

海岸林の津波被害軽減効果に関する研究成果報告会

文部科学省科学研究費補助金（基盤研究（A）海外）「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」

岡田穰¹

Report on the results presentation of research for the role of mitigating effects of coastal forest against the tsunami

The Grant-in-Aid for Science Research, “Verification of the effects of coastal forests against the 2004 Indian Ocean Tsunami and the ideal concept for the conservation of coastal area”

Minoru OKADA¹

Abstract: This paper is a summary of the outline of the result report association that did as part of the Grant-in-Aid for Science Research, “Verification of the effects of coastal forests against the 2004 Indian Ocean Tsunami and the ideal concept for the conservation of coastal area” on November 30, 2008. The report association was composed of a topic offer, a result report and an integrated discussion, and opinions were exchanged by the specialist in various fields.

1 はじめに

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）や2007年4月2日にソロモン諸島を震源としたM8.1の地震は、沿岸に大津波を発生させ、多くの国において多数の死傷者を発生させる大災害であった。これにともない、周辺各国を対象とした災害の速報や復興の状況、復興に向けた支援についての考察等が多く報告されている。

文部科学省科学研究費補助金（基盤研究（A）海外）「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」（研究代表者：中島勇喜）では、実際に被害を受けた箇所を調査し、海岸林が津波に対してどのような効果を果たしたかについて、実証的な調査を中心に行ってきた。その一環として2008年11月30日にCIC（キャンパスイノベーションセンター）東京で成果報告会を開催した。この成果報告会は、これまでの成果を報告するだけでなく、メンバー以外の津波研究者を招き、話題提供していただくとともに、活発な意見交換を行うことで、今後とりまとめる最終報告書に反映させることを目的とした。

本稿は、この成果報告会の概要を当日の記録を基に筆者が要約し、ご報告、ご討議頂いた皆様の協力を得てまとめたものである。

2 報告会の概要

報告会はず、研究代表者である中島勇喜氏（山形大学）による主催者挨拶により始まり、4名（今村文彦氏、原田賢治氏、田中規夫氏、中島勇喜氏）による話題提供、5名（眞板秀二氏、丸谷知己氏、木村正信氏、林田光祐氏、坂本知己氏）による科研の成果報告を行った。発表後は総合討論に移り、司会の井上章二氏が議論のとりまとめを行い、最後に

主催者の閉会挨拶で成果報告会を終了した。

3 話題提供の概要

3.1 津波被害実態調査の対象・方法

・今村 文彦 氏（東北大学大学院工学研究科附属災害制御研究センター）

突発災害調査の意義と役割は、直後で状況をつぶさに調査することであり、特に津波の場合は、時間が経つと痕跡が不鮮明になり、かつ津波の影響範囲が広域なので、如何に効率よく、国際的にトラブルの無いように安全を確保しながら実施するのが最も大切で、データ、結果を国内外の人と効率的に共有するための国際的な協力や連携が不可欠です。

津波調査の歴史について、植生効果を含めた現地調査として日本において一番、恐らく世界で、一番古いものとして明治29年に発生した山奈宗真による三陸大津波の調査があります。そこでは津波の来た方向、浸水の様子、現地の人に聞きながら被害の様子、防潮林の設置も含めた復旧復興に関するアドバイスもしています。一方、海外津波調査の歴史では1880年代に大森房吉がイタリアメッシーナ津波地震を調査しており、海外で日本人が津波を調査した初めてのケースです。それ以降、現地調査は多くは行われていなかったものの、1990年以降には世界各地で地震・津波被害が多発し、津波研究者ボランティアと被災国の関係者で構成された国際チーム

（ITST; International Tsunami Survey Team）が結成されました。また津波関連学会などで調査結果の報告や議論がされていますが、2004年のスマトラ地震・津波の時には、あまりにも広範囲で大きな被害でしたので、多くの数・分野からの研究調査がおこなわれ、企画や調整機能が追いつかない状態でした。

調査のポイントは大きく分けて4つあり、(1) 津波の痕跡と (2) 津波観測、津波の関連事象、(3) 今回の被害、(4) 過去の被害経験・災害文化・地域特性です。こうみると非常に学際的で、理工関係、人文関係・歴史関係といった色々な分野の専門家が関

¹ 専修大学北海道短期大学, Department of Agriculture and Environment, Hokkaido Collage, Senshu University, 1610-1 Bibai, Bibai, Hokkaido, 079-0197 Japan

係するため、いかに効率よく連携のとれた学際的調査をやっていくかも現在の課題となっています。

なお、事前の準備について、特に海外での調査では現地政府・現地調査者とのコンタクトが最も大切となります。次に日本政府などへの連絡を行い、問題が起こらないようにします。また、災害地でのレスキューに支障のないように調査を行うことが必要なのですが、非常に調査のタイミングが難しく、復旧活動によって痕跡が消えないうちに調査を行うことが重要で、現場との調整が必要になります。これまでは調査期間は2週間を目途に実施しています。調査に行く前には数値解析や衛星データ、メディア情報の収集を行う必要がありますが、最近は逆にメディア関係の対応に追われてしまうという問題点があります。

次に調査後の報告について、一番重視しているのは後の現地での報告会の実施で、これを行わないと色々問題が発生する恐れがあります。我々が調査で得た結果は、現地の復興や今後の減災に利用して頂かなければなりませんし、我々の日本での経験や技術を提供する必要があります。その後、インターネット、国際学会等での報告、国内学会での報告の順に行います。現地調査結成のポイントについては、被害が甚大で過去に例の無い事例である、津波の規模が大きく発生機構の新しい事例、国際的・国内的に津波防災に重要な事例、現地からの養成、これらが揃うと我々は現地に赴くことにしています。例としては1992年のニカラグア地震津波があり、これは地震の揺れが小さかったにもかかわらず津波が大きかったという特殊な事例でした。現地調査の企画・調整の課題としてはどこ・だれに情報を集約するかが大変で、またそれを誰が判断するのも重要な事項でした。また、どの様なサポート・資金を得るのかも重要で、使い道の広い資金の確保がより必要です。また最近では学生の派遣というのが安全性の面から課題となっています。

マングローブの機能・被害調査につきまして、どんな項目に注意しているかを挙げるかという点、津波外力と外力をコントロールする地形が始めの調査対象として大切となります。この部分をおろそかにするとその後の議論がしにくくなります。また津波の用語の使用も大事で、これは多くの言葉があるため、図を用いてわかりやすいようにしています。

またマングローブについては種類、直径、樹齢、高さ、枝下、立木密度について調査を行い、これはシミュレーションをする際、抵抗モデルに必要なデータとなります。

3.2 津波の数値シミュレーション

・原田 賢治 氏 (埼玉大学大学院理工学研究科)

津波の数値シミュレーションとは、津波の特徴に合わせて簡略化した力学的な方程式系に基づいて水の運動を数値的に解くというのが基本的な考え方です。津波の特徴としては、水平方向に非常に長いということであり、津波の初期波形は数十から数百キロメートルのスケールであるのに対し、海の水深は深くても数キロメートルと、水深に対して波の長さが非常に長いという特徴があります。この特徴を水の運動方程式に取り入れ、津波計算の支配方程式とし

て用いています。この特徴を取り入れることで、数値計算をする方程式の中では、鉛直方向には水平方向の速度が変化しないという条件を仮定してシミュレーションを行うこととなります。次に、数値的に解く方法ですが、実際には連続した空間を小さな平均化された空間に離散化し、これを1つずつ解き、つなぎ組み合わせて全体を解いていきます。数値計算手法としては支配方程式を差分化という方法により工夫して計算していきます。次に、津波数値計算の結果出力についてですが、津波数値計算では水位と流量を交互に時間発展的に計算していますので、計算結果として各時刻における水位や流量・流速の分布、津波到達時刻の分布などを出力することができます。この応用としては、過去の事例解析などから浸水深と被害の関係をだし、この津波被害関数と津波数値計算の結果を組み合わせることにより津波による被害想定を行うことなどが挙げられます。次に、津波数値計算の空間解像度についてですが、計算に用いる空間データは必要に応じて格子サイズを細かくして検討して検討をしています。広い空間を対象として検討する際には、全球モデルとして約1.8kmで全世界を対象とした地形データのセットがあるので、全世界を対象として数値計算を行うことができます。次に、陸上部における障害物の影響について、どのように抵抗を考慮して津波計算に取り込むかがいくつかの方法が考えられます。粗度指定モデルとして土地利用状況に応じた粗度係数をあらかじめ固定して指定する方法、また抵抗力モデルとしてそこに存在する抵抗物の抵抗力を評価して考慮する方法、さらに地形モデルとしては抵抗物よりも細かく空間を分割して地盤高として抵抗物を考慮する方法などが考えられます。特に、樹林帯を抵抗物として考慮する際には、抵抗力モデルにより検討することが行われています。抵抗力モデルとは非定常な流体運動中にある物体にはたらく流体抵抗力を考慮する方法で、その物体の投影面積が流体抵抗の大きさに大きな影響をもっています。津波の陸上氾濫を考えた場合、樹木の抵抗モデルは樹木の形と水深により変化する投影面積と流れの強さで抵抗の大きさが変化します。現状の津波数値解析モデルの課題としては、水深積分モデルにおいて水平流速の鉛直分布として樹木の鉛直方向の形状の変化による流れを十分に考慮できず、3次元的な水のモデルが十分考慮できていません。また、樹木の抵抗について、樹木形状についてのデータ蓄積や樹木の抵抗係数についての知見が不十分なことや、樹木間の相互影響を十分に考慮できていないことが挙げられ、今後の情報収集や詳細な検討が課題として挙げられます。

3.3 津波に対する樹木の影響評価

・田中 規夫 氏 (埼玉大学大学院理工学研究科)

我々は、樹木特性によって津波減衰効果にどの程度の違いがあるのかという点に着目し、樹種による効果の相違とその限界を知ること、限界を踏まえて有効な防潮林構造を提案することを目的として調査を行いました。調査項目としては、樹林帯と樹木の特性調査ということで、樹林帯の奥行き幅、構成種、密度、樹木の胸高直径に加え、抗力特性を評価するのに必要な投影面積特性を把握するための写真撮影、

そして現地での破壊実験・曲げ剛性実験を行いました。樹木を6種類に分類し、投影面積の違い、気根の密集度を示すパラメーターについてどれくらい違いがあるかを調べました。現地調査において、樹林帯はどのような場合に効果を発揮したかをみたところ、スリランカの Medilla ではアダンの無い箇所で破壊長が最も長くなったこと、Kalutara ではアダンの流れを迂回させる効果が確認されました。また、タイではフタバナヒルギの前で樹林の被害が止まったこと、巨大なモクマオウ樹林帯は樹木間隔が広く抵抗が少ないため、低木林が混在することが重要であることが確認されました。また、樹木を円柱でモデル化して樹木の抗力特性の相違をみたところ気根が生えている種での効果が確認されました。次に、実験により密集した物体背後の流れ(流れ構造)をみたところ、密集していると背後に低速域ができるが横方向の混合が激しくなり急速に回復しました。一方、ある程度で密集していると、速さはあるものの低速域が広くなり、なかなか混合せずに下流まで効果が続くことが確認され、ちょっとした樹林帯があれば効果がみられることが確認されました。

樹木の破壊限界について、前面部は破壊が大きく、基盤自体が侵食を受けていました。次にどれくらいで破壊されるかについてアダンでみたところ、津波高が樹高の8割を超えたときに倒れるものがありました。また、アダンは津波の勢いを減衰する抗力は大きいものの、折れやすく津波に対する耐性は弱いため、堅いモクマオウを混ぜたほうがよいと考えられます。このように樹木の破壊限界はある程度わかったのですが、樹林帯の破壊限界(どの程度の長さが破壊されるのか)、破壊された後の抗力特性についてはわかりきっていません。樹林帯の壊れ方には色々あり、精度を高めていく必要があると思われます。また、樹林帯は負の側面も持ち合わせており、開口部では樹林が無い場合よりも流速が加速され、増大する面もあります。よってこういった場所の対策も必要です。

樹林帯の構築に向けて、有効な樹木とその機能を見たところ、マングローブとかアダンといった気根のある樹木は、気根よりも下の津波には非常に強く、広葉樹など低い位置で枝を広げる樹木は破壊されづらく、避難しやすいといった利点があります。ただし、広葉樹は樹林帯としての抗力は弱いといった欠点もあります。よって今後、効果的な樹林植栽を考えますと、住宅の前部には気根のある樹木を、住宅内といった背後には広葉樹を植栽して避難目的で活用するのが望ましいと考えます。しかし現状として、スリランカにおいては各国の援助などによる植林は多く行われていますが、メンテナンスが行われておらず、多くが枯れているのが現状です。そこで我々は方法をアドバイスしており、指導した箇所でモクマオウが18ヶ月で6m伸びた事例もみられ、メンテナンスさえできれば密な海岸林をつくれることが実証されています。

3.4 海岸林の機能と保全

・中島 勇喜 氏(山形大学)

飛砂や高潮、津波など海岸の災害をたくさん受けてきた歴史がある日本の海岸林を中心にお話します。

海岸林(海外防災林)とは、海岸の塩風の下で成立している森林のことを指します。海岸林は森林なので、以下の3つの法則から成り立ちます。1つ目は植物が生育適地にしか育たないという適地の法則、2つ目は時間と共にその内容が変わる遷移の法則、3つ目は樹種の内容に限らずある場所で生育できる植物の量は一定であるという収穫量一定の法則です。海岸林は地形によって海浜林、海崖林、汽水林に大別されます。海浜林であるマツ林は今までの歴史の必要性に迫られてつくられてきた林で、飛砂防止、防風、防潮の三大防災機能を目的としています。海岸林の機能は成立場所によって、主に期待される機能が異なりますが、他の機能も同時に果たしています。津波災害を軽減する方策としてはソフト面とハード面があり、海岸林はハード的な方策として、人命・建物・インフラを守っています。何故海岸林をつくるというのか、低コストであること、地域住民に対するメリットとして多面的な防災機能、有用な生物資源(これがないと維持管理できない=遷移の法則)、グローバルなメリットとして木を植えること自体による炭素固定や生物多様性の保全などが挙げられる。津波被害軽減のための造成方法はこれまでも多くのことが調査で得られているが、問題点として管理面が挙げられ、植物自体の維持管理を考えなければならない。林の管理をしないで守ってもらおうというのは虫のいい話で、「林」と「我々」の間に「守り、守られる」関係を築いていかなければならない。どんな林をつくるのか、機能に応じた手入れが必要だが、まだ確立していない。とりあえずは形状比・枝下率の小さい、がっしりとした木を育てる。海岸林の抱える問題点としては遷移、病虫、外来種の侵入などがあり、遷移については手入れをする人がいないということが大きな問題です。以前は松葉が燃料として売れたが、今は売れないので手入れをしない。そして遷移が進行し病気が蔓延し、林が必要なくなるという負の連鎖が生じています。よって今後の海岸林の展望としては維持・管理組織の再構築の必要性が挙げられ、他に最適な林分の条件の提示、ゾーニングの必要性が挙げられます。海岸林の中でも防災機能を担う海岸林は維持管理が必要であり、維持管理の方法については研究者・技術者が示さなければなりません。そして維持管理の実施は地元の協力無しには継続できず、維持管理体制を構築する必要があります。植えることは簡単なのですが、どう育て、どう維持管理するかがものすごく大事なのです。

4 成果報告の概要

4.1 研究の概要

・林田 光祐 氏(山形大学農学部)

本科研のメンバーは計13名で、基本的に森林研究者、海岸林学会のメンバーで構成されている。研究全体の目的は、インド洋大津波による被害について海岸林が被害を軽減する効果がどの程度あったかを検証することであり、これを行えばどのような海岸林が津波被害軽減に有効かがわかる。もう1つは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する。できれば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。

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、それぞれの研究アプローチや異なる地域で研究した。調査対象地はスリランカ南部、タイ南部に加え、研究機関中に津波が発生したソロモン諸島ギゾ島とした。研究開始が2006年からと出遅れたので、じっくり時間をかけて調査・研究に取り組んだ。

4.2 タイ南部西海岸における津波に及ぼす内陸地形の影響と津波の及ぼした海岸林への影響

・眞板 秀二 氏 (筑波大学大学院生命環境科学研究科)

タイ南部西海岸において地形をキーワードとして、その後の津波の影響がどうであったのかという観点で調査を行いました。その結果、津波の直接的な影響（一次影響）によりタイ国内でも津波の被害が非常に大きかった Kho Khao 島の西浜、特に西北部の浜は大きく侵食され、二次影響として津波発生後の西浜の継続的な侵食によりモクマオウ林の倒伏が引き起こされているが、一方で北浜は部分的に拡大しそこにモクマオウ林が再生しつつありました。この土砂の供給源としてはスズの採掘地が影響しているのではないかと考えられます。以上から、2004年大津波の Kho Khao 島海岸林への影響を考えるうえでは、津波による一次影響と、津波による直接的な地形変化が及ぼすその後の影響（海岸線後退）、すなわち二次影響に分けることが有効だと考えられ、保全管理という点では二次影響をもう少し注目する必要があるのではと考えられます。今後確認すべきこととしては津波の二次影響の原因、またこの二次影響がいつまで続くかという点が挙げられ、興味がある点です。

・木村 正信 氏 (岐阜大学応用生物科学部)

タイ南部における津波の到達範囲と海岸域の土地利用についての調査を行った結果、津波の到達範囲は0.5~2kmで大半は標高10m以下で終息したが、海岸からの地形によって異なり、河川沿いといった谷地形では周囲よりも奥深くまで到達しました。また、対象地では海岸域に錫の採掘（露天掘り）跡地が無数に分布し、それらはくぼ地、湖沼、エビの養殖地として存在しました。海岸林の影響についてみると、下枝の発達等による通過阻害効果が確認され、マングローブが最も効果があり、次いでモクマオウ、ココヤシの順でした。また、汀線部分での植生の有無や海岸林の種類・林帯幅と津波の到達距離には明確な関連性は認められず、これは建物等の障害物についても同様でした。モクマオウやココヤシの樹高は20m近くあり、下枝が発達していなかったため、津波はこれらの樹林帯を通過しました。海岸近くに採掘跡地（湖沼・くぼ地）が存在する場合、津波の到達距離に及ぼす影響は少ないが、内陸部の人家近くに存在する場合は、その部分で津波が終息しており、地表の凸凹による流動エネルギーの緩和が確認されました。

・丸谷 知己 氏 (北海道大学大学院農学研究科)
破壊された樹木による津波の流れと強さの変化を

判読した結果、津波エネルギーの拡散は、樹種や樹高よりも樹林帯の幅や密度に大きく影響されました。このことから、川や入江に沿ったマングローブ林の造成が他の樹種よりも津波軽減に効果的であると考えられます。次に、津波痕跡および聞き取りによる津波の流れとプロセスの推定を行った結果、津波の経路を再現することができ、津波は2m以下の海岸線から陸域に侵入し、道路・河川などによって内陸へ押し寄せ、最終的には標高9.44~10.55mの地点まで到達して停止したことがわかりました。そして地形断面形と津波到達範囲の関係をみたところ、波高10m級の津波に対しては海岸林の効果、特に樹高の影響はみられず、津波は波高の1/5以下の低地や水路を伝って奥地へと侵入し、最終的には波高の80%以上の海拔標高地点にまで達しました。また津波のエネルギーについて、エネルギーの減勢に効果があるのは、海岸域での波高以下の微起伏と林帯幅であり、陸域と海岸域との境界の地形と植生管理が重要であり、河川侵食の防止や凹地の保護が有効です。以上より、海岸林の津波への効果は、森林そのものが津波エネルギーを緩和するのではなく、海岸林がつくる微地形（前砂丘）や自然の微地形がエネルギーを現刷すると考えられます。また、陸域での津波の水位はあまり減少できないが、エネルギー（流速）を落とすことは可能であると考えられます。よって樹林帯があることによって生成される・守られる地形を利用することが減災につながると考えられます。

4.3 スリランカ南部の海岸林の組成とその立地条件

・林田 光祐 氏 (山形大学農学部)

スリランカ南部海岸地域は半乾燥地域であり、地形の特徴としてはラグーンが点在し、海との境界に砂丘・砂嘴があること、海岸線は岬付近が岩石海岸であり、その間が砂浜海岸であることが挙げられる。

当地域の海岸林を類型化すると、乾燥自然林、乾燥低木林、マングローブ林といった天然林、モクマオウ林、ココヤシ林、ホームガーデン林といった人工植栽に分類される。各海岸林タイプの出現割合を衛星写真と現地調査から算出したところ、マングローブ林がラグーンで、モクマオウ林が海岸線で多く、海岸とラグーンの立地による植生の違いがみられた。また、乾燥低木林が海岸線にはなくラグーンにあることから、ラグーン周辺が荒廃していることもわかった。

以上より当地域における海岸域の地形と潜在植生の配置モデルを検討したところ、海岸からすぐに乾燥自然林が成立するタイプ、海岸に発達した砂丘と砂丘植生があり、その背後に乾燥自然林があるタイプ、砂丘植生の背後にラグーンがあり、その周辺にはマングローブ林が存在して、その内陸に乾燥自然林があるタイプに分類された。しかし、現在は人為的な改変により本来の地形と植生の関係ではなくなっている点を考慮して保全をしなければならず、立地条件に適した植生の配置が必要不可欠である。

4.4 海岸林は津波に対してどのような機能を果たしたか - 海岸林の評価と提言 -

・坂本 知己 氏 (独立行政法人森林総合研究所)

海岸林の津波被害を軽減する機能は、波力を弱める機能や漂流物阻止の機能、人のよじ登りやすがりつき、ソフトランディングといった機能のほか、土地利用を規制する機能が挙げられる。しかしながら、津波被害の程度を決めるのは、第一に、津波の規模や質と土地条件とである。小さな津波であれば被害は生じない。また、標高が高ければ津波が到達しない。防潮堤などの土木的対策は土地条件の不利を補う手段である。海岸林もそういった手段のひとつであり、津波の規模・質、土地、各種対策といった諸条件の組合せの中で、有効に機能することがある。

今回の調査では、ヤシ林が津波による漂流物の移動を阻止した事例、樹林地が津波力を弱めたと考えられる事例を確認したほか、陸地を越えてきた津波の勢いをラグーン沿いのマングローブが弱めたと評価されている事例を確認した。直接は海に面していない樹木が効果を発揮したわけで、保全すべきマングローブの対象が広いこと示すものである。モクマオウ林を対象とした調査から、家屋が全壊するような津波に対しても幹が折れたり倒伏したりしない耐性を確認したが、表土浸食が起こらなければという条件がつく。

津波被害軽減機能の点から求められる海岸林の姿であるが、林相による機能の違いを定量的に示す段階には達していない。海岸林に求められる他の機能との関係を考えて、今ある林を存続させることが第一である。現実的な対応としては津波を集中させないために海岸林に切れ目をつくらない、一直線にしないということが挙げられる。

今後に向けての海岸林の扱いについては、今ある海岸林・樹木を維持すること、砂丘・林帯の切れ目への手当てをして津波を集中させないこと、海岸(表土)浸食を防止すること、立木密度維持のために健全性を優先した林帯の維持、樹木の効果的な組合せや林縁効果の活用などが挙げられる。

5 総合討論の要旨

・司会：井上 章二 氏 (琉球大学農学部)

井上：今日の報告会の目的とは私達の研究成果を示すということで社会への貢献を果すということです。成果が出ているわけではありませんので、皆さんのご意見をいただいてより良い方向性を示して行きたいと考えております。最初に、今日ご報告・ご講演頂いた先生の中から、違った立場での研究に対して質問がございましたら、よろしく願いいたします。

今村：私どもも別件の科研でスマトラ地震・インド洋大津波について調査研究を実施しており、当時の被害の様子と現在の状況を調べさせて貰っております。大きな地震、津波による災害が起きて4年が経とうとしている現在、海岸線の回復とか植生は大きな変化をしていると思います。そこで大きな災害に対してどういう回復力を持っているのかを調べています。ある程度の津波の規模であれば元の姿に戻るだろうという期待があるのですが、その規模(限界)を超えると、違う生態系なり地形の

システムに移行してしまっているのではと思っております。そこでどの辺りまでは元に戻り、どの辺りから全然違った姿になるのかを少しずつ調べることがあるのですが、そのような事例があれば、是非、成果をまとめる際にご紹介頂きたいと思います。

本日のお話で非常に参考になりましたのは潜在植生の話で、元々、中長期的に長い地形条件からあるべき姿と、開発して変えてしまった所において、その後、潜在的な植生に戻るのか、または開発した今のままでいいのか、というところが重なるのではないかと思います。

林田：中島先生の講演の中でもありましたが、森林は遷移して変化するという性質を持っていますので、それを考慮した維持管理をしていくことが一番重要なことです。今回破壊された所がどのくらい回復するか、マングローブを例とした場合、自然に回復しているような所はあまりありません。ただ、世界的にもマングローブがすごく注目されていることから、田中先生も報告してくれましたように NGO などの多くの団体が各地でマングローブの苗木を植えて回復しようとしています。ただし、それが成林しているかと言うと、まだそういう状態にはなっていません。植え放しではなく、地元住民の人達を含めて、長い目で見ていかないと再生させるのは難しいと思います。また、潜在植生でいう乾燥自然林はほとんど住宅地なので、元の潜在的な自然に戻ることは殆どありえないと思います。むしろ荒れた低木林になっている状態をどの様にきちんと整備していくかが重要だと思います。モクマオウについては、スリランカでは人工的に植えています。自然に更新している所もありましたが、やはり自然のままに放置してモクマオウが再生するような場所は非常に少なく、植栽しないと難しいと思います。

井上：植生回復という点では、田中先生はご自分で植林もして対応しているのですが、具体的にそういう活動をされて問題などございませんか？

田中：植林は色々な場所で様々な団体・企業がお金を出して、いわゆる PR も含めて行われているのですが、その後の維持管理はほとんどされていない。そのため、植えたものが発達していくのが非常に難しく、植林したものの50%は失敗という状況です。維持管理をきちんとしてもらえる体制づくりをしていかないとダメだと思います。私の場合には地元の議員や僧侶に今後の維持管理をお願いしています。スリランカでは僧侶が尊敬されており、僧侶が「こうしましょう。」と言うと従ってもらえるのです。維持管理のシステムをしっかり見ていかないと厳しいと感じています。それに関連して、力学的にはモクマオウとアダンがい

いようですが、モクマオウやアダンが海が見えないなどの理由であまり好かれていません。よってそういう物を作ったとしても、維持管理面で非常に心配です。津波の対策なので次いつ来るか分からないという状態では、住民がちゃんと維持管理できるモチベーションが無い限り、なかなか維持されないだろうと思います。アダンやモクマオウをもっと活用できる方法は無いのかと現地の大学の先生に聞いてみたのですが、なかなか無さそうでした。逆にココヤシは捨てるどころがなく利用できるので、現在、植えられているココヤシをアダンやモクマオウに替えるのは無理です。よって、できるだけ既存のココヤシ林に何かを加えていくという観点が必要なのかな、という感想を今日の講演を聞きながら持ちました。

井上： 森林管理に対するモチベーションという点では、スリランカやタイとは違いますが中島先生のお話で日本の海岸林でのNPOの話が出ていたのですが、その辺りの現状や問題点がございましたらお願いします。

中島： 田中先生のお話は非常に大事だと思います。日本ではクロマツを海岸防災のために活用して植えてきましたが、それが今まで維持できたのは維持管理をするメリットがあったため、これは非常に大きいことだと思います。以前は松葉かきで集め、これを束にして燃料として売っていました。そういう利点があって維持できてきたわけです。しかし今はそういう状態ではないので、松葉が落ちたまま土壌ができ、それに対応した植生へと変わりつつあります。それを考えますと地元の人にとって何かメリットがない限り、なかなか維持管理することは難しいと感じます。日本では、天橋立が何百年前からマツ林で、神様が天に昇る林という特別な社寺林として位置づけられて維持されているという特殊な例として挙げられます。外国でやる場合にはどこまでのスケールで維持管理をしていくのか、場所毎のメリットを考えながらやらなければなりません。ヤシ林は利用価値が高いのですが、その下を他の樹木で埋めることでヤシ林がそれで十分育つかなという心配がまた出てきます。その辺がまだ皆目解らない状態ですので、その辺も埋めていく必要があると思います。

井上： 森林の維持管理ということだけに限らず、津波に対して住民がどれだけ海岸林に対してどれだけ思いがあるかというキーワードを基にして、タイで研究されている先生方で見解があればお願いします。

眞板： 住民というよりタイ、特に Kho Khao 島やブーケットの場合、リゾートという点に配慮が必要です。リゾートで大事なものは前浜で、森林があると困るのです。海岸林をリゾートという場所での様に扱うのかを考慮すること

は非常に大事だと思います。それから、津波の後の影響が今後どういう風になっていくのかが非常に大事になってくると思います。そういう面では、海岸線の後退が進んでいる所にリゾート開発をし、人が利用する前に波や砂が入ってきて、そこを放棄するという状況が起こっています。海岸の後退にどう対応すればよいのかという—これは工学の先生方の専門だと思うのですが—要請が非常に大きい点としてあることをご紹介します。

井上： 海岸浸食をどのように考えたら良いのかという点につきまして、原田先生はシミュレーションをするにあたって、森林に関するパラメーターが必要だと話されておりましたが、我々が今後調査する上で、こうしたデータは必要だというのがございましたらお教え願います。

原田： 樹木を考慮したシミュレーションをする上で必要になってくるパラメーターとしては、樹木の形についての情報が必要になってきます。樹木の影響として、投影面積が大きく効いてきますので、樹木形状モデルのようなものがあると、シミュレーションの中で樹木の影響を考慮して計算もできます。樹種ごとにどんな形をしているのかといった情報があると、シミュレーションの中に樹木の影響として比較的取り入れやすくなると思います。これまで我々の分野では、あまり蓄積がないデータです。

井上： それは剛体としての形状なのでしょうか？防風機能の効き方だと揺れ、いわゆるヤング指数的なものも含めた形で考えるのでしょうか？という様なものを津波で現在踏み込んでいられるのでしょうか？

原田： 実際に形状が変化することによって計算される影響の効果を検討している研究はあります。その研究では津波によって形状が変わることで影響は出ていますが、全体の効果としてはそれほど大きく変化しないという結果が出ています。従いまして、丸谷先生などが言われた地形の方がより津波の陸上での振る舞いに効くので、地形の影響を考慮し、さらに林の影響も考慮して考えた場合には、剛体として扱ってもそれほど大きく変化は出てこないと考えられます。現在のところ、剛体としてのデータがあれば評価はある程度はできる手法はあるという認識でいます。

井上： シミュレーションとか、森林維持管理といった部分でお話を進めて頂きましたが、皆様の方から、これまでの話し合いについて質問やご意見などあればお願いします。

坂本： 今回3年間、現地で、津波に対して樹木が効いたか効かなかったのかということをお調べ

うとしたのですが、色々な条件が場所によって大きく異なります。土地条件が同じで樹木がある所とない所で比べることができたら良かったのですが、衛星写真で目星をつけて行った所は、砂丘が高く津波が上がりきれず、モクマオウ林の影響を見ることはできませんでした。典型的な場所で比較ができないとなると、数値シミュレーションモデルが非常に大きな武器になり、それを間に入れないとなんとも言えません。逆に言うと津波に対する総合的な対策の中で、防潮堤を配置し、海岸林があることによってハザードマップが変わるとか、地域の危険性が変わるとかまで評価しようとした場合、モデルの信頼性が重要になってきます。津波に対して海岸林が防潮堤に比べてどれくらいの効果があるのかということは、シミュレーションによってまことしやかに出てきます。しかしそれをどこまで信頼して良いのかということに関しては、あるいは、どうすれば信頼できる段階まで到達できるのかということに関しては？

原田：非常に難しい質問だと思います。シミュレーションの中に防潮堤を入れて計算することはもちろんするのですが、それにさらに植生・樹木を入れることによって、どう変化するかということは現在検討しているところです。また、そのシミュレーション結果がどの程度正しいのかという点ですが、ひとつは模型による実験によって検証するという方法、もうひとつは今回皆さんが行かれたような現地の調査結果と合う数値計算手法・モデルの評価になります。特にそのあたりについて今後、皆さんが調査した結果を参考にして、データと数値計算結果を検証していく必要があると思いますし、検証されたモデルを用いることで最新のハザードマップに海岸林の影響についても使える情報として生かすことができると思います。ただ現在の感覚で行くと、林の効果というのは堤防などと比べると影響は小さくなってしまいます。これらには振れ幅はありますが、実際の堤防による効果と比べると小さいという結果なので、役割としては津波を小さくするという意味においては補助的な役割となってしまうと思います。

坂本：現地で調査したとき、樹木を測る際は枝下高と幹直径を計測するのが時間的な限界で、モデルに乗せる際に必要な投影面積までは測れませんでした。しかも津波高が上がると枝まで浸かってしまうので、そのことを反映させた測定となると途端に難しくなってしまいます。その辺が限界でしょうか。

原田：恐らくその辺が限界で、モデルに非常によく効いてくる地形をどこまで精度良く得られるのかという点も大きな要素になると思います。

井上：私たちの研究の目標のひとつにハザードマッ

プができればという話で進めています。その辺りに関して、山形大学の阿子島先生、お話ししていただければと思います。

阿子島：ハザードマップについて、日本であれば地盤高のデータがあるので非常に作りやすいのですが、スリランカの1:50,000の地形図では一番低い等高線が100Feet(30m)です。衛星でとった標高データは、今回の測量調査結果と比べると樹木の頭の高さで測っているようで、細かいところは全くあてにならないことが判りました。そこで現地でみてきたことから衛星画像(単写真)を心眼で読んで、南部海岸の70km区間で刷り上がりが約1:100,000程度の、ポスターのような地形分類図を作りました。立体視できる画像で補いたいのです。今回のグループは海岸林の分布図を作っているのですが、それを付加記号で重ねますと、定性的ではあるが簡易なハザードマップになると思います。今回、林の切れ目や砂丘の切れ目は非常に危ないということが判りましたので、これはかなり応用できると思います。これまでのハザードマップでそこまで書いているのはないと思います。

今村：恐らく今までのハザードマップは浸水域を示すことが中心だったと思います。浸水域に関しては、残念ながら植生は透過性のものなので、その効果を示すには、なかなか難しい項目にあります。しかし後背地における流速やエネルギーの減衰に関してはかなり効果があると思いますので、ハザードマップの内容として、流速やエネルギーの減衰を入れ込むとさらに、その効果が明確になると思います。もう1つ植生の大切な効果として、漂流物抑止というのがあります。それをどう捉えるかはなかなか示しづらいですが、例えば、港や養殖イカダなど、沿岸で漂流物になりそうなエリアをきちんと示し、その周辺は防潮林があることを示します。それはそこでのハザードまたはデザスターを示しますので、減災効果(低減の対象)として非常に良い内容になると思います。

井上：フロアーの皆様の方から何かございますか？

会場：私は原田先生の話を伺って、抵抗力を2つに分ける話、ひとつが慣性力に関わるものですが、それが結局、津波による一連の流れの中で慣性力から始まり、そこで力学的に抗力や慣性力のかかり方に何が起きているか、被害に繋がる何が起きているのかということについて一度整理して頂くということが被害発生シーンとして繋がってくるという印象を持ちました。例えば、それぞれに与える影響がバラバラですし、道路が直線に繋がらせない

とか、二次的な流れ、例えば、そういうような流れを見せていただくと理解につながるかと思います。

原田：実際の津波の条件で計算しますと、非常に長い波ですので、慣性力が働くのは津波の最初の部分が一番大きく、その後継続的に水が流れ込むような形になりますので、抗力が支配的な影響をもたらす力となります。その影響がどのように出るのかですが、作用する力によって影響を評価するためには、どのくらいの力の限界によって被害が起こるのかというモデルがまず必要となってきますが、そこまでは現在のところ私の方では十分にはできていません。

会場：愛媛は南海、東海地震が最速で30年位の場所で、海岸林が少ないです。工学的な点、防災の視点から「ポイントはこうだ」ということを挙げて頂ければと思います。もう一点は、今村先生の話で破壊された森林が後どうなるかということがありましたが、これは、日本での戦後の砂防造林によるリニューアルといったところがひとつの考え方として活かせると思います。

今村：防災ということを考えると2つあると思います。ひとつは家屋被害・物理的被害の軽減、もうひとつは、何といたっても人的被害の軽減をすることが防災の柱だと思います。後者について軽減するためには、シェルターとしての役割や、津波の到達時間の遅延—1分でも1秒でも遅れてくれば避難できる—が必要です。

しかし日本人の致命的な問題として、津波警報が出て避難しない実態があります。我々は津波が怖いことは分かっている、避難しなければいけないという意識づけ・意識がまだまだ低いです。その中で、地域の防潮林は存在する意味—実は津波が来ていた、祖先が将来の津波の減災のために作った—を教育しながら意識づけをする（啓発）という機能があるような気がします。人的被害を軽減するというキーワードも、ぜひ我々は整理しなければいけないと思います。

井上：最後に科研の報告会を私なりのまとめをさせて頂きますと、今後、我々がこの研究をまとめるに当たって非常に有意義なサジェスションを頂いたということと、日ごろ接する機会のない先生方と話し、議論をすることができたということは大きな成果だったと思います。研究代表者の中島先生から最後のご挨拶を頂きたいと思います。

中島：長時間どうもありがとうございました。何より各先生方どうもありがとうございました。聞いていまして科研の前にご相談すればよかったなと思いました。これで研究自体が終わるわけではないので今後また色々知恵を頂きながら私共も研鑽を積んでいきたいと思えます。今後ともよろしく願いいたします。本当にありがとうございました。

井上：最後にご講演いただいた先生方に拍手をお願いします。ありがとうございました。

[受付 平成20年12月30日、 受理 平成21年2月20日]