

人工衛星 ALOS 搭載 AVNIRII と PRISM を用いた 高分解能カラー画像の生成

社会システム工学科 高木研究室
1080362 小島 光博

表 3.1 PRISM(直下視) 画像の仕様

画像サイズ	14655 × 14000 ピクセル
空間分解能	2.5m
量子化ビット数	8

1 背景

パンクロマティックの高分解能衛星画像とカラーの低分解能衛星画像から合成を行って生成される高分解能カラー画像をパンシャープン画像という。パンシャープン画像生成手法は主に HSI 変換^[1]、YCC 変換が用いられている。しかし、パンシャープン画像を生成するには、同時観測の画像が適している。異なる時期における画像のパンシャープン化は、上述の変換では位置ズレの問題から不可能な場合もある。人工衛星 ALOS は定期的に観測を行っているが、同時観測が行われることは少ない。同時観測が行われても雲量の多いものがほとんどであり、異なる時期の同一シーンの画像で処理をせざるを得ないのが現状である。

表 3.2 AVNIRII 画像の仕様

ポインティング角	-34.3°
画像サイズ	7585 × 4667 ピクセル
空間分解能	10m
量子化ビット数	8
バンド	3(R、G、B)

2 目的

本研究の目的は、異なる時期の同一シーンの画像から同時観測同等の品質でパンシャープン画像を生成することである。異なる時期の画像から生成したパンシャープン画像の品質検証には、同時観測されている IKONOS 衛星のパンシャープン画像を使用する。

表 3.3 四国 50m メッシュ標高データの仕様

座標系	平面直角座標系 第 4 系
開始 x, y	-140921.147m, -36579.858m
データサイズ	4060 × 3215 ピクセル
空間分解能	69.309m

3 使用データ

1. PRISM センサから取得した画像の仕様 (表 3.1)
2. AVNIRII センサから取得した画像の仕様 (表 3.2)
ポインティング角とは主に、撮影が困難な軌道上に衛星が位置する場合に、衛星進行方向に直交する方向に変更した際に発生する角度である。
3. 四国 50m メッシュ標高データの仕様 (表 3.3)
4. GPS 受信機により取得した地上基準点 (図 3.1)
合計 52 点
5. IKONOS パンシャープン画像の仕様 (表 3.4)



図 3.1 地上基準点取得場所一覧

表 3.4 IKONOS 画像の仕様

画像サイズ	11866 × 12311 ピクセル
空間分解能	1m
量子化ビット数	11
バンド	3(R、G、B)

4 研究のフロー

本研究は大きく幾何補正、分解能統一、画像の合成の 3 ステップからなる。

1. 幾何補正：入手した衛星画像は、幾何学的変形が生じている。合成を行うためには合成を行う両画像間の幾何学的変形が小さい必要がある。従って、両画像が同一座標系になるように補正し、合成を行える程度の精度を目指す。
2. 分解能統一：両画像の空間分解能はそれぞれ 2.5m 分解能 (表 3.1) と 10m 分解能 (表 3.2) であり、本研究では 2.5m 分解能のカラー画像を作成することが目的である。従って、10m 分解能の AVNIRII 画像を 2.5m になるように統一させる。
3. 画像の合成：両画像において、従来から用いられている手法と、今回考案した離散コサイン変換を用いる手法で合成を行い、合成画像の品質を検討する。

5 幾何補正

5.1 幾何補正手法

幾何学的変形の補正は、地上座標系に両画像とも統一することで行う。その際の幾何変換には、式 5.1 の三次元射影変換^[2]を用いた。 $a_1 \sim a_{11}$ の未知数の算出は、目視で取得した画像座標とそれに対応する地上基準点 (図 3.1) を使用して最小二乗法により導出した。標高データは表 3.3 のものを使用した。

$$\begin{cases} u = \frac{a_1x + a_2y + a_3z + a_4}{a_9x + a_{10}y + a_{11}z + 1} \\ v = \frac{a_5x + a_6y + a_7z + a_8}{a_9x + a_{10}y + a_{11}z + 1} \end{cases} \quad (5.1)$$

5.2 幾何補正精度の検証と評価

幾何補正での平均二乗誤差を、表 5.1 に、PRISM 画像と AVNIRII 画像の幾何補正の残差を図 5.1、図 5.2 に矢印で示す。図で示されている 1.25m 幅は矢印の大きさに対応する。PRISM 画像は、すべて 2.5m 以内の残差であるが、AVNIRII 画像は、残差が 2.5m 以上になっている点もあるため、合成のための十分な精度がすべて確保されているとは言えない。AVNIRII センサのポインティング

角が -34.3° と大きく、高低差の激しい場所では位置誤差が部分的に大きくなり、三次元射影変換で精度を確保することは困難であると考えられる。よって、ポインティング角の小さい画像であれば更なる精度を確保出来ると考えられる。もともと、AVNIRII 画像の分解能 10m を考慮すると、残差 2.5m の精度は、非常に高いもので、限界に近いと見られる。従って、この状況で画像の合成を試みる。

表 5.1 平均二乗誤差 (単位:m)

	u	v
PRISM 画像	0.177	0.165
AVNIRII	0.965	1.166

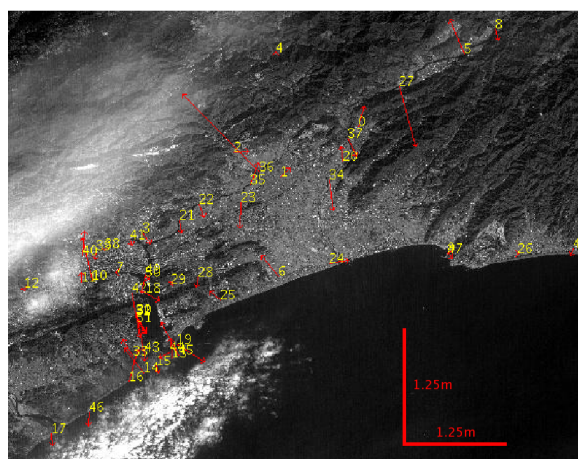


図 5.1 幾何補正後の PRISM 画像の残差

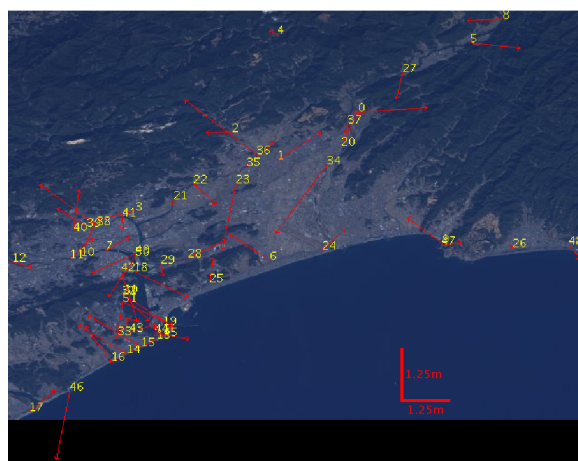


図 5.2 幾何補正後の AVNIRII 画像の残差

6 分解能統一

AVNIRII 画像の 10m 分解能を 2.5m 分解能にするために、再近隣法^[2]を用いて、縦横のサイズをそれぞれ 4 倍に

した。再近隣法とは、図 6.1 のように、各ピクセルの値を変えずに配置する方法である。図 6.2 は、PRISM の原画像（場所は高知工科大学周辺）、図 6.3 は分解能を PRISM 画像の 2.5m に統一させた AVNIRII の画像である。

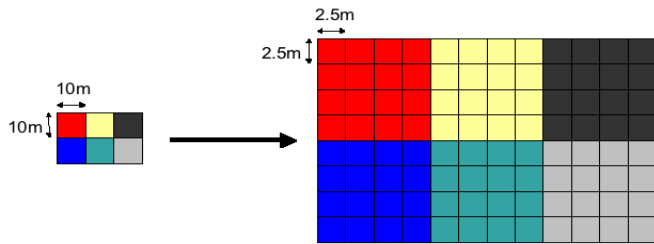


図 6.1 再近隣法を用いた分解能の補正

$$\begin{cases} Y &= 0.299R + 0.587G + 0.114B \\ C_1 &= R - Y \\ C_2 &= B - Y \end{cases} \quad (7.2)$$

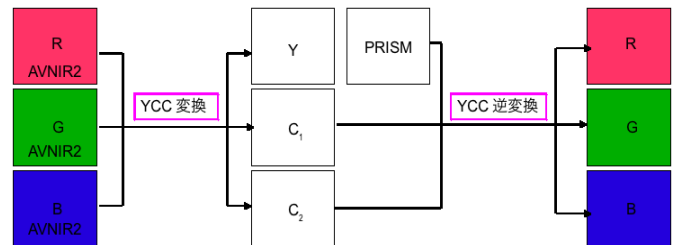


図 7.1 YCC 変換法の概念図



図 6.2 PRISM の原画像 図 6.3 AVNIRII 分解能 2.5m

7 画像の合成

画像の合成には、従来から用いられている YCC 変換と、今回考案する離散コサイン変換を用いる。

7.1 YCC 変換法

カラーの衛星画像は通常 RGB 画像を基に生成されている。RGB 座標系はそれぞれ、R、G、B の値を座標とする座標系である。一方、YCC 座標系はそれぞれ、輝度 (Y)、青み成分 (C_1)、赤み成分 (C_2) の値を座標とする座標系である。その式は式 7.1、7.2 で表される^[3]。本手法では、図 7.1 のように YCC 変換、逆変換を実行する。分解能の高い PRISM 画像の輝度を Y とし、AVNIRII 画像を YCC 変換して得た C_1 と C_2 を利用して、YCC 逆変換を実行し RGB を生成する。AVNIRII 画像より分解能の高い PRISM 画像の輝度を当てはめることで、AVNIRII 画像を高分解能カラーにできるとされている。

$$\begin{cases} R &= Y + C_1 \\ G &= Y - \frac{0.2999C_1 + 0.114C_2}{0.587} \\ B &= Y + C_2 \end{cases} \quad (7.1)$$

7.2 離散コサイン変換法

離散コサイン変換^[4]とはコサイン変換の一種である。ここでの離散とは、不連続データを意味し、音や水面に起きる波紋は連続であるが、デジタル画像は、画素間が不連続である。コサイン変換とは、形の変化、色の変化などあらゆる変化を関数で表すとき、1,2,3,4... 周期の余弦関数で表し、その、おのこの周期のときの振幅の値を合成して表すことをいう。また、周期と振幅のデータから変化を表す関数に戻すことをコサイン逆変換と呼ぶ。以後、離散コサイン変換のことを DCT (Discrete Cosine Transform)、逆変換を IDCT (Inverse DCT) と呼称する。DCT により、低周波数成分 (周期の長い成分) と高周波数成分 (周期の短い成分) の振幅値を得ることが出来る。この性質を利用し、低周波数成分に変化の少ない AVNIRII 画像の振幅値を、高周波数成分に変化の多い PRISM 画像の振幅値を配置する。そのことにより PRISM 画像の分解能を有するカラー画像が出来るのではないかと考えた。図 7.2 にその概念図を示す。尚、振幅の二次元化は左上を低周波数成分、右下を高周波数成分となるようにした。DCT は、512 × 512 画素の領域ごとに、AVNIRII 画像、PRISM 画像の両方に実行する。低周波数成分を、AVNIRII 画像の左上から 40 × 40 の振幅と定義し、高周波数成分を、PRISM 画像の左上から 40 × 40 以外の振幅と定義する。上記で定義した高周波数成分と低周波数成分を合わせ、逆変換を実行する。そのことにより、PRISM 画像の高周波数成分と AVNIRII 画像の低周波数成分が合成された画像になる。一枚の画像全体に、512 × 512 画素のブロック単位で走査をするため、隣り合う 512 × 512 画素の領域で大きく輝度が異なるという現象 (ブロックノイズ) が起こる。それを低減させるため DCT を実行する 512 × 512 画素の領域を 64 画素間隔で走査し、中心部分の 64 × 64 画素を抽出して使用することにした。上記の 512 × 512 画素の領域、40 × 40 画素の周波数成分の採用、64 画素間隔で走査する理由は、処理時間、目視による合成画像のシャープ化具合の兼ね合いから決定した。

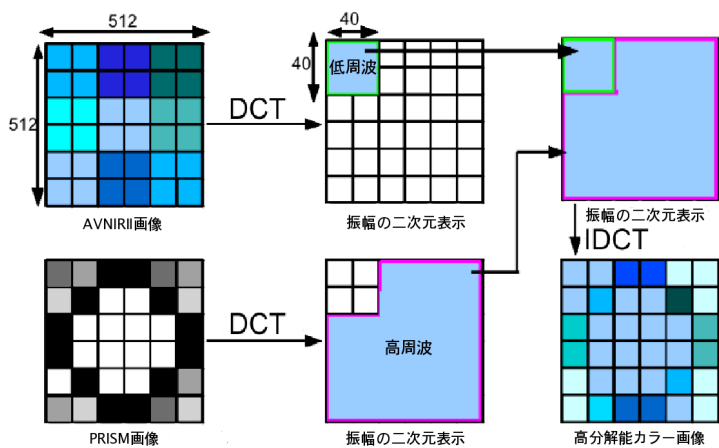


図 7.2 512 × 512 の離散コサイン変換法の概念図

YCC 変換で合成後の画像に見られるノイズが存在しないことがある。

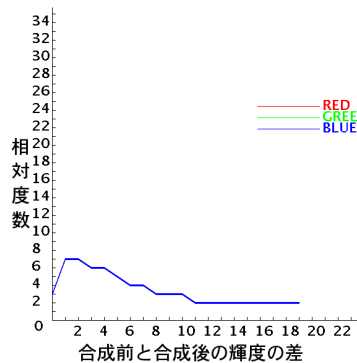


図 8.3 YCC 変換法

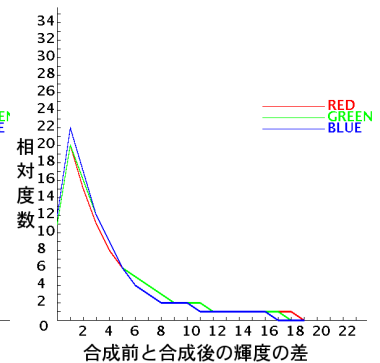


図 8.4 DCT 変換法

8 結果及び評価

8.1 画像の合成結果

図 8.1 に YCC 変換法、図 8.2 に DCT 変換法での合成結果を示した。原画像である図 6.2、図 6.3 と比較すると、いずれの手法でも高分解能化を達成出来たとと言える。

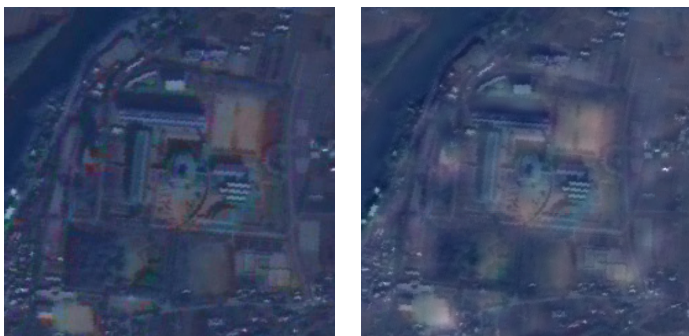


図 8.1 YCC 変換法で合成 図 8.2 DCT 変換法で合成

8.2 評価

図 8.3、8.4 に、合成前と合成後の輝度の差のヒストグラムを示す。

YCC 変換法による合成は 1 画素対 1 画素対応で処理をしているため、幾何補正のズレが大きく生じている部分は明快なノイズとなる。しかし、DCT 変換法では周波数変換を行って振幅を置換するため、高周波数成分を使用する PRISM 画像の形に影響を受け、ノイズになりにくくなる。一方、振幅の置換により生じる色歪みによるノイズ、平滑化が発生する。

AVNIRII 画像には撮影時のノイズが多数存在するが、DCT 変換法では高周波数成分を使用しないため結果的に高周波数成分のノイズが除去されることがある。従って、

9 結論

別途 IKONOS 衛星画像によるシミュレーション結果も作成したが、同時期に撮影された画像同士で合成する場合は YCC 変換法、DCT 変換法のどちらを用いても同等の結果を得られた。DCT 変換法で生じる歪みによるノイズのことを考慮すると、同時期の画像からパンシャープン画像を生成する際は YCC 変換法が有用であると考えられる。一方、異なる時期の画像からパンシャープン画像を生成する際は DCT 変換法を用いることが有用であると考えられる。今回の DCT 変換法では、振幅を置換するサイズを 40 × 40 画素にしたが、このサイズを厳密に変更すると更に良い結果が得られると考える。

最近、ポインティング角が 0° で、比較的雲量の少ない AVNIRII 画像が撮影された。その画像を使用すれば幾何補正の精度が向上し、品質の高い画像合成が可能になると考えられる。

参考文献

- [1] EORC 地球が見える-[つくば] のパンシャープン画像
<http://www.eorc.jaxa.jp/imgdata/topics/2006/tp060509.html> (2008/2/8 取得)
- [2] 高木幹雄、下田陽久 (1997)、画像解析ハンドブック pp425-429, pp441-443 東京大学出版会
- [3] ISP imaging-developers - 色変換式集 - YC1C2
http://image-d.isp.jp/commentary/color_cformula/YC1C2.html (2008/2/8 取得)
- [4] Discrete Cosine Transform
<http://www.bretl.com/mpeghtml/DCxfrm.HTM> (2008/2/8 取得)