

## 2. 北海道・道東地方の土壌凍結深の減少傾向 および農業への影響

広 田 知 良\*

### 1. はじめに

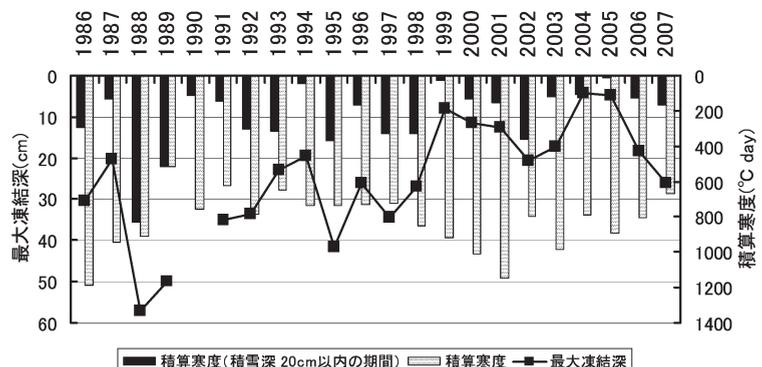
北海道・道東に位置する十勝、根室、釧路地方は、国内の全畑地面積の20%、全草地面積では40%も占める我が国を代表する畑作・酪農地帯である。一方、冬は少雪厳寒であるため、土が凍る“土壌凍結地帯”でもある。土が深く凍ると、1) 冬の凍結期間が長くなり、春以降の作物生育期間が短くなる。2) 作物の越冬に厳しい冬の農地環境になる。3) 凍結土壌は水を通しにくいいため、雪融けの水が地表面に溜まりやすく、越冬作物の湿害や土壌浸食を受けやすい等の問題があり、土壌凍結はどちらかといえば農業には“負”の要素と考えられていた。ところが、近年、以前に比べて土が凍らないという話を道東地方の各地で耳にする。このことは、地球温暖化が原因では?とも言われている。そこで、本講演では、道東地方の土壌凍結深の長期変動の実態を解析し、その要因について、日本の他の地域で近年生じている気候変動との関連も含めて解析した結果を示す(Hirota *et al.* 2006)。さらに、土壌凍結深の変動による農業への影響について、特に農業現場で顕在化している問題を取り上げ、さらにその適応対策事例についても報告する。

### 2. 道東地方の土壌凍結深の 顕著な減少傾向の要因： 気温ではなく雪である

十勝地方・芽室町(帯広市の西隣)の北海道農業研究セン

ター(以下、北海道農研)で20年以上(1986-2007)にわたって実施されている土壌凍結深観測によると、年最大土壌凍結深は顕著な減少傾向にある(第1図)。特に2003/04年の冬と2004/05年の冬は、これまで類例のない2年連続でほとんど土が凍らない状態となった。土壌凍結深が近年浅くなった要因について、先ず気温上昇がその要因と考えたが、過去20年、積算寒度(日平均気温が0°C以下の日の気温絶対値を積算した値)は減少していない(第1図)。つまり、気温は土壌凍結深減少の要因ではなかったのである。ところで、雪には断熱作用があり、土壌凍結が発達するのは日平均気温が0°C以下で積雪深が20 cmに達するまでの期間に限られる。そこで積雪を調べると、近年積雪深が20 cmを超える時期が季節的に早まる傾向にあり、積雪深20 cm以下の期間の積算寒度も減少している(第1図)。つまり、初冬における積雪深の増加が土壌凍結深減少の直接要因であった。

さらに、積雪深20 cmになるまでの期間の土壌凍結



第1図 十勝地方芽室町(北海道農研芽室研究拠点)の最大土壌凍結深、積算寒度(積雪深が20 cmになるまでの積算寒度)の年々変動(Hirota *et al.* 2006にデータ追加)。

\* 北海道農業研究センター。  
hirota@affrc.go.jp  
© 2008 日本気象学会

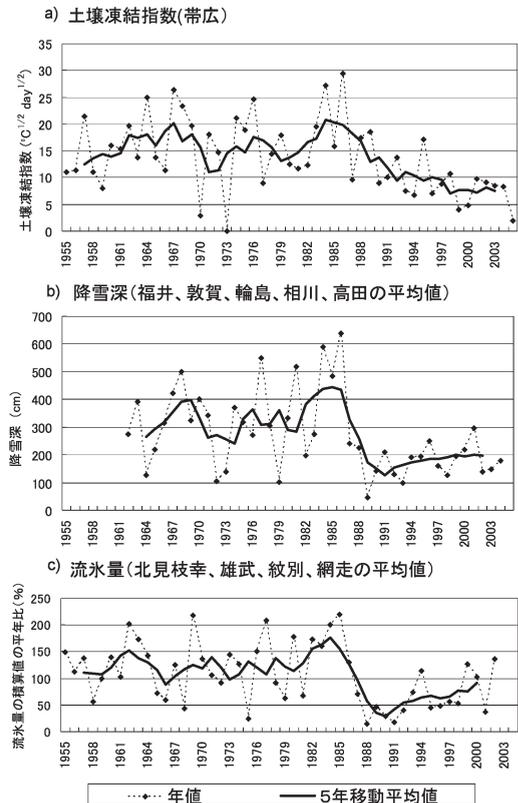
指数（積算寒度の平方根）は、年最大土壌凍結深と高い相関関係にある（相関係数の2乗  $r^2=0.71$  北海道農研芽室拠点での関係）。そこで、十勝地方全域のアメダス観測地点について長期の土壌凍結指数を求めると、減少傾向を示す地点が十勝地方の平野部にみられた。さらに、土壌凍結深の長期傾向の解析の対象を根室・釧路地方（以下、根釧地方）へ広げたところ、土壌凍結深の減少傾向は内陸部に顕著で、沿岸部では減少傾向が現れなかった。十勝地方の結果と併せると、根釧地方の沿岸部を除き、道東地方全域で土壌凍結深の減少傾向が認められた（広田ほか 2007）。

### 3. 道東地方の土壌凍結深減少と他の国内の雪氷現象の長期変動との関連

それでは、なぜ近年、道東地方全体で初冬に積雪深増加時期が早まっているのであろうか？シベリア高気圧が発達して冬の東アジアモンスーンの勢力が卓越する、いわゆる冬型の気圧配置が顕著な年は、一般に、十勝地方では晴天の頻度が高く少雪で土壌凍結が発達し、逆に日本海側で積雪が多い。道東地方の降雪は、冬型の気圧配置が崩れた時の温帯低気圧の通過で生じる。ところで、1980年代後半以降から、冬型の勢力が弱まり、温帯低気圧の活動が活発化する傾向にあることが報告されている（Nakamura *et al.* 2002）。帯広の過去50年の土壌凍結指数を計算すると、顕著な減少傾向は1980年代後半から生じていた。そして、1980年代後半の減少の開始時期は冬のモンスーンの勢力の指標となる北陸地方平野部の降雪深が減少傾向を示す時期（気象庁 2002）や、オホーツク海沿岸部の流量量が減少傾向を示す時期（Tachibana *et al.* 1996；気象庁 2002）とも一致する（第2図）。つまり、1980年代後半からの冬季モンスーンの弱まりと同時に、十勝の土壌凍結深、北陸地方平野部の降雪深、そしてオホーツク沿岸部の流量量が同時期に減少したことを示している。このことは、世界の寒冷気候帯の中でも南限にある日本の雪氷現象が、1980年代後半以降に大きく変化していることを示すものである。

### 4. 道東地方における土壌凍結深の減少が農業生産環境に及ぼす影響—十勝での事例—

このように土が凍らなくなってきているので、土壌生態系や農業にも様々な影響が及んでいる。第1節では、土が深く凍ると農業に悪影響が出ると述べたが、逆に、土が凍らないことで農業に悪影響を与える例も



第2図 a) 十勝地方帯広における土壌凍結指数, b) 北陸地方平野部の降雪深, c) オホーツク沿岸の流量量の年々変動。b) と c) は20世紀の日本の気候（気象庁 2002）に一部データを加えたもの（Hirota *et al.* 2006）。

生じている。

道東・十勝地方は、ジャガイモの生産量が全国の30%以上、北海道の40%以上を占める我が国を代表する大生産地帯である。この十勝地方で、ジャガイモ収穫跡畑において、前年度の収穫時にこぼれた小イモが翌年に芽を出し雑草化する、「野良イモ」の多発が生じている（第3図）。これは、かつては厳しい冬の環境で凍死したイモが、土壌凍結深が浅くなることで越冬可能になり雑草化する現象である。野良イモの発生数は、多いところでは1haあたり2万株に達する（十勝農協連・北海道農研合同調査内部資料 2006）。野良イモは後作の生育を阻害するほか、混種や各種病虫害発生要因となるため除草が不可欠である。しかし、現状では人力処理のため、大規模農業の当地では、新たな深刻な労働負担となっている。一般に、寒



第3図 野良イモの例（トウモロコシ畑，十勝地方）。

冷地帯では温暖化した場合，農業生産に好影響を与えると楽観的に捉える向きもあるが，このように負の側面もあることが実際に農業現場で顕在化している。

#### 5. 気候変動（土壌凍結深変動）に対する農業での適応事例—十勝の例—

一部の農家では，野良イモ処理の省力化のため，冬期間に断熱作用のある雪を地表から除去する除雪や，断熱効果を低減できる圧雪を作業機械で行うなど，土壌凍結促進による野良イモの凍死処理の試行を始め（第4図），実際に効果を挙げている（広田 2006）。この畑での除雪や圧雪は，十勝の農家の間で2003/4年と2004/5年の凍らなかった冬を契機に大きく広がり始めている。つまり，土壌が凍らなくなる新たな事態により，一部の農家は土壌凍結の正の効果（例えばイモの野良生え防除効果）に気が付いたのである。雪と水で閉ざされた農閑期の冬に農地管理をすることで，農薬を使わず自然の寒冷資源を上手に利用して除草の省力化を実現しており，大面積処理が可能である点でも，除雪・圧雪による土壌凍結促進は優れた方法である。

この一部の農家で始められた土壌凍結促進による野良イモ凍死処理について，我々は現在，科学的知見の蓄積を進めている。土壌凍結と野良イモの関係については，土壌凍結深が40 cmより深くなると野良イモ発生数は大きく低減することや（十勝農協連・北海道農研合同調査内部資料 2006），温度との関係で整理すると， $-3\sim-4^{\circ}\text{C}$ 以下でジャガイモは凍結腐敗しやすいことが明らかになった（白木ほか 2007）。さらに，



第4図 野良イモ退治のための除雪している畑の風景（十勝地方）。

この知見に我々がすでに開発している陸面1次元モデルである地温・土壌凍結深推定モデル（Hirota *et al.* 2002）を組み合わせることで，農家の勘と経験に頼った現在の試行技術が，科学的な方法に基づく野良イモの発生予察，除雪や圧雪の作業必要性の判断，あるいは必要な場合に，実施のタイミングや期間を判定できる技術となる。言い換えると，野良イモを的確に防除し，かつ土壌凍結深促進が行き過ぎて作物や農地に悪影響を与えないようにすることを両立する最適な土壌凍結深へ制御する技術開発に，現在私達は取り組んでいるのである。

言うまでもなく，農業と気象は密接に関わっている。しかし，大規模土地利用型農業では天気任せにするしかなく，人為的な環境制御は不可能とされてきた。しかし，ここで取り組んでいる研究・技術開発は，大面積処理が可能な作業機械による除雪や圧雪等の雪の管理による土壌凍結深制御を通して，これまで不可能とされていた大規模土地利用型農業での環境制御が実現可能になりつつあることを意味する。

#### 6. おわりに—現状および今後の研究展開—

道東地方での土壌凍結深の顕著な減少と関連する気象・気候学的な問題は，本研究で示したように，ポイントスケールから東アジア，あるいはグローバルスケールまでの様々な時空間スケールでの関係を示唆するものであり，今後の研究へも多くの広がりや発展が期待できる。また，世界の寒冷気候帯の中でも南限にあたる地帯で，現在まさに正負の両面でその農業への影響が観察されており，今後様々な角度から研究を進めることが重要である。

講演者らの研究グループは現在、気候変動・温暖化条件下の積雪・土壌凍結地帯の長期変動傾向の予測と、農業に及ぼす影響評価についての研究を実施中である。この研究では、ここで示した気象・気候学的なデータ解析やモデル開発の他に、第1節の3)で示した土壌凍結と水分移動の関係についても、凍結深の違いが土壌水分や物質動態に与える影響について野外観測を中心に研究に取り組んでいる。ここでは詳しく述べることはできないが、例えば、凍土層下層の水移動を把握することができる“凍らないテンシオメータ”の開発 (Iwata and Hirota 2005)<sup>†</sup>、融雪期における凍土条件下の水分動態の解明 (Iwata *et al.* 2008) 等の成果を挙げている。

また、本講演では、農業への負の影響として野良イモ発生を取り上げたが、一方で正の影響の兆しもつかみ始めている。例えば、これまで土壌凍結地帯では不適とされたアルファルファ栽培について、越冬性向上に向けた品種改良の取り組みと十勝地方における現地実証により、土壌凍結地帯である道東地方においても栽培可能性が高まったことや (北海道農業研究センター 2004)、さらに土壌凍結深が減少したことにより、栽培可能適地が拡大しつつある。私達は現在、道東地方での土壌凍結深変動が農業へ与える影響について、正負の両面から温暖化影響評価を慎重に進めながら、この研究に取り組んでいる。

最後に、十勝地方での土壌凍結深の減少傾向に関連して、実際に農家が自発的に対応を始めている例は、雪氷圏における気候変動 (温暖化) に対して、日本発の適応対策技術が開発され始めていることを示していると考えられる。

#### 参 考 文 献

Hirota, T., J. W. Pomeroy, R. J. Granger and C. P. Maule,

2002: An extension of the force-restore method to estimating soil temperature at depth and evaluation for frozen soils under snow. *J. Geophys. Res.*, **107**, 4767, DOI: 10.1029/2001JD001280.

Hirota T., Y. Iwata, M. Hayashi, S. Suzuki, T. Hamasaki, R. Sameshima and I. Takayabu, 2006: Decreasing soil-frost depth and its relation to climate change in Tokachi, Hokkaido, Japan. *J. Meteor. Soc. Japan*, **84**, 821-833.

広田知良, 2006: 冬期に行う野良イモ処理. 農家の友12月号, 102-103.

広田知良, 牧野 司, 岩田幸良, 根本 学, 井上 聡, 濱 壽孝弘, 鮫島良次, 2007: 北海道・道東地方で生じている土壌凍結深減少傾向について—根室・釧路地方での解析を中心に—. 日本農業気象学会全国大会2007年度講演要旨.

北海道農業研究センター, 2004: アルファルファを導入した畑地型酪農営農システムの確立. 北海道農研プロジェクト研究成果シリーズ No. 1, 159 pp.

Iwata Y. and T. Hirota, 2005: Monitoring over-winter soil water dynamics in a freezing and snow-covered environment using a thermally insulated tensiometer. *Hydrol. Process*, **19**, 3013-3019.

Iwata, Y., M. Hayashi and T. Hirota, 2008: Comparison of snowmelt infiltration under different soil-freezing conditions influenced by snow cover. *Vadose Zone J.*, **7**, 79-86.

気象庁, 2002: 20世紀の日本の気候. 気象庁, 116 pp.

Nakamura, H., T. Izumi and T. Sampe, 2002: Interannual and decadal modulations recently observed in the Pacific storm track activity and east Asian winter monsoon. *J. Climate*, **15**, 1855-1874.

Tachibana, Y., M. Honda and K. Takeuchi, 1996: The abrupt decrease of the sea ice over the southern part of the Sea of Okhotsk in 1989 and its relation to the recent weakening of the Aleutian low. *J. Meteor. Soc. Japan*, **74**, 579-584.

臼木一英, 岩田幸良, 廣田知良, 2007: 十勝地方における除雪が野良生えイモの生存に及ぼす影響. 日本作物学会紀事, **76** (別2号), 240-241.

<sup>†</sup> “凍らないテンシオメータ”

テンシオメータは土壌水分張力 (マトリックポテンシャル) を測定する方法として広く用いられている土壌水分センサーの一種である。ただし、一般には水を媒体にして圧力を測定する方法であり、計器内の水が凍る冬の寒い条件では、使用できないとされていた。しかし、Iwata and Hirota (2005) は水を補充するための地上部と土壌凍結層の部分を断熱材で覆い、かつ小さな熱源を用いて、テンシオメータ内の水の凍結を防止することで、計器内の水は凍らず、冬期間でも凍結土壌の下層の非凍結部分の土壌の水分張力を長期に測定できるようにした。