

# ARCTIC CLIMATE CHANGE UPDATE 2021: KEY TRENDS AND IMPACTS

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](http://www.amap.no) or contact the AMAP Secretariat

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

## 北極気候変化のアップデート2021：主な変化傾向と影響

### 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識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](http://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

The Arctic environment continues to change at a rapid pace—with some indicators changing even faster than previously reported by AMAP in 2019.



### 1 The physical drivers of Arctic change continue to change rapidly

☞☀ Key indicators such as temperature, precipitation, snow cover, sea ice thickness and extent, and permafrost thaw show rapid and widespread changes underway in the Arctic. An important update is that the increase in Arctic annual mean surface temperature (land and ocean) between 1971 and 2019 was three times higher than the increase in the global average during the same period. This is higher than reported in previous AMAP assessments.



### 2 Extreme events in the Arctic are changing in frequency and intensity

☞☀ The Arctic is experiencing an increase in extreme events. New findings include recent increases in the frequency and/or intensity of rapid sea ice loss events, melt events on the Greenland ice sheet, and wildfires. There has been an increase in extreme high temperatures and a decline in extreme cold events. Cold spells lasting more than 15 days have almost completely disappeared from the Arctic since 2000.



### 3 Climate change is having major impacts on Arctic communities

☞☀ Climate change is affecting the subsistence harvest-based livelihoods and food security of small Arctic communities—especially Indigenous communities. Arctic climate change is also posing widespread risks to safety, health, and well-being; damaging infrastructure; and causing economic impacts to many sectors. Commercial fisheries, aquaculture, and cruise tourism are expanding in the Arctic, with implications for coastal communities and livelihoods, vulnerable ecosystems, and demand for search-and-rescue services.



### 4 Arctic ecosystems are experiencing rapid, transformational changes

☞☀ The rapidly changing cryosphere is affecting ecosystems throughout the Arctic, changing the productivity, seasonality, distribution, and interactions of species in terrestrial, coastal, and marine ecosystems. Changes in sea ice type, extent, and seasonality, and snow cover on land and sea ice; and the rapid loss of perennial ice and the Greenland ice sheet are causing fundamental changes in ecosystems that affect the cycling of carbon and greenhouse gases. Unique ecosystems, such as those associated with multi-year sea ice or millennia-old ice shelves, are at risk and some are vanishing.

## 主要な研究結果

北極の環境は急速なペースで変化し続けており、一部の環境指標は AMAP が以前の 2019 年に報告した時よりもさらに速く変化している。

### 1 北極の変化に関わる物理的要因は急速に変化し続けている

☞☀ 気温、降水量、積雪量、海氷の厚さと範囲、永久凍土の融解などの主要な指標は、北極で急速かつ広範な地域で変化が進行していることを示している。重要な最新の知見の一つは、1971 年から 2019 年までの北極の年平均地上気温（陸と海を含む）の上昇が、同時期の世界平均の上昇よりも 3 倍高かったことである。これは、以前の AMAP 評価で報告されていたよりも高い値である。

### 2 北極の極端現象は、その頻度と強度が変化している

☞☀ 北極では極端現象が増加している。新たに得られた結果から、急速な海氷消失、グリーンランド氷床の融解、および森林火災などの山火事などの頻度と強度が最近増加していることなどが分かる。極端な高温の増加と極端な低温の減少も見られた。2000 年以降、15 日以上続く寒波は北極からほぼ完全に姿を消した。

### 3 気候変化は北極社会に大きな影響を与えている

☞☀ 気候変化は、北極の小さな地域社会、特に先住民社会での収穫に基づく自給自足の生活や食料の安全性に影響を与えている。北極の気候変化は、安全、健康、福祉の広範囲に渡るリスクをもたらし、インフラに損害を与え、多くの社会部門に経済的影響を及ぼしている。北極では、商業漁業、水産養殖、クルーズ観光旅行が拡大しているため、沿岸の地域社会や生活、脆弱な生態系、捜索救助サービスの必要性などに影響を及ぼしている。

### 4 北極の生態系は急速な変化を遂げている

☞☀ 急速に変化する雪氷圏は、陸上、沿岸、海洋の生態系における生産性、季節性、分布、種の間の相互作用を変化させる形で北極全域の生態系に影響を及ぼしている。海氷の種類、範囲、季節的变化、および陸上と海氷上の積雪、そして、永年存在してきた氷とグリーンランド氷床の急速な損失は、炭素と温室効果ガスの循環に影響を与える生態系に基本的な変化を引き起こしている。多年生の海氷や数千年前の棚氷などに関係した独特の生態系が危機に直面していて、また一部は消失している。

## IMPACTS OF COVID-19 ON ARCTIC RESEARCH

The COVID-19 pandemic has affected communities across the Arctic, with more than 400,000 cases and 6,600 deaths reported as of February 2021. The pandemic also exposed and exacerbated existing vulnerabilities, especially among Indigenous Peoples.

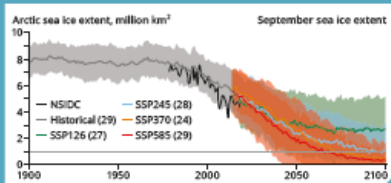
Based on multiple communications, the COVID-19 pandemic has had a major impact on Arctic research, leading to many delays, logistical challenges, cancellations, and postponement of expeditions and other field work. The resulting disruption of monitoring and research efforts is expected to lead to data gaps in 2020–2021, including gaps in some long-term data sets that are key to understanding Arctic climate change. Some research projects were able to proceed despite the pandemic, particularly those co-developed with northern and Indigenous communities, demonstrating the resilience of projects that are Arctic-led, co-developed, and/or well-partnered with local communities.

*Note: The information in this box is based on new material not included in the underlying technical report.*



### 5 Changes in the Arctic have global consequences

The effects of Arctic change are felt far beyond the Arctic, including the impacts of global sea-level rise, the opportunities and risks associated with the opening of new shipping routes and improved access to fossil fuel reserves, and the potential for feedbacks that affect atmospheric greenhouse gas concentrations. Although studies have demonstrated connections between Arctic change and mid-latitude weather patterns, the linkages are complex and inconsistent.



### 6 The latest climate models continue to project that the Arctic will warm rapidly over the course of this century

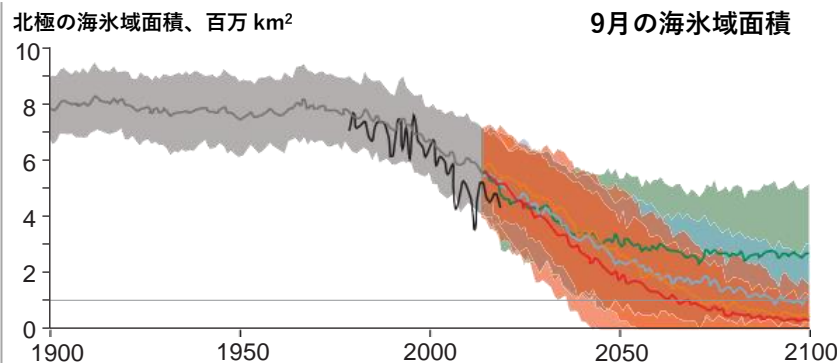
The newest generation of coupled global climate model projections (CMIP6) show that annual mean surface air temperatures in the Arctic will rise to 3.3–10°C above the 1985–2014 average by 2100, depending on the course of future emissions. Under most emission scenarios, the vast majority of CMIP6 models project the first instance of a largely sea-ice-free Arctic in September occurring before 2050. The probability of an ice-free Arctic summer is 10 times greater under a 2°C global warming scenario compared with a 1.5°C scenario.

#### KEY TO SYMBOLS:

- OBSERVED
- PROJECTED
- NEW FINDING
- UPDATED FINDING
- KNOWLEDGE GAP
- REINFORCING MESSAGE

## 5 北極の変化は世界的な影響をもたらす

世界的な海面上昇への影響、新しい輸送ルートの開通や埋蔵化石燃料の確保し易さに関する好機とリスク、大気中の温室効果ガス濃度に影響を与えるフィードバックの可能性などを通じて、北極の変化の影響は北極以外の地域においても感じられている。研究によって北極の変化と中緯度の気象パターンとの関連が示されているが、その関係は複雑であり、また一定の関係が見られていない。



- 米国雪氷データセンター
- 社会的シナリオ SSP245 (28)
- 社会的シナリオ SSP370 (24)
- 社会的シナリオ SSP126 (27)
- 社会的シナリオ SSP585 (29)
- 歴史的データ (29)

## 6 最新の気候モデルは、今世紀中に北極が急速に温暖化すると予測し続けている

最新世代の全球気候結合モデルによる予測 (CMIP6) は、北極の年間平均地上気温が2100年までに1985～2014年の平均より3.3～10°C上昇することを示している。大多数のCMIP6モデルは、ほとんどの排出シナリオのもとで、9月の北極に海水がほとんどない最初の瞬間が2050年より前に起こることを予測している。氷のない北極の夏が発生する確率は、1.5°Cの場合の地球温暖化シナリオと比較して、2°Cのシナリオでは10倍高くなる。

## 北極研究に対する COVID-19 の影響

COVID-19のパンデミックは北極全域の地域社会に影響を及ぼし、2021年2月の時点で400,000件以上の症例と6,600人の死亡が報告されている。またこのパンデミックは、特に先住民の間に存在していた脆弱性を露呈し悪化させた。複数の情報源に基づく、COVID-19のパンデミックは北極の研究に大きな影響を及ぼし、遠征やその他の野外調査に関して、多くの遅延、物流上の課題、中止および延期をもたらした。その結果として生じた監視と研究の取り組みに関する混乱によって、北極の気候変化を理解する鍵となるデータが2020年から2021年にかけて欠測になることが懸念されている。いくつかの研究プロジェクト、特に北部および先住民の地域社会と共同開発したプロジェクトは、パンデミックにもかかわらず続行することができた。これは北極が主導し、共同開発され、地域社会との良好なパートナーシップを作り上げたプロジェクトの強靱性を示している。

注: このボックスの情報は、本要約の元となった技術報告書に含まれていない新しい資料に基づいている。

#### 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 AND SCOPE

Climate change is a global problem, but many of its impacts are being felt now and most strongly in the Arctic. Extensive evidence shows that Indigenous communities in the Arctic bear substantial impacts from climate change.

Over the past 49 years, the Arctic has warmed three times faster than the world as a whole, leading to rapid and widespread changes in sea ice, land ice (glaciers and ice sheets), permafrost, snow cover, and other physical features and characteristics of the Arctic environment. These changes are transforming the Arctic, with far-reaching consequences.

This Summary for Policy-makers is an overview of key findings in the *AMAP Arctic Climate Change Update 2021: Key Trends and Impacts. Summary for Policy-makers* report, which provides updates on key issues and changes since the *Snow, Water, Ice and Permafrost in the Arctic (SWIPA) 2017* assessment and the *Arctic Climate Change Update 2019* report. The report summarizes the latest findings on extreme events; connections between Arctic change and mid-latitude weather; ecosystem-climate connections, including impacts and feedbacks; and observed (and in some cases projected) societal impacts of Arctic climate change. The report also provides updated projections of Arctic climate change from the next generation of climate models and scenarios that will be evaluated as part of the Intergovernmental Panel on Climate Change's Sixth Assessment Report.

Each chapter of *Arctic Climate Change Update 2021: Key Trends and Impacts. Summary for Policy-makers* was written by experts from relevant scientific disciplines and was subjected to anonymous peer review. The underlying report is fully referenced and is based on the peer-reviewed scientific literature or on new results obtained using well-documented

observations or models. The peer-reviewed observations, methods, and studies used in the report in a few cases include contributions from Indigenous Knowledge as well as traditional and local knowledge. However, it is recognized that a holistic understanding of the changes occurring in the Arctic requires equitable inclusion of Indigenous Knowledge and local and Indigenous Peoples in assessment processes.

### WHY THIS IS IMPORTANT

Climate change is the dominant driving force in many of the environmental, economic, and societal transitions in the Arctic today. Along with its direct impacts, climate change acts as an additional stressor on top of existing challenges faced by Arctic communities, industries, and ecosystems.

Changes in the Arctic have global implications. The rapid mass loss of the Greenland ice sheet and other Arctic land ice contributes more to global sea level rise than does the melting of ice in Antarctica. Changes in Arctic ecosystems can induce feedbacks to the global climate system, although the future direction and magnitude of these feedbacks remain unclear. Wildfires in the Arctic result in carbon emissions to the atmosphere. The availability of new shipping routes; access to oil, gas, and mineral resources; and changes in Arctic fisheries have economic consequences within and outside the Arctic. Climate change also affects species that migrate between the Arctic and southern latitudes.



## 本要約の背景と扱う範囲

気候変化は世界的な問題であるが、その影響の多くは現在、北極で最も強く感じられている。北極の先住民社会が気候変化による甚大な影響を受けていることを、数多くの事実が示している。

過去49年間で、北極は世界全体の3倍の速さで温暖化し、海氷、陸氷（氷河と氷床）、永久凍土、積雪、およびその他の北極環境における物理的様相と特徴に急速かつ広範な変化を生じさせてきた。これらの変化は北極を一変させ、影響が及ぶところは大きい。

この政策決定者向け要約は、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) 報告書（公開予定）に書かれている主要な研究結果を概説したものである。この報告書はSnow, Water, Ice and Permafrost in the Arctic (SWIPA) 2017評価書とArctic Climate Change Update 2019以降の主要な課題と変化に関する新たに更新された情報を提供している。またこの報告書は、極端現象、北極の変化と中緯度の気象との関係、影響とフィードバックを含む生態系と気候のつながり、北極気候変化による社会的影響の状況（および場合によっては予測）に関する最新の研究結果をまとめている。そして、この報告書は、「気候変動に関する政府間パネルの第6次評価報告書」の一部として評価が行われることにもなっている次世代気候モデルとシナリオから得られた北極気候変化の最新予測結果を提供することも兼ねている。

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) の各章は、関連する科学分野の専門家によって書かれ、匿名での査読を受けた。基礎となるレポートは、査読された科学文献、ないし文書化されている観測またはモデルを使用して得られた新しい結果などの

参照に基づいている。報告書で使用された査読付きの観測、方法、および研究の中に、伝統的および地元の知識だけでなく、先住民の知識からの貢献も幾つか含まれている。ただし、北極で発生している変化を全体的に理解するには、評価過程に先住民の知識と地元および先住民を公平に含める必要があることは認識されている。

### 北極の気候変化が重要な理由

気候変化は、今日の北極における多くの環境、経済、および社会の移り変わりの主要な原因である。気候変化は、その直接的な影響に加えて、北極の社会、産業、生態系が直面している既存の課題に対する追加のストレス要因としても機能しているのである。

北極の変化は世界的な影響を及ぼす。グリーンランド氷床や他の北極の陸氷の急速な質量減少は、南極大陸の氷の融解よりも、世界の海面上昇に大きく貢献している。北極の生態系の変化は、地球の気候システムにフィードバックを引き起こす可能性があるが、これらのフィードバックの将来の方向性と規模は依然として不明瞭である。北極での山火事（森林火災、野焼きなどすべてをさす）は、大気への炭素放出をもたらす。新しい輸送ルートの利用可能性、石油、ガス、鉱物資源の確保、北極の漁業などの変化は、北極内のみならずそれ以外の地域に経済的影響を及ぼす。気候変化は、北極域とその南方地域の間を移動する動物種にも影響を及ぼすのである。

# THE PHYSICAL DRIVERS OF ARCTIC CHANGE CONTINUE TO CHANGE RAPIDLY

Climate change is a here-and-now problem in the Arctic, where temperatures are rising far faster than the global average and widespread changes in precipitation, snow cover, sea and land ice, permafrost, and extreme events are transforming the Arctic environment.

## LATEST FINDINGS ON KEY INDICATORS

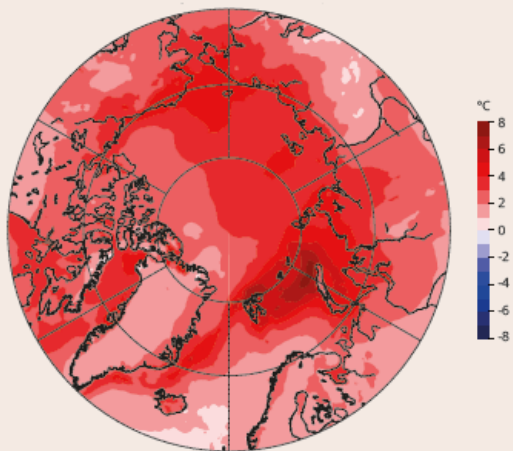
The following updates to climate indicators focus on the 49-year period beginning in 1971 and ending in 2019 unless otherwise indicated. The starting date of 1971 was chosen because it is the oldest date for which many of the most reliable records for Arctic temperature and other Arctic indicators are available.

### AIR TEMPERATURE

From 1971–2019, the annually averaged Arctic near-surface air temperature increased by 3.1°C, three times faster than the global average. This finding is based on instrumental data, with interpolation applied over the Arctic Ocean where observations are sparse, and is higher than the increase reported in previous AMAP reports. The largest change in air temperature over this 49-year period was over the Arctic Ocean during the months of October through May, averaging 4.6°C with a peak warming of 10.6°C occurring over the northeastern Barents Sea.

### PRECIPITATION

Total annual precipitation in the Arctic (rain and snow combined) increased by more than 9% from 1971–2019, based on a combination of observed and modeled data. Rainfall increased by 24% during that period, with no net overall Arctic trend in snowfall. The largest increase in precipitation is during the cold season, from October through May.



### PERMAFROST TEMPERATURE

Arctic permafrost has warmed by 2–3°C since the 1970s. At many colder permafrost sites, rates of warming over the past 20 years have been greater than any since 1979. The seasonally thawed active layer has grown deeper at many sites since the 1990s, and landscape observations indicate permafrost thaw across the Arctic.

### TERRESTRIAL SNOW COVER

Arctic snow cover extent during the months of May through June declined by 21% from 1971–2019, with a larger decrease (25%) over Eurasia compared with North America (17%).

Figure 1. Arctic annual surface temperature trend patterns, 1971–2019, based on combined observed and modeled data.

# 北極変化の物理的要因は急速に変化し続けている

気候変化は北極の喫緊の問題である。この地域の温度は世界平均よりもはるかに速く上昇していて、降水、積雪、海と陸の氷、永久凍土、および極端現象などの広域での変化が北極の環境を変えている。

## 主要な指標に関する最新の研究結果

以下の気候指標の最新の情報は、特に明記されていない限り、1971年から2019年までの49年間を対象としている。1971年開始が選択されたのは、北極の温度やその他の北極の指標に関する最も信頼できる記録の多くが入手可能である最も古い年だからである。

### 気温

1971年から2019年にかけて、北極の地表付近の気温は年平均で3.1°C上昇した。これは全球平均の3倍の速さである。この結果は、観測データがまばらな北極海上を補間して得られた結果に基づいており、以前のAMAP報告書で報告された上昇量よりも高いものである。この49年間の最大の気温変化は、10月から5月にかけての北極海上空で生じていて、その平均値は4.6°Cであるが、北東バレンツ海に限ると10.6°Cの気温上昇が見られている。

### 降水

観測データとモデル計算を組合せた結果によると、北極の年間降水量（雨と雪を合わせたもの）は、1971年から2019年にかけて9%以上増加した。その間、降雨量は24%増加したが、北極全体の降雪量は増減の傾向は見られなかった。降水が最も増加したのは、10月から5月の寒候期であった。

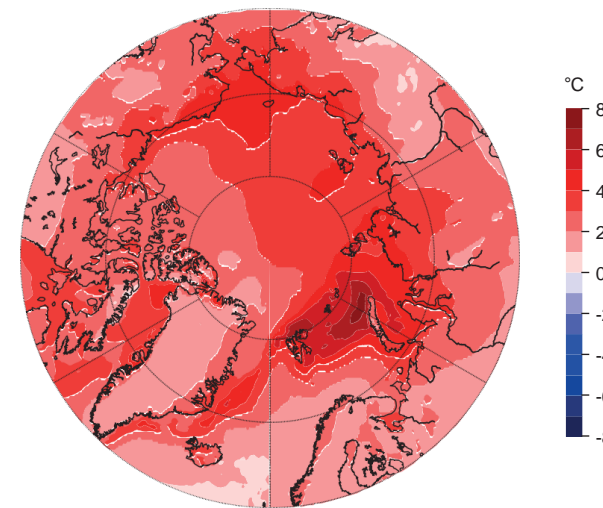


図1. 観測データとモデル計算の組合せに基づく、1971年から2019年までの北極の年間平均地上温度の変化傾向の分布図。

## 永久凍土の温度

北極の永久凍土層は、1970年代以降2~3°C暖まっている。より寒冷な永久凍土帯の多くの地域では、直近20年間の温度上昇率が1979年以降のどの期間よりも大きい。毎年暖候期に融解する凍土表層を活動層と呼ぶが、それが1990年代以降、多くの場所で深くなっている。そして景観観測からも北極全域で永久凍土が融解していることが示されている。

## 陸上の積雪

5月から6月にかけての北極の積雪域面積は、1971年から2019年の間に21%減少した。北アメリカ（17%の減少）よりユーラシア大陸でより多く減った（25%の減少）。

## RIVER ICE AND WATER VOLUME

Arctic rivers are freezing up later in the autumn and their ice is breaking up earlier in springtime. Ice thickness is decreasing on most northern rivers, based on data from Russia, Canada, and Alaska, reducing the risk of spring ice-jam floods. The volume of freshwater flowing through the eight major Arctic rivers to the Arctic Ocean increased by 7.8% between 1971 and 2019.

## SEA ICE

The extent of Arctic sea ice in September declined by 43% between 1979 and 2019, and—with the exception of the Bering Sea—sea ice extent and area are declining throughout the Arctic in all months. Sea ice cover also continues to be younger and thinner than during the 1980s, 1990s, and early 2000s. Over the last 30 years, snow depth on sea ice has declined by more than 33% in the western Arctic. Although thick snow has been observed in some years in the Atlantic sector of the Arctic, data gaps make it difficult to draw conclusions about changes in snow depth there.

## LAND ICE

All regions of the Arctic are now experiencing net loss of land ice, with the rate of loss increasing in recent decades for several regions (see Figure 2). Greenland is the largest regional source of land ice loss, accounting for 51% of the Arctic total, and land ice loss in the Arctic is a major contributor to global sea level rise.

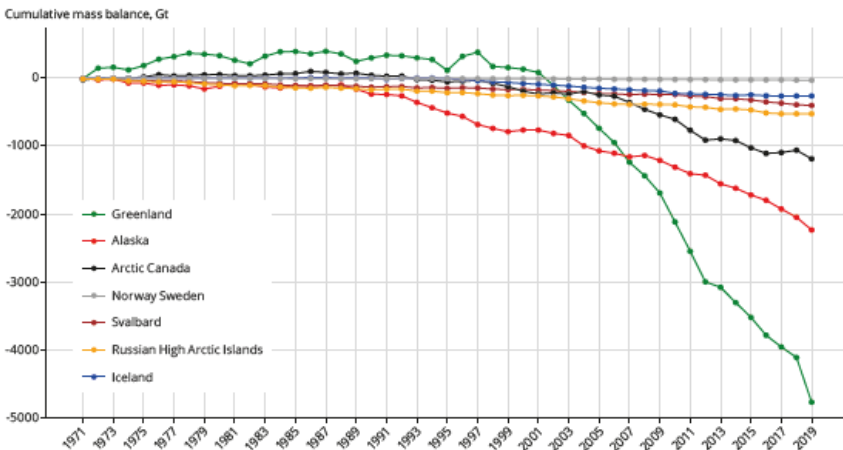


Figure 2. Arctic land ice mass balance changes, 1971–2019.

## TRENDS IN EXTREME EVENTS

Extreme climate and weather events affect ecosystems, infrastructure, and people. They can also push conditions over thresholds for potentially irreversible change: for example, extreme precipitation following a low but consistent rate of long-term permafrost warming can trigger thermokarst erosion, with potential for the release of carbon dioxide and methane.

Strong evidence shows that warm extremes are increasing and cold extremes are decreasing in the Arctic. Widespread decreases in extreme cold spells<sup>1</sup> occurred in the Arctic during 1979–2013, although some areas of Siberia experienced increases in cold spells. Cold spells lasting more than 15 days have almost completely disappeared from the Arctic since 2000.

Evidence for increases in heavy precipitation and inland flooding is much less clear. Similarly, although increases in rain-on-snow and freezing rain events have been reported in some parts of the Arctic, data for the Arctic as a whole are limited and there is not enough information to discern whether widespread changes have occurred.

Coastal erosion is accelerating in many parts of the Arctic, which has some of the highest rates of erosion on Earth. As much as 5 metres of coastline are disappearing annually in some areas of Alaska. The combined impacts of long-term warming (increasing water temperatures, longer ice-free seasons, permafrost thaw) and extreme events (storm-driven waves and swell) are causing the increase.

## 河川の氷と水量

北極の河川は秋の後半に凍結し、春の早い段階で氷が融ける。ロシア、カナダ、アラスカのデータに基づく、ほとんどの北部の河川では氷の厚さが減少して、春のアイスジャムによる洪水のリスクが軽減している。8つの主要な北極河川を通して北極海に流れる淡水の量は、1971年から2019年の間に7.8%増加した。

## 海氷

9月の北極の海氷域面積は、1979年から2019年の間に43%減少した。またベーリング海を除いて、海氷の範囲と面積は北極全体ですべての月で減少している。海氷も1980年代、1990年代、2000年代初頭の頃と比べ若く、しかも薄くなっている。過去30年間で、北極西部の海氷上の積雪は33%以上減少した。北極の大西洋地域では、数年に渡って厚い雪が観測されているが、データにギャップがあるため、海氷上の雪の深さの長期変化について結論を出すことは困難である。

## 陸氷

現在、北極のすべての地域で陸氷の純損失が発生していて、いくつかの地域ではここ数十年で損失率が増加している（図2を参照）。グリーンランドが北極の陸氷の中で最大の損失量（全体の51%）を占め、そして北極での陸氷損失が世界の海面上昇の主要な一原因となっている。

## 極端現象の変化傾向

気候と気象の極端現象は、生態系、インフラ、および人々に影響を与えている。それらはまた、潜在的に不可逆的な変化の閾値を超えて状況を悪化させる可能性がある。たとえば、わずかであっても長期にわたり地温が上昇し続けている永久凍土帯で、極端な降水現象が起こるとサーモカルスト侵食を引き起こす可能性があり、その結果として二酸化炭素とメタンの放出の可能性が生じる。

北極で高温に関する極値が増加し、低温に関する極値が減少していることを示す明白な事実がある。シベリアの一部地域では寒波が増加したものの、1979年から2013年にかけて北極の広範囲で極端な寒波<sup>1</sup>が減少した。2000年以降、15日以上続く寒波は北極からほぼ完全に姿を消した。

強い降水と内陸の洪水の増加より明瞭には示されていない。同様に、北極の一部の地域では積雪上の降雨や凍雨の増加が報告はされているが、北極全体のデータは限られているため、広範囲での変化が起こっているかどうかを判断するには情報が不足している。

海岸侵食は、北極の多くの場所で加速しており、地球上で最も浸食量が多いとされている。アラスカの一部の地域では、海岸線が毎年5メートルも後退している。長期的な温暖化（水温の上昇、氷のない季節の長期化、永久凍土の融解）と極端現象（嵐によって引き起こされる波とうねり）の複合的な効果の増加がその原因となっている。

## 積算質量収支, Gt

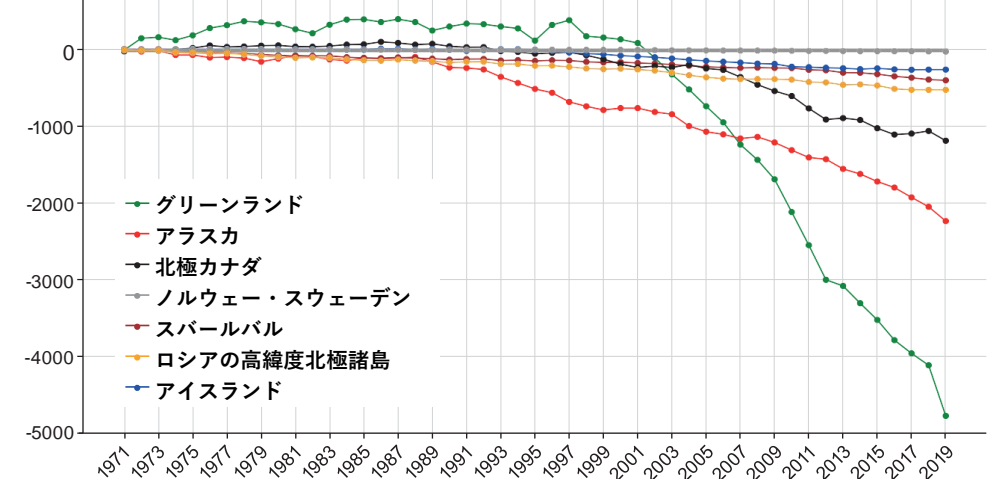


図2. 1971～2019年の北極の陸氷（氷床、氷河）の質量収支の変化。



## UPDATED CLIMATE MODEL PROJECTIONS FOR THE ARCTIC

According to the CMIP6 ensemble of climate models, which are being used in the Intergovernmental Panel on Climate Change's Sixth Assessment Report, the Arctic's annual mean surface air temperature will rise to 3.3–10.0°C above the 1985–2014 average by the end of this century, depending on the course of future emissions. The first ice-free September in the Arctic could occur as early as the 2040, and the probability of an ice-free Arctic summer would be 10 times larger under a global warming of 2°C compared with a warming of 1.5°C.

## CONNECTIONS BETWEEN ARCTIC CHANGE AND MID-LATITUDE WEATHER

Although some studies have identified potential relationships between the warming Arctic climate and mid-latitude weather, there is currently no agreement in the science community on the degree to which observed changes in the Arctic are directly connected to mid-latitude extreme weather events such as droughts, cold air outbreaks, and stalled severe weather systems.

<sup>1</sup> Cold spells in this case are defined as at least six consecutive days in which the daily minimum temperature is below the 10th percentile, calculated from a five-day running mean of the daily minimum temperature over a 1980–2010 reference period.

## WILDFIRE

Climate warming is associated with an increase in boreal forest and tundra wildfires, which are also a large and increasing source of black carbon and particulate emissions to the atmosphere. In most years, the area burned by wildfires in northern forests is greater than that in mid-latitudes. The frequency of extreme wildfires in Alaska has increased since 1950, and records for Siberia show an increase between 1996 and 2015. Trends elsewhere are less clear, and wildfires have become less frequent in areas where they are actively monitored and suppressed, such as Fennoscandia, due to the economic importance of forestry.

## 山火事

気候の温暖化は、北方林とツンドラの山火事の増加と関連している。そしてこれらが大気へのブラックカーボンと粒子状物質の放出に関する大きなそして増加している発生源の一つでもある。ほとんどの年で北方の森林の火事で焼かれた面積は、中緯度のそれよりも大きい。アラスカの極端な山火事の頻度は1950年以降増加している。またシベリアでの記録は1996年から2015年の間に山火事の増加を示している。他の地域での傾向はあまり明確ではなく、たとえば、フェノスカンジアなどでは、林業の経済的重要性のため積極的に監視され抑制されていることから山火事の発生頻度が低くなっている。

## 北極に関する最新の気候モデル予測

「気候変動に関する政府間パネルの第6回評価報告書」で使用されているCMIP6アンサンブル気候モデルによると、北極の年間平均地上気温は、将来の排出の経過に応じて異なるが、今世紀末には1985年から2014年の平均よりも3.3～10.0°C上昇するとされている。北極海で初めて海水がない9月を迎えるのは早ければ2040年にも発生する可能性があり、2°Cの地球温暖化下では、1.5°Cの温暖化と比べて、北極の夏の無氷期の確率は10倍になる。

## 北極の変化と中緯度の気象との関係

北極の温暖化と中緯度の気象との潜在的な関係を確認した研究はあるが、現在の科学界では、観測された北極の変化が中緯度の気象に関する極端現象、例えば干ばつ、寒気の吹き出し、および厳しい気象システムの停滞などに、どの程度直接的に関係しているかについての合意は得られていない。

<sup>1</sup> この場合の寒波は、1980年から2010年の対象期間における日最低気温の5日間移動平均値から計算され、通常観測の確率密度関数の10パーセントイル値を下回る日が少なくとも6日連続する場合と定義されている。

## CLIMATE CHANGE IS HAVING MAJOR IMPACTS ON ARCTIC COMMUNITIES

👁️ Climate change is driving rapid changes in the Arctic that affect people—especially Indigenous Peoples—living in the Arctic and beyond. Changing environmental and ecological conditions are having negative impacts on health and well-being, food security, transportation, livelihoods, industries, infrastructure, and the availability of safe drinking water.

### TRANSPORTATION

The warming climate has affected transportation over snow, ice, and permafrost in many parts of the Arctic. For example, hunters in northwest Greenland report that the period when travel by dogsled on sea ice is possible has decreased from 5 to 3 months. Permafrost degradation and local increases in rain events have affected local travel by all-terrain vehicles as well as road infrastructure in some remote settlements in Canada and Russia. The accessibility of some remote settlements with limited transportation options, such as those in northern Russia whose only access in winter is via ice roads, is projected to decline in the future. Changes in sea-ice cover pose risks to transportation over ice. A study in Canada's Nunavut territory, for example, found that ice conditions (thickness and variation in types of ice) are predictive of the probability of a search and rescue taking place on any given day. The longer period of ice-free open water may expand the boating season, although this benefit may be offset in some areas by increases in high winds leading to rougher seas, as has been observed in some Alaskan coastal communities.

### TRADITIONAL FOODS AND LIVELIHOODS

The safety of food stored in ice cellars has been affected in some areas by permafrost thaw and higher temperatures. The warming and freshening of the ocean provides more suitable conditions for the development of toxic algal blooms, which pose risks to food security and potentially health as well. Periods of heavy rainfall and rapid snowmelt

may transport pathogens, posing risks to the safety of drinking water—especially when people drink untreated water from streams, rivers, and lakes on harvesting trips. Thawing permafrost can release contaminants, such as mercury, that can make their way into aquatic ecosystems.

Changing sea ice, precipitation, snow regimes, temperatures, and tundra productivity are affecting the availability of traditional foods such as whales, walrus, seabirds, seals, and reindeer/caribou. In some areas, populations of moose are increasing, and tundra greening is changing the ranges of wildlife species available to hunters. Reindeer herders in Fennoscandia and Russia have experienced major losses in their herds due to extreme snowfall and rain-on-snow events, the latter of which are projected to increase in the future.

The general trend toward warmer springs and earlier greening of pastures can have positive impacts on reindeer production, but the combination of climate impacts on wildfire, forage, and predators, along with industrialization (which shifts lands to other uses and creates barriers to migration routes), pose many challenges to reindeer pastoralism as a livelihood.

Communities in Alaska, northern Canada, and Finland have reported changes in the abundance and quality of berries. Indigenous hunters and fishers in Canada and Russia have reported thinner seals, decreased health of wildlife, and a greater prevalence of worms in fish and sea mammals.

## 気候変化は北極の地域社会に大きな影響を与えている

👁️ 気候変化は、北極での急速な変化を引き起こしていて、北極やその地域以外に住む人々、特に先住民に影響を及ぼしている。環境および生態学的状況の変化は、健康と幸福、食料安全保障、輸送、生活、産業、インフラ、および安全な飲料水の入手に悪影響を及ぼしている。

### 交通

温暖化した気候は、北極の多くの地域で、雪、氷、永久凍土の上での移動に影響を与えている。例えば、グリーンランド北西部の猟師は、海氷上を犬ぞりで移動できる期間が5か月から3か月に短縮されたと報告している。永久凍土層の衰退と局地的な降雨の増加は、カナダとロシアのいくつかの遠隔集落で、全地形対応車両(オールテレーン車両)や道路インフラに影響を与えている。交通手段が限られている一部の遠隔集落、例えば冬期には氷上の道路でしか行きつけないロシア北部の集落などでは、移動の可能性が将来的には低下すると予測されている。海氷の変化は、氷上交通にリスクをもたらす。たとえば、カナダのヌナブト準州での調査では、任意の日の搜索と救助の可能性に関連して、その日の氷の状態(氷の厚さと種類の変化)を予測する必要があることがわかってきた。氷のない水面状態の期間が長くなると、船が使える季節が広がる可能性があるが、アラスカの沿岸社会で見られているように、一部の地域では強風の増加によって海が荒れて、この利点が相殺される可能性もある。

### 伝統的な食料と生活

一部の地域では、永久凍土の融解と温度上昇により、氷の貯蔵庫に保管されている食品の安全性に影響を受けている。海洋の温暖化と淡水化は、有毒な藻類ブルームの発生により適した条件となり、食物の安全や健康にもリスクをもたらす。大雨や急速な雪解けの期間には水が病原菌を運ぶ可能性があり、飲料水の安全性にリスクをも

たらず可能性がある。特に、人々が収穫のための旅行に出た際に、小川、川、湖から未処理の水を飲む時にはそれが問題となる。永久凍土の融解により、水銀などの汚染物質が放出され、水中生態系に侵入する可能性がある。

海氷、降水、雪の状態、気温、ツンドラの生産性の変化は、クジラ、セイウチ、海鳥、アザラシ、トナカイやカリブーなどの伝統的な食料の入手に影響を与える。一部の地域では、アメリカヘラジカの個体数が増加している。またツンドラの緑化により、猟師が獲得できる野生生物種の範囲が変化している。フェノスカンジアとロシアのトナカイ遊牧民は、多降雪や積雪上に降る雨の極端現象により、群れの大きな損失を経験している。しかも後者の現象は将来増加すると予測されている。

温暖な春期と牧草地の早期緑化という一般的な傾向は、トナカイの生育に有利な影響を及ぼす可能性があるが、山火事、飼料、およびトナカイの捕食者に対する気候の影響および、工業化(土地を他の用途に変わるにより、移動ルートに障害が生じる)を含めた総合的影響が、生活手段としてのトナカイの牧畜に多くの課題を突きつけている。

アラスカ、カナダ北部、フィンランドの地域社会では、ベリーの量と品質の変化が報告されている。カナダとロシアの先住民の猟師と漁師は、アザラシが痩せ、野生生物の健康状態が低下し、魚類や海の哺乳類で蠕虫が蔓延していることを報告している。





Corbis/Bettmann / Arctic Air Photo

## FISHERIES, CRUISE TOURISM, AND RESOURCE EXTRACTION

The increasing influence of warmer Atlantic and Pacific waters and reduced sea-ice cover are associated with an observed northward expansion of sub-Arctic fish and marine mammal species. Although the ecosystem interactions are complex and mediated by policy and management decisions, these range expansions could increase opportunities for commercial fishing in some regions of the Arctic (e.g., the northern Barents Sea, northern Bering Sea, and Sea of Okhotsk), with potential economic benefits for some coastal Arctic communities. Salmon farming and other forms of aquaculture are also expanding northward in parts of the North Atlantic Arctic, creating additional economic opportunities, although aquaculture also brings societal and environmental costs such as competition with local fisheries and the spread of parasites such as salmon lice to local wild fish populations.

Arctic cruise tourism has increased in parts of the Arctic, with documented benefits to local economic development in some areas as well as risks to marine ecosystems, infrastructure costs, congestion, and potential cultural impacts.

Climate change is expected to increase access to resources such as oil, gas, and minerals in the Arctic. However, the potential for expansion of these industries is tempered by efforts to limit greenhouse gas emissions and achieve goals established under the Paris Agreement. Furthermore, the environmental implications of a major oil spill in the Arctic would be significant. Oil deposits take longer to decompose in the Arctic than in warmer environments, resulting in longer-lasting impacts.

## ARCTIC DEMOGRAPHICS

The Arctic is home to approximately 4 million people. Indigenous Peoples, with distinct, unique cultures and representing more than 40 ethnic groups, account for 9% of this total. Although more than 74% of the Arctic population is concentrated in a few large settlements with populations of 5,000 or more, over 90% of Arctic settlements are small (fewer than 5,000 in population). More than 66% of Arctic settlements are located on permafrost, and nearly half (46%) of those permafrost settlements are coastal.

## ARCTIC CRUISE TOURISM HAS INCREASED

The number of cruise ship visitors to Iceland rose from 265,935 in 2015 to 402,834 in 2017, a 66% increase. Ports in northern Norway experienced a 33% increase in cruise passenger visits between 2014 and 2019.

The number of cruise ship visitors to Svalbard rose from 39,000 in 2008 to 63,000 in 2017; Greenland experienced an increase from 20,000 to 30,000 visitors over the same period. Overall, the number of visitors to the High Arctic grew from 67,752 in 2008 to 98,238 in 2017, a 57% increase.

The COVID-19 pandemic disrupted these trends in 2020, with more than 50% of Arctic cruises being cancelled or postponed.



Phil Harvey / PhotoDisc/Getty Images / Alamy Stock Photo

## 漁業、クルーズ観光旅行、資源採掘

大西洋と太平洋から北極海に流入する海水の水温上昇と海水の減少がもたらす影響の増加は、亜寒帯の魚類や海洋哺乳類の種の北方へ拡大と関連している。生態系の相互作用は複雑であり、政策と管理の決定によって調整されるべきものであるが、このような範囲の拡大は、北極の一部の地域（例えば、バレンツ海北部、ベーリング海北部、オホーツク海）での商業的漁業の機会を増やし、いくつかの沿岸北極地域の地域社会に利益をもたらす可能性がある。鮭の養殖や他の形態の水産養殖も、北極の北大西洋側の一部で北に拡大していて、追加の経済的機会を生み出している。しかし水産養殖は、地元の漁業との競争やサケジラミなどの寄生虫の地元の野生の魚への拡散などの社会的および環境的な犠牲ももたらす。

北極のクルーズ観光旅行は北極の一部で増加している。海洋生態系、インフラのコスト、混雑、潜在的な文化的影響へのリスクとともに、一部の地域では地元の経済発展のためになっている。

気候変化により、北極の石油、ガス、鉱物などの資源へのアクセスが増加すると予想される。ただし、これらの産業の拡大の可能性は、温室効果ガスの排出を制限し、パリ協定の下で設定された目標を達成するための努力によって抑制されている。さらに、北極での大規模な石油流出の環境への影響は重大である。北極では、温暖な環境よりも油の分解に時間がかかるため、影響が長続きするからである。

## 北極の人口の特徴

北極には約400万人が住んでいる。明確な独特の文化を持ち、40以上の民族グループに属する先住民は、全体の9%を占めている。北極の人口の74%以上が人口5,000人以上の少数の大規模集落に集中しているが、北極の集落の90%以上は小規模（人口5,000人未満）である。北極の集落の66%以上が永久凍土の上であり、それらの永久凍土上の集落のほぼ半分（46%）は沿岸にある。

## 北極のクルーズ観光旅行が増加した

クルーズ船によるアイスランドへの訪問者数は、2015年の265,935人から2017年には402,834人に、66%増加した。ノルウェー北部の港では、2014年から2019年の間にクルーズ客の訪問者が33%増加した。

スバルバル諸島をクルーズ船で訪れた訪問者数は、2008年の39,000人から2017年には63,000人に増加した。グリーンランドでは、同期間に訪問者が20,000人から30,000人に増加した。全体として、北極への訪問者数は、2008年の67,752人から2017年には98,238人になり、57%増加した。

COVID-19のパンデミックは2020年にこれらの傾向を乱し、北極クルーズの50%以上がキャンセルまたは延期された。



## INFRASTRUCTURE

Buildings, roads, and other infrastructure are suffering damage from the thawing of ice-rich permafrost in many regions of the Arctic; some of this damage may be directly related to infrastructure design or the impacts of the construction process rather than climate change. The stability of permafrost support for buildings and infrastructure has declined in Arctic Russia compared with the 1970s; up to 50% of buildings in Pevek, the northernmost town in Russia,

have been damaged by permafrost thaw and nearly all infrastructure in most settlements on the Taimyr Peninsula has been affected. Permafrost slumping as it thaws also poses risks to transportation infrastructure.

Coastal erosion rates in the Arctic are among the highest in the world, with impacts to communities, property, infrastructure, and livelihoods.

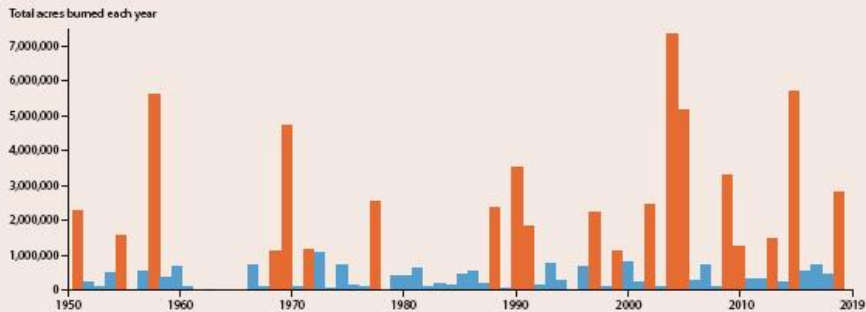


Figure 3. Annual acres burned by wildfires in Alaska, 1950–2019. Orange bars denote values of more than 1 million acres (404,686 hectares).

## インフラ

北極の多くの地域で、氷の含有量が多い永久凍土層の融解により、建物、道路、その他のインフラが被害を受けている。一方、この被害の一部は、気候変化というより、インフラの設計または建設過程に直接関係している可能性がある。北極ロシアでは、建物とその他インフラに対する永久凍土層の安定性が、1970年代と比較して低下している。たとえば、ロシアの最北端の町ペヴェク（Pevek）では、建物の最大50%が永久凍土層の融解により被害を受け、タイミール半島の大部分の居住地のほぼすべてのインフラが影響を受けている。永久凍土の融解による地面の低下は、交通インフラにもリスクをもたらす。北極の海岸侵食率は世界で最も大きく、それは地域社会、資産、インフラ、生活に影響を及ぼしている。

## 毎年の焼失面積（単位：エーカー）

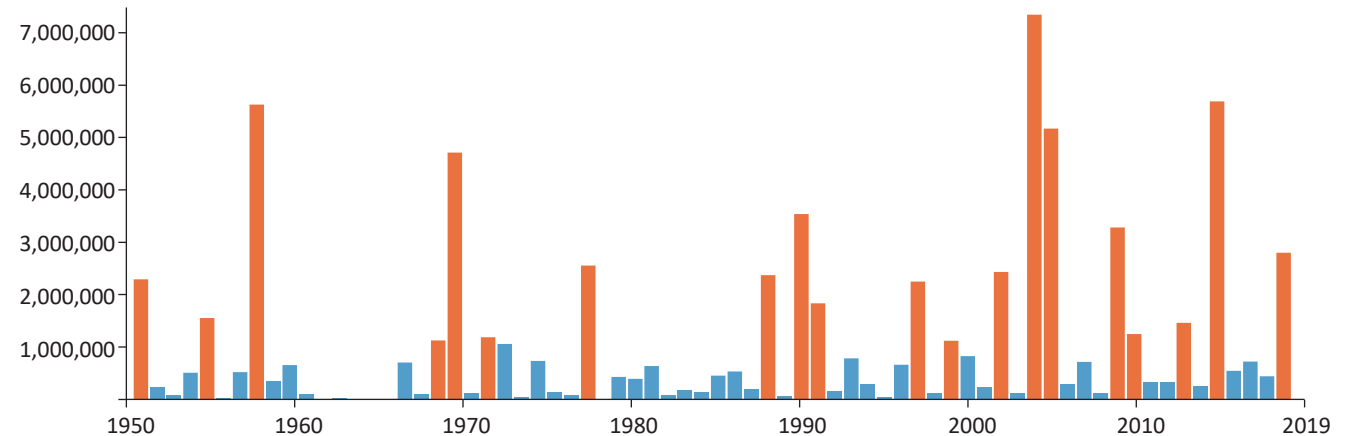


図3. 1950年から2019年までのアラスカにおける山火事によって一年間に焼失した面積（単位はエーカー）。オレンジ色の棒は、100万エーカー（404,686ヘクタール）を超えた年を示す。



## EXTREME EVENTS

Wildfires, inland and coastal flooding, and extreme temperature and precipitation events already have major socioeconomic impacts in the Arctic and are expected to become more frequent and/or severe in the years ahead. For example, more than 85% of Alaska native villages currently experience some level of flooding and erosion; severe floods pose particular risks for remote communities since the availability of search and rescue operations may be limited. Heavy snowfall and rainstorms, combined with high winds, have induced avalanches, slush flows, and landslides on the Svalbard Archipelago over the past decade.

The incidence of wildfire has increased in some parts of the Arctic, such as Alaska and Siberia. Wildfire has a wide range of impacts, including risks to life and property, the economic costs of damages and fire suppression efforts, health impacts from smoke and related toxins, public anxiety and personal stress, and ecosystem impacts. The potential for wildfires to affect mental health is illustrated by a non-Arctic assessment of mental health status among young adolescents following a large wildfire in Fort McMurray (northeastern Alberta, Canada) in 2016, which found more than a tripling in the rate of depression, a doubling in the rate of anxiety, and more than a doubling in the incidence of post-traumatic stress disorder compared with pre-fire assessments. Sweden experienced an unprecedented wildfire season in 2018, which among other impacts burned 81,000 hectares of critical reindeer pasture. The Swedish Sámi Parliament estimated the cost to reindeer herders at €64 million. Although longer and warmer summers are expected to increase the risk of wildfire activity in the future, climate models also project increases in annual mean precipitation and a decrease in the number of consecutive dry days in the Arctic. Future trends in wildfire incidence and severity are thus unclear.

The combined impacts of multiple extreme events occurring simultaneously or successively can also have significant impacts on Arctic livelihoods and communities, such as extreme rain and snow events that lead to flooding, or multiple simultaneous wildfires that strain fire suppression and safety services.



## THE COSTS OF THAWING PERMAFROST

In Alaska, permafrost thaw will increase cumulative maintenance costs of public infrastructure by an estimated 10% (US \$5.5 billion) by 2100 under a high greenhouse gas concentrations scenario (RCP 8.5).

One study estimated that more than 36,000 buildings, 13,000 kilometres of roads, and 100 airports in the Arctic could be at risk of damage from near-surface permafrost thaw by 2050, although the actual risks at individual sites will depend on local ground conditions and infrastructure design.

## 極端現象

山火事、内陸および沿岸の洪水、および異常な気温と降水のイベントは、北極ですでに大きな社会経済的影響を及ぼしていて、今後数年間でより頻繁な深刻になると予想されている。たとえば、85%以上のアラスカ先住民の村が、現在、ある程度の洪水と浸食を経験している。そして遠隔地にある地域社会では捜索救助活動が制限される可能性があるため、深刻な洪水の際に特別なリスクが存在する。スバルバル諸島では過去10年間に、豪雪と暴風雨が、強風と相まって、雪崩、雪泥流、地滑りを引き起こした。

アラスカやシベリアなど北極の一部の地域では山火事の発生が増加している。山火事は、生命や財産に対するリスク、損害と消火活動に関する経済的費用、煙や有毒物質による健康への影響、公衆の不安や個人的なストレス、生態系への影響など、幅広い影響を及ぼす。北極以外でのことであるが、山火事が精神衛生に影響を与える可能性として、2016年にフォート・マクマリー（カナダ、アルバータ北部）での大規模な山火事の際の若者の精神衛生状態に関して示されたものがある。山火事が発生した後、火災前に実施された調査と比較してうつに陥ったものが3倍になり、不安を感じた者が2倍になり、心的外傷後ストレス障害の発生が2倍以上になったという評価がなされている。スウェーデンは2018年に前例のない山火事の季節を経験し、その際、81,000ヘクタールの重要なトナカイ牧草地が焼失した。スウェーデンのサーミ議会は、そのトナカイ遊牧民の損害を6,400万ユーロと見積もった。将来的により長いより温かい夏になると山火事のリスクが高まると予想されるが、気候モデルでは、北極の年間平均降水量の増加と連続した乾燥日数は減少することが予測されている。したがって、山火事の発生率と深刻度の将来の傾向は不明であると言える。

洪水につながる雨と雪の極端現象や、火災の鎮火と安全サービスに負担をかける複数の同時発生の中火事など、同時にまたは連続して発生する複数の極端現象などの複合的な影響は北極の生活や地域社会に深刻な影響を与える可能性がある。


## 融解する永久凍土層がもたらす損害

アラスカでは、温室効果ガス濃度が高いシナリオ（RCP 8.5）の下での予測によると、永久凍土の融解により、2100年までに公共インフラの累積保守コストが10%（55億米ドル）増加すると推定されている。

ある研究では、北極の36,000以上の建物、13,000kmの道路、100の空港が、2050年までに地表近くの永久凍土の融解による損害のリスクにさらされる可能性があることが推定されているが、個々のサイトの実際のリスクは地域の地盤条件とインフラ設計方法によって異なる。



## ARCTIC ECOSYSTEMS ARE EXPERIENCING RAPID, TRANSFORMATIONAL CHANGES


 Many of the socioeconomic impacts described above are driven by effects of climate change on Arctic ecosystems. Ecosystems across the Arctic are undergoing fundamental changes in their structure and functioning, affecting traditional foods, livelihoods, commercial fisheries, and—through feedbacks in the climate system—global climate change.

The warming and freshening of the Arctic Ocean directly and indirectly affect the lifecycles of marine species, leading to changes in seasonality, range shifts, and broad changes in ocean ecosystems. The decline in sea ice affects marine ecosystems through changes in the open water areas and increases in the length of the open water period (both of which affect phytoplankton and ice algae, including the timing of phytoplankton blooms), as well as under-ice productivity and diversity. These changes are having cascading effects through ecosystems, with

widespread impacts on the distribution, seasonality, and abundance of a variety of species.

Satellite data show an increasing trend in primary production in all regions of the Arctic Ocean over the past two decades, explained by complex changes in light and nutrient conditions. The consequences of warming near the ocean surface on primary producers in the surface and subsurface ocean layers are still poorly understood, and there is new evidence that dominant Arctic phytoplankton species may be able to adapt to higher temperatures.

## 北極の生態系は急速な変化を遂げている

 今まで説明してきた社会経済的影響の多くは、北極の生態系に対する気候変動の影響によって引き起こされる。北極の生態系は、その構造と機能の点で根本的な変化を遂げていて、伝統的な食品、生活、商業漁業、そして気候システムへのフィードバックを通じて、世界的な気候変化に影響を与えている。

北極海の温暖化と淡水化は、海洋生物のライフサイクルに直接および間接的に影響を及ぼし、季節的变化、生息範囲の変化、海洋生態系の広範な変化につながる。海氷の減少は、海氷下の生産性と多様性の変化および、開水面積とその期間の長さの変化（どちらも植物プランクトンとアオコや、植物プランクトンのブルームの時期を含めて影響を及ぼす）を通じて海洋生態系に影響を及ぼす。これらの変化は生態系を通じて連鎖的な

効果を及ぼし、さまざまな種の分布、季節性、および個体数などに広範な影響をもたらす。

衛星データは、過去 20 年間に北極海のすべての海域で一次生産が増加傾向にあることを示している。海面近くの温暖化が表層および表層下の海洋層の一次生産者に与える影響はまだよくわかっていないし、北極の主要な植物プランクトン種が高温に適応できる可能性があるという新しい証拠もある。



Arctic tundra greenness increased overall by 10% between 1982 and 2019, related to longer and warmer summers. A limited area has “browned” instead, indicating a decrease in vegetation cover and productivity, including the Canadian Arctic Archipelago, southwestern Alaska, and parts of northwestern Siberia. Causes of browning include extreme winter weather events and pest outbreaks; other possible contributing factors include delays in the onset of snowmelt and increases in standing surface water. Arctic vegetation plays an important role in exchanges of energy and carbon between the land and atmosphere: changes in Arctic vegetation can cause ecosystem-climate feedbacks that exacerbate climate change, but changes in vegetation can also lead to increases in carbon uptake, at least partly offsetting this impact.

Extreme events can exacerbate transitions already underway from climate warming and sea ice changes, triggering further impacts on terrestrial, freshwater, and coastal ecosystems. For example, more frequent extreme precipitation events, along with a generally increasing rain-to-snow ratio, affect the structure and function of terrestrial ecosystems.

## CHANGES IN THE ARCTIC OCEAN GATEWAYS

Warmer waters from the Pacific and Atlantic are pushing farther into the Arctic Ocean, with widespread impacts on ocean ecosystems. The composition of Arctic plankton communities that form the basis of marine food webs is changing, as are the distribution and abundance of a variety of invertebrate, fish, and marine mammal species.

北極ツンドラの「緑化」は、より長く暖かい夏に関連して、1982年から2019年の間に全体的に10%増加した。代わりに、カナダの北極諸島、アラスカ南西部、シベリア北西部の一部など、一部の地域が「褐色化（褐変）」していて、植生被覆と生産性の低下を示している。褐変の原因には、極端な冬の気象現象や害虫の発生が含まれる。その他の可能性のある要因には、雪解けの開始の遅れや地表水の滞留の増加が含まれる。北極の植物は、陸地と大気間のエネルギーと炭素の交換において重要な役割を果たしている。北極植生の変化は、気候変化を悪化させる生態系-気候フィードバックを引き起こす可能性がある一方、炭素吸収を増加させることで、この影響を部分的に弱めることも考えられる。

極端現象は、気候温暖化と海氷の変化によってすでに進行中の変化を悪化させ、陸上、淡水、および沿岸の生態系へのさらなる影響をもたらす可能性がある。たとえば、降水の極端現象の増加は、徐々に比率が増加している積雪上に降る雨とともに、陸上生態系の構造と機能に影響を与える。

## 北極海への流入海流の変化

太平洋と大西洋からの温暖な水塊が北極海へと押し寄せ、海洋生態系に広範な影響を与えている。海洋の食物網の基礎となる北極のプランクトン群集の構成の変化が見られるとともに、さまざまな無脊椎動物、魚、海洋哺乳類種の分布と個体数も変化している。

## RECOMMENDATIONS

On the basis of this update, AMAP emphasizes the need for action to both limit future warming and to understand better the consequences of future warming for the Arctic. To ensure the future vitality and resilience of Arctic peoples, communities, and ecosystems, AMAP emphasizes the need to:

### 1 LIMIT FUTURE CHANGE

Because the buildup of greenhouse gases in the atmosphere, and some emissions of short-lived climate forcers, are driving Arctic climate change, the Arctic States, Permanent Participants, and observers to the Arctic Council should individually and collectively lead sustained, ambitious, and global efforts to reduce these emissions and fully implement the Paris Agreement.

### 2 EXPAND MONITORING AND DOCUMENTATION OF ARCTIC CHANGE

The rapid pace of change in Arctic ecosystems calls for immediate action to document what is being lost and what is being created as unique ecosystems are disappearing and the cryosphere is shrinking. Unique ecosystems of the remaining perennial sea ice cover, ice shelves and epishelf lakes, and the Greenland ice sheet are among the priorities for documentation.

AMAP emphasizes the need for Arctic and international science institutions and governments to address key data gaps. The use of satellites, autonomous vehicles, and other emerging technologies, along with community-based monitoring to gather data from difficult-to-reach areas of the Arctic, is encouraged.

There is a need to sustain and enhance the development of pan-Arctic climate indicators, which are co-produced with Indigenous Knowledge holders, along with improvements in data sharing and availability, to assist researchers and policy-makers at national and regional scales.

Documentation of the impacts of extreme events on Arctic ecosystems and people can reveal priorities for further evaluation of changes in extreme events. In particular, there is a need for systematic assessments of socioeconomic impacts from extreme events in the context of environmental change in the Arctic.

Coordination of climate-ecosystem monitoring in regions of rapid change would benefit from comparable observations in regions less susceptible to change, to help constrain predictive ecosystem and resource management models.

Changes in coastal ecosystems, intensified by extreme events, affect coastal communities that are increasingly vulnerable to coastal erosion through wave and storm action. Adaptation requires sustained and coordinated climate-ecosystem monitoring at key locations in combination with community-driven monitoring that uses Indigenous Knowledge and local knowledge.



ADDRESSING  
NEW  
FINDING



REINFORCING  
MESSAGE



ADDRESSING  
KNOWLEDGE  
GAPS

## 推奨事項

この更新に基づいて、AMAPは、北極の将来の温暖化を制限し、将来の温暖化の結末をより良く理解することの両方に関して、とるべき行動をここで強調する。北極の人々、地域社会、および生態系の将来の活力と回復力を確保するために、AMAPは以下が必要であると強調する。

### 1 将来の変化を制限する

大気中の温室効果ガスの蓄積と、短寿命気候強制力因子の一部の排出が北極の気候変化をもたらしているため、北極評議会における北極諸国、常時参加者およびオブザーバーは、個別に、そして集合的に、これらの排出量を削減し、パリ協定を完全に実施するための持続的で野心的でグローバルな努力を主導するべきである。

### 2 北極変化の監視とその正確な文書化を拡大する

北極の生態系における急速な変化が、ユニークな生態系が消滅し雪氷圏が縮小しているときに何が失われ何が創り出されているか正確に文書化する行動を直ちにとることを求めている。残っている多年性の海氷、棚氷と棚氷湖、およびグリーンランド氷床のユニークな生態系を優先的に記録する必要がある。

AMAPは、北極および国際的な科学機関と政府が主要なデータギャップに対処することが必要であることを強調する。北極の到達困難な地域のデータを収集するため、コミュニティ主導の監視とともに、衛星、自律移動車、およびその他の新しい技術の使用が推奨される。

各国および地域規模の研究者や政策決定者を支援するために、データ共有と利用の改善とともに、先住民の知識保有者と共同で制作される汎北極の気候指標の開発を維持および強化する必要がある。

北極の生態系と人々に対する極端現象の影響の詳しい文書化を通じて、極端現象の変化をさらに評価するための優先事項を明らかにすることができる。特に、北極の環境変化との関連で、極端現象による社会経済的影響を体系的に評価する必要がある。

急速に変化する地域について気候-生態系の監視を調整する際に、変化の影響を受けにくい地域で同等の観測を実施すると、生態系と資源管理の予測モデルを決定する際に役立つ。

極端現象によって強まる沿岸生態系の変化は、波と嵐の作用による海岸侵食に対してますます脆弱になっている沿岸地域社会に影響を及ぼす。この状況に適応するには、先住民の知識と地域の知識を使用したコミュニティ主導の監視と組み合わせる形で、主要な場所にて行われる持続的かつ調整された気候生態系の監視が必要となる。



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

### 3 ADDRESS INFORMATION GAPS

Large gaps remain in our understanding of the societal implications of climate change in the Arctic. There is a particular need for more integrated modeling and assessment of climate-related impacts on interconnected socioecological systems.

The impacts of climate change do not occur in isolation and may interact with each other. For example, the combination of rapid springtime warming and heavy precipitation on a deep snow pack triggered nearly 800 avalanches in Greenland in April of 2016. Understanding the impacts of these types of cumulative and compound effects is important for risk mitigation, hazard response, climate adaptation, and policy response to changing climatic conditions.

A better understanding of the potential links between Arctic change and mid-latitude weather could improve forecasters' ability to predict dangerous extreme weather events in regions far from the Arctic. More research is needed to clarify these linkages.

The perspectives of Indigenous Peoples are largely absent from assessments of Arctic

change. Efforts should be made to include information from those who have been most directly affected by climate change and who have the longest history of observations and knowledge with respect to climate change impacts, including extreme events.

Large uncertainties remain for projections of Arctic productivity. Predicting the future productivity of the Arctic Ocean requires a better understanding of the changing productivity associated with sea ice and in open waters, the cycling of nutrients and the adaptive capacity of primary producers to changing conditions.

Thresholds in Arctic ecosystems, such as seawater temperature limits for Arctic phytoplankton species or ocean acidification thresholds beyond which pteropods can no longer form shells, need more rigorous evaluation, especially with regard to potential ecosystem shifts. Few evaluations of extreme high temperatures, rapid sea ice loss events, widespread melt events on the Greenland Ice Sheet, and other extreme events in the Arctic have explored their effect on physical and ecological thresholds or tipping points.

### 4 IMPROVE RELEVANCE AND AVAILABILITY OF SCIENTIFIC INFORMATION FOR DECISION MAKING

Arctic countries are devoting increasing attention to climate services, which translate climate data into relevant, timely information to support governments, communities, and industries in planning and decision making. Climate services can play a crucial role in the Arctic, enhancing safety and security in the face of climate-related risks as well as informing the activities of industries such as shipping, tourism, and fisheries, and there is a need for more data and work in this area. There is an opportunity to improve the flow of data and state-of-the-art climate predictive capacity to climate services organizations, and efforts are needed to develop additional and appropriate climate service products for Arctic communities.

Similarly, decision makers could benefit from additional climate information that is directly relevant for planning and decision making, documentation of climate models' ability

to capture extreme events, downscaling of model projections to identify community impacts, guidance for selecting models to use in analyses, and quantification of uncertainties in projections. Indigenous Knowledge should be considered as an input to decision making, and the participation and self-determination of Indigenous Peoples in research and decision-making processes is essential.

There is a need to further develop the understanding of future risks to Arctic ecosystems and communities, including economic costs and benefits, to inform effective and ambitious action by Arctic nations and the rest of world to limit Arctic warming and hasten the transformation toward a more resilient state.

### 3 情報のギャップに取り組む

北極における気候変化の社会的影響についての私たちの理解には大きなギャップが残っている。相互接続された社会生態学的システムに対する気候関連の影響に関するより統合されたモデリングと評価が特に必要である。

気候変化の影響は単独では起こらず、他の現象と相互作用する可能性がある。たとえば、グリーンランドでは2016年4月に、深い積雪と春の急激な昇温と大雨が重なることによって、800近くの雪崩が発生した。これらのタイプの累積的および複合的効果の影響を理解することは、リスクの軽減、危険への対応、気候適応、および気候条件の変化に対する政策対応にとって重要である。

北極の変化と中緯度の気象との潜在的な関連性をよりよく理解することで、北極から遠く離れた地域での危険性のある異常気象を予測する予報官の能力を向上させることができる。これらの関連性を明らかにするには、さらなる研究が必要である。

### 4 意思決定のための科学情報の妥当性と有効性の改善

北極諸国は、気候データを適切で時宜を得た情報に変換し、計画や意思の決定において政府、地域社会、業界を支援するという気候サービスにますます注意を向けている。気候サービスは、気候関連リスクに直面した際の安全と安全保障を強化し、海運、観光、漁業などの産業の活動に情報を提供することにより北極で重要な役割を果たすことができるが、このためにはこの分野に関してより多くのデータと作業が必要である。気候サービス組織へデータおよび最先端の気候予測能力の提供方式を改善する良い機会であり、また北極の地域社会のためにさらなる適切な気候サービス製品を開発するための努力が必要である。

同様に、意思決定者は、計画と意思決定に直接関連する追加の気候情報、極端現象を捉えることができる気候モ

デルの能力についての情報、地域社会への影響を特定するためのモデル予測のダウンスケーリング、分析に使用するモデルを選択するための手引書、および予測における不確実性の定量化の情報などから恩恵を受けることが出来る。先住民の知識は意思決定への入力情報として考慮されるべきであり、研究と意思決定過程への先住民の参加と自己決定の過程は重要である。

先住民の視点は、北極の変化の評価にはほとんど含まれていない。気候変化の影響を最も直接受けていて、極端現象を含む気候変化の影響に関する観測と知識の歴史が最も長い人々からの情報を含めるように努力する必要がある。

北極での生産性の予測には大きな不確実性が残っている。北極海の将来の生産性を予測するには、海水や外洋での生産性の変化、栄養素の循環、変化する条件に対する一次生産者の適応能力をよりよく理解する必要がある。北極の植物プランクトン種の海水温度制限や、プテロポッドが殻を形成できなくなる海洋酸性化の閾値など、北極の生態系の閾値は、特に潜在的な生態系の変化に関連してより厳密な評価が必要である。極端な高温、急速な海水氷損失現象、グリーンランド氷床での広範囲にわたる融解現象、および北極の他の極端現象に関する評価は、物理的および生態学的な閾値、いわゆる転換点への影響についてほとんど調べられていない。

北極の生態系と地域社会に対する将来のリスクについて経済的損害と利益を含めて理解をさらに深めるとともに、北極の温暖化を制限しより強靱な状態への転換を促進するために北極諸国やその他の国々がとっている効果的で野心的な行動に関する情報を積極的に提供する必要がある。

同様に、意思決定者は、計画と意思決定に直接関連する追加の気候情報、極端現象を捉えることができる気候モ

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 basis for this summary, the **AMAP Arctic Climate Change Update 2021: Key Trends and Impacts** report, 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 2020: POPs and Chemicals of Emerging Arctic Concern: Influence of Climate Change*
- *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 Secretariat

The Fram Centre,  
Box 6606 Stakkevollan,  
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: Kerry Kospiung-Jacobson

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。

**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）**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 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)
- 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事務局

フラムセンター、  
ボックス6606スタッケヴォーラン、  
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

日本語訳：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  
arcs2\_nipr@nipr.ac.jp

2021年9月作成