

氏名・(本籍)	きく ち えい すけ 菊 地 永 祐
学位の種類	理 学 博 士
学位記番号	理第 5 3 6 号
学位授与年月日	昭和52年10月26日
学位授与の要件	学位規則第5条第2項該当
最終学歴	昭和45年3月 東北大学大学院理学研究科 (修士課程)生物学専攻修了
学位論文題目	相互作用系としてみた水田の 生態学的解析
論文審査委員	(主査) 教 授 栗 原 康 教 授 柴 岡 孝 雄 教 授 飯 泉 茂

## 論 文 目 次

第1章	序 論
第2章	水田における生物的・非生物的因子の相互関連
第3章	イトミミズ類を中心としてみた水田生態系の実験的解析
第4章	イトミミズ類と微生物および物質変化との関係を中心とした水田生態系の実験的解析
第5章	野外実験モデルによる水田生態系の解析
第6章	総合討論
要 約	
文 献	

# 論文内容要旨

## 第1章 序論

水田には、多くの動植物、微生物が生息しており、それらは互いに、また無機環境因子と相互に作用しあって、複雑な相互作用系を形成していると考えられる。従来、水田土壌については、微生物学、土壌化学の面から、多くの知見が得られて来ているが、水田土壌に生息するより高等な動物との関係についての研究はほとんどみあたらない。また、田面水および水田土壌に生息する生物群の動態に関する研究は少なく、微生物までも含めた田面水および水田土壌に生息する生物間および生物と無機環境の間の相互作用を総合的に解析した研究はまだない。本研究においては、水田を田面水、水田土壌における生物および環境因子の相互作用系としてとらえ、とくに水田土壌に生息する土壌動物の主体をなすイトミミズ類 (*Branchiura sowerbyi* および *Limnodrilus socialis*) を中心として水田における生物および環境因子の相互作用を総合的に解析しようと試みた。水田土壌は湛水下にあるために、酸化層、還元層の発達など、とくに土壌表層部位において特徴的な微生物活性が表われる。イトミミズ類は土壌表層に高密度で出現し、土壌表層部位で活発に活動し、土壌表層の微生物活性、物質変化などに大きな影響を与えられられる。

水田のように複雑な系を解析するとき、現場の水田での調査、実験のみでその相互関係の解析を行なうことは困難であると考えられるので、本研究では、より単純で操作可能ないくつかの実験系を設定して解析し、その結果を現場水田の調査、実験の結果と比較照合して、実験系の結果を現場レベルにまで再構成して理解するという手法を用いた。

## 第2章 水田における生物的、非生物的因子の相互関連

### 1. イトミミズ類を中心としてみた水田生態系の動態

イトミミズ類の多発する水田(鹿島台)とイトミミズ類の極めて少ない水田(東仙台)を調査して次の結果を得た。

- (1) 緑肥、堆肥などの有機質肥料の多給により、イトミミズ類が多発する。本研究の鹿島台の調査水田では、裏作牧草(イタリアンライグラス)の切り株埋め込みによる有機物の供給がイトミミズ類多発の原因と考えられる。
- (2) 鹿島台の水田(イトミミズ類の多発水田)では、東仙台の水田と比べて、水田雑草の出現数が少ない。
- (3) 鹿島台の水田では、土壌の有機物量が多い。
- (4) 鹿島台の水田では、田面水中および土壌中のEhは低く、pHは高い傾向が認められた。
- (5) 田面水の藻類の季節消長は、鹿島台の水田では、*Euglena*, *Chlamydomonas* → *Anabaena*, *Mougeotia*, *Spirogyra* → *Trachelomonas*, *Chlamydomonas*,

*Euglena* の順に優占種が出現し、東仙台の水田では、*Eugleua*, *Chlamydomonas* → *Mougeotia*, *Spirogyra* → *Trachelomonas* の順に出現した。

## 2. 高等植物を中心としてみた水田生態系の動態

イトミミズ類の生息密度がそれぞれ異なる二地域の水田（鹿島台，東仙台）に、それぞれ高等植物（稲および水田雑草）の密度に差のある三つの区を作り、これらの各区を調査し、高等植物の作用を調べた。以下にその結果を示す。

- (1) 稲および水田雑草の存在によって、土壌の Eh は上昇し、pH は下降する。
- (2) 稲および雑草は田面水中の藻類の季節遷移の順序にはあまり影響しない。ただし、稲、雑草が繁茂すると（8月）、珪藻の増殖がおさえられた。

## 第3章 イトミミズ類を中心としてみた水田生態系の実験的解析

穴田のモデル系として 300 ml、容のトルビーカーをもちいた湛水土壌モデルを作り、明暗週期下と連続暗黒条件下の2つの光条件で、イトミミズ類の作用を中心として、相互作用を解析した。また、人為的に土壌の通気かくはんを行ない、通気かくはんの効果とイトミミズ類の作用を比較した。

- (1) イトミミズ類は除草作用をもつ。この結果により、鹿島台のイトミミズ類多発水田で、雑草の出現数の少ないことを説明できる。
- (2) 水田雑草は土壌の Eh を上げ、pH を下げるはたらきをすることが確認された。また、雑草は土壌中の生物による酸素消費能および非生物的酸素消費能を低下させた。
- (3) イトミミズ類の存在下で、タマミジンコ (*Moina* sp.) の出現率が増加した。
- (4) イトミミズ類の存在下で、土壌中の好気性細菌は増加し、嫌気性細菌は減少した。
- (5) 通気かくはんとイトミミズ類の作用は、雑草の出現状況や土壌の Eh, pH, 土壌の酸素消費、タマミジンコ (*Moina* sp.) の出現率に関して、極めて類似しており、イトミミズ類の作用の一部は、土壌の通気かくはんによって説明できる。

## 第4章 イトミミズ類と微生物および物質変化との関係を中心とした水田生態系の実験的解析

イトミミズ類と土壌表層部位での物質変化および土壌の細菌数との関係を中心として、水田生態系におけるイトミミズ類のはたらきを、湛水土壌モデルをもちいて解析した。

- (1) イトミミズ類は酸化層を破壊し、土壌粒団の粒径の組成分布を変化させる。
- (2) イトミミズ類は土壌中より田面水中へ  $\text{NH}_4^+$   $\text{Fe}^{2+}$ , 土壌細菌などを放出する。
- (3) イトミミズ類は硝化の時期を遅らせる。
- (4) イトミミズ類は土壌中の  $\text{NH}_4^+$  の蓄積を増加させる。
- (5) イトミミズ類は土壌の好気性細菌を減少させ、硫酸還元菌数を増加させる。

## 第5章 野外実験モデルによる水田生態系の解析

現場の水田の調査結果と室内の湛水土壤モデルでの実験結果とを対応づけて、総合的に理解するための資料を得るために、大形の湛水土壤モデルをもちいて、野外実験を行なった。

- (1) イトミミズ類を移植した湛水土壤モデル(イトミミズ区)とイトミミズ類のいない湛水土壤モデル(対照区)の藻類の季節消長をみると、イトミミズ区では *Chlamydomonas* → *Hydrodictyon* → *Chlamydomonas*, *Euglena* の順に優占種が変化し、かつこれらの種の現存量はいずれも大きい。対照区では、最初に *Chlamydomonas* が発生し、それ以後における藻類の現存量は極めて低い。
- (2) 土壤中の硫酸還元菌数はイトミミズ区で多い。
- (3) 表面水中の酸可溶性鉄、溶存  $\text{PO}_4^{3-}$  の濃度はイトミミズ区で高く、イトミミズ類が土壤中から放出させたことを示す。
- (4) 表面水中の溶存無機窒素は実験開始後急速に減少するが、イトミミズ区では  $\text{NO}_3^-$  が、対照区では、 $\text{NH}_4^+$  の方が早く消失する。
- (5) 土壤中に蓄積した2価鉄量には差がないにもかかわらず、イトミミズ区では土壌下層の  $\text{NH}_4^+$  の量が少ないことは、イトミミズ類の作用によって、 $\text{NH}_4^+$  が表面水中へ放出されたことを示している。
- (6) イトミミズ区では表層のC・N含量が増加しており、これは表面水中または土表面で増殖した生物体が集積したことによると考えられる。

## 第6章 総合討論

野外水田調査、野外モデル実験、室内モデル実験の結果を総合的に考察し、次の結論を得た。

- (1) イトミミズ類は有機質肥料の多給により、水田に多発し、土壌のかくはんを行ない、土壌団粒の粒径の分布を変化させ、酸化層を破壊するなど土壌の物理構造を変化させる。
- (2) イトミミズ類は、土水界面での物質の拡散を増加させることによって、有機物の分解にともなって蓄積した  $\text{NH}_4^+$  や  $\text{PO}_4^{3-}$ 、 $\text{Fe}^{2+}$  などを土壤中から田面水へ放出する。
- (3) イトミミズ類の存在下では田面水中の藻類およびアオウキクサ (*Lemna Paucicostata*)、タマジシコ (*Moina* sp.) などの現存量が増加し、土壌表層の有機物量も増加する。その原因としては、次のような因果関係のサイクルが考えられる。イトミミズ類による土壌中より田面水中への無機栄養塩などの放出→藻類およびアオウキクサの増殖→藻類などを餌としたミジンコ類の増殖→田面水中で増殖した生物体の堆積による表層での土壌有機物の増加→有機物分解による土壌への無機塩類の蓄積
- (4) 宮城県地方の野外水田においては、田面水中の藻類の遷移は、*Chlamydomonas*, *Euglena* → *Spirogyra*, *Mougeotia* → *Trachelomonas* の順で起こるが、イト

ミミズ類はその遷移を *Chlamydomonas*, *Euglena* → *Spirogyra*, *Mougeotia* → *Trachelomonas*, *Euglena*, *Chlamydomonas* へ変化させた。

- (5) イトミミズ類は、湛水土壌系において硝化作用の開始を遅らせた。また、田面水中に  $\text{NO}_3^-$  が存在すれば、土壌の還元部位へのその拡散を助けることにより、イトミミズ類は脱窒を促進すると考えられる。
- (6) イトミミズ類の存在下で、土壌の好気性細菌は減少し、嫌気性細菌数および硫酸還元菌数は増加した。
- (7) 水田雑草は、土壌の pH を下げるとともに、その根の酸化力によって土壌中の 2 価鉄などを酸化し、土壌の Eh を上昇させる。イトミミズ類は除草を行なうことによって間接的に土壌の Eh, pH の変動に作用する。
- (8) 湛水土壌を人為的に通気かくはんすることによって、イトミミズ類の作用をシムレートできることから、イトミミズ類の作用の原因の一つとして、イトミミズ類による土壌の通気かくはんがあげられる。
- (9) 本研究は 複雑な自然系を解析する手段として、自然系の特性を内包した単純で操作可能なモデル系を作り、その系で解析する方法が、極めて有効な方法であることを示すものである。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、水田を田面水、水田土壌における生物およびそれをとりまく無機環境因子の総体としてとらえ、生物および環境因子の相互作用を解析することを意図したものである。解析にあたっては、野外調査を行なうとともに、単純で操作性に富むモデルをもちいて実験的に相互作用を解析し、自然系での結果と照合しつつ再構成するという手法をもちいている。上記方法論にもとづいて、水田における生物的、非生物的因子の相互作用を、とくに水田土壌に生息する土壌動物（イトミミズ類、*Branchiura sowerbyi* および *Limnodrilus socialis*）を中心として解明し、イトミミズ類は土壌表層において活発に活動することによって、水田土壌の細菌類の諸活性に大きな影響を与えると同時に、土水界面における物質の拡散を促進し、田面水中における生物群の組成や量的変動、土壌中での有機物の蓄積および分解の諸過程に大きな変化をもたらす、水田生態系の成立に重要な働きをすることを明らかにした。また、イトミミズ類は水田雑草に対して除草効果を発揮し、水田雑草の存在によってもたらされる土壌Ehの上昇、土壌pHの下降に対して拮抗的に作用することを示し、さらに、イトミミズ類の作用の多くが、人為的な水田土壌の通気攪拌によっても、シムレートできることを明示した。

以上の事実は、水田生態系において、イトミミズ類の役割が極めて重要であることを明らかにするとともに、その解析の過程で、微生物までも含めた水田の生物群集の生態に関して多くの新知見を提供し、複雑な相互作用を野外の実体記述と実験モデルによる解析によって明確にした点において、生態学に寄与するところが大であると考えられる。

以上の点から本論文は、博士の学位論文として適当である。よって、菊地永祐提出の論文は、理学博士の学位論文として合格と認める。