

雪の砲弾集合の理論的解釈とその作製実験

Theoretical and experimental study on the combination of bullets of snow

牲川 菜月^{1*}, 北村 雅夫¹, 下林 典正¹, 三宅 亮¹, 高谷 真樹¹, 兒玉 優¹

Natsuki Niekawa^{1*}, Masao Kitamura¹, Norimasa Shimobayashi¹, Akira Miyake¹, Masaki Takaya¹, Yu Kodama¹

¹ 京大理

¹ Kyoto-Univ. Sci.

低温常圧で安定な六方晶氷 Ih の準安定相として、立方晶氷 Ic の存在が知られている。天然に見られる雪の砲弾集合は、氷 Ih の単結晶が複数個、特定の方位関係で集合したものであり、その中心に氷 Ic の存在を仮定すると単結晶どうしの方位関係が説明できる。そのため、氷の準安定相である Ic 結晶が先に生じ、後にその表面上に複数の Ih 結晶が核形成・成長してできたと考えられている (Takahashi, 1982; Takahashi and Kobayashi, 1983)。

結晶化において、自由エネルギーの高い準安定相が先に出現し、その後安定相が出現する現象をオストワルドの段階則といい、この現象は様々な物質に対して観察されている (Ostwald, 1897; Barrer, 1988)。しかし、過去の研究の多くは個々の物質に対するこの現象の報告や部分的な理論的考察にとどまり、そのメカニズムの本質に迫る一般的な理論は未だ確立していない。本研究では、準安定相の核形成の開始から安定相の結晶化の完了までを包括的に解釈する一般的な理論の構築を目的とした。さらに、構築した理論に対して検証実験を行い、理論の正当性を確認した。

I. 理論的考察

準安定相と安定相をもつ物質が晶出するときに想定される核形成過程は、準安定相または安定相の3次元核形成 (m3D、s3D)、生じた準安定相上での準安定相または安定相の核形成 (m/m、s/m)、生じた安定相上での準安定相または安定相の核形成 (m/s、s/s) の6過程である。これらのうち、与えられた条件の下で最大の核形成速度を持つ過程が実際に起こるといえる。核形成のエネルギー障壁 G が小さいほど核形成速度が大きくなるため、本研究では、上記6過程の G の大小を比較し、任意の準安定相と安定相の化学ポテンシャル変化の値 (μ_m 、 μ_s) に対してどの核形成過程が起こるか求めた。その結果から、各条件における晶出相とその晶出形態を表すダイヤグラム (nucleation mode diagram) を作成し、その上に実際の系が辿る道筋を重ねて、起こるべき結晶化進行過程の全体像を把握した。

オストワルドの段階則に従う天然結晶の形成過程に必要な条件として、表面エネルギーと過飽和度に対する具体的な数式が得られた。それによると、準安定相の対称性に支配された安定相の多結晶は、まず高い過飽和度の下で準安定相が核形成し、その後準安定相結晶の成長に伴う過飽和度の減少により、準安定相の上に安定相が核形成・成長して形成されたと考えられる。

II. 実験的検証

Ih の単結晶雪に関しては過去に多くの作製実験があるが、砲弾集合の作製に成功した例はない。そこで、理論的考察から導かれた必要条件のもとに、雪の砲弾集合の作製に取り組んだ。今回の実験では、理論的考察に基づき、非常に高い過飽和度下での凍結により準安定相を出現させること、また自由落下しながらの成長により、結晶成長に伴う過飽和度減少の効果を形成される組織に反映させることを試みた。

西堀榮三郎記念探検の殿堂 (滋賀県東近江市) の低温室内で、質量分析計の試料導入に用いられるネブライザーを用いて微小な水滴をつくり、スプレーチャンバーを通じて、直径 $1 \mu\text{m}$ 以下の水滴を選別した。この微小水滴を、液体窒素で冷却して凍結し、空中で成長させた後回収し、顕微鏡観察を行った。これにより、天然に見られる多結晶雪の一種である、砲弾集合結晶の再現に初めて成功した。得られた結晶は、先に生じた準安定相氷 Ic の八面体の表面上に、安定相氷 Ih が複数個核形成・成長してできたものと考えられる。この実験結果により、本研究の理論的考察の正当性が裏付けられたと言える。

キーワード: 砲弾集合, オストワルドの段階則

Keywords: combination of bullets, Ostwald's step rule

ACC028-P02

会場:コンベンションホール

時間:5月24日 14:00-16:30

干渉 SAR による東南極沿岸域の氷床流動およびその時間変化推定の試み An attempt to estimate ice sheet flow rate and its temporal change over coastal region of east Antarctica by InSAR

土井 浩一郎^{1*}, 渋谷 和雄¹, 青山 雄一¹, 山之口勤², 中村和樹³, 大村誠⁴, 小池克明⁵

Koichiro Doi^{1*}, Kazuo Shibuya¹, Yuichi Aoyama¹, Tsutomu Yamanokuchi², Kazuki Nakamura³, Makoto Omura⁴, Katsuaki Koike⁵

¹ 国立極地研究所, ² リモートセンシング技術センター, ³ 産業技術総合研究所, ⁴ 高知女子大学生生活科学部, ⁵ 熊本大学大学院自然科学研究科

¹National Institute of Polar Research, ²RESTEC, ³AIST, ⁴Kochi Women's University, ⁵Kumamoto University

Terra に搭載された ASTER により観測されたデータから作成された地形モデル GDEM が 2009 年に公開され、それを干渉 SAR 画像に現れる地形縞を取り除く際に利用できる。我々は ALOS/PALSAR によって観測された Enderby Land 北部沿岸域の氷床を含む 2007 年と 2008 年の干渉 SAR 画像に GDEM を適用し、地形縞を干渉 SAR 画像から取り除くことによって氷床などの流動に伴う干渉縞のみを取り出した (Doi et al., 2011)。この流動を反映する変動縞をレーダー照射方向の変位に変換したところ、変位画像の中で見られた 46 日間 (ALOS の回帰周期) の最大変位量は 2007 年、2008 年ともに約 2m であった。また、2007 年と 2008 年の変位画像の差を求めたところ、氷床などの変位はほぼ相殺され、氷流の縁辺部に 30cm/46 日以下の変位差が見られるのみとなった。今後、地上検証観測データの多い宗谷海岸沿岸域を観測した干渉 SAR データに対し同様の解析を行なう予定である。

キーワード: 干渉 SAR, 南極氷床, 氷床流動速度

Keywords: InSAR, Antarctica ice sheet, ice sheet flow rate

ACC028-P03

会場:コンベンションホール

時間:5月24日 14:00-16:30

地温逓減率を用いた山岳永久凍土検出手法について On detection of mountain permafrost boundary using ground-temperature lapse rate

末吉 哲雄^{1*}, 池田 敦², 岩花 剛³

Tetsuo Sueyoshi^{1*}, Atsushi Ikeda², Go Iwahana³

¹ 海洋研究開発機構, ² 筑波大学大学院生命環境科学研究科, ³ 北海道大学大学院環境科学院

¹JAMSTEC, ²University of Tsukuba, ³Grad. School of Env. Sci. Hokkaido Univ.

50cm 深の地温を測定し、その高度に伴う逓減率を調べることで山岳永久凍土の下限高度を求める「50cm 地温法」はこれまで日本の富士山での永久凍土検出などで使われてきた。この手法を一般化し、一定深度の地温の逓減率を測定することで永久凍土境界を見出す「地温逓減率法」の検証と適用限界を論じるのが本研究の目的である。

地温逓減率法では、融解深最大期の浅層地温(50cm?数 m)の標高に伴う逓減率が、永久凍土帯と非永久凍土帯で異なることを利用してその境界標高を推定する。原理としては、注目した深度の地温が、日変化にほぼよらず、日平均の地表面温度と地中熱流量のバランスで決定され、地中熱流量の値は永久凍土の存在によって変化することを利用している。この手法は深い掘削を必要とせず、比較的簡易な装備で実施可能なことから、特にアクセスの悪い遠隔地や、急峻な山岳域などでの研究で極めて有用となりうる。

しかしながら、地温の逓減率は、永久凍土の有無だけでなく、観測サイトの土質、地形、背景となる地殻熱流量の値などの影響も受けることから、一定の適用限界があると考えられる。また、測定する地温も、土質や気象条件によっては最適な深さが異なると予想される。これまでの研究では、手法に対する定性的な説明はあったものの、定量的な適用限界の検証はないままに実際のデータに適用されてきた。本研究では、数値実験によりこの観測手法の検証を試み、理想化された条件下で、浅層地温の逓減率が永久凍土の有無によって、また他の条件によって、どの程度の影響を受けるかを確認し、手法の検証を試みると同時に、より確度の高い検出のために、パラメータスタディーを行う。

キーワード: 永久凍土, 地温, 観測手法, 数値実験, 山岳地域

Keywords: permafrost, ground temperature, observational method, numerical experiment, mountain area

ACC028-P04

会場:コンベンションホール

時間:5月24日 14:00-16:30

富士山頂における3 m深地温測定 (2008-2010年) 永久凍土の存在確認と長期変化把握に向けて

Monitoring of 3 m-profiles of ground temperature on the summit area of Mt. Fuji (2008-2010): Toward elucidation of perm

岩花 剛^{1*}, 池田 敦², 福井 幸太郎³, 斉藤 和之⁴, 末吉 哲雄⁴, 原田 鋲一郎⁵, 澤田 結基⁶

Go Iwahana^{1*}, Atsushi Ikeda², Kotaro FUKUI³, Kazuyuki Saito⁴, Tetsuo Sueyoshi⁴, Koichiro Harada⁵, Yuki Sawada⁶

¹北海道大学, ²信州大学, ³立山カルデラ砂防博物館, ⁴(独)海洋研究開発機構, ⁵宮城大学, ⁶(独)産業技術総合研究所

¹Hokkaido University, ²Shinshu University, ³Tateyama Caldera Sabo Museum, ⁴JAMSTEC, ⁵Miyagi University, ⁶Geological Museum

1970年代初頭に、富士山頂には永久凍土の存在が報告されている。この永久凍土を含めた地中環境および地表面状態が近年の気候変動によって変化しているのではないかと注目されている。

我々は、2008年より富士山頂の2箇所まで深さ約3 mまでの地温を約2年間測定したが、永久凍土の存在は確認されなかった。

1地点では、季節的な凍結深が深く、3 m以深に達したが、夏期の激しい降雨の度に大きな地温上昇が記録され、深さ2~3 mの凍土も秋期の激しい降雨イベントによって急速に融解した。もう1地点では、積雪が地表の冷却を妨げることによって季節的な地中凍結の程度が弱く、降雨浸透による加熱も加わり、年間を通じてより高い地温で推移した。

地温変化は年々変動が激しく、凍土は熱的に不安定な状態であることが今回の調査で示唆されたため、現時点で利用できる情報では近年の気候変動による富士山頂の地中環境への影響を評価することは難しい。今後、富士山における地表面温度および凍土の長期的動態評価は、地表面微気象観測とあわせて、多点におけるより深部にわたる長期間の連続的な地中観測を拠り所にして行う必要がある。

キーワード: 富士山, 永久凍土, 観測, 地温, 降雨浸透

Keywords: Mt. Fuji, Permafrost, Rain infiltration, Monitoring, Soil temperature