

平成21年6月1日現在

研究種目：基盤研究（A）  
 研究期間：2006～2008  
 課題番号：18255007  
 研究課題名（和文）：インド洋大津波に対する海岸林の効果の検証と今後の海岸域の保全のあり方  
 研究課題名（英文）：Verification of the effects of coastal forests against the 2004 Indian Ocean Tsunami and the ideal concept for the conservation of coastal area  
 研究代表者  
 中島 勇喜（NAKASIMA YUHKI）  
 山形大学・副学長  
 研究者番号：70038298

研究成果の概要：2004年12月に発生したインド洋大津波および2007年4月に発生したソロモン諸島での津波による被害地を調査し、津波に対する海岸林の被害軽減効果を検証した。その結果、海岸林による漂流物の移動の阻止、津波の波力の減殺、よじ登り・すがりつき効果が確認できた。さらに、被害軽減効果と海岸林の組成や構造は海岸地形に大きく依存していることから、地形を考慮した海岸林の保全が津波被害軽減に有効であることがわかった。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	8,100,000	2,430,000	10,530,000
2007年度	6,200,000	1,860,000	8,060,000
2008年度	7,200,000	2,160,000	9,360,000
総計	21,500,000	6,450,000	27,950,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：林学・森林工学・地理学・砂防学

キーワード：津波、防災、自然災害、林学、生態系修復、スリランカ、タイ、ソロモン

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 2004年12月26日にスマトラ沖を震源としたM9.0の地震（スマトラ沖地震）は、大津波を発生させ、インド洋沿岸の多くの国で30万人以上の死者・行方不明者を出す大災害となった。震源地に近いインドネシアやタイだけでなく、1400km以上離れたスリランカやインドでも大きな被害をもたらした。

(2) 津波発生翌2005年に山形大学学長裁量経費によって、研究代表者と分担者2名がスリランカに渡り、津波被害に対する海岸林の軽減効果を確認し、詳細な調査研究を行えば、十分実証することが可能であると確信できた。その際に、日本大使館を通じて、関係するスリランカ政府機関を訪問し、情報の提供など多くの研究協力をいただいた。

(3) 研究代表者および分担者の多くは、これまで海岸林を対象に研究してきた専門家であり、日本海岸林学会会員である。2005年の韓国での国際学会で本課題の打ち合わせを行った。

## 2. 研究の目的

津波被害を軽減する効果が海岸林にどの程度あったかを検証し、どのような海岸林が津波被害軽減に有効かを明らかにすることを目的とした。さらにこれらの結果を踏まえて、海岸域の保全のあり方を海岸林研究の立場から提案し、海岸林の効果をいれたハザードマップの作成へつなげたいと考えた。

## 3. 研究の方法

現地調査は当初、インド洋津波で激害を受

けたスリランカ南部とタイ南部で行った。しかし、2007年4月にソロモン諸島を震源としたM8.1の地震による津波災害が発生したことから、予定外であったが急遽、ソロモン諸島ギゾ島を調査対象地に加えた。

研究のコンセプトは海と陸との境界域である海岸域を、津波がどう通って被害に影響するかについて、地形と植生の両方に注目して解析することである。地形と植生の相互関係も考慮して、それぞれ異なる研究手法と地域で研究した。

#### 4. 研究成果

##### (1) スリランカ南部の海岸林の類型とその特徴

被災地のひとつであるスリランカ南部の海岸地域において、衛星写真の判読と現地調査から、海岸林を類型化し、各海岸林型の面積比を算出することによって、海岸林の実態を把握した。海岸林は6つのタイプに区分できたが、外洋に面した海岸とラグーンの沿岸ではその分布が大きく異なった。外洋に面した海岸では海岸特有の自然林は認められなかったが、砂丘上にモクマオウの造林地が約83ha成立していた。マングローブ林は外洋に面した海岸には存在せず、ラグーン沿岸特有の森林であり、この地域のラグーン沿岸から100mの範囲内の面積の約10%を占めていた。防災林として海岸林を活用する場合には、このような立地条件によるちがいを考慮する必要がある。

##### (2) スリランカ南部における津波被害について—Tangalla 地区 Medaketiya における事例—

スリランカ南部地区の津波の被害状況を基礎的情報として把握することを目的とし、現地での入手資料によるTangallaでの被害状況の調査とTangalla地区内のMedaketiyaでの聞き取り調査を行った。その結果、Tangallaでは海岸部近くのGN Divisionでは約4割の建物が津波の被害を受けており、大きな被害を受けたことが確認された。また被害を受けた割合をみた場合にはGN Divisionによって違いがあり、岬の北側部分に位置するGN Divisionでの被害が多くなる傾向がみられた。これは同じく岬の北側に位置して被害が大きかったMedaketiyaでの証言より、津波が従来の方向（主にE方向）から来たものと岬によってはね返された波とが合流した事例があり、異なる方向からの波が合流してより大きな津波となったことが推察できる。またMedaketiyaでの被害状況をみると地形の低い部分に津波が流れ込み、大きな被

害をうけていたことから、地形と津波被害との関連性が確認された。

##### (3) 津波による漂流物に対するヤシ林の衝撃緩和機能—スリランカ南部海岸 Tangalla における事例—

スリランカ南海岸のTangallaにおいて、家屋の海側にあったココヤシの木立が津波被害を軽減した事例を調査した。ココヤシのどのような特徴が津波被害を軽減したかを明らかにすることを目的とした。対象家屋の住人から聞き取り調査を実施し、津波に関する基本的な情報を得た。汀線から対象家屋までの地盤高の測量、ココヤシの毎木調査（立木位置、胸高直径、樹高、津波による幹の傷）を実施した。津波による幹の傷については、傷の高さと向きを測定した。ボートの内陸への移動を阻止したのは海側のココヤシであった。また、明瞭な傷が確認できたココヤシは、汀線に近い個体というより木立の外側に位置する個体であった。ココヤシは枝を展開しないので津波に対する抵抗が少なく、表土が浸食された場合を除いて、津波がココヤシの葉に到達するほどの津波高がない限り、ココヤシは倒伏したり流失したりしにくいと考えられる。すなわち、ココヤシは枝葉を展開する一般の樹木に比べると波力を減殺する効果は低いが、ボートのような大型の漂流物の移動を阻止することは可能である。ココヤシは例え単列であっても最前列に配置することが漂流物阻止において効果的である。ただし、機能発揮のためには、表土が浸食されないことが不可欠である。

##### (4) スリランカ南部 Medilla 地区におけるインド洋大津波の被害とマングローブ林による津波軽減効果

インド洋大津波に対するマングローブ林の被害軽減効果を検証することを目的とし、スリランカ南部のMedillaにて津波の状況や被害の聞き取り調査と地盤高の測量調査を行い、地形的に同条件である場所でのマングローブ林の有無による違いをみた。その結果、海岸から同様の距離、地盤高であってもマングローブ林がある場合にはその背後への津波の流入が周辺からの目視では確認されず、マングローブの無い場合よりも家屋被害の程度が軽く、表土の堆積量が少なかった。以上の点より、マングローブ林が津波に対し波力減衰機能と土砂流入軽減機能を発揮し、津波被害軽減に有効であったことが確認された。

##### (5) 津波被害軽減の視点からのマングローブの評価—スリランカ南部海岸 Godawaya における事例から—

幅 20m に満たないマングローブが津波被害を軽減したと評価されている箇所を調査した。今回の事例がこれまでに評価されているマングローブと異なるのは、直接海に面したマングローブではなく、海とは砂丘地を挟んだラグーン沿いの狭いマングローブが機能したとされる点である。ラグーンの対岸に住む家族は、マングローブがなければ、津波は家を直撃し、壊されただろうと、マングローブを高く評価していた。そこで、どのようなマングローブが、どのように津波に対して有効に機能したのかを明らかにすることとした。マングローブが津波の勢いを弱めたかどうかは、津波がマングローブを抜けてきた箇所と、マングローブのない箇所から抜けてきた箇所とで、対岸の津波高や被害状況を比較するのがわかりやすい。しかしながら、目撃情報、マングローブならびにヤシ林に残った痕跡、津波高から、ココヤシ林を抜けてきた津波が到達したと判断されたのは、1 家屋のみであった。すなわち、マングローブによる津波被害軽減の程度に関して直接的に比較検討する材料は得られず、マングローブを津波が抜けたときに津波の勢いが弱められたと推定されるに留まった。今回対象としたマングローブは、ラグーン側から来襲した津波ではなく、砂丘部を乗り越えてきた津波に対してその勢いを弱めたと評価されているという点に特徴がある。このことは、津波の来る方向に向いていないために防災的な意味合いがないとして、マングローブを除去することは津波被害軽減の面からマイナスとなることを示すものである。

#### (6) スリランカ南部におけるインド洋津波に対するモクマオウ林の耐性

インド洋大津波に対するモクマオウ海岸林の被害軽減効果と耐性について、スリランカ南部の Hambantota で調査を行った。汀線からの高さ 5.5m の前砂丘上のモクマオウ林内を津波は乗り越えて侵入したものの、高さ約 5m の次の砂丘は乗り越えられず、その内陸にある民家にはまったく被害がなかった。それに対し、その砂丘の一部を掘削した凹地では高さ約 3.5m の前砂丘を乗り越えて津波が侵入し、モクマオウ林内を通過して汀線から約 250m にあった住宅を全壊させた。高い砂丘上のモクマオウには被害が生じなかった。しかし、津波による幹折れはほとんど発生しなかったものの、凹地で津波の直撃を受けたモクマオウの 57% が津波後に枯死した。このことからモクマオウ林は津波の物理的衝撃には耐える力があると推察される。

#### (7) タイにおける津波の海岸林への影響

スマトラ島沖地震によって発生した津波は、タイ国南部のアンダマン海に面したプーケット県およびパンガー県の海岸に押し寄せ、大きな被害をもたらした。この津波の海岸林への影響を調べるため、パンガー県でも最も津波高が高かった地域の一つであるコーカオ島を選び、海浜に生育するモクマオウ海岸林に対する津波の影響について調査検討した。その結果、大津波の直接的な影響によりコーカオ島の西浜、特に西北端部の浜は大きく侵食され、モクマオウ海岸林も部分的に破壊された。しかし、海岸林の破壊はこれで終わらず、津波後も砂浜の侵食によるモクマオウの倒伏という形での破壊が継続した。これは大津波による前浜の直接的な侵食により、その後、高波が内陸に入りやすくなったためと考えられる。また、西浜の侵食による海岸線の後退は、場所によっては1年半で約 60m に及び、現在も後退が継続している場所、後退が止まった場所がある。海岸線の後退は大津波発生前から起こっていたわけではなく、津波以前のコーカオ島西北端の浜は少なくともこの 40 年間は拡大傾向にあり、拡大した砂浜にモクマオウが侵入・生育し海岸林が成立した。大津波はこの傾向を一転させ、海岸線の後退を継続させた。大津波のコーカオ島海岸林への影響ということでは、津波による直接的な影響（一次影響）だけでなく、津波による地形変化が及ぼすその後の影響（海岸線後退：二次影響）についても考える必要がある。海岸線の保全・管理に対する津波の影響ということでは、津波の一次影響のみならず、二次影響にもっと注目すべきである。

#### (8) タイ南西部における津波の到達範囲と海岸林の被害

Phangnga 県において津波による海岸林及び沿岸域の被害について現地調査を実施し、津波の内陸部での到達範囲や海岸域の土地利用形態、津波に対する海岸地形の影響などを津波発生以前の衛星画像と発生後の衛星画像、災害前後に撮影された空中写真、並びに縮尺 1/50,000 の地形図より解析した。その結果、海岸域で津波の直撃を受けて特に甚大な損害を被ったのは、Pakarang 岬より南の Khao Lak 地域に分布するリゾート域で、主な集落は海岸近くに大規模な集落が存在しないため、津波による住居や各種施設の被害は軽微であった。また、海岸域に生育する樹木の下枝の発達等による通過阻害効果については、マングローブ、モクマオウ、ゴム、ココヤシの順で、海岸林が破壊された箇所とほとんど無傷の状態に残っている箇所での津

波到達距離に大差は無く、海岸での植生の有無や海岸林の幅と津波の到達距離に明確な関連性は認められない。そして Pakarang 岬より南の地域でも窪地や溜池と化した錫の採鉱跡地が海岸線近くに存在する場合、津波到達距離に跡地が与える影響はほとんど認められないが、採鉱跡地が海岸線よりも 1km ほど内陸に位置する場合、津波が跡地（多くの場合は池）で終焉しており、海岸付近に位置する湖沼は津波の流動エネルギーの緩和効果がほとんどなかったが、内陸部の集落に近い箇所に存在する湖沼は、寄せ波のエネルギーを吸収する効果を発揮したと考えられる。また、津波によって波打ち際が侵食された結果、海岸線の後退が生じており、逆に海底地形や沿岸流の変化に伴い、海岸線が前進している箇所も確認される。すなわち、津波の寄せ波が内陸部へ面的に侵入したのに対して、引き波は河川や湖沼など低い場所に集中して線的に退いたと考えられ、その結果、砂洲が破壊されて海と繋がったと推測される。津波の侵入範囲には建物等の障害物の存在や、植生密度及び海岸林の幅が関係すると考えられたが、今回の調査では明瞭な関連性を見出せなかった。津波の減勢効果として、砂浜部分に沿って異なる樹齢の混交林によるグリーンベルトの造成も考えられるが、大規模な津波の侵入をこうした樹林帯で完全に防御することは不可能であり、今後は自然砂丘（バンドの存在）の活用を含めた、海岸付近の微地形に応じた土地利用を考える必要がある。

(9) 2007 年ソロモン諸島津波による Ghizo 島 Siboro, Suva, Pailongge の被害実態－樹木による津波力減殺効果の事例－

2007 年 4 月にソロモン諸島で発生した津波による被害をギゾ島のシボロ、スバ、パイロンゲの村で津波被害の実態、とくに海岸林が津波被害を軽減したことについて調査した。互いに隣接するそれらの村では、津波に襲われた 70 軒のうち、5 軒を除いて津波あるいは地震によって破壊されるという壊滅的な被害を受けた。三つの村において、家屋の構造、建築材料、地盤高、被害程度を調査した。さらに、家屋の海側に生育する樹木の位置、樹種、胸高直径、樹高を測定した。津波被害の程度は海岸林の存在だけではなく、津波の規模、地盤高、潮位、家屋の構造・強度といったいろいろな因子の影響を受けるので、樹木による津波力の軽減だけを取り出すことは困難であるが、調査結果から家屋の構造と家屋の海側の樹木量が津波被害の程度を決定したと結論づけることができた。

(10) スリランカ南部海岸地域の津波ハザードマップ

スリランカの南西海岸および南部海岸において数回の現地調査を行い、「津波被害と地形との関係」ならびに「海岸林の津波減衰効果」について検討した。その結果、津波被害の大小は、まず海岸地形、とりわけ砂丘の高さに支配されること、次いで海岸林などの被覆によって波力が一部減衰される効果が認められた。地形と津波被害との関係では高い砂丘でも人為的な切り欠き（道路・水路）から津波が侵入したことが注目されたので、その数例を報告する。スリランカ政府は被災直後から津波対策として、西海岸では汀線から 100m、東海岸では汀線から 200m の間の建築規制を計画し、都市開発局は海岸付近の津波侵入範囲、土地利用図などの GIS 化を 2005 年前半に完成しているが、その後も津波ハザードマップは作成されていなかったと思われる。したがって、スリランカ南部海岸の地形分類図を作成し、津波ハザードマップとして読み替えることを試みた。

#### 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 8 件）

① Hayashida, M., Sakamoto, T., Okada, M., Inoue, S., Yanagihara, A., Akojima, I., and Nakashima, Y. Endurance of the *Casuarina* coastal forest in southern Sri Lanka against the Indian Ocean tsunami. Journal of the Japanese Society of Coastal Forest, 7(3), 1-5, 2008, 査読(有)

② Okada, M., Sakamoto, T., Hayashida, M., Inoue, S., Yanagihara, A., Akojima, I., and Nakashima, Y. The damage caused by the 2004 Indian Ocean tsunami and the mitigating effects of the mangrove forest against the tsunami - A case study of Medilla, south-ern Sri Lanka-, Journal of the Japanese Society of Coastal Forest, 7(3), 7-13, 2008, 査読(有)

③ 岡田 穰、海岸林の津波被害軽減効果に関する研究成果報告、海岸林学会誌、7(3) 39-46、2008、査読(有)

④ Sakamoto, T., Inoue, S., Okada, M., Yanagihara, A., Harada, K., Hayashida, M., and Nakashima, Y. The collision mitigation function of coconut palm trees against marine debris transported by tsunami - A case study of Tangalla on the southern Sri

Lanka coast－. Journal of the Japanese Society of Coastal Forest, 7(2), 1-6, 2008, 査読(有)

⑤ Sakamoto, T., Kobayashi, N., Okada, M., Inoue, S., Hiraishi, T., Harada, K., Ezaki, T., Akojima, I., Hayashida, M., and Naka-shima, Y. Survey report of the damage caused by the April 2007 Solomon Islands tsunami in the villages of Siboro, Suva, and Pailongge, Ghizo Island－Investigating the effect of trees in reducing tsunami damage－, Journal of the Japanese Society of Coastal Forest, 7(2), 47-54, 2008, 査読(有)

⑥ Nakashima, Y. Function and Present Condition of Coastal Forests－Effects of Coastal Forests on Damages by the Indian Ocean Tsunami－, UNU Global Seminar 6th Tohoku Session Report, 55-63, 2007, 査読(無)

⑦ Inoue, S., Sakamoto, T., Hayashida, M., Kobayashi, N., Akojima, I., Ezaki, T., Okada, M. and Nakashima, Y. Tsunami Disaster in Solomon Islands in April, 2007,－Field survey on the damage reduction effect of coastal forest－, Journal of the Japanese Society of Coastal Forest, 7(1), 1-6, 2007, 査読(有)

⑧ Hayashida, M., Satoh, H., Yanagihara, A., Akojima, I. and Nakashima, Y. Types of Coastal Forest in Southern Sri Lanka and their Characteristics, Journal of the Japanese Society of coastal Forest, 7(1), 37-42, 2007, 査読(有)

〔学会発表〕(計9件)

①阿子島 功、スリランカ南部海岸の津波ハザードマップ 2004. 12. 26 インド洋大津波被害調査から、日本地理学会 2009 年春期大会、2009. 3. 27-30、帝京大学(東京都八王子市)

②坂本 知己、海岸林の津波被害軽減効果－2004年インド洋大津波、2007年ソロモン諸島津波から－、平成20年度日本海岸林学会岩手大会シンポジウム講演、2008. 11. 15、岩手県陸前高田市ふれあいセンター

③中島 勇喜、海岸林の機能と現状－インド洋津波に対する海岸林の被害軽減効果を交えて－、平成20年度日本海岸林学会岩手大会シンポジウム講演、2008. 11. 15、岩手県陸前高田市ふれあいセンター

④岡田 穰、スリランカ南部におけるインド洋大津波でのマングローブ林の効果につい

て、平成20年度日本海岸林学会岩手大会研究発表講演、2008. 11. 15、岩手県陸前高田市ふれあいセンター

⑤坂本 知己、インド洋津波被害と海岸林が果たした役割、平成19年度日本海岸林学会静岡大会シンポジウム講演、2007. 11. 24、静岡県掛川市美感ホール

⑥岡田 穰、スリランカ南部におけるインド洋大津波による樹木被害について－Medilla 地区を事例として－、平成19年度日本海岸林学会静岡大会研究発表講演、2007. 11. 24、静岡県掛川市美感ホール

⑦林田 光祐、スリランカ南部におけるインド洋大津波に対するモクマオウ林の被害軽減効果と耐性、平成19年度日本海岸林学会静岡大会研究発表講演、2007. 11. 24、静岡県掛川市美感ホール

⑧井上 章二、2007年4月のソロモン諸島国を襲った津波被害について－海岸林の被害軽減効果に関する現地調査速報－、平成19年度日本海岸林学会静岡大会研究発表講演、2007. 11. 24、静岡県掛川市美感ホール

⑨林田 光祐、スリランカ南部の海岸林の植生とインド洋大津波による被害の実態、平成18年度日本海岸林学会愛媛大会シンポジウム講演、2006. 10. 14、愛媛大学農学部

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

○取得状況(計0件)

〔その他〕

なし

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

中島 勇喜 (NAKASIMA YUHKI)

山形大学・副学長

研究者番号：70038298

### (2) 研究分担者

林田 光祐 (HAYASHIDA MITSUHIRO)

山形大学・農学部・教授

研究者番号：10208639

阿子島 功 (AKOSIMA ISAO)

山形大学・人文学部・教授

研究者番号：00035338

江崎 次夫 (EZAKI TUGIO)

愛媛大学・農学部・教授

研究者番号：00036378  
吉崎 真司 (YOSHIKAZI SHINJI)  
武蔵工業大学・環境情報学部・教授  
研究者番号：50318622

丸谷 知己 (MARUTANI TOMOMI)  
北海道大学・大学院農学研究院・教授  
研究者番号：40112320

眞板 秀二 (MAITA HIDEJI)  
筑波大学大学院・生命環境科学研究科・准教授  
研究者番号：50015864

木村 正信 (KIMURA MASANOBU)  
岐阜大学・応用生物科学部・教授  
研究者番号：30108063

井上 章二 (INOUE SHOJI)  
琉球大学・農学部・教授  
研究者番号：30142342

岡田 穰 (OKADA MINORU)  
専修大学北海道短期大学・みどりの総合科学科・准教授  
研究者番号：00389652

小林 範之 (KOBAYASHI NORIYUKI)  
愛媛大学・農学部・准教授  
研究者番号：00314972

坂本 知己 (SAKAMOTO TOMOKI)  
森林総合研究所・気象環境研究領域・気象害，防災林研究室・室長  
研究者番号：60353702

柳原 敦 (YANAGIHARA ATUSHI)  
山形大学・農学部・准教授  
研究者番号：60182375

### (3) 連携研究者

(2008年度より変更)  
阿子島 功 (AKOSIMA ISAO)  
山形大学・人文学部・教授  
研究者番号：00035338

(2008年度より変更)  
江崎 次夫 (EZAKI TUGIO)  
愛媛大学・農学部・教授  
研究者番号：00036378

(2008年度より変更)

吉崎 真司 (YOSHIKAZI SHINJI)  
武蔵工業大学・環境情報学部・教授  
研究者番号：50318622

(2008年度より変更)  
丸谷 知己 (MARUTANI TOMOMI)  
北海道大学・大学院農学研究院・教授  
研究者番号：40112320

(2008年度より変更)  
眞板 秀二 (MAITA HIDEJI)  
筑波大学大学院・生命環境科学研究科・准教授  
研究者番号：50015864

(2008年度より変更)  
木村 正信 (KIMURA MASANOBU)  
岐阜大学・応用生物科学部・教授  
研究者番号：30108063

(2008年度より変更)  
井上 章二 (INOUE SHOJI)  
琉球大学・農学部・教授  
研究者番号：30142342

(2008年度より変更)  
岡田 穰 (OKADA MINORU)  
専修大学北海道短期大学・みどりの総合科学科・准教授  
研究者番号：00389652

(2008年度より変更)  
小林 範之 (KOBAYASHI NORIYUKI)  
愛媛大学・農学部・准教授  
研究者番号：00314972

(2008年度より変更)  
坂本 知己 (SAKAMOTO TOMOKI)  
森林総合研究所・気象環境研究領域・気象害，防災林研究室・室長  
研究者番号：60353702

(2008年度より変更)  
柳原 敦 (YANAGIHARA ATUSHI)  
山形大学・農学部・准教授  
研究者番号：60182375

(4) 研究協力者  
なし