

衛星データによるスペクトル形状を考慮した 台風被害地抽出法の提案

Remotely sensed change detection based on spectral shape for the damaged area by typhoon

加治佐 剛・村上 拓彦・溝上 展也・吉田 茂二郎

Kajisa, T., Murakami, T., Mizoue, N. & Yoshida, S.

キーワード: リモートセンシング, 森林変化抽出, スペクトル形状, 台風被害

要約: 台風被害地把握は, 被害後迅速に情報が得られることが望ましい。本研究では, Landsat/TM を用いてトレーニングデータを用いないスペクトル形状を考慮した台風被害地の抽出法 (スペクトル形状分類法) を提案した。スペクトル形状分類法の精度は, 最尤法とほぼ同等であった。スペクトル形状分類はトレーニングサンプルを取得するプロセスを減らすため, これまでの抽出方法よりも短時間で被害地を特定できる。そのため, 今後風倒被害が発生した場合には, 早急に被害地情報が得られると考えられた。

Abstract: For detection of the damaged area by typhoon, it's preferable to get information as quickly as possible. The purpose of this study is to propose the spectral shape classification without training samples for detection of the damaged area by typhoon. The accuracy of spectral shape classification is almost similar to the accuracy of the maximum likelihood classification. The spectral shape classification could cut the time it takes to get information about the damaged area because it needs no training sample.

Keywords: Remote sensing, Change detection, Spectral shape, Typhoon damage

Received September 24, 2010; Accepted January 11, 2011

1. はじめに

台風等による風倒被害は、日本国内の森林災害の主要部分を占め、平成10年から20年までの10年間に発生した民有林の気象災害面積のうち約60%を占めている(林野庁, 2010)。特に、平成16年には、民有林の風害面積が約45,000haに及び、年間の気象被害の92%を占める大規模な被害が起きた。IPCCから出された21世紀の気候予測では、温暖化した将来の気候において台風を含む熱帯低気圧の最大風速強度の増加と共に、強い熱帯低気圧の個数の増加の可能性が指摘されており(Solomon *et al.*, 2007)、これは直接、森林の台風被害の増加につながると考えられる。一方で、森林の状況から見ても森林の風倒被害の増加が懸念される。日本の人工林の齢級構成を見ると、41年生以上の森林が92%を占める(林野庁, 2010)。久保山ら(2003)が行った森林気象災害の林齢別被害率の推定によると、風害は41年生以上の林分において被害率が上昇している。以上のように、気候変動と齢級構成の点から今後風倒被害が増加することが懸念される。

これまでの風倒被害は、1991年台風19号による被害が大分県内で約22,000ha、2004年台風18号による被害が北海道で約37,000ha、2006年の低気圧による被害が北海道で約7,000haとかなり広範囲に及んでおり、広域を一度に観測できる衛星データによる被害地の抽出が期待されている。

衛星データを用いた風倒被害地抽出に関する研究は、上述の2つの台風による風倒被害で集中して行われている(Takao, 1992, Mukai and Hasegawa, 2000, 北海道森林災害リモートセンシング研究会, 2005)。Takao(1992)では、被害前後のMOS MESSRの赤色域の変化に注目して被害地を抽出した。Mukai and Hasegawa(2000)は、Landsat/TMにおける被害前後の輝度値およびNDVIの変化特性を解析し、また最尤法を用いて被害地を抽出している。北海道森林災害リモートセンシング研究会(2005)の報告では、空間分解能250mのMODISから空間分解能0.6mのQuickbirdまで空間分解能の異なるセンサーや空中写真を用いて、空間分解能を網羅するように風倒被害の抽出手法を検討しており、精度の高い風倒被害地抽出方法が提案されている。

一方で、自然災害発生時の被害把握に求められるのは精度もさることな

がら、迅速な対応ができるかどうかである。日下部ら (2006) は自然災害発生時に求められる衛星データの画像処理方法として時間を要さないこと、被災項目の抽出が可能であること、汎用的であること、パラメータ決定など試行錯誤が少ないこと、単純であること、などを挙げている。上述した衛星データを用いた風倒被害地把握に関する研究では、トレーニングサンプルを必要とするものがほとんどである。トレーニングサンプルの取得には、現地調査や空中写真を利用するため、思いの外時間がかかってしまう。そのため、トレーニングサンプルを必要としない手法が開発できればより迅速に被害地を把握することが可能になるとと思われる。

ところで、衛星画像のスペクトルは、同一の土地被覆においても観測時期や立地条件によってかなり、ばらつきが大きい。しかし、そのスペクトルを大きさ成分と形状成分に分離すると、大きさ成分は地表の傾斜、日射量、標高や大気効果などの影響を受けるが、形状成分は観測時期や立地条件の影響をほとんど受けない (藤原ら, 1996, Muramatsu *et al.*, 2000)。そのため、森林域および風倒被害地の衛星画像の観測値の形状を特定することで、トレーニングサンプルを利用せずにそれら 2 つの土地被覆を分離できると考えられる。

そこで、本研究では、スペクトル形状を考慮した台風被害地抽出法を提案し、その有効性について考察することを目的とした。この目的を達成するために、これまで一般的に用いられてきた最尤法と NDVI を用いた被害地抽出との精度比較、異なる季節の画像による抽出精度の比較を行った。

2. 対象地および使用データ

本研究の対象地は、大分県日田市およびその周辺地域を含む大分県西部である (図 1)。この地域は、1991 年 9 月 16 日に中型で強い勢力を持つ台風 17 号が襲来し、また、1991 年 9 月 27 日には数百年に一度といわれるほどの規模を持った超大型の台風 19 号によって甚大な被害を被った。この台風によって被害を受けた森林面積は大分県内で 22,000ha、被害金額は 496 億円にのぼった (諫本・高宮, 1992)。

使用した衛星データは LANDSAT/TM(Path-Row:112-37) の 1991 年



図 1. 本研究の対象地

12月13日(冬画像),1992年5月21日(春画像)に観測された二つの画像を用いた。また,1991年10月7日に撮影された空中写真を使用し,トレーニングサンプルおよび精度評価用サンプルを取得した。衛星画像,空中写真に幾何補正を行う際に,国土地理院発行の数値地図50mメッシュ(標高)および数値地図25000(地図画像)を用いた。

3. 解析方法

本研究では,スペクトル形状を考慮したトレーニングサンプルを必要としない台風被害後迅速に対応できる台風被害地抽出法を提案する。抽出手順をなるべく簡素化するために,輝度値補正および地形補正の画像の前処理を行わなかった。提案する台風被害地抽出法の有効性を検討するために,画像分類で一般的に用いられる最尤法とNDVIを用いた被害地抽出を比較対象とした。今回の解析では,変化抽出でよく利用される変化前後(被害前後)の複数の画像を使用する方法ではなく,変化後(被害後)のみを利用す

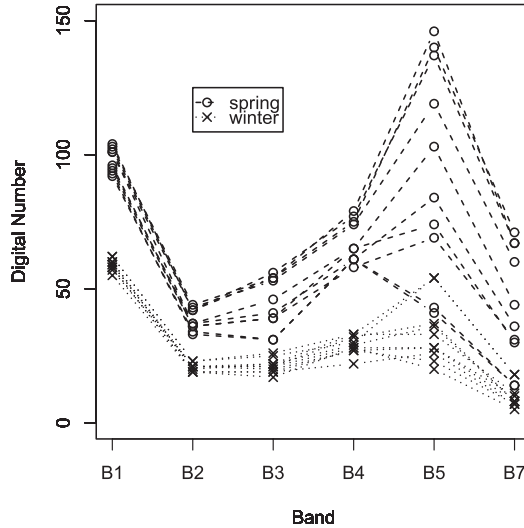


図 2. 春画像および冬画像における被害地のスペクトル

ることとした。以下に、それぞれの方法を示す。

提案するスペクトル形状を考慮した台風被害地抽出法（以下、スペクトル形状分類）は、被害地と無被害地のスペクトル形状の特徴を特定し、その形状に合致するピクセルをそれぞれの土地被覆に区別する方法である。スペクトル形状とは、各バンドの観測値を図示したときに見える形を指す。既に述べたとおり、各土地被覆におけるスペクトル形状は観測時期や立地条件によってほとんど影響を受けない。ここで、被害地・無被害地のサンプルを取り出し各土地被覆の季節の異なる画像におけるスペクトルを図-2, 3に示す。これを見ると被害地・無被害地においてサンプル間・画像間でそれぞれ同様のスペクトル形状を示していることが確認できる。特に、Band4とBand5に注目すると、被害地ではBand5の輝度値がBand4の輝度値より大きく、無被害地ではBand5の輝度値がBand4の輝度値より小さくなる傾向が見られ、この傾向は季節の異なる二つの画像いずれにおいても確認できた。また、この傾向は Mukai and Hasegawa (2000) が示すスペク

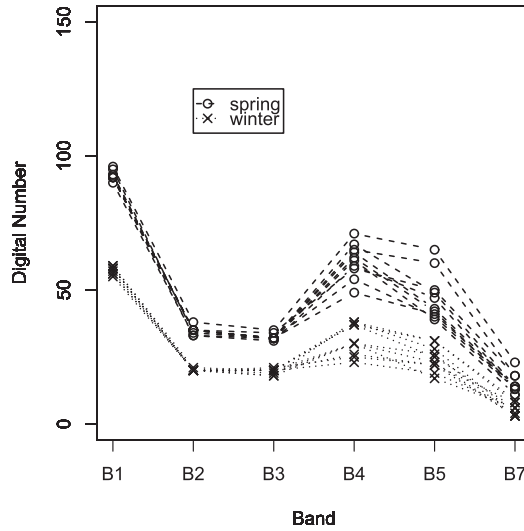


図 3. 春画像および冬画像における無被害地のスペクトル

トルの特徴とも合致する。そこで本研究では、被害地と無被害地を区別する基準として、Band4 と Band5 の輝度値の大小を用いた。具体的には、以下に示す式の通りである。

$$[1] \quad Class = \begin{cases} \text{被害地} & \text{if } Band4 \leq Band5 \\ \text{無被害地} & \text{otherwise} \end{cases}$$

本研究では、比較対象として最尤法および NDVI による被害地抽出を用いる。これら二つは分類方法としては最尤法になるが、本研究における最尤法とは衛星データの輝度値を入力変数として分類する方法を指し、NDVI による被害地抽出とは NDVI を入力変数として分類する方法とする。そのため、両者は分類方法の区分としては教師付き分類になる。教師付き分類とは解析目的に合わせてクラスを定義し、その定義に合わせて解析者がトレーニングサンプルを抽出する方法である。広義の最尤法は、各クラスに対するピクセルデータの尤度を求め、尤度最大のクラスにそのピクセル

を分類する方法である。詳細は、加藤 (2010) に記載されている。NDVI は衛星画像解析でもっとも認知度の高い植生指数であり、以下の式で算出される。

$$[2] \quad NVDI = \frac{(Band4 - Band3)}{(Band4 + Band3)}$$

最尤法および NDVI による被害地抽出では、教師となるトレーニングサンプルが必要となる。また精度を評価する際にも、サンプルが必要となる。一般的にサンプルは現地調査か空中写真を用いて取得するが、今回はオルソ空中写真を用いて最尤法および NDVI 用のトレーニングサンプルを、また、3 つの分類方法の精度を評価するための精度評価サンプルを取得した。サンプル数は、被害地が 1,699 ピクセル、無被害地が 5,918 ピクセルである。

精度評価には判定効率表を用いて行った。判定効率表とは、行方向に分類画像におけるクラス、列方向に参照クラスを集計した表であり、全体精度と Kappa 係数を算出し、精度評価の指標とした。全体精度は、表の対角成分の総和を総サンプル数で除して算出される。Kappa 係数は、より統計学的に洗練された分類精度であり、偶然の一致について考慮された精度評価指標である。また、User's Accuracy および Producer's Accuracy も精度評価の指標として用いた。

これまでの衛星データを用いた画像分類や変化抽出の研究では一組のトレーニングサンプルや精度評価サンプルを用いて精度評価が行われている。しかし、トレーニングサンプルや精度評価サンプルが変われば、出力される結果および精度も変化すると考えられるため、一組のサンプルで計算した精度が各手法の精度を正しく評価していない可能性がある。そこで本研究ではブートストラップ法を用いて精度および精度のばらつきを評価した。本研究では、トレーニング用と精度評価用に被害地・無被害地から 100 ピクセルずつ抽出して分類と精度評価を行い、その試行を 100 回繰り返すことで精度のばらつきを評価した。

本研究では画像解析に ERDAS IMAGINE Ver. 9.1 (Leica Geosys-

tems, 米), GIS データの統合に Arc Map Ver 9.2 (ESRI 社, 米), 統計解析には R 2.10 を使用した.

4. 結果および考察

表 1 にそれぞれの分類方法の冬画像および春画像における全体精度および Kappa 係数を示す. 冬画像においてはスペクトル形状分類の分類精度が最も高く, 春画像においては最尤法が最も精度が高かった. スペクトル形状分類は両画像において全体精度で 70% 弱, Kappa 係数 0.4 程度と, 異なる季節における分類精度の違いはほとんどなかった. NDVI による分類の精度は両画像において最も低かった.

表 2-5 に冬画像および春画像のスペクトル形状分類および最尤法の判別効率表を示す. この結果は繰り返し試行のある一例の結果であるが, ここで示す結果はこれ以外の試行とはほとんど変わらない. スペクトル形状分類の Producer's Accuracy は 2 つの画像において 50% 前後と低いが, User's Accuracy は冬画像では 80%, 春画像においては 93% と高い精度を示した. 一方, 最尤法については, 冬画像において, Producer's Accuracy は 82% と高かったが, User's Accuracy はスペクトル形状分類よりも低かった. 春画像においては User's Accuracy は高かったものの, Producer's Accuracy はそれほど高くなかった. Mukai and Hasegawa (2000) では User's Accuracy が 90% (73/81), Takao (1992) では, 85% (33/39) であり, これらと比較しても, 同程度の User's Accuracy であった.

災害に対する緊急対応において要求される項目に関して, 三つの手法を比較した (表 6). 処理時間の点から見ると, トレーニングサンプルの取得や統計処理を必要としないスペクトル形状分類は解析のプロセスが減るため, 最も時間がかからないといえる. 精度については, 最尤法が最も高く, スペクトル形状分類法, NDVI の順になった. 季節を冬画像にした場合には, 最尤法とスペクトル形状分類法が適していた. さらに, 今回の風倒被害地のようなある特定の土地被覆に注目する場合には, User's Accuracy が重要となる. その点に注目すると, スペクトル形状分類法の精度はかなり高いといえる. 単純さについては, スペクトル形状分類はバンド間の大小

表 1. 各分類方法の冬画像および春画像における全体精度および Kappa 係数

分類方法		全体精度(%)	Kappa 係数
スペクトル	冬	69.9 ± 2.9	0.40 ± 0.06
	春	68.3 ± 2.4	0.37 ± 0.04
形状分類	冬	67.7 ± 4.3	0.35 ± 0.09
	春	77.1 ± 2.8	0.54 ± 0.07
最尤法	冬	42.3 ± 3.5	0.16 ± 0.07
	春	64.6 ± 3.1	0.37 ± 0.05
NDVI	冬		
	春		

数値は平均値 ± 標準偏差

を比較するだけであり、NDVI はバンド間演算を行うだけであるため、これらの方法は、かなり単純だといえる。最尤法については、方法自体はそれほど複雑ではないが、多重共線性の問題を内包するため、単純とは言い切れない。パラメータについては、スペクトル形状分類が Band4 と Band5 のみ、NDVI が Band3 と Band4 のみを用いるため、少ないパラメータで解析可能であるのに対し、最尤法は利用可能なデータをすべて利用し、また、その中で、最適なパラメータ選択が必要となるので、他の二つの方法よりパラメータが多いと判断できる。ただし、スペクトル形状分類で使用する Band5 の観測波長域は、すべての衛星で観測されているわけではないので、その点でやや評価が下がる。汎用性については、最尤法はこれまで土地被覆分類や変化抽出にも利用されており、汎用性が高いといえる。NDVI については植生量を示す指標としてはかなり認知されているものの、土地被覆分類等にはあまり利用されていない。スペクトル形状分類の汎用性については、今後他の事例に適用し、どの程度利用可能か、実証する必要がある。また、先ほどのパラメータと評価と同様に、スペクトル形状分類はすべ

表 2. スペクトル形状分類の判定効率表（冬画像を用いた場合）

スペクトル形状分類 (冬画像)	検証データ		総計	User's Accuracy (%)
	被害地	無被害地		
分類データ	被害地	53	67	79.1
	無被害地	47	133	64.7
総計	100	100	200	
Producer's Accuracy (%)	53.0	86.0		

全体精度 (%): 69.5 Kappa 係数: 0.39

表 3. スペクトル形状分類の判定効率表（春画像を用いた場合）

スペクトル形状分類 (春画像)	検証データ		総計	User's Accuracy (%)
	被害地	無被害地		
分類データ	被害地	41	44	93.2
	無被害地	59	156	62.2
総計	100	100	200	
Producer's Accuracy (%)	41.0	97.0		

全体精度(%): 69.0 Kappa 係数: 0.38

での衛星データに対して適応できないという点を考慮する必要がある。以上のことから、スペクトル形状分類は、精度、パラメータおよび汎用性の点で、まだ十分とはいえないが、解析時間が少なく、方法自体がかなり単純であるため、災害等への緊急対応の際に有効な手法ではないかと考えられる。

表 4. 最尤法を用いた場合の判定効率表 (冬画像を用いた場合)

最尤法 (冬画像)	検証データ		総計	User's Accuracy (%)	
	被害地	無被害地			
分類データ	被害地	82	45	127	64.6
	無被害地	18	55	73	75.3
総計	100	100	200		
Producer's Accuracy (%)	82.0	55.0			

全体精度 (%): 63.5 Kappa 係数: 0.37

表 5. 最尤法を用いた場合の判定効率表 (春画像を用いた場合)

最尤法 (春画像)	検証データ		総計	User's Accuracy (%)	
	被害地	無被害地			
分類データ	被害地	64	9	73	87.7
	無被害地	36	91	127	71.7
総計	100	100	200		
Producer's Accuracy (%)	64.0	91.0			

全体精度 (%): 77.5 Kappa 係数: 0.55

精度のばらつきは、全体精度における標準偏差が 2.4 から 4.3, Kappa 係数における標準偏差が 0.04 から 0.09 となっていた (表 1). 今回の結果からばらつきの大小については言及できないが、ある程度のばらつきがある

表 6 . 被害地抽出法評価基準とそれぞれの方法の適応性

	時間	精度	単純さ	パラメータ	汎用性
スペクトル 形状分類	○	△	○	△	?
最尤法	×	○	×	△	○
NDVI	△	×	○	○	△

ことが示された。この結果が意味するところは、これまでのような一組のトレーニングサンプルおよび精度評価サンプルを利用した分類および精度評価では精度の優劣が逆転し、誤った解釈をしかねないということである。このため、今後画像分類を行う場合には繰り返し試行を行い、精度のばらつきについても考慮する必要があると考えられた。

本研究では、台風被害地抽出の際のプロセスを簡便にするために、輝度値補正や地形補正といった画像の前処理は行わなかった。画像の前処理が画像分類に与える影響は否定できないが、今回の解析では、季節の異なる2つの画像である一定の分類精度が得られたので、画像の前処理を施していないバンド輝度値を用いたスペクトル形状分類では、散乱光などの影響は内包しつつもある程度の精度で被害地の抽出が可能であると考えられる。

5. おわりに

本研究では、トレーニングサンプルを用いないスペクトル形状を考慮した風倒被害地抽出法を提案した。今回提案したスペクトル形状分類は、全体精度で 69.9%、被害地の User's Accuracy は約 80% 以上とこれまでの抽出方法と同程度の精度であった。スペクトル形状分類はトレーニングサンプルを利用せずに被害地を抽出できるため、画像処理のプロセスを減らすことでこれまでの抽出方法よりも短時間で被害地を特定できる。そのた

め、今後風倒被害が発生した場合には、早急に被害地情報が得られると考えられる。昨今、様々な場所で異常気象が発生しており、森林被害が発生しないことを願いつつも、将来被害が発生した場合には、本研究で提案した手法を利用していただければ幸いである。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、空中写真を提供していただいた大分県庁および大分県農林水産指導センター林業部に厚く御礼申し上げます。

引用文献

- 藤原昇・村松加奈子・阿波忍・羽澄妙子・落合史生 (1996) 衛星データ解析のためのパターン展開法の開発, 日本リモセン誌 16 (3): 17-34
- 北海道森林災害リモートセンシング研究会 (2005) リモートセンシングによる森林風倒被害解析報告書-2004 年台風第 18 号による被害調査-
- 諫本信義・高宮立身 (1992) 1991 年 9 月, 台風 19 号により発生した大分県における森林被害の要因解析, 大分林試時報 18:1-43
- 加藤正人編著 (2010) 森林リモートセンシング 第 3 版 -基礎から応用まで-, 443pp, 日本林業調査会, 東京.
- 久保山裕史・鄭躍軍・岡裕泰 (2003) 主要な森林気象災害の林齢別被害率の推定と考察, 日林誌 85:191-198
- 日下部毅明・真田晃宏 (2006) 人工衛星画像からの地震被害施設の抽出のための画像処理手法の適用と実務の手順に関する検討, 国土技術政策総合研究所資料 361
- Mukai, Y. and Hasegawa, I. (2000) Extraction of damaged areas of windfall trees by typhoons using Landsat TM data, *Int. J. Remote Sensing* 21: 647-654
- Muramatsu, K., Furumi, S., Fujiwara, N., Hayasi, 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* 21 (1): 99-119

- 林野庁 (2010) 森林・林業統計要覧 2010, <http://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/toukei/youran_2010.html> (Accessed 1 September 2010)
- Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor M. and Miller H.L. (eds.) (2007) *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. <http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/contents.html>
- Takao, G. (1992) *Detection of the Windfall Damage to Forests Caused by the Typhoons 9117 and 9119*, Proceedings of the 13th Asian Conference on Remote Sensing, pp. A-2-8-1 – A-2-8-6