

耕地生産系のエネルギーの流れと利用可能資源の 評価に関する事例研究*

鳥越 洋一

(農林水産省農業研究センター)

昭和63年11月30日受理

要旨：本研究は生態学的視点から耕地生産系のエネルギーの流れと利用可能資源の賦存量を茨城県八郷町を例として推定したものである。耕地生産系のモデルは各地帯区分を一つの単位とした。系の主な構成要素は一次生産系、二次生産系、土壌系とした。一次生産系におけるエネルギーの流れとしては総生産量、農産物量、副産物量、土壌還元量、二次生産に利用される量と人為的エネルギー投入量に着目した。また二次生産系におけるエネルギーの流れは総生産量、畜産物量、副産物量、人為的エネルギー投入量としては飼養に必要な補助的なエネルギー量と系外から搬入した飼料の量に着目して検討した。系外に搬出されるかまたは土壌に還元される副産物量は評価が困難なため検討項目から除外した。一次生産系では一年間に総生産量中に固定された太陽エネルギーは 5.79×10^2 TJ、そのうち農産物量は 1.93×10^2 TJ、副産物量は 2.21×10^2 TJ、二次生産に利用された量は 2.83×10^2 TJ、土壌還元量は 1.37×10^2 TJ、人為的エネルギー投入量は 2.44×10^2 TJと評価された。農作物の光合成有効放射エネルギーの利用効率は0.52%、投入エネルギーに対する農産物エネルギー比(産出/投入比)は0.79と推定された。二次生産系では一年間の総生産量は 5.18×10^2 TJ、そのうち畜産物量は 1.34×10^2 TJ、副産物量は 3.84×10^2 TJ、人為的エネルギー投入量のうち、飼養に要するものは 3.49×10^2 TJ、系外から搬入された飼料のエネルギー量は 1.03×10^3 TJと評価された。産出/投入比は0.12と推定された。

キーワード：一次生産、エネルギーの流れ、耕地生産系、二次生産、利用可能資源。

A Case Study on Evaluation of Energy Flow and Renewable Agricultural Resources: Yoichi TORIGOE
(National Agriculture Research Center, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan)

Abstract: A simplified and comprehensive model to evaluate energy flow and renewable resources was introduced into the region of our case study, Yasato-cho, Ibaraki. This model shows a picture of agricultural use of energy in individual agricultural domains. In the analysis of energy flow, the agricultural system of the region was divided into three subsystems, that is, the primary production, the secondary production and the soil subsystems. In the primary production subsystem, total annual energy production was estimated to be 5.79×10^2 TJ, of which 1.93×10^2 TJ was contained in agricultural products, 2.21×10^2 TJ in by-products, 2.38×10^2 TJ used for animal husbandry and 1.37×10^2 TJ recycled into the soil subsystem. Artificial energy input was 2.44×10^2 TJ. The efficiency of conversion of photosynthetically available radiation for total primary production was 0.52% and the output/input ratio was 0.79. In the secondary production subsystem, total annual energy production was estimated to be 5.18×10^2 TJ, of which 1.34×10^2 TJ contained in animal products and 3.84×10^2 TJ remaining in animal excreta. Artificial energy input was 3.49×10^2 TJ and feed energy from outside the system was estimated to be 1.03×10^3 TJ. The output/input ratio was 0.12.

Key words: Agricultural land ecosystem, Energy flow, Primary production, Renewable resources, Secondary production.

前報^{10,11)}において広域の自然立地と普通畑適性度分級に関する手法を検討した。本報では農業実態を把握するために、生態学的視点から耕地生産系の自然エネルギー利用実態を明らかにし、利用可能資源の評価を試みることにする。

耕地資源の利用にはいくつかの視点がある⁹⁾。すなわち資源の高度利用、環境保全、そして農業振興に着目する視点である。資源の高度利用に着目した場合、指標としては地域外からの資源(物質、エネ

ルギー)搬入が必要最小限であり、また生産物中廃棄される部分が最小限であることが考えられる。すなわち地域内で利用できる資源を有効に活用し、循環利用を図ることである。具体的には農畜産副産物を有効に利用して、その廃棄量を減らすことである。環境保全に着目すると、農畜産廃棄物による環境汚染を例にとれば、系内循環再利用を図ることで環境汚染は最小限にとどめることが可能となる。農業振興に着目すると、資源の高度利用と廃棄物処理の両面から種々の個別農業活動が有機的に結合する必要がある、地域全体としての資源の高度利用が農業振

* 大要は第186回講演会(昭和63年10月)で発表。

興・環境保全と両立して実現されるであろう。したがって、このことを耕地の利用に限定して考えるならば、生産される自然エネルギー(特に一次生産系・二次生産による副産物)を有効に利用する方策を開発する必要性は、資源の高度利用、環境保全、農業振興のいずれの側面からみても容易に理解される。したがって、耕地生産系のエネルギーの流れの評価は現実の農業の実態をこのような観点から明らかにする一つの方法であろう。

本研究は生態学的な視点から耕地生産系のモデルを提案し、対象地域の自然エネルギー利用の実態を明らかにするとともに、副産物のエネルギー賦存量を評価し、前報で得られた自然立地^{10,11)}と社会・経済的立地との関係を検討することを目的とした。

材料と方法

1. 耕地生産系モデル

本研究においては茨城県新治郡八郷町(約138 km²)を例として耕地生産系のはたらきを生態学的に最も単純化して、一次生産の作物栽培と二次生産の家畜・蚕の飼養に限定して考えた。耕地生産系モデルは第1図に模式的に示した。これは耕地生産系の基本構造と考えられ、前報¹⁰⁾で設定した各地帯区分を単位とし、境界には地帯区分の地理的境界を設けた。このモデルは太陽エネルギー、一次生産系、二次生産系と土壌系に大別される。一次生産系におけるエネルギーの流れは総生産(農産物+副産物+土壌還元+二次生産系で利用されるもの)、農産物(収穫対象部位)、副産物(藁・莢・いも蔓等の副次的に生産され、圃場の外に搬出されたりまたは圃場に還元されるもの)、土壌還元(刈株・根等収穫期に地表および土壌中に残存するもの)、二次生産系に利用されるもの(粗飼料・桑葉)と投入エネルギー(栽培管理に要する補助的なエネルギー)に着目して検討した。二次生産系のエネルギーの流れは総生産(畜産物+副産物)、畜産物(生乳・肉類・卵・繭等)、副産物(糞尿)および投入エネルギーとして飼養管理に要する補助的なエネルギーと系外から搬入される飼料のエネルギーとに着目して検討した。同図においては農畜産物はすべて系外に搬出されるものと仮定した。また系外に持ち出される副産物エネルギーならびに土壌に還元される副産物エネルギーは評価が困難なため検討項目から除外した。

2. 太陽エネルギーの評価

耕地生産系の一次生産は太陽エネルギーに一義的

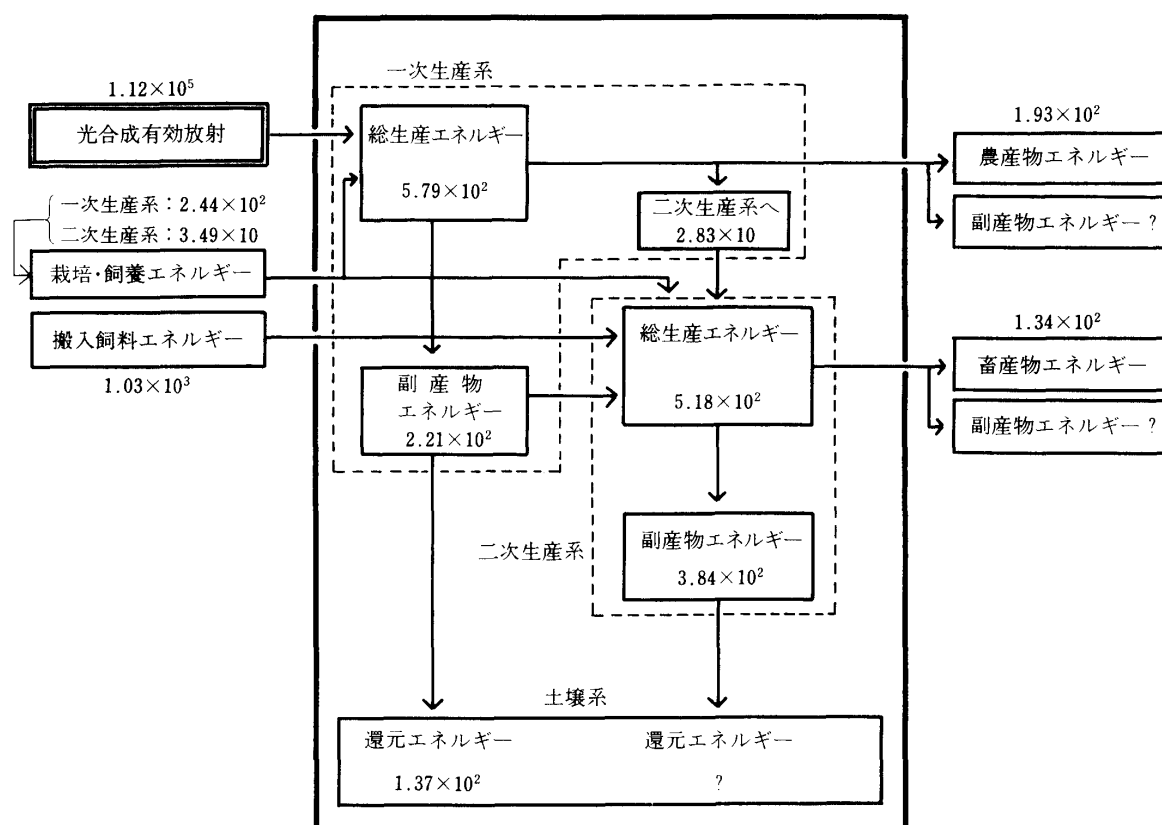
に支配される。太陽エネルギーは普通全日射量で評価され、それは水平面に入射する直達光と散乱光を合わせた全天日射量である。対象地域のような複雑な地形のところでは、斜面の傾斜度と方位により受ける日射エネルギー量は大きく変化する。しかしここでは水平面の全天日射量を利用した。全天日射量に対する光合成有効放射の割合は関東地域では0.47と推定されている¹⁾。したがって、一年間の全天日射量⁴⁾にこの値を掛けて光合成有効放射エネルギーを求めた。各地帯区分に投入する光合成有効放射エネルギーはこの値に水田、畑、樹園地の耕地面積を掛けて推定した。

3. 耕地生産系を構成する作物と家畜

それぞれの地帯区分を一つの耕地生産系と考え、一次生産系と二次生産系を構成する作物と家畜(蚕を含む)は作付面積と飼養頭羽数(蚕:箱数)を基礎として推定した。作物の場合、集落カードデータには麦類、豆類、芋類、工芸作物、飼料作物等のように記載されており作物が特定できないが、実態調査からどの作物に代表されるかを決定した。またある立地においてある作物群に複数の基幹的作物がある場合は作付面積を比例的に配分した。なお工芸作物と飼料作物は葉タバコとトウモロコシでそれぞれ代表させた。その結果、一次生産系の構成作物は稲、小麦、大麦、大豆、落花生、馬鈴薯、甘薯、トウモロコシ、葉タバコ、そば、粟、柿、梨、桑、また二次生産系の構成家畜は乳用牛、肉用牛、豚、ブロイラー、採卵鶏、蚕であった。

4. 一次生産系のエネルギー評価

エネルギー評価のための基礎的な数値を第1表に示した。各作物の収量は八郷町または茨城県の平均的な数値を使用した。農産物エネルギーは各作物の単位重量当りの熱量を四訂日本食品標準成分表(1985)²⁾を参考にして見積った。副産物エネルギーは各作物の収穫期の器官別構成割合の平均的値を利用して求め、各作物で既知の単位重量当りの熱量を掛けて推定した⁵⁾。ただ熱量について既知の数値がないものは、作物残渣有機物を炭水化物とみなし16.7 KJ(4Kcal)/gを用いた。土壌還元エネルギーは収穫期の器官別重量割合を参考に算出した。根に関しては単位重量当りの熱量が測定しにくいために、利用できる既知の数値はほとんどない。したがって、炭水化物とみなし16.7 KJ(4Kcal)/gとした。投入エネルギーは茨城県農業試験場が推定した各作物毎の数値⁵⁾を利用した。推定値の与えられていない作物



第1図 耕地生産系モデルとエネルギーの流れの実態 (単位: TJ/年)。

第1表 一次生産系のエネルギー評価の基礎数値 (単位: MJ/a)。

作物種	農産物	副産物	土壌還元	投入
稲	636	764	335	572
麦類	447	736	217	280
青刈麦類	946	—	217	526
大豆	223	182	235	273
落花生	418	744	167	614
馬鈴薯	674	—	145	1,248
甘薯	1,079	275	157	1,279
そば	160	227	33	118
トウモロコシ・ソルガム (サイレージ)	762	—	276	526
飼料カブ	1,172	—	—	526
アブラナ科(ダイコン)	1,226	—	—	1,415
加工用トマト	402	1,009	—	2,620
ゴボウ	636	502	—	1,300
ニンジン	402	751	—	1,300
葉タバコ	398	—	334	2,620
栗	104	—	502	375
梨	501	—	502	3,000
柿	217	—	502	3,000
桑	669	—	669	3,000

次報との関連で、対象作物以外のものも示した。

については妥当と思われる数値を設定した。なおここに設定した数値は、収量水準、技術水準等の条件によって大きく変動するものである。

5. 二次生産系のエネルギー評価

エネルギー評価のための基礎的数値を第2表に示した。畜産物エネルギーは乳用牛では生乳(年間6000 kg)、肉用牛では枝肉と内蔵(出荷時500 kg/頭)、豚では枝肉と内蔵(出荷時65 kg/頭)、採卵鶏

第2表 二次生産系のエネルギー評価の基礎数値.

家畜等	畜産物 ¹⁾	副産物 ²⁾	投入 ²⁾	飼料生産効率 ⁴⁾
乳用牛	3.77 GJ	24.9 GJ	565 MJ	20%
肉用牛	2.09 GJ	24.9 GJ	190 MJ	7%
豚(肥育)	1.12 GJ	4.9 GJ	444 MJ	35%
採卵鶏	53.8 MJ	172 MJ	8.98 MJ	10%
ブロイラー	64.5 MJ	172 MJ	178 MJ	16%
蚕	134 MJ ³⁾	—	—	—

1) : 各家畜の更新期間(飼養期間)を考慮した値(頭羽/年), 2) : 頭・羽/年, 3) : /箱, 4) : 飼料の生産効率(生産物中のエネルギー/飼料中のエネルギー×100) (C.R.W. SPEDDING (1979)⁷⁾による).

では卵(50 kg, 年間250個/年, ブロイラー(出荷時2000 g, 可食部0.5)ならびに繭(32 kg/箱, 繭層0.2)と仮定し, それらに単位重量当り熱量を掛けて算出した. 副産物エネルギーは排出量を牛では30 kg/日(乾物率0.15), 豚では5 kg/日(乾物率0.2), 鶏では乾燥ふん(38 g/日)とし, それらに単位重量当り熱量を掛けて算出した. 蚕についてはデータが得られなかったので除外した. 投入エネルギーのうち飼養に必要なエネルギーは農林水産業エネルギー消費態様基本調査(社団法人農林水産技術情報協会)⁶⁾を参考にして, 標準的な投入量を算出した. また系外から搬入される飼料エネルギーは推定が困難であるが, もっとも簡単な方法として, 飼料エネルギーの生産効率の数値を利用した. 対象地域の家畜飼育はほとんどを系外からの飼料に依存していると仮定して, 各家畜において推定された畜産物エネルギーと生産効率を利用して, 系外から搬入された飼料エネルギーを算出した. 以上のように, 二次生産エネルギーの評価は精度的には粗いものであり, また当然ながら飼養技術, 飼養規模等で大きく変化するものである.

6. エネルギー生産量と立地環境との関係

単位耕地面積当りエネルギー生産量は地域の総合生産力の一つの指標ともなりうるものである. そこで, エネルギー生産量と前報の耕地分類¹⁰⁾, 普通畑の適性度の評価結果¹¹⁾ならびに社会・経済的要因との関係を地帯区分単位でメッシュデータを利用して検討した.

結果と考察

1. 対象地域の耕地生産系のエネルギーの流れ

各地帯区分で算出された各構成要素のエネルギー量を対象地域全体で評価した結果は第1図に記入した数値であり, 自然エネルギー利用の特徴は次のよ

うに要約できた.

太陽エネルギーについてみると, 一年間に投入される全日射量は 4.71×10^4 GJ/ha, そのうち光合成有効放射エネルギーは年間 2.22×10^4 GJ/haと推定された. 対象地域の耕地に投入する光合成有効放射エネルギーは年間 1.12×10^5 TJと推定された.

一次生産系においては一年間に農作物によって固定された総生産エネルギーは 5.79×10^2 TJであり, そのうち農産物エネルギーは 1.93×10^2 TJ, 副産物エネルギーは 2.21×10^2 TJ, 二次生産へ利用されるエネルギーは 2.83×10^2 TJ, 土壌還元エネルギーは 1.37×10^2 TJと推定された. 投入エネルギーは 2.44×10^2 TJと推定された. これらの結果から, 一次生産総エネルギーとして固定された光合成有効放射エネルギーの利用効率は0.52%と評価された. 一次生産総エネルギーのうち, 農産物の割合は33.3%, 副産物の割合は38.2%, 二次生産へ搬入される割合は4.9%, 土壌還元の割合は23.7%であった. 投入エネルギーに対する農産物エネルギーの比, いわゆる一次生産の産出/投入比は0.79と推定された. また一次生産総エネルギーのうち各作物の占める割合を比較すると, 稲64%, 梨9%, 桑7%, 麦類6%, 葉タバコ5%であり, その他の作物は1%未満であった. このように対象地域では一次生産総エネルギーは水田における水稲と畑地における梨, 桑, 麦類, 葉タバコの生産に依存することが明らかになった. また地帯区分間の一次生産総エネルギーの違いは主に水稲作付面積に影響されると考えられる.

二次生産系においては一年間で家畜等で生産される総エネルギー量は 5.18×10^2 TJであり, そのうち畜産物エネルギーは 1.34×10^2 TJ, 副産物エネルギーは 3.82×10^2 TJと推定された. 投入エネルギーのうち飼養に要するエネルギーは 3.49×10^2 TJ, また系外から搬入される飼料エネルギーは 1.03×10^3

TJと推定された。これらの結果から、二次生産総エネルギーのうち畜産物の割合は25.9%、副産物の割合は74.1%、二次生産の産出/投入比は0.12と評価された。なお産出/投入比は(畜産物エネルギー) / {(飼養に要するエネルギー) + (搬入飼料エネルギー) + (一次生産から搬入されるエネルギー)} で概数を推定した。二次生産総エネルギー量に占める各家畜の割合を比較すると、ブロイラー75%、豚22%、乳用牛1%、肉用牛0.8%、採卵鶏0.5%、蚕0.05%となり、ブロイラーの占める割合が約3/4に達した。したがって、地帯区分間の二次生産総エネルギーはブロイラーと豚の飼育頭羽数の多少に影響されると考えられる。

以上の結果から、対象地域の耕地生産系のエネルギー生産は水田の水稻、畑地の梨、桑、麦類、葉タバコの栽培とブロイラーと豚の飼養によって特徴づけられるものといえる。また対象地域は畜産が盛んなために、外部から搬入される飼料エネルギーは地域内の一次生産総エネルギーの約1.8倍にも及ぶ。それにともない生産される家畜糞尿は多量であり、それが適切に処理されなければ、地域内に蓄積するという問題が生じると予想される。

2. エネルギー生産の地帯間比較

(1) 単位耕地面積当りの一次生産総エネルギーの地帯間比較

各地帯区分における単位耕地面積当りの一次生産総エネルギー(GJ/ha)を算出した結果は第3表に示した。これによると、最低は地帯区分4の73 GJ/ha、最高は地帯区分18の162 GJ/haであった。前報¹⁰⁾の自然立地的耕地分類の結果示された5グループとの関連で検討すると、単位耕地面積当り一次生産総エネルギーはグループ1では平均102 GJ/ha、グループ2では同112 GJ/ha、グループ3では同127 GJ/ha、グループ4では同108 GJ/ha、そしてグループ5では同109 GJ/haであった。

各グループの自然立地ならびに耕地利用の特徴との関連でグループ間を相対的に比較すると次のような点が指摘できる。エネルギー生産の最も高いグループ3は盆地低部の立地であり、稲、葉タバコ、麦類、梨、栗、桑等が基幹作物である。それに対して、エネルギー生産の最も低いグループ1は標高も高く、地形の複雑な東向き山麓の立地であり、水田の占める割合も低く、稲と葉タバコが基幹作物である。グループ4は盆地低部の立地であるが、北向きであり、稲、栗、梨、桑等が基幹作物である。グルー

第3表 単位耕地面積当りエネルギー生産の地帯間比較。

地帯区分	一次生産 GJ/ha	二次生産 GJ/ha	耕地分類
1	75	154	1
2	125	32	2
3	111	72	1
4	73	40	2
5	121	80	2
6	142	105	3
7	124	194	5
8	137	146	5
9	132	266	3
10	81	327	4
11	107	448	2
12	117	102	2
13	119	224	3
14	123	786	5
15	116	158	3
16	142	105	1
17	121	122	4
18	162	157	2
19	120	299	4
20	81	40	1
21	140	555	5
22	113	168	4
23	74	537	2
24	92	723	5
25	83	989	5
26	94	85	5
27	78	414	5

耕地分類の値はグループの番号を示す。

プ2は南西から東向き山麓の日当りのよい立地であり、稲、葉タバコ、柿、梨等が基幹作物である。グループ5は台地面上に立地し、普通畑の優占する地帯でまた水田面積が相対的に少なく、稲、葉タバコ、麦類、梨、栗、柿、桑等が基幹作物である。またこのグループは2つのサブグループに大別され、その一つは盆地内の残存台地面からなる地帯区分であり、他の一つは石岡台地上の地帯区分とである。前者は平均131 GJ/ha、後者は平均87 GJ/haであった。この違いは前述した地域のエネルギー生産に大きく影響する水田の水稻と畑地の梨、桑、麦類、葉タバコの作付面積に起因するものと考えられる。

(2) 単位耕地面積当りの二次生産総エネルギーの地帯間比較

各地帯区分の単位耕地面積当りの二次生産総エネルギーは第3表に示した。これによると、最低は地帯区分2の32 GJ/ha、最高は地帯区分25の989 GJ/haであった。一次生産と同様に耕地分類結果のグループ別にみると、単位耕地面積当り二次生産総エネルギーはグループ1では平均92 GJ/ha、グルー

ブ2では同199 GJ/ha, グループ3では同188 GJ/ha, グループ4では同229 GJ/ha, そしてグループ5では同486 GJ/haであった。エネルギー生産の最も高いグループ5は豚とブロイラーの飼養頭羽数が全町の約半数に及ぶ。それに対して最も低いグループ1は乳用牛と採卵鶏, グループ2と3は乳用牛, 肉用牛, 採卵鶏, 蚕をそれぞれ基幹とする畜産が行われている。またグループ4は乳用牛, 豚, 採卵鶏, ブロイラーと蚕を基幹とするため, グループ5に次ぐ高いエネルギー生産を示した。

(3) 立地条件とエネルギー生産との関係

地域のエネルギー生産量が立地条件とどのように関係するのには興味ある点である。ここでは前報普通畑適性度分級結果と社会・経済的立地との関係を予備的に検討した。

各立地区分の普通畑における単位面積当り一次生産エネルギーと前報¹⁾の適性度分級の部分適性ならびに総合評価の平均等級値との相関関係を27地帯で検討したところ, 有意な関係は認められなかった。このことは普通畑の作付作物が一部の作目に特化し, その潜在生産力を生かす利用が実践されていないことに起因すると考えられる。

次に社会経済立地との関係を検討するために, 農家構成に関する6項目, 農業就業人口に関する3項目, 農家規模に関する3項目ならびに農業経営の安定性に関する3項目の合計15項目の社会・経済的要因²⁾と単位耕地面積当り一次生産総エネルギーとの関係を重回帰分析(変数増減法)³⁾を適用して27地帯で検討した。耕地の単位面積当り一次生産総エネルギーについては, 農業就業人口65才以上の比率, 専業農家率, 農業就業人口男子29才以下の比率, 農業就業人口増減率, および戸当り農産物販売金額が関連要因として選択され, 重回帰係数は $R=0.804$ であった。また普通畑に限定した単位面積当り一次生産総エネルギーについては, 農業就業人口65才以上の比率, 専業農家率, 農業就業人口男子29才以下の比率および経営耕地面積1ha以上の農家率と戸当り経営耕地面積が関連要因として選択され, 重回帰係数は $R=0.816$ であった。このように対象地域の一次生産エネルギーは社会・経済的要因に密接に関係することが認められた。しかしながら, 単位面積当りエネルギー生産は各種作物生産の総計を示すものであり, この分析結果から社会・経済的立地条件を分かりやすく説明することは困難であった。

上に述べたように, 地域の総合生産力の指標とも

なるエネルギー生産量は自然立地の違いによる耕地利用の実態と一致し, 基幹となる作物と家畜の作付面積と飼養頭羽数に左右され, 一方では耕地のもつ潜在的な利用可能性が十分に生かされているとはいえない実態の側面を示すものと考えられる。また営農の実態を示す社会・経済的要因は統計的には地域のエネルギー生産に関係することが巨視的には示されたが, 今後は個別作物や家畜についての分析を行い, 地域の潜在生産力を生かす上から各種営農の有機的結合を阻害する社会・経済的要因を明らかにする必要がある。

3. 地域内の利用可能資源

耕地生産系の利用可能資源として農産物, 畜産物の他に一次生産と二次生産の副産物がある。一次生産における主な副産物エネルギーは対象地域全体で見ると稲 1.55×10^2 TJ, 麦類 1.68×10 TJ, 蕎麦510 GJ, 甘薯580 GJ, 大豆546 GJ, 落花生2.15 TJ, 桑 1.98×10 TJと推定された。また二次生産の副産物エネルギーは乳用牛 5.72×10 TJ, 肉用牛 2.06×10 TJ, 豚 1.47×10^2 TJ, 採卵鶏7.3 TJ, ブロイラー 1.51×10^2 TJと推定された。

一次生産における副産物はそのほとんどが慣行的に利用され, また稲藁のように資材として系外に搬出されるものもある。どのように利用されているのかの実態は把握することが困難であった。二次生産の副産物はブロイラーや採卵鶏の飼養のようにそのほとんどが地域外に搬出されていると考えられるものと, 乳用牛・肉用牛の飼養のように系内に還元されるものがある。また豚の飼養においては, 飼養頭数が多い畜産農家は糞尿を乾燥・堆肥化して外部に搬出する事例, また飼養頭数の少ない畜産農家は地域内に還元する事例が認められた。

このように副産物の系内循環の実態をすべて明らかにすることはできなかったが, 生産される資源が地域内で有効に活用されるための耕地利用方式を次報で検討してみたい。

謝辞: 本研究は農林水産省「農林水産業における自然エネルギーの効率的利用技術に関する総合研究(グリーンエナジー計画)」の生産技術系において実施したものであり, 関係者の方々に厚く御礼申し上げます。

引用文献

- 堀江 武 1981. 気象と作物の光合成, 蒸散そして

- 生長に関するシステム生態学的研究。農技研報告 A28.
2. 科学技術庁資源調査会編 1985. 四訂日本食品標準成分表。大蔵省印刷局, 東京.
 3. 北村貞太郎 1981. 広域計画・市町村計画と土地分級。長崎明・北村貞太郎編, 土地分級—土地改良と土地利用計画のために—。農林統計協会, 東京. 117—136.
 4. 窪田哲夫 1985. 八郷町の立地配置と地域の概況。農業生産システムのシステム分析と資源・エネルギー利用の実態。農林水産技術会議事務局, 東京. 179.
 5. 農林水産技術会議事務局編 1985. 農業生産システムのシステム分析と資源・エネルギー利用の実態解析。173—287.
 6. 農林水産技術情報協会 1983. 農林水産業エネルギー消費態様基本調査報告書。農林水産技術情報協会, 東京.
 7. Spedding, C.R.W. 1979. An Introduction to Agricultural Systems. Applied Science Publishers. London. 山谷洋二 (1982) 訳, 農業システム論入門。共立出版, 東京.
 8. 田中 豊, 他 1984. パソコン統計解析ハンドブック。II 多変量解析編。共立出版, 東京.
 9. 冨田正彦 1984. 現代農村計画論。東京大学出版会, 東京.
 10. 鳥越洋一. 自然立地的耕地分類手法。日作紀 58 : 305—310.
 11. 鳥越洋一. 普通畑の適性度分級手順とその適用事例。日作紀 58 : 316—323.
-