



|                     |                                                                                                 |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Title               | 十勝の大規模畑作地域におけるバイオエネルギー生産の可能性と環境影響について                                                           |
| Author(s)           | 王, 欣                                                                                            |
| Degree Grantor      | 北海道大学                                                                                           |
| Degree Name         | 博士(農学)                                                                                          |
| Dissertation Number | 甲第12496号                                                                                        |
| Issue Date          | 2016-12-26                                                                                      |
| DOI                 | <a href="https://doi.org/10.14943/doctoral.k12496">https://doi.org/10.14943/doctoral.k12496</a> |
| Doc URL             | <a href="https://hdl.handle.net/2115/64609">https://hdl.handle.net/2115/64609</a>               |
| Type                | doctoral thesis                                                                                 |
| File Information    | Wang_Xin.pdf                                                                                    |



十勝の大規模畑作地域における  
バイオエネルギー生産の可能性と環境影響について

北海道大学大学院農学院  
環境資源学専攻 博士後期課程  
王 欣

## 記号一覧

|               |                                                               |                              |
|---------------|---------------------------------------------------------------|------------------------------|
| $A$           | : 投入係数行列                                                      |                              |
| $A_i$         | : 当該機械 $i$ の平均年間利用延べ面積                                        | (ha)                         |
| $A_t$         | : トラクタの平均年間利用延べ面積                                             | (ha)                         |
| $B_i$         | : 農業機械 $i$ の燃料消費量                                             | (kg-CO <sub>2</sub> /ha)     |
| $C_{all}$     | : 移輸入外生型 CO <sub>2</sub> 排出原単位ベクトル                            |                              |
| $C_{all:i}$   | : $i$ 部門の生産額当たり CO <sub>2</sub> 排出原単位 (移輸入外生型および移輸入内生型)       | (t-CO <sub>2</sub> /百万円)     |
| $C_d$         | : 生産額当たりの部門別 CO <sub>2</sub> 直接排出量ベクトル                        |                              |
| $C_i$         | : 当該機械 $i$ の間接 CO <sub>2</sub> 排出量                            | (kg-CO <sub>2</sub> )        |
| $C_{in}$      | : 移輸入内生型 CO <sub>2</sub> 排出原単位ベクトル                            |                              |
| $C_{out}$     | : 域外へ波及する CO <sub>2</sub> 排出原単位ベクトル                           |                              |
| $C_t$         | : トラクタの間接 CO <sub>2</sub> 排出量                                 | (kg-CO <sub>2</sub> )        |
| $CS_i$        | : $i$ 部門の作付面積当たり CO <sub>2</sub> 排出原単位 (移輸入外生型および移輸入内生型)      | (t-CO <sub>2</sub> /ha)      |
| $CT$          | : 域内生産額                                                       | (百万円)                        |
| $D_{ij}$      | : 自走式作業機 $i$ の品目 $j$ における 1ha 当たり平均年間間接 CO <sub>2</sub> 排出量   | (kg-CO <sub>2</sub> /(年・ha)) |
| $D_f$         | : 部門別最終需要ベクトル                                                 |                              |
| $E_{ij}$      | : 非自走式作業機 $i$ の品目 $j$ における 1 ha 当たり平均年間間接 CO <sub>2</sub> 排出量 | (kg-CO <sub>2</sub> /(年・ha)) |
| $f$           | : 最終需要                                                        | (百万円)                        |
| $F_{dregion}$ | : 域内最終需要                                                      | (百万円)                        |
| $H$           | : ヨコ (行)                                                      |                              |
| $I$           | : 単位行列                                                        |                              |
| $Import$      | : 移輸入額                                                        | (百万円)                        |

|                 |                                                    |                         |
|-----------------|----------------------------------------------------|-------------------------|
| $Input$         | : 投入額                                              | (百万円)                   |
| $L_{all}$       | : CO <sub>2</sub> 総排出量 (移輸入外生型)                    | (t- CO <sub>2</sub> )   |
| $L_{in}$        | : CO <sub>2</sub> 総排出量 (移輸入内生型)                    | (t- CO <sub>2</sub> )   |
| $L_{out}$       | : 道外へ波及する CO <sub>2</sub> 総排出量                     | (t- CO <sub>2</sub> )   |
| $M$             | : 輸入係数行列                                           |                         |
| $N$             | : 部門番号                                             |                         |
| $n_i$           | : 当該機械 $i$ の品目 $j$ における平均年間作業回数                    |                         |
| $n_{tj}$        | : トラクタの品目 $j$ における平均年間作業回数                         |                         |
| $P$             | : 製品の購入者価格                                         | (円)                     |
| $P_{all}$       | : 移輸入外生型生産誘発額ベクトル                                  |                         |
| $P_{in}$        | : 移輸入内生型生産誘発額ベクトル                                  |                         |
| $P_t$           | : トラクタの購入者価格                                       | (円)                     |
| $Q_{ij}$        | : 自走式作業機 $i$ の品目 $j$ における 1ha 当たり平均<br>年間間接投入エネルギー | (MJ/(年・ha))             |
| $R$             | : 製品の間接投入エネルギー                                     | (MJ)                    |
| $R_i$           | : 当該機械 $i$ の間接投入エネルギー                              | (MJ)                    |
| $S_i$           | : 当該機械 $i$ の購入者価格                                  | (円)                     |
| $s_i$           | : $i$ 部門の作付面積                                      | (ha)                    |
| $V$             | : タテ (列)                                           |                         |
| $V_i$           | : 農業機械 $i$ の燃料消費量                                  | (L/ha)                  |
| $x_i$           | : $i$ 部門の生産額                                       | (百万円)                   |
| $Y_t$           | : トラクタの省令による耐用年数                                   | (年)                     |
| $\tau$          | : CO <sub>2</sub> 排出係数 (表 3-1[A]欄)                 | (kg-CO <sub>2</sub> /L) |
| $\varepsilon$   | : 製品のエネルギー原単位                                      | (MJ/円)                  |
| $\varepsilon_a$ | : 農業用機械のエネルギー原単位                                   | (MJ/円)                  |
| $\delta_a$      | : 農業用機械の間接 CO <sub>2</sub> 排出原単位                   | (kg-CO <sub>2</sub> /円) |

## 目次

|           |   |
|-----------|---|
| 記号一覧..... | 1 |
|-----------|---|

### 第 I 章 緒論

|                                                       |    |
|-------------------------------------------------------|----|
| 1.1 再生可能エネルギーの導入促進 .....                              | 3  |
| 1.2 植物由来のバイオマスエネルギー .....                             | 5  |
| 1.3 十勝地方の農業の現状と課題 .....                               | 10 |
| 1.4 バイオ燃料の生産と利用が及ぼす諸影響の算定手法 .....                     | 13 |
| 1.4.1 産業連関表 .....                                     | 14 |
| 1.4.2 産業連関表による環境負荷原単位の算定 .....                        | 16 |
| 1.5 バイオエネルギー生産と利用をめぐる既往の研究 .....                      | 16 |
| 1.5.1 バイオ燃料生産事業化に関する報告書・事例 .....                      | 17 |
| 1.5.2 LCA 手法のバイオ燃料製造における CO <sub>2</sub> 排出量の算定 ..... | 18 |
| 1.5.3 十勝の畑輪作における BDF 自給 .....                         | 19 |
| 1.5.4 産業連関表を利用したバイオ燃料製造による地域への環境影響及び経済波及効果 .....      | 20 |
| 1.6 研究目的および論文の構成 .....                                | 20 |

### 第 II 章 十勝地域における CO<sub>2</sub> 排出原単位の推計.....

|                                            |    |
|--------------------------------------------|----|
| 2.1 本章の目的 .....                            | 23 |
| 2.2 方法 .....                               | 24 |
| 2.2.1 供試産業連関表 .....                        | 24 |
| 2.2.2 CO <sub>2</sub> 排出原単位の推計法 .....      | 26 |
| 2.2.3 面積当たりの CO <sub>2</sub> 原単位への変換 ..... | 30 |
| 2.2.4 CO <sub>2</sub> 総排出量の推定 .....        | 31 |
| 2.3 結果および考察 .....                          | 32 |
| 2.4 まとめ .....                              | 39 |

|                                                 |    |
|-------------------------------------------------|----|
| 第Ⅲ章 十勝の畑輪作における BDF 自給利用の可能性 .....               | 40 |
| 3.1 本章の目的 .....                                 | 40 |
| 3.2 方法 .....                                    | 43 |
| 3.2.1 CO <sub>2</sub> 排出量の推計法 .....             | 43 |
| 3.2.1.1 直接 CO <sub>2</sub> 排出量 .....            | 45 |
| 3.2.1.2 間接 CO <sub>2</sub> 排出量 .....            | 45 |
| 1) 自走式作業機を用いた作業による間接 CO <sub>2</sub> 排出量 .....  | 45 |
| 2) 非自走式作業機を用いた作業による間接 CO <sub>2</sub> 排出量 ..... | 49 |
| 3.2.2 モデル農家の設定 .....                            | 50 |
| 3.2.3 分析範囲 .....                                | 53 |
| 3.3 結果および考察 .....                               | 56 |
| 3.4 まとめ .....                                   | 65 |
| 第Ⅳ章 十勝地域におけるバイオ燃料の自給利用の可能性 .....                | 67 |
| 4.1 本章の目的 .....                                 | 67 |
| 4.2 方法 .....                                    | 69 |
| 4.2.1 バイオ燃料生産のためのシナリオ .....                     | 72 |
| 4.2.2 新たな産業連関表の作成 .....                         | 72 |
| 4.2.2.1 供試産業連関表 .....                           | 72 |
| 4.2.2.2 投入・需要構成の決定 .....                        | 73 |
| 1) バイオ燃料部門の投入構成 .....                           | 74 |
| 2) バイオ燃料部門の需要構成の決定 .....                        | 76 |
| 3) 新産業連関表の修正とバランス調整 .....                       | 77 |
| 4.2.3 分析方法 .....                                | 79 |
| 4.2.3.1 生産誘発額の算定 .....                          | 79 |
| 4.2.3.2 CO <sub>2</sub> 排出原単位 .....             | 81 |
| 4.3 結果および考察 .....                               | 84 |
| 4.3.1 生産誘発効果 .....                              | 84 |
| 4.3.2 CO <sub>2</sub> 排出量の比較 .....              | 89 |
| 4.4 まとめ .....                                   | 91 |
| 第Ⅴ章 総括 .....                                    | 92 |
| 5.1 本研究のまとめ .....                               | 92 |
| 5.2 今後の課題 .....                                 | 98 |

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 付表 1. 新十勝表 BDF ..... | 100 |
| 付表 2. 新十勝表 BEF ..... | 101 |
| 参考文献.....            | 102 |
| 図表タイトル一覧.....        | 107 |
| Summary .....        | 109 |
| 謝辞.....              | 115 |

## 第 I 章 緒 論

### 1.1 再生可能エネルギーの導入促進

2015 年 12 月，国連気候変動枠組条約第 21 回締約国会議（COP21）および京都議定書第 11 回締約国会合（CMP11）等がパリで開催され，気候変動を抑制するための新たな法的枠組みである「パリ協定」が採択された。これは，世界の平均気温上昇を 2 度未満に抑えることを目標に，会議に参加した 150 か国に対し温室効果ガス排出量の削減目標の提出と実行を義務づけたものである。これを受け，わが国の，2020 年以降の温室効果ガス削減目標は，2030 年度に 2013 年度比 26.0 % 減（2005 年度比 25.4 % 減）とされた（環境省，2015）の質量換算で約 10 億 4,200 万 t に相当し，目標達成の手段の一つとして「再生可能エネルギーの最大限の導入促進」が謳われた。具体的には，表 1-1 に示すように，我が国の総発電電力量のうち 22 %～24 % を再生可能エネルギーから求めることとし，さらにその中の 3.7 %～4.6 % 程度をバイオマス由来のエネルギーの利活用から得ることを目標としている。

再生可能でカーボンニュートラルな植物由来のバイオマスは，環境調和型エネルギー資源として有効であり，すでに 2005 年に発効した京都議定書から導入が提唱されてきた。

表 1-1 温室効果ガス削減目標積み上げに用いたエネルギーミックス

|                | 2030 年度        |
|----------------|----------------|
| ・最終エネルギー消費量    | 326 百万 kl      |
| （省エネルギー対策量）    | 50 百万 kl       |
| ・総発電電力量        | 10650 億 kWh 程度 |
| 再生可能エネルギー      | 22%～24%程度      |
| 原子力            | 22%～20%程度      |
| 石炭             | 26%程度          |
| L N G          | 27%程度          |
| 石油             | 3%程度           |
| （再生可能エネルギーの内訳） |                |
| 太陽光            | 7.0%程度         |
| 風力             | 1.7%程度         |
| 地熱             | 1.0%～1.1%程度    |
| 水力             | 8.8%～9.2%程度    |
| バイオマス          | 3.7%～4.6%程度    |

出典：日本の約束草案（環境省地球温暖化対策推進本部，2015）

## 1.2 植物由来のバイオマスエネルギー

バイオマスとは、作物や樹木、あるいは家畜の排泄物等、生物に由来する資源の総称であり、バイオエネルギーとはバイオマスを利用して得られるエネルギーである。表 1-2 に示したように、バイオマスは、未利用資源系バイオマスと生物資源系バイオマスとに分類される。未利用資源系バイオマスは、ある目的で生産された生物資源の非利用部分、もしくは、利用されたあとの廃棄物である。農林水産分野では、用途のない稲わら、粃殻、野菜クズ、家畜糞尿、林産系の間伐材等が該当する。これに対し、生物資源系バイオマスは、はじめからエネルギー利用を目的として生産される生物を指し、このうち陸域系の植物群がエネルギー作物と総称される。代表的な作物として、ナタネ、ヒマワリ、ムギ、サトウキビ、スイートソルガム、てん菜等が挙げられるが、その種類は多く、「エネルギー作物の事典」(横山ら、2004)には 70 種以上の作物がエネルギー資源としての可能性を持つものとして紹介されている。

エネルギー作物には二つの大きな特徴がある。一つは、再生可能なエネルギー資源であることである。今一つは、バイオマスの燃焼時に放出される  $\text{CO}_2$  量は、光合成により固定される  $\text{CO}_2$  量と相殺されるため、大気中の  $\text{CO}_2$  を増加させない、いわゆるカーボンニュートラルな特性を有していることである。従って、化石燃料との代替利用が進めば、 $\text{CO}_2$  の排出抑制につなが

ると考えられている。

このほか、圃場で管理生産されるエネルギー作物は、未利用資源系バイオマスに比べ資源が分散せず、収集・輸送コストが低く抑えられる可能性がある。また、生産計画を立てやすいので、エネルギーの安定供給が可能であるとともに、未利用資源系バイオマスに比べ性状が一定水準に保たれるため、エネルギー製造プラントの安定稼働が期待できる。しかし、当然のことながら、エネルギー作物を生産するためには、エネルギーの投入とそれに伴うコストが必要となるので、産出されるエネルギーとの収支バランスを如何に向上させるかが実用化の鍵を握っている。

エネルギー作物からエネルギーを取り出す方法は、直接燃焼方式以外は熱化学的変換方式と生物化学的な発酵方式に大別され、適用作物はそれぞれ異なる。前者で代表的なのは、植物油を抽出し、エステル化して粘度を下げ、ディーゼルエンジン用燃料(BDF: Bio Diesel Fuel) とする方法であり、ヒマワリ、ナタネ、ダイズ等のいわゆる油糧作物が対象となる。表 1 -3 に、これらのエネルギー生産性を示す。本表はヨーロッパのデータであり、例えばナタネは 1 ha 当たり 0.7～3.4 t の子実生産量が見込まれ、これを搾って得られる油 0.3～1.4 t をエネルギーに換算すると 11.5～52.3 GJ となることを示している。最大値の 52.3 GJ は、0℃の水 125 t を沸騰させる熱量に相当する。バイオディーゼルのエステル化以降の技術は既に実用

段階に達しており，日本では循環型システムのモデルケースとして，自治体等が中心となって公共用のバスなどに利用する例が増えている。しかし，油糧作物のエネルギー生産効率は必ずしも高くなく，農作業に要する燃料，化学肥料，収穫後の処理等の投入エネルギーと，産出油のエネルギーとの比をとると1以下となることが少なくない。この理由の1つは，油を絞った残渣物にエネルギーが残されているためで，残渣物の肥料化や飼料化等，多段階に亘って資源を有効利用するカスケードシステムの確立が重要な課題と考えられている。

BDFを軽油に混合できる上限割合は日本では5%と定められている。BDFの原料はナタネ，ヒマワリ等の油糧作物だが，十勝では食用として栽培されているのみで，BDF原料用としての栽培実績は最近ではみられない。しかし，十勝には廃食油を回収し，BDFとして精製・販売する民間会社があり，毎年その生産を増やしている（植田ら，2014）。また，近年の化石燃料価格の高騰や環境への配慮からBDFの利用拡大が図られ，諸外国で見られるような，油糧作物から直接BDF燃料を製造する機運が高まっている。

一方，発酵方式では好気性発酵によるエタノール製造が代表的な方法であり，ガソリンの代替燃料（BEF: Bio Ethanol Fuel）として用いられる。日本で認められているBEFのガソリンへの混合容積率は特別な例を除き3%（E3）である（経済産業省資源エネル

ギー序， 2014）。BEF は植物のセルロースを加水分解して単糖（グルコース）に変え，これを微生物の力で分解させることによりが作られる。植物はみなセルロースを持っているので，理論的には全ての植物からエタノールを生成することができる。エタノール生産量は作物によって異なる。図 1-1a には主なエネルギー作物の 1 ha 当たりエタノール生産量を，図 1-1b には，収穫重量 1 t 当たりのエタノール生産量を示す。図 1-1a から，面積当たりの生産量は甘味資源作物であるてん菜，サトウキビの生産性の高さが際立つが，図 1-1b の収穫重量当たりの収量性では，トウモロコシ，大麦，コムギ，ソルガム等，穀物系の作物の生産性が高い。これらのどれがエネルギー作物として適しているかは，前述した，輸送コスト，エタノール工場での製造コスト等生産地の条件によって異なると考えられる。例えば，北海道の清水町では，テンサイを原料とする製糖工場にテンサイと規格外コムギを原料とするエタノールの製造プラントを併設し，3 年にわたり実用性を比較する試験が行われた。その結果，飼料用規格外コムギの流通量を確保できれば，テンサイよりも低コストでエタノール生産が可能であることが実証された（財団法人十勝圏振興機構，2005）。この他にも，サトウキビ（沖縄県），製材所端材（岡山県），建築廃材（大阪府），ソルガム（山形県）を原料とする BEF の製造プラントが建設され，実用性を評価するための実証試験が行われるなど，国内でも BEF に対する関心

は高まりつつある。

表 1-2 バイオエネルギー資源の分類

| 分類項目   |      | 資源例                        |
|--------|------|----------------------------|
| 生産系    | 陸域系  | サトウキビ，テンサイ，トウモロコシ，ナタネ，ポプラ等 |
|        | 水域系  | 海藻類，微生物等                   |
| 未利用資源系 | 農産系  | 稲わら，もみがら，麦わら，バガス，野菜くず等     |
|        | 畜産系  | 家畜糞尿，と場残さ等                 |
|        | 林産系  | 林地残材，工場廃棄材，建築廃材等           |
|        | 水産系  | 水産加工残さ等                    |
|        | 廃棄物系 | 家庭ごみ，下水汚泥等                 |

出典：バイオマスハンドブック，p 4 より作成

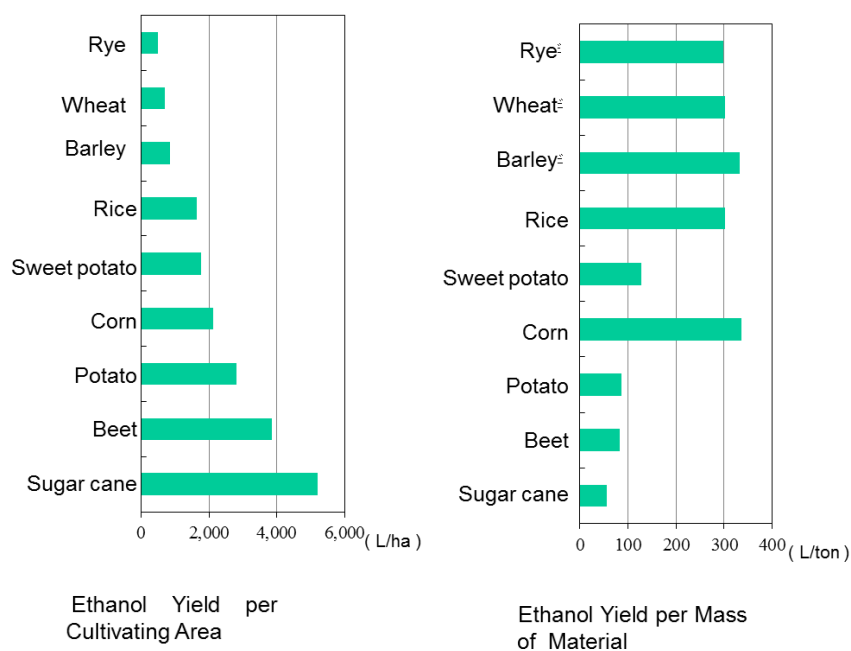


図 1-1 作物のエタノール生産量

出典：エネルギー作物の事典，p 82

### 1.3 十勝地方の農業とバイオ燃料利用の取組み

十勝は北海道東部に位置し、25.5万 ha の耕地面積を有する全国でも屈指の農業地帯である。十勝では、その広大な土地資源を活かし大規模で大型機械による生産性の高い農業が展開されている。全国では、1戸当たりの経営耕地面積が5 ha 未満の農家が95.5%を占める中、十勝の耕地規模別農家戸数は、30 ha 以上の規模の農家は3467戸で、全体の52.6%を占めている(図1-2)。農家一戸当たりの平均耕地面積は38 ha となっており、北海道平均20 ha の約2倍、全国平均1.6 ha の24倍規模となっている。

また、内陸部に多い畑作地帯では、ブロックローテーション方式の輪作体系が確立し、コムギ、テンサイ、豆類(ダイズ、アズキ、インゲン)、バレイシヨのいわゆる畑作4品は、それぞれが全道のシェアの4割を占める(図1-3)。近年の農業産出額は1年間に2,500億円前後にのぼり、全道の約23%、全国の2.7%を占めており(北海道開発局帯広開発建設部、2009)、わが国の重要な食料生産基地として位置づけられている。

一方、十勝では、化石燃料に頼っている現状の農業生産方式を見直し、改善する機運も高まっている。十勝の各市町村ではバイオマスタウン構想が提案されており、市町村ごとにバイオマス利活用に関する施策が積極的に行われている。例えば豊頃町では、農地の一部や耕作放棄地などを活用して菜の花を栽培し、こ

れを原料に BDF を製造して営農に必要な作業用燃料を自給することで，化石燃料に依存しない農作業体系の確立を目指す取組みが試行されている（北海道豊頃町産業課，2007）。

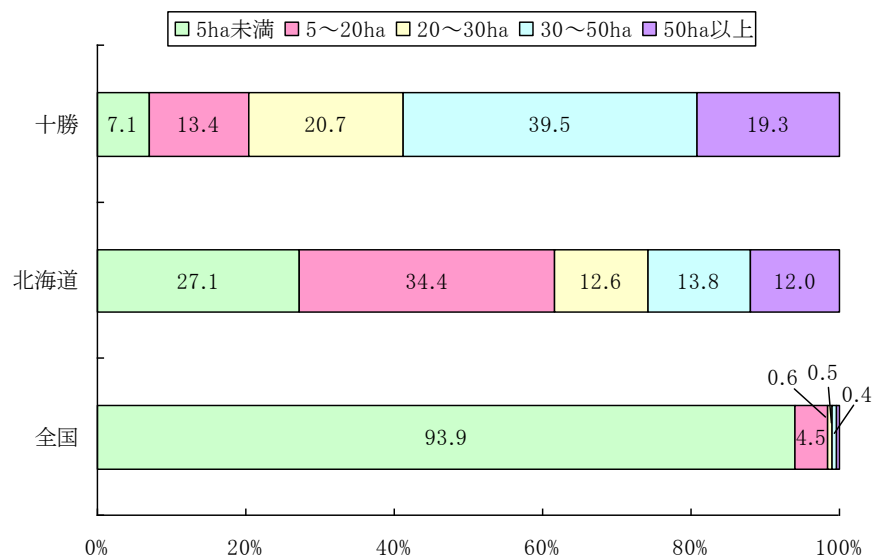


図 1-2 経営耕地面積規模別経営体数の割合

出典：農林業センサス（2010）より作成

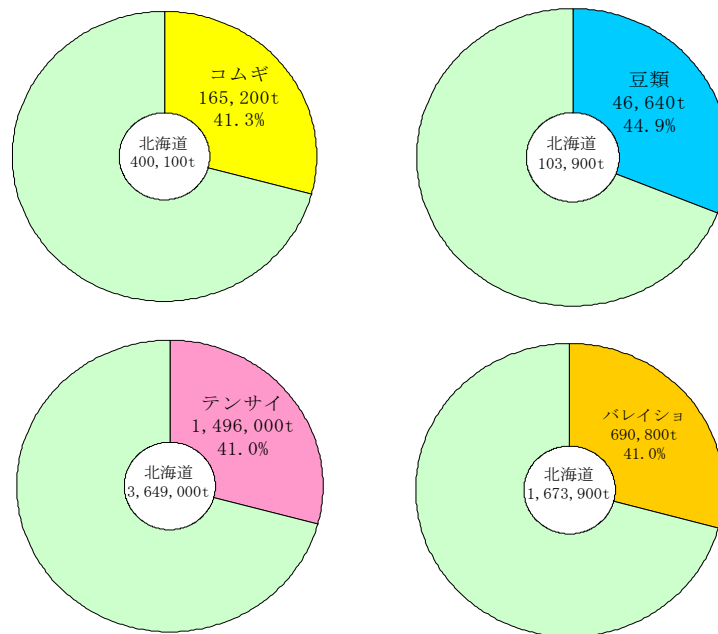


図 1-3 道内における畑作 4 品の十勝地域の生産量  
割合

出典：農林業センサス（2010）より作成

## 1.4 バイオ燃料の生産と利用が及ぼす諸影響の算定手法

### 1.4.1 産業連関表

これまで食糧として生産されてきた作物を燃料として利用したり，バイオエネルギー用の資源作物を新規に生産するためには，作物生産体系の変更，燃料製造工場の運営など，多くの変革が必要になり，これに伴う経済や環境への影響を予め推計することが重要である。生産活動のエネルギー収支や環境影響を評価する方法としては，インベントリ分析を基軸とするLCA（Life Cycle Assessment）手法の適用が一般的になりつつあるが，これらの方法は生産現場における直接投入，直接排出を主な算定対象としており，一部の生産活動が活発化することに伴う他の産業部門への波及効果や間接的な環境影響は算定の範囲外となることが多い。

波及効果を含めた経済や環境影響を推定する方法の一つとして，産業連関表を活用した分析法がある。産業連関表は，域内経済において1年間に行われた産業間の財・サービスの取引を一覧表にした統計表であり，経済の構造分析や経済波及効果の計測などに役立つ分析ツールとして世界中で利用されている。

図1-4に産業連関表の基本構造を示す。産業連関表は3つの部門に分かれる。生産活動で消費された財・サービスの取引を表す「内生部門」，生産活動によって新しく生まれた価値とその分配を表す「付加価値部

門」，生産活動あるいは移・輸入によって供給された最終的な財・サービスの需要構造を表す「最終需要部門」である（総務省，2005）。産業連関表の列（縦）方向は，各産業の生産費用構成を表し，行（横）方向は，各産業における生産物および同種の移・輸入品の需要構成を表している。縦の合計と横の合計は域内生産額であり，全ての部門において一致する。日本の最も基本的な全国産業連関表（全国表）は，5年おきに関係府省庁の共同事業として作成されており，その基本分類は行520部門，列407部門（2005年）にも及び産業部門間の投入産出に関する詳細な情報を読み取ることができる（藤川，2005）。

平成××年      ××産業連関表

(単位：百万円)

| 需 要 部 門<br>( 買 い 手 )  |               | 中 間 需 要     |               |     |     | 最 終 需 要       |                       |                   |     |     |     | 移 入 | 輸 入 | 域 内 生 産 額 ( 産 出 ) |
|-----------------------|---------------|-------------|---------------|-----|-----|---------------|-----------------------|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-------------------|
|                       |               | 食 用 耕 種 農 業 | 非 食 用 耕 種 農 業 | 畜 産 | ... | 家 計 外 消 費 支 出 | 中 央 政 府 集 合 的 消 費 支 出 | 国 内 総 固 定 資 本 形 成 | ... | 移 出 | 輸 出 |     |     |                   |
| 供 給 部 門<br>( 売 り 手 )  |               |             |               |     |     |               |                       |                   |     |     |     |     |     |                   |
| 中<br>間<br>投<br>入      | 食 用 耕 種 農 業   | 内 生 部 門     |               |     |     | 最 終 需 要 部 門   |                       |                   |     |     |     |     |     |                   |
|                       | 非 食 用 耕 種 農 業 |             |               |     |     |               |                       |                   |     |     |     |     |     |                   |
|                       | 畜 産           |             |               |     |     |               |                       |                   |     |     |     |     |     |                   |
|                       | ⋮             |             |               |     |     |               |                       |                   |     |     |     |     |     |                   |
| 粗<br>付<br>加<br>価<br>値 | 雇 用 者 得 所     | 付 加 価 値 部 門 |               |     |     |               |                       |                   |     |     |     |     |     |                   |
|                       | 営 業 余 剰       |             |               |     |     |               |                       |                   |     |     |     |     |     |                   |
|                       | ⋮             |             |               |     |     |               |                       |                   |     |     |     |     |     |                   |
| 域 内 生 産 額 ( 投 入 )     |               |             |               |     |     |               |                       |                   |     |     |     |     |     |                   |

図 1-4 産業連関表の基本構造

#### 1.4.2 産業連関表による環境負荷原単位の算定

近年は、産業連関表を環境問題分析に適用する例が増えている。この理由は、産業連関表を用いれば、経済活動による直接的な環境影響ばかりでなく、間接的に引き起こされる影響も捉えることができるからである。わが国では(独)国立環境研究所地球環境研究センターが、産業連関表(全国表)を活用し経済活動 401 部門における温室効果ガスの排出原単位(産業連関表による環境負荷原単位データブック:3EID)を公表している(国立環境研究所, 2006; 南斎ら, 2009)。排出原単位とは、ある財の 1 単位の生産に伴って生じる直接的小および間接的な温室効果ガスの排出量を意味し、環境影響を論じるうえで極めて重要な指標と言える。排出原単位は、単位当たりの直接環境負荷ベクトルに産業連関表から導かれるレオンチェフ逆行列を乗ずることで求められる。わが国では、全国表ばかりでなく地域産業連関表も作成されているので、この方法を地域に適用することが可能である。

#### 1.5 バイオエネルギー生産と利用をめぐる既往の研究

バイオエネルギーを活用する環境調和型社会を実現するには、バイオ原料の供給体制の確立が前提となる。そのためには、広大な面積において低コストで安定した生産ができるいわゆるエネルギー作物の生産と利用、およびその導入効果の評価が必要である。これまでに、バイオエネルギー生産と利用をめぐる以

下のような研究が行われてきた。

#### 1.5.1 バイオ燃料生産の事業化のための条件解明に関する研究

生物資源や林産物・廃棄物を対象とした国産 BEF の供給可能量の推定に関する研究例がある。

山本ら（2000）は，バイオ燃料製造プラントに供給されるバイオ燃料の価額に影響を及ぼす要因を分析するため，木質バイオマスを原料とした糖化エタノール発酵プロセスを想定した。機械費の積算および運用に要する電力・燃料費などの必要経費を，製造されたエタノール量で除し，生産コストとして算定した結果，製造コストを削減するためには，プラントを大規模化することと原材料費を可能な限り抑制することが条件であることを明らかにした。

上田（2011）は，LCA(ライフサイクルセスメント)とコスト分析により，国産農産物を原料とするバイオ燃料生産の可能性について検討した。その結果，化石燃料と同等の生産費を実現するには，全ての作物において栽培費の低減が条件となるものの，エネルギー収支，土利用効率及び温室効果ガス削減の観点からみると，サトウキビ・テンサイ・イモ類，ソルガムおよび稲わらが他の作物よりバイオ燃料資源としての可能性が高いことが示された。

### 1.5.2 LCA 手法によるバイオ燃料製造における CO<sub>2</sub> 排出量の推計

日本では，バイオ燃料の生産過程を一つの生産システムとして捉え，LCA によりエネルギーや CO<sub>2</sub> 排出量をはじめとする物質収支を定量的に評価した研究が多くみられる。

例えば，小野ら（2007）は，ナタネを原料とした BDF 生産の可能性について，ナタネ油を直接 BDF に変換するシステムとナタネ油を変換せずに食用油として利用するシステム，および食用油の廃食油を回収し，BDF に変換して農業機械の動力源とする 3 つのシステムを想定し，LCA を行った。その結果，温室効果ガスの削減効果が最も高いのは廃食油を回収し BDF として利用するシステムであり，資源のカスケード利用の有効性が示された。

十勝では BEF の原料となるテンサイやコムギの生産が盛んであり，十勝振興機構(2005)では清水町の製糖工場にはバイオエタノールの実験ブランドを併設し，テンサイおよび規格外コムギを対象に大規模な実証試験が行われてきたが，LCA による環境影響評価は実施されていない。十勝では，入江（2013）が，廃食油由来の BDF を製造するための小規模プラントの実現可能性を検討するため，CO<sub>2</sub> 排出量と環境経済影響評価を目的とした LCA を実施した。その結果，想定した小規模プラントによる廃食油の BDF 変換システムは，化石燃料の既存システムと比較して CO<sub>2</sub> 排出量

は 58~76%削減され，CO<sub>2</sub>削減による経済効果は軽油取引税を考慮しない場合でも，4.7%削減されることが明らかになった。

### 1.5.3 十勝の畑輪作における BDF 自給利用

十勝の畑輪作における先行研究はいくつがある。植田ら(2014)は環境負荷の少ない農業生産体系の確立を目的として，ブロックローテーション方式の畑輪作体系を対象に，バイオディーゼル燃料（BDF）を自給利用するための最適な面積比率を算定する手法を開発した。この手法によって，耕地面積，BDF生産量，所要労働時間及び連作回避に関する設定条件を満たし，収益性の高い畑作品目の面積比率を導き出した。さらに北海道十勝地方のモデル農家を想定し開発した手法を適用した結果，同じ水準の収益で様々な面積配分を提示した。

荒木（2013）は，作物生産のための LCA 手法の確立に寄与することを目とし，ブロックローテーション方式の輪作体系における農業機械作業による間接エネルギーおよび CO<sub>2</sub>排出量の各品目 1 作・1 ha 当たりの推定方法を提案した。この手法を用いて，機械の汎用利用，耐用年数，自走式作業機と非自走式作業機の違い，作付品目の面積比率等を考慮し，北海道十勝地方のモデル農家に適用した結果，生産性や環境影響を評価するための基礎資料が得られた。

#### 1.5.4 産業連関表を利用したバイオ燃料製造による地域への環境影響及び経済波及効果

国内外においては、産業連関分析を用いたバイオマス利活用による影響評価の研究がいくつかある。小野ら（2007）は、ナタネを直接BDF化するシステムと、カスケード利用を行う循環システムを想定し、栽培技術や単収水準についていくつかのシナリオを想定し、CO<sub>2</sub>感度分析を行った。環境負荷量を比較した。林（2010）は、バイオエタノール生産と利用によって地域経済及び温室効果ガス排出にどのような変化が現れるかを産業連関分析により定量的に計測した。多田（2009）は、日本で粃殻発電を導入した場合の温室効果が直接・間接削減量ならびに経済効果及び産業構造への影響解析を行った。Kakali and Thomassin(2011)は、カナダにおいてバイオエタノールの自給利用を行った場合の経済効果、雇用効果などについて定量的な評価を行った。

#### 1.6 研究目的および論文の構成

北海道の十勝地域は日本を代表する大規模畑作地帯である。この地域で栽培される作物からバイオ燃料を生産し、地域内で消費することにより、環境負荷の低減、作物生産需要の増大、バイオ燃料製造部門の創設による地域経済の活性化等が期待できる。本研究は、これらの効果を定量的に算定することを目的とする。

本論文は5章により構成されている。

本章であるⅠ章は研究の背景として，再生可能エネルギーの必要性和その条件，植物由来バイオマス利用の現状と生産および利活用に関する問題点，影響予測の分析手法，本研究の目的とその対象，既往の研究成果について述べる。

Ⅱ章では，十勝の経済活動がもたらす環境影響の現状を分析するため，十勝の全産業分野におけるCO<sub>2</sub>排出原単位を算定した。分析には産業連関分析手法を用いており，CO<sub>2</sub>の直接排出だけではなく，十勝地域内の経済活動が誘発する他部門への波及的生産による間接的排出量も網羅している。このうち，農業部門についてはさらに食用耕種農業部門および非食用耕種農業部門に分け，作付面積1 ha当たりのCO<sub>2</sub>排出原単位へ変換した。本章で得られた結果は，Ⅲ章以降で展開される環境負荷低減のための新たな農業生産方式の導入が経済や環境に及ぼす影響の定量分析に用いられている。

Ⅲ章では，十勝において畑作4品をブロックローテーション方式で輪作する農家をモデルとし，耕地の一部にBDF用油糧作物であるナタネを栽培し，そこから得たBDFを，次年度以降，農作業用燃料として自給利用する農場内炭素循環農法を想定し，この場合の直接・間接投入CO<sub>2</sub>排出量を推計し，慣行体系と比較した。推計に当たっては，ブロックローテーション方式の輪作体系下における農業機械利用方式に適用できるよう，機械の汎用利用，耐用年数，自走式作業機と

非自走式作業機の違い，作付品目の面積比率を考慮した。その結果，農作業別および品目別のCO<sub>2</sub>排出量が明らかになったばかりでなく，土の移動を伴う作業では直接CO<sub>2</sub>排出量が大きく，海外から輸入した大方機械の間接排出量が多い等，新たな知見が得られた。

Ⅳ章では，Ⅲ章の想定を拡張し，十勝地域で栽培可能な作物からバイオ燃料を生産し，地域内で消費する内燃機関用燃料の代替燃料として利用することを想定し，この生産利用システムが十勝地域内の経済やCO<sub>2</sub>排出量にどのような影響を与えるかについて，産業連関分析により定量的な分析を試みた。具体的には，コムギ生産から発生する規格外コムギを原料にバイオエタノール燃料（BEF）を製造するシナリオと，新規栽培するナタネからバイオディーゼル燃料（BDF）を製造するシナリオの2つの場合を想定し，これらを比較した。その結果，両者とも自給・利用による経済的波及額は域外より域内の方が大きいことが示された。また，バイオ燃料自給利用方式によるCO<sub>2</sub>排出量は，燃料製造の段階で化石燃料製造より多いが，消費による排出量はゼロであるため，製造と消費の排出量を合計すると，排出量は化石燃料を購入・利用する現状よりもBEF，BDFともに少なくなることを明らかにした。

Ⅴ章では，総合考察として，本研究の考察結果をまとめたうえで，残された課題を示す。

## 第Ⅱ章

### 十勝地域におけるCO<sub>2</sub>排出原単位の推計

#### 2.1 本章の目的

緒論でも述べたように，環境負荷排出原単位は，環境問題を論じる上で重要な指標である。日本でも農業部門を含めた経済諸部門の環境負荷原単位がいくつか公表されている。しかし，これらは，全国版の統計値を基にした推計値である。日本の農業は地域によって特色があり，自然条件，経営規模，機械化水準，生産様式は一様ではない。従って，農業生産活動に伴う温室効果ガスの排出量にも地域性があるものと考えられる。

十勝地域の大規模畑作地帯では，大型で高能率な機械化生産方式が定着しており，欧米に近い効率的な生産が行われている。一方，寒冷地のため融雪，排水対策が不可欠であること，畑作地帯においては大出力トラクタによる深耕が一般的であること，テンサイ，バレイショ等の根菜類では収穫においても土を掘り起こす重作業が必要となることなど，面積当たりの投入エネルギーを増大させる要因が内包されている。従って，その環境負荷特性は府県と異なると考えられるが詳細は明らかでない。また，これらの実態を実地調査することは調査量が膨大となるため現実的ではない。そこで，本章において，十勝の地域産業連関表を利用してCO<sub>2</sub>を対象とする環境負荷原単位の推定を行い，

あわせて十勝における現状の CO<sub>2</sub> 排出量を推定した。

## 2.2 方法

### 2.2.1 供試産業連関表

国土交通省北海道開発局が公表している平成 17 年十勝地域取引基本表(65 部門表)を供試した。本表は、5 年ごとに更新され現時点の最新版である。

地域産業連関表は、部門数により 4 種の地域取引基本表が公表されており、本研究では部門分類が最も細分化されている(平成 25 時点)65 部門表を用いた。65 部門のうち、農業関連部門は、食用耕種農業、非食用耕種農業、畜産、農業サービスの 4 部門となっている。部門分類の基準は、原則として全国表の基本分類である行 520 部門×列 407 部門に準じて設定されている。その対応関係は表 2-1 の通りである。

表 2-1 部門分類の対応関係

| 十勝表     | 全国表                                                                                                                                                                             |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 食用耕種農業  | 米，稲わら<br>麦類（小麦，大麦）<br>いも類（かんしょ，ばれいしょ）<br>豆類（大豆，大豆，その他の豆類）<br>野菜（露地，施設）<br>果実（かんきつ，りんご，その他の果実）<br>砂糖原料作物<br>飲料用作物（コーヒー豆・カカオ豆，その他の飲料用作物）<br>その他の食用耕種作物（雑穀，油糧作物）<br>他に分類されない食用耕種作物 |
| 非食用耕種農業 | 飼料作物<br>種苗<br>花き・花木類<br>その他の非食用耕種作物（葉たばこ，生ゴム，綿花）<br>他に分類されない非食用耕種作物                                                                                                             |
| 畜産      | 酪農（生乳，その他の酪農生産物）<br>肉用牛<br>豚<br>鶏卵<br>肉鶏<br>その他の畜産（羊毛，他に分類されない畜産）                                                                                                               |
| 農業サービス  | 獣医業，カントリーエレベーター，ライスセンター，稲作共同育苗事業，土地改良区，青果物共同選果場，航空防除，稚蚕共同飼育事業，種付業，ふ卵業，等                                                                                                         |

### 2.2.2 CO<sub>2</sub> 排出原単位の推計法

CO<sub>2</sub> 排出原単位は，ある財の 1 単位の生産に伴って生じる CO<sub>2</sub> の直接的排出量と間接的排出量の和であり，生産額当たりの部門別直接 CO<sub>2</sub> 排出量ベクトルにレオンチェフ逆行列を乗じることにより求められる（南斎ら，2002）。レオンチェフ逆行列は，ある部門 1 単位の最終需要増を満たすために必要な各部門の生産量を示す。本研究では，十勝産業連関表から投入係数行列  $A$  および移輸入係数行列  $M$  を求め，式(2-1)および式(2-2)により移輸入外生型レオンチェフ逆行列  $(I-A)^{-1}$  と移輸入内生型レオンチェフ逆行列

$(I-(I-M)A)^{-1}$  を算出した。移輸入外生型は，必要生産量が域内産であるか域外産であるかを問わずに計算される。移輸入内生型は，移輸入係数行列の導入により内生化が図られ，必要生産量のうち域内分のみ計算される（大平ら，2003）。この場合の域内とは，十勝地域内であり，域外とは十勝地域を除く都道府県および海外を指す。さらに，式(2-3)，式(2-4)に従って移輸入外生型，内生型それぞれについて生産額 100 万円当たりの CO<sub>2</sub> 排出原単位を推計した。

なお，投入係数は，ある部門の生産 1 単位に必要な各部門から投入される原材料の量を示し，産業連関表の各部門の中間投入額をその産業部門の生産額で除して得られる。また，移輸入係数は，ある部門の域内需要額（中間需要＋最終需要－移輸出）に占める移輸入（移入＋輸入）の割合を示す。

移 輸 入 外 生 型 レ オ ン チ ェ フ 逆 行 列 :

$$(I - A)^{-1} \quad (2-1)$$

移 輸 入 内 生 型 レ オ ン チ ェ フ 逆 行 列 :

$$(I - (I - M)A)^{-1} \quad (2-2)$$

$$C_{all} = C_d \cdot (I - A)^{-1} \quad (2-3)$$

$$C_{in} = C_d \cdot (I - (I - M)A)^{-1} \quad (2-4)$$

こ こ に

$I$  : 単 位 行 列

$A$  : 投 入 係 数 行 列

$M$  : 移 輸 入 係 数 行 列

$C_{all}$ : 移 輸 入 外 生 型  $\text{CO}_2$  排 出 原 単 位 ベ ク ト ル

$C_{in}$ : 移 輸 入 内 生 型  $\text{CO}_2$  排 出 原 単 位 ベ ク ト ル

$C_d$ : 生 産 額 当 た り の 部 門 別  $\text{CO}_2$  直 接 排 出 量 ベ ク ト ル

上 式 の  $C_d$  に つ い て , 十 勝 地 域 の 部 門 別 の 直 接  $\text{CO}_2$  排 出 量 に 関 す る 1 次 デ ー タ は 見 当 た ら な い 。 直 接  $\text{CO}_2$  排 出 量 を 推 定 す る た め に は , 取 引 額 ベ ー ス で は な く 物 量 ベ ー ス の デ ー タ を 算 出 根 拠 と す る こ と が 望 ま し い が , 地 域 産 業 連 関 表 で は 物 量 表 も 公 表 さ れ て い な い 。 し か し , 十 勝 地 域 に お け る 全 て の 産 業 を

10 部門に大別し，それぞれの直接 CO<sub>2</sub> 排出量を調査した結果が公表されている（環境自治体会議環境政策研究所，2006）。これら 10 部門とそれに対応する産業連関表の部門分類は表 2-2 に示す対応関係にある，本研究では，表 2-2 の対応に従って十勝産業連関表の部門別生産額に応じて按分し，生産額 100 万円当たりの部門別直接 CO<sub>2</sub> 排出量ベクトルを得た。

さらに，CO<sub>2</sub> 排出原単位の域外への波及分を知るために，式（2-5）のように， $C_{all}$ と $C_{in}$ との差を求め，これを域外へ波及する CO<sub>2</sub> 排出量ベクトル  $C_{out}$ とした。

$$C_{out}=C_{all}-C_{in} \quad (2-5)$$

ここに

$C_{all}$ ：移輸入外生型 CO<sub>2</sub> 排出原単位ベクトル

$C_{in}$ ：移輸入内生型 CO<sub>2</sub> 排出原単位ベクトル

$C_{out}$ ：域外へ波及する CO<sub>2</sub> 排出原単位ベクトル

表 2-2 直接 CO<sub>2</sub> 排出量

| 調査された<br>10 部門 | 直接 CO <sub>2</sub> 排出量<br>(万 t-CO <sub>2</sub> ) | 対応する産業連関表大分類<br>(34 部門) |
|----------------|--------------------------------------------------|-------------------------|
| 製造業            | 38.863                                           | 飲食料品，繊維製品，全 16<br>部門    |
| 非製造業           | 18.903                                           | 農林水産業，鉱業，建設業            |
| 民生家庭           | 26.301                                           | 電力・ガス・熱供給，他 12<br>部門    |
| 民生業務           | 16.594                                           |                         |
| エネルギー転換        | 0.051                                            |                         |
| 自動車別           | 29.663                                           | 運輸                      |
| 航空別            | 1.178                                            |                         |
| その他            | 1.26                                             |                         |
| 工業プロセス         | 0                                                | —                       |
| 廃棄物            | 1.261                                            | 水道・廃棄物処理                |
| 合計             | 134.074                                          |                         |

出典：温室効果ガス排出量実態調査（環境自治体会議環境政策研究所，2005）より作成

### 2.2.3 作付面積当たりの CO<sub>2</sub> 原単位への変換

前節 2.2 で求めた生産額あたりの CO<sub>2</sub> 排出原単位のうち，農業関連 4 部門について，次式 (2-6) により面積当たりの CO<sub>2</sub> 排出原単位へ変換した。レオンチェフ逆行列は移輸入外生型，移輸入内生型の両者について推計した。作付面積のデータは農水省の統計資料（農林水産省，2005）を用いた。

$$CS_i = C_{all,i} x_i / s_i \quad (2-6)$$

ここに：

$CS_i$  :  $i$  部門の作付面積当たり CO<sub>2</sub> 排出原単位（移輸入外生型および移輸入内生型）（t- CO<sub>2</sub>/ha）

$C_{all}$  :  $i$  部門の生産額当たり CO<sub>2</sub> 排出原単位（移輸入外生型および移輸入内生型）（t- CO<sub>2</sub>/百万円）

$x_i$  :  $i$  部門の生産額（百万円）

$s_i$  :  $i$  部門の作付面積（ha）

#### 2.2.4 CO<sub>2</sub> 総排出量の推定

生産額当たりの排出原単位に最終需要を乗じると、最終需要を満たすために必要な生産に伴う CO<sub>2</sub> の総排出量が求まる。ここでは、十勝における現状の CO<sub>2</sub> 総排出量を推計するため、産業連関表の最終需要額を用いることとし、式(2-7)、式(2-8)のように移輸入外生型および移輸入内生型それぞれについて求めた。移輸入内生型では、65 部門の総排出量は前述した十勝の CO<sub>2</sub> 排出量 134.074 万 t (表 2-2)と一致する。さらに、域外への波及量を知るため、式(2-9)のように、移輸入外生型から求められる CO<sub>2</sub> 総排出量と、移輸入内生型から求められる十勝地域のみで誘発される CO<sub>2</sub> 総排出量との差を求めた (大平, 2003)。

$$L_{all} = C_{all} \cdot f \quad (2-7)$$

$$L_{in} = C_{in} \cdot f \quad (2-8)$$

$$L_{out} = L_{all} - L_{in} \quad (2-9)$$

ここに、

$f$  : 最終需要 (百万円)

$L_{all}$  : CO<sub>2</sub> 総排出量 (移輸入外生型) (t- CO<sub>2</sub>)

$L_{in}$  : CO<sub>2</sub> 総排出量 (移輸入内生型) (t- CO<sub>2</sub>)

$L_{out}$  : 道外へ波及する CO<sub>2</sub> 総排出量 (t- CO<sub>2</sub>)

### 2.3 結果と考察

表 2-3 に推計された十勝地域 65 部門の生産額 100 万円あたりの CO<sub>2</sub> 排出原単位を示す。移輸入外生型については、CO<sub>2</sub> 排出量は域内の生産技術に基づいて排出されたと仮定するので、移輸入先と域内の間に生産技術の差があれば排出量推計の誤差が大きくなるという問題があるが、今後の課題とし、本研究では考慮しなかった。

表 2-3 から農業関連 4 部門を抜粋し、既存の研究報告(柴田ら, 2011)である全国を対象とした推計値と比較した結果を表 2-4 に示す。ただし、全国値では、食用耕種農業と非食用耕種農業を分けていない。

まず、移輸入外生型について十勝と全国を比較する。移輸入外生型は、CO<sub>2</sub> の発生が域内か域外かを問わない。表 2 より、移輸入外生型では、十勝の CO<sub>2</sub> 排出原単位は 4 部門ともに全国値より大きく、十勝では低投入型の生産方式がとられているとは必ずしも言えないことが示された。

表 2-3 十勝地域 65 部門の CO<sub>2</sub> 排出原単位 (t-CO<sub>2</sub>/百万円)

| 部<br>門<br>番<br>号 | 部門名         | $(I-A)^{-1}$ | $((I-(I-M)A)^{-1}$ | 部<br>門<br>番<br>号 | 部門名         | $(I-A)^{-1}$ | $((I-(I-M)A)^{-1}$ |
|------------------|-------------|--------------|--------------------|------------------|-------------|--------------|--------------------|
| 1                | 食用耕種農業      | 3.74         | 1.61               | 34               | 鉄鋼一次製品      | 6.17         | 4.97               |
| 2                | 非食用耕種農業     | 4.14         | 1.73               | 35               | 非鉄金属一次製品    | 11.65        | 5.10               |
| 3                | 畜産          | 6.29         | 2.62               | 36               | 金属製品        | 8.76         | 5.01               |
| 4                | 農業サービス      | 3.86         | 1.82               | 37               | 一般機械        | 8.79         | 4.97               |
| 5                | 林業          | 3.47         | 1.87               | 38               | 電気機械        | 10.28        | 5.04               |
| 6                | 漁業          | 3.68         | 1.39               | 39               | 輸送機械        | 11.46        | 4.90               |
| 7                | 金属鉱物        | 0.00         | 0.00               | 40               | 精密機械        | 0.00         | 0.00               |
| 8                | 非金属鉱物       | 4.63         | 1.97               | 41               | その他の製造品     | 10.63        | 5.29               |
| 9                | 石炭・原油・天然ガス  | 0.00         | 0.00               | 42               | 再生資源回収・加工処理 | 11.81        | 6.57               |
| 10               | と畜・肉・酪農品    | 10.27        | 6.53               | 43               | 建築          | 4.84         | 1.94               |
| 11               | 水産食料品       | 8.80         | 5.44               | 44               | 建設補修        | 5.04         | 1.85               |
| 12               | 精穀・製粉       | 8.50         | 5.64               | 45               | 土木          | 4.39         | 1.92               |
| 13               | その他の食料品     | 9.26         | 6.00               | 46               | 電力          | 36.06        | 34.12              |
| 14               | 飲料          | 8.05         | 5.23               | 47               | ガス・熱供給      | 36.82        | 34.01              |
| 15               | 飼料・有機質肥料    | 9.94         | 6.13               | 48               | 水道・廃棄物処理    | 39.61        | 37.26              |
| 16               | たばこ         | 0.00         | 0.00               | 49               | 商業          | 2.17         | 0.85               |
| 17               | 繊維工業製品      | 7.35         | 4.88               | 50               | 金融・保険       | 1.70         | 0.65               |
| 18               | 衣服・その他の繊維製品 | 8.43         | 4.85               | 51               | 不動産         | 0.89         | 0.45               |
| 19               | 製材・木製品      | 8.75         | 5.85               | 52               | 運輸          | 12.70        | 10.35              |
| 20               | 家具・装備品      | 9.33         | 5.53               | 53               | 通信・放送       | 1.81         | 0.79               |
| 21               | パルプ・紙       | 13.37        | 6.75               | 54               | 調査・情報サービス   | 2.62         | 0.67               |
| 22               | 紙加工品        | 10.70        | 5.40               | 55               | 公務          | 2.75         | 0.98               |
| 23               | 印刷・製版・製本    | 8.24         | 5.06               | 56               | 教育・研究       | 2.55         | 1.33               |
| 24               | 化学肥料        | 10.45        | 5.23               | 57               | 医療・保健・社会保障  | 3.37         | 0.95               |
| 25               | 化学工業製品      | 13.23        | 6.32               | 58               | 介護          | 2.27         | 1.06               |
| 26               | 化学繊維        | 0.00         | 0.00               | 59               | その他の公共サービス  | 2.12         | 0.68               |
| 27               | 化学最終製品      | 9.31         | 5.28               | 60               | 対事業所サービス    | 2.43         | 0.53               |
| 28               | 石油製品        | 5.35         | 4.67               | 61               | 娯楽サービス      | 3.15         | 1.37               |
| 29               | 石炭製品        | 0.00         | 0.00               | 62               | 飲食店         | 4.66         | 2.11               |
| 30               | ゴム製品        | 0.00         | 0.00               | 63               | その他の対個人サービス | 4.08         | 2.21               |
| 31               | 皮革・皮革製品     | 0.00         | 0.00               | 64               | 事務用品        | 13.36        | 5.12               |
| 32               | 窯業・土石製品     | 8.55         | 5.76               | 65               | 分類不明        | 2.98         | 1.20               |
| 33               | 銑鉄・粗鋼       | 0.00         | 0.00               |                  |             |              |                    |

表 2-4 CO<sub>2</sub> 排出原単位 の 比較( 単 位 : t-CO<sub>2</sub>/百 万 円 )

| 部 門<br>番 号 | 部 門 名         | 移 輸 入 外 生 型 |       | 移 輸 入 内 生 型 |       |
|------------|---------------|-------------|-------|-------------|-------|
|            |               | 十 勝         | 全 国 ※ | 十 勝         | 全 国 ※ |
|            |               | 分 野 平 均 値   |       | 分 野 平 均 値   |       |
| 1          | 食 用 耕 種 農 業   | 3.74        | 2.52  | 1.6         | 2.04  |
| 2          | 非 食 用 耕 種 農 業 | 4.14        | 2.52  | 1.73        | 2.04  |
| 3          | 畜 産           | 6.29        | 2.56  | 2.61        | 1.82  |
| 4          | 農 業 サ ー ビ ス   | 3.86        | 1.96  | 1.81        | 1.69  |

資 料 : 北 海 道 に お け る 農 業 お よ び 農 業 関 連 産 業 の CO<sub>2</sub> 排 出 原 単 位 に つ い て , ( 柴 田 ら , 2011 ) よ り 作 成

移 輸 入 内 生 型 に つ い て み る と , 十 勝 の 食 用 耕 種 農 業 部 門 と 非 食 用 耕 種 農 業 部 門 の 値 は 全 国 値 よ り 小 さ い こ と が 示 さ れ た 。 こ れ ら か ら , 十 勝 に お け る 耕 種 農 業 は , 全 国 に 比 べ , 域 外 に 依 存 す る 割 合 の 高 い 生 産 構 造 で あ り , CO<sub>2</sub> の 発 生 も , 域 外 で 波 及 的 に 発 生 す る 割 合 が 全 国 (他 府 県 )よ り も 大 き い 傾 向 に あ る と 言 え る 。 ま た , 畜 産 , 農 業 サ ー ビ ス 分 野 は , 移 輸 入 外 生 型 と 同 様 に 全 国 値 よ り も 大 き い こ と か ら , 全 国 に 比 べ 環 境 負 荷 の 大 き い 生 産 方 式 が 取 ら れ て い る こ と が 示 さ れ た 。 北 海 道 で は , 暖 房 需 要 が 多 い こ と や , 燃 費 の 劣 る 大 排 気 量 車 の 保 有 率 が 高 い こ と が 民 生 部 門 の 排 出 原 単 位 を 押 し 上 げ て い る と の 見 方 が あ る ( 北 海 道 経 済 産 業 省 , 2007 ) 。 農 業 関 係 分 野 に お い て も , 生 産 工 程 の 中 に 暖 房 や 保 温 を 目 的 と し た エ ネ ル ギ ー 消 費 や 非 効 率 な 運

搬・回送が少なからず組み入れられている可能性があるが，その検証や諸外国との比較は今後の課題である。

図 2-1 には，式 (2-4)，式 (2-5) に基づき算出した生産額 100 万円当たりの排出原単位の域内分と域外分の内訳を示した。図 2-1 から，農業関連 4 部門から発生する CO<sub>2</sub> の 50 % 以上は域外で発生しており，農業分野においても環境影響を評価する上では間接的な波及効果を見逃すことが明らかとなった。

表 2-5 に作付面積 1 ha 当たりの CO<sub>2</sub> 排出原単位を示す。食用耕種農業の 1 ha 当たりの CO<sub>2</sub> 排出原単位は，移輸入外生型が 3.84 t-CO<sub>2</sub>/ha，移輸入内生型が 1.65 t-CO<sub>2</sub>/ha，非食用耕種農業は，移輸入外生型が 1.13 t-CO<sub>2</sub>/ha，移輸入内生型が 0.47 t-CO<sub>2</sub>/ha と，食用耕種農業が 3 倍以上大きい結果となった。十勝地域における食用耕種農業は，コムギ，テンサイ，バレイショ，ダイズなどの畑作物が多く占め，非食用耕種農業はほとんどが飼料作である。食用耕種農業の排出原単位が大きくなった理由として，十勝の畑作では，耕うん，根菜類収穫，深耕，排水対策，融雪作業等，直接投入エネルギーの増加に直結する作業が飼料作に比べて多く，それが生産額に反映され，飼料作よりも面積当たりの CO<sub>2</sub> 排出原単位が多くなったためと考えられた。

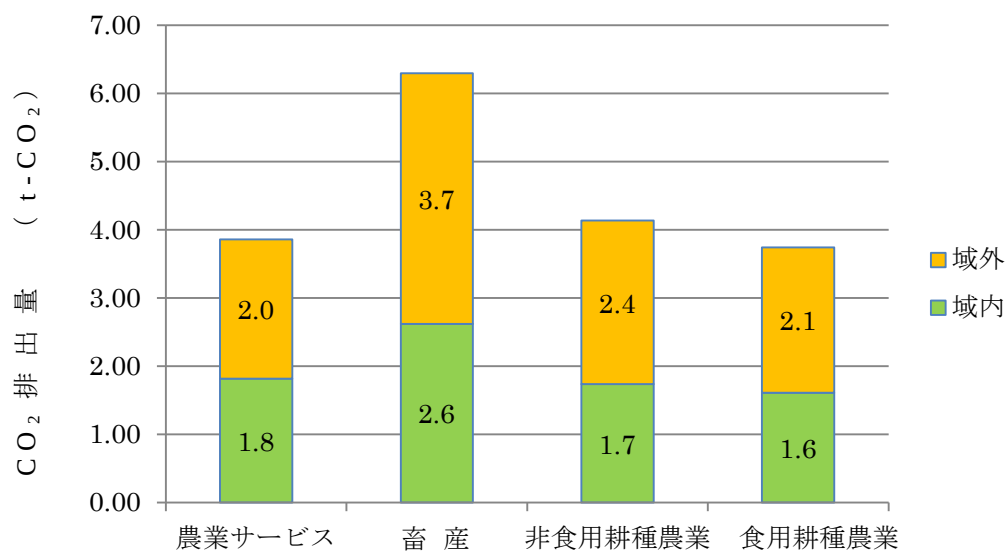


図 2-1 十勝の生産額百万円当たりの域内，域外別  
CO<sub>2</sub> 排出原単位

表 2-5 十勝耕種農業の面積当たりの CO<sub>2</sub> 排出原単位

| 部門名     | 作付面積<br>(ha) | 生産額<br>(百万円) | 排出原単位 (t-CO <sub>2</sub> /ha) |        |
|---------|--------------|--------------|-------------------------------|--------|
|         |              |              | 移輸入外生型                        | 移輸入内生型 |
| 食用耕種農業  | 127,558      | 130,941      | 3.84                          | 1.65   |
| 非食用耕種農業 | 119,600      | 32,584       | 1.13                          | 0.47   |

部門分類が異なるので厳密な比較はできないが，全国の主要作物面積当たり  $\text{CO}_2$  排出原単位を推定した先行研究（柴田ら，2011）の結果（表 2-6）と比べると，十勝の食用・非食用耕種農業面積当たり排出原単位は，全国より大きい傾向が示された。十勝で定着している大規模機械化生産方式は，労働時間当たりの生産量の増加に寄与することは諸資料から明らかであるが，それは，面積当たりの投入エネルギーを増大させた成果であり， $\text{CO}_2$  排出量等環境保全の観点から見ると必ずしも理想的な姿ではないことが伺える。

図 2-2 は，式 (2-7)，式 (2-8)，式 (2-9) より算出した十勝の農業関連 4 部門における  $\text{CO}_2$  の総排出量を域内，域外別に示したものである。本図から，畜産分野の環境負荷が大きく  $922\text{t-CO}_2$ ，農業サービス食用耕種農業  $490\text{t-CO}_2$  がこれに次いでいる。農業関連 4 部門を合計すると  $1,622\text{t-CO}_2$  であり，十勝全 65 部門の 13% に相当する。

また，図 2-1 において生産額当たりの  $\text{CO}_2$  排出量の 50 % 以上は域外から排出されていることを述べたが，当然のことながら，総排出量で見ても，50% 以上は域外から波及的に排出されていることがわかる。

表 2-6 全国の耕種農業の面積当たりの CO<sub>2</sub> 排出原単位

| 部門名    | 排出原単位 (t-CO <sub>2</sub> /ha) |                   |
|--------|-------------------------------|-------------------|
|        | $(I-A)^{-1}$                  | $(I-(I-M)A)^{-1}$ |
| 麦類     | 1.621                         | 1.242             |
| いも類    | 3.379                         | 2.621             |
| 豆類     | 0.881                         | 0.674             |
| 砂糖原料作物 | 7.648                         | 5.812             |
| 飼料作物   | 0.397                         | 0.301             |

出典：耕種農業におけるの面積当たりの環境負荷原単，柴田ら（2011）より作成

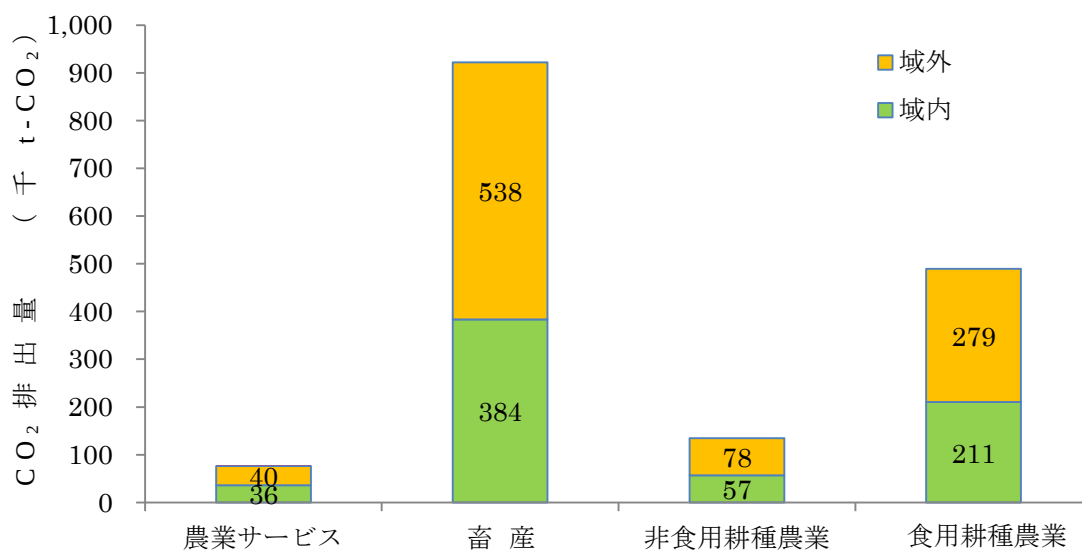


図 2-2 十勝の農業関連 4 部門における CO<sub>2</sub> の総排出量

## 2.4 ま と め

十勝地域における農業生産活動が地域の経済や環境に及ぼす影響を定量に評価するための基礎データとして、十勝の地域産業連関表を利用して、生産額当たりおよび面積当たりのCO<sub>2</sub>排出原単位を推計した。推計結果は以下の通りである。なお、本研究による推定結果の全てを検証することは困難であるが、各部門において直接排出量の実測例を増やしていくことにより、信頼性の向上あるいは結果の要因解明につながるものと考ええる。

- 1) 十勝の食用耕種農業，非食用耕種農業，畜産，農業サービス4部門における生産額当たり移輸入外生型(域外+域内)CO<sub>2</sub>排出原単位は全国値より大きい。
- 2) 一方，食用耕種農業，非食用耕種農業については，移輸入内生型(域内)CO<sub>2</sub>排出原単位は，全国値より少ないことから，十勝の耕種農業は，域外でのCO<sub>2</sub>排出を増加させる傾向が他府県よりも大きいことが示された。
- 3) 耕種農業の面積当たりのCO<sub>2</sub>排出原単位では，畑作4品主体の食用耕種農業が，飼料作主体の非食用耕種農業を3倍以上上回った。
- 4) 十勝の農業関連4部門におけるCO<sub>2</sub>の総排出量は，畜産，食用耕種農業，非食用耕種農業，農業サービスの順に大きく，いずれも50%以上は域外における波及的排出である。

## 第Ⅲ章

### 十勝の畑輪作における BDF 自給利用の可能性

#### 3.1 本章の目的

本章では農業生産現場においても BDF の生産－利用システムが必要と考え、ブロックローテーション方式で輪作を行う畑作農家の耕地の一部に BDF 原料用のナタネを栽培し、そこから得た BDF を、次年度以降、農家で自給利用する農場内炭素循環農法を想定し、生産時の直接 CO<sub>2</sub> 排出(以後、直接排出と記す)量および間接 CO<sub>2</sub> 排出(以後、間接排出と記す)量を推計した。

間接排出については、全国の産業連関表を基に農産物 110 品目について推計を行った研究例(柴田ら, 2011)や、北海道における部門別 CO<sub>2</sub> 排出原単位を推計して全国と比較した研究例(柴田ら, 2011)がある。さらに、特定の生産品目に絞り、その作業体系や使用する資・機材による間接投入・排出を求めた例として、古賀(2004)による十勝地方の主要畑作物生産の環境影響評価や、張ら(2008)によるテンサイの栽培方式の違いによるエネルギー収支および CO<sub>2</sub> 排出量の比較研究がある。農業生産では様々な資・機材が用いられるが、両研究とも、推計対象を簡易的に生産費の中で大きな比重を占める農業機械、農薬、化学肥料それぞれの生産に伴う波及的排出量のみとしている。また、これらの研究は、いずれもある品目の単作を前提としたものである。

ブロックローテーション方式の畑輪作体系では、農業機械は複数の品目間で汎用的に用いられる場合が少なくない。また、機械は経年利用されるのが普通であるが、廃棄までの時間は機種により異なる。さらに、農業機械には自走式作業機とトラクタを動力源とする非自走式作業機とがあり、後者の場合、汎用性と利用年数が異なる機械の組み合わせとなる。品目の作付面積比率も均等ではなく、しかも年により変動する。

間接排出量は、最終的には生産額当たりあるいは生産量当たりの環境負荷量として推計される。一般的には、1つの生産システムを推計対象の単位として扱う。畑作の場合は、輪作の1巡が1つの生産システムである。例えば、4年4作の場合は4年で1つのシステムが完結するので、システムの環境影響は4年間で1単位として評価するのが適当であると考えられ、これにより、はじめて異なる生産システム間の比較が可能になる。そのためには、機械作業の間接負荷量の計算において、上に述べた畑輪作の特徴を反映できる合理的な方法が必要となる。荒木ら(2013)は、ブロックローテーション方式の輪作体系における農業機械作業による間接投入エネルギーおよび間接CO<sub>2</sub>排出量の各品目1作・1ha当たりへの按分方法を提案しており、本研究ではこの手法を踏襲した。本方法は、品目数と輪作1巡年数が一致する場合は、1年間・1ha当たりの間接投入エネルギーおよび間接CO<sub>2</sub>排出量と読み替えることができる。

推計対象として、十勝においてコムギ、テンサイ、バレイショ、ダイズのいわゆる畑作4品をブロックローテーション方式で輪作する標準的な規模のモデル農家を想定した。各作物の面積は、植田らが遺伝的アルゴリズム手法により導き出した、収益性が高く、種々の営農条件を満たした作物の面積比率に従った。

## 3.2 方法

### 3.2.1 CO<sub>2</sub> 排出量の推計法

#### 3.2.1.1 直接 CO<sub>2</sub> 排出量の推計

ほ場における直接 CO<sub>2</sub> 排出量は，農業機械が燃料を燃焼した際に発生する CO<sub>2</sub> 排出量であり，（3-1）式のように面積当たりの燃料消費量に表 3-1 から選択した排出係数を乗じて求めた。面積当たりの燃料消費量は作業時間あたりの燃料消費量および作業能率から求めた。同一作業が複数回ある場合は回数を乗じた。

$$B_i = V_i \cdot \tau \quad (3-1)$$

ここに，

$B_i$ ：農業機械  $i$  の直接 CO<sub>2</sub> 排出量 （ $\frac{\text{kg-CO}_2}{\text{ha}}$ ）

$V_i$ ：農業機械  $i$  の燃料消費量 （L/ha）

$\tau$ ：CO<sub>2</sub> 排出係数（表 3-1[A]欄） （kg-CO<sub>2</sub>/L）

表 3-1 CO<sub>2</sub> 排出係数

[A]直接排出量

| 分類   | 直接 CO <sub>2</sub> 排出量 |      |
|------|------------------------|------|
|      | 排出係数                   | 単位   |
| 軽油   | 2.619                  | kg/L |
| ガソリン | 2.322                  | kg/L |
| 農業機械 | 3.4                    | g/円  |

出典：日本エネルギー学会，2005．バイオマスハンドブック

[B]間接排出量

| 分類   | 間接 CO <sub>2</sub> 排出量 |     |
|------|------------------------|-----|
|      | 排出係数                   | 単位  |
| 農業機械 | 3.4                    | g/円 |

出典：柴田ら，2011．北海道における農業および農業関連産業の CO<sub>2</sub> 排出原単位について

### 3.2.1.2 間 接 CO<sub>2</sub> 排 出 量 の 推 計

#### 1) 自 走 式 作 業 機 を 用 い た 作 業 に よ る 間 接 CO<sub>2</sub> 排 出 量

一般に，ある製品の間接投入エネルギーは(3-2)式から推定できるが，これを輪作体系の中で使用される農業機械に当てはめると，(3-2)式は農業機械を廃棄するまでに投入される間接投入エネルギーの総和と解釈するのが適当である。生産活動のエネルギーや環境影響を分析するためには，この値をさらに品目ごと，面積ごと，1作ごとに按分する必要がある。

$$R = P \cdot \varepsilon \quad (3-2)$$

ここに，

$R$ : 製品の間接投入エネルギー (MJ)

$P$ : 製品の購入者価格 (円)

$\varepsilon$ : 製品のエネルギー原単位 ( $\frac{\text{MJ}}{\text{円}}$ )

表 3-2 に，ブロックローテーション方式の輪作体系で使用される自走式作業機による間接投入エネルギーを整理した。表 3-2 において， $Q_{ij}$ は，品目  $j$  を 1 作分生産するために使用する自走式作業機  $i$  の間接投入エネルギーを示す。自走式作業機  $i$  は他品目の生産にも利用され，また，経年的に利用されることを考慮し，(3-3)式より求める。

$$Q_{ij} = R_i \frac{n_{ij}}{Y_i A_i} = P_i \frac{n_{ij}}{Y_i A_i} \varepsilon_i \quad (3-3)$$

こ こ に

$Q_{ij}$ : 自走式作業機  $i$  の品目  $j$  における 1ha 当たり平均  
年間間接投入エネルギー ( $\frac{\text{MJ}}{\text{年} \cdot \text{ha}}$ )

$R_i$ : 当該機械  $i$  の間接投入エネルギー (MJ)

$Y_i$ : 当該機械  $i$  の省令による耐用年数 (年)

$A_i$ : 当該機械  $i$  の平均年間利用延べ面積 (ha)

$n_{ij}$ : 当該機械  $i$  の品目  $j$  における平均年間作業回数

$P_i$ : 当該機械  $i$  の購入者価格 (円)

$\varepsilon_a$ : 農業用機械のエネルギー原単位 ( $\frac{\text{MJ}}{\text{円}}$ )

$\varepsilon_a$ : 農業用機械のエネルギー原単位 ( $\frac{\text{MJ}}{\text{円}}$ )

(3-3)式では，輪作の1巡年数と品目数が等しいものと想定し，1作毎の按分を1年毎の按分と置き換えている。等しくない場合は， $Q_{ij}$ の単位を  $\frac{\text{MJ}}{1 \text{ 作} \cdot \text{ha}}$  に， $A_i$  および  $n_{ij}$  を1作当たりの利用延べ面積および1作当たりの平均作業回数に置き換えるものとする。

同様に，自走式作業機の間接  $\text{CO}_2$  排出量も (3-4) 式のように産業連関表から求められる  $\text{CO}_2$  排出原単位に自走式作業機  $i$  の購入者価格を乗じて求めることができる。

$$D_{ij} = C_i \frac{n_{ij}}{Y_i A_i} = P_i \frac{n_{ij}}{Y_i A_i} \delta_a \quad (3-4)$$

ここに

$D_{ij}$ : 自走式作業機  $i$  の品目  $j$  における 1ha 当たり平均年間間接  $\text{CO}_2$  排出量 ( $\frac{\text{kg-CO}_2}{\text{年} \cdot \text{ha}}$ )

$C_i$ : 当該機械  $i$  の間接  $\text{CO}_2$  排出量 ( $\text{kg-CO}_2$ )

$\delta_a$ : 農業用機械の間接  $\text{CO}_2$  排出原単位 ( $\frac{\text{kg-CO}_2}{\text{円}}$ )

(3-3)式における  $\varepsilon_a$  および (3-4)式における  $\delta_a$  は，総務庁から公表された 1995 年産業連関表を基に作成された環境負荷単位データブックから参照した(表 3-1[B] 欄)(南齋ら，2002)。農業機械の購入者価格は農業機械指定カ所渡し希望小売価格表(北海道農業機械工業会，2007)を参照した。本表は，メーカーが流通段階に責任を持ち得る税込みの末端希望小売価格であり，農家にとっての実勢価格と言える。

表 3-2 ブロックローテーション方式で用いられる  
農業機械の間接投入エネルギー

| 機械名<br>$i$ | 品目名<br>$j$            |          |          |          |   |   |                                                | 計                     |
|------------|-----------------------|----------|----------|----------|---|---|------------------------------------------------|-----------------------|
|            | 1                     | 2        | 3        | ・        | ・ | ・ | m                                              |                       |
| 1          | $Q_{11}$              | $Q_{12}$ | $Q_{13}$ | ・        | ・ | ・ | $Q_{1m}$                                       | $\sum_{j=1}^m Q_{1j}$ |
| 2          | $Q_{21}$              | ・        |          |          |   |   |                                                |                       |
| 3          | $Q_{31}$              |          | ・        |          |   |   |                                                |                       |
| ・          | ・                     |          |          | $Q_{ij}$ |   |   |                                                |                       |
| ・          | ・                     |          |          |          | ・ |   |                                                |                       |
| ・          | ・                     |          |          |          |   | ・ |                                                |                       |
| n          | $Q_{n1}$              |          |          |          |   |   | ・                                              |                       |
| 計          | $\sum_{i=1}^n Q_{i1}$ |          |          |          |   |   | $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m Q_{ij} = R_i / Y_i$ |                       |

## 2)非自走式作業機を用いた作業による間接 CO<sub>2</sub> 排出量

非自走式作業機による作業の場合は，(5)式のように，非自走式作業機による 1 ha 当たり平均年間間接 CO<sub>2</sub> 排出量に，(3-4)式から得られるトラクタによる 1 ha 当たり平均年間間接 CO<sub>2</sub> 排出量を当該作業の回数に応じて按分した値を加算する。なお，間接 CO<sub>2</sub> 排出原単位は，現状では作業機とトラクタの区別がないので共通の農業用機械の CO<sub>2</sub> 排出原単位  $\delta_a$ を用いる。

$$E_{ij} = C_i \frac{n_{ij}}{Y_i A_i} + C_t \frac{n_{ij}}{Y_t A_t} \bullet \frac{n_{ij}}{n_{ij}} = P_i \frac{n_{ij}}{Y_i A_i} \delta_a + P_t \frac{n_{ij}}{Y_t A_t} \delta_a \quad (3-5)$$

ここに，

$E_{ij}$ : 非自走式作業機  $i$  の品目  $j$  における 1 ha 当たり

平均年間間接 CO<sub>2</sub> 排出量 (  $\frac{\text{kg-CO}_2}{\text{年} \cdot \text{ha}}$  )

$C_i$ : トラクタの間接 CO<sub>2</sub> 排出量 ( kg-CO<sub>2</sub> )

$Y_t$ : トラクタの省令による耐用年数 ( 年 )

$A_t$ : トラクタの平均年間利用延べ面積 ( ha )

$n_{ij}$ : トラクタの品目  $j$  における平均年間作業回数

$P_t$ : トラクタの購入者価格 ( 円 )

### 3.2.2 モデル農家の設定

モデル農家は十勝の標準的な畑作農家を想定し，十勝地方の一戸当たりの平均耕地面積である 38 ha を有し，十勝地方の基幹作物であるコムギ，テンサイ，ダイズ，バレイショの畑作 4 品をブロックローテーションで輪作していることとした(以後，慣行体系)。そして，図 3-1 のように，この農家の圃場の一部に BDF 用作物であるナタネを導入して，そこから BDF を精製し，次年度以降に農家で自給利用する生産体系を想定した(以後，BDF 自給利用体系)。

BDF 自給利用体系を実現するには，慣行体系と同等の収益を確保できることが条件となるが，そのためには，農家の生産条件に沿った収益性や労働条件を満たす必要がある。植田ら(2014)は，遺伝的アルゴリズム (genetic algorithm, 以下 GA と略称する) の手法により，耕地面積，BDF 生産量，所要労働時間および連作障害回避に関する作付条件等を満たし，且つ，収益が最大となる品目の面積比率を導き出した。その結果は，表 3-3 のようにコムギ 17.0 ha，テンサイ 5.7 ha，ダイズ 5.7 ha，バレイショ 8.9 ha，ナタネ 0.7 ha である。本研究では，これを BDF 自給利用体系のモデル農家とし，直接・間接 CO<sub>2</sub> 排出量を推計した。さらに BDF 自給利用体系の収益(粗収入-経費)は 1,817 万円，総労働時間 1,393h である。慣行体系の収益は 1,932 万円，総労働時間 1,331h と比べてみて，BDF 自給利用体系は慣行体系に劣らず，実現可能な生産体系であると言

える。

なお、コムギは秋播き、テンサイは直播、バレイシヨはでん粉原料用とした。ナタネの品種は、畑作4品いずれの後作にも可能な春ナタネ品種キラリボシ（収量200 kg/10 a）を想定した。キラリボシは本来秋まきナタネ品種であるが、近年の試験状況から、今後春まき適性が高いと考えられるため採用した。

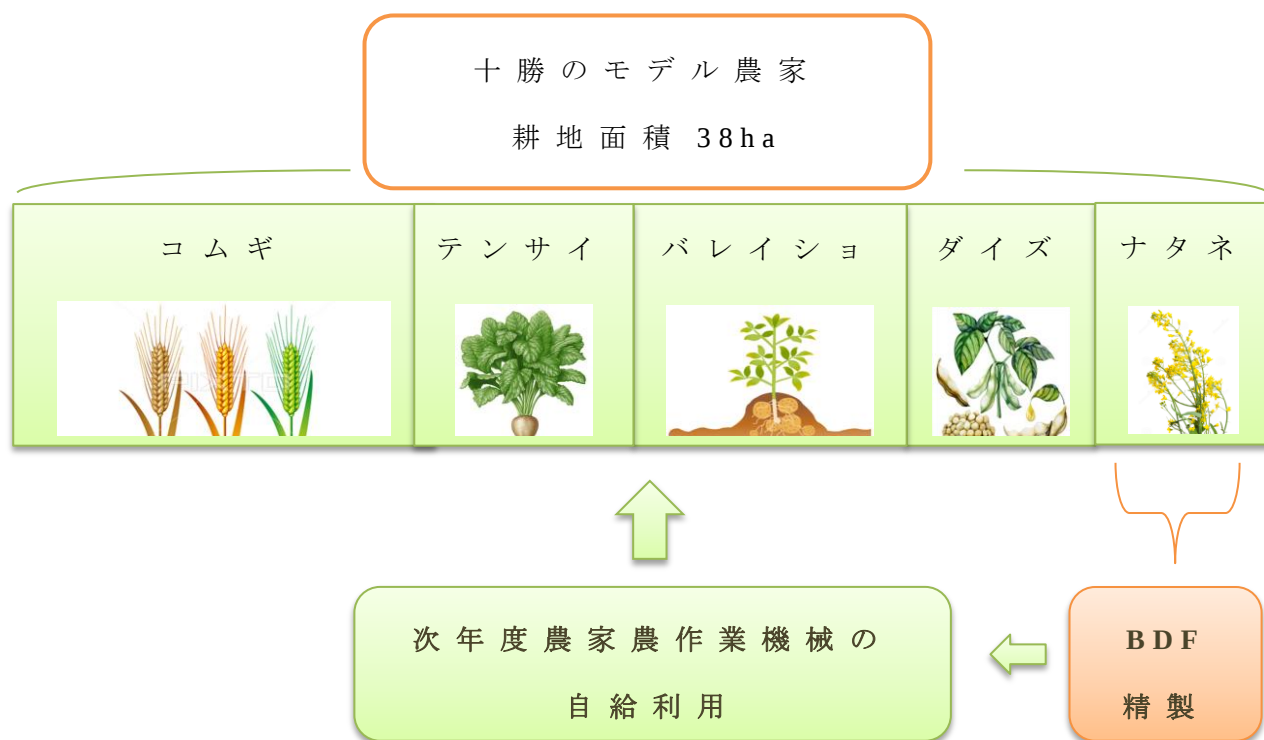


図 3-1 BDF 自給利用モデル農家の概要

表 3-3 十勝における畑作 4 品の作付状況とモデル農  
家における作付面積

| 品 目 目     | 十 勝                |                  | 想 定 農 家                    |                    |
|-----------|--------------------|------------------|----------------------------|--------------------|
|           | 作 付 面 積<br>( h a ) | 作 付 割 合<br>( % ) | 平 均 経 営 面 積<br>( h a / 戸 ) | 作 付 面 積<br>( h a ) |
| コ ム ギ     | 47,700             | 45.1             | 38                         | 17.1               |
| テ ン サ イ   | 29,400             | 27.8             |                            | 10.6               |
| バ レ イ シ ョ | 23,600             | 22.3             |                            | 8.5                |
| ダ イ ズ     | 5,140              | 4.9              |                            | 1.8                |
|           | 105,840            | 100.0            |                            | 38.0               |

出 典：北 海 道 十 勝 総 合 振 興 局，2010.

2010 年 十 勝 の 農 業 資 料 編 6 十 勝 農 業 の 統 計 年 次 表 そ の 2

### 3.2.3 分析範囲

図 3-2 に本研究における CO<sub>2</sub> 発生量の分析範囲を示す。分析対象とした作業は農場内における農作業に限定し，農家から圃場までの資材運搬および収穫物の処理施設までの運搬以降の作業は除外した。この理由は，品目によって収穫後の処理法や処理に要する投入エネルギーが大きく異なるためである。例えば，テンサイは製糖工場に搬入され，砂糖という最終製品になるまで工場内で処理される。しかし，ダイズやコムギは，乾燥，選別工程を施設内で行うものの，多くは加工原料としてさらに他の工場に出荷される。また，でん粉原料は，ダイズやコムギよりも比べ複雑な処理を経た後，加工原料として他の工場に出荷される。それぞれの運搬エネルギーも異なり，4 品を同列に比較するためには，分析範囲を農場内に限定することが望ましい。そのため，図 3-2 に示すようにコムギの乾燥・選別は圃場外で行うこととし，評価から除外した。

表 3-4 に，分析対象とした作業名，および用いられる農業機械とその機械情報を示す。農業機械は経営面積に適合する機種を選択し，その機械情報は北海道農業生産技術体系第 3 版（2005）を参照した。ナタネの新規栽培で使用する作業機は，畑作 4 品で使用する作業機で対応できるため，作業機の新規投入は無い。表 3-3 において，融雪剤散布機，普通型コンバイン以外は非自走式作業機であり，燃料は駆動するトラクタにおいて消費される。また，融雪剤散布機，マニュアルス

プレッタ等，トラクタを含め 10 機種は複数の品目間で使われ，ブームスプレーやおよびトラクタは品目によって作業回数が異なっている。

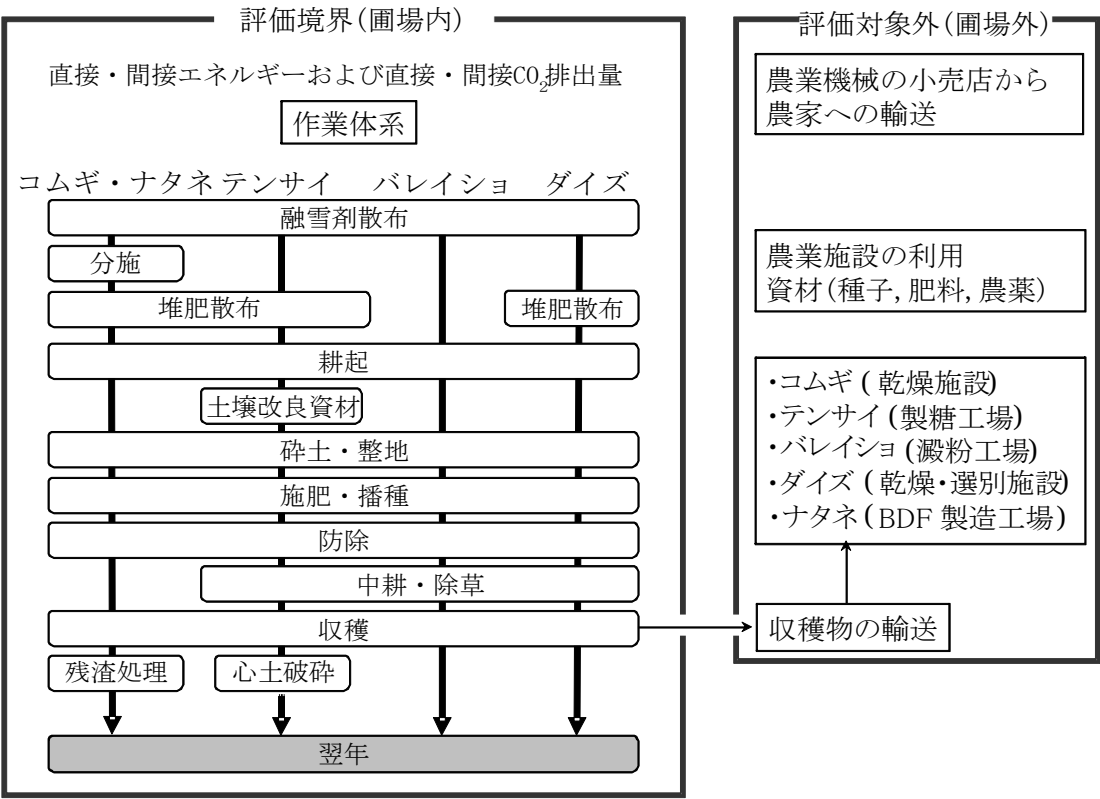


図 3-2 分析対象範囲

表 3-4 作業名，機械名および機械情報

| 作業名    | 機械名       | 機械情報 |        |      |        |            | 作業回数 |      |       |     |
|--------|-----------|------|--------|------|--------|------------|------|------|-------|-----|
|        |           | 燃料消費 | 圃場作業能率 | 作業幅  | 法定耐用年数 | 購入者価格      | コムギ  | テンサイ | バレイショ | ダイズ |
|        |           | L/h  | ha/h   | m    | 年      | 円          |      |      | 回     |     |
| 融雪剤散布  | 融雪材散布機*   | 3.0  | 2.8    | —    | 5      | 1,974,000  | 1    | 1    | 1     | 0   |
| 分施     | ブロードキャスタ  | 8.5  | 4.5    | 16.5 | 5      | 415,800    | 2    | 0    | 0     | 0   |
| 堆肥散布   | マニユアスプレッダ | 8.0  | 1.4    | 3.0  | 5      | 2,205,000  | 1    | 1    | 0     | 1   |
|        | フロントローダ   | 12.0 | —      | —    | 4      | 735,000    | 1    | 1    | 0     | 1   |
| 耕起     | リバーシブルプラウ | 15.0 | 0.7    | 1.4  | 5      | 1,102,500  | 1    | 1    | 1     | 1   |
| 土壌改良資材 | ライムソアー    | 4.5  | 0.8    | 3.0  | 5      | 393,750    | 0    | 1    | 0     | 0   |
| 砕土・整地  | ロータリハロー   | 13.0 | 0.6    | 2.6  | 5      | 991,200    | 2    | 2    | 2     | 2   |
| 施肥・播種  | グレンドリル    | 5.5  | 0.8    | 2.5  | 5      | 1,183,350  | 1    | 0    | 0     | 0   |
|        | 総合施肥播種機   | 5.0  | 0.5    | 2.4  | 5      | 1,512,000  | 0    | 1    | 0     | 1   |
|        | ポテトプランタ   | 5.0  | 0.3    | 1.5  | 5      | 401,100    | 0    | 0    | 1     | 0   |
| 防除     | ブームスプレーヤ  | 8.0  | 4.1    | 16.5 | 5      | 2,478,000  | 6    | 8    | 7     | 6   |
| 中耕・除草  | カルチベータ    | 5.8  | 1.0    | 3.0  | 5      | 280,350    | 0    | 3    | 3     | 3   |
| 収穫     | 普通型コンバイン* | 25.0 | 1.7    | 4.5  | 8      | 15,225,000 | 1    | 0    | 0     | 1   |
|        | ビートハーベスタ  | 7.5  | 0.2    | 0.6  | 5      | 2,635,500  | 0    | 1    | 0     | 0   |
|        | ポテトハーベスタ  | 9.0  | 0.2    | 0.7  | 5      | 3,328,500  | 0    | 0    | 1     | 0   |
| 残さ処理   | ストローチョッパ  | 8.6  | 1.0    | 2.1  | 5      | 981,750    | 1    | 0    | 0     | 0   |
| 心土破碎   | サブソイラ     | 17.0 | 0.6    | 3.0  | 5      | 241,500    | 0    | 1    | 0     | 0   |
| —      | トラクタ      | —    | —      | —    | 8      | 10,447,500 | 15   | 20   | 15    | 15  |

注意 1: \*は自走式作業機

注意 2: トラクタの作業回数は非自走式作業機の合計作業回数

注意 3: 農業機械の耐用年数は平成 20 年の税制改正により 7 年に統一されているが，本研究では他の資料の作成年数との整合性を保つため下記出典に記載された耐応年数を用いた

出典: 作業名，機械名，各機械情報，作業回数は社団法人北海道農業改良普及協会, 2005. 北海道農業生産技術体系 北海道農政部編第 3 版.

購入者価格は社団法人北海道農業機械工学会，2007. 平成 19 年(2007 年)農業機械指定カ所渡し希望小売価格表

### 3.3 結果及び考察

表 3-5 に，輪作体系の中で行われる農作業による 1 作 1 ha 当たりの直接 CO<sub>2</sub> 排出量を 4 品目の慣行体系(以後，慣行体系)およびナタネを取り入れた 5 品目の BDF 自給利用体系(以後，BDF 自給利用体系)別に示す。当然のことながら，同一品目における同一作業の直接 CO<sub>2</sub> 排出量は慣行体系か自給利用体系かに係わらず同一である。直接 CO<sub>2</sub> 排出量の上位を占める作業は，バレイショ収穫，碎土・整地，テンサイ収穫，心土破碎，耕起であり，土の移動を伴うことが共通点である。品目別にみると，1 ha 当たりの直接 CO<sub>2</sub> 排出量は，テンサイ，バレイショ，ダイズ，ナタネ，コムギの順に多かった。

表 3-6 に，農作業による 1 作 1 ha 当たりの間接 CO<sub>2</sub> 排出量を慣行体系，BDF 自給利用体系別に示す。間接 CO<sub>2</sub> 排出量の大きい作業は，各品目の収穫作業である。この理由は，収穫機の購入者価格が高いことに関係し，汎用コンバインはコムギとダイズの汎用利用を想定したにも関わらず最大となった。慣行体系と BDF 自給利用体系を比べると，同一品目における同一作業の間接 CO<sub>2</sub> 排出量は後者が前者より僅かに大きい。これは，最大収益をもたらすよう各品目の面積比率を変えたため，分母となる機械の稼働面積が変動したことによる。品目別にみると，慣行体系では 1 作 1 ha 当たりの間接 CO<sub>2</sub> 排出量は，コムギ，ダイズ，テンサイ，バレイショの順に多かった。BDF 自給利用体系

では，テンサイ，ナタネ，コムギ，ダイズ，バレイシヨの順に多かった。

表 3-7 直接と間接を合わせた 1 ha 当たりの CO<sub>2</sub> 排出量の総計と，直接・間接排出比率を示す。表 3-7 より，1 ha 当たりの総排出量は，慣行体系ではテンサイ 1,130 kg-CO<sub>2</sub>/ha，コムギ 1,044 kg-CO<sub>2</sub>/ha，ダイズ 1,015 kg-CO<sub>2</sub>/ha，バレイシヨ 950 kg-CO<sub>2</sub>/ha の順に大きい。BDF 自給利用体系においても 4 品の順位は同じでテンサイ 1,324 kg-CO<sub>2</sub>/ha，コムギ 992 kg-CO<sub>2</sub>/ha，ダイズ 961 kg-CO<sub>2</sub>/ha，バレイシヨ 945 kg-CO<sub>2</sub>/ha の順に大きい。ナタネは 1077 kg-CO<sub>2</sub>/ha で，テンサイとコムギの間に順位づけられる。

両体系とも，間接 CO<sub>2</sub> 排出量が直接 CO<sub>2</sub> 排出量を上回った。中でも，コムギは間接投入の割合が高く，直接・間接排出比率は，0.42～0.45 と，根菜類であるバレイシヨ，テンサイ 0.58～0.78 に比べて小さい。直接・間接排出比率は直接を間接で除した値であり，その値が小さいほどほ場外における波及的な排出割合が多い生産方式であることを意味する。十勝で 사용되는コムギ収穫用コンバインは海外から輸入される大型機であるため，製造・輸送課程における CO<sub>2</sub> 排出が影響しているものと考えられる。また，本表の結果から，直接投入量のみを用いた環境影響評価では不十分であることが伺われる。

表 3-8 に，十勝のモデル農家一戸当たりに換算した体系別，作業別年間 CO<sub>2</sub> 排出量の総計を示す。表 3-8

は，表 3-5 及び表 3-6 の品目ごとの値に当該品目の作付面積を乗じて，総和をとったものである。表 3-8 において，慣行体系では一農家から 1 年間に 14,518 kg の CO<sub>2</sub> が直接排出される。BDF 自給利用体系では 13,820 kg の CO<sub>2</sub> と僅かに少ない。この理由は，前述したように面積比率の変更に伴う機械の稼働面積の変動によるものである。排出量の多い作業は碎土整地，収穫，耕起作業等，土の移動を伴うものである。

間接 CO<sub>2</sub> 排出量は二つの体系で作業機の購入者価額は同じであるため，年間の CO<sub>2</sub> 排出量は同一である。間接 CO<sub>2</sub> 排出量を作業別にみると，購入者価格の大きい機械の影響が大きく，収穫作業による排出量が群を抜いて多い。

直接と間接を合計した CO<sub>2</sub> 排出量は，直接排出量の差により BDF 自給利用体系がわずかに少ない。それぞれの直接・間接排出比率も，慣行体系が 0.58，BDF 自給利用体系が 0.55 とほぼ同水準である。これらの結果から，ナタネを導入したことによる環境影響は CO<sub>2</sub> の排出量から見る限り無いと言える。

表 3-9 には十勝のモデル農家一戸当たりに換算した品目別 CO<sub>2</sub> 排出量の総計を示す。合計値は表 3-8 と一致する。

表 3-9 から，直接 CO<sub>2</sub> 排出量は，概ね作付面積に依存し，慣行体系ではコムギ，テンサイ，バレイショ，ダイズの順となった。BDF 自給利用体系では，テンサイとダイズが同面積にも係わらず差がみられるが，理

由は 1 ha 当たりの CO<sub>2</sub> 排出量 (表 3-5) が異なるためである。間接 CO<sub>2</sub> 排出量も同じ順序となったが、両体系ともにコムギの排出量の割合が大きい。この理由は、コンバインの購入者価格が高いことが影響しているためである。この結果、モデル農家における各品目の直接、間接を合計した CO<sub>2</sub> 排出量は、全体を 100 % とすると、慣行体系では、コムギ 44.9 %、テンサイ 30.1 %、バレイショ 20.3 %、ダイズ 4.6 % となった。BDF 自給利用体系では、コムギ 42.9 %、テンサイ 19.3 %、バレイショ 21.8 %、ダイズ 14.6 %、ナタネ 1.9 % となった。ナタネの 1 ha 当たりの CO<sub>2</sub> 排出量はコムギに次いで大きい (表 3-7) が、自給利用するために必要な栽培面積は 1.8 % と少ないため、農場単位でみた CO<sub>2</sub> 排出量は少なく、ナタネ導入による環境影響の負担は小さいと考えられる。

なお、本研究では、農家のトラクタ所有台数を 1 台と仮定した。しかし、多くの農家はトラクタを複数所有しており、この場合は間接排出の推定に影響する可能性がある。今後は、トラクタ所有台数の実態を把握するとともに、所有台数を反映するよう算定法を改善する必要がある。

表 3-5 輪作における農業機械作業による体系別、品目別、平均年間、1ha 当たりの直接 CO<sub>2</sub> 排出量

| 作業名    | 直接 CO <sub>2</sub> 排出量<br>(kg-CO <sub>2</sub> /ha) |        |        |        | 直接 CO <sub>2</sub> 排出量<br>(kg-CO <sub>2</sub> /ha) |        |        |        |        |
|--------|----------------------------------------------------|--------|--------|--------|----------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|
|        | コムギ                                                | テンサイ   | バレイショ  | ダイズ    | コムギ                                                | テンサイ   | バレイショ  | ダイズ    | ナタネ    |
| 面積(ha) | 17.1                                               | 10.6   | 8.5    | 1.8    | 16.9                                               | 5.7    | 9      | 5.7    | 0.7    |
| 融雪剤散布  | 2.49                                               | 2.49   | 2.49   | 0      | 2.49                                               | 2.49   | 2.49   | 0      | 2.49   |
| 分肥     | 9.89                                               | 0      | 0      | 0      | 9.89                                               | 0      | 0      | 0      | 0      |
| 堆肥分布   | 14.97                                              | 14.97  | 0      | 14.97  | 14.97                                              | 14.97  | 0      | 14.97  | 14.97  |
| 耕起     | 56.12                                              | 56.12  | 56.12  | 56.12  | 56.12                                              | 56.12  | 56.12  | 56.12  | 56.12  |
| 土壌改良資材 | 0                                                  | 14.73  | 0      | 0      | 0                                                  | 14.73  | 0      | 0      | 0      |
| 碎土・整地  | 113.49                                             | 113.49 | 113.49 | 113.49 | 113.49                                             | 113.49 | 113.49 | 113.49 | 113.49 |
| 施肥・播種  | 18.01                                              | 26.19  | 43.65  | 26.19  | 18.01                                              | 26.19  | 43.65  | 26.19  | 26.19  |
| 防除     | 30.66                                              | 40.88  | 35.77  | 30.66  | 30.66                                              | 40.88  | 35.77  | 30.66  | 10.22  |
| 中耕・除草  | 0                                                  | 45.57  | 45.57  | 45.57  | 0                                                  | 45.57  | 45.57  | 45.57  | 30.38  |
| 収穫     | 38.51                                              | 98.21  | 117.86 | 38.51  | 38.51                                              | 98.21  | 117.86 | 38.51  | 38.51  |
| 残さ処理   | 22.52                                              | 0      | 0      | 0      | 22.52                                              | 0      | 0      | 0      | 22.52  |
| 心土破碎   | 0                                                  | 74.21  | 0      | 0      | 0                                                  | 74.21  | 0      | 0      | 74.21  |
| 合計     | 306.66                                             | 486.86 | 414.95 | 325.51 | 306.66                                             | 486.86 | 414.95 | 325.51 | 389.1  |

表 3-6 輪作における農業機械作業による体系別、品目別、平均年間、1ha 当たりの間接 CO<sub>2</sub> 排出量

| 間接 CO <sub>2</sub> 排出量<br>(kg-CO <sub>2</sub> /ha) |        |        |        |        | 間接 CO <sub>2</sub> 排出量<br>(kg-CO <sub>2</sub> /ha) |        |        |        |        |
|----------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|----------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| 作業名                                                | コムギ    | テンサイ   | バレイショ  | ダイズ    | コムギ                                                | テンサイ   | バレイショ  | ダイズ    | ナタネ    |
| 面積(ha)                                             | 17.1   | 10.6   | 8.5    | 1.8    | 16.9                                               | 5.7    | 9      | 5.7    | 0.7    |
| 融雪剤散布                                              | 37.08  | 37.08  | 37.08  | 0.00   | 41.56                                              | 41.56  | 41.56  | 0.00   | 41.56  |
| 分肥                                                 | 30.79  | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 31.62                                              | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   |
| 堆肥分布                                               | 86.26  | 86.26  | 0.00   | 86.26  | 88.14                                              | 88.14  | 0.00   | 88.14  | 88.14  |
| 耕起                                                 | 26.86  | 26.86  | 26.86  | 26.86  | 27.17                                              | 27.17  | 27.17  | 27.17  | 27.17  |
| 土壌改良資材                                             | 0.00   | 32.39  | 0.00   | 0.00   | 0.00                                               | 54.42  | 0.00   | 0.00   | 0.00   |
| 砕土・整地                                              | 31.99  | 31.99  | 31.99  | 31.99  | 32.63                                              | 32.63  | 32.63  | 32.63  | 32.63  |
| 施肥・播種                                              | 54.18  | 90.04  | 39.22  | 90.04  | 55.06                                              | 92.42  | 37.75  | 92.42  | 92.42  |
| 防除                                                 | 82.00  | 109.33 | 95.66  | 82.00  | 85.84                                              | 114.45 | 100.14 | 85.84  | 28.61  |
| 中耕・除草                                              | 0.00   | 30.50  | 30.50  | 30.50  | 0.00                                               | 31.47  | 31.47  | 31.47  | 20.98  |
| 収穫                                                 | 342.36 | 176.20 | 273.41 | 342.36 | 277.71                                             | 321.86 | 258.93 | 277.71 | 277.71 |
| 残さ処理                                               | 46.17  | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 45.38                                              | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 45.38  |
| 心土破碎                                               | 0.00   | 22.62  | 0.00   | 0.00   | 0.00                                               | 33.10  | 0.00   | 0.00   | 33.10  |
| 合計                                                 | 737.68 | 643.26 | 534.71 | 690.01 | 685.10                                             | 837.21 | 529.65 | 635.37 | 687.69 |

表 3-7 輪作における農業機械作業による体系別，品目別，平均年間，1ha 当たりの CO<sub>2</sub> 排出量

| 作業名                    | 慣行体系<br>(kg-CO <sub>2</sub> /ha) |      |       |      | BDF 自給利用体系<br>(kg-CO <sub>2</sub> /ha) |      |       |      |      |
|------------------------|----------------------------------|------|-------|------|----------------------------------------|------|-------|------|------|
|                        | コムギ                              | テンサイ | バレイショ | ダイズ  | コムギ                                    | テンサイ | バレイショ | ダイズ  | ナタネ  |
| 直接 CO <sub>2</sub> 排出量 | 307                              | 487  | 415   | 326  | 307                                    | 487  | 415   | 326  | 389  |
| 間接 CO <sub>2</sub> 排出量 | 738                              | 643  | 535   | 690  | 685                                    | 837  | 530   | 635  | 688  |
| 合計                     | 1045                             | 1130 | 950   | 1016 | 992                                    | 1324 | 945   | 961  | 1077 |
| 直接/間接                  | 0.42                             | 0.76 | 0.78  | 0.47 | 0.45                                   | 0.58 | 0.78  | 0.51 | 0.57 |

表 3-8 輪作における農業機械作業による体系別，作業別，年間 CO<sub>2</sub> 排出量

| 作業名    | 慣用体系                      |       |                           |       |                           |       | 直接/間接 |
|--------|---------------------------|-------|---------------------------|-------|---------------------------|-------|-------|
|        | 直接                        |       | 間接                        |       | 合計                        |       |       |
|        | (kg-CO <sub>2</sub> /戸・年) | (%)   | (kg-CO <sub>2</sub> /戸・年) | (%)   | (kg-CO <sub>2</sub> /戸・年) | (%)   |       |
| 融雪剤散布  | 90                        | 0.6   | 1,342                     | 5.3   | 1,432                     | 3.6   | 0.07  |
| 分肥     | 169                       | 1.2   | 526                       | 2.1   | 696                       | 1.8   | 0.32  |
| 堆肥分布   | 441                       | 3.0   | 2,545                     | 10.1  | 2,986                     | 7.5   | 0.17  |
| 耕起     | 2,133                     | 14.7  | 1,021                     | 4.0   | 3,153                     | 7.9   | 2.09  |
| 土壌改良資材 | 156.16                    | 1.1   | 343.3                     | 1.4   | 499                       | 1.3   | 0.45  |
| 砕土・整地  | 4,313                     | 29.7  | 1,216                     | 4.8   | 5,528                     | 13.9  | 3.55  |
| 施肥・播種  | 1,004                     | 6.9   | 2,376                     | 9.4   | 3,380                     | 8.5   | 0.42  |
| 防除     | 1,317                     | 9.1   | 3,522                     | 14.0  | 4,839                     | 12.2  | 0.37  |
| 中耕・除草  | 952                       | 6.6   | 638                       | 2.5   | 1,590                     | 4.0   | 1.49  |
| 収穫     | 2,771                     | 19.1  | 10,662                    | 42.3  | 13,433                    | 33.8  | 0.26  |
| 残さ処理   | 385                       | 2.7   | 789                       | 3.1   | 1,175                     | 3.0   | 0.49  |
| 心土破碎   | 787                       | 5.4   | 240                       | 1.0   | 1,026                     | 2.6   | 3.28  |
| 合計     | 14,518                    | 100.0 | 25,220                    | 100.0 | 39,738                    | 100.0 | 0.58  |

表 3-8 つづき

| 作業名    | BDF 自給利用体系                |       |                           |       |                           |       | 直接/間接 |
|--------|---------------------------|-------|---------------------------|-------|---------------------------|-------|-------|
|        | 直接                        |       | 間接                        |       | 合計                        |       |       |
|        | (kg-CO <sub>2</sub> /戸・年) | (%)   | (kg-CO <sub>2</sub> /戸・年) | (%)   | (kg-CO <sub>2</sub> /戸・年) | (%)   |       |
| 融雪剤散布  | 80                        | 0.6   | 1,342.32                  | 5.3   | 1,423                     | 3.6   | 0.06  |
| 分肥     | 167                       | 1.2   | 534.38                    | 2.1   | 702                       | 1.8   | 0.31  |
| 堆肥分布   | 434                       | 3.1   | 2,555.96                  | 10.1  | 2,990                     | 7.7   | 0.17  |
| 耕起     | 2,133                     | 15.4  | 1,032.61                  | 4.1   | 3,165                     | 8.1   | 2.07  |
| 土壌改良資材 | 84                        | 0.6   | 310.19                    | 1.2   | 394                       | 1.0   | 0.27  |
| 碎土・整地  | 4,313                     | 31.2  | 1,239.83                  | 4.9   | 5,552                     | 14.2  | 3.48  |
| 施肥・播種  | 1,014.04                  | 7.3   | 2,388.5                   | 9.5   | 3,403                     | 8.7   | 0.42  |
| 防除     | 1,255.08                  | 9.1   | 3,513.53                  | 13.9  | 4,769                     | 12.2  | 0.36  |
| 中耕・除草  | 950.91                    | 6.9   | 656.69                    | 2.6   | 1,608                     | 4.1   | 1.45  |
| 収穫     | 2,517.9                   | 18.2  | 10,635.59                 | 42.2  | 13,153                    | 33.7  | 0.24  |
| 残さ処理   | 396.41                    | 2.9   | 798.62                    | 3.2   | 1,195                     | 3.1   | 0.50  |
| 心土破碎   | 474.91                    | 3.4   | 211.87                    | 0.8   | 687                       | 1.8   | 2.24  |
| 合計     | 13,820.03                 | 100.0 | 25,220.09                 | 100.0 | 39,040                    | 100.0 | 0.55  |

表 3-9 輪作における農業機械作業による体系別，品目別，年間 CO<sub>2</sub> 排出量

| 品目名   | 慣行体系 |      |                           |       |                           |       |                           |       | 直接/間接 |
|-------|------|------|---------------------------|-------|---------------------------|-------|---------------------------|-------|-------|
|       | 面積   |      | 直接                        |       | 間接                        |       | 合計                        |       |       |
|       | (ha) | (%)  | (kg-CO <sub>2</sub> /戸・年) | (%)   | (kg-CO <sub>2</sub> /戸・年) | (%)   | (kg-CO <sub>2</sub> /戸・年) | (%)   |       |
| コムギ   | 17.1 | 45.0 | 5,244                     | 36.1  | 12,614                    | 50.0  | 17,858                    | 44.9  | 0.42  |
| テンサイ  | 10.6 | 27.9 | 5,161                     | 35.5  | 6,819                     | 27.0  | 11,979                    | 30.1  | 0.76  |
| バレイショ | 8.5  | 22.4 | 3,527                     | 24.3  | 4,545                     | 18.0  | 8,072                     | 20.3  | 0.78  |
| ダイズ   | 1.8  | 4.7  | 586                       | 4.0   | 1,242                     | 4.9   | 1,828                     | 4.6   | 0.47  |
| ナタネ   | —    | —    | —                         | —     | —                         | —     | —                         | —     | —     |
| 合計    | 38   | 100  | 14,518                    | 100.0 | 25,220                    | 100.0 | 39,738                    | 100.0 | 0.58  |

| BDF 自給利用体系 |      |       |                           |       |                           |       |                           |       |       |
|------------|------|-------|---------------------------|-------|---------------------------|-------|---------------------------|-------|-------|
| 品目名        | 面積   |       | 直接                        |       | 間接                        |       | 合計                        |       | 直接/間接 |
|            | (ha) | (%)   | (kg-CO <sub>2</sub> /戸・年) | (%)   | (kg-CO <sub>2</sub> /戸・年) | (%)   | (kg-CO <sub>2</sub> /戸・年) | (%)   |       |
| コムギ        | 16.9 | 44.5  | 5,183                     | 37.5  | 11,578                    | 45.9  | 16,761                    | 42.9  | 0.45  |
| テンサイ       | 5.7  | 15.0  | 2,775                     | 20.1  | 4,772                     | 18.9  | 7,547                     | 19.3  | 0.58  |
| バレイショ      | 8.9  | 23.4  | 3,735                     | 27.0  | 4,767                     | 18.9  | 8,501                     | 21.8  | 0.78  |
| ダイズ        | 5.7  | 15.0  | 1,855                     | 13.4  | 3,622                     | 14.4  | 5,477                     | 14.0  | 0.51  |
| ナタネ        | 0.7  | 1.8   | 272                       | 2.0   | 481                       | 1.9   | 754                       | 1.9   | 0.57  |
| 合計         | 38   | 100.0 | 13,820                    | 100.0 | 25,220                    | 100.0 | 39,040                    | 100.0 | 0.55  |

### 3.4 ま と め

コムギ，テンサイ，バレイショ，ダイズのいわゆる畑作 4 品をブロックローテーション方式の輪作により生産する 38 ha のモデル農家の耕地の一部に，BDF 原料用のナタネを栽培し，そこから得た BDF を，次年度以降，農家で自給利用する農場内炭素循環農法を想定し，生産時の CO<sub>2</sub> 直接排出量および CO<sub>2</sub> 間接排出量を推計して慣行体系と比較した。

各作物の面積は，遺伝的アルゴリズム手法により導き出した，種々の営農条件を満たし，収益性が最も高くなる作物の面積比率に従った。

本章では，以下の点が明らかになった。

- 1) 直接 CO<sub>2</sub> 排出量は，土の移動を伴う耕うん，心土破碎，根菜類収穫等，土の移動を要する作業工程で大きいのに対し，間接投入・排出は購入者価格の高い収穫機等を用いる作業が大きい。
- 2) 慣行体系，BDF 自給利用体系ともに，間接 CO<sub>2</sub> 排出量が直接 CO<sub>2</sub> 排出量を上回った。中でも，コムギは間接投入の割合が高く，波及的な環境負荷が大きい。
- 3) ナタネの 1 ha 当たりの CO<sub>2</sub> 排出量はコムギに次いで大きい，自給利用するために必要な栽培面積は 1.8 % と少ないため，農場単位でみた CO<sub>2</sub> 排出量は 1.9 % と僅かである。
- 4) BDF 自給利用体系におけるモデル農家 1 戸がもたらす環境負荷のおよそ 43 % はコムギ作によるものである。その理由は，作付面積の多さと収穫機の価

格が影響して間接負荷を大きくしているためである。

- 5) 直接排出と間接排出を合計したモデル農家 1 戸当たりの  $\text{CO}_2$  排出量は、慣行体系では 39,738 kg- $\text{CO}_2$ 、BDF 自給利用体系では 39,040 kg- $\text{CO}_2$  とほぼ同水準であり、ナタネ生産を加えることによる  $\text{CO}_2$  排出量への影響はない。

## 第Ⅳ章

### 十勝地域におけるバイオ燃料の自給利用の可能性

#### 4.1 本章の目的

本章の目的は、北海道十勝地域において、バイオ燃料を地域内で製造・消費することを想定し、産業連関分析によりその経済効果とCO<sub>2</sub>排出量を推計する。具体的には、コムギ生産から発生する規格外コムギを原料にバイオエタノール燃料（BEF）を製造する場合と、新規栽培するナタネからバイオディーゼル燃料（BDF）を製造する場合という2つのシナリオを想定し、これらを比較した。

北海道の十勝地域は日本を代表する大規模畑作地帯である。この地域で栽培される作物を原料としてバイオ燃料を生産し地域内で消費すれば、環境負荷の低減のみならず、作物生産需要の増大、バイオ燃料製造部門の創設による地域経済の活性化等が期待できる。

作物由来の代表的なバイオ燃料としては、ガソリンの代替となるBEF（Bio Ethanol Fuel）と、軽油の代替となるバイオディーゼル燃料BDF（Bio Diesel Fuel）がある。

日本で認められているBEFのガソリンへの混合容積率は特別な例を除き3%（E3）である（経済産業省資源エネルギー庁，2014）。十勝では、BEFの原料となるテンサイやコムギが生産されており、清水町の製糖工場にはバイオエタノール製造の実験プラントが併設され、テンサイおよび規格外コムギを対象に技術的な評価試験が行われてきた（十勝圏振興機構，2005）。

BDF を軽油に混合できる上限割合は日本では 5 % (B5) と定められている。BDF の原料はナタネ，ヒマワリ等の油糧作物だが，十勝では食用として栽培されているのみで，BDF 原料用としての栽培実績は最近ではみられない。しかし，十勝には廃食油を回収し，BDF として精製・販売する民間会社があり毎年その生産を増やしている（植田ら，2014）。また，近年の化石燃料価格の高騰や環境への配慮から BDF の利用拡大が図られ，諸外国で見られるような，油糧作物から直接 BDF 燃料を製造する機運が高まっている。

これまで食糧として生産されてきた作物を燃料として利用したり，原料用の作物を新規に生産するためには，作物生産体系の変更，燃料製造工場の運営など，多くの変革が必要になり，これに伴う経済や雇用および環境への影響を予め予測することが重要である。生産活動のエネルギー収支や環境影響を評価する方法としては，インベントリ分析を基軸とする LCA 手法の適用が一般的になりつつあるが，これらの方法は生産現場における直接投入，直接排出を主な算定対象としており，一部の生産活動が活発化することに伴う他の産業部門への波及効果や間接的な環境影響は算定の範囲外となることが多い。本研究では，十勝地域で栽培可能な作物からバイオ燃料を生産し，地域内で消費する内燃機関用燃料の代替燃料として利用することを想定し，この生産利用システムが十勝地域内の経済や CO<sub>2</sub> 排出量にどのような影響を与えるかについて，産業連関分析により定量的な分析を試みた。

## 4.2 方法

### 4.2.1 バイオ燃料生産のためのシナリオ

十勝地域内に BEF, BDF それぞれの生産工場を設立し、地域外から購入したガソリンおよび軽油に混ぜ、BEF からは E3 燃料を、BDF からは B5 燃料を製造することを想定した。製造量は十勝管内で消費するガソリンおよび軽油に代替できる量とし、地域外での販売は行わないものとした。

表 4-1 に BEF および原料作物の生産量に関する条件を示す。表 1 において、BEF 需要量 9,490 kL は、2005 年に十勝地域で販売されたガソリン 210,300 kL の法定混合容積率 3% 分を熱量等価で換算した値である。BEF の原料としては、テンサイに比べ購入価格が安価で、水分調整がされているため貯蔵性に優れる規格外コムギを想定した。規格外コムギは共同乾燥調整施設における選別工程で発生する。十勝地域では 1 年間におよそ 27,000 t 発生する。27,000 t の発生量のうち 22,090 t を BEF 原料として供すれば BEF 需要量 9,490 kL を満たすことができる。ただし、現状では、規格外コムギの大部分は家畜飼料の原料として利用されているので、これらを燃料用に回せば、家畜飼料を地域外から購入するか、新たなコムギ生産が必要になる。本研究ではこの現状に基づいて、およそ 4 億 4000 万円の飼料輸入を行うことを想定した。BEF の販売単価は、十勝において規格外コムギから BEF を製造することを想定した（財）十勝圏振興機構（2005）による試算結果を引用した。

表 4-2 に BDF および原料作物の生産量に関する条件を示す。BDF 需要量 6,646 kL は、2005 年に十勝地域で販売さ

れた軽油 125,150 kL の法定混合容積率 5 % 分を熱量等価で換算した値である。BDF の原料としてのナタネを新規に栽培することを想定した。この理由は、十勝の畑輪作にナタネを組み込んでも、新たな農業機械等の整備の必要がなく（植田ら，2014）農家の負担は少ないためである。ナタネの子実収量は北海道立十勝農業試験場(2009)が実施した、秋まきナタネの栽培実態調査における帯広市の調査結果から 350 kg/10a と設定した。搾油率は小野ら（2007）、野中（2009）の例を参考に 30 %（圧搾法）と設定すると、ナタネを新規栽培するために必要な耕地面積は 6,329 ha となる。これは十勝の耕地面積の約 2.48 % に相当し、農家 1 戸当たりでは凡そ 0.9 ha の栽培面積となるが、畑輪作の作付体系を工夫すれば労働時間、機械装備、収益面で農家の負担増にはならない（植田ら，2014）。BDF の販売単価は、十勝地域内の民間企業において原料となる乾燥済みナタネを購入し精製することを想定した植田ら（2014）による試算値を用いた。バイオ燃料は法律に適合する施設にて製造および化石燃料との混合が行われ、既存の燃料スタンドに運ばれ販売されるものとした。

また、燃料製造のためには工場が必要であり、その建設には経費や雇用を要するが、本研究では算定に含めず、労賃を含む工場での生産に係わる経費のみを算定対象とした。工場建設に係わる負荷を評価対象に含めるためには、建屋や製造用機器の減価償却費を産業連関表に反映させる必要があるが、そのためにはこれらの耐用年数を把握する必要がある、今後の課題である。

表 4-1 BEF および原料作物に関する条件

|                   |         |                     |
|-------------------|---------|---------------------|
| 十勝地域ガソリン販売量（2006） | 210,300 | kL <sup>*1</sup>    |
| BEF 需要量           | 9,490   | kL <sup>*2</sup>    |
| 規格外コムギ年間需要量       | 22,090  | t <sup>*2</sup>     |
| BEF 販売単価          | 98      | 円 / L <sup>*3</sup> |

\*1 大深ら（2007） \*2 計算による

\*3 十勝圏振興機構（2005）

表 4-2 BDF および原料作物に関する条件

|                 |         |                      |
|-----------------|---------|----------------------|
| 十勝地域軽油販売量（2006） | 125,150 | kL <sup>*1</sup>     |
| BDF 需要量         | 6,646   | kL <sup>*2</sup>     |
| ナタネ収量           | 350     | kg/10a <sup>*3</sup> |
| 所要面積            | 6,329   | ha <sup>*4</sup>     |
| BDF 販売単価        | 125     | 円 / L <sup>*5</sup>  |

\*1 農林水産省（2006），\*2 計算による

\*3 北海道立十勝農業試験場（2009）

\*4 十勝耕地面積の 2.48 %，\*5 植田ら（2014）

## 4.2.2 新たな産業連関表の作成

### 4.2.2.1 供試産業連関表

本研究では，第Ⅱ章で供試した 2005 年十勝取引基本表 65 部門表を元表（以後，十勝表と記す）として，図 4-1 のように BEF 製造部門と BDF 製造部門を加えた新たな 2 つの 66 部門産業連関表（以後，新十勝表 BEF および新十勝表 BDF と記す）を作成した。十勝表は，5 年毎に公表される産業連関表の現時点における最新版であり，地域産業連関表としては産業を最も細分化している。65 部門のうち，農業関連部門は，食用耕種農業，非食用耕種農業，畜産，農業サービスの 4 部門である。

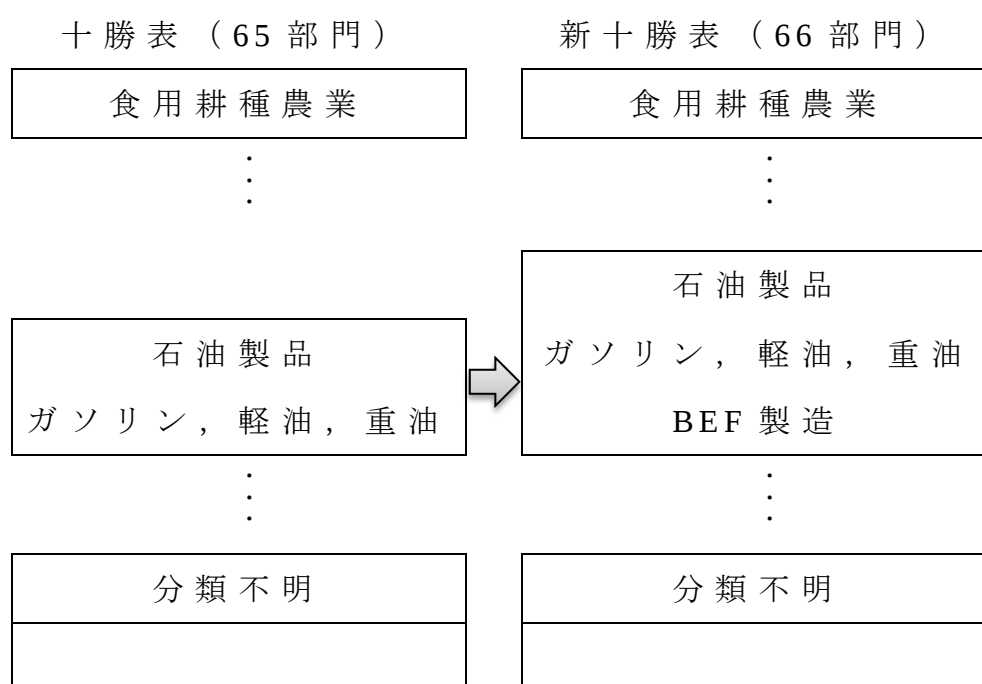


図 4-1 バイオ燃料を新しい部門として加えた新十勝表  
（BEF の例）

#### 4.2.2.2 投入・需要構成の決定

バイオ燃料部門の投入構成と需要構成は，以下のように決定した。なお，BEF，BDF それぞれの製造過程で生じる残渣物は家畜の飼料として利用する可能性があるが，現段階ではその価値や流通方式が確定できないため，今回は副産物として産業連関表に組み入れなかった。

##### 1) バイオ燃料部門の投入構成

BEF については，規格外コムギを原料とする BEF 生産に必要な投入額の内訳について十勝圏振興機構（2005）が行った調査例がある。本調査例は，原料の購入，輸送，製造工程のなかで占める主要な 4 品目（規格外コムギ，電力，重油，薬品）の投入額について調査しており，本研究ではこの値を産業連関表に反映した。表 4-3 に具体的金額を示す。実際には，これら 4 品目以外にも多くの投入が必要となるが，詳細な算定は困難である。そこで，他の部門については，林ら（2009）の方法と同様に，十勝表において BEF の代替対象であるガソリンの属する石油製品部門の投入構造を適用し，投入係数行列によって生産額を按分した。投入係数行列は技術係数行列とも呼ばれ（総務省，2005），ある部門の 1 単位の生産に必要な各部門から投入される原材料の量を表す。投入係数行列は，各分野の生産規模が比例的に変化しても変わらないが，技術革新や新技術の導入により特定の産業分野のみの生産規模が変化すれば，全分野にわたり変化する。

同様に，ナタネを原料とする BDF 生産についても，滝川市による試算例（滝川市，2007）を参考に，表 4-4 に示す

主要 4 品目の投入額を産業連関表に反映し，他の部門は十勝表の石油製品部門の投入構造に従って投入係数行列によって生産額を按分した。

以上のように，投入構成の主要品目以外は十勝表の石油製品部門の構成を参考に按分したが，バイオ燃料部門と石油製品部門との間に明確な相違がある部分は按分結果に関わらず別途修正した。具体的には，BEF および BDF は非課税のため，税金はゼロとした（国税庁・消費税室，2011）。

表 4-3 BEF 生産のための主たる投入費目と投入額

| 投入品目                 | 部門名    | 単価          | 投入総額<br>(百万円) |
|----------------------|--------|-------------|---------------|
| 規格外コムギ <sup>*1</sup> | 食用耕種農業 | 20716 円/t   | 459.3         |
| 電力 <sup>*2</sup>     | 電力     | 11.12 円/kwh | 49.7          |
| 重油 <sup>*3</sup>     | 石油製品   | 19 円/L      | 36.4          |
| 薬品 <sup>*1</sup>     | その他食料品 | 27.2 円/L    | 64.3          |
| 合計                   |        |             | 609.7         |

\*1 十勝圏振興機構（2005），\*2 北海道電力（2005）

\*3 石油情報センター

表 4-4 BDF 生産のための主な投入品目と投入額

| 投入品目                | 部門名    | 単価                  | 投入総額<br>(百万円) |
|---------------------|--------|---------------------|---------------|
| ナタネ購入 <sup>*1</sup> | 食用耕種農業 | 101.2 円/kg          | 3002.4        |
| 電力 <sup>*2</sup>    | 電力     | 11.12 円/kwh         | 10.8          |
| 水道 <sup>*3</sup>    | 水道     | 80 円/m <sup>3</sup> | 0.8           |
| 薬品 <sup>*4</sup>    | その他食料品 | 75 円/L              | 94.7          |
| 合計                  |        |                     | 3108.7        |

\*1 植田ら（2014），\*2 北海道電力（2005）

\*3 帯広水道部（2014）\*4 ERC 社（2012）

## 2) バイオ燃料部門の需要構成の決定

需要構成の決定方法については、バイオ燃料の生産額を石油製品部門の需要構成に従って機械的に内生部門と最終需要部門に亘って按分する研究例（林ら，2009）と，最終需要部門のみに配分する研究例がある（林，2010）。本研究では，生産されたバイオ燃料がガソリンもしくは軽油に混合して域内で販売され，他の製品の材料としたり，域外へ移・輸出したりすることを想定していない。従って，その需要先は，最終需要部門における家計外消費支出，民間消費支出などであり，林（2010）の研究例と同様に十勝表の石油製品部門の最終需要部門の構成に従って按分した。

十勝表では畜産部門が規格外コムギを購入するように設定されている。これに対して新十勝表では，畜産部門のかわりにバイオ燃料製造部門が規格外コムギを購入するように変更した。この畜産部門の需要不足に対して，新たな飼料輸入を設定した。BDF に関しては，ナタネは新規に栽培するため，食用耕種農業部門にナタネの新規需要額 30 億 200 万円を追加した。BEF，BDF の使用によるガソリンおよび軽油の代替分は，移入から減額した。

### 3)新産業連関表の修正とバランス調整

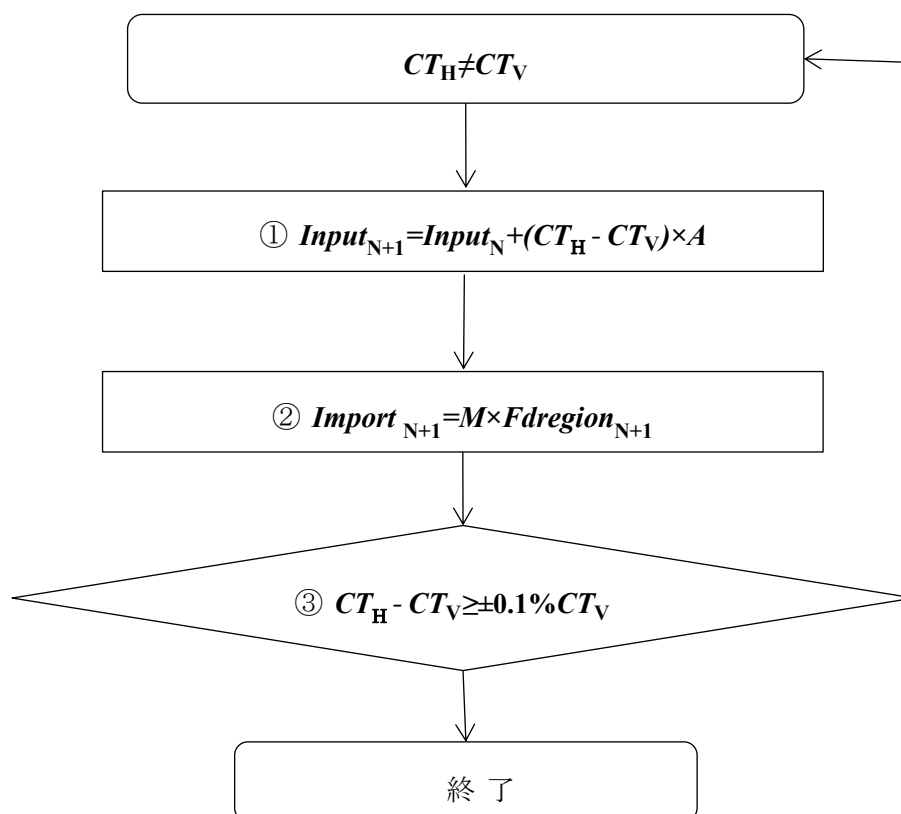


図 4-2 バランス調整の方法

$CT$  : 域内生産額

$Fdregion$  : 域内最終需要

$H$  : ヨコ

$Input$  : 投入額

$V$  : タテ

$Import$  : 移輸入額

$A$  : 投入係数

$N$  : 部門番号

$M$  : 輸入係数

以上の変更に伴い、産業連関表の縦と横のバランスが崩れたため、縦と横の域内生産額の差が全ての産業分野において $\pm 0.1$  %の範囲に入り、かつ投入係数行列は変化しないように調整した。本研究のシナリオ設定では、バイオ燃料部門の新設により経済活動の規模は変わるが、新規の技術導入は特に必要ないため投入係数行列は変化しないものとして調整した。バランス調整の具体的方法を図 4-2 に示す。図 4-2 において、①縦と横の域内生産額の差額を投入係数行列に応じて縦方向（内生部門と付加価値部門）に按分し差額を 0 にする。すると横方向の内生需要が変わるので、②変化した内生需要を満たすように移輸入係数行列に従って移輸入額を変える。これによって、再び縦と横に差額が生じるが、元の差額よりは縮小される。この操作を繰り返して、③縦と横の域内生産額の差が全て $\pm 0.1$  %の範囲に入るように調整した。バランス調整の方法として、付加価値部門のみを調整した報告例（林ら，2009）があるが、本方法では、付加価値部門だけでなく投入係数行列に応じて内生部門と移輸入部門も調整対象とするので、投入係数行列および移輸入係数行列が変わらないという利点がある。

### 4.2.3 分析方法

#### 4.2.3.1 生産誘発額の推計

作成した 2 つの産業連関表から投入係数行列  $A$  および移輸入係数行列  $M$  を求め、移輸入外生型レオンチェフ逆行列  $(I-A)^{-1}$  と移輸入内生型レオンチェフ逆行列  $(I-(I-M)A)^{-1}$  を算出した。この場合の域内とは、十勝地域内であり、域外とは十勝地域を除く都道府県および海外を指す。さらに、式 (4-1)、式 (4-2) に従って、バイオ燃料部門に最終需要が生じた場合の生産誘発額を移輸入外生型、内生型それぞれについて算定した。

$$P_{all}=(I-A)^{-1} \cdot D_f \quad (4-1)$$

$$P_{in}=(I-(I-M)A)^{-1} \cdot D_f \quad (4-2)$$

次に、域外への波及量を知るために、式 (4-3) のように、 $P_{all}$  と  $P_{in}$  との差を求め、これを域外生産誘発額  $P_{out}$  ベクトルとした。

$$P_{out}=P_{all}-P_{in} \quad (4-3)$$

ここに、

$I$  : 単位行列

$A$  : 投入係数行列

$M$  : 移輸入係数行列

$P_{all}$  : 移輸入外生型生産誘発額ベクトル

$P_{in}$  : 移輸入内生型生産誘発額ベクトル

$P_{out}$  : 域外へ波及する生産誘発額ベクトル

$D_f$  : 部門別最終需要ベクトル

また，式（4-4），式（4-5）により，直接生産誘発効果  $P_d$  と間接生産誘発効果  $P_i$  を求めた。直接生産誘発効果は，バイオ燃料の最終需要そのものを生産するための域内の生産額の増加分である。間接生産誘発効果は，域内外を問わず，直接的生産により間接的に誘発される生産額を示す。

$$P_d = D_f(I - M) \quad (4-4)$$

$$P_i = P_{all} - P_d \quad (4-5)$$

ここに，

$P_d$  : 直接生産誘発額ベクトル

$P_i$  : 間接生産誘発額ベクトル

#### 4.2.3.2 CO<sub>2</sub> 排出原単位

式（4-6）および式（4-7）に従って移輸入外生型，内生型の二つの原単位を算定した。

$$C_{all}=C_d \cdot (I-A)^{-1} \quad (4-6)$$

$$C_{in}=C_d \cdot (I-(I-M)A)^{-1} \quad (4-7)$$

上式の  $C_d$  について，十勝地域の部門別の CO<sub>2</sub> 直接排出量に関する 1 次データは見当たらないが，十勝地域における全ての産業を経済産業省による新総合エネルギー統計部門分類による 10 部門に大別し，それぞれの直接 CO<sub>2</sub> 排出量を調査した結果が公表されている（環境自治体会議環境政策研究所，2005）。本研究では，新総合エネルギー統計部門分類と産業連関表の部門分類の基礎となっている日本標準産業分類との対応関係（経済産業研究所，2010）に従って，これら 10 部門と産業連関表の大分類 34 部門は表 4-5 に示す対応関係にあるとみなした。そして，表 4-5 に基づき CO<sub>2</sub> 直接排出量を新十勝表 BEF および新十勝表 BDF における部門別生産額に応じて按分し，生産額 100 万円当たりの部門別 CO<sub>2</sub> 直接排出量ベクトルとした。

域外に波及する CO<sub>2</sub> 排出原単位を知るために，式（4-8）のように， $C_{all}$  と  $C_{in}$  の差を求め，これを域外へ波及する CO<sub>2</sub> 排出量ベクトル  $C_{out}$  とした。

$$C_{out}=C_{all}-C_{in} \quad (4-8)$$

ここに,

$I$  : 単位行列

$A$  : 投入係数行列

$M$  : 移輸入係数行列

$C_{all}$ : 移輸入外生型 CO<sub>2</sub> 排出原単位ベクトル

$C_{in}$ : 移輸入内生型 CO<sub>2</sub> 排出原単位ベクトル

$C_d$ : 生産額当たりの部門別 CO<sub>2</sub> 直接排出量ベクトル

さらに,  $C_{in}$ および $C_{out}$ に $D_f$ を乗じて, 域内・外で誘発される CO<sub>2</sub> 排出量を得た。

表 4-5 直接 CO<sub>2</sub> 排出量

| 調査された<br>10 部門 | 直接 CO <sub>2</sub> 排出量<br>(万 t-CO <sub>2</sub> ) | 対応する産業連関表大分類<br>(34 部門) |
|----------------|--------------------------------------------------|-------------------------|
| 製造業            | 38.863                                           | 飲食料品，繊維製品，全 16<br>部門    |
| 非製造業           | 18.903                                           | 農林水産業，鉱業，建設業            |
| 民生家庭           | 26.301                                           | 電力・ガス・熱供給，<br>他 12 部門   |
| 民生業務           | 16.594                                           |                         |
| エネルギー転換        | 0.051                                            | 電力                      |
| 自動車別           | 29.663                                           | 運輸                      |
| 航空別            | 1.178                                            |                         |
| その他            | 1.26                                             |                         |
| 工業プロセス         | 0                                                | -                       |
| 廃棄物            | 1.261                                            | 水道・廃棄物処理                |
| 合計             | 134.074                                          |                         |

出典：（環境自治体会議政策研究所，2005）の資料より作成

## 4.3 結果および考察

### 4.3.1.生産誘発効果

表 4-6 に BEF, BDF それぞれの自給・利用による生産誘発額を域内, 域外に分けて示す。需要百万円当たりの生産誘発額をみると, BEF の域内・外の合計が 243 万円であるのに対し, BDF の合計は 784 万円と, BDF は BEF のおおよそ 3.2 倍の波及効果があることが示された。この理由は, BEF では規格外コムギを原料に供し, 新たなコムギ栽培を要しない前提としたのに対し, BDF では新規のナタネ栽培により経済活動が活発化し, 大きな波及効果が生じたためと考えられる。BEF についてもコムギやテンサイを新規に栽培すると仮定すれば, 波及効果はより大きくなる可能性がある。

表 4-6 バイオ燃料製造による生産誘発額 (百万円)

|     | 需要百万円当たりの<br>生産誘発額 |      |      | 設定需要による<br>生産誘発額 |       |       |
|-----|--------------------|------|------|------------------|-------|-------|
|     | 域内                 | 域外   | 合計   | 域内               | 域外    | 合計    |
| BEF | 1.54               | 0.89 | 2.43 | 1,439            | 828   | 2,268 |
| BDF | 4.32               | 3.52 | 7.84 | 3,590            | 2,928 | 6,518 |

表 4-6 における設定需要による生産誘発額とは，本研究で前提とした需要（表 4-1，表 4-2）により誘発される生産額を示し，BEF の場合は域内で 14 億 3900 万円，域外で 8 億 2800 万円，合計 22 億 6700 万円が誘発される。この値は，平成 17 年度の十勝の全産業部門における生産額の約 0.3 %に相当する。同様に，BDF の自給・利用による生産誘発額は，域内で 35 億 9000 万円，域外で 29 億 2800 万円であり，合計は十勝の全産業部門における生産額の約 1.0 %に当たる 65 億 1800 万円と推定される。

BEF，BDF とともにバイオ燃料を自給・利用することによりもたらされる効果は，域外よりも域内で大きいことが示された。表 4-7 には生産誘発額の部門別割合を域内，域外別に示す。BEF の場合，域内生産誘発額の割合は全生産誘発額のおよそ 63.5 %を占め，このうち耕種農業部門への波及効果は全生産誘発額の 14.6 %を占める。BDF の場合域内への誘発効果は，全生産誘発額の 55.1 %であり，耕種農業部門への波及効果は 32.9 %と大きく，農業生産の活性化につながると考えられる。図 4-3 には，BEF，BDF それぞれの自給・利用による生産誘発額を直接，間接別に示す。直接と間接の和は，表 4-6 における域内，域外の合計値と一致する。本図から，バイオ燃料の自給・利用により波及する間接的な生産誘発効果は直接投入よりも大きく，BEF では約 1.4 倍であった。BDF ではさらに大きく約 6.8 倍であることから，ナタネを新規栽培することにより間接的波及効果がより大きくなることが示された。

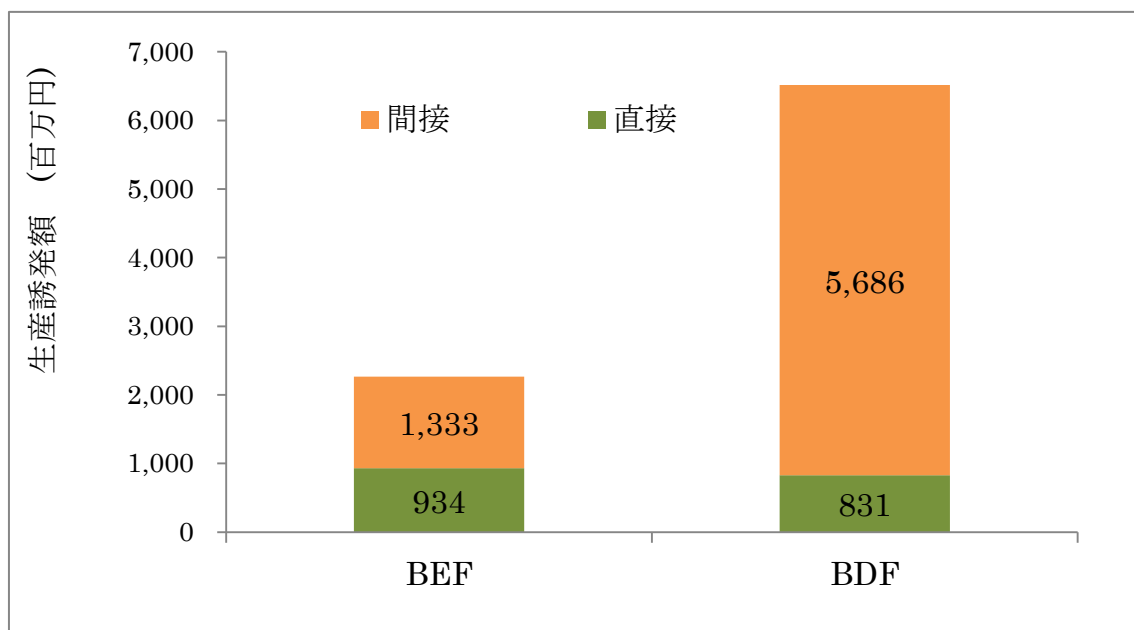


図 4－3 生産誘発額の内訳

なお，表 4-7 の耕種農業部門の域内への波及効果について，BEF では 14.6 % のうち大部分の 14.0 % が，BDF では 32.9 % のうち 31.8 % が原料栽培のための直接生産誘発効果である。

表 4-7 部門別生産誘発額の割合(%)

|         | BEF  |      |       | BDF  |      |       |
|---------|------|------|-------|------|------|-------|
|         | 域内   | 域外   | 合計    | 域内   | 域外   | 合計    |
| 食用耕種農業  | 14.6 | 7.2  | 21.8  | 32.9 | 15.1 | 48.0  |
| 非食用耕種農業 | 0.0  | 0.2  | 0.3   | 0.1  | 0.5  | 0.6   |
| 畜産      | 0.1  | 0.1  | 0.3   | 0.2  | 0.2  | 0.4   |
| 農業サービス  | 1.4  | 0.7  | 2.2   | 3.3  | 1.5  | 4.8   |
| その他     | 47.3 | 28.2 | 75.5  | 18.6 | 27.7 | 46.3  |
| 合計      | 63.5 | 36.5 | 100.0 | 55.1 | 44.9 | 100.0 |

また，バイオ燃料を導入することにより，ガソリン，軽油の販売は減るが，代わりに BEF，BDF を販売することになるため，域内の燃料販売業が縮小することはない。ただし，ガソリン，軽油を域外から移入する量は減るのでその影響はある。そこで，ガソリンを域外から 100 万円分を移入すると仮定し，その影響がどの程度か算定した。結果を表 4-8 に示す。表 4-8 には現状（十勝表）では域内に 103.5 万円，域外に 70.9 万円，合計 174.4 万円の波及効果がある。これに対し，BEF を自給利用するシナリオのもとでガソリンを域外から 97 万円分移入し，BEF を 3.6 万円分混ぜる（熱量はガソリン百万円分と等しい）とすると，域内に 105.9 万円，域外に 72.0 万円，合計 177.9 万円の生産誘発額がある。すなわち，ガソリンの移入量を減らし，等価熱量分の BEF を域内から購入する方が域内外への生産誘発額が若干大きくなり，燃料販売業の縮小は大きな懸念材料にならないことが示された。

表 4-8 バイオ燃料製造が燃料販売業へおよぼす影響（万円）

|                   | 十勝表       |       | 新十勝表 BEF          |     |       |     |
|-------------------|-----------|-------|-------------------|-----|-------|-----|
|                   | ガソリン（100） |       | ガソリン（97）+BEF（3.6） |     |       |     |
| 最終需要の仮定           | 域内        | 域外    | 域内                |     | 域外    |     |
| 生産誘発額の<br>内訳および合計 |           |       | 105.9             |     | 72.0  |     |
|                   | 103.5     | 70.9  | ガソリン              | BEF | ガソリン  | BEF |
|                   |           |       | 100.4             | 5.5 | 68.8  | 3.2 |
|                   | 合計        | 174.4 | 合計                |     | 177.9 |     |

#### 4.3.2 CO<sub>2</sub> 排出量の比較

BEF 製造部門の CO<sub>2</sub> 排出原単位は，式（4-6）から域内 5.97 t-CO<sub>2</sub>/百万円，式（4-7）から域外 3.93 t-CO<sub>2</sub>/百万円となった。BDF の場合は域内 9.157 t-CO<sub>2</sub>/百万円，域外 10.78 t-CO<sub>2</sub>/百万円となった。

化石燃料は製造時と燃焼時に CO<sub>2</sub> が発生する。製造時の CO<sub>2</sub> 発生量は，産業連関表を用いて式（4-6）および式（4-7）に化石燃料製造部門の  $C_d$  を代入することで求められる。消費時の CO<sub>2</sub> 発生量は消費量と温室効果ガスの排出係数行列から求めることができる。一方，バイオ燃料はカーボンニュートラルであるため，燃焼で発生する CO<sub>2</sub> はゼロとみなすことができる。図 4-4 に本研究の設定によりバイオ燃料に代替される同じ発熱量のガソリンと BEF，同じく軽油と BDF の CO<sub>2</sub> 排出量を域内，域外別に示す。バイオ燃料製造に伴う CO<sub>2</sub> 排出量は，化石燃料製造による排出量より多く，BEF では約 1.5 倍，BDF では約 2 倍である。BEF の製造による CO<sub>2</sub> 排出量は域外より域内で多いが，BDF は域外への経済波及効果が大きいため，CO<sub>2</sub> の排出量も域外で多い結果となった。しかし，バイオ燃料の消費による排出量はゼロなので，製造による排出量と消費による排出量を合計すると，BEF の場合は現行のガソリンの約 50 %，BDF の場合は軽油の約 81 % の排出に留まり，環境への負担が少なくなることが明らかとなった。

また，本手法では，66 各部門の CO<sub>2</sub> 排出量の内訳を知ることができる。バイオ燃料製造部門における原料栽培時

の CO<sub>2</sub> 排出量の割合を計算した結果， BEF では域内分の 63 %，域外分の 62 %が原料栽培由来の CO<sub>2</sub>であることが示された。同様に BDFでは，域内分の 63 %，域外分の 71 %が原料栽培由来であることが示された。バイオ燃料生産プロセスでは，原料栽培時のコストや CO<sub>2</sub> 排出量が大きなウェイトを占めるという指摘があるが(平井ら，2008; 秋田県，2009)，本研究からも同様の結果が得られたばかりでなく，その影響は間接的に域外にも及ぶことが示された。

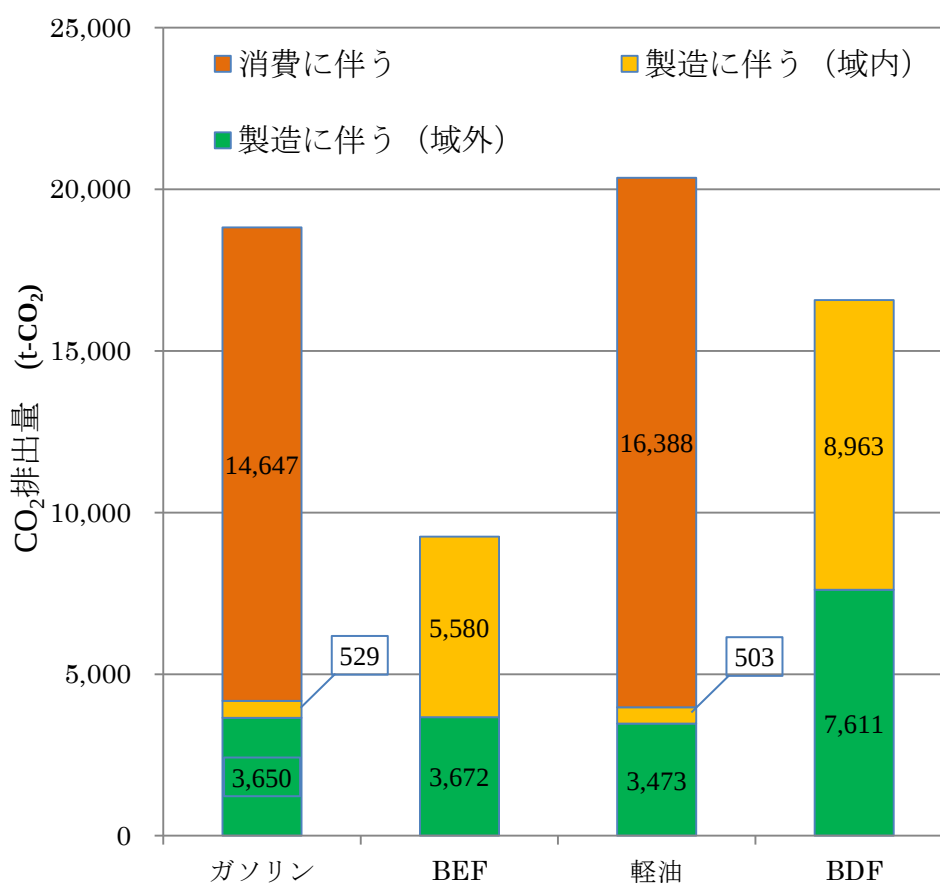


図 4-4 CO<sub>2</sub> 排出量の比較

#### 4.4 まとめ

北海道十勝地域において、コムギ生産により発生する規格外コムギから BEF を製造し E3 燃料として利用する場合と、新規栽培するナタネから BDF を製造し B5 燃料として利用する場合の 2 つのシナリオを想定し、経済的影響と CO<sub>2</sub> 排出量を産業連関分析から算定した。製造量は十勝管内で消費するガソリンおよび軽油の代替量とし、地域外での販売は行わないものとした。結果の概要は下記の通りである。

- 1)両シナリオとも自給・利用による経済的波及効果は域外より域内で大きい。
- 2)生産誘発額は、新規栽培により経済活動が活発になる BDF の方が大きい。
- 3)BDF の自給・利用による生産誘発額の約 33 %は域内の耕種農業部門へ波及する。
- 4)バイオ燃料自給利用方式による CO<sub>2</sub> 排出量は、燃料製造の段階で化石燃料製造より多いが、消費による排出量はゼロであるため、製造と消費の排出量を合計すると、排出量は化石燃料を購入・利用する現状よりも BEF で約 50 %，BDF で約 19 %少なくなる。

## 第 V 章 総括

### 5.1 本研究のまとめ

北海道の十勝地域は日本を代表する大規模畑作地帯である。この地域で栽培される作物からバイオ燃料を生産し、地域内で消費することにより、環境負荷の低減、作物生産需要の増大、バイオ燃料製造部門の創設による地域経済の活性化等が期待できる。しかし、これまで食糧として生産されてきた作物を燃料として利用したり、バイオエネルギー用の資源作物を新規に生産するためには、作物生産体系の変更、燃料製造工場の運営など、多くの変革が必要になり、これに伴う経済や環境への影響を予め推計することが重要である。本研究では、主として産業連関分析手法によりこれらの効果を定量的に推計することを目的とした。緒論である第 I 章では、研究の背景として、再生可能エネルギーの必要性、植物由来バイオマス利用の現状と問題点について述べ、これらに関する既往の研究成果および環境影響の推計手法を整理したうえで、本研究の目的とその対象を明確化した。以下に、本論である第 II 章以降を要約する。

### 第 II 章

十勝地域の大規模畑作地帯では、大型で高能率な機械化生産方式が定着しており、欧米に近い効率的な生産が行われている。一方、寒冷地のため融雪、排水対

策が不可欠であること，畑作地帯においては大出力トラクタによる深耕が一般的であること，テンサイ，バレイショ等の根菜類では収穫においても土を掘り起こす重作業が必要となることなど，面積当たりの投入エネルギーを増大させる要因が内包されている。従って，その環境負荷特性は他府県と異なると考えられるが詳細は明らかではない。また，これらの実態を実地調査することは調査量が膨大となるため現実的ではない。そこで，十勝の地域産業連関表(平成17年十勝地域取引基本表65部門表)を利用し，生産額当たりおよび面積当たりのCO<sub>2</sub>排出原単位を推計した。

推計に当たっては，CO<sub>2</sub>の直接排出だけでなく，十勝地域内の経済活動が誘発する他部門への波及的生産による間接的排出量も算定対象とした。比較対象として農林水産省が公表している「農林漁業及び関連産業を中心とした産業連関表」から全国平均値を推計した。

結果は以下の通りである。

- 1)十勝の食用耕種農業，非食用耕種農業，畜産，農業サービス4部門における生産額当たり移輸入外生型(域外+域内)CO<sub>2</sub>排出原単位は全国値より大きい。
- 2)一方，食用耕種農業，非食用耕種農業については，移輸入内生型(域内)CO<sub>2</sub>排出原単位は，全国値より少ないことから，十勝の耕種農業は，域外でのCO<sub>2</sub>排出を増加させる傾向が他府県よりも大きいことが示された。

3) 耕種農業の面積当たりのCO<sub>2</sub>排出原単位では，畑作4品主体の食用耕種農業が，飼料作主体の非食用耕種農業を3倍以上上回った。

4) 十勝の農業関連4部門におけるCO<sub>2</sub>の総排出量は，畜産，食用耕種農業，非食用耕種農業，農業サービスの順に大きく，いずれも50%以上は域外における波及的排出である。

### 第Ⅲ章

十勝においてコムギ，テンサイ，バレイショ，マメ類のいわゆる畑作4品をブロックローテーション方式の輪作により生産するモデル農家の耕地の一部に，BDF(Bio Diesel Fuel)原料用のナタネを栽培し，そこから得たBDFを，次年度以降，農家で自給利用する農場内炭素循環農法を想定し，生産時の直接CO<sub>2</sub>排出量および間接CO<sub>2</sub>排出量を推計して慣行体系と比較することでその可能性を評価した。

間接CO<sub>2</sub>排出量の推計に当たっては，ブロックローテーション方式の輪作体系における機械の汎用利用，耐用年数，自走式作業機と非自走式作業機の違い，作付品目の面積比率を考慮して各品目1作・1ha当たりへ按分した。モデル農家の作付面積は十勝の平均である38haに設定した。

BDF自給利用体系を実現するには，慣行体系と同等の収益を確保できることが条件となるが，そのためには，各品目の面積設定を収益性や農家の労働条件，機

械装備を考慮して決める必要がある。本研究では，遺伝的アルゴリズムの手法により，作付面積，BDF生産量，所要労働時間および連作障害回避のための種々の作付条件等を満たし，且つ，収益が最大となるコムギ 17.0ha, テンサイ 5.7ha, ダイズ 5.7ha, バレイショ 8.9ha, ナタネ 0.7ha に設定した。

本章では，以下の点が明らかになった。

- 1) 直接 CO<sub>2</sub> 排出量は，土の移動を伴う耕うん，心土破碎，根菜類収穫等，土の移動を要する作業工程で大きいのに対し，間接投入・排出は購入者価格の高い収穫機等を用いる作業が大きい。
- 2) 慣行体系，BDF 自給利用体系ともに，間接 CO<sub>2</sub> 排出量が直接 CO<sub>2</sub> 排出量を上回った。中でも，コムギは間接投入の割合が高く，波及的な環境負荷が大きい。
- 3) ナタネの 1ha 当たりの CO<sub>2</sub> 排出量はコムギに次いで大きい，自給利用するために必要な栽培面積は 1.8% と少ないため，農場単位でみた CO<sub>2</sub> 排出量は 1.9% と僅かである。
- 4) BDF 自給利用体系におけるモデル農家 1 戸がもたらす環境負荷のおよそ 43% はコムギ作によるものである。その理由は，作付面積の多さと収穫機の価格が影響して間接負荷を大きくしているためである。
- 5) 直接排出と間接排出を合計したモデル農家 1 戸当たりの CO<sub>2</sub> 排出量は，慣行体系では 39,738 kg- CO<sub>2</sub>，BDF 自給利用体系では 39,040 kg- CO<sub>2</sub> とほぼ同水準であり，ナタネ生産を加えることによる CO<sub>2</sub> 排出量

への影響はない。

#### 第 IV 章

前章における農場内炭素循環農法を拡張し，十勝地域で栽培可能な作物からバイオ燃料を生産し，地域内で消費する内燃機関用燃料の代替燃料として利用することを想定し，この生産利用システムが十勝地域内の経済や CO<sub>2</sub> 排出量にどのような影響を与えるかについて，産業連関分析により定量的な分析を試みた。具体的には，コムギ生産により生じる規格外コムギから BEF (Bio Ethanol Fuel) を製造し E3 燃料として利用する場合と，新規栽培するナタネから BDF を製造し B5 燃料として利用する場合の 2 つのシナリオを想定し，経済的影響と CO<sub>2</sub> 排出量を産業連関分析により推計した。分析を行うために，平成 17 年十勝取引基本表 65 部門表(十勝表)を元表として BEF 製造部門と BDF 製造部門を加えた新たな 2 つの 66 部門産業連関表(新十勝表 BEF および新十勝表 BDF)を作成した。バイオ燃料の製造量は十勝管内で消費するガソリンおよび軽油の代替量とし，地域外への販売は行わないものとした。BEF，BDF の使用によるガソリンおよび軽油の代替分は，移入から減額した。十勝表では畜産部門が規格外コムギを購入するように設定されているが，新十勝表では，畜産部門の代わりにバイオ燃料製造部門が規格外コムギを購入するように変更した。これによって生じる畜産部門の需要不足を補うため，

新たに飼料を輸入する設定とした。BDF に関しては、ナタネは新規に栽培するため、食用耕種農業部門にナタネの新規需要額を追加した。

結果の概要は下記の通りである。

- 1)両シナリオとも自給・利用による経済的波及効果は域外より域内で大きい。
- 2)生産誘発額は、新規栽培により経済活動が活発になる BDF の方が大きい。
- 3)BDF の自給・利用による生産誘発額の約 33 % は域内の耕種農業部門へ波及する。
- 4)バイオ燃料自給利用方式による CO<sub>2</sub> 排出量は、燃料製造の段階で化石燃料製造より多いが、消費による排出量はゼロであるため、製造と消費の排出量を合計すると、排出量は化石燃料を購入・利用する現状よりも BEF で約 50 %，BDF で約 19 % 少なくなる。

## 5.2 今後の課題

本研究は、北海道の農業の環境影響分析に産業連関分析手法を適用して CO<sub>2</sub> 排出量の影響について考察したものである。本研究の成果は、既存の農業生産システムの持続可能性の評価や、新たな生産方式を評価・選択するための基礎資料として活用できる。本研究による推定結果の全てを検証することは困難であるが、各部門において直接排出量の実測例を増やしていくことにより、信頼性の向上につながるものと考えられる。

なお、本研究の主眼は、設定したシナリオによる影響を予測することであり、バイオ燃料の普及を促す方策については論じなかった。しかし、V章において優位性が示されたナタネ由来の BDF の設定価格は 125 円/L と最近の軽油の市場価格よりも高く、さらに BEF の価格(98 円)よりも高いため、価格面から BDF の普及が進むとは考えられず、環境に負荷を与えない生産コストの削減方法の提案が必要である。ナタネ由来の BDF 製造コストの約 83 %は原料購入費、即ち、栽培コストが占めているとの報告がある。したがって、コスト削減のターゲットは明確であり、栽培コストを如何に抑えるかが最大の課題である。北海道におけるナタネの栽培コストの内、多くを占めるのは肥料代 27.6 %，農機具費 20.1 %，労働費 18.4 %等(農水省，平成 23 年産)であり，現状よりも粗放的な栽培技術の必要性，もしくは品種改良も含めた増収技術の必要性

が示唆される。また，搾油率の向上，副産物の有効利用も検討すべきである。さらには，例えば，農家に免税軽油が認められているように，十勝管内のバイオ燃料利用者に優遇措置を講じる等の政策も有効であろう。

新十勝表BDF(16部門に統合)

|    |                 | 1        | 2      | 3     | 4    | 5    | 6      | 7               | 8                    | 9      | 10           | 11     | 12                | 13           | 14     | 15         | 16        | 17       | 18       |         | 域 内     |        | (控 除)   | 域 内     |
|----|-----------------|----------|--------|-------|------|------|--------|-----------------|----------------------|--------|--------------|--------|-------------------|--------------|--------|------------|-----------|----------|----------|---------|---------|--------|---------|---------|
|    |                 | 耕種農<br>業 | 畜産     | 林業    | 漁業   | 鉱業   | 製造品    | その他<br>石油製<br>品 | バイオ燃<br>料製品<br>(BDF) | 建築業    | 電力・ガ<br>ス・水道 | 商業     | 金融・保<br>険・不動<br>産 | 運輸・通<br>信・放送 | 公務     | 公共<br>サービス | サービス<br>業 | 事務用<br>品 | 分類不<br>明 | 内生部門計   | 最終需要計   | 輸移出計   | 輸移入計    | 生 産 額   |
| 1  | 耕種農業            | 6318     | 23548  | 23    | 0    | 0    | 39021  | 0               | 3002                 | 556    | 0            | 43     | 0                 | 15           | 16     | 530        | 1676      | 0        | 0        | 74747   | 6498    | 121231 | -36805  | 165671  |
| 2  | 畜産              | 14569    | 21237  | 2     | 0    | 0    | 33512  | 0               | 0                    | 0      | 0            | 0      | 0                 | 2            | 1      | 148        | 511       | 0        | 0        | 69981   | 18513   | 81078  | -3147   | 166425  |
| 3  | 林業              | 18       | 0      | 3639  | 0    | 1    | 3841   | 0               | 0                    | 39     | 0            | 0      | 0                 | 0            | 1      | 10         | 148       | 0        | 0        | 7697    | 1954    | 6852   | -1545   | 14958   |
| 4  | 漁業              | 0        | 0      | 0     | 152  | 0    | 3487   | 0               | 0                    | 0      | 0            | 0      | 0                 | 2            | 3      | 170        | 736       | 0        | 0        | 4550    | 1019    | 2401   | -1341   | 6629    |
| 5  | 鉱業              | 0        | 0      | 5     | 0    | 7    | 1558   | 1096            | 0                    | 4131   | 1620         | 0      | 0                 | 1            | 2      | 9          | 1         | 0        | 2        | 8432    | 731     | 3644   | -4307   | 8500    |
| 6  | 製造品             | 23355    | 39612  | 472   | 948  | 495  | 78688  | 7               | 165                  | 55629  | 1430         | 9647   | 2941              | 6403         | 17044  | 27816      | 36567     | 2316     | 872      | 304407  | 201375  | 206264 | -397472 | 314574  |
| 7  | その他石油製品         | 3646     | 1230   | 405   | 674  | 739  | 3694   | 67              | 0                    | 3917   | 2567         | 4502   | 444               | 7570         | 2475   | 1624       | 2026      | 0        | 232      | 35812   | 18675   | 1020   | -53632  | 1875    |
| 8  | バイオ燃料製品(BDF)    | 55       | 19     | 6     | 10   | 11   | 56     | 1               | 0                    | 59     | 39           | 68     | 7                 | 114          | 37     | 24         | 30        | 0        | 3        | 539     | 293     | 0      | 0       | 832     |
| 9  | 建築業             | 273      | 351    | 14    | 2    | 33   | 558    | 1               | 0                    | 464    | 947          | 1332   | 4371              | 1119         | 761    | 1203       | 718       | 0        | 0        | 12148   | 231212  | 0      | 0       | 243360  |
| 10 | 電力・ガス・水道        | 686      | 2527   | 89    | 10   | 267  | 5498   | 14              | 4                    | 1717   | 3087         | 7083   | 1074              | 3115         | 3915   | 5884       | 7142      | 0        | 207      | 42320   | 20718   | 231    | -23323  | 39946   |
| 11 | 商業              | 9365     | 4592   | 322   | 467  | 349  | 24114  | 13              | 6                    | 17269  | 806          | 7403   | 1001              | 2959         | 3480   | 11014      | 15830     | 702      | 93       | 99785   | 193608  | 103432 | -95384  | 301441  |
| 12 | 金融・保険・不動産       | 2820     | 4191   | 419   | 96   | 765  | 3841   | 13              | 6                    | 6009   | 1052         | 21223  | 16102             | 7486         | 645    | 3182       | 8320      | 0        | 4954     | 81124   | 147125  | 1127   | -61351  | 168025  |
| 13 | 運輸・通信・放送        | 3291     | 6262   | 727   | 142  | 490  | 12779  | 54              | 24                   | 13027  | 1419         | 15955  | 5425              | 22951        | 8968   | 7909       | 14566     | 173      | 401      | 114561  | 69660   | 138119 | -140754 | 181587  |
| 14 | 公務              | 0        | 0      | 0     | 0    | 0    | 0      | 0               | 0                    | 0      | 0            | 0      | 0                 | 0            | 0      | 0          | 0         | 0        | 1099     | 1099    | 171639  | 0      | 0       | 172738  |
| 15 | 公共サービス          | 19       | 119    | 32    | 21   | 23   | 4586   | 5               | 2                    | 696    | 787          | 1324   | 422               | 1269         | 47     | 2704       | 1323      | 0        | 200      | 13580   | 214548  | 7286   | -4678   | 230735  |
| 16 | サービス業           | 4084     | 2586   | 502   | 93   | 1659 | 7452   | 6               | 3                    | 25785  | 4005         | 18129  | 9790              | 14560        | 9034   | 11800      | 15801     | 0        | 429      | 125717  | 135942  | 94134  | -93611  | 262182  |
| 17 | 事務用品            | 2        | 43     | 14    | 9    | 7    | 160    | 0               | 0                    | 104    | 48           | 984    | 285               | 305          | 260    | 556        | 400       | 0        | 13       | 3191    | 0       | 0      | 0       | 3191    |
| 18 | 分類不明            | 1582     | 707    | 229   | 28   | 117  | 936    | 0               | 0                    | 2838   | 147          | 2115   | 454               | 1567         | 62     | 691        | 841       | 0        | 0        | 12314   | 67      | 8962   | -9082   | 12262   |
|    | 内 生 部 門 計       | 70083    | 107024 | 6900  | 2652 | 4963 | 223780 | 1277            | 3211                 | 132240 | 17954        | 89808  | 42317             | 69438        | 46751  | 75275      | 106636    | 3191     | 8505     | 1012006 | 1433577 | 775781 | -926431 | 2294932 |
|    | 金 属 屑           | 0        | 0      | 0     | 0    | 0    | -22    | 0               | 0                    | -15    | 0            | 0      | 0                 | 0            | 0      | 0          | 0         | 0        | 0        | -37     |         |        |         |         |
|    | 家 計 外 消 費 支 出   | 16       | 192    | 190   | 180  | 358  | 4090   | 5               | 0                    | 3376   | 747          | 6640   | 2426              | 6678         | 2528   | 2841       | 6055      | 0        | 282      | 36605   |         |        |         |         |
|    | 雇 用 者 所 得       | 10179    | 15067  | 2593  | 1265 | 1545 | 48065  | 24              | 0                    | 84512  | 9951         | 131076 | 27844             | 66348        | 73339  | 133227     | 86829     | 0        | 651      | 692514  |         |        |         |         |
|    | 営 業 余 剰         | 61800    | 27123  | 6188  | 1665 | 435  | 25599  | 9               | -1157                | 2348   | 3429         | 44485  | 53164             | 11495        | 0      | 7497       | 27380     | 0        | 1428     | 272889  |         |        |         |         |
|    | 資 本 減 耗 引 当     | 19658    | 15882  | 722   | 597  | 635  | 10725  | 19              | 0                    | 14152  | 6350         | 17827  | 37133             | 19584        | 49464  | 13801      | 24043     | 0        | 1222     | 231812  |         |        |         |         |
|    | 間 接 税 ( 除 関 税 ) | 11250    | 4697   | 316   | 281  | 566  | 10324  | 554             | 0                    | 8242   | 2340         | 11939  | 8801              | 8833         | 656    | 3174       | 11397     | 0        | 180      | 83548   |         |        |         |         |
|    | ( 控 除 ) 補 助 金   | -7315    | -3559  | -1950 | -11  | -1   | -7988  | -12             | -1223                | -1494  | -825         | -333   | -3661             | -789         | 0      | -5079      | -157      | 0        | -7       | -34404  |         |        |         |         |
|    | 粗 付 加 価 値 部 門 計 | 95588    | 59402  | 8059  | 3977 | 3537 | 90814  | 598             | -2380                | 111135 | 21992        | 211634 | 125708            | 112149       | 125987 | 155461     | 155546    | 0        | 3756     | 1282962 |         |        |         |         |
|    | 域 内 生 産 額       | 165671   | 166425 | 14958 | 6629 | 8500 | 314573 | 1875            | 832                  | 243360 | 39946        | 301441 | 168025            | 181587       | 172738 | 230735     | 262182    | 3191     | 12262    | 2294931 |         |        |         |         |

新十勝表BEF(16部門に統合)

|    |              | 1      | 2      | 3     | 4    | 5    | 6      | 7        | 8            | 9      | 10       | 11     | 12        | 13       | 14     | 15     | 16     | 17   | 18    |         | 域 内     |        | (控 除)   | 域 内     |
|----|--------------|--------|--------|-------|------|------|--------|----------|--------------|--------|----------|--------|-----------|----------|--------|--------|--------|------|-------|---------|---------|--------|---------|---------|
|    |              | 耕種農業   | 畜産     | 林業    | 漁業   | 鉱業   | 製造品    | その他の石油製品 | バイオ燃料製品(BEF) | 建築業    | 電力・ガス・水道 | 商業     | 金融・保険・不動産 | 運輸・通信・放送 | 公務     | 公共サービス | サービス業  | 事務用品 | 分類不明  | 内生部門計   | 最終需要計   | 輸移出計   | 輸移入計    | 生産額     |
| 1  | 耕種農業         | 6255   | 23546  | 23    | 0    | 0    | 39011  | 0        | 459          | 556    | 0        | 43     | 0         | 15       | 16     | 530    | 1676   | 0    | 0     | 72131   | 6498    | 121231 | -36006  | 163853  |
| 2  | 畜産           | 14380  | 21235  | 2     | 0    | 0    | 33511  | 0        | 0            | 0      | 0        | 0      | 0         | 2        | 1      | 148    | 511    | 0    | 0     | 69791   | 18513   | 81078  | -3146   | 166236  |
| 3  | 林業           | 18     | 0      | 3639  | 0    | 1    | 3841   | 0        | 0            | 39     | 0        | 0      | 0         | 0        | 1      | 10     | 148    | 0    | 0     | 7697    | 1954    | 6852   | -1545   | 14958   |
| 4  | 漁業           | 0      | 0      | 0     | 152  | 0    | 3487   | 0        | 0            | 0      | 0        | 0      | 0         | 2        | 3      | 170    | 736    | 0    | 0     | 4550    | 1019    | 2401   | -1341   | 6629    |
| 5  | 鉱業           | 0      | 0      | 5     | 0    | 7    | 1558   | 1159     | 0            | 4131   | 1621     | 0      | 0         | 1        | 2      | 9      | 1      | 0    | 2     | 8495    | 731     | 3644   | -4370   | 8500    |
| 6  | 製造品          | 23109  | 39594  | 472   | 948  | 495  | 78673  | 7        | 67           | 55627  | 1430     | 9644   | 2940      | 6403     | 17043  | 27816  | 36561  | 2315 | 872   | 304017  | 201375  | 206264 | -397158 | 314498  |
| 7  | その他石油製品      | 3603   | 1226   | 404   | 673  | 738  | 3690   | 71       | 111          | 3914   | 2566     | 4496   | 444       | 7563     | 2472   | 1623   | 2024   | 0    | 232   | 35848   | 18669   | 1020   | -53541  | 1996    |
| 8  | バイオ燃料製品(BEF) | 62     | 21     | 7     | 12   | 13   | 63     | 1        | 0            | 67     | 44       | 77     | 8         | 130      | 42     | 28     | 35     | 0    | 4     | 613     | 321     | 0      | 0       | 934     |
| 9  | 建築業          | 270    | 351    | 14    | 2    | 33   | 558    | 1        | 0            | 464    | 947      | 1332   | 4371      | 1119     | 761    | 1203   | 718    | 0    | 0     | 12144   | 231212  | 0      | 0       | 243356  |
| 10 | 電力・ガス・水道     | 678    | 2522   | 89    | 10   | 267  | 5497   | 15       | 50           | 1717   | 3087     | 7081   | 1074      | 3115     | 3915   | 5884   | 7142   | 0    | 207   | 42350   | 20718   | 231    | -23344  | 39955   |
| 11 | 商業           | 9263   | 4584   | 322   | 467  | 349  | 24109  | 14       | 6            | 17268  | 806      | 7401   | 1001      | 2959     | 3480   | 11014  | 15828  | 702  | 93    | 99666   | 193608  | 103432 | -95345  | 301361  |
| 12 | 金融・保険・不動産    | 2788   | 4189   | 419   | 96   | 765  | 3840   | 14       | 6            | 6009   | 1053     | 21217  | 16098     | 7486     | 645    | 3182   | 8318   | 0    | 4954  | 81078   | 147125  | 1127   | -61344  | 167986  |
| 13 | 運輸・通信・放送     | 3262   | 6258   | 727   | 142  | 490  | 12777  | 57       | 26           | 13026  | 1419     | 15951  | 5422      | 22950    | 8968   | 7909   | 14563  | 173  | 401   | 114521  | 69660   | 138119 | -140724 | 181576  |
| 14 | 公務           | 0      | 0      | 0     | 0    | 0    | 0      | 0        | 0            | 0      | 0        | 0      | 0         | 0        | 0      | 0      | 0      | 0    | 1099  | 1099    | 171639  | 0      | 0       | 172738  |
| 15 | 公共サービス       | 19     | 119    | 32    | 21   | 23   | 4585   | 5        | 2            | 696    | 787      | 1324   | 422       | 1269     | 47     | 2704   | 1323   | 0    | 200   | 13579   | 214548  | 7286   | -4678   | 230735  |
| 16 | サービス業        | 4047   | 2579   | 502   | 93   | 1658 | 7451   | 6        | 3            | 25784  | 4006     | 18124  | 9786      | 14559    | 9034   | 11800  | 15797  | 0    | 429   | 125658  | 135942  | 94134  | -93603  | 262131  |
| 17 | 事務用品         | 2      | 43     | 14    | 9    | 7    | 160    | 0        | 0            | 104    | 48       | 984    | 285       | 305      | 260    | 556    | 400    | 0    | 13    | 3190    | 0       | 0      | 0       | 3190    |
| 18 | 分類不明         | 1574   | 702    | 229   | 28   | 117  | 936    | 0        | 0            | 2838   | 147      | 2114   | 454       | 1567     | 62     | 691    | 841    | 0    | 0     | 12299   | 67      | 8962   | -9071   | 12258   |
|    | 内生部門計        | 69329  | 106970 | 6900  | 2652 | 4962 | 223748 | 1350     | 730          | 132240 | 17961    | 89789  | 42305     | 69443    | 46752  | 75277  | 106622 | 3190 | 8506  | 1008726 | 1433599 | 775781 | -925216 | 2292889 |
|    | 金属屑          | 0      | 0      | 0     | 0    | 0    | -22    | 0        | 0            | -15    | 0        | 0      | 0         | 0        | 0      | 0      | 0      | 0    | 0     | -37     |         |        |         |         |
|    | 家計外消費支出      | 16     | 190    | 190   | 180  | 358  | 4088   | 5        | 3            | 3376   | 747      | 6638   | 2425      | 6678     | 2528   | 2841   | 6054   | 0    | 282   | 36600   |         |        |         |         |
|    | 雇用者所得        | 10047  | 14985  | 2593  | 1265 | 1545 | 48043  | 25       | 16           | 84508  | 9950     | 131040 | 27833     | 66336    | 73338  | 133224 | 86803  | 0    | 650   | 692203  |         |        |         |         |
|    | 営業余剰         | 61139  | 27100  | 6187  | 1665 | 435  | 25582  | 10       | 181          | 2348   | 3429     | 44471  | 53157     | 11495    | 0      | 7497   | 27377  | 0    | 1426  | 273497  |         |        |         |         |
|    | 資本減耗引当       | 19433  | 15862  | 722   | 597  | 635  | 10721  | 20       | 12           | 14151  | 6352     | 17821  | 37126     | 19582    | 49464  | 13801  | 24036  | 0    | 1221  | 231556  |         |        |         |         |
|    | 間接税(除関税)     | 11140  | 4687   | 316   | 281  | 566  | 10321  | 598      | 0            | 8242   | 2340     | 11935  | 8799      | 8831     | 656    | 3174   | 11396  | 0    | 180   | 83462   |         |        |         |         |
|    | (控除)補助金      | -7250  | -3558  | -1950 | -11  | -1   | -7983  | -13      | -8           | -1494  | -825     | -333   | -3659     | -789     | 0      | -5079  | -157   | 0    | -7    | -33117  |         |        |         |         |
|    | 粗付加価値部門計     | 94525  | 59266  | 8058  | 3977 | 3538 | 90773  | 646      | 204          | 111131 | 21993    | 211572 | 125681    | 112133   | 125986 | 155457 | 155509 | 0    | 3752  | 1284200 |         |        |         |         |
|    | 域内生産額        | 163853 | 166236 | 14958 | 6629 | 8500 | 314498 | 1996     | 934          | 243356 | 39955    | 301361 | 167986    | 181576   | 172738 | 230735 | 262131 | 3190 | 12258 | 2292889 |         |        |         |         |

## References

秋田県, 秋田県バイオエタノール推進戦略, 2009. 43-44.

株式会社エコ ERC, 2012. エコ ERC 豊頃工場 BDF 関連年次生産一覧.

藤川清史, 2005. 産業連関入門—Excel と VBA でらくらく IO 分析. 日本評論社, 東京, 31-32.

林岳, 増田清敬, 山本充, 高橋義文, 2009. バイオ燃料導入による諸効果の定量的評価環境. 環境プロジェクト研究資料第 1 号, 農林水産政策研究所, <http://www.maff.go.jp/primaff/koho/seika/project/pdf/biofuel.pdf>. Accessed Aug.12, 2011.

林岳, 2010. 地域におけるバイオ燃料の経済および環境の両立性評価—環境効率指標による分析. 農林水産政策研究, 第 18 号, 41-57.

平井晴巳, 永富悠, 中西哲也, 洪起源, 姜 京善, 2008. 日本におけるバイオディーゼルの導入について. IEEJ, 2008(6), 48-49.

北海道電力, オフィス・商業施設・工場などのお客さま向け単価表, 2005 年度, <http://www.hepco.co.jp/userate/userate.html>. Accessed May.21, 2012.

北海道立十勝農業試験場 生産研究部 栽培システム科経営科 作物研究部 畑作園芸科, 2009. 「十勝地域に適したなたね栽培技術の確立」試験成績書.

北海道十勝総合振興局, 2010. 2010 年十勝の農業資料編 6 十勝農業の統計年次表. その 2, p10.

国税庁, 消費税室, 2011. バイオエタノール等揮発油に係る揮発油税及び地方揮発油税の課税標準の特例（租特法第 88 条の 7 関係）Q&A. <https://www.nta.go.jp/shiraberu/ippanjoho/pamph/kansetsu/8147.pdf>. Accessed May.10, 2012.

小泉達治, 2012. バイオエネルギー大国ブラジルの挑戦. 日本経済新聞出版社, 東京, 32-49.

経済産業省資源エネルギー庁, 2014.揮発油などの品質の確保などに関する法律.  
<http://www.houko.com/00/01/S51/088.HTM>. Accessed Dec. 8, 2011.

日本貿易振興機構, 農林水産・食品部, シカゴ事務室, 2012.平成 23 年度 米国食糧及びバイオ燃料生産の現状と課題.  
[http://www.jetro.go.jp/ext\\_images/jfile/report/07000918/report.pdf](http://www.jetro.go.jp/ext_images/jfile/report/07000918/report.pdf). Accessed Dec.5, 2014.

日本エネルギー学会, 2005.バイオマスハンドブック.366-368.

中村慎一郎, 2003.Excel で学ぶ産業連関分析.エコノミスト社, 東京, 103-104.  
南斎規介, 森口祐一, 東野達, 2002. 産業連関表による環境負荷原単位データブック (3EID) -LCA のインベントリデータとして-, 国立環境研究所地球環境研究センター. <http://www.cger.nies.go.jp/publications/report/d031/3eid.html>  
Accessed Aug. 2011.

野中章久, 2009. 燃料利用を視野に入れたナタネ生産振興と有機農業運動の連携の可能性, 東北農研報 110, 187-198.

南斎規介, 森口祐一, 東野達, 2002.産業連関表による環境負荷原単位データブック(3EID) - LCA のインベントリデータとして - 地球環境研究センター, 独立行政法人 国立環境研究所.

帯広水道部, 上下水道料金早見表, <http://www.water-sewage-obihiro.jp/>. Accessed Mar. 2014.

大深正徳, 中村和正, 樺澤雅之, 2007.資源作物によるエタノール原料供給モデルの事例検討, 第 50 回 (平成 18 年度) 北海道開発局技術研究発表会報告資料.

小野洋, 平野信之, 上田辰己, 天野哲郎, 2007. ナタネを軸とした資源循環システムの環境影響評価—LC-CO2 分析による試算. 日本農業経営学会 45(1), 121-125.

大平純彦, 2003. 環境の産業連関分析 日本評論社, 東京, 30-32.

Mukhopadhyay,Kakali, P.J.Thomassin, 2011. Macroeconomic effects of the Ethanol Biofuel Sector in Canada. International Input-output Conference, Sydney, Australia, 20-25, June, 2010.

経済産業省資源エネルギー庁, 2014. 平成 25 年度エネルギーに関する年次報告, エネルギー白書 2014. <http://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2014html>. Accessed, Apr. 2015.

経済産業研究所, 2010. 総合エネルギー統計の解説, 292. <http://www.rieti.go.jp/users/kainou-kazunari/download/> Accessed May.30, 2015.

環境省, 2009. 「日本の約束草案, 2020 年以降の新たな温室効果ガス排出削減目標」, 環境省地球温暖化対策推進本部, [http://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg/mat01\\_indc.pdf](http://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg/mat01_indc.pdf), 2015 Accessed Jan.05, 2016.

環境自治体会議環境政策研究室, 2005. 温室効果ガス排出量実態調査報告書, 資 108-117.

環境省,2006.The Cabinet Order for the Law Concerning the Promotion of the Measures to Cope with Global Warming.

古賀伸久, 2004. 十勝地方の大規模畑作に対する LCA の適用. 北農, 71(1), 8-16.

日本エネルギー学会, 2009. バイオマスハンドブック. オーム社, 東京, 4.

張春峰, 柴田洋一, 岸本正, 梅津一孝, 西崎邦夫, 嶋津光辰, 荒木宏通, 2008. バイオエネルギー資源としてのテンサイの省エネルギー生産に関する研究, 農業機械学会誌 70(1), 45-54.

石油情報センター, 産業用価格, <https://oil-info.ieej.or.jp/price/price.html>. Accessed Mar.09, 2014.

社団法人北海道農業機械工学会, 2007.平成 19 年(2007 年)農業機械指定力所渡し希望小売価格表(北海道地域用), 札幌.

社団法人 北海道農業改良普及協会，2005.北海道農業生産技術体系 北海道農政部編第3版，札幌.

柴田洋一，片岡崇，岡本博史，2011.耕種農業における面積当たりの環境負荷原単位，農業機械学会誌 73(1)，65-73.

総務省，2005. 産業連関表の作成について. 平成 17 年（2005 年）産業連関表総合解説編（平成 21 年 3 月総務省編），31-32.

総務省,2007. 第 653 回統計審議会資料 1 諮問第 320 号の答申「日本標準産業分類の改定について」（案）3 日本標準産業分類第 12 回改定案（E - 製造業）,p176.

総務省，2009. 産業連関表総合解説編 平成 17 年（2005 年）産業連関表（一総合解説編一）第 2 部 産業連関表の作成概要 第 9 章 部門別概念・定義・範囲 8 一般機械，電気機械，輸送機械，精密機械，その他の製造工業.p206.

多田千佳，柳田高志，佐賀清崇，2009. 産業連関表を用いた日本における穀類発電導入の産業構造への影響解析. 日本エネルギー学，88（10），869-876.

滝川市，ナタネの BDF 化利用実証試験報告書，2007.  
<http://www.city.takikawa.hokkaido.jp/210shimin/01kurashi/04kankyo/files/houkoku1.pdf> Accessed Aug.08，2012.

バッサム，N.EI，2004. エネルギー作物事典. 恒星社厚生閣，東京，81，82.

(財)十勝振興機構，2005. 北海道十勝地域の規格外農産物および農業加工残渣物利用におけるバイオエタノール変換システムに関する事業化可能性調査報告書. 十勝振興機構，帯広市.

植田麻央，柴田洋一，岡本博史，2014. 遺伝的アルゴリズムを用いたバイオディーゼル燃料生産体系の最適化. 農業食料工学会誌 76[2]，153-162.

北海道開発局帯広開発建設部，2009. 十勝農業のあらまし.  
[http://www.ob.hkd.mlit.go.jp/hp/agri/pr\\_n/aramashi.pdf](http://www.ob.hkd.mlit.go.jp/hp/agri/pr_n/aramashi.pdf) Accessed Jan, 06. 2016.

農林水産省， 2010． 2010 年世界農林業センサス報告書．  
<http://www.maff.go.jp/j/tokei/census/afc/2010/dai1kan.html>. Accessed, Jan.2016.

北海道豊頃町産業課， 2007． 十勝バイオマス産業都市構想．  
<http://www.toyokoro.jp/organisation/sangyouka/> Accessed, Apr, 2013.

## 図表タイトル一覧

表 1-1 温室効果ガス削減目標積み上げに用いたエネルギーミックス

表 1-2 バイオエネルギー資源の分類

図 1-1 作物のエタノール生産量

図 1-2 経営耕地面積規模別経営体数の割合

図 1-3 道内における畑作 4 品の生産量割合

図 1-4 産業連関表の基本構造

表 2-1 部門分類の対応関係

表 2-2 CO<sub>2</sub> 直接排出量

表 2-3 十勝の CO<sub>2</sub> 排出原単位

表 2-4 CO<sub>2</sub> 排出原単位の比較

表 2-5 十勝耕種農業の面積当たりの CO<sub>2</sub> 排出原単位

表 2-6 全国の耕種農業の面積当たりの CO<sub>2</sub> 排出原単位

図 2-1 十勝の生産額 100 万円当たりの域内，域外別 CO<sub>2</sub> 排出原単位

図 2-2 十勝の農業関連 4 部門における CO<sub>2</sub> の総排出量

表 3-1 CO<sub>2</sub> 排出係数

表 3-2 ブロックローテーション方式で用いられる農業機械の  
間接投入エネルギー

表 3-3 十勝における畑作 4 品の作付状況とモデル農家における  
作付面積

表 3-4 作業名，機械名および機械情報

表 3-5 輪作における農業機械作業による体系別，品目別，平均年間，1ha 当たりの直接 CO<sub>2</sub> 排出量

表 3-6 輪作における農業機械作業による体系別，品目別，平均年間，1ha 当たりの間接 CO<sub>2</sub> 排出量

表 3-7 輪作における農業機械作業による体系別，品目別，平均年間，1ha 当たりの CO<sub>2</sub> 排出量

表 3-8 輪作における農業機械作業による体系別，作業別，年間 CO<sub>2</sub> 排出量

表 3-9 輪作における農業機械作業による体系別，品目別，年間 CO<sub>2</sub> 排出量

図 3-1 BDF 自給利用モデル農家の概要

図 3-2 分析対象範囲

表 4-1 BEF および原料作物に関する条件

表 4-2 BDF および原料作物に関する条件

表 4-3 BEF 生産のための主たる投入費目と投入額

表 4-4 BDF 生産のための主たる投入費目と投入額

表 4-5 直接 CO<sub>2</sub> 排出量

表 4-6 バイオ燃料製造による生産誘発額

表 4-7 部門別生産誘発額の割合

表 4-8 バイオ燃料製造が燃料販売業へおよぼす影響

図 4-1 バイオ燃料を新しい部門として加えた新十勝表 (BEF の例)

図 4-2 バランス調整の方法

図 4-3 生産誘発額の内訳

図 4-4 CO<sub>2</sub> 排出量の比較

十勝の大規模畑作地域におけるバイオエネルギー生産の可能性と環境影響について

On the Potential of Producing Bioenergy in Large-scale Field Crop Farming Lands of Tokachi

Region and its Environmental Impact

Summary

## **1. Overview**

Plant biomass, which is renewable and carbon neutral, is an effective source of environment-friendly energy, and has been recommended to be introduced as an environmentally compatible source of energy according to Kyoto Protocol in 2005.

Tokachi region in Hokkaido is a wide cropping area that represents large scale cultivation in Japan. Producing bioenergy in this region may imply achieving high outcomes including; reduction of environmental impacts, increase of the demand on crop production, and creation of business sectors related to biofuel production.

However, these changes mean that portions of the crops produced for food consumption would be used for fuel production. Moreover, new types of crops known to be good source of bioenergy may be introduced to the region which would lead to massive changes in the crop production system and the administration of biofuel production mechanism. Therefore, it is necessary to understand and estimate, in advance, the economic and environmental impacts that might be accompanied with these changes.

In this thesis, the objective is to conduct a quantitative estimation of the efficacy of producing bioenergy based, primarily, on the method of industrial input-output analysis method.

## **2. Estimation of CO<sub>2</sub> emission rate in Tokachi region**

Firstly, the CO<sub>2</sub> emission per both; production value and land size, were estimated by using industrial input-output tables of Tokachi region. This was used as basic data input so as to evaluate the economic and environmental impacts of the agricultural production activities taking place in the region. In these calculations, not only direct CO<sub>2</sub> emission were included, but also indirect emission which is the overall production from other sectors; stimulated by the economic activities in the region.

Following are the results:

- 1) The rate of exogenous CO<sub>2</sub> emission (including both within and out of the region) per production cost in Tokachi region exceeds the Japan nationwide rate. This was calculated by including the emissions of 4 sectors which are; cultivation for food production, cultivation for other purposes, livestock, and agricultural services.
- 2) On the other hand, looking at the CO<sub>2</sub> emission rates produced by the two sectors of cultivation (for food production and for other purposes) showed that it was less than the nationwide rate. This indicated that cultivation in Tokachi region tend to increase CO<sub>2</sub> emission elsewhere out of its own region more than cultivation in any other province in Japan does.
- 3) The rate of emission per land size in the same two sectors of cultivation showed that the operations required to produce the main 4 field crops had a rate three times higher than the total sector of livestock.
- 4) The total amount of CO<sub>2</sub> emission was the highest in the section of livestock, followed by cultivation for food production, cultivation for other purposes, and agricultural services

respectively. Also, in each sector, more than 50% of this amount was exogenous CO<sub>2</sub> imported to the region.

### **3. Potential of biodiesel fuel self-sufficiency and application in crop rotation farms in Tokachi**

An area inside a 38-ha model farm, which applies block crop rotation to produce 4 crops, was used to grow rapeseed which is a well-known source of biodiesel fuel. From the following year on; assuming an agricultural practice of in-field carbon cycle that applies the biodiesel fuel self-sufficiently, and estimating the direct and indirect CO<sub>2</sub> emission during the production season, the system of consuming the biodiesel produced from rapeseed in the farm was compared to the common system of consuming fossil fuel bought externally. The acreage dedicated to each crop, within the farm, was chosen so that the optimum profit of each crop can be achieved. This was decided by fulfilling the different agricultural administration conditions which were derived by implementing genetic algorithm.

The following outcomes were found.

- 1) A big amount of direct CO<sub>2</sub> emission is generated from operations that require soil disturbance such as ploughing, subsoil crushing, harvesting of root crops. Likewise, big amount of indirect emission is generated from operations that include running big and high cost machines such as harvesters.
- 2) In both, common and biodiesel fuel self-sufficient systems; the indirect emission of CO<sub>2</sub> was higher than the direct emission. In particular, the production of wheat has high consumption of indirect CO<sub>2</sub> emission with high impact on the environment.
- 3) Although rapeseed ranked second in the CO<sub>2</sub> emission per hectare, it did not contribute to

more than 19% of the overall CO<sub>2</sub> emission in the farm. This is because it occupied an area which is as small as 1.8% of the farm size.

- 4) In this model farm, where the system of biodiesel self-sufficiency, the cultivation of wheat contributed to 43% of the environmental impact, approximately. The reason why, is because of the wide area of cultivation and the need to use expensive harvesting machines which has big influence on the indirect emission.
- 5) The overall amount of CO<sub>2</sub> emission of both systems was very similar as it was 39,738 kg-CO<sub>2</sub> and 39,040 kg-CO<sub>2</sub> for the common and biodiesel fuel self-sufficient systems, respectively. This shows that introducing rapeseed production did not influence the amount of CO<sub>2</sub> emission.

#### **4. Potential of biofuel self-sufficiency production and application in Tokachi region**

In order to understand the impact of applying the system of using biodiesel fuel produced locally in Tokachi region on the local economy and on the CO<sub>2</sub> emission, a quantitative analysis was conducted using the method of industrial input-output analysis. Two scenarios of systems were assumed, each of them uses crops that can adapt to the local environment of the region and produces alternative to the fossil fuel used in practice for internal-combustion-engine machines. The first scenario was to produce bioethanol fuel from the unmarketable wheat sorted out after harvesting and to use it as E3 fuel. The second scenario was to introduce rapeseed as a new crop and produce biodiesel fuel in the shape of B5 fuel. It was also assumed that the biofuel, in either scenario, would be consumed locally in Tokachi region in the shape of alternative gasoline or diesel and that no sales of the fuel would

take place out of the region.

The main results were as follows:

- 1) In both scenarios there was a bigger influence on the local economy based on the self-sufficiency and application than on the external economy.
- 2) The amount of induced production was bigger in the case of biodiesel fuel which would activate the economic activities being a new crop brought into cultivation.
- 3) 33% of the induced production by the introduction of biodiesel self-sufficiency and application influences the field of local cultivation.
- 4) Although the amount of CO<sub>2</sub> emission in the manufacturing stage is higher in the system of self-sufficiency and local application of biofuel, in comparison to the system of externally buying and locally consuming fossil fuel, the overall emission in the former system is lower as the amount of CO<sub>2</sub> emitted at the consumption of biofuel is null. The comparison was made by combining the amount of CO<sub>2</sub> emitted through the processes of production of the fuel and consuming it, and it was found that the scenarios of bioethanol fuel and biodiesel fuel had emission of 50% and 19% less than the system of buying and applying fossil fuel

## **5. Future perspectives**

This research work is an investigation of the effects of CO<sub>2</sub> emission in which the methodology of industrial input-out analysis was applied to analyze the environmental effects of agriculture in Hokkaido. The output of this research can serve and be used as a basic material to evaluate and select between the possibility to sustain the conventional agricultural

production system and the new systems. Although verifying all the results obtained in thesis was difficult as many of them were estimated, it is thought that supporting the assumptions with actual measurements of emission obtained from every sector separately would contribute in improving the reliability of the assumptions.

The main focus on this research is to predict the effects of the scenarios which were set, whereas the policies needed to spread biofuel were not discussed so far. However, the biodiesel fuel derived from rapeseed which showed superiority in its impact as explained in Chapter 4 has a price of 125 JPY/L. This is higher than the current prices of diesel in the market, as well as the price of bioethanol fuel, which would be 98 JPY/L. Therefore, it is necessary to develop low cost production methodologies; provided that the methodologies themselves have a minimum impact on the environment. It is already known that 83% of the cost associated with producing biodiesel fuel from rapeseed is, in fact, the cost of buying raw material; i.e., cultivation cost, which means that the sector which should be targeted is determined; that is, how to control the cultivation cost. In Hokkaido, this cost of rapeseed in Hokkaido is occupied mainly by the cost of fertilizers, machine price, and labour fees, which contributes to 27.6%, 20.1% and 18.4%, respectively, of the cultivation cost. Moreover, it is necessary to develop techniques to increase the rapeseed yield by, for example, developing new varieties or improving techniques of extensive production.

At manufacturing, methods to improve oil extraction and recycling of byproducts should be also considered. Moreover, there would be need for policies of giving privilege to biofuel users within Tokachi region similar to the current policy of exempting tax on diesel for farmers.

## 謝辞

本研究は 2011 年から 2016 年 9 月まで、博士課程の学位論文として、北海道大学大学院農学院博士後期課程在学中に行われたものです。本研究の取りまとめにあたり、研究着手当初より、ご指導、ご鞭撻を賜った北海道大学大学院農学研究院柴田洋一教授に心から感謝申し上げます。また、北海道大学大学院農学研究院故片岡崇准教授、岡本博史准教授には研究の方法や考察に際して多くの有益なご助言とご指導を頂きました。さらに、学位審査において、北海道大学大学院農学研究院岩渕和則教授、清水直人准教授並びに帯広畜産大学大学院耕野拓一准教授には懇切なご助言と論文のご閲読を賜りました。ここに記して、感謝申し上げます。

研究データの収集にあたって、エコエルクの為廣正彦様に多大なご協力を頂きました。ここで深く感謝申し上げます。私費留学生として日本に来たときから見守ってくださった高畑英彦先生ご夫妻に深く感謝いたします。

最後に、ともに成長してきた夫、およびこれまで私の歩む道を温かく見守り、そして辛抱強く支援してくださった両親に対しては深く感謝の意を表して謝辞といたします。