

茶業研究報告 第138号 別刷
2024年12月

TEA RESEARCH JOURNAL
No. 138, December 2024

京都府宇治市における近年の茶の凍霜害の発現傾向と気候温暖化の関係

総合地球環境学研究所 京都気候変動適応センター
安成 哲三
京都府農林水産技術センター 農林センター 茶業研究所
大串 卓史
神戸学院大学経営学部
金森 大成

(2024年10月29日受理)

Relationship between Frost Damage of Tea in Uji city, Kyoto, Japan and the Recent Climate Warming

Tetsuzo Yasunari
Kyoto Climate Change Adaptation Center, Research Institute for Humanity and Nature
Takafumi Ohgushi
Tea Industry Research Division, Kyoto Prefectural Agriculture, Forestry and Fisheries
Technology Center, Agriculture and Forestry Technology Department
Hironari Kanamori
Department of Business Administration, Kobe Gakuin University

茶研報 138
Tea Res. Jour
Japan, No. 138

京都府宇治市における近年の茶の凍霜害の発現傾向と気候温暖化の関係

総合地球環境学研究所 京都気候変動適応センター*

安成 哲三[†]

京都府農林水産技術センター 農林センター 茶業研究所**

大串 卓史

神戸学院大学経営学部***

金森 大成

(2024年10月29日受理)

Relationship between Frost Damage of Tea in Uji city, Kyoto, Japan and the Recent Climate Warming

Tetsuzo Yasunari

Kyoto Climate Change Adaptation Center, Research Institute for Humanity and Nature

Takafumi Ohgushi

Tea Industry Research Division, Kyoto Prefectural Agriculture, Forestry and Fisheries

Technology Center, Agriculture and Forestry Technology Department

Hironari Kanamori

Department of Business Administration, Kobe Gakuin University

Summary

A climatological survey was conducted on the occurrence of frost damage to the first tea crop, which has been increasing since the end of the 20th century in Uji area of Kyoto prefecture. The occurrence of frost damage was concentrated in the first half of April and was closely related to the average temperature in March, which is an important factor in the early start of the budding period. It has been proven that when the average temperature in March is high (low), the budding period in April starts early (late). In particular, the frequency of occurrence of frost damage is extremely high on days in April with low temperatures of 0 °C or below after the average temperature in March was 8 °C or higher. Since 1990, the warming of the climate has been accompanied by an increase in temperatures in most months of the year. Particularly, one interesting tendency has been found that when the temperature in March is high there is a non-increasing or even decreasing tendency of temperature in April. This tends to create favorable conditions for frost damage. The long-term change in the seasonal progression of temperatures from March to April is likely to be related to the singular changes in the

* 〒603-8047 京都府京都市北区上賀茂本山457-4

** 〒611-0022 京都府宇治市白川中ノ薮 1

*** 〒650-8586 神戸市中央区港島1-1-3

[†] Corresponding author : yasunari@chikyu.ac.jp

seasonal progression of atmospheric circulation over and around the Japanese islands associated with the recent global warming in the region.

Key words : frost damage of tea, the first tea budding period, climate change, climatic warming, singular seasonal change

キーワード：茶の凍霜害、一番茶の萌芽期、気候変動、気候の温暖化、特異な季節変化

1 緒 言

京都地域は日本茶の生産では日本で最も古い歴史を持ち、現在も国内の日本茶生産の重要な産地である。特に、「宇治茶」に代表される品質の良い日本茶の生産については、日本の中心的な産地となっている。その中でも「八十八夜」とよばれる5月初旬頃に摘採される一番茶は、その出荷額からみても最も重要な産品である。

一番茶に対する凍霜害は春季の季節的な気温上昇で萌芽した新芽が時として出現したその後の低温日（寒の戻り）により、枯れるなどの深刻な被害を受けることで生じる農業災害である。この一番茶の凍霜害は、近年、近畿地方でも増加傾向を示し、その被害も深刻化すると想定されている¹⁾。本報告では、京都府茶業研究所（以下、京都茶研）での観測調査データを元に、過去35年間（1987－2021年）における京都府宇治地域の一番茶への凍霜害の実態とその気候変動影響について分析した結果を報告する。

2 用いたデータと分析方法

2.1 京都茶研における一番茶萌芽期データと気象データ

本研究では、京都茶研の圃場で定常的に観測された1987年から2021年の35年間の一番茶の（機械摘み仕立てによる）萌芽期および凍霜害記録と、同時に京都茶研の圃場で1969年から2021年まで継続して観測されている気象データを基本データとして用いた。凍霜害記録は、京都茶研圃場作況園の樹冠面における霜の有無とその後の新芽の褐変を観察により確認した。これらのデータから、毎年の萌芽期と一番茶の生育期の3月から4月の気温の関係を分析した上で、この期間に観測されたチャの凍霜害がどのような気象状況で発現したかを調査した。特に着目したのが、萌芽期のタイミングと凍霜害の発現に関係する3月から4月の気温の推移が、どのようにに関

しているかという点である。なお、京都茶研における防霜ファンの設置は2022年3月であり、今回の気象観測データへの影響はない。

2.2 広域気象データ分析

さらに、京都茶研の圃場気温で得られた季節推移と年々変動が、毎年の日本および東アジアのどのような広域の気象変動の条件の下で生じたかを、1969年－2021年の気象庁発行の地上および850 hPa（上空約1500 m）の天気図と、ヨーロッパ中期天気予報センター（ECMWF）による全球大気客観解析データERA5の850 hPaの気温データを用いて分析した。特に分析期間である1969年以降の長期的な気温変動と凍霜害の発現が、近年の「地球温暖化」とどのように関連しているかに着目して考察した。

3 分析結果

3.1 2021年4月10日の凍（霜）害の事例について

京都府内のみならず、近畿一円での広範な地域での茶園で凍霜害が、近年で最もひどかったとされる2021年4月10日の事例が、どのような気象条件で現れたのかをより詳しく調べた結果を述べる。図1は、2021年3月から4月における京都茶研で観測された日平均、日最低気温の推移を示している。気温変動には3月初めから4月に向かう季節的な昇温が大きいので、日平均気温の変動とその年平均偏差値も示し、凍霜害発現が平均的な季節変化と比較して、どのような気温偏差の中で生じたかを観やすくした。凍霜害が生じた4月10日の最低気温は平年値より数度低く4月で最も低温の日であり、 -0.8°C であった。この日は、数日周期の移動性高低気圧による天候変動の中で、図2のように日本列島全体を覆う大きな移動性高気圧の下での晴天日であったことがわかる。この高気圧の下での晴天と夜間の放射冷却は当然あったはずであるが、この高気圧は850 hPa（上空約1500 m）（図2（右））でも高気圧となっており、この高度における

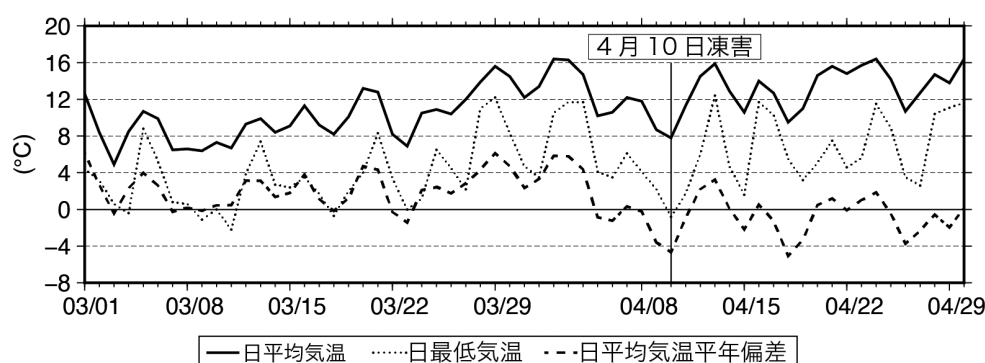


図1 京都府茶業研究所での2021年3月から4月における気温変化
日平均気温、日最低気温および日平均気温平年偏差の時系列

気温分布図からは、北極方面から日本列島方面に向けて -8°C 以下の強い寒気の南下を伴っていたことが示されている。すなわち、この時の「季節外れの強い低温」は、移動性高気圧に伴う晴天による夜間の放射冷却に伴った低温に加え、北極海からカムチャツカ半島・オホーツク海方面を経て日本列島付近に南下した寒気団による寒気の流入が主要な原因であったと考えられる。茶畑の凍霜害防止によく用いられる防霜ファンは、この時のように寒気団の南下で上空まで低温の状況では効果的ではなかった事例も報告されている²⁾。

興味深いことは、この低温日前の3月から4月第一半旬頃まで、気温の高温偏差傾向がひと月以上にわたって続いていたことである。一番茶の凍霜害は新芽が萌芽した状態が前提であり、このような気象変動の推移と一番茶の萌芽期の関連について次に調べる。

3.2 3-4月の気温の季節推移と一番茶の萌芽の関係

近年の「気候温暖化」に伴う京都地域の冬から春にかけての「温暖化」に伴う気温変動によって、通常（ある

いはこれまで）は、4月上旬頃であった萌芽期が、早まる傾向にある。たとえば、滋賀県茶業指導所（甲賀郡水口町）での近藤による研究³⁾では、1989年から2000年の12年間で、平均して10日間程度萌芽期が早まっており、その早まりには、2月下旬から3月中旬の積算温度の増加（あるいは3月平均気温の約 2.5°C の増加）との相関が高いことが指摘されている。

そこで、本調査では3月の積算温度に近似できる月平均気温と4月の萌芽期の毎年の変動を調べた。図3は京都茶研の3月の月平均気温と京都茶研で測定されている萌芽期（機械摘み）の関係を、35年間（1987-2021年）についてプロットしたものである。この散布図から、ばらつきはやや大きいものの、 $Y=-2.94X+31.4$ （ Y ：4月の京都茶研での萌芽期、 X ：3月の平均気温）という線形回帰式で近似できる。たとえば、3月の気温が 6°C から 10°C に上昇すると、萌芽期は平均的に4月14日から4月3日頃まで11日程度早くなる変動傾向になる。毎年

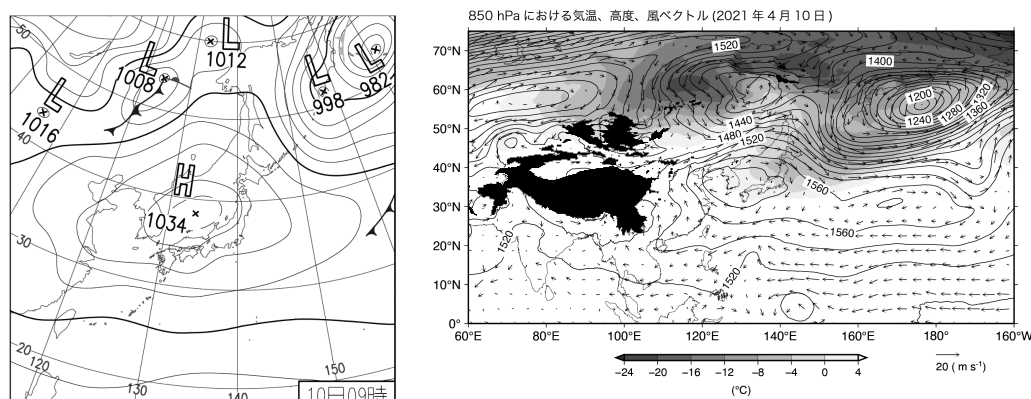


図2 2021年4月10日（凍霜害のあった日）の天気図
（左図）日本付近の地上天気図（気象庁） 単位hPa
（右図）アジア地域の850 hPa（上空約1500 m）高度分布（実線） 気温（ハッチ）
および風ベクトル（矢印） 黒色は高度1500 m以上の山岳地形分布

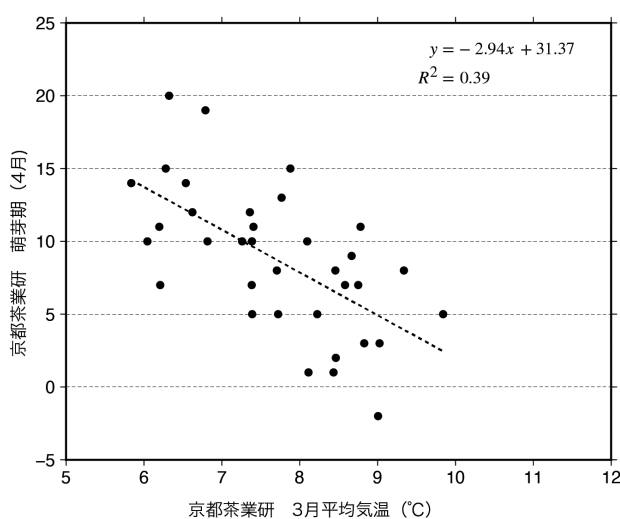


図3 京都府茶業研究所における一番茶の萌芽期（4月のカレンダー日）と3月平均気温の36年間（1987年～2022年）における相関分布
縦軸の0は3月31日を、-5は3月26日を示す

例を除きすべての年で4月10日より早くなっていることがわかる。

そこでまず、3月の月平均気温の長期的な変化傾向を調べた。図4(a)は京都茶研での1969年以降2021年までの53年間の3月の月平均気温の時系列を示す。全体として長期的な温暖化傾向を示し、線形回帰トレンド(破線)としてはこの期間(53年間)で約2.1℃の有意な上昇傾向となっている。より詳細にみると、1990年前後を境に

低温から高温傾向に転じている。即ち、1960年代から80年代(1969～1989年)の平均は約6.7℃であったのが、それ以降(1990～2021年)の平均は約7.8℃となっている。両期間の平均値の差1.1℃はt検定で98%以上の有意水準を示している。年々の月平均気温をみても、1989年以前には8℃を超える年は1年もなかったのが、1990年以降2021年までは、ほぼ50%の年(15年)が8℃を超えている。

そこで、3月の平均気温と4月の萌芽期の関係をより具体的にみるために、萌芽期データのある1987～2021年について、3月の平均気温が8℃以上の高温年15年と低温年8℃未満の20年について、萌芽期の統計を図5のように頻度分布としてまとめた。その結果、3月の高温年の萌芽期は3月末から4月12日の間にやや広く分布するが中央値は4月6日であった。一方、低温年は4月5～6日から19～20日に正規分布に近いかたちで分布し、中央値は4月11日となった。すなわち、3月が相対的に高温の年は、4月の萌芽期を平均的に早めていることが統計的にも示された。

3.3 凍霜害日の気象学・気候学的特性

ここではまず、凍霜害が生じた日の気象学・気候学的特性について解析した。一番茶における凍霜害は、茶株面から露出した芽又は新芽の耐凍温度を下回る低温によって引き起こされる。ただし、萌芽期は「萌芽した芽の割合が70%に達した日」と京都茶研では定義されて

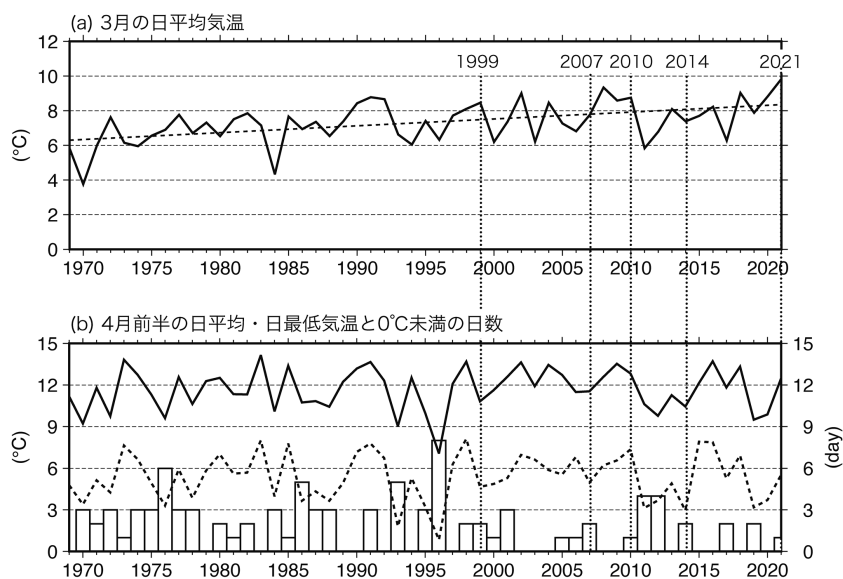


図4 京都府茶業研究所における53年間（1969年～2021年）の気温変化
(a) 3月月平均気温の経年変動とその直線回帰(破線)
(b) 同期間の4月前半(1～15日)で平均した日平均気温(実線)、日最低気温(グレー実線)および0℃未満の日最低気温日の頻度(棒グラフ)の経年変動
4月に凍霜害が発現した年を(a)に示す

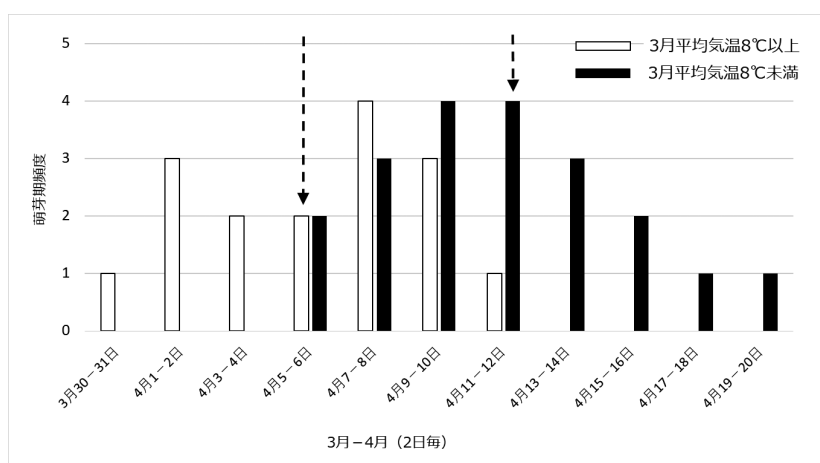


図5 京都府茶業研究所における一番茶の萌芽期の頻度分布（1987－2022年）
 3月の平均気温8℃以上（16年）であった萌芽期の中央値（破線）は4月5日
 3月の平均気温8℃未満（20年）であった萌芽期の中央値（破線）は4月11日

おり⁴⁾、萌芽期の3日程度前でも最低気温が0℃以下の日にすでに露出した心の一部分が変色し、凍霜害と記録されている年もあった。

そこで、萌芽期の3日前以降で、0℃以下になるような日を低温日として定義し、4月に低温日が出現した年を1987年以降の36年間について調べた結果、9年が該当した。その中で、京都茶研の記録（1987－2021年）による凍霜害の発生日は以下の5年で確認されている（1999年4月9日、2007年4月4日、2010年4月4日、2014年4月7日（および12日）、2021年4月10日（3.1節参照））。

図4(a)でも示すように、これらの凍霜害の日で1999年、2010年、2021年は3月平均気温が8℃以上、2007年、2014年も7.5℃以上の高温偏差年であった。萌芽期も、2007年のみ4月13日だったが、あとはすべて4月上旬であった。すなわち、3月の気温の上昇で、萌芽期直後か、あるいは萌芽期前であっても一番茶の生長がかなり早まっているという生育状況の下で、突然の寒波や晴天による放射冷却による早朝の冷え込みによって最低気温が0℃以下の低温となった時に、凍霜害が高い確率で発現するという共通した気象状況であったことが強く示唆された。

一方で、3月の平均気温が上昇した状況では、4月上旬あるいは半ば頃までの気温も同様に上昇して、凍霜害をもたらす低温イベントの確率はむしろ低くなるという可能性も十分に想像できる。そこで、3月の平均気温の変動傾向（図4(a)）と4月前半の平均気温の変動が同調しているか否かを、凍霜害の発現に係る日最低気温の4月前半の平均について調べた。その結果、3月

平均気温が長期的な上昇傾向を示しているのに対し、図4(b)に示すように年々変動における有意な相関もなく、長期的な気温の上昇あるいは下降の傾向はほとんど見られないことがわかった。日平均気温の変動傾向もほぼ同様に長期的な変動傾向は見られなかった。図4(b)には凍霜害を引き起こす可能性が非常に高い日最低気温が0℃未満になった日の頻度も示したが、1970～80年代に比べるとやや減少傾向とはいえ、2～3年に一度程度は4月前半に1～4回程度出現していることもわかった。すなわち、近年（特に1990年代後半以降）の3月の温暖化傾向により、図5にも示されるように、萌芽期が全体として4月上旬（あるいは前半）に早まったことにより、萌芽した茶芽が低温に見舞われる機会はむしろ高まり、チャの凍霜害も1999年以降5回と数年に一度程度に増加してきたといえる。

4 考察と今後の課題

3月の「温暖化傾向」による萌芽期の早まりの中で、4月の「低温日」の出現が一番茶の凍霜害を引き起こす事例が増加していることを報告した。今後の大きな課題は、このような一番茶の凍霜害の増加傾向が近年の日本列島付近の「気候温暖化」の中で、「暖かい3月」と「(相対的に)冷たい4月」という組み合わせが(偶然に)重なった結果として生じたのか、それとも「気候温暖化」における3月から4月の季節進行の特異的な変調として(必然的に)引き起こされた結果として生じたのか、という問題である。

図4(a)の京都茶研での3月の平均気温は、1990年頃

からの昇温傾向が顕著であったが、気象庁による20世紀初めからの日本全域の3月平均気温でも1990年頃から同様の顕著な上昇傾向を示している。一方、同じ日本全域での4月の平均気温の長期傾向は、上昇傾向はあるものの、月ごとにみた昇温率は1年(12か月)の中でも最も小さいことが示されている⁵⁾。このような3月と4月の気温変動の長期傾向の違いは、近年の「気候温暖化」に伴う日本付近の気温変動における季節変化特性を反映している可能性が高い。

そこで、特に3月から4月にかけての年ごとの季節進行の中で、気温偏差の長期傾向が、どのような季節的特性を持っているかをより詳しく調べた。図6は、京都茶研の日最低気温が、図4(a)を参照して、「高温化」が顕著ではなかった1989年以前の21年間(1969–1989年)平均と、「高温化」が顕著となった1990年以降の32年間(1990–2021年)平均の差を観ることで、日最低気温が1990年以降とそれ以前で、どのように長期的な変化しているかを調べた図である。

日毎の気温そのものを用いたため短周期変動によるノイズの変動が残っているが、平均的な気温変化傾向は1年を通じて正偏差すなわち高温化している。その一方で、4月から5月前半頃と11月半ば頃には、負偏差すなわち低温化傾向が現れている。この傾向は、日々の数日周期の短周期変動を5日移動平均で平滑化した図6(b)で、より顕著に可視化できた。特に、3月、夏季(6月末～

8月前半)、10月および11月末～12月初め頃の正偏差(昇温化傾向)は大きい。中でも3月の温暖化は、一年の中でも最も顕著であることも示されている。一方、4月には正偏差(高温化)と負偏差(低温化)傾向が数日から10日程度の周期で混じりあった結果、一年を通じて全般的な高温化傾向がみられる中で、「温暖化も寒冷化もしていない」季節として現れていることがわかる。すなわち、春の3月から4月という一番茶の成長、萌芽にとって非常に重要な時期に、近年(1990年以降)は3月の顕著な高温化による新芽の成長の促進と萌芽期の早まりと、4月の「低温日」発現が組み合わせて生じたことにより、凍霜害の可能性が強まっていることになる。

この京都茶研の気象データに観られた近年の「高温化」に伴う3月から4月における気温偏差の季節的な推移は、地域的に限定された気候現象なのか、それとも日本列島スケールの広域の大気循環や気候の変動に関連しているのか不明である。この問題を調べるため、より広域の大気循環パターンに対応しているはずの上空の気温偏差の推移を調べた。図7は、ヨーロッパ中期気象予報センター(ECMWF)の全球客観解析気象データERA5^{6,7)}の京都(宇治)付近の格子点における850 hPa(上空約1500 m)の日平均気温で同様の分析をした図である。ERA5データは、日本全域の高層気象観測点のデータもすべて取り込んで客観解析を行っており、日本上空の広域の気温分布を十分代表していると考えられる。上

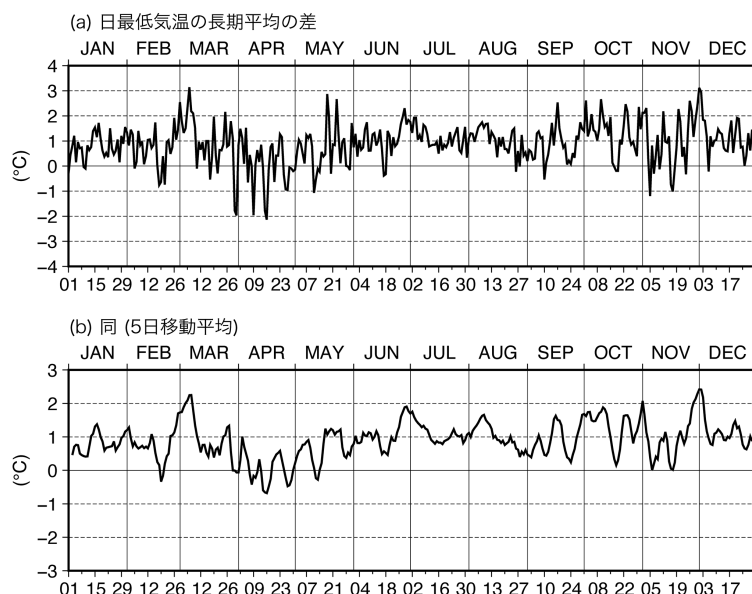


図6 京都府茶業研究所における日最低気温の長期変化傾向((1990–2021年平均) – (1969–1989年平均))

(a) 1年間の時系列変化と(b) その5日移動平均値の時系列変化

空で日平均気温を用いた理由は、地上での低温をもたらす原因としての寒気団の指標として考慮するためである。

図6で示された3月から4月の日最低気温偏差の長期傾向は、図7でもほぼ同様、あるいはより顕著に再現されており、決してこの地域特有の気象現象ではない。図2の地上および高層天気図から示唆されるように、近年の「気候温暖化」に伴う、少なくとも西日本スケールでの気温偏差の季節変化の「特異性」として強まっている可能性が高い。4月における気温偏差の日変化の振れは図1の2021年の例でも分かるように、この時期の移動性高・低気圧に伴う暖気と寒気の流入の変動の振れが大きく影響している。

図6と図7を比較して興味深いもうひとつの事実は、冬・春・秋の季節については、京都茶研の気温の変化傾向と上空の850 hPaでの変化傾向にはほとんど差がみられないが、夏季（6-8月）の気温偏差については、図6の京都茶研の気温は近年（1990-2021年）のほうが1990年以前（1969-1989年）より季節を通して1℃程度高いが、図7の850 hPaの気温では、両期間の差はあるもののほとんどゼロに近い。今後、この問題もさらに考察が必要であるが、夏季における宇治市周辺あるいは京都府南部という田園地域でも、都市化や土地利用変化、あるいは地形効果による地表付近での「冷え込みの弱まり」や降水量減少などと関係している可能性もある。こ

のことは、夏季のチャの生育への影響も含めた農業への影響という視点から、今後さらに検討が必要であろう。

いずれにしても、宇治の京都茶研の日最低気温(図6)で見られた春（3月-4月）の気温偏差の季節推移の長期的な変化傾向は、より広域の気温変動を示す850 hPa（上空約1500 m）でも同様の長期傾向を示している。3月の高温化傾向による一番茶の萌芽時期の早まりと、依然として出現する4月の「低温日」のある気象状況の組み合わせは近年の「気候温暖化」に伴う3月から4月の特異的な季節推移として起こりやすくなっており、凍霜害の可能性はむしろ高くなっているとも考えられる。京都地域の茶生産地における今後の凍霜害の予測と対策にとって考慮すべき重要な課題であろう。

5 摘 要

京都宇治で20世紀末から増加傾向の一番茶の凍霜害の発現に関する気候学的な調査を行い、以下の結果が得られた。

4月前半に集中する凍霜害には、3月の平均気温が高く、萌芽期が早まる条件が重要である。一番茶の萌芽期（4月）の日付は、春（3月）の平均気温と負の有意な相関関係があり、3月平均気温が高いと4月の萌芽期は早くなる。特に、3月平均気温が8℃以上の後の4月における日最低気温0℃以下の低温日に発現頻度が極

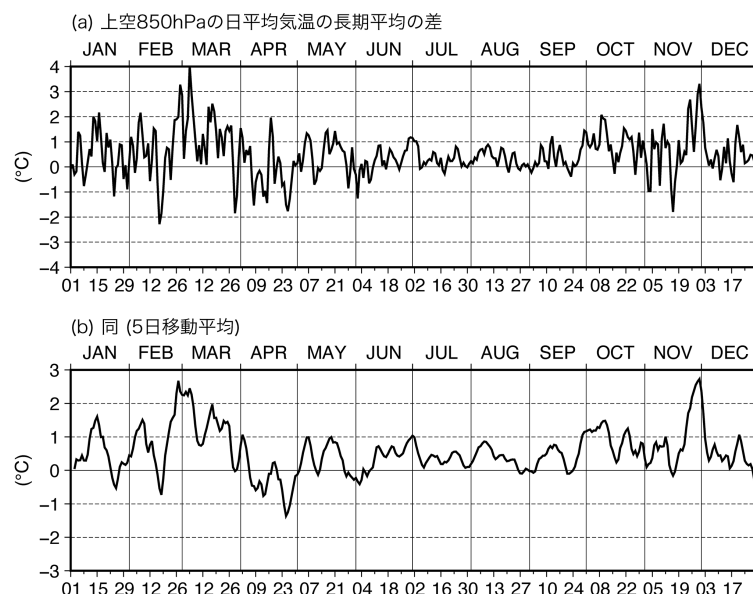


図7 ヨーロッパ中期気象予報センター（ECMWF）の全球客観解析気象データ（ERA5）による京都府茶業研究所に最も近い格子点での850 Pa（上空約1500 m）の気温の長期変化傾向（（1990-2021年平均）-（1969-1989年平均））

(a) 日平均気温の1年間の時系列変化と、(b) その5日移動平均値の時系列変化。

めて高くなる。1990年以降の気候の温暖化は1年の大部分の月での気温の上昇を伴っているが、3月は特に気温の上昇が顕著である一方、4月はむしろ下降傾向で、凍霜害が発現しやすい状況となっている。この3月から4月にかけての気温の季節進行における長期の変化傾向は、日本付近の近年の「気候温暖化」に伴った日本列島付近の大気循環の季節進行における特異的な変化に関係している可能性が高く、茶の凍霜害の予測と対策には、その気候学的な機構解明が重要である。

6 謝 辞

本研究は、京都府、京都市および総合地球環境学研究所が合同で運営する京都気候変動適応センター(KCCAC)の事業の一環として進めている「地球温暖化および気候変動が京都地域の農業へ与える影響と今後の適応策」の一環として、近年の温暖化が京都域での茶の凍霜害に与える影響を、京都府茶業研究所との共同研究を進めた成果をまとめたものである。研究への便宜やデータを提供してくださった関係各位に感謝の意を表する。

7 引用文献

- 1) 気候変動適応近畿広域協議会(事務局:環境省近畿地方環境事務所, 日本気象協会)(2023):近畿地域お茶対策分科会報告 気候変動適応における広域アクションプラン.
https://adaptation-platform.nies.go.jp/moej/action_plan/file/kinki/02-01.pdf(2024.10.29)
- 2) 荒木琢也・松尾喜義・角川 修・深山大介(2010):2010年3月の静岡県牧之原市における凍霜害発生時の茶園気象と防霜ファンの効果. 茶研報, No.110, 1-8.
- 3) 近藤知義(2004):チャ主要品種‘やぶきた’における一番茶新芽の生育と積算気温との関係. 茶研報, No.97, 39-47.
- 4) 日本茶業学会(2021):「茶の科学用語辞典(第3版)」(2021年3月31日第3版), pp. 105.
- 5) 気象庁(2024):気温・降水量の長期変化傾向
<https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/index.html>(2024.9.17)
- 6) Hersbach, H., B. Bell, P. Berrisford, S. Hirahara, A. Horanyi, J. Munoz-Sabater, et al. (2020): The ERA5 global reanalysis. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 146, 1999-2049. <https://doi.org/10.1002/qj.3803> (2024.9.17)
- 7) European Centre for Medium-Range Weather Forecast (2024): ECMWF Reanalysis v5(ERA5). <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/dataset/ecmwf-reanalysis-v5> (2024.9.17)

