関連研究１

本章では関連研究について記述する．

2.1節では

CTスキャナーによるボリュームデータの取得について

//ボリュームデータからの平面抽出

について説明する．

2.2節では

ボリュームデータからの平面抽出とその可視化

//等値平面（以降，ISO Surfaceと呼ぶ）の可視化

について述べる．

2.3節では

ラプラス方程式の応用と非線形関数のパラメータ推定について記述する．

2.4節では

OCRにおける文字認識について述べる．

ボリュームデータからの平面抽出とその可視化について

CTスキャナーなど３次元測定装置によって得られたボリュームデータから平面抽出する方法には複数の手法が存在する．

・人間のアノテーション

・ISO Surface

第2章　関連研究

　本章では，関連する先行研究と本研究の位置付けを述べる

・マイクロCTスキャナによる文献のデジタル化

・可視化ツールとしてのX線の活用

X線CT（X-ray computed tomography） は，近年なって幅広い分野で活用されるようになった．その応用範囲としては，医療や物性工学，古生物学や考古学などが挙げられる．その可視化原理は素材によるX線の吸収率の違いを基にしている．この手法は測定対象中にX線の吸収率の大きく異なる領域が含まれている場合に有効である．医療用途で用いられるX線CTは，X線吸収率の高い骨とX線吸収率の低い軟組織によって生じる撮影画像のコントラストが重要な役割を果たしている[]．本研究の対象とする古文献の構成要素は主に紙とインクである．紙の種類に関していえば，西洋においては中世には羊皮紙やパピルス紙などが手紙に用いられるようになった[]．インクに関しては，ローマ帝国時代以来，没食子インクが広く利用された[]．没食子インクの主な構成成分は硫酸鉄(Ⅱ)と没食子酸であり，これに含まれる鉄イオンがその色彩上の特性をもたらしている[]．没食子インクのように鉄分を含むインクとセルロースを主成分とする紙との間に生じるX線吸収率の差によって，書かれた文章の可視化が可能であることやその他の種類のインクとの比較検討については，Daniel Stromer らによって明らかにされている．

X線を文献の調査に用いた初期の研究としては，2007年の Bergmann らによって行われた蛍光X線イメージングによる，アルキメデスによって書かれた文献の調査が挙げられる[]．この研究は一度羊皮紙に書かれた文章が削り取られ，その上から別の文章が書かれた文献を対象に，削り取られる前の文章を可視化しようという試みである．同様の手法によって，２種類のインクを区別する手法もBergmann らによって確立された[]．ただし蛍光X線イメージングは文献を開いた上で，直接X線を照射する必要がある可視化手法である．

本研究が対象とする，X線マイクロCTシステムを用いた，開くことができない文献に対する可視化研究としては，Seales, W. B. et al.らによる炭化した文献の可視化事例[]や，Daniel Baumらによるパピルス上に書かれた模様の可視化事例[]，その他の豊富な研究事例[][][]が存在している．

また，本研究では対象としていないが，X線位相イメージングを用いた古文献の可視化事例としては，Vito Mocella らによる，炭化したパピルス紙の巻物の内部を可視化した研究がある[]．この研究では，パピルス紙の密度とインクの密度に大きな違いがなかったため，通常のX線マイクロCTシステムでの可視化は不可能であり，X線位相イメージングが用いられた[]．

・古文献のスキャニング手法？？

冊子体ボリュームデータの定義だが，本研究において冊子体ボリュームデータとは，画像や文章などの平面上に表現された2次元データが3次元空間中で平面に平行に複数枚重ねられたボリュームデータ，及びこれに対して3次元的な変形を加えられたボリュームデータと定義する．

(

書籍や写真の束を3次元的にデジタル化し，ボクセルデータに置く換えたものが本研究の対象とする冊子体ボリュームデータに相当する．

一般的なボリュームデータの取得には複数の手法が存在し，Computed Tomography (以降，CTと呼ぶ．) や Magnetic Resonance Imaging (以降，MRIと呼ぶ．) など主に医療用途で使用される技術を利用する方法や，テラヘルツ波を照射し物体の内部を可視化する手法[] などが提案されている．

本研究では，CTによるボリュームデータの作成を行った．MRIは高磁場を発生させるため，設置場所の条件が厳しく，装置が巨大であること，テラヘルツ波による物体内部の可視化については，測定機材が高価である一方，CTについては装置の小型化が進んでおり，一般の研究者が容易に使用できる環境が整備されていることが今回CTを使用した主な動機である．

)

・冊子体ボリュームデータからのページ抽出

冊子体ボリュームデータからのページ抽出における主要な問題は，ページが3次元的に波打っていること，また素材による影響や経年劣化により伸び縮みしていること，さらにページ同士接合していることなどが挙げられる．

X線CTによって得られた冊子体ボリュームデータから自動的，もしくは半自動的に，独立した1枚のページを取り出す手法は複数提案されている．例えばStromerらによって提案された手法[]では，X線CTによって得られた断面画像に対して，Maier, A.らによって提案された手法[]によって，エッジを保存したまま画像を平滑化した上で，Frangi et al. によって提案されたVesselness Filteringによって２値化し，ページ間のコントラストの明瞭化を図っている．また，Sealesらは，ページのある一点からボリュームデータの二次微分を利用して，同一ページの領域を推定する方法を提案している[]．これら手法では全ての断面画像に対して，同じページに属するピクセルを誤りなく関連付けさせる必要がある．つまり上記の手法は冊子体ボリュームデータに対して，断面ごとに離散的に処理を行うが，本研究の提案する手法は，ページの形状の滑らかさを利用し， 断面ごとのページの対応付けを連続的に行う試みである．

冊子体ボリュームデータからページ抽出を行なった先行研究としては，〜〜によるヴェスヴィオ火山によって紀元79年に炭化したパピルスからページを抽出した例[]や，〜〜らによるベネチアの公文書館？に所蔵されている未開封の手紙をスキャンし手紙の内容を抽出した例[]が存在する．ただこれらの研究において，アノテーションには時間と手間を要し，ページ抽出のプロセスの高速化に対する障害となっている[] この問題に対して〜〜らは冊子体ボリュームデータの断面ごとにページ抽出処理，およびページの重なりの分離処理を施す手法を提案している[]．

・

第3章　冊子体ボリュームデータからのページ抽出

　本章では本研究で使用した冊子体ボリュームデータの作成手法，本研究で提案する手法及びその精度の検証に必要なアノテーションデータの作成手法及びアノテーションデータそのものの有効性の事前検証について述べる．

3.1 冊子体ボリュームデータの作成

本節では，本研究で使用した冊子体ボリュームデータの作成手法について述べる．

本研究では空間分解能52.8μmのX線マイクロCTシステムを用いて，1枚あたりの厚さ100~150μmの紙の束をスキャンし冊子体ボリュームデータを作成した．つまり断面画像において1ページの厚みは１~2ピクセルとなった．またページ間の空気の層の厚みはページと同様の1~2ピクセル程度となるように調整し撮影した．全体のページ数は20枚とした．

図のように半角英数字と記号をA４サイズの普通コピー用紙に16pt，つまり5.64 \* 5.64 mm のサイズで印刷した．つまり一文字あたりおよそ100 x 100ピクセルの空間が与えられている．この際インクには没食子インク？？[小山田先生に要確認]を用いた．没食子インクとは鉄分を含むインクである．鉄分を含んだインクを用いた理由は，重金属の粒子はセルロースをベースとした紙や空気と比較してX線の吸収率が高く，インクの印刷領域とその他の領域のコントラストが大きくなり，印刷された文字，あるいは画像が鮮明に見えるためである．また，鉄分を含むインクは中世ヨーロッパで使用されていたことから[]，本研究の可視化対象に適していると判断した．

X線マイクロCTシステムによる撮影時は平面に近い領域から大きく湾曲した領域まで，複数の条件下のデータを用意するために二つ折りにした状態で撮影を行った．本研究はラプラス方程式によってページ領域の推定を行う基礎的な検証実験を行うため，湾曲の小さい領域を選択し，本研究で提案する手法の検証に用いることとした．撮影によって得られたデータは432 x 275 x 438 ボクセルであり，今回使用する領域は130 x 175 x 121 ボクセルである．

図〜は冊子体ボリュームデータの x-y 断面の例である．複数のページの断面が密に重なっており，またページは完全に平らに置かれているわけではないので，このデータからx軸で直線的にピクセルを取り出す方法では正しくページを抽出することは不可能である．

3.2 アノテーションツールの設計

　本節では，提案する手法によって抽出されたページと，人間の目視によって施されたアノテーションデータによって抽出されたページを比較することで，提案する手法のページ抽出精度を評価する．

アノテーションツールによって正確にページの抽出が行われる必要があるが，CTスキャナーから得られたボリュームデータは図〜に見られるようにノイズを多く含み，そのままでは正確なアノテーションを行うことが困難である．そこで〜らによる先行研究で用いられたようにデータの２値化によるエッジの鮮明化を行う[]． 本研究では適応的２値化を用いた．

本研究で用いたアノテーションツールを機能は，(1)２値化によるエッジの鮮明化，(2)カーソルの移動によって断面図上で連続した1ページの領域を選択（図~）(3)〜軸に沿って選択された複数のピクセルのy値の中央値のピクセルを取り出して厚みのあるページの中央に沿ってピクセルを抽出する．これを全てのページ及びz軸に沿って全ての断面に処理することで，冊子体ボリュームデータからページごとのラベルのついたアノテーションデータが得られる．アルゴリズムを以下に示す．

〜〜〜

〜〜〜

またアノテーションの一連の流れを図〜に示す．

アノテーションツールを用いて前節で述べた冊子体ボリュームデータから121枚のz軸断面図をアノテーションした結果，表〜に示される数のアノテーションデータを作成した．

3.3 アノテーションデータの有効性の事前検証

前節で述べたアノテーションデータが正確にページの座標とラベルを示していることを検証するため，3-1節の冊子体ボリュームデータからアノテーションデータをもとにボクセルデータを抽出した．このデータをページごとに〜軸に射影した結果が図〜である．

〜〜〜〜〜〜〜〜

〜〜〜〜〜〜〜〜

よってこのアノテーションデータが本研究で提案する手法の検証に用いるデータとして有効であると判断した．

曲率計算も！