

Synspective SAR DATA Super-Resolution GRD 術資料

技

Version 2.1
Mar 23, 2025



目次

1 概要	3
2 SVAによるサイドローブ低減	5
3 SVA処理済SLCの地球楕円体への投影	10
各画素の強度値の評価	10
マルチルック処理	10
地球楕円体への投影	10
UTM座標への変換 (最終出力像の生成)	12
4 参考文献	13

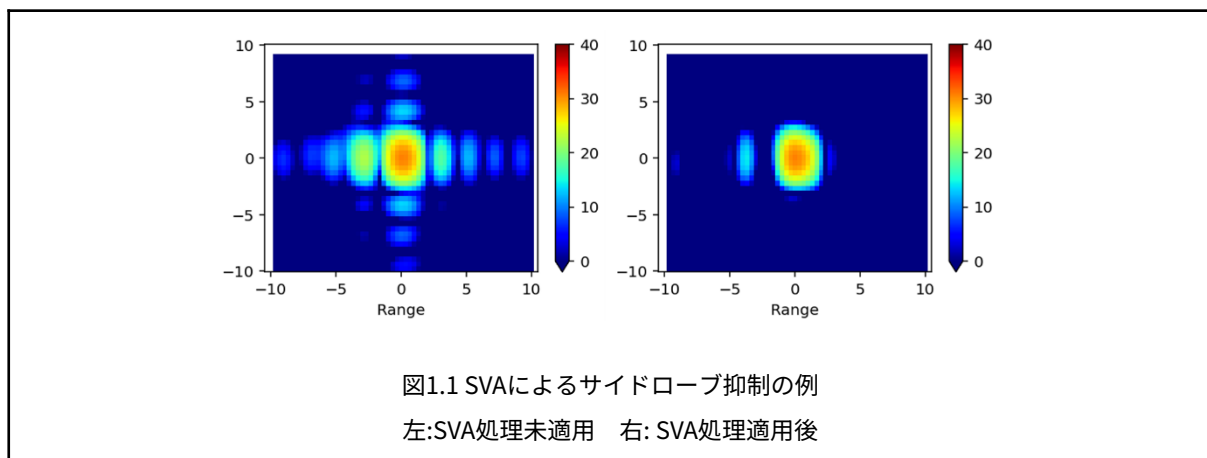
改訂履歴

版	日付	改訂内容
1.0	2023年6月5日	- 初版
2.0	2023年8月1日	- Sliding Spotlight向け超解像GRDのリリースに伴う加筆・修正
2.1	2025年5月23日	- 表紙と背表紙を変更

1 概要

合成開口レーダ(**SAR**: Synthetic Aperture Radar)では、一点からなる点物体が十字状のパターンとして撮影されます。これはSAR撮影システムの特徴(**インパルス応答関数**)に由来しています。

図1.1の左側の図はSAR画像中のコーナリフレクタの拡大像です。コーナリフレクタはSARの技術開発において理想的な点物体として扱われる撮像ターゲットです。図中の中央のピークをメインローブ、周囲の十字状のパターンをサイドローブと呼びます。中央のメインローブの周りに、十字状のサイドローブが鮮明に映っています。SAR画像において、サイドローブは画質を下げる大きな要因になります。サイドローブによる画質劣化を抑制するため、数多くのアルゴリズムが提案されてきました。SAR画像処理の分野では、それらを**超解像アルゴリズム**と呼んでいます。Spatially Variant Apodization (**SVA**)もこれらのアルゴリズムの一つです。SVA処理によってメインローブの幅をえることなく、サイドローブを低減できます。図1.1右側の図は図1.1左側の図のコーナリフレクタのデータにSVA処理を適用したものです。中央のメインローブの形状を保ちながら、十字状に広がっていたサイドローブを低減できていることがわかります。



SVA処理は画像内の各ピクセルに対して、その近傍の領域をもとに、そのピクセルがメインローブの一部かサイドローブの一部かを判別します。サイドローブの一部だと判断した場合には、その画素値を0に設定します。メインローブの一部と判断された場合には値を変えません。画像データの分解能がサンプリング間隔に対して定数倍に調整されていると、このような選り分けを精度良く行えると知られています。そのため、Synspectiveではサンプリング間隔が分解能に対して正確に2倍になるようにSLC(SLC: Single Look Complex)画像をアップサンプリングしています。結果的に、SVA処理されたSLC画像は元のSLC画像よりも解像度が高くなります。

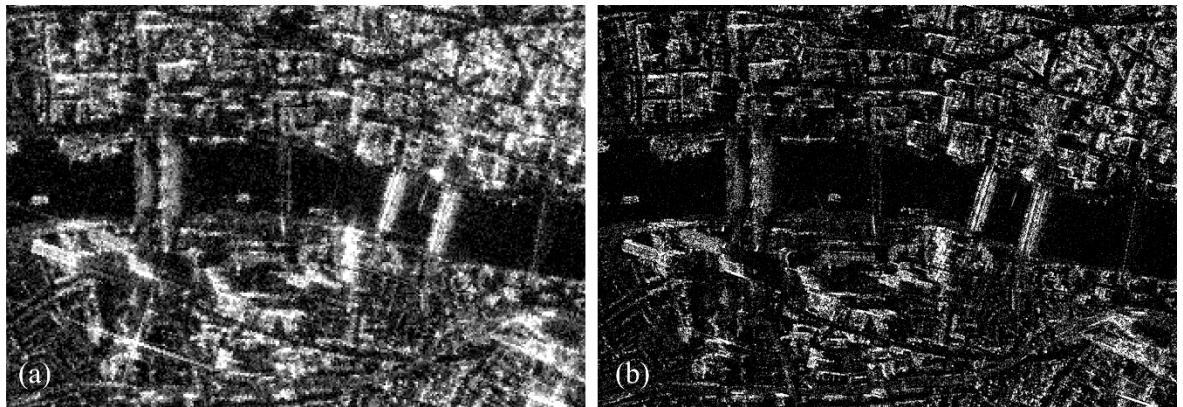


図1.2 GRD(左)と超解像GRD(右)の比較
(GRD: Ground Range Detected)

超解像GRD (Super-Resolution GRD)は、SVA処理をSLC画像に適用したのち、地球楕円体上に投影することで生成されます。本資料ではStripmapの場合を取り上げて、SVA処理の内容を説明しますが、SynspectiveはSliding Spotlight向けのSR-GRDも提供しています。サンプリング間隔の設定値以外、どちらの場合にも処理内容は同じです。2章ではSVA処理によって得られる効果を説明します。3章では地球楕円体への投影法について説明します。

2 SVAによるサイドローブ低減

私たちはSVAアルゴリズムの有効性をRosamond(カリフォルニア州, 米国)のコーナーリフレクタのStripmap画像をもとに評価しました。Rosamondには1 km x 4 kmの領域に複数のコーナーリフレクタが据え付けられています。また、周囲が砂漠のため、非常にコントラストの良い、鮮明なデータを取得できます。総じて、Rosamondのコーナーリフレクタ像はSAR画像の評価に適しているといえます。

図2.1はSARで撮影したRosamondのコーナーリフレクタ群の後方散乱強度像をプロットしたものです。各点像の左側の英字は図2.3, 図2.4の各グラフに対応しています。最も明るいAのコーナーリフレクタだけでなく、それぞれのコーナーリフレクタで十字状のパターンが発生しています。

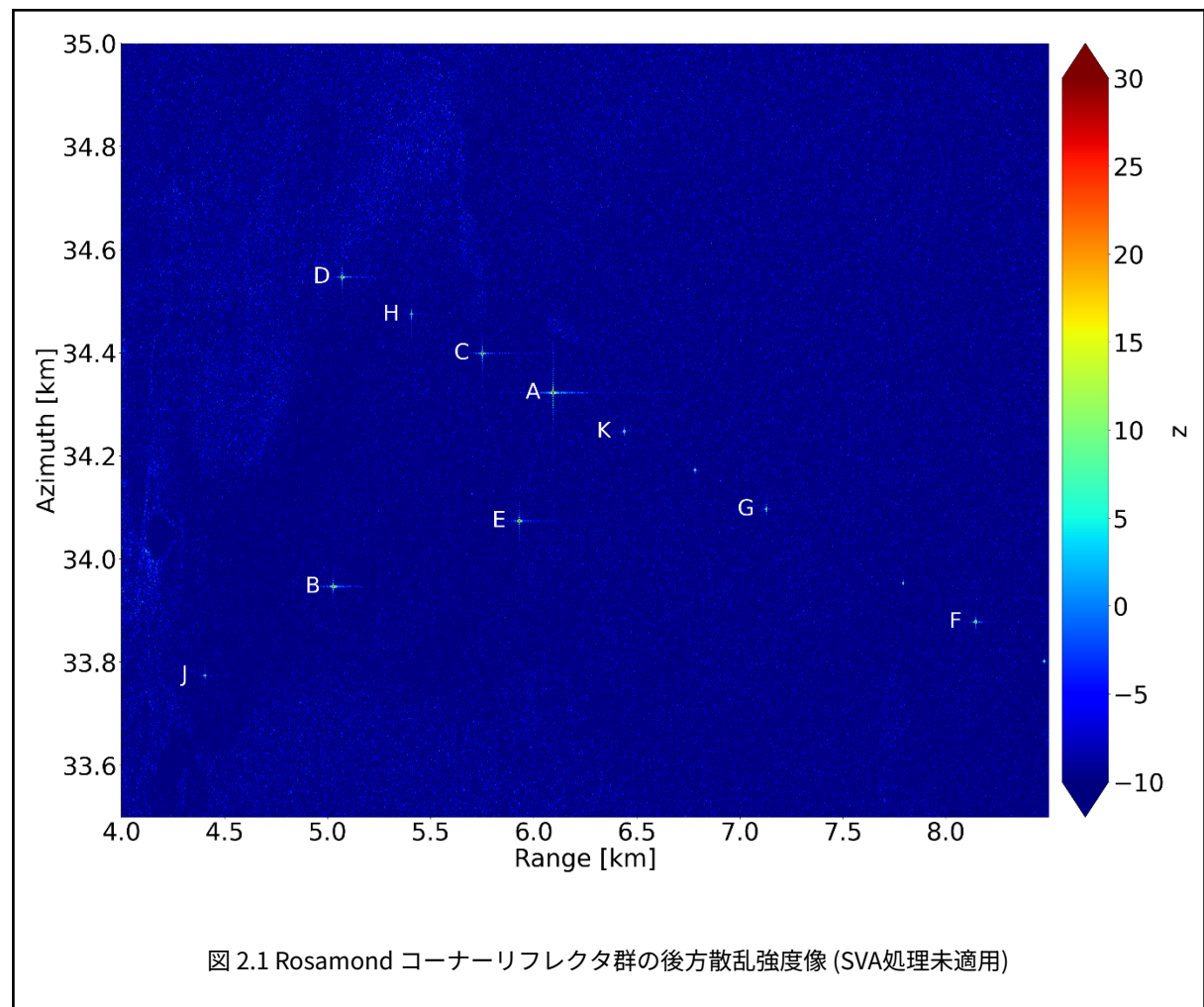


図2.2は図2.1にSVA処理を行って得られた画像です。全体に画像の明るさはやや暗くなっていますが、十字状のアーティファクトを抑制できています。

従来のSVA処理ではサイドローブと判別した画素の値を0に設定していますが、Synspectiveではそれを0ではない有限の微小値に設定しています。強度値をデシベル単位に変換するときの対数処理の不都合を回避するためです。校正処理のあり・なしを問わずにSAR画像にSVA処理を適用できるようにするために、この微小値には画像内の0ではない微小な画素値を選択しています。

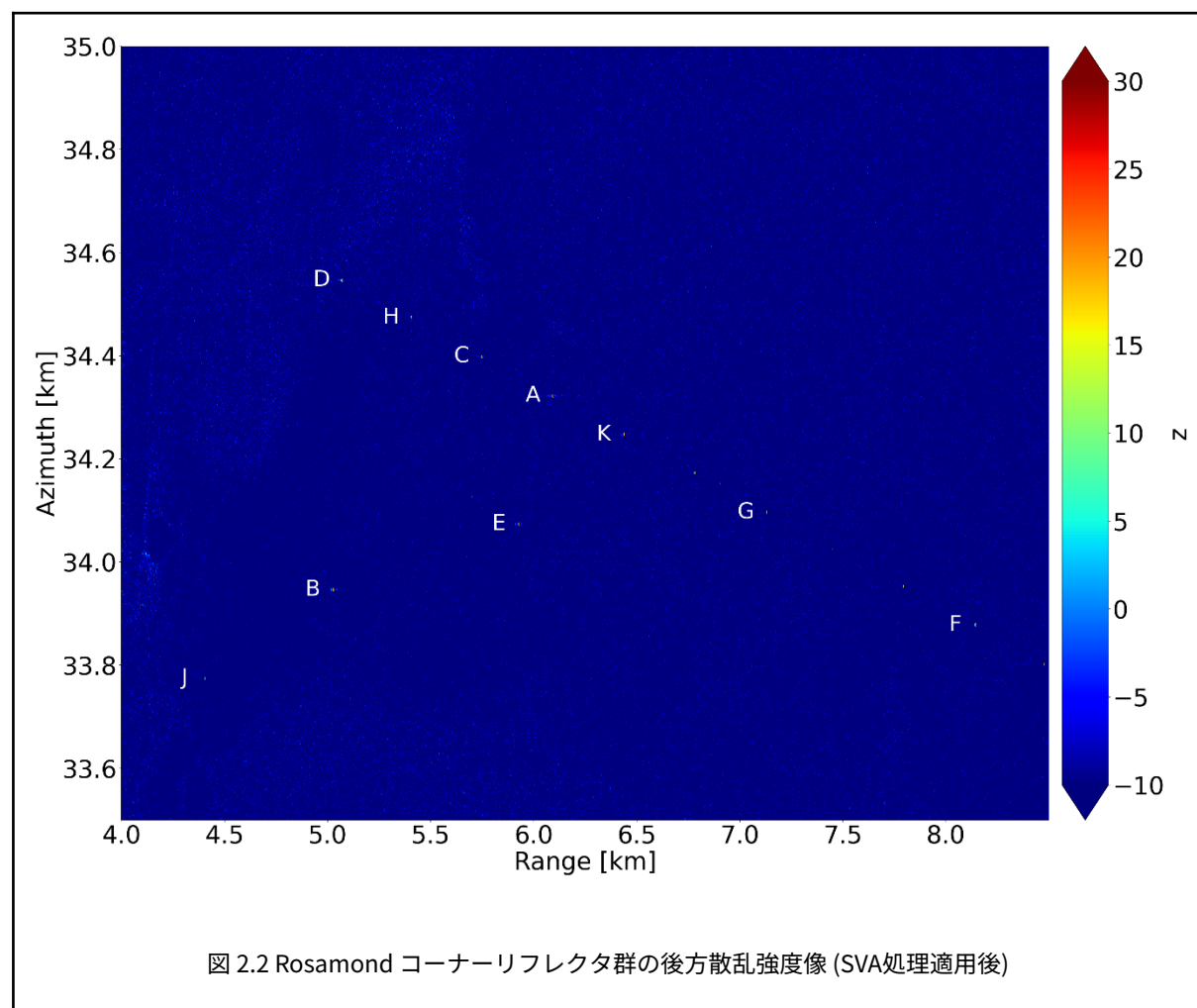
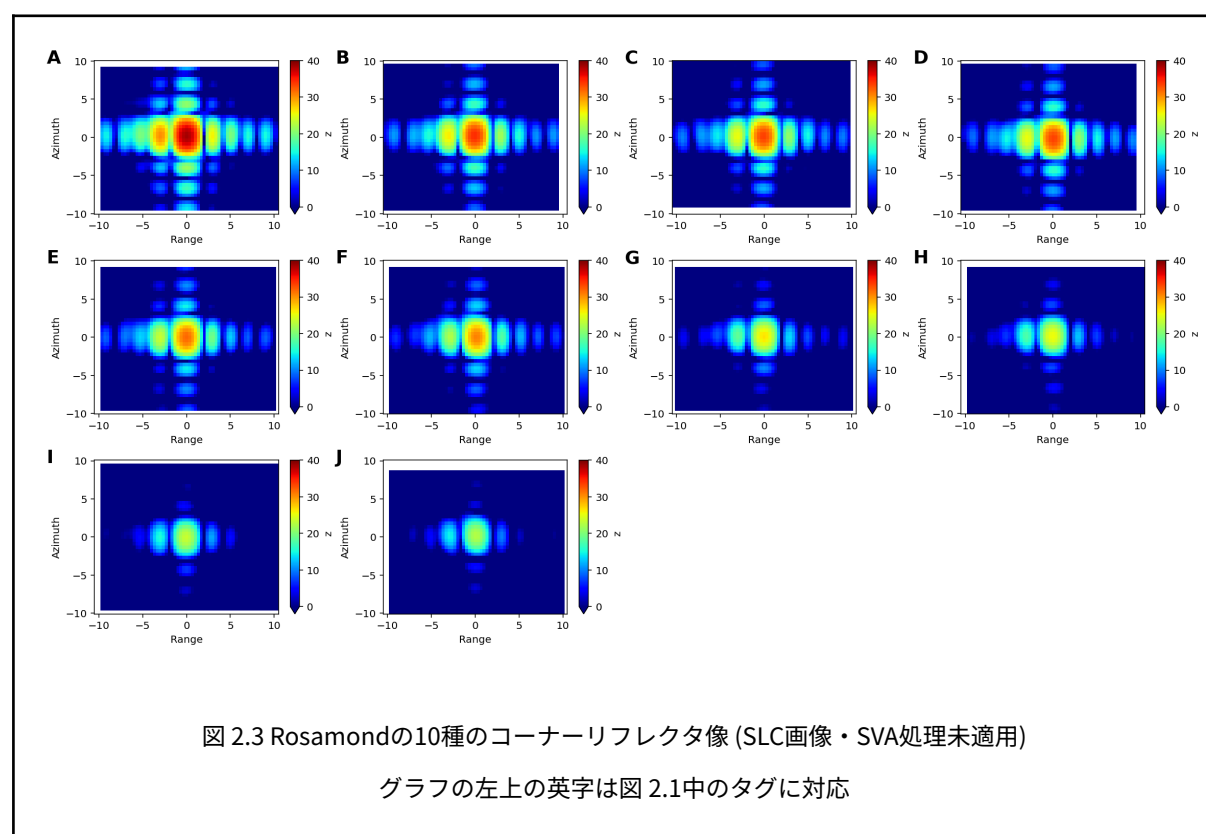


図2.3はSVA処理前の、図2.4はSVA処理後のコーナーリフレクタ像の拡大図です。特にアジマス方向に対しては、どのコーナーリフレクタに対しても良好なサイドローブ除去性能を得られています。レンジ方向についてもメインローブ比20dB以下のピークが残る場合がありますが、SVA処理がサイドローブ低減に対して有効に機能していると見て取れます。

この残存するサイドローブはレンジ方向の周波数特性に起因していると考えています。SVA処理でのサイドローブの判別には周波数特性が平坦である必要があります。StriX衛星の周波数特性はおおよそ平坦ではありますが、そうではないケースがあります。将来的にこの特性を抑制した際には、より効果的にサイドローブ除去ができるようになります



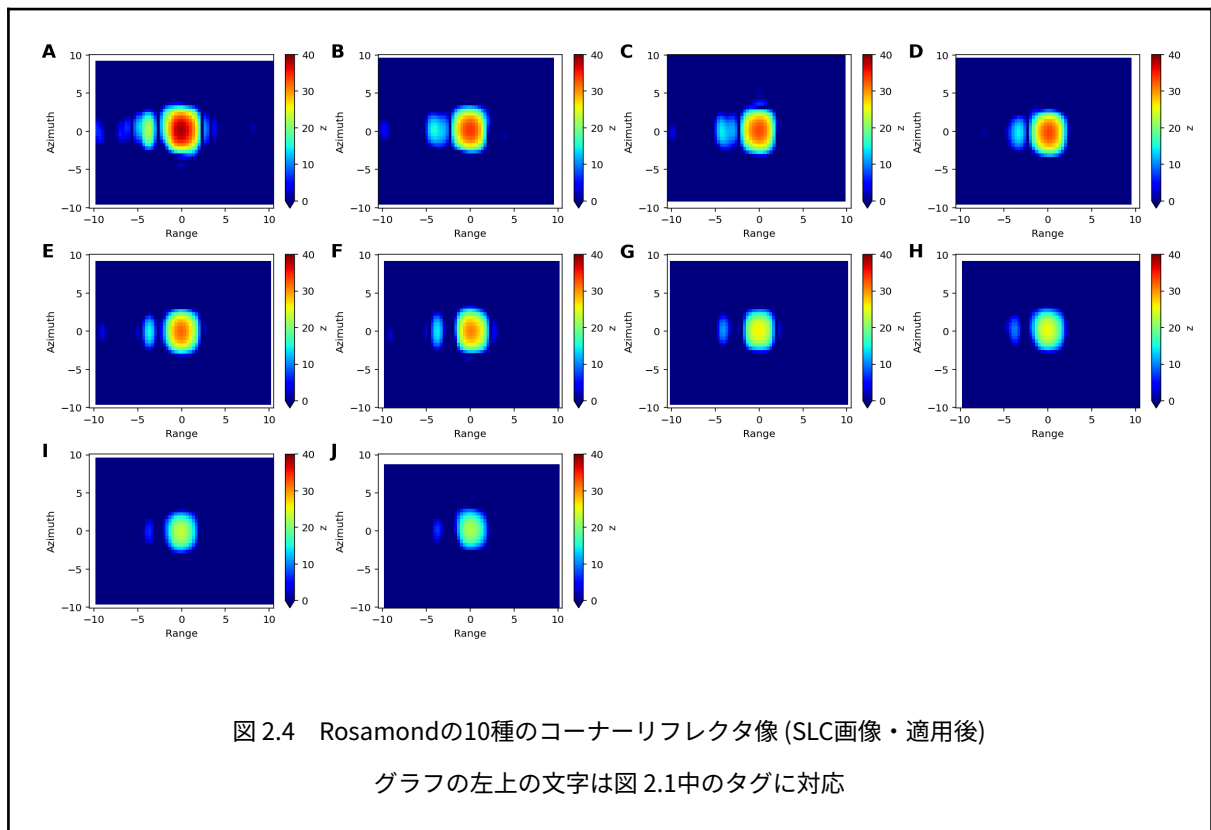


図2.5と図2.6はアジマス・レンジの各方向でのプロファイルを表しています。

総じて、SVA処理を適用することで、メインローブの形状や幅・分解能を保ちながら、効果的にサイドローブを抑制できています。

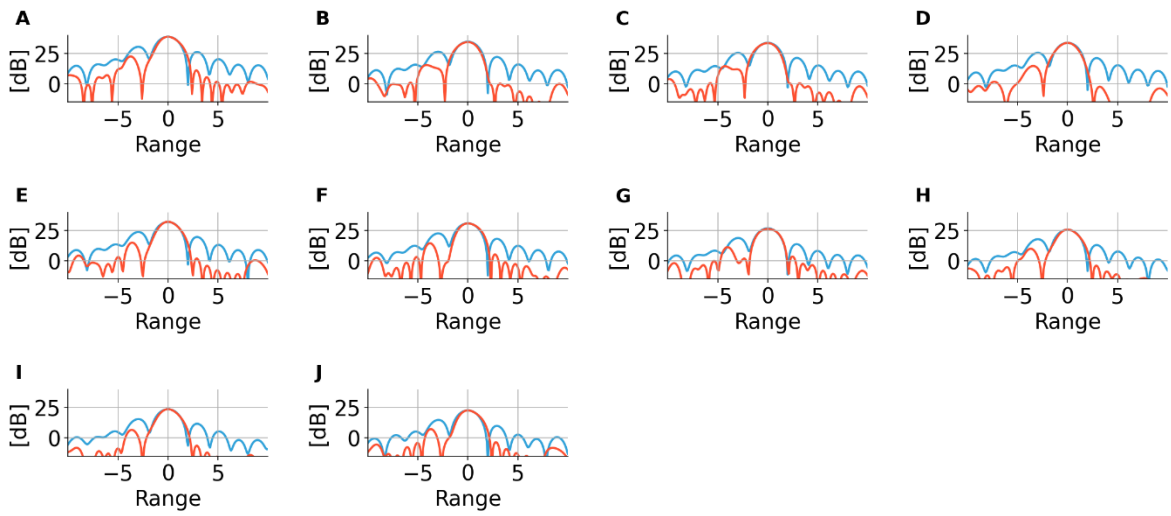


図 2.5 Rosamondの10種のコーナーリフレクタのレンジ方向のプロファイル (SLC画像)

青: SVA未処理 赤: SVA処理後

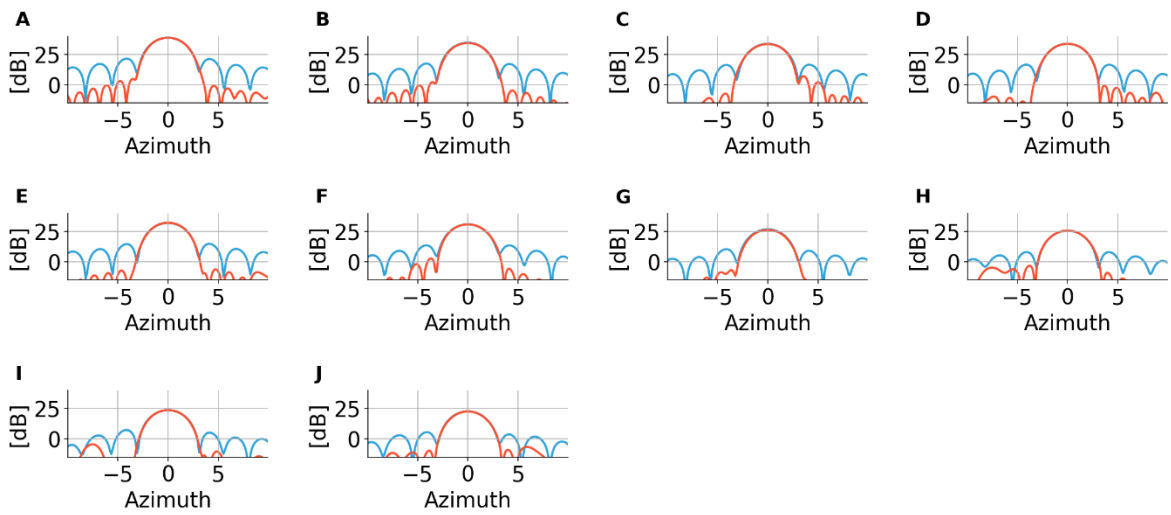


図 2.6 Rosamondの10種のコーナーリフレクタのアジマス方向のプロファイル (SLC画像)

青: SVA未処理 赤: SLC処理後

3 SVA処理済SLCの地球楕円体への投影

SynspectiveはSLC画像に対して、次の処理を順番に実施してGRD画像を生成しています:

1. 各画素の強度値の評価
2. マルチルック処理
3. 地球楕円体への画像の投影 (グラウンドレンジでの画素補間)
4. UTM座標への変換 (最終出力像の生成)

それぞれの処理ステップごとに、Synspectiveの実装方法を説明しています。特に、GRDの場合と、超解像GRDの場合の違いについて詳しく説明します。

各画素の強度値の評価

SLC画像中の各画素の実部と虚部の二乗値を足し合わせることで、各画素の強度値を算出します。この処理の過程で、SLC画像の位相情報が失われます。GRD画像と超解像GRD画像とで共通の処理です。

マルチルック処理

SLC画像をそのまま地球楕円体に投影すると、画像に含まれるスペckルノイズの影響で最終的な画質が劣化してしまいます。そのため、GRD画像を生成する際、我々はマルチルック処理を地球楕円体への画像投影の前に行っています。しかし、マルチルック処理には画像の解像感を劣化させる性質があります。超解像GRD画像に対しては、分解能劣化を抑制するために適用していません。

地球楕円体への投影

ここまでの処理で得られた画像を地球楕円体上の座標系に変換することで、画像の座標系がスラントレンジからグラウンドレンジに変換できます。この処理では、

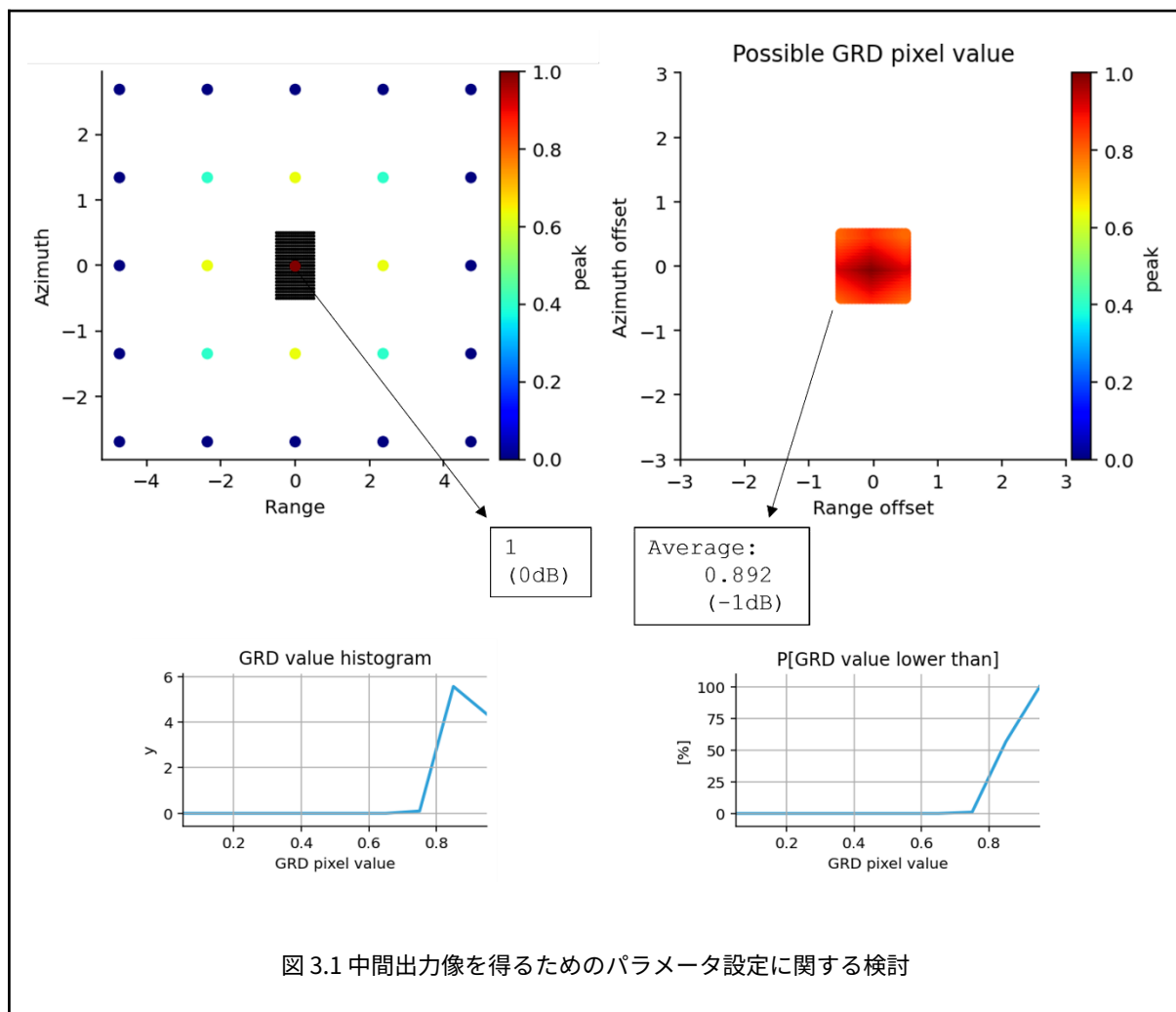
1. 補間アルゴリズム
2. サンプリング間隔

に選択の余地があります。SynspectiveではGRD・超解像GRDともに双線形補間(バイリニア補間)を採用しました。しかし、サンプリング間隔の設定値はそれぞれの場合で異なりますのでご注意ください。

Synspectiveは、様々な補間アルゴリズムやサンプリング間隔に対して、どの組み合わせがよいかを調べました。ここでは、なぜそのような検討が必要だったのかについて説明します。

図3.1はSVA適用済SLC画像に対応する中間出力像を評価した結果を示しています。このとき、サンプリング間隔は1 m x 1 m、補間アルゴリズムには双線形補間を採用しています。図3.1左上の図中の離散的な点はSLC画像中の各サンプリング点を、中央の黒い長方形は中央のサンプリング点を代表するピクセルを表しています(表示していないですが、実際には各サンプリング点に対応するピクセルが存在します)。SLC画像はスラントレンジで定義されています。地球楕円体(グランドレンジ)上に変換すると、SLC画像における各サンプリング点は、変換先の各ピクセルの内部で、様々な場所に変換されます。つまり、変換前にピクセルの中心に位置していたサンプリング点は、必ずしも変換後のピクセルの中心の点に変換されるとは限りません。SLC画像のサンプリング点は、変換先のピクセルの中心からアジマス・レンジの各方向に $\pm \Delta/2$ の幅の中に一様に分布すると考えられます(Δ : 変換後の画像のサンプリング間隔)。この座標系の変換に伴う影響を図3.1右上で調べました(補間アルゴリズムには双線形補間を採用しています)。変換後の座標系中の各点を変換前の座標系へ逆変換したときに、サンプリング点の近くに変換される場合には得られる輝度値が高くなります。その一方で、遠くの点に変換される場合には輝度値が低くなります。変換後の点の位置分布のばらつきが一様分布状であると仮定すると、座標系の変換にともなう値の変化の様子を解析的に評価できます。その評価を行って得られた結果が図3.1の下側のグラフです。

こうした検討を踏まえて、SynspectiveはStripmapに対してSR-GRDのサンプリング間隔を1 m x 1mに取ることに決定しました。ファイルサイズは大きくなりますが、サンプリング間隔を狭く設定するほど、このような補間処理に伴う影響を低減できます。Sliding Spotlightに対しては、サンプリング間隔を50 cm x 50 cmに設定しています。



UTM座標への変換 (最終出力像の生成)

ここまでの処理で得られた出力像を改めて、ユニバーサル横メルカトル図法(UTM: Universal Transverse Mercator)に変換して、超解像GRDの最終出力像を生成します。SynspectiveではGRD, 超解像GRDの両方に対して最近傍補間(ニアレストネイバー補間)を採用しています。

Stripmapの場合にはGRD画像のサンプリング間隔を5 m x 5 mに、超解像GRD画像のサンプリング間隔を1 m x 1 mに設定しています。そのため、超解像GRD画像のファイルサイズはGRD画像よりも25倍大きくなります。Sliding Spotlightの場合にはGRD画像のサンプリング間隔を1 m x 1 mに、超解像GRD画像のサンプリング間隔を50 cm x 50 cmに設定しています。そのため、超解像GRD画像のファイルサイズは4倍大きくなります。

4 参考文献

- [1] Stankwitz, H. C., Dallaire, R. J., & Fienup, J. R. (1995). Nonlinear apodization for sidelobe control in SAR imagery. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 31(1), 267-279.
- [2] Smith, B. H. (2000). Generalization of spatially variant apodization to noninteger Nyquist sampling rates. *IEEE Transactions on Image Processing*, 9(6), 1088-1093.



 Synspective