CIGS The Canon Institute for Global Studies

CIGS Working Paper Series No. 26-031J

日本の食料供給のための エネルギー消費量の推計

杉山 大志（キヤノングローバル戦略研究所 研究主幹）

2026. 11. 2.

※Opinions expressed or implied in the CIGS Working Paper Series are solely those of the author, and do not necessarily represent the views of the CIGS or its sponsor.
※CIGS Working Paper Series is circulated in order to stimulate lively discussion and comments.
※Copyright belongs to the author(s) of each paper unless stated otherwise.

General Incorporated Foundation
The Canon Institute for Global Studies
一般財団法人 キヤノングローバル戦略研究所
Phone: +81-3-6213-0550 https://cigs.canon/

日本の食料供給のためのエネルギー消費量の推計

キヤノングローバル戦略研究所　研究主幹　杉山大志

2026 年 11 月 2 日

平易なまとめ

日本で食べる米や魚が食卓に届くまでには、農機や漁船を動かす燃料だけでなく、食品を加工し、運び、冷やし、調理するなどの多くの工程でエネルギー投入が必要である。これを推計した結果、日本で 1 カロリーの食品が供給されるためには、国内・海外合計で 5.76 カロリーものエネルギーが投入されていることが分かった。この食品供給のためのエネルギーを合計すると、日本全体のエネルギー供給量の 16.5%にも相当する。

要旨

本稿では、2020 年に日本の食料供給のために投入されたエネルギーを、国内と海外に分けて工程ごとに推計した。国内の主要な工程のエネルギー消費量推計には燃料、電力、蒸気の使用量に関する全国統計を用い、輸入食品の生産や肥料・包装材の製造などのエネルギー消費量推計には、各国の産業間の取引を集約した国際産業連関表を用いた。

日本の食料供給に要したエネルギー消費量は、電力と熱を一次換算すると、国内外を合わせて年間 2,779.0 PJ（2.78 EJ）と推計された。内訳は国内が 2,024.4 PJ（72.8%）、海外が 754.6 PJ（27.2%）であった。

他方で、同年に供給された食料の熱量は酒類を含めて 482.3 PJ であった。これは、日本の一次エネルギー国内供給の 16.5%に相当する。

このことから、食料 1 J を供給するために、2779.0 / 482.3 = 5.76 J に相当するエネルギーを要したことが分かった。

目次

1　日本の食料供給に使われた国内外のエネルギー 3
2　対象とする食料とエネルギーの範囲 4
3　国内の主要工程を使用量から積み上げる 5
4　国内統計と国際産業連関表を組み合わせる方法 6
5　国内の主要 6 工程で使う燃料・電力・蒸気 8
6　どの工程で国内・海外の消費が大きいか 10
7　食料供給を支えるエネルギー源の内訳 11
8　結論と推計の限界 14
付録 A　全国の推計値の求め方と日本全体との比較 15
付録 B　国・地域別の電力の一次換算係数 16
付録 C　輸送量・家庭の電力・食料熱量による推計値の違い 18
付録 D　米の生産から炊飯までに使うエネルギー 19
付録 E　食品のライフサイクル研究と本推計の関係 21
付録 F　エネルギー安全保障との関係 21
参考文献と統計資料 22

1　日本の食料供給に使われた国内外のエネルギー

図 1 の上段は、日本向けの食料供給に必要となったエネルギーを国内と海外に分けたものである。下段左には同じ 2,779.0 PJ を工程別に積み上げ、右には食料そのものの熱量を同じ目盛りで示した。エネルギー消費の大きい家庭での保存・調理と食品・飲料製造を合わせると、全体の 34.8%を占める。

図 1　日本の食料供給に必要な国内外のエネルギー消費量

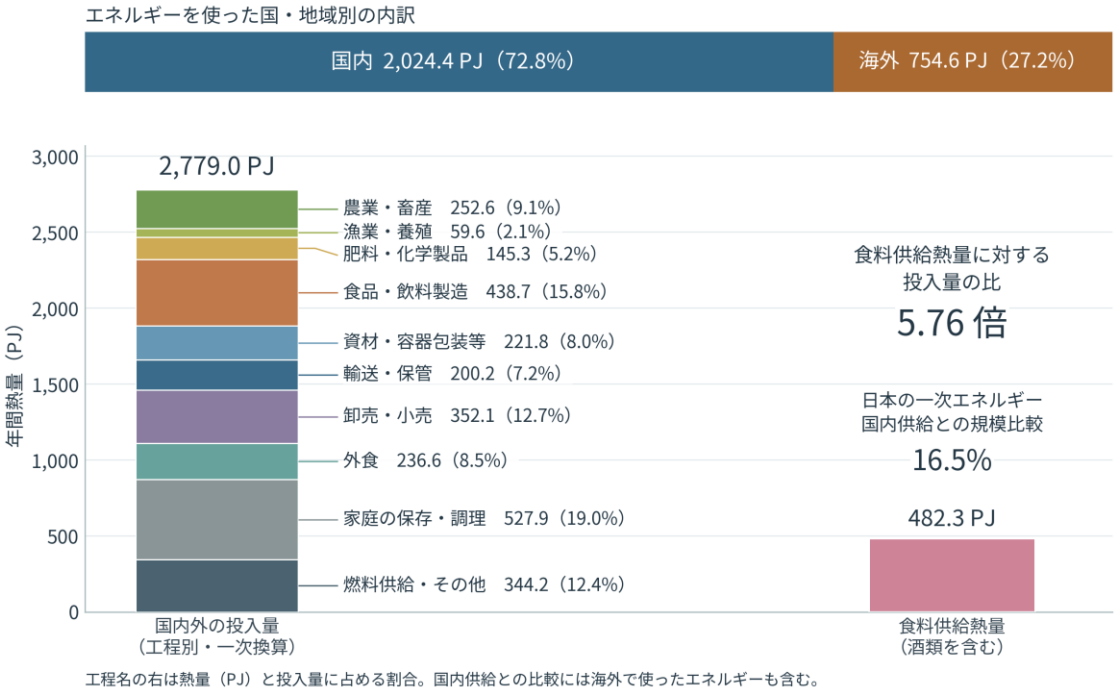


表 1　日本の食料供給に必要な国内外のエネルギー消費量

工程	年間熱量 PJ	投入量に占める割合 %
農業・畜産	252.6	9.1
漁業・養殖	59.6	2.1
肥料・化学製品	145.3	5.2
食品・飲料製造	438.7	15.8
資材・容器包装等	221.8	8.0
輸送・保管	200.2	7.2
卸売・小売	352.1	12.7
外食	236.6	8.5
家庭の保存・調理	527.9	19.0
燃料供給・その他	344.2	12.4
投入合計	**2,779.0**	**100.0**
食料供給熱量	482.3	—

図中の 16.5%は、海外分を含む投入総量を、日本の一次エネルギー国内供給（16,828.9 PJ）と比べた値である。日本国内で消費したエネルギーのうち食料に使った割合を示すものではない。表の端数と合計は丸める前の値から求めた。出典：総合エネルギー統計、食料需給表、家庭部門の調査、経済センサス、EXIOBASE、国連エネルギー統計［1–6, 8, 12］。

2　対象とする食料とエネルギーの範囲

日本で食べる一杯のご飯についても、農家で軽油を使い、精米所で電力を使い、最後に家庭の炊飯器で電力を使う。肥料を海外で製造したなら、その製造に要したエネルギーも日本の米の生産を支えている。本稿では、こうした一連の工程に伴う年間の消費量を推計する。

対象は、2020 年に日本で供給された食料である。国産品と輸入品の双方について、穀物、畜産物、水産物、野菜・果物から加工食品、飲料までを扱い、家庭で購入した食品に加えて、外食や給食の食材も含める。エネルギーを数える範囲は、肥料・飼料・包装材料の製造や燃料の生産・精製から、農漁業、食品加工、輸送・保管、販売、飲食店の営業、家庭での保存・調理までとした。

すべての活動について全国の使用量が分かるわけではない。例えば、家庭の食器洗い乾燥機の電力は含むが、手洗いに使う湯や買物のための自家用車の燃料は含めていない。家庭の食品廃棄物の処理や、ホテル・病院などの厨房も、食料に関わる分だけを十分に取り出せない。また、日常の生産活動に伴う建設や機械の取引は一部含まれるものの、新設設備の製造に要したエネルギーを耐用年数に分けて計上するところまでは扱わない。

国内・海外を分ける基準

国内・海外のエネルギー消費量の計上は、資源の産出国ではなく、エネルギーを使った事業者が経済活動の拠点を置く国に対して行う。例えば、日本の漁業者が輸入重油で漁船を動かす場合、船で使った燃料は国内の漁業に計上する。国際輸送のエネルギーについても輸送を担う事業者が拠点を置く国に計上する。

食品の熱量との比較

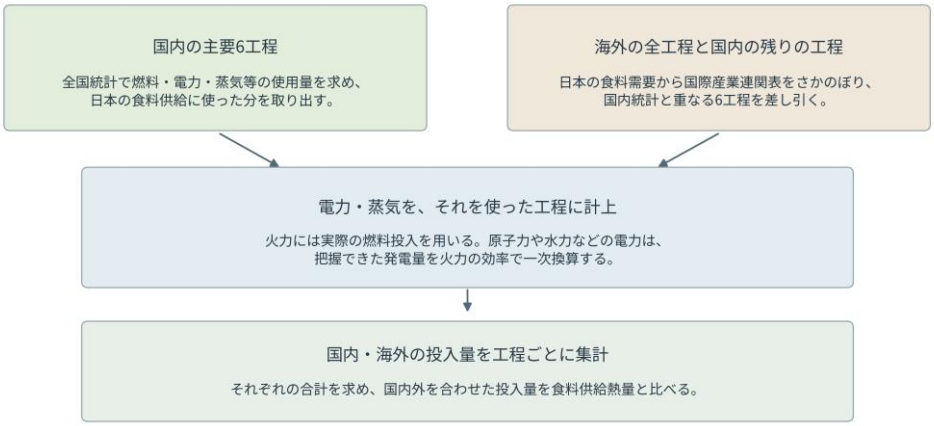
図 1 で比較した二つの熱量のうち、一方は、食料の生産・流通・調理に使った燃料や、電力・蒸気をつくるために必要だったエネルギーである。もう一方は、食料需給表［2］に基づく、供給された食品そのものの熱量である。後者には家庭などで食べずに廃棄する分も含まれる。前者を後者で割ると、食品 1 kcal を供給するのに何 kcal のエネルギーを要したかが分かる。

食料需給表の確定値による 2020 年度の供給熱量は、酒類を含めて 1 人 1 日 2,503.4 kcal である。人口 1 億 2,614 万 6 千人と 365 日を掛け、全国の年間熱量を求めた。以下では 1 PJ（ペタジュール）＝10 の 15 乗ジュール、1 EJ＝1,000 PJ とし、電力量は億 kWh でも示す。

3　国内の主要工程を使用量から積み上げる

全国の工程別の値を求めるため、二つの方法を組み合わせた。国内で燃料、電力、蒸気の使用量が分かる工程では、各業種の統計から日本の食料供給に使われた量を求める。輸入食品の生産や肥料・包装材料の製造については、同じ年の使用量を品目ごとに積み上げるだけの資料がない。これらの工程には、各国の産業間の取引を記録した国際産業連関表（以下、国際表）による推計を用いた。図 2 に計算の全体像を示す。

図 2　国内外のエネルギー消費量の推計手順



産業と家庭で使うエネルギー

農漁業、食品・飲料製造、卸売・小売、外食には総合エネルギー統計［1］を用いた。業種全体の使用量には輸出向けの生産や日用品の販売に使う分も入る。農漁業と食品・飲料製造では、細かい業種ごとに、生産額のうち日本の食料需要に向けられた割合を国際表から求めた。この割合を各業種の直接のエネルギー使用量で重み付けし、全国統計のうち食料に当たる分を算定した。卸売・小売には経済センサス［6］の食品売上割合を用いた。生鮮品と缶詰のように、同じ販売額でも冷蔵に要する電力が異なる点までは、この方法では反映できない。

家庭では、冷蔵庫、電子レンジ、炊飯器、電気ポット、食器洗い乾燥機、電気コンロの電力使用量を機器別に求めた［3–5］。例えば冷蔵庫なら、世帯当たりの保有台数に全国の世帯数を掛け、得られた総台数に 1 台当たりの年間消費電力量を掛ける。調理用ガスは、調理に使った全熱量から電気コンロ分を除き、都市ガスと LP ガスに分けて集計した。

発電と蒸気の製造を使用先の工程に含める

例えば、食品工場で 1 kWh の系統電力を受け取ると、その電気の熱量は 3.6 MJ である。これを発電・送配電まで含めて一次換算すると、国内系統の平均で 8.69 MJ となる。食品製造には 8.69 MJ を計上し、届いた電気の 3.6 MJ を上乗せしない。蒸気についても同様に、蒸気をつくるために使った燃料を使用先の工程に含める。工場が自らつくった蒸気とそのボイラ燃料を両方足すことはしない。

4　国内統計と国際産業連関表を組み合わせる方法

国際産業連関表 EXIOBASE［8］を使うと、ある国の産業がどの国のどの産業から仕入れたかをさかのぼり、取引に伴うエネルギー使用量を求めることができる。出発点は、日本で購入した食品、外食・給食の食材、食品を消費者に届けるまでの流通サービス、家庭でのエネルギー使用である。店頭価格のうち、生産者に支払われる商品代金と、卸・小売や配送の代金とを分けてから計算する。流通の代金を、商品代金の一部としても別のサービスとしても数えることを避けるためである。

国際表では、発電と熱供給は食品製造などと別の産業に記録されている。そのため、発電事業者の欄を読むだけでは、発電用燃料のうちどれだけが食品工場の電力を賄ったかは分からない。そこで、電力・熱の取引先をたどり、それを必要とした工程に供給側の投入を振り分けた。供給事業者同士で売買する分も考慮し、振り分けの前後で総量が変わらないことを確かめた。

全国の消費量 ＝ 国際表による集計 − 国内統計と重なる分 ＋ 国内統計による集計

国内統計で推計し直すのは、農業・畜産、漁業・養殖、食品・飲料製造、卸売・小売、外食、家庭の保存・調理の 6 工程である。これらの工程で使用する燃料と、電力や蒸気の供給に伴う投入を国際表から除いたうえで、国内統計による値を加えた。海外の全工程と、国内の肥料・資材製造、輸送・保管、燃料の生産・精製などには国際表を用いた。計算の内訳を付録 A に示す。

国際表を使う部分では、同じ国・地域の同じ産業であれば、製品の金額当たりのエネルギー使用量は等しいと仮定する。このため、同じ輸入食品でも、栽培方法や加工度によって使用量が異なることを十分には捉えられない。図 1 の項目名も、元の統計で区別できる範囲に合わせた。「資材・容器包装等」には包装以外に用いる紙・樹脂・金属などが、「肥料・化学製品」には肥料・農薬以外の化学製品も含まれる。

国内 6 工程の使用量には国内統計を用いるが、そこへ資材や燃料を供給する産業間の取引には、元の国際表をそのまま用いた。例えば発電所で使った燃料の熱量は、その電力を必要とした工程に計上する。一方、燃料を採掘・精製するのに使った動力や、ガス供給事業者が設備を動かすために使った電力などは、燃料を届けるために別途必要となるので、国際表から求めた投入として残す。

国際表で用いる指標「Net energy use」は、発電のようにエネルギーの形が変わるときの重複を取り除いた値である。この指標には、石油製品などを燃やさずに原料として使う分も含まれる。国内統計の側でも定義をそろえ、農漁業の潤滑油 0.515 PJ を計上した。したがって、図 1 の投入合計が表すのは、燃焼した化石燃料に限らず、非化石電源や原料用途も含めたエネルギーの一次換算量である。

4.1　発電した国・地域の火力効率を用いた一次換算

火力が発電した分については、発電所で消費した石炭・石油・ガスなどの熱量を数える。これに対し、風力や原子力による 1 kWh を、食料供給を支えるエネルギーとしていくらと数えるかには統一した基準が要る。本稿では日本の総合エネルギー統計の本表に倣い、同じ発電量をその国・地域の平均的な火力で賄うのに必要な燃料相当量を用いた［11］。この換算値は非燃焼電源の寄与として計上する。火力で実際にその燃料を使ったという意味ではない。

非燃焼電源の一次換算量（MJ）＝ 発電量（kWh）× 3.6 ÷ 火力の平均発電効率

日本の 2020 年度の公表係数は、発電所でつくった電気 1 kWh 当たり 8.41 MJ（高位発熱量基準、火力効率 42.81%）である。本稿は海外分に合わせて燃料を低位発熱量に近い値にそろえた。このため、日本の非燃焼電源には 7.81 MJ/kWh（同 46.12%）を適用した。これと火力等の実際の投入を合わせ、発電所内の消費・揚水用電力・送配電損失を考慮した結果が、前節の需要家に届く 1 kWh 当たり 8.69 MJ である。工場の自家発電と蒸気は業種別に換算した。

海外については、日本を除く 43 か国と、残りの国々をまとめた 5 地域を区別した。国連エネルギー統計の 2020 年値から、化石燃料を用いた発電量を対応する燃料投入の熱量で割り、各国・地域の発電端効率を求めた［12, 13］。5 地域の係数は、構成国の燃料投入量の合計と発電量の合計から求めており、国別効率の単純平均ではない。熱電併給については電気だけを分子に取るため、供給した熱の分は発電効率に加えていない。算定条件と各地域の値を付録 B に示す。

次に EXIOBASE の取引をたどり、日本向けの食料供給に必要となった発電部門の生産額を、当該国・電源の総生産額で割った［8, 9］。この割合を、国連統計に記録された同じ国・電源の発電事業者の発電量に掛けると、日本向け食料供給に対応する発電量が得られる。非燃焼電源については、発電量と国際表の既計上分をともに特定できた範囲で、後者を差し引き、上式の換算値に入れ替えた。電力の輸入も取引をたどり、生産国の係数を使う。

国連統計で発電方式を照合できる電力供給事業者の発電がこの処理の対象である。製造業のなかに集計された自家発電など、発電として切り分けられない投入は、国際表に計上された値をそのまま用いた。海外分の約 32%は個別国でなく 5 地域での集計である。したがって海外分は、国・地域と産業ごとの平均に基づく推計として解釈する必要がある。

5　国内の主要 6 工程で使う燃料・電力・蒸気

図 3 の棒は、国内の各工程が使用した燃料・電力・蒸気等の熱量を示す。6 工程の合計は 941.1 PJ である。菱形は、電力と蒸気をそれらの供給に要する一次エネルギーに換算した後の各工程の合計を示す。6 工程を合わせた一次換算量は 1,591.1 PJ となる（表 2 右端）。

図 3　国内の主要 6 工程で使う燃料・電力・蒸気等

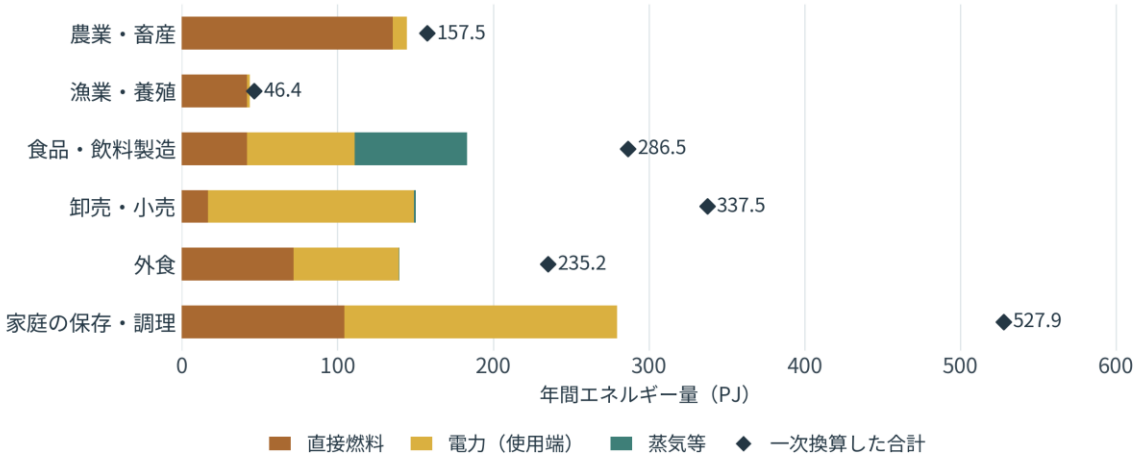


表 2　国内の主要 6 工程で使う燃料・電力・蒸気等

工程	直接燃料 PJ	電力 PJ（億 kWh）	蒸気等 PJ	一次換算合計 PJ
農業・畜産	135.6	8.9（24.8 億 kWh）	0.0	157.5
漁業・養殖	41.9	1.8（4.9 億 kWh）	0.0	46.4
食品・飲料製造	42.0	69.1（191.8 億 kWh）	72.0	286.5
卸売・小売	16.7	132.5（368.2 億 kWh）	1.2	337.5
外食	71.9	67.4（187.3 億 kWh）	0.5	235.2
家庭の保存・調理	104.3	175.4（487.3 億 kWh）	0.0	527.9
合計	**412.3**	**455.2（1,264.4 億 kWh）**	**73.6**	**1,591.1**

表中の直接燃料は低位発熱量に近似した値である。一次換算合計には蒸気の自家生産分と原料用途の潤滑油 0.515 PJ を含む。燃料の採掘・精製等の動力は別に数えた。表の電力欄は受電時の熱量と電力量である（1 PJ＝約 2.778 億 kWh）。

農漁業では農機や漁船の燃料が、卸売・小売では冷蔵設備などの電力が大きな割合を占める。食品・飲料製造では、加熱などに使う蒸気等が 72.0 PJ と、電力の 69.1 PJ に匹敵する。

この表は国内統計を用いた 6 工程を示している。道路輸送や肥料製造など国内の他の工程は、図 5・表 4 の国内欄に含まれる。

5.1　家庭での保存・調理に使うエネルギー

表 2 で最も投入量が大きいのは、家庭での保存・調理である。そのうち電力をどの機器がどれだけ使うかを図 4 と表 3 に示す。例えば、冷蔵庫は 1 世帯当たり平均 1.2 台、1 台当たりの年間消費電力量は 485 kWh と見積もった。両者を全国の世帯数に掛けると 324.2 億 kWh、熱量では 116.7 PJ となる。これが表 3 の冷蔵庫の行の中央の値である。右端の 281.7 PJ は、この電力を全国の冷蔵庫に届けるまでに発電・送配電を含む一次換算量を表す。

図 4　家庭で食品の保存・調理等に使う電力

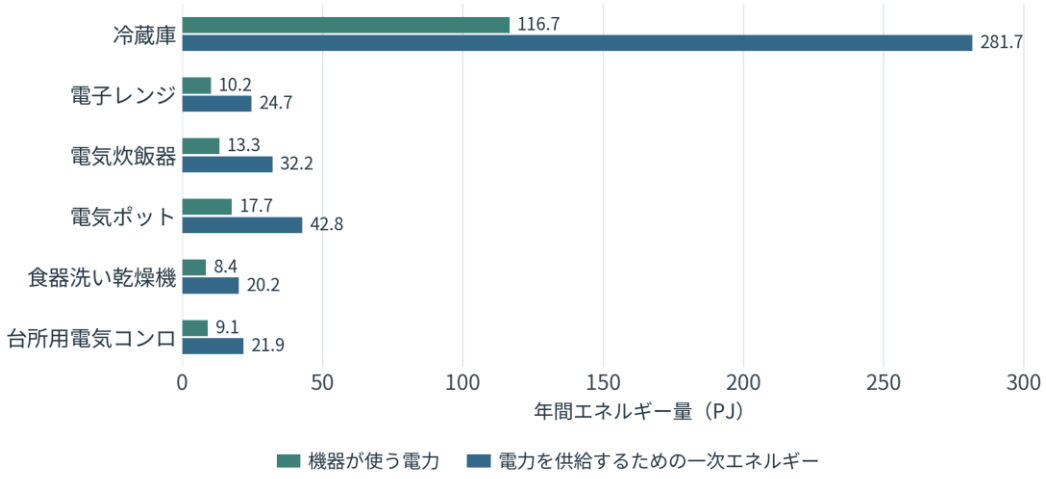


表 3　家庭で食品の保存・調理等に使う電力

機器	使用電力 PJ （億 kWh）	一次換算 PJ
冷蔵庫	116.7 （324.2 億 kWh）	281.7
電子レンジ	10.2 （28.4 億 kWh）	24.7
電気炊飯器	13.3 （37.0 億 kWh）	32.2
電気ポット	17.7 （49.3 億 kWh）	42.8
食器洗い乾燥機	8.4 （23.3 億 kWh）	20.2
台所用電気コンロ	9.1 （25.2 億 kWh）	21.9
電力合計	**175.4 （487.3 億 kWh）**	**423.4**

資料：環境省「家庭部門の CO_2排出実態統計調査」と同調査の業務報告書、2020 年国勢調査［3–5］。対象は全国の一般世帯 5,570 万 4,949 世帯。機器 1 台当たりの年間消費電力量には主に 2019 年の資料を用いた。電気ポットは 2015 年の値、台所用電気コンロは 2020 年度の世帯人数別推計による。電力 1 kWh を一次エネルギー8.6894 MJ に換算した。独立型の冷凍庫や、手で食器を洗うための給湯は含まない。

冷蔵庫だけで、表 3 に掲げた家庭用機器の電力の約 3 分の 2 を占める。6 種類の機器を合わせると、家庭で使う電力は 175.4 PJ、一次換算では 423.4 PJ となる。家庭ではこのほか、調理に都市ガスと LP ガスを 104.3 PJ 使う。都市ガスを製造に用いた原料の熱量に換算すると、調理用燃料は合わせて 104.5 PJ となり、電力分と合わせた 527.9 PJ が表 2 の家庭の一次換算合計である。したがって、米を炊く電力などを個別の食品について計算しても、その分はすでにこの合計に含まれている。

6　どの工程で国内・海外の消費が大きいか

国内で使うエネルギーは 2,024.4 PJ、海外で使う分は 754.6 PJ である。国内では、家庭での保存・調理や、日本国内の店舗での卸売・小売が大きい。一方、肥料・化学製品の製造では海外 83.6 PJ、国内 61.6 PJ、資材・容器包装等では海外 120.7 PJ、国内 101.1 PJ であり、いずれも海外のほうが大きい。

図 5　工程別にみた国内と海外のエネルギー消費量

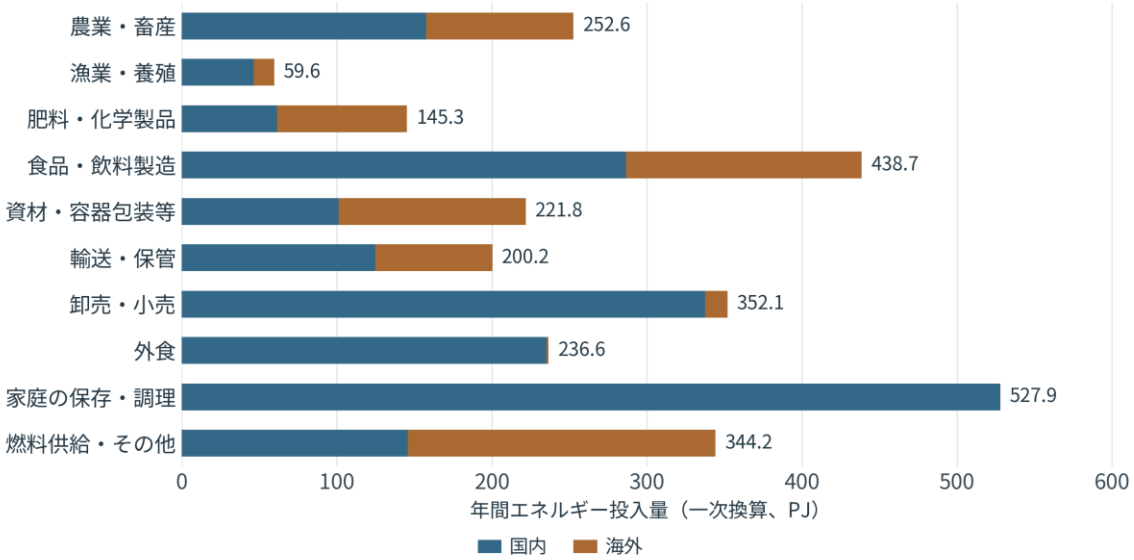


表 4　工程別にみた国内と海外のエネルギー消費量

工程	国内 PJ	海外 PJ	合計 PJ
農業・畜産	157.5	95.2	252.6
漁業・養殖	46.4	13.2	59.6
肥料・化学製品	61.6	83.6	145.3
食品・飲料製造	286.5	152.2	438.7
資材・容器包装等	101.1	120.7	221.8
輸送・保管	124.8	75.5	200.2
卸売・小売	337.5	14.6	352.1
外食	235.2	1.4	236.6
家庭の保存・調理	527.9	0.0	527.9
燃料供給・その他	145.9	198.4	344.2
合計	**2,024.4**	**754.6**	**2,779.0**

注：国内・海外は、エネルギーを使った事業者や家庭の経済活動の拠点で分けた。燃料の原産国による区分ではない。例えば、日本の発電所が輸入燃料を燃やして店舗に電力を供給した場合、その投入は「卸売・小売」の国内欄に含まれる。海外での投入は国際産業連関表 EXIOBASE の国・地域別のデータから推計した。

表 4 の「輸送・保管」についても、輸送を担う事業者の拠点で国内外を分けている。例えば、日本に拠点を置く海運会社が外国の港から日本まで食品を運べば、その船の燃料は国際航路で消費した分も国内の投入となる。船籍や給油した港、航行した海域で決めてはいない。用いた統計では海運・航空を国内便と国際便に分けきれないため、海外欄の 75.5 PJ を国際輸送の総量と読むことはできない［9］。

7　食料供給を支えるエネルギー源の内訳

次に、各工程が石油・石炭・天然ガスなどにどれだけ依存するかを見る。国内の主要 6 工程については、現場で使った燃料に加え、電力や蒸気を供給するために使ったエネルギーの種類も統計から推計できる。この 6 工程が全国の投入量のどれだけを占め、どこまで内訳が分かるかを示したのが図 6 と表 5 である。

図 6　種類別に把握できたエネルギーとその範囲

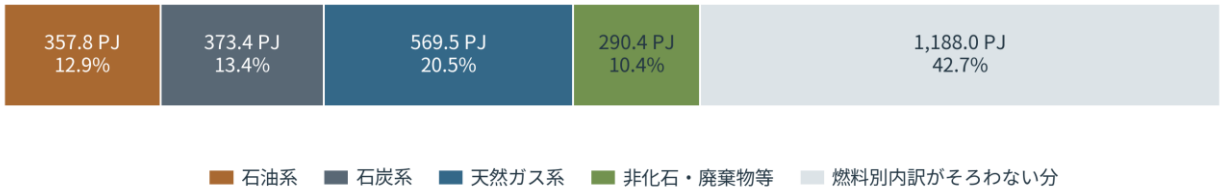


表 5　種類別に把握できたエネルギーとその範囲

区分	一次換算 PJ	全体に占める割合 %
石油系	357.8	12.9
石炭系	373.4	13.4
天然ガス系	569.5	20.5
非化石・廃棄物等	290.4	10.4
燃料別内訳がそろわない分	1,188.0	42.7
合計	**2,779.0**	**100.0**

国内 6 工程については、石油、石炭、ガス等の実際の燃料と、発電した電気から火力相当に換算した非燃焼電源を区別した。「非化石・廃棄物等」290.4 PJ の内訳は、再生可能エネルギー・原子力 265.9 PJ と、廃棄物・回収エネルギー24.5 PJ である。

このように同じ基準で全エネルギー源を区分できたのは、国内 6 工程の 1,591.1 PJ、全体の 57.3%である。残りの 1,188.0 PJ には、海外分 754.6 PJ と国内の資材・輸送など 433.3 PJ が含まれる。国際表でも非燃焼発電の換算は行ったが、農機やトラックに使った燃料まで国内統計と同じ詳しさで区分できないため、この部分は図 6 でひとまとめにした。

「廃棄物・回収エネルギー」は、総合エネルギー統計が「未活用エネルギー」として集計する項目である。廃油などを燃料に利用する場合のほか、工場で生じる廃熱を回収して蒸気をつくったり、設備の余剰圧力で発電したりする場合がこれに当たる。回収分には、こうして再利用した熱や電力を統計に従って計上した。また、廃プラスチックや再生油は石油に由来するため、この項目の全量を非化石エネルギーとはみなせない［11］。

7.1　国内の主要工程をエネルギー源別に見る

図 7 では、店舗の冷蔵設備や家庭の炊飯器が使う電気についても、発電に使った石炭・ガスなどを調べ、それぞれのエネルギー源に含めた。家庭に石炭系 145.4 PJ が計上されるのは、家庭で石炭を燃やしたためではなく、家庭に電気を供給するために発電所で石炭を使ったためである。

図 7　国内の主要 6 工程を支えるエネルギー源

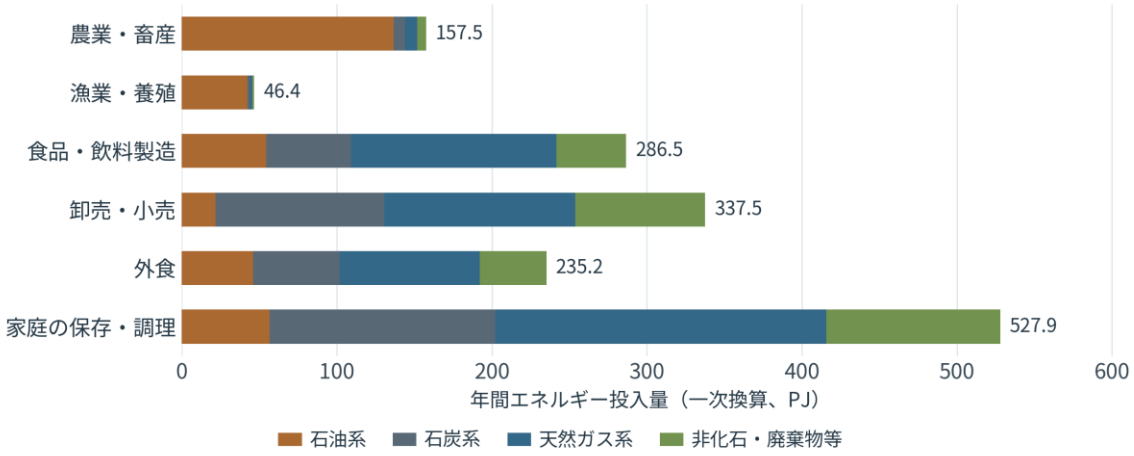


表 6　国内の主要 6 工程を支えるエネルギー源

工程	石油系 PJ	石炭系 PJ	ガス系 PJ	非化石・廃棄物等 PJ	合計 PJ
農業・畜産	136.6	7.4	7.8	5.7	157.5
漁業・養殖	42.3	1.5	1.6	1.1	46.4
食品・飲料製造	54.6	54.5	132.7	44.7	286.5
卸売・小売	21.8	108.9	123.0	83.9	337.5
外食	45.9	55.8	90.6	42.9	235.2
家庭の保存・調理	56.7	145.4	213.8	112.0	527.9
合計	**357.8**	**373.4**	**569.5**	**290.4**	**1,591.1**

対象は国内の主要 6 工程である。発電と蒸気の製造を含み、燃料の採掘・精製は含まない。石油系には原料用途の潤滑油を含む。非燃焼電源の火力相当量は「非化石・廃棄物等」に分類した。

農業・畜産では 157.5 PJ のうち 136.6 PJ、漁業・養殖では 46.4 PJ のうち 42.3 PJ が石油系である。農機と漁船が使う燃料のほか、施設園芸の暖房や、発電・熱供給を経由して使われる分もこの集計に含まれる。

7.2　石油・石炭・ガスと電力を分けて示す

小売店が冷蔵ケースを動かすには、店に電気が届かなければならない。こうした電力供給への依存を読み取れるよう、図 8 と表 7 では、図 7 で石油・石炭・ガスなどに分けた投入のうち、発電に使った分をすべて「電力（一次換算）」の欄にまとめた。発電用に振り向けた分は元の燃料の欄から除いてあるため、各工程の合計は図 7 と変わらない。

図 8　国内の主要 6 工程で使う石油・石炭・ガス・電力

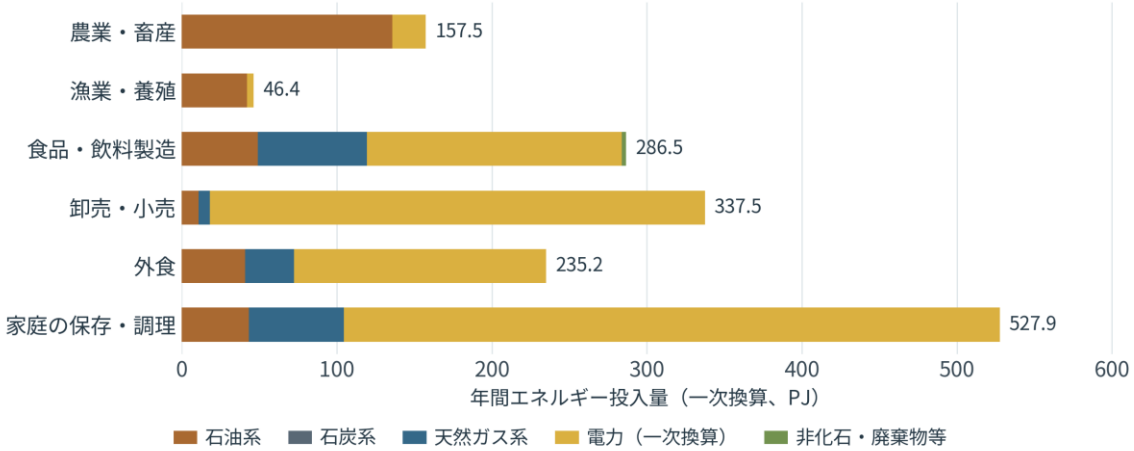


表 7　国内の主要 6 工程で使う石油・石炭・ガス・電力

工程	石油系 PJ	石炭系 PJ	ガス系 PJ	電力（一次換算） PJ	非化石・廃棄物等 PJ	合計 PJ
農業・畜産	135.8	0.0	0.0	21.6	0.0	157.5
漁業・養殖	42.1	0.0	0.0	4.3	0.0	46.4
食品・飲料製造	48.9	0.0	70.6	164.3	2.8	286.5
卸売・小売	10.7	0.0	7.4	319.4	0.0	337.5
外食	40.7	0.0	31.8	162.6	0.0	235.2
家庭の保存・調理	43.3	0.0	61.1	423.4	0.0	527.9
合計	**321.7**	**0.0**	**170.9**	**1,095.6**	**2.8**	**1,591.1**

電力欄は受電量ではなく、発電・送配電を含む一次換算量である。蒸気製造用の燃料は石油系、ガス系など各燃料欄に含む。0.05 PJ 未満は小数第 1 位までの表示では 0.0 となる。

卸売・小売は 337.5 PJ のうち 319.4 PJ、家庭の保存・調理は 527.9 PJ のうち 423.4 PJ を電力が占める。6 工程全体の電力は一次換算で 1,095.6 PJ であり、これに対応する使用先の電力は 455.2 PJ（1,264.4 億 kWh）である。図 7 では 373.4 PJ だった石炭系が図 8 でほぼゼロになるのは、そのほとんどが発電用だからである。

8　結論と推計の限界

日本で 2020 年に供給された食料について、生産、加工、流通から家庭での保存・調理までのエネルギー消費量を推計した。国内の事業者と家庭による消費は 2,024.4 PJ、海外の事業者による消費は 754.6 PJ であり、国内の事業者と家庭が全体の 72.8%を占めた。国内では流通と家庭、海外では食品生産のほか肥料や資材、燃料の供給に伴う消費が大きい。

国内外の一次換算量は合計 2,779.0 PJ であり、供給された食料の熱量 482.3 PJ の 5.76 倍に当たる。図 1 の左側の値には、火力における実際の燃料消費だけでなく、非燃焼電源が供給した電気の火力相当量も含まれる。この倍率は、食料を供給するために使うエネルギーの規模を示すものであり、食料の熱量がどれだけ燃料からつくられたかを示す効率ではない。

推計から読み取れる範囲

本稿の推計が表すのは 2020 年の食料供給である。国内のエネルギー統計と食料需給表は年度、経済センサスの売上高は暦年で集計されており、国際産業連関表には 2020 年表を用いた。この年は新型コロナウイルスの流行に伴い、外食や輸送の状況が平常年と異なる。年による違いを確かめるには、ほかの年も同じ範囲と方法で推計し、比較する必要がある。

国内の主要 6 工程についても、統計で直接分かるのは、原則として業種全体の燃料・電力・蒸気の使用量である。例えば、スーパーの冷蔵食品と常温の日用品では、同じ売上額でも必要な電力は異なる。しかし、公開統計から食品の販売に使った分だけを取り出すには、本稿では食品が売上高に占める割合を用いた。農業でも作物や施設栽培の有無による違い、漁業でも漁法による違いは、業種別の平均値のなかに含まれる。

海外の電力については、発電した国・地域に対応する火力効率を用いたものの、産業内の個々の工場や契約電源の違いは捉えていない。また道路輸送では、国際表の推計と貨物の重量・輸送距離から計算した値に差がある。こうした不確かさを小さくするには、輸送品目や生産国を区別した使用量の統計を充実させる必要がある。

付録 A　全国の推計値の求め方と日本全体との比較

図 9・表 8 は、第 4 節の式を実際の数値で示したものである。国際表の値は第 4.1 節の火力代替基準に換算した後の量である。発電や熱供給に要した分を、電気や熱を使った工程にたどってから、国内統計による 6 工程と入れ替える。

図 9　国際産業連関表と国内統計を組み合わせた推計

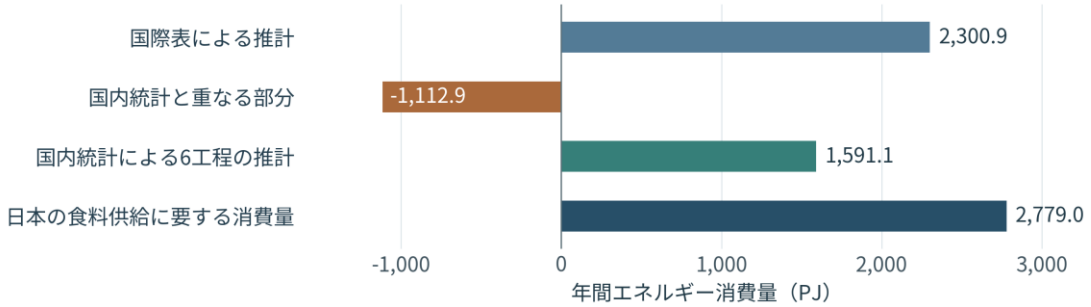


表 8　国際産業連関表と国内統計を組み合わせた推計

項目	一次換算 PJ
国際表による推計	2,300.9
国内統計と重なる部分	-1,112.9
国内統計による 6 工程の推計	1,591.1
日本の食料供給に要する消費量	2,779.0

国内統計に置き換えた後も、肥料・容器・輸送・燃料供給等には国際表の推計が残る。残した部分は国内分 433.3 PJ、海外分 754.6 PJ で計 1,188.0 PJ である。これに国内の 6 工程 1,591.1 PJ を加え、丸める前の値で合計すると 2,779.0 PJ となる。国内工程の使用量を改めても、資材や燃料を調達する産業間の取引関係は元の国際表のままとした。

日本全体の一次エネルギー国内供給との比較

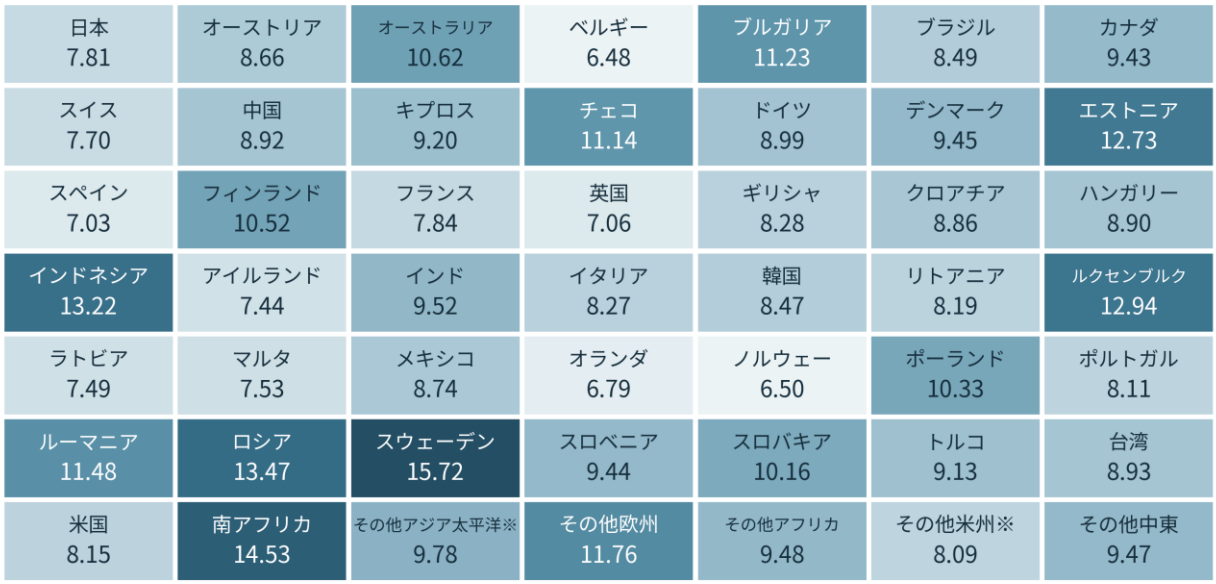
総合エネルギー統計の 2020 年度の一次エネルギー国内供給は 17,958.7 PJ である［1］。食料供給と熱量基準をそろえるため、石炭・石油製品を低位発熱量に近似して 548.5 PJ、天然ガス等を同様に 427.2 PJ 差し引いた。非燃焼 5 電源の高位・低位の換算差 125.8 PJ と、回収電力を回収時の電力量で数えることに伴う差 28.4 PJ も考慮すると、比較用の国内供給は 16,828.9 PJ となる。

図 1 の比率は 2,779.0 ÷ 16,828.9 ＝ 16.5% である。分子には海外の発電・農業・食品製造などで使われたエネルギーも含まれるので、日本国内の消費のうち食料部門が占める割合としては解釈できない。

付録 B　国・地域別の電力の一次換算係数

図 10 と表 9 は、非燃焼電源が発電した 1 kWh を、同じ国・地域の火力発電で賄う場合の燃料投入量を示す。単位は発電端の MJ/kWh、燃料は低位発熱量基準である。値が大きいほど、同じ電力量を得るために使う燃料が多い。

図 10　国・地域別の非燃焼電源の一次換算係数



発電端1 kWh当たりの火力燃料相当量（MJ、低位発熱量基準）。濃い色ほど換算係数が大きい。

表 9　国・地域別の非燃焼電源の一次換算係数

国・地域	MJ/kWh	国・地域	MJ/kWh	国・地域	MJ/kWh
日本	7.81	英国	7.06	ポルトガル	8.11
オーストリア	8.66	ギリシャ	8.28	ルーマニア	11.48
オーストラリア	10.62	クロアチア	8.86	ロシア	13.47
ベルギー	6.48	ハンガリー	8.90	スウェーデン	15.72
ブルガリア	11.23	インドネシア	13.22	スロベニア	9.44
ブラジル	8.49	アイルランド	7.44	スロバキア	10.16
カナダ	9.43	インド	9.52	トルコ	9.13
スイス	7.70	イタリア	8.27	台湾	8.93
中国	8.92	韓国	8.47	米国	8.15
キプロス	9.20	リトアニア	8.19	南アフリカ	14.53
チェコ	11.14	ルクセンブルク	12.94	その他アジア太平洋※	9.78
ドイツ	8.99	ラトビア	7.49	その他欧州	11.76
デンマーク	9.45	マルタ	7.53	その他アフリカ	9.48
エストニア	12.73	メキシコ	8.74	その他米州※	8.09
スペイン	7.03	オランダ	6.79	その他中東	9.47
フィンランド	10.52	ノルウェー	6.50		
フランス	7.84	ポーランド	10.33		

※ 地域の係数は、燃料投入量と発電量がともに得られる国・地域の合計から求めた。その他アジア太平洋ではグアム、その他米州では米領バージン諸島の発電量を係数の算定から除いた。

係数の求め方と適用範囲

日本は総合エネルギー統計 2020 年度詳細表の事業用火力の係数 8.4094 MJ/kWh（高位発熱量）を出発点とした［1, 11］。同じ統計の事業用発電（#241000）の燃料投入 5,950.0 PJ を、石炭・石油は 0.95 倍、天然ガス・都市ガスは 0.90 倍として約 5,523.4 PJ に換算した。バイオマス・廃棄物燃料などは原表の熱量を用いた。投入燃料の熱量比 0.9283 を公表係数に掛けると、7.8064 MJ/kWh となる。燃焼で生じた水蒸気の凝縮熱を除いたことによる基準の違いであり、発電所の運転効率が変わったわけではない。

海外の火力効率には国連エネルギー統計（DF_UNDATA_ENERGY 1.2）の 2020 年観測値を用いた［12］。分子は系列 7000T の化石燃料別総発電量（1 GWh＝3.6 TJ）、分母は発電専用設備（08811、08812）および熱電併給設備（08821、08822）で使った化石燃料の熱量である。石炭、石油製品、天然ガス等を低位発熱量に換算し、発電部門と自家発電の化石火力発電量に対応させた。熱専用設備は除外した。熱電併給では燃料の全量を分母に含め、電気と同時に取り出した熱は分子に加えていない。このため、熱供給の比重が大きい国では、電力 1 kWh 当たりの燃料投入が大きくなる。日本は事業用火力、海外は国連統計の集計範囲によるため、表の値は発電所の技術性能を国際比較するためのものではない［12, 13］。

例えば、米国の非燃焼電源が発電した 1 kWh は 8.15 MJ、中国では 8.92 MJ に換算した。一方、それぞれの国で石炭やガスを実際に燃やした分には、これらの係数を掛け直さず、国際表の燃料投入量を用いている。

国際表の公表勘定には燃料別の内訳がない。そこで、対応づけができる国・地域別の非燃焼発電部門に限り、エネルギーの二重計上を除いた投入（Net）と、排出を伴う用途の投入（Emission relevant）との差を、すでに計上されている非燃焼電源相当分とみなした。発電所で補助的に燃やした燃料に相当する後者は残した。差には非燃焼電源以外の原料用途等もわずかに含みうる［8, 9］。

発電を本業とする事業者について国連の発電量と照合できた海外の非燃焼発電のうち、日本の食料供給に対応する量は 100.0 億 kWh である。国際表でこの発電に対応すると推定した 58.3 PJ を除き、発電国・地域の係数による 90.6 PJ を計上した。国際表と発電統計で事業者や電源区分が完全には一致しないため、両資料を接続する際の重複や漏れをすべて特定することはできない。試みに、差し引く旧換算量も国連発電量と IEA の標準換算係数から求めると、全国値は 5.2 PJ 小さくなる。この差は統計の選び方の影響の一例である［10］。

国連統計の天然ガス消費量（TJ）は高位発熱量で報告されるため、0.90 を掛けて低位発熱量に換算した。石炭・石油等は各国・燃料別の低位発熱量を用い、欠測時には国連の標準値を用いた。地域別の係数を求める際、発電量のみが報告されたグアムと米領バージン諸島を分子・分母の双方から除き、得られた地域係数を当該地域全体に適用した。除外分は、それぞれの地域の報告済み化石火力発電量の 0.15%、0.22%である［12, 13］。

付録 C　輸送量・家庭の電力・食料熱量による推計値の違い

試算の条件を一つずつ変え、全国の消費量や食料熱量との比がどれだけ動くかを確認した（図 11・表 10）。各行は独立した試算であり、統計的な信頼区間を示すものではない。

図 11　推計条件による投入量と食料熱量比の違い

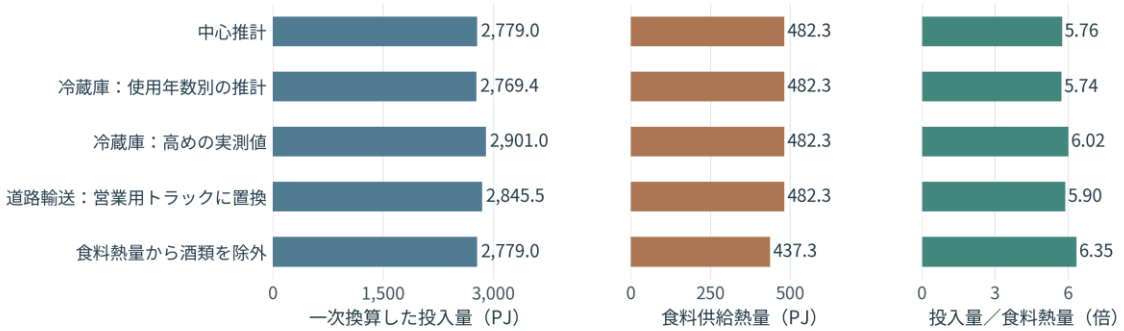


表 10　推計条件による投入量と食料熱量比の違い

計算条件	投入量 PJ	食料供給熱量 PJ	投入量／食料熱量（倍）
中心推計	2,779.0	482.3	5.76
冷蔵庫：使用年数別の推計	2,769.4	482.3	5.74
冷蔵庫：高めの実測値	2,901.0	482.3	6.02
道路輸送：営業用トラックに置換	2,845.5	482.3	5.90
食料熱量から酒類を除外	2,779.0	437.3	6.35

道路輸送では、営業用トラックが運んだ食品関連 6 品目区分の重量と距離に、トンキロ当たりの平均燃料消費量を掛けると 126.1 PJ となる。国際表の国内道路等陸運は 59.6 PJ である。輸送統計には、たばこ・原皮・観賞魚や輸出品の国内移動も含まれ、食品に当たる分の求め方も取引額と輸送トンキロで異なる。二つの値の開きを対象範囲の差だけでは説明しきれないため、全国の中心推計には国際表の値を用いた［1, 7, 8］。

冷蔵庫については、機器の使用年数を考慮した場合と、より多くの電力を使う実測例の場合を比べた。最後の行は、投入量を変えず、比較する食料の熱量だけを酒類を除く通常系列（1 人 1 日 2,270.0 kcal）に替えた場合である。投入の側には酒類の製造・流通に使った分も残る。

付録 D　米の生産から炊飯までに使うエネルギー

品目を米に絞ると、全国推計では見えにくかった個々の作業を調べることができる。以下ではまず、全国の米作経営を対象とした統計から、農家が直接使う燃料を求める。次いで、個別の研究を手掛かりに、機械や肥料の製造、家庭での炊飯まで視野を広げる。国内の農業、食品製造、家庭の各工程には、すでに米の生産や消費に伴う投入が含まれている。ここではその内訳を理解するために米の事例を扱い、全国推計には加えない。

表 11 は、農林水産省の 2020 年産米生産費統計［21］から、作付面積 10 アール当たりの燃料使用量を取り出したものである。例えば軽油の使用量は 14.2 L で、発熱量に換算すると 539.6 MJ となる。これを同じ面積から収穫した玄米 516 kg で割ると、玄米 1 kg 当たりの軽油の熱量は 1.046 MJ である。他の燃料についても同様に計算して足すと、玄米 1 kg 当たり 2.209 MJ となる。

図 12　米作経営で使う直接燃料

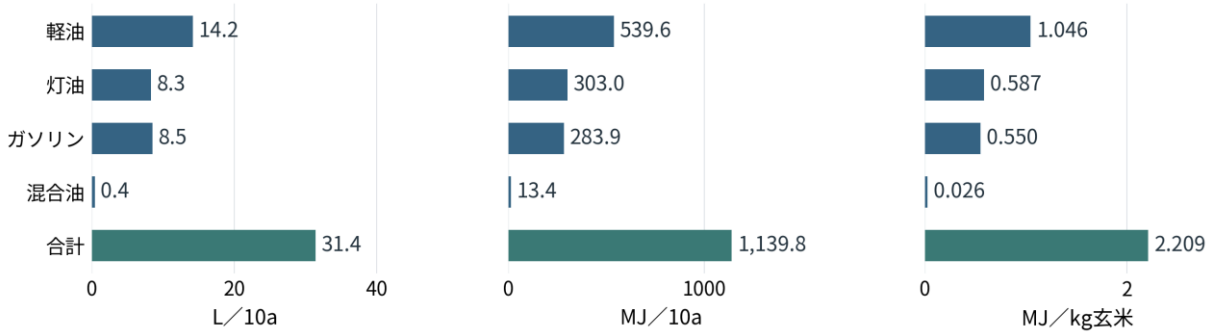


表 11　米作経営で使う直接燃料

燃料	L／10a	MJ／10a	MJ／kg 玄米
軽油	14.2	539.6	1.046
灯油	8.3	303.0	0.587
ガソリン	8.5	283.9	0.550
混合油	0.4	13.4	0.026
合計	**31.4**	**1,139.8**	**2.209**

資料は農林水産省「2020 年産米生産費」［21］である。数値は玄米を 600 kg 以上販売した個別経営の全国平均であり、調査対象外の生産者は含まない。ここでは燃料の高位発熱量を用いた。混合油にはガソリンの発熱量を当てた。図 1 の全国推計は低位発熱量を基本としており、熱量の基準が異なる。

この 2.209 MJ に含まれるのは、農家自身が使った 4 種類の燃料に限られる。作業委託先の燃料、農業資材の製造、流通、炊飯は含まれず、電力や農薬の使用量もこの統計だけでは分からない。また、肥料は同じ重量でも、製品によって窒素、リン酸、カリの含有量が異なる。米 1 kg が食卓に届くまでを追うには、資材の種類・産地に加え、共同設備の利用量、精米時の歩留まり、貯蔵期間を確かめる必要がある。

地域の水稲栽培モデルと家庭での炊飯

図 13　地域の米生産モデルでみた工程別投入

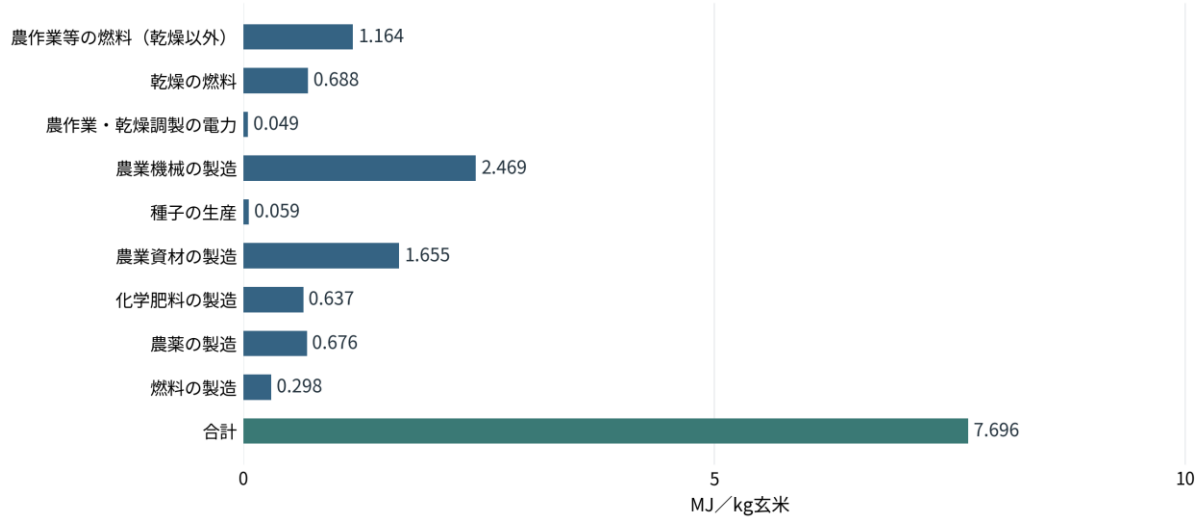


表 12　地域の米生産モデルでみた工程別投入

工程	MJ／kg 玄米
農作業等の燃料（乾燥以外）	1.164
乾燥の燃料	0.688
農作業・乾燥調製の電力	0.049
農業機械の製造	2.469
種子の生産	0.059
農業資材の製造	1.655
化学肥料の製造	0.637
農薬の製造	0.676
燃料の製造	0.298
合計	**7.696**

図 13 と表 12 は、丸山ほか（2009）［22］が新潟県を対象に設定した慣行水稲の栽培モデルによる。原論文の表 2 の数値を、10 アール当たりの玄米収量 540 kg で割った。熱量の定義は原論文に従っており、燃料別・国内外別の一次エネルギーを本稿と同じ基準で示したものではない。表 11 とは対象地域も収量も異なるため、二つの表の数値は合算できない。

このモデルでは、農業機械の製造だけで玄米 1 kg 当たり 2.469 MJ を要し、農作業と乾燥に使った燃料の合計（1.164＋0.688 MJ）を上回る。農家の燃料使用量だけでは見えてこない投入である。ただし、機械、種子、農業資材、化学肥料、農薬、燃料の製造に要する熱量は、製造現場で測ったものではない。各項目の金額に、国立環境研究所の「産業連関表による環境負荷原単位データブック」（3EID）［18］に示された金額当たりのエネルギー投入量を掛けて推計している。

家庭での炊飯については、Roy ほか（2009）［23］が、炊飯器を満量で使う条件で、炊く前の白米 1 kg 当たり 0.3431 kWh の電力を測定した。この値に保温や再加熱は含まれない。表 12 は玄米、炊飯の測定は白米を基準とするため、両者をつなぐには、玄米を精米して得られる白米の量を知る必要がある。さらに貯蔵に使う電力を含めるには、何日間保管した米かをそろえる必要がある。

付録 E　食品のライフサイクル研究と本推計の関係

食品のライフサイクル評価（LCA）には多くの蓄積がある。ただし、食品 1 kg 当たりの値でも、温室効果ガスの排出量を調べた資料と、燃料や電気の使用量を調べた資料とでは、答えられる問いが違う。味の素の「食品関連材料 CO_2排出係数データベース」［17］は、産業連関表に基づく金額当たりのCO_2排出量と食品の価格から、食品 1 kg 当たりの排出量を求めたものである。同じ排出量でも燃料の種類や電源構成はさまざまであり、この値から軽油や電気の使用量を逆算することはできない。温室効果ガスを CO_2換算で合計した別の指標では、メタンや一酸化二窒素の排出も含まれる。

産業技術総合研究所の IDEA［19］は、製品や工程を物量単位で調べるためのデータを収録している。データ本体には有償ライセンスなどの利用条件があり、本稿の計算には用いていない。フランスの AGRIBALYSE［20］も、多数の食品について工程別の環境影響を公表しているが、個別工程で何をどれだけ投入し、産出したかを調べるには、関連データベースの利用条件を確認する必要がある。また、単位が同じ MJ でも、総一次エネルギーを示す値と、非再生可能エネルギーや化石資源だけを対象とする指標とは区別しなければならない。

日本の食料供給全体を対象とした先行研究では、松本・井村（2000）［15］が、生産から家庭までのエネルギー消費を工程別に求めている。同研究は、輸入食品にも国内と同じ原単位を適用し、肥料や機械の製造に要するエネルギーは十分には含めていない。長沼ほか（2014）［16］は、食品ごとに供給量と食品ロスを追い、エネルギーについては産業連関表の産出額と 3EID の原単位から推計した。これらの研究と全国の総量を比較する際は、含まれる工程と海外分の求め方が異なることに注意を要する。

米国について Heller・Keoleian（2000）［14］は、農業、工業、輸送、家庭などの全国統計を組み合わせ、発電に要したエネルギーを電気の用途に応じて各工程に振り分けた。こうすれば、すべての食品について個別に LCA を行わなくても、食料供給のどの段階にどれだけの投入が必要かを一枚の図に表せる。本稿の図 1 もこの考え方による。ただし、米国の研究とは対象年や輸出の扱い、非化石電源の一次換算方法が異なり、図の棒の高さだけで日米の差を論じることはできない。

今後、個々の食品の研究を全国推計に生かすうえで有用なのは、国際産業連関表で大まかにしか捉えられなかった工程について、現場の使用量が分かる資料である。例えば輸入肥料の製品別・生産国別の使用量と、それぞれの製造に要したエネルギーが分かれば、国際表から対応する分を差し引いた上で、より詳しい値に置き換えられる。輸送、肥料・農薬、容器包装、輸入飼料は、この方法で優先して調べたい工程や資材である。

付録 F　エネルギー安全保障との関係

本稿では、日本向けの食料供給に要するエネルギーのうち 72.8%を国内の事業者と家庭に計上した。この割合から、食料供給に使うエネルギー資源の自給率は求められない。例えば、日本の漁業者が輸入重油を使って漁船を動かせば、その消費は国内の漁業に属する。一方、輸入飼料の生産に使われた燃料は、国内で家畜を育てる場合にも、飼料を生産した海外の事業者の消費となる。

この区別は、燃料や電力の供給途絶を検討する際の出発点になる。ただし、年間の消費量だけでは、どの食品の供給がいつ、どれほど減るかまでは分からない。漁船の燃料であれば油種別の備蓄と補給経路が、店舗や家庭の冷蔵であれば停電の長さや非常用電源の有無が関係する。これらの条件を置いた途絶時の評価は本稿の対象外である。

参考文献と統計資料

[1] 資源エネルギー庁 総合エネルギー統計 2020 年度詳細表 2026 年 4 月 14 日改訂
https://www.e-stat.go.jp/stat-search/file-download?fileKind=0&statInfId=000032192966
[2] 農林水産省 令和 2 年度食料需給表 確定値
https://www.e-stat.go.jp/stat-search/file-download?statInfId=000040035185&fileKind=4
[3] 環境省 令和 2 年度家庭部門の CO_2排出実態統計調査
https://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg/kateico2tokei/r2co2.html
[4] 環境省 令和 3 年度家庭部門の CO_2排出実態統計調査事業委託業務報告書 第 3 章
https://www.env.go.jp/content/000288360.pdf
[5] 総務省 第 72 回日本統計年鑑 2020 年国勢調査 一般世帯
https://www.stat.go.jp/data/nenkan/72nenkan/zenbun/jp72/book/pageindices/index102.html
[6] 総務省・経済産業省 令和 3 年経済センサス 活動調査 卸売業・小売業 商品別販売額（2020 年）
https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?layout=datalist&toukei=00200553
[7] 国土交通省 自動車輸送統計調査 2020 年度 品目別輸送トンキロと品目分類
https://www.mlit.go.jp/k-toukei/jidousya_hinmoku.html
[8] Stadler et al. EXIOBASE 3 version 3.9.4 2020 product-by-product table
https://doi.org/10.5281/zenodo.14614930
[9] Rasul, K. et al. (2024). EXIOBASE energy accounts: Improving precision in an open-sourced procedure applicable to any MRIO database. Journal of Industrial Ecology, 28, 1771–1785.
https://doi.org/10.1111/jiec.13563
[10] IEA World Energy Balances Documentation 熱量・製品・産業分類の定義
https://iea.blob.core.windows.net/assets/feea6879-1796-41c1-b8a1-2da8c181cba0/WORLDBAL_Documentation.pdf
[11] 資源エネルギー庁『総合エネルギー統計の解説』2020 年度改訂版。2.2.1（電力の一次エネルギー換算）。
https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2021FY/000809.pdf
[12] 国際連合統計部（UNSD）Energy Statistics Database. 2020 年観測値（SDMX DF_UNDATA_ENERGY 1.2）。発電量・燃料投入・発熱量。
https://unstats.un.org/unsd/energystats/data/
https://unstats.un.org/unsd/energystats/api/
[13] 国際連合統計部 Energy Statistics Yearbook 2023. Units, conversion factors and net calorific values.
https://unstats.un.org/unsd/energystats/pubs/yearbook/2023/07umc.pdf
[14] Heller and Keoleian（2000）Life Cycle-Based Sustainability Indicators for Assessment of the U.S. Food System CSS00-04
https://websites.umich.edu/~indecol/CSS%202000-4.pdf
[15] 松本亨・井村秀文（2000）戦後日本の食生活変化とエネルギー消費に関する研究 環境科学会誌 13 455–468
https://doi.org/10.11353/sesj1988.13.455
[16] 長沼悠介・立花潤三・後藤尚弘（2014）食料供給システムの物質・エネルギー解析と低炭素型の食生活に関する研究 土木学会論文集 G70 II_351–II_359
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jscejer/70/6/70_II_351/_article/-char/ja
[17] 味の素（2010）食品関連材料 CO_2排出係数データベース
https://www.ajinomoto.co.jp/company/jp/activity/useful/pdf/lcco2.pdf
[18] 国立環境研究所 3EID 産業連関表による環境負荷原単位データブック
https://3eid.nies.go.jp/
[19] 産業技術総合研究所 IDEA の物量データと利用条件
https://riss.aist.go.jp/research/20220209-2012/
https://www.aist-solutions.co.jp/services-tools/aist-idea/terms/
[20] ADEME AGRIBALYSE Data access and methodology
https://doc.agribalyse.fr/documentation-en/agribalyse-data/data-access
[21] 農林水産省 2020 年産米生産費 個別経営 原単位量 10a 当たり
https://www.e-stat.go.jp/stat-search/file-download?statInfId=000032186323&fileKind=0
[22] 丸山一成・五町直子・守屋透・林清忠（2009）超多収水稲と慣行水稲栽培システムの LCA 日本 LCA 学会誌 5 432–438
https://doi.org/10.3370/lca.5.432
[23] Roy et al.（2009）Life cycle inventory of different forms of rice consumed in households in Japan Journal of Food Engineering91 49–55
https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.08.005