

### 【提言】世界の持続可能な食料システムに向けて

#### －豊かな食生活と環境の両立のために－

株式会社三菱総合研究所(代表取締役社長:藪田健二)は、2050年に向けた将来シナリオを設定し、食料の需要や供給方法が環境負荷に与える影響について試算しました。その結果を踏まえ、持続可能な食料システム構築に向けた実現方策の方向性を提言します。

#### 増大する食農分野の環境負荷

気候変動問題が深刻化するなかで、人為的な温室効果ガス(GHG)排出量の34%にも相当する量を、食農分野が排出している。世界の人口増と経済成長により、2050年にかけて主食源の需要は1.2倍、タンパク源(肉・魚・乳など)の需要は1.4倍に増加する。タンパク源需要の増加によって食農分野のGHG排出量は現状の約1.4倍まで膨らむ見通しだ。

特に牛肉の消費拡大による影響が大きく、増加量の46%は牛肉の消費拡大に起因している。牛肉の消費拡大は、他の品目と比して、GHG排出量だけでなく土地利用・水利用へも影響が大きい。他方で、牛肉を始めとした動物性食品は世界中の多くの農村部の人々にとって生計の重要な源であることに変わりはなく、かつ、食料安全保障上も、栄養の摂取源としても重要な存在だ。

持続可能な食料システムの構築には、豊かで健康的な食生活を保ちつつ、供給側・需要側の両方で環境負荷削減の取り組みを進めることが不可欠である。

#### 解決の方向性① 生産の環境負荷削減技術導入

畜産の環境負荷削減技術としては、例えば、家畜の給餌改良や排せつ物を堆肥化する際の副資材投入によって、家畜飼養のGHG排出量を最大で50%程度削減できる可能性がある。牛肉生産のGHG排出削減実現に向けては、畜産物生産者だけでなく、飼料作物生産者や農機・畜舎設備メーカーなど、フードサプライチェーン上の全プレイヤーが協力して取り組んでいくことが重要になる。

近年注目を集めている「培養肉」技術は、従来の牛肉生産に対してGHG排出量を約9割削減できる可能性があるとしており、供給側の環境負荷削減に貢献し得る有望な技術である。一方で、培養肉製造に必要なエネルギーの安定確保が課題となるほか、一部の国では食文化保護の観点から培養肉の普及に待ったをかける動きも出るなど、培養肉技術だけではすべての問題を解決できるわけではない。また、GHG排出量を比較すると、鶏肉や豚肉も、培養肉と遜色ないレベルだ。今後は培養肉の技術開発も進めつつ、畜産の環境負荷削減そして、健康面にも配慮した「食生活」の見直しにも並行して取り組んでいくことが求められる。

#### 解決の方向性② タンパク質摂取源の多様化

牛肉の環境負荷が高いのであれば、食生活を見直し、牛肉摂取量を抑制すればよいという考え方もあるが、一様にそれを推し進めることは現実的ではない。各国の現状の栄養状態や、食文化に目を向ける必要がある。

各国の栄養状態のうち「タンパク質」に着目すると、既にタンパク質摂取量基準(WHO基準)を満たしている国は3割程度に過ぎない。また、タンパク源の品目構成は食文化を反映して各国・地域によって大きく異なっており、各国・地域の食料供給システムはその品目構成に対応して稼働している。例えば日本の場合、他の国と比較して魚等の水産物の割合が高く、畜産物についても牛・豚・鳥・卵・乳どれに偏ることもなく、多様なタンパク源を摂取してい

るという特徴がある。

そこで、タンパク質摂取基準をすでに満たしている国だけを対象に牛肉の需要拡大分を他のタンパク源へ緩やかにシフトするシナリオ分析を行った。その結果、GHG 排出量は、現状のペースで進めば(以降、成り行き)2050年に48億トン-CO<sub>2</sub>まで増加するところ、地域・国を限定して牛肉の需要拡大分を他のタンパク源へ転換するシナリオでは39億トン-CO<sub>2</sub>の増加に抑えられることが示された。

## シナリオ分析:解決の方向性①②の組み合わせによる効果推計

生産の環境負荷削減技術導入、タンパク質摂取源の多様化を組み合わせることにより、世界の GHG 排出量は2050年時点で成り行き175億トン(CO<sub>2</sub>換算値)となるところ、7.6%の削減効果が見込める。これは2020年現在のGHG 排出量と比較して1.27倍であり、やや人口増加率を上回る。さらに牛肉消費仕向量のうち35%を代替肉(培養肉など)に置き換えた場合は、17.4%の削減効果が見込める。これは、2020年と比較して1.14倍であり、人口増加率を下回る水準となる。

ただし、食生活の面で、環境負荷削減を実現するために極端に牛肉を食べることを我慢したり、各国が有する食文化を犠牲にしたりする方策は望ましくない、ということは強調しておきたい。重要なのは、豊かで健康的な食生活と環境の両立である。世界人口の拡大と新興国の経済成長が見込まれる中、現状の食料システムの単純な維持・拡大は環境負荷が大きく望ましい形とはいえない。供給側と需要側の対策を組み合わせ、持続可能な食料システムを考える必要がある。

## シナリオ実現に向けた具体策

食農分野の環境負荷削減を実際に実現するために、いくつか有望なイノベーションが存在するが、いかにそれらを社会実装していくかが問題である。

生産現場への環境負荷削減技術の導入・普及のキーは、①GHG 削減効果の価値化による動機づけ、②サプライチェーン連携、③コミュニケーションによる消費者の行動変容、の3つである。

①GHG 削減効果の価値化では、近年導入が始まった農林水産分野の J クレジット<sup>1</sup>等のカーボンのクレジット制度が有望だ。この制度により、食料サプライチェーンの環境負荷削減に、サプライチェーン外の資金が入る余地が生まれることの意義が特に大きい。また、②サプライチェーン連携は個別企業による取り組みの限界を見極め、同業他社をまたいだ全体の巻き込みが重要になる。加えて、③コミュニケーションによる消費者の行動変容も重要である。消費者は一般には事業者と比較してリーチ可能な情報量・質に格差がある存在だが、社会を構成する重要なステークホルダーであり、その行動が社会に大きな影響を与える主体だ。生産の環境負荷削減に関する取り組みや、健康増進上の意義といった情報を見える化し、商品に付加して消費者に提供することにより、参加意識を高め行動変容を促すことを目指す必要がある。

最後に次世代タンパクについて、今後の日本発の技術の展開可能性も交えて触れておきたい。培養肉は、早期のルール作りや、表示などの消費者とのコミュニケーションの仕組みを作ることが優先課題である。欧米での市場形成が進む植物性肉・乳でも、日本の食品製造業の食味・食感向上技術は、今後競争優位性を持ちうる。また、陸上養殖システムも日本が技術的に優位性を持ちうる領域だ。再生可能エネルギー利用やエネルギーマネジメント、また生産性向上に向けた歩留向上・育種、種苗開発技術などが、今後の重要課題となるだろう。

豊かな食生活と環境の両立に向けて、グローバルに市場展開/グローバルな原料調達網を有する商社・食品製造業・流通業などが中心となって、技術的・社会的なイノベーションを起こしていくことが求められる。個々の企業の取り組みだけでなく、大企業間の連携・協業や、課題解決に向けて有望な技術を有する研究機関・スタートアップ・ベンチャー企業等との連携を通じた、この分野へのさらなる投資、研究開発・ビジネス展開、消費者を巻き込んだ取り組み促進に期待したい。

<sup>1</sup> 農林水産分野の J クレジット制度

(<https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyo/seisaku/climate/jcredit/top.html>)

# 目次

1. はじめに:増大する食農分野の環境負荷	1
2. 解決の方向性① 生産の環境負荷削減技術導入	6
3. 解決の方向性② タンパク質摂取源の多様化	9
4. シナリオ分析:解決の方向性①②の組み合わせによる効果推計	13
5. シナリオ実現に向けた具体策	17
参考資料	20

# 1. はじめに:増大する食農分野の環境負荷

インドやアフリカなどでの人口増加が著しく、世界の人口は 80 億人を突破した。近年『グローバル・サウス』と呼ばれる新興国や途上国を中心に、人口のみならず経済的・政治的存在感を増している。

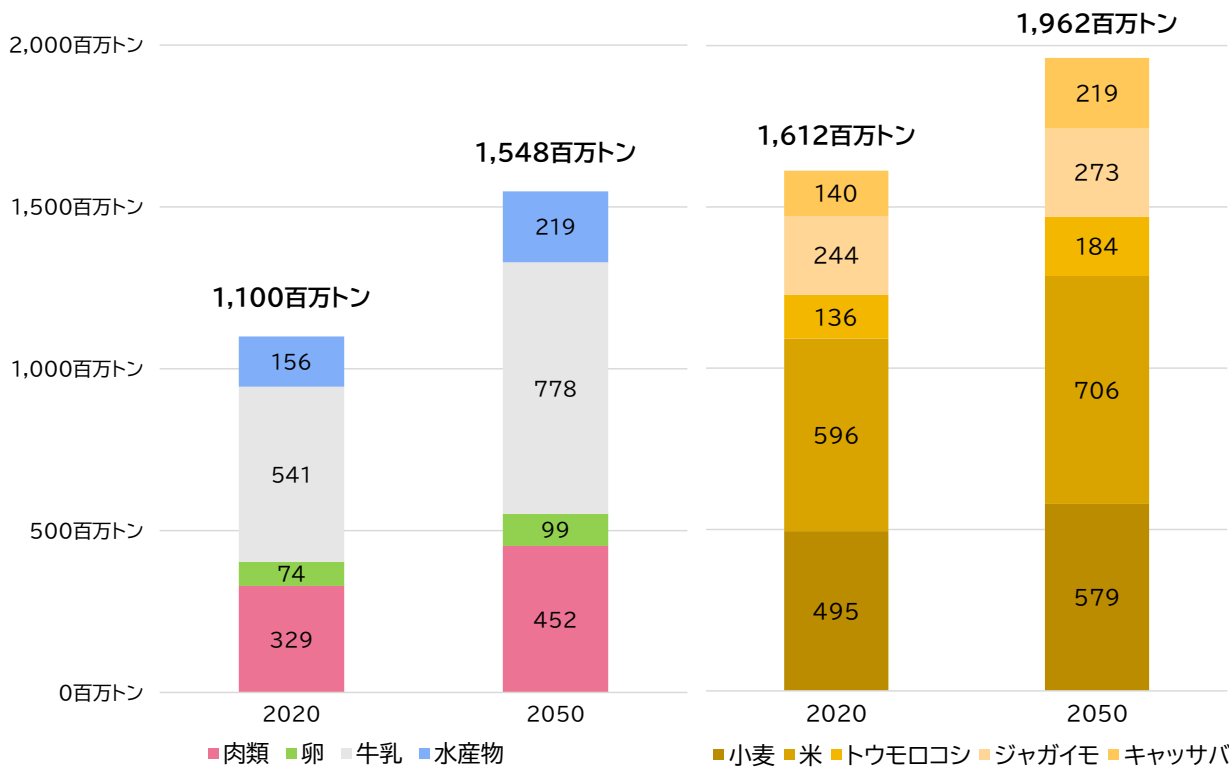
人類は世界の人口増加・経済発展に伴う食料需要増に対応していく必要があるが、実は、食料生産にかかる環境負荷は製造業など他の分野と比較しても大きい。

本章では、2050 年に向けた世界の食料需要と環境負荷について述べる。

## 2050 年、世界の食料需要は 2020 年対比で 1.3 倍に増加する

2050 年には世界の食料需要は 2020 年対比で 1.3 倍となる見込みである<sup>2</sup>。中でも、タンパク源は 1.4 倍(11 億トンから 15.5 億トン)、代表的な主食源である小麦、米、トウモロコシ、ジャガイモ、キャッサバは合わせて 1.2 倍(16.1 億トンから 19.6 億トン)となる(図表 1-1)。これは発展途上国の人口増加および経済発展によるところが大きい。特にタンパク源は経済成長に伴い1人あたり消費量も増大するため、世界の人口増加率である 1.2 倍以上に需要が拡大することになる。牛肉を中心に、タンパク源はその生産のために多量の飼料を要し、人が直接摂取する以上の農産物を必要とする点にも注意が必要である。

図表 1-1 2050 年には世界の食料需要は 2020 年対比で 1.3 倍、タンパク源は 1.4 倍に



出所: 国際連合食糧農業機関(FAO)の FAOSTAT Food Balances および国際応用システム分析研究所(IIASA) SSP database に基づき三菱総合研究所作成(対象は 168 カ国であり、2020 は FAOSTAT の 2019 年統計値、2050 は三菱総合研究所推計値)

## 食料需要の拡大に伴って高まる食料システムの環境負荷

食料の生産や流通に関わる食料システムは、経済だけでなく、地域の社会や文化、環境、人の健康などさまざまな領域と密接に関わっている。とりわけ持続可能性の観点から注目されるのが食料システムに関わる環境負荷の問題だ。

国連食糧農業機関(FAO)によると、2015 年の食料システム由来の GHG は二酸化炭素換算(CO<sub>2</sub>)換算で

<sup>2</sup> MRI, あらためて食料安全保障と向き合う, <https://www.mri.co.jp/knowledge/mreview/202212.html>

180 億トンであり、これは人為的な GHG 排出量の 34%にも相当する<sup>3</sup>。地球温暖化の文脈で食料システムは無視できない規模の影響を及ぼしているといえる。

また、世界の農業用地は約 50 億 ha とされており、これは地表面の 38%に相当する<sup>4</sup>。農地への転換は、森林開発に代表される生物多様性の喪失や土壌の劣化といった問題とも密接に関わっている。

最後に、食料生産における淡水使用量は 2,710 km<sup>3</sup>であり、人類が利用するために河川や帯水層から取水する淡水量の 70%に相当する<sup>5</sup>。農業と水との関わりでは、農業用水としての利用圧に加え、肥料などの過剰散布によって農地だけでなく河川、湖沼を含む流域全体、果ては海域にも影響を及ぼすことが知られている。このように食料システムは、人類の活動のなかでもとりわけ環境とのつながりが深く、多大な影響を及ぼす要因の一つとなっている。

では、食料需要の拡大に伴い食料システムにかかる環境負荷は今後どこまで増大するのだろうか。当社の推計によると、先に述べたタンパク源および代表的な主食源の需要拡大に伴い 2050 年にかけて GHG 排出量は 48 億トン-CO<sub>2</sub>、土地利用面積は 13 億 ha、淡水利用量は 539km<sup>3</sup>増加し、それぞれ 2020 年対比で 1.4 倍、1.4 倍、1.2 倍となる見通しだ(図表 1-2)。なお、この値は飼料生産などのサプライチェーンの川上、商品加工、小売など川下の影響も加味したものだ。持続可能性の観点から多様な産業分野において環境負荷削減に向けた取り組みが進められているが、食農分野でも増大が確実視される環境負荷をいかに削減していくかを検討し、対策を講じることが重要だといえる。

## 牛肉の環境負荷削減ポテンシャルは大きい

ここで、食料システムの中でもとりわけ環境負荷削減に取り組むことによる効果のポテンシャルが大きい領域がどこなのかを検討してみたい。先に述べた環境負荷の増加量に占める割合を品目別にみると、GHG 排出量では牛肉 46%、乳 14%が多く全体の 60%を占める。土地利用面積では牛肉 55%、羊肉・山羊肉 18%、乳 14%が多く全体の 87%を、淡水利用量では米 42%、乳 25%が全体の 66%をそれぞれ占める(図表 1-2)。淡水利用量では主要な主食源である米も大きなウェイトを占めているものの、食料システムにかかる環境負荷の大部分が畜産物、とりわけ牛肉、羊肉・山羊肉、乳といった反芻動物由来の農産物の生産、流通に関わるものであることがわかる。

これは、収穫・枝肉<sup>6</sup>・生体重 1kg あたりの環境負荷原単位からも見て取れ、GHG 排出量、土地利用面積は牛肉、羊肉・山羊肉が他品目に比して大きい(図表 1-3)。反芻動物である牛、羊・山羊などは、高い飼料要求率で知られている他、消化に伴うメタン発酵によってメタン(CH<sub>4</sub>)を発生させるなどの特徴があり、原単位の大きさはこれらの要素を反映したものであると考えられる。

羊肉・山羊肉は需要の絶対量はそれほど大きくないことにあわせ、地域によって消費特性が大きく異なっている。一方で、牛肉は非常に多くの国で一定程度の量を消費されている肉種であるため、以降では牛肉を題材に環境負荷削減方策を検討する。他方で、牛肉を始めとした動物性食品は世界中の多くの農村部の人々にとって生計の重要な源であることに変わりはなく、かつ、食料安全保障上も、栄養の摂取源としても重要な存在だ。施策を考えると、安易に生産縮小・需要抑制という方向性は取るべきではないことを付言しておく。

以上を受け、本稿では、「豊かで健康な食生活を維持しながら、食料システムにかかる環境負荷をいかに削減していくべきか」という両立の課題に対して、牛肉を中心とするタンパク源の生産、消費に焦点をあて検討を進めていく。なお、土地利用や淡水利用量も重要な指標ではあるが、以降は環境負荷の指標として GHG 排出量をとりあげ削減策について検討する。

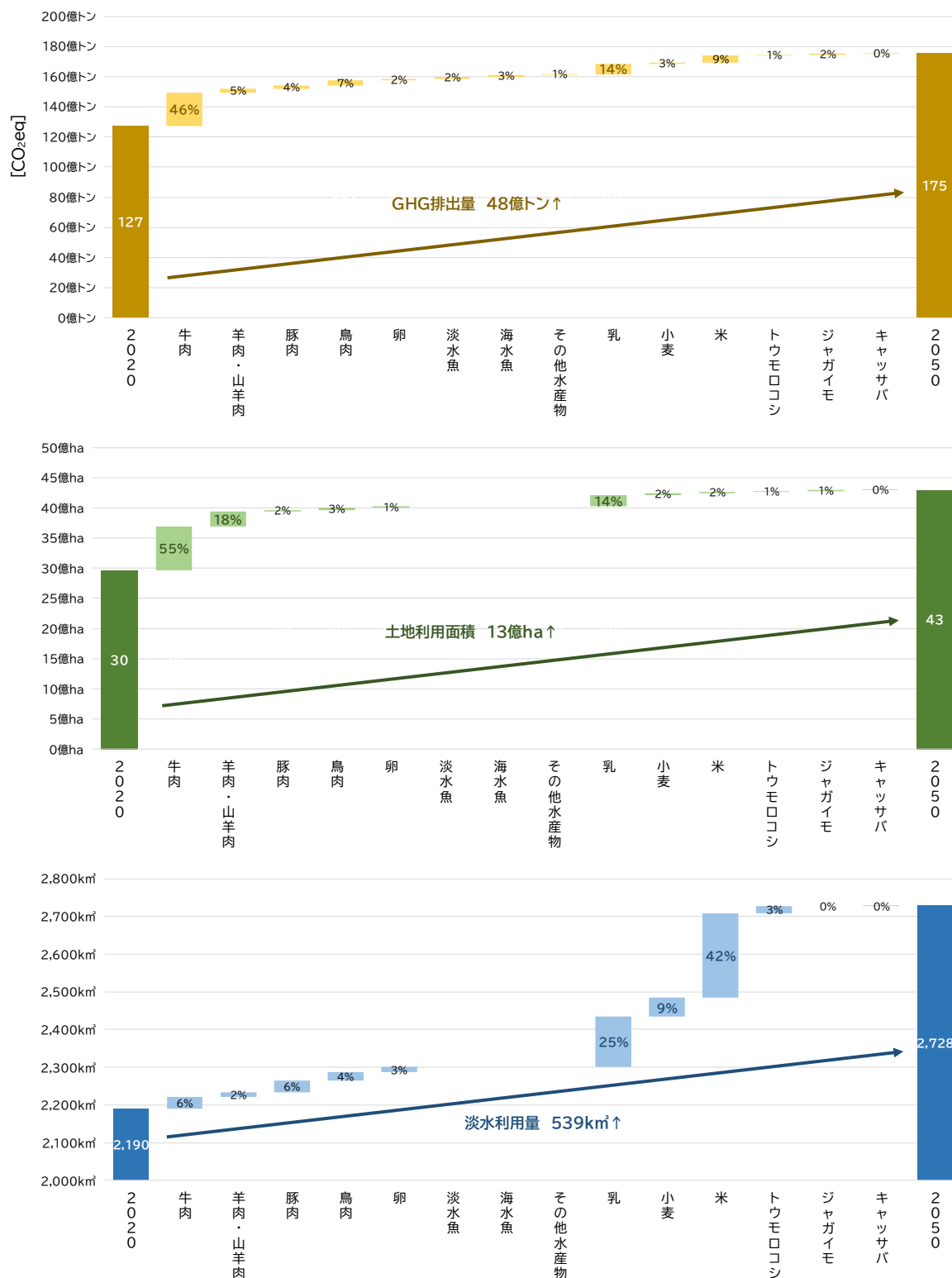
<sup>3</sup> FAO, Food systems account for more than one third of global greenhouse gas emissions, <https://www.fao.org/news/story/en/item/1379373/icode/>

<sup>4</sup> FAO, Land use in agriculture by the numbers, <https://www.fao.org/sustainability/news/detail/en/c/1274219/>

<sup>5</sup> FAO. 2011. The state of the world's land and water resources for food and agriculture, <https://www.fao.org/3/il688e/il688e.pdf>

<sup>6</sup> 頭部、尾、四肢端などを切り取り、皮や内臓を取除いたあとの状態。

図表 1-2 環境負荷増大に占める牛肉の寄与は大きい



出所：国際連合食糧農業機関(FAO)の FAOSTAT Food Balances および国際応用システム分析研究所 (IIASA) SSP database、Poore and Nemecek (2018)<sup>7</sup>、Gephart,ら(2021)<sup>8</sup>に基づき三菱総合研究所作成。なお、水産物(淡水魚、海水魚、そのほか水産物)は土地利用面積および淡水利用量の原単位が推定できていないため、推計していない。

<sup>7</sup> J. Poore T. Nemecek ,Reducing food’ s environmental impacts through producers and consumers.Science360,987-992(2018).DOI:10.1126/science.aaq0216

<sup>8</sup> Gephart, J.A., Henriksson, P.J.G., Parker, R.W.R. et al. Environmental performance of blue foods. Nature 597, 360-365 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03889-2>

図表 1-3 牛肉 1kg を得るための GHG、土地、淡水は、他の品目と比較して大きい  
(品目別の収穫・枝肉・生体重 1kg あたり環境負荷の比較)

		GHG排出量 (kg CO <sub>2</sub> eq)	土地利用面積 (m <sup>2</sup> )	淡水利用量 (L)	
タンパク源	牛肉	62.2	204	907	
	羊肉・山羊肉	25.8	240	1,170	
	豚肉	7.7	11	1,117	
	鳥肉	6.6	8	440	
	卵	4.7	6	578	
	牛乳	2.8	8	564	
	淡水魚	4.1	-	-	
	海水魚	底魚	11.0	-	-
		遠海魚	2.6	-	-
		その他	4.3	-	-
	甲殻類	6.5	-	-	
	軟体動物	頭足類	4.3	-	-
		その他	2.0	-	-
	その他水産物	2.0	-	-	
主食源	小麦	1.4	4	591	
	米	4.0	3	2,036	
	トウモロコシ	0.9	2	386	
	ジャガイモ	0.4	1	46	
	キャッサバ	1.1	1	0	

出所: Poore and Nemecek(2018)、Gephart,ら(2021) に基づき三菱総合研究所作成

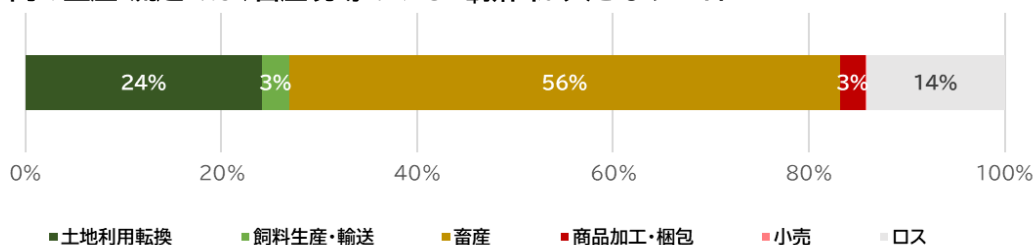
### 牛の飼育にかかる GHG 排出を抑制することが重要

牛肉の食料システムにかかる環境負荷をサプライチェーンの段階別にみると、56%が畜産現場での牛の飼育によるものであり、次いで 24%が畜産および飼料生産のための土地利用転換によるものである(図表 1-4)。また、Poore and Nemecek(2018)によると、生産地によって傾向は異なるものの、牛の飼育によるもののなかでは特にゲップやふん尿の形で排出されるメタン発酵による CH<sub>4</sub> 排出が大きなウェイトを占めている。また、家畜の糞尿処理では CH<sub>4</sub> だけでなく、温室効果の高い一酸化二窒素(N<sub>2</sub>O)を排出することから注目される。

したがって、牛肉の GHG 排出量削減に向けては、牛の飼育現場におけるメタン発酵、糞尿処理による CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O 発生の抑制並びに土地利用転換による GHG 排出の代償に取り組むことが重要であり、そのための技術開発や制度設計に取り組んでいく必要がある。

牛肉の生産にかかる環境負荷削減に効果的な技術とその効果は、2章で検討する。

図表 1-4 牛肉の生産・流通では、畜産現場での CH<sub>4</sub> 排出が大きなウェイト



出所: Poore and Nemecek(2018)に基づき三菱総合研究所作成

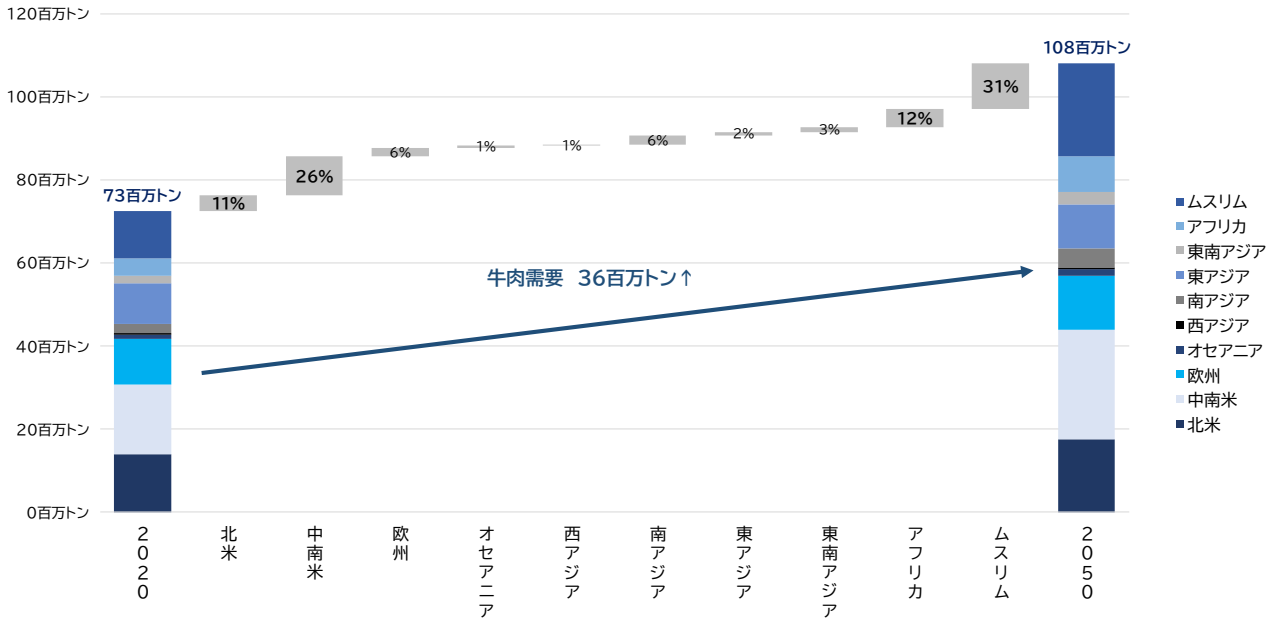
### タンパク源の需要構造転換を図っていくことも重要

牛肉の生産段階の環境負荷削減に加え、持続可能なタンパク源摂取の在り方を模索し、より環境負荷の低いタンパク源の需要構造へと転換を図っていくことも重要である。2020年の牛肉需要についてみると、中南米、北米、

ムスリム地域<sup>9</sup>の順に大きくこの3地域で世界全体の 58%を占める。また、欧州、東アジアを含めると世界全体の 87%となる(図表 1-5)。

2050 年にかけて世界全体で 3600 万トンの需要拡大が予想され、特にムスリム地域、中南米、アフリカ、北米での需要拡大が大部分を占める。2050 年の牛肉需要は中南米、ムスリム地域、北米の順に大きく、今後もこの3地域が需要の中心となる見込みだ。タンパク源の摂取基準を満たすなどの健康状態や牛肉以外の摂取タンパク源の多様性などの食文化は地域や国によって大きく異なるため、需要構造をどのように転換していくべきか一概に議論することは難しい。しかし、それぞれの地域、国の状況も考慮に入れつつ、牛肉の需要の中心となっている中南米、北米、ムスリム地域や欧州、東アジアにおいてより持続可能なタンパク源消費を実現していくことは重要である。タンパク源摂取の在り方の検討およびその効果は、3 章で検討する。

図表 1-5 ムスリム地域、中南米、アフリカ、北米における牛肉需要増が大きい



出所：国際連合食糧農業機関(FAO)の FAOSTAT Food Balances および国際応用システム分析研究所(IIASA) SSP database に基づき三菱総合研究所作成

<sup>9</sup> 本稿では、Pew Research Center Religious Composition by Country, 2010-2050 に基づき、2020 年の全人口に占めるムスリム人口の割合が 50%以上の国をムスリム地域と定義



## 2. 解決の方向性① 生産の環境負荷削減技術導入

食料供給側の取り組みとして、牛肉生産の環境負荷削減に効果的な技術とその削減インパクトについて確認する。

### 畜産の GHG 削減には飼料改良や堆肥化が有効

「1. はじめに:」で述べたように、畜産の環境負荷削減に向けては、家畜飼養の主要な GHG 排出源である消化管内発酵と排せつ物処理における技術導入が有望である。

例えば、消化管内発酵由来の GHG 削減に資する技術の一つとして、給餌改良が挙げられる。マイクロソフト創業者ビル・ゲイツ氏ら多数の資産家が、オーストラリアの飼料添加物開発に取り組むスタートアップ企業に投資するなど、世界的に注目を集めている分野である。日本の研究ではカシューナッツの殻から抽出した液体を利用した製剤を牛に与えれば、20～40%程度の CH<sub>4</sub> 削減効果があるとされている<sup>10</sup>。また、藻類を添加した飼料でも同程度の効果が確認されている<sup>11</sup>。

排せつ物処理における GHG 排出削減には、家畜排せつ物の堆肥化時の副資材投入が有効である。日本では乳牛のふん尿の約 7 割が堆肥化により処理されているが、裁断した低質乾草を副資材として投入し含水率を下げることによって、CH<sub>4</sub> 排出を約 7 割、N<sub>2</sub>O 排出を 6 割程度、それぞれ削減可能とされている<sup>12</sup>。

仮に国内で飼養するすべての牛にこれらの技術を組み合わせて適用した場合、牛の消化管内発酵と排せつ物処理における GHG 排出量を最大で 50%も削減できる試算となる<sup>13</sup>。

### サプライチェーン全体を巻き込んだ取り組みが不可欠

本稿では家畜からの直接的な GHG 排出を削減する技術を紹介したが、牛を飼養する際には多量の飼料やエネルギーが投入されていることを忘れてはならない。国内消費分の畜産物生産に関わる飼料作物生産、化学肥料製造、配合飼料生産、農機・畜舎設備のエネルギー使用などの GHG 排出量合計値は、家畜や排せつ物由来の排出量の 2 倍以上となる<sup>14</sup>。牛肉生産全体の GHG 削減に向けては、これらの削減にも取り組んでいかなければならない。例えば、飼料作物生産者は農地へのバイオ炭施用、農機・畜舎設備メーカーは再生可能エネルギー・省エネルギー機器の開発により、CO<sub>2</sub> 削減に貢献できる。

また、環境負荷削減に資する飼料や排せつ物処理施設を畜産の現場に導入するためには、その開発や導入支援を行うプレイヤーが必要となる。加えて、J-クレジット制度の活用促進も含め、環境負荷削減施策にかかるコストを社会全体で負担していく仕組みづくりも求められる。畜産物生産者だけでなく、牛肉のサプライチェーンに関わる全プレイヤーが一丸となって、環境負荷削減に取り組んでいくことが重要だ。

<sup>10</sup> 真貝拓三ら(2014年9月)「カシューナッツ殻液を利用した乳用牛からのメタン低減技術」(栄養生理研究会報)、<https://agriknowledge.affrc.go.jp/RN/2030873698.pdf>

<sup>11</sup> ユーグレナ HP、<https://www.euglena.jp/news/20230412-2/>

<sup>12</sup> 農研機構 2012 年研究成果、[https://www.naro.go.jp/project/results/laboratory/harc/2012/120c5\\_01\\_15.html](https://www.naro.go.jp/project/results/laboratory/harc/2012/120c5_01_15.html)

<sup>13</sup> 日本国温室効果ガスインベントリ(2023)の 2021 年実績より三菱総合研究所試算  
[https://www.nies.go.jp/gio/archive/nir/jqjm1000001v3c7t-att/NIR-JPN-2023-v3.0\\_J\\_gioweb.pdf](https://www.nies.go.jp/gio/archive/nir/jqjm1000001v3c7t-att/NIR-JPN-2023-v3.0_J_gioweb.pdf)

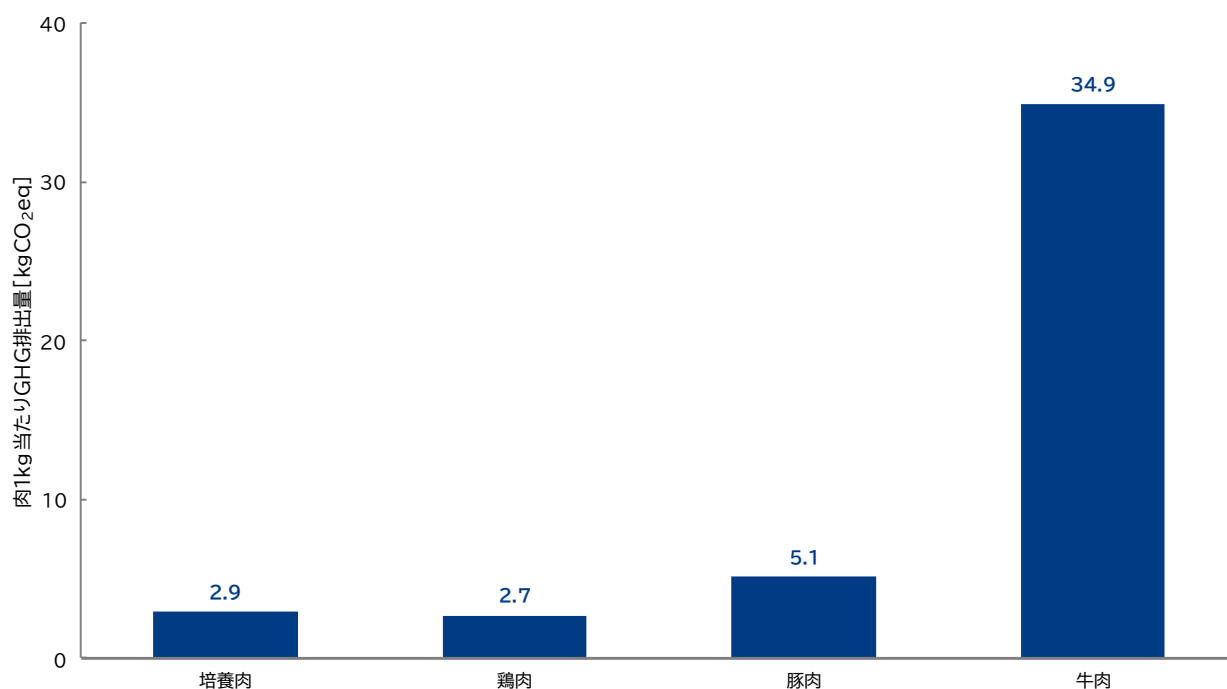
<sup>14</sup> 各種文献より三菱総合研究所試算

## 培養肉は環境負荷削減の救世主となり得るのか

近年、人口増加による食料増産への対応や、環境負荷の削減、動物倫理といったさまざまな背景から、「培養肉」が注目されている。動物の細胞を培養して三次元構造を形成し、従来の食肉に近い食味・食感の食肉を人工的に生産することを目指す技術である。

培養肉の生産では、家畜の飼養を必要としないため、ゲップや排せつ物由来の GHG が発生せず、土地利用面積も削減できる。Sinke ら(2023)によると、牛肉から培養肉にシフトすることにより、従来の牛肉生産に対して GHG 排出量を約 9 割削減できる可能性があるとされている(図表 2-1)<sup>15</sup>。鶏肉や豚肉と比べるとその差は大きくないものの、牛肉の環境負荷削減策としては魅力的に映る。

図表 2-1 培養肉は牛肉と比較して GHG 排出量が少ない(2030 年・野心的ベンチマーク<sup>16</sup>)



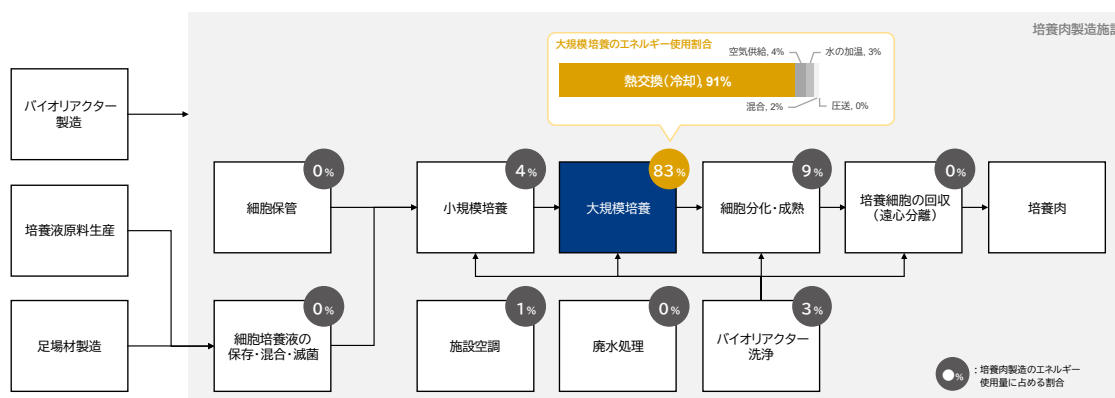
出所: Sinke ら(2023)をもとに三菱総合研究所作成

しかし、培養肉の生産工程(特に細胞培養時の冷却)では、多くのエネルギーが必要になる(図表 2-2)。今後は多くの産業で太陽光・風力などの脱炭素エネルギーが求められる中で、安定的なエネルギー確保は培養肉製造の課題の1つだ。

<sup>15</sup> Sinke ら(2023)、<https://doi.org/10.1007/s11367-022-02128-8>

<sup>16</sup> 電源構成は陸上風力 50%、太陽光 50%、熱は地熱利用を想定した野心的な推計値

図表 2-2 培養肉生産フローでは熱交換に係るエネルギーが大半



出所: Sinke ら(2023)、CE Delft レポート(2021)<sup>17</sup>、Andreas ら(2019)<sup>18</sup>をもとに三菱総合研究所作成

また、培養肉の普及では、各国の法規制や食文化といった課題も残っている。シンガポールやアメリカでは培養肉の製造・販売が認可されている一方、イタリア政府は自国の食文化と健康を守るため、2023年3月に培養肉を禁止する法案を支持すると発表した<sup>19</sup>。日本でも、主に食の安心・安全の観点からの検討が始まっている。将来的な産業化の可能性も見据え、2022年ごろから政府・与党を中心に培養肉をめぐる法規制の整備や安全基準の策定に関する検討チームが立ち上がり、議論が進められている<sup>20</sup>。今後の各国の動向によっては、培養肉普及の障壁となることも十分考え得るだろう。

培養肉は環境負荷削減に向けた有望な技術ではあるが、エネルギー源の脱炭素化や各国の政策動向や国民意識などに大きく左右される以上、今のところ、単独で牛肉の環境負荷問題を解決できる方策とはいえないだろう。そもそも、GHG 排出量を比較すると、鶏肉や豚肉も、培養肉とそんなレベルである。今後は培養肉の技術開発を進めつつ、畜産の環境負荷削減や「食生活」の見直しにも並行して取り組んでいくことが求められる。

<sup>17</sup> CE Delft レポート(2021)、[https://gfieurope.org/wp-content/uploads/2022/04/CE\\_Delft\\_190107\\_LCA\\_of\\_cultivated\\_meat\\_Def.pdf](https://gfieurope.org/wp-content/uploads/2022/04/CE_Delft_190107_LCA_of_cultivated_meat_Def.pdf)

<sup>18</sup> Andreas ら(2019)、<https://gfi.org/wp-content/uploads/2021/02/Cultivated-Meat-LCA-Report-2019-0709.pdf>

<sup>19</sup> BBC ニュース記事(2023年3月30日)、<https://www.bbc.com/japanese/65120824>

<sup>20</sup> 読売新聞 ニュース記事(2022年6月20日)、<https://www.yomiuri.co.jp/science/20220619-OYT1T50231/>

### 3. 解決の方向性② タンパク質摂取源の多様化

地域・国ごとに、消費者・国民の栄養状態や、何をどんなふう食べるか、という食文化は全く異なっている。それらに配慮しつつ食生活の変化を促すことで、環境負荷削減を実現することは可能なのだろうか。本章は、食料需要側の摂取のありかたに関して検討する。

#### 栄養状態やタンパク源の摂取比率は、地域・国の経済状況、食文化によって異なる

食料システムにかかる環境負荷の削減を目指したタンパク源摂取の在り方を検討するうえで、地域・国ごとの食べ方の違いへの配慮は不可欠である。ここでは特に重要な項目として、タンパク質摂取基準およびタンパク源の品目構成について確認しておきたい。

タンパク質の摂取必要量は健康維持の観点から重要な指標であり、世界保健機関(WHO)によると体重 1kg あたりタンパク質を 0.83g/日摂取することが必要とされている<sup>21</sup>。仮に世界の成人平均体重 62kg<sup>22</sup>に基づきタンパク質摂取基準を算定すると1人あたり 18.8kg/年となる。

1章で報告した需要予測の結果と品目別のタンパク質含有率に基づき各国のタンパク質摂取量を推定したところ、2020年に摂取基準を満たしている国の数は全体の34%であった(図表 3-1)。特に牛肉の需要が拡大する見通しの中南米とムスリム地域ではそれぞれ24%、10%であり、依然として多くの国で摂取基準を満たせていないことがわかる。タンパク源の需要転換を図っていくうえで、地域・国による栄養状態の違いを前提にそれぞれの地域にとって無理のない方向性を提示していくことが必要となる。

図表 3-1 世界でタンパク質摂取基準を満たす国は3割

	摂取基準を満たす国の数			
	2020	2030	2040	2050
北米 (2カ国)	2 (100%)	2 (100%)	2 (100%)	2 (100%)
中南米 (29カ国)	7 (24%)	9 (31%)	11 (38%)	15 (52%)
欧州 (38カ国)	36 (95%)	36 (95%)	36 (95%)	37 (97%)
オセアニア (9カ国)	3 (33%)	3 (33%)	3 (33%)	3 (33%)
西アジア (4カ国)	4 (100%)	4 (100%)	4 (100%)	3 (75%)
南アジア (3カ国)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
東アジア (4カ国)	1 (25%)	1 (25%)	2 (50%)	2 (50%)
東南アジア (7カ国)	0 (0%)	0 (0%)	1 (14%)	2 (29%)
アフリカ (30カ国)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
ムスリム地域 (42カ国)	4 (10%)	6 (14%)	7 (17%)	9 (21%)
計 (168カ国)	57 (34%)	61 (36%)	66 (39%)	73 (43%)

出所：国際連合食糧農業機関(FAO)の FAOSTAT Food Balances および国際応用システム分析研究所(IIASA) SSP database に基づき三菱総合研究所作成

タンパク源の品目構成は、食文化を反映しており地域によって大きく異なる。また、食料システムは地域の品目構成に一定程度依存するものと考えられる。そのため、品目構成に大きな変更を強いるような提案は現実的ではない。

2020年の牛肉需要上位22カ国(全体の75%)のタンパク源の品目構成は図3-2の通りであり、地域・国によって畜産物と水産物の構成比率や、それぞれの内訳に差がある。例えば、北米、中南米、欧州、オセアニア、アフリカは比較的に畜産物の比率が高く80%以上となっている。一方、日本など東アジア、ムスリム地域のうちインドネシア、エジプトは、水産物の割合も大きく、30%以上を占める。特に日本の場合、畜産物についても牛・豚・鳥・卵・乳どれに偏ることもなく、多様なタンパク源を摂取しているという特徴がある。

また、インドやムスリム地域の一部の国では乳も重要なタンパク源となっており、約60%~70%を占める。

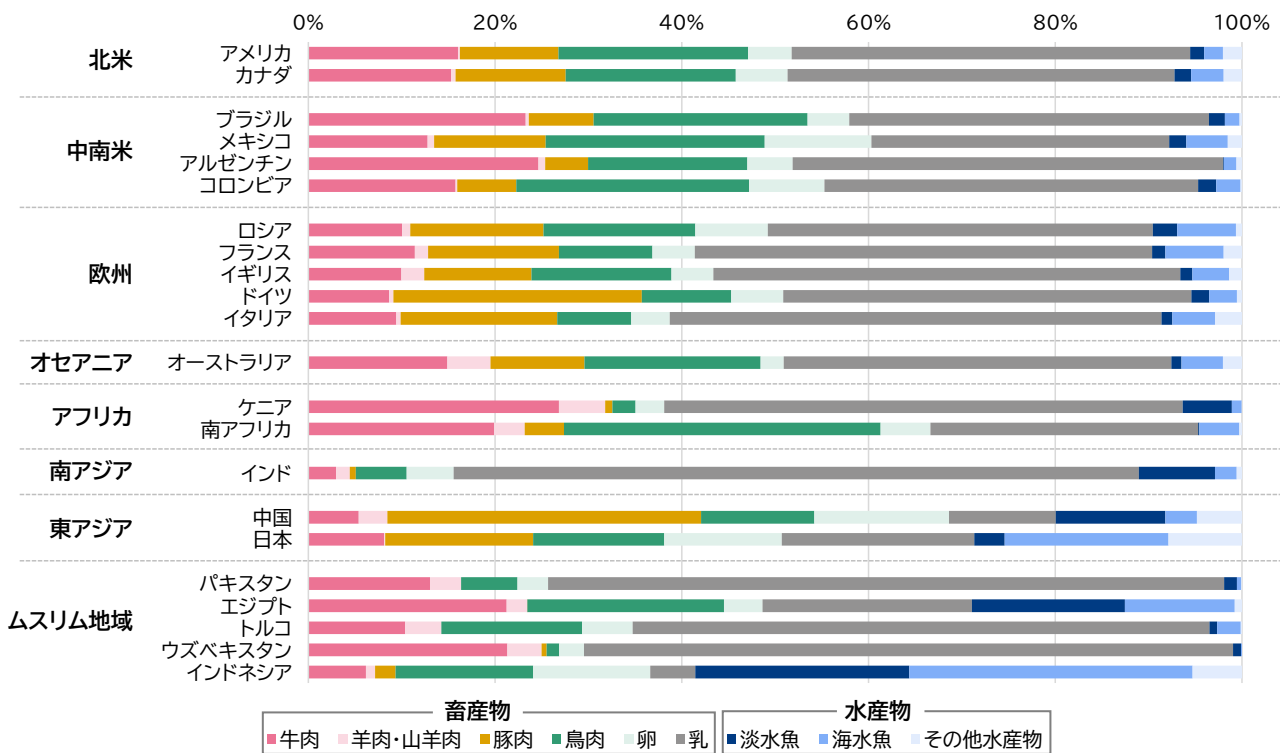
<sup>21</sup> WHO, Protein and amino acid requirements in human nutrition : report of a joint FAO/WHO/UNU expert consultation, <https://apps.who.int/iris/handle/10665/43411>

<sup>22</sup> Walpoleら(2012)The weight of nations: an estimation of adult human biomass, <https://bmcpublihealth.biomedcentral.com/articles/10.1186/1471-2458-12-439>

このように地域・国によってタンパク源の構成は大きく異なり、需要転換を進めていくうえで地域の食構成への配慮が必要である。

図表 3-2 国により多様なタンパク源の品目構成

(含有タンパク質ベース)



出所: 国際連合食糧農業機関(FAO)のFAOSTAT Food Balancesに基づき三菱総合研究所作成

### タンパク源の需要構造転換に取り組むことで GHG 排出量の増加を 5~11%削減できる

以上を踏まえ、食料システムの環境負荷削減を目標としたタンパク源摂取の在り方検討のためのシナリオ分析を実施した。分析シナリオとしては、地域・国を限定して牛肉の需要拡大分を他のタンパク源へ転換するシナリオ A、世界全体で牛肉の需要拡大分を他のタンパク源へ転換するシナリオ B の 2 つを設定した。

図表 3-3 想定シナリオ

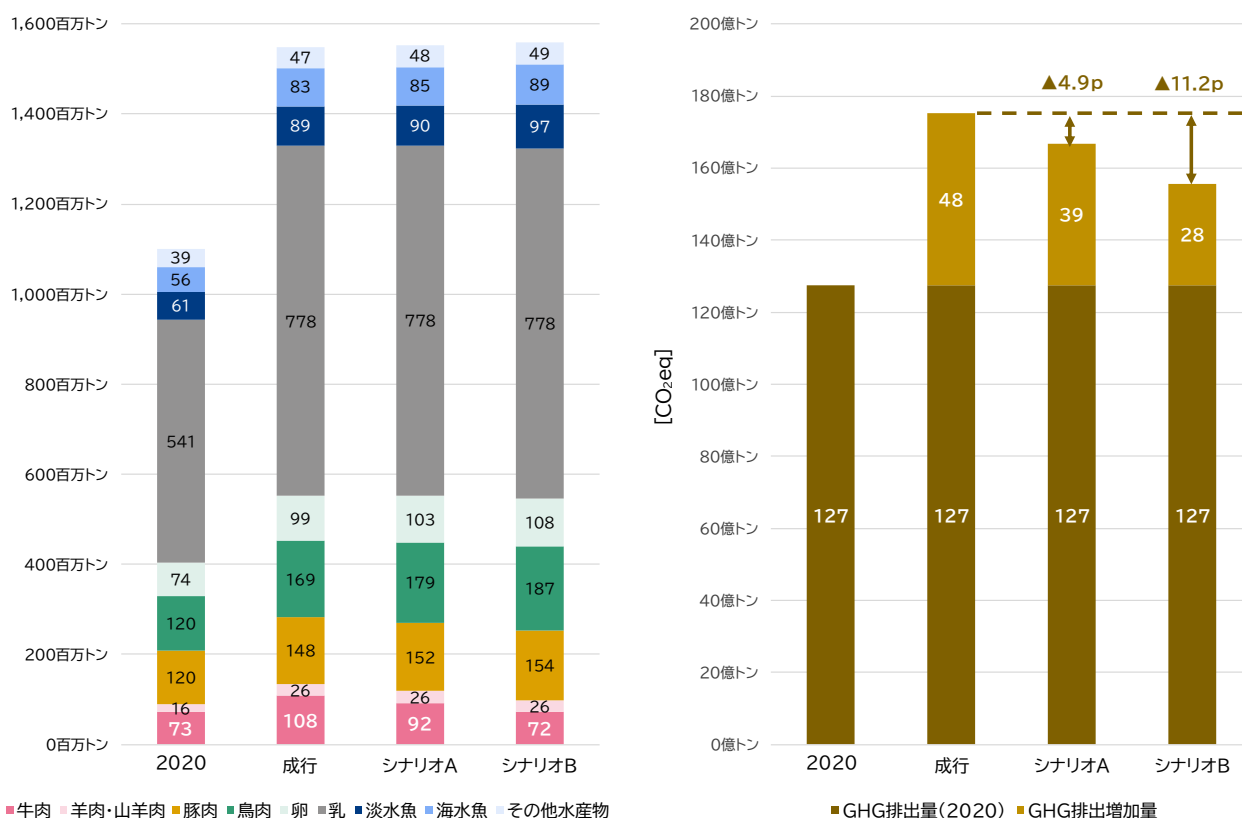
	対象国	想定
A：地域限定シナリオ	2020年に摂取基準を満たしている国 2050年までに摂取基準を満たす国※1	拡大する牛肉需要を品目構成割合に基づき他のタンパク源へ転換※2,3
B：世界全域シナリオ	すべての国	2020年以降拡大する牛肉需要を品目構成割合に基づき他のタンパク源へ転換

※1 2050年までに摂取基準を満たす国では、摂取基準を満たした年以降に拡大する需要に限って転換

※2 反芻動物由来の生産物でありGHG排出量が高い羊肉・山羊肉、タンパク質含有率の低い乳は転換先から除外

分析の結果、成り行きで牛肉の需要が3,600万トン増加するところ、シナリオAでは2,000万トン、シナリオBでは実質横ばいに抑えられる(図表3-4左側)。その結果、GHG排出量は成り行きで48億トン-CO<sub>2</sub>増加するところ、シナリオAでは39億トン-CO<sub>2</sub>(成り行きに対して▲4.9%)、シナリオBでは28億トン-CO<sub>2</sub>(成り行きに対して▲11.2%)の増加に抑えられる(図表3-4右側)。

図表 3-4 シナリオ分析の結果:タンパク源需要増への対応とGHG削減の両立は可能



出所：国際連合食糧農業機関(FAO)のFAOSTAT Food Balances および国際応用システム分析研究所(IIASA) SSP database、Poore and Nemecek(2018)、Gephart,ら(2021)に基づき三菱総合研究所作成

### タンパク源摂取の構造転換は摂取基準を満たす国が率先して取り組むことで十分な効果が期待できる

タンパク質摂取基準を依然満たしていない国には発展途上国も多く含まれ、中には牛肉を主要なタンパク源とする国も含まれる。これらの国において成り行きで拡大する予定の牛肉需要を抑制することは、人々の栄養状態に悪影響を及ぼす可能性もあり、世代や国家間の平等の観点からも避けるべきであろう。そのため、すべての国で牛肉需要を抑制するシナリオBは環境負荷削減という観点からは効果的ではあるものの、現実的なシナリオとはいえない。

シナリオ分析の結果から、タンパク質摂取基準をすでに満たしている国において牛肉の需要拡大を抑え、他のタンパク源への食構成を緩やかにシフトしていくシナリオAも十分な環境負荷削減効果があることが示された。そのため、まずは先進諸国を中心としてタンパク源の需要転換に取り組んでいくことが食料システムの環境負荷削減の

観点からは重要であると考え。実際、欧州では肉税導入など消費者の行動変容を促す施策の検討や、代替肉の商品開発、市場形成による食構成のシフトが先行して進んでおり<sup>23</sup>、タンパク源摂取にかかる環境負荷削減に取り組んでいる。

わが国は歴史的に水産物や大豆加工食品(豆腐、納豆など)など多様な品目からタンパク質を摂取してきたが、高度経済成長に伴う食の欧米化によって牛肉消費を拡大させてきた背景がある。今後は、日本の歴史的なタンパク質摂取の在り方も踏まえ、わが国の実情に適したタンパク源の需要構造転換に取り組んでいくことで、食料システムにかかる環境負荷削減をリードしていくことが期待される。

---

<sup>23</sup> 新潮社 Foresight, 日本のサステナブルな食生活のカギは「タンパク質の多様性」——肉の消費量が減少するドイツとの比較, <https://www.fsight.jp/articles/-/49730>

## 4. シナリオ分析:解決の方向性①②の組み合わせによる効果推計

2章では供給側、3章では需要側について、豊かで健康的な食生活と環境負荷低減の両立に向けて有望な取り組みとその効果について言及してきたが、供給、需要どちらか一方の取り組みだけでは効果は限定的であることが分かった。本章では、供給側・需要側双方の取り組みの組み合わせによる GHG 削減効果について述べる。

### 需要側、供給側双方の取り組みにより、GHG は成り行き比 17%削減可能

2050 年まで特に策を講じない成り行きシナリオでは、食料システムから排出される GHG は175億トン-CO<sub>2</sub>、2020 年と比較して+48 億トン-CO<sub>2</sub>(1.4 倍)だ。

「2. 畜産技術」シナリオでは、2章で紹介した肉牛の給餌・排せつ物管理を世界の生産量の 30%分に導入することによる CH<sub>4</sub> 削減により、▲3.2%の削減効果が見込める。

「3. 食生活」シナリオでは、2050 年まで、2020 年現在の牛肉消費仕向量を維持しつつ、2020~2050 の牛肉消費増加分の重量を、鳥・豚・魚・卵から摂取することにより、過剰な牛肉シフトを抑制する。この場合は、成り行きに対して▲4.9%の削減効果が見込める。

これら2. 3. のシナリオを組み合わせた「4. 畜産技術+食生活」シナリオでは、成り行きに対して▲7.6%の削減効果が見込めるが、これは 2020 年現在の GHG 排出量と比較しても 1.27 倍であり、やや人口増加率を上回る水準だ。

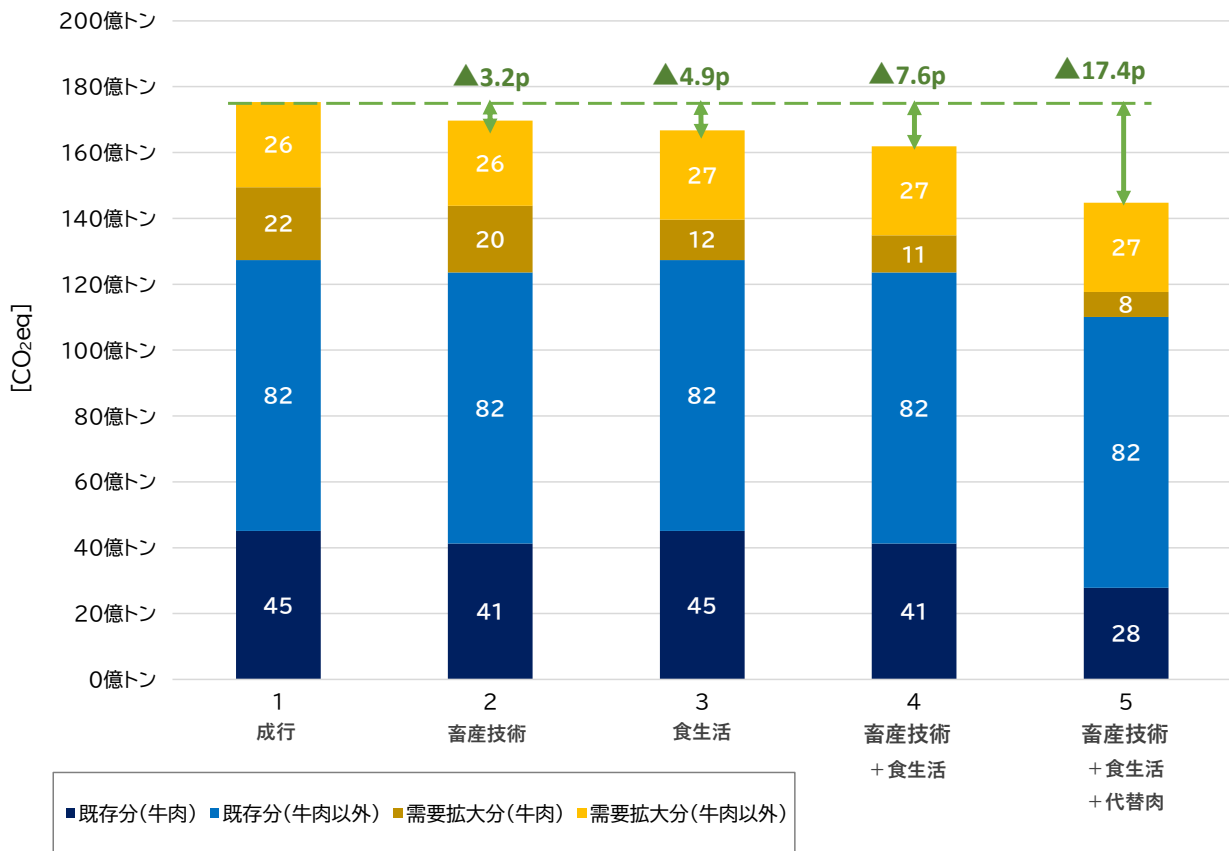
さらに、牛肉消費仕向量のうち 35%を代替肉(培養肉)に置き換えた場合を、「4. 畜産技術+食生活+代替肉」でみると、▲17.4%削減効果が見込める。これにより、2020 年現在の GHG 排出量と比較しても 1.14 倍で、人口増加率を下回る結果となる。

図表 4-1 分析対象とした5つのシナリオ

シナリオ名称	概要
1. 成り行き(2050)	✓ 特に何も策を講じない
2. 畜産技術	✓ 2050 年の成り行きの需要に対して、必要な牛肉を環境負荷削減型生産により生産する(給餌・排せつ物管理) ✓ ※シナリオ適用範囲:世界の総生産量のうち 30%に適用する
3. 食生活	✓ 2050 年まで、2020 年現在の各国の牛肉消費仕向量を維持 ✓ 2020~2050 の牛肉消費仕向量増加分の重量は鳥・豚・魚・卵から摂取 ※シナリオ適用範囲:2020 年時点で WHO によるタンパク質摂取基準を満たしている国と、2050 年までに基準を満たす国に限定
4. 畜産技術+食生活	✓ シナリオ2~3の組み合わせ
5. 畜産技術+食生活+代替肉	✓ シナリオ2~3の組み合わせ ✓ 各国の牛肉消費仕向量のうち 35%を代替肉(培養肉)とする



図表 4-2 畜産技術と食生活で 7.6% 代替肉も加えると 17.4%GHG 削減効果



※既存分→2020 の需要 需要拡大分→2020～2050 年に拡大する分  
出所：三菱総合研究所

## 2050 年、食卓が今と全く異なる姿に様変わりする必要はない

ここまで、「牛肉に偏りすぎるのではなく、各国でもともと食べられている他のタンパク源(鳥・豚肉、卵、乳、魚など)も維持しながら食生活を送ること」「牛肉に環境負荷削減型の生産技術導入や、一部の代替肉への置き換えを実施すること」により環境負荷削減を実現できる見通しについて述べてきた。

重要なのは、豊かで健康的な食生活と環境負荷削減の両立だ。世界人口の拡大と新興国の経済成長が見込まれる中、現状の食料システムの単純な維持は環境負荷が大きく望ましい形とはいえない。供給側と需要側の対策を組み合わせ、持続可能な食料システムを考える必要がある。

ここでは、食生活の面で、環境負荷削減を実現するために、豊かさと健康、すなわち極端に牛肉を食べることを我慢したり、各国が有する食文化、栄養状態を犠牲にしたりする必要はないことは強調しておきたい。

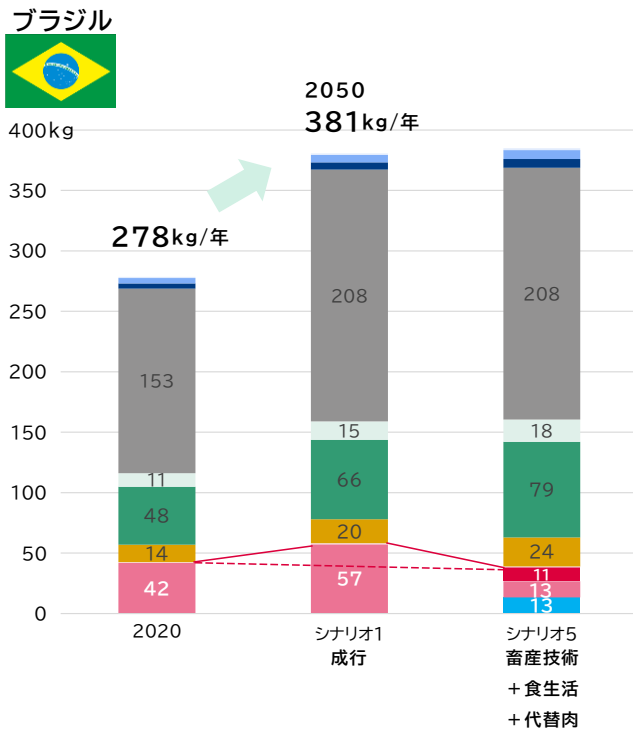
具体的に、

- WHO のタンパク質摂取量基準を既に満たしているが、これから牛肉含めタンパク源摂取量が増える国の代表→ブラジル
- WHO のタンパク質摂取量基準には未達、これから牛肉含めタンパク源摂取量が増える国の代表→ケニア

を例に見てみよう。

ブラジル、ケニア共に、成り行きでタンパク源摂取量は増加する。シナリオ5で、ブラジルは、牛肉消費仕向量増加分の重量を鳥・豚・魚・卵に置き換え、かつ国の人口が増加するため、1人あたりの牛肉の量が若干減少する。ケニアは、牛肉を他の動物性タンパク源への置き換えをしないため、牛肉の1人あたり消費仕向量は成り行きと同じである。

図表 4-3 各国の栄養や食文化を犠牲にすることなく環境負荷を削減することが可能  
(1人1年あたり、kg 重量ベースの消費仕向量)

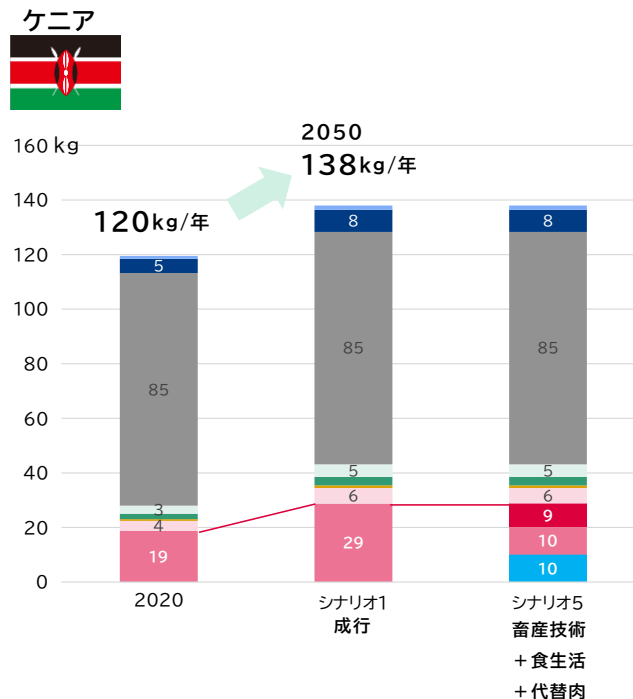
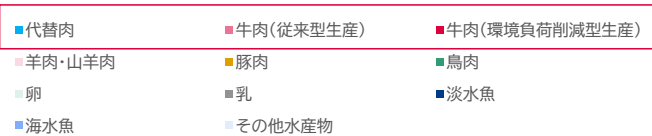


1.【需要】

シナリオ5(畜産技術+食生活+代替肉)では、タンパク源の量は成り行きと同じ。2050年の牛肉の1人あたり消費仕向量は2020年現在(42kg/年)と比較して▲5kgの37kg/年となる。牛肉は1日に換算すると、約10g分の減少。30年間でタンパク源の消費量が増える分は、鳥・豚肉、卵、魚でカバーする。

2.【供給】

牛肉の35%は代替肉(培養牛肉)。残りの65%の牛肉のうち30%がGHG削減飼料導入など、環境負荷削減型生産で飼養されている。

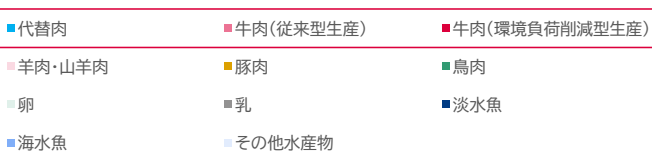


1.【需要】

シナリオ5(畜産技術+食生活+代替肉)では、タンパク源の量は成り行きと同じ。2050年の牛肉の1人あたり消費仕向量は2020年現在(19kg/年)と比較して+10kgの29kg/年となる。

2.【供給】

牛肉の35%割は代替肉(培養牛肉)。残りの65%の牛肉のうち30%が、GHG削減飼料導入など環境負荷削減型生産で飼養されている。



出所：三菱総合研究所

ひとりひとりが食文化や嗜好性、栄養状態を犠牲にすることなく、少し商品選択時に意識をしたり、多様な食材で食卓を構成したりすることで、世界の豊かで健康的な食生活と環境負荷削減の両立を実現できる可能性がある。



環境負荷削減を優先することにより、各国の栄養状態や食文化が損なわれることがあってはならない。

例えば、ブラジルには有名なシュラスコ(牛肉)だけでなく、フェイジョアータ(豆、豚肉)や、鶏肉や魚介、乳、卵を用いた伝統的料理が存在する。これらを用いた多彩な食卓を失うことなく、環境負荷削減を実現することが可能だ。

## 5. シナリオ実現に向けた具体策

1章では今後の食料需要と環境負荷の見通し、2章では供給側、3章では需要側での環境負荷削減に向けた取り組みについて述べた。4章では供給側・需要側双方の取り組みにより、成り行きに対して GHG17%削減が可能という効果について言及した。

これらを踏まえると、今後タンパク源需要が増大する海外では「牛肉を環境負荷低く作る技術」「牛以外のタンパク源(鶏、豚、魚等)を高品質・高効率に作る技術」、そして、代替肉等「次世代タンパク」が求められていくだろう。

本章では、それら技術の社会実装を実現するための具体策と、日本発・世界の持続可能な食料システム構築に向けたポジショニングについて述べる。

### 生産技術イノベーション～生産現場での GHG 削減をいかに動機づけし進めていくか～

2章では、牛の給餌や排せつ物管理による CH<sub>4</sub>や N<sub>2</sub>O の削減技術について紹介した。国内ではみどりの食料システム戦略<sup>24</sup>の推進により、農業機械や施設などの燃料・エネルギー起源 CO<sub>2</sub> 削減技術とともに、これらの削減技術について、今後技術開発が進むことが見通されるし、世界的にも当該分野に開発投資が集まるだろう。問題は、これらの技術をいかに現場実装していくか。すなわち、誰が環境負荷削減のコストを負担し、いかに動機づけるのか、という点である。

現状では、生産者が環境負荷削減のコストを負うのは、環境負荷削減分に見合ったプレミアムが付くなどのリターンが期待できないため現実的ではなく、環境保全型農業などは公的インセンティブ(補助金)などにより負担がなされている状況だ。それ以外の道としては、以下が考えられる。

- ① 生産者の環境負荷削減行動のリターンを創出する(炭素クレジット制度など)
- ② 環境負荷削減に責任を認識する事業者が負担する
- ③ 消費者が環境負荷削減自体を価値として認識・行動選択し、対価を負担する

#### オプション1:生産者の環境負荷削減行動のリターンを創出する

実際の生産者にとって、生産時の環境負荷削減策を講じることに對して、それにより物の品質や生産性が大きく向上するわけではない限り、明確なインセンティブが存在するわけではない。

その中で、農林水産分野の J クレジット等のカーボンクレジット制度は一つの有望な策だ。この制度は、省エネルギー設備の導入や再生可能エネルギーの利用による CO<sub>2</sub> などの排出削減量や、適切な森林管理による CO<sub>2</sub> などの吸収量を「クレジット」として国が認証するものであり、生産者も活用可能だ。

生産者は、GHG 削減策を講じることでクレジット売却益を得られる。流通小売業や製造業などの農産物・原材料調達をする事業者は、“サプライチェーンの GHG 削減に取り組んでいる”という企業価値向上につながる。また何より、オフセットをする(クレジットを購入する)事業者は、当然ながら食品産業関連だけに限らないので、食料サプライチェーンの環境負荷削減に、サプライチェーン外の資金が入る余地があるところに大きな意義がある。

既に農林水産分野で J クレジット制度に登録承認された事例として、味の素・明治による「乳牛へのアミノ酸バランス改善飼料の給餌プロジェクト」<sup>25</sup>のように、CH<sub>4</sub>・N<sub>2</sub>O 削減と、飼料コスト削減による生産性向上の両方に資する一石二鳥の技術も存在する。

#### オプション2:環境負荷削減に責任を認識する事業者が負担する

食品原材料などのサプライチェーンはグローバル化しており、流通事業者や生産地を共有している。このため、事業者単独での取り組み・負担には限界があり、食品の生産～流通～消費に関わるサプライチェーン全体での連携が重要である。

Science Based Targets イニシアティブ(SBTi)に参画する企業のうち、食料・林業などの部門に属する企業や、土地に関連する排出量が全体の 20%以上を占める企業は、今後、森林・土地利用・農業分野(FLAG)において、ガイドラインに従って GHG 削減を設定することが求められる。

上記目標を設定し削減を達成するためには、自社事業所や自社工場だけでなく「原料調達先」における GHG 削

<sup>24</sup> 農林水産省では、食料・農林水産業の生産力向上と持続性の両立をイノベーションで実現する「みどりの食料システム戦略」を策定(<https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyo/seisaku/midori/index.html>)

<sup>25</sup> 味の素㈱と明治グループ、持続可能な酪農業の実現に向けた協業を開始([https://www.ajinomoto.co.jp/company/jp/presscenter/press/detail/2023\\_03\\_27.html](https://www.ajinomoto.co.jp/company/jp/presscenter/press/detail/2023_03_27.html))

減策の実装が必要となる。特に食品・飲料の原材料は、海外からの輸入割合が高く、生産地から食品製造工場までの間には商社やサプライヤーを通すことから個社単独では達成が難しい。このため、企業間連携やサプライチェーン全体を巻き込んだ形で、取り組みガイドランスの作成、効果的な GHG 削減技術(資材など)の開発・実証など、原料調達者と生産地・サプライヤーとの連携・支援が重要となっていこう。

### オプション3:消費者が環境負荷削減自体を価値として認識・行動選択し、対価を負担する

日本において、いかに食における環境負荷削減の価値を消費者が認識し、行動変容を促すか、という点について検討したい。

4章では、過剰な牛肉シフトを抑制することが環境負荷削減に一定寄与することについて述べたが、実は、欧州では食料システム、とりわけ牛肉の環境負荷に関する議論が活発化している。例えば、ドイツなどでは肉税が検討・提案されたこともあり、このことが肉食の健康面・環境面デメリットに関する認知の広がりを助け、先進的な消費者が行動した結果、一般的な消費者にまで顧客層を広げて、プラントベース市場が拡大したといわれている。

他方、日本では、食料システムの環境負荷に関する議論はそれほど活発化しているとはいえず、プラントベース市場の拡大など、消費者行動にもそれほど現れていない。しかし、そもそも日本は従来、牛肉・ないし肉の構成比率は低く、魚、卵、乳、大豆含め多様なタンパク源を摂取している。近年は、価格や簡便化志向で肉食傾向に偏りつつあり、実際に肉の国内消費仕向量が増加傾向だ。

従前から多様なタンパク源摂取のありかたが食卓・食文化に根付いていて、GHG 排出の面ではよい食構成をしている日本では、消費者に対して罰則を与えたり、デメリットを強調したりすることで強く行動変容を促すやり方は必ずしも適していないのではないだろうか。むしろ、食生活と環境・自分自身の健康や自己実現(美容・身体づくり・スポーツ・パフォーマンスなど)といったメリットの関係性を見える化・周知し、“ウェルビーイング起点”でのコミュニケーションによる意識づけを行うことで、行動変容が起すのに効果的だと考えられる。

環境+自分自身の健康や自己実現に資する情報の提供は、モノに対する「対価」の支払いにもつながる。

これまで、生産現場におけるイノベーション実装には、補助金など公的インセンティブにより進められてきた。食品製造業や流通業など民間企業からのコスト負担にも限界がある。その中において消費者行動は重要だが、消費者は一般的には事業者と比較してリーチ可能な情報量・質に格差があり、対価支払いの判断に資する情報が十分に届いていない状況だ。

名目国内総生産(GDP)の 50%以上を占める家計消費の当事者である消費者は、本来は社会を構成する重要なステークホルダーであり、その行動が社会に大きな影響を与える存在である。消費者への情報提供・情報共有により、消費者および炭素クレジット制度などで食関連以外の企業を巻き込むことで、生産現場におけるイノベーション実装への対価・動機づけを強化できる。これにより、公的インセンティブへの依存度は低下し、民間投資により、これまでより積極的な技術の研究・実証なども促進される可能性がある。

### 次世代タンパク イノベーション～日本の技術が取りうるポジショニングとは～

最後に、“次世代タンパク”について、今後の日本発の技術の展開可能性も交えて触れておきたい。

代替肉のうち、特に培養肉は、社会受容性の面で課題がある。研究開発段階から産官学が一体となり、技術的な理解促進、安全性評価、食品関連法などにおける細胞培養食品の定義・ルール形成に向けて早期に動き出すことが極めて重要となるだろう。また、個人の嗜好に合わせて、識別と選択が可能な形を作ることも重要だ。

大豆ミートなどの植物性代替肉では、もともとビーガンやベジタリアンが多く、健康と肉摂取の関係性にも関心が高い欧米での市場形成が進んでいる。他方で、肉の食味・食感に近づけるための添加物の問題など、負の側面も指摘されている。大豆食文化が根付く背景から食品加工製造業や研究機関に蓄積された大豆加工技術を、植物性肉や植物性乳の食味・食感向上に活かし、「世界の植物性肉・乳をもっとおいしく、安全に」する部分は、日本企業が競争優位性を持ちうる領域である。

4章では、食料需要増に対して、できるだけ今現在の食構成(牛肉、豚肉、鳥肉、魚、卵、乳など)の多様性を維持することが環境負荷削減のために重要であることを述べた。

その中で、世界的にも今後需要が増える“魚”の生産量と消費量をいかに増やし安定的なものとするかがキーの一つになる。しかし、水産資源管理の観点で漁獲量には制約があり、水産資源へのアクセス状況には国・エリアにより差異が大きい。海面養殖による環境汚染も問題になっているなか、注目されているのは「陸上養殖」だ。日本は古来、魚食文化があり、海面・内水面養殖技術の蓄積があるため、陸上養殖における魚種の開発や生産時のエネルギーコスト削減・生産性向上策で海外と比較して競争力を有しうる。

代替肉・陸上養殖の共通項として、生産に係るエネルギー利用による、動力光熱費と CO<sub>2</sub> 排出が大きなボトルネ

ック課題だ。再生可能エネルギー利用やエネルギーマネジメント、また生産性向上に向けた歩留向上・育種、種苗開発技術などが、今後の重要課題となるだろう。

本稿で描いた豊かな食生活と環境の両立に向けては、グローバルに市場展開するか、グローバルな原料調達網を有する商社・食品製造業・流通業などがキープレイヤーになるだろう。課題解決に向けて有望な技術を有する研究機関、スタートアップ、ベンチャー企業は日本国内にも多数存在する。こうした企業群の各社および複数の企業が連携して、この分野へのさらなる投資、研究開発・ビジネス展開、消費者を巻き込んだ取り組み促進が展開されることを期待する。

## 参考資料

各種推計の考え方と方法について以下に掲載する。

### 食料需要の将来推計

#### 対象国

以下の文献・データベースより1990年～2019(2020)年のデータが収集できる168カ国を対象とした。

- ▶ 1人あたりタンパク源の供給量、品目構成比率:FAO FAOSTAT Food Balances (2010-)および Food Balances (-2013, old methodology and population)
- ▶ 1人あたりGDP|PPP・人口:IIASA SSP database
- ▶ 宗教人口構成(2020):Pew Research Center Religious Composition by Country 2010-2050

#### 算定方法(基本的な考え方)

- ① 国別に、以下の考え方でシミュレーションを実施した。
- ② GDPと1人あたり消費仕向量(タンパク源(乳除く)、主食源は全品目合計)との関係性を表す回帰モデルを推定
- ③ GDP将来推計値および①で推定した回帰モデルに基づき、将来の1人あたり消費仕向量を算定
- ④ 人口将来推計および②で算定した1人あたり消費仕向量に基づき、将来の消費仕向量を算定
- ⑤ 品目構成比率および③で算定した全品目の消費仕向量に基づき、品目別の消費仕向量を算定(乳以外)

#### 算定方法(詳細)

タンパク源と主食源について、地域別あるいは国別に需要量のシミュレーションを実施した。

手順の概要を以下に示す。

図表-参1 食料需要の将来推計手順

手順	備考
①GDPと1人あたり消費仕向量との関係性を表す回帰モデルを推定	乳・主食源は、基本的に国別に試算。 タンパク源(乳除く)は、人口累積和で世界人口の70%を占める国(人口9000万人以上)は世界の食料需要への影響が大きいことから個別に推計。その他の国は地域レベルで推計。 ただし、地域の傾向を検討した際、地域の傾向から明らかに逸脱していた国は、国別に試算。なお、ムスリム人口が全人口の50%以上を占める国は、同一地域に属する他国と比較してタンパク源消費の傾向が異なると考えられるため、ムスリム地域としてまとめて推計。 供給量データは1990年～2020年の取得可能なデータを使用。2020年のデータが無い場合には、2019年のデータで代用。
① GDP将来推計値および①に基づき、将来の1人あたり消費仕向量を算定	手順①でモデルを推定した地域別あるいは国別に試算。 手順①で算出した決定係数(R <sup>2</sup> )が0.5未満のモデルは、予測式の精度が低いものと判断し、過去の1人あたりタンパク源の供給量の平均値を将来の1人あたりタンパク源の供給量の予測値として設定。
② 人口将来推計値および②に基づき、将来の消費仕向量を算定	手順①でモデルを推定した地域別あるいは国別に試算。
④品目構成比率および③で算定した全品目の消費仕向量合計に基づき、品目別の消費仕向量を算定	手順①でモデルを推定した地域別あるいは国別に試算。 タンパク源(乳除く)、主食源は、過去の品目構成比率の平均値を、将来の品目構成比率の予測値として設定。

## 食料需要に紐づく環境負荷の将来推計

### 対象国

食料需要の将来推計対象国(168 カ国)

### 算定方法(基本的な考え方)

GHG 排出量、土地利用面積、淡水利用量の3つの環境負荷を対象に推計した。

- ① 食料需要の将来推計の基本単位(収穫・枝肉・生体重1kg)あたりの GHG 排出量、土地利用面積、淡水利用量(原単位)を既往文献に基づき整理(図表 1-3)
- ② ①と食料需要の将来推計に基づき、食料需要に紐づく GHG 排出量、土地利用面積、淡水利用量を推計

### 算定方法(詳細)

①の原単位を品目別に以下の通り整理した。

#### ◆タンパク源(水産物除く)、主食源

1. Poore and Nemecek(2018)より可食部1kg あたり GHG 排出量、土地利用面積、淡水利用量を引用
2. Poore and Nemecek(2018)より FAO Food balance sheets の重量(収穫重量、枝肉重)あたりの可食部重量の含有率を引用
3. 1および2の結果に基づき、収穫重量、枝肉重1kg あたりの GHG 排出量、土地利用面積、淡水利用量を算定

#### ◆タンパク源(水産物)

1. Gephart,ら(2021)より、魚種・生産方式(養殖・漁獲)別に生体重1kgあたりの GHG 排出量を引用
2. 1 の魚種・生産方式(養殖・漁獲)と本シミュレーションの分析品目区分(淡水魚、底魚、遠海魚、その他の海水魚、甲殻類、頭足類、その他の軟体動物、その他の水生動物)との対応を設定(MRI 仮定)
3. 2で設定した本シミュレーションの分析品目区分ごとに、1の生体重 1kg あたり GHG 排出量の平均値を算定(1つの分析品目区分に対応する魚種・生産方式が同じ割合で含まれると仮定)

## タンパク質摂取基準を満たす国数の推移

### 対象国

食料需要の将来推計対象国(168 カ国)

### 算定方法

1. 体重 1kg あたりタンパク質摂取必要量(0.83g/日)および世界の成人平均体重 62kg に基づき 1 人あたりタンパク質摂取基準(kg/年)を算定
2. FAO FAOSTAT Food Balances に基づきタンパク源の枝肉重・生体重に占めるタンパク質含有率を算定
3. 食料需要の将来推計で算定したタンパク源の枝肉重・生体重および 2 に基づき、タンパク質摂取量を算定
4. 人口将来推計および3に基づき、1人あたりタンパク質摂取量を算定
5. 1と4を比較し、タンパク質摂取基準を満たしている国数を集計



## 国内消費分の畜産物生産にかかるサプライチェーン全体での GHG 排出量

2 章で“国内消費分の畜産物生産に関わる飼料作物生産、化学肥料製造、配合飼料生産、農機・畜舎設備のエネルギー使用などの GHG 排出量合計値は、家畜や排せつ物由来の排出量の 2 倍以上となる”と説明した部分の詳細は、以下のとおり。

図表-参 2 畜産物生産に関わる GHG 排出要因

GHG 排出要因	GHG 排出量 [Mt- CO <sub>2</sub> eq.]
(1) 化学肥料製造	6.61
(2) 飼料作物生産	23.37
(3) 配合飼料生産	0.65
(4) 農場でのエネルギー使用	18.73
(5) 消化管内発酵	12.41
(6) 排せつ物処理	9.88

出所：各種文献に基づき三菱総合研究所作成

### 担当者

山本奈々絵、木村元則、堀留千恵子、岸紘平、安川夏子、木附誠一、稲垣公雄

### 本件に関するお問い合わせ先

株式会社三菱総合研究所  
〒100-8141 東京都千代田区永田町二丁目 10 番 3 号

【内容に関するお問い合わせ】  
政策・経済センター  
電話：03-6858-2717 メール：pecgroup@mri.co.jp

【報道機関からのお問い合わせ】  
広報部  
メール：media@mri.co.jp