



Title	A study on inclusions in ice layers formed by melting and refreezing processes in ice cores [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	川上, 薫
Citation	北海道大学. 博士(環境科学) 甲第15265号
Issue Date	2023-03-23
Doc URL	<a href="http://hdl.handle.net/2115/89610">http://hdl.handle.net/2115/89610</a>
Rights(URL)	<a href="https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/">https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/</a>
Type	theses (doctoral - abstract and summary of review)
Additional Information	There are other files related to this item in HUSCAP. Check the above URL.
File Information	Kawakami_Kaoru_review.pdf (審査の要旨)



[Instructions for use](#)

# 学 位 論 文 審 査 の 要 旨

博士 (環境科学)                      氏 名    川上   薫

審査委員    主査   准教授   飯塚   芳徳  
                 副査   教   授   渡辺   力  
                 副査   教   授   杉山   慎  
                 副査   教   授   本山   秀明

(国立極地研究所共同研究推進系)

## 学 位 論 文 題 名

A study on inclusions in ice layers formed by melting and refreezing processes in  
ice cores

(アイスコアに含まれる融解再凍結によって形成された氷板内の不純物に関する研究)

近年の北極域の温暖化によりグリーンランド氷床の融解は加速している。氷床涵養域の融解水は積雪内部で再凍結し、掘削されたアイスコアで主に氷板として検出される。融解再凍結過程は大気エアロゾル由来の不純物を再配分し、氷板に含まれる大気環境プロキシを不明瞭にする。これまでアイスコア中の氷板がどの程度プロキシを不明瞭にしているのかについては詳細に理解されているとはいえない。温暖化による表面融解やそれに伴う氷板形成が増加するなかで環境プロキシを正しく理解するためには、氷板中の不純物の特徴を明らかにすることが重要である。そこで本研究では、氷板中の不純物がどのように再配分されるかを考察し、氷板形成に伴う環境プロキシの再配分過程の解明を目的とした。

本研究では、グリーンランド北西部SIGMA-Aアイスコアおよび南東部SE-Dome II アイスコアを解析した。まず、これらのアイスコアの年代を推定し年平均涵養量を求めた。また透過光による目視観察から氷板の形成年代と厚さを記録した。その後、氷板試料に含まれる不純物濃度、氷板内部の不純物の存在状態、不純物の化学組成を分析した。

厚さ1 mm以上の氷板がSIGMA-Aコアでは243層、SE-Dome II コアでは89層含まれていた。両コアにおける氷板の数や厚さ、年層厚に占める氷板厚の割合は北極域における1995年以降の急激な温暖化に伴い増加した。SIGMA-Aコアの氷板には融解再凍結によって形成されたと考えられる粒径30  $\mu\text{m}$ 以上の不純物が存在し、形状から粒子状、ひも状、直方体状の三種類に分類された。直方体状不純物は主に固相の硫酸カルシウムからなり、氷結晶粒内部に存在しやすい。ひも状不純物は主に液相で $\text{Na}^+$ と $\text{Cl}^-$ を含み、氷結晶粒界に存在しやすい。粒子状不純物はどちらの特徴も示した。特に、ひも状不純物は長さ1 mmにもなり、 $\text{Na}^+$ と $\text{Cl}^-$ を含む多量の融解水の凍結末期に形成されたことが明らかにした。同様に、SE-Dome II コアの氷板にも粒子状、ひも状、直方体状の三種類の不純物が存在した。しかしながら

SIGMA-Aコアとは異なり、ひも状不純物は主に $\text{SO}_4^{2-}$ を多く含んでいる化学組成であることがわかった。化学組成の違いは両コアの氷板を形成する融解水のイオンバランスの違いに起因し、不純物の化学組成は融解水中のイオン種や濃度などで制約されることを示唆している。融解水中のイオン濃度は融解前の積雪の降雪地域の特性や季節融解量の規模などを反映するため、ひも状不純物の化学組成は融解再凍結の形成環境のプロキシとなると結論づけた。

本研究は近年の北極域の温暖化によりグリーンランド氷床の融解は加速しているなかで、氷床の融解で形成される氷板から、新たな融解再凍結の形成環境のプロキシを提唱したことに特に意義があると考えられる。

審査委員一同は以上の成果を高く評価し、また、申請者が研究者として誠実かつ熱心であることを認め、大学院博士課程における研鑽や修得単位なども併せ、申請者が博士（環境科学）の学位を受けるのに十分な資質を有するものと判定した。