

窒素フットプリントを用いた「健康な食事」の持続可能性の検討

研究分担者 江口 定夫 農研機構農業環境研究部門

研究要旨

環境負荷に配慮した「健康な食事」を推進するため、食料の生産～消費過程全体から排出される反応性窒素の総量を表す食の窒素フットプリント（NFP）に着目し、NFPに基づく持続可能性評価手法を検討した。食品を食べる前に環境中に放出される総窒素量を食品中の窒素量で除した値は、仮想窒素係数（VNF）と呼ばれ、NFPを算出するために必要なパラメータであるが、このVNF値を主な食品群別に整理すると共に、特に穀類と畜産物については、VNF値の精緻化を検討した。また、食事メニューのNFPを計算できる簡易ツールの開発・改良を進めた。本ツールでは、ユーザーが設定した任意の食事メニューのNFPと栄養成分が表示できるだけでなく、日本の消費者による食のNFPの平均値や「日本人の食事摂取基準」のたんぱく質推奨量に基づくNFPとの比較、それに対応したアドバイス等が表示でき、一般消費者を対象とした食育等での活用が可能である。

A. 研究目的

人間活動に由来する地球環境への窒素負荷は、大気・水・土壌の質、温室効果ガス収支、生態系及び生物多様性等に対して様々な負の影響を及ぼし¹⁾、窒素循環の人為的攪乱は、人間が安全に活動できる範囲（地球の限界 [planetary boundary]）を大幅に超えたと報告されている²⁾。2019年10月には、国連加盟国による「持続可能な窒素管理に関するコロンボ宣言」の中で、具体的な数値目標「2030年までに窒素廃棄（nitrogen waste）を半減」が提示され、2022年2月の第5回国連環境総会では、「窒素廃棄の顕著な減少」に関する決議が行われた。窒素廃棄の大部分は、食料システム（食料生産～消費システム）由来であり³⁾、環境負荷に配慮した「健康な食事」を推進する上で、食料システムからの窒素負荷削減を考慮することは必要不可欠である。

窒素フットプリント（nitrogen footprint, NFP）は、様々な人間活動により環境中へ排出される反応性窒素（reactive nitrogen, Nr）（大気中の窒素分子 [N₂] 以外で生物が利用可能な全ての窒素）の総量を表し、環境中へのNr排出に対する消費者の役割を、消費者に知らうために開発された簡易ツールである⁴⁾。例えば、私達の毎日の食事の量や嗜好（食品選択

が、国内外の環境中に排出されるNr量にどのように影響しているか？といった情報を、定量的に「見える化」することが出来る。これまで、多くの国々にNFPが適用されたが、どの国でも、NFPの大部分は食料システム由来（食のNFP）である⁵⁾。また、食品ロス・食べ過ぎを削減したり、窒素負荷の少ない食品を選択することが、食のNFPの大幅な削減に繋がることが示されている⁶⁾。したがって、消費者に窒素負荷の実態や構造を知ってもらうことが、一人一人の食生活の変容をもたらし、地球社会全体としての窒素負荷削減に繋がることが期待できる。

本研究では、食料システムからの窒素負荷の実態や「健康な食事」との関係性を消費者に身近に感じてもらう手段の一つとして、任意の食事メニューのNFPと栄養バランスを同時に計算・表示できる簡易ツール（食事メニューのNFP計算ツール）の開発・改良を行った。本ツールの原型は、これまで農研機構農業環境研究部門で開発を進めてきたものである。NFPの計算方法は、N-Calculator法⁴⁾に従い、その計算に必要な仮想窒素係数（virtual nitrogen factor, VNF）の値は、日本の主な食品群別に整理すると共に、特に穀類と畜産物については、更なる精緻化を検討した。

B. 研究方法

1. 食事メニューのNFP計算ツール

任意の食事メニューのNFP（食事NFP）は、N-Calculator法⁴⁾に基づき、次式で算出した（江口・平野 [2019]⁹⁾と同様に、下水処理過程での脱窒によるNr除去を考慮しない式）。

$$\text{食事NFP} = \sum_{i=1}^{16} \text{食材}N_i \times (\text{VNF}_i + 1)$$

ここで、 i は表1に示す日本の主な食品群別の番号（1~16）、食材 N_i はその料理に含まれる食品群 i の食材中の窒素量、 VNF_i は食品群 i の仮想窒素係数（VNF）（表1）である。VNFは次式で定義される。

$$\text{VNF} = \frac{\text{摂取前の全排出N}}{\text{摂取N}}$$

主な食品群別のVNF値は、日本の食料システム内の窒素フローの実態解析に基づき、算定される（図1）⁷⁾。本ツールでは、既往文献データ^{6&10)}を取りまとめ（表1）、輸入食料を考慮したVNF値を使用した。

食事メニューは、農林水産省の「料理の自給率計算ソフト」¹²⁾等を参考に、料理レシピ360種類、食材330種類のデータを整備した。料理レシピは、調理方法（煮る、焼く等）や料理ジャンル（和食、中華等）によって検索可能なように分類した。また、食材データを用いて、ユーザーが任意の料理レシピを作成・登録できるようにした。食材毎の栄養成分データ（栄養素26種類）は、文部科学省の「日本食品標準成分表2015年版（七訂）」より取得した。

栄養成分の推奨量、必要量、三大栄養素の栄養バランス（PFCバランス）の推奨割合等は、厚生労働省の「日本人の食事摂取基準2015年版」より取得し、食事メニュー毎の栄養成分計算結果と一緒に表示できるようにした。NFPの計算結果は、たんぱく質の推奨量に基づくNFP値や日本における食のNFPの平均値（2015年）⁹⁾と一緒に表示できるようにした。

2. 仮想窒素係数（VNF）の検討

日本の穀類のVNF値は、これまで、品目（米、小麦、ソバ）別の値や精製度の低い食材（玄米、玄麦）の値が設定されていない。そこで、農林水産省の「食料需給表」、環境省の「日本国温室効果ガスインベントリ報告書」等を参照して、図1と同様の窒素フロー解析を行い、VNF値の精緻化を検討した。

畜産物のVNF値については、これまで、飼料ロス（飼料が家畜に食べられずに廃棄されること）や死廃体（飼養期間中）による窒素ロス、可食副生物（屠畜体副産物のうち内臓等の食べられる部分）による窒素のアップサイクル等を考慮せずに計算されている。そこで、農林水産省の「畜産統計」、¹³⁾「畜産物生産費統計」、¹⁴⁾「飼料月報」等を参照して、特に、飼料から純食料（精肉などの可食部）に至る過程に注目した窒素フロー解析を行い（図2）¹³⁾、VNF値の精緻化を検討した。

このほか、植物性の代替たんぱく質の一つとして注目されているナッツ類について、国内生産量は殆ど無く、ほぼ100%を海外からの輸入に依存していることから、ナッツ類のVNF値は、海外の文献データを探索した。

C. 研究結果

1. 食事メニューのNFP計算例

食事メニューの例として「カツ丼となめこのみそ汁」を設定し、NFPを計算した結果の画面表示を図3に示す。「簡易出力」画面では、NFPのほか、エネルギー、たんぱく質、脂質の摂取量とPFCバランスの数値等が表示される（図3a）。「詳細出力」画面では、食材別のNFP値の棒グラフ等が表示される（図3b）。「解説」画面では、日本の食のNFP平均値（食事1回当たり15.6 g N）⁹⁾が表示されたり、「日本人の食事摂取基準2015年版」のたんぱく質推奨量に基づくNFP値（食事1回当たり11.8 g N）を基準として、その2倍以上であれば「NFPが高い」と判定し、NFPの低い食事を目指すためのアドバイス等が表示される（図3c）。

本ツールは、ユーザーのパソコンにインストールして使用する。上記の計算結果やグラフは、ユーザーがダウンロードしてパソコンに保存することが出来る。また、本ツール内でユーザー登録すれば、毎日の食事メニューの計算結果を記録することが出来る仕様とした。

2. VNFの精緻化へ向けた検討

日本の穀類、畜産物及びナッツ類のVNFについて、精緻化を検討した結果を表2に示す。穀類のうち、精製度の低い品目（玄米、玄麦）は、精製度の高い品目（白米、小麦）よりもVNF値（輸入考慮）が、0.1~0.4小さい値となった。ソバのVNFは、穀類の中で最も小さい値（0.6）だった。

国産の畜産物のVNFは、可食副生物を考慮（窒素のアップサイクル）した影響もあり、既往のVNF（表1）よりも小さい値を示した。牛乳及び乳製品のVNF値は、国産畜産物の中で唯一、米国のVNF値¹⁴⁾よりも小さかった。

ナッツ類のVNF値は、日本の自給率がゼロのため、米国のVNF値¹⁴⁾をそのまま使用した。

D. 考察

食事メニューのNFP計算ツールは、一般消費者（子供を含む）・生産者・行政施策担当者等を対象として、食育や環境教育を目的としたイベント、講義、セミナー等での活用にも有効と考えられる。多くの消費者にとって、食事メニューのエネルギー（カロリー）や栄養バランスは大きな関心事（自分事）であり、それとセットとなる科学的知見として、持続可能性（ここでは窒素負荷）の情報を伝えることが、地球環境問題を自分事として身近に感じることに繋がる可能性がある。また、食事は栄養を摂るための行為であり、NFP削減のための食事が「健康な食事」の範囲から逸脱していないかどうかを確認する上でも、栄養の情報とセットで伝える必要がある。

今後は、米国での取り組み¹⁴⁾のように、食事メニューのNFPだけでなく、カーボンフットプリントやウォーターフットプリントも計算できるツールを開発し、それらの情報を食品成分表と同じように表示することで、消費者による食品選択の判断材料の一つとして使ってもらえるようにしていく必要がある。また、より正確な科学的情報を伝えるため、主な食品群別のVNF値の精緻化を進め、ツール内部のデータを更新していく必要がある。

E. 結論

環境負荷に配慮した「健康な食事」を推進するため、本研究では、食のNFPに基づく持続可能性評価手法を検討した。食事メニューのNFPを計算できる簡易ツールの開発・改良を進めると共に、NFPを計算する上で必要なパラメータであるVNFの精緻化を検討した。食事メニューのNFP計算ツールは、ユーザーが設定した任意の食事メニューのNFPと栄養成分を表示するだけでなく、日本の消費者による食のNFPの平均値や「日本人の食事摂取

基準」のたんぱく質推奨量に基づくNFPとの比較、それに対応したアドバイス等が表示できる。本ツールは、一般消費者を対象とした食育等での活用が可能である。

参考文献

- 1) Sutton MA, Howard CM, Erismann JW, et al. The European nitrogen assessment: sources, effects and policy perspectives. pp. 664. Cambridge Univ Press, Cambridge.
- 2) Rockström J, Steffen W, Noone K, et al. Planetary Boundaries: Exploring the safe operating space for humanity. *Ecol Soc* 2009; 14, 32.
- 3) Sutton MA, Howard CM, Kanter DR, et al., The nitrogen decade: mobilizing global action on nitrogen to 2030 and beyond. *One Earth* 2021; 4(1), 10-14.
- 4) Leach AM, Galloway JN, Bleeker A, et al. A nitrogen footprint model to help consumers understand their role in nitrogen losses to the environment. *Environ Dev* 2012; 1, 40-60.
- 5) Galloway JN, Winiwarter W, Leip A, et al. Nitrogen footprints: past, present and future. *Environ Res Lett* 2014; 9, 115003.
- 6) 江口定夫, 平野七恵. 日本の消費者の食生活改善による反応性窒素排出削減ポテンシャルと国連SDGsシナリオに沿った将来予測. *日本土壌肥科学雑誌* 2019; 90, 32-46.
- 7) Eguchi S, Hirano N. Nitrogen footprint approach for linking sustainable healthy diet to circular agriculture. Proceedings of FFTC AP-VAAS Forum “Circular Agriculture for Sustainable Healthy Diets: Perspectives & Policy Implications in the Asian & Pacific Region”, July 19, 2023 (online), FFTC, Taipei.
- 8) Shibata H, Cattaneo LR, Leach AM, Galloway JN. First approach to the Japanese nitrogen footprint model to predict the loss of nitrogen to the environment. *Environ Res Lett* 2014; 9, 115013.
- 9) Oita A, Nagano I, Matsuda H. An improved methodology for calculating the nitrogen footprint of seafood. *Ecol Indic* 2016; 60, 1091-1103.
- 10) Oita A, Nagano I, Matsuda H. Food nitrogen footprint reductions related to a balanced Japanese diet. *Ambio* 2018; 47, 318-326.
- 11) 種田あずさ, 柴田英昭, 新藤純子. 窒素フットプリント：環境への窒素ロス

を定量する新たな指標. 日本LCA学会誌 2018; 14(2), 120-133.

- 12) 農林水産省. やってみよう! 自給率計算. <https://nippon-food-shift.maff.go.jp/calc/#/>(2023年)
- 13) 平野七恵, 江口定夫, 織田健次郎, 松本成夫. 物流データに基づく日本の食飼料供給システム及び畜産業セクターにおける過去40年間の窒素フローと窒素利用効率の解析. 日本土壌肥料学雑誌 2023; 94(1), 11-26.
- 14) Leach AM, Emery KA, Gephart J, et al. Environmental impact food labels combining carbon, nitrogen, and water footprints. Food Policy 2016; 61, 213-223.

F. 健康危機情報

該当なし

G. 研究発表

1. 論文発表

- 1) Takano M, Hayashi F, Eguchi S, Takemi Y. Desirable diet to lower the Japanese nitrogen footprint: Analysis of the Saitama Prefecture Nutrition Survey 2017. J Nutr Sci Vitaminol 2022; 68(5), 429-437.
- 2) 江口定夫. 窒素フットプリントによるフ

ードシステムからの温室効果ガス排出の見える化に向けて. JATAFFジャーナル 2022; 10(10), 9-13.

3) 平野七恵, 江口定夫, 織田健次郎, 松本成夫. 物流データに基づく日本の食飼料供給システム及び畜産業セクターにおける過去40年間の窒素フローと窒素利用効率の解析. 日本土壌肥料学雑誌 2023; 94(1), 11-26.

2. 学会発表

1) Eguchi S, Hirano N. Nitrogen footprint approach for linking sustainable healthy diet to circular agriculture. Proceedings of FFTC AP-VAAS Forum “Circular Agriculture for Sustainable Healthy Diets: Perspectives & Policy Implications in the Asian & Pacific Region”, FFTC, Taipei (オンライン開催). R4.7.19

H. 知的所有権の取得状況

1. 特許取得

該当なし

2. 実用新案登録

該当なし

3. その他

該当なし

表1 日本の主な食品群別の仮想窒素係数（VNF）

番号・類別名 ^{*1}	主な品目名 ^{*1}	仮想窒素係数（VNF）	
		輸入考慮 ^{*2}	国産のみ
1. 穀類	米、小麦、その他	1.5 ^{*3}	3.3 ^{*3}
2. いも類	かんしょ、ばれいしょ	4.9 ^{*3}	6.1 ^{*3}
3. でんぷん		- ^{*4}	- ^{*4}
4. 豆類	大豆、その他	1.3 ^{*3}	2.8 ^{*3}
5. 野菜	緑黄色野菜、その他	5.5 ^{*3}	4.6 ^{*3}
6. 果実	みかん、りんご、その他	7.5 ^{*5}	4.6 ^{*3}
7. 肉類	牛肉	12.4 ^{*3}	27.3 ^{*3}
	豚肉	6.7 ^{*3}	12.9 ^{*3}
	鶏肉	6.0 ^{*3}	10.7 ^{*3}
	羊肉、その他	5.2 ^{*5}	5.2 ^{*5}
	鯨	0.2 ^{*6}	0.2 ^{*6}
8. 鶏卵		6.7 ^{*7}	6.7 ^{*7}
9. 牛乳及び乳製品	牛乳、乳製品	2.7 ^{*3}	3.9 ^{*3}
10. 魚介類	鮮魚、かん詰、その他	0.8 ^{*8}	0.8 ^{*8}
11. 海藻類	海藻類	0.2 ^{*6}	0.2 ^{*6}
12. 砂糖類	粗糖、精糖、その他	- ^{*4}	- ^{*4}
13. 油脂類	植物油脂、動物油脂	- ^{*4}	- ^{*4}
14. みそ		1.3 ^{*9}	2.8 ^{*9}
15. しょうゆ		1.3 ^{*9}	2.8 ^{*9}
16. その他食料	きのこ類、その他	0.2 ^{*6}	0.2 ^{*6}

*1 農林水産省の食料需給表の番号・類別名及び品目名

*2 食料の輸入（国産食料による自給率）を考慮した値

*3 Shibata et al (2014)⁸⁾のVNF値

*4 食料需給表の供給純食料蛋白質がゼロのため計算対象外

*5 種田ら (2018)¹¹⁾のVNF値

*6 Oita et al (2016)⁹⁾の天然漁獲・無給餌養殖水産物のVNF値を適用

*7 Oita et al (2018)¹⁰⁾のVNF値

*8 Oita et al (2016)⁹⁾の水産物全体の加重平均VNF値を適用

*9 Shibata et al (2014)⁸⁾の豆類のVNF値を適用

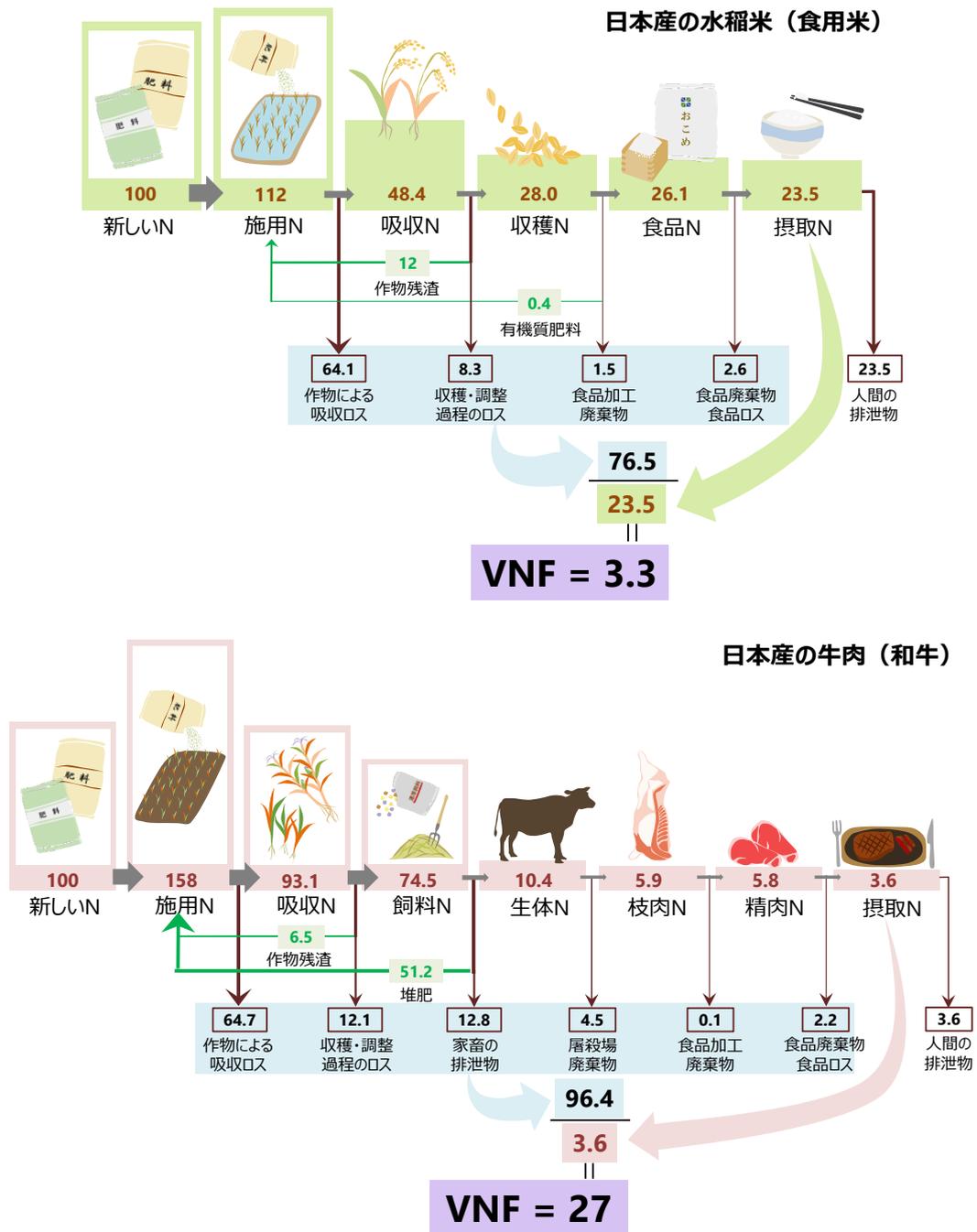


図1 日本産の主食用の水稻米（上）と日本産の牛肉（下）の生産～消費過程における窒素（N）フローの実態とその解析に基づく仮想窒素係数（VNF）値の算定（Eguchi & Hirano [2022]⁷⁾を一部改変）

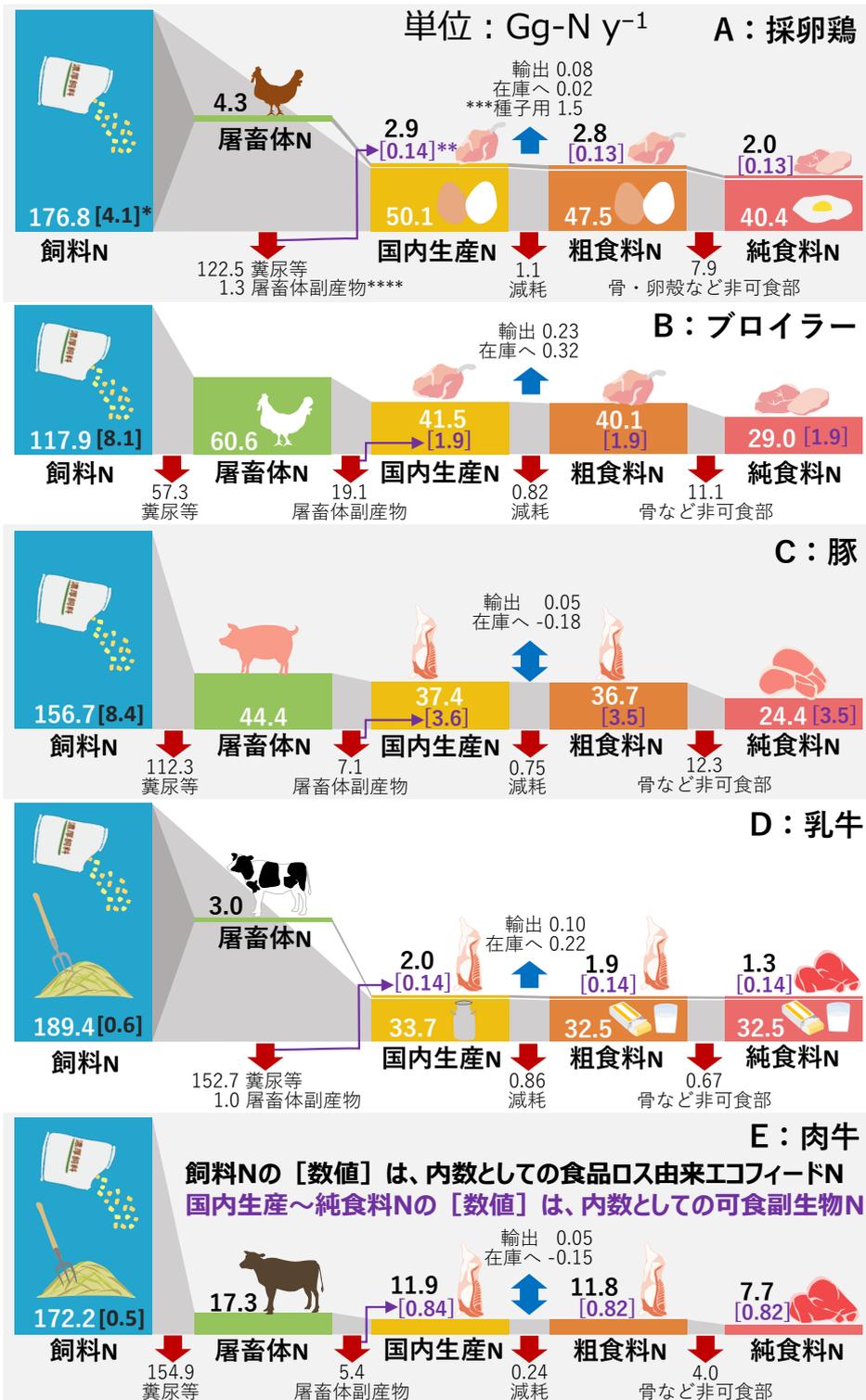


図2 主な畜種別の窒素 (N) フロー (平野ら [2023] ¹³⁾を一部改変)

(a) 「簡易出力」の画面例

結果

2021年02月01日(月)昼食

カツ丼

みそ汁 (なめこ)

Facebookでシェア

Twitterでシェア

簡易出力

詳細出力

解説

あなたが選択した産地の食材で作った献立の窒素フットプリントは26.3gです。
カロリーベースの食料自給率は52%です。
主要な栄養成分の摂取量は、エネルギー 854Kcal、たんぱく質 32g、脂質 32gです。
PFCバランスは、たんぱく質 15%、脂質 34%、炭水化物 51%です。

戻る

データを出力する

PDFを作成する

結果を保存する

(b) 「詳細出力」の画面例

結果

2021年02月01日(月)昼食

カツ丼

みそ汁 (なめこ)

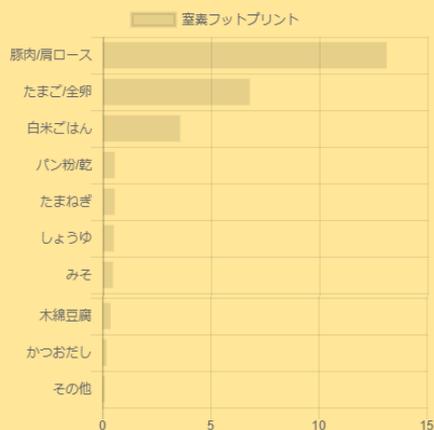
Facebookでシェア

Twitterでシェア

簡易出力

詳細出力

解説



栄養成分の摂取量及び推定平均必要量等
主要な栄養成分の摂取量は、エネルギー 854Kcal、たんぱく質 32g、脂質 32gです。
20歳女性の場合

献立カレンダーへ

データを出力する

PDFを作成する

図3 食事メニュー（例：カツ丼となめこの味噌汁）の窒素フットプリント（NFP）計算ツールの計算結果の表示例：(a)「簡易出力」，(b)「解説」，(c)「詳細出力」の画面例（次頁へ続く）

(前頁からの続き)

(c) 「解説」の画面例

結果

2021年02月01日(月)昼食

カツ丼

みそ汁 (なめこ)

Facebookでシェア

Twitterでシェア

簡易出力

詳細出力

解説

に海外の食料輸出国における環境中への窒素負荷削減にも大きく貢献し、地球環境を守ることにつながります。

食と環境中への窒素負荷の密接な関係について、も https://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/press/laboratory/niaes/132353.html と詳しく知りたい方は、こちら (農研機構HP) →

あなたの献立 (食事 1 回分) の窒素フットプリントは、26.3 g N (食事 1 回分) であり、「日本人の食事摂取基準 2015」に沿った食事 1 回分の窒素フットプリントの平均値 (11.8 g N) と比べて 2 倍以上、日本の平均値 (15.6 g N) と比べても 1.5 倍以上の、とても大きな値となっています。栄養バランスや必要な栄養の摂取量には十分気をつけながら、より窒素フットプリントの低い食事を目指しましょう。

タンパク質を、なるべく多くの食材から少しづつ摂るようにすると、窒素フットプリントが低くなりやすく、栄養バランスも良くなると思いますよ！ガッツリ食べた後の次の食事は、少し控えめな食事にする、環境にも貴方の健康にもいいかもしれませんね！

戻る

データを出力する

PDFを作成する

結果を保存する

図3 食事メニュー (例: カツ丼となめこの味噌汁) の窒素フットプリント (NFP) 計算ツールの計算結果の表示例: (a) 「簡易出力」, (b) 「詳細出力」, (c) 「解説」の画面例

表2 食品群別の仮想窒素係数（VNF）の精緻化へ向けた検討

番号・類別名	品目名	仮想窒素係数（VNF）（改定案）		食料自給率	海外VNF
		輸入考慮	国産のみ		USA ^{*1}
1 穀類					
	白米	1.8	1.8	0.98	0.7
	玄米	1.4	1.4	0.98	-
	小麦	0.8	1.1	0.15	0.7
	玄麦（全粒粉）	0.7	0.7	0.15	-
	ソバ	0.6	0.6	1.00	-
7 肉類					
	牛肉（可食副生物を含む）	9.7	13.8	0.40	6.9
	豚肉（可食副生物を含む）	6.9	9.8	0.51	3.8
	鶏肉（可食副生物を含む）	5.1	6.3	0.66	2.7
8 鶏卵		6.4	6.6	0.96	3.8
9 牛乳及び乳製品		3.2	3.0	0.62	3.6
16 その他食料					
	ナッツ類	0.4	-	0.00	0.4
*1 Leach et al（2016） ¹⁴⁾ で使用されているVNF値					