

画像の品質確認

2014年12月13日(土)第7回包括脳MRI脳画像解析チュートリアル

岩手医科大学 医歯薬総合研究所 超高磁場MRI診断・病態研究部門
山下 典生

VBMにおける画像品質確認(Quality Check, QC)の重要性

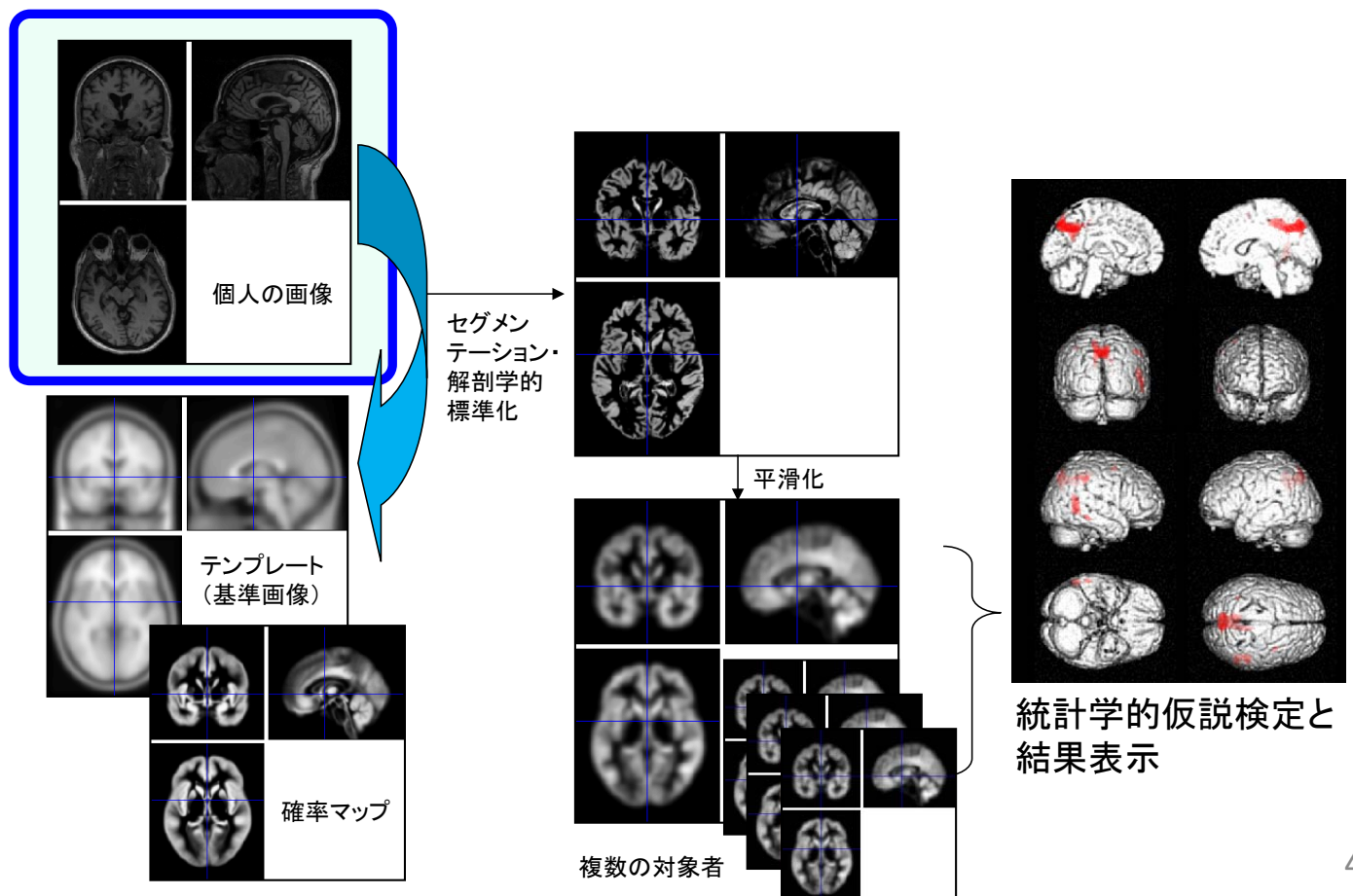
- VBMの解析手順には自動処理が多く、通常多人数のデータを取り扱うため細部の確認が疎かになりがち
- VBM解析の精度は原画像の品質や計算アルゴリズムの内容に大きく依存するため、各工程の品質チェックはとても重要
- さらに近年では、細かな形態変化を見出すような研究が増えてきており、解析精度を高めるため品質管理の重要性が増している

VBMの画像QC

- まず何よりも原画像をチェック
 - 良い品質の画像が安定して得られているか？
 - 撮像パラメータは一定か？
 - 複数の装置のデータが混ざっていないか？
 - 各種アーチファクトや疾患・脳形態異常にも注意
- 続いて前処理結果のチェック
 - セグメンテーションはうまく行われているか？
 - 解剖学的標準化はうまく行われているか？

3

VBMのQC① 原画像のチェック



4

VBMのQC① 原画像のチェック

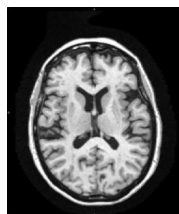
- まずは撮像条件のチェック
 - パルスシーケンス
 - 撮像パラメータ
 - 撮像方向
- 画質のチェック
 - 信号雑音比
 - 組織間コントラスト、特に灰白質対白質
 - アーチファクト(磁化率、体動、フロー、信号むら、幾何歪み etc.)
 - ケミカルシフト
- 疾患・形態異常のチェック
- 解析用フォーマット(NifTI)への変換後、画像原点と向きをチェック

5

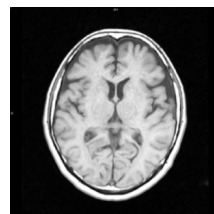
まずは撮像条件のチェック

- MRの撮像法は大別してスピンエコー(SE)法とグラディエントエコー(GRE)法がある

3D GRE法



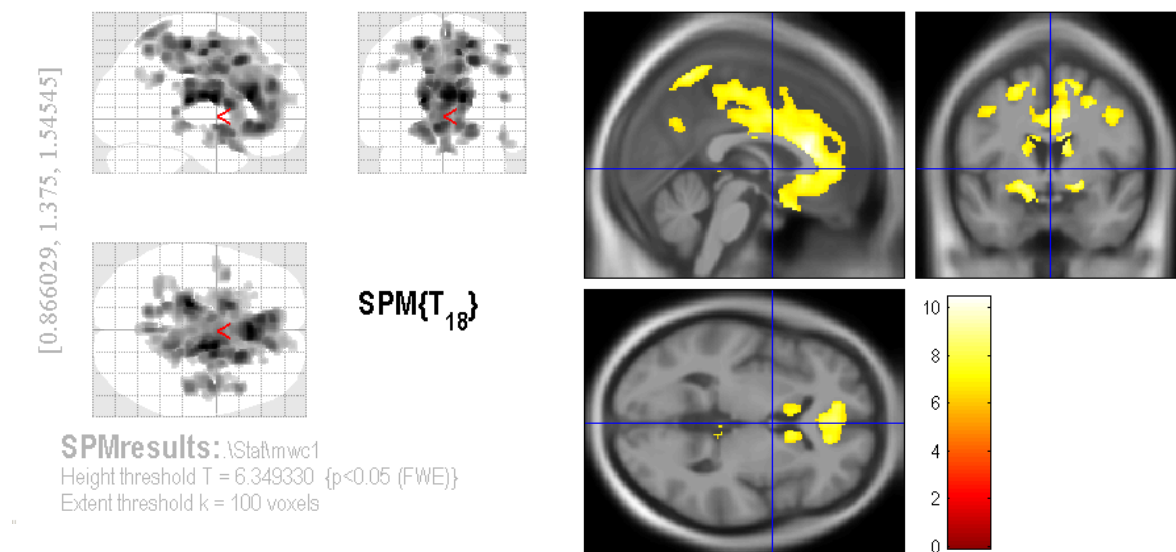
2D 高速SE法



- 脳形態解析に用いられる3DT1強調画像は通常矢状断撮像のグラディエントエコー法
- 撮像条件によって組織間のコントラスト(VBMでは特に灰白質/白質)、アーチファクトの出方が違うので注意を要する

6

とある群間比較結果



実は・・・同一被験者、同一装置での撮像条件の差 (n = 19)

条件1: TR 8.4ms TE 3.2ms TI 400ms FA 11° スライス厚 1.6mm axial撮像 パラレルイメージングなし

条件2: TR 7.6ms TE 3.1ms TI 400ms FA 12° スライス厚 1.2mm sagittal撮像 パラレルイメージングあり

同一装置でもちょっとした撮像パラメータの違いで大きな差に！

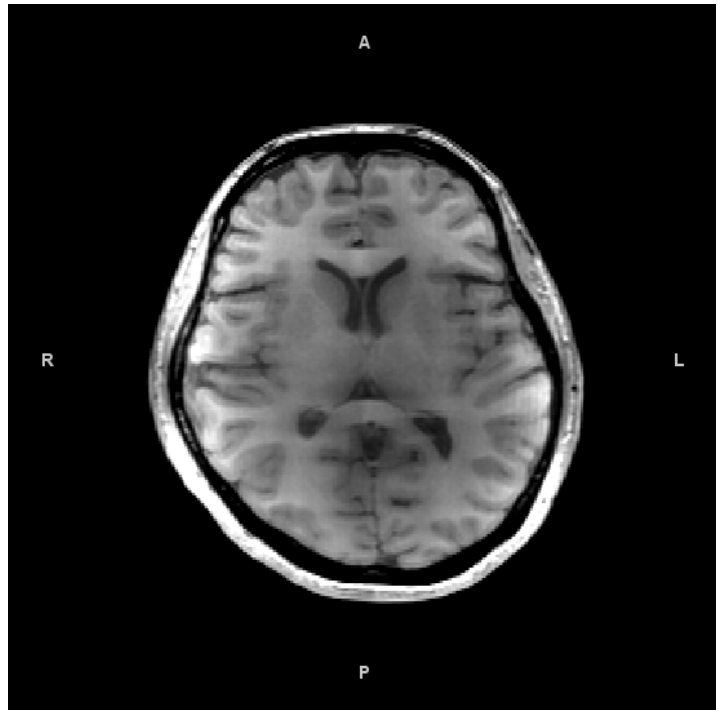
7

撮像条件のチェック – 撮像パラメータ

- Alzheimer's Disease Neuroimaging Initiative等、多施設脳画像研究が装置別の3DT1強調のパラメータを公開。
特別な理由がない限り倣うのが吉
- TR、TE、Flip angle、受信バンド幅などが画質に大きく影響。
同一装置を使っている装置のメンテナンス、ソフトウェアのメジャーバージョンアップなどで多少変化する事もあるのでデータ収集が長期間に渡る場合は特に注意が必要
- 周波数エンコードの信号読み出し方向にケミカルシフトの向きが依存。円蓋部、頭蓋底などに影響が大きく出るため注意を払う

撮像条件調整例(3T) – 調整前

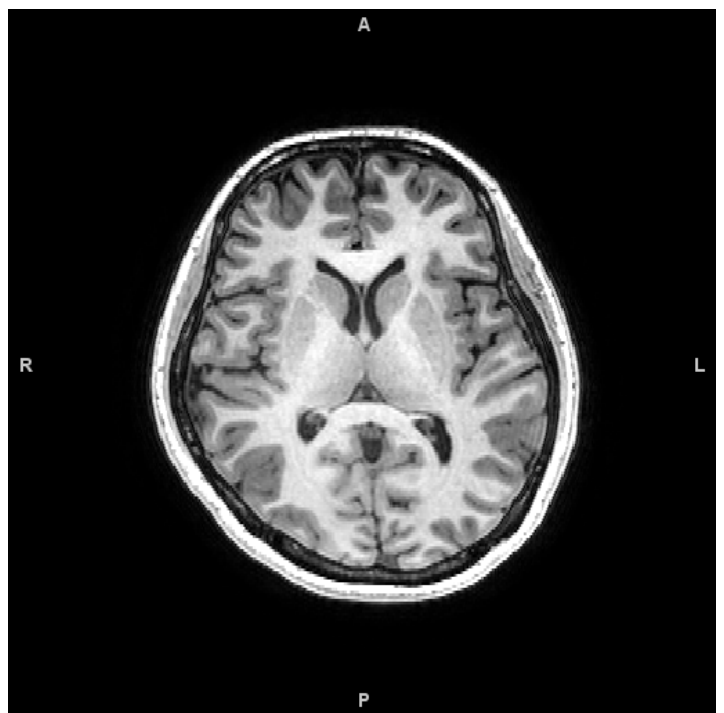
ReceiveCoilName	32Ch Head
AcquisitionMatrix	0 256 256 0
Rows	256
Columns	256
PixelSpacing	0.9766 0.9766
SliceThickness	1.4
SpacingBetweenSlices	0.699999
RepetitionTime	11.032
EchoTime	4.504
InversionTime	400
ReconstructionDiameter	250
NumberOfAverages	1
FlipAngle	25
EchoNumber	1
EchoTrainLength	1
PercentSampling	100
PercentPhaseFieldOfView	100
PixelBandwidth	150.234



9

撮像条件調整例(3T) – 調整後

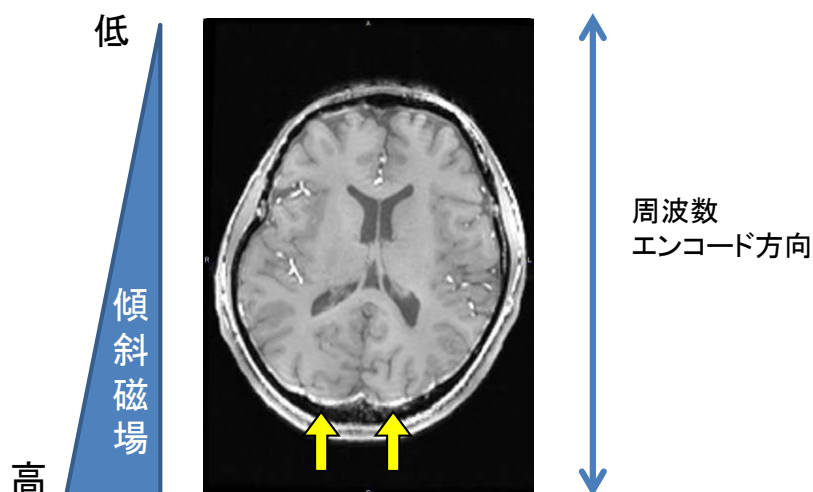
ReceiveCoilName	32Ch Head
AcquisitionMatrix	0 256 256 0
Rows	256
Columns	256
PixelSpacing	1.0547 1.0547
SliceThickness	1.2
SpacingBetweenSlices	0.600002
RepetitionTime	6.936
EchoTime	2.968
InversionTime	400
ReconstructionDiameter	270
NumberOfAverages	1
FlipAngle	11
EchoNumber	1
EchoTrainLength	1
PercentSampling	100
PercentPhaseFieldOfView	100
PixelBandwidth	244.141



10

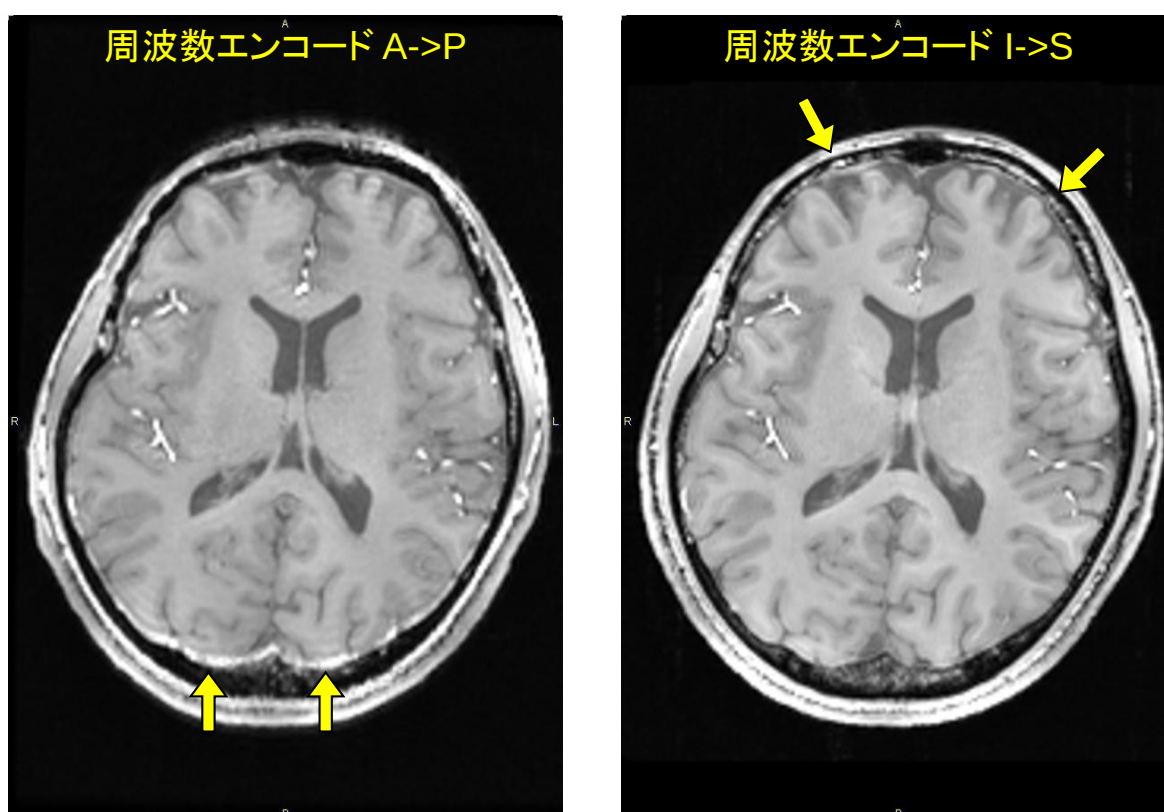
ケミカルシフトアーチファクト

- 脂肪成分等が本来の位置からずれて映る現象
- 周波数エンコード(信号読み出し)方向の、傾斜磁場の磁場が低い方に脂肪の位置がずれる



11

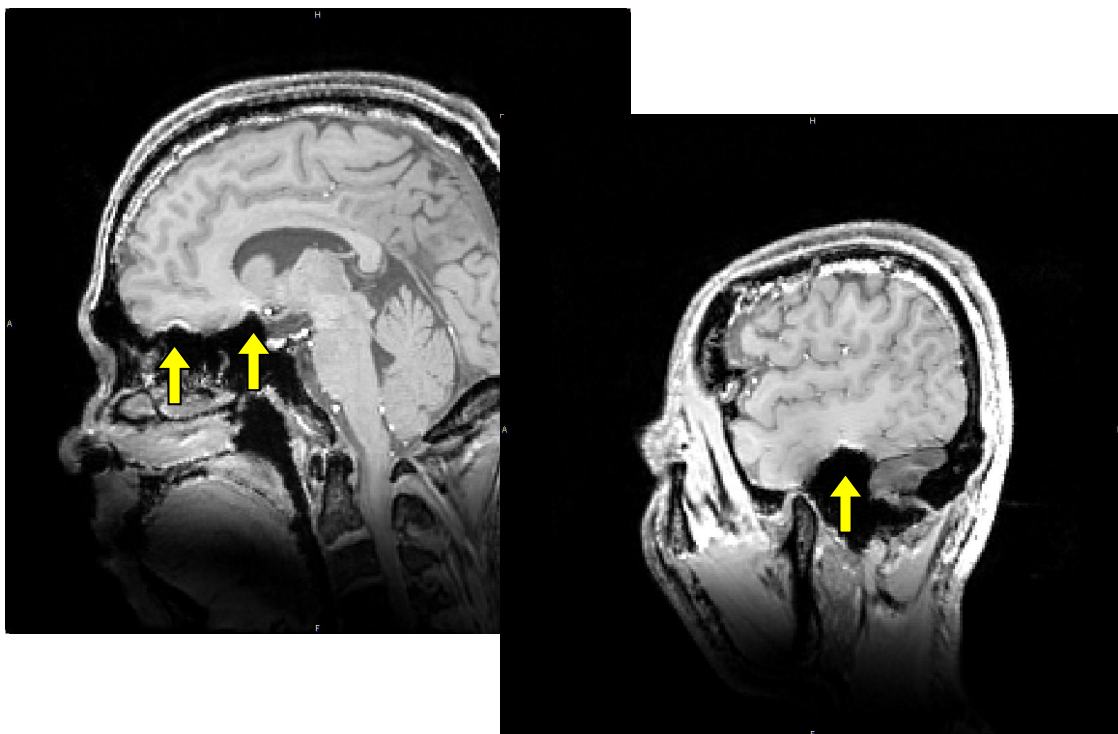
撮像方向によるケミカルシフトアーチファクトの差



12

磁化率アーチファクトによる信号抜け (7T)

- 磁化率アーチファクトも撮像方向に関係する。また、アーチファクトの強さは磁場強度に比例するため、磁場が高いほど注意を要する

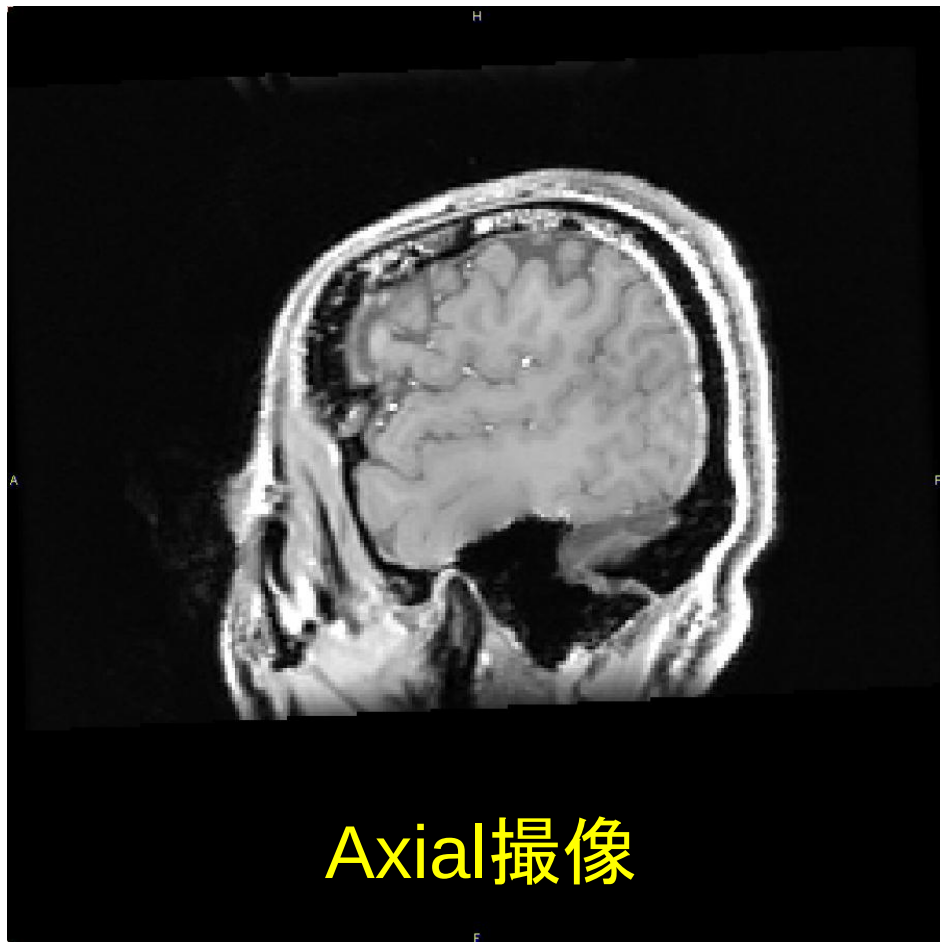


13

撮像方向によるケミカルシフト・磁化率アーチファクトの違い



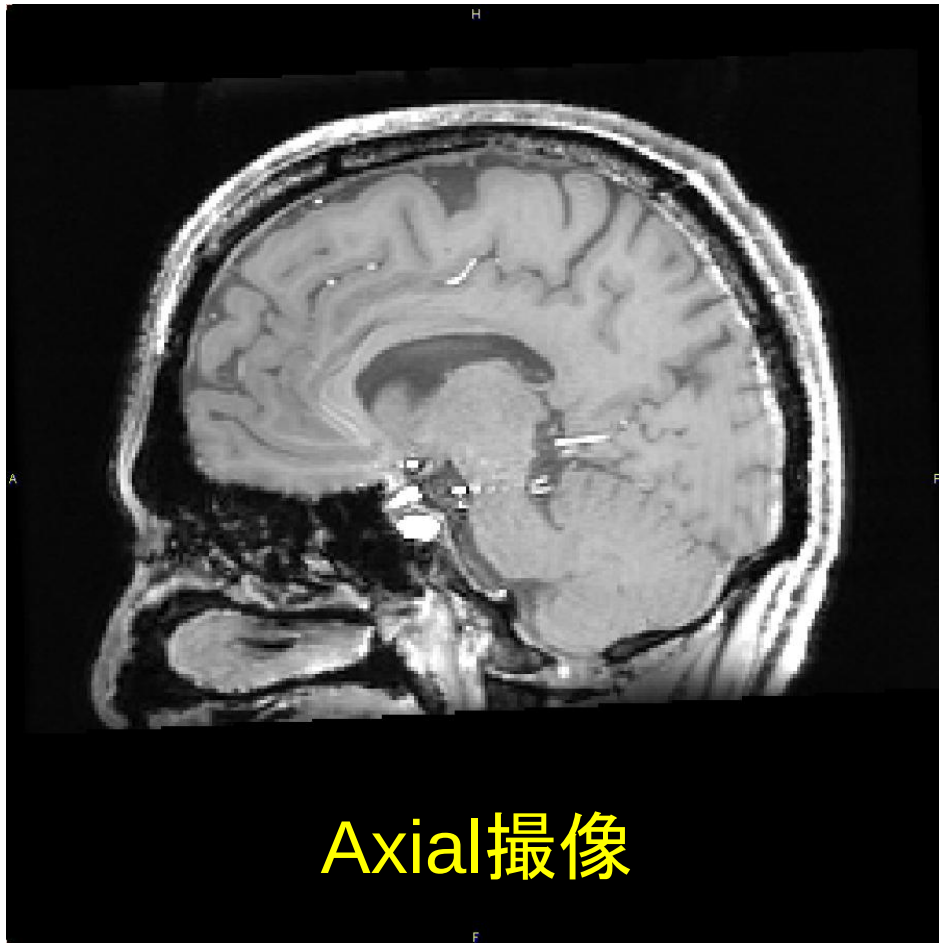
14



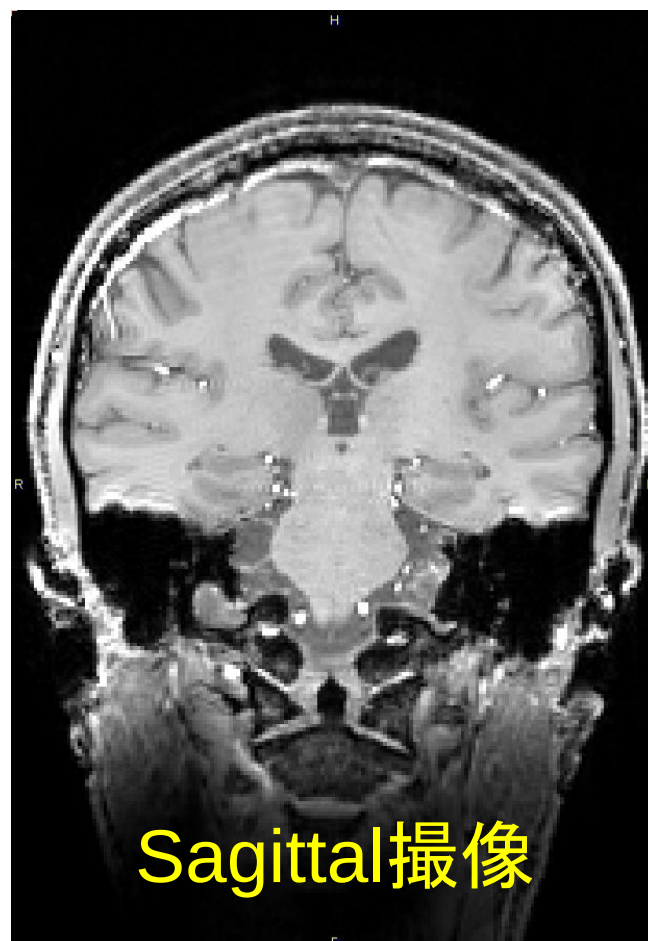
15



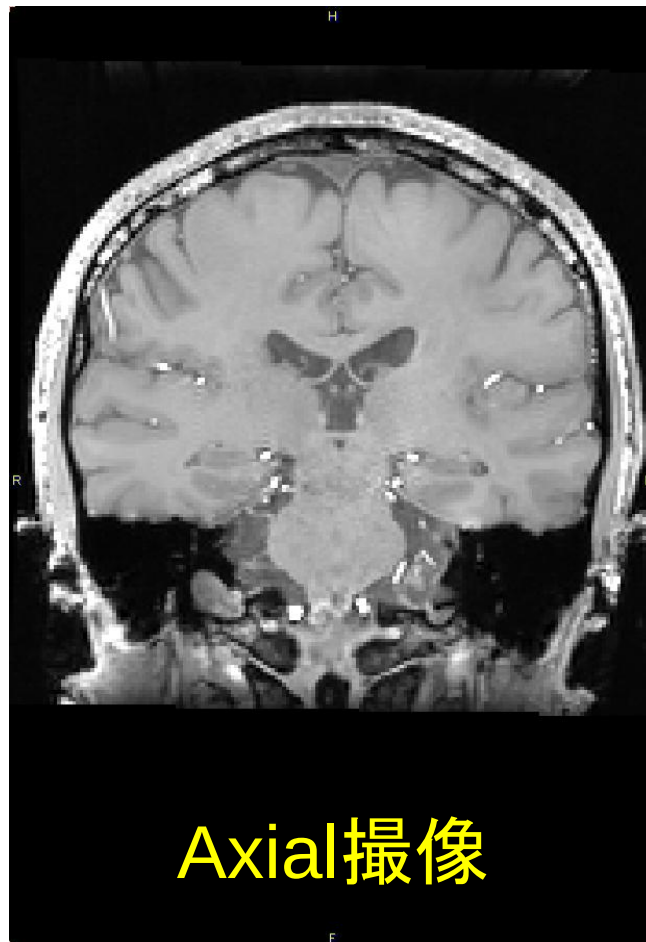
16



17



18



19

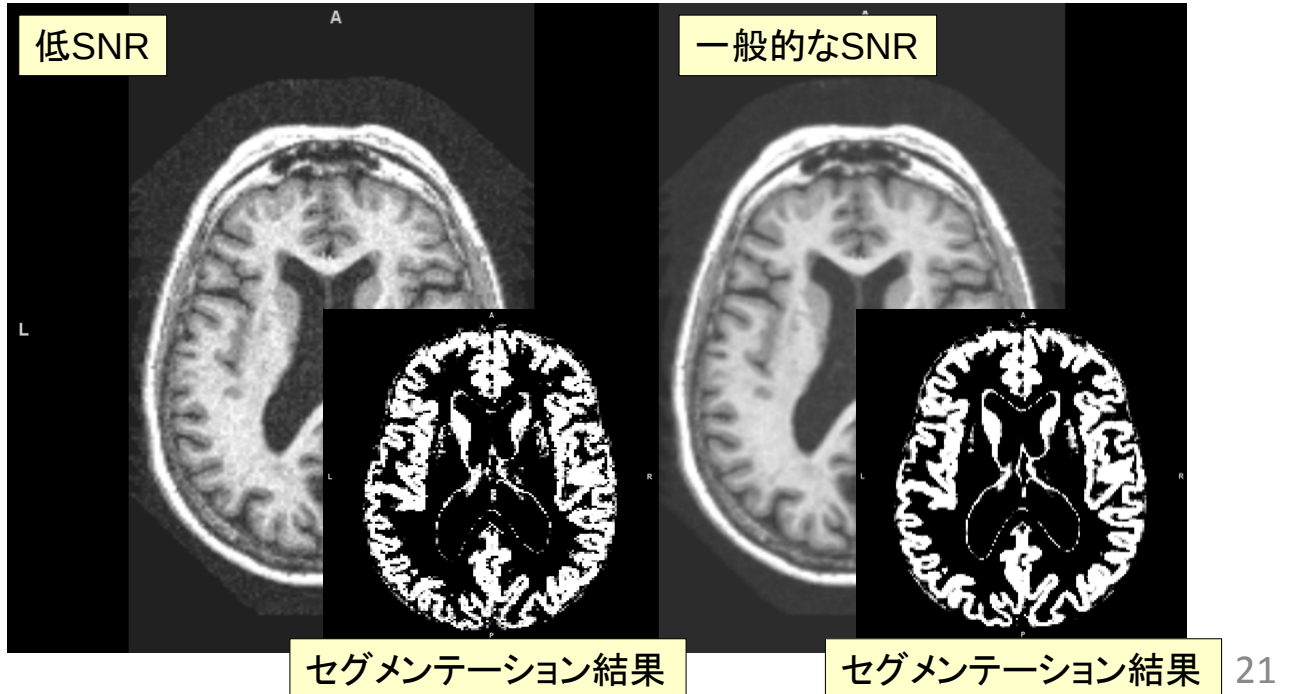
画質のチェック

- 信号雑音比
- 組織間コントラスト、特に灰白質対白質
- アーチファクト(磁化率、体動、フロー、信号むら、幾何歪み etc.)
- ケミカルシフト

20

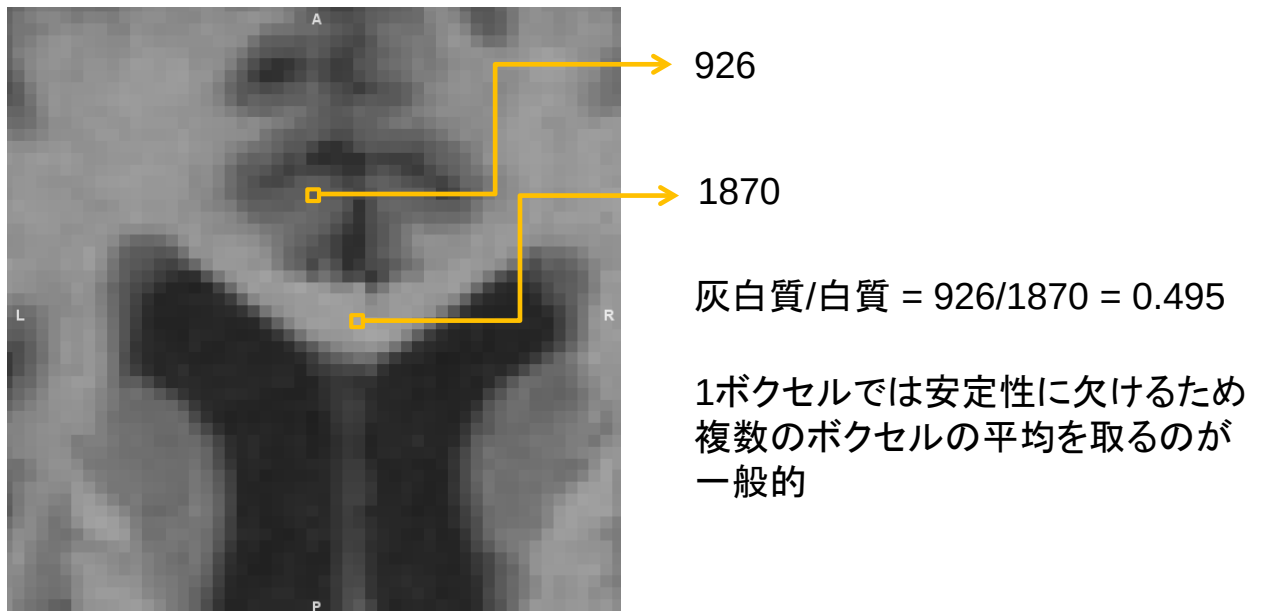
信号雑音比

- 信号雑音比が低い(画像がざらざらしている)と一般的に灰白質の抽出精度が下がる



組織間コントラスト

- 組織間の画素値の比または差のこと。通常脳脊髄液と脳実質間には十分なコントラストがあるため、VBMにおいては灰白質/白質間のコントラストが特に重要



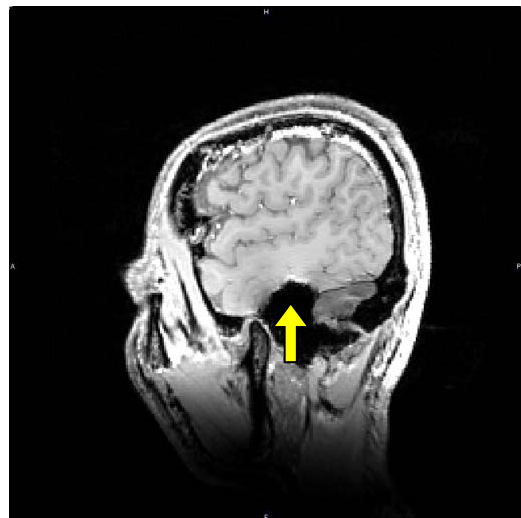
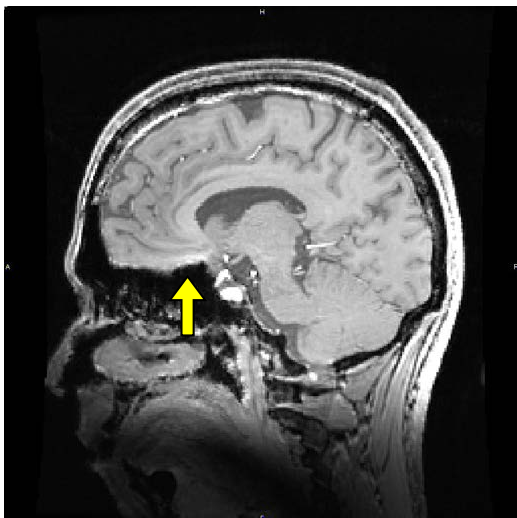
アーチファクト

- 様々なアーチファクトが存在
 - 磁化率
 - 体動
 - フロー
 - コイル感度むら
 - 幾何歪み
 - etc.
- 画質・形態に影響するので主要なチェックポイントを押さえておく

23

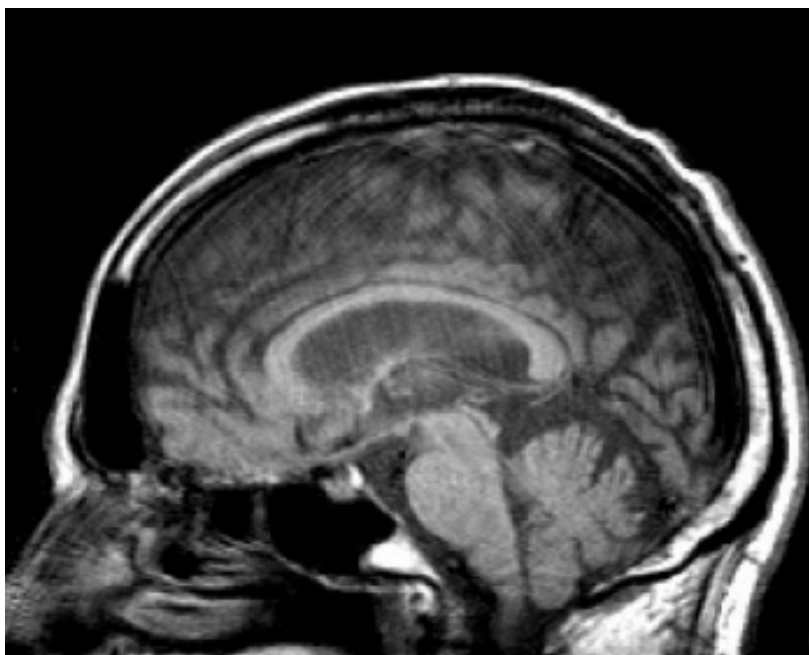
磁化率アーチファクト

- 前出。アーチファクトの出方は撮像方向に依存し、磁場強度に比例する
- 一般的な3DT1強調画像の撮像方向である矢状断撮像では前頭葉眼窩面、側頭葉下面などで影響が大きい



24

体動 – NG例

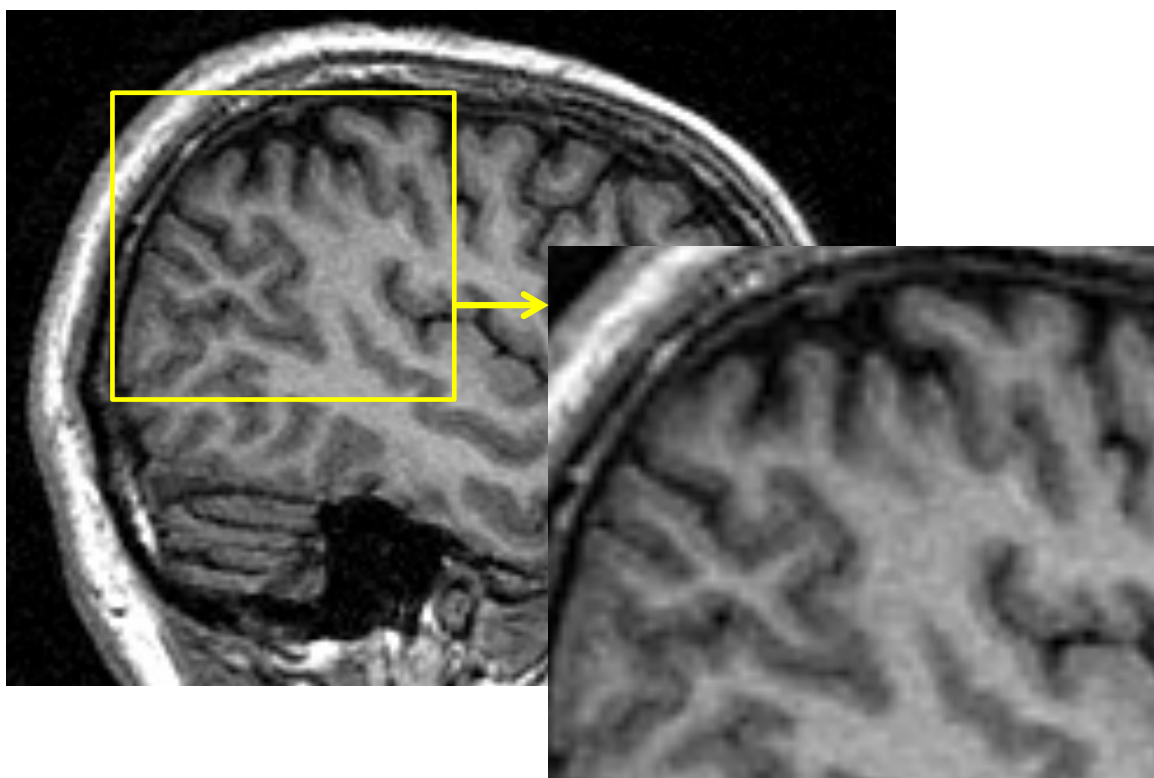


ADNI2 3T MRI Technical Procedures Manual

http://www.adni-info.org/Scientists/Pdfs/ADNI2_MRI_Training_Manual_FINAL.pdf

25

微妙な体動 – 範囲の大きさによってはNG



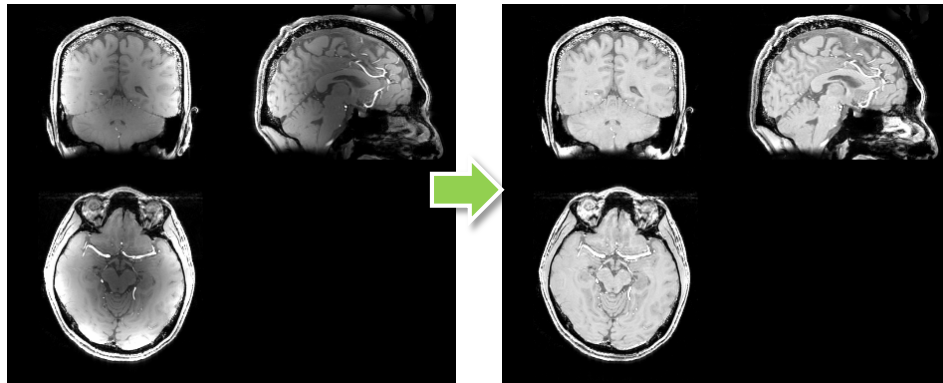
灰白質・白質の境界が不明瞭になり脳溝部分に
灰白質がブレて写り込んでいる

26

信号むら

- RF送信やコイル受信感度の不均一性に由来
- 装置メーカーが提供する感度むら補正や画像取得後の後処理により大分克服されている

SledらによるN3 (Non-parametric intensity non-uniformity normalization) が有名だが、SPM8のNew Segmentでもかなり綺麗に信号むら補正ができる



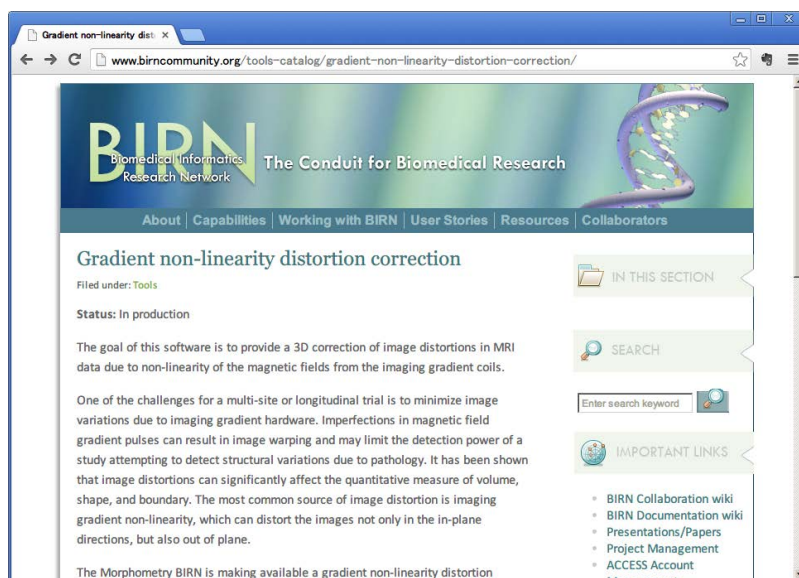
7TデータについてはNew Segmentの効果を実証済み:

Uwano et al., Intensity inhomogeneity correction for magnetic resonance imaging of human brain at 7T. Med Phys 2014.

27

幾何的歪み

- 幾何的歪みのうち、傾斜磁場の非直線性に由来するものは磁場の情報やファントム撮像によって補正可能。ただし特別なファントムやソフトが必要and/or装置メーカーに傾斜磁場の情報を貰う必要があるなど、若干ハードルが高い



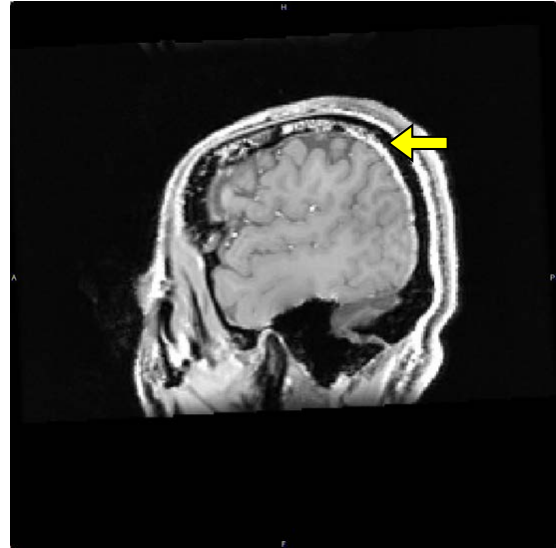
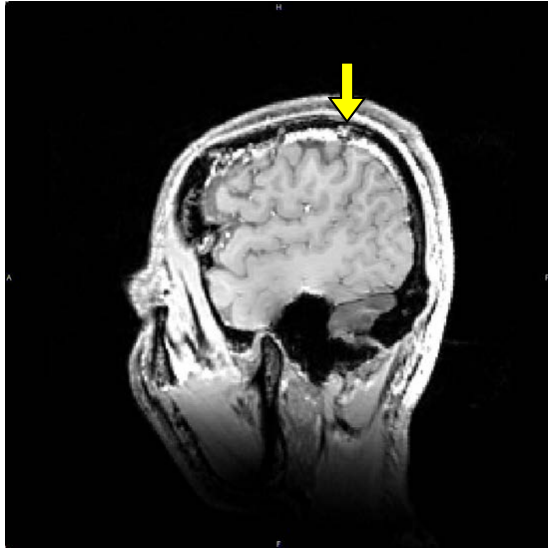
ADNIファントム



山下ファントム

ケミカルシフト

- 前出。極性が変わると脂肪の位置ずれの方向が変化するため頭蓋骨、眼球付近の脳体積に影響する



29

組織間コントラストを計測してみましょう

- ワークブックを参照して組織間のコントラストを計測してみてください

30

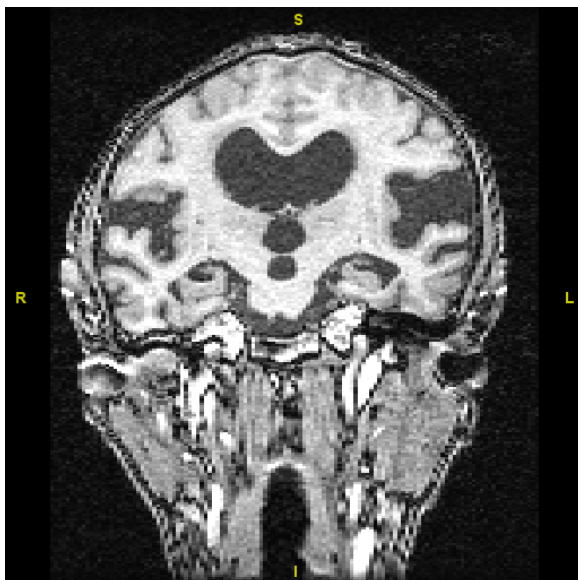
疾患・形態異常のチェック

- 疾患
 - 出血・梗塞
 - 腫瘍
 - 硬膜下血腫・水腫
 - 特発性正常圧水頭症
 - 白質病変
- 形成異常
 - くも膜のう胞(特に小脳、側頭極)
 - 透明中隔・ベルガ嚢胞
- その他
 - 拡大血管周囲腔(正常構造)
 - 強い金属アーチファクト
 - 頭部手術の既往(動脈瘤クリップなど)

31

特発性正常圧水頭症

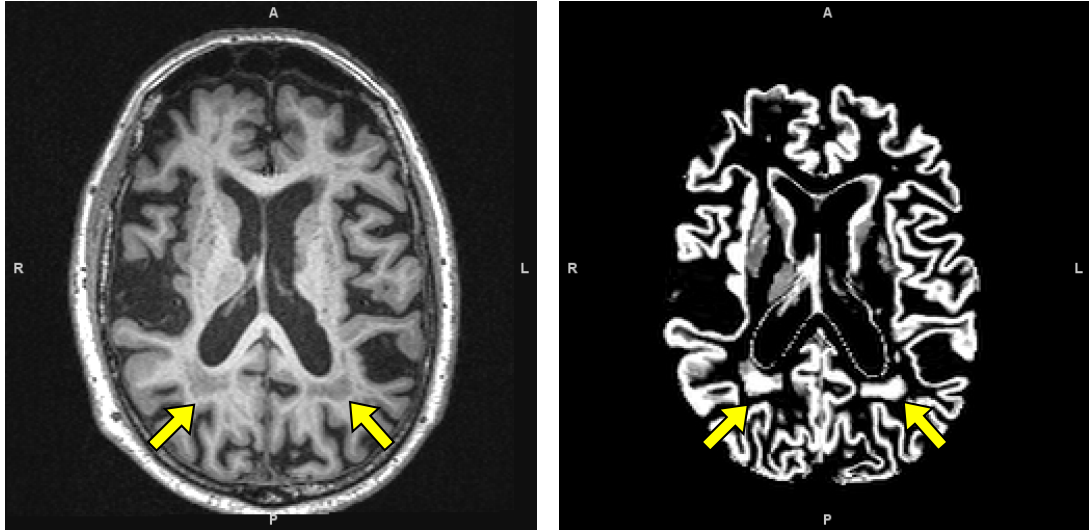
- 一般高齢者で頻度1%程度。脳形態が大きく歪んでおり通常のVBM処理ではうまく処理できない。本疾患を対象とした研究以外では除外した方がよい



32

白質病変

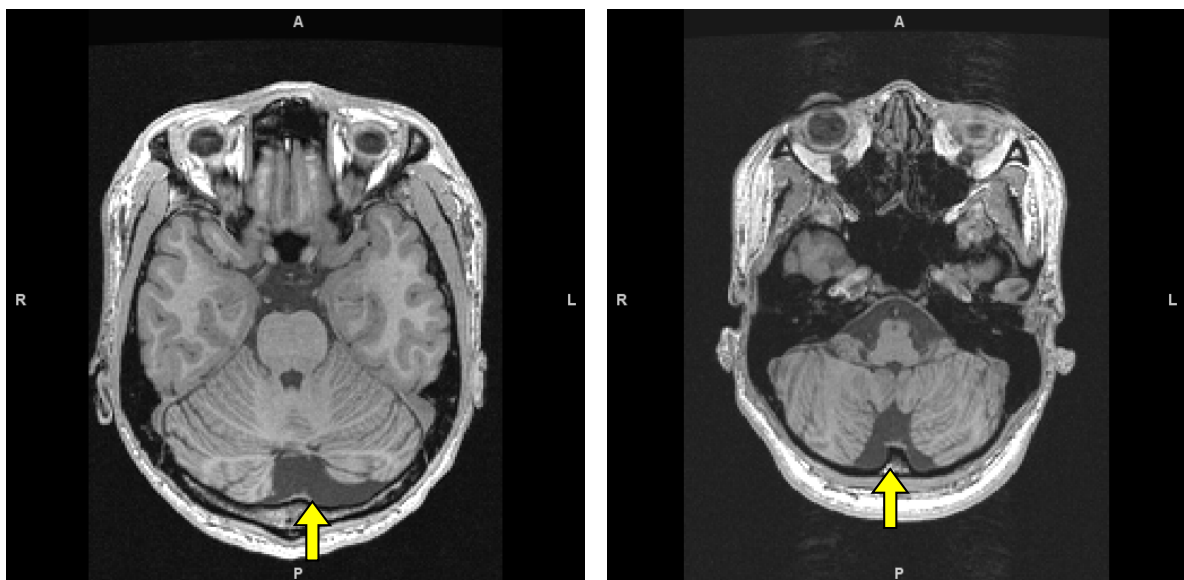
- 高齢者に多い。灰白質調の信号値をとるため、セグメンテーション処理で灰白質として抽出されることがある(アルゴリズムに依存)。病変がかなり大きい場合は除外した方がよい



33

くも膜のう胞 – 小脳

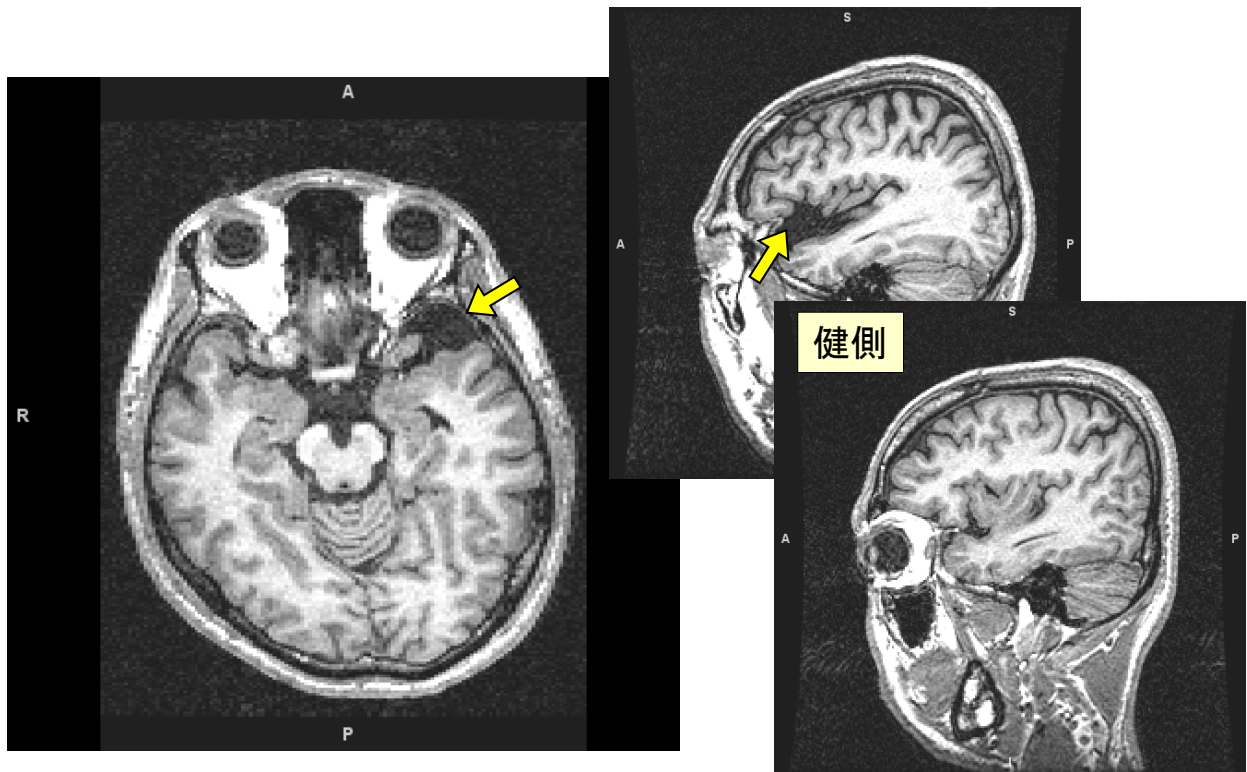
- 結構頻度が高い。大きいものは対象から除外した方がよい



34

くも膜のう胞 – 側頭極

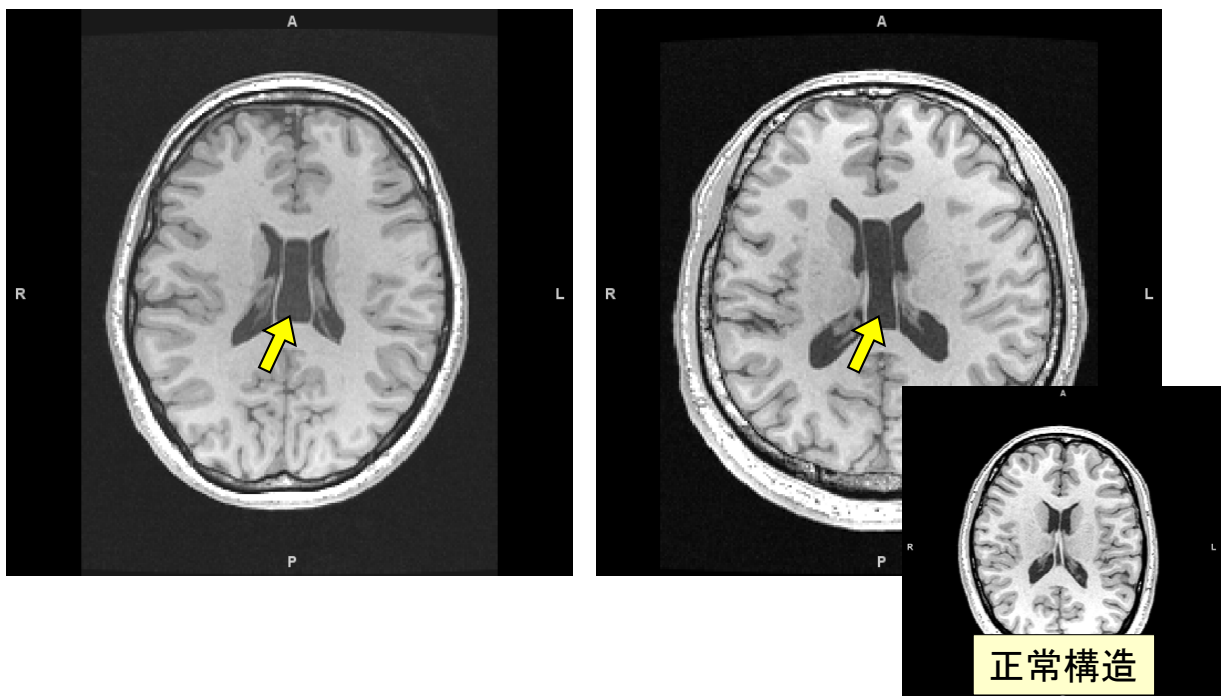
- 側頭葉の体積に影響する。大きいものは対象から除外した方が良い



35

透明中隔・ベルガのう胞

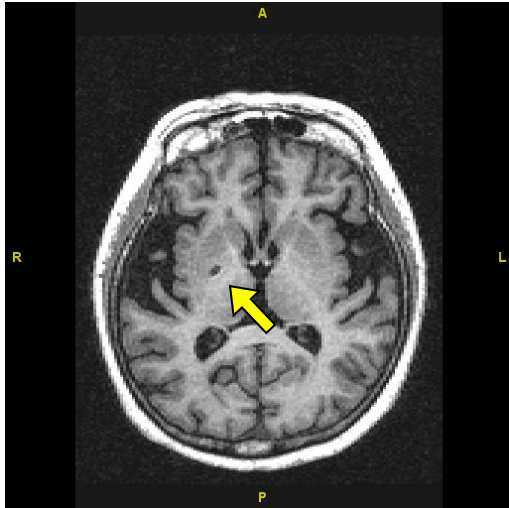
- 脳室の形状を変化させ、脳室体積に影響する。大きいものは対象から除外した方が良い



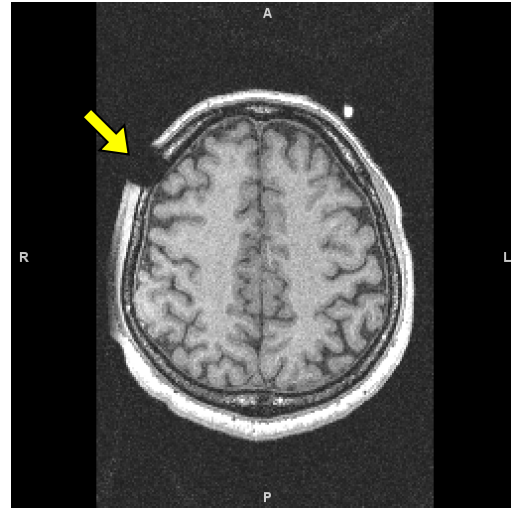
36

その他

- 拡大血管周囲腔、金属アーチファクトや頭部手術の既往など。体積が大きいのか、脳実質の信号値に大きな影響を与えているものは除外した方がよい



やや大きめの拡大血管周囲腔



金属アーチファクト
(頭部手術による)

37

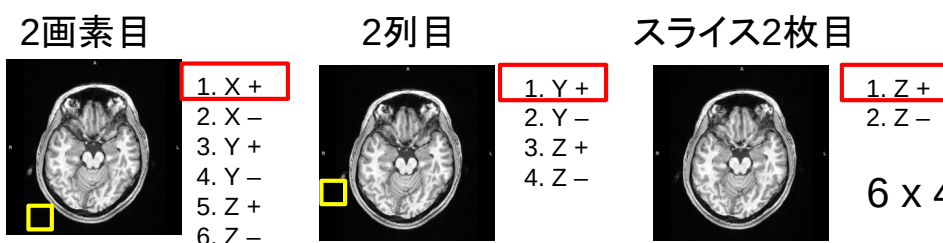
NIfTI変換後の画像原点と向きの確認

- ボクセル空間->実空間への対応付けの計算式によって実空間上での位置が決定される

ボクセル空間では1マス目、 $x, y, z = (1, 1, 1)$ だけど実空間では？

$$\begin{matrix} \text{実空間} \\ \text{座標} \end{matrix} \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1.5 & 0 & 0 & 91.5 \\ 0 & 1.5 & 0 & -127.5 \\ 0 & 0 & 1.5 & -73.5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{matrix} \text{ボクセル} \\ \text{座標} \end{matrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}$$

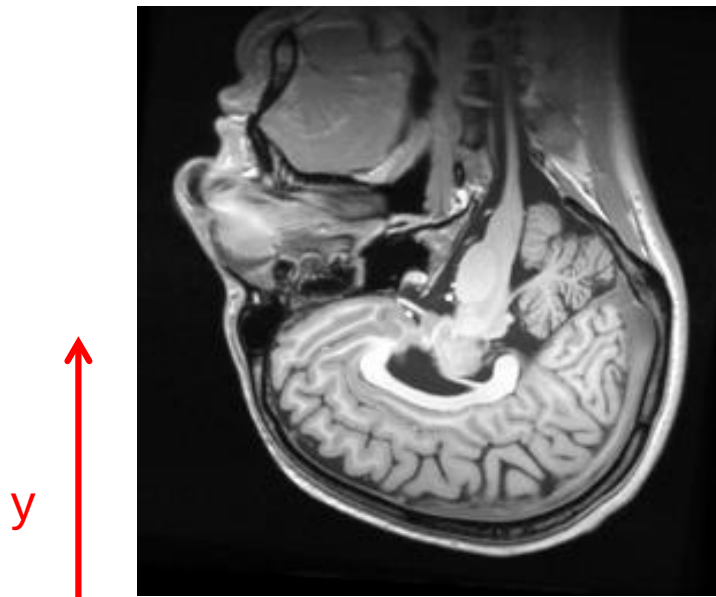
- 画像ファイル内での画素データの並び方が48通り存在
(2画素目や2列目、スライス2枚目がxyzの+-どの方向か)



$6 \times 4 \times 2 = 48$ 通り

38

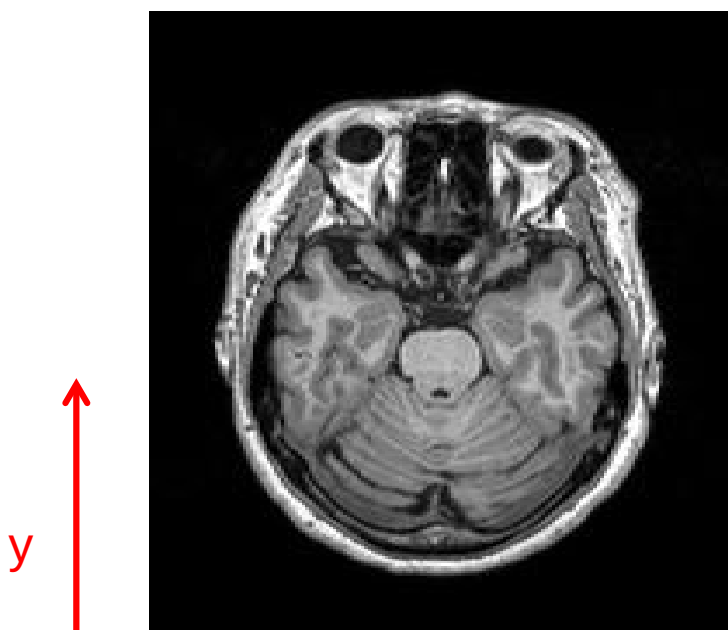
NIfTI変換後の画像原点と向きの確認



xがanterior-to-posteriorなのでP、
yがsuperior-to-inferiorなのでI、
zが(この画では分からないが)
right-to-leftでL。合わせてPIL

39

NIfTI変換後の画像原点と向きの確認



xがleft-to-rightなのでR、
yがposterior-to-anteriorなのでA、
zが(この画では分からないが)
inferior-to-superiorでS。合わせてRAS

40

NifTIの原点と向きを確認してみましょう

- ワークブックを参照してNifTIフォーマットの画像データの原点と向きを確認してみてください

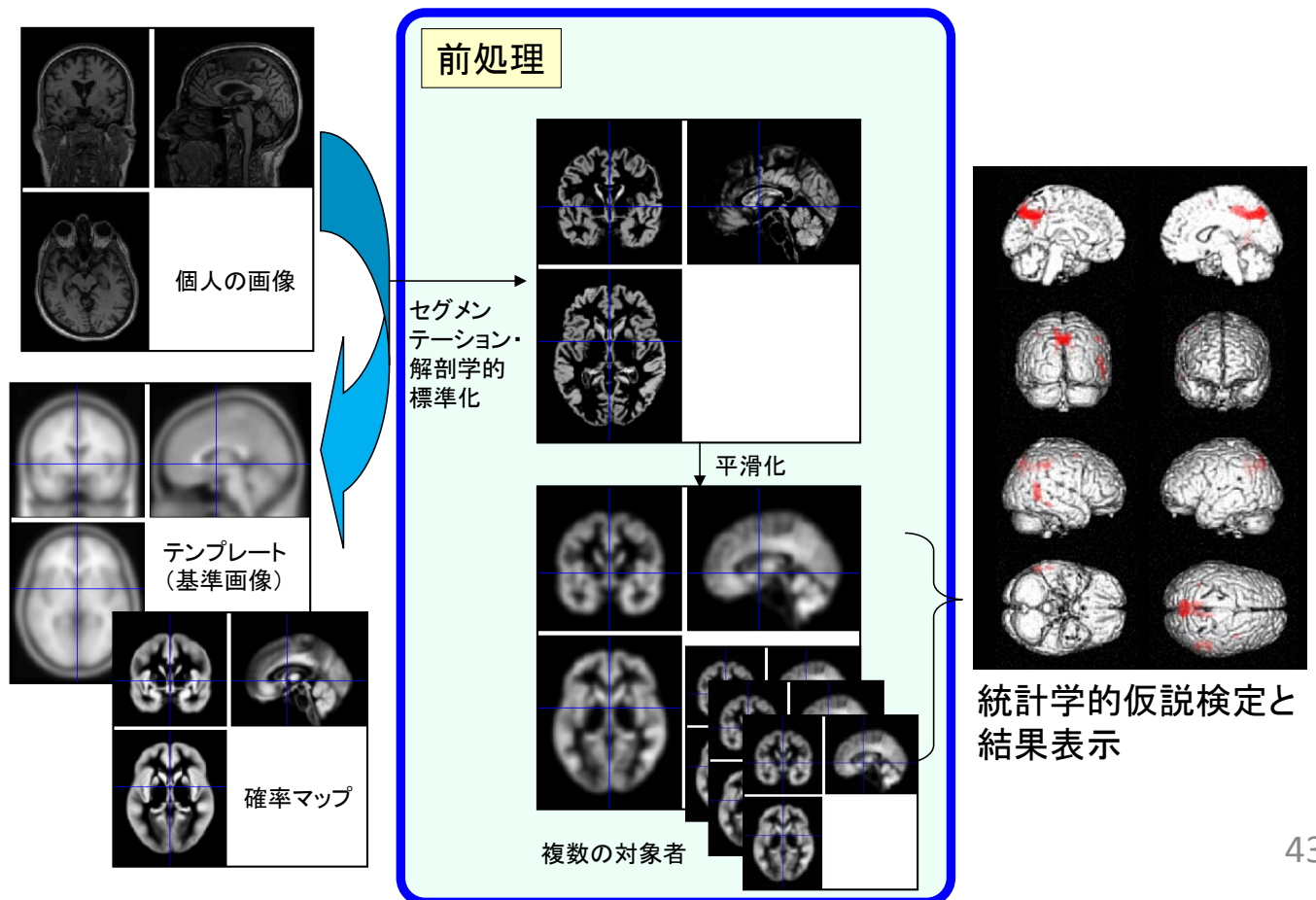
41

VBMの品質管理① 原画像のチェックポイント

- まずは撮像条件のチェック
 - パルスシーケンス
 - 撮像パラメータ
 - 撮像方向
- 画質のチェック
 - 信号雑音比
 - 組織間コントラスト、特に灰白質対白質
 - アーチファクト(磁化率、体動、フロー、信号むら、幾何歪み etc.)
 - ケミカルシフト
- 疾患・形態異常のチェック
- 解析用フォーマット(NifTI)への変換後、画像原点と向きのチェック

42

VBMの品質管理② 前処理のチェックポイント

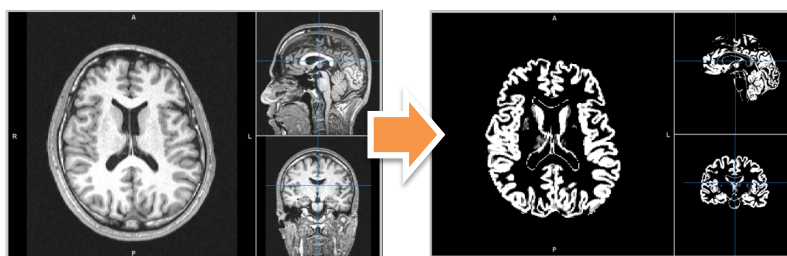


43

VBMの品質管理② 前処理のチェックポイント

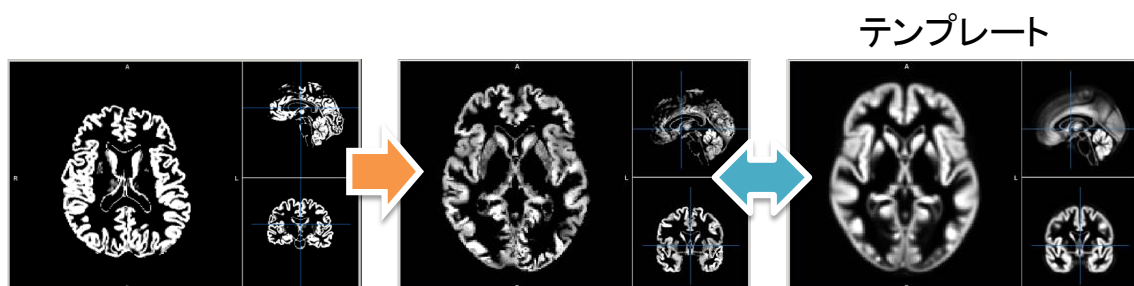
- VBM前処理の品質管理では特に以下の2点が重要

1. セグメンテーション結果の確認



灰白質・白質・脳脊髄液がうまく分離抽出できているか？

2. 解剖学的標準化結果の確認

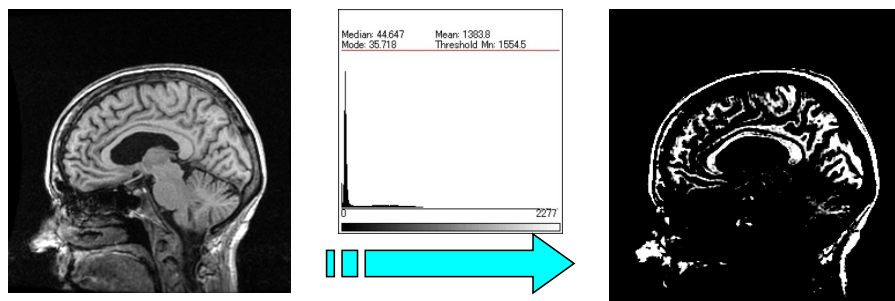


位置・サイズ・形状がテンプレートに合っているか？

44

セグメンテーションとは

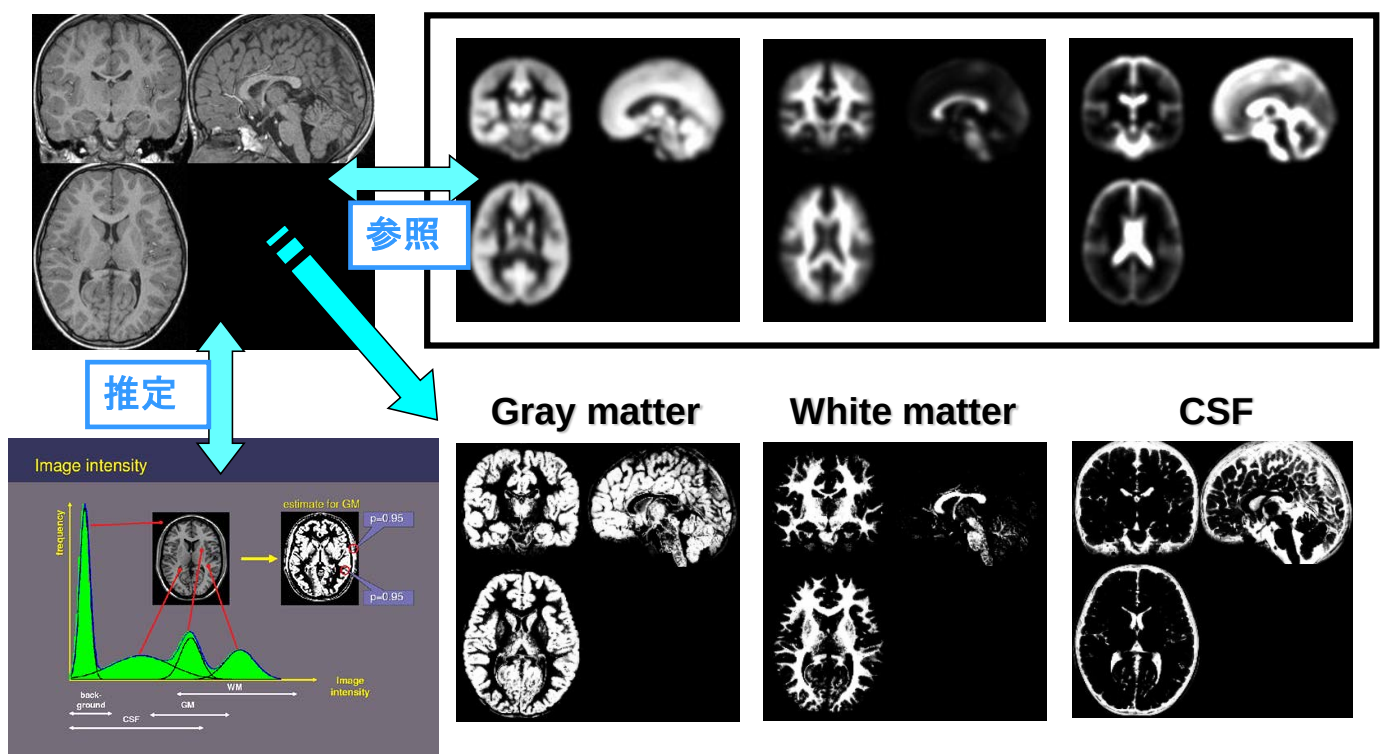
- 対象物の分離抽出のこと。VBMにおいては主に3次元T1強調画像から灰白質・白質・脳脊髄液を分離抽出する方法
- 最も単純な方法は信号値による分離
- 信号値のみによる分離では精度が不十分なため、様々な工夫が加えられている



45

事前確率マップを用いたセグメンテーション

Probability maps

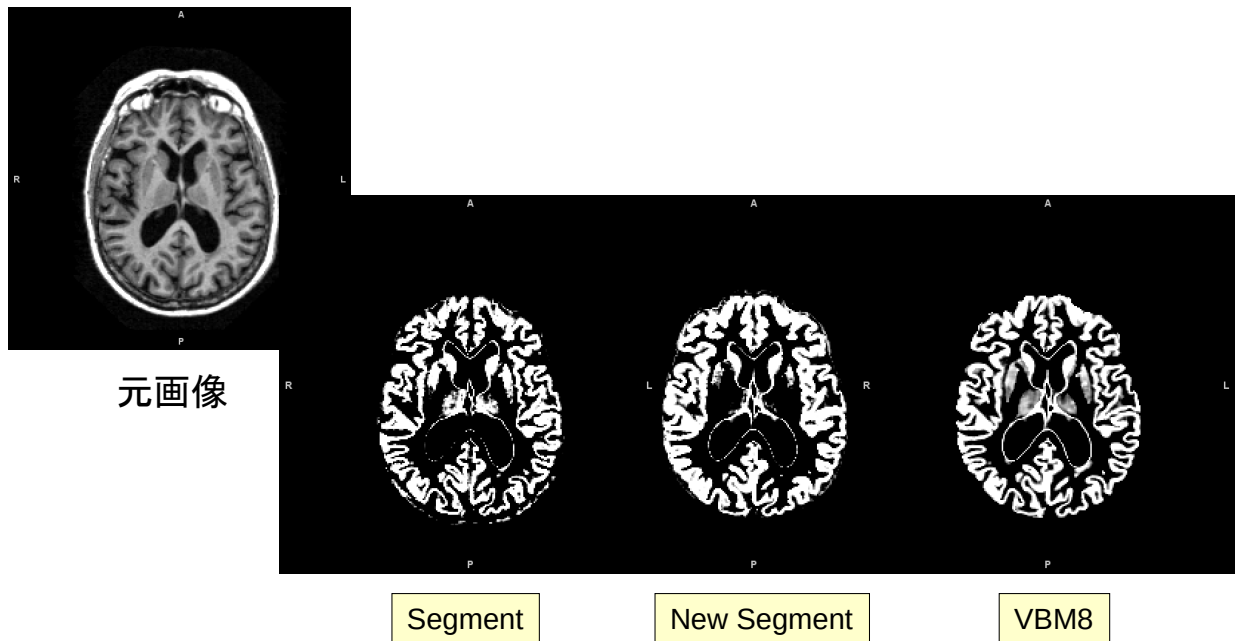


By Cristian Gaser

46

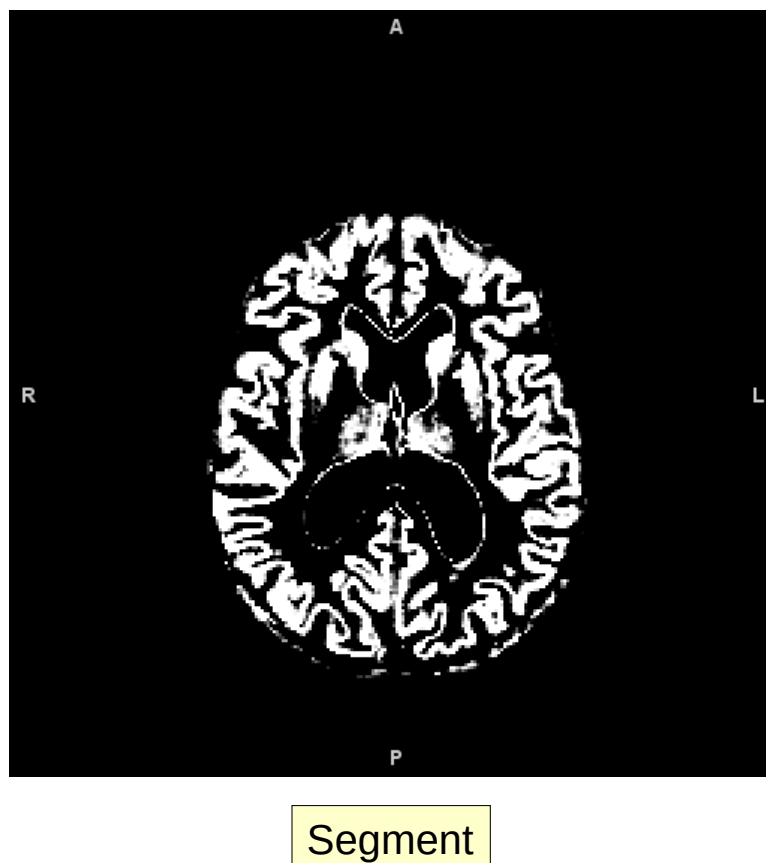
セグメンテーション法の色々

- SPMで利用できるセグメンテーション法は3つあり、アルゴリズムがそれぞれ異なる



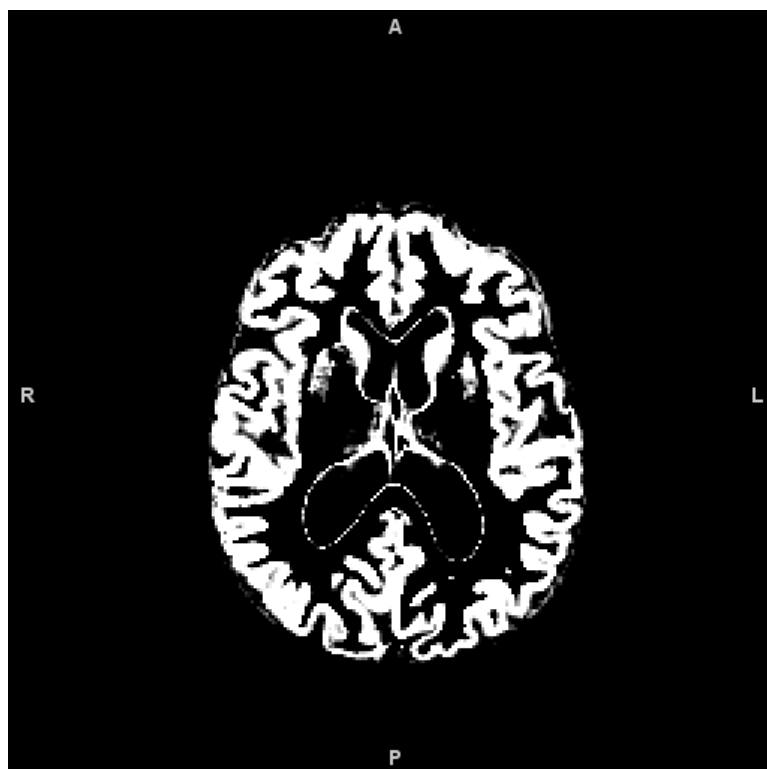
47

セグメンテーション法による抽出結果の違い



48

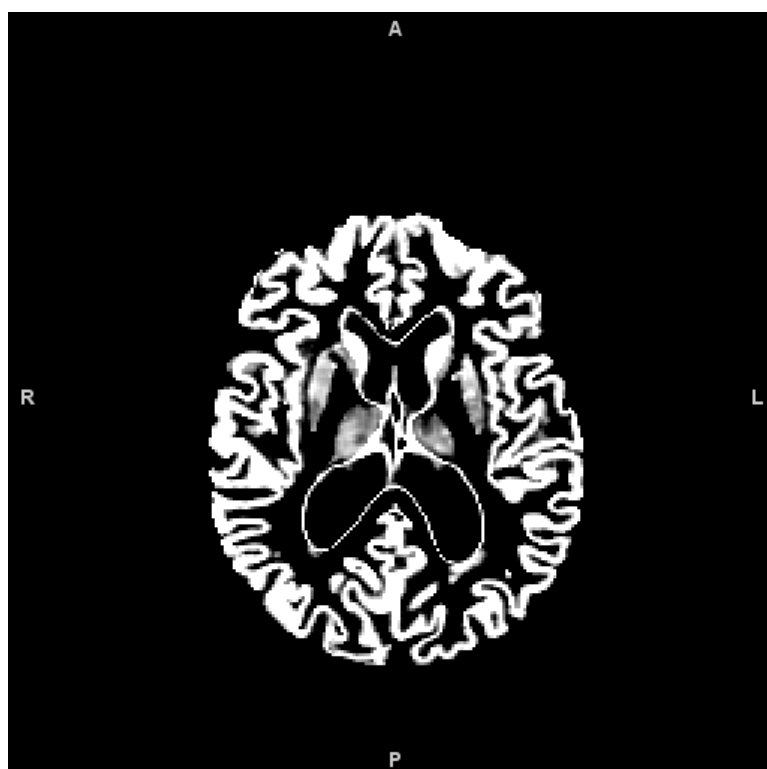
セグメンテーション法による抽出結果の違い



New Segment

49

セグメンテーション法による抽出結果の違い



VBM8

50

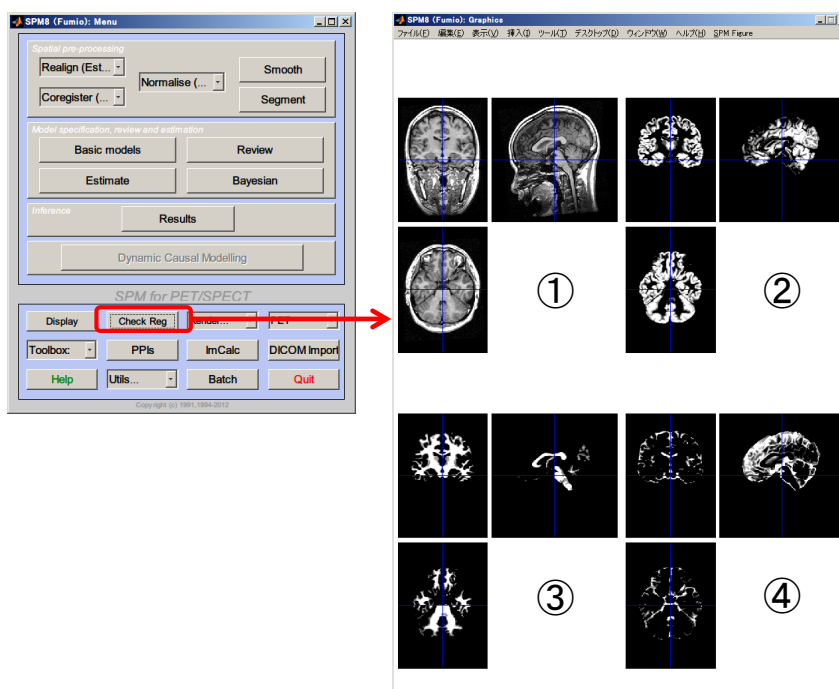
セグメンテーション法の色々

	Segment	New Segment	VBM8
計算時間(目安)	3～5分	5～10分	15～20分
アルゴリズムの特徴	SPM8までの標準手法。信号値と空間的位置情報、事前確率マップなどを用いて灰白質・白質・脳脊髄液の3つの組織を分離抽出	Segmentの改良版。頭蓋骨や頭皮、背景部分の事前確率マップを追加し、6つの組織に分離抽出する。SPM12では標準手法に	内部的にNew Segmentを一度実行し、脳以外の組織を除去した後に信号値のみに依存した灰白質・白質・脳脊髄液の分離抽出を行う
精度・注意事項	頭蓋骨中の脂質などが誤って灰白質として抽出される等、擬陽性が多い	頭蓋骨の確率マップによって大きな擬陽性は抑えられているものの、通常のSegmentに比べ背景成分などに細かい疑陽性が出やすい	擬陽性が少なく概して精度は高いが、抽出結果の信号値への依存性が高く、脳部位や疾患などによって誤分離が起こる

51

セグメンテーション結果の確認

- 最も丁寧なやり方はSPMのCheck Regなどで一例一例チェック



オススメは
 ①信号むら補正後画像
 ②灰白質
 ③白質
 ④脳脊髄液

52

セグメンテーション結果の確認

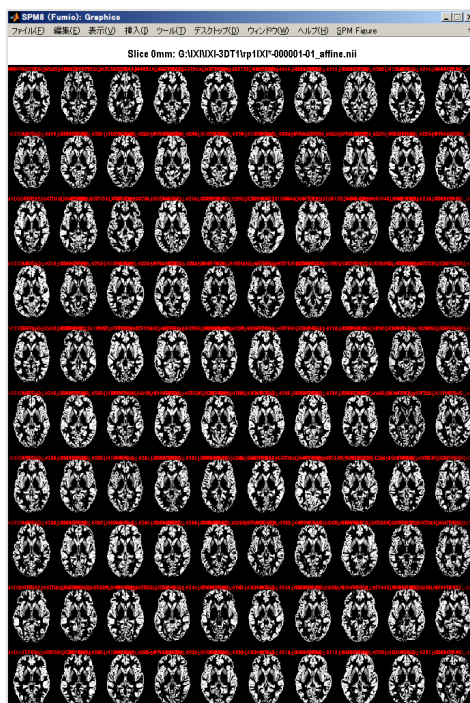
- 多人数を一気にチェックしたい場合はCheck Regで単一の組織(灰白質なら灰白質だけ)を最大15人ずつチェックできる
ただしNative Space(原画像空間上)だと個人毎に位置がずれるので少し見づらい



53

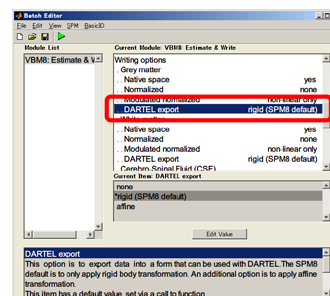
応用 - VBM8のツールを利用する

- VBM8ツールボックスの中にある「Check data quality」
→「Display one slice for all images」で人数の制限なく
特定のスライスを表示することができる



ただし、Check Regと同じで
位置が揃っていないと見づらい。

VBM8であれば
Estimate & Writeの時に
Writing optionsの中の
各組織のDARTTEL exportの
「rigid (SPM8 default)」や
「affine」を出力させておくと
それを利用する事ができる。



54

セグメンテーション結果を確認してみましょう

- ワークブックを参照してセグメンテーション結果を確認してみてください

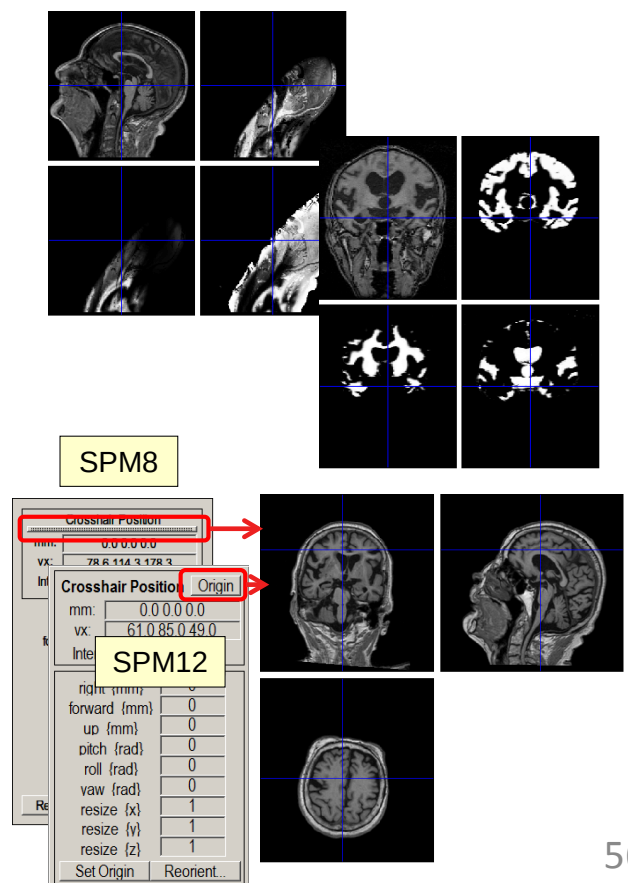
55

セグメンテーション失敗例と対処法

組織分割が完全に失敗している時は
テンプレートや事前確率マップへの
合わせ込みがうまくいっていない可能性が高い

NIfTI画像の原点が適切な位置にない、
顎が上がっている、疾患等により形態
・組織の信号分布が正常から大きく逸
脱しているなどの理由が考えられる

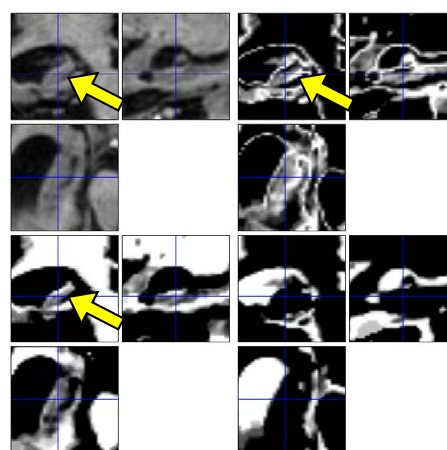
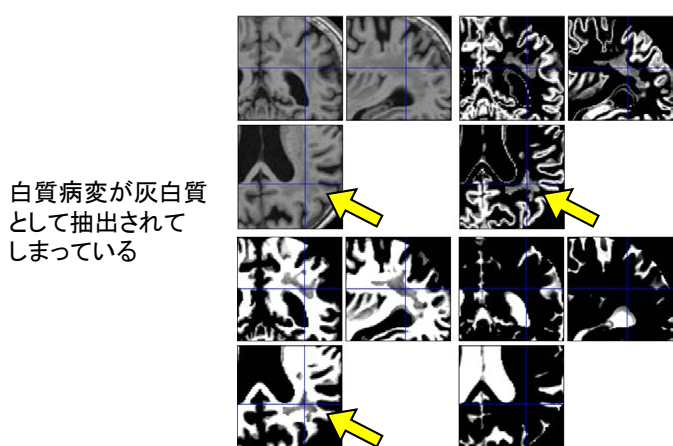
まずは画像原点を確認し、AC-PCライ
ンをきちんと合わせて処理を再度行
なってみるのがオススメ



56

VBM8セグメンテーションの注意点

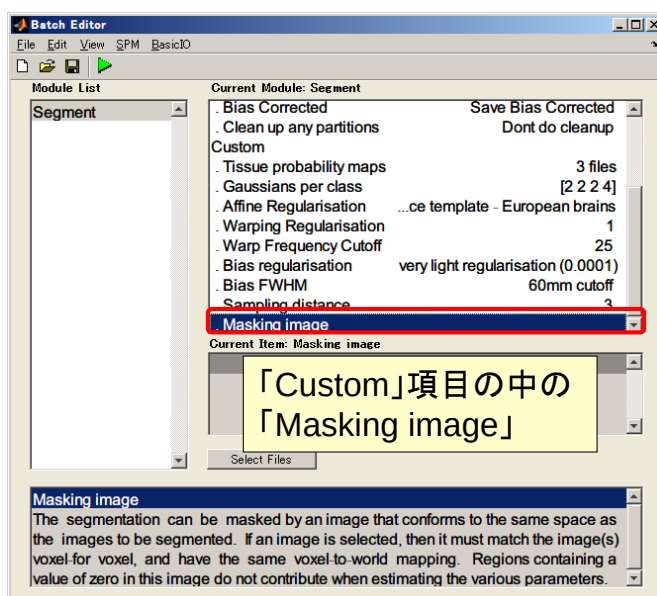
- セグメンテーションのアルゴリズムがSPM8標準のSegment (Unified segmentation)、またはその拡張のNew Segment (SPM12ではこちらが標準)とは異なり、信号値に強く依存(最終的に事前確率マップを使わないため)
- 病変部などで信号値に変化があるとセグメンテーションの失敗が起こり別の組織に分類される可能性が高い(高齢者の白質病変が灰白質として分類されるなど)



57

セグメンテーション失敗時の対処法

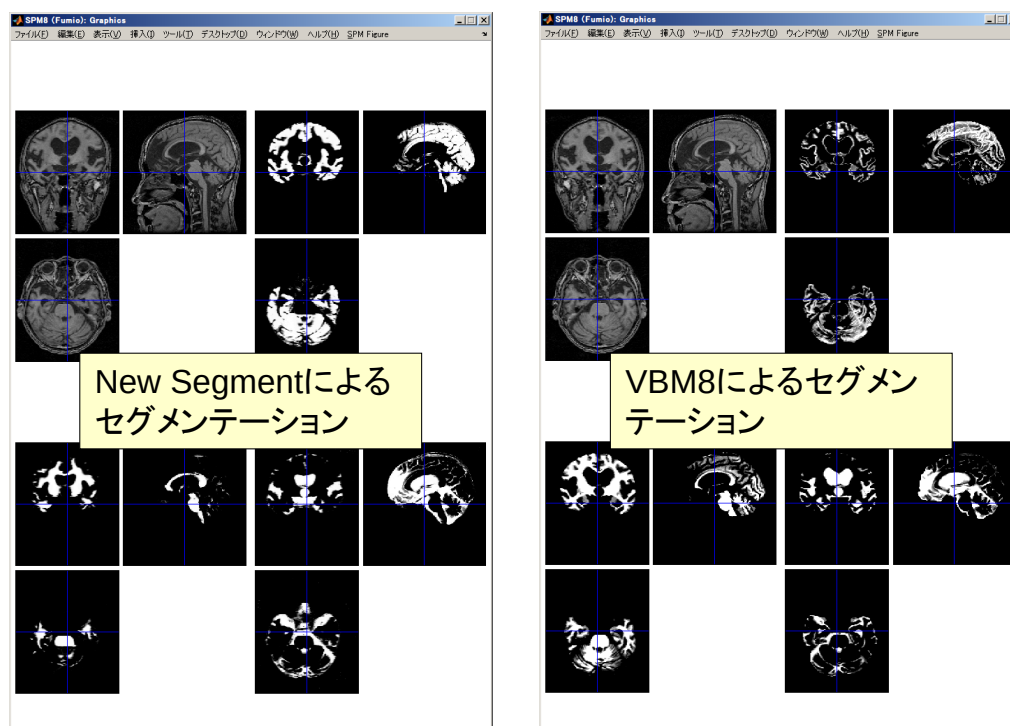
- SPM8標準の「Segment」(SPM12では「Old Segment」)ではセグメンテーションや解剖学的標準化のパラメータ推定時に計算から除外する領域をマスク画像として指定する事もできる (残念ながらSPM12の「Segment」にはこの機能はありません)



58

セグメンテーション失敗時の対処法

- セグメンテーション法を切り替えるやり方もある(ただし処理を全員分やり直す必要がある)



59

セグメンテーション失敗時の対処法

- 手間はかかるがマニュアルで修正する方法もある

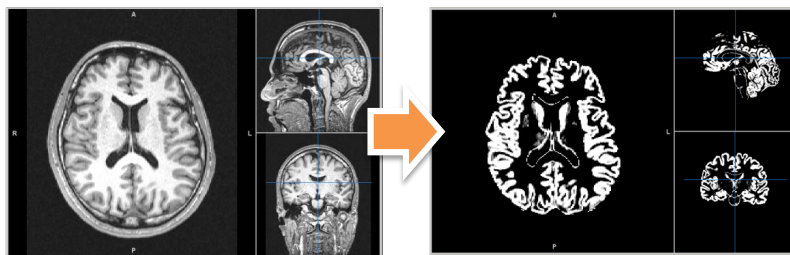


60

VBMの品質管理② 前処理のチェックポイント

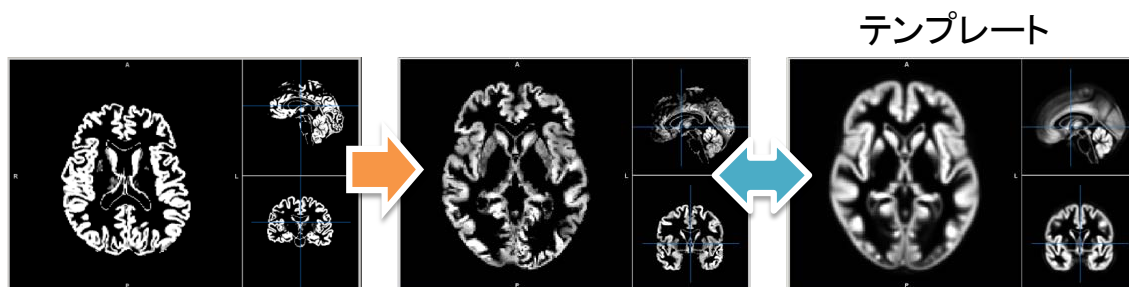
- VBM前処理の品質管理では特に以下の2点が重要

1. セグメンテーション結果の確認



灰白質・白質・脳脊髄液が
うまく分離抽出できているか？

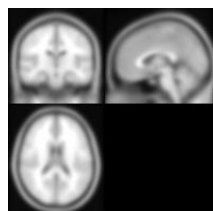
2. 解剖学的標準化結果の確認



位置・サイズ・形状がテンプレートに合っているか？

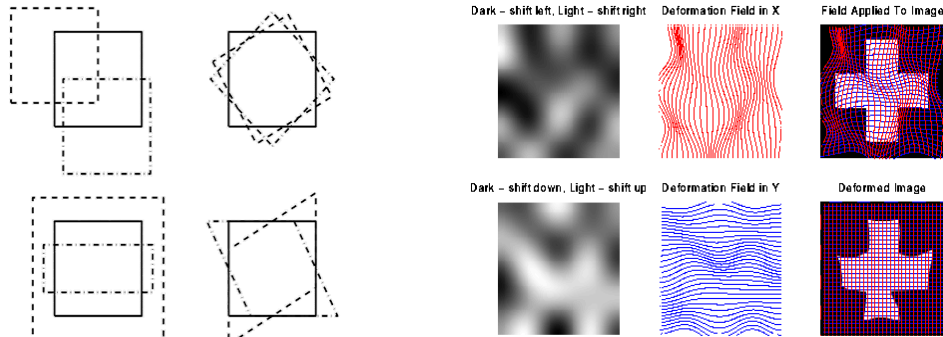
解剖学的標準化とは

- 基準となる画像に対して脳形態を一致させるために行う画像変形
- 空間的に標準化される(位置・サイズ・形態が合わせ込まれる)ため、異なる対象者であっても同一座標のボクセルを脳の同一部位であると見なすことができる
- 基準画像(テンプレート)には多人数の平均画像が用いられることが多い



解剖学的標準化の原理

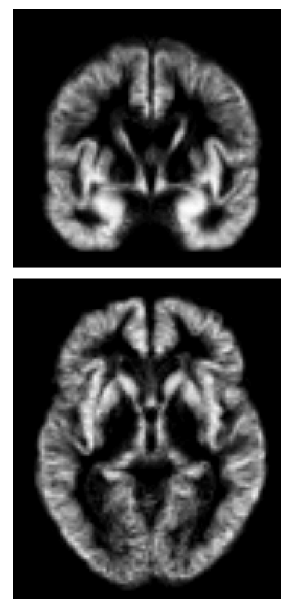
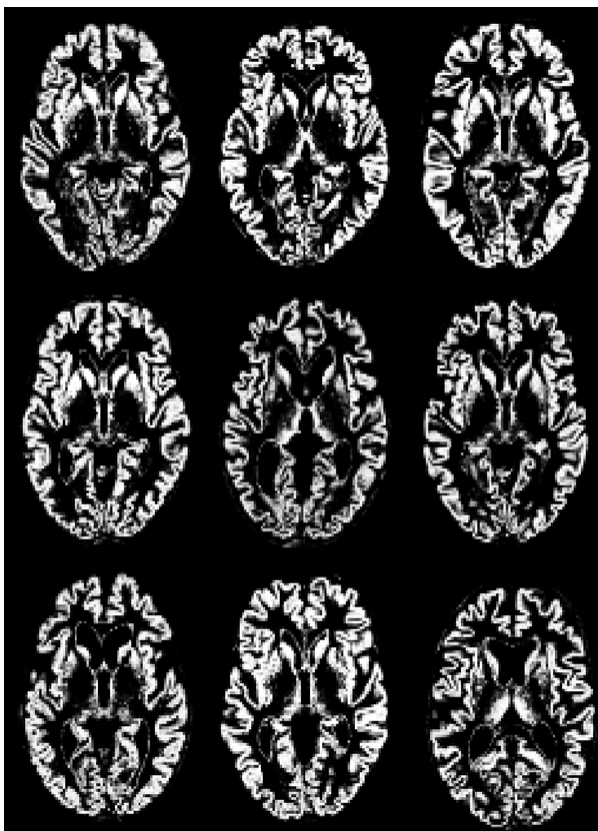
- 線形変換(位置・サイズ合わせ)と非線形変換(局所形態合わせ)の組み合わせからなる



from SPM course slide

- どちらも、評価指標(対象画像とテンプレートの二乗差の総和など)の減衰に閾値を設けて変換パラメータを最適化する手法がとられている

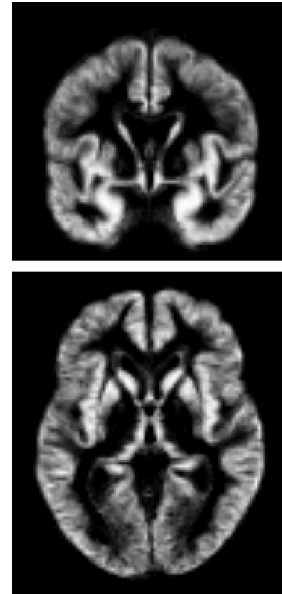
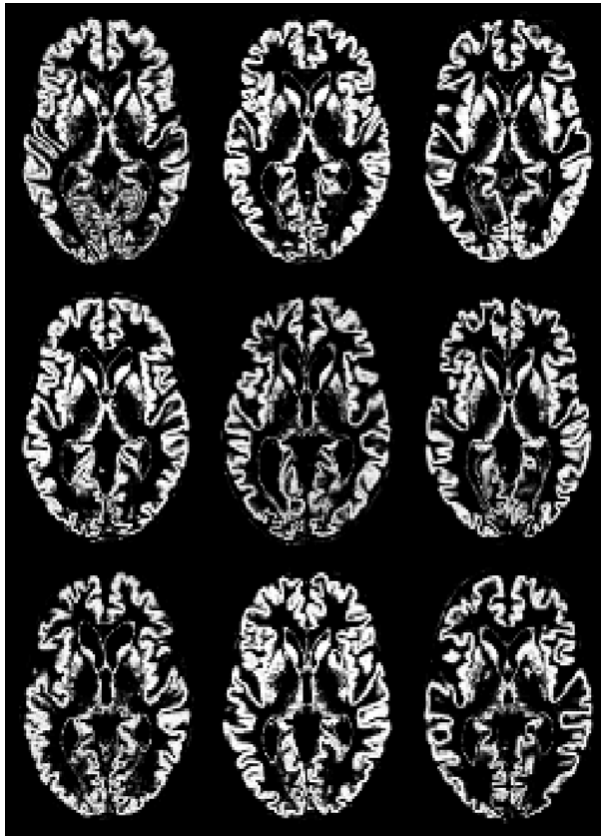
解剖学的標準化の実例 – 線形変換のみ



平均画像

解剖学的標準化の実際

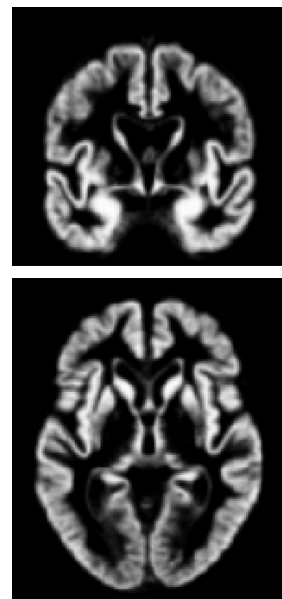
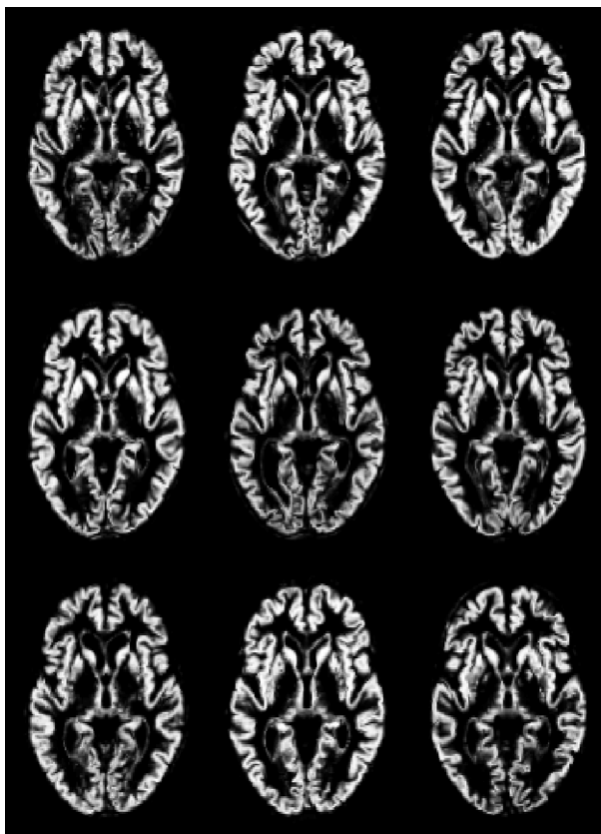
線形＋非線形変換(離散コサイン変換)



平均画像

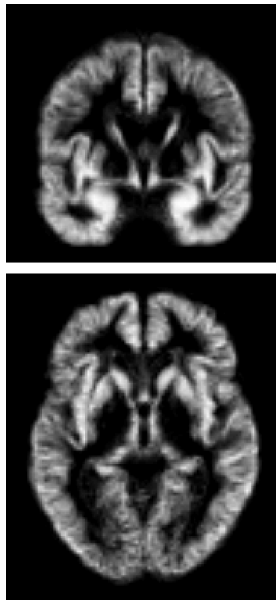
解剖学的標準化の実際

線形＋非線形変換(DARTEL)

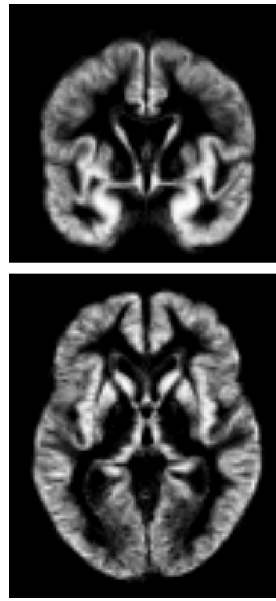


平均画像

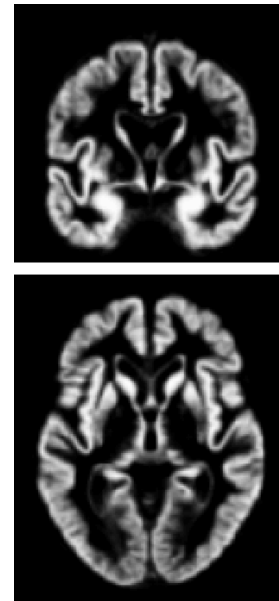
解剖学的標準化の実際 - 精度比較



線形変換



線形+非線形
変換(DCT)



線形+非線形
変換(DARTEL)

解剖学的標準化結果の確認

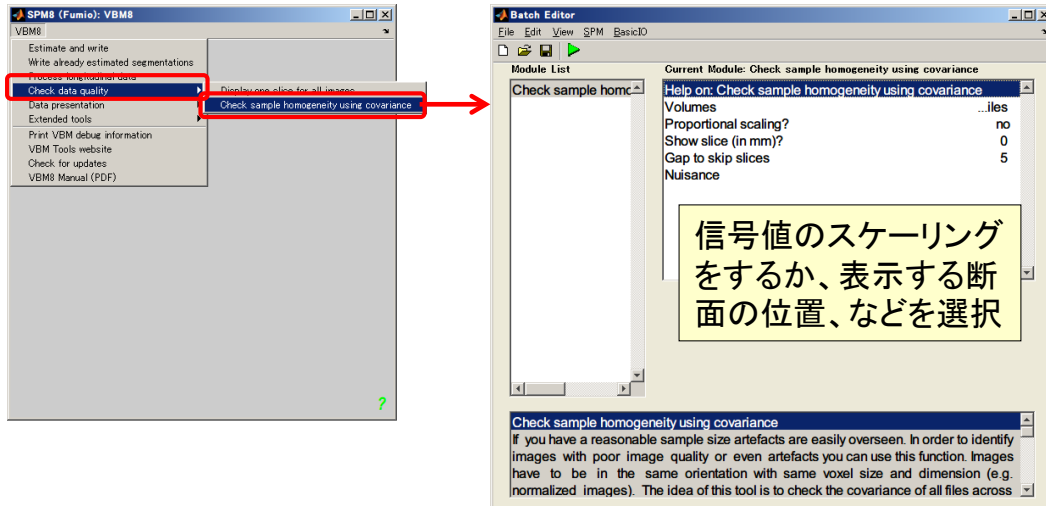
- 丁寧にやるならやはりSPMのCheck Reg

1つ目の画像に
テンプレートを選択
すると確認しやすい



応用 - 解剖学的標準化結果の確認

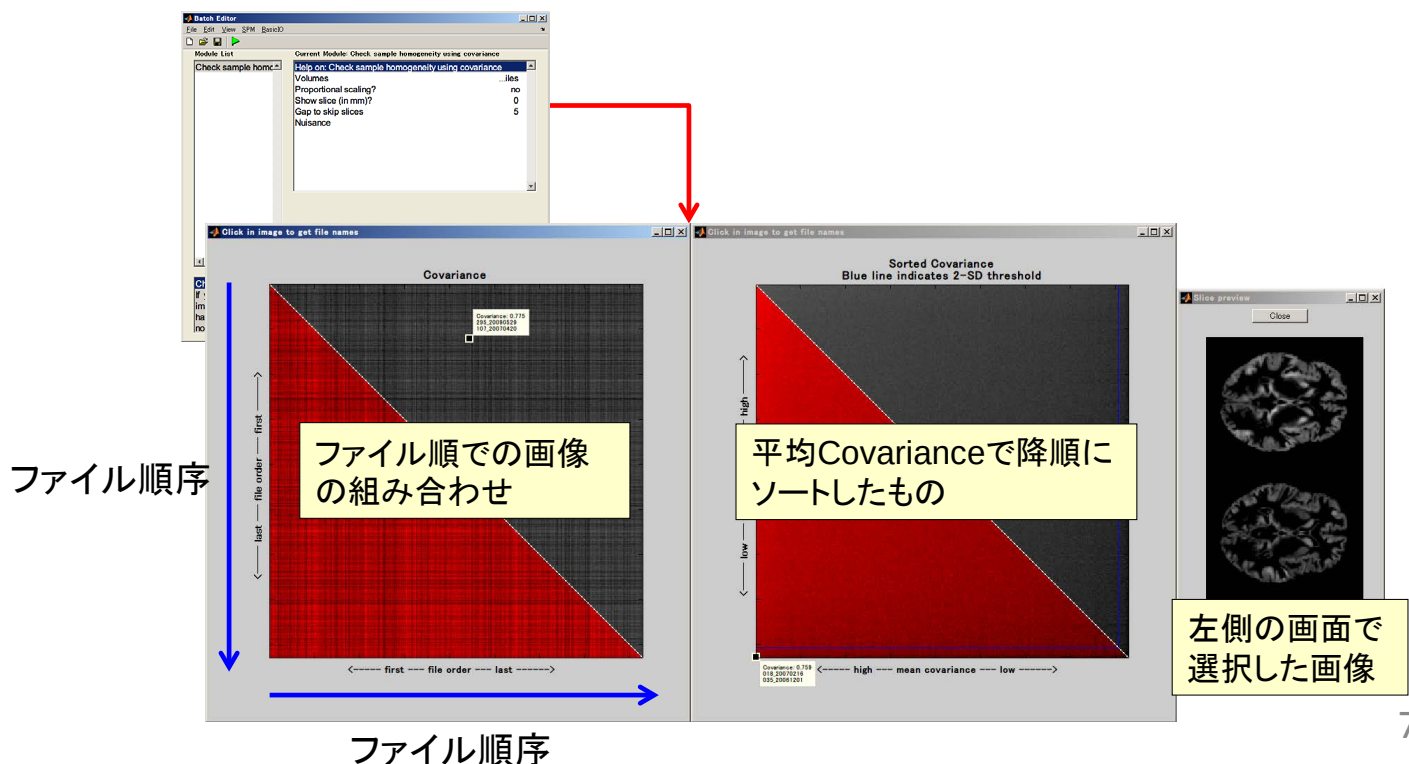
- 多人数を一気にチェックしたい場合はVBM8 toolboxのCheck data quality → Check sample homogeneity using covarianceも便利



69

応用 - Check sample homogeneity using covariance

- 解剖学的標準化後の画像間の類似度をcovarianceで表現。画像の確認もできる



70

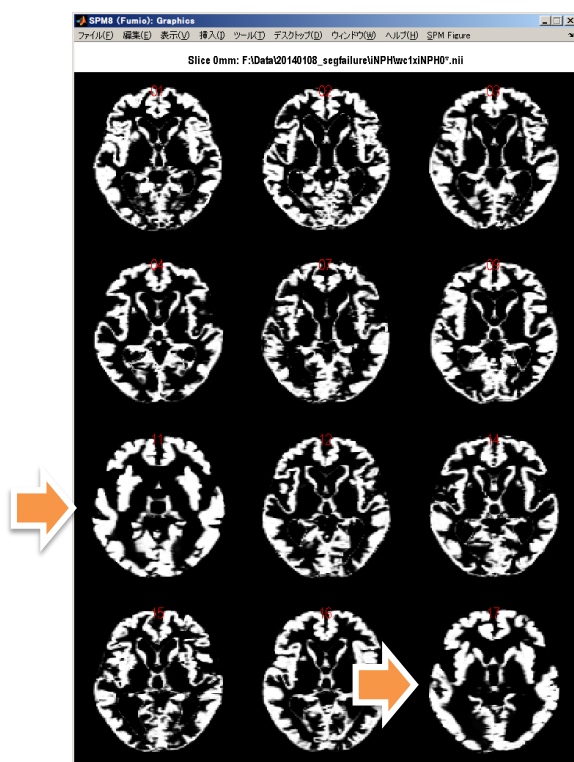
セグメンテーション結果を確認してみましょう

- ワークブックを参照して解剖学的標準化の結果を確認してみてください

71

解剖学的標準化失敗例

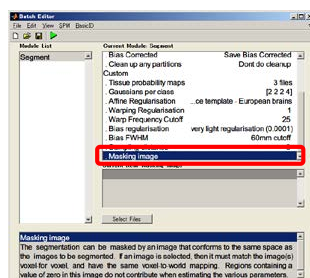
- そもそもセグメンテーションから失敗している場合もあるので注意する



72

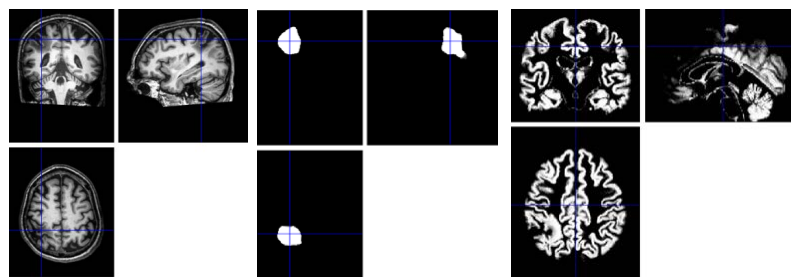
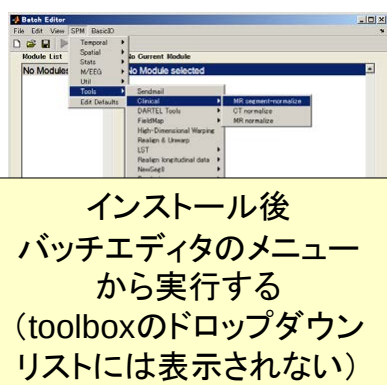
解剖学的標準化失敗時の対処法

- 大きな病変がある場合は病変部位をマスクする手段もある



SPM8の「Segment」
「Custom」項目の中の
「Masking image」(前出)

- 病変部位をマスクして解剖学的標準化を行うSPMのツールボックスもある(SPM8用)



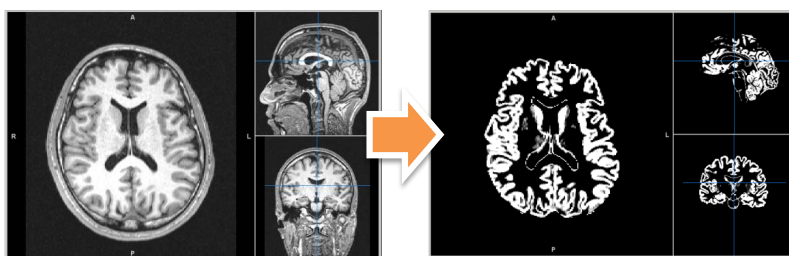
SPM Clinical Toolbox

<http://www.mccauslandcenter.sc.edu/CRNL/clinical-toolbox>

73

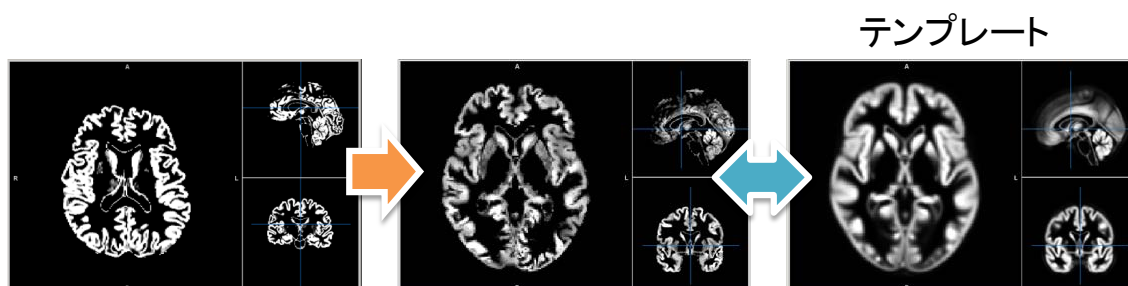
VBMの品質管理② 前処理のチェックポイント

- VBM前処理の品質管理では特に以下の2点が重要
1. セグメンテーション結果の確認



灰白質・白質・脳脊髄液が
うまく分離抽出できているか？

2. 解剖学的標準化結果の確認



位置・サイズ・形状がテンプレートに合っているか？

74