

いわゆる自然農法田の水稲の生産力

——滋賀県栗太郡の一例——

奥村 俊・勝*

I はじめに

わが国の水稲作は、化学肥料と農薬の多投に支えられているところが大きいと言ってよいであろう。これには、古くから化学肥料のうちで、とりわけ窒素施肥に対する農家などの関心が高く、また、社会の要請を背景として、多施肥多農薬によって多収を得る技術と思想が、農家へ容易に受け入れられたことも一因となっているであろう。

化学肥料が不足ぎみのときには、地力の培養と施肥効率の向上に重大な関心が寄せられていた。ところが、化学肥料が豊富に入手できる時代となり、“イネは地力で作り、ムギは肥料で作れ”という言葉とは裏腹に地力窒素の利用が軽視され、化学肥料の多投化が進行した。

化学肥料と農薬の多投化は、水稲栽培の現場はもとより、他の分野でも様々な問題を顕在化しつつある。たとえば、水田地力の減退の問題であり、圃場外に流出した肥料や農薬の生活環境の汚染問題などである。また、実際の水稲栽培においては、栽培管理や技術の粗略化を引き起こし、生育調整の不良で、水稲体の過剰栄養生長に伴う病虫害の多発を惹起していることである。

さて、上記のような多肥栽培に対して、化学肥料と農薬をまったく施用しない水稲栽培の事例が散見される。このような栽培方法は、一般的にいわれる『自然農法』という言葉が使用されていて、水稲作のみならず、野菜作をはじめ

*おくむら としかつ、近畿大学農学部

めとして各種の農産物生産に適用されて、近年、社会的にも関心が高まってきている。

水稲作に関して、自然農法の多くの事例についてみると、現実に行なわれている方法には、積極的に有機物を水田に還元する、いわゆる『有機農法』といわれるものから、極端なまでに有機物すら還元しないものまであって多様である。しかし、共通的には、化学肥料と農薬がまったく使用されないことである。

自然農法という言葉は、人間の手が加えられない自然という言葉と、人間の行為によって作り出される農法との2つの矛盾した言葉が接続されたものであって、専門的な用語として明確な内容を持たない。したがって、本稿では、いわゆるという接頭語をつけて、一般に広く行なわれている多施肥多農薬農法に対峙させた意味で用いていることを断わっておく。と同時に以下では、ただ単に自然農法と記して行くことにしたい。

自然農法によって産出される収量は、必然的に普通の施肥栽培のものよりも低収となるが、この農法は実践者が信念的に行なっているのが実態である。したがって、水稲栽培での自然農法の定義付けは曖昧である上に、この農法の科学的な研究は、生産力向上を目的とする作物栽培の分野からはほとんどなされて来なかった。また、一般の農家に幅広く受け入れられもしなかった。

一般に、投入窒素施肥量が多くなるほど、収量も多くなると考えられていて、それを裏付ける統計資料もある〔村山 1974〕。したがって、窒素養分量が収量に及ぼす効果の視点に立って、外見的には投入量が皆無の自然農法稲作をとらまえた場合には、収量が極めて少量に止まらざるを得ないと考えるのが当然である。しかるに、筆者は、1975年から数カ所の長期無施肥無農薬水田の実態を、数名の共同研究者と共に調査する中で、上述した概念では律し切れない現象を認めた。すなわち、外見的には当該水田への外部からの投入窒素が皆無であるのに、毎年、予想以上の収量を得ている自然農法水田が存在することを認めたことである。

本稿は、この興味ある自然農法田の実態調査と、この水田を用いて行なった

若干の栽培試験の結果から、自然農法田の水稻の生産力を維持している要因について、作物栽培学の視点から考察を深めたものである。なお、その考察を進めるにあたって、普通の施肥栽培田の様相を自然農法田のそれに対比させて行なった。これは、一般に広く普及している多施肥栽培における肥料の効果を考える上で、単に施肥量に対する生育反応の違いとして評価されるよりも、無施肥栽培との対比によって、より一層その評価が正確になるものと考えたからにほかならない。

II 調査田の実態

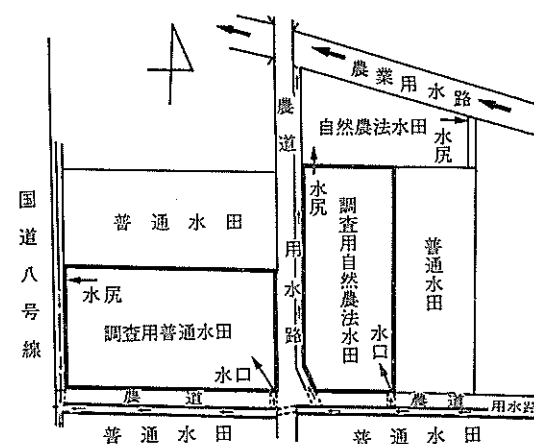
1. 調査田の立地と耕種の概略

調査田は、滋賀県栗太郡栗東町辻にあり、野洲川から取水された灌漑水路の分流末端部に位置し、周囲は普通の水田地帯となっている。なお、灌漑水路の上流には小集落があって、ここからの家庭排水がこの水路に流れこんでいる。調査に用いた両水田は、おたがいに小農道を挟んで東西に隣接し、灌漑水も同じ水路からそれぞれの水口より取水される(第1図)。調査用普通田の面積は約15アールであって、水管理は、地下浸透などによる減水に応じて取水され、中干しや薬剤散布などの時と出穂10日以後は落水される。一方、調査用の自然農法田は約9アールの面積で、東側の小畦を隔てた普通田から養分を含んだ灌漑水が当該の自然農法田に漏れ出ることもある。自然農法田の水管理は、田植から収穫20日前までのほぼ一作中、常時かけ流し灌漑が行なわれていて、この自然農法田のひとつの特徴となっている。

1977年度に、両水田で行なわれた耕種概略はそれぞれつぎのとおりであって、毎年、当年とほぼ同様な耕種作業が繰り返されている。

(1) 普通田

この調査田は、調査のために特別な処置が施されたものはない。すなわち、一般の水田と同様に、コンバインで収穫されて水田に放置された稲わらは、秋耕によって作土層中に全量すき込まれて、春先までそのまま置かれている。4



第1図 調査田の概略図

月上旬、田植のために再び耕起されるが、その時期までの還元わらの分解はほとんど進んでいない。5月2日、水稻品種日本晴の稚苗が機械移植された。植え付け密度は、条間30cm・株間17cmで、1㎡当たり19.6株となっている。元肥に、塩化燐安が成分として10アール当たりN:8kg, P:13.6kg, K:12kg全層施肥された。穂肥にNK化成が用いられ、総施肥量は10アール当たり成分N:12.8kg, P:13.6kg, K:15.1kgとなり、かなり元肥に重点をおいた栽培法がとられている。水管理は前記のとおりであり、雑草や病虫害の防除作業は慣行的に行なわれた。

(2) 自然農法田

収穫時にバインダーで刈り取られた稲は、はさ干しされ、脱穀後の稲わらはすべてわら加工材として圃場から持ち出される。さらに、秋口から水田中に発生する雑草ですら、随時、冬から春にかけて手取り除草で場外へ搬出される。したがって、4月下旬の荒起こしの際、当該の水田に残される有機物は、イネの刈株、根および極少量の雑草だけとなっている。5月9日に、この水田以外で行なわれている自然農法田の一面で保温折衷苗代で育苗された5~6葉期苗が、条間26cm・株間20cmの密度で、1株3~4本当て手で移植された。栽培品

種はベニアサヒである。農薬と肥料は堆きゅう肥を含めて一切用いないが、灌漑水は前述のとおり十分に供給される。栽培中の除草は、田打車と手取りによって行なわれた。なお、当該の自然農法田は、1951年以来すでに25年以上にわたって自然農法で水稻が栽培されて来た。したがって、その歴史においても、その耕種法においても、数多い自然農法田の中で独特のものであるように思える。

2. 両水田の土壌環境

両水田は隣接しているのだから、それぞれの母岩の性質は同じであるものと考えられる。しかし、自然農法田では永年に亘って有機物と化学肥料を排除してきているので、その土壌の化学成分や構造が、普通田の土壌とはかなり異なっているものと考えられた。そこで、両水田の土壌の化学性と物理化学性を調査し、また、実際の圃場における地温の変化を調査した。ここでは、化学成分と物理化学的性質については整理して結果のみを記し、圃場で実測した地温変化については図示してみた。

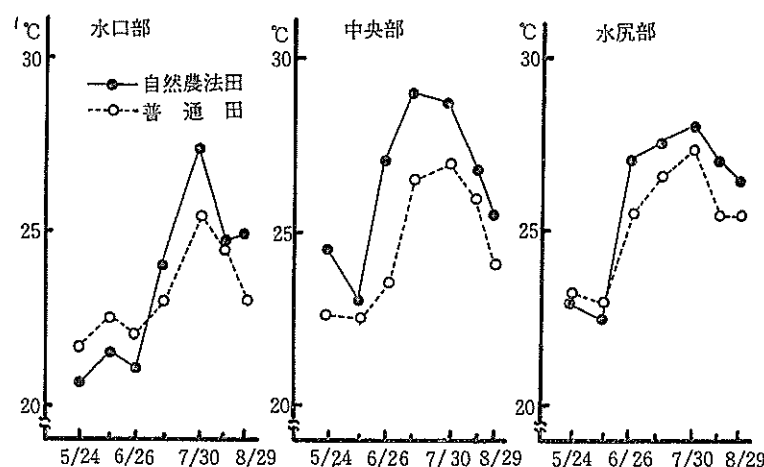
(1) 化学成分と物理化学的性質

自然農法田の土壌は、普通田のものにくらべて、しまって固くなり、通気性は不良である。また、pH は全般的に低く、Eh は生育初期には高く推移するが、生育後期になると、普通田では中干しなどの影響で自然農法田よりもかなり高まり酸化状態で推移する。全N量と含有C量は自然農法田が低く、C/N比も低下する。SiO₂、P₂O₅、K₂Oなどの成分の含有量も、全般的に普通田の土壌にくらべて低い。

(2) 圃場での地温変化

水稻の生育調査を行なうために、これらの水田の中に立ち入ったとき、生育中期を過ぎる頃から以降、水田内の地温は、自然農法田にくらべて普通田でかなり冷たかった。また、地温の高低は、土壌窒素の無機化量に大きな影響をあたえる。そこで、両水田の水口部、中央部および水尻部の3カ所での地温の定期的変化を実測してみた。1978年の結果は第2図に示すとおりとなった。地温

は、株間の中央の10cm深でそれぞれの測定日の正午に測られた。



第2図 両水田のそれぞれの位置における地温の推移(1978)

栽培品種は、自然農法田ではベニアサヒ、普通田では日本晴である。

全期間の変化を通してみると、両水田ともすべての位置で生育初期には低く、生育盛期には最高に達し、生育後期には再び低下する変化パターンを示した。これは気温の変化に追随したものである。また、全般的に、自然農法田の方が高く推移し、とくに中央部ではその傾向は明らかであった。水口部と水尻部では、生育初期には自然農法田が低かったが、とくに水口部が著しく低く経過した。また、両水田ともに、水口部の地温が他の位置の地温よりも、全生育期間を通して低温であったことが注目された。

これらのことから、地温の位置的変動は自然農法田で大きくなることが明らかとなったが、その原因として、この自然農法田では、一作中かけ流し灌漑が行なわれ、その水温の変化が水口部の地温に直接的な影響をあたえるので、水口部ではかなり低温で経過し、位置的変動を大きくしたと思われる。

生育盛期には、自然農法田が普通田よりも全般的に高くなった。これは、普通田では施肥によって地上部の草冠が無施肥のものよりもかなり大きく生育し、したがって、水田中の地表面の草冠による被覆が強くなる。すなわち、地

温上昇をもたらす太陽光が群落内部まで達しないことによって地温の上昇がみられず、このことが普通田の地温を低くしたものと思われる。

3. 水稻の生育・収量

両水田に栽培される品種と移植時期が異なるので、両水田の生育と収量を単純には比較できない。しかし、過去7年以上に亘る現地調査において、ほぼ毎年、両水田で観察される特異的な現象を拾いあげ、それらを比較することはできる。そのような実際の栽培中に生じた現象と若干の実験にもとづいて、自然農法田での水稻の生育・収量上の特徴を明確にしてみよう。また、それらの特徴にもとづいて、自然農法田の水稻生産を維持している養分供給源について推察を試みてみよう。

(1) 玄米収量と構成要素

自然農法田の水稻の生育が、普通田のものにくらべて極めて貧相になるのは当然であって、その立毛状態から予想される玄米収量が、かなり低水準になると考えられがちである。また、玄米収量と施肥窒素量との間には、 y (玄米収量) = $41.3 \times N$ (窒素施肥量) + 35.9 の関係式があるとされている [村山 1974]。したがって、窒素施肥量が0である自然農法田では、10アール当たり36kg程度の収量しか得られないことになる。しかし、調査対象の自然農法田の水稻の生育状態は、村山氏の関係式に反して実際にはかなりの収量が期待できるようにみえた。そこで、まず、1977年に同一品種を用いて両水田の生産力の実態を実験的に比較し、また、1978年の両水田で実際に栽培されていた水稻についての収量および収量構成要素も合わせて第1表に示した。

まず、全国的に水稻の出来が悪かった1977年についてみてみよう。10アール当たり玄米収量は、自然農法田で403kg、普通田で483kgとなった。つぎに、1978年についてみてみると、自然農法田では400kg近い玄米収量が実際の自然農法栽培から得られた。これら両年の玄米収量からみて、この自然農法田ではかなり安定的に予想外の多収が得られていることが判明した。

鬼鞍ら [1975] は、栽培条件にかかわらず、玄米10kgを生産するのに必要な

第1表 玄米収量と収量構成要素

(1977)*					
	玄米収量 (g/m ²)	1株穂数	1穂もみ数	登熟歩合 (%)	玄米 1,000粒重 (g)
自然農法田	403	10.5	85.9	97.4	23.1
普通田	483	13.6	86.9	93.2	23.1
(1978)**					
自然農法田	394	12.5	80.1	96.7	23.2
普通田	584	18.9	66.4	97.3	22.4

* 1977年度のデータは、実験的に比較された結果で、両水田ともにベニアサヒが19.2株/m²の密度で植え付けられた。

** 1978年度のデータは、実際に栽培されていた水稻にもとづく。自然農法田にはベニアサヒが19.2株/m²の密度で、普通田には、日本晴が19.6株/m²の密度で植え付けられた。

水稻の吸収窒素量は、ほぼ220gであると計算している。この計算にもとづくと、この自然農法田には、年間、最少限約8kgの窒素が補給されていなければならないことになる。さらに、水稻体への吸収の効率を勘案すると、その計算量よりもかなり多量の窒素が、実際に付加されていることは明らかであろう。

つぎに、1977年の収量構成要素についてみてみよう。

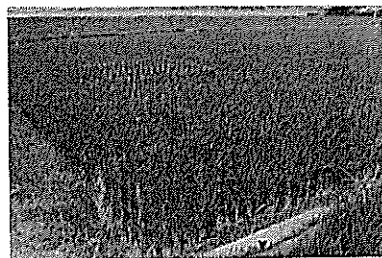
これらの構成要素が決定される稲の生育ステージとその折の土壌の栄養状態から考え合せてみると、1株穂数は、普通田が元肥窒素の効果によって自然農法田よりも約30%多くなった。生殖生長期の土壌の窒素栄養状態に支配される1穂もみ数では、両水田間の差が僅かとなり、生育後期の栄養状態と関係の深い登熟歩合では自然農法田の方が高くなった。

これらのことから、自然農法田の生産力が、土壌へ付加される窒素養分の絶対量でのみ決まるのではなくて、その養分の有効性と発現量の時期的な変化がかなり大きなウェイトを持っていることを示唆するであろう。すなわち、自然農法田の玄米収量は、生育後期の栄養状態に支配されているものといえるであろう。

(2) 位置の変動

出穂期の立毛状態を畔道から眺望すると、普通田は水田全体が極めてよく揃っているのに比べて、自然農法田は、1筆での個体の生育不揃いが見受けられる。とくに、自然農法田の水口附近では、水口を中心点として半径約5~7mの扇形内の稲の生育が著しく良好となり(写真1)、普通田の稲と遜色ない生育状態を呈する。そこで、両水田における収穫物諸形質の水田1筆内での位置的変動を調査した。収穫調査日は、普通田が10月2日、自然農法田が10月16日であった。

両水田ともに第1図でみたように、水田の形が長方形をしていて水口と水尻とが対角に設置されている。そこで水口と水尻とを結ぶ対角線上を11等分し、水口を基点に10個所の採取地点を設定した。そのおのおのの地点にある稲株を中心として条にそって連続5株をサンプリングし、平均値をその地点の代表とした。また、水口附近での特

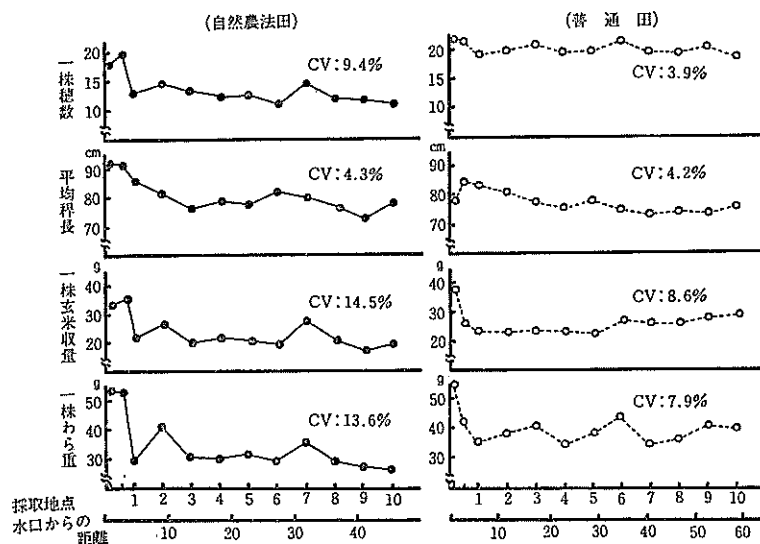


水口↑
写真1 自然農法田の水口附近の水稻の生育状態(7月下旬)

異的な生育の実態を明らかにするために、対角線上での水口から1m、3m地点についても同様な調査を行なった。その結果は第3図に示す。本図の最下部にそれぞれの地点の水口よりの実測距離を示すスケールが記入され、各地点の位置が対応できるようになっている。

調査した形質は、1株穂数、平均稈長、1株玄米重、および1株わら重である。また、10地点間の変動の大きさをそれぞれについて変動係数(CV)で示してみた。

まず、変動係数を各形質ごとにみても、いずれも普通田よりも自然農法田が大きくなり、とくに1株玄米重とわら重では、区間差が拡大し、立毛状態で認められた自然農法田での生育ムラの大きいことが、実測的に検証された。つぎに、水口からの距離による各形質の消長をみると、自然農法田のす



第3図 二、三の収穫物形質の水田内の位置的変動

べての形質は水口より離れるにつれて減少する傾向があり、とくに1株穂数でその傾向が強かった。一方、普通田では各形質でその傾向は異なり、自然農法田とは逆に1株玄米重では水口を離れるにつれて増大する傾向をみせた。

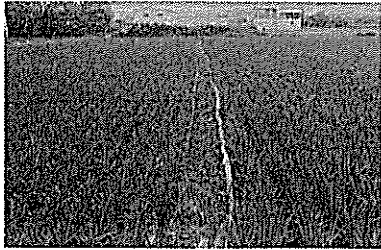
水口附近の様相についてみてみよう。すべての形質は、水口以外の位置のものにくらべて極めて大きくなり、とくに自然農法田ではそれが顕著となった。

これらのことから、自然農法田の水稻は、普通田のものにくらべて水田内での位置的変動が大きく、とくに水口附近の生育が良好となることが検証された。このように、自然農法田で位置的変動が大きくなることは、たとえばかけ流し灌漑水の付加養分のような天然供給養分の発現が、自然農法田では不均一であることを現わしている。一方、普通田では、施肥によってその天然供給養分の発現がかなり抑制されるとともに、施肥による肥料養分が全面的にマスクし、その結果、位置的変動を小さくするものと考えてよいであろう。

(3) 生育パターン

水口附近の生育が良好となるように、自然農法田では位置的変動が大きくな

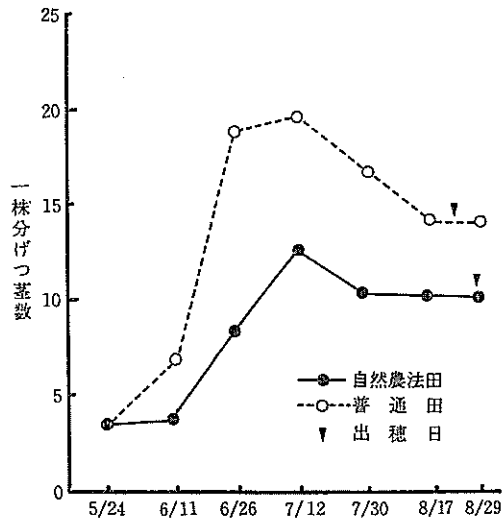
ることに加えて、地上部の時期的な生育の様相が普通田のものとはかなり違っていることが、この自然農法田の全面において認められた。すなわち、外観的に自然農法田の水稻の生育は、生育中期以後になると、草丈の伸長や株張りが



(自然農法田) (普通田)
写真2 自然農法田と普通田の水稻の生育状態(7月下旬)

促進され、葉色も増してくる。したがって、生育初期には、普通田の水稻にくらべてかなり見劣りしているが、7月下旬になると、普通田の水稻と遜色のない生育状態を呈し(写真2)、秋優り的な生育となることが認められた。この生育推移の実態の違いを株当たり分けつ数の増加を代表例としてみてみよう。

第4図は、1977年の分けつ基数の推移を示したものである。自然農法田で



第4図 1株分けつ数の時期的消長(1977年)
品種: 両水田ともベニアサヒ。
植え付け密度も同じ。

は、移植からしばらくの間は分けつ基数はほとんど増加しない。これは、灌漑水温が低いことによるものである。最高分けつ基数は、普通田の $\frac{1}{2}$ 程度であるが、有効基数(穂数)では $\frac{3}{4}$ 程度にまで高まり、無効分けつ基の発生が抑えられている。一方、普通田では、元肥の効果によって生育初期から分けつ基数は急増し、最高分けつ基数もかなり多くなる。しかし穂肥が追肥されたにもかかわらず有効基数は低下し、無効分けつが多発する。すなわち、自然農法田の水稻が後期生長型の生育パターンを取り、秋優り的なことが明らかに認められた。この生育型を支えている栄養分の発現パターンについては、次章で述べる。

(4) 栽培品種 ベニアサヒ

当該の自然農法田では、自然農法栽培が開始されたときから、同一の品種ベニアサヒが毎年栽培されてきている。この品種の特性は、稲体の生育や出穂状態の観察から、長稈、穂重型で晩生であると認められた。しかし、この品種は、その来歴はもとよりその栽培についても記載例のない古い品種である。種子は自家採種が続けられている。このことは、この品種の自然農法田への適応性がかなり高いことを示している、この水田の生産力維持にかなり寄与していることが考えられた。したがって、自然農法田におけるこの品種の重要性について、少し述べておく必要があるだろう。

1977年に、一般に良質米とされていて、特性を異にする水稻5品種をこのベニアサヒに加えて品種比較試験を行なった。その結果のうち、両水田におけるそれぞれの品種の収量と出穂日を第2表に示している。

まず、出穂日についてみると、ほとんどの品種が、普通田よりも自然農法田で3~10日程度遅れる傾向をみせた。ベニアサヒは、供試した品種中で両水田ともに最も遅くなっていて、とくに自然農法田では8月下旬にならなければ出穂しない。

つぎに、玄米収量についてみてみよう。ベニアサヒの玄米収量は、普通田では農林22号につぐ低収となったが、自然農法田では全品種中で最高収量を示した。また、両水田間の収量差をそれぞれの品種ごとにみると、ベニアサヒ

第2表 両水田における供試品種の玄米収量 (g/m²) と出穂日

品種 調査田	フジ ミノリ	ササ ニシキ	コシ ヒカリ	中生 新千本	農林 22号	ベニ アサヒ
自然農法田	309.2	382.1	390.9	357.1	357.1	403.2
普通田	514.6	624.0	579.8	495.4	464.6	485.8
出穂日*						
自然農法田	7月18日	7月28日	8月1日	8月17日	8月17日	8月21日
普通田	同上	7月25日	7月25日	8月7日	8月7日	8月17日

* 40~50%出穂をみた日を示している。

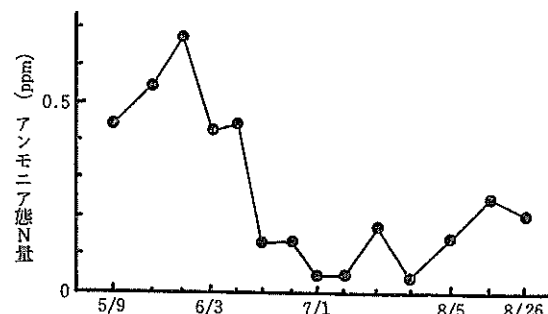
の区間差が最も小さくなった。このことから、自然農法栽培に対しては、ベニアサヒが適応性の高い品種であるといえるだろう。これはのちに述べるように、自然農法田での窒素養分の発現パターンが後期生長型の生育を行なうベニアサヒの生育にかなりよく適合していることを示すものである。すなわち、土壌養分が低レベルである自然農法田では、栄養生長期間の長い品種ほど生産力が高くなることを示しているものと思われる。したがって、6品種中で最も早く出穂し、栄養生長期間が極めて短いフジミノリが、自然農法田では低収とならざるを得なかったものといえるだろう。

Ⅲ 窒素の付加要因と発現パターン

1. 灌漑水による付加

さきに述べたように、この自然農法田にはかけ流し灌漑が行なわれている。1977年に、現地で実測し、その実測値に部分的な修正を加えて、概算した年間の流入灌漑水量は、約3,500klとなった。この水量は、1m²当たり約3.5トンに相当し、一般の水田よりも数倍の水が取り入れられていることになる。また、自然農法田の水口附近の水稲の生育が、他の位置のものよりも特異的に良好となることはすでに述べた。これらのことから、灌漑水によって付加される窒素養分が、自然農法田では大きな効果を持っていることは容易に推察できる。

灌漑水によって付加される窒素は、流入後直ちに水稲の栄養として吸収される無機態窒素と、いわゆる SS と称される窒素含有量の高い未分解性の有機物質とに大別できて、一般に無機態窒素の方が多く溶存している。しかし、流入した SS は、灌漑水が水田内に入った直後から水口附近に沈澱して、そのうち長年に亘って分解され地力窒素として働くものと思われる。したがって、累代的には養分としての効果はかなり高く、水口附近の地力涵養の要因ともなっている。一方、無機態窒素は、灌漑水の流れとともに水田に広くゆきわたり、自然農法田の当年の生産力を支えるひとつの要因となっているものと思われる。そこで、当該の自然農法田の水口で採水した灌漑水中の溶存アンモニア態窒素量の時期的変化を調査した。その結果は第5図に示している。



第5図 灌漑水中の溶存アンモニア態窒素量の時期的変化

この灌漑水中溶存アンモニア態窒素の変化をみると、この自然農法田の上流にある普通水田の施肥時期とかなりよく対応している。すなわち、この水田の灌漑水は、5月上旬にはそれらの普通水田への元肥施用の影響を受け、7月上旬には、穂肥の影響を受けて、溶存アンモニア量を増大させているものと思われる。

概算した流入灌漑水量と平均アンモニア濃度とから、灌漑水によって年間に当該水田に直接的に付加される推定のアンモニア態窒素量は、1m²当たり約1g程度となり、灌漑水の直接的付加養分の効果は、この自然農法田でかなり

大きいことが予想された。

そこで、上記の効果の大きさを、現地において検証した実験例のことをのべてみよう。

1979年に、当該の調査普通田と自然農法田のそれぞれの水口より約5m内部に入ったところに、写真3に示すごとく、土中へさしこんだ厚さ約1mmの波型畦畔板で1m×1mの正方形に取り囲んだ内区（閉鎖区）を設けた。この区内への補水は、蒸散と浸透による損失を補うだけの最少量とされた。これら両水田の閉鎖区に隣接して、灌漑水が自由に通過できる区（対照区）をそれぞれ設けた。したがって、両区における灌漑水に関する相違点は、それぞれの区内を通過する灌漑水の総量とそれに伴う灌漑水中溶存養分量が異なることである。

これら両水田の両区の玄米収量を第3表に示す。両水田ともに、対照区が閉鎖区よりも高収となり、閉鎖区の収量を100に換算すれば、自然農法田では154、普通田では110を示すことになった。このことを単純に考えてみると、灌漑水の通過量、すなわち灌漑水によって付加されたアンモニア態窒素総量が

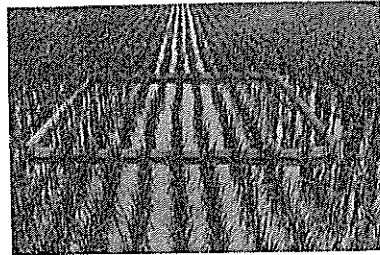


写真3 灌漑水の効果を比較するために水田内に設置された囲い

第3表 灌漑水の効果比較試験における玄米収量

項 目		玄米収量 (g/m ²)
調 査 田	試 験 区	
自然農法田*	対 照 区	421.2
	閉 鎖 区	274.1
普 通 田**	対 照 区	580.7
	閉 鎖 区	552.5

*自然農法田：ベニアサヒ

**普通田：日本晴

玄米収量に及ぼした増収効果は、自然農法田で50%、普通田では10%となった。したがって、自然農法田においては、灌漑水によって付加されるアンモニア態窒素が、この水田の生産力維持のための重要な要因であることが実証された。したがって、溶存アンモニア量が少ない灌漑水が用いられている自然農法田の生産力はかなり低くなることが予想され、水田の立地の面から自然農法田の生産力を検討した報告例〔竹内ら 1980〕によっても、そのことが実証されている。

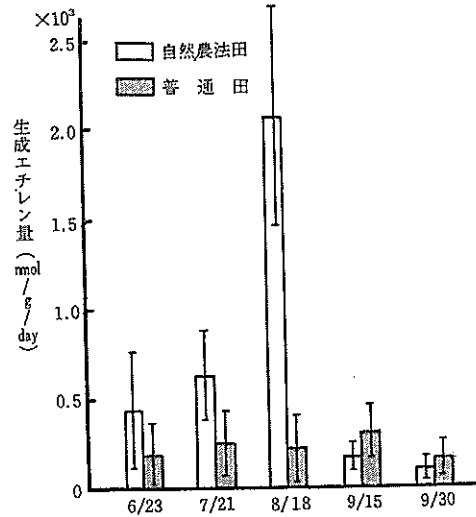
2. 生物的固定窒素

生物的天空窒素固定には、マメ科植物の根粒の共生的固定と単離した微生物が独立に行なう非共生的固定とがある〔ALLISON 1973〕。非共生的に無機栄養微生物が空中N₂を固定して、耕地に無機態窒素を付加させることは古くから認められている。とくに、水田では、光合成藻類のらん藻による付加がかなり大きく、東南アジアの水稻栽培において積極的にらん藻を利用している事例もみられる〔GRIST 1965, MISHOSTIN *et al.* 1971〕。また、非共生N₂固定として、有機栄養土壌微生物がN₂固定を行なうこともよく知られていて、とくに好気性菌のアゾトバクターや嫌気性菌のクロストデュムによるN₂固定は有名である。また、近年、水稻根圏における従属栄養微生物の“ゆるい共生”によって固定される窒素が、作物の窒素養分として使用されていることが明らかとなり、とくに熱帯の無施肥栽培では、そのようにして固定された窒素が、水稻の重要な窒素供給源となっている場合のあることが報じられている〔吉田 1975〕。

そこで、筆者は生物的N₂固定のうちの根圏における窒素固定に着目して、自然農法田と普通田との根圏N₂固定能の実態を1979年に調査した。

両水田とも水口より約10m内部の位置で、調査用ルートコアが作期中5回採取された。採取は、直径12.5cm、高さ15cmの鉄製円筒の採取具を、地上部が除かれた切株を中心にして土壌中に打ち込み、そのまま根圏部を圃場から取り出す方法でなされた。このルートコアをすばやく室内に搬入し、直ちに根部を土

環と分離し、それぞれアセチレン還元法〔HARDY *et al.* 1968〕によって N_2 固定能が測定された。測定は9反復なされ、乾物1g当たり1日間に生成するエチレン量を $mmol$ 単位で示した。



第6図 根圏における N_2 固定能の時期的変化
自然農法田の栽培品種はベニアサヒであり、
普通田の栽培品種は日本晴である。

測定の結果は、第6図に示すようになったが、これは、水稻根圏の N_2 固定能の時期的推移を両水田を対比して示したものである。図に示されるごとく、8月18日までは自然農法田が高く、その後は普通田がやや高くなる推移を示した。とくに、7月21日から8月18日にかけての盛夏期には、自然農法田が急激に増大し、8月18日には両水田の較差が最大となった。この調査における栽培品種はそれぞれ違うので、8月18日の水稻の生育段階は、自然農法田では出穂期に、普通田では出穂後約10日の登熟初期に相当する。したがって、どちらの水稻も窒素の要求が大きな時期に当たっている。このことと両水田の較差を考

え合せると、自然農法田における一作中の根圏 N_2 固定量が普通田のそれにくらべて著しく多くなるものといえるだろう。また、このことは、数多くの調査例と同様に、土壌中の無機態窒素が根圏の N_2 固定能を強く抑制することを裏付けることになるが、この根圏で固定された窒素が当該の自然農法田の生産力維持に、どの程度の寄与を及ぼしているのかは解明できなかった。しかし、普通田の場合とくらべてその付加が重要な役割を担っていることは評価されるべきであって、窒素化学肥料の施用によってこの効力がかなりの程度まで消去されるとすれば、普通田での施肥法の改善に当たって考慮すべき問題点となることが示唆される。

3. 土壌窒素の無機化

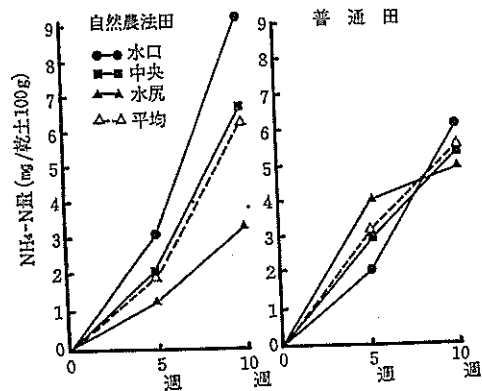
土壌中の窒素の形態は、大別して、そのまま植物に吸収されうる無機態窒素と、いったん微生物の分解をうけてはじめて吸収されうる有機態窒素がある。一般に、普通田の水稻には、化学肥料の施用によって無機態窒素が与えられるので、元肥や追肥の直後には土壌中の無機態窒素量が一時的に高まる。しかし、それ以外では、土壌中の全窒素のうちの大半は有機態窒素の形で存在している。したがって、化学肥料の施用の有無にかかわらず、水稻の一生のうちの大半の窒素栄養は、土壌中の有機態窒素が土壌微生物の作用で無機化されて発現した窒素に依存している。とくに、自然農法田では、施肥窒素が皆無であるから、土壌窒素の無機化量と水稻の生育・収量とは極めて関係が強いものと考えられる。

(1) 灌水静置法

水田土壌窒素の無機化に関しては、土壌学の方面から精力的に研究が進められ、多数の研究報告がある〔出井 1975, 広瀬 1973〕。それらを整理すると、土壌窒素の無機化量は、土壌全窒素量、土壌微生物の種類と量、温度(地温)、および土性などの要因によって変動することが明らかとなっている。したがって、当該の両水田では、これらの土壌窒素の無機化を支配する要因の強さが違うことは判明しているので、両水田の無機化量もかなり異なることが予想でき

た。そこで、まず、筆者は、両水田土壌を室内実験的に、湛水静置法によって無機化量の大きさを比較した。

1980年4月下旬に、両水田のそれぞれの水口部、中央部および水尻部の3地点で、8cm深の土層から分析用土壌を採取し、実験室内で湛水静置法による無機化量調査に供した。この分析は、吉野らの方法に準拠してなされた〔吉野・出井 1972〕。9メッシュを通した土壌(乾土換算18g)を内径26cm、深さ10cmのガラスビンに入れ、土と水の総量が40mlになるまで蒸留水を加えた。ゴム栓をしたのち、30℃定温暗黒下で5~10週間静置した。5週間後と10週間後に、そのビンへさらに10%塩化加里溶液50mlを加え、攪拌し、湛水土壌中のアンモニア態窒素を置換抽出した。この溶液中のアンモニア量を水蒸気蒸留法によって定量し、それぞれの土壌で生成されたアンモニア量、すなわち土壌窒素の無機化量とした。その結果は第7図に示すとおりとなった。



第7図 土壌窒素の無機化量の変動

採土位置による無機化量の変動は、自然農法田で大きく、とくに水口附近の土壌が極めて無機化量を多くし、湛水期間が長くなるほど加速的に無機化が進む傾向を示した。一方、普通田では地点間の差は少なかった。両水田の3地点平均の無機化量は、自然農法田土壌が多くなった。したがって、土壌学的にみ

た場合は、土壌窒素を無機化させる能力、いわばその土壌の潜在的な無機化力または基質は、自然農法田がかなり高いのではないかと予想された。また、自然農法田の水口の土壌が異常に大きな無機化力を示したが、これは、この水田への灌漑水によってもたらされて、沈積したSSがかなり貢献しているものと思われた。

(2) 推定無機化量

前項のように、土壌学的には自然農法田の土壌が、一般的に無機化潜在力(基質)は普通田よりも高い。しかし、実際の栽培現場では、無機化に及ぼす環境要因、とくに地温によって発現してくる無機態窒素量はかなり変動させられることは容易に想定できる。両水田の地温の変動の実態は第2図でのべたごとく、太陽光の群落内への到達程度の差によって自然農法田の方が全体に高く推移する。土壌窒素の無機化に有効な限界温度は15℃以上といわれている。そこで、前述の実測地温のうちの有効温度と湛水静置法によって認められたそれぞれの土壌の無機化量とから、両水田の一作中に発現すると思われる推定無機化量の算出を試みた。3地点平均の推定無機化量は、自然農法田の土壌では乾土100g当たり9.33mgとなり、普通田では6.40mgとなった。したがって、自然農法田の土壌が普通田の土壌よりも実際の現場では約45%も多く無機化を行っていることが推定された。以上のように、1作中の単位乾土当たり発現アンモニア量は自然農法田で多くなるが、実際栽培中の時期的変動についてはこの調査からは明確でない。

4. 圃場における無機態窒素の推移

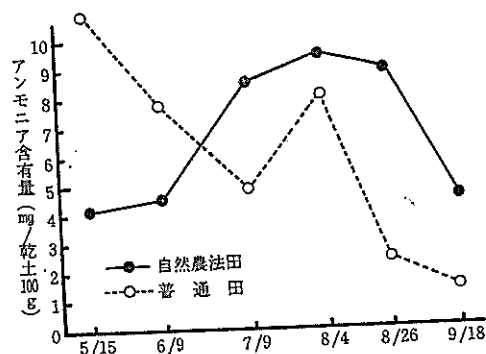
耕地土壌中の無機態窒素は、硝酸態窒素とアンモニア態窒素に大別できる。一般に、通気が良好な畑土壌では、硝酸態が大部分を占めているが、還元状態下にある水田土壌ではアンモニア態で存在するようになる。水稻が植えられた状態で、圃場内の土中に存在するアンモニア態窒素量を定量したり、そのうちの何%が水稻に吸収されたかを明らかにすることは極めて困難である。そこで、実際の圃場内で1作を通して発現してくるアンモニア態窒素の実態を把握する

ために、筆者はつぎの方法によって分析を行なった。すなわち、両水田の中央部で5~10cm深の生土壌をソイルサンプラーで採取し、その生土を潜水静置法に懸けずに、直ちに KCl 溶液でアンモニアを置換抽出することとし、この溶出アンモニア量をもって水稻に利用可能なアンモニア量とした。すなわち、生土中の置換性アンモニア量をそれぞれの実際の無機化量としたものであるが、このアンモニアの由来は、普通田では施肥による付加であって、自然農法田では土壤窒素の無機化による付加と考えても大きな誤りはおかさないであろう。

第8図は、それぞれの水田で、1作に亘って追跡した結果を示す。

普通田では、生育初期と生育中期に上昇する推移パターンを示すが、これは元肥と穂肥の施用に対応して生じるピークである。一方、自然農法田における様相は、生育初期には極めて少なく、生育が進むにつれて増大し、水稻の分けつ茎の急増期から幼穂形成期にかけて、比較的長期間に亘って高含有状態を維持する。これは、地温の上昇に対応して生ずる現象である。したがって、生育中期以後では、無機化の絶対量においても自然農法田の方が高く推移する。

これらの推移は、水稻の生育パターンとダイナミックな対応をみせる。すなわち、普通田の水稻は、生育初期に個体の増大が早められる方向で栽培されているが、自然農法田では生育後期に生長する生育パターンを取ることである。



第8図 土壤中の溶出アンモニア窒素の時期的変化
溶出には10%KCl溶液が用いられた。

以上のように、自然農法田の水稻の生産力を維持している要因が、無機化されて発現する窒素量の大きさにあるだけでなく、その時期的な発現パターンも、自然農法田の生産力を支えている大きなひとつの要因であることを、再びここで強調しておきたい。

IV おわりに

近年、日本の農業は、水稻作をはじめとして、ほとんどの作物栽培で多収と省力を求めて、化学肥料と農薬の多投が一段と加速されてきている。また、好むと好まざるとにかかわらず、農作業の機械化も促進され、農業現場に費やされるエネルギー量も増大してきている。

これらの現象の進行にともなって、農業上で数多くの問題が顕在化してきている。そのひとつの例として、産出されたエネルギー量が、投入したエネルギー量に満たない農業生産が一般的となってきたことであり、農薬づけになった農産物の定着化が進んだことである。

上記のように、現在の日本農業における多肥多農薬栽培のうちで、とくに水稻栽培に関連する問題の解決と現状の打破または修正を求めて、筆者は、ひとつの試論を本稿において行なった。すなわち、上記のような多肥多農薬で栽培される水稻とは、極端に異なる栽培法がとられるいわゆる自然農法栽培の水稻の生産力維持の要因解明を、栽培学的視点からアプローチしたことである。

自然農法田の内実は多岐に亘り、この農法の定義も定着していないが、本稿の調査対象にした自然農法田は、農薬はもちろんのこと有機物の還元も極少量とされているものである。この自然農法田に隣接する普通栽培水田を比較の対象とし、これらの両水田における水稻の生育と収量を実態調査した。

調査から、つぎのごとく自然農法田の水稻の特徴が明らかとなった。

①玄米が予想よりもはるかに多収されていること。②水田内の位置的変動が大きいこと。③生育初期にはゆるやかで、生育後期には増大する生育パターンをとること。④長稈、晩生、穂重型品種であるベニアサヒが栽培されること

も、当該の自然農法田の生産力の一翼を担っていること。

つぎに、この水田の生産力維持に寄与する窒素の付加要因について定性的に調べた結果、当該の自然農法田への付加要因は、①灌漑水による付加、②生物の固定による窒素、③土壌窒素が無機化されて発現する窒素、が主たる付加要因であることが判明した。これらの要因の発現力は、普通田よりも自然農法田ではるかに大きくなることを認めるとともに、普通田では施肥によるそれらの要因への抑制効果のあることも明らかになった。また、これら要因の発現パターンが自然農法田の水稻の生育パターンを秋優り型とし、この時期的変動のパターンが、自然農法田の生産力維持にとって主要な要素を占めていることを強調した。

自然農法田の生産力は普通の施肥田よりも必然的に低くなるが、それに甘んじている栽培者が存在する一方で、自然農法における増収を求める栽培者もやはり存在する。筆者には、自然農法栽培において、ゆるされる栽培技術の改良によって、増収の可能性を検討した資料がすこしばかり手もとにある。そこで、この観点からの考察を深めて、次稿において発表したいと考えている。

本稿を終わるにあたって、我国に普及している多肥水稻栽培において、後期生育に重点をおいた栽培方法や施肥体系が、地力窒素の利用も考えた方向で発展することを希望しておきたい。

謝 辞

この研究の遂行にあたり、世界救世教黎明教会より研究費をご援助いただいたことと、現地調査や実験のために心やすく水田を提供していただいた所有者の方々に深謝します。また、本研究のとりまとめに対して懇切なご助言をいただいた近畿大学農学部、竹内史郎教授ならびに長谷川 浩教授にお礼申し上げます。

引用文献

- F. E. ALLISON
1973 *Soil Organic Matter and Its Role in Crop Production*, Elsevier Scientific Publishing, Amsterdam:76—205.
- 出井 嘉光
1975 「水田における有機物の集積と分解」『土肥誌』46: 251—254.
- D. H. GRIST
1965 *Fertilizer and Manures, Rice*, Longmans, London: 218—225.
- R. W. F. HARDY, R. D. HOLSTEN, E. E. JACKSON and R.C. BURNS
1968 The Acetylene-Ethylene Assay for N_2 Fixation: Laboratory and Field Evaluation, *Plant Physiology* 43: 1185—1207.
- 広瀬 春朗
1973 「各種植物遺体の有機態窒素の畑状態土壌における無機化について」『土肥誌』44: 157—163.
- E. N. MISHOSTIN and V. E. SHILNIKOVA
1971 Nitrogen Fixation by Blue-Green Algae, *Biological Fixation of Atmospheric Nitrogen*, Mac Millan, London: 284—309.
- 村山 登
1974 「近年における水稻収量水準の向上と施肥の効率」『農業技術』29: 298—302.
- 鬼鞍 豊・吉野 喬・前田 乾一
1975 「稲作期における土壌窒素の有効化過程」『土肥誌』46: 255—259.
- 竹内 史郎・奥村 俊勝・長谷川 浩
1980 「立地条件が無施肥田の水稻の生育・収量に及ぼす影響」『近畿大学農学部紀要』12: 117—125.
- 吉田 富男
1975 「生物圏での空中窒素の固定」『化学と生物』13: 80—87.
- 吉野 喬・出井 嘉光
1972 「水田土壌の窒素の有効化過程に関する研究」『土肥要旨集』18: 28.

コメント

坂本慶一

報告者も指摘するように、「自然農法」という表現はそれ自体、矛盾した意味を含んでおり、用語としては不明確、不適切である。しかし私はこれを自然法則に沿った農法、といった意味合いで受け止めている。そのほか有機農業、(微)生物農業、還元農法、自然栽培、無農薬栽培、循環農業など、さまざまな名称をもった農業(法)が各地で行われている。私はこれらを一括して「生態農業」(ecological agriculture)と呼び、その経済的、社会的、現代的意義について関心をいただいている。しかし栽培学的知識が乏しいので、本論文について適切なコメントを与えることには全く自信がない。以下の文章は、素人の感想として受け取っていただきたい。

さて、本論文は、滋賀県下の一自然農法田が、投入窒素が皆無であるにもかかわらず、予想を越える収量を得ていることに着目し、この自然農法田とそれに隣接する普通田とを詳細に比較検討することによって、その「秘密」を解き明かしている。解明のプロセスには一種のドラマ性があり、推理小説を読むにも似た興味を覚えた。

では外部からの肥料投入なしに、どうして自然農法田が一定の収量をあげることができるのか。それを支えている生産力はいかなるメカニズムによるものなのか。栽培学の常識を越えるこの不可解な事象に迫るために、本論文は、普通田との比較において、自然農法田の立地条件や土壌環境の特

性、水稻の生育パターンや栽培品種、圃場への窒素の付加要因とその発現パターンなどについて詳細に調査研究し、自然農法田の生産力維持のメカニズムを解明している。

結局、自然農法田の生産力を支えている要因としては、灌漑水中に溶存しているアンモニア態窒素が最も重要であり、その増収効果は普通田の10%に対して自然農法田では50%にも達すると推定される。さらに、自然農法田の水稻根圏による窒素固定量が、その正確な生産力維持効果は測定しえなかったとはいえ、普通田よりも著しく多いこと、土壌中の有機態窒素が土壌微生物によって無機化されて発現すること、自然農法田の水稻生育パターン(後期生育型)と品種(晩生種)とが適合していること、などの諸要因が複合的に作用しあって、自然農法田の生産力維持に寄与していることが明らかにされた。

以上の報告内容あるいは調査方法について、コメンテーターは残念ながら付言すべき栽培学的知識を持ち合わせていないが、あえて無知にもとづく疑問もしくは感想を述べてみる。

(1)自然農法田の灌漑水中に溶存する窒素の動向に特に注意を払っていることは、作物生育における窒素の役割の重要性からして、当然であると納得できるが、さらにリン、カリ、その他の微量要素についての究明も、水田土壌成分の分析と同様に、必要ではないだろうか。

(2)自然農法田の生物的窒素固定については、根圏における窒素固定が取り上げられ、らん藻類や土壌微生物による窒素供給力については、単に指摘するにとどまり、

実際に調査されていない。それらの要因は水口、中央および水尻の各部における地温変化にも影響を与えていないだろうか。また、自然農法田と普通田における雑草の態様、ならびに種類によって異なると思われる雑草と水稻との共生・対抗関係についても知りたいところである。

(3)普通田における化学肥料の施用が水稻生産力を消去する効果があることが述べられているが、この点はきわめて興味深く、もっと詳しく知りたいところである。これと関連して、普通田における農薬の使用が水稻生理や土壌環境に与える影響についても、主題とは幾分それることになるかもしれないが、やはり知りたいところである。もっとも、農薬の種類によって、その影響も多様であると思われるので、調査は素人が考えるほど簡単ではなからうとは想像できる。

(4)報告者は本論文で取り上げた滋賀県の自然農法田のほかに、兵庫県や京都市の自然農法田の調査にも参加されている。手元にある『自然農法研究』(環境科学総合研究所, 1981年)には、長谷川 浩、竹内史郎両教授との共著で、自然農法田についての2つの論文が報告されている。文献として掲げるとともに、これら二論文との関連についても触れるべきではなかったか。それによって本論文で取り上げた自然農法田の特性と一般性がいっそう明らかにされたのではなからうか。

以上、栽培学の素人の感想をあえて述べたが、的はずれや不適切な表現が多々あったと思う。理解した限りで、本論文を高く評価するとともに、こうした研究の積み重ねによる新しい農法の開発・展開を期待する。

(京都大学農学部)