

地球温暖化と関東地域における トウモロコシ二期作の可能性について

1. はじめに

近年、世界的に地球温暖化が進行し、我が国においても、温暖化が生態系や農業生産に与える影響が顕在化してきた（農林水産省農林水産技術会議事務局、2007）。2013年9月に公表された気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第5次報告書の第1作業部会報告書では、1880年～2012年の期間に世界平均地上気温は0.85℃上昇し、気候システムの温暖化については疑う余地がないとしている。そして、複数のシナリオを用いて将来の気候変動を予測しているが、その結果によれば1986年～2005年に比較して2081年～2100年の世界平均地上気温は最大で4.8℃上昇することが予測されている。実際にどの程度の気温上昇が起こるかは、今後の温暖化対策への取り組み如何によって変わってくると考えられるものの、こうした気候変動の予測は今後の農業技術の検討にあたって、念頭に置くべきと考えられる。

地球温暖化が飼料作物の生育に与える影響についての研究は、我が国では1990年代前半より福山ら（1993、1994）、高橋ら（1993）、佐々木（2003）により開始され、今後予想される温暖化が我が国の飼料作物生産に大きな影響を及ぼすことが明らかにされた。現在、飼料作物栽培分野においても温暖化への適応技術に関するいくつかの研究が行われているが、本稿では温暖地における温暖化適応技術として、関東地域におけるトウモロコシ二期作について

取り上げ、その現状と今後の可能性について解説する。

2. 関東地域におけるトウモロコシ二期作の現状

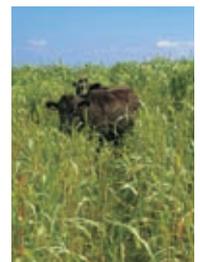
我が国におけるトウモロコシ二期作は、従来、気象条件として10℃基準の有効積算温度が2,400℃以上となる地域に適すると言われており、九州等の暖地における栽培技術と考えられてきた。しかし、近年では岡山県の笠岡干拓において約200ha（述べ面積約400ha）にも及ぶ大規模な二期作栽培が行われており（井笠農業普及指導センター2011）、さらに、静岡県においては、2008年度より開始された沿岸部のコントラクター事業の主要な作付体系としてトウモロコシ二期作が採用されている。関東地域では神奈川県（写真1）、栃木県（写真2）、茨城県等において、先駆的な畜産農家によりトウモロコシ二期作が行われており、最も北に位置する栽培事例としては、栃木県の小山市から栃木市にかけての栃木県南部でも複数の畜産農家により試みられている。しかしながら、関東地域のトウモロコシ二期作の事例では、二作目におけるトウモロコシの登熟程度が不足し、収量・栄養価が不安定な状況にある。

図1に関東地域における1980年代から2000年代の4月～12月における10℃基準の有効積算温度の変化を示した。有効積算温度は2,000℃未満、2,000～2,200℃、2,200～2,300℃、2,300～2,400℃、2,400℃

第62巻第2号（通巻656号）

牧草と園芸/平成26年(2014) 3月 春季号 目次

□ 府県向きソルガム・スーダングラス	表2
□ 地球温暖化と関東地域における トウモロコシ二期作の可能性について	[菅野 勉] … 1
□ 地球温暖化とその対応策、持続的農業のご紹介	[橋爪 健] … 6
□ 高消化性ソルガム 新「BMR [®] スイート」 (SSR 8 bmr)のご紹介	[小山内光輔] … 12
□ BMR [®] スイートの放牧利用で自給飼料の増産を	[金丸 英伸] … 16
□ サイレージ用乳酸菌「サイマスター」のご紹介	[北村 亨] … 20
□ サイレージ発酵の達人「サイマスター」のご紹介	表3
□ チモシー新品種「アルテミス」「ヘリオス」のご紹介	表4



BMRスイート放牧風景



写真1 神奈川県におけるトウモロコシ二期作栽培事例
(2011年11月撮影)



写真2 栃木県におけるトウモロコシ二期作栽培事例
(二毛作との組み合わせ) (2008年11月撮影)

以上の5段階に区分し、地理情報システムにより3次メッシュ(1km×1km)ごとに表示している。先に述べたように、従来、トウモロコシ二期作には10℃基準で2,400℃以上の有効積算温度が必要とされ、その適地の変化を見てみると、1980年代は、2,400℃以上の二期作適地は東京湾沿岸部のわずかな地域であり、全3次メッシュ数に占める2,400℃

以上の3次メッシュ数割合は1%と低い割合であった。1990年代になると、2,400℃以上の二期作適地は東京湾沿岸部からやや内陸部に広がるとともに、関東中部の低地にも点在するようになるが、その割合は7%であった。また、2000年代になると、2,400℃以上のメッシュが関東中部にも分布するようになるが、そのメッシュ数割合は10%にとどまっている。以上のように、10℃基準有効積算温度を基準として関東地域の現在の気象条件をみてみると、二期作の栽培適地は限定された地域となっている。そして、現在、二期作栽培が行われている北限の栃木県南部は2000年代の解析においても栽培適地には含まれず、有効積算温度で2,200℃前後の条件であり、このような条件が先に述べたようなこの地域における二作目の登熟不足や収量が安定しない要因になっていると考えられる。

3. 関東地域におけるトウモロコシ二期作栽培の安定化に関する研究

前項で述べたように、現在の気象条件では関東地域におけるトウモロコシ二期作の栽培適地はまだ限られており、このような条件でトウモロコシ二期作栽培を安定的に行うにはトウモロコシの適品種を選定することや、その組み合わせ法の検討、並びに各栽培地の気象条件を最大限活用する適切な作期の選定等が重要となる。そこで、神奈川県農業技術センター畜産技術所、栃木県畜産酪農研究センター及び畜産草地研究所が連携し、関東地域のトウモロコシ二期作において安定多収を得るための栽培技術の開発を行った。

その結果、関東南部(神奈川県)においては一作目に相対熟度:RMで100~110の品種を4月10日頃までに播種して7月下旬に収穫し、二作目に

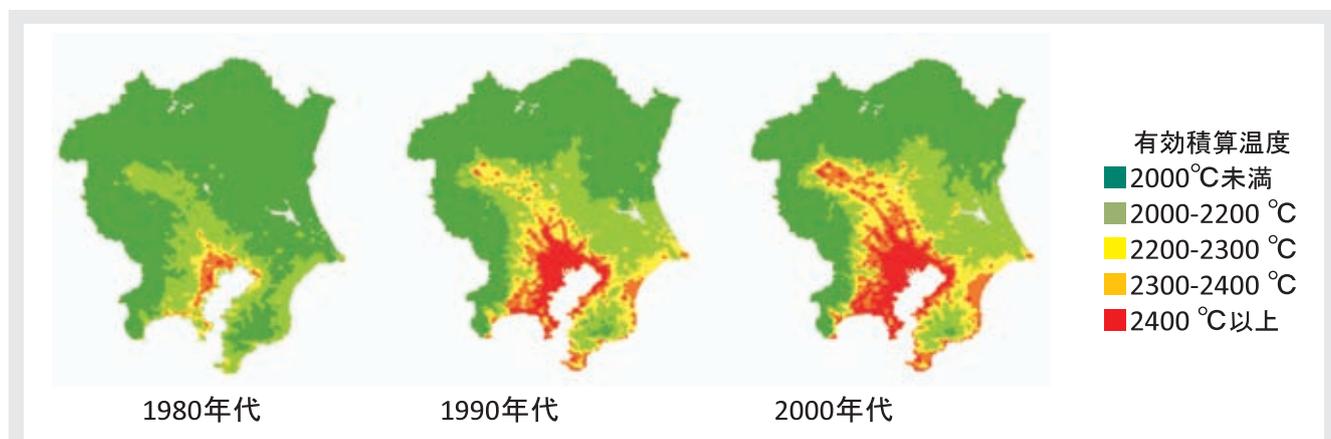


図1 関東地域における1980年代から2000年代の4月から12月における10℃基準の有効積算温度の変化

表1. 関東地域におけるトウモロコシ二期作に適した品種とその栽培条件

地域	作期	草種・品種	栽培期間・条件
関東南部	一作目	極早生～早生品種 (相対熟度: RM 100~110)	4月上旬～7月下旬
	二作目	中生～晩生品種 (RM125~135)	8月上旬～11月下旬・12月上旬。有効積算温度1,200℃で乾物率28%となる品種を選定。
関東中北部	一作目	極早生品種 (RM95~100)	4月上旬～7月下旬。有効積算温度1,010~1,040℃必要。
	二作目	サイレージ発酵品質重視の場合はRM120前後の中生品種、 収量重視の場合は晩生品種	8月上旬～11月中下旬。有効積算温度1,200℃で乾物率25%となる品種を選定。

*有効積算温度は10℃基準。

RM125~135の品種を8月5日頃までに播種して11月下旬から12月上旬に収穫することにより、一作目、二作目ともに黄熟期収穫可能な栽培体系となることが明らかとなった(表1)(折原、2011)。また、二作目品種がサイレージ調製に適するようになる乾物率の目安を28%とすると、二作目の供試品種が乾物率:28%となる有効積算温度(10℃基準)は1,130~1,300℃と幅があったものの、収量が高く乾物率の上昇が速やかであった二作目適品種はいずれも1,200℃前後で乾物率:28%になることが明らかとなった(表1)。さらに、実規模での試験によりトウモロコシ二期作とトウモロコシ-イタリアンライグラス二毛作のTDN収量を比較した結果、トウモロコシ二期作は、トウモロコシ-イタリアンライグラス二毛作と比較してTDN収量が30%多収であった(図2左)(折原、2012)。

一方、関東中北部(栃木県南部)において現地試験を実施し、二期作に適した品種の組み合わせ法を検討した。その結果、一作目には、RM95~100の極早生品種を4月上旬に播種、7月下旬に収穫し、二作目には中生から晩生の品種を8月上旬に播種、11月中~下旬に収穫することでトウモロコシ二期作が可能になることが明らかとなった(表1)。一作目が7月下旬に黄熟期に到達するためには生育期間

の有効積算温度として1,010℃~1,040℃程度の有効積算温度が必要であった。また、二作目については、黄熟期収穫の目安をトウモロコシの乾物率で25%とすると、有効積算温度1,200℃前後の条件で乾物率25%前後となり、黄熟期収穫が可能となることが明らかとなった(図3)。また、栃木県南部の酪農家圃場(W牧場)において現地実証試験を行い、トウモロコシ-イタリアンライグラス二毛作とトウモロコシ二期作での年間乾物収量及び年間TDN収量(それぞれ2年間の平均値)を比較した。その結果、年間の乾物収量は二毛作が2,355kg/10a、二期作が2,494kg/10aで、二期作の乾物収量が6%高く、年間TDN収量で二毛作が1,512kg/10a、二期作が1,677kg/10aで、二期作のTDN収量が11%高かった(図2右)。

さらに、二毛作と二期作の経済性を比較するために、現地実証試験を行ったW牧場の条件(経営面積5ha、乳牛飼養頭数70頭)で、二毛作のみ、及び二期作のみを行う場合を想定し、二毛作及び二期作を行った場合の年間平均のTDN1kg当たりの生産費を試算した。生産費算出に用いたデータは、TDN収量の実測値、W牧場における生産費の聞き取り調査結果によるほか、既往のデータ(折原、2012等)を参考にした。その結果、トウモロコシ二

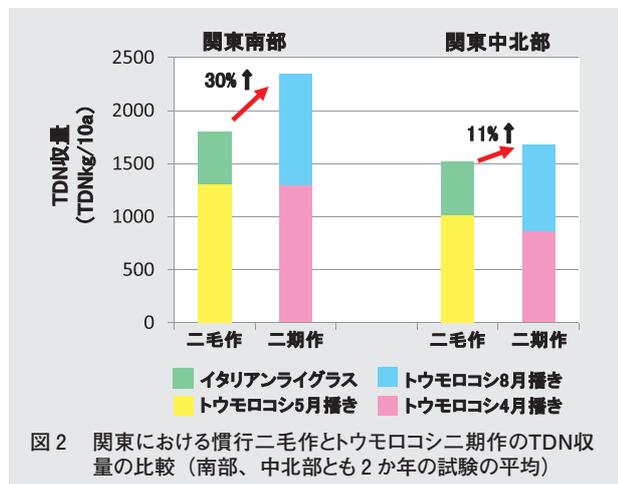


図2 関東における慣行二毛作とトウモロコシ二期作のTDN収量の比較(南部、中北部とも2か年の試験の平均)

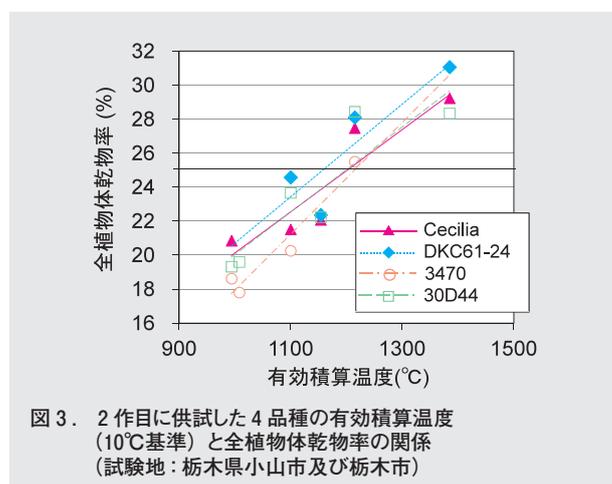
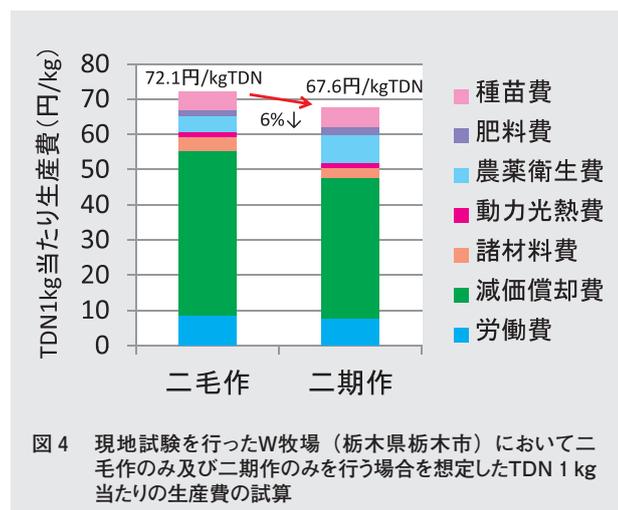


図3. 2作目に供試した4品種の有効積算温度(10℃基準)と全植物体乾物率の関係(試験地: 栃木県小山市及び栃木市)

期作の生産費（67.6円/kgTDN）は二毛作（72.1円/kgTDN）に比較し、**4.5円（6%）低いという結果が得られ（図4）**、トウモロコシ二期作の栽培限界地帯においても、二期作は二毛作に比較し、経済性という観点からも有効な技術であることが示された。しかしながら、この試算では、二毛作、二期作ともに、TDN 1 kg当たり生産費が比較的高い水準にあり、その生産費の約6割が減価償却費だったことから、減価償却費の低減が二毛作、二期作に共通した課題であることが示唆された。

以上のように、関東地域におけるトウモロコシ栽培適地はまだ限られているものの、近年の温暖化した気象条件を活用し、適品種を組み合わせることにより、関東中北部を北限として、一作目、二作目ともに黄熟期収穫を行うことが可能となっており、年間の単位面積当たりのTDN収量の向上やTDN 1 kg当たり生産費の低減も期待できることが明らかとなった。



4. 関東地域におけるトウモロコシ二期作の今後の拡大予測

前項では、関東地域の二期作用品種の組み合わせや作期の選定に関する研究について紹介したが、その研究の過程で従来の適地判定指標（10℃基準の有効積算温度で2,400℃）よりも低い有効積算温度を適地判定指標とすべきことが明らかになった。前述したように、二期作の栽培北限である栃木県南部の試験では、一作目用及び二作目用の供試トウモロコシ品種が播種から収穫適期（黄熟期）までに要した10℃基準の有効積算温度は、一作目約1,000℃、二作目約1,200℃であった。このことは、トウモロコシの生育期間のみを考えた場合、10℃基準の有効積算温度が年間約2,200℃あれば二期作が可能であ

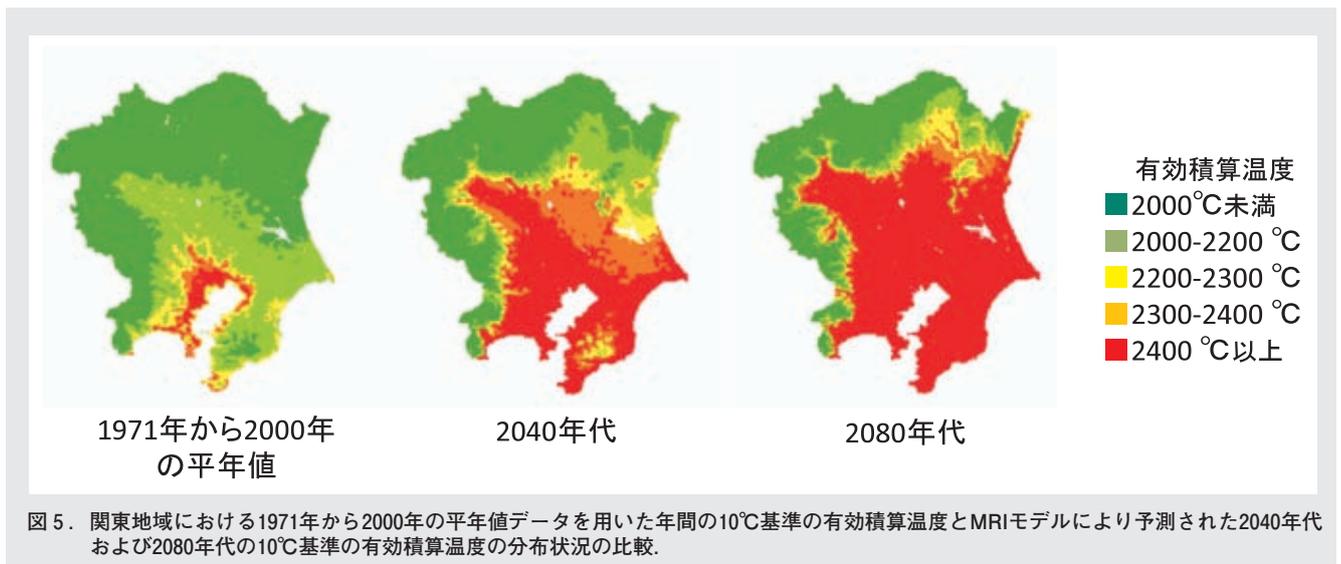
ることを示している。

しかし、実際の営農場面では、一作目の収穫から二作目の播種のために堆肥散布、施肥や耕起・耕うん等の作業が必要であり、最低でも1週間前後の期間が必要である。ここで、気象庁の気象統計情報のデータを参照すると、栃木県南部のアメダス観測地点である小山市における一作目収穫から二作目播種までの期間に相当する7月下旬の日平均気温は25.6℃であり、10℃基準の有効積算温度としては、1日当たり15.6℃が積算される。

このため、一作目と二作目の間隔が1週間と考えると、その間に109℃の有効積算温度が積算され、一作目の播種から2作目収穫までに**2,300℃前後の有効積算温度があれば二期作栽培が可能**になると考えられる。品種の選定は表1を参照されたい。以上のようなことから、10℃基準の有効積算温度で2,300℃以上の地点を二期作の適地として図1を見直してみると、2000年代における有効積算温度で2,300℃以上のメッシュ数割合は20%であり、有効積算温度2,400℃を基準とした場合の2倍のメッシュ数が二期作栽培適地と判定される。

さらに、次のような方法により、今後の関東地域における二期作の栽培適地の拡大予測を行った。Iizumiら（2012）による地点別・日別気候シナリオ（ELPIS-JP）に基づくデータセットを用い、気候モデルとして気象庁気象研究所により開発されたMRIモデル（Yukimotoら2001）、排出シナリオとしてIPCCの第4次報告書のA1B（化石エネルギー源と非化石エネルギー源のバランスを重視したシナリオ）を想定し、神奈川県海老名市及び栃木県小山市における1980年代～1990年代平均に比較した2040年代及び2080年代の年平均気温の上昇を予測した。その結果、1980年代～1990年代の年平均気温に比較し、2040年代は海老名市及び小山市ともに1.2℃、2080年代には両地点ともに2.3℃上昇するという予測値を得た。この年平均気温の上昇分を地理情報システムにより関東地域の全3次メッシュの現在の平年値に加算する形で2040年代及び2080年代における気象条件を推定し、そのデータを用いてトウモロコシ二期作栽培適地の変化予測を行った（図5）。その結果、2040年代には関東地域の**二期作栽培適地（有効積算温度2,300℃以上）のメッシュ数割合は44%に、2080年代には約60%に増加**することが予測された。

以上のように、今後の温暖化を考慮すると、長期的にはトウモロコシ二期作は関東地域の主要な作付



体系となることが推察された。

4. 終わりに

本稿では、関東地域におけるトウモロコシ二期作の現状と今後の可能性について検討し、①近年の温暖化した気象条件を活用し、適品種を組み合わせることにより、関東中北部を北限として、一作目、二作目ともに黄熟期収穫を行うことが可能なこと、②二期作の導入により、二毛作に比較し年間の単位面積当たりのTDN収量の向上やTDN 1 kg当たり生産費の低減が期待できること、③今後の温暖化を考慮すると、トウモロコシ二期作は今後、関東地域の主要な作付体系となる可能性があること等について述べた。しかし、現在の気象条件の解析において示したように、関東地域におけるトウモロコシ栽培適地はまだ限られており、当面は従来の二毛作を基幹とし、二期作を補完的な作付体系と位置づけるべきと考えられる。

本稿では地球温暖化の進行を前提とし、そうした変化のもとでのトウモロコシ二期作の有効性を述べたが、一方で、温暖化が進行しても冷害について引き続き注意を払うべきとの指摘もあり、今後の気候変動の動向を確認しながら栽培体系の見直しを図る必要がある。温暖化のもとでも冷害に対する注意が必要とする指摘の一つが気象条件の発生確率の観点からの指摘であり、温暖化のもとでは、記録的に暑い天候がより多く発生し、平均気温も上昇する一方で、気温の変動の幅が増加するため、冷害年の発生確率が低下するものの、その確率がなくなると

いうものである（森田、2011）。もう一つの指摘は、温暖化の影響の現れ方が特に北日本においては季節によって異なるという指摘である（下野、2012）。北日本の夏期（6～8月）は春（3～5月）ほど顕著な温度上昇が起こっておらず、温暖化により北日本において春のイネの発育が早まる結果、低温に対して感受性の高い生殖成長期も前進し、冷害が受けやすくなるという。これらの指摘は水稻栽培についてなされた指摘であるが、トウモロコシ等の飼料作物の栽培においても同様に留意しておくべきと考えられる。

以上のようなことから、繰り返しとなるが、関東地域における今後のトウモロコシ二期作の導入にあたっては、特に、関東中北部の二期作限界地帯においては、経営内の全面積を二期作とするよりは、**二期作と二毛作を組み合わせることにより、作業分散や気象災害に対する危険分散を図る**という考え方を優先させるべきと考えられる。また、二毛作と二期作を組み合わせることで、堆肥を圃場に還元する機会が増えるというメリットも重要な点である。

本稿で紹介した研究成果は平成21年度から23年度に実施された農林水産省実用技術開発事業の委託課題「トウモロコシ二期作を基幹とする暖地・温暖地の飼料作物多収作付け技術の開発」並びに平成25年度から実施されている農林水産省委託プロジェクト研究「気候変動に対応した循環型食料生産等の確立のための技術開発（A-8系：農林業に係る気候変動の影響評価）」で得られたデータであり、課題実施に当たりご尽力いただいた関係各位に感謝する。