



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	東日本大震災後の海岸部における生態系保全策の効果：徘徊性昆虫に着目して [全文の要約]
Author(s)	大越, 陽
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(農学)
Dissertation Number	甲第16270号
Issue Date	2025-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/95095
Type	doctoral thesis
File Information	OKOSHI_Hinata_summary.pdf



博士論文の要約

博士の専攻分野の名称： 博士（農学）

氏名 大 越 陽

学位論文題名

東日本大震災後の海岸部における生態系保全策の効果：徘徊性昆虫に着目して

砂浜と海岸砂丘は陸域と海域の境界に位置する動的な環境であり、海から陸へ連続的に変化する生息地環境や特有の種による生物多様性、海陸間での堆積物や栄養の循環といった生態系機能をもたらしている。昆虫類は砂浜や海岸砂丘における優占的な動物相の 1 つであり、食物連鎖による海からの栄養流入の媒介等を担っている点でも重要である。近年、海岸部では気候変動等による脅威が増大しており、それに対する海岸防御施設の整備と生態系保全との両立が世界的な課題となっている。東北地方太平洋沿岸地域では 2011 年 3 月 11 日に発災した東北地方太平洋沖地震に伴う津波災害（東日本大震災）以降、大規模な改変を伴う防潮堤建設や海岸林造成といった海岸防御施設の復旧が行われてきた。海岸での災害復旧事業は環境影響評価の対象外であり、これらの人為的改変による生態系への影響が懸念された。防潮堤のような人工構造物（ハードインフラ）はこれまで世界的に広く用いられてきた海岸防御施設である一方、海岸生態系への影響に関する研究が蓄積されておりその持続不可能性が指摘されている。東日本大震災後に復旧された防潮堤についても、海浜性動植物の生息地の直接的な消失、陸側での海浜環境の喪失、海側と陸側間での動物の移動や植物の種子散布の阻害といった間接的な影響が懸念された。また、東日本大震災後に復旧された海岸林は江戸時代以降に人工的に植林されてきたクロマツ海岸林を復旧したものであり、津波エネルギーの減衰効果も期待されている。しかし、クロマツ生育基盤として行われた盛土が津波後の海浜環境を埋没させ、海浜性植物の定着や生長を妨げていることが報告されている。

こうした懸念を背景に、復旧事業地全体と比べて小規模ではあるものの、各地で生態系保全に関する様々な事業や取り組みが行われた。早期復旧が求められたことや震災後の現場の混乱により、これらは元々の計画や確立された技術・知見に基づくものではなく、十分な計画や事業間での連携も行われなかった。しかし、それ故に既存の知見に基づかない多様な試みが行われたため、これら保全策の一部は今後のグリーンインフラや生態系サービス間のコンフリクト回避、自然を基盤とする解決策（NbS）といった、生物多様性に配慮した海岸保全に応用できる可能性が指摘されている。しかし、実施された多様な生態系保全策の効果について検証した研究の多くは植物に関するものに限定されている。様々な生物や生態系サービスへの影響について検証することは、今後の生物多様性に配慮した海岸保全策の検討に重要である。本研究では、砂浜や海岸砂丘における優占的な分類群の一つであり、捕獲や定量化の容易さから指標として用いられることの多い徘徊性昆虫に着目した定量的な調査を行った。

本研究では宮城県の砂浜海岸における災害復旧事業として行われた防潮堤建設や海岸林造成に対する様々な生態系保全策の効果を主に徘徊性昆虫に着目して包括的に検証し、生物多様性に配慮した海岸保全の可能性と施工上の留意点について提言することを目的とした。第 2 章では防潮堤海側に着目し、汀線から防潮堤までの距離、即ち海浜幅の異なる調査地間での比較から、防潮堤のセットバック等により海浜幅を確保することの効果を検証した。第 3 章では、防潮堤陸側における海岸林造成のための盛土地盤による影響に着目した。防潮堤陸側においてクロマツ植林に

よる海岸林造成のための盛土が行われた区域、海岸林造成のための盛土が行われなかった区域、防潮堤海側の海浜区域、の 3 つの環境下で徘徊性昆虫相と植生を比較し、防潮堤陸側での盛土地盤造成回避による効果を検証した。第 4 章では、盛土地盤の表面に海岸林造成以前の海浜砂を用いて行われた覆砂の効果に着目した。盛土地盤上への覆砂を行った区域と行わなかった区域における徘徊性昆虫相と植生の比較から覆砂の効果を検証した。第 5 章では、防潮堤海側の堤体法面上に建設以前の現場表土を用いて行った覆砂に着目した。海側法面、堤外の砂浜、現場表土を用いていない陸側法面で見られた徘徊性昆虫相の比較と、覆砂基盤（用いた表土）の影響の分析から、この覆砂による徘徊性昆虫群集の生息地創出の効果を検証した。

東北地方仙台湾に面する、延長約 60 km に渡って砂浜海岸が広がる仙台湾南部海岸では、東日本大震災後に再建された防潮堤による海岸生態系への影響が懸念された。こうした防潮堤による影響に対する保全策の検討において、一部の防潮堤では海浜幅（汀線から防潮堤までの距離）の確保のため内陸側へのセットバックが行われた。そこで第 2 章では、海浜幅の異なる調査地間、及び防潮堤海側と陸側における徘徊性昆虫相の比較から、防潮堤建設に伴う海浜幅の減少と陸側での環境の変化による影響を明らかにし、セットバック等により海浜幅を確保することによる生態系保全の効果を検証した。仙台湾南部海岸のうち、海浜幅が 75–210 m、及び砂浜上に防潮堤の無い調査地を計 6 ヶ所選定した。それぞれの調査地において汀線に直交するように、汀線から防潮堤の内陸部まで調査測線を設定した。調査測線上に 20 m 間隔でピットフォールトラップを設置し、約 24 時間での回収を 3 回繰り返して徘徊性昆虫を採集した。採集された徘徊性昆虫は先行研究や採集記録等の記載に基づき、以下の 2 種類に分類して分析を行った。1) 海浜性: 主な生息地が砂浜や海岸砂丘、内陸の河川敷等を含む砂地である種。2) 内陸性: 海浜性以外の、一般に砂浜や海岸砂丘では見られない種。したがって、本研究における海浜性昆虫は必ずしも海浜環境にのみ生息する種ではないが、いずれも砂浜や海岸砂丘に典型的な種である。調査地間での徘徊性昆虫の平均個体数及び平均種数の差異について一般化線形混合モデル (GLMM) を用いて比較した。また、徘徊性昆虫の種組成を基に、Bray-Curtis 距離を用いた NMDS (非計量多次元尺度法) による採集地点の序列化を行い、クラスター分析による分類を行った。クラスター間での平均個体数、海浜性昆虫の個体数、内陸性昆虫の個体数の差異について GLMM を用いて比較した。結果、防潮堤海側では堤体付近を除いてほとんどの採集地点で海浜性昆虫のみが確認され、調査地間では平均個体数、平均種数に有意差は認められなかった。種組成に基づく NMDS とクラスター分析の結果、各採集地点は 3 つのクラスターに分けられ、海からの距離や防潮堤による影響が見られた。防潮堤海側の堤体から離れた採集地点では調査地間で種組成の差異が見られず、このクラスターでは海浜性昆虫の個体数が有意に多かった一方で内陸性昆虫はほとんど見られなかった。これに対して、海浜幅の短い調査地の堤体付近や防潮堤陸側の採集地点では、海浜幅の長い調査地における海からの距離が同程度の地点とは種組成が異なっていた。これらの地点は海浜幅の長い調査地の内陸部と同じクラスターに分類され、このクラスターでは内陸性昆虫の個体数が他のクラスターと比べて有意に多かった。また、海浜幅の長い調査地では防潮堤海側と陸側での種組成の差異が小さくなっていた。以上のことから、防潮堤海側の堤体から離れた地点では調査地間での個体数、種数及び種組成の差異が確認されず、防潮堤建設による影響が見られなかったため比較的良好な生息環境であったと結論づけた。一方、海浜幅の短い砂浜では防潮堤周辺の種組成が海浜幅の長い砂浜と異なっており、防潮堤建設に伴う人間活動による侵入や周辺での砂の堆積による標高の変化、または砂や風といった自然撓乱の緩和による生息環境の変化が推察された。これに対して、海浜幅の長い調査地では防潮堤海側と陸側での種組成の差異が小さくなっていた。したがって、防潮堤建設の際に長い海浜幅を確保することで、海側での比較的良好な生息環境の増加、陸側との生息環境の差異の低減といった効果が期待できる。

仙台湾南部海岸では、防潮堤陸側に海岸防災林としてクロマツ海岸林が造成された。この海岸林造成においてはクロマツの生育基盤として、内陸の丘陵部で採取された鈹質土壌を用いた盛土が行われた。この盛土は津波後に残存、再生、または新たに出現した環境を埋没させ、海浜植物の定着や生長を妨げていることが報告された。こうした懸念を受け、仙台湾南部海岸の一部では植林や盛土を行わない区域が設定された。そこで第 3 章では、防潮堤陸側において盛土及びクロマツ植林が行われた区域 (盛土区) と、盛土や植林を行わなかった区域 (対照区) 及び防潮堤海側 (海浜区) との間での徘徊性昆虫相と植生の差異を検証した。また、防潮堤陸側における内陸性植物による海浜性昆虫への影響についても分析した。調査は宮城県荒浜地区及び新浜地区の砂浜海岸で

行われた。汀線から防潮堤内陸 200 m までの範囲で、海からの距離が同程度の地点において盛土区と対照区が混在するように計 6 本の調査測線を設定した。調査測線上で汀線に対して垂直方向に 20 m ごとに調査地点を設定し、各調査地点にてピットフォールトラップを約 48 時間設置して徘徊性昆虫の採集を、2 m × 2 m のコドラートを用いて植生の調査を行った。盛土区、対照区、海浜区間での海浜性及び内陸性昆虫の個体数、海浜性及び内陸性植物の被度の差異について一般化線形モデル (GLM) を用いて比較した。また、防潮堤陸側における内陸性植物の被度、盛土、防潮堤からの距離による海浜性昆虫の個体数への影響についてハードルモデルを用いて分析した。結果、防潮堤陸側の対照区では盛土区に比べ海浜性昆虫の個体数と海浜性植物の被度が有意に高く、海浜区とは有意差が認められなかった。一方、防潮堤陸側では盛土の有無に関わらず、海浜区と比べて内陸性昆虫の個体数と内陸性植物の被度が有意に高くなっていた。さらにハードルモデルによる分析から、内陸性植物の被度は海浜性昆虫の個体数に負の影響を及ぼすことが示された。以上のことから、海岸林造成のための盛土上の環境は海浜性の昆虫や植物の生息に適していなかったことが明らかとなった。これに対して、対照区では個体数や被度の観点から防潮堤海側と同程度の海浜性昆虫と植物が見られ、海岸林造成のための盛土の回避が防潮堤陸側での海浜性昆虫と植物の保全に有効であったことを示した。一方、防潮堤陸側では対照区においても内陸性の昆虫や植物が確認され、海浜区と完全に同一な生息環境ではないと考えられた。特に内陸性植物の増加は海浜性昆虫を減少させることが示されたため、その変化には注意を要する。防潮堤による攪乱の緩和が植生遷移や環境安定化をもたらす可能性も考えられるため、経年変化のモニタリングが盛土回避による保全効果の持続性を検証する上で重要である。

海岸林造成のための盛土による影響への懸念を受け、仙台市宮城野区新浜の一部区域では盛土地盤の表面に海岸林造成以前の海浜砂を用いた覆砂が行われた。この施工では、埋土種子からの海浜植生の再生を期待して、海岸林造成以前に取置された海浜砂により 10 cm 厚で盛土が覆われた。そこで第 4 章では、盛土地盤表面に覆砂を行った区域 (覆砂区)、盛土地盤表面に覆砂を行わなかった区域 (盛土区) と、盛土や植林を行わなかった区域 (対照区) 間での徘徊性昆虫相と植生の差異を比較し、盛土地盤への覆砂による効果を検証した。調査は宮城県新浜海岸の海岸林造成地で行われた。防潮堤から 30–160 m 内陸の範囲で、防潮堤に対し垂直に 3 本、それらを横断する 1 本の調査測線を設定した。防潮堤に対して垂直の調査測線上では 20 m ごとに、また防潮堤に対して平行な調査測線上では 10 m ごとに調査地点を設定し、各調査地点にてピットフォールトラップを約 48 時間設置して徘徊性昆虫の採集を、2 m × 2 m のコドラートを用いて植生の調査を行った。盛土区、対照区、覆砂区間での海浜性昆虫の個体数の差異についてハードルモデルを、内陸性昆虫の個体数、海浜性及び内陸性植物の被度の差異について GLM を用いて比較した。結果、海浜性昆虫の個体数と海浜性植物の被度について覆砂区と盛土区の間で有意差が認められず、対照区と比べて有意に少なくなっていた。また、内陸性植物の被度については覆砂区と盛土区の間で有意差が認められず、対照区と比べて有意に高くなっていた。以上のことから、盛土地盤上への覆砂による海浜性の昆虫や植物への明瞭な保全効果は確認されなかった。したがって、海岸林造成のための鉦質土壌を用いた盛土による影響は、海浜砂を用いた覆砂を行っても軽減されなかったと結論付けた。

気仙沼市三島海岸では海に面する位置に防潮堤が建設され、この防潮堤海側の堤体法面上では、建設以前の現場に存在していた砂浜とクリ・コナラ林の表土を用いた覆砂が行われた。加えて、有機質を内包した植生基盤マットによる植生定着の促進や海浜性植物の地下茎の混入、海浜性植物の苗の植栽といった緑化施工が行われた。そこで第 5 章では、覆砂を行った海側法面と、堤外の砂浜及び現場表土を用いていない陸側法面との比較、覆砂基盤 (用いた表土) の違いによる影響の分析から、この覆砂による徘徊性昆虫群集の生息地創出の効果を検証した。海側法面の覆砂及び緑化施工は防潮堤本体の完成後、2018 年、2019 年、2020 年の三度に渡り行われた。それぞれの施工区では覆砂基盤が異なり、2018 年施工区では林床表土が覆砂に用いられ (林床表土区)、2019 年及び 2020 年施工区では砂浜表土が覆砂に用いられた (砂浜表土区)。調査地点はそれぞれの施工区の日端・法面中央・基部、堤外にある砂浜、現場表土ではなく通常の盛土を行った陸側法面に設定した。各調査地点にてピットフォールトラップを約 48 時間設置して徘徊性昆虫の採集を行った。各施工区、堤外砂浜、陸側法面間での平均個体数、平均種数、海浜性及び内陸性昆虫の個体数の差異について GLMM を用いて比較した。また、徘徊性昆虫の種組成を基に、Bray-Curtis 距離を用いた NMDS による採集地点の序列化を行い、クラスター分析による分類を行った。クラスター間での

平均個体数、海浜性及び内陸性昆虫の個体数の差異について GLMM を用いて比較した。さらに、堤体上の位置（天端、法面中央、基部）間での平均個体数、平均種数、海浜性及び内陸性昆虫の個体数の差異について GLMM を用いて、 β 多様性の差異について ANOVA 及び TukeyHSD を用いて比較した。結果、平均個体数と内陸性昆虫の個体数は 2018, 2019, 2020 年施工区の順で多くなっていた一方、平均種数と海浜性昆虫の個体数については各施工区、堤外砂浜、陸側法面のいずれの間でも有意差が認められなかった。種組成に基づく NMDS とクラスター分析の結果、各採集地点は 5 つのクラスターに分けられ、覆砂基盤と堤体上の位置による影響が見られた。主に砂浜表土区の基部と天端、堤外砂浜の採集地点が分類されたクラスターでは、海浜性昆虫の個体数について他との有意差は認められなかったものの、内陸性昆虫の個体数は有意に少なくなっていた。また、主に林床表土区の基部と天端の採集地点が分類されたクラスターでは海浜性昆虫と内陸性昆虫の個体数が他のクラスターと比べて有意に多く、砂浜表土区では確認されなかった海浜性種も含まれていた。また、このクラスターには堤外砂浜の採集地点も含まれていた。一方、法面中央の採集地点は覆砂基盤に依らず同じクラスターに分類される傾向にあった。このクラスターでは他と比べて内陸性昆虫の個体数が有意に多く、海浜性昆虫の個体数は有意に少なくなっていた。陸側法面の採集地点は、海側法面の基部や天端とは異なるクラスターに分類された。堤体上の位置間では、平均個体数、平均種数、海浜性昆虫の個体数に有意差が認められなかった一方、内陸性昆虫の個体数が法面中央で有意に多くなっていた。また、 β 多様性は法面中央で有意に低くなっていた。以上のことから、建設以前の現場に存在した現場の表土を用いて覆砂を行った結果、砂浜表土区の天端と基部では海浜性昆虫が中心の生息環境が成立したと考えられる。また、林床表土区の天端と基部においては、海浜性と内陸性昆虫のいずれも個体数が多く、砂浜表土区では見られなかった海浜性昆虫が生息していたことから、砂浜表土区とは異なる海浜性昆虫の生息環境が創出されたと考えられる。さらに、これらは陸側法面とは種組成が異なっていたことから、いずれの覆砂基盤についても現場表土を用いたことによりこのような生息環境が成立したと考えられる。一方、法面中央では覆砂基盤に関わらず天端及び基部とは種組成が異なっており、主に内陸性昆虫が生息していたのに加えて β 多様性が有意に低かった。天端や基部との違いから、植物の繁茂やジュートネットによる被覆の影響が推察された。

本論文では、東日本大震災後の復旧・復興事業において行われた様々な人為的改変に対する生態系保全策について、生物多様性の観点から徘徊性昆虫を中心として検証を行った。これらの結果から、海岸防御のための人為的改変が避けられない場合における、生物多様性に配慮した海岸保全の可能性と施工上の留意点について論じた。第 2 章の結果から、防潮堤海側の堤体から離れた地点では改変による影響が少ないと考えられる。これらの地点では、防潮堤の無い調査地と平均個体数、平均種数の観点から差が見られず、同様の種組成であったことから、海浜性昆虫にとって比較的良好な生息環境であると考えられた。防潮堤のセットバック等により海浜幅を確保することで、このような生息環境を量的に増やすことができると考えられる。防潮堤陸側では種組成の違いから自然撓乱の緩和による影響が推察された一方、海浜幅の長い調査地では防潮堤海側と陸側での種組成の差異が小さく、海浜幅の確保は海側の良好な生息環境が量的に増加するだけでなく陸側との生息環境の差異を低減する点においても有効な保全策であると考えられた。また、防潮堤陸側では海側との種組成の差異が見られたものの、第 3 章の結果からは海岸林造成のための盛土を行わなかった区域において海浜性昆虫の個体数が海側と同程度であったことが示された。一方で、防潮堤陸側では盛土の有無に関わらず海側と比べて多くの内陸性の昆虫や植物が確認された。したがって、改変を受けていない海浜環境と完全に同一の環境ではない点に留意すべきであるが、防潮堤陸側での盛土回避は海浜幅の確保が行えないような場合の次善策としてはある程度の効果が期待できる。また、人為的に内陸性植物を防除する等により海浜環境に近づけることができる可能性がある。第 5 章では、防潮堤建設以前の現場表土を用いて堤体法面へ行った覆砂上において海浜性昆虫の生息が確認された一方、主に法面中央において多くの内陸性昆虫が見られた。堤体法面への覆砂を行う際には、内陸性種の混入や周囲の人為的改変の回避、適切な植生への誘導により海浜に近い環境を形成できる可能性がある。第 3 章において、クロマツ海岸林造成のために行われた盛土は海浜性の昆虫や植物の生息環境に負の影響を及ぼしていた。また、防潮堤の堤体法面と異なり、第 4 章の結果からは盛土地盤上での海浜砂を用いた覆砂による保全効果は確認されなかった。このような影響が見られたことから、人為的な海岸林造成を行う場合には、在来の生物への影響に十分配慮した計画をすべきである。盛土を伴わない植林を行う、盛土

に硬質土壌ではなく海浜砂や近隣河川の浚渫土砂を用いるといった手法が生態系保全との両立に有効である可能性もある。

結論として、海浜幅の確保は防潮堤海側における人為的改変の影響が少ない生息環境を増加させ、防潮堤陸側と海側との種組成の差異の低減にも有効であると考えられた。防潮堤陸側では海岸林造成のための盛土を行わないことで海浜性昆虫の生息が確認された。これは改変を受けていない海浜環境と完全に同一の環境ではない点に留意すべきであるが、海浜幅の確保が行えないような場合の次善策としてはある程度の効果が期待できる。また、防潮堤堤体法面への覆砂上においても海浜性昆虫の生息が確認された。法面への覆砂を行う際には、施工時における内陸性種の混入や周囲の人為的改変を抑える、覆砂上で適切な植生への誘導を図るといった点に留意することにより海浜に近い環境を形成できる可能性がある。