

災害復興事業と生物多様性保全

西廣 淳*

インフラストラクチャー整備と生物多様性保全は、人間が物心ともに豊かな生活を送る基盤としてともに重要であり、災害復旧や防災事業の実施においてはそれらの両立が重視される必要がある。しかし東北大震災後の復旧・復興事業では、インフラ整備のために生物多様性保全上重要な場所が不可逆な改変を受けているケースが多い。本稿では、仙台湾岸での津波被災地の生態系調査や、復興事業と保全に関する議論への参加を通して得た経験をもとに、災害復興および防災・減災事業と生物多様性保全の両立に向けて必要と考えられる視点を解説する。

Disaster Reconstruction and Biodiversity Conservation

Jun NISHIHIRO*

Public works for disaster prevention and biodiversity conservation are intertwined with their contribution to human well-being. However, the former has become a major threat to the latter. In Japan, where population decrease is predicted to continue, it is recognized that the existing infrastructure will become hard to maintain. Thus the management of healthy ecosystems that are supported by biodiversity is regarded to be an important task for this century. We can consider large-scale disasters as chances to redesign infrastructure based on new values. In the Tohoku region after the Great East Japan Earthquake, however, reconstruction is strengthening existing infrastructure. Such works are largely threatening the recovery of nature after the tsunami. Here, I explain some lessons from the experience with Sendai Bay after the tsunami for wise management that meets both security and conservation goals.

1. はじめに

生物多様性－相互に関連し合って生活する地球上の多様な生物－の保全は、現代における重要な国際的目標である。1992年に採択された国連生物多様性条約には、現在、日本を含む192カ国およびEUが加盟している。2010年に名古屋で開催された第10回締約国会議では、2020年までの達成を目指す具体的な

数値目標を含む「愛知目標」が策定され¹⁾、その達成に向けた検討が、日本においても環境省を中心に進められている。生物多様性保全という目標が広く受け入れられるようになった背景としては、生物多様性が、人間の安全で豊かな生活すなわち人間の福利(human well-being)を直接的、間接的に支える不可欠な存在であるとともに、それが経済活動を優先する社会発展の中で急速に損なわれていることが認識されてきたことが挙げられる^{2,3)}。

道路、堤防、ダムの建設といったインフラストラクチャー整備は、戦後の日本における生物多様性の損失の主要な原因であった。しかし、これらのインフラ整備は、安全で快適な生活の実現を目的として

* 東邦大学理学部准教授

Associate Professor, Faculty of Science,
Toho University

原稿受付日 2014年9月1日

掲載決定日 2014年10月1日

進められてきたものであり、その意味では生物多様性を保全する目的と究極的には共通する。両者は、目的を実現するアプローチと、それぞれが満たし得る人間の福利の要素や時間スケールが異なるだけだ。したがって、生物多様性保全とインフラ整備は適切にバランスをとることで相互に補完し合う関係になり得る。近年の道路事業における「エコロード」の考え方の導入や河川事業における「多自然川づくり」の取り組み⁴⁾は、これらの両立に向けた試みといえるだろう。

生物多様性保全とインフラ整備の両立の重要性は20世紀の最終期によく認識されてきたものであり、それ以前には、各地の自然環境は、配慮の不十分なインフラ整備により大幅に損なわれてきた。そのため近年では、過去の人間活動によって損なわれた生物生息環境を取り戻すため、ダムの撤去⁵⁾などを含む「自然再生事業」が進められるようになってきている^{6,7)}。このような時代にあつて、既存のインフラを破壊するような大規模な自然災害は、生物多様性保全の視点を内在化させた新しい社会資本整備を進める機会ととらえることができる。

しかし、東日本大震災に伴う津波で被害を受けた太平洋沿岸部における復興事業は、かつて生物多様性の損失の主要な原因となってきた事業の背景となった考え方の延長線上で進められていると言わざるを得ない。津波以前には大型の堤防がなかった場所も含め、高規格の大型構造物の築造が、環境影響評価も行われないうちに急速に進められている。

沿岸域を主要な生育・生息場所とする野生の動植物にとって、津波による海水や土砂の移動という自然攪乱は、進化的な時間スケールの中ではすでに経験してきたものである。むしろ攪乱に依存して成長する生物に生息場所を提供するなど生物多様性にとってプラスの効果をもたらす面を持つ⁸⁾。それに対して、配慮を欠いたインフラ整備に伴う人為攪乱は生物多様性に対しては脅威でしかない。

なぜこのような事態になってしまったのか。また今後、国土強靱化政策⁹⁾を含む公共事業政策の中でさらに進むと考えられる防災・減災インフラ整備において、生物多様性保全との両立のためにどのような点に留意すべきなのか。筆者が有する経験は、東日本大震災の津波後の仙台湾岸における保全の議論に参加したという程度の限られたものではあるが、そこで強く認識させられたいいくつかの教訓を説明する。

2. 復興事業における生物多様性保全に向けて

2-1 平常時における自然環境調査・評価・共有の重要性

東日本大震災に伴う津波による攪乱を受ける以前の仙台湾の南部海岸は、汀線には主に砂浜が発達し、その陸側には少なくとも藩政時代から防風・防砂林として植林されてきたクロマツ林が帯状に成立する構造を持っていた¹⁰⁾。このクロマツを主体とする海岸林1,050haは、環境庁自然環境保全基礎調査(1980、88年)により「過去において人工的に植栽されたことが明らかな森林であっても、長期にわたって伐採の手が入っていないもの」として、特定植物群落に指定され重要性が指摘されていた。さらに、宮城県自然環境保全地域(73年宮城県指定)、仙台海浜鳥獣保護区(87年環境庁指定)、日本の重要湿地500(2001年環境省指定)に指定されるなど、野生生物とその生息・生育環境、ならびに景観上の価値が認められていた。一方で、大規模な港湾の造成、砂浜の侵食、防潮堤や公共施設等の建造等により、その損失も一部からは問題視されていた¹¹⁾。しかし、そのような保全上の価値や現状における課題についての認識は広く共有されてはおらず、地区や生態系の構成要素について、保全を義務付ける対象の指定や、保全上の優先順位付けはなされていなかった。

仙台湾岸の海岸林における生物多様性は、クロマツ林だけでなく、それと混在して多数の常緑・落葉樹が成育する林が存在し^{12,13)}、さらに河川や塩性湿地と連続性を持つ後背湿地が存在する¹⁴⁾という、複合的な生態系で構成されていることにより特徴付けられる。津波の影響により、高木林では広範囲にわたって倒木が生じたが、倒木せずに残存した場所も海岸線と垂直な列をなすように存在した¹⁵⁾(Fig. 1)。また後背湿地は津波以前から変わらず、あるいはより海との連続性が高まった状態で残存した¹⁵⁾(Fig. 2)。しかし、このような多様な立地条件を含む海岸林の跡地は、主に林野庁による事業により、広範囲にわたり一様に2m以上の盛土により埋められ、その上部への植林が進められている(Fig. 3)。これは津波以前から一部の文献で重要性が指摘されていた貴重な生物生息環境を土砂で埋め立て、その保全上の価値を大きく損なっている事業といえる。盛土を伴う工法は、林野庁の委員会である「東日本大震災に係る海岸防災林の再生に関する検討会」がまとめた「今後における海岸防災林の再生について」¹⁶⁾に



上図のように倒木が生じた場所と、下図のように倒木がほとんど生じなかった場所の両方が存在する。

Fig.1 仙台湾岸の津波後の海岸林：2013年7月撮影

において、地下水位よりも2～3m高い地盤の場所では津波による根返りが生じにくかったことを根拠に推奨されたものである。ここでは「松林」を維持することのみに着目され、生物多様性への視点は欠落している。

単に「防災効果を持つ松林」というだけではなく、多様な生物が生育・生息する林や後背湿地を含む海岸林の価値があらかじめ広く共有され、その保全の根拠となる法制度が存在していれば、植林計画においてより慎重な検討が実現したと考えられる。重要な場所の保全のためには、

- (1)生物多様性に関する基礎情報の収集と記録
- (2)多様な生物分類群や地形などの環境条件の情報の統合と分析
- (3)適切な指標を用いた生物多様性保全上の価値評価
- (4)評価の結果の多様な主体間での共有と法制度への反映

の四つの段階が必要である。仙台湾岸の事例では、いくつかの文献により重要な自然環境の要素が指摘されていたが、データの統合と評価が十分ではなく、特に重要性の高い要素を十分広く共有するにはいた



Fig.2 海岸林と隣接して存在する汽水性の湿地：2012年11月撮影



多様な動植物が残存する攪乱跡地が造成され、搬入された土砂により埋め立てられ、植林されている。この方法による植林が、200mの林帯幅を確保することを原則として、約60kmに及ぶ仙台湾岸の大部分で進められている。

Fig.3 仙台湾岸の海岸林造成地：2013年7月撮影

っていなかったものと考えられる。

全国に視野を広げれば、地域の自然環境保全上の課題に関する基本的な認識を踏まえ、災害からの復旧工事に自然再生の要素を取り込むことが実現した事例も存在する。例えば河川激甚災害対策特別緊急事業が行われた円山川(まるやまがわ・兵庫県)では、湿地環境の再生の必要性の認識に立ち、河川敷や中洲を浅く掘り込むことにより、流下能力の確保と湿地の生物生息環境の再生の両立が図られた^{17,18)}。

このような事業の背景としては、コウノトリの野生復帰という目標のため、過去からの環境変化と今後の課題についての認識が共有されていたことが重要であった。さまざまな目的で取得されたデータを統合し、地域の自然環境における重要な要素を評価しておくといった「日常の備え」をしておくことで、災害後の議論もより確かな根拠を持って進められるようになるだろう。

2-2 環境影響評価の必要性

現在、仙台湾岸では上記の植林事業とともに防潮堤の建設事業が進められている(Fig.4)。これらの事業は、現状の環境影響評価法の下では環境アセスメントを義務付ける対象には該当しない。防潮堤や上述した海岸林の造成事業は、アセスメント対象事業を定めた環境影響評価法第二条(定義)に該当しないからである。さらに同法では第五十二条において災害復旧事業は適用除外と定めている。同法の適用範囲の拡大が求められる。ただし、環境影響評価法が定める環境アセスメントの手順を遂行するには時間がかかるため、災害復旧・復興のような迅速性が要求される事業にはそぐわない面がある。東日本大震災の被災地における、土地区画整理事業や鉄道事業といった環境影響評価法の対象事業については、迅速な事業実施の観点から、通常的环境影響評価よりも手続きを大幅に簡略化した「特定環境影響評価」が行われるようになってきている¹⁹⁾。沿岸域から陸域への移行帯を分断する構造物である防潮堤の建設や、広範囲を土砂により埋め立てる海岸林造成事業では、環境への影響の大きさにかんがみて、何らかの環境影響評価を行うことができるよう、効率的な評価スキームを確立するとともに、環境影響評価法の対象事業を拡大することが望まれる。

国土交通省東北地方整備局は12年8月、仙台湾の

南部域の海岸(仙台市、名取市、岩沼市、亶理町、山元町を含む砂浜を主体とした海岸)での防潮堤建設における自然環境への配慮のため、「仙台湾南部海岸環境対策検討委員会」を設置した²⁰⁾。この委員会は「海岸堤防復旧を進めるにあたって、自然環境(動植物)の回復を可能な限り妨げないよう復旧を進める」(同委員会設立趣意書より)ことを目的に設置されたものであり、動植物の研究者を委員に加えて組織された。具体的には、カワラハンミョウ、ヤマトカワラバタ、ハマボウフウ、ハマナス、シロヨモギなど、地域において絶滅が危惧される昆虫や植物等の保全のため、これらの生息場所を回避するように堤防の位置を見直したり、工事用の道路で生息地を破壊することのないように工法や工期を調整したりする「環境配慮」について議論が行われた。筆者も委員として加わった。

東北地方整備局はこの委員会での議論の結果を踏まえ、保全上重要な昆虫や植物が生息・生育している場所を回避するように一部の堤防設置位置を陸側に変更する措置や、残存する海浜植物の生育場所の破壊を避けるために既存の堤防を最大限活用するとともに、工事を堤防の陸側のみから行うようにする措置などが実現した(Fig.5)。また、すでに設置されていた工事用道路が、途中からの工法の変更に伴い撤去された場所もあった。これらの対応は、最新の知見を柔軟に事業に反映させた措置として評価されるべきである。しかしこの委員会は、工事用の道路の設置などの工程に着手した後に設置されたものであり、議論できる範囲は限定的にならざるを得ず、例えば防潮堤の設置の是非やその基本的な規格等については議論することはできなかった。

また津波直後からさまざまな形で情報収集していたアマチュア研究者や職業研究者と事業を実施する



Fig.4 仙台湾岸で進められている防潮堤工事：2013年8月撮影



Fig.5 工法の変更によって保全されたシロヨモギ群落：2013年8月撮影

行政との連絡体制が不十分で、対応が遅れたことも反省点である。これらのネットワークがあらかじめ確立されていれば、より幅広い選択肢から適切な方法を検討することもできたとし、途中からの変更に伴って生じるコストを削減できたと考えられる。研究者と行政の連携体制は、今回の津波で大きな被害を受けた3県(岩手県、宮城県、福島県)の間でも異なるようである。これらの比較分析は今後の適切な体制の検討に有効だろう。

2-3 攪乱による正の効果や生物学的遺産の評価の重要性

攪乱は生態系における種多様性維持にとって本質的な役割を持つ。生態学の理論では一般に、攪乱がほとんど生じない条件では資源をめぐる競争に有利な少数の種のみが優占するようになるため、長期的な種多様性の維持のためには、定期的あるいは不定期な攪乱が重要であることが指摘されている²¹⁾。また攪乱は空間的に限定された範囲で生じるため、広域的に見れば、それまで均質だった環境に不均質性をもたらす²²⁾。例えば森林では、倒木や崩壊がパッチ的に生じるため、広域的に見た場合には植生遷移の段階が異なる多様なパッチがモザイク状に存在することになり、全体の多様性が維持される²³⁾。また、津波、地震、火山の噴火などの、まれで大規模な攪乱は、地形形成、土砂動態、物質循環などへの影響を介して、長期的・広域的な生態系の動態において本質的な影響力を持っている²⁴⁾。このような大規模攪乱の生態系への影響に関する知見は不足しており、これらの機会を生かした研究の重要性が指摘されている²⁵⁾。

攪乱が生態系の動態にもたらす影響に関する先行研究の主要な成果の一つに、生物学的遺産(biological legacy)―すなわち攪乱跡地に残された生物や生物体の一部あるいはそれらによって形成された微地形・微環境などが攪乱後の生物群集回復に果たす重要性が挙げられる。例えば攪乱跡地の表土に含まれる植物の種子(土壌シードバンク)や、徐々に分解が進む倒木は、植物相や動物相の回復にとって重要な役割を担っている²⁶⁻²⁸⁾。これらの知見を踏まえ、森林施業においても、生物多様性を維持しながら森林回復を効果的に促進する手法として、攪乱跡地に残された生物学的遺産を積極的に残地することの有効性が提唱されている²⁹⁻³¹⁾。

仙台湾岸の津波跡地においても、津波以前から存在した、あるいは津波によって運ばれてきた土砂に

含まれる植物の種子や地下茎といった植生回復の資源や、多様な植物の生育を可能にするマウンドやピットを含む複雑な地形¹⁵⁾は、攪乱後の生物多様性の回復にとって重要な役割を果たす重要な生物学的遺産であると考えられる。例えば筆者らの現地調査では、高木の根返りによって形成された地形の凹凸が植物の多様性を促進する効果を持っていることや、イヌセンブリ、タコノアシなどの絶滅危惧植物が、攪乱によって生じた凹地を主要な生育場所としていることが示されている³²⁾(Fig.6, Fig.7)。また津波によって強い攪乱を受け多量の倒木が生じた場所と、攪乱が比較的弱く高木が倒木せずに残存した場所では種組成が大きく異なり、両方の条件が存在することで地域全体の種多様性が構成されている実態も明らかにされている³²⁾。

しかし仙台湾岸で進められている植林事業では、これらの生物学的遺産について評価されることはなく、津波によって生じた複雑な地形や残された生物の埋め立てが進んでいる(Fig.3, Fig.7)。海岸線の復旧工事の指針に当たる「今後における海岸防災林の再生について」では、「被災箇所ごとに、被災状況や地域の実情さらには地域の生態系保全の必要性等を踏まえ、海岸線の再生方法を決定していくことが必要である」旨が明記されている³³⁾。しかし現状では、生態系への配慮は不十分といわざるを得ない。生態系保全の検討では、攪乱がもたらす正の側面や生物学的遺産を考慮した丁寧な議論が不可欠だろう。

2-4 グリーン・インフラストラクチャーの理念と技術の発展と適用の重要性

防災に関する国際的な合意である国連防災世界会議「兵庫行動枠組 2005-2015」では、生態系の適切な管理は、災害によるリスクを軽減し、人間の安全保障を向上させる重要なアプローチであることが指摘されている³⁴⁾。また国際的に重要な湿地の保全と賢明な利用を目的としたラムサール条約では、第9回締約国会議(05年ウガンダ)で採択された「自然現象に伴う影響の防止と緩和におけるラムサール条約の役割」において、「洪水のような自然現象の影響を緩和し…変動によって誘発されあるいは増大される自然現象が及ぶ範囲やその規模を減らすことができるように、防災計画の一部として、確実に湿地生態系を管理し再生するように奨励する」ことが指摘されている³⁵⁾。生態系の保全や適切な管理は、防災と拮抗するものではなく総合的なリスク軽減の手段の一つであるという認識は、国際的には普及しつ

つある³⁶⁾。例えば05年にハリケーン・カトリーナの被害を受けたニューオーリンズ市では、災害リスク軽減を目的として従来の海岸堤防に依存した防災の方針を改め、沿岸湿地の再生を重視するようになって^{37,38)}。

市民生活の安全と質を向上させることに役立つ野生生物の生育・生息環境や、それらのネットワークを「グリーン・インフラストラクチャー」と呼ぶ³⁹⁾。これは、従来型の社会基盤整備として用いられるコンクリート構造物に代表されるような「グレイ・インフラストラクチャー」と対比した用語だが、持続可能性の確保のためには、二者択一ではなく、相互に長所を活かすべきものといえるだろう。

グリーンインフラの長所の一つとして、維持管理のコストが軽減し得る可能性があることが挙げられる。日本は04年に人口のピークを迎え、今後は長期的には急減する局面にあることが予測されている⁴⁰⁾。さらに、国土基盤ストックの維持管理および更新にかかる費用が急増し、2030年ごろには現在と比べ約2倍になることが予測されている⁴⁰⁾。今後、いわゆるグレイインフラのみに依存した社会基盤整備を進めようと、生物多様性の喪失を通して人間社会を根底で支える生態系の脆弱化を招くだけでなく、将来的に十分な維持管理ができず機能が発揮できない事態を招く危険性がある。グリーンインフラを最大限に活用することは、平常時における生態系サービスの提供だけでなく、将来起こり得る災害による被害の軽減と回復力の確保を通して、社会の持続可能性確保に貢献するだろう。

3. おわりに

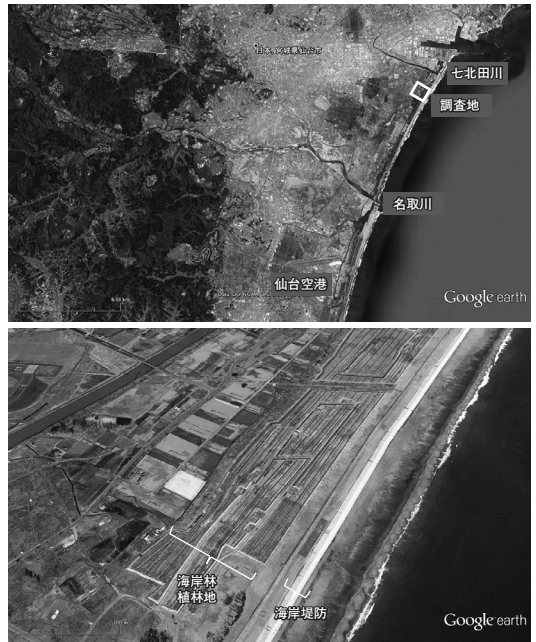
日本が重要課題として挙げる「国土強靱化」は、「災害や事故などにより致命的な被害を負わない強さと、速やかに回復するしなやかさをもつ」国土、経済社会システムを整えることとして説明されている⁹⁾。また、強靱性をレジリエンス(resilience)の訳として用いている。

それぞれの地域で進化の歴史を通して成立・維持してきた生物多様性は、本来もっとも強靱で、最終的に人間の安全を確保する資源となるものであろう。福島第一原子力発電所の例を挙げるまでもなく、東日本大震災からの教訓の一つは、「絶対に壊れない建造物」など存在しないことだったはずだ。いつかは壊れるもののために、強靱性を支える最終的な資源ともいえる生物多様性の不可逆な損失を招くのは



【左上】津波による攪乱で生じた窪地に生育するイヌセンブリ、【右上】津波以前から存在した後背湿地に生育するカワラナデシコ、【下】攪乱の影響が強かった場所に生育するハマエンドウ【左】とウラン【右】。これらが生育する場所の多くも、Fig. 3のような植林事業により埋め立てられる見込みである。

Fig.6 仙台湾岸に生育する植物



注)ともにGoogle earthから作図。画像取得日は上図は主に2012年4月12日、下図は2014年4月1日。

Fig.7 筆者らが調査を行った海岸林(Fig.6撮影箇所)のおよその位置【上】、および仙台湾岸で進みつつある防災復興事業の様子【下】

賢明ではない。今回の震災とそれに続く復旧事業からの経験を活かし、真に強靱な社会の在り方について、より広く議論が展開されることが望まれる。

参考文献

- 1) 環境省生物多様性センター ▶<http://www.biodic.go.jp/biodiversity/about/>
- 2) Millennium Ecosystem Assessment ▶<http://www.unep.org/maweb>
- 3) 横浜国立大学21世紀COE翻訳委員会『国連ミレニアムエコシステム評価 生態系サービスと人類の将来』オーム社、2001年
- 4) 国土交通省他自然川づくり基本指針 ▶http://www.mlit.go.jp/river/press_blog/past_press/press/200607_12/061013/s02.pdf
- 5) 熊本県企業局荒瀬ダム撤去 ▶<http://www.ara-sedamtekkyo.hinokuni-net.jp/>
- 6) 環境省自然再生ネットワーク ▶http://www.env.go.jp/nature/saisei/network/relate/li_3.html
- 7) 国土交通省の自然再生事業 ▶http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/shizen_saisei/shizen_saisei.html
- 8) Turner M. G., Dale V. H. : Comparing large infrequent disturbances: what have we learned?, *Ecosystems*, 1, pp.511-523, 1998
- 9) 内閣官房国土強靱化 ▶http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/kokudo_kyoujinka/
- 10) 大柳雄彦、平吹喜彦、庄子邦光「仙台湾海浜県自然環境保全地域の植物相」『仙台湾海浜県自然環境保全地域学術調査報告書』宮城県環境生活部自然保護課、仙台市、pp.3-42、2002年
- 11) 仙台市史編纂委員会『仙台市史特別編 I 自然』仙台市、pp.177-200、1994年
- 12) Hirabuki Y., Nagashima Y. : Invasion of endozoochorous woody species into old-growth Pinus-plantation on seaside dunes. *Saito-Ho-on-Kai Museum Research Bulletin*, 68, pp.29-39, 2002
- 13) 平吹喜彦、長島康雄、横沢秀夫、大柳雅彦「仙台湾海浜県自然環境保全地域の植生：モニタリングのための基礎調査」『仙台湾海浜県自然環境保全地域学術調査報告書』仙台湾海浜県自然環境保全地域学術調査委員会編、宮城県環境生活部自然保全課、宮城県、pp.43-66、2002年
- 14) 杉山多喜子、恵美泰子、葛西英明「宮城県仙台市海岸林の植物相」『東北植物研』16、pp.59-68、2011年
- 15) 富田瑞樹、平吹喜彦、菅野洋、原慶太郎「海岸林の津波攪乱跡地における生物的遺産の分布と堆砂状況」『自然環境復元研究』6、pp.51-60、2013年
- 16) 今後における海岸防災林の再生について（東日本大震災に係る海岸防災林の再生に関する検討会）▶<http://www.rinya.maff.go.jp/j/tisan/tisan/pdf/kaiganbousairinsaisyuuhoukoku.pdf>
- 17) 都築隆禎、坂之井和之、中西宣敬「自然再生事業と緊急治水対策事業を踏まえた川づくり（円山川水系出石川）」『リバーフロント研究所報告』19、pp.31-39、2008年
- 18) 都築隆禎、竹下邦明、三橋弘宗、石井正人「高水敷掘削によるワンド造成の効果と本線への接続形状が生物群集に及ぼす影響（モデル河川での試験結果：円山川）」『土木学会河川技術論文集』16、pp.173-178、2010年
- 19) 国土交通省、環境省「東日本大震災復興特別区域法に基づく特定環境影響評価の技術手引き（案）」▶http://www.env.go.jp/policy/assess/4-1report/file/h23_02.pdf
- 20) 国土交通省東北地方整備局 ▶http://www.thr.mlit.go.jp/bumon/b00037/k00290/river-hp/kas-en/shinsaikanren/data/06kankyo_torikumi-taisakuuinkai.pdf
- 21) 中静透、山本進一「自然攪乱と森林群集の安定性」『日本生態学会誌』37、pp.19-30、1987年
- 22) Nelson J. L., Groninger J.W., Ruffner C. M., Battaglia L. L. : Past land use, disturbance regime change, and vegetation response in a southern Illinois bottomland conservation area, *Journal of the Torrey Botanical Society*, 136, pp.242-256, 2009
- 23) White P. S., Pickett S. T. A. : Natural disturbance and patch dynamics: an introduction, In Pickett S.T.A., White P. S., *The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics*, Academic Press, San Diego, pp.3-16, 1985
- 24) Dale V. H., Lugo A., MacMahon J., Pickett S. T.A. : Ecosystem management in the context of large, infrequent disturbances, *Ecosystems*, 1, pp.546-557, 1999

- 25) Lindenmayer D. B., Likens G. E., Franklin J. F.: Rapid responses to facilitate ecological discoveries from major disturbances, *Frontier of Ecology and Evolution*, 8, pp.527-532, 2010
- 26) Franklin J. F., MacMahon J. A.: Messages from a mountain, *Science*, 288, pp.1183-1185, 2000
- 27) Turner M. G., Romme W. H., Tinker D. B.: Surprises and lessons from the 1988 Yellowstone fires, *Frontiers in Ecology and the Environment*, 1, pp.351-358, 2003
- 28) Dale V. H., Swanson F. J., Crisafulli C. M. eds.: *Ecological responses to the eruption of Mount St Helens*, New York, NY, Springer, 2005
- 29) Morimoto J., Morimoto M., Nakamura F.: Initial vegetation recovery following a blowdown of a conifer plantation in monsoonal East Asia: impact of legacy retention, salvaging, site preparation, and weeding, *Forest Ecology and Management*, 2651, pp.1153-1161, 2011
- 30) Anderson H. M., Gale M. R., Jurgensen M. F., Trettin C. C.: Vascular and non-vascular plant community response to silvicultural practices and resultant microtopography creation in a forested wetland, *Wetlands*, 27, pp.68-79, 2007
- 31) Lindenmayer D., Noss R.: Salvage logging, ecosystem processes, and biodiversity conservation, *Conservation Biology*, 20, pp.949-958, 2006
- 32) 遠座なつみ、石田糸絵、富田瑞樹、原慶太郎、平吹喜彦、西廣淳「津波を受けた海岸林における環境不均一性と植物の多様性」『保全生態学研究』印刷中、2014年
- 33) 東日本大震災に係る海岸防災林の再生に関する検討会 ▶<http://www.rinya.maff.go.jp/j/tisan/tisan/pdf/kaiganbousairinsaisyuuhoukoku.pdf>
- 34) 兵庫行動枠組 2005-2015 原文 ▶<http://www.unisdr.org/2005/wcdr/intergover/official-doc/L-docs/Hyogo-framework-for-action-english.pdf>
日本語▶http://www.unisdr.org/files/1037_wakugumil.pdf
- 35) ラムサール条約 決議IX.9 ▶http://www.ramsar.org/cda/en/ramsar-documents-resol-resolution-ix-9-the/main/ramsar/1-31-107%5E23509_4000_0_ 日本語訳 ▶<http://www.env.go.jp/nature/ramsar/09/9.09.pdf>
- 36) 国際自然保護連合「減災(災害リスク軽減)のための環境の手引き」2014年 ▶<http://www.bdnj.org/pdf/140509.pdf>
- 37) Van Heerden I. L.: The failure of the New Orleans levee system following Hurricane Katrina and the pathway forward, *Public Administration Review*, pp.24-35, 2007 ▶<http://www2.comm.niu.edu/faculty/rholt/eocg/LLRreadUnit3BVanHeerden.pdf>
- 38) Fischetti M.: New Orleans Protection Plan will rely on wetlands to hold back hurricanes, *Scientific American*, 2012 ▶<http://blogs.scientificamerican.com/observations/2012/01/26/new-orleans-protection-plan-will-rely-on-wetlands-to-hold-back-hurricanes/>
- 39) McMahon E. T.: Green infrastructure, *Planning Commissioners Journal*, 37, pp.4-7, 2000
- 40) 国土交通省国土政策局「国土の長期展望中間取りまとめ」▶http://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/kokudo03_sg_000030.html