

九州大学北海道演習林の異なる斜面方位における気温，積雪深，地温の経時変化

智和，正明
九州大学大学院農学研究院環境農学部門森林環境科学講座

中村，琢磨
九州大学農学部附属演習林

<https://doi.org/10.15017/3051275>

出版情報：九州大学農学部演習林報告. 101, pp.7-11, 2020-03-27. 九州大学農学部附属演習林
バージョン：
権利関係：

九州大学北海道演習林の異なる斜面方位における気温、積雪深、地温の経時変化

智和正明^{*1}, 中村琢磨²

九州大学北海道演習林の北向斜面と南向斜面において気温、積雪深、地温の連続測定を4冬季(2014年-2018年)にわたって行った。地温は深さ0~45cmにおいて8深度で計測し、土壤凍結深度を地温の鉛直プロファイルから判断した。日平均気温は南向斜面よりも北向斜面で平均0.4°C程度低かった。積雪は両斜面とも日平均気温が氷点下に転じた日以降に始まり、積雪直後は両斜面で積雪深に違いはなかった。しかし、南向斜面では融雪速度が速いため、その後の積雪深は南向斜面で浅く、積雪の消失日は南向斜面で10~15日ほど早かった。土壤凍結は、日平均気温が氷点下に転じた後に開始された。土壤凍結の開始前に積雪が生じると、土壤凍結の開始が1ヶ月程度遅れた。土壤融解は両斜面とも日平均気温が氷点を上回る前に起こり、北向斜面では積雪消失時期の半月以上前に土壤融解が開始される年もあった。最大土壤凍結深度は年変動するものの、北向斜面、南向斜面でそれぞれ15-35cm程度、南向斜面で0-25cm程度であり、南向斜面のほうが浅かった。

キーワード: 土壤凍結, 気温, 積雪, 斜面方位

Air temperature, snow depth, and soil temperature on the north- and south-facing slopes of Ashoro Research Forest, Kyushu University Forest, were continuously measured over the four winter seasons from 2014 to 2018. Soil temperature was measured at eight depths from 0 cm to 45 cm depth and soil frost depth was evaluated from vertical profile of soil temperature. Mean daily air temperature was 0.4 °C lower on the north-facing slope than on the south-facing slope. Snow accumulation began after the day when mean daily air temperature was below the freezing point and the snow depth did not differ between north- and south-facing slopes just after the beginning of snow accumulation. However, the snow depth decreased on the south-facing slope more rapidly than on the north-facing slope due to rapid snow melting on the south-facing slope, causing 10-15 days faster for melting away of snow on the south-facing slope than on the north-facing slope. Soil frost began after the day when mean daily air temperature was below the freezing point. The start of soil frost was delayed about one month when the snow accumulation started before the start of soil frost. Soil melting occurred mostly on the day or a few days before when mean air temperature rose up over a freezing point. However, the soil melting on the north-facing slope in 2016 and 2017 began more than half a month before melting away of snow. Although annual maximum depth of soil frost varied, the depth was shallower on the south-facing slope (0-25 cm) than on the north facing slope (15-35 cm).

Key words: Soil frost, air temperature, snow accumulation, slope direction

1. はじめに

北海道十勝および釧路地方は少雪厳寒地域であり、土壤凍結が起こりやすい地方である。土壤凍結によって表土流亡による農業被害(溝口・矢吹 2002)や道路法面における凍上害(武田ら 2002; 宗岡ら 2004)が報告されている。一方で、近年は過去30年間で積雪増加時期が早まることによって土壤凍結深度が減少する結果、収穫から免れて畑地に残留したジャガイモが発芽することによる農業被害が報告されている(広田 2008)。森林域では、土壤凍結で根系からの吸水が抑えられた状態で大気飽差による蒸散が促進されると、樹体内の水が失われ、アカエゾマツが枯損することが指摘されている(小林ら 2004)。また、土壤中で凍

結・融解を繰り返すことでリターや土壌の分解が促進され、森林土壌の窒素無機化に影響を与えることも報告されている(Hishi *et al.* 2014)。さらに、土壤凍結層に蓄えられた水は表層から融解した表水が深層の凍結土層上を移動するため、土壤融解は土壤侵食(佐藤 1973)河川水質(Chiwa *et al.* 2015)に影響を与えることが報告されている。

これまで土壤凍結に関する研究は平地である農地で主に行われており(土谷・松田 1984; 広田 2008; 溝口・矢吹 2002)、異なる斜面方位を有する森林域での観測は少なかった(小林ら 2004)。気温、積雪深は土壤凍結の重要な気象要因であるが、斜面方位が異なると気温(宗岡ら 2004)や積雪深(宗岡ら 2004; 阿部 2007)も異なることが報告されている。このため、森林域で異なる斜面方位において気温、

Chiwa, M*, Nakamura, T.: Temporal variation of air temperature, snow depth, and soil temperature at different slopes of Ashoro Research Forest, Kyushu University.

* 責任著者 (Corresponding author) :E-mail: mchiwa@forest.kyushu-u.ac.jp 〒 089-3705 北海道足寄郡足寄町北5条1-85

¹ 九州大学大学院農学研究院環境農学部門森林環境科学講座

Division of Forest Environmental Sciences, Department of Agro-environmental Sciences, Faculty of Agriculture, Kyushu University

² 九州大学農学部附属演習林

University Forest, School of Agriculture, Kyushu University

積雪深、地温の観測を行うことは森林域における土壤凍結過程を検討する上でも重要である。

そこで本研究は、土壤凍結が観測される九州大学北海道演習林において、斜面方位の異なる北向斜面と南向斜面において気温、積雪深、地温の連続測定を4冬季にわたって行った。

2. 方法

2.1. 調査地

観測は北海道十勝地方に位置する足寄郡足寄町で行った。足寄町における年間降水量、年平均気温は1979年から2018年でそれぞれ平均821mm【最低505mm(1984年)、最高1169mm(2016年)】、5.9°C【最低4.7°C(2001年)、最高7.2°C(2015年)】である。鈴木ら(2017)によると十勝地方は太平洋側地域に分類され、北海道の中では積雪深が浅い地域である。足寄郡足寄町では気象庁による積雪深の計測は行われていないが、足寄町から南西約25kmに位置する本別町で1985年から計測されている。その結果によると、最大積雪深は1985年から2018年で平均46cm(最小-最大15-94cm, 標準偏差18cm)であり、札幌における同期間の最大積雪深(平均98cm, 最小-最大69-145cm, 標準偏差20cm)と比較すると約半分程度である。

観測地点は九州大学北海道演習林の上ワシップ小川の流域内の北向斜面(地点1)と南向斜面(地点2)である(図1)。北向斜面と南向斜面の標高はそれぞれ330m, 385m, 斜面方位はそれぞれ北北東, 南西, 傾斜角はそれぞれ18°, 23°である。観測地点は両地点とも森林内であり、地表はミヤコザサ(*Sasa nipponica*) (高さ約50cm)で覆われ

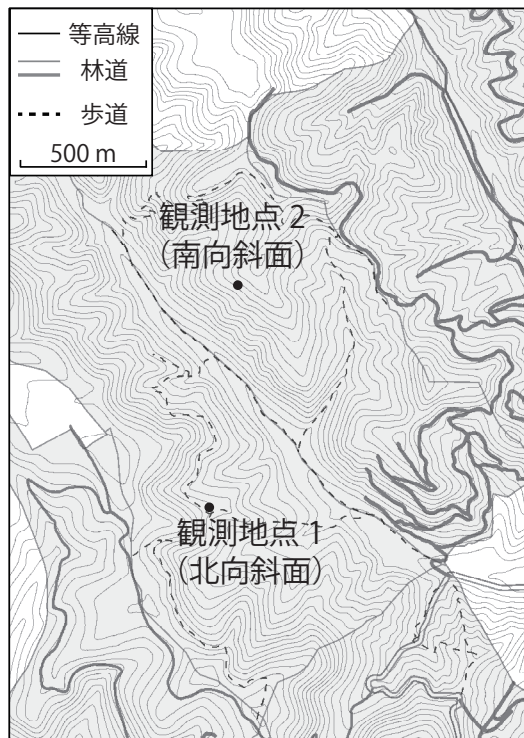


図1 観測地点(北向斜面, 南向斜面)。

ている。森林上層は、北向斜面にはオオバボダイジュ(*Tilia maximowicziana*)、エゾイタヤ(*Acer pictum* subsp. *mono*)、アサダ(*Ostrya japonica*)が、南向斜面にはミズナラ(*Quercus crispula*)が優占している。

2.2 観測方法

観測は2014年10月から2018年5月にかけて行った。このため、積雪から融雪までの期間の4冬季分のデータが得られた。しかし、南向斜面では、観測項目によっては欠測があるため、4冬季分のデータは得られなかった。

観測項目は、気温、積雪深、地温である。気温は、北向斜面では温湿度センサー(S-THB-M002, Onset)を用い、南向斜面では小型防水温度データロガー(TR-52, T & D)を用いて高さ2mにセンサーをソーラーラジエーションシールド(RS3, Onset)内に設置し、10分ごとに記録した。積雪深の計測は、自動撮影装置を用いた目視によって行った。すなわち、各観測地点に約2m×2mのプロット内に高さ2mの園芸支柱を地面に垂直に3本立て、自動撮影装置(WSCA04, Wingscapes)を用いて1日に3回(9時, 12時, 15時)撮影し、記録された画像から目視で5cm間隔で積雪深を記録した。地温は、0cm, 5cm, 10cm, 15cm, 20cm, 25cm, 35cm, 45cmの8深度でT熱電対を用いて10分ごとに記録した。

3. 結果と考察

3.1. 気温

図2aに南向斜面および北向斜面における2014年から2018年までの日平均気温の経時変化を示す。日平均気温は冬季に-10°C程度まで下がり、夏季に20°C程度まで上昇する季節変化が南向斜面と北向斜面の両斜面で観測された。このような日平均気温の季節変化は北海道演習林内の

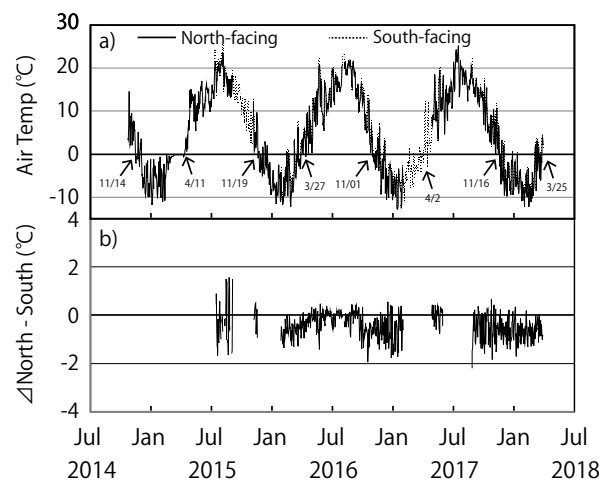


図2 北向斜面および南向斜面におけるa) 日平均気温の経時変化(北向斜面:実線, 南向斜面:点線)とb) 観測地点間の日平均気温差(Δ南-北)の経時変化。欠測期間(北向斜面:2015/9/4-2015/11/4, 2016/8/1-8/4, 2017/1/30-2017/4/25, 南向斜面:-2015/7/9, 2015/11/18-2016/1/26, 2017/5/31-8/24)。

別地点で観測されている日平均気温とほぼ同程度であった (Chiwa *et al.* 2015)。

南向斜面と北向斜面の日平均気温の差 (Δ (北-南)) を図 2b に示す。欠測があるものの、北向斜面の方が平均 0.4°C 程度低くなる傾向が見られた。これは、北向斜面の斜面方位が北であるために、日射量が南向斜面と比べて小さいためと考えられる。宗岡ら (2004) は冬期の平均気温が南向斜面と比べて北向き斜面で $0.7 - 1.3^{\circ}\text{C}$ 程度低いことを報告している。

日平均気温が氷点下に転じる日は、2014 年から 2017 年にかけては 11 月上旬から中旬に起こり、氷点を上回る日は 3 月下旬から 4 月上旬に起こることが分かった (図 2a)。さらに、これらの日は南向斜面と北向斜面で同日に起こっていた。これは、南向斜面と北向斜面の日平均気温の差が平均で 0.4°C 程度で比較的小さいためと考えられる。

3.2. 積雪深

南向斜面および北向斜面における 2014 年から 2018 年までの 4 年間の積雪深の経時変化を図 3a に示す。本観測地における最大積雪深は、2014 - 2015 年、2015 - 2016 年、2016 - 2017 年、2017 - 2018 年でそれぞれ約 90cm, 40cm, 40cm, 80cm であった。北海道演習林から南西に約 25km 離れた本別気象台における最大積雪深は、観測が開始された 1986 年から 2018 年の 22 年間に於いて 15 - 94cm の範囲であり、平均 46cm であった。これらの値を比較すると、本研究で観測を行った 2014 - 2015 年と 2017 - 2018 年は最大積雪深が平年よりも多い観測年で、2015 - 2016 年と 2016 - 2017 年は平年並みの観測年と考えられる。

北海道における積雪深は、太平洋側地域で少なく、日本海側で多い空間分布を示すことが知られており (例えば、鈴木ら 2017)、1992 年から 2016 年における太平洋側地域の積雪深の中央値は 66 cm (最小 34cm - 最大 135cm)、日本海側南部は 106cm (最小 67cm - 最大 259cm) であることが報告されている (鈴木ら 2017)。これらの値と比較す

ると本観測地における積雪深は北海道のなかでは低い地域である。

積雪は日平均気温が氷点下に転じた日以降に始まっており、積雪と気温との密接な関係がみられた。ただし、2014 年は日平均気温が氷点下に転じた日は 11 月 4 日であったのに対して、積雪が始まった日は 12 月 17 日とかなり遅れて積雪が始まった。これは 11 月 4 日以降に日平均気温が氷点を上回る日があり、日平均気温が氷点を上回った 12 月 1 日に降雨があったためである。その日以降、日平均気温は氷点下に転じ、12 月 17 日にまとまった降雪があった。

南向斜面と北向斜面で積雪深を比較すると (図 3a)、北向斜面で積雪深が多い傾向にあった。積雪が始まった日は南向斜面と北向斜面でほぼ同時であるが、積雪の消失日は南向斜面で 10 日から 15 日ほど早かった (図 3a)。その理由は、降雪量は南向斜面と北向斜面で同じでも、南向斜面で積雪の減少速度が速いためと考えられた。

積雪深の南向斜面と北向斜面の差の経時変化を図 3b に示す。南向斜面の積雪深が北向斜面よりも積雪が始まった時期に大きくなることもあるものの、それ以外は北向斜面のほうが 10cm 程度積雪深が大きくなっており、融雪期にその差が大きくなり、最大で 40cm 程度に達することが分かった。このことは、積雪深は同じ地域であっても斜面方位の違いによって大きく異なることを意味している。このような斜面方位の違いによる積雪深の違いは、他の研究でも報告されており、南向斜面は北向斜面に比べ、積雪深は浅く (宗岡ら 2004; 阿部 2007)、積雪期間も短い (宗岡ら 2004)。これは全天日射量が斜面方位で異なることに起因している (宗岡ら 2004; 阿部 2007)。

3.3. 地温

3.3.1 土壌凍結

図 4 に北向斜面と南向斜面における深さごとの日平均地温の経時変化を示す。地温 0°C 以下が土壌凍結していることを示している。積雪前に日平均気温が氷点下に転じると比較的早期に土壌凍結が起こることが分かった。2016 年は日平均気温が氷点下に転じる日が早く、土壌凍結も早かった (図 4)。したがって、積雪前に気温が氷点下に転じると、表層土壌も冷やされやすく、その結果、土壌凍結することが分かった。

一方で、日平均気温が氷点下に転じても、その後積雪が起こると、土壌凍結の開始時期が遅れることが分かった。例えば 2015 年は両斜面で土壌が凍結する前に積雪が起き (11/24)、その約 1 ヶ月後に土壌凍結が開始された (12/20)。このように、積雪の時期は土壌凍結の開始時期に大きく影響を与える可能性があることが分かった。

3.3.2 土壌融解

表層土壌の凍結開始時期は気温と密接な関係を示していたが、表層土壌の融解開始時期の多くは、日平均気温が氷点を上回る前に起こっていた (表 1)。表層土壌の融解開始時期は、両斜面とも積雪消失日より数日前か同日である

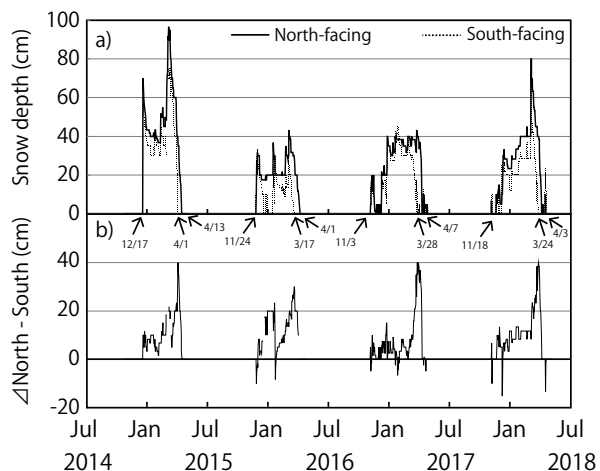


図 3 北向斜面および南向斜面における a) 積雪深度の経時変化 (北向斜面: 実線, 南向斜面: 点線) と b) 観測地点間の積雪深度差 (Δ 南-北) の経時変化。

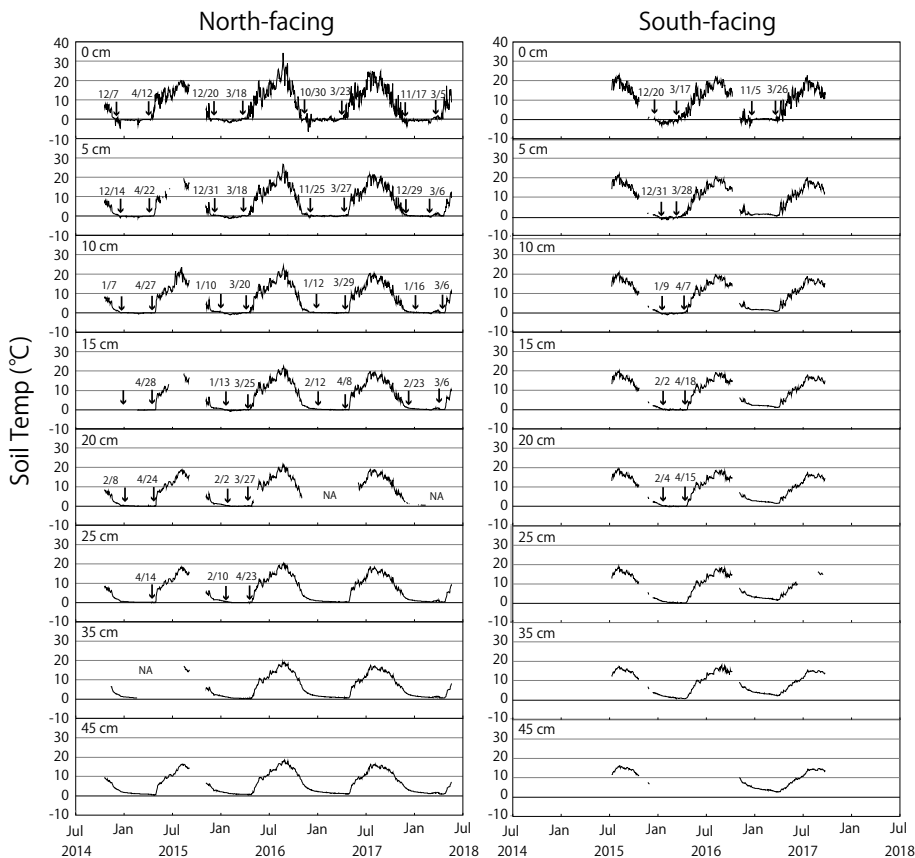


図4 北向斜面および南向斜面における地温（深さ0, 5, 10, 15, 20, 25, 35, 45cm）の経時変化。

ことがあった（表1）。しかし、北向斜面では積雪消失日のかなり前に土壤融解が開始されている年があり（表1）、積雪消失日の半月以上前に表層土壤の融解が開始されていた。

3.3.3 土壤凍結深度

表2に地温の鉛直プロファイルで判断された北向斜面、南向斜面における最大土壤凍結深度を示す。土壤凍結深度は観測年で変動するが、北向斜面で15 - 35cm程度、南向斜面で0 - 25cm程度であった。農地における最大土壤凍結深度は北海道演習林から南西に約80km離れた帯広市音更町の裸地土壤で約50cm（土谷・松田1984）、群馬県のキャベツ畑で18cm（溝口・矢吹2002）、十勝地方芽室町に

おける20年間の計測で5 - 60cm（広田2008）との報告されている。これらの報告値と比較すると、本研究における土壤凍結深度は従来の平地における土壤凍結深度の観測結果とほぼ同程度であった。森林域では、小林ら（2004）が北海道演習林において、高さ2m程度のアカエゾマツ苗木が1.8m間隔で植栽されている北東向斜面および南西向斜面で、2002年11月から2003年5月にメチレンブルー法によって土壤凍結深度の計測を行っている。その結果、最大土壤凍結深度は北東向斜面、南西向斜面でそれぞれ約50cm, 40cmであった。本研究結果と比べて最大土壤凍結深度が深いのは、植栽されたアカエゾマツの高さが2m程度と低いために、接地気温の緩衝が小さかったためと考えられる。

表1 北向斜面および南向斜面における融解開始日、気温プラス転換日、積雪消失日

年	北向斜面			南向斜面		
	融解開始日	気温プラス転換日	積雪消失日	融解開始日	気温プラス転換日	積雪消失日
2015年	4/12	4/11	4/13	-	-	-
2016年	3/18	3/27	4/1	3/17	3/27	3/17
2017年	3/23	4/2	4/7	3/26	4/2	3/28
2018年	3/5	3/25	4/3	-	-	-

表2 北向斜面および南向斜面における最大土壤凍結深度 (cm)

	北向斜面	南向斜面
2014-2015年	20-25	NA
2015-2016年	25-35	20-25
2016-2017年	15-25	0-5
2017-2018年	15-25	NA

最大土壤凍結深度は南向斜面で浅かった。この結果は、小林ら (2004) による結果 (北東向斜面 50cm, 南西向斜面 40cm) と一致している。地温は微地形の影響を受け、斜面方位で異なることが知られている (山下ら 1978)。斜面方位による違いは気温よりも地温のほうが大きく、帯広市音更での人工斜面を対象とした計測では、南向斜面では北向斜面よりも冬期の平均地温が 4℃ほど高い傾向にあったことが報告されている (宗岡ら 2004)。彼らは、その理由として、全天日射量が斜面方位で異なることを挙げている。本研究でもこのことが南向斜面で土壤凍結深度が浅い原因であると考えられる。

謝辞

本研究の一部は文部科学省科学研究費補助金 17H03833 (代表：智和正明) の助成を受けて行われた。

引用文献

- 阿部孝幸 (2007) 人工台地を利用した 4 方位の斜面積雪の同時比較観測. 雪氷 69: 501-505
- Chiwa M, Inoue S, Tashiro N, Ohgi D, Uehara Y, Shibata H, Kume A (2015) Assessing the role of forests in mitigating eutrophication downstream of pasture during spring snowmelt. *Hydrological Processes* 29: 615-623
- 広田知良 (2008) 北海道・道東地方の土壤凍結深の減少傾向および農業への影響. 天気 55: 548-551
- Hishi T, Urakawa R, Tashiro N, Maeda Y, Shibata H (2014) Seasonality of factors controlling N mineralization rates among slope positions and aspects in cool-temperate deciduous natural forests and larch plantations. *Biology and Fertility of Soils* 50: 1-14
- 小林元・田代直明・作田耕太郎・扇大輔・岡野哲郎 (2004) 九州大学北海道演習林の北東斜面と南西斜面におけるアカエゾマツ若齢木の成長と光合成 - 積雪および季節凍土との関連 -. 北海道の林木育種 47: 23-26
- 溝口勝・矢吹裕伯 (2002) 積雪寒冷地における地温変化と土壤の凍結融解過程. 農業土木学会誌 70: 321-324
- 宗岡寿美・土谷富士夫・辻修・武田一夫 (2004) 冬期の気象環境が斜面の積雪・凍結に及ぼす影響. 雪氷 66: 217-226
- 佐藤裕一 (1973) 土壤の凍結融解と侵食について. 農土論集 44: 28-33
- 鈴木啓明・山口高志・野口泉 (2017) 北海道における冬季気温と積雪水量の関係. 環境科学研究センター所報 7: 25-32
- 武田一夫・土谷富士夫・宗岡寿美・伊藤隆広 (2002) 寒冷少雪地域における道路法面の凍上害 - 凍結深さと凍上害に及ぼす法面方位の影響 -. 日本緑化工学会誌 28: 8-13.
- 土谷富士夫・松田豊 (1984) 畑地の土壤凍結について - 寒冷地域における冬季の農地工学的研究 (I) -. 農業土木学会論文集 110: 51-57

山田知充・西村寛・水津重雄・若浜五郎 (1978) 大雪山旭岳西斜面における積雪の分布と堆積・融雪過程. 低温科学 37: 1-12

山下孔二・小柳正弥・内藤ふみ・朝倉啓爾 (1978) 山地斜面における地温日変化について. 地理学評論 51: 245-255

(2019年9月26日受付：2020年2月3日受理)