

異なる空間分解能が及ぼす土砂流出
範囲推定手法への適用性の違い
-2022年8月豪雨における光学衛星データ
を用いた解析例-

防災科学技術研究所
秋田寛己[○], 平春, 田口仁

背景

近年、土砂災害が各地で同時多発的に発生。これらの災害に見られるように、土砂災害を引き起こす山地流域からの土砂流出は広域的に発生するケースが多く、災害後の応急復旧を行うには土砂流出の発生範囲の把握・推定が求められる。



[2018年広島豪雨での土砂流出の例]

研究の目的

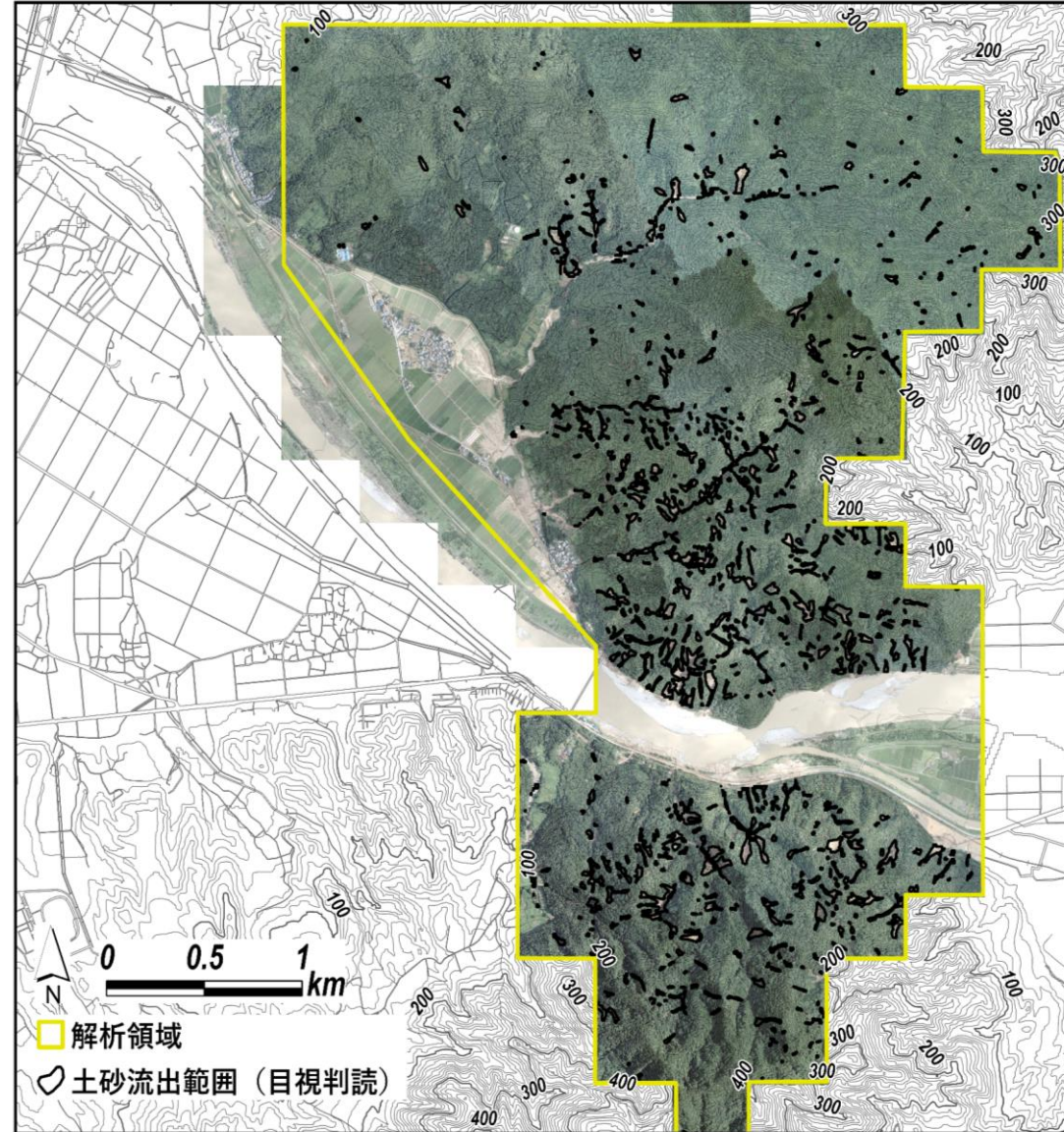
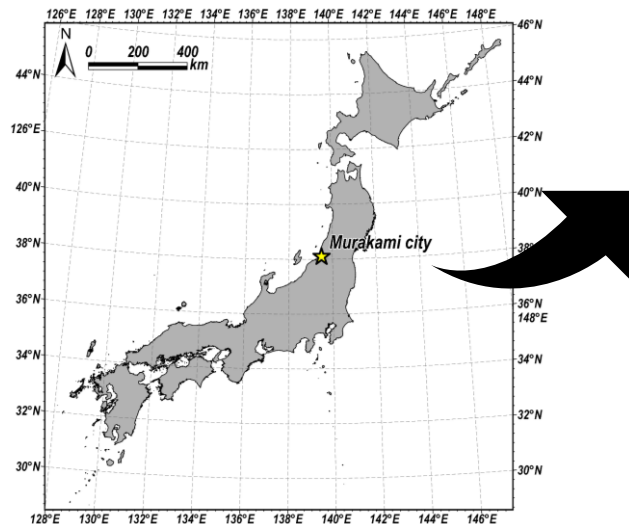
- 光学衛星データは天候による雲被覆や地形による急傾斜地の陰影の影響といった撮影条件がネックであるが、撮影頻度の高い小型光学衛星の打ち上げなどによりユーザが利活用できる衛星データが増えている。
- 光学衛星データを活用して土砂流出の推定範囲を抽出する手法自体が、実態にどの程度適用できているのかを明らかにしていく必要がある。



2022年の8月豪雨で土砂流出のあった新潟県村上市の周辺地域を対象に、空間分解能の異なる4種の光学衛星データを用いて $\Delta NDVI$ の計算を行うことで土砂流出範囲を広域に抽出し、空間分解能の違いが抽出手法の適用性に及ぼす影響を整理する。

対象地

2022年8月3～4日にかけて大雨で土砂災害の発生した新潟県村上市周辺地域。解析対象範囲は、特に崩壊・土石流が集中していた範囲 ($A=12.9\text{km}^2$) に設定し、その中に分布する新規裸地化した土砂流出発生範囲。



[オルソ画像:朝日航洋株式会社公開データ]

使用した光学衛星データ

- 2021年から2022年に撮影された災害前後の4種の空間分解能の光学衛星データを使用.
- 空間分解能の違いを比較するため, 0.5~10m(パンクロマティック)に幅をもたせ, 解析においてはピクセルサイズを統一するため, 1m間隔にピクセルをリサンプリング.

衛星/センサー	撮影日 ¹⁾ (上: 豪雨前, 下: 豪雨後)	太陽天頂角 (°)	太陽天頂角 の平均 (°)	天頂角の差 (°)	太陽方位角 (°)	プロダクト レベル	再訪日数 (日) ²⁾	観測幅 (km)	空間分解能 (m) ³⁾	波長帯 (nm) ⁴⁾			
										Blue	Green	Red	NIR
Pleiades-HR (1B)/HiRI	2022.7.6, 10:36:05	68.50	61.0	14.94	179.82	Level-3	13	20	0.7 (2.8)	450-530	510-590	620-700	775-915
	2022.9.14, 10:47:40	53.56											
SPOT 6/NAOMI	2021.9.29, 10:13:46	46.00	40.9	10.29	150.82	Level-3	13	60	1.5 (6.0)	455-525	530-590	625-695	760-890
	2022.10.26, 9:57:28	35.71											
PlanetScope/DOVE-C	2022.5.29, 10:07:01	63.01	57.9	10.31	120.63	Level-3B	1	25	3.7 (3.7)	455-515	500-590	590-670	780-860
	2022.8.8, 9:32:50	52.70											
Sentinel-2/MSI	2021.9.29, 9:00:00	36.37	38.3	3.76	130.06	Level-2A	5	290	10.0 (10.0)	493	560	665	833
	2022.9.14, 9:00:00	40.13											

1) 日本標準時を示す

2) コンステレーションによる日数

3) パンクロマティックの分解能, 括弧内はマルチスペクトルの分解能

4) Sentinel-2は, 中心波長の値

NDVI値及び差分値の計算

光学衛星データの反射率を使用し、NDVI値を計算.

$$\text{NDVI} = \frac{(\text{NIR} - \text{RED})}{(\text{NIR} + \text{RED})}$$

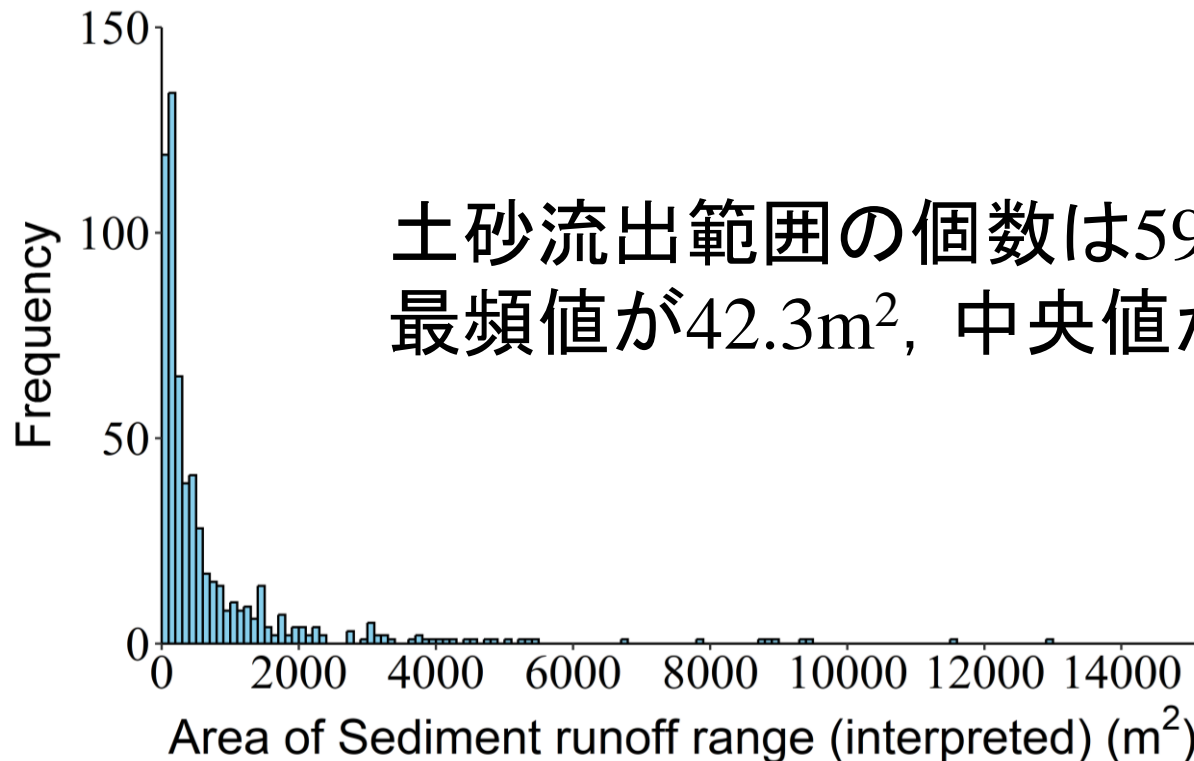
NIRは近赤外域の反射率, REDは赤色域の反射率.
さらに, 災害前後の2時期のNDVI値の差分値を計算.

$$\Delta\text{NDVI} = \text{NDVI}_{\text{Pre-event}} - \text{NDVI}_{\text{Post-event}}$$

災害後の衛星データに示される裸地から, 過去の斜面崩壊地や造成地など既存の裸地を除去. ΔNDVI に閾値を設定することで(以下, ΔNDVI 閾値), 土砂流出範囲(新規裸地)と植生のピクセルを判別することが可能.

土砂流出範囲の実績データ

- 2022年8月5日午前朝日航洋株式会社が撮影したオルソ画像から実績の土砂移動痕跡の外縁を目視判読しポリゴンデータを作成し、その判読結果を正.
- 斜面勾配15度以上のピクセル(山地ではほぼ植生域に該当)を解析対象.



土砂流出範囲の個数は598個、
最頻値が42.3m²、中央値が253.0m².

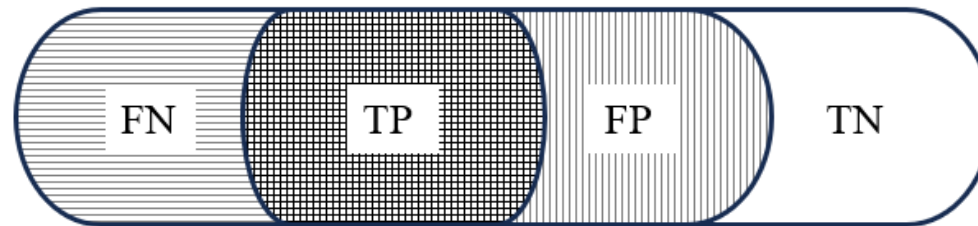
適用性の検証方法

$$\text{適合率} = \frac{TP}{(TP+FP)}$$

Δ NDVI閾値により抽出された範囲のうち、実際に土砂流出範囲だった割合。適合率が低いと、過抽出が生じている。

$$\text{再現率} = \frac{TP}{(FN+TP)}$$

実際の土砂流出範囲のうち、 Δ NDVI閾値により抽出できていた割合。再現率が低いと、見逃しが生じている。



FN+TP:
実際の土砂
流出の面積

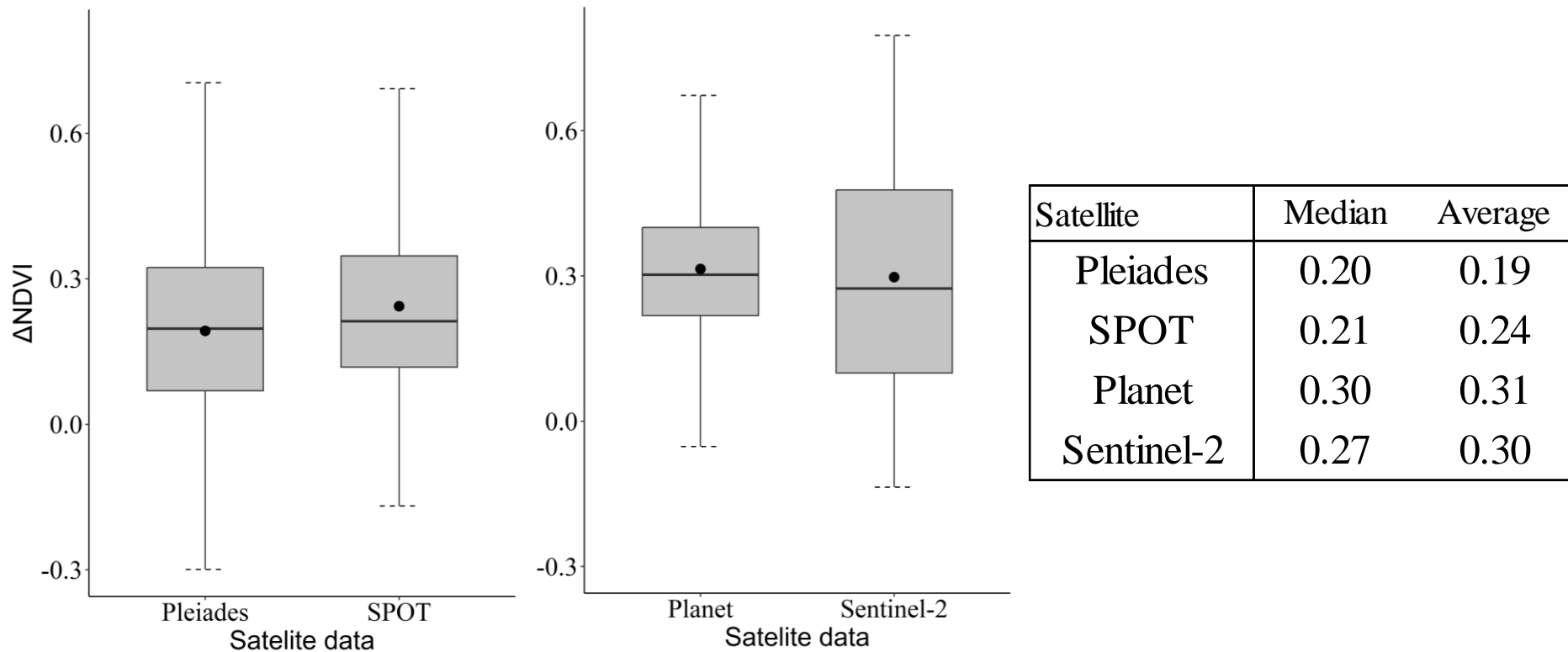
TP: 土砂流
出範囲内を
抽出できた
面積

TP+FP:
NDVI閾値に
より抽出され
た全面積

TN: 抽出さ
れなかった
面積

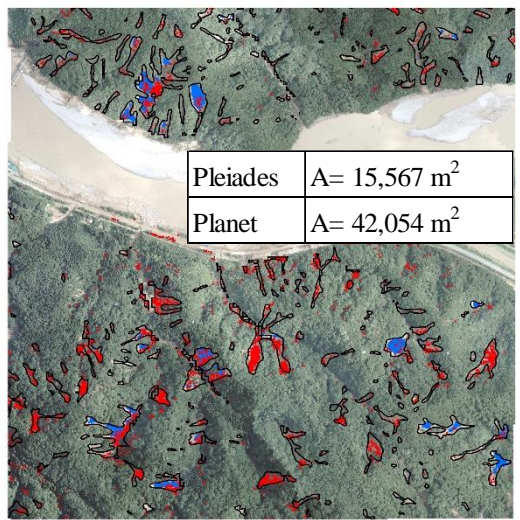
混合行列	実際に正	実際に負
正と予測	TP (True Positive)	FP (False Positive)
負と予測	FN (False Negative)	TN (True Negative)

Δ NDVIの分布

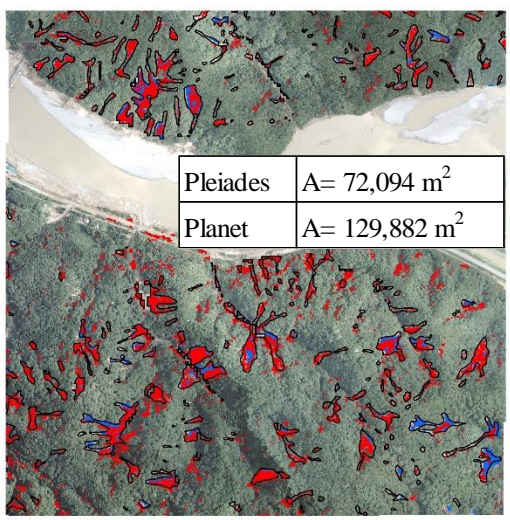


- 四分位数を見ると、Pleiadesが $0.07 \sim 0.32$ 、SPOTが $0.12 \sim 0.35$ 、Planetが $0.22 \sim 0.40$ 、Sentinel-2が $0.01 \sim 0.48$ の範囲に分布。ばらつきはSentinel-2が大きい。
- 平均値では、Pleiadesが 0.19 、SPOTが 0.24 、Planetが 0.31 、Sentinel-2が 0.30 であり、衛星データにより異なる。

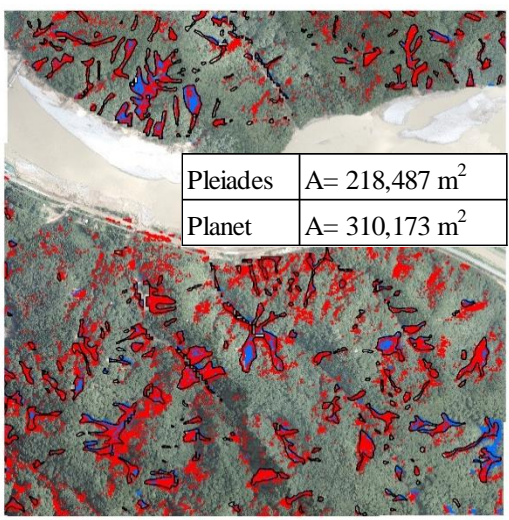
ΔNDVI閾値ケースごとの抽出範囲の比較



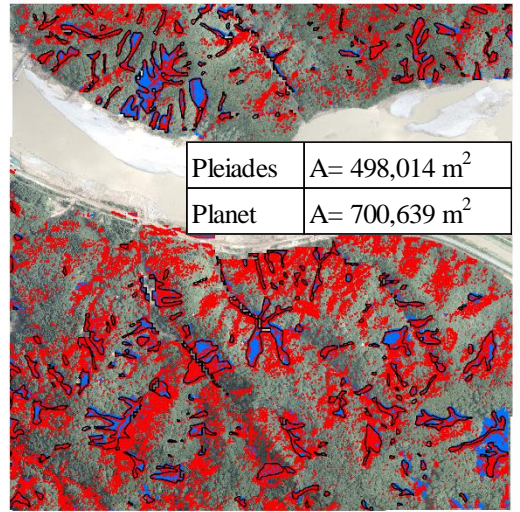
閾値: 0.5



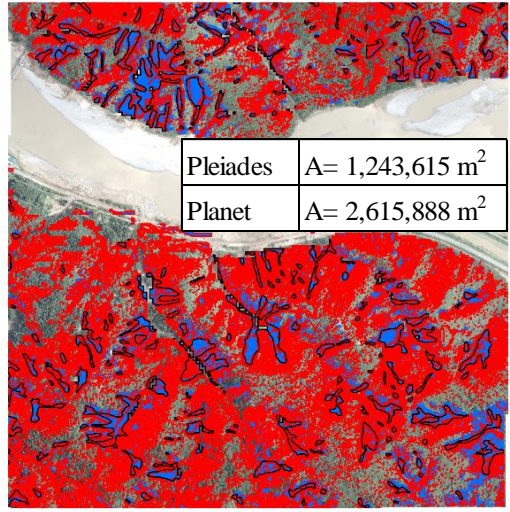
閾値: 0.4



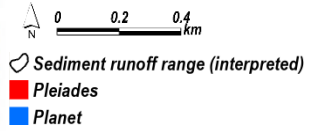
閾値: 0.3



閾値: 0.2

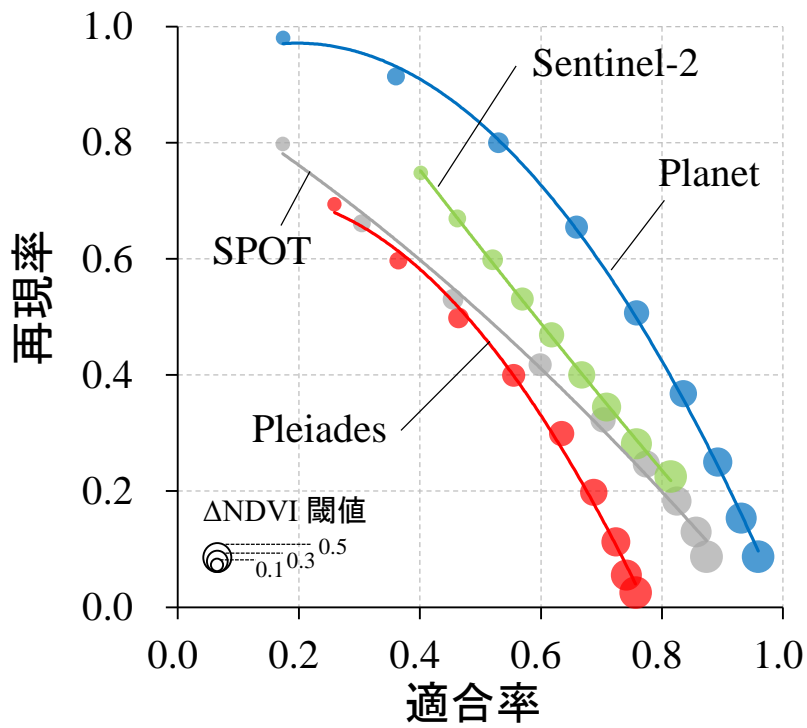


閾値: 0.1



- ΔNDVI閾値が低いと、抽出範囲が拡大.
- 0.1低下させると、全体の抽出面積がPleiadesで約6万~75万m²の増加, Planetで約9万~192万m²の大きさで増加. 空間分解能の粗い衛星データの方が変化が大きい.

ΔNDVI閾値による適合率と再現率



Pleiades	$y = -1.6709x^2 + 0.4106x + 0.6854$
SPOT	$y = -0.3077x^2 - 0.6297x + 0.8995$
Planet	$y = -1.5076x^2 + 0.5951x + 0.9128$
Sentinel-2	$y = 0.1414x^2 - 1.4636x + 1.316$

Pleiades	$R^2 = 0.9951$
SPOT	$R^2 = 0.9946$
Planet	$R^2 = 0.9991$
Sentinel-2	$R^2 = 0.9993$

- 両者の関係は、 $y=ax^2+bx+c$ の二次式で近似。閾値を高く設定すると土砂流出による裸地化が明瞭なピクセルが優先的に抽出され、過抽出が防がれる一方で見逃しが生じやすくなる。
- 適合率・再現率ともに、Planetが最も高く、Pleiadesは両者が低水準であり、Sentinel-2にも劣る。これらから、光源の比較条件が一致してはいないものの、高分解能の衛星データを使用すると適合性が高くなるとは必ずしもいえない。

まとめ

- ✓ Δ NDVIはいずれの衛星データでも中央値と平均値がかなり近く、 Δ NDVI閾値ケースごとに抽出範囲を比較すると、 Δ NDVI閾値を低く設定するほど抽出範囲が拡大。
- ✓ 適合率と再現率の関係は $y=ax^2+bx+c$ の二次式で近似でき、 R^2 値が0.99以上と極めて高かった。両者は閾値が高くなるにつれて適合率も高くなる一方、再現率が低くなる。
- ✓ 衛星データ間で二次式の近似曲線を比較すると、適合率・再現率が全体的に高い順にPlanet, Sentinel-2, SPOT, Pleiadesとなった。空間分解能が細かいPleiadesは両者が低水準であり、適合率・再現率は衛星データの空間分解能に比例するとはいえないことがわかった。