

よくある質問と回答

**FAQ 4.2 | 山岳地域の氷河は消滅しつつあるのか？**

世界の多くの山岳地帯では、この数十年間の気温上昇にตอบสนองして氷河が消滅しつつある。氷河の消滅は、カナダ北極圏及びロッキー山脈、アンデス、パタゴニア、ヨーロッパアルプス、天山山脈、南アメリカ・アフリカ・アジアなどの熱帯山地で報告されている。これらの地域ではこの数十年間で 600 以上の氷河が消滅している。たとえこれ以上温暖化が進まないとしても、更に多くの氷河が消滅するだろう。また、いくつかの山岳地帯は、全部ではないとしてもほとんどの氷河を失う可能性が高い。

現在氷河が存在する山岳地域の全てにおいて、過去 150 年間にわたり、氷河の体積はかなり減少している。この期間に、多くの小氷河は消滅している。一部の局所的な例外を除き、氷河の縮小(面積と体積の減少)は既に地球規模で広がっていて、特に 1940 年代と 1980 年代以降に激しかった。しかしながら、長さの変化に対する長期測定及び質量収支のモデリングからわかるように、1890 年代、1920 年代、1970 年代には比較的安定した時期もあった。従来からの現場測定と、増えつつある航空機及び衛星による測定は、ほとんどの氷河地域では、氷河面積の減少率は以前よりも最近 20 年間のほうが高く、氷河は縮小し続けているという明確な証拠を示している。ただし、いくつかの地域においては、異なる挙動を示している氷河もあり、その他のほとんどの氷河が後退している間に前進しているものがある(例えば、ニュージーランド、ノルウェー、南パタゴニア(チリ)の沿岸地域、アジアのカラコルム山脈など)。総じて、こうした前進は、地形や気候の特殊な条件(例えば、降水量の増加など)による。

氷河が気候の短期間の変化に応じてその規模を変化させるには数十年かかるため、現在ほとんどの氷河は、もし現在の気候と平衡状態であった場合よりも大きい。変化に要する時間は氷河の大きさに応じて増えるため、たとえ気温が安定化したとしても、より大きい氷河は今後数十年間にわたって縮小し続けるだろう。より小さい氷河も縮小し続けるが、より速く規模が変化し、その多くは最終的には完全に消滅するだろう。

個々の氷河が将来どのように発達するのか、あるいは消滅するのかどうかについては、様々な要因が影響する。例えば、氷河の大きさ、勾配、高度範囲、高度による面積分布、表面特性(例えば、岩屑被覆の量など)が挙げられる。このような要因は、地域によっても、隣接する氷河の間でも大きく異なる。周囲の地形や気候状況のような外部要因も、将来の氷河の変遷にとって重要である。より短い時間スケール(10~20 年)では、各氷河は気候変動に対し細部においてそれぞれ異なった応答をする。

約 50 年を超えるような長い期間になると、応答には一貫性が増し、局所的な環境の細かい条件への依存度は小さくなるので、氷河の発達における長期変化傾向はより良くモデル化できるようになる。このようなモデルは、基礎的な物理原則の理解の上に構築される。例えば、局所的な平均気温が上昇すると、降水量に変化がない場合、大気が 1°C 昇温すると平衡線高度(ELA; 用語集参照)を約 150 m 上方へ移動させることになる。こうした上方への移動と、様々な大きさや高度範囲の氷河にもたらす結果については、FAQ 4.2 図 1 で説明している。

当初は、全ての氷河には ELA の上側の涵養[かんよう]域(白色)と下側の消耗域(水色)がある(FAQ 4.2 図 1a)。ELA が上方に移行するにつれ、涵養域は縮小し消耗域は拡大するので、氷が融解を通じて減少する領域が増す(FAQ 4.2 図 1b)。この不均衡によって、氷の全体的な減少が生じる。数年後には、氷河前面は後退し、氷河が新しい気候に合うようにその面積を変化させるまで消耗域は縮小する(FAQ 4.2 図 1c)。ELA を氷河の最高地点よりも上まで永久的に引き上げるほど気候変動が大きい場合(FAQ 4.2 図 1b、右)、氷河は最終的に完全に消滅する(FAQ 4.2 図 1c、右)。より高度の高い氷河は涵養域を保持しており、縮小はするが消滅はしないだろう(FAQ 4.2 図 1c、左と中央)。大きな谷氷河は氷舌の大部分を失う可能性があり、その場合はおそらくその跡に湖が残ることになるだろう(FAQ 4.2 図 1c、左)。気温のほかにも、降水の量と季節性の変化も ELA の移動に影響する。氷河の動力学(流速など)も一定の役割を演じるが、この概略図では考慮していない。

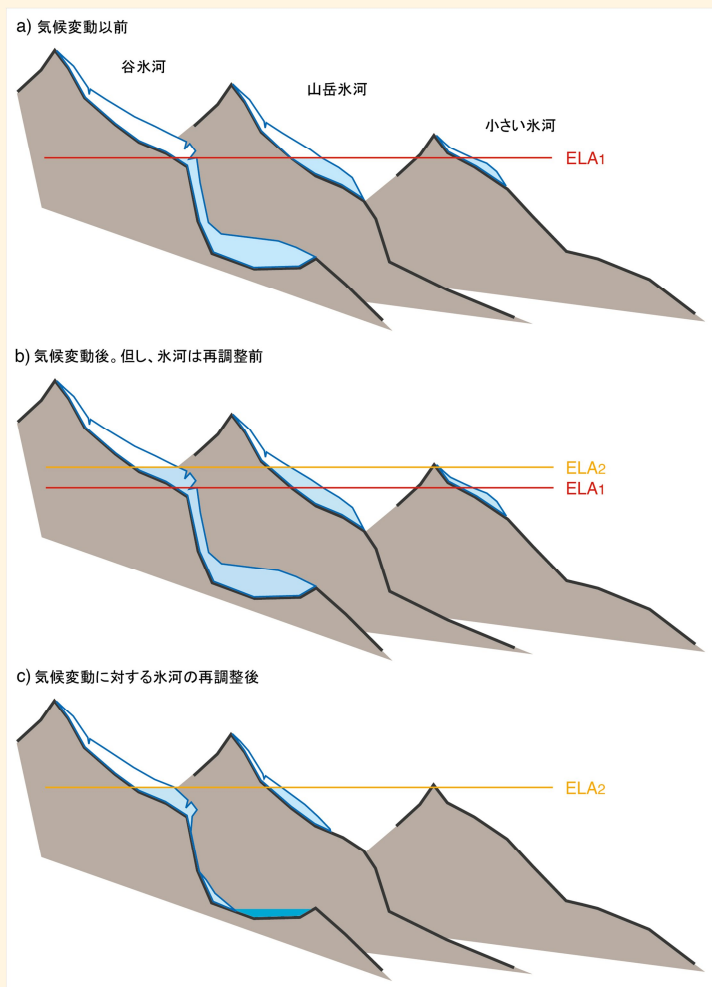
多くの観測結果から、氷河の種類の違いによって、近年の気候変動への応答も異なることが確認されている。例えば、大きな谷氷河の低地にある平坦な氷舌(アラスカ、カナダ、アルプスなどに見られる)は、外見、遮光状況、岩屑被覆にはほとんど関係なく、現在最も激しい質量減少を示している。この種の氷河は、新しい気候条件に合わせて面積を変化させる速度が遅く、終端境界を大幅に後退させること無しに、主に薄化によって応答する。これに対し、より小さな山岳氷河は、かなり持続的な勾配を持っており、消耗域の大きさをより急速に変化させることによって、新しい気候に合うよう素早く調整する(FAQ 4.2 図 1c、中央)。(次ページに続く)

## FAQ 4.2(続き)

ほとんどの種類の氷河における長期的な応答は、FAQ 4.2 図 1 に示したアプローチでかなりしっかりと判定できる。しかしながら、氷河の短期的な応答や、より複雑な種類の氷河（例えば、岩屑被覆が厚い、雪崩で雪が入り込む、涵養域が散在している、雪崩型氷河、分離して水の中に入るなど）の長期的応答のモデリングは難しい。このようなケースでは、質量収支、氷厚の分布、内部の水力学といった、他の氷河特性に関する詳細な知識が必要となる。しかし世界の氷河の大多数についてそうしたデータは入手不可能なため、気候変動に対する応答は、FAQ 4.2 図 1 の概略手法で近似させることしかできない。

例えば、カラコルムーヒマラヤ山脈には多種多様な種類の氷河と気候条件が存在し、氷河の特性はまだごくわずかししか知られていない。このため、こうした氷河の将来の展開を決定することはとりわけ不確実なものになる。しかし、衛星データの一層の利用（例えば、氷河目録の編纂や流速の算出などにおいて）や地上の測定ネットワークの拡大のおかげで、知識のギャップは今後大幅に小さくなることが期待されている。

要約すると、氷河の運命は、個々の特性及び将来の気候条件によって変わる。より多くの氷河が消滅するが、低地部分のほとんどを失う氷河もあれば、大して変化しない氷河もあるかもしれない。ELA が既に最高高度を超えている氷河の場合、気候が寒冷化しない限り完全に消滅する運命にある。同様に、将来 ELA が最高高度以上に上昇する地域では、全ての氷河が消滅するだろう。



**FAQ 4.2 図 1** | 異なる高度に位置する 3 種類の氷河と、平衡線高度 (ELA) の上方移行に対する各氷河の応答の概略図。(a) 所与の気候に対して ELA は特定の高度にあり(ELA1)、全ての氷河が特定の大きさを持っている。(b) 気温上昇によって、ELA は上方に移行して新たな高度になり(ELA2)、その結果最初は全ての氷河において涵養域が減り消耗域が拡大する。(c) 氷河の大きさが新しい ELA に合わせて調整された後、谷氷河(左)はその氷舌を失い、小さい氷河(右)は完全に消滅した。