

2021 年度 博士論文

**ライフサイクル思考に基づく  
食品の環境・健康影響評価**

Environment and health related impact assessment for food considering  
lifecycle perspective

東京都市大学 大学院 環境情報学研究科 環境情報学専攻

**中村 恵治**

1993103



博士論文  
ライフサイクル思考に基づく食品の環境・健康影響評価  
Environment and health related impact assessment for food considering lifecycle  
perspective

<b>第1章</b>	序論	1
1.1	社会背景	1
1.1.1	SDGs	1
1.1.2	食品による環境影響	2
1.1.2.1	気候変動	2
1.1.2.2	食品によるGHG排出	2
1.1.2.3	食品による水の環境影響	4
1.1.3	日本人の食事・栄養に関する健康課題	5
1.2	研究背景	7
1.2.1	ライフサイクルアセスメント	7
1.2.2	食品における環境影響の先行研究	8
1.2.2.1	畜産物に関する先行研究	8
1.2.2.2	農産物に関する先行研究	10
1.2.3	食品に関する環境と健康の影響に関する先行研究	11
1.3	まとめ	12
	参考文献	16
<b>第2章</b>	研究目的	20
2.1	研究目的	20
2.2	本研究の構造	22
<b>第3章</b>	養豚飼料の違いによるカーボン・ウォーターフットプリント評価	23
3.1	算定対象	23
3.2	算定方法	26
3.2.1	カーボンフットプリント	26
3.2.2	ウォーターフットプリント（水消費、WSFP）	27
3.2.3	ウォーターフットプリント（富栄養化、WNFP）	29
3.3	結果と考察	29
3.3.1	カーボンフットプリント	29
3.3.2	ウォーターフットプリント（水消費）	31
3.3.3	ウォーターフットプリント（富栄養化）	34
3.3.4	日本の低たんぱく質飼料の活用による環境負荷低減の推算	35
3.4	まとめ	35

参考文献.....	37
<b>第4章</b> 非可食バイオマスを原料としたグルタミン酸ナトリウムの LCA.....	39
4.1 算定対象.....	39
4.2 算定方法.....	42
4.2.1 カーボンフットプリント.....	42
4.2.2 ウォーターフットプリント.....	42
4.2.3 大気汚染フットプリント.....	43
4.2.4 影響評価.....	43
4.3 結果.....	44
4.3.1 カーボンフットプリント.....	44
4.3.2 ウォーターフットプリント.....	47
4.3.3 大気汚染フットプリント.....	48
4.3.4 影響評価.....	49
4.3.5 主原料の考察.....	50
4.4 まとめ.....	51
参考文献.....	53
<b>第5章</b> 日本人向け減塩献立の環境と健康の影響評価.....	55
5.1 方法.....	55
5.1.1 比較する献立のシナリオ作成.....	55
5.1.2 環境影響評価.....	57
5.1.2.1 Mid-point 評価.....	58
5.1.2.2 End-point 評価.....	59
5.1.3 健康影響評価.....	59
5.1.3.1 塩分摂取量による健康影響.....	59
5.1.3.2 減塩による健康影響の削減量.....	59
5.1.4 総合的な影響評価.....	60
5.2 結果.....	60
5.2.1 環境影響の評価.....	60
5.2.2 健康影響の評価.....	64
5.2.3 総合的な影響評価.....	66
5.3 考察.....	67
5.3.1 食形態（和風・洋風）による比較.....	67
5.3.1.1 影響評価.....	67
5.3.1.2 環境影響.....	68
5.3.2 先行研究比較.....	70
5.3.3 朝食・昼食・夕食による比較.....	71

5.4	まとめ .....	72
	参考文献.....	74
<b>第6章</b>	<b>結論 .....</b>	<b>76</b>
6.1	本研究の成果 .....	76
6.2	政策への提言 .....	77
6.2.1	飼料登録法の提案.....	77
6.2.2	サステナブル製品生産者の法人税減税の提案 .....	78
6.2.3	食塩税の提案 .....	78
6.3	今後の課題 .....	79
	謝辞 .....	81
	付録 .....	82
付録 1	養豚飼料の配合比較 .....	82
付録 2	養豚飼料のカーボンフットプリント CFP 比較 .....	83
付録 3	養豚飼料のウォーターフットプリント（水消費）WSFP 比較.....	84
付録 4	養豚飼料のウォーターフットプリント（富栄養化）WNFP 比較 .....	85
付録 5	一週間のモデル献立の詳細（塩分摂取量の（ ）内は減塩献立の値を示す）	86
付録 6	2つの献立における各食事の原材料の気候変動[kg-CO <sub>2</sub> ].....	89
付録 7	各食事の調理の気候変動[kg-CO <sub>2</sub> ].....	90
付録 8	2つの献立における各食事の原材料の水消費[m <sup>3</sup> ] .....	91
付録 9	各食事の調理の水消費[m <sup>3</sup> ] .....	92
付録 10	2つの献立における各食事の原材料の気候変動[DALYs] .....	93
付録 11	各食事の調理の気候変動[DALYs] .....	94
付録 12	2つの献立における各食事の原材料の水消費[DALYs] .....	95
付録 13	各食事の調理の水消費[DALYs].....	96
付録 14	2つの献立における各食事の塩分摂取量の人間健康[DALYs].....	97
付録 15	2つの献立における各食事の統合した人間健康の影響評価[DALYs] .....	98

## 目次

図 1.1.1	SDGs ポスター <sup>1)</sup> .....	1
図 1.1.2	SPM.1：世界の気温変化の歴史と近年の昇温の原因 <sup>6)</sup> .....	2
図 1.1.3	我が国の温室効果ガス排出動向 <sup>8)</sup> .....	3
図 1.1.4	農林水産分野の温室効果ガス排出の現状(令和元(2019)年度) <sup>8)</sup> .....	3
図 1.1.5	全国の水使用量 <sup>11)</sup> .....	5
図 1.1.6	平均寿命の推移 <sup>12)</sup> .....	6
図 1.1.7	健康寿命と平均寿命の推移 <sup>12)</sup> .....	6
図 1.1.8	日本の人口構造 <sup>13)</sup> .....	7
図 1.2.1	各地域の主要国の食事リスク順位 <sup>14)</sup> .....	11
図 2.2.1	本論文の構成 .....	22
図 3.1.1	アミノ酸における桶の理論 .....	24
図 3.1.2	システム境界 .....	25
図 3.3.1	低たんぱく質飼料と慣用飼料のカーボンフットプリントの比較 .....	30
図 3.3.2	低たんぱく質飼料と慣用飼料のカーボンフットプリントの原料に関する比較 .....	31
図 3.3.3	低たんぱく質飼料と慣用飼料のウォーターフットプリント(水消費量)の比較 .....	32
図 3.3.4	低たんぱく質飼料と慣用飼料の雨水・河川水・地下水のウォーターフットプリントの比較 .....	33
図 3.3.5	低たんぱく質飼料と慣用飼料のウォーターフットプリント(水消費量)の原料に関する比較 .....	33
図 3.3.6	低たんぱく質飼料と慣用飼料のウォーターフットプリント(富栄養化)比較 .....	34
図 4.1.1	システム境界 .....	40
図 4.1.2	非可食バイオマスから MSG 生産の化学イメージ .....	41
図 4.3.1	非可食バイオマス原料の場合とタピオカスターチ原料の場合の CFP の比較 .....	44
図 4.3.2	原料段階の内訳 .....	45
図 4.3.3	副原料の内訳 .....	45
図 4.3.4	生産段階の内訳 .....	46
図 4.3.5	非可食バイオマス原料の場合とタピオカスターチ原料の場合の WSFP の比較 .....	48
図 4.3.6	可食バイオマス原料の場合とタピオカスターチ原料の場合の雨水・河川水・地下水別の WFP の内訳 .....	48

図 4.3.7	非可食バイオマス原料の場合とタピオカスターチ原料の場合の ApFP の比較.....	49
図 4.3.8	3つのマルチクライテリアを DALYs で統合した影響評価の比較 .....	50
図 4.3.9	非可食バイオマスの場合とタピオカスターチ場合に関する CFP・WSFP・ApFP の原料段階の比較分析 .....	51
図 5.2.1	食形態（和風・洋風）に関するモデル献立と減塩献立の気候変動の比較	62
図 5.2.2	朝食・昼食・夕食に関するモデル献立と減塩献立の気候変動の比較.....	63
図 5.2.3	食形態（和風・洋風）に関するモデル献立と減塩献立の水消費の比較....	63
図 5.2.4	朝食・昼食・夕食に関するモデル献立と減塩献立の水消費の比較 .....	64
図 5.2.5	食形態（和風／洋風）におけるモデル献立と減塩献立の塩分摂取量比較	65
図 5.2.6	朝食・昼食・夕食にけるモデル献立と減塩献立の塩分摂取量比較 .....	65
図 5.2.7	日本人の塩分摂取源の配分 .....	66
図 5.2.8	一日のモデル献立と減塩献立の影響評価.....	67
図 5.3.1	食形態（和風／洋風）と献立ごとの原材料－調理－健康影響の比較.....	68
図 5.3.2	食形態（和風／洋風）における原材料の気候変動・水消費に関する影響評価の結果 .....	69
図 5.3.3	1食ごとにおける原材料の気候変動・水消費に関する影響評価の結果.....	70
図 5.3.4	朝食・昼食・夕食に関するカロリーの比較 .....	72
図 5.3.5	朝食・昼食・夕食に関する影響評価の比較 .....	72

## 表目次

表 1.2.1	MacClelland ら <sup>22)</sup> による畜産物に関するシステムチェックレビュー結果	8
表 1.2.2	Andretta ら <sup>23)</sup> による畜産物に関するシステムチェックレビュー結果	9
表 1.2.3	Alhashim ら <sup>28)</sup> によるレビューの結果	10
表 3.1.1	フランスにおいて想定される慣用飼料配合例と低たんぱく質飼料配合例	24
表 3.2.1	低たんぱく質飼料およびその糞尿関連の削減率	28
表 4.1.1	非可食バイオマスの場合とタピオカスターチの場合の原料・副原料の投入重量配分	41
表 4.3.1	非可食バイオマスの農業段階における先行研究との比較	46
表 5.1.1	一週間のモデル献立（塩分摂取量の( )内は減塩献立の値を示す）	56
表 5.1.2	減塩の風味調味料の生産投入概要比率	58
表 5.1.3	塩分摂取量と関連 3 疾患の先行研究の DALYs 結果を基にしたモンテカルロシミュレーションによる平均値	60
表 5.2.1	モデル献立と減塩献立に関する気候変動と水消費の環境影響の評価結果	61
表 5.2.2	モデル献立と減塩献立における塩分摂取量と健康影響の削減値	65
表 5.2.3	モデル献立と減塩献立の総合的な影響評価の結果	66
表 5.3.1	本研究と先行研究における原材料の気候変動[t-CO <sub>2</sub> e/年] の比較	71
表 6.2.1	標準調味料と減塩調味料の価格比較（価格.com、楽天より）	78

# 第1章 序論

## 1.1 社会背景

### 1.1.1 SDGs

持続可能な開発目標（Sustainable Development Goals: SDGs）<sup>1)</sup>は、ミレニアム開発目標（MDGs）の後継として、2015年9月の国連サミットで加盟国の全会一致で採択された2030年までに持続可能でより良い世界を目指す国際目標である。

MDGs<sup>2)</sup>の残された課題（例:保健、教育）や新たに顕在化した課題（例:環境、格差拡大）に対応すべく、17のゴール・169のターゲットから構成され、地球上の「誰一人取り残さない（leave no one behind）」ことを誓っている。



図 1.1.1 SDGs ポスター<sup>1)</sup>

日本政府<sup>3)</sup>は、国際社会の議論が本格化する前から、MDGs フォローアップ会合の開催や非公式な政策対話（コンタクト・グループ）の主催、国連総会サイドイベントの開催、第3回国連防災世界会議の開催等を通じて、真に効果的な新しいアジェンダの策定を主導し、政府間交渉にも積極的に参加してきた。その結果、今回採択されたアジェンダには、人間中心（people-centered）、誰一人取り残されない（no one will be left behind）など、我が国が重視する人間の安全保障の理念を反映した考え方や、グローバル・パートナーシップ、女性・保健・教育・防災・質の高い成長等、我が国が重視してきた要素や取組が盛り込まれた。このような政府の賢明な取り組みが実を結ぶよう内閣府に SDGs 推進本部<sup>4)</sup>

が設置され、毎年度 SDGs アクションプランが策定されている。2021 年度のプランは、コロナ禍を受けて「誰の健康も取り残さない」という考えと、経済と環境の好循環を掲げてグリーン社会の実現に最大限注力していくプランがたてられた。また 2021 年 12 月に開催される東京栄養サミットにて、健康・長寿社会の達成のため栄養改善の推進が議論される。

MDGs で残された課題と新たに顕在化した課題を解決し持続可能とすべく、環境（気候変動：SDGs13・海：SDGs14・陸：SDGs15）と健康：SDGs3 を両立させるため、食品（食事）に焦点を当てて研究し政策提言することは重要である。

## 1.1.2 食品による環境影響

### 1.1.2.1 気候変動

2015 年にパリで開かれた、温室効果ガス削減に関する国際的取り決めに話し合う「国連気候変動枠組条約締約国会議(通称 COP)」にて、世界の平均気温上昇を産業革命前と比較して、2°Cより充分低く抑え、1.5°Cに抑える努力を追求することを目的としたパリ協定<sup>5)</sup>が合意された。

2021 年 8 月に発行された IPCC 第 6 次報告書<sup>6)</sup>では、温暖化していることは疑う余地がなく、2030 年代始め頃までに 1.5°Cを超える可能性が言及されている。パリ協定の目標達成は極めて困難であり、地球が 1.5°C温暖化した場合、アフリカとアジアのほとんどの地域で大雨と洪水の激化が懸念されるため、GHG 排出量を実質ゼロにする必要性が報告された。

#### 1850～1900年に対する世界平均気温の変化

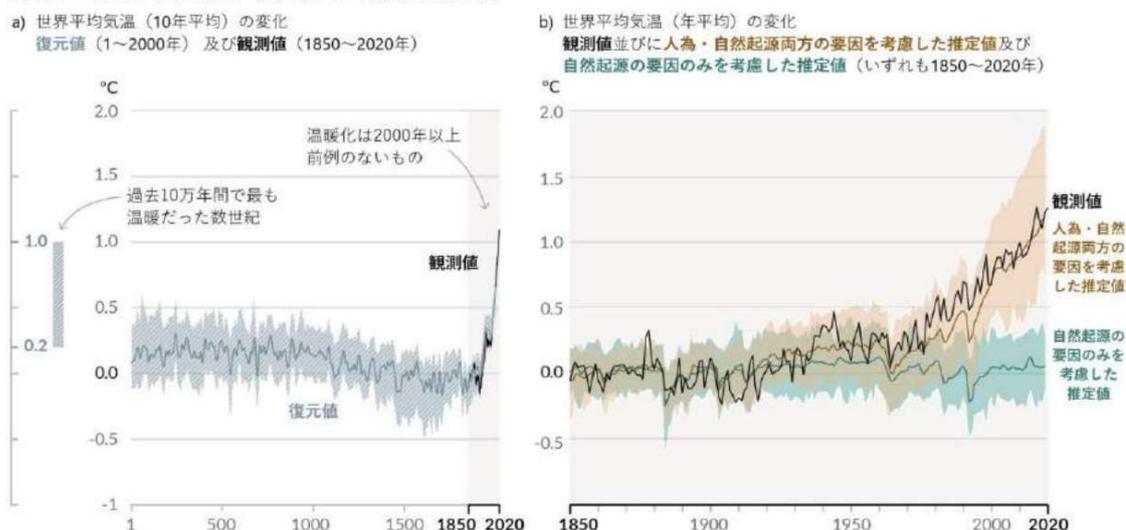


図 1.1.2 SPM.1：世界の気温変化の歴史と近年の昇温の原因<sup>6)</sup>

### 1.1.2.2 食品による GHG 排出

世界の農畜産業は、17.3 billion [t-CO<sub>2</sub>e]の GHG を排出し、全体の 1 / 3 を占めている。そのうち、食用の畜産物によるものが 57%を占め、食用の農産物によるものが 29%

を、残りの14%が綿・ゴムなどのその他の農産物が占める<sup>7)</sup>。日本のGHG排出量については、フードシステムすべての網羅ではないが食品飲料製造業・農林水産業から70million [t-CO<sub>2</sub>e]排出し、約6%を占めている<sup>8)</sup>。その農林水産業の約4%の内訳は、燃料燃焼33%・稲作25%・家畜の消化管内発酵(げっぷ)や排せつ物からの排出が29%となっている<sup>8)</sup>。食品飲料製造業における設備衛生管理の熱殺菌の燃料源や農林水産業における農耕機具の燃料源の転換は難しいものがあるが、それらは電熱・電動化や水素化などの技術革新により新技術導入が期待できる。稲作からのメタン排出はその生育過程で避けることは難しい。家畜の排せつ物は飼料の改善により削減できることが分かっている。気候変動を緩和させ気候変動：SDGs13を達成するため、人の生活に欠かせない食品からのGHG排出量も減らす必要がある。



注: 「食品飲料製造業」は温室効果ガスのうち、二酸化炭素のみの数値

図 1.1.3 我が国の温室効果ガス排出動向<sup>8)</sup>

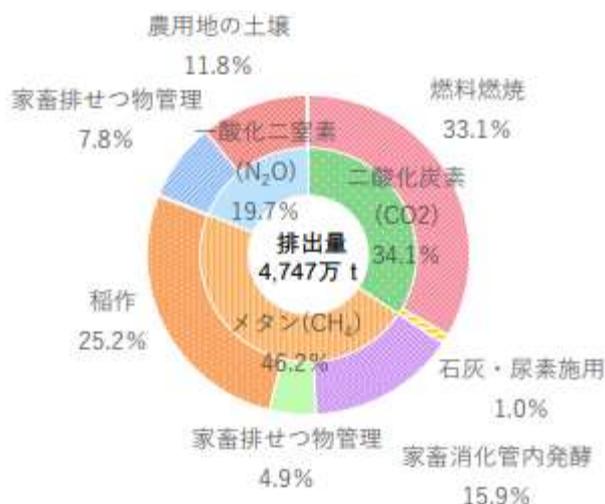


図 1.1.4 農林水産分野の温室効果ガス排出の現状(令和元(2019)年度)<sup>8)</sup>

日本は、南北に細長い島国で畜産業に適する広い平野が多くないため、魚介類や野菜が

中心の食事が伝統的にとられている。日本人は、たんぱく質源として大豆など植物性たんぱく質の摂取が多い。日本人の食肉からのたんぱく質の摂取量は、1970年に4.62[g/人/日]が1980年に8.93[g/人/日]、1990年に12.21[g/人/日]、2000年に14.67[g/人/日]、2013年は16.14[g/人/日]と増えてきている<sup>9)</sup>。対して欧米の多くの国は、広い平野が多く畜産業が盛んであり、伝統的に肉からのたんぱく質摂取が中心となっている（フランスの2013年は26.85[g/人/日]）。日本ではこの40年ほど前から肉の摂取量が増え始めたので、畜産業および畜産技術は欧米と比べて遅れている。その一つとして日本では、いまだに穀物中心の大量の飼料を与える飼育が多くされている。それら飼料のベースとなる穀物は、欧米からの輸入に頼っており、間接的に欧米の環境負荷を増やすとともに家畜の糞尿による環境負荷も増やしている。対して欧米では、長く畜産業が栄えており、その生産性は日本よりはるかに高い。家畜飼育の生産性において重要な一つの要素は、吸収されやすく最適な栄養バランスの低たんぱく質飼料で飼育し、併せて糞尿を減らすことである。欧米はこの取り組みにより生産性高く良質な家畜肉を出荷している。この飼育方法は、経済的メリットがあるだけでなく、飼料のベースとなる穀物量の最適化により穀物栽培および家畜の糞尿からの環境負荷も軽減するメリットがある。その影響度の定量化を通じて日本の食糧政策へGHG排出削減の提案を行うことは、気候変動：SDGs13達成に向け重要である。

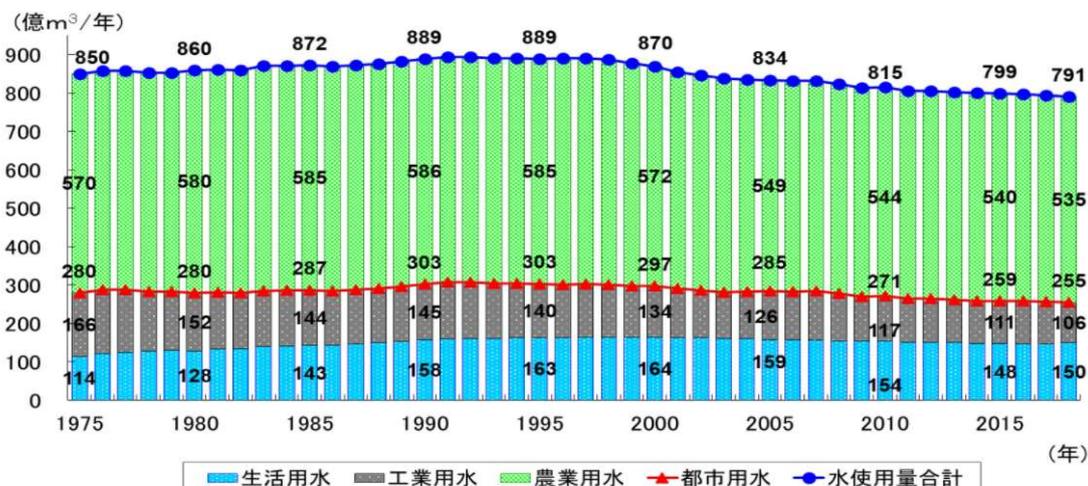
### 1.1.2.3 食品による水の環境影響

淡水は地球上の水の2.5%しかなく、栽培された農作物はロスなく消費されることが望ましい。たとえば、欧州地域の人の生活におけるウォーターフットプリント856kilo [m<sup>3</sup>]のうち、畜産物における割合は46%の397kilo [m<sup>3</sup>]と高い割合である<sup>10)</sup>。日本の水使用量のうち、農作物栽培のための農業用水使用割合は、65%である<sup>11)</sup>。

世界では人の消費のために生産された食糧の約1/3がフードロスとなっており、問題視されている。人によるフードロスだけでなく、畜産における飼料の非効率、すなわち畜産でもフードロスが起きている。豚を180日程度で出荷に必要な体重に育てるよう、日本では穀物中心の飼料で飼育している。しかし穀物中心の飼料飼育は、豚に吸収されない過剰の飼料穀物を与えることが多く、それら吸収されない飼料穀物は糞尿として排泄され、その温室効果ガスが気候変動の原因の一つとなっている。また飼料穀物を育てるために使われた淡水も無駄にしている。日本の飼料穀物はほとんどが輸入しており、輸入先の国の淡水を無駄に消費したことになる。欧米では畜産の工業化が進んでおり、アミノ酸のサプリメントを効率的に使用し、飼育スピードと排せつ物量とコストの最適化が図られている。よって、ライフサイクル視点で養豚飼育における水消費を定量化し、日本の食糧政策へ水消費の適切化の提案を行うことは、海：SDGs14達成に向け重要である。

農作物の非可食部は廃棄されている。非可食部は、セルロース=グルコース重合体であるので、重合を切りグルコースとするとバイオマス燃料や糖源食糧にすることができ、栽培された農作物を余すところなく使用できる。このイノベーションを推進することは、海：

SDGs14 達成に向け重要である。

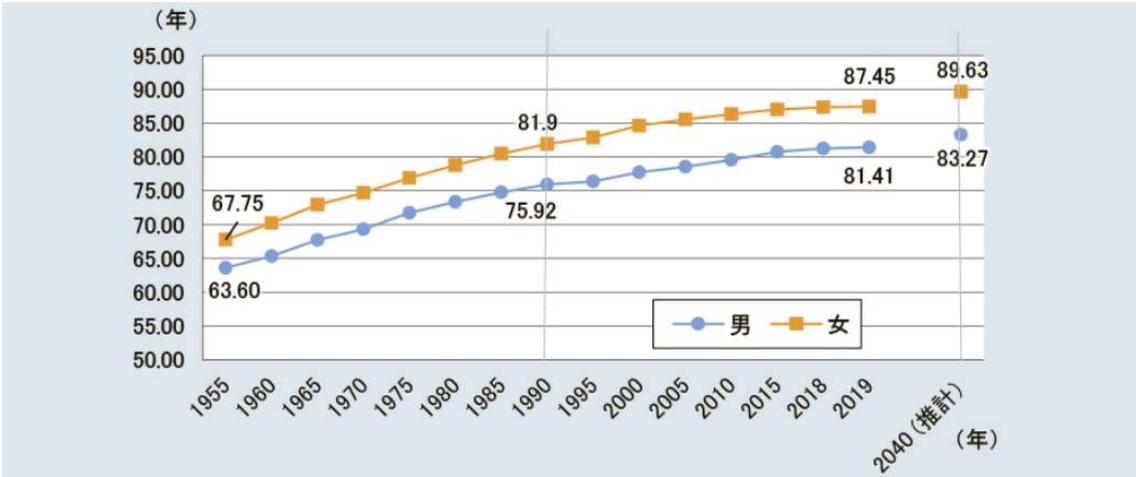


(注) 1. 国土交通省水資源部の推計による取水量ベースの値であり、使用後再び河川等へ還元される水量も含む。  
 2. 工業用水は従業員4人以上の事業所を対象とし、淡水補給量である。ただし、公益事業において使用された水は含まない。  
 3. 農業用水については、1981～1982年値は1980年の値を、1984～1988年値は1983年の値を、1990～1993年値は1989年の値を用いている。  
 4. 四捨五入の関係で合計が合わないことがある。

図 1.1.5 全国の水使用量<sup>11)</sup>

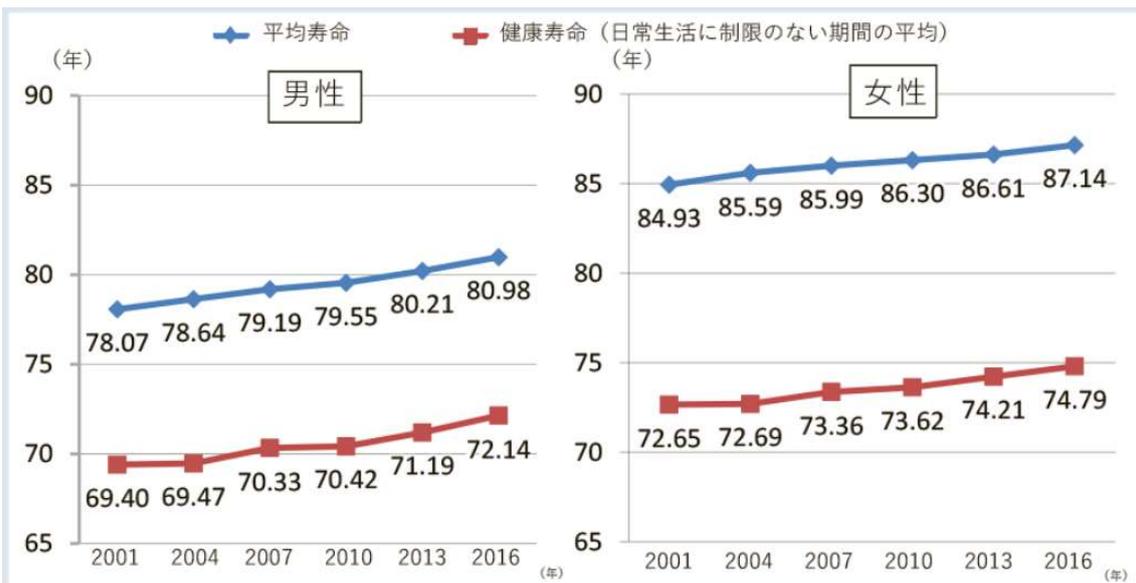
### 1.1.3 日本人の食事・栄養に関する健康課題

日本人の平均寿命は、2001年時点で男性：約78歳／女性：約85歳、2010年時点で男性：約80歳／女性：約86歳である<sup>12)</sup>。健康寿命は、2001年時点で男性：約69歳／女性：約73歳、2010年時点で男性：約70歳／女性：約74歳である<sup>12)</sup>。健康寿命と平均寿命の差は10歳以上の開きがある。人口は、2000～2010年：微増、2010～2020年：微減、2030年以降：減少と予想されている<sup>13)</sup>。出生数は1973年を境に減少を続けて2016年以降100万人／年を下回っている<sup>13)</sup>。よって、高齢者率は20%＝2005年、25%＝2013年、30%＝2024年となり、65歳以上の人口割合が増え、高齢化社会はますます進む<sup>13)</sup>。平均寿命と健康寿命の差である健康損失と医療費は関係しており、人口動態の変化による高齢化は生産年齢人口の医療費負担の増加が懸念される。健康寿命の延伸が図れない場合、高齢化の進展により生産年齢人口(15～64歳)による医療費負担は膨らむ。



資料：2019年までは厚生労働省政策統括官付参事官付人口動態・保健社会統計室「令和元年簡易生命表」、2040年は国立社会保障・人口問題研究所「日本の将来推計人口（平成29年推計）」における出生中位・死亡中位推計。

図 1.1.6 平均寿命の推移<sup>12)</sup>



資料：平均寿命については、2010年につき厚生労働省政策統括官付参事官付人口動態・保健社会統計室「完全生命表」、他の年につき「簡易生命表」、健康寿命については厚生労働省政策統括官付参事官付人口動態・保健社会統計室「簡易生命表」、「人口動態統計」、厚生労働省政策統括官付参事官付世帯統計室「国民生活基礎調査」、総務省統計局「人口推計」より算出。

図 1.1.7 健康寿命と平均寿命の推移<sup>12)</sup>

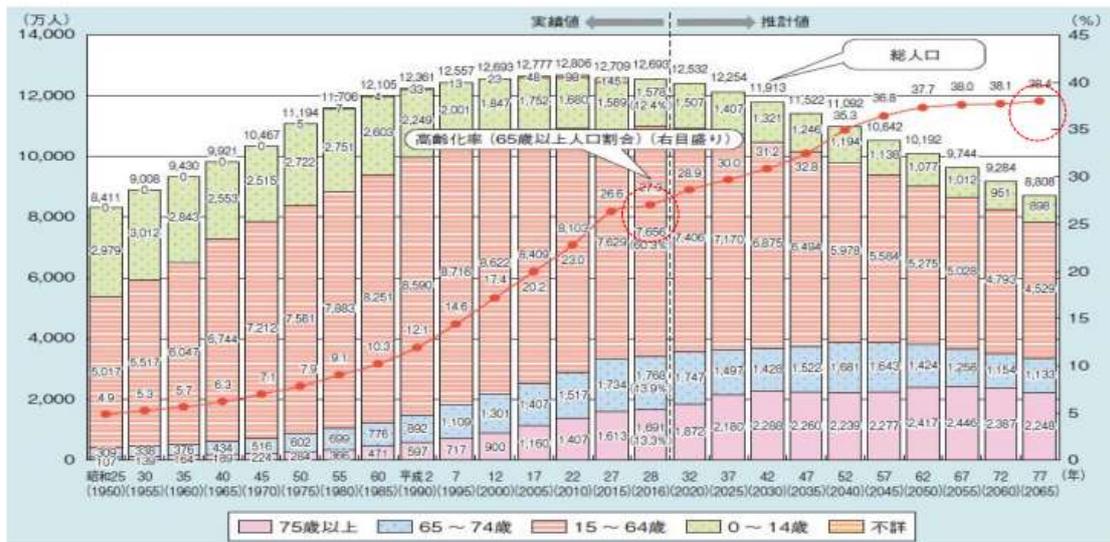


図 1.1.8 日本の人口構造<sup>13)</sup>

日本人の健康を損失している一つ生活習慣病は、食事・栄養のアンバランスが起因している<sup>14)</sup>。厚生労働省は、日本人の食事摂取基準において塩分の過剰摂取が生活習慣病の原因の一つとしている<sup>14)</sup>。また Global Burden Disease (GBD)<sup>15)</sup>において、15の食事リスクのうち日本人の最上位のリスクは過剰塩分摂取となっており、生活習慣病の原因と同じである。日本人の現在の塩分摂取量平均は約 10[g/人/日]であり、健康日本 21 目標の 8[g/人/日]<sup>16)</sup>や WHO 目標の 5[g/人/日]<sup>17)</sup>とはギャップがあり、減塩に取り組む必要がある。食品(食事)・栄養に焦点を当てて健康を検討し、政策提言していくことは健康：SDGs3 達成に向けて重要である。

## 1.2 研究背景

### 1.2.1 ライフサイクルアセスメント

環境負荷を定量的に評価する手法として、ライフサイクルアセスメント (LCA: Life Cycle Assessment) 手法<sup>18)</sup>がある。LCA とは食品(食事)を構成する農畜産物の栽培・飼育から収穫・輸送、製品製造・調理、消費、包材の廃棄・リサイクルに至るすべてのライフステージを範囲として、対象が及ぼす環境負荷や環境影響を定量的に評価する手法である。LCA の実施手順と利用上の要件は ISO14040<sup>19)</sup>と ISO14044<sup>20)</sup>において規定されている。

#### (1) 目的と調査範囲の設定

LCA を実施する目的を明確にし、調査範囲を設定する。

#### (2) ライフサイクルインベントリ分析 (LCI: Life Cycle Inventory)

システム境界内におけるプロセスすべての投入量と、各投入物質・プロセスによる環境負荷係数(例えば、CO<sub>2</sub>排出係数、水消費係数)を乗じ、環境負荷ごとに全てを合算し、ライフサイクル全体での環境負荷量を求める。

欧州委員会では、製品・サービスを対象としたライフサイクルインベントリ分析である環境フットプリントについてのガイドライン（“Product Environmental Footprint (PEF) Guide”<sup>21)</sup>）を公開している。この中では、製品やサービスにおける環境フットプリントは、製品やサービスのライフサイクル全体を対象としていること、一つの環境影響だけでなく、複数の環境影響を対象とするマルチクライテリア評価であることと定義している。

### (3) ライフサイクル影響評価（LCIA：Life Cycle Impact Assessment）

ライフサイクルインベントリ分析では、環境負荷ごとの評価にとどまり、各負荷の相対的な影響度合いの把握が難しい。各環境負荷を人間健康や生物多様性など保護対象に焦点を当て、相対的な影響度合いすなわち被害を評価する。結果の表し方は、LCIA手法の中で着目する指標や評価手法により異なる。

## 1.2.2 食品における環境影響の先行研究

食品の環境影響に関して、前述の通り世界の農畜産業のGHG排出は、世界全体の1/3を占めている。その内訳は、畜産物が57%（全体の20%弱）、農産物が29%（全体の10%弱）である<sup>7)</sup>。水消費として取水量において、前述の通り、日本の水使用量のうち農業用水使用割合は65%で、そのほとんどが農産物に使われている<sup>11)</sup>。そこで食品群分類のうち、相対的に環境に大きな影響を与えている畜産物・農産物の先行研究レビューを行った。

### 1.2.2.1 畜産物に関する先行研究

畜産物に関する先行研究の全体像として、MacClellandら<sup>22)</sup>によるシステマチックレビューの結果を表1.2.1に示す。畜産物のLCA先行研究数は、肉牛=34、豚=33、鶏=14で、多くの研究がGHGや富栄養化・資源枯渇などマルチクライテリアについて論じている。Andrettaら<sup>23)</sup>によるシステマチックレビューの結果（表1.2.2）におけるLCA先行研究数は、豚=55、鶏=30ほどあり、GHGや富栄養化・水消費などのマルチクライテリアについて論じているが、日本の養豚に関しては2報と少なく、研究内容もGHGのシングルクライテリアとなっている。

表 1.2.1 MacClellandら<sup>22)</sup>による畜産物に関するシステマチックレビュー結果

	LCA 論文数	GHG	富 栄 養 化	資源枯渇（化石燃 料、電気、水など）	マルチクラ イテリア	End-point 影響評価
肉牛	34	34	14	20	23	4
豚	33	33	28	20	32	
鶏	14	14	11	11	13	

表 1.2.2 Andretta ら<sup>23)</sup>による畜産物に関するシステマチックレビュー結果

	LCA 論文数	GHG	水	富栄養化	日本
豚	55	28	10	42	2
鶏	30	18	0	20	

前述の通り、日本の GHG 排出のうち農林水産業が占める約 4%の内訳は、燃料燃焼 33%・稲作 25%・家畜の消化管内発酵（げっぷ）や排せつ物からの排出 29%となっている<sup>8)</sup>。養豚の排せつ物は飼料の改善により削減できる。養豚に関する LCA の先行研究は、Kool ら<sup>24)</sup>によるオランダ・デンマーク・イギリス・ドイツの慣用と有機飼育の違いによるカーボンフットプリントでは、飼料が 50~60%、糞尿からのメタン排出が 12~17%の環境影響であることが示された。Zhou ら<sup>25)</sup>による中国北部での養豚のカーボンフットプリントでは、飼料穀物への施肥量の適正化や飼料輸送距離・糞尿処理方法変更による削減が提案されている。Miguel ら<sup>26)</sup>によるスペインの養豚産業のウォーターフットプリントでは、2001~2008 年のブルー・グリーン・グレーウォーターフットプリントの推移、各県の水の不足と汚染を解析し、養豚産業の水マネジメントの重要性を指摘している。Sonesson ら<sup>27)</sup>によるスウェーデンのポーク生産システムの LCA では、穀物生産や飼育・糞尿の管理のベストプラクティスの導入による生産性改善で GWP を 21~54%、富栄養化を 14~45%削減できることが示されている。カーボンおよびウォーターはトレードオフの場合があるが、日本の養豚を対象としてマルチクライテリアで評価した研究がない。

前述の通り、この 40 年ほどの日本人の肉の摂取量は増えてきたが、歴史的に長く肉食中心で畜産業が盛んな欧米と比べ、日本の畜産技術は遅れている。日本は広い平野が多くないので、飼料穀物を欧米から輸入し、穀物中心の大量飼料を与える飼育がされている。大量の輸入穀物飼料を使うことは、間接的に欧米の環境負荷を増やすとともに家畜の糞尿による日本の環境負荷も増やしている。対して欧米では、長く畜産業が栄えており、その生産性は日本よりはるかに高い。特にフランスでは、早くから養豚産業が進んでいる。養豚に適した気候のブルターニュ地方に多く農家が集中したため、糞尿の窒素による地下水の汚染が深刻となった。そのため、研究機関が設けられ、糞尿処理に適する排水処理方法や糞尿を減らす飼料の研究が行われた。その結果のひとつとして、栄養素とアミノ酸を加えて穀物量（=たんぱく質）を減らし最適な栄養バランスとする低たんぱく質飼料が開発された。家畜飼育の生産性において重要な一つの要素は、吸収されやすい低たんぱく質飼料で飼育し、併せて糞尿を減らすことである。欧米はこの取り組みにより生産性高く良質な家畜肉を出荷している。この飼育方法は、高い生産性で経済的メリットがあるだけでなく、飼料のベースとなる穀物量の最適化により穀物栽培および家畜の糞尿からの環境負荷も軽減するメリットがある。したがって、日本の畜産業が低たんぱく質飼料に変わる場合、

養豚産業による気候変動・水消費の影響が下げられる。

### 1.2.2.2 農産物に関する先行研究

農産物に関する LCA 先行研究は、Alhashim ら<sup>28)</sup>によるレビューの結果（表 1.2.3）によると、野菜=14、トマト=13、果物=14、穀物=15、シュガービート=3 と、多くの研究が GHG や富栄養化・毒性などマルチクライテリアについて論じている。例えば、Renouf ら<sup>29)</sup>によるオーストラリアのサトウキビの 3 ケースの商流、Dalgaard ら<sup>30)</sup>によるアルゼンチンの大豆かすを中心とした 2 ケースの商流に関する研究では、気候変動・酸性化・富栄養化や水消費・土地利用の環境フットプリントを算定し、環境影響が少ない商流を示している。Romero-Gómez ら<sup>31)</sup>によるチェリートマトの 3 つの栽培形式（グリーンハウス、ビニールハウス、オープン）の研究では、気候変動・酸性化・富栄養化・金属・化石燃料・生態毒性を評価し、グリーンハウスの環境負荷が高いことを示している。Cordes ら<sup>32)</sup>によるチリの有機ブルーベリーに関するカーボンフットプリントでは、肥料による影響が一番大きいことを示している。農産物の栽培において、肥料や施設が気候変動・酸性化・富栄養化・水消費の環境影響を与えることは、数多くの研究から明確である。

表 1.2.3 Alhashim ら<sup>28)</sup>によるレビューの結果

	野菜	トマト	果物	穀物	シュガービート
LCA 論文数	14	13	14	15	3

収穫された農産物の収率ベースだけで環境影響評価するのではなく、収穫後の非可食バイオマス残渣の処理も含めて環境影響評価している先行研究は少ない。例えば Supasri ら<sup>33)</sup>は、タイのトウモロコシの非可食バイオマス（葉茎）の野焼きによる煙害について、ライフサイクルアセスメントで金銭価値として影響評価している。非可食バイオマスは、セルロース（=グルコース（糖）重合体）である。セルロースを分解してグルコースとし、バイオマス燃料やプラスチック原料とする研究は盛んである。例えば、Kumar ら<sup>34)</sup>や Munoz ら<sup>35)</sup>による可食バイオマス燃料や化石燃料と非可食バイオマス燃料のカーボンフットプリント比較、Prasad ら<sup>36)</sup>による有効活用するために非可食バイオマスを前処理する手法などの先行研究がある。食品のための農産物を、その非可食バイオマスも残さずに食品とし、環境負荷低減を提案する先行研究は無い。人体構成の 20%を占めるたんぱく質は、20 種類のアミノ酸で構成されており、アミノ酸は人に必要な摂取要素の一つ（たんぱく源）である。アミノ酸の一種グルタミン酸ナトリウムは、農作物であるサトウキビ・キャッサバ芋などを基にした糖源（グルコース）を原料として発酵法により効率的に生産されている。タイで野焼きによる煙害を引き起こしている稲わら=セルロースを、分解して糖（グルコース）にする技術が研究・開発されている。野焼きされている非可食バイオマスを食品（グルタミン酸ナトリウム）として活用できれば、大気汚染（煙害）を減らすこ

とができる。焼却廃棄されている非可食バイオマスを糖源として食品にする場合、農作物を余すところなく有効活用でき、栽培に使用した水や肥料の無駄もなくなり、気候変動防止や水資源の有効活用にもつながる。米の輸入先のタイの健康影響を防ぐことは、外交面においても重要である。

### 1.2.3 食品に関する環境と健康の影響に関する先行研究

SDGs を達成すべく、環境（気候変動：SDGs13・海：SDGs14・陸：SDGs15）と健康：SDGs3 の両立について考えてみる。GBD<sup>15)</sup>の世界全体の食事リスクは、高い順に、高ナトリウム、低全粒穀物、低果実、低マメ科植物、高赤身肉、低繊維、高トランス脂肪酸、低ナッツ・種子、低野菜、高加工肉、低 PUFA、低オメガ 3、高加糖飲料、低牛乳、低カルシウムとなっている。図 1.2.1 の各地域の主要国の食事リスク順位を見ると、日本、中国、韓国、タイ、インドネシアは高ナトリウムが 1 位であるが、それ以外の国の高ナトリウムの順位は 3 位以下である。厚生労働省は、日本人の食事摂取基準において塩分の過剰摂取が生活習慣病の原因の一つとしている<sup>16)</sup>。現在の塩分摂取量平均は約 10[g/人/日]であり、健康日本 21 目標の 8[g/人/日]<sup>18)</sup>や WHO 目標の 5[g/人/日]<sup>19)</sup>とはギャップがあり、減塩に取り組む必要がある。塩分摂取量を減らす減塩調味料は、通常の調味料に脱塩処理や受容性向上のためのうま味物質の追加がされる。よって減塩調味料のカーボンフットプリントは、標準調味料に比べて高くなる懸念がある。SDGs の環境と健康を両立させるため、食品（食事）における環境と健康の影響評価を研究することは重要である。

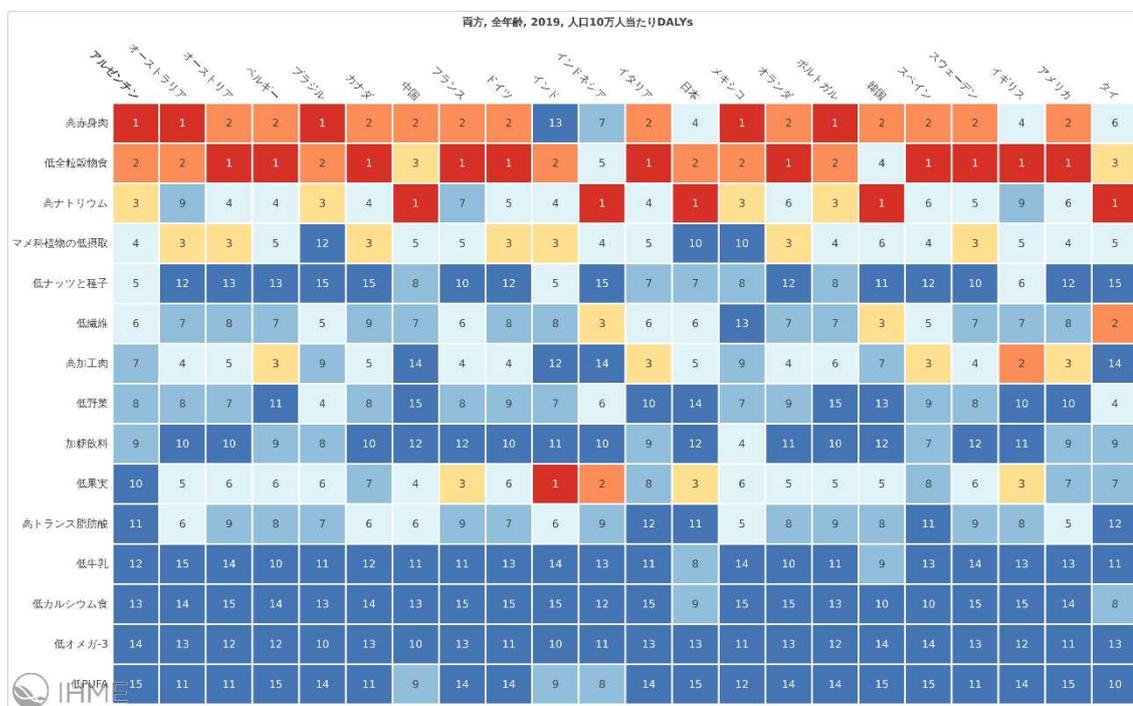


図 1.2.1 各地域の主要国の食事リスク順位<sup>14)</sup>

食品（食事）における環境と健康の先行研究として Guobao ら<sup>37)</sup>は、健康栄養調査結果を基に肉の消費量削減による GHG 排出量削減を提案しているが、健康影響を評価されていない。Kristie ら<sup>38)</sup>は、気候変動と感染症の関連を評価しているが、非感染性疾患との関連性は評価されていない。Springmann ら<sup>39)</sup>は、赤肉削減／果物・野菜増加により、心臓病・脳卒中・ガン・糖尿病における死亡率削減の健康影響と、GHG 排出量削減による環境影響を金銭価値換算し評価しているが、塩分に関する評価はされていない。Nomura ら<sup>40)</sup>による塩分の摂取量と胃ガン・循環器疾患・慢性腎疾患の連関性を DALYs で導出した研究はあるが、環境影響を評価されていない。

### 1.3 まとめ

本章では社会背景および研究背景について述べてきた。これまでの内容を以下にまとめる。

#### ➤ SDGs

MDGs で残された課題と新たに顕在化した課題を解決し持続可能とすべく、環境（気候変動：SDGs13・海：SDGs14・陸：SDGs15）と健康：SDGs3 を両立させるため、食品（食事）に焦点を当てて研究し政策提言することは、SDGs および日本政府の SDGs アクションプラン 2021 の達成に重要である。

#### ➤ 気候変動

パリ協定後の最新の IPCC 第 6 次報告書では、温暖化していることは疑う余地がなく、2030 年代始め頃までに 1.5°C を超える可能性が言及されている。パリ協定の目標達成は極めて困難であり、地球が 1.5°C 温暖化した場合、アフリカとアジアのほとんどの地域で大雨と洪水の激化が懸念されるため、GHG 排出量を実質ゼロにする必要性が報告された。世界の GHG 排出量の 1 / 3 がフードシステムから排出されている。そのうち、食用の畜産物によるものが 57% を占め、食用の農産物によるものが 29% を占める<sup>7)</sup>。日本の GHG 排出量については、食品飲料製造業・農林水産業が約 6% を占めている<sup>8)</sup>。その農林水産業の約 4% の内訳のうち、家畜の消化管内発酵（げっぷ）や排せつ物からの排出が 29% となっている<sup>8)</sup>。養豚の排せつ物は飼料の改善により削減できる。欧米では、長く畜産業が栄えており、吸収されやすく最適な栄養バランスの低たんぱく質飼料で飼育し、併せて糞尿を減らしている。この飼育方法は、経済的メリットがあるだけでなく、飼料のベースとなる穀物量の最適化により穀物栽培および家畜の糞尿からの環境負荷も軽減するメリットがある。日本ではこの 40 年ほど前から肉の摂取量が増え始めたので、畜産技術は欧米と比べて遅れ、いまだに穀物中心の大量の飼料を与える飼育が多くされている。それら飼料のベースとなる穀物は、欧米からの輸入に頼っており、間接的に欧米の環境負荷を増やすとともに家畜の糞尿による環境負荷も増やしている。その影響度の定量化を通じて日本の

食糧政策へ GHG 排出削減の提案を行うことは、気候変動：SDGs13 達成に向け重要である。

#### ➤ 水

淡水は地球上の水の 2.5%でとても貴重である。たとえば、欧州地域の人の生活における畜産物におけるウォーターフットプリント割合は 46%と高い。日本においては、水使用量のうち農畜産業のための農業用水使用割合は 65%と高い。世界では人の消費のために生産された食糧の約 1 / 3 がフードロスとなっている課題がある。日本では畜産業でも飼料の非効率によるフードロスが起きている。豚を 180 日程度で出荷に必要な体重に育てるよう、日本では穀物中心の飼料で飼育している。しかし穀物中心の飼料飼育は、豚に吸収されない過剰の飼料穀物を与えることが多く、それら吸収されない飼料穀物は糞尿として排泄され、その温室効果ガスが気候変動の原因の一つとなっている。また飼料穀物を育てるために使われた淡水も無駄にしている。日本の飼料穀物はほとんどが輸入しており、輸入先の国の淡水を無駄に消費したことになる。よって、ライフサイクル視点で養豚飼育における水消費を定量化し、日本の食糧政策へ水消費の適切化の提案を行うことは、海：SDGs14 達成に向け重要である。

#### ➤ 日本人の食事・栄養に関する健康課題

日本人の健康寿命と平均寿命の差は 10 歳以上の開きがある。今後の人口動態の変化予測から、高齢化社会はますます進むと予想されている<sup>13)</sup>。健康寿命の延伸が図れない場合、高齢化の進展により生産年齢人口(15~64 歳)による医療費負担は膨らむ。厚生労働省は、日本人の食事摂取基準において塩分の過剰摂取が生活習慣病の原因の一つとしている<sup>14)</sup>。日本人の現在の塩分摂取量平均は約 10[g/人/日]であり、健康日本 21 目標の 8[g/人/日]<sup>16)</sup>や WHO 目標の 5[g/人/日]<sup>17)</sup>とは差があり、減塩に取り組む必要がある。食品(食事)・栄養に焦点を当てて健康を検討し、政策提言していくことは健康：SDGs3 達成に向けて重要である。

#### ➤ 畜産物による環境影響

日本の GHG 排出のうち農林水産業が占める約 4%の内訳のうち、家畜の消化管内発酵(げっぷ)や排せつ物からの排出が 29%を占めている。養豚の排せつ物は飼料の改善により削減できる。養豚に関する LCA の先行研究は、オランダ・デンマーク・イギリス・ドイツの慣用と有機飼育の違いによるカーボンフットプリント、中国北部での養豚のカーボンフットプリント、スペインの養豚産業のウォーターフットプリントが研究された。

日本は、飼料穀物を欧米から輸入し、穀物中心の大量飼料を与える飼育がされている。欧米では、吸収されやすい最適な栄養バランスの低たんぱく質飼料で飼育し、併せて糞尿を減らしている。この欧米の飼育方法は、高い生産性で経済的メリットがあるだけでなく、

飼料のベースとなる穀物量の最適化により穀物栽培および家畜の糞尿からの環境負荷も軽減するメリットがある。したがって、日本の畜産業が低たんぱく質飼料に変わる場合、養豚業による気候変動・水消費の影響が下げられる。

#### ➤ 農産物による環境影響

農産物に関して、多くの LCA 研究がされている。農産物の栽培において、肥料や施設が気候変動・酸性化・富栄養化・水消費の環境影響を与えることは、数多くの研究から明確である。

収穫された農産物の収率ベースだけで環境影響評価するのではなく、収穫後の非可食バイオマス残渣の処理も含めて環境影響評価している先行研究は少ない。非可食バイオマスは、セルロース（＝グルコース（糖）重合体）である。セルロースを分解してグルコースとし、バイオ燃料やプラスチック原料とする研究は盛んである。食品のための農産物を、その非可食バイオマスも残さずに食品とし、環境負荷低減を提案する先行研究は無い。たんぱく源であるアミノ酸の一種グルタミン酸ナトリウムは、農作物であるサトウキビ・キャッサバ芋などを基にした糖源（グルコース）を原料として発酵法により効率的に生産されている。タイで野焼きによる煙害を引き起こしている非可食バイオマスである稲わら＝セルロースを、分解して食品（グルタミン酸ナトリウム）として活用できれば、大気汚染（煙害）を起こさずに食品を生産することができる。

#### ➤ 食品に関する環境と健康の影響

厚生労働省は、日本人の食事摂取基準において塩分の過剰摂取が生活習慣病の原因の一つとしている<sup>16)</sup>。日本人の現在の塩分摂取量平均は約 10[g/人/日]であり、健康日本 21 目標の 8[g/人/日]<sup>5)</sup>や WHO 目標の 5[g/人/日]<sup>6)</sup>とは差があり、減塩に取り組む必要がある。塩分摂取量を減らす減塩調味料は、通常の調味料に脱塩処理や受容性向上のためのうま味物質の追加がされる。よって減塩調味料のカーボンフットプリントは、標準調味料に比べて高くなる懸念がある。SDGs の環境と健康を両立させるため、食品（食事）における環

食品（食事）における環境と健康の先行研究では、肉の消費量削減による GHG 排出量削減の提案<sup>37)</sup>はされているが、健康影響を評価されていない。赤肉削減／果物・野菜増加により、生活習慣病における死亡率削減の健康影響と、GHG 排出量削減による環境影響を金銭価値換算し評価<sup>39)</sup>されているが、塩分に関する評価はされていない。塩分の摂取量とその関連疾患を DALYs で導出した研究<sup>40)</sup>はあるが、環境影響を評価されていない。SDGs の環境と健康を両立させるため、食品（食事）における環境と健康の影響評価を研究することは重要である。

#### ➤ 課題

<畜産物による環境影響>

- ・ カーボンおよびウォーターはトレードオフの場合があるが、日本の養豚を対象としてマルチクライテリアで評価した研究がない。
- ・ 日本の養豚技術は、欧米に比べて遅れており、飼料や糞尿による環境負荷が高い。

#### <農産物による環境影響>

- ・ 野焼きされ煙害となっている非可食バイオマス残渣を、食品として活用することで、カーボン・ウォーター・大気汚染フットプリントのマルチクライテリア評価や人間健康[DALYs]で影響評価した研究がない。

#### <食品に関する環境と健康の影響>

- ・ カーボンおよびウォーターはトレードオフの場合があるが、食品を対象としてマルチクライテリア評価や人間健康[DALYs]で影響評価した研究が少ない。
- ・ 栄養摂取量調査を基にした実態に近い献立をベースに、減塩した献立について、環境と健康を人間健康[DALYs]で影響評価した研究はない。
- ・

## 参考文献

- 1) 外務省, SDGs とは?, 入手先, (オンライン) <<https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/sdgs/about/index.html>>
- 2) 外務省, ミレニアム開発目標 (MDGs), 入手先, (オンライン) <<https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/doukou/mdgs.html>>
- 3) 外務省, 「持続可能な開発のための 2030 アジェンダ」を採択する国連サミット, 入手先, (オンライン) <[https://www.mofa.go.jp/mofaj/ic/gic/page3\\_001387.html](https://www.mofa.go.jp/mofaj/ic/gic/page3_001387.html)>
- 4) SDGs 推進本部, SDGs アクションプラン 2021, 入手先, (オンライン) <<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/sdgs/dai9/actionplan2021.pdf>>
- 5) WWF JAPAN, パリ協定とは? 脱炭素社会へ向けた世界の取り組み, 入手先, (オンライン) <<https://www.wwf.or.jp/activities/basicinfo/4348.html>>
- 6) 経済産業省, 別添 1 IPCC AR6/WG1 報告書の政策決定者向け要約 (SPM) の概要, 入手先, (オンライン) <<https://www.meti.go.jp/press/2021/08/20210809001/20210809001-1.pdf>>
- 7) Xiaoming X. Atul J., Food production generates more than a third of manmade greenhouse gas emissions – a new framework tells us how much comes from crops, countries and regions, The Conversation, 入手先, (オンライン) <<https://theconversation.com/food-production-generates-more-than-a-third-of-manmade-greenhouse-gas-emissions-a-new-framework-tells-us-how-much-comes-from-crops-countries-and-regions-167623>>
- 8) 農林水産省, フードサプライチェーンにおける脱炭素化技術・可視化 (見える化) に関する紹介資料, P. 6, 入手先, (オンライン) <<https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyoseisaku/climate/attach/pdf/visual-51.pdf>>
- 9) FAOSTAT, food balance sheets, 入手先, (オンライン) <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/FBS>>
- 10) EU Science Hub, The water footprint of the EU for different diets, 入手先, (オンライン) <<https://ec.europa.eu/jrc/en/news/water-footprint-eu-different-diets-9674>>
- 11) 国土交通省, 水資源の利用状況, 入手先, (オンライン) <[https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/mizsei/mizukokudo\\_mizsei\\_tk2\\_000014.html](https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/mizsei/mizukokudo_mizsei_tk2_000014.html)>
- 12) 厚生労働省, 統計情報・白書, 令和 2 年版 厚生労働白書—令和時代の社会保障と働き方を考える—, 本文掲載図表 1-2-1 平均寿命の推移, 図表 1-2-6 平均寿命と健康寿命の推移, 入手先, (オンライン) <<https://www.mhlw.go.jp/stf/wp/hakusyo/kousei/19/backdata/index.html>>
- 13) 内閣府, 出生数、合計特殊出生率の推移, 入手先, (オンライン) <[https://www8.cao.go.jp/shoushi/shoushika/meeting/kokufuku/k\\_1/pdf/ref1.pdf](https://www8.cao.go.jp/shoushi/shoushika/meeting/kokufuku/k_1/pdf/ref1.pdf)>
- 14) 厚生労働省, 日本人の食事摂取基準 (2020 年版), P. 269, 入手先, (オンライン) <

- <https://www.mhlw.go.jp/content/10904750/000586553.pdf>>
- 15) Institute for Health Metrics and Evaluation, GBD Compare, Dietary risks Japan, 入手先, (オンライン) <<https://vizhub.healthdata.org/gbd-compare/>>
  - 16) 厚生労働省, 健康日本 21 (第二次), 別表第五 (1) 栄養・食生活, 入手先, (オンライン) <[https://www.nibiohn.go.jp/eiken/kenkounippon21/kenkounippon21/genjouchi.html#dai5\\_01](https://www.nibiohn.go.jp/eiken/kenkounippon21/kenkounippon21/genjouchi.html#dai5_01)>
  - 17) World Health Organization, New WHO benchmarks help countries reduce salt intake and save lives, 入手先, (オンライン) <<https://www.who.int/news/item/05-05-2021-new-who-benchmarks-help-countries-reduce-salt-intake-and-save-lives>>
  - 18) 伊坪徳宏, LIME2 意思決定を支援する環境影響評価手法, p15
  - 19) ISO14040, 入手先, (オンライン), <<https://www.iso.org/standard/37456.html>>
  - 20) ISO14044, 入手先, (オンライン), <<https://www.iso.org/standard/72357.html>>
  - 21) The Environmental Footprint Pilots, European commission, Available online: <https://ec.europa.eu/environment/eussd/pdf/footprint/PEF%20methodology%20final%20draft.pdf> (accessed on 8th,Jan,2020)
  - 22) S.C. McClelland, C. Arndt, D.R. Gordon, G. Thoma, Type and number of environmental impact categories used in livestock life cycle assessment: A systematic review, *Livestock Science* 209 (2018) 39-45, 入手先, (オンライン), <<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.01.008>>
  - 23) Ines Andretta, Felipe M. W. Hickmann, Aline Remus, Carolina H. Franceschi, Alexandre B. Mariani, Catiane Orso, Marcos Kipper, Marie-Pierre Létourneau-Montminy and Candido Pomar, Environmental Impacts of Pig and Poultry Production: Insights From a Systematic Review, *Frontier in Veterinary Science*, October 2021, Vol. 8, Article 750733, 入手先, (オンライン), <<https://doi.org/10.3389/fvets.2021.750733>>
  - 24) Anton Kool, Hans Blonk, Tommie Ponsien, Wijnand Sukkel, Herman Vermeer, Jerke de Vries, Robert Hoste, Carbon footprints of conventional and organic pork, Assessment of typical production systems in the Netherlands, Denmark, England and Germany, Blonk Milieu Advies BV, Netherlands Gouda, 2010, 入手先, (オンライン), <[https://www.researchgate.net/publication/41104476\\_Carbon\\_footprints\\_of\\_conventional\\_and\\_organic\\_pork\\_assessments\\_of\\_typical\\_production\\_systems\\_in\\_the\\_Netherlands\\_Denmark\\_England\\_and\\_Germany](https://www.researchgate.net/publication/41104476_Carbon_footprints_of_conventional_and_organic_pork_assessments_of_typical_production_systems_in_the_Netherlands_Denmark_England_and_Germany)>
  - 25) Yuanqing Zhou, Hongmin Dong, Hongwei Xin, Zhping Zhu, Wenqiang Huang, Yue

- Wang, Carbon Footprint Assessment of large-scale pig production system in northern China, Iowa State University, Digital repository, Agricultural and Biosystems engineering publications 2018, (オンライン), <[https://lib.dr.iastate.edu/abe\\_eng\\_pubs/900](https://lib.dr.iastate.edu/abe_eng_pubs/900)>
- 26) Angel de Miguel, Arjen Y. Hoekstra, Eloy Garcia-Calvo, Sustainability of the water footprint of the Spanish pork industry, *Ecological Indicators*, 57 (2015) 465-474, 入手先, (オンライン), <<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.05.023>>
  - 27) Ulf Gunnar Sonesson, Katarina Lorentzon, Annica Andersson, Ulla-Karin Barr, Jan Bertilsson, Elisabeth Borch, Carl Brunius, Margareta Emanuelsson, Leif Göransson, Stefan Gunnarsson, Lars Hamberg, Anna Hessle, Karl-Ivar Kumm, Åse Lundh, Tim Nielsen, Karin Östergren, Eva Salomon, Erik Sindhøj, Bo Stenberg, Maria Stenberg, Martin Sundberg, Helena Wall, Paths to a sustainable food sector: integrated design and LCA of future food supply chains: the case of pork production in Sweden, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, (2016) 21:664-676, 入手先, (オンライン), <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-015-0969-5>>
  - 28) Rahmah Alhashim, Raveendranpillai Deepa and Aavudai Anandhi, Environmental Impact Assessment of Agricultural Production Using LCA: A Review, *Climate* 2021, 9, 164, 入手先, (オンライン), <<https://doi.org/10.3390/cli9110164>>
  - 29) Marguerite Anne Renouf, Robert J. Pagan, Malcolm K. Wegener, Life cycle assessment of Australian sugarcane products with a focus on cane processing, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, (2011) 16:125-137, 入手先, (オンライン), <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-010-0233-y>>
  - 30) Randi Dalgaard, Jannick Schmidt, Niels Halberg, Per Christensen, Mikkel Thrane, Walter A. Pengue, LCA of Soybean Meal, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 13(3) 240-254(2008), 入手先, (オンライン), <<https://link.springer.com/content/pdf/10.1065/lca2007.06.342.pdf>>
  - 31) Mercedes Romero-Gómez, Assumpció Antón, Rocio Leyva, Elisa M. Suárez-Rey, Inclusion of uncertainty in the LCA comparison of different cherry tomato production scenarios, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, (2017) 22:798-811, 入手先, (オンライン), <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-016-1225-3>>
  - 32) Hanna Cordes, Alfredo Iriarte, Pablo Villalobos, Evaluating the carbon footprint of Chilean organic blueberry production, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, (2016)
  - 33) Titaporn, Supasri, Norihiro Itsubo, Shabbir, H.G.; Sate, S., Life cycle assessment of maize cultivation and biomass utilization in northern Thailand. *Sci. Rep.* 2020, 10, 3516.
  - 34) Kumar, D.; Murthy, G.S. Life cycle assessment of energy and GHG emissions during

- ethanol production from grass straws using various pretreatment processes. *Int. J. Life Cycle Assess.* 2012, 17, 388–401.
- 35) Muñoz, I.; Flury, K.; Jungbluth, N.; Rigarlsford, G.; I Canals, L.M.; King, H. Life cycle assessment of bio-based ethanol produced from different agricultural feedstocks. *Int. J. Life Cycle Assess.* 2014, 19, 109–119.
- 36) Prasad A., Sotenko M., Blenkinsopp T., Coles S.R., Life cycle assessment of lignocellulosic biomass pretreatment methods in biofuel production, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 2016, 21, 44–50.
- 37) Guobao S. Mingjing L. Pere F. Duncan W. Yixuan W., Dietary changes to mitigate climate change and benefit public health in China, *Science of the Total Environment*, 577 (2017) 289-298, 入手先, (オンライン) <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.184>>
- 38) Kristie L. E. Nicholas H. O. Jan C. S. Alistair W., Detecting and Attributing Health Burdens to Climate Change, *Environmental Health Perspectives*, 085004, 入手先, (オンライン) <<https://doi.org/10.1289/EHP1509>>
- 39) Marco Springmann, H. Charles J. Godfray, Mike Rayner, Peter Scarborough, Analysis and valuation of the health and climate change cobenefits of dietary change, *PNAS*, April 12, 2016 vol. 113 no. 15 4146-4151, 入手先, (オンライン) <<http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1523119113>>
- 40) Shuhei Nomura, Daisuke Yoneoka, Shiori Tanaka, Aya Ishizuka, Peter Ueda, Keiji Nakamura, Hisayuki Uneyama, Naoki Hayashi, Kenji Shibuya, Forecasting disability-adjusted life years for chronic diseases: reference and alternative scenarios of salt intake for 2017-2040 in Japan, *BMC Public Health* (2020): 1475, 入手先, (オンライン) <<https://doi.org/10.1186/s12889-020-09596-3>>

## 第2章 研究目的

### 2.1 研究目的

第1章では、日本における食品に関する環境と健康の現状を把握した。それを踏まえ、以下に本研究の目的を設定する。

<研究目的>

- ① 豚肉のライフサイクルアセスメントに基づく環境影響を評価する。1970年代に養豚場からの糞尿の窒素により地下水を汚染し飲み水に影響を及ぼしたことから、養豚の研究・開発が進んだフランスの養豚飼料の開発前後を比較する。穀物中心の慣行飼料と開発された低たんぱく質飼料による飼育方法をカーボン・ウォーターフットプリントのマルチクライテリアで比較し、飼料の違いによる環境影響を明らかにする。その比較結果を基に、日本で低たんぱく質飼料飼育が広く普及する場合の環境影響度を推定する。
- ② 日本の米輸入量第2位のタイでは、稲わらが野焼きされ煙害を起こしている。その野焼きされている稲わらを食資源（グルタミン酸ナトリウム）として活用できれば、大気汚染（煙害）を起こさずに食糧を生産することができる。焼却廃棄されている非可食バイオマス（稲わら）を分解した原料からグルタミン酸ナトリウムを生産する場合と、現行原料（可食であるタピオカスターチ）の場合について、カーボン・ウォーター・大気汚染のマルチクライテリアに関するフットプリントで評価し、さらにそれらの結果を人間健康[DALYs]で総合的に影響評価を行い、環境・人間健康への影響を明らかにする。
- ③ 日本人の健康寿命は、平均寿命と10歳以上の開きがある。健康を損失している一つ生活習慣病の原因は、塩分の過剰摂取である。塩分摂取量を減らす減塩調味料は、通常の調味料に脱塩処理や受容性向上のためのうま味物質の追加がされる。よって減塩調味料のカーボンフットプリントは、標準調味料に比べて高くなる懸念がある。SDGsの環境と健康の両立を研究するため、日本人の平均食品摂取量を基にしたモデル献立とそれをベースとした減塩献立について、環境影響（気候変動・水消費）と減塩による健康影響を人間健康[DALYs]で影響評価する。現在の日本人の食事を評価するうえで、食形態（和風・洋風）に分類して評価・考察を行う。また国民栄養調査結果の分析で、朝食の欠食が栄養素摂取の偏りのリスクを高める要因であることが確認されたことから、朝食・昼食・夕食に分類して評価・考察を行う。

<期待される効果>

- (1) 異なる養豚飼料飼育をライフサイクルで比較し、カーボン・ウォーター・富栄養化への影響が大きい原因を把握できる。

- (2) 日本の養豚業において、低たんぱく質飼料の利用を推進する場合、穀物栽培・たんぱく質サプリメント生産から給飼・糞尿処理のライフサイクルステージにおける GHG 排出量の削減ポイントと量を推計できる。
- (3) 農作物の非可食部の焼却煙害に関して、カーボン・ウォーター・大気汚染のマルチクリテリアに関するフットプリントを基に人間健康[DALYs]で影響評価できる。
- (4) 焼却煙害を引き起こしている農作物の非可食部をアップサイクルフード化することで、タイでのぜんそく回避率を把握できる。
- (5) 日本人の現状平均摂取量を基にしたモデル献立とそれをベースにした減塩献立に関して、環境影響と減塩による健康影響を人間健康[DALYs]への影響度として把握できる。
- (6) 減塩調味料による環境影響の増加と、減塩による関連疾患の罹患率を下げることを、おなじ人間健康の指標 DALYs で評価し、減塩調味料の有用性を把握できる。

## 2.2 本研究の構造

本論文の構成を以下に示す。(図 2.2.1)

第 3 章では、養豚飼料の違いによるカーボン・ウォーターフットプリント評価を行い、日本で低たんぱく飼料飼育が広く普及する場合の環境への影響度を推算した。

第 4 章では、非可食バイオマスを原料としたグルタミン酸ナトリウムの LCA 結果を示した。タイで野焼きされている非可食バイオマス(稲わら)の有効活用による、環境・人間健康への影響度を示した。

第 5 章では、日本人の現状平均摂取量を基にしたモデル献立とそれをベースにした減塩献立に関して、環境影響と減塩による健康影響を人間健康[DALYs]への影響度を示した。

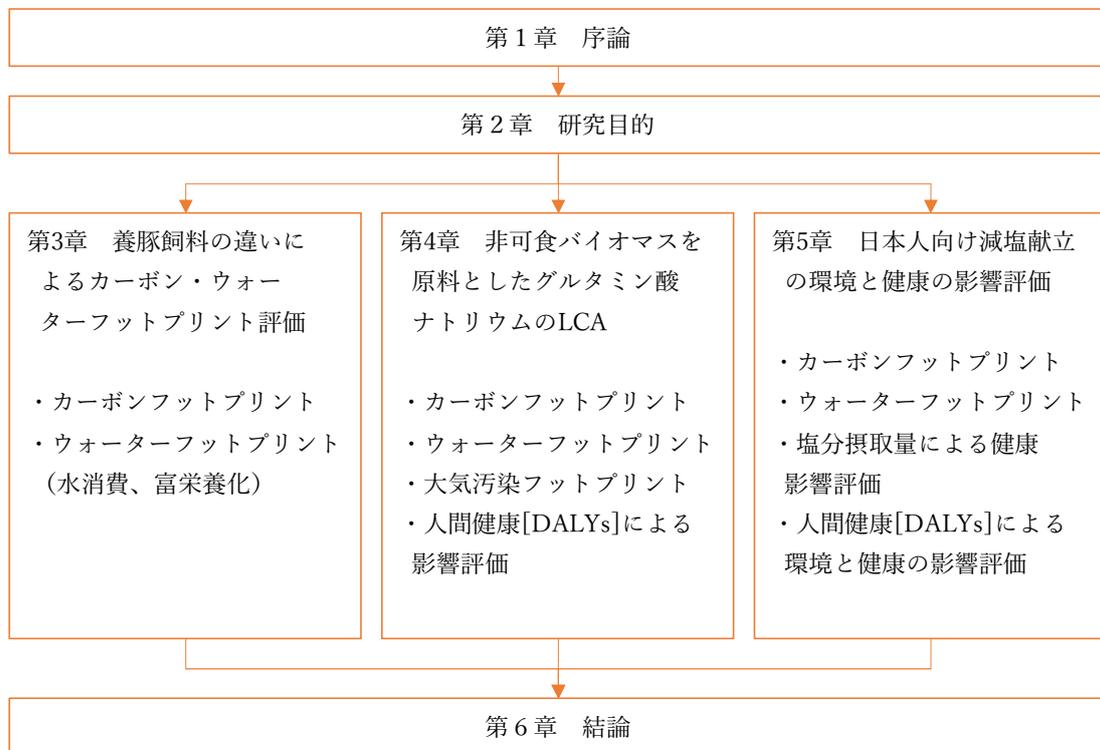


図 2.2.1 本論文の構成

## 第3章 養豚飼料の違いによるカーボン・ウォーターフットプリント評価

本章では、穀物中心の慣行飼料と開発された低たんぱく質飼料による飼育方法をカーボン・ウォーターフットプリントのマルチクライテリアで比較し、飼育方法変更による環境影響を評価した研究成果である。この成果は Water Resources and Industry の査読付き投稿論文<sup>1)</sup>として掲載された。

### 3.1 算定対象

養豚飼料を原料配合面から大きく2つに分類すると、穀物に栄養素としての無機物とビタミンを加える慣行飼料と、栄養素とアミノ酸を加えて穀物量(=たんぱく質)を減らし最適な栄養・アミノ酸バランスとする低たんぱく質飼料がある。欧米は、食材として肉が好まれるので、養豚産業が昔から盛んである。特にフランスでは、早くから養豚産業が進み、養豚に適した気候のブルターニュ地方に多く農家が集中したため、糞尿の窒素による地下水の汚染が深刻となった。そのため、研究機関が設けられ、糞尿処理に適する排水処理方法や糞尿を減らす飼料の研究が行われた。その結果のひとつとして、糞尿を減らし飼料効率が高い低たんぱく質飼料が開発された。例えば、図 3.1.1 の左の桶のように穀物だけで必須アミノ酸のリジンの要求量を満たす慣行飼料の場合、リジン以外のアミノ酸が過剰に給与されるので桶の縁が高くなり、それら過剰なアミノ酸は糞尿として排泄され、GHG 排出や地下水汚染を引き起こす<sup>2)</sup>。図 3.1.1 の右の桶のようにリジンなど結晶アミノ酸を添加してアミノ酸バランスを改善したたんぱく量を最適にする低たんぱく質飼料は、過剰なアミノ酸がほとんどなく桶の縁の高さが低いので、糞尿として排泄されるアミノ酸が少なく、すなわち糞尿による GHG 排出や地下水汚染が少なくなる<sup>2)</sup>。このような飼料におけるアミノ酸と糞尿の関係は桶の理論と呼ばれている<sup>3)</sup>。飼料に添加される結晶アミノ酸は、テンサイなどから作られるでんぷんやサトウキビなどの糖そのものを原料に、微生物による発酵でアミノ酸が生産される。発酵による生産は、抽出や合成などのように大量のエネルギーを使わずに済むことが特徴である。フランスをはじめとする欧米では、肉が中心の食事であるので養豚の工業化が進み、主な飼料は低たんぱく質飼料である。小麦中心のフランスにおいて想定される慣行飼料配合例と低たんぱく質飼料配合例を表 3.1.1 に示す。変わって日本は、過去から食材として魚が好まれてきたが、40 年ほど前から欧米のように肉を食べる機会が増えてきた。しかし、フランスのような養豚が原因となる汚染がさほど深刻でなく養豚に関する研究は世界をリードするには至っていない。よって、養豚飼料は、欧米に遅れていまだ慣行飼料が中心である。だが今後も肉の需要が増えると予想され、養豚による地下水汚染が懸念される。したがって、フランスでの事例から養豚飼料の違いに

よる環境影響（水資源と地球温暖化）の比較を行い、日本の畜産業が低たんぱく質飼料に変わった時の環境への好影響を検討する。表 3.1.1 に示すフランスの養豚飼料における慣用飼料 1 トンと低たんぱく質飼料 1 トンのライフサイクルアセスメント評価をする。これらの飼料は、代謝エネルギーを同じ値にし、低たんぱく質飼料ではアミノ酸バランスを最適にしたうえで且つたんぱく質量を 5%減らして飼料効率向上を図っている。慣用飼料と比較して低たんぱく質飼料は、必須アミノ酸の Lys・Thr・Trp の一部を高価な大豆かすに代わり工業生産されたアミノ酸で補うため、大豆かすを 16%減らせる。本章におけるライフサイクルアセスメントの範囲は、原料（穀物などの農業も含む）段階、生産段階（工業プロセス）、輸送、消費（豚の糞尿量）、包材の廃棄である。そのシステム境界を図 3.1.2 に示す。

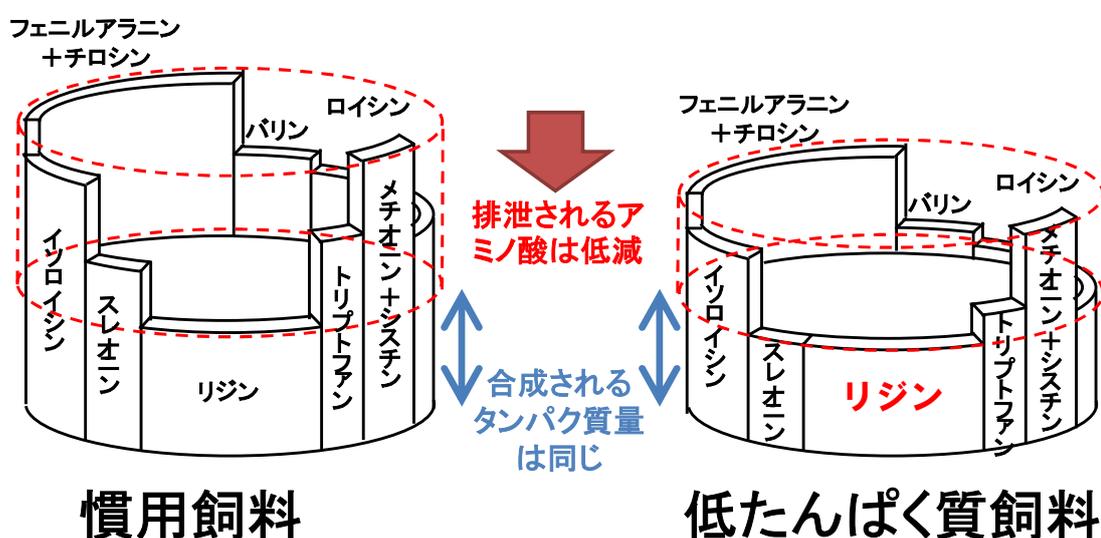


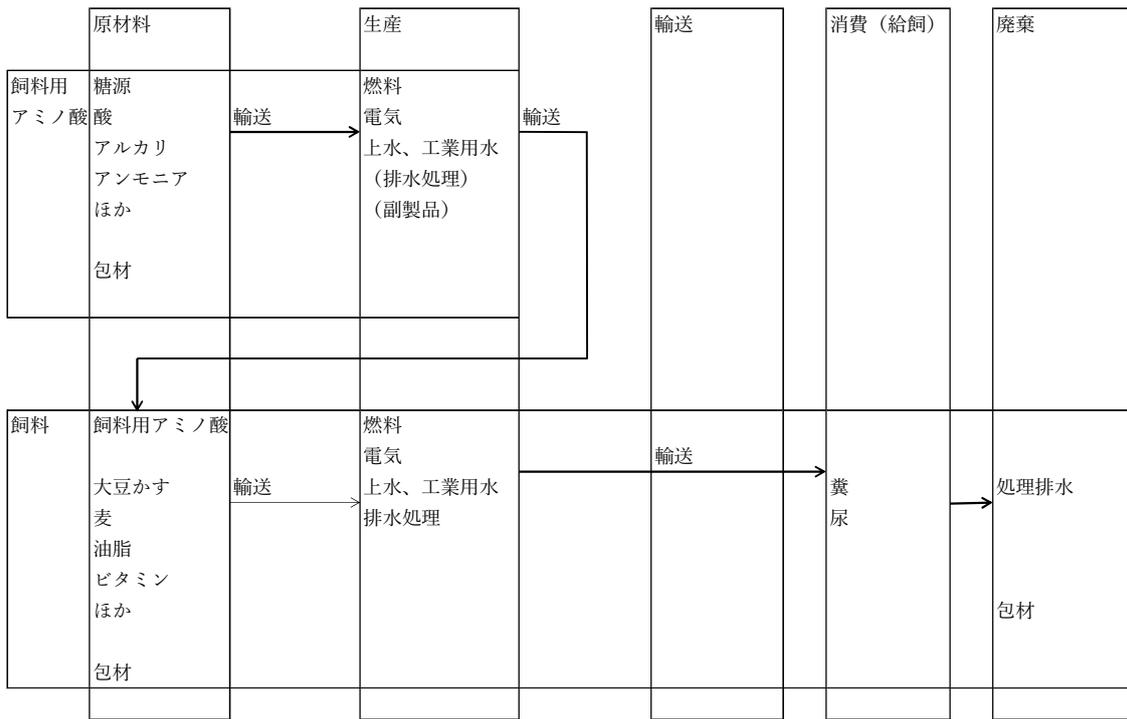
図 3.1.1 アミノ酸における桶の理論

表 3.1.1 フランスにおいて想定される慣用飼料配合例と低たんぱく質飼料配合例

	慣用飼料	低たんぱく質飼料
粗たんぱく(g)	20.6	15.2
代謝エネルギー(kcal)	3,300	3,300
大豆かす	27.2	11.0
小麦	68.1	84.5
油脂	1.4	0.5
炭酸カルシウム	0.9	0.9
リン酸カルシウム	1.8	1.8
食塩	0.3	0.3
塩化物	0.1	0.1

ミネラル・ビタミン	0.2	0.2
リジン塩酸塩		0.5
メチオニン		0.1
スレオニン		0.2
合計	100	100

[低たんぱく質飼料]



[慣用飼料]

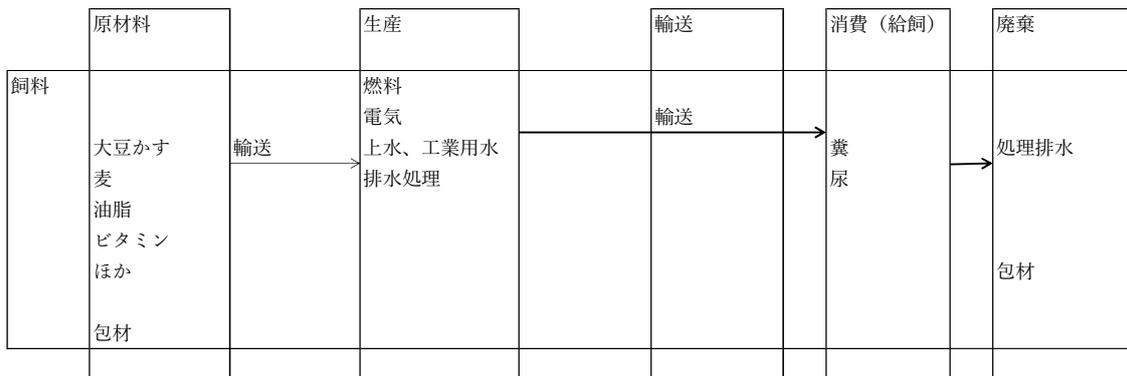


図 3.1.2 システム境界

## 3.2 算定方法

1.2.2.1に記載の通り、マルチクライテリアで評価している先行研究の影響領域は、飼料と糞尿の削減による GHG 排出と富栄養化の削減である。シングルクライテリアで評価されている先行研究の影響領域は、飼料の削減による水の削減が評価されている。そこで本研究では、先行研究が少ない日本の養豚業において飼料と糞尿の削減により環境影響が下げられることを訴求するため、GHG 排出と富栄養化に水も加えて 3 つの影響領域として評価した。

### 3.2.1 カーボンフットプリント

カーボンフットプリントは ISO14067<sup>4)</sup>を用いて原単位法で評価する。

$$CFP = \sum_s \sum_i \left( \text{物質の } CO_2 \text{ 原単位} \right)_{i,s} \times \left( \text{物質の投入量} \right)_{i,s}$$

式において、i は投入物質、s はライフサイクルステージを表す。

具体的には、穀物やアミノ酸およびその他栄養素の工業品などの原料から、それら工業品の生産および飼料自体の生産、飼料の輸送、消費と飼料の包材廃棄に至る全バリューチェーンを通して、物質の CO<sub>2</sub> 排出原単位と物質の投入量を合計して排出される温暖化ガスの排出量とする。

原料段階である養豚飼料の穀物は、フランスでは小麦を中心として大豆かす（ブラジルからの輸入）が加えられる。CO<sub>2</sub> 原単位は、Ecoinvent3<sup>5)</sup>を用いる。

生産段階である飼料の配合工程は、フランスの実データが入手できないので、日本農産工業(株)のホームページの配合飼料製造工程（バーチャル工場へ）<sup>6)</sup>および JA 東日本くみあい飼料(株)のホームページの安全・安心への取り組みの配合飼料製造工程<sup>7)</sup>および豊橋飼料(株)のホームページの事業案内一覧の飼料製造<sup>8)</sup>を参考にし、必要エネルギーは 300[kWh/t-飼料]と推算した。飼料用のアミノ酸は旧味の素ユーロリジン社の 1 年間のエネルギー・水使用量の平均原単位より算定した。その一次データは、秘密情報のため公開できない。なお、旧味の素ユーロリジン社のアミノ酸は、テンサイから作られるでんぷんを原料に、でんぷんを糖化した後で微生物による発酵でアミノ酸を生産する。発酵による生産は、抽出や合成などのように大量のエネルギーを使わずに済むことが特徴である。

輸送段階において飼料の原料は、穀物が中心であり、地域圏内での流通と考えカーボンフットプリントコミュニケーションプログラムの PCR<sup>9)</sup>を参考に輸送距離を 500[km]とし、輸送手段はコンテナ 16~32[t]（Ecoinvent3<sup>5)</sup>の Transport, freight, lorry のコンテナ相当）とした。飼料用アミノ酸の原料の輸送は、カーボンフットプリントコミュニケーションプログラムの PCR<sup>9)</sup>を参考に輸送距離を 1,000[km]とし、輸送手段はトラック 7.5~16[t]（Ecoinvent3<sup>5)</sup>の Transport, freight, lorry のトラック相当）とした。飼料用アミノ酸の製品としての流通については、フランス全土に供給され地域限定できないと考え、カーボン

フットプリントコミュニケーションプログラムの PCR<sup>9)</sup>を参考に輸送距離を 1,000[km]とし、輸送手段はトラック 7.5~16[t] (Ecoinvent3<sup>5)</sup>の Transport, freight, lorry のトラック相当) とした。飼料の製品流通については、地域で生育された穀物を主原料として様々な栄養素を配合して地域の畜産家に供給されていると考え、カーボンフットプリントコミュニケーションプログラムの PCR<sup>9)</sup>を参考に輸送距離を 500[km]とし、輸送手段はコンテナ 16~32[t] (Ecoinvent3<sup>5)</sup>の Transport, freight, lorry のコンテナ相当) とした。

消費段階は、飼育中における消化管内発酵による CH<sub>4</sub> 排出および、糞尿からの CH<sub>4</sub> と N<sub>2</sub>O 排出を算定する。飼育中における消化管内発酵による CH<sub>4</sub> 排出量は、斉藤ら<sup>10)</sup>の研究成果に基づく値とする。日本国温室効果ガスインベントリ報告書<sup>11)</sup>を参考に糞尿からの CH<sub>4</sub> と N<sub>2</sub>O 排出量は、排せつ物中に含まれる有機物量もしくは窒素量に、排泄管理区分(浄化)の排出係数 (CH<sub>4</sub>=0.91% [g-CH<sub>4</sub>/g 有機物]、N<sub>2</sub>O=2.87% [g-N<sub>2</sub>O-N/g-N]) を乗じる。

廃棄段階において対象とした製品包材に関する廃棄処分のインベントリーデータは、Ecoinvent 3<sup>5)</sup>のポリエチレン廃棄 (Waste polyethylene {GLO}| market for | Alloc Def, U) と板紙廃棄 (Waste paper, sorted (waste treatment){RER}| core board production | Alloc Def, U) とした。その廃棄輸送については、カーボンフットプリントコミュニケーションプログラムの PCR<sup>9)</sup>を参考に輸送距離 50[km]とし、輸送手段はトラック 3.5~7.5[t] (Ecoinvent3<sup>5)</sup>の Transport, freight, lorry で一番小さい積載量) とした。

### 3.2.2 ウォーターフットプリント (水消費、WSFP)

ウォーターフットプリント (水消費、WSFP) は ISO14046<sup>12)</sup>を用いて原単位法で影響評価まで行う。

$$WSFP(ra, ri, u) = \sum_s \sum_i \left( \text{物質の水消費の原単位 } ra \text{ or } ri \text{ or } u \right)_{i,s} \times \left( \text{物質の投入量} \right)_{i,s} \\ \times \left( \text{地域特性化係数 } ra \text{ or } ri \text{ or } u \right)_{i,s}$$

式において、i は投入物質、s はライフサイクルステージ、ra は雨水、ri は河川水、u は地下水を表す。

具体的には、水資源枯渇 (水利用可能性を減少させる水消費量) を定量化し影響評価する。水消費量とは、取水を蒸発・製品添加などの用途により減らした量すなわち取水と排水の差の量である。雨水と河川水・地下水の循環による浄化は、その必要時間が異なる。貯水される雨水 (グリーンウォーター) は降水後すぐに利用できるが、河川水や地下水 (ブルーウォーター) は山間部などの降水が浸透・流出・表流と長い時間が経過して浄化されて利用できるようになる。よってグリーンウォーターとブルーウォーターは、循環必要時間が異なるので、ウォーターフットプリントの水消費量ではそれら水 1m<sup>3</sup> の価値が異なると考え、分けて算定する<sup>13)</sup>。影響評価としては、降水量が少ない地域での水消費 1m<sup>3</sup> と降水量

が豊富な地域での水消費 1m<sup>3</sup> は、水利用可能性に与える影響が異なるので、地域ごとの各水源に応じた重みづけ係数を乗じる。本研究では、矢野らの Water Availability Factor の加重平均値<sup>15)</sup> (以下、矢野 WAF) のうち、物質ごとの生産地の降水／表流水／地下水の重みづけ係数 (= 矢野 WAF) を選定した。この矢野 WAF<sup>15)</sup> は、水消費の利用可能性の潜在影響量を推定するため、全球平均降水量を基準に、基準量の水を得るために必要な面積または時間に基づいて特性化係数を算出している。本研究におけるウォーターフットプリントは、水源種ごとに求め、投入物質ごとにその投入量とその水消費原単位とその矢野 WAF<sup>15)</sup> を掛け合わせて、各物質や段階の合計を求める。本研究では、フランスの国全体 (降水=1.0、表流水=1.8、地下水=3.4) および灌漑農地 (降水=1.0、表流水=1.8、地下水=3.4) と大豆輸入元のブラジルの灌漑農地の値 (降水=0.6、表流水=1.5、地下水=4.7) を使った。

原料段階である養豚飼料の穀物は、フランスでは小麦を中心として大豆かす (ブラジルからの輸入) が加えられる。水消費原単位は、雨水／河川水／地下水について生育される国が反映できる Water Footprint Network<sup>14)</sup> のデータベース "Waterstat" で可能なものを使用して評価する。穀物以外の栄養素とアミノ酸の各投入物質において、水消費原単位は Ecoinvent3<sup>5)</sup> を用いる。なお、Water Footprint Network<sup>14)</sup> の原単位で使用する値は、内訳のグリーンウォーター／ブルーウォーターである。Water Footprint Network<sup>14)</sup> は、雨水がグリーンウォーターであり、河川水・地下水がブルーウォーターである。Ecoinvent3<sup>5)</sup> のデータベースは、河川水・地下水の合算である。ブルーウォーターおよび河川水・地下水は、FAO-AQUASTAT<sup>16)</sup> の Fresh surface water withdrawal と Fresh groundwater withdrawal および Overlap: between surface water and groundwater を用いて按分

した。それらの正味消費の surface water と groundwater の割合に応じて Water Footprint Network<sup>14)</sup> のブルーウォーターのデータもしくは Ecoinvent3<sup>5)</sup> のデータを按分した。

生産段階である飼料の配合工程は、前述のカーボンフットプリントと同様に必要エネルギーは 300[kWh/t-飼料] と推算した。アミノ酸は旧味の素ユーロリジン社の 1 年間のエネルギー・水使用量の平均原単位より算定した。その一次データは、秘密情報のため公開できない。

輸送段階は、すべて前述のカーボンフットプリントと同様である。

消費段階では、公開されている文献・論文 (AJINOMOTO ANIMAL NUTRITION<sup>17)</sup>, 祐森ら<sup>18)</sup>, 山本ら<sup>19)</sup> の) および International Federation for Information Processing (ifip) によるフランスの養豚農家での糞尿処理の実態から、低たんぱく質飼料と慣用飼料それぞれで豚を飼育する場合における、糞尿量と総排出窒素量の違いを比較した。低たんぱく質飼料のたんぱく質削減率は 5% とし、その糞尿量の削減率は、次の表 3.2.1 に示す。糞尿の総排出窒素量のデータは、ifip によるフランスの養豚農家での糞尿処理の実態の標準的な糞尿処理窒素バランスより算出した。

表 3.2.1 低たんぱく質飼料およびその糞尿関連の削減率

項目	低たんぱく質飼料による削減率	備考
たんぱく質	5%減少	
糞量	変化ナシ	代謝エネルギーは同じため
尿量	10%減少	情報源の最小値 AJINOMOTO
総窒素量	25%減少	ANIMAL NUTRITION より

糞尿排水処理における濃度調整水量は、フランスのブルターニュ地方で 80%近く採用されている活性汚泥による硝化脱窒法とした。硝化脱窒法に供給する排水は、BOD や窒素濃度が高すぎると処理不良が起こる。養豚業での糞尿は、BOD が約 24000[mg/l]と高いので、その供給排水を適切に処理できる濃度 10000[mg/l]にするため、供給水の 1.4 倍の水で適正に排水処理できるように BOD 濃度を調整するとした。

窒素に関しては、糞尿スラリー固液分離後の固体が、植物に必要な肥料要素として施肥されるので窒素負荷と考えない。

廃棄段階は、すべて前述のカーボンフットプリントと同様である。

### 3.2.3 ウォーターフットプリント（富栄養化、WNFP）

本研究では、フランスでの畜産業からの糞尿の窒素分による地下水汚染が起きた事例から、窒素分による水質汚染である富栄養化について、ウォーターフットプリント富栄養化(WNFP)を窒素排出量で評価した。

$$WNFP = \sum_s \sum_i \left( \text{富栄養化の原単位} \right)_{i,s} \times \left( \text{物質の投入量} \right)_{i,s}$$

式において、i は投入物質、s はライフサイクルステージを表す。

物質ごとの富栄養化原単位は、Ecoinvent<sup>35)</sup>を用いた。

## 3.3 結果と考察

### 3.3.1 カーボンフットプリント

低たんぱく質飼料と慣用飼料のカーボンフットプリントの比較を図 3.3.1 に示す。低たんぱく質飼料の値は 1.58[t-CO<sub>2</sub>/t-飼料]で、慣用飼料の値は 1.99[t-CO<sub>2</sub>/t-飼料]であり、どちらも原料段階の穀物の割合が 80%程度を占める。これらの値における CO<sub>2</sub>・N<sub>2</sub>O・CH<sub>4</sub>の配分は、CO<sub>2</sub>が 75%程度、N<sub>2</sub>O が 20%程度、CH<sub>4</sub>が 5%程度である。次に飼料用アミノ酸の環境貢献を評価するため両者のカーボンフットプリントの原料内訳（麦・大豆かす・アミノ酸・その他原料）での比較を図 3.3.2 に示す。慣用飼料と比較して低たんぱく質飼料は、一部の必須アミノ酸を高価な大豆かすに代わり工業生産されたアミノ酸で補う

ため、大豆かすを16%減らせる。飼料エネルギーを同一にするため、慣用飼料と比較して低たんぱく質飼料の麦の量およびカーボンフットプリントは約25%増え、 $0.59[t-CO_2/t-飼料]$ が $0.73[t-CO_2/t-飼料]$ に増えてしまう。しかし、麦のカーボンフットプリント原単位約 $0.86[t-CO_2/t-原料]$ よりも大豆かすの方が約 $3.23[t-CO_2/t-原料]$ と3.6倍大きいので、大豆かすを16%減らせる低たんぱく質飼料はカーボンフットプリントが約 $0.41[t-CO_2/t-飼料]$ 小さくなる。フランスにおける低たんぱく質飼料は、ブラジルから輸入している大豆も減らせるので、他国への依存を下げることができる。なお工業生産されるアミノ酸は、カーボンフットプリントの原単位が $4.9\sim 12.6[t-CO_2/t-アミノ酸]$ と大きいですが、配合量がいずれも1%未満ととても小さいので低たんぱく質飼料のカーボンフットプリントに影響を与えない。加えてアミノ酸は、テンサイなどから作られるでんぷんやサトウキビなどの糖そのものを原料に、微生物による発酵でアミノ酸が生産される。発酵による生産は、抽出や合成などのように大量のエネルギーを使わずに済むことが特徴であり、効率が高く温暖化影響が小さい。

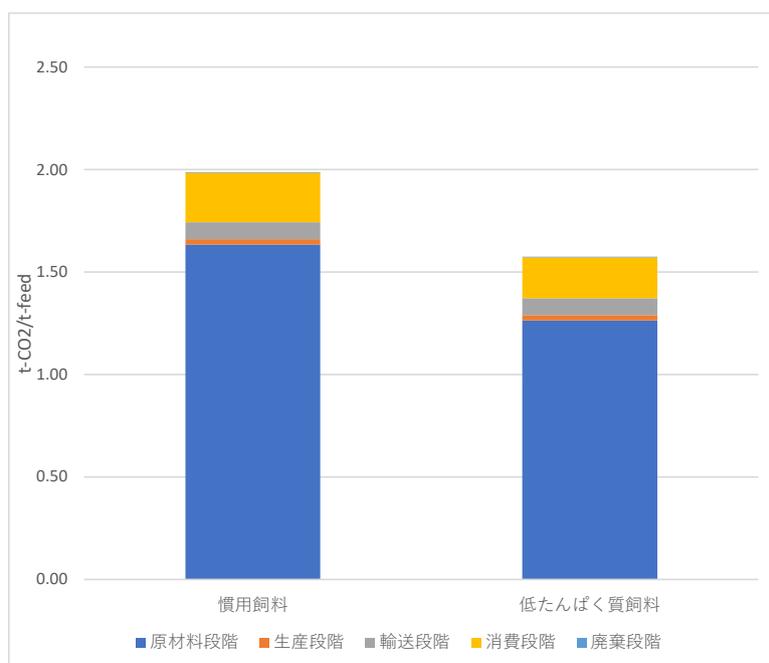


図 3.3.1 低たんぱく質飼料と慣用飼料のカーボンフットプリントの比較

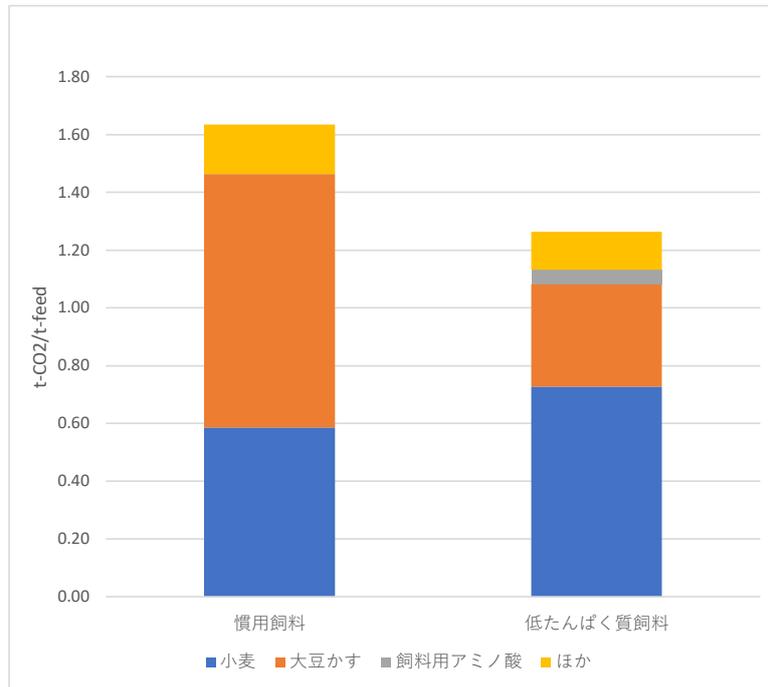


図 3.3.23.3.1 低たんぱく質飼料と慣用飼料のカーボンフットプリントの原料に関する比較

### 3.3.2 ウォーターフットプリント（水消費）

低たんぱく質飼料と慣用飼料のウォーターフットプリント(水消費量)の比較を図 3.3.3 に示す。低たんぱく質飼料の値は 695[m<sup>3</sup>/t-飼料]で、慣用飼料の値は 808[m<sup>3</sup>/t-飼料]である。それら飼料の雨水・河川水・地下水のウォーターフットプリントの比較を図 3.3.4 に示す。どちらの飼料も原料段階の穀物栽培の雨水ウォーターフットプリントが 90%以上を占める。次に飼料用アミノ酸の環境貢献を評価するため両者のウォーターフットプリント(水消費量)を原料内訳(麦・大豆かす・アミノ酸・その他原料)の比較を図 3.3.5 に示す。慣用飼料と比較して低たんぱく質飼料は、一部の必須アミノ酸を高価な大豆かすに代わり工業生産されたアミノ酸で補うため、大豆かすを 16%減らせる。飼料エネルギーを同一にするため、慣用飼料と比較して低たんぱく質飼料の麦の量およびウォーターフットプリント(水消費量)は 25%増え、約 400[m<sup>3</sup>/t-飼料]が約 500[m<sup>3</sup>/t-飼料]に増えてしまう。しかし、麦のウォーターフットプリント(水消費量)原単位約 600[m<sup>3</sup>]よりも大豆かすの方が約 1800[m<sup>3</sup>]と 3 倍大きいので、大豆かすを 16%減らせる低たんぱく質飼料はウォーターフットプリント(水消費量)が約 100[m<sup>3</sup>/t-飼料]小さくなる。フランスにおける低たんぱく質飼料は、ブラジルから輸入している大豆も減らせるので、他国への依存と仮想水を減らすことができる。なお工業生産されるアミノ酸は、ウォーターフットプリント(水消費量)の原単位は 460~1700[m<sup>3</sup>/t-アミノ酸]と大きいですが、配合量がいずれも 1%未満ととても小さいので低たんぱく質飼料のウォーターフットプリント(水消費量)に影響を与えない。加

えてアミノ酸は、テンサイなどから作られるでんぷんやサトウキビなどの糖そのものを原料に、微生物による発酵でアミノ酸が生産される。発酵による生産は、抽出や合成などのように大量のエネルギーを使わずに済むことが特徴であり、効率が高く水消費影響が小さい。

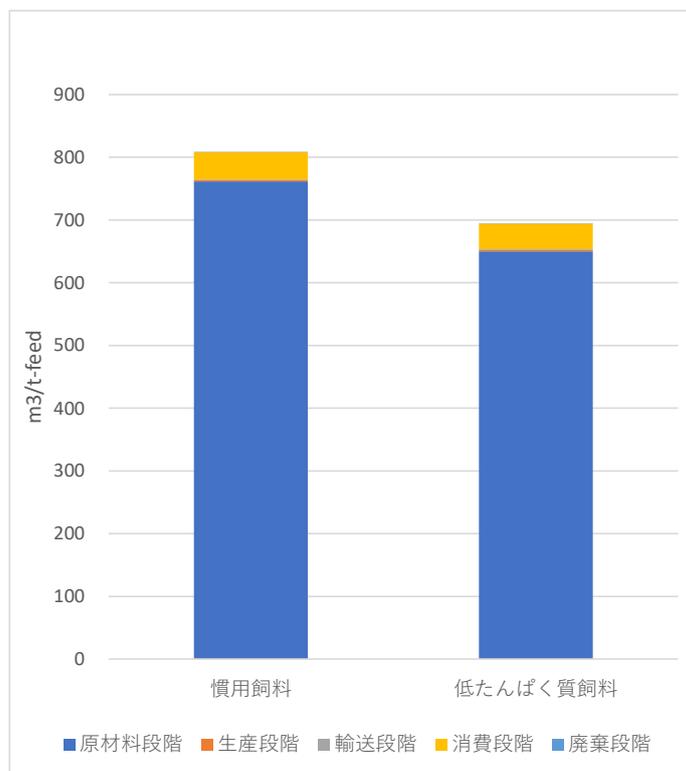


図 3.3.3 低たんぱく質飼料と慣用飼料のウォーターフットプリント(水消費量)の比較

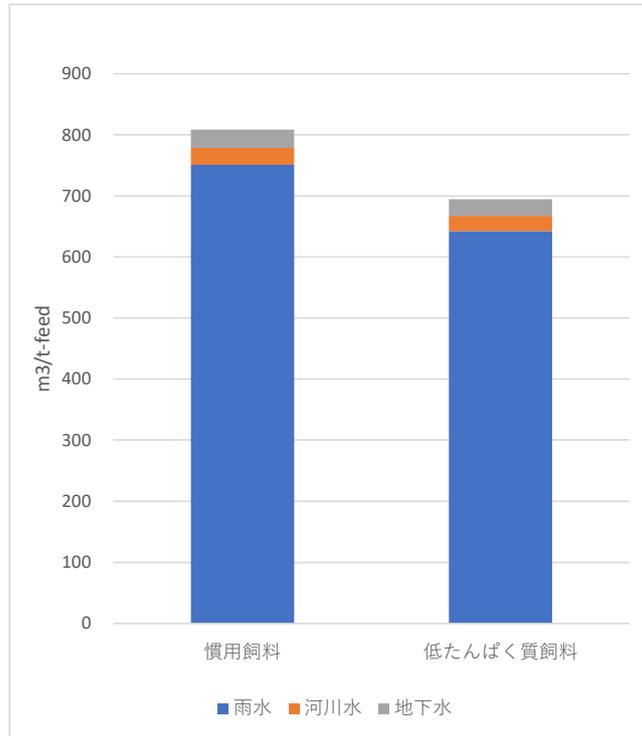


図 3.3.4 低たんぱく質飼料と慣用飼料の雨水・河川水・地下水のウォーターフットプリントの比較

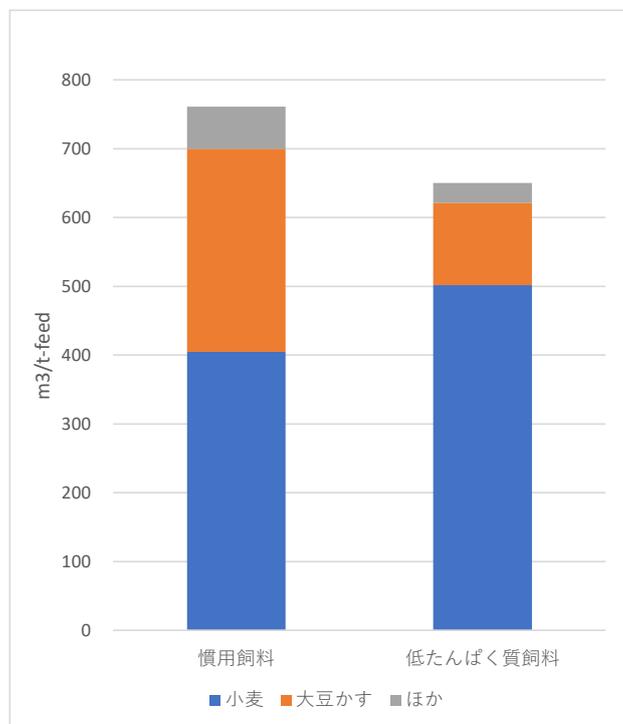


図 3.3.5 低たんぱく質飼料と慣用飼料のウォーターフットプリント(水消費量)の原料に関する比較

### 3.3.3 ウォーターフットプリント（富栄養化）

低たんぱく質飼料と慣用飼料のウォーターフットプリント（富栄養化）について、麦／大豆かす／その他原料と生産と流通段階／消費段階（糞尿処理）での比較を図 3.3.6 に示す。低たんぱく質飼料の値は 22[kg-N/t-飼料]で、慣用飼料の値は 25[kg-N/t-飼料]であり、どちらも消費段階すなわち糞尿処理が 50%程度を占める。慣用飼料と比較して低たんぱく質飼料は、一部の必須アミノ酸を高価な大豆かすに代わり工業生産されたアミノ酸で補うため、大豆かすを 16%減らせる。飼料エネルギーを同一にするため、慣用飼料と比較して低たんぱく質飼料の麦の量およびウォーターフットプリント(富栄養化)は 25%増え、約 8[kg-N/t-飼料]が約 10[kg-N/t-飼料]に増える。麦のウォーターフットプリント(富栄養化)原単位約 11.8[kg-N/t-飼料]よりも大豆かすの方が約 9.8[kg-N/t-飼料]と小さく、大豆かすを 16%減らせる低たんぱく質飼料はウォーターフットプリント(富栄養化)が原料穀物では小さく出来ず、慣用飼料 11.4[kg-N/t-飼料]に対して低たんぱく質飼料約 11.7[kg-N/t-飼料]と大きな差はない。しかし過剰なたんぱく質が糞尿で排泄される慣用飼料と、たんぱく質が適正な低たんぱく質飼料を比較すると、後者は各種文献から少なめに見ても尿量 10%・糞尿総窒素排出量 25%が削減できる。よって消費段階すなわち糞尿処理で、慣用飼料 13.2[kg-N/t-飼料]が低たんぱく質飼料 9.9[kg-N/t-飼料]に削減できる。ライフサイクル全体では、慣用飼料 25[kg-N/t-飼料]が低たんぱく質飼料 22[kg-N/t-飼料]と 3[kg-N/t-飼料]も窒素負荷を削減できる。

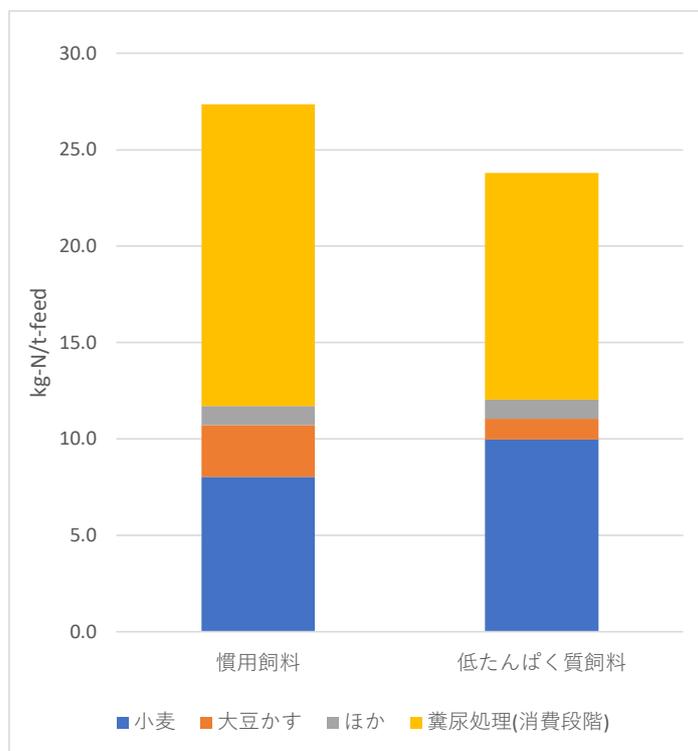


図 3.3.6 低たんぱく質飼料と慣用飼料のウォーターフットプリント(富栄養化)比較

### 3.3.4 日本の低たんぱく質飼料の活用による環境負荷低減の推算

日本における低たんぱく質飼料利用率は、約 20%と低い。それを欧州レベルの 75%に上げる場合、飼料量が 600,000[t-飼料/年] (3%程度) 削減できる。よって慣用飼料飼育の CO<sub>2</sub> 排出量 1.99[t-CO<sub>2</sub>/t-飼料] に対して、低たんぱく質飼料飼育 1.58[t-CO<sub>2</sub>/t-飼料] であり、日本で低たんぱく質飼料利用率が 75%に上がることで約 248,000[t-CO<sub>2</sub>/年]削減できると推算した。なお、この CO<sub>2</sub> 排出量は、日本の農業部門 CO<sub>2</sub> 排出量 600,000[t-CO<sub>2</sub>/年] の 37%に相当する。CO<sub>2</sub> 排出量削減のうち豚の排せつ物に関する削減は、飼料の改善で削減できる N<sub>2</sub>O の排出量 4.1 [kt-N<sub>2</sub>O] = 1221.8 [kt-CO<sub>2</sub>] のうち、低たんぱく質飼料利用率の向上度 55% (75%—20%) に対して、表 3.2.1 の N<sub>2</sub>O 削減率 25%を適用し 168 [kt-CO<sub>2</sub>] が削減できると推算した。豚の排せつ物の N<sub>2</sub>O の影響よりも牛の消化管内発酵による影響 7200 [kt-CO<sub>2</sub>] が大きく、牛の飼料改善による消化管内発酵の影響削減の研究進展が期待される。

慣用飼料飼育の水消費量 808[m<sup>3</sup>/t-飼料]に対して、低たんぱく質飼料飼育 695[m<sup>3</sup>/t-飼料]であり、日本で低たんぱく質飼料利用率が 75%に上がることで約 68,000[km<sup>3</sup>/年]削減できると推算した。

本研究の提案が実行される場合には日本の大豆消費量が、推定 248 千トン削減される。その量は世界の 0.2%と微量であり、バリューチェーンのバランスへの影響は無いと考えられる。

## 3.4 まとめ

地球温暖化は、深刻化する一方である。温暖化の影響により極雨や干ばつが同時に地球の各所で起きている。ゆえに人類が持続的に生活していくために企業は、製品・サービスのための事業活動における CO<sub>2</sub> 排出や水消費量を削減する必要がある。企業の製品・サービスは、そのライフサイクル全体での環境負荷を削減する必要がある。それらを定量的に把握するには、カーボンフットプリントとウォーターフットプリントは有効である。

私たちは、フランスのブルターニュ地方での養豚における地下水汚染の事例に着目し、慣用飼料に対する飼料用アミノ酸による低たんぱく質飼料の環境優位性の定量化に着目した。本研究は、低たんぱく質飼料のフットプリントの算定で3つの重要な発見につなげた。第1に低たんぱく質飼料は、飼料用アミノ酸の使用により大豆かすを 16%減らすことで、穀物栽培での CO<sub>2</sub> 排出量 0.41[t-CO<sub>2</sub>/t-飼料]と水消費量 100[m<sup>3</sup>/t-飼料]を減らし温暖化と水消費の負荷が少ないことを明らかにした。第2に、たんぱく質量が過剰な慣用飼料と適正な低たんぱく質飼料について、窒素負荷すなわち富栄養化で比較すると、ライフサイクル全体では後者の負荷が 10%削減されることを明らかにした。第3に、日本における低たんぱく質飼料利用率を 20%から 75%に上げることで、日本の養豚業のライフサイクル

全体における CO<sub>2</sub> 排出量を 248,000[t-CO<sub>2</sub>/年]、水消費量を 67,000[km<sup>3</sup>/年]削減できる可能性が分かった。この CO<sub>2</sub> 排出量は、日本の農業部門 CO<sub>2</sub> 排出量 600,000[t-CO<sub>2</sub>/年]の 37%に相当する。加えて、飼料用穀物をほとんど輸入している日本で低たんぱく質飼料比率を上げることで、飼料用穀物輸入先の国での CO<sub>2</sub> 排出量や水使用量を削減するとともに食糧不足の解消に貢献できると考えられる。また、豚の排せつ物の環境影響よりも牛の消化管内発酵による環境影響が大きく、牛の飼料改善による消化管内発酵の影響削減の研究進展が期待される。

日本の養豚飼料は、コーンや米がベースとなっているので、研究結果のような成果が得られるか再検証が必要である。

## 参考文献

- 1) Keiji Nakamura, Norihiro Itsubo, Carbon and water footprints of pig feed in France: Environmental contributions of pig feed with industrial amino acid supplements, *Water Resources and Industry* 21 (2019) 100108, 入手先, (オンライン) <<https://doi.org/10.1016/j.wri.2019.100108>>
- 2) S.A.S. Ajinomoto Eurolysine, Reducing nitrogen pollution from livestock, 入手先, (オンライン) <<http://ajinomoto-eurolysine.com/reducing-nitrogen-pollution.html>>
- 3) Ajinomoto Co., Inc, Sustainability, IR Library Fact Sheet, Life Support Business, Page 2, 入手先, (オンライン) <[https://www.ajinomoto.com/en/ir/business/main/0/teaserItems2/0/link/Life\\_Support-Oct2017.pdf](https://www.ajinomoto.com/en/ir/business/main/0/teaserItems2/0/link/Life_Support-Oct2017.pdf)>
- 4) ISO 14067, Greenhouse Gases – Carbon Footprint of Products – Requirements and Guidelines for Quantification, (2018), 入手先, (オンライン) <<https://www.iso.org/standard/71206.html>>
- 5) Eco Invent database, 2012. <[www.ecoinvent.ch](http://www.ecoinvent.ch)> . (Accessed 26 November 2012).
- 6) 日本農産工業(株), ホームページ 配合飼料製造工程 (バーチャル工場へ), 入手先, (オンライン) <<https://www.nosan.co.jp/business/fodder/progress.htm>>
- 7) JA 東日本くみあい飼料(株), ホームページ 安全・安心への取り組みの配合飼料製造工程, 入手先, (オンライン) <<http://www.jahnk.jp/safety/production.html>>
- 8) 豊橋飼料(株), ホームページ 事業案内一覧 飼料製造, 入手先, (オンライン) <<http://toyohashi-shiryo.co.jp/guide/feed01.html>>
- 9) 一般社団法人サステナブル経営推進機構, カーボンフットプリントコミュニケーションプログラム, カーボンフットプリント製品種別基準 (CFP-PCR) (認定 CFP-PCR 番号: PA-DV-02) 対象製品: 加工食品, 入手先, (オンライン) <[https://www.cfp-japan.jp/common/pdf\\_authorize/000208/PA-DV-02.pdf](https://www.cfp-japan.jp/common/pdf_authorize/000208/PA-DV-02.pdf)>
- 10) M. Saitou, Methane emission of growing-finishing pig and pregnant sow, *Anim. Sci. J.* (1988) (Japanese Society of Animal Science).
- 11) 環境省地球環境局総務課低炭素社会推進室監修, 温室効果ガスインベントリオフィス(GIO)編, 日本国温室効果ガスインベントリ報告書 2021 年
- 12) ISO 14046, Environmental Management – Water Footprint – Principles, Requirements and Guidelines, (2014), 入手先, (オンライン) <<https://www.iso.org/standard/43263.html>>
- 13) A.Y. Hoekstra, A.K. Chapagain, M.M. Aldaya, M.M. Mekonnen, *The Water Footprint Assessment Manual, Setting the Global Standard*, Earthscan, London, 2011.
- 14) Water Footprint Network, Product water footprint statistics, Water footprints of crops and derived crop products (1996–2005).

- 15) S. Yano, N. Hanasaki, N. Itsubo, T. Oki, Water scarcity footprints by considering the differences in water sources, *Sustainability* 7 (2015) 9753–9772.
- 16) Food and Agriculture Organization of the United Nations, AQUASTAT, 入手先,  
( オ ン ラ イ ン ) <  
<http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html?lang=en>>
- 17) S.A.S. Ajinomoto Eurolysine, Eurolysine informaton AEL-Bulletin-22, Prevention of nitrogen pollution from pig husbandry through feeding measures, June 2000.
- 18) 祐森誠司, 池田周平, 鈴木伸一, 栗原良雄, アミノ酸添加低可消化粗タンパク質飼料による肥育豚の窒素排泄量および糞尿由来アンモニアガス濃度の低減効果, 日豚会誌 41 巻 1 号, 2004 年 3 月.
- 19) A. Yamamoto, E. Takahashi, T. Furukawa, M. Okada, S. Furuya, Lowering performance of nitrogen excretion and ammonia emission by feeding low protein feed in amino acids (Annual report), *Inst. Livest. Ind. Environ. Technol.* 4 (2000).

## 第4章 非可食バイオマスを原料としたグルタミン酸ナト

### リウムの LCA

本章では、焼却廃棄されている非可食バイオマス（稲わら）を分解した原料からグルタミン酸ナトリウムを生産する場合と、現行原料（可食であるタピオカスターチ）の場合について、カーボン・ウォーター・大気汚染のマルチクライテリアに関するフットプリントを基に人間健康視点で影響評価した研究成果である。この成果は Sustainability の査読付き投稿論文<sup>1)</sup>として掲載された。

#### 4.1 算定対象

本章では、ライフサイクルアセスメントにあたって、機能単位とシステム境界を ISO 14040:2006<sup>2)</sup>と ISO 14044:2006<sup>3)</sup>に従って定義した。本章におけるライフサイクルアセスメントの範囲は、原料（穀物などの栽培も含む）段階、グルタミン酸ナトリウム(MSG)の生産段階までである。そのシステム境界を図 4.1.1 に示す。

MSG は、トマトやチーズ・昆布などに含まれているうま味や風味を増す物質で、ブイヨンや出汁を簡便に作れる調味料の原料物質である。でんぷんや砂糖から生産されるうま味精製物質で、年間 3 百万トン消費されている。機能単位は、日本の厚生労働省の調査結果 2[g/人/day]から<sup>4)</sup>、1[kg/人/year]とした。本研究対象地域は、MSG のグローバルメーカー味の素グループの生産国のうち、世界で一番生産量が多いタイとした。タイでは、慣用的にキャッサバ（年産 30 百万トン<sup>5)</sup>）由来のタピオカスターチから MSG が生産されている。原料段階のタピオカスターチは、キャッサバが農場で水と肥料で栽培され、毒素除去のためキャッサバは粉碎・溶解・濃縮ろ過・乾燥され、タピオカでんぷんになる。

タイで米は、年間約 30 百万トン生産されている<sup>5)</sup>。本研究では、タイで市場価値が低く燃やされている稲わらを、MSG の生産に使う非可食バイオマス原料とした。タイでの稲わらは、市場価値が低く、水田に鋤きこみ、残りは燃やされる。よって、カーボン・ウォーターフットプリントの環境影響は、稲わらには配分されず、米ともみ殻に配分される。セルロースである稲わらが、粉碎されグルコースに加水分解され、MSG が生産される化学イメージを図 4.1.2 に示す。MSG 生産のため、原料が投入されて以降の生産の工程（発酵～精製・包装）や効率、非可食バイオマスの場合もタピオカスターチの場合も同じである。なお、有価であるお米は、現行ケースと非可食バイオマスケース双方にあり、変化もないため、システム境界に加えてない。

表 4.1.1 は、MSG1[kg]を非可食バイオマスとタピオカスターチのそれぞれから生産する場合における、原料と副原料の重量配分を示す。

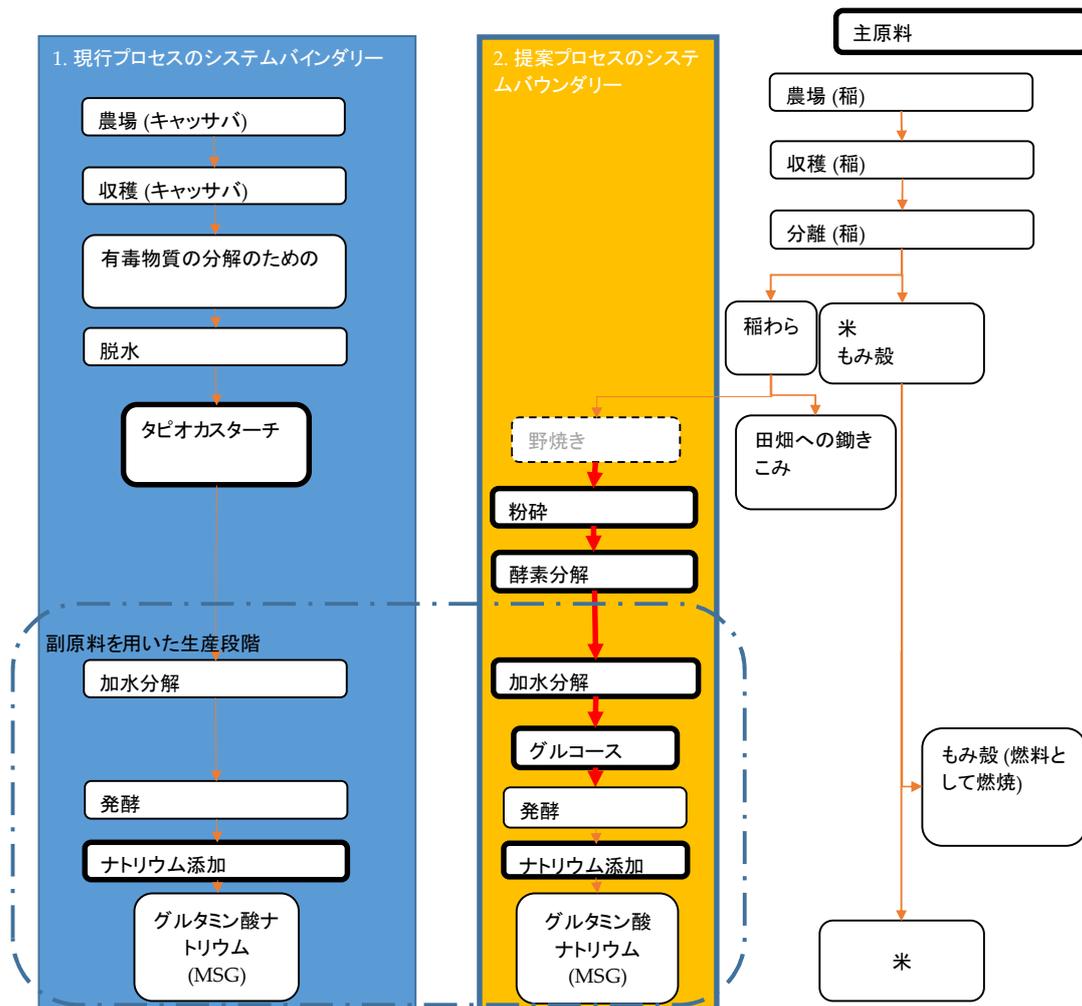


図 4.1.1 システム境界

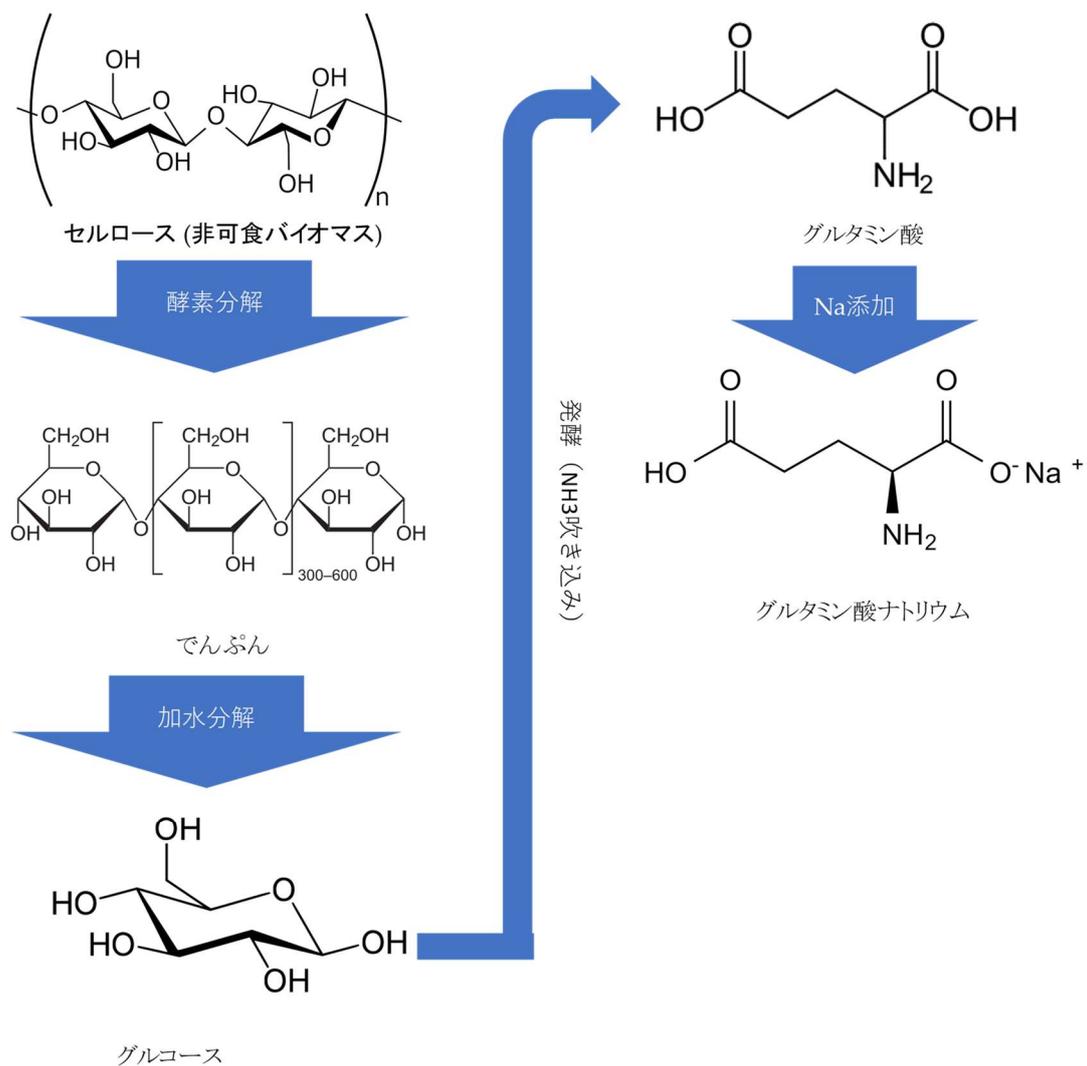


図 4.1.2 非可食バイオマスから MSG 生産の化学イメージ

表 4.1.1 非可食バイオマスの場合とタピオカスターチの場合の原料・副原料の投入重量配分

	タピオカスターチの場合	非可食バイオマスの場合
農場段階	キャッサバ	稲わら
	燃料	酵素
	電力	燃料
	水	電力
		水

原料段階	タピオカスターチ ナトリウム源	65%	グルコース ナトリウム源	65%
生産段階	酸・アルカリ アンモニア 副原料ほか 燃料 電力 水	35%	酸・アルカリ アンモニア 副原料ほか 燃料 電力 水	35%
MSG		100%		100%

## 4.2 算定方法

### 4.2.1 カーボンフットプリント

カーボンフットプリント CFP は第 3 章の 3.2.1 と同じ方法で評価した。

本章での具体的な CFP は、農作物の栽培・収穫・加工やその他工業品などの原料段階および、グルタミン酸ナトリウム生産段階に至るバリューチェーンを通して、物質の CO<sub>2</sub> 排出原単位と物質の投入量を合計して排出される温暖化ガスの排出量とする。

原料段階にはタピオカスターチ・稲わらやナトリウム源、生産段階の副原料には酸・アルカリ、生産段階には燃料と電力が該当する。

原料農作物である稲わらもしくはタピオカスターチの CO<sub>2</sub> 原単位は、Ecoinvent3<sup>6)</sup>を用いた。

グルタミン酸ナトリウムの生産段階は、タイ味の素社のある 1 工場での 1 年間のエネルギー・水消費量の平均原単位より算定した。その一次データは、秘密情報のため公開できない。

### 4.2.2 ウォーターフットプリント

ウォーターフットプリント WSFP は第 3 章の 3.2.2 と同じ方法で評価した。

本章での具体的な WSFP は、CFP と同じバウンダリーにおいて、物質の水消費原単位と物質の投入量を合計して消費水量とする。

原料農作物である稲わらもしくはタピオカスターチの生産における WSFP は、次のように推計した。タピオカスターチの生産に係る水消費原単位は、生産作物および生産国別に雨水／表流水／地下水について検討している Water Footprint Network<sup>7)</sup>のデータベース”Waterstat”を用い、それ以外の各投入物質の水消費原単位は、Ecoinvent3<sup>6)</sup>を用いた。なお、Water Footprint Network<sup>7)</sup>の原単位で使用する値は、内訳のグリーンウォーター／ブルーウォーターの原単位である。ブルーウォーターおよび Ecoinvent3<sup>6)</sup>の河川水と地下水

の按分方法は、第3章の3.2.2と同じである。

グルタミン酸ナトリウムの生産段階は、CFPと同様である。

本章での矢野 WAF<sup>8)</sup>は、タイの国全体（降水=0.6、表流水=1.3、地下水=4.2）および灌漑農地（降水=0.7、表流水=1.3、地下水=4.3）を使用した。

#### 4.2.3 大気汚染フットプリント

大気汚染フットプリント(ApFP)は、ライフサイクルで排出される NO<sub>x</sub>・SO<sub>x</sub>・PM2.5 を原単位法で人間健康指標 DALYs に換算して評価する。

$$ApFP = \sum_s \sum_i \left( \text{物質の } NO_x \text{ 原単位} \times DALYs \text{ 換算係数} + SO_x \text{ 原単位} \times DALYs \text{ 換算係数} + PM2.5 \text{ 原単位} \times DALYs \text{ 換算係数} \right)_{i,s} \times \left( \text{物質の投入量} \right)_{i,s}$$

式において、iは投入物質、sはライフサイクルステージを表す。

具体的に ApFP は、CFP と同じバウンダリーにおいて、物質の NO<sub>x</sub>・SO<sub>x</sub>・PM2.5 排出原単位それぞれに DALYs 換算を行い物質の投入量を乗じて合計して排出される大気汚染物質の人間健康負荷量とした。

NO<sub>x</sub>・SO<sub>x</sub>・PM2.5 排出原単位は、EMEP/EEA 大気汚染排出インベントリーガイドブック 2019<sup>9)</sup>を用いた。原料段階および生産段階は、CFP と同様である。

#### 4.2.4 影響評価

インベントリー分析から影響評価 Damage Assessment を算定するにあたって、LIME3<sup>10)</sup>を被害係数として、次式にて人間健康 DALYs に換算した。

$$Damage\ Assessment_{raw\ material\ type} = CFP_i \times DF_{CO_2-i} + WCFP_i \times DF_{Water-i} + ApFP_i$$

LIME3<sup>10)</sup>は、3段階（特性化、被害評価、重みづけ）の Life Cycle Inventory Analysis (LCIA)と4種の保護対象(人間健康、社会資産、生物多様性、一次生産)間の重み付けを、コンジョイント分析を通じて行っている。9の特性化領域（気候変動、大気汚染、光化学オキシダント、水資源消費、土地利用、鉱物資源消費、化石燃料消費、森林資源消費、廃棄物）と4つの保護対象について分析を行っている。世界各国で利用できる重み付け係数の開発を想定しつつ、G20を評価対象国とした重み付け係数の開発を行った。被害評価係数は、湯らによる2000~2063年に期間のCO<sub>2</sub>排出増加のシナリオとCO<sub>2</sub>排出固定シナリオの両方の異なったCO<sub>2</sub>排出を配分によって計算した平均値である。タイにおけるカーボン・ウォーター・大気汚染の被害係数は、4.19E-07[DALYs/kg-CO<sub>2</sub>]、7.04E-06[DALYs/m<sup>3</sup>]、Black Carbon and Organic Carbon (BCOC) (PM2.5) = 1.58E-03[DALYs/kg-BCOC]、SO<sub>2</sub> (PM2.5) = 2.22E-04[DALYs/kg-SO<sub>2</sub>]、NO<sub>x</sub> (PM2.5) = 3.34E-04[DALYs/kg-NO<sub>x</sub>]である。

## 4.3 結果

### 4.3.1 カーボンフットプリント

非可食バイオマスを原料としたグルタミン酸ナトリウムと現行のタピオカスターチを原料とした場合の CFP の比較を、図 4.3.1 に示す。非可食バイオマスの場合の値は 4.34[kg-CO<sub>2</sub>/kg-MSG]で、タピオカスターチの場合の値は 4.35[kg-CO<sub>2</sub>/kg-MSG]でありほぼ同等であった。

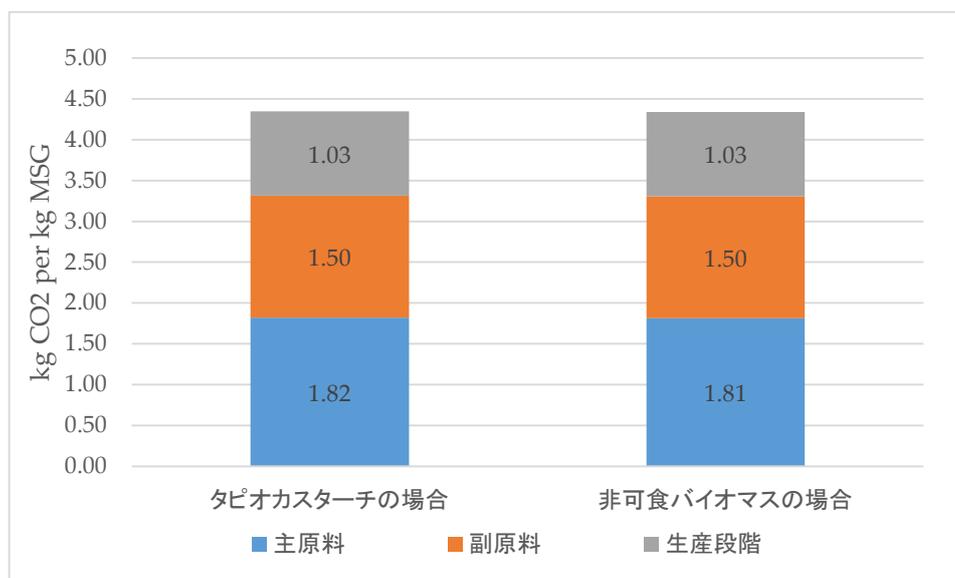


図 4.3.1 非可食バイオマス原料の場合とタピオカスターチ原料の場合の CFP の比較

原料段階は、非可食バイオマスの場合 1.81[kg-CO<sub>2</sub>/kg-MSG]、タピオカスターチの場合 1.82[kg-CO<sub>2</sub>/kg-MSG]である。それらの内訳を図 4.3.2 に示す。グルタミン酸ナトリウムのナトリウム源は両者共通で 46%である。タピオカスターチの原料段階は、CFP の 54% がでんぷんの原料である農作物の窒素肥料からの N<sub>2</sub>O と農作業用機械の燃料とでんぷん精製時の燃料に起因するもので、他に代替しにくいものである。一方、非可食バイオマスの場合の内訳割合は、そのセルロースを分解するための電力が約 20%を占め、非可食バイオマスと酵素分解用物質および糖化反应用物質がそれぞれ 10%程度を占めた。非可食バイオマスを原材料とした場合、セルロースを酵素反応でグルコースに分解するための物質やその電力消費量が CFP を押し上げているが、この使用電力を太陽光発電などの再生可能エネルギーによる調達とすれば、CFP は 20%程度下げることが可能である。

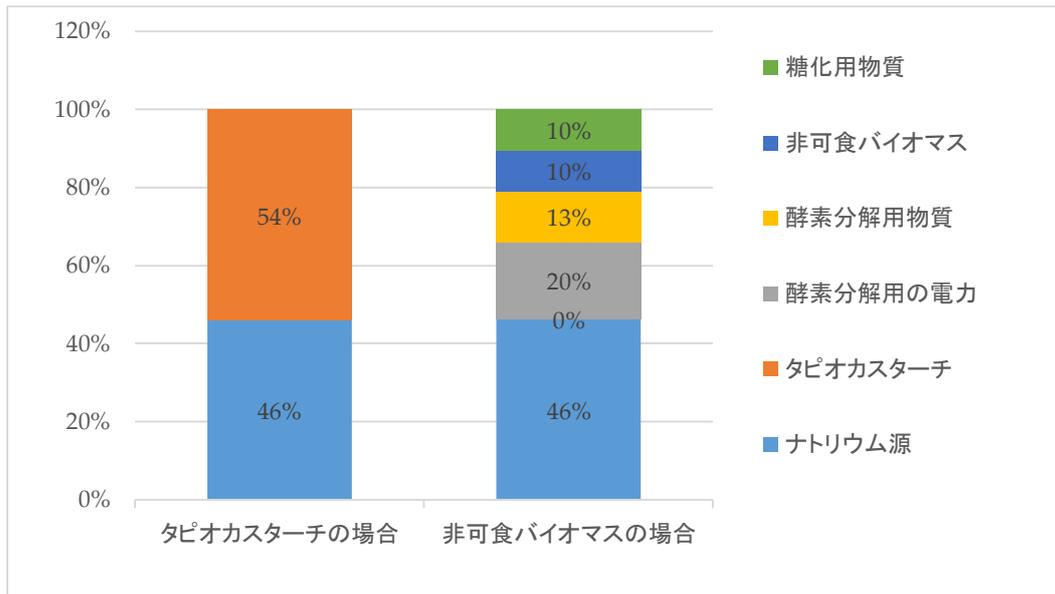


図 4.3.2 原料段階の内訳

副原料による CFP は、どちらの場合も全体で 1.50[kg-CO<sub>2</sub>/kg-MSG]であり、その内訳を図 4.3.3 に示す。その割合は、投入量および原単位が相対的に高い発酵用のアンモニア源が 58%、発酵用の副原料が 28%、結晶化のための酸アルカリが 14%を占めた。

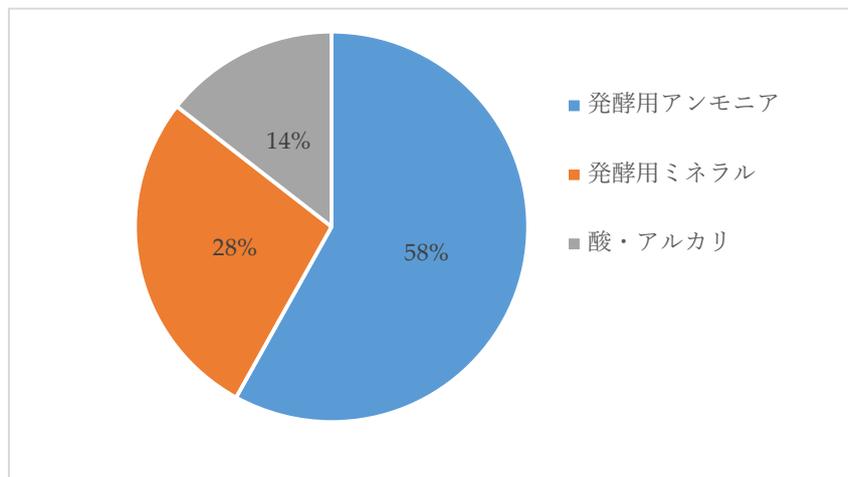


図 4.3.3 副原料の内訳

生産段階による CFP は、どちらの場合も 1.03[kg-CO<sub>2</sub>/kg-MSG]であり、その内訳を図 4.3.4 に示す。その割合は、冷却・濃縮用電力が 91%を占める。モデルとした工場の殺菌用蒸気のボイラー燃料は、ほぼバイオマス化されているのでほとんど CFP はない。

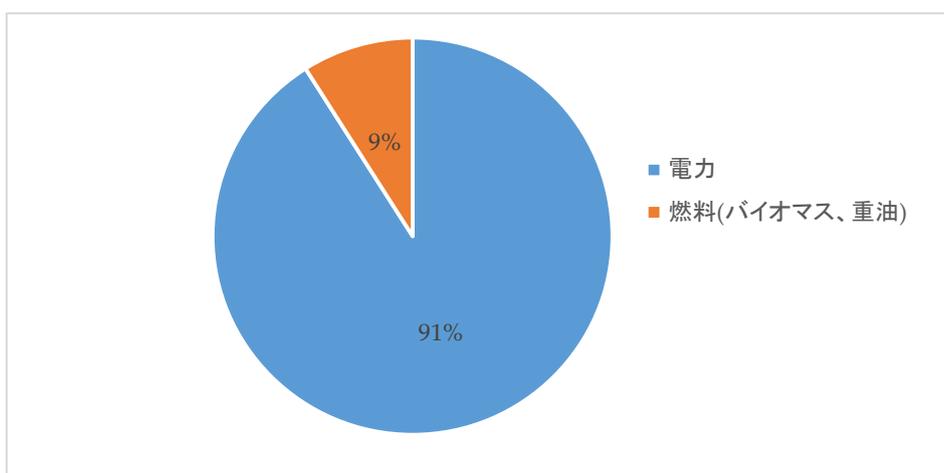


図 4.3.4 生産段階の内訳

先行研究との比較検証をする。Yang ら<sup>11)</sup>の MSG ハイブリッド環境管理生産法の CFP は 5.39[kg-CO<sub>2</sub>/kg-MSG]である。ライフサイクルステージの内訳として、トウモロコシの農業段階は 25%を占め (1.35[kg-CO<sub>2</sub>/kg-MSG])、それ以外は 75%を占めた (4.04[kg-CO<sub>2</sub>/kg-MSG])。本研究における非可食バイオマス場合は 4.34[kg-CO<sub>2</sub>/kg-MSG]であり、稲わらの農業段階は 0.2[kg-CO<sub>2</sub>/kg-MSG]であった。その農業段階を除いた値 4.14[kg-CO<sub>2</sub>/kg-MSG]は、Yang ら<sup>11)</sup>の値 4.04[kg-CO<sub>2</sub>/kg-MSG]と近い値である。表 4.3.1 は、先行研究との比較による非可食バイオマスの農業段階の検証を示す。

Kumar ら<sup>12)</sup>による牧草わらのエタノール生産における GHG 排出に関する LCA では、熱水によるエタノール生産の場合は 470[kg-CO<sub>2</sub>/10000MJ]であり、重量当たりに換算すると 1.27[kg-CO<sub>2</sub>/kg-ethanol]である。ライフサイクル段階での内訳は、牧草わら農業段階約 0.19[kg-CO<sub>2</sub>/kg-ethanol]で、エタノール生産段階が約 1.00[kg-CO<sub>2</sub>/kg-ethanol]で、輸送段階 (牧草わらとエタノールの両者とも) が約 0.08[kg-CO<sub>2</sub>/kg-ethanol]である。

Munoz ら<sup>13)</sup>によるバイオエタノール生産における LCA では、トウモロコシ茎葉からのエタノール生産方法の場合は、0.7[kg-CO<sub>2</sub>/kg-ethanol]である。ライフサイクル段階での内訳は、トウモロコシ茎葉農業段階約 0.5[kg-CO<sub>2</sub>/kg-ethanol]で、エタノール生産段階が約 0.2[kg-CO<sub>2</sub>/kg-ethanol]である。

本研究における稲わらその物の CFP は、0.2[kg-CO<sub>2</sub>/kg-MSG]であり、単位ベースで Kumar ら<sup>12)</sup>とほぼ同じであり、妥当な算定結果であると考えた。

表 4.3.1 非可食バイオマスの農業段階における先行研究との比較

	MSG (稲わら由来)	エタノール (牧草わら由来)	エタノール (トウモロコシの葉茎)
農業段階のCFP [kg CO <sub>2</sub> per kg Product]	0.20	0.19	0.50

### 4.3.2 ウォーターフットプリント

非可食バイオマス原料の場合の WSFP と現行のタピオカスターチ原料の場合の値を、図 4.3.5 に示す。非可食バイオマスの場合の値は 556[L/kg-MSG]で、タピオカスターチの場合の値は 1768[L/kg-MSG]である。非可食バイオマスを原料とする場合は、WSFP を 70%程度削減できる可能性があることが判った。

次に、それぞれの場合の雨水・河川水・地下水別の WFP の内訳を見る（図 4.3.6）。非可食バイオマスの場合の値は、雨水が 158[L/kg-MSG]であり、河川水が 235[L/kg-MSG]であり、地下水が 162[L/kg-MSG]であった。雨水・河川水・地下水が同程度である。なお雨水は酵素分解用グルコース源の農作物だけが対象となった。タピオカスターチの場合の値は、雨水が 1523[L/kg-MSG]であり、河川水が 146[L/kg-MSG]であり、地下水が 99[L/kg-MSG]であった。雨水が 85%を占め、それはタピオカスターチの原料であるキャッサバ芋の栽培用の雨水である。

原料段階の WSFP は、非可食バイオマスが 409[L/kg-MSG]であり、タピオカスターチが 1621[L/kg-MSG]である。その差は、タイでは稲わらの有効活用方法がなく焼却処分しているので、米栽培のための水消費量はすべて市場価値のある米に配分されているためである。なお本研究では、Ecoinvent3<sup>6)</sup>の Straw の値を使用した。

副原料の WSFP は、どちらの場合も 103[L/kg-MSG]である。その内訳で割合の高い物は、発酵用のアンモニア源が 60%で、結晶化のための酸アルカリが約 25%で、発酵用の副原料が 15%を占める。

生産段階の WSFP は、どちらの場合も 44[L/kg-MSG]である。その内訳はほとんどがモデルとした工場の殺菌用などの蒸気ボイラーの燃料のもみ殻である。なおタイでのもみ殻は、食べ物としての市場価値がなく燃料としての市場価値がある。よって、その水消費係数は Water Footprint Network<sup>7)</sup>にはないので、Ecoinvent3<sup>6)</sup>の Straw の値とした。

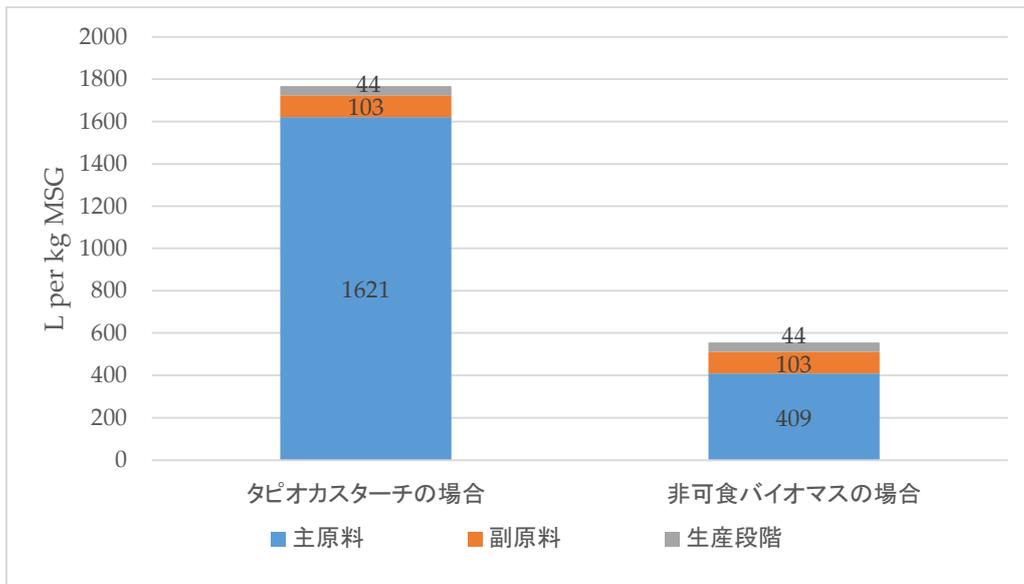


図 4.3.5 非可食バイオマス原料の場合とタピオカスターチ原料の場合の WSFP の比較

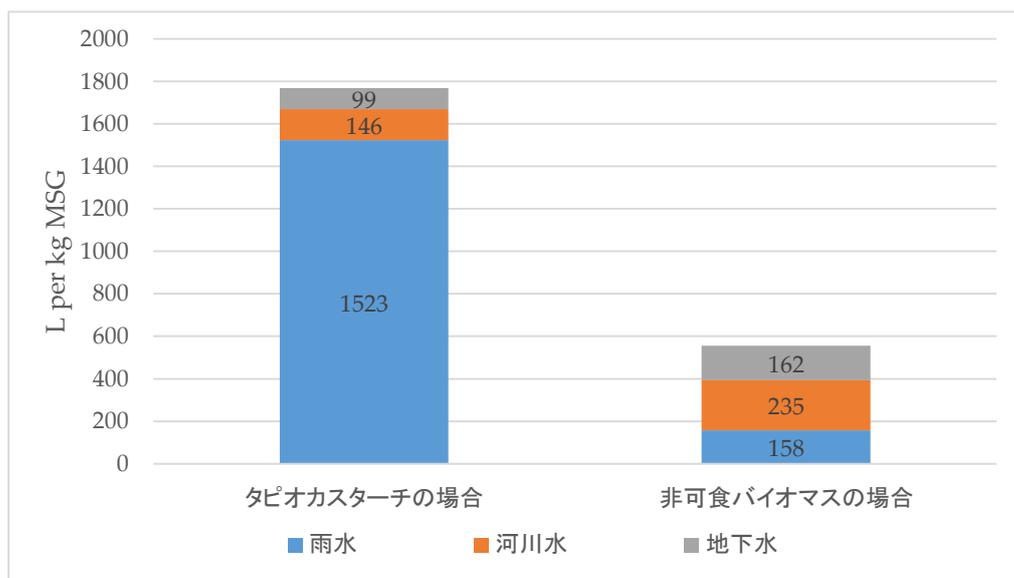


図 4.3.6 可食バイオマス原料の場合とタピオカスターチ原料の場合の雨水・河川水・地下水別の WFP の内訳

### 4.3.3 大気汚染フットプリント

非可食バイオマス原料の場合の ApFP と現行のタピオカスターチ原料の場合の値を、図 4.3.7 に示す。それぞれの値は、 $1.34E-05$  [DALYs/kg-MSG] と  $2.17E-05$  [DALYs/kg-MSG] である。非可食バイオマスの ApFP は、野焼きの煙害を防ぐので 40%削減できる。非可食バイオマスの原料段階の ApFP は、蒸気のためのバイオマス燃料に由来する  $7.81E-06$  [DALYs/kg-MSG] である。タピオカスターチの原料段階の ApFP は、キャッサバの肥料

に由来する  $6.42E-08$  [DALYs/kg-MSG] である。副原料の ApFP は  $1.08E-07$  [DALYs/kg-MSG]、生産段階の APFP は  $5.51E-06$  [DALYs/kg-MSG] である。

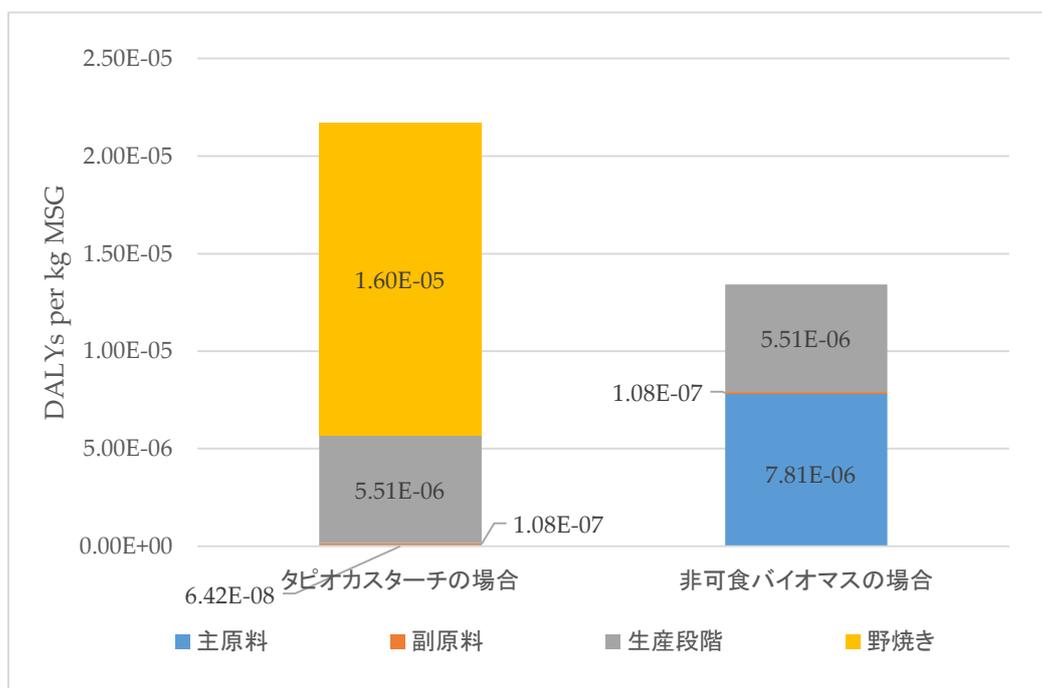


図 4.3.7 非可食バイオマス原料の場合とタピオカスターチ原料の場合の ApFP の比較

#### 4.3.4 影響評価

LIME3<sup>10)</sup>を使用して3つのマルチクリテリアを DALYs にて統合した2つのケースの影響評価を図 4.3.8 に示す。非可食バイオマスとタピオカスターチはそれぞれ  $1.92E-05$  [DALYs/kg-MSG] と  $3.59E-05$  [DALYs/kg-MSG] であった。CFP の影響評価は両方とも  $1.82E-06$  [DALYs/kg-MSG] であった。WSFP は、非可食バイオマスとタピオカスターチはそれぞれ  $3.91E-06$  [DALYs/kg-MSG] と  $1.24E-05$  [DALYs/kg-MSG] であった。ApFP は、非可食バイオマスとタピオカスターチはそれぞれ  $1.34E-05$  [DALYs/kg-MSG] と  $2.17E-05$  [DALYs/kg-MSG] であった。非可食バイオマスの影響評価において、CFP は貢献していないが、WSFP と ApFP の削減の貢献により、タピオカの場合の値よりも 50% 小さい。タイの MSG の市場サイズは、年間 12 万トン程度であり、全ての MSG の原料を稲わらに変更することにより、タイで 2015 [DALYs] の社会影響を削減する。この社会インパクトはタイの 2019 年のぜんそく<sup>14)</sup>の 1.2% の削減に相当する。

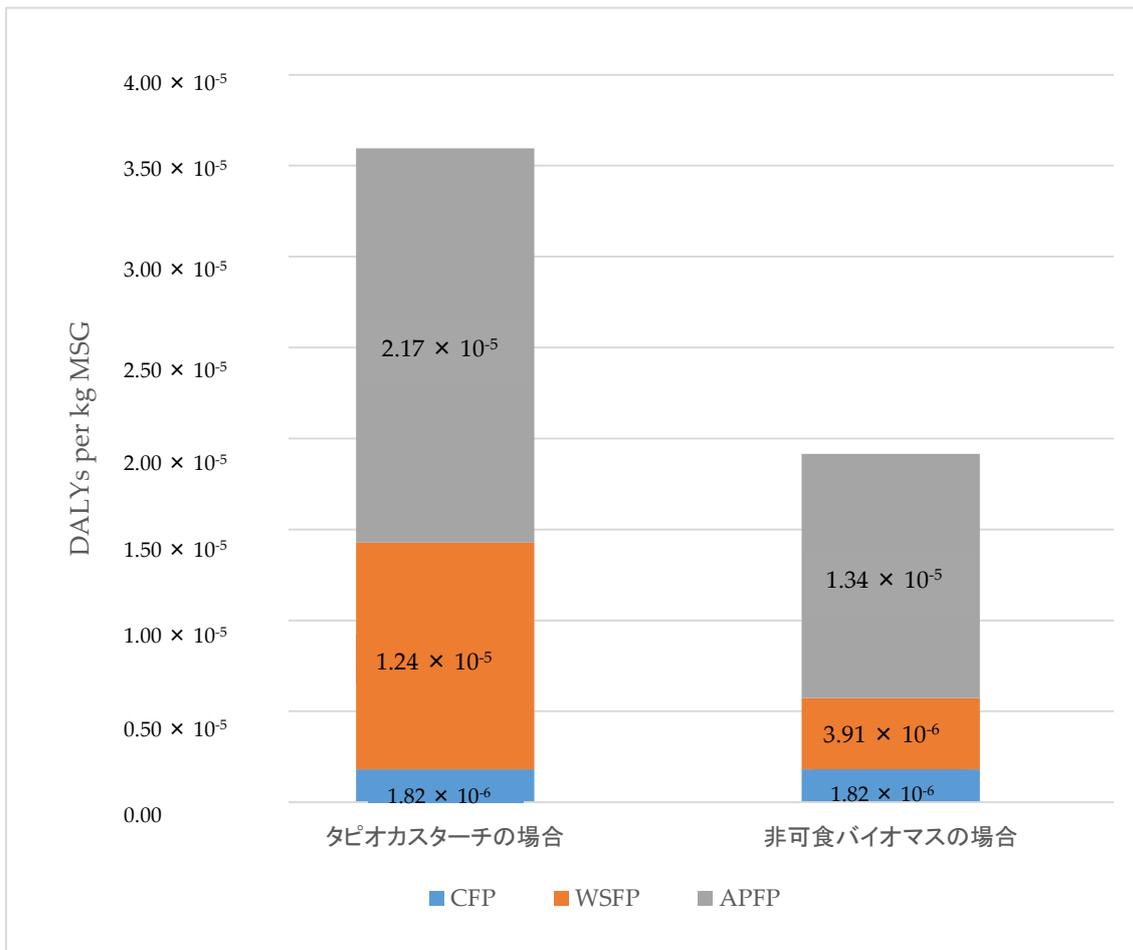


図 4.3.8 3つのマルチクライテリアを DALYs で統合した影響評価の比較

#### 4.3.5 主原料の考察

図 4.3.9 は、非可食バイオマスとタピオカスターチの場合における CFP・WSFP・ApFP の原料段階の比較を示す。非可食バイオマスの場合におけるセルロース粉碎のための電力の CFP は 20% を占める。電源を再生可能電力に変更する場合、非可食バイオマスの原料段階 CFP は 20% 削減される。糖化のための酵素反応材料の非可食バイオマスの WSFP は約 40% を占める。非可食バイオマス由来の酵素が開発されれば、非可食バイオマスの原料段階の WSFP は、最大約 40% 減る。蒸気のための非可食バイオマス燃料の ApFP は約 90% を占める。ボイラーの効率が 5% 改善すると、非可食バイオマスの原料段階 ApFP は 4.5% 減る。これらの技術開発により MSG の原料として非可食バイオマス活用を実現することが、持続可能性向上にとって重要である。先行研究から Nakorn Sawan 県で稲が密集して収穫できることが把握できた。当該県で稲わら収集～グルコース生産まで実施できれば、その北と南に隣接している県に計 2 つの MSG 工場があるので、輸送も比較的簡単にでき現実性はある。

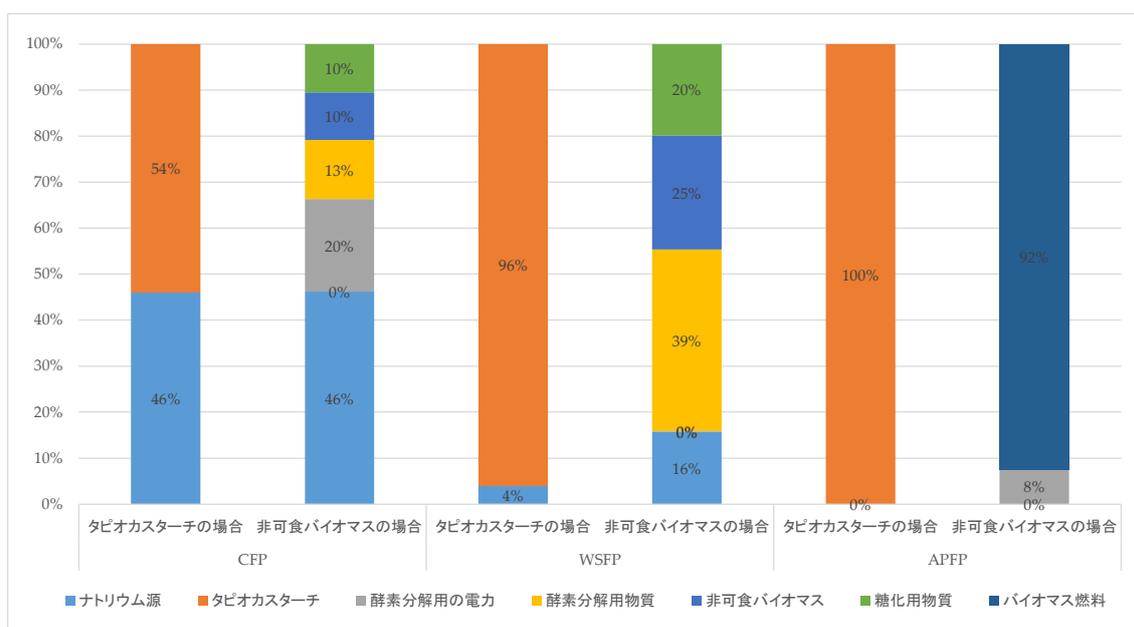


図 4.3.9 非可食バイオマスの場合とタピオカスターチ場合に関する CFP・WSFP・ApFP の原料段階の比較分析

## 4.4 まとめ

粉碎・糖化された非可食バイオマスとタピオカスターチを糖化した発酵による MSG の LCA を比較した。非可食バイオマスの使用で 2 つの顕著な発見が明らかになった。

第一に、非可食バイオマス（稲わら）の WSFP は、タピオカスターチの場合より 70% 減る。タイの稲わらは、市場価値が低く、水田鋤きこみ・残りは野焼きである。WSFP の環境インパクトは、稲わらに低く配分され、ほとんどが米ともみ殻に配分される。そのため非可食バイオマスの場合の WSFP が 70% 削減される。非可食バイオマスの ApFP は、野焼きの煙害防止によりタピオカスターチの場合より 40% 減る。CFP は、いずれの原料でもほとんど同じである。原料段階は非可食バイオマスとしての稲わらによって減らされるが、セルロース粉碎のための酵素と電力によって増やされる。

第二に、DALYs を使った人間健康への影響評価は、非可食バイオマスの場合は WSFP と ApFP が減るのでタピオカスターチの場合よりも 50% 小さい。しかし CFP に差はない。タイの MSG の市場サイズは、年間 12 万トンであり、すべての MSG 原料を稲わらに変更する場合、タイで 2015 [DALYs] の社会影響を削減する。この社会インパクトはタイの 2019 年のぜんそく<sup>14)</sup>の 1.2% の削減に相当する。

私たちは、稲わら使用による水不足と野焼きによる大気汚染防止を発見した。

本研究では、インベントリー分析において、多くは 1 次データを利用している。農産物の評価として生物多様性や土地利用などの評価要素を加えることで、廃棄されている非可食バイオマスを有効活用する場合、経済価値が無く環境負荷が配分されないため、影響評

価の結果がさらに良くなると推定される。

廃棄されている非可食バイオマスが有効活用されるようになると、その市場価値が出てくる。その場合、原料農作物の可食部と非可食部の環境負荷の配分が変わる。変わったことを想定した経済配分にて、非可食バイオマスを原料とする MSG がなおも優位か検証することが望ましい。

## 参考文献

- 1) Keiji Nakamura, Norihiro Itsubo, Lifecycle Assessment of Monosodium Glutamate Made from Non-Edible Biomass, *Sustainability* 2021, 13, 3951, 入手先, (オンライン) <<https://doi.org/10.3390/su13073951>>
- 2) ISO 14040:2006 Environmental Management—Life Cycle Assessment—Principles and Framework; ISO: Geneva, Switzerland, 2006, 入手先, (オンライン) <<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:en>>
- 3) ISO 14044:2006/AMD 2:2020 Environmental Management—Life Cycle Assessment—Requirements and Guidelines—Amendment 2; ISO: Geneva, Switzerland, 2006, 入手先, (オンライン) <<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14044:ed-1:v1:amd:2:v1:en>>
- 4) 厚生労働省, 食品添加物一日摂取量総点検調査報告書 表5. 食品添加物の年齢別摂取量, 平成12年12月, 入手先, (オンライン) <<https://www.ffcr.or.jp/houdou/upload/%E8%A1%A85.pdf>>
- 5) Agricultural Statistics of Thailand 2019, 入手先, (オンライン) <<http://www.oae.go.th/assets/portals/1/files/journal/2563/yearbook62edit.pdf>>
- 6) The Ecoinvent Database, 入手先, (オンライン) <<https://www.ecoinvent.org/home.html>>
- 7) Mekonnen, M.M.; Hoekstra, A.Y.; Water Footprint Network. The Green, Blue and Grey Water Footprint of Crops and Derived Crop Products, Value of Water Research Report Series No. 47. Product Water Footprint Statistics, Water Footprints of Crops and Derived Crop Products (1996–2005); UNESCO-IHE: Delft, The Netherlands, 入手先, (オンライン) <<https://waterfootprint.org/en/resources/waterstat/product-water-footprint-statistics/>>
- 8) S. Yano, N. Hanasaki, N. Itsubo, T. Oki, Water scarcity footprints by considering the differences in water sources, *Sustainability* 7 (2015) 9753–9772.
- 9) EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook. Technical Guidance to Prepare National Emission Inventories; EEA Report No 13/2019; European Environment Agency: Copenhagen, Denmark 入手先, (オンライン) <<https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019>>
- 10) Itsubo, N.; Inaba, A. LIME 3 (Life Cycle Impact Assessment Method Based on Endpoint Modeling); Maruzen Publishing: Tokyo, Japan, 2018.
- 11) Yang, D.; Jia, X.; Dang, M.; Han, F.; Shi, F.; Tanikawa, H.; Klemeš, J.J. Life cycle assessment of cleaner production measures in monosodium glutamate production: A case study in China. *J. Clean. Prod.* 2020, 270, 122126.
- 12) Kumar, D.; Murthy, G.S. Life cycle assessment of energy and GHG emissions during

ethanol production from grass straws using various pretreatment processes. *Int. J. Life Cycle Assess.* 2012, 17, 388–401.

- 13) Muñoz, I.; Flury, K.; Jungbluth, N.; Rigarlsford, G.; I Canals, L.M.; King, H. Life cycle assessment of bio-based ethanol produced from different agricultural feedstocks. *Int. J. Life Cycle Assess.* 2014, 19, 109–119.
- 14) GBD Compare, 入手先, (オンライン) <<https://vizhub.healthdata.org/gbd-compare/>>

## 第5章 日本人向け減塩献立の環境と健康の影響評価

本章では、SDGs の環境と健康の両立を研究するため、日本人の平均食品摂取量を基にしたモデル献立とそれをベースとした減塩献立について、環境影響（気候変動・水消費）と塩分削減による健康影響を人間健康[DALYs]で影響評価した研究成果である。この成果は Nutrients の査読付き投稿論文へ近日中に投稿予定である。

### 5.1 方法

厚生労働省は健康日本 21 にて生活習慣病に関連のある栄養素として、エネルギー・脂肪・ナトリウム・カリウム・食物繊維・カルシウムなどを上げている。1.2.3 に記載の通り、WHO と連携している Global Burden Disease の 15 の食事リスクのうち、日本人の一番のリスクは高ナトリウム摂取である。そこで本研究では、塩分摂取量の違いによる環境と健康の影響評価をする。

#### 5.1.1 比較する献立のシナリオ作成

比較のため、基準シナリオによる一週間のモデル献立と、減塩シナリオによる一週間の減塩献立を作成する。

基準シナリオは、「平成 30 年の国民健康栄養調査の第 5 表の 1 食品群別摂取量」<sup>1)</sup>における、20 歳以上の一日の平均値(朝食・昼食・夕食・間食の合計、1,930[kcal])をベースデータとした。一週間のモデル献立とするため、20 歳以上の一日の平均値を 7 倍(13,500[kcal])した。一週間のモデル献立の作成に際して、ベースデータの内訳となる「平成 30 年の国民健康栄養調査の第 13 表 朝、昼、夕、間別にみたエネルギー及び主要な食品群別摂取量」<sup>2)</sup>のデータにおける、朝食(434[kcal/day]、3,040[kcal/週])・昼食(580[kcal/day]、4,060[kcal/週])・夕食(785[kcal/day]、5,500[kcal/週])・間食(130[kcal/day]、915[kcal/週])のバランスに近づくよう 1 品料理を組み合わせた。1 品料理は、WEB (Ajinomoto PARK)<sup>3)</sup>、レタスクラブ<sup>4)</sup>、和菓子の富久屋<sup>5)</sup>で公開されている物から選んだ。

減塩シナリオは、基準シナリオで作成した一週間のモデル献立に用いた調味料のうち、日本高血圧学会の減塩食品リスト<sup>6)</sup>に掲載されている調味料へ変更し、一週間の減塩献立を作成した。具体的に基礎調味料においては、食塩は塩化カリウムを配合して減塩率 50%とした味の素社の「やさしお」へ、しょう油はキッコーマン社の特選丸大豆しょうゆを脱塩処理して減塩率 50%とした「特選丸大豆減塩しょうゆ」へ、味噌はイチビキ社の「だし入りみそ あわせ」を配合の変更で減塩率 25%とした「すぐとけるみそ あわせ」へ変更した。風味調味料は、味の素社の和風だし「ほんだし」を配合の変更で減塩率 60%とした「お塩控えめの・ほんだし」へ、味の素社の洋風だしであるブイヨン「味の素 kk コンソ

メ」を配合の変更で減塩率 40%とした「味の素 kk コンソメ」＜塩分ひかえめ＞へ、味の素社の中華だしである「味の素 kk 丸鶏がらスープ」を配合の変更で減塩率 40%とした「味の素 kk 丸鶏がらスープ」＜塩分ひかえめ＞へ変更した。

「平成 30 年の国民健康栄養調査の第 5 表の 1 食品群別摂取量」<sup>1)</sup>および「第 13 表 朝、昼、夕、間別にみたエネルギー及び主要な食品群別摂取量」<sup>2)</sup>を基に作成した一週間のモデル献立を表 5.1.1 に示す。

表 5.1.1 一週間のモデル献立（塩分摂取量の（ ）内は減塩献立の値を示す）

	1 日目	2 日目	3 日目	4 日目	5 日目	6 日目	7 日目
13253[kcal/ 一週間]	1862[kcal/日]	1817[kcal/日]	1918[kcal/日]	1981[kcal/日]	1851[kcal/日]	1960[kcal/日]	1864[kcal/日]
65.7[g-Salt/一週間] (45.9)	14.6[g-Salt/日] (9.8)	9.4[g-Salt/日] (5.6)	9.4[g-Salt/日] (6.6)	5.4[g-Salt/日] (3.9)	8.4[g-Salt/日] (5.8)	9.3[g-Salt/日] (7.5)	9.2[g-Salt/日] (6.7)
朝食	B-1 まあじ 開き焼 の定食	B-2 オムラ イス(ハ ーフ)	B-3 キャベ ツ・ハ ム・チ ーズサ ンドイ ツチ	B-4 ズッキ ーニの オーブ ンサン ド	B-5 ブロッ コリー と卵の マヨグ ラタン	B-6 豆腐と ザーサ イの定 食	B-7 本格酸 辣湯の 定食
	和風	洋風	洋風	洋風	洋風	和風	和風
	479[kcal]	442[kcal]	416[kcal]	377[kcal]	552[kcal]	365[kcal]	312[kcal]
	3.9[g-Salt] (3.2)	1.0[g-Salt] (0.8)	2.2[g-Salt] (2.2)	1.7[g-Salt] (1.6)	3.1[g-Salt] (2.5)	3.0[g-Salt] (2.3)	3.4[g-Salt] (1.8)
昼食	L-1 カット 野菜の ちくわ うどん のセッ ト	L-2 卵とね ぎのチ ャーハ ン	L-3 チキン クリー ムシチ ューの セット	L-4 ほうれ ん草と ベーコ ンのキ ッシュ のセッ ト	L-5 ギョー ザの和 風サラ ダ	L-6 ビビン バ	L-7 にんじ んツナ ベジマ ヨホッ トサン ド

				ト			
	和風	和風	洋風	洋風	和風	和風	洋風
	544[kcal ]	551[kcal ]	569[kcal ]	799[kcal ]	370[kcal ]	513[kcal ]	728[kcal ]
	5.8[g- Salt] (3.8)	3.2[g- Salt] (1.8)	3.5[g- Salt] (2.3)	1.5[g- Salt] (1.2)	2.1[g- Salt] (1.0)	2.9[g- Salt] (1.8)	3.5[g- Salt] (3.2)
夕食	D-1 豚バラ キャベ ツ鍋の 定食	D-2 刺身の 定食	D-3 ブリと 根菜の みぞれ 煮の定 食	D-4 レンジ ローズ トビー フのセ ット	D-5 蒸し鶏 ハムの 定食	D-6 やわら かお肉 のカレ ーライ ス	D-7 トマト とソー セージ のスパ ゲッテ ィ
	和風	和風	和風	洋風	和風	洋風	洋風
	676[kcal ]	760[kcal ]	869[kcal ]	741[kcal ]	865[kcal ]	993[kcal ]	736[kcal ]
	4.9[g- Salt] (2.8)	5.1[g- Salt] (3.0)	3.6[g- Salt] (2.1)	2.2[g- Salt] (1.1)	3.2[g- Salt] (2.2)	3.4[g- Salt] (3.4)	2.3[g- Salt] (1.7)
間食	焼き芋 ウーロ ン茶	ヨーグ ルト(全 脂無糖) コーヒ ー	ヨーグ ルト(全 脂無糖) コーヒ ー	ヨーグ ルト(全 脂無糖) コーヒ ー	ヨーグ ルト(全 脂無糖) コーヒ ー	葛餅 みかん ウーロ ン茶	コーヒ ーゼリ ー グレー プフル ーツ ウーロ ン茶
	163[kcal ]	64[kcal]	64[kcal]	64[kcal]	64[kcal]	89[kcal]	88[kcal]
	0[g- Salt]	0[g- Salt]	0[g- Salt]	0[g- Salt]	0[g- Salt]	0[g- Salt]	0[g- Salt]

### 5.1.2 環境影響評価

環境影響評価のためのライフサイクルアセスメントは次の手順で行った。

原材料の活動量は、前述の一週間分のモデル献立と減塩献立のデータを使用した。

調理の活動量は、津田ら<sup>7)</sup>による先行研究から、1品料理ごとの調理に必要なガス使用量・電力消費量を求めた。各料理に近い調理法のガス使用量・電力消費量を当てはめて算出した。

### 5.1.2.1 Mid-point 評価

原材料段階と調理段階の活動量を基に、食品の環境面と関係の深い影響領域（気候変動 CFP [kg-CO<sub>2</sub>e]・水消費 WCFP [m<sup>3</sup>]) について、原単位法にて IDEA の ver2.3<sup>8)</sup>を使用し、インベントリー分析した。

$$CFP = \sum_s \sum_i \{(Amount\ of\ input)_{i,s} \times (CO2\ intensity)_{i,s}\}$$

$$WCFP = \sum_s \sum_i \{(Amount\ of\ input)_{i,s} \times (Water\ consumption\ intensity)_{i,s}\}$$

式において、iは投入物質、sはライフサイクルステージを表す。

減塩調味料のインベントリーにおいて、一次データが入手できる減塩の風味調味料の生産投入概要比率を表 5.1.2 に示す。一次データが入手できない減塩しょう油は、日本高血圧学会の減塩食品リスト<sup>6)</sup>に掲載されているキッコーマン社の減塩しょう油 BOOK のキッコーマンの減塩しょうゆの基本的な作り方<sup>9)</sup>を参考に次の手順で算定した。キッコーマン社の減塩しょう油は、通常の濃い口しょう油から、海水の塩分除去技術を応用したイオン交換膜で脱塩している。サンアクティス社のカタログのソルト・リムーバーS3（厨房用脱塩装置(卓上型)）<sup>10)</sup>を使用して1[l]の減塩しょう油を作る試算をした。1[l]の減塩しょう油を作るためには、この機械を500[ml]/45[分]の2バッチ(90[分]=1.5[h])稼働させる。よって必要な電力は、0.75[kW/l] (=500[W]×45[分]×2バッチ(500[ml]×2))と試算した。減塩しょうゆ1[l]の影響領域インベントリーは、IDEAのver2.3<sup>8)</sup>のしょう油1[l]の影響領域（気候変動・水消費）のインベントリーに、電力(一般電気事業者10社平均、2012年度、1[kWh])の影響領域（気候変動・水消費）のインベントリーに0.75[kWh]を乗じた値を、しょう油1[l]のそれぞれの影響領域に加算して作成した。同じく一次データが入手できない減塩味噌は、日本高血圧学会の減塩食品リスト<sup>6)</sup>に掲載されているイチビキ社が製法情報を公開していないため、次の方法で算定した。影響領域（気候変動・水消費）のインベントリーデータの作成に向け、前述の通り算定した減塩調味料・減塩しょう油における、それぞれの標準品に対する影響領域ごとの平均倍率を求めた。減塩味噌の各影響領域インベントリーは、IDEAのver2.3<sup>8)</sup>の味噌の物に、それら平均倍率を乗じて作成した。

表 5.1.2 減塩の風味調味料の生産投入概要比率

投入品名 (IDEA ベース)	ほんだし配 合率	ほんだし(減 塩)配合率	丸鶏がら配 合率	丸鶏がら(減 塩)配合率

食用アミノ酸	40%	40%	15%	10%
カリウム塩類	ND	5%	5%	10%
水産食料品類	10%	20%	ND	ND
畜産食料品類	ND	ND	20%	20%
食用塩	30%	ND	40%	20%
糖類	20%	5%	20%	40%

### 5.1.2.2 End-point 評価

インベントリー分析から環境影響評価 Environmental Impact を算定するにあたって、気候変動は湯ら<sup>11)</sup>の SSP2 を、水消費は GLAM<sup>12)</sup>の日本の CF agr\_agri users の Annual average を、被害係数として人間健康[DALYs]に換算した。

$$Health\ Impact_{climate\ \&\ water} = CFP_i \times DF_{CO2-i} + WCFP_i \times DF_{Water}$$

### 5.1.3 健康影響評価

#### 5.1.3.1 塩分摂取量による健康影響

塩分摂取量に関する健康影響は GBD<sup>13)</sup>の結果を用いた。モデル献立の塩分摂取量における健康影響は、GBD<sup>13)</sup>の日本の Total All causes における Diet high in Sodium 2017 の全人口当たり 603,211[DALYs・日本人口・1年]を、2017年の日本人口 126,150,000 と 365日 で除し、一人一日あたりの塩分摂取における疾患影響 1.31E-05[DALYs/day/人]をベースデータとした。この疾患影響は、基準シナリオにおける塩分摂取量で引き起こされたと考え、一週間のモデル献立の一日分の塩分摂取量(65.4[g/7day]=9.3[g/day])で除し、1g 当たりの塩分摂取による健康影響ベースデータ 1.40E-06[DALYs/g]を算出した。この結果と 1 食ごとの塩分摂取量[g]を乗じて、モデル献立の一食ごとの塩分摂取による健康影響 (Health Impact\_salt model)[DALYs]を算出した。

#### 5.1.3.2 減塩による健康影響の削減量

減塩による健康影響は、野村ら<sup>14)</sup>による先行研究の結果を応用した。野村ら<sup>14)</sup>は、塩分摂取量と塩分に関連する 3 疾患 (胃ガン、循環器疾患、慢性腎疾患) について、将来の塩分摂取量が異なる複数のシナリオを自己回帰和分移動平均モデルでシミュレーションし、塩分摂取量と 3 疾患の 10 万人当たりの DALYs の連関性を導出した。3 疾患の将来シミュレーションの Best シナリオ (2040 年に WHO の目標 5[g/人/day]達成) と Worst シナリオ (現状の摂取量 9.9[ g/人/day]の継続) における、10 万人当たりの各疾患の DALYs の最低値と最高値が標準偏差の正規分布に従うと考えた。2040 年のシナリオごとに、最低値と最高値の間に正規分布に従う 1 百万個の乱数を発生させ (モンテカルロシミュレーション)、シナリオごとの乱数の平均値を求めた。関連 3 疾患における 2 シナリオの 2040 年の

乱数の平均値の差に定量的な優位さがあることを確認し、関連3疾患の乱数平均値の差の合計 244.7 [DALYs・10万人・1年]を、2040年の塩分摂取量差 4.9[g/day]と10万人と365日で除し、1[g]減塩当たりの健康影響指数 1.37E-06[DALYs/g]を求めた。

*Δ1g Reduced Salt Health Impact*

$$= (\Delta\text{Stomach Cancer} + \Delta\text{Cardiovascular Disease} + \Delta\text{Cronic Kidney Disease}) \div \Delta\text{Salt Intake} \div 100,000\text{persons} \div 365\text{days}$$

表 5.1.3 塩分摂取量と関連3疾患の先行研究の DALYs 結果を基にしたモンテカルロシミュレーションによる平均値

2040年	Best scenario	Worst scenario	Difference	Total
塩分摂取予測量(SI)	5.0	9.9	4.9	-
胃ガン(SC)	465.9	530.3	64.4	244.7
循環器疾患(CVD)	3886.5	4040.0	153.5	
慢性腎疾患(CKD)	612.9	639.7	26.8	

減塩献立による健康影響は、モデル献立の一食ごとの塩分摂取による健康影響[DALYs]と、モデル献立からの減塩量[g]と1[g]減塩当たりの健康影響指数を乗じた差から求めた。

*Health Impact<sub>salt reduced</sub>*

$$= \text{Health Impact}_{\text{salt model}} - (\Delta\text{Reduced Salt Intake} \times \Delta 1\text{g Reduced Salt Health Impact})$$

5.1.4 総合的な影響評価

モデル献立と減塩献立に関して、原材料段階と調理段階の End-point 評価結果 [DALYs]と塩分摂取による健康影響評価[DALYs]を合計し、総合的な影響評価を行った。

$$\text{Health Impact}_{\text{environment \& nutrient}} = \text{Health Impact}_{\text{climate \& water}} + \text{Health Impact}_{\text{salt}}$$

5.2 結果

5.2.1 環境影響の評価

モデル献立と減塩献立に関する気候変動[kg-CO<sub>2</sub>e]と水消費[m<sup>3</sup>]の環境影響の評価結果を表 5.2.1 に示す。

気候変動において、モデル献立の原材料段階の値は 2.16E+01[kg-CO<sub>2</sub>e/week]となった。減塩献立の値は 2.18E+01[kg-CO<sub>2</sub>e/week]となり、減塩調味料の脱塩処理や受容性向上のためのうま味物質追加の影響で、モデル献立の値より1%高くなった。調理の値は 1.75E+00[kg-CO<sub>2</sub>e]と原材料段階の10%弱であり、食事の気候変動において調理の影響

は大きくないことが分かった。それぞれの献立を食形態（和風・洋風）で比較した結果を図 5.2.1 に示す。和風のモデル献立は  $4.44\text{E}-01 \sim 1.49\text{E}+00$  [kg-CO<sub>2</sub>e/食] の範囲で平均  $8.34\text{E}-01$  [kg-CO<sub>2</sub>e/食] であり、同減塩献立は  $4.51\text{E}-01 \sim 1.50\text{E}+00$  [kg-CO<sub>2</sub>e/食] の範囲で平均  $8.45\text{E}-01$  [kg-CO<sub>2</sub>e/食] であり、モデル献立より減塩献立が平均 1% 高くなった。洋風はモデル献立・減塩献立とも  $5.38\text{E}-01 \sim 3.68\text{E}+00$  [kg-CO<sub>2</sub>e/食] の範囲で平均  $1.28\text{E}+00$  [kg-CO<sub>2</sub>e/食] であった。洋風の値は、和風の値と比較して牛肉をはじめとする肉の摂取量が多いので、その最大値が約 2.5 倍、平均値が約 1.5 倍高くなった。朝食・昼食・夕食で比較した結果を図 5.2.2 に示す。朝食のモデル献立は  $4.44\text{E}-01 \sim 1.14\text{E}+00$  [kg-CO<sub>2</sub>e/食] の範囲で平均  $6.97\text{E}-01$  [kg-CO<sub>2</sub>e/食] であり、同減塩献立は  $4.51\text{E}-01 \sim 1.15\text{E}+00$  [kg-CO<sub>2</sub>e/食] の範囲で平均  $7.02\text{E}-01$  [kg-CO<sub>2</sub>e/食] であり、減塩調味料によりモデル献立より減塩献立が平均 1% 高くなった。昼食のモデル献立は  $5.65\text{E}-01 \sim 1.49\text{E}+00$  [kg-CO<sub>2</sub>e/食] の範囲で平均  $8.90\text{E}-01$  [kg-CO<sub>2</sub>e/食] であり、同減塩献立は  $5.77\text{E}-01 \sim 1.50\text{E}+00$  [kg-CO<sub>2</sub>e/食] の範囲で平均  $8.98\text{E}-01$  [kg-CO<sub>2</sub>e/食] であり、減塩調味料によりモデル献立より減塩献立が平均 1% 高くなった。夕食のモデル献立は  $8.29\text{E}-01 \sim 3.68\text{E}+00$  [kg-CO<sub>2</sub>e/食] の範囲で平均  $1.55\text{E}+00$  [kg-CO<sub>2</sub>e/食] であり、同減塩献立は  $8.39\text{E}-01 \sim 3.68\text{E}+00$  [kg-CO<sub>2</sub>e/食] の範囲で平均  $1.56\text{E}+00$  [kg-CO<sub>2</sub>e/食] であり、減塩調味料によりモデル献立より減塩献立が平均 1% 高くなった。

水消費において、減塩献立の値は  $3.25\text{E}+00$  [m<sup>3</sup>/week] となり、減塩調味料の影響でモデル献立の値  $3.24\text{E}+00$  [m<sup>3</sup>/week] より 0.3% 弱高くなった。調理の値は  $1.12\text{E}-04$  [m<sup>3</sup>/week] と原材料段階の 0.01% 弱であり、食事の水消費において調理の影響はほとんど無いことが分かった。それぞれの献立を食形態（和風・洋風）で比較した結果を図 5.2.3 に示す。和風はモデル献立・減塩献立とも  $4.07\text{E}-02 \sim 2.21\text{E}-01$  [m<sup>3</sup>/食] の範囲で平均  $1.60\text{E}-01$  [m<sup>3</sup>/食] であった。洋風はモデル献立・減塩献立とも  $5.23\text{E}-02 \sim 3.61\text{E}-01$  [m<sup>3</sup>/食] の範囲で平均  $1.43\text{E}-01$  [m<sup>3</sup>/食] であった。和風の値は、洋風の値と比較して最大・最低値も小さいが、ご飯の摂取量が多いので、平均値は約 10% 高くなった。朝食・昼食・夕食で比較した結果を図 5.2.4 に示す。朝食のモデル献立・減塩献立とも  $5.23\text{E}-02 \sim 1.72\text{E}-01$  [m<sup>3</sup>/食] の範囲で平均  $1.20\text{E}-01$  [m<sup>3</sup>/食] であった。昼食のモデル献立は  $4.07\text{E}-02 \sim 2.24\text{E}-01$  [m<sup>3</sup>/食] の範囲で平均  $1.26\text{E}-01$  [m<sup>3</sup>/食] であり、同減塩献立は  $4.07\text{E}-02 \sim 2.22\text{E}-01$  [m<sup>3</sup>/食] の範囲で平均  $1.27\text{E}-01$  [m<sup>3</sup>/食] であり、減塩調味料によりモデル献立より減塩献立が平均 1% 高くなった。夕食のモデル献立は  $8.75\text{E}-02 \sim 3.61\text{E}-01$  [m<sup>3</sup>/食] の範囲で平均  $2.09\text{E}-01$  [m<sup>3</sup>/食] であり、同減塩献立は  $8.79\text{E}-02 \sim 3.61\text{E}-01$  [m<sup>3</sup>/食] の範囲で平均  $2.10\text{E}-01$  [m<sup>3</sup>/食] であり、減塩調味料によりモデル献立より減塩献立が平均 0.5% 高くなった。

表 5.2.1 モデル献立と減塩献立に関する気候変動と水消費の環境影響の評価結果

		一週間[/week]		一日当たり	
--	--	------------	--	-------	--

				[/day]	
		モデル献立	減塩献立	モデル献立	減塩献立
気候変動 [kg-CO <sub>2</sub> e]	原材料	2.16E+01	2.18E+01	3.09E+00	3.11E+00
	調理	1.75E+00	1.75E+00	2.50E-01	2.50E-01
	合計	2.34E+01	2.35E+00	3.34E+00	3.36E+00
水消費 [m <sup>3</sup> ]	原材料	3.24E+00	3.25E+00	4.63E-01	4.65E-01
	調理	1.12E-04	1.12E-04	1.60E-05	1.60E-05
	合計	3.24E+00	3.25E+00	4.63E-01	4.65E-01

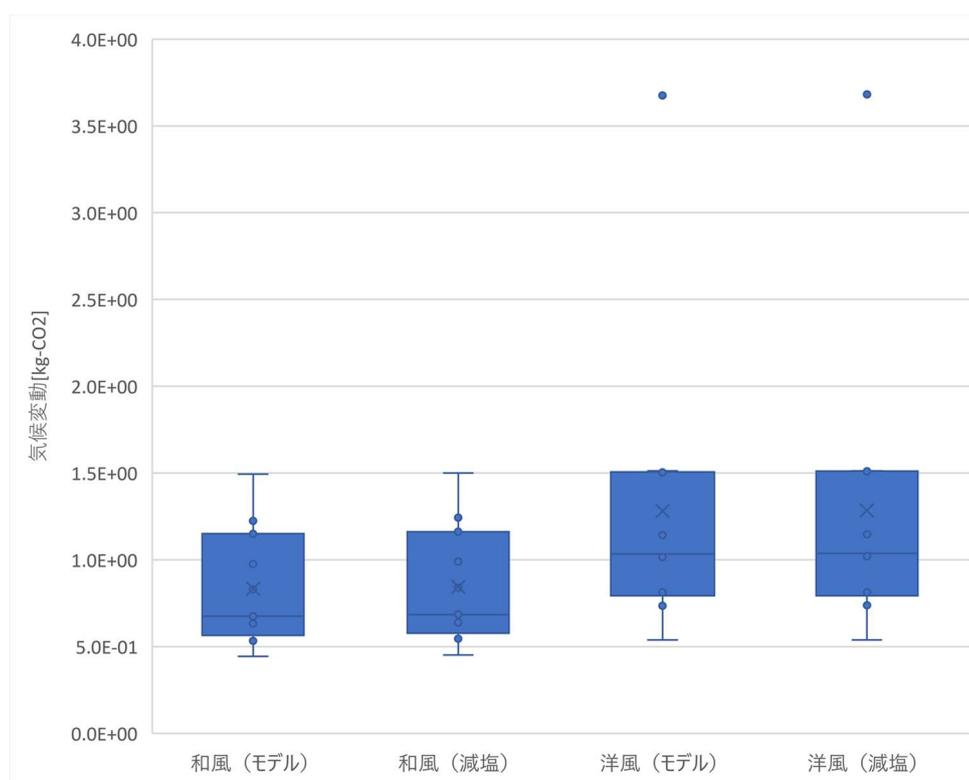


図 5.2.1 食形態（和風・洋風）に関するモデル献立と減塩献立の気候変動の比較

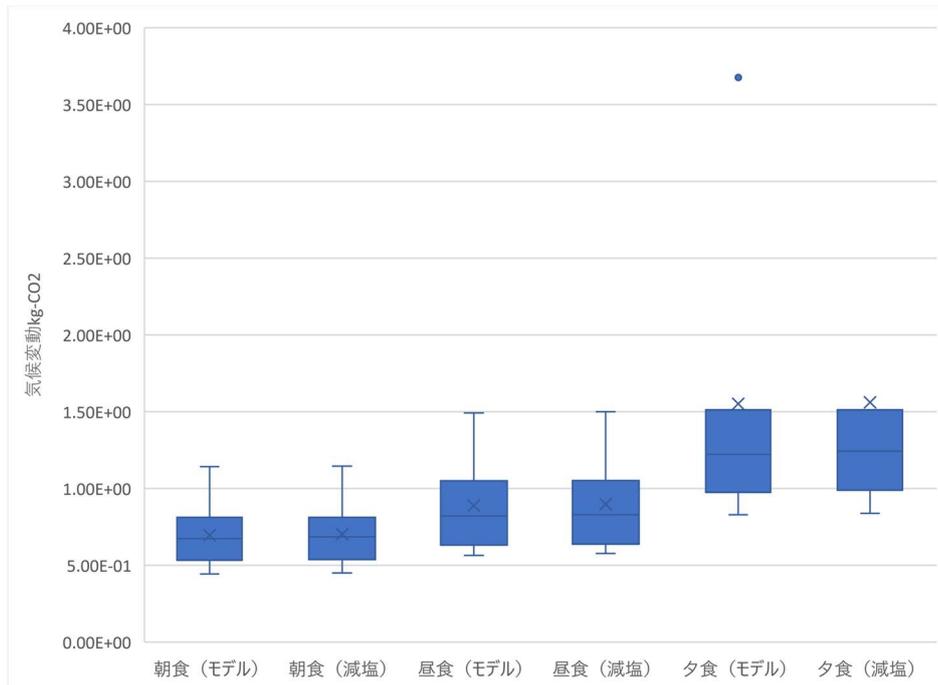


図 5.2.2 朝食・昼食・夕食に関するモデル献立と減塩献立の気候変動の比較

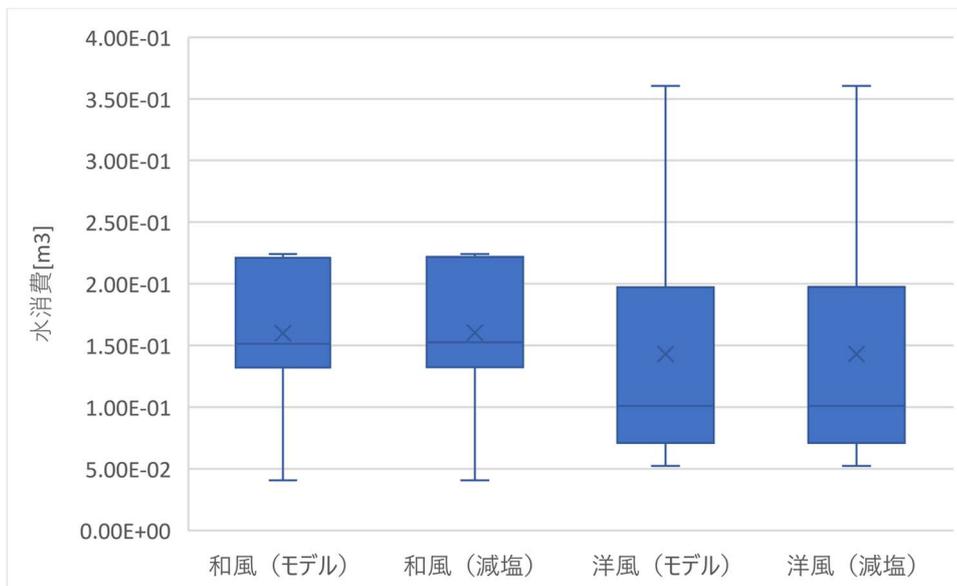


図 5.2.3 食形態 (和風・洋風) に関するモデル献立と減塩献立の水消費の比較

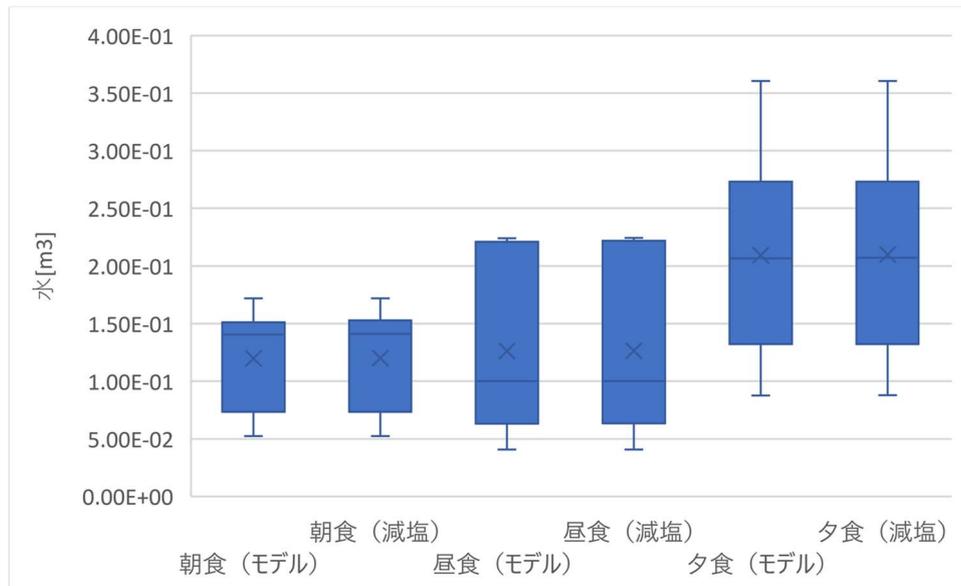


図 5.2.4 朝食・昼食・夕食に関するモデル献立と減塩献立の水消費の比較

### 5.2.2 健康影響の評価

モデル献立と減塩献立における塩分摂取量と健康影響の削減値を表 5.2.2 に示す。減塩調味料を使うと、一日当たり 2.8[g/day]減塩でき、その一日当たりの健康影響は 3.80E-06[DALYs/day]となった。食形態（和風／洋風）においてモデル献立と減塩献立の塩分摂取量を比較した結果を図 5.2.5 に示す。塩分摂取量は洋風の平均 2.4[g/day]より和風の平均 3.7[g/day]が高く、後者の減塩効果 2.3[g/day]が大きいことが分かった。和風の塩分が高い理由は、味噌やしょう油など食塩を多く含む調味料を使用する料理が多く、昔から野菜や海藻類などの保存食として利用されていた梅干し・漬物・佃煮など食塩を多く含む料理があるためである<sup>15)</sup>。

朝食・昼食・夕食に関して、モデル献立と減塩献立の塩分摂取量の比較を図 5.2.6 に示す。モデル献立における朝食・昼食・夕食のそれぞれの平均値が、2.6[g]・3.2[g]・3.5[g]となり、減塩献立におけるそれぞれの平均値が 2.1[g]・2.2[g]・2.3[g]となり、夕食の減塩に取り組むと効果が出やすいことが示唆された。

日本人の塩分摂取源の配分を図 5.2.7 に示す。塩分の摂取源は、基礎調味料 45%・風味調味料 31%・加工食品 24%である。使用割合が増えてきている風味調味料は、基礎調味料(塩、しょうゆなど)などが混ぜられた状態の製品であり、使用＝調理時に塩分添加量が把握しにくい。しかし本研究では、風味調味料も対象としており、減塩の風味調味料を使うことで食形態によらず確実に減塩できることが示唆された。

表 5.2.2 モデル献立と減塩献立における塩分摂取量と健康影響の削減値

	塩分摂取量		健康影響 DALYs	
	一週間 [g/Week]	一日当たり [g/day]	一週間 [DALYs/week]	一日当たり [DALYs/day]
モデル献立	65.4	9.3	9.13E-05	1.30E-05
減塩献立	45.8	6.5	6.44E-05	9.20E-06
差	19.6	2.8	2.69E-05	3.80E-06

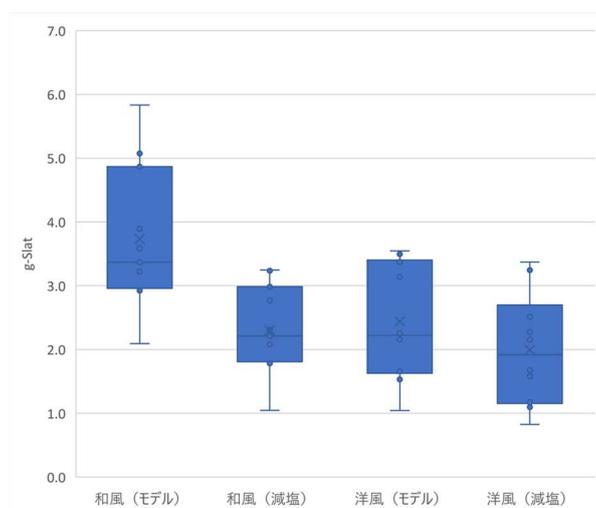


図 5.2.5 食形態 (和風/洋風) におけるモデル献立と減塩献立の塩分摂取量比較

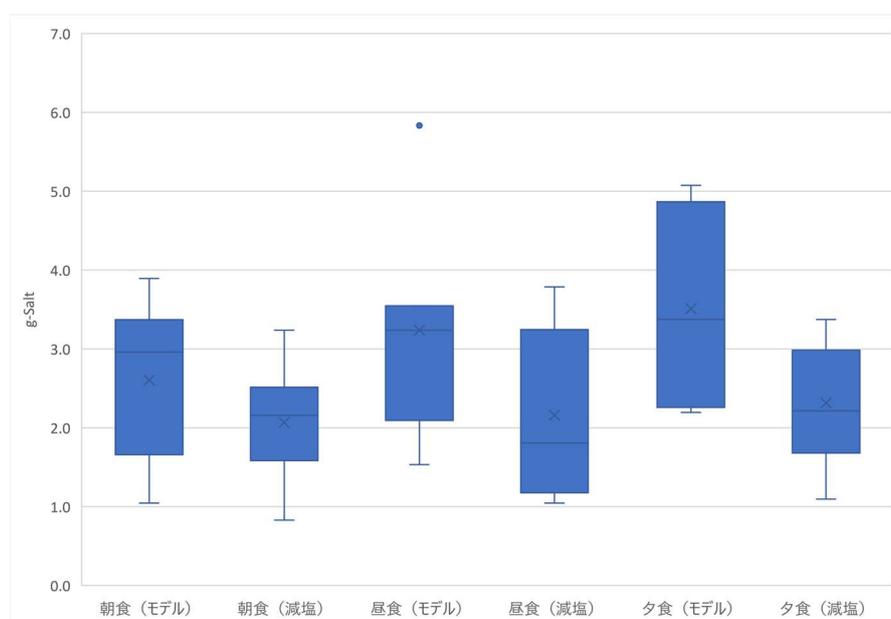


図 5.2.6 朝食・昼食・夕食におけるモデル献立と減塩献立の塩分摂取量比較

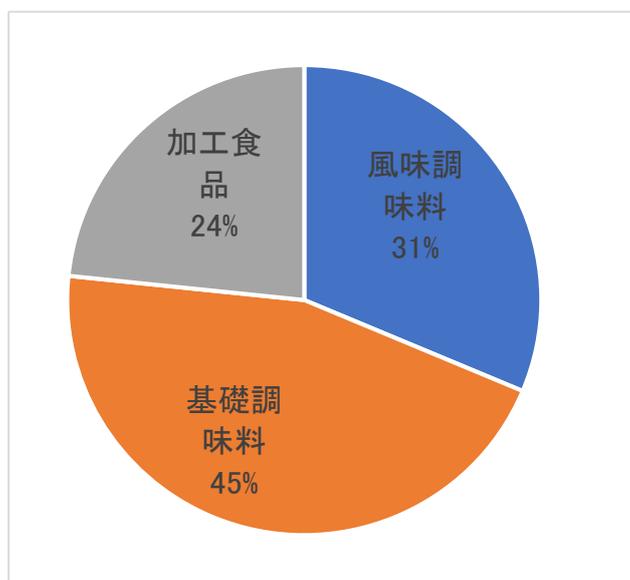


図 5.2.7 日本人の塩分摂取源の配分

### 5.2.3 総合的な影響評価

モデル献立と減塩献立の総合的な影響評価の結果を表 5.2.3 と図 5.2.8 に示す。一日において、原材料において、モデル献立  $6.75E-06$ [DALYs/day]に対して、減塩献立が  $6.79E-06$ [DALYs/day]と 0.6%増える。塩分摂取量の違いによる健康影響に関して、モデル献立  $1.30E-05$ [DALYs/day]に対して、減塩献立は減塩 2.8g/day により  $9.19E-06$ [DALYs/day]と約 30%下げられる。3段階を合計の結果は、モデル献立  $2.02E-05$ [DALYs/day]に対して、減塩献立が  $1.64E-05$ [DALYs/day]と 20%下げられる。人間健康に関して減塩献立は、減塩調味料の脱塩処理や受容性向上のためのうま味物質追加の影響により環境影響は 1%程度増えるが、減塩により関連疾患の罹患率が下げられる健康影響の方が大きく下げられることが分かった。

表 5.2.3 モデル献立と減塩献立の総合的な影響評価の結果

	一週間[/week]		一日当たり[/day]	
	モデル献立	減塩献立	モデル献立	減塩献立
原材料	$4.73E-05$	$4.76E-05$	$6.75E-06$	$6.79E-06$
調理	$2.64E-06$	$2.64E-06$	$3.77E-07$	$3.77E-07$
塩分	$9.13E-05$	$6.44E-05$	$1.30E-05$	$9.19E-06$
合計	$1.41E-04$	$1.15E-04$	$2.02E-05$	$1.64E-05$

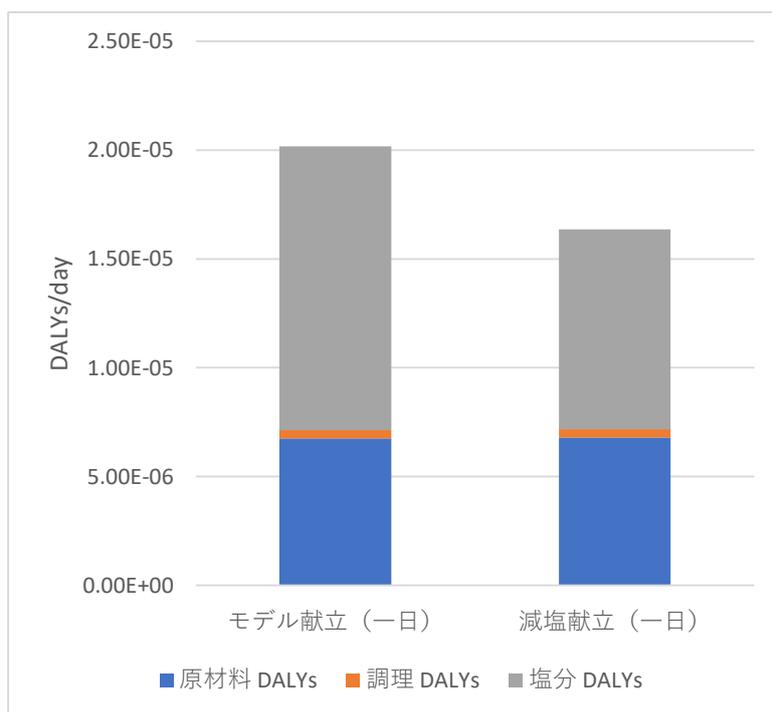


図 5.2.8 一日のモデル献立と減塩献立の影響評価

## 5.3 考察

### 5.3.1 食形態（和風・洋風）による比較

#### 5.3.1.1 影響評価

モデル献立と減塩献立の影響評価において、食形態（和風／洋風）および原材料／調理／健康影響に分けて比較した結果を図 5.3.1 に示す。

原材料に関しては、和風は  $1.08E-06 \sim 3.22E-06$  [DALYs/食] の範囲で平均  $1.92E-06$  [DALYs/食] であった。同じく洋風は  $9.44E-07 \sim 7.08E-06$  [DALYs/食] と 10 倍近い開きがあり、平均は  $2.43E-06$  [DALYs/食] となり、和風と比べて 25% 程度高くなった。洋風の原材料は、牛肉をはじめとする肉の量が多いことにより高い。食形態（和風・洋風）における気候変動と水消費に関する詳細の考察は、次の 5.3.1.2 環境影響で述べる。

塩分摂取量の健康影響に関して和風は、 $2.92E-06 \sim 8.14E-06$  [DALYs/食] の範囲で平均  $5.21E-06$  [DALYs/食] であった。同じく洋風は、 $1.46E-06 \sim 4.95E-06$  [DALYs/食] の範囲で平均は  $3.40E-06$  [DALYs/食] となった。塩分摂取量は先の図 5.2.5 の解析と同じ傾向であり、和風平均が洋風平均より 50% 程度高い。最も塩分影響が高い和風のモデル献立は、L-1：ちくわ焼うどんとジャガイモのスープであり（ $8.14E-06$  [DALYs]、 $5.8$  [g-salt]）、それらの塩分摂取源は風味調味料が 8 割を占める。風味調味料を減塩タイプに変更することで、塩分影響を  $4.60E-06$  [DALYs]、 $3.2$  [g-salt] まで約 45% 削減できる。最も塩分影響が低い和風のモデル献立は、L-5：ギョーザの和風サラダ（ $2.92E-06$  [DALYs]、

2.1[g-salt]) であり、それらの塩分摂取源は基礎調味料のしょうゆと食塩である。しょうゆと食塩を減塩タイプに変更することで、塩分影響を  $1.49\text{E-}06$ [DALYs]、 $1.0$ [g-salt] まで約 50%削減できる。最も塩分影響が高い洋風のモデル献立は、L-7：ツナサンドイッチであり ( $4.95\text{E-}06$ [DALYs]、 $3.5$ [g-salt])、それらの塩分摂取源は基礎調味料である食塩が約 2 割を占める。減塩タイプの食塩に変更することで、塩分影響を  $4.54\text{E-}06$ [DALYs]、 $3.2$ [g-salt] まで約 10%削減できる。最も塩分影響が低い洋風のモデル献立は、B-2：オムライス（ハーフ）であり ( $1.46\text{E-}06$ [DALYs]、 $1.0$ [g-salt])、それらの塩分摂取源は基礎調味料（食塩：15%、ケチャップ：50%）・風味調味料 35%の割合である。食塩と風味調味料を減塩タイプに変更することで、塩分影響を  $1.16\text{E-}06$ [DALYs]、 $0.8$ [g-salt] まで約 20%削減できる。和風の塩分が高いのでその減塩効果も大きく、減塩献立とする場合は平均  $3.31\text{E-}06$ [DALYs/食]と洋風のモデル献立平均より低い値まで下げられる。

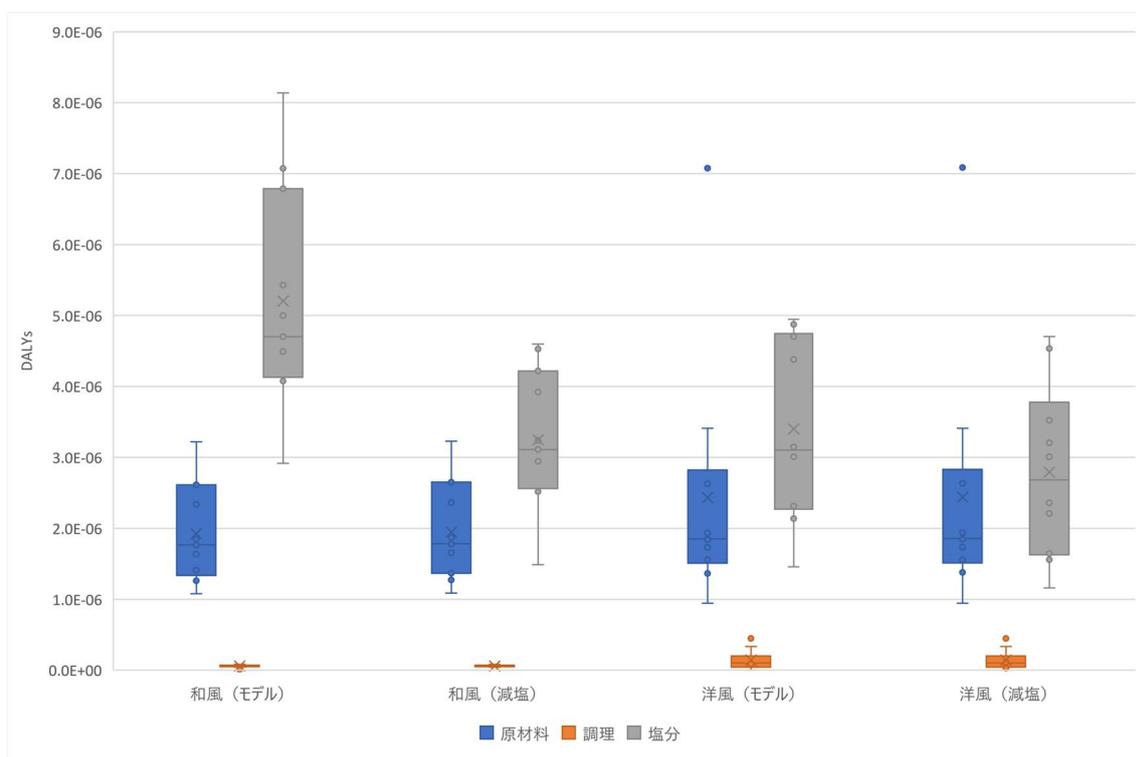


図 5.3.1 食形態（和風／洋風）と献立ごとの原材料－調理－健康影響の比較

### 5.3.1.2 環境影響

食形態において、原材料の気候変動・水消費に関する影響評価の結果を図 5.3.2 に示す。気候変動に関しては、和風は  $6.15\text{E-}07$ ~ $2.19\text{E-}06$ [DALYs/食]の範囲で平均  $1.19\text{E-}06$ [DALYs/食]であった。同じく洋風は  $7.05\text{E-}07$ ~ $5.43\text{E-}06$ [DALYs/食]と 7 倍強の開き

があり、平均は  $1.78E-06$  [DALYs/食] となり、和風と比べて 50% 程度高くなった。洋風の原材料は、牛肉をはじめとする肉の量が多いことにより高い。水消費に関しては、和風は  $1.87E-07 \sim 1.03E-06$  [DALYs/食] と 10 倍近い開きがあり、平均は  $7.33E-07$  [DALYs/食] であった。同じく洋風は  $2.40E-07 \sim 1.65E-06$  [DALYs/食] と 7 倍強の開きがあり、平均は  $6.56E-07$  [DALYs/食] となった。水消費に関しては、相対的にご飯の割合が多い和風平均が洋風平均より 10% 程度高い。

1 食ごとにおける原材料の気候変動・水消費に関する影響評価の結果を図 5.3.3 に示す。気候変動に影響が大きい食材順は、牛肉 (D-4: ローストビーフ定食 150[g]、L-6: ビビンバ 50[g]) が高く、次いで豚肉 (D-7: ソーセージ (スパゲティ) 34[g]、D-6: カレーライス 75[g]、D-1: 豚バラ鍋 50[g])、鶏肉 (D-5: 鶏蒸しハム定食 150[g]) と魚 (D-2: 刺し身定食 222[g]、L-7: ツナサンド 70[g]) の献立が同程度である。同じ肉の量で気候変動影響を比較すると、鶏肉 (D-5: 鶏蒸しハム定食 150[g] =  $1.65E-06$  [DALYs]) に対して牛肉 (D-4: ローストビーフ定食 150[g] =  $5.43E-06$  [DALYs]) は 3.3 倍も高い。水消費に影響が大きい食材順は、ご飯 (D-1・D-2・D-4・D-5・L-6: 150[g]、D-6・L-2: 200[g]、平均  $1.11E-06$  [DALYs])、小麦加工品 (D-7: パスタ 165[g]、L-7: パン 120[g]、平均  $4.30E-07$  [DALYs]) となる。前者は後者の 2.5 倍ほど水消費の影響が高い。

環境影響 (気候変動・水消費) を下げる食事にするには、原材料の牛肉を豚・鶏肉や魚へ、ご飯をうどんやパンへ変更すると環境負荷を下げるができることが分かった。

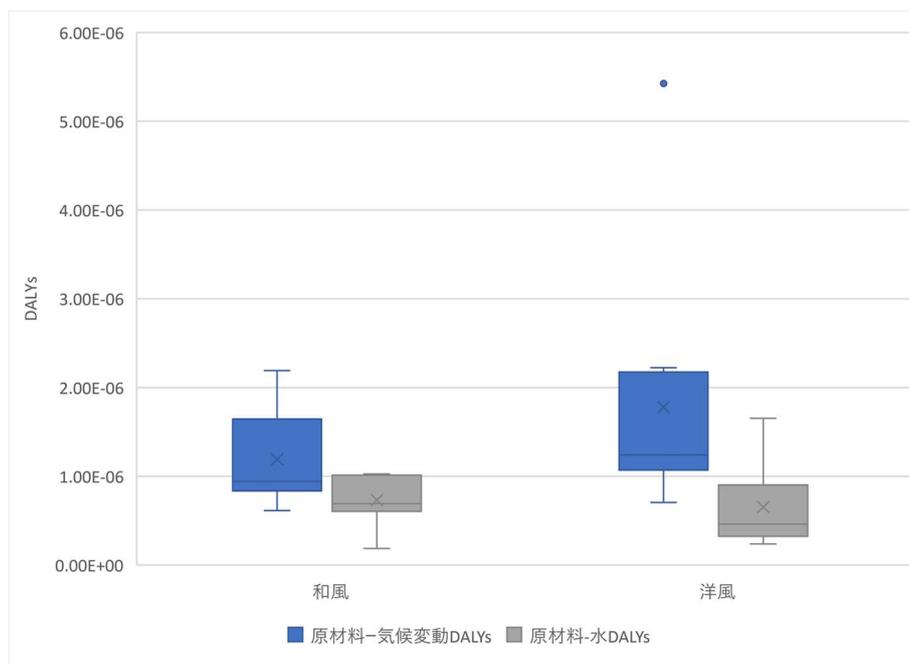


図 5.3.2 食形態 (和風/洋風) における原材料の気候変動・水消費に関する影響評価の結果

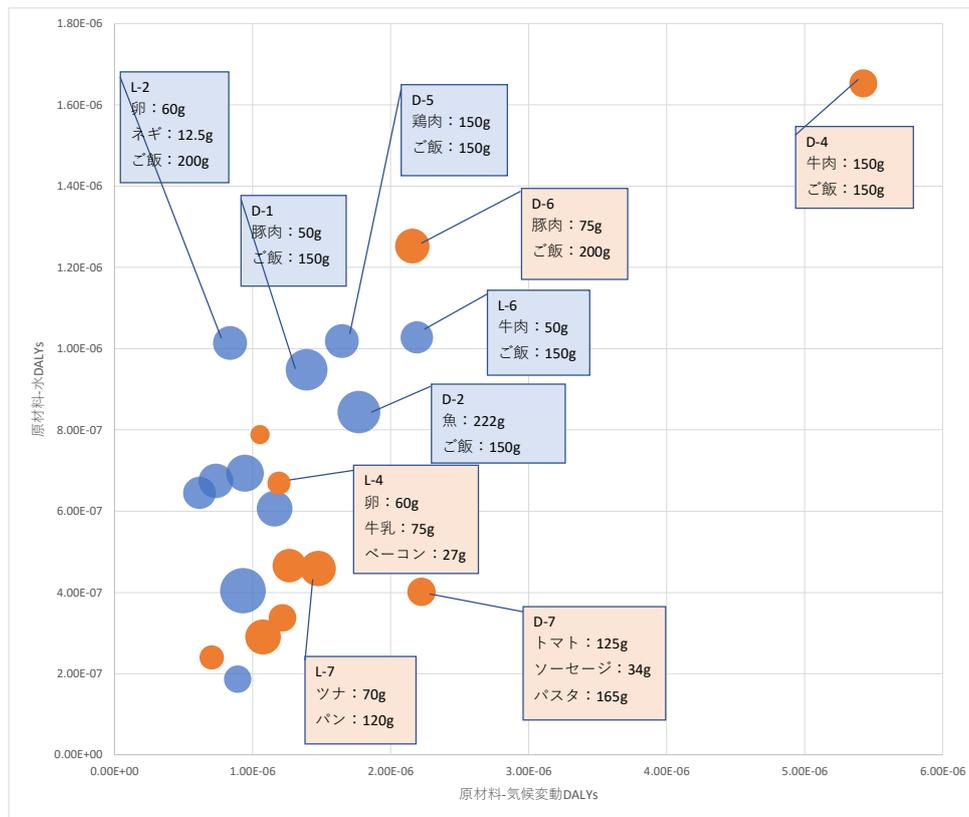


図 5.3.3 1食ごとににおける原材料の気候変動・水消費に関する影響評価の結果

### 5.3.2 先行研究比較

本研究と先行研究における原材料の気候変動[t-CO<sub>2</sub>e/年]の比較を表 5.3.1 に示す。本研究の一週間のモデル献立の値を 365 日/7 日(一週間)=52 倍(週)した結果は 1.12[t-CO<sub>2</sub>e/年]となった。Springmann ら<sup>16)</sup>の先行研究における同じく一年間の値は世界(WLD)1.27[t-CO<sub>2</sub>e/年]・先進国(DPD)1.73[t-CO<sub>2</sub>e/年]・新興国(DPG)1.18[t-CO<sub>2</sub>e/年]と同程度であり、本研究の結果は適切な結果であると判断した。赤肉に関して、本研究の赤肉(牛肉、豚肉)量を 365 日/7 日(一週間)=52 倍(週)した結果は 0.33[t-CO<sub>2</sub>e/年]となった。Springmann ら<sup>16)</sup>の先行研究における世界(WLD)0.67[t-CO<sub>2</sub>e/年]・先進国(DPD)0.95[t-CO<sub>2</sub>e/年]・新興国(DPG)0.62[t-CO<sub>2</sub>e/年]のいずれに対して、本研究の赤肉の値は半分程度であり、日本人は他の国よりも赤肉の摂取量が少ないことが示唆された。穀類に関して、本研究の穀類(米、パン、めん)量を 365 日/7 日(一週間)=52 倍(週)した結果は 0.25[t-CO<sub>2</sub>e/年]となった。Springmann ら<sup>16)</sup>の先行研究における世界(WLD)0.15[t-CO<sub>2</sub>e/年]・先進国(DPD)0.09[t-CO<sub>2</sub>e/年]・新興国(DPG)0.16[t-CO<sub>2</sub>e/年]のいずれに対して、本研究の穀類は 2 倍程度であり、日本人は他の国よりも穀類の摂取量が多いことが示唆された。

表 5.3.1 本研究と先行研究における原材料の気候変動[t-CO<sub>2</sub>e/年] の比較

	本研究	Springmann ら <sup>16)</sup> の先行研究		
		世界(WLD)	先進国(DPD)	新興国(DPG)
赤肉	0.33	0.67	0.95	0.62
穀類	0.25	0.15	0.09	0.16
ほか	0.55	0.45	0.69	0.40
合計	1.12	1.27	1.73	1.18

Na と K の摂取量と血圧に関する先行研究は複数ある。疫学研究では、食塩=Na の摂取量ではなく、尿中の Na 排泄量にて論じられ、現状の Na と K の摂取量すなわち Na 排泄量から食塩適正摂取量 (5g/人/日) が定められている。よって、本研究では、日本人の現状の食事(栄養素)摂取状態と減塩による改善を比較検証するため、栄養素のうち食塩の摂取量だけを減らした。Na 摂取量を変化させずに、K の量を増やす食事を検証する場合、新たなデータ解析が必要である。

### 5.3.3 朝食・昼食・夕食による比較

朝食・昼食・夕食に関して、カロリー、塩分摂取量、影響評価の比較を示す (カロリーは図 5.3.4, 塩分摂取量は図 5.2.6, 影響評価は図 5.3.5 に示す)。モデル献立における朝食・昼食・夕食に関して、カロリー・塩分・影響評価の平均値がそれぞれ、420[kcal/食]・582[kcal/食]・806[kcal/食]、2.6[g/食]・3.2[g/食]・3.5[g/食]、5.24E-06[DALYs/食]・6.45E-06[DALYs/食]・8.25E-06[DALYs/食]となった。すべての面で夕食が高いので、食事の環境と健康を両立させるために、夕食の食材の見直しや減塩に取り組むと効果が出やすいことが示唆された。

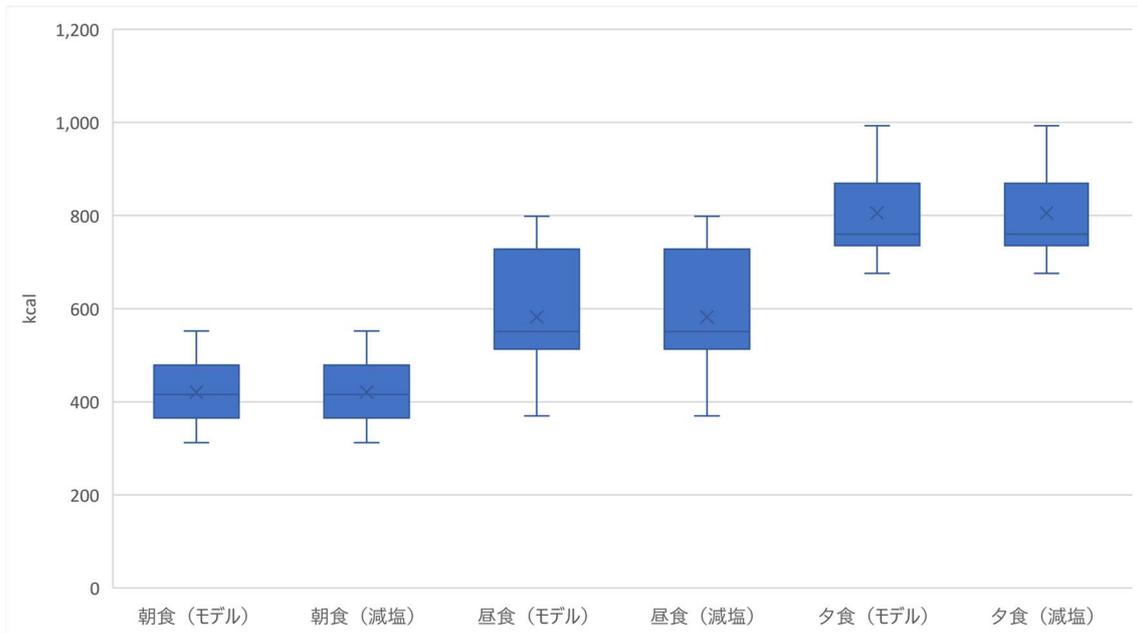


図 5.3.4 朝食・昼食・夕食に関するカロリーの比較

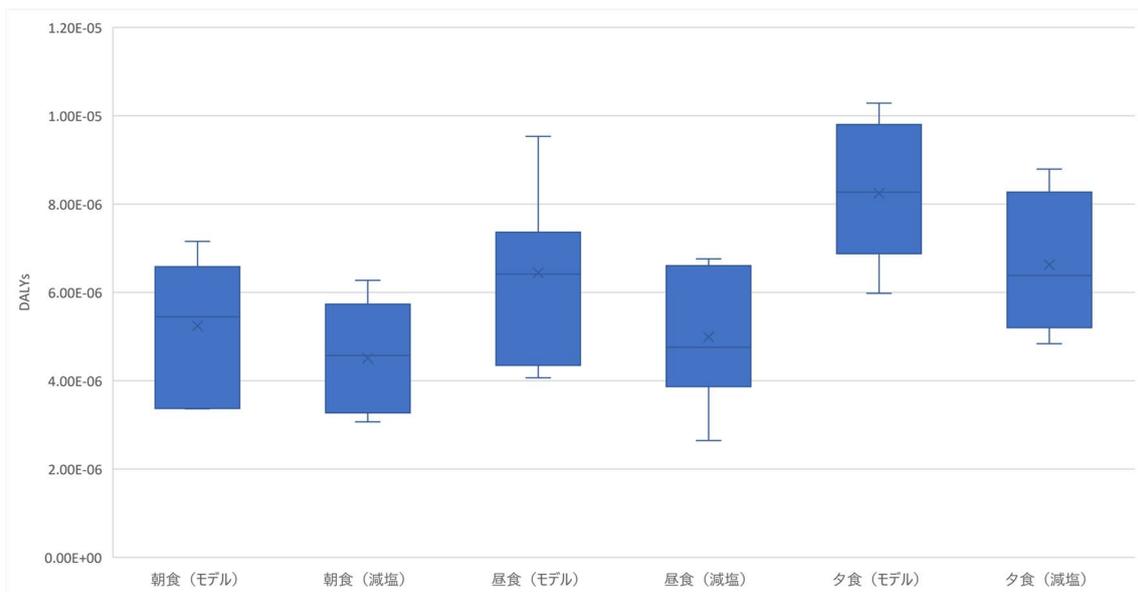


図 5.3.5 朝食・昼食・夕食に関する影響評価の比較

## 5.4 まとめ

本研究では、モデル献立とそれをベースとした減塩献立について、環境影響（気候変動・水消費）と塩分削減による健康影響を人間健康[DALYs]で影響評価した。同じ献立でも、減塩調味料を使用する場合は、減塩調味料における脱塩処理や受容性向上のためのうま味物質追加の影響により気候変動・水消費が1%程度高くなる。塩分による健康影響

も考慮して影響評価すると、減塩により関連疾患の DALYs が 30%下がる影響が大きく、総合的に減塩献立の方が、人間健康影響[DALYs]は 20%下げられることが分かった。

食形態（和風／洋風）に関する人間健康影響[DALYs]の解析をした。原材料に関して洋風は、牛肉をはじめとする肉の摂取量が多いことにより和風と比べて 25%程度高い。塩分摂取量に関して和風平均は、洋風平均より 50%程度高い。和風の塩分が高い理由は、味噌やしょう油など食塩を多く含む調味料を使用する料理や、昔から保存のため食塩を多く含む料理が多い食文化による。和風の塩分が高いのでその減塩効果も大きく、減塩献立とする場合は洋風のモデル献立平均程度まで下げられる。

食形態（和風／洋風）において、原材料の気候変動・水消費に関する人間健康影響[DALYs]の解析をした。気候変動に関しては、洋風の原材料が牛肉をはじめとする肉の量が多いことにより、和風と比べて 50%程度高い。水消費に関しては、和風が相対的にご飯の割合が多く、洋風平均より 10%程度高い。環境影響（気候変動・水消費）を下げる食事にするには、原材料の牛肉を豚・鶏肉や魚へ、ご飯をうどんやパンへ変更すると環境負荷を下げられ、持続可能な献立が増える。

朝食・昼食・夕食に関して解析した結果、カロリー・塩分摂取量・影響評価すべての面で夕食が高く、食事の環境と健康を両立させるために、まずは夕食の食材の見直しや減塩に取り組むと効果が出やすいことが示唆された。

本研究では、主菜の食材が魚の干物・刺し身や豆腐など、調理法が鍋・煮つけ・炒飯など、日本の伝統的な食材・調理法の食事を和風とした。洋風は、主菜の調理法がサンドイッチ・グラタン・スパゲッティ・カレーなど欧米から取り入れた方法の食事を洋風とした。本研究では、便宜上の献立解析のため、食形態（和風・洋風）に分類して比較した。和風・洋風の食形態の明確な定義は決まっておらず、食形態の良否を判断したものではない。和風・洋風のそれぞれの食文化の良い点・課題点があるので、それらを把握したうえで献立を作ることを望む。

本研究では、1食ないし1日の塩分摂取量が 5g 以下の場合も、減塩調味料にて塩分摂取量が削減できるので人間健康 DALYs が削減できるとして計算・評価した。しかし、WHO の塩分至適摂取量が 5g/人/日とされているので、1食ないし1日の塩分摂取量が 5g 以下の場合には人間健康 DALYs へ影響を及ぼさない計算とするよう再考が必要である。

本研究では、数ある栄養素のうち、日本人にとって一番課題である塩分に着目して解析をした。例えば、GBD の食事リスクの残り 14 項目について、優先度をつけて順次様々な栄養素と環境・健康の研究が進められ、包括的に食事が評価されることに期待する。

## 参考文献

- 1) 厚生労働省, 平成 30 年の国民健康栄養調査の第 5 表の 1 食品群別摂取量, 入手先, (オンライン) < [https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00450171&tstat=000001041744&cycle=7&tclass1=000001139646&stat\\_infid=000031934453&cycle\\_facet=tclass1&tclass2va1=0](https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00450171&tstat=000001041744&cycle=7&tclass1=000001139646&stat_infid=000031934453&cycle_facet=tclass1&tclass2va1=0)>
- 2) 厚生労働省, 平成 30 年の国民健康栄養調査の第 13 表 朝、昼、夕、間別にみたエネルギー及び主要な食品群別摂取量, 入手先, (オンライン) < [https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00450171&tstat=000001041744&cycle=7&tclass1=000001139646&stat\\_infid=000031934465&cycle\\_facet=tclass1&tclass2va1=0](https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00450171&tstat=000001041744&cycle=7&tclass1=000001139646&stat_infid=000031934465&cycle_facet=tclass1&tclass2va1=0)>
- 3) 味の素株式会社, Ajinomoto PARK, 入手先, (オンライン) < [https://park.ajinomoto.co.jp/?scid=pr\\_ot\\_pc\\_cojpheadbp\\_kfb\\_recipe](https://park.ajinomoto.co.jp/?scid=pr_ot_pc_cojpheadbp_kfb_recipe)>
- 4) 株式会社 KADOKAWA, レタスクラブ, 入手先, (オンライン) < <https://www.lettuceclub.net/recipe/dish/31022/>>
- 5) 有限会社 富久屋, ネット販売ページ (くず餅 豆くず), 入手先, (オンライン) < <https://wagashi-fukuya.shop-pro.jp/?pid=129034955>>
- 6) 日本高血圧学会 減塩委員会, JSH 減塩食品リスト (減塩食品のご紹介とホームページのご案内), 入手先, (オンライン) < [https://www.jpnsn.jp/data/salt\\_foodlist.pdf](https://www.jpnsn.jp/data/salt_foodlist.pdf)>
- 7) 津田淑江, 大家千恵子, 瀬戸美江, 久保倉寛子, 稲葉敦, 調理時におけるライフサイクル CO2 排出量の実践的定量, 日本 LCA 学会誌, 2006 July Vol. 2 No.3, 入手先, (オンライン) < [https://www.jstage.jst.go.jp/article/lca/2/3/2\\_3\\_288/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/lca/2/3/2_3_288/_pdf)>
- 8) 一般社団法人 サステナブル経営推進機構, LCI データベース IDEAv2, 入手先, (オンライン) < <https://sumpo.or.jp/consulting/lca/idea/index.html>>
- 9) キッコーマン株式会社, キッコーマン 減塩しょうゆ BOOK, P. 3-4, 入手先, (オンライン) < <https://www.kikkoman.co.jp/library/genen50th.pdf>>
- 10) 株式会社 サンアクティス, ソルト・リムーバー S3, 入手先, (オンライン) < <https://www.sunactis.co.jp/products/S3.pdf>>
- 11) Longlong Tang, Yasushi Furushima, Yasushi Honda, Tomoko Hasegawa, Norihiro Itsubo, Estimating human health damage factors related to CO2 emissions by considering updated climate-related relative risks, The International Journal of Life Cycle Assessment (2019 24: 1118-1128, 入手先, (オンライン) < <https://doi.org/10.1007/s11367-018-1561-6><https://www.mag2.com/p/news/155766>>

- 12) United Nations Environmental Program, Global Guidance on Environmental Life Cycle Impact Assessment Indicators Volume 2, P. 110 Table 5.2, 入手先, (オンライン) <[https://www.researchgate.net/publication/337672270\\_Global\\_Guidance\\_for\\_Life\\_Cycle\\_Impact\\_Assessment\\_Indicators\\_GLAM\\_Volume\\_2](https://www.researchgate.net/publication/337672270_Global_Guidance_for_Life_Cycle_Impact_Assessment_Indicators_GLAM_Volume_2)>
- 13) Institute for Health Metrics and Evaluation, GBD Compare, Dietary risks Japan, 入手先, (オンライン) <<https://vizhub.healthdata.org/gbd-compare/>>
- 14) Shuhei Nomura, Daisuke Yoneoka, Shiori Tanaka, Aya Ishizuka, Peter Ueda, Keiji Nakamura, Hisayuki Uneyama, Naoki Hayashi, Kenji Shibuya, Forecasting disability-adjusted life years for chronic diseases: reference and alternative scenarios of salt intake for 2017-2040 in Japan, BMC Public Health (2020): 1475, 入手先, (オンライン) <<https://doi.org/10.1186/s12889-020-09596-3>>
- 15) 公益財団法人 長寿科学振興財団, 日本食(和食)は理想的な健康長寿食, 入手先, (オンライン) <<https://www.tyojyu.or.jp/net/kenkou-tyoju/koureisha-shokuji/kenkou-tyuju-syoku.html>>
- 16) Marco Springmann, H. Charles J. Godfray, Mike Rayner, Peter Scarborough, Analysis and valuation of the health and climate change cobenefits of dietary change, PNAS, April 12, 2016 vol. 113 no. 15 4146-4151, 入手先, (オンライン) <<http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1523119113>>

## 第6章 結論

### 6.1 本研究の成果

本研究では、ライフサイクル思考に基づき食品の環境・健康の影響評価を行った。第一の研究（第3章）において、環境影響について気候変動・水消費および富栄養化の3つのマルチクライテリアの影響領域で評価した。第二の研究（第4章）において、環境影響を気候変動・水消費および大気汚染の3つの影響領域で評価し、それらの影響を人間健康 DALYs に換算して総合的に被害影響を評価した。第三の研究（第5章）では、栄養摂取量の改善による関連疾患罹患率の改善効果を応用して人間健康 DALYs で評価したうえで、食品の環境・健康の影響を総合的に評価した。

第1章では、SDGs を達成すべく、環境（気候変動：SDGs13・海：SDGs14・陸：SDGs15）と健康：SDGs3 の両立のため、食品（食事）に関して課題を整理した。食品に関して LCA による環境影響の先行研究を、食に関する環境と健康の両面を論じた先行研究を整理した。

第2章では、序論で整理した社会背景および研究背景を基に、食品における環境影響を気候変動・水・大気汚染の3つのマルチクライテリアで評価し、それらを人間健康 [DALYs] で総合的に影響評価する構想を述べた。実際の食事は食品を組み合わせた献立であり、日本人の平均食品摂取量を基にしたモデル献立とそれをベースとした減塩献立について、環境影響と減塩による健康影響を人間健康 [DALYs] で総合的に影響評価する構想を述べた。

第3章では、穀物中心の慣用飼料と栄養素を最適化した低たんぱく質飼料による養豚飼育をカーボン・ウォーター（水消費・富栄養化）フットプリントで評価した。後者の低たんぱく質飼料は、CO<sub>2</sub> 排出量 0.41 [t-CO<sub>2</sub>/t-飼料] と水消費量 100 [m<sup>3</sup>/t-飼料]・窒素負荷 10% を減らせることを明らかにした。日本における低たんぱく質飼料利用率を 20% から 75% に上げることで、日本の養豚業のライフサイクル全体における CO<sub>2</sub> 排出量を 248,000 [t-CO<sub>2</sub>/年]、水消費量を 67,000 [km<sup>3</sup>/年] 削減できる可能性が分かった。この CO<sub>2</sub> 排出量は、日本の農業部門 CO<sub>2</sub> 排出量 600,000 [t-CO<sub>2</sub>/年] の 37% に相当する。

第4章では、日本の米輸入量第2位のタイで野焼きにより煙害を起こしている稲わらを分解した原料からグルタミン酸ナトリウムを生産する場合と、現行原料（可食であるタピオカスターチ）の場合について、カーボン・ウォーター・大気汚染のフットプリントで評価した。非可食バイオマスの場合、ウォーターフットプリントが 70% 削減でき、大気汚染フットプリントが 40% 削減できることを明らかにした。カーボンフットプリントは、いずれの原料でもほとんど同じである。人間健康 [DALYs] への影響評価は、非可食バイオマスの場合はタピオカスターチの場合よりも 50% 小さい。タイのすべての MSG 原料を稲わらに変更する場合、タイで 2015 [DALYs] の健康影響を削減する。この社会インパクトはタイの 2019 年のぜんそくの 1.2% の削減に相当する。

第5章では、日本人の平均食品摂取量を基にしたモデル献立とそれをベースとした減塩

献立について、環境影響と減塩による健康影響を評価した。減塩献立の場合、減塩調味料により気候変動・水双方とも 1%程度環境影響が高くなることを確認した。塩分による健康影響も考慮して影響評価すると、減塩により関連疾患の DALYs が 30%下がる影響が大きく、総合的に減塩献立の方が、人間健康影響[DALYs]は 20%下げられることを確認した。

本研究では、トレードオフになりがちな食品のカーボンとウォーターフットプリントをマルチクライテリアで環境影響し、それらの影響を人間健康 DALYs に換算して総合的に被害影響を評価した。加えて食品における栄養摂取量の改善による関連疾患罹患率の改善効果を応用して人間健康 DALYs で評価したうえで、食品の環境・健康の影響を総合的に評価した。本研究を通じて、食品とサプリメントなどの併用で最適な食事量と栄養摂取量にすることで、環境影響や疾患による治療の削減の可能性を見出した。日本人の現状の食事（栄養摂取状態）と改善案を研究する際は、本研究で作成したモデル献立（国民健康栄養調査結果の 20 歳以上の平均摂取量を 7 倍して一週間のモデル献立）をベースに研究すると良いと考える。また、食事(栄養)の改善に関して研究する際は、関連疾患の罹患率改善・健康診断結果の改善だけにとどまらず、改善する食事の環境影響も評価すべきである。

炭素税が燃料に課税される場合、飼料用穀物の輸入量減らすために低たんぱく質飼料の活用が自律的に広がることが想定できる。さらなる気候変動の緩和に向けて、可食部の活用の改善にとどまらず、廃棄されている非可食バイオマスの有効活用に努めることが必要である。

## 6.2 政策への提言

### 6.2.1 飼料登録法の提案

日本の養豚業において、低たんぱく質飼料利用率を上げることで温室効果ガス削減の可能性が把握できた。日本の飼料業界は、グループ企業が飼料穀物の輸入から配合・納品までを一貫している。低たんぱく質飼料は、穀物量（＝飼料量）が減らせるが、飼料企業の売上・利益が減るため、利用率が上がらない懸念がある。低たんぱく質飼料が国内で広がらないため、穀物輸入先国で多くの飼料作物が栽培され、肥料や水による気候変動・水の環境影響を増やしている。国内においても、吸収できない余分な穀物が糞尿として排泄され環境負荷を増やしている。

飼料を低たんぱく質とするための飼料用アミノ酸は、その生産地で入手できる糖源のうち一番経済合理性がある物が使われている。たとえば、欧州ではビート、アメリカではコーンスターチを糖化、ブラジルでは砂糖（夾雑物が無いので発酵収率が高い）、タイではタピオカスターチが使われている。欧米の配合飼料価格は、その時の大豆かす価格に合わせて飼料用アミノ酸の価格が変動しており（大豆が豊作の際は、飼料用アミノ酸の価格を下げる）、低たんぱく質飼料が少し安くなる価格に収まる。このグローバルマーケットは既に存在し、低たんぱく質飼料と慣用飼料との価格差を捕らえた課税により前者の普及率向上

を図ることは難しい。そこで、肥料取締法のように成分値による登録制度を設ける、飼料成分による登録許可制度を提案する。具体的には、可消化粗たんぱく質量 DCP を 5%以上削減した飼料のみを登録許可対象とし、その他の成分（可消化養分総量 TDN、総エネルギーGE、可消化エネルギーDE、粗たんぱく質 CP、代謝エネルギーME、リジン Lys、メチオニン、トリプトファン Trp、スレオニン Thr）も登録要綱とし、養豚業からの温室効果ガス排出量の削減につなげる。この制度によって、日本の養豚業でも先進のフランス同様の低たんぱく質飼料利用率 75%以上となる場合、日本の農業部門 CO<sub>2</sub> 排出量 600,000t-CO<sub>2</sub>/年の 30%強を下げられる可能性があることを把握した。

### 6.2.2 サステナブル製品生産者の法人税減税の提案

煙害防止・有効利用の観点から稲わらを分解した原料からグルタミン酸ナトリウムを生産する技術パッケージはラボベースで存在する。現在は、稲わら分解の工程における電力使用量が多くコストがかかるため、コマーシャルベースとならない。同じ製品（例えばグルタミン酸ナトリウム、電化製品、車）でも、廃棄されている物をアップサイクルやリサイクルして原料として使用する場合、その工程でのコストがかかるが、現在はそれを製品価格に転嫁できる市場環境ではない。持続可能な世界とするために、廃棄されている物をアップサイクルやリサイクルした原料を使った製品は、その増加コストに相当する費用を、当該企業の法人税から減税される制度を提案する。このサステナブル法人減税制度により、多くの業界のアップサイクル・リサイクルに向けたイノベーションが起こることが想起できる。

### 6.2.3 食塩税の提案

減塩により塩分摂取量と関連する疾患の罹患率が下がることが定量的に把握でき、SDGs の環境と健康の両立が図れることが確認できた。減塩調味料は、減塩率向上と消費者の受容性維持に向け研究・開発や実生産でコストがかかる。その分を価格に転嫁しているため、生活者に広く活用されず、医師から塩分摂取量に関する注意を受けている人にしか使われていない（安価な食塩が選ばれる）。

ハンガリー、フィージー、メキシコ、トンガ、セントビンセントおよびグレナディーン諸島では、食塩税として主にスナック菓子やインスタント麺に課税し、一定の効果を上げている。そこで日本で生活者が減塩を進めるよう、家庭内調理が中心の日本においては、減塩調味料と標準調味料の価格が同程度となるように標準調味料の食塩相当量に課税する制度を提案する。食塩税により減塩調味料が広がり、生活習慣病の予防による医療費の削減や、健康寿命の延伸によるプラスの経済効果（約 630 億円 = 3.91E-06[DALYs/day] × 365[days/y] × 3200[\$/DALYs, LIME3] × 1.25E+08[persons] × 110[¥/\$]）が想起できる。

表 6.2.1 標準調味料と減塩調味料の価格比較（価格.com、楽天より）

製品名	内容量	価格	同一重量価格
「やさしお」	180g	389 円	389 円
「瀬戸のほんじお」	1500g (300g×5 個)	710 円	180g≒85 円
「お塩控えめの・ほんだし」	100g (5g×20 袋)	407 円	407 円
「ほんだし」	120g	298 円	100g≒248 円
「キッコーマン 特選丸大豆 減塩しょうゆ」	750ml×6	2792 円	2792 円
「キッコーマン 特選丸大豆 しょうゆ」	750ml×6	2462 円	2462 円
「イチビキ すぐとけるみそ あわせ」	4000g (500g×8 袋)	2480 円	100g≒62 円
「イチビキ だし入り あわ せ」	6000g (750g×8 個)	3580 円	100g≒60 円

### 6.3 今後の課題

#### (1) 環境評価要素の拡充

第4章の研究において、農産物の評価として生物多様性や土地利用などの評価要素を加えることで、廃棄されている非可食バイオマスをも有効活用する場合、影響評価の結果がさらに良くなり、非可食バイオマス活用の研究推進につながると推定される。

#### (2) 将来の経済価値の変化時の予測

廃棄されている非可食バイオマスが有効活用される時代になると、その市場価値が出てくる。その場合、原料農作物の可食部と非可食部の環境負荷の配分が変わる。変わったことを想定した経済配分にて、廃棄されている非可食バイオマスを原料とする場合がなおも優位であることが証明できると、非可食バイオマス活用技術の開発の意義が増し、さらに推進が図れる。

#### (3) 栄養評価要素の拡充

第5章の研究では、数ある栄養素のうち、日本人にとって一番課題である塩分に注目して解析をした。高齢者の健康寿命延伸を妨げている原因の一つにサルコペニアが上げられる。サルコペニアは、摂取エネルギー・活動量の低下により筋肉量が減り、体の機能が低下する状態である。これを防止するために筋肉の元になるたんぱく質を適切に摂取し、運動を継続的に行うことが重要とされている。たんぱく質摂取量と腰痛など運動機能障害との定量的な関連性を導出することで、食事と運動のさらなる推進を図り健康寿命延伸に繋がら

れる。

また、GBD の食事リスクの残り 14 項目について、例えば上位 5 位までの食事リスク（低全粒穀物、低果物、高赤肉、高加工肉）における環境・健康の研究が進められると、ある程度の包括的な食事評価ができ、SDGs の環境と健康の両立の実現にさらに近づく。

## 謝辞

多くの方々からのご支援、ご協力を頂き、本論文を作成することができました。本論文をまとめるにあたり、終始、暖かい激励とご指導、ご鞭撻を頂いた東京都市大学 環境情報学研究科長 伊坪徳宏教授に心より感謝を申し上げます。博士課程では、研究テーマを決めてから論文掲載にいたるまで長い道のりとなってしまいましたが、最後まで粘り強くご指導くださり、本当に感謝しております。また、欧州毒物環境科学会 (SETAC) では初めてのポスター発表をする機会をいただきました。LCA 学会 2019、2020 でもポスター発表をする機会をいただきました。このような成果が得られる機会に巡り会えたこと、本当に感謝いたします。伊坪研究室でなければ、このような機会に巡り合えなかったと確信しております。本当にありがとうございました。

本論文を執筆するにあたりお世話になりました、大塚善樹先生に心より感謝を申し上げます。ご多忙な中、学内での発表会の資料から博士論文において、目的からまとめまで全般に渡りご確認いただき、鋭いアドバイスをしていただけたおかげで、最後まで博士課程を全うできました。本当にありがとうございました。

伊坪研究室の OB の方々、特別研究員の小関康雄様、鈴木春生様、中村洋之様、秘書の方々、同じ社会人ドクターとして苦楽を共に過ごした北村さん、そして博士課程の一杉さん、Selims さん、アミラさん、劉さんに感謝を申し上げます。皆様に支えていただけたことで、ここまで無事に博士論文をまとめられたと確信しております。

最後に、日常生活を支えてくれ、研究生活を見守ってくれた家族と職場の仲間感謝をいたします。どんな状況でも精神的に支えていただけたおかげで、社会人ドクター生活を過ごすことができました。

この3年間の博士課程で学んだこと、経験したことを糧に、今後の社会に少しでも貢献できる研究者になれるよう、今後も研究に精進したいと思います。

## 付録

### 付録 1 養豚飼料の配合比較

	慣用飼料の配合	低たんぱく質飼料の配合
大豆粕	0.2720	0.1100
麦	0.6812	0.8450
油脂	0.0143	0.0046
炭酸カルシウム	0.0086	0.0086
リン酸カルシウム	0.0181	0.0181
食塩	0.0030	0.0030
ベンザルコニウム塩化物	0.0008	0.0008
ミネラル・ビタミン	0.0020	0.0020
アミノ酸(リジン)		0.0051
メチオニン		0.0012
アミノ酸(スレオニン)		0.0017
重袋	0.0033	0.0033
重袋	0.0022	0.0022
梱包材	0.0001	0.0001
梱包材	0.0010	0.0010
原材料の輸送 (20t、62%)	500	500
飼料配合用の電力	300.0	300.0
製品の輸送 (10t、62%)	500	500
糞尿の原単位	0.24	0.20
PE'包材廃棄	0.006	0.006
段ボール包材廃棄	0.001	0.001
廃棄物の輸送	50	50

付録 2 養豚飼料のカーボンフットプリント CFP 比較

	慣用飼料の CFP	低たんぱく質飼料の CFP
大豆粕	0.877436	0.354846
麦	0.585968	0.726825
油脂	0.057648	0.018544
炭酸カルシウム	0.000049	0.000049
リン酸カルシウム	0.015683	0.015683
食塩	0.000567	0.000567
ベンザルコニウム塩化物	0.001660	0.001660
ミネラル・ビタミン	0.000595	0.000595
アミノ酸(リジン)		0.024751
メチオニン		0.014443
アミノ酸(スレオニン)		0.011061
重袋	0.006530	0.006530
重袋	0.004748	0.004748
梱包材	0.000238	0.000238
梱包材	0.000924	0.000924
原材料の輸送 (20t、62%)	0.082258	0.081702
飼料配合用の電力	0.026387	0.026387
製品の輸送 (10t、62%)	0.082258	0.082258
糞尿の原単位	0.241847	0.199444
PE'包材廃棄	0.002244	0.002244
段ボール包材廃棄	0.001299	0.001299
廃棄物の輸送	0.000167	0.000167

付録 3 養豚飼料のウォーターフットプリント（水消費）WSFP 比較

	慣用飼料の WSFP			低たんぱく質飼料の WSFP		
	雨水	河川水	地下水	雨水	河川水	地下水
大豆粕	295.34	0.26	0.06	119.44	0.11	0.02
麦	404.44	0.13	0.14	501.66	0.16	0.17
油脂	51.24	2.91	3.15	16.48	0.94	1.01
炭酸カルシウム	0	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01
リン酸カルシウム	0	1.42	1.54	0.00	1.42	1.54
食塩	0	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01
ベンザルコニウム塩化物	0	0.03	0.04	0.00	0.03	0.04
ミネラル・ビタミン	0	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02
アミノ酸(リジン)				2.06	0.36	0.39
メチオニン				1.72	0.32	0.33
アミノ酸(スレオニン)				0.99	0.13	0.14
重袋	0	0.05	0.06	0.00	0.05	0.06
重袋	0	0.04	0.05	0.00	0.04	0.05
梱包材	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
梱包材	0	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01
原材料の輸送 (20t、62%)	0	0.31	0.34	0.00	0.31	0.34
飼料配合用の電力	0	1.30	1.41	0.00	1.30	1.41
製品の輸送 (10t、62%)	0	0.00	0.34	0.00	0.31	0.34
糞尿の原単位	0	20.86	22.63	0.00	19.59	21.25
PE'包材廃棄	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
段ボール包材廃棄	0	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02
廃棄物の輸送	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

付録 4 養豚飼料のウォーターフットプリント（富栄養化）WNFP 比較

	慣用飼料の WNFP	低たんぱく質飼料の WNFP
大豆粕	2.676480	1.082400
麦	8.038160	9.970410
油脂	0.237380	0.076360
炭酸カルシウム	0.002047	0.002047
リン酸カルシウム	0.114573	0.114573
食塩	0.003630	0.003630
ベンザルコニウム塩化物	0.008080	0.008080
ミネラル・ビタミン	0.043000	0.043000
アミノ酸(リジン)		0.072884
メチオニン		0.054870
アミノ酸(スレオニン)		0.027804
重袋	0.004166	0.004166
重袋	0.003233	0.003233
梱包材	0.000162	0.000162
梱包材	0.005037	0.005037
原材料の輸送（20t、62%）	0.244583	0.242931
飼料配合用の電力	0.081000	0.081000
製品の輸送（10t、62%）	0.244583	0.244583
糞尿の原単位	15.636417	11.747708
PE'包材廃棄	0.002584	0.002584
段ボール包材廃棄	0.006500	0.006500
廃棄物の輸送	0.000436	0.000436

付録 5 一週間のモデル献立の詳細（塩分摂取量の（ ）内は減塩献立の値を示す）

	1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目	7日目
13253[kcal/一週間]	1862[kcal/日]	1817[kcal/日]	1918[kcal/日]	1981[kcal/日]	1851[kcal/日]	1960[kcal/日]	1864[kcal/日]
65.7[g-Salt/一週間] (45.9)	14.6[g-Salt/日] (9.8)	9.4[g-Salt/日] (5.6)	9.4[g-Salt/日] (6.6)	5.4[g-Salt/日] (3.9)	8.4[g-Salt/日] (5.8)	9.3[g-Salt/日] (7.5)	9.2[g-Salt/日] (6.7)
朝食	B-1 ごはん なめこ みそ汁 まあじ 開き焼 納豆 ウーロン茶	B-2 オムライス(ハーフ) 牛乳 コーヒ	B-3 キャベツ・ハム・チーズサン ドイッチ いちご 牛乳 コーヒ	B-4 ズッキーニの オープンサン ド コーヒ	B-5 ブロッコリー と卵の マヨゲ ラタン ウーロン茶 コーヒ	B-6 ごはん 豆腐と ザーサイ バナナ ウーロン茶	B-7 ごはん 本格酸 辣湯 ウーロン茶
	和風	洋風	洋風	洋風	洋風	和風	和風
	魚=56g	鶏=30g	ハム=30g	0g	ハム=30g	0g	豚=20g
	ご飯=130g	ご飯=135g	パン=60g	パン=45g	ご飯=0g	ご飯=130g	ご飯=130g
	479[kcal]	442[kcal]	416[kcal]	377[kcal]	552[kcal]	365[kcal]	312[kcal]
	3.9[g-Salt] (3.2)	1.0[g-Salt] (0.8)	2.2[g-Salt] (2.2)	1.7[g-Salt] (1.6)	3.1[g-Salt] (2.5)	3.0[g-Salt] (2.3)	3.4[g-Salt] (1.8)
昼食	L-1 カット 野菜の ちくわ うどん	L-2 卵とねぎの チャーハン	L-3 食パン チキン クリーム ムシチ	L-4 ごはん ほうれん草と ベーコ	L-5 ギョーザの和 風サラ ダ	L-6 簡単ビ ンバ ウーロン茶	L-7 にんじん ツナ ベジマ ヨホッ

	ジャガイモのスープ ウーロン茶	ウーロン茶	ユウウーロン茶	シンのキッシュ リンゴ ウーロン茶	ウーロン茶		トサンド ウーロン茶
	和風	和風	洋風	洋風	和風	和風	洋風
	魚=20g	0g	鶏=56g	ハム=27g	豚=38g	牛=50g	魚=70g
	うどん=250g	ご飯=200g	パン=60g	ご飯=100g	小麦粉=30g	ご飯=150g	パン=120g
	544[kcal]	551[kcal]	569[kcal]	799[kcal]	370[kcal]	513[kcal]	728[kcal]
	5.8[g-Salt] (3.8)	3.2[g-Salt] (1.8)	3.5[g-Salt] (2.3)	1.5[g-Salt] (1.2)	2.1[g-Salt] (1.0)	2.9[g-Salt] (1.8)	3.5[g-Salt] (3.2)
夕食	D-1 ごはん 豚バラ キャベツ鍋 納豆 ワイン ウーロン茶	D-2 ごはん 刺身盛り合わせ 豆腐わかめ油揚げの味噌汁 ワイン ウーロン茶	D-3 ごはん ブリと根菜のみぞれ煮 大根のサラダ 納豆 ワイン ウーロン茶	D-4 ごはん レンジ ローストビーフ コーラ	D-5 ごはん 炊飯器でしっとり鶏 ハム 納豆 パイナップル コーラ	D-6 やわらかお肉のカレーライス ゆで卵 コーラ スイカ	D-7 トマトとソーセージのスパゲッティ ウーロン茶 ビール ナシ
	和風	和風	和風	洋風	和風	洋風	洋風
	豚=50g	魚=222g	魚=100g	牛=150g	鶏=150g	豚=75g	ハム=34g
	ご飯=150g	ご飯=150g	ご飯=100g	ご飯=150g	ご飯=150g	ご飯=200g	パスタ=165g
	676[kcal]	760[kcal]	869[kcal]	741[kcal]	865[kcal]	993[kcal]	736[kcal]
	4.9[g-	5.1[g-	3.6[g-	2.2[g-	3.2[g-	3.4[g-	2.3[g-

	Salt] (2.8)	Salt] (3.0)	Salt] (2.1)	Salt] (1.1)	Salt] (2.2)	Salt] (3.4)	Salt] (1.7)
間食	焼き芋 ウーロン茶	ヨーグルト(全脂無糖) コーヒー	ヨーグルト(全脂無糖) コーヒー	ヨーグルト(全脂無糖) コーヒー	ヨーグルト(全脂無糖) コーヒー	葛餅 みかん ウーロン茶	コーヒーゼリー グレープフルーツ ウーロン茶
	163[kcal]	64[kcal]	64[kcal]	64[kcal]	64[kcal]	89[kcal]	88[kcal]
	0[g-Salt]	0[g-Salt]	0[g-Salt]	0[g-Salt]	0[g-Salt]	0[g-Salt]	0[g-Salt]

付録 6 2つの献立における各食事の原材料の気候変動[kg-CO<sub>2</sub>]

		1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目	7日目
朝食		B-1 : 和風	B-2 : 洋風	B-3 : 洋風	B-4 : 洋風	B-5 : 洋風	B-6 : 和風	B-7 : 和風
	モデル	6.30E-01	7.02E-01	8.12E-01	4.70E-01	8.44E-01	4.10E-01	4.89E-01
	減塩	6.40E-01	7.04E-01	8.12E-01	4.70E-01	8.47E-01	4.17E-01	5.01E-01
昼食		L-1 : 和風	L-2 : 和風	L-3 : 洋風	L-4 : 洋風	L-5 : 和風	L-6 : 和風	L-7 : 洋風
	モデル	6.21E-01	5.58E-01	7.17E-01	7.94E-01	5.95E-01	1.46E+00	9.84E-01
	減塩	6.39E-01	5.70E-01	7.25E-01	7.98E-01	6.01E-01	1.47E+00	9.85E-01
夕食		D-1 : 和風	D-2 : 和風	D-3 : 和風	D-4 : 洋風	D-5 : 和風	D-6 : 洋風	D-7 : 洋風
	モデル	9.27E-01	1.18E+00	7.73E-01	3.62E+00	1.10E+00	1.44E+00	1.48E+00
	減塩	9.41E-01	1.20E+00	7.83E-01	3.62E+00	1.11E+00	1.44E+00	1.49E+00
間食		1.67E-02	8.58E-02	8.58E-02	8.58E-02	8.58E-02	1.89E-01	4.56E-01

付録 7 各食事の調理の気候変動[kg-CO<sub>2</sub>]

	1 日目	2 日目	3 日目	4 日目	5 日目	6 日目	7 日目
朝食	B-1:和風	B-2:洋風	B-3:洋風	B-4:洋風	B-5:洋風	B-6:和風	B-7:和風
	4.52E-02	3.29E-02	1.02E-03	6.80E-02	2.98E-01	3.42E-02	4.40E-02
昼食	L-1:和風	L-2:和風	L-3:洋風	L-4:洋風	L-5:和風	L-6:和風	L-7:洋風
	2.82E-02	7.33E-03	1.05E-01	2.23E-01	3.77E-02	3.26E-02	6.70E-02
夕食	D-1:和風	D-2:和風	D-3:和風	D-4:洋風	D-5:和風	D-6:洋風	D-7:洋風
	4.76E-02	4.32E-02	5.59E-02	5.87E-02	5.18E-02	7.40E-02	2.03E-02

付録 8 2つの献立における各食事の原材料の水消費[m<sup>3</sup>]

		1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目	7日目
朝食		B-1 : 和風	B-2 : 洋風	B-3 : 洋風	B-4 : 洋風	B-5 : 洋風	B-6 : 和風	B-7 : 和風
	モデル	1.51E-01	1.72E-01	7.35E-02	5.23E-02	1.02E-01	1.41E-01	1.47E-01
	減塩	1.53E-01	1.72E-01	7.35E-02	5.23E-02	1.02E-01	1.41E-01	1.48E-01
昼食		L-1 : 和風	L-2 : 和風	L-3 : 洋風	L-4 : 洋風	L-5 : 和風	L-6 : 和風	L-7 : 洋風
	モデル	8.82E-02	2.21E-01	6.33E-02	1.46E-01	4.07E-02	2.24E-01	1.00E-01
	減塩	8.91E-02	2.22E-01	6.35E-02	1.46E-01	4.07E-02	2.24E-01	1.00E-01
夕食		D-1 : 和風	D-2 : 和風	D-3 : 和風	D-4 : 洋風	D-5 : 和風	D-6 : 洋風	D-7 : 洋風
	モデル	2.07E-01	1.84E-01	1.32E-01	3.61E-01	2.22E-01	2.73E-01	8.75E-02
	減塩	2.07E-01	1.86E-01	1.32E-01	3.61E-01	2.23E-01	2.73E-01	8.79E-02
間食		1.15E-03	4.47E-03	4.47E-03	4.47E-03	4.47E-03	1.31E-02	2.32E-02

付録 9 各食事の調理の水消費[m<sup>3</sup>]

	1 日目	2 日目	3 日目	4 日目	5 日目	6 日目	7 日目
朝食	B-1:和風	B-2:洋風	B-3:洋風	B-4:洋風	B-5:洋風	B-6:和風	B-7:和風
	2.35E-06	2.01E-06	3.11E-08	4.83E-06	2.13E-05	2.01E-06	2.31E-06
昼食	L-1:和風	L-2:和風	L-3:洋風	L-4:洋風	L-5:和風	L-6:和風	L-7:洋風
	8.57E-07	2.23E-07	5.94E-06	1.58E-05	1.15E-06	2.11E-06	4.80E-06
夕食	D-1:和風	D-2:和風	D-3:和風	D-4:洋風	D-5:和風	D-6:洋風	D-7:洋風
	2.57E-06	2.44E-06	2.45E-06	3.93E-06	3.67E-06	3.75E-06	6.18E-07

付録 10 2つの献立における各食事の原材料の気候変動[DALYs]

		1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目	7日目
朝食		B-1 : 和風	B-2 : 洋風	B-3 : 洋風	B-4 : 洋風	B-5 : 洋風	B-6 : 和風	B-7 : 和風
	モデル	9.45E-07	1.05E-06	1.22E-06	7.05E-07	1.27E-06	6.15E-07	7.34E-07
	減塩	9.60E-07	1.06E-06	1.22E-06	7.05E-07	1.27E-06	6.25E-07	7.52E-07
昼食		L-1 : 和風	L-2 : 和風	L-3 : 洋風	L-4 : 洋風	L-5 : 和風	L-6 : 和風	L-7 : 洋風
	モデル	9.31E-07	8.36E-07	1.08E-06	1.19E-06	8.92E-07	2.19E-06	1.48E-06
	減塩	9.59E-07	8.55E-07	1.09E-06	1.20E-06	9.01E-07	2.20E-06	1.48E-06
夕食		D-1 : 和風	D-2 : 和風	D-3 : 和風	D-4 : 洋風	D-5 : 和風	D-6 : 洋風	D-7 : 洋風
	モデル	1.39E-06	1.77E-06	1.16E-06	5.43E-06	1.65E-06	2.16E-06	2.22E-06
	減塩	1.41E-06	1.80E-06	1.17E-06	5.43E-06	1.66E-06	2.16E-06	2.23E-06
間食		2.51E-08	1.29E-07	1.29E-07	1.29E-07	1.29E-07	2.83E-07	6.84E-07

付録 11 各食事の調理の気候変動[DALYs]

	1 日目	2 日目	3 日目	4 日目	5 日目	6 日目	7 日目
朝食	B-1:和風	B-2:洋風	B-3:洋風	B-4:洋風	B-5:洋風	B-6:和風	B-7:和風
	6.77E-08	4.94E-08	1.53E-09	1.02E-07	4.48E-07	5.12E-08	6.59E-08
昼食	L-1:和風	L-2:和風	L-3:洋風	L-4:洋風	L-5:和風	L-6:和風	L-7:洋風
	4.23E-08	1.10E-08	1.57E-07	3.34E-07	5.65E-08	4.88E-08	1.01E-07
夕食	D-1:和風	D-2:和風	D-3:和風	D-4:洋風	D-5:和風	D-6:洋風	D-7:洋風
	7.14E-08	6.48E-08	8.38E-08	8.80E-08	7.77E-08	1.11E-07	3.05E-08

付録 12 2つの献立における各食事の原材料の水消費[DALYs]

		1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目	7日目
朝食		B-1 : 和風	B-2 : 洋風	B-3 : 洋風	B-4 : 洋風	B-5 : 洋風	B-6 : 和風	B-7 : 和風
	モデル	6.93E-07	7.88E-07	3.37E-07	2.40E-07	4.66E-07	6.45E-07	6.74E-07
	減塩	7.00E-07	7.89E-07	3.37E-07	2.40E-07	4.66E-07	6.47E-07	6.77E-07
昼食		L-1 : 和風	L-2 : 和風	L-3 : 洋風	L-4 : 洋風	L-5 : 和風	L-6 : 和風	L-7 : 洋風
	モデル	4.04E-07	1.01E-06	2.90E-07	6.69E-07	1.87E-07	1.03E-06	4.59E-07
	減塩	4.08E-07	1.02E-06	2.91E-07	6.70E-07	1.87E-07	1.03E-06	4.59E-07
夕食		D-1 : 和風	D-2 : 和風	D-3 : 和風	D-4 : 洋風	D-5 : 和風	D-6 : 洋風	D-7 : 洋風
	モデル	9.48E-07	8.44E-07	6.06E-07	1.65E-06	1.02E-06	1.25E-06	4.01E-07
	減塩	9.50E-07	8.52E-07	6.07E-07	1.65E-06	1.02E-06	1.25E-06	4.03E-07
間食		5.29E-09	2.05E-08	2.05E-08	2.05E-08	2.05E-08	6.02E-08	1.06E-07

付録 13 各食事の調理の水消費[DALYs]

	1 日目	2 日目	3 日目	4 日目	5 日目	6 日目	7 日目
朝食	B-1:和風	B-2:洋風	B-3:洋風	B-4:洋風	B-5:洋風	B-6:和風	B-7:和風
	1.08E-11	9.22E-12	1.42E-13	2.21E-11	9.77E-11	9.22E-12	1.06E-11
昼食	L-1:和風	L-2:和風	L-3:洋風	L-4:洋風	L-5:和風	L-6:和風	L-7:洋風
	3.93E-12	1.02E-12	2.72E-11	7.24E-11	5.26E-12	9.69E-12	2.20E-11
夕食	D-1:和風	D-2:和風	D-3:和風	D-4:洋風	D-5:和風	D-6:洋風	D-7:洋風
	1.18E-11	1.12E-11	1.12E-11	1.80E-11	1.68E-11	1.72E-11	2.83E-12

付録 14 2つの献立における各食事の塩分摂取量の人間健康[DALYs]

		1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目	7日目
朝食		B-1 : 和風	B-2 : 洋風	B-3 : 洋風	B-4 : 洋風	B-5 : 洋風	B-6 : 和風	B-7 : 和風
	モデル	5.43E-06	1.46E-06	3.01E-06	2.31E-06	4.38E-06	4.13E-06	4.70E-06
	減塩	4.53E-06	1.16E-06	3.01E-06	2.21E-06	3.52E-06	3.24E-06	2.59E-06
昼食		L-1 : 和風	L-2 : 和風	L-3 : 洋風	L-4 : 洋風	L-5 : 和風	L-6 : 和風	L-7 : 洋風
	モデル	8.14E-06	4.51E-06	4.88E-06	2.14E-06	2.92E-06	4.08E-06	4.95E-06
	減塩	4.60E-06	2.56E-06	3.21E-06	1.65E-06	1.49E-06	2.52E-06	4.54E-06
夕食		D-1 : 和風	D-2 : 和風	D-3 : 和風	D-4 : 洋風	D-5 : 和風	D-6 : 洋風	D-7 : 洋風
	モデル	6.79E-06	7.08E-06	5.00E-06	3.06E-06	4.49E-06	4.70E-06	3.15E-06
	減塩	3.92E-06	4.22E-06	2.94E-06	1.56E-06	3.11E-06	4.70E-06	2.36E-06

付録 15 2つの献立における各食事の統合した人間健康の影響評価[DALYs]

		1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目	7日目
朝食		B-1 : 和風	B-2 : 洋風	B-3 : 洋風	B-4 : 洋風	B-5 : 洋風	B-6 : 和風	B-7 : 和風
	モデル	7.14E-06	3.35E-06	4.56E-06	3.36E-06	6.56E-06	5.44E-06	6.17E-06
	減塩	6.26E-06	3.05E-06	4.56E-06	3.26E-06	5.71E-06	4.56E-06	4.09E-06
昼食		L-1 : 和風	L-2 : 和風	L-3 : 洋風	L-4 : 洋風	L-5 : 和風	L-6 : 和風	L-7 : 洋風
	モデル	9.51E-06	6.37E-06	6.40E-06	4.33E-06	4.05E-06	7.34E-06	6.98E-06
	減塩	6.01E-06	4.44E-06	4.74E-06	3.85E-06	2.63E-06	5.80E-06	6.57E-06
夕食		D-1 : 和風	D-2 : 和風	D-3 : 和風	D-4 : 洋風	D-5 : 和風	D-6 : 洋風	D-7 : 洋風
	モデル	9.20E-06	9.75E-06	6.85E-06	1.02E-05	7.23E-06	8.23E-06	5.81E-06
	減塩	6.35E-06	6.93E-06	4.81E-06	8.73E-06	5.88E-06	8.23E-06	5.03E-06