

震災後の生態系に関する長期的・短期的モニタリング

Short- and long-term ecosystem monitoring after the Great East Japan Earthquake

中静 透*

Tohru NAKASHIZUKA*

東北大学生命科学研究科 植物生態研究室
Graduate School of Life Sciences, Tohoku University

摘 要

東日本大震災後の生態系モニタリングとしては、生態系と同時に生態系サービスの回復に関するモニタリングも重要である。関連地域の生態系の多くは、もともと比較的攪乱の影響を強く受けていた生態系であるが、地域や生態系によって攪乱の質や大きさが異なることを考慮する必要がある。震災の影響や生態系サービスの回復による復興への貢献を考えると、短期的視点と長期的視点を考えて行う必要がある。短期的には、震災前のデータを発掘し、震災後のデータと比較すること、それらを土地利用区分やゾーニングに活かすことが重要である。長期的には、生態系の回復過程と同時に、震災や復興活動が与える影響の解明が重要であり、可能であれば、新たに自然再生を行うことを含めたモニタリングも望まれる。三陸地域という特性を考えると、流域レベルのモニタリングも重要である。また、モニタリングの有効性を高めるためには、個々に行われているモニタリング情報を集積・共有化すると同時に、活動のネットワーク化が必要である。

キーワード：海岸林, 海草場, 砂浜植物, 生態系モニタリング, 東日本大震災, 干潟, 藻場

Key words : coastal forest, seagrass bed, sandy beach plants, ecosystem monitoring, Great East Japan Earthquake, tidal flat, seaweed bed

1. はじめに

東日本大地震とそれによる津波は、東北地方の生態系とその生態系がもたらしていた生態系サービスに大きな影響を与えた。生態系は、本来こうした攪乱によって破壊された状況から回復する能力をもつ。生態系の回復と同時に、その生態系がもたらしていた生態系サービスも回復する。特に、今回被災した地域では、海域・沿岸域の生態系サービスが地域社会に重要な役割を果たしていた。したがって、生態系そのものの回復だけでなく、生態系サービスにも目を向けたモニタリングが重要である。回復力は生態系によっても異なるが、その場所の環境条件や受けた攪乱の質と規模に依存している。そうした特殊性を十分に考慮することも必要である。回復には長期間を要する場合があるため、モニタリングの目的によって観測の手段や頻度が異なることを理解する必要がある。

この小論では、震災によって大きな影響を受けた生態系と生態系サービスの回復にあたって、考えるべき問題点を論じてみたい。

2. 震災が生態系に与えた被害とこの地域の特徴

今回の地震と津波が生態系に与えた影響は本特集号のほかの論文でも述べられているが、モニタリングに関係するポイントを、ここでまとめておく。震災の特徴は、以下のように整理することができる。

- (1)地震そのものよりも津波の被害が圧倒的に大きい。
- (2)沿岸地形を含めた大きな変化がある。
- (3)海域・沿岸域の被害が大きい。陸上生態系では、海岸林の被害が大きいものの、それ以外の被害は比較的小さい。

沿岸域では、干潟と藻場やアマモ場の被害が特に大きく、津波によって地形が変化するほどの大きな影響を受けている場合がある。干潟のなかには、津波によって底質の土や砂が大量に消失したり、地盤が沈下したりして、干潮時にも水没したままとなり、干潟が成立しなくなってしまったところもある。蒲生干潟の例では、震災直後には干潟の地形が変化したものの、1カ月後にはもとの地形に戻るよ

受付：2012年8月30日、受理：2012年11月2日

* 〒980-0845 仙台市青葉区荒巻字青葉6-3, e-mail : toron@m.tohoku.ac.jp

うな変化が観測され、さらにその後も変化を続けている。沿岸の海底地形は潮流の影響などで変化するため、予測が難しい。一方で、北上川河口周辺のように、これまで陸地だった場所が地盤沈下して、干潟のようになってしまった場所もある。

干潟や藻場、海草場などの生態系は、日本で最も生物多様性の劣化が懸念されている生態系の1つでもあり¹⁾、生物多様性の保全からも重要な生態系である。今回の被災地域では、三陸沖の漁業や沿岸部でのカキ・ワカメの養殖などが主要な産業であり、海産物の加工・流通などで生計をたてる人々も多かった。そうした状況のなかでこの地域独特の文化も育ってきた。いわば、この地域の産業や生活、文化が海洋・沿岸の生態系サービスに大きく依存してきた、といえる。干潟や藻場、沿岸生態系は、漁業資源となる生物が揺籃期をすごす場として、豊かな漁業資源を保つために重要である。また、そのほかにも水質浄化や気候調節、リクリエーションなどさまざまな生態系サービスをもたらしている。最近行われるようになった生態系サービスの経済評価によれば、そうしたサービスは無視できない大きさの経済的価値がある²⁾。

海岸線のほとんどは人工林であり、生物多様性から見た重要性は比較的高くない。しかし、これまで防潮、飛砂防止など、大きな生態系サービスを提供してきた。また、仙台湾では、海岸線の造成は江戸時代にさかのぼり、歴史的・文化的意義も大きい。陸前高田の高田松原のように、国の名勝に指定されている海岸線もある。一般に、海岸線は津波の抑制効果もあるといわれているが、今回の津波では、数百mにもおよぶ林帯幅をもつ海岸線も壊滅的被害を受けている。それだけ、津波の規模が大きかったということになるが、津波の減勢効果を示唆するような場合もあったといわれている³⁾。

砂浜の植物群落も大きな影響を受けた生態系である。砂浜の地形も津波や地盤沈下などで大きく変化している場合がある。もともと、砂浜植物は、不安定な基質の上に成立する特徴的な生態系であり、基質が安定化することで森林などへ遷移してしまう。しかし、そうした環境に特徴的な植物種も少なくなく、自然海岸の減少にともなって絶滅が危惧されている種もある。

これら沿岸域の生態系は、本来台風や暴風など自然攪乱の影響を頻繁に受けているため、その回復力は比較的大きいと考えられる。たとえば、内陸部の極相植生であるブナ林などと比較すると、回復に要する時間は短い。植生を構成するほとんどの生物が、何らかの形で大きな攪乱に依存した生活史をもっている。ただし、これらの生活史は、最大でも海岸線のマツで100～200年くらいであり、今回の津波のような1,000年に一度の大きな攪乱に適応した生活史をもっているとは考えにくい。むしろ、もっ

と発生頻度の高い攪乱、つまり台風や高潮、もっと強度の弱い津波などの、攪乱の質、強さ、頻度の傾度に対してそれぞれの種が適応している。そうした違いが、海側から内陸側に向かっての植生帯となって観察できるのである。そうした生態系であることを前提に回復を論ずる必要があり、すべての生態系を安定化させることが自然の回復ではない。

干潟、藻場、海草場などに期待される生態系サービスは、こうした生態系の特徴を活かしたものである。一方、陸域の海岸線は、生態系サービスを得るために、むしろ基質の安定化を人工的に促進した生態系である。砂浜植物の生えるような不安定な場所に、マツの植林を行い、安定した場所を拡大してきた。それによって、内陸への飛砂を防止したり、農地への塩害を防いだりする効果を拡大したのである。その意味では、生態系サービスと自然生態系の保全や回復がまったく矛盾しないわけではない。

3. モニタリングの目的と方針

こうした特徴をふまえて、震災後のモニタリングを考える必要がある。モニタリングの目的としては、生態系・生物多様性への影響と回復過程を明らかにすると同時に、この地域がこれまで享受してきた生態系サービスへの影響と回復過程をも明らかにするという視点が重要であろう。さらに、こうしたモニタリング結果を順応的管理(モニタリングや評価と検証を継続し、計画の見直しと修正を行いながら管理する手法)に活かし、復興に貢献するというスタンスが欠かせない。

回復に要する時間スケールに対しての理解も重要である。たとえば、干潟や藻場などの生態系は、基質の大きな変化がなければ、早ければ数年で回復する場合もあるだろう。一方で、海岸線が極相林に近い状態にまで遷移するには、少なくとも数百年を要するだろう。こうした自然生態系の動態に関する時間スケールの大小もあるが、さらに復興プロセスの時間的な長短も問題である。何年後にどのような復興をめざすのかという目標のなかで、生態系に関していえば、何年後にどのような生態系サービスを期待するか、という目標設定があるべきと考える。たとえば、水産業を急速に回復させたいというのは、共通の復興目標かもしれないが、干潟や藻場・海草場の再生は、水産資源の長期的・持続的な生産に関わるであろうし、海岸線による生態系サービスの復活には、少なくとも数十年くらいは必要となる。こうした点を考慮して、モニタリングも短期(1～数年)と長期(数～数十年)に分けて考える必要がある。

さらに考慮したい点は、流域レベルでのモニタリングとモニタリング活動のネットワーク化による情報共有である。特に、三陸地域は、小流域の河川が多く、流域レベルでの土地利用や環境変化の影響が

直接的に見られる。また、これまでに、さまざまな機関や団体がモニタリングを開始しており、こうした観測のネットワークと情報共有によって、さらに有益な判断材料が得られるだろう。以下、これらのトピックスについて述べる。

4. 短期的モニタリング

短期的にまず必要なことは、被害の実態調査を行い、今後の復興計画を作ることである。そのため、可能な限り震災前のデータを発掘し、震災後の状態と比較することが必要になる。たとえば、干潟に関しては、震災前に体系的に調査されたデータがある⁴⁾。また、海岸植物についても全国規模の調査データがある⁵⁾。こうした体系的な調査だけでなく、局所的に調査されたデータも少なくないはずで、そうしたデータを洗い出して、地震や津波による影響を正確に把握することが必要だろう。可能であれば、震災前と同じ場所での変化をモニタリングするような体制づくりを早期に確立できるとよいだろう。回復の速い生態系については、数年で震災前の状態に近いところまで回復する可能性があるため、そうした実態を把握しておくことが必要となる。

一方で、居住地の移転を余儀なくされたり、地盤沈下によって従前の土地利用ができなくなったりする場合もあるだろう。また、復興には新たな堤防建設や高台の用地開発などが計画される可能性が高い。このような、新しい開発の計画を練るためにも、震災前と震災後の環境変化を広域に把握する必要性は大きい。たとえば、早期復興を優先して、アセスメントの省略や簡易化が決定しているが、生態系への影響を無視してよいのではなく、手続きが省略されているという理解をすべきで、地域の自然や生態系サービスを考えた時に重要な生態系は変更の対象とすべきでないことは明白である。震災前と震災後の生態系や環境変化に関する広域な情報があれば、こうした復興計画に有益な判断材料となりうる。

5. 長期的モニタリング

地形も含めた生態系の回復プロセスを長期間にわたってモニタリングすることで、地震・津波による長期的な影響を見るだけでなく、復興活動の影響や自然再生事業の効果や影響を把握することができ、生態系再生や復興事業の順応的管理が可能になる。すでに述べたように、沿岸域生態系の回復速度は比較的速いものの、生態系や地域による違いは大きい。たとえば、宮城県の蒲生干潟は震災直後に大きな地形変化が確認されたが、その後急速に元の地形に戻り、さらに再び砂の堆積パターンの変化を示している。一方、志津川湾のように、干潟の基質がほ

とんど流されて回復過程の予想のつかない場合もある。このように、地形の変化や回復過程の不確実性は高い。

一方、海岸人工林の造成には、少なくとも数十年を要する。仙台湾における造成の歴史も、古いものでは江戸時代にまで、その起源を遡ることができる。したがって、そのモニタリングにおいても、数十年間継続できるような体制が必要である。また、今回は、500 m 近い林帯幅をもつ海岸林が全体にわたって被害を受けたものの、その被害の程度には場所による違いが見られる。被害の大小が、その後の回復過程にも影響を与えるであろう。また、地形のわずかな起伏により地下水位が異なり、震災前から一部には湿地が見られたが⁶⁾、地震による地盤沈下で、湿地がさらにひろがった場所もある。こうした湿地には、貴重な生物が生息するようになる可能性も高い。仙台湾では、飛砂防止や防潮などの生態系サービスを優先した形で、マツ林が再造成されることが計画されているが、地盤沈下のためにある程度の客土が必要といわれている。したがって、新しくできた湿地の保全と、海岸林の生態系サービスのどちらを優先するか判断や合意形成が必要である。

海岸林をタブノキなどの極相林を構成する広葉樹で造成するという動きも見られるが、海岸の環境は砂質で貧栄養であるうえに、塩害も大きく、さらに基質が不安定である。タブノキも、海岸沿いに生育するので塩害などには比較的強いが、その生育には、砂浜が安定し、土壌が形成され、極相樹種が育ちうる環境が形成される必要があり、そのために自然状態では数百年を要する。いきなり極相樹種を育てようとするならば、こうした条件を満たす環境を人工的に作らねばならず、コストも労力も大きな造林をしなくてはならない。その意味では、海岸林にマツ類を選んだ先人たちは、そうしたコストをかけることができず、巨大な人工構造物の建設なども制限されるという状況のなかで、最もコストパフォーマンスのよい選択をしてきたともいえる。

仮に、先進的な技術で遷移を促進することもできるとしても、その技術的な検証は十分ではない。そのため、こうした海岸林の造成や、その手法の効果を生態系の復元という点からも、生態系サービスの回復という点からも、長期モニタリングしつつ順応的に管理することが望ましい。津波は将来も訪れるであろうし、他の地域でも同様のことが起こる可能性がある。そうした時の対策を向上させるという意味からも、こうした再生事業の検証が必要であろう。

一方、海岸林とは対照的に、砂浜植物の群落は、砂という排水性のよい、かつ頻繁に動く基質のために森林が成立しない、という特殊な環境条件で成立する。海岸の護岸のため、自然の砂浜植物の群落は、非常に少なくなってきた。今回の震災復興にあ

たっても、防潮という点が重視されたため、震災前より高い防潮堤が海岸線の前面に再造成されることが計画されている。このことが、砂浜植物に与える影響はよくわかっていないが、防潮堤が砂の動きを抑制することは確実であるし、自然状態では海岸からかなり幅の広い植生帯として存在することが多いため、影響は少なくないだろう。こうした点も、防潮堤の建設による影響として、十分なモニタリングが必要であろう。

地盤沈下によって、震災前は農地などであった場所が大面积で海面下に沈んだ場所もいくつかある。こうした場所の今後の変化は、その後の復興計画に関わらずモニタリングを行うべきと考える。農地に戻した場合には、どのような処理で、どのくらいの時間で機能的に回復するのか、という点が問題になるだろう。一方、地権者の意向が第一であるが、こうした場所を干潟などに自然再生し、別の生態系サービスを期待したほうが良いという議論もある。この場合には、干潟生態系とそこでの生態系サービスの回復過程がモニタリングの対象となる。これらのモニタリング結果は、今後の沿岸域の土地利用や震災復興の議論のなかで、重要な判断材料を提供できると考える。

6. 流域レベルでのモニタリング

時間スケールとは別に、空間スケールの異なるモニタリングの重要性も述べておきたい。今回の被災地のうち、特に三陸地域は小流域河川が多い。したがって、上流の土地利用改変などの影響が、河川や沿岸域に直接的に現れやすいことから、流域レベルのモニタリングが重要である。流域が小さいため、影響を把握しやすいうえ、操作対照(コントロール)となる流域を探しやすいということもある。

被災した居住地域を高台に移設するとしても、この地域には平坦な地形が少ないため、斜面を住宅地に造成する必要が生ずる場所も少なくない。こうした復興事業の影響で、流域の土地利用や土砂流出量に変化すると、その影響が沿岸や海域の生態系に現れる可能性がある。海の生態系サービスを利用する立場からも、その影響のモニタリングは重要であろう。

一方で、この地域は震災前から過疎が心配されてきた地域であり、震災を契機に一層それが加速する可能性が指摘されている。場合によっては小流域全体で、人間による土地利用が大きく減退する可能性もある。こうした地域には、エコツーリズムなど別の生態系サービスを期待できる可能性があると同時に、自然の回復過程を流域レベルでモニタリングできる数少ない場所となる可能性がある。多様な可能性を考慮したこうしたモニタリングが体系的に計画できることが望ましい。

7. モニタリングネットワーク

これまですでに、いくつかの機関・団体や個人が生態系のモニタリングを開始している。藻場やアマモ場については、水産庁水産総合研究センターが被害の実態調査を行っており⁷⁾、大学の研究者も含めて回復過程がモニタリングされつつある。干潟に関しては、東北大学、東京大学、岩手大学、国立環境研究所などが調査を行っている⁸⁾。これらの沿岸生態系のなかには、日本の重要湿地や、環境省のモニタリングサイト1000のサイトとして登録されているものがあるほか、震災以前の調査データをもつ場所も少なくない⁴⁾。海岸林に関しては、林野庁が被害実態調査を行っているほか⁹⁾、社団法人国土緑化推進機構「緑と水の森林基金」が報告書を出している¹⁰⁾。沿岸エコトーンの植生に関しては平吹ら¹¹⁾が詳細にまとめている。このほか、NPO たんぼや東北大学が津波の被害を受けた水田を湛水して回復実験を行うと同時に、生物相もモニタリングしている⁸⁾。WWF Japan は地盤沈下した場所で自然再生の試みを行っている¹²⁾。流域レベルのモニタリングは少ないが、京都大学が森里海連携学の見地から流域を意識した調査を行っている¹³⁾。このほかにも、まだ多くのモニタリング活動があると考えられる。

これらのモニタリング活動は、それぞれ独自に動いている場合が多いため、相互間の連絡を密にし、場合によっては、組織的・戦略的なモニタリングを行うことが望まれる。また、モニタリング結果を復興計画に生かす仕組みづくりが必要である。環境省の生物多様性センターでは、こうした情報を関連のサイトリンクとともに公開している¹⁴⁾。今後、こうした動きを強化してゆくことが重要である。

8. おわりに

復興計画においては、生態系や生物多様性に対する考慮が必ずしも十分とは言えない。防潮堤などの復旧においてはアセスメントが省略されているし、議論の不十分な状態で、震災前よりも高い防潮堤が建設されることが前提のようになっている。自然環境の保全を重視する地域住民の意見は次第に顕著になっているが、それでも地域住民の意見として主流にはなっていない。たしかに、早期の復興は共通の強い願いではあるが、その結果として、被災した地域にとって重要な生態系サービスや、活力の源泉となるような生態系の特色を失うことは賢い復興策とは言えないだろう。その意味で、科学的モニタリングは、さまざまな復興事業の影響について、あるいは震災によって地形の変化した場所を再生するというようなオプションも含めて、多様な形で行うべきではないだろうか。復興過程のいずれかの時点で、モニタリングの結果から方向性を考えなおすと

いう順応的な管理が不可欠である。そうした意思決定の判断材料として強力な科学的バックグラウンドを作るべきであろう。

引用文献

- 1) 環境省・生物多様性総合評価検討委員会(2010)生物多様性総合評価報告書.
- 2) Barbier, E. B., S. D. Hacker, C. Kennedy, E. W. Koch, A. C. Stier and B. R. Silliman (2011) The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological Monographs*, 81, 169-193.
- 3) 今井健太郎・原田賢治・渡辺 修・江刺拓司・島貫直樹・八木智義・今村文彦(2009)実地形における海岸林を利用した津波減勢策-仙台湾岩沼・名取海岸を例として. 土木学会論文集, B2-65, 326-330.
- 4) 生物多様性センター(2011)モニタリングサイト1000 速報-モニ 1000 沿岸域調査.
- 5) 日本自然保護協会(2008)植物群落から見た海岸白書.
- 6) 小山晴子(2012)よみがえれ海岸林. 秋田文化出版.
- 7) 水産総合研究センター(2011)東北水産研究レター, No.20.
- 8) 東北大学 海と田んぼからのグリーン復興プロジェクト.
<http://gema.biology.tohoku.ac.jp/green_reconst/ TOP.html>
- 9) 東日本大震災に係る海岸防災林の再生に関する検討会(2012)今後における海岸防災林の再生について. 林野庁.
- 10) 森林保全・管理技術研究会「緑と水の森林基金」(2012)津波と海岸林に関する調査研究事業(平成 22 年度調査報告書). 社団法人国土緑化推進機構.
<<http://www.hozen-ken.jp/menu/2012-01tunami-mokuzi.html>>
- 11) 平吹喜彦・富田瑞樹・菅野 洋・原 慶太郎(2011)東日本大震災・大津波で被災した仙台湾砂浜海岸エコトーンとその植生状況. 薬用植物研究, 3, 45-57.
- 12) WWF Japan
<http://www.wwf.or.jp/activities/resource/cat1305/wwf_4/>
- 13) 京都大学
<<http://fserc.kyoto-u.ac.jp/wp/blog/archives/8698>>
- 14) 生物多様性センター
<www.biodic.go.jp/Tohoku-Portal/>



中 静 透

Tohru NAKASHIZUKA

1956年、新潟県生まれ。千葉大学卒。理学博士(大阪市立大学)。森林総合研究所主任研究官、国際農林水産業研究センター主任研究官、京都大学生態学研究センター教授、総合地球環境学研究所教授を経て、東北大学生命科学研究科教授(現職)。国際生物多様性研究計画(DIVERSITAS)科学委員。専門は森林生態学、生物多様性科学で、温帯落葉広葉樹林の動態と更新、熱帯林の動態、林冠生物学などを研究。主な著書に、『モンソーンアジアの生物多様性(岩波書店、共著)』、『*Diversity and Interaction in a Temperate Forest Community: Ogawa Forest Reserve of Japan* (Springer-Verlag、共編・共著)など。