

戦後日本の食生活変化と環境負荷：主食に関わるライフサイクルCO₂の評価

THE POSTWAR CHANGES IN JAPANESE DIETARY HABITS AND ENVIRONMENTAL LOAD : EVALUATION OF LIFE CYCLE CO₂ DUE TO THE STAPLE FOOD

松本 亨*・大迫洋子*・井村秀文*

Toru MATSUMOTO*, Yoko OSAKO*, and Hidefumi IMURA*

ABSTRACT : Economic development after the World War II has brought about a number of drastic changes in Japanese people's lifestyles. The change in dietary habit, in particular, took place in the trend of industrialization, diffusion of home electric appliances, increasing number of women working outside, development of food service industries, motorization and increasing transport distance of products, and market globalization. It therefore has far reaching implications for the environment in terms of energy and resources directly and indirectly used for the production, distribution, and consumption of foodstuffs. Based on these considerations, this paper presents a quantitative evaluation of the CO₂ emissions related to the food cycle, focusing on rice and wheat that are the staple food for Japanese people. It demonstrates the sharp rise of the indirect CO₂ emissions associated with distribution and transport stages.

KEYWORDS: LCA, food cycle, dietary habit, CO₂ emissions

1. はじめに

戦後の我が国では、経済発展や都市化、工業化などといった社会環境の急激な変化に伴い、個人のライフスタイルは大きく変化した。食生活に関しても、米食の減少・パン食の増加に見られる主食の変化や肉食の増加といった摂取面での大きな変化が生じた。同時に、核家族化・高齢化などによる世帯の小規模化や女性の社会進出、生活時間の24時間化などに代表されるライフスタイルの変化を反映して、利便性を追求する消費行動がとられるようになり、その結果、食料消費の外部化・簡便化が進行している。コンビニエンスストア（CVS）の拡大や外食の増加、調理食品の増加などはその代表例といえる。なかでも食料費支出に占める外食費及び調理食品費の割合は増加の一途をたどっており、平成8年にはそれぞれ17.6%、9.0%を占めるに至っている¹⁾。このような食生活の変化に伴い、物品購入時の個別包装・過剰包装の増加や、電子レンジの利用といった調理形態の変化によるエネルギー消費の増加など、環境負荷が急速に増加する傾向にあることは容易に想像できる。本研究は、これらの変化が環境負荷、特にエネルギー消費とCO₂発生に対していかなる意味を持ったかを定量的に評価することを目指すものである。

食生活とエネルギー消費を論じた研究としては、宇田川（1976）²⁾による水稻栽培のエネルギー収支の研究や、石井ら（1992）³⁾によるトマト栽培のエネルギー収支の研究などがある。また、農業への資源投入を時系列で捉えた研究としては、Cleveland（1995）⁴⁾が1910-90年のアメリカ農業に対して直接及び間接に投入された化石燃料と電力消費量を分析したものがある。しかし、これらの研究は部分的には時系列分析まで行っているものの、その範囲は生産段階のみにとどまっており、流通・消費段階をも含めた食生活全体を包括的にとらえてはいない。

著者らは、以前の研究において我が国で消費される穀物のライフサイクルエネルギー（LCE）の分析⁵⁾や、食生活の変化要因と環境へのインパクトを連関させた定量的分析⁶⁾を行った。さらに環境へのインパクトとして食生活全体のLCE分析を単年度について実施したほか、包装材及び窒素を指標に用いてその資源投入構造の分析も行った⁷⁾。しかし、これまでの研究では食料の流通から消費までに投入されるエネルギー消費量の時系列分析は行ったものの、生産から消費に至る総合的な時系列分析は行っていない。また、単年度における食料の生産から消費までの全過程で投入される1人あたりエネルギー消費量を算定しているが、そのうち間接投入分については生産過程の分しか考慮していない。

* 九州大学大学院工学研究科附属環境システム科学研究センター

* Institute of Environmental Systems, Graduate School of Engineering, Kyushu University

そこで本研究では、食生活の変化による環境影響をより包括的にとらえることを目的に、可能な限りにおいて過去から現在までの変化を追い、また農業生産に限らずフードシステム全般にわたるプロセスを対象として、エネルギーの直接投入分だけでなく間接投入分をも対象とした分析を行う。対象としては主食（米・小麦）に着目し、CO₂を指標として生産から消費に至るまでに投入されるエネルギーから排出されるCO₂の定量化を時系列で行った。なお、分析対象を主食に絞ったのは、近年減少傾向にあるとはいえ、依然として摂取カロリーの37%（1996年）を占めており、対象をこれに絞ることによって消費される食料品目の構成変化による影響を除外した分析が可能になることが期待できるからである。

2. 食料生産から消費までのCO₂排出量の推計

2-1. 生産過程

生産過程におけるCO₂排出量の算出方法を図1に示す。直接投入されるエネルギーとしては光熱動力によるものを、また、間接投入分としては肥料・農機具・農業の使用に伴って投入されるエネルギーを算出する。直接投入、間接投入ともに、耕地面積10aあたりの投入金額⁸⁾に面積（米の場合は本地面積⁸⁾）を乗じた値に金額当たりCO₂排出原単位及び主食としての摂取割合を乗じることでCO₂排出量を算定する。投入金額の物価補正は、総合卸売物価指数⁹⁾を用いて行う。これにより年度による価格変動の影響を調整し、エネルギー消費量を直接CO₂排出量に反映させることにする。また、直接投入におけるCO₂排出原単位は、水稻生産における各種エネルギーの投入金額・エネルギー

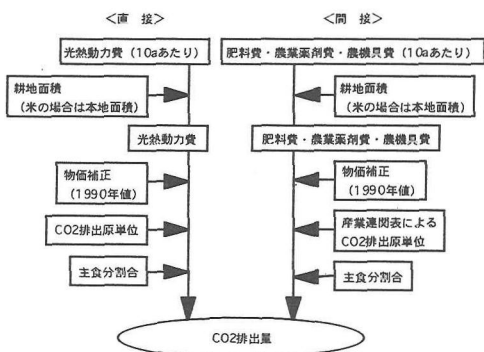


図1 CO₂排出量算出方法（生産過程）

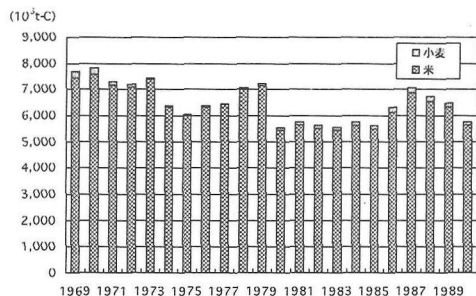


図2 直接投入エネルギーによるCO₂排出量（生産過程）

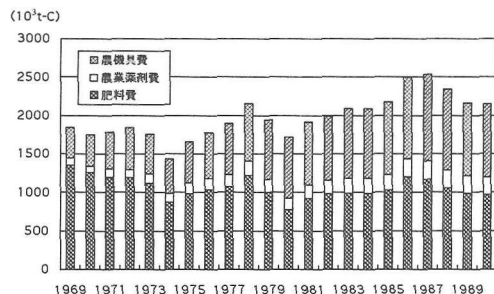


図3 間接投入エネルギーによるCO₂排出量（生産過程）

ギー量のデータ¹⁰⁾から単位金額あたりのCO₂排出量を算出して用いる。また、間接投入におけるCO₂排出原単位は、誘発分を考慮した産業連関表によるCO₂排出原単位¹¹⁾を使用する。摂取割合は、米は食糧需給表の純食料供給量に占める主食用の割合を、小麦は小麦粉の用途のうちパン用及びめん用の占める割合をそれぞれ用いる。

計算結果を図2及び図3に示す。直接投入によって排出されるCO₂は多少のばらつきがあるものの、年々減少している。中でも1974年と1979年の減少幅が大きい、これは昭和46年度から本格的な米の生産調整が行われたことによ

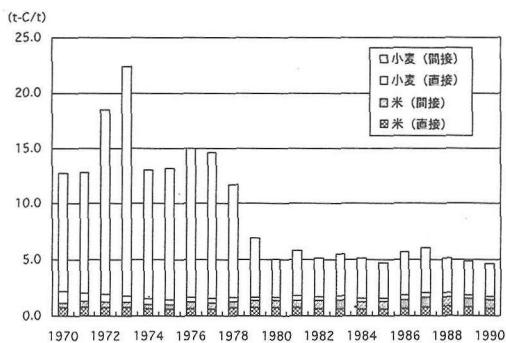


図4 単位生産量当たりCO₂排出量

る影響と考えられる。一方、間接投入によるCO₂排出量に関しては、肥料による誘発分は直接排出量と同様に減少傾向がみられるが、農機具・農薬からの誘発分は年々増加している。穀物全体の生産量は減少しているにもかかわらず排出量が増加している原因としては、機械化の進行や農薬の多様化などが考えられる。全体では直接投入されるエネルギーによる排出分が70%以上を占めており、生産過程におけるCO₂排出量は光熱動力費に大きく影響するといえる。また、図4は主食分の単位生産量当たりCO₂排出量を示したものであり、単位生産量当たりでは小麦生産における間接投入エネルギーから排出されるCO₂が他に比べて非常に多いことがわかる。

2-2. 加工過程

加工過程におけるCO₂排出量の算出方法を図5に示す。直接投入されるエネルギーによるCO₂排出量は、石油等消費構造統計表¹²⁾から得られる食品加工業のエネルギー種別消費量の単位を原油換算キロリットルからカロリーへ換算¹³⁾したものにCO₂排出原単位¹⁴⁾を乗じて算出する。ここで、食品加工業とは精米業・精麦業・小麦粉製造業・パン製造業・めん類製造業・冷凍調理食品製造業・レトルト食品製造業・その他の食品製造業を指し、冷凍調理食品製造業・レトルト食品製造業・その他の食品製造業に関しては産業連関表^{15), 16) 17)}から算出した全食料に占める米・小麦の割合を乗じたものを使用する。間接的に投入されるエネルギーからのCO₂排出量は、食品加工機械・包装材・水資源に投入される金額を物価補正(1990年値)したものに金額当たりCO₂排出原単位を乗じて算出する。ここで食品加工機械とは穀物処理機械、製パン製菓機械、その他の食料品加工機械を指す¹⁸⁾。包装材・水資源の投入金額は、産業連関表から算出した。ここで包装材とは段ボール・段ボール箱・紙製容器・プラスチック製品を、水資源とは上水道・工業用水・下水道を指す。物価補正值・CO₂排出原単位は、2-1と同じ数値を使用した。

計算結果を図6及び図7に示す。直接に投入されるエネルギーに関しては、小麦の加工(パン製造)によるCO₂排出が最も多い。また、めん類製造業からのCO₂排出も増加傾向にある。一方、間接的に排出されるCO₂は年々増加しており、特に1980年から1985年にかけての伸びが大きい。ここでは加工機械及び包装材からの誘発分の増加が著しいことから、食品加工における機械化や包装材の利用が進んでいることが考えられる。包装による誘発排出量はいったん増加したが、1990年には再び減少している。直接的なエネルギー投入による排出分が全体の6~7割を占めていることから、パン・めん類の製造の増加がCO₂排出に与える影響は大きいといえる。

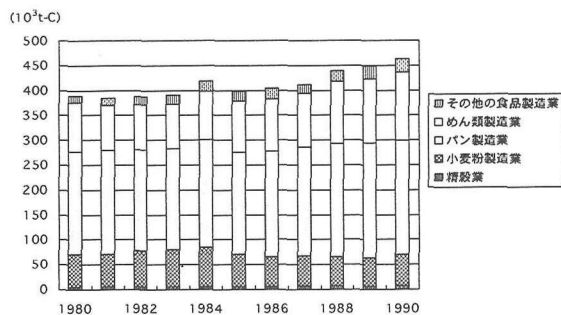


図6 直接投入エネルギーによるCO₂排出量
(加工過程)

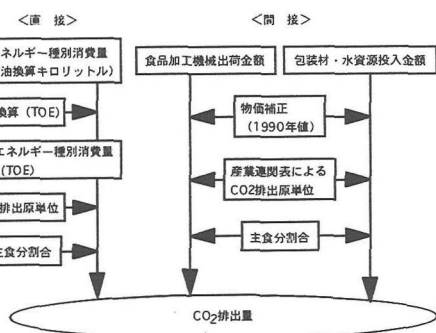


図5 CO₂排出量算出方法(加工過程)

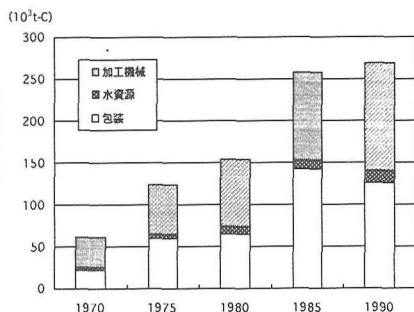


図7 間接投入エネルギーによるCO₂排出量
(加工過程)

2-3. 輸送過程

輸送過程におけるCO₂排出量の算出方法を図8に示す。穀物・加工食品の輸送手段の90%程度を自動車

が占める¹⁹⁾ことから、本研究では自動車輸送のみを取り扱う。直接投入には運輸経済統計要覧¹⁹⁾から得られた貨物輸送トンキロデータを用い、間接分には陸運統計要覧²⁰⁾から得られた営業用トラックの保有台数と、産業連関表から得られた道路貨物輸送に投入される水資源金額および輸送時に使用する包装材の生産金額をそれぞれ使用する。ここで包装材とは、段ボール箱を指す。直接投入におけるCO₂排出原単位は、トラック用のエネルギー構成を軽油:ガソリン=1:0.09と仮定し、それぞれの原単位¹⁴⁾を加重平均した値を使用する。間接投入については、トラックの耐用年数を10年とし、トラック1台あたりの生産金額は工業統計

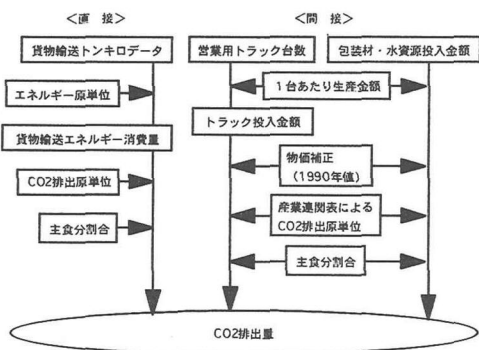


図8 CO₂排出量算出方法（輸送過程）

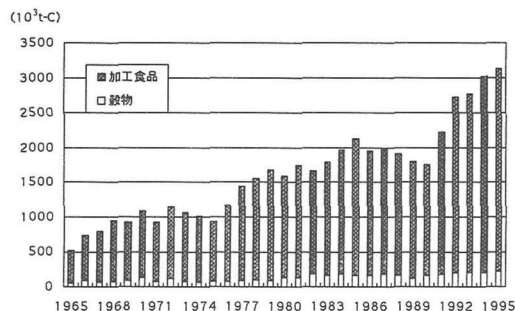


図9 直接投入エネルギーによるCO₂排出量（輸送過程）

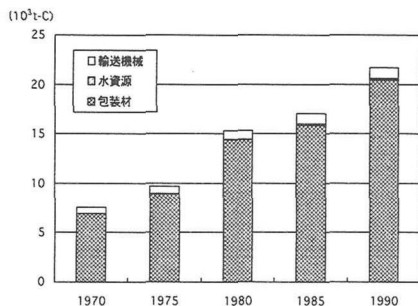


図10 間接投入エネルギーによるCO₂排出量（輸送過程）

表²¹⁾から得られた出荷金額を出荷台数で除した値の1992年～1996年の平均値を用いる。物価補正値・CO₂排出原単位は、2-1と同じ数値を使用する。また、加工食品に関しては、産業連関表から加工食品において主食分の占める割合を算出し、これに乗じるものとする。

計算結果を図9、図10に示す。直接投入されるエネルギーによるCO₂排出量は、推移に多少のばらつきはあるものの増加傾向にあり、そのほとんどは加工食品の流通によるものである。図11に穀物・加工食品に関する自動車貨物平均輸送距離¹⁹⁾を示しているが、最近3年間で穀物の輸送距離が減少しているのに対し、加工食品の輸送距離は80年代後半から増加の一途をたどっている。図9で示したように輸送過程における直接投入エネルギーのCO₂排出はほとんど加工食品によるものであり、これが増加した要因は、加工食品の平均輸送距離の増加であると推測できる。なお、著者らの研究グループでは、食料の輸送エネルギーの要因分析を行っているが⁷⁾、そこでも平均輸送距離の影響が最も大きいことが示されてい

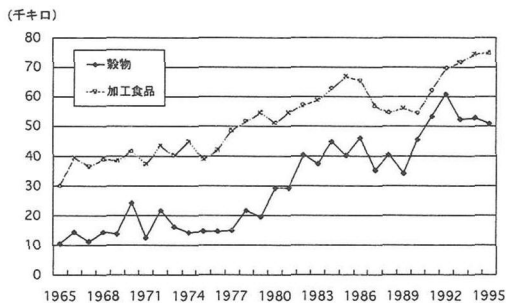


図11 自動車貨物平均輸送距離

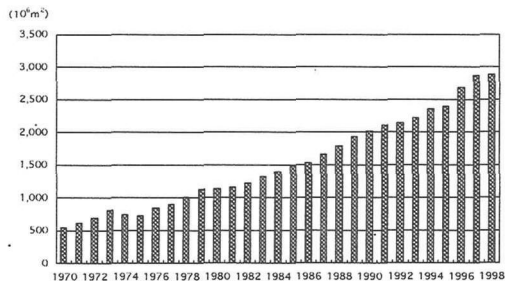


図12 加工食品輸送に投入された段ボール箱の推移

る。一方、間接的に投入されるエネルギーによるCO₂排出量も増加している。特に包装材からの誘発分の増加が目立っており、このことは図12で加工食品輸送に投入された段ボール箱が年々増加していることから明らかである。この原因としては、輸送の多頻度化や宅配便・通信販売の増加などが考えられる。輸送全体としては、90%以上を直接排出分が占めている。

2-4. 消費過程

消費過程におけるCO₂排出量の算出方法を図13に示す。直接投入されるエネルギーのうち家庭での消費過程で使用する厨房機器は、炊飯ジャー（電気・ガス）、電子レンジ・オーブントースターとし、電力使用分の厨房機器のエネルギー消費量は、電力需給の概要²²⁾から得られる従量電力消費量に電力量構成比を乗じて単位をkWhからTOE（石油換算トン）へ換算した値¹³⁾を用い、ガス炊飯ジャーはLPガス消費年報²³⁾から得られるエネルギー消費発熱量を用いた。消費過程のうち外食によるものについては、飲食店を利用するものと仮定し、飲食店が消費する全食料に占める米・小麦の割合を産業連関表から算出し、これを考慮したうえでCO₂排出量を算出する。間接投入における水資源投入金額のうち家庭での使用分に関しては、家計調査年報²⁵⁾の水消費金額に炊事目的で使用する割合（26%）²⁴⁾を乗じたものを使用する。

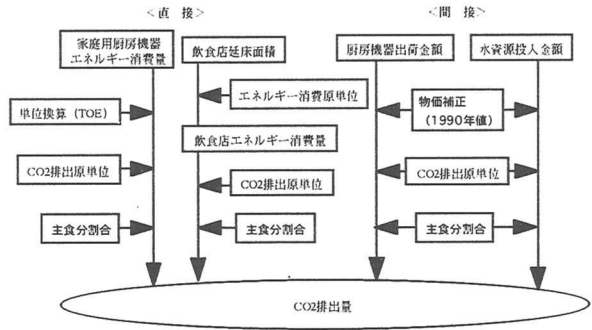


図13 CO₂排出量算出方法（消費過程）

計算結果を図14、図15及び図16に示す。直接投入によるCO₂排出量のうち家庭からの排出分は微増しており、その多くは厨房電気機器の使用によるものである。特に、電子レンジからの排出量が年々増加しているのが特徴的である。また、外食からの直接CO₂排出はほぼ一定の割合で増加を続けている。使用エネルギーとしては電気が一番大きい、その割合は年々減少しており、1970年には70%を占めていたが1990年には60%に減少している。逆に、年々僅かながら増加を続けているのが都市ガスである。全

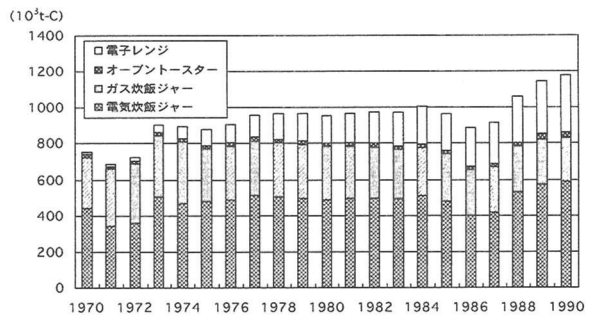


図14 直接投入エネルギーによるCO₂排出量（消費過程・家庭）

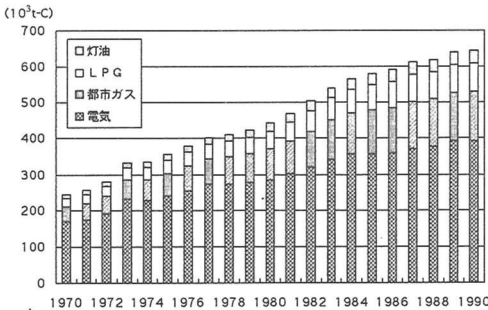


図15 直接投入エネルギーによるCO₂排出量（消費過程・外食）

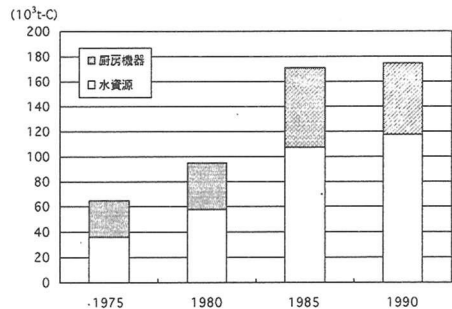


図16 間接投入エネルギーによるCO₂排出量（消費過程）

体の構成としては、ほぼ90%を直接排出分が占めている。間接投入によるCO₂排出量は1975年から1985年にかけては急増していたが、1990年は1985年とほぼ変わらない値を示している。また、その内訳としては、水資源の使用に関係するものが半分以上を占めている。

2-5. 貿易過程

ここでは、輸入食品の輸送過程を貿易過程と定義し、これに伴うCO₂排出量を図17に従って算出する。地域別貨物量は港湾統計²⁶⁾、航路別港間距離は世界港間距離図表²⁷⁾の数値を用いる。航路のうち北米航路に関しては、我が国への就航船の総トン数²⁸⁾と比例させて、西岸と東岸に振り分けたものを使用する。CO₂排出原単位は、八島ら²⁹⁾が算出した原単位のうちコンテナ船における数値を使用する。主食分の割合は、2-1で用いた小麦の割合を使用する。

計算結果を図18に示す。麦の輸入に伴うCO₂排出量の推移に大きな増減はみられない。排出量の7割以上が北アメリカからの輸入に起因しており、次いでオーストラリア、EC諸国の順となっている。北アメリカからのCO₂排出量が突出している原因としては、航路別港間距離の長さによって全地域別貨物量に占める北アメリカの比率が非常に大きいことが挙げられる。

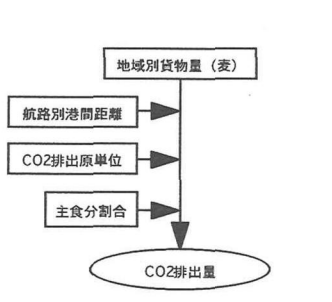


図17 CO₂排出量算出方法(貿易過程)

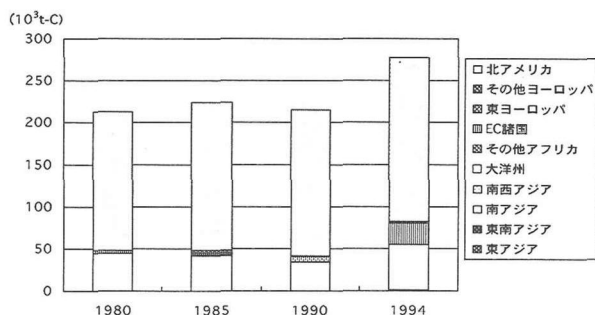


図18 我が国の麦輸入の輸入先別CO₂排出量(貿易過程)

3. 各過程におけるCO₂排出の経年比較

図19に生産から消費に至る各過程から排出されるCO₂(直接投入・間接投入)の推移を示す。全排出量のうち生産過程に直接投入されるエネルギーからの排出が最も多く、次に多いのが生産過程に間接的に投入されるエネルギーからの排出である。また、各過程での排出割合をみたものが図20である。排出量の半分を生産過程における直接排出分が占めており、全体でみると生産過程における排出量が全体の6割以上を占めている。次に、全過程における人口・供給熱量当たりCO₂排出量を算出し、1980年=100として各年の伸び率を示したものが表1である。ここで、供給熱量とは食糧需給表³⁰⁾の国民1人・1日当たり供給熱量(米・小麦)に年間日数を乗じたものを使用し、米の数値としては菓子及び穀粉を含まない主食用のみを用いた。1980年から85年にかけては、加工過程での間接排出量と消費過程での間接排出量が急速

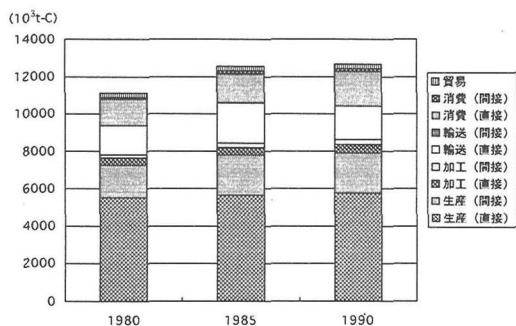


図19 全過程におけるCO₂排出量の推移

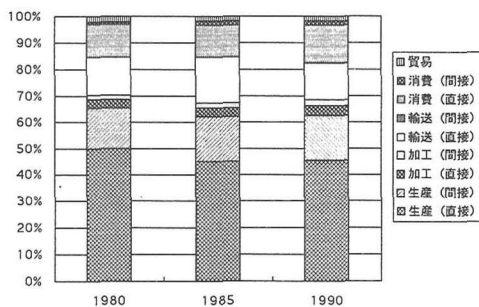


図20 全過程におけるCO₂排出割合の推移

に伸びており、食品加工における機械化や包装材の利用が急増したものと思われる。また、1985年から90年にかけて輸送過程における間接排出量の伸び率が大きくなっていることより、輸送過程に投入される包装材(段ボール箱)の利用増加がCO₂排出に与えた影響は大きいといえる。

4. おわりに

本研究では、日本人の戦後の食生活の変化とその環境的意味を探るため、主食(米・小麦)の生産から消費に至るまでに投入されるエネルギーから直接または間接的に排出されるCO₂の定量化を行った。得られた結果を以下にまとめる。

- 1) 生産過程において直接投入されるエネルギーより排出されるCO₂は年々減少している。間接的に投入されるエネルギーによるCO₂排出量は、肥料による誘発分は減少傾向がみられるが、農機具・農薬からの誘発分は年々増加している。排出量増加の原因としては機械化の進行や農薬の多様化などが考えられる。
- 2) 加工過程に直接投入されるエネルギーによるCO₂排出量は、パン製造に起因するものが最も多く、めん類製造からの排出も増加している。間接的に排出されるCO₂は年々増加傾向にあり、特に加工機械及び包装材からの誘発分の増加が著しいことから、食品加工における機械化や食品包装の急速な増加が考えられる。
- 3) 輸送過程において直接投入されるエネルギーによるCO₂排出量は増加傾向にあり、ほとんどが加工食品の輸送によるものである。増加の原因としては、輸送距離の増加が挙げられる。間接的に排出されるCO₂排出量も増加しており、特に包装材からの誘発分の増加が目立つ。原因として輸送の多頻度化や宅配便・通信販売の増加などが考えられる。
- 4) 消費過程での直接投入によるCO₂排出量のうち、家庭からの排出分は微増しているが、外食からの排出分は年々急増している。間接投入によるCO₂排出量はいったん増加したものの、1990年は1985年とほぼ変わらない値を示している。
- 5) 貿易過程によるCO₂排出量に大きな変化はみられない。排出量の7割以上が北アメリカからの輸入に起因するものであり、その原因として、航路別港間距離がEC諸国などより短いにもかかわらず輸入量が他に比べて突出していることが挙げられる。
- 6) 全過程を経年比較すると、生産過程からの直接排出分がCO₂排出量の半分を占めており、全体で見ると生産過程におけるCO₂排出量が全体の6割以上を占めている。

なお、本研究では様々な仮定に基づいて算出を行ったため、今後はさらに多くの物量データを積み上げてより正確な分析を行う必要がある。また、本研究ではトレンド及び現状の分析にとどめているため、今後様々な政策シナリオの分析ツールとして利用できるように改善を図る予定である。そのためには、さらに以下のような分析が必要である。

- 1) 本研究は主食に絞った分析としたが、今後分析対象を全食料に拡大し、食生活全体の環境負荷の分析を行うことも必要である。ただし、その際には、食品種の変化による影響が裏面に隠されてしまわないよう留意する必要がある。
- 2) 本研究は、消費者から見て上流側の分析にとどめているが、下流側、すなわち廃棄過程の分析を充実させることも必要である。廃棄過程は食生活の環境負荷を構成する大きな要素であり、今後下水汚泥も含めた大量の有機系ごみを資源としてどのように循環させるかといった問題を扱う場合、廃棄過程を取り込むことは不可欠である。
- 3) 政策シナリオによっては当然、環境媒体(大気、水、土壌など)間や環境負荷指標間のトレードオフが起ころう。そのため、炭素分の気相への排出のみならず、水域や土壌への排出をも考慮に入れなければならない。また、CO₂以外の環境負荷指標、例えば窒素やリンについても分析することが必要である。

表1 人口・供給熱量当たりCO₂排出量比較
(1980年値=100とする)

	1980	1985	1990
生産(直接)	100	103	108
生産(間接)	100	127	129
加工(直接)	100	103	123
加工(間接)	100	169	181
輸送(直接)	100	135	115
輸送(間接)	100	112	147
消費(直接)	100	111	135
消費(間接)	100	181	190
貿易	100	106	105

【参考文献】

- 1) 農林統計協会：図説 農業白書，平成9年度， pp.13-14
- 2) 宇田川武俊：水稻栽培における投入エネルギーの推定，環境情報科学，Vol.5-2， pp.73-79， 1976
- 3) 石井玲子：近代化農業におけるエネルギー投入産出比に関する考察—トマトの場合を事例として—，九州大学農学部卒業論文， 1992
- 4) Cleveland C. J. : The direct and indirect use of fossil fuels and electricity in USA agriculture, 1910-1990, Agriculture, Ecosystems and Environment, Vol.55, pp.111-121, 1995
- 5) Imura, H., T.Mizuno, and T.Matsumoto : Study on Environmental Lords of Foodstuff Production and Their Trade Implications for Japan, Journal of Global Environment Engineering, Vol.3, pp.77-97, 1997
- 6) 小金丸聡・松本 亨・井村秀文：戦後日本の食生活の変化の環境的意味に関する研究，環境システム研究，Vol. 25, pp.503-508, 1997
- 7) 小金丸聡：日本の戦後における食生活の変遷とその環境的意味に関する研究，九州大学修士論文， 1998
- 8) 農林水産省統計情報部：ポケット農林水産統計， 1960-1998
- 9) 日本銀行調査統計局：物価指数年報， 1990
- 10) 社団法人資源協会：家庭生活のライフサイクルエネルギー， pp.112, 1994
- 11) 国立環境研究所地球環境研究センター：産業連関表による二酸化炭素排出原単位， 1997
- 12) 通商産業大臣官房調査統計部：石油等消費構造統計表（旧名称：エネルギー消費構造統計表）， 1982-1996
- 13) 資源エネルギー庁長官官房企画調査課：総合エネルギー統計（平成10年度版）， 1999
- 14) 環境庁地球環境部：二酸化炭素排出量調査報告書， 1992
- 15) 行政管理庁：昭和40-45-50年接統産業連関表， 1980
- 16) 行政管理庁：産業連関表， 1984
- 17) 総務庁：産業連関表， 1989， 1994
- 18) 財団法人食品産業センター：食品産業統計年報， 1998
- 19) 運輸省運輸政策局情報管理部：運輸経済統計要覧， 1960-1997
- 20) 運輸省運輸政策局情報管理部：陸運統計要覧， 1997
- 21) 通商産業大臣官房調査統計部：工業統計表 品目編， 1998
- 22) 通商産業省資源エネルギー庁公益事業部：電力需給の概要， 1965-1996
- 23) 株式会社石油化学新聞社：L P ガス資料年報， 1965-1998
- 24) 財団法人水資源協会：'89水資源便覧， 1989
- 25) 総務庁統計局：家計調査年報， 1996
- 26) 運輸省運輸政策局：港湾統計（流動表）， 1980， 1985， 1990， 1994
- 27) KAIBUNDO：世界港間距離図表（二訂版）
- 28) 財団法人日本海事広報協会：数字でみる日本の海運・造船， 1996
- 29) 八島弘倫・松本 亨・井村秀文：国際物流にともなうエネルギー消費量及びCO₂排出量の評価，環境システム研究，Vol.25, pp.303-309, 1997
- 30) 農林水産大臣官房調査課：食糧需給表， 1998