

水工学シリーズ 22-B-2

海岸の将来ビジョンとその技術政策課題

国土交通省国土技術政策総合研究所 河川研究部海岸研究室 室長
(東京大学大学院工学研究科特定研究客員大講座教授兼務)

加藤 史訓

土木学会

水工学委員会・海岸工学委員会

2022年9月

海岸の将来ビジョンとその技術政策課題

Visions and Technical Policy Issues for Coast in the Future

加藤 史訓

Fuminori KATO

1. はじめに

わが国の人口は少子高齢化により 2008 年をピークに減少しており、今後も減少していくことが予想されている。また、産業構造やデジタル化の進展も影響し、人口や資産の分布が長期的に変化するとともに、予算や担い手の不足等により土木施設の維持も難しくなっていくことが危惧されている。

国際的な動きとして、2015 年 9 月の国連サミットで、持続可能な開発目標 (SDGs) が全会一致で採択された。これは、誰一人取り残さない多様性と包摂性のある社会の実現のために設定された、2030 年を年限とする 17 の国際目標であり、その中には気候変動の対策や持続可能な都市など、海岸に関わる目標も含まれている。このように社会の持続性に着目した取り組みが広く求められている。

海岸は陸域と海域の境界であるだけでなく、波浪や風等の作用から背後地を守る緩衝帯であり、さまざまな生物の生息場であり、多様な海岸利用の場でもあり、独特な景観を形成している。わが国の海岸は、その背後地に人口、資産、社会資本等が集積するとともに、台風や低気圧による高潮や高波、地震による津波、海岸侵食にさらされてきた。そのような脅威に対し、海岸法に基づく海岸事業 (海岸保全施設の設置など) やさまざまなソフト対策が実施されてきた。

海岸への気候変動の影響が言われ始めてから久しい。たとえば、土木学会海岸工学委員会は 1994 年に地球温暖化の沿岸影響についての報告書をまとめており、2000 年に国が定めた「海岸保全区域等に係る海岸の保全に関する基本的な方針 (以下、「海岸保全基本方針」という)」においても、海岸にとって深刻な影響が生ずる恐れがあることから潮位、波浪等の監視やそれらの変化に対応する検討を進めることとされた。しかし、海岸保全において気候変動の影響を考慮することが初めて明確に規定されたのは、2020 年に変更された海岸保全基本方針であった。

わが国の海岸を取り巻く自然・社会環境が変わっていく中で、さまざまな課題に直面している海岸を将来どのような姿にするべきなのか議論をすることは、その姿の実現に必要な技術開発を考える上で不可欠である。直面している課題が多いことから、海岸のあるべき姿については現在の制度や課題の延長上で議論されがちであるが、平均海面水位の上昇が来世紀以降も続くという予測などをふまえると、今世紀末のように少し先の状況を現在の制度や課題から少し離れて考え、そのあるべき姿の実現・維持に必要な技術開発について考えてみることも有用である。2100 年は遠い先のようにも思えるが、土木施設の耐用年数が 50 年程度であることを考えると、その状況を既に考えていかなければならない時期に入っているとも考えられる。このようなバックキャスト型の議論は、一般財団法人国土技術研究センターの海岸技術政策研究会や 2021 年の第 68 回海岸工学講演会の企画セッション「海岸の将来ビジョンとその実現に向けた取り組み」で行われている。

本稿では、まずわが国における海岸保全の経緯を振り返り、第 68 回海岸工学講演会の企画セッション等での議論をふまえて海岸保全の現状と課題を整理し、2100 年を見据えた海岸の将来ビジョンとその実現・維持に必要な技術政策課題について私見を述べる。

2. 海岸保全の経緯

海岸保全事業の根拠となる海岸法は海岸の防護を目的に 1956 年に制定されたが、1999 年の改正により海岸という空間の管理を意図するものになった。その経緯については岸田（2011）が詳しいが、ここでは 1999 年の法改正を境目として海岸保全の経緯を整理する。

2. 1 1999 年法改正以前の海岸保全

2. 1. 1 高潮・津波対策

高潮・津波対策の変遷については、過年度の研修会において首藤（2016）に詳しく述べられている。1949 年以前の海岸に関する事業は災害復旧制度を用いた施策以外はほとんどなされていない中で、1949～1953 年には毎年のように高潮災害が生じていた。このような中で、津波、高潮、波浪などによる被害から海岸を防護し、もって国土の保全に資することを目的とする海岸法が 1956 年に制定された。その目的は海岸の防護だけであるが、海岸保全施設の整備のほか、海岸保全区域における土石の採取などの行為の制限も含まれていた。

1959 年の伊勢湾台風による高潮災害は死者・行方不明者が 5 千人を超える激甚なものであったため、特別措置法のもと高率の国庫負担により伊勢湾高潮対策事業が実施され、統一された基本方針のもと海岸堤防等の整備が進められた。また、1960 年のチリ地震では、北海道から沖縄県までの広範囲に津波が来襲し、死者・行方不明者は 100 人を上回った。特に被害が大きかった三陸沿岸などを対象に、特別措置法のもとチリ地震津波対策事業が実施され、海岸堤防等の整備が進められた。

2. 1. 2 海岸侵食対策

海岸侵食対策の変遷については、諏訪（2010）に詳しく述べられている。これによると、戦後間もない時期には突堤と護岸しか対策がなかったのに対し、1971 年に着工した鳥取県皆生海岸の離岸堤、1986 年に着工した茨城県鹿島海岸のヘッドランド。同年に新潟県新潟海岸の人工リーフなど、施設の多様化が進む一方、1983 年に試験施工された静岡県駿河海岸及び富山県下新川海岸でのサンドバイパスなど不足している土砂を補う対策が進められるようになってきた。沖合消波施設と砂浜、護岸を組み合わせる消波や漂砂制御を図る方法は「面的防護方式」と言われており、海岸保全施設設計便覧〔2000 年版〕によると、その用語は 1981 年に初めて使用される一方、従来からの堤防や護岸などの単一施設を線状に配置したものは「線的防護方式」と称するようになった。

2. 1. 3 海岸保全における環境・利用への配慮

後述するように、海岸法の目的に環境・利用が加わるのは 1999 年の改正であるが、それ以前から環境・利用に配慮した海岸保全が一部でなされていた。事業の例としては、1973 年に創設された海岸環境整備事業による砂浜や利便施設等の整備、1987 年に創設されたコースタル・コミュニティ・ゾーン（CCZ）整備事業による海洋性レクリエーションに関する様々な機能を備えた海浜空間の創出、1992 年に創設されたなぎさリフレッシュ事業による既設消波ブロックの沖合施設への転用と海浜へのアプローチの確保、1996 年に創設されたエコ・コースト事業による生態系や自然環境に配慮した海岸の整備などがある。また、景観を重視した海岸侵食対策の例として、京都府の天橋立において 1986 年に始められたサンドバイパスを挙げることができる。このような実践は 1999 年の法改正の伏線であり、また法改正後も続いている。

2. 2 1999 年法改正後の海岸保全

2. 2. 1 1999 年法改正の内容

海岸法制定後の社会状況の変化として、岸田（2011）は環境意識の高まり、海岸環境の変化（自然海岸や干潟の減少等）、海岸利用の変化（利用間の輻輳等）、地方分権化推進の流れを挙げている。このような変化のもとで、1997 年のナホトカ号油流出事故による海岸の汚損、海浜への車両の乗り入れによる動植物の自生地の破壊など、海岸の

環境や利用に支障がある行為に対する対応が海岸法ではできない状況にあった。このような状況に対し、1999年に改正された海岸法では、「海岸環境の保全と整備」と「公衆の海岸の適正な利用」が法目的に加えられるとともに、海岸保全区域以外の国有の公共用財産である海岸の土地も含めて「公共海岸」として一体的に管理する仕組みに改められ、海岸を空間として管理することになった。このほか、海岸管理者が消波等の海岸を防護する機能を維持するために設けた砂浜を海岸保全施設として指定が可能になったことなども大きな変更点である。これにより、砂浜の安定的な維持が図られ、背後地の住民の安全・安心や国土保全に寄与すると考えられる。また、地形・海象面の類似性及び沿岸漂砂の連続性に着目して区分された全国71の各沿岸について、海岸の保全や海岸保全施設の整備に関する基本的な事項をまとめた海岸保全基本計画を各都道府県が策定することとされた。さらに、法目的に追加された「海岸環境の保全と整備」及び「公衆の海岸の適正な利用」については、油等による海岸の汚損や自動車等の乗り入れ等の行為が規制されるとともに、海岸保全施設の設計において留意・配慮するものとされた。

改正された海岸法において国が定めることとされた海岸保全基本方針では、国民共有の財産として「美しく、安全で、いきいきした海岸」を次世代へ継承していくことが今後の海岸の保全のための基本的な理念とされた。「美しく、安全で、いきいきした海岸」とは、海岸保全基本方針に記載されている「大規模な津波、台風等による高潮等に備え、防災・減災対策により災害に対する安全性が一層向上し、良好な海岸環境の整備と保全が図られ、人々の多様な利用が適正に行われる空間」を指していると思われる。海岸保全基本方針の策定に先立つ委員会では「美しい」は自然環境に近い意味で使われていたが、防護、環境、利用も全て含めて美しい国土など、「美しい」という言葉に含まれているニュアンスがかなり広いので、それを先頭に持つとすると市民に入りやすいメリットもあったと指摘されている（公益社団法人日本河川協会、2019）。

しかし、「海岸の防護」、「海岸環境の保全と整備」、「公衆の海岸の適正な利用」の全てが満足される水準で整備することが不可能な場合も多いことから、これらの調和を目指し、地域を中心とした関係者の合意形成等を通じて、地域の特性をふまえた海岸環境の保全・再生を図るプロセスである「自然共生型海岸づくり」が提案されている（自然共生型海岸づくり研究会、2003）。それに該当する具体例として、千葉県白渚海岸における越波対策（清野ら、2003）などがある。また、2011年の東日本大震災で被災した海岸堤防等の復旧は、景観への具体的な配慮事項等を取りまとめた手引き（国土交通省水管理・国土保全局、2011）等に基づき進められたが、海岸堤防の位置や高さなどについて環境面、利用面からさまざまな議論があった。たとえば、宮城県の大谷海岸では、陸側にセットバックした国道を嵩上げして海岸堤防と兼用することで、砂浜を確保しながら復旧が行われた（横山、2018）。

2. 2. 2 総合的な土砂管理の推進

河川審議会総合土砂管理小委員会の答申（1998年7月）を受け、流域の源頭部から海岸までの一貫した土砂の運動領域を流砂系という概念で捉え、流砂系を一貫して、土砂の生産の抑制、流出の調節、適切な流下土砂量の維持、海岸侵食対策等の必要な対策を講じ、多数の関係者が関わる土砂動態に関する課題解決を図るための「総合的な土砂管理（総合土砂管理）」が進められている（一般財団法人国土技術研究センター、2019）。その中では、流砂系の各領域（山地、ダム、河道、海岸）の最適解の組み合わせではなく、流砂系全体としての土砂環境のバランスや対策コストの最適化が図られることが理想とされている。具体的には、関係機関の連携の下で、流砂系の現状や課題、土砂管理の目標や対策、モニタリング計画などを記した総合土砂管理計画の策定、下流の河道や海岸に配慮したダムからの土砂供給、河道堆積土砂の掘削及び掘削土の養浜材への活用、沿岸漂砂の連続性を確保するサンドバイパスなどが行われている。

2. 2. 3 東日本大震災を受けた津波対策の見直し

東日本大震災における甚大な津波被害を受けて、津波対策は大きく変更された。その詳細は過年度の研修会で諏訪（2016）や富田（2021）が紹介しているが、海岸保全に関する主な事項として、最大クラスの津波を想定した津波浸水想定とそれにもとづく津波防災地域づくり、海岸保全施設の設計津波の設定方法の明確化、海岸堤防等の粘

り強い構造を挙げることができる。津波防災地域づくりは、最大クラスの津波に対してハード・ソフト対策を総動員して「なんとしても人命を守る」という考え方にに基づき、津波浸水想定をふまえ、警戒避難体制を特に整備すべき津波災害警戒区域や、一定の開発行為・建築を制限する津波災害特別警戒区域の指定などを行うものである。また、海岸保全施設については、比較的頻度が高い津波を設計対象にするが、設計津波を超える津波が越流しても粘り強く減災効果を発揮するように構造上の工夫を施すこととされ、2016年に改正された海岸法では、堤防と一体的に整備される減災機能を有する樹林（緑の防潮堤）など粘り強い構造が海岸保全施設に位置づけられた。東日本大震災以降、津波浸水想定の設定や津波ハザードマップの整備、設計津波の見直しや粘り強い構造の導入が、被災地だけでなく全国的に進められた。また、海岸保全以外でも、被災地では海岸線の復旧や防災緑地の整備が進められる一方、静岡県では、設計津波を超える津波による被害の最小化のため、既存の防災林等の嵩上げ・補強等が実施されている。また、津波避難ビルの指定や避難タワーの整備が全国的に進められた。

2. 2. 4 2020年の海岸保全基本方針の変更

海岸保全を気候変動による影響を明示的に考慮した対策へ転換するために、国が定める海岸保全基本方針が2020年に変更された。具体的には、気候変動の影響による外力の長期変化等を十分に把握・勘案して災害に対する適切な防護水準を定めること、気候変動や人為的改変による影響等も考慮し、継続的なモニタリングにより砂浜の変動傾向を把握しながら、将来変化の予測に基づき次の対策を実施する「予測を重視した順応的な砂浜管理」を行うことなどが追記された。気候変動の影響を考慮した防護水準に関しては、2021年に改正された海岸保全施設の技術上の基準に沿って検討が進められ、各沿岸の海岸保全基本計画に反映されることになっている。

3. 海岸保全の現状

本章では、海岸や海岸保全の現状をもとに、海岸保全の課題を整理する。

3. 1 海岸の現状

海岸保全施設の整備、気象予警報や避難情報の整備により、わが国における高潮災害は減少してきた。しかし、東京湾、伊勢湾、大阪湾などの沿岸は大都市圏にゼロメートル地帯を抱えるとともに、高潮が発生しやすい地形条件になっており、高潮浸水の潜在的リスクが高い。2018年の台風21号では大阪湾で過去最高潮位を超える高潮が発生し、兵庫県内などで浸水被害が生じる一方、2019年の台風19号では相模湾等で高波が発生して神奈川県小田原市で越波被害が生じるなど、高潮や高波による被害の危険性は依然として高い。

また、2011年の東日本大震災では、青森県から千葉県までの太平洋沿岸に津波が来襲し、2万人に迫る犠牲者を出した。しかし、東日本大震災は必ずしも最悪の津波災害ではなく、南海トラフの巨大地震や日本海溝・千島海溝周辺の高波型地震による甚大な津波災害が想定されている。

海岸侵食も全国的に問題になっている。渡邊ら(2022)は、沖縄県及び離島以外の全国を対象に地形図から汀線を判読し、汀線後退と汀線前進による砂礫浜の面積変化を足し合わせた1992年～2006年における砂礫浜の面積変化は $+28 \times 10^4 \text{m}^2/\text{年}$ と算定されるものの、1978年～1992年において汀線が前進傾向にあった箇所のうち約53%が後退に転じるなど、砂礫浜の汀線後退が場所を移しながら継続していることを明らかにしている。海岸侵食は、砂浜の消波効果の減少によるうちあげ高の増大に繋がるほか、砂浜性生物の生息場の減少や海水浴場の閉鎖など、海岸環境や海岸利用にも影響する。

砂浜は一見不毛な場所に見えるが、海中、潮間帯、後浜、海岸砂丘など多様な生息場所があり、それらが砂浜特有の生態系を形成している。このため、海岸侵食による砂浜の減少は海岸環境にも影響する。たとえば、壱岐ら(2017)は、2000年代の砂丘植生の面積が1970年と比べて全国で719ha減少したことを明らかにしている。また、環境省のレッドリスト2020において絶滅危惧IB類（近い将来における野生での絶滅の危険性が高いもの）に分類されているアカウミガメの上陸・産卵回数は長期的に減少しており、唯一の産卵地となっているわが国の砂浜の

減少の影響が懸念されている（松沢，2020）。

海岸利用についてはビーチスポーツなど多様化が進む一方、レジャー白書のデータによると、主な利用形態の一つである海水浴の参加人口は2018年において670万人であり、東日本大震災以前の2008年の1/3程度に減少している。その減少割合は観光・行楽部門に記載されているピクニックなどの他の活動と比べて大きい。2020～2021年はコロナ禍により開設を見送った海水浴場が多く、海水浴の参加人口は2018年よりさらに減少していると思われるが、コロナ禍が終わった後に以前の水準まで回復するのか懸念される。

3. 2 海岸保全の現状

海岸統計令和3年度版によると、海岸保全区域の延長はわが国の海岸線延長の約4割に当たる14,283kmであり、その他は海岸管理者が管理する一般公共海岸区域または道路護岸など他目的から管理されているもの及び天然海岸のように管理を要しないものである。海岸保全区域において海岸保全施設によって防御されている海岸が占める割合は約7割である。また、各海岸保全施設の延長は、堤防が約3,000km、護岸が約6,200km、消波工・消波堤が約1,300km、突堤が約400km、離岸堤が約710km、人工リーフが約180kmである。最近20年間においては、堤防、護岸、消波工・消波堤、突堤の延長はほとんど変化していないが、離岸堤の延長が16%、人工リーフの延長が75%増加している。このほか、近年、各地で養浜が盛んに行われるようになっており、最近20年間における全国の年平均養浜量は約600,000m³である。

計画堤防高が確保されている海岸の延長は約6割とされており、施設整備が必要な箇所が依然として存在している。また、海岸保全施設のうち、整備後50年以上経過した施設や整備年度が不明な施設は2015年で約4割であるが、2035年には約7割に達する見込みとされている（農林水産省・国土交通省，2020）。このような状況に対し、海岸管理者は海岸保全施設を良好な状態に保つよう維持・修繕すべきことが2016年の海岸法改正により明確化され、海岸管理者が作成する長寿命化計画に基づき点検や修繕が行われている。

なお、海岸保全施設の設計において対象とするハザードは、伊勢湾台風規模の台風が最悪コースを通った場合に発生する高潮や数十年から百数十年に一度来襲する津波などであり、必ずしも最大のものではない。このため、設計規模を超える高潮や津波が来襲した場合には、堤防等を超えて海水が堤内地に流入し、浸水被害が生じる恐れがある。それに対し、水防法や津波防災地域づくり法にもとづき、最大規模の高潮や津波が悪条件下で発生することを前提とした浸水想定が都道府県により設定され、それにもとづくハザードマップの作成や避難の検討により人的被害の防止が図られている。

3. 3 Coastal Squeeze と Ocean Sprawl

Coastal Squeeze とは、塩性湿地や干潟の減少によるハビタットの喪失などを指す概念であり、Environment Agency(2021)は「人工的な構造物や行動から生じる自然なハビタットの喪失や質の低下であり、他の沿岸プロセスと関連して海面上昇に応じて自然に発生する生息地の陸側への移動を防ぐ」と定義している。この定義には土砂供給を減少させる構造物の影響は含まれないものとされているが、Defoolら(2021)は、レクリエーションや都市化、産業活動による陸側から海側への侵入と、海面上昇と海岸侵食による海側境界線の陸側への移動によるCoastal Squeeze が世界の砂浜が直面している長期的な脅威であると指摘している。そのイメージを図-1に示す。

一方、Ocean Sprawl とは、人口増加やこれに伴う開発により海岸・海洋が人工構造物によって覆われていくこととされ、生態学上の空間的な連続性を損ねていると指摘されている（Bishopら，2017）。

渡邊ら(2022)は、砂礫浜が陸側からも減少することを考慮して、沖縄県や離島を除く全国を対象に、地形図から砂礫浜の汀線及び陸側境界を判読して求めた砂礫浜の面積が1992年から2006年にかけて115×10⁴m²/年の速度で減少し、それに対し陸側境界の前進の影響が大きいことを明らかにしている。砂礫浜の陸側境界の前進は開発行為だけでなく保安林等の整備も影響していると思われるが、わが国においてもCoastal Squeeze や Ocean Sprawl は生じており、気候変動の影響や沿岸の開発の進行により海岸の状況は将来悪化する恐れがある。

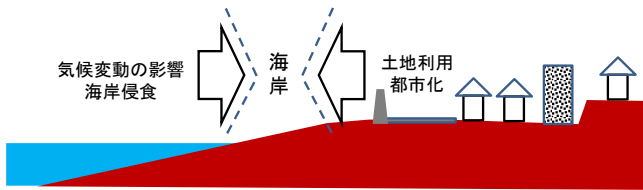


図-1 Coastal Squeeze のイメージ
(Defeol ら(2021)を参考に作成)

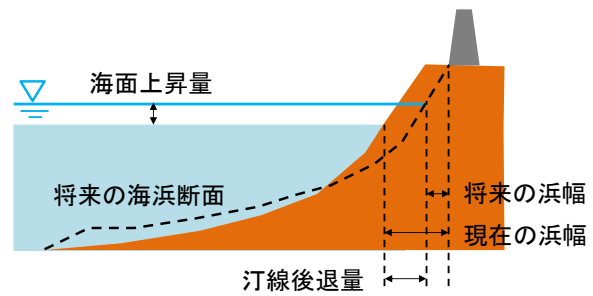


図-2 海面上昇による浜幅の変化

4. 2100 年を見据えた海岸の将来ビジョン

本章では、海岸を取り巻く自然・社会環境の変化、各分野や各国の動向をふまえ、2100 年を見据えた海岸の将来ビジョンを整理する。

4. 1 海岸を取り巻く自然・社会環境の変化

4. 1. 1 気候変動の影響

「日本の気候変動 2020」においては、日本沿岸の年平均海面水位は、21 世紀末には、20 世紀末と比べて、4°C 上昇シナリオ (RCP8.5) の下では 0.71 m (0.46~0.97 m)、2°C 上昇シナリオ (RCP2.6) の下では 0.39 m (0.22~0.55 m) 上昇すると推定されている。また、複数の将来予測の結果、多くのケースで将来の台風が強くなり、東京湾、大阪湾、伊勢湾の高潮が増大するとの事例研究が報告されているとともに、d4PDF を基にした推定では、小規模な高潮の発生数は減少するものの、よりまれで大規模な高潮の発生頻度は増加するとの結果が得られている。さらに、日本付近の海域では平均的な波高が減少するものの、10 年に 1 回の確率で発生する極端な波高は多くの海域で高くなることが予測されている。IPCC の AR6 では、世界平均海面水位の上昇は 21 世紀にとどまらず、数百年から数千年にわたり続くことは避けられないと記載されている。

平均海面水位の上昇や高潮・高波の増大は、越波などによる沿岸部の浸水被害を大きくするとともに、砂浜の侵食を助長する恐れがある。Udo ら(2017)は、将来 (2081-2100 年) における海面上昇による日本の砂浜の消失率は、RCP2.6 シナリオでは 63%、RCP8.5 シナリオでは 83%と予測した。また、Mori ら(2018)は、RCP8.5 シナリオでは海面上昇により日本の砂浜の 1/3 が消失すると予測している。Udo ら(2017)が予測に用いた Bruun 則では海面上昇により水没する以上に汀線が後退するが、仮に汀線後退量に応じて砂浜の陸側境界が陸側に移動できるのであれば海面が上昇しても砂浜の面積は変わらない。しかし、図-2 のように、日本の多くの砂浜は陸側が堤防・護岸により固定されているため、汀線後退は砂浜の減少に直結する。

また、環境省の「気候変動影響評価報告書」では、海水温の上昇に伴い高温性の種への移行が想定され、それに伴い生態系全体に影響が及ぶ可能性があること、白化や海洋酸性化によるサンゴ礁へのストレスは、海面水位の上昇へのサンゴ礁の追従を妨げることに加え、サンゴの死滅による海底面の摩擦効果の減少を引き起こし、これらの複合作用の結果としてサンゴ礁による防波機能に深刻な影響が生じる可能性があること、気候変動に伴うサンゴの生息適域の減少に関する予測を考慮すると、サンゴ礁の生態系サービスが減少あるいは消失する可能性が考えられることなどが指摘されている。

4. 1. 2 人口減少・少子高齢化

「日本の将来推計人口」によると、2015 年に 1 億 2,709 万人であった日本の総人口は 2065 年には 8,808 万人に減少し、参考値ながら 2100 年には 6,000 万人を下回ると予測されている。また、生産年齢 (15~64 歳) 人口は、2015 年の 7,728 万人から 2065 年には 4,529 万人に減少すると予測されている。さらに、「日本の地域別将来推計

人口」によると、2015年に比べて2045年の総人口が4割以上減少する市区町村の割合が高い地域ブロックは、北海道（73.2%）、東北（63.7%）、四国（54.7%）の順であると予測されている。

上記のように、全国的な人口減少だけでなく、人口減少の地域的な偏りが予測されている。このような予測は、海岸づくりを担う人材の不足や公共事業予算への影響が懸念されるとともに、土地利用のあり方を地域毎に考える必要性を示唆するものである。

4. 1. 3 カーボンニュートラル

2020年10月、日本政府は2050年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする、カーボンニュートラルを目指すことを宣言した。その実現に向けて取り組みことが望ましい重点対策として、太陽光発電や省エネ、循環経済への移行や脱炭素型まちづくりなどが挙げられている。

海岸保全においては、コンクリートの使用や構造物の設置、養浜のための土砂輸送などの際に温室効果ガスが排出されるが、これらの抑制がカーボンニュートラルの実現のため要求されるものと予想される。特に養浜の際には土砂輸送にダンプが使用されることが多いが、風力、波力等の再生可能エネルギーを用いた持続的な養浜への移行も今後検討する必要性が生じるものと考えられる。

一方、温室効果ガスの吸収源対策の一つとして、藻場・浅場等の海洋生態系に取り込まれた炭素が「ブルーカーボン」と命名され、新しい選択肢として提示されている。藻場等の形成に資するよう海岸保全施設の構造や材質等を工夫することが考えられる。

4. 1. 4 その他

砂は土木・建築の資材として有用であるが、その世界全体の使用量は人口増加や都市化などにより最近20年間で3倍に増加しており、その不足が懸念されている（United Nations Environment Programme, 2022）。河川や沿岸部での土砂採取規制が行われてきたわが国でも、養浜に必要な土砂の確保に苦勞している海岸が少なくない。

4. 2 各分野の将来ビジョン

4. 2. 1 国土のグランドデザイン 2050

「国土のグランドデザイン 2050」は、急速に進む人口減少や巨大災害の切迫等の国土を巡る大きな状況の変化や危機感を共有しつつ、2050年を見据えた国土づくりの理念や考え方を、国土交通省が2014年に示したものである。その中では、目指すべき国土の姿として、実物空間と知識・情報空間が融合した「対流促進型国土」の形成が示されているほか、大都市圏域においては「効率性を高め、さらにレジリエンス機能を強化した、いわば筋肉質な都市構造」の実現、地方圏域においては「ゆとりある多自然生活圏域」の形成が謳われている。海岸に関する言及は、目指すべき国土の姿においては無いが、目指すべき国土像を実現するための基本戦略の中には、多様な自然や美しい景観を次世代に継承するための国土の適切な管理、災害リスクをふまえた重点的な防災・減災対策の重点化、グリーンインフラの整備や流域全体での総合的な治山治水対策の推進が挙げられている。

4. 2. 2 「国土の長期展望」最終とりまとめ

国土審議会計画推進部会に設けられた国土の長期展望専門委員会は、2021年に「国土の長期展望」をとりまとめた。その中では、2050年を見据えて目指す国土づくりの究極目標は『「真の豊かさ」を実感できる国土』であるとし、「真の豊かさ」を追い求める上での共通の土台として、安全・安心、自由・多様、快適・喜び、対流・共生を挙げている。また、重要と指摘されている具体の取り組みのうち海岸に関わるものとしては、気候変動対策と防災・減災対策を効果的に連携して取り組む「気候変動×防災」を組み込むとともに、土地利用のコントロールを含めた弾力的な対応により気候変動への適応を進める「適応復興」の発想を持って対応していくこと、自然環境のもつ多様な機能を活用し、二酸化炭素の吸収、防災・減災などの複合的な機能を発揮させるグリーンインフラの活用

やECO-DRR（生態系を活用した防災・減災）の推進が挙げられている。

4. 2. 3 次期生物多様性国家戦略研究会報告書

環境省が設置した次期生物多様性国家戦略研究会が2021年にまとめた報告書では、2050年までに達成されるべき自然共生社会のあるべき姿として3つを示している。1つ目は「生存基盤となる多様で健全な生態系が確保された社会」であり、「それぞれの地域の生物多様性や生態系が、人と自然の関係も含めた地域の特性に応じて地域ごとの知恵や技術も活かしつつ保全・再生され、次の世代に受け継がれる社会」とされている。また、生態系の保全と持続可能な利用が進められている地域が国土の半分を占める、流域単位または国土全体で生態系が連続している、地域に特有の四季折々の美しい日本の自然が実感できるなど、より具体的なイメージが示されている。2つ目は「自然の恵みの持続可能な利用がなされる社会」であり、「生物多様性や生態系が有する固有の価値が尊重されつつ、損失や劣化を引き起こさない持続可能な方法により生物多様性や生態系が利用され、多様で健全な生態系から生み出される自然の恵みや、自然との関わりの中で様々な恵みを引き出す知識や技術などの文化が、次の世代に受け継がれる社会」とされている。より具体的なイメージとして、グリーンインフラや生態系を活用した防災・減災など、人間の安全な住まい方、豊かな暮らし方に自然の摂理や恵みを活かす取組が進められている、一人ひとりが自然の豊かさを実感できる暮らし・遊び・働き方ができることなどが示されている。3つ目は「生物多様性の主流化による変革がなされた社会」であり、「生物多様性や生態系が暮らし・社会・経済の基盤であることが認識され、公共部門、民間部門、そして、一人ひとりの行動において、生物多様性と生態系に対する影響が内部化されている社会」とされている。ランドスケープアプローチ（一定の地域や空間において、主に土地・空間計画をベースに、多様な人間活動と自然環境を総合的に取扱い、課題解決を導き出す手法）が重視されていることなどがより具体的なイメージとして示されている。

4. 2. 4 社会と土木の100年ビジョン

2014年に土木学会がとりまとめた「社会と土木の100年ビジョン」は、「1800年代の後半から今日までを振り返り、そして次の100年に向けて、日本、アジア、世界の未来に貢献する土木の姿と、そこで活動する土木技術者のあり方、役割をとりまとめたもの」とされている。その中では、目標とする社会像を「持続可能な社会」とし、その実現に向けた取り組みの方向性として、安全な都市・社会の構築、生物多様性の保全と循環型社会の構築、風格ある都市や地域の再興と発展などが挙げられている。また、長期的に取り組むべき方策のうち、海岸に関する事項として、地球温暖化の適応策については、防護、順応、撤退とこれらの組み合わせによる被害最小化と多面的効果の獲得、影響のタイムスケジュールを考慮した対策の実施等、湿地、干潟、林などのグリーンインフラの導入、防災と景観を一体で考えた総合的な地域戦略の構築などが例示されている。

4. 3 各国の動向

4. 3. 1 オランダ

国土の60%が浸水のリスクがあるオランダでは、1953年の甚大な高潮災害以来、堤防や海岸管理などさまざまな治水対策が取られてきた。しかし、近年における海面上昇や集中豪雨の頻度や強度の増加により、治水の重要性がさらに増している。増大する極端気象に対応するため、2050年までにオランダを増大する極端気象に耐えうるものにする「デルタプログラム」が2012年から始まった。その中では、新しい治水基準が設けられるとともに、空間計画をより気候に耐えうるものにするものとされている。新しい治水基準は浸水リスクに基づくものであり、浸水による死亡確率が1/100,000を超えないようにするものとしている。また、砂丘を含む海岸が高潮からの防護だけでなく経済活動や自然保護、景観など多様な機能を有していることをふまえ、海面上昇等に対応して養浜を強化することなどが謳われている。

また、防護上の課題だけでなく、海岸の魅力や経済開発についても、将来の海岸のために重要と指摘されている

(Delta Programme Coast, 2013). 具体的には、投資不足によるレジャーや観光の場としての魅力の喪失や、自然保護地への自然営力の不足などが指摘されている。そのような防護及び社会的な課題への対策として、海面上昇に応じた防護施設の嵩上げや強化とともに、建築物からの海の景色を維持できるように立て替え時に建築物の高さを変えるなどの順応的なコンセプトが重要とされ、現在より海側あるいは陸側に展開する対策も含めて、海浜リゾートや堤防がある海岸を対象とした複数のコンセプトが例示されている。

このほか、海岸侵食対策については、1990年の海岸の位置を維持すべく、平均で年間1,200万m³の養浜と水深20m以浅での砂採取の規制が行われてきたが、海面上昇やワッデン海や西シェルト湾への流出を考慮した養浜量が検討されている (Lodder and Slinger, 2022)。

4. 3. 2 イギリス

イギリスの Environment Agency が 2020 年に策定した「National Flood and Coastal Erosion Risk Management Strategy for England」では、イングランドを対象とした浸水及び海岸侵食のリスク管理戦略の長期的なビジョンとして、下記3点を挙げている。

- 1) 気候に対して回復力がある場所：パートナーと協力して、現在および気候変動に直面している国全体の浸水と海岸の変化に対するレジリエンスを強化する
- 2) 今日の成長と明日の気候に対して回復力があるインフラストラクチャ：浸水と海岸の変化に対し回復力があるインフラストラクチャとともに、持続可能な成長と環境の改善を確保するための適切な投資と計画の決定を行う
- 3) 浸水と海岸の変化に対応し適応する準備ができていない国：住民が浸水や海岸の変化のリスクを理解できるようにするとともに、彼らの責任ととるべき行動を周知する

上記3点の実現に向けた取り組みが多数示されている。たとえば、1)に関してはテムズバリアの河口部の保全や「Nature based solutions」の活用などが挙げられている。

なお、イギリスでは、非営利組織である National Trust による海岸の保全活動が有名であり、気候変動も考慮した活動が進められている。National Trust は、海岸の歴史的・自然的な美しさを守るため、海岸を自ら買収するとともに、歩道の維持や清掃活動をボランティアによって担っており、その延長は780マイル以上である。ピルキー・クーパー (2020) は、National Trust による自然環境の維持方法を以下のように要約している。

- ・状況にビルを合わせる (海面上昇に対し、電源の上方への移動、水洗可能な素材を用いた床の被覆等)
- ・危機的な状況にあるインフラを移転させる (砂丘の侵食に対し、建物等の陸側への移転等)
- ・海岸の後退を許容する (護岸を設置せず崖の後退を容認)
- ・自然のプロセスを再生し、過去の過ちを繰り返さない (護岸や蛇籠の撤去による浜の再生)
- ・生態系を保存する (浜に打ち上げられた海藻の撤去作業の中止等)

4. 3. 3 米国

米国陸軍工兵隊は、2011年に「Climate Change Adaptation Policy Statement」を発表し、全ての事業において事業期間中の各ステップにおいて気候変動の適応策を考慮することを宣言した。この中では、脆弱性を低減し、水関係のインフラストラクチャのレジリエンスを高めるため、構造物及び非構造物による、実践的で、国内で一貫性があり、費用対効果が高い適応策を開発することとされた。また、その後に発表された技術資料では、プロジェクトによるサービスが長く持続することから、プロジェクトの計画期間は100年にすべきと指摘されている (U. S. Army Corps of Engineers, 2019)。

また、2012年10月に来襲したハリケーン・サンディによる高潮浸水を受け、米国住宅都市開発省は大統領直属の復興タスクフォースを組織し、地域の脆弱性とその課題に対する総合的な解決法に関する復興デザインコンペティション「Rebuild By Design」を実施した (福岡, 2018)。この中では、公園として整備する起伏のある微高地や、限られた高さの防護施設と建物の耐水化との組み合わせにより、高潮による浸水を防ぐことなどが行われている。

このほか、米国陸軍工兵隊は、海面上昇や高潮の増大に対して海岸域が脆弱であることをふまえて、総合的なアプローチにより海岸域のリスクの低減や抵抗力の増大に資する米国陸軍工兵隊の能力について議論した資料を2013年に公表している。この中では、自然や自然をベースとした機能（NNBF: Natural and Nature-Based Features）、ソフト対策（政策、建築基準、土地利用のゾーニング、危機管理、早期警戒、避難計画など）、ハード対策（堤防や防波堤等）などを組み合わせたアプローチによって、海岸域のリスク軽減ができるとされている。NNBFについては、砂丘や砂浜、塩性湿地や干潟、カキ礁やサンゴ礁、バリアアイランド、海岸林などが例示されている。また、パートナーや利害関係者とともこのアプローチを実施することとしている。

4. 4 日本の海岸の将来ビジョン

4. 4. 1 持続可能な海岸

海岸保全基本方針においては、国民共有の財産として「美しく、安全で、いきいきした海岸」を次世代へ継承していくこととしている。また、海岸保全基本方針に沿って都道府県が沿岸毎に作成する海岸保全基本計画においては、海岸保全の方向に関する事項として、沿岸の長期的な在り方を定めるものとされている。

各沿岸の海岸保全基本計画に記載されている海岸保全の基本的な理念は、各沿岸の特徴に応じて異なるものになっている。たとえば、東京都の東京湾沿岸海岸保全基本計画では「首都圏の暮らしと活力をささえる、快適で美しい海岸」の次世代への継承、駿河湾沿岸海岸保全基本計画では「富士山を仰ぐ美しい白砂青松の海岸」の保全、琉球諸島沿岸海岸保全基本計画では良好な自然環境の維持、復元、創出が基本的な理念になっている。

このように沿岸によって異なる「美しく、安全で、いきいきとした海岸」は、気候変動や人口減少などに今後さらされていく中でも将来にわたって維持できるであろうか。持続可能な社会を目指すのであれば、海岸も持続可能な「美しく、安全で、いきいきとした海岸」を目指すべきではないか。まず、その構成要素である「美しい海岸」、「安全な海岸」、「いきいきとした海岸」のそれぞれの理想像を4. 4. 2～4. 4. 4で考える。なお、ここで用いる海岸とは、満潮線から陸側50mまで、干潮線から海側50mまでを原則とする海岸保全区域のような狭い範囲ではなく、物理的、生物学的に海岸と見なすべき範囲を想定している。

4. 4. 2 美しい海岸

美しい海岸は主に海岸環境の観点から考える。次期生物多様性国家戦略研究会が示した「生存基盤となる多様で健全な生態系が確保された社会」のイメージのように、海岸に多様な生息場が存在し、海岸の生態系が健全な形で確保され、それが他の生態系と連続していることが求められる。そのためには、海岸での開発行為や防災対策、公衆の利用によって生息場が損なわれず、また人工構造物によって生物の移動が妨げられないことが理想的である。また、希少生物の保全は言うまでもないが、多様な生息場は砂浜、岩礁、干潟などの地形によって特徴付けられるので、その地形が長期的に維持されていることも必要である。4. 1. 1で述べたように、海面上昇による砂浜の減少は砂浜の陸側が堤防・護岸により固定されていることをふまえると、砂浜の維持には堤防等のセットバックや撤去が理想的である。さらに、サンゴ礁、砂浜、砂丘、海岸林など、海岸生態系の基盤であるとともに防護上の効果も期待できるグリーンインフラなどが健全に存在している姿は、良好な景観の形成にも資する（図-3）。

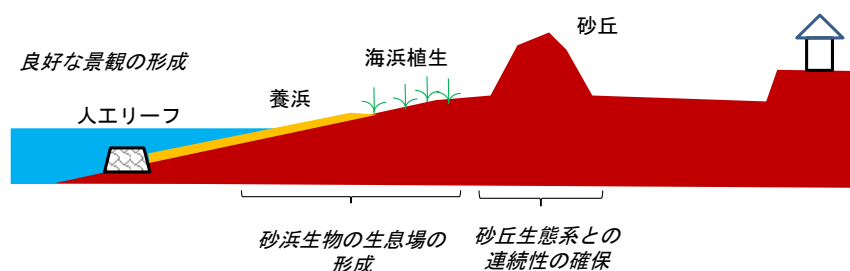


図-3 美しい海岸のイメージ

4. 4. 3 安全な海岸

安全は海岸そのものではなく海岸背後地の人命及び資産が対象であるので、「安全な海岸」ではなく「安全な海岸背後地」が目標となる。「安全な海岸背後地」は海岸保全施設だけで実現するものではなく、背後地での対策も組み合わせた面的かつ総合的な対策にすることにより、より高い防護水準と対策の信頼性が確保される。このため、将来の海面上昇や台風の強大化に対して海岸堤防の嵩上げだけで対応するのではなく、図-4のように、沖合消波施設や砂浜等により波を弱め、海岸堤防や砂丘により背後地の浸水を防ぐなど、背後地を守る緩衝帯としての十分な機能を確保した上で、高台移転等により安全な居住地を確保するとともに、浸水した場合でも海岸林などで氾濫流を減勢し、避難施設や避難路で避難を容易にできるとよい。特に人口や資産が集中した背後地では、発生頻度が極めて低い外力に対しても被害を出さないよう、防護水準や対策の信頼性を高めることが理想的である。このほか、高潮や高波、津波が生起した際には、災害発生の恐れや避難の必要性が住民に適切なタイミングで伝達されるとともに、海岸やその背後地の状況がリアルタイムで把握・共有されることなども必要である。

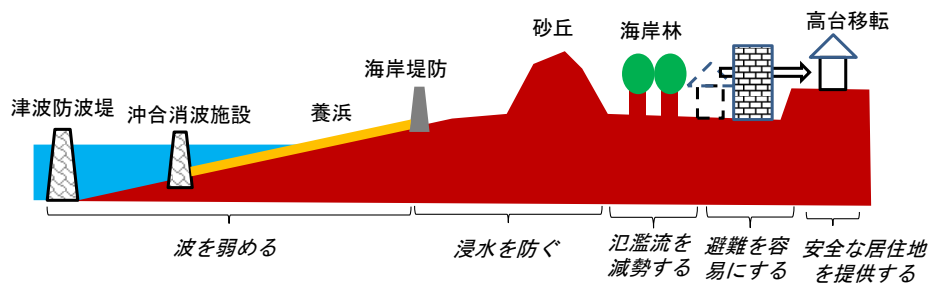


図-4 安全な海岸のイメージ

4. 4. 4 いきいきとした海岸

いきいきとした海岸は主に海岸利用の観点から考える。海水浴を始めとするマリッジや海岸での散歩は、自然の豊かさを実感・学習できる貴重な機会の一つである。そのような機会を得るには、図-5のように、誰もが海岸へ容易にアクセスでき、トイレや休憩施設があり、マリッジに必要な場が確保され、それぞれのマリッジが行えるように利用の場が調整されていることが求められる。また、海岸は地域の伝統的行事やイベントの場にもなっており、そのような地域の文化や交流が続けられる空間を維持することも必要である。このほか、海岸利用を通じて背後地の経済活動が活発になることは、地域の持続性の向上に繋がる。海岸へのアクセスや多様な利用の場を確保する上では、4. 4. 2で述べた美しい海岸と同様に、堤防等のセットバックや撤去が理想的である。

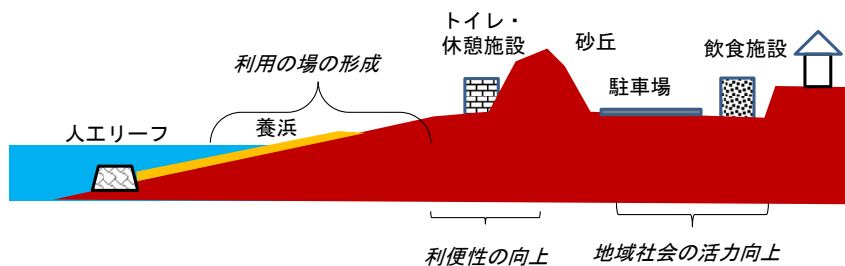


図-5 いきいきとした海岸のイメージ

4. 4. 5 トレードオフ

4. 4. 2～4. 4. 4で述べた「美しい海岸」、「安全な海岸背後地」、「いきいきとした海岸」の理想像は、同一の箇所で同時に成立するとは限らない。図-6のように、「安全な海岸背後地」を「海岸」での防護手段により実現しようとする、「美しい海岸」における砂浜生物の生息場の形成や砂丘生態系の連続性の確保、「いきいきとし

た海岸」における利用の場の形成や利便性の向上が実現しない恐れがある。逆に、「美しい海岸」や「いきいきとした海岸」を優先すると、海岸堤防等の設置ができず、「安全な海岸背後地」が実現しない恐れがある。さらに、「いきいきとした海岸」での利用を優先すると「美しい海岸」における生息場等に影響する一方、「美しい海岸」での生息場の保護により「いきいきとした海岸」での利用が制限される恐れもある。このようなトレードオフの関係をふまえてどのように海岸の将来ビジョンを設定するかが大きな課題となる。

気候変動の影響は越波の増大等として現れ、「安全な海岸背後地」の実現を難しくするとともに、砂浜の水没・侵食、海岸での対策ニーズの増大により「美しい海岸」、「いきいきとした海岸」の実現を難しくする。一方、人口減少は、「安全な海岸背後地」とすべき箇所の減少やその実現手段（海岸堤防等のセットバック等）の増加や、海岸利用の頻度低下に繋がり、「美しい海岸」、「いきいきとした海岸」の実現に資する可能性もある。ただし、人口減少は事業に必要な担い手や予算の減少を招き、「安全な海岸背後地」だけでなく「美しい海岸」、「いきいきとした海岸」の実現を難しくする恐れもある。

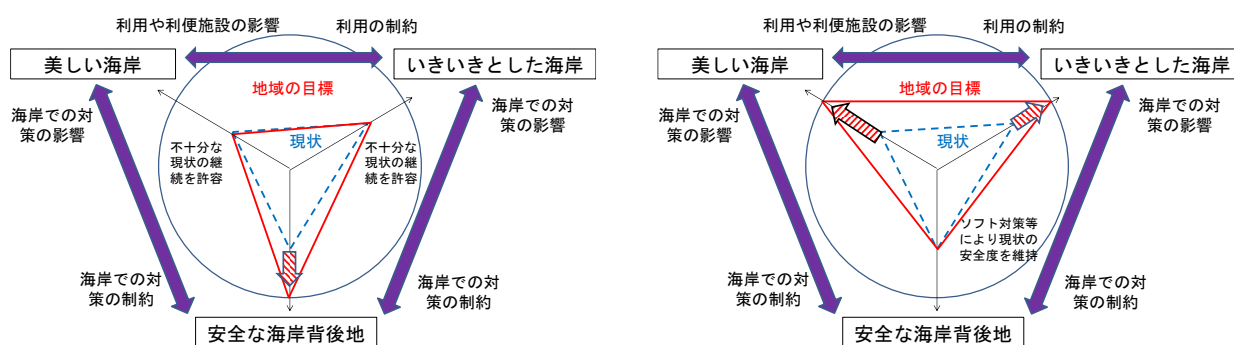


図-6 実現方策のトレードオフをふまえた方針

(左：安全な海岸背後地を重視，右：美しい海岸といきいきとした海岸を重視)

4. 4. 6 将来ビジョンの実現方策

4. 4. 5で述べたトレードオフをふまえ、「安全な海岸背後地」と「美しい海岸」、「いきいきとした海岸」をどのように実現すればよいのであろうか。その有効な方針の一つは、海岸管理者が必要に応じて海岸及びその背後地の状況をふまえてエリア分け（ゾーニング）を行い、海岸での対策と海岸背後地での対策を効果的に組み合わせることである。図-7及び表-1はそのイメージであるが、海岸及びその背後地の防護、環境、利用の各面の目標に応じてエリアを設定することが考えられる。

大都市圏においては、低平な背後地に膨大な人口・資産を有し、高潮による甚大な被害が予想される海岸では、海岸での対策と背後地での対策を組み合わせる現在の安全度を確保する「高度防護エリア」、背後地に人口・資産を多く有し、高潮による被害が予想される海岸では、海岸での対策により現在の安全度を確保する「海岸防護エリア」、背後地の人口・資産が比較的少ない海岸では、堤防等のセットバックにより海辺を確保しつつ、まちづくりとの連携や危機管理を重視して背後地を防護する「利用調和エリア」や「環境調和エリア」が考えられる。海岸の環境や利用については、「高度防護エリア」や「海岸防護エリア」では可能な範囲で配慮し、「利用調和エリア」や「環境調和エリア」ではそれぞれで重視する事項と可能な範囲で配慮する事項に分けて対応する。

一方、地方都市においては、大都市圏と同様の「海岸防護エリア」のほか、海岸での対策と背後地での対策（海岸林、緑地等）を組み合わせる背後地を防護する「新面的防護エリア」、背後地の人口・資産が極めて少ない海岸では、堤防等のセットバックや縮小等により環境面や利用面の機能の最大化を図る「利用重点エリア」や「環境重点エリア」が考えられる。

このような対象海岸やその背後地の状況に応じた対策は持続性が高いものであり、持続可能な「美しく、安全で、いきいきとした海岸」の実現に繋がるものと考えられる。

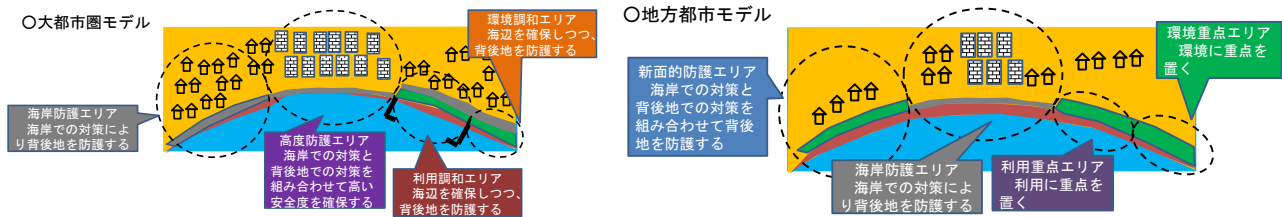


図-7 エリア分けのイメージ (左：大都市圏モデル, 右：地方都市モデル)

表-1 各エリアのイメージ

エリア	海岸背後地の防護	海岸の環境	海岸の利用
高度防護エリア	海岸での対策(堤防、消波施設等)と背後地での対策(微高地、ゲート等)を組み合わせ高い安全度を確保	可能な範囲で配慮(養浜、突堤等)	
海岸防護エリア(従来の方法)	海岸での対策により背後地を防護する(堤防、消波施設等)	可能な範囲で配慮(養浜、突堤等)	
新面的防護エリア	海岸での対策(堤防等)と背後地での対策(海岸林、緑地等)を組み合わせ背後地を防護する	海岸での対策を小規模にすることにより配慮(養浜等)	
利用調和エリア	海辺を確保しつつ、背後地を防護する(セットバックした堤防等) ※まちづくりとの連携や危機管理を重視	可能な範囲で配慮(養浜、突堤等)	利用に影響しないように海岸での対策を実施
環境調和エリア		環境に影響しないように海岸での対策を実施(養浜等)	可能な範囲で配慮(養浜等)
利用重点エリア	縮小または現状維持(セットバックした堤防等またはなし) ※まちづくりとの連携を重視	可能な範囲で配慮	利用機能の最大化を図る
環境重点エリア		環境機能の最大化を図る	可能な範囲で配慮

5. 将来ビジョンの実現に必要な技術政策課題

本章では、将来ビジョンの実現に必要な技術政策課題を整理する。

5. 1 技術政策課題の全体像

前章で示した将来ビジョンの実現に必要な技術政策課題について、図-8のように整理を試みた。まず、将来ビジョンである海岸のあるべき姿の検討が大きな課題である。また、海岸のあるべき姿を実現する上での課題としては、ハードによる防護とその維持管理、事業評価、環境・利用、まちづくりとの連携、危機管理、人材育成などが考えられ、それらは相互に関連している。

各課題を検討する上では、それに欠かせないコアとなるデータや技術の蓄積や向上が重要である。海岸工学が取り扱うさまざまなデータや技術はこの範疇に含まれると考えられる。コアデータの中で、防護に関わる地形や波浪等に関するデータは比較的多く取得されているが、海辺の生物に関するデータは比較的限られた箇所でのみ取得されていない。たとえば、主に砂浜を対象とした「海辺の生物国勢調査」は直轄海岸事業が行われている海岸でのみ実施されており、より広範囲での継続的な調査が望まれる。また、コア技術は調査・観測から計算、実験まで多岐にわたるが、技術政策課題の解決に活用できるよう、精度や解像度、効率性などの向上が望まれる。

5. 2 海岸のあるべき姿

海岸のあるべき姿の検討には、気候変動の影響を考慮した海面水位や高潮、波浪等の外力の将来変化とともに、人為的影響も考慮して砂浜の将来変化を明らかにする必要がある。一方、人口や社会のニーズ、観光など、海岸に関わる社会の将来変化の予測も重要である。このような外力、砂浜、社会の将来変化を一定の信頼性を持って予測するための技術開発が必要である。また、外力や社会等の将来変化のほか、4. 4. 5で述べたトレードオフをふまえ、海岸のあるべき姿の指標となる防護・環境・利用の目標を設定するとともに、その実現のため4. 4. 6で述べたようなエリア分けを検討する必要がある。

防護の目標にはハード対策の計画規模が含まれるが、その設定においては背後地での対策との分担を考慮する必要がある。具体的には、津波に対する海岸堤防の高さに焦点をおいた「津波に対する海岸保全施設整備計画のための技術ガイドライン」のように、土地利用や避難との関係性の中でハード対策の最適な規模を検討することが考えられる。環境の目標を定量的に設定することは難しいが、4. 4. 2で述べたとおり、生物多様性の保全のため、海岸らしい場とその連続性の確保に着目することが考えられる。利用の目標に関しては、海水浴客数などについては定量的な設定が可能ではあるが、景観については「白砂青松」や「〇年頃の風景」など定性的なものになると考えられる。特に利用や景観は価値観によるところが大きいことから、予測が難しい将来の価値観をどのように想定するのが大きな課題である。なお、砂浜は消波機能を有するとともに、生物の生息場や利用の場になることから、その幅や形状は、防護の目標としても、環境、利用の目標としても考えられる。

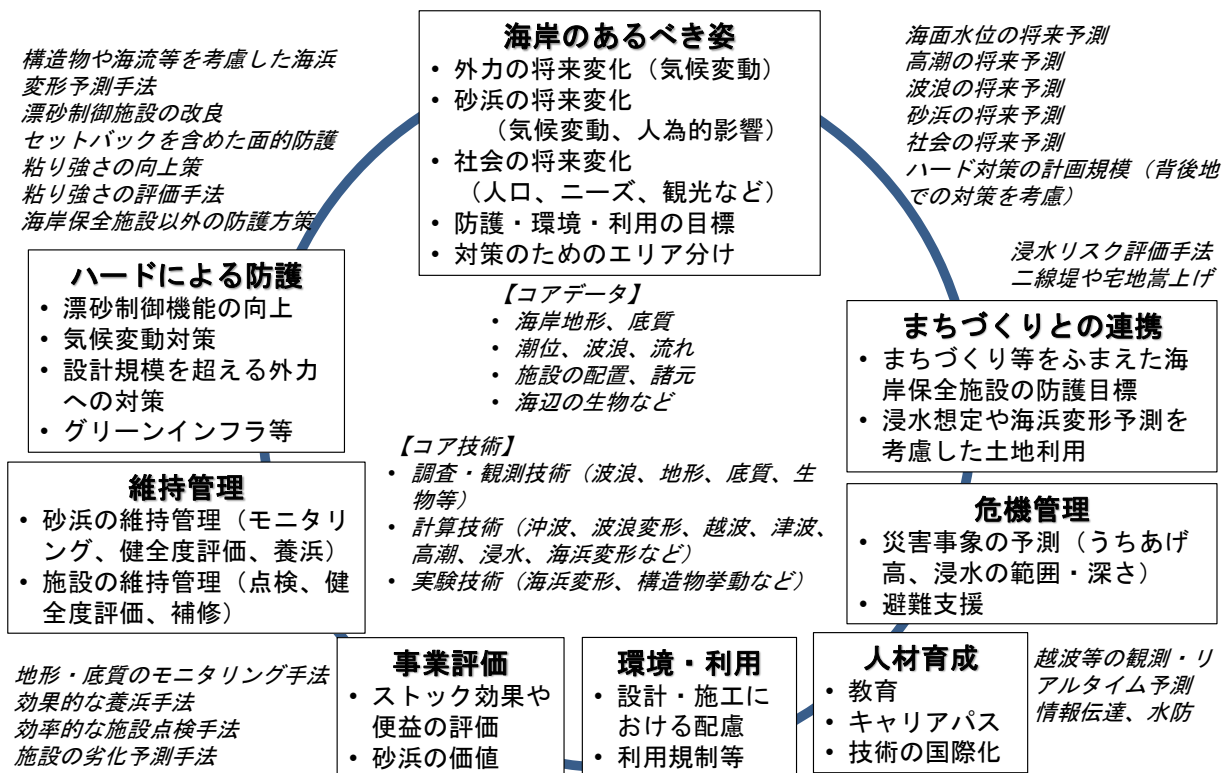


図-8 技術政策課題

5. 3 ハードによる防護

海岸におけるハードによる防護は、堤防等や消波施設による高潮・津波対策と漂砂制御施設等による海岸侵食対策に大別されるが、両者とも気候変動の影響を考慮する必要がある。高潮・津波対策に関しては、海面水位の上昇や高潮・波浪の変化に対応する必要があるが、堤防等のかさ上げだけでなく、消波施設や養浜を組み合わせた面的な防護を検討する必要がある。面的防護はこれまで堤防等より海側で考えられてきたが、堤防等の法線を陸側に移動させるセットバックを含めた検討が必要と思われる。海岸侵食対策に関しても外力の変化への対応が必要であり、突堤等の漂砂制御施設の嵩上げ、養浜量の再検討のほか、海面上昇による砂浜の水没・侵食に対しては堤防等のセットバックを検討する必要がある。また、設計規模を超える外力への対策も減災を図る上で重要であり、超過外力に対する堤防等の粘り強さの評価・向上が必要である。さらに、対象海岸やその背後地の状況に応じて、海岸堤防のようなグレーインフラと砂浜・砂丘や海岸林などのようなグリーンインフラ、Eco-DRR, Nature-based Solutionsなどをそれぞれの信頼性を考慮して組み合わせることも考えられる。グリーンインフラ等は環境面や利用面の効果も期待できるが、対象箇所での適用性や維持管理の容易性、防護機能を確実に発揮できる信頼性などを明らかにした上で、それらの特性をふまえて導入を検討していく必要がある。

5. 4 維持管理

ハードによる防護は適切な維持管理によって効果を十分に発揮できる。土木構造物の維持管理の重要性が指摘され始めてから久しいが、海岸保全施設についても「海岸保全施設維持管理マニュアル」に沿って、長寿命化計画に基づく維持管理が行われている。その中では、効率的な施設点検手法や施設の劣化予測手法の確立が課題となっているが、施設の現況が常時的に把握され、その劣化も気候変動の影響を考慮しつつ精度良く予測されることで、施設の修繕や更新をより戦略的に実施できるようになると考えられる。また、消波や根固め等の効果を有する砂浜については、そのモニタリングを通じて施設としての健全度を評価し、養浜等により維持していく必要があるとともに、海中も含めた地形・底質のモニタリング手法や効果的な養浜手法が現在課題となっている。それらを含む「予測を重視した順応的砂浜管理」は現在から将来に向けた取り組みであるが、海岸のあるべき姿から逆算して養浜等の実施計画を検討する必要もあると考えられる。砂浜以外のグリーンインフラ、Eco-DRR、Nature-based Solutions などについても、防護施設としての信頼性や環境面及び利用面の効果を将来にわたって確保できるように、維持管理を計画的に進める必要があり、そのための技術開発も必要となる。

5. 5 事業評価

事業評価は海岸保全の費用対効果を測るものであるが、整備した海岸保全施設の防護上の効果だけでなく、海岸保全施設によって確保されている砂浜の存在等による環境・利用上の効果も適切に評価すべきである。海岸事業の費用便益分析指針においては、海岸環境保全便益として海岸景観の保全・改善便益、生物生育の場の保全・創出便益、海水浄化機能の保全・創出便益が、利用便益としてレクリエーション等の利用の維持・向上便益、アメニティ向上・存続便益、漁業等利用便益、公有地造成護岸等整備事業による土地創出便益が挙げられている。また、海岸環境保全便益についてはCVM（仮想市場法）により、利用便益についてはCVMとTCM（旅行費用法）により算定することとされている。環境・利用上の効果は砂浜の価値に換算されるものであり、海面水位の上昇等によって各地の砂浜が減少することが予想されている将来においてはその価値は現在より大きくなると考えられる。将来の価値を予測するのは非常に難しいと思われるが、海岸のあるべき姿の実現に向けた対策の費用対効果を評価する上ではそれらの評価手法の検討も必要となってくる。

5. 6 環境・利用

海岸の環境・利用は、海岸のあるべき姿を構成する代表的な要素であり、それらの目標を実現するための対策を検討する必要がある。これまで、各海岸の特性や、繁殖場、生育場、生息場などの機能を把握し、それらに基づいて注目すべき種や群集を選定し、海岸づくりの各段階において生物に配慮することが重要とされているが（自然共生型海岸づくり研究会編、2003）、そのようなアプローチを目標に向かって戦略的に進めることが求められる。具体的には、4. 4. 6で述べたエリア分けをふまえて、生息場等となる空間を確保し、また生態系サービスのような機能が維持されるよう、海岸保全施設的设计・施工や利用規制等を実施する必要がある。その実現には、砂浜生態系に関する知見の蓄積、砂浜生物への海岸保全施設の影響を予測する手法や配慮策の効果を予測する手法の開発などが課題となる。また、温室効果ガスの削減や吸収などに資する対策や工法も検討していく必要がある。

なお、島谷（2017）は、防災施策の実施により環境が向上し、また環境施策の実施により防護機能が向上し、それらによって地域のレジリエンスが高まるような総合的な施策が河川管理において望まれると指摘している。本章では防護と環境・利用を分けて議論してきたが、海岸管理においても統合的な施策の検討が必要である。

5. 7 まちづくりとの連携

増大する外力に曝される沿岸部に将来も居住するためには、海岸保全施設の整備だけでなく、まちづくりの変化も必要になると考えられる。たとえば、将来の外力に対応した高潮浸水想定や海浜変形予測を行い、その結果を周

知することで、リスクが低いところでの土地利用を誘導するとともに、そのような土地利用を前提に海岸保全施設の防護目標を設定することが考えられる。その実現には、外力の生起確率も考慮した浸水リスクの評価手法、二線堤や宅地嵩上げなどの堤内地対策の検討手法などが課題となる。

5. 8 危機管理

海岸保全施設の防護目標を上回る外力は必ず生起することから、それによる災害事象を精度良く予測・把握し、その結果を用いて人的被害を軽減する必要がある。台風接近時等の潮位や波浪の予測技術は日々進歩しているが、将来は施設の破壊なども考慮して浸水の範囲や深さが予測できると、早期の安全な避難に非常に役立つ。また、台風接近時のような強風や高波が押し寄せる中では、海岸での越波や施設破壊の状況をリアルタイムで把握するのは現時点では難しいが、今後の情報通信技術の進歩により海岸の状況が常に把握できると、被害の拡大防止や逃げ遅れの防止に資する。津波のように突然に生じる事象でも、自分達がいる場所が安全なのかがわかり、安全ではない場合にはどこにどのように避難すればよいのかがわかるような予測及びその伝達ができると、人的被害の軽減に繋がる。このほか、高齢者の割合が高い社会では、円滑な避難を支援する技術の重要性も高い。

5. 9 人材育成

海岸のあるべき姿や技術政策課題の検討、また検討結果の社会実装を担う人材の育成が必要である。これらの検討は多岐にわたることから、研究分野の細分化が進んでいる中で、異なる分野間で意思疎通が図れるような人材がますます求められるようになると思われる。このような人材を育成する教育やキャリアパスを検討していく必要がある。また、経済発展により沿岸域の利用が進むと海岸侵食が問題となることは各国で生じていることであり、日本の経験が他国において参考になることもある。逆に、本稿でも紹介した他国の取り組みが日本での対策検討にも役立つ。海岸保全自体は地域性を有するものではあるが、それを支える技術を他国からも取り入れ、また培った技術を他国でも使えるようにすることがますます重要になると思われる。

6. おわりに

理想を掲げなければ理想に近づくことすらできないという信念の下、海岸の将来ビジョンやそれを実現するための技術政策課題を論じてきたが、検討対象が多分野にわたるため、著者の知識では網羅できなかった。また、現在の制度や課題から少し離れて議論するという点も、十分にできていたか自信はない。それらのことは、異なる知識や価値観を有する者が集まって海岸の将来ビジョンなどを継続的に議論する必要性を示しているとも考えられる。持続可能な「美しく、安全で、いきいきとした海岸」のような将来ビジョンを具体的に議論し共有できれば、残りの約 80 年をその実現に向けた技術政策課題の検討に有意義に使えると考えられる。将来ビジョンに向けたバックキャスト型の議論を引き続き行っていく上で、産官学が集う開かれた場として、また技術政策課題の解決に必要な研究開発の場として、学会の役割は大きいと考える。

謝辞：海岸技術政策研究会及び第 68 回海岸工学講演会の企画セッションでの議論は海岸のあるべき姿や技術政策課題を考える上でたいへん有益で、本稿の随所に反映させていただいた。海岸技術政策研究会では、高知工科大学の佐藤慎司教授、京都大学の森信人教授、東京大学の田島芳満教授、東北大学の有働恵子教授から、従来の海岸保全の発想を飛び越えて検討するよう促されながら、貴重なご意見をいただくとともに、国土交通省水管理・国土保全局海岸室及び一般財団法人国土技術研究センターの関係各位からもさまざまなご助言をいただいた。また、第 68 回海岸工学講演会の企画セッションでは、熊本県立大学の島谷幸宏教授、水産大学の須田有輔教授、国土交通省水管理・国土保全局海岸室の奥田晃久室長から貴重な話題提供をいただくとともに、パネルディスカッションでは佐藤慎司教授及び森信人教授からも貴重なご意見をいただいた。ここに記して謝意を申し上げます。

参考文献

- Bishop, M. J., Mariana Mayer-Pinto, Laura Airoidi, Louise B. Firth, Rebecca L. Morris, Lynette H.L. Loke, Stephen J. Hawkins, Larissa A. Naylor, Ross A. Coleman, Su Yin Chee, and Katherine A. Dafforn: Effects of ocean sprawl on ecological connectivity: impacts and solutions, *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, Volume 492, pp. 7-30, 2017.
- Bridges, T. S., J. K. King, J. D. Simm, M. W. Beck, G. Collins, Q. Lodder, and R. K. Mohan, eds.: *International Guidelines on Natural and Nature-Based Features for Flood Risk Management*, Vicksburg, MS, U.S. Army Engineer Research and Development Center, 2021.
- Defeo1, O., A. McLachlan, D. Armitage, M. Elliott and J. Pittman: Sandy beach social–ecological systems at risk: regime shifts, collapses, and governance challenges, *Frontiers in Ecology and the Environment*, pp.1-10, 2021. doi:10.1002/fee.2406.
- Delta Programme Coast: *National Coastal Strategy -Compass for the Coast*, 151p., 2013.
- Environment Agency: *National Flood and Coastal Erosion Risk Management Strategy for England*, 117p., 2020.
- Environment Agency: *What is Coastal Squeeze*, 237p., 2021.
- Lodder, Q. and J. Slinger: The ‘Research for Policy’ cycle in Dutch coastal flood risk management: The Coastal Genesis 2 research programme, *Ocean & Coastal Management*, Volume 219, 15, 2022.
- Mori, N., S. Nakajo, S. Iwamura and Y. Shibutani: Projection of decrease in Japanese beaches due to climate change using a geographic database, *Coastal Engineering Journal*, 60:2, 239-246, DOI: 10.1080/21664250.2018.1488513, 2018.
- Udo, K. and Y. Takeda: Projections of Future Beach Loss in Japan Due to Sea-Level Rise and Uncertainties in Projected Beach Loss, *Coastal Engineering Journal*, 59:2, 1740006-1-1740006-16, DOI: 10.1142/S057856341740006X, 2017.
- United Nations Environment Programme: *Sand and Sustainability: 10 strategic recommendations to avert a crisis*, 73p., 2022.
- U. S. Army Corps of Engineers: *USACE Climate Change Adaptation Policy Statement*, 2011.
- U. S. Army Corps of Engineers: *Procedures to Evaluate Sea Level Change: Impacts, Responses, and Adaptation*, EP1100-2-1, p.3, 2019.
- 岐崎信二, 廣澤 一, 赤羽俊亮, 磯田真紀, 村田真司, 松永義徳, 塚本吉雄: わが国の海岸における汀線及び後背地の変化とその要因, *土木学会論文集 B3*, 73 巻, 2 号, pp.I_492-I_497, 2017.
- 一般財団法人国土技術研究センター: 海岸技術政策研究会, https://www.jice.or.jp/reports/autonomy/rivers/kaigan_gijutsu (2022 年 6 月 22 日閲覧)
- 一般財団法人国土技術研究センター: *総合土砂管理計画策定の手引き第 1.0 版*, 82p., 2019.
- 海岸保全施設技術研究会編: *海岸保全施設の技術上の基準・同解説*, 2018.
- 環境省: *気候変動影響評価報告書 (詳細)*, 466p., 2020.
- 岸田弘之: 海岸管理の変遷から捉えた新しい海岸制度の実践と方向性, *国土技術政策総合研究所資料*, No.619, 304p., 2011.
- 公益社団法人土木学会: *社会と土木の 100 年ビジョン*, 200p., 2014.
- 公益社団法人土木学会海岸工学委員会: 第 68 回海岸工学講演会企画セッション 2 海岸の将来ビジョンとその実現に向けた取り組み, <https://coastal.jp/wp-content/uploads/2021/12/KikakuSession20211111.pdf> (2022 年 6 月 22 日閲覧)
- 公益社団法人日本河川協会: 座談会「平成 11 年度海岸法改正から 20 年を迎えて」, *河川*, No.877, pp.7-19, 2019.
- 公益財団法人日本生産性本部編: *レジャー白書 2019*, p.70, 2019.
- 合田良實: *海岸工学【その誕生と発展】*, 技報堂出版, 200p., 2012.
- 国土審議会計画推進部会国土の長期展望専門委員会: 「国土の長期展望」最終とりまとめ, 19p., 2021.
- 国土交通省: *国土のグランドデザイン 2050*, 42p., 2014.
- 国土交通省水管理・国土保全局: *河川・海岸構造物の復旧における景観配慮の手引き*, 35p., 2011.
- 国土交通省水管理・国土保全局海岸室編: *海岸統計令和 3 年度版*, 185p., 2021.

国立社会保障・人口問題研究所：日本の将来推計人口（平成 29 年推計），https://www.ipss.go.jp/pp-zenkoku/j/zenkoku2017/pp29_gaiyou.pdf.（2022 年 6 月 22 日閲覧）

次期生物多様性国家戦略研究会：次期生物多様性国家戦略研究会報告書，2021.

静岡県河川砂防局：静岡モデルの推進，<https://www.pref.shizuoka.jp/kensetsu/ke-320/measures/shizuokamodel.html>.（2022 年 6 月 22 日閲覧）

自然共生型海岸づくり研究会編：自然共生型海岸づくりの進め方，社団法人全国海岸協会，73p.，2003.

島谷幸宏：環境防災統合論 多自然川づくりから Eco-DRR へ，河川技術論文集，23 巻，pp.633-638，2017.

首藤伸夫：高潮・津波対策の変遷，2016 年度（第 52 回）水工学に関する夏期研修会講義集 B コース，pp.B-5-1～20，2016.

須田有輔編著：砂浜海岸の自然と保全，生物研究社，268p.，2017.

諏訪義雄：法改正後 10 年の新技術開発－海岸保全技術発展のこれまでと今後の方向－，雑誌海岸，Vol.49，pp.41-51，2010.

諏訪義雄：津波防災地域づくりと津波浸水想定の設定，2016 年度（第 52 回）水工学に関する夏期研修会講義集 B コース，pp.B-2-1～25，2016.

清野聡子，宇多高明，芹沢真澄，峰島清八，高橋和彦，星上幸良：住民との合意形成に基づく海岸整備計画検討の実践，海洋開発論文集，第 19 巻，pp.95-100，2003.

中長期的な展望に立った海岸保全検討会：中長期的な展望に立った海岸保全検討会取りまとめ，20p.，2008.

津波防災地域づくりと砂浜保全のあり方に関する懇談会：砂浜保全に関する中間とりまとめ，9p.，2019.

土木学会海岸工学委員会海岸施設設計便覧小委員会編：海岸施設設計便覧 [2000 年版]，pp.333-335，2000.

土木学会海岸工学委員会地球環境問題研究小委員会編：地球温暖化の沿岸影響，215p.，1994.

土木学会減災アセスメント小委員会：津波に対する海岸保全施設整備計画のための技術ガイドライン，159p.，2021.

富田孝史：津波，高潮・高波に対する防災・減災のこれまでとこれから，2021 年度（第 56 回）水工学に関する夏期研修会講義集 B コース，pp.B-7-1～20，2021.

農林水産省農村振興局，農林水産省水産庁，国土交通省河川局，国土交通省港湾局：海岸事業の費用便益分析指針（改訂版）（令和 2 年 4 月一部更新），105p.，2020.

農林水産省農村振興局長，水産庁長官，国土交通省水管理・国土保全局長，港湾局長：「海岸保全施設の技術上の基準について」の一部改正について，2015.

農林水産省農村振興局防災課，農林水産省水産庁漁港漁場整備部防災漁村課，国土交通省水管理・国土保全局河川環境課，国土交通省水管理・国土保全局海岸室，国土交通省港湾局海岸・防災課：高潮浸水想定区域図作成の手引き Ver2.10，83p.，2021.

農林水産省農村振興局防災課，農林水産省水産庁防災漁村課，国土交通省水管理・国土保全局海岸室，国土交通省港湾局海岸・防災課：海岸保全施設維持管理マニュアル，120p.，2020.

オーリン・H・ピルキー，J・アンドリュー・G・クーパー（須田有輔訳）：海岸と人間の歴史，築地書館，2020.

福岡孝則：米国ハリケーン・サンディ後の復興デザインを俯瞰する，河川，No.865，pp.51-57，2018.

松沢慶将：ウミガメに対する気候変動の影響と適切な海岸管理，河川，No.888，pp.63-66，2020.

横山勝英：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～，2018 年度（第 54 回）水工学に関する夏期研修会講義集 B コース，pp.B-7-1～18，2018.

渡邊国広・加藤史訓・諏訪義雄・山田浩次：地形図の判読による全国の砂礫浜における汀線変化の把握，土木学会論文集 B2(海岸工学)，Vol.78，No.2，2022.（投稿中）