

ミクセル分解による植生リモートセンシングのための 植生被覆率と活性度の分離 —室内実験におけるミクセル分解手法の評価—

沖 一雄*・大政謙次*・稲村 實**

(* 東京大学大学院農学生命科学研究科)

(** 群馬大学工学部)

Separation of Vegetation Coverage and Vigor for Vegetation Remote Sensing by Unmixing Method —Evaluation of Unmixing Method in Laboratory Experiment—

Kazuo OKI*, Kenji OMASA* and Minoru INAMURA**

(* Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo, Tokyo, 113-8657 Japan)
** Faculty of Engineering, Gunma University, Kiryu, 376-8515 Japan

Abstract

Various information such as vegetation vigor and coverage affect a pixel of remotely sensed images observed in vegetation areas. The radiance value of each pixel is changed by differences of vegetation vigor and coverage. Therefore, considering mixed pixels is necessary for vegetation environmental assessment using remotely sensed images.

A vegetation measurement model based on the concept of a linear mixture model was proposed, and an unmixing method that estimates the subpixel cover of each category from mixed pixels was applied to estimate subpixel vegetation cover with different vigor from the mixed pixels through laboratory experiment. The unmixing method was found to be effective in estimation of the subpixel vegetation cover with different vigor from the mixed pixels when the spectral radiance of each cover type was known before carrying out the method. Furthermore, it was found that the accuracy of the unmixing method for estimating each category within a pixel of a remotely sensed image depends on the wavelength range used. If the spectral radiance of an endmember agreed well with that of the category within a pixel, the coverage of interest was estimated accurately.

Key words: Mixed pixel, Unmixing method, Remote sensing, Vegetation coverage, Vegetation vigor.

キーワード: ミクセル, ミクセル分解, リモートセンシング, 植生被覆率, 活性度

1. はじめに

これまでに提案されている衛星リモートセンシング画像を用いた植生評価手法のほとんどが、植生指数と呼ばれる単純なモデルによって実施されている。これらの方

2001年5月17日 受付, 2001年12月1日 受理

法は、観測対象エリアである植生域において同種の植生が高密度で覆われているような単純な地表面の場合に有効であると考えられる。しかしながら、植生域を観測しているリモートセンシング画像の一画素には、植生の活性情報とバイオマス情報が混在している。従って、リモートセンシング画像における各画素の輝度値は、植生

比を a とした。

$$P = a \cdot m_{leaf} + (1-a) \cdot m_{back} \quad (1)$$

3. ミクセル分解手法による植生率と活性度の分離

3.1 ミクセル分解

リモートセンシング画像を用いて植生評価を実施する場合には、まず一画素内に占める異種の植生および同種における活性度の違う植生の被覆率を算出することが重要となる。本研究では、これらの植生被覆率を算出するために、(1)式に示した分光ベクトルの線形モデルに対して各画素に占める複数カテゴリーの面積比率を推定することが可能なミクセル分解手法を適用する (Inamura, 1988; Settle and Drake, 1993)。ここで、(1)式をさらに一般的に記述すると(2)式によって表される。

$$P = \sum_{j=1}^k a_j m_j \quad (2)$$

ただし

$$\sum_{j=1}^k a_j = 1 \quad (3)$$

$$a_j \geq 0 \quad (4)$$

すなわち、画素内に k 種類のカテゴリーの面積比率が a で存在するとき各画素の示す観測分光ベクトル p が各カテゴリーを代表する分光ベクトル m によって表せる。ここで、ミクセル分解とは、各カテゴリーの分光ベクトル m が既知であるとして(3)式および(4)式の条件の下で観測分光ベクトル p から未知である面積比率 a を求めることである。

3.2 ミクセル分解による植生評価の検討

ここでは、ミクセル分解手法によりリモートセンシング画像の一画素内に占める異種の植生および同種における活性度の違う植生の被覆率を算出することが可能であるか室内実験により評価を行った。

まず、(2)式に対してミクセル分解により各カテゴリーの画素内被覆率を推定するためには、各カテゴリーの分光ベクトル m が既知でなければならない。本研究では、イチョウの緑葉、黄葉、ベニカナメの緑葉、枯葉、枝、そして土壌を対象カテゴリーとし、それぞれのカテゴリーをスペクトルメータ (オプトリサーチ社製 MSR-7000) の測定視野内に均一に覆って輝度値を測定した。その測定された輝度値を分光ベクトル m とする。Fig. 2 に各カテゴリーの分光ベクトル m を示した。次にトレイの中に土を凹凸なく敷き詰め、対象とした各カテゴリーをスペクトルメータの視野内に混在させ、スペクトルメータにより測定した輝度を観測分光ベクトル p と

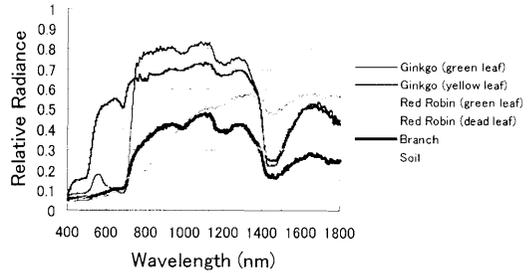


Fig. 2. Spectral radiance of each category.

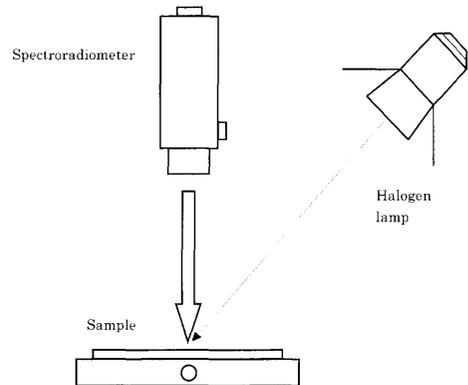


Fig. 3. Schematic diagram of measurement system.

した。この際、スペクトルメータの視野範囲をデジタルカメラで撮影した画像に対して、画像処理を行い各カテゴリーの混在比率を算出し、ミクセル分解によって推定された混在比率 a と比較する。厳密には、衛星により観測される場合でも各カテゴリーにおいて複雑な立体構造を考慮しなければならないという問題がある。しかしながら、本研究ではミクセル分解手法がリモートセンシングによる植生評価に適用可能であるかどうかを検討するための第一歩として、観測される衛星画像の画素内における複数カテゴリーの分光ベクトルは線形に結合されると仮定し問題を簡単にした。従って、ここでは異なった数種の分光反射特性の物体を平面的にスペクトルメータの同一視野内に面積比率を変えて計測を試みた。なお、使用したスペクトルメータの中心測定波長は、400 nm ~ 1,800 nm において 1 nm 間隔である。また、測定は光源としてハロゲンランプを使用し、Fig. 3 に示すように測定対象物に対して垂直にスペクトルメータを固定し、45°の角度から光源を照射して行った。Fig. 4~6 には、それぞれのカテゴリーの混在比率 a をミクセル分解により推定した結果を示した。なお、Fig. 4~6 において、

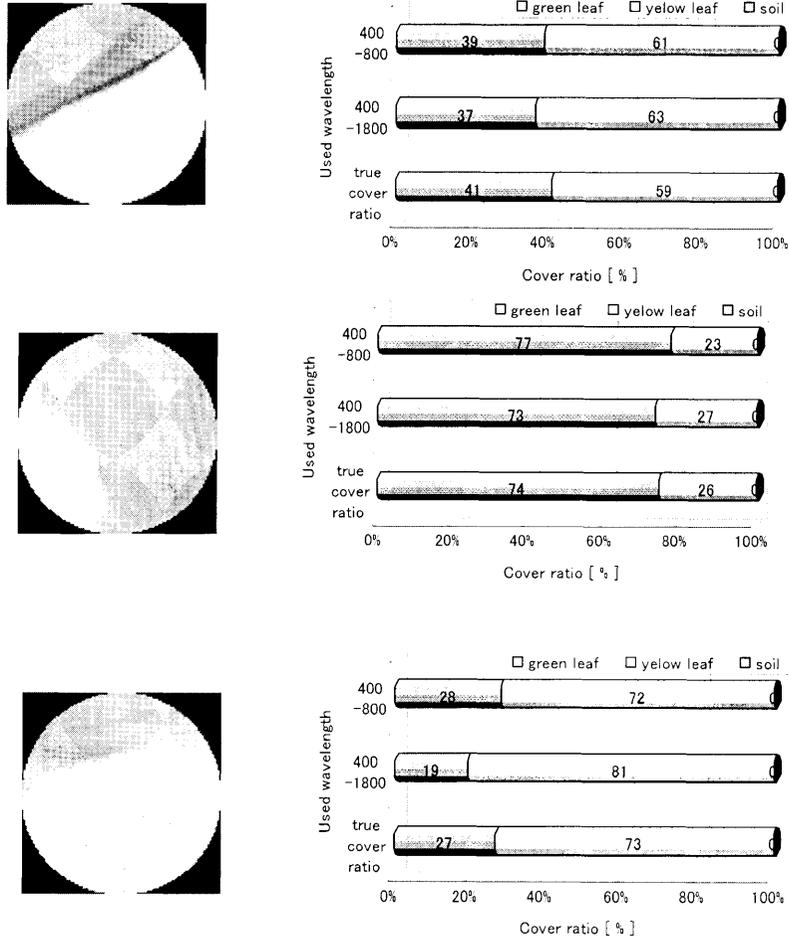


Fig. 4. Results of each coverage estimated by the unmixing method when green leaf and yellow leaf were covered in the measurement visual field of the spectroradiometer shown in the left side image.

左側の画像は観測センサーの視野範囲内に混在するカテゴリーであり、右側のグラフはそれぞれ 400~800 nm, 400~1,800 nm の波長範囲を 10 nm 間隔で測定し、ミクセル分解手法を用いて推定した各カテゴリーの混在比率と、画像から判定した真の混在比率を示している。観測波長域を 400~800 nm と 400~1,800 nm の 2 つに分けたのは、測定波長 (バンド) の数と、植生の特徴が顕著にあらわれるとされる近赤外域の有効性を評価するためである。

Fig. 4 は、土を混在させずイチョウの緑葉、黄葉の混在比率を変化させて行った実験結果である。この場合、ミクセル分解法により推定されたイチョウの緑葉、黄葉の混在比率は、それぞれ真の混在比率と非常に近い値であった。次に、Fig. 5 はイチョウの緑葉、黄葉、そして

土またはベニカナメの緑葉、枯れ葉、土を混在させミクセル分解手法により各カテゴリーを推定した結果である。推定されたこれら 3 つのカテゴリーでは、多少の誤差はあるが真の混在比率と近い混在比率を示した。最後に Fig. 6 は、ベニカナメの緑葉、枯葉、さらに枝および土を混在させミクセル分解手法により各カテゴリーを推定した結果である。推定された各カテゴリーでは、精度良く分解できる場合もあるが、Fig. 4 および Fig. 5 と比較すると全体的に推定精度が悪いことが分かる。これは枝の表面が鏡面反射しているため、ミクセル分解に用いた枝の分光ベクトルが計測時の分光ベクトルと異なっていることが問題であると考えられる。なお、Fig. 4~6 より、全体的に推定された各カテゴリーの混在比率の精度は、多くの波長を利用した方が良いことが分かる。こ

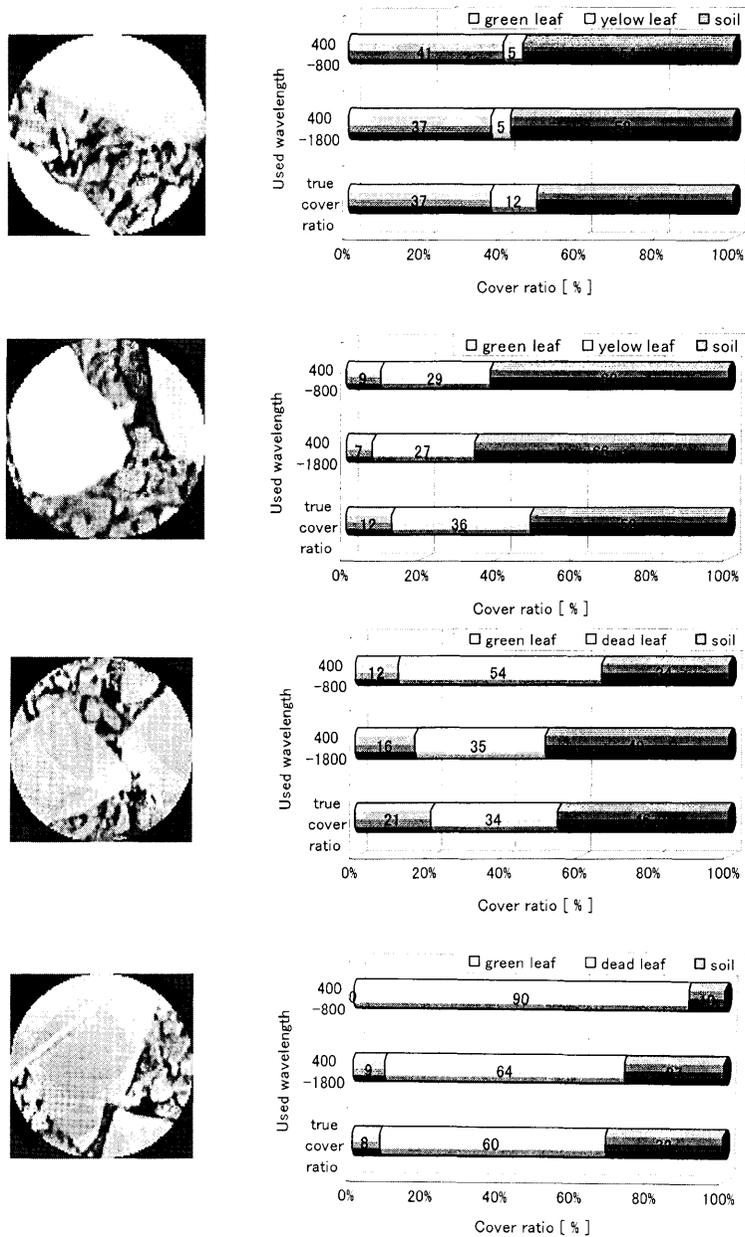


Fig. 5. Results of each coverage estimated by the unmixing method when green leaf, yellow leaf or dead leaf, and soil were covered in the measurement visual field of the spectroradiometer shown in the left side image.

れは、推定カテゴリー数よりも多くの波長帯を用いることにより多くの方程式が立てられ、よりノイズに強く安定した解を統計学的に求められることと、Fig. 2で示されているように各植生の情報の違いが近赤外域に顕著にあらわれるためだと考えられる。以上の結果から、実際のリモートセンシング画像データ

を用いてミクセル分解法により植生の被覆率と活性度の分離を試みる場合を考えると、ミクセル分解法は、画素内に混在している各カテゴリーの分光ベクトルが既知である場合、各カテゴリーの混在比率を推定するのに有効であるが、鏡面反射成分や影の影響により画素内の各カテゴリーの分光ベクトルが変化してしまった場合、各カ

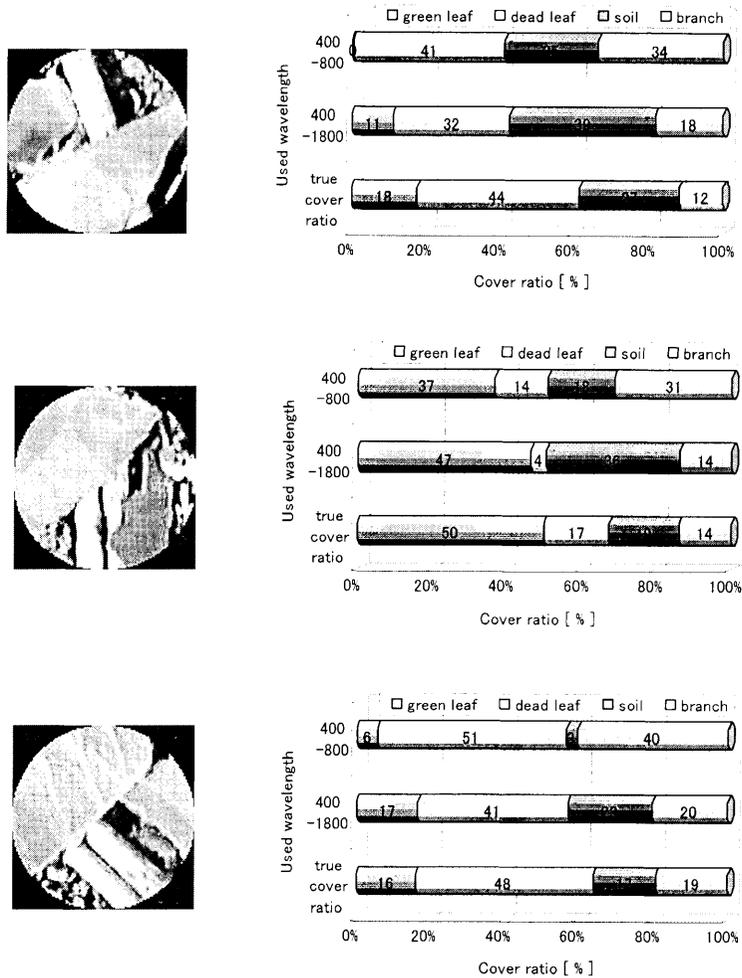


Fig. 6. Results of each coverage estimated by the unmixing method when green leaf, dead leaf, branch, and soil were covered in the measurement visual field of the spectroradiometer shown in the left side image.

テゴリーの混在比率の推定精度は低下することが分かった。また、ミクセル分解を行う際に多くの波長（バンド数）を用いて各カテゴリー混在比率を推定すること、特に植生種の違いを顕著に捉えることが可能な近赤外域を用いることが精度向上のために有効であるという知見が室内の基礎実験から得られた。

4. ま と め

リモートセンシング画像を用いて植生評価を実施する場合には、一画素内に占める異種の植生および同種における活性度の違う植生の被覆率を算出することが重要となる。本研究では、これらの植生被覆率を算出するために、画素内において複数カテゴリーの分光ベクトルが線

形に結合されると仮定した植生領域計測モデルを提案し、その分光ベクトルの線形モデルに対して各画素に占める複数カテゴリーの面積比率を推定することが可能なミクセル分解手法がリモートセンシングによる植生評価に適用可能であるか検討した。具体的には、室内実験において被覆率と活性度の異なる植生をスペクトルメータの視野角内に混在させ、ミクセル分解により各カテゴリーの混在比率の推定を行い、リモートセンシングにおけるミクセル分解による植生評価のための基礎的知見を得ることを試みた。得られた結果を以下にまとめる。

実際のリモートセンシング画像データを用いてミクセル分解法により植生の被覆率と活性度の分離を試みる場合を考えると、(1)ミクセル分解法は、画素内に混在し

ている各カテゴリーの分光ベクトルが既知である場合、各カテゴリーの混在比率を推定するのに有効であるが、鏡面反射成分や影の影響など何らかの原因により画素内の各カテゴリーの分光ベクトルが変化してしまった場合、各カテゴリーの混在比率の推定精度は低下することが分かった。また、(2) ミクセル分解を行う際に多くの波長(バンド数)を用いて各カテゴリー混在比率を推定すること、特に植生種の違いを顕著に捉えることが可能な近赤外域を用いることが精度向上のために有効であるという結果が室内の基礎実験から得られた。

本研究ではミクセル分解手法がリモートセンシングによる植生評価に適用可能であるかどうか検討するための第一歩として、観測される衛星画像の画素内における複数カテゴリーの分光ベクトルは線形に結合されると仮定し問題を簡単にして扱ったが、実際の応用を考えると植生等の各カテゴリーは複雑な立体構造をもつため、今後より詳細な検討が必要であると思われる。さらに今後は、

分光反射特性が似かよっている植生種の分離に関しても検討し、衛星リモートセンシング画像による新たな植生評価手法の開発を行っていく予定である。

References

- Inamura, M., 1988: Analysis of remotely sensed image data by means of category decomposition. *Electron. Commun. Jpn.*, Part 2, **71**, 241-250.
- Ito, K., Otsuki, K. and Kamichika, M., 1996: The independent estimation of vegetation cover rates and vegetation vigor using spectral reflectance. *J. Remote Sens. Soc. Jpn.*, **16**, 355-363.
- Oki, K., Ueda, T. and Inamura, M., 2000: Study on the simulation of remotely sensed images for vegetation environmental assessment. *J. Remote Sens. Soc. Jpn.*, **20**, 318-326.
- Settle, J.J. and Drake, N.A., 1993: Linear mixing and the estimation of ground cover proportions. *Int. J. Remote Sens.*, **14**, 1159-1177.