

令和元年6月22日現在

機関番号：16401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K07958

研究課題名(和文) 植物の再帰的夜間冷却機構を考慮したGPS支援型広植生域最低気温予測システムの構築

研究課題名(英文) Development of daily-minimum-temperature estimation system with recursive plant cooling using GPS-derived precipitable water vapor

研究代表者

森 牧人 (Mori, Makito)

高知大学・教育研究部自然科学系農学部門・准教授

研究者番号：60325496

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、国内のGPS電子基準点より得られるGPS可降水量のデータを援用し、植物の再帰的夜間冷却機構を考慮した広植生域最低気温予測システムが構築された。まず、微細気象観測点が研究対象地域内に設けられ、植生地における日最低気温の赤外放射依存特性について調べられた。次に、植物(作物)の低温環境に対する耐凍性が、植物葉の電解質漏出率等を測定することにより明らかにされた。植物の再帰的夜間冷却機構を表現可能な数学モデルが開発され、一種の理想化された環境において日最低気温が計算可能なことが示された。構築されたGPS支援型広植生域最低気温予測システムにより、四国地域の日最低気温分布図が事例的に描かれた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

農地や森林等における日最低気温は、植物(作物)の生長を規定する重要な環境因子である。特に春季の遅霜による凍霜害対策や晩秋季における健全な低温馴化(翌春の芽吹きに備えた植物生理作用)の観点からも同温度に対する農業分野の関心は低くない。しかしながら、植生地の日最低気温の発現には不明な点が多いこと、また、そもそもその空間分布を得るには既設のアメダスでは十分ではない。本研究課題は、植生地の夜間冷却機構を数学的に定量化し、さらに、アメダスよりも空間配置密度の高いGPS観測網から得られるデータを活用することにより日最低気温の広域的な推定・予測が可能であることを示した。

研究成果の概要(英文)：In the present study, a daily-minimum-temperature estimation system was developed using GPS-derived precipitable water vapor. A mechanism of recursive plant cooling was effectively introduced into the system developed. Micro-meteorological observation stations were deployed to clarify the dependency of the temperature on the radiation environment over an island area with vegetation cover. Freezing tolerance of a plant was evaluated through measuring a plant physical/physiological measure of the experimental plant. A recursive plant cooling model was developed for the estimation under the idealized situation. The developed system depicted a distribution map of daily minimum temperature over the Shikoku District based on a concept of the positive cooling of plants.

研究分野：局地気象学

キーワード：GPS 耐凍性 日最低気温

様式 C - 19, F - 19 - 1, Z - 19, CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

農地や森林等の植生地における日最低気温は植物の生長を規定する重要な環境因子である。地球温暖化の顕在化しつつある現在、多年生植物が秋季の低温不足に起因して翌春の開花に支障をきたす一方で、気温上昇に伴う植物の耐凍性の喪失により、遅霜害や凍害は逆に増える傾向にある。西日本(2010年3,4月)・南米チリ(2013年10月)の広域甚大霜害は記憶に新しい。したがって、植生地では日最低気温の問題は温暖化により掻き消される過去の問題では決してなく、その科学的な理解と予測が要求される「これからの問題」でもある。植生地での低温はどのように生じ、如何にして日々の最低気温が決まり、それが空間的にどう分布するのか?また、茶などに代表される多年生の植物の耐凍性が気温の年変化に応答して季節的にどのように変化するのか?、温暖化に伴い都市の日最高気温が注目を集める中、植生地を対象とした広域的な日最低気温予測システムの構築は、将来に向けて持続的な植物生産を維持する上でも喫緊の課題と言ってよい。

2. 研究の目的

地球温暖化の進行する現在、植物は低温馴化の阻害により、霜害など低温起因の災害を被るリスクは逆に高まっている。本研究の目的は、植生地を対象に、まず、植物の再帰的夜間冷却機構が示され、能動的な冷気の生成を通じて、夜間の最低気温が積極的に決定されるという概念を数値モデルとして構築することを第1の目的とする。ここで、「再帰的」という意味は、植生や多様な地物に覆われたような環境下で、地物が放射冷却機構を経て低温が決まる過程を冷たい空気(冷気)の生成と捉え、生成冷気が積極的に次の冷気の生成に積極的に寄与することをいう。次に、農作物、とりわけ低温に影響を受けやすい多年生の農作物である茶の耐凍性が、低温に対して植物生理学的にどのように応答し、どのような季節変化を見せるのかを事例的に明らかにすることを第2の目的とする。第3の目的としては、上記の2つの目的を踏まえ、国内のGPS観測網を構成する電子基準点(国土地理院)で観測・収録されているデータ(大気遅延量)を用いたGPS援用型の日最低気温予測システムを開発することを第3の目的とする。

3. 研究の方法

(1) 四国地域内に複数の微気象観測点を設置することにより、その日々の微気象要素の連続観測を行った(高知県長岡郡大豊町怒田・同香美市土佐山田町上穴内赤荒)。観測項目は、気温・相対湿度・全天日射量・風向・風速・降水量である。加えて、気象官署やいわゆるアメダス(地域気象観測システム)では日常的に測定されていない下向き赤外放射量の連続観測も必要に応じて併せて実施した。加えて、常時、気象データの蓄積されている四国地域内のアメダスについてもデータを得た(観測項目:気温・風向・風速・日照時間・降水量)。いずれも、10分ないし60分間隔のデータセットを作成し、最低気温の解析を行った。

(2) 特に低温の影響を受け、その指標となる日最低気温の特別連続観測と多年生の農作物の(チャ:品種ヤブキタ)の継続的生育量調査も高知県内の中山間地(仁淀川町)で実施した。前者に関する測定項目は気温・相対湿度(いずれも2高度)・上向き/下向き日射量・風向・風速・上向き/下向き赤外放射量であり、後者に関しては、茶葉の電解質漏出率・氷核形成温度・葉厚・乾物率・量子収率・水ポテンシャルである。2週間もしくは1か月に一度の頻度で、遅霜の懸念される春先には頻度を増やし、また、茶葉に関しては新葉(いわゆる一番茶)と成葉(古葉)に区別して調査を行った。

(3) 上述の植生地における夜間冷却過程については、コンピュータ上で数値モデル(再帰的夜間冷却モデル)を作成することにより、夜間の気温の低下の様子を調べるとともに、仮想的な植物体の温度(植生温度)や植生下部の地温の変化についても調べた。

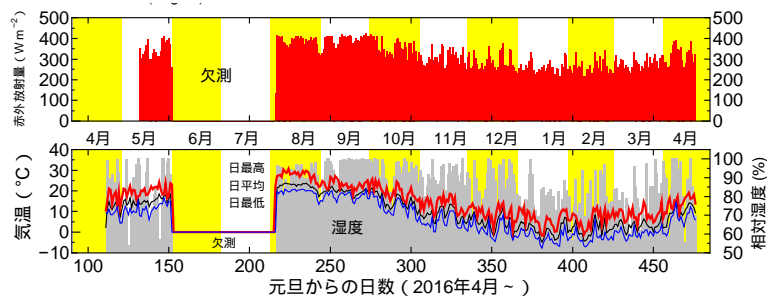


図1. 四国内の典型的な山間地(高知県香美市土佐山田町上穴内赤荒)における日平均気温・日最高気温・日最低気温・相対湿度(以上下図)および下向き赤外放射量(上図)の季節変化例

(4) GPS援用型の日最低気温予測システムを開発した。すなわち、GPS電子基準点(国土地理院)の大気遅延量(GPS衛星からの電波が大気中の水蒸気の影響を受けて地上に遅延して到達する度合い)を用いてその年変化(日々の変化量を1年間分まとめたもの)を調べるとともに、気温が季節的に大きく低下した特定の日について、モデル上において、気温・植生温度・地表面温度等がどのように低下するかを調べ、GPS技術を援用した日最低気温の予測について

四国地域を対象に実施した。

4. 研究成果

(1) 図1下図は高知県内の典型的な山間地(高知県香美市土佐山田町上穴内赤荒)で観測された日平均気温・日最高気温・日最低気温・相対湿度の季節変化の一例である。観測点は林道に位置し、周囲は樹木で覆われた森林地帯である。同図より日平均気温は夏季において20を上回るが、冬季は0近くまで低下する様子が明らかである。年間を通じて、日最高気温は0~30の範囲で変動するが、日最低気温は-10~20ほどであり、冬季になると同温度が特徴的に-10近くまで低下することが明らかである。夏の涼やかな気候とは対照的に、冬は厳しい冬が訪れるということが出来る。図1上図は下向き赤外放射量の結果である。同放射量は天空から地上に射出される赤外線エネルギー量ということができるが、250 Wm⁻²~400 Wm⁻²の範囲で季節的に推移し、夏季に大きく、冬季は逆に小さくなる。赤外線の量を天空の温度として換算すれば、その範囲は約-15~約17となる。天空の温度は日最低気温よりも、3~5程度低くなること分かる。図2は高知県内の典型的な山間地(高知県香美市土佐山田町上穴内赤荒)における下向き赤外放射量(日平均値)と日最低気温を比較した一例である。前者が小さいほど、後者も低くなる傾向が明らかであり、日最低気温を推定するに当たり、赤外放射量の考慮が重要であることがわかった。

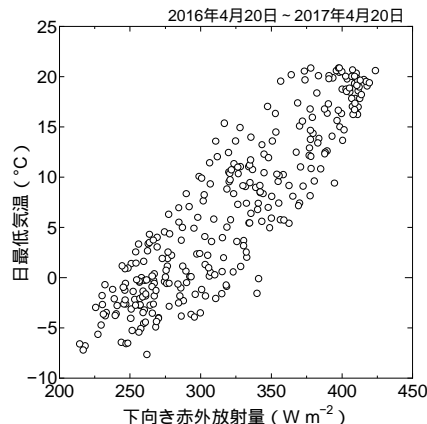


図2. 四国内の典型的な山間地(高知県香美市土佐山田町上穴内赤荒)における下向き赤外放射量と日最低気温の比較例

(2) 電解質漏出率(EL)の温度依存性を調べた結果、同率の温度低下に伴う増加率が4月16日ではほぼ一定の約0.06/であった(図3)。同日を境にELのプロファイルはその前後で特徴的な形状を示した。寒候期(1月~4月3日)のELは小さく、低温域(-12)で増加するのに対し、暖候期(5月2日~10月)のELは相対的に大きく、高温域(-8)で増加した。ELは耐凍性の評価指標であり、それが急激に増すことは、茶が耐凍性を喪失することを意味する。特に、-8付近を中心に認められた両期のEL値間の大きな隔たり(4月3日と5月2日のEL値差)は、4月16日を境に約1ヵ月間の短期間で耐凍性が喪失した結果と解釈できる。4月のEL(-8, -12, -16)の増加に加え、同月には水ポテンシャルの急増と乾物率の急減が伴って確認された。気温と植物体温の最低気温は同月以前に比べて日々の増加率が比較的大きく、著しい気温上昇に伴う植物体温の上昇が耐凍性を喪失させた結果、前2者の値を上昇させたと考えられる。後者の急減はそれに含まれる不凍タンパク質と同調していたと仮定すれば、4月における3者の急激な変化は植物生理学的にも耐凍性の喪失をそろって裏付けることができる。

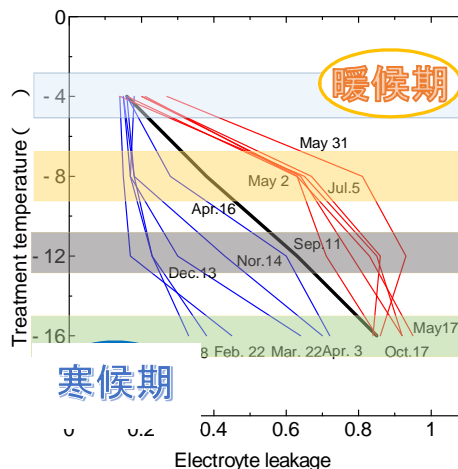


図3. 電解質漏出率の温度依存性の季節変化

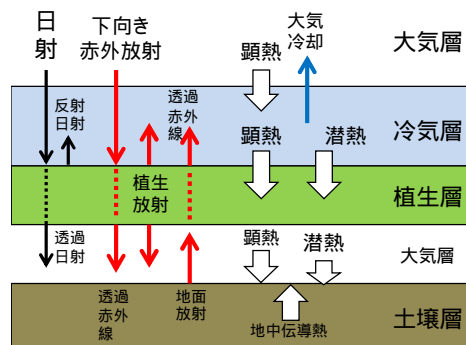


図4. 冷却モデルの構成

(3) 植生地では、植生が下方の土壌と上方の大気層から挟まれる層構造を成す。本報告ではそれを単純化し、鉛直方向に下方から上方に重なる土壌層・大気層・植生層・冷気層・大気層の5層構造からなる数学モデルを作成した(図4)。同モデルでは、日中、大気層を通り、植生に入射する日射は、植生上面で反射されるほか、植生による吸収やそれを透過する効果を考慮した。植生に下から入射する下向き赤外放射量(赤外線)については、反射(ごく僅かであるので、ここでは無視)と植生層における透過の効果を考え、植生層から下向きに地面へ射出される成分と上向きに天空へ射出される成分を含めた。さらに、地面から植生に上向きに射出される赤外線については、上記と同様に透過過程を組み入れた。地表面上では顕熱・潜熱・地中伝導熱からなる熱収支を解き、植生層で顕熱・潜熱の効果を加味した。植生直上には夜間にお

ける冷気層を設定し、冷気層から植生への顕熱輸送による冷気の生成効果と大気から冷気層へ顕熱輸送による一種の緩和効果を一定の係数を用いて顕に導入した。冷気層では、植生層の上下端における両顕熱の効果に加え、冷気層そのものの放射冷却効果を独立して考慮し、生成された冷気がそれ自身の温度に応じて、再帰的に冷却し、その結果として植生地の最低気温が決定されるような再帰的冷却過程を気温の時間変化で表現可能にした。図5は仮想的な放射環境を与えることにより計算された植生面温度・気温・地表面温度の日変化の計算結果の一例である。いずれの温度も良好に計算され、早朝や夕方において温度差が小さくなる様子がよく表現された。

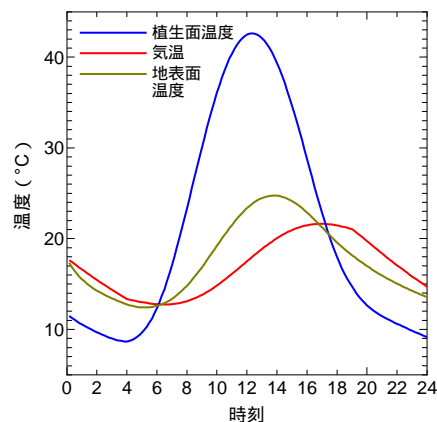


図5. 植生面温度・気温・地表面温度の日変化に関する計算例

(4) 図6は、2013年3月15日における四国内の各GPS電子基準点を対象に推定された日最低気温の分布を表す。凡例は、10.0から2刻みで-2.0まで表示した。ただし、この結果は前日18時のGPS電子基準点におけるGPS可降水量とその近傍のアメダス観測点における気温のデータを用いることにより描いた。内陸部は沿岸部に比べてより低温になりやすく、氷点下の気温が推定される一方、沿岸部では相対的に温度が高く0を上回る様子が明らかである。ただし、同じ沿岸部でも地域差がよく表現されており、高知県西部と愛媛県東部が比較的良好に冷え込んでいるのとは対照的に、高知県西部ではそれが小さい。図中に表示されたすべてが植生地というわけではないが、GPS可降水量の援用と植生の再帰的冷却過程を考慮することにより、いわゆるアメダスでは推定することができない高い解像度で、日最低気温を広域的に推定できる可能性が示された。

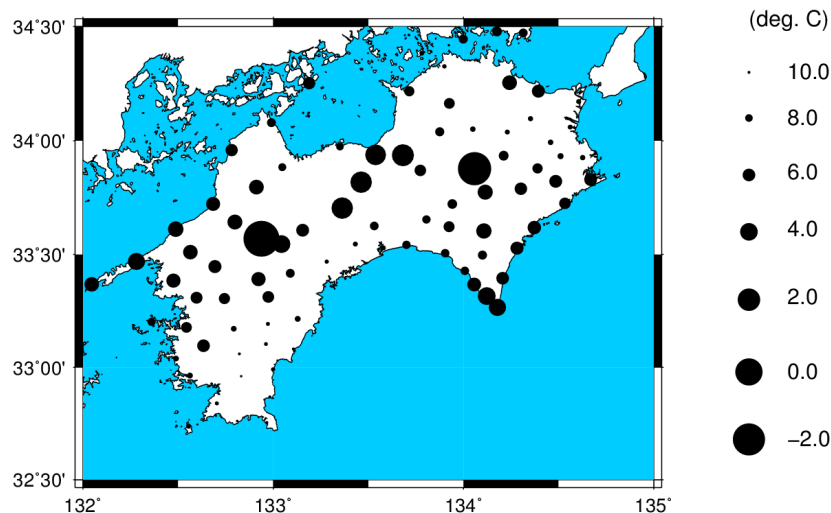


図6. 四国地域内のGPS電子基準点を対象にした日最低気温の空間分布の予測結果の一例

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 件)

〔学会発表〕(計 5 件)

西谷桃子・森 牧人, 2018: 晩霜期における茶葉の耐凍性の急激な喪失. 平成30年度日本農業気象学会中国・四国支部大会. 2018年12月6日~12月7日, 徳島県徳島市.

Momoko Nishitani・Makito Mori, 2018: Reduced freezing tolerance of the tea plant (*Camellia sinensis* L. var. *Yabukita*) during a late frost season. International Symposium on Agricultural Meteorology 2018, 2018年3月14日~3月17日, 福岡県福岡市(九州大学伊都キャンパス).

古川 亨・森 牧人・西村安代・一色隆太郎・安武大輔, 2017: 葉の水ポテンシャルと電解質漏出率に着目したチャの耐凍性評価とその季節変化. 平成 29 年度日本農業気象学会中国・四国支部大会. 2017 年 12 月 7 日~12 月 8 日, 鳥取県鳥取市.

原田理紗子・森 牧人・谷岡紘巨・安武大輔, 2017: 夜間冷却条件下の結露生成に関する基礎研究 観測とシミュレーション. 平成 29 年度日本農業気象学会中国・四国支部大会. 2017 年 12 月 7 日~12 月 8 日, 鳥取県鳥取市.

Ryutaro Isshiki・Makito Mori・Tomohiro Nojima・Galis Ivan・Daisuke Yasutake, 2017: Field investigation of the differences in the freezing tolerance of the tea plant (*Camellia sinensis* L. var *Yabukita*) at different locations in a tea garden, western Japan. International Symposium on Agricultural Meteorology 2017 2017 年 3 月 27 日~3 月 30 日, 青森県十和田市 (北里大学十和田キャンパス)

〔図書〕(計 1 件)

森 牧人, 2018: 中国四国地方各県の気候 (高知県の気候). 日本気候百科 (第 7 章 3 節; p344-p353), 丸善出版株式会社.

〔産業財産権〕

出願状況 (計 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年:
国内外の別:

取得状況 (計 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年:
国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名: 安武 大輔

ローマ字氏名: YASUTAKE DAISUKE

所属研究機関名: 九州大学

部局名: 大学院農学研究院

職名: 准教授

研究者番号: 9 0 5 1 6 1 1 3

研究分担者氏名: 西村 安代

ローマ字氏名: NISHIMURA YASUYO

所属研究機関名: 高知大学

部局名: 教育研究部自然科学系

職名: 准教授

研究者番号: 2 0 4 3 5 1 3 4

(2) 研究協力者

研究協力者氏名:

ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。