

# 水田のプランクトン（水中微小生物）群集の調査

菊地永祐\*・高木優也\*\*・鹿野秀一\*\*\*

Surveys of Plankton (Aquatic Microorganisms) Communities in Rice Fields

Eisuke KIKUCHI, Yuya TAKAGI and Shuichi SHIKANO

**Abstract** : Although rice fields are artificially and temporally maintained under waterlogged conditions only for 2-3 months in Japan, the floodwater includes a high diversity of planktonic species which is the basal component in the food web of rice field ecosystem. The aims of the present study are to describe the general successional pattern in rice field plankton including micro algae and cladocerans, and to provide the basic information on the plankton species as a teaching material for environmental education.

**キーワード** : 水田, プランクトン, 水中微小生物, 遷移, 採集・観察時期

## 1. はじめに

日本の湿地環境は、過去 100 年間で著しく減少、劣化し続けているなか、日本の耕地面積の多くを占め、都市部からも容易にアクセスできる身近な湿地でもある水田は、周りの水系とともに生物多様性に富む湿地環境を維持しており、宮城県大崎市の蕪栗沼周辺の水田はラムサール条約の登録湿地にもなっている（呉地, 2007）。また、ラムサール条約では、湿地の保全や賢明な利用のために、人々の交流や情報交換、教育、参加、啓蒙活動（CEPA: Communication, Education, Participation and Awareness）を進めることが決議されている。このような背景のなか、蕪栗沼周辺水田のラムサール条約登録以前より、水田の自然環境を学校の環境教育に利用する実践的研究や取り組みが、宮城教育大学により実施されてきている（見上ほか, 1999, 2001；外園ほか, 2008）。水田を環境教育に有効に活用するためには、水田の生物群集や環境要因についての基礎データを収集し、蓄積したデータを教育現場に提供することが重要である（見上ほか, 1999, 2001）。

本研究においては、水田生態系食物網の基礎となる田面水中のプランクトン（水中微小生物）群集につい

てのデータを収集することを目的とした。

宮城県の水田は、冬季に湛水される水田もある（呉地, 2007）が、そのほとんどは冬季には水が落とされて乾上げられた状態にある。そのため水田は、春の湛水・代かきから夏の中干しまで、連続的に湛水されている期間はおよそ2ヶ月ほどの極めて富栄養な一時的な水体となる。一時的な水体では、湛水後の環境の変化に応じて短期間で生物が入れ替わり、生物群集の遷移が起こる。水田では稲の生育初期には光も十分であることから、湛水後田面水中には小さな藻類が増殖し、豊富なプランクトン（浮遊性微小生物）群集の遷移、プランクトンの入れ替わりが起こる。したがって宮城県内で、水田のプランクトン群集を広く教材に利用するためには、一時的な水体としての水田のプランクトンの遷移についての情報を蓄積することが重要となる。

宮城県の水田のプランクトン群集の遷移については、田面水中の微小藻類には湛水初期から後期にかけて優占種の出現順に、単細胞緑色鞭毛藻類（ミドリムシ、クラミドモナス）→糸状性接合藻類（アオミドロ、ヒザオリ）→単細胞鞭毛藻（トラケロモナス）という遷移があり、この遷移は有機肥料・無機肥料の肥料形態

\*宮城教育大学環境教育実践研究センター研究員, \*\*東北大学大学院生命科学研究所, \*\*\*東北大学東北アジア研究センター

の違いや雑草の多寡に関係が無く共通性があることが報告されている（Kikuchi et al., 1975）。

また、単細胞緑色鞭毛藻類から糸状性接合藻類への遷移は、日本国内の水田で共通にみられることが示唆されている（Kimura and Kikuchi, 2005）が、まだそれを結論づけるほどの十分な調査はなされていない。本研究の目的は、田面水中の藻類を含めたプランクトン群集の遷移について調査し、その基礎的なデータを蓄積するとともに、遷移の共通性を確認することにある。宮城県の平地に広がる水田は、郊外の小、中学校であればまだまだ身近な湿地として、教科書や教材資料に多く登場する水中微小生物の採集場所として有効に利用できることが報告されている（見上・小泉, 1984；見上・宍戸, 1998；見上ほか, 1992）。プランクトン（水中微小生物）の遷移に共通性があれば、どの時期にどの種類の微小生物（プランクトン）を水田から採集できるかの情報を提供できることになる。これまでの教材研究のなかでは、水田にミジンコが多く、容易に採集できることは指摘しているが、ミジンコの種類については詳しくは調べていない。そこで、本研究ではミジンコの属レベルでの遷移について調べた。

## 2. 調査地と採水、計数の方法

### (1) 調査地

宮城県大崎市鹿島台の水田（東北大学大学院生命科学研究所附属湛水生態系野外実験施設内）と仙台市青葉区愛子地区の水田を調査地とした。鹿島台の水田には慣行肥料の水田のほか無窒素肥料の水田があるので、慣行肥料の水田2枚と無窒素肥料の水田1枚を調査した。愛子地区の水田では、調査する水田を固定せず、広く一帯の水田の状況を見て、水の濁りやミドロの生え具合の違う水田を選び、1回の調査で4枚以上の水田を調査した。なお、2日連続で調査した場合にはまとめて1回とし、また7月11日には中干しで大部分の水田が乾上がっており、そのなかで採集時に水が残っていた水田2枚を調査した。

### (2) 採水・計数方法

採水の方法は畦道に立ち、小さな柄杓（容量190ml）を用い、各1枚の水田5カ所以上の場所から、

全体で500mlとなるように採水し、混合した後プランクトンを計数した。採水は午前10時から11時の間に行い、クーラーボックスに入れて研究室に持ち帰り、固定せずそのまま採集日の午後に計数した。

生物の計数は浮遊藻類や原生動物などの小型の生物は、顕微鏡下でプランクトン計数板を用いて、計数した。計数盤には基盤の目状に枠が入っているので、細胞の密度や大きさに応じて、数える枠数を変えて、計数した。計数は5回行い、平均値を出した。なお、パンドリナやユウドリナなど細胞が集まり群体をなす藻類については、群体の数を数え、また細胞が連結して糸状構造をとるランソウ（アナバナ）については、それぞれ糸状構造として本数を数えた。

ミジンコなどの大型の生物はサンプル水10mlをシャーレ（直径9cm）に入れ、実体顕微鏡下でシャーレ内から駒込ピペットを用いて、シャーレ内のすべての個体を除去しながらその個体数を数えた。計数は5回行った。計数後、残りのサンプル水（450ml）を全て100 $\mu$ mの目のプランクトンネットに通して、大型の生物を集めてシャーレに入れ、個体数の少ない種についても計数した。

アオミドロやフシナシミドロなどのミドロ類は藻体が絡み合って大きな綿上の集合体を作り、柄杓で定量的に採集することは困難であったが、水田内での分布が肉眼でも確認できるので、水田の面積の内その集合体が占める面積（被度、%）を大まかに測り、それを個体数の代わりとした。また、鹿島台の水田では、寒天質のゲル状の基質の中に細胞が数珠のように繋がった藻体をもつランソウ類のノストック（ネンジュモ）が肉眼でも見える大きさの群体になり、ミドロ類と一緒に田面を覆うようになったので、ミドロ類と同様に、被度を計測した。

なお、生物種の表示においては、正確な分類が難しいこともあり、教材としての便宜性も考え、ある生物については門レベルで、またあるものについては目、科、属のレベル、また、光合成色素を持った鞭毛虫（以後、鞭毛藻と呼ぶ）については、大型で観察の容易なミドリムシとボルボックスは属で、その他は単細胞の鞭毛藻と群体性のものにそれぞれまとめて個体数を数えた。繊毛虫については、ツリガネムシとその他の繊

毛虫に分けて示した。また、湛水期間を通して無色鞭毛虫類が見られたが、極めて小型なものが多く、種類の判定や計数が困難であったので、今回のデータからは外した。一般にミジンコと呼ばれている動物群の中には、分類上はミジンコ亜綱（以後単にミジンコと呼ぶ）とケンミジンコ亜綱、カイミシ亜綱（以後カイミジンコと呼ぶ）が入っている。今回の調査で出現したケンミジンコ亜綱はソコミジンコ類だけであった。ソコミジンコ、カイミジンコは属を決めることが難しいので、ソコミジンコ・カイミジンコとしてまとめた。

### 3. 田面水中のプランクトンの遷移

#### (1) 鹿島台水田のプランクトンの消長

2枚の慣行肥料田の藻類の調査結果（表1上、水田Aと水田B）をみると、田植え直後の5月26日から6月初めまでは浮遊性の藻類としては、ミドリムシや単細胞緑色鞭毛藻類（クラミドモナスが多い）とフナグタケイソウやハリケイソウのなかまなどの羽状型ケイソウ類が多く見られ、ユードリナやパンドリナなどの鞭毛をもつ細胞が集まって群体となる鞭毛藻類も数は少ないがみられる。6月中旬からは糸状性のアオミドロやフシナシミドロが、水田面を覆うようになった。アオミドロとフシナシミドロの発生順については、1つの慣行肥料水田Aではアオミドロからフシナシミドロに、またもう1つの慣行肥料水田Bではフシナシミドロからアオミドロとなっていた。これらのミドロ類が出始めると、ツヅミモやミカズキモなどのツヅミモ類が見られる頻度が高くなった。また、6月下旬には寒天質のゲル状の基質の中に細胞が数珠のように繋がった藻体をもつランソウ類のノストック（ネンジュモ）が、水田Bで肉眼でも見える大きさの群体を作って、ミドロ類と一緒に田面を覆うようになり、7月中旬には水田Aにも見られるようになった。なお、ケイソウ類は6月下旬から7月上旬に減少する傾向はあるが、湛水期間中常に多くみられた。ランソウ類としてはネンジュモのなかままで糸状のアナベナが6月下旬から7月上旬を除き湛水期間を通して採集された。

微小な動物としては、繊毛虫が湛水期間中多くの種類が見られるが密度は小さい。アメーバ類やツリガネ

ムシ、ワムシ類は、ミドロ類に付着しているのが観察される。これらの種類が、ミドロ類が田面を覆っている時期に時折みられる傾向があるのは、ミドロ類から離れて水中に浮遊してきたものが採集されたものようである。

次にミジンコの遷移を見てみると、田植え後最初にタマミジンコが現れ、6月中旬に密度が増加し、その後個体数は減少するが、湛水期間中長く採集された。次いで現れたのは、アオムキミジンコで、やはり6月中旬に密度を増し、その後も長く採集された。さらに遅れてオカメミジンコが現れるが、その密度は低く、採集されないこともあるが、ほぼ湛水期間中存在した。7月になるとケブカミジンコとネコゼミジンコが出現し、7月中旬以降8月に入るまで優占した。カイミジンコは湛水期間中長く見られたが、湛水初期に多く、7月下旬になるとほとんど見られなくなった。カイミジンコとは逆に、ソコミジンコは湛水初期には見られず、6月中旬から湛水期間の最後の8月初旬まで、徐々に増加傾向にあった。

無窒素肥料田のプランクトンの遷移も慣行肥料田とほぼ同様であった（表1下）。藻類としては、田植え直後にはミドリムシや単細胞また群体性の浮遊性鞭毛藻類が多くみられ、6月中旬からランソウ類のノストック、ついでアオミドロやフシナシミドロが田面を覆うようになる。そして、ミドロ類が多い7月にはツヅミモ類が多く現れた。ケイソウ類は湛水初期に多く、その後減少する傾向はあるが湛水期間中常に多くみられた。ランソウ類のアナベナも密度は小さいが、湛水期間中6月下旬から7月上旬を除き長く出現した。微小な動物としては繊毛虫類やワムシ類がミドロが多い時期に採集された。

ミジンコ類は田植え後最初にタマミジンコが現れ、次いで6月中旬にアオムキミジンコが現れ、この2種はその後長く採集されたが、タマミジンコは7月下旬には採集されなくなった。さらに遅れて7月になると、オカメミジンコやケブカミジンコ、ネコゼミジンコが出現した。カイミジンコは、湛水初期から7月上旬まで、ソコミジンコは湛水初期には見られず、6月中旬から湛水期間の最後まで出現した。

表1. 鹿島台水田（東北大学湛水生態系野外実験施設）のプランクトン（水中微小生物）の消長

	慣行肥料田																	
	5月26日		6月1日		6月8日		6月17日		6月30日		7月7日		7月13日		7月21日		8月2日	
	水田A	水田B	水田A	水田B	水田A	水田B	水田A	水田B	水田A	水田B	水田A	水田B	水田A	水田B	水田A	水田B	水田A	水田B
鞭毛藻類																		
ミドリムシ	***		**	**	*	*								*		*		*
単細胞		****		***	*					*								***
群体	*		*	*	*					***			*	*			*	
浮遊藻類																		
ツヅミモ類							*	*		*				*	*		*	*
ケイソウ類	****	****	****	****	****	****	***	****	***	*	****	*	****	****	****	****	****	****
アナベナ			***		***		*	***					***		***	*	*	*
糸状藻類ほか																		
アオミドロ							*		***		***	**	**	***		***		***
フシナシドロ								***		***	***	*	***		***		***	
ノストック								**		**	**	***	**	**		**		**
微小動物																		
繊毛虫類				**	*		*	**	*	*	**	*	*	*		*	**	*
アメーバ類								*									*	
ツリガネムシ												*					*	
ワムシ類			*							*				*	**		*	
ミジンコ類																		
タマミジンコ	**	**	**	**	***	***	***	***	**	**	**	*	*	**		*		
アオムキミジンコ			*	*	*	***	***	**	**	**	***	*	**		**	*	**	**
オカメミジンコ						*	**	*		*		*		*	**		**	**
ケブカミジンコ								*		**	**	***	**	***	**	**	**	***
ネコゼミジンコ								*		**	**		***	**	**	**	**	***
マルミジンコ																	*	
ダフニア										**								
ソコムジンコ類						**	*	**	*	**	**	**	**	**	**	**	**	**
カイミジンコ類		****	***	*	**	**	**	**	*	**	**	**	**	**		*		*

	無窒素肥料田																	
	5月26日		6月1日		6月8日		6月17日		6月30日		7月7日		7月13日		7月21日		8月2日	
	水田A	水田B	水田A	水田B	水田A	水田B	水田A	水田B	水田A	水田B	水田A	水田B	水田A	水田B	水田A	水田B	水田A	水田B
鞭毛藻類																		
ミドリムシ	****		**								*							
単細胞	***						*								***			
群体	**				***				***				*		*			
浮遊藻類																		
ツヅミモ類											**	**	**	**	***			
ケイソウ類	****	****	****	****	****	****	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	*	*
アナベナ																		*
糸状藻類ほか																		
アオミドロ									***		***	***	***	***	***	***		***
フシナシドロ									*	*	*	***	*	*	*	***	*	***
ノストック							**		*	*	*	**	**	**	**		**	
微小動物																		
繊毛虫類			*						*	*	*	*	*	*	*	*		*
アメーバ類			*															
ワムシ類					*						*	*	*	*	*	*	*	*
ミジンコ類																		
タマミジンコ	***		**		***		***		**	**	**	**	**	**	**	**		**
アオムキミジンコ							***		**	**	**	**	***	*	*	*	**	**
オカメミジンコ													**	*	*	*		*
ケブカミジンコ											*	*		*	*	*		*
ネコゼミジンコ											*	*	***	*	*	*	**	**
ソコムジンコ類							*	*	*	**	**	**	**	**	**	**	**	**
カイミジンコ類	**		*		*		**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	*	*

鞭毛藻類・浮遊藻類・微小動物の個体数 (No./mL) : \* , ≤ 10 ; \*\* , 10 ~ 100 ; \*\*\* , 100 ~ 1000 ; \*\*\*\* , 1,000 ~ 10,000 ; \*\*\*\*\* , 10,000 ~ 100,000.

糸状藻類とノストックの被度 (%) : \* , < 5 ; \*\* , 5 ~ 10 ; \*\*\* , 15 ~ 35 ; \*\*\*\* , 35 ~ 75 ; \*\*\*\*\* , ≥ 75.

ミジンコ類の個体数 (No./L) : \* , ≤ 10 ; \*\* , 10 ~ 100 ; \*\*\* , 100 ~ 500 ; \*\*\*\* , ≥ 500.

表2. 愛子地区水田のプランクトン（水中微小生物）の消長

	5月18-19日				5月23-24日				5月31日				
鞭毛藻類													
ミドリムシ	*			*							*		***
単細胞		***	*****	*****									
群体		**	**	*							*		***
ボルボックス													
浮遊藻類													
ツツミモ類													***
ケイソウ類	*****	***	*****	*****	*****	***	**	**	*****	**	**	*****	*****
アナベナ	***		*****	*****	*****	*			*****		*	**	*****
糸状藻類													
アオミドロ										*	*		***
ホシミドロ													
ヒザオリ					*				*				
サヤミドロ					*				*				*
フシナシミドロ													
微小動物													
繊毛虫類	*		*	*	*	*					*	***	*
アメーバ類	****												
ワムシ類		**	*	*		*	*						*
ミジンコ類													
ゾウミジンコ		***	***	**								**	
タマミジンコ					***	***	***	***	*	*	***	*	*
アオムキミジンコ					**	**				*	*	**	***
オカミジンコ				**						*			
マルミジンコ													**
ケバミジンコ											*		
ソコミジンコ				**					*				*
カイミジンコ				**									**

	6月7日				6月14-15日				6月22日				6月30日				7月11日			
鞭毛藻類																				
ミドリムシ										*	*			*				*	**	
単細胞		*	***							***	*	***	*****	***				*****	*****	
群体					*				***	*				*					*	
ボルボックス						*			*		*			*						
浮遊藻類																				
ツツミモ類	*	*	***	**	*	*	*	*	*	**	**	*	*	*	*	*	*	**	*	
ケイソウ類	*	***	*****	*****	*****	*****	*****	***	*****	*****	*****	*****	***	***	***	***	***	***	***	
アナベナ		*	*****		***	***	*	***	***	***	***							***		
糸状藻類																				
アオミドロ			*****	*****				*****	*****	*****	*	*	**	*	*		***	*		
ホシミドロ					***				**											
ヒザオリ											*								*	
サヤミドロ											*									
フシナシミドロ																	**			
微小動物																				
繊毛虫類	*	*	**	**	*	*			**	**	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
アメーバ類			**	*														*		
ワムシ類			*	*					*	*								*		
ミジンコ類																				
ゾウミジンコ										***										
タマミジンコ	**	***			*	*	*	**	**	**	**	***	***	*				*	*	
アオムキミジンコ	***	**	***	**	*	***	**	**	**	**	**	***	*	***	**	*	*	**	*	
オカミジンコ		**	***				*	**	***	***	*	*	***	*	*	*	*	*	*	
マルミジンコ	**	**	***	***	***				*	***	***	**	**	**	*	*	*	***	**	
ケバミジンコ						**	*	**	**	**	**	***	***	*	*	*	*	*	*	
ソコミジンコ							**	***	*	***	*	**	***	*	*	*	*	***	**	
カイミジンコ				****		*			****		*	*	*	*	*	*	*	*	*	

表の各列にはそれぞれ1枚の水田の出現生物を示す。

鞭毛藻類・浮遊藻類・微小動物の個体数 (No./mℓ) : \* , ≤ 10 ; \*\* , 10 ~ 100 ; \*\*\* , 100 ~ 1000 ; \*\*\*\* , 1,000 ~ 10,000 ; \*\*\*\*\* , 10,000 ~ 100,000.

糸状藻類の被度 (%) : \* , < 5 ; \*\* , 5 ~ 10 ; \*\*\* , 15 ~ 35 ; \*\*\*\* , 35 ~ 75 ; \*\*\*\*\* , ≥ 75.

ミジンコ類の個体数 (No./L) : \* , ≤ 10 ; \*\* , 10 ~ 100 ; \*\*\* , 100 ~ 500 ; \*\*\*\* , ≥ 500.

## （2）愛子地区水田のプランクトンの消長

愛子地区水田の調査は5月18日に開始した、多くの水田は田植え後1週間ほどで、この時期には代かきは終わっているが、まだ田植え前の水田もあった。藻類については、湛水初期（5月18～19日）にはミドリムシや単細胞・群体性鞭毛藻類が多く見られる水田が多いが、水田ごとの違いが大きい（表2）。鞭毛藻類はその後一時的に見られなくなるが、6月末までの湛水期間中あちこちの水田に散発する。群体性の鞭毛藻のボルボックスは湛水後期6月中・下旬にいくつかの水田に出現した。中干しが始まり、多くの水田が乾上げられていた7月11日にはミドリムシなどの鞭毛藻類が再び増加した。湛水初期にはケイソウ類やランソウ類のアナベナも多く発生する。ケイソウ類はその後も殆どの水田で湛水期間中高密度に見られ、またアナベナも6月中旬（6月14～15日）まで多くの水田に出現した。湛水初期の藻類について特徴的なこととしては、タマミジンコが500個体/mlを超えるほどの高密度に発生している水田があると、そこにはケイソウ類を含め、浮遊性の鞭毛藻類や浮遊藻類が殆ど見られなかったことがある。5月下旬になると、糸状の藻体をもつミドロ類が田面を覆う水田が出始め、6月になるとほぼ半数の水田がミドロ類で覆われるようになる。アオミドロが優占する水田が多いが、ホシミドロが多い水田もあり、湛水後期にはフシナシミドロが優占する水田も見られた。

微小動物としては、繊毛虫類が湛水初期にみられ、その後1時見られなくなったが、その後多くの水田で密度は少ないが採集された。繊毛虫類は多くの種類が散発的にみられた。アメーバ類やワムシ類は湛水初期に多く見られる水田が少数みられ、湛水中期・後期にはミドロ類が多い水田に見られる傾向がある。

ミジンコ類は湛水初期にゾウミジンコとタマミジンコが現れ、ゾウミジンコはその後殆ど見られなくなるが、タマミジンコはその後も湛水期間中多くの水田で見られる。次いで、5月下旬からアオムキミジンコが出現し、その後湛水後期まで殆どの水田でみられるようになる。オカメミジンコとマルミジンコは6月初旬から、ケブカミジンコは6月中旬から出現し、それぞれほぼ半数の水田に見られた。これらのミジンコは1

枚の水田で、全ての種類が見られることは少なかったが、複数の種類が見られることが多く、またミジンコが1種も採集されないことはなかった。

## （3）水田のプランクトンの遷移

鹿島台と愛子の水田ともに、湛水初期にはミドリムシやクラミドモナス、ユードリナなどの単細胞性・群体性の鞭毛藻類が多く出現した。その後2週間ほど後に糸状性のアオミドロやホシミドロ、フシナシミドロなどのミドロ類が綿のような集合体を作り、水面を覆い始めるようになる。鹿島台と愛子の水田では田植えの時期が半月ほど違っていたが、湛水後に同様の藻類の変化が見られたことは、藻類の遷移が湛水後の日数で決まっていることを示唆している。ミカヅキモなどのツツミモ類もミドロ類と一緒に見られる事が多く、宮城県の水田での遷移には、湛水後まず最初にミドリムシなどの鞭毛藻類が多く出現し、そして一時的に藻類が減少するが、2週間ほどしてミドロ類が田面を覆うようになり、同時にツツミモ類が見られることが多くなるという共通のパターンがあるようである。この藻類の遷移パターンは無窒素肥料の水田でも共通に見られている。ミドロ類の種類としては、アオミドロが優占して見られることが多い。水田の藻類の遷移に関しては過去に、宮城県の鹿島台、東仙台の水田の調査で、田面水中の微小藻類には、湛水初期から後期にかけて優占種の出現順に、単細胞緑色鞭毛藻類（ミドリムシ、クラミドモナス）→糸状性接合藻類（アオミドロ、ヒザオリ）→単細胞鞭毛藻（トラケロモナス）という遷移があり、この遷移は有機・無機肥料の肥料形態の違いや雑草の多寡に関係が無く共通性があることが報告されている（Kikuchi et al., 1975）。また、見上・宍戸（1988）は宮城県小牛田農林高校の学校田において、5月初旬にミドリムシが多く見られ、6月～7月にかけてアオミドロが多発することを報告している。これらの結果は湛水後初期のミドリムシなどの鞭毛藻類の発生からアオミドロを主体とする糸状性藻類への遷移が、肥料形態の違いにかかわらず共通性があり、また、調査の年代により農薬の種類や施用方法が変化しているにもかかわらず、プランクトンの遷移が同様であること、さらに見上ほか（1992）が殺虫剤や殺菌剤の散

布の前後で水中の微小生物に大きな違いがなかったことを報告していることなどを考えあわせると、藻類の遷移は農業散布の影響もあまり受けないのかもしれない。ここで見てきたのは宮城県の水田の調査結果であるが、単細胞緑色鞭毛藻類から糸状性接合藻類への遷移は、日本国内の水田で共通にみられる可能性が高い (Kimura and Kikuchi, 2005)。

ミジンコの遷移について見てみると、鹿島台の水田ではミジンコの発生に、タマミジンコ→アオムキミジンコ→オカメ・ケブカ・ネコゼミジンコという順が見られ、湛水後期になるほどミジンコの種類が多くなる傾向が見られた。愛子の水田では初めにゾウミジンコが発生して、その後見られなくなったが、タマミジンコ→アオムキミジンコ→オカメ・ケブカ・マルミジンコの発生順が見られ、やはり湛水後期にミジンコの種類が多くなる。鹿島台と愛子の水田では、鹿島台では後期にネコゼミジンコ、愛子ではマルミジンコが発生したという違いはあるもののタマミジンコ→アオムキミジンコ→オカメ・ケブカミジンコの発生順は同じで、後期にミジンコの種類が多くなる点でも共通である。ミジンコの遷移については愛知県の水田においても Yamazaki et al. (2010) が、湛水後最初にゾウミジンコが多く、その後減少し、次いでタマミジンコが増加し、さらに湛水後期にかけてアオムキミジンコやネコゼミジンコ、マルミジンコ科、ケブカミジンコ科などが出現し、ミジンコの種類が増加することを報告している。

#### 4. 自然環境教育教材としての水田のプランクトン (水中微小生物) の観察・採集時期について

身近な自然環境教材としての水田プランクトン (水中微小生物) については、すでにその有効性が確認され、採水や観察の方法についての詳しい解説もなされている (見上・小泉, 1984; 見上・宍戸, 1988; 見上ほか, 1992)。ここでは、水田のプランクトンの遷移の調査結果をもとに、「いつ採集するとどのようなプランクトンが採集されるのか」について考えてみたい。

宮城県の水田の遷移を見てみると、藻類の変化から大きく2つのステージ、浮遊性鞭毛藻類が優占するス

テージとミドロ類が優占し、田面を広く覆うステージに分かれる。初めのステージでは、湛水後初期 (田植えの前後で、宮城県では5月上旬から中旬) に、ミドリムシやクラミドモナス、ユードリナなどの鞭毛藻類が高密度で発生する時期がある。これらの鞭毛藻類の多くは走光性があるので、天気の良い日には田面水の表面に集まり、風下に吹き寄せられて水面が緑色 (発生するミドリムシの種類の違いにより赤色) に染まることもある。この時期にはミジンコとしてはタマミジンコが採集され、ゾウミジンコも採集されることがある。その後、タマミジンコに加えて、アオムキミジンコが採集されるが、鞭毛藻類の密度は減少する。この時期には土の表面が膜状に剥離し、水面に浮上する現象が良く見られる。

5月下旬から6月になるとアオミドロを中心としたミドロ類に田面が覆われる水田が多く見られるようになる。半数ほどの水田は、多寡はあるがミドロ類に覆われ、それが中干しまでの湛水期間中続く。残りの水田は、水は透明で、ケイソウ類を除き藻類が少ない状態が続く。ミドロ類が多い水田ではツヅミモ類や繊毛虫類、ワムシ類などが見られることが多い。この時期にはミジンコとしては、タマミジンコ・アオムキミジンコのほかに、オカメミジンコやケブカミジンコ、ネコゼミジンコ、マルミジンコなど現れ、種数が増加する。多くの水田からは複数種のミジンコが採集されるが、種類の組み合わせは水田毎に異なり、1種しか採集されない水田もある。なお、ミジンコはミドロ類の有無に関係なく多くの種が採集された。

このような水田のプランクトンの遷移から、プランクトンの観察の時期を考えてみると、鞭毛藻類の観察の時期としては、田植え前後 (5月初旬から中旬) が最適である。大きな鞭毛藻としてはミドリムシが採集でき、単細胞のクラミドモナスや群体性のバンドリナやユードリナなど多くの鞭毛藻類も採集される。繊毛虫類もしばしば採集される。ミジンコ類はタマミジンコが採集され、ゾウミジンコやソコミジンコ、カイミジンコも採集される。この時期にミジンコ類が高密度に見られる水田があれば、それはタマミジンコである。

5月下旬になると、田面水が透明となる水田が増え、鞭毛藻類など浮遊藻類の観察には比較的不適となる。

しかし、ケイソウ類はこの時期も豊富に見られ、タマミジンコやアオムキミジンコが観察できる。

多くの種類の微小生物を観察できる時期は、アオミドロに水田が覆われる時期（6月）である。ミドロ類は肉眼で確認できるので、それを採集すればミドロ類の内少なくとも1種類は観察でき、その時期にはツヅミモ類や繊毛虫類、ワムシ類も採集されることが多く、ミジンコ類の種数も多い。さらにこの時期にはミドリムシなどの鞭毛藻類も見られることもある。本調査では、柄杓で田面水を採集し、その中に浮遊しているプランクトンを計数しており、ミドロ類を直接採集してその中の微小生物を見ているわけではない。実際に、アオミドロが集合した塊を採集して、顕微鏡で観察してみると、アオミドロに付着して、ツヅミモ類やケイソウ類などの微小藻類のほか、アーケラなどの有核アメーバやツリガネムシのなかまがみられ、繊毛虫類、ワムシ類などの微小動物がアオミドロのジャングルの中を泳ぎ回っている。このように、ミドロ類を直接採集して、顕微鏡で観察すれば、多くの種類の微小生物を見つけることができる。

7月に入り、中干しが始まって、再びミドリムシや単細胞鞭毛藻類がみられ、アオミドロやツヅミモ類、原生動物、ミジンコ類が採集されている。本調査では中干しの前の湛水期間中を主な対象としたが、宮城県内の既往の報告では、中干し後の水田でも、ケイソウ類やミドリムシ、ミカツキモなどの微小藻類、アメーバ類や繊毛虫類が採集されている（見上・宍戸、1988；見上ほか、1992）。このように、中干し後は間断灌水となるが、この時期の水田からも多くのプランクトン種を観察・採集できる。

水田のプランクトンの観察において、時期にかかわらず注意すべきことは、多くの水田から採水することである。水田では、1枚1枚ごとにそこに生息するプランクトン種に違いがある。湛水初期の鞭毛藻類が採集される時期には、とくに水田ごとに密度が大きく違っている。ケイソウ類はどの時期でも殆ど水田から豊富に採集されるが、湛水初期には、タマミジンコが大発生している水田があり、そこではケイソウ類も田面水中に見られなくなることがあった。これもいくつかの水田から採水することによって解決でき、多く

の種類藻類や微小動物を確実に観察できる。少し離れた水田は田植え日が違っていることが多く、そこを採水すると、湛水期間が異なる時期のプランクトンを採集できる可能性が高くなる。多くの鞭毛藻類は走光性を持つので、天気の良い日には風下の田面水の表面に集まり、緑色や赤色に着色するのが見られることがある。この時期には表面が緑色（または赤色）となっている水田の表層水を集めると、ミドリムシやクラミドモナスの極めて高密度のサンプルを得ることができる。ミドロ期にはいくつかの水田から採集することにより、複数種ミドロを観察できる。またこの時期にはミジンコが1つの水田でも複数種みられることが多いが、1種類しか見られない水田もあり、多くの水田から採水することにより、多くの種類を確実に観察することができる。

本調査では田面水中に浮遊するプランクトンを中心に調べたが、出現した生物種のうち、羽状ケイソウ類やツヅミモ類は浮遊性というよりも付着性または底生性の種類であり、繊毛虫類やアメーバ、ワムシ類も付着性または基質の表面を泳いでいる物が多く、またソコミジンコやカイミジンコも水底を這い回る性質を持つ。本調査で採集された生物の多くは、付着性・底生性の微小生物が水中にたまたま泳ぎだし、浮遊した時に採集されたものかもしれない。既往の水田微小生物の教材研究では、ピペットを使用して、稲の茎の周りや水面、土の表面から水垢状のものを採集し、少ない採水量で多くの種類の微小藻類や原生動物を、採水時期にかかわらず得ている（見上ほか、1992）。1枚の水田の中でも、田面水だけでなく、ミドロ類そのものや稲の茎に付着した水垢、土の表面を採集すると、多くの種類の微小生物を確実に採集でき、また、生息場所による微小生物の違いを教材とすることもできる。ボトルボックスやミジンコ類など大型で密度は少なく水中を遊泳する生物はネットや篩を通して集めると観察が容易である。採集場所や採水法を変えることにより、多くの種類を確実に観察できるようになる。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、東北大学大学院生命科学研究所附属湛水生態系実験施設の実験水田の調査を快

く承諾していただいた同施設主任南澤究教授に心から感謝する。

## 引用文献

外園香菜・石井伸哉・遠藤朱萌・名和玲子・三好直哉・渡邊邦彦・島野智之 2008. 田んぼの生き物調査による環境教育の実践的アプローチ. 宮城教育大学環境教育研究紀要, 11, 25-30.

Kikuchi, E., Furusaka, C. and Kurihara, Y. 1975. Surveys of the fauna and flora in the water and soil of paddy fields. Rep. Inst. Agri. Res. Tohoku Univ., 26, 25-35.

Kimura, M. and Kikuchi, E. 2005. Aquatic microbiology in rice fields. *In*: Aquatic ecology of rice fields. Fernando, C. H., Goltenboth, F. and Margraf, J. (eds.). Volumes Publishing, Kitchener, Ontario, Canada, pp. 253-270.

呉地正行 2007. 水田の特性を活かした湿地環境と地域循環型社会の回復：宮城県・蕪栗沼周辺での水鳥と水田農業の共生をめざす取り組み. 地球環境, 12, 49-64.

見上一幸・岩淵成紀・中澤堅一郎・八鍬辰一郎・相内健一・田中融 2001. 水田・湿地フィールドの環境計測と環境教育素材としての可能性. 宮城教育大学環境教育研究紀要, 3, 61-32.

見上一幸・小泉貞明 1984. 身近な教材としての水田の微小生物. 宮城教育大学理科教育研究施設年報, 20, 9-13.

見上一幸・穴戸英雄 1988. 水中微小生物観察の場としての水田. 生物教育, 28, 47-51.

見上一幸・竹内伸夫・田端憲一 1992. 生命科学教育教材としての「水田の微小生物」(Ⅲ) - 仙台市近郊における水田微小生物の調査 -. 宮城教育大学理科教育研究施設年報, 28, 25-30.

見上一幸・村松隆・岩淵成紀・國井恵子・中澤堅一郎・加藤忠・斉藤智 1999. 野外フィールドのリモートセンシングと自然環境教育 (I) 水田の水質センシング. 宮城教育大学環境教育研究紀要, 1, 23-32.

Yamazaki, M., Ohtsuka, T., Kusuoka, Y., Maehata, M., Obayashi, H., Imai, K., Shibahara, F. and Kimura, M. 2010. The impact of nigorobuna crucian carp larvae/fry stocking and rice-straw application on the community structure of aquatic organisms in Japanese rice fields. Fish. Sci., 76, 207-217.