

年・季節因子分析を目的とした衛星画像時系列分析モデル解の比較と実用化への提案

東京理科大学 理工学部 土木工学科 正会員 小島 尚人
 東京理科大学 大学院 土木工学専攻 学生員 ○鈴木 新
 東京理科大学 大学院 土木工学専攻 非会員 鈴木 勇太
 (現：横浜市役所)

性は保証されることを確認している(口頭発表時に説明)。

(3) 逆推定年・季節因子画像の作成

観測変数であるバンド別観測画像と未観測潜在変数である季節因子、年因子の間で式(1)のような測定方程式を考える。

$$x_{ji} = a_j s_{ki} + b_j y_{mi} + e_{ji} \tag{1}$$

但し、 x_{ji} : i 番目の画素に対応する観測変数 j のデータ

a_j : 季節因子から観測変数 j に対するパス係数

b_j : 年因子から観測変数 j に対するパス係数

s_{ki} : i 番目の画素に対応する季節因子: 未観測潜在変数
(k : 季節識別添字)

y_{mi} : i 番目の画素に対応する年因子: 未観測潜在変数
(m : 年識別添字)

e_{ji} : i 番目の画素の観測変数 j に対する誤差

観測された分散共分散行列とパスモデルから再現される分散共分散行列ができるだけ最小となるように a_j および b_j は求められる。その後、式(1)から季節因子と年因子を逆推定する。例えば、春季因子($k=1$)と年因子($m=1$)の場合における線形逆推定式は次式で表される。

$$\hat{S}_{1i} = \sum_{j=1}^n p_{1j} x_{ji}, \quad \hat{y}_{1i} = \sum_{j=1}^n q_{1j} x_{ji} \tag{2}$$

問題は、これらの推定値が真値にできるだけ近くなるように係数 p_{1j} 、 q_{1j} を求めることに帰着される。つまり、次式を最小化する p_{1j} 、 q_{1j} を求めればよい。

$$Q = \sum_{i=1}^n (s_{1i} - \hat{S}_{1i})^2 + \sum_{i=1}^n (y_{1i} - \hat{y}_{1i})^2 \rightarrow \min \tag{3}$$

Q を p_{1j} と q_{1j} のそれぞれで偏微分して 0 とおき、展開して整理すると、以下のとおりとなる。

$$p_{1j} = \sum_{i=1}^n a_j r^{ij}, \quad q_{1j} = \sum_{i=1}^n b_j r^{ij} \tag{4}$$

p_{1j} 、 q_{1j} をそれぞれ式(2)に代入すれば、年・季節因子を画素単位で逆推定できる。逆推定値を画像化すれば「季節因子画像」と「年因子画像」となる。図-2にその結果を示す。

1. はじめに

衛星データを用いた時系列分析では、土地被覆の変化箇所を見つける、おのずと「年や季節の影響(以下、年・季節因子)とその傾向」を半読しようとしているはずである。このことは「年・季節因子の傾向分析」に相当し、衛星データを用いた時系列分析におけるニーズの一つと言える。この分析ニーズに対応するべく、筆者らはバンド別画像の画像濃度値を観測変数、年・季節因子を未観測潜在変数とみなし、共分散構造分析法をベースとして、年・季節因子を逆推定・画像化する ISY モデル (A SEM (Structural Equation Modeling)-based inverse estimation model of seasonal and yearly factors for multi-temporal analysis of satellite remotely sensed data: ISY model) を構築した¹⁾。

この ISY モデルでは、年・季節因子(未観測潜在変数)がバンド別観測画像の画像濃度値(観測変数)に反映されるという考えに基づいてパス図が構成されており、年・季節因子を逆推定・画像化できた点において、今までにない傾向分析が展開できる。この年・季節因子は、観測変数としての多バンド構成される画像データの情報を集約した一つの特性値とも言える。多バンド画像データの総合特性値を計算する代表的な手法として主成分分析があり、主成分画像を作成した上で、これに対して後付け解釈するという分析方法は広く利用されている。

主成分分析は、情報損失最小・直交変換に相当するが、ISY モデルは年・季節因子間の相関を考慮し、情報の損失も伴わない処理であり、主成分分析に対峙する ISY モデル解との比較が今後の課題として残されていた。

以上の背景のもと、本研究では、主成分画像と逆推定年・季節因子画像(擬似カラー合成画像含む)を比較・分析するとともに、年・季節因子擬似カラー合成画像の有用性を示す。

2. 年・季節因子逆推定モデル (ISY モデル)

(1) パス図の構成

ISY モデルを構成するパス図を図-1に示す。共分散構造分析法をベースにした階層因子・相関関係分析モデルに相当する。このモデルは、以下のような自然な考えに基づいて構成されている。

- ①未観測潜在変数である「季節因子」による何らかの影響が季節毎のバンド別画像濃度値に反映される。
- ②未観測潜在変数である「年因子」による何らかの影響が年度内全てのバンド別画像濃度値に反映される。
- ③変量間の独立性を維持できる観測変数を採用する。本研究では、観測変数間の相関係数を使用

(2) パスモデルの適合度検定(モデル成立要件)

パスモデルの適合度を検定した結果、GFI (Goodness of Fit Index)、AGFI (Adjusted Goodness of Fit Index) は 0.9 以上、RMSEA (Root Mean Square Error of Approximation) は 0.1 以下となった。これにより、本研究で設定したパスモデルの適合

キーワード：年・季節因子逆推定、土地被覆時系列分析、リモートセンシング
共分散構造分析、主成分分析、

〒278-8510 千葉県野田市山崎2641 東京理科大学理工学部土木工学科

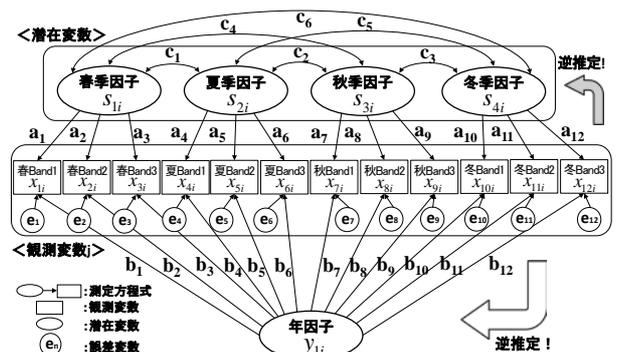


図-1 年・季節因子逆推定モデル (共分散構造分析法)

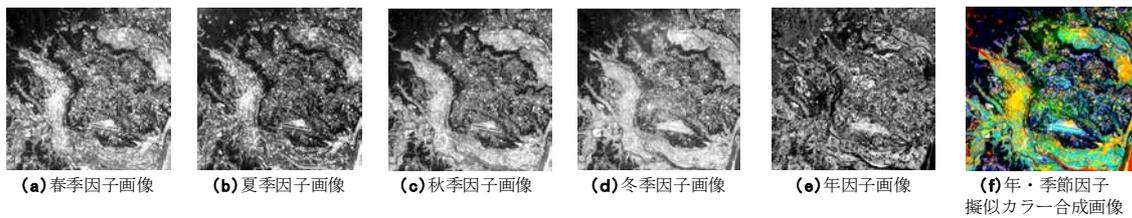


図-2 年・季節因子擬似カラー合成画像：ISYモデル（提案）、R:夏季因子 G:冬季因子 B:年因子

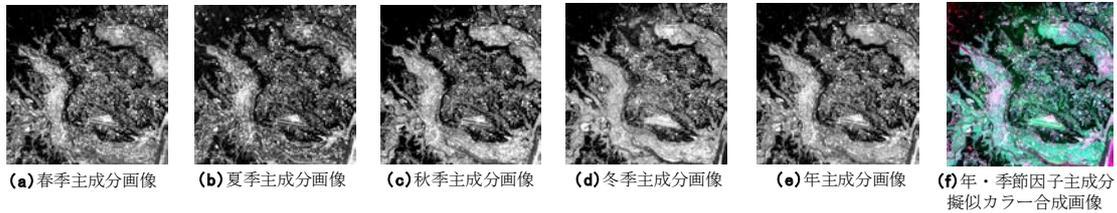


図-3 年・季節主成分擬似カラー合成画像：主成分モデル、R:夏季主成分 G:冬季主成分 B:年主成分

3. 年・季節因子擬似カラー合成画像の提案とその解釈

年・季節因子画像（図-2 (a) ~ (f)）を判読する際、白黒の発色の違いによって、年・季節因子の影響を分析できる。しかし、年度にわたって作成される年・季節因子画像を横並びにして比較・判読する上で限界がある。

そこで、B・G・Rプレーンにそれぞれ年・季節因子画像を割り当ててカラー合成した「年・季節因子擬似カラー合成画像」を作成した。図-2 (f) にこの一例を示す。Rプレーンに夏季因子画像、Gプレーンに冬季因子画像、Bプレーンに年因子画像を割り当てたものである。さらに、年・季節因子擬似カラー合成画像に対する一般解釈を表-1に示す。

赤、青、緑色系の発色にしたがって年・季節因子の影響について解釈できる。白色系の画素は、RGBプレーン全てに割り当てられた年・因子の逆推定値がいずれも高く、年・季節因子の影響が通年にわたって強く現れていることを意味する。一方、黒色系の画素は、RGBプレーン全てに割り当てられた年・因子の逆推定値がいずれも低く、年・季節因子の影響が通年にわたって弱いことを意味する。青、緑、赤系の画素が強い箇所は、それぞれの色プレーンに割り当てられた年あるいは季節因子の影響が強いと解釈できる。

4. 主成分分析とISYモデル解の比較

(1) 年・季節主成分擬似カラー合成画像の作成

春、夏、秋、冬季において観測された3種類のバンドデータを用いて第1主成分画像（図-2 (a) ~ (e)）をそれぞれ作成する。これらを季節主成分画像とする。さらに、春季から冬季に観測された12バンド全てを用いて第1主成分画像を作成する。これを年主成分画像とする。これらをカラー合成した年・季節主成分擬似カラー合成画像の一例を図-3 (f) に示す。Rプレーンに夏季主成分画像、Gプレーンに冬主成分画像、Bプレーンに年因子画像を割り当ててカラー合成したものである。

(2) 主成分分析とISYモデル解の比較

季節因子画像（図-2 (a) ~ (e)）と季節主成分画像（図-3 (a) ~ (e)）を比較すると画像濃度値に局所的には差が見られるが、全体として類似している。一方、年主成分画像と年因子画像は、領域全体にわたって違いがあることが判る。

この違いは、擬似カラー合成画像上に顕著に現れている。年・

表-1 年・季節因子擬似カラー合成画像の一般解釈表

色系	年・季節因子擬似カラー合成画像の濃度値			一般解釈
	Bプレーン	Gプレーン	Rプレーン	
白色	大	大	大	BGRプレーンに割り当てられた年・季節因子の影響がいずれも強く現れた画素
青色	大	小	小	Bプレーンに割り当てられた年・季節因子の影響が強く現れた画素
緑色	小	大	小	Gプレーンに割り当てられた年・季節因子の影響が強く現れた画素
赤色	小	小	大	Rプレーンに割り当てられた年・季節因子の影響が強く現れた画素
黒色	小	小	小	BGRプレーンに割り当てられた年・季節因子の影響がいずれも弱く現れた画素

季節主成分擬似カラー合成画像上では、緑色系で偏った発色になっているが、年・季節因子擬似カラー合成画像では、色彩豊かな画像となっており、情報量が多いことが判る。このことは、主成分分析が情報の損失を考慮し、これを最小化する変換であり、ISYモデルが情報損失を伴わずに年・季節因子を逆推定するといった処理の違いに起因する。これらの結果から、主成分分析に対するISYモデルの有用性は、以下の2点に要約できる。

- ①情報（観測データの分散）の損失を伴うことなく、逆推定年・季節因子を擬似カラー合成画像上で分析できる。
- ②図-1に示すパス図のウェイト（口頭発表時説明）によって、観測バンドと年・季節因子間の関係分析を実施できるだけなく、年・季節因子間の相関分析も可能となる。

5. まとめ

本研究の内容は、以下の2項目にまとめられる。

- ①年・季節主成分擬似カラー合成画像と年・季節因子擬似カラー合成画像の比較を通して、画像解釈(画像情報量含む)の面において主成分分析に対するISYモデルの有用性を示した。
- ②ISYモデルでは、年・季節因子の相関分析も実施でき、土地被覆の時系列分析支援に寄与できる。

今後の課題として、年・季節因子の多年度分析、異種衛星データの融合利用の可能性に関する検討を想定している。

参考文献 1) 小島尚人、鈴木勇太、田口靖朋:衛星画像時系列分析支援を目的とした年・季節因子反映率の一提案、日本リモートセンシング学会第49回学術講演会論文集、pp.35~36、2010年11月。