

平成 30 年 6 月 2 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2013～2017

課題番号：25303016

研究課題名(和文) 東南アジア・マングローブ域の環境劣化機構と持続可能な利用条件に関する調査

研究課題名(英文) Environmental degradation processes and sustainable use of mangrove coastal areas in Southeast Asia

研究代表者

佐々木 淳 (Sasaki, Jun)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・教授

研究者番号：50292884

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,800,000円

研究成果の概要(和文)：タイ、インドネシア、ベトナムのマングローブ沼地を主対象とし、空中写真解析、測量、空撮、波浪・水質観測、アンケート・インタビュー調査を行い、マングローブ沼地の持続的な利用条件について検討した。長期的な空中写真解析からマングローブ沼地の消失要因と保全に有効な条件を考察した。また、竹柵と石積堤を用いたマングローブ再生事業の評価から、十分な消波による土砂堆積促進と苗木定着までの丁寧な人的介入の有効性が示された。さらに、著しい海岸線後退の見られた地域において、相対的な地盤沈下や違法なマングローブ伐採、近隣河川の流路変更に伴う土砂供給の変化に影響を受けており、行政や住民の適応に向けた方策について考察した。

研究成果の概要(英文)：We conducted aerial photo analysis, surveying, aerial photographing, wave observation and water quality observation, and questionnaire and interview survey on mangrove marshes in Thailand, Indonesia and Vietnam and examined the conditions for sustainable use of mangrove marshes. From the long-term aerial photograph analysis, we examined the disappearance factors of mangrove and conditions effective for conservation. Evaluation of mangrove restoration project using bamboo fence and revetment showed the effectiveness of enhancing sediment accumulation by sufficient dissipation and human intervention until seedling settlement. In addition, remarkable coastline retreat was found to be affected by changes in sediment supply, relative sea level rise, and illegal mangrove logging, and possible adaptation measures taken by local people and governments were discussed.

研究分野：沿岸環境学，海岸工学，環境水工学

キーワード：マングローブ 海岸侵食 地盤沈下 気候変動 持続可能性 EcoDRR 沿岸環境 防災・減災

1. 研究開始当初の背景

東南アジアや南アジアでは木炭の材料とする伐採、塩田開発、およびエビや貝類等の養殖池造成のための伐採によってマングローブ林の破壊が進み、1980年から2005年の間にこの地域のマングローブ林の約25%が失われた。特にエビ養殖池の造成では養殖池の海側に残されたマングローブ樹林帯の幅が十分でないと、高潮・高波等による海岸侵食に伴って海水は一気に養殖池に進入し、海岸線が大きく後退するといった現象を引き起こし、地元ではコミュニティの存続にも関わる大問題となっている。

一方、2004年インド洋大津波を契機にマングローブ林の防災・減災機能が注目され、防災・環境・利用の調和がよりいっそう期待され、他方でマングローブ木炭やエビ等の養殖池造成等の開発行為は地元住民の生活の基盤に関わり、マングローブ域のコミュニティを含めた持続的な発展のためには、防災機能や環境機能と調和した持続可能な利用に資する技術開発が急務である。

マングローブ域における既往の研究にはマングローブ林による波高減衰、津波・高潮被害の緩和といった防災機能に関する検討が数多く行われてきた (McIvor ら, 2012; Zhang ら, 2012)。また、マングローブ林の土砂堆積作用、海面上昇や地盤沈下の影響、マングローブ生態系等の生物・地学的研究が多く行われ、防災および環境機能については定量的な理解も進んできた。一方、本研究が志向する開発行為とマングローブ域の破壊過程の関係については定性的な検討がほとんどであり、今後も続くと考えられる開発利用を持続可能なものとするための設計条件に関わる定量的情報が不足している。

2. 研究の目的

本研究ではまず、マングローブの減少や拡大過程について、解析・調査を行い、その要因とマングローブ域が長期的に維持されるための必要条件の整理を行う。また、マングローブ域の2つ異なるタイプの再生プロジェクトと連携し、約4年間にわたる再生過程のモニタリングを行う。その中で、再生手法の有効性に関する物理的なメカニズムや人為的な介入の必要性、地元住民を含むステークホルダーの評価等を踏まえた再生プロジェクトの課題整理と評価を行う。また、過去に再生が行われたマングローブ沼地における調査を行い、そのパフォーマンスを把握することで、評価に生かす。さらに、マングローブ沼地の消失が著しい地域を選び、その要因や地域の現状を調査し、その地域の持続性に向けた取り組みを明らかにする。以上を総合し、マングローブ沼地の持続的な利用に向けた方策を提案する。

3. 研究の方法

(1) タイ湾奥部における空中写真を用いた

マングローブ沼地の変遷

図-1 に示すタイ湾奥部のターチン川河口からチャオプラヤ川河口沿岸域の、1954年、1967年、1975年、1980年、1987年、2002年、および2010年の空中写真をタイ王立国土地理院から入手し、QGISを用いたジオリファレンスにより緯度経度情報を付与し、各年代の海岸線や沿岸域の土地利用が比較できるようにした。

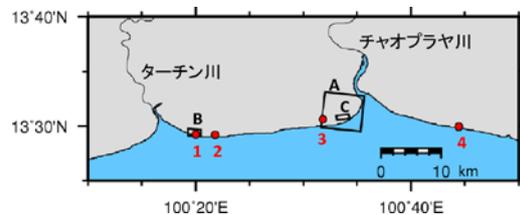


図-1 タイ湾奥部沿岸の調査位置。1: Bamboo site (Khok Kham 村), 2: Sand sausage site, 3: Concrete pile site, 4: Revetment site (Bampoo 市), A: 図-4 範囲, B: 図-5 範囲, C: 図-6 範囲

(2) タイ湾奥部におけるマングローブ再生プロジェクトの評価

タイ湾奥部においては様々なマングローブ再生プロジェクトが実施されてきたが、本研究では新規に開始された2つのプロジェクト、すなわち、竹柵を用いたサムサコン県コーカム村で実施されているもの(図-1の測点1、以降バンブーサイトと呼ぶ)および石積み堤を用いたサムットプラカン県バンブー市で実施されているもの(図-1の測点4、以降リベットメントサイトと呼ぶ)を対象とした。

両サイトにおいて、プロジェクト実施に至る経緯、住民を始めとするステークホルダーの意見聴取や訪問者へのインタビュー、地形測量、マングローブ繁茂状況の把握、波浪観測等の調査を2013年5月から2017年8月まで毎年実施した。

(3) 相対的海面上昇下にあるインドネシア・スバン県沿岸域の持続可能性

インドネシア・スバン県のチプナガラ川およびその西側沿岸域を対象に(図-2参照)、住民および行政に対するインタビュー調査、海岸線後退の著しいポンドクバリビーチにおける現地踏査、マングローブ沼地の変遷に関する衛星画像分析、およびチプナガラ川の流速・濁度把握に基づく、土砂輸送量推定を行った。調査は2014年9月から2017年12月にかけて年1、2回の頻度で実施した。



図-2 インドネシア・スバン県のチプナガラ川河口域とポンドクバリ地域周辺
(4) ベトナム・バクリウにおけるマングロ

グロブ樹林帯幅に関する検討

ベトナム南部メコンデルタに位置するバクリウ海岸において、マングローブ沼地の樹種、樹林密度、および自記式波高計による波浪に関する現地調査を実施した。調査は図-3のようにマングローブ林の沖側先端から海岸線に垂直な方向に長さ100m、幅20mの3つの測線を設け、各測線において、海側から陸側に向かって0mから20m、40mから60m、および80mから100mの3つの区画に区分し、それぞれの区画において調査を行った。

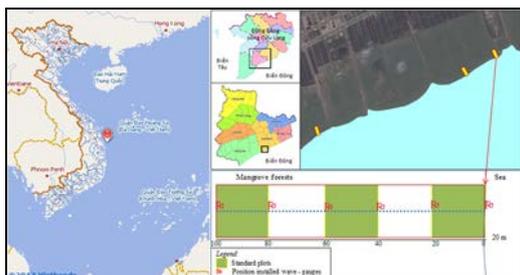


図-3 ベトナム・バクリウにおけるマングローブ沼地の調査エリア

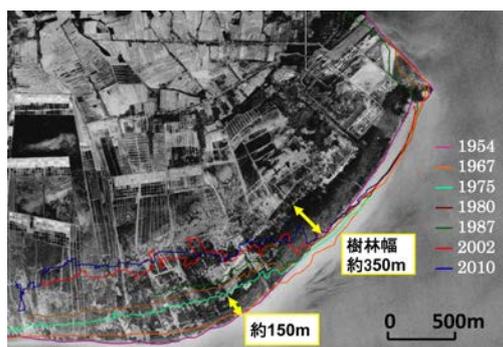


図-4 1954年のチャオプラヤ川河口西側の空中写真 (タイ王国土地地理院提供)

4. 研究成果

(1) タイ湾奥部における空中写真を用いたマングローブ沼地の変遷

図-4はチャオプラヤ川河口右岸における1954年の空中写真に1954年から2010年までの海岸線を重ね合わせたものである。海岸線の経年変化を見ると、1954年から1967年までは沖側に前進し、その後、河口南西側では著しい海岸線の後退が生じている様子がわかる。チャオプラヤ川は元来土砂供給量の多い河川であり、1967年まで見られた海岸線の前進はこの豊富な土砂供給によるものと考えられる。チャオプラヤ川上流では1964年にBhumibolダム、1974年にSirikitダムが建設され、浮遊土砂量が減少したことが報告され (Marine Department, 2008)、河川からの土砂供給量の減少や航路の維持浚渫が海岸線後退の要因の一つと考えられる。

図-4の1967年以降の海岸線に着目すると、北側では安定しているのに対し、南側では海岸線の後退が著しい。この変化の傾向はマン

グロブ樹林帯幅と相関があり、北側では樹林帯幅が350m以上確保されているのに対し、南西側では150m以下となっており、南西側に行くほど1954年時点で既に樹林帯幅が著しく狭く、このことが顕著な海岸線の後退を招いた要因の一つと推察された。

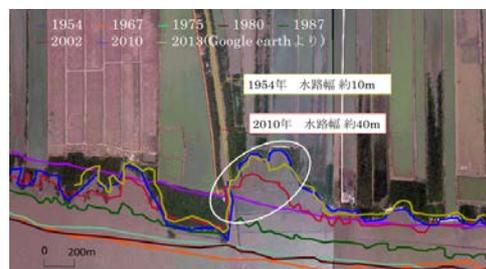


図-5 Khok Kham村の2010年の空中写真(図-1のB) (タイ王国土地地理院提供)

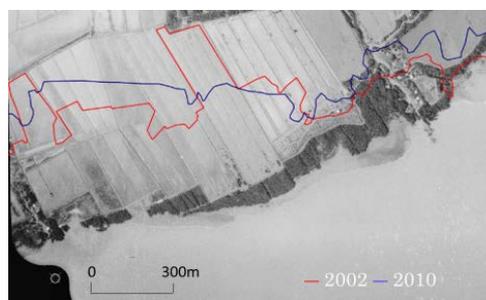


図-6 チャオプラヤ川河口西側の1987年の空中写真 (図-1のC) (タイ王国土地地理院提供)

チャオプラヤ川からターチン川の沿岸域では多くのエビ養殖池や塩田が開発されており、海水交換のため水路が整備されている。海岸に直交する水路域の一例としてSamut Sakhon県Khok Kham村付近の2010年の空中写真を図-5に示す。水路幅に着目すると、1954年には約10mであったが、2010年には約40mまで拡大していることが判明した。この水路の東側では1987年から侵食が顕著となり、海岸線の後退は現在まで続いている。この侵食は水路拡幅による波エネルギーの侵入増大と海岸至近まで達するエビ養殖池の開発やそれに伴うマングローブ樹林帯幅の著しい減少が大きく寄与していると考えられ、東西の非対称は樹林帯幅の相違によると推察された。

図-6はチャオプラヤ川河口西側(図-1のC)における1987年の空中写真に2002年と2010年の海岸線を重ね合わせたものである。1987年には狭小な樹林帯背後至近にエビ養殖池が立地しているが、2002年には養殖池の岸側土手まで海岸線が大きく後退した様子が見てとれる。住民へのヒアリングから、このような現象は低気圧通過に伴う高波浪時に時々見られ、一夜にして養殖池が海と化してしまうことが分かった。海岸線背後に養殖池の迫る地域は極めて脆弱であり、対策が切に求められている。

(2) タイ湾奥部におけるマングローブ再生プロジェクトの評価

バンブーサイトでは長年にわたり、海岸線の後退が深刻となり、エビ養殖をはじめとする地域の生業への影響が深刻な状態となっていた。このような状況下で、村のリーダーの主導で 2000 年代初頭から自費による竹柵（図-7）の設置が始められた。竹が用いられたのは、タイ国では竹は持続的かつ安価に利用できる環境に優しい資源であり、設置に重機を必要とせず、常設構造物と見なされないことから、環境アセスメントも不要であり、低予算で住民自ら取り組みが可能な事業であったためと考えられる。設置後 5 年程度で地下部を除いて朽ちていくが、その間に陸側に土砂を堆積させ、マングローブに好適な環境を形成することで、マングローブ再生と土地の回復を意図している。この地域の竹柵の設置は村のリーダーが設立した企業が請け負い、地元の漁民を労働力として活用していることから地域経済への貢献という意味合いも持っている。そのため、エビ養殖池が広範囲に広がる地域の廉価な海岸防護対策として魅力的かつ現実的な方策と考えられるが、その効果については十分検討把握されていない。

図-8 にバンブーサイトにおける測量結果に基づく 2014 年 1 月の標高分布（赤線）を示す。岸側に向かって堆積している様子が見て取れ、一定の効果が確認できるが、海側の竹柵前後の堆積厚は約 0.2m に留まっていた。波浪観測結果によれば、竹柵による波高減衰は当初は 30%程度であったが、年を経るに従い、竹の劣化によって一部で櫛の歯が抜けた状態となり、効果の低下が見られた。

マングローブの再生状況に関しては、当初あまり目に見える効果は見られなかったが、管理事務所に近い陸側前面で繁茂が見られた。その要因の一つとして、人為的な介入が挙げられ、再生の初期段階では丁寧な管理の必要性が確認された。その後、順調に拡大していくかどうかは今後の課題であるが、この繁茂域以外ではマングローブの再生は見られず、竹柵の劣化もあり、今後の動向が注視される。



図-7 消波を目的に設置された竹柵

リベットメントサイトのあるバンブー市は約 30 年前から国の方針で主に工業地帯として発展してきた地域である。Revetment の設

置は地元住民からの要請に基づき、海岸を直接的に防護する目的で実施されており、元々は公共事業省の直轄プロジェクトとして実施され、市がその管理をしてきた。最近では市や地元の Public Works and Town & County Planning が直接設置することも行われている。国、県、市の間での情報交換はなされているが、実質的な連携はなく、予算を確保できたところが事業を実施してきた。

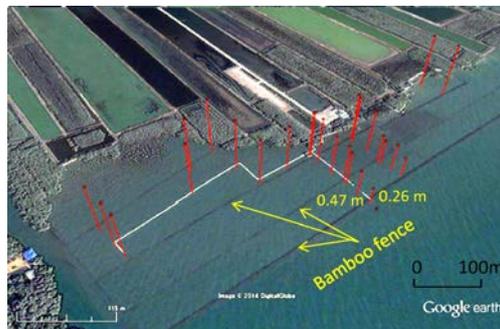


図-8 バンブーサイトにおける測量結果に基づく標高分布 (Google earth)

図-9 はバンブー市における Revetment サイトの全体像である。元々は沖側の Revetment あたりまで住宅があったが、約 10 年前に一夜の高波浪による浸水により陸側への移転を余儀なくされた。その後、集落を防護する目的で県が陸側の Revetment を設置し、その有効性が確認されたため、集落住民の要望によって 2011 年に市が沖側の Revetment を設置した。同図中には 2014 年 1 月の測量に基づく沖側 Revetment の海側と岸側の標高分布がプロットされているが、両者の標高差から Revetment の陸側では約 0.9m の堆積が確認された。その結果、地盤高がマングローブに好適な条件となり、マングローブ樹林の自然再生が見られた。

その後のモニタリングにより、図-10 に示すように、2013 年 10 月から 2016 年 1 月までの間にマングローブ林の急速な再生が確認された。最も海側ではリゾフォラの苗木が人為的に植えられたが、それ以外の場所における再生は人為介入のない、自然に再生されたものであった。



図-9 バンブー市 Revetment サイトの全体像と測量による標高分布 (Google earth)

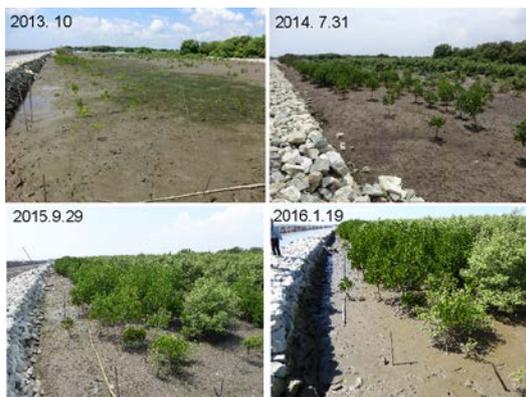


図-10 Revetment サイトにおける 2013 年 10 月から 2016 年 1 月までの mangrove 再生過程

このように非常に高い効果が発現した理由としては、波浪観測結果からリベットメントによる波高減衰効果が極めて高い一方、高濁度の海水の透過性は高いことが挙げられる。その結果、短期間の内にリベットメント内部の地盤高が上昇し、mangrove に好適な環境となり、波外力が抑制されたことから再生が効率的に始まったと考えられる。2017 年 8 月現在までのところ、特段の問題は見られていないが、この状態が続くといずれは陸地化し、通常の森林に遷移していく可能性がある。mangrove 沼地さらなる再生のためには、沖側にリベットメント等を設置し、現在のリベットメントをいずれ除去していくといった対策が効果を発揮するものと考えられる。実際、そのような検討がバンブー市では進められており、今後の展開を注視していく必要がある。

以上のように bamboo fence と revetment は大きく異なる展開を見せているが、アンケート調査の結果、revetment site では 4 種類の対策の中で、revetment が 54% と圧倒的な支持を集めていた。一方、Bamboo site では、bamboo fence が 38%、revetment が 33% の支持となっており、それぞれの地元における効果の差異が反映された結果となった。Bamboo fence には、5 年程度で朽ちて流出し、ゴミが発生する点についても多くの懸念が聞かれ、本来環境にやさしい資源ではあるが、そのライフサイクルの管理にも課題が残されている。

(3) 相対的の海面上昇下にあるインドネシア・スバン県沿岸域の持続可能性

ポンドクバリビーチ西側沿岸域は 2002 年頃までは mangrove 林と水産養殖が融合した mangrove 沼地となっていたが、その後海岸線の後退が続き、2017 年 12 月現在では広大な mangrove 沼地が海面下となり、1km 以上にも及び海岸線の後退が起きている。インタビュー調査の結果を総合すると、2004 年のスマトラ沖地震を契機とする地盤沈下を主張する意見も見られたが、主要な原因は mangrove 林の違法伐採や地下水くみ上げによる地盤沈下と見られる。また、現

地踏査から、ビーチの砂を個々の建築物の防護に用いるような事例が確認され、これらの社会的要因も無視できないように思われた。また、長期的には 1960 年代にチプナガラ川の放水路が建設されたことで流路変更があり、これによってポンドクバリ沿岸域への土砂供給が著しく減少したことが長年にわたり影響している可能性もある。その結果として、ポンドクバリ周辺のレゴンウェタン村やマヤンガン村では大潮の満潮時に道路が冠水し、12 月の大潮時には床上浸水に見舞われる家屋も数多い。行政および住民へのインタビュー調査から、道路や家屋の嵩上げが進められていること、および古くからの住民である漁民の多くはその豊かな資源から当地に住み続けたいと考えていることが明らかとなった。



図-11 チプナガラ川河口の堆積域に形成されつつある mangrove 沼地

一方、1960 年代の放水路建設によって流路が変更されたチプナガラ川河口域では、土砂が急速に堆積し、広大な mangrove 沼地が形成されつつあり (図-11)、養殖池等の開発も進められている。チプナガラ川河口の東側には日本の支援でパティムバン新港の計画があり、港内埋没の観点からも、放水路の流路変更の議論がある。この流路を西側に移動すると、ポンドクバリ周辺への土砂供給によって、mangrove 沼地の再生が可能となり、地域の持続性にも資するものと推測された。ただし、流路によっては村を分断することが懸念されており、科学的根拠に基づく施策効果の予測と合意形成の重要性が示唆された。

(4) ベトナム・バクリウにおける mangrove 林の消波効果に関する検討

図-12 に図-3 の 3 測線における樹種、樹冠密度、支柱根等の根密度の概要を模式図としてまとめた。

これら 3 つの測線は比較的類似性が高く、mangrove 海側先端から陸側に向かう第 1 区画から第 3 区画については、樹林密度は第 1 区画から第 3 区画へ向かう程大きくなり、第 2 区画は第 1 区画の 3 倍程度の値となった。一方、これら 3 区画における樹高および根密度はほぼ同様であった。波高については、mangrove 海側先端のやや沖側の測点を基準として、第 1 区画から第 3 区画それぞれの岸側測点における結果を比較すると、常時波浪を対象とした波高減衰率はそれぞれ約 30%、55%、80% 程度となり、100m の mangrove 樹

林帯幅が十分な波浪減衰機能を有していることが分かった。一方、高波浪時の調査は今後の課題として残された。

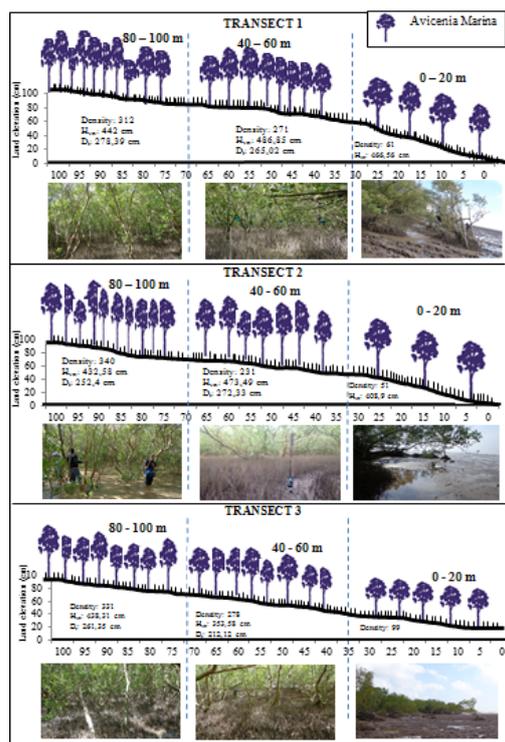


図-12 ベトナム・バクリウにおけるマングローブ沼地の3測線の特徴に関する模式図

<引用文献>

- ① McIvor, A.L., Moller, I., Spencer, T. and Spalding, M., Reduction of wind and swell waves by mangroves, Natural Coastal Protection Series: Report 1. Cambridge Coastal Res. Unit Working Paper 40, The Nature Conservancy and Wetlands International, 27pp, 2012.
- ② Zhang, K. Q., Liu, H., Li, Y., Hongzhou, X., Jian, S., Rhome, J. and Smith III, T.J., The role of mangroves in attenuating storm surges, Estuarine, Coastal and Shelf Sci., 102-103, 11-23, 2012.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計6件)

- ① Nguyen, H. Q., Sasaki, J., Higa, H. and Nguyen, H., H.: Spatiotemporal variation of turbidity based on Landsat 8 OLI in Cam Ranh Bay and Thuy Trieu Lagoon, Vietnam, Water, 9 (8), 570, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3390/w9080570> 査読有
- ② Shimozono, T., Tajima, Y., Kennedy, A.B., Nobuoka, H., Sasaki, J. and Sato, S.: Combined infragravity wave and sea-swell runup over fringing reefs by super typhoon Haiyan, J. Geophys. Res. Oceans, 120(6), 4463-

4486, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1002/2015JC010760> 査読有

- ③ 瀬戸正太, 佐々木 淳, 鈴木崇之, Thamnoon RASMEEMASMUANG・Anurak SRIARIYAWAT: タイ湾奥部マングローブ沼地における海岸侵食の実態と有効な対策, 土木学会論文集 B2(海岸工学), 70 (2), I_146 1-I_1465, 2014. 査読有

〔学会発表〕(計8件)

- ① Kikuyama, S., Suzuki, T., Sasaki, J., Achiari, H.: A study on coastal erosion and deposition processes in Subang, Indonesia, Proc. 9th Int. Conf. Asian and Pacific Coasts, 503-514, 2017 (Manila, the Philippines on Nov. 16, 2017). 査読有
- ② Nguyen, L. T., Tri, V. P. D., Loi, L. T., Sasaki, J., Nobuoka, H.: Assessment of the ability of mangrove structures for attenuation of coastal wave energy: A case study in Bac Lieu Province, Vietnam, Proc. 9th Int. Conf. Asian and Pacific Coasts, 737-748, 2017 (Manila, the Philippines on Nov. 16, 2017). 査読有

〔図書〕(計1件)

- ① Rasmeemasuang, T. and Sasaki, J.: Wave reduction in mangrove forests: General information and case study in Thailand, In Handbook of Coastal Disaster Mitigation for Engineers and Planners (Esteban, M., Takagi, H. and Shibayama, T. eds.), Elsevier, Chapter 24, 511-535.

〔その他〕

ホームページ
<http://estuarine.jp>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐々木 淳 (SASAKI, Jun)
東京大学・大学院新領域創成科学研究科・教授
研究者番号: 50292884

(2) 研究分担者

鈴木 崇之 (SUZUKI, Takayuki)
横浜国立大学・大学院都市イノベーション研究院・准教授
研究者番号: 90397084

(3) 研究協力者

Thamnoon Rasmeemasuang (タムヌーン ラスミーマスマアン)
Hendra Achiari (ヘンドラ アチアリ)
VAN, P.D. Tri (ヴァントリ)