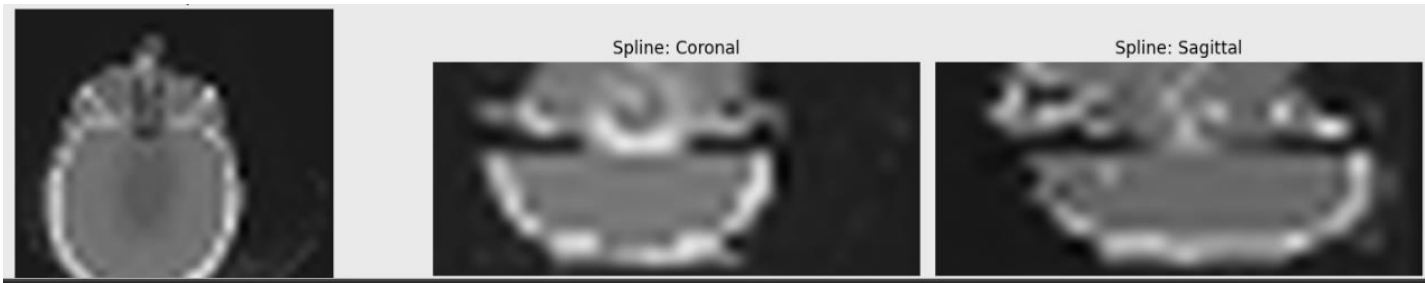
- 離散データ点間の値を推定
- 解像度変更（拡大・縮小）に必須

手法の比較

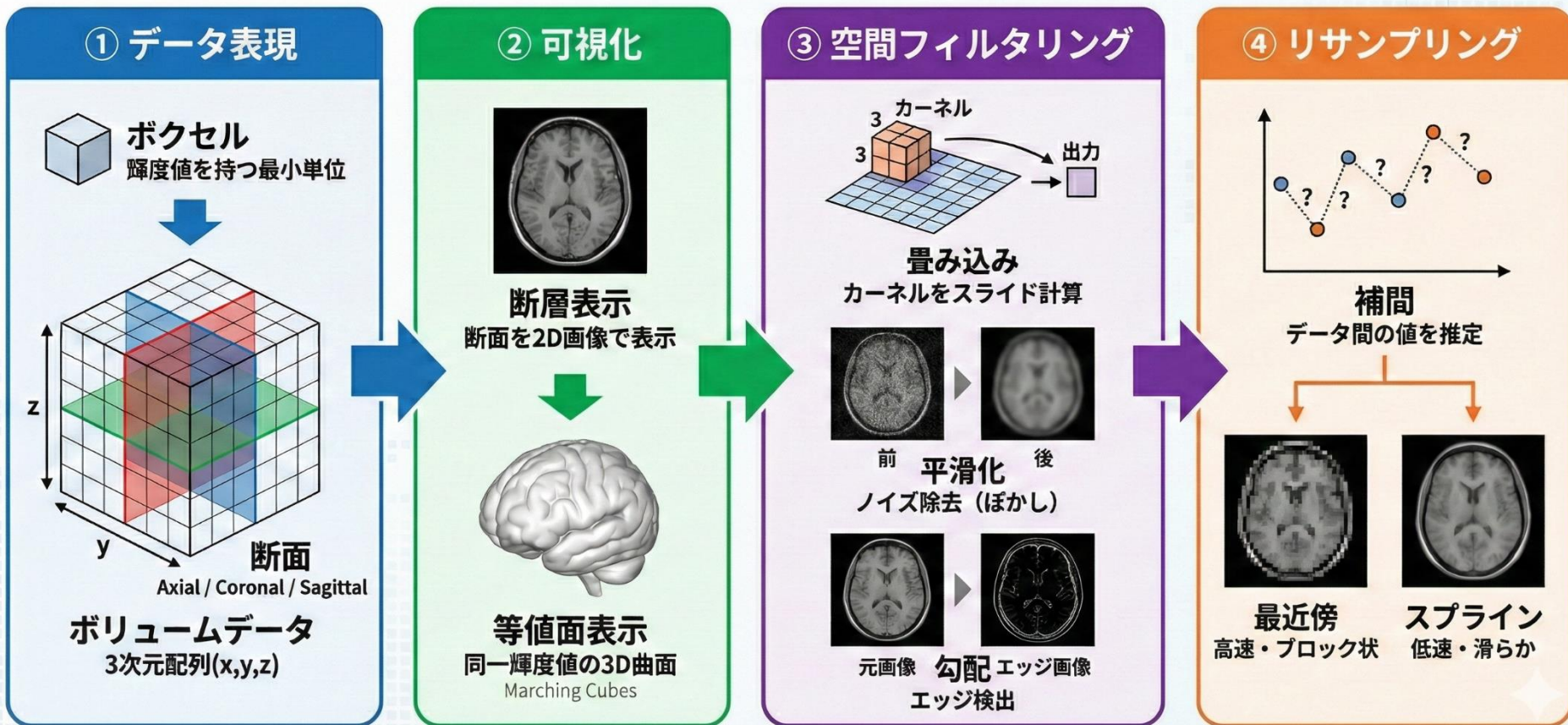
- **最近傍補間** 最も近い点の値を使用、高速、ブロック状



- **3次スプライン補間** 周囲点から3次多項式で推定、低速、滑らか



3次元ボリュームデータ処理の全体像



図解は Nano Banana Pro を用いて作成