

主成分分析と規準バリマックス回転を統合した
リモートセンシング画像の色合成

Color Composite of Satellite Remotely Sensed Image

Integrating Principal Component Analysis and Normal Varimax Rotation

四童子隆**・清水英範***

*By Takashi SHIDOUJI**・Eihan SHIMIZU****

1. はじめに

リモートセンシングデータのマルチバンド化が進む中、多バンドのデータをいかに有効に利用してリモートセンシングデータを視覚化（画像化）するかという問題は、これまで以上に重要になってきた。この問題に対応するための一つの方法として主成分分析の適用が提案されている¹⁾²⁾。これは主成分分析によって多バンドの情報を3次元情報に次元縮小し、これらの各々にRGBを割り当てることによりカラー合成を行う方法である。しかし、従来の主成分分析による画像合成では、電磁波の波長帯域との直接的な関連がない3次元量である第一から第三主成分に、適当にRGBを割り当てて画像合成を行っているため、主成分分析による画像は、土地被覆と色との対応が奇異であり、色によって地表状態の意味解釈ができないという判読上の大きなマイナス面をもつ。

本研究は以上の背景のもと、主成分分析画像の長所を保持したままで欠点を改善するために、主成分分析によって得られる各主成分に規準バリマックス回転を施す視覚化手法を開発するものである。具体的には、規準バリマックス回転によって各主成分（因子）と波長帯域との関連を明示し、それを考慮した上でRGB合成を行う。このことによって、画像は主成分分析と同様に全バンドの情報を考慮し、かつ判読しやすいものとなる。

本研究では、主成分分析画像や従来のフォールスカラー

カラー合成による画像との比較実験を通して、提案する手法の有効性を示した。

2. 従来の色合成手法（フォールスカラー合成）

現在、リモートセンシングデータの視覚化に際してはフォールスカラー合成と呼ばれる手法が広く利用されている。この方法は、多くのバンドの中から3つのバンドを選び、それぞれに赤、緑、青（R・G・B）を割り当てることで画像を作成するものである。この手法では、電磁波の波長帯域と色との関係から人間が判読しやすい画像が得られるという利点がある反面、選択された3バンド以外の情報が無視されるという問題点を持つ。

本研究では比較実験の対象の手法として、フォールスカラー合成の中からトゥルーカラー合成、ナチュラルカラー合成を用いた。（色合成手法の名称については文献等によっても統一されていないものが多く、本研究では以下に述べるように定義する。）

a) トゥルーカラー合成

我々の目に見える可視領域の3バンドを用い、それぞれのバンドにもっとも近い色を割り当てる方法である。この方法による画像は我々が目で見えるものにもっとも近いものとなる。

b) ナチュラルカラー合成

近赤外領域のバンドに緑を割り当てて合成される。これは植物に含まれるクロロフィルが近赤外線を強く反射するという性質を利用している。すなわち、植物の存在するところが緑色になるため、人間による意味解釈がしやすいという特徴をもつ。

3. 主成分分析とバリマックス回転³⁾⁴⁾

(1) 主成分分析

* キーワーズ：リモートセンシング

** 学生員、東京大学大学院工学系研究科

*** 正員、上博、東京大学大学院工学系研究科

（東京都文京区本郷7丁目3番地1号、

TEL03-3812-2111、FAX03-5689-7290）

主成分分析とは、互いに相関のある多種類の変数の情報を、互いに無相関な少数個の総合特性値に要約する方法である。これを多バンドのリモートセンシングデータに適用し、第三主成分までを採用することで、より多くの情報を含む画像を作成することができる。

主成分分析の利用に際しては、その始点として分散共分散行列を用いる場合と相関行列を用いる場合があるが、本研究では各バンドのデータを平均0、分散1に基準化し、相関行列を始点とする方法を用いた。

(2) 規準バリマックス回転

主成分分析によって抽出された複数の主成分（因子）は、相互に無相関であるが、もとの変数とは互いに相関を有する。各主成分の因子負荷量がもとの変数との相関係数となるため、この因子負荷量に基づいて各主成分が意味する内容を考察するということが行われる。しかし実際には、ある主成分はどの変数とも相関が大きく、また、ある主成分はどの変数とも相関が小さいといった結果が生じ、各主成分の解釈が困難であることも多い。そこで、主成分軸を適当に回転させ、各主成分が比較的少数のある変数群との相関のみが大きくなるようにし、解釈をしやすくするという方法が提案されている。これを主成分軸の回転と呼ぶ。これを概念的に示したのが図1である。

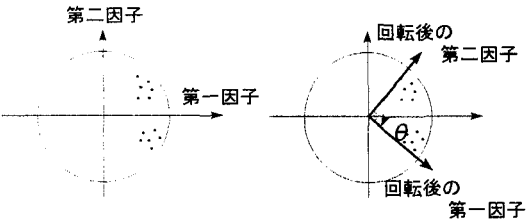


図1 主成分軸回転の概念図

原理的には因子分析においてしばしば用いられる因子軸の回転と全く同じである。抽出した第 m 主成分まで主成分軸の回転を施すことで、含まれる情報量の和を保ったままで各主成分の解釈が可能となる。

本研究では、色空間内での距離を保つという制約条件を考えるため、直交回転の一つである規準バリマ

ックス法を用いる。

p 個の変数から m 個の主成分を抽出したとき、回転後の因子負荷量を

$$B = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} & \cdots & b_{1m} \\ b_{21} & b_{22} & \cdots & b_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ b_{p1} & b_{p2} & \cdots & b_{pm} \end{pmatrix}$$

とすると、「縦の各列ごとに、1あるいは-1に近い負荷量とゼロに近いものにできるかぎり分離するように」ということを、「因子負荷量の2乗値についての列内の分散を大きくしよう」という規準で置き換えるのが規準バリマックス法の考え方である。

4. 適用実験

(1) 使用データ

実験に使用したデータはタイ・バンコク周辺のLANDSAT・TM データ(1987 年 12 月撮影)であり、熱バンドを除く 6 バンドを対象にした。地上分解能は約 30m、ピクセル、ライン数は共に 480 である。

(2) 主成分分析の適用

テストデータに主成分分析を適用した結果、得られた主成分の寄与率等は表1のようになった。

表1 主成分分析の結果

主成分	固有値	寄与率	累積寄与率
1	4.2031	70.1%	70.1%
2	1.3802	23.0%	93.1%
3	0.2700	4.5%	97.6%
4	0.0954	1.6%	99.2%
5	0.0316	0.5%	99.7%
6	0.0196	0.3%	100.0%

結果の累積寄与率に注目すると、第一から第三主成分までで全体の情報の97%以上の分散を説明しており、元の多バンドの情報を、情報の損失を2%程度に抑えて3次元情報に次元縮小できたことがわかる。このことによって、第一から第三主成分までを用いてRGB合成した画像は、従来のフォールスカラー画像に比べ、少なくとも物理的には多くの情報を含むことになる。

以下、主成分分析による画像の作成、これに規準

バリマックス回転を施した際の画像の作成、及びフォールスカラー画像との比較の結果について示すが、本論文ではカラー写真の掲載ができないため、結果についての記述的な整理と考察についてのみを示す。

実際の画像は、発表時及びインターネット上のホームページ (URL:<http://planner.t.u-tokyo.ac.jp/index/thesis/shidouji.html>) に紹介する。

(3) 主成分分析画像の作成

第一主成分に赤(R)、第二主成分に緑(G)、第三主成分に青(B)を割り当て、色合成を行った。この割り当てについては必ずしも一意なものではなく、色と主成分の全ての組み合わせ(6通り)について検討し、著者が最も好ましいと判断したものを採用した。同時に同データのトゥルーカラー画像、ナチュラルカラー画像の合成も行い、主成分分析画像と

それぞれの画像との比較を行った。その結果、主成分分析画像はフォールスカラー画像と比較して土地被覆の差異をより識別しやすいものとなることが確認できた。

しかし、各主成分の因子負荷量は、表2に示すように第一主成分は全てのバンドとの相関が高く、また、第三主成分はどのバンドとの相関も低く、得られた主成分をもとの各波長帯との関連という視点から解釈することは難しい。つまり、得られる各主成分は意味解釈困難な3次元量であるといえる。このため、RGB合成に際しての色の割り当てについては何ら基準はなく、このことによって主成分分析画像は色彩と土地被覆の対応が奇異なものとなり、また、その色は単に土地被覆の差異を異なる色で表示するだけのものとなっている。つまり、主成分分析画像を見るだけでは、土地勘の乏しい判読者には土地被覆の分布を把握することは困難である。

表2 回転の前後の因子負荷量

バンド (波長帯域)	(a) 回転前の因子負荷量 (各主成分の因子負荷量)			(b) 回転後の因子負荷量		
	F1	F2	F3	VF1	VF2	VF3
1 (可視)	.790	-.057	-.011	.935	.252	-.109
2 (可視)	.893	-.386	.186	.951	.212	.177
3 (可視)	.938	-.247	.107	.879	.342	.250
4 (近赤外)	.561	.760	.312	.036	.300	.948
5 (短波長赤外)	.860	.470	-.166	.310	.742	.585
7 (短波長赤外)	.920	.213	.315	.473	.809	.338
説明量	4.20	1.38	.27	2.87	1.52	1.46
寄与率	70.1%	23.0%	4.5%	47.9%	25.3%	24.4%
意味解釈	解釈困難			可視	短波長	近赤外

0.7以上

0.5~0.7

(4) 規準バリマックス回転の適用

主成分分析画像が以上のような欠点をもつのに対し、フォールスカラー画像は含む情報量は少ないものの、人間の意味解釈の容易さという点では優れた面を持っている。このフォールスカラー合成の利点は、画像を構成する要素としてのバンドに意味解釈が可能であり、物体の分光特性を考慮した色の割り当てが可能であることに起因している。

以上のことから、主成分分析画像では抽出される主成分因子と波長帯との関連が不明確であることが、

色彩と土地被覆の対応が奇異なものとなる原因であると考えられ、主成分分析後の因子の意味解釈を可能とするために、本研究では因子分析における因子の直交回転の原理を用いる。回転を直交変換に限定するのは、各ピクセル間の色空間上での距離を保持するためである。

主成分分析による第三主成分までを3次元情報とし、これにRGBを割り当てるとする。このとき、3次元色空間上の各ピクセル間の距離は求まるが、この距離は回転に対して自由であり、色空間上での

距離を変えずに直交回転により回転させることができる。このことにより3次元情報は無相関ではなくなるが、各ピクセル間の色空間上の距離を保ったまま、各因子に意味解釈を与えることが可能となる。

テストデータに主成分分析を用い、抽出された第三主成分までに、規準バリマックス法に従い各列での因子負荷量の二乗の和を最大にするという基準で主成分軸の回転を行った。回転前後の因子負荷量を表わしたのが表2である。

この因子負荷量の解釈を容易にするために、因子負荷量が0.7以上、0.5以上のものにマークをつけた。回転の前後を比較すると、規準バリマックス回転によって因子負荷量は、絶対値の大きいものは一層大きく、小さいものはより小さくなっている。

表2によると回転後の第一因子 VF1 は可視領域のバンドと相関が高く、不可視領域のバンドとは相関が低いため、可視領域の情報を表わしていると考えられる。同様に第二は短波長赤外、第三は近赤外領域の情報をそれぞれ反映していることがわかる。

このようにして、波長帯域との関連が不明確な単なる3次元情報であった主成分に、主成分軸を回転することで波長帯域との関連という意味解釈を加えることができた。

回転後の因子に意味解釈を加えることができたために、波長帯との関連という意味解釈をふまえた上での視覚化が可能になった。例えば、近赤外領域の情報を表わす第三因子は、植物に良く反応しているはずであり、これに緑を割り当てれば植物の存在する地域は緑色で表現される。つまり、第三因子に緑を割り当てた画像を判読する場合、緑色の強いところは植物が存在する地域だという意味解釈が可能となる。また、水域は赤外線をほとんど反射しないことから、第一因子に青を割り当てることで水域を青色で表示することが期待できる。

以上の解釈に基づき、規準バリマックス回転画像の色合成を行った。出力した結果の画像では、地表の植物が存在するところが黄緑色で表され、川は青色となり、因子の意味解釈が正しく行われたことを確認できた。また、回転によっても主成分軸の直交性は保持されているため、色彩はカラフルであり、主成分分析画像と比較しても地上物の識別可能性は高いままに保たれた。

5. まとめ

主成分分析画像は含む情報量が多く、地上物の識別可能性に優れる。しかし、各主成分に波長帯域との関連という意味がないため、画像を構成する色の意味解釈が不可能なものとなり、その色彩は人間の感覚に合わない奇異なものとなる。しかし、この欠点は、主成分分析によって抽出された各主成分に規準バリマックス回転を行い、波長帯との関連という意味づけをすることで解決可能となった。

規準バリマックス回転による画像を実際に合成し、従来のフォールスカラー画像、主成分分析画像と比較実験を行うことで、本手法による画像の有効性を示した。

実験によって、提案する手法による画像はフォールスカラー画像よりも地上物の識別可能性に優れ、かつ主成分分析画像では不可能であった色の意味解釈が可能な画像であることが明らかになった。

特に水域に関しては、フォールスカラー画像と比較して、因子軸回転による画像においては水域と陸地の境界が強調され、識別可能性の大きな向上が確認された。これは、因子軸回転画像が赤外領域を含めた全バンドの情報を考慮していることに起因している。この結果から、水域の多い画像では因子軸回転の適用がより有効であることが示唆された。

参考文献

- 1) Eklundh. L. and Singh. A. : A comparative analysis of standardised and unstandardized principal components analysis in remote sensing, Int.J.Remote Sensing, Vol.14, No.7, pp.1359-1370, 1993.
- 2) Kramber. W.J. et al. : Principal component analysis of aerial video imagery, Int.J.Remote Sensing, Vol.9, No.9, pp.1415-1422, 1988.
- 3) 奥野忠一, 久米 均, 芳賀敏郎, 吉澤正 : 多変量解析法 改訂版, 日科技連出版社, 1981.
- 4) 杉山高一 : 多変量データ解析入門, 朝倉書店, pp. 13-42, 1983.