

Chapter 5 効率的な森林被害調査

リモートセンシングで効率的に森林被害調査

森林災害・被害研究拠点

高橋正義

森林管理研究領域

齋藤英樹

林業工学研究領域

瀧 誠志郎

北海道支所北方林管理研究グループ

小幡進午

森林管理研究領域

西園朋広



被害調査とリモートセンシング技術

森林保険に加入した林分が気象害等による被害を受けた場合、どの程度被害を受けたのかを調べ、損害額を査定する必要があります。被害木が散乱する林分に分け入って被害林分を調べる現地調査は調査自体が大変危険です。また大規模な被害が発生した場合は、被害を受けた林分に至るまでの道路も同様に被害を受けることが多いため道路復旧まで現地にアクセスできず、損害額の査定に長い時間が必要であるのが実態です。衛星画像を用いたリモートセンシング技術は、被害を受けた林分に分け入ることなく、大規模に広がる被害を把握することができるため、安全かつ効率的な被害林分の調査に有効です。

画像解析プラットフォームの活用

図1に衛星画像を使って台風による風倒被害を受けた森

林を推定する手順を示しました。衛星画像を用いた森林被害の把握技術を利用するには、このような解析作業を手順に従って的確に実行することが必要です。まず、対象地域を撮影した被害前の衛星画像から、対象の森林が映り込み、解析に使用可能な画像を検索して複数入手し、それについて大気補正を施すなどの前処理を行う必要があります。次に、前処理を施した画像それぞれについて被害抽出に用いる画像指標である正規化植生指数（NDVI）を計算し、複数画像の NDVI 情報を利用して雲などの解析を妨げる要素を取り除く処理を施した、被害前の NDVI 画像を合成します。被害後の衛星画像についても同様に、解析に用いる複数の画像を検索、入手し、大気補正等の前処理と NDVI の計算、雲を除去した NDVI 画像の合成を行います。このようにして準備した被害前と被害後の雲が除去された NDVI 画像を使って、被害前後の NDVI の変化量を算出し、変化量をもとに被害地を推定します。

こうした衛星画像解析の実行には解析技術に長けた技術者が衛星画像解析に必要な専用ソフトウェアを用いる必要があり、社会実装の大きな壁になっていました。

2010年 に Google 社 が Google Earth Engine (GEE) というサービスを始めました。GEE は、巨大な衛星画像のデータベースを持ち、衛星画像解析をクラウド上で行うことのできる画像解析プラットフォームです。衛星画像のデータベースには大気補正など前処理がなされた衛星画像が登録されています。データ解析は Web ブラウ

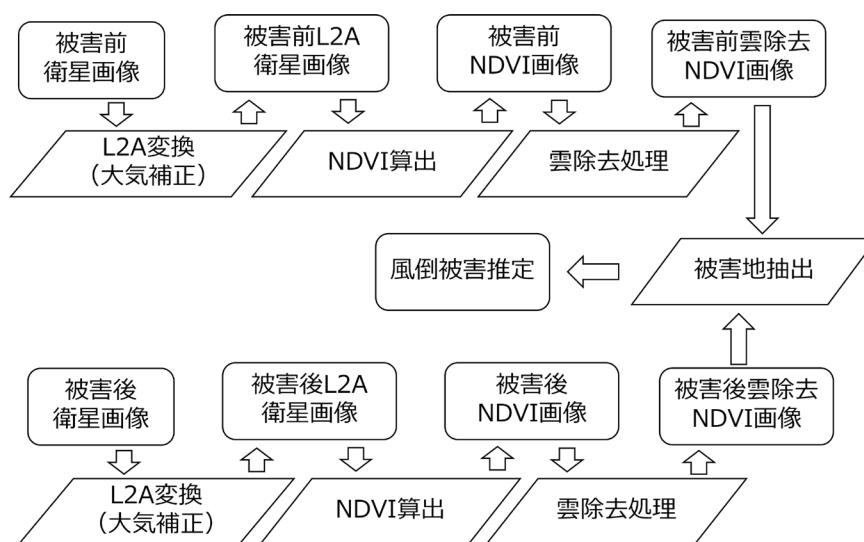


図1 衛星画像を用いた被害調査解析手順

ザから解析手順を記載したスクリプトで実行可能であるため、解析用ソフトウェアを手元に用意する必要はありません。2020年代からは大気補正などを施したSentinel-2衛星の画像の高次プロダクトがGEEで利用できるようになりました。

そこで、図1に示した解析手順をGEE上で実行できるスクリプトを作成しました。GEEとスクリプトを利用すれば、リモートセンシング技術に熟知しなくとも、また解析用のソフトウェアが利用できなくても、任意の場所・時期の森林被害を容易に解析することが可能です。

人工衛星画像を活用した風倒被害調査

2019年9月5日に房総半島に上陸した台風15号（令和元年房総半島台風）、10月12日に上陸した台風19号（令和元年東日本台風）、そして2019年10月25日に発生した大雨によって、房総半島は大きな気象被害を受けました。多くの人的被害や家屋の被害に加えて、送電線の鉄塔が倒壊し、長期間停電が続きました。このとき房総半島の森林も強風による風倒被害が多く発生しました。そこで、森林総合研究所と森林保険センターは千葉県君津市内民有林で、Sentinel-2衛星画像を活用した被害調査を実施しました。

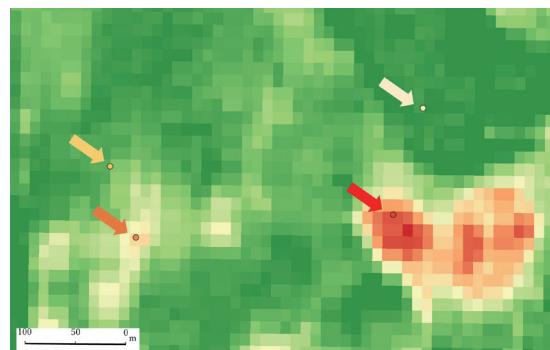


図2 Sentinel-2画像を用いた千葉県君津市有林周辺の被害推定図
被害前後の衛星画像から算出したNDVIの差分で、差分がなく被害なし（緑）から大きな差があり、被害度大と推定したところを赤とするグラデーションで色づけしています。



図3 UAV画像を用いた千葉県君津市有林周辺のオルソ画像
図2で被害大（赤）と判定された領域は強風でほとんどすべての立木が幹折れ、根返りし壊滅的な被害を受けていた。被害度中は半数程度が被害木の林分で、被害度小は、所々に被害木が見られる状態であったことがわかります。

まず、対象地周辺の気象害被害についてSentinel-2画像を用いた解析で推定（図2）し、被害なし（緑）から大きな被害（赤）まで段階的に色づけしたマップを作成し、これを持って現地調査に向かいました。図3は現地調査の際にUAVから撮影した画像を用いて作成した調査地周辺のオルソ画像です。図2および図3上に設定した4色の点は被害程度の異なる検証点です。衛星画像で被害なしとされた検証点を見ると、一様な樹冠が揃った人工林であることがわかります。一方で大きな被害（赤）とされた検証点をオルソ画像で見ると、幹折れや寝返りによってほとんどの立木が倒壊し、木の幹や地面が見えていることがわかります。

図4に検証点における衛星画像で検出されたNDVIの差を示しました。被害前の合成画像を2019年の3月から8月までの6ヶ月間に撮影された画像から作成し、被害後の合成画像を2020年の3月から8月までの6ヶ月間に撮影された画像から作成した場合では、被害大で0.30程度、被害中で0.15程度、被害小で0.05程度の差が見られ、被害なしではほとんど差が見られませんでした。同様に撮影期間を4月から7月までの4ヶ月とした場合、被害大では0.35程度、被害中は0.2を上回る程度、被害小の場合は0.05程度の差があり、被害なしではほとんど差が見られませんでした。一方で検出期間を5月から6月までの2ヶ月とした場合、被害小でも被害なしでも0.05程度の差が見られました。被害程度が大きい場所は検出期間が短くても概ね正確に捉えることができそうですが、被害程度の小さい場所では検出期間の長さによって検出精度に影響が生じることがわかりました。

図5はこれらの検証を踏まえて作成した、2019年の気象害による房総半島南部（富津市、鋸南町、南房総市、君津市）の森林被害マップです。衛星画像は広域の被害把握

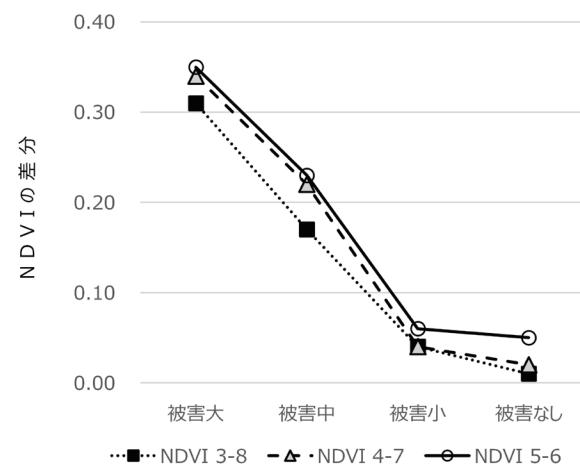


図4 被害程度とNDVIの差分の関係
森林の活性度と関係の深い衛星画像指標であるNDVIの被害前と被害後の差は、大きな被害を受けた場所ほど差が大きいことがわかります。

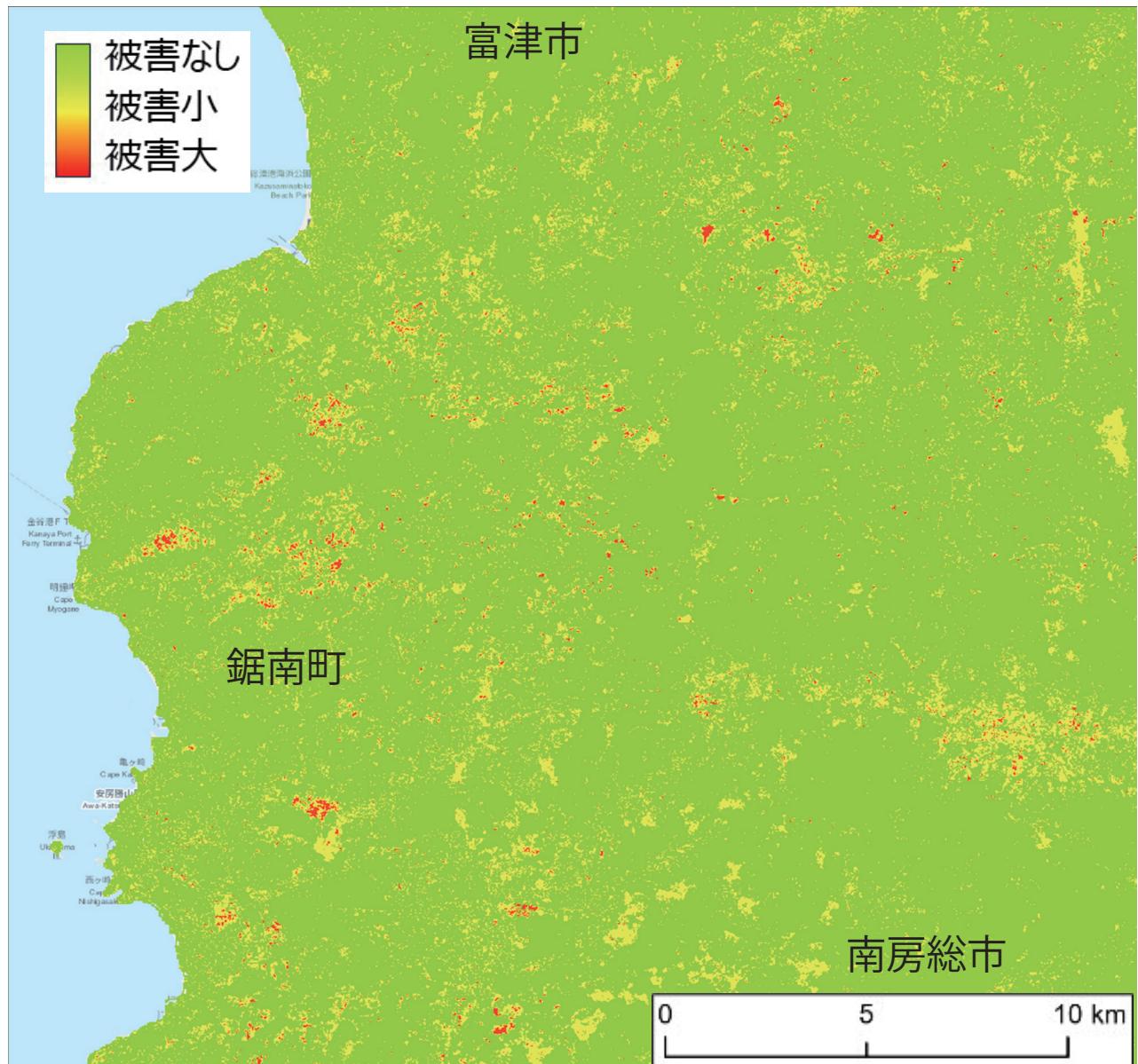


図5 2019年の気象害による房総半島南部（富津市、鋸南町、南房総市、君津市）の森林被害マップ
大きな被害を受けた場所は赤く色づけされています。被害を受けた林分（黄色）を含め、広い範囲で被害を受けたことがわかります。

に適していることが改めて確認できました。

固定翼無人航空機の活用

森林保険では2019年から一部の被害種について、UAVやドローンと呼ばれる無人航空機を使って撮影した画像を被害調査に用いることが可能になりました。森林保険の調査に活用されている無人航空機の多くは回転翼機で、一度に撮影できる範囲は数十haと狭い範囲に限られます。飛行機のような固定翼の無人航空機は、一度のフライトで数百haの範囲を撮影することができます。そこで、固定翼の無人航空機でも気象害の調査に活用可能か、検証しました。

図6は2022年に新潟県村上市、関川町で発生した水害被害地を固定翼の無人航空機で撮影した画像から作成し

たオルソ画像を示しています。固定翼の無人航空機を用いた撮影方法は、面的に撮影するエリア法と、回廊状に飛行・撮影するコリドー法の2種類があります。エリア法では数百haの範囲を撮影することが可能で、コリドー法では、流下する河川沿いに発生した水害被害地を効率よく調査する際に役立ちます。撮影法によらず、地上での被害地の判読が十分可能な、地上解像度が5～10cm程度のオルソ画像を得られることがわかりました。一方で、固定翼の無人航空機は回転翼機と比べて高額であることや、事前の調整、飛行実施に必要な様々な許認可手続き、適切な飛行計画の立案や実行、さらには飛行の安全性を確保する飛行管理体制が必要です。そのため、森林保険の被害調査に適用する場合は、固定翼の無人航空機を運用する専門の業者に依頼するのが現実的です。

リモートセンシング技術の効果的な活用をさらに進めます

困難を極める被害林分の現地調査にリモートセンシング技術を活用するため、技術活用のための知識や解析ソフトウェア等がなくても GEE とスクリプトによって衛星画像解析ができること、そして広域の撮影に適した固定翼の無人航空機による被害調査を試行し、被害調査に向けた運用

法を提示しました。

表 1 は衛星画像から無人航空機まで、森林被害の把握に用いられるリモートセンシング技術の特徴をプラットフォームやセンサーなどで分類し、まとめました。安全かつ効率的な被害調査に向けて、さらにリモートセンシング技術の効果的な活用を進めていきます。

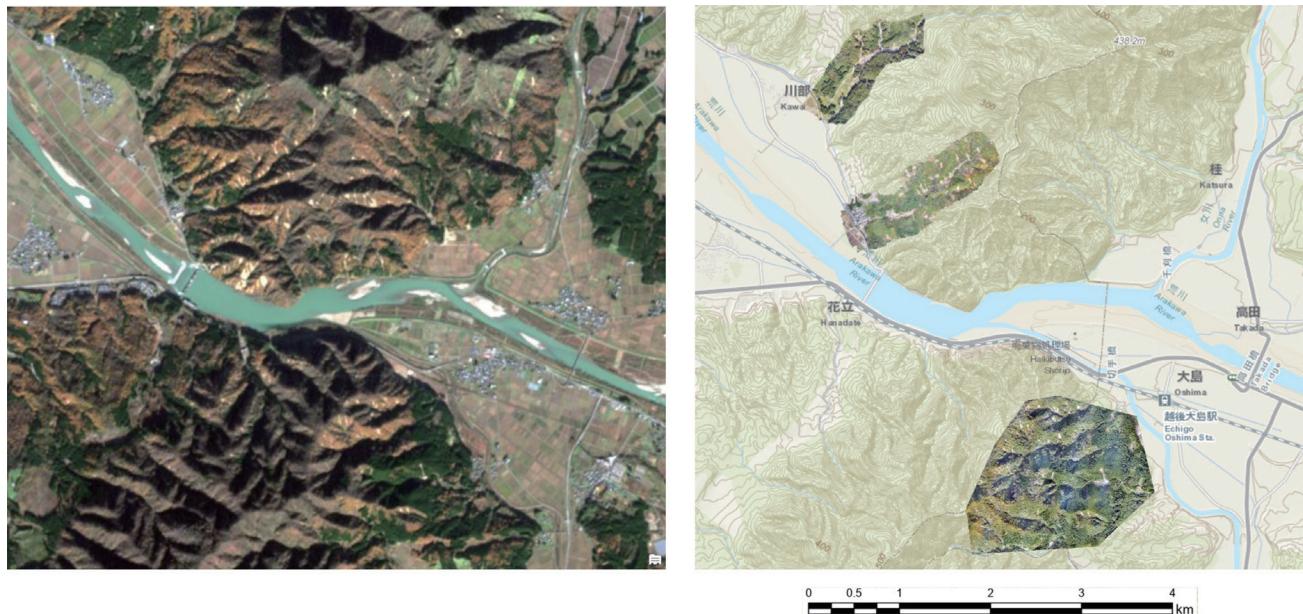


図 6 新潟県村上市、関川町周辺の 2022 年水害被害後の衛星画像（左）と固定翼無人航空機によるオルソ画像（右）

表 1 森林被害に用いられるリモートセンシング技術の特徴

プラットフォーム	センサー	解像度	観測範囲 (観測幅)	入手方法	利用法	特徴・注意点
人工衛星	中分解能マルチスペクトル	10-30 m	185-290 km	無料	被害の広域把握 時系列比較	1-2週間に1度観測 天候に大きく左右 可視・赤外
	高分解能マルチスペクトル	0.6-1 m	10-15 km	有料	被害面積把握 被害形態判読	可視・赤外 天候に左右 高コスト
航空機	空中写真	数10 cm	1-5 km ²	有料／無料	被害面積把握 被害形態判読 時系列比較	任意撮影可 即時性高
LIDAR	1-数点 / m ²	~数100 ha	有料／無料	被害形態把握 3次元情報	任意撮影可 高コスト	
(ドローン)	固定翼空中写真	~10cm	~数百 ha	有料	被害形態判読 被害面積把握 3次元情報	任意撮影可 比較的低成本 即時性高
	回転翼空中写真	~数cm	~数十 ha	有料／自己撮影	被害形態判読 被害面積把握 3次元情報	任意撮影容易 比較的低成本 即時性高
写真	~数cm	多様	自己撮影	被害形態記録	アクセスに左右	

高橋 (2019) 一部改変

参考文献
高橋正義 (2019) 山林 1616:22-27

Focus on

デジタルデバイスで効率的に被害調査

森林災害・被害研究拠点 鈴木 覚・後藤義明

小型デジタルデバイスが急速に発達

近年は小型簡易なデジタルデバイスにライダーなどの先端技術が搭載されています。気象害の被害調査に、そうした機器を活用すれば調査が省力化できると考えられます。そこで、小型簡易なデジタルデバイスで被害調査を実施して、省力化、効率化の観点で、従来の方法と比較しました。

面積測量で人数・時間の省力化が可能

群馬県前橋市で発生した干害被害地で被害調査を実施しました。1. コンパスを使った現行方法(TruPulse360R+TrimbleT41(PDA)、2. iPhone14Pro+マプリィ林業、3. iPhone14Pro+Geographica(無料アプリ) +Trimble DA2(RTK-GNSS受信機)の3種のシステムで比較しました(図1)。



図1 比較した3つの測定方法

方法2、3の測定時間は方法1の1/3であり、時間効率の良さが際立ちました(表1)。面積はすべての方法が同値でしたが、閉合比は現行方法が最も優っていました。方法2は初めて機材を操作した者でも短時間に測定できており、難易度の低さが伺われました。ただし、熟練者と閉合比に差があったことから、精度を上げるにはある程度の習熟が必要そうです。方法3は端末を持って被害地外周を歩くだけで測定でき、測定時間が最短でした。

表1 手法ごとの計測結果(単位:時間は分秒、面積はha)

方法	計測人数	計測時間	面積(ha)	閉合後面積(ha)	閉合比	備考
1	2-3	13:35	-	0.27	1/809	熟練者
2	1	4:30	0.28	0.27	1/52	初体験者
2	1	4:55	0.28	0.27	1/154	熟練者
3	1	3:54	0.27	-	-	初心者

表2 方法ごとの相対評価
(◎:非常に優れる、○:優れる、△:比較的劣る)
△:比較的劣る)

方法	計測時間	計測人数	精度
1	△	△	◎
2	○	○	○
3	◎	○	○

方法1は精度の高さに利点(◎:非常に優れる、○:優れる、△:比較的劣る)があり、方法2、3は測定時間、作業人数の削減効果が大きく、精度要件を満たせば有効な手法と考えられます(表2)。

標準地調査では条件不利ほどメリット大

群馬県前橋市、藤岡市で発生した干害被害地で標準地法による被害率調査を実施しました。1. 現行方法(ポケットコンパス+巻尺)、2. 円形調査法、3. iPhone14Pro+マプリィ林業の3方法を比較しました。方法2は、竿を水平に360度回転させ、竿にかかった健全苗数、枯死苗数を数えました。方法3では、拡張現実で画面上に標準地境界が表示され、その境界線内を調査しました。

調査地Aでは、現行方法が標準地の設定に時間要したのに対し、方法2、3は区画設定が不要もしくは瞬時にできることが計測時間の短縮に貢献していました。調査地B~Fは傾斜地であることや防鹿目的の単木保護資材が使用されていたため計測時間がAよりも長くなっています。単木保護資材があると苗木の生死確認が難しく、方法2では作業者1人の追加が必要でした。方法3は個体に接近して記録するため、単木保護資材が使用されていても時間、作業人数に変化はありませんでした。

手法ごとの評価をまとめると、方法1は人数、計測時間が劣っていました(表4)。方法2は計測時間が短いことに優っていましたが、それ以外の利点が少なく、単木保護資材が使用されている場合は1人での測定ができませんでした。方法3は苗木に接近する必要があるため、計測時間で方法2に劣りましたが、傾斜や単木保護資材の使用に左右されずに精度よく本数を数えられました。また、苗木の

表3 標準地ごとの計測時間(分)

防鹿:有の区画は苗木が一本ずつ円筒形のプラスチック素材に入れられていた。
位置情報が得られるので、情報

方法	調査地					
	A	B	C	D	E	F
1	5.4	-	-	-	-	-
2	1.2	5.0	4.0	3.2	5.3	5.8
3	3.0	7.0	12.0	-	5.0	7.0

表4 方法ごとの相対評価。表内の括弧は主観的評価
(◎:非常に優れる、○:優れる、△:比較的劣る、×:劣る)

	方法		
	1	2	3
計測人数	△: 2-3人	○: 1-2人	◎: 1人
計測時間	△	◎	△
生死判定	△	×	◎
精度(区画設定)	(◎)	(△)	(○)
精度(本数)	(○)	(△)	(◎)

森林総研、群馬県森連、株式会社マプリィの3社で共同研究「地上ライダーを気象害被害地の調査で活用する手法の開発」を締結して実施しました。