

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月 4日現在

機関番号：32644

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22560809

研究課題名（和文） ASTERのDEMを用いた衛星搭載レーダの地表面エコーのシミュレーション

研究課題名（英文） Use of ASTER GDEM for a simulation of surface echo observed by a space borne rain radar

研究代表者 阿波加 純（JUN AWAKA）

東海大学・札幌教養教育センター・教授

研究者番号：40232079

研究成果の概要（和文）： 衛星搭載レーダによる降雨観測では、所望の降雨エコーの他に、強い地表面エコーが受信される。地表面エコーは降雨観測にとってはクラッタであり、降雨エコーと地表面エコーの分離が必要となる。この目的のために、ASTER GDEM という 30m メッシュの高分解能全球 DEM を用いた研究を行った。研究の手始めとして、ASTER GDEM を用いて地表面エコーのシミュレーションを行う方法を開発した。シミュレーション結果は、TRMM 衛星搭載降雨レーダで観測した非常に高い高度の山岳地域の地表面エコーをよく説明する。最終目的である地表面エコーと降雨エコーの分離においては地表面エコーの上端位置の決定が重要であり、そのためには ASTER GDEM の使用が有効であることを明らかにした。ただし、標高データには大きな誤差が含まれている場合があり、注意して使用する必要がある。

研究成果の概要（英文）： In radar observations of rain from space, the radar receives not only rain echo but also a strong surface echo. In such a situation, separation between rain echo and surface echo is essential because the latter can be regarded as a clutter in the rain observation. This study examines the feasibility of using a high resolution, 30-m gridded, ASTER GDEM for the separation of rain echo and surface clutter. A simulation using the height information of ASTER GDEM shows a good agreement with the TRMM radar data obtained when the radar observing high mountain areas. It is shown that the use of ASTER GDEM is useful for the separation of rain echo and surface echo. There is a caution, however: the accuracy of ASTER GDEM becomes very low in certain areas and a care should be taken when using the data of these areas.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	500,000	150,000	650,000
2011年度	300,000	90,000	390,000
2012年度	200,000	60,000	260,000
年度			
年度			
総計	1,000,000	300,000	1,300,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学、地球・資源システム工学

キーワード：リモートセンシング、降雨レーダ、デジタル高度、ASTER

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化などの全球的な環境問題においては、観測データの蓄積による現状把握が重要であり、降雨観測もその一つである。人工衛星に搭載したレーダによる降雨観測では、所望の降雨エコーと地表面エコーが重なって観測されるため、これらを正確に分離する手法の開発が大きな課題となっていた。

2. 研究の目的

本研究は、2009年6月末に公開された格子間隔が30mという高分解能のASTER GDEMというデジタル高度データ (DEM) を用いて、宇宙からの降水観測において降雨エコーと地表面エコーを精度よく分離しようとするものである。

3. 研究の方法

格子間隔30mという高分解能のASTER GDEMはデータ容量が大きく扱いが不便なため、1km格子間隔のデータを作成し、それを用いてTRMM衛星搭載降雨レーダで観測された地表面エコーのシミュレーションを行うとともに、降雨エコーと地表面エコーの分離に役立てた。

4. 研究成果

地表面が海面の場合、地表面エコーは非常に鋭いピークとして観測されるため、降雨エコーと地表面エコーの分離は比較的容易に行えるが、問題となるのは山岳地域である。衛星に搭載される降雨レーダのフットプリントの直径 (アンテナビームの地表での水平方向の広がり) は数kmが普通であり、このような降雨レーダでヒマラヤ山脈やアンデス山脈などを観測すると、アンテナビーム内で標高が大きく変化する場合があり、このときいろいろな距離からの反射波をレーダで受信するために地表面エコーが距離方向に大きく広がる。このような山岳地域を観測した場合に降雨エコーと地表面エコーを分離するためには、地表面エコーの高度方向の広がりを把握することが不可欠である。

ASTER GDEMは格子間隔が30mという高分解能のデータであり、地表面エコーの広がりを調べるのに適していると考えた。そこで、最初にASTER GDEMを用いた地表面エコーのシミュレーションを行った。このシミュレーションでは、4つの格子点で決まる四角形の領域を三角要素で分割し、レーダ後方散乱断面にはランバート則を仮定している。

図1は、一例として、TRMM衛星搭載降雨レーダでヒマラヤ山脈を観測したときのナディア方向 (衛星直下方向) の地表面エコー (実線)、及びそれをASTER GDEMの30m格子間隔

のデータを用いてシミュレートした結果 (細線) を示したものである。縦軸はエリプソイド (基準回転楕円体面) から測ったレンジ方向の距離である。図1はナディア方向の観測例なので、この場合の縦軸は海拔高度を示していることになる。なお、地表面エコーが複雑な形をしているのは、直径約5kmのアンテナビーム内で標高が大きく変化しており、いろいろな高度からの表面エコーを受信したためである。

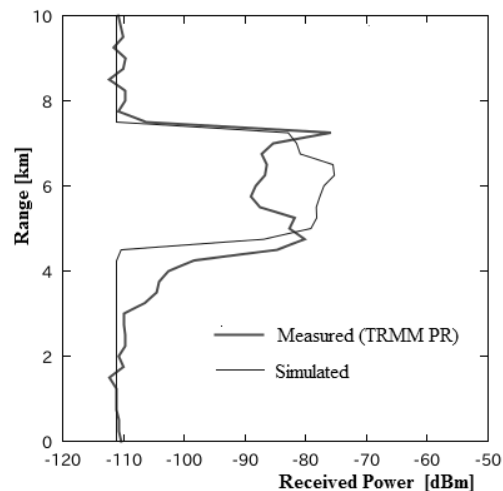


図1 シミュレーション結果の一例

図1で地表面エコーの形そのものにはずれが見られるものの、地表面エコー上端は大変よく合っている。降雨エコーと地表面エコーの分離において必要なのは、晴天時に地表面エコーの上端の値が雑音レベルに等しくなる位置の情報である。すなわち地表面エコーの上端の情報が必要になる。この意味で図1はASTER GDEMを用いたシミュレーションは少なくともナディア方向において非常に有効であることを示している。

TRMM衛星搭載降雨レーダではアンテナビームの方向を電子的に走査し、衛星進行方向に鉛直な面内でナディア方向 (鉛直方向) を含む48方向を観測している。ナディア方向の地表面エコー方アンテナ走査の両端では、アンテナビームの鉛直方向からの傾きが大きくなるため、地表面エコーがさらにぼやけるが、その場合でも山岳地域の地表面エコーをシミュレートした結果は実測値と合っている。

図1は晴天時のデータであるが、降雨時には地表面エコーの上端から上空に向けて降雨エコーが観測される。降雨エコーは一般に

地表面エコーよりも弱く、図1に示した地表面エコーの上端における急激な変化は観測されない。この事実を利用することで降雨エコーと地表面エコーを分離することが可能となる。

降雨エコーと地表面エコーの分離に必要なのは地表面エコーの上端の状態である。先に示したシミュレーションでは、地表面による多重散乱の影響を考慮していないが、多重散乱が生じた場合は、レーダから送信されたパルスがレーダに戻ってくるまでにより長い距離を伝搬することになり、多重散乱の影響は地表面エコーの上端よりも下方に現れる。すなわち、多重散乱が生じて、それが降雨エコーと地表面エコーを分離する際に必要となる地表面エコーの上端に影響を及ぼすことは無い。

地表面エコーの上端の状態だけを知りたいのであれば、地表面エコーのシミュレーションが必ずしも必要というわけではなく、アンテナビーム内における標高データの頻度分布がわかれば地表面エコーの上端付近を把握することが可能と考えられる。ただし、この際、細かい格子間隔の標高データを用いる必要があるが、ASTER GDEM は格子間隔が30m と小さく、頻度分布を作成するには最適である。実際、ASTER GDEM の30m 格子間隔データは地表面エコーの上端の推定に有効であることを確かめた。

しかしながら、30m 格子間隔の ASTER GDEM はデータ量が大きく、そのままの形で衛星搭載降雨レーダの多量の衛星データ処理に用いるには問題がある。そこで、ASTER GDEM の分解能を落として1km 格子間隔のデータを作成し、それをもとに衛星搭載降雨レーダで観測した地表面エコーの上端を決定することを検討した。(1km 格子間隔の DEM はデータ量はさほど大きくなく、衛星搭載降雨レーダのデータ処理に適している。実際、TRMM 衛星搭載降雨レーダの標準データ処理では、DID 及び SRTM30 という1km 格子間隔の DEM が用いられている。)

1km 格子間隔の DEM を用いる場合、キーとなるのはアンテナビーム内における標高データの頻度分布をどれだけ正確に推定できるのかということである。

4つの格子点で決まる四角形の領域を三角要素に分割するシミュレーションを1km 格子間隔のデータに適用したところ、元の30m 格子間隔の ASTER GDEM で作成した標高データの頻度分布を非常に良く再現することができた。これは、四角形の中心の高度を、その四角形の中心と辺から構成される三角要素

に分割したとき、四角形の内部の高度と、分割した三角形の平均高度とが同一となるという条件で決定したので、四角形の内部に高度の変動が導入されたためである。すなわち、1km 格子間隔のデータ自体の高度は四角形の内部で一定の(いわば階段状の)ものであるが、平坦な四角形を三角要素に分割することでそれぞれの三角形が傾きを持ち、四角形の内部に高度変化が導入されている。

1km 格子データを三角要素で分割したシミュレーションは有効ではあるが、高度変化が激しい場合には変動幅を大きく推定しすぎるというオーバーシュートの問題が発生することが判明した。ただし、オーバーシュートが問題となる地域はごく限られている。

より簡便に地表面エコーの上端高度を推定する方法は、分解能を1km に落としたデータを用いてアンテナビーム内での変動(分散)を求めることである。

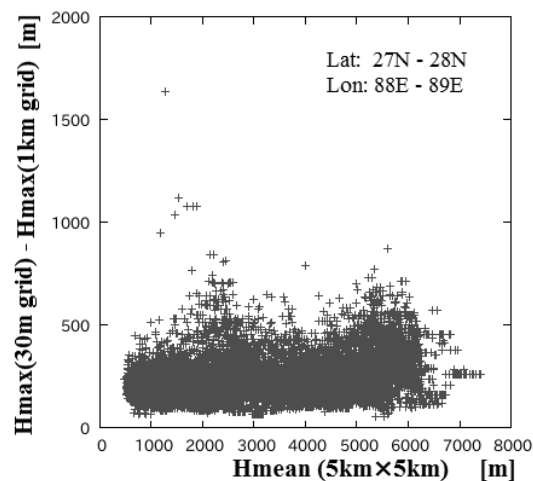


図2 5km×5kmの範囲での30m 格子の最高の標高と1km 格子の最高の標高の差。横軸は5km×5kmの範囲での標高の平均。

図2はTRMM 衛星搭載降雨レーダのアンテナビーム幅がカバーする領域の大きさにほぼ等しい5km 四方の一つの領域を考え、その領域におけるデジタル標高データの最大値を、30m 間隔格子データと1km 間隔格子データの両方で求め、30m 間隔格子データで求めた最大値から1km 間隔格子データで求めた最大値を引いたものを縦軸にとり、横軸に5km×5kmの範囲での標高の平均(この値は格子間隔によらずに同一)をとってプロットしたものである。図2はヒマラヤ山脈を含む緯度・経度1度の範囲(約120km×120kmの範囲)のデータをプロットした一例である。(同様の図を多くの場所でプロット

して調べたが、全部を重ねるとわかりにくいので、一例を図示するに留める。）

図2では、横軸に示す平均高度データの範囲が0.5km～7kmという広い範囲に分布しており、高度変化の激しい地域のものであることがわかる。縦軸は、高度変動に関する情報を提供している。図2のデータ点は横方向にはほぼ一様に分布しており、アンテナビームで見ている場所の平均高度にあまり依存せず、アンテナビーム内で標高が変動していることを示している。また図2は、格子点間隔が30mのデータの変動は、1kmの格子間隔の範囲で予想される変動よりも数100m程度大きいことを示している。(1km格子間隔のデータは1km×1kmの範囲での平均であることを考えると納得がいく結果である。)

図2は、急峻な山岳地域では降雨エコーと地表面を分離する際に1km間隔のデータで予想されるものよりも250m～500m程度大きな高度変化を考慮すれば良いことを示唆している。この知見は、實際上極めて重要なものであると考えられる。

なお、図2の左側で平均高度が低いにもかかわらず高度変動が大きい場合があることを示している。詳しく調べてみると、これはASTER GDEM自体の精度の問題であることがわかる。ここに述べた以外にもASTER GDEMの精度に問題のある地域が少数ではあるが存在する。これらの地域ではいずれも狭い範囲で標高が大きく変化している。

ASTER GDEMは2009年6月末に公開され、2011年9月末にVer.2として改訂されたが、ここに述べた精度の問題はVer.2において見られるものであり、今後のさらなる精度向上が望まれる。

30m格子間隔のASTER GDEMは、衛星搭載レーダによる降雨観測において地表面エコーと降雨エコーを分離する際に極めて有益であるが、ASTER GDEMの精度に問題がある地域では他のDEM情報を参考にしながら使用するなどの注意が必要である。

ASTER GDEMのデータをそのまま用いるのは、イベントデータの解析においては大きい有効と考えられるが、衛星の観測範囲全体を扱うにはデータ量が大きく実際的ではないと考えられる。1km格子間隔のデータを用いるのが現実的と思われるが、その際、ここに述べたシミュレーションを1km格子間隔のデータに対して適用するか、あるいはアンテナビームのフットプリントに相当する範囲の標高の最大値を推定するかして、それらを基に地表面エコーと降雨エコーを分離するのが良策であろうと結論される。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計0件)

[学会発表] (計5件)

① 阿波加 純、"ASTER GDEMを用いた衛星搭載降水レーダの地表面エコーのシミュレーション"、電子情報通信学会総合大会論文集 B-1-46、2011年3月15日、東京都市大学(東京)

② 阿波加 純、"衛星搭載降水レーダで観測される地表面エコーとそのシミュレーション - ASTER GDEMの使用"、2011年電子情報通信学会通信ソサイエティ大会、2011年9月14日、北大(札幌)

③ 阿波加 純、"衛星搭載降雨レーダの地表面クラッタ除去に必要なデジタル高度情報に関する考察"、平成23年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会、2011年10月22日、はこだて未来大学(函館)

④ 阿波加 純、"衛星搭載降雨レーダ観測における降雨エコーと地表面エコーの分離について"、信学会SANE研究会(信学技報112(185), 1-6)、2012年08月24日、新潟大学駅南キャンパス(新潟)

⑤ J. Awaka and T. Iguchi, "Use of ASTER GDEM for separating rain echo and surface clutter in the radar observation of rain from space," SPIE 2012 Asia-Pacific Remote Sensing (Proc. of SPIE Vol. 8523, [8523-11], 85230G-1, G-8)、2012年10月29日、The Kyoto International Conference Center (Kyoto, Japan)

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

阿波加 純 (AWAKA JUN)

東海大学・札幌教養教育センター・教授

研究者番号：40232079

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：