

熱帯沿岸泥炭地の地盤崩壊発生時期の特定

香川 拓輝¹⁾・山本 浩一¹⁾・神山 惇²⁾・神野 有生¹⁾・関根 雅彦¹⁾
鈴木 素之¹⁾・Noerdin Basir³⁾・Muhammad Haidar⁴⁾・Sigit Sutikno⁵⁾

¹⁾山口大学大学院創成科学研究科

²⁾宮崎大学工学部

³⁾ Lecturer, Bengkalis state Polytechnic

⁴⁾ Geospatial Information Agency, Indonesia

⁵⁾ Lecturer, Faculty of Engineering, University of Riau, Indonesia

1. はじめに

現在、熱帯沿岸泥炭地では Warburton ら¹⁾によって定義された北方泥炭地の泥炭地崩壊と類似の地盤崩壊が発生している。泥炭地崩壊は、16世紀以降イギリス北部とアイルランドの高緯度地方の泥炭地で多く報告されている²⁾。高緯度地方の泥炭地崩壊は、豪雨や長時間の降雨（～90 mm/90分）に伴って発生する傾向がある³⁾。多くの泥炭地崩壊は、厚さ2～3 m程度の薄い blanket bogsの斜面上で発生し⁴⁾、数万～数十万 m³の泥炭が伴っている場合がある⁵⁾。高緯度地方の泥炭地崩壊の被災として、河川の魚の大量死⁶⁾、インフラへの損害⁷⁾、泥炭地の自然排水への影響を与えることが報告されている²⁾。

熱帯沿岸泥炭地での泥炭地崩壊の発生の報告例は少なく、熱帯沿岸泥炭地での泥炭地崩壊の実態は明らかになっていない。熱帯沿岸泥炭地で泥炭地崩壊が発生した後の特徴として、一時扇状地が形成されることと、地盤が露出し、植生被覆箇所が減少することが UAV 画像より確認できた。そこで、衛星画像と現地調査結果から泥炭地崩壊の発生時期の特定することを目的とした。

2. 研究方法

2.1 研究対象地域

インドネシア共和国リアウ州ブンカリス県、東経 102° 北緯 1.6° に位置するブンカリス島 (Bengkalis Island) は、マラッカ海峡とブンカリス海峡に挟まれた面積約 900 km²の熱帯沿岸泥炭地の小さな島である。ブンカリス島は5つの主要なピートドームで構成されている⁸⁾。ブンカリス島を図-1に示す。島の多くの泥炭湿地林はパームオイルプランテーションに転換され、島の縦横に水路が建設されている。ブンカリス島の北西部は現在、海岸侵食が進行している。衛星画像解析によれば、1988年12月22日から2013年6月18日の約25年間で34 m yr⁻¹の速度で侵食していることが報告されている⁹⁾。1950年代、このブンカリス島北西部にはマングローブ帯が存在していたことがアメリカ陸軍によって作成された地図に記載されている¹⁰⁾。しかし、現在ではブンカリス島北西部のマングローブ帯は一部であり、内陸部に存在していたはずの泥炭地湿地林の倒壊や6 m程度の泥炭地盤の崖が形成されている。ブンカリス島北西部は、海岸侵食のみならず、沿岸部で泥炭地崩壊が発生していることが報告されている⁹⁾。

2.2 現地調査方法

現地調査は、泥炭地盤断面測量、空中写真測量、地下水位計測、気象観測を実施した。泥炭地盤断面測量した測線 (A-A') を図-1に示す。測量は、2013年8月24日～2016年9月7日まで約1年間隔で計7回実施し、パームオイルプランテーション内の南北方向の水路沿いを北部の海岸

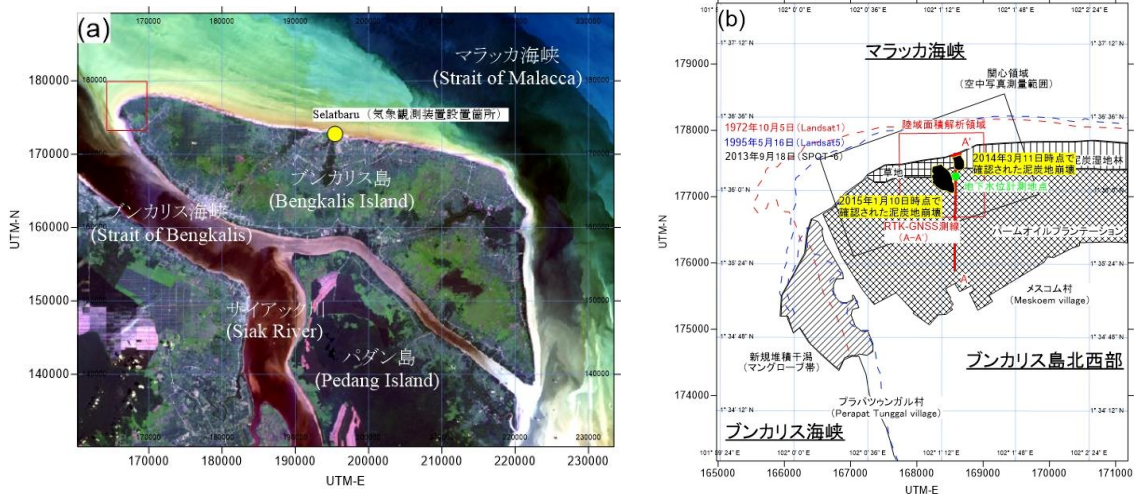


図-1 研究対象地域 ((a) : ブンカリス島, (b) : ブンカリス島北西部)

に向かって行った。機材は、測量用 RTK-GNSS Sokkia GRX2 を用いた。基準点はブンカリス高専 (ブンカリス市内) にとった。泥炭地崩壊の三次元的な領域の把握のため、図-1 の対象領域で UAV を用いた空中写真測量を実施した。2014 年 12 月 17 日、2015 年 1 月 10 日、2017 年 3 月 4 日に実施した。泥炭地崩壊多発箇所の地下水位の変化を観測するために、図-1 に地下水計測器を設置した。計測方法としては、計測位置に塩ビパイプを差し込むことで観測井を造り、水位計測器 (HOBO U-20) によって観測を実施した。泥炭地崩壊の発生時期の特徴を明らかにするために、ブンカリス島北中央部の Selatbaru (図-1) に気象観測装置 (みどり工学研究所 SESAME II-05d) を設置して継続的な気象観測を実施した。本研究では、地下水位計測結果と気象観測装置によって観測された結果は 2014 年 12 月 1 日～2015 年 1 月 31 日までのデータを使用した。

2.3 画像解析方法

図-1 の空撮対象箇所の 2017 年 3 月 4 日の撮影結果を VARI 画像に換算し、2017 年 3 月 22 日の Sentinel-2 の NDVI 画像と比較するためにピクセルサイズを合わせ、植生被覆率として NDVI との関係を示したところ、図-2 のように相関関係が示された。そのため、崩壊によって植生被覆が薄くなる箇所は NDVI が低くなる。そのため、NDVI が低下した時期を泥炭地崩壊が発生した時期と推定できるのではないかと考えられる。2013 年 4 月 15 日から 2018 年 3 月 12 日の晴天率 100% の崩壊域の Landsat8 の NDVI 平均値の時系列変化を EO Browser 上で示した。また、2014 年 10 月 22 日から 2018 年 3 月 30 日まで Sentinel-1 の SAR 画像を使用して崩壊域の陸域面積の変化を解析した。画像解析の手順としては、撮影時期三区間の移動平均をとり、ぼかし処理を行うことで海岸線の平滑化を行った。その後、二値化し、陸域のみを抽出することで、抽出箇所の面積変化を示した。

3. 研究結果と考察

3.1 2014 年 3 月 11 日時点で確認された泥炭地崩壊の発生時期の特定

図-3 に測線 (A-A') における定期断面測量の結果を示す。UTM-N 座標 (X 軸)、標高 (Y 軸) からなる二次元散布図である。2014 年 3 月 11 日時点で沿岸部 (UTM-N 177300 m-177400 m 間) で標高の低下および地盤の凹凸の変化が見られた。これは、2014 年 12 月 17 日の UAV 空撮画像より、泥炭崩壊によって発生した二次的特徴である、テンションクラックが地盤に発生したため

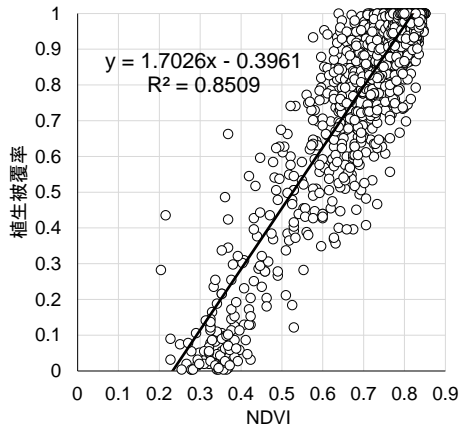


図-2 NDVI と植生被覆率の関係

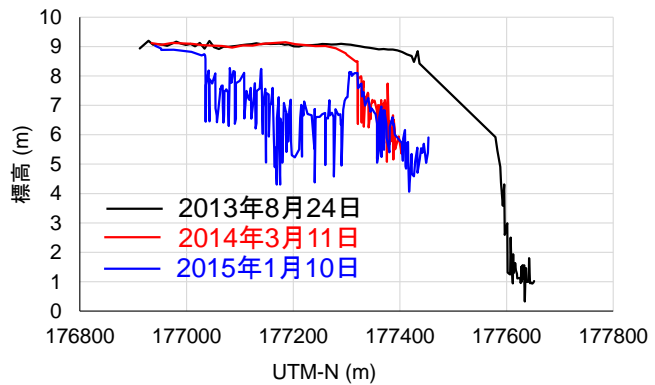


図-3 測線 (A-A') における定期断面測量結果

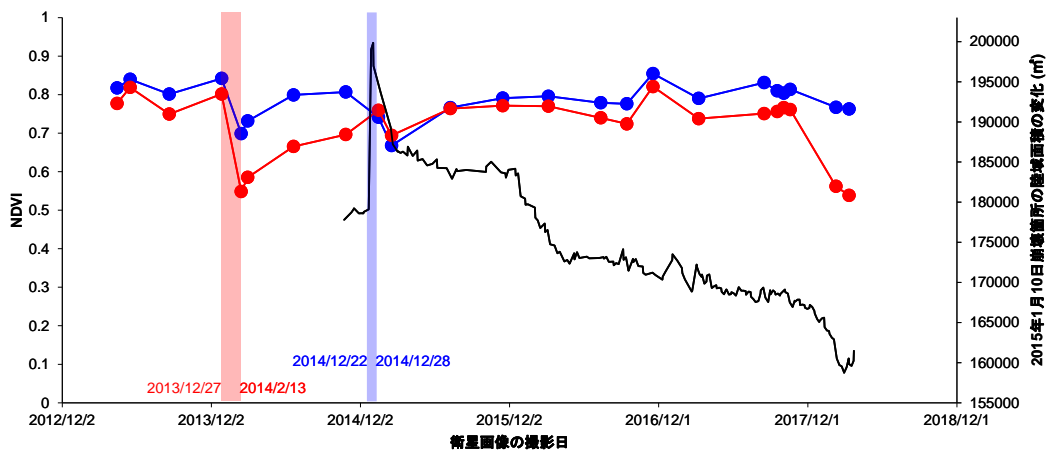


図-4 崩壊域における Landsat8 の NDVI の経年変化

- : 2015年1月10日時点で確認された泥炭地崩壊発生箇所の陸域面積
- : 2014年3月11日時点で確認された泥炭地崩壊発生箇所の NDVI
- : 2015年1月10日時点で確認された泥炭地崩壊発生箇所の NDVI

であると考えられる。また、凹凸が発生している箇所では、平均 2.01m 地盤が低下していた。泥炭地崩壊が発生した箇所は、植生が薄くなり、地盤が露出することから NDVI が低下することが考えられる。そこで、Landsat8 の NDVI 画像を確認したところ、2013年12月27日から2014年2月13日にかけて大きく NDVI が低下している (図-4)。2014年2月13日に低下しているところから徐々に NDVI が大きくなっていることから、泥炭地崩壊が発生した後、徐々に植生が戻っているのではないかと考えられる。2018年2月8日にも NDVI が低下しているが、この時期については海岸侵食が進行し、干潟の領域が拡張されたためである。

3.2 2015年1月10日時点で確認された泥炭地崩壊の発生時期の特定

2015年1月12日時点で2014年3月11日時点よりも内陸部 (UTM-N 177000m-177300m 間) で平均 2.07 m 標高が低下していた。ここでも地盤の凹凸が見られ、これは、2015年1月10日の UAV 空撮画像より泥炭地崩壊発生によって形成された湿地裂あるいは泥炭筏によるものである。この崩壊箇所では、平均 2.07 m 標高が低下および地盤の凹凸が発生していた。さらに崩壊域よりも海側に崩壊した泥炭土が張り出し、扇状地地形 (一時扇状地) が形成されていた。この一時扇状地

を関心領域として、陸域の面積変化を Sentinel-1 衛星画像で確認したところ、2014年12月22日と28日では、約2haの面積が突発的に増加していた(図-4)。これは、泥炭地崩壊によって形成された一時扇状地による増加である。従って、12月22日から12月28日の間で大規模な泥炭地崩壊が発生したことが明らかになった。その崩壊跡の規模は約11.6haであった。この期間では大雨が降っており、12月23日に降雨量は観測期間最大の107.9 mm day⁻¹を記録しており、26日には84.1 mm day⁻¹を記録している。12月27日に突如止水堰付近の水路水位が急激に約1.4 m低下していたことから、2014年12月27日に崩壊が発生したと推定された。さらに、後日の踏査で現地に設置していた当該水位計は止水堰の崩壊により30 m程度水平移動していた。よって止水堰が崩壊して泥炭地崩壊が誘発されたことが明らかになった。

4. まとめ

2014年3月11日時点で確認された泥炭地崩壊は、2013年12月27日から2014年2月13日にかけて発生したと推定された。また、2015年1月10日時点で確認された泥炭地崩壊は、2014年12月27日に発生したことが現地観測から明らかになった。特に後者のケースの場合、泥炭地崩壊は多量の降雨が引金になっていた。泥炭地崩壊発生時は、NDVIが減少することから泥炭地崩壊発生跡を推定することができる。今後は時系列解析によって降雨と泥炭地崩壊発生との関係を明らかにするとともに、泥炭地崩壊の長期的な経年変化の状況を明らかにする。また、泥炭地崩壊は周辺地域への災害をもたらすだけでなく、地球環境の炭素収支へ影響を与える可能性があることから、泥炭地崩壊によって海洋中へ流出した懸濁態炭素流出量を推定することが必要である。

参考文献

- 1) Alan P. Dykes, Jeff Warburton 2007. Mass movements in peat: A formal classification scheme, *Geomorphology* 86 (2007) 73-93.
- 2) Alexander, R.W., Coxon, P., Thorn, R.H., 1986. A bog flow at Straduff Townland, county Sligo. *Proc. R. Ir. Acad.* 86B, 107-119.
- 3) Dykes, A.P., Warburton, J., 2007b. Geomorphological controls on failures of peat-covered hillslopes triggered by extreme rainfall. *Earth Surf. Process Landforms* 32, 1841-1862.
- 4) Alan P. Dykes, Jeff Warburton 2007. Mass movements in peat: A formal classification scheme, *Geomorphology* 86 (2007) 73-93.
- 5) Jeff Warburton, 2015. Chapter 6-Peat Landslides, *Landslide Hazards, Risks, and Disasters*, 2015, Pages 159-190
- 6) McCahon, C.P., Carling, P.A., Pascoe, D., 1987. Chemical and ecological effects of Pennine peat-slide. *Environ. Pollut.* 45, 275-289.
- 7) Colhoun, E.A., Common, R., Cruikshank, M. M., 1965. Recent bog flows and debris slides in the north of Ireland. *Sci. Proc. R. Dublin Soc., Ser. A2*, 163-174.
- 8) Supardi and A.D. Subekty, Sandra G. Neuzil 1993. General geology and peat resource of the Siak Kanan and Bengkalis Island peat deposits, Sumatra, Indonesia, *Geological Society of America Special Paper* 286, 45-61.
- 9) 香川拓輝, 山本浩一, Muhammad HAIDAR, 神野有生, 赤松良久, 鈴木素之, Sigit SUTIKNO, Noerdin BASIR, 関根雅彦: インドネシア共和国リアウ州島嶼域における海岸侵食の現状, 土木学会論文集 G (環境) (環境工学研究論文集), Vol.73, No.7, III_213-III_219, 2017.
- 10) U.S. Army Map Service: Bengkalis, Series T503, NA48-9, 1955.