

2018 年度（第 54 回）水工学に関する夏期研修会講義集

水工学シリーズ 18-B-7

巨大水災害に対する土木技術の方向性  
～防災と環境は融合できるか～

首都大学東京・教授

横山勝英

土木学会

水工学委員会・海岸工学委員会

2018 年 9 月

# 巨大水災害に対する土木技術の方向性～防災と環境は融合できるか～

## Attitude of Civil Engineering to Balance Prevention of Huge Water Related Disaster and Conservation of Natural Environment

横 山 勝 英

Katsuhide YOKOYAMA

### 1. はじめに

今、この原稿を書いている最中に西日本豪雨災害が発生し、広島、岡山、愛媛などの広い地域で土砂崩れや洪水氾濫により甚大な被害が発生した。愛媛県肱川の野村ダムでは計画高水流量をはるかに上回る洪水が発生し、ピーク時には流入量とほぼ同量の水を放流することで辛うじてダムからの溢水を防いだ。しかし、洪水調節が一時的に困難になり、下流の西予市野村町では家屋の2階まで浸水するほどの大規模な被害が発生した。近年、このような未曾有の大水害が各地で発生するようになっており、「想定外」への対応が迫られている。

想定外を計画に盛り込むようになったのは、2011年3月に東日本大震災からである。想定外の自然現象に備える考え方が打ち出され、レベル1とレベル2という区分が導入された。同時期に、社会インフラの老朽化と地方における過疎化と少子高齢化が大きなテーマとして考えられるようになり、限られた財源の中で、どのように人々の暮らしを守るかが議論されるようになった。環境という観点では、1997年の河川法改正により、また1999年の海岸法改正により、現場レベルで「環境の整備と保全」が実施されつつあったが、2011年以降は度重なる災害への対応にシフトし、防災と環境のバランスが論じられることは少なくなった。

本稿では、これらの状況について主に東日本大震災における具体事例を紹介し、「防災と環境のどちらが大切か」という旧来的な対立概念ではなく、「防災と環境の両方を満たす」ための方策について考察する。2章では、近年の水災害の発生状況と地方（気仙沼市）における過疎化・高齢化の状況について述べる。3章では、津波防災のためのレベル1・レベル2の考え方と、発災後の災害復旧について簡単に整理する。4章では、岩手県と宮城県における津波対策としての海岸・河川堤防の現況を紹介する。5章では、気仙沼市大谷海岸における砂浜保全活動について、6章では気仙沼市舞根地区における高台移転と被災低平地の環境利用について紹介する。7章では防災と環境を両立させるための、いくつかの考え方を紹介する。

### 2. 近年の水災害の発生状況と地方の人口推移

#### (1) 自然現象と災害

自然現象と災害を分けて考えてみる。津波や豪雨は自然現象であって、昔から発生している。津波については、東北地方太平洋沿岸では869年の貞観地震の記録が最も古く、1611年から2011年までに20回の津地震・津波を記録しており、単純計算で20年おきに発生している。その他にも、東南海地震（1944）、南海地震（1946）、十勝沖地震（1968年）、日本海中部地震（1983）、

北海道南西沖地震（1993）など、各地で定期的に海底地震による津波が発生している。豪雨についても、時間雨量が50 mm/hを超える豪雨回数が徐々に増加傾向にあるとはいえ（図1）、大雨そのものは有史以来、全国各地で毎年発生している。そして、津波や洪水によって陸地の浸水や土砂の堆積が発生し、豪雨では土砂崩れが発生し、地形が変化する。これは自然現象であって、生態系はそのインパクトに応じて生活している。

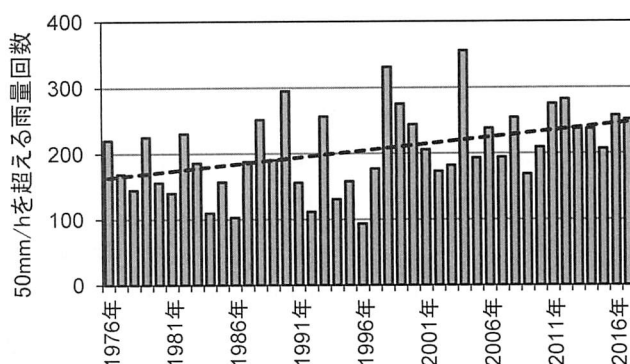


図1 1時間降水量50mm以上の全国発生回数(気象庁, 2018)

災害とは、自然現象によって人々の生命や暮らしが影響を受けることである（図2）。2011年の東日本大震災では、青森、岩手、宮城、福島において津波による死者・行方不明者が約1万8千人にもなり、都市や集落、社会インフラが壊滅的な被害を受けた。今後は東南海トラフ地震の発生が危険視されており、津波防災の必要性は非常に高くなっている。また、気候変動の影響で極端な豪雨が発生するようになっており、例えば2014年8月の広島豪雨災害では24時間雨量が247 mmに達して広域的に土石流が発生し、死者が76名となった。2015年9月には鬼怒川沿いで24時間雨量が500 mmを超え、鬼怒川が決壊して40 km<sup>2</sup>が浸水した。2017年9月の九州北部豪雨災害では、筑後川右岸側の朝倉地区にて24時間雨量が830 mmに達し、山腹崩壊と河川氾濫により集落が消失するほどの被害が発生した。2018年7月には西日本豪雨災害が発生し、豪雨災害による人的被害としては1982年の長崎大水害（死者・行方不明者439人）からの36年間で最悪の被害（死者・行方不明者約230人）となった。

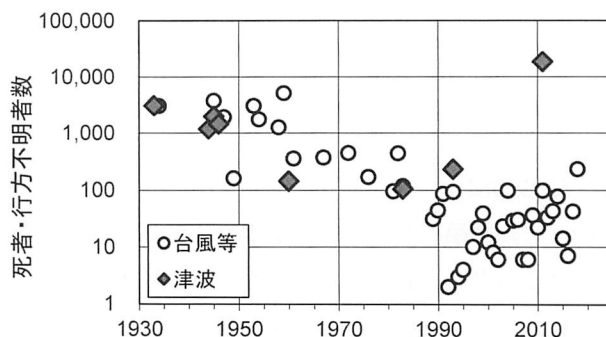


図2 台風等の水害および津波による死者・行方不明者数

## （2）人口推移

人間社会は極端な自然現象に対して脆弱であるため、津波や豪雨から生活を守るための防災対策が継続的に行われてきている。別の言い方をすれば、極端な自然現象が発生しても、その影響範囲に人々が暮らしていなければ「災害」にはならない。明治以来、中央集権のシステムにより防災事業が連綿と行われてきており、大都市圏を中心に水災害への安全度は向上してきた。それにもかかわらず、2011年の東日本大震災以降、防災が改めて注目されているのは、防災施設の整備水準が地方において依然として低い状態にあることや、気候変動により降雨が極端化していることだけが理由ではない。

経済が成長していた時期には、災害の危険性が高い地域にまで居住範囲が広がり、道路や水道などのインフラ網が拡大した。その後、日本の人口は2008年をピークに減少しており、若年人口と生産年齢人口は減少し、高齢人口は増加する見通しであり、さらに2050年までに居住地の約6割において人口が半減する見通しである。その傾向は人口規模が小さい自治体ほど顕著である（国土交通省、2018）。例えば、宮城県気仙沼市は三陸有数の沖合・遠洋漁業の基地であり、水産加工業や沿岸養殖業も盛んであるが、その人口は1980年（昭和55年）をピークに減少しており、高齢化率は1980年に8.1%であったものが2015年（平成27年）には34.9%にまで上昇した（図3）。この間、東日本大震災が2011年に発生しているが、震災に関わらず厳しい状況になりつつあることが分かる。

つまり、地方の山間部や沿岸部では、人口密度の低下と財源不足の中で広範囲に安全度を向上させなければならない。拡大した防御ラインをそのまま維持するのか、縮小するのかの選択が必要な時期が訪れつつある。その一方で、地方活性化として、農林漁業の六次産業化、自然資本を利活用した水産養殖業の振興や観光業を発展させる方向性が模索されている。このような取り組みの基盤になるのはインフラのみならず良好な自然環境であり、今まで以上に自然環境を保全し、適切に利用・活用してゆくことが欠かせない。したがって、防災力の向上と環境の利活用を同時に進める必要がある。

## 3. 津波防災の基本方針

ここでは、東日本大震災以降に明確に導入された津波のクラス分け（レベル1・レベル2）と、

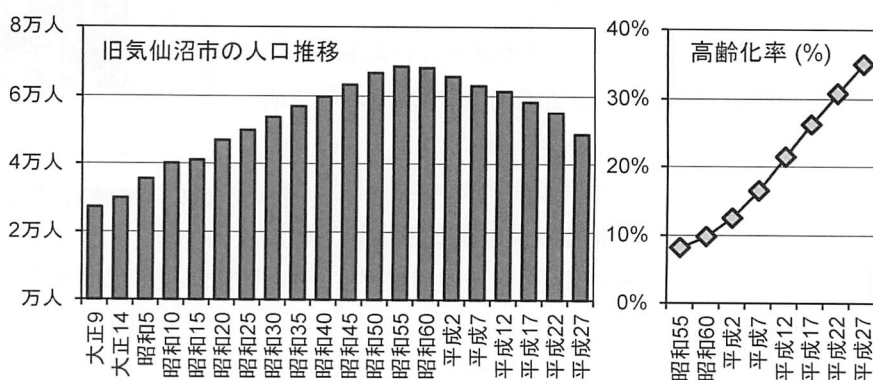


図3 気仙沼市(合併前の旧市)の人口推移(左)と高齢化率(右)

それに基づく防災計画について述べる。このクラス分けは、「想定外」に備えるという意味で、津波以外の各種災害においても取り入れられている。

### (1) 基本的な考え方

東日本大震災で「想定外」の巨大津波が発生したことから、津波の規模を2種類に分けることとなった。従来、計画の対象としていた数十年から百年に一度の津波をレベル1（L1）と設定し、L1津波に対しては防潮堤などのハード対策により背後地の生命と財産を完全に防御する。これに対して、従来は対象としていなかった数百年に一度発生する津波をレベル2（L2）と設定し、L2津波については、津波が堤防を越えることを許容しつつも、粘り強い構造とすることで完全破壊を防いで浸水被害を最小限にとどめ、堤防以外の総合的なソフト対策（避難行動など）も講じて減災を目指す。ここでは、財産の保全は目標とせず、生命を守ることに主眼を置く。

また、東日本大震災の被災地においては、L1対応の防潮堤が完成することを前提として、L2津波が襲来した際の浸水深を推定し、浸水が予想される場所は原則として住宅、病院、学校、市庁舎などの建築が禁止された。ただし、予想浸水深が2～3m以下の場合には条件付きで建築が認められる。また、事業所や工場などの産業活動については建築が認められている（国土交通省、2011a）。これは、夜間に寝ている人がいない施設のことを指す。

次に、基準設定や事業実施の役割分担について整理すると、2011年4月以降から国の中央防災会議専門調査会によって津波対策が検討され、比較的発生頻度の高い津波（L1津波）から住民の生命や財産を防護するためにハード対策を進めることとされた。この政府方針に沿って、国交省・農水省は2011年7月に「設計津波の水位の設定方法等について」を各海岸管理者（県・市町村）に通知した（国土交通省、2011b）。この方法に従って各県は「津波防護のための高さ」を決定した。

事業実施に際して、防潮堤の建設は災害復旧の位置づけであるため、発災後5年以内（通常は3年以内）に事業を完了することとなっていた。

事業を進めるにあたっての留意事項として、国交省・農水省通知の中には「堤防高さは環境保全、周辺景観との調和などに配慮して海岸管理者が適切に設定する」とある。

### (2) 「津波防護のための高さ」の決め方

「津波防護のための高さ」の決め方は以下の手順による。最初に、過去の津波データを収集して、地域海岸ごとに津波の高さをプロットする。また、想定地震によるシミュレーション結果も1つ追加する。このデータ群を、発生頻度の高い津波（L1）と最大級の津波（3・11津波：L2）に分類し、前者に海岸付近での「せり上がり」を考慮して設計津波の水位（防災の基準として用いる津波の高さ）を決める。さらに余裕高さを1m追加して、海岸堤防の高さとする。

ただし、「発生頻度が高い」「まれに生ずる」という数学的・確率的な議論はかなり難しい（図4）。降雨や河川洪水は毎年発生する事象であり、過去数十年から百数十年のデータの蓄積があるので、事象の生起確率を数学的に議論できる。しかし、津波の場合は毎年起こるわけではなく、たとえば、宮城県気仙沼市唐桑半島では記録のある津波が4つ、シミュレーションを追加しても5つである。他の海岸では、過去のデータが最小で3個、最大でも9個である。そして、チリ津波のように遠方で起きる事象の伝播もあるので、「高頻度」「低頻度」の整理は専門技術者の経験に基づいて決めることになる。そのため、このようにして決められた設計津波の水位に対しては、「もっと低いはずだ」「安全側に設定した方がよい」といった様々な意見が出されやすい。

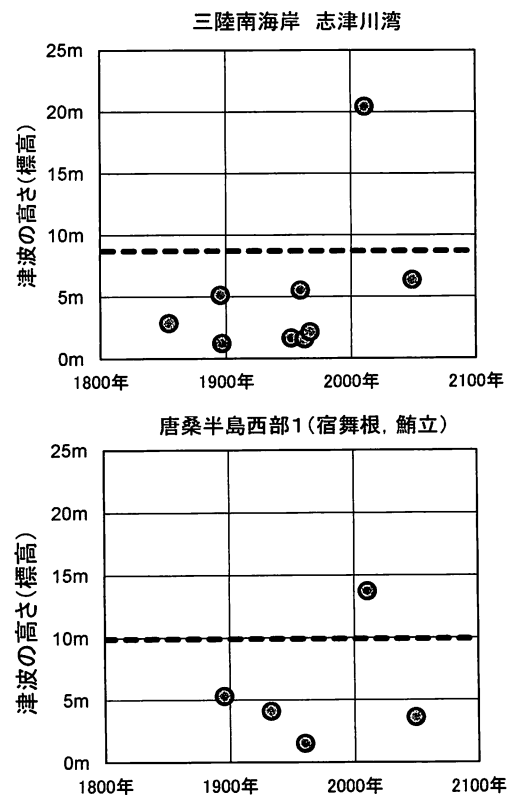


図4 宮城県沿岸における海岸堤防高さの設定, H23年9月

### (3) 堤防の構造

堤防の構造には大きく分けて3種類ある。

1つ目は、高さを1としたときに、底辺幅が4~6になる台形断面の堤防である。国土交通省は、津波による堤防の被災メカニズムを調査し、また大型水理模型実験による検討を加えたうえで、「粘り強い堤防」を提案した。まず、土砂を盛り立てて堤防の形を作り、その上を遮水シートで覆い、さらに排水性を確保するために碎石で覆い、最後に厚さ0.5mのコンクリートブロックで被覆する。斜面が地盤と接する陸側の部分は、津波が堤防を乗り越えたときに特に浸食が進みやすいため、地盤改良などを行って強化する。これらの一連の工夫により「粘り強い構造」としており、防潮堤の基本形状として、比較的土壌に余裕のある平野部や河川堤防に採用されている。

2つ目は、切り立った台形（高さ1に対して底辺幅が1~2の台形）もしくは三角形断面の堤防であり、現場でコンクリートを打設して建設する。小さな浜や磯、丘が海にせり出している場所で採用されることが多い。

3つ目は直立壁であり、地中に打設した鋼管を支持棒として、工場製品のコンクリート壁をはめ込んでゆくものである。漁港や市街地など、業務用地が海沿いまで迫っている場合に採用される。

### (4) 水門と河川堤防

河川が海岸に接続する場所では、防潮堤（海岸堤防）が途切れるので、河口部の処理が必要となる。2011年よりは、河口部に防潮水門を建設することが一般的であったが、東日本大震災では防潮水門を閉鎖させる作業中に被害に遭われた方が多くいたため、水門の是非が議論になった。そして、岩手県は引き続き水門方式を採用し、宮城県は水門を設置しない河川のバック堤方式（通称）に切り替えた。バック堤は海岸堤防をそのまま河川堤防にまで接続させる方法である。水門が無いと津波が河川を遡上することになるため、内陸部まで防潮堤を伸ばしてゆき、徐々に高さを下げて通常の治水対策堤防に擦り付ける。

## 4. 防潮堤と海岸環境、背後地の様子

### (1) 宮城県仙台北岸

仙台北岸・石巻海岸のシミュレーション検討ではL1津波よりも高潮の方が高い結果となったので、高潮基準により新堤防を整備することとなった。この地区には震災前から標高5.2~7.2mの防潮堤があり、復旧された新堤防は標高7.2mである。仙台平野は奥行きが広いので、海岸堤防により越流を最小限に抑え、複列堤防を設置して浸水深を減らし、内陸への到達時間を遅らせて避難時間を稼ぐ、という計画になっている。防潮堤の設置箇所の標高が2~3mであるため、実質的な高さは4~5mとなる。砂浜の奥行きは、仙台北岸北部の名取川河口付近では100~150m、南部の阿武隈川河口付近では約20mである。

七北田川の河口域にある蒲生干潟では、海岸環境の保全・創出と土地利用の問題が議論された。震災前は蒲生干潟に沿って標高4m程度（地盤から見ると2m程度）の堤防があり、背後に養魚場や草地、松林などがあった。津波によりこれらが破壊され、背後地も含めて汽水域環境、あるいはエコトーンが形成された。当初の防潮堤計画は、旧堤防の位置に標高7.2mの台形断面堤防を建設するものであったが、海側に30~40mせり出すこととなっていた。台形断面の場合、高さが増すと底面幅が増える。陸側の法尻の位置を揃えると、背後地の用地を新たに取得する必要が無いものの、防潮堤は海側にせり出すことになる。

これに対して市民、高校生、研究者は蒲生干潟の一部が消失する、背後地の生態系と分断されると指摘し、高校生グループは汽水域化した背後地の環境保全も含めて、防潮堤を大幅に800mセットバックすることを提案した。最終的には、防潮堤を内陸側に20~30m引くことで建設が推進されることとなった。

### (2) 岩手県普代村普代水門

東日本大震災の後、普代村を守った防潮堤として有名になった。防潮堤の機能や環境面への影響が話題になると



図5 宮城県岩沼市の防潮堤

き、必ず普代水門が引き合いに出される。普代水門の天端標高は 15.5 m、津波到達高さは 23.6 m である。この特徴は、防潮堤が海岸線ではなく、海岸から約 400 m 内陸で、かつ谷が最も狭くなっている場所に設置されていることである（図 6）。さらに、防潮堤の背後には中心部までの約 700 m 区間に松林（稼働内樹林）がある。これによって、効率的に津波を防御、減勢しており、結果的に海岸環境が保全されている。

## （2）岩手県田野畑村明戸地区

明戸地区では当初、防潮堤の高さが標高 14.3 m と設定されたが、これを 12.0 m に引き下げて、さらに 50～200 m ほど陸側にセットバックした。震災前の県道は内陸を大きく湾曲していたが、これを防潮堤の上に移設し、兼用堤とした（図 7）。明戸川が流れているが防潮堤は開口しており（カルバート状）、水門やバック堤は設置されていない。津波は開口部から内陸に遡上し、河川沿いに整備されたサケふ化場、キャンプ場、ゴルフ場は L2 津波の際に 5～10 m 浸水するが、その上流に二線堤が設置されており、集落は守られる計画になっている。また、損壊した旧防潮堤は震災遺構として公園整備された。このような観光・環境に配慮された設計により、砂浜は保全され、さらに道路が直線化して利便性が増した。

## （3）宮城県気仙沼市小泉地区

小泉地区の中島海岸および津谷川河口域では、津波の遡上高さは 20 m を超え、津谷川を 4 km 内陸まで遡上して、死者・行方不明者は 51 名におよび、多数の家屋や病院が被災した。これを受けて、宮城県内最大の標高 14.7 m の防潮堤が建設された（図 8、図 9）。堤防の断面は標準的な台形断面であるため、底辺幅は約 90 m になった。海岸部分の堤防延長は約 1.1 km、河川部分は左右兩岸あわせて約 4.4 km で、整備延長は約 5.5 km となった。海岸が浸食されて砂浜が後退したので、防潮堤の建設位置も 200 m セットバックされた。また、海岸から約 1 km 内陸に三陸自動車道が建設され、平野を横断する盛土構造物の標高が 25 m になっており、これが二線堤として設定されている。

宮城県は 2012 年 6 月から合計 10 回の住民説明会を開催し、最終的には早期着工を求める声が多数となり、防潮堤計画について住民合意が得られた。そして、2013 年 11 月には気仙沼市小泉地区振興会連絡協議会と 7 地区振興会および気仙沼市長から宮城県知事に対して、早期建設を求める要望書が提出された。一方で、震災前の防潮堤の標高は 5.5 m で海岸林もあったため、構造物はそれほど目立たなかったところ、新計画は大がかりな内容であったため、防潮堤の高さ・位置の変更を要望する市民団体が設立された。このほかにも、河川工事

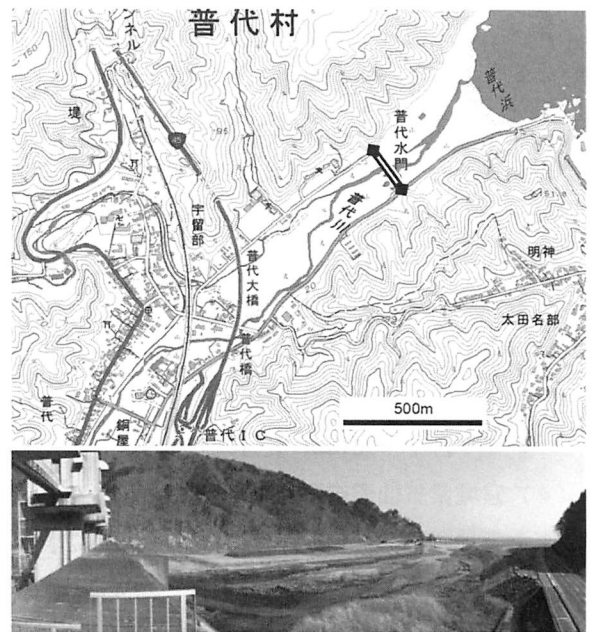


図 6 岩手県普代水門の平面図(上)と水門から海岸の風景(下)

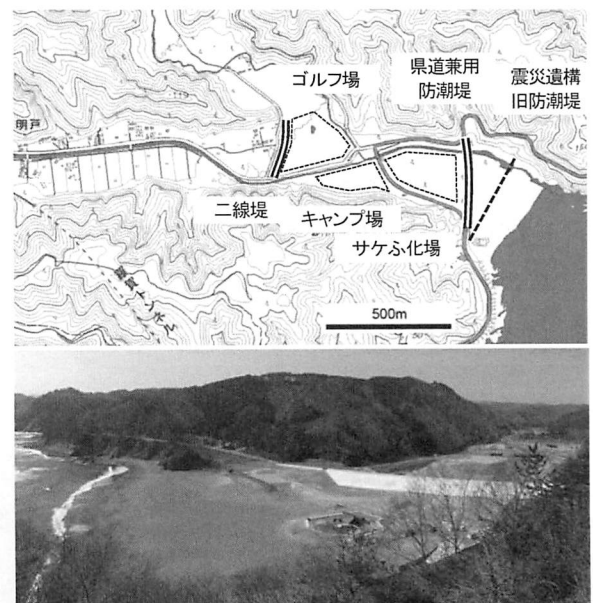


図 7 岩手県田野畑村明戸地区の平面図(上)と海岸の風景(下)



図 8 宮城県気仙沼市小泉地区(中島海岸、津谷川河口域)の平面図

に伴う淡水魚組合や鮭増殖組合への配慮も必要であったため、宮城県は中島海岸・津谷川に関する要望事項の検討ワーキング・検討会を設置し、2014年5月から2016年1月まで合計14回の会を開催して、防潮堤による防災効果とケーススタディ、環境・景観への配慮等について総合的に検討が行われた。

防災効果については、宮城県の依頼により東北大学災害科学国際研究所は詳細な津波シミュレーションを5ケース行い、防潮堤と国道の高さの組み合わせを変えて、L2津波の浸水範囲（災害危険区域）がどのように変化するか検討した。その結果、当初計画が最も浸水範囲を減少させることができ、V字状の地形的特性から、水際で食い止めるのが最も効果的であるとの知見を示した。また、河川のバック堤は津波を戻すのに有効であることを示した。

これを受けて、2014年12月から順次、工事が進められた。

#### （4）宮城県気仙沼市野々下地区

野々下地区の沖ノ田海岸には標高9.8mの急傾斜防潮堤が建設された。図10の右写真では旧堤と新堤が比較できるが、宮城県内の磯浜では新堤が前出しになっている。防潮堤を安定化させるために沖合20mほどまで捨て石が敷き詰められ、さらに消波ブロックにより基礎の洗掘を防いでいる。仮に防潮堤を内陸にセットバックすると、崖地の標高が5mほどあるので防潮堤の高さ・体積が半分の規模になり、磯浜を保全できた可能性がある。

#### （5）宮城県南三陸町館浜地区

新設された防潮堤は8.7mである（図11）。背後地は道路のみであり、野々下地区の沖ノ田海岸原と同様に、磯浜の上に前出しする形で防潮堤が建設された。

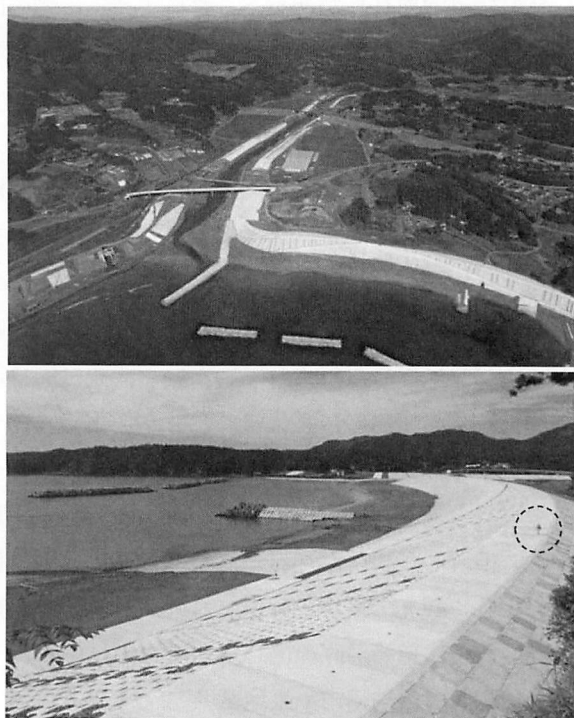


図9 小泉地区の防潮堤全体(上)と左岸側(下)  
人が写真の右中ほどを歩いている

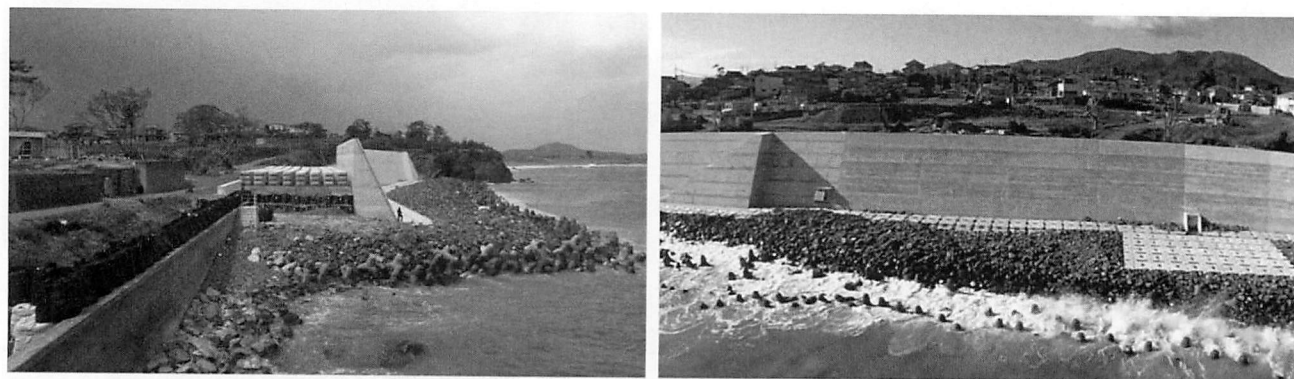


図10 宮城県気仙沼市沖ノ田海岸(野々下地区)、建設途中(左)と完成後(右)

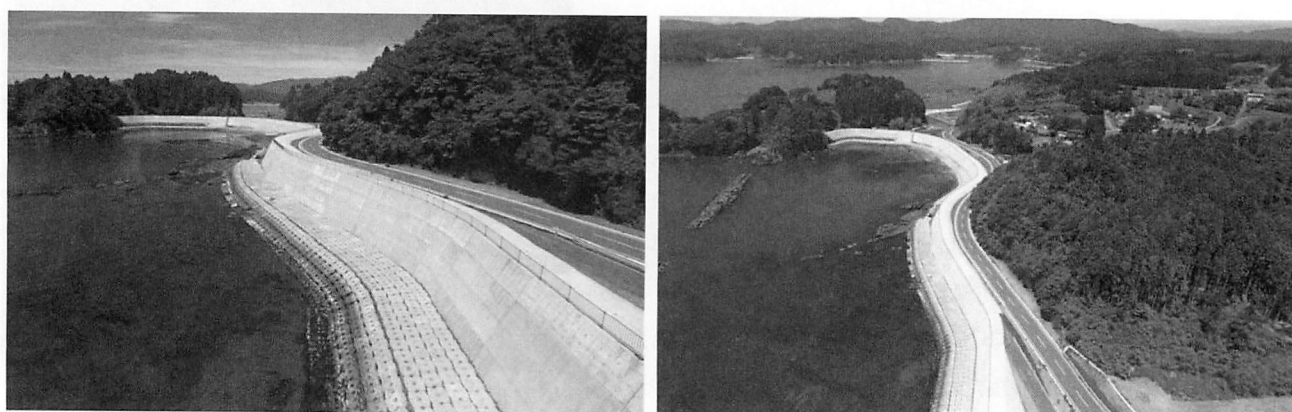


図11 宮城県南三陸町館浜海岸

#### (6) 宮城県南三陸町長須賀海岸

従前、砂浜があって海水浴場であった。従前の防潮堤の標高は5.5mであり、震災後の新計画では8.7mとなった。地盤の低下および津波による砂浜の浸食により砂浜が痩せていたため、新設された防潮堤により砂浜は消滅した(図12)。当初、行政は砂浜を保全するために、背後にある県道を嵩上げて防潮堤と兼用する案も模索したが、地権者の同意が得られず原位置での復旧となった。

#### (7) 河川堤防(宮城県港川、桜川、沖ノ田川)

宮城県では河川河口部に防潮水門を作らず、海岸堤防と河川堤防を接続させる「バック堤」を採用した。海岸から標高

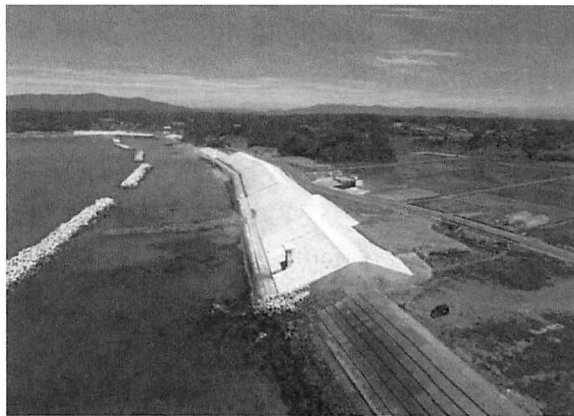


図12 宮城県南三陸町長須賀海岸



図13 宮城県南三陸町陸前港地区、港川

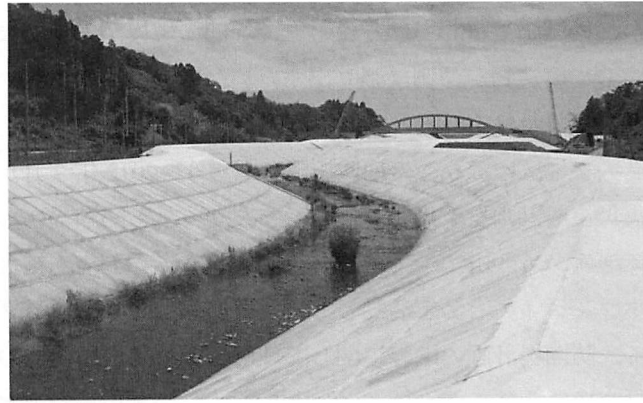


図14 宮城県南三陸町清水浜地区、桜川

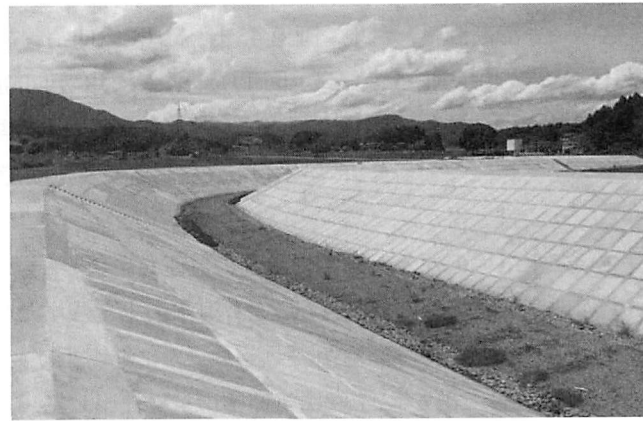


図15 宮城県気仙沼市、沖ノ田川

10 m 前後のバック堤をすり付けると、堤防の底辺幅が片岸 50 m 程度、両岸で 100 m 程度となる（図 13、図 14）。そのため、只越川、港川、桜川のように谷間を流れる川幅 5～10 m の小河川では、河川の規模に比して堤防用地が相対的にかなり大きくなり、守るべき低平地の大半が防潮堤用地となった。

さらに、河川堤防に海岸堤防と同じ形式を採用したので、コンクリート水路のような見た目になり、沖ノ田川においては河床にかごマットを敷き詰めたので、生態系の生息場には適さない環境になった（図 15）。河川沿いは災害危険区域になっているので人家は存在せず、標高 10 m 以上の場所に点在するのみである。L2 クラス津波の遡上端が堤防の位置・形状によって変化し、最初のシミュレーションで災害危険区域を指定したので、遡上端付近で生活再建を始めた住民に対する配慮から、再検討は難しかった可能性がある。

## 5. 津波防災と海岸環境保全の両立事例－宮城県気仙沼市大谷海岸

海岸環境や海水浴場としての機能を保全するために防潮堤の位置が変更された場所はいくつかあり、その中でも、宮城県気仙沼市大谷海岸は国道と防潮堤を兼用することになった特殊な事例である。

### （1）防潮堤の計画

大谷海岸は延長が 1.5 km、奥行きが 100 m の砂浜であり、東日本大震災の前までは気仙沼市で最も大きな海水浴場であった。2011 年には地盤が 0.7 m 沈下した影響で、海岸線が約 80 m 後退して砂浜が一旦消滅したが、その後、砂が打ち上げられて浜が形成された。2012 年 6 月には、標高 9.8 m、底辺幅が 40～50 m の台形堤防を建設する計画が公表されたが、砂浜が後退していることと、堤防の規模が大きくなることで構造物が沖側に張り出すため、砂浜（海水浴場）が堤防で覆われる計画となった（図 16）。

大谷地区には 6 つの地域振興会があり、2012 年 7 月から震災復興計画を策定する中で、まちづくりと防潮堤について議論が 6 回重ねられた。また、地区の若手有志も被災地ボランティアとして活動していた専門家からヒアリングして、防潮堤計画の内容に関して理解を深め、地域内での意見交換を活発に行った。その結果、「大谷海水浴場を海水浴場として残すべきである」という意見でまとまった。大谷地区の陸－海断面は、台地、国道 45 号線、JR 気仙沼線、海岸林、砂浜の順に並んでおり（図 17）、国道と JR が防潮堤と台地の間に挟まれて窪地状になる。そのため、L2 津波が襲来した際には国道と JR が水没して、かえって危険であるという認識も得た。

### （2）海水浴場の保全と防潮堤計画の見直し要望

大谷地区振興会連絡協議会は、大谷海水浴場を残すために「現在進行している防潮堤の計画の停止と見直し」「国道 45 号線および JR 気仙沼線のセットバックと嵩上げ」という要請をまとめて、人口 3,500 人のうちの 1,324 人の署名を添えて、2012 年 11 月に気仙沼市長に提出した。これは、国道を標高 9.8 m まで嵩上げして、海側の法面を防潮堤とする兼用堤のアイデアであり、堤防をセットバックすることと同じことなので砂浜を確保できる上に、



図 16 宮城県気仙沼市、大谷海岸の防潮堤表示板

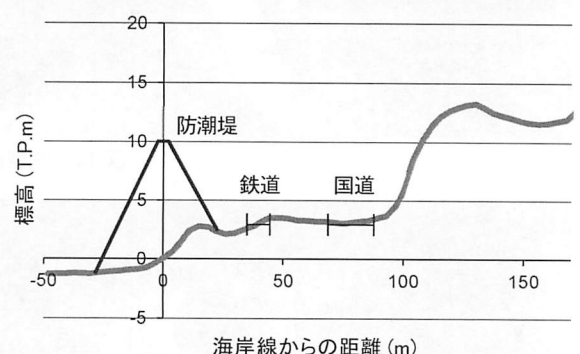
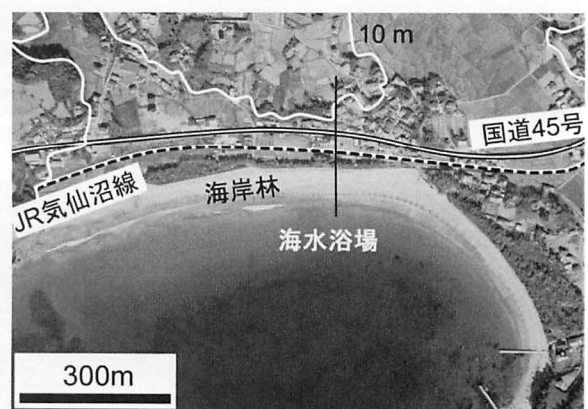


図 17 大谷海岸の平面図(1977)と横断面図(2011)

国道から海が見えて安全性が確保できるなど、その地形を知る人には比較的簡単に思いつく内容であった。

しかし、①防潮堤は海岸の災害復旧事業として整備するので国道整備と組み合わせることはできない、②国道は津波の危険性があるときには通行止めにするので安全性を確保できる、③災害時には山側に建設される三陸道が避難路や緊急輸送路になるので国道にその機能を期待する必要はない、④国道の問題を解決できたとしても鉄道を移設できなければ不可能、⑤林野海岸として海岸防災林の再生を行う必要がある、といったような事業主体や管理上の問題から、宮城県・気仙沼市は「代替案の検討は行うが、現実性は限りなく低い」と回答していた。

### （３）防潮堤と国道の兼用化の実現

2015年9月には地元有志により大谷里海づくり検討委員会が組織され、国道を嵩上げて防潮堤と兼用化する、丘と国道に挟まれる谷（潰れ地）を埋めて道の駅を移設する、同様に地域交流ゾーンとして商業施設や多目的広場を造成する等の具体的なイメージ図が作成された。

この要望書・イメージ図が気仙沼市長に提出され、気仙沼市は地元の意向を実現化すべく国、県、JRとの交渉を進めた。2016年2月にはJR気仙沼線のBRT化（バス輸送システム）が決定したため鉄道用地の問題が解決した。また、国道や潰れ地を嵩上げするには、既に影響を始めていた飲食店やコンビニエンスストア、宿泊施設などの移転が必要になるため、その補償等も難しい問題であったが、気仙沼市は国・県と調整を重ねて、住民要望を満たす形で事業計画が作られた。

そして、2018年1月に起工式が行われた。整備内容は、国道嵩上げが全長980m、海側側面の防潮堤整備が677m、山側の土地整備が4.0haである。住民が最も重要視していた砂浜は、震災前の2.8haを確保できる見通しである。以上、あらすじを記述したが、現場では住民同士の意見のすりあわせと、住民・行政との対話、市役所と国・国・JRなど関係各機関の調整が7年もの長きにわたって「粘り強く」続けられ、その苦労が結実したと言える。

## 6. 津波防災と海岸環境保全の両立事例―宮城県気仙沼市舞根地区

東日本大震災で被災した居住区域において、防潮堤が建設されなかったのは岩手県釜石市花露辺地区と宮城県気仙沼市舞根地区の2ヶ所であり、さらに舞根地区では低平地の汽水域環境を保全する活動が行われている。舞根地区における環境調和型のまちづくりの時系列は表1のとおりである。

### （１）高台移転

唐桑半島の付け根にある舞根地区は、気仙沼湾の中の奥まった場所にあり、全長が約2kmの東舞根川および西舞根川の河口付近に52世帯があった。東日本大震災では、最大遡上高が15mの津波により44世帯が流され、震災から1ヶ月後の2011年4月には地域の中心的人物の元に防災集団移転促進事業期成同盟会が結成された。2011年5月には期成同盟会から市役所に高台移転の要望書が提出され、11月には市役所から3つの案が示された。

しかし、移転場所や標高、造成費用などの面で住民の要望とは乖離があったため、土木系の専門家が住民をサポートすることとなった。造成費用に関して、市役所案は1軒あたり1億円であったため、住民から「自分たちで負担する訳ではないとは言え、税金で負担してもらうには大きすぎる金額で、世間に申し訳ない、これまでの標準造成費用は1戸100坪あたり3,400万円と聞いているので、その程度に収めてほしい」との意見が出された。

そこで、住民と専門家が話し合い、①海に見える高台とする、②これまでの集落構成をイメージした宅地レイアウトにする、③津波への安全性を考慮して標高40mに土地を造成する、④切り土で谷を埋めて取り付け道路を造成することで残土運搬費を削減する、⑤取り付け道路の標高は津波遡上高よりも高い15mとする等のアイディアを図面に起こし、これを2012年2月に気仙沼市役所に提出した（図18）。

宅地のレイアウトに関して、被災地の標準設計は周回道路の中に宅地を配置するタイプであったが、舞根地区は道路の両脇に宅地が配置された街道形式であったため、そのイメージで設計された。また、歩行者の安全性を考慮して、道路は直線や十字路を設けず、緩やかなカーブとT字路で構成された。2012年5月には、住民案で計画を進めることが気仙沼市によって大筋で了承された。このとき気仙沼市から住民に対して、移転跡地の利用計画も考えてほしい旨のコメントがあった。

表1 気仙沼市舞根地区のまちづくりの時系列

|       |     | 住民                       | 気仙沼市役所                               | NPO                                  | 環境研究者グループ          |
|-------|-----|--------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------|
| 2011年 | 3月  | 津波により、52世帯中、44世帯が被災      |                                      | 津波で被災                                |                    |
|       | 4月  | 防災集団移転促進事業期成同盟会を結成       |                                      | がれき調査開始                              |                    |
|       | 5月  |                          |                                      | がれき撤去完了、カキ養殖再開                       |                    |
|       |     |                          |                                      | 環境モニタリング開始、年6回・奇数月に実施                |                    |
|       | 8月  |                          |                                      | 環境調査結果を住民に報告                         |                    |
| 2012年 | 1月  |                          |                                      | 海岸林道沿いの陸地でアサリ稚貝を多数発見、陸地が干潟化していることを示す |                    |
|       |     | 高台造成の提案を独自に模索            |                                      |                                      | 研究者が高台移転の計画作りをサポート |
|       | 2月  | 高台造成の提案が決まる              |                                      |                                      |                    |
|       | 3月  | 高台造成案を気仙沼市に提出            | 住民から造成案を受領                           |                                      |                    |
|       | 4月  | 防潮堤勉強会にて意見交換             | 防潮堤勉強会にて意見交換                         | 防潮堤勉強会を開催                            | 環境調査結果を住民に報告       |
|       | 5月  |                          | 高台造成案を正式に採択                          |                                      |                    |
|       | 6月  | 防潮堤計画の撤回要望書を気仙沼市役所に提出    | 防潮堤を作らないことで同意                        |                                      |                    |
|       | 7月  | 被災した低平地の跡地利用に関して意見調整が始まる |                                      |                                      |                    |
| 2013  | 7月  |                          | 高台造成を開始                              |                                      |                    |
|       | 8月  | 農地復旧説明会に参加               | 農地復旧の住民説明会を開催、復旧する区画を決定              |                                      |                    |
|       | 9月  |                          |                                      | 西舞根川河口でニホンウナギを採捕                     |                    |
| 2014年 | 6月  |                          | 湿地・干潟の計画図を作成、水没地を囲う堤防をNPO予算で建設する案を提示 | 湿地・干潟計画図の説明を受ける                      | アシハラガニを三陸で初記録      |
|       | 9月  |                          | 農地復旧による埋立が開始                         | 海岸林道の橋梁案を作成、気仙沼市に提案                  |                    |
| 2015年 | 3月  | 海岸林道に隣接する住民から橋梁化案が却下される  | 海岸林道の復旧において透水性のある鋼矢板を採用することが決定       |                                      |                    |
|       | 5月  | 高台での住宅建設が開始              | 高台造成が完了                              |                                      |                    |
|       | 6月  |                          | 農地復旧が完了                              |                                      |                    |
|       | 9月  |                          | 漁港復旧が開始                              | 残った東側湿地を重要湿地として環境省に提案、選定される          |                    |
| 2016年 | 5月  |                          | 海岸林道の復旧が開始                           |                                      | スジエビの新種を発見         |
|       | 6月  | 大半の住宅建設が完了               |                                      |                                      |                    |
|       | 12月 |                          | 漁港復旧が完了                              |                                      |                    |
|       |     |                          | 環境と調和した河川復旧案の作成を開始                   |                                      | NPOへの環境情報提供        |
| 2017年 | 5月  |                          | 海岸林道の復旧が完了                           |                                      |                    |
|       | 9月  |                          | ニホンウナギを主対象とした護岸整備案を作成                |                                      | NPOへの護岸情報提供        |
| 2018年 | 2月  |                          | 河川・塩性湿地の整備計画案が完成                     |                                      |                    |
|       | 3月  |                          | 国・県が事業を許可                            | 地権者から湿地化の同意書取付が完了                    |                    |
|       | 6月  | 河川復旧説明会に参加               | 河川復旧の住民説明会を開催、工事実施を決定                |                                      |                    |

高台の造成工事は2013年後半から始まり、2015年5月には造成完了の記念式典が開催され、2016年の6月までに大半の住宅再建が完了した。期成同盟会は当初29世帯が加盟していたが、被災してから生活再建まで最短で4年半を要し、最終的には24世帯が高台で生活し始めた（図19）。このスケジュールでも、被災地の中ではスムーズに事が進んだ部類である。

## (2) 気仙沼市舞根地区の津波防災

高台移転の見通しが立った2012年3月になって、唐桑半島の鮎立地区において漁港の復旧工事説明会が開催された。鮎立の防潮堤は震災前は標高約3m（地盤からの高さが約1m）であったが、図面には標高11.2mの直立堤防が描かれており、高さを10mほど引き上げる計画に対して質問が集中した。

隣接する舞根地区には元々防潮堤はなく、漁港岸壁があるだけだったため、住民は防潮堤が計画されているのかどうか知りたいとなった。そこで、2012年4月に舞根地区の住民が、宮城県・気仙沼市の担当者、市議会議員、漁協に呼び掛けて集ってもらい、防潮堤計画について行政に説明してもらおうと共に、内容について質疑が行われた。そこでは、舞根漁港は気仙沼市の管轄であり、宮城県が設定した基本計画高の標高9.9mに沿って防潮堤を建設する方針であること、仮に浸水区域に人が住まなくても、道路も守るべき資産なので防潮堤は必要である、との説明がなされた。

2012年5月には、舞根地区の被災住民は標高40mの新たな高台に移転することが決まったため、防潮堤の是非について住民同士の議論が行われ、「移転跡地を防潮堤で守る必要はない、将来を考えると自然環境や風景を大切にしたいまちづくりの方が良い」との結論に至った。そこで住民は「舞根2区の海岸堤防の計画撤回に関する要望書」を取りまとめて、気仙沼市長に提出した。この要望は気仙沼市役所に受け入れられ、以降、防潮堤が計画されることは無かった。

なお、新たに造成する高台と気仙沼市街や国道を繋ぐ重要なアクセス道路（唐桑最短道）を標高15mまで嵩上げすることで、L2津波でもアクセス道路が水没せず、かつ、防潮堤の役割を果たして東舞根川への津波の遡上を防ぐようにした。この意思決定の過程は定かではないが、住民からの申し入れを受けて、市役所が道路整備や高台造成の各種事業と総合的に調整して実現したものと推測される。

## (3) 津波により気仙沼・舞根湾の環境が受けた影響

震災前、三陸リアス式海岸ではカキ・ホタテガイ・わかめの養殖が盛んに行われており、平成21年度の宮城・岩手の全国シェアは、ホタテガイが8.4%、カキが29.3%、わかめが79.2%であった。

東日本大震災からの復興のためには、海面養殖や水産加工を早期に再開させる必要があったが、それには3つの懸案事項があった。海底に堆積したがれき、流失した重油や化学物質による海洋汚染、海洋環境の破壊と生産性の低下であり、これらの状況を確認し、必要に応じて問題を解決する必要があった。舞根地区には京都大学フィールド科学教育研究センターの田中克名誉教授の呼び掛けにより、水産、生物、化学、土木などの様々な分野の研究者がボランティアとして集まり、2011年4月から各自の分野に関する調査を開始した。

まず、養殖いかだの設置に支障となるがれきを除去するために、舞根湾に沈んだがれきを水中探査ソナーにより調べた。大きな物体はほとんどが立木であり、全長20m前後の樹木が水深10~20mの海底に刺さっていた。漁

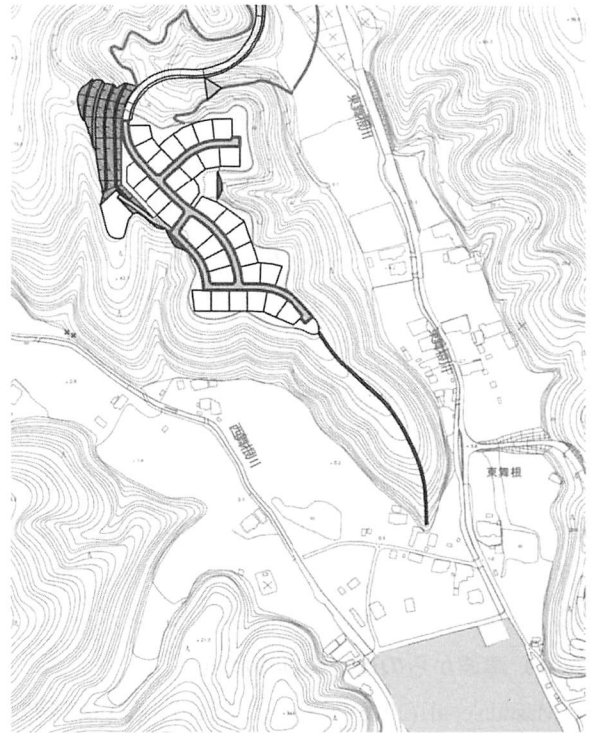


図18 舞根地区の高台移転提案図、このまま採択された



図19 舞根地区の高台移転後の様子

網や正体不明のがれきも多く発見されたが、家屋は見つからなかった。高さが2 m 以上ある大きな物体は78 箇所であった。これらのがれきには目印を設置し、その後、宮城県の大津波により2011 年5 月末までには撤去された。

気仙沼港では津波により石油タンクが倒壊して重油等の鉱物油が約11.5 千キロリットル流出し、海上火災が発生し、多数の大型漁船に引火して漂流・沈没した。震災直後は海面に油膜が張っており、海上でも油臭が分かるほどであった。2011 年4 月に底質を採取して分析した結果、金属類と有機化合物は全ての分析項目が環境基準値を下回った(表2)。津波により造船場・水産加工場などから各種物質が湾内に輸送された可能性が考えられたが、底質に蓄積している様子は見られなかった。油分の指標であるn-ヘキサンは環境基準を上回り、1 年後の2012 年5 月には値が上昇した。震災直後にn-ヘキサンの値が高いのは鉱物油の影響であるが、1 年後に上昇したのは硫黄とクロロフィルa 色素濃度の影響である。海中のクロロフィルa 色素濃度は2011 年5 月から十分に高い値を示し、活発な一次生産により植物プランクトンの沈降物が油分層を覆って、1~2 年で数センチの有機物堆積層が形成されていた。底泥表面のクロロフィルa 色素濃度は東京湾や有明海と同等であり、震災直後から一次生産力が高かったことが分かった。

#### (4) 津波からの環境の回復状況

Masuda et al. (2016)の報告によれば、震災直後の2011 年5 月には陸上から運ばれたと考えられる大量の泥が海底を覆っており、海藻は少ないうえに泥をかぶっていた。また、魚類はハゼ類の稚魚が所々で観察される程度であり、死んだ魚やアワビの死骸も随所に見られた。津波により沿岸の魚類の大半は死滅し、震災時に卵や仔魚として沖合にいた少数の個体が生き残って沿岸に加入したと推測している。

2 ヶ月ごとの潜水調査の結果(図20)、魚類数と個体数の両方とも、水温と連動した周期性だけではなく増加傾向が認められた。種数と個体数は2011 年から2012 年にかけて増加し、以後はほぼ一定である。大型捕食者であるアイナメは平均体長が3 年連続で増加し、4 年目には繁殖個体が確認された。総合的には、魚類群集は津波から約3 年で回復したと評価された。

地点間を比較すると、舞根湾内のガラモ場での魚類群集の回復が著しく、湾奥の旧干潟で回復が遅い。津波シミュレーションの結果と比較すると、ガラモ場の位置は引き波が弱く、渦を巻いていた場所にあたる。褐藻類の生長は速いため、被害の少なかったガラモ場ではすみやかに海中林が形成され、仔稚魚の生育場になったと推測される。湾奥では流速が4 m/s を超えて洪水時の河川のような状態になったため、干潟の底質やアマモ場などが浸食されて無くなり、激変した環境からの回復が遅いと推測された。

気仙沼港の底層DO と溶存態リン濃度の関係を調べたところ(図21)、震災前と震災後で関係性が変化した。震災前はDO 飽和度が50%を下回ることが

表2 舞根湾の底質分析値(2011 年5 月)と基準値

| 溶出試験           | 単位 (mg/l) | 水産用水基準 | 海防法判定基準 |
|----------------|-----------|--------|---------|
| アルキル水銀         | < 0.0005  | 0.01   | 0.03    |
| 総水銀            | < 0.0005  | 0.001  | 0.005   |
| カドミウム          | < 0.01    | 不検出    | 0.1     |
| 鉛              | < 0.01    | 0.03   | 0.1     |
| 六価クロム          | < 0.01    | 0.1    | 0.5     |
| 砒素             | 0.003     | 0.1    | 0.1     |
| 全シアン           | < 0.01    | 0.01   | 1       |
| PCB            | < 0.0005  | 不検出    | 0.003   |
| 銅              | < 0.01    | 不検出    | 3       |
| 亜鉛             | < 0.01    | 不検出    | 2       |
| フッ素            | 0.64      | 14     | 15      |
| トリクロロエチレン      | < 0.003   | 0.3    | 0.3     |
| テトラクロロエチレン     | < 0.001   | 0.02   | 0.1     |
| ニッケル           | < 0.01    | 0.07   | 1.2     |
| ジクロロメタン        | < 0.002   | 0.2    | 0.2     |
| 四塩化炭素          | < 0.0002  | 0.02   | 0.02    |
| 1,2-ジクロロエタン    | < 0.0004  | 0.04   | 0.04    |
| 1,1-ジクロロエチレン   | < 0.002   | 0.2    | 0.2     |
| 1,1,1-トリクロロエタン | < 0.001   | 5      | 3       |
| 1,1,2-トリクロロエタン | < 0.0006  | 0.06   | 0.06    |
| 1,3-ジクロロプロペン   | < 0.0002  | 0.02   | 0.02    |
| ベンゼン           | < 0.001   | 0.1    | 0.1     |
| セレン            | < 0.001   | 0.1    | 0.1     |
| 含有量試験          | 単位 (mg/g) |        |         |
| 硫化物            | 0.53      | 0.2    | -       |
| n-ヘキサン抽出物質     | 2.0       | 1      | -       |

水産用水基準(2005年版)溶出試験の基準値は水質基準の10倍

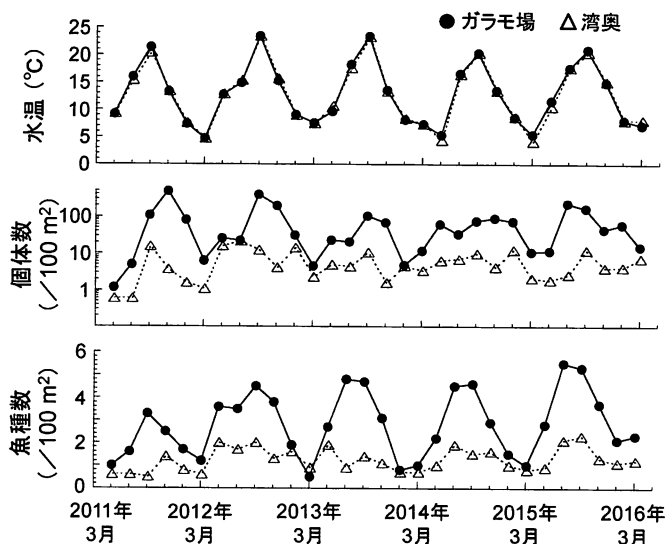


図20 舞根湾の津波直後から魚類の推移  
(京都大学舞鶴水産実験所・益田玲爾准教授提供)

多く、震災後はその回数が激減し、また、同じ DO 飽和度でもリン濃度が低下した。津波による海底攪乱の影響で底泥中の有機物が減少して酸素消費量が低下し、さらにリン溶出量も減少したと考えられ、海底環境が改善したと推測された。

#### (5) 湿地・干潟の出現

東日本大震災では地殻変動によって地盤が沈下し、気仙沼市の沈下量は約 70 cm であった。さらに、津波の強流速で土地が浸食され、その結果、気仙沼市本吉町の津谷川河口では海岸線が約 200 m、北上川河口では約 3 km 後退した。多くの海岸で 10～100 m 後退した。仙台北海岸では海岸線が前進した場所もある。

舞根湾の奥には、1948 年に幅 150 m、奥行き 220 m、面積 20,000 m<sup>2</sup> の干潟が存在した。1966 年頃には干潟の約半分 (7,200 m<sup>2</sup>) は埋め立てられて防風林や宅地になった。震災後は干潟の浸食・沈下により 12,800 m<sup>2</sup> が海に変化した。一方、防風林跡地が干潟化し (約 3,000 m<sup>2</sup>)、内陸の農地が塩性湿地化して (西側 15,000 m<sup>2</sup>、東側 17,200 m<sup>2</sup>)、新たに 35,200 m<sup>2</sup> の汽水域が形成された (図 22)。結果として、舞根地区における湿地・干潟的環境の面積は 1948 年当時と同等になり、水際が約 200 m セットバックする形で新たな干潟・湿地が形成された。その後、地殻変動により地盤が 4 年間で約 0.3 m 上昇し、河川からの土砂供給の影響もあり、2015 年 6 月の大潮干潮時には干潟がわずかに姿を現した (約 100 m<sup>2</sup>)。

汽水域では、2012 年以降、汽水性の仔稚魚、アサリ等の二枚貝や甲殻類の加入が確認された。震災前にもアサリは生息していたので、湾内のどこかで個体が生残り、震災後に放出された浮遊幼生が新たに形成された干潟・湿地に着床したと考えられる。また、2013 年にはニホンウナギが河口域で捕獲され、その後もたびたび魚影や死骸が確認された。ニホンウナギも震災前に河口域で確認されており、震災で形成された新たな汽水域に何らかの形で回帰していると考えられる。

#### (6) まちづくりとしての汽水域保全のスタート

気仙沼市役所は震災で沈下・破損した西舞根川の護岸を災害復旧事業として改修し、また、湿地化した農地を農地復旧事業により埋め立てる計画であった。

舞根地区では、地元漁業者が NPO 法人森は海の恋人を設立して、1989 年から森・川・里・海のつながりの大切さを青少年や市民に伝える活動をしており、震災後は前述の研究グループと連携して環境調査を積極的に実施してきた。その活動を通じて、震災後の生態系の復元力の高さを実感し、また新たに出現した汽水域が埋め立て工事以前の姿に近いことを認識した。既に居住地は標高 40 m の高台に移転し、海岸沿いには防潮堤が建設されないことになったので、少子高齢化・過疎化によって使う見込みの少なくなった被災低平地を環境教育フィールドとして活用することで、新たなまちづくりを目指そうというアイディアに至った。

学術的背景として、河口付近に形成される汽水域である「塩性湿地」は、魚類や甲殻類、貝類などの水生動物だけでなく、植物や昆虫類、両生類や鳥類にいたるまで多くの生物が成長・摂餌・繁殖の場として利用し、高い生物多様性と一次生産力を示す。絶滅が危惧されているニホンウナギに代表されるような川と海とを往来する魚種にと

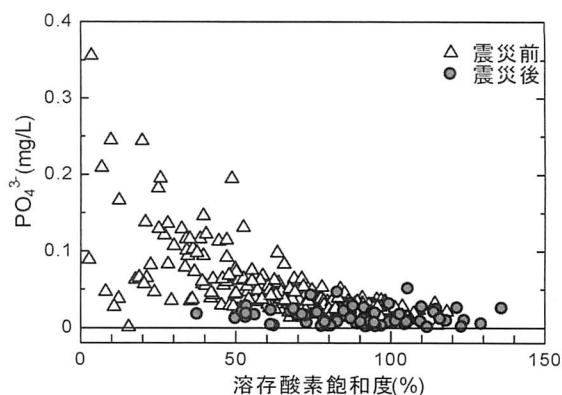


図 21 溶存態リン濃度と溶存酸素飽和度の震災前後比較

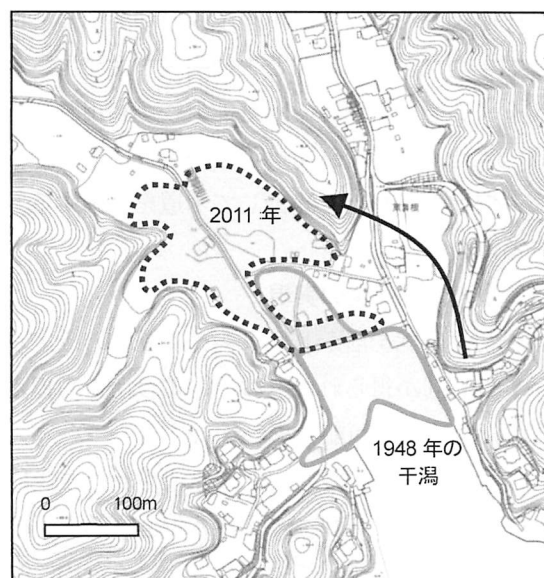


図 22 舞根地区の水際の変化



図 23 河口域で採捕されたニホンウナギ

っても、通過・摂餌・成長のために不可欠の水域である。日本の沿岸域の干潟は、1945年に約83,000 haあったが、1996年には約40%が消失した。塩性湿地の消失率は不明だが、現在、日本に残っているのは約30箇所を過ぎない。震災をきっかけにして汽水域を再生・保全できれば、自然資本を活用した沿岸集落再生のモデルケースになると考えられた。

高台移転の見通しが立った2012年3月頃から（震災から1年）、NPOは舞根の地域住民や気仙沼市役所に対して環境モニタリングの結果を逐次お知らせしながら意見調整を始めた。具体的には、①海岸沿いの林道を橋梁化することで陸・干潟・海を連続させる、②河川護岸の一部開削して西舞根川と塩性湿地をつなぎ、水循環と生物回遊を活発化させる、③河川護岸をニホンウナギ等の回遊性生物が利用しやすいタイプにする、④地下水の流れを遮らないように工事の工夫を行う、⑤塩性湿地のがれきを除去して木道を整備する、というものである。

#### （7）汽水域保全の実現

当初、環境を活かしたまちづくりというアウトラインについては賛同が得られたものの、市役所から提示された条件は多く、実現は不可能と思われた。

- 土地を干潟や湿地として水没させたままにするには、その地権者の同意が必要である。
- 河川護岸を開削すると洪水氾濫を誘導することになるので、氾濫想定区域の地権者の同意が必要である。
- 氾濫が拡大することを食い止めるために湿地の周囲に堤防を建設することが必要である。
- 土地が水没していることで、隣接する斜面において崩壊が生じやすくなるので、崩壊対策もしくは斜面の地権者の同意が必要である。
- 河川護岸は洪水を河道で流すために建設されたので、開削するには河川計画の抜本的な見直しが必要である。
- 災害復旧事業は「壊れたモノを直す」ために使われるので、「使えるモノを壊す」ことはできない。
- 災害復旧事業により環境配慮型の護岸に改築するためには、ターゲットとする生物（例えばニホンウナギ）が震災前にも生息していたことを証明する必要がある。

土地所有者の同意に関して、再生・保全が期待される低平地は約35,200 m<sup>2</sup>であったが、そこには57もの区画があった。三陸各地で土地所有のことが復興事業を推進する際のブレーキとなったように、舞根地区においても土地が細分化されており、所有者が域外に転出しているケースも多く、その同意をNPOが独自に取り付けるのは極めて困難であった。

様々な話し合いの結果、海に面した干潟的な環境を保全することは地権者の同意が得られず、海岸林道と陸地は元通りに復旧された。ただし、林道の基礎として鋼矢板を打ち込む際、地下水の透水性を確保するために穴あきの鋼矢板が採用された。西側の湿地は、農地復旧として土砂を投入して1mほど嵩上げされた。東側の湿地については、NPOが所有者を一人ずつ訪問して交渉して回った結果、2018年2月までに28区画の所有者から、土地の水没について合意を得ることができた。

河川計画と護岸構造に関して、2016年12月から気仙沼市役所が国・県と課題の解決策について検討を開始し、西舞根川の左岸（塩性湿地に面した場所）の護岸は復旧対象から外し、右岸（農地側）はフレーム式の護岸を使うことで多孔質の空間を確保することとなった（図24）。その際、生物に関する情報収集と説明資料の作成はNPOが担当した。舞根地区では震災前に環境教育や環境調査が複数の民間団体によって行われており、インターネット



図24 舞根地区の汽水域マップ

上に残された報告書にはニホンウナギが存在したことが記載されており、その記録の発見が大きな後押しとなった。

2018年3月末までに行政側の調整は完了し、2018年6月に住民説明会が行われて地域の同意が得られた。これにより2012年7月から動き出した汽水域保全の取り組みは、6年の歳月を経て事業のスタートラインに立つことができた。2018年11月から河川護岸工事が開始し、2021年3月までに完了する見込みである。

## 7. 巨大災害への対処と環境配慮の考え方

### (1) 三陸沿岸における津波防災の整理

生命・財産を守るための防災が重要であることは言うまでもないが、1980年代からの河川・海岸環境に対する国民的な関心の高まりが、1997年の河川法改正と、1999年の海岸法改正に結びついている。したがって、「防災か、環境か」という二項対立ではなく、環境にいかに関心し、環境をうまく利用するかが大切である。

設計津波の高さを所与としたとき、(A)防潮堤で防御して浸水区域を減らし、低平地にも居住可能な場所を確保する、(B)浸水範囲に住まず高台に移転する、の2つの選択肢がある。気仙沼市舞根地区と釜石市花露辺地区は(B)を選択し、それ以外の全ての地域は(A)を選択した。舞根と花露辺は数十世帯の比較的小規模な地域であり、自治会の強いリーダーシップの元に早期に意見を集約することができた。

防潮堤に頼る場合、(A1)水際から陸側に少し引いた場所に建設する、(A2)水際に建設する、の2つの選択肢がある。(A1)の方法は、地盤標高が高くなり、山付きをうまく利用することで延長を短く出来て、水際の処理（消波ブロック等）も簡単になる。そのため、防潮堤の見かけ規模を小さく出来て、建設コストを縮減できるうえ、砂浜や磯などの自然環境・レクリエーション空間を確保できるメリットがある。岩手県にはこの方式が多い。

(A2)の方法は、土地所有の関係で内陸部に土地を確保しづらい場合が考えられ、従前の小規模な防波堤の位置を基準にして、そこから沖出しにすることで土地獲得の交渉が不要になる。ただし、砂浜や磯は消滅し、防潮堤の付け根に日常的に波が当たることから、消波ブロック等で根固めする。宮城県にはこの方式が多いが、大谷海岸では住民の強い意向が継続したことで内陸移設を可能にした。

### (2) 三陸沿岸における津波防災事業を左右した要素

防潮堤の方式の選択と、その実現化については、住民の理解と意向、行政の提案力、時間の3つが重要と考えられる。大半の地域では行政が説明会で示した図面をほぼ原案どおりで了承した。南三陸町の長須賀海岸では、行政から、砂浜を残すために内陸に防潮堤を建設する案が提示されたが、土地所有者の意向により砂浜の上に堤防を建設することとなった。気仙沼市本吉町小泉地区の中島海岸では、砂浜環境の保全を要望する根強い声も一部にあったものの、地域（小泉地区振興会連絡協議会）からの強い要請で原案通りの防潮堤が建設された。

行政の提案力という点では、大谷海岸のセットバックは市民感覚ではシンプルなアイデアであったが、実現までに住民組織による6年もの働きかけを要した。理由の詳細は不明であるが、管理者が海岸、林野、国道、JRと多岐にまたがることから、復興予算が措置される期間内に調整することは極めて困難という判断があった可能性が考えられる。今後も同様のケースは十分に想定されることから、複数の管理者による調整を可能とする仕組みについて、事前に議論しておくことが望ましい。

時間という点では、大谷海岸と舞根地区の事例で示したように、それぞれの提案が実現化するきっかけは、東日本大震災から約5年という時期にあった。大谷海岸では2015年末頃から（震災から4.5年）、舞根地区では2016年末頃から（震災から5.5年）、気仙沼市役所の対応が変化すると推測される。これは、発災からの5年は集中復興期間と定められて、「災害復旧」に力点が置かれていたことに対して、2016年度からの5年は「復興・創生期間」という位置づけに変わったことに関係しているのかもしれない。

宮城県北部において、発災翌年の2012年7月頃から順次開催された防潮堤に関する住民説明会では、「防潮堤によってL2津波による浸水区域（災害危険区域）が決まり、その背後に居住可能な場所が決まるので、防潮堤の位置や高さで議論しているとまちづくりが進まない」という論調が支配的であった。災害復興において生活再建（住宅建設）が優先されるのは当然であるため、環境・水産業・観光等に影響がある防潮堤については議論しにくい状

況になったことは否めない。

しかし、三陸リアスのような起伏に富んだ場所では、高台移転と防潮堤のセットバックの組み合わせは比較的検討しやすい。今後の災害復興においては、まず、確実に安全な場所に居住地域を定めて生活再建を進め、一時的な防災対策として避難ルートの確保や避難渋滞を防ぐための道路の拡幅などを進め、精神的に余裕が出来てきたところで環境等に配慮したまちづくりを検討し、その中で防潮堤の議論をすることも一案である。

### （３）三陸沿岸における災害復旧と復興まちづくり

このほかの課題として、災害復旧と復興の関係性がある。地方の集落では、人口減、高齢化、耕作放棄地や所有者不明の土地の拡大が課題であり、そこに災害が生じて大きなダメージを受けたとき、復興において新たな方向性を見いだそうとするのは自然な流れである。その一方で、生活再建のために社会インフラをいち早く復旧する必要がある、このとき災害復旧制度が役立つ。災害復旧制度は壊れたモノを直す制度であるため、新設に比べて手続きが大幅に簡素化されている反面、新たなモノを生み出そうとする復興まちづくりに馴染まない。

東日本大震災の被災地における防潮堤も災害復旧制度で建設されたため、最初の５年間は大胆な取り組みが出来なかったと推測される。新たな取り組みを目指す住民に５年間の辛抱を強いるのではなく、柔軟に対応できる制度、もしくは制度の柔軟な運用に長けた行政職の育成が望まれる。

### （４）Eco-DRR

環境省は2016年に「生態系を活用した防災・減災に関する考え方」をまとめた（環境省、2016）。これは、通称Eco-DRR（Ecosystem-based Disaster Risk Reduction）と言われる。Eco-DRRは生態系の持つ特性を防災機能として考慮するものである。

「暴露の回避」では、本来、自然災害に対して脆弱な土地（急斜面の森林帯、水際の湿地など）を読み取り、そのような場所の生態系を保全・再生して、危険な自然現象と人命・財産との緩衝帯として機能させる。また、日常的には健全な水環境の保全、生物資源の収集、レクリエーションの場として活用する。6章で述べた気仙沼市舞根地区の事例は人間が高台に身をひいて防災を実現し、空いた海岸低平地を塩性湿地として活用するものであり、緩衝帯としての機能を当初期待したわけではないが、Eco-DRRの概念に近い取り組みと言える。

「脆弱性の低減」では、森林による斜面崩壊の防止、海岸林による津波被害の軽減、サンゴ礁による高潮被害の軽減、塩性湿地による波浪の低減、湿地による洪水貯留など、生態系が物理的な緩衝材として機能することを利用する。この方法は、「暴露の回避」よりも直接的な方法であり、例えば東日本大震災の後、「緑の防潮堤」として海岸にマウンドを築いて植樹する方法が市民団体から提案された。一部において植樹は行われたものの、その効果を見込んだ防災対策やまちづくりは行われていない。

コンクリート製の防潮堤は、津浪襲来時の耐力や越流時の洗掘・破壊挙動を水路実験により確認できる。実験に基づいて、耐力を向上させた「粘り強い堤防」がデザインされたため、防災対策としての力学的設計が明確である。一方、生態系の機能を利用する方法は、不確実性が高いため設計に反映しにくいと考えられている。しかし、例えば河道内樹林については、洪水時の力学的挙動について2000年頃から精力的に研究されてきた。そして、樹種や樹高によっては非常に倒れにくいこと、樹林帯は抵抗として効くため上流側河道に洪水を貯留させる効果があることが明らかにされており、洪水シミュレーションに樹林の効果を組み込むことが可能なレベルにある。

東日本大震災の津波ではほとんどの樹林帯が流失したためか、樹林の力学的評価に関する研究は堤防強化に関する研究ほど盛んに行われていないようであるが、複数の防災施設を組み合わせた効果的な防御と、それによる自然環境の保全・再生が同時に検討されることが望ましい。これは次に述べる、L1とL2の境目の対応策としても有効であろう。

### （５）シームレスな対策

海岸でも河川でも、災害に対する防御水準を設定して、それに対応した堤防やダム等の施設を配置する。生活する上では被害が出来るだけ少ないことが望ましいものの、防御水準を超える自然現象が発生すれば必ず被災するので、被害をゼロにすることは不可能である。このとき、水準を引き上げて施設をハイスpekにするほど（例えば、

堤防を高くするほど)、「安全」と「被災」の二値化が著しくなり、中間的な「ちょっとした被害」が無くなる。そして、安全性が向上することで流域住民に「正常性バイアス」が作用して、巨大災害時に逃げ遅れる事態となる。

牛山ら(2014)は、東日本大震災の際の三陸リアス沿岸における人的被害について、犠牲者率と相関が認められた因子は、浸水深、津波到達時間、平均標高、人口であり、津波外力の大きい海沿いほど被害が大きいと考察している。谷下・浅田(2014)は南三陸町を対象にして分析を行い、浸水深以外に、1960年チリ地震津波が到達したか、海が見えるか、高台が近くにあるかが犠牲者率に影響を及ぼしていることを示した。河川洪水の場合、堤防からの越流や決壊箇所に近いほど、被害が大きい。短時間に水が到達して、急に高流速・大水深に見舞われるので逃げられないことが原因である。

津波や豪雨が発生したときに、それがL1の範囲内に収まるのか、L2になるのか、その場では判断できない。かといって、L1の時にも常に避難行動を呼びかけていると、呼びかけの効果が失われる。また、避難すべき人が行政や専門家、報道等の外部からの呼びかけに頼っていると、災害が局地化、多様化してゆく中で対応が追いつかず、結局は常に精神的な想定外に遭遇することになる。

したがって、「安全」と「被災」の中間的な状況を意図的に作り出すことも、土地利用のあり方と併せて考えてはどうだろうか。例えば、石川・赤穂(2016)は旭川および百間川放水路を対象にして江戸期の岡山城下の水害軽減メカニズムを検討し、意図的な氾濫誘導による総合的治水が行われていた可能性を指摘している。百間川放水路ではある流量を超えたときに水田側に越流・氾濫を誘導し、岡山城下における旭川水位を効果的に低下させた。それだけではなく、放水路に洪水を流しつつ堰上げによって複数箇所から越流させることで、水田における氾濫水深を0.5m程度に収めており、氾濫被害はさほど大きくなかった可能性があると考えられている。

現代の「どこが、いつ破堤するか予測しにくい」という治水方式と比べて、上流水位によって氾濫のタイミングと範囲の見通しを付けやすく、また、水が寄せてくる様子が視覚的に分かるので、避難しやすいメリットがある。資産が集中している場所ではこの方法は困難であるが、例えば6章で紹介した気仙沼市舞根地区のように未利用地がある場所では検討しやすい。津波の場合は海水が一気に押し寄せて、水のボリュームと流速が非常に大きいため制御は難しいものの、緩衝地帯を設けることで津波の到達を察知しながら避難できる可能性が増す。例えば、4章で紹介した田野畑村明戸地区の開口型の防潮堤と二線堤の組み合わせや、普代村の防潮水門と河道内樹林の組み合わせはこの考え方に近い。

これから人口が減少してゆく時代に入り、地方では未利用地が増加傾向にあるため、そうした土地の集約と防災への活用、生態系の保全・再生を組み合わせることで、シームレスな防災対策が可能になる。また、日常的には未利用地が生態系の基盤となるため、環境との共生も可能になる。

#### (6) 輪中堤の考え方

資産・家屋が分散している地方では、輪中堤の考え方も有効である。明治以来、治水の基本は連続堤防になり、海岸・河川のいずれも水際に食い止めることとしている。仮にL1対応の堤防が決壊しなかったとしても、L2クラスの津波・洪水においては越流による被害も大きく、前述のような逃げ遅れの可能性もある。東日本大震災の後、二線堤が注目されているが、さらなる対策として輪中堤もあり得る。

三陸リアス沿岸のように谷間が入り組んでいる場所では、大抵、谷間に集落があるため、谷の出口付近に堤防を設置することで防御が可能である。形状は輪中ではないが、集落の前面で防御するという意味において輪中堤の考え方になる。この方法は連続堤防に比べて設置延長が短くなり、かつ、地盤標高が水際よりも高いので堤防の規模が小さくなり、経済的にも景観的にも有利である。海岸・河川堤防、二線堤、輪中堤と組み合わせることで、水際防御の負担を減らすことが出来るので、生態系にとって大切な水際環境を保全することにもつながる。

## 8. おわりに

津波・洪水の氾濫シミュレーション技術は発達しているが、現在の法制度のもとで実現可能なシナリオを主に検討すれば、水際に食い止める海岸・河川堤防が最も有効で、その高さを出来るだけ高く、高強度化するのが最適と

なるであろう。しかし、自然現象が極端化してゆくと、この方法には際限が無い上に財政的にも持ちこたえられない。その上、生態系や水際の環境を犠牲にすることになる。

現在、日本全体の人口減、大都市への人口集中と地方の過疎化、都市圏におけるニュータウンの高齢化と過疎化、所有者不明の土地の増加、高度経済成長期に整備したインフラの老朽化など、社会基盤を取り巻く諸問題が一気に顕在化しつつある。そのため、社会機能の整理・縮小・移転や、未利用地の整理統合を大胆に検討し、生態系による減災機能も積極的に取り入れることで、総合的に防災力を高めてゆくことが望ましい。氾濫シミュレーションを駆使すれば、まちづくりや防災施設の配置、緩衝帯の設置などを提案できるであろう。

これによって、生態系が豊かになり、水産有用種が増え、観光やレクリエーションの空間としても機能することになり、防災のみならず日々の環境としても優れた空間を生み出すことになる。新たな方向性について、海岸・河川技術者のみならず、環境・社会・経済・文化などあらゆる分野の専門家と行政・住民により大胆な議論が行われることを期待したい。

#### 参考文献

- 石川忠晴, 赤穂良輔 (2016) 数値シミュレーションによる江戸期百間川放水路の洪水調節機能の評価, 土木学会論文集 B1 (水工学), 72(4), pp. I\_343-I\_348.
- 牛山素行, 本間基寛, 横幕早季, 杉村晃一 (2014) 三陸地方における東北地方太平洋沖地震による津波犠牲者率と素因の関係, 自然災害科学 33(3), pp.233-247.
- 環境省 (2016) 生態系を活用した防災・減災に関する考え方, <http://www.env.go.jp/nature/biodic/eco-drr.html>
- 気象庁 (2018) 大雨や猛暑日など(極端現象)のこれまでの変化, [http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/extreme/extreme\\_p.html](http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/extreme/extreme_p.html)
- 国土交通省 (2011a) 津波防災地域づくりに関する法律について, <http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/point/tsunamibousai.html>
- 国土交通省 (2011b) 「設計津波の水位の設定方法等」について～復興計画策定の基礎となる海岸堤防の高さ決定の基準～, 平成 23 年 7 月 11 日, [http://www.mlit.go.jp/report/press/river03\\_hh\\_000361.html](http://www.mlit.go.jp/report/press/river03_hh_000361.html)
- 国土交通省国土政策局 (2018) 第 21 回国土審議会配付資料, 最近の国土をとりまく情勢について, <http://www.mlit.go.jp/common/001237848.pdf>
- 田野畑村 (2017) 津波ハザードマップ(地区版: 明戸地区) [https://www.vill.tanohata.iwate.jp/docs/2017022000039/files/map\\_2.pdf](https://www.vill.tanohata.iwate.jp/docs/2017022000039/files/map_2.pdf)
- 谷下雅義, 浅田拓海 (2014) 東北地方太平洋沖地震津波による南三陸町行政区別犠牲者率の影響要因, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), 70(4), pp. I\_66-I\_70.
- Reiji Masuda, Makoto Hatakeyama, Katsuhide Yokoyama, Masaru Tanaka (2016) Recovery of Coastal Fauna after the 2011 Tsunami in Japan as Determined by Bimonthly Underwater Visual Censuses Conducted over Five Years, PLoS ONE 11(12): e0168261. doi:10.1371/journal.pone.0168261, 2016.12
- 地図は国土地理院のホームページから引用

---

土木学会・水工学に関する夏季研修会 B コース  
「沿岸域における環境研究の変遷とこれから」

2018 年 9 月 11 日

---