低平地におけるデータ利用を想定した DSM生成と精度管理に関する研究

結城 壮平¹・桑原 祐史²・小柳 武和³

¹学生会員 茨城大学 理工学研究科 都市システム工学専攻

(〒316-8511 茨城県日立市中成沢4-12-1) E-mail:12nm822r@hcs.ibaraki.ac.jp

²正会員 博士(工学) 茨城大学 准教授 広域水圏環境科学教育研究センター (〒316-8511 茨城県日立市中成沢4-12-1)

³正会員 博士(工学) 茨城大学 教授 工学部 都市システム工学科 (〒316-8511 茨城県日立市中成沢4-12-1)

地球温暖化の影響により、沿岸部低平地においては水没の危険性が高まるとされ、早急な対策が必要とされている。このような中、土地の高さをメッシュとして表した数値標高モデル(DEM:Digital Elevation Model)や数値表層モデル(DSM:Digital Surface Model)を用いた水没域推定に関する研究事例があり、データの示す標高値の精度の捉え方を整理することが重要であると言える。既往の研究において、基準点を用いて残差をデータのばらつきの判断材料とする統計論的アプローチで議論が進められている。本研究では、低平地における氾濫シミュレーションに対するDSMの実利用を想定し、数値標高モデル10mメッシュ、レーザプロファイラ、ステレオマッチング処理、InSAR処理の各方法で生成したDEMおよびDSM精度比較の方法を検討した。

Key Words :DEM, DSM, precision criterion

1. はじめに

近年の地球温暖化の影響により、世界の平均海面水位の上昇が報告される中、沿岸部低平地において水没の危険性が高まるとされており、早急な対策が必要とされている。現在、水没域推定に関する研究においてDEM(数値標高モデル:Digital Elevation Model)やDSM(数値表層モデル:Digital Surface Model)を用いた複数の研究事例がある^{1,2)}。水没域の推定時に用いるDEMおよびDSMの精度が極めて重要であることは言うまでもなく、その精度評価の方法として、測量基準点の標高値を用いて誤差・残差を求め、精度評価を行うことが多くある(以下、基準点評価と示す³⁾)。しかし、海外においては測量成果が入手困難であるケースが多く、ステレオ写真等からDSMの生成を行っても、その精度を容易に求めることができない。一方で、氾濫シミュレーションを行う際においても、凹凸が多く存在するエリアなどでは正確な計算を行うことができないため、面として見た場合の精度も極めて重要であると言える。以上より、従来用いられている基準点評価に加えて他の評価方法も必要であると考えた。本研究では、海面上昇による影響を受けると予測される沿岸部低平地(例:ベトナムやツバルなど)を想定として、同

地域においてのDEMおよびDSMを用いて、従来用いられている基準点評価に加え、面的に見た場合の精度、被覆分類別に見た時の精度の3つの観点からDEMおよびDSMの精度評価を行った。

2. 研究の目的

異なる観測方法により取得されたデータからDEMおよびDSMを生成し、精度評価を行う。その際の精度評価の方法として、新たなDSMの精度評価の方法を提案し、各観測方法により得られたDSMの特徴の整理を行うことを目的とする。この目的を達成するための解析目標は以下の3点である。

- ① 国土地理院発行の基盤地図情報-10mメッシュ(以下、GSI-10m)、レーザプロファイラデータ(以下、LP)、ステレオ観測の衛星データ(以下、ALOS/PRISM)、合成開口レーダデータ(以下、ALOS/PALSAR)の4データより、各DEMおよびDSMの生成を行う。
- ② 従来より用いられる点評価に加え、面および被覆の3つの観点から生成したDSMの精度評価を行う。
- ③ 異なる観測方法により、生成したDSMの特徴の整理を行う。

3. 対象領域および使用データ

(1) 対象領域

本研究では、**図-1**に示す茨城県日立市周辺を対象地域とした。この地域は、被覆分類別における精度のばらつきを検証するための多様な地形および被覆条件(山地、建物用地、河川等)を有している。

(2) 使用データ

本研究では、GSI-10m、常陸河川国道事務所より提供頂いたLP、ALOS/PRISM、ALOS/PALSARの取得方法の異なる4データを用いた。PALSARデータに関しては、FBSモードの水平偏波で観測されたデータを用いた。各データの観測日はLPは2006/02/02~2006/03/13、ALOS/PRISMは2007/02/12、ALOS/PALSARは2009/12/15および2010/12/18のデータを使用し、冬季のデータを用いることで植生の影響を小さいものを使用した。それぞれのデータ処理に関しては、ALOS/PRISMはIMAGINEのOrthoBASE PRO(Intergraph社製)を用いてステレオマッチング処理、ALOS/PALSARはENVIのSARscape(Exelis VIS株式会社製)を用いてInSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar)処理を行い、それぞれのDSMを生成した。その際、生成DSMの空間分解能をほぼ近い値に設定を試みたが、LPは取得する原データの分解能が1m未満と高く、これを20mの分解能に再構成すると必然的に誤差が大きくなる。一方でALOS/PRISMの分解能は2.5m、ALOS/PALSARは数m程度であり、出力にラスタデータを20mに平均化することは、解像度が類似している点からも無理は無いと判断した。そのため、使用したデータ分解能それぞれ、GSI:20m、LP:2m、ALOS/PRISM:20m、ALOS/PALSAR:20mとした。使用データの詳細を**表-1**に整理する。

4. 各DSMの生成

図-2にDSM生成の流れ(ALOS/PRISM、ALOS/PALSAR)を示す。以下に処理の詳細を述べる。

(1) ALOS/PRISMを用いたDSMの生成

ALOS/PRISMは、IMAGINEのOrthoBASE PRO(ERDAS社製)を用いてステレオマッチング処理を行った。処理は、国土地理院発行の数値地図25000(地図画像)をXYの基準とし、PRISMデータの前方視・直下視・後方視の三方向の画像データを用いて、画像内をできる限り偏りなく60点前後のリファレンスGCPを取得し、Triangulation(標定)を行った。その際のRMS(Root Mean Square :平均二乗誤差)は0.38mであった。最後に、データ点間の内挿処理を

図-1 対象領域

表-1 使用データ

	GSI-10m	LP	PRISM	PALSAR
観測日	—	2006/02/02 ~2006/03/13	2007/02/12	2009/12/15 2010/12/18
データの性質	1/25,000 地図の等高線から作成	雲がある日には観測不可	雲のある地点は標高値算出不可	天候や昼夜に左右されずに観測可能
分解能	20m	2m	20m	20m
区別	DEM	DSM	DSM	DSM

図-2 処理のフロー図

行い3組の衛星画像ペアから3つのDSMを生成し、モザイク処理により1つのDSMとして出力した。

図-3 生成 DSM および DEM, 数値地図の一部抽出

(2) ALOS/PALSAR を用いた DSM の生成

ALOS/PALSARは、ENVIのSARscape(Exelis VIS株式会社製)を用いてInSAR処理を行った。2つのSARデータをSARscapeで読み込める形式へ変換を行い、初期干渉位相計算、ペア画像の情報、ペア画像間の干渉性の確認を行った。続いて、画像ペアと同地域のDEMを用いて(本研究においては、SRTM(Shuttle Radar Topography Mission)を用いた)、地形や衛星の軌道等による影響、干渉画像のノイズ除去等の処理を行い、DSMを生成した。

(3) 生成DSMの特徴

生成したDEMおよびDSMの同一地点における一部を切り出したものを図-3に示す。その際に、標高値の区分を2m間隔として、0m以下の配色を黒と設定した。

LPに関しては、提供頂いたデータが既に自動および、手動でのフィルタリング処理が施されていたため、久慈川に架かる橋などの補正処理は既に行われていた。一方、河川付近を離れたエリアについては、常磐自動車道やICなども標高データから明瞭に判別できる。また、線路等の若干標高値が大きくなっているエリアに関しても明確に確認することができた。

ALOS/PRISMに関しては、久慈川付近において標高値が低く出ている場所が数カ所見られた。その地点を確認すると、橋梁が存在するエリアや川の合流点においてその傾向がある。これは、橋梁の影や合流地点の流れが急となり波が立つ部分による影響であることが読み取れる。

図-4 測量基準点の分布

また、水田エリアにおいては比較的GSI-10mと近い値を示しているが、所々に標高が高くなっている箇所も見受けられた。ALOS/PALSARに関しては、既に技術者の目によってスムージングされた等高線とは異なり、対象物に対して能動的にマイクロ波を照射し、その反射を捉えているため、他の生成DSMに比べて凹凸の大きい傾向

があった。またこのエリアにおいては、他のDSMと比べて全体的に標高値が高く出ているが、水田のエリアにおいては逆に、標高値が極端に低くなっている箇所があり、標高値のばらつきが見られた。原因としては、植生や含水量がペア間で異なるため干渉性が悪くなったと推察するが、断定はできない。この点は今後の課題とした。

5. 評価方法

(1) 基準点評価

従来から用いられているDSMの評価方法であり、生成したDSMおよびGSI-10mを、測量基準点の標高値を真値とし精度の評価を行った。本研究では、基本基準点19点と公共基準点6点の計25点を用いた評価を行った。基準点は主に、山間部、住宅地、河川付近等に存在していた。使用した測量基準点の分布を図-4に示す。図-4の領域は図-1に示すPRISMの領域と同一である。

(2) 面積評価

氾濫シミュレーションでは、DSMの高低により流向と流量が異なってくる。そのため、生成DSMの一点一点の点精度に加えて、面的なデータ分布の粗さが重要となる。特に海外においては、十分な測量基準点が存在していないエリアも多くあるため、そのエリアのDSM等の精度評価を想定した場合、基準点評価を行えない場合

があり、これを含めて面的な精度は重要となる。本研究では、生成DSM(LP, ALOS/PRISM, ALOS/PALSAR)および、GSI-10mをそれぞれ10m間隔の等標高面のポリゴンデータを作成し、GSI-10mを基準として、各等標高面の面積がどの程度異なるか、という点で評価を行った。この方法をとることにより1点だけでなく、複数の点を含めての精度評価を行うことが可能になる。日本国内を対象とした際には、河川氾濫想定区域図作成等で標準的に用いられているGSI-10mのDEMがあるため、ここではこのDEMより求められた面積を基準として面積比で議論することにした。また本研究の面積評価は、生成DSMのオーバーラップエリアを対象として行った。

(3) 被覆分類評価

土地被覆の条件の違いによりDSMの標高値の精度に大きな差が生じる。また、その精度は植生や建物、斜面などの影響により、異なる手法によって様々なばらつきが生じる。そのため、被覆条件の違いにより精度評価を行うことで、個々の手法により得られるDSMの良否の整理を行った。この整理を行うことで、方法別に利用可能なDSMの範囲を把握することができる。本研究では対象エリアを代表する評価項目を、水田・森林・山地・建物用地・河川・海の6項目に設定した。また、(2)面積評価と同様にGSI-10mを基準値とし、生成DSM(LP, ALOS/PRISM, ALOS/PALSAR)の各被覆条件毎に精度の確認を行った。

図-5 基準点における誤差の分布

6. 評価結果

(1) 基準点評価

生成DSMと測量基準点との残差をそれぞれ計算し、正規分布を作成し標準偏差を求めた。求めた正規分布および各基準点における誤差を図-5、表-2に示す。本研究で用いたデータでは、GSI-10m、LP、ALOS/PRISM、ALOS/PALSARの標準偏差(1 σ)がそれぞれ3.24m、0.48m、4.53m、2.94mとなり、公称値(既存研究で示された標準偏差)内に収まる結果となった⁴⁾。一方でALOS/PALSARに関して、RMS(Root Mean Square)が9.76mと大きくなった。今回用いたALOS/PALSARデータは2009年12月15日と2010年12月18日であり、2つのデータの観測時期が1年開いている。そのため1年の間に土地被覆条件が大きく変化したエリア、具体的には山地の植生に覆われているエリア等において、干渉性が大きく低下してしまったのではないかと考えられる。市街地が広がるエリア

付近における基準点が5m前後の残差が生じている。住宅や工場など、建物の多いエリアではInSAR処理で生成されるDSMは5m前後の残差を示し、建物の影響等を考慮すると概ね良好な推定結果と考える。一連のDSM推定処理後に、本論で基準とした測量成果のデータとの誤差分布検討した所、推定したDSMが10m程度全体的に高くなっていると判断した。そのため、DSMの全領域から機械的に10mを減じ、検討に用いることにした。

(2) 面積評価

面積評価を行った結果を表-3に示す。面積評価における標準偏差はそれぞれLP=2.08km²、ALOS/PRISM=4.14km²、ALOS/PALSAR=3.22km²であった。面積評価においては、明確な基準となる数値が存在しないため、基準とするGSI-10mに近い程良いと考えることとなる。この結果からGSI-10mを基準とした場合、LPにより生成したDSMの精度が他のDSMに比べて高いことが読み取れる。

表-2 各基準点における誤差

	基準点		GSI	差分	LP	差分	PRISM	差分	PALSAR	差分
電子基準点	日立	112.77	106.90	-5.87	-	-	111.55	-1.22	117.71	4.94
	基27	31.75	31.80	0.05	30.92	-0.82	30.68	-1.06	41.27	9.52
基本基準点	4155	6.73	6.75	0.02	-	-	-1.27	-7.99	-	-
	4156	27.96	27.80	-0.16	-	-	35.25	7.29	33.84	5.88
	4157	32.18	32.40	0.22	-	-	36.93	4.75	39.30	7.11
	4158	33.23	33.10	-0.13	-	-	38.94	5.70	40.60	7.37
	4159	34.13	33.60	-0.53	-	-	39.99	5.85	41.02	6.89
	4160	32.61	32.50	-0.11	-	-	40.55	7.95	40.49	7.89
	4161	21.04	21.10	0.06	21.41	0.38	23.58	2.54	29.56	8.52
	4162	5.65	4.90	-0.75	5.55	-0.10	7.00	1.34	14.15	8.50
	4163	5.35	4.90	-0.45	4.54	-0.81	2.75	-2.60	20.77	15.42
	4164	65.16	65.20	0.04	-	-	68.51	3.35	78.23	13.07
	4165	43.13	42.90	-0.23	-	-	47.03	3.90	58.72	15.59
	4166	39.49	39.60	0.11	-	-	45.76	6.27	52.68	13.19
	4167	34.79	37.00	2.21	-	-	35.91	1.12	46.66	11.87
	4168	49.77	51.00	1.23	-	-	-	-	61.53	11.76
	4169	44.68	46.20	1.52	-	-	41.00	-3.67	57.11	12.44
	4170	46.56	47.50	0.94	-	-	42.17	-4.39	58.84	12.28
	4171	22.43	22.30	-0.13	-	-	17.09	-5.33	34.92	12.49
公共基準点	1-1	2.40	4.80	2.40	2.56	0.16	4.59	2.19	12.22	9.82
	1-2	46.44	32.70	-13.73	45.77	-0.66	42.17	-4.27	57.86	11.43
	1-3	81.91	81.80	-0.11	-	-	79.78	-2.14	92.91	11.00
	No.5	3.67	5.70	2.03	-	-	-1.14	-4.81	-	-
	No.6	3.62	7.90	4.28	-	-	2.25	-1.37	-	-
	No.8	3.71	5.00	1.29	-	-	-1.12	-4.83	-	-
合計				-5.81	合計	-1.86	合計	8.58	合計	216.97
平均				-0.23	平均	-0.31	平均	0.36	平均	10.33
標準偏差				3.24	標準偏差	0.48	標準偏差	4.54	標準偏差	2.94
RMS				3.25	RMS	0.57	RMS	4.52	RMS	9.76

単位：(m)

PALSARデータは、植生の影響によって精度が下がっていると考えられる山地エリアが検証エリアに少ないため、ALOS/PRISMよりも良好な結果が得られた。一方でALOS/PRISMは、0-10mの等標高面に注目すると、基準面との差が3.91km²を示し、基準面との差が最も大きい値を示した。これは河川の標高値がGSI-10mと大きく異なっていることによる。また、本研究では等標高面を10m間隔としたが、今後、必要に応じた細かな間隔を設定することで、より正確な精度検証が可能となる。

(3) 被覆分類評価

本研究で用いたデータの観測時期が冬であるため、ALOS/PRISMデータで生成したDSMに関しては、水田において精度に大きな影響を受けることなく、比較的良好な結果となったが、ALOS/PALSARデータで生成したDSMは、基準面より数m、大きなところで20m程度生じていた。観測時期がALOS/PRISMと同じく冬であるため、稲の影響はないと考えられるが、この地域では年により冬季に麦を栽培しているエリアが存在する。ALOS/PALSARデータは観測時期に1年の差があり、麦または雑草などの植生の影響を大きく受けたことが原因として考えられる。それら植生などの要因により干渉性が下がり、標高値が正しく算出されていなかったため信頼度が低いと考えた。LPデータで生成したDSMに関しては、山地以外のほとんどのエリアにおいて数m前後の小さな残差となり、良好な結果が得られていた。一方で、どの生成DSMにおいても山地では精度が極端に下がる結果となった。これは、標高値の変化が激しい山地においては、データの取得が難しい、または山間部では冬場でも樹木が多く残っているため、残差が大きく生じた原因であると考えられ、一番精度の高いLPデータによるDSMにおいても標高値にばらつきが多く見られた。基準点評価でも触れたが、ALOS/PALSARデータにより生成したDSMにおいて市街地における精度は全体的に基準より高い数値を示した。具体的には+5m程度の残差が見られ、建物等の影響で高く出ていると考えられる。ALOS/PRISMに関しても、+5m前後の残差が生じており原因も同様であると考えられる。また、森林が広がるエリアにおいてもALOS/PALSARは10-40m前後の大きな残差が生じており、これらは植生の影響を大きく受けたことで干渉性が下がったものと考えられる。この点については、データの観測時期が近いデータを用いることにより、コヒーレンスが向上すれば、今後ある程度の精度が見込める可能性がある。

表-3 GSI-10m 基準の面積評価

DSM データ	LP	ALOS/PRISM	ALOS/PALSAR
基準	GSI-10m		
比較エリアの 面積	84.06 (km ²)		
残差の 標準偏差(km ²)	2.08	4.14 (km ²)	3.22 (km ²)
RMS誤差 (km ²)	0.35	0.87 (km ²)	0.54 (km ²)

7. 結論

本研究では、GSI-10m, LP, ALOS/PRISM, ALOS/PALSARの4データを用いてそれぞれのDEMおよびDSMに関して、新たな精度評価方法の提案し、①基準点評価、②面積評価、③被覆分類評価の3項目にて精度評価を行った。それぞれの評価方法についてまとめたものを表-4に示す。その結果、ALOS/PALSARの精度が多少低めであったが、概ね一般的に報じられている精度を得られることが複数の評価指標で確認された。特にInSAR処理に関しては、処理に用いたMasterとSlaveの観測日に1年の間隔があり、植生などの影響でコヒーレンス値が低くなり、干渉性が低下した。今後、より干渉性が高いペアを選定することで精度向上が望めると言える。

本研究は日本国内を対象としたため、「浸水氾濫想定区域図」作成等で一般に用いられているGSI-10mを基準とした指標化の計算を行った(面積評価)。基準とするDEMが得にくい海外での実利用を想定した場合、現段階ではこの評価方法を直接用いることができない。このため、SRTMやGDEM等、全球を網羅した汎用的なデータを基準とした同様の検証を行い、許容される精度の範囲を経験値に基づき把握していくことを今後の課題としたい。

謝辞：本研究で用いたH18年度のLPデータは常陸河川国道事務所から提供頂いたものである。ここに記して謝意を表します。また本研究は、茨城大学平成24年度学術推進経費による支援を頂いた。記して深甚なる感謝の意を示します。

表-4 評価方法のまとめ

	①基準点評価	②面積評価	③被覆分類評価
目的	生成DSMの精度検証.	生成DSMの複数の点を含んだ精度検証.	被覆条件の違いによるDSMの精度のばらつきの整理を行う.
基準	測量基準点	GSI-DEM	GSI-DEM
方法	DEM, 生成DSMを実測により求められた測量基準点を基準値とし, 残差・標準偏差を算出する.	各DEMおよび生成DSMの等標高面のポリゴンを作成し, GSI-10m DEMを基準面とし, 標準偏差を算出する.	GSI-10mDEMを基準面とし, 被覆分類毎に各DSMの良否の整理を行った.
概念図			

参考文献

- 岡田遥平：全球低平地における水没域推定を目的とした DSM 補正の検討，土木学会年次学術講演会公演概要集，2011.
- 上野幹夫，小林一郎，山本一浩，安重晃，橋本淳也：レーザー計測データを用いた有限要素法による洪水氾濫解析，土木情報利用技術論文，Vol.14，pp.1-6，2005.
- 田村正行，楠山達弥：基準点標高成果による数値標高モデルの精度評価，リモートセンシング学会第 48 回学術講演会論文集，2010.
- JAXA 宇宙航空研究開発機構 ALOS データの校正検証状況と観測画像から見る ALOS の特徴
<http://www.jaxa.jp/article/special/alos_sympo/pdf/04.pdf>(2012/02 アクセス).
- 信岡尚道，三村信男：標高モデルに起因する海面上昇の全球影響評価の不確実性，地球環境研究論文集，Vol.18，pp.115-122，2010.
- 今井靖晃，赤松幸生，丸家誠，大山洋：ALOS/PRISM 三方向視画像から作成した DSM，オルソ画像の精度評価，写真測量とリモートセンシング，48(2)，pp.74-77，2009.
- 佐藤治，関口辰夫，織茂郁，中島保：現地測量の成果を用いた航空レーザ測量 DTM の高さ方向の精度検証，写真測量とリモートセンシング，pp.13-21，2004.
- 高久淳一，田殿武雄：PRISM による DSM/オルソ画像の作成，日本リモートセンシング学会誌，27(4)，pp.372-385，2007.

(2012.11.30 受付)

RESEARCH ON THE ACCURACY CONTROL OF DSM FOR A LOW LOUND AREA

Sohei YUKI, Yuji KUWAHARA and Takekazu KOYANAGI

Affected by global warming, it is estimated that the sea level is rising up to 59cm by the end of this century. For this reason, it is necessary to create especially the elevation date of lowlands along the sea. In this research, elevation data was created in accordance with two or more DSM creation methods. And, we examined the comparison method of DEM and DSM accuracy generated by each method and compared the accuracy of the DEM and DSM generated by GSI-10m, LP, ALOS/PRISM, and ALOS/PALSAR.