

気候変動¹の影響と適応策

神奈川県政策研究・大学連携センター 岸本 真祐
 独立行政法人海洋研究開発機構・地球情報基盤センター 杉山 徹
 神奈川県畜産技術センター 企画研究課 折原 健太郎
 田邊 眞
 普及指導課 守田 留美子

神奈川県内の平均気温は年々上昇傾向にあり、温暖化は確実に進行している。

温暖化対策には、大きく「緩和策」と「適応策」の二つがあり、温室効果ガスの削減（緩和策）を最大限講じて、今後数十年は温暖化の影響は不可避であることから、その影響に対処するための施策（適応策）を同時並行で進めていくことが重要である。

その際、実際の温暖化の影響は、地理条件によって大きく異なることから、きめ細かな将来予測が必要となる。その試みとして独立行政法人海洋研究開発機構では、「擬似温暖化手法」を使ったシミュレーションを実施した。この結果によれば、県内を1km間隔のメッシュに細分化した上で、8月の特定の日時を基準に30年後の夏の県内気温を予測してみると、県近辺の平均的な気温の上昇幅（+1.68℃）よりも大幅な気温の上昇を示している地点が見られる一方、そこまで温度が上昇しない、あるいはほとんど上昇しない地点も点在しており、神奈川県内でも地域差があることが明らかにされている。

また、神奈川県は、農林水産業をはじめ自然生態系・環境・健康衛生等様々な分野の試験研究機関を有している。本県内をフィールドに実地調査研究を行っている県の試験研究機関の貢献は大きく、様々なデータや経験に基づく現場知（現場科学）の蓄積がある。そうした試験研究機関の取組みの具体例（畜産技術センターの「飼料用トウモロコシ二期作栽培」と「暑熱対策の取組み」）にみられるように、地域の気候変動の状況にきめ細かく対応する適応策を確立していく上では、公設試験研究機関の「地域に密着した実地調査」が重要である。

適応策の先行地域等では検討が進んできているが、本県としても適応策の研究を進め、必要な対策を講じていくことが望まれる。その適応策を研究・策定するにあたっては、分析対象とする地域や予測対象項目・期間などを整理した上で、研究から普及啓発戦略までの総合的な適応策を産官学民連携で取り組んでいく必要がある。

目次

I. 神奈川県における適応策の策定

神奈川県政策研究・大学連携センター 岸本 真祐

II. 温暖化の現状と将来予測「今の夏の暑さが温暖化した将来に起こったら」

独立行政法人海洋研究開発機構・地球情報基盤センター 杉山 徹

III. 適応策に資する試験研究機関の取組み

III-1 飼料用トウモロコシの二期作栽培

神奈川県畜産技術センター 企画研究課 折原 健太郎
 企画研究課 田邊 眞

III-2 暑熱対策の取組み

神奈川県畜産技術センター 普及指導課 守田 留美子
 企画研究課 田邊 眞

¹ 気候変動とは「地球の大気組成を変化させる人間活動に直接又は間接に起因する気候の変化であって、比較可能な期間において観測される気候の自然な変動に対して追加的に生ずるもの」（気候変動に関する国際連合枠組条約（平成6年6月21日条約第6号）第1条第2項）をいう。

I. 神奈川県における適応策の策定

(はじめに)

近年、局地的な豪雨、台風の発生頻度の増加、記録的猛暑といった異常気象（気候変動に関する政府間パネル（IPCC）では「極端現象」と表現）として地球温暖化の影響が顕著に現れてきている。

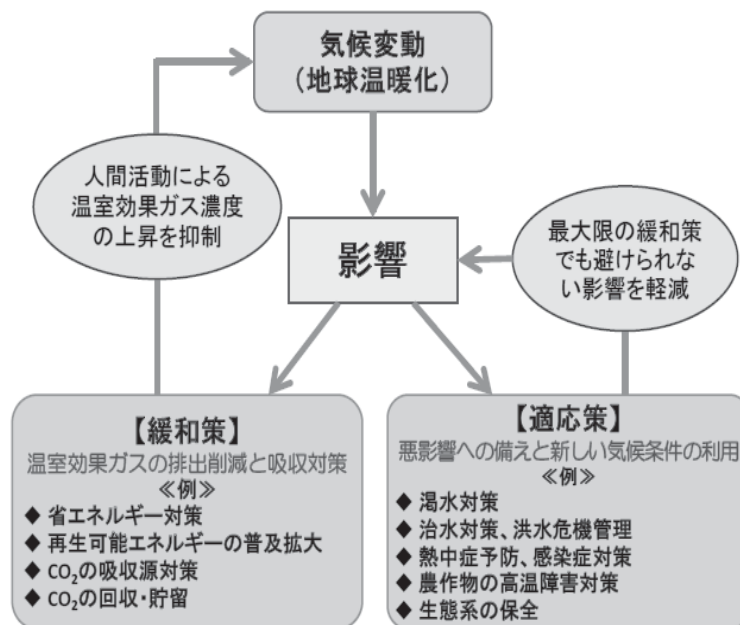
地球温暖化は、人間活動から出た二酸化炭素（CO₂）等の温室効果ガスが大気中に滞留することで、地球のエネルギー収支の不均衡をもたらし、地球が暖かくなっていくという現象である。先のIPCC第5次評価報告書²は「人間活動が20世紀半ば以降に観測された温暖化の主たる要因であった可能性が極めて高い」とし、温暖化は今後も進行するとの予測を打ち出している。

温暖化対策には、大きく「緩和策」と「適応策」の二つがある（図1）。今後ますます深刻度合が増すと見られる温暖化に対しては、温室効果ガスの削減（緩和策）を確実に進めることが不可欠であるが、その一方で、最も厳しい緩和の努力をしても、今後数十年は温暖化の影響を避けることができないため、当面はその影響に対処するための施策（適応策）を実施していくことも非常に重要である。

実際の温暖化の影響は、地理条件や社会経済環境の違いもあって、地域や経済主体によって大きく異なりうることから、地域住民と近い距離にある地方自治体が主体的に適応策を検討することが求められている。

以下では、適応策に焦点を当てながら、(1)神奈川県における温暖化の現状と将来予測、(2)地方自治体における適応策の策定の重要性と公設試験研究機関の役割を整理した上で、(3)今後の適応策の策定における留意事項について検討する。

図1 気候変動の緩和・適応策の関係



(出所) 文部科学省・気象庁・環境省(2013)「気候変動の観測・予測及び影響評価統合レポート『日本の気候変動とその影響』」(2012年度版)

第1章 神奈川県における温暖化の現状と将来予測

1-1 温暖化の現状

本県における平均気温等の推移をみると、温暖化が確実に進行していることがうかがえる。

まず、1961（昭和36）年から2014（平成26）年までの平均気温、最低気温の推移をみると、本県の平均気温及び最低気温は、いずれも上昇傾向にあり、特に最低気温の上昇度合いは顕著である（図2、3）³。

図2 神奈川県における平均気温の経年変化（1961（昭和36）年～2014（平成26）年）

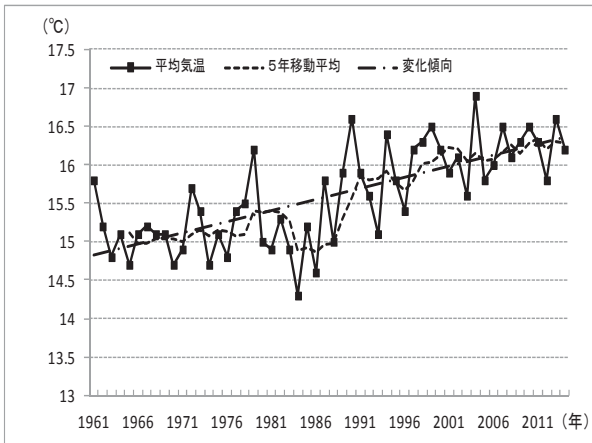
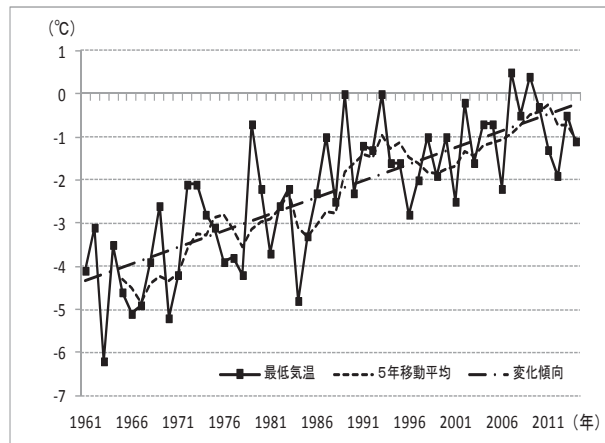


図3 神奈川県における最低気温の経年変化（1961（昭和36）年～2014（平成26）年）



（出所）横浜地方気象台データより筆者作成

次に、1980（昭和55）年以降の県内市街地の5箇所の観測地点における真夏日（日最高気温30℃以上の日）、熱帯夜（日最低気温25℃以上の日）の日数の推移をみると、地点により日数の差があるものの、いずれの地点においても全体として真夏日及び熱帯夜の日数には有意な増加傾向が見られる（図4、5）。

図4 真夏日日数の推移（5年移動平均）

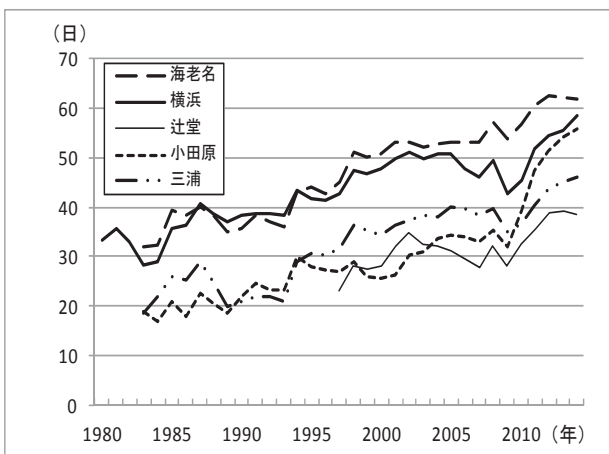
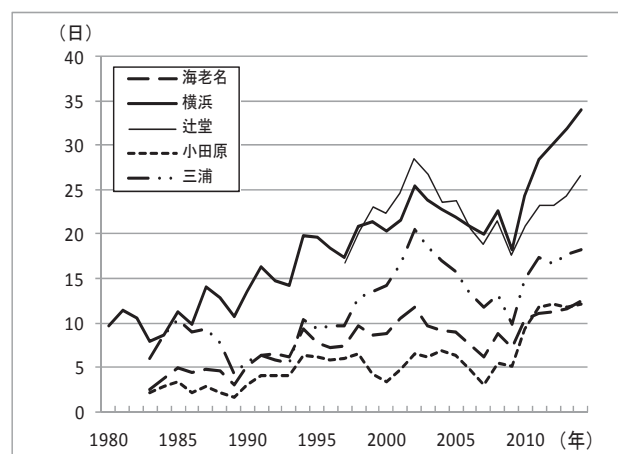


図5 熱帯夜日数の推移（5年移動平均）



（出所）気象庁観測データより筆者作成

³ 図表2～5で示している「移動平均」とは、一定の期間（例：5年）を定め、その範囲をずらしながら平均をとっていくことで、規則的な変動要素（季節変動）と不規則な変動要素（無作為変動）の影響を緩和し、データの推移をなめらかにする手法を指す。

1-2 地域を細分化した将来予測の試み

このように、温暖化の進行の兆候は全県的に確認することができるが、それに対する適応策の検討にあたっては、山間部と沿岸部、高地と低地といった地理条件により温暖化の影響度が異なりうることから、きめ細かな将来予測が必要となる。

県内地域を細分化して気候変動の影響を予測する試みとして、独立行政法人海洋研究開発機構では「擬似温暖化手法」を使ったシミュレーションを行っている（『Ⅱ. 温暖化の現状と将来予測』参照）。この結果によれば、県内を約1 km間隔のメッシュに細分化した上で、30年後の夏の県内気温を予測してみると、8月の特定の日時において神奈川県付近の平均的な温暖化上昇分（+1.68℃）よりも高い気温の上昇を示している地点が見られる一方、そこまで温度が上昇しない、あるいはほとんど上昇しない地点も点在しており、県内でも相当程度地域差が生じることが明らかにされている。『Ⅱ. 温暖化の現状と将来予測』では、このほか、適応策を実際に講じていく上では、適応策の対象（農作物等）の特性に応じてさらに多様な将来予測が必要となることも述べられている。

第2章 地方自治体における適応策の策定の重要性と公設試験研究機関の役割

2-1 地方自治体における適応策の策定の重要性

地球温暖化に関しては、行政や研究機関では、農家や地場産業や住民といった地域主体に対し、将来影響予測に関する情報提供や対策の実施に際しての支援等を行うことが求められている。しかしながら、適応策については、現在のところ法的根拠が未整備の状況にあり⁴、実際に適応策の策定に積極的に取り組んでいる地方自治体はごく少数である。地方自治体への適応策に関するアンケート調査結果⁵によれば、地球温暖化防止関連の条例の中で適応策を策定しているのは埼玉県、京都府、鹿児島県の3団体のみである。

気候変動の影響は、季節風・海流・地形によって気候が地域毎に異なる上、産業構造なども違うことから、地域によって大きく異なってくる。こうしたことから、気候変動の影響の把握や適応策の検討は、極力それぞれの地域において行うことが望ましい。埼玉県・長野県といった積極的に適応策を講じている地域での対応を見ると、地域特性——埼玉県では内陸県ゆへの農業分野の高温障害が深刻であり、長野県では冷涼な地域特性に依存する果樹や高原野菜が気温上昇の影響を受けやすい——を勘案した、その地域ならではの対策がとられていることがうかがえる。

2-2 公設試験研究機関の役割

こうした中であって、地域の気候変動の状況にきめ細かく対応する適応策を確立していく上では、地域の試験研究機関、とりわけ公設試験研究機関による「地域に密着した実地調査」が重要である。神奈川県は、農林水産業をはじめ自然生態系・環境・健康衛生等様々な分野の試験研究機関を有しているが、本県内をフィールドに実地調査研究を行っているこれら試験研究機関の貢献は大きく、様々なデータや経験に基づく現場知（現場科学）の蓄積がある。

例えば、高温耐性品種の技術開発・普及には農業技術センターが、畜産関連における暑熱対策については畜産技術センターがそれぞれ取り組んでいる。また、感染症について発生動向調査や媒介蚊の生息状況や防除に関する研究に衛生研究所が取り組んでいる⁷。

今回は、そうした試験研究機関の取組みの具体例として、畜産技術センターによる「飼料用トウモロコシの二期作栽培」と「暑熱対策の取組み」の2つの研究成果を紹介する（『Ⅲ. 適応策に資する試験研究機関の取組み』参照）。両者はいずれも研究から普及に移行しつつある段階の取組みの事例紹介であるが、前者は、温暖化に伴って神奈川県でもトウモロコシの二期作が可能な気象条件となってきた中で、経済性に優れた飼料作物栽培を行う条件（品種、播種時期等）についての検証結果を示したものであり、後者では、畜舎内の家畜への送風や水の気化熱の利用等による簡易で低コストの暑熱対策の研究成果を整理している。

今後とも本県の適応策を検討・実施していく上では、これら試験研究機関の人的・知的資源を活用し

⁴ 2015（平成27）年夏を目途に政府全体の総合的・計画的な取組として適応計画を策定する予定である（野本卓也「気候変動の適応に向けた取組と地域の取組の取組支援について」（2014））。

⁵ 法政大学地域研究センター「自治体レベルでの影響評価と総合的適応策に関する研究報告書」（2011）

⁶ 適応策の検討にあたっては、こうした現場知（現場科学）とシミュレーション等の最新科学を結び付けることが有効である（県政策研究・大学連携センター（2014）「かながわ政策研究・大学連携ジャーナル第6号」 pp. 183-195）。

⁷ 県政策研究・大学連携センター（2014）「かながわ政策研究・大学連携ジャーナル第6号」 pp. 183-195

ていくことが大変重要となると考えられる。

BOX I 先進地域における適応策策定における公設試験研究機関の役割

適応策を積極的に講じてきている先進的な地域をみても、政策や施策に関する研究等においては公設試が中心的な役割を担っている。

例えば、長野県や埼玉県においては、環境系の公設試が国の研究への参加等を通して適応策に関する専門的な知見を整理する役割を担っており、それらを踏まえて地球温暖化実行計画の中で適応策にかかる施策の策定や推進体制の整備を行ったり、影響評価のレポートを取りまとめたりしている。また、農業分野では、温暖化検討部会を設置し、農業試験場の豊富な研究人材を活かしながら品目毎の温暖化影響評価・研究課題の整理や高温耐性の品種開発等を行っている⁸。

このほか、宮崎県では、全国に先駆けて2008年6月に県総合農業試験場内に「宮崎県農水産業温暖化研究センター」を設置し、地球温暖化に対応した地域の農水産業のあり方の検討や温暖化に関する様々な情報等の集積・分析、さらに大学や民間企業等との連携による各種の調査・研究等の取組みを進めている。同センターは2012年に「農水産業地球温暖化方針」を作成しているが、その中では、県の気候変化や影響実態、宮崎気象利用研究会が行った温暖化の影響予測のデータ等の整理を踏まえて、「温暖化を活かす」、「温暖化から守る」、「温暖化を抑制する」の3つの視点からの取組方針を、作物別に具体的に提示している⁹。

⁸ 法政大学 白井信雄・馬場健司 (2014) 「日本の地方自治体における適応策実装の状況と課題」

なお、公設試を有しない三重県においては、気候変動の影響に関する総合的な調査を予算化し、適応策の検討にかかるデータ収集や整理を、外部の民間コンサルタントに委託している。

⁹ 宮崎県農政水産部 (2012) 「宮崎県農水産業地球温暖化対応方針」

第3章 今後の適応策の策定における留意事項

今後は、下記の諸点を強く意識しつつ、県を含む関係者が協力しながら積極的に適応策を研究・策定していく必要がある。

(1) 適切な将来影響予測・適応策の策定

①分析対象の地理的範囲

将来影響予測は気候変動シナリオ¹⁰次第で、予測結果に幅が生じること、また対象範囲により予測結果が異なることといった不確実性が伴う。『Ⅱ. 温暖化の現状と将来予測』において指摘されているように、分析対象のエリアを大きくすればするほど、本来は特性が異なる複数の地域について同じ影響予測結果が導き出されるという問題が生じる。一方、対象エリアを狭めると地域間での影響の違いは明らかになるが、隣接地域や外部からの影響を測れないという別の問題が生じる。将来影響予測をするにあたっては、分析ニーズに応じた適切な分析対象の地理的範囲を設定する必要がある。

②予測対象項目

適応策を検討する対象分野によって、必要とする気象データの細かさや時間軸が異なりうる。例えば、農業は年間を通して気候の影響が大きい産業であるため、平均気温の上昇率、真夏日の日数の推移といった高温に関する情報だけでなく、低温、集中豪雨、強風、台風、凍霜害といったように被害を及ぼしうる多様な要素の情報も必要となる。また、IPCCなどは気候変動の影響について年平均予測で語られることは多いが、農業の現場では、季節的な予測情報が求められる。仮に「年平均気温が将来的に1℃上昇する」といった情報があっても、それが夏場も冬場も同様に1℃上昇することを意味するものなのか、春夏は3℃上昇する一方で秋冬は1℃低下するというものなのか、それによって農作物の生育への影響の中身は大きく変わりうるため、季節別のより詳細な予測情報が重要となる。露地栽培に限らず、トマトやバラなどのハウス栽培でも夏の高温、冬の低温に様々な対策が必要な中、季節ごとの予測が重要である¹¹。

③社会経済要因の考慮

気候変動の影響は、社会経済要因等によっても左右されるため、適応策を検討するにあたってはそれらの要因も考慮する必要がある。例えば、農業の場合で言えば、経営基盤の弱い中小零細農家ほど気候変動の影響度合いは大きくなると考えられることから、そうした農家の経営状況を勘案した適応策の策定が望まれる。

(2) 適応策の積極的な普及啓発

農業分野の試験研究機関では、研究成果は報告会や普及指導員を通じて生産現場に実装化されるが、こうした方法では適応策のノウハウは地域の一定の範囲にしか普及しない可能性が高い。地域全体で効果的・広範に適応策を講じていくためには、普及啓発に有効な新たな戦略をつくり、研究から普及まで

¹⁰ 例えば、IPCC（気候変動に関する政府間パネル）は、将来の平均気温の上昇幅ごとに①持続発展型社会（B1シナリオ、気温上昇幅：1.1～2.9℃）②地域共存型社会（B2シナリオ、気温上昇幅：1.4～3.8℃）③多文化社会（A2シナリオ、気温上昇幅：2.0～5.4℃）④高成長型社会（A1F1シナリオ、気温上昇幅：2.4～6.4℃）の4つのシナリオを提示している。

¹¹ 農業技術センター三浦半島地区事務所高田主任研究員へのヒアリング（2014年5月8日）に基づく。

総合的に取り組んでいく必要がある¹²。

(3) 産官学民連携による適応策の推進体制の確立

気候変動の影響は、短期的には異常気象の発生から中長期には平均気温や海水面の上昇にまで及ぶほか、影響を受ける経済主体も様々な産業を含む幅広い先にわたることから、適応策の研究¹³・推進にあたっては分野横断的な協力関係が必要となる。本県としては、①県における気候変動の定量的データや国・先進自治体・県内の適応策の取組事例に関するデータベースの整備をすすめた上で、②産官学民連携により、県内の気候変動の実態の詳細な把握・影響予測を行い、影響予測を的確に適応策につなげていくことが必要である。

先行する長野県では、2014（平成26）年11月に国や県、研究機関が県内で個別に収集・管理する気象データなどを県環境保全研究所で一元化する「信州・気候変動モニタリングネットワーク」¹⁴を組織しており、また、影響予測を温暖化に適応した技術・製品・サービスの研究開発（適応策）に結び付けるため「開発者に影響予測を伝える場」として2015年度中に「信州・気候変動適応プラットフォーム」を立ち上げる方針である。

(おわりに)

国では、2013（平成25）年7月に第114回中央環境審議会地球環境部会にて気候変動評価小委員会を設置し、2015（平成27）年2月の気候変動の影響及びリスク評価と今後の課題を整理し意見具申として取りまとめており、それを踏まえて2015（平成27）年夏を目途に政府全体の適応計画を策定する予定である¹⁵。また、環境省をはじめ国土交通省、農林水産省、文部科学省等の省庁でも、地方における影響評価・適応策策定の支援を検討している。こうした国の適応計画が定まることで地方自治体の役割が明確になり、適応策に対する行政資源の配分も効率性が高まり、今後は地方自治体において適応策の策定に向けた動きが本格化する見込みである。

しかし、気候変動の影響は日々刻々とその深刻度合いを増している。影響被害が大きい地域等では国の適応策に関する指針を待たずに、公設試を中心とした研究機関による影響予測結果を踏まえ適応策を先行して検討しているが、本県としても、県内外の様々な人的・知的資源を活用しながら適応策について研究を進め、必要な対策を積極的に講じていくことが望ましい。

¹² 和歌山県の養鶏研究所では、夏場に鶏が弱り、採卵率・生産性が落ちることから、暑熱ストレスが酸化作用を起こしているのではないかと仮説を立て、抗酸化飼料として和歌山の特産品である山椒の種を使い、それを「山椒卵」としてブランディングするなど、適応技術を活かして地域の農業（特に小規模零細農家）の経営改善を図る試みがなされている。

¹³ 公設試は、地域が既に直面している課題の対策を講じることが期待されている組織であることから、そこでは対応しきれない研究範囲も含め、幅広くカバーする体制を作っていくことが求められる。

¹⁴ 道路・河川管理、農業・水産試験、環境研究などで、気象データ（気温や降水量）や温暖化が関係する影響データを（河川流量、農産物収量、熱中症搬送者数など）を収集する国・県、独立行政法人、筑波大、信州大など51機関が参加。降水量の観測点数は、県内に45カ所ある気象庁の地域気象観測システム（アメダス）の約5倍になる。

¹⁵ 環境省環境研究総合推進費（S-8）「温暖化影響評価・適応政策に関する総合的研究」シンポジウム配布資料

＜謝 辞＞

独立行政法人海洋研究開発機構の杉山徹様には、地球シミュレータによる神奈川県における将来の温暖化の将来予測について示唆ある寄稿をいただきました。

また、本稿全体を通して白井信雄特任教授（法政大学地域研究センター）より貴重なご助言をいただきました。

本調査にご理解をいただき、快くご協力をいただいた全ての皆様に、深く感謝申し上げます。

＜主要参考文献＞

- 岩田慶隆（2014）「横浜市における適応策の取組みと今後の展望」『生活と環境』，平成26年6月号，pp. 26-29.
- 江守正多（2014）「気候変動の身近な影響と適応策を考える」『GLOBAL NET』，2014年4月，pp. 2-3.
- 江守正多（2013）「異常気象と人類の選択」『GLOBAL NET』，2013年12月，pp. 10-11.
- 気候変動適応の方向性に関する検討会（2010）『気候変動適応の方向性』
- 京都府（2011）『京都府地球温暖化対策推進計画』
- 陸斉・田中博春・浜田崇・畑中健一郎・武田雅宏（2011）「地方自治体（長野県）における適応政策導入の試みと課題」『第39回環境システム研究論文発表会講演集』2011年10月，pp. 315-320.
- 小島正禎（2014）「東京における気候変動対策の取組み」『生活と環境』，平成26年6月号，pp. 19-25.
- 佐々木美奈子・梶井久美子・白井信雄・田中充（2014）「農業分野における自治体レベルの気候変動適応策の課題分析と体系化」第42回環境システム研究論文発表会講演集，2014年10月，pp. 299-306.
- 滋賀県農政水産部（2011）『滋賀県農業・水産業温暖化対策総合戦略』
- 白井信雄（2014）「気候変動への適応策とは何か。どのように適応策を検討すべきか」エコプロダクツ展併設セミナー「地域における気候変動適応策への挑戦～成果報告」2014年12月11日
- 白井信雄・馬場健司（2014）「日本の地方自治体における適応策実装の状況と課題」環境科学会誌27（5），pp. 324-334.
- 白井信雄・田中充・田村誠・安原一哉・原澤英夫・小松利光（2014）「気候変動適応の理論的枠組みの設定と具体化の試行—気候変動適応策の戦略として—」環境科学会誌27（5），pp. 313-323.
- 白井信雄（2014）「地方自治体全体の適応策の検討動向とモデルスタディ」『GLOBAL NET』，2014年6月，pp. 6-7.
- 白井信雄（2013）「気候変動適応策における予測科学と現場科学—2つの環境情報の統合—」環境情報科学42-2，pp. 22-27.
- 白井信雄・田中充・小野田真二・木村浩巳・馬場健司・梶井公美子（2012）「脆弱性の概念と気候変動適応における脆弱性の構造に関する分析」第40回環境システム研究論文発表会講演集，2012年10月，pp. 309-317.
- 白井信雄・田中充・小河誠・陸斉・浜田崇・田中博春（2012）「地方自治体向け気候変動適応策のガイドライン～適応策検討の手順と方法」第20回地球環境シンポジウム講演集，2012年9月，pp. 137-142.
- 白井信雄（2006）「地球温暖化防止への自治体戦略」『地方自治職員研修』2006年9月，pp. 37-39.
- 杉浦俊彦（2014）「温暖化と農作物への影響」『GLOBAL NET』，2014年2月，pp. 6-7.
- 高村ゆかり（2014）「適応策を推進するに当たっての課題」『GLOBAL NET』，2014年6月，pp. 4-5.
- 田中充・白井信雄（2013）『気候変動に適応する社会』技報堂出版
- 田中充・白井信雄・山本多恵・木村浩巳（2011）「地方自治体における温暖化影響適応策の動向と課題」『第39回環境システム研究論文発表会講演集』2011年10月，pp. 309-314.

-
- 長野県環境保全研究所 (2012) 『長野県における適応策立案手法開発のための検討報告書』
- 西岡秀三 (2014) 「地域が主体の気候リスク管理へ—緩和と適応の統合」『生活と環境』, 平成26年6月号, pp. 8-13.
- 野本卓也 (2014) 「気候変動の影響、適応等に関する最新の動向と我が国の対策」『生活と環境』, 平成26年6月号, pp. 4-7.
- 馬場健司・杉本卓也・窪田ひろみ・肘岡靖明・田中充 (2011) 「市民の気候変動適応策への態度形成の規定因—気候変動リスクと施策ベネフィット認知, 手続き的公正感と信頼感の影響—」土木学会論文集G (環境), Vol. 67, No. 6 (環境システム研究論文集 第39巻), pp. II_405-II_413.
- 原澤英夫 (2014) 「地球温暖化の影響と適応」『GLOBAL NET』, 2014年3月, pp. 2-3.
- 肘岡靖明 (2014) 「IPCC第2作業部会での決定事項と今後の日本の適応策実施について」『GLOBAL NET』, 2014年6月, pp. 2-3.
- 肘岡靖明・岡和孝・高野真之・吉川実・市橋新 (2011) 「温暖化適応策推進に資する既存施策の検討—東京都を例として—」土木学会論文集G (環境), Vol. 67, No. 6 (環境システム研究論文集 第39巻)
- 藤原美華 (2014) 「採卵鶏の暑熱ストレス緩和技術の開発」気候変動シンポジウム「地域における気候変動適応策の離陸に向けて」2014年11月26日
- 三村信男 (2013) 「適応策：世界で広がるもう一つの温暖化対策」『GLOBAL NET』, 2013年12月, pp. 6-7.
- 宮崎県農政水産部 (宮崎県農水産業温暖化研究センター) (2012) 『宮崎県農水産業地球温暖化対応方針』
- 山形県農林水産部 (2010) 『地球温暖化に対応した農林水産研究開発ビジョン』
- 山形県農林水産部 (2009) 『山形県農林水産研究開発方針』

Ⅱ. 温暖化の現状と将来予測「今の夏の暑さが温暖化した将来に起こったら」

独立行政法人海洋研究開発機構・地球情報基盤センター 杉山 徹

1 はじめに

独立行政法人海洋研究開発機構（JAMSTEC<ジャムステック>）では、スーパーコンピュータ「地球シミュレータ」を運用し、活用して、IPCC（気候変動に関する政府間パネル）の報告書に貢献する気候予測シミュレーションを実施するなど、さまざまな気候変化や気候変動予測シミュレーションを行い、国内外にその成果を発信しています。

今回の報告は、社会的関心の高い地球温暖化について神奈川県を詳細に解析したシミュレーション結果の速報です。JAMSTEC・地球情報基盤センターでは、地元の自治体である神奈川県への情報発信を深め協働していきたいと考えており、今後は、本結果を用い県試験研究機関や県・市町村の方々と協働し、より具体的な活用法を検討していきます。

2 ダウンスケール実験

昨年度は「力学的ダウンスケール手法」による身近な気候変化予測について、その考え方を紹介しました¹。今年度は、実際に神奈川県を解析の対象にした計算を実行しましたので、その結果を報告します。

「ダウンスケール」とは、気候・気象シミュレーション手法の一つで、粗い大きな計算領域の結果をまず求めて、注目する場所を細かく解析・計算することをいいます。この「粗い」というのは、精度が悪い（正確さが無い）という意味ではなく、計算の格子点間隔（数値シミュレーション内の観測点間隔のこと）が広く、格子点の数が少ないという意味です。シミュレーションにおいては、格子を設け計算域を分割し、その各点の温度・風速などが将来どうなるかを計算していきます。

粗めの計算でよく使われる例は、地球全体（全球と呼びます）の気候変化の計算です（図1）。この場合には格子間隔が100 kmに及ぶことがあります。この場合、計算点の数が少なければ計算負荷も低いため、計算に要する時間が短くて済み、100年後まで予測計算を行ってもその結果が出るまでの時間を待っていられます。その反面、県や市町村ごとの違いがハッキリしません。例えば、神奈川県と東京都が同じ場所として区別されなくなるため、各自治体レベルでは活用しにくい計算結果であるといえます。

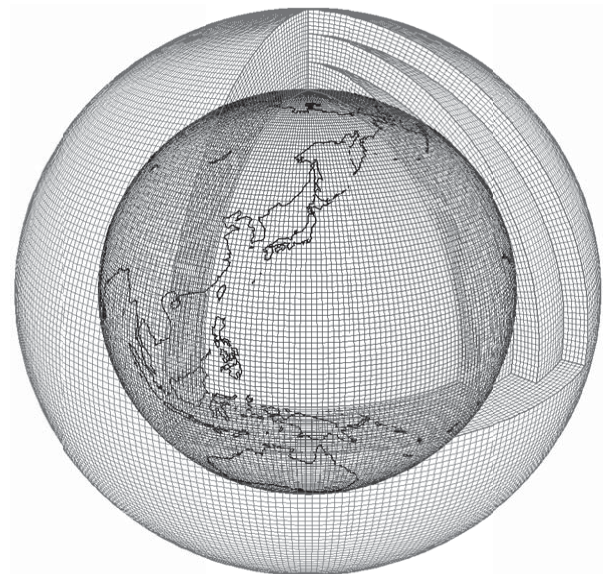


図1： 格子点の例（出典：気象庁WEBページ）

そこで考え出された手法が、注目する場所のみ細かい計算を行う方法です。この「細かい」

¹ かながわ政策研究・大学連携ジャーナル No.6 pp.169-174, 2014.3

というのは、先ほどの「粗い」の場合と同様、細かい計算の方が精度が良い（正確さが高い）ということではなく、計算格子点の間隔が狭いということの意味しているに過ぎません。

このダウンスケール手法を用いて、今回は神奈川県に注目し、この地域の解析ができるように細かい計算を行いました。全球の粗い計算には、格子間隔を約100 k mで計算したIPCCの第4次報告書の結果を用いました。

図2はIPCCの報告に用いられたMIROC3.2hiresというモデルのA1bシナリオからの計算結果ですが、約30年後の関東地方周辺の8月の平均的な気温上昇分について示しています。しかし、この粗さでは、県内の各地域の差をみることはできません。

現実の世界でも、三浦半島と小田原では、同じような気温変化が生じるのでしょうか。それを詳細に調べるためには神奈川県やその周辺地域をさらに細かい格子幅で計算しなければなりません。それを実行したのが今回の試みです。

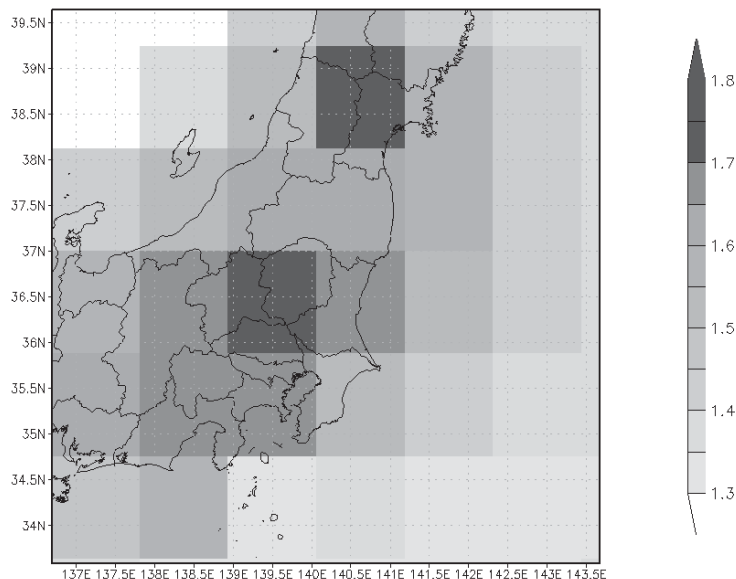


図2： 気温上昇例
神奈川県が1つの格子内に含まれている

3 世界的な気候予測から身近な予測へ

3-1 擬似温暖化実験

実は、この細かいスケールで計算する範囲を神奈川県付近に絞ることで計算負荷を減らしたとしても、現在から100年後までの計算結果を出すことはできません。技術的には可能ですが、計算量が膨大なため時間が掛かり、計算が終わった時が100年後になってしまい、未来予測ではなくなってしまいます。そこで、全球での計算結果と日々の気象現象を混ぜて計算すれば良いというアイデアが出ました。これを「擬似温暖化計算」と呼びます。

日々の気象現象は、気象庁を中心とする綿密な観測により非常に細かいデータが揃っています。特に過去については、「再解析」と呼ばれるデータセットが公開されています。これは、観測値を基に、さまざまな数値計算手法や数理科学的解析手法を取り込んで、日本全国の過去の気象がどのようなものであったかを求めたものです。現在、3時間毎・約10 k mの格子間隔での気象データ（計算結果）が公開されています。過去を見直して詳しい気象データを作り直すため「再解析データ」と呼ばれています。

このデータを用いれば、県内の各地域独自の気候をとらえることが可能となります。例えば、ある夏において、最も暑かった時間と場所や、どこから海風が侵入して内陸の気温を変化させたかなどをみることができます。ただし、このように地域性が分かる細かさを持っていても、これは過去の気象データを示すに留まっており、将来予想までは入っていません。一方、前述のIPCCの報告書では、粗いながらも100年後の温暖化予測の結果が公開されています。

そこで、この2つを組み合わせることを考えます。つまり、『ある年の猛暑の夏の天気変化が、温暖化した将来のある時点に同じように現われたら、どの程度さらなる酷暑になるのか?』が分かるようにしよう、という考えが「擬似温暖化計算」です。これにより、過去に経験してきた気象現象と比較して理解することが可能となり、より現実感を持って判断できるようになります。他にも色々な利点がありますが、過去の事象と比較しながら判断するというのが、最大の利点です。

3-2 神奈川県スケールへ

約10 km 間隔に気象データが与えられている再解析データを使えば、それだけでも県内の地域性を述べるのが可能ですが、ここでは、さらに細かい間隔で解析することにします。JAMSTECの地球情報基盤センターでは、大気海洋シミュレーションモデル (MSSG<メッセージ>: Multi-Scale Simulator for the Geoenvironment) を開発し、研究に用いてきています。ここでは、このMSSGモデルを用いて、再解析データよりも細かい約1 km 間隔で計算を行うことにします。神奈川県を中心に設置し、ここに影響を及ぼす周りの領域も取り込み、ほぼ関東地方が納まる範囲で計算を実行しています。今回は、夏の暑さに注目するために8月に焦点を当てました。

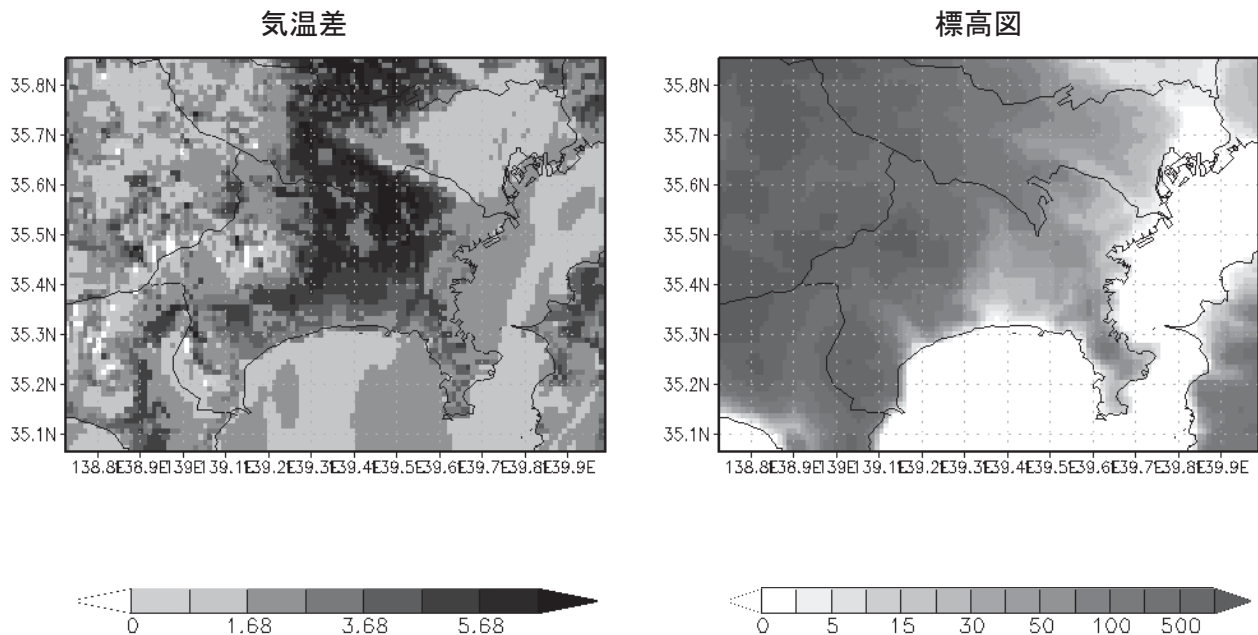


図3：(左図) 2010年8月22日12時の気温について、現在気候と30年後の擬似温暖化計算時の気温差(°C)を表示。高温域の発生により、現在と将来の気温差が顕著な地域が北部にみられる。それぞれの図内の黒線は参考の海岸線・都県境を示す(計算に用いた地形図は、右図の標高図(m)を参照)。

² MSSGモデルについては、<http://www.jamstec.go.jp/esc/research/Mssg/models.ja.html>参照。

3-3 今から30年後の夏はどのような夏？

さて、「温暖化により気温が変化した30年後に、2010年の夏と同じ天気が発生したら、どうなるか」というのがこの報告のポイントです。将来気候としては、いわゆる「平年の気温」として30年間の平均気温が使われることが一般的であることから、約30年後を選びました。

まず、2001年～2030年の30年間の8月の平均気温を現在気候とします。一方、2030年～2059年の30年間の8月の平均気温を30年後の将来気候とします。前述の図2はこれら2つの期間の気温差を表示したもので、神奈川県付近では約1.68度気温が上昇しています（以下、+約1.68度を「昇温分」という）。

次に、現在気候での気温と30年後の擬似温暖化計算時による将来気候での気温差をより細かく地域毎にみてみます（図3左）。2010年8月22日12時の気温と比べどの程度気温が上がるかを示す地図です。神奈川県付近でみた昇温分を超え、4～5度ほど気温が上昇している場所が見える一方、そこまで温度が上昇しない、あるいはほとんど上昇しない場所も点在しています。このように、県内でもかなり地域差が発生するようです。

では、この22日は何らかの理由から特別な気温分布を示したのでしょうか。それとも、たまたまみられたものなのでしょう。

これを確認するために、8月20日0時から24日0時まで表示期間を広げ、横須賀・三浦地域（観測地点：38箇所、図4左）の地域内最高気温と最低気温の時間変化をみてみます（図4中）（注：一日の最高と最低気温ではありません）。帯の幅で最高気温と最低気温の幅を示しています。30年後の擬似温暖化計算時（濃灰色帯）は、現在気候（薄灰色帯）よりも温度が上がってはいますが、先ほどみた昇温分と同じ幅で一律に上昇しているわけではないことがわかります。特に昼間の上昇幅が大きいようです。

また、その気温上昇のばらつき度合について、上記38地点の擬似温暖化計算時と現在気候の毎時間の気温差のデータを8月一カ月（4週）分集め（=24時間×28日×38箇所）、この出現頻度をグラフ化（横軸に気温差、縦軸にデータの数）してみると（図4右）、昇温分（黒縦線）よりもやや気温上昇の少ないところにピークがあることから、平均的にみればこの地域は昇温分ほどは気温が上がらないようです。ただし、稀ですが気温上昇が4度を超える場合もあり、平均的な昇温分だけで判断するとこのような事例を見逃すことになり、注意が必要です。また、上昇幅が+2.5度前後となるデータが多いなど、データにはかなりばらつきが見られます。さらに、先程の図4中で見られたように、日中と夜間にも気温上昇に違いがあることがわかります。図4右にあるように、昇温分よりも気温上昇の大きいケースは、夜間（薄灰色線）よりも日中（濃灰色線）に多く現われています。

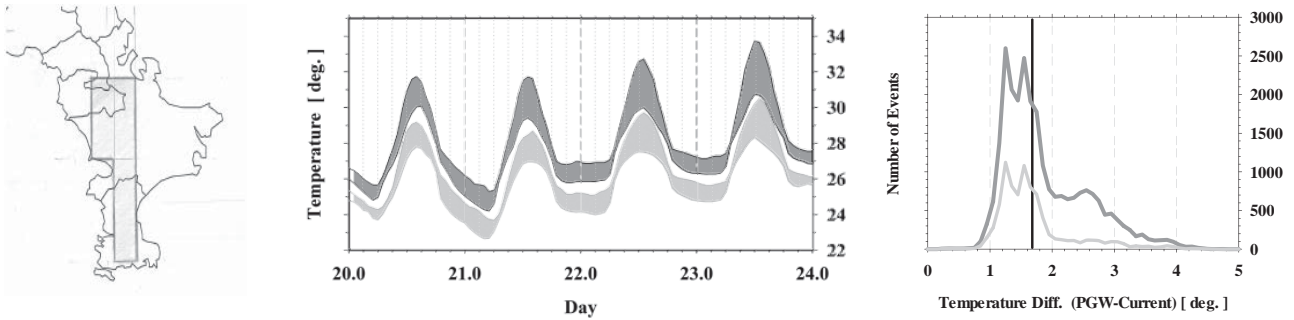


図4：(中図) 横須賀・三浦地域（左図の枠内の38地点）における地域内最高・最低気温の時間変化。横軸に時間（20日0時から24日0時まで〈例えば「20.0」は20日0時を示す〉）、縦軸に気温を示す。薄灰色の帯は現在の気候における地域内最高・最低気温の幅を、濃灰色の帯は30年後の擬似温暖化計算時における幅をそれぞれ示している。全体的に温度は上がるが、一律に神奈川県付近の昇温分と同じ幅で上昇しているわけではない。

(右図) 上記38地点における8月一ヶ月（4週）間の気温差（擬似温暖化計算時に現在よりどの程度気温が上昇しているか）の出現頻度分布（濃灰色線）。横軸に気温差を、縦軸に出現頻度を示す。

薄灰色線は、同じ期間の夜間（21時～4時）のみにおける出現頻度を示す。夜間においては、昇温分（縦黒線）よりも小さい上昇幅に留まる場合が多く、気温上昇が大きい事例は日中に多く現われることがみえる（両灰色線の頻度分布形状の差）。

3-4 統計解析の必要性

次に、ここで得られた成果を現場に反映させることを考えてみましょう。残念ながら、ここで示した計算結果だけでは現場では使えません。なぜなら、1回限りのある年だけの計算結果では、たまたま現われた現象なのか普遍的な現象なのか区別がつかないからです。2010年の再解析データを使うだけでなく、多くの年を含めいろいろな夏に対しての結果を統計処理することが必要となります。こうしたことから、現在、2006年以降の計算を順次進め、2014年まで9回分の夏のデータの特徴を調べています。その中には、熊谷市や多治見市で40.9度を観測した2007年や四万十市で41度を観測した2013年といった酷暑の年や、逆に2009年のような冷夏の年も含まれていますので、今後の結果にご期待ください。

実際に具体的な適応策を講じていくために必要なデータは、適応策の対象によってさまざまなものとなります。例えば、夜間の活動に対する適応策を講じる場合には、最低気温の分布が重要でしょう。一方、日中に生じる問題、例えば熱中症の危険度への対策を講じる場合には、最高気温の分布が必要となります。

シミュレーションでは、気温・湿度、風などさまざまな気象観測値についても計算していますので、各々の適応策のニーズに応じたかたちで計算結果を示せると思います。是非、ご相談下さい。また、今回は、夏季の例を示しましたが、冬季など他の月も同様に計算できます。神奈川県では、

冬季の特徴的な気候を利用した農作物生産を行っていますので、将来気候時の影響を考察することは重要と思います。

4 今後の研究と県内関係機関との協働

JAMSTECでは、更なる精度向上のための研究も行っております。今回は地上付近の気温に関して報告しましたが、海上や海の温暖化による変化からの影響も考慮しなければなりません。しかし、外洋の海水温などの情報は持ち合わせていますが、沿岸域の海のデータは高い精度での取得が難しい現状です。陸に近いほうが分かりやすいと思われそうですが、陸に近いほど地形の影響などにより海は複雑な振る舞いをします。豪雨の後は河川水が大量に海に流れ込み、海水温が変化します。台風の通過によっても深い海水と表面の海水がよく混ぜられ、海水温が変化します。その海水温の変化が沿岸域で起こると、陸地に近いため海風を通して地上の気温に大きな影響を及ぼします。

このように沿岸域の海のデータはとても重要です。幸いにも、神奈川県水産技術センターをはじめ、県試験研究機関の方々との協働の場を設置して頂きました。今後は、互いに持つデータや情報・ノウハウを交換し有益に使い合うことで、現在有している情報のさらなる活用を図っていききたいと思います。

<謝 辞>

本研究の推進にあたって、多くの方々にご助言とご示唆をいただいたことに感謝申し上げます。この場を与えて頂きました神奈川県政策研究・大学連携センターに感謝申し上げます。海洋研究開発機構、特に地球情報基盤センターの多くの方にも助言を頂きました。

なお、内容の一部は、2015年1月21日に神奈川県環境農政局環境部環境計画課が主催しました地球温暖化適応策に関する研修において講演した内容を含みます。

Ⅲ. 適応策に資する試験研究機関の取組み

Ⅲ - 1 飼料用トウモロコシの二期作栽培

神奈川県畜産技術センター 企画研究課 折原 健太郎
田邊 眞

(はじめに)

ここ数年、純国内産飼料自給率は25%前後と低く、飼料の供給は輸入に頼っている。畜産経営では、飼料費が生産費用に占める割合は高く、乳牛や肉用牛では4～5割、豚や鶏では6～7割であり、輸入飼料価格の影響を大きく受ける。

国では、輸入飼料に依存した畜産から国産飼料に立脚した畜産に転換し、足腰の強い畜産経営の実現を目指すため、自給飼料生産を拡大して2020（平成32）年度までに飼料自給率を38%に引き上げることを目標としており、そうした中、神奈川県においても、飼料用トウモロコシの二期作栽培の推進など自給飼料増産に向けた取組みを進めている。

1 県内における飼料用トウモロコシ生産の栽培体系

飼料用トウモロコシは高い生産性に加え、栄養価が高く牛にも好まれることから神奈川県で最も多く栽培されている飼料作物で、2013（平成25）年度の作付は264haで全飼料作物作付面積の49.3%となっている。従来、神奈川県を含む温暖地での飼料作物の栽培体系は、夏作のトウモロコシと冬作のイタリアンライグラスを組み合わせた二毛作が最も土地生産性に優れていると考えられていた。一方、トウモロコシの二期作は、従来九州地方などの暖地で多収作付体系として行われてきたが、最近の地球温暖化による気温上昇の結果、温暖地である神奈川県でもトウモロコシ二期作が可能な気象条件となってきた。

県内畜産農家においても、より高い土地生産性を求めてトウモロコシ二期作への取組みが始まっているが、収量が足りなかったり、実が十分に熟さないといった課題が明らかになってきている。そこで、神奈川県畜産技術センターでは、2009（平成21）年度から神奈川県におけるトウモロコシ二期作栽培体系の課題解決に向けて取り組んでいる。

2 トウモロコシ二期作の生育条件

(1) 有効積算温度

植物が生育するためには一定の気温（「基準温度」）以上が必要であり、気温が植物の生育にどれだけ有効かを表す指標として、平均気温から基準温度を差し引いた「有効温度」がある。例えばトウモロコシの基準温度は10℃であり、気温が15℃ならば、 $15 - 10 = 5$ が有効温度となる。生育期間における毎日の有効温度を積算したものが「有効積算温度」(℃)といわれ、作物の栽培適否の指標となっている。

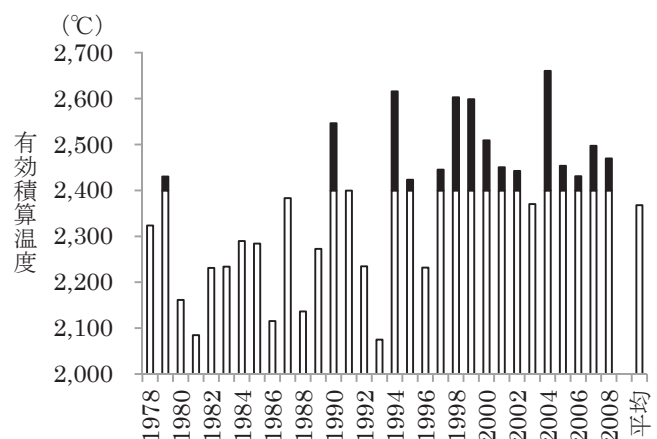


図1 海老名市の有効積算温度の推移
(10℃基準)

トウモロコシ二期作が可能な条件は、有効積算温度（基準温度10℃）が2,400℃以上とされている。当センターのある海老名市での有効積算温度は、1978年から2008年の31年間の平均では2,368℃であったが、1997年以降でみると、2003年の1年間（2,370℃）を除き毎年2,400℃を超えている（図1）。

このうち、二期作目における播種時期による有効積算温度について、2009（平成21）年のデータでみると（図2）、8月1日に播種した場合には11月末までの有効積算温度は1,200℃以上あるが、一週間後の8月8日に播種すると1,119℃となり、収穫時にまでに黄熟期に達することは難しい。播種期の8月の一日分の有効積算温度は、収穫期の11月の1週間分に相当するため、二作目は一日でも早く播種し生育期間を確保することが重要となる。

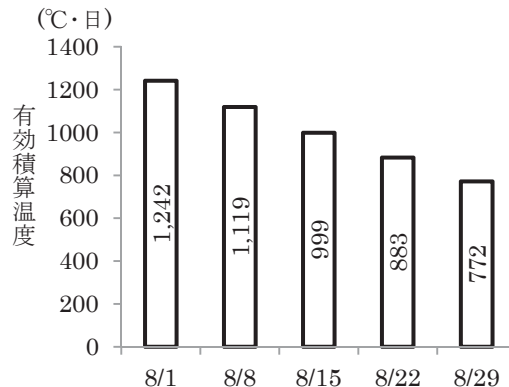


図2 二期作目の播種期による有効積算温度の違い

(2) 品種の選定

トウモロコシは子実の熟期により「乳熟期」→「糊熟期」→「黄熟期」→「完熟期」の4期に分けられるが、サイレージ用トウモロコシについては、栄養収量が多く糖含量も高い黄熟期が収穫適期となる。飼料用トウモロコシの栽培にあたっては、播種時期、作型、黄熟期までの速さ、あるいは予想される病害への耐性などを考慮して品種を選定するが、一番のキーポイントは「早晩性」である。早晩性とは、収穫までの栽培期間の長短を示したもので、大きく早生、中生、晩生に分類される。早晩性の指標としては「相対熟度」(RM) が用いられており、飼料用トウモロコシでは早生がRM値115程度、中生がRM125程度、晩生がRM135程度とされている（図3）。

$$RM = \{10^\circ\text{C以上の日平均気温} - 10^\circ\text{C}\} \times \text{生育日数（播種翌日から黄熟期迄の日数）} / 10$$

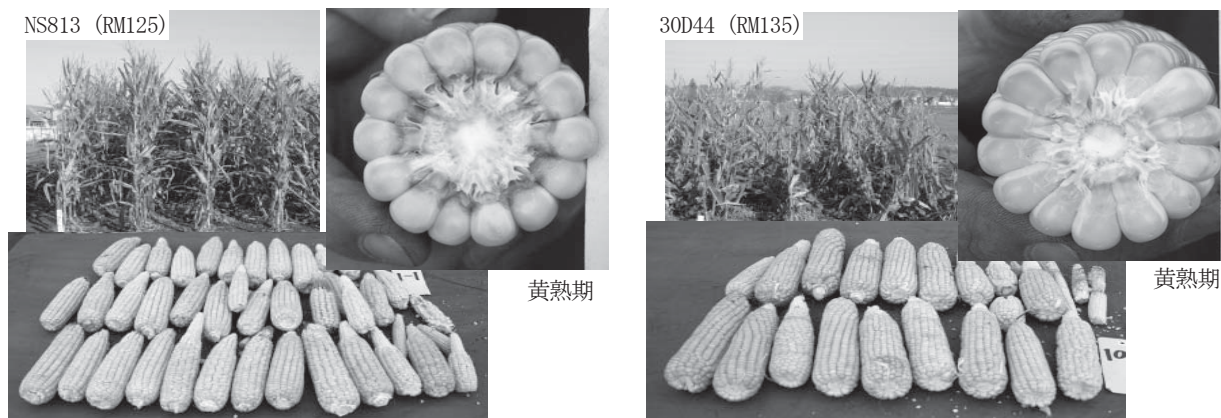


図3 二作目トウモロコシの収穫時の草姿と雌穂

左：品種NS813 (RM125)、乾物収量156.3kg/a 右：品種30D44 (RM135)、乾物収量96.9kg/a

神奈川県での飼料用トウモロコシの栽培期間は、日平均気温が10℃以上になる4月上旬から11月下旬までとなるので、一作目を4月上旬に播種し7月下旬に収穫し、二作目を8月上旬に播種し11月下旬に収穫できる品種を選定することが望ましい。

(3) 品種の組み合わせと播種期の提案

二期作に適応した品種と播種時期を検討するため、一作目の候補にRM100～RM115の7品種、二作目にRM125～RM135の10品種を使って試験を行った。

2010（平成22）年度の試験結果をみると、二作目を8月4日に播種した場合には、収穫時には黄熟期から糊熟期となり、乾物率も30%近くなったが、一週間後の8月11日の播種では収量及び乾物率も低下した。さらに、一週間遅い8月18日の播種では、乳熟期での収穫となり乾物率もかなり低くなった。1998年以降の平均気温を前提にすると、二作目に1,200℃以上の有効積算温度を確保するには、8月4日頃までに播種することが目安となる。また、子実が熟すことで十分な乾物収量を確保するには、遅くとも8月7日頃までに播種することが必要である。

一方、一作目に利用する品種は、収量に加えて二作目の播種が一日でも早くできるように収穫できる品種を選定することがポイントとなる。RM100～RM115の品種を4月8日までに播種した場合、7月下旬から8月上旬に収穫できたが、二作目の播種作業を考えると多少早めに収穫できるRM100～RM110の品種を4月10日頃までに播種することが望ましい。

以上から、本県における飼料用トウモロコシ二期作の品種の組み合わせ及び播種期として、以下を提案した。

- ① 一作目：RM100～RM110の極早生品種を4月10日頃までに播種（7月下旬から8月上旬に収穫）。
- ② 二作目：RM120～RM135の中生から晩生品種を8月5日頃までに播種（11月下旬に収穫）。

3 飼料用トウモロコシ二期作の経済性

酪農家が飼料用トウモロコシ二期作を導入する上での目安とするため、トウモロコシ単作（以下、単作）及びトウモロコシとイタリアンライグラスの二毛作の土地生産性、生産費、経済性を比較した。

(1) 土地生産性

2009（平成21）年から2011（平成23）年までの3年間、収量調査をした結果、二期作を単作と比較した場合には生草収量、乾物収量、TDN（可消化養分総量）収量ともに80%多く、二毛作と比較した場合には、生草収量はほぼ同じであったが、乾物収量は25%、TDN収量は30%多くなった（図4）。

(2) 生産費

生産費の比較では、当センターの通常の栽培方法から必要資材を算出した。

トウモロコシ栽培の資材費（種子、肥料、除草剤等の農薬及び軽油等燃料の合計）は、播種期にかかわらず10a当たり12,050円となった一方、イタリアンライグラスでは6,400円であった。これに栽培とサイレージ調製（ロールバール）の費用を合わせた10a当たりの生産資材費をみると、単作では24,460円、二毛作では35,180円、二期作では46,380円であった（表1）。

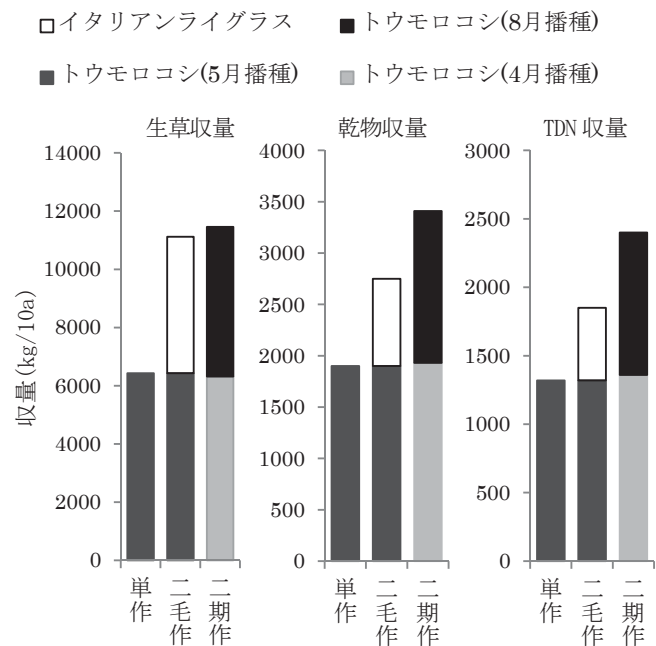


図4 栽培体系による土地生産性の比較

収量と資材費から求めた飼料1kg当たりの生産費は、単作では生草が3.8円、乾物が12.9円、TDNが18.5円、二毛作では生草が3.2円、乾物が12.8円、TDNが19.0円、二期作では生草が4.0円、乾物が13.6円、TDNが19.3円であった（表2）。

表1 栽培体系別の生産資材費

種類	単作	二毛作	二期作
種子	3,800	5,600	7,600
肥料	2,500	3,500	5,000
農薬	2,150	2,150	4,300
燃料	3,600	7,200	7,200
小計（資材費）	12,050	18,450	24,100
ロールベール	12,410	16,730	22,280
合計	24,460	35,180	46,380

単位は円/10a

表2 栽培体系別の生産費

種類	単作	二毛作	二期作
生草	3.8	3.2	4.0
乾物	12.9	12.8	13.6
TDN	18.5	19.0	19.3

単位は円/kg

(3) 飼料費

搾乳頭数が30頭、飼料畑面積が170aの場合をモデルケースとして、単作、二毛作及び二期作のそれぞれの場合の飼料費を試算した。自給飼料の生産量は、単作ではトウモロコシサイレージが110t、二毛作ではトウモロコシサイレージが110t、イタリアンライグラスサイレージ（乾物率50%）が29t、二期作ではトウモロコシサイレージが195tであった。

搾乳牛に与える飼料（給与飼料）については、体重600kg、日産乳量30kgの場合に試算すると（表3）、一日一頭当たりの飼料費は、単作では1,242円、二毛作では1,157円となった。このモデルケースでは、イタリアンライグラスサイレージの生産量は年間のうちの5.3カ月分の自給飼料分にしか相当しないので、残りの6.7カ月分の飼料は単作と同じようにトウモロコシサイレージを与えるプランとなっている。一方、二期作では、自給飼料の生産量が増加するため、配合飼料及びチモシー乾草の購入量を減らすことができ、一日一頭当たりの飼料費は1,163円となった。

表3 体重600kg、日産乳量30kgの飼料給与設計

	単価 (円/kg)	給与量 (kg)		
		単作	二毛作 ²⁾	二期作
トウモロコシサイレージ	3.8/4.0 ¹⁾	10	10	17
イタリアンライグラスサイレージ	6.3	—	6	—
配合飼料 (18-74)	60.0	11	11	10
チモシー乾草	49.0	3	3	2
スーダングラス乾草	41.0	3	—	3
アルファルファ乾草	46.0	4	4	4
ビートパルプ	45.0	2	2	2
粗濃比		50:50	50:50	50:50
乾物給与量		22.6	22.7	22.7
CP充足率		117	122	115
TDN充足率		107	108	107
飼料費	円/頭・日	1,242	1,157	1,163

1) 単作及び二毛作は3.8円/kg、二期作は4.0円/kg

2) 二毛作のイタリアンライグラスサイレージ給与可能期間は5.3ヶ月で他は単作と同じ

表4 作付け体系別の年間飼料費

	単作	二毛作	二期作
トウモロコシサイレージ	13,600	7,594	12,735
イタリアンライグラスサイレージ	—	5,595	—
年間飼料費	13,600	13,189	12,735
二期作の時の飼料費との差	(+865)	(+454)	

単位は千円

モデルケースでは、搾乳牛の年間飼料費は、単作では13,600,000円、二毛作では13,189,000円、二期作では12,735,000円となり、二期作は単作と比べて865,000円、二毛作と比べて454,000円、飼料費を削減することが出来た（表4）。

このように、二期作は、単作や二毛作と比べて生産費は多くなるが、土地生産性に優れ、自給飼料の給与量が増えることにより飼料費の削減につながり、経済性にも優れる結果となった。

4 トウモロコシ二期作での不耕起播種機の利用

前述のとおり、本県でトウモロコシ二期作を実施するにあたっては、一作目の収穫（7月下旬）から二作目の播種（8月5日）までの期間を短くする必要がある。そこで、この短期間に確実に播種するため、二作目に「不耕起栽培」を導入することを検討した。

不耕起栽培とは、もともとはアメリカ中西部のグレートプレーンズ（穀倉地帯）において、過度な耕起が原因で発生した土壌流出から農地を守るために開発された栽培方法だが、近年は省力的栽培方法として南北アメリカ大陸を中心に普及しており、我が国においても、北海道や九州地方でトウモロコシの省力的栽培方法として利用されている。

不耕起播種機は、播種前の耕起作業を省略して一作目収穫後の条間にそのまま播種できる（図5）。耕起栽培よりも早く播種できるため、二作目について気温の高い時期に長く栽培期間を確保して有効積算温度を高くすることができる。作業効率は一時間あたり 50a 程度で、面積の狭いほ場でも利用可能である。

従来、不耕起播種機は大型で高価なため、本県のような比較的小面積のほ場が点在する条件での利用は難しかったが、30馬力程度のトラクターに取付け可能な小型の不耕起播種機（図6）が開発された（2013（平成25）年に販売）。

2010（平成22）年に実施した試験では、一作目を7月26日、27日に細断型ロールベアラ体系で収穫し、その後ロールベアラを運搬した後に二作目を耕起または不耕起栽培した。この試験の不耕起栽培には、みのる式大豆用不耕起播種機をトウモロコシ用に改良した播種機を使用した（図7）。

不耕起栽培では、耕起栽培に比べて栽培期間が5日間長くなり、栽培期間の有効積算温度（10℃基準）も137℃高くなった（図8）。この結果、トウモロコシの収穫時の生育ステージも、耕起栽培では乳熟期から糊熟期であったのに対し、不耕起栽培では糊熟期から黄熟期となり、耕起栽培と比べて不耕起栽培の方が、10a当たりの乾物収量は143kg多く、乾物率は5.7%ポイント上昇した。

今後、不耕起栽培は、省力的な栽培方法としてトウモロコシ二期作栽培において普及することが見込まれるが、これにより飼料用トウモロコシ二期作栽培が推進され、自給飼料の増産の取組みが拡大することを期待する。



図5 不耕起播種機での播種後のほ場



図6 開発された不耕起播種機



図7 不耕起播種機による播種

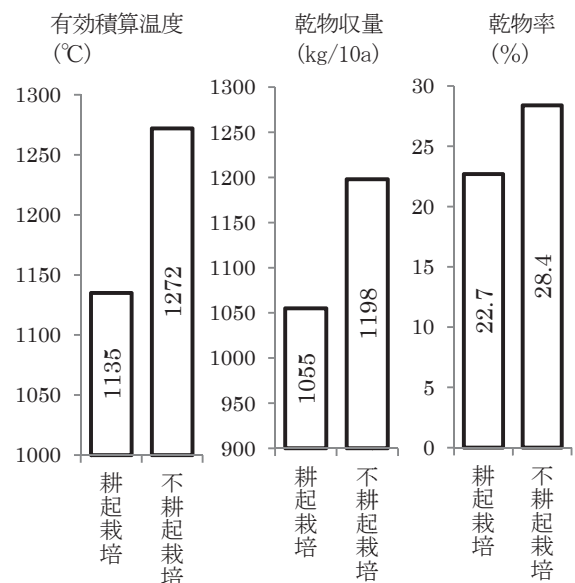


図8 栽培の違いが二作目トウモロコシの栽培に与える影響

Ⅲ - 2 暑熱対策の取組み

神奈川県畜産技術センター 普及指導課 守田 留美子
企画研究課 田邊 眞

普及指導課では、暑熱による家畜の生産性低下を防止するため、畜産農家に対して簡易・低コストで農家が実施しやすい暑熱対策を提案し実施の指導を行っている。

1 家畜への送風

【牛】

成牛にとって快適な気温は10℃～20℃であり、高い気温の下では、暑熱ストレスによって呼吸数が増加したり、食欲が減退する結果、乳量の減少・乳質の低下や、繁殖成績の低下がみられる。牛の体に風をあてると体感温度が下がり、風速1m/秒で体感温度は6℃ほど低下すると言われていたことから、暑熱対策として、酪農家は牛舎内に扇風機を設置し、秒速2～3mの空気の流れをつくり、牛の体に直接風をあてるように送風している。特に、牛の首から肩付近の汗腺が多い部位に風を当てると効果的である。

扇風機の風が頸部付近にあたっているか酪農家に確認してもらうため、2013（平成25）年度夏季に、簡易型測定器を用いて牛舎内の牛房の温度と風速を測定する調査を行った。測定箇所は、牛の座位および立位時の頸部付近の高さとして、牛房の飼槽側の床から高さ50cmと130cmの2ヵ所とした。

対尻式牛舎（中央通路に牛の尻が向いている牛舎）での調査結果をみると牛房の位置により温度や風速にバラツキがみられた（図1）。温度では、牛舎東側に比べて西側の方が全体的に高い傾向であった。また、扇風機を運転しているにもかかわらず搾乳処理室に近い牛房では風速が0m/秒であることがわかった。

本調査は農家とともに実施し、温度や風を実感しながら測定した値を確認したが、換気扇や扇風機を効果的に使うためには、畜舎内の風の流れを確認した上で換気扇や扇風機の設置場所、台数、角度を適切に配置することが大切である。

普及指導課では、こうした牛舎調査により暑熱対策の効果を確認し、効率的な対策の実施を指導している。

【豚】

豚は汗腺が退化し、皮下脂肪が厚いので暑さの影響を受けやすい。豚にとって快適な気温は10℃～25℃と言われ、暑くなると飼料摂取量の減少や呼吸数の増加がみられる。こうしたことから豚舎内にビニールの送風ダクトを設置し豚体に直接風をあてて、豚体表面からの体熱放散を促進させている例が多い（図2）。

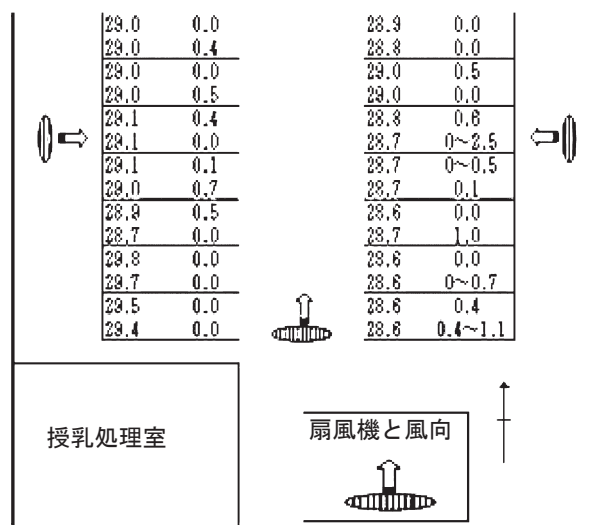


図1 対尻式牛舎での調査結果
上段：床上130cmの温度(℃)と風速(m/秒)
下段：床上50cmの温度(℃)と風速(m/秒)

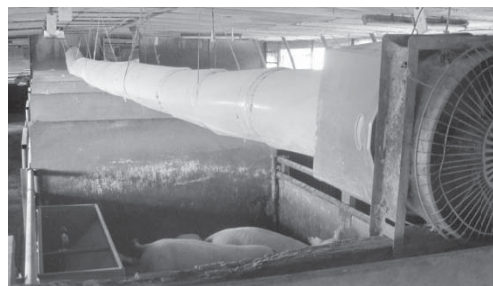


図2 ビニールダクトを用いた豚体への送風

2 水の気化熱の利用

水が蒸発する時の気化熱を利用した暑熱対策として、細霧装置などで畜舎内に霧を散布することが行われている。ただし、換気が悪いと湿度が上昇し、逆に体感温度を上げてしまい逆効果となることから、実施する時には換気を行い、畜舎内の湿度が上がりすぎないように注意する必要がある。

家畜の体表面からの体熱放散を促進させるための方法として、水滴を畜体に滴下するドリップクーリングがある。ドリップクーリングを簡易に行う方法として、ペットボトルに水を入れて凍らし、キャップに小さな穴を開け、解氷水が家畜の首筋に滴下するように置く方法（図3）があり、農家に紹介している。

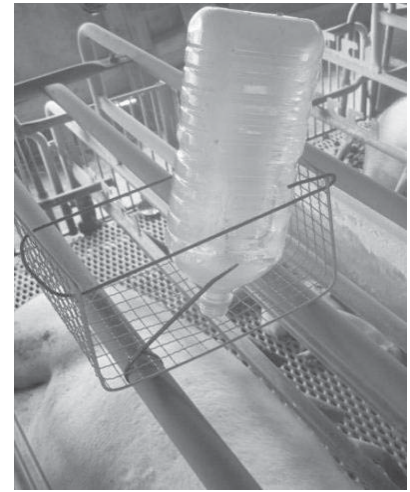


図3 ペットボトルを用いたドリップクーリング

さらに、畜舎に設置する装置としてクーリングパッドシステムがある。これは、畜舎への空気が入る部分にパッドを取り付け、パッド部分に上から水を流して湿らせる方法であるが、このパッドを空気が通過する際に、水の気化熱により空気を冷やすことができる（図4）。

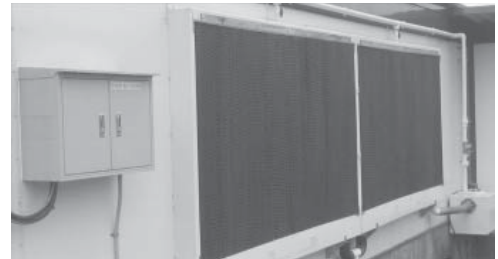


図4 畜舎入気部に取り付けられたクーリングパッドシステム

3 輻射熱の低減

輻射熱を低減することで畜舎内温度の上昇が抑えられるので、暑熱対策として屋根に石灰や断熱塗料の塗布やスプリンクラーによる散水を行ったり、屋根裏に硬質ウレタンボード等の天井用断熱材を設置することは有効である。

同一牛舎において、屋根表面に白ペンキを塗布した場所と塗布していない場所の屋根裏の環境を牛舎内から赤外線サーモグラフィで撮影することで測定すると（図5）、未塗布部分の屋根裏温度は35～36℃を示したが、塗布部分の屋根裏温度は31～32℃と低くなっていることが確認できた。このように、赤外線サーモグラフィは畜産農家が行っている暑熱対策の効果を視覚的に示すことができるため、普及指導課では、この装置を使って農家指導を行っている。

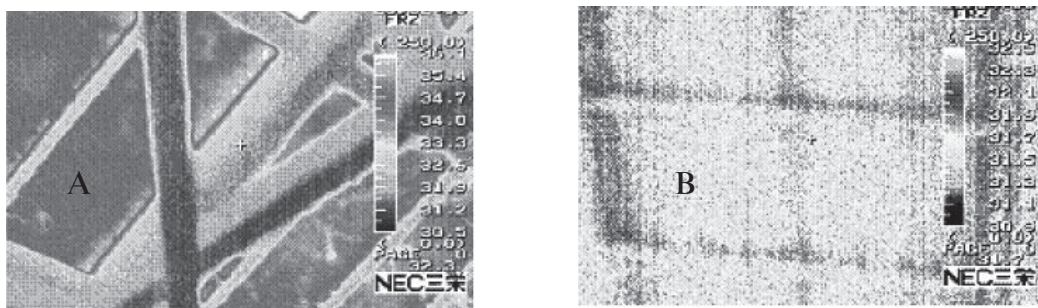


図5 赤外線サーモグラフィ画像による牛舎屋根裏の温度分布

左：屋根表面に白ペンキ塗布なし
(A 35～36℃)

右：白ペンキ塗布あり
(B 31～32℃)

4 グリーンカーテンの利用

畜舎内への直射日光の進入を防ぐこと、特に畜舎西側の直射日光を遮ることは暑熱対策として有効であるが、例えば、朝顔やゴーヤなどのつる性植物を植栽したグリーンカーテンや(図6)すだれや寒冷紗を畜舎に設置している事例がある。さらに、すだれや寒冷紗に打ち水をする、気化熱で温度がさらに下がり効果が増す。なお、設置する際には、畜舎内の風通しを妨げないように指導している。



図6 朝顔によるグリーンカーテン

5 飼料給与の改善

牛の飼料のうち、粗飼料は第一胃内での熱増加量が多く、高温環境下ではその摂取量が低下する。消化のよい良質粗飼料を考えたり、粗飼料を短く裁断することで、第一胃内での発酵スピードを速め消化時の熱発生を減らすことにより、採食量を上げることができる。また、暑熱により飼料摂取量が低下した場合は栄養素が不足する可能性があるため、飼料計算によって確認することを指導している。さらに、暑熱時にはカルシウムなどのミネラル必要量が通常時より10%以上増加したり、免疫機能が低下したりするため、ミネラルや免疫機能増強作用のあるビタミンA、EならびにB群の補給を暑熱対策として指導している。

採卵鶏にとって快適な気温は20℃～30℃といわれ、牛や豚よりも高温域ではあるが、暑すぎる場合はやはり飼料摂取量の低下や卵重の低下を引き起こす。鶏には汗腺がなく、放熱は熱性多呼吸(パンティング)に依っているため、暑熱時には過呼吸により血液のpHがアルカリ側に傾くアルカローシスを引き起こす。この改善として重曹を与えることを指導している。

6 飼養管理の工夫

畜舎外から新鮮な空気を取り入れ、畜舎内に過剰な熱や湿度、ガス(炭酸ガス、アンモニアガス)がこもらないように十分な換気を行うためには、開放畜舎の開口部はできるだけ開放するとともに、空気の通り道を確保し自然換気が促進されるよう、畜舎内の整理整頓を指導している。

また、家畜が清潔で冷たい水を飲みたい時に十分飲めるよう、給水器の掃除や給水量の点検を行うほか、変質したり腐敗した飼料は体調不良の原因になるので、飼槽はこまめに掃除するよう促している。

飼料は、昼間の暑い時間帯に与えるよりも、涼しい時間帯に回数を分けて与えると、消化による体内の熱生産を抑えることができる。飲水量の増加や暑熱ストレスによる不足を補うため、各家畜に適したビタミンやミネラルを補給することも有効である。

また、暑熱以外の様々なストレスを軽減させることも重要となる。例えば、家畜の居る場所が狭すぎないようにしたり、熱源や湿度源となる糞尿の除去を頻繁に実施すること、あるいはネズミやハエなど衛生害虫の駆除も重要である。また、削蹄も牛のストレスを減らすので、暑くなる前に分娩や泌乳ピークを迎える牛を優先的に実施する。さらに、夏に分娩や泌乳ピークを迎える牛は、牛舎の涼しい場所につなぎ替えたり、可能であれば夜間に放牧することも効果的である。

以上のように、普及指導課では各農場の現状を把握し、簡易で低コストな暑熱対策を指導している。今後も、猛暑によって家畜の生産性低下が見込まれ、畜産経営への影響が懸念されることから、積極的に家畜の暑熱対策を提案していきたい。