

デジタル航空センサーADS40によるデジタルオルソ画像と標高データの位置精度

メタデータ	<p>言語: ja</p> <p>出版者: 独立行政法人農業工学研究所</p> <p>公開日: 2024-02-13</p> <p>キーワード (Ja):</p> <p>キーワード (En):</p> <p>作成者: 福本, 昌人, 島, 武男, 小川, 茂男</p> <p>メールアドレス:</p> <p>所属:</p>
URL	https://doi.org/10.24514/0002000039

デジタル航空センサーADS40によるデジタルオルソ画像と 標高データの位置精度

福本昌人*・島武男**・小川茂男**・上杉晃平***

目次	
I 緒言	47
II デジタルオルソ画像と標高データの作成方法	47
1 データ作成の対象地域	47
2 航空写真撮影によるデータ作成方法	47
3 デジタル航空撮影によるデータ作成方法	49
III 位置精度の検証方法	49
IV 結果と考察	50
1 デジタルオルソ画像の平面位置精度	50
2 標高データの高さ精度	51
3 農村振興地理情報システム整備事業におけるデ ジタル航空センサーADS40の利用可能性	52
V 結言	52
参考文献	52
Summary	53

I 緒言

農林水産省により平成11年度に農地環境緊急対策事業、平成13年度に農村振興地理情報システム整備事業が創設され、これらの事業により農業振興地域を対象に縮尺1/2500レベルの地理情報システム（GIS）データの整備が進められている（野口，2002）。その基本的なデータは、デジタルオルソ画像と標高データである。デジタルオルソ画像は、航空写真を地図と同様の正射投影にした画像であり、農地区画や農道等の空間データを作成するための基図として利用される。標高データは、デジタルオルソ画像を作成する過程で作成される数値地形データである。

農地環境緊急対策事業では、作業規程が定められ、これらのデータはその作業規程に従って作成する必要がある。しかし、その後継である農村振興地理情報システム整備事業では、国内外の地理情報標準化の動向に対応して、作業規程ではなく品質要件が定められることになり（プロセス仕様からプロダクト仕様への変更）、作成されたデータの位置精度が品質要件を満たすものであれば、技術の進展により新しく開発されたデータ作成手法を採用することが可能になった。

そこで、本研究（行政対応特別研究課題「高解像度衛

星データによる農地管理状況のセンシング技術の開発」の一部）では、最新の航空測量機器であるデジタル航空センサーADS40（LH Systems社製；阿部伸，2001）に着目し、農村振興地理情報システム整備事業におけるその利用の可能性を検討した。すなわち中山間農業地域においてADS40によるデジタル航空撮影を実施し、その取得データから作成されたデジタルオルソ画像と標高データの位置精度を検証した。また比較のために、航空写真から農地環境緊急対策事業の作業規程に従って作成されたデジタルオルソ画像と標高データの位置精度も検証した。なお、本研究のうちデジタル航空撮影の実施および同撮影によるデジタルオルソ画像と標高データの作成において、パスコ（株）総合技術センター各位に多大なご協力を賜った。

II デジタルオルソ画像と標高データの作成方法

1 データ作成の対象地域

福島県安達郡東和町において2002年にADS40によるデジタル航空撮影を実施し、その取得データから町全域のデジタルオルソ画像と標高データを作成した。同町は阿武隈山系の起伏の激しい丘陵地帯に位置し、水田の多くは谷間に立地している。また、同町では農地環境緊急対策事業により2000年に航空写真撮影が行われ、航空写真から町全域のデジタルオルソ画像と標高データがすでに作成されている。

2 航空写真撮影によるデータ作成方法

農地環境緊急対策事業による航空写真撮影（ライカ社の航測カメラLEICA RC30を使用）は、2000年5月30日に飛行高度約1500m（撮影縮尺1/10000）で行われた。

*農林水産技術会議事務局研究開発企画官室

前 地域資源部土地資源研究室

**地域資源部土地資源研究室

***パスコ（株）総合技術センター

平成14年12月9日受理

キーワード：デジタル航空センサー，デジタル航空撮影，
デジタルオルソ画像，標高データ，位置精度

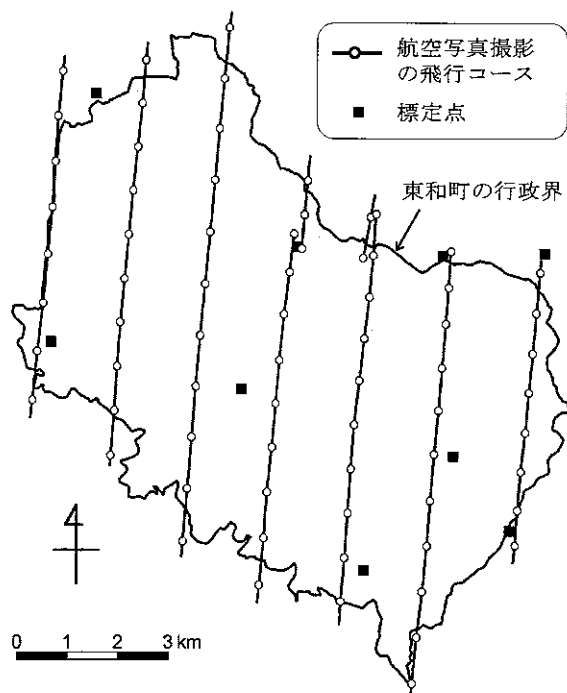


Fig. 1 航空写真撮影の飛行コースと標定点
Flight course of aerial photography
and orientation control point

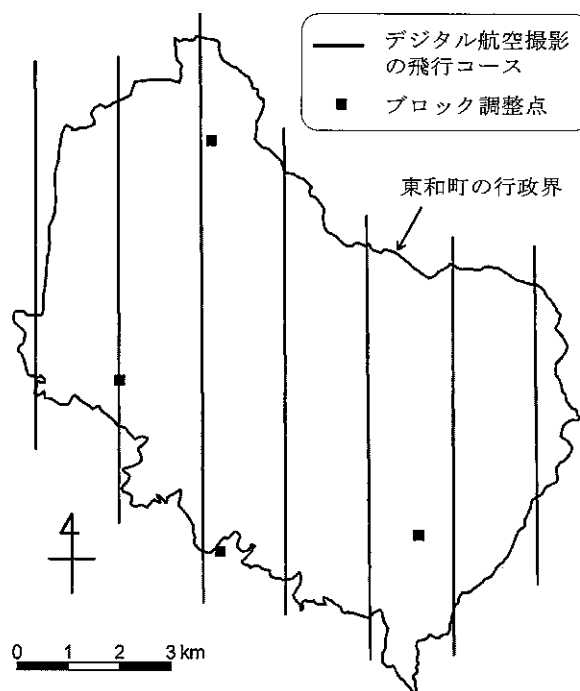


Fig. 2 デジタル航空撮影の飛行コースとブロック調整点
Flight course of digital aerial photography
and block adjustment point

Fig.1にその撮影コースを示す。撮影範囲のオーバーラップ（同一コース内での重複度）は60%，サイドラップ（隣接するコース間の重複度）は30%である。撮影日には水田は田植え直後であり、湛水状態であった。

航空写真を用いたデジタルオルソ画像と標高データの作成は、写真測量用スキャナーDSW500やデジタル写真測量ソフトウェアSOCET SET（ともにLH Systems社製）等を用いて、同事業の作業規程に従って行われた。その作業工程は、①航空写真フィルムをスキャンして航空写真画像を作成、②空中三角測量（バンドル法（中村・清水，2000））により航空写真画像を標定、③航空写真ステレオペア画像を用いてステレオマッチング（中村・清水，2000）により標高データを自動作成（以下、このデータをステレオマッチング標高データと称す）、④必要に応じて標高をマニュアル測定、⑤標高データを用いて航空写真画像を正射投影、というものである。

②の空中三角測量で用いられた標定点（主に三角点，Fig.1）には、撮影にあわせて対空標識が設置された。④の標高のマニュアル測定は、主に直接支払制度の対象水田に対して行われた。すなわち、偏光眼鏡をかけてステレオペア画像を立体視しながら田面のいくつかの地点の標高をマニュアル測定し、その平均値を田面の標高データ（以下、このデータをマニュアル測定標高データと称す）とする作業が行われた。⑤の航空写真画像の正射投影には、このマニュアル測定標高データ（ただし、マ

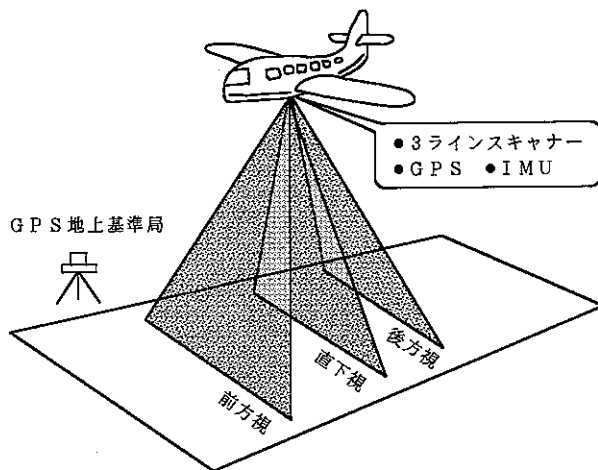


Fig. 3 デジタル航空センサーADS40の概要
Outline of digital airborne sensor ADS40

ニュアル測定が行われていない場所についてはステレオマッチング標高データ）が用いられた。

後述する位置精度の検証は、マニュアル測定標高データを用いて作成されたデジタルオルソ画像、マニュアル測定標高データおよび③のステレオマッチング標高データについて行った。なお、デジタルオルソ画像は25cm解像度のRGB画像であり、標高データは5mグリッド間隔のポイント型ベクタデータである。

3 デジタル航空撮影によるデータ作成方法

デジタル航空センサーADS40（セスナに搭載）によるデジタル航空撮影は、2002年4月6日に飛行高度約2000m、飛行速度約200km/hで行われた。Fig.2にその撮影コースを示す。撮影範囲のサイドラップは30%である。撮影日には水田は耕起前であり、稲の切り株が残った状態であった。

ADS40は、3ラインスキャナー、GPS、IMU（慣性計測装置）等から構成されている（阿部伸，2001）。3ラインスキャナーは、5つのCCDラインセンサー（パンクロマティック用が3つ、RGB用が1つ、近赤外用が1つ）を持ち、Fig.3に示すように、前方視、直下視、後方視の3方向のパンクロマティック画像（白黒画像）、および直下視のRGB画像と近赤外画像をスキャニング方式により同時撮影する。これらの原画像は航空機の揺れの影響を受けているが、GPSとIMUによる航空機の位置・姿勢データを用いて原画像の修正が行われる。ADS40のGPS計測は、約60km離れた地点に地上基準局を設置して連続キネマティック測位法（中村・清水，2000）により行われた。ADS40の取得データを用いたデジタルオルソ画像と標高データの作成は、主にデジタル写真測量ソフトウェアSOCET SETを用いて行われた。その作業工程は、前節で述べた航空写真によるデータ作成の作業工程②～⑤と共通している。

バンドル法によるブロック調整には4つのブロック調整点（Fig.2）が用いられた。ブロック調整点には撮影にあわせて対空標識が設置され、その位置はGPSを用いてスタティック測位法（中村・清水，2000）により測量された。標高データは、3方向のパンクロマティック画像からステレオマッチングにより自動作成された。また、後述する標高データの位置精度の検証を行う水田とその周辺の水田に対して、前節と同様にその田面標高のマニュアル測定（偏光眼鏡をかけて2方向のパンクロマティック画像を立体視して実施）が行われた。デジタルオルソ画像には、RGB画像を正射投影した画像と近赤外画像を正射投影した画像の2つがある。これらの作成は、マニュアル測定標高データ（ただし、マニュアル測定が行われていない場所についてはステレオマッチング標高データ）を用いた場合とステレオマッチング標高データを用いた場合の2通りで行われた。

後述する位置精度の検証は、マニュアル測定標高データを用いて作成されたデジタルオルソ画像、ステレオマッチング標高データを用いて作成されたデジタルオルソ画像、マニュアル測定標高データ、およびステレオマッチング標高データについて行った。なお、デジタルオルソ画像は20cm解像度のRGB画像（RGB各11ビット）と近赤外画像（11ビット）であり、標高データは5mグリッド間隔のポイント型ベクタデータである。

Ⅲ 位置精度の検証方法



Fig.4 対空標識の設置位置（位置精度の検証地点）
Location of photogrammetric targets
(Verification points of positional accuracy)



Fig.5 対空標識
Photogrammetric target

航空写真撮影によるデータ作成において田面標高のマニュアル測定が行われていた水田の中から19枚の水田を任意に選び出し、それらの区画の角あるいは畦畔に検証用の簡易な対空標識をデジタル航空撮影にあわせて設置した（注：デジタル航空撮影によるデータ作成においては、この対空標識周辺の水田の田面標高をマニュアル測定した）。Fig.4にその対空標識の設置位置を示す。対空標識は白色ペイントで塗装した45cm四方の天板から

Table 1 デジタルオルソ画像の平面位置精度
Horizontal position accuracy of digital ortho images

対空標識 No.	現場測量結果 X座標 (m) Y座標 (m)		航空写真撮影	デジタル航空撮影			
			[マニュアル測定]	[マニュアル測定]		[ステレオマッチング]	
			R G B画像 誤差 (m)	R G B画像 誤差 (m)	近赤外画像 誤差 (m)	R G B画像 誤差 (m)	近赤外画像 誤差 (m)
1	182173.88	63786.31	0.70	0.21	0.55	0.30	0.89
2	181043.99	64125.49	0.29	0.15	0.75	0.14	0.81
3	180628.07	63755.37	0.31	0.24	0.17	0.32	0.44
4	180270.20	62652.49	0.18	0.09	0.18	0.09	0.15
5	179834.67	64595.22	0.71	0.45	0.58	0.19	0.14
6	178749.60	66879.13	0.73	0.44	0.49	0.53	0.75
7	178277.54	66689.95	0.57	0.45	0.53	0.97	1.03
8	177489.58	66573.91	0.68	0.39	0.48	0.40	0.48
9	176947.92	66764.17	0.15	0.40	0.34	0.75	0.81
10	177675.47	63754.18	0.43	0.13	0.20	0.11	0.18
11	175227.41	65056.38	0.27	0.32	0.48	0.72	0.61
12	175020.89	63091.63	0.33	0.49	0.58	0.51	0.63
13	174619.02	63507.20	0.19	0.29	0.56	0.29	0.57
14	173142.90	64970.76	0.31	0.42	0.98	0.26	0.48
15	175861.77	66871.90	0.66	0.32	0.23	0.56	0.69
16	174945.17	66403.93	0.41	0.46	0.58	0.42	0.43
17	173901.26	67002.27	0.23	0.18	0.17	0.23	0.37
18	173774.51	67896.59	0.53	0.19	0.28	0.41	0.24
19	173308.33	66528.10	0.34	0.63	0.94	0.53	0.70
標準偏差			0.48	0.37	0.55	0.48	0.62

[マニュアル測定] : マニュアル測定による標高データを用いて作成されたデジタルオルソ画像

[ステレオマッチング] : ステレオマッチングによる標高データを用いて作成されたデジタルオルソ画像

なる (Fig.5)。その天板の中心の平面位置および標高をGPSを用いてスタティック測位法により測量した。また、対空標識を設置した水田の田面と対空標識の天板との標高差を測定し、天板の標高値からその標高差を差し引いて水田の田面標高を求めた。ここで田面は水平な平面であると仮定した。対空標識の設置位置がデジタルオルソ画像の平面位置精度の検証地点、対空標識を設置した水田の田面が標高データの標高精度の検証地点である。農地環境緊急対策事業や農村振興地理情報システム整備事業では標高データの整備目的を具体的には示していないが、実態として標高データは直接支払制度の支払単価の判定に必要な農地団地の傾斜度の算出に利用されているため、標高データの標高精度の検証地点として田面を選んだ。

デジタルオルソ画像の平面位置精度については、画像上の検証地点の位置座標値（平面直角座標系）を読みとり、それを現場測量結果と比較して検証した。なお、検証用の対空標識が映っていない航空写真撮影によるデジ

タルオルソ画像については、現場で描いた対空標識位置の見取り図や、対空標識が映っているデジタル航空撮影によるデジタルオルソ画像を参照して、対空標識の設置位置に対応する地点を判定した。

標高データの標高精度については、デジタルオルソ画像を参照して、検証地点の水田田面に位置する標高データを抽出し、その標高値（基準は東京湾の平均海面）を現場測量結果と比較して検証した。なお、田面標高が平均値として与えられていないステレオマッチング標高データについては、田面内の各点の標高値を平均し、その平均値を現場測量結果と比較した。

IV 結果と考察

1 デジタルオルソ画像の平面位置精度

Table1にデジタルオルソ画像の平面位置精度の検証結果を示す。表中の誤差は、X方向の誤差の2乗とY方向の誤差の2乗の和の平方根であり、検証地点における位

Table 2 標高データの高さ精度
Height accuracy of digital elevation data

対空標識 No.	現場測量結果 標高 (m)	航空写真撮影		デジタル航空撮影	
		[マニュアル測定]	[ステレオマッチング]	[マニュアル測定]	[ステレオマッチング]
		誤差 (m)	誤差 (m)	誤差 (m)	誤差 (m)
1	270.51	-0.74	-0.01	-0.36	-0.17
2	322.18	-0.69	0.26	-0.25	0.05
3	317.76	-0.75	0.99	-0.25	-0.12
4	248.45	-0.47	0.33	-0.15	-0.35
5	304.37	-0.24	0.52	-0.23	-0.20
6	416.20	-0.63	-0.48	0.04	0.27
7	389.76	-0.01	0.49	-0.10	1.56
8	380.49	-0.17	0.82	-0.51	0.21
9	378.95	-0.42	0.39	-0.49	1.19
10	270.29	-0.49	1.30	-0.29	-0.46
11	321.84	0.26	2.17	-0.57	0.32
12	220.93	-0.07	0.33	-0.55	-0.70
13	226.06	0.18	0.70	-0.46	-0.22
14	337.25	-0.13	1.18	-0.47	1.18
15	379.13	-0.60	3.11	-0.44	1.20
16	347.05	0.14	1.37	-0.95	-0.33
17	368.02	-0.34	1.50	-0.65	1.01
18	406.78	-0.59	1.26	-0.60	1.19
19	359.71	0.04	3.40	-0.79	-0.19
標準偏差		0.45	1.45	0.50	0.76

[マニュアル測定]：マニュアル測定による標高データ

[ステレオマッチング]：ステレオマッチングによる標高データ

位置座標値のズレを表している。また、その標準偏差は、 n 個の誤差の2乗の総和を $(n-1)$ で除した値の平方根である。公共測量作業規程では地形図の平面位置精度として、縮尺が1/1000以下の場合には標準偏差が図上0.7mm以内であることと規定している。これを実距離に換算すると、1/1000以下の場合には標準偏差が0.70m以内、1/2500の場合には標準偏差が1.75m以内という基準になる。Table 1に示した標準偏差の値をこの基準に当てはめて精度レベルを評価すると次のようになる。

航空写真撮影によるデジタルオルソ画像（マニュアル測定標高データを用いて作成されたRGB画像）の誤差の標準偏差は0.48mであり、平面位置精度は1/1000レベルである。また、デジタル航空撮影によるデジタルオルソ画像の誤差の標準偏差は、マニュアル測定標高データを用いて作成されたRGB画像と近赤外画像がそれぞれ0.37m、0.55m、ステレオマッチング標高データを用いて作成されたRGB画像と近赤外画像がそれぞれ0.48m、0.62mであり、いずれの画像も平面位置精度は航空写真

撮影の場合と同じ1/1000レベルである。

なお、参考までに、対空標識設置位置においてデジタル航空撮影によるRGB画像と近赤外画像との間の位置座標値のズレを調べたところ、その標準偏差は、マニュアル測定標高データを用いて作成された場合には0.33m、ステレオマッチング標高データを用いて作成された場合には0.44mであった。

2 標高データの長さ精度

Table 2に標高データの長さ精度の検証結果を示す。公共測量作業規程では地形図の標高点の長さの精度として、縮尺が1/1000以下の場合には標準偏差が等高線間隔の1/3以内であることと規定している。これを実距離に換算すると、1/1000以下の場合には標準偏差が0.33m以内、1/2500の場合には標準偏差が0.67m以内、1/5000の場合には標準偏差が1.67m以内という基準になる。Table 2に示した標準偏差の値をこの基準に当てはめて田面標高の精度レベルを評価すると次のようになる。

航空写真撮影による標高データの誤差の標準偏差は、マニュアル測定の場合には0.45m、ステレオマッチングの場合には1.45mであり、前者の高さ精度は1/2500レベル、後者の高さ精度は1/5000レベルである。また、デジタル航空撮影による標高データの誤差の標準偏差は、マニュアル測定の場合には0.50m、ステレオマッチングの場合には0.76mであり、航空写真撮影の場合と同様に、前者の高さ精度は1/2500レベル、後者の高さ精度は1/5000レベルである。

3 農村振興地理情報システム整備事業におけるデジタル航空センサーADS40の利用可能性

農村振興地理情報システム整備事業では、作成されるデータの品質要件とその検査方法が空間データ調達仕様書により定められている。それによれば、デジタルオルソ画像と標高データの位置正確度（地物の位置の正確度に関する品質情報）については、5km×5kmの範囲毎に500m×500mの1区画を任意に選び、それらの中で現地測量を実施して検査する必要がある。また、その検査の結果、デジタルオルソ画像については、位置座標値のズレ（誤差）が1.75mより大きい検証地点の数の検証地点総数に対する割合が2.5%以内であること、標高データについては、検証地点における標高値のズレ（誤差）の標準偏差が1.00m以内であることが品質要件として定められている（注：標高データに関するこの品質要件は平成14年11月に開催された農村振興GISシステム開発検討委員会で改訂されたもので、空間データ調達仕様書の改訂版に記されることが予定されている）。

ここで、Table 1とTable 2に示したデジタル航空撮影についての検証結果を見ると、同撮影によるデジタルオルソ画像（4種類）と標高データ（2種類）は、いずれもこの位置正確度に関する品質要件を満たしていた。したがって、デジタル航空センサーADS40は、農村振興地理情報システム整備事業におけるデジタルオルソ画像と標高データの整備に利用可能であると判断される。ただし、ステレオマッチング標高データを利用する場合には、すべての水田について、標高データから田面の平均標高値を求め、標高データの生の標高値をその平均標高値と置き換える必要がある。なお、航空写真撮影の場合には、デジタルオルソ画像とマニュアル測定による標高データは、位置正確度に関する品質要件を満たしていたが、ステレオマッチングによる標高データは品質要件を満たしていなかった。

V 結 言

デジタル航空センサーADS40は、製品化されて間もない航空測量機器であり、撮影実績はまだ非常に少ない。本研究において、その取得データを用いたデジタルオル

ソ画像と標高データの作成が我が国で初めて行われたところである。

本研究では、そのADS40によるデジタルオルソ画像と標高データの位置精度を検証した。その結果、それらのデータは、農地環境緊急対策事業の作業規程に従って航空写真から作成されたデータと同程度の位置精度を持っていることがわかった。また、それらのデータは、農村振興地理情報システム整備事業のデータ品質要件（位置正確度）を満たすものであり、ADS40は同事業におけるデータ整備に利用可能であると判断された。

参考文献

- 1) 阿部伸(2001): デジタル・エアボーン・センサーADS40 -POP搭載のスリーライン型センサーシステム-, 測量, 2001年3月号, p40-42
- 2) 中村英夫・清水英範(2000): 測量学, 技報堂出版, 東京
- 3) 野口哲也(2002): 農業農村整備事業におけるGISの整備 -データの相互利用と活用方法-, SDERD(土地改良測量設計技術協会発行), 55, p17-24

Positional Accuracy of Digital Ortho Images and Elevation Data Obtained by Digital Airborne Sensor ADS40

FUKUMOTO Masato, SHIMA Takeo, OGAWA Shigeo and UESUGI Syouhei

Summary

We carried out digital aerial photography in mountainous regions using the digital airborne sensor ADS40, and examined the positional accuracy of digital ortho images and elevation data made from the ADS40 data. The positional accuracy was verified from the location of photogrammetric targets, which were placed around paddy fields.

The height error (standard deviation) of elevation data obtained automatically by stereo matching was 0.76m, and the height error (S.D.) of elevation data obtained manually was 0.50m. These errors correspond to topographical maps with a scale of 1/5000, and 1/2500 respectively.

The horizontal position error (S.D.) of digital ortho images (RGB images) made using the former elevation data was 0.48m, and the same of digital ortho images (RGB images) made using the latter elevation data was 0.37m. Both of these errors correspond to topographical maps with a scale of 1/1000.

Key Words: Digital Airborne sensor, Digital Aerial Photography, Digital Ortho Images, Elevation Data, Positional Accuracy