

Palimpsest 解析システムの開発

加茂 竜一¹ 小室 哲郎¹ 鈴木 理洋¹ 平方 雅隆¹ 永野 壮太¹

¹ 凸版印刷株式会社

Palimpsest とは、過去に書かれた文字を消すことで再利用された羊皮紙の写本のことである。近年、この消された過去の文章の研究と解析が行われており、時折、貴重な文献が発見されている。本発表では、ヴァチカン教皇庁図書館に所蔵された 200 冊以上の Palimpsest 写本の解析を目的として開発を進めている、Palimpsest 解析システムの内容について紹介する。

当システムは、デジタル技術に不慣れな研究者でも容易に扱うことができるという点に主眼を据えており、紫外線と通常光源の 2 光源自動切換え機能を有するスキャナと、輝度のヒストグラムによる階層分離機能を有した画像処理ソフトウェアとで構成されている。

Development of a Palimpsest Analysis System

Ryuichi Kamo, Tetsuo Komuro, Michihiro Suzuki, Masataka Hirakata, Sota Nagano
TOPPAN PRINTING CO., LTD.

Palimpsest is a piece of parchment reused by erasing the characters written in the past. In recent years, research and analysis of erased text have been performed and extremely important references were discovered occasionally. This presentation will provide an introduction to the Palimpsest analysis system that we are developing specifically for the analysis of the 200 or more Palimpsest manuscripts held by the Vatican Library.

This system is developed so that even a researcher unfamiliar with digital technology can use this system easily. It consists of a scanner with two light sources (white rays and ultraviolet rays) that can automatically change and image-processing software with a layer separation function using a histogram of luminosity.

1. はじめに

Palimpsest とは、再利用された羊皮紙の写本のことである (図 1、図 2)。Palimpsest という単語自体はギリシャ語で『削って書き直した物』(Palin「再び」+ Psen「こする」)を意味し[1]、その名の通り、過去の文字を削り取り上書きするという方法で再利用されている。このような羊皮紙の再利用は主に中世の地中海沿岸からビザンチン世界までを中心として一般的に行われていた。羊皮紙は、その製作に複雑な工程を要したため、当時、非常

に高価なものであり、経済的な事情からこうした再利用が盛んに行われたのである。羊皮紙写本は、主に祈祷書など宗教関連の書物として再利用されたが、元々はギリシャ・ローマ時代の古典の写本といった貴重な歴史史料であることも多く、有名なものとして、ギリシャの数学者アルキメデスの『浮体について』と『方法論』の写本[2]やローマの哲学者キケロの『国家論』の写本[3]が Palimpsest から発見されている。こうしたことから Palimpsest に元々書かれていた内容に関する解析が 100 年以上前から行われてきた。昔は拡大鏡や薬剤を用いるなどの手法が用いられていたが、近年では、デジタル技術を駆使した解析作業なども行われるようになってきている。

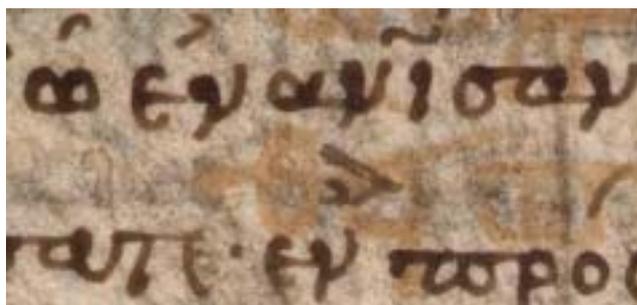


図 1 (左): Palimpsest

図 2 (上): 同拡大図

今回、開発した Palimpsest 解析システムは、ヴァチカン教皇庁図書館[4]と凸版印刷株式会社との共同による Palimpsest 解析プロジェクト[5]での利用を目的としたものであり解析対象はヴァチカン教皇庁図書館に所蔵されている多数の Palimpsest 写本である。当システムは、写本をデジタル保存し解析する機能をハードウェアとソフトウェアの両面から提供するものであり、現場の研究者が容易に扱えるということに重点を置いて製作されている。具体的には、当システムは、紫外線と通常光源の 2 光源自動切換え機能を有するスキャナと、輝度のヒストグラムによる階層分離機能を有し、簡易で直感的なインターフェースを備えた画像処理ソフトウェアとで構成される。

2. 既存の解析手法

まず、Palimpsest の解析に用いられるポピュラーな技法として、紫外線照射が挙げられる。中世の写本に使われていたインクの鉄や胆汁といった成分は、羊皮紙に含まれる蛋白質や脂肪と化学反応を起こすことで、これらの分子を変化させる。この変化の痕跡は表面のインクが削り取られた後でも羊皮紙内に残る。分子が変化した部分は、紫外線を照射されると、他の部分と異なる蛍光反射を返す [6]。これにより、かつてインクが染み込んでいた部分、すなわち削り取られた過去の文字を浮かび上がらせることができる(図 3、図 4)。

具体的には、紫外線ライトを写本に当てた状態で、直接読んだりカメラで撮影したりといった手法が用いられる。デメリットとして、紫外線を長時間照射することで写本の状態に影響を及ぼしかねないことが挙げられる。

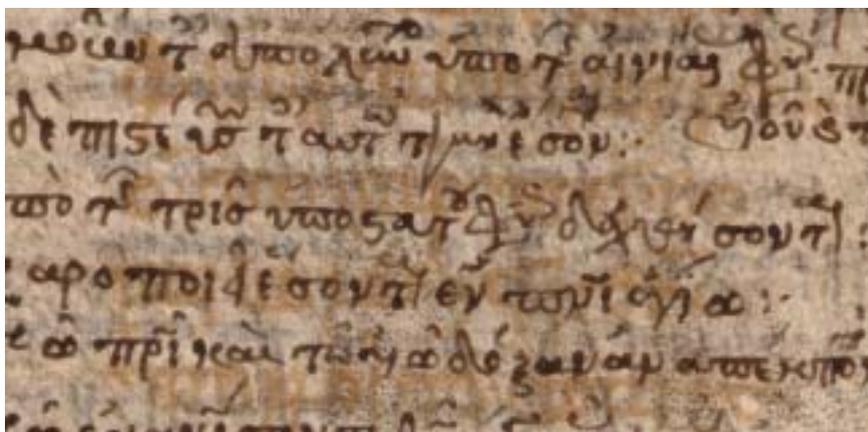


図 3：通常光源によるスキャン画像

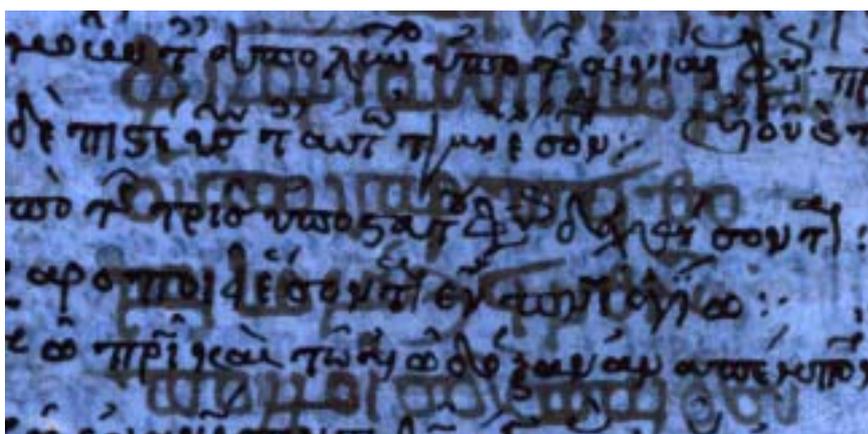


図 4：紫外線光源によるスキャン画像

次に、マルチスペクトル画像を用いた解析手法が挙げられる。一般的に用いられる RGB 画像は、可視光線のスペクトルを 3 原色に対応する 3 つの帯域に分けて取得して生成されるものである。これに対し、マルチスペクトル画像は、可視光線の範囲に留まらない広い帯域を対象とし、さらに、そのスペクトルを複数の非常に狭い帯域に分けて取得することで造られる。そのため、マルチスペクトル画像は RGB 画像を上回る色情報を含んだものとなる。具体的には、解像度の高いデジタルカメラと光学フィルタとを組み合わせた特殊なカメラを用いて撮影を行うことで、解析対象のマルチスペクトル画像を取得する。デメリットとしては、解析に適したマルチスペクトル画像を撮影するうえで、専門的な技術と知識が必要となることが挙げられる。

また、他の手法として共焦点顕微鏡を用いるものもある。共焦点顕微鏡は、通常の顕微鏡よりも深さ方向の分解能に優れており、解析対象の光学的な断面図を生成することが可

能である。これにより、Palimpsest の特定の層のみを分離して見る事が可能となる。デメリットとしては、マルチスペクトル画像を用いた解析手法同様、共焦点顕微鏡の扱いに専門的な技術や知識が必要となる事が挙げられる。

3. 光学的な解析手法

3.1. 解析手法の選択

今回の共同研究では、デジタル技術に不慣れな研究者でも簡単に扱える解析システムを構築することが重要な目標である。そのため、利用者に熟練と技術を要するマルチスペクトル画像や共焦点顕微鏡を用いる手法は選択肢から除外し、比較的、扱いが容易である紫外線照射手法を選択することとした。次にデバイスの選択肢として、スキャナとデジタルカメラの 2 種類のデバイスが挙げられる。高解像度のデジタルカメラでの撮影は、専門的な照明技術等が必要となり、かつ紫外線照明を長時間に渡って写本に当て続けねばならないのに対し、同程度の解像度を有するスキャナは、取り扱いが簡単なうえに、写本に当てる紫外線の光量も少なくて済む。こうした理由から、紫外線を照射可能なスキャナを採用した。

3.2. 実装

スキャナユニットには通常光源と紫外線光源の 2 種類の光源が組み込まれており、スキャナ制御用のソフトウェアで光源の切り替えが可能となっている。光源の切り替えはシステム内部で自動的に行われ、一度のスキャン操作で通常光源と紫外線光源の 2 種類の光源でスキャンした画像を得ることができる。通常光源によるスキャン画像は主にアーカイブ用途に、紫外線光源によるスキャン画像は解析用途に利用される。

解析の精度や効率だけでなく、いかに写本を損なうことなくスキャンを行うかというのも重要なテーマである。解析対象となる Palimpsest 写本は、非常に古いものが多い。経時劣化以外でも、火災や水害などにより損傷を受けたケースもある。また、一時期、下層の文字を読み取りやすくする手段として、酸性の薬剤を塗るという手法が研究者に取り入れられたこともあり、酸化が進んでしまっている写本なども存在する。

従来のフラットヘッド型のスキャナを利用した場合、通常、本を表裏逆にして開き、上から押し付ける形でスキャンを行う。しかし、こうした形でスキャンを行うと、上から押し付ける力や本自体の荷重が解析対象のページにかかり、そのページを傷めかねない。また、本を表裏逆にして開くという時点で、通常、本を利用する際にはかかることの無い力が各所にかかるため、本自体を傷めることにもなりかねない。そこで、今回開発を行ったスキャナでは、「懸垂式」という独自の機構を採用することとした。具体的には、フラットヘッドスキャナのユニットを天地逆にし、上下に稼動が可能な天板に設置することで、スキャナのユニットを上から吊り下げる形にしたものである。写本は、専用のブッククレイ

ドルの上に、解析対象となるページを開いた形で置き、吊り下げられたスキャナのユニットを天板ごと下へ降ろすことで、ページの上からスキャンを行う。天板は任意の位置で固定することが可能であるため、スキャナユニットや天板の荷重が、そのまま解析対象のページへとかかることはなく、可能な限り、ページにかかる荷重を抑えることができる。また、本も通常利用する際と同じように開いて置くため、本自体に無理な力がかかることもない。このような機構を採用することで、従来のフラットヘッド型のスキャナと比較して、写本の保護に適したスキャナとなっている。



図 5：スキャナ全体像

4. 画像処理による解析手法

4.1. 階層分離アルゴリズム

光学的な解析手法によって得られた画像を用いて、さらに画像処理による解析を行う。本研究では、同時期に書かれた文字群の画素の輝度値が似通ったものとなる傾向に着目し特定の範囲の輝度値を有する画素のみから成る画像を生成することで、各時代別にテキストを抜き出すという階層分離アルゴリズムを考案した。具体的には、対象画像の輝度値 Y のヒストグラムを取得し、その中で特定の輝度値の範囲を指定することで、指定された範囲内の輝度値を有する画素のみで構成される画像を生成する。これにより、半自動的に Palimpsest 各層のテキストの画像を生成することが可能となる。

輝度値 Y の算出には、以下の式を用いて各ピクセルの RGB 値から算出する。

$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B$$

図 6 は、図 4 の画像のヒストグラム内で上層テキストの輝度値の範囲を指定したものであり、図 7 は、範囲内の画素を描画したものである。図 8,9 は同様に下層テキストの輝度値の範囲を指定し、これを描画したものである。

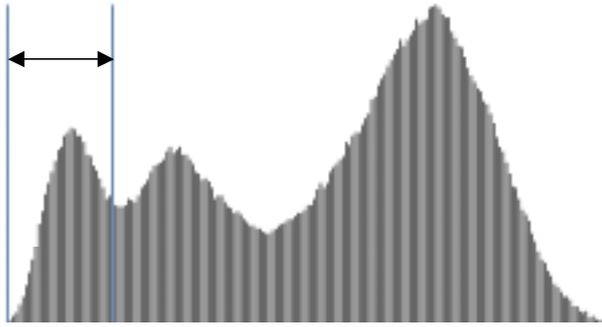


図 6：輝度値ヒストグラム（上層範囲指定）

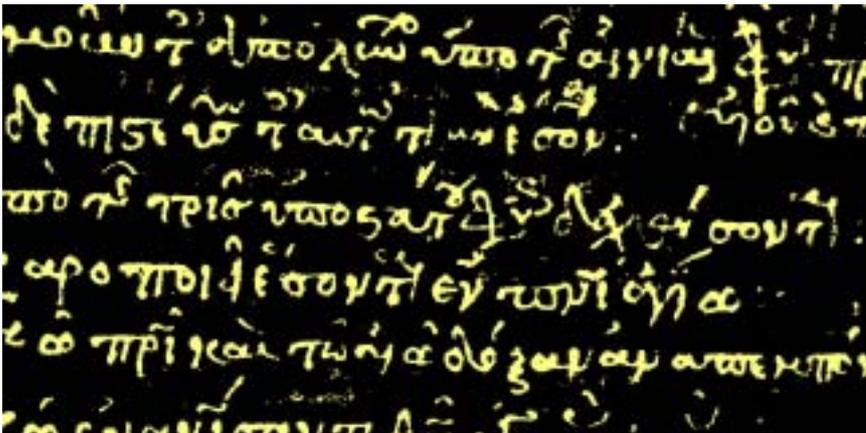


図 7：上層テキスト

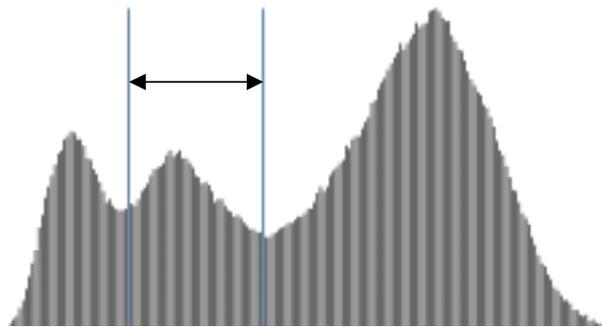


図 8：輝度値ヒストグラム（下層範囲指定）

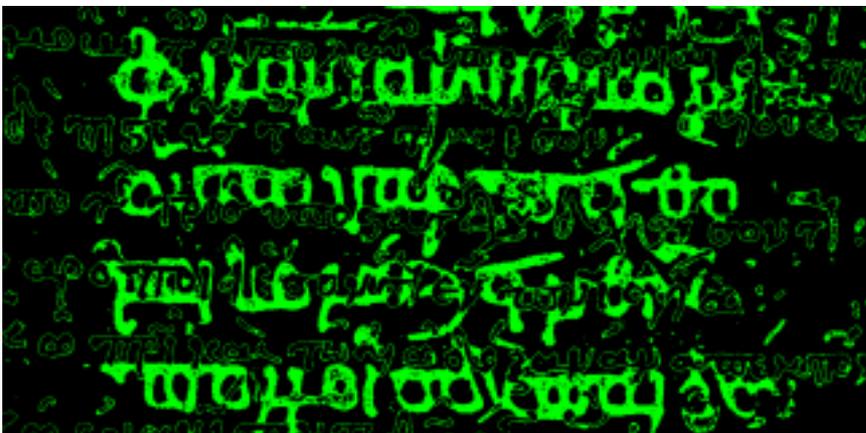


図 9：下層テキスト

4.2. 実装

解析ソフトウェアは、上記の階層分離アルゴリズムに加え、コントラスト調整、ノイズリダクション、エッジの先鋭化等の基本的な画像処理機能を備えた形で実装した。また、通常光源でのスキャン画像と紫外線光源でのスキャン画像と 3 層のテキスト画像とから成る計 5 層の画像をレイヤー表示することができ、各層の表示・非表示の設定、透過率の設定等が可能となっている。インターフェースは、画像処理ソフトウェアの扱いに不慣れな研究者でも簡単に扱えるように、簡素で直感的なものを採用している。

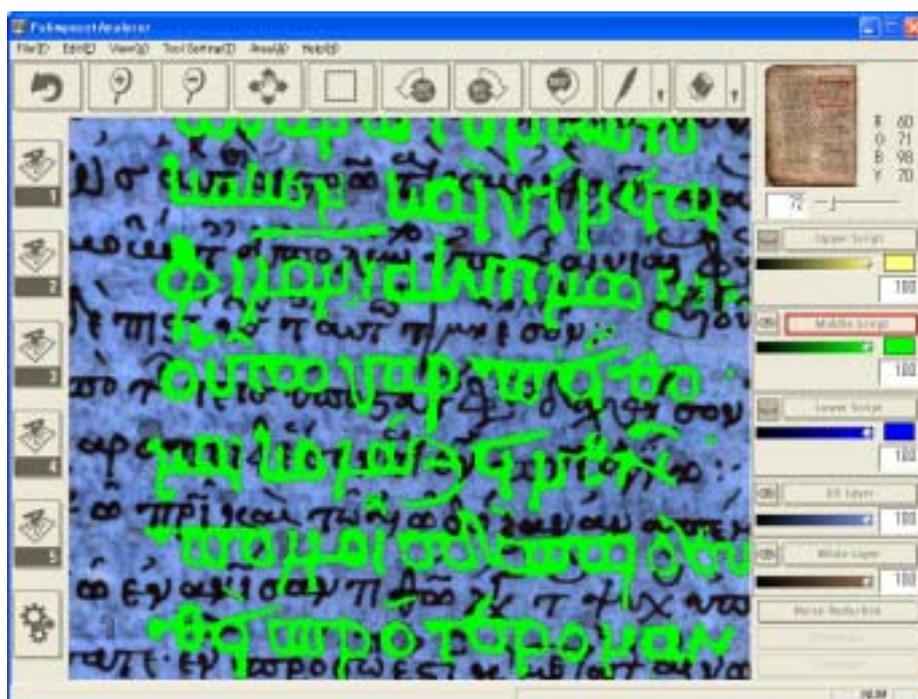


図 10: 解析ソフトウェア(スクリーンショット)

5. 今後の課題

Palimpsest の中には、紫外線照射による解析手法だけでは読み取りにくいものもある。例えば、過去の研究者が下層の文字を読み取りやすくしようと酸性の薬剤を塗ったものの中には、酸による損傷が進んだために、紫外線照射による解析が困難なものがある(図 11)。このようなケースでは、より高度な光学的解析手法を併用して解析を行うのが有効であると推測されるが、前述したように、こうした手法はスキャナと比較して扱いが難しく敷居が高いものであるため、これらをいかに使いやすい形でシステムに取り入れていくかが、今後の重要なテーマとなる。

また、消された文字の真上から新しい文字が書き込まれている場合、紫外線照射を行って下層の文字を浮き上がらせても、新しい文字と重なっている部分が欠けてしまう。こうした文字の欠損部分を、パターン認識等の画像処理技術を応用することで推定し補完する手法の研究も今後の重要な課題と言える。

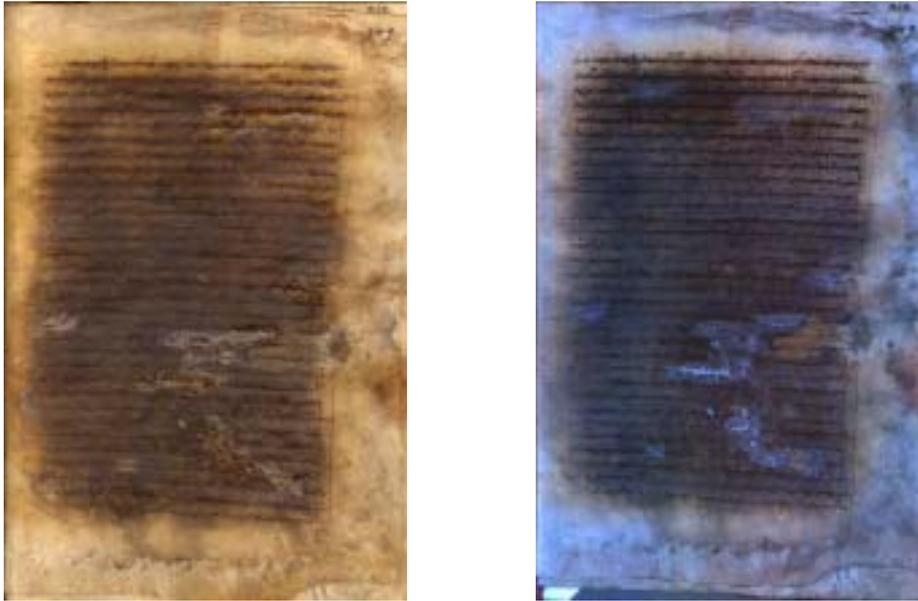


図 11：酸を塗られた Palimpsest（左：通常光源 右：紫外線）

6. まとめ

今回、Palimpsest 解析システムとして、紫外線と通常光源の 2 光源自動切換え機能を有するスキャナと、輝度のヒストグラムによる階層分離機能を有した画像処理ソフトウェアの開発を行った。これらは、2005 年 4 月にヴァチカン教皇庁図書館に導入され、現在、現地の研究者によって運用されている。Palimpsest 解析システムは、まだ開発途上のシステムであり、今後、研究者の方からのフィードバックを受けつつ、より使いやすく高度なものへと改良を続けていく予定である。

参考文献

- [1] Yourdictionary.com, <http://www.yourdictionary.com/wotd/wotd.pl?word=palimpsest>
- [2] NOVA, “infinite secrets,” <http://www.pbs.org/wgbh/nova/archimedes/>
- [3] 高田康成「キケロ - ヨーロッパの知的伝統 - 」岩波新書（1999）
- [4] Vatican Library, http://bav.vatican.va/en/v_home_bav/home_bav.shtml
- [5] <http://eb.toppan.co.jp/news/release/article0207.html>
- [6] Wired-News, <http://wired-vig.wired.com/news/technology/0,1282,39870,00.html>