

POPS AND CHEMICALS OF EMERGING ARCTIC CONCERN: INFLUENCE OF CLIMATE CHANGE

SUMMARY FOR POLICY-MAKERS
ARCTIC MONITORING & ASSESSMENT PROGRAMME

1. AMAP is the publisher the original English version
2. The Japanese translated version of the SPMs is made by ArCS II.
3. In the Japanese translation, the meaning of each sentence has been emphasized rather than a literally translation.
4. If any inconsistency between the translated Japanese and the original English version, the English version holds the validity.
5. Views in the Japanese translation are not necessarily shared by AMAP
6. For further information on the project: www.amap.no or contact the AMAP Secretariat

ArCS II : Arctic Challenge for Sustainability II
<https://www.nipr.ac.jp/arcs2/e/>



AMAP

POPsと北極で新たに懸念されている化学物質： 気候変化の影響

政策決定者向けの要約
北極圏監視評価プログラム (AMAP)

1. 本報告書の英語オリジナル版はAMAPより出版されました。
2. 本報告書の日本語翻訳版はArCS IIにより作成されました。
3. 日本語翻訳版では、表現をわかりやすくするために意訳された箇所があります。
4. 日本語翻訳版と英語オリジナル版の間に不一致箇所がある場合は、英語オリジナル版が有効となります。
5. 日本語翻訳版に掲載されている見解は、必ずしもAMAPの見解ではありません。
6. 本プロジェクトに関する詳細については、AMAPウェブサイト (www.amap.no) をご覧いただくか、本レポートに記載された事務局連絡先までお問い合わせください。

ArCS II : 北極域研究加速プロジェクト <https://www.nipr.ac.jp/arcs2/>




KEY FINDINGS AT A GLANCE

Climate change is directly and indirectly impacting the sources, transport pathways, and fate of persistent organic pollutants (POPs) and chemicals of emerging Arctic concern (CEACs), which, in turn is influencing the exposure to, and potentially the effects of, these contaminants on Arctic wildlife and other biota, as well as people.






1

 Recent studies confirm that some earlier predictions of climate change impacts on POP sources, pathways, and fate in the Arctic are actually occurring. New observations include the warming-induced release of previously accumulated POPs from permafrost, snow and ice melt and the redistribution of POPs among water, sediments, snow, and air. However, to date these findings stem from a limited number of studies of a few, specific Arctic locations, and it is not yet known whether these impacts are widespread throughout the region.





2

   Climate-associated changes in Arctic food webs are influencing the exposure of top predators, such as polar bears and certain seabirds to POPs. These changes include the northward movement of species into and within the Arctic, and dietary and food web shifts associated with, for example, the loss of sea ice. However, the degree and direction of such changes on contaminant exposures cannot be generalized due to differences between pollutants, species, and locations.



3

  Based on climate and emissions modelling projections, levels in the Arctic of most POPs included under the Stockholm Convention will continue to be influenced mainly by global emissions from primary sources rather than by climate change effects on secondary sources such as (re)emissions from soils, glaciers or permafrost.

主要な研究結果

気候変化は、残留性有機汚染物質（Persistent Organic Pollutants, 略称：POPs）および北極の新たに懸念されている化学物質（Chemicals of Emerging Arctic Concern, 略称：CEACs）の発生源、輸送経路、動態に直接的および間接的に影響を及ぼしている。そしてこれらを通じて、北極の野生生物やその他の生物相、さらには人々に対するこれらの汚染物質への曝露、および潜在的な効果に影響を及ぼしている。

2



北極の食物網に関わる気候関連の諸変化は、ホッキョクグマや特定の海鳥などの頂点捕食者が POPs に曝露されるという影響をもたらしている。これらの諸変化には、北極への種の移動、および北極内での北方への種の移動、およびたとえば海氷の損失によって生じる食餌および食物網の変化などが含まれる。しかし、汚染物質、種、場所によって違いがあるため、汚染物質曝露に対するそれらの諸変化の影響の度合いと方向を一般化することはできない。

1



最近の研究では、北極の POP の発生源、経路、動態に対する気候変化の影響に関する過去の予測が、現実化していることが確認されている。温暖化によって以前蓄積されていた POPs が永久凍土、雪、氷の融解によって放出される過程、および水、堆積物、雪、空気の間での POPs の再配分に関する新たな観測が行われている。しかし、これまでのところ、これらの研究結果は、いくつかの特定の北極の場所での限定的な研究に由来しているため、これらの影響がこの地域全体に広がっているかどうかはまだわかっていない。


3

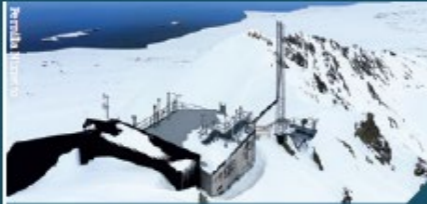


気候と排出量のモデリング予測によると、ストックホルム条約に含まれるほとんどの POPs の北極でのレベルは、土壌、氷河または永久凍土からの（再）放出などの二次発生源に対する気候変化の影響を通じてではなく、主に世界の一次発生源からの排出量の影響を受け続ける。




4

 Climate change may be contributing to observations that levels of some POPs, including polychlorinated biphenyls (PCBs), are no longer declining in the Arctic to the extent that would be expected given known decreases in their primary source emissions. Trends of POPs have generally been decreasing in the Arctic due to measures introduced both before and since the establishment of the Stockholm Convention to reduce emissions and releases; however, some are levelling off, and even showing upward trends in air and biota in recent years, and climate change may be part of the reason.





5

 Studies of POPs in Arctic air and biota have revealed associations between temporal trends observed at specific locations and climate-related parameters. This information can be useful for processes that use time trends data to assess the effectiveness of regulatory measures to reduce POPs emissions and releases, such as the Stockholm Convention effectiveness evaluation.



6

  Many knowledge gaps remain regarding the current and projected impacts of climate change on POPs and CEACs in the Arctic. These include the extent to which primary sources of these contaminants within the Arctic, as well as secondary effects of climate change will contribute to local and regional contamination. The potential for climate change to influence pathways and fate of some CEACs can be inferred from their physical-chemical properties but field and modelling studies are needed, in particular for CEACs that may be considered for listing under the Stockholm Convention. Knowledge is also lacking about the potential changes to Arctic ecosystems and food-webs that may alter pathways of wildlife and human exposure to contaminants.

KEY TO SYMBOLS:



OBSERVED



PROJECTED



NEW FINDING



UPDATED FINDING




KNOWLEDGE GAP

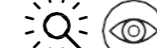


REINFORCING MESSAGE



4

 北極でのポリ塩化ビフェニル (PCB) を含む一部の POPs のレベルが、既知の一次排出源の減少から期待されるレベルまでは低下しなくなっていることに関して、気候変化が影響している可能性がある。北極では、排出と放出を削減するためのストックホルム条約の制定前後に導入された措置により、POPs の変化傾向は概して減少に向かっている。しかし、近年には大気や生物相で、一部は横ばい状態、一部は上昇傾向さえ示していて、気候変化がこの原因の一部である可能性がある。

5

 北極の大気と生物相における POPs の研究により、特定の場所で調べられた変化傾向と気候関連要素との関係が明らかになってきた。このような情報は、変化傾向のデータを使用して行うストックホルム条約の有効性評価など、POPs の排出と放出を削減するための規制措置の有効性を評価する作業に役立つ。

6

  現状および予測されている北極の POPs と CEACs に対する気候変化の影響に関して、多くの知識が不足している。これらには、北極内のこれらの汚染物質の一次発生源、および気候変化の二次的影響が局地および地域の汚染に寄与する過程が含まれる。一部の CEACs の経路と動態に、気候変化が及ぼす潜在的な影響については、それらの物理化学的特性から推測することはできるが、特に今後ストックホルム条約に含めることが検討されている CEACs については、野外での研究やモデリング研究が必要である。また、野生生物や人間における汚染物質曝露の経路を変える可能性のある北極の生態系や食物網の潜在的な変化についての知識も不足している。

記号の意味:



観測 (観察)



予測



新たな研究結果



更新された研究結果



知識のギャップ



強化に関するメッセージ

CONTEXT & SCOPE: UNDERSTANDING CONTAMINANT FATE IN A RAPIDLY CHANGING ARCTIC

Arctic landscapes and ecosystems are being rapidly transformed by climate change. The loss of snow and sea ice, increase in sea water temperature, thawing of permafrost, and occurrence of wildfires and extreme weather events continue to intensify, and in some cases are accelerating. Changes in the physical environment are driving shifts in the abundance, distribution, and behavior of Arctic biota, altering food webs, and leading to increased human activity in the region. While significant in their own right, these climate-related changes also have the potential to alter the sources, transport, and fate of anthropogenic contaminants, many of which are associated with effects on wildlife and human health.

POLICY RELEVANCE – WHY THIS IS IMPORTANT

Climate-related changes in contaminant transport and fate have potential consequences for the exposure and health of Arctic wildlife and human populations, particularly, Arctic Indigenous Peoples and Local Communities. Understanding such changes is thus critical for predicting future risks to wildlife and human health so that such risks may be addressed through national, multi-lateral or global policy actions.

Previous AMAP assessments¹ and joint work with the United Nations Environment Programme² examined the potential influences of climate change on the long-range transport and fate of POPs in the Arctic, highlighting its relevance to the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants (POPs). New scientific information is providing increasing evidence that predicted impacts of climate changes on Arctic contaminant levels and trends indeed taking place and need to be taken into account in some policy- and decision-making.

POPs AND CEACs: CHARACTERISTICS & INFLUENCES OF CLIMATE CHANGE

The outcome of interactions between climate and contaminants depends not only on the type and magnitude of environmental changes, but also on the sources, properties, and regulatory status of the chemicals. Two broad groups of environmental contaminants are referred to in this assessment:

Persistent Organic Pollutants (POPs): Chemicals that are listed under the Stockholm Convention based on evidence of their environmental persistence, bioaccumulation, long-range transport, and toxicity. Their presence in the Arctic to date mainly stems from long-range transport. Resulting from restrictions on their production and use, levels of many, but not all POPs are declining in the Arctic. However, as a consequence of past use, repositories of POPs may exist in environmental reservoirs, such as Arctic glaciers and sea ice that could be re-released in a rapidly warming Arctic. Examples include pesticides (e.g., DDT) and industrial chemicals such as PCBs, flame retardant chemicals (e.g., PBDEs) or fluorinated surface protectants (PFOS, PFOA).

Chemicals of Emerging Arctic Concern (CEACs): Chemicals that are not presently (as of 2020) listed under the Stockholm Convention but have been recognized as a potential concern based on their documented occurrence in Arctic ecosystems⁴. Most are current-use chemicals that are largely unregulated, and some are alternatives for banned chemicals and possible candidates for nomination under the Stockholm Convention. Some are found in consumer products and their presence in the Arctic is likely to originate from both long-range transport and local sources within the Arctic. Less information exists for CEACs and the projected impact of climate change on their fate in Arctic ecosystems. Examples include per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) not already listed under the Stockholm Convention, current-use pesticides (CUPs), and organophosphate esters (OPEs).

本評価の背景と扱う範囲：急速に変化する北極における汚染物質の動態を理解する

北極の景観と生態系は、気候変化によって急速に変化している。雪や海氷の損失、海水温の上昇、永久凍土層の融解、林野火災や気象の極端現象は引き続き激化していて、場合によっては加速している。物理的環境の変化は、北極の生物相の存在量、分布、行動の変化を促進し、食物網を変化させ、この地域での人間活動の増加につながっている。これらの気候関連の変化は、それ自体が重要であるが、人為的汚染物質の発生源、輸送、動態を変える可能性もあり、その多くは野生生物や人間の健康への影響に関連している。

政策との関連－これが重要である理由

汚染物質の輸送と動態に関する気候関連の変化は、北極の野生生物と人間の集団、特に北極の先住民と地域社会への曝露と健康に潜在的な影響を及ぼす。したがって、そのような変化を理解することは、野生生物と人間の健康に対する将来のリスクを予測するために重要であり、その結果、そのようなリスクについては、各国、多国間、または世界的な政策行動を通じて取り組みが為される可能性がある。

以前のAMAP評価¹および国連環境計画²と行った共同作業では、北極におけるPOPsの長距離輸送と動態に対する気候変化の潜在的な影響を調査し、残留性有機汚染物質（POPs）に関するストックホルム条約との関連を強調した。新しい科学情報は、気候変化が北極の汚染物質レベルと変化傾向に及ぼす影響に関する予測が多く、事実をもって現実化していて、特定の政策決定や意思決定においてはそれらを考慮する必要性があることを示している。

POPs AND CEACs：特徴と気候変化の影響

気候と汚染物質の間の相互作用の結果は、環境変化の種類と強さだけでなく、化学物質の発生源、特性、規制状況にも依存している。この評価では、環境汚染物質の2つの広いグループを扱う。

残留性有機汚染物質（POPs）：

POPsは、環境持続性、生体内蓄積、長距離輸送、および毒性の事実に基づいてストックホルム条約にリストアップされている化学物質である。北極でのそれらの存在は、現段階では、主に長距離輸送に由来している。北極では、生産と使用の制限により、全てではないが多くのPOPsの濃度が低下している。ただし、過去の使用の結果として、POPsは、急速に温暖化する北極で再放出される可能性のある北極氷河や海氷などの環境貯留層に蓄積し存在している可能性がある。この例としては、農薬（DDTなど）やポリ塩化ビフェニール（PCBs）、難燃性化学物質（PBDEsなど）、フッ素化表面保護剤（PFOS、PFOA）などの工業用化学物質がある。

北極で新たに懸念されている化学物質（CEACs）：

CEACsは、現在（2020年）ストックホルム条約の対象物質リストに載っていないが、北極の生態系での存在が記述されていることにより潜在的懸念がある物質として認識されている化学物質⁴。これらの大部分は現在使用されている化学物質であり、ほとんど規制されていない。一部は禁止されている化学物質の代替品であり、一部はストックホルム条約での対象候補となる可能性がある。一部は消費者製品に含まれていて、北極でのそれらの存在は、北極への長距離輸送と地元での発生源の両方に起因していると考えられる。CEACs自体と、北極の生態系におけるCEACsの動態に対する気候変化の影響の予測に関する情報はほとんどない。例としては、ストックホルム条約にまだ記載されていないパーフルオロアルキル物質およびポリフルオロアルキル物質（PFASs）、現在使用されている農薬（CUPs）、有機リン酸エステル（OPEs）などがある。

Knowledge of the influences of climate change on Arctic contaminants is important for evaluating past and informing future actions of the Stockholm Convention and other chemical regulatory bodies.

The presence of chemical contaminants in the remote Arctic presents a unique opportunity to provide evidence of environmental persistence and long-range transport, both of which can be used to evaluate chemicals for potential management under the Stockholm Convention. Climate change also has the potential to influence long-term contaminant temporal trends used in processes to track the efficacy of chemical restrictions and bans, such as the Stockholm Convention effectiveness evaluation.

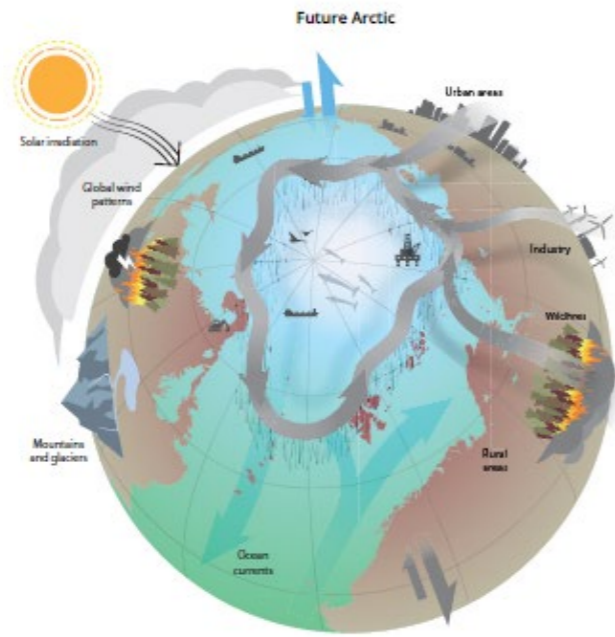
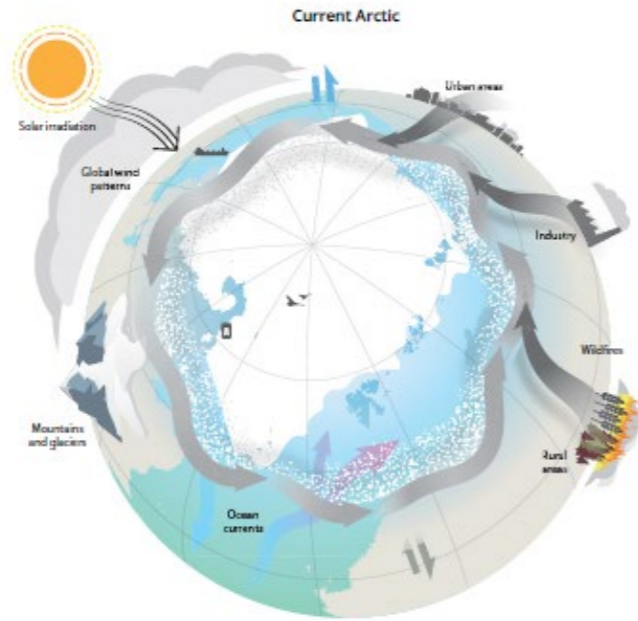
The AMAP assessment³ summarized here reviews the current state of knowledge on climate-related impacts on the fate of POPs and CEACs. The assessment findings provide insight into where to direct research and policy efforts for understanding future changes in Arctic pollution, informing regulatory decisions, and protecting the health of Arctic wildlife and people. These findings are the basis for the recommendations of the AMAP working group given later in this document.

1. AMAP Assessment 2002: The Influence of Global Change on Contaminant Pathways to, within, and from the Arctic. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP).

2. Report of the UNEP/AMAP Expert Group 2011: Climate Change and POPs: Predicting the Impacts. United Nations Environment Programme (UNEP) and Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP).

3. AMAP Assessment 2020: POPs and Chemicals of Emerging Arctic Concern: Influence of Climate Change. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP).

4. AMAP Assessment 2016: Chemicals of Emerging Arctic Concern. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP).



Under future climate change conditions the Arctic will be subject to numerous changes including loss of ice, snow, and permafrost, increasing human activity and development, and changes in wind and ocean circulation patterns – all of which could alter the sources, pathways, distribution and fate of contaminants.

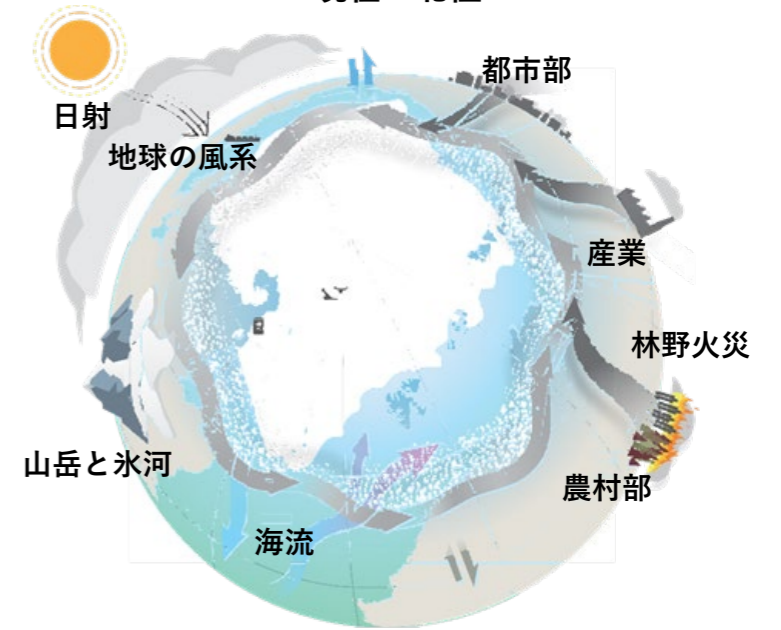
北極の汚染物質に対する気候変化の影響に関する知識は、ストックホルム条約やその他の化学物質についての規制組織の過去の行動を評価し、将来の活動に情報提供するために重要である。

遠隔地である北極での化学汚染物質の存在は、環境中の持続性と長距離輸送の実態を知るユニークな機会を作っている。これらは両方とも、ストックホルム条約の下での可能な管理に関する化学物質の評価の際に使用できる。ストックホルム条約の有効性評価などで化学物質の制限や禁止の有効性を追跡する過程で長期的な汚染物質の変化傾向が使用されているが、気候変化はそれらに影響を及ぼす可能性がある。

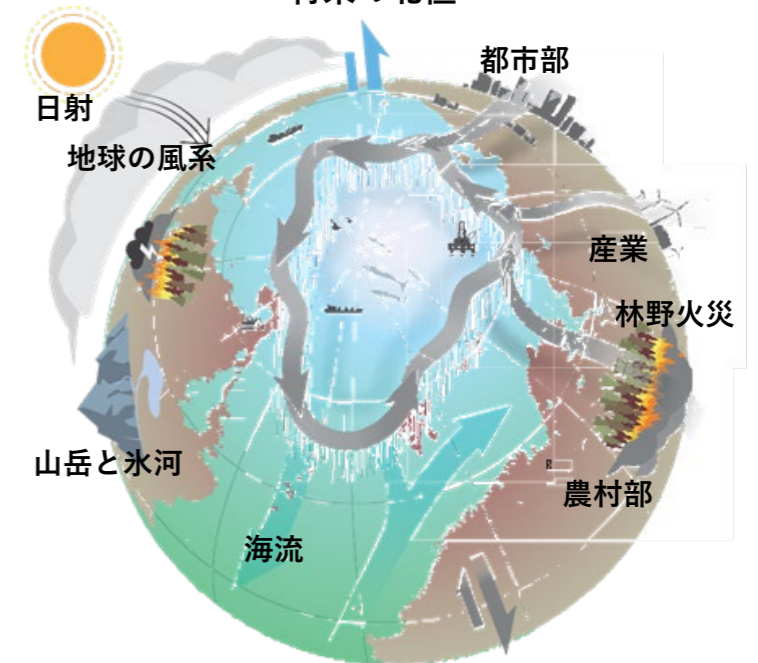
ここに要約されているAMAP評価³は、POPsとCEACsの動態に対する気候関連の影響に関する知識の現状をレビューしている。この評価の研究結果は、北極の汚染の将来の変化を理解し、規制の決定に情報を提供し、北極の野生生物と人々の健康を保護するためには、研究と政策の取り組みをどの方向に向けるべきかについての見通しを提供する。これらの研究結果は、この文書で後述するAMAPワーキンググループの推奨事項の根拠になっている。

1. AMAPアセスメント2002：北極への、北極内での、および北極からの汚染物質経路に対する地球変動の影響。北極圏監視評価プログラム（AMAP）。
2. UNEP / AMAP専門家グループ2011の報告書：気候変化とPOPs：影響の予測。国連環境計画（UNEP）と北極圏監視評価プログラム（AMAP）。
3. AMAP評価2020：POPと北極で新たに懸念されている化学物質：気候変化の影響。北極圏監視評価プログラム（AMAP）。
4. AMAP評価2016：北極で新たに懸念されている化学物質。北極圏監視評価プログラム（AMAP）。

現在の北極



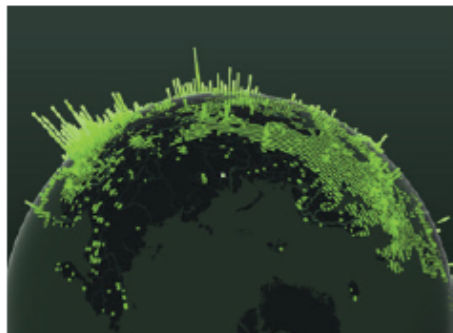
将来の北極



将来の気候変化状況下では、北極は氷、雪、永久凍土の損失、人間活動と開発の増加、風と海洋循環のパターンの変化など、さまざまな変化が見られる。これらはすべて、汚染物質の発生源、経路、分布と動態を変える可能性がある。

IMPACTS OF CLIMATE CHANGE ON CONTAMINANT PRIMARY SOURCES & PATHWAYS TO THE ARCTIC

Contaminants found in the Arctic originate from various sources. Some substances, such as pesticides and industrial chemicals, are predominantly released during production and use at lower latitudes and carried to the Arctic via atmospheric and oceanic currents. Other substances, such as flame retardants and PFASs, are present in materials and products that are imported, used, and disposed of locally within the Arctic.



Quantifying the impacts of climate change on contaminant sources and pathways is challenging; therefore, models based on available chemical emissions and environmental monitoring data are often employed to derive estimations of current and future impacts.

How is climate change affecting primary sources of contaminants to the Arctic?

Although environmental phenomena and human activities that are known primary sources of contaminants are expected to intensify in the Arctic as climate warms, few studies that directly link these changes with contaminant levels are available. Wildfires are projected to increase in the Arctic and are sources of POPs and CEACs, including polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). Predicted shifts in the geographic range or numbers of agricultural pests and insect disease vectors may eventually increase use of pesticides. Human activities in northern latitudes are also expected to increase as climate warms, and as populations and economic activity grow in the region, primary sources of contaminants are expected to be brought closer, or even into the Arctic.

Is climate change altering contaminant long-range transport pathways to the Arctic?

Model-based studies suggest climate change will affect contaminant transport pathways to the Arctic. Changes in temperature and large-scale climate patterns have the potential to increase chemical volatilization, enhance degradation, and alter long-range transport pathways, and will impact chemicals differently depending on their primary method of transport to the Arctic. However, the effects of climate change on contaminant transport to the region as projected by modelling studies to date are small compared to the expected effects of global regulatory efforts on reducing contaminants emissions. Model projections for the year 2100 estimated that climate change could contribute up to a four-fold increase in concentrations of some POPs in Arctic air and water, whereas global emissions reductions could drive concentration declines greater than 1000-fold.

How will local sources compare to long-range transport sources of contaminants under future climate change scenarios?

Climate change is expected to lead to an increase in human populations, activities and developments in northern regions that are likely to be accompanied by an increased presence of CEACs. Therefore, primary sources of contaminants within the Arctic are likely to increase in the future as well. Previous AMAP assessments concluded that long-range transport was the predominant contributor to current contaminant levels in the Arctic region; however, the relative contribution of long-range transport and local releases to Arctic contamination may change for certain chemicals at local scales, especially for areas in close vicinity to sources.

汚染物質の主発生源と北極への経路に対する気候変化の影響

北極で発見されている汚染物質は、さまざまな発生源から来ている。農薬や工業用化学物質などの一部の物質は、主により低緯度での生産中ないし使用中に放出され、大気および海流を介して北極に運ばれる。難燃剤やPFASsなどの他の物質は、北極の地元へ輸入され、使用され、廃棄される材料や製品に含まれている。

気候変化が汚染物質の発生源と経路に与える影響を定量化することは一般的に困難である。したがって、利用可能な化学物質排出量と環境監視のデータをもとに、モデルを使用して現在および将来の影響の推定値を導出することが良く行われる。

気候変化は北極への汚染物質の主要な発生源にどのように影響しているか？

北極では、気候が温暖化するにつれて、汚染物質の主要な発生源として知られている環境中の諸現象と人間活動が強まると予想されるが、これらの変化を汚染物質濃度と直接関連付ける研究はほとんどない。林野火災は北極で増加すると予測されていて、これは多環芳香族炭化水素（PAH）を含むPOPおよびCEACsの発生源である。農業害虫および昆虫病害虫の地理的範囲または数量の変化が予測されているが、これらは最終的に農薬の使用を増加させる可能性がある。高緯度での人間活動もまた、気候が温暖化するにつれて増加すると予想され、人口と経済活動がこの地域で増加するにつれて、汚染物質の主要な発生源はより北極に近づき、あるいは北極にさえ到達すると予想される。

気候変化は北極への汚染物質の長距離輸送経路を変えているか？

モデルに基づく研究は、気候変化が北極への汚染物質輸送経路に影響を与えることを示唆している。温度と大規模な気候パターンの変化は、化学物質の揮発を増加させ、分解を促進させ、長距離輸送経路を変える可能性があり、化学物質の北極へのそのものの主要な輸送方法に応じて異なる影響を与える。しかし、これまでのモデリング研究での予測によると、北極地域への汚染物質輸送に対する気候変化の影響は、汚染物質排出量の削減に関する世界的な規制努力による影響と比較して小さいとされている。2100年についてのモデル予測は、気候変化が北極の大気と水中の一部のPOPの濃度を最大4倍に増加させる可能性があるのに対し、世界的な排出量の削減は、濃度を1000分の1以下に低下させる可能性があるとして推定している。

将来の気候変化シナリオのもとで、汚染物質の地元の発生源は、長距離輸送の発生源と比較するとどうなのか？

気候変化は、北部地域の人口、活動、開発の増加に従い、この地域のCEACsの存在量を増加させる可能性が高いと予想されている。したがって、北極内の汚染物質の主要な発生源も将来的に増加する可能性がある。以前のAMAP評価では、北極の現在の汚染物質濃度の主な原因は長距離輸送であると結論付けた。しかしながら、北極の汚染に対する長距離輸送と地元での放出の相対的な寄与は、化学物質によって、局所的に、特に発生源に近接した地域では、異なる可能性がある。

HUMAN ACTIVITIES & DEVELOPMENT: POTENTIAL PRIMARY SOURCES OF CONTAMINANTS WITHIN THE ARCTIC

An expanding human footprint in the Arctic is expected to directly as well as indirectly contribute to local releases of chemical contaminants. Contaminant releases from new primary sources within the Arctic may also be compounded by climate-related environmental changes, such as increasing precipitation, meltwater run-off and permafrost thaw, contributing to the discharge of contaminants to local and coastal waterways. Arctic shipping, tourism, fishing and mineral resource exploitation are economic activities that are associated with potential for local contamination. Elevated levels of flame retardants and PAHs have already been detected in the vicinity of Arctic communities, buildings and airports. Many household and commercial products contain CEACs that may be released into the environment after their disposal. Arctic communities, especially remote communities, have limited possibilities for waste management which may include open incineration of waste and discharge of liquid waste in sewage lagoons. As climate warms, the permafrost underneath sewage lagoons and waste dumpsites may degrade and no longer prevent contamination of adjacent soil, aquifers and water courses. Any increases in local releases would occur alongside the continued input of long-range transported pollutants from distantly located sources.



A number of PFASs are found in fire-fighting foams – one potential local source of CEACs within the Arctic

**人間の活動と開発：
北極内の汚染物質の潜在的な一次発生源**

北極で広がっている人間の存在は、化学汚染物質の地元での放出に直接および間接的に寄与すると予想されている。北極内の新しい一次発生源からの汚染物質の放出は、降水量の増加、融雪水の流出、永久凍土層の融解などの気候関連の環境変化と複合的に作用し、汚染物質の地元や沿岸の水路への排出に寄与する可能性がある。北極海運、観光業、漁業、鉱物資源開発は、地元での汚染の可能性に関連している経済活動である。北極の地域社会、建物、空港の近くでは、難燃剤とPAHsの濃度の上昇がすでに検出されている。多くの家庭用および商業用製品には、廃棄後に環境に放出される可能性のあるCEACsが含まれている。北極の地域社会、特に遠隔地では、廃棄物の野外焼却や下水池への液体廃棄物の排出など、可能な廃棄物処理の方法が限られている。気候が温暖化すると、下水池や廃棄物投棄場所の下の永久凍土層が衰退し、隣接する土壌、帯水層、水路の汚染を防ぐことができなくなる。遠方にある発生源からの長距離輸送汚染物質の継続的な流入とともに多様な局所的放出が発生するのである。

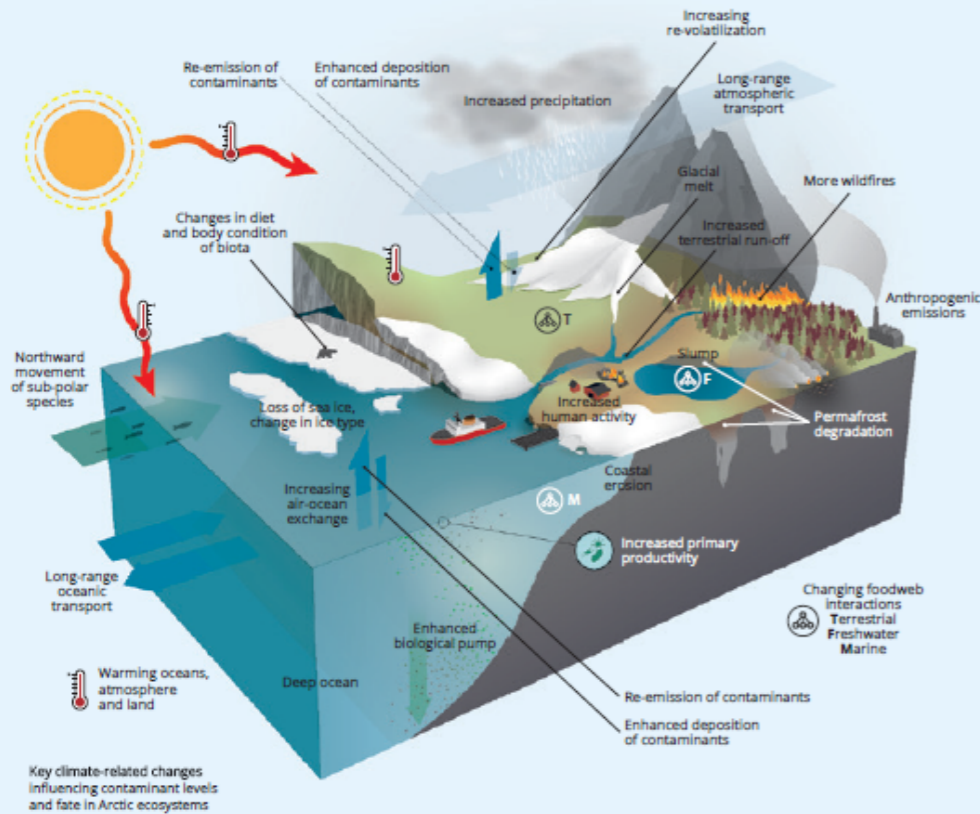
多量のPFASsが消火剤に含まれている。これは、北極内のCEACの潜在的な地元の発生源の1つである。

INFLUENCE OF CLIMATE CHANGE ON CONTAMINANTS IN ARCTIC ECOSYSTEMS & WILDLIFE

The Arctic is a large region that encompasses diverse ecosystems and species connected through complex biogeochemical and ecological pathways - many of which also mediate the transport and bioaccumulation of POPs. As climate change alters ecosystem structures and connections between species, levels and trends of contaminants in the environment and biota are also being affected.

What are the key climate-related changes influencing contaminant levels and fate in Arctic ecosystems?

Numerous climate-related changes to Arctic environments and ecosystems are occurring with both observed and projected effects on contaminant movement and distribution within the region. Confidence in the linkages between climate change and effects on contaminants varies depending on availability and frequency of observations.

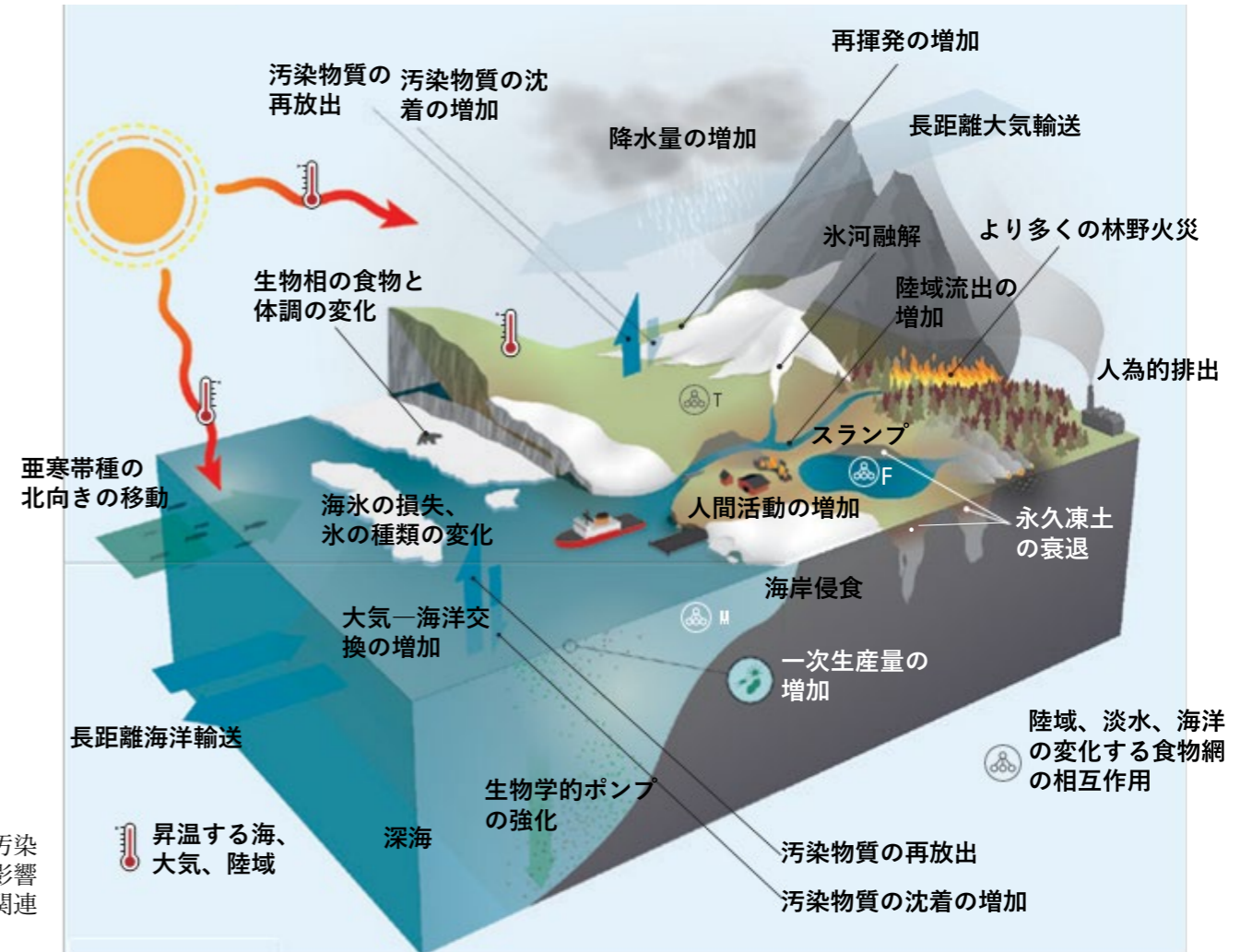


北極の生態系と野生生物中の汚染物質に対する気候変化の影響

北極は、複雑な生物地球化学的および生態学的経路を通じて生態系と種が存在している広大な地域であり、その多くはPOPの輸送と生体内蓄積に携わる。気候変化が生態系の構造と種間の関係を変えるにつれて、環境中と生物相中の汚染物質濃度と変化傾向も影響を受ける。

北極の生態系の汚染物質濃度と動態に影響を与える主要な気候関連の変化は何であるか？

北極の環境と生態系では気候関連の変化が数多く起こっていて、地域内で汚染物質の輸送と分布に対する影響が観測され、また予測されている。気候変化と汚染物質への影響と間の関連性に関する信頼度は、観測の可能性と頻度によって異なる。



北極生態系における汚染物質レベルと動態に影響を与える主要な気候関連の変化

OBSERVATIONS OF CLIMATE CHANGE-RELATED EFFECTS ON ARCTIC CONTAMINANTS

Recent observations indicate that climate change is transforming Arctic ecosystems in ways that are influencing the movement and accumulation of contaminants. Although such ecosystem changes are likely occurring throughout the region, evidence to date of climate-related effects on contaminants comes from a relatively small number of studies conducted at only a few locations

SHIFTING SEASONS

Altered timing of seasonal changes, such as snow melt and sea ice break-up, affect the timing of ecosystem responses, such as phytoplankton blooms, migration, and food availability, with indirect effects on contaminant exposure. Shorter sea-ice seasons are associated with declining POPs in seals in West Greenland and the Canadian Arctic archipelago and Hudson Bay.

For seabirds, POP levels at summer Arctic breeding grounds reflected higher exposures from their southern wintering grounds, therefore, changes in the time spent at winter and breeding grounds could affect POP exposure.

Examples of studies where climate change-related effects on Arctic contaminants have been observed.

CHANGING CLIMATE PATTERNS

Altered global and regional climate patterns can influence the distribution and movement of chemicals to and within the Arctic. Statistical associations have been reported between contaminant levels in biota and climate parameters, including precipitation, sea ice conditions, and variations in regional climate patterns.

Associations between climate oscillation indices and POPs have been observed for Arctic air, seawater, and biota.

PERMAFROST DEGRADATION AND THAW

Thaw and erosion of permafrost surrounding Arctic lakes remobilizes stored contaminants into freshwater watersheds.

In the Canadian Arctic, permafrost thaw has been linked to increased POP concentrations in freshwater, benthic invertebrates and Arctic char.

ALTERED ECOLOGICAL COMMUNITIES AND FOOD-WEBS

Changes in the abundance, distribution and seasonal movements of Arctic species are creating new ecological communities and relationships that alter contaminant exposure pathways and levels in wildlife.

Dietary shifts of polar bears associated with diminishing sea ice have been linked with changes in their tissue POP concentrations.

DIMINISHING CRYOSPHERE

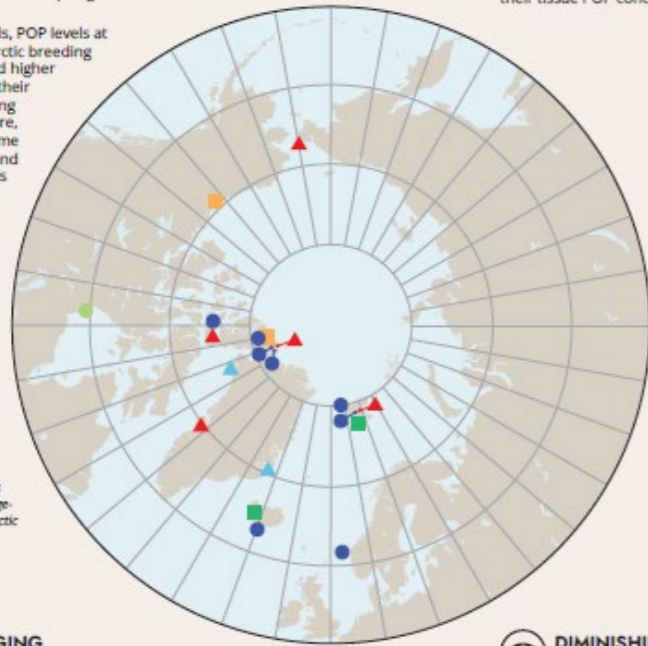
Sea ice loss, glacier retreat and reduced snow cover remobilizes previously deposited contaminants to air, rivers, lakes, and seawater, and alters the behavior of ice-dependent wildlife, with consequences for their diet and contaminant exposure.

Higher inputs of POPs and CEACs to seawater, glacier-fed lakes and fjords have been associated with increased ice melting due to climate change. Contaminant levels in seals and polar bears have shown relationships with ice coverage and quality.

NORTHWARD MOVEMENT OF SUB-ARCTIC SPECIES

The increasing presence in the Arctic of biota from more contaminated regions at lower latitudes may introduce higher levels of contaminants into the Arctic food web.

In the Canadian Arctic, sub-arctic capelin showed higher POP concentrations than Arctic cod.



北極の汚染物質に関する気候変化関連の影響の観測

最近の観測は、気候変化が汚染物質の輸送と蓄積に影響を与える形で北極の生態系を変化させていることを示している。このような生態系の変化は地域全体で発生している可能性があるが、汚染物質に関する気候関連の影響のこれまでの証拠は、ごく限られた場所で実施された比較的少数の研究のみから得られている。

季節進行の変化

融雪や海氷の解氷などの季節変化のタイミングの変化は、植物プランクトンの異常発生、移動、食料の入手などの生態系応答のタイミングに影響を及ぼし、その結果、汚染物質への曝露に間接的な影響が生じる。海氷の季節が短くなると、西グリーンランド、北極カナダの諸島、ハドソン湾のアザラシのPOPが減少する。

海鳥の場合、夏の北極の繁殖地でのPOP濃度は、南の越冬地でのより多い曝露量を反映するため、冬や繁殖地で過ごす時間が変化すると、POPの曝露に影響を与える可能性がある。

北極の汚染物質に関して気候変化関連の影響が見られた研究場所の例。

気候パターンの変化

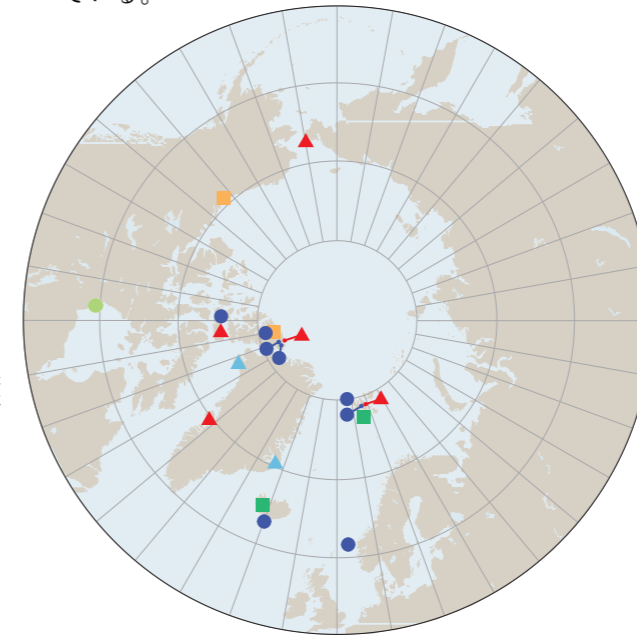
変化した地球規模および地域の気候パターンは、北極への、そして北極内での化学物質の分布と輸送に影響を及ぼす可能性がある。生物相の汚染物質濃度と、降水量、海氷の状態、地域の気候パターンの変動などの気候因子との間に統計的な関係が報告されている。

北極の大気、海水、そして生物相のPOPについて、気候の北極振動指数との関係が見出されている。

永久凍土層の衰退と融解

北極の湖の周囲にある永久凍土層の融解と侵食により、蓄積されていた汚染物質が淡水流域に再移動する。

北極カナダでは、永久凍土層の融解が、淡水、底生無脊椎動物、ホッキョクイワナのPOP濃度の増加に関連していることが分かっている。



亜寒帯種の北方への移動

低緯度のより汚染した地域から北極へやってくる生物相の存在の増加は、北極の食物網により高いレベルの汚染物質を持ち込む可能性がある。

北極カナダでは、亜寒帯のカラフトシシャモは北極のタラよりも高いPOP濃度を示していた。

変化する生態学的コミュニティと食物網

北極の種の存在量、分布、季節的な動きの変化は、新たな生態学的コミュニティと相互関係を生み出すことで、野生生物の汚染物質への曝露の経路とレベルを変えている。

海氷の減少に伴うホッキョクグマの食生活の変化は、それらの体内組織のPOP濃度の変化と関係がある。

雪氷圏の衰退

海氷の損失、氷河の後退、積雪の減少により、以前に沈着した汚染物質が空気、川、湖、海水に再移動することや、氷に依存する野生生物の行動が変化することによって、食物や汚染物質への曝露に影響が生じる。

海水、氷河からの水によってできている湖、フィヨルドへのPOPとCEACsのより多くの流入は、気候変化による氷の融解の増加と関係している。アザラシやホッキョクグマの汚染レベルは、氷の被覆率やその状態と関係があることが示されている。

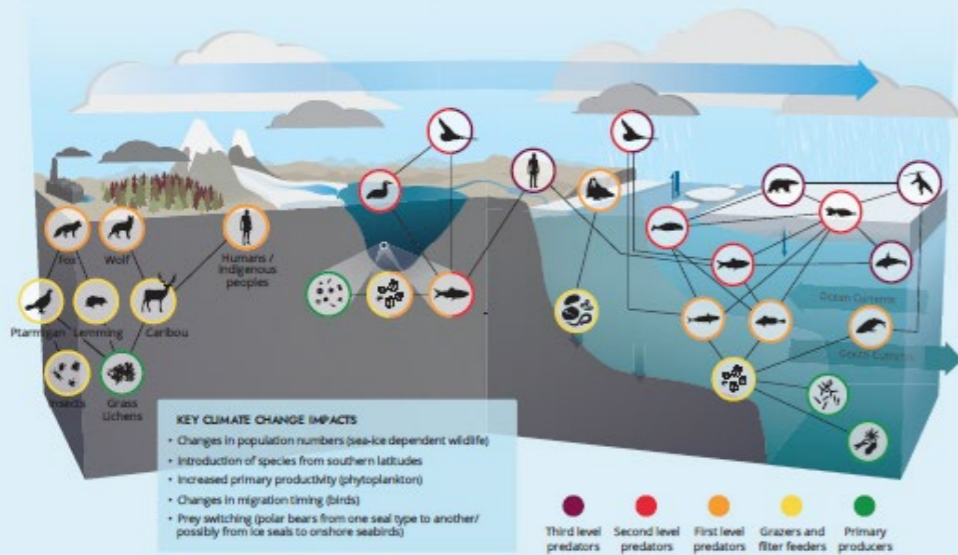


How are climate-related changes affecting contaminant accumulation and movement within the Arctic physical environment?

Observations indicate that climate change is clearly intensifying the mobility and transfer of POPs between physical environmental compartments of the Arctic; however, the overall net effect on levels in specific environmental compartments, such as air or seawater, is less clear. Climate change influences biogeochemical and contaminant pathways from multiple and sometimes opposing directions, making it difficult to estimate the combined impact of these changes. Moreover, many effects appear to be site- or region-specific, and, therefore, cannot be widely applied to all Arctic regions.

How will climate change influence the levels of POPs in Arctic biota and food webs?

Current findings indicate that climate change is affecting Arctic biota and food webs through numerous, overlapping mechanisms. As a result of these complex and interconnected environmental changes, the overall impacts on contaminant exposure in Arctic ecosystems are poorly understood. The direction and extent of changes in POP concentrations in biota are not consistent but depend on the species, ecosystem, and location and are not currently predictable; still, they are occurring. Climate-related impacts on a broad range of habitats, species, and processes are certain, which in turn are likely to disrupt the dynamics of POPs in Arctic food webs.



Climate-related changes in contaminant sources, pathways, and environmental fate are further acted upon by effects of abundance, habitat range, seasonality, prey accessibility, and physiology of individual wildlife species in Arctic ecological communities. The highly connected nature of Arctic food webs and various potential influences of climate change makes it difficult to estimate the overall impacts on contaminant exposure on Arctic species

気候関連の変化は、北極の物理的環境内の汚染物質の蓄積と移動にどのように影響しているか？

観測によると、気候変化は明らかに北極の自然環境の各区画間のPOPの可動性と移動を強めている。ただし、大気や海水などの特定の環境区画のレベルについて、全体的な正味の効果は不明瞭である。気候変化は、生物地球化学的経路と汚染物質の経路に対し、複数の、そして時には相反する方向からの影響を及ぼすため、これらの変化の総合的影響を推定することを困難にしている。さらに、多くの効果は特定の場所または地域に固有であると思われるため、すべての北極に広く適用できるわけではない。

気候変化は北極の生物相と食物網のPOPのレベルにどのように影響するか？

これまでの研究結果は、気候変化が、多数の同時に進行する仕組みを通じて北極の生物相と食物網に影響を及ぼしていることを示している。これらの複雑で相互に関連した環境変化のため、北極の生態系での汚染物質曝露に関する全体的な影響は僅かしかわかっていない。生物相におけるPOP濃度の変化の方向と程度は一貫性がなく、種、生態系、場所に依存するために現在は予測できていない。それでも、それらは現実に行っていることである。気候関連の影響が幅広い生息地、種、諸過程に対してあることは確かなことであり、それが北極の食物網におけるPOPの動態を複雑にさせていると言える。



主な気候変化の影響

- 個体数の変化 (海氷に依存する野生生物)
- 南の緯度帯からの種の侵入
- 一次生産の増加 (植物プランクトン)
- 移動時期の変化 (鳥)
- 獲物の切り替え (ホッキョクグマがあるアザラシから別のアザラシに/氷上アザラシから陸上の海鳥に)

- 第3レベルの捕食者
- 第2レベルの捕食者
- 第1レベルの捕食者
- 草食獣とろ過摂食者
- 一次生産者

汚染源、経路、および環境内での動態に関する気候関連の変化については、北極の生態系コミュニティでの個々の野生生物種の豊富さ、生息地の範囲、季節性、獲物の入手可能性、および生理特性などの効果が効いてくる。北極の食物網と気候変化のさまざまな潜在的な影響について数多くの相互関連があるという性質が、北極の種に対する汚染物質の曝露に関する全体的な影響を推定することを困難にしている。

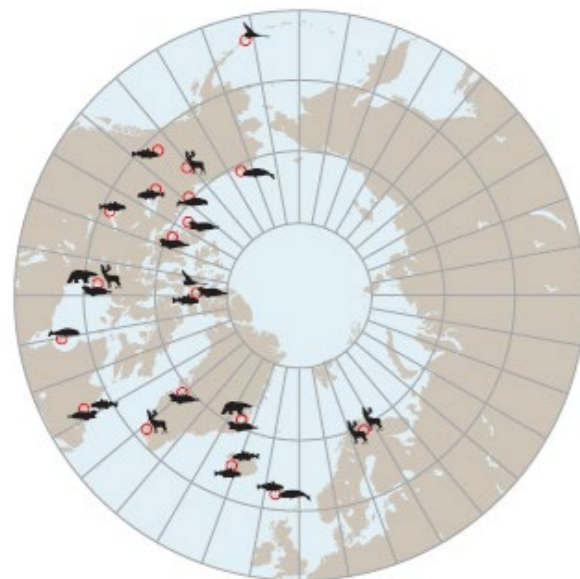
How can Indigenous Knowledge and Local Knowledge contribute to the discussion of climate-related effects on contaminant trends?



Northern Indigenous Peoples and Local Communities have been directly connected to Arctic ecosystems for centuries and have a rich repository of related knowledge. Indigenous Knowledge and local knowledge, combined with current observations of sea-ice conditions and ecological changes, could significantly enhance understanding of climate-related effects on contaminant trends in the Arctic.

The present AMAP assessment revealed the importance of long-term, site-specific monitoring efforts and the need for improved access to data on local and regional changes in climate-related conditions.

Northern communities are well-positioned to help address these needs. Some Indigenous communities already monitor sea-ice thickness, break-up dates, and other climate-related parameters. However, additional communities, especially those with a history of contaminant monitoring in the Arctic, could also lead or partner in the collection of climate-related information. Such community-led projects would help direct research based on needs of the community and sustain monitoring projects over the decadal time scales needed to identify climate influences on POPs trends.



- Community sampling
- 🐻 Ringed seal
- 🐻 Beluga
- 🐻 Other whales
- 🐟 Fish
- 🐃 Caribou/reindeer
- 🐦 Seabirds
- 🐻 Polar bear

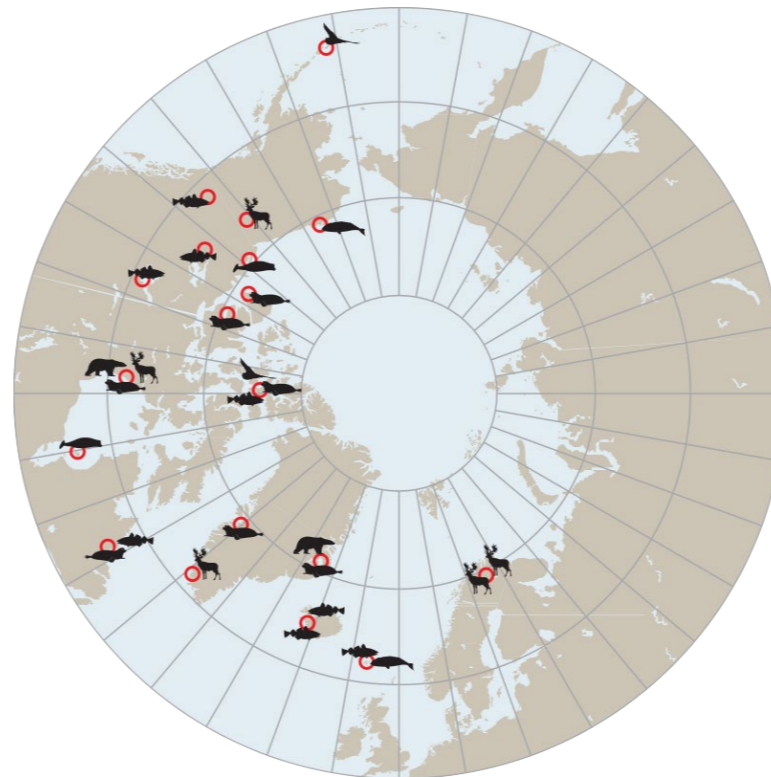
Many northern communities are involved in long-term monitoring of POPs. These communities are contributing or could contribute to the co-production of knowledge on local wildlife and environmental changes. Studies combining contaminant and climate research are particularly useful.

先住民の知識と地元の知識は、汚染物質の変化傾向に対する気候関連の影響の議論にどのように貢献できるのか？

北部の先住民と地元社会は、何世紀にもわたって北極の生態系と直接的な関係があり、関連する知識の豊富な蓄積を持っている。先住民の知識と地元の知識は、現在の海氷の状態と生態学的変化の観測と組み合わせることによって、北極の汚染物質の変化傾向に対する気候関連の影響の理解を大幅に深める可能性を持っている。

今回のAMAP評価では、地点独自の長期にわたる監視作業の重要性と、各地や地域の気候関連状況の変化に関するデータ利用を改善する必要性が明らかになった。

北方の社会は、これらのニーズに関する取り組みを促進できる立場にある。一部の先住民社会は、海氷の厚さや消失日、およびその他の気候関連の因子をすでに監視している。ただし、その他の特定のコミュニティ、特に北極での汚染物質監視の歴史を持つコミュニティは、気候関連の情報の収集を主導または連携して行える可能性がある。このようなコミュニティ主導のプロジェクトは、コミュニティのニーズに基づく研究を推進すること、およびPOPsの変化傾向に対する気候の影響を特定するために必要となる数十年の時間スケールでの監視プロジェクトを維持するのに役立つ。



- コミュニティによるサンプリング地点
- 🐻 ワモンアザラシ
- 🐻 シロイルカ
- 🐻 他のクジラ
- 🐟 魚
- 🐃 カリブー/トナカイ
- 🐦 海鳥
- 🐻 ホッキョクグマ

多くの北方のコミュニティは、POPsの長期的な監視に関与している。これらのコミュニティは地元の野生生物と環境の変化に関する知識の共同生産にすでに貢献しているか、今後貢献できる可能性がある。汚染物質と気候研究を組み合わせた研究は特に有用である。

INFLUENCE OF CLIMATE CHANGE ON LONG-TERM TEMPORAL TRENDS OF CONTAMINANTS IN THE ARCTIC

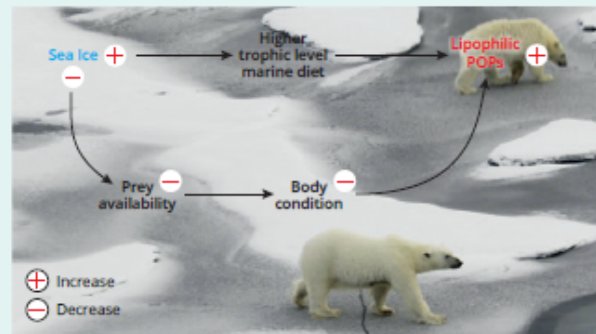
On-going environmental monitoring results in time series that further our understanding of contaminant trends in the Arctic. Temporal trends are critical for evaluating the effectiveness of global and regional POP regulations, supporting any new regulatory actions for CEACs, and protecting the food security and human health of Indigenous peoples who rely on traditional diets. Yet, the complex influences of climate change on contaminant sources, pathways, and fate in Arctic ecosystems can influence time trend data, thus impacting the interpretation of temporal trends used for decision-making.

Are temporal trends of POPs linked with climate parameters or food web changes?

Although many decadal time series for POPs now exist for Arctic air and biota, few have been explored for connections with climate parameters. Nonetheless, available findings indicate climate-related factors, including sea ice conditions and climate patterns reflected in oscillation indices, may influence the magnitude of contaminant trends in the Arctic physical environment and biota including fish, seabirds, seals, and polar bears. However, the relationship between climate and contaminant temporal trends are not uniform, and vary among locations, species, and compounds measured. Additionally, there may be a time lag between climate changes and effects on POP levels, thus, we may only be seeing the beginning of potentially larger climate influences on Arctic contaminant trends.

Do climate influences on contaminant temporal trends have implications for national and international regulations of chemicals?

Modelled and measured results for some POPs included under the Stockholm Convention suggest that primary emissions are, and will continue to be, the main driver of Arctic contaminant trends. However, some time series show climate-related influences on trends that could affect the interpretation of contaminant time series used to evaluate the effectiveness of the Stockholm Convention and other POP regulations. Current findings suggest that climate impacts on contaminant trends cannot be generalized or applied widely across the Arctic, as the degree and direction of the climate influence can vary between pollutants, species, and locations. Location-specific factors may introduce a strong local or regional component into long-term POPs trends, thus, continued environmental monitoring for both contaminant and climate-related data will be essential for informing future regulatory actions.



Associations between climate indicators and contaminant trends in Arctic biota, including fish, seabirds, seals and polar bears have been observed, and in some cases, may be attributed to changes in prey species related to climate change.

Changes in sea ice extent alter prey availability and body condition in polar bears, with consequences for contaminant levels. Under conditions of reduced sea-ice extent, polar bears have reduced access to their preferred prey of seals, were thinner, and exhibited higher tissue concentrations of lipophilic POPs.

北極の汚染物質の長期的な変化傾向に対する気候変化の影響

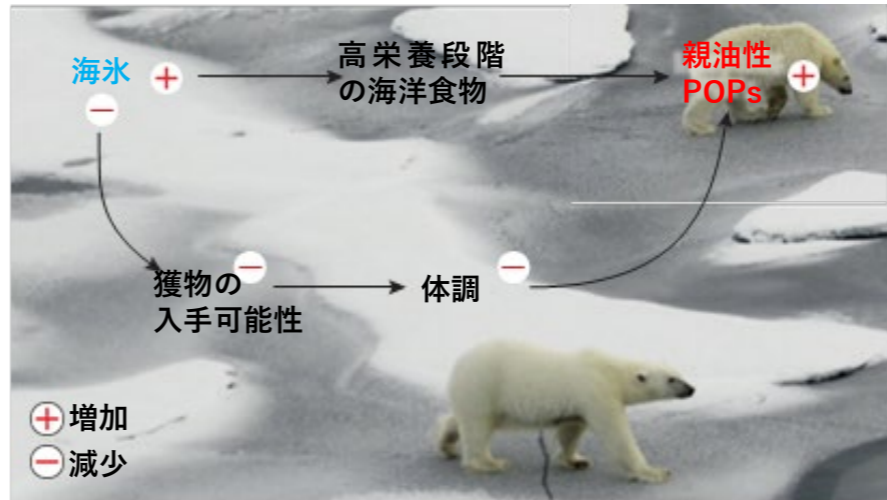
進行中の環境監視は、北極の汚染物質の変化傾向についての理解を深める時系列データを生み出している。変化傾向の情報は、世界および地域のPOP規制の有効性を評価し、あらゆるCEACsの新しい規制措置の助けとなり、伝統的な食物に依存する先住民の食料安全性と人間の健康を守るために重要である。とはいえ、北極の生態系における汚染源、経路、動態に対する気候変化の複雑な効果が変化傾向のデータに影響を及ぼしている可能性があるため、これらのことが意思決定の際に使用される変化傾向の解釈に強い影響を及ぼしている。

POPsの変化傾向は、気候因子ないし食物網の変化のどちらと関連しているのか？

北極の大気と生物相についてはPOPの数十年の時系列データが現存するが、気候因子との関連について調査されたものはほとんどない。それにもかかわらず、入手可能な研究結果は、海氷の状態や振動指数に反映される気候パターンなどの気候関連の要因が、北極の物理的環境や魚、海鳥、アザラシ、ホッキョクグマなどの生物相の汚染の変化の大きさに影響を与える可能性があることを示している。ただし、気候と汚染物質の変化傾向の間に見られる関係は一定ではなく、測定された場所、種、および化合物によって異なる。さらに、気候変化とそのPOP濃度への影響の間には時間的ずれがある可能性があり、そうすると、私たちは北極の汚染物質の変化傾向に対する気候の潜在的な大きな影響の始まりを見ているだけかもしれない。

汚染物質の変化傾向に対する気候の影響は、各国および国際的な化学物質の規制に関係するのか？

ストックホルム条約に含まれるいくつかのPOPのモデリングおよび測定の結果は、一次排出が北極の汚染物質の変化傾向の主要な要因であり、今後も続くことを示唆している。ただし、一部の時系列データの変化傾向には気候関連の影響が見られているため、ストックホルム条約やその他のPOP規制の有効性の評価に使用されている汚染物質の時系列データの解釈に影響する可能性のあることを示している。現在の研究結果は、気候の影響の程度と方向が汚染物質、種、場所によって異なる可能性があるため、汚染物質の変化傾向に対する気候の影響を一般化または北極全体に広く適用することはできないことを示唆している。地点固有の要因によって、長期的なPOPの傾向に強い局所的ないし地域的な信号を持つ要素が入り込むこともあるため、汚染物質と気候関連データの両方の継続的な環境監視が、将来の規制措置に情報提供するためには不可欠である。

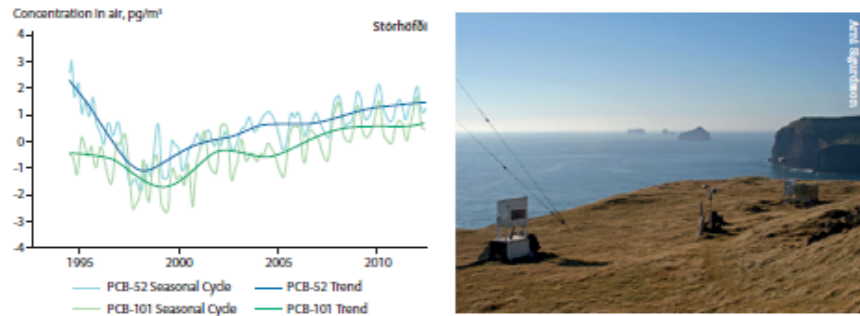


気候指標と、魚、海鳥、アザラシ、ホッキョクグマなどの北極の生物相における汚染物質の変化傾向との間に関連が見られ、場合によっては、気候変化に関連した獲物種の変化が原因である可能性が考えられる。

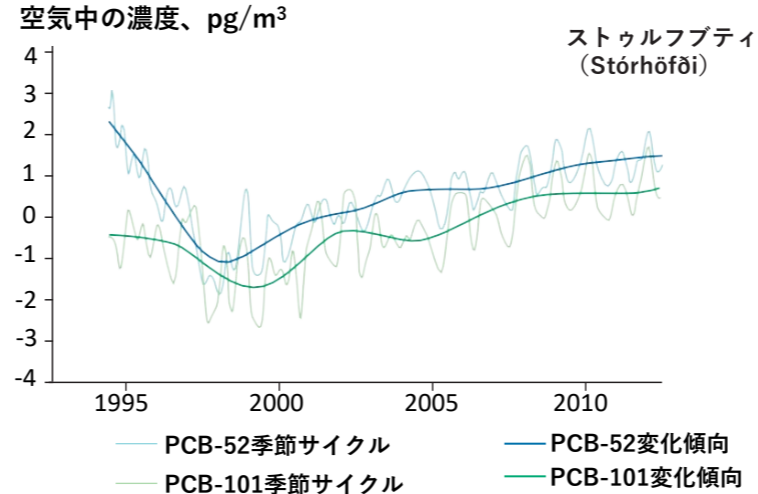
海氷域面積の変化は、ホッキョクグマの獲物の捕獲状況と体調を変化させ、汚染物質レベルに影響を及ぼす。海氷域面積が減少した状況下では、ホッキョクグマが好むアザラシの捕獲が減少することで、痩せて、組織中の親油性POPの濃度が高くなる。

POPの減少傾向の鈍化：気候変化の潜在的な影響

SLOWING OF POPs DOWNWARD TRENDS: POTENTIAL INFLUENCES OF CLIMATE CHANGE



In some locations, the decline of certain POPs is slowing, and even reversing direction, potentially in association with climate-related changes. Levels of PCB-52 and PCB-101 in air are now increasing at the coastal site of Stórhöfði, Iceland in close proximity to retreating ice caps, after earlier decreases.



将来の気候変化の下で、汚染物質が北極にどのように影響するかをどれだけ正確に予測できるのか？

今回の評価は、北極のPOPに対する気候変化の直接的および間接的な影響は、それらが同時進行するため非常に複雑であることを明らかにした。気候が汚染物質レベルと変化傾向に与える全体的な影響は、汚染源、輸送経路、北極の環境、生態系コミュニティの変化など、さまざまな要因によって決まる。これらの変化の一部は影響を受けてから数週間または数か月以内に明らかになるが、その他の変化は表面化するのに数年または数十年かかる。この複雑さに加えて、結果は個々の汚染物質の化学的特性に依存し、また場所や種によって異なる。これらすべての関連要因の下には、世界的な気候変化の進行に内在している不確実性がある。

気候が北極の汚染物質に影響を及ぼしていることを示す証拠が増えているが、これらの変化を制御している複雑な要因は十分には理解されていないため、将来の結末を予測する可能性が制限されている。しかし、広域規模や地域規模、そして長期間に関する現段階の研究結果は、一次放出が北極でのPOP曝露を制御する支配的な要因であり続けることを示唆している。したがって、この地域における将来の汚染物質の影響を減らすためには、世界的な規制の取り組みが不可欠であり、今後も不可欠であり続ける。同時に、現在規制されていないCEACsの影響を制限するために、地域および国での追加的な管理が重要になる。

一部の地域では、特定のPOPの減少が鈍化し、また方向が逆転している場所もあるが、これに気候関連の変化が関係している可能性がある。後退している氷帽の近くのStórhöfðiの沿岸地域（アイスランド）では、空気中のPCB-52とPCB-101の濃度が以前の低下の後、その後上昇している。

北極に対する気候影響を予測する能力を向上させるために、複数の環境プロセスを組み合わせたモデルを使用できる。しかしながら、その予測精度は、生態系プロセスと相互関連の理解に依存しているとともに、排出量推定に関するデータの利用可能性、物理化学的特性、環境レベル、および種間の栄養関係などにも依存している。したがって、将来の予測を改善するためには、環境および生態学的データの利用可能性と入手方法の改善が鍵となる。

北極の汚染物質に対する気候の影響を理解するために必要な知識とギャップ

北極の生態系に対する気候変化の影響に関しては多くの不確実性があるが、特にいくつかの知識のギャップが進行中の気候変化の下での汚染物質の動態の理解を制限しているため、将来の研究の対象として以下が推奨される。

- 汚染物質、特にCEACsの物理化学的特性
- POPsおよびCEACsの一次排出のレベルと発生源
- 長距離輸送とともに、局所、地域、および遠方の汚染源を区別する方法
- 気候に起因する北極の自然環境の変化
- 野生生物の動きと北極の食物網の構造の変化
- 気候因子と、自然環境および生物相の汚染物質レベルとの相関関係の機械論的理解
- 陸域環境と低栄養段階の生物相に関する汚染物質と気候関連の変化のデータ

How well can we anticipate how contaminants will impact the Arctic under future climate change?

The present assessment has revealed a high complexity of overlapping direct and indirect effects of climate change on POPs in the Arctic. The overall impact of climate on contaminant levels and trends is dependent on numerous factors, including changes to contaminant sources, transport pathways, Arctic environments and ecological communities. Some of these changes will be apparent within weeks or months, while others will take years or decades to develop. Adding to this complexity, outcomes will depend on the chemical characteristics of individual pollutants and will vary by location and species. Underlying all of these variables is the inherent uncertainty associated with the progression of climate change globally.

Although there is now a growing amount of evidence indicating climate is influencing the contaminants within the Arctic, the complex factors controlling these changes are far from well understood, limiting the ability to predict future outcomes. However, at a large, regional scale, and over the longer term, current findings suggest that primary emissions continue to be the dominant factor controlling POPs exposure in the Arctic. Thus, global regulatory efforts are, and will be, essential in reducing future contaminant impacts to the region. At the same time, additional regional and national controls will be important for limiting the effects of currently unregulated CEACs.

To improve the ability to forecast climate influences on the Arctic, models that combine multiple environmental processes can be used, however, the accuracy of their projections are dependent on the understanding of ecosystem processes and

interconnections, as well as the availability of data on emission estimates, physical-chemical properties, environmental levels, and trophic relationships between species. Thus, greater availability and access to environmental and ecological data will be key to improving future projections.

Knowledge gaps & needs for understanding climate influences on Arctic contaminants

While there are many uncertainties regarding the impacts of climate change in Arctic ecosystems, some knowledge gaps especially limit our understanding of contaminant fate under ongoing climate change and are thus recommended to be the focus of future research:

- Physical-chemical properties of contaminants, especially CEACs
- Levels and sources of primary emissions of POPs and CEACs
- Methods to distinguish between local, regional, and distant contaminant sources, including long-range transport
- Climate-induced alterations in the Arctic physical environment
- Changes in wildlife movements and structure of Arctic food webs
- Mechanistic understanding of correlations between climate parameters and contaminant levels in the physical environment and biota
- Data on contaminant and climate-related changes for terrestrial environments and low-trophic level biota

RECOMMENDATIONS

Based on the findings of this AMAP assessment, the AMAP Working Group recommends the following steps:

1 INCORPORATING KNOWLEDGE OF CLIMATE CHANGE EFFECTS ON CONTAMINANTS INTO REGULATORY PROCESSES ADDRESSING POPs:

- The groups responsible for effectiveness evaluation and risk assessment under the Stockholm Convention and UN ECE Air Convention (Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution) implement procedures to account for the increasing influence of climate change on levels of POPs and some CEACs observed in the environment.

2 REAFFIRMING CALLS FOR ACTION ON POPs AND CEACs:

- Arctic Council Member States and Parties to the Stockholm Convention strengthen efforts to reduce primary emissions of POPs and continue to review CEACs for potential listing under the Stockholm Convention. Based on climate and emissions modelling the expected effects of global regulatory efforts on reducing emissions will remain the primary factor determining levels of most POPs in the Arctic environment and Arctic biota in coming decades, and mask possible influences associated with climate change.
- Arctic Council Member States and Observers support existing and consider new national, regional, and global initiatives for chemicals regulation and management of CEACs not covered by existing arrangements, and improve communication of associated risks to Arctic populations. As the Arctic warms, increased human activity in the region will likely contribute to local releases of pollutants, including chemicals of emerging concern that fall outside the scope of the existing mechanisms for the regulation of long-range transported pollutants. Examples of existing legislation include the EU Chemical regulation (REACH) and the Canadian Environmental Protection Act (CEPA). Development and implementation of national legislation is a key element of the voluntary global framework for sound management of chemicals and waste currently under negotiation as a successor to the Strategic Approach to International Chemicals Management (SAICM).
- Arctic States, consider independent actions to proactively control local contaminant sources, including those associated with increased human activities, extreme weather events, and structural failure of local waste infrastructure as a consequence of permafrost thaw.

推奨事項

今回のAMAP評価の結果に基づいて、AMAPワーキンググループは次のことを推奨する。

1 POPsを扱っている規制作業に、汚染物質に対する気候変化の影響に関する知識を組み込む：

- スtockホルム条約および国連ECE大気汚染条約（長距離越境大気汚染に関する条約）に関する有効性評価およびリスク評価を担当するグループは、環境中のPOPのレベルに対する気候変化の増加する影響を考慮する作業を行う。

2 POPsおよびCEACsに関する実施要請を再確認する：

- 北極評議会のメンバー国およびStockホルム条約の締約国は、POPの一次排出量を削減するための取り組みを強化し、Stockホルム条約へのCEACの登録の可能性について引き続き検討する。気候と排出量のモデリングに基づく、世界的な排出量削減に関する規制努力から推測される効果が、今後数十年の北極の環境と生物相におけるPOPのレベルをほとんど決定する主要な要因であり続け、気候変化に関連すると考えられる効果を覆い隠す。
- 北極評議会のメンバー国とオブザーバーは、既存の取り決めで網羅していないCEACの化学物質規制と管理のための国、地域、および世界的な既存のイニシアチブを支援するとともに新たに検討し、関連リスクに関する北極住民への伝達方法を改善する。北極が温暖化するとこの地域での人間活動は増加し、それが長距離輸送汚染物質の規制を対象とした既存の仕組みの範囲外にある懸念される化学物質などの新たな汚染物質の地元での放出をもたらす可能性がある。既存の法律の例としては、EU化学物質規制（REACH）およびカナダ環境保護法（CEPA）がある。「国際化学物質管理への戦略的アプローチ（SAICM）」の後継として、現在、化学物質と廃棄物の健全な管理のための自主的な世界的枠組みの交渉が行われているが、国内法の策定と実施が、その重要な要素となっている。
- 北極諸国は、人間活動の増加、気象に関する極端現象、永久凍土層の融解の結果として生じる地元の廃棄物インフラの構造的欠陥に関連するものを含め、**地元の汚染源を積極的に管理するための独自の行動を検討する。**

3 EXTENDING THE KNOWLEDGE BASE ON CLIMATE CHANGE EFFECTS ON CONTAMINANTS

Governments of Arctic States and observer countries, and international and national research funding agencies:

- **Expand studies considering the impact of climate change and related ecosystem changes on POPs and CEACs, including the role of extreme weather events on long-range transport and releases from secondary and local contaminant sources.** These studies should be expanded in both scope and geographical coverage, to improve the knowledge base and understanding of key processes.
- **Extend long-term contaminant monitoring programmes in geographic and analytical scope, including broadening analyses to include CEACs, and collection of ancillary biological, ecological, and climate/meteorological data.** The complex interactions between climate change and contaminants necessitate long-term and integrated environmental monitoring efforts that reflect the diversity of Arctic ecosystems and include ancillary data on climate parameters, environmental conditions, and wildlife populations which allow for meaningful interpretation of the contaminant findings.
- **Promote increased co-production of knowledge by encouraging community-based studies and promoting capacity building in Arctic communities and scientific research programs.** The use of Indigenous Knowledge and local knowledge for interpreting POPs trends and their links with climate change, would complement scientific studies and facilitate a better understanding of processes that affect POP and CEAC transport and fate under changing climate conditions and ecosystems.
- **Further develop temporal trend analytical methods and approaches to better incorporate and investigate relationships with climate-related parameters and apply these to retrospectively re-analyze trends in existing time-series, thus building on the knowledge gained from the limited number of studies where such work has been done so far.**
- **Encourage interdisciplinary research that reflects the complexity of physical, chemical and biological processes and the rapid developments both with regard to climate change and chemical contamination.** This integrative approach would benefit from collaboration among disciplines, government, universities, and Indigenous peoples and local communities.



ADDRESSING
NEW
FINDING



REINFORCING
MESSAGE



ADDRESSING
KNOWLEDGE
GAPS

3 汚染物質に対する気候変化の影響に関する知識基盤の拡大

北極国とオブザーバー国の政府、および国際的および各国の研究助成機関は：

- 気候変化および関連する生態系の変化がPOPsおよびCEACsに与える影響を考慮した研究を拡張する。これには、長距離輸送における気象の極端現象の役割や、二次および局地的汚染源からの放出が含まれる。これらの研究は、知識基盤と主要なプロセスの理解を改善するために、取り扱う対象の範囲と地理的範囲の両方について拡張する必要がある。
- CEACsを含むよう解析範囲を広げ、補助的な生物学的、生態学的、および気候/気象データの収集することを含め、地理的および分析の範囲の観点から長期汚染物質監視プログラムを拡張する。気候変化と汚染物質の間の複雑な相互作用の存在は、北極の生態系の多様性を反映し、汚染物質の研究結果の有意義な解釈を可能にする気候因子、環境条件、および野生生物の個体数に関する補助データを網羅した長期的かつ統合された環境監視の取り組みを必要とさせている。
- コミュニティによる研究を奨励し、北極のコミュニティと科学研究プログラム間の能力開発を進めることにより、**知識の共同生産を促進する**。POPsの変化傾向と気候変化との関連を解釈するために先住民の知識と地元の知識の使用することは、科学的研究を補完し、変化する気候条件と生態系の下でPOPとCEACの輸送と動態に影響を及ぼしているプロセスのより良い理解を促進することになる。
- 気候関連因子をより適切に組み込み、それとの関係を調査するために、**時間的変化傾向分析手法(temporal trend analytical method)とその取り組み方をさらに発展させた上で、これを既存の時系列データの傾向について遡及的に再分析する作業に用いる**。それによって、今までの限られた数の関連研究から得られた知識によって明らかにすることができる。
- 物理的、化学的、生物学的諸過程の複雑さと、気候変化と化学的汚染の両方に関する急速な発展を反映している学際的な研究を奨励する。この統合的な取り組みは、諸学問分野、政府、大学、先住民および地域社会の間で協力が行われることによって利益を受けるであろう。



新たな研究に
関する取り組み



強化に関する
メッセージ



知識のギャップに
関する取り組み

AMAP, established in 1991 under the eight-country Arctic Environmental Protection Strategy, monitors and assesses the status of the Arctic region with respect to pollution and climate change. AMAP produces science-based policy-relevant assessments and public outreach products to inform policy and decision-making processes. Since 1996, AMAP has served as one of the Arctic Council's six working groups.

This document was prepared by the Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP) and does not necessarily represent the views of the Arctic Council, its members or its observers.

The AMAP Assessment 2020: POPs and Chemicals of Emerging Arctic Concern: Influence of Climate Change is one of several reports and assessments published by AMAP in 2021. Readers are encouraged to review this, and the reports below, for more in-depth information on climate and pollution issues:

- AMAP Assessment 2021: Mercury in the Arctic
- AMAP Assessment 2021: Impacts of Short-lived Climate Forcers on Arctic Climate, Air Quality, and Human Health
- AMAP Assessment 2021: Human Health in the Arctic
- AMAP Arctic Climate Change Update 2021: Key Trends and Impacts

AMAP Secretariat

The Fram Centre,
Box 6606 Langnes,
9296 Tromsø, Norway

Tel. +47 21 08 04 80
Fax +47 21 08 04 85

amap@amap.no
www.amap.no

AMAP
Arctic Monitoring and
Assessment Programme

Cover image: Synnø St. Sørensen, Thromsøer Ålmyr, Thromsøer Ålmyr, Østlandetregion, Nordland fylke, Mosjøen, Østlandet

AMAPは、1991年に8カ国の北極環境保護戦略に基づいて設立され、汚染と気候変化に関する北極地域の状況について監視し評価を行っている。AMAPは、政策と意思決定プロセスに情報を提供するために、科学に基づいた政策関連の評価文書と一般向けのアウトリーチ成果物を作成している。1996年以来、AMAPは北極評議会の6つのワーキンググループのひとつとして活動している。

この文書は、北極監視評価プログラム（AMAP）によって作成されたものであり、必ずしも北極評議会のメンバーやオブザーバー諸国の見解を表すものではない。

The AMAP Assessment 2020: POPs and Chemicals of Emerging Arctic Concern: Influence of Climate Change (AMAP評価2020: POPsと北極で新たに懸念されている化学物質: 気候変化の影響)は、2021年にAMAPによって発行された数種の報告書及び評価書のひとつである。気候と汚染の問題に関する詳細情報については、これと以下の報告書を参照することを勧める。

- AMAP Assessment 2021: Mercury in the Arctic (AMAP評価2021: 北極の水銀)
- AMAP Assessment 2021: Impacts of Short-lived Climate Forcers on Arctic Climate, Air Quality, and Human Health (AMAP評価2021: 短寿命気候強制力因子が北極の気候、大気質、および人間の健康に及ぼす影響)
- AMAP Assessment 2021: Human Health in the Arctic (AMAP評価2021: 北極の人々の健康)
- AMAP Arctic Climate Change Update 2021: Key Trends and Impacts (AMAP北極気候変化のアップデート2021: 主な変化傾向と影響)

AMAP事務局

フラムセンター、
ボックス6606スタックヴォーラン、
9296トロムソ、ノルウェー
電話 +47 21 08 04 80
ファックス+4721 08 04 85
amap@amap.no
www.amap.no

原文書名: POPs and Chemicals of Emerging Arctic Concern: Influence of Climate Change
発行者・発行年: Arctic Monitoring & Assessment Programme (AMAP)、2021年
日本語訳発行者: ArCS II事務局 (国立極地研究所 国際北極環境研究センター内)
翻訳協力者: 大畑哲夫、末吉哲雄 (国立極地研究所)
WEB掲載年: 2021年