

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 19 日現在

機関番号：15501

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2014～2016

課題番号：26303015

研究課題名(和文) マングローブ帯の劣化に伴う熱帯泥炭地海岸侵食と新規代替干潟生態系の形成過程の解明

研究課題名(英文) Tropical peat coast erosion by degradation of the mangrove area and auto-rehabilitation process of the substitute tidal flat ecosystem

研究代表者

山本 浩一 (Yamamoto, Koichi)

山口大学・創成科学研究科・准教授

研究者番号：50355955

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 8,000,000円

研究成果の概要(和文)：インドネシアブンカリス島において現地調査を通じて泥炭地崩壊現象を熱帯泥炭地としては世界で初めて観測した。また、泥炭地の浸食速度がリアウ州で年間160haに上ることを確認した。泥炭地崩壊現象についてはそのコントロールが地下水位の管理に大きく依存することを明らかにし、その対処方策を提案した。

泥炭地崩壊によって海域に流出したデブリは一部が海岸に砂州を作るなどしてマングローブを形成し、泥炭がマングローブの地盤内に閉じ込められて炭素が貯留されることを明らかにした。新規に形成されたマングローブによって貯留された炭素は新規光合成成分で2500tC/km<sup>2</sup>/年と推定された。

研究成果の概要(英文)： Through field survey in Bungalis Island, Indonesia, we observed the peatland collapse phenomenon as tropical peatland for the first time in the world. We also confirmed that the erosion rate of the peatlands will be 160 ha per year in Riau Province. Regarding the peatland collapse phenomenon, we clarified that the control depends greatly on the control of the groundwater level and proposed a countermeasure for that. Debris that flowed out to the sea area due to the peatland collapse revealed that part of the mangrove is formed by making sandbars on the coast and the peat is trapped in the mangrove ground and carbon is stored. Carbon stored by the newly formed mangrove was estimated to be 2500 tC / km<sup>2</sup> / year as a new photosynthetic component.

研究分野：地盤工学，海岸工学，環境工学

キーワード：泥炭地 インドネシア リアウ州 海岸浸食 地下水管理

## 1. 研究開始当初の背景

東南アジアの沿岸域では人為的な営力や地球温暖化による海面上昇により急速にマングローブ帯が衰退している。また、陸上の炭素のシンクである熱帯泥炭林の急速な劣化による二酸化炭素排出量の増加がグローバルな問題になっており、これを抑制するための様々な方策がとられているところである。

本研究で対象とするインドネシア国リアウ州ブンカリス島北岸においては海岸浸食が顕著であり、後背の熱帯泥炭林にまで海岸浸食が進んでいる。これまでの我々の衛星画像の一次的な解析によれば 1988 年から 2013 年までに北岸で約 600ha の海岸浸食が起こった一方で南岸には 200ha の新しい干潟・湿地が出現した。

海岸浸食が継続的にかつ顕著に進行した同島北西岸においてはその結果、本来内陸部に発達する (Anderson, 1964) 泥炭林が海岸に露出し、高さ 4 m 程度の泥炭からなる崖が海岸となっている。泥炭の力学的な脆さのために容易に波浪によって浸食されると考えられる。泥炭を河川流域に有するヨーロッパでは斜面における泥炭の崩壊現象 (peat slides) は良く知られている (A.P.Dykes, 2007) が、泥炭地が直接波浪に暴露されることは従来考えられなかったため、泥炭地が直接波浪に暴露される場合における浸食・崩壊のメカニズム、海中で懸濁化した泥炭の移動・再堆積現象や機構は知られていない。さらには泥炭が再堆積した後に成立する干潟・湿地 (泥炭干潟湿地) については、これまで報告がない地形であるために地盤の強度や泥炭の再堆積、再懸濁速度などの物理学的課題、そこに生育する植物・動物などの生物学的課題、地下水質などの化学的問題を含めオリジナリティの高い全く未知の課題が存在している。世界的にみてもきわめてユニークな研究対象であるといえる。

地表面が泥炭屑 (peat debris) で構成されたこの湿地は沖合から浮遊してきた泥炭屑が堆積することで発生したものと考えられ、2013 年に行った予備調査ではマングローブ植生やニッパ椰子がすでに密に生育していることがわかっていて、マングローブが伐採されることによりマングローブ林が消失する。植生を失った粘土地盤は波浪によって容易に浸食され、海岸線が後退したと推定される。ついには泥炭林が海岸に露出することになる。泥炭地盤は容易に波によって浸食がすすみ、海域には懸濁した泥炭屑が浮遊する。浮遊した泥炭屑は海岸に漂着し、新規なマングローブ生態系 (代替マングローブ生態系) を形成するとみられる。熱帯泥炭林を潤していた豊富な地下水は海岸からの流出が進んで泥炭地からの排水が促進される。これは生物分解による泥炭地盤の沈下を引き起こし、かつ火災も発生するようになる。以上より、

国土が縮小して二酸化炭素の放出や粒子状の有機炭素の損失を招くことになる。

## 2. 研究の目的

本研究では緊急性の高い 1) 海岸泥炭崩壊速度の実測および泥炭地盤の強度測定、2) 懸濁態泥炭の輸送・再懸濁・沈降モデルの確立、3) 土壌水分、地下水位のモニタリングおよびモデリングを行い、浸食が進行した場合の地下水位低下や二酸化炭素排出量増加の将来予測を行う。また、4) 新たに生じた泥炭干潟の植物生態系の実態調査を行い、新規な泥炭干潟生態系を報告するものである。

## 3. 研究の方法

1) 衛星画像による広域的な浸食速度の推定  
過去 30 年間における平面的な浸食・堆積状況を明らかにするため、Landsat 画像を用いて浸食・堆積面積を推定した。また、ここ数年の浸食・堆積状況を水平 1m 以下の精度で把握するため、WorldView-3 を用いた浸食・堆積面積の推定を行った。

2) UAV を用いた写真測量による泥炭地形の継続的把握

陸上からの UAV および RTK-GPS を用いた面的な測量を行った。

3) 泥炭サンプリング

ピートサンプルにより泥炭の鉛直サンプリングを行い、せん断強度、含水率、強熱減量、透水係数、炭素含有量の鉛直分布を把握した。

4) 広域測量・地下水位計測

泥炭浸食地付近の地下水位の平面分布を把握し、3 次元数値モデルの初期条件とするため、できるだけ水路をはじめオイルパンププランテーションに地下水の観測井を設置し、連続的に計測を行った。また、泥炭地の水文モデルを作成し、地下水 3 次元数値モデルを作成した。

5) 気象計測

雨量計や日射量、風向・風速を計測する総合気象観測装置を海上の灯台に設置し、水文の基礎データを収集する。これらのデータは 3 次元地下水位数値モデリングに活用した。

6) 新規泥炭干潟の炭素貯留量計測

新規泥炭干潟において写真測量を行って干潟に堆積した底質の体積を求めるとともに、泥炭のサンプリングを行ってそれらを統合し、干潟に貯留される炭素量の推定を行った。

7) 熱帯泥炭地に適用可能な地下水流向流速計の開発

開発中の地下水流向流速計を遠隔地でも簡易に測定できるよう開発し、電池不要な装置を開発した。

## 4. 研究成果

Page et al. (2002) の研究を契機として泥炭地では生物的酸化が盛んに研究されている

が、泥炭地の海岸浸食については殆ど注目されておらず、泥炭の水平輸送に言及した研究は世界的に見ても珍しい。泥炭を河川流域に有するヨーロッパでは斜面における泥炭の崩壊現象 (peat slides) は古くから良く知られている (A.P.Dykes and Jeff Warburton, 2007)。しかし、泥炭地が海岸となって直接波浪に暴露されることは熱帯泥炭地の形成過程の上で考えられなかったため、海岸での熱帯泥炭地の崩壊現象については申請者だけが注目しており国際的に研究が全く進んでいない。2016年に開催された 15th International Peat Congress では申請者の発表は海外の研究者から注目を集めた。本研究の成果は下記の通りである。

1) リアウ州の泥炭地の海岸浸食は研究対象としたブンカリス島のみならず、リアウ州の他の島々でも発生しており、陸域から海域への泥炭デブリの水平輸送をもたらしている。その面積は年間 160ha に及ぶ(香川ら、投稿中)

2) 泥炭地の海岸浸食は単なる波による浸食ではなく、内部からの崩壊現象(ボグバースト現象)も関与している。我々はボグバーストの発生したタイミングで地下水位を観測しており、ボグバーストが高い地下水位によって発生することを明らかにした(山本ら、投稿予定)。

3) 泥炭地の崩壊は地下水の上昇によって引き起こされており、地下水位の制御によって崩壊を抑止できる可能性がある(同上)。

4) 崩壊した泥炭の一部は潮流により輸送されて再堆積し、砂嘴を形成して内部に干潟を形成しており、マングローブが成立している。この新規泥炭干潟(1.46km<sup>2</sup>)に貯留された有機炭素は地下地上を合わせて 39 万トンにおよび、そのうち 25%は新規に光合成されて貯留された炭素であった。植生については在来の植物が加入していることが分かった(山本ら、投稿中)。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 5 件)

1. Sigit Sutikno, Ari Sandhyavitri, Muhammad Haidar, Koichi Yamamoto. (2017) Shoreline Change Analysis of Peat Soil Beach in Bengkalis Island Based on GIS and RS. International Journal of Engineering and Technology 9:3, 233-238. (査読有り)

2. Ari Sandhyavitri, Fajar Restuhadi, Rudianda Sulaiman, Sigit Sutikno, and Koichi Yamamoto, "Investigation of Mangrove Biomass Potential in Indragiri Hilir Wetlands, Indonesia, International Journal of Environmental Science and Development, vol. 7, no. 12, pp. 902-907,

2016.(査読有り)

3. 小野 文也・山本浩一・明石 卓也・神野有生・関根 雅彦(2016): 電源不要かつ迅速な地下水流向流速計測方法の開発, 土木学会論文集 C, (査読有り)

4. 山本浩一・小野文也・神野有生・関根雅彦(2016): 単ドット式ペーパーディスク型地下水流向流速計の開発, 土木学会論文集 B1(水工学) Vol.72(4), I\_907-I\_912, 2016., 査読有り

5. 山本 浩一, 渡部 剛, 奥山裕文, HAIDAR Muhammad, BASIR Noerdin, 神野 有生, 関根雅彦(2014) : インドネシア国ブンカリス島における泥炭海岸侵食の実態と地下水流出量への影響, 土木学会論文集 B2(海岸工学), 70, 2, I\_1466-I\_1470.(査読有り)

〔学会発表〕(計 9 件)

1. 山本浩一, 「削れゆく島」～インドネシアブンカリス島の調査研究から見てきたこと～, 環境国際セミナー, 宇部国際環境協会(招待講演), 2017年6月12日, 宇部市文化会館, 山口県宇部市。

2. Koichi Yamamoto, Muhammad Haidar, Sigit Sutikno, Ari Sandhyavitri, Ariyo Kanno\*, Motoyuki Suzuki and Yoshihisa Akamatsu, Massive bog burst along the coastal oil palm plantation in the tropical peatland and importance of the groundwater management, International Peatland Society Convention, 28-31, May 2017, Aberdeen Marriot Hotel, Aberdeen, Scotland, UK.

3. 山本浩一ら, 泥炭デブリの堆積によって発生した新規マングローブの底質特性, 第19回日本水環境学会シンポジウム, 2016年9月13日-15日 秋田県立大学 秋田市。

4. 鈴木素之・神山 惇・山本浩一・渡部剛・小野文也・赤松良久, インドネシア・ブンカリス島の海岸浸食と泥炭地盤の崩壊に関する一考察, 第51回地盤工学研究発表会 2016年9月13日 15日 岡山大学, 岡山県岡山市。

5. Koichi Yamamoto, Muhammad Haidar, Ariyo Kanno, Motoyuki Suzuki, Yoshihisa Akamatsu, Noerdin Basir, Sigit Sutikno, Mu Hardi and Syawal Satibi (2016) Coastal peat mass movement and its effect on the terrestrial carbon discharge to ocean in Bengkalis Island, Indonesia, 15th International Peat Congress 2016, Aug., 15-19, 2016. Pullman Kuching Hotel, Kuching, Sarawak, Malaysia.

6. 渡部 剛・Muhammad Haidar・鈴木 素之・山本浩一, インドネシア国ブンカリス島における泥炭地盤崩壊の実態, 平成 27 年度土木学会全国大会, 2015 年 9 月 16 日 -18 日, 岡山大学, 岡山県岡山市。

7. 山本 浩一ら, リアウ州ブンカリス島における熱帯泥炭地の泥炭崩壊現象, 熱帯生態学会 2015 年 6 月 19 日-21 日 京都大学, 京都市。

8. 山本 浩一ら, インドネシア国ブンカリス島における泥炭海岸侵食と新規泥炭干潟地形の形成, 日本泥炭地学会, 2014 年度研究発表会, 2014 年 5 月 8 日, 北海道大学, 北海道札幌市.

9. 渡部 剛・Muhammad Haidar・神野 有生・関根 雅彦・山本 浩一・奥山 裕文, インドネシア国ブンカリス島における海岸侵食と地下水流動に与える影響に関する研究 山口大学, 平成 26 年度土木学会中国支部研究発表会, 2014 年 5 月 25 日, 松江高専, 島根県松江市.

〔図書〕(計 1 件)

1. Groundwater in peatland: Yoshiyuki Ishii, Ken Koizumi, Hiroshi Fuikami, Koichi Yamamoto, Hidenori Takahashi, Suwido H. Limin, Kitso Kusinm Aswin Usup and Gatot E. Susilo: Tropical Peatland Ecosystems, Springer, 264-279. (ISBN 978-4-431-55680-0)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:

取得状況(計 0 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
取得年月日:  
国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

山本浩一 (YAMAMOTO Koichi)  
山口大学・大学院創成科学研究科・准教授  
研究者番号: 50355955

(2)研究分担者

神野有生 (KANNO Ariyo)  
山口大学・大学院創成科学研究科・助教  
研究者番号: 30583760

鈴木素之 (SUZUKI Motoyuki)  
山口大学・大学院創成科学研究科・教授

研究者番号: 00304494

赤松良久 (AKAMATSU Yoshihisa)  
山口大学・大学院創成科学研究科・准教授  
研究者番号: 30448584

(3)連携研究者

( )

研究者番号:

(4)研究協力者

Muhammad Haidar (BIG, インドネシア)  
Sigit Sutikno (リアウ大学, インドネシア)  
Ari Sandhyavitri (リアウ大学, インドネシア)  
Mu Hardi (リアウ大学, インドネシア)  
Syawal Satibi (リアウ大学, インドネシア)  
Noerdin Basir (ブンカリス高専, インドネシア)