

地球温暖化と稲作—有機稲作の位置づけ

温暖化防止うらやす 「温暖化と稲作」分科会

大西 輝明、江澤 尚武

稲作は紀元前何世紀もの古代から始まったので、その栽培は地球の大気成分と相互作用してゆっくりと、平衡して進化してきたはずである。このため、従来どおりの稲作が近年の急速な地球温暖化に多少なりとも影響を与えているとは考え難い。それならばなぜ今、地球温暖化に係って稲作が問題となるのか。大気中の温室効果ガス濃度と稲作、とくに有機稲作との関連性（有機稲作は地球温暖化にどのような影響を与えるのか、地球温暖化は稲作にどのような影響を与えるのか）について文献調査し、その功罪を検討した。

1. はじめに

現在の地球の総人口は 70 億人を超え、2100 年には 110 億人を超えて増大し続けるとも予想されている [1]。急増する人口の食糧確保問題は、増大する人口による環境へのストレス緩和とともに現代のわれわれが解決すべき喫緊の課題のひとつである。当「温暖化防止うらやす」では食糧源の具体例として水田米をとりあげ、食糧確保のための稲作（の増強化）がいかに地球環境問題に影響を及ぼすのか、地球環境の変化や温暖化がいかに稲作にフィードバックするのかについて検討した。

現在の農法はいずれの作物種についても、従来どおりの農薬と化学肥料とを利用する慣行農法と、こうした化学物質を散布・施肥しない有機農法とに大別される。環境へのストレス削減という観点からは有機農法が推奨されるところであり、稲作についても二種の農法が採用されている。しかし主として低い収量のゆえに、有機農法の採用率は極めて低いのが現状である。われわれは有機稲作、あるいは一般に有機農法と地球環境との関わり合いについて文献調査し、その問題点などを整理することとした。

2. 有機稲作は地球温暖化にどのような影響を与えるのか

2.1 有機農法と慣行農法 - その光と影

ライフサイクル・アセスメント（商品生産から廃棄までの全過程をとおして、それが環境に与える影響を評価しようとする一手法）のような包括的観点からすれば、従来の慣行農法ではそこで使用する農薬や化学肥料を工業的に製造することに起源するエネルギー

や資源の消費と、それに基づく温室効果ガス放出とが問題点として指摘されている。さらにそれらを散布、施肥することによる環境へのストレス付加も、「生態系におよぼす悪影響」として指摘されるところである。以下で有機農法とは簡単に、「農薬や化学肥料の散布・施肥はおこなわず、代わって、天然の有機物や無機物肥料などを用いて行う、自然のしくみに沿った農法」と定義することにする。何らの肥料を施すことなく、また耕作もしない、いわゆる自然農法は有機農法に含めないものとする。

こうした有機農法では、慣行農法におけるほどの顕著な「環境へのインパクト」は存在しないとされている。また、家畜糞などの有機肥料や休耕中に播種したマメ科植物などを鋤き込めば土壌中の有機炭素量を増大させるので、これが大気中の CO₂ 濃度削減に貢献するものであるとも言われている [2]。有機農法はこうした温室効果ガス放出の緩和策としての他、気候変動に対する適応策として、生物多様性や土壌保全の実現策として、また（リクリエーションや文化の創造などの）農村や田園での新たな生活スタイルを構築する手段としても重要視されている。しかし平成 21 年度でのわが国でのコメの生産量の 99.7%、農産物全体としても 99.6%までは慣行農法によるものであり、有機農法による生産量割合は無視できるほどの少量でしかない [3]。一般に有機農法はエネルギー消費量が低い、同時に生産性も低く、それゆえ利用土地面積も大きくならざるを得ず、生産量あたりの土壌の富栄養化や酸性化度も高いものとなる。すなわち、有機農法では養分をうまく管理し処理することと、生産量を高めることが重要な課題となるのである。

近年、生物多様性の重要さが注目されている。化学物質利用の慣行農業による自然への介入が天然の生態系に変化をもたらし、それが生物種の消滅を誘起し、また人々が生態系から得る利益を喪失しているのではないかとする指摘がある [4]。生命形態の豊富さや異質性の存在、生命形態間での共存性などを生物多様性と呼べば、有機農法は慣行農法に比して生物多様性の維持に関しては明らかに優れているとされている。

慣行、有機、いずれの農法についても、環境インパクトを減少させつつ収量を高める技術的努力や方針の設定が必要となることになる。以下で、こうした個々の側面についての文献をいくつか紹介する。

2.2 土壌中の炭素貯留量 - 有機農法は CO₂ 削減に寄与するのか

有機農法では土壌中への有機炭素蓄積効果が大きく、この点に関しては慣行農法より優れていると言われている。こうした事柄では単一の作物や特定の有機物施用条件、さらに特定地域や特定の気候条件の下でのみの比較では一般的な結論を得ることはできない。そこで、多数のデータを収集して分析し、統計的な傾向を抽出するという手法（メタ分析）が有効となる。しかしこのような方法論を採用しても、有機農法が土壌中の炭素含有量を高め得るのかどうか、すなわち、地球温暖化の緩和策として有効なものかどうかについては確かな結論は得られていない。

はじめに、有機農法は土壌中の炭素蓄積に関して有効であるとする分析である。

文献 [5] では 74 件の有機農法と慣行農法とを比較した文献データをもとに、土壌中の有機炭素量の相違についてメタ分析を行っている。この結果、慣行農法と比較して有機農法での土壌有機炭素量は $0.18 \pm 0.06\%$ 、絶対量は $3.50 \pm 1.08 \text{ MgC/ha}$ 、炭素貯留増加量 (sequestration rate) は $0.45 \pm 0.21 \text{ MgC/ha/年}$ だけ高い値を持つことがわかったとしている。こうした差は外部からの炭素の供給 (家畜による糞やスラリー、コンポストなど) と転作物 (家畜飼料として育成するマメ科植物) の違い、および家畜とこれら飼料とからなるリサイクリングの有無などに基づくが、これらのいずれが主要因であるかは回帰分析からは明らかにできなかった。有機農法ではこうした要因によって平均 1.20 MgC/ha/年 だけの炭素量が投入されたのに対し、従来型では 0.29 MgC/ha/年 の投入量でしかなかった。有機物質の (差し引きの、ネットの) 投入量がゼロとなるような条件での、(土壌密度や窒素肥料の投入量も計測された) 質の良いデータだけを選んだ場合でも、両農法の炭素濃度差は有意の $1.98 \pm 1.50 \text{ MgC/ha}$ であり、有機農法が高い値を示した。しかしこの場合、炭素貯留増加量の差は $0.07 \pm 0.08 \text{ MgC/ha/年}$ となり、有意とはならなかった。データの質を考慮せず、有機物質の (差し引きの) 投入量がゼロとなる全データを用いる場合には、炭素量は $0.13 \pm 0.09\%$ 、絶対量は $2.16 \pm 1.65 \text{ MgC/ha}$ 、炭素貯留増加量は有意ではない $0.27 \pm 0.37 \text{ MgC/ha/年}$ となった。用いたデータは温帯地方の表層土であり、熱帯地域や深層土のものはほとんどない。こうしたことから著者らは、有機農法は土壌炭素蓄積に関して有効であると結論している。

しかし、文献 [5] では分析に係るバイアス (データの取捨選択にかかる任意性) が大きく、文献 [6] の著者らの見解では同一結論とはならず、有機農法が気候変動に寄与することはないと反論している。

Leifeld 等 [6] によると、このバイアスは慣行農法サンプルに関しては代表的ではないものを採用したことに起因するものであり、Gattinger 等 [5] は高い炭素貯蔵量密度と大きい炭素供給量のサンプル (これを有機農法として Gattinger 等は分類) を、低い炭素貯蔵量密度と高い炭素循環量のもの (これを従来農法として分類) と比較したことによるためであるとしている。これは (有機農法と従来農法の) 混合農法サンプルと、ほとんど炭素を保持していないようなサンプルとを比較したに過ぎず、意味のある比較ではないとしている。

一方、文献 [7] も有機農法が土壌中の炭素濃度を高めることはないとする説である。

Leifeld と Fuhrer [7] は実験の基準や炭素含有量計測の正しさ、慣行農法と有機農法との区分の妥当性などを考慮して 68 件の資料を収集し、これらのデータをメタ分析している。これらの資料によれば有機農法では平均 $2.2\%/年$ の率で土中炭素濃度が増大するのに対し、慣行農法ではほとんど変化はなかった。しかし、報告書の多くは土壌密度の変動を考慮に入れてはおらず、また、68 件の資料中 34 件は実験の初期条件が不明であること、50 件中 37 件は有機農法で用いる有機肥料が慣行型でのそれよりも多いこと、約半数の資料では転

作物の種類が有機農法と慣行型とでは異なることなど、厳密な比較を困難にする要因が多く存在することが判明した。そこで、転作物の種類も有機肥料量も同一条件である数ケースについてのみ比較したところ、これらでは有機と慣行の両農法での土中炭素濃度に差はみられなかった。こうしたことから、有機農法が土中炭素濃度を増加させるとする説は正しくはなく、その増加は有機農法における有機肥料の多用に起因するところが大きいのではないかと結論している。また Gattinger 等 [5] は家畜糞による土壌中炭素量増大を大気中の炭素の移行ととらえているが、これは単に地上の炭素が他の場所から別の場所に移ったに過ぎないものであること、さらに有機農法では収量が少ないのでより大きい耕地面積を必要とするが、これは大きい炭素含有量を持つ土地を耕地に変える必要があるということであり、こうした耕地化によって逆に大気中への炭素の放出量が増すことになるとも指摘している。

2.3 環境インパクト - 有機農法は環境にやさしいのか

有機農法は環境インパクト（環境へのストレス）を減少させるとして推奨されている。ここでの環境インパクトとは、耕地からの窒素の浸出、酸化窒素やアンモニアなどの放出、それらに起因する周辺環境の富栄養化や酸性化、総合的なエネルギー利用の増大とそれによる影響などを言う。農場でのエネルギーは直接的には電気や燃料、間接的には肥料や農薬、飼料などの運搬や生産、農機具の生産などのために消費される。農業では投入エネルギーの 37% が肥料関係、5% が農薬製造のために使用されているとする報告 [8] もある。

文献 [9] は欧州での有機農法と慣行農法との環境インパクトを比較したメタ分析であり、単位面積当たりの有機物質量、窒素浸出量、酸化窒素放出量、エネルギー利用量および土地利用量に關した比較である。これによれば、有機農法は単位面積当たりで比較すれば慣行農法に比して環境インパクトが小さいが、生産量単位についてみれば必ずしもそうではない。有機農法は単位面積当たりの土壌中の有機物質量を高め、窒素分の放出による養分損失を減少させるが、生産量当たりの養分損失は大きい。有機農法はエネルギー消費量が低いが利用土地面積が大きく、生産量あたりの富栄養化や酸性化度も高い。有限の土地面積にもかかわらず人口増加が予想される将来を考慮すれば、生産性の悪い有機農場面積を増大させることよりも、一定面積の農地でより多くの収量を上げることが重要にもなる。こうした意味合いにおいて、単位面積ではなく単位収量あたりの環境インパクトを推算するのが妥当であろう。そうした場合、有機農法による環境へのインパクトは、慣行農法に比してより大きくなることになる旨指摘している。

2.4 有機農法と生物多様性 - それはどれほど価値があるものか

上記のとおり有機農法の生産性は低く、同一生産量の達成には慣行農法に比してより広

い耕地面積を必要とする。このため、有機農法を広めるには森林伐採や開墾などが必要となり、森林保全や生物多様性の側面からはその利点が疑問視もされている [10]。しかし一般に、鳥類、両性類、蝶類、クモ、昆虫、植物、土中の微生物などの生存に関しては有機農法の採用はプラスの効果を有しており、この点に関する生物多様性保全効果は抗えない。だが、こうした場合であっても、他の手段を援用せずに有機農法の採用だけである種の鳥類の存続を保全させ得るとか、ある種の蝶類を存続させ得るということではない [11]。すなわち、有機農法への移行によって生物多様性が全て、完全に保証されるということでは決してなく、その農法は生物多様性（の部分的な）保全の一つの手段となるにすぎないのである。

有機農法や他の手段の採用によって生物の多様性が保全される場合、それがわれわれにどう影響するのかに関する議論は多い。また、そうした多様性の金銭的価値（多様性を保全するための費用がすなわち、多様性の金銭的価値であるとして、それ）に関する議論もおこなわれている。こうした議論のいくつかを付録に示した（推算された生物多様性の価値は、有機農法に基づいた多様性保全だけに起因するものではないことに注意）。

2.5 農産物の収量 - 有機農法では多いのか少ないのか

有機農法が将来、人々に十分な食料を供給することが可能かどうかは重要な問題であり、いくつかのメタ分析が行われている。

文献 [10] では有機と慣行農法とのグローバルなメタ分析を行い、有機農法の生産性は慣行農法に比して全般的に低くなることを結論している。しかし生産性の違いは地域や作物種の違い、生育条件への依存性などが大きく（果物や脂肪種子作物では差は小さく、穀類や野菜類では差が大きい。316 件のデータ比較の平均では、有機農法による収量は慣行農法に比して 25% だけ低い）、5% だけ低いもの（弱酸性、弱アルカリ性土壌で、雨水のみで生育するマメ科多年生植物）から、13% だけ低いもの（有機農法で最適の対応を施した場合）、34% 低いもの（有機と慣行農法とが耕地の転作と窒素肥料の供給に関しては同一である場合）までの範囲にある。作物種や生育条件に関して十分に管理すれば、有機農法は慣行型とほとんど変わらない収量を得るが、そうではない場合には一般に収量は低い。有機農法を重要な一手法となすにはその限界を制している要因を解明するとともに、その環境に対するメリットや社会的な側面での有用性も明らかにする必要があるとしている。

さらに欧州のデータを用いたメタ分析 [9] によれば、冬小麦、大麦など 13 種の農作物に関する単位面積あたりの有機農法の慣行農法に対する生産量比は 0.17 ~ 1.81 の範囲にあり、平均 0.75 ± 0.17 である。この比が 1 より大きくなる唯一の作物はメロンである。

文献 [23] では 362 件の有機-慣行農法による生産量比較をメタ分析している。これによれば有機農法生産量は各生産品について平均して、慣行農法生産量のちょうど 80% である（全体は 20 ~ 177% の間に分散している）が、この標準偏差は 21% と大きい。これは生産

物の違いや地域間でのばらつきが大きいことによる。また、慣行農法での収量が大きくなるほど、有機農法との収量差が微妙に大きくなる傾向もある。この理由は、慣行農法収量が高く、その極限值に近いような場合には、一般には水分量は十分で養分ストレスは低く、また病原菌や害虫に対しても十分に管理されている状態にあるのに対し、有機農法ではそうではない（十分な管理が行われていない）ためであるとしている。なお、7 件の米の収量の有機農法の慣行農法に対する比は 86～105%、平均 94% である。

一方、報告書 [3] によれば、農家によるバラつきが大きい、わが国の（有機 JAS 認定農家を除く）有機農家における米（うるち）の平均的な収量は慣行農法に比べて 10a 当たり約 120kg（2 俵）だけ低い。減収率 = （慣行農法における平年収量 - 有機農法における平均的な収量）÷ 慣行農法における平年収量 × 100 で定義される減収率の平均値は 25%（有機 JAS 格付農産物以外）および 22%（有機 JAS 格付農産物）である。当報告書 [3] では、作物によって異なるが、全体として、有機農法では慣行農法に比べて収量が 1～5 割低くなる（が、有機農産物の販売価格は慣行農法農産物の販売価格に比べて 1.2～2 倍ほど高い）としている。

2.6 温室効果ガス - 有機農法からはどれほど発生するのか

農業は CO₂ に関して、農業機械の燃料消費や肥料農薬などの生産、森林の伐採や耕地化などによる発生源であり、かつ、有機肥料の利用は大気中炭素を肥料のかたちで耕地へ移行することに相当するので、吸収源でもある。温室効果ガスであるメタンと一酸化二窒素（CH₄と N₂O）は現在、地球温暖化分に約 20% だけの寄与をしているが、それらの増大分の大部分は農業起源である。1990 年代には CH₄、N₂O、および CO₂ の増大分の 15% が農業起源であった。農業に起源するメタン発生は反芻動物の胃腸内発酵（55%）、貯蔵した家畜糞（13%）、稲作水田（19%）、バイオマスや焼き畑農地の開墾（13%）などによるものである [22]。CH₄と N₂O は有機農業によって大気中への放出量がより増大するとする指摘がある [17]。

文献 [17] では、中国東南部において通常の田と有機農法による田とからの CH₄と N₂O の発生量を実測比較している。水田は種々の水供給条件（連続した水供給（これを F と略記）、水供給—供給停止—再度の水供給（FDF）、水供給—停止—水供給だが水没するほどには水供給を行わない（FDFM）の 3 条件）で管理した。慣行農法では窒素分を尿素またはペレットとして 100 kgN/ha の割で、有機農法では乾燥糞のかたちで、それぞれ水田に施肥した。有機農法からの CH₄ 放出は条件 F、FDF、FDFM で各々 4.44、2.14、1.75 mg/m²/ha/年 であった。慣行農法と比較して有機農法は CH₄ 放出に関して、各水供給条件に対し 20、23、35% だけ大きいことも判明した。一方、有機農法による N₂O および窒素の放出量は FDF、FDFM 条件で 10.85、13.66 μg/m²/ha であり、これらは慣行型に比してかなり小さい。しかし、CH₄と N₂O とを合わせたネットの地球温暖化ポテンシャルにつ

いて言えば、（水供給条件にも依存するが）有機農法は慣行農法に比して同程度かまたはかなり大きい状態となり、有機稲作に利点はない。従って、有機農法による収量が大きくはないことを考慮すれば、有機稲作は温室効果ガスに起源する気候変動を緩和する有効な手段とはならないとしている。

有機農法では土壌に蓄積される有機炭素量が慣行農法に比して増大するとの主張がある（2.2 節参照）。これが真である場合、こうした増大分は毎年、連続して施肥するたい肥や家畜糞の量に依存しており、土壌中への有機炭素の供給と無機炭素への分解とが平衡すれば、それ以上の蓄積が実現されることはない[2]。また、土壌への有機物供給を停止すれば、土壌中の有機炭素量は数年から数十年の時間スケールで減少して初期状態に戻ることになる[2]。したがって、緑肥作物や作物残渣、たい肥、家畜糞などの鋤込みにともなう土壌への炭素貯蔵は短期的な解決にしかならず、長期的には土壌から放出される二酸化炭素量を増やすことになりかねない。有機農法におけるこうした状況は荒蕪地に植林し、それをバイオ燃料として利用するのと類似の状況であり、炭素をある場所から他の場所へ移行させ、一時的に貯蔵するだけといった状態にもなりかねない[18]。

報告書[2]によれば、有機物施用を行った場合、上記のとおり、水田土壌からのメタンや、水田及び畑土壌からの一酸化二窒素等の温室効果ガスの発生が増加する。当報告[2]ではたい肥や家畜糞などの施用に伴う土壌中の炭素貯留増加量からこれらの温室効果ガス分を差し引いて、農地土壌全体としての温室効果ガス収支を試算している。これによれば、全国の水田にたい肥を 1.0t/10a 施用すれば、16.8～27.4 万 tC に相当するメタンが発生することになるが、この分を差し引くと、農地土壌全体の炭素収支（農地へ蓄積される炭素分）は年間約 193～203 万 tC となるとモデル計算されている。ただし、この数字は無機化して大気中へ解放される CO₂ 分は考慮されていないので、有機物施用の初期段階時での値であり、長期的には土壌への蓄積と放出とは平衡するので「一時的に貯蔵するだけといった状態」にかわりはない。

3. 地球温暖化は稲作にどのような影響を与えるのか

グローバルな傾向をまとめた IPPC 報告書[19]は、温帯地域と熱帯地域のそれぞれにおいて、地域の平均気温の上昇程度（1～5℃）の関数としてのコメの生産量の増減程度を整理している。それによれば、温帯地域で何らの適応策を講じない場合にはほぼ 3.5℃ の上昇までは数%だけ米生産量が減るが、それ以上の気温上昇ではしだいに生産量は減り、5℃ の上昇ではほぼ 15%減となる。しかし、適当な適応策を講じる場合には高温化した場合であっても数%の生産量増大に導くことができる。一方、熱帯地域では無適応の場合、5℃ の気温上昇で数%減、適応策を講じる場合にはほぼ 10%増の収量とすることができる。これらは統計的な傾向であって、具体的な値は個々の地域での気象や品種、育成過程の諸条件に依存する。

稲の生産量は CO₂ 濃度にも依存し、CO₂ が 200ppm だけ増大する場合には 3～36%の収量増となる [20]。しかし同文献 [20] は、稲の収量のこうした増大 CO₂ 効果は温帯地域での値であり、低温地域や高温地域での CO₂ 効果はそれほど大きくはなく、より制限されるものとなっている。

過去 70 年間の日本の各地での気温傾向を調べた文献 [21] によれば、過去 70 年間で平均、年間 0.02 の気温上昇がみられるとしている。しかしこうした昇温傾向は季節ごとに異なり、一般に夏の昇温傾向は他の季節に比して小さい。この傾向は特に北日本で著しく、北日本が冷夏に見舞われる可能性の大きいことを示唆している。北日本におけるササニシキの子実収量は 1993 年～2005 年の平均で 613 g/m²、上記と同様な過去 70 年間でのその収量増加率は 16 g/m²/10 年であった。これから、地球温暖化がどれほどの収量増加をもたらすかが推算できることになるが、稲がどれほどの子実をつけるかは幼穂形成までの気象条件や出穂日までの日数に依存し、これらは地球温暖化の様相に依存することになるので、収量増加の推算は必ずしも簡単ではない。過去の気温変化挙動から著者は (1) 全季節にわたって従来と同様の気温上昇、(2) 春のみ昇温、夏はそのまま推移とする 2 種のモデルを検討した。モデル (1) では上記のとりの収量増加だが、(2) では冷却量 (幼穂形成から出穂期までの日平均気温 T が 20 以下では $a=(20 - T)$ 、それ以上では $a=0$ として、これを日々積算したものを冷却量と定義) が平均気温 1 上昇ごとに 16%上昇することになり、冷害被害が増加する、すなわち、地球温暖化によって冷害が増大することになると指摘した。このため (2) となる場合にそなえて、品種や作期の最適化が重要であると指摘している。

4. まとめ

稲作と地球環境、または有機農法と地球環境との係わりについては、介在する多くの関連因子がある。図 1 はこれらの因果関係を簡単に図示化したものである。有機農法か慣行農法かという二者択一ではなく、変動する地球環境条件下でこうした因子を総体的に考慮し、環境へのインパクトを最少にしつつ収量を最大化とする、最適な組み合わせの解を得ることが求められるところであろう。われわれ「温暖化防止うらやす」はそのような認識を共有し、有機農法を冷静に理解することが重要となる。

付録 生物多様性の価値

ここでは多様な生態系が人々に利益をもたらす形態を「生態系サービス」と呼ぶこととする。生態系サービスの主なものは大気成分や気候のコントロール、水流や飲料水の供給、土壌の生成、養分の蓄積と循環、食物や原料物質の供給、遺伝的資源 (医薬品、病原菌に強い遺伝子など) の提供、文化 (非商業的利用、精神的、科学的価値) としての存在など

である。

文献[4]では、生物多様性が増す場合の各生態系サービスの増減の方向を定性的に検証している。多様性が増す場合、食物などの物質の供給とバイオコントロール（生物による自動的制御、例えば外来生物の侵入に対する排除機能）に関してはマイナスの効果となる。すなわち、多様性が増せば食糧生産量は減り、外部からの種の混入が増えることになる。しかし、これらを除く他の制御機能は強化する方向に動くとしている。

生物の多様な状態ではなく、生物の多様化を図る行為そのものがどの程度、生態系サービスの上昇をもたらすのかについては依然としてはっきりしない状態にある。文献[12]では、たとえば土地の開墾や耕作、富栄養化、草木の植栽などによって破壊された生態系を原状に回復する行為が、生物多様性や生態系サービスの向上に係ってどれほどの効果を持つかを検討している。様々な種類にわたる生態系の回復評価 89 件（これらは生物多様性、生産性、多機能に対する補助機能、諸々の環境変化に対する制御性などに関する計 526 件の定量値を含む）を世界的に集め、これらのメタ分析を行った結果、原状への回復作業によって生物多様性は 44%、生態系サービスは 25% だけ増加・回復したことがわかった。しかし、これらの値は手つかずの状態にある参照系と比較すればいずれも低いもの（86、および 80%）でしかなかった。すなわち、破壊された生態系を修復する場合でも、原状の多様性や生態系サービス状態にまで回復することは不可能であることになる。

しかし、生態系サービスの観点からのみ生態系の保全を提唱するのは限界があり、とくに生物多様性に関しては問題が多い。たとえば、外来種の、単一の植生から成る平原は水のろ過や有機炭素の保持と蓄積、洪水の防止などの機能に関して、種々の植生を持つ多様性の高い平原に比して、人々への利益に関してはより良質であるとする指摘もある[13]。こうした観点から、有機農法をも含むさまざまな手段で生態系保全を推進する場合、そうした生態系がどれほど貨幣的価値のあるものかについての議論も多い。

文献[14]では、レッドリスト（生存が脅かされている生物種のリスト）中で、最も消滅の危険性の高い鳥類、約 1100 種の消滅を防ぐために、今後 10 年間で $0.875 \sim 1.23 \times 10^9$ \$/年の費用を要すると計算している。鳥類以外の危機的な生物をも考慮すればこの費用は $3.41 \sim 4.76 \times 10^9$ \$/年となる。さらに、鳥類の生育地域（11,731 か所）の保全という費用を考慮すれば 65.1×10^9 \$/年、他の生物の生息地域の保全も含めれば 76.1×10^9 \$/年となると推算している。

文献[13]では主として既存の文献をもとに、16 の生物種に対する 17 の生態系に対して経済的価値を推算し評価している。地球の生物圏全体としては $16 \sim 54 \times 10^{12}$ \$/年（これらのほとんどは市場経済範囲の外にある）平均は 33×10^{12} \$/年となっている。ちなみに同年（1997 年）の世界全体での GNP は 18×10^{12} \$/年であるので、生物多様性の価値は人々の経済活動と同程度の値であることになる。

参考文献

- [1] P.Gerland, et al.(2014), World population stabilization unlikely this century, *Science* 346(#6206), 234-237.
- [2] 農林水産省生産局 (2008 年 3 月), 「今後の環境保全型農業に関する検討会」報告書、別紙 1 土地土壌の炭素貯留機能の評価.
- [3] NPO 法人 MOA 自然農法文化事業団 (平成 23 年 3 月) 有機農業基礎データ作成事業報告書、61p.
- [4] B.J.Cardinale et al.(2012), Biodiversity loss and its impact on humanity, *Nature* 486 (June 7), 59-67.
- [5] A.Gattinger et al.(2012), Enhanced top soil carbon stocks under organic farming, *Proc.Nat.Acad.Sci.* 109(44), 18226-18231.
- [6] J.Leifeld et al.(2013), Organic farming gives no climate change benefit through soil carbon sequestration, *Proc.Nat.Acad.Sci.* 110(11), E984.
- [7] J.Leifeld and J.Fuhrer (2010), Organic farming and soil carbon sequestration: what do we really know about the benefits? , *Ambio* 39(8), 585-599.
- [8] S.Deike, B.Pallutt, and O.Christen (2008), Investigation on the energy efficiency of organic and integrated farming with specific emphasis on pesticide use intensity, *European J. Agronomy* 28, 461-470.
- [9] H.L.Tuomisto, I.D.Hodge, P.Riordan, and D.W.Macdonald (2012), Does organic farming reduce environmental impacts? – a meta-analysis of European research, *J.Envir.Manage.* 112, 309-320.
- [10] V.Seufert, N.Ramankutty, and J.A.Foley (2012), Comparing the yields of organic and conventional agriculture, *Nature* 485(may 10), 229-232.
- [11] J.Ekroos, M.Piha, and J.Tiainen (2008), Role of organic and conventional field boundaries on boreal bumblebees and butterflies, *Agriculture, Ecosystems & environment* 124, 155-159,
- [12] J.M.R.Benaya, A.C.Newton, A.Diaz, and J.M.Bullock (2009), Enhancement of biodiversity and ecosystem services by ecological restoration: a meta-analysis, *Science* 325(Aug.28), 1121-1124.
- [13] E.Marris (2009), Putting a price on nature, *Nature* 462 (Nov.19), 270-271.
- [14] D.P.MaCathy et al.(2012), Financial cost of meeting global biodiversity conservation targets: current spending and unmet needs, *Science* 338 (Nov.16), 946-949.
- [15] R.Costanza et al.(1997), The value of the world's ecosystem services and natural capital, *Nature* 387 (May 15), 253-260.

- [16] T.de Ponti, B.Rijk and M.K.van Ittersum (2012), The crop yield gap between organic and conventional agriculture, *Agricultural Systems* 108, 1-9.
- [17] Y.Qin, S.Liu, Y.Guo, Q.Liu and J.Zou (2010), Methane and nitrous oxide emission from organic and conventional rice cropping system in Southeast China, *Biol.Fertil Soils* 46, 825-834.
- [18] 西尾道徳, 有機農業による炭素の土壌蓄積増加は温暖化防止の解決策か, <http://lib.ruralnet.or.jp/nisio/?p=2679>
- [19] J.R.Porter et al. (2014), Food security and food production systems. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A; Global and Sectorial Aspects (Cambridge Univ. Press), pp.485-533.
- [20] T.Hasegawa et al. (2013), Rice cultivated response to elevated CO₂ at two free-air CO₂ enrichment (FACE) sites in Japan, *Functional Plant Biology* 40,148-159.
- [21] 下野裕之(2008), 地球温暖化が北日本のイネの収量変動に及ぼす影響, *Jap.J.Crop Sci.* 77(4), 489-497.
- [22] United State Environmental Protection Agency (2006), Global anthropogenic non-CO₂ greenhouse gas emission:1990-2020 (Washington), p.269.
- [23] T.de Pnti, B.Rijk, and M.K.van Ittersum (2012), The crop yield gap between organic and conventional agriculture, *Agricultural Systems* 108, 1-9.

□

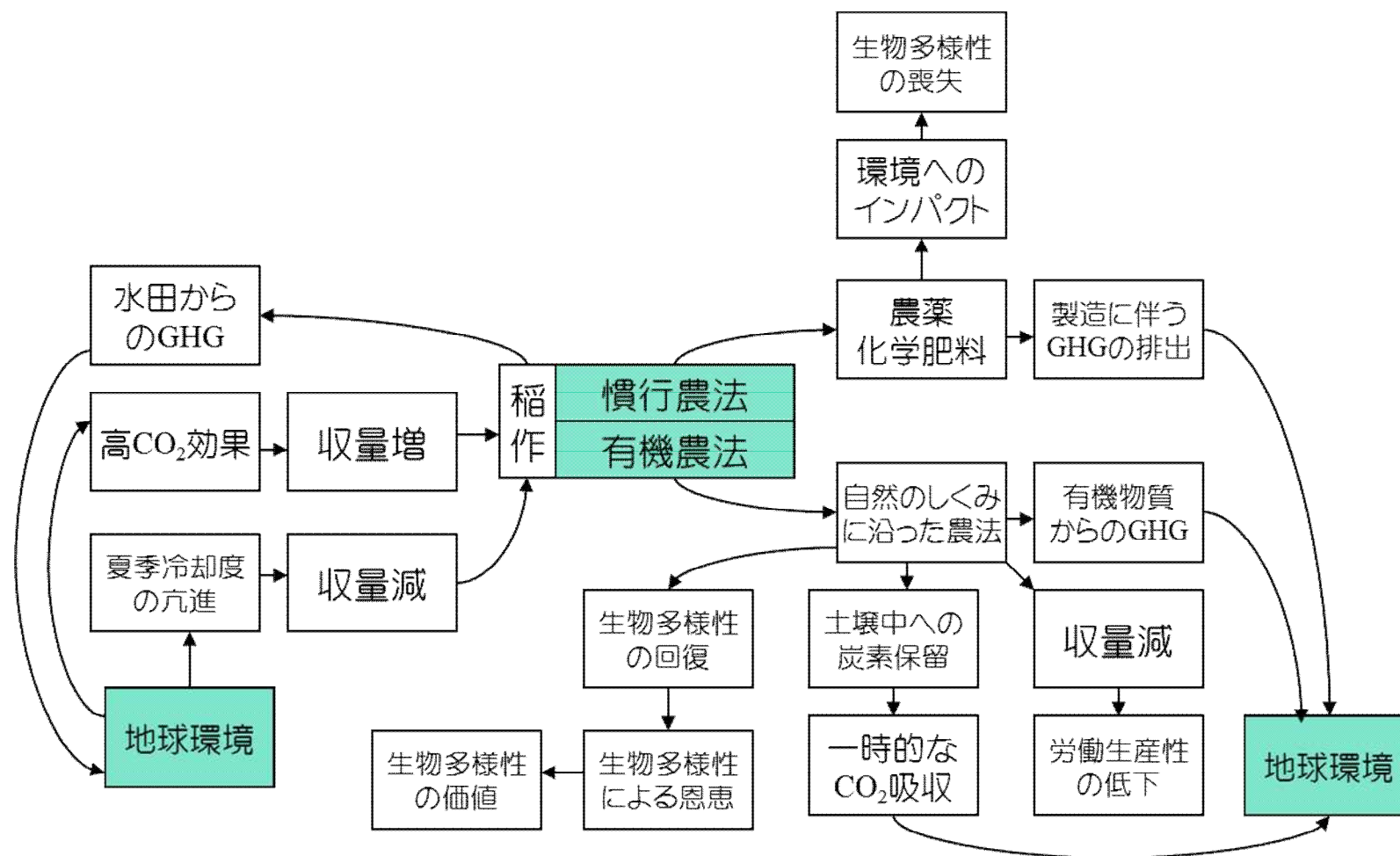


図1 地球環境と稲作の関連性