

# 第 2 章

## 投入・産出エネルギー比の算定

### 2.1 化石燃料のエネルギー集中度

作物生産に投入される化石燃料エネルギーの算定方法には様々なものがあるが、本研究では、Krenz (1974), Bullard and Herendeen (1975), および科学技術庁資源調査会編 (1979) の方法を利用する。これらの算定方法を利用する利点は、産業連関表や作物の生産費などの政府の統計資料を利用できること、また、複数の作物を対象とする算定が比較的簡便に行えることにある。

作物生産の投入化石燃料エネルギーを算定する手順は、(1) 化石燃料のエネルギー集中度 (energy intensity), (2) 工業製品などのエネルギー集中度, (3) 農業資材のエネルギー集中度の算定という 3 段階に分けられる。ここでいう化石燃料とは、産業連関表に記載される原油、石炭、石油製品などの費目とする。また、エネルギー集中度とは、工業製品 1 円あたりに含まれると推定される化石燃料エネルギーの量 (J/円) である<sup>1)</sup>。

エネルギー集中度は、ある工業製品の生産費を、その製造・輸送の過程で使用されたエネルギー、および製品そのものに含まれるエネルギーで除すことによって算定できる。具体的には以下の式による。

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n (\beta_i x_i + \beta'_i x'_i)}{\sum_{i=1}^n (X_i + X'_i)} \quad (1)$$

ただし、 $\alpha$  は化石燃料のエネルギー集中度 (J/円)、 $x_i$  は化石燃料  $i$  の国内生産量 (g, m<sup>3</sup>, l),  $\beta$  は化石燃料  $i$  の単位あたり熱量 (J/g, J/m<sup>3</sup>, J/l),  $X_i$  は化石燃料  $i$  の国内生産額 (円),  $n$  は化石燃料に分類される製品の数、および、ダッシュの符号はそれぞれの輸入品を示す<sup>2)</sup>。

化石燃料のエネルギー集中度の算定に使用する資料は、次のとおりである。化石燃料の国内総生産額と輸入額には、「接続産業連関表」（資料：総務庁ほか、1985, 1995, 2005）の小分類を使用する。ここで接続産業連関表を使用する利点は、複数年で費目が統一されていること、時系列の算定に便利なことである。また、算定する年は1970年から2000年にかけて5年間隔とする。その理由は、園芸作物の生産費に関する資料が1970年から充実すること、産業連関表が5年ごとに発行されていること、および2009年時点で入手できる最新の接続産業連関表が2000年までの費目を記載していることである<sup>3)</sup>。

化石燃料の国内生産量と輸入量の資料は、「エネルギー統計年報」（資料：通商産業大臣官房調査統計部、1977）、および、「エネルギー生産・需給統計年報」（資料：通商産業大臣官房調査統計部、1977, 1981, 1986, 1991, 1996；経済産業省経済産業政策局調査統計部、2001）である。化石燃料の単位熱量は、「総合エネルギー統計」（資料：資源エネルギー庁長官官房企画調査課、1991）による。化石燃料の単位あたり熱量は、費目が同じであれば年ごとに大きな変動はないため、すべての年でこの統計の値を使用することにする。

接続産業連関表の小分類に記載される化石燃料の費目は、発行年ごとに若干の差異があるが、基本的には石炭（亜炭）、原油、天然ガス、石油製品、石炭製品に分けられる。これらの化石燃料と、エネルギー生産・需給統計年報（エネルギー統計年報）に記載される化石燃料の製品は、平成2-7-12年接続産業連関表の場合、第1表のように対応させることができる。まず、それぞれの製品の生産量と単位あたり熱量を掛け合わせることによって、製品に含まれるエネルギーが算出できる。その結果、化石燃料が産出するエネルギーは、原油と石油製品が $20.6 \times 10^{15}$  kJ、石炭と石炭製品が $5.5 \times 10^{15}$  kJ、天然ガスが $3.0 \times 10^{15}$  kJとなった。このように、日本で使用される化石燃料エネルギーの71%は原油と石油製品からもたらされるものであり、特に原油は99.7%を輸入品に依存していることに特徴がある。

次に、それぞれの化石燃料エネルギーを国内生産額で除した値が、化石燃料のエネルギー集中度になる。エネルギー集中度の値は、費目ごとに差があるが、石炭と原油・天然ガスなどの原料となる化石燃料で高く、それらを加工した製品で低くなる傾向がある。これは、原料を輸送・加工する際に発生する経済的

第1表 化石燃料のエネルギー集中度の算定方法(2000年)

| 化石燃料    | 分類コード  | 国産・輸入別 | 製品     | 生産量<br>(10 <sup>6</sup> ) | 単位             | 単位あたり<br>熱値<br>(kJ/(kg, l, m <sup>3</sup> )) | エネルギー<br>(10 <sup>9</sup> kJ) | 国内生産額・輸入額<br>(100万円) | エネルギー集中度<br>(kJ/円) |
|---------|--------|--------|--------|---------------------------|----------------|--|-------------------------------|----------------------|--------------------|
| 石炭      | 0711   | 国産     | 原料炭    | 0                         | kg             | 32,217                                       | 0                             | 36,504               |                    |
|         |        |        | 一般炭    | 3,126                     | kg             | 24,267                                       | 75,859                        |                      |                    |
|         |        |        | 無煙炭    | 0                         | kg             | 17,991                                       | 0                             |                      |                    |
|         |        |        | (小計)   |                           |                |  | 75,859                        |                      |                    |
|         |        | 輸入     | 原料炭    | 65,688                    | kg             | 31,798                                       | 2,088,747                     | 616,651              |                    |
|         |        |        | 一般炭    | 81,016                    | kg             | 25,941                                       | 2,101,636                     |                      |                    |
| 無煙炭     | 2,735  |        | kg     | 27,196                    | 74,381         |  |                               |                      |                    |
| (小計)    |        |        |        | 4,264,764                 |                |  |                               |                      |                    |
| (合計)    |        |        |        |                           | 4,340,623      | 653,155                                      | 6,646                         |                      |                    |
| 原油・天然ガス | 0721   | 国産     | 原油     | 740                       | l              | 38,702                                       | 28,639                        | 87,756               |                    |
|         |        |        | 天然ガス   | 2,453                     | m <sup>3</sup> | 41,003                                       | 100,580                       |                      |                    |
|         |        |        | (小計)   |                           |                |  | 4,469,843                     |                      |                    |
|         |        | 輸入     | 原油     | 250,578                   | l              | 38,702                                       | 9,697,870                     | 7,122,095            |                    |
|         |        |        | NGL    | 53,581                    | kg             | 54,392                                       | 2,914,378                     |                      |                    |
|         |        |        | (小計)   |                           |                |  | 17,082,090                    |                      |                    |
| (合計)    |        |        |        |                           | 17,182,670     | 7,209,851                                    | 2,383                         |                      |                    |
| 石油製品    | 2111   | 国産     | 揮発油    | 56,726                    | l              | 35,146                                       | 1,993,692                     | 11,831,116           |                    |
|         |        |        | ナフサ    | 17,955                    | l              | 33,472                                       | 600,990                       |                      |                    |
|         |        |        | ジェット燃料 | 10,625                    | l              | 36,401                                       | 386,761                       |                      |                    |
|         |        |        | 灯油     | 27,866                    | l              | 37,238                                       | 1,037,674                     |                      |                    |
|         |        |        | 軽油     | 42,612                    | l              | 38,493                                       | 1,640,264                     |                      |                    |
|         |        |        | 重油     | 68,230                    | l              | 41,003                                       | 2,797,635                     |                      |                    |
|         |        |        | 潤滑油    | 2,651                     | l              | 40,166                                       | 106,480                       |                      |                    |
|         |        |        | 液化石油ガス | 4,935                     | kg             | 50,208                                       | 247,776                       |                      |                    |
|         |        |        | (小計)   |                           |                |  | 8,811,271                     |                      |                    |
|         |        |        | 輸入     | 揮発油                       | 1,607          | l  | 35,146                        |                      |                    |
|         |        | ナフサ    |        | 31,074                    | l              | 33,472                                       | 1,040,109                     |                      |                    |
|         |        | ジェット燃料 |        | 58                        | l              | 36,401                                       | 2,111                         |                      |                    |
|         |        | 灯油     |        | 2,843                     | l              | 37,238                                       | 105,868                       |                      |                    |
|         |        | 軽油     |        | 1,644                     | l              | 38,493                                       | 63,282                        |                      |                    |
|         |        | 重油     | 2,300  | l                         | 41,003         | 94,307                                       |                               |                      |                    |
| 潤滑油     | 29     | l      | 40,166 | 1,165                     |                |  |                               |                      |                    |
| 液化石油ガス  | 14,682 | kg     | 50,208 | 737,154                   |                |  |                               |                      |                    |
| (小計)    |        |        |        | 2,100,476                 |                |  |                               |                      |                    |
| (合計)    |        |        |        |                           | 10,911,747     | 13,660,096                                   | 799                           |                      |                    |
| 石炭製品    | 2121   | 国産     | コークス   | 38,396                    | kg             | 30,125                                       | 1,156,680                     | 1,152,291            | 1,004              |

資料：総務省ほか(2005), 経済産業省経済産業政策局調査統計部(2001), 資源エネルギー庁長官官房企画調査課(1991).

な付加価値によって、単価あたりに含まれるエネルギーが減少したものと解釈できる。

2000年と同じ方法により、1970年から1995年の化石燃料のエネルギー集中度も算定した結果が第2表である。化石燃料のエネルギー集中度には、大きな経年変化が見られる。これは、化石燃料の価格や、円の為替レートと関連する。化石燃料は輸入に依存するため、そのエネルギー集中度は、原油の輸入額に反比例する傾向がある。例えば石油製品のエネルギー集中度は、原油価格が安かった1970年代には3,146kJ/円であったが、原油価格が高くなった1980年には564円に低下した。

また、本研究の算定方法によると、日本における化石燃料エネルギーの総産出量は、1970年には $20.1 \times 10^{15}$  kJであったのが、2000年には $33.6 \times 10^{15}$  kJまで増加したと試算される<sup>1)</sup>。2000年の化石燃料エネルギーの総産出量を200lのドラム缶に換算すると、43億本に相当する。換言すれば、日本では1人が1日あたり約19lの石油に相当する化石燃料エネルギーを使用している。

第2表 化石燃料のエネルギー集中度(1970～2000年)

| 化石燃料                 | 分類コード <sup>1)</sup> |      |      | 年     |        |        |        |        |        |        | (kJ/円) |
|----------------------|---------------------|------|------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                      |                     |      |      | 1970  | 1975   | 1980   | 1985   | 1990   | 1995   | 2000   |        |
|                      | a                   | b    | c    |       |        |        |        |        |        |        |        |
| 石炭 <sup>2)</sup>     | 1101                | 0711 | 0711 | 5,488 | 2,099  | 2,078  | 2,141  | 3,213  | 3,582  | 6,646  |        |
| 原油                   | 1301                | 0721 | 0721 | 9,536 | 1,754  | 832    | 924    | 1,981  | 2,426  | 2,383  |        |
| 天然ガス                 | 1302                | 0731 | 0721 | 5,610 | 2,155  | 894    | 804    | 1,950  | 2,426  | 2,383  |        |
| 石炭製品                 | 3291                | 2121 | 2121 | 1,717 | 857    | 659    | 687    | 782    | 701    | 1,004  |        |
| 石油製品                 | 3210                | 2111 | 2111 | 3,146 | 1,159  | 564    | 511    | 911    | 964    | 799    |        |
| 原油の輸入額 <sup>3)</sup> | (円/k)               |      |      | 4,083 | 22,654 | 47,206 | 42,734 | 19,842 | 10,687 | 19,613 |        |

†1 分類コードは接続産業連関表の小分類表と以下のように対応する。

a : 昭和45-50-55年接続産業連関表(1970・1975年の算定に使用)。

b : 昭和55-60-平成2年接続産業連関表(1980～1990年の算定に使用)。

c : 平成2-7-12年接続産業連関表接続産業連関表(1995・2000年の算定に使用)。

†2 昭和45-50-55年接続産業連関表の費目名は石炭・亜炭。

†3 原油の輸入額はエネルギー生産・需給統計年報(石油統計年報、エネルギー統計年報)による。

資料：総務庁ほか(1985, 1995)、総務省ほか(2005)、通商産業大臣官房調査統計部(1977, 1981, 1986, 1991, 1996)、資源エネルギー庁長官官房企画調査課(1991)、経済産業省経済産業政策局調査統計部(2001)。

## 2.2 工業製品のエネルギー集中度

産業連関表に記載される製品のエネルギー集中度は、産業連関分析 (input-output analysis) によって算定することができる。本研究では、作物生産に使用される工業製品などのエネルギー集中度を計算するために、Bullard and Herendeen (1975) が考案した産業連関分析によるエネルギー収支式を利用することにした<sup>5)</sup>。彼らの式は、以下のとおりである。

$$\gamma_j X_j = \sum_{i=1}^n \gamma_i T_{ij} + \delta_j \quad (2)$$

ただし、 $\gamma_j X_j$  は工業製品  $j$  のエネルギー産出量 (J)、 $\gamma_j$  は製品  $j$  のエネルギー集中度 (J/円)、 $X_j$  は製品  $j$  の国内総生産額 (円)、 $T_{ij}$  は製品  $j$  の製造に投入される製品  $i$  の金額 (円)、 $\delta_j$  は製品  $j$  に含まれるエネルギー (J)、 $n$  は取引行列の製品の数である。本研究では、式 (1) によりあらかじめ化石燃料のエネルギー集中度を算定しておくことにより、式 (2) を以下のように簡略化することができる。

$$\gamma_j X_j = \sum_{i=1}^n \alpha_i T_{ij} \quad (3)$$

この式は、製品  $j$  に直接投入される化石燃料のエネルギーを算定することにより、行列変換することなく  $\gamma_j$  を求めることができる<sup>6)</sup>。この算定に使用する主な資料は、接続産業連関表の小分類表の投入表である。また、作物生産で主に使用される工業製品として、六つの費目 (非食料作物、合成樹脂、農薬、その他の特殊産業用機械、電力) を選定した。具体的な算定の手順は、第3表に示すとおりである<sup>7)</sup>。化石燃料からの投入金額が多くなるほどエネルギー集中度が高くなるが、特に電力は、国内生産額に占める化石燃料の金額が16%に達し、そのエネルギー集中度は396kJ/円に達した。一方、化石燃料の投入金額の割合が0.5%にすぎない農薬のエネルギー集中度は、わずかに4kJ/円であった。

工業製品などのエネルギー集中度について、2000年と同じ方法により、1970年から1995年にかけての値を算定した結果が第4表である。それぞれのエネルギー集中度は、1970年で最も高い値を示し、それ以降はピーク時の2

第3表 工業製品などのエネルギー集中度の算定方法(2000年)

| 工業製品など          | 分類コード | 生産に投入される化石燃料 | 投入金額<br>(100万円) | 化石燃料のエネルギー集中度<br>(kJ/円) | 投入エネルギー<br>(10 <sup>6</sup> kJ) | 国内生産額<br>(100万円) | エネルギー集中度<br>(kJ/円) |
|-----------------|-------|--------------|-----------------|-------------------------|---------------------------------|------------------|--------------------|
| 非食料作物           | 0116  | 石油製品         | 26,225          | 799                     | 20,949                          | 963,016          | 22                 |
| 化学肥料            | 2011  | 石炭           | 879             | 6,646                   | 5,842                           | 374,285          | 85                 |
|                 |       | 原油・天然ガス      | 4,950           | 2,383                   | 11,797                          |                  |                    |
|                 |       | 石油製品         | 15,470          | 799                     | 12,358                          |                  |                    |
|                 |       | 石炭製品         | 1,809           | 1,004                   | 1,816                           |                  |                    |
|                 |       | (合計)         | 18,158          |                         | 31,812                          |                  |                    |
| 合成樹脂            | 2041  | 石炭           | 2,137           | 6,646                   | 14,202                          | 2,862,004        | 15                 |
|                 |       | 原油・天然ガス      | 2,466           | 2,383                   | 5,877                           |                  |                    |
|                 |       | 石油製品         | 28,255          | 799                     | 22,570                          |                  |                    |
|                 |       | (合計)         | 32,858          |                         | 42,649                          |                  |                    |
| 農薬              | 2074  | 石油製品         | 1,884           | 799                     | 1,505                           | 405,272          | 4                  |
| その他の特殊<br>産業用機械 | 3029  | 原油・天然ガス      | 9               | 2,383                   | 21                              | 5,482,324        | 2                  |
|                 |       | 石油製品         | 10,707          | 799                     | 8,553                           |                  |                    |
|                 |       | 石炭製品         | 217             | 1,004                   | 218                             |                  |                    |
|                 |       | (合計)         | 10,933          |                         | 8,574                           |                  |                    |
| 電力              | 5111  | 石炭           | 276,484         | 6,646                   | 1,837,422                       | 13,577,159       | 396                |
|                 |       | 原油・天然ガス      | 1,284,791       | 2,383                   | 3,061,947                       |                  |                    |
|                 |       | 石油製品         | 515,360         | 799                     | 411,672                         |                  |                    |
|                 |       | 石炭製品         | 66,347          | 1,004                   | 66,600                          |                  |                    |
|                 |       | (合計)         | 2,142,982       |                         | 5,311,041                       |                  |                    |

資料：第1表，資源エネルギー庁長官官房企画調査課(1991)，総務省ほか(2005)。

分の1～3分の1で推移する。この経年変化は、第1表で示した化石燃料のエネルギー集中度と比例する。また、いずれの年も電力が極めて高い値を示し、石油製品の2分の1～3分の1のエネルギー集中度に達する<sup>8)</sup>。

## 2.3 農業資材のエネルギー集中度

本節では、化石燃料および工業製品などのエネルギー集中度の算定結果に基づいて、作物の生産費に記載される農業資材のエネルギー集中度を求める。算定で使用する農業資材の費目は、(1)種苗、(2)肥料、(3)農業薬剤、(4)光熱動力、(5)農用建物、(6)農機具とする。これらの費目は、作物の種類によって項目が設定されていなかったり、年によって名前が変更されている。また、こ

第4表 工業製品などのエネルギー集中度(1970～2000年)

| 工業製品など                    | 分類コード <sup>†1</sup> |      |      | 年    |      |      |      |      |      |      |
|---------------------------|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                           | a                   | b    | c    |      |      |      |      |      |      |      |
|                           |                     |      |      | 1970 | 1975 | 1980 | 1985 | 1990 | 1995 | 2000 |
| 電力                        | 5110                | 5111 | 5111 | 849  | 555  | 237  | 224  | 314  | 370  | 396  |
| 化学肥料 <sup>†2</sup>        | 3118                | 2011 | 2011 | 45   | 27   | 72   | 68   | 86   | 101  | 85   |
| 非食料作物                     | 0015                | 0116 | 0116 | 81   | 29   | 23   | 11   | 32   | 15   | 22   |
| 合成樹脂                      | 3117                | 2041 | 2041 | 36   | 17   | 5    | 21   | 12   | 15   | 15   |
| 農薬 <sup>†2</sup>          | 3118                | 2074 | 2074 | 45   | 27   | 12   | 9    | 4    | 4    | 4    |
| その他の特殊産業用機械 <sup>†3</sup> | 3603                | 3029 | 3029 | 21   | 6    | 4    | 2    | 2    | 2    | 2    |

†1 分類コードは接続産業連関表の小分類表と以下のように対応する。

a: 昭和45-50-55年接続産業連関表(1970・1975年の算定に使用)。

b: 昭和55-60-平成2年接続産業連関表(1980～1990年の算定に使用)。

c: 平成2-7-12年接続産業連関表接続産業連関表(1995・2000年の算定に使用)。

†2 昭和45-50-55年接続産業連関表の費目名は化学肥料・農薬。

†3 昭和45-50-55年接続産業連関表の費目名は産業機械。

資料: 第2表, 総務庁ほか(1985, 1995), 総務省ほか(2005)。

れら以外の費目(水利, 賃貸料および料金, その他の諸材料, 畜力, 建物および土地改良設備, 労働など)は, 化石燃料エネルギーの使用形態が漠然としていたり, エネルギー量の推定が困難であることから, 算定より除外する。

まず, エネルギー集中度の算定が容易な費目を取り上げる。(1)の種苗の費目に対しては, 種苗の生産が含まれる「非食料作物」のエネルギー集中度を適用する<sup>9)</sup>。算定に使用するのは, 農家外部から購入された種苗の金額であり, 自給分は除くことにする。(2)の肥料の内訳は, 化学肥料, 土壌改良剤, 肥料, 堆肥などの購入費用である。この費目の多くは, 化学肥料の購入費が占めるため, 「化学肥料」のエネルギー集中度を対応させる。肥料費についても, 購入金額をエネルギーに算定する。(3)の農業薬剤は, 除草剤や殺虫剤の購入費用であり, 「農薬」のエネルギー集中度を対応させることができる。(6)の農業機械は, トラクター, 耕耘機, コンバイン, 暖房機などの, 購入費と原価償却費(修繕費を含む)である。この費目には, これらの農業機械の生産が含まれる「産業用特殊産業用機械」のエネルギー集中度を対応させる<sup>10)</sup>。

次に、エネルギー集中度の算定が複雑な費目を取り上げる。(4)の光熱動力は、農業機械を運転するための燃料や電力の費用である。光熱動力のエネルギー集中度は、科学技術庁資源調査会編(1979)の方法により、「石油製品」と「電力」のエネルギー集中度を組み合わせたながら、露地栽培と施設栽培とで別に算定することにする。算定の方法は、第5表の上2行に示すとおりである。工業製品の投入額について、露地栽培には水稻の値、光熱動力には施設きゅうりの値を使用した。また、光熱動力の内訳である石油製品と電力の割合は、筆者が千葉県旭市の現地調査で得た1995年のデータを使用した。その結果、光熱動力のエネルギー集中度は、露地栽培で721kJ/円、施設栽培で459kJ/円となった。なお、2000年以前の光熱動力費の算定においても、燃料と電力の使用比率は1995年の値で代用することにした。

ここで、エネルギー集中度の算定が複雑な費目のなかでも、(5)の農用建物を検討する。農用建物は、園芸作物の生産費に設けられた費目であり、1993年以前の統計では園芸施設という費目であった。その内容は、被覆用ビニールのほか、灌漑設備、カーテン用ビニール、暖房機などの園芸用資材である。本

第5表 光熱動力と農用建物のエネルギー集中度の算定方法(2000年)

| 生産費の費目 <sup>†1</sup> | 投入される工業製品 | 工業製品の分類コード | 工業製品のエネルギー集中度(A)<br>(kJ/円) | 工業製品の投入額の割合 <sup>†2</sup><br>(%) | 工業製品の投入額(B)<br>(円/10a) | 投入エネルギー(A)×(B)<br>(kJ/10a) | エネルギー集中度<br>(kJ/円) |
|----------------------|-----------|------------|----------------------------|----------------------------------|------------------------|----------------------------|--------------------|
| 光熱動力<br>(露地)         | 石油製品      | 0711       | 799                        | 80.8                             | 2,457                  | 1,962,777                  | 721                |
|                      | 電力        | 5111       | 391                        | 19.2                             | 583                    | 227,999                    |                    |
|                      | (合計)      |            |                            | 100.0                            | 3,040                  | 2,190,776                  |                    |
| 光熱動力<br>(施設)         | 石油製品      | 0711       | 799                        | 83.4                             | 168,545                | 134,634,502                | 731                |
|                      | 電力        | 5111       | 391                        | 16.6                             | 33,555                 | 13,125,873                 |                    |
|                      | (合計)      |            |                            | 100.0                            | 202,100                | 147,760,375                |                    |
| 農用建物                 | 被覆用ビニール   | 2041       | 15                         | 21.9                             | 53,814                 | 801,920                    |                    |
|                      | カーテン用ビニール | 2041       | 15                         | 10.5                             | 25,814                 | 384,676                    |                    |
|                      | 暖房機       | 3029       | 2                          | 14.9                             | 36,488                 | 57,067                     |                    |
|                      | その他の資材    | —          | —                          | 52.7                             | 129,284                | —                          |                    |
|                      | (合計)      |            |                            | 100.0                            | 245,400                | 1,243,663                  |                    |

†1 投入額の合計について、光熱動力(露地栽培)は水稻の値、光熱動力(施設栽培)と農用建物は施設野菜のきゅうりの値。

†2 千葉県旭市の現地調査で得たデータ。

資料：第1表、第3表、農林水産省大臣官房統計情報部(2002a)、農林水産省大臣官房統計情報部(2002b)、筆者の現地調査。

研究では、ビニール製品と暖房機によって消費される化石燃料エネルギーを算定の考慮に入れる。具体的には、ビニール製品には「合成樹脂」、園芸用資材には「その他の特集産業用機械」のエネルギー集中度を適用する。また、それぞれの工業製品の投入額の割合は、光熱動力と同様に、旭市の現地調査で得たデータから推定することにする。その結果、第5表に示すとおり、農用建物のエネルギー集中度は5kJ/円となった。光熱動力と同様に、2000年以前の農用建物の算定においても、ビニール製品と園芸用資材の使用比率は1995年の値で代用することにした。

これと同じ手順により、他年の農業資材のエネルギー集中度を算定した結果が第6表である。いずれの年も、光熱動力の値が最も大きくなり、次いで肥料と種苗、さらに農業薬剤、農用建物、農業機械の順に値が小さくなる。特に高熱動力は、他の部門よりも20～450倍ほどの値に達する。したがって、作物生産のエネルギーの使用量は、光熱動力の費用に大きく影響されると予想される。また、それぞれの費目には大きな年変動がある。これは工業製品のエネルギー集中度と同様に、原料となる化石燃料のエネルギー集中度と比例し、原油の価格とは反比例する傾向がある。

第6表 農業資材のエネルギー集中度(1970～2000年)

| 費目                      | (kJ/円) |       |      |      |      |      |      |
|-------------------------|--------|-------|------|------|------|------|------|
|                         | 1970   | 1975  | 1980 | 1985 | 1990 | 1995 | 2000 |
| 光熱動力                    |        |       |      |      |      |      |      |
| (施設作物)                  | 2,765  | 1,058 | 510  | 463  | 729  | 865  | 731  |
| (露地作物)                  | 2,706  | 1,043 | 502  | 456  | 716  | 850  | 721  |
| 肥料                      | 45     | 27    | 72   | 68   | 86   | 101  | 85   |
| 種苗                      | 81     | 29    | 23   | 11   | 32   | 15   | 22   |
| 農業薬剤                    | 45     | 27    | 12   | 9    | 4    | 4    | 4    |
| 農用建物(園芸施設) <sup>†</sup> | 15     | 6     | 2    | 7    | 4    | 5    | 5    |
| 農業機械                    | 21     | 6     | 4    | 2    | 2    | 2    | 2    |

†1 1990年以前の費目名は園芸施設。

資料：第1表、第2表、第5表、農林省農林経済局統計調査部編(1972b, 1972c, 1976, 1977c, 1982c, 1982d, 1987c, 1987d, 1992c, 1997a, 1997c)。

## 2.4 作物生産の投入・産出エネルギー比

### 2.4.1 作物の種類と投入・産出エネルギー比

本節では、農業資材のエネルギー集中度により、作物生産に投入される化石燃料エネルギーを積み上げ法（process analysis）により算定する<sup>11)</sup>。積み上げ法とは、ある産業部門へ投入される資材を細分化して、それぞれの資材に含まれると推定される化石燃料エネルギーを積算することによって、全体の投入量を把握する方法である<sup>12)</sup>。

ここでは、前節で算定した六つの農業資材のエネルギー集中度を使用する。これらの農業資材のエネルギー集中度が分かれば、作物の生産費に記載されているすべての作物の投入・産出エネルギー比を算定することが可能である。本研究では、農林業センサスおよび作物生産費に長期的に項目が掲載されている主要な29種類（1990年以前は32種類）を選定した<sup>13)</sup>。

この算定で使用する統計資料は次のとおりである。まず、作物の生産費と作物の生産量に対しては、作物生産費調査および農業経営統計調査報告（農林水産省大臣官房統計情報部、2002a, 2002b, 2002c）を使用する。また、作物生産から産出する食料エネルギーの値は、四訂日本食品標準成分表（資料：科学技術庁資源調査会、1982）を資料とする。

このような前提と前節までの算定により、2000年の作物生産について、投入される化石燃料エネルギーと、産出する食料エネルギーとの比を算定した結果が第7表である。投入・産出エネルギー比の値は、従来の研究と同様に、小数点以下1桁の数値で示すことにする。ただし、その値が極めて小さくなる施設作物に対しては、小数点以下2桁の数字で示すことにする。この値が大きいほど、効率の高い作物生産となる。

投入・産出エネルギー比が最も高い作物はいも類であり、その値は平均して6.1であった。いも類の効率が低いのは、産出する食料エネルギーが多いためである。いも類の10aあたりの生産に投入される化石燃料エネルギーは約2GJであるのに対して、その産出エネルギーは13～15GJであった。これは、他の作物と比較して2～11倍に達する値である<sup>14)</sup>。

第7表 作物生産の投入エネルギーと産出エネルギー（2000年）

| 作物             | 生産費 <sup>†</sup><br>(1,000円/10a) | 投入化石燃料エネルギー (MJ/10a) |        |     |         |                |            | 収量<br>(kg/10a) | 産出食料<br>エネルギー<br>(B)<br>(MJ/10a) | 投入・<br>産出<br>エネルギー<br>比<br>(B/A) |             |
|----------------|----------------------------------|----------------------|--------|-----|---------|----------------|------------|----------------|----------------------------------|----------------------------------|-------------|
|                |                                  | 種 苗                  | 肥 料    | 農 薬 | 光熱動力    | 農用建物<br>(園芸施設) | 農 業<br>機 械 |                |                                  |                                  | (合計)<br>(A) |
| かんしよ           | 22                               | 16                   | 686    | 14  | 1,655   | —              | 12         | 2,383          | 2,902                            | 14,945                           | 6.3         |
| ばれいしよ          | 35                               | 233                  | 692    | 23  | 1,164   | —              | 14         | 2,126          | 3,889                            | 12,523                           | 5.9         |
| いも類の平均         | 29                               | 124                  | 689    | 19  | 1,409   | —              | 13         | 2,255          | 3,396                            | 13,734                           | 6.1         |
| 水稲             | 49                               | 69                   | 668    | 28  | 2,194   | —              | 44         | 3,002          | 539                              | 7,918                            | 2.6         |
| 小麦             | 22                               | 48                   | 548    | 14  | 833     | —              | 14         | 1,456          | 413                              | 5,753                            | 4.0         |
| 六条大麦           | 18                               | 36                   | 445    | 6   | 963     | —              | 14         | 1,464          | 340                              | 4,821                            | 3.3         |
| 裸麦             | 31                               | 59                   | 643    | 12  | 1,051   | —              | 26         | 1,791          | 462                              | 6,593                            | 3.7         |
| ビール麦<br>(二条大麦) | 22                               | 61                   | 544    | 9   | 932     | —              | 15         | 1,561          | 357                              | 5,062                            | 3.2         |
| 穀類の平均          | 29                               | 55                   | 569    | 14  | 1,195   | —              | 22         | 1,855          | 422                              | 6,029                            | 3.3         |
| 大豆             | 18                               | 37                   | 342    | 14  | 960     | —              | 11         | 1,365          | 230                              | 4,014                            | 2.9         |
| きゅうり           | 395                              | 1,388                | 9,086  | 290 | 21,287  | 143            | 143        | 32,336         | 8,989                            | 4,135                            | 0.1         |
| なす             | 224                              | 803                  | 7,411  | 25  | 13,855  | 77             | 94         | 22,265         | 8,128                            | 6,096                            | 0.3         |
| ピーマン           | 174                              | 1,072                | 3,306  | 66  | 9,597   | 119            | 49         | 14,210         | 4,195                            | 3,692                            | 0.3         |
| キャベツ           | 152                              | 268                  | 2,890  | 172 | 6,350   | 42             | 67         | 9,788          | 5,931                            | 5,931                            | 0.6         |
| はくさい           | 149                              | 224                  | 2,567  | 195 | 6,711   | 50             | 59         | 9,805          | 7,522                            | 3,761                            | 0.4         |
| ねぎ             | 148                              | 204                  | 3,000  | 87  | 8,010   | 56             | 93         | 11,450         | 2,840                            | 3,209                            | 0.3         |
| レタス            | 96                               | 144                  | 2,261  | 64  | 6,566   | 31             | 48         | 9,114          | 2,672                            | 1,336                            | 0.1         |
| たまねぎ           | 113                              | 352                  | 2,074  | 75  | 3,969   | 43             | 62         | 6,574          | 4,699                            | 6,861                            | 1.0         |
| ほうれんそう         | 125                              | 198                  | 3,408  | 41  | 6,999   | 108            | 54         | 10,809         | 1,298                            | 1,363                            | 0.1         |
| だいこん           | 116                              | 418                  | 1,921  | 90  | 6,278   | 33             | 55         | 8,795          | 5,685                            | 4,263                            | 0.5         |
| にんじん           | 126                              | 585                  | 2,295  | 35  | 6,134   | 49             | 71         | 9,168          | 3,495                            | 4,683                            | 0.5         |
| さといも           | 76                               | 794                  | 1,045  | 38  | 5,484   | 28             | 43         | 6,932          | 1,876                            | 4,709                            | 0.7         |
| 露地野菜の平均        | 136                              | 415                  | 2,925  | 81  | 7,268   | 58             | 63         | 10,810         | 3,822                            | 3,887                            | 0.4         |
| みかん            | 124                              | —                    | 2,261  | 120 | 13,494  | 121            | 36         | 16,031         | 3,113                            | 5,727                            | 0.4         |
| なつみかん          | 76                               | —                    | 1,147  | 61  | 7,649   | 86             | 29         | 8,972          | 3,333                            | 5,300                            | 0.6         |
| りんご            | 92                               | —                    | 1,275  | 113 | 5,340   | 60             | 45         | 6,832          | 2,278                            | 4,761                            | 0.7         |
| 日本なし           | 148                              | —                    | 3,179  | 166 | 7,649   | 70             | 66         | 11,129         | 2,450                            | 4,092                            | 0.4         |
| もも             | 145                              | —                    | 1,861  | 133 | 10,896  | 144            | 70         | 13,104         | 1,628                            | 2,523                            | 0.2         |
| ぶどう            | 202                              | —                    | 2,473  | 130 | 26,555  | 258            | 81         | 29,497         | 1,222                            | 2,861                            | 0.1         |
| 果樹の平均          | 131                              | —                    | 2,033  | 120 | 11,930  | 123            | 55         | 14,261         | 2,337                            | 4,211                            | 0.3         |
| きゅうり(施設)       | 789                              | 1,855                | 11,483 | 30  | 147,925 | 1,245          | 181        | 162,720        | 9,564                            | 4,399                            | 0.03        |
| トマト(施設)        | 849                              | 1,379                | 9,851  | 329 | 196,819 | 1,117          | 148        | 209,642        | 8,532                            | 5,717                            | 0.03        |
| なす(施設)         | 1,235                            | 3,328                | 19,234 | 476 | 182,985 | 1,395          | 325        | 207,743        | 13,277                           | 9,957                            | 0.05        |
| 施設野菜の平均        | 958                              | 2,188                | 13,523 | 278 | 175,909 | 1,252          | 218        | 193,368        | 10,458                           | 6,691                            | 0.03        |
| 全作物の平均         | 199                              | 451                  | 3,400  | 98  | 24,493  | 182            | 68         | 28,692         | 3,640                            | 5,305                            | 0.2         |

†1 エネルギー効率の算定に使用した費目の合計，自給を除く。

資料：第6表，農林水産省大臣官房統計情報部（2002a, 2002b, 2002c），科学技術庁資源調査会（1982）。

いも類に次いでエネルギー効率が高いのが穀類と豆類（2000年の算定では大豆のみ）であり，投入・産出エネルギー比の平均は3.3と2.9である。水稲を除いて，これらの作物の投入化石燃料エネルギーは，10aあたり1.4～1.9GJであり，作物の中で最も低い値である。投入エネルギーのほとんどが，光熱動

力と化学肥料の使用によるものである。水稻の投入化石燃料エネルギーは10aあたり3GJであり、他の穀類の約2倍に達するが、これは光熱動力のエネルギーが高いためである<sup>15)</sup>。

露地野菜と果樹の投入・産出エネルギー比の平均はそれぞれ0.4と0.3である。これら園芸作物の生産に投入される化石燃料エネルギーのうち、値が高い費目は光熱動力(10aあたり5~27GJ)と肥料(10aあたり1~9GJ)である。これらの費目から投入されるエネルギーは、ほとんどの園芸作物で、穀類とも類よりも1桁多くなる。また、露地野菜と果樹の生産では、産出食料エネルギーが少ないことも、投入・産出エネルギー比を低くする要因である<sup>16)</sup>。

投入・産出エネルギー比が最も低い作物は施設野菜であり、その平均値は0.03である。施設野菜の生産には、光熱動力から多くの化石燃料エネルギー(平均10aあたり193GJ)が投入される。また、肥料、農用建物、農業機械から投入される化石燃料エネルギーも、他の作物と比較して高い値である。特に光熱動力から投入されるエネルギーは、穀類とも類よりも2桁多い。そのため、単位面積から産出する食料エネルギーは穀類と同等以上になるにもかかわらず、施設野菜の投入・産出エネルギー比は著しく低くなる傾向がある<sup>17)</sup>。

#### 2.4.2 1970~2000年の投入・産出エネルギー比

2000年と同じ方法によって、1970年から1995年までの作物生産の投入・産出エネルギー比も計算した結果が第8表である。ここでは、投入化石燃料エネルギーと産出食料エネルギーだけを掲載したが、巻末の付表には費目ごとの値も掲載した。

すべての作物の投入・産出エネルギー比の平均値は、1970~1990年が0.3であり、1995年以降が0.2となった。平均値が減少した作物は、露地野菜、果樹、いも類である。一方、穀類、豆類、露地野菜は、算定年を通して平均値がほぼ同じである。特に平均値が低下した作物は、露地野菜ではほうれんそう、果樹ではみかんとぶどうである。前者は光熱動力の値が、後者は光熱動力と農用建物の値が増加している。

いずれの年も、いも類、穀類と豆類、露地野菜と果樹、施設野菜という順番で平均値が低くなる。投入・産出エネルギー比の平均値により、これらの作物

は次の四つのグループに区分できる。すなわち、(1) いも類を「高位効率作物（投入・産出エネルギー比の平均：5.8～9.5）」、(2) 穀類と豆類を「中位効率作物（1.7～3.9）」、(3) 果樹と露地野菜を「低位効率作物（0.3～1.1）」、(4) 施設作物を「極低位効率作物（0.03～0.04）」とする。

ここで、それぞれの作物のグループについて、投入化石燃料エネルギーと産出食料エネルギーとを個別に検討する。投入化石燃料エネルギーの平均値が高い順に見ると、施設野菜、果樹と露地野菜、穀類、いも類と豆類となる。また、産出食料エネルギーの平均値が高い順では、いも類、施設野菜、穀類、果樹と露地野菜、豆類となる。このように、投入化石燃料エネルギーには、最大の施設野菜と最小のいも類・豆類では最大で100倍以上の差があるのに対して、産出食料エネルギーには、最大のいも類と最小の豆類では最大で7倍程度の差しかない。

最後に、作物生産に投入される金額の差異を検討する。通貨の価値には物価指数があるため、1970～2000年の値をそのまま比較することは難しい。ここでは、2000年の算定結果（第7表）に限定して見ると、その順番は、(1) 施設野菜（10aあたり投入金額の平均：96万円）、(2) 露地野菜と果樹（14万円、13万円）、(3) 穀類、いも類、豆類（3万円、3万円、2万円）となる。これは、資本の投入量を指標とした農業の集約度を示した値でもあり、最大のグループと最小のグループとの差は約40倍であった。

すべての作物に投入される金額の平均は、1970年の10aあたり5万円から2000年の10aあたり19万5千円へ約4倍に増加した。一方、すべての作物に投入される化石燃料エネルギーの平均は、1970年の10aあたり18GJから2000年の10aあたり29GJへと約1.5倍に増加したにすぎない。また、すべての作物の産出食料エネルギーの平均は、1970年の10aあたり4.6GJから2000年の10aあたり5.4GJへと微増した。このように、エネルギーという指標は、物価の上昇率よりも変動が少ないため、作物生産の時間的な変化の分析に適すると予想される。

第8表 作物生産の投入・産出

| 作物         | 1970    |        |      | 1975    |        |      | 1980    |        |      |
|------------|---------|--------|------|---------|--------|------|---------|--------|------|
|            | a       | b      | c    | a       | b      | c    | a       | b      | c    |
| かんしょ       | 1,263   | 12,427 | 9.8  | 1,181   | 14,930 | 12.6 | 1,554   | 12,829 | 8.3  |
| ばれいしょ      | 1,315   | 11,000 | 8.4  | 1,442   | 10,037 | 7.0  | 1,934   | 13,369 | 6.9  |
| いも類の平均     | 1,289   | 11,713 | 9.1  | 1,312   | 12,483 | 9.5  | 1,744   | 13,099 | 7.5  |
| 水稻         | 2,788   | 7,154  | 2.6  | 2,506   | 7,712  | 3.1  | 2,678   | 7,183  | 2.7  |
| 小麦         | 1,976   | 3,733  | 1.9  | 1,156   | 3,831  | 3.3  | 1,239   | 4,722  | 3.8  |
| 六条大麦       | 2,329   | 4,864  | 2.1  | 1,192   | 5,275  | 4.4  | 1,620   | 5,388  | 3.3  |
| 裸麦         | 1,621   | 3,268  | 2.0  | 1,462   | 4,081  | 2.8  | 1,677   | 4,723  | 2.8  |
| ビール麦（六条大麦） | 1,721   | 4,141  | 2.4  | 1,237   | 4,055  | 3.3  | 1,409   | 4,467  | 3.2  |
| 穀類の平均      | 2,087   | 4,632  | 2.2  | 1,511   | 4,991  | 3.3  | 1,725   | 5,297  | 3.1  |
| 大豆         | 609     | 2,844  | 4.7  | 956     | 3,316  | 3.5  | 1,325   | 3,228  | 2.4  |
| 小豆         | 706     | 2,425  | 3.4  | 981     | 2,226  | 2.3  | 1,385   | 1,446  | 1.0  |
| いんげん       | 703     | 2,563  | 3.6  | 1,043   | 1,811  | 1.7  | 1,413   | 2,480  | 1.8  |
| 豆類の平均      | 673     | 2,611  | 3.9  | 993     | 2,451  | 2.5  | 1,374   | 2,385  | 1.7  |
| きゅうり       | 16,419  | 3,702  | 0.2  | 5,626   | 1,914  | 0.3  | 11,926  | 3,487  | 0.3  |
| トマト        | 11,788  | 4,288  | 0.4  | 10,787  | 5,454  | 0.5  | 9,634   | 5,649  | 0.6  |
| なす         | 9,041   | 5,795  | 0.6  | 8,092   | 7,583  | 0.9  | 9,445   | 5,106  | 0.5  |
| ピーマン       | 9,430   | 2,369  | 0.3  | 6,916   | 3,259  | 0.5  | 9,549   | 4,504  | 0.5  |
| キャベツ       | 3,871   | 4,046  | 1.0  | 2,720   | 4,538  | 1.7  | 3,324   | 4,481  | 1.3  |
| はくさい       | 2,870   | 2,865  | 1.0  | 2,131   | 3,695  | 1.7  | 3,075   | 3,878  | 1.3  |
| ねぎ         | 5,611   | 4,180  | 0.7  | 3,659   | 4,353  | 1.2  | 5,589   | 3,627  | 0.6  |
| レタス        | 3,802   | 781    | 0.2  | 4,786   | 1,247  | 0.3  | 3,269   | 1,296  | 0.4  |
| たまねぎ       | 3,248   | 5,919  | 1.8  | 2,389   | 6,890  | 2.9  | 3,244   | 7,610  | 2.3  |
| ほうれんそう     | 2,867   | 1,311  | 0.5  | 2,729   | 1,728  | 0.6  | 2,581   | 1,739  | 0.7  |
| だいこん       | 3,652   | 5,245  | 1.4  | 3,228   | 4,844  | 1.5  | 4,550   | 6,493  | 1.4  |
| にんじん       | 5,765   | 4,383  | 0.8  | 4,645   | 4,540  | 1.0  | 3,999   | 5,513  | 1.4  |
| さといも       | 4,331   | 3,416  | 0.8  | 2,214   | 4,930  | 2.2  | 3,525   | 4,450  | 1.3  |
| 露地野菜の平均    | 6,361   | 3,715  | 0.6  | 4,609   | 4,229  | 0.9  | 5,670   | 4,449  | 0.8  |
| みかん        | 6,237   | 5,314  | 0.9  | 4,234   | 6,344  | 1.5  | 4,301   | 5,744  | 1.3  |
| なつみかん      | 5,078   | 4,183  | 0.8  | 4,696   | 6,230  | 1.3  | 7,456   | 7,505  | 1.0  |
| りんご        | 3,933   | 5,885  | 1.5  | 3,740   | 5,536  | 1.5  | 4,437   | 6,195  | 1.4  |
| 日本なし       | 4,971   | 6,725  | 1.4  | 4,425   | 6,638  | 1.5  | 4,239   | 6,055  | 1.4  |
| もも         | 6,048   | 3,917  | 0.6  | 5,833   | 4,546  | 0.8  | 5,137   | 3,945  | 0.8  |
| ぶどう        | 16,808  | 2,910  | 0.2  | 22,727  | 3,398  | 0.1  | 4,381   | 3,292  | 0.8  |
| 果樹の平均      | 7,179   | 4,822  | 0.7  | 7,609   | 5,449  | 0.7  | 4,992   | 5,456  | 1.1  |
| きゅうり（施設）   | 117,323 | 4,618  | 0.04 | 224,580 | 5,902  | 0.03 | 288,176 | 6,141  | 0.02 |
| トマト（施設）    | 87,574  | 5,841  | 0.07 | 103,061 | 6,342  | 0.06 | 93,336  | 7,223  | 0.08 |
| なす（施設）     | 216,317 | 6,477  | 0.03 | 163,638 | 9,218  | 0.06 | 162,023 | 9,059  | 0.06 |
| 施設野菜の平均    | 140,405 | 5,645  | 0.04 | 163,760 | 7,154  | 0.04 | 181,178 | 7,474  | 0.04 |
| 全作物の平均     | 17,563  | 4,643  | 0.3  | 19,063  | 5,200  | 0.3  | 20,732  | 5,401  | 0.3  |

a 投入化石燃料エネルギー (MJ/10a), b 産出食料エネルギー (MJ/10a).

c 投入・産出エネルギー比 (産出/投入).

※ 1970～1995年の詳細な値は、巻末の付表に記載。

資料：第6表、第7表、農林省農林経済局統計調査部（1972a, 1972b, 1972c, 1972d, 1976, 1987c, 1987d, 1992a, 1992b, 1992c, 1992d, 1997a, 1997b, 1997c）、科学技術庁資源調

エネルギー比 (1970 ~ 2000 年)

| 1985    |        |      | 1990    |        |      | 1995    |        |      | 2000    |        |      |
|---------|--------|------|---------|--------|------|---------|--------|------|---------|--------|------|
| a       | b      | c    | a       | b      | c    | a       | b      | c    | a       | b      | c    |
| 1.581   | 14.744 | 9.3  | 2.133   | 14.868 | 7.0  | 2.943   | 15.553 | 5.3  | 2.383   | 14.945 | 6.3  |
| 1.779   | 12.407 | 7.0  | 2.140   | 13.997 | 6.5  | 2.215   | 14.271 | 6.4  | 2.126   | 12.523 | 5.9  |
| 1.680   | 13.576 | 8.1  | 2.137   | 14.433 | 6.8  | 2.579   | 14.912 | 5.8  | 2.255   | 13.734 | 6.1  |
| 2.941   | 7.742  | 2.6  | 3.147   | 7.830  | 2.5  | 3.587   | 7.565  | 2.1  | 3.002   | 7.918  | 2.6  |
| 1.471   | 5.990  | 4.1  | 1.508   | 5.335  | 3.5  | 1.747   | 5.238  | 3.0  | 1.456   | 5.753  | 4.0  |
| 1.549   | 4.467  | 2.9  | 1.695   | 3.658  | 2.2  | 1.611   | 5.147  | 3.2  | 1.464   | 4.821  | 3.3  |
| 1.688   | 5.451  | 3.2  | 1.919   | 4.467  | 2.3  | 2.464   | 5.979  | 2.4  | 1.791   | 6.593  | 3.7  |
| 1.291   | 4.027  | 3.1  | 1.412   | 4.495  | 3.2  | 2.029   | 3.233  | 1.6  | 1.561   | 5.062  | 3.2  |
| 1.788   | 5.535  | 3.1  | 1.936   | 5.157  | 2.7  | 2.288   | 5.433  | 2.4  | 1.855   | 6.029  | 3.3  |
| 1.339   | 4.677  | 3.5  | 1.709   | 3.612  | 2.1  | 1.856   | 4.258  | 2.3  | 1.364   | 4.014  | 2.9  |
| 1.335   | 3.261  | 2.4  | 1.488   | 3.531  | 2.4  | —       | —      | —    | —       | —      | —    |
| 1.279   | 3.274  | 2.6  | 1.418   | 2.466  | 1.7  | —       | —      | —    | —       | —      | —    |
| 1.318   | 3.737  | 2.8  | 1.538   | 3.203  | 2.1  | 1.856   | 4.258  | 2.3  | 1.364   | 4.014  | 2.9  |
| 13.366  | 4.025  | 0.3  | 21.102  | 4.635  | 0.2  | 27.349  | 4.025  | 0.1  | 32.336  | 4.135  | 0.1  |
| 10.776  | 4.904  | 0.5  | 12.269  | 4.082  | 0.3  | —       | —      | —    | —       | —      | —    |
| 10.558  | 5.818  | 0.6  | 19.681  | 7.231  | 0.4  | 34.371  | 7.895  | 0.2  | 22.265  | 6.096  | 0.3  |
| 7.918   | 4.146  | 0.5  | 11.501  | 5.092  | 0.4  | 19.169  | 3.973  | 0.2  | 14.210  | 3.692  | 0.3  |
| 3.024   | 5.525  | 1.8  | 3.610   | 4.839  | 1.3  | 12.110  | 5.794  | 0.5  | 9.788   | 5.931  | 0.6  |
| 2.949   | 4.289  | 1.5  | 5.640   | 3.590  | 0.6  | 11.105  | 3.949  | 0.4  | 7.522   | 3.761  | 0.4  |
| 6.743   | 3.312  | 0.5  | 8.929   | 3.532  | 0.4  | 14.086  | 3.728  | 0.3  | 11.450  | 3.209  | 0.3  |
| 3.992   | 1.264  | 0.3  | 4.048   | 999    | 0.2  | 9.261   | 1.752  | 0.2  | 9.114   | 1.336  | 0.1  |
| 2.991   | 8.350  | 2.8  | 3.854   | 9.131  | 2.4  | 5.995   | 7.530  | 1.3  | 6.574   | 6.861  | 1.0  |
| 2.905   | 1.895  | 0.7  | 3.596   | 1.657  | 0.5  | 10.371  | 1.534  | 0.1  | 10.809  | 1.363  | 0.1  |
| 3.890   | 7.501  | 1.9  | 5.212   | 6.594  | 1.3  | 9.534   | 3.787  | 0.4  | 8.795   | 4.263  | 0.5  |
| 3.996   | 5.919  | 1.5  | 5.521   | 6.857  | 1.2  | 8.309   | 5.575  | 0.7  | 9.168   | 4.683  | 0.5  |
| 3.248   | 4.287  | 1.3  | 3.590   | 4.649  | 1.3  | 6.895   | 4.211  | 0.6  | 6.932   | 4.709  | 0.7  |
| 5.873   | 4.710  | 0.8  | 6.835   | 4.924  | 0.7  | 12.837  | 4.521  | 0.4  | 10.810  | 3.887  | 0.4  |
| 4.766   | 5.961  | 1.3  | 5.990   | 6.260  | 1.0  | 21.681  | 4.176  | 0.2  | 16.031  | 5.727  | 0.4  |
| 7.202   | 6.028  | 0.8  | 12.342  | 5.104  | 0.4  | 6.201   | 3.029  | 0.5  | 8.972   | 5.300  | 0.6  |
| 4.211   | 5.355  | 1.3  | 5.336   | 5.835  | 1.1  | 8.018   | 5.303  | 0.7  | 6.832   | 4.761  | 0.7  |
| 5.423   | 5.147  | 0.9  | 7.407   | 4.245  | 0.6  | 12.267  | 3.912  | 0.3  | 11.129  | 4.092  | 0.4  |
| 4.563   | 2.916  | 0.6  | 5.965   | 3.905  | 0.7  | 10.338  | 2.673  | 0.3  | 13.104  | 2.523  | 0.2  |
| 4.180   | 3.363  | 0.8  | 6.602   | 3.757  | 0.6  | 25.441  | 2.835  | 0.1  | 29.497  | 2.861  | 0.1  |
| 5.058   | 4.795  | 0.9  | 7.274   | 4.851  | 0.7  | 13.991  | 3.655  | 0.3  | 14.261  | 4.211  | 0.3  |
| 266.881 | 5.805  | 0.02 | 222.360 | 6.692  | 0.03 | 189.570 | 5.122  | 0.03 | 162.720 | 4.399  | 0.03 |
| 119.286 | 5.850  | 0.05 | 120.079 | 6.411  | 0.05 | 201.664 | 6.456  | 0.03 | 209.642 | 5.717  | 0.03 |
| 138.806 | 8.996  | 0.06 | 167.349 | 8.859  | 0.05 | 186.237 | 8.783  | 0.05 | 207.743 | 9.957  | 0.05 |
| 174.991 | 6.884  | 0.04 | 169.929 | 7.321  | 0.04 | 192.490 | 6.787  | 0.04 | 193.368 | 6.691  | 0.03 |
| 20.248  | 5.522  | 0.3  | 21.267  | 5.569  | 0.3  | 29.256  | 5.424  | 0.2  | 28.613  | 5.414  | 0.2  |

1977a, 1977b, 1977c), 農林水産省経済局統計調査部 (1982a, 1982b, 1982c, 1982d, 1987a, 1987b, 査会 (1982).

## 2.5 第2章のまとめ

本章では、日本で栽培される作物の投入・産出エネルギー比を算定した。ここでいう投入エネルギーは、作物生産の種苗、肥料、農薬、光熱動力、農用建物（園芸施設）、農業機械に含まれると推定される化石燃料エネルギーであり、産出エネルギーは作物生産の収量に含まれる食料エネルギー（可食部分の熱量）である。算定に使用した主な資料は、エネルギー生産・需給統計年報、接続産業連関表、作物の生産費、四訂日本食品標準成分表である。算定を実施した2009年時点の資料的な制約のため、作物の算定年は1970年から2000年までの5年ごととした。

算定の対象とした作物は、生産費と農林業センサスに経年的に費目が掲載されている33の作物（1995年以降は29）とした。具体的な算定方法は、まず、産業連関分析により、化石燃料、工業製品、農業資材の金額あたりに含まれると推定される化石燃料エネルギーを算定した。次いで、積み上げ法により、作物生産に投入される化石燃料エネルギーを算定した。これらの投入化石燃料エネルギーと、作物の収穫物に含まれる食料エネルギーとの比率から、個々の作物の投入・産出エネルギー比（産出/投入）を算定した。その結果、1970～2000年の投入・産出エネルギー比の平均が5.8～9.5に達するいも類を「高位効率作物」、1.7～3.9の穀類と豆類を「中位効率作物」、0.3～1.1の果樹と露地野菜を「低位効率作物」、0.03～0.04の施設野菜を「極低位効率作物」と分類することができる。

### 注

- 1) エネルギー集中度とは、資材の化石燃料エネルギーの算定で使用される基本的な用語である。宇田川（1977）および木村・杉本（1993）によると、ある資材の生産に使用された化石燃料エネルギー（単位：J, kcal など）に対して、その資材の生産量（単位：kg など）で除した値を「エネルギー原単位」（単位：J/kg など）といい、その資材の出荷金額（単

位：円など)で除した値がエネルギー集中度(単位：J/円など)となる。また、熱炭あたりのエネルギーの価格(単位：円/Jなど)を、「エネルギー単価(unit price of energy)」という(科学技術庁資源調査会編, 1979)。

- 2) 科学技術庁資源調査会(1979)の算定では、輸入品の項目を除外しているが、日本では大量の化石燃料エネルギーが輸入されていること、また、後述の算定で使用する「接続産業連関表」の投入表には、製品の原料として輸入品が含まれることから、本研究では輸入品の項目を算定に含めることにする。
- 3) 接続産業連関表は、総務省(庁)をはじめとする9~11の省庁によって共同編集されるため、発行年と記載されるデータの年には開きがある。また、接続産業連関表は、5年ごとに発行されるため、作物生産のエネルギー効率の算定も5年ごとに行うことにする。
- 4) 本研究では、化石燃料エネルギー部門の在庫変動と統計誤差を考慮していないため、エネルギーの総産出量は統計資料(総合エネルギー統計)の値よりも高くなっている。
- 5) 産業連関分析は、経済学者のレオンティエフによって考案された方法であり、彼は、産業の部門間における通貨の流れを分析して、将来の経済動向を予想するためにこの分析を用いた(Leontief, 1951)。しかし、産業連関分析は、経済動向の予測ばかりでなく、産業間のエネルギーフローを把握するためにも応用できる(Krenz, 1974)。
- 6) 科学技術庁資源調査会(1979)の算定では、直接投入エネルギーに加えて、間接投入エネルギー(一次間接投入と二次間接投入エネルギー)を算定に含めている。しかし、何次までの間接投入エネルギーを算定すればよいか、明確な定義はない。間接投入エネルギーの算定は、エネルギー集中度の平準化の作業であるといえる。すなわち、間接投入エネルギーの次数を増加させるほど、すべての製品のエネルギー集中度は同じ値に近くなる。直接投入エネルギーだけを考慮した本稿の算定方法は、化石燃料エネルギーの投入が農業生産に与える動向を直接的に把握できるという点において、最良の値を簡便に提示できるものと考えられる(Nihei, 2000)。
- 7) 産業連関分析を利用した本研究の方法では、海外で生産された輸入品のエネルギー集中度を算定することができない。そのため、工業製品のエネルギー集中度の算定には、輸入品の値は除くことにする。したがって、例えば、輸入農薬だけを使用して作物を生産した場合でも、その農薬のエネルギー集中度は国産品と同じ値として算定されることになる。
- 8) 電力に投入される化石燃料エネルギーは、原子力発電や水力発電の割合が増加したことにより、年々少する傾向にある。電力の国内生産額に占める化石燃料の投入金額の割合は、1970年には70%を、1990年には44%を占めていた。
- 9) 果樹生産費(1993年以前に発行)には種苗の費目がなかったが、野菜・果樹品目別統計(1994年以降に発行)では、成園費の代わりに種苗・苗木の費目が加えられた。本研究では、経年的に費目を統一するため、果樹の種苗・苗木は算定に含めないことにする。

- 10) 本研究では、農業資材の下位部門に含まれる項目は考慮しないことにする。そのため、例えば、農業機械の場合、コンバインと暖房機の投入化石燃料エネルギーは、同じエネルギー集中度で算定することになる。本研究のように多数の作物を複数年次で計算する場合には、このような簡略化も可能であると考える。
- 11) 積み上げ法を用いた典型的な研究として、Chapman (1975) による原子力発電所のエネルギー収支の算定がある。この研究では、複数の原子力の事例より、各施設が25年間稼働した場合、投入・産出エネルギー比の平均は10.2～16.5になるという値が得られた。また、原子力発電所の建設に費やされたエネルギーと同等のエネルギーを産出するまでの還元時間 (payback time) は、1.2～2.4年であると指摘された。
- 12) 積み上げ法は、接続産業連関表に記載されていない産業部門について、投入化石燃料エネルギーを計算するために有効である (内山, 1996)。積み上げ法を用いて日本における作物生産の投入・産出エネルギー比を計算した典型的な先行研究が、科学技術庁資源調査会 (1979) である。これは、作物生産費調査の労働費を除いた12の費目について、投入化石燃料エネルギーを算定した。本研究では、第1章において言及したように、エネルギー使用が漠然としていると判断される六つの費目 (水利、賃貸料および料金、建物および土地改良設備、成圃、畜力、労働) を算定から除いた。これらの費目を除外することによって、作物生産におけるエネルギー使用を過大に評価することを避けられると予想される。
- 13) 算定で取り上げる作物は、栽培面積が広く、複数の県において複数年で栽培され続けているものを基準に選定した。例えば沖縄県のパイナップルなどは、栽培面積は広いものの、栽培県が限定されるため、算定から除外することにした。また、作物生産費の項目では、複数の農家と県で調査されている作物を選定した。
- 14) 中央アメリカ原産のさつまいもは、17世紀中頃に日本にもたらされると、食料エネルギーを多産することから、救荒作物として各地で栽培されるようになった。第二次世界大戦後より1960年代までは、澱粉加工の原料や飼料用として広く栽培され、現在でも加工用または生食用としてさつまいもが広く生産されている産地が存続している。仁平ほか (2000) による加工用さつまいも産地の事例では、さつまいもと大麦の二毛作から産出する食料エネルギーは、水稲単作と比較して約2.5倍に上ると報告された。
- 15) 現在の水稲作では機械化が進んでおり、それらを使用するために多額の光熱動力費が必要になる。また、代かき、田植え、収穫などの農作業において、田植機やコンバインなどの水稲作専用の農業機械を使用する頻度が高くなる。さらに、半世紀前の栽培暦と比較して1か月以上も田植えの時期を早くさせた保温苗代にも、大量の化石燃料エネルギーが使用されている。
- 16) 例えば露地栽培のきゅうりの場合、10aあたりの収量は約9トンと水稲の約17倍に達するにもかかわらず、産出エネルギーは水稲よりも少なくなる。これは、きゅうりの収量の大部分 (96%) が水分であり、きゅうりに含まれる熱量が少ない (46kJ/100g) ためである。

- 17) 施設野菜の生産では、ビニールハウスやガラスハウス内の気温と湿度を人工的に管理するために暖房機が使用される。例えば、冬季～春季にかけて出荷されるきゅうり生産では、C重油を燃やすことによってビニールハウス内の温度が冬季でも30℃に保たれる(仁平, 1998)。この暖房機に使用される光熱動力が、施設野菜栽培の投入化石燃料エネルギーの9割を占める。

## 資料

- 科学技術庁資源調査会編(1982):『四訂 日本食品標準成分表(二版)』
- 経済産業省経済産業政策局調査統計部編(2001):『平成12年エネルギー生産・需給統計年報』
- 資源エネルギー庁長官官房企画調査課編(1991):『総合エネルギー統計平成2年度版』
- 総務庁・経済企画庁・大蔵省・文部省・厚生省・農林水産省・通商産業省・運輸省・郵政省・労働省・建設省共編(1985):『昭和45-50-55年接続産業連関表(II)』
- 総務庁・経済企画庁・大蔵省・文部省・厚生省・農林水産省・通商産業省・運輸省・郵政省・労働省・建設省共編(1995):『昭和55-60-平成2年接続産業連関表一計数編(2)一』
- 総務省・内閣府・金融庁・財務省・文部科学省・厚生労働省・農林水産省・経済産業省・国土交通省・環境省共編(2005):『平成2-7-12年接続産業連関表一計数編(2)一』
- 通商産業大臣官房調査統計部編(1971a):『石炭・コークス統計年報』
- 通商産業大臣官房調査統計部編(1971b):『石油統計年報』
- 通商産業大臣官房調査統計部編(1977):『昭和50年エネルギー統計年報』
- 通商産業大臣官房調査統計部編(1981):『昭和55年エネルギー生産・需給統計年報』
- 通商産業大臣官房調査統計部編(1986):『昭和60年エネルギー生産・需給統計年報』
- 通商産業大臣官房調査統計部編(1991):『平成2年エネルギー生産・需給統計年報』
- 通商産業大臣官房調査統計部編(1996):『平成7年エネルギー生産・需給統計年報』
- 農林省農林経済局統計調査部編(1972a):『昭和45年産果実生産費』
- 農林省農林経済局統計調査部編(1972b):『昭和45年産水稻生産費』
- 農林省農林経済局統計調査部編(1972c):『昭和45年産野菜生産費』
- 農林省農林経済局統計調査部編(1972d):『昭和45年産麦類・工芸作物等の生産費』
- 農林省農林経済局統計調査部編(1976):『昭和50年産米及び麦類の生産費』
- 農林省農林経済局統計調査部編(1977a):『昭和50年産果実生産費』
- 農林省農林経済局統計調査部編(1977b):『昭和50年産工芸作物等の生産費』
- 農林省農林経済局統計調査部編(1977c):『昭和50年産野菜生産費』
- 農林水産省経済局統計調査部編(1982a):『昭和55年産果実生産費』
- 農林水産省経済局統計調査部編(1982b):『昭和55年産工芸農作物等の生産費』
- 農林水産省経済局統計調査部編(1982c):『昭和55年産米及び麦類の生産費』
- 農林水産省経済局統計調査部編(1982d):『昭和55年産野菜生産費』

- 農林水産省経済局統計調査部編 (1987a): 『昭和60年産果実生産費』。
- 農林水産省経済局統計調査部編 (1987b): 『昭和60年産工芸農作物等の生産費』。
- 農林水産省経済局統計調査部編 (1987c): 『昭和60年産米及び麦類の生産費』。
- 農林水産省経済局統計調査部編 (1987d): 『昭和60年産野菜生産費』。
- 農林水産省経済局統計調査部編 (1992a): 『平成2年産果実生産費』。
- 農林水産省経済局統計調査部編 (1992b): 『平成2年産工芸農作物等の生産費』。
- 農林水産省経済局統計調査部編 (1992c): 『平成2年産米及び麦類の生産費』。
- 農林水産省経済局統計調査部編 (1992d): 『平成2年産野菜生産費』。
- 農林水産省経済局統計情報部編 (1997a): 『農業経営統計調査報告 平成7年産野菜・果樹目別統計』。
- 農林水産省経済局統計調査部編 (1997b): 『平成7年産工芸農作物等の生産費』。
- 農林水産省経済局統計調査部編 (1997c): 『平成7年産米及び麦類の生産費』。
- 農林水産省大臣官房統計情報部 (2002a): 『農業経営統計調査報告 平成12年産野菜・果樹目別統計』。
- 農林水産省大臣官房統計情報部 (2002b): 『平成12年産工芸農作物等の生産費』。
- 農林水産省大臣官房統計情報部 (2002c): 『平成12年産米及び麦類の生産費』。

## 文献

- 宇田川武俊 (1977): 水稲栽培における投入エネルギーの推定. 環境情報科学, 5(2), 73-79.
- 内山洋司 (1996): 『Creative Chemical Engineering Course 9: 私たちのエネルギー — 現在と未来 —』培風館, 165p.
- 科学技術庁資源調査会編 (1979): 『衣・食・住のライフサイクルエネルギー』大蔵省印刷局, 418p.
- 木村康二・杉本義行 (1993): 農業生産における各投入要素のエネルギー原単位及びエネルギー集中度の推計. 千葉大学園芸学部学術報告, 47, 247-254.
- 仁平尊明 (1998): 千葉県旭市における施設園芸の維持と技術革新. 地理学評論, 71A, 661-678.
- 仁平尊明・岡本友志・藤永 豪・二村太郎・大森祐美・森本健弘 (2000): 茨城県ひたちなか市におけるサツマイモ生産・流通の地域的性格. 地域調査報告, 22, 133-169.
- Bullard, C. W., III and Herendeen, R. A. (1975): Energy impact of consumption decisions. *Proceedings of IEEE*, 63, 484-493.
- Chapman, P. F. (1975): Energy analysis of nuclear power stations. *Energy Policy*, 3, 285-298.
- Leontief, W. W. (1951): Input-output economics. *Scientific American*, 185(4), 15-21.
- Krenz, J. H. (1974): Energy per dollar value of consumer goods and services. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 3, 386-388.
- Nihei, T. (2000): Energy efficiency of crop production in Japan, 1970-1990. *Geographical Review of Japan*, 73B, 27-45.