

# 地図情報レベルと地上画素寸法GSDの対応 オーバーラップ、サイドラップの対応

測量近代化研究会  
第2回写真測量WG  
2023年11月16日  
村上真幸

1

## 写真測量WGの当面の進め方（案）

第1回WG（3/23） 地上画素寸法GSDを定数とする案に対し、測技協メンバーからのB/Hの重要性とGSDをB/Hで定式化する現行規定の合理性の説明があり、**今後の議論の出発点が一致しなかった。**

意見交換会(9/26) 公共測量の実態に基づき、議論。

前提 公共測量の実態に基づき、対象とする地図情報レベルを1000と2500に限定してはどうか。撮影機材を固定翼+デジタル航空カメラ+GNSS/IMUに限定してはどうか。

第2回WG 実態に基づいて地図情報レベルと地上画素寸法GSDの対応について議論する。GSDと使用カメラ・レンズの種類、B/H、オーバーラップ、サイドラップの対応について議論する。

第3回WG GSDと地図情報の水平位置精度・高さ精度との対応、精度の表示方法（用語を含む）について議論する。平地と山地の基準の区分について議論する。

第4回WG 品質管理方法（キャリブレーション、標定点等の選定など）について議論する。品質（水平位置精度と高さ精度を含む）の検証又は評価方法について議論する。

もつと時間がかかる

2

# 公共測量における 空中写真の現状

国土地理院の公共測量審査終了成果の集録の分析を主とするが、比較対象として日本測量協会の成果検定データについても同様の分析を行う。

日本測量協会の成果検定データでは空中写真の利用用途が分からないことに加えて、データの偏り（受検する会社の偏り）がある。

3

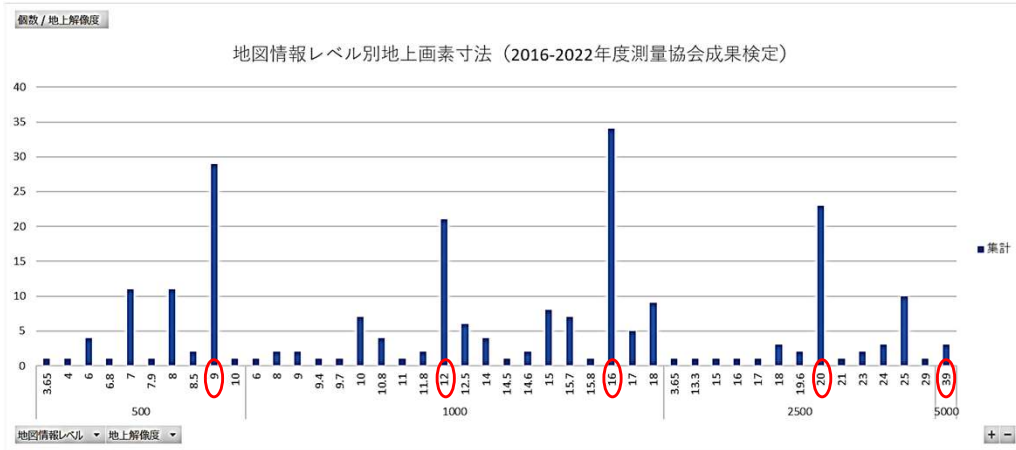
## 使用データ

- A) 測量成果検定結果：検定期間が2016年度から2022年度につくば測量技術センター実施分の空中写真（2022年度には関東支部技術センター実施分を含む）234事例
  - 第1回WGで報告のものは2019～2021年度の122事例
- B) 国土地理院の公共測量審査終了成果の集録：「対象期間」が2019年度から2021年度の空中写真のうち、地図情報レベルと地上画素寸法の対応付けが可能な1055事例
  - 第1回WGで報告のものは2020年度の405事例

4

## 地図情報レベルとGSDの対応（1）

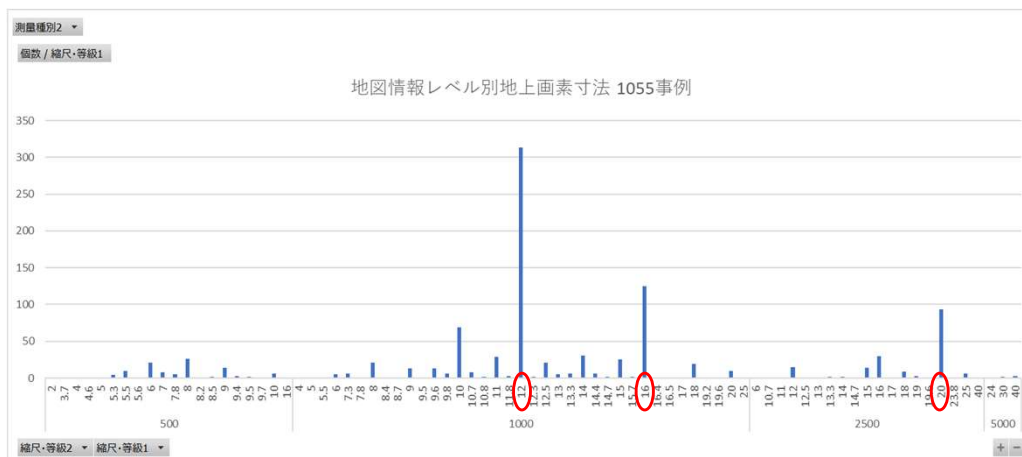
- A(検定)から抽出分類：延べ234事例。



5

## 地図情報レベルとGSDの対応（2）

- B(公共測量)から抽出分類：1055事例



6

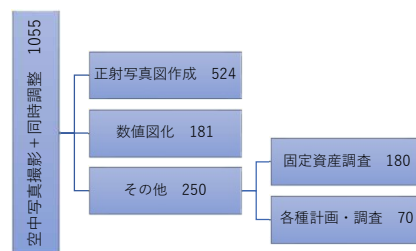
## 地上画素寸法の選定の傾向（1）

- 頻度の現れ方はA(検定)とB(公共測量)で似た傾向、第1回写真測量WGで報告したものと似た傾向
- 地図情報レベル500
  - 8~9cm (B(公共測量)では事例が少数)
- 地図情報レベル1000
  - 一つの地図情報レベルに二つのGSDのピークが存在：12cm、16cm
  - A(検定)では16cmが多く、B(公共測量)では12cmが多い
- 地図情報レベル2500
  - 20cm
- 地図情報レベル5000
  - 30~39cm (A(検定), B(公共測量)ともに事例が少数)

7

## 写真の用途別でのGSDの傾向

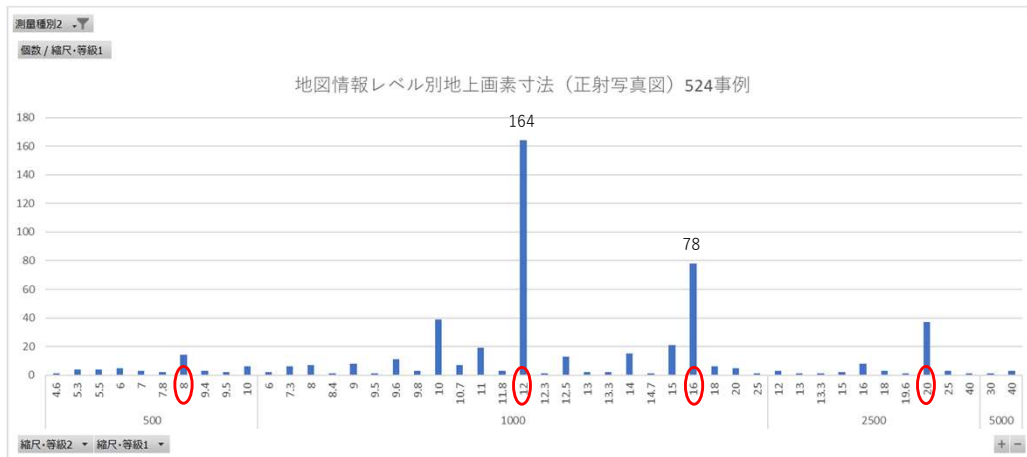
1055事例のうち、正射写真図作成524事例、数値図化181事例、同時調整後の作業の記載がない250事例（うち180事例は固定資産調査）



8

## 地図情報レベルとGSDの対応（3）

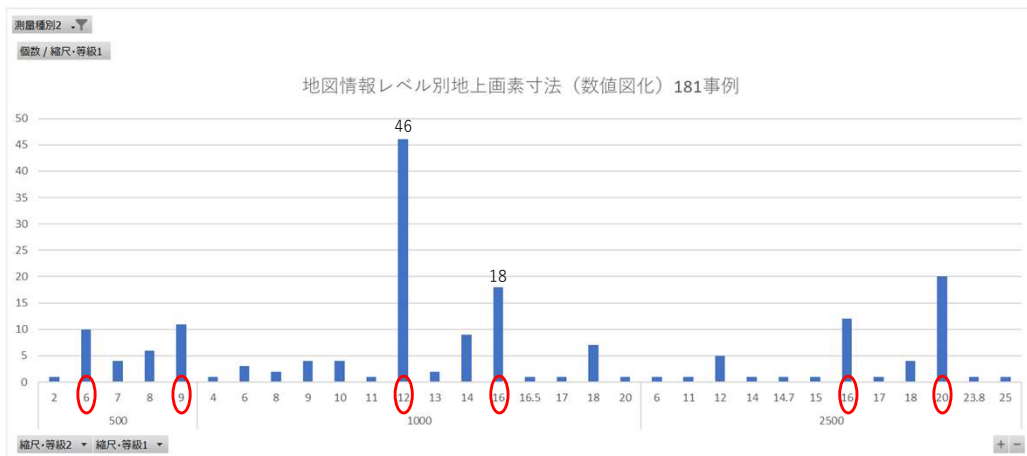
- B(公共測量) 1055事例から正射写真図作成524事例を抽出



9

## 地図情報レベルとGSDの対応（4）

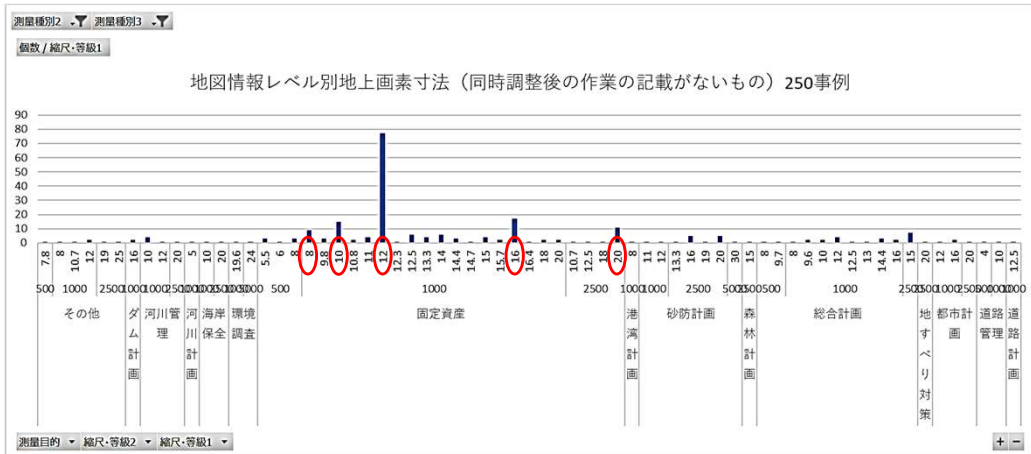
- B(公共測量) 1055事例から数値図化181事例を抽出



10

## 地図情報レベルとGSDの対応（5）

- B(公共測量) 1055事例から同時調整後の作業の記載がない250事例を抽出、その多く（180事例）は固定資産調査のための撮影



## 地上画素寸法の選定の傾向（2）

- B(公共測量)で、正射写真図作成目的よりも数値図化目的のほうが小さい地上画素寸法（精細な写真）を選択する傾向がある
- 地図情報レベル1000
  - 正射写真図では12cmと16cmの事例数の比が約2.1 : 1
  - 数値図化では12cmと16cmの事例数の比が約2.6 : 1で精細なものがやや増加
  - 固定資産調査ではその多くが12cm
- 地図情報レベル2500
  - 数値図化では20cmのほかに16cmを選択する事例が増加
- 地図情報レベル500
  - 事例は少ないが、正射写真図では8cm、数値図化では6cmにもピークがあり、数値図化で精細なものを選択する傾向はレベル1000、レベル2500と類似

# 公共測量に用いられる デジタル航空カメラの比較 DMC, Leica vs UC, Vexcel

日本測量協会の成果検定データに基づくため、必ずしも公共測量全体の傾向を表してはいない。

国土地理院の公共測量審査終了成果の集録にはカメラの記録がないため、公共測量全体の傾向は分からない。

13

## 使用データ

測量成果検定結果：検定期間が2016年度から2022年度につくば測量技術センター実施分の空中写真（2022年度には関東支部技術センター実施分を含む）234事例

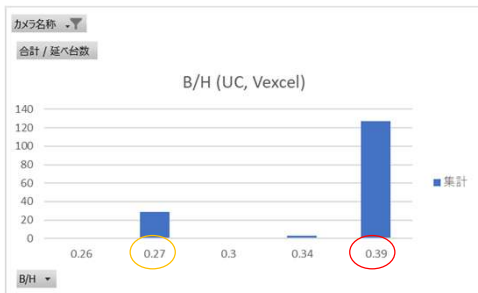
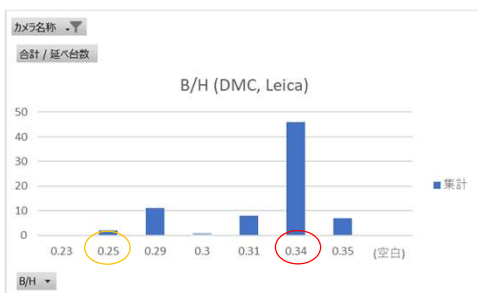
14

# カメラの種類

Leica			Vexcel		
カメラ正式名称	延べ台数	登録台数	カメラ正式名称	延べ台数	登録台数
DMC	8		Ultra Cam Eagle	4	1
DMC II		2	Ultra Cam Eagle Mark1	2	1
DMC II 140	7		Ultra Cam Eagle Mark2	1	1
DMC II 230	22	1	Ultra Cam Eagle Mark3	3	2
DMC II 250	11	1	Ultra Cam Eagle 4.1		
DMC II e140		1	Ultra Cam Falcon Mark2	1	
DMC II e230	24		Ultra Cam Falcon prime	70	5
DMCIII	2	3	Ultra Cam Osprey		2
MFC150		2	Ultra Cam X	8	
RCD30	1		Ultra Cam X prime	14	2
			Ultra Cam X prime Wide Angle	56	2

延べ台数は2016～2022年度に測量協会が成果検定を行った空中写真に用いられたカメラの台数  
登録台数は2022年度に測技協に協定撮影用に登録されたカメラの台数

# B/Hの分布（隣接写真間の重複60%を想定）



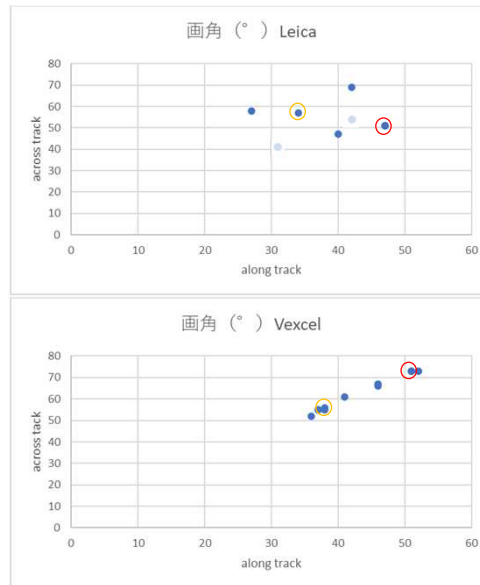
カメラ名称	B/H
DMC	0.31
DMC II	不明
DMC II 140	0.35
DMC II 230	0.34
DMC II 250	0.28
DMC II e140	不明
DMC II e230	0.34
DMCIII	0.25
MFC150	0.23
RCD30	0.30
UCE	0.27
UCE-M1	0.34
UCE-M2	0.34
UCE-M3	0.27
UCE-4.1	0.30
UCF-M2	0.39
UCFp	0.39
UCO	0.26
UCX	0.27
UCXp	0.27
UCXp-WA	0.39

レンズの焦点距離が複数ある場合は最も広角のもので計算



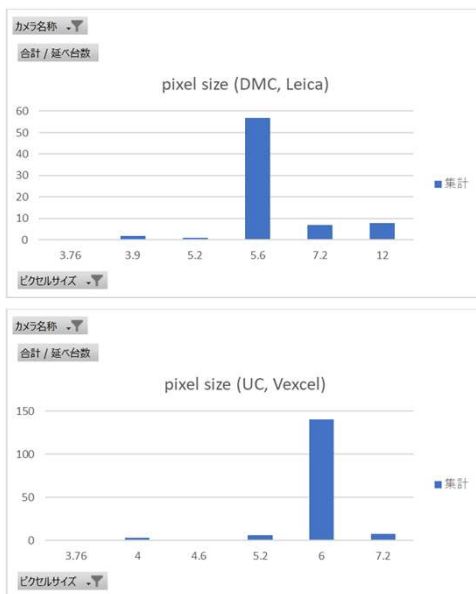
# 画角の分布

カメラ名称	X軸方向(°) (along track)	Y軸方向(°) (across track)
DMC	42	69
DMC II		
DMC II 140	47	51
DMC II 230	47	51
DMC II 250	40	47
DMC II e140		
DMC II e230	47	51
DMC III	34	57
MFC150	31	41
RCD30	42	54
UCE	38	55
UCE-M1	46	66
UCE-M2	46	67
UCE-M3	38	56
UCE-4.1	41	61
UCF-M2	52	73
UCFp	51	73
UCO	36	52
UCX	37	55
UCXp	37	55
UCXp-WA	51	73



17

# カメラのピクセルサイズの分布



カメラ名称	ピクセルサイズ
DMC	12
DMC II	
DMC II 140	7.2
DMC II 230	5.6
DMC II 250	5.6
DMC II e140	
DMC II e230	5.6
DMC III	3.9
MFC150	3.76
RCD30	5.2
カメラ名称	ピクセルサイズ
UCE	5.2
UCE-M1	5.2
UCE-M2	4.6
UCE-M3	4
UCE-4.1	3.76
UCF-M2	6
UCFp	6
UCO	3.76
UCX	7.2
UCXp	6
UCXp-WA	6

18

## まとめ

- B/Hに関して、LeicaもVexcelも広い範囲に分布するが、Leicaの方が小さい方に寄る傾向
- 公共測量で使われているカメラはB/Hの大きなものが選ばれる傾向が強い
  - ▶ 高さの精度を重視していることを反映か
- 公共測量では画角の広いカメラが選ばれる傾向が強い
- 飛行経路に直交する画角は、LeicaもVexcelも広い範囲に分布するが、Leicaでは飛行経路方向の画角とは関係がなく、Vexcelでは飛行経路方向の画角に比例する
  - ▶ 公共測量でVexcelが多く使われるのは、飛行経路に直交する方向に幅広く撮影でき、コース数が節約できるためか？
- ピクセルサイズは中庸なもの (5.6  $\mu\text{m}$ , 6.0  $\mu\text{m}$ ) が選ばれている

19

## 画角の比較

デジタルカメラ		
カメラ名称 (焦点距離mm)	X軸方向(° ) (along track)	Y軸方向(° ) (across track)
DMC II 230 (92)	47	51
DMC III (92)	34	57
UCFp (70.5)	51	73
UCE-M3 (100)	38	56
フィルムカメラ		
f=150mm	75	75

20

## 対地高度の比較

GSD xx cmに対応する対地高度(m)		
	GSD(cm)	
カメラ名称(焦点距離mm)	12	20
DMC II 230 (92)	1971	3286
DMCIII (92)	2831	4718
UCFp (70.5)	1410	2350
UCE-M3 (100)	3000	5000
フィルム写真に対応する対地高度(m)		
	地図情報レベル1000	地図情報レベル2500
f=150mm	900	1500

21

## 撮影幅の比較

GSD xx cmに対応する撮影幅 (Y軸方向) (m)		
	GSD(cm)	
カメラ名称(焦点距離mm)	12	20
DMC II 230 (92)	1866	3110
DMCIII (92)	3087	5146
UCFp (70.5)	2077	3462
UCE-M3 (100)	3175	5292
フィルム写真f=150に対応する撮影幅(m)		
	地図情報レベル1000	地図情報レベル2500
f=150mm	1380	2300

22

## 同一カメラ/同一GSDにおける焦点距離と画角、対地高度、B/H の関係

デジタルカメラUCE-M3, GSD=12cm					
焦点距離 (mm)	X軸方向(° ) (along track)	Y軸方向(° ) (across track)	対地高度 (m)	撮影幅 (m)	B/H OL=60%
80	46	67	2400	3175	0.34
100	38	56	3000	3175	0.27
120	32	48	3600	3175	0.23
210	18	28	6300	3175	0.13

23

## まとめ

- ▶新しいカメラは飛行経路方向の画角が狭くなり、B/Hは小さくなっている。
- ▶新しいカメラはピクセルサイズが4 $\mu$ mの小さなものになっている。
  - ▶その結果、GSDが同じ場合は対地高度が高くなっている。対応するフィルムカメラよりもはるかに高くなっている。
  - ▶同様に、撮影幅も広がっている。
- ▶レンズ交換可能なカメラでは、同じGSD、同じ撮影幅であっても、焦点距離の長短によりB/Hが変えられるので、目的により使い分けができる。

24

## 写真測量WG意見交換会(9/26)におけるコメント

- デジタル航空カメラの仕様は欧州（Leica）、米国（Vexcel）の市場の需要に依る。
- 日本では図化が健在だが、近年の欧州では高コストな図化を避けて正射写真にシフトする傾向がある。
- カメラの仕様は市場のチップと受光素子の仕様で決まる。これまで提供されていた**大判のチップが中判**になり、この5年は**受光素子5-9 $\mu$ m**であったが、**今後は3-4 $\mu$ m**が主となる。
- B/Hの記載は不要。センサーとOL率で調整すると対応可能な鉛直精度に幅がある。B/Hのみで品質が規定されるものではない。
  - 従来のステレオペアモデルによるB/Hと鉛直精度の関係が妥当か、疑問。
  - 成果の品質で管理することとし、そのための観測・作業手法は幅を持たせる。
  - OL増やすとコスト増につながるという別の課題もある。

25

## 外国の事例

米国写真測量リモートセンシング学会ASPRS

ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data Ed.2 (2023)

英国王立公認測量士協会RICS

Vertical aerial photography and digital imagery, RICS guidance note 5<sup>th</sup> edition (2010)

26

## デジタル地理空間データのための ASPRS 位置正確度標準第 2 版の主な変更点

- 正確度の尺度として 95%信頼水準への言及を削除した。
  - 地上基準点およびチェックポイントの正確度要件を緩和した。
  - 最終製品の正確度を計算する際に、測量チェックポイントの正確度を含めることを要件とした。
  - 新しい正確度用語を導入："3次元位置正確度"。
- 
- 「正確度」はaccuracyの訳語

### ASPRS Positional Accuracy Standards Ed.2 (2023) (水平)

Table B.4 Horizontal Accuracy/Quality Examples for High Accuracy Digital Planimetric Data

ASPRS Edition 2 (2023)			Equivalent to Map Scale in		Equivalent to Map Scale in NMAS
Horizontal Accuracy Class	RMSE <sub>H</sub> (cm)	Approximate GSD of Source Imagery (cm)	ASPRS 1990 Class 1	ASPRS 1990 Class 2	
25.0	25.0	12.5 to 25.0	1:1000	1:500	1:634
27.5	27.5	13.8 to 27.5	1:1100	1:550	1:697
30.0	30.0	15.0 to 30.0	1:1200	1:600	1:760
45.0	45.0	22.5 to 45.0	1:1800	1:900	1:1141
60.0	60.0	30.0 to 60.0	1:2400	1:1200	1:1521

$$RMSE_H = \sqrt{RMSE_x^2 + RMSE_y^2}$$

GSD の範囲は、センサー技術とマッピング手法の現状に基づく一般的な推奨事項

NMAS: National Map Accuracy Standard (NMAS) of 1947

ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data Edition 2, ver.1.0 (2023) より引用

# ASPRS Positional Accuracy Standards (2014)の例

TABLE B.6 HORIZONTAL ACCURACY/QUALITY EXAMPLES FOR HIGH ACCURACY DIGITAL PLANIMETRIC DATA

ASPRS 2014				Equivalent to map scale in		Equivalent to map scale in NMAS
Horizontal Accuracy Class RMSE <sub>x</sub> and RMSE <sub>y</sub> (cm)	RMSE <sub>r</sub> (cm)	Horizontal Accuracy at the 95% Confidence Level (cm)	Approximate GSD of Source Imagery (cm)	ASPRS 1990 Class 1	ASPRS 1990 Class 2	
0.63	0.9	1.5	0.31 to 0.63	1:25	1:12.5	1:16
60.0	84.9	146.9	30.0 to 60.0	1:2400	1:1200	1:1,521
75.0	106.1	183.6	37.5 to 75.0	1:3000	1:1500	1:1,901
100.0	141.4	244.8	50.0 to 100.0	1:4000	1:2000	1:2,535

NMAS: National Map Accuracy Standard (NMAS) of 1947

ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data.  
Photogrammetric Engineering & Remote Sensing Vol. 81, No. 3, March 2015, pp. A15 より引用

# ASPRS Positional Accuracy Standards Ed.2 (2023) (高さ)

Table B.6 Vertical Accuracy of the ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data, Edition 2, 2023 Compared to Legacy Standards

Vertical Accuracy Class	NVA RMSE <sub>v</sub> (cm)	Equivalent Class 1 Contour Interval per ASPRS 1990 (cm)	Equivalent Class 2 Contour Interval per ASPRS 1990 (cm)	Equivalent Contour Interval per NMAS (cm)
1-cm	1.0	3.0	1.5	3.29
2.5-cm	2.5	7.5	3.8	8.22
5-cm	5.0	15.0	7.5	16.45
10-cm	10.0	30.0	15.0	32.90
15-cm	15.0	45.0	22.5	49.35
20-cm	20.0	60.0	30.0	65.80
33.3-cm	33.3	99.9	50.0	109.55
66.7-cm	66.7	200.1	100.1	219.43
100-cm	100.0	300.0	150.0	328.98
333.3-cm	333.3	999.9	500.0	1096.49

準則に定める等高線間隔 (地図情報レベル)

100cm(1000)  
200cm(2500)

高さ正確度は写真には紐づけされていない。

ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data Edition 2, ver.1.0 (2023) より引用

Vertical aerial photography and digital imagery,  
RICS guidance note (2010)

Photo Scale	GSD	Mapping Scale	H <sub>z</sub> RMSE	Vertical RMSE
1:3000	4cm	1:500	+/- 0.100m	+/- 0.050m
1:5000	7.5cm	1:1250	+/- 0.225m	+/- 0.125m
1:10000	15cm	1:2500	+/- 0.500m	+/- 0.250m

31

オーバーラップ、サイドラップの  
検討に関する資料

32



## 作業規程の準則

第186条 撮影計画は、撮影区域ごとに次の各号の条件を考慮して作成するものとする。

四 同一コース内の隣接数値写真との重複度は60パーセント、隣接コースの数値写真との重複度は30パーセントを標準とする。ただし、地形等の状況及び用途によっては、同一コース内又は隣接コースのどちらについても、重複度を増加させることができる。

第191条 数値写真の重複度は、撮影計画に基づいた適切な重複度となるように努めなければならない。

- 2 隣接数値写真間の重複度は、最小で53パーセントとする。
- 3 コース間の数値写真の最小重複度は、10パーセントとする。

33

## 外国の事例

- RICS professional standard - Earth observation and aerial surveys (2021)
  - オーバーラップ：通常60～80%。都市域（高層ビル）では80～90%。
  - サイドラップ：（対地高度1500m超）15～40%；（同1500m以下）20～40%。許容範囲は±5%。都市域では30%。
  - 地形の高低差が対地高度の10%を超える地域では変化は許容される。
- TSA (The Survey Association, 英国) : Client guide to Achievable Accuracies from Aerial Photogrammetric Systems (2019)
  - 80% オーバーラップ：地形急変地で60%を確保するのに有効。3枚続きの画像の両端で64%を確保、中心で正射画像を作成。自動ステレオマッチングで重複部が多いのは有利。
  - 35%-40% サイドラップ：自動ステレオマッチングで有利
- ASPRS Positional Accuracy Standards (2023)には記載なし。

34

## (とりあえずの) まとめ

- 公共測量での写真撮影は、地図情報レベル1000と2500が多数を占める。
  - ▶ 当面の検討対象をこの2つのレベルに限定してはどうか。
- 写真を数値図化に利用する場合、正射写真図の作成に利用する場合より、同じ地図情報レベルであっても小さな地上画素寸法を選択する傾向がある。
  - ▶ 公共測量成果が他の目的にも利用されることを考慮すると、地上画素寸法を写真の利用目的に関わらず小さい方に統一してはどうか。
- カメラのB/Hについて、メーカーが幅広く製品を提供しているにもかかわらず、公共測量では値の大きなもの (Leica:0.34, Vexcel:0.39) が使われている傾向が見られる一方で、最近販売されているカメラではB/Hが小さくなる傾向がある。
  - ▶ B/Hを規格の決定に用いると、規格の数値が安定しない。
  - ▶ レンズ交換により、同一GSDでもB/Hを変えられる。
- オーバーラップに関しては、英国で80%を推奨する事例あり。