

氷床の限界厚と氷底湖 Limit of the ice-sheet thickness and the subglacial lake

成田 豊^{1*}

Yutaka Narita^{1*}

¹ 応用地質株式会社

¹OYO Corporation

雪氷が累積すると氷床が発達し、自重によって次第に沈降して氷が塑性変形し流動する。厚い氷床の底部には水が存在し、そこでの氷は凍結・融解・再凍結という活動サイクルがあるといわれており、ここでは、氷床底部の高圧下での基本構造と氷床の限界厚さについて考察した。

1) 氷底湖の形成

NASAのICESat衛星の氷透過レーダーにより、東南極氷床下の広範囲にわたって氷底湖が多数発見され、水が存在していることが確認されている。氷底湖の水温は-2~-3程度と考えられ、氷床荷重による高圧のため液体を保っており、氷の圧力融解点と温度勾配が交わる場所の温度であると考えられる。

氷底湖で最も大きいポストーク湖は、氷床下約3,800mにあり、総面積は14,000km²(オンタリオ湖に匹敵する大きさ)で、湖の深度は平均125mである。ポストーク基地における氷床深層掘削においては、2012年に3,768mまで掘削し氷底湖に到達したと報告されている。

2) 氷の高圧下での転移

氷床は降雪による上載荷重により、積雪内部で圧力が徐々に増していき、この圧力は南極氷床の最下部では30MPa程度に達する。雪粒子は高い荷重(応力)のため塑性変形を起こして圧密し、粒子間の空隙を埋めるように変形する。この圧密の過程で地表の大気が雪粒子間に取り込まれ、深度200m前後で孤立気泡となる(Ice-Gas領域)。

これより深い深度領域では、この孤立気泡が圧力により徐々に収縮していき深度1,000m程度に達すると、この高圧の空気泡は氷と反応を起こし新しい結晶を構成するようになりクラスレート・ハイドレート(水和物)が発生する(Ice-Hydrate領域)。このクラスレート水和物は、水分子が作る籠型構造(クラスレート構造)の中に気体分子(ゲスト分子)を取り込んだ独特な構造をもつ結晶であり、気体と氷(水)の共存状態において、ある圧力(解離圧)を超えると相転移を起こし生成される(本堂・内田、1992)。

さらに氷床深度が増加して氷床内の圧力が高くなると氷温が徐々に上昇して、氷が融解して水ハイドレートが生成される領域に達する(Water-Hydrate領域)ことで、氷床底部が圧力融解の状態となり水が発生すると考えられる。

3) 氷の破壊強度と限界氷床厚

氷の圧力と歪の関係については、氷になんらかの力が加わって破壊現象が起こるとき、破壊が起こるまでの過程(歪速度)の違いによって脆性破壊・延性破壊に変化する。静水圧下での氷の加圧実験から、加圧静水圧を増大すると破壊強度は増大するが、30MPaと55MPaの静水圧を比べると30MPaの方が55MPaの破壊強度より大きくなり、静水圧と破壊強度に逆相関が生じて、破壊は延性的になり、みかけの破壊強度は小さくなる(水野、1993)。このことから、破壊強度の最大は35MPa程度(氷床厚で4,100m)であると見込まれ、4,000m程度を超えた氷床に積雪荷重がかかると氷床底部の高圧部では、降伏点をすぎても脆性破壊をせず塑性的な変形をつづけていく延性的破壊が生じることになる。また、氷床底部の高圧下では温度が高くなると氷が生成され流動性が増加するため、さらに強度が低下するといえる。

南極の氷床は、過去数十万年にわたって降り積もった雪が圧密されて氷化したものであり、氷床の最大厚さは4,000m程度であるといわれている。南極での氷床掘削深の最大はポストークの約3,800mであり、氷床下にある氷底湖の深さを加えても4,000m程度である。このことから、氷床の発達には現在の最大厚さが限界であり、これ以上に氷床は発達できないと推測する。すなわち、氷床の限界厚さは4,000m程度であり、限界厚さを超えると氷床下で塑性流動が生じて氷が生成され、その跡の空間が氷底湖になると考えられる。

文献

- ・本堂武夫、内田努(1992): 極地氷床における空気包接水和物の生成過程、低温科学 物理篇、第51号、197-212。
- ・水野悠紀子(1993): 多結晶氷の圧縮強度に対する静水圧の効果、低温科学 物理篇、第52号、1-13。

キーワード: 氷床厚, 氷底湖, 圧力融解

Keywords: Ice-sheet thickness, Subglacial lake, Pressure melting