

3.2. 気温上昇が家畜の繁殖率や成長に与える影響調査

3.2.1. 概要

3.2.1.1. 背景・目的

夏季の暑熱は、家畜の斃死や、増体性、産乳性、繁殖性の低下を招き、畜産業に対し負の影響を与える。特に、夏季の高温による家畜への被害は深刻となっている。気候の温暖化は、暑熱期間の長期化や猛暑日の増加を引き起こし、畜産業への影響は今後さらに増大すると予想される。このような影響に対して地域が適応していくためには、気候変動による影響の程度を把握するとともに、早い段階から対処方法を検討、評価し、実用に向けた準備を進めることが重要である。

暑熱ストレスによる家畜への影響については、飼養環境の管理の視点から乳用牛や鶏を中心に豊富な研究が行われ、知見がまとめられてきた（三村・森田、1980など）。また、気候変動が国内の家畜の生産性に与える影響については、乳用牛（戸田ほか、2002）、肉用牛（野中ほか、2009）、豚（高田ほか、2008）、ブロイラー（山崎ほか、2006）を対象とした予測例がある。これらの研究は、実験室において低温から高温の気温条件で家畜を飼育し、高温条件における増体性などの低下について推定式を作成した上で、気候シナリオを用いて将来の生産性低下を予測している。しかし、暑熱による被害や生産性の低下に関し、家畜の斃死や産乳性、繁殖性など実際の観測記録と関連づけた上で予測を実施した例はほとんどなく、地域レベルでの影響程度については不明な点が多い。

暑熱による影響を低減する方策としては、冷房等を用いた飼養環境の改善が最も確実な方法である。コスト面での負担が大きいことが課題であり、その他の方策の採用も検討する必要がある。その他の方策としては、1) 飼料へのビタミン添加などの栄養管理、2) 人工授精の手法改善、3) 暑熱感作や剪毛など家畜の処置による改善、4) 耐暑性を有する系統の選抜育種などがあり、1、2については様々な研究が進められている。一方で、3、4については研究が始められたばかりであり、現状では知見が少ない。

本調査では、既存の情報や知見をもとに、気候変動が中国四国地域における家畜の繁殖率や成長に与える影響を予測、評価する。また、家畜の耐暑性に関する各種実験及び分析を実施することで、暑熱ストレスと家畜の生理生態及び遺伝的背景との関係性を明らかにし、暑熱の影響に対する具体的な適応策の効果を検証するとともに、耐暑性を有する系統の選抜育種に寄与する。

3.2.1.2. 実施体制

本調査の実施者：株式会社地域計画建築研究所、国立大学法人広島大学生物圏科学研究所

アドバイザー：国立大学法人広島大学 名誉教授 山本禎紀



図 3.2.1 実施体制

3.2.1.3. 実施スケジュール（実績）

3年間の調査計画を図3.2.2に示す。初年度（平成29年度）は、既往知見の整理や資料調査を行うとともに、暑熱による影響について各県から情報収集を行い、情報の整理と被害発生の傾向を確認した。また、耐暑性獲得・向上や遺伝的系統分析のための各種試験の準備として予備試験を行うとともに、詳細な実施計画を作成した。平成30年度は、各県からの追加情報などをもとに、被害・生産性と気象条件の関係分析を進めるとともに、気候シナリオを用いて中国四国地域の市町毎の影響予測を試行した。また、初年度の成果を踏まえ、本格的な実験及び分析を行い、平成31年度以降の適応策の検討の準備を行った。平成31年度は、影響評価の妥当性確認と再評価を行うとともに、中国四国地域全域の影響予測を行った。また、適応策の検証のための本格的な実験を継続し、さらなる分析を進めた。

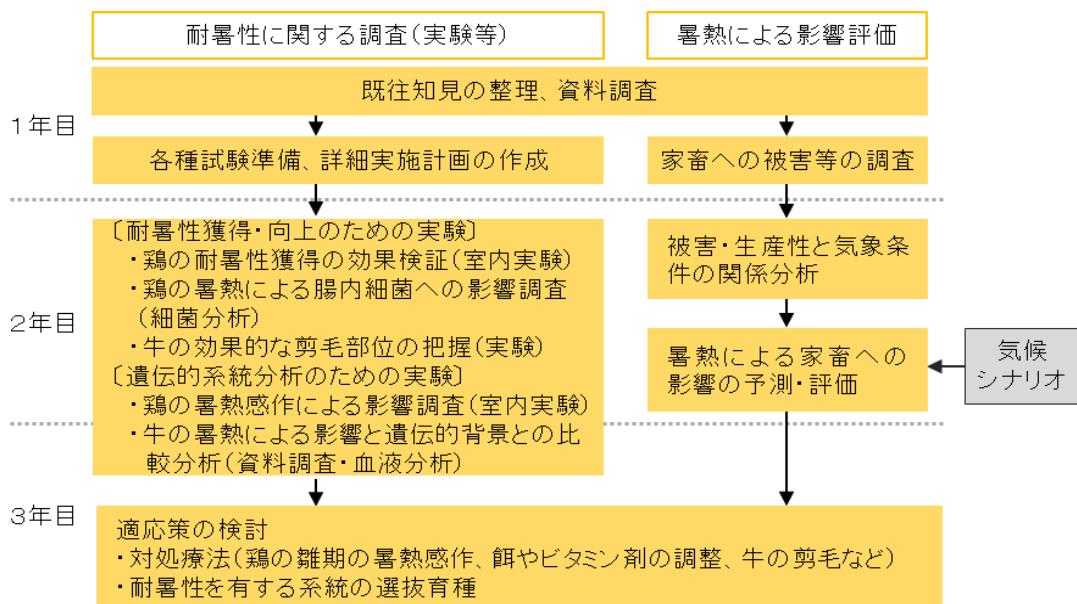


図3.2.2 3年間の調査フロー

3.2.1.4. 気候シナリオ基本情報

影響予測に使用した気候シナリオの基本情報は下表に示すとおりである。

表3.2.1 気候シナリオ基本情報

項目	乳用牛斃死リスク	乳用牛乳量	乳用牛受胎率	鶏卵生産量
気候シナリオ名	NIES統計DSデータセット			
気候モデル	MIROC5、MRI-CGCM3			
気候パラメータ	日平均気温 相対湿度	日平均気温 相対湿度	日最高気温 相対湿度	日最低気温
排出シナリオ	RCP2.6、RCP8.5			
予測期間	21世紀中頃、21世紀末			
バイアス補正の有無	あり（全国）			

3.2.1.5. 気候変動影響予測結果の概要

文献調査では、暑熱による家畜への影響としては、特に乳用牛は暑熱への耐性が低いとされており、乳量・乳質の低下、夏季の受胎率低下などによる繁殖への影響などが大きな課題となっていることがわかった。鶏に関しても、生産性に直接影響する採食量、産肉量、卵生産量などの低下が課題となっている。

ヒアリングでは、気温上昇による家畜への影響を分析する上では、家畜生理学の観点から、気温だけでなく湿度も加味することが望ましく、その1つの指標として湿球温度¹などを活用するとよいことがわかった。また、家畜の個体の特性や飼養者のスキルによっても、暑熱環境下にある家畜の生産性はかなり異なるということがわかった。当初は収集した情報からモデル式の作成を試みたが、情報量が少なく、また情報内容も限られていたことから、有識者へのヒアリング及び共同実施者との検討の結果、生産性の低下が現れる閾値を設定して分析することにした。適応オプションについては、個々の対策について一部で普及も進んでいるが、家畜生理学の観点も踏まえて体系的に伝えしていくことが必要であり、社会に実装していくためには課題も多いがそれを明確にすることも本調査の意義であるとの意見を得た。

¹ 乾球温度及び相対湿度を用いて推定する。その際、気圧は1気圧（1,013hPa）で一定と仮定して計算した。

① 乳用牛斃死リスク

影響予測を行った結果、乳用牛斃死のリスクが高まる日数は、RCP8.5 の将来予測では、21世紀末にほとんどの地域で現在気候よりも「30-60日」増加することが予測された。

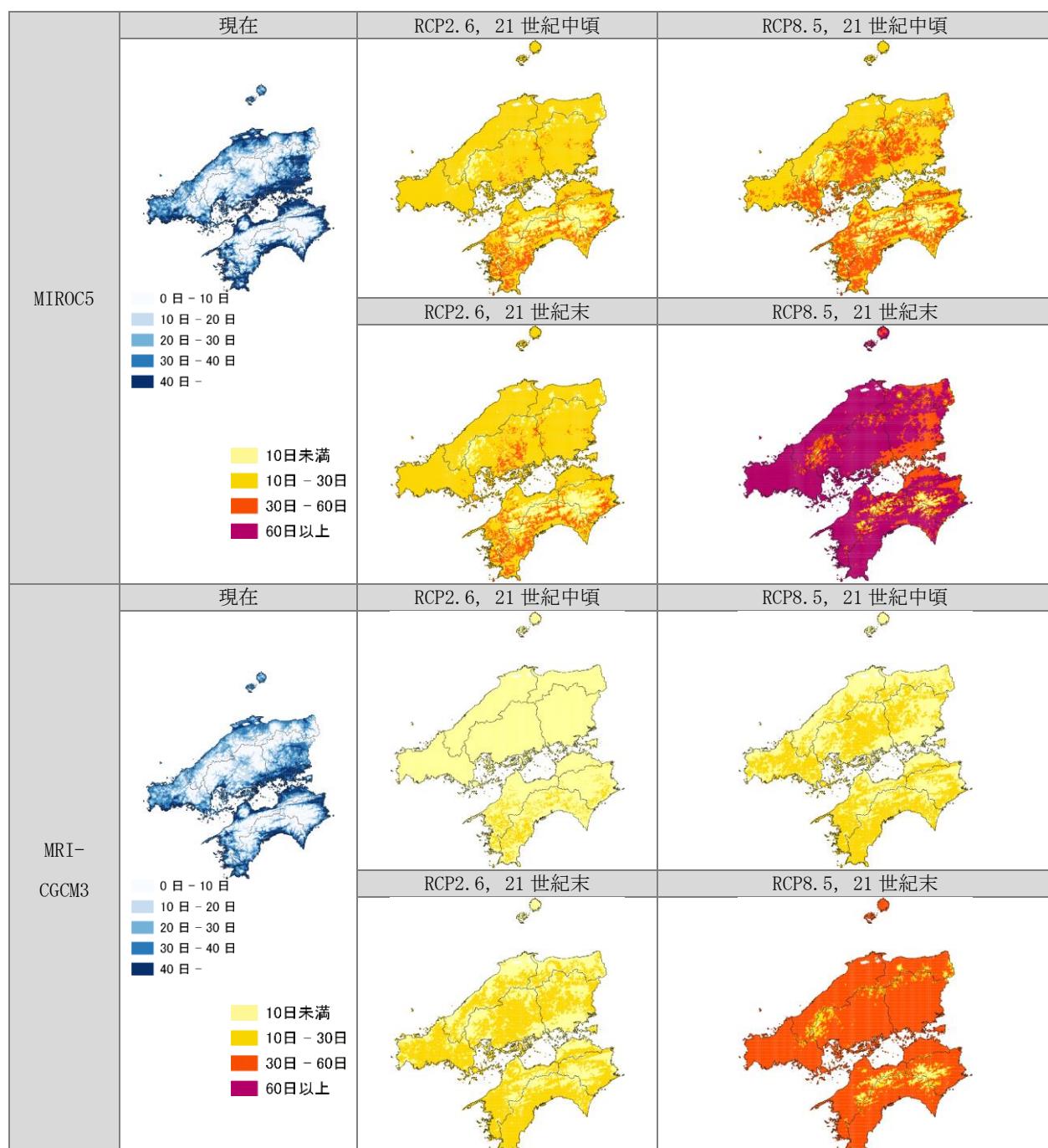


図 3.2.3 乳用牛の斃死リスク（増加日数）の予測結果

② 乳用牛乳量

乳用牛の乳量については、乳量減少が生じるリスクのある日数は、RCP8.5 の将来予測では、21世紀末に内陸の山間部以外を中心に「30-60日」増加することが予測された。

1頭あたりの標準乳量に対する年間の減少量は、沿岸部を中心に増加することが予測され、RCP8.5 の将来予測では、21世紀末にはほぼ全域で乳量減少量が1頭あたり300kg/年以上に及ぶことが予測された。なお、乳牛の日標準乳量（全国平均）は約32kgである。

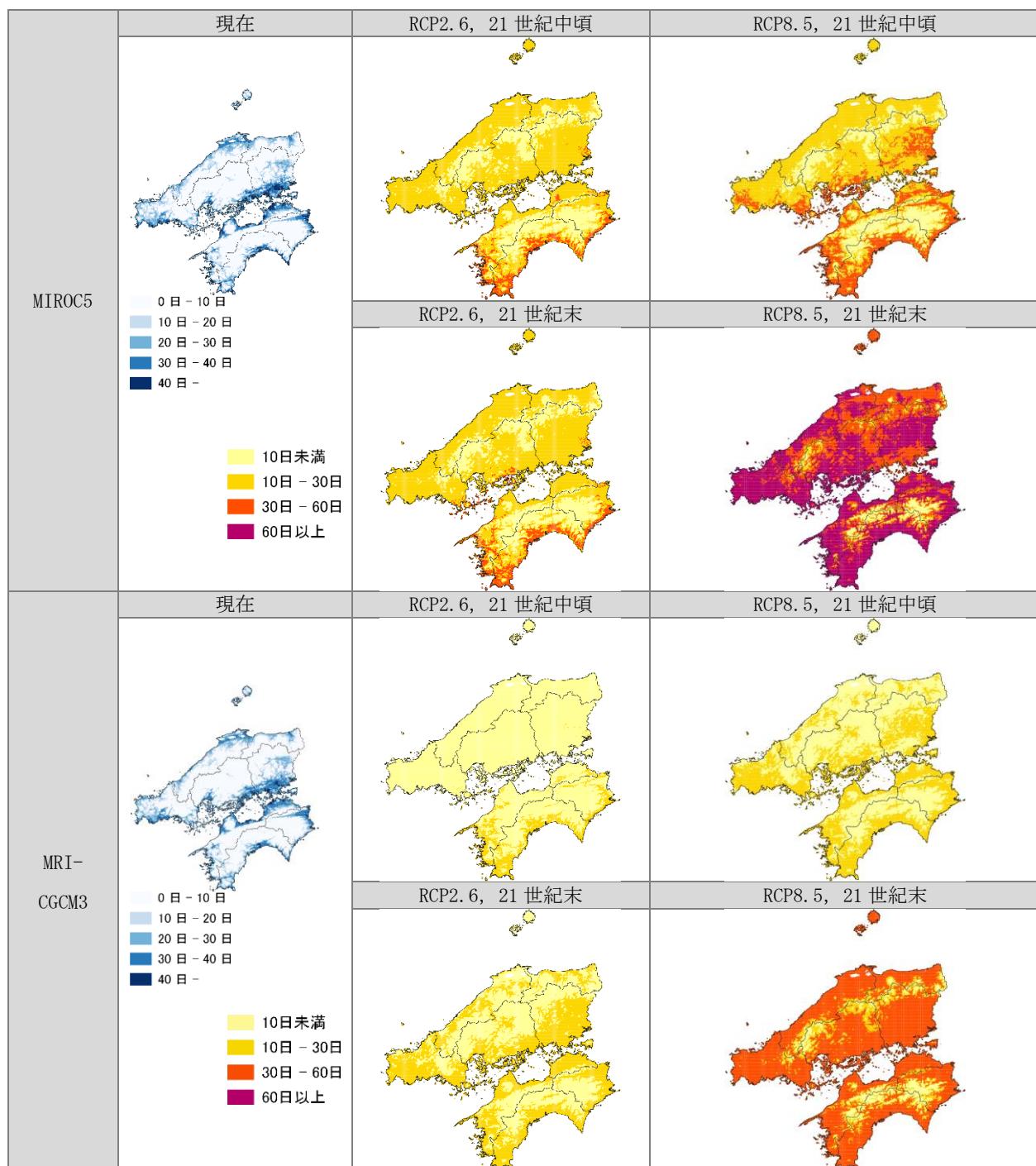


図 3.2.4 乳用牛の乳量減少リスク（増加日数）の予測結果

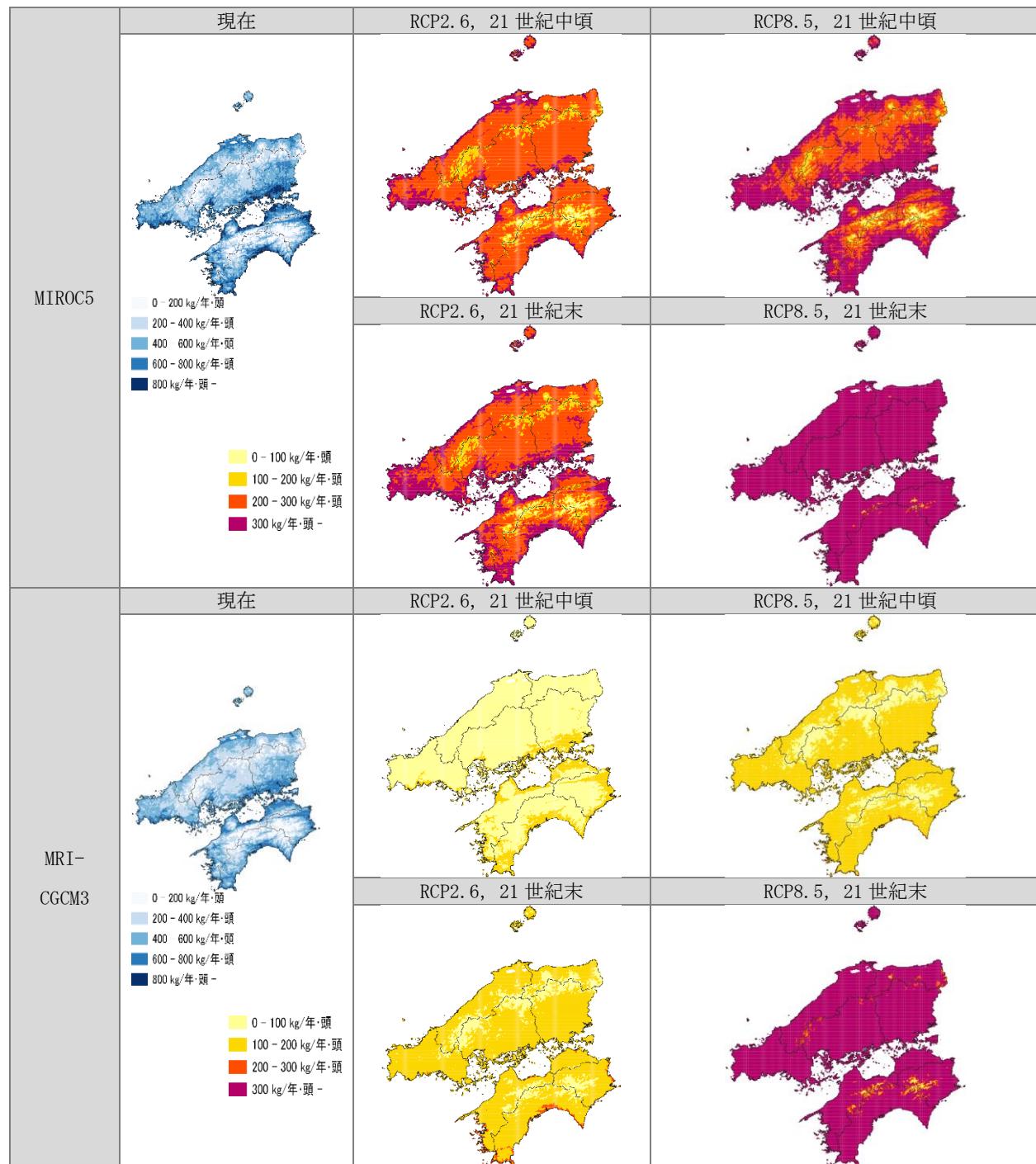


図 3.2.5 乳用牛の乳量年間減少量の予測結果

③ 乳用牛受胎率

乳用牛（1産次）の受胎率低下のリスクが高まる日数は、RCP8.5の将来予測では、21世紀末にはほぼ全域でリスクが高まる日が現在気候よりも「30-60日」増加することが予測された。

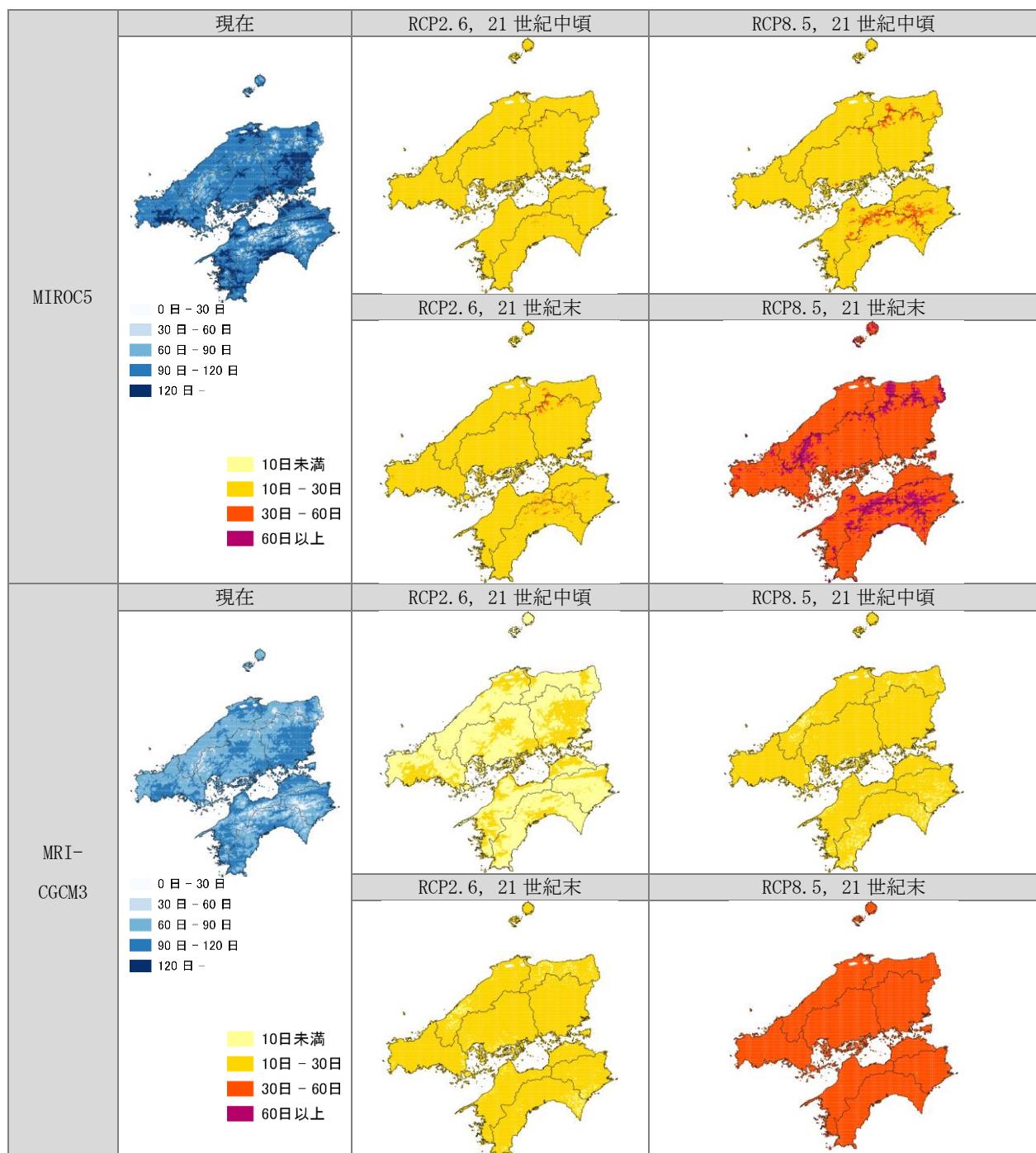


図 3.2.6 乳用牛（1産次）の受胎率低下リスク（増加日数）の予測結果

④ 鶏卵生産量

卵生産量減少のリスクが高まる日数は、RCP8.5 の将来予測では、21世紀末にほぼ全域でリスクが高まる日が現在気候よりも「30-60日」増加することが予測された。

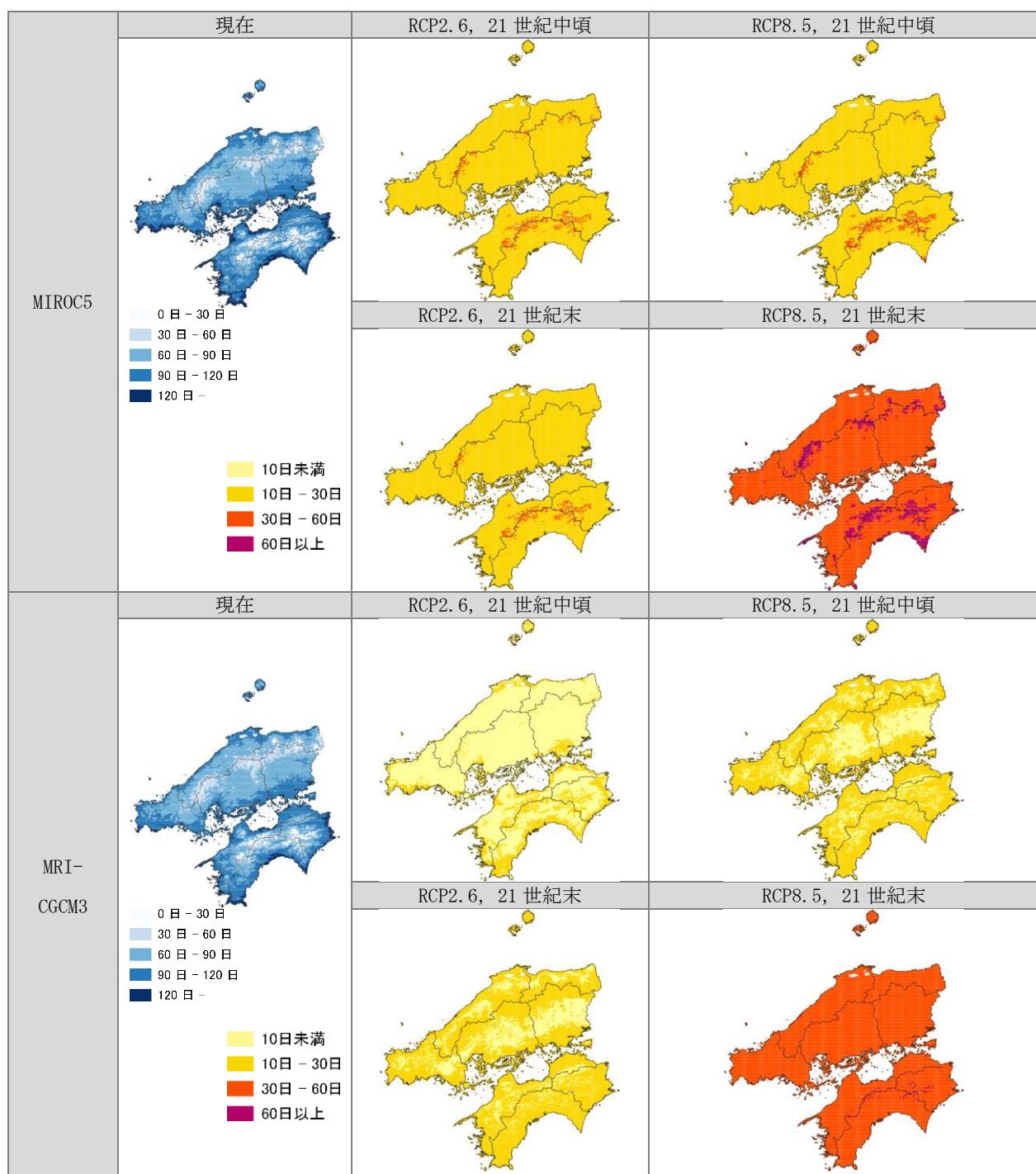


図 3.2.7 鶏レグホン系・マリア品種の卵生産量減少リスク（増加日数）の予測結果

3.2.1.6. 活用上の留意点

① 本調査の将来予測対象とした事項

本調査では、気温上昇が家畜の被害や生産性に与える影響のうち、暑熱による影響を受けやすいと思われる乳用牛と鶏を対象畜種とし、乳用牛の斃死リスク、乳量減少リスクと乳量減少量、受胎率と、鶏の卵生産量を将来予測の対象事項とした。

乳用牛の斃死リスクについては、斃死が発生するリスクが高くなる日の増加日数を評価対象とした。

乳用牛の乳量減少リスクについては、乳量が減少するリスクが高まる日の増加日数を評価対象とした。これは、1998年に徳島県の畜産試験場で実験された乳量水準 37kg/日の個体を対象とした評価である。乳量減少量については、個体の期待乳量と実乳量の差（減少量）を評価対象とした。これは、乳量約 30kg/日の牛を基準とした評価である。

受胎率低下リスクについては、受胎率が低下するリスクが高くなる日の増加日数を評価対象とした。2産次以上の経産牛については、一般的に乳生産に伴う熱産生が大きいことから1産次の牛よりも暑熱の影響を受けやすいといわれており、発情微弱などにより人工授精に至る牛が少ない。そこで、1産次の乳用牛を対象とし、人工授精に至った個体における受胎率について評価を行った。

鶏については、週ごとの平均卵重及び採卵率をもとに算出した卵生産量について、飼養マニュアルに掲載された指標値に対する減少リスクが高くなる日の増加日数を評価対象とした。本調査では、採卵鶏のうちレグホン系・マリア品種について評価を行った。

② 本調査の将来予測の対象外とした事項

本調査では、家畜のうち乳用牛と鶏以外の畜種は対象外とした。また、暑熱は家畜の様々な生理現象に影響を与えるが、影響評価に使用可能なデータを入手できなかった事項も対象外とした。

また、本調査では暑熱による影響のみを対象としており、気候変動による気象災害の激甚化及び頻度の増加も考えられるが、これらの影響については考慮していない。

③ その他、成果を活用する上での制限事項

本調査は、気温・湿度の気候値との関係分析のみによる予測結果であり、成果を活用する際には、品種や成長ステージや妊娠有無、個体特性、飼育環境、飼育技術などの暑熱以外の要因が複雑に関係していることから、その点を考慮する必要がある。

3.2.1.7. 適応オプション

適応オプションの概要を表 3.2.2 に示す。

表 3.2.2 適応オプションの概要

適応オプション	想定される実施主体			現状		実現可能性			効果		
	行政	事業者	個人	普及状況	課題	人的側面	物的側面	コスト面	情報面	効果発現までの時間	効果期待される程度
飼育施設設備による環境改善	温熱環境の制御	●	●	普及が進んでいる	ランニングコスト面	◎	○	△	◎	短期	高
	風の制御、通風と送風	●	●	普及が進んでいる	ランニングコスト面 稼働開始終了時期の判断ミス	◎	○	△	◎	短期	高
	日射の制御、庇蔭、遮光、反射	●	●	普及が進んでいる	維持点検作業 設置開始終了時期の判断ミス	◎	○	△	◎	短期	高
	水の制御・潜熱放散の活用	●	●	普及が進んでいる	畜舎構造を考慮した装置の選択(衛生面等への配慮)	◎	○	△	◎	短期	高
飼料・栄養条件の改良	飼料給与による体熱產生の調整	●	●	一部普及している	コスト面 飼料切替による摂食量への影響 労動作業の煩雑さ	◎	◎△*	◎△*	◎	短期	中
	サプリメントの給与	●	●	一部普及している	どの程度の効果か示す事が必要	◎	○	△	◎	短期	中
家畜の処置による改善	牛体の剪毛	●	●	一部普及している	労動作業の煩雑さ	◎	◎	◎	◎	短期	中
	幼雛期の高温暴露		●	普及が進んでいない	どの程度の効果か示す事が必要 最新研究成果で、効果が期待されるが現場利用に至っていない	△	△	N/A	△	短期	高
	種卵へのアミノ酸投与		●	普及が進んでいない	どの程度の効果か示す事が必要 最新研究成果で、効果が期待されるが現場利用に至っていない	△	△	N/A	△	短期	高
耐暑性に優れた系統の造成(育種選抜)	●	●	普及が進んでいない	調査研究段階で、実用化に至っていない	△	△	N/A	△	長期	高	
家畜のモニタリング・情報収集	●	●	普及が進んでいない	詳細かつ継続的な情報整理のため事業者等現場の協力が必要 調査研究段階で、実用化に至っていない	△	○	△	◎	N/A	低	

【実現可能性の評価基準】

(人的側面) ◎: 自団体・一個人のみで実施が可能、△: 他団体・他個人との協同が必要

(物的側面) ◎: 物資設備は不要、○: 既存の技術に基づく物資設備で対応可能、△: 新たな技術の開発が必要

(コスト面) ◎: 追加費用は不要、△: 追加費用が必要、N/A: 追加費用は不明

【効果の評価基準】

(効果発現までの時間) 短期: 対策実施の直後に効果を発現する、長期: 長期的な対策であり、対策実施から効果の発現までに時間要する、N/A: 評価が困難である

(期待される効果の程度) 高: 他の適応オプションに比較し、期待される効果が高い、中: 他の適応オプションに比較し、期待される効果が中程度である、低: 他の適応オプションに比較し、期待される効果が低い

表 3.2.3 適応オプションの考え方と出典

適応オプション		適応オプションの考え方と出典
飼育施設設備による環境改善	温熱環境の制御	家畜と熱環境との関係をもとに、熱の交換経路の視点で適応策を整理。 「家畜の管理」（山本禎紀・野附巖（編）文英堂出版）
	風の制御、通風と送風	同上
	日射の制御、庇蔭、遮光、反射	同上
	水の制御・潜熱放散の活用	同上
飼育施設設備による環境改善	飼料給与による体熱產生の調整	同上
	サプリメントの給与	<p>さまざまな効果に対する多くのサプリメントがあり、販売もされており、農家によっては取り入れている。サプリメントの種類、畜体の状態・環境などによっても効果は異なることから、効果は「中」とした。 (関連論文)</p> <ul style="list-style-type: none"> 暑熱環境下における採卵鶏の生理反応に及ぼす山椒種子添加飼料の影響. 日本家禽学会秋季大会. 第 53 卷秋季大会号 14 頁 暑熱期の脱塩濃縮梅酢給与が鶏の肝臓脂質代謝・血液性状に及ぼす影響. 日本家禽学会秋季大会. 第 54 卷秋季大会号 12 頁 肉用鶏におけるシトルリンの体温降下作用. 日本家禽学会春季大会. 第 54 卷春季大会号 11 頁 L-Citrulline and L-Leucine-mediated thermoregulation affords thermotolerance. 家畜栄養生理研究会・平成 29 年秋季集談会. 大会号 1-11 頁
家畜の処置による改善	牛体の剪毛	<p>作業の煩雑さはあるものの、ノウハウを取得すれば誰でもバリカンのみで作業可能であり、人的側面・物的側面・コスト面ともに○とした。 (関連論文)</p> <ul style="list-style-type: none"> 沖田美紀・黒川勇三・豊後貴嗣・小櫃剛人（2015）暑熱期の乳牛の生理と生産性に及ぼす剪毛の影響. 「最新 農業技術 畜産 vol. 8」, 69-74 頁, 農山漁村文化協会, 東京.
	幼雛期の高温暴露	<p>効果検証実験により幼雛期における暑熱感作の有効性が示唆されている。また、今後さらに被害・生産性低下が進む地域において、出荷段階で一斉に導入が可能であり、対処療法との組み合わせでの取組も可能であることから、効果は「高」とした。 (関連論文)</p> <ul style="list-style-type: none"> Tanizawa, H., Shiraishi, J.-i., Kawakami, S.-I., Tsudzuki, M. and Bungo, T. (2014) Effect of short-term thermal conditioning on physiological and behavioral responses to subsequent acute heat exposure in chicks. Journal of Poultry Science, 51(1): 80-86.
	種卵へのアミノ酸投与	<p>下記関連論文において、効果が示唆されている。また、今後さらに被害・生産性低下が進む地域において、出荷段階で一斉に導入が可能であり、対処療法との組み合わせでの取組も可能であることから、効果は「高」とした。 (関連論文)</p> <ul style="list-style-type: none"> In ovo administration of L-leucine: a novel approach to affording thermotolerance in broiler chicks. 家畜栄養生理研究会・平成 31 年春季集談会. 大会号 1-14 頁 卵内へのロイシン投与はブロイラーのアミノ酸代謝及び熱ショックタンパク質遺伝子発現量に影響する. 日本家禽学会秋季大会. 第 55 卷秋季大会号 20 頁
耐暑性に優れた系統の造成 (育種選抜)		<p>効果検証の研究が進んでいるが、育種選抜に至るまでにはまだ時間がかかる。実装段階でのコストは不明であることから「N/A」とした。</p> <ul style="list-style-type: none"> Bungo, T., Amimoto, M., Aierquing, S. and Okita, M. (2019) Polymorphisms in the energy metabolism related genes are associated with thermotolerance and disease resistance in dairy cows. The 2nd International Conference on Tropical Animal Science and Production, Nakhon Ratchasima, The Kingdom of Thailand.
(家畜のモニタリング・情報収集)		<p>暑熱の影響検知と、現場レベルにおける効果検証のため、家畜と気象の詳細かつ継続的なデータ取得が必要である。様々な飼育状況におけるデータ収集が望まれることから、人的側面は△とした。</p> <p>また、モニタリング自体は、既存技術に基づく簡易な装置でデータ収集が可能であることから、物的側面は○とした。</p>
(暑熱対策に関する啓発、指導等)		畜産農家に対する啓発・指導は現在も行われているが、科学的知見・データをもとにした説得力のある啓発・指導が期待されている。既に様々な研究・実証実験も行われていることから、物的側面と情報面を○とした。

3.2.2. 気候シナリオに関する情報

3.2.2.1. 気候シナリオ基本情報

表 3.2.4 気候シナリオ基本情報

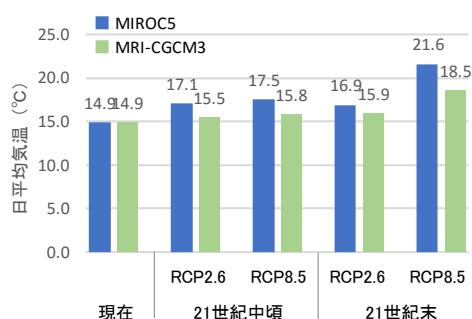
項目	乳用牛斃死リスク	乳用牛乳量	乳用牛受胎率	鶏卵生産量
気候シナリオ名	NIES 統計 DS データセット			
気候モデル	MIROC5、MRI-CGCM3			
気候パラメータ	日平均気温 相対湿度	日平均気温 相対湿度	日最高気温 相対湿度	日最低気温
排出シナリオ	RCP2.6、RCP8.5			
予測期間	21世紀中頃、21世紀末			
バイアス補正の有無	あり（全国）			

3.2.2.2. 使用した気候パラメータに関する情報

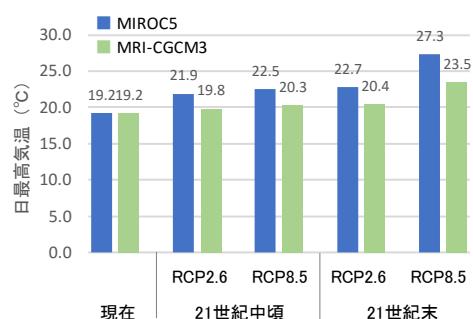
暑熱に対する家畜の生理・生産反応には、飼育環境の環境温度と湿度が主に影響するとされている。湿度が高くなると畜体や畜舎からの熱放散を妨げ暑熱ストレスの増大につながる。そのため、気温だけでなく湿度を加味した湿球温度による評価や、温湿度指数、体感温度などの指標値による分析の事例も多い。したがって、気候指標としては気温及び相対湿度を用いることとした。

影響予測に用いた気候シナリオによると、日平均気温は、21世紀末までに MIROC5 では 2.0~6.7°C、MRI-CGCM3 では 1.0~3.6°C の平均気温の上昇が予測されている。日最高気温は、21世紀末までに MIROC5 では 3.5~8.1°C、MRI-CGCM3 では 1.2~4.3°C の平均気温の上昇が予測されている。日最低気温は、21世紀末までに MIROC5 では 1.4~7.9°C、MRI-CGCM3 では 4.7~5.5°C の平均気温の上昇が予測されている。相対湿度は、21世紀末までに MIROC5 も MRI-CGCM3 も大きな変化はみられない。

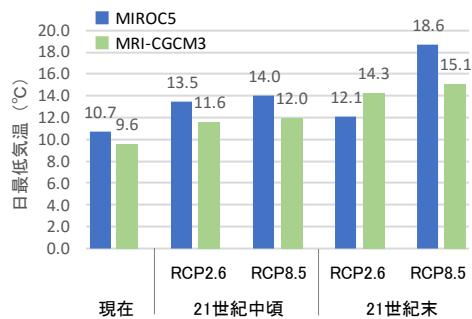
■ 日平均気温



■ 日最高気温



■ 日最低気温



■ 相対湿度

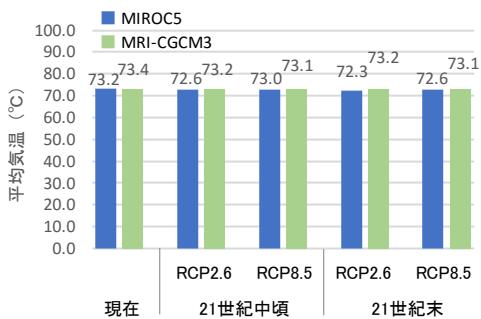
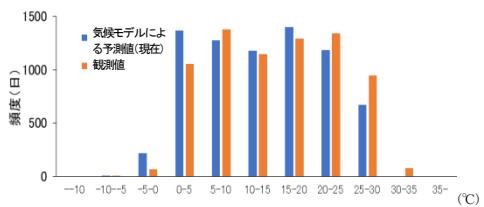
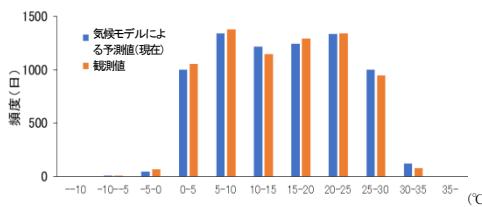


図 3.2.8 島根県太田市における気候指標の将来予測図

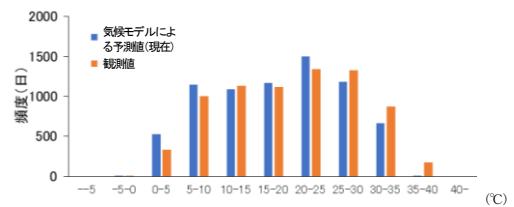
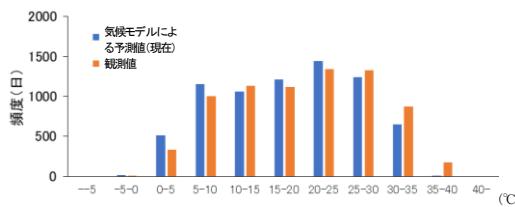
3.2.2.3. 気候シナリオに関する留意事項

対象とした気候シナリオについて、使用した気候パラメータの再現性を確認したところ、実測値を概ね再現できており、異常値も認められなかった。

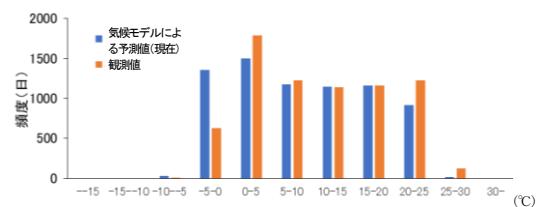
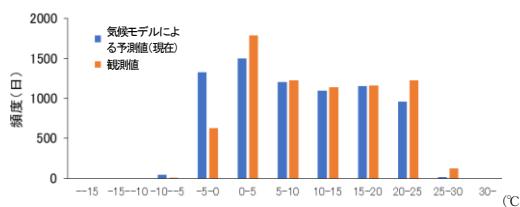
■ 日平均気温



■ 日最高気温



■ 日最低気温



■ 相対湿度 (日別)

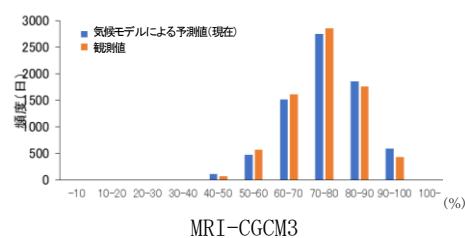
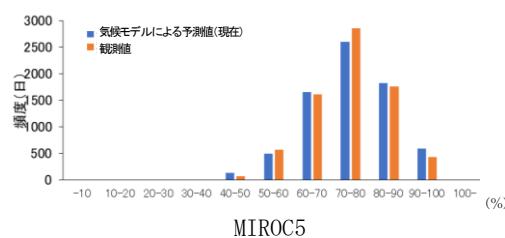


図 3.2.9 主な家畜飼育地域近隣の気象観測所における観測値及び
気候モデルによる予測値（現在）の比較（鳥取県鳥取市）

※観測値は鳥取地方気象台の値を使用

3.2.2.4. バイアス補正に関する情報

全国一律でバイアス補正が実施されており、将来予測に用いるにあたって大きな問題はないことがから、地域でのバイアス補正は実施しなかった。

3.2.2.5. 気候シナリオ選択の理由

1日あたりの被害状況や生産量などの変化や日数を予測するため、時間解像度は日別値とした。空間解像度としては、各畜種の主要産地における地域レベルの気候指標を必要とするため、3次メッシュ（1km）値とした。

以上の条件に該当するシナリオとして、相対湿度を含み、広域的かつ比較的長い期間について空間解像度 1km、時間解像度 1 日で整備されている NIES 統計的 DS データセットが適していると判断した。

3.2.3. 気候変動影響に関する調査手法

3.2.3.1. 手順

影響評価に関する調査手順を図 3.2.10 に示す。

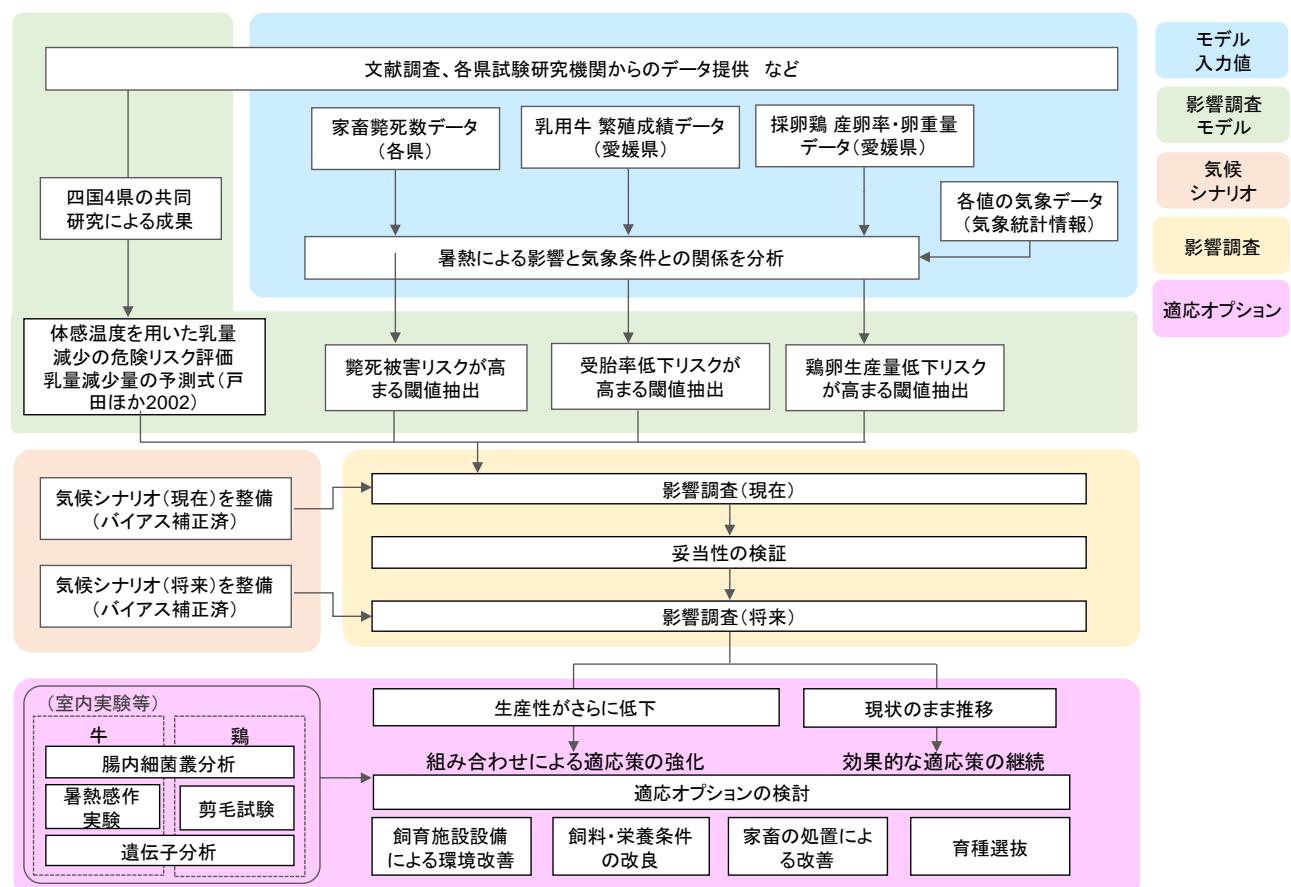


図 3.2.10 気候変動影響に関する調査手順

3.2.3.2. 使用したデータ・文献

本調査の影響評価に使用したデータ・文献を表 3.2.5 に示す。

表 3.2.5 調査に用いたデータ及び文献資料

区分	データ・文献資料の名称・出典	概要及び使用方法
気象データ	気象統計情報（気象庁 HP よりダウンロード）	中国四国地域内の観測地点における日平均気温、日最高気温、日最低気温、湿度データ。影響予測モデルの解析及び気候シナリオの検証に用いた。
その他データ	各県における暑熱による乳用牛の被害（斃死）発生状況データ	農林水産の暑熱による畜産関係被害状況調査のために集計された各県別 7~9 月の情報。データの多い県では平成 25 年から記録あり。
	愛媛県農林水産研究所畜産研究センターにおける乳用牛の検定成績表（個体検定日）データ	個体ごとの授精月日・回数、分娩日、産次等の授精成績（2011 年～2018 年）。乳用牛受胎率の影響評価の解析に用いた。
	愛媛県農林水産研究所畜産研究センター養鶏研究所における採卵鶏の産卵成績データ	日別・品種別の飼育羽数、産卵個数、卵重データ（1997 年～2018 年のうち、各 1 年以内 8 期間分）。鶏卵生産量の影響評価の解析に用いた。
文献資料	乳牛夏バテ症候群の実用的早期発見技術の開発と効果的対応技術の検証（先端技術地域実用化促進研究事業報告、徳島県、香川県、愛媛県、高知県、2000）	体感温度による影響の評価区分について、影響予測の対象とする乳用牛乳量低下リスク及び乳量減少量の根拠として用いた。
	暑熱環境下における体感温度の上昇がホルスタイン種牛の乳量に及ぼす影響（戸田ほか、2002）	論文記載のモデルを、影響予測の対象とする乳用牛乳量減少量の根拠として用いた。

3.2.3.3. 有識者ヒアリング及び意見交換会

[有識者ヒアリング]

NO.	1
対象者	広島大学 名誉教授 山本禎紀 氏
日付	令和元年 7月 4日 (木) 14:00~16:00
場所	広島大学 生物生産学部 B棟
概要	<ul style="list-style-type: none"> 各評価項目について、影響評価・将来予測の結果について確認いただくとともに、妥当性についての評価を得た。 いずれの指標も閾値設定にて影響評価した方がわかりやすいとの助言を得た。また、予測結果の見せ方や留意点として、絶対量でなく差分で示した方がわかりやすいこと、影響が出ないとされる値であっても個体の特性や飼養上の工夫で暑熱に耐えている個体もあるなど、様々な要因や状況についての補足説明が必要であるとの助言を得た。 適応オプションの整理の考え方と評価について確認した。また、現場で適応オプションを導入するにあたっての課題を明確にすることも本調査の意義であるとの意見を得た。

[意見交換会]

気候変動による畜産への影響について、各地域における取組状況や課題等について情報共有するとともに、本調査で得られた調査結果や適応策についての意見交換を行い、中国四国地域での関係機関の連携を図るため、下記のとおり 2回開催した。

NO.	1
参加者	<ul style="list-style-type: none"> 中国四国地域の畜産に関する行政関係者及び研究者 各県畜産関係研究機関もしくは各県畜産部局、関係研究機関（農研機構）、 関係省庁（中国四国農政局、環境省中国四国地方環境事務所） 地域適応コンソーシアム事業関係者（アドバイザー、地域事業者） 計 20 名
日付	平成 30 年 12 月 18 日(火)14:00~16:00
場所	第一セントラルビル 1 号館 5 階 A 会議室
概要	<ul style="list-style-type: none"> ○将来の影響予測について <ul style="list-style-type: none"> ・地域での影響の現状について共有し、影響評価の途中経過について確認した。 ・気候パラメータについては家畜生理学的に湿球温度を用いた方がわかりやすく利用しやすい、現場レベルのニーズは 21 世紀中頃・末を見据えつつも 5-10 年後の対策である、との意見を得た。 ○適応策の推進について <ul style="list-style-type: none"> ・適応に向けた地域の課題として、自然災害などによる非常時の想定や対応も重要、温暖な地域における適応策を共有すべき、との意見を得た。

No.	2
参加者	<ul style="list-style-type: none"> ・中国四国地域の畜産に関する行政関係者及び研究者 各県畜産関係研究機関もしくは各県畜産部局、関係研究機関（農研機構）、関係省庁（中国四国農政局、環境省中国四国地方環境事務所） ・地域適応コンソーシアム事業関係者（アドバイザー、地域事業者） 計 19 名
日付	令和元年 7 月 19 日（金）13：30～16：00
場所	第一セントラルビル 1 号館 5 階 A 会議室
概要	<ul style="list-style-type: none"> ○影響評価・将来予測結果について <ul style="list-style-type: none"> ・現場で普及啓発・指導していく上で、マップだけでなく代表地点での定量評価などがあるとわかりやすい、10 年後など短期的な予測があるとよい、21 世紀中頃では変化が小さく感じるので見せ方を工夫すべき、などの意見を得た。 ・飼養環境改良など様々なファクターで暑熱被害が緩和される面もあるが、家畜のクリティカルな敏感温度はさほど変わらないはずとの知見を得た。 ○適応オプションの考え方、地域での実装に向けた課題について <ul style="list-style-type: none"> ・各県の既存適応策や行政支援策、今後の課題などについて情報共有した。 ・行政や企業の経済的しがらみなど適応策実現に向けた課題は多く、技術を現場で定着させることが難しいが、障壁があるものも含めて記載できるとよい、アニマルウェルフェアとリンクできるとよい、などの意見が出された。 ・単独自治体では予算も少なく取り組めることは限られる、地域に限らず広域で連携しながら研究に取り組めると良い、との意見が出された。適応策につなげられるとよい。

3.2.3.4. 観測および実証実験

暑熱による影響把握と適応策の効果検証にあたって各種室内実験を下記のとおり実施した。

実験名	対象畜種
乳用牛の暑熱による腸内細菌叢に及ぼす影響調査	乳用牛
鶏の暑熱による腸内細菌叢に及ぼす影響と飼料添加物の有効性調査	鶏
鶏の暑熱感作処理による対応調節能力向上の効果検証	鶏
耐暑性に優れた乳用牛の系統の造成に関する調査	乳用牛

① 乳用牛の暑熱による腸内細菌叢に及ぼす影響調査

近年、動物において腸内細菌叢のバランスが消化吸収のみならず、様々な生理機能に影響することが示唆されている。暑熱ストレスは、家畜の生理機能に対して種々の弊害をもたらすが、生理機能のみならず腸内細菌叢のバランスを乱して栄養吸収の不全ももたらしている。栄養学的観点からは摂食量の低下のみならず飼料効率や消化管機能の低下が問題となる。そこで本調査では、夏季暑熱が乳牛の腸内細菌叢に及ぼす影響について調査した。

対象動物は、広島大学附属農場飼育の乳牛（泌乳前～初産後の育成期）とし、6 及び 8 月に各乳牛の直腸より糞を採取した。糞からは DNA を抽出して各種細菌群（ビフィズス菌、サルモネラ菌及び大腸菌）の遺伝子発現を解析した。

② 鶏の暑熱による消化管及び腸内細菌叢に及ぼす影響と飼料添加物の有効性調査

暑熱環境はニワトリの生理機能に様々な影響を及ぼすことは知られているが、短期の暑熱ストレスが消化管機能や腸内細菌叢に及ぼす影響については十分な検討はなされていない。そこでブロイラーを対象として、平成 29 年度に急性暑熱暴露が消化管の栄養吸収や炎症に及ぼす影響について、平成 30 年度にヒナ盲腸における腸内細菌叢に及ぼす暑熱暴露の影響及びプロバイオティクス給与効果について調査した。さらに暑熱環境下の採卵鶏においても同様の暑熱の悪影響は予測されるものの、飼料添加物による改善効果については不明であることから、平成 31 年度には暑熱環境下における飼料添加物の有効性を検証するため、採卵鶏の卵生産あるいは腸内環境に及ぼす麹処理飼料添加物の影響について調査した。

平成 29 年度及び平成 30 年度の実験では、ブロイラー（チャンキー）雄ヒナを用いた。飼育条件は 24 時間点灯、自由摂食・自由飲水とし、環境温度を 30°C（1 日齢）から 26°C（14-15 日齢）へと廃温した。その後、平成 29 年度は、14 日齢時に 2 時間の暑熱曝露 35°C を行い、処理後直ちに空腸を採取し、栄養吸収や炎症などに関連するタンパクの遺伝子発現量を解析した。平成 30 年度は、14 から 21 日齢まで 4 時間の暑熱曝露（34°C）を行い、最終日の暑熱暴露後に盲腸を採取し、細菌叢を解析した。なお、実験区は、無添加・適温区（26°C）、添加・適温区、無添加・暑熱区及び添加・暑熱区の 4 区を設けた。

平成 31 年度の実験では、白色レグホン系採卵鶏（ジュリアライト）37 週齢を用いた。飼育条件は、16L8D、自由摂食・自由飲水とした。実験は、市販飼料*を給与し熱的中性圏で飼育した C 区、同飼料を給与し暑熱環境下で飼育した CH 区および麹処理飼料添加物を給与し暑熱環境下で飼育した KH 区の 3 区を設けた。KH 区については 5 日間の飼料馴致（環境温度 25°C）後、CH 区とともに暑熱飼育室へ移動させた。飼料摂取量と産卵状況は毎日記録し、卵に関しては卵重、卵黄重量および卵殻重量を測定した。実験終了時に、過麻酔のち断頭屠殺して空腸組織と空腸および盲腸内容物を採取した。空腸組織については mRNA を抽出し、real time PCR 法により遺伝子発現量を測定した。測定項目は、ムチン関連遺伝子、タイトジャンクション関連遺伝子、抗酸化関連遺伝子、免疫関連遺伝子、糖輸送体関連遺伝子とした。空腸および盲腸内容物は DNA 抽出を行い、細菌の DNA 量を測定した。

* 麹添加飼料：提供（株式会社フジワラテクノアート）

③ 鶏の暑熱感作処理による対応調節能力向上の効果検証

鶏の幼齢期に高温環境にさらす暑熱感作処理は、鶏ヒナの耐暑性を向上させることが報告されている。本調査では、暑熱感作処理による鶏ヒナの耐暑性や対応調節能力の効果を検証するため、暑熱感作処理後のヒナを用いて、寒冷あるいは暑熱暴露後の直腸温の変化を調査した。

供試鶏は、ブロイラー（コブ）を用いた。各ヒナは、24 時間点灯、環境温度 30°C 恒温、自由採食・飲水で飼育した。3 日齢時に 12 時間の暑熱感作（40°C）を行い、7 日齢時に寒冷（16°C）あるいは暑熱（40°C）環境に暴露してその直腸温の変化を測定した。

④ 耐暑性に優れた乳用牛の系統の造成に関する調査（乳用牛の耐暑性関連遺伝子候補）

酪農の現場においては、以前から暑さに強い牛と弱い牛とがいることは知られていた。近年のゲノムサイエンスの進展に伴って耐暑性について遺伝子レベルでの解析が行われるようになってきた。

そこで本調査では、乳牛の耐暑性に関する遺伝子候補の解析を行った。

対象動物は、広島大学附属農場飼育の乳牛（泌乳牛）とした。飼育管理者への聞き取り調査から、①暑さに対する耐性、②夏季における種々疾病への罹患歴、この2点から耐暑性に優れた牛と劣った牛それぞれ3頭を選別した。これらから採取した血液からDNAを抽出して一塩基多型解析を行い、暑さに強い個体あるいは弱い個体に特有の遺伝子多型の検出を試みた。

3.2.3.5. 気候変動影響予測手法の検討

① 乳用牛斃死リスク

平成29年度に実施した猛暑による被害の実態調査では、家畜の斃死に関して、乳用牛で最も明瞭な傾向が認められた。そこで、乳用牛の斃死の発生状況と気候条件との関係について詳しく分析するとともに、その結果を用いて現在及び将来の斃死リスクを予測した。

平成29年度に各県から影響を得た乳用牛の斃死数に関する情報と、各県の県庁所在地における気候指標（斃死数の集計期間の平均気温、最高気温、最低気温、湿球温度）との関係を分析し、斃死リスクが高まる気候指標の閾値を抽出した。抽出された気候指標をもとに、気候シナリオを用いて将来の影響を予測した。

② 乳用牛乳量

乳用牛の乳量生産量は暑さによって減少することが知られている。そこで、本地域における既存の知見を活用して、気候変動による乳量の減少への影響を予測した。

乳量への影響予測のモデルについて、乳量の減少リスクは、四国4県の共同研究成果である体感温度（ET）を用いた評価区分表、乳量の減少量は、戸田ら（2002）による乳量に関するモデルを用いた。体感温度は〔乾球温度×0.35+湿球温度×0.65〕で導き出される指標である。これらの閾値及びモデルの気候指標をもとに、気候シナリオを用いて将来の影響を予測した。

③ 乳用牛受胎率

高泌牛への選抜や飼養管理状況に加え、暑さによる乳用牛の繁殖性の低下が問題となっている。そこで、繁殖に関するデータを収集、整理し、受胎率について気候指標との関係性を明らかにした上で、乳用牛の受胎率に与える影響を予測した。

愛媛県畜産研究センターの協力を得て、同センターで飼養しているホルスタイン種の飼養管理情報を記録した牛群検定成績表を収集し、繁殖に関する情報を整理し、受胎率を算出した。受胎率は、授精した個体に対し、受胎に至り妊娠判定された個体の割合とした。一般的に経産牛は暑さの影響を受けやすいと言われているが、夏季における授精後の受胎率は1産次より高い傾向にあった（図3.2.11）。本調査では授精に至らないケースなどの諸影響を除外するため、1産次の個体を対象とし授精に至った個体の受胎率を指標とする。

受胎サイクルと暑熱ストレスに関する既存知見などをもとに、受胎率と近隣の気象観測地点の気候指標との関係を分析し、受胎率低下のリスクが高まる気候指標の閾値を抽出した。抽出された気

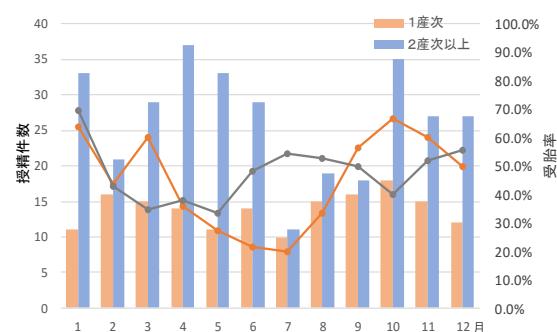


図3.2.11 授精件数と受胎率の月別変化

候指標をもとに、気候シナリオを用いて将来の影響を予測した。

④ 鶏卵生産量

採卵鶏に関しては、暑さにより増体量、産卵数、卵重量が低下したり、殻が薄くなったりすることで、生産性が低下することが知られている。気候変動による鶏卵の生産性への影響を評価するためには、鶏卵生産に関するデータを収集、整理し、気候指標との関係を明らかにした上で、モデルを用いた予測を行うこととした。

鶏卵生産量に関する情報として、愛媛県農林水産研究所畜産研究センター養鶏研究所が集積した週ごとの卵の重量及び採卵率のデータの提供を得て、近隣の気象観測地点の気候指標と鶏卵生産量との回帰分析を行った。観測データには数種の品種が含まれていたが、本調査ではマリア（レグホン系品種）及びボリスブラウン（ロードアイランド系品種）のデータを用いた。鶏卵生産量は、平均卵重に採卵率を乗じることにより求めた。また、鶏卵生産量は鶏の日齢により変化することから、飼養マニュアルに掲載された指標値に対する比率を算出し、気候指標との関係を分析し、卵生産量減少のリスクが高まる気候指標の閾値を抽出した。抽出された気候指標をもとに、気候シナリオを用いて将来の影響を予測した。

3.2.3.6. 影響予測モデルに関する情報

① 乳用牛斃死リスク

乳用牛斃死リスクの分析結果を図3.2.12に示す。乳用牛の斃死数と各気候指標との関係を分析した結果、いずれの気候指標も類似の傾向が認められたが、暑熱に対する家畜の生理・生産反応を検知でき、かつ活用しやすい平均湿球温度を指標として用いた。ここでは、斃死数が増え始める平均湿球温度23°Cを閾値として、それ以上の温度で斃死リスクが高まると推定した。

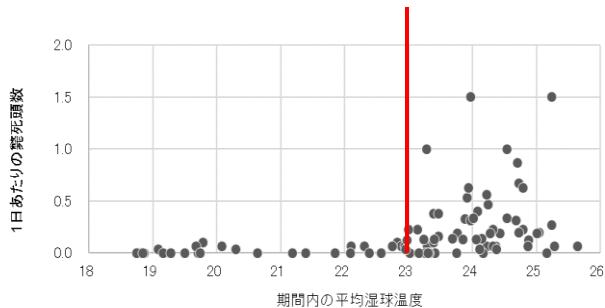


図 3.2.12 平均湿球温度と乳用牛の斃死数との関係

② 乳用牛乳量

乳量の減少リスクの評価区分を図 3.2.13 に示す。これによると、体感温度が 19°C 以上で「注意」(乳牛が暑さを感じ始める温度で、呼吸数・体温が上昇し始める。送風機等の夏バテ対策が必要) となり、25°C 以上で「危険」(体温は正常値を大きく越え、餌の摂取量・乳量が大きく低下) と推定される。また、乳量の減少量のモデルを図 3.2.14 に示す。これは乳量水準 37kg/日である個体 B の期待乳量と実乳量の差と日平均体感温度の散布図および非線形回帰分析の結果を解析したもので、この牛は 20.3°C 以上で乳量減少が始まっている。

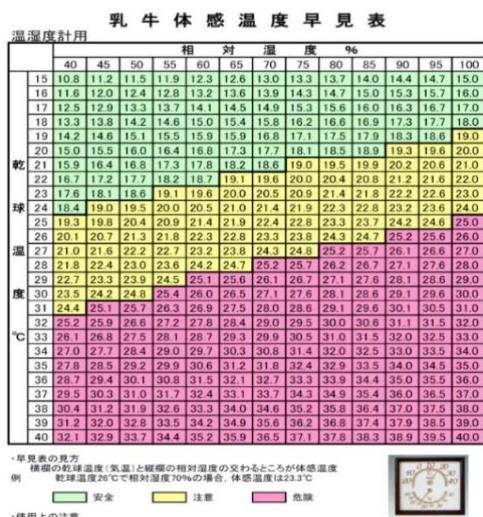


図 3.2.13 体感温度による影響の評価区分
(出典: 愛媛県畜産研究センターHP)

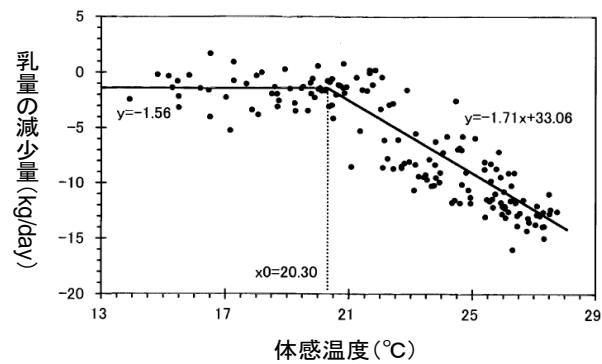


図 3.2.14 体感温度 ET と乳量の減少量との関係 (出典: 戸田ほか 2002)

③ 乳用牛受胎率

乳用牛受胎率の分析結果を図 3.2.15 に示す。暑熱の影響を受けやすいと思われる人工授精日前後 5 日間(授精日前日から初期胚期までの授精日 3 日後まで)の日最高湿球温度の平均を気候指標として、1 産次の個体における受胎率との関係性を分析した結果、最高湿球温度 22°C を閾値とし、それ以上の温域で受胎率低下のリスクが高まると推定した。

④ 鶏卵生産量

鶏卵生産量の分析結果図 3.2.16 に示す。鶏卵生産量の指標値に対する比率と複数の気候指標との関係を分析した結果、採卵前週の日平均気温及び日最低気温を用いた場合の相関が高かった。影響予測のモデルとしては、指標としてわかりやすい日最低気温を指標として用い、採卵前週の日最低気温 17°C を閾値とし、それ以上の温域で卵生産量減少のリスクが高まると推定した。

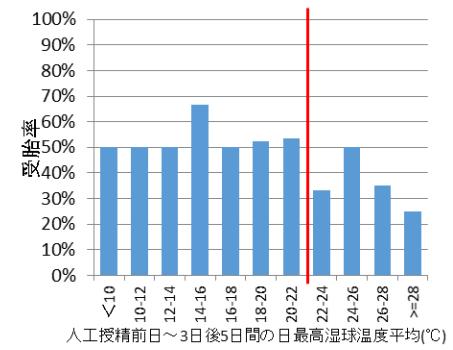


図 3.2.15 人工授精前後の日最高湿球温度と受胎率の関係

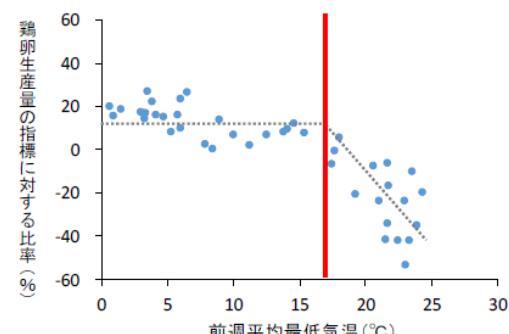


図 3.2.16 採卵前週の日最低気温と卵生産量の関係 (マリア品種)

3.2.3.7. 影響予測に必要な入力パラメータ

- ・対象地域の気象台の気象統計情報（日平均気温、日最高気温、日最低気温、湿度）

3.2.3.8. 影響予測における留意事項（制限事項）

いずれの評価項目においても基本データが不足していたことから、一定の前提条件のもとで閾値を設定する方法で影響予測を行っており、データの充実によりモデル補正の余地が残されていることに留意が必要である。なお、いずれも屋外の気候値による影響予測結果である。

各項目において影響予測の前提となる条件を下記に示す。

① 乳用牛斃死リスク

県により斃死数の集計方法が異なる。また家畜の死亡要因は複合的な場合も多く、暑熱のみが原因とできないデータも含まれている場合がある。

② 乳用牛乳量

乳量の減少リスク：日乳量約30kg/gのホルスタイン種を基準に作成

乳量減少量：乳量水準37kg/日である個体B（ホルスタイン種）の観測に基づく結果を評価

いずれも開放式牛舎、繋ぎ飼いによる飼育環境のケースを想定したものである。

③ 乳用牛受胎率

ホルスタイン種1産次の個体を対象とし、授精に至った個体の受胎率を評価したものである。

開放式牛舎、繋ぎ飼いによる飼育環境、人工授精による授精のケースを想定したものである。

④ 鶏卵生産量

品種はマリア（レグホン系品種）、開放式鶏舎による飼育環境のケースを想定したものである。

3.2.4. 調査結果

3.2.4.1. 文献調査結果

暑熱による家畜への影響としては、斃死や疾病の発生、増体量の低下、乳量・乳成分の低下、繁殖率の低下など、多岐にわたる事象が認められている。中でも暑熱への耐性が低いとされる乳用牛への影響に関しては、乳量の低下などを中心に古くから研究が行われており、夏季の受胎率低下による繁殖への影響も大きな課題として詳細な要因についても研究が進んでいる。肉用牛については、乳用牛と比べて暑熱の影響は少ないとされているが（阪谷、2015）、飼料摂取量や増体量の低下なども認められている（前田ほか、2017など）。豚や採卵鶏、肉用鶏に関して多くの研究例があり、環境温度が30°C程度になると、生産性に直接影響する採食量、産肉量、卵生産量などが15～25%程度低下するとされている。

気候変動が国内の畜産に与える影響については、乳用牛に関して野中ほか（2010）が、「気候温暖化メッシュデータ」（Yokozawa et al. 2003）による気候シナリオを用いて予測を行っており、夏季増体量が低下する地域は年代の経過に伴い拡大し、南九州地域では増体量が21%低下することが予測されている。

各家畜の暑熱への耐性に関する基礎的な情報については、三村・森田（1980）や野附・山本（1997）にもまとめられている。例えば、家畜の採食量が著しく減少する臨界温度は表3.2.6のように整理されており、乳用牛のホルスタイン種では臨界温度が約25～27°Cと考えられている。

表 3.2.6 暑熱による家畜への影響に関する知見の概要

畜種	影響項目	研究等の成果	出典
乳用牛	斃死・疾病発生	気温・湿度の上昇によりリスクが増大	Hahn (2009) Eigenberg et al. (2005)
	乳量の減少	THI が 1 上昇するごとに乳量が 0.88kg 低下	West (2003)
		THI が 68 を超えると乳量減少が始まる	高橋 (2017)
	乳成分の低下	暑熱環境下で乳脂質や乳タンパクが減少	Rhoads et al. (2009) Bouraoui et al. (2002)
	増体量の低下	暑熱ストレス下では気温 1°Cあたり 0.85kg の乾物摂取量が低下	West (2003)
	受胎率の低下	発情前後数日間の最高気温が受胎率に影響	Cavestany (1985)
		発情徵候の微弱化により受胎率が低下	Dobson et al. (2008)
		発情徵候の微弱化の助長により発情周期が延長	Sakatani et al. (2012)
		無発情排卵が増加	Rodtian et al. (1996) 竹之内ほか (2013)
		THI の上昇とともに、妊娠損失率が増加	Garcia-Isprierto et al. (2006)
		暑熱ストレスによる卵子品質への影響は晩夏から初秋にかけて大きい	Bertoldo et al. (2011)
		体温が 39.5°C未満群の受胎率 39%に対し、39.5°C以上では 7.7%に低下	菅澤ほか (2001)
		高温への暴露が受胎の成立を阻害	Ealy et al. (1993)
肉用牛	増体量の低下	飲水量が増加し、採食量は適温域と比較して 30°Cで約 25%、35°Cで約 50%低下	Brown-Brandl et al. (2005)
		肥育前期における暑熱期の飼料効率は適温期と比べて有意に低下	前田ほか (2017)
豚	増体量の低下	飼料摂取量が低下し、増体量が低下	芦原 (2014) Collin et al. (2001) Kerr (2003)
	繁殖率の低下	雄側の夏季不妊症	Wetterman et al. (1979) Kunavongkrit et al. (2005)
肉用鶏	産肉性の低下	採食量は、適温域と比べて 30°Cで約 20%低下	Howlader & Rose (1992)
		適温域と比べて 27°Cで 5%、30°Cで 15%低下	山崎ほか (2006)
		増体量、飼料効率、筋肉中のタンパク質含有量が低下	Zou et al. (2014)
採卵鶏	生産性の低下	環境温度が 30°Cを超えると卵生産量が急激に低下し、35°Cで適温域の 70%程度となる	Wilson & Vohra (1980)
		増体量・産卵数・卵重量の低下、殻が薄くなる	Star et al. (2008) Yoshida et al. (2011)

表 3.2.7 家畜の採食量が著しく減少する臨界温度

畜種	臨界温度
乳用牛 (ホルスタイン種)	25~27°C
豚	25~28°C
鶏	25~28°C

出典：「家畜管理学」（三村・森田、1980）

3.2.4.2. 有識者ヒアリングの結果

影響予測モデルの検討にあたり、気候パラメータについては、家畜生理学的に気温だけでなく湿度を加味することが望ましく、例えば湿球温度などの指標はわかりやすく現場でも利用しやすいということであった。今回の影響評価においては、活用可能な情報が限られていることもあり、いずれの評価指標も閾値を設定する方法で示すことが妥当で有効であるが、個体の特性や飼養上の工夫で暑熱に耐えている個体もあるなど、様々な要因や状況についての補足説明が必要であるとの助言を得た。

また、予測結果を活用してどう現場で普及啓発・指導していくかが重要であり、その点では差分での見せ方や代表地点での定量評価、短期的な予測結果が必要とのことであった。

さらに、気候変動による影響は暑熱被害だけでなく、自然災害の増加などによるインフラの損害やライフラインの供給停止、畜舎への直接被害などの影響も大きく、今後の検討課題である、との意見を得た。

3.2.4.3. 観測や実証実験の結果

暑熱による影響把握と適応策の効果検証にあたって各種室内実験を実施しており、その中で暑熱環境と家畜の行動・生理環境との関係性について、下記について傾向を確認することができた。

① 乳用牛の暑熱による腸内細菌叢に及ぼす影響調査

乳用牛を対象とした室内実験により、対応のあるt検定を用いて、6月と8月とで腸内細菌群（ビフィズス菌、サルモネラ菌及び大腸菌）を比較したところ、いずれの細菌群も暑熱期において減少する傾向にあり、ビフィズス菌群の低下は顕著であることが認められた（図3.2.17）。これは、有用細菌群であるビフィズス菌の減少は腸内環境の悪化を示すものであり、夏季暑熱は腸内細菌叢バランスを乱し、その結果として消化管機能の低下、さらには栄養吸収の不全をもたらすものと考えられる。

以上より、乳牛において、夏季暑熱による腸内細菌叢への影響は、有用細菌群に顕著であることが明らかとなった。適応策としては、従来法の飼料添加物給与や糞便移植法による細菌叢の改善が検討できる。

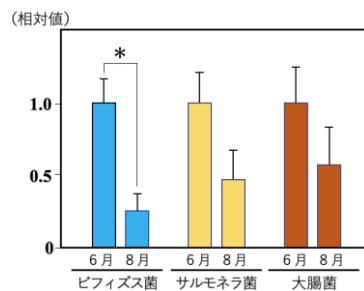


図3.2.17 暑熱期の乳用牛糞における各種有用細菌群の増加状況

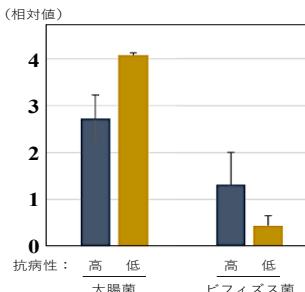


図3.2.18 暑熱期の乳用牛糞における抗病性の状況

② 鶏の暑熱による消化管及び腸内細菌叢に及ぼす影響と飼料添加物の有効性調査

平成29年度調査では、2時間という非常に短期であっても、消化管組織に暑熱ストレスが影響を及ぼすことが明らかとなり、暑熱暴露はニワトリヒナ空腸の炎症を誘発し、吸収能や腸管組織の再生を低下させることが明らかとなった。

平成30年度調査では、大腸菌、サルモネラ菌及びクロストリジウムいずれの菌群も暑熱あるいはプロバイオティクスの効果はみられなかったものの、無添加・暑熱区のサルモネラ菌群は添加・暑熱区よりも高い傾向にあった。一方、乳酸菌群についてはプロバイオティクス給与によって高い値を示した。これ

により、急性暑熱暴露に対するプロバイオティクス給与の暑熱ストレス緩和効果が明らかとなった。

平成31年度調査では、麹添加飼料を給与し暑熱環境下で飼育したKH区では、飼料摂取量および体重は減少したものの最終日に回復する傾向がみられ、卵質低下も軽減された傾向にあった。遺伝子発現量についても、試験区による値の差が確認でき、麹添加飼料の効果が認められた。また、空腸細菌叢ではKH区の大腸菌発現量が少ないと、盲腸細菌叢ではクロストリジウム菌のそれが少ないと認められた。これにより、麹添加飼料は暑熱環境下での腸内細菌叢の善玉菌の割合を増加させることで腸内環境を整え、腸管における栄養吸収能を高めるものと考えられ、暑熱ストレスによる飼料摂取量や卵質低下を緩和させることが示唆された。

以上より、採卵鶏においても、腸内細菌叢を整えることで夏季暑熱によるストレス被害が軽減できることが明らかとなった。

③ 鶏の暑熱感作処理による対応調節能力向上の効果検証

暑熱感作処理の有無に関わらず寒冷暴露後にはヒナの直腸温は低下したが、暑熱感作群ヒナでは回復が早く、同様に暑熱暴露では上昇の抑制と早期回復が認められた。これにより、暑熱感作処理によって体温調節機能は向上し、寒冷及び暑熱いずれの状況においても体温維持能力が高くなることが考えられる。暑熱感作処理が暑熱によるストレスの軽減に寄与することが示唆された。

以上より、環境温度の変化に対する暑熱感作処理の有効性が明らかとなった。

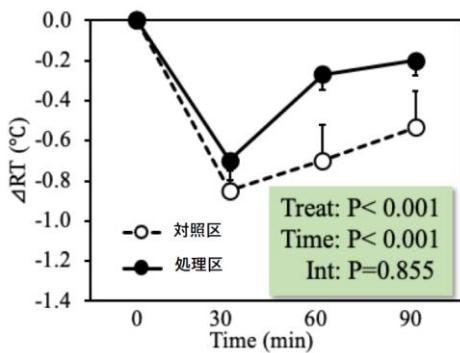


図 3.2.20 寒冷暴露後の直腸温に及ぼす
幼雛期暑熱感作処理の影響

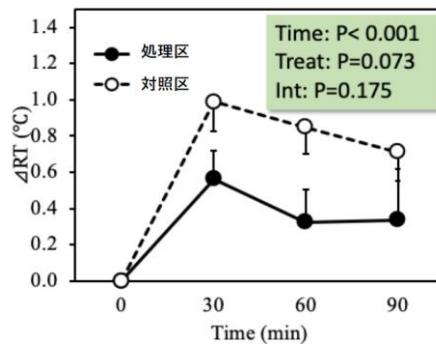


図 3.2.19 暑熱暴露後の直腸温に及ぼす
幼雛期暑熱感作処理の影響

④ 耐暑性に優れた系統の造成に関する調査（乳用牛の耐暑性関連遺伝子候補）

暑さに強い牛と弱い牛に対する遺伝子多型の検出を行ったところ、耐暑性関連遺伝子として既に報告のある熱ショックタンパク質 (HSP) および熱ショック因子 (HSF) については、必ずしも耐暑性とは関連性があるとは云えなかった。しかし、暑さに弱い牛において、いずれも脱共役タンパク質 (UCP-3) のエクソンに共通した変異が認められた。

UCP はミトコンドリアでの熱産生に関連するタンパクであり、これらの変異によって耐熱産生～熱放散機構に違いが生じ、その結果、相対的に暑熱ストレスの負荷が大きくなることで暑さに弱い（あるいは夏季に疾病に罹りやすい）個体として評価されたものと考えられる。日本の乳用牛は、日本の気候（特に夏季暑熱）に適応できない個体はおのずと淘汰されてきたものと考えられる一方、乳量の多い個体が人為的に選抜されてきた経緯がある。したがって、乳量を基準とした選抜によって夏季暑熱に弱い個体（遺伝子型）も維持されてきたものと考えられる。

以上のことから、乳用牛において、UCP 遺伝子変異を有する個体を淘汰することで夏季暑熱によるストレス被害が軽減できるものと考えられる。

3.2.4.4. 気候変動影響予測結果

① 乳用牛斃死リスク

将来の乳用牛の斃死リスクの増加日数を図 3.2.22 に示す。

乳用牛斃死のリスクが高まる日数は、MIROC5 の場合、21 世紀中頃に多くの地域で現在気候よりも「10~30 日」以上増加し、RCP8.5 の将来予測では、多くの地域で 21 世紀末に「60 日以上」増加することが予測された。

MRI-CGCM3 では MIROC5 と比べると斃死リスクが高まる日数が増加する地域は少ないが、RCP8.5 の将来予測では、21 世紀末にほとんどの地域で現在気候よりも「30~60 日」増加することが予測された。

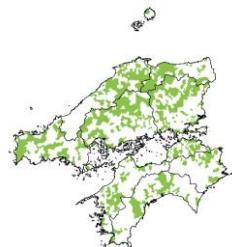


図 3.2.21 乳用牛の飼育地域

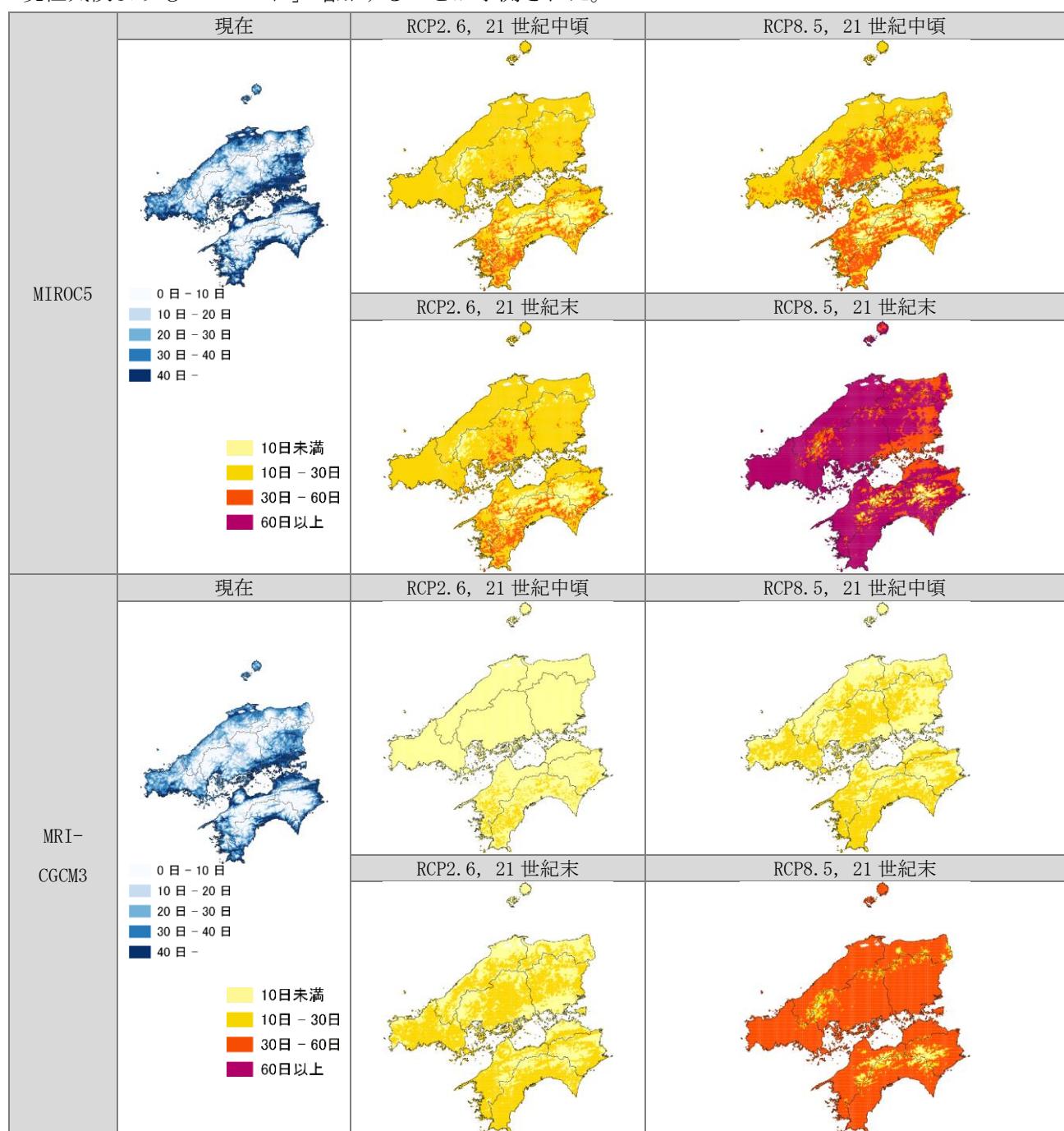


図 3.2.22 乳用牛の斃死リスク（増加日数）の予測結果

② 乳用牛乳量

a. 乳量減少のリスク

将来の乳用牛の乳量減少リスクの増加日数を図 3.2.23 に示す。

乳量減少が生じるリスクのある日数は、RCP8.5 の将来予測では、MIROC5 の場合、21 世紀中頃に多くの地域で現在気候よりも「10-30 日」以上増加し、21 世紀末に沿岸部及び西部を中心に「60 日以上」増加する地域が拡大することが予測された。

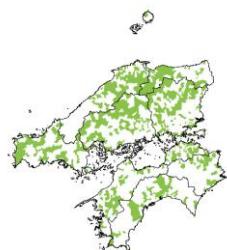


図 3.2.23 乳用牛の飼育地域

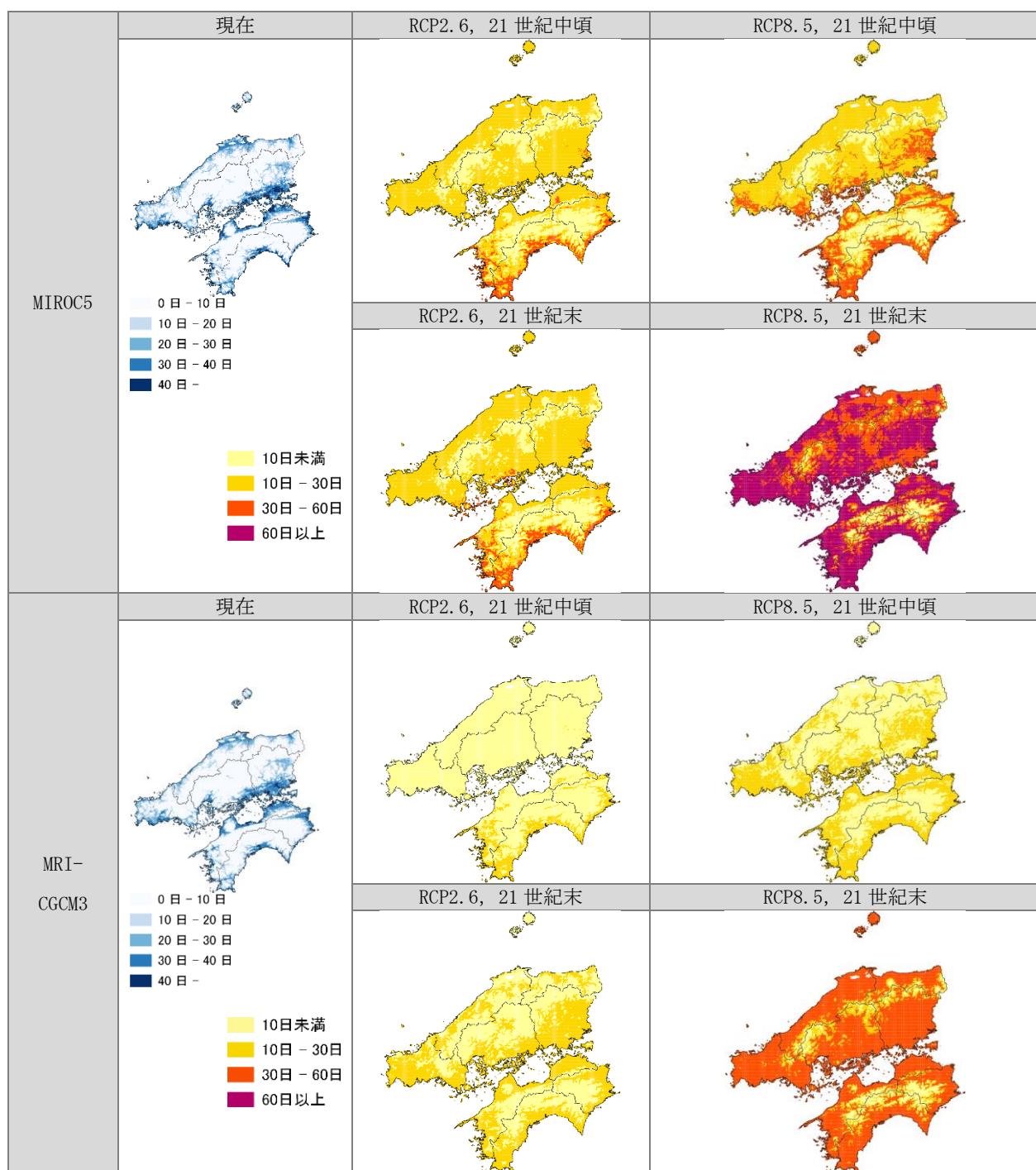


図 3.2.24 乳用牛の乳量減少リスク（増加日数）の予測結果

b. 乳量の減少量

将来の乳用牛の乳量年間減少量を図 3.2.26 に示す。

1頭あたりの標準乳量に対する年間の減少量は、沿岸部を中心に増加することが予測され、RCP8.5 の将来予測では、21世紀末にはほぼ全域で乳量減少量が1頭あたり 300kg/年以上に及ぶことが予測された。

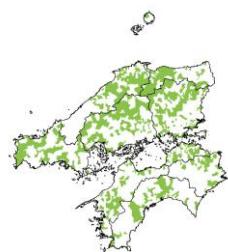


図 3.2.25 乳用牛の飼育地域

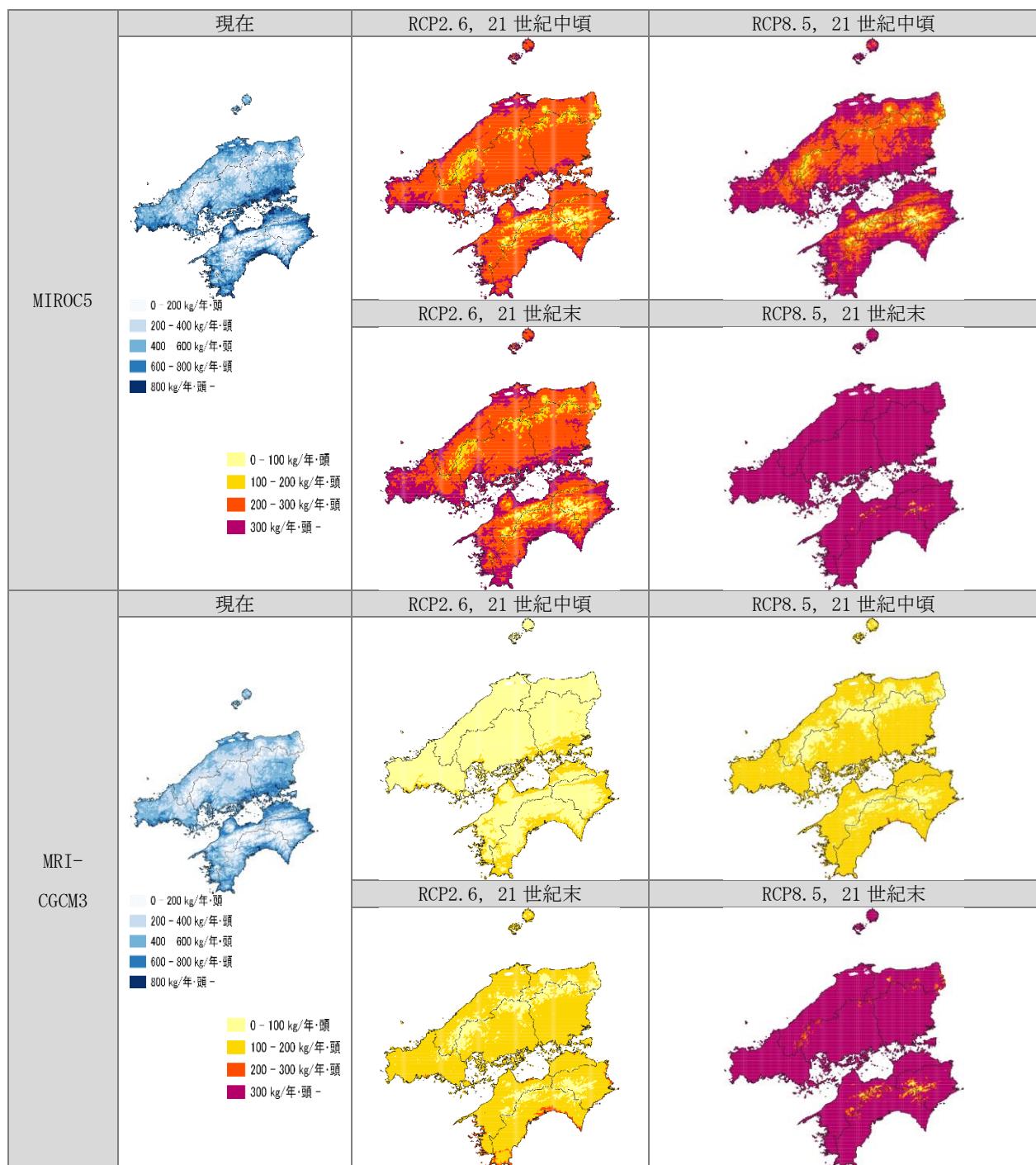


図 3.2.26 乳用牛の乳量年間減少量の予測結果

③ 乳用牛受胎率

将来の乳用牛の受胎率低下リスクを図 3.2.28 に示す。

受胎率低下のリスクが高まる日数は、MIROC5 の場合、21 世紀中頃にはほぼ全域で現在気候よりも「10~30 日」増加し、RCP8.5 の将来予測では、21 世紀末にほとんどの地域で「30~60 日」増加、内陸部の一部では「60 日以上」増加することが予測された。

MRI-CGCM3 では MIROC5 と比べるとリスクが高まる地域が少ないが、RCP8.5 の将来予測では、21 世紀末にほぼ全域でリスクが高まる日が現在気候よりも「30~60 日」増加することが予測された。

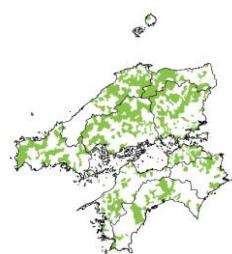


図 3.2.27 乳用牛の飼育地域

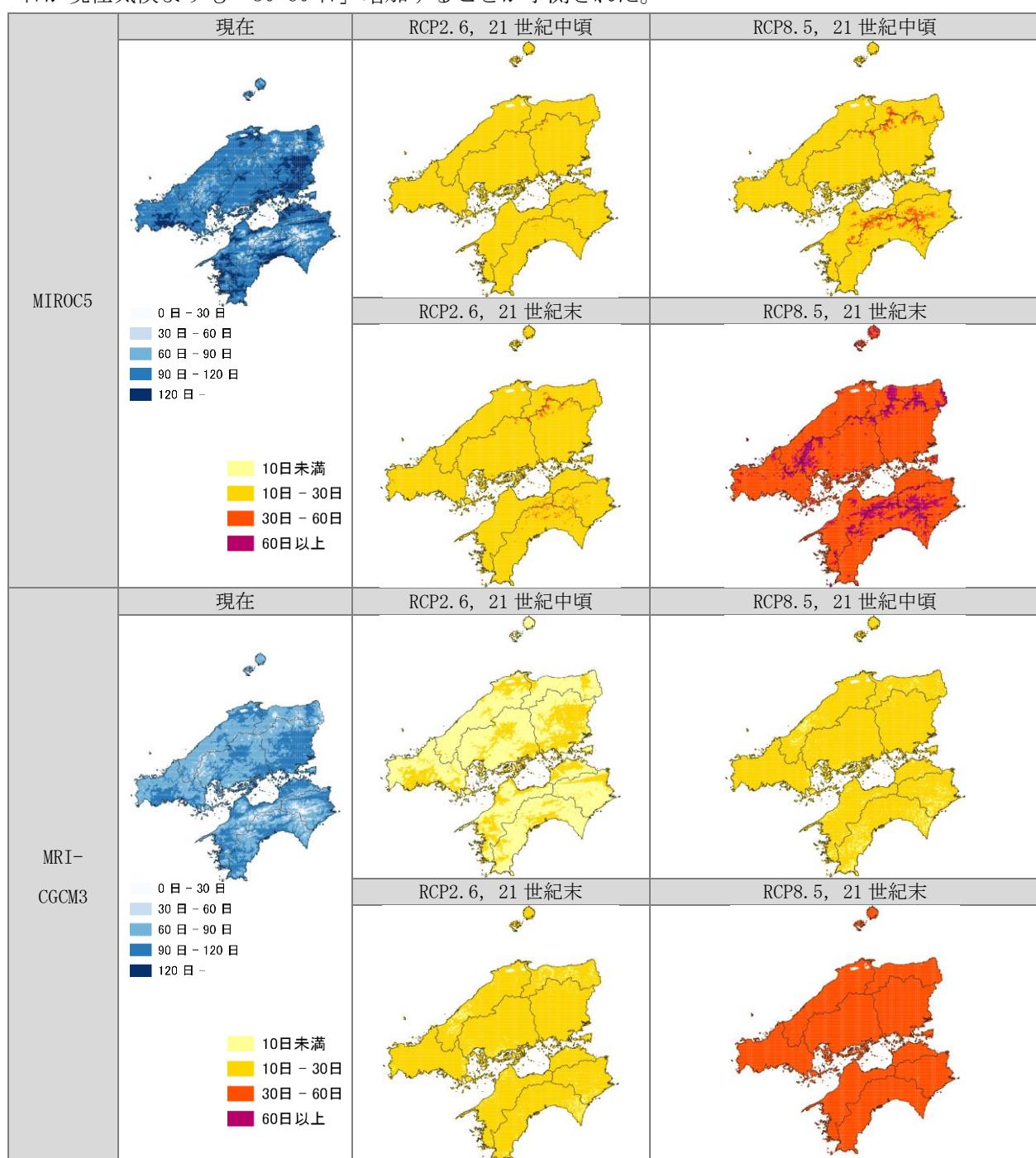


図 3.2.28 乳用牛（1 産次）の受胎率低下リスク（増加日数）の予測結果

④ 鶏卵生産量

将来の鶏の卵生産量減少リスクを図 3.2.30 に示す。

卵生産量減少のリスクが高まる日数は、RCP8.5 の将来予測では、21 世紀末にはほぼ全域で現在気候よりも「30-60 日」増加し、さらに内陸部の一部では「60 日以上」増加することが予測された。

MRI-CGCM3 では、MIROC5 と比べると卵生産量減少のリスクが高まる地域が少ないが、RCP8.5 の将来予測では、21 世紀末にはほぼ全域で現在気候よりも「30-60 日」増加することが予測された。

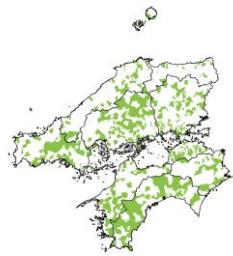


図 3.2.29 採卵鶏の飼育地域

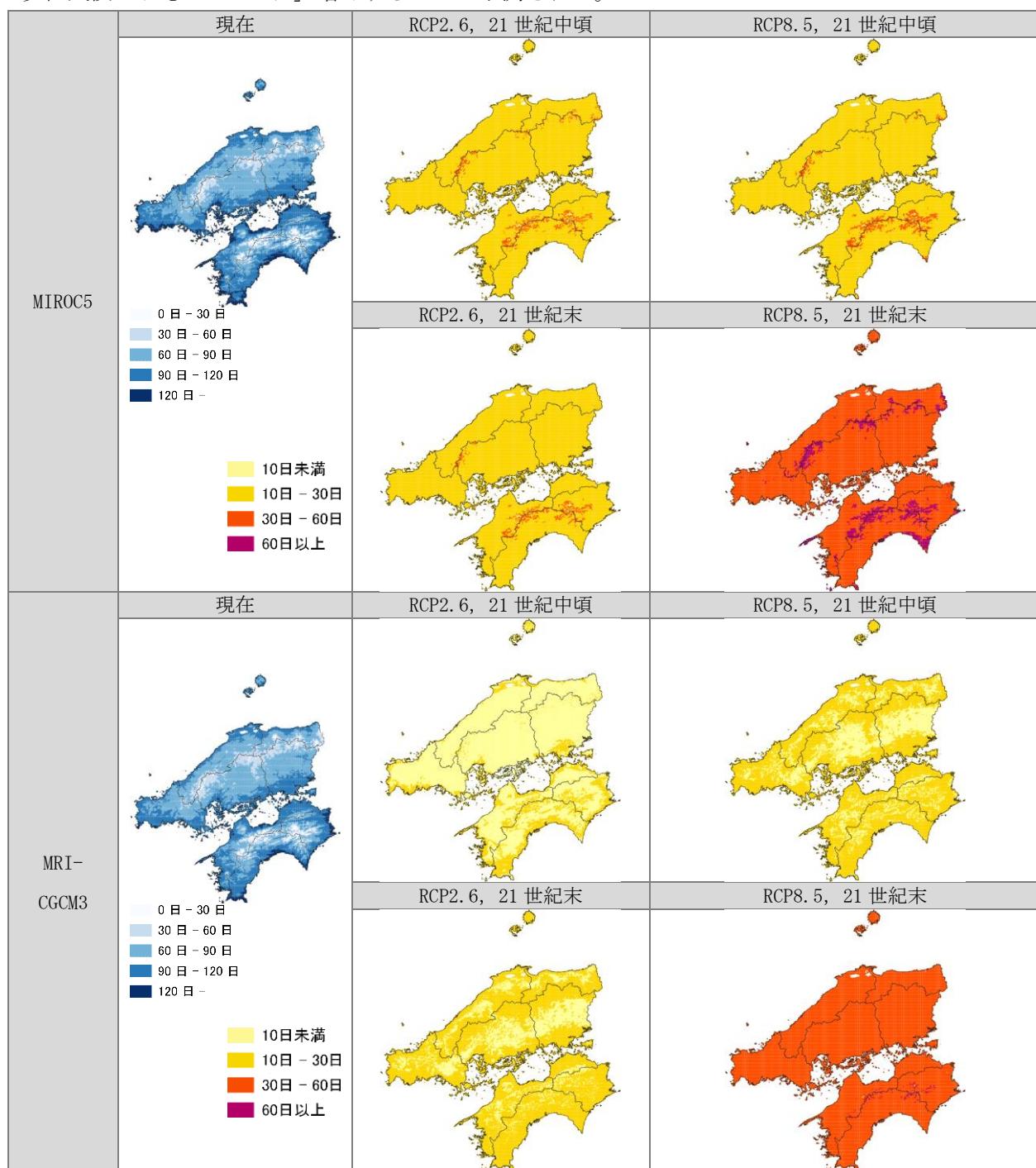


図 3.2.30 鶏レグホン系・マリア品種の卵生産量減少リスク（増加日数）の予測結果

3.2.4.5. 結果を活用するまでの留意点・制限事項

本調査では、「3.2.3.8 影響予測における留意事項」で示している条件下における飼養環境や個体を前提として、屋外の気温・湿度との関係分析による予測を行った。しかし、同じ畜種でも品種や個体による暑熱への耐性能力の違い、子牛・育成牛・成牛などの成長ステージや妊娠有無や泌乳状況などによる体熱産生量の違い、畜舎構造や周辺環境なども含めた飼育環境、飼養者の飼育技術など、暑熱以外の要因にも大きく影響を受ける。そのため、成果を活用する際には、本調査における前提条件を確認するとともに、現時点では予測に不確実性がともなうことにも留意が必要である。

また、本調査では暑熱による影響のみを対象としており、気候変動による気象灾害の激甚化及び頻度の増加も考えられるが、これらの影響については考慮していない。

3.2.5. 適応オプション

3.2.5.1. 手順

適応オプションの検討にあたっては、文献やヒアリング調査、地方公共団体からの情報提供とともに、既存の適応策も含めた適応オプションのリストアップと対応力の評価を行った。さらに、家畜の耐暑性に関する各種実験及び分析を実施することで、適応策の効果検証を行うとともに、耐暑性を有する系統の選抜育種に寄与することとした。

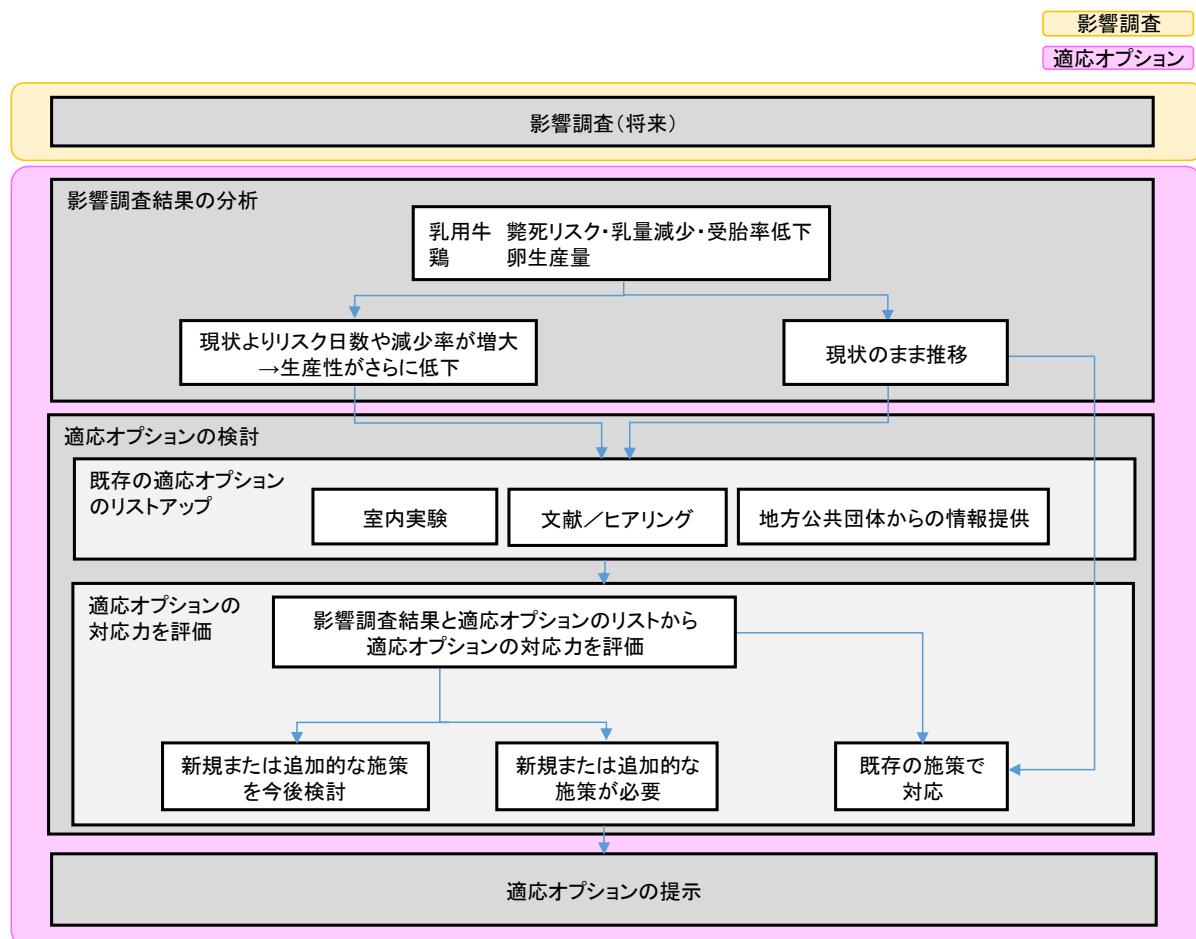


図 3.2.31 適応オプションの検討フロー

3.2.5.2. 概要

適応オプションの概要を表 3.2.8 に示す。

表 3.2.8 適応オプションの概要

適応オプション	想定される実施主体			現状		実現可能性			効果		
	行政	事業者	個人	普及状況	課題	人的側面	物的側面	コスト面	情報面	効果発現までの時間	効果期待される程度
飼育施設設備による環境改善	温熱環境の制御	●	●	普及が進んでいる	ランニングコスト面	◎	○	△	◎	短期	高
	風の制御、通風と送風	●	●	普及が進んでいる	ランニングコスト面 稼働開始終了時期の判断ミス	◎	○	△	◎	短期	高
	日射の制御、庇蔭、遮光、反射	●	●	普及が進んでいる	維持点検作業 設置開始終了時期の判断ミス	◎	○	△	◎	短期	高
	水の制御・潜熱放散の活用	●	●	普及が進んでいる	畜舎構造を考慮した装置の選択(衛生面等への配慮)	◎	○	△	◎	短期	高
飼料・栄養条件の改良	飼料給与による体熱產生の調整	●	●	一部普及している	コスト面 飼料切替による摂食量への影響 労動作業の煩雑さ	◎	◎△*	◎△*	◎	短期	中
	サプリメントの給与	●	●	一部普及している	どの程度の効果か示す事が必要	◎	○	△	◎	短期	中
家畜の処置による改善	牛体の剪毛	●	●	一部普及している	労動作業の煩雑さ	◎	◎	◎	◎	短期	中
	幼雛期の高温暴露		●	普及が進んでいない	どの程度の効果か示す事が必要 最新研究成果で、効果が期待されるが現場利用に至っていない	△	△	N/A	△	短期	高
	種卵へのアミノ酸投与		●	普及が進んでいない	どの程度の効果か示す事が必要 最新研究成果で、効果が期待されるが現場利用に至っていない	△	△	N/A	△	短期	高
耐暑性に優れた系統の造成(育種選抜)	●	●	普及が進んでいない	調査研究段階で、実用化に至っていない	△	△	N/A	△	長期	高	
家畜のモニタリング・情報収集	●	●	普及が進んでいない	詳細かつ継続的な情報整理のため事業者等現場の協力が必要 調査研究段階で、実用化に至っていない	△	○	△	◎	N/A	低	

【実現可能性の評価基準】

(人的側面) ◎: 自団体・一個人のみで実施が可能、△: 他団体・他個人との協同が必要

(物的側面) ◎: 物資設備は不要、○: 既存の技術に基づく物資設備で対応可能、△: 新たな技術の開発が必要

(コスト面) ◎: 追加費用は不要、△: 追加費用が必要、N/A: 追加費用は不明

【効果の評価基準】

(効果発現までの時間) 短期: 対策実施の直後に効果を発現する、長期: 長期的な対策であり、対策実施から効果の発現までに時間要する、N/A: 評価が困難である

(期待される効果の程度) 高: 他の適応オプションに比較し、期待される効果が高い、中: 他の適応オプションに比較し、期待される効果が中程度である、低: 他の適応オプションに比較し、期待される効果が低い

表 3.2.9 適応オプションの考え方と出典

適応オプション		適応オプションの考え方と出典
飼育施設設備による環境改善	温熱環境の制御	家畜と熱環境との関係をもとに、熱の交換経路の視点で適応策を整理。 「家畜の管理」（山本禎紀・野附巖（編）文英堂出版）
	風の制御、通風と送風	同上
	日射の制御、庇蔭、遮光、反射	同上
	水の制御・潜熱放散の活用	同上
飼育施設設備による環境改善	飼料給与による体熱產生の調整	同上
	サプリメントの給与	<p>さまざまな効果に対する多くのサプリメントがあり、販売もされており、農家によっては取り入れている。サプリメントの種類、畜体の状態・環境などによっても効果は異なることから、効果は「中」とした。 (関連論文)</p> <ul style="list-style-type: none"> 暑熱環境下における採卵鶏の生理反応に及ぼす山椒種子添加飼料の影響. 日本家禽学会秋季大会. 第 53 卷秋季大会号 14 頁 暑熱期の脱塩濃縮梅酢給与が鶏の肝臓脂質代謝・血液性状に及ぼす影響. 日本家禽学会秋季大会. 第 54 卷秋季大会号 12 頁 肉用鶏におけるシトルリンの体温降下作用. 日本家禽学会春季大会. 第 54 卷春季大会号 11 頁 L-Citrulline and L-Leucine-mediated thermoregulation affords thermotolerance. 家畜栄養生理研究会・平成 29 年秋季集談会. 大会号 1-11 頁
家畜の処置による改善	牛体の剪毛	<p>作業の煩雑さはあるものの、ノウハウを取得すれば誰でもバリカンのみで作業可能であり、人的側面・物的側面・コスト面ともに○とした。 (関連論文)</p> <ul style="list-style-type: none"> 沖田美紀・黒川勇三・豊後貴嗣・小櫃剛人 (2015) 暑熱期の乳牛の生理と生産性に及ぼす剪毛の影響. 「最新 農業技術 畜産 vol. 8」, 69-74 頁, 農山漁村文化協会, 東京.
	幼雛期の高温暴露	<p>効果検証実験により幼雛期における暑熱感作の有効性が示唆されている。また、今後さらに被害・生産性低下が進む地域において、出荷段階で一斉に導入が可能であり、対処療法との組み合わせでの取組も可能であることから、効果は「高」とした。 (関連論文)</p> <ul style="list-style-type: none"> Tanizawa, H., Shiraishi, J.-i., Kawakami, S.-I., Tsudzuki, M. and Bungo, T. (2014) Effect of short-term thermal conditioning on physiological and behavioral responses to subsequent acute heat exposure in chicks. Journal of Poultry Science, 51(1): 80-86.
	種卵へのアミノ酸投与	<p>下記関連論文において、効果が示唆されている。また、今後さらに被害・生産性低下が進む地域において、出荷段階で一斉に導入が可能であり、対処療法との組み合わせでの取組も可能であることから、効果は「高」とした。 (関連論文)</p> <ul style="list-style-type: none"> In ovo administration of L-leucine: a novel approach to affording thermotolerance in broiler chicks. 家畜栄養生理研究会・平成 31 年春季集談会. 大会号 1-14 頁 卵内へのロイシン投与はブロイラーのアミノ酸代謝及び熱ショックタンパク質遺伝子発現量に影響する. 日本家禽学会秋季大会. 第 55 卷秋季大会号 20 頁
耐暑性に優れた系統の造成 (育種選抜)		<p>効果検証の研究が進んでいるが、育種選抜に至るまでにはまだ時間がかかる。実装段階でのコストは不明であることから「N/A」とした。</p> <ul style="list-style-type: none"> Bungo, T., Amimoto, M., Aierquing, S. and Okita, M. (2019) Polymorphisms in the energy metabolism related genes are associated with thermotolerance and disease resistance in dairy cows. The 2nd International Conference on Tropical Animal Science and Production, Nakhon Ratchasima, The Kingdom of Thailand.
(家畜のモニタリング・情報収集)		<p>暑熱の影響検知と、現場レベルにおける効果検証のため、家畜と気象の詳細かつ継続的なデータ取得が必要である。様々な飼育状況におけるデータ収集が望まれることから、人的側面は△とした。</p> <p>また、モニタリング自体は、既存技術に基づく簡易な装置でデータ収集が可能であることから、物的側面は○とした。</p>
(暑熱対策に関する啓発、指導等)		畜産農家に対する啓発・指導は現在も行われているが、科学的知見・データをもとにした説得力のある啓発・指導が期待されている。既に様々な研究・実証実験も行われていることから、物的側面と情報面を○とした。

3.2.5.3. 温熱環境の制御

牛・鶏において、畜舎の開放、屋根や壁面の断熱強化、天井の設置、冷水の給与などを行うことで、舎内への熱の流入を防ぐとともに放熱を高め舎内の温熱環境を制御し、家畜に対する暑熱ストレスを低減させる。

飼育環境の改善にはこれまでに様々な研究や実証が行われ、生産現場への普及も進んでいるが、ランニングコストがかかることが課題となっている。

3.2.5.4. 風の制御、通風と送風

牛・鶏において、畜舎の開放（自然風の利用）や、換気扇、扇風機、送風機のファン&ダクトによる効果的な利用をすることで、換気、通風、送風などにより畜体や舎内の熱放散を高め、家畜に対する暑熱ストレスを低減させる。

飼育環境の改善にはこれまでに様々な研究や実証が行われ、生産現場への普及も進んでいるが、ランニングコストがかかることが課題となっている。また、施設設備では合理的運用が求められ、開始・終了の判断が重要となるため、その判断ミスによる被害も想定される。

現在、一部の都道府県では、換気設備・施設導入のための補助制度が用意されている。

3.2.5.5. 日射の制御、庇蔭、遮光、反射

石灰や塗料による屋根・壁などの白色化、日よけの設置（グリーンカーテン、遮光ネット、よしす、寒冷紗の利用）などにより、日射（放射）による舎内への熱の流入を防いで、家畜に対する暑熱ストレスを低減させる。

飼育環境の改善にはこれまでに様々な研究や実証が行われ、生産現場への普及も進んでいるが、施設設備では合理的運用が求められ、開始・終了の判断が重要となるため、その判断ミスによる被害も想定される。

現在、一部の都道府県では、換気設備・施設導入のための補助制度が用意されている

3.2.5.6. 水の制御・潜熱放散の活用

屋根への散水、舎内散水やドライミスト、畜体への散水、パッドとファンを用いた冷気、地下トンネル換気による冷気の利用などにより、（水の）蒸発による潜熱効果で畜体や舎内からの放熱を促し、家畜に対する暑熱ストレスを低減させる。ドライミストの場合は、舎内が過度に濡れないため、湿度上昇を抑える。

これまでに様々な研究や実証が行われ、普及も進んでいるが、畜舎構造を考慮した装置の選択が重要となることから、技術・方法の指導・啓発が必要となっている。

従来の散水装置の場合、環境条件によってはかえって湿度が上がり、体感温度の上昇、敷料の汚濁などによりマイナスとなることもある。

※ドライミスト：舎内の複数個所にドライミスト装置を設置し、微細な霧を噴射する。

3.2.5.7. 飼料給与による体熱產生の調整

高エネルギー飼料の給与、TMRの利用、脂肪酸、グリセロールの添加や、自動給餌器を利用した飼料の分割給与、飼料給与の時刻の調整による体温調節に及ぶ効果、消化速度の異なる飼料の給与を

行うことで、飼料の種類や給与の分割により、体熱産生の調整が可能となり、家畜に対する暑熱ストレスを低減できる。

なお、高エネルギー飼料の給与や分割給与ではコストの負担が増えるが、給与時間の調整ではコストの負担はなく容易に取り組める。また、給餌時間・方法の調整についてはアニマルウェルフェアの観点からも検討が必要となる。

3.2.5.8. サプリメントの給与

さまざまな効果に対する多くのサプリメントがあり、飼料に混ぜて給与する。販売もされており、農家によっては取り入れている。

期待される効果とサプリメントの種類は下記のとおりである。

表 3.2.10 効果が期待されるサプリメント

期待される効果	サプリメントの種類
栄養改善	栄養素類（グルコース、グリセロール、アミノ酸類等）
健全性	ビタミン類、ミネラル
腸内環境の安定化、改善	プロバイオティクス等
酸化ストレス軽減	ビタミン類、抗酸化物質
体温上昇抑制	シトルリン

これらは最新の研究成果であり効果が期待されるが、生産現場での普及は十分ではない。

下記の実験において、暑熱期における腸内環境の安定化等の必要性と、プロバイオティクスの給与が暑熱ストレス時の栄養吸収の向上に寄与することが示されている。

3.2.5.9. 牛体の剪毛

牛の毛刈りを行うことで、牛体からの体熱放散を促し、牛体への暑熱による負荷を下げ、暑熱ストレスによる生産性への影響を低減する。毛刈りに要する時間は1頭あたり20~30分であり、作業の煩雑さはあるものの、ノウハウを取得すれば誰でもバリカンのみで作業可能である。

島根県畜産技術センターにおいて、毛刈りによる、乳生産への効果や飼料摂取量ならびに発育に及ぼす効果を検証しており、さらに、毛刈りの部位による効果の違いを検討し、省力的かつ効果的な毛刈り方法の確立に向けて調査を行っている。

3.2.5.10. 幼雛期の高温暴露

2~4日齢の幼雛を、40℃の暑熱に数時間程度さらした上で発育させることで、個体の耐暑性を向上させる。高温環境において脳由来神経成長因子がメチル化することにより耐暑性を獲得し、直腸温度の上昇抑制を促し、暑熱ストレスによる被害・生産性への影響を低減する。なお高温だけでなく、寒冷環境においての早期回復も認められている。

本方法はふ化直後の処理であり、農家の手間とならない耐暑性獲得技術であり、低コストでも実施できる。今後さらに被害・生産性低下が進む地域において、出荷段階で一斉に導入が可能であり、対処療法との組み合わせでの取組も可能である。

最新の研究成果であり、効果が期待されるものの、現場での利用には至っていない。

3.2.5.11. 種卵へのアミノ酸投与

種卵へのアミノ酸（ロイシン）投与によって、孵化したニワトリの暑熱ストレスの影響が少なくなり、耐暑性が向上する。

種卵へのワクチン接種を実施している孵卵場で実施可能である。今後さらに被害・生産性低下が進む地域において、出荷段階で一斉に導入が可能であり、対処療法との組み合わせでの取組も可能である。

最新の研究成果であり、効果が期待されるものの現場での利用には至っていない。

3.2.5.12. 耐暑性に優れた系統の造成（育種選抜）

耐暑性の有する遺伝子情報を抽出し、暑さに強い個体を選抜育種することで、暑さに弱い家畜を早期に淘汰でき、暑熱ストレスによる被害・生産性への影響を低減できる。地域での飼養につなげる。現在、遺伝子情報抽出の研究段階にあり、さらなる研究開発の推進が望まれる。

下記の実験において、エネルギー代謝に関連する遺伝子変異が、乳牛の耐暑性および抗病性に關係することが示されている。

3.2.5.13. 家畜のモニタリング・情報収集

暑熱の影響検知と、現場レベルにおける効果検証のため、家畜と気象の詳細かつ継続的なデータ取得が必要である。モニタリング自体は、既存技術に基づく簡易な装置でデータ収集が可能である。そのためには、畜産農家や事業者等、現場の協力が必要である。

3.2.5.14. 暑熱対策に関する啓発、指導等

畜産農家に対する啓発・指導は現在も行われているが、科学的知見・データをもとにした説得力のある啓発・指導が期待されている。また、いずれも対処療法を中心とした個別対策が多いことから、体系化した普及啓発や指導が求められる。

引用文献一覧

- Tanizawa, H. et al. (2014) Effect of short-term thermal conditioning on physiological and behavioral responses to subsequent acute heat exposure in chicks. *Journal of Poultry Science*, 51(1):80-86.
- 阪谷美樹 (2015) 暑熱ストレスが産業動物の生産性に与える影響. *産業動物臨床医学雑誌*, 5 (Supple) :238-246.
- 高田良三ほか (2008) 地球温暖化が肥育豚の飼養成績に及ぼす影響-「気候温暖化メッシュデータ（日本）」によるその将来予測-. *日本畜産学会報*, 79 (1) :59-65.
- 戸田ほか (2002) 暑熱環境下における体感温度の上昇がホルスタイン種牛の乳量に及ぼす影響, *日本畜産学会報*, 73 (1) :63-70.
- 野附巖, 山本禎紀 (1997) 家畜の管理. 文永堂出版.
- 野中最子ほか (2009) 地球温暖化が日本における家畜の生産性に及ぼす影響評価の現状と課題. *地球環境*, 14 (2) :215-222.

- 野中最子ほか (2010) わが国のホルスタイン種育成雌牛の夏季増体量に及ぼす温暖化の影響. 日本畜産学会報, 81 (1) :29-35.
- 前田友香ほか (2017) 暑熱環境が黒毛和種去勢肥育牛の飼料摂取量, 発育, 血液成分及び飼料消化性に及ぼす影響. 日本畜産学会報, 88 (3) :281-291.
- 三村耕, 森田琢磨 (1980) 家畜管理学. 養賢堂.
- 山崎信ほか (2006) 平均気温の変動から推定したわが国の鶏肉生産に対する地球温暖化の影響. 日本畜産学会報, 77 (2) :231-235.
- 清水健介ほか (2016) 暑熱環境下における採卵鶏の生理反応に及ぼす山椒種子添加飼料の影響. 日本家禽学会秋季大会. 第 53 卷秋季大会号 14 頁
- 清水健介ほか (2017) 暑熱期の脱塩濃縮梅酢給与が鶏の肝臓脂質代謝・血液性状に及ぼす影響. 日本家禽学会秋季大会. 第 54 卷秋季大会号 12 頁
- 韓国鋒ほか (2018) 卵内へのロイシン投与はブロイラーのアミノ酸代謝及び熱ショックタンパク質遺伝子発現量に影響する. 日本家禽学会秋季大会. 第 55 卷秋季大会号 20 頁
- Vishwajit Sur Chowdhury, 清水健介, 韓国鋒, リン T.N. グエン, 楊輝, 古瀬充宏, 豊後貴嗣 (2017) 肉用鶏におけるシトルリンの体温降下作用. 日本家禽学会春季大会. 第 54 卷春季大会号 11 頁
- Vishwajit Sur Chowdhury, 韓国鋒, 楊輝, 池田裕美, 豊後貴嗣, 古瀬充宏 (2017) L-Citrulline and L-Leucine-mediated thermoregulation affords thermotolerance. 家畜栄養生理研究会・平成 29 年秋季集談会. 大会号 1-11 頁
- 沖田美紀ほか (2015) 暑熱期の乳牛の生理と生産性に及ぼす剪毛の影響. 「最新 農業技術 畜産 vol. 8」, 69-74 頁, 農山漁村文化協会, 東京.
- Vishwajit Sur Chowdhury, Guofeng Han, Takashi Bungo, Kosuke Tashiro, Mitsuhiro Furuse, (2019) In ovo administration of L-leucine: a novel approach to affording thermotolerance in broiler chicks. 家畜栄養生理研究会・平成 31 年春季集談会. 大会号 1-14 頁
- Bungo, T., Amimoto, M., Aierquing, S. and Okita, M. (2019) Polymorphisms in the energy metabolism related genes are associated with thermotolerance and disease resistance in dairy cows. The 2nd International Conference on Tropical Animal Science and Production, Nakhon Ratchasima, The Kingdom of Thailand.
- コマーシャル鶏飼養ガイド ハイライン マリア (株式会社ゲン・コーポレーション, 平成 27 年)
- コマーシャル鶏飼養ガイド ボリスブラウン (株式会社ゲン・コーポレーション, 平成 29 年)