

3. 実施内容


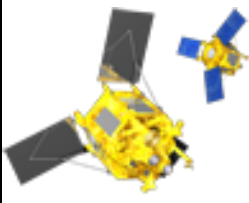

3.1. 森林変化と土砂流出発生の有無の関連性に係るデータ収集方法の検討

伐採等の森林変化について精度、汎用性、経済性を踏まえた上で伐採等の森林変化による土砂流出箇所の抽出に最適な手法について検討を行う。調査にあたって、まず、広範な調査が可能である衛星画像等のデータを活用し、土砂流出箇所の抽出を行う。その後、既存の航空レーザ計測成果等を用いて、上記の抽出手法に対し、精度や誤差が抽出結果に与える影響等を検証した。

3.1.1. 衛星画像等によるデータの収集

熊本県球磨川流域において、令和2年7月の豪雨時から遡って10年程度を目安として、森林変化箇所と当該森林変化における豪雨の影響と考えられる表層崩壊等による土砂流出の有無についてデータを収集した。データ収集に用いる衛星画像は、本調査目的を踏まえ、空間的、時間的な分解能と十分な判読性を有している必要があり、一般的で入手が容易な衛星を表1に示す。

表1 森林監視に用いる主要な衛星

種類	光学衛星			SAR衛星
衛星名	WorldView-3 	Spot6&7 	Landsat-8,9 	ALOS-2 
運用者	Maxar	Airbus D&S	USGS/NASA	JAXA
撮影期間	2014/8~	2012/9~	2013/2~	2014/5~
衛星軌道	太陽同期準回帰軌道	太陽同期準回帰軌道	太陽同期準回帰軌道	太陽同期準回帰軌道
衛星高度	617km	694km	705km	628km
撮影幅	13.1km	60km	185km	50~70km
撮影頻度	約2日	毎日(2基体制)	約8日(2基体制)	約7日
地上分解能*	0.3m	1.5m	15m	3~10m(SMモード)

伐採等の森林変化に関する監視用途において活用される地球観測衛星として光学衛星とSAR衛星がある。SAR衛星は天候によらず撮影でき、森林から裸地への変化を捉えることが可能であるため、災害時の撮影に適している。しかし、本調査では後述する集材路等、皆伐後の変化を継続的に捉える必要があり、光学画像と比較すると不得手と言える。

光学衛星においては、ポインティングモード（衛星を任意の方向に傾けて観測する機能）を備えたWorldView-3およびSPOT6&7が観測頻度の面で優位である。また、地上分解能に注目すると、本調査では比較的小規模な変化を捉える必要があるため、同じく、WorldView-3およびSPOT6&7が候補である。ここで、本調査の条件として10年程度過去に遡ってデータを収集することから、アーカイブの特性も加味する必要がある。WorldView-3は観測幅が比較的狭く、観測需要が高いことからアーカイブ画像は都市部に集中しており、森林域を継続監視するには十分ではない。一方で、SPOT6&7は観測幅が広くかつ2基体制であるため、1年程度の期間があれば気象条件を考慮しても日本全国をくまなく撮影できる程の能力を有している。過去に遡って森林域のアーカイブを収集しても1年に1回は良好なアーカイブがあり、今後、広く森林域に調査範囲を広げるにあたって十分なデータを収集することが出来ると考えられる。以上から本調査においてはSPOT6&7を採用してデータを収集した。

3.1.2. 画像選定方針

本調査では対象地域の災害から 10 年間程度を目安に遡って森林変化を把握した上で、発災直前直後の画像を用いて災害時の森林変化を把握した。

本業務では令和 2 年 7 月豪雨を対象の災害とするが、この影響と考えられる土砂流出を把握するため、発災直前までの画像で判読を行い、その森林変化箇所を除くことで、他の災害等に起因する土砂流出等を除外する必要がある。これを踏まえ、表 2 に示す条件で画像を選定する。なお、後述に示す通り本調査ではマルチバンド解析（バンド間の演算によって地表の特徴を示す指標 NDVI、GSI 等を算出）を想定している。NDVI 等の指標は紅葉や落葉の影響を強く受けるため、発災直後の画像が観測された 7 月を基準として、同季節の画像を採用することで、比較検討におけるノイズの低減を図る。

表 2 画像選定方針

選定画像	摘要
経年変化アーカイブ	10 年程度に遡って等間隔に採用する画像。 被雲が少なく、7~9 月の画像とする。
発災直前画像	令和 2 年 7 月豪雨災害発災直前の画像。 被雲が少なく、可能な限り発災日に近いものとする。
発災直後画像	令和 2 年 7 月豪雨災害発災直後の画像。 被雲が少なく、可能な限り発災日に近いものとした。

▶ 経年変化アーカイブ

経年変化アーカイブは 2 時期分の画像を収集する。今回採用する SPOT6&7 衛星は 2012 年打上の衛星であるため、当年から発災前年にあたる 2019 年までのアーカイブを検索し、4~9 月を基準に年毎に最も状態の良い画像を調査した。調査結果を表 3 に示す。

このうち採用するものとして、最も古い 2013/04/27 の画像と、発災年にあたる 2020 年との中間点である 2017 年の画像を選定した。

表 3 経年変化アーカイブ画像の採否

No.	観測年	観測日	入射角	雲量	採否
1	2019	2019/06/24	14.9	1.1%	
2	2018	2018/10/13	1.5	0%	
3	2017	2017/08/29	15.7	0.1%	○
4	2016	2016/04/15	39.3	0.9%	
5	2015	2015/05/08	20.1	5.0%	
6	2014	2014/09/29	17.3	0.4%	
7	2013	2013/04/27	23.3	0%	○
8	2012	候補なし	-	-	

➤ 発災直前・直後画像

2020年の発災付近で撮影された画像を表4に整理した。発災直前画像は最も撮影日が近く、雲量の少ない5/14撮影のものを採用した。直後画像は発災から8月に台風が接近するまでの間に撮られたものを比較し、被雲率が最も少ない7/18の画像を採用した。

表4 発災直前・直後画像の採否

No.	観測日	入射角	雲量	採否
1	2020/04/04	11.7	47.4%	
2	2020/04/10	23.3	7.5%	
3	2020/04/29	21.2	0.0%	
4	2020/05/14	11.6	0.4%	○
5	2020/06/09	18.0	36.2%	
6	2020/07/04	5.3	92.5%	
7	2020/07/05	22.2	100.0%	
8	2020/07/08	47.3	97.7%	
9	2020/07/11	33.2	99.8%	
10	2020/07/17	45.7	81.3%	
11	2020/07/18	9.7	1.1%	○
12	2020/07/20	46.7	59.1%	
13	2020/8/21	31.4	58.9%	

発災

台風

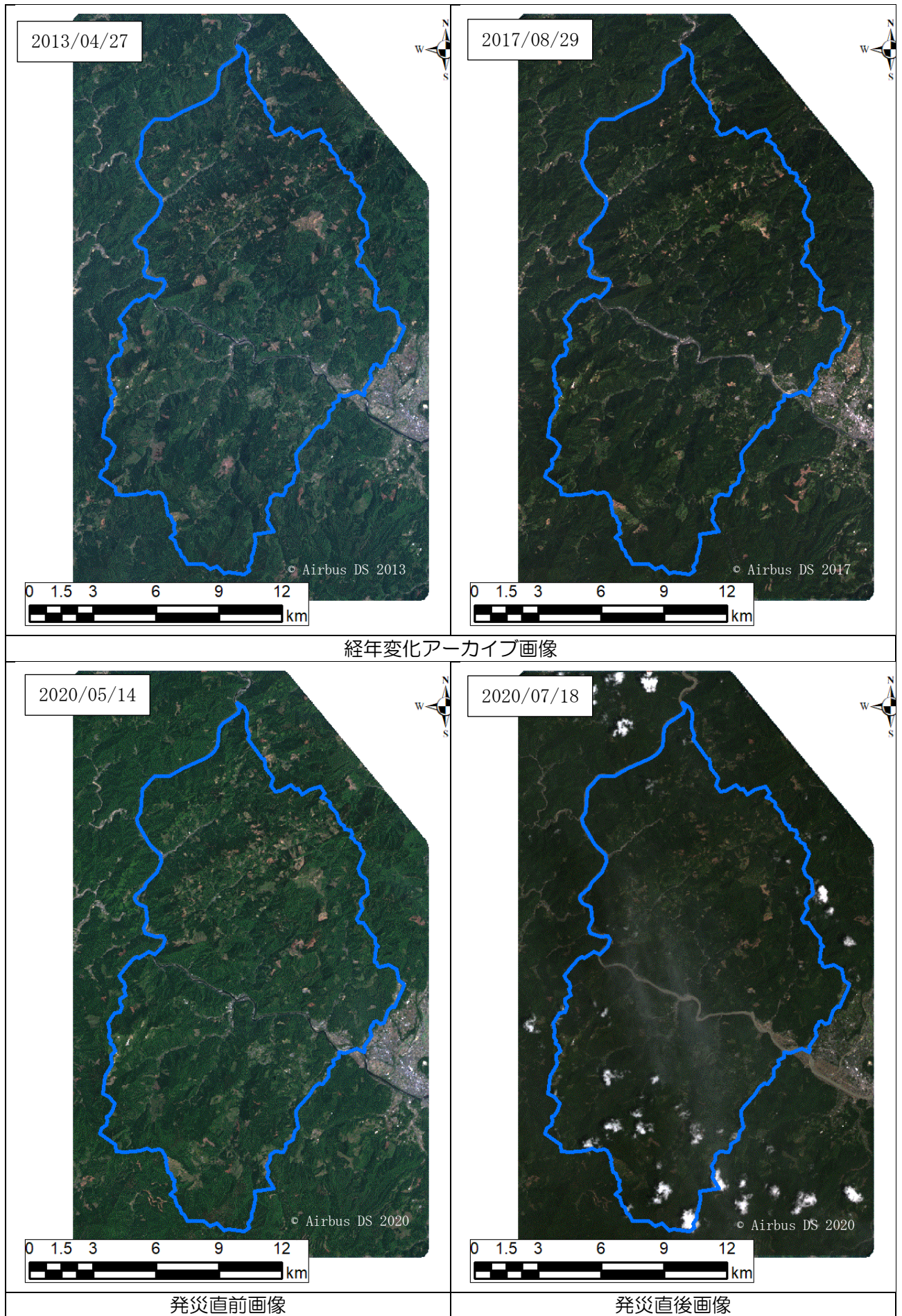


図 3 調達画像一覧

3.2. 森林変化抽出/土砂流出箇所抽出

収集した画像を用いて、森林変化および土砂流出箇所を抽出した。判読範囲を図 4 に示す。当初は AI による判読を予定していたが、既存のモデルでは後述するような、草本が生育している伐採地や、成林したもの等を検出できないため、判読にあたっては目視判読を主とし、マルチバンド解析の結果を参照してより詳細な抽出に努めた。

判読対象として、経年変化アーカイブ～発災直前画像における森林変化箇所は時系列を整理し、「森林変化ポリゴン」を各年で作成した。発災直後画像からは大雨による土砂流出と考えられる箇所を抽出し「土砂流出ポリゴン」を作成した。

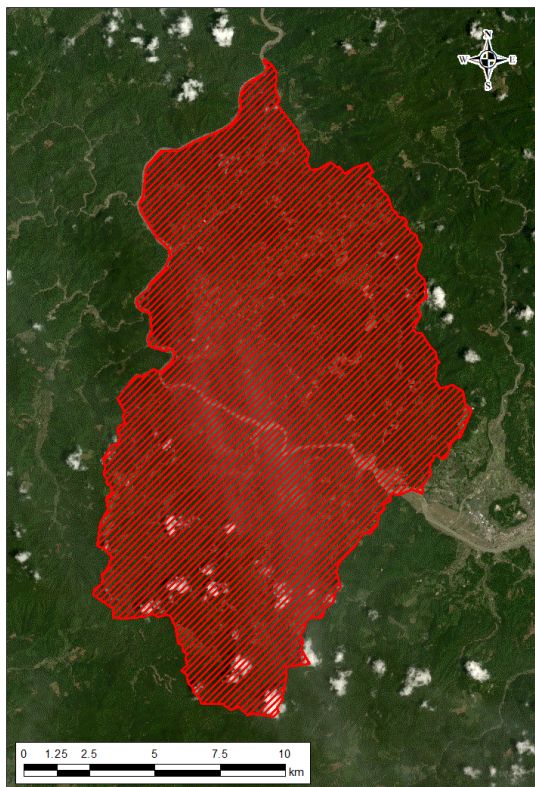


図 4 判読範囲

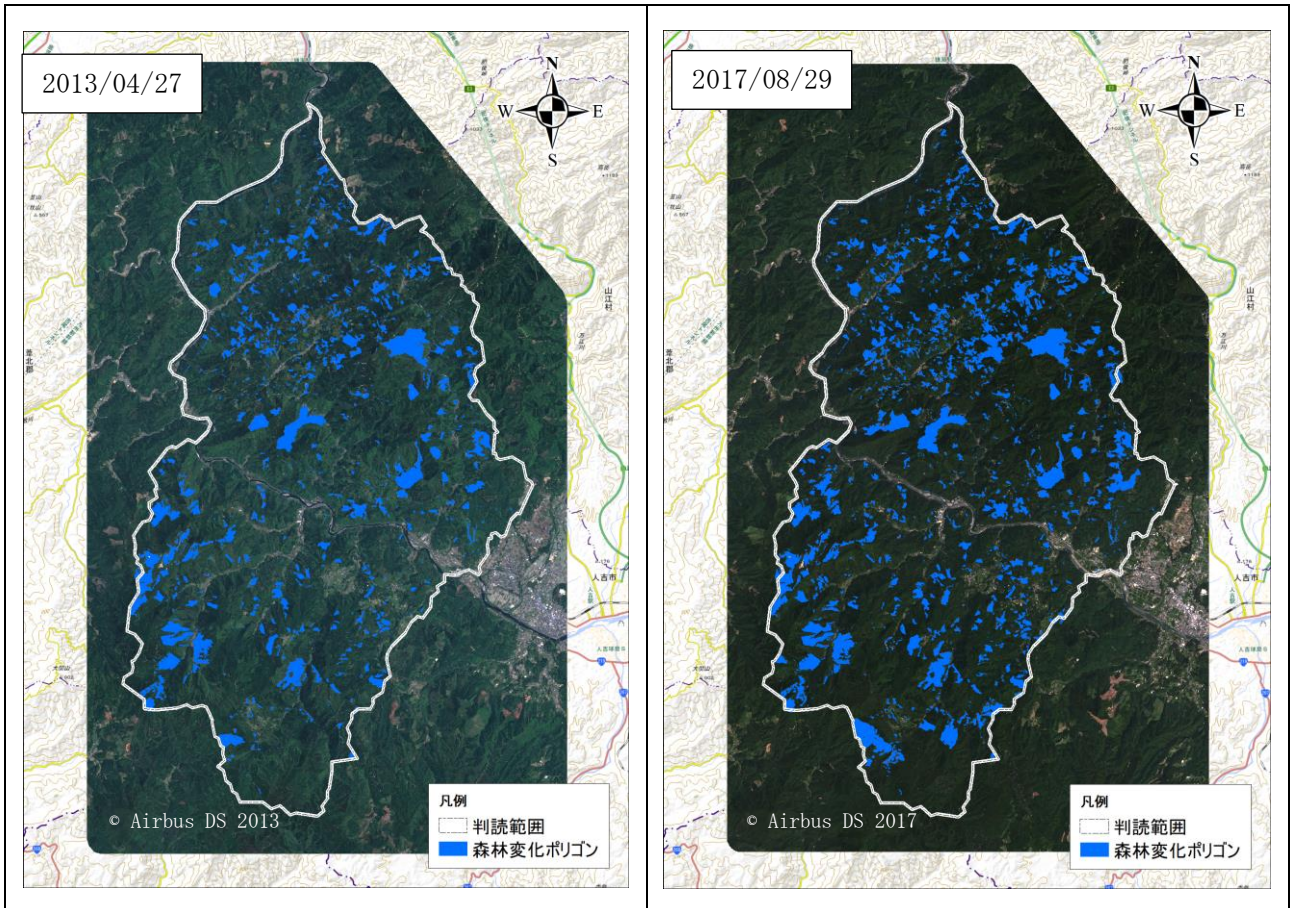
3.2.1. 森林変化ポリゴン抽出

2013, 2017, 2020 発災前の衛星画像を元に、目視判読およびマルチバンド解析によって平時における森林変化の経過を整理した森林変化ポリゴンを作成した。作成した結果を表 5 と図 5 に示す。なお、本調査は変化箇所を経年観察することが必要となるため、各年の数は新規変化箇所数ではなく、過去年から累積していった数量である。

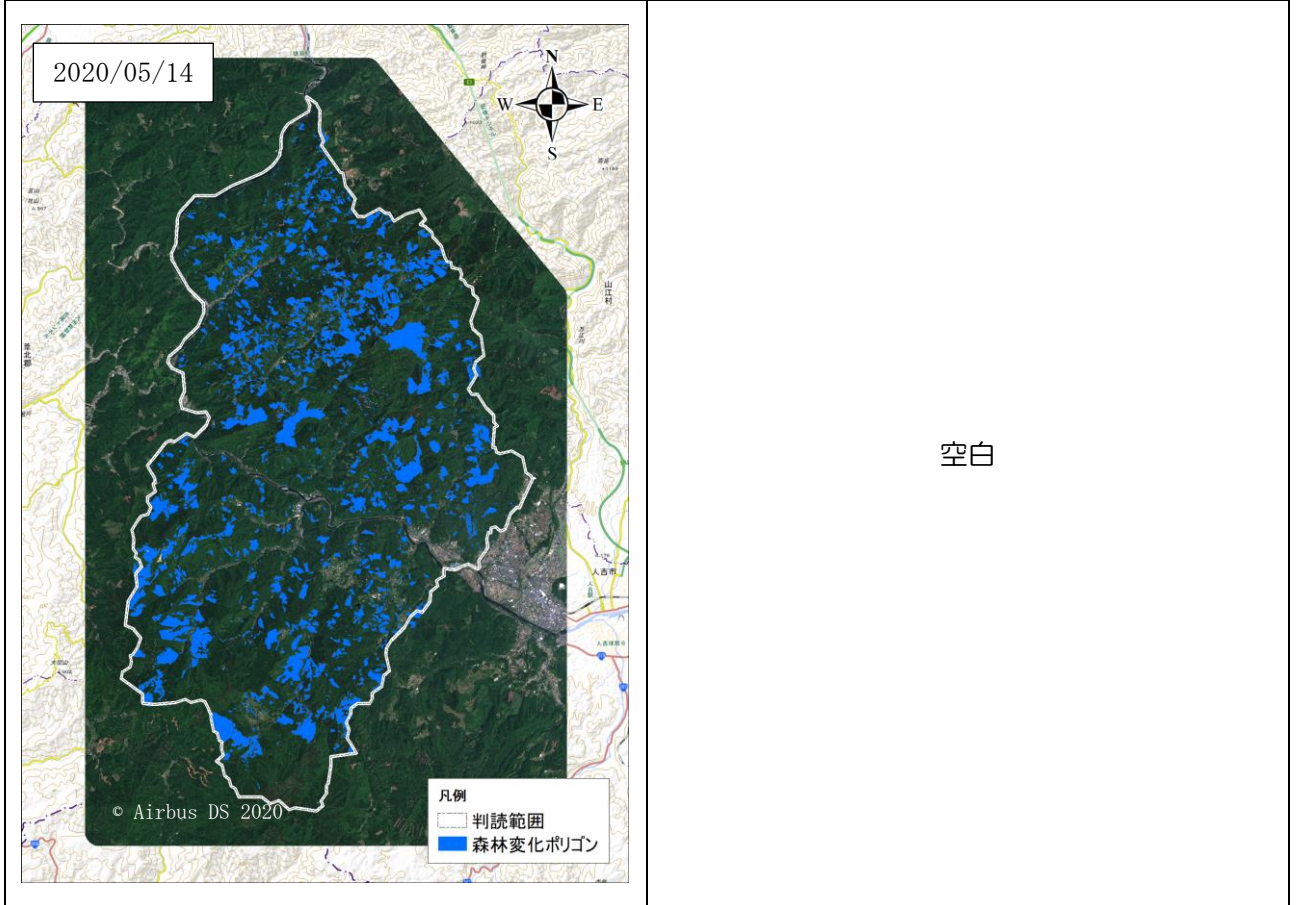
今回の判読では3年ごとの画像を処理したため、伐採から時間（最大2年程度）の経過した箇所も抽出する必要があった。このことから、既に下草が十分に繁茂しているものも多く、解析による機械的な処理は難しく、目視による判断が必要となるが多かった。

表 5 森林変化ポリゴンの集計結果

	2013/4	2017/8	2020/5
森林変化全数	891	1534	2104
伐採地	852	1397	1875
集材路の確認された伐採地	392	730	1058
崩壊地	39	137	229



経年変化アーカイブ画像



発災直前画像

空白

図 5 森林変化ポリゴンの分布

➤ 回復中の森林の扱い

かつて伐採されて5 齢級未満の回復中である森林においても、災害リスクを考慮すると抽出し確認することが望ましい。一方で衛星画像のみで齢級を判断することは困難であり、疑わしい森林を全て抽出すると、森林のほぼ全域が対象となってしまう。そのため、本作業においては、周囲と比べて明らかに樹木が存在しない箇所に絞り、成林した箇所は抽出対象外とすることとした。(図 6)



図 6 抽出対象外とする森林

➤ 属性の付与

ポリゴンに付与する属性は表 6 のものを付与した。

表 6 属性表

No.	属性名	概要	属性例等
1	ID	通し番号	一意に判断できる番号を振る。
2	type	変化種別	伐採地、崩壊地、不明 変更の種別を付与
3	surface	地表情報	判読年における地表情報を付与 裸地、草地、植林、森林、被覆、その他
4	road	集材路有無	集材路の判読可否 集材路あり：1, 集材路なし：0
5	year	判読年	森林から変化が生じた判読年を付与 2013,2017,2020(前),2020(後)
6	area	面積	m ² 単位で記載

➤ 地表情報の種類

地表情報の属性は「裸地」「草地」「植林」「森林」「被覆」「その他」の6 種とした(図 7)。

「裸地」は色情報から土壌が判読できる場合とした。

「森林」は過去年に抽出された森林変化ポリゴンに対して、判読時の画像で森林が十分に回復していた場合とした。

「草地」は色情報から土壌ではなく草本が地表を被覆した場合とした。

「植林」は若干の緑色を呈し、モザイク状のテクスチャが判読でき、森林まで回復していない場合とした。

「被覆」は人工被覆地とした。

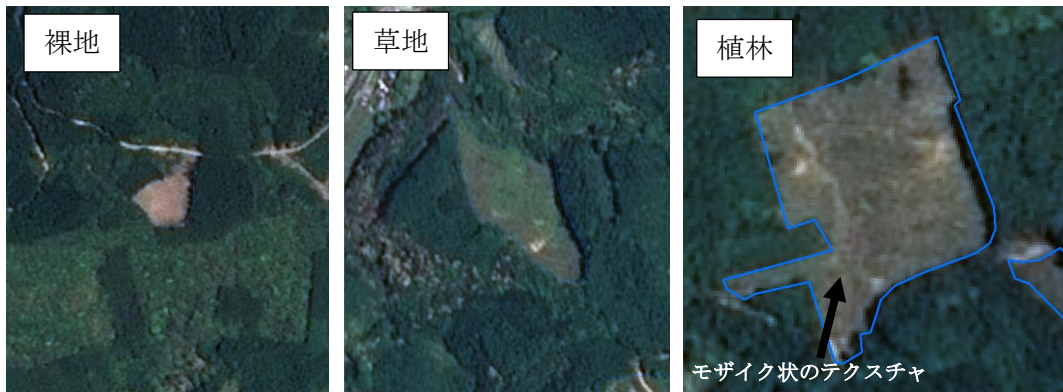


図 7 変化後情報の各属性例

➤ 路網について

伐採地内に道のような地物が確認できる場合はその規模に関わらず「路網あり」とした。



図 8 路網の判読

3.2.2. 土砂流出箇所抽出

発災直後画像の判読を行い、大雨による崩壊と考えられる地点を抽出した。当初の予定では前項の「森林変化ポリゴン」と災害時の変化ポリゴンの差分を抽出することで、「土砂流出ポリゴン」を作成することとしていたが、実際には森林変化ポリゴン内で崩壊が起き、かつ内側で崩壊が止まり、土砂がポリゴン外まで流出しないパターンが多く、森林変化ポリゴンで差分抽出をしてしまうと大部分の崩壊が減じられてしまい、正確な集計が出来ないと考えられたため、この手法は取らず、主に目視判読によって発災直前画像と比較し、テクスチャに変化のあった箇所を抽出することとした。なお、可能な限り極小な土砂流出箇所も取得できるように、周囲も含めてテクスチャが変化した箇所を抽出した。最小の土砂流出ポリゴンの面積は約 60 平方メートルであるが、判読した土砂流出ポリゴンの多くは 100 平方メートル以上（堆砂息も含む）であり、これは衛星画像の 5～6 ピクセル四方のサイズに該当する土砂流出を抽出した。

土砂流出箇所は全数で 431 箇所見つかった。GIS による簡易な解析によると、伐採地に係る土砂流出箇所は 338 箇所であった。なお、判読した土砂流出箇所は衛星画像から判読しているため林内の樹冠が被覆する土砂流出箇所は抽出できていない可能性がある。

表 7 土砂流出ポリゴンの集計結果

	土砂流出ポリゴン
崩壊箇所全数	431
上記のうち森林変化地に関連する崩壊地	210

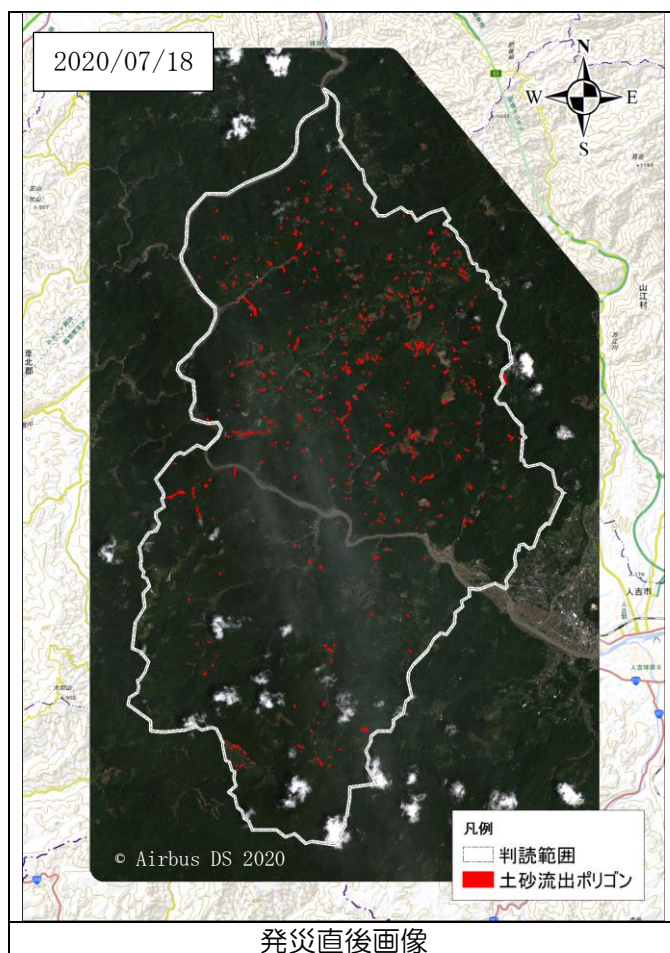


図 9 土砂流出ポリゴンの分布



図 10 土砂流出の例

3.2.3. 高次元・高解像度データによる検証

衛星画像を判読した土砂流出の範囲について、林野庁が過年度に実施した「令和2年度森林域における航空レーザ計測業務（その1）」（以下、過年度LP業務）の地形判読成果と比較し、表層崩壊の箇所数や面積の比較を行った。

a) 箇所数

衛星画像より判読した土砂流出箇所の431箇所数のうち、316個が重複していた。重複しない原因として、以下が挙げられる。

- ・航空レーザ測量による判読結果は令和2年9月から11月にかけて計測したデータであり、時期の違いによる判読の差
- ・衛星画像の解像度（1.5m）では表現がしきれていない土砂流出がある。
- ・土砂の流下区間や堆積箇所も土砂流出箇所とした。

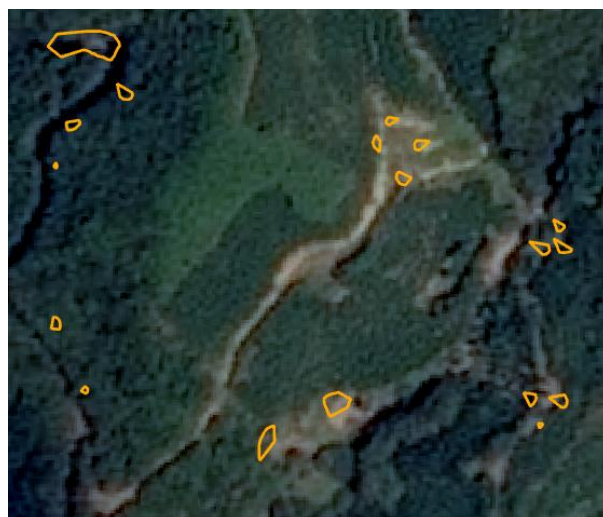
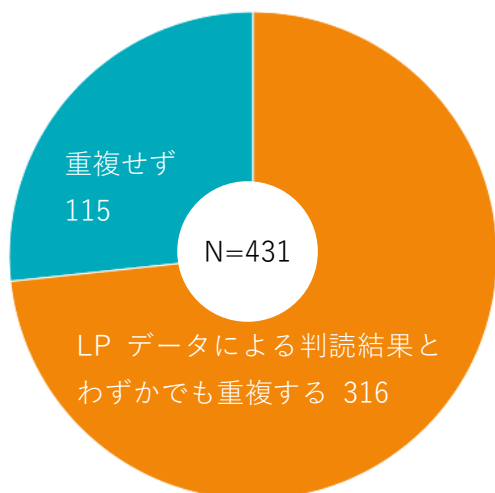


図 11 箇所数の差（左）と衛星画像では未判読であった箇所（右）

b) 面積

衛星画像より判読した土砂流出箇所の総面積は 371,788.6 平方メートルに対し、航空レーザ測量と同時撮影したオルソフォトの判読結果は 114,733.2 平方メートルであった。この差は判読基準の違いによるもので、図 12 に示すとおり衛星画像からの判読は土砂流下箇所まで判読しているからである。

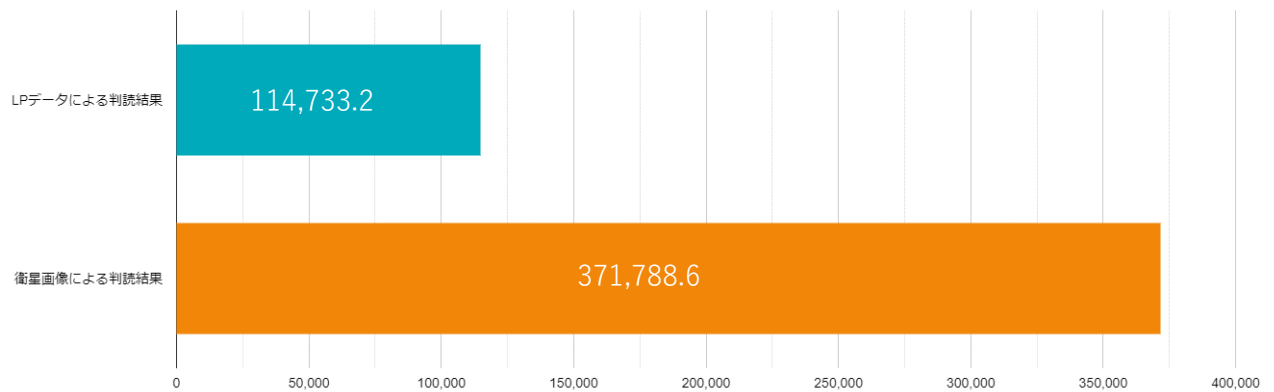


図 12 衛星画像と航空レーザ測量による土砂流出ポリゴンの面積の差 (単位: 平方メートル)

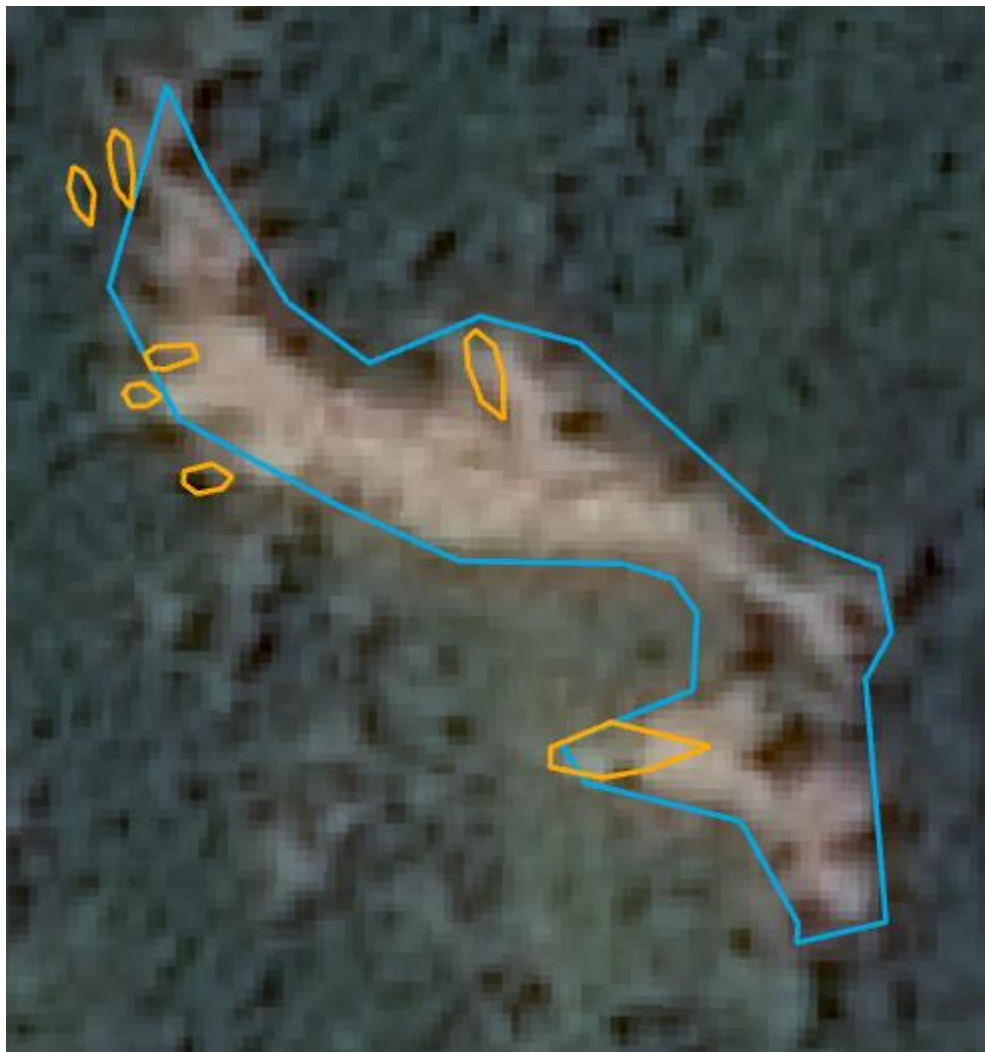


図 13 衛星画像と航空レーザ測量による土砂流出ポリゴンの面積の差の要因

撮影した画像から判読するには一般的には解像度の 10 倍以上の規模が必要である。過年度 LP 業務では SPOT 画像の解像度の 10 倍の長さの一边を有する正方形面積 ($225\text{m}^2=15\text{m}\times 15\text{m}$) 以下の崩壊地において、衛星画像で判読できた土砂流出箇所は全体の約 5 割にあたる 240 個を抽出した (N=431)。これは、図 14 に示す通り土砂流出により下流部の土砂が衛星画像に表現されているためである。土砂流出によって解像度の 5~6 ピクセルの堆砂区間があることによって、発生源が小さい土砂流出を把握できる可能性がある。



図 14 衛星画像で取得した土砂流下ポリゴン