

学 位 論 文 題 名

Periglacial Geomorphological Study in the
Antarctic Peninsula Region
— Recognition of Antarctic Peninsula Type Periglacial
Environment and its Characteristic Solifluction —

(南極半島地域における周氷河地形学的研究
— 南極半島型周氷河環境の認定とソリフラクション —)

学位論文内容の要旨

土壌や岩石の凍結・融解が地形形成に関わる寒冷な環境は周氷河環境と呼ばれる。周氷河環境は、気温に基づいて 1950～1970 年代までに類型化されて以降、ほとんど再検討されていなかった。南極半島地域については、基本的な気温、地温の観測・研究が少なかったこともあって、従来の周氷河環境への位置づけも不明確であった。本研究の主要な研究課題は、①気温・地温の長期観測を行い、南極半島地域の周氷河環境の特徴について気温および土壌の凍結・融解から検討すること、②表層土壌の凍結・融解に伴う地表面の挙動を観測し、周氷河環境下で生じる重要な地形形成プロセスであるソリフラクションについて分析・評価を行うことである。

観測地点は南極半島先端部東側に位置するジェームズロス島リンク台地 (63° 54' S, 58° 13' W, 海拔 400～500m) であり、年平均気温約 -7℃ の連続的永久凍土帯にある。気温観測は 1995～2007 年、地温観測 (5、15、35cm) は 1997～2007 年に 1～2 時間間隔で行った。土壌の凍結・融解に伴う地表面の変位については、傾斜約 4° の斜面上で 2006 年 2 月～2007 年 1 月の約 1 年間、表面変位量計測器を用いて 1 時間間隔で計測した。同時観測した地温の深度は 0、15、23、50cm である。

①の課題 (南極半島地域の周氷河環境の特徴) について

気温観測データに基づけば、本調査地域では、夏の融解期間にも短周期の凍結が発生する一方で、冬の凍結期間にも融解が生じる。すなわち、年間を通じて凍結日、融解日、凍結・融解日のすべてが発生する、これまでに認知されていない周氷河環境であることを示している。このような気温変化の特徴を持つ周氷河環境は従来の周氷河環境分類では包括されず、新たに南極半島型周氷河環境として認定した。

この周氷河環境下における 10 年間の地温観測から得られた永久凍土活動層における凍結・融解の特徴と頻度、年間分布、到達深度は以下のようにまとめられる。

- (1) 日周期：1 年中発生し、特に夏期にはほぼ毎日起こる。年間の発生日数は 1 年の 1/4～1/3 に達する。凍結・融解深は 15cm を超えることがある。
- (2) 数日周期：融解期に多く発生するが、冬期にも発生することがある。回数は年約 10 回で、達する深さは最深 35cm を超える。
- (3) 年周期：年最大融解深 (活動層厚) には 1～3 月に達する。その深さは、最小 42cm、

最大 85cm、平均 66cm と、年により 2 倍程度の変動があった。

これらの事実から、周氷河環境下における土壌の凍結・融解は、地表面付近で高頻度に発生する日周期と、日周期より深くまで達する年周期の両者とで説明されてきたが、数日周期で発生している様相が明らかになった。

②の課題（ソリフラクション）について

周氷河環境下の斜面上で生じている土壌の移動現象であるソリフラクションについて、地表面の挙動が地中の凍結・融解とどのように関わっているか詳細に検討した。

斜面下方への表面土壌の年間総移動量は 38.5mm であり、日周期および数日周期の凍結・融解の繰り返しに伴って徐々に斜面下方への変位が累積していくことが確認された。以下、凍結・融解周期ごとに変位に関する要点を列挙する。

(1)日周期：凍結・融解は他の周期と独立して起こる場合と併行して起こる場合がある。全層が凍結した状態から日周期で融解・再凍結が生じる際には日周期のみに伴う変位が生じる。斜面下方への移動は融解時に生じるが、必ずしも毎回生じるわけではない。日周期のみの融解・再凍結は観測期間中に 39 回発生しており、うち 31 回は 9 月末～11 月に生じていた。斜面下方への総移動量は 1.7mm であり、そのうち鉛直方向への落下に伴う移動要素であるポテンシャルフロストクリープ (PFC) の量が 1.2mm であった。一方、12～3 月には日周期と数日周期の凍結・融解が併行して発生する。この期間中、日周期の凍結・融解は 76 回生じており、総移動量は 7.2mm (PFC 6.2mm) であった。

(2)数日周期：融解時の斜面下方への移動は、融解沈下の発生初期にその大部分が起こり、以降は移動量が小さくなっていく傾向がある。また凍上時には斜面上方への移動が観測されることがある。数日周期の凍結・融解は観測期間中 16 回発生し、その間の総移動量は 36.0mm であった。ここから日周期が重なる分を除くと、数日周期のみにともなう総移動量は 26.8mm (PFC 13.5mm) であり、これは年間移動量の約 7 割を占めていた。

(3)年周期：表層凍結時(3 月)に斜面下方への移動が 3.0mm 観測された。この移動は、年周期融解にともなう活動層底部で生じたと考えられ、年周期の凍結・融解によると解釈される。

これらの結果より、日周期、年周期に加え、数日周期の凍結・融解に伴って生じるソリフラクションの挙動と評価が初めて明確になった。特に、数日周期に伴う地表面変位は、日周期の凍結・融解に伴う変位に比べ PFC の割合が小さいという特徴をもち、さらに、その変位経路は他地域の年周期の凍上・融解沈下時の経路と類似している。このことは、数日周期の融解時にはフロストクリープだけではなく、塑性変形や滑動などのプロセスが生じている事を示唆している。

以上より、本研究では、南極半島型周氷河環境を新たに認定するとともに、凍結・融解およびソリフラクションによる表層土壌の動態と様相の特徴について、従来の研究では到達できなかった精度で検討することに成功した。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 平 川 一 臣

副 査 教 授 杉 本 敦 子

副 査 Visiting Professor

福 田 正 己

(International Arctic Research Center, University of Alaska)

副 査 理 事 赤 川 敏

(システム工学研究所株式会社,

前北海道大学・大学院工学研究科・教授)

副 査 准教授 石 川 守

副 査 助 教 澤 柿 教 伸

副 査 助 教 曾 根 敏 雄

学 位 論 文 題 名

Periglacial Geomorphological Study in the Antarctic Peninsula Region

－ Recognition of Antarctic Peninsula Type Periglacial Environment and its Characteristic Solifluction －

(南極半島地域における周氷河地形学的研究

－ 南極半島型周氷河環境の認定とソリフラクション －)

土壌や岩石の凍結・融解が地形形成に関わる寒冷な環境は周氷河環境と呼ばれる。周氷河環境は、気温に基づいて 1950～1970 年代までに類型化、一般化されて以降、ほとんど再検討されていなかった。南極半島地域については、基本的な気温、地温の観測が少なかったこともあって、従来の周氷河環境への位置づけは不明確であった。申請者は 1995 年以来、気温・地温の観測を継続して行い、南極半島地域の周氷河環境の特徴を気温および土壌の凍結・融解について詳細に検討した。さらに、表層土壌の凍結・融解に伴う地表面の挙動を観測し、周氷河環境下で生じる重要な地形形成プロセスであるソリフラクションについて分析・評価を行った。

南極半島地域の周氷河環境の特徴について

気温観測データに基づけば、本調査地域では、夏の融解期間にも短周期の凍結が発生する一方で、冬の凍結期間にも融解が生じる。すなわち、年間を通じて凍結日、融

解日、凍結・融解日のすべてが発生する、これまでに認知されていない周氷河環境であることを示している。申請者は、このような気温変化の特徴を持つ周氷河環境は従来の周氷河環境分類では包括されず、新たに南極半島型周氷河環境として認定した。

この周氷河環境下における 10 年間の地温観測から得られた永久凍土活動層における凍結・融解の特徴と頻度、年間分布、到達深度は以下のようにまとめられた。

(1)日周期：1 年中発生し、特に夏期にはほぼ毎日起こる。年間の発生日数は 1 年の 1/4 ～1/3 に達する。凍結・融解深は 15cm を超えることがある。

(2)数日周期：融解期に多く発生するが、冬期にも発生することがある。回数は年約 10 回で、達する深さは最深 35cm を超える。

(3)年周期：年最大融解深（活動層厚）には 1～3 月に達する。その深さは、最小 42cm、最大 85cm、平均 66cm と、年により 2 倍程度の変動があった。

申請者は、これらの事実から周氷河環境下における土壌の凍結・融解は、地表面付近で高頻度に発生する日周期と、日周期より深くまで達する年周期の両方に加えて、数日周期で発生している様相を明らかにした。

表層土壌の移動・ソリフラクションについて

申請者は、ソリフラクションについて、地表面の挙動が地中の凍結・融解とどのように関わっているかについて詳細に検討し、以下の諸点を明快に示した。

(1)日周期：凍結・融解は他の周期と独立して起こる場合と併行して起こる場合がある。全層が凍結した状態から日周期で融解・再凍結が生じる際には日周期のみに伴う変位が生じる。斜面下方への移動は融解時に生じるが、必ずしも毎回生じるわけではない。日周期のみの融解・再凍結は観測期間中に 39 回発生しており、うち 31 回は 9 月末～11 月に生じていた。斜面下方への総移動量は 1.7mm であり、そのうち鉛直方向への落下に伴う移動要素であるポテンシャルフロストクリープ（PFC）の量が 1.2mm であった。一方、12～3 月には日周期と数日周期の凍結・融解が併行して発生する。この期間中、日周期の凍結・融解は 76 回生じており、総移動量は 7.2mm（PFC 6.2mm）であった。

(2)数日周期：融解時の斜面下方への移動は、融解沈下の発生初期にその大部分が起こり、以降は移動量が小さくなっていく傾向がある。また凍上時には斜面上方への移動が観測されることがある。数日周期の凍結・融解は観測期間中 16 回発生し、その間の総移動量は 36.0mm であった。ここから日周期が重なる分を除くと、数日周期のみにともなう総移動量は 26.8mm（PFC 13.5mm）であり、これは年間移動量の約 7 割を占めていた。

(3)年周期：表層凍結時（3 月）に斜面下方への移動が 3.0mm 観測された。この移動は、年周期融解にともなう活動層底部で生じたと考えられ、年周期の凍結・融解によると解釈される。

これらの結果より、申請者は日周期、年周期に加え、数日周期の凍結・融解に伴って生じるソリフラクションの挙動と評価を明確に指摘した。とくに数日周期のソリフラクションの動態と様相の解明は、世界で初めてのことであり、極めて重要な研究成果である。

審査委員一同は、これらの成果を高く評価し、また研究者として誠実かつ熱心であり、大学院博士課程在学時の単位取得ならびにそれ以降の研鑽をあわせて、申請者が博士（環境科学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと判定した。