

島田正郎氏作成祖州城址地形図の検証－衛星画像を用いて

中尾幸一* 町田吉隆**

A verifying map created by Dr. Masao Shimada and changing it into an electronic file- on the city of the Liao Dynasty "Zu-zhou-cheng"

Kouichi NAKAO* Yoshitaka MACHIDA**

ABSTRACT

This paper survey to how to verify the map of Zu-zhou-cheng(祖州城). Zu-zhou-cheng is one of the city surrounded by the wall in the Liao Dynasty(遼朝).Dr. Masao Shimada make a survey of the city in 1944. He created the map of the city exactly. We are able to find out how to verify the map using the Remote Sensing. Then we would create the digital map of Zu-zhou-cheng.

Keywords : remote Sensing, digital map, Zu-zhou-cheng(祖州城), Liao dynasty(遼朝),China

1. はじめに

祖州城は中国内蒙古自治区赤峰市巴林左旗に所在する城郭都市の遺跡であり(図1参照), 契丹国(遼朝)の初代皇帝であった耶律阿保機(太祖)の奉陵邑と推定されている。奉陵邑とは皇帝や皇族の陵墓を守り, また死後の祭祀を行うために設けられた城郭都市である。祖州城北西の山岳の谷間には祖陵と推定される墓域が広がっており, 祖州城はその谷間の入り口に位置している。

契丹国(遼朝)の法制度およびその歴史を研究した故・島田正郎氏(元明治大学教授・総長)をはじめとする日本人研究者は1943年および1944年に祖州城を調査し, 特に1944年には同地の測量を行った。これらの調査・研究は第2次世界大戦下, 旧満洲国管内で進められていたが, 日本の敗戦とその後の混乱によって, 関係者の人命, 研究成果ともに大きな損害を受けた。

島田正郎氏は戦後, その成果をまとめられ, 公刊した。(1) 同書には附図として「祖州城址地形図」(図2)および「祖州城址平面図」(図3)が載せられている。これらの地図が今回, 我々が検証を試みた対象である。

国外の遺跡・遺構を対象とする調査において, その土地の地理的条件を知ることが欠かせないが, 正確な等高線図を得られない場合も多い。我々は離れた所から対象物

*都市工学科名誉教授

**一般科教授



図1 祖州城址周辺地図(2)

を計測する技術であるリモートセンシングにより遺跡・遺構の空間情報を作成する方法を開発することを目的として研究を進めているが, 祖州城はその対象としての条件を備えている。

- ①祖州城址は契丹国(遼朝)時代以降, 後代の都城がその遺跡に造営されることがなく, 城壁をはじめとする遺跡の保存状態が大変良いこと。
- ②トラバース測量に基づく実測図が残されていること。
- ③契丹国(遼朝)時代には遼上京址を含む五京と呼ばれる都城, つまり城郭都市が造営されると共に, 各地に州

県城と称される城郭都市が設けられた。奉陵邑である祖州城もその一つであるが、これらの中には測量図は発表されていないが、遺跡の保存状況が良好な遺跡も多い。測量図の無い遺跡・遺構についてはリモートセンシングによる空間情報を得る方法が応用できる可能性がある。祖州城址の実測図と作成した数値地図を比較することにより、リモートセンシングを用いた数値地図作成の実効性を検証することができる。

- ④2000年代に入り、中国・社会科学院および遼上京博物館など現地の文物保存機関を主体とする遺跡の発掘調査が行われ、現時点ではまだ刊行されていないが、いずれ公表されるであろう調査報告によって、この方法を検証できる可能性があること。
以下にその検証過程を記す。

2. 島田正郎氏作成の祖州城址地形図による基準点間距離の測定

島田正郎氏作成の祖州城址の地形図は、図2、図3にしめす2種の図がある。トラバース測量による基準点が記載されている「祖州城址地形図」（等高線図）と、城壁、遺跡を表した「祖州城址平面図」（遺跡図）の2種があり、それぞれの図にスケールが描かれている。その2つのスケールによって各基準点間の距離を図2、図3、それぞれのスケールで求めたところ、大きな差があることがわかった。以下にその測定法を説明する。

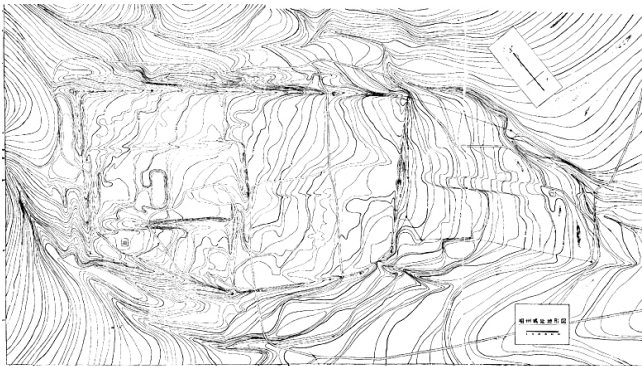


図2 「祖州城址地形図」（等高線図）

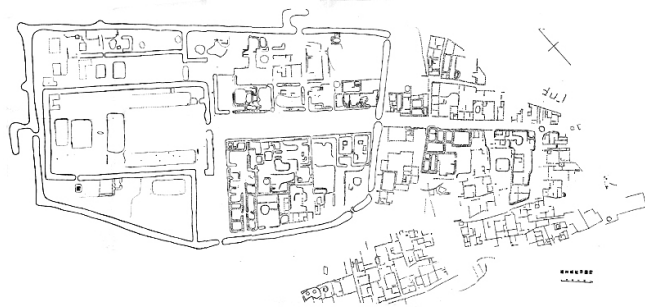


図3 「祖州城址平面図」（遺跡図）

- ①図2、図3をそれぞれイメージスキャナによりパソコンに画像として取り込む。

- ②画像処理ソフトPhotoshopを用いて、画像上で、各基準点の画像上座標を測定する。また、スケールの両端の画像上座標も測定しておく。
③測定した画像上座標から、各基準点間の画像上距離を求める。その画像上距離は、図2はGLai、図3はGLbiとする。また、図2のスケールは50mと表示している長さGa、図3は50mの表示が不明瞭であるので40mと表示しているところまでの画像距離Gb'を測定する。Gbは、Gb'に5/4を乗じて50mあたりの値とする。
④各基準点間の画像距離を、スケールを元に、それぞれ基準点間距離Lai、Lbiに変換する。その計算式は以下ようになる。

$$Lai = GLai / Ga \times 50m \text{-----} (1)$$

$$Lbi = GLbi / Gb \times 50m \text{-----} (2)$$

表1はその結果である。LaはLbより15.7%程度短いことがわかる。なお、Ga=25.9008mm、Gb=29.2118mmである。

表1 島田正郎氏作成の祖州城址地形図、平面図におけるトラバース点間距離の測定結果

祖州城の座標（図上測定）						
	単位mm	単位m	単位mm	単位m		
	図上距離GLa	距離La	図上距離GLb	距離Lb	La-Lb	%
1 - 2	86.5588	167.10	115.72	198.07	-30.97	-15.6
2 - 3	18.6043	35.91	25.20	43.14	-7.23	-16.8
3 - 4	25.1563	48.56	33.63	57.57	-9.01	-15.6
4 - 5	118.4326	228.63	158.20	270.78	-42.15	-15.6
5 - 6	79.7085	153.87	106.36	182.05	-28.18	-15.5
6 - 7	25.1813	48.61	33.77	57.81	-9.20	-15.9
7 - 8	30.2134	58.33	40.52	69.36	-11.03	-15.9
8 - 9	56.4084	108.90	75.28	128.85	-19.95	-15.5
9 - 10	68.3907	132.02	91.45	156.53	-24.51	-15.7
10 - 11	51.3997	99.22	68.94	118.01	-18.78	-15.9
11 - 12	7.9630	15.37	10.55	18.05	-2.68	-14.9
12 - 13	146.5287	282.87	195.76	335.06	-52.20	-15.6
13 - 1	61.6081	118.93	82.10	140.53	-21.60	-15.4
10 - 14	64.7019	124.90	86.51	148.07	-23.17	-15.6
14 - 15	31.3359	60.49	41.99	71.88	-11.39	-15.8
15 - 16	22.1350	42.73	29.67	50.79	-8.05	-15.9
16 - 17	39.0370	75.36	52.11	89.20	-13.84	-15.5
17 - 18	99.5881	192.25	133.11	227.83	-35.58	-15.6
18 - 19	54.6773	105.55	72.99	124.93	-19.37	-15.5
19 - 20	85.7481	165.53	114.87	196.62	-31.08	-15.8
20 - 10	87.1532	168.24	116.60	199.58	-31.34	-15.7
1 - 4	130.2632	251.47	174.52	298.72	-47.25	-15.8
1 - 8	284.6086	549.42	380.57	651.40	-101.98	-15.7
1 - 10	267.3314	516.07	357.16	611.32	-95.25	-15.6
4 - 8	242.0046	467.18	323.84	554.29	-87.11	-15.7
4 - 10	284.4335	549.08	380.37	651.05	-101.97	-15.7
8 - 10	124.8000	240.92	166.73	285.38	-44.46	-15.6

3. 人工衛星画像による基準点間距離の検証

図上測定の結果と、人工衛星画像から測定した基準点間距離を比較して、図上測定によるLa, Lbの信頼性を検証する。人工衛星画像は、Google Earthの画像を用いることとしたが、Google Earthの画像は、無料で手軽に利用できるのが都合であるが、地域によって解像度が異なり、その解像度も明確ではない。そのため、解像度が明確で比較的安価に入手できる高解像度のデータとして、ALOS搭載のPRISMの画像を比較データとして用いることとした。

3.1 ALOS PRISMによる測定

フリーウェアの画像処理ソフト MultiSpec⁽³⁾を用いて以下の要領で基準点間距離を測定する。その方法は、MultiSpecで画像を表示し、基準点の位置にマウスを合わせて、その時の情報欄にあるXY座標を読み、記録する。図4はその測定した点を示す画像である。測定した点を白○で示している。画像座標から各測線長を求めた。PRISMの解像度は2.5mであるので、画像座標に乗じると、その長さを求めることができる。



図4 祖州城址のPRISM画像



図5 祖州城址のGoogle Earthの画像

3.2 Google Earthによる基準点の測定

Google Earth上で、基準点に当たる場所にマウスを合わせて、その時に表示している座標を記録する。図5は、座標を求めた点を白○でしめした画像である。

表2 基準点間距離の測定結果の比較

	基準点間距離				prismとの差(1-i)			
	1	2	3	4	2	3	4	
	prism	google	図2	図3	google	図2	図3	
1 - 2	201.51	171.44	167.10	198.07	30.1	34.4	3.4	
2 - 3	41.23	69.23	35.91	43.14	28.0	5.3	1.9	
3 - 4	55.51	54.47	48.56	57.57	1.0	6.9	2.1	
4 - 5	279.58	265.45	228.63	270.78	14.1	50.9	8.8	
5 - 6	176.14	187.23	153.87	182.05	11.1	22.3	5.9	
6 - 7	50.99	49.89	48.61	57.81	1.1	2.4	6.8	
7 - 8	71.98	76.97	58.33	69.36	5.0	13.7	2.6	
8 - 9	121.17	119.65	108.90	128.85	1.5	12.3	7.7	
9 - 10	157.90	149.15	132.02	156.53	8.7	25.9	1.4	
10 - 11	117.05	91.45	99.22	118.01	25.6	17.8	1.0	
11 - 12	20.16	35.29	15.37	18.05	15.1	4.8	2.1	
12 - 13	316.23	345.39	282.87	335.06	29.2	33.4	18.8	
13 - 1	156.60	132.00	118.93	140.53	24.6	37.7	16.1	
					0.0		0.0	
1 - 4	298.10	295.12	251.47	298.72	3.0	46.6	0.6	
1 - 8	649.06	644.58	549.42	651.40	4.5	99.6	2.3	
1 - 10	609.55	603.80	516.07	611.32	5.8	93.5	1.8	
4 - 8	551.50	554.35	467.18	554.29	2.8	84.3	2.8	
4 - 10	646.09	642.34	549.08	651.05	3.8	97.0	5.0	
8 - 10	279.04	268.77	240.92	285.38	10.3	38.1	6.3	
	4799.38	4756.59	4072.46	4827.964	225.3	726.9	97.4	

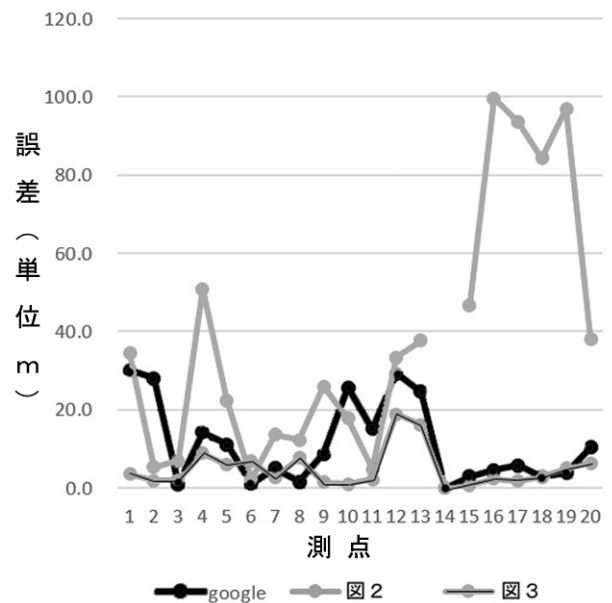


図6 基準点間距離の測定結果の比較グラフ

4. 基準点間距離の測定結果の比較

島田図のスケールの検証をするため、PRISM, Google

Earth, 図2, 図3の測定結果を比較した. その結果が表2, 図6である. PRISMの測定値と図3の測定値が最も近い値を示している. PRISMの解像度は2.5m, Google Earthの祖州城周辺の画像の解像度は30m程度と考えられる(LANDSTATのTM画像と考えられるため). 以上の結果から, 図3のスケールが信頼できるものであると考えられる.

5. 基準点の UTM 座標への変換

Google Earthにより求めた座標は UTM 座標である. PRISMの画像座標, 図3の画像座標を UTM 座標に変換してその差を比較する. このとき, 測点1は一致させて, 測線1-10は方向を一致するように, 測点1, 10を標定点として(3)(4)式によって変換する. このときの標定点座標は表3, 表4の値である.

表3 PRISMの標定点の画像座標と UTM 座標

	画像座標		UTM 座標 (m)
Xa1	-21.8	X1	4860651
Ya1	22.4	Y1	670770
Xa10	-3716	X10	4860340
Ya10	1994	Y10	671295

表4 図3の標定点の画像座標と UTM 座標

	画像座標		UTM 座標 (m)
Xa1	-3641	X1	4860651
Ya1	1762	Y1	670770
Xa10	-35.3	X10	4860340
Ya10	379.3	Y10	671296

[座標変換の計算式]

$$XB=X2-X1$$

$$YB=Y2-Y1$$

$$XPB=Xa10-Xa1$$

$$YPB=Ya10-Ya1$$

$$a1= (YPB \cdot YB+XPB \cdot XB) / (XPB^2+YPB^2)$$

$$b1= (YPB \cdot XB-XPB \cdot YB) / (XPB^2+YPB^2)$$

$$a0=Y1-a1 \cdot Ya1+b1 \cdot Xa1$$

$$b0=X1-b1 \cdot Ya1-a1 \cdot Xa1$$

(座標変換式)

$$Xi=b0+b1 \cdot Yai+a1 \cdot Xai \text{-----} (3)$$

$$Yi=a0+a1 \cdot Yai-b1 \cdot Xai \text{-----} (4)$$

図7は変換して求めた図3の座標によって描いた骨組み図である.

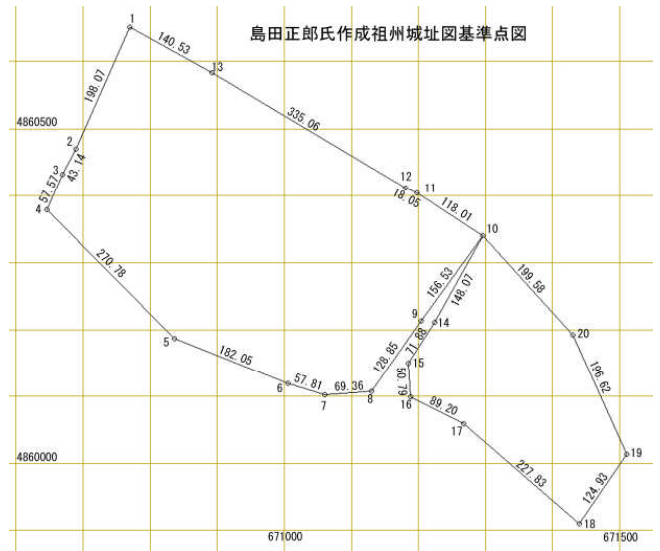


図7 祖州城址骨組み図

6. 祖州城址のデジタルマップの作成

自己開発のプログラム adigital⁽⁴⁾は, 画面上に画像を表示し, その画像上の点をマウスでクリックしていくことでベクタ型数値地図を作成することができる. また画像上に数値地図を重ね描きすることもできる.

これを用いて Google Earth で得られた祖州城周辺の画像上で祖州城遺跡の座標を測定し, その数値地図を作成する. 作業に入る前に, Google Earth 上で明瞭な2点の UTM 座標を求めておく. 測定作業は以下の順序で行う.

- ① adigital の第一画面で画像ファイルを選ぶと, 第二画面にその画像が表示される.
- ② adigital の第二画面に画像を表示させたら, 第二画面上で, あらかじめ座標を求めていた2つの基準点をマウスでクリックして, 第三画面で, その UTM 平面直角座標を入力する. この作業の後, 第二画面でその画像上にある遺跡・遺構上の点の座標を次々と測定して, その数値地図を作成する.

図8は第二画面の例である. 画像上では測定した点は赤で表示され, 赤線で結ばれる. 図9は PRISM 画像



図8 adigitalの第二画面

上で祖州城址を測定して作成したデジタルマップにより描いた図である。図 10 は PRISM 画像に図 3 から測定をして作成したデジタルマップを PRISM 画像に重ねがきをした図である。

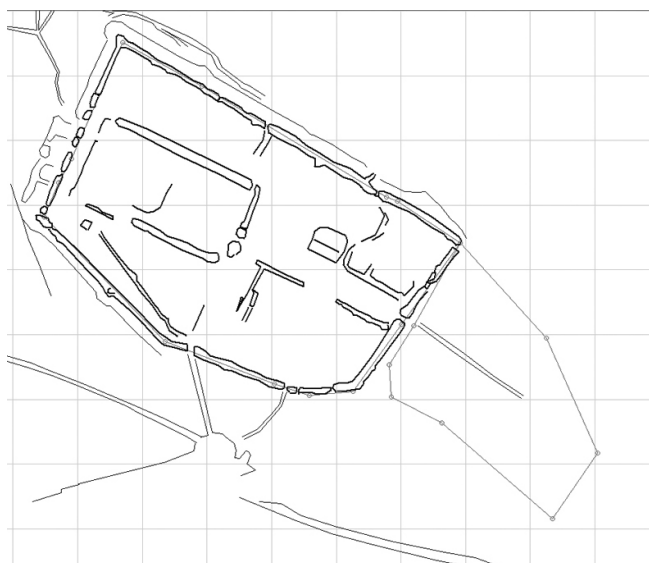


図 9 PRISM 画像上で測定した祖州城址地形図



図 10 PRISM の画像に図 3 を重ねがきした図

7. 標高データの作成と鳥瞰図の作成

7.1 標高データの作成 図 2 には等高線図があるので、これを使って数値標高データを作成した。等高線の高さは、Google Earth によって求めた標高値をもとに決めた。

その作成方法を以下に示す。

- ①等高線図に、高さに応じて色を決めて着色する。図 11 がその図である。
- ②図 11 を用いて一定間隔（ここでは 3m）に、その点の色から高さを求めて記録し、200 点×200 点のファイルを作成する。これが数値標高データである。ここで用いる区域は 2 つの区画に分けて作成する。

7.2 鳥瞰図の作成 図 11 と同じ区域の図 12 を作成し、数値標高データと組み合わせて鳥瞰図を作成する。

- ①図 12 の作成は、photoshop を用いて、図 13 に図 14

を半透明にして重ねて、図 14 が図 13 の等高線と合うように変形して作成する。

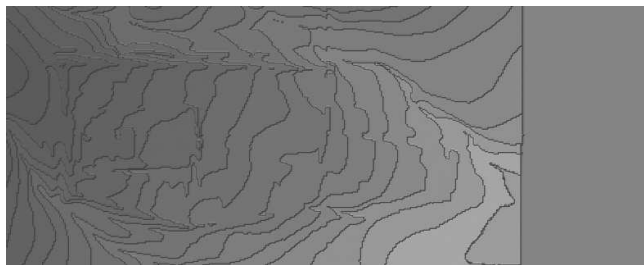


図 11 着色した等高線図



図 12 標高データと対応する図

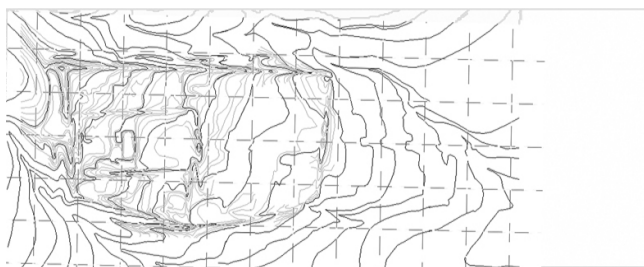


図 13 祖州城址の等高線図

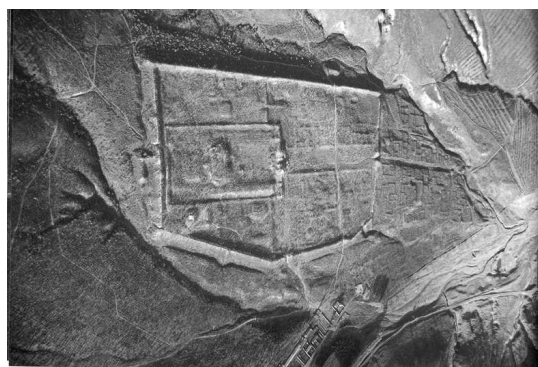


図 14 空中写真⁽⁵⁾

- ②フリーソフトのカシミールを用いて、図 11 と図 12 から、図 15、図 16、図 17 のような鳥瞰図を作成することができる。

鳥瞰図は、これを観測して、違和感のない図ができているかの点検ができる。それによって作成したデジタルマップの信頼性のある程度知ることができる。

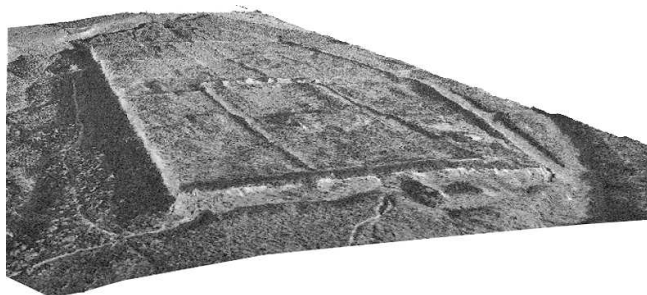


図 15 北方よりの鳥瞰図



図 16 南門よりの鳥瞰図

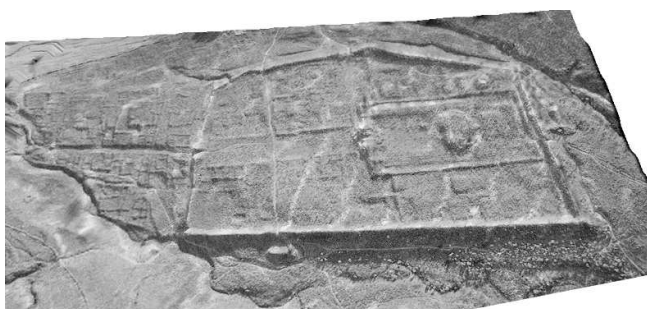


図 17 祖州城址北東からの鳥瞰図

8. 島田正郎氏作成祖州城址地形図の縮尺

島田図に描かれている 20 の基準点について、図 2 と図 3 に描かれているスケールを基に図上測定によりそれぞれの間隔を求めて比較したところ大きな差があり、いずれかのスケールがまちがいであることが推測できた。それぞれのスケールに関して、その信頼性を検証することとし、その方法として、人工衛星画像による同地点の観測による各基準点間距離の測定を行った。使用したのは ALOS の PRISM（解像度 2.5m）と Google Earth の画像の 2 種である。その結果、図 3 のスケールは高い妥当性が認められた。図 2 のスケールは何かの原因で図とは異なるスケールが記載されたものと思われる。検証の結果、図 2 の正しい縮尺は 1/2287 スケール、図 3 の縮尺は 1/1712 スケールであった。

9. まとめ

以下に判明したことをまとめる。

①実測図として島田正郎氏が作成したトラバース測量

による基準点が記載されている「祖州城址地形図」（図 2）と、城壁、遺跡を表した「祖州城址平面図」（図 3）の 2 種を、人工衛星画像は ALOS 搭載の PRISM と、Google Earth の 2 種の画像を用いて、基準点間距離を測定することができた。

②その過程で、図 2 と図 3 の間には記載されている縮尺スケールに大きな差があり、図 2 に記載されているスケールに誤りがあることが推測できた。その理由は不明であるが、図 2 の基準点の相対的な精度は確かめられているので、測量図の作成、または印刷段階での縮尺スケールに誤りがあったのではないかと推測する。

③図 2 と図 3 および作成した数値地図と空中写真を合成することにより、等高線も含む数値地図、各方向からの鳥瞰図を作成した。比較的起伏が大きい遺跡である祖州城址の全体像を捉えるのに有用と考える。

④島田正郎氏が作成した図 2 と図 3 の測定精度は 2000 年以降に取得された人工衛星画像によって作成した数値地図（デジタルマップ）と高い妥当性で一致した。これは祖州城址が、測量が行われた 1940 年代から大きな変容を受けずによく保存されてきたことを示すと共に、島田正郎氏を中心とする調査グループの測量技術の高さを証明している。

図 4、図 8、図 10 で使用した人工衛星画像データの所有権は経済産業省／（独）宇宙航空研究開発機構にあり、（財）リモートセンシング技術センターより配布されたものである。

謝辞

本研究の一部は平成 24 年度神戸高専共同研究費（一般研究）により進められました。ここに謝意を表します。

参考文献

- (1) 島田正郎：『祖州城—東蒙古モンチョックアゴラに存する一遼代古城址の考古学的歴史学的発掘調査報告』、中澤印刷株式会社、1956。
- (2) 杉山正明：『疾駆する草原の征服者—遼西夏金元・中国の歴史 08』、p. 216 所載の「図 19 キタイ帝国の五京と皇帝陵」（向井佑介氏原図作成）に加筆・加工・転載した。講談社、2005。
- (3) 中尾幸一：「MultiSpec による人工衛星画像処理」、神戸高専研究紀要、第 44 号、pp. 97-102、2006
- (4) 中尾幸一：「簡易数値地図作成システムの開発とその活用」、『高等専門学校教育と研究』、第 15 巻 第 3 号、pp. 91-96、2010。
- (5) 中国歴史博物館遙感與航空摄影考古中心・内蒙古自治区文物考古研究所編著：『内蒙古東南部航空摄影考古報告』、p. 118-119 所載「図 37. 遼祖州城址」（番号 3B-191097-31）科学出版社、2002。