

# ANALYSIS OF SAR BACKSCATTER INTENSITY CHARACTERISTICS FOR INVERSE ESTIMATION OF EARTHQUAKE-DAMAGED BUILDINGS

## 地震被災建物の逆推定を目的としたSAR後方散乱強度特性の解析

Yang Yu, Supervisor: Wataru Takeuchi  
Institute of Industrial Science, The University of Tokyo, Japan



**ABSTRACT** A 3-dimensional canonical target known as SLICY (Sandia Laboratory Implementation of Cylinders) and a collapse model are used for synthetic aperture radar imaging simulations. Reflectivity maps corresponding to signals with different types of radar backscatter are plotted. Combined with the geometrical physical information of the target, the correspondence between the point and line features, different signals of scattering, and object-specific structures in the simulated SAR images are analyzed. The results show that reflection levels of the radar signal are closely related to the object structure details. The analysis of the reflective intensity characteristics of this paper provides a good basis for later inverse estimation of damage to earthquake-damaged buildings.

合成開口レーダーイメージングシミュレーションには、SLICY (Sandia Laboratory Implementation of Cylinders) と呼ばれる3次元カノニカルターゲットと崩壊モデルが使用された。異なるタイプのレーダー後方散乱を持つ信号に対応する反射率マップがプロットされた。ターゲットの幾何学的物理情報と組み合わせて、シミュレーションされたSAR画像における点と線の特徴、散乱の異なる信号、オブジェクト固有の構造との対応関係を解析した。その結果、レーダー信号の反射レベルは、物体構造の詳細と密接に関係していることがわかった。本論文の反射強度特性の解析は、後に地震で被害を受けた建物の損傷を逆推定するための良い基礎となるものである。

**KEY WORDS** Radar scattering, Ray tracing, Synthetic aperture radar (SAR) simulation, Multiple signal reflections, 3-Dimensional modeling  
レーダー散乱、レイトレーシング、合成開口レーダー (SAR) シミュレーション、多重信号反射、3次元モデリング

### Introduction 背景

#### SAR image simulation SAR画像シミュレーション:

- A radar imaging simulation technology developed in recent years. Helps the analysis design and verification of SAR system, assists SAR image interpretation, SAR image processing algorithm verification, and SAR image geometry correction.
- 近年開発されたレーダーイメージングシミュレーション技術。SARシステムの解析設計・検証、SAR画像解釈支援、SAR画像処理アルゴリズム検証、SAR画像形状補正を支援。

#### Research Question 研究課題:

- Although theoretical equations for radar propagation and reflection characteristics have been established in this field, the correspondence with real structures with various structures, applications, and shapes has not necessarily been clarified. Digital data before and after natural disasters, such as collapsed houses and damaged structures, have not been preserved.
- レーダーの伝搬・反射特性に関する理論式が確立されているが、様々な構造・用途・形状を持つ実構造物との対応関係は必ずしも明らかにされていない。倒壊した家屋や破損した構造物など、自然災害前後のデジタルデータは保存されていない。

#### Research Objective 研究目的:

- Theoretical calculations of radar reflection properties, reproduction of various types of buildings in digital space, and the creation of a database of SAR simulations under different measurement conditions.
- レーダー反射特性の理論計算、各種建築物のデジタル空間での再現、異なる測定条件下でのSARシミュレーションのデータベース化

### Methods 手法

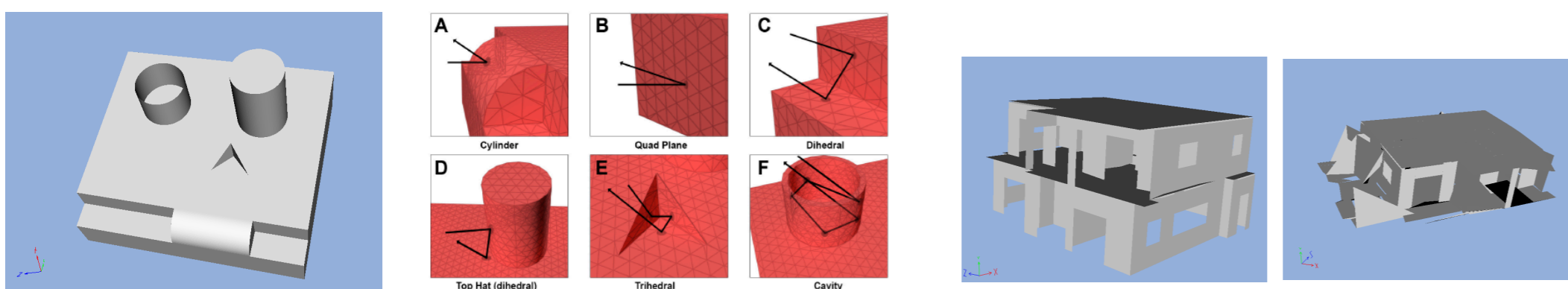


Fig. 1. Target1 (SLICY Target) Fig. 2. Scattering primitives available in the SLICY target Fig. 3. Target2 (Building & Collapsed Building)

#### RaySAR- 3D SAR simulator based on ray tracing レイトレーシングに基づくSARシミュレータ

- Programmed in MATLAB which wraps an adapted ray tracer based on the open-source software POV-Ray. RaySAR has been developed to support the understanding and interpretation of signal multiple reflections occurring at man-made objects. (e.g., building structures such as windows or balconies.)
- オープンソースソフトウェアPOV-RayをベースにしたレイトレーサーをラップしたMATLABでプログラムされている。RaySARは、人工物で発生する信号の多重反射の理解と解釈をサポートするために開発された。(例えば、窓やバルコニーなどの建築構造物など)。

#### Wallstat

- A software that has been improved so that researchers and technicians who specialize in wooden structures can make use of those research results. By using wallstat, numerical analysis models can be created on PCs and, by assigning arbitrary seismic motion to the basal level as per shaking table experiments, the size of analysis model transformations and an indication of collapse can be assessed.
- この研究成果を木造建築を専門とする研究者や技術者が活用できるように改良したソフトウェア。wallstatを使用することで、パソコン上で数値解析モデルを作成し、振動台実験に準じた任意の地震動を基礎レベルに割り当てることで、解析モデルの変換の大きさや崩壊の目安を評価することができる。

#### Target1: SLICY

- The Slicy is built to test the SAR capabilities since it has every possible scattering primitive that could be encountered in an object.
- SLICYは、物体に起こりうるあらゆる散乱プリミティブを備えているため、SARの能力をテストするために作られたもの。

#### The theoretical scattering in general is:

- single bounce (flat-plate)
- double bounce (dihedral)
- triple bounce (trihedral)
- edge diffraction (cylinder and top hat)
- cavity (hollow cylinder)
- shadowing (obstructions between parts of the target)

### Discussions 議論

- The different colors reflect the class of scattering centers detected. The imaging geometry of the virtual SAR, i.e. the angle of incidence and the heading angle, is adapted to the TerraSAR-X orbit. To this end, the un-collapsed model is rotated and the local incidence angle is set to 45°.
- We can see the clearer double bounce line on the right side of the un-collapsed building, where the 1st and 2nd floors meet, which could conceivably be a double bounce reflection due to the similarity in shape to the step-like dihedrals. Where there are more flat structures, there is a large number of single bounce reflections. In the window and door sections, there are regular double bounce reflections and triple bounce reflections.
- The results of the collapsed model are very irregular in terms of multiple reflections compared to the un-collapsed model. The edges of the building, and where the first and second floors meet, show a large number of multiple reflections. The walls are the same as the flat structure and therefore still produce single reflections of signals.
- 異なる色は、検出された散乱中心のクラスを反映している。仮想SARの撮像ジオメトリ (入射角と方位角) は、TerraSAR-Xの軌道に適合している。崩壊していないモデルを回転させ、ローカル入射角を45°に設定した。
- 崩壊していない建物の右側、1階と2階が接する部分にはっきりとしたダブルバウンスラインが見えるが、これは階段状の二面体に形状が似ていることから、ダブルバウンス反射であると考えられる。平面的な構造が多いところでは、シングルバウンス反射が多い。窓やドアの部分では、定期的なダブルバウンス反射やトリプルバウンス反射が発生している。
- 崩壊したモデルの結果は、崩壊していないモデルに比べて、多重反射が非常に不規則である。建物の端や、1階と2階が接する部分は、多重反射が多く見受けられる。壁面は平面構造と同じであるため、やはり信号の単反射が発生している。

#### The results of this simulation show agreement with the theoretical predictions

シミュレーションの結果は、理論的な予測との一致を示す

### Conclusions and Future work 結論と今後の予定

- This research provides the basis for the future realization of theoretical calculations of radar reflection properties, reproduction of various types of buildings in digital space, and the creation of a database of SAR simulations under different measurement conditions.
- Future work: Add the study of the reflection characteristics of collapse models and attempt to generalize the correspondence between structures and reflection characteristics. Comparison and validation using pi-SAR-X2 data and simulated data from the Kumamoto earthquake.
- 本研究は、今後のレーダー反射特性の理論計算の実現、デジタル空間における様々な種類の建物の再現、異なる測定条件下でのSARシミュレーションのデータベース化のための基礎となるものである。
- 今後は、破壊された構造物モデルの反射特性の研究を追加し、構造物と反射特性の対応関係を明確にする。また、熊本地震におけるPi-SAR-X2データを利用し、シミュレーションデータによる検証を予定している。

### Results 結果

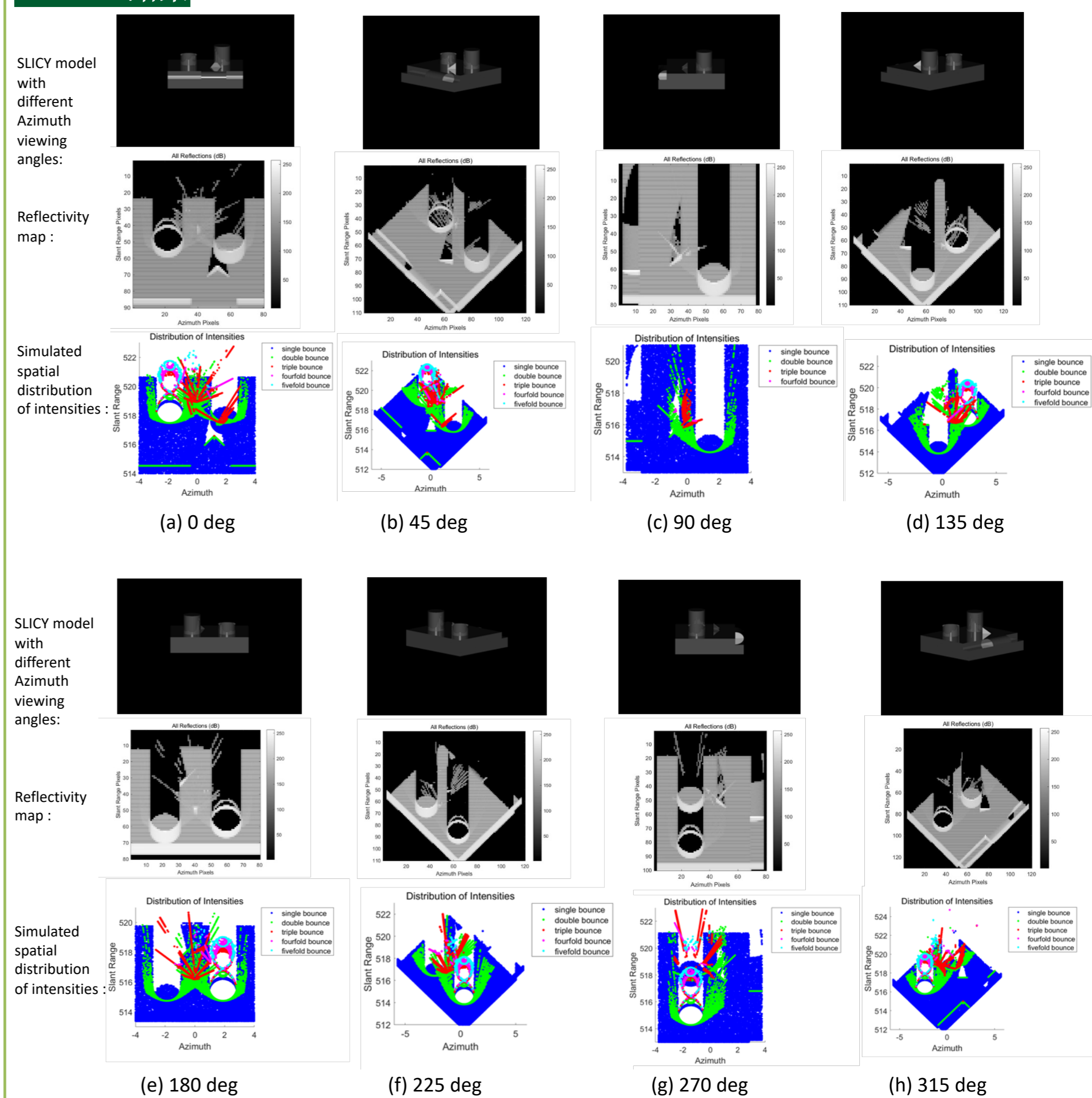
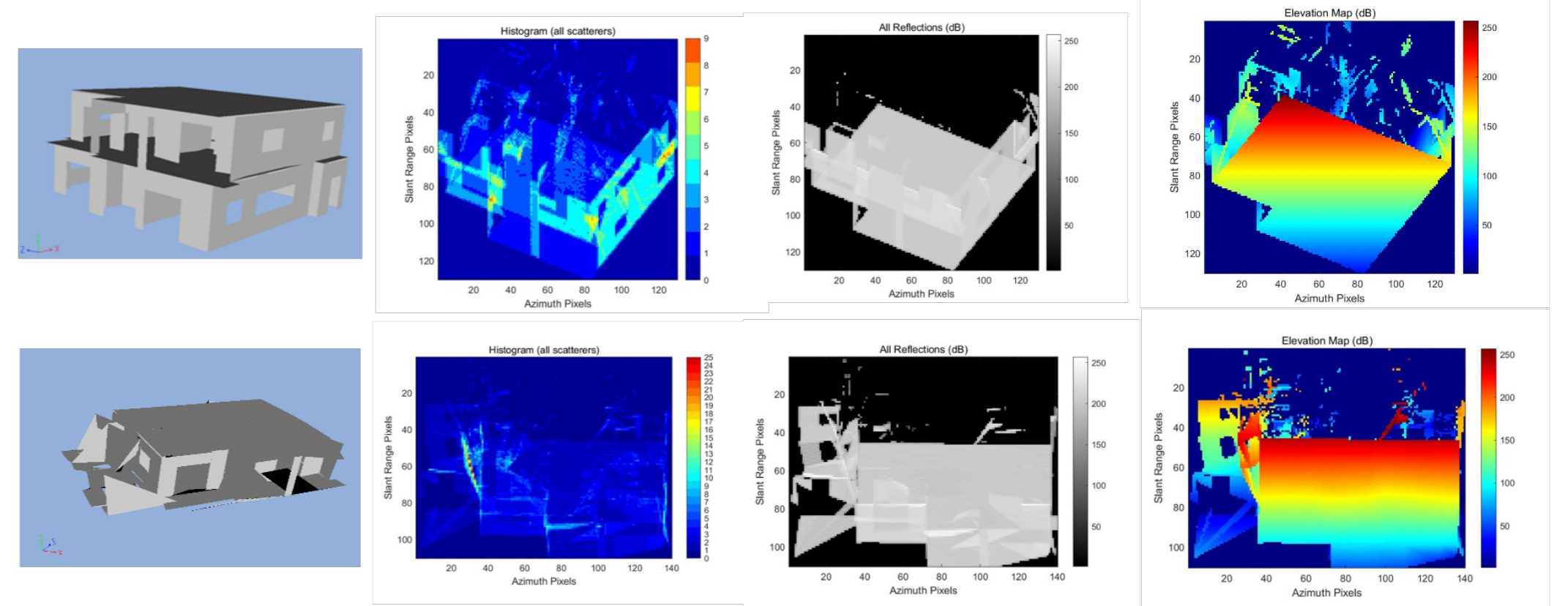


Fig. 4: Simulation results at a 15-degree elevation angle (0-315deg) 仰角15度でのシミュレーション結果 (Blue: single bounce; Green: double bounce; Red: triple bounce; Magenta: fourfold bounce; Cyan: fivefold bounce; White: no signal response)



(1) 3D model (2) Histogram Map (3) Reflectivity Map (4) Elevation Map  
Fig 5: Simulation results of building model (Up: Building, Down: collapsed building)  
建物モデルのシミュレーション結果 (上: 建物、下: 倒壊した建物)

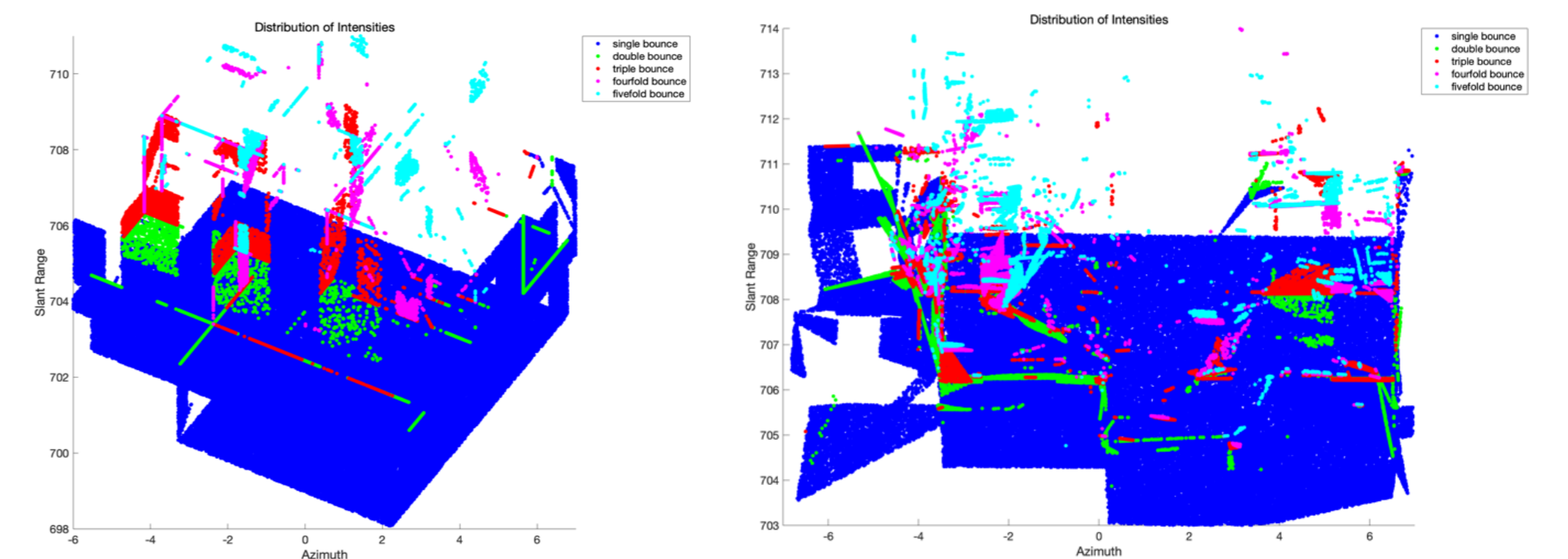


Fig 6: Simulated spatial distribution of intensities (Left: Building, Right: collapsed building)  
強度の空間分布のシミュレーション (左: ビル、右: 倒壊した建物)