

# SARへの応用

大塚 彰

農業研究センター研究情報部

## 1. 目的

リモートセンシング手法を用いて農地・森林を観測する場合、これまで光学系センサーを中心に研究が進められ、種々の成果を上げているが、雲によって観測できない割合が非常に高い。この点で合成開口レーダは雲の有無に依らず地表面が観測できるが、通常のSARの画像は単バンドであり、情報量が少ないためその利用が進まなかった。近年後方散乱波の振幅と位相情報まで利用する合成開口レーダ干渉法 (Interferometric SAR, InSAR) が研究されるようになり、農林業への応用が進みつつある。農地を InSAR で観測する場合、コヒーレンス解析・散乱強度解析を用いるが、この手法では後で示すように大気遅延の効果は現れず、SAR の全天候性の特徴を発揮できる。一方、地表面の変位を計測する差分 InSAR (Differential InSAR) による作物パラメータや土壌パラメータを抽出しようと考えるとき、水蒸気による大気遅延は大きな誤差となる。したがって、本研究の目的は、GPS 気象学から得られる水蒸気データを用いて差分 InSAR に現れる大気遅延誤差の特性を明かにし、さらにデータの補間による大気遅延誤差を除去する手法を開発する。また、四次元水蒸気情報システムのデータを大気遅延データに変換し、InSAR 観測に利用するシステムを開発する。

## 2. コヒーレンス解析・散乱強度解析の全天候性

コヒーレンス解析とは、以下のように定義されたコヒーレンスの大きさ (0~1) を各画素値に持つ画像を用いて、地表面の状態変化を解析する InSAR の解析手法の1つである。さらにこのコヒーレンス画像と通常の散乱強度画像、それに2時期の散乱強度の変化画像とを用いることで、3次元の状態空間の中で地表面の状態変化を分類することができる。そこでコヒーレンスの中で水蒸気による大気遅延効果はどのように表せるかを考察した。まず2時期のSARの複素画像を用いて、各画素のコヒーレンス $\gamma$ は

$$\gamma = \frac{\langle E_1 E_2^* \rangle}{\sqrt{\langle |E_1|^2 \rangle} \sqrt{\langle |E_2|^2 \rangle}}$$

と定義される。ここで $E_i$ は複素後方散乱波を、 $\langle \rangle$ は期待値を表す。複素後方散乱波のうち2時期で変化しない一様な成分と、天気 (風や雨等) や人為的働き掛け (営農活動等) により変化する成分を持つ Hobbs の2成分モデル<sup>1)</sup>を拡張し、大気遅延効果を考慮するように改良したモデルを

$$\begin{aligned} E_i &= E_{oi} + E_{vi} \\ &= ae^{j(\theta+w_i)} + (b + \delta b_i)e^{j(\phi+\delta\phi_i+w_i)} \end{aligned}$$

のように表す。ここで $E_{oi}$ は一様な成分、 $E_{vi}$ は変化成分である。 $a, b$ は振幅、 $\delta b_i$ は振幅の変化量、 $\theta, \phi$ は位相、 $\delta\phi_i$ は位相の変化量、 $w_i$ は水蒸気による大気遅延である。すると $\gamma$ は

$$\gamma = \left\langle e^{i(w_1-w_2)} \cdot \frac{a^2 + a(b+\delta b_2)e^{j(\theta-\phi-\delta\phi_2)} + a(b+\delta b_1)e^{-j(\theta-\phi-\delta\phi_1)} + (b+\delta b_1)(b+\delta b_2)e^{j(\phi_1-\phi_2)}}{\sqrt{a^2 + (b+\delta b_1)^2 + 2a(b+\delta b_1)\cos(\theta-\phi-\delta\phi_1)} \sqrt{a^2 + (b+\delta b_2)^2 + 2a(b+\delta b_2)\cos(\theta-\phi-\delta\phi_2)}} \right\rangle$$

となる。したがって大気遅延の項が積の形で分離されるので、コヒーレンスの大きさ $|\gamma|$ には大気遅延の効果は現れない。また後方散乱強度にも同じように大気遅延効果は現れない。

## 3. 差分 InSAR による作物・土壌パラメータの抽出

通常差分 InSAR は地表面変位の検出に利用されるが、ここでは作物・土壌パラメータの抽出に応用できないかを検討する。例えば Halsetra ら<sup>2)</sup>は農地の土壌水分の凍結、融解の様子を検出し、

また Flourey ら<sup>3)</sup>は位相差と森林の高さに相関を見いだしている。先のコヒーレンス解析・散乱強度解析に位相差を加えて解析することで作物・土壌パラメータの抽出が向上することが期待できる。このとき、水蒸気による大気遅延は大きな誤差となるため、GPS 気象学から得られる4次元水蒸気情報システムのデータを用いて大気遅延誤差の特性を詳細に検討し、さらにデータの補間による大気遅延誤差を除去する手法を開発する。

#### 4. 観測計画

コヒーレンス解析・散乱強度解析および差分 InSAR による作物・土壌パラメータの抽出には、グランドトゥールース（地上観測）が必要である。グランドトゥールースの対象となる観測域の条件は、GPS 連続観測点が密に分布し、地表が平らで、かつ水田地帯を含むこととした。JERS-1 のシーン 64-240（図1）はつくば市を含む地域であり、13のGPS 連続観測点が分布し、水田地帯であるため観測域の条件を満たす。またこの観測域は気象研究所を含むため、もし衛星の回帰が合えば集中観測中のラジオメータのデータを利用できる可能性がある。

まず農業研究センター谷和原試験圃場内に定点を設けて、SAR の観測に合わせて年数回、気圧・気温・温度の気象3要素とGPS データを計測する。またシーン内で土地利用ごとに地表面の状態例えばイネの生長量、倒伏状態等を記録し、写真を撮る。

これらを基に求めた定点の水蒸気データとGPS 連続観測網からの水蒸気データと合わせて、Differential InSAR 内の画像に現れている水蒸気による位相の差とを比較し、大気遅延量を定量的に評価する。

#### 5. 大気遅延情報システム

さらにプロジェクトで開発される4次元水蒸気情報システムのデータを用いて InSAR 解析用の大気遅延情報システムを開発する。このシステムでは、JERS-1 の観測日とシーン番号または緯度経度を入力することで、そのシーン内の大気遅延量を提供する。具体的なデータ変換手法は今後 GPS データと InSAR データとの相関評価結果を基礎に決定していく。

- 文献 1) Stephen Hobbs, Weather Effects on SAR Backscatter for Agricultural Surfaces, Proceeding of ESA Workshop on Applications of ERS SAR Interferometry, 1996.  
 2) D.van Halsema et al, Satellite Radar Measurement of Land Subsidence, Proceeding of International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 1996, p963-965.  
 3) Nicokas Flourey, Interferometry for Forest Studies, Proceeding of ESA Workshop on Applications of ERS SAR Interferometry, 1996.

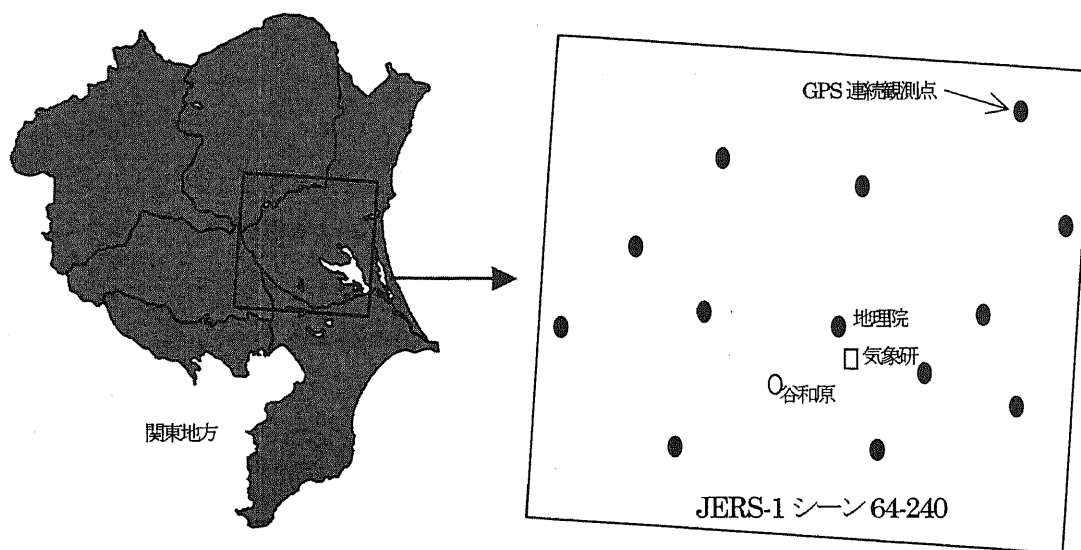


図1 観測域