

見 解

活動的縁辺域における持続可能な洋上風力発電
開発に向けて
— 海底地質リスク評価の重要性 —



令和5年（2023年）9月22日

日 本 学 術 会 議

総合工学委員会

エネルギーと科学技術に関する分科会

この見解は、日本学術会議総合工学委員会エネルギーと科学技術に関する分科会持続可能な開発目標達成のための洋上風力発電開発検討小委員会の審議に基づき、総合工学委員会エネルギーと科学技術に関する分科会において取りまとめ公表するものである。

日本学術会議総合工学委員会エネルギーと科学技術に関する分科会

委員長	疇地 宏	(連携会員)	大阪大学名誉教授
副委員長	山地 憲治	(連携会員)	公益財団法人地球環境産業技術研究機構理事長
幹 事	岩城智香子	(連携会員)	東芝エネルギーシステムズ株式会社エネルギーシステム技術開発センターシニアフェロー
幹 事	齋藤 公児	(連携会員)	日鉄総研株式会社シニアフェロー
	高田 保之	(第三部会員)	九州大学カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所特任教授・名誉教授、エディンバラ大学名誉教授
	朝倉 薫	(連携会員)	日本電信電話株式会社研究企画部門担当部長
	伊藤 公孝	(連携会員)	中部大学特任教授
	犬竹 正明	(連携会員)	東北大学名誉教授
	大久保泰邦	(連携会員)	地熱技術開発株式会社探査部研究主幹
	大野 恵美	(連携会員)	Managing director, IHI POWER SYSTEM MALAYSIA SDN BHD
	兒玉 了祐	(連携会員)	大阪大学レーザー科学研究所長
	近藤 駿介	(連携会員)	原子力発電環境整備機構理事長
	笹尾真実子	(連携会員)	東北大学大学院名誉教授、同志社大学研究開発推進機構嘱託研究員
	鈴置 保雄	(連携会員)	愛知工業大学工学部電気学科電気工学専攻教授、名古屋大学名誉教授
	藤田 修	(連携会員)	北海道大学大学院工学研究院教授
	三間 圀興	(連携会員)	日本原子力研究開発機構敦賀総合研究センター客員研究員、大阪大学招聘教授・名誉教授
	宮崎久美子	(連携会員)	立命館アジア太平洋大学国際経営学部特別招聘教授、東京工業大学名誉教授
	矢川 元基	(連携会員)	公益財団法人原子力安全研究協会会長、東京大学名誉教授、東洋大学名誉教授
	和田 元	(連携会員)	同志社大学理工学部教授

藤岡 恵子	(連携会員(特任))	株式会社ファンクショナル・フルイッド代表取締役社長
-------	------------	---------------------------

持続可能な開発目標達成のための洋上風力発電開発検討小委員会

委員長	大久保泰邦	(連携会員)	地熱技術開発株式会社探査部研究主幹
副委員長	松島 潤		東京大学大学院新領域創成科学研究科環境システム学専攻教授
幹 事	川村喜一郎		山口大学大学院創成科学研究科研究教授
幹 事	佐藤 智之		国立研究開発法人産業技術総合研究所地質調査総合センター地質情報研究部門地球変動史研究グループ主任研究員
	犬竹 正明	(連携会員)	東北大学名誉教授
	岩城智香子	(連携会員)	東芝エネルギーシステムズ株式会社エネルギーシステム技術開発センターシニアフェロー
	岩下 智也		一般財団法人日本海事協会事業開発本部環境・再生可能エネルギー部主管
	笠 宏文		石油資源開発株式会社電力事業本部副本部長
	木戸ゆかり		国立研究開発法人海洋研究開発機構研究プラットフォーム運用開発部門運用部研究航海マネジメントグループ技術主任
	小澤 岳史		株式会社地球科学総合研究所 営業部長
	三枝 俊介		国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー部風力・海洋グループ主査
	佐々 真志		国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所港湾空港技術研究所地盤研究領域動土質研究グループグループ長
	土谷 学		一般社団法人日本風力発電協会理事
	野村 英雄		基礎地盤コンサルタンツ株式会社執行役員
	横田 弘		一般財団法人沿岸技術研究センター参与

本見解の作成にあたり、以下の方々に御協力いただいた。

佐々木 淳	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構広報部長
池田 尚史	山口大学大学院創成科学研究科
後藤 和久	東京大学大学院理学系研究科教授

竹内 彩乃 東邦大学理学部生命圏環境科学科講師
山崎 浩之 基礎地盤コンサルタンツ株式会社理事技師長

本見解の作成にあたり、以下の職員が事務を担当した。

事務	佐々木 亨	参事官（審議第二担当）
	柳原 情子	参事官（審議第二担当）付参事官補佐
	影山 祥子	参事官（審議第二担当）付審議専門職付
	岡本 摩耶	学術調査員

要 旨

1 作成の背景

洋上風力発電は欧州を中心に世界で開発が進められている。世界全体の導入量は、2008年に1.5GWであったが、2021年末には57.2GWに達しており、この間に56GW近く増加し38倍以上となった。

日本において洋上風力発電は、海に囲まれた立地とあいまって大きな期待がかけられ、洋上風力発電の導入拡大を目的とした海洋再生可能エネルギー発電設備の整備に係る海域の利用の促進に関する法律の施行や、カーボンニュートラルを目指す政府宣言などの後押しを受け、その開発はますます活発になっている。政府による導入目標としては、2030年までに10GW、2040年までに30GW-45GWの案件を形成すること、産業界による目標設定として、国内調達比率を2040年までに60%とすること、着床式発電コストを2030-2035年までに8-9円/kWhにすることとしている。また、案件形成の加速化として政府主導のプッシュ型案件形成スキーム（日本版セントラル方式）を導入することやインフラの計画的整備等が盛り込まれている。

2 現状及び問題点

洋上風力発電事業の官民推進が謳われる一方で、開発には日本固有のリスクが存在する。海底地形の様相は、欧州のような大陸縁である非活動的縁辺域と、日本などの島弧・陸弧といった活動的縁辺域とで大きく異なる。

欧州において洋上風力発電が進んでいる場所は主に北海の水深200m以浅の地域で、約57万km²である。英国の場合、着床式が海岸線から数km-100km沖の水深50m以浅の地域で稼働中であり、さらに海岸線から数km-150km沖の水深50m以浅の地域で開発中である。着床式に加えて、海岸線から20km-200km沖の水深200m以浅の地域では、浮体式の開発も予定されている。これらの地域は、遠浅で波浪が比較的穏やかで、海底地盤の変動は少ない。洋上の構造物に対する高潮、高波の影響が課題となるが、海底地盤の変動については考慮の必要性はほとんどない。

一方、日本周辺の海域で洋上風力発電開発対象となる水深200m以浅の地域は、ほとんどが海岸線から50km以内の海岸沿いである。水深50m以浅の地域となると海岸線から10km以内となる。さらに、日本は気象海象条件が厳しく、地震大国であり、高潮、高波に加え、地震・津波、台風による外力が強く、海岸に近い狭小な浅海底への影響が大きい。そのため海底域で地質・地盤災害が生じる可能性が高い。このような「海底地質リスク」は、地震・高波による液状化や海底地すべりなど多岐にわたり、台風時の暴風波浪による液状化は、洗掘（構造物周りの土砂の流出）とも密接に関わっていることが分かっている。

このように、地震、津波、台風は欧州に少ない自然現象である。外力が構造物へ直接及ぼす影響はリスクとして検討が進められているが、外力と海底地盤と構造物の全体系、特に地盤及び基礎との相互作用については十分検討が進んでいない。地盤は構造物を支える土台なので、地盤が不安定になると洋上風力発電施設自体が運用できなくなるため、海底地質リスクは現在見過ごされている緊急かつ重大なリスクである。

欧州においては、洋上風力発電事業におけるリスクはガイドラインなどとしてまとめられている。しかし、構造物に与える波浪の影響評価などには適用できるが、日本固有の地質災害の影響評価には適用できない。

したがって、日本においては風車の基礎構造や電力ケーブル設置に対する海底地質リスクを適切に把握し、評価、管理することが喫緊の課題である。

リスク評価するためには調査が必要だが、既存データを活用することで費用と時間を節約できる。主に公的機関で収集・管理された既存の海底地質データが公開されており、利活用できる状態ではあるが、十分な利活用が進んでいない。これは、現在の高性能の機器でリスク評価を目的として取得されたわけではないという点と、産学官連携の不十分さによっている。また、現在及び今後の洋上風力発電開発のために取得された新規データの公開が進んでいない問題もある。

3 見解の内容

本見解は、海底地質リスクの専門家の立場から、洋上風力発電を推進する政府機関（経済産業省、国土交通省、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構、独立行政法人エネルギー・金属鉱物資源機構、一般財団法人日本海事協会）、事業者、自治体、研究機関、大学、関係する学協会に対し、開発のリスク軽減のために海底地質リスクを考慮したガイドラインの整備、既存・新規データの共有と利活用、現場の実情・ニーズや災害事例の共有を促進する人材育成、それらを加速する産学官連携の意義を述べる。

(1) 海底地質リスクを認識した開発

日本周辺の海域で着床式と浮体式の洋上風力発電開発対象となる水深 200m 以浅の地域は、ほとんどが海岸線から 50km 以内の海岸沿いである。この海域は高潮、高波に加え、地震・津波、台風の外力が強く、海岸に近い狭小な浅海底への影響が大きい。日本の海岸線付近には日本固有の地質・地盤災害（ジオハザード）が生じる可能性すなわち海底地質リスクがあるが、それを認識して開発を進める必要がある。

(2) 海底地質リスクの体系的ガイドライン整備

地震大国かつ気象海象条件も厳しい活動的縁辺域に位置する日本沿岸域において、洋上風力発電の持続可能な開発を安全・安心に実現するには、日本固有の海底地質リスクを抽出し評価することが必須である。しかし、このような海底地質リスクの評価予測・設計・対策に関するガイドラインは未だ整備されていない。そこで、洋上風力発電施設の今後の本格導入と安定運用に向けて、海底地質リスクに関して体系的に整理されたガイドラインを専門家も含めた産学官連携によって緊急に整備する必要がある。

(3) 既存の海底地質データの利活用及び人材育成と産学官連携の必要性

洋上風力発電開発のための海底地質リスク評価に役立つ既存の探査データ・地図類が公的機関を中心に整備されてきた。産学官連携によるその利用促進と拡充は、効率的な調査計画立案や調査の補完、技術開発や人材育成の活性化に有用である。そのために、海底地質データ等のオープンアクセスの促進とオープンな討議の場の構築と発展が望まれる。さらにその人材育成を国際展開することで日本の地位向上が期待できる。

目 次

1	はじめに.....	1
2	海底地質リスクとその評価手法.....	4
	(1) 洋上風力発電施設と海底地質リスクの関係.....	4
	(2) 津波による地質リスク.....	6
	① 海域における津波挙動と沿岸構造物への影響.....	6
	② 「過去発生した最大津波」をどのように設定するか.....	6
	(3) 地震と高波による地質リスク.....	7
	① 地震による沿岸・海底地盤の液状化と海底地すべり.....	7
	② 高波による沿岸・海底地盤の液状化と海底地すべり.....	9
	③ 洋上風力発電基礎の安定性・地質リスク.....	11
	(4) 海底地質リスクの評価ガイドラインに向けて.....	12
	① 海底地質リスクを評価する効果.....	12
	② 海底地質リスク評価の特有の問題と解決法.....	13
3	地質リスク評価のためのオープンデータと事例共有による産学官連携.....	14
4	人材育成.....	17
	(1) 海底地質リスク評価のための人材育成の必要性.....	17
	(2) 産学官連携の必要性.....	17
	(3) 人材育成のあり方.....	18
	① 現場データの公開とオープンな討議ができる環境の創造.....	18
	② 国際展開.....	19
5	まとめ.....	20
	<用語の説明>.....	22
	<参考文献>.....	25
	<参考資料1> 審議経過.....	30
	<参考資料2> 公開シンポジウム「活動域縁辺域における洋上風力開発に向けて」	31
	<参考資料3> 月刊地球「洋上風力発電と海底地質リスク」(海洋出版)の出版..	41

1 はじめに

洋上風力発電は欧州を中心に世界で開発が進められている[1-1]。世界全体の導入量は、2008年に1.5GWであったが、2021年末には57.2GWに達しており、この間に56GW近く増加し38倍以上となった。2021年末の時点では、欧州12、アジア5、北米1の世界18ヶ国で導入されている。設備容量は中国が最大で27.7GW、続いて英国が12.5GW、ドイツが約7.7GW、オランダが3.0GW、デンマークが2.3GWとなっている。

日本において洋上風力発電は、海に囲まれた立地とあいまって大きな期待がかけられ、洋上風力発電の導入拡大を目的とした海洋再生可能エネルギー発電設備の整備に係る海域の利用の促進に関する法律（再エネ海域利用法）の施行や、カーボンニュートラルを目指す政府宣言などの後押しを受け、その開発はますます活発になっている[1-2]。経済産業省と国土交通省は、促進区域の指定の基準や手続についての運用方針も示した[1-3]。「長崎県五島市沖」、「秋田県能代市、三種町及び男鹿市沖」、「秋田県由利本荘市沖（北側・南側）」、「千葉県銚子市沖」の4海域は既に開発事業者の選定が行われた。その後、「秋田県八峰町及び能代市沖」、「長崎県西海市江島沖」、「新潟県村上市及び胎内市沖」、そして「秋田県男鹿市、潟上市及び秋田市沖」の4海域で公募が開始されたことに加えて、「有望区域」やさらにその前段階である「一定の準備段階に進んでいる区域」として計16海域が公表されるなど、日本全国の沿岸域で洋上風力発電設備の開発準備が進んでいる[1-4]。

政府による導入目標としては、2030年までに1,000万kW、2040年までに3,000万kW-4,500万kWの案件を形成すること、産業界による目標設定として、発電所の建設から撤去に至る間の風車構成機器購入や建設等にかかる費用の国内調達比率を2040年までに60%とすること、着床式発電コストを2030-2035年までに8-9円/kWhにすることとしている。また、案件形成の加速化として政府主導のプッシュ型案件形成スキーム（日本版セントラル方式）を導入することやインフラの計画的整備等が盛り込まれている[1-5]。

しかし一方で、開発には日本固有の課題が存在する。海底地形は、欧州のような大陸縁である非活動的縁辺域と、日本などの島弧・陸弧といった活動的縁辺域とで様相が大きく異なる。

欧州において洋上風力発電が進んでいる場所は主に北海の水深200m以浅の地域で、約57万km²である（図1右の白いエリア）。英国の場合、着床式が海岸線から数km-100km沖の水深50m以浅の地域で稼働中であり、さらに海岸線から数km-150km沖の水深50m以浅の地域で開発中である。一般に、着床式は水深50-60mまでの海域に適用される。また、着床式に加えて、海岸線から20km-200km沖の水深200m以浅の地域では、浮体式の開発も予定されている[1-6, 1-7]。これらの地域は、遠浅で波浪が比較的穏やかで、海底地盤の変動は少ない。洋上の構造物に対する高潮、高波の影響が課題となるが、海底地盤の変動については考慮の必要性はほとんどない。

一方、日本周辺の海域で洋上風力発電開発対象となる水深200m以浅の地域（図1左の白いエリア）は、ほとんどが海岸線から50km以内の海岸沿いである。水深50m以浅の地域となると海岸線から10km以内となる。

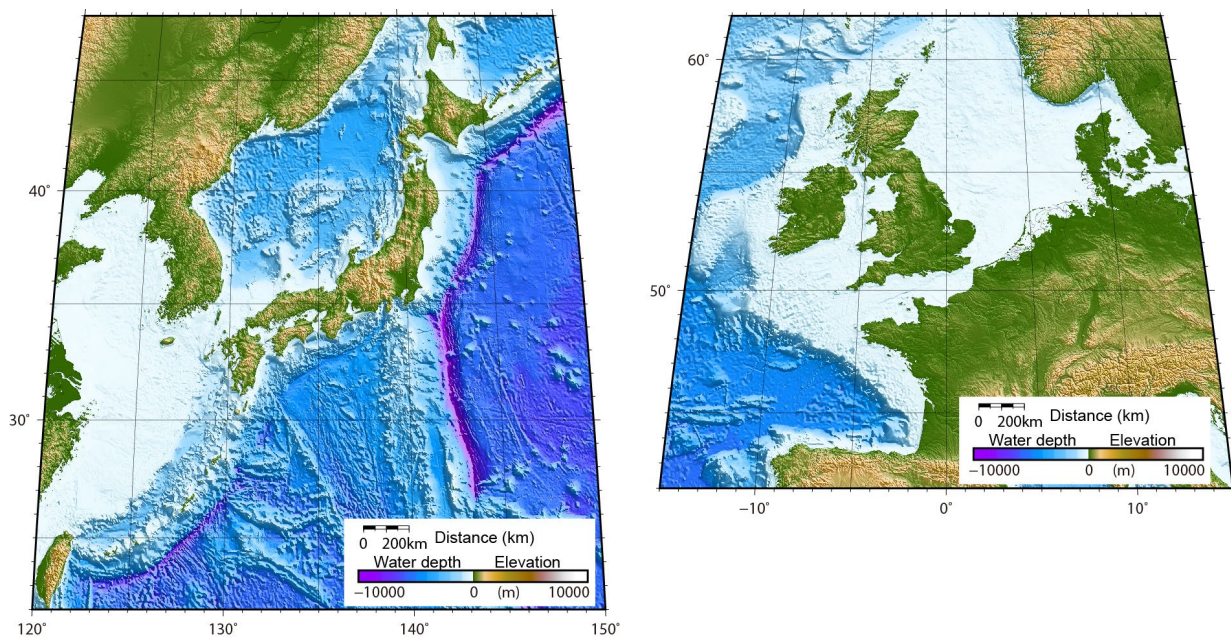


図 1 日本列島周辺と北海の海底地形
(出典) [1-8]

さらに、日本は気象海象条件が厳しく、地震大国であり、高潮、高波に加え、地震・津波、台風の外力が強く、海岸に近い狭小な浅海底への影響が大きい。そのため、海底域で地質・地盤災害が生じる可能性が高い。このような海底地質リスクは、地震・高波による液状化や海底地すべりなど多岐にわたり、台風時の暴風波浪による液状化は、洗掘とも密接に関わっていることが分かっている。

地震、津波、台風は欧州に少ない自然現象であり、外力が構造物へ直接及ぼす影響はリスクとして検討が進められている[1-9]。しかし、外力と海底地盤と構造物の全体系、特に、地盤および基礎との相互作用については十分検討が進んでいない。地盤は構造物を支える土台なので、地盤が不安定になると洋上風力発電施設自体が運用できなくなるため、海底域の地質・地盤災害としての海底ジオハザードは現在見過ごされている緊急かつ重大なリスクである。

このため、日本においては風車の基礎構造や電力ケーブル設置に対する海底地質リスクを適切に把握し、評価、管理することが必要となる。洋上風力発電事業におけるリスクは欧州においてはガイドラインなどによりまとめられており、波浪が構造物に与える影響評価などが反映されているが、日本固有の地質・地盤災害が構造物に与える影響評価に適応できるまでには至っていない。

海底地質リスクに関する現在までの調査結果については、産業技術総合研究所がとりまとめて公開している「海洋地質図」がある。これは、産業技術総合研究所が実施した航海によって得られた音波探査や音響探査の結果から海底地形や海底地質を判読したものであり、断層、海底地すべり、水中土石流堆積物、セディメントウェーブ等について広域的にとりまとめている。「海洋地質図」は、洋上風力発電開発において参考になるが、広域的な調査結果であるので、局所的な開発を行う際には改めて詳細な調査を行う必要がある。このため、洋上風力発電開発における海底地質リスクの影響は十分に認識されているとは言

えない。しかし、机上調査～概略調査～詳細調査の各段階で海底地質リスクを考慮した調査は行われていない。また、前述したように、日本特有の海底地質リスクを計画的に調査・評価する方法を示すガイドライン・マニュアルも存在せず、その研究と人材育成も進んでいない。したがって、海底地質リスクの啓蒙、ガイドラインの整備、研究の推進と人材育成が調査を進める上での喫緊の課題である。

本見解では、日本固有の課題解決のため、海底地質リスクの事例を挙げ、その評価のためのガイドラインのあり方について述べ、さらに人材育成のあり方について述べる。

2 海底地質リスクとその評価手法

(1) 洋上風力発電施設と海底地質リスクの関係

洋上風力発電はその基礎やアンカー、電力ケーブルを海底地盤に設置するが、海底地盤には様々なジオハザードが存在し、それらは発電事業における地質リスクとなる（図2-1）。

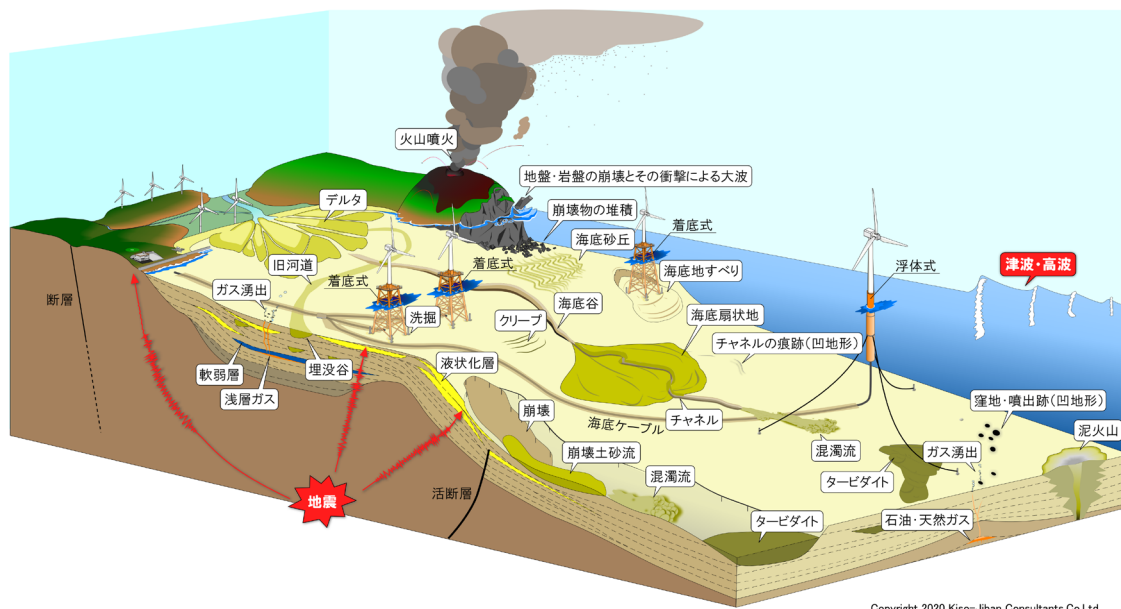


図2-1 洋上風力発電施設と海底ジオハザードの関係

（出典）[2-1]より持続可能な開発目標達成のための洋上風力発電開発検討小委員会で作成

地質リスクには、海底砂丘の移動による地形変動が含まれ、これにより風車基礎の洗掘（構造物周りの土砂の流出）、土被り長（埋設深さ）変化、海底ケーブル露出などの様々な問題を引き起こす。また、台風等に伴い砂や泥などの堆積物が海水と混ざって海底谷に沿って高速で移動し平坦面で再堆積する混濁流や、地震や液状化をトリガーとして海底の広範囲にわたって変動する海底地すべりは、着床式洋上風力発電における風車タワーの倒壊、アンカーとチェーンなどの浮体式洋上風力発電における係留システムの変状、発電した電気を陸上に送電する電力ケーブルの破断等を引き起こす。さらに、海底面下数十mの範囲に存在する浅層ガスは、海底地盤の掘削や基礎杭の設置に伴って海中にガス噴出する恐れがあり、メタンなどの可燃性ガスの場合には、爆発や火災などの事故を引き起こす。また、ガス噴出量が多ければ、工事用の船舶が浮力を失う沈没事故につながる。これ以外にも、活断層や泥火山（泥土の海底への噴出）など様々な地質リスクがあるが、これらが陸上のそれと異なる点は、その規模が非常に大きいことにある。例えば、陸上における土石流と対比して説明されることの多い混濁流の流下距離は、大きなものでは数十～数千 km に及ぶ。また、海底地すべりにおいては、日本沿岸域では10km² までの大きさのものが殆どであるとされており、陸上における地すべりに比較して10-100 倍以上の規模を持つものが珍しくない。海底地質リスクは、陸上のリスクに比べて対策工事を行うことが容易ではないが、その理由は、その規模の大きさと海底工

事の難しさにある。そのため、洋上風力発電設備を設置するためには風車配置の工夫等によって地質リスクを避けることが必要となる。また、地質リスクの種類や大きさによっては開発をあきらめざるを得ないようなケースもある。洋上風力発電の盛んな海外では、地質リスクへの取組も進んでおり、例えば、ノルウェーの DNV GL の Recommended Practice である RP-C212 や英国の Society for Underwater Technology による洋上風力発電開発に対する調査の手引き、米国内務省の Ocean Energy Management 局による洋上風力発電の建設・操業計画に関するガイドラインなどでは、調査・検討すべき地質リスクの種類が示されている[2-1]。

このように、海底地質リスクは開発計画そのものに大きな影響を与えるため、事業の初期段階において地質リスクを抽出し、地震大国であり、かつ気象海象条件も厳しい活動的縁辺域に位置する日本の海底地盤に特有の地質リスクを評価する必要がある。

開発対象となる現在の陸棚の堆積システムを見ると、海岸線から、前浜、外浜があり、その沖に比較的平坦な陸棚があり、さらに沖で比較的急勾配な陸棚斜面へと繋がる。陸棚は、地質学的時間スケールでは地球規模の海水準変動によって何度も陸化し、現在、同様の海成堆積物だけではなく、海水準低下期の陸成堆積物も積み重なって形成されている。

陸棚の海底地盤における海底地質リスクは、例えば、以下のものがある。

- 1) 津波、暴風波浪、洪水による突発的かつ大規模な海底侵食と土砂の移動
- 2) 潮流や海流による継続的な海底侵食と土砂の移動
- 3) 浅層域のガスや流体による海底地盤の不安定性
- 4) 海底泥火山の突発的な噴火による堆積作用
- 5) 風浪や地震などの振動による海底地盤の液化化
- 6) 海底活断層による地盤破壊
- 7) 海底地すべりと突発的な津波
- 8) 沿岸の崩壊や暴風による突発的な混濁流

欧州においては、堆積物の安定性が主な海底地質リスクとして捉えられているのに対して、日本では、上記のように多様な地質リスクがあり、また、浅層域ガスや海底活断層、海底地すべりなど、広範囲に影響を及ぼすために狭い陸棚において、避けられない可能性も出てくる。このような日本型ともいえるべき海底地質リスクに対して、詳細に検討する必要がある。

陸棚よりも沖合底を開発する場合、そこには海底堆積物の擾乱を引き起こす様々な地質現象が報告されており、浮体式洋上風力発電の係留装置や海底に設置された様々な機器に障害をもたらすことが懸念され、その評価も必要となる。将来的な開発が検討されている排他的経済水域（EEZ）の大部分はこのような沖合に位置する。

また、陸棚は陸域に近いことから、火山噴火による降灰や火砕流、山体崩壊による土砂流入と津波、河川からの洪水流も想定される。

以下では、代表的な海底地質リスクとして、地震、津波、高波による地質リスクを取り上げ、その評価手法とともに記す。

(2) 津波による地質リスク

① 海域における津波挙動と沿岸構造物への影響

津波は、地震や海底地すべり、海底火山噴火等の海域で発生する自然現象に伴う物理的な海洋擾乱により発生する。一般に、水深が 50m を超えるような深い海域を伝播する津波は、海底摩擦の影響が十分に小さく長波近似できる。水深が浅くなるにつれ浅水変形を起こして波高が増し、やがて、水深の 0.83 倍程度の波高になると砕波して段波状の流れに変化する[2-2]。砕波前後に津波のエネルギーは大きくなり、洋上や沿岸の構造物に対して大きな流体力が作用することになる。一方、砕波前の津波は波動として取り扱うことができ、規模にもよるが洋上の物体に与える影響も限定的だと考えられる。洋上風力発電は、浮体式は 60m 以深に適用されるのに対し、それより浅いと着床式の方がコストは低いとされている[2-3]。つまり、両者では考慮すべき外力特性が異なり、特に、着床式においては、段波による津波流体力の影響を評価することが重要となる[2-4]。

津波が沿岸構造物に及ぼす影響として、次に海底の侵食に伴う局所洗掘が考えられる[2-5, 2-6]。洗掘は、一般的には水深が浅い地域や、港湾部のうち流れの集中する狭窄部等で発生する。洋上風力発電施設の周りでは、波と流れによって常時洗掘が発生しうるものの、洗掘防止工を設置すれば、洗掘の影響を大幅に低減させることが可能である[2-5]。一方、津波の場合は洗掘される箇所は波浪の場合と大きく変わらないが、洗掘深は波浪に比べて非常に大きくなる[2-7]。

海底面への津波の影響は事例が少なく実態は良くわかっていないものの、津波土砂移動モデルは実用的なレベルにまで高度化されつつあり[2-8]、洋上風力発電の設置にあたり、侵食量の推算を行うことができる。ただし、港湾等の形状が結果に影響する可能性があり、沿岸部においては湾の形状や海底地形を再現する詳細な地形データを用いた計算が必要となる。なお、巨大地震の発生に伴い、海底地盤の液状化[2-9]が発生し、海底堆積物が流動しやすくなる可能性も考慮が必要である。また、洋上風力発電施設に設置される洗掘防止工の大きさや形状によっても洗掘挙動が大きく変化するため[2-6]、津波による洗掘の評価にあたってはこれらも考慮する必要がある。

② 「過去発生した最大津波」をどのように設定するか

歴史記録が充実している我が国では、南海トラフ沿いなど地域によっては 1300 年ほど前まで記録を遡ることができ、発生年と影響地点を知ることができる。なお、津波の歴史記録については、東北大学の「津波痕跡データベース」(<https://irides.tohoku.ac.jp/publication/database/tsunami-db.html>)で良く整理されている。一方、津波により運搬された土砂（津波堆積物）が地層中に痕跡として残されていることがあり、放射性炭素年代測定等の誤差（過去数千年間を対象とす

る場合は、一般に数百年程度)の範囲で、発生時期と影響地点を推定できる[2-10]。さらに、同一地域内で形成された複数層の津波堆積物の年代を推定することで、その地域における津波の再来間隔を推定することもできる。津波堆積物は、2011年東北地方太平洋沖地震による津波や、869年貞観地震による津波に代表されるような歴史津波の報告も数多くあるが、歴史記録が得られない地域や時代においても津波情報を得ることができ、特に、先史時代の情報は極めて貴重な津波痕跡となる。なお、歴史記録や津波堆積物に基づき過去に発生した津波の規模を評価する際には、当時の地形や海岸線を正しく推定することも重要である。特に、海岸線の位置の推定を精度良く行わないと津波の浸水距離を誤認し、津波の過大(過小)評価につながる点については十分留意が必要である[2-11]。

我が国では、既に多くの地点で津波堆積物の調査が行われており、それらの痕跡情報は、産業技術総合研究所の「津波堆積物データベース」(https://gbank.gsj.jp/tsunami_deposit_db/)や東北大学の「津波痕跡データベース」(前出)にまとめられている。また、地質記録に基づく我が国の古津波履歴に関する最新知見は、2017年の地質学雑誌や2021年のEarth-Science Reviews誌の特集号に多数の総説論文としてまとめられている。

国土交通省海事局[2-3]では、「設置海域周辺において過去発生した最大津波」の想定を求めており、したがって、実際に発生した過去の津波のうち最大のものを想定する必要がある。この場合、観測記録、歴史記録、地質記録から分かる過去最大の津波を設定することになる。

過去に発生した津波については、地震調査研究推進本部で知見の整理と評価、公表が行われており、「過去発生した最大津波」の設定にあたり、波源モデルを含め提示されている情報を参考にするのが良いと考えられる。ただし、常に最新の情報が反映されているわけではなく、評価は継続して見直されており、評価の出版年以降の、最新の知見も踏まえて、施設の対津波性能を定期的に再評価する必要がある。

(3) 地震と高波による地質リスク

① 地震による沿岸・海底地盤の液状化と海底地すべり

地震・波浪による海底地すべりの発生から、高濃度重力流並びに再堆積に至る一連の過程は、流動中の相変化を伴う水と土の2相系の物理によって支配される[2-12, 2-13, 2-14](図2-2)。

このような海底液状化土砂流動のダイナミクスは、洋上風力発電施設などの沿岸・海洋構造物並びに、津波発生に甚大な影響をもたらす[2-15, 2-16, 2-17, 2-18]。その近年の代表例として、2018年インドネシア・スラウェシ地震津波災害の事例を、図2-3に示す。広範囲の液状化による沿岸国土の崩落と流動が、湾内の複数の地点で同時多発的に津波をもたらしたものである。実際、同図中の複数の津波発生場所(7、8、9)と規模の分布及び方位が、液状化によって沿岸の土地が崩落・流動した場所・規模の分布・方位と一致している。海底液状化流動が、各種の洋上風力発電基礎に及ぼすイン

パクト・影響評価の重要性に関する概念図を図 2-4 に示す。同図より、各種の洋上風力発電施設への海底液状化流動の衝突とこれによる施設の揺動・不安定化を通じて、海底土砂流動が、異なる水深域の着床式・浮体式の多様な洋上風力発電施設の安定性に重大な影響・インパクトをもたらしていることがみてとれる。海底液状化土砂流動のダイナミクスの一連の過程を評価予測可能な解析フレームワークが開発されており[2-12, 2-13, 2-19]、同リスク評価・予測への適用・展開が期待される。この際、大規模な海底土砂流動を引き起こす地盤液状化の評価予測においては、現地地盤強度の情報が必要である。これまで世界各国で用いられている標準貫入試験による地盤N値(地盤の強度を表す数値)、コーン貫入抵抗値並びにせん断波速度値などを採用した様々なタイプの液状化予測判定チャートに活用できるよう一般化し、かつ、地震動波形の不規則性や継続時間等の多様な地震外力特性を現実的に考慮した液状化予測判定法が開発・実用化[2-20, 2-21]されており、洋上風力発電施設の液状化リスク評価予測に適用することができる。

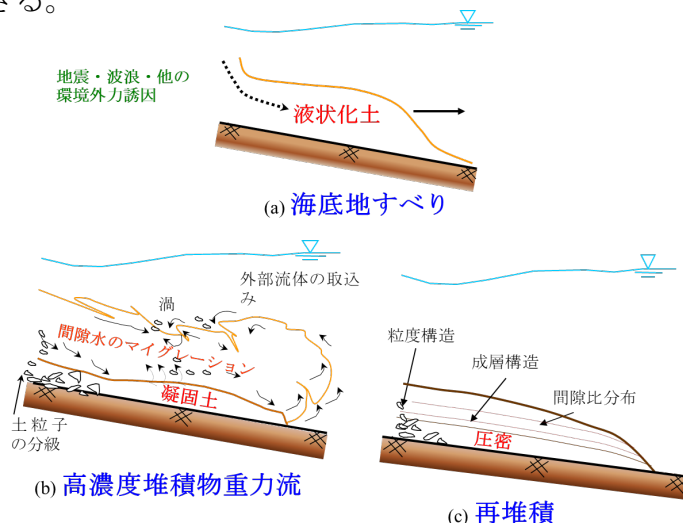


図 2-2 沿岸・沖合域における海底大規模土砂流動過程の特徴

(出典) [2-14]



図 2-3 液状化による沿岸・海底地すべり津波

(出典) [2-15, 2-16]より抜粋・編集 [2-14]

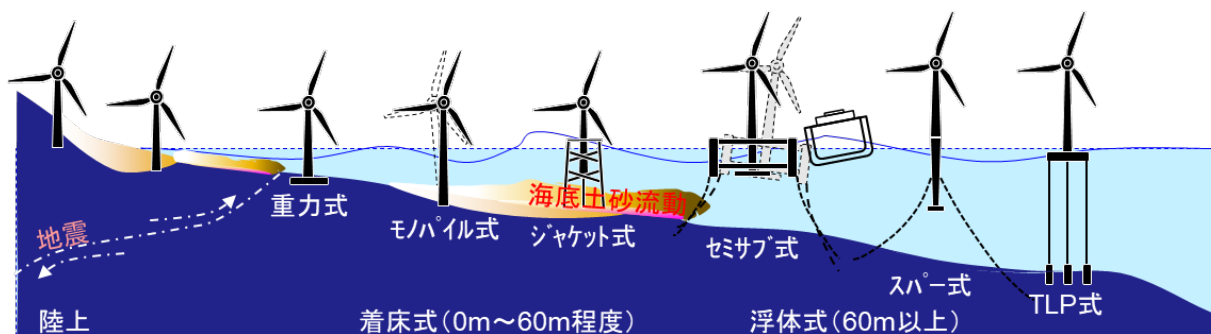


図 2-4 海底液状化流動が多様な洋上風力発電基礎 (着床式・浮体式) の安定性に及ぼすインパクト・影響評価の重要性
(出典) [2-18]より抜粋・編集 [2-14]

② 高波による沿岸・海底地盤の液状化と海底地すべり

高波の来襲によって、防波堤法尻部（マウンド海側下部、図 2-5）が液状化すると地盤の支持力が失われるとともに、土砂移動及び洗掘が助長される[2-22]。その結果、ケーソンは沈下する。また、離岸堤の場合でも、波による液状化、洗掘及び土粒子輸送に伴ってブロックが沈下する。このような防波堤・離岸堤の設置水深は 60m 以浅であり、着床式洋上風力発電の設置海域と一致する（図 2-5）。したがって、高波による海底地盤の液状化は、着床式洋上風力発電の対象水深域である水深 60m までの沿岸海洋構造物の安定性に大きく影響する。

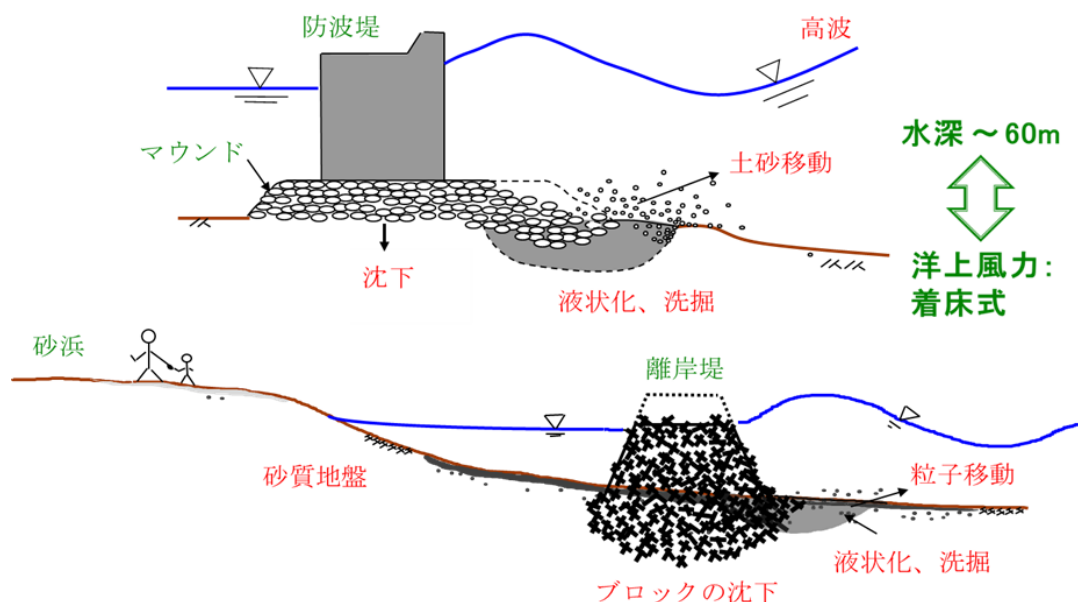


図 2-5 高波による海底地盤のダイナミクス
(出典) [2-22]

波による液状化は、構造物周りやその前面に形成される波浪様式によって、液状化抵抗が顕著に異なることが知られており[2-23, 2-24]、国内外での近年の高波による液状化被災・リスク評価事例として、潜堤（堤体が水面下に没した構造物）の沈下、浅

海底斜面の崩壊・流動、並びに、パイプラインの浮上損傷が挙げられる
[2-25, 2-26, 2-27, 2-28]。

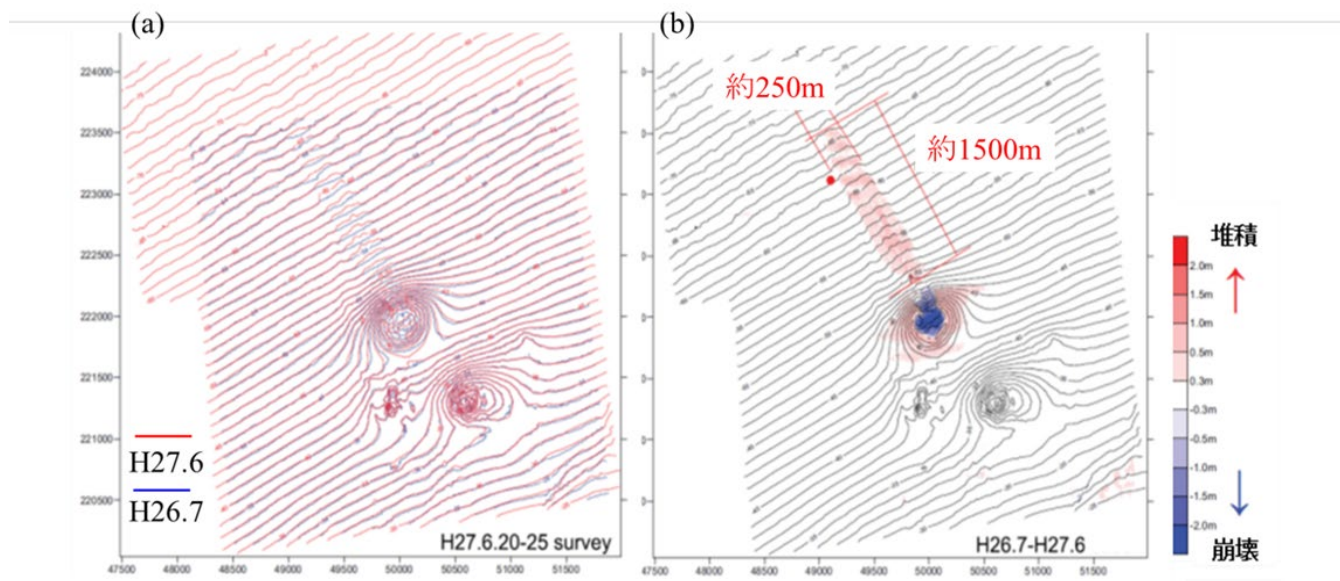


図 2-6 高波による液状化と海底地盤流動事例：(a) 地盤流動イベント前後のコンター図の比較（2014-2015）、(b) 地盤流動変化の分析結果（2014-2015）
（出典）[2-27]

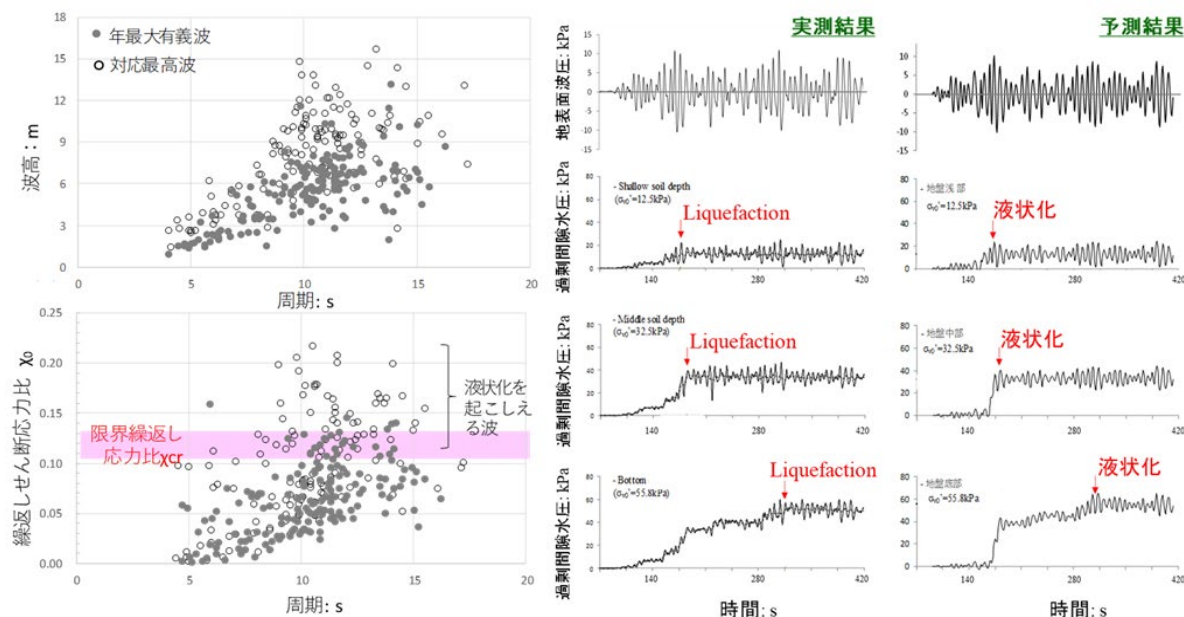


図 2-7 日本沿岸の波による液状化リスクの評価と予測（左図）波高と周期及び液状化発生限界の繰返しせん断応力比の関係（右図）不規則波浪による地盤内過剰間隙水圧と液状化過程の予測結果及び実測結果の比較
（出典）[2-30]より抜粋・改変 [2-14]

近年では、水深 47m の海域において有義波高 6.5m の高波によってシルト質（砂と粘土の中間的な大きさの粒子を主体とする）の海底傾斜地盤が不安定化し、約 12 万 m^3 の崩壊土砂が幅 250m、延長 1,500m にわたり流動した事例[2-27]が挙げられる（図 2-6）。流動土砂の再堆積の厚さは全体的に数十 cm-1 m と平たく長く分布しており、液状化重力流の堆積状況をよく表している。

年最大有義波や対応最高波などの波高、周期及び地盤情報に基づいて、液状化発生限界に関わる繰返しせん断応力比を算定し、現地高波による液状化の可能性や液状化深さ・範囲を評価することができる[2-29, 2-30]（図 2-7）。同左図は、全国沿岸の実海域で観測された沖合観測点を除く、60 地点の波高（有義波・最高波）一周期一波によるポテンシャルの関係を示しており、数多くの地点で液状化が発生しうることを表している。同右図は、暴波浪時の時系列の波浪観測データを用いて、液状化の発生と進展[2-29]を解析したものであり、現地波浪による液状化の発生及び進展過程の予測結果が、実測結果とよく対応していることがみてとれる。

③ 洋上風力発電基礎の安定性・地質リスク

洋上風力発電施設の安定性及び災害リスクの評価予測においては、前述の海底土砂流動がもたらすインパクト・影響評価とともに、高波—地盤—洋上風力発電基礎相互作用の本質的理解が重要である[2-31]。すなわち、厳しい波浪作用による海底地盤の液状化によって洋上風力発電施設は大きく影響を受けて不安定化し得る。洋上風力発電の基礎形式として最も一般的なモノパイル（杭）の場合、高波作用時の地盤内の残留過剰間隙水圧の蓄積により液状化すると、パイルは揺動しはじめ、その後の液状化の進展・拡大に伴いパイルの傾斜が進み、倒壊に至る。この際、通常の洋上基礎の安定化対策として用いられる石材による洗掘対策は、液状化抵抗と密接に関わっていることが明らかとなっている（図 2-8）。

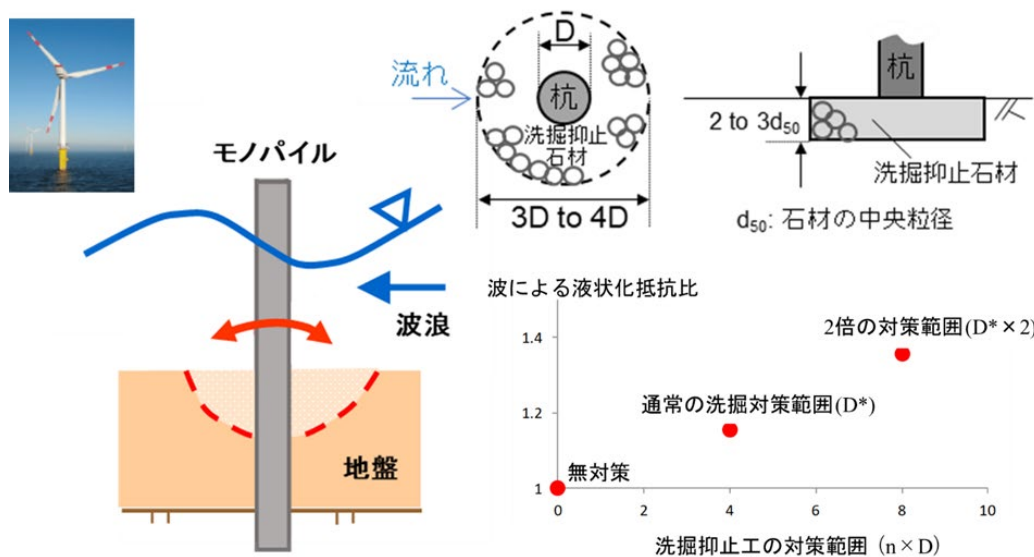


図 2-8 波—地盤—洋上風力発電基礎の相互作用 [2-14]

（出典）[2-32]より抜粋・編集 [2-14]

実際、波による地盤の液状化抵抗は、洗掘抑止工の対策範囲（杭径の n 倍）によって変化し、通常の洗掘対策範囲で約 2 割、その 2 倍の対策範囲で約 4 割、液状化抵抗が増加する[2-32]。この際、重要なことは、増加した液状化抵抗を上回る厳しい波浪作用下では、液状化が発生し、パイルの不安定化や風車タワーの倒壊を免れないことである。したがって、洋上風力発電施設の安定化設計・対策においては、前述の海底土砂流動のインパクト・影響評価とともに、波による液状化の評価予測が肝要である。これらの洋上風力発電基礎の安定性・地質リスクは、基本的に、着床式の洋上風力発電施設に対するリスクであるが、水深がより深く海底に及ぼす波の影響が相対的に小さくなる浮体式の洋上風力発電施設においては、海底に設置・固定されるアンカー・ケーブル等に対して、前述のような、地震による海底地盤の不安定化及び液状化、並びに海底地すべり・土砂流動等が及ぼす影響・インパクトの評価が重要となる。

(4) 海底地質リスクの評価ガイドラインに向けて

2 (1) で述べたとおり、地震大国かつ気象海象条件も厳しい活動的縁辺域に位置する日本沿岸域において、洋上風力発電の持続可能な開発を実現するには、海底地質リスクを抽出し評価することが必要である。とりわけ、地球規模の気候変動により世界の波浪条件は激甚化傾向にあり、大規模で継続時間の長い地震動や連続地震の顕在化と合せて、上述のようなジオハザードリスクの評価予測は、今後、益々重要になる[2-14]。しかしながら、海底地質リスクの評価・予測・対策に関するガイドラインは未だ整備されておらず、洋上風力発電施設の今後の本格導入と安定運用に向けて、当該ガイドラインの整備が必要不可欠である（3 章、15 ページ図 3-1 参照）。なお、一般海域における洋上風力発電開発が開始された現在、ガイドラインの整備に猶予は無く、今すぐにも着手すべき喫緊の課題である。

① 海底地質リスクを評価する効果

一般海域における海底地質リスクは陸上の地質リスクと異なり、規模が大きく、その存在が海底であることから広範囲の対策が困難であり、事業自体を諦めざるを得ないケースもありうる。したがって、開発工程において海底地質リスクの抽出とそのリスク評価を行いながら進めることが重要である。

洋上風力発電施設の開発は、まず、洋上風力発電に適した「有望区域」を選定し、国、都道府県、市町村、関係漁業者団体等の利害関係者、学識経験者等で構成された協議会を設置して開発における留意点や利害関係者調整、発電事業実施等に関する協議を行う。協議会での同意が得られれば、「有望区域」は「促進区域」に格上げされ、公募入札による選定によって開発事業者を選定する。開発事業者は、発電計画を立案し、コストを算出して応札を行う。事業者が選定されると、本格的な開発がスタートする。海底地盤の調査は、有望区域段階での国によるセントラル調査と、選定された開発事業者が行う詳細な調査が行われる（これ以外に、有望区域段階で選定候補の開発事業者が独自に調査を行う場合もある）。国によるセントラル調査は、概略調査であ

り、開発エリア全域の地盤情報を薄く広く収集する。選定された開発事業者が行う調査は、詳細調査であり、風車やケーブルの配置を設定した後に、大量で詳細な地盤情報を取得する。

このような事業の流れにおいて、現在は、セントラル調査や事業者独自調査の段階において海底地質リスク評価を意識していないため、海底地質リスクの存在が判明するのは開発事業者が選定され詳細な地盤調査を行った後になる。事業者は、この段階で初めて海底地質リスクの評価とリスク対応策の検討を行うことになり、地盤調査の追加実施や基本設計の見直し、風車配置計画の変更や発電量の変更といった発電計画そのものの変更が必要となる可能性がある。そのため、開発工程の遅れが発生することや、最悪の場合には開発事業そのものからの撤退を余儀なくされる。ガイドラインを整備し、セントラル調査や事業者独自調査の段階から海底地質リスクを十分に評価し、リスク評価結果に基づき必要な予防保全対策を行うことによって、海底地質リスクを適切に考慮した安全性の高い持続可能な事業計画を立てることができ、追加調査や事故による工程の遅れや売電計画の遅れのないスムーズな開発を行うことができる[2-33]（3章、15 ページ図 3-1 参照）。

② 海底地質リスク評価の特有の問題と解決法

海底地質リスクは、洋上風力発電施設などの沿岸海洋施設の安定性に甚大な影響をもたらすとともに、その影響が大規模・広範囲に及びうること、また、観測された事例が少ないことが共通点として挙げられる。この特性のため、開発区域のみの調査だけで海底地質リスクを適切に評価するのは困難といえる。例えば、津波のリスクを評価するには、隣接する平野での過去の津波浸水履歴や、津波発生源となる活断層・プレート境界の性状を調べる必要があるが、それは一開発事業者が可能な作業ではない。

このような低頻度大規模な地質リスクに対しては、公的研究機関・大学等によって日々調査が行われている。地震調査研究推進本部による活断層評価など、種類によっては既に専門家によってとりまとめられた評価がなされている。そのような既に出されている評価を利用し、かつ、そのとりまとめ以降の研究成果も踏まえた地質リスクの評価を開発の早い段階で行うことが必要と考えられる。特に、2章で記したような地震・津波・高波による沿岸・海底域のジオハザードリスクに関する最新の知見もふまえ、今後の洋上風力発電施設の安定運用に向けた評価・設計・対策に反映していくことが重要である。

また、開発対象の沿岸域には、そもそも陸域に比べて既存調査データが少ない点から、リスク評価が難しい側面がある。将来的な開発が検討されている排他的経済水域（EEZ）についてもデータが少ないことは同様である。陸域と海域での地質構造の関連性[2-34]も指摘されており、データの豊富な陸域まで含めた広域のデータレビューが有用である。そのためには、専門家も含めた産学官連携によるリスク評価が行われることが有用と考えられる（3章、15 ページ図 3-1 参照）。

3 地質リスク評価のためのオープンデータと事例共有による産学官連携

この章では、実際の地質・地盤調査の観点から、地盤及び地質リスク評価のためのオープンデータの有用性について述べる。洋上風力発電開発のための地質・地盤調査は、大きく分けて、該当海域全体の広域的な特性・概要を把握するための調査と、詳細を把握するための本調査の二つに分けて進められる（図 3-1）。

概要を知るための調査として、まず既存データのレビューを行って机上検討の後、それに基づいてさらに不足分を実際に現場で予備調査を行う。これらに基づいて、概略的な風車設計や風車レイアウトの決定を行う。なお、国が実施するセントラル調査や事業者が独自に行う調査はこの予備調査に該当することが多い。

本調査は、風車やケーブルの詳細な設計を行うために実施する。本調査は風車が設置される全地点で実施され、予備調査の結果から抽出された課題を解明するように計画・実施される。現在の公募・入札制度では、予備調査と本調査の間に事業者選定が行われるため、本調査は開発権を取得した事業者が実施することが多い。また、予備調査結果の内、事業者が独自に行う調査結果はオープンにされないことがほとんどである。またセントラル調査や本調査の結果も現在の制度ではオープンにされていない。

本調査の成果に基づき、地盤評価に加えて 2 章にて紹介した地質リスクの評価を行い、リスクを最小限とするための予防保全対策（例えば、風車基礎構造の設計における対策や風車レイアウトの変更）を行い、実際の建設・発電に取り掛かる。発電開始後に地震等のジオハザードによる被害が発生することもあり、その場合には原因を追究し対策したうえで復旧、発電を再開する。

発電事業者に付与された海域占有期間（最大 30 年）が終了すると、当該海域では既存風車を撤去して現況復旧するか、風車をリニューアルして新たな次期事業を開始する。

以上の調査の中で、既存の探査データが重要・有用である。以下に紹介する既存データは、現在使われている高機能・高精度の機器が開発される前に取得されたり、リスク評価を目的として取得されたわけではないため、質と量の問題から、既存データだけで十分なリスク評価を行うことは難しいという問題はある。しかし、調査前に対象の傾向を知り最適な調査計画を立てられたり、調査仕様を決めるために先行して行う予備調査を省略できたり、事業展開範囲を越えた広域データから事業展開海域を解釈できるなど、リスク評価の質の向上と工期短縮やコスト低減に有用と考えられる[3-1]（図 3-1）。例えば、周囲より柔らかい地層が帯状に分布する「埋没谷」の概略は公開データで十分に推定できる（図 3-2）。正確な位置を明らかにするには、新規調査が必要だが、大まかな分布や方向性が分かっているれば、より効率的でリスクの見落としや再調査の少ない計画立案につながる。

海域調査は、海上保安庁、産業技術総合研究所、国土地理院、海洋研究開発機構などによって行われ、各種地図類や学術的な研究成果が発信されている。海洋基本法第二十二條第二項にて「海洋調査により得られた情報の提供に努めるものとする」とされていることもあり、その基となる探査データも公開されるようになってきている[3-2, 3-3]。これらの既存データの中でも、特に入手しやすく洋上風力発電開発に関する海底地質リスク評価に役立つものとしては、地形図、地質図、表層堆積図、活断層図、地磁気・重力異常図等の

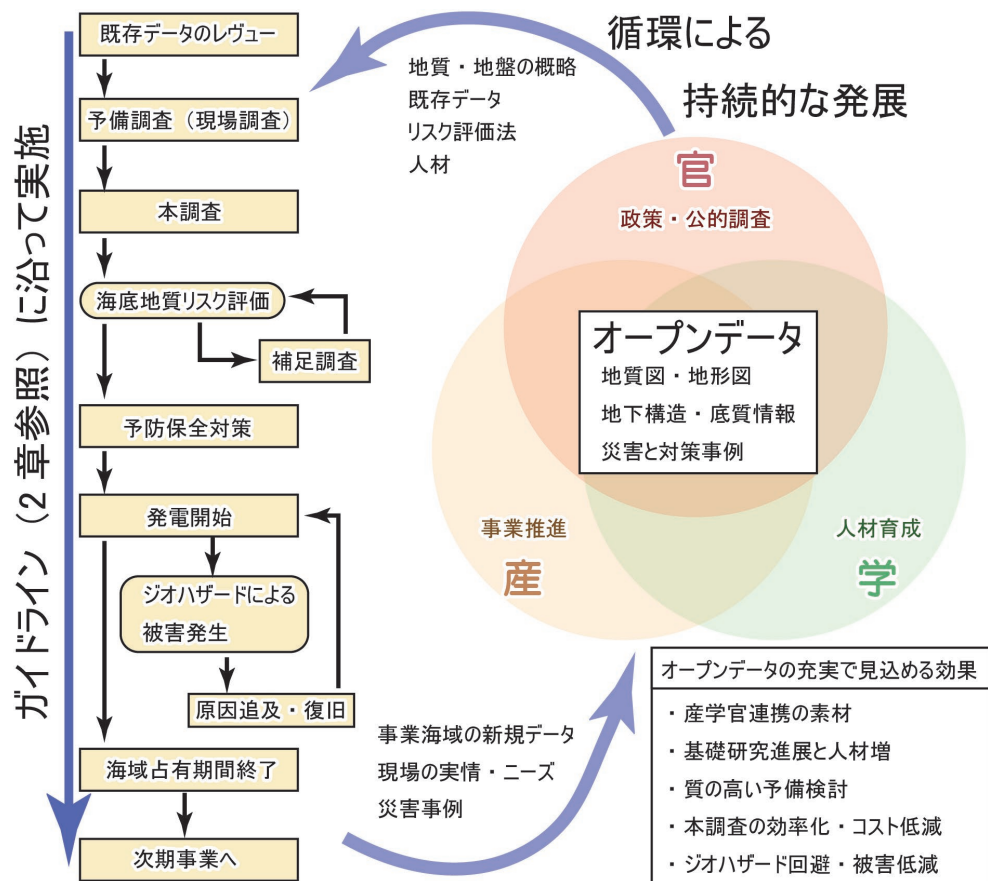


図 3-1 オープンデータを軸にした産学官連携と循環的發展

（出典）持続可能な開発目標達成のための洋上風力発電開発検討小委員会で作成

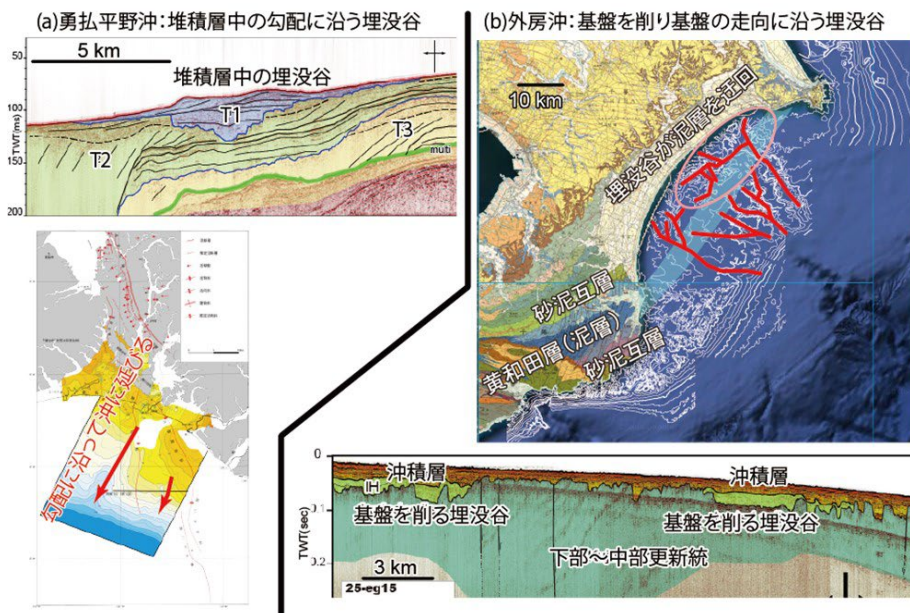


図 3-2 公開された既存データのみから地質構造の概略を考察した例。周囲より柔らかい地層が帯状に分布する「埋没谷」（左下と右上の地図上の赤線）の方向性を考察した例。

(a) 谷が陸から海に直線状に延びる例。(b) 谷が一部で海岸線に平行な例。

（出典）[2-34]より抜粋し加筆

地質図、海底面下の反射断面、海底堆積物の分析結果等がある。海上保安庁からは「海しる」[3-4]、産業技術総合研究所からは「地質図ナビ」[3-5]、国土地理院からは「地理院地図」[3-6]というウェブサイトが公開されており、地図上で、直感的に各種データを表示させることができる。

現状では、取得機関からそれぞれ公開されているが、オープンデータの利活用促進[3-7]に伴って、「海しる」から産業技術総合研究所の海底地質図が参照できたりするようになってきている。これによって、多岐にわたる発信機関のデータであっても、利用者からは一元的に利用ができるようになってきている。後述する産学官連携により、この流れのさらなる発展及び海底地質リスク評価においてこれらの情報が有効に活用されることを期待したい。

また、これら既存データに加え、今後事業が進むにつれて、新規データが多数取得されることになる。日本における洋上風力発電の開発は、まだ黎明期にあることもあり、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の調査等を除いて、民間事業者が主体として実施している開発現場のデータ公開が進んでいない。これには、競合相手である他の民間事業者に情報を与えたくない等の理由がある。一方、洋上風力発電黎明期の欧州では、現在の日本と同様にデータを非公開にしていたようであるが、開発が進むにつれて、データの共有と研究開発の促進によるメリットがデータを非公開とするメリットを上回ると認識され、現場データを早期に公開して研究論文[例えば、3-8 など]を発表し、オープンな討議を通じて知見を深めて技術開発を進めていく気風が醸成されている。

今後、実際の開発・発電が進むにつれて2章で述べた多様な地質・地盤災害やいわゆるヒヤリハット事例が不幸にも発生してしまう可能性があるが、データ同様に事業者ごとにとどめられがちなそういった事例や対策の情報についても蓄積・共有されれば同様のリスクへの備えや安全技術の開発に有用と考えられる。また、海域占有期間終了後の次期事業や未来に生まれるだろう全く新たな事業のためにも有用である。

地盤調査のために取得したデータであっても、海底地質リスクに関する学術研究が行え、将来のリスク評価に役立ちうる資産となる。また、これを大学における教育課程で扱うことによる人材育成、共同研究による知見の共有等、産学官連携の糸口となることが期待できる（図3-1 青太矢印の循環）。この循環によって、2章で述べた海底地質リスク評価・予測・対策に関するガイドラインが作られ、そして、更新が継続されることが重要となる。

このようなデータの公開、オープンな討議、研究開発の促進は、洋上風力発電開発に携わる人材の育成にも大きく寄与する。調査を実施し、その費用を負担している民間企業等の立場に配慮し、理解を得る仕組みを整えつつも、既存データの利活用を進めることで、今後、このような好循環を生む環境を早期に創造することが望まれる。

洋上風力発電開発のための海底地質リスク評価に役立つ既存の探査データ・地図類が、公的機関を中心に整備されてきた。その利用促進と拡充は、今後の技術開発や人材育成、産学官連携の活性化に有用である。そのために、海底地質データ等のオープンアクセスの促進とオープンな討議の場の構築と発展が望まれる。

4 人材育成

(1) 海底地質リスク評価のための人材育成の必要性

洋上風力発電の迅速な開発を進めるには、人材が不可欠である。長崎海洋アカデミーによれば、2030年までに、洋上風力発電分野で8,600名以上の人材が必要とされ、現在、約3,000名の海洋開発技術者では足りないとしている[4-1]。秋田大学では、技術基盤づくりに加えて、技術人材育成への貢献も目指して、洋上風力発電事業に取り組む企業との共同研究への取組を開始している[4-2]。開発が先行している欧州でも、技術者の人材育成の必要性は認識されており、大学・企業・自治体がコンソーシアムを組んで人材育成を進めている[4-3]。

そのような技術者の人材育成が進んでいる一方で、欧州では、さらに海底地質リスク評価のできる技術者の人材育成の重要性が認識され始めている。加えて、これまで述べたとおり、海底地質リスクの大きい日本では、リスク評価できる技術者はより一層重要である。海底地質リスクは、現場において目に見えないが故に見落とされがちであるが、長期的視点に立った安全で安価な開発における重要課題となっている[1-9]。その一方で、いわゆる、理系で地学を履修する高校生は、近年激減しており、海洋国家日本の未来像を描く洋上風力発電をはじめとする沿岸開発分野において、海底地質リスク評価を受け持つことのできる技術者の人材育成は急務である[4-4]。人材の数として、事業者・グループ毎に地質リスクを自ら評価できる人材が一人以上、そして、自ら評価できずとも評価結果を理解し判断できる人材が各事業の管理・運営や審査する各部署・現場ごとに一人以上いることが望ましいと考えれば、日本全体として少なくとも数十人規模で必要となる。さらに、ジオハザード発生時の現場の作業安全性や地域とのリスクコミュニケーションのためには、現場作業員・地元住民も含め関わる人間全員が少なくとも地質リスクを知っている、という状態がより望ましい。

(2) 産学官連携の必要性

上述のような人材は、2章に述べたような多岐にわたるジオハザードを理解した上で、海底地質リスクを評価する能力を備える必要がある。また、海底地質リスクを重要な外的リスクと捉えれば、それによる影響度を内的リスクも含めてシナリオベースで評価し確率論的に定量化する、リスク評価手法を構築することが求められる。これには、設備設計・評価に関する工学的視点が必要不可欠である。さらに、洋上風力発電のような大型の電気供給システムで起こる災害は、社会への影響も大きく、リスクを迅速かつ適確に伝え、また、対策を考えるには社会科学の視点も必要となる[4-5]。

そのような人材育成のかなめは、産官学の連携である。産業界のニーズに対して、官・学が基礎・応用研究を行いながら人材を育成し、産業界へ戻す、という循環が望ましい。例えば、海底調査の主要な手法の一つである音波探査は、近年では社会ニーズの変化に伴い、急速な技術革新が、学界と産業界の連携によって進んでいる[4-6]。

3章で述べたように、取得されたデータがオープンデータとして蓄積され、人材育成と技術開発へと使われるようになれば、好循環が生まれる(図3-1)。海洋では陸上に比

べ、データ取得や機材試験などに多額のコストが必要となるため、このような産学官連携による新技術開発やデータ利活用は、海底地質リスク評価のためのガイドライン（2章参照）の作成や向上に欠かせないものである。今後、産学官連携によるさらなる技術開発や効率的な運用、人材育成を含めた利活用の加速が望ましい。産学官の連携により、海底地質リスク評価のための人材育成が進むとともに、地域とのリスクコミュニケーションが促進される。それによって、地域の安心・安全につながり、安心して洋上風力発電開発に取り組む自治体の増加も期待できる。

また、2022年度からの高校での地理総合の必修化は、文系・理系や進学・就職先に関わらず、全ての若手人材が、自然災害についての素養を身につけることに繋がる。それは、人材育成の下地となるとともに、開発地の住民のリテラシー向上によるリスクコミュニケーションの面でも非常に有効であり、地質リスクを理解する人材の裾野を広げるためにもこういった高校教育とも連携した人材育成が望ましい。

なお、地域におけるリスクコミュニケーションの醸成のためには、沿岸環境のアセスメント・保全の取組について、市民・団体・関係機関・開発事業者間の相互理解も必要である。我が国では洋上風力発電開発にあたって「海洋再生可能エネルギー発電設備に係る海域の利用の促進に関する法律」に基づいて事業者の公募による海域占有にて事業が進められている。その中で、海域占有事業者選定のための公募の準備段階である促進区域指定の段階にて、地元調整のための協議会の設置が必要とされている。それに従い、各事業者は利害関係者を特定し、全員と合意形成できる協議会を設置し話し合いを開始している。津波・高波や海底地すべりが海底の侵食・堆積を起こし、海岸・海底環境に大きく影響を及ぼしたりするように、沿岸環境と海底地質リスクは相互に関連している。海底地質リスクの基礎的な理解は、課題となっている沿岸環境の保全についての地域社会とのリスクコミュニケーションにも役立つことが期待できる。

(3) 人材育成のあり方

① 現場データの公開とオープンな討議ができる環境の創造

人材育成は、国内大学及び研究機関において実施されることが好ましい。その中では、公開された既存データと新規取得データを教材として、もしくは、研究対象として利活用できることが理想的である。例えば、英国では洋上風力発電に関わる企業・自治体と大学がコンソーシアムを組み、企業や自治体のニーズに合わせた研究活動が大学を中心に実施され、大学院生はニーズに沿った研究を行い、卒業後は企業へ就職し活躍するという循環が目指されている[4-3]。

育成する人材としては、大学学部においては、実際の現場作業従事者を念頭に、海底地質リスクを聞いて理解できる人材が望ましい。一方、大学院においては、一步進んで、現場作業責任者や計画立案者及び研究者を念頭に、海底地質リスク評価を専門家と連携しながら、自ら検討できることを目指した人材の育成が望ましい。そのためには、大学単体では経験しにくい実際の事業現場での実情やニーズ、事例についての生きた情報が有用であり、そのためには産学官連携が必要である。

大学・研究機関において、海底地質リスク評価の基礎及び応用研究が進むと、事業者との共同研究や技術・ニーズの交流が促進される。そして、それが呼び水となり、事業者内での知識向上が期待でき、さらに、それを大学内で研究することによって、業界に必要な専門知識を備えた卒業生が増えることになる。

産学官連携が進み企業と大学・研究所間の信頼が育まれれば、守秘義務を伴って企業が秘密にしたいデータを用いた共同研究が始まることも期待でき、死蔵されがちな企業独自データが活かされる道も開かれる。

この循環が生まれれば、研究活動が、事業で積極的に評価されることになり、民間企業は積極的にリスク評価に関わる研究活動に投資することにつながる。このような好循環は、より良い事業展開を生むことになるだろう。また、大学においてはより社会のニーズに基づいた知見を基とした教育ができるようになるだろう。

② 国際展開

活動的縁辺域での海底地質リスク評価法は、活動的縁辺域に立地する他の国家にとっても有用であり、そこに立地する、数少ない先進国である日本としては、この技術・知見を、東南アジア各国をはじめとする各国にもたやすことで、国際貢献が期待でき、洋上風力発電開発における日本の地位向上にもつながる。それを見越し、海底地質リスク評価法についての教育や、3(2)①の産学官連携、及びそれにより生まれた知見は、国内学生、技術者のみならず、多くの地域が活動的縁辺域に帰属する東南アジア各国の学生、技術者にも共有できることが望ましい[4-5]。

この様な、産学官連携による研究と人材育成を国際展開することにより、日本発の海底地質リスク評価に関する知見・研究を世界発信させる。社会のニーズに基づいた学際的な人材育成は、活動的縁辺域に立地する国家に対する貢献による日本の地位向上、未来志向に脱却させるための牽引役となると期待できる[1-1]。

5 まとめ

1 章では、欧州では、広く浅い波浪が比較的穏やかな北海において開発が進められているのに対し、日本では、開発対象地域のほとんどが、海岸線から 50km 以内の海岸沿いであることの違いにより、日本固有の課題があることを記した。地震、津波、台風などは欧州に少ない自然現象であり、構造物への影響はリスクとして検討が進められている。それに加え、高潮、高波、地震・津波、台風の外力が与える海岸に近い狭小な浅海底への影響が大きく、海岸線付近では、日本固有の地質・地盤災害（ジオハザード）が起きるが、海底地盤と構造物の全体系、特に、基礎との相互作用については十分検討が進んでいない。

2 章では、地震大国かつ気象海象条件も厳しい活動的縁辺域に位置する日本沿岸域において、洋上風力発電の持続可能な開発を実現するには、海底地質リスクを抽出し、評価することが必要であること、とりわけ、地球規模の気候変動により世界の波浪条件は激甚化傾向にあり、大規模で継続時間の長い地震動や連続地震の顕在化と合せて、2 章で記した地震・津波・高波による沿岸・海底域のジオハザードリスクの評価予測が、今後、益々重要になることを記した。しかしながら、このような海底地質リスクの評価予測・設計・対策に関するガイドラインは未だ整備されておらず、洋上風力発電施設の今後の本格導入と安定運用に向けて、当該ガイドラインの整備が必要不可欠である。そのためには、専門家も含めた、産学官連携によるリスク評価が行われることが有用と考えられる。

3 章では、洋上風力発電開発のための海底地質リスク評価に役立つ既存の探査データ・地図類について紹介し、その拡充や利用促進が必要であることを記した。特に、オープンにアクセスできるデータの利活用は技術開発や人材育成、産学官連携の糸口として期待できる。そのため、取得されるデータの公開と、それに伴うオープンな討議が行われるような環境の創造が有用と考えられる。

4 章では、洋上風力発電の持続可能な開発と運用のためには、海底地質リスク評価に関わる人材育成が必要であることを記した。その人材育成には、理学・工学のみならず社会科学や産業ニーズについての視点も必要である。海底調査である特性からオープンデータの利活用が有効で、それを基にした産学官連携が重要である。洋上風力発電設備の安全性や環境影響の起因事象として、海底地質リスクは非常に重要であるが、これを設備安全性評価という工学に繋げる点でも連携が求められる。同様の人材は、我が国と同様の海底地質リスクを抱える東南アジア各国にも利益を共有できるため、そのような各国からの受講生・若手技術者の受け入れは、我が国の海洋開発での立場向上に役立つと考えられる。

以上、本見解では以下をまとめとする。

(1) 海底地質リスクを認識した開発

日本周辺の海域で着床式と浮体式の洋上風力発電開発対象となる水深 200m 以浅の地域は、ほとんどが海岸線から 50km 以内の海岸沿いである。この海域は高潮、高波に加え、地震・津波、台風の外力が強く、海岸に近い狭小な浅海底への影響が大きい。日本の海岸線付近には、日本固有の地質・地盤災害（ジオハザード）が生じる可能性、すなわち海底地質リスクがあるが、それを認識して開発を進める必要がある。

(2) 海底地質リスクの体系的ガイドライン整備

地震大国かつ気象海象条件も厳しい活動的縁辺域に位置する日本沿岸域において、洋上風力発電の持続可能な開発を安全・安心に実現するには、日本固有の海底地質リスクを抽出し評価することが必須である。しかし、このような海底地質リスクの評価予測・設計・対策に関するガイドラインは未だ整備されていない。そこで、洋上風力発電施設の今後の本格導入と安定運用に向けて、海底地質リスクに関して、体系的に整理されたガイドラインを、専門家も含めた産学官連携によって緊急に整備する必要がある。

(3) 既存の海底地質データの利活用及び人材育成と産学官連携の必要性

洋上風力発電開発のための海底地質リスク評価に役立つ既存の探査データ・地図類が公的機関を中心に整備されてきた。産学官連携によるその利用促進と拡充は、効率的な調査計画立案や調査の補完、技術開発や人材育成の活性化に有用である。そのために、海底地質データ等のオープンアクセスの促進とオープンな討議の場の構築と発展が望まれる。さらに、その人材育成を国際展開することで、日本の地位向上が期待できる。

＜用語の説明＞

案件形成

ある海域において洋上風力発電所の開発計画が民間事業者によって検討・立案され、開発候補地となること。

液状化重力流

地盤の液状化に伴い発生する重力作用下の流動現象

液状化予測判定チャート

地震外力と地盤強度の関係に基づき、液状化の発生の可能性の大きさを予測し評価するための図

（海底）ジオハザード（リスク）

（海底域で生じる）地質・地盤災害（の可能性）

活動的縁辺域

プレートの沈み込みやトランスフォーム断層によって特徴づけられる海洋底と接する大陸の境界域。造山運動、地震活動、火山活動が観測される。

間隙水のマイグレーション

土の中の水の移動

基礎

構造物からの力を地盤に伝え、構造物を安全に支える機能をもつ構造

ケーソン

防波堤などの水中構造物等を構築する際に用いられるコンクリート製又は鋼製の大型の箱

高濃度重力流

堆積物と流体の混合物が重力によって高濃度状態で流動する現象

コーン貫入抵抗値

先端が円錐状のロッドを地盤中に押し込んだときのコーン（円錐状先端部）底面積当たりの貫入抵抗値

残留過剰間隙水圧

地震や高波の作用により地盤中に発生・残留する静水圧を超過した間隙水圧

せん断応力比

地震や高波の作用により地盤中に発生するせん断応力と当該深さの有効土被り圧の比

せん断波速度値

地盤の中を伝播する弾性波（横波）の速度値

セントラル調査

国あるいは国に準じる特定機関が主体となって実施する、洋上風力発電所の開発に必要な風況情報や地盤情報等の初期情報を取得する調査。開発事業者はセントラル調査の結果を参考に概略事業計画を立案する。

対応最高波

ある観測期間中にみられる個別の波の中で波高が最も高い波

段波状の流れ

切り立った水の壁が進行する形態の波状の流れ

地質リスク

地質・地盤災害（ジオハザード）が生じる可能性

（年最大）有義波

1年間に観測される最大の有義波

非活動的縁辺域

二つの地殻が接するが、沈み込みやトランスフォーム断層がない境界領域。造山運動、地震活動、火山活動が少ない特徴がある。

プッシュ型案件形成スキーム

開発候補となる海域に対して国がセントラル調査を実施して開発事業者に必要な情報を提供することで、開発事業者が事業計画立案に必要な情報収集にかかる費用負担を軽減し、事業者の参加と案件形成を促すスキーム。

モノパイル形式

単一の大口径杭を打設する基礎形式

洋上風力発電施設の安定化設計

洋上風力発電施設を多様な自然外力下で安定的に運用するための設計

離岸堤（ブロック）

海岸の沖合に、海岸線とほぼ平行に設けられるブロック状の構造物

流体力

流体の流れの中に置かれた物体に作用する力

歴史津波

過去に発生した特筆すべき大規模な津波

＜参考文献＞

1 はじめに

- [1-1] 大久保泰邦 (2022): 活動縁辺域における洋上風力開発に向けた国際協力. 号外地球, 73, 洋上風力発電と海底地質リスク. 102-103.
- [1-2] 土谷学, 斉藤長, 柴田学 (2022): 洋上風力の主力電源化を目指して. 号外地球, 73, 洋上風力発電と海底地質リスク. 12-18.
- [1-3] 経済産業省, 国土交通省 (2021) 海洋再生可能エネルギー発電設備整備促進区域指定ガイドライン (令和3年7月改訂)
<https://www.mlit.go.jp/kowan/content/001417221.pdf>
- [1-4] 経済産業省資源エネルギー庁: 再エネ海域利用法に基づく区域指定・事業者公募の流れ及び案件形成状況.
https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/yojo_furyoku/dl/saiene_kaiiki_gaiyou.pdf
- [1-5] 経済産業省, 国土交通省 (2022): 洋上風力政策について (令和4年2月)
<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kaiyou/sanyo/dai62/shiryou4-1.pdf>
- [1-6] Dorrell, R.M., Lloyd, C.J., Lincoln, B.J., Rippeth, T.P., Taylor, J.R., Caulfield, C.P., Sharples, J., Polton, J.A., Scannell, B.D., Greaves, D.M., Hall, R.A. and Simpson, J.H. (2022): Anthropogenic mixing in seasonally stratified shelf seas by offshore wind farm infrastructure. *Frontiers in Marine Science*, 9, 1-25, doi: 10.3389/fmars.2022.830927.
- [1-7] North Sea Wind Farm, 2023年8月30日閲覧.
<https://mangomap.com/engineering/maps/74202/north-sea-wind-farms#>
- [1-8] 川村喜一郎 (2023) 洋上風力開発のための海底地質リスクの評価. 基礎工, 51, 2 (投稿中).
- [1-9] 戸田邦彦, 宝川祥子 (2021): 日本における洋上風力発電事業～欧州との違いを踏まえた留意点～. 損保ジャパンRMレポート

2 海底地質リスクとその評価手法

- [2-1] 川村喜一郎, 野村英雄, 武政学 (2022): 活動的縁辺域での洋上風力発電における海底地質リスク. 号外地球, 73, 69-78.
- [2-2] 松富英夫 (2007): 沿岸の津波, 首藤伸夫・越村俊一・佐竹健治・今村文彦・松富英夫編, 津波の事典, 朝倉書店, 135-139.
- [2-3] 国土交通省海事局 (2020): 浮体式洋上風力発電施設技術基準安全ガイドライン、新エネルギー・産業技術総合開発機構, 2018, 浮体式洋上風力発電技術ガイドブック. 172p, https://www.nedo.go.jp/library/fuuryoku_guidebook.html
- [2-4] 松信隆, 井上信三, 辻賢之, 吉田健治, 小松崎衛 (2014): 東日本大震災と津波に耐えた洋上風車の耐震設計. 日本風力エネルギー学会論文集, 38, 79-84.

- [2-5] 有川太郎, 陳曉悦, S. Chen, H. Chen, 浜地克也, 松本幸久, 徳永正吾, 渡部真史, 巖駿 (2020): モノパイル式洋上風力発電機の基部における局所洗掘に関する実験的検討. 土木学会論文集 B2, 76(2), 535-540.
- [2-6] 陳曉悦, 榎本容太, 渡部真史, 浜地克也, 石垣匠, 有川太郎 (2021): モノパイル式洋上風力発電設備の基礎地盤における局所洗掘とその防止に関する研究. 土木学会論文集 B2, 77(2), 559-564.
- [2-7] Watanabe, M., Goto, K., Bricker, J.D. and Imamura, F. (2018): Are inundation limit and maximum extent of sand useful for differentiating tsunamis and storms? An example from sediment transport simulations on the Sendai Plain, Japan. *Sedimentary Geology*, 364, 204-216.
- [2-8] Yamashita, K., Sugawara, D., Takahashi, T., Imamura, F., Saito, Y., Imato, Y., Kai, T., and Uehara, H. (2016): Numerical simulations of large-scale sediment transport caused by the 2011 Tohoku earthquake tsunami in Hirota Bay, Southern Sanriku Coast. *Coastal Engineering Journal*, 58, 1640015.
- [2-9] Ikehara, K., Irino, T., Usami, K., Jenkins, R., Omura, A., Ashi, J. (2014): Possible submarine tsunami deposits on the outer shelf of Sendai Bay, Japan resulting from the 2011 earthquake and tsunami off the Pacific coast of Tohoku. *Mar. Geol.* 358, 120-127.
- [2-10] Ishizawa, T., Goto, K., Yokoyama, Y., Goff, J. (2020): Dating tsunami deposits: Present knowledge and challenges. *Earth-Science Reviews*, 200, 102971.
- [2-11] 後藤知久, 渡部真史, 石澤堯史 (2022): 日本の古津波と将来のリスク. 号外地球, 73, 24-30.
- [2-12] 佐々真志 (2020): 海底地すべりと津波: 海底地すべり研究の最前線 (現地調査・実験・数値解析). 地盤工学会誌, 68(8), 86-93.
- [2-13] Sassa, S. and Sekiguchi, H. (2010): LIQSEDFLOW: Role of two-phase physics in subaqueous sediment gravity flows. *Soils and Foundations*, 50(4), 495-504.
- [2-14] 佐々真志 (2022): 沿岸・海底域のジオハザードリスクの評価予測. 号外地球, 73, 62-68.
- [2-15] Sassa, S. and Takagawa, T. (2019): Liquefied gravity flow-induced tsunami: first evidence and comparison from the 2018 Indonesia Sulawesi earthquake and tsunami disasters. *Landslides*, 16(1), 195-200, doi:10.1007_s10346-018-1114-x.
- [2-16] Sassa, S. (2020): Cascading Mechanisms behind the 2018 Indonesia Sulawesi Earthquake and Tsunami Disasters: Inland/Coastal Liquefaction, Landslides and Tsunami. *Springer Series in Geomechanics and Geoengineering*, Keynote Paper. doi:10.1007/978-3-030-46351-9_4.
- [2-17] Sassa, S., Grilli, S.T., Tappin, D.R., Sassa, K., Karnawati, D., Gusiakov, V.K. and Løvholt, F. (2022): Understanding and reducing the disaster risk of

- landslide-induced tsunamis: a short summary of the panel discussion in the World Tsunami Awareness Day Special Event of the Fifth World Landslide Forum. Landslides, Vol. 19(2), 535-535, doi:10.1007/s10346-021-01819-x.
- [2-18] 村田一城, 佐々真志, 相田康洋, 居駒知樹 (2022): 海底地すべり流動が洋上風力基礎に及ぼす衝撃力に関する基礎検討. 第29回海洋工学シンポジウム講演論文集, in CD.
- [2-19] Sassa, S. and Sekiguchi, H. (2012): Dynamics of Submarine Liquefied Sediment Flows: Theory, Experiments and Analysis of Field Behavior. Advances in Natural and Technological Hazards Research, 31, Springer, 405-416.
- [2-20] Sassa, S. and Yamazaki, H. (2017): Simplified Liquefaction Prediction and Assessment Method Considering Waveforms and Durations of Earthquakes. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 143(2), 1-13. doi:10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0001597, 04016091.
- [2-21] 国土交通省港湾局 (2018): 港湾の施設の技術上の基準・同解説 地盤の液状化, 408-417.
- [2-22] 佐々真志 (2020): 沿岸地盤の多相系ダイナミクス, 土砂動態学, 共立出版.
- [2-23] Sassa, S. and Sekiguchi, H. (1999). Wave-induced liquefaction of beds of sand in a centrifuge. Géotechnique 49, No. 5, 621-638.
- [2-24] Sassa, S. and Sekiguchi, H. (2001). Analysis of wave-induced liquefaction of sand beds. Géotechnique 51, No. 2, 115-126.
- [2-25] Sassa, S., Takayama, T, Mizutani, M. and Tsujio, D. (2006): Field observations of the build-up and dissipation of residual pore pressures in seabed sands under the passage of storm waves. Journal of Coastal Research, Special Issue 39, 410-414.
- [2-26] Sumer, B.M. (2014): Liquefaction around marine structures. Advanced Ser. Ocean Eng. 39, World Scientific.
- [2-27] 佐々真志 (2016): 波による液状化と地盤流動への影響: 最新事例分析. 土木学会論文集B3, 72(2), 378-383.
- [2-28] Miyamoto, J., Sassa, S., Tsurugasaki, K. and Sumida, H. (2019): Wave-induced liquefaction and floatation of a pipeline in a drum centrifuge. Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, 146(2), 04019039.
- [2-29] Sassa, S., Sekiguchi, H. and Miyamoto, J. (2001). Analysis of progressive liquefaction as a moving boundary problem. Géotechnique 51, No.10, 847-857.
- [2-30] 宮本順司, 佐々真志 (2020): 日本沿岸で観測された暴波浪による液状化危険度評価と地盤内間隙水圧応答の予測. 土木学会論文集B3, 76(2), 462-467.
- [2-31] Sassa, S. (2021): Mechanics and Countermeasures of Scour and Internal Erosion: Tsunami/Wave-Seabed-Structure Interaction. Lecture Notes in Civil Engineering, 177, Keynote paper. doi:10.1007/978-981-16-4783-3.

- [2-32] Miyamoto, J., Sassa, S., Tsurugasaki, K. and Sumida, H. (2021): Wave-induced liquefaction and instability of offshore monopile in a drum centrifuge. *Soils and Foundations*, 61(1), 35-49, doi:10.1016/j.sandf.2020.10.005.
- [2-33] 野村英雄, 永川勝久, 武政学, 尾高潤一郎, 三浦健一郎, 田中淳, 安田智弘 (2022): 海底地質リスク評価研究会の取組. 号外地球, 73, 114-118.
- [2-34] 佐藤智之 (2022): 沿岸域の地下構造モデル構築を目指して一周辺の陸域地質・地質背景との関連性一. 号外地球, 73, 79-86.

3 地質リスク評価のためのオープンデータと事例共有による産学官連携

- [3-1] 佐藤智之 (2022): 日本における沿岸域の地質情報データベース. 号外地球, 73, 88-91.
- [3-2] 佐藤智之 (2014): 海域反射法音波探査データベースの構築. 産総研 TODAY, 14-6, 22.
- [3-3] 木戸ゆかり (2022): 日本における海洋データベースー海洋研究開発機構(JAMSTEC)のデータベースの取り組みと他機関との連携例一. 号外地球, 73, 92-101.
- [3-4] 海上保安庁 (2019): 海しる (海洋状況表示システム).
<https://www.msil.go.jp/msil/htm/topwindow.html>. 2022 年 10 月 1 日閲覧.
- [3-5] 産業技術総合研究所地質調査総合センター (2013): 地質図 Navi (地質図表示システム). <https://gbank.gsj.jp/geonavi/>. 2022 年 10 月 1 日閲覧.
- [3-6] 国土地理院 (2013): 地理院地図 (電子国土 Web). <https://maps.gsi.go.jp/>. 2022 年 10 月 1 日閲覧.
- [3-7] 高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部 (2020): 世界最先端デジタル国家創造宣言・官民データ活用推進基本計画. <https://cio.go.jp/node/2413>. 2022 年 10 月 5 日閲覧.
- [3-8] Games, K.P. and Gordon, D.I. (2015): Study of sand wave migration over five years as observed in two windfarm development areas, and the implications for building on moving substrates in the North Sea. *Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 105, 241-249.

4 人材育成

- [4-1] URL1: 長崎海洋アカデミー,
<https://www.nippon-foundation.or.jp/who/news/pr/2020/20200930-49758.html>
2022 年 10 月 12 日閲覧.
- [4-2] 風力発電関連の技術開発に関する共同研究契約を締結しました (プレス発表資料)
秋田大学、令和 4 年 11 月 7 日
https://www.akita-u.ac.jp/honbu/event/img/mix3431_01_dl.pdf
- [4-3] University of Hull, <https://www.hull.ac.uk/special/offshore-wind>. 2022 年 10 月 14 日閲覧.

- [4-4] 川村喜一郎, 松島 潤 (2022) : 燃えよ、海底地質リスク評価—共感する人材育成に向けて. 号外地球, 73, 104-109.
- [4-5] 竹内彩乃 (2022) : 地域活性化につながる洋上風力発電事業開発のあり方. 号外地球, 73, 110-112.
- [4-6] 小澤岳史 (2022) : 海底地盤安定性リスク評価のための音波探査. 号外地球, 73, 56-61.

＜参考資料１＞ 審議経過

令和３年

- 6月21日 持続可能な開発目標達成のための洋上風力発電開発検討小委員会（第1回）
設立提案書、役員の選出、海底地質災害の事例紹介、海底地質データの紹介、再生可能エネルギーのエネルギー収支比、話題提供、今後の活動方針
- 8月2日 持続可能な開発目標達成のための洋上風力発電開発検討小委員会（第2回）
海上保安庁のデータについて、沿岸・海底域のジオハザードリスクの評価予測について、音波探査の現状（最新技術）、今後の活動方針
- 10月27日 持続可能な開発目標達成のための洋上風力発電開発検討小委員会（第3回）
公開シンポジウム開催について、論文集作成について、洋上風力発電と水産業

令和４年

- 8月8日 持続可能な開発目標達成のための洋上風力発電開発検討小委員会（第4回）
意思の表出について、話題提供：「沿岸域を対象とした浅海電磁法探査（MT 法）の紹介」
- 11月8日 持続可能な開発目標達成のための洋上風力発電開発検討小委員会（第5回）
意思の表出について
- 11月29日 総合工学委員会エネルギーと科学技術に関する分科会（第6回）
意思の表出（見解）の申し出について
- 12月8日-19日 総合工学委員会エネルギーと科学技術に関する分科会（第7回）
メール審議
申出書（見解案「活動的縁辺域における持続可能な洋上風力開発に向けて－海底地質リスク評価の重要性－（仮）」）の承認について

令和５年

- 2月27日 持続可能な開発目標達成のための洋上風力発電開発検討小委員会（第4回）
見解について、ガイドラインについて
- 3月31日 総合工学委員会エネルギーと科学技術に関する分科会（第8回）
見解案「活動的縁辺域における持続可能な洋上風力開発に向けて－海底地質リスク評価の重要性－」を承認
- 9月14日 科学的助言等対応委員会承認
見解「活動的縁辺域における持続可能な洋上風力発電開発に向けて－海底地質リスク評価の重要性－」

＜参考資料２＞ 公開シンポジウム

「活動域縁辺域における洋上風力開発に向けて」

主 催：日本学術会議総合工学委員会エネルギーと科学技術に関する分科会、日本学術会議地球惑星科学委員会 IUGS 分科会

共 催：IUGS、日本地球惑星科学連合

後 援：公益社団法人日本地すべり学会、国際津波防災学会、公益社団法人物理探査学会、海底地質リスク評価研究会、International Consortium on Landslides、National Taiwan University

日 時：令和４年（２０２２年）６月３日（金）１０：００－１８：００

場 所：日本学術会議講堂（東京都港区六本木 ７-２２-３４）及びオンライン配信（ハイブリッド開催）

開催趣旨：

政府は２０５０年カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現をめざすと宣言している。風力発電については、現在年間約４４０万キロワットであるが、２０３０年に洋上風力だけで１千万キロワット、２０５０年には９千万キロワットにするとしている。この目標達成のために、再エネ海域利用法を施行し、気象、海象などの自然現象、港湾などの保全、漁業保全、海洋環境の保全などの条件を規定している。

しかし日本のような活動域縁辺域の浅海域には、液状化、海底地すべりなどの地質災害リスクがある。そのため用地選定や設計のための地質災害リスク評価が必要となる。また津波、波浪の影響の評価も必要になる。洋上からの送電も課題となる。

本シンポジウムでは、活動域縁辺域における洋上風力発電開発の課題を議論し、その解決策を議論する。

次 第：

司 会

岩城 智香子（日本学術会議連携会員）

セッション１ 洋上風力発電の現状（コンビーナ：松島 潤）

「洋上風力の主力電源化を目指して」

土谷 学（一般社団法人日本風力発電協会理事）

「NEDO の活動について」

三枝 俊介（国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー一部風力・海洋グループ主査）

「洋上風力のエネルギー収支比とコスト」

松島 潤（東京大学大学院新領域創成科学研究科環境システム学専攻教授）

セッション２ 海底地質災害の事例紹介（コンビーナ：成瀬 元）

「日本の古津波と将来のリスク」

後藤 和久（東京大学大学院理学系研究科教授）

- 「深海底の地質災害リスク：地震・津波起源混濁流の例」
成瀬 元（京都大学理学研究科准教授）
- セッション3 地質災害リスク評価手法（コンビーナ：野村 英雄）
「海底地盤安定性リスク評価のための音波探査」
小澤 岳史（株式会社地球科学総合研究所営業部長）
「沿岸・海底域のジオハザードリスクの評価予測」
佐々 真志（国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所港湾空港技術研究所
地盤研究領域動土質研究グループ長）
「Assessment of geohazards for the development of offshore wind export cables」（動画）
Paul Dimmock (Norwegian Geotechnical Institute)
- セッション4 リスク評価のための既存データ（コンビーナ：佐藤 智之）
「JAMSTEC のデータ紹介」
木戸 ゆかり（国立研究開発法人海洋研究開発機構研究プラットフォーム運用開発
部門運用部研究航海マネジメントグループ技術主任）
「海上保安庁のデータ」
氏原 直人（海上保安庁海洋情報部情報利用推進課課長補佐）
「海底地質図およびその元データについて」
佐藤 智之（国立研究開発法人産業技術総合研究所地質調査総合センター地質情報
研究部門地球変動史研究グループ主任研究員）
「Seabed 2030: Compiling archived and recent datasets」
Jaya Roperez (National Institute of Water and Atmospheric Research)
- セッション5 国際協力（コンビーナ：大久保 泰邦）
「IUGS の活動」
北里 洋（日本学術会議特任連携会員、国立大学法人東京海洋大学教授）
「活動域縁辺域における再生可能エネルギー開発に関する国際協力」
大久保 泰邦（日本学術会議連携会員）
「Environmental impacts of deep water offshore wind」（動画）
Robert M Dorrell (University of Hull)
「台湾の事例」（動画）
張日新（台湾国立大学助教授）
- セッション6 人材育成と社会との関わり（コンビーナ：川村 喜一郎）
「山口大学理学部における人材育成の実践例」
川村 喜一郎（山口大学大学院研究教授）
「Innovative training for new industries」（動画）
James M Gilbert (University of Hull 教授)
「地域活性化につながる洋上風力発電事業開発のあり方」
竹内 彩乃（東邦大学理学部生命圏環境科学科講師）

「パネルディスカッション：提言に向けて」

パネラー：松島 潤、成瀬 元、野村 英雄（基礎地盤コンサルタンツ株式会社執行役員）、佐藤 智之、大久保 泰邦、川村 喜一郎

参加人数：

講演者等：21 名

その他の参加者：273 名

聴衆からの意見と回答：

当日、聴衆から多くの意見があった。以下にその主な意見（以下「Q」という。）と、登壇者の回答（以下「A」という。）を記す。

Q: 洋上風力発電開発は市場と政府主導で住民と地域不在のように感じる。

A: 洋上風力発電の先進国では、国が主導して海洋空間計画を策定した上で洋上風力発電のゾーニングを行っている一方、我が国では各地域での話し合いが先行して進められている。事業者は、自主的に海域等の調査やそれに伴う地域のステークホルダーとの話し合いを開始している。しかし、再エネ海域利用法に基づく「一定の準備段階に進んでいる区域」への指定に先立って民間企業等によって行われる事前調整に決まったルールがないことにより、手探りの状態で調整に携わっている状況である（竹内、2022）。自治体や事業者が地域のステークホルダーとの調整のための有効なアプローチ方法を早急に確立する必要がある。

Q: IUGS はコロナ下での制約や影響はあったか。

A: 2020 年にデリーで総会が開催される予定だったが、延期を 2 回繰り返し、今年ハイブリッドでようやく開催された。

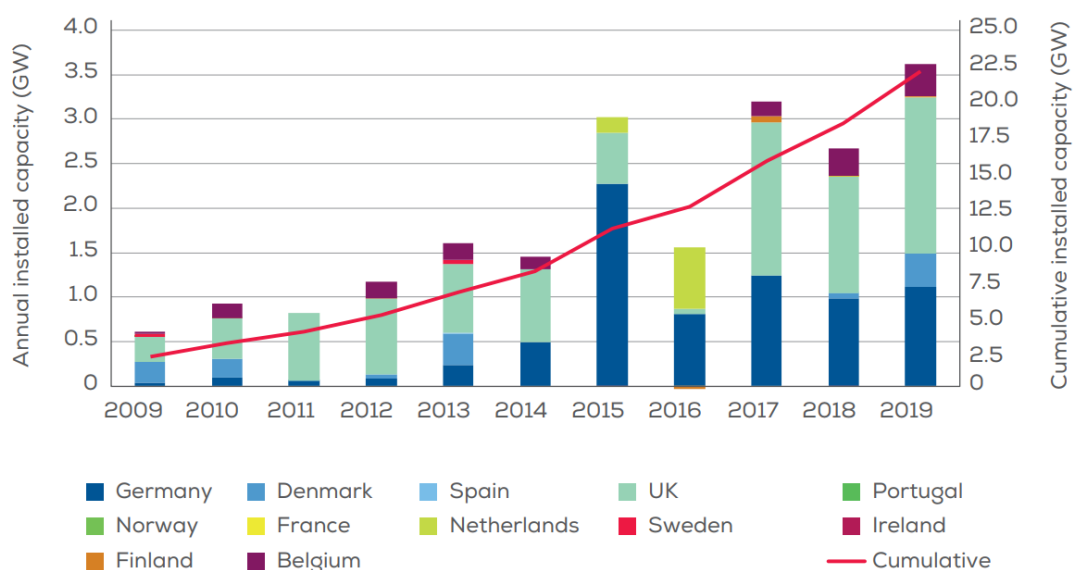
Q: 石油の生産量よりもエネルギー収支比の推移の方が重要と思う。これに相当する洋上風力発電のエネルギー収支比の推移と将来予測の図はあるか。

A: エネルギー収支比はエネルギーの種類、他、技術の進歩、社会インフラの状況で変わる。さらに地質リスク、風況などの自然現象でも変わる。さまざまな要素があり、例えば、洋上風力発電のエネルギー収支比の将来予測と言った時、場所ごとに推定しなければならない。現在、エネルギー収支比を計算している洋上風力発電はないと思うが、今後は、場所ごとにエネルギー収支比の推移と将来予測が必要と思う。

Q: 2016 年に風力発電の設備容量が減少している理由はなぜか。

A: 下図の棒グラフは年ごとの新設の設備容量である。赤の折れ線はその積算値である。設備容量の増設はむらがるはずで、このような凸凹ができたのではないかと予想される。

Annual offshore wind installations by country (left axis) and cumulative capacity (right axis) (GW)



Source: WindEurope

Q:衛星からの海洋観測データの利用はあるのか。

A:衛星からの海洋観測データはいくつもある。それが洋上風力発電に有効かは今後の研究課題となる。

Q:洋上風力発電の系統接続の調整力として木質バイオの火力発電が利用できるか。電力エネルギーの地産地消ができれば、地域社会に貢献できると思うのだが。

A:洋上風力発電を含め再生可能エネルギーは、出力の時間変動が大きく安定しないことが欠点である。木質バイオマスなど多様なエネルギー源を相互補間して、安定したエネルギー供給をすることは、設備が増えることによりコストが上昇する反面、安心な社会づくりに繋がる。エネルギー供給の将来の姿と考える。

Q:海底ケーブルを使わないで、マイクロ波等で電気送電等は研究しているのか。

A:マイクロ波送電技術は研究されているが、高効率化や小型化等の課題があり、洋上風力発電への適用は現在のところ検討されていない。

Q:風力発電で水の電気分解を行い、水素貯蔵・運搬してこれと発電所での水素発電のシステムは考えられているか。

A:計画レベルではよく考えられている。技術的課題も少なく、実用化の一手前にある。

Q:風力で羽型でないものは検討されているか。

A:検討されている。かなり開発が進んでいて、実用化の手前まで来ている。

Q:長期劣化評価と共に、劣化評価法の開発、巨大構造物の撤去方法の開発をお願いしたい。

A: 長期にわたって繰り返し荷重が発生する風車と地盤の長期劣化や、寿命が来た風車の撤去方法は重要な課題であり開発の必要性が高いと認識している。

Q: 日本が貢献可能な分野は、過酷な環境下で 30 年-50 年劣化しない材料開発と非破壊劣化診断技術の開発にあると思うが、いかがか。

A: 同様に考える。

Q: 台風発電は可能か。

A: 現在の風車は設計風速以上では過回転による事故を防ぐため運転を停止する。台風時にも発電できる風車は研究レベルではあるかもしれない。

Q: 何年くらい耐久性があるか。

A: 風車自体の耐久性は現在 30 年程度とされている。

Q: 台風等で壊れた場合には、洋上でも修理できるか。

A: 損傷の程度による。ブレードやナセル、タワーが損傷した場合であれば洋上で交換が可能。基礎（モノパイル・ジャケット）が損傷した場合には修理は難しく、一旦撤去することが必要。

Q: 2015 年以降、総エネルギー消費量は横ばいであるが、一人当たりエネルギー消費量にすれば、微増状態になっていると思われる。であれば、一人当たりのエネルギー消費量が微増している原因は何か。

A: 日本の人口は確かに減少に転じているが、総エネルギー消費量はその減少率よりさらに大きく減少しているので、一人当たりのエネルギー消費量は減少に転じている。ただ、セクター毎に見れば、家庭部門での減少率は他部門に比べれば相対的に減少率は小さい。

Q: お金について格差問題がクローズアップされているが、エネルギー消費量の格差はあまり議論されていないように思う。そのような視点で調査した資料はあるか。

A: いくつか資料はあると思うが、当方らの研究グループによる以下の論文を紹介する。オープンアクセス形式なのでだれでも無料で閲覧できる。人口一人あたりの GDP（所得格差）と人口一人あたりのエネルギー消費量（エネルギー格差）が、人の生活の質（QoL: Quality of Life）にどのように相関しているかを調べたもので、所得格差の方がエネルギー格差より QoL に影響を与えていることが統計データより分析されている。ただ、今後のエネルギー価格高騰によりその関係が変化することもあり得るかと思う。

Liu, B. and J. Matsushima, 2019, Annual changes in energy quality and quality of life: a cross-national study of 29 OECD and 37 non-OECD countries, Energy Reports, vol. 5, 1354-1364. 10.1016/j.egy.2019.09.040

Q:エネルギー収支比が低下すれば、貧者はエネルギーへのアクセスが困難になると予想される。回避策は？

A:回避策としては、大きく2つあると思う。一つ目はエネルギー収支比の高いエネルギー資源に徹底的に拘ること。二つ目は、社会・経済のあり方を変えること、つまり身の丈にあった社会に移行すること。

Q:貧者へのエネルギーという視点で見れば、巨大な風力発電設備よりも小さな風力発電設備を低コストで設置・運営するための技術開発が重要と思う

A:短期的には低コストなやり方が最適かどうかは慎重に考えるべきと思う。そもそも低コストかどうかは慎重に評価すべき。また、貧者はエネルギーレベルを低くして生活をしていては、格差問題は一向に解消しないのかもしれない。

Q:Best first の原理ではCO₂や廃棄物の排出はどうなっているか。

A:昨今の脱炭素化の流れは、これまでのコストパフォーマンス最適化に基づくBest firstの原理の流れを変える可能性を秘めていると思うが、どこまで市場や市場マインドを変えることができるかは今後注目すべき視点と思う。

Q:適地について海底送電線敷設や系統接続の為のインテグレーションコストは考慮されているか。

A:現在のコスト評価ではそのような事項は含まれていると思う。

Q:補助風力発電として、ビル風等の利用は考えられるか。

A:そのようなビル風を利用した発電方法は提案されているようである。

Q:日本は、古気候解析への水月湖、地磁気逆転を示す千葉セクション等地層に刻まれた過去の様々な現象を解析できる地層の宝庫ではないかと思う。これらの地層の解析はそれぞれの目的に合わせて個別に行われているが、総合的に解析したり保全したりする学問分野が必要と思う。

A:国内においては文科省が関与しているが、今後は国際的な機関との緊密な連携が求められる案件と思われる。その点において日本学術会議の果たす役割は大きいと思う。

Q:トンガ沖噴火でのラム波等の影響を評価するべきか。

A:このような噴火津波についても現在定量的に解析が進められているので、それによって事前に波高や到達地域などがわかるようにいづれなると思われる。そうなれば、従来想定されている「津波」としてリスク評価していくことになる。ただし、これらも含めて低頻度大規模災害に対してどのような対策を取れば良いのかは、今後の大きな検討課題である。

Q:津波の影響は、いわば一過性の大きな影響。一方、日常的に受ける微影響が積み重ねられる時の影響はどのように評価したら良いのか。洋上風力発電では、日常的に受ける波動や海流、風の影響、昼夜の温度差に起因する材料の伸縮の影響など。

A:洋上風力発電施設の供用期間中に生じる波動や風・温度などの繰り返し荷重・環境変化の影響を適切に考慮して施設設計を行う必要がある。

Q:地震以外の外力要因には何があるか。

A:海底地盤の不安定化・液状化を引き起こす外力としては、地震以外に、高波などが挙げられる。

Q:日本近海で混濁流が観測されているのか。

A:かなり多くの事例が報告されるようになってきている。間接的に海底ケーブルが破断する事故としては台湾において大きく報道されている。2011 年東北地方太平洋沖地震においても海底ケーブルが破断している。これらは混濁流によって引き起こされたと考えられている。そのような 2011 年の混濁流は、海底に設置されていた津波計がその流下を記録していた事例も知られている。また、相模湾などにおいては、深海カメラが混濁流を映像として記録している。いずれも地震と関連があると考えられている。

Q:海底の表面及び海底の地層調査は、日本近海のどれくらいのエリアで行われているのか。

A:産業技術総合研究所では日本周辺の多くの海域で音波探査を実施し地質データを収集している。また海底表層の堆積状況についても多くの調査を実施し、それらの結果は表層堆積図としてまとめられている。一方、洋上風力発電を行う海域のボーリング調査は殆ど実施されていない。

Q:地震は周期的に繰り返される。その意味で、過去の履歴を知るのは重用で、3D 音波探査を早く始め、最低限沖積低地沖の海底地層の履歴を調べる必要がある。

A:同様に考える

Q:日本周辺海域に敷設されている人工物の情報はどこが管理しているか

A:本件、海上保安庁に確認した。海上保安庁で刊行している海図には航行安全のために必要な情報として、海底障害物・沈船・海底ケーブル等の情報を掲載している。これらの情報は、海洋情報表示システム「海しる」に掲載されており、「海しる APIs」から位置データをダウンロードできる。

海しる <https://www.msil.go.jp/msil/htm/topwindow.html>

海しる APIs <https://portal.msil.go.jp/>

海洋底にある設置物について一元的に管理している機関は不明だが、これらの情報は活用できる。

Q: 1万メートル以下の地盤構造等を音波調査で調査可能か。

A: 十分に可能である。例えば、南海トラフでの「ちきゅう」の掘削地点周辺で事前に行われた地殻構造探査では、地表から 11km の深さまでの沈み込むプレート形状が描画されている。

Q: 地震とともに、海底火山に関するデータも大切と思う。直近の 6600 年前に起こった破局噴火は海底火山。最近、環太平洋火山帯の活動が活発化しているので気になる。

A: 世界の活動的な活火山 1551 山のうち、日本には 111 山と 7% もの活火山が集中している。我が国では、噴出量 10 億 m³ 以上の大規模噴火は、概ね 100 年に一度の割合で発生している。巨大噴火の一つである鬼界カルデラでは、「ちきゅう」による掘削調査がなされている。7300 年前と 95000 年前の超巨大噴火の噴出量を推定した。

https://www.jamstec.go.jp/j/about/press_release/20200124/

Q: 海底面での海温分布等は測定しているか。気象との関連はどうか。

A: 海底ステーションや特定の係留系設置点周辺における連続観測をしている。海底付近での水温分布は大きな変動はなく、3-4 度で安定している（熱水活動域を除く）。海面付近での水温変化と気象海象との関連性はあると考えている。

Q: 若手研究者の育成は組織的に行われているか。行われているのであれば、その内容について教えてほしい。

A: 若手育成といった観点でのプログラムはいろいろと走っているが、組織的にやっているまでは至っていない。各種学会では、Diversity ワーキンググループが組織され、アンケート調査などを行いながら、若手の意識調査、長く学会活動を続けていける支援策などを計画している。

現在一番活発な活動をしているのは、J-DESC と呼ばれるコンソーシアム。全国の大学が集っている。そこでは若手育成として、さまざまなスクール（大学の長期休みを利用した短期集中の講座）が開設されており、毎年、もしくは隔年で大学職員や JAMSTEC などがボランティアとして、若手育成をしている。今後もこれを継続して実施する必要があると思う。

Q: 最近、マイクロプラスチックに関する ISO の web 会議に参加した。若手の発言力が落ちているのではと気にしている。

A: JAMSTEC では、海洋環境部門を中心として、本テーマの研究航海も組まれている。小中高校生向けのアウトリーチ活動にも取り組んでいる。

COVID-19 の影響によりここ 2-3 年は対面活動が難しくなっているが、国連海洋科学の 10 年も昨年からはスタートし、全国の小中高校での意識もあがっていると感じる。

Q: 気象庁の風データを基礎とするのか。どういう場所が風力発電に適しているかを判定できるような研究はあるのか。

A: 風力発電の適地は国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）が公開している洋上風況マップを参考とすることが多い。これは気象モデルによる風況シミュレーションと人工衛星による海上風観測値に基づいて設定されている。また開発候補地では現地にて風況観測を行うことも多い。

Q: デジタルデータの充実は大切だが、いざという場合に備えてアナログデータによるバックアップも大切と思うが、この点はどうなっているか。

A: データのアーカイビングは非常に重要と考えている。コア試料のようなアナログデータの保存、画像、デジタルにしての保管、キュレーターの育成も重要である。デジタルデータについては、オリジナルのフィールドテープ、紙記録などの長期保存を行っている。拠点に分散して（むつ、沖縄、横浜、横須賀、高知など）保存する、という計画もある。

Q: 日本は海底面も含め、常時動いている。観測の頻度はどうなっているか。

A: 特別な理由が無ければ再調査はなされず、海底地形図は一度作られれば数年から数十年そのままであるケースがほとんどと認識している。

Q: 地震被害を予測し、対策を立てるためにも、巨大な都市がつくられ、人口が集中する沖積低地の沖の調査は大切と思う。

A: 全くその通り。着々と調査したい。

Q: データの活用の可能性とともに、その限界について知ること大切と思う。

A: その通りで、データがあるからそれで十分ということはない。現実には、データを集めてみて検討しても不明な点残り、そこを新規調査で解決する、ということになる。データをあまりにじっくり見るよりも調査した方が安く早いということも起こり得るので、そうならないよう、データの可能性と限界を知ることが大切。それは実際の事例研究が進むにつれ明らかになるだろう。

Q: There are many data sources from governmental, commercial and so on. For example, you may use gas/oil company data, but some of them (or all of them) cannot be accessed. In this case, how do you work (you try to access or you give up to access) toward these datasets with difficulties.

A: We try to talk to commercial industries if they would be happy to share their data. But we are aware that their data is owned by their client so if they are keen on sharing the data, they can either be the one to liaise between SB2030 and the client or they can just give us the contact details of the client so we can reach out to the client directly. Fugro is a private survey company that started mapping during their transits from one work area to another. These transit data, they can easily share with us. But the data within the client's survey area, it's still tricky and usually, transits

cover more area than specific survey areas. and for transits, they just need to log the data and we're happy to process it. Another thing is that SB2030 is not asking for very high-resolution data like what oil and gas industries have (sub-meter to decimeter resolution). So to protect their interests and data, we always suggest that they decimate/resample their data to 100-m resolution, if they are really happy to share.

Q:環境問題のような「厄介な問題」に対応するには「拡大超学際的組織」が必要。

A:そのような組織が必要と考えており、今回のような日本学術会議での試みはそれに即したものとなっていると思っている。また、学際的組織を運営するためにはお互いの理解が重要であり、そのあたりの考え方について、このシンポジウムに併せて出版した「月刊地球」の巻頭言に書いた。

Q:プラスチックごみ問題に対処する組織として、2018年12月に欧州(EU+UK)で設立されたCPA(Circular Plastics Alliance)の活動が拡大超学際的組織の具体例として注目している。組織的な人材開発の重要性を述べているのは、このような組織で議論し、あるいは議論をリードできる人の育成のこと。今の日本は出る杭は打たれる、空気を読め、忖度しないと生きていけない社会ではないか。そういう社会で学際教育は可能なのか。最近メディアの確証バイアス(自分たちに都合のいい真実しか集めない)が目立つ気がしている。正しいリテラシーを育てられるのか心配である。

A:組織立った学際的人材育成が求められていることは事実である。これに対して、山口大学の学科ではさまざまな機関と連携した洋上風力発電に関わる大学院教育を進めることを計画している。海洋に関わる教育はどうしても予算が必要となるが、うまく各機関と連携することによって克服したいと考えている。

<参考資料3> 月刊地球「洋上風力発電と海底地質リスク」(海洋出版)の出版

目次

巻頭言

川村喜一郎 巻頭言にかえて：海洋国家日本における海底地質リスク

1章 洋上風力発電の現状

土谷学・斉藤長・柴田学 洋上風力の主力電源化を目指して

松島潤 再生可能エネルギーのエネルギー収支比

2章 海底地質災害の事例紹介

後藤和久・渡部真史・石澤堯史 日本の古津波と将来のリスク

成瀬元 深海底の地質災害リスク

川村喜一郎 活動的縁辺域での海底地すべりの研究課題

池田尚史・川村喜一郎 コンターライト：大西洋での過去20年の研究レビューと太平洋での研究意義

3章 地質災害リスク評価手法

小澤岳史 海底地盤安定性リスク評価のための音波探査

佐々真志 沿岸・海底域のジオハザードリスクの評価予測

川村喜一郎・野村英雄・武政学 活動縁辺域での洋上風力発電における海底地質リスク

佐藤智之 沿岸域の地下構造モデル構築を目指して一周辺の陸域地質・地質背景との関連性ー

4章 リスク評価のための既存データ

佐藤智之 日本における沿岸域の地質情報データベース

木戸ゆかり 日本における海洋データベースー海洋研究開発機構(JAMSTEC)のデータベースの取り組みと他機関との連携例ー

大久保泰邦 活動縁辺域における洋上風力開発に向けた国際研究協力

川村喜一郎・松島潤 燃えよ、海底地質リスク評価ー共感する人材育成に向けて

竹内彩乃 地域活性化につながる洋上風力発電事業開発のあり方

野村英雄・永川勝久・武政学・尾高潤一郎・三浦健一郎・田中淳・安田智広 海底地質リスク評価研究会の取組