

C-052 酸性物質の負荷が東アジア集水域の生態系に与える影響の総合的評価に関する研究  
 (4) 東アジア諸国の人口移動、エネルギー消費等の変化に基づく排出源変化の予測

東京大学 大学院農学生命科学研究科

川島博之・本間正義

<研究協力者>

東京大学大学院農学生命科学研究科

本田学

平成17～19年度合計予算額 22,134千円  
 (うち、平成19年度予算額 6,603千円)

※上記の合計予算額には、間接経費 5,107千円を含む

[要旨] 中国における食料の生産と消費より発生する窒素負荷量の推定を行った。推定を行う上で、先ず公表されているデータの信頼性について検討したが、中国の食肉生産量は1990年代以降、公表値の70%程度とした方が食肉消費量や飼料消費量に係わる統計との整合性が良いことを明らかにした。中国の食料貿易についても検討したが、中国はこれまで穀物を大量に輸入することはなかった。しかし、食用油の原料となり、絞りがすが飼料となる大豆の大量輸入国になっている。今後もこの傾向は維持されると考えられ、中国は穀物の大量輸入国にはならないが、大豆輸入量は現在の1.5倍程度に増加する可能性がある。

数理モデルを作成し、省市自治区毎に農村部と都市部に分けて食料消費量の推定を行った。食料消費の将来推計においては都市部や沿岸部への人口移動、高齢化による食料消費量の減少についても考慮した。現在、農村部の食肉消費量は都市部に比べれば少ないものの、その水準は飽和消費量と考えられる量の6割程度までに達しており、農村部人口が全人口に占める割合が5割程度に低下していることを考えるとき、今後、農村部において食肉消費量が増加しても、それが中国全体の食肉消費量の大幅な増加につながる可能性は少ない。以上の検討結果に基づき、今後中国において食料の生産と消費から発生する窒素負荷量を推定したが、その値は我々がこれまで推定していた値より小さなものになった。

[キーワード] 中国、食料貿易、地域分布、人口移動、高齢化

## 1. はじめに

東アジアの窒素収支を推定する数理モデルShindo *et al*<sup>1)</sup>を作成している。このモデルでは、東アジアを日本、韓国、北朝鮮、中国に東南アジアを含めた地域としたが、このように広めに定義しても、東アジアにおける中国の存在は大きい。現在、中国には13億2000万人が居住し、これは東アジア人口の63%に上る。また、窒素肥料使用量は2540万トン、豚の飼養頭数は4億8800万頭であり、これらはそれぞれ東アジア全体の80%以上を占めている。このため、東アジアにおける窒素負荷発生量を推定する上では、中国の動向を探ることが極めて重要となる。

## 2. 研究目的

これまでに作成したモデルでは、中国の一人当たり食料の消費量は、中国国内において均一と

仮定していた。しかし、中国は沿岸部と内陸部に大きな経済格差が存在する社会であるから、この仮定は現実的なものとは言えない。一方、将来予測をする際に、食料輸入量の消費量に対する比率を2003年の値に固定し、輸出量は2003年の輸出量が継続するとしていた。この仮定も現実的ではないであろう。また、中国が公表している食肉生産量が過大である可能性が指摘されているが、これまで作成したモデルでは公表値を用いていた。

本研究では、さしたる検討を加えることなく仮定を置いていた部分についてより詳細な検討を加える。これにより、これまでに作成したモデルをより精度の高いものとする。以下の4点について検討した。

第一に、中国が公表している食肉生産量が指摘されているように過大なものかどうか検証し、それをより実態に近いものに改める。第二に、中国の食料貿易が今後どのように推移するか、世界の食料生産との関わりにおいて検討する。第三に、中国を一つと捉えるのではなく、地域差を考慮し、また人口移動、人口の高齢化を検討することにより、今後の食料需要を予測する。最後に、以上の検討結果を踏まえ、中国の食料生産と消費より発生する窒素負荷量を推定する。

### 3. 研究方法

食肉生産量データの補正では、生産量に関する統計と消費に関する統計を広く、付き合わせる。また、食肉生産量と飼料消費量の関係を畜産の状況が似ている日本、韓国と比較する。

中国の食料貿易を考える上では、世界の食料生産について考察する必要がある。これは中国の人口が13億人にも上り、本格的に食料を輸入しようとする膨大な量が必要になるためである。FAOデータを利用して世界192カ国についての詳細なデータベースを作成し、世界の食料生産との関わりで、中国の食料貿易を検討する。

一人当たり食料消費量の地域による違いは、中国の食料消費量に関するデータを広く収集することにより求める。中国の食料消費では、現在、中国では共働きが一般的であることを理由の一つとして外食が盛んであるが、このことにも十分な注意を払う。

食料消費量の将来予測においては、人口の移動についても考慮する。これは、中国では農村から都市への人口の移動が増える傾向にあるためである。一方、一人っ子政策を行っていることから、中国では急速に高齢化社会になるとされるが、これが食料消費量に与える影響も考慮する。

食料消費量予測では、人口コホートモデルを用いて各省市自治区における将来の年齢階級別人口を都市農村別に推計し、一人当たり消費量について一人当たり所得を外生変数とした年齢階級別の値を求め、掛け合わせるにより求める。ここで、人口移動も考慮した人口予測モデルは、つぎのようなものである。

#### (1) 人口予測モデル

まず、年齢階級別男性人口を省市自治区・都市農村別に予測する。これは、人口の移動を考慮したコホートモデルである。データについては、基本的には國務院人口普查弁公室<sup>2)</sup>の2000年のデータを利用したが、その精度は疑わしいとされている。若林<sup>3)</sup>は、人口（特に0-9歳）の数え漏れがあること、合計特殊出生率（TFR）が異常に小さな値になっていることを指摘している。そこで、この2点を補正した。数え漏れについては、まず張<sup>4)</sup>を参考に0歳人口を0.89で、1-4歳人口を0.94で、5-9歳人口を0.97で除した。続いて、都市と農村のそれぞれにおいて、各省市自治区の年齢階

級別人口が全人口に占める割合を一定として、国家統計局人口和就業統計司<sup>5)</sup>に記載された全国人口を割り振った。またTFRは、各省市自治区について、都市と農村の合計TFRが張<sup>4)</sup>の推計値と一致するよう都市農村別合計特殊出生率に一律の定数を乗じることとした。なお、年齢階級別人口流出率データは公表されていないため、以下の手順で推定した。まず、1995-2000年における省市自治区・都市農村間での移動人口と流入人口の年齢階級別割合から、年齢階級別移動人口を算出する。続いて、1995年から2000年にかけて移動した人を元の地域に戻す手法で、1995年の省市自治区・都市農村別人口を年齢階級別に推計した。最後に、各年齢階級について、移動人口を1995年の人口で除すことで人口流出率を算出した。予測を行うにあたり、出生率、生残率、0-4歳の男女比は各省市自治区の2000年の値（都市農村別）で一定と仮定している。また、人口移動も1995-2000年の期間に観測された傾向が変わらないとした。嚴<sup>6)</sup>によると、人口移動の要因として縁故関係が重要であり、それは過去の移動傾向と密接に関わっていると考えられるためである。

### (2) 穀物、畜産品生産量予測モデル

省市自治区ごとの都市と農村における一人当たりの収入、一人当たりの穀物と畜産品の消費量の経年的なデータを収集し、収入と消費量との関係、および将来の都市、農村人口に基づいての穀物、畜産品生産量を予測した。このとき、食料貿易の動向を考慮した。

### (3) 窒素負荷予測モデル

食料の生産と消費から発生する窒素負荷量を予測するために、次の数理モデルを作成した。農作物生産と畜産、また人間からの窒素負荷について推定した。農作物生産では、豆類による窒素固定、窒素肥料投入量、作物中に蓄積される窒素、の3つを対象として、窒素負荷を算出した。まず豆類については、生産物中に含まれる3倍の窒素が、負荷として土壌に蓄積されると仮定した。生産量にタンパク質含有率を乗じた後、3倍し、さらに6.25で除すことで豆類の窒素固定による窒素負荷を推計した。6.25で除したのは、タンパク質中に約16% (=100/6.25) の窒素が含まれているためである。なお、将来の豆類生産量は全省市自治区において2005年の値で一定とし、豆類のタンパク質含有率は35%とした。

窒素肥料投入量から作物中に蓄積される窒素を引くことで、肥料の投入による窒素負荷を推計した。その際、穀物（芋類を含む）以外の作物は将来の生産量及び作付面積を一定とし、穀物のみ生産量が増減すると仮定した。これは、穀物の作付面積が農作物の作付面積全体に占める割合が6割に達しているためである<sup>7)</sup>。その他の作物を生産するにあたっての窒素負荷は穀物と比べて小さい。肥料の投入による窒素負荷を推計する前に、まず全国における「粮食」の単収と単位作付面積当たり窒素肥料投入量の関係を調べた。中国統計年鑑で「粮食」とされるものは、穀物に大豆を加えたものであるため、「粮食」から豆類を除いたものを穀物とした。単位作付面積当たりの窒素肥料投入量は、窒素肥料投入量を食品別の作付面積を用いて按分したが、中国においても窒素肥料投入量と単収との間に強い相関があった。

この単収と窒素肥料の関係を利用して肥料の投入による窒素負荷を算出した。ただし、穀物単収の上限は5t/haとし、作付面積は2005年の値から変化しないと仮定している。続いて、穀物生産量と作付面積から将来における穀物の単収を算出し単収を実現するのに必要な窒素肥料投入量を求めた。最後に窒素肥料投入量から、農作物の窒素持ち出し分を引くことで農作物生産部門から

の窒素負荷を推計した。なお、窒素を持ち出す農作物として対象にしたのは、穀物、油料作物、野菜、果物の4品目であり、それぞれのタンパク質含有率を8.0%、30.0%、3.0%、0.5%とした。2005年において、この4品目の合計作付面積は農作物全体の86%を占める<sup>7)</sup>。

畜産では、家畜の排泄物からの窒素負荷を省市自治区別に推計した。ここで、家畜に与えた飼料に含まれる窒素のうち畜産品に蓄積されなかった分が家畜から排出されることとした。各畜産品について、生産量にタンパク質含有率を乗じて畜産品中タンパク質重量を算出し、それをタンパク質変換効率で除すことで飼料から摂取したタンパク質重量を算出した。続いて、飼料中タンパク質重量から畜産品に蓄積された分を引いて、畜産から出るタンパク質重量を求めた。最後に、タンパク質重量を6.25で除すことで窒素負荷を推計した。

人間からの負荷は、人間の排泄物からの窒素負荷を省市自治区別に推計した。

#### 4. 結果・考察

##### (1) 食肉生産量、データの補正

図1に中国、日本、韓国における一人当たりの食肉消費量を示す。この値は生産量に純輸入量を加えることにより求めた。FAO統計によると、2004年において、中国の一人当たり食肉消費量は56.8kgであり、これに韓国の44.8kg、日本の40.3kgが続き、中国の一人当たり食肉消費量は日本を上回っている。経済の発展した沿岸部を考えると、それは真実に思える。しかし、経済発展の遅れた内陸部をも含めた平均が、既に日本の値を上回っているとは思えない。このような値になってしまうのは、FAOデータにおいて、中国が7756万t(2005年)もの食肉を生産しているとしているためである。中国統計年鑑でも食肉生産量は7743万tであり、多少の違いはあるがFAOデータの値とほぼ一致している。これはFAOデータが、基本的には、各国政府からの報告を尊重して作成されていることによる。

中国の食肉生産量については、すでに研究者<sup>8),9)</sup>の間から疑問が呈されている。そもそも、中国統計年鑑に記載されている食肉の消費量と生産量の値が一致しない。まず、消費量と生産量の統計に、どの程度の違いがあるか検討した。中国統計年鑑には各省市自治区毎に、都市部と農村部の食肉消費量が記載されているが、中国では都市部と農村部に大きな所得格差があるから、都市部と農村部に分けて調査を行うことは意味がある。2005年における消費量は加重平均で都市部が32.8kg、農村部が20.8kgであった。

消費に関する統計と生産に関する統計を、単純に比べることはできない。消費量は食肉として購入した重量と考えられるのに対し、生産量は一部の骨などを含んだ重量(Carcass)であるためである。生産量のどの程度が実際に食されるかは、食文化により異なる。ここでは生産量の70%が食されると仮定することにより消費量を生産量に換算した。補正すると、都市部の消費量は生産量として46.9kgに、農村部は29.7kgになる。

中国統計年鑑によると2005年における中国の都市部の人口は5億6212万人、農村部は7億4544万人であるから、一人当たり生産量と人口を掛け合わせると、都市部の消費に対応する生産量は2,636万t、同様の値は農村部では2210万tになる。この合計は4847万tであるが、これは中国統計年鑑に記載された生産量の63%でしかない。中国の食肉消費量がどのような方法で推計されているかは明らかにされていない。中国の都市部では外食が盛んであるが、消費量には外食での消費が含まれていないとの指摘もある。外食を含めた消費量を都市部で20%増、農村部では5%増とすると、

消費量は5485万tになる。しかし、これでも消費量は生産量の71%程度に留まる。生産量と消費量からの推定との間に大きな違いが存在する。

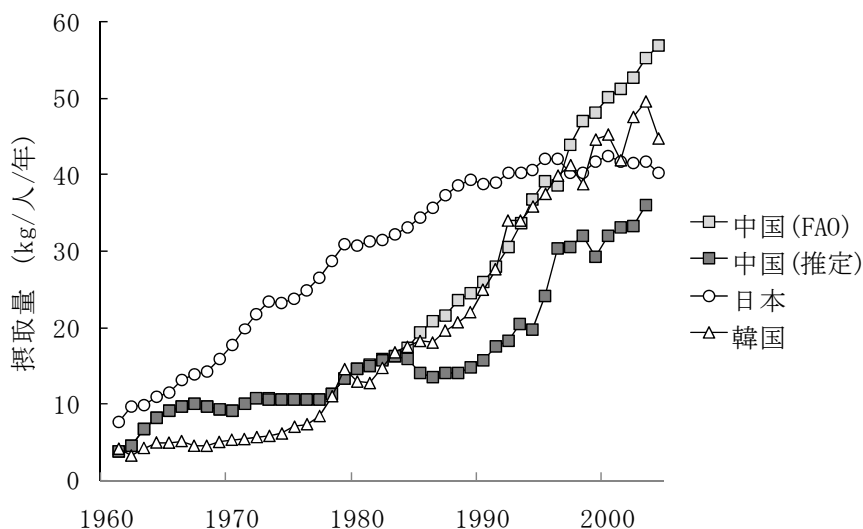


図1 中国、日本、韓国における一人当たり食肉消費量

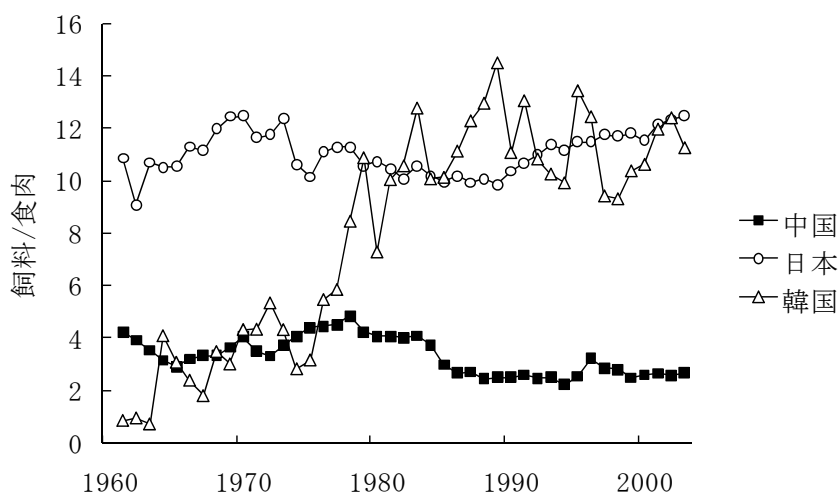


図2 飼料供給量と食肉生産量の比

別の角度からも、中国の食肉生産量を検討した。図2には飼料消費量と食肉生産量の比を示す。図には参考のために、日本と韓国の値も示した。日本と同様に中国、韓国にも放牧に適する草原は少なく、家畜の多くは穀物などの飼料から生産されている。ここでは飼料として、FAOデータに記載されている飼料用穀物と大豆ミールのみを考えた。これ以外にも、菜種油滓や魚粉などが飼料として与えられているが、それに関してはFAOデータには記載がないため、ここでは無視した。また、飼料からは卵や牛乳も作られているが、卵は食肉に比べて生産量が少なく飼料必要量も少ないため、これも考慮していない。また、牛乳はヨーロッパや米国においては無視できないが、中国、韓国、日本では食肉に比べて生産量が少ないことから、これも除外した。大豆ミールは穀物の5.1倍のタンパク質を含んでいるため、大豆ミールの重量を5.1倍にして穀物重量に加え、消

費した飼料とした。

図2を見ると、飼料供給量と食肉生産量の比は、日本では概ね10付近を変動している。これに対して韓国の比は1960年代から1970年代前半にかけては小さく、1970年代後半になって急上昇している。この比が小さいことは、開発途上国に良く見られる現象であり、食肉が残飯などにより生産されていることを示している。しかし、食肉の生産量が増加過程では、残飯などでの生産では限界が生じ、飼料の消費量が増えて行く。図1を見れば解るように、韓国では1970年代後半から食肉の消費量が急増しているが、これと軌を一にして図2に示す飼料消費量と食肉生産量の比が増大している。1980年代以降、変動はあるものの、その値はほぼ日本と同じ水準になっている。日本の統計に信頼性があることを前提にすれば、韓国の飼料消費量統計と食肉生産量統計も信頼できるといえよう。

中国では1970年代中頃までは、飼料消費量と食肉生産量の比は、概ね韓国と同様であったが、1970年代後半に入り生産量が増加しても、韓国のように比が上昇することはなかった。反対に1980年代中頃には、僅かであるが比が低下している。中国では豚生産が盛んであるが、この豚は人間の糞や残飯を餌として飼育されていると言われる。豚は人間が消化できない成分でも消化できるため、中国では古くから人間の糞が餌として与えられてきた。中国流の豚肉生産方式を認めるにしても、1980年代中頃からの生産量の増大をそのような方式で行うことは物質収支から見ても不可能である。また、図2に見られるように、生産量が増大する時期に比が減少していることは、特に理解できない。飼料消費量統計と食肉生産量統計のいずれかに間違いがあると考えざるを得ない。

飼料消費量と食肉の生産量の比は1983年に4.1となった後、減少している。そこで、試みに1983年以降の値を1983年の値に固定し、生産量を求めた。図1中に(推定)としてその値を記す。このように推定すると、2003年の食肉生産量は4644万tになる。これは、中国統計年鑑に見られる生産量の67%であり、先ほど、消費量から推定した値とほぼ一致する。この値を真の値と考えると、中国における一人当たりの食肉消費量は、現在でも日本を下回っていることになる。

## (2) 中国の食料貿易の動向

中国の食料生産を考える上では、レスター・ブラウンの「中国を誰が養うのか？」<sup>10)</sup>に触れる必要がある。1995年にレスター・ブラウン氏は経済発展に伴い、中国が穀物の大輸入国になる可能性を指摘し、2030年における中国の穀物不足量を2億700万tから3億6900万tになるとの予測を発表し、中国がこの不足分を海外から調達しようとした場合、世界の穀物市場は大混乱に陥るとした。

中国の穀物の穀物貿易量の変遷を図3に示す。これを見ると、1995年に、中国はそれまでと異なり2720万tもの穀物を急に輸入していることが解る。しかし、それから12年ほどが経過したが、中国は穀物大量輸入国にはなっていない。むしろ、その12年の間には、輸出国に転じた年もあった。レスター・ブラウン氏の予測の通りにならなかった最大の理由は、中国において一人当たりの穀物消費量が、予測ほど増加しなかったためである。中国の一人当たり消費量は1996年に382kgを記録している。同年の日本の消費量は331kgだから、中国の消費量は日本を上回っていたことになるが、その後、消費量は減少に転じ、2004年は324kgと日本と同程度になっている。このように、1966年以降を見ると一人当たりの穀物消費量が減少傾向で推移したため、人口が増加しても穀物消費量が大きく増加することはなかった。一方、中国の穀物生産は堅調に推移していたため、穀物を大

量に輸入する必要性が生じなかった。

だが、中国は穀物の大量輸入国にならなかった代わりに、大豆の大量輸入国になった（図4）。1991年には85万tに過ぎなかった中国の大豆輸入量は、2004年には2190万tにまで増加した。13年間に25.8倍に増加したことになる。中国における大豆の生産量は1991年の972万tであったが、2004年には1760万tに増えている。しかしながら、この期間に輸入量は2105万tも増加した。中国は1990年代に増加した大豆の需要の73%を輸入に頼ったことになる。中国は穀物の大量輸入国にはならなかったが、大豆の大量輸入国になった。

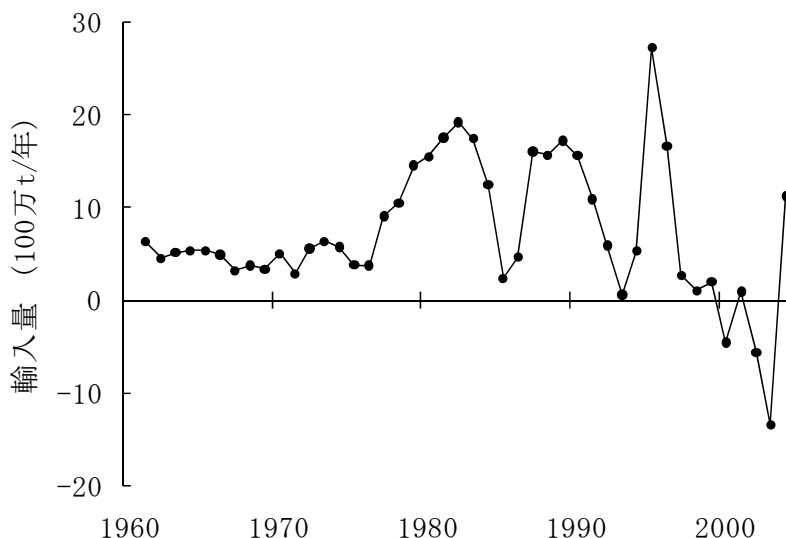


図3 中国の穀物輸入量

しかし、世界の大豆市場は混乱しなかった。大豆の価格が1990年代以降に大きく高騰することはなかった。価格が高騰しなかった最大の理由は、中国の輸入量にはほぼ見合う量が主にブラジルから輸出されたためである（図4）。中国の需要がブラジルの増産を促したといえる。

ここで、21世紀における中国の飼料需要について検討しておきたい。ここでは、前述したように、中国の食肉生産量をFAOデータの値の70%と考える。中国における一人当たりの食肉の飽和消費量（所得が向上しても、それ以上消費が増えない水準）を50kgと仮定しよう。ここでは楽観的なシナリオとして、2030年には都市と農村の格差は解消され、全国一律に食肉が50kg消費されるとする。そのように仮定すると、中国の2030年の人口は国連の中位推定では14億4600万人であるから、中国全体の食肉消費量は7230万tになる。2005年の生産量はFAOデータの70%とすると5430万tであるから、中国は食肉の生産を2005年から2030年までの間に1800万t増加させる必要がある。

飼料消費量と食肉生産量の比を1983年と同様に4.1とすると、1800万tの食肉を生産するためには穀物として新たに7380万tの飼料が必要になる。これは大豆ミールに換算すると1440万tになる。現在の大豆輸入量は2190万tであるから、増加する飼料を全て大豆により賄うとしても、今後大豆の輸入量は、現在の2倍にはならない。今後、中国の大豆輸入は、過去10年のような勢いで増え続けることはない。今後も、ある程度増加を続けようが、それが世界の食料需給に及ぼす影響は軽微なものに留まろう。今後新たに必要となる飼料の多くは海外からの大豆の輸入でまかなわれるというのが最もあり得るシナリオであると考えられる。

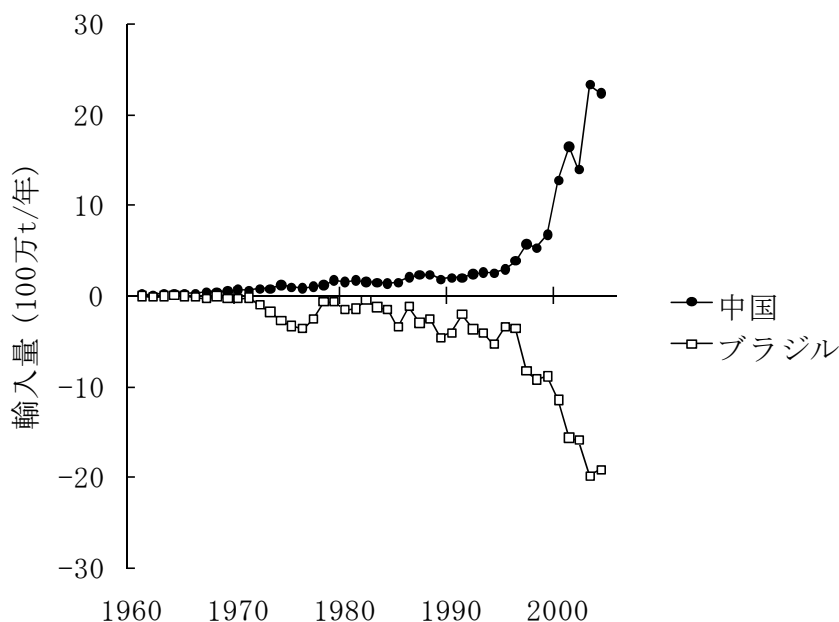


図4 中国とブラジルの大豆輸出入量(マイナスは輸出を表す)

### (3) 所得と食料消費量

所得と食料消費量の関係を見る。中国では食料を、穀物、豚肉、牛・羊肉、家禽肉、卵、水産物の6品目に分類している。ここではこの6品目について消費量の変化を考える。外食消費割合の上昇に伴い、肉類（豚肉＋牛羊肉＋家禽肉）消費量が増加している。都市における一人当たり消費量は1992年の28.2kgから2005年の39.5kgへと約1.4倍に増えている。農村部でも13.6kgから21.8kgへと約1.6倍となった。特に家禽肉消費量の増加が著しく、その肉消費量全体に占める割合は、1992年から2005年にかけて、都市で19.2%から27.3%へ、農村で11.2%から17.7%へ伸びている。

補正した一人当たり食料消費量をベースに、その年齢階級別の値（0歳から69歳は5歳毎、70歳以上は一括り）を算出した。中国には年齢階級別食料消費量のデータが存在しないため、2000年における日本の値<sup>11)</sup>を参考に省市自治区・都市農村別に推計した。所得がある水準に達すれば一人当たり食用穀物需要量は下げ止まり、その他の5品目の需要量は上限に到達すると考えられ、それらの下限及び上限を設定する必要がある。しかし、省市自治区毎にその作業を行うことは困難である。そこで、省市自治区間に共通に存在する特徴を模索し、全国一律の仮定をおくこととした。

図5に、1992年から2005年における各省市自治区の実質所得及び食料消費量（著者推定値）をプロットしたが、図の動物食品は穀物を除く上記5品目の合計を表す。穀物については所得の上昇とともに一人当たり消費量が減少し、90kg前後で下げ止まる傾向がみられる。一方で、穀物以外の各品目の消費量については地域間の相違が顕著にみられ、所得との相関が希薄である。しかし、5品目を合計してみると所得と強い相関が得られた。これらの事実を考慮し、次のようにして、穀物需要量と穀物以外5品目合計需要量（以下、動物性食品需要量と呼ぶ）にそれぞれ下限、上限を年齢階級別に定めた。穀物需要量については、図5と同様な図を年齢階級別に描き、



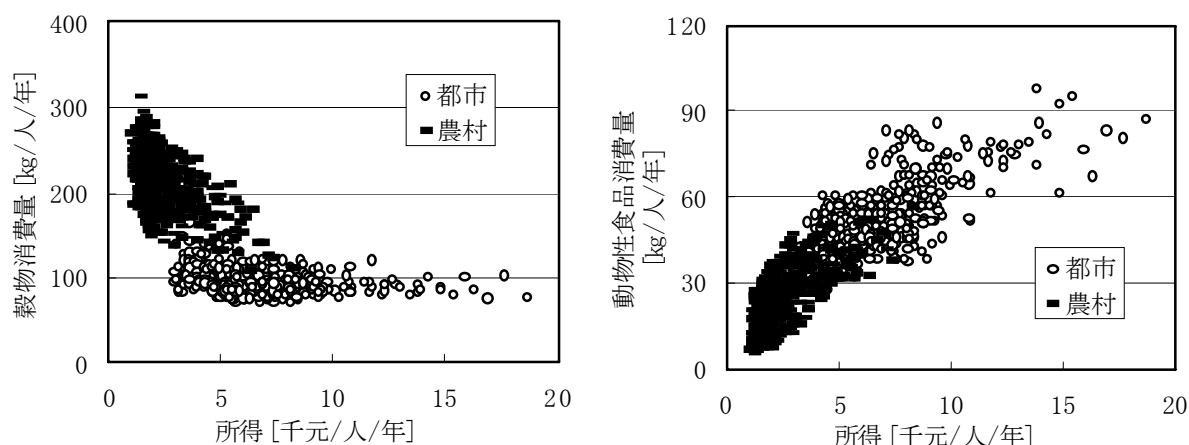


図5 全省市自治区における一人当たり実質所得と食料消費量の関係（1992-2005年）

それらの図に見られる下げ止まり傾向から下限を設定した。動物性食品需要量については、天津市と浙江省の富裕層の消費量を上限に設定した。

動物性食品については、図5に見られた強い相関を考慮し、まず、5品目の合計需要量を予測した。5品目の合計値にその需要量比を乗じることで、各品目の一人当たり需要量を予測した。なお、2005年の需要量が下限を下回る、もしくは上限を上回る場合には、将来は2005年の値から変化しないこととした。

予測式は  $31$ （省市区） $\times 2$ （都市と農村） $\times 15$ （年齢階級） $\times 2$ （種類） $= 1860$ 本あるが、そのうち  $1140$ 本の式の決定係数 ( $R^2$ ) が  $0.64$  を超えていた。将来所得は以下のように仮定した。まず一人当たり所得に人口を乗じて、過去における合計所得を省市区・都市農村別に算出した。さらに、2006年における合計所得の伸び率を過去10年間の平均伸び率と同じとし、毎年一定の割合で減少して2030年に伸び率が半分になるとした。半分としたのは、Goldman Sachs<sup>12)</sup>が予測した2006年及び2030年の年間GDP成長率が、それぞれ7.6%、3.9%であったためである。

#### （4）高齢化、人口移動と食料消費

年齢構成の変化、また、農村から都市への人口移動が食料需要に与える影響を数理モデルにより評価した。中国において人口コホートがどのように変化するかについての計算結果を図6に示す。急速に進む高齢化は将来の食料需要を抑制する要因となるが、図6の計算結果に基づく、2005年に都市部で7.6%であった高齢人口（65歳以上）は、2030年の17.3%へ、農村部でも同期間で9.2%から22.5%へと大幅に上昇する。中国では高齢化と共に、今後、緩やかな人口増加と急速な都市化が起こると予測されている。1992年と2005年の値は補正值、2030年は予測値である。全国の都市人口は2005年の5.31億人から2030年の8.54億人へ増加し、農村人口は8.03億人から6.07億人へ減少した。全人口の増加は1.27億人であった。国連（2007）は、2030年における中国の都市及び農村人口をそれぞれ8.87億人、5.73億人と予測しており、本研究の推計結果に近い値である。地域別に見ると、浙江省や山東省といった沿岸の省における都市人口の増加が著しかった。浙江省の都市人口は2005年の0.27億人から2030年の0.48億人へ、山東省では0.40億人から0.67億人へ増加することが予測された。農村人口が減少することにより食用穀物の需要は減少する。一方、都市人

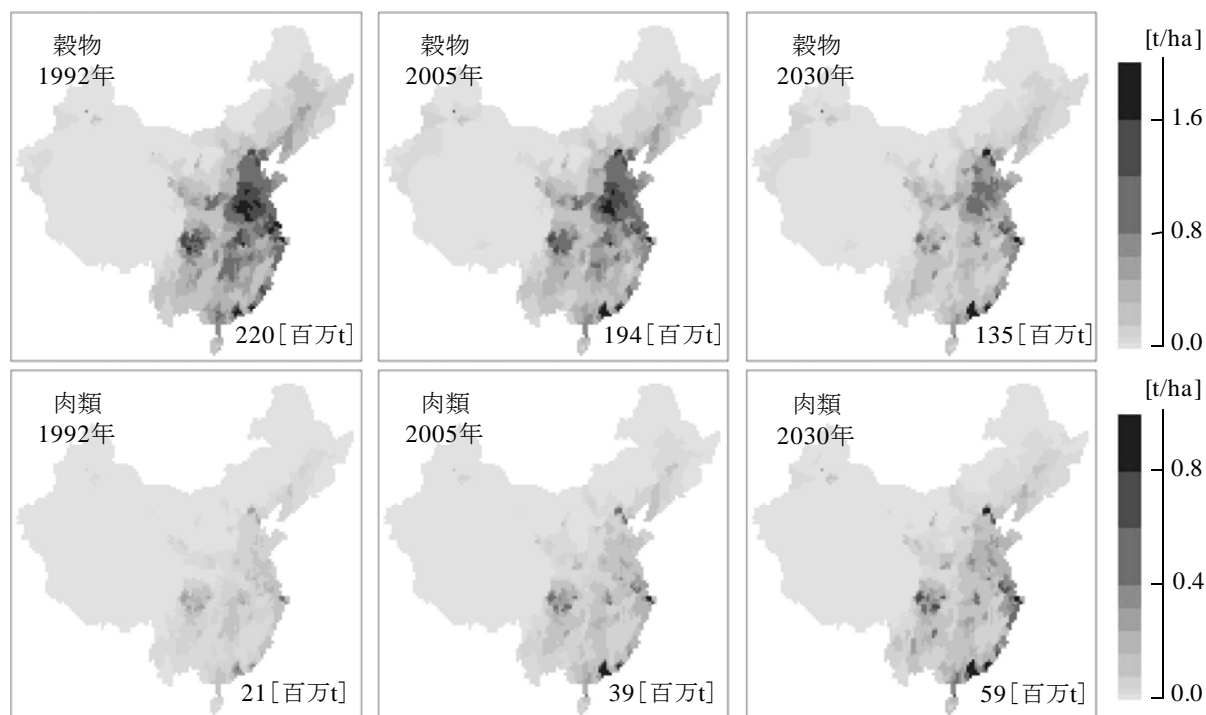


図7 食料消費量分布

口が増加することから食肉需要は増加するが、その食肉は海外から輸入された大豆により飼育される割合が多いため、国内の穀物需要の増加にはつながらない。

表1、表2に食料需要量の予測結果を記す。表1は一人当たり、表2は全体の需要量である。これらの表には加齢を考慮した場合（モデル1）と年齢構成が変わらないとした場合（モデル2）の2030年の推計結果を示してある。加齢はわずかに水産物以外の食品の消費量を引き下げる。将来の穀物需要量は大幅に減少すると推測される。2005年には1.94億tであったものが、2030年には1.35億tになっている。これは、人口増加の影響よりも、都市化や農村部の所得向上に伴う一人当たり需要量低下の影響が大きいためである。一方で、動物性食品需要量は2005年から2030年にかけて、0.60億tから0.99億tへ増加することが予測された。しかし、その将来の伸び率は過去より低い。人口増加率の低下や一人当たり需要量の伸び率低下が、需要の増加を抑制するためである。

図7に穀物及び肉類需要の地域分布を示した。地域分布図は、各省市自治区の需要量を一つ下位の行政区分である広域行政区（ここでは388地域）に配分して作成した。配分にあたっては、2000年における各広域行政区の人口とその上位となる省市自治区の人口との比を算出し、その比を将来も一定とした。この図からは、穀物需要の偏在化が進む様子が見て取れる。1992年と2005年には色の濃い地域が多数あったが、2030年には色の濃い地域は限定されている。この現象は、内陸部から沿岸部への人口移動によって説明され得る。一人当たり穀物需要量の地域間格差が縮小するため、2030年の需要分布は人口分布と類似したものになった。図には示していないが、5品目を合計した動物性食品も同様な傾向を見せた。一方、元来偏在していた肉類需要量はその偏在性がより顕著になる。この偏在化には人口集中だけでなく、食嗜好の地域間差異も寄与している。例えば、肉類需要が集中する四川省では、2030年の一人当たり肉類需要量が60.8kgと、全国平均の40.1kgを大きく上回っている。しかし水産物需要量は8.1kgであり、全国平均15.9kgのおよそ半分である。食嗜好の地域間差異がより顕著な卵や水産物については、その将来需要が肉類以上に偏

在化することが予測された。

#### (5) 窒素負荷

食料生産を行うために環境に負荷される窒素量を求めた。全国における現在及び将来の窒素負荷を表3に記す。表3には今回の推定値とこれまでの推定値<sup>1)</sup>の両方を記した。1992年の19.5kg/haが2005年には24.7kg/haとなり、2030年には31.3kg/haになることが予測された。部門別に見ると、畜産部門での負荷増大が著しい。2030年の窒素負荷は2005年の5.3kg/haから3.4kg/ha増え、8.7kg/haになることが推測される。需要の高まりに伴う畜産品生産量の増加が窒素負荷を増大させる。ただし、2030年においても農作物生産部門からの窒素負荷が一番大きく、16.8kg/haと畜産部門のおよそ2倍である。

他方で、農作物生産部門及び人間生活部門からの窒素負荷は、将来緩やかに増大する。穀物需要は低下することが予測されるものの、比較優位構造を生かすために集約的な農業が営まれるようになると推測される。集約的な農業では、今以上に窒素肥料を投入することになるであろう。また、人間生活部門からの窒素負荷は、人口と連動するため、その増加が限定的であった。

本研究の推計結果をこれまでに行った研究と比較してみると、今回推計した窒素負荷の方が小さな値であった。これまでの研究では1992年及び2020年の窒素負荷をそれぞれ21.6kg/ha、34.1kg/haと予測しており、今回の推計値をそれぞれ2.1kg/ha、7.1kg/ha上回っている。部門別に見ることで、その要因を探ってみると、農作物生産部門での差が大きいことがわかる。畜産部門と人間生活部門の窒素負荷には大きな相違が見られない。中国がどれだけ海外からの輸入で将来の飼料作物需要を満たすかについての見通しの違いが窒素負荷を左右しているのである。

表1 中国における一人当たり食料需要量の推移 [kg/人/年]

年	穀物	動物性食品				水産物	合計	
		豚肉	牛羊肉	家禽肉	卵			
1992	188.3	13.2	1.8	2.6	4.8	4.0	26.4	
2005	145.5	19.6	2.7	6.6	7.6	8.4	45.0	
2030	モデル1[A]	92.4	24.1	3.9	12.2	11.8	15.9	67.8
	モデル2[B]	93.4	26.5	4.3	13.4	12.2	14.6	71.0
1992-2005変化率		-2.0%	3.1%	3.2%	7.5%	3.7%	5.9%	4.2%
2005-2030(モデル1)変化率		-1.8%	0.8%	1.4%	2.5%	1.7%	2.6%	1.7%
高齢化の影響([B]/[A]-1)		1.2%	9.8%	10.2%	10.2%	3.9%	-8.0%	4.7%

## 5. 本研究により得られた成果

### (1) 科学的意義

中国における地域別の食料消費の実態が明らかになった。また、食料生産と消費に伴う窒素負荷発生量の推定精度が向上した。

表3 窒素負荷推計結果の比較

		1992	2000	2005	2010	2020	2030
—	著者推計値						
	農作物生産	11.9	14.3	14.1	14.8	15.8	16.8
	畜産	3.0	3.6	5.3	6.3	8.0	8.7
—	人間生活	4.6	5.0	5.3	5.5	5.7	5.8
—	Shindo et al.						
	農作物生産	13.9	13.1	18.7	21.9	20.3	—
	畜産	3.6	6.4	7.8	8.8	9.1	—
—	人間生活	3.9	4.3	4.2	4.6	4.9	—

## (2) 地球環境政策への貢献

わが国では中国が食料の大量入国になることを危惧する議論が多いが、中国が今後穀物の大量輸入国になる可能性が少ないことを明らかにしたことは、わが国の地球環境政策に大きな貢献をしたと考える。また、中国での農業生産で発生する窒素負荷は、今後、増加が見込まれるが、それは過去の増加に比べれば緩やかなものになることも明らかにした。

## 6. 引用文献

- 1) Shindo, J., Okamoto, K., and Kawashima, H., 2006, Prediction of the environmental effects of excess nitrogen caused by increasing food demand with rapid economic growth in eastern Asian countries: 1961- 2020. *Ecological Modeling*, **193**, 703-720.
- 2) 国務院人口普查弁公室、2002、中国2000年人口普查資料、中国統計出版社、北京。
- 3) 若林敬子、2005、中国の人口問題と社会的現実、ミネルヴァ書房、京都。
- 4) 張善余、2003、中国人口地理、科学出版社、北京。
- 5) 国家統計局人口和就業統計司、2006、中国人口統計年鑑、中国統計出版社、北京。
- 6) 巖善平、2004、中国における省間人口移動とその決定要因 —人口センサスの集計データによる計量分析。アジア経済、**45(4)**、2-20。
- 7) 国家統計局、1993-2006、中国統計年鑑、中国統計出版社、北京。
- 8) Fuller, F., Hayes, D., and Smith, D., 2001, Reconciling Chinese Meat Production and Consumption Data. *Economic Development and Cultural Change*, Vol. 49, No.1, pp.23-43.
- 9) Ma, H., Fuller, F., Huang, J., and Rozelle, S., 2006, Getting Rich and Eating Out: Consumption of Food Away From Home in Urban China. *Canadian Journal of Agricultural Economics*, **54**, 101-119.
- 10) Brown, L. R., 1995, Who Will Feed China? Wake-up Call for a Small Planet, World Watch Institute, Washington: 邦訳「中国を誰が養うのか」今村奈良臣訳 1995、ダイヤモンド社。
- 11) 厚生労働省、2001、平成12年国民栄養調査、  
<http://www.mhlw.go.jp/houdou/0111/h1108-3.html>、東京。
- 12) Goldman Sachs, 2003, Dreaming With BRICs: The Path to 2050, The Goldman Sachs Group, New York.

## 7. 国際共同研究等の状況

清華大学環境科学与工程研究院教授の郝吉明氏および胡洪堂氏と協力・共同関係を持ち、情報交換を行っている。両氏より各々、中国における酸性物質排出と負荷や統計データの質について、および水質汚染、水処理についてなど、本研究の解析に有用な中国の実態についての情報を得て研究を進めている。

## 8. 研究成果の発表状況

### (1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

- 1) J.Shindo, K.Okamoto and H.Kawashima: *Ecological Modelling*, 193, 703-720 (2006)

“Prediction of the environmental effects of excess nitrogen caused by increasing

food demand with rapid economic growth in eastern Asian countries, 1961-2020”

- 2) 新藤純子、岡本勝男、川島博之：日本水文科学会誌、36、3、95-104 (2006)  
「東アジアにおける大気経由の窒素負荷への農業起源アンモニアの寄与の推定」
- 3) 川島博之：日本水文科学会誌、36、3、123-135 (2006)  
「窒素循環から持続可能な社会を考える」
- 4) 川島博之、新藤純子、堀雅文：環境科学会誌、20、4、279-289 (2007)  
「東南アジアにおける余剰水田を利用したエネルギー作物生産」
- 5) Wuyunna, K. Okamoto and H. Kawashima : International Journal of Ecodynamics, 2, 2, 97-107 (2007)  
“Analysis of vegetative biomass changes in steppes of Inner Mongolia, China, using multitemporal Landsat, climatic and socioeconomic data”
- 6) 浜口航、新藤純子、岡本勝男、川島博之：環境科学会誌、21、2、143-152 (2008)  
「アジア型経済発展による環境汚染の長期化（中国雲南省・滇池）」
- 7) 本田学、新藤純子、岡本勝男、川島博之：システム農学  
「2030年までの中国31省市自治区の食料需要予測」印刷中

<査読付論文に準ずる成果発表> (社会科学系の課題のみ記載可)

なし

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 岡本勝男・新藤純子・川島博之：日本水文科学会誌、36、3、137-144 (2006)  
「物質循環モデル解析におけるリモートセンシングとGISの役割」
- 2) 波多野隆介、犬伏和之、八木一行、秋山博子、新藤純子、岡本勝男、川島博之、長谷川周一、木村真人：日本土壌肥料学雑誌、76、2、229-235 (2005)  
「農業生態系からの環境負荷の測定と予測」
- 3) 新藤純子、岡本勝男、川島博之：環境保全型農業辞典(東京：丸善)、820-823 (2005)、10.5  
「地球の窒素循環と農業」
- 4) 新藤純子、岡本勝男、川島博之：波多野隆介・犬伏和之編：日本土壌肥料学会監修「続・環境負荷を予測するーモニタリングとモデリングの発展ー」(東京：博友社)、15-28 (2005)  
「1-I 東アジアの食料生産・供給による窒素フローとその水環境への影響評価モデル」
- 5) 岡本勝男、山川修治、川島博之：秋山侃・石塚直樹・小川茂男・岡本勝男・斎藤元也・内田諭編：農業リモートセンシング・ハンドブック、(東京：システム農学会、ISBN: 4-921201-22-7)、224-226 (2007)  
「1995年の北朝鮮におけるコメ生産への洪水被害の推定」
- 6) 川島博之：第38号10-14 (2008)  
「水資源と世界の食料生産ーイスラムの膨張と水資源ー ARDIC」
- 7) 川島博之：東京大学出版会、(2008)年5月  
「世界の食料生産とバイオマスエネルギー 2050年の展望」

## (2) 口頭発表 (学会)

- 1) 岡本勝男、川島博之：システム農学会2005年度春季シンポジウム・一般研究発表会 (2005)  
「中国黒龍江省東部の水田と温度条件」
- 2) 濱口航、岡本勝男、新藤純子、和愛軍、川島博之：システム農学会2005年度春季シンポジウム・一般研究発表会 (2005)  
「中国雲南省・滇池における窒素フローモデルの構築」
- 3) 岡本勝男、新藤純子、川島博之：日本水文科学会学術大会 (2005)  
「リモートセンシング、GISとモデルを組合せた物質循環解析」
- 4) 新藤純子、岡本勝男、木平英一、川島博之：日本水文科学会学術大会 (2005)  
「流域の窒素循環モデルによる渓流水水質の推定」
- 5) 田中寿典、岡本勝男、新藤純子、Fidela P. Bongat、川島博之：システム農学会2005年度秋季シンポジウム・一般研究発表会 (2005)  
「社会構造の変化とラグナ湖の水質」
- 6) 水木真衣子、新藤純子、岡本勝男、和愛軍、川島博之：システム農学会2005年度秋季シンポジウム・一般研究発表会 (2005)  
「都市への人口集中に伴う雲南省NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>排出量将来予測」
- 7) 岡本勝男、銭小平、川島博之：システム農学会2005年度秋季シンポジウム・一般研究発表会 (2005)  
「アジア東部のコメ供給力における気候変動の影響の可能性」
- 8) 望月純子、Fidela P. Bongat、新藤純子、岡本勝男、川島博之：システム農学会2005年度秋季シンポジウム・一般研究発表会 (2005)  
「フィリピン農村部における電力需要－日本との比較」
- 9) K. Okamoto, J. Shindo and H. Kawashima: Maximization of the use of satellite data for understanding the earth environment, 2005  
“Proceedings of The 11th CEReS International Symposium on Remote Sensing”
- 10) 新藤純子、岡本勝男、川島博之：環境科学会年会 (2005)  
「東アジアの食料生産に伴う窒素負荷量の経年変化－窒素収支モデルに基づく1961年～2030年の推定－」
- 11) 濱口航、岡本勝男、新藤純子、和愛軍、川島博之：環境経済政策学会環境経済政策学会 (2005)  
「二重構造を残した経済発展が環境に及ぼす影響 (中国雲南省・滇池)」
- 12) J. Shindo, K. Okamoto and H. Kawashima: Engineering Conference International, Bioenergy-I: From Concept to Commercial Processes, Tomar, Portugal, 2006  
“Prediction of the environmental effect of increasing nitrogen by bioenergy production in East Asia”
- 13) K. Okamoto and H. Kawashima: Engineering Conference International, Bioenergy-I: From Concept to Commercial Processes, Tomar, Portugal, 2006  
“Impacts of climate change to potential areas for energy crops” .
- 14) 濱口航、新藤純子、岡本勝男、川島博之：システム農学会2006年度春季シンポジウム・一般研究発表会 (2006)

- 「中国、インドの経済成長パターンの違いが水環境に及ぼした影響の比較」
- 15) 本田学、岡本勝男、新藤純子、川島博之：システム農学会2006年度春季シンポジウム・一般研究発表会（2006）  
「中国農村部における家庭用電力消費量の増加—都市との比較を中心に—」
- 16) 新藤純子、岡本勝男、川島博之：環境科学会（2006）  
「東アジアにおけるエネルギー作物生産の可能性とその環境影響．環境科学会年会要旨集」
- 17) M. Honda, J. Shindo, K. Okamoto and H. Kawashima：The 26th Conference of the International Association of Agricultural Economists, Queensland, Australia, 2006  
“Increase of residential electricity consumption in urban and rural China by province”
- 18) W. Hamaguchi, J. Shindo, K. Okamoto, H. Toda, and H. Kawashima：The 2nd International Rice Congress 2006, New Delhi, India 2006  
“The projection of nitrogen fertilizer demand for rice production in India to 2030” ,
- 19) M. Honda, J. Shindo, K. Okamoto, H. Toda and H. Kawashima：The 2nd International Rice Congress 2006, New Delhi, India, 2006  
“Future grain consumption (food + feeding animals) in China - Focus on the change of age structure”
- 20) 岡本勝男、新藤純子、小原洋、川島博之：システム農学会2006年度秋季シンポジウム・一般研究発表（2006）  
「アジア東部の地域別，土地利用・被覆別土壌」
- 21) 本田学、新藤純子、岡本勝男、川島博之：システム農学会2006年度秋季シンポジウム・一般研究発表会（2006）  
「中国省市自治区別穀物需要予測—年齢構成及び飼料効率に注目して—」
- 22) 岩出卓也、三熊敏弥、新藤純子、岡本勝男、川島博之：システム農学会2007年度春季シンポジウム・一般研究発表会（2007）  
「タイにおける余剰水田を用いたエタノール生産と輸出余力」
- 23) 本田学、新藤純子、岡本勝男、川島博之：システム農学会2007年度春季シンポジウム・一般研究発表会（2007）  
「中国における大豆需要の将来推計」
- 24) 岡本勝男、川島博之：システム農学会2007年度春季シンポジウム・一般研究発表会（2007）  
「Landsatデータを用いた北朝鮮の土地被覆変化の推定：東部と西部における1990-2000年の解析事例」
- 25) 岡本勝男、川島博之、新藤純子：日本写真測量学会平成19年度年次学術講演会（2007）  
「航空写真と衛星画像を用いた長期土地利用変化解析」
- 26) 河内惇、岩出卓也、新藤純子、岡本勝男、川島博之：環境科学会2007年会（2007）  
「休耕田を利用したインドネシアにおけるバイオ燃料生産」
- 27) J. Shindo, K. Okamoto and H. Kawashima：NITROGEN 4<sup>th</sup> CONFERENCE, Costa do Sauipe, Brazil, 2007  
“Future Prediction of Cereal Production and Environmental Effects Caused by Increasing Nitrogen Load in East Asia”

- 28) Shawel Betru、川島博之：システム農学会2007年度春季シンポジウム・一般研究発表会（2007）  
「Cereal production and N-Fertilizer demand analysis in The Greater Horn of Africa and Egypt, A material balance based analysis」
- 29) 岡本勝男、川島博之、新藤純子：システム農学会2007年度秋季シンポジウム・一般研究発表会（2007）  
「長期にわたる土地利用変化の把握への航空写真と衛星画像の利用」
- 30) 河内惇、新藤純子、岡本勝男、川島博之：システム農学会2007年度秋季シンポジウム・一般研究発表会（2007）  
「家計調査からみたインドネシアにおける食料消費の現状及び将来推計」
- 31) 本田学、新藤純子、岡本勝男、川島博之：システム農学会2007年度秋季シンポジウム・一般研究発表会（2007）  
「中国での食料消費・生産に係る窒素負荷の現状及び将来推計」
- 32) 岩出卓也、新藤純子、川島博之：システム農学会2007年度秋季シンポジウム・一般研究発表会（2007）  
「コスト面からみた東南アジアにおけるバイオエタノール生産実現の決定要因」
- 33) Shawel Betru、新藤純子、川島博之：システム農学会2007年度秋季シンポジウム・一般研究発表会（2007）  
「Blue Nile Water and Cereal Production in the three major Stakeholder Countries: Ethiopia, Sudan and Egypt」

(3) 出願特許

なし

(4) シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

なし

(5) マスコミ等への公表・報道等

- 1) ミツカンの水文化センター、クールにホットな2107 「食糧危機は本当か」(2007)、水の文化、2007年7月、No. 26、及びホームページに記載.
- 2) 別冊宝島1507号、「環境問題のうそとほんと、「温暖化」を食べ物にするひとびと」(2008年2月) 宝島社.

(6) その他

なし