

# 中国農業の土地生産性変化と エコロジカルフットプリント

豊田 知世<sup>1</sup>・金子 慎治<sup>2</sup>・周 新<sup>3</sup>・井村 秀文<sup>4</sup>

<sup>1</sup>学生会員 広島大学大学院 国際協力研究科(〒739-8529広島県東広島市鏡山1-5-1)

E-mail:toyota21@hiroshima-u.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 広島大学大学院助教授 国際協力研究科(同上)

E-mail:kshinji@hiroshima-u.ac.jp

<sup>3</sup>学生会員 名古屋大学大学院 環境学研究科(〒464-8601名古屋市千種区不老町)

E-mail:zhou@urban.env.nagoya-u.ac.jp

<sup>4</sup>正会員 名古屋大学教授 大学院環境学研究科(同上)

E-mail:imura@genv.nagoya-u.ac.jp

中国の農業部門では、限られた土地を有効に利用する手段として、農業資本投入による要素代替が行われてきた。これにより農作物の土地生産性は向上し反収は増加している。しかし、農業資本の製造過程や使用過程に付随して環境の意味で必要となる仮想的土地投入分をエコロジカル・フットプリント(EF)の考えに基づいて評価すると、農業生産に必要な土地はどのように評価すべきであろうか。本研究では1985年と2003年の2地点を対象に、中国農作物10品目について、反収の増加によって直接節約された土地と農業資本投下に付随して必要となる間接土地面積の増加を土地収支として表現し、品目や地域ごとに分析した。その結果、中国全体では農業生産に必要な土地面積は22.5百万ha増加しており、特に米、とうもろこし、綿花で大きくEF指標が悪化していることが明らかとなった。

**Key Words** : ecological footprint, agriculture in China, yield, factor substitution

## 1. はじめに

中国の一人当たり耕地面積は世界平均の半分以下とされるが<sup>1)</sup>、昨今の工業化や都市化の進展に伴いこの値はますます減少することが予想される。一方で、中国の人口は今後も増加を続けることが予想されており<sup>2)</sup>、急速に豊かになりつつ増加する人口の食糧需要を満たすためには、土地生産性の向上が不可欠である。一般に農業生産性の向上は、農地の近代化に伴う生産要素代替によって達成される。生産要素代替とは、伝統的投入要素である土地と労働力が、工業化に伴い大量かつ安価に提供される化学肥料(以下、肥料)、農業機械(以下、機械)に代表される農業資本に代替されることを指す<sup>3), 4)</sup>。この過程で、単位面積当たりの収穫量、すなわち土地生産性は増加する。

図-1は中国における1978年から2004年の穀物の反収と農業全体の肥料、機械、有効灌漑面積の変化について示した。肥料と機械の相対価格は90年代から低下しており<sup>5)</sup>、それに伴い農業資本の投入量

は年々増加している。これに伴って、穀物の反収も年平均2.3%づつ増加している。

こうして投入される大量の農業資本は土地と代替

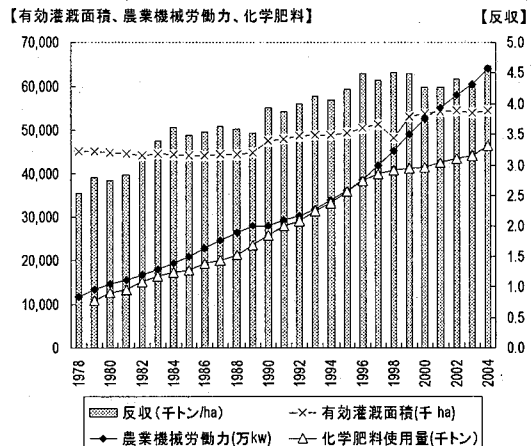


図-1 穀物の反収と農業資本投入量の推移

(出所: 中国統計年鑑各年版<sup>5)</sup>, 新中国五十年農業統計資料<sup>6)</sup>より作成)

表-1 エコロジカルフットプリントの分類

## 直接土地面積

|      |                               |
|------|-------------------------------|
| タイプ1 | 農業生産のために直接投入される土地<br>(直接土地面積) |
|------|-------------------------------|

## 間接土地面積

|      |                                                 |
|------|-------------------------------------------------|
| タイプ2 | 燃料の消費によって排出される二酸化炭素排出を固定するために必要な土地<br>(エネルギー用地) |
| タイプ3 | 土壌から流出した化学肥料投入による窒素浄化に必要な干潟(浄化用地)               |
| タイプ4 | 灌漑のために必要な農業用水を得るために必要な集水域(灌漑用地)                 |

し、反収を増加させ、土地生産性の向上に寄与しているように見える。反収は作付面積あたりに収穫される作物の量、あるいは一定量の収穫を得るために必要な農地面積を表している。しかし、肥料や機械、灌漑面積などの農業資本製造過程や使用過程に付随して生じる環境負荷に対して必要となる土地面積(資本製造・使用過程から排出される汚染物質を固定・浄化するための土地面積や資本使用過程に排出される汚染物質を浄化させるために必要となる土地面積など)は考慮されていない。このような実際に投入された土地と、資本投入の背後にある環境的意味で必要となる土地面積を同時に集計する方法としてエコロジカル・フットプリント(EF)が知られている。EFは次元の異なるさまざまな環境影響を統合するために、資源の採掘に必要な土地、環境負荷を吸収、除去するために必要となる土地、道路や建築等に必要となる土地を含め、人間生活に必要とされる生態的な土地はどれほどなのか明らかにしようとする指標である<sup>7),8)</sup>。EFは、対象によっていくつかに分類される。農業に関わるEFとして、農業生産に投入される土地、すなわち農地(以下、直接土地面積)に加え、資本使用・製造過程から排出される汚染物質を吸収、除去するために必要となる「エネルギー用地」と「浄化用地」、灌漑に必要な「灌漑用地」のような土地(以下、間接土地面積)が挙げられる。

本研究ではEFを表-1のように4つのタイプに分類し、これらを推計することを試みる。まず直接土地面積として、農業生産のために直接投入される土地面積をタイプ1とした。これは作付面積を表している。次に、間接土地面積として、燃料の消費によって排出された二酸化炭素を吸収するために必要なエネルギー用地(タイプ2)と、圃場に投入された肥料から、河川や地下水へ流出した窒素を浄化するために必要となる干潟を浄化用地(タイプ3)とした。ま

た、灌漑を行うために必要となる集水域を灌漑用地としてタイプ4とした。

本研究では農業の生産性変化によってもたらされる環境的意味に着目するため、EFの年変化を分析する。ここでの論点は、農業の近代化にともなう土地生産性(反収)の向上によって節約される直接土地面積と、農業資本投入量の変化によって増加するタイプ2から4までの間接土地面積の合計のどちらが大きいかである。もしある期間において、反収増加によって節約したタイプ1の直接土地面積以上に間接土地面積の投入増加分が大きければ、EFは増加(悪化)していることを示している。反対にタイプ1で節約された直接土地面積が間接土地面積増加分より大きければ、EFは減少(改善)しているということが出来る。

本研究では、中国農業部門を対象に、1985年と2003年の期間に変化したEFを評価することを目的とした。また、中国のように大きな国土を持つ国では、農業気候帯が多様であり、反収や要素投入構造は省や作付け品目によって異なることから、省別・作付け品目別の推計を試みた。対象とした作付け品目は米、小麦、とうもろこし、大豆、綿花、落花生、菜種、タバコ、さとうきび、ビートの計10品目である。これらの地域別・品目別のEFの収支バランスを推計することが目的である。

## 2. 分析方法

### (1) 品目別の要素投入の推計

ここでの推計方法は基本的に著者らの先行研究による推計方法に依拠している<sup>9)</sup>。農作物主要品目別の収穫量と作付面積は「中国統計年鑑各年版<sup>9)</sup>」に毎年省別に掲載されているが、その他の生産要素、ここでは、機械使用量、機械使用台数、肥料投入量、有効灌漑面積などについては、農作物生産全体に対するデータしかなく、品目別データは得られない。他方、「建国以来全国所要農産品成本収益資料集編1953~1997(下巻)<sup>10)</sup>」には、1ムー(1ムー=0.067ha)当たりの各種生産投入要素の費用について、省別品目別に掲載されている。本研究では、この品目別の単位面積当たりの費用によって、農業生産全体の総投入量を品目別に按分する。これによって、主要な生産投入要素について省別、品目別データが得られる。本研究で対象とした品目は、米、小麦、とうもろこし、大豆、綿花、落花生、菜種、タバコ、さとうきび、ビートの10品目とした。

## (2) 節約土地面積の推計

1985年から2003年にかけて穀物の反収は約24%増加している<sup>5)</sup>。この2時点において、反収の増加によってどれほどの農地が節約されたのか、節約された農地面積を以下の式で求めた。

$$y_{1985} = \frac{Y_{1985}}{A_{1985}} = 1985\text{年の反収} \quad (1)$$

$$y_{2003} = \frac{Y_{2003}}{A_{2003}} = 2003\text{年の反収} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{反収増加による土地節約分} &= \frac{Y_{2003}}{y_{1985}} - A_{2003} \\ &= \frac{Y_{2003}}{Y_{1985}} A_{1985} - A_{2003} \\ &= A_{1985} \left( \frac{Y_{2003}}{Y_{1985}} - \frac{A_{2003}}{A_{1985}} \right) \end{aligned} \quad (3)$$

$y$ は反収、 $Y$ は収穫量、 $A$ は作付面積を示しており、2003年に1985年と同じ反収であった場合に必要とされる作付面積から、実際に投入された作付面積を差し引いた値を節約土地面積とした。これは基準年の作付け面積に収穫量の増加率と作付け面積の増加率の差を乗じたものである。これらのデータは中国統計年鑑<sup>5)</sup>より得ることが出来る。ここで節約された土地は、タイプ1のEFである。この節約したタイプ1のEFを品目別に図-2に示した。中国の三大穀物である米、小麦、とうもろこしの穀物での反収の改善による節約土地面積が大きい。

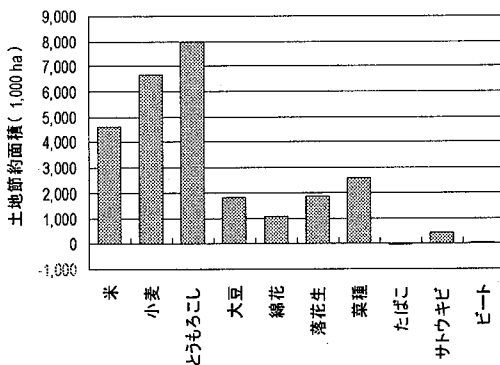


図-2 反収増加による節約土地面積

## (3) 間接土地投入の推計

ここでは、間接土地面積であるタイプ2からタイプ4のEFの推計方法を示す。肥料と機械製造過程において排出される二酸化炭素を固定するために必要なエネルギー用地(タイプ2)と、使用過程において排出される汚染物質を浄化・固定させるために必要

となるエネルギー用地と浄化用地(タイプ3)、灌漑に必要な農業用水集水に必要な集水域の灌漑用地(タイプ4)を間接土地面積として推計を行った。

### a) 製造過程において必要になる土地投入量

ここでは、タイプ2のEF推計方法について示す。図-3、図-4に肥料と機械のそれぞれについて推計方法と用いたデータについて示した。中国で生産された製品のライフサイクルCO<sub>2</sub>原単位(LC-CO<sub>2</sub>)を得ることが出来ないため、一般に以下の方法で日本の原単位から中国の値を推計した。ここでは2000年における日中間の物量単位でのエネルギー消費効率の差が、化学製品において24%、粗鋼において16%高い<sup>11)</sup>という推計結果を参考に、2000年の日本

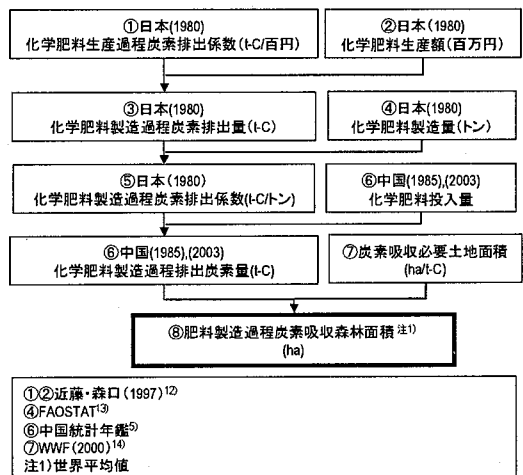


図-3 肥料製造過程 CO<sub>2</sub> 吸収面積 (タイプ 2)

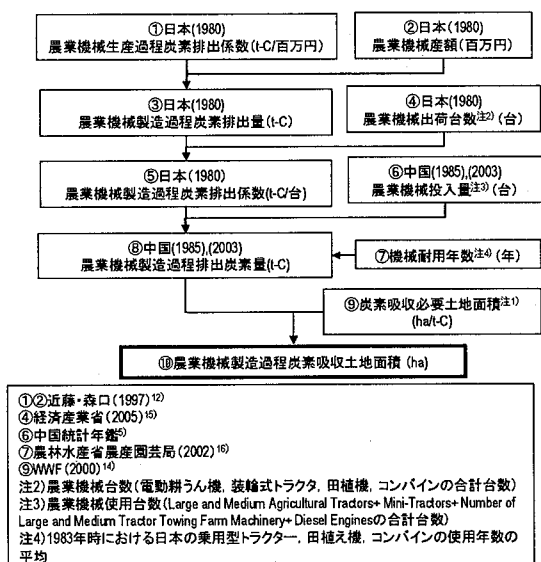


図-4 機械製造過程 CO<sub>2</sub> 吸収面積 (タイプ 2)

における肥料と機械製品のライフサイクルCO<sub>2</sub>排出原単位(物量ベースに換算したもの)をそれぞれ24%増、16%増にして2003年の中国の値として利用した。なお、この値は概ね日本の1980年の値とほぼ等しい値となった。ただし、1985年から2003年にかけて中国のエネルギー効率が47.1%向上しているため<sup>17)</sup>、2003年から47.1%分だけ大きい値を中国の1985年の原単位とした。なお、化学肥料、農業機械の2003年におけるLC-CO<sub>2</sub>原単位の日中間格差が1%ずつ変化した場合の間接土地面積全体の変化率は、それぞれ0.61%、0.04%である。

肥料製造過程では、投入された肥料投入量(トン)にLC-CO<sub>2</sub>原単位(t-C/トン)を乗じ、二酸化炭素排出量(t-C)を求めた。ここでのLC-CO<sub>2</sub>原単位は金額ベースの原単位(t-C/百万円)に製造品出荷額(百万円)を乗じた上で、年間肥料生産量(トン)で割り戻して求めた。

機械製造過程では、まず1年間に投入された述べ機械台数(台)に対して、それらを製造するためのライフサイクルCO<sub>2</sub>排出量を求める。投入機械台数に機械製品のLC-CO<sub>2</sub>原単位(t-C/台)を乗じることで二酸化炭素排出量(t-C)を求めた。ここでも肥料と同様に、農業機械の金額ベースの原単位(kg-C/百万円)に製造品出荷額(百万円)を乗じた上で、年間農業機械生産量(台)で割り戻して求めた。最後に、上記で求めた二酸化炭素排出量を平均機械耐用年数で除することで各年の機械製造にともなうCO<sub>2</sub>排出量を推計した。ただし、農業機械の耐用年数は日本の1983年時の値を使用した。

次に、これらの肥料、農業機械の製造にともなうCO<sub>2</sub>排出量を固定するために必要なエネルギー用地(タイプ2の間接土地面積)を推計する。表-2に示すようにCO<sub>2</sub>固定に必要なエネルギー用地は地域や植生、土壌によって値が大きく異なる。高いCO<sub>2</sub>吸収能力地である森林についても、報告されている土地1単位当たりのCO<sub>2</sub>吸収能力は1.3～5.3(ton-

表-2 CO<sub>2</sub>吸収能力の違い

| 測定地点          | 樹木種類        | CO <sub>2</sub> 吸収能力<br>(ton-C/ha/year) |
|---------------|-------------|-----------------------------------------|
| Massachusetts | アメリカ 冷温帯落葉林 | 3.70                                    |
| Oak Pedge, TN | アメリカ 温帯落葉林  | 5.30                                    |
| Central       | イタリア 温帯落葉林  | 4.70                                    |
| Rondonia      | ブラジル 熱帯雨林   | 1.00                                    |
| Saskatchewan  | カナダ 亜寒帯林    | 1.30                                    |
| 高山            | 日本 冷温帯落葉林   | 1.30                                    |
| 森林平均          |             | 2.88                                    |
| グローバル・ヘクタール   |             | 0.96                                    |

(出所: Yamamoto, et.al. (1999)<sup>18)</sup>, WWF(2000)<sup>14)</sup>)

C/ha/year)と幅がある<sup>18)</sup>。ここでは、中国では排出されたすべてのCO<sub>2</sub>が森林で吸収されるのではなく、また十分広い国土と多様な気候帯と地理条件によってCO<sub>2</sub>が吸収されると考えられるため、単位面積当たりCO<sub>2</sub>固定量は特定の樹木や気候帯を想定したものではなく、世界平均値であるグローバル・ヘクタール<sup>1)</sup>を用いて推計した。

#### b) 使用過程において必要となる土地投入量

使用過程における間接土地面積の推計方法を説明する。ここでは、肥料投入にともなって土壌から流出する窒素を浄化するために必要なタイプ3の土地面積と農業機械使用時の燃料消費によって排出されるCO<sub>2</sub>を固定するために必要なタイプ2の土地を間接土地面積として推計した。図-5と図-6にそれぞれの推計方法と用いたデータを示した。

肥料使用過程では、投入された肥料(トン)から肥

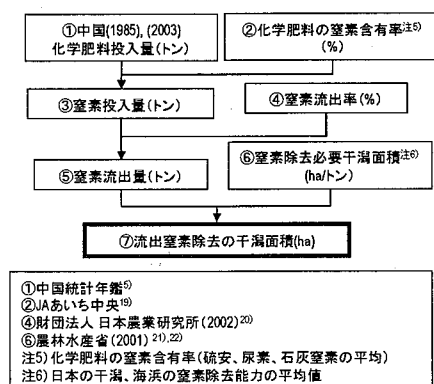


図-5 肥料使用過程窒素浄化必要面積(タイプ3)

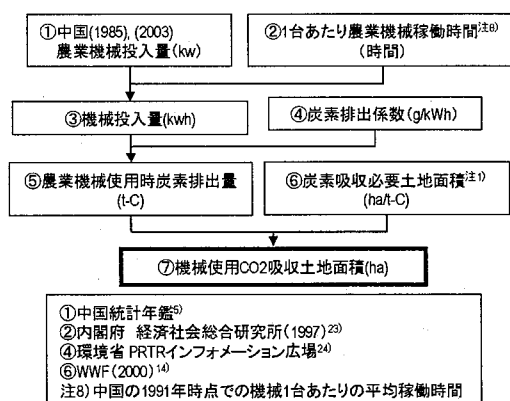


図-6 機械使用過程CO<sub>2</sub>吸収面積(タイプ2)

<sup>1)</sup> グローバル・ヘクタールは、生物学的生産力が世界平均と等しい1ヘクタールの土地を表わしており、CO<sub>2</sub>吸収能力は0.96(ton/ha/year)<sup>8), 14)</sup>。

表-3 窒素浄化能力の違い

| 所在地     | 干潟面積<br>(ha) | 年間窒素浄化量<br>(kg) | 浄化能力<br>(ton/ha/year) |
|---------|--------------|-----------------|-----------------------|
| 盤洲干潟    | 千葉 1,200     | 935,130         | 0.78                  |
| 三番瀬干潟   | 千葉 1,200     | 919,070         | 0.77                  |
| 富津州     | 千葉 174       | 69,715          | 0.40                  |
| 幕張人工海浜  | 千葉 42        | 4,015           | 0.10                  |
| 谷津干潟    | 千葉 40        | 14,600          | 0.37                  |
| 剣見河人工海浜 | 千葉 26        | 1,460           | 0.06                  |
| 葛西人工海浜  | 東京 25        | 10,950          | 0.44                  |
| 稲毛人工海浜  | 千葉 24        | 2,920           | 0.12                  |
| 園ノ州干潟   | 香川 54        | 124,200         | 2.30                  |
| 曾保干潟    | 香川 46        | 1,656           | 0.04                  |
| 勇崎干潟    | 岡山 21        | 3,150           | 0.15                  |
| 高州干潟    | 岡山 14        | 18,200          | 1.30                  |
| 新舞子干潟   | 兵庫 14        | 1,022           | 0.07                  |
| 甲子園浜干潟  | 兵庫 2         | 2,000           | 1.00                  |
| 一色干潟    | 愛知 1,000     | 570,000         | 0.57                  |
| 平均      |              |                 | 0.56                  |

(出所：農林水産省(2001)<sup>21)</sup>，国立環境研究所(2003)<sup>22)</sup>)

料に含まれている窒素含有率(%)と投入した窒素が圃場から河川や地下水へ流出する流出率(%)から窒素流出量(トン)を推計した。この窒素を浄化するために必要な面積(kg/ha/年)を肥料使用による間接土地面積として推計した。ここでは、データの制約上、肥料に含まれる窒素含有率(%)，窒素流出率(%)，窒素除去のために必要面積は日本の値を用いた。ただし、窒素除去のための面積は干潟面積を用いており、表-3に示すように、自然干潟と人工干潟によって窒素除去能力が異なるため、日本においてデータが得られる人工・自然干潟の窒素浄化能力の平均値を使用した。

機械使用過程では、まず機械投入量(kw)に機械1台あたりの平均稼働時間に乗じることで機械労働力(kwh)を推計する。これに機械使用のCO<sub>2</sub>排出係数(g/kwh)を乗じることで機械使用によるCO<sub>2</sub>排出量(t-C)を推計した。ここでも、データの制約から、農業機械の燃費に大きな国間の違いが無いものとみなし、CO<sub>2</sub>排出係数は日本の値を用いた。最後に、すでに述べた方法でCO<sub>2</sub>排出量を吸収土地面積に換算する。

### c) 灌漑のために必要となる集水域の推計

タイプ4のEF推計方法と用いたデータについて図-7に示した。ここでは灌漑に必要な農業用水を集水するために必要となる集水域を灌漑のために必要な用地として推計した。灌漑用水のための必要集水域については、まず推計した品目別の灌漑面積(ha)に品目・省別の灌漑定数(m<sup>3</sup>/ha)を乗じることで、灌漑必要水量(m<sup>3</sup>)を求めた。これに送水や蒸発による損失分として水消費率(%)を乗じることで、実際に必要とされる農業用水投入量(m<sup>3</sup>)とした。次に、省別の年平均降水量(mm)より、ha当たり降雨量

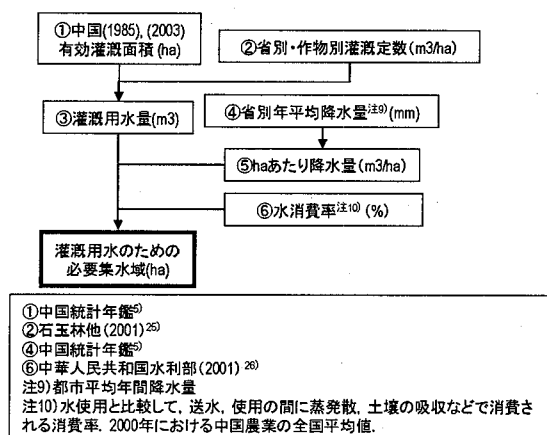


図-7 灌漑必要集水域(タイプ4)

(m<sup>3</sup>/ha)で割り、農業用水投入のために必要な集水域を推計した。

## 3. 結果

### (1) 中国全体の土地収支

1985年から2003年の2時点において、反収の増加によって節約された直接土地面積のEF減少分と、タイプ2からタイプ4までの間接土地面積のEF増加分の全国土地収支を品目別に表-4にまとめた。土地収支のプラスは、分析期間に反収の増加によって節約された直接土地より、農業資本製造や使用に付随して必要となる間接土地面積が大きいことを示しており、EFは悪化したといえる。一方、土地収支のマイナスは、間接土地面積の増加分と比較して、反収向上によって節約された直接土地面積が大きいことを示しており、この場合はEFが改善したといえる。ほとんどの作物でEFが悪化する結果となっている。特に米、とうもろこし、綿花は全体のEF悪化に対する寄与が大きく、これら作物は反収の増加の伸びが小さかった反面で、農業資本の投入が大きく増加した結果、EFが大きく悪化したことを表している。中国全体の土地収支の合計は22.5百万ヘクタール強のEF増加である。この土地収支の内訳は図-8に示した。反収の改善は直接土地面積27.1百万haの節約をもたらす一方で、そのために投入された農業投資に相当する間接土地として、農地の節約分を大きく凌ぐ49.7百万haのEFが必要となると評価された。とりわけ、肥料の製造と使用による間接土地面積と、灌漑用水集水域としての間接土地面積のEFが大きな割合を占めている。中国は現在世界第一位の肥料消費国であり<sup>5)</sup>，大量の肥料の製造と投入によるEFの影響が大きい。なお、中国全国品の

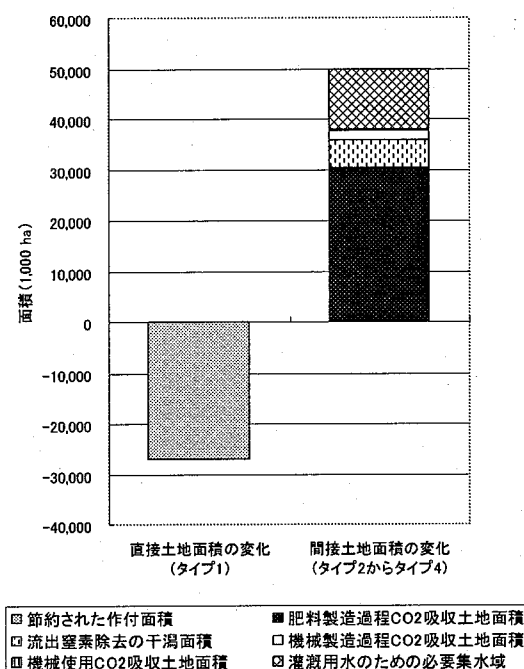


図-8 作物全体の土地収支の内訳

目別の土地収支の詳細は付表-1に示した。

本研究において、間接土地を推計する際に用いる原単位の選定が結果に大きく影響を与える可能性がある。そのため、ここでは本研究結果の解釈のために、特に影響が大きいCO<sub>2</sub>吸収能力と干潟の窒素除去能力に関する原単位の違いが結果にどれほど影響を及ぼすかを評価しておく。表-5にCO<sub>2</sub>吸収と窒素除去能力の評価基準を変えて推計を行った間接地面積と土地収支面積を示した。CO<sub>2</sub>吸収については、表-2で示した森林平均値と同じアジア圏である日本の森林(高山)のCO<sub>2</sub>吸収能力で評価した間接土地と土地収支を示した。CO<sub>2</sub>吸収能力が大きい土地である森林の平均値を用いた場合は、土地収支は約0.83百万haのEF増加に留まり、高山では14.0百万のEF増加となった。また、表-3に示した日本の干

表-5 CO<sub>2</sub>吸収と窒素除去能力の違いが推計結果にもたらす影響

|                         | CO <sub>2</sub> 吸収能力<br>(ton-C/ha/year) | 間接土地面積<br>(1,000 ha) | 土地収支<br>(1,000 ha) |
|-------------------------|-----------------------------------------|----------------------|--------------------|
| 世界平均値<br>(グローバルヘクタール)   | 0.96                                    | 49,670               | 22,538             |
| 森林平均値                   | 2.88                                    | 27,960               | 829                |
| 日本の森林(高山)               | 1.30                                    | 41,083               | 13,951             |
|                         | 窒素除去能力<br>(ton/ha/year)                 | 間接土地面積<br>(1,000 ha) | 土地収支<br>(1,000 ha) |
| 日本の干潟平均値                | 0.56                                    | 49,670               | 22,538             |
| 最大除去能力<br>(園ノ州干潟:香川県)   | 2.30                                    | 45,607               | 18,475             |
| 最小除去能力<br>(剣見河人工海浜:千葉県) | 0.06                                    | 98,279               | 71,148             |

潟・海浜において窒素除去能力が最も大きい園ノ州干潟の値を用いた場合においても、土地収支は18.5百万haのEF増加となった。いずれも単一の原単位を変化させた場合にはEFは増加(悪化)するものの、これらを複数組み合わせで評価した場合、EF収支の符号が変わる可能性もあることが分かる。これら原単位の精度向上は今後の課題である。

## (2) 省別の土地収支

図-9に省別の農作物10品目の合計の土地収支と、中国の主な穀物である米、小麦、とうもろこしの土地収支を地図上に示す。農作物合計は、ほぼ全国でEFは増加しており、特に北部で大きくEF増加を示している。穀物別でみると、米は南部や沿海側でEF増加を示している反面、小麦の北部ではEF減少を示している。これは小麦は北部地域では土地生産性の向上が大きいことを意味している。とうもろこしでは全国的にほとんどEF増加を示しており、特に中部で大きくマイナスとなっている。このように地域や品目によって特徴があることが伺える。推計した省別・品目別の直接土地面積と合計間接土地面積は付表-2を参考にされたい。

## 4. 結論

本研究では中国の1985年と2003年の2時点を対象に、米、小麦、とうもろこし、大豆、綿花、落花生、菜種、タバコ、さとうきび、ビートの10品目について、反収の増加による土地節約分と農業資本製造、投入過程に付随して必要とされるEFの変化分を土地収支として比較し、品目や地域によってどのように土地投入構造が変化したのかの分析を行った。

本研究では、以下の点が明らかになった。

1. 1985年と比較して2003年における中国農業の反収は増加したが、土地生産性を向上させるために投入された肥料、機械、灌漑面積に付随して必要となる間接土地投入の増加分は、データの制約上、多くを日本の原単位を用いているため過小評価になっている可能性があるにもかかわらず、反収の節約に比べて22.5百万ヘクタール強ほど大きくなっている。
2. 特に、米、とうもろこし、綿花では、反収の向上による直接土地の節約分以上に間接土地の投入が大きくなっている。
3. 省別の土地収支では、農作物全体として、北

部の土地収支は大きくプラスになっており、大きくEFが悪化している。

4. 中国の主な穀物である米、小麦、とうもろこしの土地収支を比較すると、米は南部と沿海部がEFが悪化しており、とうもろこしと小麦の生産によって内陸部でEFが悪化する結果となっており、地域や品目によってEFの値は異なることが確認できた。

謝辞：本稿は、平成16～18年度 環境省地球環境研究総合推進費「物質フローモデルに基づく持続可能な生産・消費の達成度評価手法に関する研究」(研究代表者 独立行政法人国立環境研究所、森口祐一)の成果の一部である。

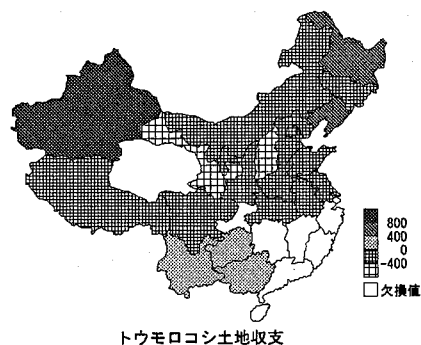
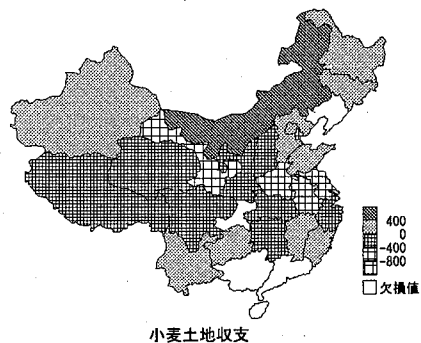
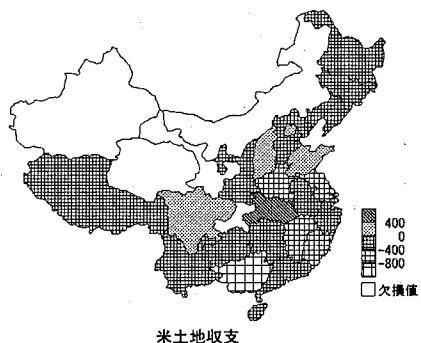
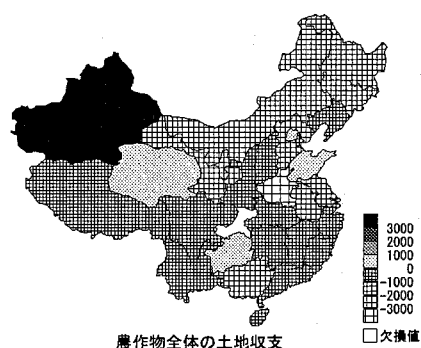
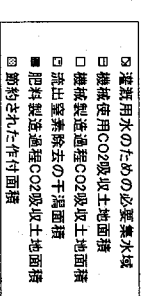
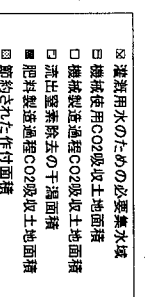
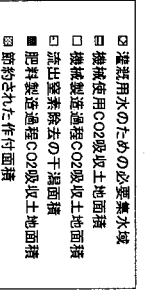
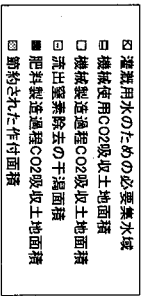
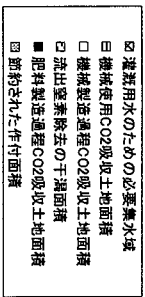
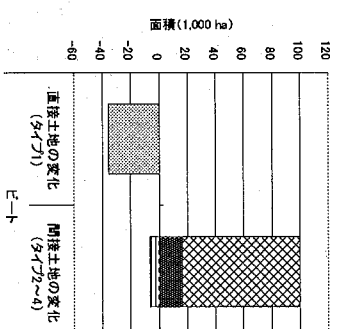
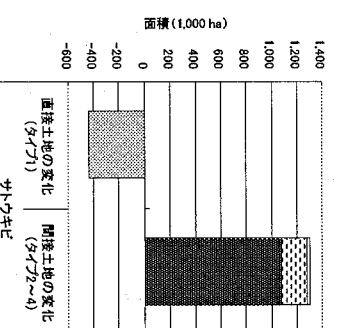
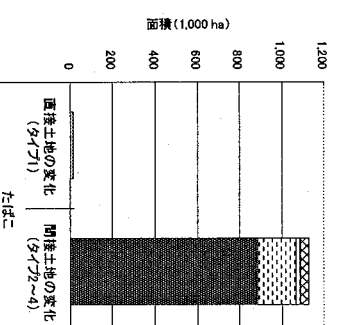
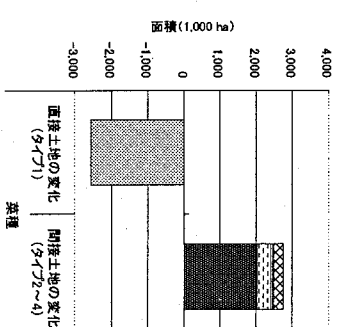
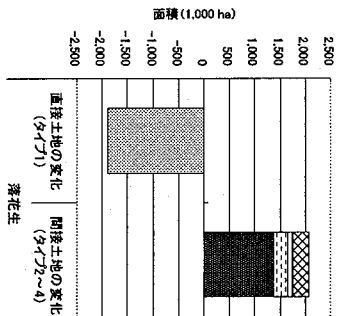
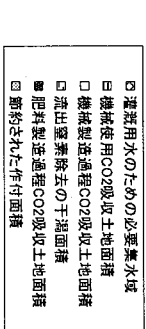
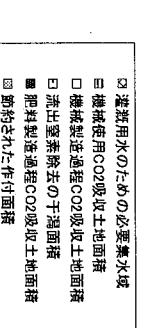
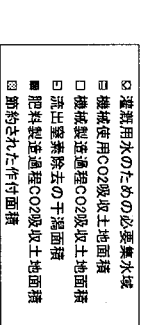
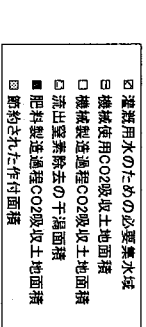
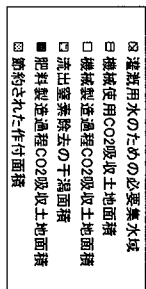
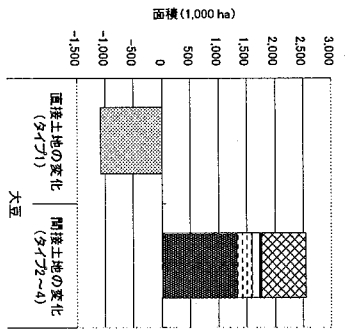
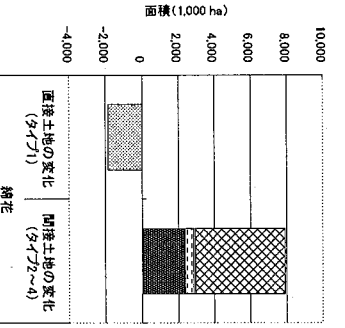
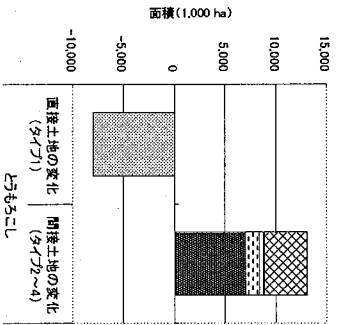
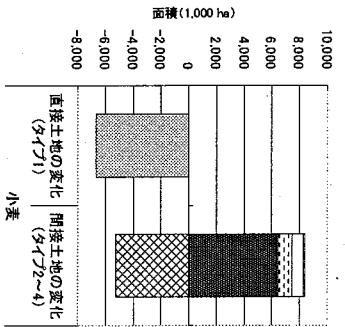
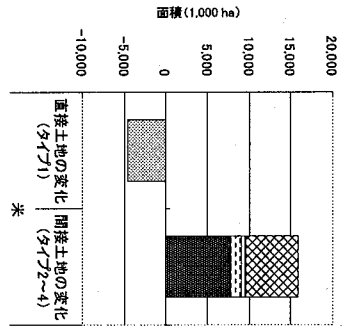


図-9 省別の農作物合計と作物別の土地収支(1,000ha)

付表-1 中国全体の品目別土地収支



付表-2 省別・品目別の土地節約分(上段)と間接土地投入の変化分(下段)

(単位: 1,000 ha)

|     | 米       | 小麦      | とうもろこし  | 大豆      | 綿花      | 落花生     | 菜種      | たばこ   | サトウキビ | ビート   | 省別合計     |
|-----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|-------|-------|----------|
| 北京  | 0.2     | 12.3    | -9.7    |         |         | 1.1     |         |       |       |       | 3.9      |
| 天津  | 3.0     | 45.7    | 35.3    | 42.7    |         | 1.9     |         |       |       |       | 128.7    |
| 河北  | -8.4    | 1,026.4 | 277.7   | 124.3   | 89.4    | 357.5   | 31.7    | -0.2  |       | 1.2   | 1,899.5  |
| 山西  | -1.3    | 158.3   | 214.6   | 58.6    | 101.6   |         | 0.8     | 0.2   |       | 2.1   | 534.8    |
| 内蒙古 |         | 175.1   | 823.9   |         | -368.8  |         | 202.2   |       |       | 1.8   | 834.3    |
| 遼寧  | 141.0   |         | 990.5   | 1.5     | 167.2   | 70.9    |         | 1.1   |       | 0.9   | 1,373.1  |
| 吉林  | 19.4    | 19.3    | 793.6   |         | 403.0   |         |         | -0.2  |       | 2.9   | 1,238.1  |
| 黒龍江 | 725.1   | 62.7    | 1,127.3 |         | 443.9   |         |         | -4.3  |       | -52.6 | 2,302.1  |
| 上海  | 37.9    | -2.2    |         | 0.8     |         |         | -10.8   |       |       |       | 25.7     |
| 江蘇  | 243.2   | -27.6   | -42.8   | -9.7    | 153.5   | -11.8   | 199.4   |       |       |       | 504.3    |
| 浙江  | 158.2   | 6.4     |         | 6.5     |         |         | 18.5    |       |       |       | 189.7    |
| 安徽  | -199.2  | 62.1    | 260.8   | -50.8   | 92.2    | 123.0   | 87.8    | -0.1  |       |       | 375.8    |
| 福建  | 172.7   | 5.2     |         |         | 80.3    | 20.3    | 16.5    | 23.4  | -2.1  |       | 316.2    |
| 江西  | 324.7   | 5.6     |         | 16.0    | 66.9    | 62.8    | 143.3   | 2.3   | -1.8  |       | 619.7    |
| 山東  | 26.8    | 1,029.0 | 735.4   | 84.1    | 205.5   | 258.9   |         | -6.3  |       |       | 2,333.4  |
| 河南  | -40.8   | 2,047.7 | -13.8   | -365.9  | 7.8     | 401.3   | 205.3   | -32.9 |       |       | 2,208.6  |
| 湖北  | 361.3   | 34.4    | 202.5   | -47.9   | 147.5   | 132.8   | 470.6   | 1.3   |       |       | 1,302.6  |
| 湖南  | 348.8   | 18.6    |         | 25.4    | 130.5   |         | 221.8   | 24.6  | -4.4  |       | 765.3    |
| 広東  | 572.4   |         |         |         |         | 209.8   |         | 11.9  | 51.5  |       | 845.7    |
| 広西  | 657.8   |         | 298.0   |         |         | 147.3   |         | 0.5   | 386.5 |       | 1,490.0  |
| 海南  |         |         |         |         |         |         |         |       |       |       |          |
| 重慶  |         |         |         |         |         |         |         |       |       |       |          |
| 四川  | 350.5   | 43.9    | 255.7   | -3.1    |         | 88.3    | 260.4   | 16.5  | 3.7   |       | 1,015.8  |
| 貴州  | 375.3   | 116.9   | 515.4   |         | 116.4   | 14.8    | 276.3   | -21.5 | 2.7   |       | 1,396.4  |
| 云南  | 371.5   | 323.3   | 413.0   |         | 105.5   | 7.9     | 144.4   | -22.4 | 3.7   |       | 1,346.9  |
| 西藏  | 0.0     | 47.2    | 2.1     |         |         |         | 13.7    |       |       |       | 62.9     |
| 陝西  | -5.5    | 348.9   | 268.8   | 51.0    | -108.0  | 3.1     | 21.7    | -4.3  |       |       | 575.8    |
| 甘肅  |         | 325.2   | 225.5   | 48.3    |         |         | 55.9    | -1.2  |       | 0.8   | 654.5    |
| 青海  |         | 10.3    |         |         |         |         | 94.2    |       |       |       | 104.5    |
| 寧夏  | -2.7    | 45.0    | 123.2   |         |         |         |         |       |       |       | 165.5    |
| 新疆  |         | 737.3   | 484.6   | 1,102.2 |         |         | 115.3   |       |       | 78.3  | 2,517.7  |
| 中国  | 4,632.0 | 6,677.2 | 7,981.6 | 1,084.0 | 1,834.5 | 1,889.6 | 2,569.0 | -11.4 | 439.7 | 35.5  | 27,131.8 |

|     | 米        | 小麦       | とうもろこし   | 大豆      | 綿花      | 落花生     | 菜種      | たばこ     | サトウキビ   | ビート   | 省別合計     |
|-----|----------|----------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|----------|
| 北京  | -142.5   | -35.4    | 115.4    |         |         | 16.9    |         |         |         |       | -45.6    |
| 天津  | 60.2     | 551.9    | 117.9    | 174.6   |         | 5.3     |         |         |         |       | 909.9    |
| 河北  | 6.1      | 1,021.0  | 1,657.2  | 375.3   | 242.9   | 306.7   | 6.2     | 6.8     |         | 0.0   | 3,622.3  |
| 山西  | -26.1    | 295.6    | 676.5    | 149.0   | 128.1   |         | -1.4    | 1.4     |         | -2.5  | 1,220.7  |
| 内蒙古 |          | -396.4   | 2,918.4  | 0.0     | 807.1   |         | 32.7    |         |         | -62.7 | 3,299.1  |
| 遼寧  | 1,419.4  |          | 525.2    | -8.5    | 29.1    | 85.1    |         | 12.6    |         | -3.6  | 2,059.3  |
| 吉林  | 1,808.0  | -16.6    | 1,147.9  |         | 123.8   |         |         | 12.7    |         | -14.2 | 3,061.6  |
| 黒龍江 | 3,547.7  | -134.3   | 572.6    |         | 571.9   |         |         | 5.7     |         | -13.7 | 4,550.0  |
| 上海  | 108.9    | 5.9      |          | -17.6   |         |         | 25.4    |         |         |       | 122.6    |
| 江蘇  | 859.6    | 606.2    | 226.1    | 235.0   | 103.2   | 96.6    | 319.5   | 1.3     |         |       | 2,447.6  |
| 浙江  | 378.9    | 21.0     |          | -8.7    |         |         | 133.7   |         |         |       | 524.8    |
| 安徽  | 1,202.5  | 819.9    | 265.4    | 429.6   | 84.6    | 79.9    | 365.4   | 10.5    |         |       | 3,257.9  |
| 福建  | 708.0    | 2.7      |          |         | 88.6    | 109.2   | 6.5     | 147.7   | 59.1    |       | 1,121.9  |
| 江西  | 898.4    | -1.7     |          | 40.2    | 36.2    | 50.5    | 80.8    | 11.2    | 28.4    |       | 1,144.1  |
| 山東  | -89.4    | 647.1    | 985.5    | 115.9   | 15.4    | 518.6   |         | 24.1    |         |       | 2,217.1  |
| 河南  | 676.6    | 2,719.8  | 1,035.0  | 521.1   | -11.2   | 382.2   | 109.8   | 76.2    |         |       | 5,509.6  |
| 湖北  | -245.8   | 133.6    | 291.7    | 387.6   | 115.5   | 99.5    | 669.1   | 101.6   |         |       | 1,552.8  |
| 湖南  | 353.8    | 34.6     |          | 108.0   | 41.8    |         | 221.8   | 132.9   | 40.5    |       | 933.4    |
| 広東  | 918.8    |          |          |         |         | 136.5   |         | 36.9    | 120.0   |       | 1,212.3  |
| 広西  | 1,561.4  |          | 167.5    |         |         | 67.0    |         | 17.5    | 735.7   |       | 2,549.1  |
| 海南  |          |          |          |         |         | 12.8    |         |         | 113.5   |       | 126.4    |
| 重慶  |          |          |          |         |         |         |         |         |         |       | 0.0      |
| 四川  | 282.7    | 417.9    | 500.1    | -12.5   |         | 61.4    | 286.3   | 119.0   | 53.2    |       | 1,708.0  |
| 貴州  | 393.7    | 41.6     | 190.1    |         | -7.7    | 4.6     | 73.7    | 150.5   | 0.0     |       | 846.4    |
| 云南  | 464.1    | 84.5     | 408.3    |         | 51.8    | 8.6     | 35.4    | 227.6   | 157.1   |       | 1,437.4  |
| 西藏  | 6.7      | 145.8    | 9.7      |         | 23.3    |         | 54.1    |         |         |       | 239.7    |
| 陝西  | 232.6    | 466.7    | 329.1    | 118.6   | 117.0   | 29.0    | 96.7    | 26.5    |         |       | 1,416.2  |
| 甘肅  |          | 1,170.9  | 953.9    | 46.7    |         |         | 73.5    | 6.7     |         | -13.2 | 2,238.4  |
| 青海  |          | 22.0     |          |         |         |         | 55.8    |         |         |       | 77.8     |
| 寧夏  | 162.1    | 1,099.3  | 395.1    |         |         |         |         |         |         | -21.8 | 1,634.7  |
| 新疆  |          | -6,530.2 | -379.7   | 5,253.8 |         |         | 104.9   |         |         | 225.6 | -1,325.5 |
| 中国  | 15,546.4 | 3,193.5  | 13,108.8 | 7,907.9 | 2,561.5 | 2,070.6 | 2,749.9 | 1,129.5 | 1,307.7 | 94.1  | 49,669.9 |

## 参考文献

- 1) 国家環境保護総局：環境状況公報 2003 年版, 2004, 日中友好環境保全センター仮訳を引用  
([http://www.zhb.gov.cn/japan/env\\_info/3\\_7\\_2003\\_08.htm](http://www.zhb.gov.cn/japan/env_info/3_7_2003_08.htm))
- 2) United Nations : World population prospect: the 2004 revision, Population database, 2006.
- 3) 渡辺利夫：開発経済学第二版, pp86-104, 日本評論社, 1997.
- 4) 速水裕次郎：新版開発経済学, pp92-121, 創文社, 2000.
- 5) 国家統計局編：国統計年鑑各年版, 中国統計出版社.
- 6) 国家統計局農村社会経済調査総員：新中国五十年農業統計資料：中国統計出版社, 2000.
- 7) Helmut Haberl, Karl-Heinz Erb, Fridolin Krausmann: How to calculate and interpret ecological footprints for long periods of time: the case of Austria 1926-1995 : *Ecological Economics*, Vol.38, pp. 25-45, 2001
- 8) WWF : Living Planet Report 2004, WWF, 2005.
- 9) 豊田知世, 金子慎治, 田中勝也：中国農業の化学肥料投入と生産性に関する研究: 米・小麦・とうもろこし生産を事例として, 環境システム研究論文集, Vol33, pp89-96, 2005.
- 10) 国家発展改革委価格司編：建国以来全国主要農産品成本収益資料集編(下巻), 中国物価出版社, 2003.
- 11) 沈中元：中国の省エネルギー潜在力, 財団法人日本エネルギー経済研究所, 2003.  
(<http://enen.iecej.or.jp/data/pdf/695.pdf>)
- 12) 近藤美則, 森口祐一：産業連関表による二酸化炭素排出原単位, 地球環境研究センター・環境庁国立環境研究所, 1997.
- 13) FAO, FAOStat, (<http://faostat.fao.org/>)
- 14) Wackernagel, M., Alejandro Callejas Linares, Diana Deumling, María Antonieta Vásquez Sánchez, Ina Susana López Falfán and Jonathan Loh : Ecological Footprints and Ecological Capacities of 152 Nations: The 1996 Update, Redefining Progress, Oakland, USA, Centro de Estudios para la Sustentabilidad, Xalapa, Mexico, WWF International, Gland, Switzerland, 2000.
- 15) 統計局・統計研究所：日本の長期統計系列, 総務省
- 16) 農林水産省農産園芸局：中古農業流通実態調査結果 平成 9・10 年, p9, 2002.
- 17) IEA : Energy Balances of non-OECD Countries 1971-2002, IEA Statistics, CD-Rom, 2004
- 18) Susumi Yamamoto, Shohei Murayama, Nobuko Saigusa and Hiroaki Kondo : Seasonal and inter-annual variation of CO<sub>2</sub> flux between a temperate forest and the atmosphere in Japan, Yellus, pp402-pp413, Vol 51B, 1999.
- 19) JA あいち中央：主な肥料の特性(<http://www.jaac.or.jp/saien/basic/hiryou/index.htm>)
- 20) 財団法人 日本農業研究所：農耕地からの窒素等の流出を低減する一農業環境収支適正化確立事業の成果から一, pp14-15, 2002. (<http://www.nohken.or.jp/kankyoku.pdf>)
- 21) 農林水産省：平成 12 年度農林水産省政策評価結果 政策目標地産出の考え方, pp74/6-74/7, 2001.  
(<http://www.maff.go.jp/soshiki/kambou/kikaku/hyoka/kekka74.pdf>)
- 22) 国立環境研究所：干潟等湿地生態系の管理に関する国際共同研究(特別研究), 国立環境研究所特別報告, pp51-pp54, 2003
- 23) 経済企画庁経済研究所編：21 世紀中国のシナリオ「中国の将来とアジア太平洋経済」, 研究会報告書, 経済企画庁経済研究所, pp67, 1997.
- 24) 環境省：PRTR インフォメーション広場建設機械・農業機械・産業機械にかかる排出量, pp7-10, 2006.
- 25) 石玉林, 戸良恕：China's Agricultural Water Demand and High Efficient Farming Construction of Water Saving, 中国水資源出版社, pp7-10, 2001.
- 26) 中華人民共和国水利部：中国水資源公報 2000, 2001.  
【国際協力事業団水利人材養成プロジェクト翻訳を引用】

## CHANGES IN AGRICULTURAL LAND PRODUCTIVITY AND ECOLOGICAL FOOTPRINT IN CHINA

Tomoyo TOYOTA, Shinji KANEKO, Zhou Xin and Hidefumi IMURA

This study estimates changes in the ecological footprint (EF) in China's agricultural sector in 1985 and 2003 with special focus on the process of agricultural modernization. Agricultural modernization can bring in the land productivity improvement while increasing production factors including fertilizer, agricultural machinery and irrigation which causes various environmental burdens. These positive and negative impacts associated with land is evaluated with EF. The changes in EF during the period between 1985 to 2003 are measured and compared by type of crops and regions. As a result, the total EF has increased by 22.5 million hectar during the study period. Moreover, the EF index appeared to be extremely deteriorated especially in the case of rice, corn, and cotton.