

## 冬の気象条件が日本の温帯から冷温帯の年平均地温に及ぼす影響

## Influences of winter climatic condition on the annual mean soil temperature from temperate to cool-temperate zones of Japan

矢崎友嗣<sup>1)</sup>, 岩田幸良<sup>1)</sup>, 廣田知良<sup>1)</sup>, 小南靖弘<sup>2)</sup>, 川方俊和<sup>3)</sup>, 吉田武郎<sup>4)</sup>, 柳井洋介<sup>5)</sup>, 井上聡<sup>1)</sup>T. Yazaki<sup>1)</sup>, Y. Iwata<sup>1)</sup>, T. Hirota<sup>1)</sup>, Y. Kominami<sup>2)</sup>, T. Kaawkata<sup>3)</sup>, T. Yoshida<sup>4)</sup>, Y. Yanai<sup>5)</sup>, and S. Inoue<sup>1)</sup>

**1. はじめに** 地中熱環境は、農耕地での作物の生育、病害虫や雑草の活性、土壌有機物の分解、温室効果ガスの発生に影響を及ぼす。また積雪寒冷地では、地中熱環境は土壌凍結の有無に関係し、土壌中の水文環境を決定し、溶質移動や温室効果ガス発生に影響を及ぼす。したがって、気候変動が農業生産に及ぼす影響を予測し対策を検討するためには、農耕地の土壌中の熱環境を理解することは必要不可欠である。年平均地温は、動植物の分布や活動期間を決める指標として使われている。既往の研究では、本州中部以南では年平均地温は年平均気温より1°C程度高いが、北へいくにしたがって年平均地温と年平均気温の差が大きくなることが知られている。このような地域差は積雪や土壌凍結の影響と考えられてきたが(荒川・東、1951)、その詳細はよくわかっていない。本研究では日本の冬の気候が異なる地点において、気温、地温、積雪深を測定し、冬の気候が年平均地温に及ぼす影響を検討した。

**2. 方法** ①**野外観測**：茨城県つくば市、新潟県上越市(以上温帯地域とする)、岩手県盛岡市、北海道札幌市、同芽室町(以上、冷温帯地域とする)の気象観測露場において(1) 高度1.5~2.1 mの気温、(2) 深さ0.1、0.30、0.50、1.0 m深の地温、(3) 積雪深(つくばを除く)を測定した。気温と各深度の地温は、11月から翌年10月で平均し、各年の年平均値とした。なお、観測を行った露場は短く刈り込まれた芝または裸地として管理されている。また、これらの露場は都市部から離れておりヒートアイランドなど都市気候の影響は小さいと考えられる。②**積雪の影響の解析**：札幌と芽室において積雪の有無や深さが年平均地温と年平均気温の差に及ぼす影響を検討した。年平均地温は、(1) 拡張フォースレストモデル(Hirota et al 2002)を用いて冬季(11月から翌年4月)の日平均地温を推定した。(2) 5月から10月の地温は、実測の地温を使用した。ここで使用した拡張フォースレストモデルは、年平均気温、日平均気温、積雪深を入力データとして各深度の地温が出力される。土壌の熱伝導率、熱容量などのパラメータは、日本に広く分布する黒ボク土の値(熱伝導率と体積熱容量は未凍結土壌でそれぞれ $0.6 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ 、 $2.3 \text{ MJ m}^{-3} \text{ K}^{-1}$ 、凍結土壌でそれぞれ $0.7 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ 、 $1.5 \text{ MJ m}^{-3} \text{ K}^{-1}$ ：鈴木ら、2002)を使用した。また、雪の熱伝導率は $0.17 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ とした(Nemoto et al 2008)年平均地温の推定値は、実測の年平均地温と比べRMSEで $0.7^\circ\text{C}$ とよく一致していた。

**3. 結果と考察** ①**年平均気温と年平均地温の関係**：すべての地点で年平均地温は深さごとの差が最大 $0.48^\circ\text{C}$ と小さく(図省略)、年平均気温と有意な相関があり(図1)、年平均地温が上部境界条件である年平均気温に影響を受けることが示された。年平均地温と年平均気温の差は、つくばや上越で $0.0 - 1.4^\circ\text{C}$ であったが、盛岡では $1.5 - 3.5^\circ\text{C}$ 、札幌では $1.8 - 3.5^\circ\text{C}$ 、芽室では $2.8 - 4.0^\circ\text{C}$ と寒冷な地点ほど大きくなる傾向がみられた。②**冬の気象変量の影響**：各年の年平均地温と年平均気温の差は、冬季の平均積雪、最深積雪深、冬季の降水量と相関がなかったが、盛岡、札幌、芽室において積算寒度( $0^\circ\text{C}$ 以

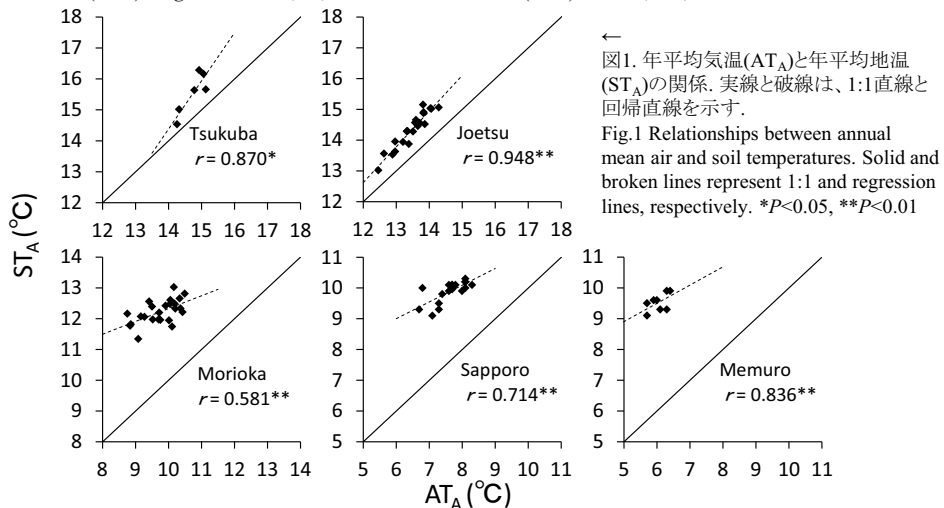
<sup>1)</sup>北海道農業研究センター NARO Hokkaido Agricultural Research Center <sup>2)</sup>中央農業研究センター NARO National Agricultural Research Center <sup>3)</sup>東北農業研究センター NARO Tohoku Agricultural Research Center <sup>4)</sup>農村工学研究所 Institute for Rural Engineering, NARO <sup>5)</sup>野菜茶業研究所 NARO Institute of Vegetable and Tea Science

キーワード：積算寒度、積雪、地温推定モデル

下の日平均気温の合計に-1を乗じた値)と正の相関 ( $P < 0.05$ ) がみられた (表 1)。したがって、冬に寒冷であるほど年平均地温と年平均気温の差が大きくなることが示された。③ 積雪深の影響: 拡張フォーレストモデルを用いて積雪がゼロの場合の年平均地温を推定した結果、年平均地温と年平均気温の差は、札幌、芽室ともに平均で  $1.2^{\circ}\text{C}$  になると推定された (図 2)。この値は、日気温がほとんど氷点下にならないつくばや上越の値と同程度であった。これに対して、実測の積雪深を用いて年平均地温を推定した場合、札幌では平均  $1.9^{\circ}\text{C}$ 、芽室では平均  $2.5^{\circ}\text{C}$  と実測の平均 (それぞれ  $2.3^{\circ}\text{C}$ 、 $3.5^{\circ}\text{C}$ ) より若干大きいものの概ね一致したと考えられる。したがって、盛岡以北の冷温帯で年平均気温と年平均地温の差が大きくなったのは積雪層による断熱のためであることがわかった。次に、札幌と芽室の気温を用い、異なった積雪深 (12-3月にかけて 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.40, 0.50, 1.0 m と一定の積雪深) での年平均地温を推定し、与えた平均積雪深と年平均地温と年平均気温の差の関係を検討した結果、両地点とも積雪が深くなるにつれ差が大きくなったが積雪が 0.2 m を超えると差の増加が頭打ちになった (図 2)。実際の 12月から3月の平均積雪深は、札幌で 0.43-0.57 m、芽室で 0.29-0.54 m と 0.2 m より大きかった。そのため、断熱の結果生じる年平均地温と年平均気温の差は、積雪深より低温の影響を受けたと推察される。

**謝辞:** 本研究は、平成 23 年度新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業「土壌凍結深制御手法による野良イモ対策技術の確立(22079)」によって実施された。

**引用文献:** 荒川・東 (1951) *科学* **25**, 144. Hirota T. et al (2002) *J. Geophys. Res.*, **107**(D24), 4767. DOI 10. 1029/2001JD001280. Nemoto M. et al (2008) *J. Agric. Meteorol.*, **64**, 177-183. 鈴木伸治ら(2002) *農土誌*, **218**, 97-105.



←  
図1. 年平均気温( $AT_A$ )と年平均地温( $ST_A$ )の関係。実線と破線は、1:1直線と回帰直線を示す。  
Fig.1 Relationships between annual mean air and soil temperatures. Solid and broken lines represent 1:1 and regression lines, respectively. \* $P < 0.05$ , \*\* $P < 0.01$

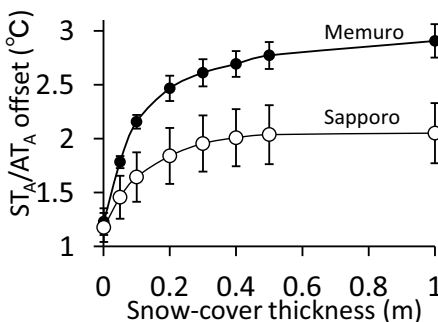


表1. 年平均地温と年平均気温の差と冬の気象環境変量(最深積雪、平均積雪、積算寒度)の相関係数。 \*\* $P < 0.01$

Table 1 Correlation coefficients between the difference between annual mean soil and air temperatures and winter climate variables (maximum and mean snow-cover thicknesses, and the cumulative freezing degree-days). \*\*  $P < 0.01$

サイト	上越	盛岡	札幌	芽室
測定年数	21	24	19	10
最深積雪	-0.379	-0.274	0.129	0.081
平均積雪	-0.374	-0.109	0.389	0.304
積算寒度	-0.25	0.650**	0.843**	0.818**

図2 様々な平均積雪での年平均地温と年平均気温の差( $ST_A/AT_A$  offset)の推定値。プロットは6年の平均でエラーバーは標準偏差を示す。

Fig. 2 The difference between annual mean soil and air temperatures at various snow-cover thickness. Plots are the averages for six years. Error bars indicate standard deviation over six years.