

図5-7 海洋生態系におけるプラスチックの動態⁵⁹

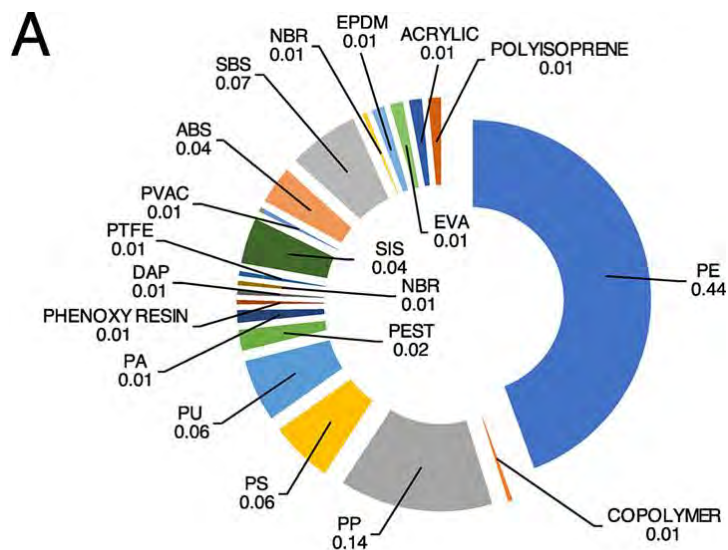


図5-8 地中海、ヨーロッパアカザガニ（深海底生性エビ）の内蔵に残留するプラスチックの比率⁶⁰
 ※ポリエチレン、ポリプロピレンの取り込み量が多い

海洋プラスチックや、それが劣化したマイクロプラスチックは、プラスチックの長期安定性が弊害として現れたものである。このため、分解過程を制御できるプラスチックが求められ、分解性プラスチックや生分解性プラスチックのような製品の開発と普及が必要である。また、現在、土壌やコンポストなどの環境での分解評価をしているが、海中や海底での分解プロセスを把握し、評価できるデータの蓄積が必要である。また、分解プロセスまでトレースできるプラスチックを普及させるとともに、プラスチックを使い捨てない文化を定着させることが必要である。

⁵⁹ WWFホームページ

⁶⁰ Aresandro Cauら, *Environ. Sci. Technol.*, 2020, 54, 8, p4886

生分解性	PLA PHA系 (PHBH等)	バイオPBS PBAT・PLAコンバウンド 澱粉ポリエステル樹脂 酢酸セルロース (ジアセテート)	PVA、PGA PBS、PBSA PBAT PETS その他
	バイオPE バイオPA11 バイオPA1010	バイオPET バイオPTT バイオPA610、410、510、56 バイオPA1012、10T バイオPA11T、MXD10 バイオPC バイオPU 芳香族ポリエステル バイオ不飽和ポリエステル バイオフェノール樹脂 バイオエポキシ樹脂 酢酸セルロース (トリアセテート)	PE PP PET PTT PVC PS ABS、PC、PBT POM、PMMA PPS、PA6、PA66 PU、フェノール樹脂 エポキシ樹脂 その他
非生分解性	バイオ由来	バイオ由来+化石由来	化石由来

PVA：ポリビニルアルコール、PGA：ポリグリコール酸、PBS：ポリブチレンサクシネート、PBSA：ポリブチレンサクシネート-co-アジペート、PBAT：ポリブチレンアジペートテレフタレート、PETS：ポリエチレンテレフタレートサクシネート、PE：ポリエチレン、PP：ポリプロピレン、PET：ポリエチレンテレフタレート、PTT：ポリトリメチレンテレフタレート、PVC：ポリ塩化ビニル、PS：ポリスチレン、ABS：アクリロニトリル-ブタジエン-スチレン樹脂、PC：ポリカーボネート、PBT：ポリブチレンテレフタレート、POM：ポリアセーテル、PMMA：ポリメタクリル酸メチル、PPS：ポリフェニレンサルファイド、PA：ポリアミド、PU：ポリウレタン、PLA：ポリ乳酸、PHA：ポリヒドロキシアルカノエート、PHBH：3-ヒドロキシ酪酸・3-ヒドロキシヘキサン酸共重合ポリエステル

図5-9 マイクロプラスチックの種類と分解性⁶¹

＜現在の技術レベル＞

海洋プラスチックについて、生産消費場所の把握や、河川や沿岸からの流出のシミュレーションのほか、表層海流による移動シミュレーションは、十分なモニタリングのデータがあれば可能なレベルにきている。一方、海中でのプラスチックの拡散を把握する手法は構想のレベルである。衛星による監視を補完する観測フロートや、各種のGlider、セイルドローンなどが開発されているが、交通量が多く、黒潮が流れ、台風や低気圧が頻繁に通過する日本周辺でのモニタリングには課題が多い。現在直ちに利用可能な技術として、航行船舶やヨットなど回収装置を取り付けることが考えられるが、プランクトンネットによる採集は効率が低い。

海洋プラスチックのセンシング技術として、FT-IR分光法によるプラスチックの分子鎖の判定が普及しており、とくにATR法（面反射計測）が広く使われている。大型の海洋プラスチックは検出容易であるが、マイクロプラスチックについては、マイクロATP法が開発され、多くの研究室で利用されている。この方法の問題点は、ネットサンプリングと同様、研究者が作業する際に衣類等に由来するプラスチックが混入することで、研究スキルの向上が求められている。

大量の分析データが出力されるIR分光計測は、解析速度の向上と、特に沖合での無人化を実現しなければ普及しない。このため、可視光だけでなくIRまで含めた分光型のカメラ映像解析が可能なハイパースペクトルカメラによる映像や、衛星画像により得られる特徴的なスペクトルをAI処理等により効率よく抽出する技術が確立しつつある。

⁶¹ 日本バイオプラスチック協会

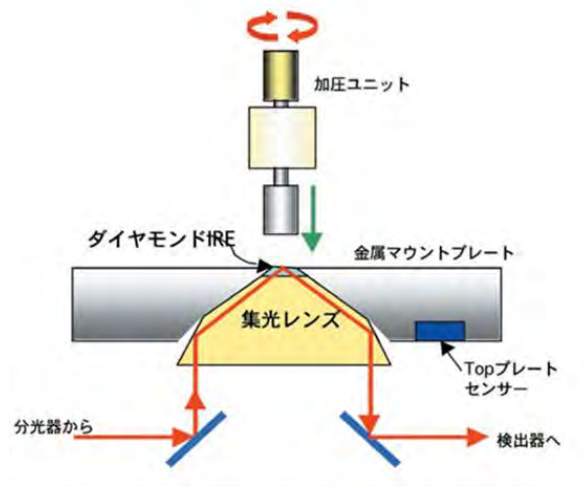


図5-10 マイクロATR法によるIR分光計測

リスクの高い海洋プラスチック（生物の口に入る大きさから微粒子に至る期間）の存在期間を、より短くするため、分解性・生分解性プラスチックを開発し、海中における分解の評価と基準化が進められている。海洋で分解する様々なプラスチックを提供し、可視化することで、プラスチックの使用スタイルを変えていく必要がある。現在、数種類の生分解性プラスチックが存在するが、既存のプラスチックに代わる、更に多種の分解性プラスチック材料の開発が望まれる。また、海洋での実評価が必要で、海洋プラスチックが多く集まる沖合の海中で分解プラスチックの安全評価を行う試験海域を確保する必要がある。

<対処に必要な将来技術>

日本周辺の厳しい自然環境の中で、自然エネルギーによる長期間の定点観測あるいは測線観測、さらには、水深500m程度まで観測可能な量産タイプの簡易な観測プラットフォームが必要である。これらは、海洋プラスチックの広がり調査する拠点になるとともに、今後開発すべきプラスチックの評価ステージともなり、海洋プラスチックの蓄積を遅くする、または減少させるサポートを行う。

海洋に流出したプラスチックの回収は、低コストを実現しなければ普及しないと思われる。国際協力体制も必要で、表層だけではなく、海中に漂う海洋プラスチックを、生態系を破壊しないで選択的に回収する技術が必要になる。具体的には、セイルドローンや観測ブイに、プラスチックを集積するツールを取り付けて回収する方法等が考えられる。

マイクロプラスチックは、回収方法（現在はネット採集）と解析手法の開発に高度な人材をあて、自動化と情報のメタデータ化を推進する必要がある。そのための技術として、画像解析技術と分光技術を融合させた、海洋プラスチックの分析用に最適化したハイパースペクトルカメラの開発とが考えられる。

材料物質の環境安全データシートによる水生環境有害性の評価基準に海洋での分解特性を追加し、リスクの低減に努める必要がある。そのため、長期間運用可能な海洋プラットフォーム技術を活用

し、安全評価を行う。また、分解特性の制御に取り組み、生分解性プラスチックの開発など、海洋残留を減らす材料の開発を進める必要がある。

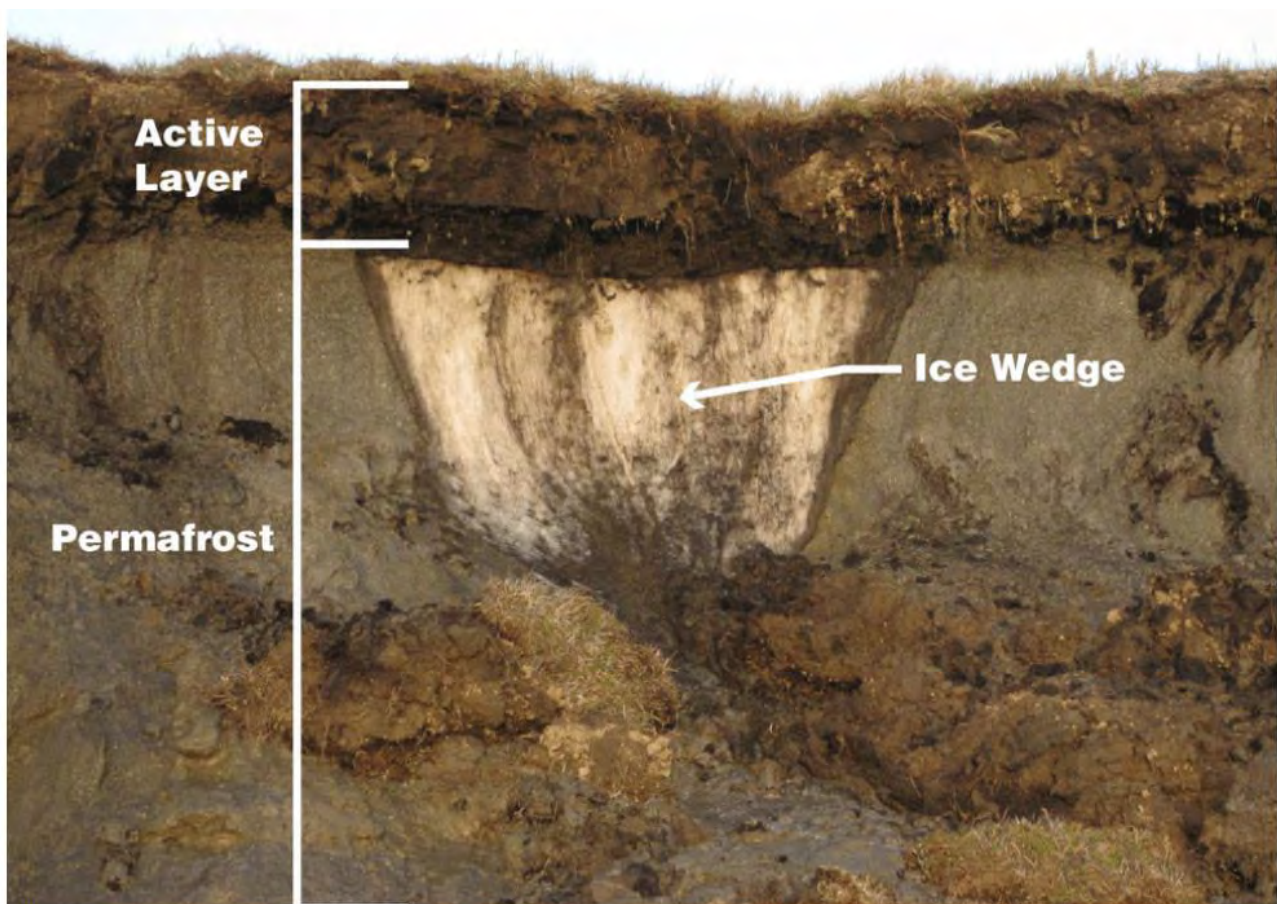
脅威② 温暖化等による生態系の変動・破壊

<理想論>

温暖化等によって最も影響を受ける生物に焦点を絞り、それらに対する影響度を短期間で調査し、結果を研究者だけでなく、政策立案者や一般市民にも周知する。

1) 凍土の崩壊

シベリアやアラスカ、カナダの北極圏に分布する永久凍土は、夏には緑が覆い空气中的二酸化炭素を吸収し、地中の凍土が融解しないように機能している。冬は、積雪が断熱材となって融解を妨げている⁶²。



© US Geological Survey/NASA | Layers of permafrost.

図5-11 永久凍土

⁶² NASA. What is Permafrost? Retrieved from: <https://climatekids.nasa.gov/permafrost/>

こうした自然のバランスを崩す原因が地球温暖化とされている。永久凍土は年間平均気温がマイナス5度以下に保たれることで、融解せず安定を維持するとされているが、永久凍土が存在する一部の地域では平均気温の上昇が続き、融解が懸念されている。

実際に永久凍土の融解が原因とされるインフラへの影響が報告され始めている。2020年にはロシアのノリリスクにある火力発電所の燃料タンクが崩壊し、付近を流れるダルディカン川、アンバルナヤ川に重油が流出する事故が起きた⁶³。検察当局は、地盤が緩んだことが火力発電所の燃料タンクの崩壊の原因と結論し、政府は永久凍土の脆弱な地盤上にある建造物の一斉点検を命じた。ヨーロッパにエネルギーを送るシベリア・パイプラインも、パイプラインを流れる天然ガスの温度で永久凍土が融解して土壌浸食が起こり、設備の破損やガスの漏洩が発生したとしている⁶⁴。

このほか、永久凍土には多くの種類のウイルスが存在するとされている⁶⁵。2015年には、採取された永久凍土からモリウイルスという、高い増殖能力を持つ新種のウイルスを蘇らせることに成功したと報告された⁶⁶。永久凍土の融解により、このような未知のウイルスや有害物質が自然界に放出される可能性があることから、感染症などの人体への影響も懸念される。

さらに、永久凍土の融解がメタンガスの大量放出につながると懸念されている。永久凍土は、古い有機炭素堆積物を含んでおり、その量は大気中に存在する二酸化炭素の炭素の少なくとも2倍の量に達すると考えられている。永久凍土の融解によって、地中の炭素がメタンや二酸化炭素として放出された場合、大気中の二酸化炭素濃度が急上昇して気温の上昇を招く。これがさらなるメタンと二酸化炭素の放出を招き、地球温暖化を加速することが危惧されている⁶⁷。

⁶³ Sueddeutsche Zeitung. *Auf unberechenbarem Boden*. (22 June 2020) Retrieved from: <https://www.sueddeutsche.de/wissen/klimawandel-permafrost-russland-norilsk-1.4944524>

⁶⁴ Stefan Varlamov et al. (2022). Monitoring the Permafrost Conditions along Pipeline Routes in Central Yakutia, Russia. *Land* 2022, 11(12), 2331; <https://doi.org/10.3390/land11122331>

⁶⁵ Zhong, ZP., Tian, F., Roux, S. et al. Glacier ice archives nearly 15,000-year-old microbes and phages. *Microbiome* 9, 160 (2021). Retrieved from: <https://doi.org/10.1186/s40168-021-01106->

⁶⁶ Matthieu Legendrea et al. (2015). In-depth study of Mollivirus sibericum, a new 30,000-year-old giant virus infecting Acanthamoeba. *National Academy of Science*, e September 8, 2015, E5327-E5335. Retrieved from: <https://www.pnas.org/doi/pdf/10.1073/pnas.1510795112>.

⁶⁷ United Nations. *If you're not thinking about the climate impacts of thawing permafrost, (here's why) you should be*. (22 January 2022). Retrieved from: <https://news.un.org/en/story/2022/01/1110722>

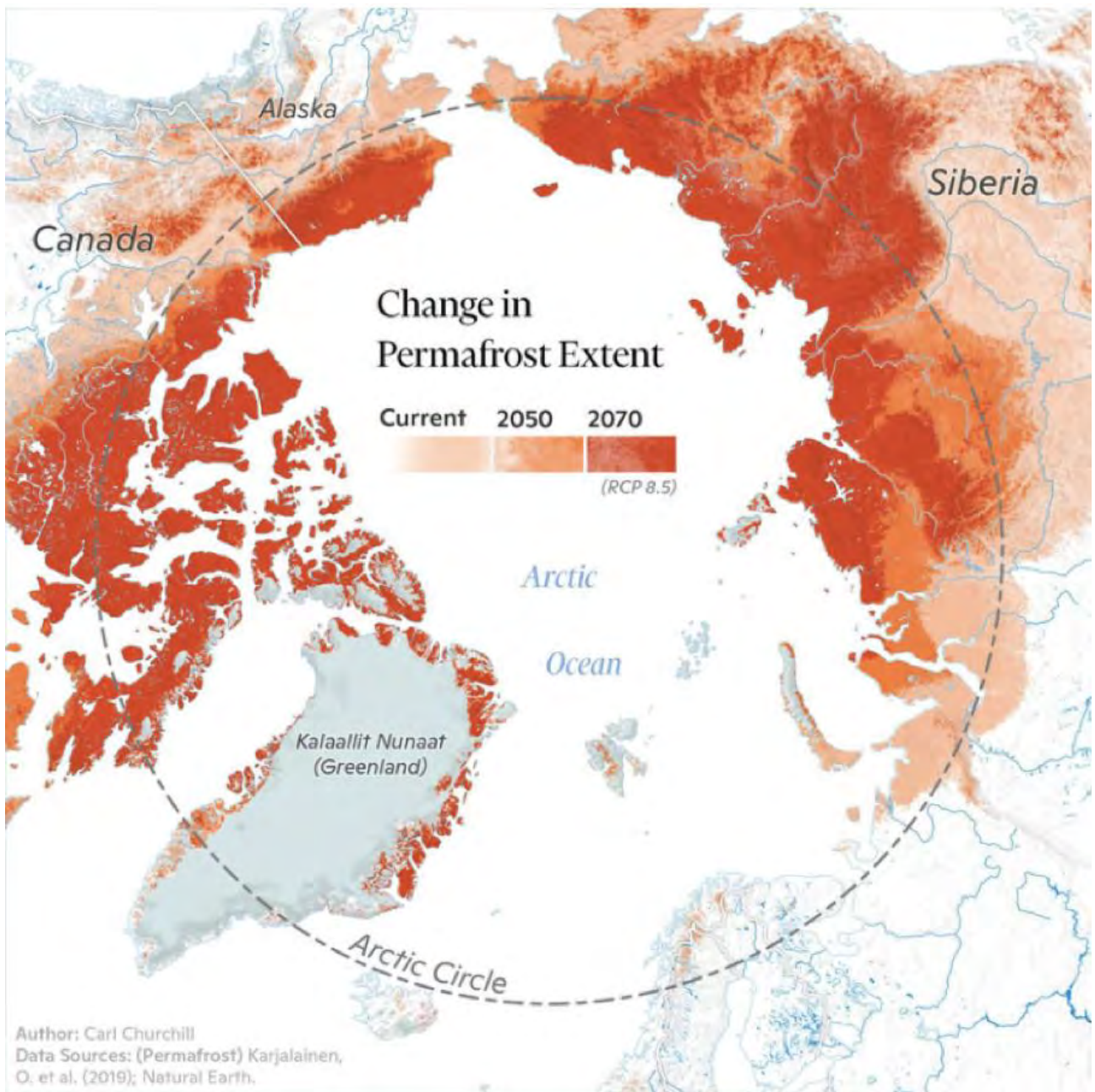


図 5-12 永久凍土の侵食予想⁶⁸

2) 氷河湖の決壊

氷河のある地域の一部では、氷河が融解する過程で氷河のくぼみ等に水が溜まり、氷河湖と呼ばれる地形を形成している。地球温暖化によって融解が加速すると氷河湖の水位が上昇し、あるいは土壌

⁶⁸ Ibid.