

# 東北海道における火山灰土の凍結と融解

## I. 畑地土壌の凍結状況の季節変化

竹 内 典 之

Studies on the freezing and thawing of the volcanic ash soils  
in eastern Hokkaido

I. The seasonal aspects of the soil freezing and thawing in a  
plowed field

Michiyuki TAKEUCHI

### 要 旨

火山灰地帯における畑地土壌の凍結状況に関する観察結果を報告し、観察結果から得た自然積雪下での最大凍結深度の推定方法について述べる。観測は、根釧内陸部（東北海道）の標茶町に所在する京都大学農学部附属北海道演習林の苗畑において1975～76, 1976～77, 1977～78および1978～79年の冬季に行った。観測地点の海拔高は、約25mである。観測結果は次のとおりである。

- 1) 日最低気温が氷点下になると（10月下旬）、地表面に霜柱が発生した（第3図）。
- 2) 季節凍土は、11月下旬あるいは12月上旬に始まり、第1, 第2, 第3年度には4月下旬に、また、第4年度には5月中旬に完全に消失した（第2表および第4図）。
- 3) 最大凍結深度は、いずれの年度も3月上旬に発生し、それぞれ32.5cm, 48.0cm, 44.0cm, 54.5cmであった（第2表）。
- 4) 季節凍土の期間は、第1年度の143日間から第4年度の179日間までさまざまであった。
- 5) 凍土層の融解は、まず積雪下で地下部から始まり、根雪の終日以後は地表面からも進んだ（第4図）。
- 6) 凍土層の融解は、地中の凍土層が完全に消失するまで、凍土層の上下両面から進んだ。
- 7) 積雪が15cm以上になると、凍結の進行速度は極端に小さくなった（第4図）。
- 8) 自然積雪下での最大凍結深度は、

$$X_{\max} = 2.6 \sqrt{F(15)}$$

ここで、 $F(15)$ は、積雪15cm深日までの積算寒度値である  
によって推定することができる。

### はじめに

寒気の襲来や放射冷却によって熱放散が促進され、地表面が結氷点以下の温度になると土の間引き水が凍る。これが土の凍結 Soil Freezing とよばれる現象である。また、凍結した土は凍土 Frozen Soil or Frost, 凍土と未凍土の境界は凍結前線 Frost Front という。地表面温度が

氷点下に保たれると、凍結前線は徐々に地中に侵入し、凍土の厚さが増大する。

北海道など寒冷な地方では、冬季間土が凍結することによってさまざまな現象が引き起こされる。農林業もこれらの現象の影響を強く受け、たとえば、作業期間の制約や凍上害・寒風害対策など温暖地域にはみられない数多くの技術的な問題が発生する。

土は凍結するとコンクリート状に硬化し、機械的強度が増大する<sup>2)</sup>。そのため、土の凍結期間中は、耕耘作業はほとんどできず、土木工事は非常に困難である。また、土の凍結現象は一種の地中乾燥となるため、寒風害など幼稚樹の乾燥害の原因ともなるといわれている<sup>2)3)</sup>。

一般に、土の凍結は、地面の盛り上がる「凍上」現象 Frost Heaving を伴う。凍上は、地中に生じた霜柱（アイスレンズ Ice Lens）によるもので、苗木の凍上害や道路・構造物の破壊の原因となる。とくに、表層土は、凍結の初期および融解期に凍結と融解を繰り返し、凍上の積算量が非常に大きくなる。そのため、根系の浅いトドマツやエゾマツなどの稚苗は、抜根・断根など凍上の被害を受けやすい。

春季、凍上した土が地表面から融解するとき、透水性の悪い凍土層が地中に残存するため、融雪や融凍による過剰水が融解層中に停滞し、融解層は著るしく不安定となり軟弱化する。融解期に急激な昇温や強い降雨があるとその傾向は強まり、泥濘化した表層土がわずかな傾斜でも流下するようになり、苗畑表層土の侵蝕の原因となる。

北海道東部地方とくにその内陸部は、冬季間寒気が厳しいうえに根雪がおそく積雪も少ないために、土の凍結に起因する被害が著るしい。また、この地方では、凍結が地下深くまで侵入するために、春季おそくまで地中に凍土層が残存し、苗畑作業の開始期が非常におくれる。

土壌凍結の様態や凍結深度・融解深度の季節変化など土壌凍結の実態を詳しく知ることは、上に述べたような育苗上の諸問題に対する対策をたてる際に重要である。筆者は、北海道東部地方の火山灰地帯における土壌凍結の実態を把握するための観測・研究をすすめている。本報告は、1975～76、1976～77、1977～78および1978～79年の4冬季間に得た凍結深度の観測結果を中心に苗畑土壌の凍結状況の季節変化についてとりまとめたものである。

## 1. 観測地の概要と観測項目 および観測方法

### 1) 観測地の概要

観測を行った京都大学農学部附属演習林北海道演習林（標茶区）の苗畑は、北海道川上郡標茶町字多和に所在し、釧路市の東北約45kmに位置する。北緯43°17′東経147°37′であり、海拔高は約25mである。土質は、釧路川の氾濫原の沖積砂の上に厚く堆積した摩周系の火山灰土である。

気象は、広大な根釧原野の内陸部に位置するためにやや内陸性の気候を呈する。冬季は、卓越する北西季節風が北海道の脊梁山脈を越えて吹くため、晴天の日が多く降水量は少ない（第1図参照）。

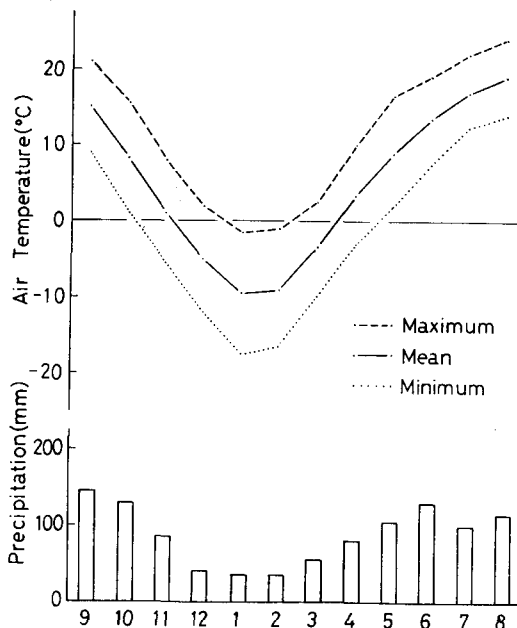


Fig. 1. Monthly air temperature and precipitation in Shibecha

## 2) 観測項目および観測方法

## a) 凍結深度

土の凍結の実態を把握するうえで凍結深度は最も基本的な要素であるにもかかわらず、その実測値は極めて少ない。それは、土が凍結するとコンクリート状に硬化し、堀削による測定が非常に困難なためであろう。しかし、近年は、堀削によらずに、透明管内の着色水を土中で自然に凍結させて、土の凍結に応じて凍結し脱色した氷柱の長さを測ることによって凍土層の位置と厚さを明瞭に知ることができる方法が、北海道大学低温科学研究所の凍上部門によって考案され使用されている<sup>4)</sup>。この方法によれば、凍結深度の時間的推移を容易に、しかも土を乱すことなく同一地点で観測することができる。同研究所凍上部門で開発された凍結深度計は、透明硬質樹脂(アクリル)管に、100ppm 程度の濃度のメチレンブルー水溶液を満したもので、凍結時の体積増を吸収するために中空の軟質管(ゴムまたはビニール)が中軸として挿入されている。矢作<sup>5)</sup>は、透明軟質管自体を指示部とすると共に、圧力抜きの効果をもたせることによって凍結深度計の製作、使用をさらに簡単にした。

筆者は、第1,第2年度は前者を、また、第3,第4年度は後者を製作し使用した。第2図は矢作が改良した簡易型の凍結深度計の構造を示したものである。

なお、いずれの凍結深度計の場合も、凍結深度の測定値は凍上量をも含み、融解深度の測定値は最大凍上地表面からの深さである。

## b) 積雪深

凍結深度の測定時に、凍結深度計の周囲で4~5ヶ所積雪深を測定し、それらを平均して求めた。

## c) 日平均気温

日最高および最低気温を平均して得た。

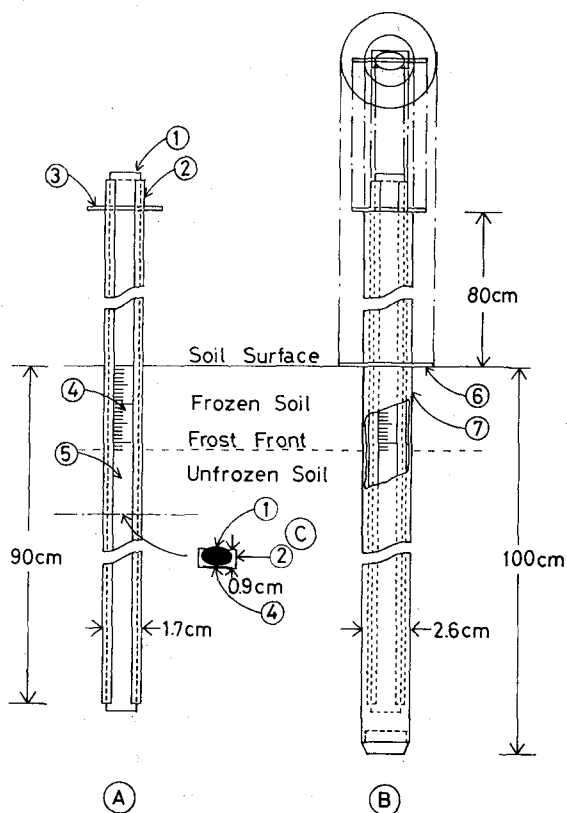


Fig. 2. Apparatus for measuring frost penetration

- (A) Measuring instrument (B) Vessel  
(C) Cross section of measuring instrument
- (1) Vinyl hose (transparent, diameter : 10mm)
  - (2) Plastics (incorporating measure to vinyl hose)
  - (3) Pin (setting measuring instrument to vessel)
  - (4) Measure (smallest graduation : 2 mm)
  - (5) Methylene blue (100ppm water solution)
  - (6) Plastics (supporter for fixing apparatus on soil surface)
  - (7) Vinyl chloride pipe (external diameter : 26mm internal diameter : 20mm)

## 2. 結果および考察

### 1) 畑地土壌の凍結状況の季節変化

十勝や根釧地方などの火山灰地帯においては、地表面温度が低下して土壌が凍結するとき、凍結に先がけて地表に霜柱が生成される。霜柱は、一夜に10cm近くまで成長することも珍らしくなく、霜柱の発生、成長しやすいことが火山灰土壌の特性の一つでもある。関東地方における赤城山の火山灰土やロームにたつ美事な霜柱は有名である。

霜柱の発生・成長の経過や条件などに関しては、中谷<sup>6)</sup>や自由学園自然科学グループなどによって多くの研究がなされている。それらによると、霜柱の成長の経過は、大体次のように考えられる。すなわち、地表面が結氷点まで冷却されると、地表近くで水の結晶が分離して外へのびでる。そうするとその部分の土壌は含水量が減るので、地中から水が毛細管現象によって補給される。その水がまた凍って析出するという現象が連続的に起こって、地中の水がどんどん吸い上げられて、氷の結晶となって押し出されてきて、長い霜柱となる。また、霜柱が成長するための熱的条件としては以下のように考えられる。すなわち、冬季には地表面より地中の方が高温であるために地熱が地中から地表面に向かって放出される。この地熱と毛細管現象によって供給された水が凍るときに放出される潜熱の熱量の和が、地表から放散される熱量と釣り合いがとれているかぎり霜柱が成長すると考えられる。しかし、地表面温度がある程度以下の温度に急激に冷却され放熱量が急増すると、地中からの水の供給が間に合わなくなり、熱収支が釣り合う深さまで土がコンクリート状に凍結する。同様のことが地中で繰り返されると霜柱とコンクリート状に凍結した土との互層ができる。この地中の霜柱層が地面の盛り上がる「凍上」現象をひき起こすのである。この地中の霜柱層の厚さは、凍結速度や水分状態などによってきまるとされている<sup>7)</sup>。

根釧地方とくにその内陸部では、晩秋から初冬にかけて晴天の日が多く夜間の放射冷却が著しい。そのため、10月下旬には最低気温が結氷点以下になる日が多くなり、霜柱が連日みられる

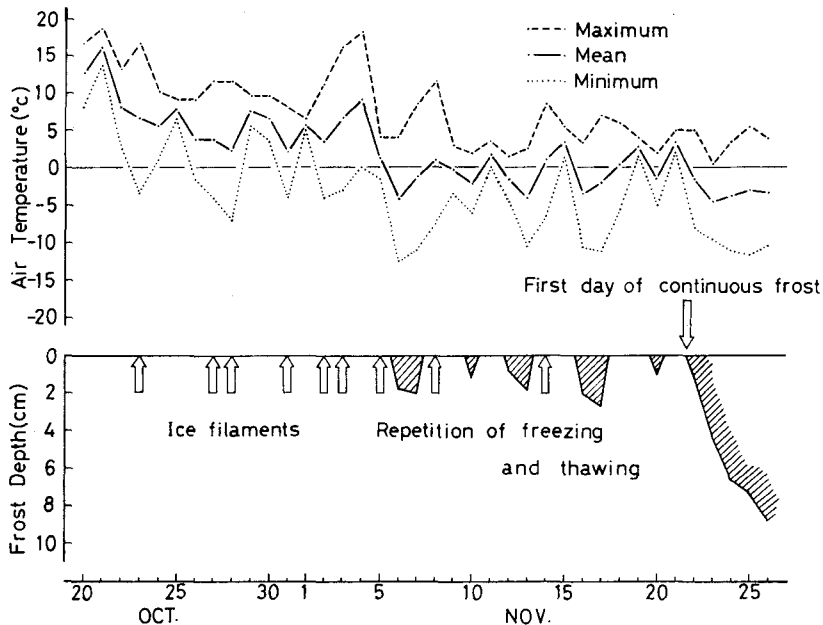


Fig. 3. Frost condition and air temperature, Oct. 20 to Nov. 26, 1976

ようになる。霜柱がたつような寒い夜に、明け方に寒気が強まって最低気温が $-10^{\circ}\text{C}$ 近くまで下がると（11月中旬から下旬）、霜柱の根元の土まで凍ってしまうこともある。凍結前線が少し地中に入るわけである。しかし、第3図に例示したように、この頃はまだ太陽放射が比較的強く日中の気温も高くなるので、しばらくの間は地表層が凍結と融解を繰り返す。この時期には、凍結時に地下から吸い上げられた過剰水によって、融解時には地表層が泥浄化する。また、霜柱や地表層の凍結と融解の繰り返しは、根系の浅いトマツやエドマツの稚苗の抜根・倒伏の被害の原因となる。

11月の下旬または12月上旬には、日平均気温が氷点下の日がほぼ継続するようになり、夜間に凍結した土壌層が日中に融解しきらなくなると、凍結前線が徐々に地中へ侵入を始め、凍土層厚が増大するようになる。その後の凍結侵入速度は、寒さの度合や根雪の時期・積雪の状態などによって異なるが、ほぼ3月上旬には最大凍結深度に達する。

凍土層の融解は、最大凍結深度到達の直後から、積雪下で、地熱によって凍土層の底部から始まる。地下部からの融解速度は、融解期間を通じてほぼ一定で、 $1\sim 2\text{mm}/\text{day}$ 程度である。3月中旬から4月上旬に根雪が消えると、地表面からの融解が始まる。融解初期には、まだ夜間の気温がかなり低くなるので、地表に霜柱がたったり地表層が再凍結するが、この頃には日射が強く日中の気温も比較的になるために、日毎に融解深度が深まる。地表面からの融解速度は、日射量や暖かさの度合によって異なるが、4月下旬から5月中旬には地中の凍土層が完全に消失する。

4 冬季間の土壌の凍結・融解に関する観測結果をとりまとめた第1表をみると、凍土の初日は

Table 1. Frost Penetration and Emergence

	1975-76	1976-77	1977-78	1978-79
First day of continuous frost	Dec. 2	Nov. 22	Dec. 2	Nov. 21
Maximum depth of frost penetration (Xmax) (cm)	32.5	48.0	44.0	54.5
Date of Xmax occurrence	Mar. 1	Mar. 9	Mar. 2	Mar. 1
Last day of continuous frost	Apr. 22	Apr. 21	Apr. 29	May 18
Duration of continuous frost (days)	143	151	150	179

それぞれ12月2日、11月22日、12月2日、11月21日であり、最大凍結深度は、32.5cm、48.0cm、44.0cmおよび54.5cm、また最大凍結深度到達日は、3月1日、3月9日、3月2日、3月1日であった。凍土の終日は、4月22日、4月21日、4月29日、5月18日であった。地中に連続して凍土が存在した期間は、それぞれ、143日、151日、150日、179日で、凍結初期の霜柱および表層土の凍結・融解の繰り返し期間をも含めると、実に半年以上も凍土が地中に存在していたことになる。

なお、ここで、凍土の初日 First day of continuous frost とは、ほぼ日平均気温が氷点下の日が継続するようになり、その冬季の最大凍結深度到達日まで凍土層が連続して地中に存在するようになりはじめた日であり、凍土の終日 Last day of continuous frost とは、地中の凍土層が完全に消失した日である。

## 2) 積雪が土壌の凍結に及ぼす影響

積雪の熱伝導率は小さく、密度  $0.1\text{g}/\text{cm}^3$  の新雪で  $0.04\text{Kcal}/\text{mh}^{\circ}\text{C}$ 、密度  $0.4\text{g}/\text{cm}^3$  のしまり雪で  $0.2\text{Kcal}/\text{m}^{\circ}\text{C}$  程度である。そのため、積雪でおおわれていると、地表面からの熱放散が著るしく妨げられ、積雪がある深さになると、地面から上方へ逃げ去る熱量が凍土の底面に供給

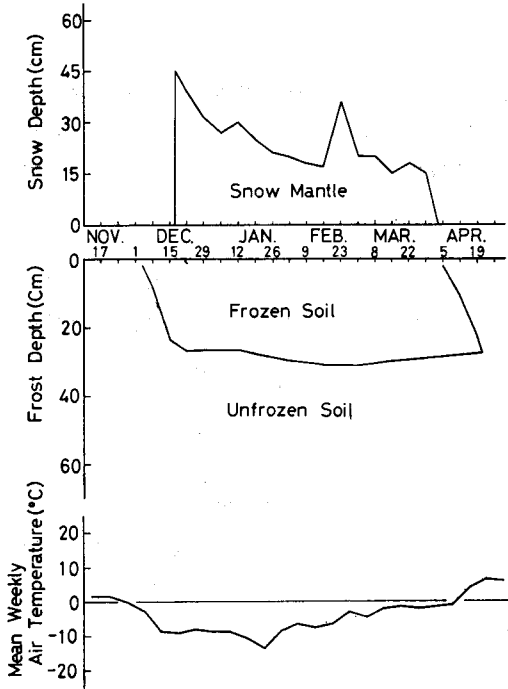


Fig. 4. (a) Depth of snow mantle, depth of frost, and mean weekly air temperature for season of 1975—76

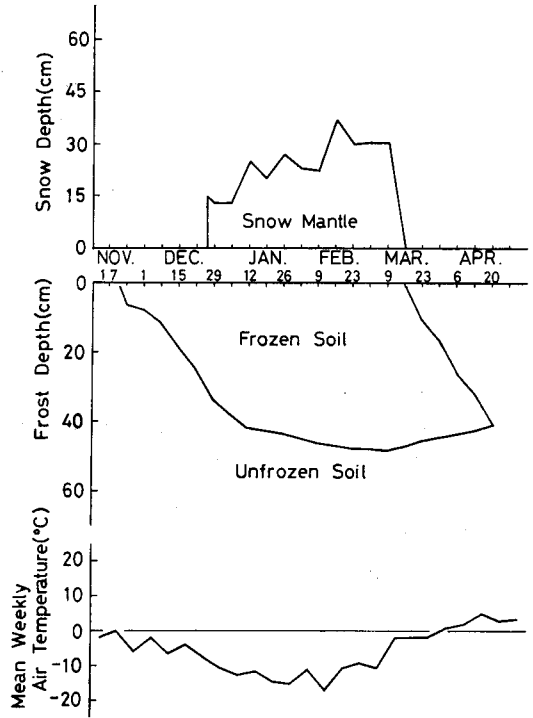


Fig. 4. (b) Depth of snow mantle, depth of frost, and mean weekly air temperature for season of 1976—77

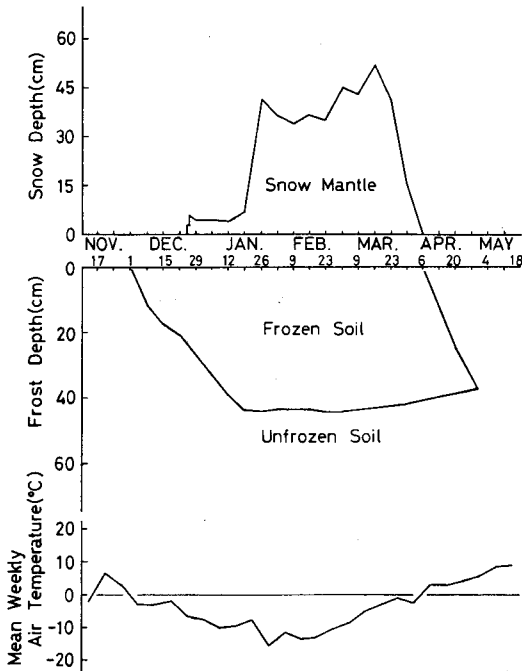


Fig. 4. (c) Depth of snow mantle, depth of frost, and mean weekly air temperature for season of 1977—78

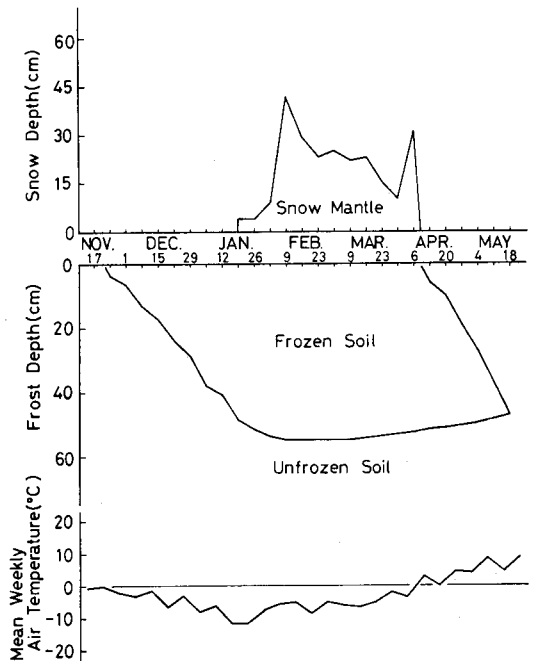


Fig. 4. (d) Depth of snow mantle, depth of frost, and mean weekly air temperature for season of 1978—79

される熱量と釣り合って、凍結前線はもはや下方に向かって進行しなくなる。東は、土壤凍結停止限界積雪深を15cmとし、15cm以上の積雪になると凍結は進行しなくなるが、15cm以下の積雪は長期間の遮蔽効果がなく凍結の進行状態は裸地の場合と大差がないと報告している<sup>8)</sup>。

第4図(a), (b), (c), (d)は、凍土の初日から凍土の終日までの積雪深、凍結深度と融解深度および日平均気温の週平均値の季節変化を示したものである。これらの図から積雪深および気温と凍結深度との関係を見ると

- a) 積雪が15cm未満では、積雪にほとんどかわりなく凍結が進み
- b) 積雪が15cm～30cmでは、週平均気温が-10℃近くまで下がるとわずかに凍結が進むが、その速度は非常に小さくなり、
- c) 積雪が30cm以上になると、もはや凍結は進まなくなり、寒さが厳しくない場合には、凍土の底部から地熱によって融解が始まる。

第2表は、積雪が15cmに達した日（これをここでは積雪15cm深日と呼ぶ）の凍結深度X(15)と最大凍結深度Xmaxとの比較を示したものである。

4冬季間の積雪15cm深日における凍結深度は各冬季の最大凍結深度のそれぞれ、83%、88%、100%、100%であった。第1年度および第2年度で比率が若干小さくなっているのは、積雪が30cmを越えることがほとんどなく、積雪15～30cmの期間が長く続いたためである。第3年度で100%になったのは、積雪15～30cmの期間が全くなく、40cm以上の積雪が続いたためである。また、第4年度は、根雪がおそく、根雪期間の気温が比較的高かったために、積雪15cm深日の凍結深度が最大凍結深度となった。

以上のことから、積雪が15～30cmの期間が長く、また、その期間の気温が低い場合には、積雪15cm深日の凍結深度が最大凍結深度よりも若干小さくなることを考慮に入れておけば、積雪15cm深日の凍結深度を最大凍結深度とみなすことができるようである。

### 3) 最大凍結深度の推定

凍結深度に関する理論式として、熱伝導論から、凍結深度Xcmと、地表面の冷却に要した積算寒度値(Freezing Index Value) I°C・dayとの間に、

$$X = \alpha \sqrt{I} \quad \dots\dots\dots(1)$$

ここで X:凍結深度

I:積算寒度値で、地表面温度の結氷点以下の積算値の絶対値

$\alpha$ :凍結深度係数で、凍土の熱伝導率や含水率などできまる常数

の関係が導かれている<sup>9)10)</sup>。

また、季節凍土帯(冬季には土が凍結するが、夏季には地中の凍土層がすべて消失してしまう地域で、中緯度地域に広く分布し、北海道や東北の一部はこの領域に属する)では、凍結深度Xcmの推定式として、

$$X = \beta \sqrt{F} \quad \dots\dots\dots(2)$$

Table 2. Comparison frost depth on occasion of 15cm snow cover with maximum frost depth

	X(15)*	Xmax**	X(15)/Xmax
1975-76	27.0	32.5	83(%)
1976-77	42.0	48.0	88
1977-78	44.0	44.0	100
1978-79	54.5	54.5	100

\* X(15): Frost depth on occasion of 15cm snow cover

\*\* Xmax: Maximum frost depth

ここで、 $X$ ：凍結深度

$F$ ：積算寒度値で、日平均気温の結氷点以下の積算値の絶対値

$\beta$ ：凍結深度係数

の関係が使われている。凍結深度係数  $\beta$  は気温低下の緩急や土の熱的性質、水分状態などできる常数で、それぞれの地域で固有の値をもつことが知られている。

自然積雪下では、前節でみたように、積雪深が15cm未満では、積雪にほとんどかわりなく凍結が進み、積雪が15cm以上になると凍結の進行がほぼ止まることから、自然積雪下での最大凍結深度は、次式によって推定することができる。

$$X_{max} \approx X(15) = \beta \sqrt{F(15)} \quad \dots\dots\dots(3)$$

ここで、 $X_{max}$ ：自然積雪下での最大凍結深度

$X(15)$ ：自然積雪15cm深日の凍結深度

$\beta$ ：凍結深度係数

$F(15)$ ：自然積雪15cm深日までの積算寒度値

ただし、積雪深が15~30cmの期間が長く、また、その期間の気温が低い場合には、(3)式で求めた最大凍結深度の推定値は、最大凍結深度の実測値よりも若干小さくなることを考慮に入れておく必要がある。

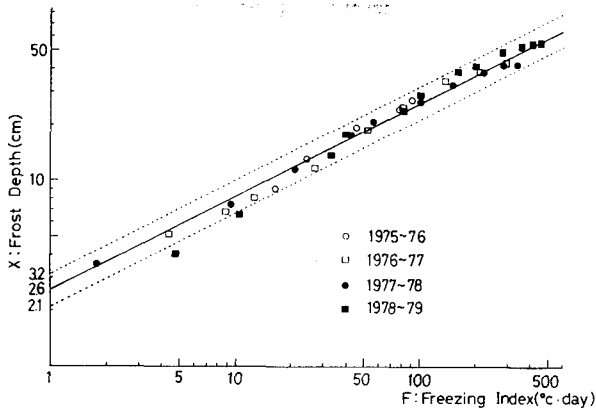


Fig. 5. Relationship between frost depth and freezing index value

次に、実際に最大凍結深度を推定するにあたっては、凍結深度係数  $\beta$  を求めなければならない。4冬季間の測定結果から積雪15cm深日以前のものだけを使用して、凍結深度と積算寒度値の関係を図示すると、第5図のようになる。積算寒度値は、日平均気温（日最高、最低気温の平均）がほぼ氷点下の日が継続するようになり始めた日から起算して求めた。第5図で(2)式に適合するように線を引くと図中の直線のようになる。凍結深度係数  $\beta$  は、この直線の  $F = 1$  の切

片で、2.6（確率誤差範囲2.1~3.2）である。この図で、凍結深度の小さい方の範囲、すなわち、ほぼ積算寒度値が40°Cday以下では、実測の点がほとんど直線の下側に分布し、一方、凍結深度の大きい方の範囲では、実測の点が直線の上側に多く分布している。これは、地中深くなると凍土の含水率が減少して、凍結深度係数が、含水率の高い地表近くよりも大きくなるためである。

以上のことから、根釧内陸部の火山灰地帯における畑地土壌の最大凍結深度は、次式によって推定することができる。

$$X_{max} = 2.6 \sqrt{F(15)} \quad \dots\dots\dots(4)$$

第3表は、観測を行った4冬季間における積雪15cm深日までの積算寒度値および(4)式より求めた最大凍結深度の推定値を示したものである。これらの推定値と第2表に示した最大凍結深度の実測値とを比較すると、1975~76年の冬季を除いてよく一致している。1975年の冬季に推定値が実測値よりもかなり小さくなったのは、比較的早い時期（12月17日）に積雪が15cm以上になった



にもかかわらずその後の降雪が少なく積雪が30cmを越えることがほとんどなく、積雪15～30cmの期間が長く、その期間の気温が比較的に低かったため、積雪下で凍結が進んだことによるものである。

1965～74年の10ヶ年間の積雪15cm深日までの積算寒度値と最大凍結深度の推定値の計算結果を示したものが、第4表である。平均最大凍結深度は、積雪15cm深日までの積算寒度値の平均値を求め、その平方根に凍結深度係数を乗じて求めたものである。

### 3. 十勝・釧路・根室地方 における1978～1979年 冬の積算寒度値の分布

北海道における土の凍結状況をみると、季節凍土は、道路や玄関先など絶えず除雪されているところでは北海道全域でみられるが、畑地・草地や林地などでは東北海道に限られるようである。これは積雪の影響によるものであって、日本海側や中央部など多雪地帯では、根雪になる時期が早く積雪量も多いために、地表面からの熱放散が妨げられ、土の凍結は全く起こらないか、あるいは、根雪前に表層土がわずかに凍っても地熱によってすぐに融けてしまう。これに反して、東北海道とくに十勝・釧路・根室地方などの内陸部では、根雪がおそく積雪量も少ないために畑地・草地や林地などの土壌も地下深くまで凍結し、地中に凍土層が存在する期間も長い。

根釧地方の内陸部・標茶町に所在する観測地が、北海道の凍結地帯においてどのように位置付けられるかを明らかにするために、土の凍結深度の分布と関連する要素としての積算寒度値を、根室地方8点（羅臼・標津・中標津・計根別・別海・根室・納沙布・厚床）、釧路地方11点（川湯・弟子屈・阿寒湖畔・標茶・鶴居・中徹別・樺町・太田・白糠・釧路・知方学）、十勝地方18点（陸別・糠平・上士幌・足寄・本別・新得・鹿追・駒場・芽室・帯広・池田・浦幌・糠内・上

Table 3. Freezing index value on occasion of 15cm snow cover and calculated maximum frost depth

	Freezing index value on occasion of 15cm snow cover		$X=2.6\sqrt{F(15)}$
	Date	F(15)	
1975-76	Dec. 17	98	25.5
1976-77	Jan. 12	302	45.0
1977-78	Jan. 20	293	44.5
1978-79	Feb. 6	421	53.5

Table 4. Freezing index value on occasion of 15cm snow cover and calculated maximum frost depth in 10 winters, from 1965 to 1975.

	Freezing index value on occasion of 15cm snow cover		$X=2.6\sqrt{F(15)}$
	Date	F(15)	
1965-66	Jan. 4	214	38.0
1966-67	Jan. 7	330	47.0
1967-68	Mar. 1	710	69.5
1968-69	Jan. 27	429	54.0
1969-70	Dec. 7	69	21.5
1970-71	Dec. 20	144	31.0
1971-72	Jan. 20	273	43.0
1972-73	Jan. 11	158	32.5
1973-74	Jan. 23	335	47.5
1974-75	Dec. 14	112	27.7
average	Jan. 10	277	43.5

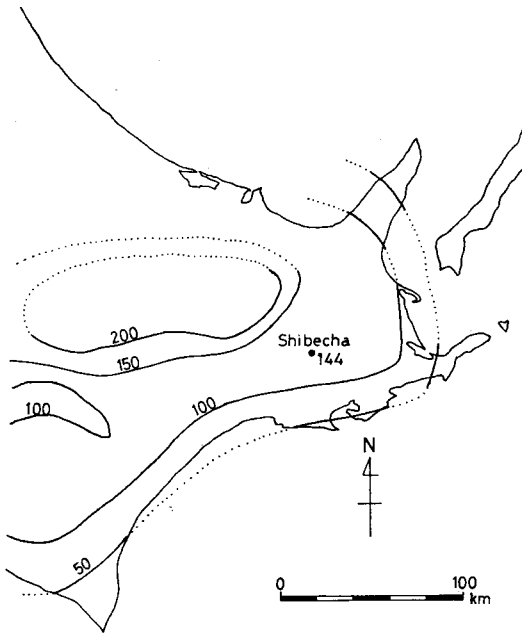


Fig. 6. (a) Distribution of freezing index value in eastern Hokkaido, Dec. 31, 1978

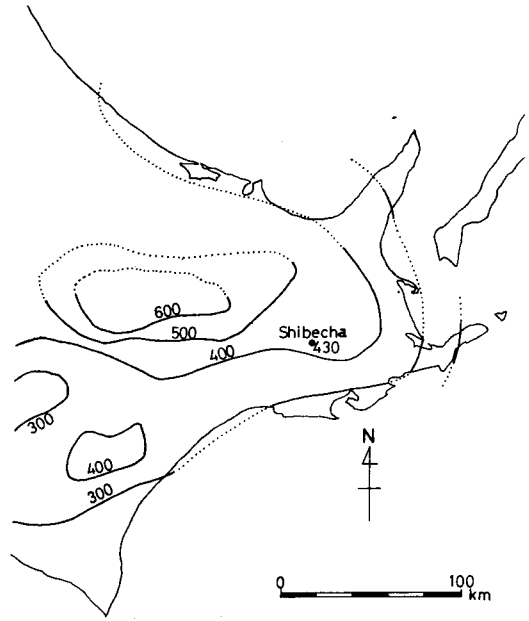


Fig. 6. (b) Distribution of freezing index value in eastern Hokkaido, Jan. 31, 1979

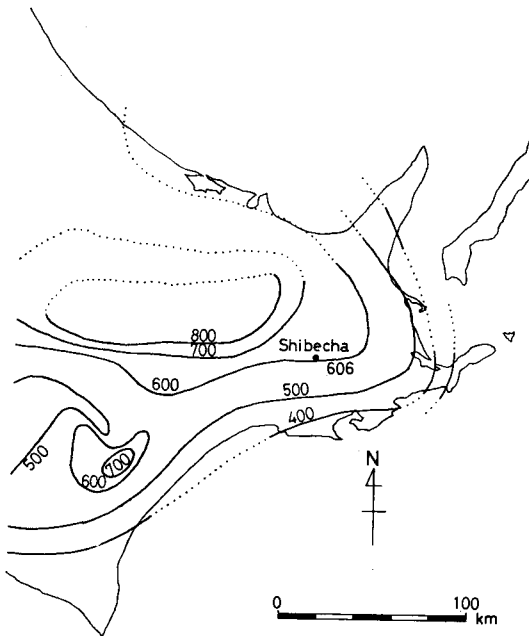


Fig. 6. (c) Distribution of freezing index value in eastern Hokkaido, Feb. 28, 1979

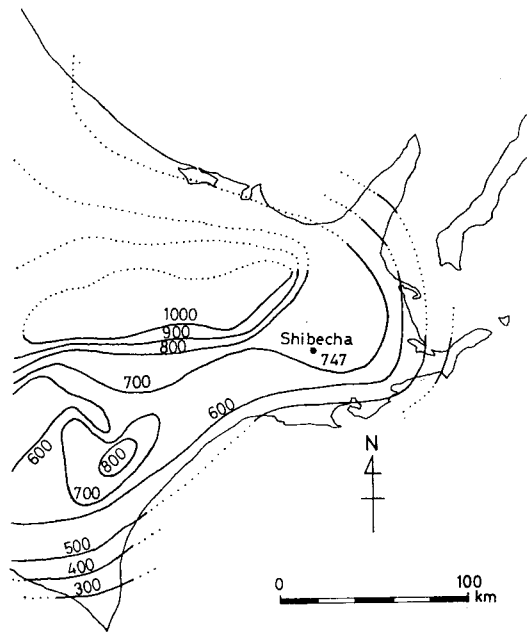


Fig. 6. (d) Distribution of freezing index value in eastern Hokkaido, Mar. 31, 1979

札内・更別・大津・大樹・広尾)について算出した。算出には、北海道農業気象月報一釧路・根室・十勝支庁一昭和43年11月～昭和44年3月号を用いた<sup>11)</sup>。積算は、各地点ごとに日平均気温(日最高・最低気温の平均)が氷点下の日がほぼ継続するようになり始めた日から始めた。そして各月末までの積算寒度値を3月末日まで算出した。

(第6図(a), 12月31日まで。第6図(b), 1月31日まで。第6図(c), 2月28日まで。第6図(d), 3月31日まで。単位は、 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{days}$ )

また、自然積雪下での最大凍結深度を予測するために、各地点における積雪15cm深日までの積算寒度値を求めた。その結果を第7図に示す。納沙布・厚床・榑町においては、積雪が15cm深に達することがなかったが、標茶における除雪条件下での最大凍結深度が2月28日に発生したことから、2月28日の積算寒度値を用いた。

第5表に各地点ごとの計算結果をまとめる。

## おわりに

京都大学農学部附属演習林北海道演習林の苗畑における土壌凍結の観測結果から、根釧内陸部における畑地土壌の凍結状況の季節変化に関するいくつかの情報が得られ、自然積雪下での最大凍結深度の推定式を作ることができた。しかし、畑地における土壌凍結の実態を把握するには十分ではなく、今後、融解過程の詳しい調査や土壌の凍結が地温・土壌水分に与える影響などの調査を行い、つけ加えることによって、十分な資料が得られるものと考えられる。

最後に、本研究を遂行するに当たり御助言をいただいた佐々木功教授・川那辺三郎教授・和田茂彦教授・北海道演習林研究室の諸兄に感謝の意を表します。

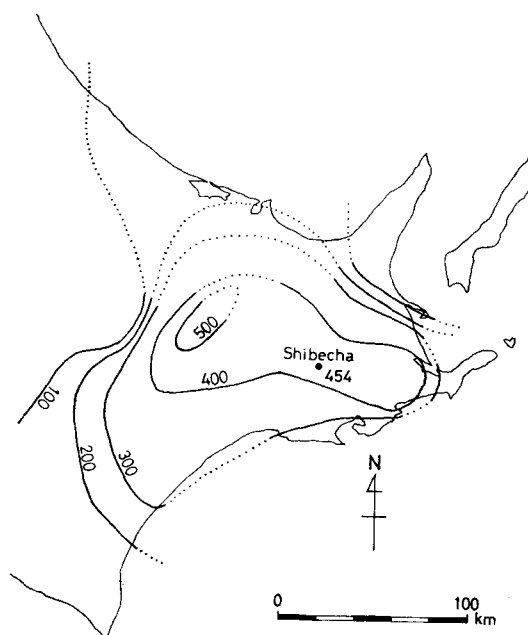


Fig. 7. Distribution of freezing index value in eastern Hokkaido, on occasion of 15cm snow cover, winter of 1978—79

Table 5. Freezing index values in eastern Hokkaido in 1978-79 winter

	Nov. 30	Dec. 31	Jan. 31	Feb. 28	Mar. 31	F(15)*
Rausu	0	51.6	234.7	336.6	440.5	16.9
Shibetsu	0.7	108.0	356.8	507.5	648.5	51.6
Nakashibetsu	2.3	135.7	419.8	591.7	735.4	366.9
Kenebetsu	3.6	122.0	380.7	532.3	667.1	332.0
Bekkai	3.9	118.6	392.1	541.8	654.9	415.4
Nemuro	0	39.1	202.6	275.0	346.3	275.0
Nosappu	0	34.1	187.4	261.8	334.6	261.8
Attoko	0	93.0	332.7	448.9	555.8	448.9
Kawayu	7.4	191.6	558.4	785.5	1005.6	399.4
Teshikaga	8.3	133.7	424.4	589.0	751.7	448.5
Akankohan	32.1	233.6	594.8	849.1	1083.1	273.4
Shibecha	12.9	144.3	430.0	606.4	747.4	454.4
Tsurui	4.7	109.6	366.5	539.1	649.1	393.6
Nakateshibetsu	8.7	119.9	368.7	552.1	674.5	395.3
Sakakimachi	0	78.8	307.5	425.1	542.9	425.1
Ohta	0	80.6	303.5	428.2	525.8	322.5
Shiranuka	0.5	84.7	315.8	465.7	586.6	336.4
Kushiro	0	75.4	294.8	417.7	498.4	313.1
Chihomanai	0	49.3	227.6	331.8	426.8	242.0
Rikubetsu	25.9	243.2	600.7	863.9	1059.2	537.0
Nukabira	57.9	274.2	612.7	867.5	1090.7	70.6
Kamishihoro	13.8	152.7	422.9	609.1	756.3	342.2
Ashyoro	9.5	149.8	447.7	659.1	776.9	441.0
Honbetsu	5.8	123.6	398.0	594.0	707.1	391.2
Shintoku	8.6	84.9	287.3	452.5	551.7	169.3
Shikaoi	7.7	99.0	324.1	490.7	606.9	316.5
Komaba	9.2	122.2	360.9	551.3	680.0	298.4
Memuro	4.8	126.1	392.3	612.9	741.5	251.2
Obihiro	1.3	90.4	321.8	498.2	580.3	315.0
Ikeda	8.1	133.9	392.8	602.8	728.3	385.3
Urahoru	1.9	91.6	333.4	502.8	594.2	327.3
Nukanai	15.0	152.1	460.6	718.1	862.2	296.7
Kamisatsunai	11.7	130.5	402.5	605.5	748.1	263.2
Sarabetsu	14.0	129.3	416.6	626.6	772.3	268.0
Ohtsu	1.9	84.5	341.7	537.7	655.5	335.2
Taiki	2.4	88.7	249.8	440.2	576.6	199.9
Hiroo	0	48.3	216.9	321.9	396.3	112.8

\* F(15) : Freezing Index Values on occasion of 15cm snow cover

## 文 献

- 1) 井上正則・木下誠一：凍土の圧縮強度と動的性質，低温科学物理篇，**33**，243～253，（1975）
- 2) 酒井昭・渡辺富夫・山根玄一：道東地方における林木の冬の乾燥害，日林誌，**51**，111～117，（1969）
- 3) 今田敬一・武藤憲由：北海道主要造林樹種の凍害に関する研究(IV)，土壌凍結の影響，北大演報，**20**，393～403，（1959）
- 4) 木下誠一：紋別における凍土観測，低温科学物理篇，**26**，363，（1968）
- 5) 矢作 裕：凍結深計および相対凍上計について，釧路論集，**8**，77～88，（1976）
- 6) 中谷宇吉郎・孫野長治：凍土の実験的研究，低温科学，**1**，37～52，（1944）
- 7) 東 晃：寒地工学基礎論（その7），雪氷，**39**，15～25（1977）
- 8) 東 晃：北海道の土壌凍結—積雪との関係—，農業物理研究，**13**，145～157，（1954）
- 9) 東 晃：寒地工学基礎論（その8），雪氷，**39**，157～167，（1977）
- 10) Yong, R. N. and B. P. Warkentin : Introduction to Soil Behavior, MacMillan, New York, U. S. A. 1966. (日本訳) 土質工学の基礎, 山崎不二夫・山内豊聡監訳, 鹿島出版会(東京), (1972)
- 11) 釧路地方気象台：北海道の農業気象月報—釧路・根室・十勝支庁—, 1978, 11～1979, 3.

## Résumé

The seasonal aspects of the freezing and thawing of the volcanic ash soils were observed in the plowed field during the winters of 1975-76, 1976-77 1977-78 and 1978-79. The observations were made in the nursery in Hokkaido Experimental Forest Station of Kyoto University, Shibecha, in eastern Hokkaido, at an elevation of about 25m.

The results obtained were as follows;

1) The daily minimum air temperature had descended below the freezing point at late October, the ice filaments were observed on the ground (Fig. 3) .

2) The continuous frost began to penetrate in late November or early December and emerged completely from late April in the first, second and third winters to mid-May in the fourth winter (Table 2 and Fig. 4) .

3) The maximum frost penetrations occurred in early March in every season and were 32.5cm, 48.0cm, 44.0cm and 54.5cm, respectively (Table 2).

4) The period during which the soil was continuously frozen varied from 143 days in the first winter to 179 days in the fourth winter (Table 2) .

5) The thawing of the frost took place from the subsoil up prior to the melting of the snow cover, and the frozen soil began to emerge from the soil surface after the snow cover had disappeared (Fig. 4) .

6) The frozen soil thawed out from both the bottom and top until the frost had completely disappeared.

7) When the snow cover had accumulated more than 15cm, the frost penetration was retarded extremely (Fig. 4) .

8) Under the undisturbed snow cover, the maximum frost depth ( $X_{max}$ ) might be presumed from the following equation (Eq.4) ,

$$X_{max} = 2.6 \sqrt{F(15)},$$

where  $F(15)$  is Freezing Index Value on the occasion of the 15cm snow cover.