

第1節 自然科学的立場からのモニタリング

2. ミクロ視点より一圃場レベルの管理一

2.3 彦根市稲枝地区の3タイプの水田圃場における底生動物

成田哲也¹⁾、田中拓弥²⁾、陀安一郎³⁾

1) 元 京都大学生態学研究センター、2) 総合地球環境学研究所、3) 京都大学生態学研究センター

1. はじめに

農業用排水施設整備事業は、戦後、日本において農業の形態を大きく変えた。とくに琵琶湖集水域では、集中的かつ高密度で展開したため、農業用水利用の変化と環境のかかわりが早くから注目されてきた¹⁾。農業用排水管理の変化は水循環の変化をもたらし、集水域の水の存在のあり方を変えてきた。またそれに従って、肥料や農薬成分の流出など物質循環の側面も大きく変わった。

暗渠排水の設置などにより、もともと水田耕作にしか適さなかった耕地に畑作を混在させるなどのことも行われるようになった。これらは、水田における底質の状態を変え、生物相に変化を与えるかもしれない。生物相の変化は、これもまた水田の物質循環に影響を与えてきた可能性がある。

そこで、滋賀県彦根市の稲枝地区にある3タイプの水田における底生動物の調査を行った。目的は、圃場の転作履歴、灌漑水の種類（琵琶湖水の逆水灌漑、河川水による灌漑）が水田の底生動物の構成や量に影響しているのかを調べることである。

2. 場所と方法

2.1 調査した圃場の概要

調査を行ったのは以下の3人の方が耕作する9枚の圃場である。

- a) タイプⅠ；（湖水灌漑、前年転作）；
F氏耕作の3枚の圃場（彦根市金沢町、転作歴あり、琵琶湖水の灌漑、環境こだわり農業）；
F4, F5, F7
- b) タイプⅡ；（湖水灌漑、転作なし）；
U氏耕作の3枚の圃場（彦根市稲部町、転作歴なし、琵琶湖水の灌漑、環境こだわり農業）；
Um1, Um2, Um3
- c) タイプⅢ；（河川水灌漑、転作なし）；
T氏耕作の3枚の圃場（彦根市肥田町、転作歴なし、宇曾川河川水による灌漑、環境こだわり農業）；Ts1, Ts2, Ts3

2.2 転作履歴

タイプⅠのF4とF5では2002、2003年に畑作への転作があり、F7では2003年に畑作への転作があった。

タイプⅡ、タイプⅢのそれぞれの圃場では畑作への転作はなかった。

2.3 代かき、田植えの時期

タイプⅠの圃場（F4, F5, F7）の水入れ開始日は2004年5月中旬、代かきは6月5日、田植えは6月9日、中干しのおおよその時期は7月末であった。

タイプⅡの圃場（Um1, Um2, Um3）では、水入れ開始日は2004年5月5日、代かきは5月7日、田植えは5月11日に行った。中干しはしなかった。

タイプⅢ（Ts1, Ts2, Ts3）の圃場の水入れ時期は4月下旬、代かきは5月13日、田植えは5月15日に行った。中干しは不明。

2.4 収穫後の圃場の処置

タイプⅠの圃場；収穫は10月7日。F5ではわらを丸めて出すが、F4、F7では何も処置しなかった。

タイプⅡの圃場；収穫は9月20日。収穫後はなにも処置せず、春までそのまま置いた。

タイプⅢの圃場；収穫は9月8日。その後の処置は不明。

2.5 採集時期と方法

タイプⅠの圃場（F4, F5, F7）では、時期的な変化を知るために、3回、2004年6月6日（代かき直後）、6月30日（安定期、田植え後約3週間）、8月3日（中干し直後）に採集した。

タイプⅡ（Um1, Um2, Um3）、タイプⅢ（Ts1, Ts2, Ts3）のそれぞれ3枚の圃場では、田植え後約6週間の安定期である、6月24日、6月22日に採集を行った。

圃場の泥を円筒形の透明アクリル筒（内径56

mm、筒高25 cm) を用いて採集した。各圃場で円筒により泥を5本ずつ、各タイプの3枚の圃場で15本採集した。円筒には下から10 cmのところ横線を引き、稲の株畝の間の水のあるところに、10 cmの線がちょうど泥表にくるように上から手でゆっくり押し込んだ。円筒の上開口部にゴム栓をしたのち、円筒をゆっくり引き抜いて泥を採集した。アクリル筒を抜くときに筒上部が陰圧になり泥が下に引っ張られるため、実際に採集された泥は8 cm程度であった。採集した泥を250 μmの網目の金網でふるって細かい泥を洗い流し、金網の上に残ったものをナイロン袋に入れてホルマリンを添加し、固定した。固定した標本は、実体顕微鏡の下で選別・分類し、計数した。さらに、各taxa毎に湿重量を測定した。

マクロベントスでは、ミミズ類は種あるいは属まで、ユスリカ幼虫は属まで、貝類は科まで、その他は目まで分類した。メイオベントスはグループによりさまざまなレベルに分類した。

マクロベントス、メイオベントスの定義は、採集する篩いの網目の大きさで任意に決められてきた²⁾。Thorp & Covichによると、マクロベントスは200 μmの網目の網で採集される底生動物（実際には250ないし500 μmメッシュが使われることが多い）、メイオベントスはマクロベントスより小さく40~200 μmの網目で採集される底生動物としている。しかし、本調査では、250 μmの網目の金網を使ったので、大きさで言えば実際にはすべてがマクロベントスである。しかしこれまでの多くの研究でメイオベントスとして扱われてきた分類群を、大きさに係らず本研究でもメイオベントスとした。したがって、本研究で言うマクロベントスとメイオベントスには大きさに違いがあったのではない。

3. 結果

a) タイプ I の圃場における3時期の比較

タイプ I の3枚の圃場 (F4, F5, F7) で代かき直後、安定期、中干し直後の3時期にそれぞれ採集を行い、底生動物の時間変化の概要を把握しようとした。3枚の圃場とも、予想通り、安定期である6月30日にマクロベントスの平均密度・平均現存量、メイオベントスの平均密度とも最大であった (図1a~1c)。

安定期には、代かき直後や中干し直後に較べて、いずれの圃場でもユスリカ幼虫の密度が高くなっ

たのが特徴である。詳しく見ると、F4では、代かき後、安定期、中干し直後で水生ミミズの密度は大きくは変化していないが、安定期にユスリカ幼虫の密度が増加したため、マクロベントス全体の密度が増加した。F5では、代かき後に多かった小型のミズミズ科のトガリミズミズ (*Pristina* sp.) が減少し、イトミミズ科のユリミ

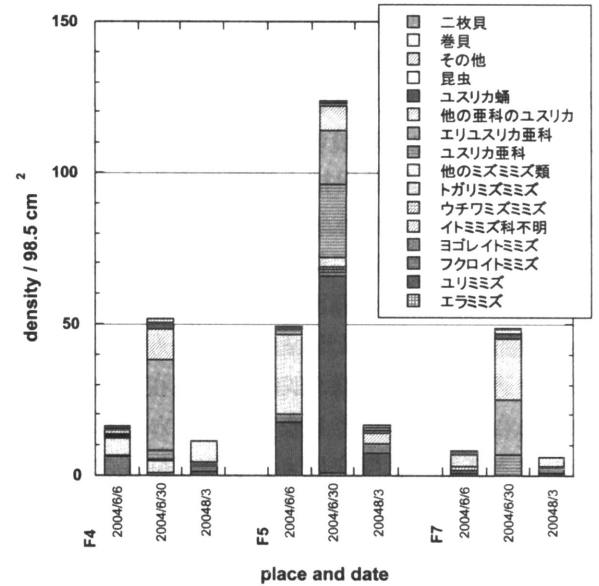


図1a タイプ I 圃場 (F4, F5, F7) における、代かき直後、安定期、中干し直後のマクロベントスの密度

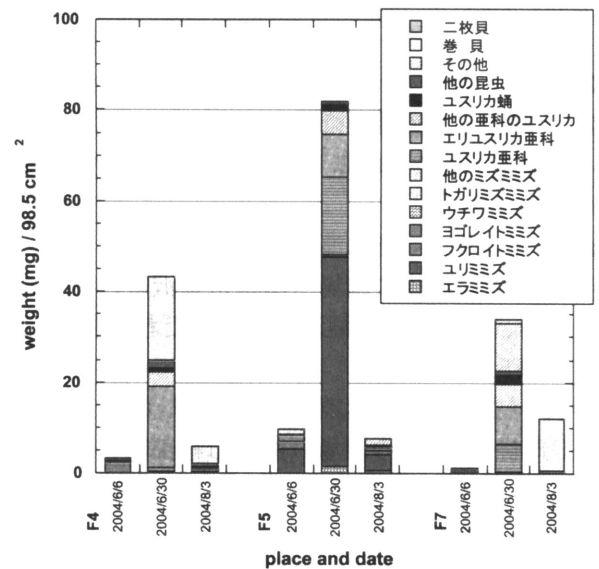


図1b タイプ I 圃場 (F4, F5, F7) における、代かき直後、安定期、中干し直後のマクロベントスの現存量

ミズ (*Limnodrilus* sp.) が増加したが、F4同様、ユスリカ幼虫の密度が増加したためマクロベントス全体の密度が大きく増加した。F7も同様に、ユスリカ幼虫の密度が増加したのでマクロベントス全体の密度が大きく増加した。ユスリカ幼虫が増加したのは、近隣の小川から羽化した成虫が水をいれた圃場の中に産卵し、幼虫がふ化・成長したためと考えられる。

現存量では、密度は小さくても1個体あたりの湿重量が大きいタニシやヒル（図1bではその他として表示）の割合が高くなっているが、概して密度と同じ傾向である。

メイオベントスでは、線虫類 (Nematoda) の密度は3枚の圃場とも時期によりあまり大きくは変化しなかったが、カイクシ類 (Ostracoda) とミジンコ類 (Cladocera) が増加したので安定期の密度が大きく増加した。

ただ、採集を中干し直前に行う予定であったのが中干し直後に行ったので、マクロベントス、メイオベントスとも中干し直後には安定期に較べて密度、現存量とも少なかったのはある程度当然の結果であると考えられる。

b) 各タイプの3枚の圃場間の比較

安定期におけるそれぞれタイプ I (6月30日)、タイプ II (6月24日)、タイプ III (6月22日) の3枚

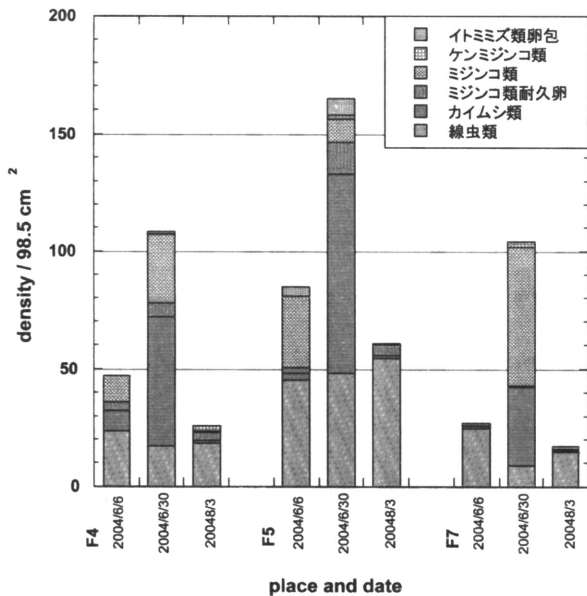


図1c タイプ I 圃場 (F4, F5, F7) における、代かき直後、安定期、中干し直後のメイオベントスの密度

の圃場の底生動物を比較した。

b-1) マクロベントス

タイプ I の圃場 (図2a, 2b) : F4, F7のマクロベントスはほとんどユスリカ幼虫であったが、F5ではユリミズ (*Limnodrilus* sp.) も多く採集された。3枚の圃場間では、ユスリカ幼虫の密度

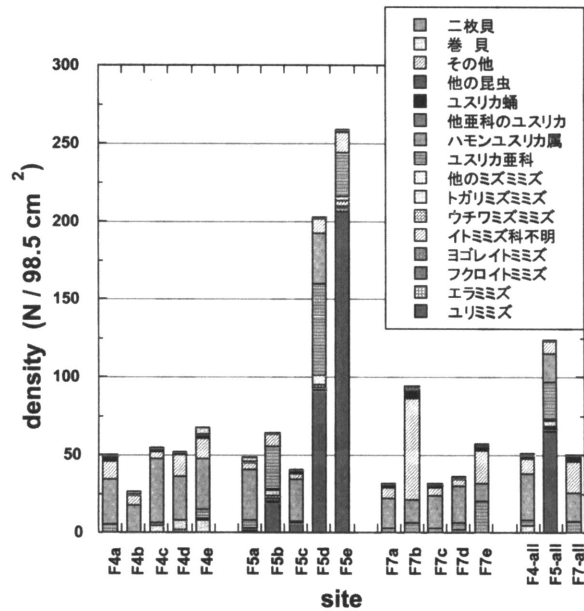


図2a 安定期のタイプ I 圃場 (F4, F5, F7) の各サンプルにおけるマクロベントスの密度と構成分類群

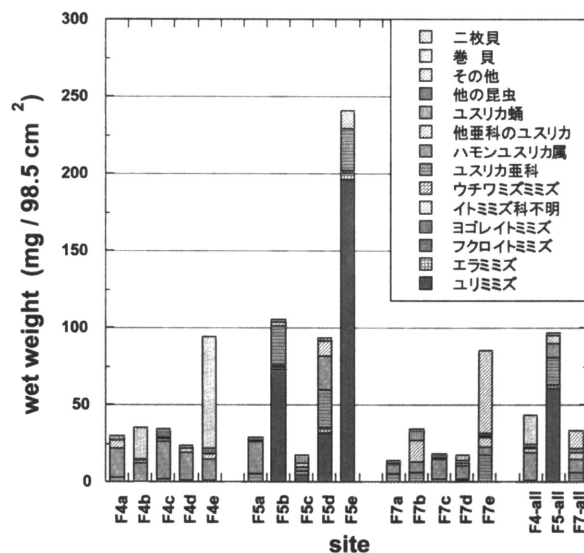


図2b 安定期のタイプ I 圃場 (F4, F5, F7) の各サンプルにおけるマクロベントスの現存量と構成分類群

に大きな違いはないが、F5でミミズが多かったためマクロベントスの平均密度は高かった。しかし、Kruskal-Wallis検定では3枚の圃場間に有意な差はなかった。現存量は密度と同じ傾向である。

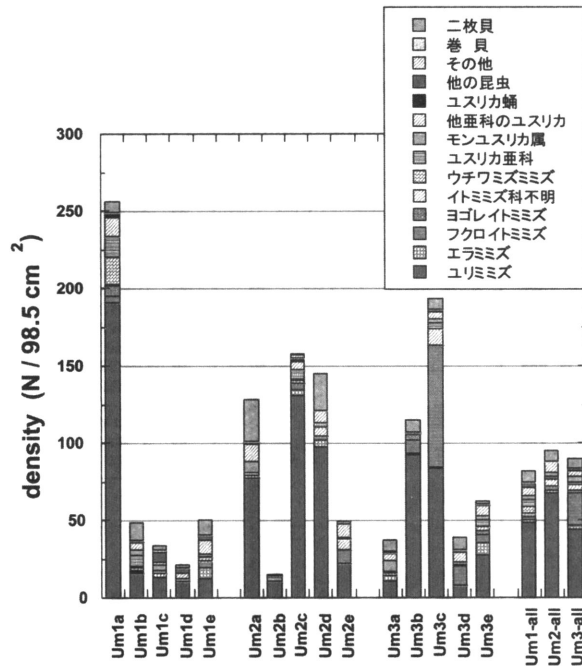


図3a 安定期のタイプII圃場 (Um1, Um2, Um3) の各サンプルにおけるマクロベントスの密度と構成分類群

タイプIIの圃場 (図3a, 3b) : 多くのサンプルでミミズ類が密度の大半を占め、ユスリカ幼虫が少なかった。特にユリミズが多かった。1枚の圃場の5サンプルの間で密度の変動が大きいので、

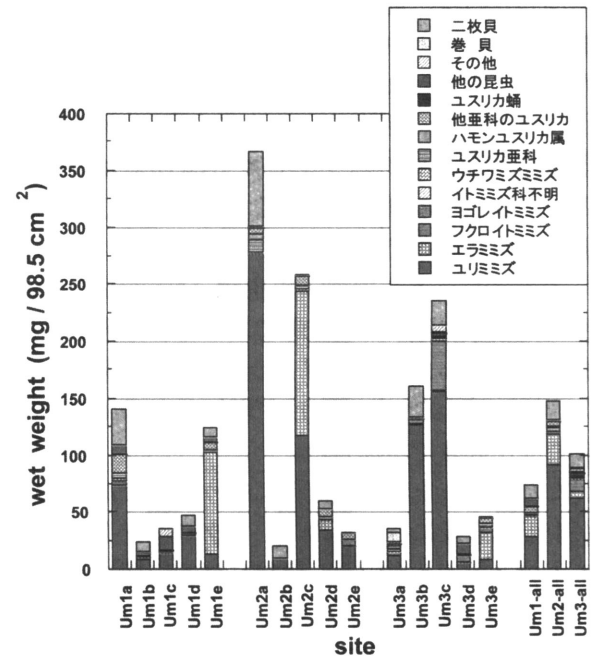


図3b 安定期のタイプII圃場 (Um1, Um2, Um3) の各サンプルにおけるマクロベントスの現存量と構成分類群

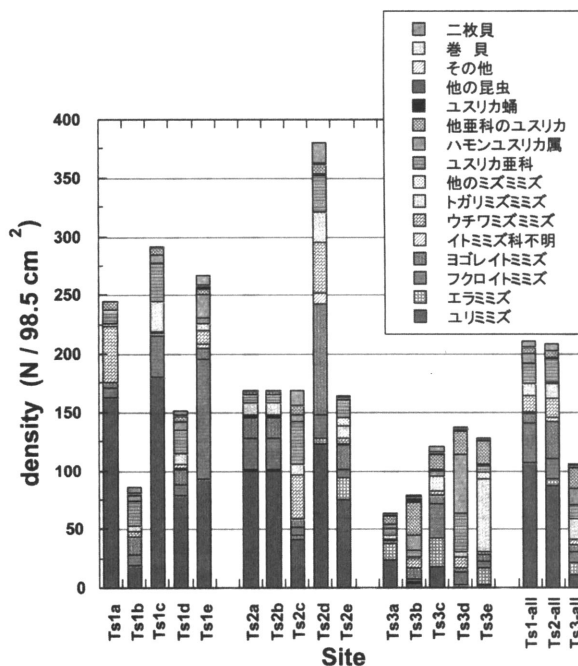


図4a 安定期のタイプIII圃場 (Ts1, Ts2, Ts3) の各サンプルにおけるマクロベントスの密度と構成分類群

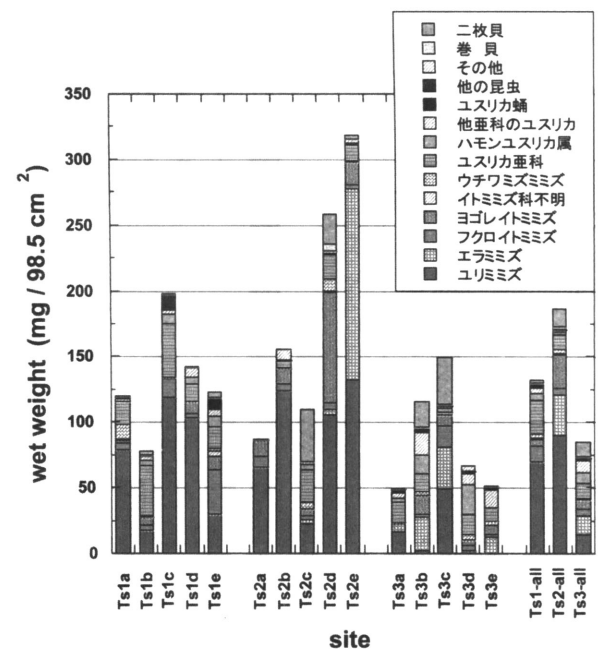


図4b 安定期のタイプIII圃場 (Ts1, Ts2, Ts3) の各サンプルにおけるマクロベントスの現存量と構成分類群

圃場の平均密度間に有意な差はなかった (Kruskal-Wallis検定)。現存量では、密度は小さいが1個体の湿重量が大きいエラミミズ (*Branchiura sowerbyi*) が現存量のなかで割合が大きくなった。

タイプⅢの圃場 (図4a, 4b)：タイプⅡと同様、ミミズ類が多くユスリカ幼虫が少なかった。また、イトミミズ科ではユリミミズが多かったが、他の圃場では出現しないヨゴレイトミミズ

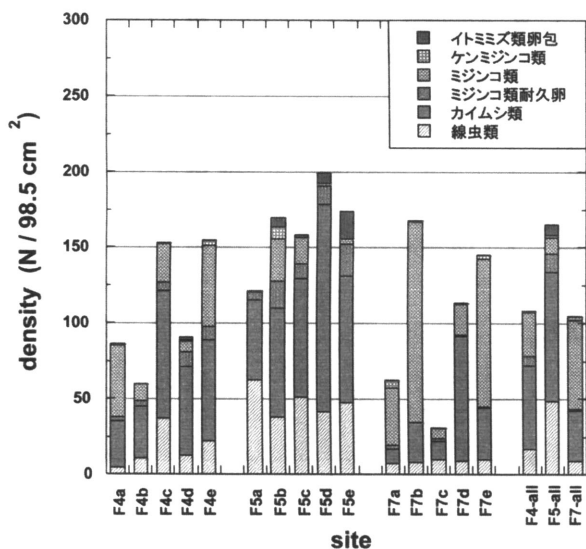


図5a 安定期のタイプⅠ圃場 (F4, F5, F7) の各サンプルにおけるメイオベントスの密度と構成分類群

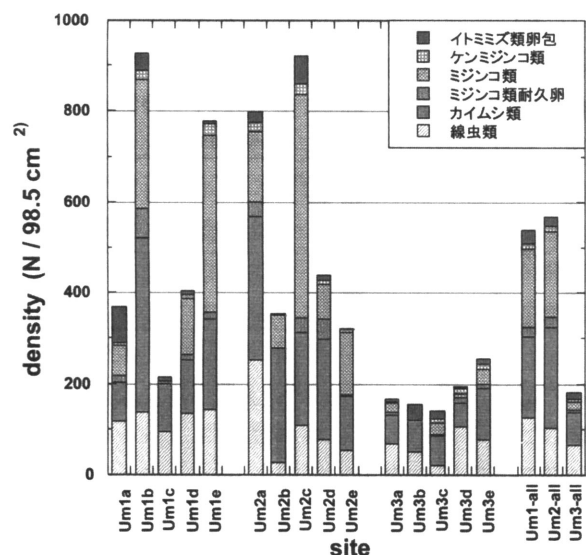


図5b 安定期のタイプⅡ圃場 (Um1, Um2, Um3) の各サンプルにおけるメイオベントスの密度と構成分類群

(*Embolocephalus yamaguchii*) が3枚の圃場とも出現した。さらに、ミズミミズ科のウチワミズミミズ (*Dero* sp.) やトガリミズミミズ (*Pristina* sp.) が高頻度に採集された。Kruskal-Wallis検定では、圃場の平均密度間に有意な差があった ($P < 0.05$)。現存量は密度と同じような傾向であった。

b-2) メイオベントス

メイオベントスは主に、カイムシ類 (貝形類, Ostracoda)、ミジンコ類 (枝角類, Cladocera)、線虫類 (Nematoda)、カイアシ類 (とう脚類, Copepoda)、ミジンコ類の耐久卵 (ephippium) およびイトミミズ類の卵包 (cocoon) で構成されていた。

タイプⅠの圃場 (図5a)：カイムシ類、ミジンコ類、線虫類の順に多かった。平均密度はF5において最大で、Kruskal-Wallis検定では、圃場間に有意な差があった ($P < 0.05$)。

タイプⅡの圃場 (図5b)：タイプⅠと同様、カイムシ類、ミジンコ類、線虫類の順に多かった。平均密度ではUm3が小さく、Kruskal-Wallis検定では圃場間に有意な差があった ($P < 0.01$)。

タイプⅢの圃場 (図5c)：タイプⅠやタイプⅡの圃場と異なり、線虫類の割合が高かった。次いでカイムシ類、ミジンコ類が多く、また、タイプⅠやタイプⅡの圃場に較べて、ミミズの卵包が多く見られた。Kruskal-Wallis検定では圃場の密度間に有意な差はなかった。

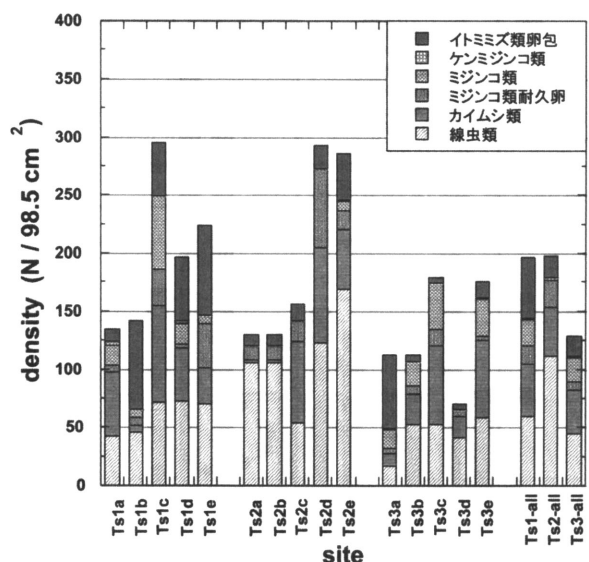


図5c 安定期のタイプⅢ圃場 (Ts1, Ts2, Ts3) の各サンプルにおけるメイオベントスの密度と構成分類群

c) 異なるタイプの圃場間の比較

c-1) マクロベントス

平均密度はタイプI、タイプII、タイプIIIの圃場の順に多くなり(図6a)、3者間に有意な差があった(Kruskal-Wallis検定、 $P < 0.01$)。ミミズ類の割合はタイプI、タイプII、タイプIIIの圃場の順に多くなり、逆にユスリカ幼虫類の割合はタイプI、タイプII、タイプIIIの圃場の順に小さくなった。

現存量も、平均密度と同じ傾向であった(図6b)。タイプII、タイプIIIの圃場ではドブシジミ(*Sphaerium* sp.)が見られたが、タイプIではドブシジミはほとんど見られなかった。

c-2) メイオベントス

平均密度は、タイプI、タイプIII、タイプIIの圃場の順に多くなり(図6c)、3者間に有意の差があった(Kruskal-Wallis検定、 $P < 0.01$)。

4. 考察

4.1 採集時期による底生動物への影響

タイプIの圃場では、代かき直後、安定期、中干し直後の3回採集したが、安定期の採集時期は田植えの3週間後であり、タイプII、タイプIIIの

圃場における安定期(田植え後6週間)までの期間の約半分であった。そのためベントス量に影響し、多少過小評価になっているかもしれない。しかし、タイプIのいずれの圃場でも、安定期にはユスリカ幼虫が増加したがミミズ類の密度は大き

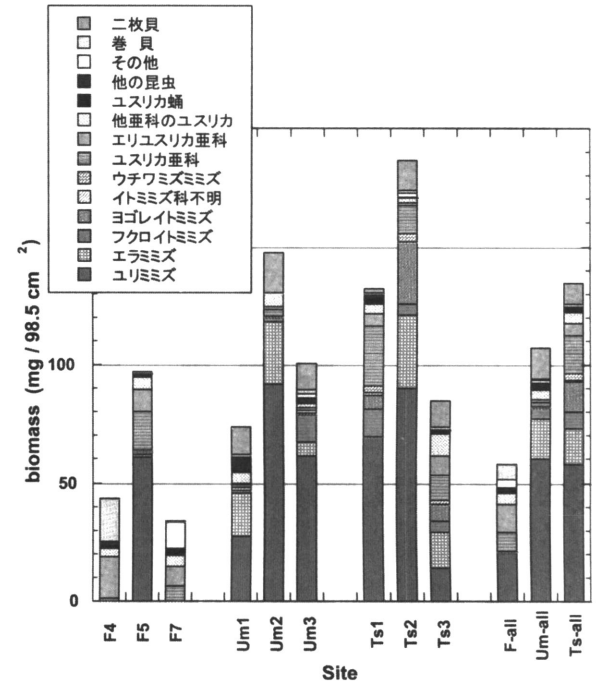


図6b 安定期におけるタイプI、タイプII、タイプIII圃場のマクロベントスの平均現存量と構成分類群

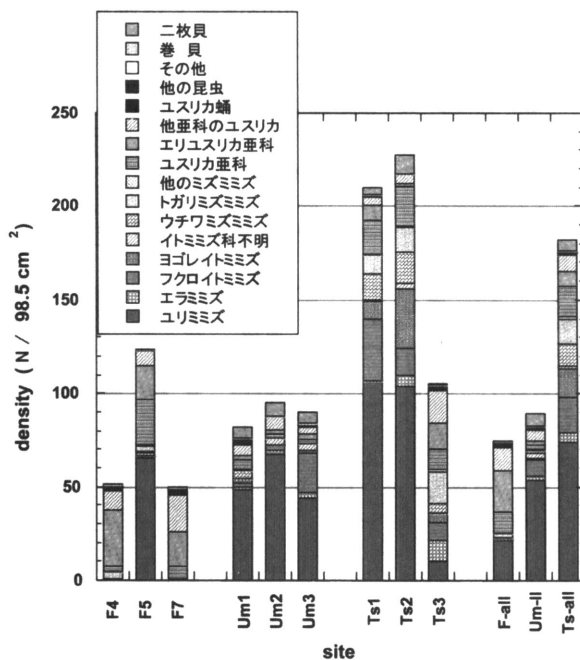


図6a 安定期におけるタイプI (F)、タイプII (Um)、タイプIII (Ts) 圃場のマクロベントスの平均密度と構成分類群

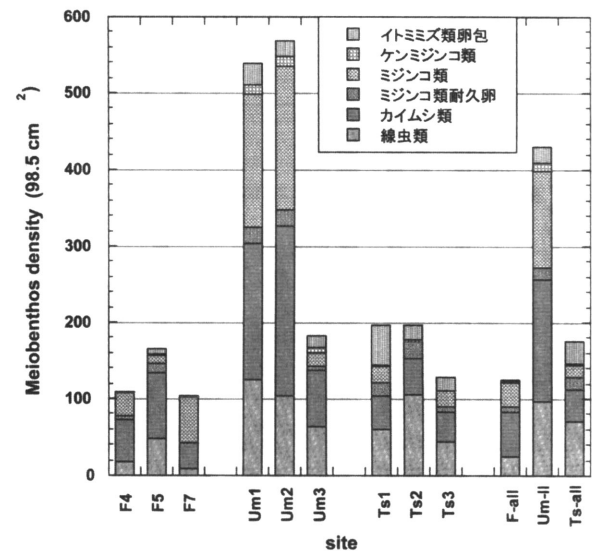


図6c 安定期におけるタイプI、タイプII、タイプIII圃場のメイオベントスの平均密度と構成分類群

な変化がなかったため種構成に対する影響は少ないと考えられる。

中干し前に採集する予定が、中干し直後になってしまったので、マクロベントス・メイオベントスとも密度・現存量が大きく減少したのは当然であろう。水生動物のミミズ類が減少したのは乾燥か捕食によるものであろうが、ユスリカ幼虫がほとんどいなくなったのは、乾燥や捕食により死亡したのか、この時期までに羽化してしまったために減少したのかは不明である。

水田における底生動物の種構成や量の時間的変化を調べるためには、もっと頻度をあげて採集するのが望ましいが、実際にはサンプルの選別に多大の時間を費やさなければならなかったため、今回は3回しか採集できなかった。

4.2 ミミズ類とユスリカ類の量の関係

タイプⅡ、タイプⅢの圃場は、タイプⅠに比べミミズ類が多くユスリカが少なかった。その理由は明らかではないが、3つの可能性が考えられる。

1つは、圃場の近辺に周年水が流れる小川の存在である。タイプⅠの3枚の圃場のすぐ横には小川が流れていたが、タイプⅡ、タイプⅢの圃場は小川から少し離れていたり、なかったりであった。ユスリカ幼虫は寒冷期には小川など水のある浅い水域で過ごし、春に暖かくなって成虫が羽化し周辺の水域に産卵する。ユスリカの産卵数はミミズ類に比べて非常に多い。新しく水が入れられたタイプⅠの圃場にユスリカ成虫が飛来・産卵し、多くの幼虫が増殖したと考えられる。

2つ目は、タイプⅡ、タイプⅢの圃場は周年かなり土が湿っている、あるいは少し水があり、乾燥していなかった。このような土の状態では、ミミズ類、特にイトミミズ類は生存が可能であるので、冬季にも生息していたのではないだろうか。そのため、春になってたとえユスリカ成虫が飛来産卵しても、幼虫の成育に何か不適当な条件があったのかもしれない。

3つ目は、タイプⅠの圃場では、多分畑作への転作があったためと思われるが、わら屑などの有機物がタイプⅡ、タイプⅢの圃場の田んぼに比べてたいへん少なかった（タイプⅠの圃場では測定しなかった）。タイプⅡ、タイプⅢの圃場で採集した各サンプルでは、250 μm の金網の上に残った固形大型有機物（主にわら屑）の量の乾燥重量を測定した。タイプⅡ、タイプⅢの圃場とも有機

物乾燥重量とマクロベントス密度の間に有意な相関関係はなかったが（図7a、相関係数、Umでは $r=0.238$ 、Tsでは $r=0.029$ 、 $n=15$ 、いずれも $P>0.1$ ）、しかし両者のサンプルをまとめて相関関係を見ると（図7b）、相関係数 $r=0.302$ でほぼ $P=0.1$ に近い ($R_{0.1}=0.306$, $n=30$)。有機物乾燥重量とマクロベントス密度の間には弱いながらも相関があるようだ。

言い換えれば、固形大型有機物の少ないタイプⅠでは、圃場の土の乾燥と相まって、イトミミズ類の生育に不適な条件があるが、固形有機物の多いタイプⅡ、タイプⅢの圃場はイトミミズ類の周年の生息に好適であったのではと考えられる。

4.3 ヨゴレイトミミズ (*Embolocephalus yam-*

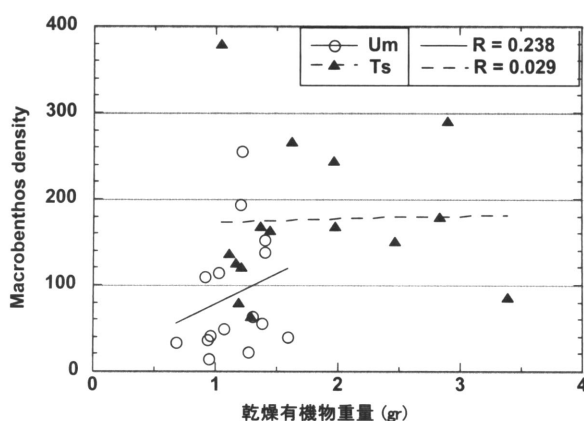


図7a マクロベントスと有機物量の関係（タイプⅡ、タイプⅢを別々に計算）

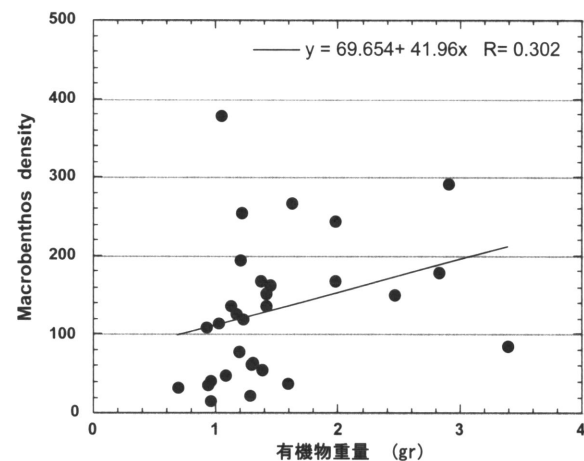


図7b マクロベントスと有機物量の関係（タイプⅡとタイプⅢを一緒にして計算）

aguchii) の出現

琵琶湖本湖では採集されるのが珍しいヨゴレイトミミズが、タイプⅢの圃場で頻度高く出現した。本種は地下水などがしみ出る湧水池から流れ出る小川などに生息する種であるので、宇曾川の河川水やその伏流水がしみ出すタイプⅢの圃場にだけ出現したのではないだろうか。しかし、本種の生活史に関する知見はこれまでほとんどない。

4.4 ミミズが多いと水田に良いのか

ミミズや底生動物が多いと水田に、さらには稲の生育によいのだろうか？

イトミミズ類は泥に穴を掘って生息している。穴の中で微生物や有機物を食べ、泥表に糞を排泄するので泥をかき混ぜる効果がある。また、排泄によって植物の栄養塩となる無機態窒素を排出している。さらには、泥中に穴をあけることにより、泥の中に溶存酸素を送る効果がある。一般に、イトミミズ類はユスリカ幼虫よりもより深く穴を作るので、ユスリカ幼虫よりも泥のかき混ぜ効果、酸素供給効果は大きいと考えられる。もし、稲の根が酸素を必要とするのであれば、イトミミズ類の生息はユスリカ幼虫の生息に比べ、稲の生長促進効果は大きいと考えられる。

稲の品種と収穫量は、タイプⅠが吟吹雪（酒米、480 kg/10a）、タイプⅡがキヌヒカリ（510 kg/10a）、タイプⅢがキヌヒカリ（540kg/10a）であっ

た。作付け品種が同じであるタイプⅡとタイプⅢでは、タイプⅢでの平均収量が若干多かった（約6%）。しかし、この違いが底生動物量や種構成の違いに起因するか否かはいまのところ不明である。

謝辞

耕作者のフクハラファーム、梅本氏ならびに辻氏には、圃場の管理、稲作に関する詳しい情報をいただき、また圃場の状況について懇切丁寧に教えていただいた。記して感謝の意を表します。弘前大学の太高明史教授には水生ミミズ類の分類や性質を詳しく教えていただいた。京都大学生態学研究センターでは、選別・計測のために実験室、顕微鏡、天秤を使用をさせていただいた。これらの方々にお礼申しあげたい。

参考文献

- 1) 渡辺紹裕「琵琶湖集水域における農業用水利用の展開と課題」『環境技術』26（1997）pp.508-512
- 2) Thorp, J.H. and A.P. Covich, Ecology and classification of North American Freshwater Invertebrates. (1991) Academic Press.
- 3) 西野麻知子『琵琶湖の底生動物－水辺の生きものたち－』滋賀県琵琶湖研究所発行（1993）