

AVIRIS データへの因子分析法の適用

醍醐元正

(同志社大学経済学部教授)

はじめに

パターン展開法 (PDM) [藤原 96, 村松 00, 醍醐 04, 張 06] は地上被覆物の反射スペクトルをスペクトルパターンの合成によって表す spectral mixture analysis (endmembers method) [Adams 95] とよく混同されるが, そうではない。衛星の多波長データを解析する手法としては他に多変量解析を使った Principal Component Transformation (PCT) [Gonzalez 77, Merembeck 80] がある。spectral mixture analysis と principal component transformation では, endmember のスペクトル若しくは主成分軸から観測されたスペクトルを合成する計算法は同じであり, どちらかの手法で解釈しなければならないとする主張は明らかにおかしい。

endmember 法のスペクトルを多変量解析的に見るとそれは斜交座標系であり, principal component transformation で使われるのは直交座標系となる。多変量解析に於いて斜交座標系を用いれば, それ以降は endmember 法と計算法は全く同じとなる。この場合, 異なるのは成分値が負になった場合の解釈のみであろう。即ち, 成分値をスペクトルパターンの混合量と解釈するならば, それらが負の値になった場合には, その持つ意味の自然な解釈は困難である。しかし, 座標値であるならば負の値であっても何ら問題は無いと考え得る。このことより PDM をセンサー独立にした UPDM [張 06] では, 三つの成分値に負の値を許す事にして, 多変量解析的な視点をより明瞭に主張する様にしている。

そしてまた, 斜交座標系を使用する事により, 多変量解析での座標軸で有りながら, PDM ではそれらに水, 植生, 土壌の反射スペクトルと言う実体的な意味を持たせる事が可能になっていると言える。

PDM は更に固定座標軸を使用するという特徴も持っている。この事により多時期のデータを比較する事が容易になっている。固定した座標軸を使用する解析手法は他にも存在する。LANDSAT/TM の解析の為に開発された tasseled cap [Crist 84] がそれである。しかし, tasseled cap では直交座標系を使っているので, LANDSAT/TM 以外のデータに適用して, 得られた係数を比較する事は困難である。即ち, この場合直交であるというのは制約条件になり, 観測バンドが増減すると制約条件に従って全く新しく座標軸を構成し直さなければならない。観測バンドが一つ増えても新しい座標軸はそれまでのものとはかなり異なったものとなり得るので,

異なったセンサーのデータの比較は困難となるのである。それに対して PDM では斜交座標系を使用しているため、異なったセンサーのデータに対しても似た座標系を用いる事が出来る。更に UPDM では規格化を工夫して、同一時期同一地域のデータに対しては異なったセンサーに対しても原理的に同じ係数が得られる様になっている。このことにより UPDM を使用すれば種々のセンサーに対して同じ枠組みで解析する事が可能となるのである。

PDM は spectral mixture analysis とは違う考えでも解釈され得るとは言え、その基本スペクトルパターンはやはり実際の地上被覆物のスペクトルパターンから作られている。論理的にはこれはちょっとした欠陥であり、やはり斜交座標系を使った多変量解析の手法でも基本スペクトルパターン、即ち座標系を構成出来る手法があつてしかるべきである。その為の手法として、これまで因子分析法、特に oblimin 法を LANDSAT/TM データ [醜醐 05] や地上測定スペクトルデータ [醜醐 03] に適用して因子の抽出を試みてきた。どちらのデータからも PDM の基本パターンに類似の因子が抽出されたが、LANDSAT/TM データは 6 バンドであり、地上測定データではデータ数が不足していた。今回はアメリカの Jet 推進研究所が提供する AVIRIS (Airborne Visible InfraRed Imaging Spectrometer) データ [Vane 93] に対して oblimin 法を適用した結果について報告する。

使用したデータ

AVIRIS は 224 チャンネルのバンドからなる航空機搭載画像スペクトロメータであり、各バンドは約 10 nm の波長分解能を持つ。全体としては約 370~2500 nm の領域をカバーする。今

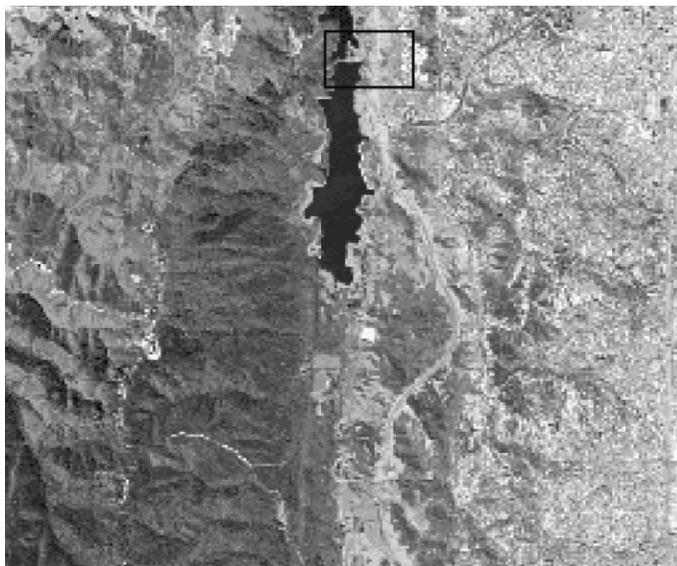


図 1 jasper-rige シーン 2 全体図。解析で利用した領域が黒線で囲って表示してある。

回は Jet 推進研究所の Web サイト [jpl Web] から自由に利用可能な標準プロダクトをダウンロードして利用した。

今回利用したデータは Jasper ridge, CA 付近で 1997 年 4 月 3 日に高度約 6700 m から取られたデータである。実際のデータを見ると反射率 0.0 となる異常データを含むバンドがあったので、バンド 1-5, 106-115, 151-170, 221-224 を解析から除外した。よって、実際に利用したバンドは 6-105, 116-150, 171-220 の 185 バンドとなり、波長域は概略 419-1334, 1444-1782, 1978-2467 nm となる。AVIRIS の波長分解能はこれまで因子分析を適用する時に利用していた 10 nm に近い値である。よって AVIRIS のデータをそのまま加工せずに解析に利用した。

jasper ridge のデータは全体が 5 つのシーンに分割されて提供されている。今回はその中のシーン 2 の図 1 に示されている部分を使用した。シーン 2 は 512 lines*614 pixels からなるが、今回使った部分は 50 lines*80 pixels である。

計算手順

今回の解析では航空機搭載 spectrometer を利用するので、Rayleigh scattering を差し引く事はしなかった。

これまで抽出した因子と比較してきたのは PDM の基本スペクトルパターンであったが、今回は UPDM の基本パターンと比較する。よって今回はデータを絶対値和がバンド数 185 に等しくなる様に規格化を行った。

解析手法や oblimin 法の詳細については参考文献 [醍醐 05, 芝 79] を参照されたいが、今回の解析の計算手順について一応以下に要約する。

1. 反射率として与えられているデータを、各画素毎に絶対値和がバンド数 185 になる様に規格化する。

$$\sum_{i=1}^{185} |A_{ij}| = 185$$

2. 独自因子は考慮しないで原点に対するモーメント行列 M_{ij} を計算する。N は画素数である。

$$M_{ij} = \frac{1}{N-1} \sum_{k=1, l=1}^N A_{ik} A_{jl}$$

3. M_{ij} を固有ベクトル分解する。
4. 因子数 3 として因子負荷行列を作る。
5. 因子負荷行列から oblimin 法により斜交因子モデルによる単純構造を求める。

6. その相反系としての単純因子パターンを求める。
7. その因子パターンに対応する因子構造を求める。
8. 求めた因子構造の成分の和が負の場合は，因子の方向を反転させる。

$$\sum_{i=1}^{185} P_i < 0 \Rightarrow P_i \rightarrow -P_i$$

9. 求めた因子構造を絶対値和が 185 になる様に規格化し，UPDM の基本パターンと比較する。

解析結果

M_{ij} からその固有値，寄与率と累積寄与率を計算すると結果は表 1，グラフ化すると図 2 の様になる。但し 10 番目以降の固有値はその寄与率があまりに小さいので表にも図にも表していない。この結果より，因子数は 2 でも良いのであろうが，これまでと同様に因子数を 3 として解析を行う事にした。

γ の値を 0.0 から 1.0 迄，0.1 ずつ変更して得られた因子を図 3 に図示した。 γ が 0.9 の時の因子がそれ以外の時の因子とかなり異なる様に見えるが，これは因子の方向の決め方による。即ち，計算手順の 9. において，各因子の正の成分が多くなる様に自動的に因子の方向を決めているので，

表 1 固有値，寄与率と累積寄与率

	固有値	寄与率	累積固有値
1	204.84138	0.829170	0.82917
2	35.057497	0.141908	0.97108
3	5.6016074	0.022675	0.99375
4	0.73183615	0.002962	0.99672
5	0.23397091	0.000947	0.99766
6	0.099784668	0.000404	0.99807
7	0.055363013	0.000224	0.99829
8	0.039089686	0.000158	0.99845
9	0.027571630	0.000112	0.99856
10	0.027298056	0.000110	0.99867

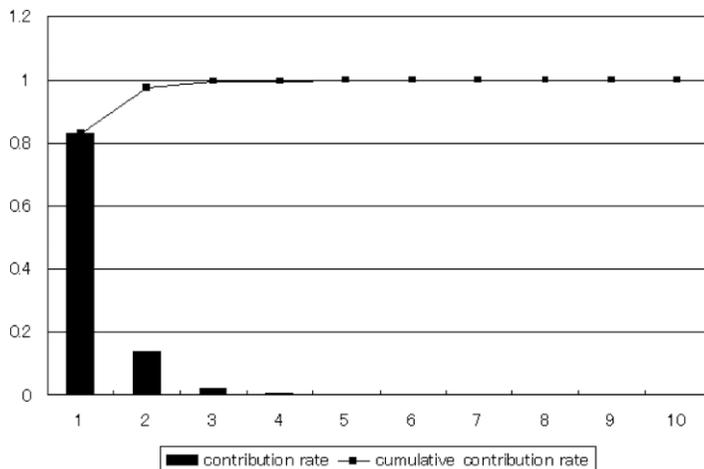
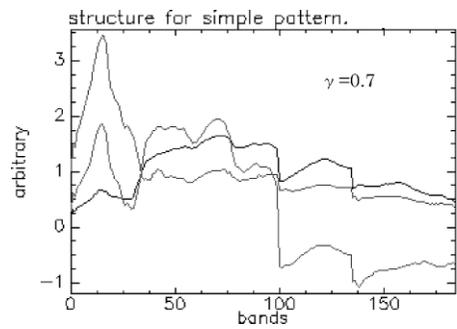
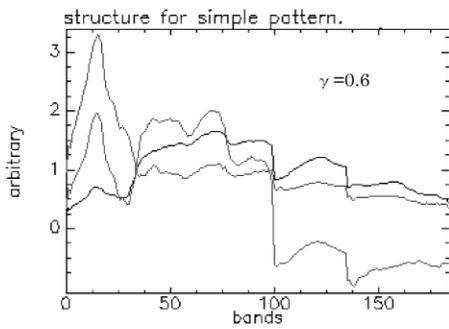
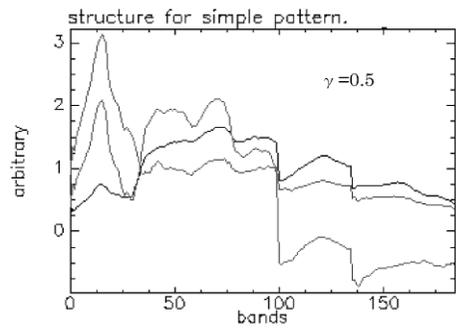
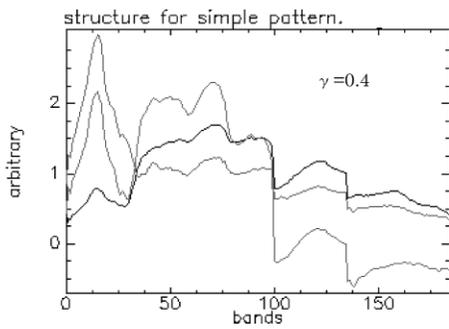
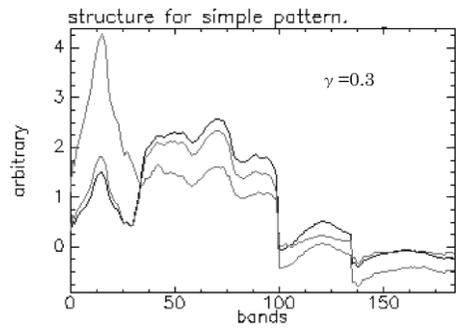
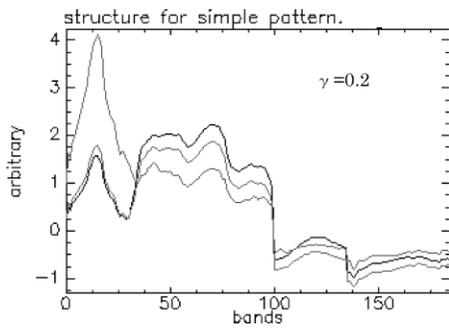
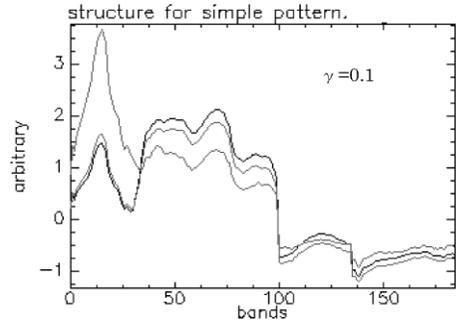
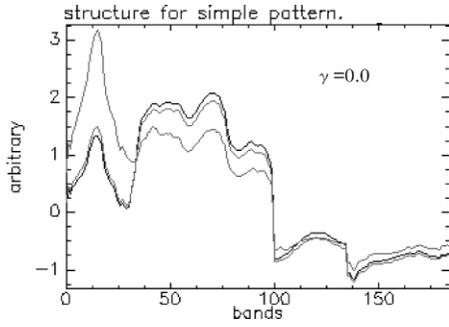


図 2 固有値，寄与率と累積寄与率



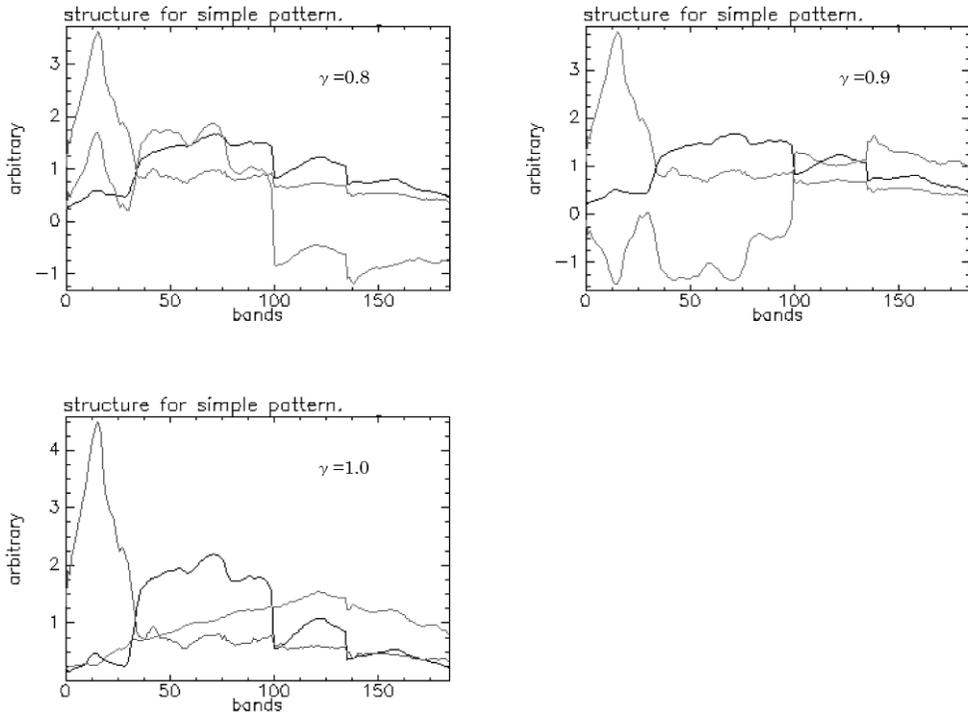


図3 185チャンネルデータを因子分析した結果

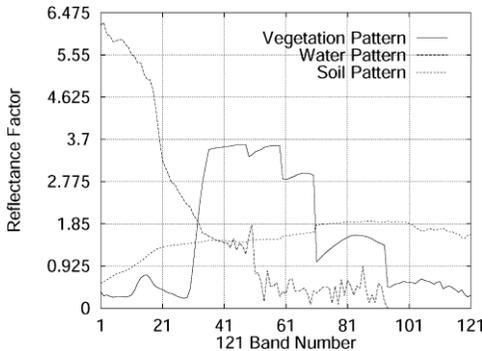


図4 絶対値和をチャンネル数185に規格化したUPDMの標準スペクトルパターン

$\gamma=0.9$ の時だけたまたま他とは因子の方向が逆転してしまったのである。それ以外は問題なく、 γ の値の変化に従って各因子の形状も連続的に変化して言っていると言える。

地上測定データを用いて因子分析を行った時 [醍醐03] に比べて、 $\gamma=1.0$ になった時の各因子の独立性は十分である。比較の為にUPDMの基本パターンを図4に示したが、 $\gamma=1.0$ とした場合の因子がUPDM

の基本パターンと極めて類似している事が判る。ただ、水域の因子については地上測定データから抽出した因子と同様に短波長域で反射率が減少していくが、これはやはり実際の水域の深度と透明度が不十分であるからであると言えると思われる。このことから、oblmin法によってUPDMの基本スペクトルパターンを抽出する事が出来たと結論づけられるであろう。

ま と め

今回の解析により、185チャンネルという自由度の大きいデータに対しても oblimin 法は有効である言う事が出来る。ただ水域の因子は実際に使用されている UPDM の水域パターンとは短波長域で異なるが、これは実際のデータが異なっているので仕方がないと言える。

参考文献

- [Adams 95] Adams, J. B., et. al., (1995)
 “Classification of multispectral images based on fractions of endmembers : Application to land-cover changes in the Brazilian Amazon”, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 52, pp. 137–154.
- [Carroll 53] Carroll, J. B., (1953)
 “AN ANALYTICAL SOLUTION FOR APPROXIMATING SIMPLE STRUCTURE IN FACTOR ANALYSIS”, *PSYCHOMETRIKA*, Vol. 18, pp. 23–38.
- [Carroll 57] Carroll, J. B., (1957)
 “Biquartimin Criterion for Rotation to Oblique Simple Structure in Factor Analysis”, *Science*, Vol. 126, pp. 1114–1115.
- [Crist 84] Crist, E. P., and Cicone, R. C., (1984)
 “A Physically-Based Transformation of Thematic Mapper Data – The TM Tasseled Cap”, *IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing*, Vol. GE 22, pp. 256–263.
- [Gonzalez 77] Gonzalez, R. C., and WQintz, P., (1977)
 “Digital Image processing”, Addison-Wesley, Mass.
- [jpl Web] <http://aviris.jpl.nasa.gov/html/aviris.freedata.html>
- [Merembeck 80] Merembeck, B. F., and Turner, B. J., (1980)
 “Directed Canonical Analysis and the Performance of Classifiers under its Associated Linear Transformation”, *IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing*, Vol. GE–18, pp. 190–196.
- [Vane 93] G. Vane, et. al., (1993)
 “The airborne visible/infrared imaging spectrometer (AVIRIS)”, *Remote Sens. Environ.* Vol. 44, p. 127.
- [芝 79] 芝祐順, (1979)『因子分析法 第2版』東京大学出版会.
- [醍醐 02] 醍醐元正 (2002)
 “因子分析法とパターン展開法”, 同志社大学ワールドワイドビジネスレビュー, Vol. 4, No. 1, pp. 1–12.
- [醍醐 03] 醍醐元正, 他, (2003)
 “連続波長データへの因子分析法の適用の試み”, 同志社大学ワールドワイドビジネスレビュー, Vol. 4, No. 2, pp. 56–64.
- [醍醐 04] Daigo, M. et. al., (2004)
 “Pattern decomposition method for hyper-multi-spectral data analysis”, *Int. J. Remote Sens.*, Vol. 25, pp. 1153–1166.
- [醍醐 05] Daigo, M., (2005)
 “Factor analysis and pattern decomposition method”, *Proc. of SPIE* Vol. 6043, 604317.
- [張 06] Zhang, L. et. al., (2006)
 “Sensor-independent analysis method for hyperspectral data based on the pattern decomposition method”, *Int. J. Remote Sens.*, Vol. 27, pp. 4899–4910.
- [村松 00] Muramatsu, K., Furumi, S., Fujiwara, N., Hayashi, A., Daigo M., and Ochiai, F., (2000)
 “Pattern decomposition method in the albedo space for Landsat TM and MSS data analysis”, *INT. J. Remote Sensing*, Vol. 21, No. 1, pp. 99–119.

- [藤原 96] 藤原昇, 他 (1996) 「衛星データ解析のためのパターン展開法の開発」『日本リモートセンシング学会誌』第 16 巻第 3 号, pp. 17-34.