

スマートフォンを用いた歴史的建造物に対する簡便調査用ソフトウェアの開発

Development of Convenient Field Survey Software for Historical Structure by Using Smartphone

國井 洋一*

Yoichi KUNII

Abstract: In Japan, there are many kinds of historical structures which are temples, shrines, private house and so on. Such structures should be observed by landscape architects or researchers due to conservation of landscape assets. With this objective, a software which can be operated as a measurement tool was developed in this investigation. The algorithm of the software is constituted by photogrammetric theory, and assumed the measurement of the historical structures by using a smartphone. The smartphone can be performed taking images and positioning by using GPS. Therefore, a field survey of a historical structure was performed by using only the smartphone, and measurement for the structure was attempted by using the developed software. The traditional photogrammetry was required some ground control points (GCP) or scale factor in measurement space. Nevertheless, the software can be operated by using only taking images and positioning data. As a result, the measurement of the historical structure was realized, and checking accuracy for the measurement was performed. As the further work, measurement accuracy will be improved by resolve of some problems, and user interface of the software will be arranged. These issues should be resolved due to the software will become operational tool for landscape field survey.

Keywords: GPS, photogrammetry, smartphone, historical structure, measurement

キーワード: GPS, 写真測量, スマートフォン, 歴史的建造物, 計測

1. はじめに

日本には、寺社や仏閣、古民家などの歴史的建造物が数多く存在する。その中には、造園遺産としての価値が高いものも多く含まれており、既に多くの造園家や研究者によって保存等に向けた調査が行われているものや、今後調査されるべきものが多く存在する¹⁾。歴史的建造物に対する一般的な現地調査の手法としては、写真撮影やスケッチ、コンベックスによる簡易な実測などの簡便な調査から始まることが多い²⁾。通常、写真撮影にはデジタルカメラが利用されるが、最近ではスマートフォンが急速に普及しており、デジタルカメラと遜色の無い高画質の写真が撮影できるようになった。さらに、スマートフォンはGPS(全地球測位システム)によって撮影位置も容易に取得可能であることなども考慮すると、現地調査の道具としての有用性が高いと考えられる。

また、現地調査における写真撮影は、主に対象建造物の現況の記録目的で実施されることが多いが、写真データのさらに発展的な活用法として、物体の3次元計測が行うことのできるデジタル写真測量³⁾の技術も存在する。デジタル写真測量は、対象物に対して複数枚の写真を撮影し、撮影した写真を用いて解析を行うことで3次元計測を実施するものである。従来のデジタル写真測量では、3次元座標が既知である地上基準点を計測対象範囲内に複数配置する必要があった。その労力を軽減するために、地上基準点の代わりに任意の2点間に対する距離のみを既知量として与える手法⁴⁾が提案されたが、対象物に一切触れることのできない場合には利用が困難である。

そこで本研究では、スマートフォンによって撮影された写真ならびにGPS測位情報を活用し、現地調査において歴史的建造物に一切接触せず簡易な計測するためのソフトウェアを開発した。さらに、スマートフォンを用いて歴史的建造物の現地調査を行った後、開発したソフトウェアによって求められた3次元座標を検証し、ソフトウェアの実用性および将来性について考察した。

なお、本研究における調査は、埼玉県日高市の「高麗家住宅」

を対象に実施した。高麗家住宅は8世紀初頭における武蔵国高麗郡の統治者“高麗王若光”の子孫のための住居として17世紀前半に建築され、1971年に国指定重要文化財としての指定を受けた建築物である⁵⁾。写真-1に高麗家住宅の外観を示した。

2. スマートフォンによるデータ取得について

本研究における現地でのデータ取得作業には、Apple社製のスマートフォン「iPhone4」を用いた。iPhone4において、本研究に直接関わる部分の仕様を表-1に示した⁶⁾。iPhoneに搭載されているGPSの測位方式は単独測位であり、一般的な携帯電話と同様である。また、センサの種類や画素数等の仕様についても、他のスマートフォンとほぼ同等であることから、スマートフォンによる事例として応用性のある成果が得られると判断し、本機種を採用した。このスマートフォンを用いて、高麗家住宅の正面を



写真-1 高麗家住宅

*東京農業大学地域環境科学部造園科学科

表-1 iPhone 4 の仕様 (計測関連のみ)

カメラ	画素数	2592 × 1936 (約500万画素)
	焦点距離	3.85mm
	センサ	1/3.2インチCMOS
	フォーカス	オートフォーカス
GPS	測位方法	単独測位 (Assisted GPS)

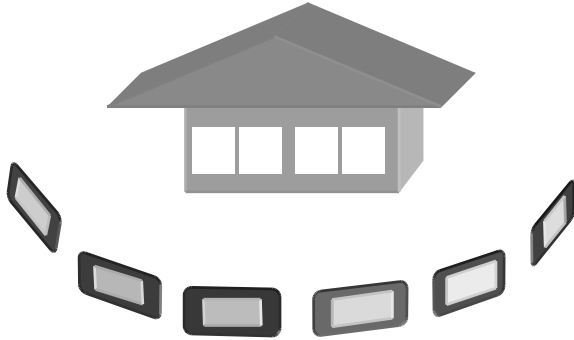


図-1 撮影イメージ

中心に図-1 に示したように計 6 枚の写真を撮影し、同時に GPS による測位が行われるよう設定した。GPS 測位によって得られた緯度および経度の情報は、各写真に Exif 情報として自動的に付与され、PC 上において画像ファイルのプロパティによって確認することができる。表-2 に撮影写真および緯度・経度の情報を示した。なお、標高データに関しては、対象地の地形がほぼ平坦であることから、本研究では使用しないこととした。

3. 開発ソフトウェアによる処理手順と原理について

(1) 各写真における対応点の取得

デジタル写真測量を行う上では、各写真において共通に写し込まれている対応点を取得する必要がある。本研究では 6 枚の写真に対し、扉の枠や柱の上下端などの対応点が目視で認識し易い箇所に着目した。それにより、図-2 に示したように対応点をソフトウェア上でのマウスクリックにより取得し、この作業によって取得した図-3 に示した計 50 点を計測点として用いることとした。

(2) 相互標定

一般的な写真測量においては、3 次元座標が既知の地上基準点が計測対象内に複数存在するため、地上基準点を用いて解析することで、撮影した際のカメラの位置・姿勢が得られ、さらに任意の計測点に対する 3 次元座標を求めることが可能となる。しかしながら、本計測においては地上基準点が存在しないため、まずは相互標定によって 6 枚の写真の撮影時におけるカメラの相対的な位置および姿勢 (相互標定要素) を求めるよう、ソフトウェアに組み込んだ。相互標定は任意の 1 枚の写真に対するカメラの位置・姿勢を基準とするため、本ソフトウェアにおいては対象物に向かって最も左端で撮影された写真を基準として、他の写真との

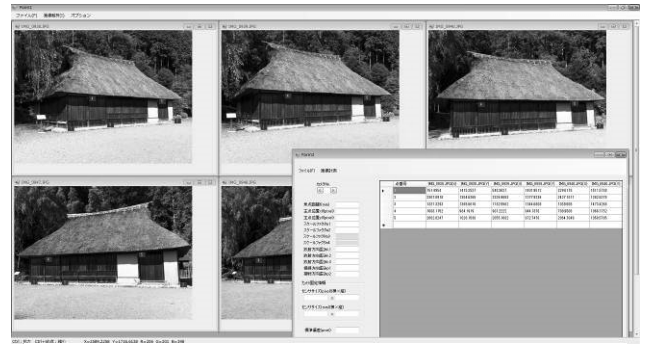


図-2 ソフトウェア上における対応点の取得



図-3 複数写真の対応点 (IMG_0938.JPG と IMG_0949.JPG の例)

それぞれのペアによって相互標定要素を順次求める仕組みとした。すなわち、本計測においては表-2 中の「IMG_0938.JPG」が基準となる。さらに、ここではカメラの焦点距離やレンズ歪み補正係数といったカメラ固有のパラメータである内部標定要素⁹⁾についても同時に求めるよう組み込んだ。以上を整理すると、本ソフトウェアでの相互標定における未知量は各ペアに対して表-3 に示した 15 個となる。相互標定は対応点 1 点につき観測方程式が 1 個得られるため、対応点 15 点以上で全ての未知量が算出される

表-2 高麗家住宅における撮影画像と位置情報

ファイル名	IMG_0938.JPG	IMG_0939.JPG	IMG_0940.JPG	IMG_0947.JPG	IMG_0948.JPG	IMG_0949.JPG
写真						
緯度	35° 53' 56.37"	35° 53' 56.65"	35° 53' 56.57"	35° 53' 57.13"	35° 53' 57.31"	35° 53' 57.33"
経度	139° 19' 21.11"	139° 19' 21.54"	139° 19' 21.47"	139° 19' 21.41"	139° 19' 21.44"	139° 19' 21.25"

表-3 相互標定における未知量

内部標定要素 (10 個)		相互標定要素 (5 個)	
焦点距離 (mm)	f	姿勢角 (° ' ")	ω
主点位置 (pixel)	x_p, y_p		ϕ
スケールファクタ	a_1, a_2		κ
放射方向歪み係数	k_1, k_2, k_3	位置	B_x
接線方向歪み係数	p_1, p_2		B_y

こととなる。

(3) 外部標定要素の算出

上記によって得られた相互標定要素のカメラ位置は、各写真撮影時の位置の相対的な位置関係を表したのみのものであるため、この段階ではスケールが定まっていない。そこで、本ソフトウェアでは撮影時の GPS 測位情報を利用して各カメラ間の実距離を求める機能を組み込み、求めた距離を用いてスケール無しの相対座標からスケール有りの絶対座標へと変換させる仕組みとした。本計測においては、「IMG_0939.JPG」と「IMG_0940.JPG」の GPS 測位データから2枚の写真に対する撮影点間の距離(3.01m)が求められ、実際のスケールによる標定要素(外部標定要素)の算出に用いられた。表-4 に算出された外部標定要素の一覧を示した。

以上により得られた内部標定要素と外部標定要素より、各計測点に対する 3 次元座標は写真測量の基本原理解である共線条件¹⁰⁾を用いて算出された。

(4) 最終標定

ここまでの処理によって各写真に対する内部・外部標定要素ならびに全計測点に対する 3 次元座標が得られたが、3 次元座標は相対座標をスケールアップしたものであるため、精度面の不安定さが残るものと推測される。そこで、本ソフトウェアにおける計測処理の最終段階として、全標定要素および全計測点に対する 3 次元座標をいずれも未知量とし、全計測点を地上基準点とした多数の共線条件式を用いて最終的な標定処理を行うこととした。図-4 に本ソフトウェアにおける処理画面を示した。

4. 計測結果の検証

以上の開発ソフトウェアに対する実用性を確認するために、ソフトウェアにより得られた高麗家住宅外観の計測点における 3 次元座標に対し、妥当性の検証を行った。検証は、計測点と同じ箇所の複数の点間に対してレーザ距離計による直接計測を実施し、本計測によって得られた 3 次元座標から算出できる距離との比較により実施した。図-5 に検証のための計測箇所、表-5 に両者の比較一覧を示した。

このように最大で 1m 以上、標準偏差で約±0.4m と、計測精度としては低水準の結果になったと言える。この要因を以下に列挙



図-4 ソフトウェア上における標定処理操作

し、それぞれ対策等についてソフトウェアの将来的な改良点を中心に述べる。

(1) GPS の測位誤差

スマートフォンによる GPS 測位は単独測位によるものであるため、最大で±10m程度の誤差が生じる¹¹⁾とされている。Assisted GPS 機能¹²⁾による補正を用いても±5m程度とされており、この誤差の影響は大きいものと考えられる。この誤差要因を縮減するために、本研究の開発ソフトウェアにおいては GPS 測位データから得られる距離の換算値を最終結果とはせず、初期値として用いてさらに最終標定を実施しているが、そのみでは調整不可能な程度の誤差が生じているものと推測される。現在、日本では GPS 測位の精度向上のために準天頂衛星の運用が計画されているが、この誤差要因はハードウェアの性能向上と共にこのようなインフラ整備によっても解決が見られるものと推測される。

(2) オートフォーカスによる焦点距離の不安定化

通常、単一のカメラによって複数写真による写真測量を実施する場合、撮影毎の内部標定要素を一定とするために、オートフォーカスや手ぶれ補正機能といった、カメラ内部での自動処理機能を全て無効に設定して撮影を実施する。本計測で用いたスマートフォンのカメラは、自動的にオートフォーカスで撮影される仕様となっており、マニュアルフォーカスに切り替えることが不可能である。そのため、特に撮影毎の焦点距離の挙動には大きく影響したと考えられる。現状の開発ソフトウェアにおいては、複数の撮影写真に対する焦点距離を、すべて同一として処理するモードと可変とするモードでの切り替えができる機能を搭載させた。しかしながら、焦点距離可変のモードでは未知量が増える分、計算の解が不安定になるため、結果として同一とするモードの方が少

表-4 各撮影写真の外部標定要素

ファイル名	IMG_0938.JPG	IMG_0939.JPG	IMG_0940.JPG	IMG_0947.JPG	IMG_0948.JPG	IMG_0949.JPG
カメラ位置 (m)	X_0	-5.951	-3.783	0.011	14.861	22.585
	Y_0	2.094	1.946	2.801	2.682	2.358
	Z_0	13.490	14.154	15.298	16.195	13.584
カメラ姿勢角	ω	11° 51' 41"	12° 45' 45"	11° 39' 25"	13° 30' 56"	15° 38' 14"
	ϕ	40° 43' 51"	36° 36' 18"	26° 38' 33"	13° 33' 20"	-31° 9' 37"
	κ	0° 44' 0"	0° 53' 1"	0° 30' 15"	0° 1' 12"	0° 14' 18"

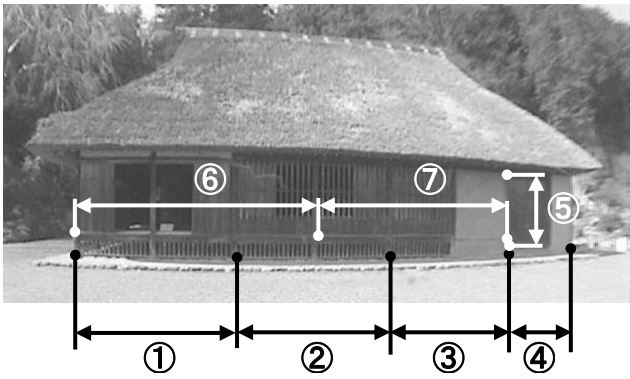


図-5 計測結果検証用直線距離

表-5 直線距離による計測結果検証

直線No.	本手法による計測値(m)	レーザー距離計による直接測定値(m)	残差(m)
①	4.287	3.879	+0.408
②	4.380	3.791	+0.589
③	4.299	3.660	+0.639
④	3.535	3.083	+0.452
⑤	3.764	2.282	+1.482
⑥	6.545	5.769	+0.776
⑦	6.702	5.561	+1.141
		標準偏差	±0.393

ない誤差であった。今後は可変のモードでも安定解が得られるよう、さらに改良する必要があると考えられる。

(3) 手動による計測点の対応づけ

本計測において実施した50点の計測点に対する6枚の写真の対応づけは、すべて手動処理によって実施したものである。すなわち、計300点をマウスクリックによって同定したことになるが、すべて目視判読であるため読み取り精度としては1画素程度が限界であると予測される。写真測量において計測精度を追究するためには、1画素未満(サブピクセル)での読み取り¹³⁾が重要であることを考えると、画像処理による自動での対応付けなどを組み込む必要があると考えられる。

5. おわりに

本研究では歴史的建造物に対する現地調査において、簡便な調査のみで3次元計測を効率的に実現することを目指し、スマートフォンによる撮影写真とGPS情報とを用いた計測ソフトウェアの開発を行った。また、開発ソフトウェアの実用性を検証するために、実際にスマートフォンを用いて計測対象物の撮影を行い、同時にGPS測位を実施した。その結果、計測精度はGPSの測位誤差等が要因となり低水準となったため、今後の精度向上に向けた課題整理も行った。

非接触で対象物の計測が可能で現在普及している道具としては、ノンプリズム型トータルステーションや画像トータルステーション¹³⁾、地上型3Dレーザースキャナ¹⁴⁾といった機器が存在する。これらの機器はいずれも高精度な計測が可能ではあるが、機材の重

厚さや三脚等の周辺用具が必要であることを考えると、現場での労力や人員を多く要することとなる。さらに、機器自体が高価であることや、操作にある程度の技術が必要とする点も制約となる。本研究で開発したソフトウェアによる計測精度が向上すれば、スマートフォンが測量用途に利用できる可能性が生まれるものと考えられる。

本研究での開発ソフトウェアには、前述のとおり主に精度面においていくつかの課題が残されているが、計測成果をアウトプットできる状態まで開発を進めることができたという点において、一定の成果が得られたと認識している。また、今後は精度向上に向けた課題解決の他に、ソフトウェアを一般的に普及させるためのユーザインターフェースの整備も課題となる。さらに将来的には、スマートフォン用アプリとしての開発も視野に入れ、現地調査でのデータ取得から処理および出力までの一連の流れを、全て一台で網羅できる可能性も含めて検討したいと考えている。

謝辞: 本研究における現地調査は、高麗家住宅を管理する高麗神社の皆さまのご協力のもとに実施した。ここに記し、謝意を表する。

参考文献

- 1) 栗野隆・木下剛 (2011) : 特集「ランドスケープ遺産インベントリーづくりの現在—地域活動から全国展開に向けた現状と課題—」にあたって : ランドスケープ研究 74(4), 267
- 2) 西ヶ谷恭弘 編著 (2008) : 城郭の見方・調べ方ハンドブック : 東京堂出版, 228pp
- 3) 西村幸夫・野澤康 編 (2010) : まちの見方・調べ方—地域づくりのための調査法入門— : 朝倉書店, 148pp
- 4) 村井俊治・近津博文 監修 (2004) : デジタル写真測量の理論と実践 : 日本測量協会, 343pp
- 5) Fraser, C. S. (1996) : Network design. In: Close Range Photogrammetry and Machine Vision, K.B. Atkinson (Ed.), Whittles, Scotland, 256-282
- 6) 國井洋一 (2009) : デジタルスチルカメラを用いた簡便的測量手法の開発および文化財への応用 : ランドスケープ研究 72 増刊, 造園技術報告集(5), 174-177
- 7) 高麗神社ホームページ
< <http://www.komajinja.or.jp/> > 2012.9.26 参照
- 8) Apple 社ホームページ
< <http://www.apple.com/jp/> > 2012.9.26 参照
- 9) 國井洋一・村井俊治 (2008) : デジタルスチルカメラのキャリブレーションにおける最適状況の検討 : 写真測量とリモートセンシング 47(1), 44-51
- 10) Schenk, T. (2001) : Digital Photogrammetry, TerraScience, Ohio, 428pp
- 11) 西修二郎 (2007) : GPS—測位の理論— : 日本測量協会, 116pp
- 12) 神崎洋治 (2012) : スマートフォン GPS 活用ブック : 日経BP社, 228pp
- 13) 大谷仁志・伊藤忠之・金子順紀 (2005) : 画像トータルステーションを用いた3次元計測 : 平成17年度日本写真測量学会秋季学術講演会発表論文集, 135-138
- 14) 戸田健太郎・中村彰宏・大藪崇司・前中久行 (2009) : 地上型レーザースキャナを用いた3次元環境計測における樹高の推定 : 日本緑化工学会誌 35(1), 69-74