

## カムチャッカ半島，エツソでの林床有機物層が 地温や永久凍土分布に与える影響について

福井 幸太郎<sup>1</sup>・曾根 敏雄<sup>2</sup>・山縣 耕太郎<sup>3</sup>  
澤田 結基<sup>4</sup>・バカリン バレンチナ<sup>5</sup>

キーワード：永久凍土，熱伝導率，ハイマツ，ダケカンバ，カムチャッカ

### I はじめに

極東ロシア，カムチャッカ半島では，カラマツやハイマツ，ダケカンバからなる北方林が広範にわたって分布している．近年，この北方林では，入林者のタバコや焚き火の不始末などが原因で人為的な森林火災が急増している．森林火災が発生した場所では，永久凍土層が融解する．

火災による永久凍土層の融解には，火災時の熱による直接的な融解だけでなく，断熱効果のある林床の有機物層が破壊され，地温が上昇しやすくなり，融解が促進されるという二次的な効果も寄与している可能性がある（例えば Viereck, 1982; Williams and Burn, 1996）．しかし，林床の有機物層と地温，永久凍土との関係は，カムチャッカ半島では明らかにされていない．

本研究では，カムチャッカ半島の北方林でピット調査や林床有機物層の熱伝導率の測定，地温の通年観測を行い，林床の有機物層が地温や永久凍土に与える影響について検討した．

### II 調査地域

エツソ（55° 55.5' N, 158° 42' E）は，カムチャッカ半島中央部を流れるカムチャッカ川の支流 Bystraya 川とその支流である Uksichan 川の合流点付近にある人口 1000 人程の村である（図 1）．村の標高は約 500 m，年降水量は 500 mm（Kondratyuk, 1974），年平均気温は -2.2 °C で不連続永久凍土帯に属する．村の周囲には，永久凍土の指標地形であるパルサや岩石氷河が分布している（Sone et al., 1997）．

植生は Uksichan 川の北向き斜面では，カラマツ林やハイマツ林，南向き斜面にはダケカンバ林が優先する（図 2A）．高木限界高度は 800 ~ 900 m である．

エツソの西側には標高 1000 m 前後のテーブル状の溶岩台地を削った氷食谷があり，Uksichan 川はこの氷食谷の谷底を流れている．溶岩台地の斜面下部には，氷食谷と並行に伸びるラテラルモレーンが分布する．調査はこの Uksichan 川の右岸，エツソの西約 6 km 地点にある標高 500 m 付近に位置するラテラルモレーン上（図 1, 2）で行った．このモレーンの頂面にはハイマツが広く分布しており，側縁には

1 立山カルデラ砂防博物館（学部 44 期）， 2 北海道大学低温科学研究所， 3 上越教育大学，

4 福山市立大学， 5 ロシア科学アカデミーカムチャッカ支部太平洋地理学研究所

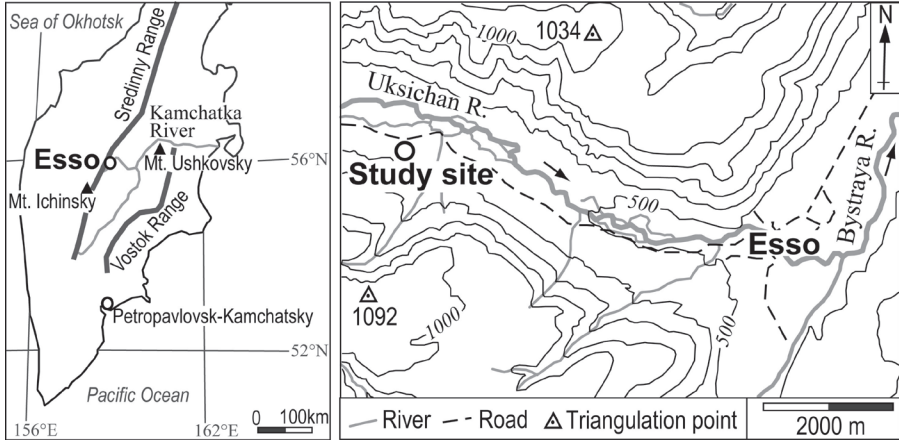


図1 エッソ村の位置

等高線間隔は 100 m.

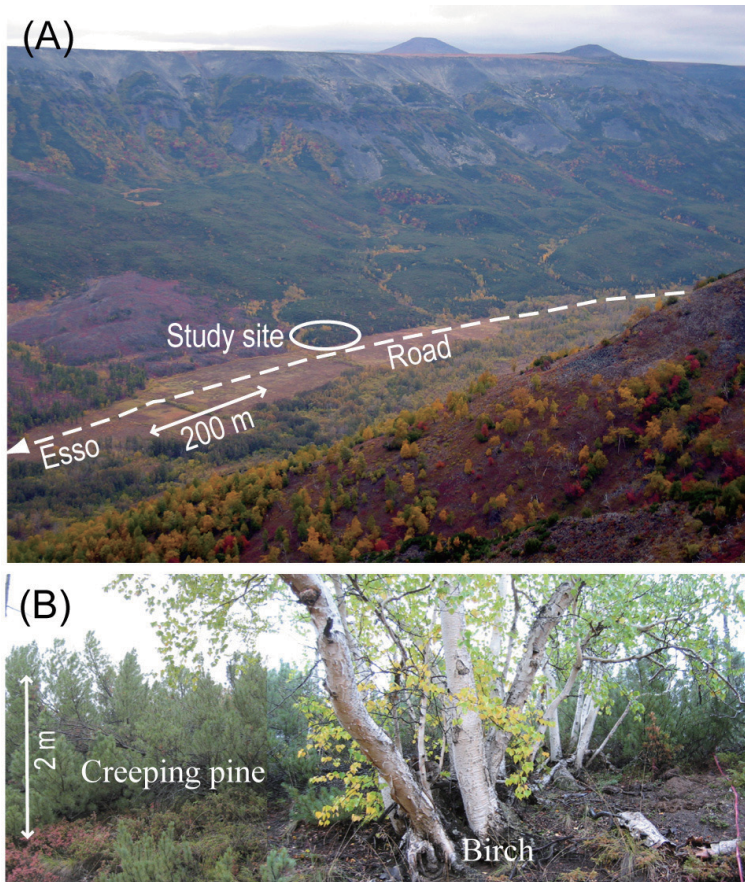


図2 調査地域

(A) 奥が Uksichan 川の北向き斜面, 手前が南向き斜面.

(B) モレーン上のハイマツとダケカンパ.

ダケカンバが分布する（図 2B）．ハイマツ分布が疎になっている場所や林冠ギャップ下にはミズゴケや地衣類が分布する．

### Ⅲ 方法

#### 1. ピット調査

2004 年 9 月上旬にモレーンの横断方向に 64 m の測線を設置し，植生断面図の作成と測線上 12 ヶ所でのピット調査を行った．測線の向きはほぼ南北方向（N10° W）である．植生断面図は，まずハンドレベルと巻き尺を用いてモレーンの地形横断面図をつくり，つぎに測線から左右 5 m の範囲の樹幹および林床の優先種を横断面図に書き込んで作成した．ピット調査ではスコップを使って，深度 50～90 cm のピットを掘削し，層相記載を行った．また，各ピットで地表面から深度 10 cm 毎に熱特性計（DECAGON 社製 KD2）を用いて熱伝導率と地温の測定を行った．

#### 2. 地温の通年観測

モレーン頂面のハイマツ群落内で，地中温度の通年無人観測を実施した．2003 年 9 月 13 日に深さ 120 cm のボーリングを行い，このボーリング孔の深度 10，20，50，110 cm にサーミスタ温度センサ（T and D 社製，測定誤差 ±0.3 °C）を設置した．全ての温度センサをデータロガー（T and D 社製 TR-52）に接続し，1 時間間隔で 2003 年 9 月 14 日～2004 年 9 月 13 日の 1 年間観測を実施した．

### Ⅳ 結果

#### 1. 植生，土壌断面と永久凍土の分布

調査地のモレーンの北向き斜面にはミズゴケが広く分布する（以下，ミズゴケ分布地と呼ぶ）．ミズゴケ分布地にはカラマツやハイマツが点在

する（図 3A）．このカラマツの樹高は 10～15 m 程度，幹は直立せず傾いているものがほとんどである．

モレーン頂面にはハイマツが広く分布する（以下，ハイマツ分布地とよぶ）．このハイマツの樹高は 2 m 程度，胸高直径は太いもので 15 cm，林内を歩くのが困難なほど密生している．ハイマツの林床にはコケモモ，イソツツジが密生している．ミズゴケ分布地とハイマツ分布地の境界は林冠ギャップになっており，ギャップ部の林床には地衣類が分布している（以下，地衣類分布地と呼ぶ）．

南向き斜面にはダケカンバが分布する（以下，ダケカンバ分布地と呼ぶ）．ダケカンバの樹高は 15 m 程度，林床は薄いリター層に覆われる．

各ピットの層相をみよめる．ミズゴケ分布地のピット 9～12 では厚さ 20 cm 以上のミズゴケのマットが表層を覆う（図 3B）．ミズゴケ分布地ではピット 9 を除き深度 45～50 cm 以下に凍土が分布しているのを確認出来た．ピット 9 では凍土を直接確認出来なかったが深度 60，70 cm の地温がそれぞれ 0.3，0.2 °C と低く，地下に凍土の存在が示唆された（図 3c）．

ハイマツ分布地のピット 4～6 では表層が厚さ 10 cm 程度のリター層，その下層が厚さ 10～20 cm のコケモモやイソツツジの細根マット，更にその下層はシルト質砂層になっている（図 3B）．ハイマツ分布地ではミズゴケ分布地同様，深度 40～50 cm 以下に凍土が分布していた．

ダケカンバ分布地のピット 1～3 では，表層が薄いリター層や細根マット，その下層はシルト質砂層，さらにその下層には砂礫層が存在する（図 3B）．ピット 1，2，3 のピット底の地温はそれぞれ 3.0，7.3，5.0 °C と高く（図 3C），ダケカンバ分布地の地下に凍土は分布しない．

地衣類分布地のピット 7 では，地表面～深度

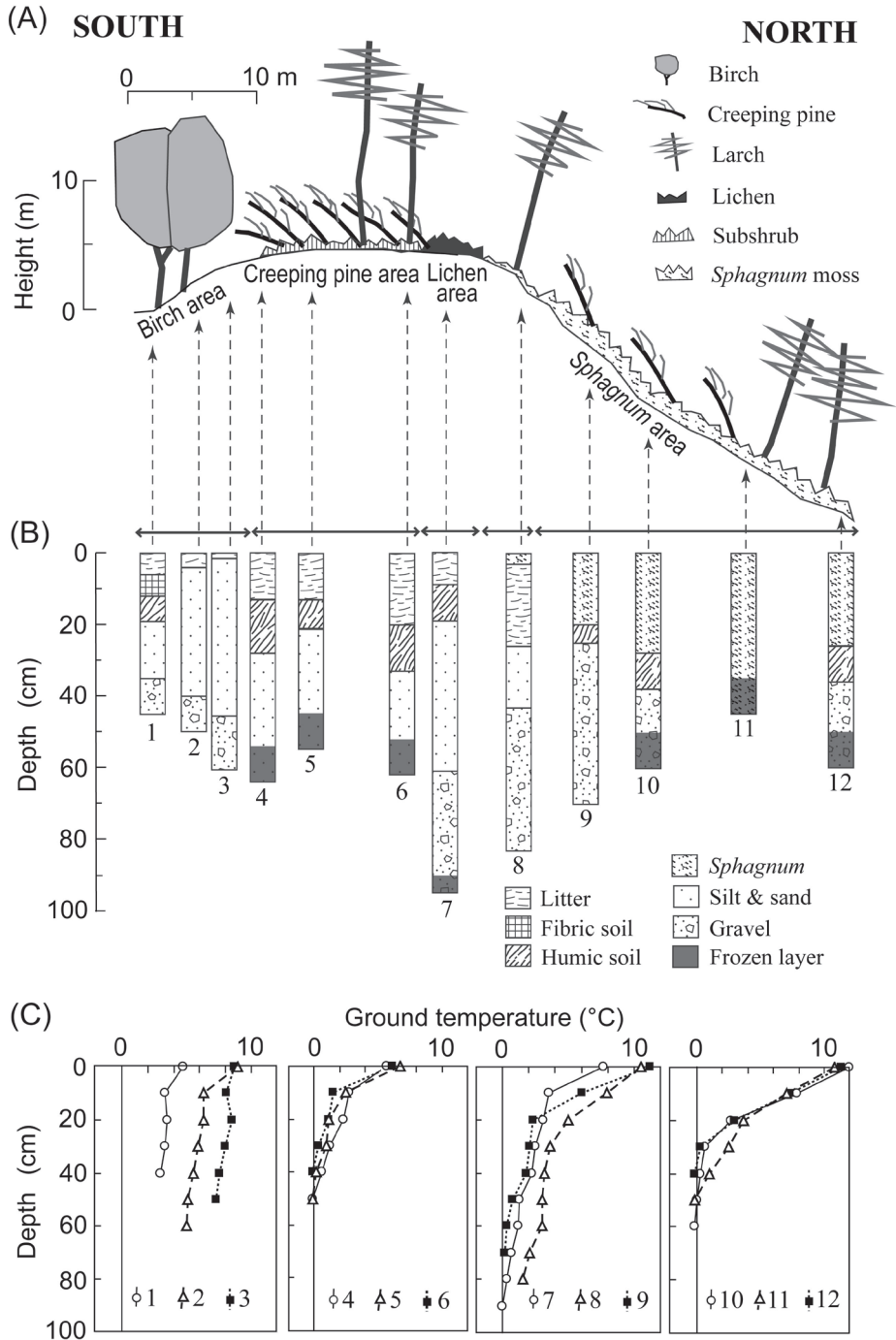


図3 調査モレーンにおける (A) 植生, (B) 土壌断面, (C) 地温プロファイル  
 観測は、2004年9月中旬に実施。植生分布の分類：Birch area（ダケカンバ分布地）、Creeping pine area（ハイマツ分布地）、Lichen area（ハナゴケ分布地）、Sphagnum area（ミズゴケ分布地）。  
 土壌断面の分類：Sphagnum（ミズゴケ層）、Litter（リター層）、Fibric soil（細根マツ層）、Humic soil（腐植土層）、Silt & sand（シルト質砂層）、Gravel（砂礫層）、Frozen layer（凍土層）。

10 cm まではリター層，深度 10～20 cm までは腐植層，深度 20 cm 以下はシルト質砂層からなる．地衣類分布地では深度 90 cm 以下で凍土を確認出来た（図 3B）．

## 2. 熱伝導率

各ピットのミズゴケ層，リター層，細根マット層，腐植土層，シルト質砂層，砂礫層の熱伝導率の平均値を図 4 に示す．もっとも熱伝導率が低かったのはリター層で平均 0.08 W/mK，ミズゴケ層も同様に低く平均 0.14 W/mK であった．細根マットの熱伝導率も低く平均 0.15 W/mK であった．

対照的に腐植土層やシルト質砂層，砂礫層の熱伝導率は高い．腐植土層の熱伝導率は平均 0.36 W/mK，シルト質砂層のそれは平均 0.46 W/mK，砂礫層のそれは平均 0.36 W/mK であった．

## 3. ハイマツ分布地での地中温度の季節変化

図 5A は 10 cm 深地温の日最高一日最低地温の年変化，図 5B は掘削時（2003 年 9 月 13 日）のボーリング地点の柱状図と地中温度の年変化を示す．掘削時のボーリング地点の層相は以下の通りである．地表面～深度 20 cm はリター層，深度 20～40 cm は腐植土層，深度 40～110 cm は凍結したシルト質砂層，深度 110 cm 以下は凍結した砂礫層である．腐植土層とシルト質砂層との境界および深度 51 cm 付近には厚さ 1 cm ほどのアイスレンズがみられた．（図 5B）．

次に地温の年変化をみてみる．10 cm 深地温は 2003 年 10 月上旬以降，0℃を前後するようになり（図 5A），10 月下旬には 0℃で一定で推移する．11 月中旬には -7℃まで急激に低下するものの，凍結の進行はリター層のある深度 20 cm 付近で抑えられており，深度 20 cm 以深にはゆっくりとしか進まない（図 5B）．12 月中旬以降になると凍結は地下深部まで急速に進む．深度 110 cm の地温は 1 月上旬 0℃だった

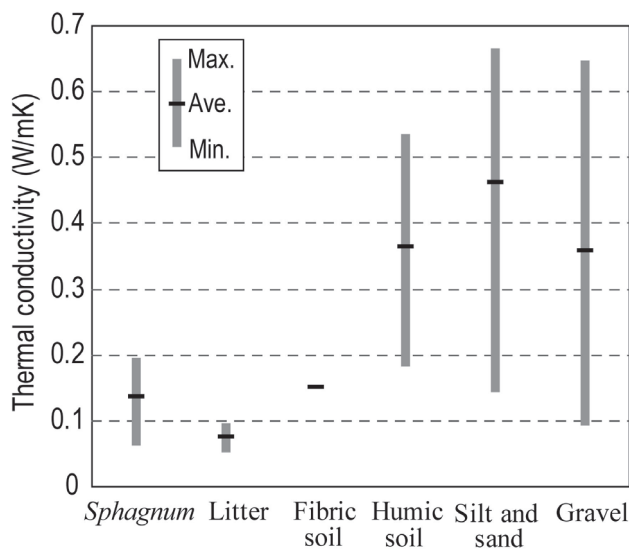


図 4 各ピットのミズゴケ層 (*Sphagnum*)，リター層 (Litter)，細根マット層 (Fibric soil)，腐植土層 (Humic soil)，シルト質砂層 (Silt and sand)，砂礫層 (Gravel) の熱伝導率



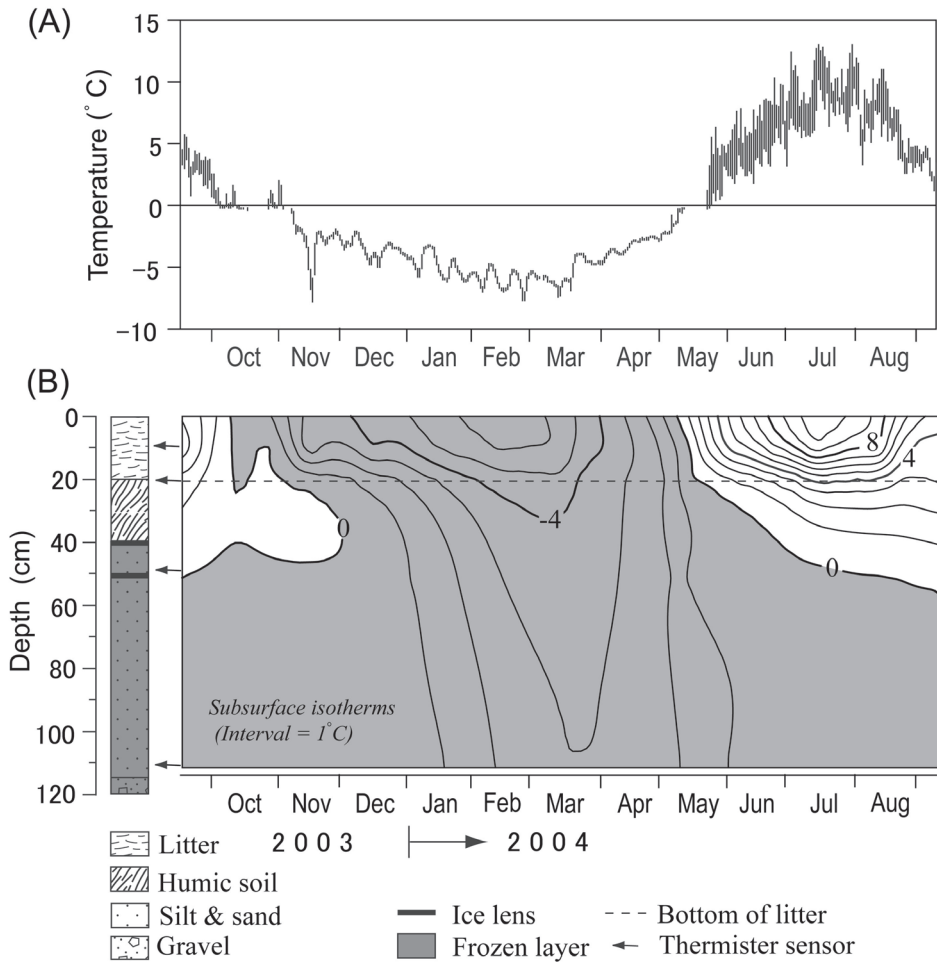


図5 ハイマツ分布地での2003年9月14日～2004年9月13日の地温変化  
 (A) 10 cm 深地温の日最高一日最低地温の年変化. (B) 地温観測点の柱状図と地中温度の年変化. 陰の部分は凍結層を示す.

のが、2月下旬には $-2.5^{\circ}\text{C}$ まで低下した。

10 cm 深地温は2004年5月中旬に $0^{\circ}\text{C}$ まで上昇し、そのまま一定で推移した以降プラスになる(図5A)。地中温度も5月中旬以降プラスになり地面の融解が進行する。しかし、地中温度の上昇はリター層の存在する深度20 cmまでで抑えられており、深度20 cm以深では地温上昇が著しく緩やかになる。このため、地温が最も高くなる7月中旬になっても地面の融解は深度40 cm程度に抑えられている。8月中旬以降になると地温が低下しはじめ、地面の融解はほ

とんど進まなくなる。

また、10 cm 深地温は2003年11月～2004年5月にかけての約7ヶ月間、日較差がほとんどなくなる(図5A)。このことからボーリング地点はこの期間、数cm程度の積雪に覆われていることが予想される。

## V 考察

ピット調査の結果、本調査地ではミズゴケ層と厚いリター層や細根マット層を林床に持つ

ハイマツ分布地で凍結層の存在を確認出来た。ピット調査を行ったのは9月上旬である。ハイマツ分布地での通年地温観測の結果, 本調査地では8月中旬以降地温が低下しはじめ地面の融解がほとんど進まなくなることから, ピット調査で確認された凍結層は, 越年する可能性が非常に高い。したがって, これらの凍結層は永久凍土であると考えられる。

乾燥したミズゴケ層は高い断熱効果を持つため, 夏季に凍結層を効果的に保護し, その下層に永久凍土を保持することは多くの研究者によって支持されている (例えば Williams and Smith, 1989)。今回, リター層や細根マットの熱伝導率を測定した結果, ミズゴケ層と同程度の低い熱伝導率であることが分かった。つまり, リター層と細根マットの断熱効果はミズゴケのそれに匹敵するといえる。

ハイマツ分布地での地中温度観測の結果, 融解進行期にあたる2004年5~8月に, リター層より下層の20 cm深以深では地温上昇が抑えられ凍結層の融解が抑制された。このことはリター層の断熱効果が, 実際に夏季の地温上昇を大きく抑制し, 永久凍土の保持に大きく寄与していることを裏付けている。したがって, 本調査地では, リター層や細根マット層など林床の有機物層の存在が永久凍土の分布を可能にしているといえる。もし, 山火事が発生して林床の有機物層が破壊された場合, 有機物層の断熱効果が無くなるために, 永久凍土の大規模な融解を引き起こす恐れがある。

## VI 結論

本研究ではハイマツ林, ダケカンバ林でピット調査や有機物層の熱伝導率の測定, 地温の通年観測を行い, 林床の有機物層が地温や永久凍土に与える影響について検討した。その結果,

以下のことが分かった。

1. 本調査地では, ミズゴケ分布地や林床に厚いリター層や細根マット層を持つハイマツ分布地に永久凍土が分布する。
2. リター層や細根マット層の熱伝導率は0.1 W/mK前後とミズゴケ層のそれと同程度である。
3. ハイマツ分布地での地温の通年観測の結果, 表層にあるリター層より下層では, 地温上昇が抑えられ凍結層の融解が抑制された。このことからリター層の断熱効果が, 実際に夏季の地温上昇を大きく抑制し, 永久凍土の保持に大きく寄与していることが示された。

## 謝辞

著者を研究の世界に導いていただいた小泉武栄先生に感謝いたします。今後も大勢の人が感銘をうける良い本を執筆なさることを楽しみにしています。

## 文献

- Kondratyuk, V. I. (1974): *Klimat Kamchatki (Climate of Kamchatka)*. Gidromereozdat, Moscow.
- Sone, T, Yamagata, K. and Muravyev, Y. D. (1997): Glacial and periglacial landforms along the Bystraja river of Esso, Central Kamchatka. *Cryospheric Studies in Kamchatka*, 1, 1-9.
- Viereck, L.A. (1982): Effects of fire and firelines on active layer thickness and soil temperatures in interior Alaska. In *Proceedings of the 4th Canadian Permafrost Conference, The Roger J. E. Brown Memorial Volume*, National Research Council of Canada, 123-134, Ottawa.
- Williams, D. J. and Burn, C. R. (1996):

Surficial characteristics associated with the occurrence of permafrost near Mayo, central Yukon Territory, Canada. *Permafrost and Periglacial Processes*, 7, 193-206.

Williams, P. J. and Smith, M. W. (1989): *The Frozen Earth*. Cambridge University Press: Cambridge.

## **Relation between Discontinuous Permafrost and Vegetation Cover in Central Kamchatka, Russian Far East**

**FUKUI Kotaro<sup>1</sup>, SONE Toshio<sup>2</sup>, YAMAGATA Kotaro<sup>3</sup>,  
SAWADA Yuki<sup>4</sup> and Bakalin VALENTINA<sup>5</sup>**

**Keywords:** permafrost, thermal conductivity, *Pinus pumila*, *Betula ermanii*, Kamchatka

1 Tateyama Caldera Sabo Museum, 2 Institute of Low Temperature Science, Hokkaido Univ.,

3 Joetsu University of Education, 4 Fukuyama City Univ., 5 Russian Academy of Sciences