

IV. 総合討論：海洋における気候変動緩和策実施とその課題

座長：三浦正治

パネリスト：喜田 潤・桑原久実・原田尚美
林 正裕・吉川貴志・三浦雅大

座長

総合討論のテーマは「海洋における気候変動緩和策実施とその課題」です。工学的な課題や政策的な課題もありますが、今日は、海洋生物や海洋環境について議論したいと思います。

まず、最大漁獲可能性が赤道域と南極海のあたりで減少するという予測でした。赤道域だと海洋生物は中緯度に移動すれば何とか生き残れると思いますが、南極海だと、もう逃げる場所がないのではと思いますがどうですか。

喜田

おそらく逃げる場所はないと思います。特に南極海では、大きな漁業資源ではないですけれども、オキアミの資源が生態系を支えています。漁獲量がどれだけ減少するかを、絶対量ではなく率で示しましたが、温暖化の影響を受けやすい漁業資源の減少率が大きいという結果になっています。

また、島嶼国で一番大きな問題は、海面上昇による国土の消失です。それにプラスして多獲性魚種の漁獲が減少する。気候変動による影響というのは、複合的にさまざまなものが重なって起こるということになると思います。

座長

藻場の現状、磯焼け対策について、海水温上昇でウニや南方系の魚が増加して、海藻の温度耐性より低い温度でも藻場に影響が出ると理解してよいですか。

桑原

高水温が直接藻場の消失原因になる事例はありますが、現在の水温の上昇では生息水温の上限値を毎年超えて消失することはありません。それよりも、南方性のアイゴやブダイなどの植食性魚類の北上やウニ等の植食動物の食圧が高くなり海藻が食べられ、全国各地で磯焼けが発生しています。

これまで、藻場が消失する要因として、種々の意見がありましたが、海洋の酸性化が磯焼けに影響していると言うものは、今のところありません。

。我々の水研機構では、藻場回復を行う場合、海藻の生えない制限要因を特定して、その要因の除去・緩和に努めることが重要と考えています。海藻を実海域に移植して、植食動物の食害にあわないようにケージで囲う区と囲わない区を設けて実験を行いました。ケージで囲った区では海藻が生育しましたので、栄養塩、水温、塩分等の水質は制限要因とは考えられず、囲わなかった区で海藻は消失しましたので植食動物の食害が考えられました。このような現地試験は全国的に実施され、藻場が回復しない主要因は植食動物の食害であることがわかりました。

座長

地球温暖化というと南から進むという印象があるのですが、海洋酸性化は北から進むということでしたが、その理由はなぜですか。

原田

端的には海水温が低いということがあります。気体は水温が低い方が溶け込みやすいということが、第1の理由です。また、極域の場合は、海水が融け出して淡水が増加しているということも、もう1つの大きな要因になっておりまして、希釈の効果といえますか、よけい酸性度を高める二重の効果になっています。

座長

飼育海水のpHを上げると種苗生産が上手くいくという話がありましたが、プロテインスキマーを使うということはpHを下げている要因はCO₂だけではないということですか。

林

そうです。pH低下には有機物の影響とか富栄養化の影響などもあり、そういうのを除去するためにプロテインスキマーを使用しています。CO₂自体を飛ばしているのは強曝気ですが、このまま大気中のCO₂がどんどん上昇していけば、当然曝気では追いつかなくなるので、将来的にはアルカリを添加するなど、根本的に海水を作るというようなことも必要かと思っています。特に、仔魚の時期は環境の変化に弱いので、その弱い時期に注意する必要があります。

座長

CCSの監視調査で、通常時監視から確認調査な

どに移行する状況というのは、事前のベースライン調査で把握されたCO₂濃度を通常時監視で超えた場合ということですか。

吉川

大まかに言うとそういうことになります。実際には事前に調べたCO₂濃度、酸素濃度のデータセットから基準線を引いて、それを超えた場合に確認調査等へ移行するわけですが、事前に得られているデータは限られたものですので、判断が難しくなります。

現段階では実証的な事業という位置づけで調査項目も多岐にわたって実施されているように思います。この実証事業の中でCO₂漏洩を判断する基準の見直しなども提案したいと思っています。

座長

洋上風力の環境影響評価について、経産省の手引きと環境省の基本的な考え方から見て、今後、水中音の影響評価の開発が必要という話でしたが、洋上風力で懸念されるのは水中音だけですか。

三浦

他にはバードストライクという大きな問題があります。それから工事に伴う水質や底質変化、施設の存在による流れの変化があります。流れの変化があれば、それに伴って底質や水質も変化する可能性があります。

洋上風力の場合は、これから予定されている大規模なものと、海上に100本位のタワーを建てたりします。このタワーをローター径の3倍位になるような間隔で作りますので、事業実施区域は非常に広がります。ただ、そのうち発電施設が占有する面積は事業実施面積に比べると非常に小さく1%未満だと思います。それがさらに分散的に配置されるということを考えて、流れや底質の変化が発生しても、局所的なものになるのではないかと思います。ただ局所的とは言っても、全く影響がないわけではないので、そこはしっかり調査をして、影響が少ないなら少ないなりのデータを取って、事例が積み重なってきたら、これはやっぱり影響がないから調査項目から外しても良いといった検討ができればよいと感じています。

座長

バードストライクあるいはバットストライクで

は衝突して死ぬので、影響があるかもしれませんが、クジラや魚はそれほど心配しなくてはならないものではないでしょうか。

三浦

鳥では実際に衝突して死ぬ個体があります。魚やクジラでは、そこまでの影響はないと思いますが、なぜ調査されているかという点、海生生物の中でも聴覚が発達している生物群であるので、水中音の影響を受ける可能性があるためです。発表の中でご紹介しましたように、スナメリに対して工事の際の水中音が影響したという実例があります。また洋上風力の稼働後に発生する低周波音の影響については、これまではそれによって大きな影響が報告された例はないと思います。ただ日本の場合、洋上風力が先行しているヨーロッパとは海域特性が違いますし、生息している生物も違う。そういう意味では、その影響についても注視する必要があると思います。

座長

ヨーロッパで先行しているという話がありましたが、CCSも世界的に色々な場所で行われていますが、事前のベースライン調査やモニタリング調査は、世界的にはすでに実施されているのではありませんか。

吉川

実施されているようです。ノルウェーではセンサーを製作して調査が実施されているようです。我々も装置を海中に設置して連続的なデータを得れば、CO₂の日変動や季節変動が分かるようになると思います。

座長

皆さんにお聞きしますが、今日の話提供では水平的な話が多かったと思いますが、鉛直的な方向、海の深い方向への気候変動の影響というのはどうでしょうか。

喜田

二酸化炭素による海洋酸性化はなぜ起こるかという点、大気中の二酸化炭素濃度が上昇して、それが海の表面から吸収されるということで、海の表層から伝わってくるということです。ただし、徐々に深い方向に海洋酸性化が進んでいるという現状が、知られてきているところです。その他、

酸素濃度等がありますけれども、それについては原田さんの方が詳しいと思います。

原田

鉛直的な方向というのは、まさに海洋酸性化にとっては実は非常に深刻な状況になっています。今日20分の説明の中で紹介しきれないなと思いましたが、なぜ私たちが北太平洋に観測計を設けているかの理由として、北太平洋というのは全球規模の海洋大循環の最終地点だからです。非常に古い海水が全体的に湧昇してきて、どこで湧昇してきているかというのはまだまだ研究の余地がありますが、そういった古い水塊、水というのは、途中でいろんな有機物を溶け込ませて、最終地点にたどり着いた頃には非常に酸性度の高い水質となります。それが200mとか15mといった亜表層まで上がってきています。カルサイトという、アラゴナイトよりも溶解し難い結晶系の炭酸カルシウムでさえ未飽和な水質状態になっています。それが、場所によっては、もはや200m、150mの水深なのです。

ある種の動物プランクトンは、その水深で生活史を回しているわけですから、非常に深刻です。そういった亜表層の酸性化も、表層からさらにCO₂を取り込むことによって加速されていきます。酸性化の問題というのは、鉛直的にもかなり深刻な状況になっているのが現状だと思います。

また、温暖化、酸性化で、3つ目のストレスとして貧酸素という問題があります。これも海の深い方からやってくる課題ですけれども、今日の林さんの講演でよくお分かりになったかと思いますが、1つ1つのストレスに対しては、生物はあまり大きく影響を受けない可能性があるのですが、これが2つ3つと重なってくると単にプラスではなくて、掛け算式にドラスティックに影響を受ける可能性があると思います。3つ目の要素として貧酸素というのが、特に日本海の場合ですと、比較的深いところにいい水産資源の漁場とかがあったりしますので、日本の周辺でそういった複数のマルチストレスの影響評価というのは、今後大きな課題になってくるのではないかと個人的には思います。

座長

貧酸素というのは、内湾の海水の汚いところで起こる現象ではないかと素人的には思うのですが、日本海でも深いところから貧酸素が上がって

くるのですか。

原田

有機物の分解によって海水中の酸素が使われてしまって、酸素の供給源は表層にしかないのです。深ければ深いほど酸素濃度が低いということになります。日本海の詳しい状況はわかりませんが、身近な海域として、太平洋側よりは日本海側のほうが貧酸素の影響を受けているのではないかと、海洋循環の仕組みからして、そういうふうに思います。

成層化という点も、おそらく規模的にはグローバルな規模での話に結び付くかなと思います。ローカルというよりはグローバルにじわじわということだと思います。ただ貧酸素に関しては、まだ非常に深い方での影響ですので、私たちもとっさに生物への影響をどう監視していったらいいのかなというのは、まだ手探りの状況ですけれども、次の計画では確実に、キーワードの一つに貧酸素化というのは入ってくると思っています。1,000mから、500m、200m、表層ぐらいまでのところの水深を考えています。

座長

日本海の1,000mだとベニズワイの生息水深と重なりますね。今後の課題というところですか。

原田

動物プランクトンも結構深くまで潜ります。1,000m近くまで潜っているという種もいるので、我々が対象にしている生物は、そういった水深から亜表層までの200mぐらいまでを生息水深にしている低次生物を対象に考えています。そういった水産資源の餌になるような重要な種も心配です。

座長

今後、温暖化対策を進める上でも海のモニタリングが必要だと思います。モニタリングとして何をすれば良いのでしょうか。

喜田

例えば酸性化の問題であれば一番測りやすいのはpHですが、一般的なpHセンサーの精度では、CO₂濃度の数~数十 μ atmという差がなかなか検出できません。そういった精度まで求めるには、全炭酸を調べる必要があります。ただし全炭酸を

測定するには、海水をサンプリングしなければなりません。連続観測が必要であれば、pHやpCO₂による精度の良いセンサーを求めているかなければなりません。また温度については、高精度のセンサーがありますので、そういったものを使えばよいと思います。海洋酸性化の観測方法については世界的に、こういう方法で、こういうことをしたらいいというマニュアル本が出ていますので、それに従えばよいでしょう。

もう一方で大事になってくるのは、海洋の物理、化学変化に呼応するかたちで、日本の沿岸であれば生物の分布や資源が如何に変化しているかをどのようにとらえていくか。例えば本日、桑原さんがご発表になりましたけれども、生物分布変化を気候変動と合わせて、どのようにモニタリングしていくのか、ストラテジーの構築が必要だと思います。

桑原

海藻や貝等のあまり移動しない生物は、その場所の環境をモニターしており、定点等を設定して、モニタリングしておくべきと考えます。また、漁獲統計データは、漁業を通じて重要なモニタリングデータが得られていると考えられます。しかし、カレイにはいろいろな種がありますが「カレイ類」と1つにまとめられていたり、南方の魚類が北上しても「その他雑魚」に含められたり、水温上昇による魚種変化を把握しにくい状況にあります。漁獲統計データは、温暖化影響のモニタリングといった重要な側面を加えて、今後データの充実が必要と考えます。

原田

酸性化以外のストレスが関与してくるとなると、甲殻類等も比較的深いところでは新たな問題となるかもしれません。JAMSTEC（海洋研究開発機構）としては、どうしても研究対象海域は外洋域が主になってきます。その中でも食物網を支える重要生物である低次生態系、プランクトン類が中心になっていくというのは今後も変わらないと思います。

座長

次にCCSなどの緩和策の影響について議論したいと思います。CCSや洋上風力はCO₂削減には効果的だと思いますが、それらにはそれ独特の環境影響もあり、懸念の声もあります。あまり懸念ばか

りしていてもなかなか温暖化対策は進まないと思いますが、これはどのようなスタンスで研究を進めればいいでしょうか。

吉川

CCSに関してはとにかく実証事業段階であり、許可申請の中で、CO₂が漏洩した場合を想定して、どのくらいのCO₂が出てくるのかといったことをシミュレーションしています。

シミュレーション等で明らかに心配ないと言えればよいと思いますが、現状ではデータがやっぱり少ないという事情があるので、調査を重ねていく必要があると思っています。

三浦

今後のエネルギーミックスの一つのピースとして、洋上風力も増やしていかなければいけないだろうと思います。ただやはり、日本に建てた場合、どういう影響があるかということは未知数だと思うので、そこはしっかりと調査して結果を蓄積していけば、実際はこんな影響があったとか、心配したけれど実はそのような影響はなかったというようなことも分かってくると思います。現段階では、影響把握のための調査をしっかりとやることが必要な状況にあると思います。

喜田

温暖化緩和策は、ヨーロッパ、アメリカでは実用化されており、CCSはアメリカではすでに電力からのCO₂隔離が陸域で実施されています。三浦さんの発表にありましたように、洋上風力もヨーロッパですでに発展してきています。その中で彼らがどのようにやってきているかというのをいろいろ聞いてみると、一番大事なのは learning by doing, やりながら学ぶということでした。やはりそういう姿勢が最初に必要で、やるかやらないかを最初に決めて、また環境影響評価だけやって事前に懸念を払拭しようとするのではなく、やってみて、ああしよう、こうしようとか、そこから学んでいってやっていく。そういった姿勢も日本でも必要ではないかと思います。

ヨーロッパはすでに洋上風力の経験が長いので、稼働を始めてから7年後に周辺の魚類資源増減への影響がどれぐらいあったのかを調べて、減少しているところかむしろ増えているという結果を示した例があります。このような事後モニタリングは重要だと思います。

座長

地球温暖化影響に関して、複合影響の話も出ましたが、実験的にはどうですか。

林

複合影響になると、やはり実験のレベルが数段上がります。私の研究事例でも、酸性化だけでは影響が出なかったけれども、そこに高水温が加わると影響が出るということもありますし、先ほど言ったような酸性化に貧酸素が加わった場合に、どのような影響が出るのか分かりません。沿岸の場合だと富栄養化が問題になっていますが、富栄養化と酸性化、さらにはそこに温暖化が加わるということになると、その影響は全く分からないので、今後はそういった調査が重要になるだろうと思います。ただ、やはり手法が難しいので、実験手法の検討から始まると思います。また、さらに長期になると影響が出てくるという事例もあります。当然、温暖化や酸性化は短期で終わるものではなくて、今後ずっと続くものなので、やはり長期的な実験というのは必要ではないかと思えます。5年とか10年スパンの予算で研究できるのであれば、非常にありがたいと思えます。

座長

今後、海藻のモニタリングも必要という話がありました。モニタリングするとしたら何が重要ですか。

桑原

鹿児島の水産技術開発センターでは、南方種の海藻がどのように増加しているか調べています。頻繁に見かけない海藻が多く、本州の研究者も加わり勉強会を開いています。このような藻場を監視するネットワークが全国的に広がることはすばらしいと思えます。

原田

最近よく言われているオープンサイエンス、オープンデータという流れもあり、外洋域では、海洋酸性化のグローバルネットワークができています。実は地域ごとにも、例えばラテンアメリカとかウエストパシフィックとか、海洋酸性化研究について連携した地域ごとのコミュニケーションを取るグループというのは一応できてはいます。まだ積極的にオープンにはなっていないのかもしれませんが、グローバルとローカルを結びつけたよう

な形のオープン化というのは、非常に重要になってくるのではないかと思います。

喜田

桑原さんと原田さんのお話に加えて、もう1つ大事な視点として、例えば、漁業という経済、産業に対する影響を考えると、地域ごとに影響の度合いも違ってきます。温暖化なり酸性化の影響は、例えば温暖化による海水温上昇は太平洋側と日本海側で違って、酸性化の程度も違います。またおそらくそれらの影響は、藻場、干潟、開放沿岸域、内湾、そういうところでも全く違ってきます。そういった個々の地域の経済、それから個々の地域の特徴的な生態系を勘案して、どこを拠点にしてモニタリングしていくのかといったような視点も必要ではないかと思えます。

三浦

洋上風力のところでご説明しましたように、環境影響を評価するためのデータが現状では乏しいので、実験等でデータを積み重ねる必要があると思えます。ただ、例えば水中音の実験というのは非常に難しいです。水槽の中に様な音の条件を作り出すのが困難だからです。従って、実験手法の開発も必要です。また、現場調査の手法についても同様です。A-tagというクジラの鳴音を受信する機械をご紹介しましたが、海中に吊り下げておけば、勝手に調査してくれるという便利な機器ですから、現在スタンダードな手法となっています。ただし、問題は種の特定ができないことです。マイルカ科とネズマイルカ科という科レベルの区別はできるのですが、何の種かというのは分かりません。ただ文献情報によると、水中で録音した鳴音を分析することにより、種まで特定することが可能になりつつあるそうです。このような現場調査についても、手法や機器の開発が必要だと思えます。

座長

会場からもご意見を頂きたいと思えます。

会場

大変感動する素晴らしいお話を伺えまして、発電産業の方々も勇気をもらえたような気がいたします。ただそういう中で、我々なりに気をつけなくてはいけないのは、前だけを向いているということではいけないような気がいたします。風力発

電という美名の中で、世界に冠たる美しい森、山の稜線、スカイライン、それを持ったわが国の非常に美しい風景が損なわれるとしたら、ちょっと耐えられません。

そういう中で、洋上発電というところに活路を見出したような気がしていたのですけれども、海に沈む夕日が見えるという日本でも有数の景観を誇る町にも洋上の風車が海岸近くに林立するというような話を聞いたときは残念な思いがいたしました。私はやはり産業にかかわる者としては、今、目に見えないものでも、何か忘れちゃいけないものというのはきっとあるはずだと。ふと今日の会の中で感じました。そういう気持ちだけは忘れないようにしたいと思います。

特に洋上風力で大変心配なのは、海鳥、渡り鳥です。陸地に接近したときに干潟等があれば、必ずそこでお休みをするわけです。そういうように、今見えていないものにまで気を使うというのが、これから必要なことなのかなという気がいたしました。無責任な話ですが、誰かが発信していただければと思います。

座長

ありがとうございます。今回のシンポジウムの総合討論は、取りまとめて、海生研研究報告に掲載する予定です。見えないものへ配慮ということも含めて、今のご意見を文章に残しておきたいと思えます。

会場

大変興味深いお話を、幅広いトピックの中から伺わせていただきました。ありがとうございます。私がちょっと気になった言葉の一つとして、桑原さんから指摘があった、例えば海で何が起きているかということモニタリングしていくときに、漁獲統計とかそういったものが、もう少し種レベルとかになっていくといいというお話がありました。しかしながら、日本の最近の行政を見ていると、統計とかそういうところにかかる労力、お金といったものを、むしろ削っている状況にあるのではないかと思います。一方で漁業のためというよりは、こういった世界的な問題に使うべきレーダーみたいなものというような視点であれば、もっと大きな視点から、魚種別なりにデータが取れるような仕組みを再構築するようなことができるのではないかと。それは水産行政というよりは、例えば内閣府にある海洋政策本部のような

ところで、海洋の政策として、大きな視点から組み立て直せないのかとか、あるいは行政だけではなくて、いろんな力を集めて、そういったデータを集めていくといったことができないのか、そういう視点で、モニタリングの力の強化というものを今後考えていく必要があるのではないかと気がいたしました。

会場

水産改革の中で資源管理が最大の使命となっています。資源管理・資源評価からすると水産改革の中で、予算を大幅に増やすとかいう話を聞いていますから、必要な調査のレベルは確保されるように期待したいと思います。漁獲データについては、確かに農林水産統計事務所を通じて行くと予算削減や時間が掛かるという問題があると思いますが、市場や漁協からデータを取ることで、シンプルで迅速にできるのではないかと思います。最近、外国もそうやっているようです。

別件ですが、海藻といえばCO₂を吸収すると思いますが、これについてどのようにお考えかお聞きしたい。最近、カリブ海では海藻が増え過ぎて困っていて、日本から何とか協力してくれないかという話がありました。CO₂の吸収に関しては、カリブ海での海藻繁茂について何が起きているかという知見があれば、教えて頂きたい。

桑原

カリブ海の藻場について知見は持っていませんが、海藻のCO₂固定については、海藻の成長と枯死、沖への流失や岸への打ち上げ、分解過程等を各生活史段階で考慮する必要があり、また、他動物への摂食による取り込みなどを考慮すると非常に難しい課題だと考えます。また、海藻のCO₂固定だけでなく、藻場には付着性の動・植物が数多くいますので、これらの生物を含めた藻場のCO₂固定についても検討する必要があると考えます。

座長

それでは今日の総合討論をまとめます。まず1つは気候変動の現状を把握するためにも、あるいは対策の効果を検証するためにも、モニタリングが必要であるということが挙げられたと思います。ただモニタリングの水域、項目、水深等で工夫する必要はあります。またモニタリングについては、世界的な海洋ネットワークはありますが、日本沿岸はまだネットワーク化されていないとい

うことで、今後の課題でしょうか。沿岸は富栄養化があったり淡水の流入があったり、複雑なので今後留意する必要があると思います。

温暖化に対して、他に有効な手がないのでCCSや洋上風力が必要ということですが、日本は経験が浅いので、環境影響評価や事後調査、CCSの監視調査等については、注意深く進めて、経験を増やすという段階にあります。ただし、CCS実証事

業の中で合理化の考えも必要だし、洋上風力も経験を積む中で評価項目の見直しも考えたいということでした。更に今後の課題として調査機器の開発や予測手法、調査手法の開発も必要ということでした。

発表者の皆さん、会場の皆さん、ご協力どうもありがとうございました。これで総合討論を終了します。