

広領域を対象とした氾濫シミュレーションの精度向上を目的とする 簡易な DSM 補間方法の提案

Simple DSM correction method for the purpose of improving the accuracy of wide area flood simulation

川嶋 良純*・桑原 祐史**・横木 裕宗**

Ryojun Kawashima, Yuji Kuwahara and Hiromune Yokoki

要旨: IPCC 第5次評価報告書によると、降水量は地域によって差が激しくなり、特に中緯度の陸域の多くと湿潤な熱帯域において、今世紀末までに極端な降水がより強く、より頻繁となる可能性が高いと予測されている¹⁾。豪雨や台風などの極端な降水の頻度が増加すると洪水の頻度も増加する。このような背景のもと、増加が予想される洪水被害を推定・軽減するために氾濫想定区域の推定が求められている。しかし、全球レベルでの広域を対象とした氾濫想定区域の推定に必要な良質な DEM が整備されていない地域が存在する。そのような地域では SRTM や GDEM などの地球観測データを用いて整備された DEM データが使用されている。しかし、レーダやステレオ観測技術により作成された SRTM および GDEM には欠落値が存在する場合もあり、そのようなデータを用いて氾濫シミュレーションを行うと解析結果が不安定になる。そこで本研究では、全球処理に対する適用を想定し、SRTM と GDEM を組み合わせた簡便な補間方法を提案した。そして、ベトナム国ダナン市を対象とした氾濫解析を行い、データの効用と課題を整理した。

キーワード: 氾濫シミュレーション, DEM, SRTM, 補間処理

1. はじめに

IPCC 第5次評価報告書によると、地球温暖化の影響により、21世紀末には大雨の頻度、強度、降水量の増加、強い熱帯低気圧の活動度の増加、極端な高い潮位の発生や高さの増加などが予測されている¹⁾。一般的に、豪雨、台風の頻度が増加すると洪水の被害もそれに伴って増加するとされている²⁾。洪水が発生すると、人命の損失はもちろん、家屋の倒壊や農作物の被害、衛生環境の悪化による疫病の蔓延などの被害がある。

洪水の被害を軽減するためには、河川堤防の整備や排水設備の整備のほか、氾濫区域を予測した氾濫想定区域図によるリスク評価も有効である³⁾。

洪水の被害域を予測する氾濫解析には、数値標

高モデル (Digital Elevation Model, 以下 DEM と記す) が用いられる。DEM の精度は、予測の精度を左右する重要なポイントになる。日本国内はレーザプロファイラ技術に基づく 10mメッシュ DEM 等様々な解像度の DEM が整備・更新されているが、DEM が整備されていない国や地域では、SRTM(Shuttle Radar Topography Mission, 以下 SRTM と記す)や GDEM(Global Digital Elevation Model, 以下 GDEM と記す)等全球で整備された 90m や 30m メッシュの DSM(Digital Surface Model, 以下 DSM と記す)が用いられている。SRTM や GDEM は合成開口レーダやステレオ観測された衛星画像といった地球観測データを用いているため、雲や水蒸気量といった天候、幾何条

* 学生会員 茨城大学大学院 理工学研究科都市システム工学専攻, ** 正会員 茨城大学 都市システム工学科

件、画像のマッチング、そして地表面の地形条件によってデータ精度にばらつきが生じる。したがって、欠落ないしは精度の低いデータを用いて洪水解析を行うと解析結果が不安定になる事は否めない。

そこで、本研究では SRTM と GDEM を基として、従来の補間方法を調べ、SRTM と GDEM を組み合わせた簡便な補間方法を提案し、日本国 1 級河川を対象とした氾濫想定区域図作成マニュアルを参考にベトナム国中部地域のダナン市の氾濫被害のポテンシャルを推定した。ダナン市は地形の影響により洪水が多発する地域であるものの、災害対策が十分でないため、洪水が発生するたびに多くの被害が発生することが報告されている⁴⁾。

2. 対象地域及び使用データとその特徴

2.1 研究対象地域

本研究はベトナム国の中部にあるダナン市を対象とした。ベトナム中部地域はアンナン山脈と海岸の距離が近いこと、下流部では急激な増水による洪水が発生しやすいと報告されている⁴⁾。また、雨期が9月から1月であり、台風の発生時期と重なっているため毎年洪水の被害が発生している。ダナン市はベトナム中部地域の中心都市であり、約80万人の人口を有する。ダナン市内にはCu De川とSong川が流れており、どちらも地形の影響により洪水が発生しやすい。ダナン市では、ダナン水文・気象観測所が洪水の予測を行っているが、市内に雨量観測所が3か所しかなく浸水想定区域図が整備されていないため、避難活動は必ずしも適切には実施されていない⁵⁾。

このような現状と、ダナン市付近は山岳地と平地が混在しているため、氾濫シミュレーションに用いる DSM の補間効果の検証を行うには適していると考え、検証領域としてダナン市を選定した。

2.2 使用データの特徴

本研究では氾濫解析を行うための DSM を表-1 に示す。SRTM および GDEM を使用した。DSM とは DEM の一種で、建物や樹木の高さまで含んだ標高データのことである。

表-1 使用データ一覧表

使用データ	範囲
SRTM Version2.1	N15° ~16° , E107° ~108°
GDEM Version2	N15° ~16° , E107° ~108°

2.2.1 SRTM

スペースシャトルに搭載された合成開口レーダ (Synthetic Aperture Radar, 以下 SAR と記す) により観測されたデータを基に作成された DSM である。2 台のアンテナでほぼ同時に受信したデータより干渉処理を行うため高さ方向の精度が 10m と良い⁶⁾。しかし、SAR はマイクロ波を地表に向かって斜め下方向に照射し、反射したものを観測するため、急峻な山岳地域の影になる地域やマイクロ波が鏡面反射する水域等では照射したマイクロ波が返ってこないため観測できない。したがって、SRTM では急峻な山岳地域の影になる部分や水域でデータの欠落が生じる。既に欠落部分が補間されている Version3 や Version4 が公開されているが、どのような方法で欠落部分を補間したのかは公開されていない⁷⁾。そこで本研究ではアメリカ地質調査所が公開している SRTM Version2.1 を使用した⁸⁾。SRTM Version2.1 は欠落値が多くみられる海域及び水域に標高値 0m を挿入した DSM であり、それ以外はオリジナルデータのままである。

2.2.2 GDEM

人工衛星 TERRA に搭載されている光学センサ ASTER を用いて作成された DSM である。光学センサを用いて作成されているため、雲の影響により一部データに異常値がみられる。また、樹木や構造物の高さも含んだデータとなるため実際の標

高値よりも高くなるという特徴がある。本研究では経済産業省と米国航空宇宙局(NASA)が共同で公開している Version2 を使用した⁶⁾。

以上のようなデータの特徴より、本研究では比較的精度の良いSRTMをベースにGDEMを補間的に使う組み合わせ方法を取る事にした。

なお現在ではALOS World 3D(多様の補正レベルと5mの高解像度)の全球データ公開が進んでおり、提案する相互補間方法のバリエーションは増々豊かになると考える。この点から、次の技術補間を考慮に入れた研究発展を視野に入れている。

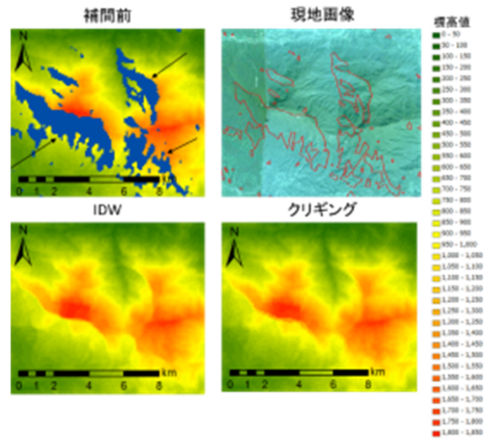


図-1 従来の方法を用いたSRTMの補間結果

3. 標高データの補間処理

3.1 DSNの補間処理

本研究で提案する補間方法について述べる前に、空間情報の補間方法として一般的に用いられている逆距離荷重法(Inverse Distance Weighting 以下、IDW と記す)と Kriging (以下、クリギングと記す)による欠落部分の補間結果を確認した。

IDW とは、欠落点からサンプル点までの距離を重みとし、欠落値を補間する方法である。サンプル点からの距離が近いほどサンプル点の重み、つまり影響が大きくなり、距離が遠くなるほど影響が小さくなる。サンプリングがまばらで不均等である場合は十分な結果を得られない可能性があるという指摘もある⁹⁾¹⁰⁾。

一方、クリギングとは、欠落値周囲の計測値を加重して未計測の値を求める方法である。周囲の値を加重して未計測の位置を予測する点ではIDW に似ているが、IDW は周囲の値からの距離のみを加重としているのに対して、クリギングは計測点と予測位置の距離に加えて、計測点の全体的な空間配置によっても加重が決まる。

一般的な補間処理を行った結果を図-1 と図-2 に示す。補間前のSRTMの青い部分(図中の矢印)は欠落値を示す。また、補間前のGDEMの青い部分

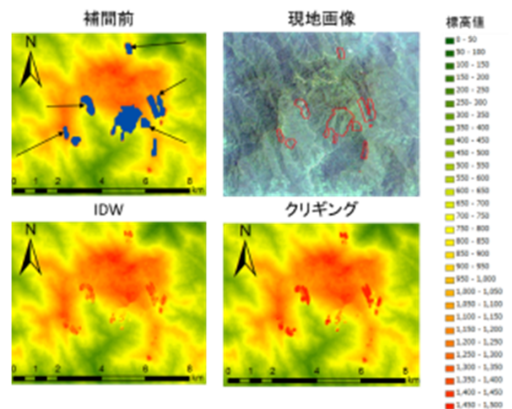


図-2 従来の方法を用いたGDEMの補間結果

(図中の矢印)は周囲の値より異常に高い数値を示す異常値の部分である。本研究ではこれらの欠落値と異常値をどちらも欠落値と呼ぶ。IDW、クリギングを用いて行ったSRTMの補間結果に注目すると、画像中央左に崖のように標高が急激に変化している部分がある。しかし、Google Earthに掲載されている現地画像からは崖の存在は確認できない為、欠落範囲が広い場合は正確な補間は難しいといえる。また、どちらの方法も平地を補間する場合と山地を補間する場合でウィンドウサイズや諸パラメータ等を変更する必要がある。この

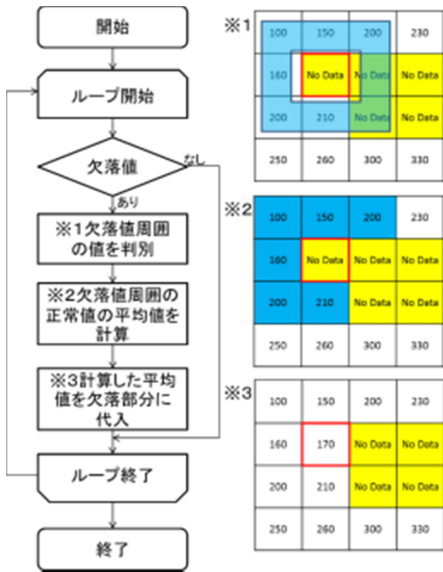


図-3 平均値を用いた補間処理の手順



図-4 他のDSMを用いた補間処理の手順

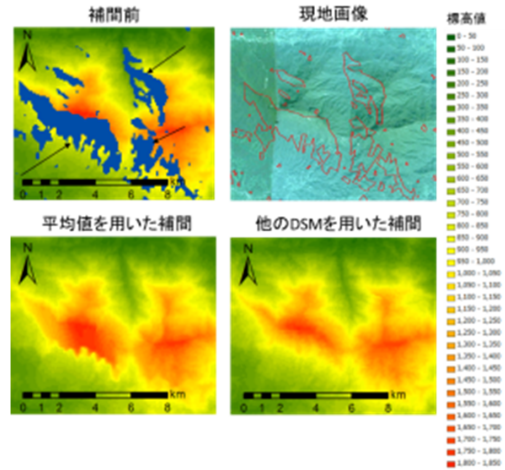


図-5 提案する方法を用いたSRTMの補間結果

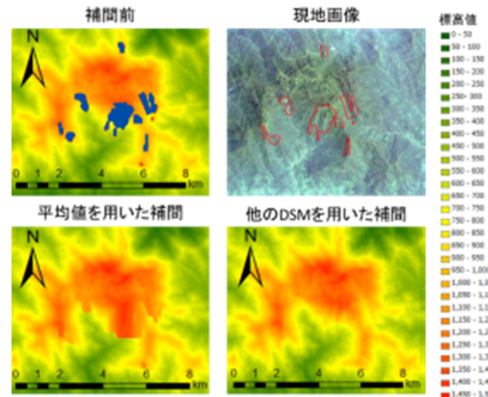


図-6 提案する方法を用いたGDEMの補間結果

ため、地形形状の影響だけでなく雲や影の影響といったランダムな事象の影響を受け、かつ、広範囲を補間する場合に、可能であるならば、同地点を他方法によって作成したデータを組み合わせることが有意であると考えた。

この観点で考えた場合、本研究のケースでは観測日および作製方法が異なる2種のDSMを準備することができる。このため、この2種のDSMの組み合わせによる補間が望める、また、2種類のDSMを組み合わせる方法は、比較的簡易であるため、広範囲を補間する場合に適していると考

え、次節以降の提案を行った。

3.2 平均値を用いた補間処理

本研究では DSM の欠落値を補間する方法を 2 つ提案する。1 つ目の補間方法は欠落値周囲の値を用いた補間方法である。具体的な補間処理手順を図-3 に示す。

この補間処理をベトナム国ダナン市周辺の欠落値について行った結果を図-5, 図-6 に示す。補間後の SRTM に注目すると, 図-1, 図-2 の IDW やクリギングと比較して, 概ね現地の地形を再現できているといえる。また, 補間後の GDEM に着目すると, 周囲の値との落差が大きい崖のような急激に標高値が変化する地形が見られる。しかし, 実際の地形と比較すると崖のような地形は見られないため補間結果は失敗といえる。この補間方法は, 周囲の平均値を用いた補間方法であるため, 欠落値が密集している場合は平均値の平均を取るといった処理が繰り返されるために, 結果として平坦な地形を生成してしまうという欠点がある。

一方, この補間方法のメリットとしては, 簡易的な手法であるためあらゆる地形に対応できる, データの分解能が変わらない, 他のデータを必要としない等が挙げられる。

3.3 他の DSM を用いた補間処理

2 つ目の補間方法は, 欠落値のある DSM と同地点の DSM を用いて補間する方法である。補間処理の手順を図-4 に示す。

この補間処理をベトナム国ダナン市周辺欠落値に対して行った結果を図-5, 図-6 に示す。補間結果に注目すると, SRTM, GDEM のどちらも現地画像とはほぼ同位置に尾根線を確認できるため, 実際の地形に近い形で補間できていることが分かる。

このように他の DSM を用いる方法は欠落範囲の大きさに限らず実際の地形を再現した補間結果

を得ることができる。

一方, この補間方法のデメリットとしては, 補間した DSM の分解能が荒くなる場合があるということである。補間する DSM と補間に用いる DSM の分解能をそろえる必要があるため, 補間に用いる DSM の分解能が低い場合は補間する DSM の分解能を下げる必要がある。今回の補間では, SR TM90m と GDEM30m を 90m に合わせた。また, 補間に用いる DSM に欠落値が存在する場合はこの補間方法を用いることができない。

3.4 他の DSM を用いた補間方法の精度評価

本研究で提案した手法の補間精度の評価を行った。欠落のない SRTM に対して任意の欠落部を作り, 他の DSM を用いた補間を行った後に, 欠落部補間前後のデータを比較し評価を行った。図-7 は補間した標高値と元の標高値の差分値平均値, 標準偏差及び分布である。この対象領域では, 補間値は元の標高値と比べて高い値を示す傾向があった。しかし, この精度評価はベトナム国ダナン市のみで行ったものであるため, 地形特徴により結論が変わることも想定され, 地形特徴により今後別の地域でも同様の評価を行う必要があると考える。

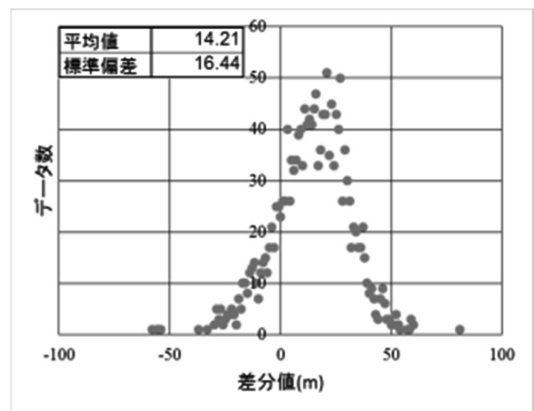


図-7 差分値の分布および平均値, 標準偏差

4. 氾濫シミュレーションと補間効果の検証

4.1 氾濫シミュレーションの位置づけ

今回の氾濫シミュレーションは、ダナン市にて実際に起こった氾濫を再現するものではなく、日本の1級河川に対して河川事務所が整備してきた河川氾濫想定区域図作成手順に準じて、地域で予測される最大浸水深(以下、氾濫ポテンシャルと記す)を求めることにした。これは流量や堤防高さ等の現地データが入手しにくいことによる。全球を対象とした氾濫ポテンシャルの推定は、多くはこの条件下で近似的な被害レベルを検証することが多い。なお、補間効果は氾濫区域もしくは氾濫ポテンシャルの違いとして表現されるため、補間効果の検証が可能であると判断した。

4.2 氾濫シミュレーション

本研究では補間の効果を検証するためベトナム国ダナン市の河川で氾濫シミュレーションを行った。氾濫シミュレーションには株式会社日立パワーソリューションズの製品である DioVISTA/Flood Simulator を用いた。これは2次元不等流解析により洪水をシミュレーションするソフトである。洪水時の雨量を日本における過去30年間の最大日降水量である872.5mm/dayを用いて推定した。これは2011年8月から9月に台風12号が紀伊半島を通過した際の三重県多気郡大台町の24時間雨量である。

作成した集水域から洪水時の流量を推定する。先に述べたとおり、本研究では最大氾濫ポテンシャルを求めるため、日本における過去30年間の最大24時間雨量も用いた。表-2に推定した各河川における洪水流量と集水域面積を示す。この流量が図-8の各溢水地点から溢れるものとする。

氾濫シミュレーションを行うにあたり河川の決壊地点を設定した。ダナン市では河川の合流地点

表-2 各河川の集水域面積及び推定洪水流量

河川	集水域面積(km ²)	洪水流量(m ³ /sec)
Cu De	408	4234.4
Han	457	4741.1

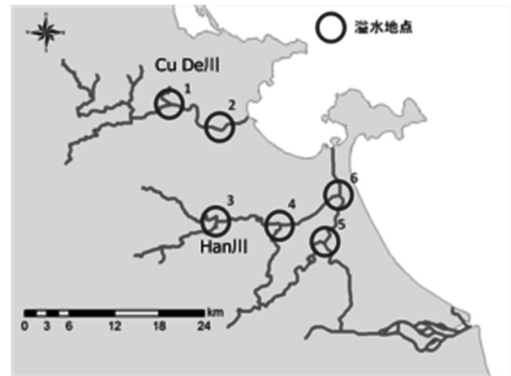


図-8 ダナン市の溢水地点

が多いため、溢水により河川氾濫が発生すると考え河川の合流地点や堤防のない部分を溢水地点と定めた。設定した溢水地点を図-8に示す。

これらの条件を基にDSMごとに氾濫シミュレーションを行った。GDEMは浸水域内に欠落値がなかったため、本研究ではSRTMの補間による浸水域の違いを確認した。補間方法は、他のDSMを用いた補間方法を採用した。

なお、本研究はDEMの補間手法の提案をひとつの目的としているため、方法論の応用はGDEMに対しても適用することが出来る。また、GDEMはステレオ画像を用いてDEMを生成しているので、マイクロ波から得られたデータを用いて生成されたSRTMよりも少し標高が高くなる傾向があるといわれている¹¹⁾¹²⁾。このため、他の領域に対して解析を行う際には、データ欠落の状況や、解析方法など、必要に応じて使用するDEMを使い分けたいと考えている。以上を鑑み、本論では、まず欠落値の影響と補間効果について確認する為、探索計算のベースデータとしてSRTMを用いた。

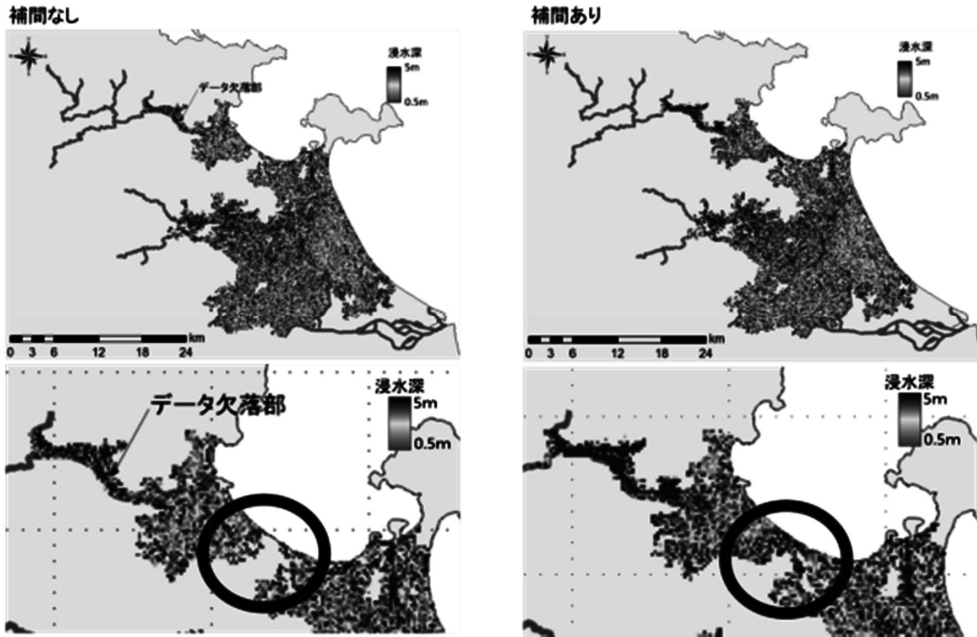


図-9 補間による氾濫シミュレーション結果の差

図-9は見保管のSRTMと補完したSRTMを用いてダナン市の氾濫シミュレーションを行った結果である。どちらも洪水発生から12時間後の浸水域を示している。図-9の丸で囲まれた部分に注目するとデータ欠落の有無により、欠落部から離れた地点の浸水の有無に影響を及ぼしていることがわかる。

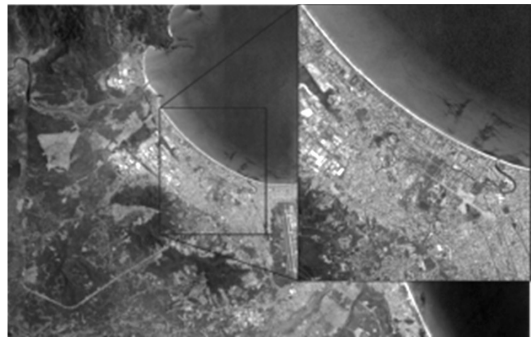


図-10 ダナン市の写真(Google Earthより)

4.3 氾濫シミュレーション結果に関する考察

表-3はDSM毎の浸水面積の時間比較である。浸水時間が大きくなるにつれて浸水面積の差が大きくなっていることが分かる。

また、氾濫シミュレーションを行った地域の過去の地形図や、Google Earthに掲載されている現地画像と比較して氾濫地域の妥当性の確認を目視で行った。図-10にダナン市の写真を示す。図-10の四角で囲まれている部分は住宅地であり、海岸線に沿って東西に平坦な地形が続いていることが確認できる。また、図-11は、テキサス大学のア

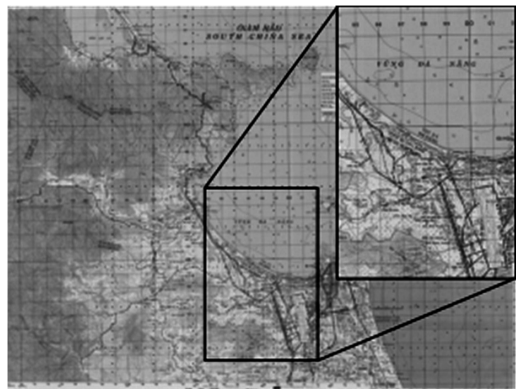


図-11 ダナン市の地図画像

一カブスに公開されているベトナムの地図である。1967年に作成されたもので少々古いものの、図-9中の丸で示した領域は平坦な地形が連続していることが分かる。これらの図-10、図-11は、氾濫シミュレーションを行った地域の実地の地形を確認し、シミュレーション結果の妥当性を示すものである。シミュレーション結果で浸水している部分には山などの標高の高い地形は見られないため、このシミュレーション結果は妥当であると考えられる。その結果、氾濫の危険性がある地域では浸水深が高く、氾濫の危険性が低い地域では浸水深が低いことを確認した。

表-3 補間による浸水面積の違い

時間(h)	浸水面積(km ²)	
	未補間SRTM	補間済SRTM
1	47.5	47.5
2	88.5	88.7
3	124	124
6	185	187
9	215	218
12	233	236

5. 結論

本研究では、はじめに、全球で整備されているDSMであるSRTMとGDEMについて、それぞれの特徴を把握した。その後、DSMの欠落補間方法を提案し、補間の効果を確認した。更に、補間したDSMを用いて氾濫シミュレーションを行い、補間によるシミュレーション結果の違いを確認した。

今回の提案では、日本のように、レーザプロファイラなど、稠密なDEMを作成できる地域は別として、データの入手が困難である地域ではある程度の妥当性を見出すことができた。特に、全球レベルでのDSMの扱いでは、平地と山地が入り組んだ、地形区分が混在する地形特性を有する地

域を同時に処理する必要がある。そのような場合には、ALOS World 3D データなど少々解像度の高いデータのテクスチャを組み合わせるなどのデータ利用を検討することにより、更なる補間効果の向上も望め、具体的な今後の課題としたい。

また、今回の補間結果の検証は、詳細な標高データの入手しにくい海外を対象としたものであるため、現地画像との比較のみに留まっている。今後、高分解能のDSMが整備されている日本の各地域で定量的な精度検証を行い、提案方法の更なる汎用性向上を目指すことを課題としたい。

謝辞

氾濫シミュレーションを行う上で株式会社日立パワーソリューションズ様に有益な助言を頂いた。ここに記して感謝の意を表します。

引用・参考文献

- 1) 環境省：IPCC第5次評価報告書の概要-第1作業部会(自然科学的根拠)-, http://www.env.go.jp/earth/ipcc/5th/pdf/ar5_wg1_overview_presentation.pdf, 2015.7
- 2) 舛谷敬一：数値標高モデルのみによる簡易な洪水範囲予測手法, GIS-理論と応用, Vol.22 No.1, pp.15-25, 2014.
- 3) 国土交通省, 浸水想定区域図作成マニュアル(改訂版), 2014.3
- 4) 三浦博久：ベトナム中部地域における洪水状況と対策, 河川, Vol.68 No.2, pp.58-64, 2012.1
- 5) 社団法人 海外農業コンサルタント協会, プロジェクト・ファインディング調査報告書(基礎調査) ベトナム中部地域農地洪水災害対策, 2000.3
- 6) 一般財団法人宇宙システム開発機構GDEMwebページ, <http://www.jspacesystems.or.jp/ersda>

- c/GDEM/J/index.html, 2015.8
- 7) アメリカ航空宇宙局SRTMwebページ, <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>, 2015.8
 - 8) アメリカ地質調査所SRTMダウンロードページ, <http://dds.cr.usgs.gov/srtm/>, 2015.8
 - 9) Philip, G. M., and D. F. Watson. "A Precise Method for Determining Contoured Surfaces." *Australian Petroleum Exploration Association Journal* 22: 205–212. 1982
 - 10) Watson, D. F., and G. M. Philip. "A Refinement of Inverse Distance Weighted Interpolation." *Geoprocessing* 2:315 – 327. 1985
 - 11) 立川哲史 : ASTER GDEM の概要, 日本リモートセンシング学会誌, Vol.39, No.5, 2009
 - 12) JAXAweb ページ SRTM の観測原理 (詳細) その1, http://iss.jaxa.jp/shuttle/flight/sts99/mis_principle_1.html

著者紹介

川嶋 良純(学生会員)



茨城大学大学院理工学研究科都市システム工学専攻(茨城県日立市中成沢町4-12-1), 平成4年生まれ, 平成27年3月茨城大学工学部都市システム工学科卒, 同4月同大学院入学, 現在同大学院学生, 工学学士, 土木学会会員。

E-mail: 15nm810h@vc.ibaraki.ac.jp

<http://landinfo.civil.ibaraki.ac.jp/>

桑原 祐史(正会員)

茨城大学広域水圏環境科学教育研究センター(茨城県日立市中成沢町4-12-1), 1992年東京理科大学理工学部土木工学科卒業, 1995年茨城大学工学部都市システム工学科助手, 講師, 准教授, を経て, 2015年茨城大学 広域水圏環境科学教育研究センター教授(センター長), 現在に至る。博士(工学), 日本沿岸域学会, 土木学会, 日本リモートセンシング学会,

地理情報システム学会, 環境情報科学センター, 地盤工学会, 各会員。

E-mail : yuji.kuwahara.rs@vc.ibaraki.ac.jp

横木 裕宗(正会員)

茨城大学工学部都市システム工学科(茨城県日立市中成沢町4-12-1), 1989年東京大学工学部土木工学科卒業, 1991年東京大学助手, 1996年茨城大学工学部都市システム工学科講師, 1998年同広域水圏環境科学教育研究センター助教授, 2011年同工学部都市システム工学科教授, 現在に至る。博士(工学), 日本沿岸域学会, 土木学会, 日本サンゴ礁学会, 日本海洋学会沿岸海洋 研究部会, 各会員。

E-mail: hiromune.yokoki.hy@vc.ibaraki.ac.jp

Simple DSM correction method for the purpose of improving the accuracy of flood simulation

Ryojun Kawashima, Yuji Kuwahara and Hiromune Yokoki

ABSTRACT : According to the IPCC Fifth Assessment Report, it is predicted that such as typhoons and heavy rain to increase in the future. Due to increase of typhoons and heavy rain, it considered the frequency of flooding will increase. We shall create a hazard map in order to suppress the flood. In areas where high-resolution DSM is not developed to be used SRTM and GDEM, but SRTM and GDEM have missing values. In this study, we propose a simple method of correcting the missing values. Using this method, it is possible to correct the missing values in a wide range of global.

KEYWORDS : *Flood simulation, DEM, SRTM, DEM correction*