

## 第4章 観測:雪氷圏

### 概要

雪氷圏は雪、河川と湖沼の氷、海氷、氷河、棚氷、氷床、凍土で構成され、地表面のエネルギー収支、水循環、一次生産力、地表面でのガス交換、海面水位に影響を与えることによって、地球の気候システムにおいて重要な役割を演じている。すなわち、雪氷圏は地球表面の大部分に及ぶ物理的、生物学的、社会的環境を根本的に制御している。こうした構成要素の全てが広範な時間スケールでの気温変化に本質的に敏感なことを考えると、雪氷圏は自然の中に存在する気候変動の積分器であり、気候変動の徴候を最も目に見える形で示してくれる。

第4次評価報告書以降、観測技術は向上し、主要な測定値の時系列が延長したこともあって、雪氷圏の全ての構成要素における変化と傾向の特定及び測定は大幅に改善し、そうした構成要素の応答を左右する個々の過程に対する我々の理解も深まっている。第4次評価報告書以降の観測結果によると、雪氷圏からの氷の正味の減少が続いているが、雪氷圏の構成要素間及び地域間で減少率に有意な差がある。雪氷圏に起こっている主要な変化を以下に述べる。

### 海氷

第4次評価報告書で報告された変化傾向が継続しており、北極域の年平均海氷面積は1979～2012年の期間にわたって減少した。この減少率は10年当たり3.5～4.1% (10年当たり45万～51万km<sup>2</sup>)であった**可能性が非常に高い**<sup>1</sup>。10年平均した北極域の海氷面積の平均的な減少速度は、夏と秋に最も急速に進んでいる(高い確信度<sup>2</sup>)<sup>2</sup>が、全ての季節について、また1979年以降の10年間ごとに連続して、それぞれ面積が減少している(高い確信度)。{4.2.2、図4.2}

北極域の越年氷(一夏以上経過した氷)<sup>[脚注]</sup>及び多年氷(二夏以上経過した氷)の面積は、1979年から2012年の期間にわたって減少した(確信度が非常に高い)。越年氷の海氷面積(夏季の最小値)は1979年から2012年の間に10年当たり11.5 ± 2.1% (10年当たり73万～107万km<sup>2</sup>)の割合で減少し(可能性が非常に高い)、多年氷(二夏以上経過した氷)は10年当たり13.5 ± 2.5% (10年当たり66万～98万km<sup>2</sup>)の割合で減少した(可能性が非常に高い)。{4.2.2、図4.4、図4.6}

北極海盆における冬季の平均氷厚は、1980年から2008年の間に減少した(高い確信度)。平均減少量は1.3mから2.3mの範囲であった**可能性が高い**。この評価における高い確信度は、潜水艦、電磁誘導式(EM)氷厚計、衛星高度計という、複数の観測方法による観測結果に基づいており、多年氷及び越年氷の面積の減少と整合している{4.2.2、図4.5、図4.6}。2010～2012年の期間に行われた衛星による測定は、2003～2008年の期間の測定に比べて、海氷量の減少を示している(中程度の確信度)。海氷厚が減少している北極域において、海氷の漂流速度が増したことについては**高い確信度**がある。{4.2.2、図4.6}

1979～2012年の期間に、北極域の越年氷の毎年の表面融解期間は10年当たり5.7 ± 0.9日長くなっている**可能性が高い**。この期間には、東シベリア海と西ポーランド海の間海域において、無海氷面期間が3か月近く増えている。{4.2.2、図4.6}

南極域の年平均海氷面積は、1979年から2012年の期間に10年当たり1.2～1.8% (10年当たり13万～20万km<sup>2</sup>)の割合で増加した**可能性が非常に高い**。海氷域における開放水面の割合が減少したため、海氷面積の更に大きな増加があった。この年変化率には強い地域差があり、面積が増加している地域もあれば、減少している地域もあること**確信度は高い**。{4.2.3、図4.7}

### 氷河

氷河の長さ、面積、体積、質量について測定された変化の時系列によって明らかになったように、第4次評価報告書以降、世界中のほぼ全ての氷河が継続して縮小している(非常に高い確信度)。氷河の変化の測定数は、第4次評価報告書以降、大幅に増えている。新しいデータのほとんどは、世界的に網羅した氷河目録とともに、衛星による遠隔測定から得たものである。{4.3.1、4.3.3、図4.9、図4.10、図4.11}

2003年から2009年間の氷の減少のほとんどは、アラスカ、カナダ北極圏、グリーンランド氷床周辺、アンデス南部及びアジアの山地の氷河によるものだった(非常に高い確信度)。これらの領域を全て合わせると、氷の減少量全体の80%以上を占める。{4.3.3、図4.11、表4.4}

<sup>1</sup> 本報告書では、成果あるいは結果の可能性の評価を示すために、次の用語が用いられる。「ほぼ確実」:発生確率が99～100%、「可能性が非常に高い」:発生確率が90～100%、「可能性が高い」:発生確率が66～100%、「どちらも同程度」:発生確率が33～66%、「可能性が低い」:発生確率が0～33%、「可能性が非常に低い」:発生確率が0～10%、「ほぼあり得ない」:発生確率が0～1%。適切な場合には追加で以下の用語を用いることがある。「可能性が極めて高い」:発生確率が95～100%、「どちらかと言えば」:発生確率が>50～100%、「可能性が極めて低い」:発生確率が0～5%。可能性の評価結果は、「可能性が非常に高い」のように斜体字で記述する(詳細は1.4節及びBox TS.1を参照)。

<sup>2</sup> 本報告書では、利用できる証拠を記述するために、「限られた」、「中程度の」、「確実な」を、見解の一致度を記述するために、「低い」、「中程度の」、「高い」といった用語を用いる。確信度は、「非常に低い」、「低い」、「中程度の」、「高い」、「非常に高い」の5段階の表現を用い、「確信度が中程度」のように斜体字で記述する。ある一つの証拠と見解の一致度に対して、異なる確信度が割り当てられることがあるが、証拠と見解の一致度の増加は確信度の増加と相関している(詳細は1.4節及びBox TS.1を参照)。

世界の全氷河からの総質量減少は、氷床周辺の氷河を除くと、1971～2009年の期間には1年当たり226 ± 135 Gt(海面水位換算では1年当たり0.62 ± 0.37 mm)、1993～2009年の期間には1年当たり275 ± 135 Gt(1年当たり0.76 ± 0.37 mm)、2005～2009年の期間には1年当たり301 ± 135 Gt(1年当たり0.83 ± 0.37 mm)であった**可能性が非常に高い**。{4.3.3、図4.12、表4.5}

現在の氷河面積は現在の気候条件と平衡状態ではなく、たとえ、将来これ以上気温が上昇しないとしても、氷河は縮小し続けることを示している(**高い確信度**)。{4.3.3}

#### 氷床

グリーンランド氷床の氷は、最近20年間に減少した(**非常に高い確信度**)。衛星及び航空機による遠隔測定並びに現場データを組み合わせると、いくつかの領域で氷床の減少が生じていることと、大きな質量減少率の領域が第4次評価報告書で報告されたよりも広い地域に広がっていることが**高い確信度**で示される。{4.4.2、4.4.3、図4.13、図4.15、図4.17}

グリーンランド氷床の氷床減少率は、1992年以降加速している。平均減少率は、1992～2001年の期間には1年当たり34 [-6～74] Gt(海面水位換算で1年当たり0.09 [-0.02～0.20] mm)であったものが、2002～2011年の期間には1年当たり215 [157～274] Gt(1年当たり0.59 [0.43～0.76] mm)に増加した**可能性が非常に高い**。{4.4.3、図4.15、図4.17}

グリーンランドからの氷床減少は、ほぼ同量の表面融解と氷河の流出に分けることができ(**中程度の確信度**)、両者とも増加している(**高い確信度**)。夏季に融解している面積は、最近20年間で増加している(**高い確信度**)。{4.4.2}

南極氷床の氷は最近20年間に減少してきた(**高い確信度**)。この減少が主に南極半島北部と西南極のアムンゼン海部分で起きていることについての**確信度は非常に高く**、その原因が氷河の流出速度の増大によるものであることの**確信度は高い**。{4.4.2、4.4.3、図4.14、図4.16、図4.17}

南極氷床の平均減少率は、1992～2001年の期間には1年当たり30 [-37～97] Gt(海面水位換算1年当たり0.08 [-0.10～0.27] mm)であったものが、2002～2011年の期間には1年当たり147 [72～221] Gt(同1年当たり0.40 [0.20～0.61] mm)に増加している**可能性が高い**。{4.4.3、図4.16、図4.17}

南極域の一部において、浮いている棚氷が大きな変化を遂げつつある(**高い確信度**)。西南極のアムンゼン海域において棚氷が薄くなっていることについての**確信度は中程度**であり、その原因が海洋からの大きな熱フラックスにあることの**確信度は中程度**である。南極半島周囲

の棚氷では、数十年前に始まった後退と部分的崩壊の長期変化傾向が継続していることの**確信度は高い**。{4.4.2、4.4.5}

#### 積雪面積

北半球では積雪面積が減少しており、特に春季に顕著である(**非常に高い確信度**)。衛星観測の記録によると、1967～2012年の期間に年平均積雪面積は有意に減少し、-53%という最大の変化(**可能性が非常に高い**幅は-40～-66%)は6月に生じていた。統計的に有意な増加を示した月は無かった。より長い1922～2012年の期間では、データは3月と4月に限られるが、積雪面積は7%(**可能性が非常に高い**幅は4.5～9.5%)減少し、3月から4月の北緯40度から北緯60度の陸域の地上気温と強い負の相関[-0.76]を示している。{4.5.2、4.5.3}

雪の現場観測(ほぼ全てが北半球にある)によると、特により温暖な場所を中心として、総じて春季に減少していることが示されている(**中程度の確信度**)。観測点の標高、記録期間、測定項目(積雪深度、積雪期の長さなど)によって結果は左右されるが、調査したほぼ全ての研究において観測点の大多数が減少傾向を示し、観測点の標高が低いほど、あるいは平均気温が高いほど、雪がより減少する傾向にあった。南半球では、証拠があまりに限られているため、変化が起こったかどうかの結論を得ることはできない。{4.5.2、4.5.3、図4.19、図4.20、図4.21}

#### 淡水氷

淡水(湖沼と河川)氷について利用可能な限られた証拠が示すところによると、氷結期間は短くなり、平均季節氷面積は縮小している(**低い確信度**)。2005年までの150年、100年及び30年間の変化傾向が得られた北半球の75の湖沼について、最も急速な変化が起こっているのは最近の30年であり(**中程度の確信度**)、結氷時期が遅くなり(10年当たり1.6日)、解氷時期は早まっている(10年当たり1.9日)。北アメリカの五大湖では、平均結氷面積(正誤表参照)は1973～2010年の期間に71%減少した。{4.6}

#### 凍土

永久凍土の温度は、1980年代初頭以降、ほとんどの地域で上昇している(**高い確信度**)。ただし、上昇率は地域によって異なる。一般に、より温度の低い永久凍土のほうが、より温度の高い永久凍土よりも温度上昇は大きかった(**高い確信度**)。{4.7.2、表4.8、図4.24}

ロシア域のヨーロッパ北部では、顕著な永久凍土融解が生じている(**中程度の確信度**)。この地域では、1975～2005年の期間に厚さ最大15mの温度が高い永久凍土が完全に融解し、不連続永久凍土の南限が最大80km北に移動し、連続永久凍土の境界が最大50km北に移動したことについて、**中程度の確信度**がある。{4.7.2}

現場測定と衛星データによると、過去 20～30 年の間に、氷を多く含んだ永久凍土の融解に関連した地表面の陥没が様々な場所で起こっている(中程度の確信度)。  
{4.7.4}

多くの地域で、季節凍土の深さがここ数十年変化している(高い確信度)。1990 年代以降多くの地域において、活動層の厚さが数 cm から数十 cm 増している(中程度の確信度)。他の地域では、北米北部で顕著であるが、大きな年々変動はあったが、有意な変化傾向はほとんどみられなかった(高い確信度)。ユーラシア大陸の非永久凍土地域の一部では、季節凍土の厚さが減少し、場所によっては 1930 年から 2000 年にかけて 30 cm 以上減少した可能性が高い(高い確信度)。  
{4.7.4}

---

【訳注】原文では“perennial sea ice”と記されている。一夏以上経過した海水で、二年氷(second-year ice)と多年氷(multi-year ice; 二夏以上経過した氷)の両方を含む。翻訳時点で定訳はない。雪氷用語での古い氷(old ice)と同義。