

三陸沿岸における冬気温の特徴と野菜作物の凍害リスク

岡田益己^{*†}・松嶋卯月^{*}・岡田 牧^{**}

(*岩手大学農学部 〒020-8550 岩手県盛岡市上田3-18-8
 **日本気象協会環境・エネルギー事業部エネルギー事業課
 〒170-6055 東京都豊島区東池袋3-1-1 サンシャイン60 55階)

Risk of vegetable crop freezing injury due to winter temperature regime in the Sanriku coastal region

Masumi OKADA^{*†}, Uzuki MATSUSHIMA^{*} and Maki OKADA^{**}

(*Faculty of Agriculture, Iwate University, 3-18-8 Ueda, Morioka, Iwate 020-8550, Japan
 **Energy Section, Environment and Energy Department, Japan Weather Association,
 Sunshine 60 Bldg. 55F, 3-1-1 Higashi-Ikebukuro, Toshima, Tokyo 170-6055, Japan)

Abstract

Freezing tolerance of plants is lowered by high temperatures in which plants are grown before exposure to subzero freezing temperatures. As a measure of freezing tolerance, we used the daily mean and/or the daily maximum air temperature, averaged over 10 days, before the daily minimum air temperature dropped below freezing point during early winter. For the vegetable crop, we assumed a freezing temperature of -3°C or -5°C . The 30-year temperature records from 15 AMeDAS observatories of the Japan Meteorological Agency were used. Of these, 13 are located in the Sanriku coastal region and two in the inland area of Iwate Prefecture. The calculated 10-day averages across the coastal sites were comparable to or larger than those of the inland sites. They showed a specific increase in the coastal zone ranging from Kuji to Yamada. The larger values resulted from relatively low minimum and high maximum temperatures, which are specific to that region. It is generally thought that coastal areas are suitable for the production of winter vegetable crops due to their moderate temperature regime. However, our results indicate that unlike the other typical coastal areas, the temperature regime of the Sanriku region is not moderate; therefore, it possibly increases the risk of crop freezing injury.

Key words: Vegetable crop, Winter temperature, Freezing injury, Freezing tolerance, Sanriku coast

キーワード：野菜栽培、冬気温、凍害、耐凍性、三陸沿岸

1. はじめに

気候学は、一般向け知識として、沿岸は内陸に比べて気温の年較差、日較差ともに小さいと教える(例えば、日下, 2013)。著者らは、三陸沿岸の“夏涼しく冬温かい気候”を活用した園芸振興を、震災復興の活動として進めてきた(松嶋・岡田, 2019)。その一環として岩手県沿岸北部の久慈市と田野畑村のハウスで早どりのミニカリフラワー(岡田ら, 2020)を試験的に栽培したところ、12月中旬から1月初旬にかけて収穫部(花蕾)に凍害が多発した。“温かい”はずの沿岸でも初冬に凍害が起こる可能性が高いことが分かり、凍害リスクの評価を試みた。

この年は、岩手県沿岸南部の陸前高田市でも寒冷紗のトンネルで同時期に栽培していたので、両地域の気温経過をアメダス観測所の久慈と陸前高田で比べた。最低気温が初めて -5°C を割ったのが、久慈で2016年11月24日に対して、陸前高田では2017年1月12日であり、北部の久慈では寒さの襲来が2ヶ月近く早かった。さらに久慈では12月16日に -8.2°C 、28日に -7.9°C 、29日に -8.0°C が記録され、一方、陸前高田では1月14日に -7.9°C 、15日に -9.6°C が

記録された。久慈では12月中下旬の低温が大きな被害をもたらしたと推察されるが、同程度かより低温に遭遇した1月の陸前高田での被害はわずかであった。また久慈でも1月13～18日、20～26日にかけて -7.2°C ～ -12.8°C の低温が続いたが、その後の被害は12月よりも軽微であった。12月の久慈では、上記の低温が記録される前10日間に最高気温が 11°C を超える日が数日間観測されたが、陸前高田や1月の久慈の低温時には、前10日間の最高気温が 8°C を超えることはなかった。このことから、沿岸北部の久慈市や田野畑村で初冬に多発した凍害は、作物体の耐凍性獲得が不十分なところに、急に気温が下がったことが主因であると考えた。

低温遭遇前の温度が高いほど耐凍性が低下することが、多くの植物で確認されている(例えば、Levitt, 1980)。五十嵐ら(1993)は圃場で生育したキャベツ葉の凍害発生と葉採取前5日間の積算気温との間に高い相関があることを示した。そこで冬に初めて凍害を招くような低温が現れた日から5～10日前の気温を凍害リスクの指標として使用し、その特徴を三陸沿岸各地と内陸で比較した。その結果、沿岸の凍害リスクは内陸並みに高く、とりわけ沿岸北部の一部には内陸よりも高い地帯があることが判明したので報告する。

2020年7月15日 受付, 2020年8月18日 受理

[†]Corresponding author: mok@iwate-u.ac.jp

DOI: 10.2480/cib.J-20-063

2. 方法

太平洋に面する青森県の三沢から宮城県の上巻までのアメダス観測所の中で、30年以上の気温観測データがある計13地点(図1)を選んだ。比較対象の内陸地点としては岩手県中央部の盛岡を選び、盛岡の観測値に都市化が影響する可能性があるため、隣接の紫波を加えた。30年間(1989年4月～2019年3月)の日平均気温、日最高気温、日最低気温、日照時間を解析に用いた。観測値に欠測がある場合はその年の計算対象から外し、日値の一部に欠損がある場合は、表示値をそのまま日値として使用した。なお欠測値が下記の凍害リスク指標の計算に影響した事例は、全計算結果の中で1地点1年のみであり、欠損値が影響した事例はなかった。

Cox and Levitt (1976) や五十嵐ら (1993) などの凍結実験を参考にして、凍害発生の危険性がある気温(以下、凍害危険気温)を $-3 \sim -5^{\circ}\text{C}$ とした。露地栽培では、放射冷却によって作物体温がさらに数℃低下するから、耐凍性の獲得が不十分な秋冬作野菜類は、この気温域で凍害が発生すると想定した。各年の11月1日以降に最低気温が初めてこの温度以下になる日を、低温の初遭遇日とした。初遭遇日の前日から遡って5日間(以下、前5日間)ないし10日間(同、前10日間)の日平均気温と日最高気温の平均値を求め、これらを凍害リスクの指標に使用した。

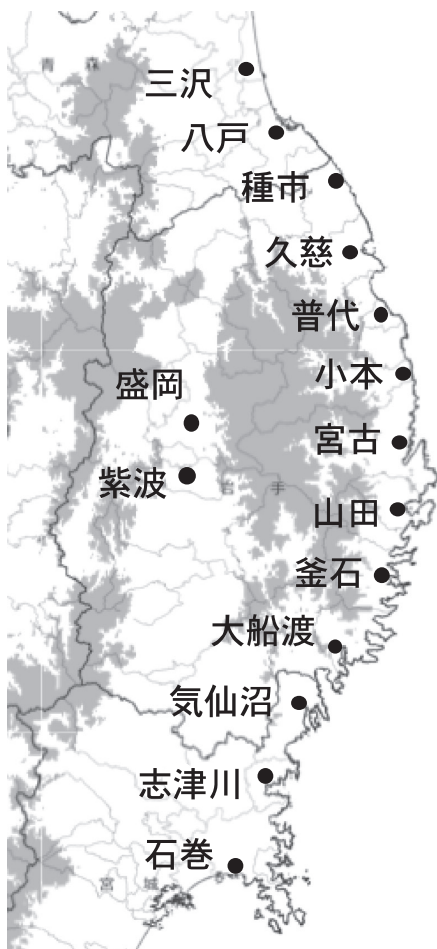


図1. 解析に使用したアメダス観測所。陰影部は標高500m以上の山地。

3. 結果と考察

はじめに -3°C 、 -5°C 、 -7°C 、 -9°C の低温に対する初遭遇日を観測点で比較した。図2には初遭遇日の30年平均とその温度以下の最低気温が出現した年の割合(出現年数割合)を示した。各図の左2点は内陸の2地点を、その右側に沿岸13地点を北から順に並べた。初遭遇日は全体として沿岸の北から南にかけて次第に遅くなるが、種市と久慈の間で一旦早まり山田から釜石の間で大きく遅れ、それより南でやや早まるという傾向が、いずれの温度域でも現れた。とくに久慈や普代では、内陸並みに早く低温に遭遇することが分かった。また出現年数割合の結果を見ると、 -3°C と -5°C を下回る低温がほとんどの地点でほぼ毎年出現することが分かる。さらに遭遇温度を -7°C 、 -9°C に下げると、沿岸南部の地点では出現割合が低下するが、沿岸北部とくに久慈や普代などでは内陸並みに出現割合が高かった。この結果から三陸沿岸でも北部の久慈や普代、あるいは小本などでは内陸並みかそれに近いレベルと頻度で低温が出現することが明らかになった。

凍害危険気温を -3°C と -5°C に定め、初遭遇日前10日間の日平均気温および日最高気温の平均値を図3に示した。以降、これらの値を凍害リスク指標と呼ぶ。なお前5日間平均値もほぼ同様の結果だったので、以下では主に前10日間平均値について考察する。上図は凍害危険気温を -3°C 、下図は -5°C に設定した結果である。いずれの図でも沿岸各地の凍害リスク指標は内陸の盛岡や紫波と変わらないか、むしろ大きな値を示した。沿岸の久慈から山田にかけての5地点(以下、沿岸5地点)で数値が顕著に増加し、とくに宮古を除く4地点では、多くのケースで沿岸の他地点や内陸と有意な差が認められた。一方、これら5地点を除く沿岸8地点と内陸2地点の全地点間には、有意差がほとんど認められなかった。すなわち低温遭遇前の気温経過から判断する限り、作物の耐凍性は内陸のそれと大き

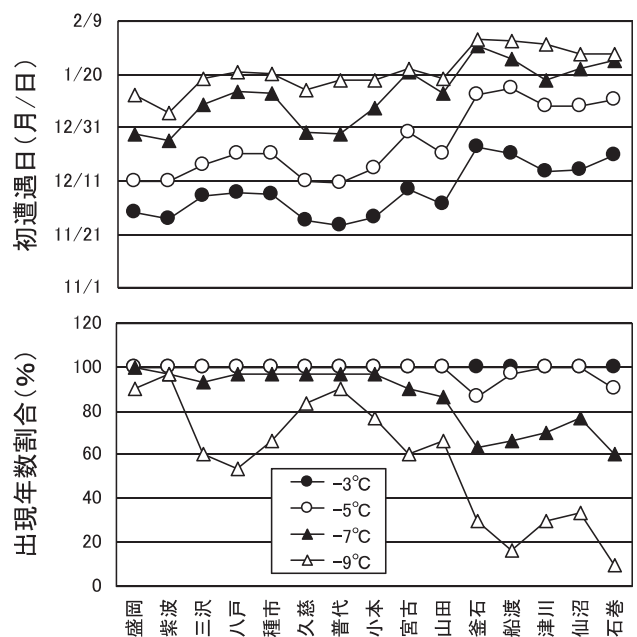


図2. $-3 \sim -9^{\circ}\text{C}$ の低温に対する初遭遇日の30年平均(上)とその出現年数割合(下)

く変わらないか、むしろ低いという結果が得られた。とりわけ久慈から山田にかけての沿岸5地点では、低温遭遇前に、平均気温、最高気温ともに高い日が継続し、その結果、作物の耐凍性が低下して内陸よりも凍害リスクが高まることが判明した。以下、沿岸地域とくに5地点一帯で凍害リスクが高まる原因を考察する。

図2に示したように、久慈、普代、小本では他の沿岸地点に比べて初遭遇日が早かった。このためまだ温かい時期に最低気温が急に下がり、凍害リスクが高まる可能性がある。しかし山田の初遭遇日は三沢、八戸、種市の3地点と同時期であるが、凍害リスク指標の値は有意に大きかった。初遭遇日前5日間平均の計算値や凍害危険気温を -4°C に設定した場合の計算値も含めて両者の関係を検討したところ、全体的には初遭遇日が早いほど凍害リスク指標が大きくなるという傾向が見られたが、沿岸5地点と同様に初遭遇日が早い沿岸北部の三沢、八戸、種市の3地点や内陸2地点の指標値は沿岸5地点よりも明らかに小さかった。したがって沿岸5地点の特異性を初遭遇日が早いことでは十分に説明できなかった。

次に気温の日較差について考察した。12月の日較差、日最高気温、日最低気温の月平均値を図4に示す。日最高気温は沿岸北部の三沢から沿岸5地点最南の山田にかけて次第に高くなり、釜石以南の地点では大きく変化しないか、やや低くなった。一方、日最低気温は八戸から低下し始め、普代で最低になり、山田と釜石の間で大きく増加した。この結果、日較差は沿岸5地点だけが、内陸2地点や沿岸8地点に比べて有意に大きくなった。11月から3月にかけても同様のパターンが現れた。すなわち沿岸5地点では、日最低気温が内陸や沿岸北部並みに低いにもかかわらず、

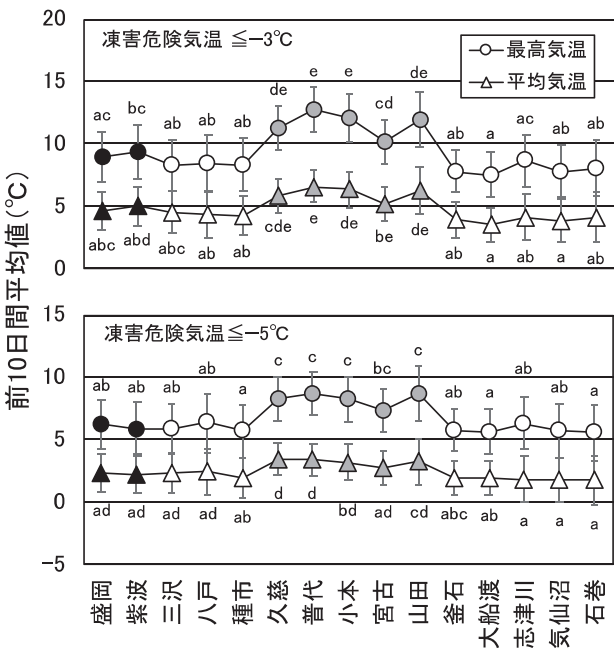


図3. 初遭遇日前10日間平均日平均気温と日最高気温 (エラーバーは標準偏差). 上図は凍害危険気温を -3°C 、下図は -5°C に設定. 黒色マーカーは内陸2点, 灰色マーカーは沿岸5地点. 英小文字は、異なる文字間にTukey-Kramerの多重比較で有意差 ($p < 0.05$) があることを示す。

日最高気温が比較的高いため日較差が特異的に大きくなることが分かった。

このような結果に観測地点の地形的な影響がないかを念のため確認した。一般に気温の日較差は海から離れるほど大きくなるので、海からの距離の影響を調べた。沿岸アメダス観測点から最も近い海岸までの距離を地図上で求め、その距離と日較差の関係を図5に示した。対象の30年間に、久慈と小本の観測点の設置場所が1 km以上移動したため、この2地点については移動前後の観測値を別々に表した。このため図5では沿岸5地点のデータが7個表示されている。図で明らかのように海岸からの距離によって日較差が増減するような傾向は認められなかった。また久慈では観測点が海から遠ざかった移動後に日較差が増加したが、小本では逆に海に近づいた移動後に日較差が増加したことから、日較差に対する海岸からの距離の影響はないと判断した。あわせて観測点の標高の影響も調べたが、標高と日較差の間にも明確な関係はなかった。また夏期間とくに5

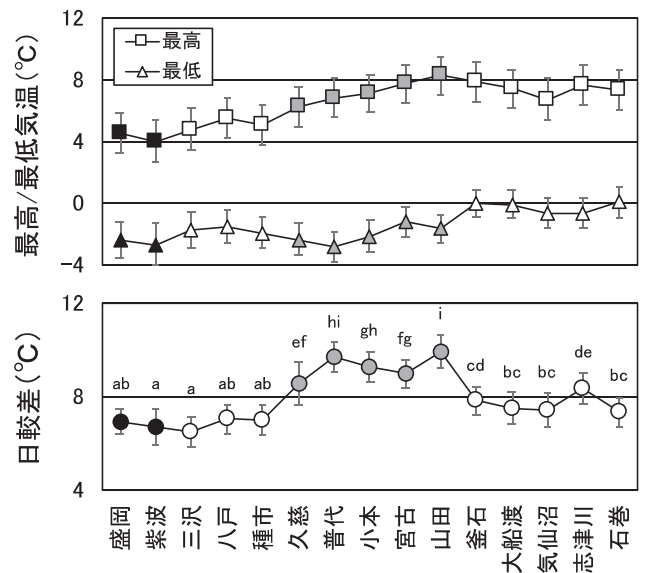


図4. 12月の日最高気温と日最低気温 (上), 日較差 (下). (エラーバーは標準偏差). 黒色マーカーは内陸2点, 灰色マーカーは沿岸5地点. 英小文字は、異なる文字間にTukey-Kramerの多重比較で有意差 ($p < 0.05$) があることを示す。

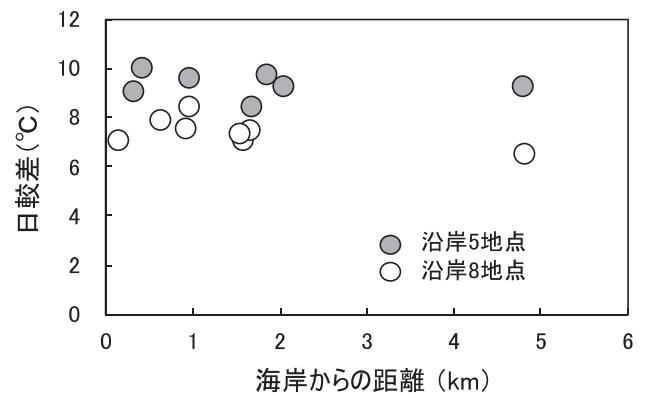


図5. 観測地点の海岸からの距離と12月の日較差の関係. 沿岸5地点で観測点が1 km以上移動した2地点では、移動前後を別々に表示。

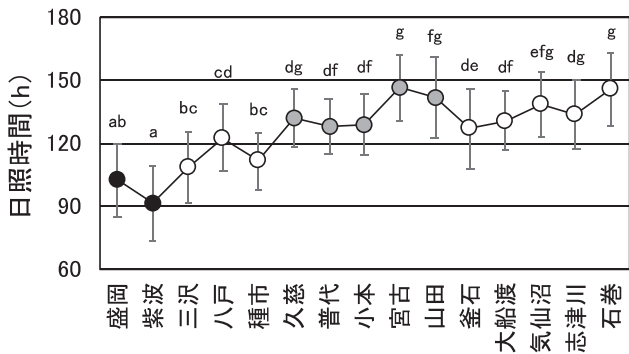


図6. 12月の月合計日照時間. (エラーバーは標準偏差). 黒色マーカーは内陸2地点, 灰色マーカーは沿岸5地点. 英小文字は, 異なる文字間に Tukey-Kramer の多重比較で有意差 ($p < 0.05$) があることを示す.

月～9月の日較差には, 5地点と他8地点の間に差が現れなかった。これらを踏まえると, 沿岸5地点における日較差の増大は, この一帯で寒候期に現れる気候学的な特徴と推察される。

図4に示すように沿岸の日較差は北部の3地点で内陸の2地点と同程度, 5地点以南では内陸2地点よりも大きかった。沿岸にも関わらず三陸とくに5地点の日較差が大きい原因として, 内陸と沿岸を隔てる北上高地の影響があると考えられる (図1参照)。図6に12月の月合計日照時間を示した。北部の三沢と種市を除くと, 沿岸各地の日照時間が盛岡よりも明らかに大きく, 西寄りの冬の季節風が奥羽山地と北上高地の2つの山脈に遮られ, 三陸沿岸で晴天が多いことを示す。このため昼の昇温と夜の放射冷却が促進され, 日較差が拡大しやすいと考えられる。図6で日照時間が全体的には沿岸北部から南部にかけて次第に増加する傾向が認められるが, 沿岸5地点の日照時間はそのラインよりもやや大きい。その結果, 種市と久慈, 山田と釜石の間には有意な差が現れた。凍害リスク指標, 気温の日較差さらに日照時間にも, 沿岸5地点の特異性が認められた。

小島 (1973) は主成分分析を用いて東北地方の気候を区分し, 下北半島の頸部から松島付近までの太平洋沿岸を, 釜石を境にして南北に分け, 北は冬期やや低温, 南は温暖な地帯と定めた。凍害リスク指標や日較差などに現れる山田と釜石の間のギャップは, ちょうどこの境に相当する。しかし山田以北はすべて北側の気候区に属し, 種市と久慈の間のギャップを説明する手がかりは得られなかった。一方, 千葉 (1999) は東北地方と新潟県各地における1月の日最低気温を調べ, 三陸沿岸の中では沿岸5地点を中心とする一帯で, 日最低気温の月平均値や月最低気温が最も低くなることを示した。さらにこの論文では, 東北各地の日最低気温と仙台の850 hPa 気温との相関を解析し, この相関が高いほど, その地域の気温が上空の一般風に支配されていると考察している。したがって山地に囲まれた内陸では一般風的作用が小さく相関が低くなり, 一般風的作用が大きい沿岸では相関が高くなった。興味深いことに脊梁山脈を挟んで仙台上空から離れた日本海側でも沿岸各地の相関は高いが, 一方で岩手県沿岸北部の久慈から小本を中心とする地域に, 仙台上空気温との相関の低い場所が認められた。北上高地などの作用により, 沿岸5地点付近で一般風に影

響されない独自の循環系の形成が示唆された。このような地形的な作用が, 沿岸5地点の最低気温を特異的に低下させていると推察する。

4. まとめ

“冬温かい”はずの三陸沿岸の野菜栽培で初冬に凍害が頻発したことから, 凍害が発生するような低温に遭遇する前の気温が高く, 作物の耐凍性を低下させていると考えた。作物の耐凍性を左右する要因として, 低温遭遇前5日間や10日間の日平均気温と日最高気温の平均値を求め, 凍害リスクの指標とした。その結果, 三陸沿岸では, 凍害リスクが内陸の盛岡地域並みに高く, とくに岩手県の久慈から山田にかけて一帯では, 内陸や他の沿岸地点より, 凍害リスク指標が有意に大きくなった。この一帯では寒候期の日較差が大きいという特徴があり, 日最低気温が内陸並みに低い上に, 日最高気温が比較的高い結果, 凍害リスク指標が増大したと考えられる。また久慈, 普代, 小本などでは, 低温の遭遇日も内陸並みに早く, 初冬の温かい時期に急に低温が来る傾向があった。

一般に, 同一の平野に位置する沿岸と内陸の比較であれば, 沿岸は内陸よりも日較差が小さいと言えるが, 北上高地で内陸と隔たれる三陸沿岸とくに岩手県北部沿岸では, この一般的な理解が通用しない。冬の季節風が遮断されて晴天が多く, 日中は昇温しやすく, 夜は放射冷却の影響を受けやすい。このため温暖な日中に作物の生育が促進されているところに低温が訪れるので, 初冬に凍害リスクが高まることが明らかになった。近年, 三陸沿岸では施設を利用した野菜栽培が広がっているが, 日中にハウスの温度を上げて作物の耐凍性を低下させないよう保温や換気などの管理に注意が必要である。

引用文献

- 千葉 晃, 1999: 東北地方における1月の月最低気温とその総観場. 東北の農業気象 **43**, 1-8.
- Cox W, Levitt J, 1976: Interrelations between environmental factors and freezing resistance of cabbage leaves. *Plant Physiology* **57**, 553-555.
- 五十嵐大造・中山敬一・坂本英介・伊藤喜誠・大林延夫, 1993: 冬穫りキャベツの凍害発生および耐凍性獲得におよぼす気温の影響. 農業気象 **49**, 91-98.
- 日下博幸, 2013: 学んでみると気候学は面白い. ベレ出版, 東京, 261 pp.
- 小島忠三郎, 1973: 主成分分析による東北地方の詳細な気候区分. 農業気象 **29**, 165-172.
- 松嶋卯月・岡田益己, 2019: 園芸振興. 東日本大震災で大学はどう動いたか2 - 復興支援と研究・教育の取り組み - (岩手大学復興活動記録誌編集委員会編). 古今書院, 東京, 170-177.
- Levitt J, 1980: *Responses of plants to environmental stresses (2nd ed.)*. Vol. 1. Chilling, freezing, and high temperature stresses. Academic Press, New York, 497 pp.
- 岡田益己・松嶋卯月・加藤一幾, 2020: 三陸沿岸におけるミニカリフラワーの作型と収穫期の年々変動. 生物と気象 **20**, 55-58.