

土壌小動物の生態研究を通して知る環境保全

中 村 好 男

(東北農業試験場畑地利用部)

Environmental Conservation and Ecological Studies of Soil Animals

Yoshio NAKAMURA

(Department of Upland Farming, Tohoku National Agricultural Experiment Station)

1. はじめに

土壌(小)動物の密度・組成(種類・令)・分布(垂直・水平)構造は、土地利用条件などに大きく影響され、林地→草地→畑地としだいに組成は貧弱になり、密度は低くなるとされる。ところが現地調査では組成が豊富で、密度が高い畑地がある。しかもそこからは、近接する畑地に低密度で棲むのと同じ種類にもかかわらず、形態に変異が見られる個体が見出され、土壌圏に加えられる条件(主に攪乱)は、土壌動物の生態にとどまらず形態にもなんらかの影響を及ぼしていると理解される。

そこで現地調査から得られた知見に基づいた条件設定による小規模実験、および圃場規模実験を行い、土壌動物の生態研究を進めた。生態研究の内容は、他生物と同じく個体生態、個体群生態および群集生態で、それぞれは多くの内容からなる。個体群は個体の集合とは言え、そこにあらわれる特徴は必ずしも個体にあらわれる特徴の総計ではない。群集についても同様である。各段階での解明が必要であるが、これらをすべて同時並行的に進めることは不可能である。さらに土壌動物は多種多様な動物を含み、少人数がすべてを扱うこともとうてい不可能である。

研究の内容は個々の例で示し、扱う動物は主にミミズ(大型貧毛類)、ヒメミミズ(小型貧毛類)およびササラダニとした。これらの動物類の生態の解明を通じて、畑地の土壌動物の多様性を高め、維持する条件を整える方策を、つまり環境保全について考えて見たい。

2. 再び共通認識、および土壌圏の調整機能の拡大

平成3年発表の『土壌生態系活用型農業とそれを支える土壌動物』の内容は1.「はじめに」として共通認識されるべき概念、2.土壌動物は多種多様、3.耕地生態系における土壌動物(群集)の特徴と課題、4.土壌動物の機能、5.土壌動物と土壌微生物の関連、6.土壌動物の研究史、7.土壌動物を試験(農業関連)研究の対象に入れた取組み、8.土壌生態系(機能)活用型農業における土壌動物の位置、9.有機物は土壌動物の餌・棲む家・環境、10.今後の課題、であった¹⁾。このうち「1.共通認識」を再記するとともに、土壌圏の機能のうち「調整」の項に、その後の調査研究が進展した「自浄機能」を付加する。

共通認識第一:土壌は図-1の構成と機能を持つ土壌圏である。

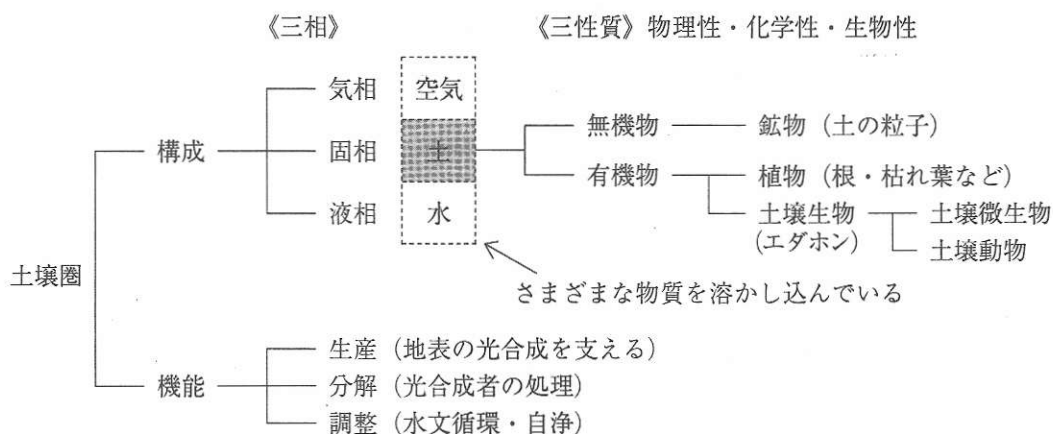


図-1 土壌圏の構成要素と機能 (8) に加筆修正)

共通認識第二:土壌生物は土壌動物と土壌微生物からなり、土壌圏の重用な構成者で、土壌圏の三つの機能と密接な有機的関連を持つ。

3. 多種多様な生物の存在を可能とする条件は

林地の土壌動物の組成が豊富で、密度が高いことは容易に想像できる。森に入ればその足下に新鮮な葉、枯れ葉、腐れた葉、菌が付着した葉、ほとんど識別がつかなくなった葉などいろいろな段階の葉が堆積している。そこには枯れ葉を食べる動物 (植食性)、枯れ葉に繁殖した菌を食べる動物 (菌食性)、これらの動物を食べる動物 (捕食性) あるいはいろいろなものを食べる動物 (雑食性) がいる。一枚の落ち葉をはじまりとして、食べ物でつながった生き物の鎖が生じる。これらの葉は重なりまるで座布団のようで、しかも一番上に枯れ落ちた直後の葉、その下にやや腐れた葉となっている。枯れ葉の下にはミミズの糞もみられ

る。ミミズの糞や周囲の土を水中に入れると、孔隙内に取り込まれていた空気が出て、かわりに水が入る。その糞や土を水中から取り出すと水が重力により出ていく。水がこれ以上出てこない状態になっても、隙間に水が残り、さらに空気が存在し、それが大気と接続した一様不飽和状態となる。この水と空気が混在した隙間に動物 (自ら隙間をつくれない種類) が棲む。大きな隙間は大型類、小さな隙間は中小型類、ごく小さい隙間は微小類や微生物の棲みかとなる。土の中で水性動物が住むとは奇妙であるが、その隙間の水の膜に水性動物が、湿っぽいところに湿性動物が、そしてやや乾燥したところには乾性動物が棲む。

多様な動物が棲むことは、多様な環境を十分活用していることを意味する。つまり多様な動物が棲むには多様な環境が必要になる。多様な環境に合わせて多様な種類が棲む例を表-1に示した。

4. 畑地の土壌動物の調査研究

調査研究はつぎの名寄市、福島市およびつくば

表一 日本のおもな大型と小型ミミズの生態型

生態型	主要機能	主な大型類 (種段階)	主な小型類 (属段階)
堆肥型	腐植化	シマミミズ	<i>Enchytraeus</i>
枯葉型	腐植化	キタフクロナシツリミミズ ムラサキツリミミズ	<i>Lumbricillus</i> <i>Marionina</i>
表層型	運搬 混合	サクラミミズ カシヨクツリミミズ ニオイ(クソ)ミミズ	<i>Henlea</i> <i>Enchytraeus</i>
土壌型	攪拌 構造形成	バライロツリミミズ ヒトツモンミミズ リュウキュウミミズ ハタケミミズ	<i>Achaeta</i> <i>Fridericia</i>

市にておこなった)ている。

○北日本・寒冷地重粘土畑(1976-1986年):名寄市

処理条件:大型機械の使用は年7-12回(耕起・整地・除草・播種・収穫);無農薬・無化成肥料;作物残さ還元;畝間に牧草や燕麦播種,熊笹堆肥・落葉・豆殻・麦藁施用;作物は毎年変更;土壌動物は年4回(春・夏・秋・厳冬)調査。

○関東・火山灰(黒ボク)土畑(1982前処理-1984開始-1988年):つくば市

区記号	処 理 条 件
A	無耕起+無農薬+有機物被覆 (ササや広葉樹の堆積物, 半年間野積)
C	耕起+農薬(DCPA, シマジン) +化成肥料

作物:陸稻(夏)小麦(冬作);土壌動物は中型が年6回(隔月),大型が年1回(夏作収穫後)調査。

○東北・火山灰(黒ボク)土畑(1989-現在):福島市

枠試験(1989前処理-'91開始-) (灰色低地土)

区記号	処 理 条 件	
	施肥素材	耕起・被覆条件
A	麦茎葉堆肥	無耕起・被覆
D	化成肥料	耕起・無被覆
J	大豆茎葉堆肥	無耕起・被覆
M	稲藁堆肥	耕起・無被覆

作物:スイートコーン(1991,'92,'93)ミニトマト('94);大豆('95-'97);冬作キャベツ・葉類('91-'94);無作付け('95以降);土壌動物(ササラダニのみ)は年1回夏作収穫後。

圃場試験：火山灰（黒ボク）土（1989-）

区記号	処 理 条 件
B	無耕起（1989-’91部分耕15cm, 以降は溝切）・前作残さ被覆
C	耕起（ロータリ, 春秋播種前）・ 化成肥料・農薬（春秋播種前）

作物：大豆（夏作：1989スズユタカ，以降ホウレイ）；大麦（冬作：’89カシマゴールドデン，以降ベンケイオオムギ）：ミミズとササラダニは年1回大豆収穫後，ヒメミミズは各月1回調査。

4-1 ミミズ（大型貧毛類）相（表-2）

名寄：堆肥・枯葉・土壌型（表-1参照）が各1種，いずれもツリミミズ科が採集された。そのうち堆肥と土壌型は1季節のみ採集され，堆肥あるいは落葉とともに持ち込まれたのであろう¹¹⁾。

つくば：A区から堆肥・枯葉・土壌型が採集された。近郊林の堆積物とともに移入したと考えられる枯葉型が毎年採集され，土壌型のフトミミズ（属）が開始3年後から採集された。日本のミミ

ズ相はこのフトミミズ（属）が優勢で，3年後とはいえ採集されたのはこの圃場が本来の姿になりつつあると考えられる⁴⁾。

福島（圃場）：B区から枯葉・表層・土壌型が採集された。表層型のサクラミミズは，日本固有種で，全国の山野に見られ，形態変異から2型に分かれ，ここではA型であった。この種と日本で優勢なフトミミズ（属）が採集され，さらに年次経過とともに密度の枠間の変動巾が少なくなった。圃場が本来の姿になりつつあると考えられる。

4-2 ヒメミミズ（小型貧毛類）相（表-3）

名寄：採集された6属のうち *Lumbricillus* の個体数割合が多く，ついで *Fridericia* と *Enchytraeus* であった。個体数中の大半をこれら3属が占めた。個体数の季節消長は調査枠間の変異幅が大きく一定の傾向はみられなかった。各年度とも春の個体数が前回（厳冬）に比べ常に少なかった。個体数の多い3属には季節消長がみられ，*Lumbricillus* は春から厳冬にかけて増加し，他2属は春から夏に増加していた。調査区に隣接した甜菜滓鉄混み実験では，滓量の増加に伴いヒメミミズ組成が単純となり，*Enchytraeus* が優占していた^{5, 11)}。この属は餌を呑み込む前に消化液を出し，溶かして吞

表-2 調査圃場のミミズ（大型貧毛類）相

生態型	種 類	名 寄	つくば		福島（圃場）	
			(A区)	(C区)	(B区)	(C区)
堆肥型	シマミミズ	○	○			
枯葉型	ムラサキツリミミズ	○	○		○	
表層型	サクラミミズ				○	
土壌型	ヒトツモンミミズ		○		○	
	バライロツリミミズ	○				
	フトミミズ属（未同定）		○			

表一 3 調査圃場のヒメミミズ (小型貧毛類) 相

生態型	種 類 (属)	名 寄	つ く ば		福島 (圃場)	
			(A区)	(C区)	(B区)	(C区)
堆肥・表層型	<i>Enchytraeus</i>	○	○	○	○	○
枯 葉 型	<i>Lumbricillus</i>	○			○	
表 層 型	<i>Henlea</i>	○	○		○	○
土 壌 型	<i>Fridericia</i>	○	○	○	○	○
	<i>Achaeta</i>	○	○	○	○	○
型 不 明	<i>Hemienchytraeus</i>		○	○	○	
	<i>Stercutus</i>	○				
	<i>Bryodrilus</i>				○	

み込むという。

つくば:5属採集され,4属がAC区に共通であった。湿つた場を好む *Henlea* がA区に固有であった。優占属はA区が *Enchytraeus* → *Fridericia* → *Achaeta* と変化し, C区は *Enchytraeus* であった。個体数は最初の調査が区間の差異は無かったが, その後A区は徐々に増加した。それに反しC区は低密度であった⁷⁾。

福島 (圃場):7属採集され,4属がBC区に共通であった。優占属はB区が *Enchytraeus* から *Fridericia* と *Achaeta* に変化し, C区はいずれの属も少なかった。個体数は各年ともB>C区で, C区では春から夏にかけて0またそれに近かった。腸内容は *Achaeta* と *Fridericia* は周年土壌粒子が多く, その他は植物片が多く, とくに *Henlea* はほとんどが植物片であった。

4-3 ササラダニ相 (図-2)

名寄:31種が採集され, このうち12種1亜種は新 (亜) 種で, 別の3種は日本新記録か北海道新記録であった。4種 (サカモリコイタダニ, ツ

ノマルヤハズダニ, ナミツブダニ, クワガタダニ) が優占種であった¹¹⁾。有翼 (高等とされる)・無翼 (やや下等とされる)・接門類 (下等とされる) のうち接門類は, 種類数に占める割合は多いが (図-2下), 密度に占める割合はわずかであった (図-2上)。

つくば:採集された種類数はA区が33, C区が7であった。4種 (ツクバハタケダニ (新種), クワガタダニ, フリソデダニ科の一種, ケブカツツハラダニ) がAC区に共通で, 両区ともツクバハタケダニが優占種であった⁷⁾。開始から5年目の有翼・無翼・接門類の割合は, 密度と種類数ともAC区ともは似ていた。

福島 (枠):開始3年目の種組成多様度 (H') は, D区で低く, ついでM区で, AJ区はどちらも高かった。この傾向は開始7年目にさらに強まった。開始7年目の種類数はAJ区で増加し, とくに高等なグループとされる有翼類が増加した。D区はそれよりやや下等とされる無翼類が多かった。食性つまり餌の内容が異なることによると思われた。

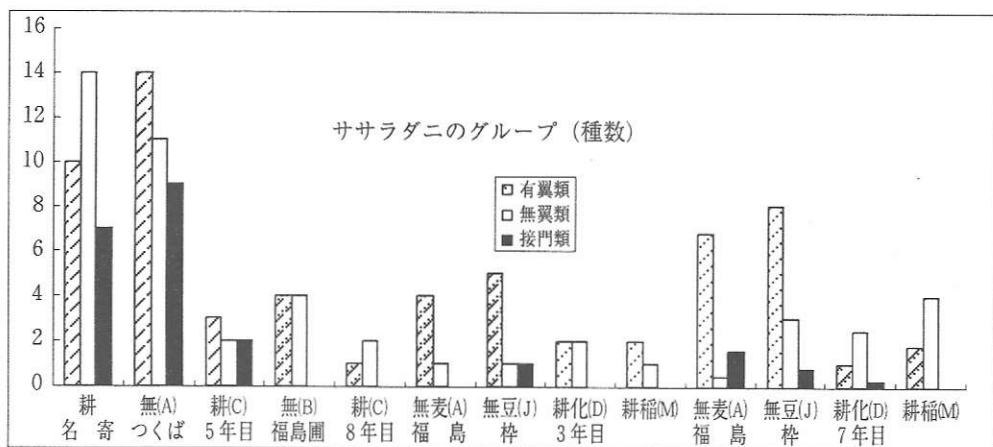
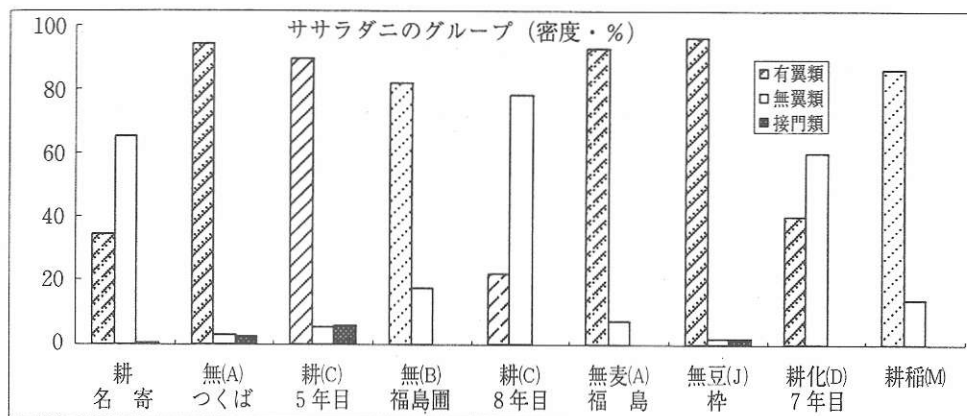


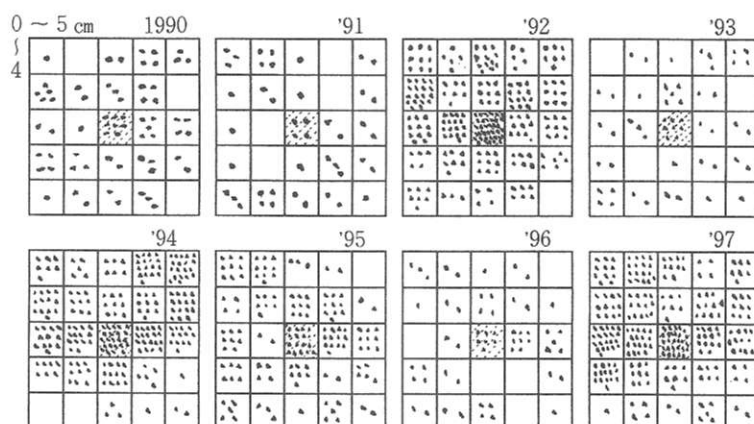
図-2 ササラダニの類別種類数 (下) と密度に占める割合 (%) (上)

福島 (圃場) : 処理5年 (1993) 目に12種類採集され、このうち3種 (ナミツブダニ、クワガタダニ、トゲクワガタダニ) がBC区に共通で、種類数は(11) > C区(4)であった。8年 (1996) 目に8種類に減少し、このうち3種 (ナミツブダニ、クワガタダニ、ツクバハタケダニ) が両区から得られた。種類数はB(8) > (3)区であった。B区は有翼類と無翼類の種類数が同じであるが、密度に占める有翼類の割合が高く、C区は無翼類の種類数が多く、密度に占める割合も高かった。

4.4 ヒメミミズの小面積内水平空間分布 (図-3)

名寄 : 水平分布の状況のうち基本集合度指数は、5cm以下で0より小さい季節が多く、個体間の関係は明確でなかった。ところが0~5cmでは1983 厳冬から1984 厳冬の期間、指数は0より大きく個体間は正の集合性を示した。密度集合度指数から小面積内水平空間分布は常に集中的であった^{5, 11)}。

つくば (A区) : 陸稲根周辺の分布は、作物の生育に伴い水平および垂直的に拡大したが、一定の傾向はみられなかった⁶⁾。



図一3 福島（圃場B区）の大豆根（中心の斜線部分）を中心にしたヒメミミズの水平分布構造
調査はヒメミミズ個体数が多い6月に行った。各点はヒメミミズ1個体を示す。

福島（圃場B区）：大豆根を中心にした分布構造は、毎年とも明確な傾向がなかった（図-3）。

4-5 大型ミミズと小型ミミズの関連

福島（圃場）B区のヒメミミズ（小型類）個体数は年次経過とともに減少し、他方ミミズ（大型類）は増加傾向にあった。

4-6 つくばのササラダニ優占種と攪乱

A区の最初の調査（調査前2年間同じ処理）は11種採集され、それ以降新しい種類が追加した。1調査期での最大は16種であった。個体数はA区で常に他区よりも高かった。個体数は時間経過とともに増加あるいは減少など一定の傾向はなく、攪乱（耕起・除草・播種・収穫などの管理）に影響されていた⁹⁾。

4-7 名寄のササラダニ優占種の形態の特徴

触覚毛の一つである胸感盃毛が、1983年までは小形で先膨れの形を持つ個体が多く、その後は

大形で細く長い形を持つ個体が多かった、環境の変化に反応したのではないかと考えられる。

優占種4種とも共通して最終年の個体数が調査初年よりも多く、年次とともに消化管内容物の質は多様の傾向あるいは内容物の量の増加がみられる。しかも春から秋までと厳冬との間の差はみられたにせよ冬期間の摂食と産卵の可能性の増大が見られ、柰間のばらつきは小さくなっていき、そして種間の関係に特別引き合いや避け合いがなくなっていく。これは各々の種類が必要とする好む餌、棲み場に違いがあるが、畑全体に撒布有機物がゆきわたるようになるに従って、各々の必要条件が満たされてきた結果であろうと推定される¹¹⁾。

さらに優占種4種を大型種（サカモリコイタダニ、ツノマルヤハズダニ）と小型種（ナミツブダニとクワガタダニ）に分けて比べると次のような異なる現象をみせた：

大型種の体長と体幅の変動は2～3年おきの見られ、形質（たとえば性殖毛）の数における異常

は退化例が多毛例より多い。1雌が一度に10個も蔵卵可能。摂食菌糸は細いものから太いものに変化。サビ菌胞子を丸ごと食べる。空間水平的には集中分布をする。初年より調査最終年には有意に個体数が多くなった。夏から冬に最高個体数。

小型種の性殖毛数は退化、他は多毛化。1雌が一度に3個まで蔵卵可能。摂食物は不定形から定形物質に変化。サビ菌冬胞子は腸内に見られない。集中分布しているが集合部分はランダムのことあり。冬に最高個体数に達することは無い。調査前半の1978秋と1979春のみ初年より有意に個体数多い。

これらのことから、大型種が調査後半に増加したのは、小型種よりも食べ物が大きいので、畑に粗腐植が蓄積されてきたことによるのであろう。とくにサカモリコイタダニは両性生殖なので環境の変化にも耐える力があり、産卵能力も大きいので厳冬下でも個体群を維持できるのであろう。1世代期間は長いのかもしれない。小型種が前半に多かったのは小型で単為生殖のため同一条件の環境下ではそれが良くても悪くても適応が容易であり、しかも食べ物も微小でたとえ裸地状態でも繁殖可能であったが、後半に畑の条件が変わってくるとつまり環境が大きく変化しつつある条件下では単為生殖故に、また産卵数が少ないため食べ物を変えるなどのことも含めて再適応に時間がかかったのではないか。冬には他季節よりも多くなれないのもそのためではないか。

優占種のクワガタダニはもっとも普通な種類で、日本ばかりでなく世界中のどこにでもおり、しかも優占種であることが多い。この種類を林から採集された個体群と比べると体が大きかった。しかし100ml土壌から見つけられた最大個体数は林の方ではるかに多い。同じ樹種の林の中でも林床植生が苔に優占される林では、100ml中に見ら

れる最高個体数が最も多い例があった(100ml中、林では383個体、畑では60個体が見つかったのが最高例)。そしてこの林では同種の個体とは引き合うが、他種(ナミツブダニ)とは避け合うという傾向がみられた。一方畑地では、低密度のときには同・異種を問わず他個体と引き合うが、高密度になると同種を避け合う傾向がみられた。つまり林では種によって異なる要求を満たす場が豊富なために、それぞれの要求する場に分散(すみわけ)をし、そこでそれぞれの個体群を大きくできるのに比べ、畑地では場の多様性が小さいために最低限両種の要求を満たす場に共存せざるおえないが、高密度になるとクワガタダニは分散していくという現象を反映している。これはクワガタダニが主として無形の(腐植の段階の進んだ)有機物を食べ、他固体の存在を知ると他個体と接触することなしに、避けて通ろうとする。それに比べ、ナミツブダニは主として菌を食べ、同・異種を問わず平気で他個体を踏みつけても乗り越えて進むというような行動習性の違いからも生じる結果であろう。ナミツブダニは食べられる物のある限り高密度下でも、そこに留まるのは平気だが、クワガタダニはさっさと分散してしまう。ところがそのことによつてクワガタダニは、新しい場で個体群を形成することができる。しかもその新しい場に棲みつづけるために必要な適応のための形態変異の力も、他種よりは持っているらしいことが、形態変異の種類と頻度がナミツブダニに比べてはるかに多いことから推測される。そしてその結果として調査最終年には、季節変動は見られるにせよクワガタダニは他のどの種よりもどの季節にも高密度となった、と考えられる^{1,2,3)}。

調査開始から5年目の中間年1981年にはつぎのようないくつかの特徴がみられ、この圃場としての特有な動物群集の形成に向かう年であろうと

考えられる：ササラダニの4優占種のうちサカモリコイタダニの蔵卵雌が厳冬にいなかった。春は雄だけ出現し、厳冬から夏まで異常形質の個体がいなかった。ツノマルヤハズダニは1980年秋から1981年夏まで異常形質の個体はいなかった。粹サイズを変えて計算する分布型の分析結果から、1981年度のみ適当 ($Du/D1 < 1$) であった。ナミツブダニは1981年秋から1982年夏まで異常形質の個体はなかった。クワガタダニは1981年夏には蔵卵雌1個体当たりの平均卵数が多かった。

さらに大型動物のヤスデはこの年のみ、カイは最後の出現、ガムシとミミズは最高密度であった。中型動物は4季節とも低密度で、組成が似ていた。

4-8 特徴の有る種類の採集

福島(圃場)B区から碎片分離種ヤマトヒメミミズ(新種)が採集された¹⁰⁾。碎片分離は無性生殖の最も原始的なものとされ、増殖した個体は遺伝的に同一とされ、環境変化と個体維持との関連など今後の検討材料として有望である。また重金属を微粒体として体の後部に集積し、その後その部分を自ら切断することで重金属を排除するような形質を示すヒメミミズが採集された。さらにササラダニではアズマオトヒメダニ(新種)が採集され、この種は菌食性であった。つくばのA区からツクバハタケダニ(新種)が採集され、この種も菌食性であった。

5. 「知り得たこと」から環境保全をおもう

農業は攪乱を供なうものであり、環境保全とは相容れないものともされ、その矛盾のなかで、なんらかの一致点をえることははなはだ困難である。しかしさまざまな農法の中には、知ってか知

らずか環境保全を強く意識したものもある。その現地調査から得た知見に基づいた条件設定による実験を行なったところ、異なる”条件”下におかれた土壌動物の生態ならびに形態には、なんらかの差異が生じていた。たとえば種組成、空間水平垂直分布型、腸内容物、形態変異の種類と頻度、碎片分離種の有無などなど。はたしてこれらはその種として進化上良い方向へ向かっているのでは

表-4 農法の変更にともない担い手は生物に移る

対象	土 壌 圏 活 用 型	《機 能》	担い 手は
病虫害	無薬剤 根体質強化	《防ぐのは》 《強化するのは》	生物 ?
栄養源	有機物 省・無耕起	《栄養にするのは》 《耕すのは》	生物 生物

ろうか。畑地の土壌動物群集としてはどうであろうか。すくなくとも組成の多様化は、土壌動物を巡る畑地生態系のもつ意味が、条件(つまり作業管理)の成果として具体的にあらわれたといえる。

一連の生態研究から、畑地の土壌圏が、土壌動物の多様な条件(餌・住む場など)を満たすことができるほど多様な条件を整えるために必要な課題はつぎの3つと推定された。これらは不可分のようで、さらにその条件づくりは長期間の継続が必要である。そしてこの条件づくりが環境保全に資すると考える；

課題：家(場)が安定し、多様な食べ物があり、危険がすくないこと



条件づくり：無(省)耕起 有機物・草生被覆 無(省)耕起・無薬剤

参 考 文 献

- 1) Fujikawa, T. 1988a. Fluctuations of oribatid mites in Nayoro nature farming field during ten years. *Edaphologia* 39 : 29-37.
- 2) -. 1988b. Biology of *Tectocepheus velatus* (Michaels) and *T. cuspidendatus* Knulle. *Acarologia* 29 : 307-315.
- 3) -. 1995. Comparison among populations of *Tectocepheus velatus* (Michaels, 1880) from forests, grasslands and crop field. *Edaphologia* 55 : 1-82.
- 4) Nakamura, Y. 1988. The effect of soil management on the soil faunal makeup of a cropped andosol in central Japan. *Soil & Tillage Research* 12 : 177-186.
- 5) -. & Fujita, M, 1988. Abundance of lumbricids and enchytraeids in an organically field in northern Hokkaido, Japan. *Pedobiologia* 32 : 11-14.
- 6) -. et al. 1988. Comparisons between the enchytraeid worm populations in tilled and non tilled plots of upland rice. *Pedobiologia* 31 : 141-146.
- 7) -. 1989. Oribatids and enchytraeids in ecofarmed and conventionally farmed dryland grainfields of central Japan. *Pedobiologia* 33 : 389-398.
- 8) 中村好男. 1991. 土壤生態系活用型農業とそれを支える土壤動物. 東北農業研究別号. 4 : 43-59.
- 9) -. 1993. 土壤動物の働きー生物性. 農業を支える土のいきものー土壤動物. 学術会議公開 シンポジウム要旨. 1-8.
- 10) Nakamura, Y. 1993. A new fragmenting enchytraeid species, *Enchytraeus japonensis* from a cropped kuroboku soil in Fukushima, northern Japan. *Edaphologia* 50 : 37-39.
- 11) 自然農法共同研究グループ. 1987. 重粘性土壤畑の土壤動物による育土. 自然農法名寄農場の 1976年4月から1986年3月まで. 自然農法国際研究開発センター p. 230.