



Title	稲作における窒素肥料の投入と生物的・化学的技術進歩
Author(s)	近藤, 巧; Kondo, Takumi; 高山, 太輔 他
Citation	日本農業経済学会論文集, 2009, 139-143
Issue Date	2009
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/49704
Type	journal article
File Information	JRESI2009.pdf



稲作における窒素肥料の投入と生物的・化学的技術進歩

近藤 巧・高山太輔*・長南史男

(北海道大学大学院農学研究院・*北海道大学大学院農学院)

Nitrogen Fertilizer Application and Technological Progress in Rice Production in Japan(Takumi Kondo, Taisuke Takayama, Humio Osanami)

1. はじめに

第1図は、わが国稲作の10a当たり窒素肥料投入量の推移を示している。全国の稲作農家平均階層の10a当たり窒素肥料の投入量は、1978年から1987年まで微増した後、1989年から減少する。2006年の窒素投入量は6.8kg/10aである。北海道、東北、北陸農区でも、窒素投入量は減少し続けている。とりわけ、良質米生産地帯である北陸農区において窒素投入量の減少が著しく、2006年のそれは5kg/10aにまで減少している。1978年には、約12kg/10aであったから、実に投与ピーク時の半分以下の水準まで減少したことになる。この期間、全体的に堆肥・きゅう肥などの自給肥料も一貫して減少し続けたから窒素成分の投与は減少していると見てよいであろう。

農区によって、窒素肥料の投入量に違いがあることも明らかである。10a当たり窒素投入量が最も低いのは北陸であり、次いで東北である。北海道では、減少し続けたが、2002年以降再び増加に転じた。

1987年以降のわが国稲作は、窒素肥料の投与を削減しながらも、収量を維持している。このことは、肥料反応曲線を念頭に置けば、窒素成分の利用効率が向上していることを示唆している。収量の推移を第2図に示すが、どの農区でも窒素肥料が激減したほどには収量の落ち込みは確認されない。

そこで、本論文では、窒素投入量の減少にもかかわらず、収量を維持し続けている要因を明らかにすることを目的とする。窒素投入量の減少がもっとも顕著であった北陸農区を対象に分析する。

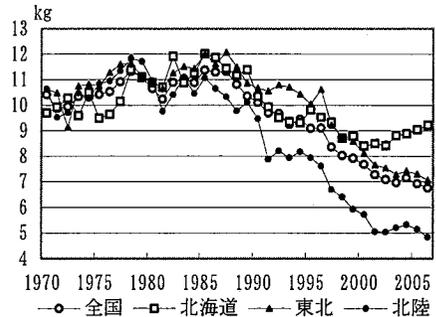
本論文の課題は、①窒素肥料の減少要因を明らかにすること、②肥料投入量減少下における収量維持要因を明らかにすること、である。

以下、第2節では、窒素肥料の削減要因を整理する。第3節では、窒素肥料の減少にもかかわらず、収量を維持し続けた要因を肥料反応曲線を用いて説明する。そして、第4節では肥料反応関数を計測し実証分析を進める。第5節は計測結果、第6節は結論である。

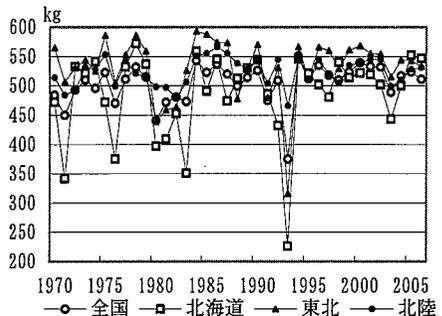
2. 窒素肥料投入量削減の要因

窒素投入量削減の第1の要因は、肥料と米の相対価格の変化である。窒素肥料と米の相対価格は、1989年から2006年までに1.7倍にまで上昇した。相対価格の上昇には米価の下落が大きく影響している。農家経済行動の最適化を仮定すれば、肥料投入量は減少することになる。

第2は兼業化ないしは農業労働の機会費用の上昇である。稲作における労働投入時間の減少に兼業化が大きな



第1図 10a当たり成分換算済み窒素肥料投入量
出所：『米及び麦類の生産費』より作成。



第2図 10a当たり収量の推移
出所：『米及び麦類の生産費』より作成。

影響を与えてきたことは周知の事実である。施肥労働投入時間の減少も例外ではない。高い意欲に支えられた農家の追肥過程の限界生産力はきわめて高かったと推察される。しかし、現在では、米価下落は意欲の低下を招き、増収を志向する追肥のインセンティブは大幅に低下したと考えられる。

第3は、良食味志向である。わが国稲作生産は、1975年以降の米生産調整によって多収性よりも食味が重視されるようになった。1969年の自主流通米制度、1995年の新食糧法の施行の結果、「基肥」や玄米の窒素濃度を高める「実肥」を控えるようになった。さらに、倒伏の原因となる「穂肥」も削減されるようになる。わが国稲作は、明らかに後期追肥の削減を志向してきたため施肥量は減少したと考えられる。

第4は、品種の変化である。窒素肥料に対する派生需要は農家の品種選択に依存している。分析対象期間中、日本の作付品種の推移をみると、コシヒカリを母本とする品種への作付集中が著しい。コシヒカリは、耐倒伏性に劣り少肥で栽培される品種である。わが国稲作においては、コシヒカリを筆頭に良食味品種への作付が集中し、玄米のタンパク質含有量を抑制するために窒素の施用が控えられてきたと考えられる。ただし、北陸農区を対象とする限り品種の交代が窒素肥料の投入量に及ぼす影響は小さい。1990年以降、北陸農区はすでにコシヒカリへの集中が著しく顕著な品種交代は見られないからである。

その他の窒素肥料削減要因として、転作大豆の影響、圃場整備の効果、環境保全型農業の普及、持続的農業法によるエコファーマー数の増加による化学肥料の削減なども考えられる。

3. 施肥技術の進歩

本節では、窒素肥料の削減にもかかわらず、収量維持を可能としてきた要因を稲作生産における生物化学的プロセス（BC過程）における技術進歩に求め、より具体的にこのメカニズムを考察する。

1980年代に入り、施肥技術に関していくつかの注目すべき研究成果が表れる。これらの研究は、良質米生産のインセンティブの高まりを背景に遂行された。すなわち、1970年以降の生産調整や自主流通米価格形成センターの設立を契機とする、米の産地間、品種間の価格差の拡大、米価の低下である。こうした条件の下、施肥体系が見直されるようになったと考えられる。

注目すべき研究成果の第1は、地力窒素発現の予測技術の進歩である。本来、窒素成分は、水田土壌そのものにも多量に含まれている。これは「土壌窒素」ないし「地力窒素」と称せられる。一般に土壌有機物が湛水状態で無機化する過程で地力窒素が発現する。この地力窒素の無機化量は有効積算温度などさまざまな条件に依存するが、これをかなりの確度で予測できるようになった。さらに、稲の地力窒素吸収量がわかれば、肥料窒素必要量を予測できる。農家は、稲の生育に必要な窒素成分を地力窒素でまかないきれない場合にのみ化学肥料から窒素成分を補給すればよい。無駄のない窒素肥料の投与が可能となる。肥料・米価相対価格の上昇や良食味米志向を契機に、土壌診断による地力窒素の発現予測の確度が高まり、収量の低下を極力避けながら施肥コストを低減させたと考えられる。

第2は、土壌診断に基づく施肥設計の見直しとあいまって、施肥効率の向上を促す局所施肥技術が普及するようになったことである。このような局所施肥技術として、側条施肥、育苗箱全量施肥、点滴施肥、畝立て同時施肥、灌注施肥、ポット内・セル内施肥、などがあげられる。稲作においては、側条施肥機能付きの田植機の普及がその典型である。全農が実施した側条施肥機能付田植機の2000年度普及率に関する調査によれば、全国で18.8%、北陸では35.8%であった。

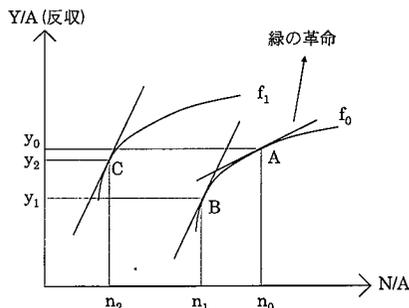
第3に、被覆（コーティング）・緩効性窒素肥料の普及も見逃せない。地温の上昇に伴って、肥料成分が溶出してくる緩効性肥料の普及は追肥を省略できるのみならず、肥料の利用効率も向上させる。そのため、基肥全層施肥を採用する農家も見受けられる。

側条施肥機能付きの田植機の普及や被覆肥料などの普及は、施肥効率を向上させるものであり、農機具や肥料に体化された技術革新といえる。このような技術は、労働節約効果を有するため、労働節約を主目的に導入した肥料が同時に肥効を高めているとも考えられる。

このように、窒素の施肥効率の向上は良食味米志向によって誘発されたと考えられ、それを支えた作物学や土壌肥科学などの農学研究成果の一端でもある。窒素投入量を減少させれば、収量は減少するの

であるが、収量の低下を最小限に留めながら、良食味米の生産を追求してきたのである。

そこで、窒素投入量が減少したにもかかわらず、収量を維持し得た要因を肥料反応曲線を用いて示そう。基本的な考え方は、BC過程において技術進歩が存在したということである。これは、肥料反応曲線のシフトとして表現できる。第3図の f_0 は、窒素反応曲線を示している。最適な窒素肥料投入量は肥料と米価の相対価格によって n_0 に決定される。この時の反収は y_0 である。肥料と米価の相対価格が1990年以降上昇したから、肥料投入量は n_1 に減少する。この時、反収も肥料反応曲線に沿って y_1 へと減少する。しかし、実際には収量の低下はほとんど見られなかった。このことは肥料反応曲線が f_0 から f_1 へシフトしたことを示唆している。肥料反応曲線がシフトすることによって、肥料削減と反収の維持とを整合的に説明することが可能となる。緑の革命は多投多収を目指し、肥料反応曲線を f_0 から右上にシフトさせたのとは対照的である。



第3図 肥料反応曲線と技術進歩

第3図の f_0 は、窒素反応曲線を示している。最適な窒素肥料投入量は肥料と米価の相対価格によって n_0 に決定される。この時の反収は y_0 である。肥料と米価の相対価格が1990年以降上昇したから、肥料投入量は n_1 に減少する。この時、反収も肥料反応曲線に沿って y_1 へと減少する。しかし、実際には収量の低下はほとんど見られなかった。このことは肥料反応曲線が f_0 から f_1 へシフトしたことを示唆している。肥料反応曲線がシフトすることによって、肥料削減と反収の維持とを整合的に説明することが可能となる。緑の革命は多投多収を目指し、肥料反応曲線を f_0 から右上にシフトさせたのとは対照的である。

4. 肥料反応曲線の計測モデルとデータ

上記の窒素肥料投入と産出量との関係を明らかにするために肥料反応関数を計測する。窒素肥料の削減を直接分析するには、肥料の派生需要関数を計測することが望ましいと考えられる。ただし、肥料投入量の削減は明らかにできるが、窒素成分と収量との関係を明示的に分析することはできない。したがって、肥料反応関数の方がより適したアプローチと考えた。データは、農林水産省『米生産費調査』を用いた。計測期間は1970年から2006年である。データの制約上、1997年までは、『全調査農家』、以後は『販売農家』についてのデータを利用した。

被説明変数は『米生産費調査』の収量の対数をとった。全国、北陸農区とも毎年の気象変動の影響が大きく、反収変動が著しい。窒素投入量と収量の関係を把握するためには、この気象変動がもたらす反収の攪乱要因を取り除く必要がある。このために、反収を2次のトレンドに帰属し、反収の予測値を求めこれを平年反収とした。

説明変数として、①成分換算済の10a当たり窒素投入量、②経営耕地の田に占める稲作付地の面積割合、③北陸農区と北海道農区との米価の比率、④被覆窒素肥料と被覆複合肥料の生産量と稲作の施肥技術に関する論文数を基に作成した施肥技術指数である。

米価は『米生産費調査』の玄米粗収益を反収で除して求めた。1975年以降、農区間で米価の格差が顕著となる。良食味生産志向へのインセンティブを捉える変数として北陸農区と北海道農区の米価の比率をとった。この変数は米の品質格差の拡大傾向を示す変数である。良食味生産志向へのインセンティブの高まりが少窒素・収量維持型の技術進歩を誘発すると考えた。

さらに、これに類似する変数として、『米生産費調査』から経営耕地の田に占める稲作付地の比率を作成した。この変数は、短期的に農家にとっては外生的に決定される政策変数と考えられる水稻作付け率である。米生産の全体の規模が縮小する中で、相対的に生産条件のよい土地で米の生産が行われている可能性があるため、この変数をモデルに導入した。

被覆窒素肥料と被覆複合肥料の生産量は『肥料要覧』から入手した。被覆窒素肥料と被覆複合肥料の生産量は、あくまで技術指数の代理変数との位置づけである。生産された被覆肥料が直接稲作生産に利用されるとは限らないし、理論的に被覆肥料の生産量とその普及を厳密に区別すべきである。これらの国内生産量は1980年代以降急速に伸びている。現時点では、緩効性肥料・肥効調節型肥料の普及データは入手できなかった。

さらに、この代理変数を補完するものとして、施肥技術に関する技術進歩指数を作成した。具体的に被覆窒素肥料生産量、複合被覆肥料生産量、施肥技術に関する論文数の3系列のデータを用いて、主成分分析を行った(註1)。施肥技術に関する論文数については、科学技術振興事業団が提供している

JSTPlus のデータベースを基に暦年ごとに「稲作」と「施肥」をキーワードに論文数をカウントした累積数である。その結果、第1主成分はこれら3つの系列と正の相関をもっていたので、これを施肥技術に関する技術進歩指数とした。なお、第1主成分の因子負荷量は0.89であった。

なお、収量維持要因として土壌窒素の存在や窒素肥料投入量が過剰であった可能性も考えられるが、窒素投入量の減少がみられるのは1987年以降からであり、約20年後においても反収が減少しない要因を本論文では技術進歩に求めた。ただし、この点に関しては、窒素投入に関するストックモデルを構築し、より詳細な実証分析を行う必要がある。

計測方法は、農家にとって窒素投入量は内生変数であるため、肥料価格と米価を操作変数とする2段階最小2乗法を用いた。窒素肥料価格は、『米生産費調査』の高化成肥料の評価額を投入量(kg)で除して求めた。窒素成分の多くが高成分化成肥料に由来するからである。2006年の全国平均でみると、窒素成分の75%がこの高成分化成肥料に由来する。

5. 計測結果

計測結果を第1表に示す。農区間の米価の価格比を除いて、パラメーターはすべて有意水準5%で有意である。ただし、ダービン・ワトソン統計量が低く計測結果は改善の余地があることを示している。経営耕地の田に占める稲作付面積の割合はマイナスであった。このことは、減反が強化される(稲作付面積が減少することによってわずかではあるが反収が増加すること)を示している。これに関しては、劣等地が生産調整田にまわされたことや、転作作物が稲作の窒素投入量に及ぼす影響などさまざまな要因が考えられる。米価の地域間格差は有意ではなかった。施肥技術に関する技術指数は有意であり生物的・化学的過程における肥料投入関数をシフトさせていたことを伺わせる。すなわち、本稿の仮説である施肥効率の向上を示唆するものである。

第1表 肥料反応関数の計測結果

	全国	北陸
定数	6.092 *** (152.783)	6.159 *** (156.090)
ln(窒素投入)	0.064 *** (5.008)	0.100 *** (7.615)
水稻作付率	-0.051 ** (-2.615)	-0.136 *** (-4.872)
米価(北陸) /米価(北海道)	0.022 ** (2.324)	0.001 (0.082)
施肥技術指数	0.014 *** (9.253)	0.017 *** (6.939)
自由度調整済決定係数	0.955	0.747
DW統計量	0.712	1.439

註1: ***, **はそれぞれ、1%, 5%の有意水準を示す。

2: 括弧内は、t値を示す。

6. まとめ

本稿の目的は、窒素施肥技術に関する技術進歩の存在を明らかにすることであった。『米生産費調査』の全国平均階層の成分換算済みの窒素投入量を推計した結果、施肥量は1987年以降低下した。11kg/10aで推移していた投入水準は、2006年には6.8kg/10aにまで低下する。農家は米価の低下、食味、倒伏、環境への影響を考慮して窒素施用量を抑制する傾向にある。窒素投入量が減少しているにもかかわらず、反収は低下していなかった。1987年から2006年までの平均反収は518kgでほぼ一定である。

本稿では、この要因を稲作の施肥技術の変化に求めた。施肥技術進歩を示す指数を作成し、窒素施用量の減少が最も著しかった北陸農区を対象に肥料反応曲線を計測した。その結果、この技術指数は統計的に有意であり、窒素施肥効率の向上という技術進歩の存在を裏付けるものであった。緑の革命も1990年代以降のわが国稲作の窒素節約技術の双方とも肥料反応関数を上方へシフトさせているという点では共通している。ただし、緑の革命が肥料使用的だったのに対しわが国稲作は窒素肥料を節約しながら、収量を維持し続けているのである。

(註1) 被覆肥料の国内生産量は財に体化された施肥技術の指標である一方、稲作の施肥技術に関する論文数は、効果的な施肥方法に関する知識の蓄積を示す生産要素には体化されない施肥技術の指標である。地力窒素の発現予測や良食味米生産に向けた追肥技術の変化はこれらの研究成果に依存していると考えられる。

参 考 文 献

- [1] 胡柏「減農薬・減化学肥料型農業の展開条件に関する一考察」『1998年度日本農業経済学会論文集』1998, pp.138~142.
- [2] 西尾道徳『農業と環境汚染』, 農山漁村文化協会, 2005.
- [3] 茂野隆一「肥料産業の展開と産業組織」斎藤修・高倉直編『農業資材産業の展開』, 農林統計協会, 2004.