

[B31] 非接触式イメージスキャナ「オルソスキャナ」の開発： オルソ画像の寸法精度がもたらす分割撮影画像の自動画像合成

○一ノ瀬修一¹⁾, 浦野あずみ¹⁾, 佐藤武彦²⁾

¹⁾ アイメジャー株式会社, 〒390-0876 長野県松本市開智 2-3-33

²⁾ 株式会社シン技術コンサル

E-mail: info@imeasure.jp

Development of Ortho-Scanner as non-contact image scanner:

The dimensional accuracy of orthogonal image enables automatic multi-image stitching.

ICHINOSE shuichi¹⁾, URANO azumi¹⁾, SATO Takehiko²⁾

¹⁾ IMEASURE INC., 2-3-33 Kaichi Matsumoto Nagano, 390-0876 Japan

²⁾ SHIN ENGINEERING CONSULTANT CO., LTD.

【発表概要】

従来、原資料の非接触撮影には、カメラ撮影方式が用いられている。原資料が数メートルにも及ぶ巨大な古地図等を光学解像度 400dpi で撮影する場合は、複数回に分けて分割撮影し、画像処理ソフトを用いて接合して再統合する手法が用いられる。しかしながら、画像接合時に一定の寸法歪みを回避できない問題があった。

我々はテレセントリックレンズを採用した非接触式のイメージスキャナ「オルソスキャナ」を開発した。温度依存性を評価した結果、1メートル長に付き、0.1ミリメートル未満の寸法精度を達成する能力があることが判った。その結果、1万対1という高い寸法精度でデジタルアーカイブが可能となるだけでなく、分割撮影画像の接合作業が全自動で行えるようになり、大幅な撮影作業時間の短縮が期待される。

1. はじめに

古地図などをデジタルアーカイブする際に使用する画像入力装置（デジタルカメラやイメージスキャナ）に対する主な要求仕様は

(1) 光学解像度、(2) 階調性、(3) 色再現性、(4) 寸法精度の4点が挙げられる。光学解像度は原資料に対して 300～400dpi、階調性は 24 ビットフルカラー、色再現性は ICC プロファイルを適用し、原資料との色差を一定値以下に抑えることが推奨されている[1]。しかしながら、寸法精度に関しては、原資料と同時に巻尺を写し込む事が規定されている以外、仕様書サンプルの事例としてスキャン時の光学解像度の誤差が例示される程度である。資料をデジタル化する目的の1つは「原資料の代わりにデジタル化した資料を提供することにより、原資料をより良い状態のまま保存すること」であるから、原資料に再度アクセスする必要の無い程度の寸法精度が期待される。

一回の撮影やスキャンで納まる寸法の原資料であれば、得られるデジタルアーカイブ画像の寸法精度は、使用するイメージスキャナの精度で決まる。また、デジタルカメラで撮影する際には、巻尺を原資料と一緒に写し込むことで校正し、一定の寸法精度を保証することが可能となる。しかし、大きな寸法の古地図などの場合は、規定の光学解像度を確保しようとする分割撮影を避けられない。そのため、複数枚の画像を画像編集ソフトにて再度接合作業を行うことになる。そのため、再統合された最終画像の寸法精度についての規定が必要と思われるがそれらの規定は特に見あたらなかった。

本論文では、既存の撮影技術の課題を整理し、オルソ（正射投影）画像によるスキャン方法を提案する。また、開発したオルソスキャナの寸法精度の評価結果を報告する。

2. 中心投影と正射投影画像の比較

2.1 中心投影画像の課題-1:距離変動

カメラで撮影される画像は、中心投影画像と呼ばれる。原資料とカメラの距離に応じて、撮像される画像の寸法精度は影響を受ける。Figure-1に説明断面図を示す。例えば、原資料とレンズとの距離 L が1メートルとした場合、原資料（ターゲット）との距離 Δh が1ミリメートル変動すると、千分の1の寸法誤差が生じる。もし、2メートル×2メートルの古地図を、1メートル四方で4回に分けて分割撮影するケースを考えると、千分の1の誤差は、古地図上で1ミリメートルのズレを意味する。古地図に描かれた線画の線幅が、1ミリメートル未満であれば、正確な地図の撮影と再接合の作業は困難を極める。

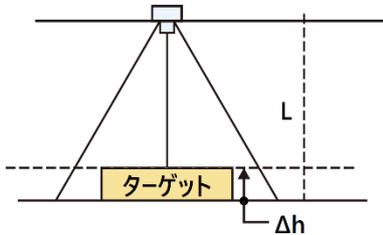


Figure-1:中心投影画像の撮影距離変動の影響

2.2 中心投影画像の課題-2:光軸傾き

次に、原資料がデジタルカメラのレンズに対して傾いて設置されている場合、もしくはレンズの光軸が、原資料に対して垂直に設置されていないケースを考察する。Figure-2に説明断面図を示す。先ほどと同様に原資料とレンズとの距離 L が1メートルとして、光軸の傾きの影響で、片方だけが1ミリメートルレンズに近づいた場合を考察する。先ほどと同様に、千分の1だけ寸法誤差が生じる。大きな古地図を左右にずらして分割撮影を行うケースを想定すると、分

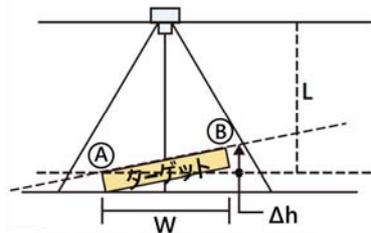


Figure-2:中心投影画像の光軸傾きの影響

割撮影された画像の接合部分で、千分の1の誤差が生じることになる。具体的には、地図上にて1ミリメートルの誤差となるから、先ほどと同様に地図の再接合は困難を極める。

2.3 イメージスキャナ方式の課題

イメージスキャナ方式では、プラテンガラス面に原資料が密着して設置される限りにおいて、寸法精度と光軸の直交性の精度が保証され、上述のカメラでの撮影操作上に生じる課題は発生しない[2]。しかし、原資料がプラテンガラスから浮いた場合や、非接触式のイメージスキャナの場合では、ラインセンサの配列方向（主走査方向）は、カメラ方式と同様に中心投影画像であり、寸法誤差が生じる。一方、ラインセンサの配列とは直角な方向（副走査方向）は機械的な走査であるため、後に述べる正射投影画像となり、原資料の浮きが原因の寸法誤差は生じない。そのため画像の縦横で、寸法精度の不整合が生じ真円が楕円になるといった不具合が生じる。

2.4 オルソ画像によるスキャンニング

以上の課題を解決した撮像方式が、オルソ画像の撮影系である[3]。Figure-3は、中心投影画像を得る通常光学系と、オルソ（正射投影）画像を得るテレセントリック光学系の結像断面図である。

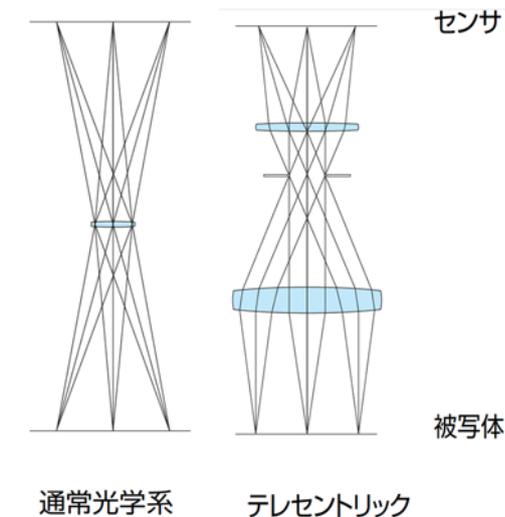


Figure-3:中心投影画像を得る通常光学系とオルソ画像を得るテレセントリック光学系

被写体からの反射光はレンズを経てセンサに結像される。通常光学系（中心投影画像）では、レンズを通過した光線は全てセンサに到達する。一方、テレセントリック光学系（オルソ画像）は、被写体（ターゲット）側のレンズとセンサ側のレンズの間に、被写体側レンズの焦点距離の位置に絞り環が配置されていることが特徴である。被写体から放たれる反射光線の内、光軸に並行な（すなわち被写体に鉛直な）光線のみが絞り環を通過した後センサに辿り着き結像に寄与する。その結果、Figure-4 に示す通り、原資料とレンズとの距離が変動した場合であっても、寸法誤差は生じない。

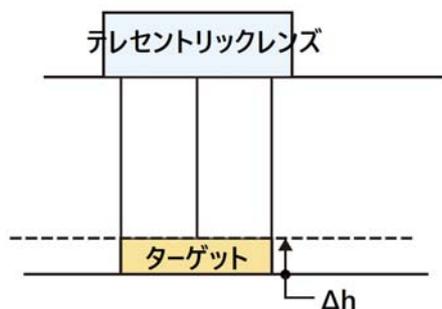


Figure-4:オルソ画像の撮影距離変動の影響

また、被写体（ターゲット）の傾き、もしくは光軸の傾きによる倍率変動は、余弦を含む式 $(1 \cdot \cos \theta)$ で求めることができる。例えば、Wを1メートル、 Δh を1ミリメートルとした時の倍率変動は 0.5×10^{-6} であり、原資料と光軸の間に傾きが生じた場合であっても、十分に無視できる程度の量であることが判った。Figure-5 参照。

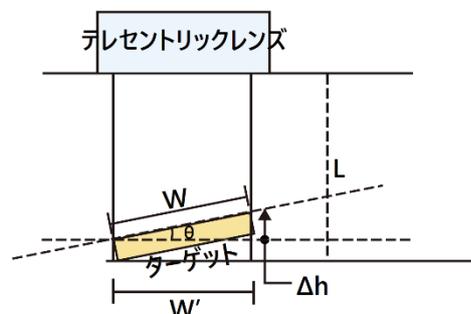


Figure-5:オルソ画像の光軸傾きの影響

3.オルソスキャナの評価

3.1 設計図面専用フィルムによる計測

設計図面の出力用紙として使用される低線膨張係数の専用フィルムを用いて、オルソスキャナの寸法精度の評価を行った。寸法精度を確保するためには、(1) 絶対寸法精度、(2) 繰り返し寸法精度、(3) 温度依存性の3つの評価が必要である。今回の実験では、スキヤニングの環境温度を要因として8水準の環境温度における寸法精度を求めた。設計図面専用フィルム+オルソスキャナシステムにおける寸法精度の繰り返し寸法精度と温度依存性を求めた。

3.2 実験方法

有効取り込み範囲、600 x 1000 ミリメートルのオルソスキャナに、550 x 950 ミリメートルの格子グリッドを描いた設計図面専用フィルムを設置し、スキヤニングを行う。スキヤニング環境温度は、19.5、19.6、21.6、23.7、24.0、25.1、25.5、27.2°Cの8水準で行った。グリッドの線幅は、0.2 ミリメートルである。スキヤニング光学解像度は、800dpi、256 階調のグレースケール画像より線画の濃度重心を求めることで、0.2 ピクセル（約3 マイクロメートル）の繰り返し測定精度で、グリッドの中心を求める専用の画像処理ソフトウェアを開発し計測した。

3.3 実験結果

550 x 950 ミリメートルの格子グリッドの上辺、下辺、左辺、右辺をそれぞれ、XT (X 軸 Top)、XB (X 軸 Bottom)、YL (Y 軸 Left)、YR (Y 軸 Right)と呼ぶ。寸法精度は、次の式で求めた。

$$\text{寸法精度} = \frac{1 \text{ ピクセルあたりの寸法 [mm]} / \text{設計寸法 [mm]}}$$

Figure-6 は、計測結果をグラフにしてプロットしたものである。また、Table-1 は、得られた直線回帰式の係数である。

3.4 結論

グラフより、寸法精度の繰り返し再現精度は、1 万分の1程度に収まっていることが判った。また、スキヤニング環境温度を $\pm 1^\circ\text{C}$

に管理する、もしくは、スキヤニング時の環境温度を計測して温度補正を実施することで、1万分の1の寸法精度を実現可能であることが推察された。

Table-1: 温度依存性直線回帰式の係数

	線膨張率[$\times 10^{-6}/K$]	直線回帰式 ($y=ax+b$)	相関係数 ($R^2=$)
XB	34.19	$0.00003419x + 1.00003880$	$R^2 = 0.92080254$
XT	37.18	$0.00003718x + 0.99989074$	$R^2 = 0.94192710$
YL	37.05	$0.00003705x + 0.99918568$	$R^2 = 0.94850262$
YR	34.69	$0.00003469x + 0.99907469$	$R^2 = 0.93684568$

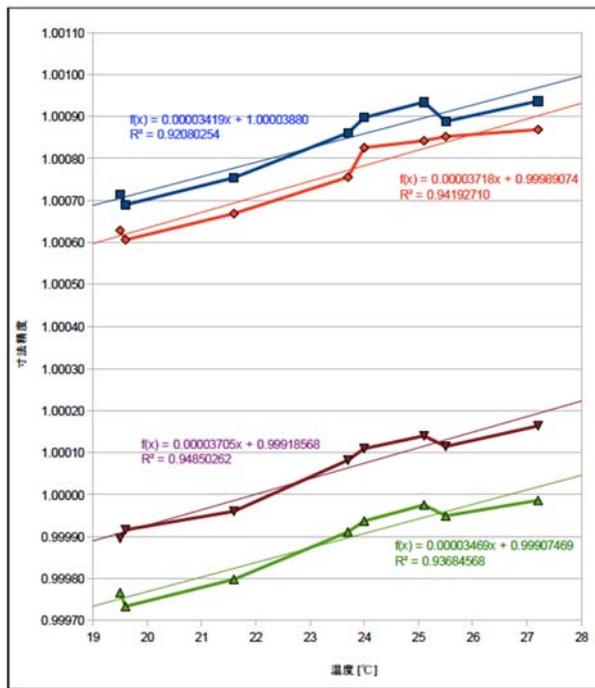


Figure-6: オルソスキャナ寸法精度の温度依存性

4. おわりに

本論文では、原資料をスキヤニングする装置の要求仕様として、寸法精度の重要性を提唱した。特に大きな寸法の古地図などを分割撮影する際に、一定の精度を確保するために、重要であると思われる。また、オルソ画像を撮影可能な非接触式イメージスキャナ「オルソスキャナ」を開発し、その寸法精度の環境温度依存性を実験により求めた。その結果、1万対1という高い寸法精度でデジタルアーカイブが可能となるだけでなく、分割撮影画像の接合作業が全自動で行えるようになり、撮影作業時間や撮影後の画像編集時間の大幅な短縮が期待できることが判った。

参考文献

- [1] 国立国会図書館. 資料デジタル化の手引 2017 年度版. <http://www.ndl.go.jp/jp/aboutus/digitalguide.html> (accessed 2018-01-05).
- [2] 松下ら. カラーイメージスキャナ設計技術, トリケップス, 1991, 184p.
- [3] 一ノ瀬修一. 正射投影イメージスキャナ OrthoScan-1000 の開発 アーカイブに適した撮像装置の提案. 画像ラボ. 2005, vol. 15, no. 12, p.18-24.



この記事の著作権は著者に属します。この記事は Creative Commons 4.0 に基づきライセンスされます (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)。出典を表示することを主な条件とし、複製、改変はもちろん、営利目的での二次利用も許可されています。