

# POLinSAR の利用法： SAR干渉計との融合による樹高評価

## 1 1 目的

このノートは、POLinSAR の一貫した処理技術の自習入門編を提供し、ユーザがこの主題の基礎原理を学習できるようにする。

この目的を達するために、テスト用のPOLinSAR データ・セットと‘完璧な’地表照合データを使用する。このテスト・セットは、マーク・ウィリアムズ博士がPolSARpro – Simulator (図1 参照)を用いて、作成した‘ヘッジ：hedge’シミュレーションの出力で、used as a test scene in POLinSAR トレーニングのテストシーンとして広く利用されている。

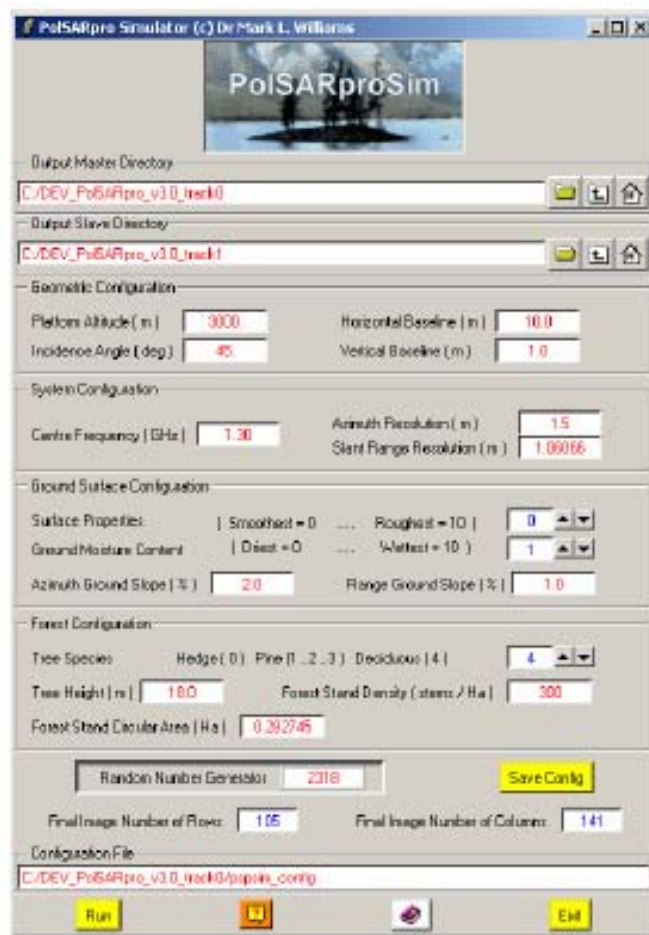
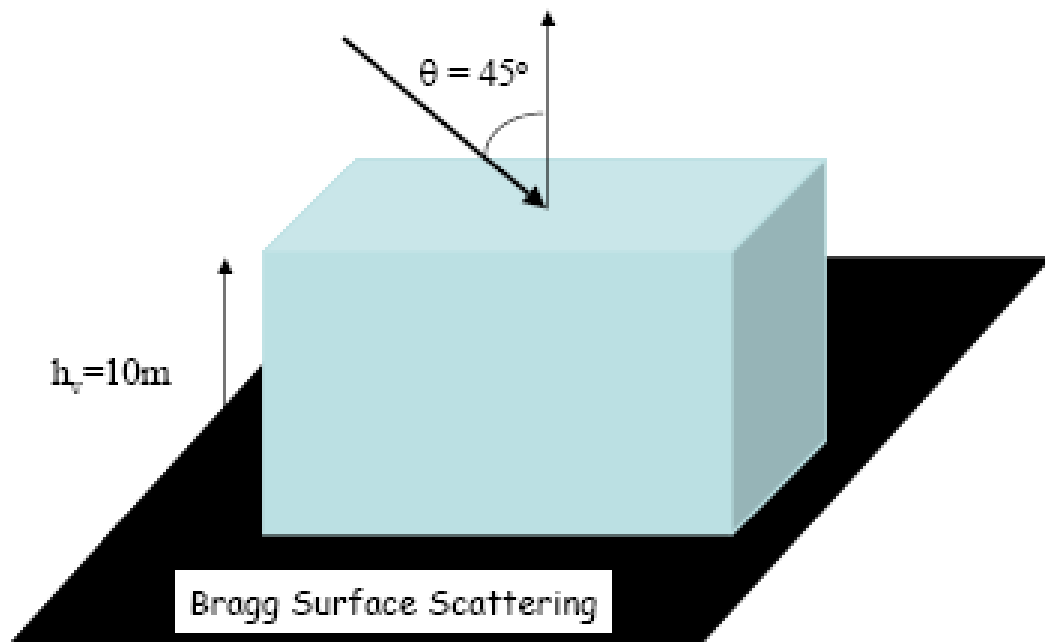


図 1 : PolSARpro シミュレータ

テスト データ・セットは、ESARの L バンド航空機用と同じ性能ではあるが、残余運動がなく、ベースラインまたは位置合わせエラーがなく、時系列または SNRの相関性を減ずるソースがない点を除いて同じ性能を有する。この様に、ユーザはPolSARの原理を実世界のデータ・セットに用いる前にコントロールの効いた環境で利用することができる。第2の目的は、作成されたモジュールを好みのデータ・セット (ESAR、SIRCなど) の双偏波POLinSARのインバージョンの研究に利用でき、DRLで開発されたさらに強力な複雑な多重偏波のアルゴリズムを補足する。テスト・データ・セットは図2の示したような構造を持つ。ここで、平坦な地表の中央に10mの高さの植生層ある。この層、平均の長さが1.5mで標準偏差が0.2mでガウス分布する枝で構成され、密度ないし平均容積部分が0.2である。L-バンド ( $\lambda = 0.23061\text{m}$ ) がシーンを  $\theta = 45$  度の角度で高度から照射している。水平方向10mのオフセット・ベースラインを干渉計として用いる。SAR シミュレーターは計器の点広がり関数で散乱場のコンボリューションが可能であり、この例では、方位方向で0.6905m、地表距離方向で1.3811mの解像度を選択した。画像画素の大きさはpixel size is then sampled at  $0.5\text{m} \times 0.5\text{m}$  の方位方向と地表距離方向でサンプルした。これらの値は航空機センサー用いられている代表的な値である。



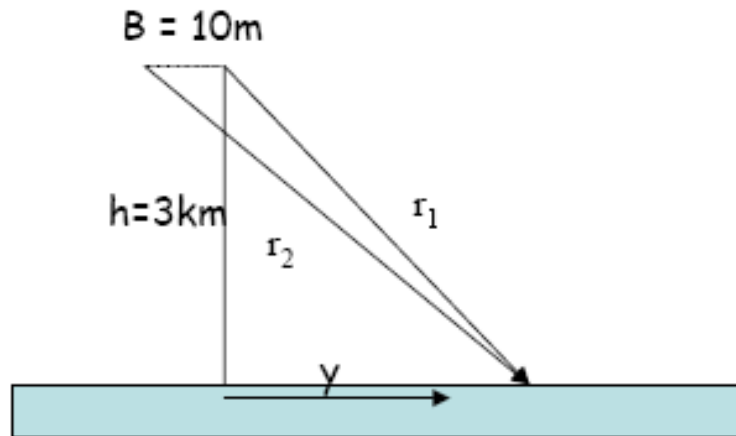


図 2 POLinSARシミュレーションのジオメトリー

シミュレーターは8つのデータファイルを作成する。自動的に作成されるディレクトリー **master** と **slave** に **s11.bin**, **s12.bin**, **s21.bin** および **s22.bin** がベースラインの各端に対応する。データ・ファイルは同じバイナリー形式 (複素変数) を有し、実数部と虚数部を表すインターレースの浮動小数点形式がコード化されている。複素変数の画像で **Nrow** 行と **Ncol** 列の画像には (**g s11.bin**) は  $Nrow * Ncol * 2 * 4$  バイト、すなわち、 $Nrow * Ncol * 2 * 32$  ビットである。

各ディレクトリーにあるコンフィギュレーション・テキスト・ファイル (**config.txt**) は考慮している画像の大きさと PolSARPro が必要とする偏波タイプを示す。

最低、**slave** ディレクトリーには、シミュレートしたデータ・セットに関連する平坦地表・ファイル (**flat\_earth.bin**) と kz ファイル (**kz.bin**) が作成される。

この10mベースラインのデータ・セットを以下1連のトレーニングで利用することを提案したい。

## 2 POLinSAR データ・セットの読み込み

### 2.1 メイン入力ディレクトリーの選択

PolSARpro v3.0 が実行され、メインメニュー（図 3）が選択される。：



図 3 PolSARpro v3.0 のメインメニュー



メイン PolSARpro v3.0 - POLinSAR ウィジェット (図 4) から、環境：  
**Environnement** をクリックすると環境：**Environment** ウィジェットが表示される  
(図 5)



図 4 : PolSARpro v3.0 – POLinSAR ウィジェット

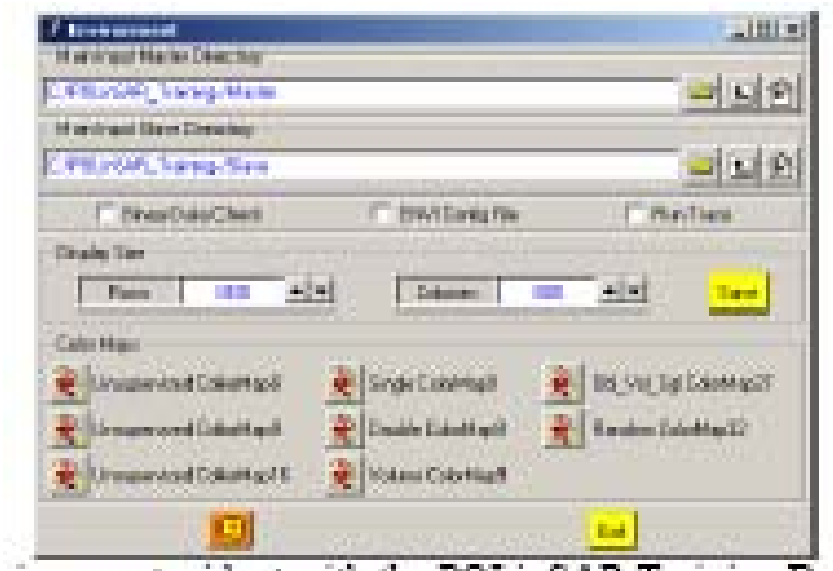


図 5: POLinSAR トレーニング・データ・セット設定の環境ウィジェット

#### Main Menu □ Multi Data Sets □ Dual POLinSAR

ENVI config オプションは、多数のヘッダーファイルが作成されるのを避けるために非選択にしておくことが望ましい。

つぎに、メイン入力カスターディレクトリー：[Main Input Master Directory](#)を POLinSAR\_Training data set directory に設定する。：  
[~/POLinSAR\\_Training/Master.](#)

次に、[Main Input Slave Directory](#) を POLinSAR\_Training データ・セットディレクトリーに設定する。  
[~/POLinSAR\\_Training/Slave.](#)

メイン入力ディレクトリー：[main input directories](#)はPolSARProのキーとなるベーシックな内部変数であり、それらの値は処理途中で変更することの可能である。このウィンドーはPolSARProを利用している間、開いたままにしておくことが望ましい。

## 2.2 トレーニング・データ・セットの全パワー画像の表示と観察.

メインPolSARpro v3.0 - POLinSAR ウィジェット (図 4),から :

**Process** → **S2** → **S2 Elements** → **Master**

をクリックすると、Sinclair Elements ウィジェットが表示される (図6)

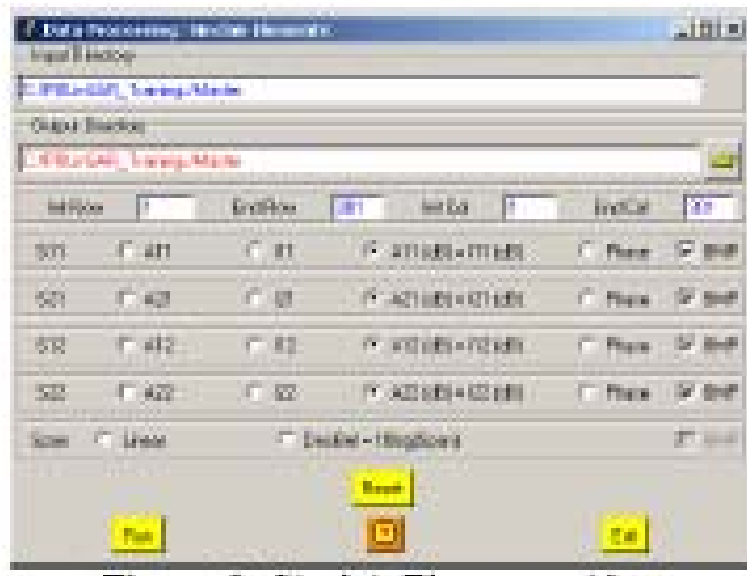


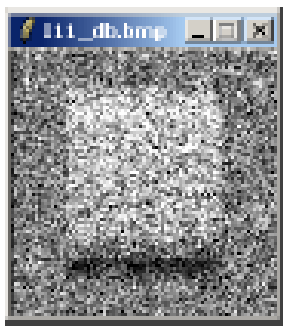
図 6: シンクレア エレメント ウィジェット : Sinclair Elements

1時点で4チャンネルが処理できる。各チャンネルのパワー画像(Iij\_db.bin).を作成するには、 $A_{ij}(\text{dB}) = I_{ij}(\text{dB})$  のタイプを選択する。対応する出力bmpファイル (Iij\_db.bmp).を作成するためにはBMP オプションを選択する。

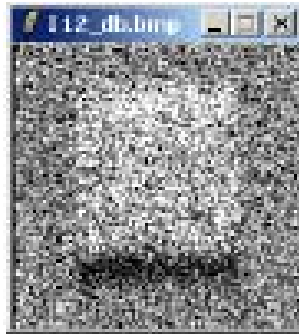
Slaveディレクトリーにあるシンクレア・エレメントについて処理を繰り返す。 .

PolSARpro – Viewer v3.0 を利用すると出力されたbmpファイル全ての可視化が可能である。

図7は、シミュレータで作成されたテスト・シーンの4チャンネル、HH,HV,VH,VV,のSAR画像を示す。Note that for校正されたデータでは、後方散乱の可逆性原理から  $HV = VH$  であることが要求されるので交叉チャンネルの1つのみが解析に必要となることに注目。しかし、HVとVHのデータ。チャンネルを分けて供給すると実用上有用である。 .



Master – I11 : Max = -5dB, Min = -24dB



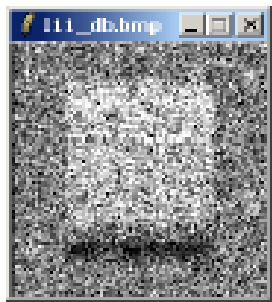
Master – I12 : Max = -13.8dB, Min = -33dB



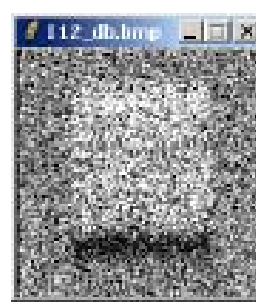
Master – I12 : Max = -13.8dB, Min = -33dB



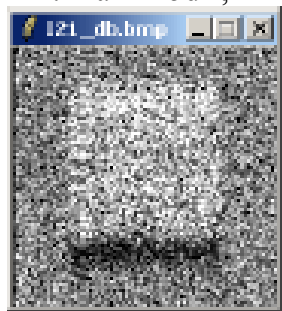
Master – I22 : Max = -6.6dB, Min = -26dB



Slave – I11 : Max = -5dB, Min = -24dB



Slave – I12 : Max = -13.8dB, Min = -33dB



Slave – I21 : Max = -13.8dB, Min = -33dB



Slave – I22 : Max = -6.6dB, Min = -26dB

図 7: シミュレーションで作成したシーンの4つの偏波チャンネルSAR画像と2つのベースライン位置1 (master) およびベースライン位置2 (Slave)の画像

図 7から明らかにヘッジ層からの後方散乱が増加していることが見られ、ヘッジ後方に影の領域があり、これは10mの高さがあることによる。また、HHとVVではヘッジの前方に明るいフロントが見られることに注目。これは2次の地表容積インターアクションに起因する。シミュレータは散乱の3レベルを考慮している。容積部と表面からの直接的な散乱、2次の表面—容積の相互作用と3次の表面—容積—表面相互作用である。3次の相互作用は一般には小さいが、1次と2次の相互作用を正確にモデル化するのに重要であり、これには粗い表面からの散乱の有効な反射を注意して計算する必要があり、また2次または2平面成分の偏波位相の正確なモデリングが要求される。

### 3 1次干渉縞の作成

次のステップは2つの画像間の複素干渉縞（インターフェログラム）を作成することとその位相を表示して植生によるバイアスと平坦な地表をしめすことである。

. From the メインPolSARpro v3.0 - POLinSAR ウィジェット(図 4)から

**Process → S2 → Interferogram**

をクリックすると**Interferogram Estimation** ウィジェットが表示される。(図 8)

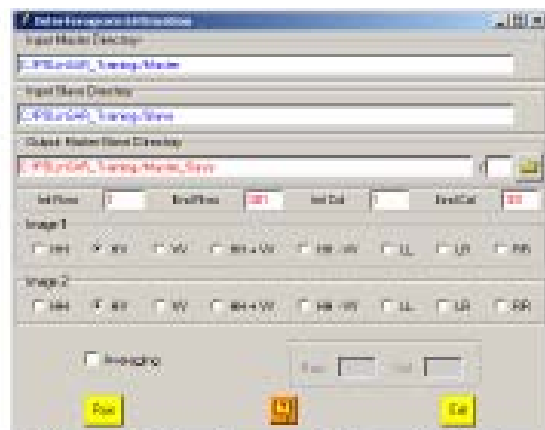


図 8 :インターフェログラム計算 : Interferogram Estimation ウィジェット

画像1と画像2の間のインターフェログラムが作成され、ユーザは異なった偏波チャンネル、HH,HV,VH、VV,HH+VV,HH-VV,LL,LRやRR間の組み合わせを変えることができる。例として、HV偏波チャンネルの場合にインターフェログラムを作成した。出力ファイル名は: **interferogram\_HV\_HV.bin** に設定し、対応する出力bmp ファイルを (**interferogram\_HV\_HV.bmp**).に設定した。



注: 出力Master-Slave ディレクトリーは自動的に : :  
~/POLinSAR\_Training/Master\_Slave.

に設定される。

プロダクトの1次位相を図 9に示した。ここで重要な特徴を2つ見出せる。 : 先  
ず、シーン全体にわたって背景の位相の変動が観察でき、距離のみの関数で、一  
つの完全なフリンジあるいは $2\pi$ の位相変動である。2番目は葉冠層に関連する位  
相ノイズである。この位相ノイズは容積のディコリレーションによるものでこの  
ディコリレーションを利用してPOLinSARで植生の高さ情報を抽出するために用  
いる。

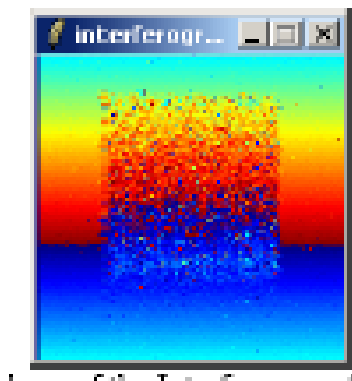


図 9: HV 偏波のインターフェログラムの1次位相Polarisation

## 4 平坦な地表の除去

Use the 平坦な地表の参照位相を利用してバックグラウンドの位相変動を除去する。  
平坦地表ファイル: Flat Earth file は POLinSAR データ・セットシミュレーシ  
ョンの間に、図 2 の幾何的配置と 2 and calculated with the relation (38) of the  
POLinSAR トレーニング・コースの講義ノートにある関係式 (38)を利用して作  
成されている。

メインPolSARpro v3.0 - POLinSAR ウィジェット (図 4) から :

[Process](#) → [S2](#) → [Flat Earth Removal](#)をクリックすると平坦地表除去のウィジェットが表  
示される (図 10)

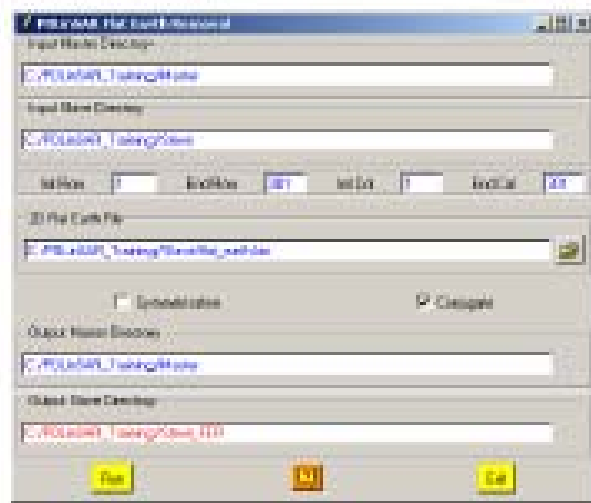


図 10: 平坦地表除去ウィジェット

Enter the 2-D 平坦地表ファイル名を入力し、**Conjugate** を選択して、ファンクションを実行する。

注：出力Slaveディレクトリーは変更され、自動的に  
 ~/POLinSAR\_Training/Slave\_FER.  
 設定される。FER は平坦地表除去：Flat Earth Removal.を意味する。

再び**Interferogram Estimation** プロセスを実行し、修正インターフェログラムを形成すると図 11に示したような新しい位相画像が得られる。

注：出力マスター・スレーブ・ディレクトリー：Output Master-Slave directory は

自動的に  
 ~/POLinSAR\_Training/Master\_Slave\_FER.

に設定される。

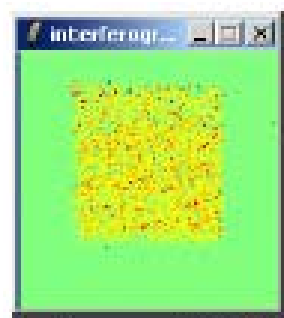


図 11 平坦地表除去：FERによるH偏波インターフェログラムの1次位相

ここで、平坦地表の位相は0度で定数となっていることが分かる。これが、シーン全体の地表位相の参照情報となる。植生層による位相ノイズもまた見えるがこの領域に平均位相が1ラジアン程度のバイアスないしオフセットがあることを注記する。これを植生バイアスと呼び、**This is called vegetation bias and reflects that fact that the**植生内の平均位相センターが地表の上（正の位相）にあることを反映している。POLinSARでは、この位相センターの偏波に対する変動を利用して植生の高さを推定するために利用することができる。しかし、高さを推定する前に、スケール・ファクターないし位相と高さを関係付ける式：

$$\phi = k_z \cdot h$$

に必要な垂直波数 $k_z$ を計算しておく必要がある。

## 5 垂直波数の計算

垂直波数成分 $k_z$ を利用し、これを干渉計の感度に関係付けよう。まず、ユーザが選択した  $1 \times 1$  を利用して複素コヒーレンスを計算し、位相と振幅を表示しなければならない。メインPolSARpro v3.0 - POLinSAR ウィジェット (図4) から

[Process](#) → [S2](#) → [Coherences Estimation](#)

をクリックすると [Coherences Estimation](#) ウィジェットが表示される。(図 12)

ユーザは線形、円、パウリ・ベース、クラウド-パパザナクション最大化手順  $n$  を含む可能な偏波状態の複素コヒーレンス・バイナリー・ファイルを作成する機会があり、**Users have the opportunity to generate complex coherence binary files at any possible polarization states, including the Lexicographic Linear, Circular, Pauli basis and optimal polarization states derived from Cloude and Papathanassiou coherence maximization procedure.** 例として、線形偏波チャンネルの複素コヒーレント概算を作成した。出力ファイル名は：

[cmplx\\_coh\\_HH.bin](#), [cmplx\\_coh\\_HV.bin](#) and [cmplx\\_coh\\_VV.bin](#)

に設定した。

出力  $b m p$  ファイルは

[cmplx\\_coh\\_HH\\_mod.bmp](#), [cmplx\\_coh\\_HV\\_mod.bmp](#) and [cmplx\\_coh\\_VV\\_mod.bmp](#)

に設定し、これに対応するの  $b m p$  コヒーレント振幅は

$a m p$  amplitudes, and [cmplx\\_coh\\_HH pha.bmp](#), [cmplx\\_coh\\_HV pha.bmp](#)

で、位相は

[cmplx\\_coh\\_VV pha.bmp](#)

に設定した。



図 12: コヒーレンス推定 ウィジェット

図 13は 選択した**1x1**のウィンドーについて 3 線形偏波チャンネルのコヒーレントな振幅と位相を示したものである。コヒーレンス振幅は従来、白=1、黒=0とした諧調画像として表示し、コヒーレンス高低を直接視覚的に観察していた。ウィンドーの大きさを**1x1**とする極端なケースでは計算したコヒーレンスは全て同一（白）、コヒーレンスの真の値のよい推定値が得られず、推定値にバイアスの極端なケースとなる。位相画像のみが興味あるもので、インターフェログラムに対応する。

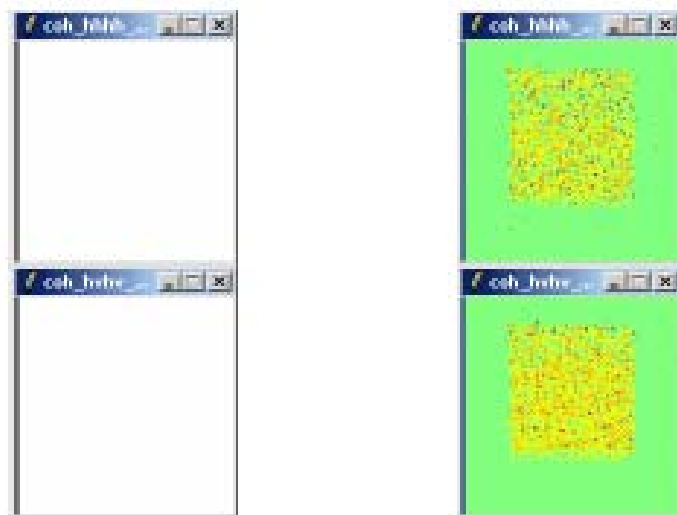




図13 : 1 x 1 のウィンドーを使用したコヒーレンス画像: (左) 振幅 (右) 位相

$k_z$  ファイルは、POLinSAR データ・セット・シミュレーションで図2の幾何的關係とPOLinSAR トレーニング・コース講義録のノートに式(39)にある関係式を使って計算、作成される。 $K_z$  は固定されたベースラインBへの入射角の関数で、 $k_z$  は $\theta$ が小さいニア・レンジではより小さく、 $\theta$ が増加するファー・レンジでは高くなる。ここで用いた100mのレンジ掃引巾で3 km上空から観測した小さな画面では、入射角の変動が小さく、従って $k_z$ はほぼ定数となり、10mのベースラインに対して0.1282である。従って、植生のバイアスが1 ラジアンは7.8mに対応する。

計算した $k_z$ で図10 (または図13) の位相画像を回転し、同等な高さ図に仕立てなおすことができる。)

メインPolSARpro v3.0 - POLinSAR ウィジェット (図4)から：

**Process** →  **S2** →  **Height Estimation** →  **Inversion Procedures**

をクリックすると、反転手順による高さ推定：**Height Estimation from Inversion Procedures** ウィジェットが表示される (図14)。

ユーザは、レキシコ・グラフィック (線形)、円形、パウリ・ベース、および、クラウド・パルパザナッションのコヒーレンス最大化手順から導かれる適偏波状態を含む全ての偏波状態における位相センター高ファイルを作成することができる。例として、線形HVチャンネル複素コヒーレンス推定を作成した。出力ファイル名は：[phase\\_center\\_height\\_HV.bin](#) に設定してある。

このために、**Phase Center Height Inversion Procedure**, 選択し、対応する位相チャンネルを選択する。(ここではHVである) 出力ファイルは：

[phase\\_center\\_height\\_HV.bmp](#)

である。

図16はHVHV線形組み合わせ (左図) の位相センター高推定と右図に葉冠ゾーンの画素の位相センター高のヒストグラムを示す。

Launching 統計—ヒストグラム : **Statistics - Histogram** を起動し、表示されたウィジェットから (図14) **Hist**ボタンをクリックするか、メインのPolSARpro v3.0 - POLinSAR ウィジェット (図4) で

: **Process** → **S2** → **ata Analysis** → **Histograms**

をクリックする。

いずれの場合もデータ解析 : 統計-ヒストグラム : **Data Analysis : Statistics - Histogram** ウィジェットが表示される。(図15)

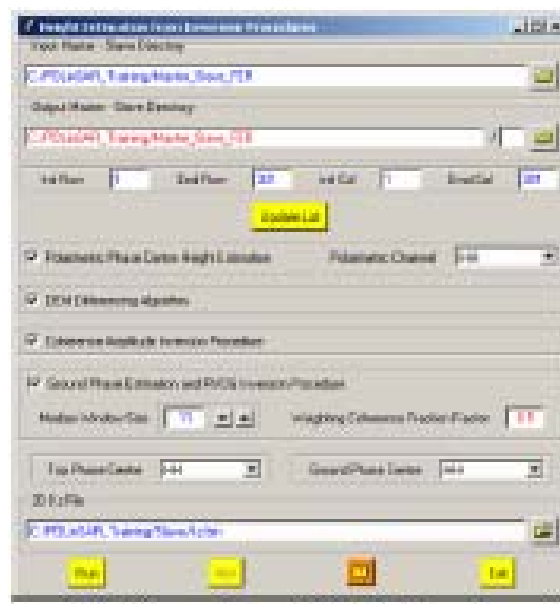


図 14 : 位相センターの高さ推定ウィジェット

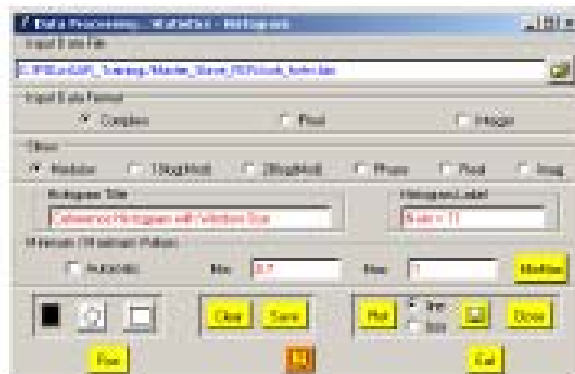
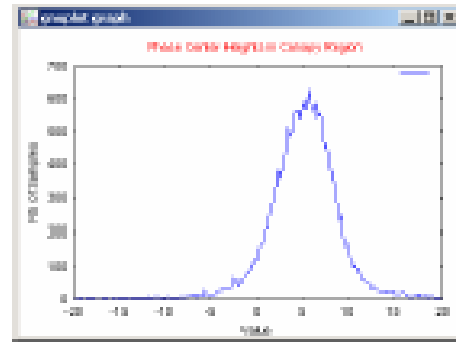
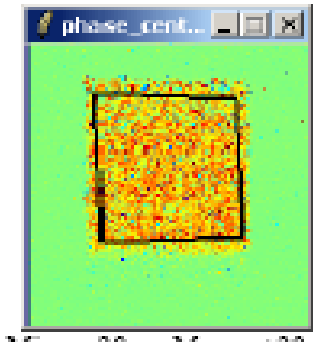


図 15 : データ解析 : 統計-ヒストグラム ウィジェット



Min = -20m Max = +20m  
(グリーン色=0m)

図 16 :選択した領域の位相センターの高さと対応するヒストグラム

平均高が5mで、葉冠高の半分で、容積非相関によるノイズのためかなり広がっている。この例から、植生バイアスの位相は単純な高さ自体には対応せず、一般には真の高さより低めになり、その量は、消散、構造、や表面散乱からの寄与に依存する。その上、地表を参照する位相が一般には未知（ここでは正確なジオメトリーから0とわかっていた）なので、厳密な高さ推定には何らかの参照点からの相対的な位相が必要である。これを行い高さ推定を改良するには、コヒーレンスの振幅や反転位相を含める必要がある。

## 6 複素コヒーレンスの推定

ユーザが指定したM x Nのウィンドーを用いて複素コヒーレンスを算定し、位相と振幅を表示する。再びコヒーレンス計算ウィジェット：[Coherences Estimation](#)：(図12)、11 x 11のウィンドー・サイズを選択し、対応する線形チャネル（HH,HVやVV）を選択する。出力ファイル名として：[cmplx\\_coh\\_HH.bin](#), [cmplx\\_coh\\_HV.bin](#) と [cmplx\\_coh\\_VV.bin](#) を指定する。

出力ファイルは、コヒーレンス振幅については  
[cmplx\\_coh\\_HH\\_mod.bmp](#), [cmplx\\_coh\\_HV\\_mod.bmp](#) および  
[cmplx\\_coh\\_VV\\_mod.bmp](#)  
コヒーレンス位相については  
[cmplx\\_coh\\_HH pha.bmp](#), [cmplx\\_coh\\_HV pha.bmp](#) および  
[cmplx\\_coh\\_VV pha.bmp](#)  
である。

図 17は3つの線形偏波チャネルの振幅と位相をしめす。コヒーレンス振幅は白黒諧調画像で白=1、黒=0で表示するのが慣習となっており、コヒーレ

ンスの高低を直接視覚的な判読ができる。

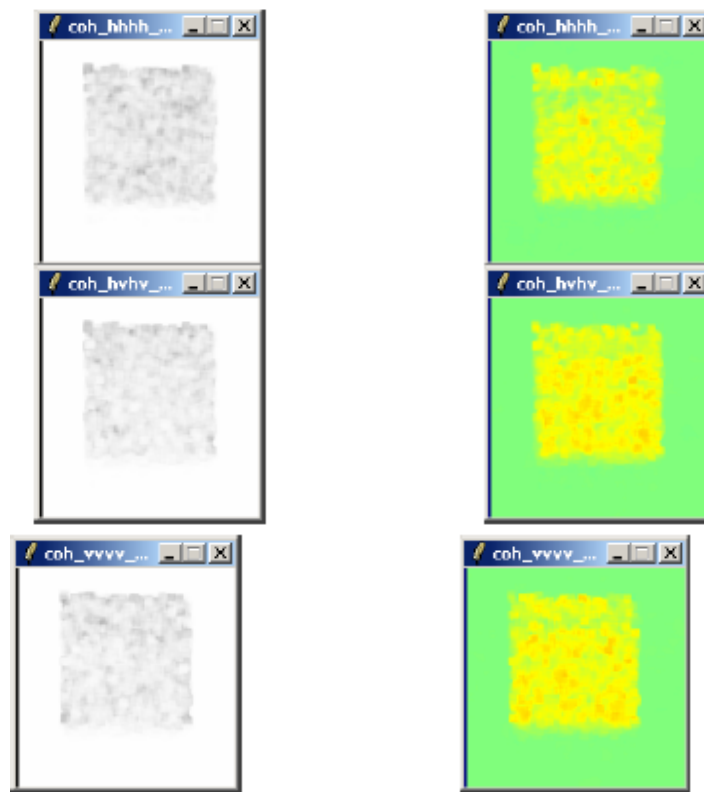


図 17 :11x11のウィンドーを用いたコヒーレンス画像：  
振幅（左図）と位相（右図）

コヒーレンス振幅が諧調画像として慣習的に視ることができるにせよ、このような画像は位相がもたらす重要な寄与を見落としてしまう。これを乗り越えるには、複素平面に、半径をコヒーレンス振幅にし、位相をコヒーレンス点の極角をもつある単位円内に複素コヒーレンスのマップを用いる。

To launch the 複素平面表示ツール：[complex plane display tool](#)を起動するには、メインのPolSARpro v3.0 - POLinSAR ウィジェット (図 14)か、

**Process → S2 → Coherences Analysis → Complex Plane**

をクリックすると、コヒーレンスー複素平面：[Coherences - Complex Plane](#)ウィジェットが表示される。(図 18)



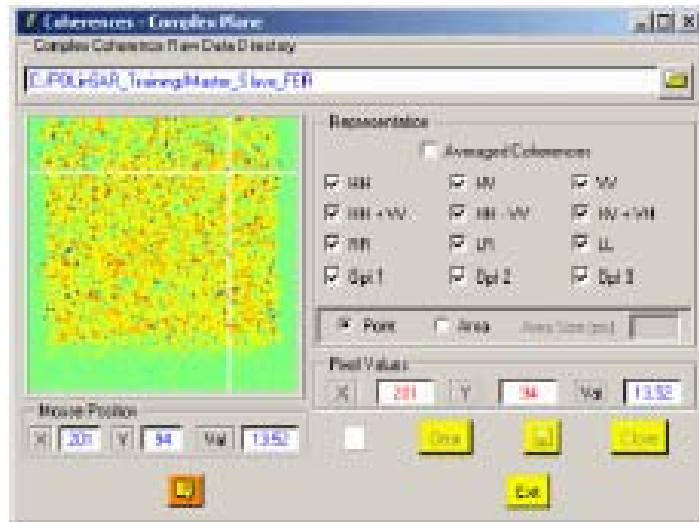


図 18: コヒーレンスー複素平面ウィジェット

この円ダイアグラムを図 19に示した。この図は位相とコヒーレンス振幅の両方を同じ図に表示する利点はあるが、画像としてでなく画素毎にみるという制約がある。それでも、これはPOLinSARの重要なツールで位相と偏波のコヒーレンスの変動を視ることができるので重要なツールであり、偏波の組み合わせ全体について単位円内に形成されるコヒーレンス領域の形状を基にしたインバージョンのアルゴリズムの厳密さチェックできる。

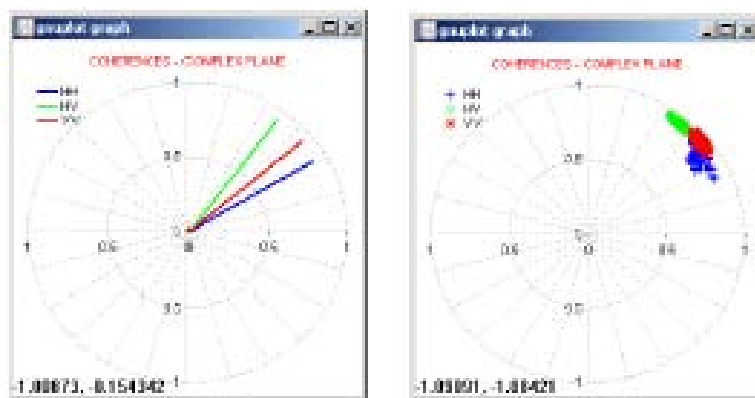


図 19: 単位円内の複素コヒーレンスの極座標表示

## 7 コヒーレンスのバイアスと収束

ユーザが視程した $N \times N$ のウィンドーを用いてコヒーレンスを計算し、 $N$ を増加させてときの問題点をコヒーレンスのバイアスと漸近的な収束を示しながら見てみよう。

コヒーレンスを計算するには、考察する画素の周りで平均化するウィンドーの大きさを指定しなければならない。コヒーレンスは位相の変動に関係しており、従って、ストカスティックな変数の2位の統計量計算と同類である。ウィンドーの大きさは、得られたコヒーレンスの計算結果の質に対してクリティカルである。このプロセスを例示するために、ウィンドーの大きさを変えて、葉冠領域の計算したヒストグラムを作成して、その計算の質を示した。

コヒーレンス計算： **Coherences Estimation** ウィジェットを再び起動し（図12）線形：**linear**を選択してこのファンクションをいろいろなウィンドーサイズ、**3 x 3**、**5 x 5**、**7 x 7**、**11 x 11**と**15 x 15**にして実行する。

それぞれのウィンドーサイズに対して処理し、統計—ヒストグラム：**Statistics - Histogram** 機能を起動し（図 15）、同じ植生領域を選択、対応するヒストグラムをプロットする。

図 20はウィンドーサイズを変えた全シーンのコヒーレンス画像と対応するヒストグラムである。地表面領域のコヒーレンスは単一であるのに対し、葉冠領域は容積非相関のために減っている。



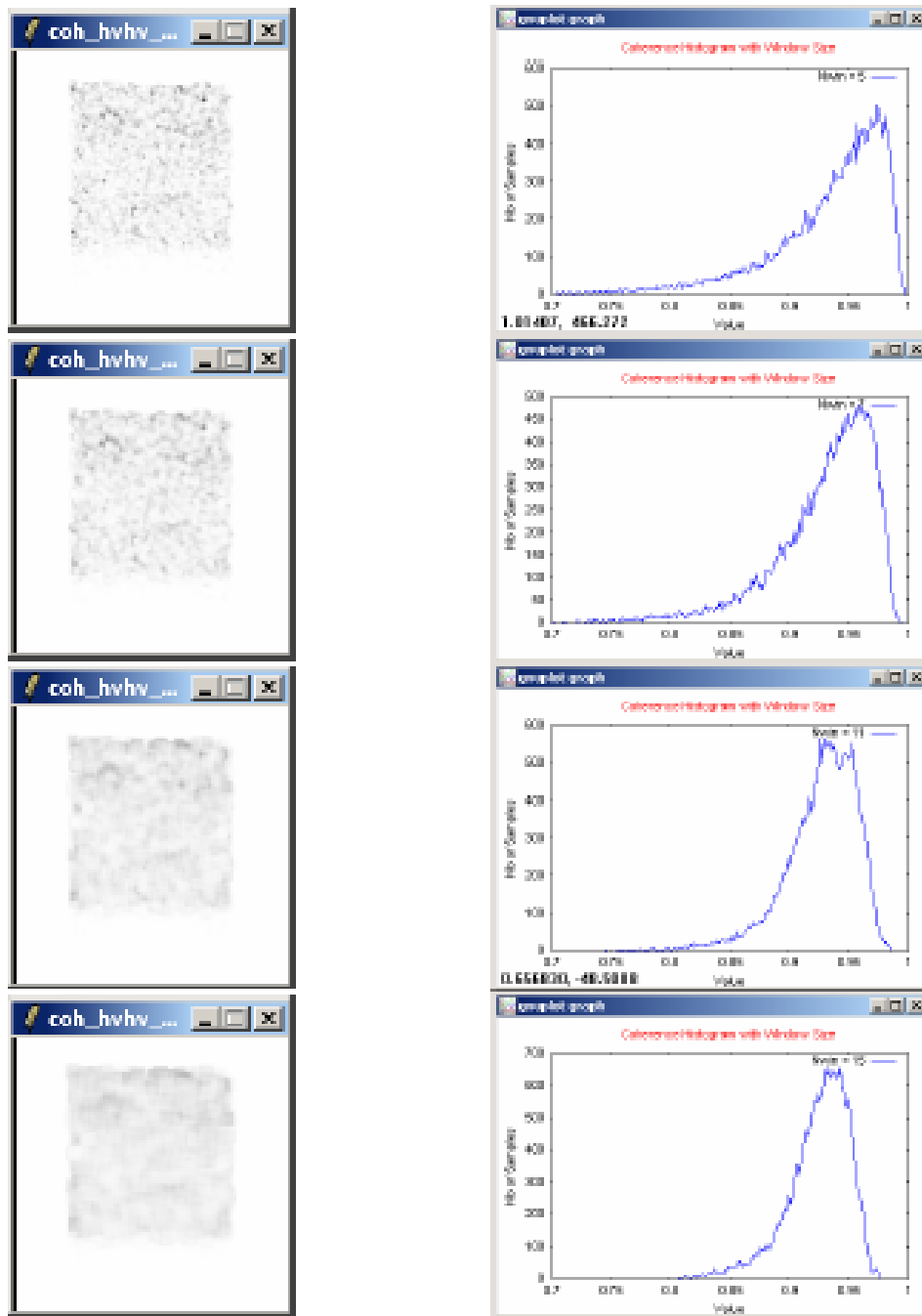


図 20 : 選択した領域のウィンドーサイズ毎( $N = 3, 5, 7, 11, 15$ )のコヒーレンス振幅と計算したコヒーレンスのヒストグラム

注 : the  $N = 3$  のウィンドーは小さすぎである。ヒストグラムの頂点に残余バイアスと幅広いコヒーレンス点の分布が視られる。 $N = 7$ では改良が見られるが、まだバイアス・オフセットがある。 $N = 11$ からなんらかの収束が見られる。これ

をみることができるが、for N = 15では、大きなウィンドーで分布巾が狭くなつてはいるが、ヒストグラムの頂点にあまり変化はみられない。

この理由で以後ではN = 11 を選択する。

位相とコヒーレンス両方お計算ができたので、そのデータを利用して3つの重要なPOLinSAR インバージョン・アルゴリズムの精度を示す：DEM識別、コヒーレンス振幅と最後にRVOG アルゴリズム。

## 8 高さインバージョン手順

### 8.1 インバージョンのアルゴリズム

POLinSARのインバージョン アルゴリズムは3つ提案されており、同じウィジェットの中グループになっており、同じような入力情報を利用する。：選択した偏波チャンネルの対。

メインのPolSARpro v3.0 - POLinSAR ウィジェットから (図 4)

**Process** → **S2** → **Height Estimation** → **Inversion Procedures**

をクリックするとa

インバージョン手順から高さの計算： **Height Estimation from Inversion Procedures** widget ウィジェットが表示される。(図 23)

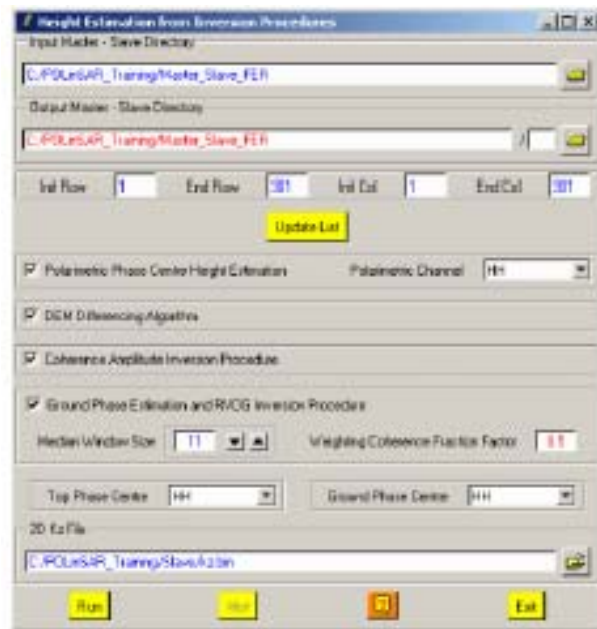


図 23: インバージョン手順からの高さの計算ウィジェット

提案されている3つのインバージョン手順は：

- DEM Differencing アルゴリズム
- コヒーレンス振幅インバージョン手順
- 地表位相の算定とRVOG インバージョン手順

これらの異なったインバージョン手順で、優先した偏波2チャンネルを選ぶことが大切である。一つは、地表に近い位相センターのものだり、もう一方は葉冠上部に近い位相センターの偏波 $W_V$ である。

このような2つの偏波チャンネルを選択する方法は多数あるが、ロジックを含む代表的な例を示すことにする。

交叉偏波またはHVチャンネルは、表面散乱の容積散乱に対する比はこの場合一般に低いので、高い位相センターを持つと期待することができる。従って‘上部’のインターフェログラムはHV偏波で形成される。低いチャンネルを選択するには、上反角またh2回バウンドの散乱表面上に位相センターがあり、従って2回バウンドが選択したチャンネルで容積散乱より強いかがり、位相センターは地表に近いところにあるという事実を利用することができる。HH-VVチャンネルはこのような上反角成分と厳密に一致するので、この偏波の組み合わせの2番目のインターフェログラムを選ぶことができる。

このために、2つのコンボ・ボックスから、提案されているリストから2つの偏波チャンネルを選択する。このリストの要素は前に作成されている複素コヒーレンス・ファイルに対応する。もし、偏波チャンネルに欠けているものがある場合には、それを複素コヒーレンスの計算：**Complex Coherence Estimation**の機能を利用して作成しなければならない。この場合、別の偏波チャンネル・リストをアップデートするには、リストのアップデート：**Update List** ボタンをクリックすることが重要である。

例として、上部の位相センターとしてHVチャンネル、下部の位相センターとして、HH-VVを選択した。ウィンドーサイズは11x11に設定している。図 22はこの選択した偏波チャンネルのコヒーレンス振幅と位相で、選択した植生領域のコヒーレンス算定のヒストグラムである。

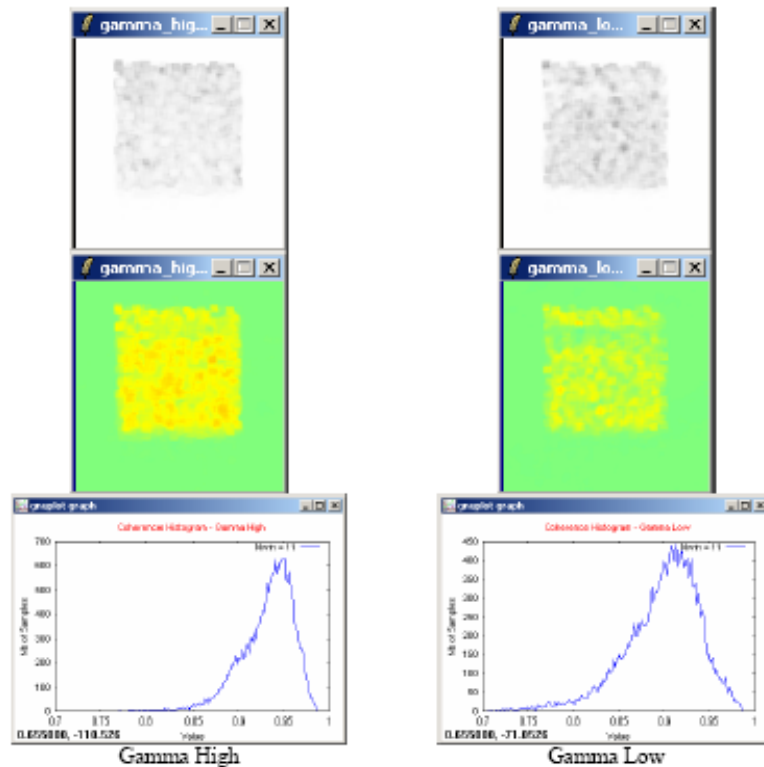
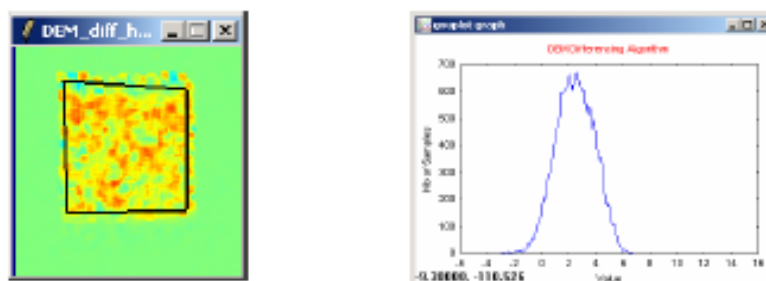


図 22: コヒーレント振幅、位相画像と選択して領域で計算したコヒーレンスのヒストグラム

## 8.2 DEM Differencing アルゴリズム

2つの偏波チャンネルが選択されると、インターフェログラムの差分<sup>?</sup>と $k_z$ で正規化することによって相対的な高さの直接推定ができる。DEM差分アルゴリズム: [DEM Differencing Algorithm](#)の機能を実行して functionality provides the output file named [DEM\\_diff\\_heights.bin](#) を命名された出力と対応する出力BMPファイル: [DEM\\_diff\\_heights.bmp](#)を作成する。

図 24 は結果の高さ推定と植生領域ないの対応する高さ推定のヒストグラムである。



Min = -10m Max = +10m (グリーン色= 0m)

図 24: DEM Differencing 高さで選択領域の対応するヒストグラム

ここで2つの重要な点を説明しておく。

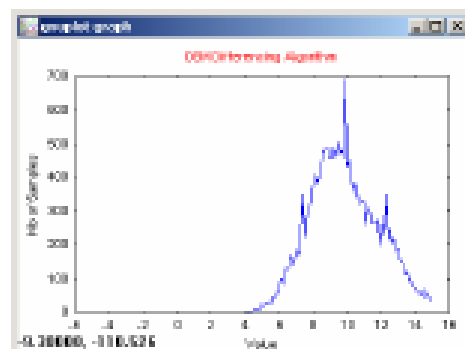
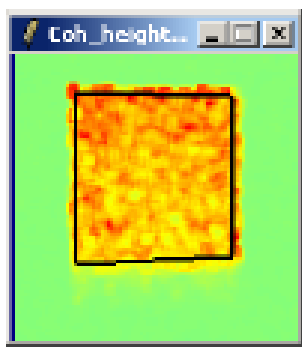
1. このアルゴリズムでは高さはかなりのアンダーエスティメートである。  
位相センターは葉冠の内側で数メートル分離されているに過ぎない。  
物理的には全偏波チャンネルで強い容積散乱の成分が存在することにより、  
またHV位相センターが最上部にはなく、容積の約半分のところにあるからである。(図 16 参照)
2. キーポイントの2つ目は、推定した高さが負になることもある。  
これは、HV位相センターがHH-VVより低いところあり、上部下部の  
位相センターが逆転するからである。

### 8.3 コヒーレンス振幅のインバージョン

DEM **differencing** アプローチの代替として、容積散乱 ( $\mu=0$ ) のみが存在すると考えられるチャンネルにコヒーレンス振幅を利用することができる。HVチャンネルをこれのよい近似として、また、用いることもできる。層の中での既知の消散として高さのコヒーレンスの間関係を利用することも可能である。もし、消散を0と仮定すると、'sinc' 関係が得られる。(詳しくはPOLinSAR トレーニング・コース講義ノートを参照のこと)。

**Coherence Amplitude Inversion** の機能を実行するとunctionality provides the output file named **Coh\_heights.bin** という名の出力ファイルと対応するBMPファイル、**Coh\_heights.bmp**、が提供される。:

図25は高さ推定と選択した植生領域の高さに対応するヒストグラムを示す。



Min = -20m Max = +20m (グリーン= 0m)

図 25: コヒーレンス振幅インバージョンによる高さに対応する領域のヒストグラム

ここで、真の高さ10mに近いよりよい推定になっていることが分かる。一方、いくつかの点で過剰推定になったおり、またこのようなアプローチは植生の密度

(消散) と構造 (葉冠の厚み) の変動に対してセンシティブである。この理由で最終的には、厳密な高さ推定には、POLinSAR トレーニング・コース講義録にある位相とコヒーレンスの組み合わせのを考慮することにした。

## 8.4 地表位相の推定

位相情報をよりよく利用する第一ステップは真の地表位置の位置決めを計ることである。これはDEMの差別アプローチと同様に2つの偏波で2つのインターフェログラムを利用することによって可能である。しかし、今度は地表チャンネルの容積オフセットを補う2つのインターフェログラムの位相とコヒーレンスを利用する。もし、HVを‘容積’ またHH-VVを‘表面’が優勢なチャンネルとして選んだ場合、図26の示したような地表位相の推定が得られる。(ここで11x11のウィンドーを利用した) 地表位相推定: **Ground Phase Estimation** 機能を実行すると、

“Ground\_phase.bin” というファイル名と対応する出力BMPファイル: **Ground\_phase.bmp** 得られる。

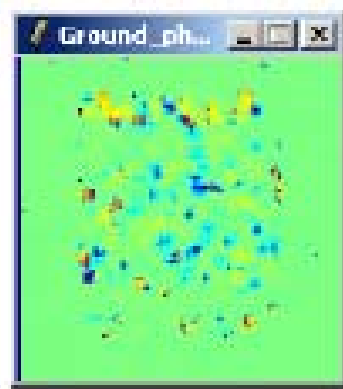


図 26: HV とHH-VV のインターフェログラムをベースにした地表位相推定  
この例では真の地表位相を0にしており、殆どの植生のバイアス除去されていることに言及したい。

しかし、位相推定は、HVとHH-VV位相センターのインバージョンと葉冠部の密度の変動のためノイズが多い。従って、一般に地表位相の推定は、ここで示した単純な2重偏波のライン・フィットよりさらに複雑なアプローチを必要とする。

図26の位相のジャンプをフィルターするには、メディアン・フィルターと名づけられたものを利用した簡単な解を採用する。(通常の平滑化フィルターや平均化フィルターは位相のフィルターには適しておらず、メディアン・アプローチは図26に見られるようなタイプの位相ジャンプを抑制するのに適している)

図27は21 x 21のメディアン・フィルターをかけた結果である。



地表位相推定： [Ground Phase Estimation](#) 機能を実行する `Ground_phase_median.bin` と命名された出力ファイルと対応する出力BMPファイル： `Ground_phase_median.bmp`が作成される。

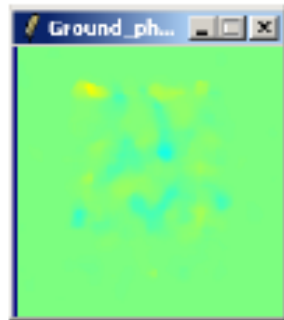
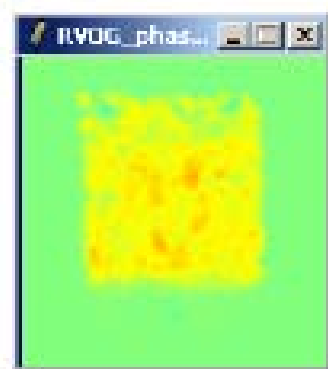


図 27：メディアン・フィルターをかけた地表位相推定

この図で、位相エラーの残留がみられるが、図 26にあった位相ジャンプは除去されている。真の地表位置のよりよい推定が得られたら、[POLinSARトレーニング・コース](#)講義録の式3 7に利用でき、位相とコヒーレンス情報を組み合わせて厳密な構造と密度関数が得られる。

### 8.5 位相とコヒーレンスの推定

図 27を[POLinSARトレーニング・コース](#)講義録の式3 7の地上位相  $\phi_0$ の推定値として利用し、高さに必要な2つの成分を計算することができる。最初にHV位相センターの高さを得て、図28に示したような推定された地表位置を決める。 [RVOG Inversion Procedures](#) 機能を実行すると `RVOG_phase_heights.bin`と命名された出力ファイルと対応するBMPファイル： `RVOG_phase_heights.bmp`が得られる。



Min = -25m Max = +25m (グリーン色= 0m)

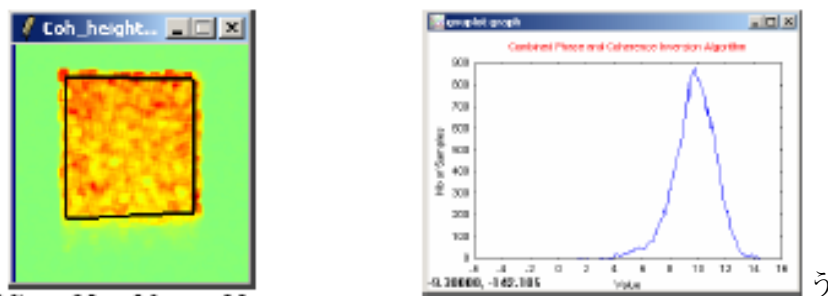
図 28：地上位相推定からの高さ推定

これは、また、葉冠頂部の半分の高さが5m近くであることが確認できる。この結果と図16の差は任意の地表の高さの変動を補完しおり、従ってさらに厳密な』アルゴリズムになっている。

POLinSAR トレーニング・コース講義録の式37を検討した議論の中で梗概したように、高さの過少評価をコヒーレンス・ベースの高さ推定の一部を附加して補わなければならない。(コヒーレンス・フラクショナル・ファクターの重み=0.4). 組み合わせると、図29に示したような最終的な高さ画像が得られる。

RVOG Inversion Procedures 機能を実行すると、RVOG\_heights.bin と命名された出力ファイルと対応する出力BMPファイル：RVOG\_heights.bmpが作成される。

ここで、真の葉冠高のよい推定が得られていりことが分かる。このことは、図29に示したように葉冠部の高さ推定のヒストグラムをプロットしてみると確認できる。



Min = -25m Max = +25m (グリーン色= 0m)

図29 :位相とコヒーレンスを組み合わせた高さ推定と  
選択領域の対応するヒストグラム

別のヒストグラム (図24, 25 および29)を比較してみると、DEM difference はもつとも不十分で、コヒーレンス振幅と位相/コヒーレンス法は似たような平均値を示すが、後者は前に述べたような小さな分散があり、前に述べたように垂直構造的な変動に強い。

## 8.6 シーンの高さのプロファイル

異なった反転の結果を比較するために、いくつかのシーンの方位やレンジのトランセクトを表示することを提案する。

メインPolSARpro v3.0 - POLinSAR ウィジェット (図 4) から、：  
プロセス : Process →S2 →データ解析 : Data Analysis →データ・プロフィール : Data Profiles をクリックする。  
すると、データ解析 : 値-プロフィール・。Data Analysis : Value - Profile ウィジェットが表示される (図30)。

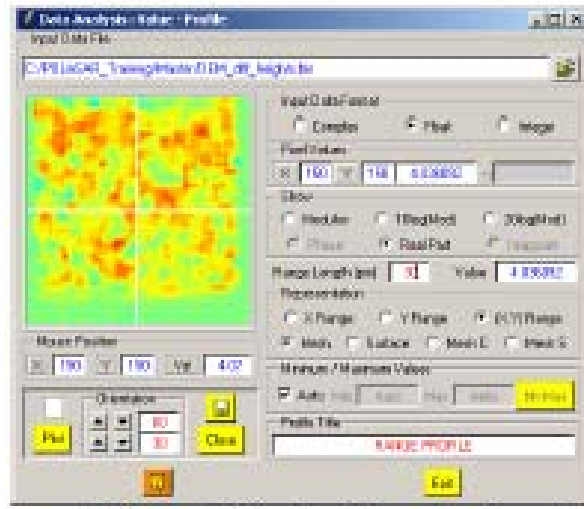


図 30 データ解析：値のプロファイル ウィジェット

図31はシーンのサンプル方位とレンジのトランセクトがそれぞれ反転アルゴリズムにういて表示したものである。

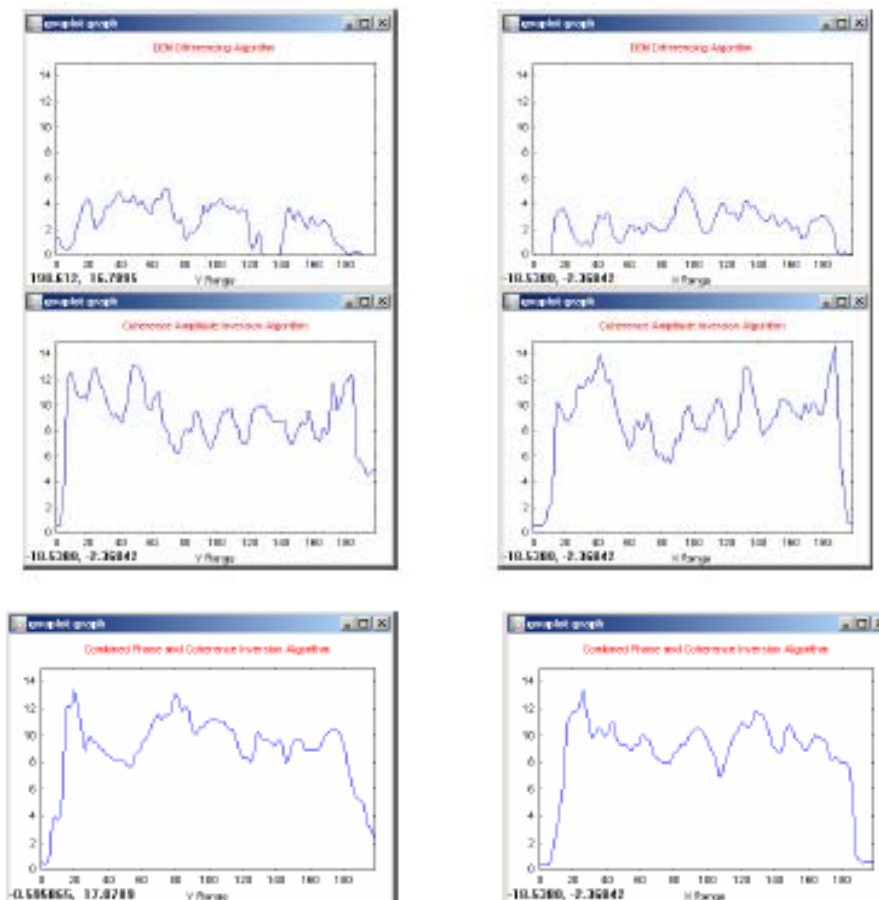


図 31：3反転アルゴリズムの方位 (左) とレンジ (右) のトランセクト (Transects)

ここで種々のアルゴリズムの性能比較がわかる。コヒーレンスのみとコヒーレンス/位相法との差は容積内の葉冠占有量を推定するのに利用できることに注意しよう。この場合、2つの推定量が類似しており、推定した葉冠量は100%で。葉冠成分が地表から頂点まで分布しているシミュレーションの場合である。

## 8.7 偏波の選択

前節の解析では2つの偏波チャンネル、HVを容積主導のチャンネルをHV,HH-VVを表面主導のチャンネルとして用いた。

実際には他のオプションもある。例えば、映像化レーダを、送信を単一偏波で行い、受信を2つの直交チャンネルで受信するデュアル偏波で動作するのが広く行い、交叉偏波と平行偏波の測定を可能ならしめる。JAXAのALOS-PALSARでは、Hを送信し、HとVを受信してHHとHVの2偏波を得ている。組み合わせが制約されている場合に高さもとめる性能がどう変わるかを見ることは興味あることである。テストデータセットはこの点を検討するのに利用できる。

HVは容積主勢のチャンネルとして利用できるが、表面主勢チャンネルとしてここではHHのみがHH-VVの替わりに利用される。

ステップ8.1からの全ステップを開始して、得られた新しい結果についてコメントする。

## 9 コヒーレンスLOCIへの汎用化

偏波特性利用の可能性を探るには、全ての偏波ベクトル $\underline{w}$ についての単位円にあるコヒーレント領域の境界を計算する必要がある。

一般に **we can allow** ベースライン (式 16) のいずれの端にある異なった $\underline{w}$ ベクトル-vectors at either end of the baseline (equation 16) but to simplify the analysis we follow the suggestion in equations 19 and 20 of the POLinSAR トレーニング・コースの式19と20で示唆されていることにTraining Course lecture note, to use the same polarisation at either end of the baseline. The boundary of the region can then be found using equation 20.

位相の各値（単位円を回転されることと同等）について、以下のPOLinSARのトレーニング・コース講義ノートの式(40)の下に示したような行列積の固有値の最大・最小が得られる。これらの固有値に対応する固有ベクトルを見つけ、これらのベクトルを $\underline{w}$ ベクトルとして利用できるコヒーレンス20算定し単位円の内側に複素コヒーレンスをプロットすることができる。この計算を全ての $\phi$ について繰り返し、コヒーレンス領域の形と境界が得られる。

すると、‘標準となる’偏波が境界内のどこにあるかがわかり、反転を改善するための適合手法の利用の可能性を評価できる。

To launch the 特定の複素平面表示のツール : complex plane display tooを発信するにはメイのPolSARpro v3.0 - POLinSAR ウィジェット (図4) から :

:

**Process → S2 → Coherences Analysis → Coherence Region – Optimum Triplet**

をクリックすると、

コヒーレンス Loci—複素平面 : Coherences Loci - Complex Planeウィジェットが表示される。(図32)

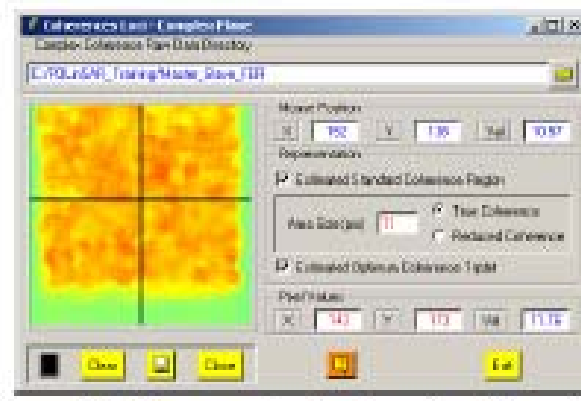


図 32 : コヒーレンスLoci—複素平面 ウィジェット

テストデータセットを利用してこのこの策を例示した。コヒーレンス領域は図19の単位円の内側にプロットされているので、画素ベースの解析であり、解析のために画素を選択しなければならない。図33は葉冠領域内の画素の位置の代表的な例を示した。

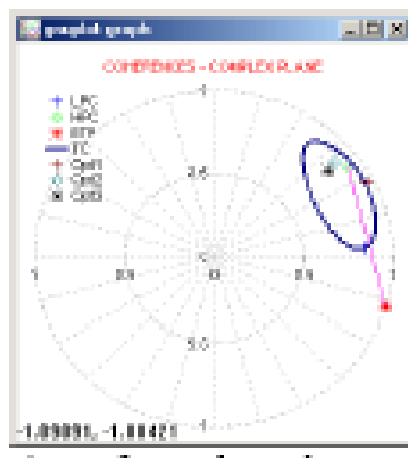


図 33 : 単位円ないの複素コヒーレンス領域の極座標表示

ここでは、領域の境界をクロで (TC = 真のコヒーレンス)である。ブルーはHVコヒーレンス (LPC : Low Phase Centre : 位相の低いセンター) を、グリーンで HH-VV コヒーレンス (HPC : High Phase Center高い位相センター)を高さ解析で利用している。

赤色でHVコヒーレンスとメディアン・フィルターをかけた地形位相点も間のラインを示す。(ETP = 推定地形位相 : Estimated Topographic Phase). このラインが0における真の位相点に近いところにあることが分かる。 .

3点、Opt1, Opt2 とOpt3 は3つの最適複素コヒーレンスを表している。 .