

2015 年度（第 51 回）水工学に関する夏期研修会講義集

水工学シリーズ 15-B-6

沿岸域生態系を活かした震災復興

東北大学 教授

西村 修

土木学会

水工学委員会・海岸工学委員会

2015 年 8 月

沿岸域生態系を活かした震災復興

Reconstruction from the Earthquake and Tsunami Disaster Keeping and Using Coastal Ecosystem Services

西 村 修
Osamu NISHIMURA

1. はじめに～今回の震災を経験して～

東日本大震災が発生した2011年3月11日、私は大学の1階にある応接室で、山形県庁の人から最上川の水質汚濁について相談を受けていた。突如激しく揺れ始め、経験したことの無い大きな揺れとなり、少し弱まったかと思うとまた大きく揺れ、とても長さを感じる地震だった。前の月ニュージーランドで起こったカンタベリー地震では建物が崩落し、日本人も被害にあったことが連日報道されていた。その映像が浮かび、崩落だけは勘弁してくれと必死だったことを今でも鮮明に覚えている。揺れが弱くなるのを待って建物の外に出たものの地面は断続的に揺れ続け、安否確認もままならなかった。「大津波警報が出た」というワンセグを見ていた学生の叫びも、そのとき山の上のキャンパスで混乱していた私には重要な情報ではなく、津波の被害がこれほどまで甚大であることなど予想もしなかった。

もう二度とあのような大震災は経験することがないだろう。私の人生は長くて残り50年、対して今回の大震災は千年に一度なのだから。また、震災経験者としてそう思いたい気持ちもある。しかし、そう考えることが「想定外」への扉を開く。私達土木技術者が「想定外」を言い訳にできるのであれば、一体何のための土木技術か。今回の大震災を徹底的に貴重な教訓とすることは、これからの土木技術者に課せられた使命である。

2. 宮城県沿岸域の被害の特徴

今回の大震災の被害の特徴として津波により甚大な被害が発生したことがあげられる。岩手、宮城、福島
の三県における死因をまとめると¹⁾、溺死（92.4%）、焼死（1.1%）、圧死・損壊死・その他（4.4%）、不
詳（2.0%）であり、ほぼ津波による犠牲者である。特に宮城県では死者・行方不明者が11,000人を超え、過
去の震災と比較しても極めて大きな被害が発生したことがわかる（表1）。

表1 宮城県、岩手県における津波被害状況（死者・行方不明者）²⁾

津波	発生年	マグニチュード	死者・行方不明者（人）		備考
			岩手県	宮城県	
明治三陸地震津波	1896	Mj8.5	18,158	3,446	
昭和三陸地震津波	1933	Mj8.1 Mw8.4(金森, USGS)	2,658	315	
チリ地震津波	1960	Mw9.5(金森)	68	54	
東北地方太平洋沖地震津波	2011	Mw9.0	5,889	11,022	H24.6.13現在

注1) 気象庁マグニチュード(Mj)、モーメントマグニチュード(Mw)
注2) マグニチュードデータは各地震津波のWikipediaより

近年の観測結果から、三陸の海岸段丘・リアス式海岸（岩手県、宮城県気仙沼市、南三陸町、女川町、石

巻市)に比べて、宮城県仙台平野に位置する市町村(石巻市、東松島市、松島町、塩竈市、七ヶ浜町、仙台市、名取市、岩沼市、亘理町、山元町)において津波による被害が少ないと考えられてきた。しかし、今回の津波では仙台平野にも大津波が襲い(仙台港7.2m、気象庁観測)、宮城県における被害が甚大化した。ただし、平安時代に編纂された日本三代実録には貞観津波(西暦(ユリウス暦)869年7月9日)が陸奥の国を襲い1000名以上の溺死者がでたことが記されており、慶長津波(西暦1611年)に代表される大津波が仙台平野を数回襲っていることが歴史記録の解析から分かっている³⁾。また、2008年の津波堆積物の調査から、仙台東部道路近く、あるいは東部道路西側でも津波堆積物が検出されており⁴⁾、今回の津波が科学的に想定困難であったと言いがたい。なお、盛り土構造で造られた仙台東部道路は今回の津波に対して防潮堤の役割を果たし、被害の拡大を防いだと評価されている。

3. 宮城県沿岸域の復興の状況と生態系～伊里前川を例に～

壊滅的被害を被った沿岸市町村をはじめとして復興が急ピッチで進められている。宮城県では震災復興計画を復旧期(H23～25年度)、再生期(H26～29年度)、発展期(H30～32年度)に区分し、10年間における復興の道筋を示している⁵⁾。主なインフラの復旧状況は、道路施設(県管理分の通行規制)(100%解除)、鉄道(県内在来線)(約85%復旧)と交通インフラの復興が進む一方で、海岸保全施設(復旧工事)(約11%完成)、港湾施設(復旧工事)(約47%完成)であり、宮城県のほとんどの海岸堤防は現在建設中である。

東日本大震災以前の宮城県は、チリ地震津波を想定して海岸堤防を整備してきた。その結果、例えば志津川湾の堤防高(TP)は3.6～5.1mで整備されてきたが、今回の震災では20mを超える津波に襲われた⁶⁾。図1に示すように志津川湾は何度も津波に襲われ、大きな被害を経験してきた地域である。したがって、それらを想定した対策がとられてきたが、今回の津波はチリ地震津波等をはるかに超えていたことが一目瞭然である。このため、巨大な津波の発生に対しては被害の最小化を主眼とする「減災」の考え方により海岸保全施設等のハード対策とハザードマップ整備などの避難を中心とするソフト対策を組み合わせることで、新たな海岸堤防は頻度の高い津波(L1)を想定して8.7mの高さで整備される予定である。

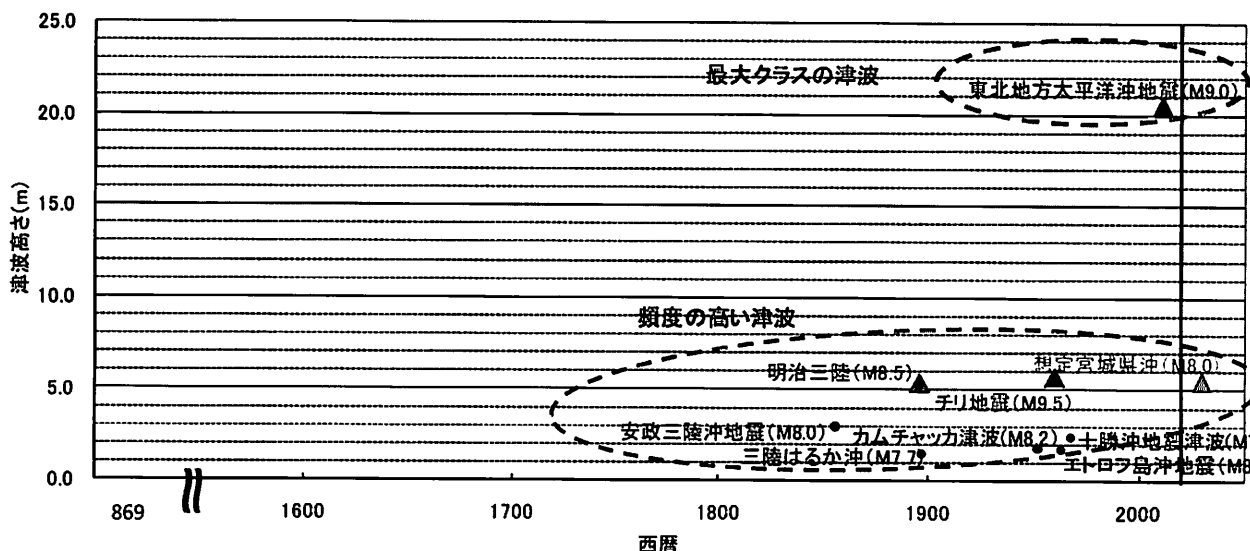


図1 志津川湾(折立漁港)における津波高さ⁶⁾

L1を想定して海岸堤防を整備するとどのような景観になるのか、南三陸町歌津地区の合成写真を作成したのが図2である。なお、左の写真の海岸線に残る構造物は国道45号線歌津バイパスである。減災の考え方により堤防を造ると左から右のような景観に変化し、海が見えなくなる。計画では堤防内側に盛り土が行なわれるので高台から海を見下ろすような眺めになると思われるが、身近であった海が心理的にも実際的にも遠ざかることは間違いない。

また、この流域を流れる伊里前川の河口にあった水門は津波によって破壊された。震災前は河口の水門によって津波の河川遡上を防ぐ考え方であったが、震災後は水門を建設せず河口から約1 km上流まで築堤工が施されることとなった（図3）。この建設によって川も地域住民から遠ざかるであろう。

このようなハード対策はL1を想定したものであるため、東日本大震災級のL2津波では堤防を超えて被害が発生する。このため、南三陸町では建築基準法の規定に基づき、津波等による危険の著しい区域を災害危険区域に指定するとともに、当該区域内における建築物の建築を禁止する南三陸町災害危険区域設定条例を一部改正し⁸⁾、住宅の高台移転等を進めている。

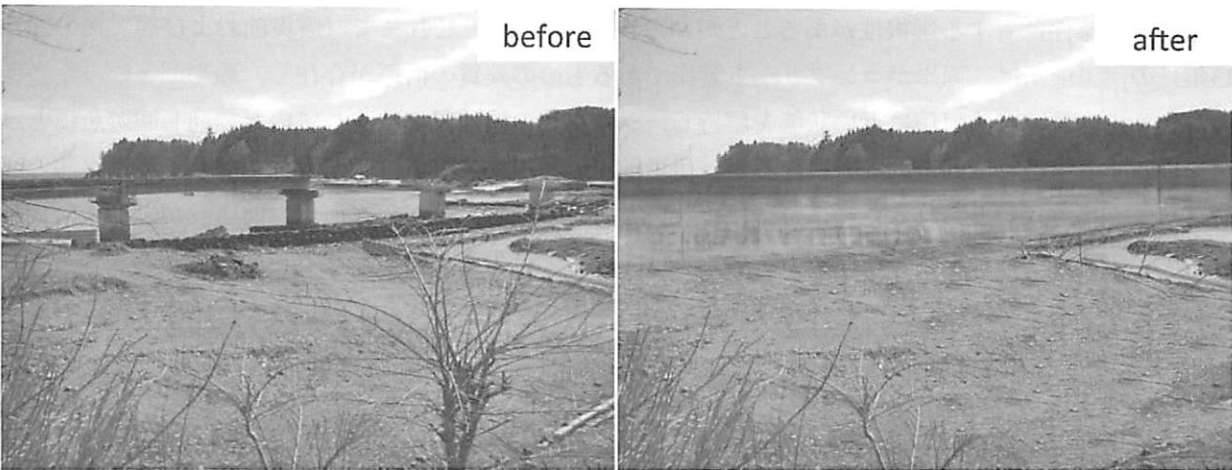


図2 海岸堤防建設前後のイメージ（南三陸町歌津地区、T.P.+8.7mの海岸堤防建設時）
NPO法人環境生態工学研究所作成



図3 河川堤防復旧計画（南三陸町伊里前川）⁷⁾

筆者らは、堤防建設による環境影響を懸念する地元住民の要請を受けて、2012、2013年に伊里前川の環境調査を計三回行った⁹⁾。27種の魚類が採集され、通し回遊魚（川と海を回遊する魚）が14種と多いものの汽水性の魚類も多く出現し、伊里前川の魚類相は河川、河口、海域といった複数の環境が連続することによって成立していることがわかった。

伊里前川では伝統的にシロウオ漁が行われ、シロウオ祭りが開催されるなど地域との関連が深い種である。またシロウオ（*Leucopsarion petersii*）は、レッドデータブックに記載（環境省VU、宮城県VU）される希少種であり、遡河回遊（海洋で生活、成長し、産卵時に淡水に入る）する伊里前川の生態系を代表する種である。このシロウオの繁殖にはシルト・粘土分が約7%以下であることや、粗砂以上の組成が70%以上であることなど、底質条件に対する選択性があることが知られている¹⁰⁾。これまで（震災前および震災後の2012、2013年）の伊里前川は、両岸がコンクリート護岸であるものの礫質の河原が存在し、瀬や淵といった多様な環境が作り出され、自然河川に近い状態を維持し、シロウオの繁殖環境に適していた。通し回遊魚にとって河川を横断する構造物は回遊の障害になるが、伊里前川の河川堤防復旧は水門方式ではなく海岸堤防と連続させたバック堤方式がとられるため、影響は少ないと考えられる。しかし、河川堤防建設が以前のコンクリート護岸の中に自然に造られた河原にも影響を及ぼす場合、再生産が難しくなる可能性もある。さらに、海岸堤防の建設にあたっては、シロウオが海中生活期に利用するアマモ場などの生態系を含めた総合的な保全策が必要であると考えられる。

4. なぜ沿岸域生態系を活かした復興か

（1）生態系の恵み

前述したとおり沿岸域の復興が急ピッチで進められている。もちろんいつ起こるか分からない災害に備えることを急ぐのに異論は無い。また、海岸保全施設等の建設は震災復旧であるため、環境影響評価が行われないことも致し方なしと思うが、もし今回生態系を活かした復興ができたらと考えると極めて残念である。土木技術者として減災と環境が調和する復興のあり方を研究し、提案できれば、次の機会には災い転じて福となす復興ができるかもしれない。

なぜ、沿岸域生態系を活かした復興が必要かと問われれば、生態系の恵み（生態系サービス）を享受するため、すなわち人間社会の持続可能性を高めること（一言で言うとなんのため？）ということになる。ミレニアム生態系評価が国連の主唱により2001年から2005年にかけて行われ、生物多様性は生態系が提供する生態系サービスの基盤であり、生態系サービスの豊かさが人間の福利に大きな関係のあることが示された¹¹⁾。

生態系サービスを以下の4つの機能に分類される。

①供給サービス（Provisioning Services）

食料、燃料、木材、繊維、薬品、水など人間の生活に重要な資源を供給するサービス。

②調整サービス（Regulating Services）

森林があることによって気候が緩和されたり、洪水が起こりにくくなったり、水が浄化されたりといった環境を制御するサービス。

③文化的サービス（Cultural Services）

精神的充足、美的な楽しみ、宗教・社会制度の基盤、レクリエーションの機会などを与えるサービス。

④基盤サービス（Supporting Services）

①から③までのサービスの供給を支えるサービス。例えば、光合成による酸素の生成、土壌形成、栄養循環、水循環など。

自然生態系の一側面である災害に焦点をあてれば、自然のもつ負の影響を克服することが土木工学の目的となる。しかし、生態系の恵みがなければ人間が生存できないことは自明であり、自然のもつ正の影響を損

ねてまで自然を克服することが土木工学の目的ではない。むしろ、ミレニアム生態系評価が示した通り生態系には調整サービスも備わっており、かつての土木工学は生態系の調整サービスを活かした減災を行っていたのではないだろうか。

土木技術者であり作家である竹村公太郎氏は、「日本史の謎は「地形」で解ける（文明・文化篇）」で「ピラミッドはなぜ建設されたか」について以下のような謎解きを行っている¹²⁾。

古代エジプト人たちは巨大な「からみ」を建設した。その「からみ」がナイル川西岸の約100基のピラミッド群であり、ナイル川の洪水が上流から運んできた土砂をピラミッド周辺で沈め、堆積させ、それは何十年、何百年間をかけて連続した盛り土の堤防となり、これによってナイル川は西岸の砂漠に消えることなく地中海まで水と土砂を到達させることとなった（内容を著者が要約）。

なお、ナイル川河口付近にあるギザ台地の3基の巨大ピラミッド（クフ王、カフラー、メンカウラー）の役割は異なる。これについては（あるいはそれ以外の話題もとても面白いので）是非竹村氏の本を読んでいただきたい。

日本では九州筑後川下流部の「からみ」が有名であり、有明海の干拓は1000年前から「からみ工法」で行われていた。潮汐という自然の力を利用した干拓であるため、長い時間を必要とする。しかし、生物・生態系影響が少ない（あるいは生物・生態系の適応を期待するというべきか）技術であることは間違いない。

「からみ」に限らず昔の土木技術には、自然の力に逆らわず、逆に自然の力を利用し、生態系サービスを活用するという特徴が見られる。効率を求める現代社会において廃れたかつての土木技術は、生物・生態系の側面から見れば極めて合理的な技術であり、防災から減災へと考え方を転じたことを契機に、積極的に再評価すべき技術であると思う。河川の氾濫を許す調整池が、多くの場合野生生物の貴重な生育・生息空間になるように、減災の考え方に叶う土木技術は自然共生型社会の形成にも資するものである。

（2）沿岸域生態系を活用した減災～Eco-DRR～

三陸沿岸域は津波の常襲地帯であり、過去に何度も大きな被害を経験している。津波工学の世界的権威首藤伸夫先生のご講演で、昭和三陸大津波後の宮城県の津波対策の話を伺った。宮城県十三濱村相川は、明治29年（1896）の明治三陸大津波（波高5.8m）により流失、倒壊戸数42戸、死傷194人を出し、復興防浪の施設を建設するも、昭和8年（1933）の昭和三陸大津波（波高4.1m）により再び流失倒壊戸数40戸、死傷4人の大被害を被った。このため、相川部落北方約500mの高地に2,313坪の敷地を造成し29戸が移転した（宮城県昭和震嚙誌より）。高地移転した場所は今回の大津波でも浸水せず、被害は生じなかった（図4）。

3月3日に昭和三陸大津波が発生し、4月20日の河北新報には「海嘯罹災地（かいしょうりさいち）建築取締規則制定」という見出しの記事が掲載されている（6月30日公布・施行）。すなわち宮城県は、津波により罹災した地域を中心に被害の可能性がある地区での建築規制を行い、違反者には拘留か科料を課す厳しい罰則も規定した。これによって相川は集団で移転したが、この規則は知らぬ間になくなり（昭和25年（1950）に建築基準法が施行され、住宅建築を制限する主体が県から市町村となったことを契機にあやふやになったらしい¹⁴⁾）、建築が禁止された罹災地区にも次第に住宅が建設された。そして今回の大津波により再び大被害が発生した。

今回の大津波を受けて再び高台移転が進められている。同じ轍を踏まないことを祈るばかりだが、そのためには人間が生活における多少の不便さを甘受する必要があるだろう。ともかく減災の考え方において海と適切な距離を保つことは極めて重要である。それは、生態系を活かした復興につながる。

近年多発する災害には地球温暖化が関係していると言われている。EM-DAT (the WHO Collaborating Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED)が運営するデータベース) によれば、自然災害による死者数はここ100年で減少する傾向があるものの、経済被害は急増しており、その理由として災害が多発していることが挙げられる。

ミュンヘン再保険会社 ジオ・リスク調査部門の自然災害データベースを基に災害発生の傾向を見ると、地球物理学的（地震・津波・火山）災害の発生数はほぼ変わらないのに対し、気象学的（嵐）、水文学的（洪水・地滑り）、気候学的（猛暑・干ばつ・森林火災）災害には増加する傾向が認められる。この原因に地球温暖化が関与することは間違いないと見てよいだろう。

多発化し、激甚化する災害に直面し、これまでの防災システムを見直す必要に迫られている。自然災害というより人為災害というべきかもしれないこれからの災害に備えるには、地球温暖化を防止しながら災害を減ずる方策を模索する必要がある。Eco-DRRの考え方はこのような面からも有効であると思われるが、このためにはEco-DRRを実現する技術開発、それによってもたらされる減災効果の評価、そして地球温暖化の緩和策、適応策としての効果の評価など様々な研究が必要である。

5. 沿岸域生態系再生の課題

（1）七北田川河口干潟の自然再生を例に

筆者は震災前に蒲生干潟自然再生協議会に参加していた。残念ながら震災の影響で協議会はストップしたが、七北田川堤防の復旧や、後背地である蒲生地区の復興など干潟に関して、その都度話し合いの場は確保されている。

蒲生干潟の自然再生にあたって議論されたのが、当時発生が予測されていた宮城県沖地震による津波への対策である。対策工の計画概要を以下に記すが、Eco-DRRの考え方が盛り込まれているとみることができる内容である。

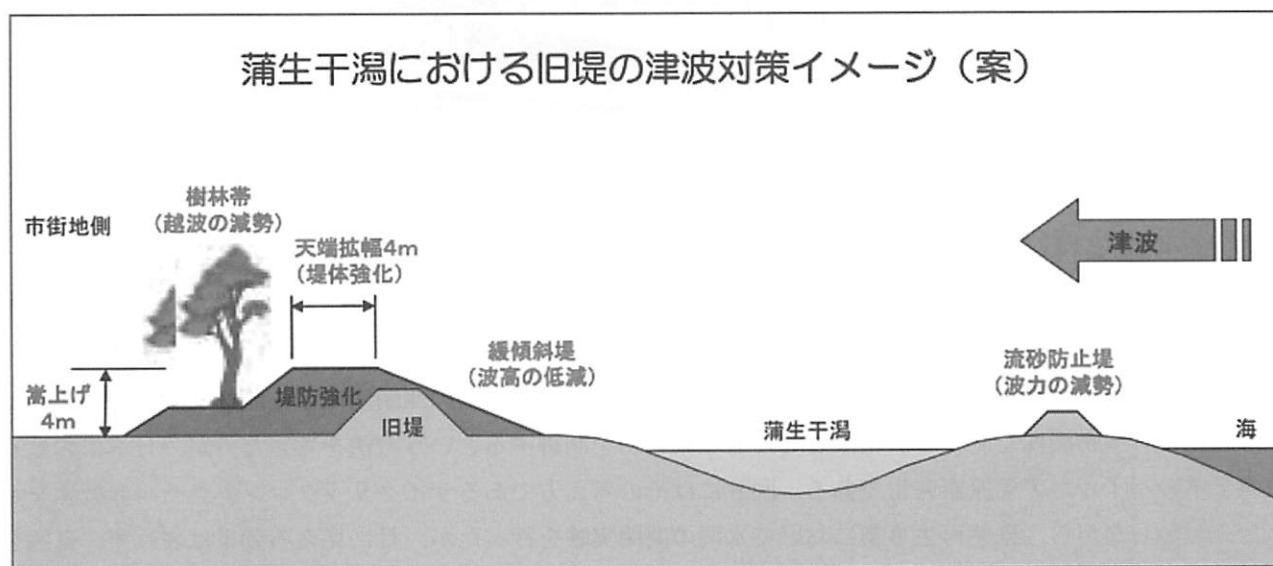


図6 七北田川河口部蒲生地区における津波対策¹⁷⁾

- ・ 現在の旧堤を土で嵩上げ・拡幅する「土堤タイプ」による補強を基本とする。また、堤防背後に樹林帯を設け、津波が超過した場合であっても減災されるよう、安全対策を二重に施す。
- ・ 河口部に一部整備されているコンクリート防潮堤は、嵩上げによる対策を基本とする。
- ・ 堤防高は、七北田川の堤防高と同じ4mとし、国や県がシミュレーションした津波の想定高さを満足出来

る高さを確保する。

- ・ 津波の波力に耐えうる堤防幅を確保する。（河川堤防と同じ4 m以上は確保する。）
- ・ 貴重な蒲生の自然環境に配慮し、特に干潟の現状に極力影響を与えない工法・構造となるよう工夫する。

自然再生協議会で堤防の構造に関しても議論されたことは有意義なことであったと思う。堤防は自然再生事業に先立って平成20年（2008）に完成した。しかし、今回の大津波に対して役割を果たせなかったことに関しては、何とも複雑な思いである。

話を蒲生干潟の自然再生に戻すが、様々な問題が顕在化していた蒲生干潟において、底泥を改善することが一つの大きなトピックであった。なぜかという、底泥の有機物の濃度を制御することで底生動物相が制御でき（図7）、結果としてシギ・チドリなどの鳥類の生息に適した場になるであろうという考え方があったからである。

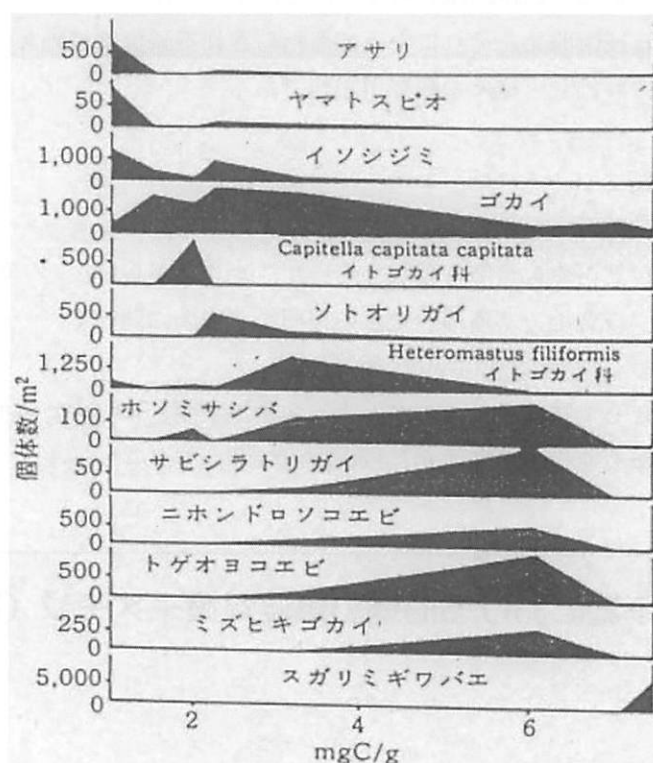


図7 干潟堆積物の有機炭素含有量と底生動物の種および現存量の関係¹⁸⁾

では、どのように底泥の有機物濃度を制御しようと考えていたかという、そもそも蒲生干潟は人工干潟であり、七北田川と蒲生干潟の間は水門で隔てられていた。この水門の開閉度により流速を制御し、それにより底泥の有機物濃度を制御し、結果として底生動物相を制御するという方法を考えたのが、日本における生態工学のパイオニア栗原康先生である。図8にはその考え方であるサイクリックコントロールの概念を示した。しかしながら、自然再生事業において水門の開閉実験を行ったが、目に見える効果は表れず、自然を制御するのは容易ではないと痛感した。

そこで筆者らは、七北田川河口に広がる有機物含有率の異なる干潟をフィールドとし、有機物含有率がどのように変化するのか調査を行った。その結果を図9に示す。七北田川河口干潟での調査から、底泥の有機物含有率は底生生物が安定的に生息している場であっても常に変動しており、動的平衡の状態にあると考えられた。また、底泥の有機物含有量を支配する流れの因子は平均的な流速ではなく、流速15cm/secを超える流速が発生する頻度であることを明らかにし、これらの結果に基づき自然干潟における有機物含有率の動的平衡、および流速頻度と有機物含有率の関係を記述する概念モデルを提案した。

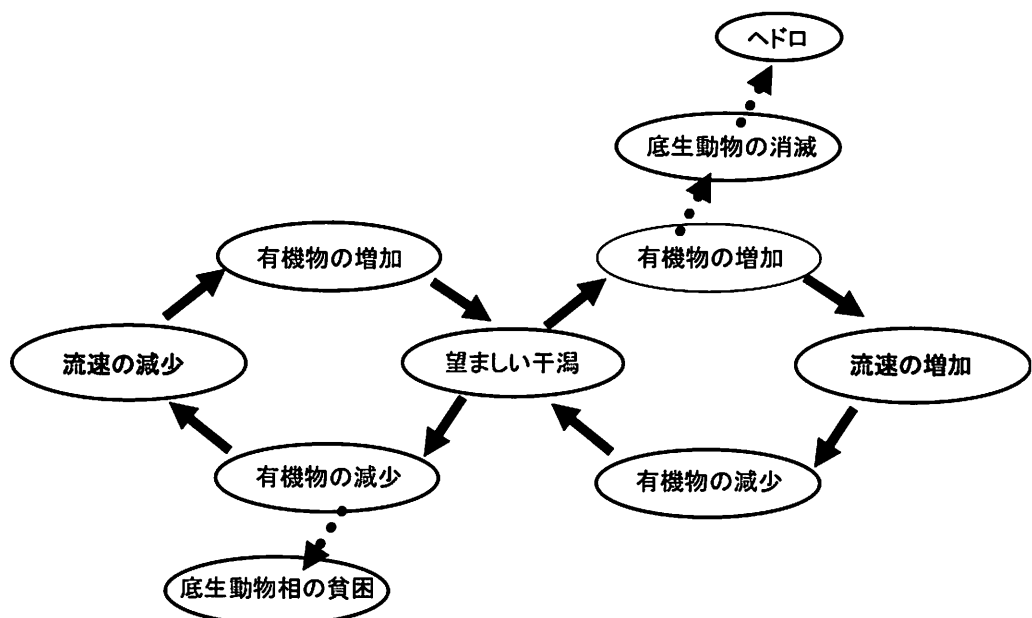


図8 干潟生態系のサイクリックコントロール¹⁹⁾

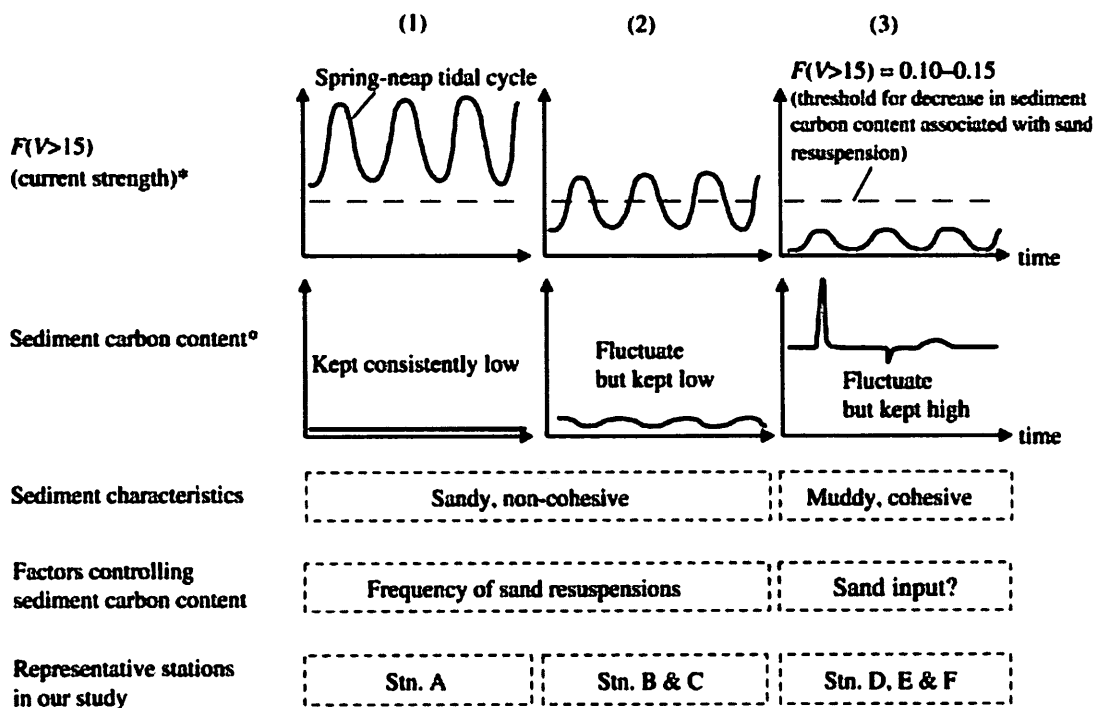


図9 流れと底泥の有機物含有量，底泥性状，有機物含有量を制御する重要な因子の関係の概念図²⁰⁾

F はある流速を超過する流速が観測される頻度を示し， $F(V>15)$ は流速15cm/sec以上の流速が観測される頻度。

結局，サイクリックコントロールの考え方は基本的に正しく，波・流れという物理的因子が底泥の有機物濃度という化学的因子を制御し，底生生物相を支配するという干潟生態系の成立するメカニズムを知ることができた。ただし，このメカニズムを応用して人工干潟を自由自在に造るためにクリアすべきハードルは高い。特に実際場で砂質，砂泥質，泥質の干潟を造るためには，これまでの土木技術では対象とすることのなかった比較的低流速の条件を細かく制御する必要がある。一方で台風などの外力によって大きく地形が変化した場合でも自立的に回復するのが自然生態系であり，そのような人工生態系を設計する技術開発は今後の課題である。

(2) 松島湾のアマモ場を例に

筆者らは東日本大震災によって消失した松島湾のアマモ場の回復状況の観測を行っている。現在も調査を継続しているが、ここでは途中経過を基に松島湾アマモ場の再生について考える。

震災前、松島湾においては自然環境保全基礎調査^{21, 22)}、および松島湾リフレッシュ事業における調査²³⁾でアマモ場の大規模な分布が確認されていた。後者の調査では、1992年5月、1996年6月、2001年2月にそれぞれ約6, 10, 13km²のアマモ場面積が報告されている。

2007年にNPO法人環境生態工学研究所が実施した調査結果を図10に示す。湾の東部を中心に2.129km²のアマモ場と湾口から中央部にかけて1.775km²のアカモク場が存在していた。

震災後の藻場の分布については、2011年11月に船上観察により行った。この結果、過去に広範囲で存在していたアマモ場の被害が大きく、ほぼ壊滅していることが判明した。

2012年5月に調査した結果を図11に示した。藻場の面積に関して震災前と震災後を比較すると、アマモ場は約1/100に、アカモク場も約1/10になっていた。

図12に示す震災後2年目(2013年6月)の結果では、アマモ場面積は前年に比べて3倍になったが、震災前と比べると3%に過ぎず、回復は順調とはいいがたい状況であった。

回復が進まない理由を探るために、アマモのハビタット適性評価指標モデルの適用を試みた。HSI (Habitat Suitability Index : ハビタット適性指数) モデルとは、まずある地域における対象生物種の生育環境としての適性を、環境要因毎に0 (不適) ~1 (最適) という値 (SI値) で示し、さらに各環境要因のSI値を統合して対象生物種のハビタットとしての適性を評価するモデルである。

アマモ類の自然再生ガイドライン²⁴⁾によれば、アマモの生育条件は以下の通りである。

表2 アマモの生育条件²⁴⁾

環境要因		生育条件
光合成	光量子量	純光合成光量の最低値が0 Mm ⁻² day ⁻¹
	水温	8月の平均水温28℃以下
	塩分	塩分17~34
水理	海底地形・水深	透明度の2倍以内の水深水域が広域に存在すること
	波浪	シールズ数0.2以下
	砂面変動	10cm以下
底質	粒度組成・密度	中央粒径0.14~0.39mm, シルト分30%以下
	その他	強熱減量5%以下, COD10mg/g以下

松島湾の震災前における環境要因の面的なデータは、水深に関しては1/25,000沿岸海域地形図「松島(国土地理院S57発行)」によって整理した。その他の項目に関しては平成2年度から17年度にかけて宮城県により行われた「松島湾リフレッシュ事業」に関連する調査のデータを活用した。ただし、一部のデータは得られなかったため、環境要因としては以下の4項目を設定した。

- ・水深(光条件) : 透明度の2倍以内の水深をSI値1(最適)とし、それ以外を0(不適)とした。
- ・水温(夏場) : 28℃以下をSI値1とし、超える場合を0とした。
- ・塩分 : 17~34‰を1とし、それ以外を0とした。
- ・底質COD : 10mg/g以下をSI値1とし、それを超える場所を0とした。

なお、粒度組成(泥分率)のデータは得られたが、底質CODとの相関があることから考慮しなかった。

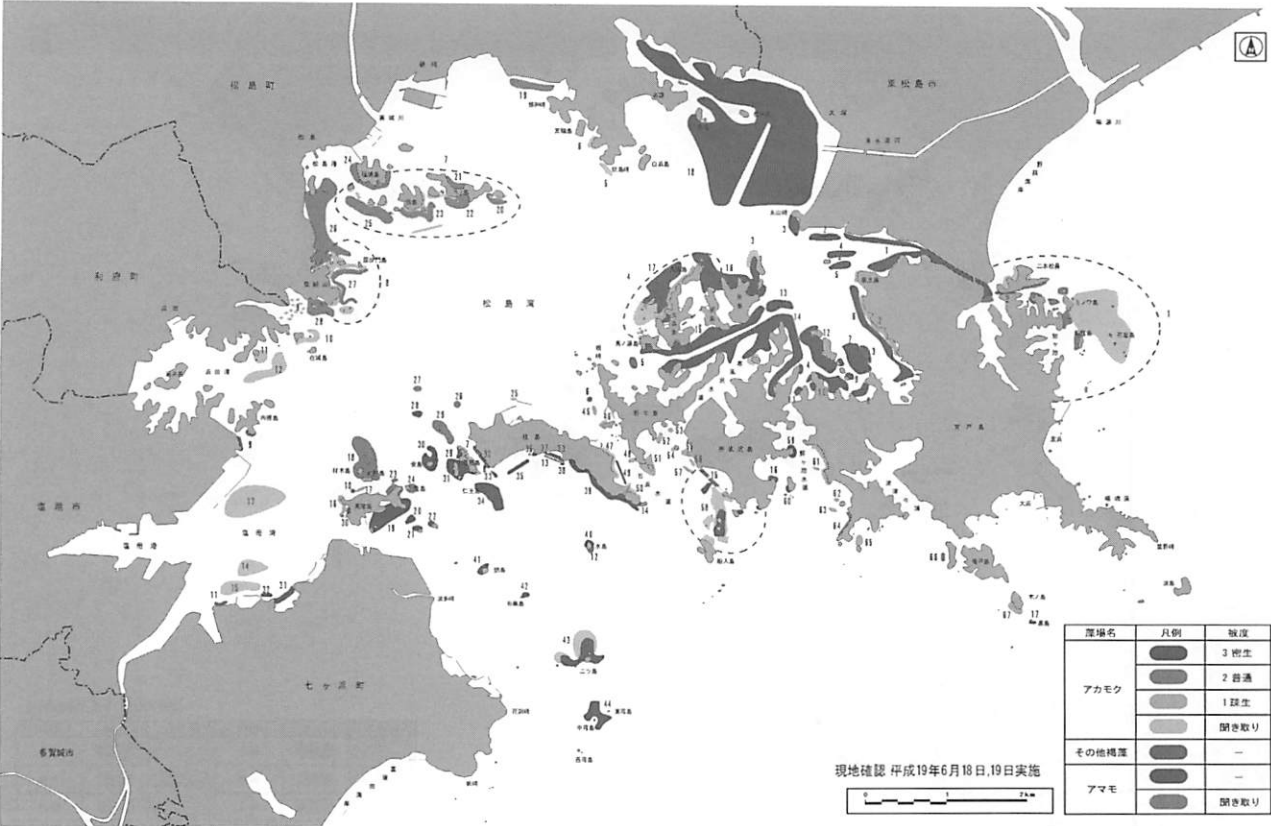


図10 震災前（2007年6月）の松島湾の藻場分布図

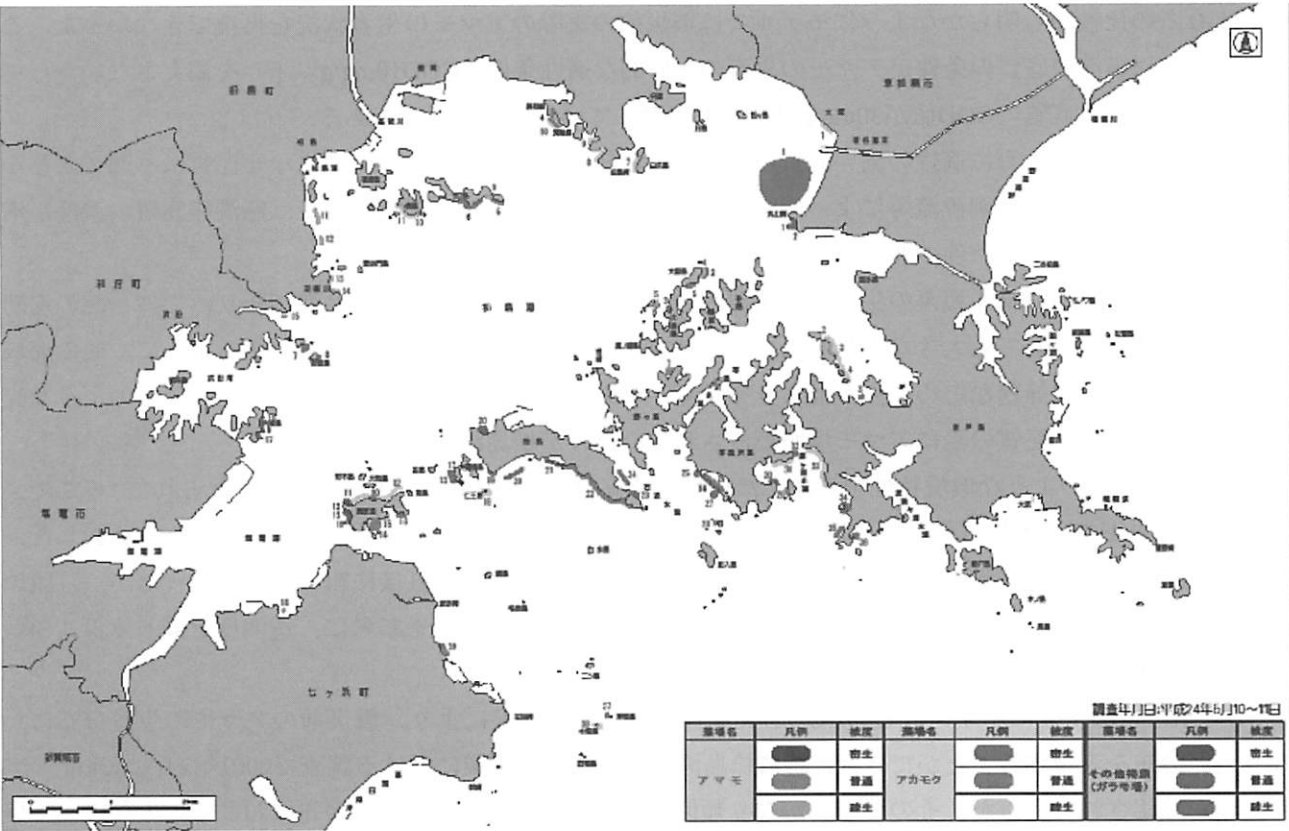


図11 震災後（2012年5月）の松島湾の藻場分布図

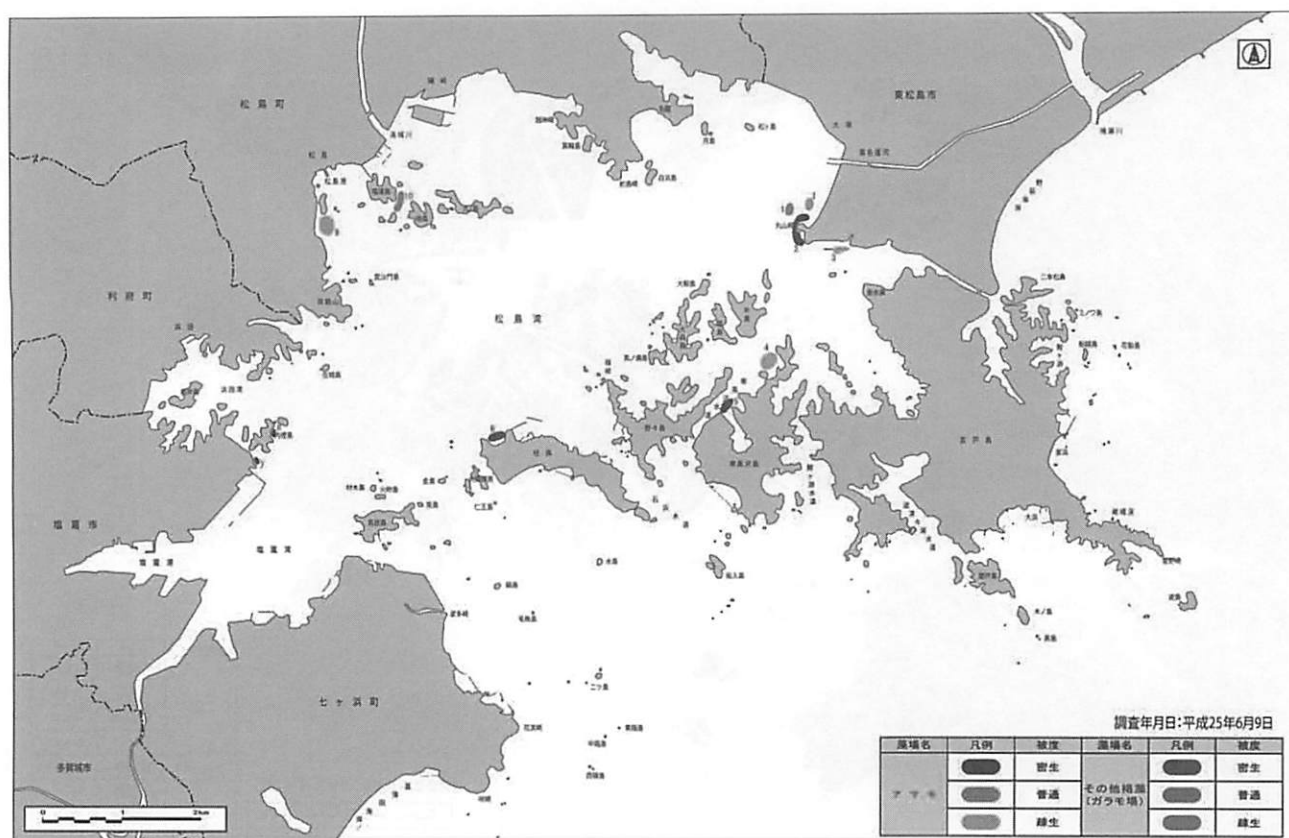


図 1 2 震災後（2013年6月）の松島湾の藻場分布図

震災前の松島湾のデータを用いてHSIモデルを作成した結果を図 1 3 に示す。

図 1 0 との比較から明らかなようにモデルでは震災前の実際のアマモの生育状況を再現できなかった。この結果は、松島湾の底質の条件がアマモの生育の一般的な適性条件（COD10mg/g以下）を満たさないからであり、松島湾では底質のCOD値が30mg/g以上でも生育していたことが理由である。

一般的にアマモの生育に適性の高い底質は砂質・砂泥質であると言われる。逆になぜ泥質は不適であるかというと、浅い潮下帯は潮流等によって巻き上げが発生するが、特に泥質の場合は懸濁態物質の濃度が増加し、透明度の低下、光条件の悪化につながる。

これがアマモ等の海草・海藻の生育に制限要因となる。しかし、松島湾は多島海であり、この自然の堤防が今回の大津波に対しても大きな役割を果たして被害を軽減した。このことからわかるように、他の海域と比較しても通常は静穏なために泥が溜まりやすく、一方で静穏なため泥が巻き上りにくい。このような光条件が悪化しにくい泥質の場にアマモ場が形成されていたのが松島湾の特徴と言えよう。

したがって、このような環境特性を考慮した松島湾特有のアマモHSIモデルが必要と考えられた。そこで、COD10mg/g以下ではSI値1（最適）、30mg/g以下では0.5（50%程度の適性）としたモデルを新たに検討した。

また、松島湾の光量子量のデータが無いためこのモデルには光条件を直接に組み込まなかったが、「閉鎖性海域中長期ビジョン」²⁵⁾で検討されたアマモの生育のための透明度を参考に、透明度と同じ水深をSI値1、2倍の水深を越えた場合に0と設定して再検討した。

その結果を図 1 4 に示す。底質のCODと光条件を改良したことにより、震災前のアマモの生育分布にかなり近い分布を表現することができた。特に松島湾リフレッシュ事業における調査で2001年2月に13km²のアマモ場が確認されているが、その分布とかなり類似する結果が得られ、寒風沢地先における広大なアマモ場が生育適性の高い場として評価されたことから、震災前のアマモ場がほぼ再現できていると評価できる。

この改良HSIモデルを用いて震災による地盤沈下（水深増加）の影響を考慮したアマモのハビタット適性の変化を検討した。松島湾沿岸域の震災による沈下量に関しては、国土地理院、松島町、宮城県などが調査

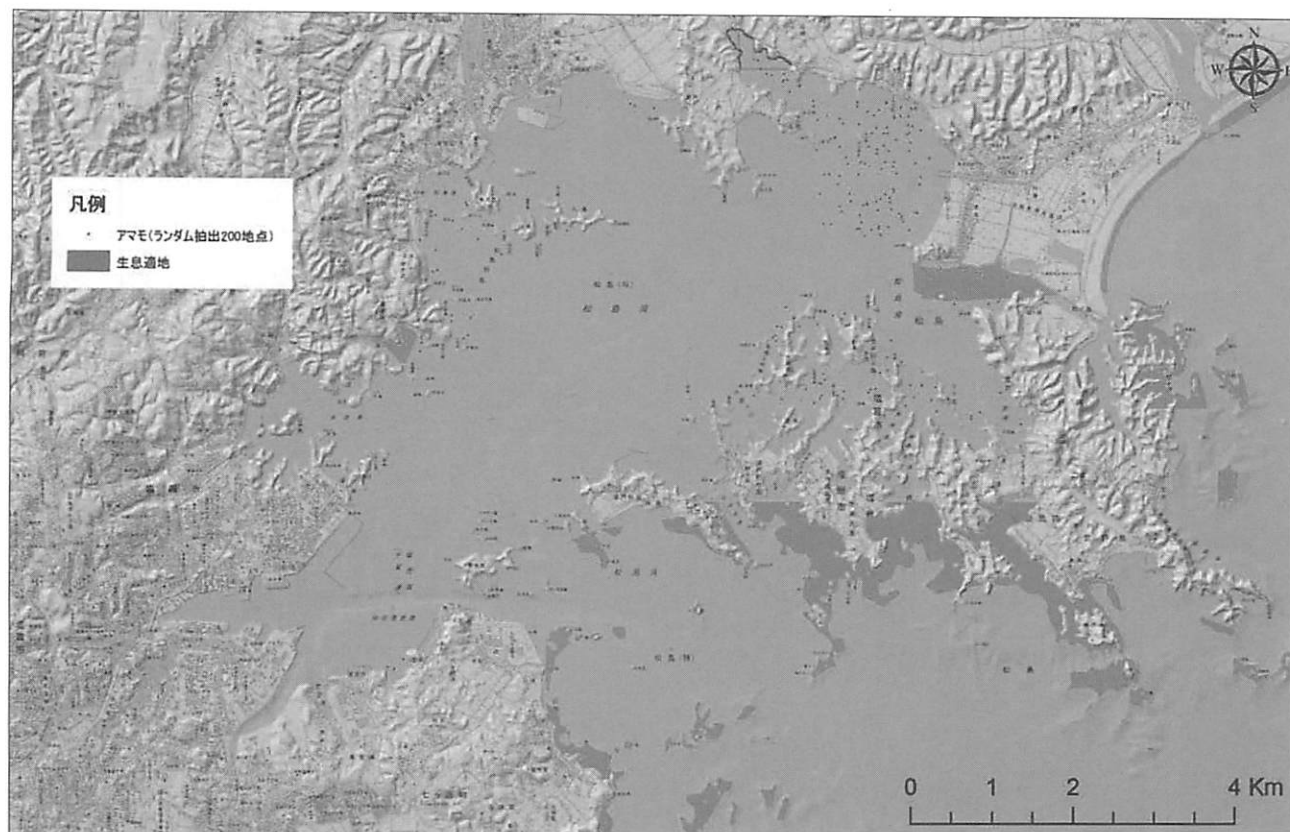


図 1 3 松島湾における震災前のアマモ生育適地のHSIモデルによる推定

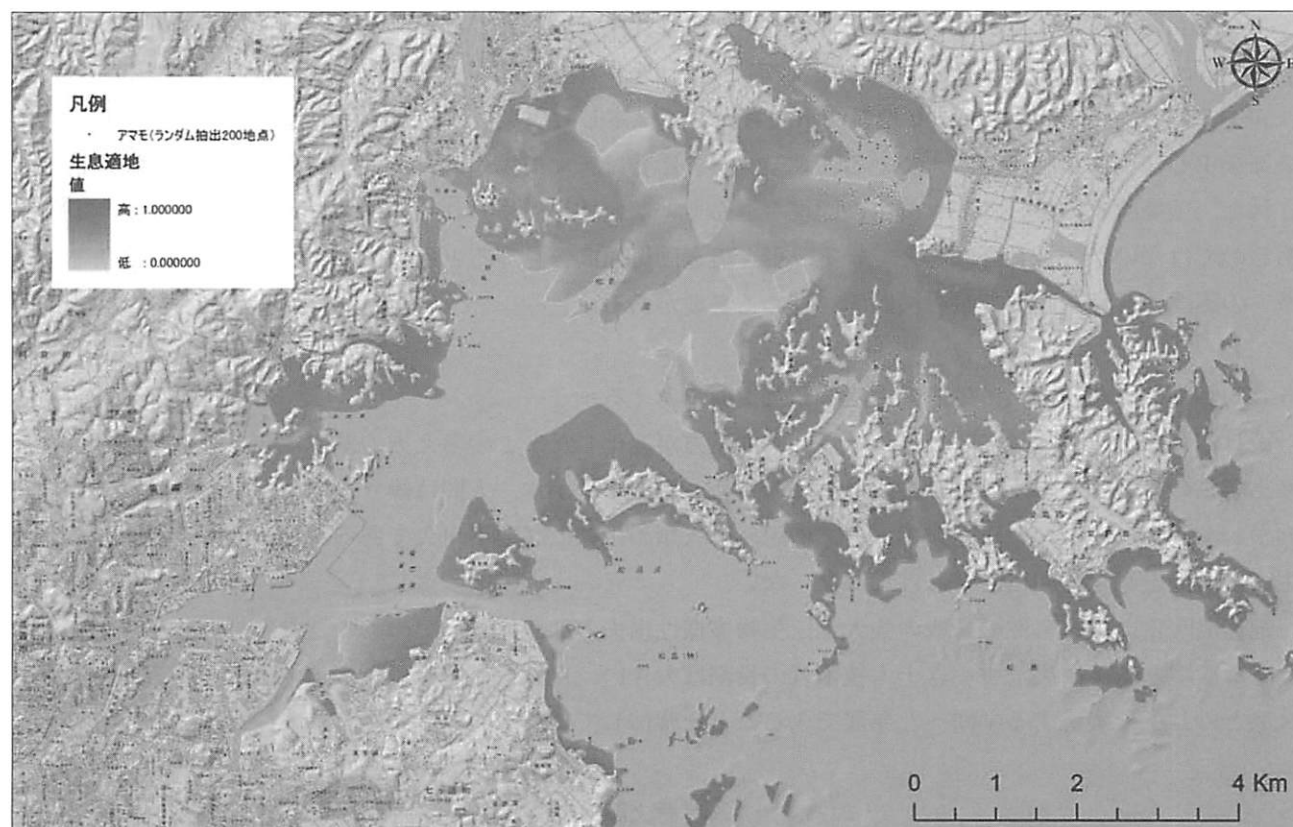


図 1 4 松島湾における震災前のアマモ生育適地の改良HSIモデルによる推定

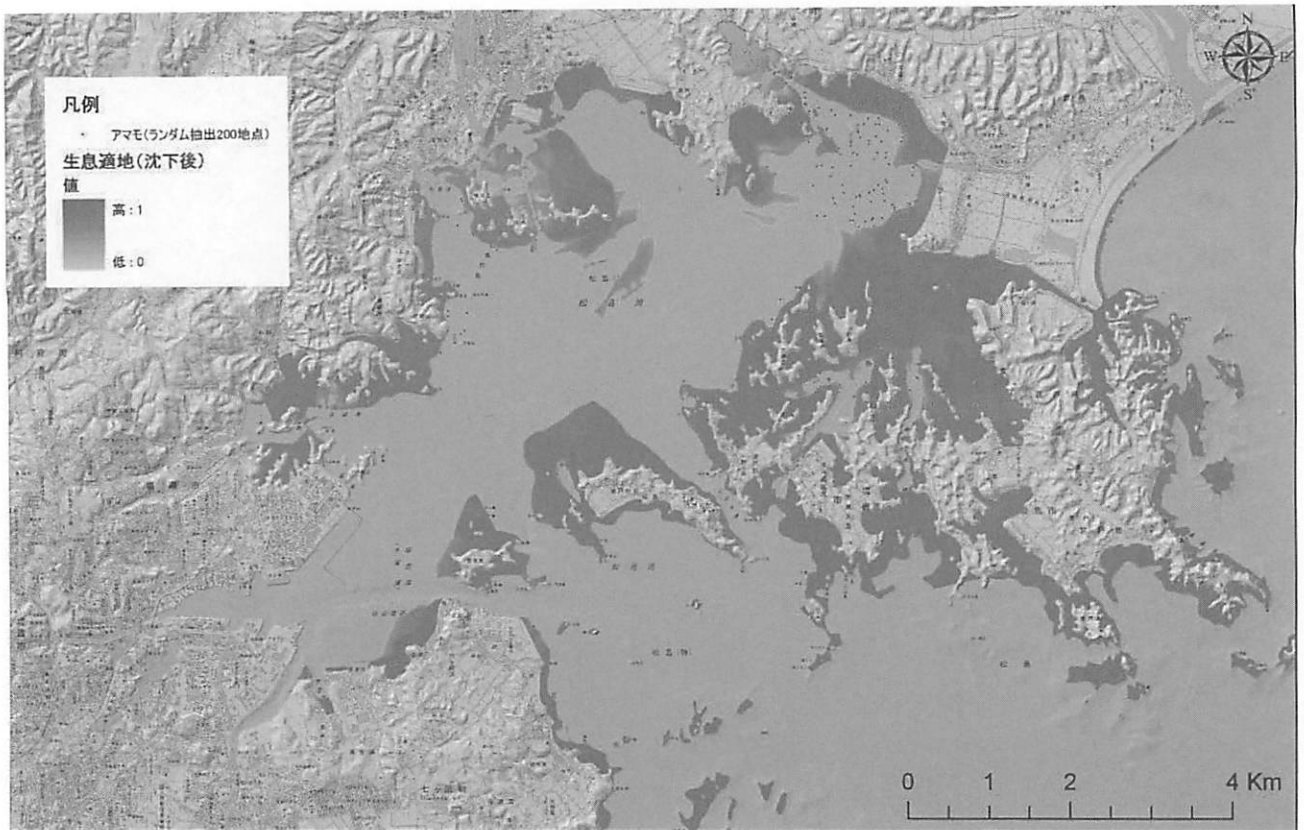


図1-5 松島湾における震災後（地盤沈下50cmを仮定）のアマモ生育適地の改良HSIモデルによる推定

しており、塩釜港付近では40～90 cm、磯崎漁港付近では30～140cmの値が示されている。また隣接した場所でも地点間に大きな差がみられることから、一様な沈下ではないことがわかる。そこで本研究では松島湾全体が50cm沈下（50cm水深増加）したと設定し、その他の環境要因には変化が無いものとして解析した。

図1-5に改良HSIモデルにより地盤沈下を考慮して推定した震災後のアマモ生育適地を示す。松島湾の中央部を中心に不適な場所が増えている。地盤沈下の影響はアマモ場の回復に大きな影響を及ぼす可能性が示された。藻場調査においてアマモ場の回復が進んでいない結果が得られているが、地盤沈下以外にも原因があるのではないかと筆者らは考えている。引き続き回復傾向を見守るとともに、アマモ場の消失による生態系への影響の評価、回復方策の検討等を進める必要がある。

6. おわりに～あらためて生態系を活かした復興を考える～

東日本大震災を経験して防災から減災へと考え方が変化した。この考え方の基本にあるのは人間社会と自然生態系の関係である。自然の脅威は人間の生命や財産を脅かす。人間は繰り返される災害に粘り強く立ち向かわなければならない。一方で、自然の恵みは人類の生存に必要不可欠である。自然の恵みの基盤である生物多様性を保全・回復させなければならない。

地球温暖化による自然の脅威の強化、生物多様性損失の加速化が現実のものとなっている21世紀において、環境と減災に果たすべき土木技術者の役割は大きい。自然を克服してきた土木工学であるからこそ、自然との共生を実現する学問へと発展できることを確信している。

参考文献

- 1) 平成23年版防災白書、内閣府、2011
- 2) 気仙沼における海岸堤防の高さ（平成24年7月版）、宮城県、[海岸防潮堤等の整備に関する市民説明会及び意見交換会-宮城県公式ウェブサイト]

<<http://www.pref.miyagi.jp/soshiki/ks-doboku/kaiganbochotei.html>> (2015/6/30アクセス)

3) 都司嘉宣, 上田和枝, 慶長16年(1611), 延宝5年(1677), 宝暦12年(1763), 寛政5年(1793), および安政3年(1856)の各三陸地震津波の検証, 歴史地震, 11, pp.75-106, 1995

4) 澤井祐紀, 穴倉正展, 小松原純子, ハンドコアラを用いた宮城県仙台平野(仙台市・名取市・岩沼市・亘理町・山元町)における古津波痕跡調査, 活断層・古地震研究報告, 8, pp.17-70, 2008

5) 復興の進捗状況(平成27年6月11日版), 宮城県, [復興の進捗状況-宮城県公式ウェブサイト]

<<http://www.pref.miyagi.jp/site/ej-earthquake/shintyoku.html>> (2015/6/30アクセス)

6) 東日本大震災の記録(暫定版)平成23年9月, 宮城県土木部, [東日本大震災の記録(宮城県土木部版)復興の進捗状況-宮城県公式ウェブサイト]

<<http://www.pref.miyagi.jp/site/ej-earthquake/indexjisinkirokusi.html>> (2015/6/30アクセス)

7) 河川堤防復旧工(伊里前川), 宮城県, [東日本大震災に伴う津波被災の復旧方法について紹介します-宮城県公式ウェブサイト]

<<http://www.pref.miyagi.jp/soshiki/kasen/ki-tohoku-japan-earthquake-fukkyu.html>> (2015/6/30アクセス)

8) 南三陸町災害危険区域設定条例, [行政情報例規集-南三陸町公式ウェブサイト]

<http://www.town.minamisanriku.miyagi.jp/reiki/reiki_honbun/r231RG00000460.html> (2015/6/30アクセス)

9) 碓氷裕史, 佐々木久雄, 西村修, 旗薫, 伊里前川(宮城県南三陸町)における魚類調査および防潮堤建設による環境影響の可能性, 日本水環境学会年会講演集, 48, p.254, 2014

10) 松井誠一, シロウオの生態と増殖に関する研究, 九州大学農学部学芸雑誌, 40(2/3), pp.135-174, 1986

11) 環境省, 平成19年版環境/循環型社会白書, ぎょうせい, 2007

12) 竹村公太郎, 日本史の謎は「地形」で解ける(文明・文化篇), PHP文庫, 2014

13) 東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会, 内閣府, [防災情報のページ-内閣府公式ウェブサイト]

<<http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chousakai/tohokukyokun/5/pdf/1.pdf>> (2015/6/30アクセス)

14) 昭和三陸地震, Wikipedia, <<https://ja.wikipedia.org/wiki/昭和三陸地震>> (2015/6/30アクセス)

15) 古田尚也, 生態系を基盤とした防災・減災(Eco-DRR)をめぐる国際的動向(2014年7月4日), [生物多様性オンラインマガジン-The MIDORI Pressウェブサイト]

<http://www.midoripress-aeon.net/jp/topics/topics_20140704_eco-drr.html> (2015/6/30アクセス)

16) 中静透, 海と田んぼからのグリーン復興プロジェクトから学ぶEco-DRR

<<http://isp.unu.edu/events/2013/files/Prof.%20Nakashizuka.pdf>> (2015/6/30アクセス)

17) 七北田川河口部蒲生地区における津波対策について(第2回蒲生干潟自然再生協議会資料-5), 宮城県, [蒲生干潟自然再生協議会-宮城県公式ウェブサイト]

<<http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chousakai/tohokukyokun/5/pdf/1.pdf>> (2015/6/30アクセス)

18) 栗原康編, 河口・沿岸域の生態学とエコテクノロジー, 東海大学出版会, 1988

19) 栗原康, 干潟は生きている, 岩波新書, 1980

20) Takashi Sakamaki and Osamu Nishimura, Physical control of sediment carbon content in an estuarine tidal flat system (Nanakita River, Japan): A mechanistic case study, Estuarine, Coastal and Shelf Science, 73, pp.781-791, 2007

21) 環境省, 第4回自然環境保全基礎調査海域生物環境調査, 1991

22) 環境省, 第5回自然環境保全基礎調査海辺調査, 1996-1997

23) 宮城県, 松島湾リフレッシュ事業評価懇談会第2回資料(H18年4月27日), 2006

24) アマモ類の自然再生ガイドライン, 水産庁・マリノフォーラム21, [一般社団法人マリノフォーラム21ウェブサイト] <<http://www.mf21.or.jp/pdf/amamo/guideline.pdf>>, (2015/6/30アクセス)

25) 環境省閉鎖性海域中長期ビジョン策定に係る懇談会, 閉鎖性海域中長期ビジョン, 2010