

データディメンション変化に対応可能な

PALSAR 画像再生処理プロセッサの開発

○工藤翔平*, 齊藤玄敏**

Development of a PALSAR image reproduction processor capable of responding to a change in data dimension.

Shohei KUDO* and Hiroyuki SAITO**

There are JERS-1, PALSAR and PALSAR-2 in synthetic aperture radar (SAR) developed by Japan. When using SAR data, complicated image reproduction processing and enormous data processing are required using a computer. Since the existing SAR processing softwares are expensive and the contents of the code are unknown, it is not suitable for research and learning. Our laboratory has developed a processor for JERS-1 that overcomes the above problems, but we could not deal with other than JERS-1. Therefore, we have been working on the development of a more versatile processor using PALSAR data accompanying the data dimension change due to off-nadir angle. As a result, we successfully developed a PALSAR image reproduction processor capable of responding to a change in data dimension.

Key Words. PALSAR, multi-dimension, image reproduction processor

1 緒言

合成開口レーダ（以下 SAR とする）はマイクロ波を観測手段として用いているため天候や昼夜を問わず観測が可能である。日本が開発した SAR には、JERS-1, PALSAR, PALSAR-2 がある。これらのデータを利用するためには複雑な画像再生処理操作や計算機を使用した膨大なデータ処理が必要である。そのため、専用のプログラムや SAR 画像再生処理ソフトウェアが市販されているが、いずれも非常に高価であるため SAR データ利用拡大の障害となっている。また、ソフトウェアは実行形式であるため、処理過程の不鮮明さから研究や学習に不向きである。

当研究室ではプログラミング言語 IDL を用いて上記の問題点を克服した JERS-1 用の画像再生処理プロセッサを開発している。しかし、オフナディア角によってデータディメンションが変化する PALSAR や PALSAR-2 には対応できない。汎用的なプロセッサとするためにはデータディメンションの変化

に対応できることが必要である。また、当研究室の JERS-1 用の画像再生プロセッサは 6144×19904[pixels]のデータから 4096×8192[pixels]の大きさに切り出して再生処理を行うもので、画像全体を表示するものではない。

本研究では、プログラミング言語 IDL を用いて処理過程が明確である JERS-1 用のプロセッサの良い点を引き継ぎつつ、データディメンション変化に対応可能で、画像全体を表示できる PALSAR 画像再生処理プロセッサの開発を行った。

2 使用した PALSAR データの諸元

本研究で使用した PALSAR データは一般財団法人リモートセンシング技術センター (RESTEC) より入手したものである。観測日は 2007 年 2 月 3 日、モードは高分解能モード、シーン ID は ALPSRP054770800、オフナディア角は 34.3°、処理レベルは 1.0 である。Fig.1 に処理レベル 1.0 (生データ) を示す。

3 データ処理の流れ

本研究は、まずデータディメンションの決定を含めた PALSAR の画像再生処理を行い、処理レベル 1.1 データを得る。その後、スラントレンジ上のデータからグラウンドレンジ上の

* 弘前大学理工学研究科 青森県弘前市文京町 3 番地

** 弘前大学理工学研究科 青森県弘前市文京町 3 番地

(E-mail: saitoh@hirosaki-u.ac.jp)

* Faculty of Science and Technology, University of Hirosaki, Bunkyo-tyo 3, Aomori

** Faculty of Science and Technology, University of Hirosaki, Bunkyo-tyo 3, Aomori

データに変換する。この結果を本研究で開発したプロセッサの出力データとし、RESTEC によって処理された処理レベル 1.5 データと比較する。

画像再生処理は、PALSAR の生データ読み込み、AGC 補正と I/Q バイアス補正からなる生データ補正、レンジ圧縮処理、レンジスキュー補正とレンジカーバチャ補正からなるレンジマイグレーション補正、アジマス圧縮処理の順で行われ、最終的に処理レベル 1.1 データを得るという流れである。

3.1 データディメンションの決定

初めに、オフナディア角によるデータディメンションの決定を行う。データディメンションは、フォーマット説明書からレンジ方向のデータ長のみ既知であるため¹⁾、オフナディア角の値によって取り得るレンジ方向の大きさをあらかじめ与えておくことが出来る。したがって、リーダファイルからオフナディア角を読み取り、生データ全体の大きさをその角度に対応したレンジ方向の大きさで除算することでアジマス方向の大きさを求める。以上の流れでデータディメンションの決定を行う。

3.2 生データ補正

生データ補正は、SAR データを処理する際の前処理で、再生画像の画質を確保するために必要なものである²⁾。

読み込んだ生データに対して AGC 補正、I/Q バイアス補正の順に生データ補正を行った。AGC 補正では SAR 生データのヘッダー部分に保存されている AGC テレメトリデータを使用する。テレメトリデータは dB 単位で保存されているため、式(1)で倍率へ変換し、生データのアジマスラインに乗算した。

$$Gain = 10^{-AGC/20} \quad (1)$$

ここに、Gain は倍率、AGC は利得 [dB] である。

I/Q バイアス補正では、生データの平均値を求めてオフセット値を決定し、生データから差し引き、波形の同相 (In-phase) 成分と直交 (Quadrature) 成分の標準偏差を比較し両者が等しくなるよう利得の正規化を行った。Fig.2 に生データ補正後のデータを示す。

3.3 レンジ圧縮処理

3.1 節で生データ補正を行ったものに対してレンジ圧縮処理を行った。レンジ圧縮処理は、まず式(2)で与えられるレンジ参照関数を求める。

$$S_{ref} = \exp[-2\pi(K\tau^2/2)] \quad (2)$$

$$K = B/T_p \quad (3)$$

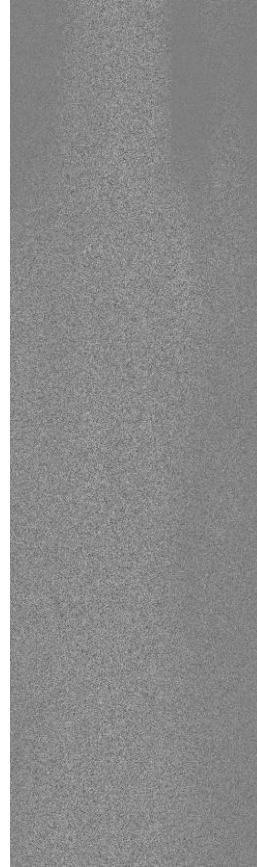


Fig.1 rawdata

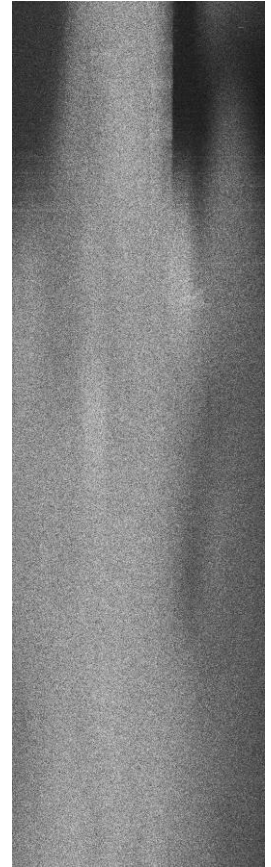


Fig.2 After rawdata correction

ここに、 S_{ref} はレンジ参照関数、 K はチャープ率 [HZ/sec]、 B はバンド幅 [Hz]、 T_p はパルス幅 [sec]、 τ はレンジ方向の時間 [sec] である。

レンジ参照関数決定後、受信信号と参照関数に高速フーリエ変換 (以下、FFT とする) を行い、周波数領域で乗算する (相関処理)。このとき、窓関数を適用しサイドローブを減少させる必要がある。使用した窓関数は式(4)で定義される Kaiser 窓関数である。

$$W_{kai} = \frac{I_0(\alpha\sqrt{1-2n/(N-1)^2})}{I_0(\alpha)} \quad (4)$$

ここに、 W_{kai} は Kaiser 窓関数、 α は窓の形を決める定数、 N は窓の長さ、 I_0 は 0 次の第 1 種変形ベッセル関数である。

最後に逆高速フーリエ変換 (以下、IFFT とする) を相関処理後のデータに対して行い、処理が完了する。本研究では、処理速度の関係上 FFT を用いたレンジ圧縮処理ではなく、IDL の組み込み関数である CONVOL を用いて時間領域で畳み込み計算を行った。IDL のヘルプより CONVOL は式(5)で計算を行っている。

$$result = \begin{cases} \frac{1}{S} \sum_{i=0}^{k-1} A_{t+i-k/2} K_i & \text{if } \frac{k}{2} \leq t \leq n - \frac{k}{2} - 1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

ここに、*result* は出力結果、*S* はスケール係数、*A* は *n* 要素のベクトル、*K* は *k* 要素のベクトル、*n*, *k* はベクトルの要素数 ($k \leq n$) である。CONVOL を用いたレンジ圧縮処理では、式(5)の *A* が画像データ、*K* が参照関数にあたる。Fig.3 にレンジ圧縮処理後の画像を Fig.4 に赤枠の拡大図を示す。

3.4 レンジマイグレーション補正

3.4.1 ドップラーパラメータの推定

レンジマイグレーション補正を行うには、ドップラー中心周波数とドップラー周波数変化率をあらかじめ求めておく必要がある。これらはドップラーパラメータと呼ばれ、画像の画質を決める重要な値である。

ドップラーパラメータを求める方法は2つの方法がある。1つ目がリーダファイルに保存されている衛星速度や衛星位置等の軌道情報を基に算出するものである。2つ目はレンジ圧縮後のデータを用いて推定値を算出する方法である。一般的に、ドップラー中心周波数はレンジ圧縮後のデータを用いて推定する方法を、ドップラー周波数変化率は軌道情報から算出する方法を取る。これは、他方と比べて高精度に算出できるためである。

ドップラー中心周波数の推定方法にはいくつかの方法がある²⁾が、本研究では不安定ではあるが比較的簡単にドップラー中心周波数を推定できる³⁾Delta E法を用いる。Delta E法はまずレンジ圧縮後のデータのパワースペクトルを求め、レンジとアジマスの両方向に平滑化を行いノイズの除去を行う。その後、ある周波数 f_p を設定し、その高域側と低域側に同じバンド幅 $B/2$ の領域を作る。そしてその領域のエネルギーを求める。ただし、領域のエネルギーとは高域側は f_p から $+B/2$ の位置の周波数 f_h までの積分値、低域側は f_p から $-B/2$ の位置の周波数 f_l までの積分値を示している。高域側のエネルギーを E_1 、低域側のエネルギーを E_2 とするとエネルギー差 ΔE は式(6)で表される。

$$\Delta E = \frac{E_1 - E_2}{E_1 + E_2} \quad (6)$$

この式を使用して、 ΔE と f_p の関数を作成する。この関数は $\Delta E = 0$ の近傍では線形となり、 $\Delta E = 0$ となる時の f_p が求めるべきドップラー中心周波数となる²⁾。また、ドップラー周波数変化率は式(7)で表される。

$$f_r = -\frac{2V^2}{\lambda R_e} \quad (7)$$

ここに、 f_r はドップラー周波数変化率[Hz/sec]、 λ はレーダ波長[m]、 V は衛星速度[m/sec]、 R_e はスラントレンジ距離[m]である。

Fig.6にDeltaE法によるドップラー中心周波数の推定の様子を、Fig.7にドップラー中心周波数の推定結果（全レンジ使

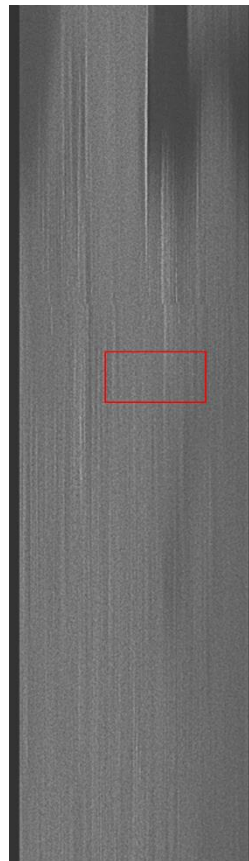


Fig.3 After range compression

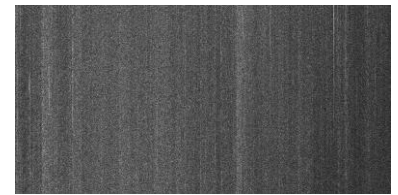


Fig.4 Enlarged view of image after range compression

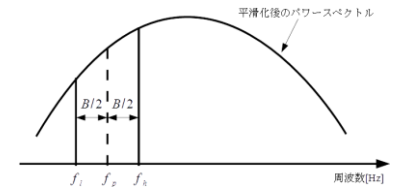


Fig.5 Conceptual diagram of Delta E method

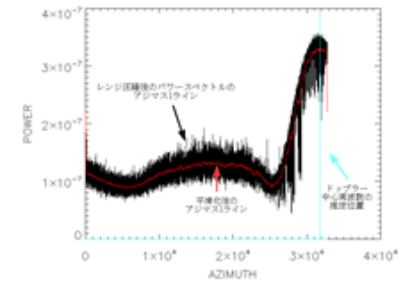


Fig.6 An example of estimation of Doppler center frequency by Delta E method

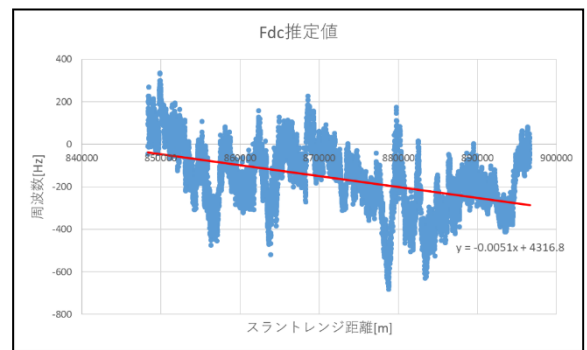


Fig.7 Estimation result of Doppler center frequency for full range

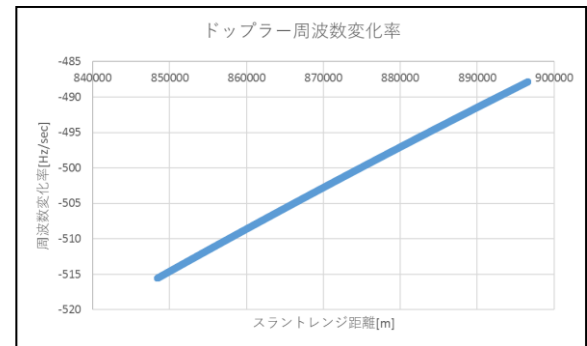


Fig.8 Calculation result of Doppler frequency rate for full range

用), Fig.8 にドップラー周波数変化率の算出結果(全レンジ使用)を示す. なお, Fig.7 中の赤線は回帰直線であり, その式は $f_{dc} = -0.0051x + 4316.8$ (ただし, $848365 \leq x \leq 896627$) であった. また, 得られたドップラー周波数変化率は, 最大値が $-487.834[\text{Hz}/\text{sec}]$, 最小値が $-515.586[\text{Hz}/\text{sec}]$ であった.

3.4.2 レンジマイグレーション補正

プラットフォームがアジマス方向へ進むにつれて, アンテナと点散乱体の距離であるスラントレンジ距離も変化していく. また, 地球の自転やアンテナのポインティング方向(スクイント方向)によっても変化する. これらのスラントレンジ距離の変化をレンジマイグレーション(range migration)という⁴⁾. 合成開口レーダでは, アジマス圧縮処理を行う前にレンジマイグレーションのために2次関数的な曲線となっている点散乱体の信号のスラントレンジ距離を, 同一のスラントレンジ距離の直線に並び替えて補正する. この補正をレンジマイグレーション補正という. あるアジマス時刻 t におけるスラントレンジ距離 $r(t)$ を式(8)で表す.

$$\{r(t)\}^2 = (R_c + v_E t)^2 + (Vt)^2 \quad (8)$$

ここに, $r(t)$ はスラントレンジ距離[m], R_c はアンテナが点散乱体の真横にきた時のスラントレンジ距離[m], v_E は地球の自転に依存する散乱体のスラントレンジ速度[m/sec], t はアジマス方向の時間[sec], V はプラットフォーム速度[m/sec]である.

散乱体がレーダによって照射されている時間を T_0 とすると, $R_c + v_E t = VT_0$ の条件下で, 式(8)は式(9)のように近似できる.

$$\begin{aligned} r(t) &= \sqrt{(R_c + v_E t)^2 + (Vt)^2} \\ &\cong R_c + v_E t + \frac{(Vt)^2}{2(R_c + v_E t)} \end{aligned} \quad (9)$$

また, $R_c \gg v_E T_0$ の条件下で, 式(9)は式(10)のように表すことが出来る.

$$r(t) = R_c - \frac{\lambda}{2} f_{dc} t - \frac{\lambda \beta}{4\pi} t^2 \quad (10)$$

$$T_A = \frac{\lambda R_c}{2V^2} B_D \quad (11)$$

ここに, λ はレーダ波長[m], $f_{dc} = -2v_E/\lambda$ はドップラー中心周波数[Hz], $\beta/\pi = -2V^2/\lambda R_c$ はチャープ率(ドップラー周波数変化率)[Hz/sec], T_A は開口合成時間[sec], B_D は実行ドップラーバンド幅である.

レンジマイグレーション補正では, まず時間領域で1次の時間項に依存するレンジスキューを補正し, その後, 周波数領域で時間の2次項に依存するレンジカーバチャを補正する.

Fig.9 はレンジスキュー補正, Fig.10 はレンジカーバチャ補正の概要を表している. また, レンジスキュー後のデータを

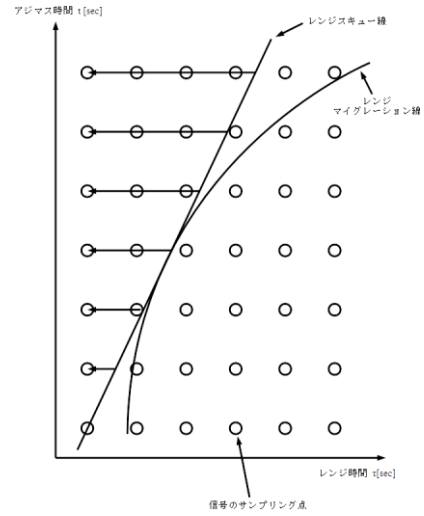


Fig.9 range skew correction⁴⁾

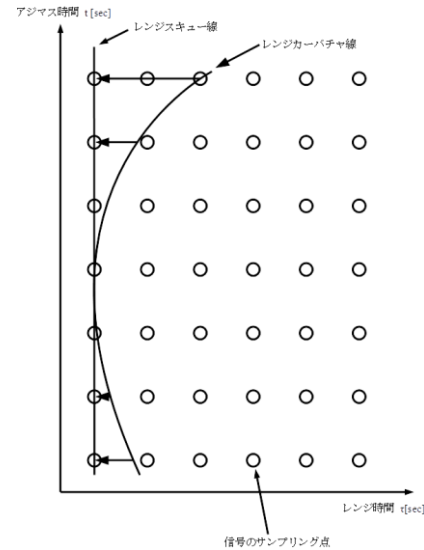


Fig.10 range curvature correction⁴⁾

Fig.11 に, レンジカーバチャ補正後のデータを Fig.12 に示す.

3.5 アジマス圧縮処理

アジマス圧縮処理は, レンジマイグレーション補正を行ったデータに対してレンジ圧縮処理と同様の流れで行われる. ただし, アジマス参照関数は式(12)で定義される.

$$\begin{aligned} S_{ref}(R, t) \\ = \exp \left[-2\pi i \left\{ f_{dc}(R)t + \frac{1}{2} f_r(R)t^2 \right\} \right] \end{aligned} \quad (12)$$

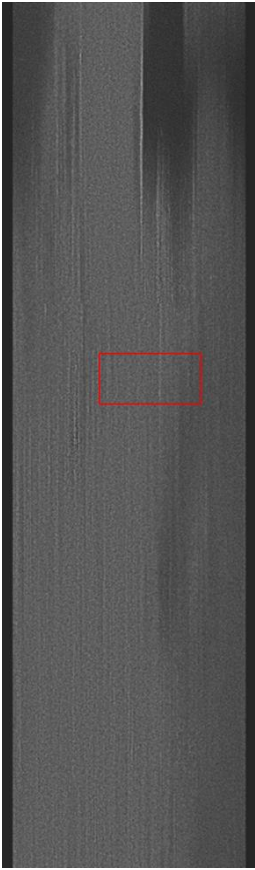


Fig.11 After range skew correction

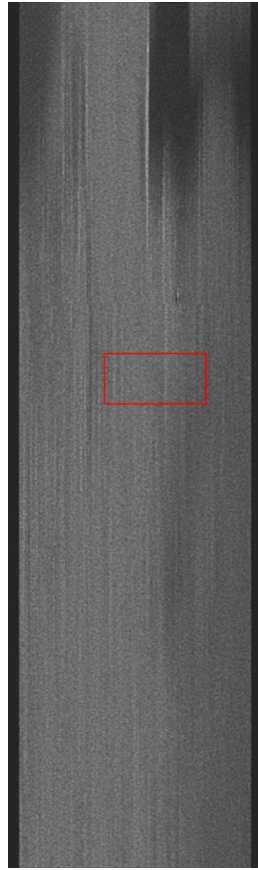


Fig.12 After range curvature correction

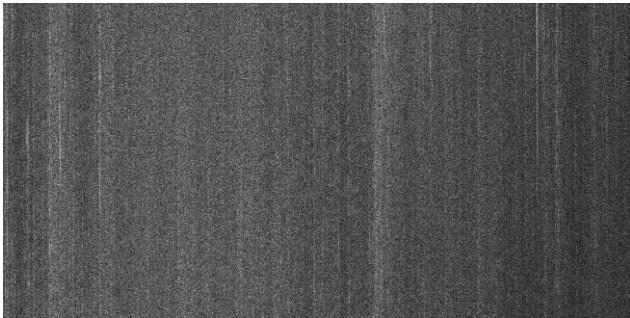


Fig.13 Enlarged view of image after range skew correction



Fig.14 Enlarged view of image after range curvature correction



Fig.15 After azimuth compression

ここに、 S_{ref} はアジマス参照関数、 R はスラントレンジ距離[m]、 t はアジマス方向の時間[sec]、 f_{dc} はドップラー中心周波数[Hz]、 f_r はドップラー周波数変化率[Hz/sec]である。

アジマス圧縮処理に関してもレンジ圧縮処理と同様にIDLの組み込み関数CONVOLを用いて、画像データと参照関数の畳み込みを時間領域で計算した。アジマス圧縮処理の結果をFig.15に示す。

3.6 グラントレンジへの変換

画像の再生はスラントレンジ上で行っているため、画像上の長さや地上の長さが一致しない。Fig.16にその関係を示す。画像上の長さや地上の長さを一致させるために式(13)を用いてグラントレンジ上の画像に変換する。

$$R = Y \sin \theta_i \quad (13)$$

ここに、 R はスラントレンジ距離[m]、 Y はグラントレンジ距離[m]、 θ_i は入射角[rad]である。

グラントレンジへの変換を行い、上下左右の無効領域の除去を行った後5700×4700[pixels]の大きさにリサイズした画像をFig.17に、RESTECから入手した処理レベル1.5データをFig.18に示す。両者を比較すると、我々の画像はRESTECの

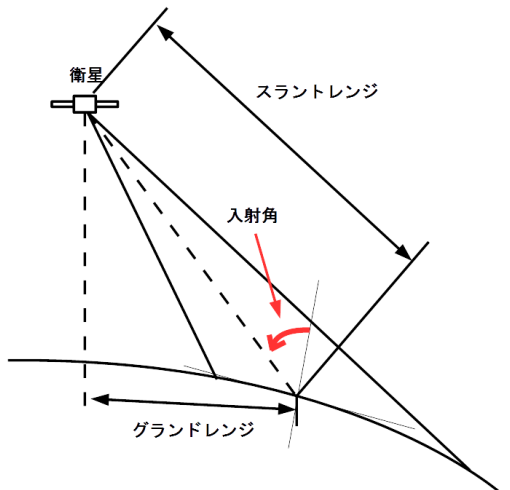


Fig.16 Relation between slant range, ground range and incident angle

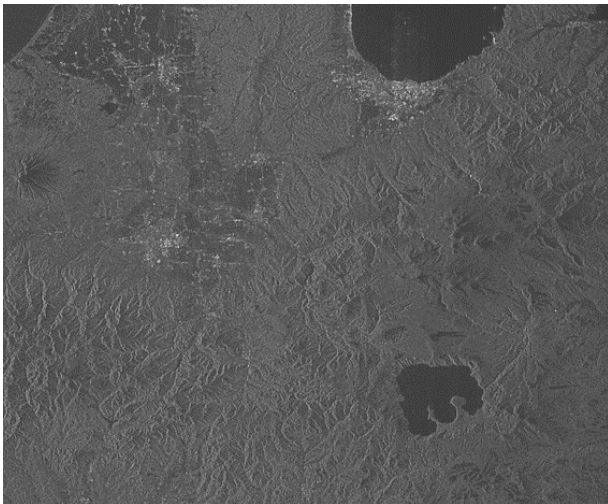


Fig.17 After conversion to the ground range

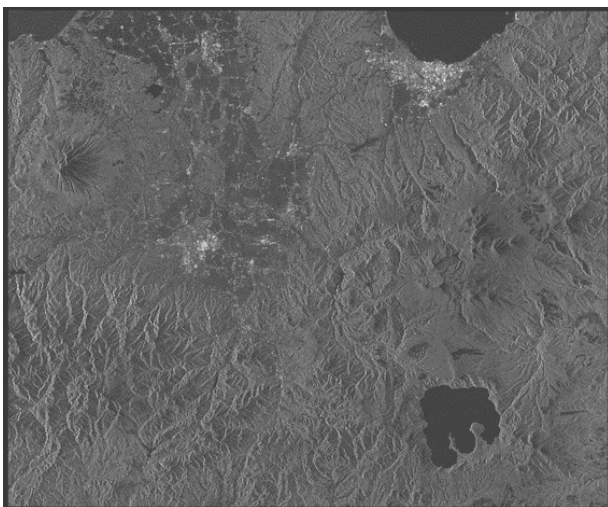


Fig.18 Image at processing level 1.5 (Provided by RESTEC)

画像に対して、左右に多少伸びていること、また、上下に大きく縮んでいることがわかる。これは1画素あたりのレンジ方向長さのアジマス方向長さを補正していないことにより生じたものである。この他、処理レベル1.5の画像再生プロセスにあるマルチルック処理が関係している可能性も考えられる。

3.7 結言

本研究では、オフナディア角によるデータディメンションの変化に対応した PALSAR 画像再生処理プロセッサの開発を行った。本プロセッサはイメージファイルとリーダーファイルのファイル名を与えることで、自動でオフナディア角からデータディメンションを求め、画像再生処理を行うものとなっている。3.2 節では画像再生処理を行う前の前処理として生データ補正を行った。補正を行うことで、陸地と海の判別は可能なものとなった。3.3 節ではレンジ圧縮処理を行った。その結果、レンジ方向へ圧縮され、散乱の大きい部分が白い線となって現れていることを確認した。3.4.1 節ではドップラーパラメータの推定を行い、続くレンジマイグレーション補正、アジマス圧縮処理で必要となるパラメータの算出を行った。3.4 節ではレンジマイグレーション補正を行い、レンジ圧縮処理後では斜めになっていた白い線を直線へと補正した。3.5 節ではアジマス圧縮処理を行い、画像が再生されていることを確認した。3.6 節ではスラントレンジからグラウンドレンジへの変換を行った。その結果、多少左右に伸びていること、大きく上下に縮んでいることが判明した。これは処理レベル1.5の画像再生プロセスにあるマルチルック処理が関係しているものとする。今後の展望として簡易的に行った処理レベル1.5への変換をより正確に行うこと、また、処理レベル4.1などのより高次の画像再生処理を行い、InSAR 処理を用いた実用的なプロセッサへの改良が挙げられる。

参考文献

- 1) 宇宙航空研究開発機構 地球観測研究センター、ALOS 処理プロダクトフォーマット説明書 PALSAR.
- 2) (財) 資源・環境観測解析センター：ERSDAC PALSAR プロダクト SAR アルゴリズム解説書.
- 3) Ian G. Cumming, Frank Hay-Chee Wong : digital processing of SYNTHETIC APERTURE RADAR DATA, Artech House, 2004.
- 4) 大内和夫著：リモートセンシングのための合成開口レーダの基礎、電気大出版、2004.