

F-1 地理的スケールにおける生物多様性の動態と保全に関する研究

(2) バイオトープ間の相互作用が生物多様性に及ぼす影響の解明

独立行政法人農業技術研究機構畜産草地研究所

飼料生産管理部	上席研究官	井村 治	(重点研究支援協力員 時 坤)
草地生態部	草地資源評価研究室	佐々木寛幸	
放牧管理部	草地管理研究室	西田智子	
飼料生産管理部	害虫管理研究室	森本信生	
	栽培生理研究室	渡辺 修・黒川俊二・尾上桐子・吉村義則	

平成 11～13 年度合計予算額 32, 713 千円

(うち、平成 13 年度予算額 8, 984 千円)

[要旨] 草地は草原性の多様な生物相を保全する面(ポジティブな面)と、外来雑草が侵入した周辺へ逸出することにより地域の多様性を脅かすといった側面(ネガティブな面)を持っている。草地の生物多様性に対するポジティブな面(対象:昆虫)とネガティブな面(対象:外来雑草)からの評価を栃木県那珂川流域で行った。

草地の昆虫の広域的な動態とその保全方法を明らかにするため、栃木県那珂川流域を中心に東西 45 km、南北 70 km 域内にある 18 地点の放牧場で、糞虫と吸血性のアブを、1999～2001 年の 3 年間調査し、栃木県の放牧草地の糞虫と吸血性アブの広域的な分布と群集構造を明らかにした。また気象、地理、放牧に関わる情報を収集した。得られた昆虫の生物情報と地理・放牧情報を用いて解析したところ、生物学要因や気象・放牧要因が糞虫の群集構造に影響を与えていることが明らかになった。またこれら昆虫群集の動態に対しては時間的な要素より空間的な変動要素が大きいことが明らかになった。GIS 情報から草地と周辺の景観要素の空間的分布をフラクタル次元によって評価して解析したところ、糞虫の多様性に対しては落葉広葉樹林と牧草地が、またアブでは落葉広葉樹林と水域が重要な景観要素であると評価された。得られた糞虫の多様性予測モデルを用いて栃木県北東部の広域的な糞虫の多様性マップを作成した。

輸入飼料経路で全国に侵入する外来雑草の発生に関わる地理的要因を抽出するために、那珂川流域をモデル地域として発生地点の詳細な調査を行った。発生している外来雑草の生育地は種によって大きく異なり、大きく分けると、農耕地に限定されている種と非農耕地にも逸出している種とがあった。発生の比較的多い種について、地理情報から発生地点を予測する回帰式を計算した結果、あてはまりが良い式が得られ、イチビおよびアメリカセンダングサなどでは地理的要因から発生地域を予測できる可能性が示された。

[キーワード] 草地、昆虫類、外来雑草、GIS、予測モデルによる地図化

1. はじめに

草地生態系は、草地周縁部のバイオトープとの間の相互作用を保ちながら草地固有の多様な生物相を維持している(ポジティブな面)。しかし、かつて国土の 10%以上の面積を占めていたと

いわれる日本の草地は、近年有畜農業や牧畜業の衰退にともなう草地の改廃などにより、その面積は国土の4%程度（環境省、2001）¹⁾にまで減少してきている。その結果、草地に依存した生物種の多様性が危機的な状況になっていると懸念されている（中越、1999）²⁾。例えば植物のオキナグサ、ヒゴタイ、フジバカマ、チョウのオオルリシジミ、チャバネセセリ、オオウラギンヒョウモン、鳥類のオオジシギなどいずれも草原性の生物である多くの種が環境省のレッドデータに載るまでに減少している。一方、近年、全国の飼料草地を中心に外来雑草の発生が爆発的に増加し、農業生産に大きなダメージを与えている。一部の種では農耕地での発生だけにとどまらず、自然生態系へも逸出しており、草地は地域の固有植生の多様性を脅かすといった側面も持っている（ネガティブな面）。こうした生物多様性に草地の有り様（タイプ、放牧・管理方法、景観的・地理的立地条件など）がどのように関わっているかはよく分かっていない。草地は個々の営農単位の面積が広く、異なる周辺環境の中に散在しており、草地の生物多様性の動態を明らかにするには、地理情報と生態学的情報を統合した新しい研究手法が必要とされている。本研究では、草地の生物多様性に対するポジティブな面（対象：昆虫）とネガティブな面（対象：外来雑草）からの評価を、栃木県那珂川流域の地域をモデルにして行う。

2. 研究目的

放牧や採草草地に生息している昆虫として、草地の物質循環や放牧管理に大きく関わっている糞虫と吸血性のアブがいる。両昆虫とも在来の種はその分布がほとんど極東に限られていて、日本固有の種が多い。近年ダイコクコガネなどの糞虫の減少も危惧されており（島根県、1997）⁸⁾、これら昆虫の保全に係わる研究が緊急の課題となっている。本研究では、栃木県那珂川流域を中心に広域的に分布する放牧草地の糞虫や吸血性アブの多様性、特に草地と周辺バイオトープの間の相互作用がこれらの昆虫の多様性の動態に及ぼす影響を、昆虫の現地調査を行うとともに生態学や地理情報システム（GIS）などの手法を用いた学際的研究により明らかにする。

一方、外来雑草は、家畜のえさの原料となる輸入穀物に種子が混入して侵入していると考えられている。そのため、えさとともに家畜の体内を通過した雑草種子を含んだ家畜排泄物が飼料畑に散布され、そこが一次侵入地として機能することが、全国各地で同時に発生している原因であると考えられている。このように、これまでの帰化植物とは大きく異なる侵入・拡散パターンを示すため、発生予測のために既知の帰化植物についての知見を直接当てはめることが困難である。本研究では、外来雑草の分布に関わる地理的要因の抽出を行うためGISの機能を利用して、那珂川流域において外来雑草の発生位置情報を地図化し、外来雑草の分布を規定する地理的要因を明らかにする。

3. 研究方法

(1) 放牧草地の昆虫の群集構造と多様性をもたらす要因

① 野外調査

栃木県那珂川流域を中心に東西45km、南北70km域内にある18地点の放牧場（内1地点は採草地）を調査対象に選んだ（図1）。糞虫は牛糞400gを用いたザルトラップを各地点3個設置し、翌日回収して糞とザルの中の土から糞虫を分離した。アブは炭酸ガスを誘因源にした蚊帳トラップを地点ごとに約3時間設置して捕獲した。また、放牧場ごとに5つのコドラート（1m×1m）

をランダムに5個設定し、植物種数と群落高を測定した。放牧強度 (kg/cm²) を示す指数として、コドラート内の土壌硬度を山中式土壌硬度計によって測定した。また調査地点の位置情報をGPSにより測定した。調査は1999~2001年の3年間、調査地点ごとに5月から10月まで毎月1回行った。

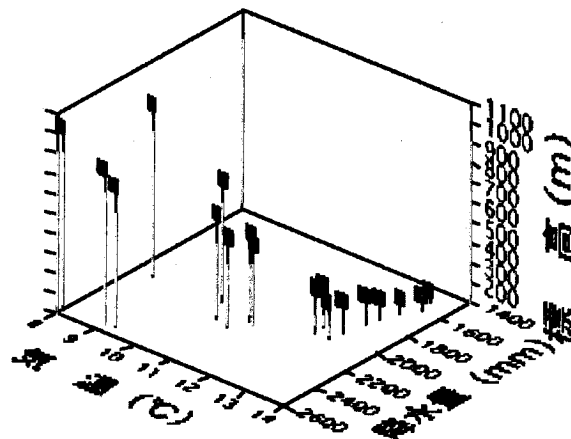


図1. 調査した栃木県北東部の放牧・採草草地

図2. 調査した放牧草地の環境傾度

② 牧場および放牧情報の収集

牧場開設後の年数，草地面積，毎年の放牧頭数，牛種，放牧期間などの情報を牧場毎に収集した。

③ 気象，地理情報の収集

各調査地点の標高，気象情報は調査地点の位置情報によりメッシュデータから推定した。これらの情報から見て，各放牧草地は図2のような環境傾度上に分布していた。植生及び土地利用情報は，環境庁5万分の一現存植生図から昆虫のバイオトープ（生息地）として10の凡例（景観要素），落葉広葉樹林（クヌギ-コナラ林），針葉樹林，人工林（スギ，ヒノキ，サワラ），低木，草本（自然），水田，畑，牧草地，市街地，水域を抽出し，栃木県のベクターデータを作成した。調査地周辺の各景観要素の空間的分布を評価するために，粗視化法によってフラクタル次元³⁾を調査地点を中心として1 km単位で1辺10 kmまでの方形区域について算出した。

④ 解析方法

昆虫の群集構造や環境要因の解析には，クラスター分析（UPGMA），除歪対応分析（DCA），正準対応分析（CCA），変数選択型重回帰分析（Stepwise MRA）などの多変量解析を用いた。昆虫群集の時間的および空間的動態を，多変量解析ソフトADE-4（リヨン大学）⁴⁾を用いて時間的効果と空間的効果を分離して解析した。

(2) 外来侵入雑草の分布とそれに関わる地理的要因

① 調査地域

那珂川と箒川に挟まれた那須野が原地域（面積：約400km²）とした（図3）。

② 調査対象種

主要な外来雑草である、イチビ、アメリカセンダングサ、シヨクヨウガヤツリ、シロバナチヨウセンアサガオ、イヌホオズキ類、ワルナスビ、アレチウリ、オオオナモミ、ブタ

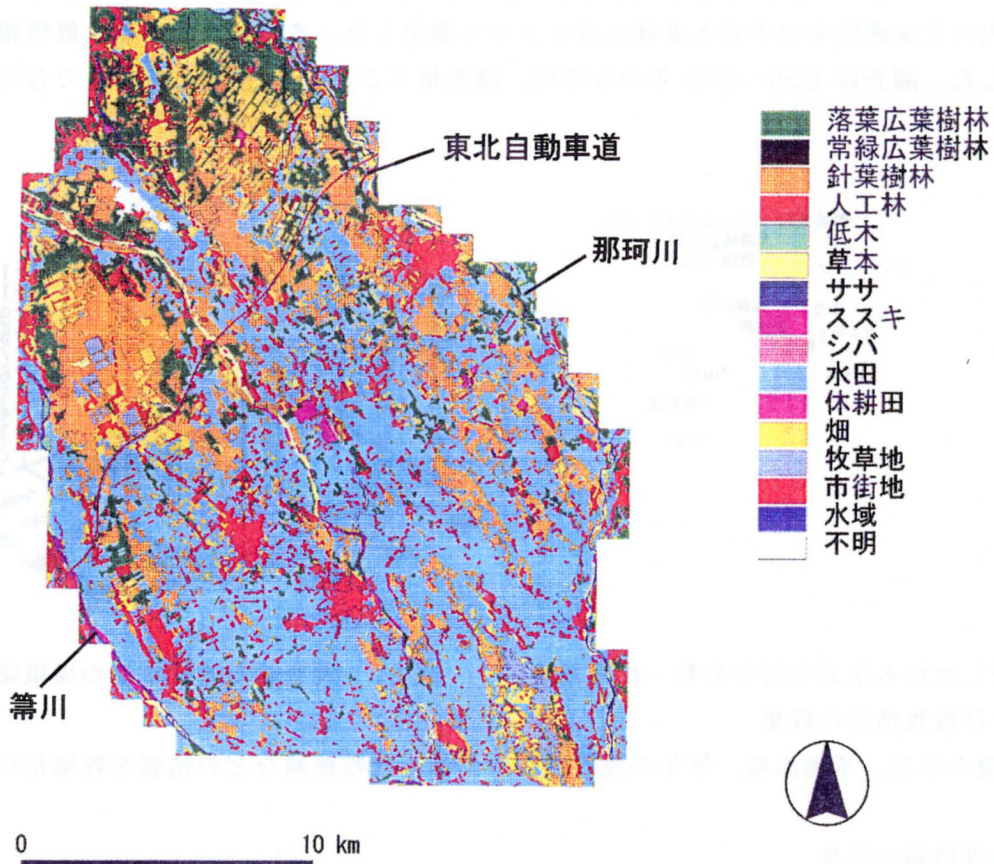
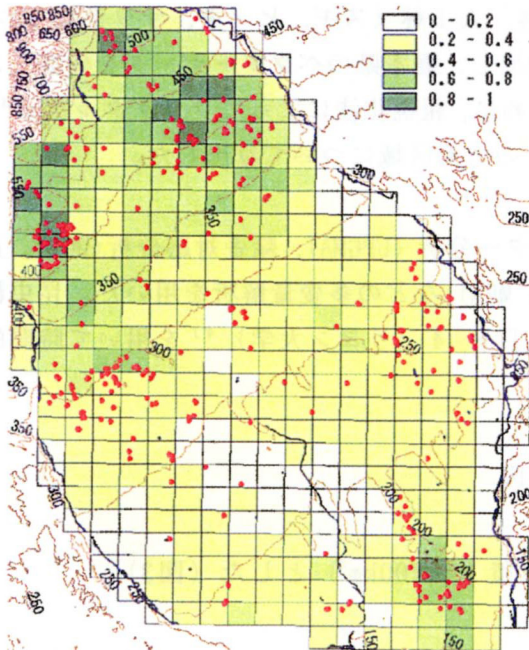


図3. 調査地域の植生図

イチビ



アメリカセンダングサ

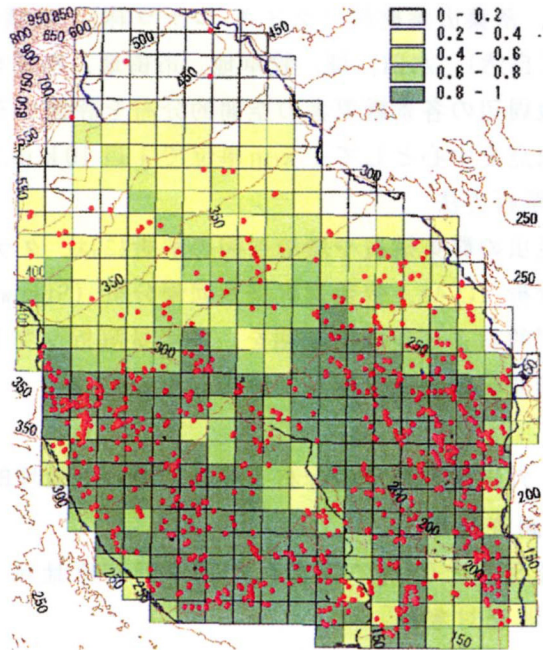


図17. 那須野が原地域におけるイチビおよびアメリカセンダングサの発生地点とロジスティック回帰による存在確率

クサ、センナリホオズキ、コセンダングサ、ゼニバアオイおよびアメリカキンゴジカの13種類とした。

③ 分布調査方法

調査は1999年および2000年の7月から8月にかけて、次のような方法で行った。まず、調査地域内を900mメッシュに区切り、その交点を目標地点として定め、それに向かって自動車で移動する際に、対象種が発見された地点の位置情報と生育地情報を記録した。位置情報の記録は、携帯型GPS (Global Positioning System: Germin社製) によって行った。

④ 地理情報システムの構築

GISソフトとしてEsri社ArcView、Erdas社IMAGINEを用いた。ベースマップとして国土地理院数値地図25,000、地理情報として、環境庁1/50,000現存植生図(第3、4、5回)、3次メッシュ国土数値情報(自然地形、土地利用面積、気象)を利用した。

4. 結果・考察

(1) 放牧草地の昆虫の群集構造と多様性をもたらす要因

① 昆虫群集

3年間の調査で、糞虫は全18地点で計25種、約5万個体が捕獲され、栃木県でこれまでに記録された糞虫種の40%以上の種が出現した。アブも計26種、約9千個体が捕獲され、放牧草地はこれらの昆虫の重要な生息場所であることが明らかになった(表1)。

表1 栃木県北東部の放牧草地で記録された糞虫と吸血性アブ類(1999~2001年)

糞虫	種数	吸血性アブ	種数
センチコガネ亜科	2	アブ亜科	23
ダイコクコガネ亜科	8	キンメアブ亜科	3
マグソコガネ亜科	15		

しかし、各放牧草地の昆虫群集は、種数や個体数においてそれぞれ特徴的なパターンを示した(図4,5)。

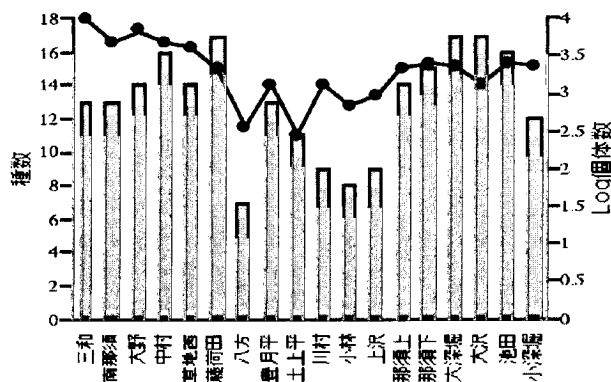


図4. 栃木県北東部の放牧草地の糞虫群集

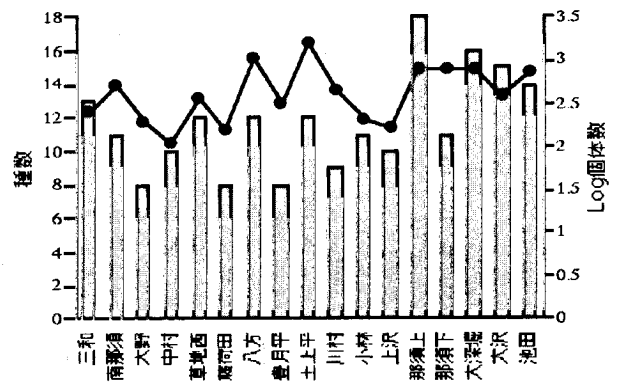


図5. 栃木県北東部の放牧草地のアブ群集

(1999-2001年, 棒グラフ: 種数, 折れ線グラフ: 総個体数)

② 昆虫群集の分類

糞虫とアブの在・不在データを用いて、各放牧草地の昆虫群集の分類を行った(図6,7)。両昆虫グループとも地理的(距離や標高)に近い群集が近い距離に分類され(図1参照)、気象や地理的な要因が昆虫の群集構造に影響を与えている可能性を示した。また各牧場は来歴や放牧管理の仕方において異なっており、昆虫の群集構造に対するこれらの要因も無視できないと考えられる。

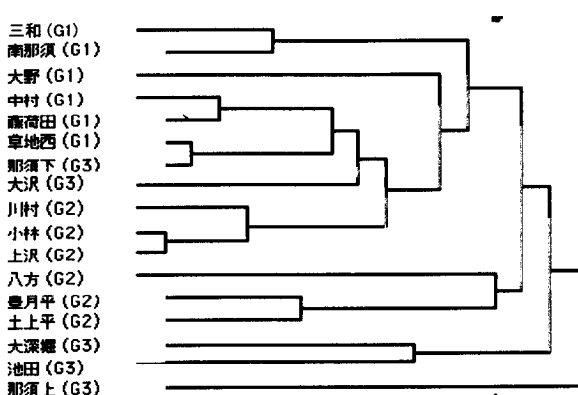
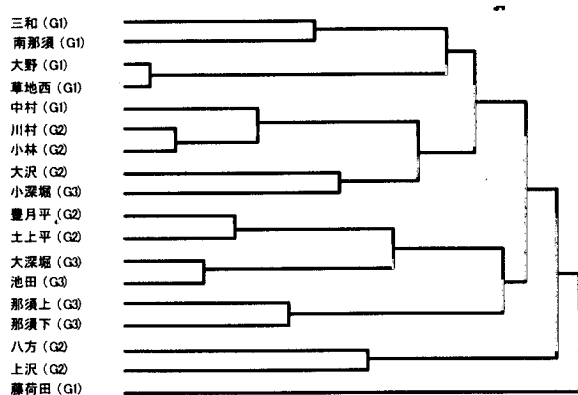


図6. クラスタ分析(群平均法)による糞虫群集の分類

図7. 同じくアブ群集の分類

③ 種内・種間関係

種内・種間関係が糞虫の群集構造に影響を与えているかどうかについて検討した。図8は上位10 優占種の糞虫個体数と相対ニッチ幅⁵⁾の関係を示している。個体数が多い種ほどニッチ幅が大きいという説があるが、糞虫ではこの関係は見られなかった。さらに、相対ニッチ幅の観測値と中立モデル⁶⁾からの期待値の分布を調べたところ、両者には有意な差はなかった(図9)。ニッチ幅については種内・種間関係による影響は検出できなかった。

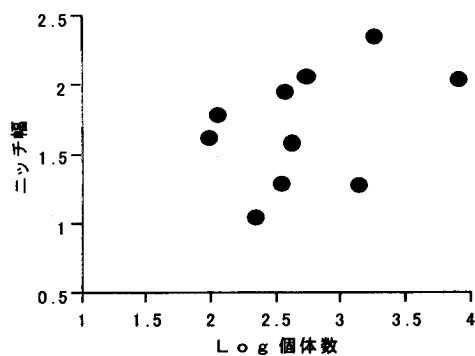


図8. 糞虫種の個体数とニッチ幅の関係

種間のニッチの重なり(森下のC- δ)は大きい組み合わせも見られ、その平均値は中立モデル

による期待値よりも有意に大きく ($P < 0.001$) (図 10)、糞虫の群集においてはその種構成に対して競争より協同作用の働きの重要性が示唆された。さらに種間の間接的相互作用を見るための Γ マトリックス (Lawlor, 1979) ⁷⁾ においても、種間の協同作用の存在を示す組み合わせ (正の符号) が多く見られた ($> 40\%$ の組合)。糞虫は餌資源利用あるいは天敵回避のために、同所的に出現したり同じ糞塊を利用する傾向があるかも知れない。

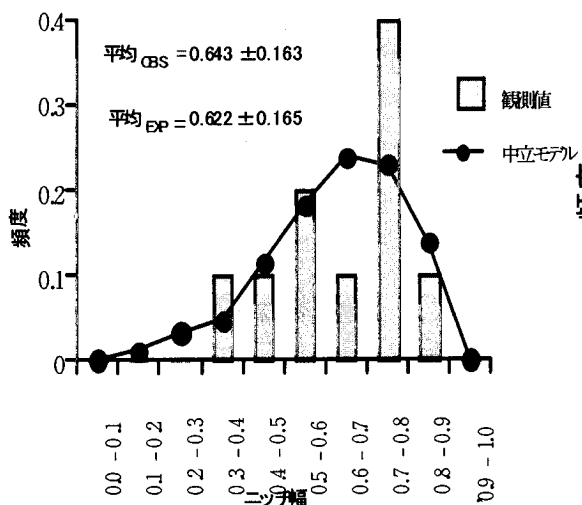


図 9. 糞虫優先種 10 種のニッチ幅の観測値 (棒グラフ) と中立モデルによる期待値 (折れ線)

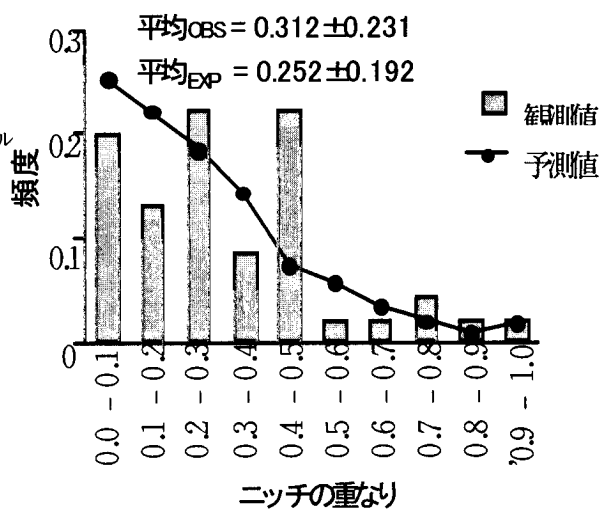


図 10. 糞虫優占種 10 種のニッチの重なり (森下の $C-\delta$) の観測値 (棒グラフ) と中立モデルによる予測値 (折れ線)

④ 昆虫の群集構造に対する環境・放牧要因の影響

各放牧草地の糞虫群集について、除歪対応分析 (DCA) による座標付けを行ったところ、第 3 軸までで全体の変動の内 57% までを説明することが出来た (図 11)。各座標軸に対する環境・放牧要因の重回帰分析 (MRA) を行ったところ、糞虫の群集構造に対して気象要因として気温、降水量、放牧要因として放牧頭数、放牧期間などが影響を与えている可能性が示唆された。さらに群集構造と環境要因の関係を明らかにするために、正準対応分析 (CCA) を行ったところ、気温、放牧頭数次いで放牧期間が群集構造に関わっていることが示された (図 12)。

しかし、図中の第 1 軸と第 2 軸で説明される変動は全体の 40% であり、気象や放牧に関わる要因以外にも糞虫の群集構造に影響していることが予測された。

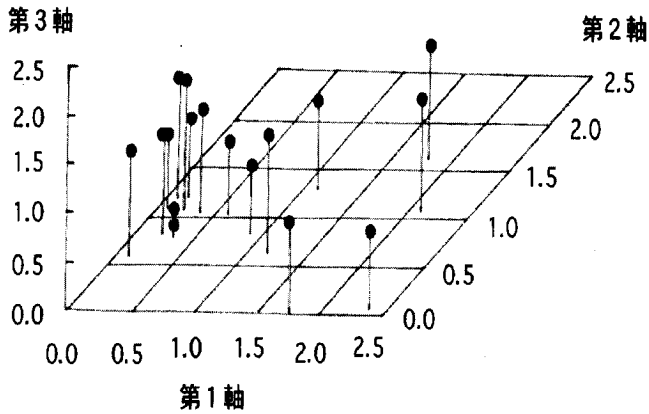


図 11. DCA による糞虫群集の座標付け

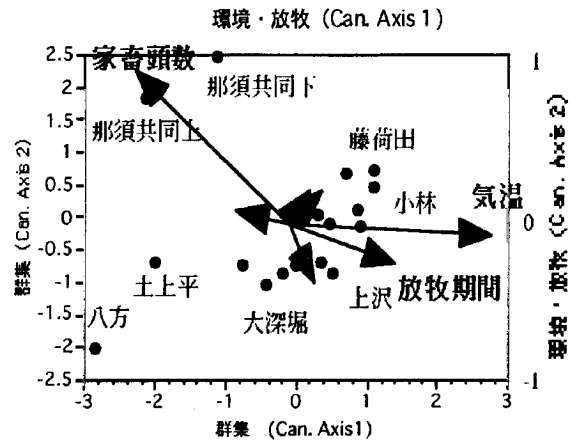


図 12. CCA による糞虫群集の座標付けと放牧・気象要因との関係

⑤ 昆虫群集の時間・空間的動態

3年間の調査データより、糞虫およびアブの群集において、放牧・採草草地の違いによる空間的な変動とともに（図 4,5 参照）、時間的（年次的）変動が予測された。これを除歪対応分析（DCA）による各昆虫群集の座標付けによって、視覚的に空間的・時間的な群集の変化を表した（図 13）。

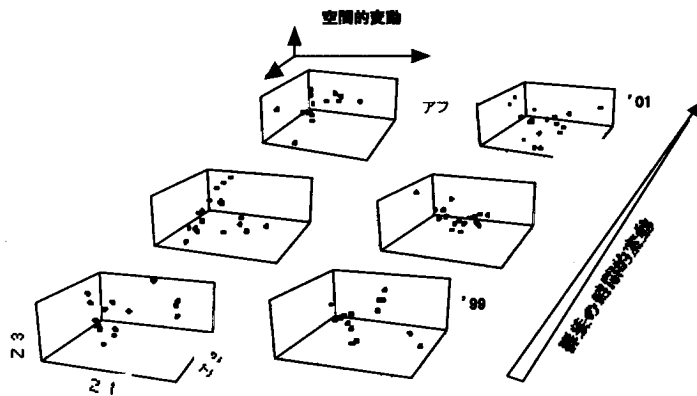


図 13. 糞虫とアブ群集の時間・空間的変動（DCA による座標付け）

群集の時間的、空間的動態を詳しく見るために主成分分析（PCA）を行ったところ、糞虫、アブとも空間的変動は大きいですが、時間的変動は相対的に小さいことが予測された（図 14）。

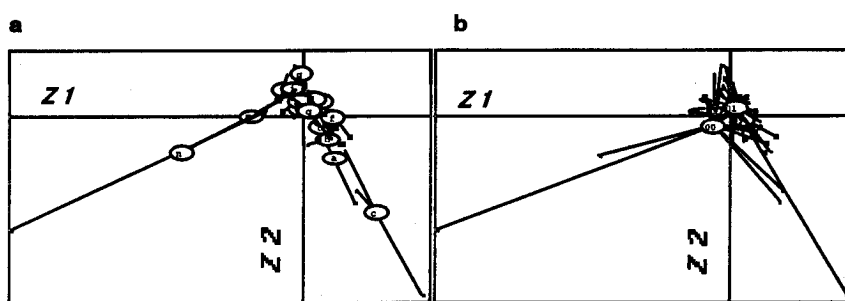


図 14. 糞虫群集の主成分スコア（1軸，2軸） a) 牧場間の変動
b) 年次間の変動 (a.b.c...：牧場； 99, 00, 01：年)

さらに，群集の変動を時間的な部分と空間的な部分に分けて解析したところ，糞虫，アブの群集ともに時間（年次）的な変動は少なく ($P > 0.05$)，空間（牧場の地理）的な変動要素が重要である ($P < 0.001$) ことが明らかになった（表 3）。

表 3. 主成分分析を用いた放牧・採草草地の糞虫とアブ群集の時間的・空間的動態の評価

分析	PC	年次内PC	年次間PC	場所内PC	場所間P
C					
糞虫					
総分散	21.00	20.02	0.98	9.81	11.19
Monte-Carlo test ^a			n. s.		***
アブ					
総分散	18.00	17.16	0.84	9.06	8.94
Monte-Carlo test ^a			n. s.		***

^a 1000 回試行

⑥ 放牧草地や周辺バイオトープと昆虫の多様性

糞虫やアブの群集の変動に対しては放牧・採草草地の地理的立地条件の違いが重要であることが明らかになったので，これらの昆虫の多様性と調査地の草地を含む周辺のバイオトープの関係を解析した。

放牧場周辺の植生及び土地利用情報として，環境庁 5 万分の一現存植生図から昆虫のバイオトープ（生息地）として 10 の凡例（景観要素）を抽出しベクターデータを作成したが（図 15），各要素の空間的分布を被度で評価して解析に用いることは適切でない判断された。このため各景観要素の空間的分布をフラクタル次元で評価することとし，粗視化法によってフラクタル次元を各調査地点を中心として 1 km 単位で 1 辺 10 km までの方形区域について算出した。

放牧場周辺 4 km（糞虫）と 6 km（アブ）の方形区域の各景観要素のフラクタル次元を用いた変

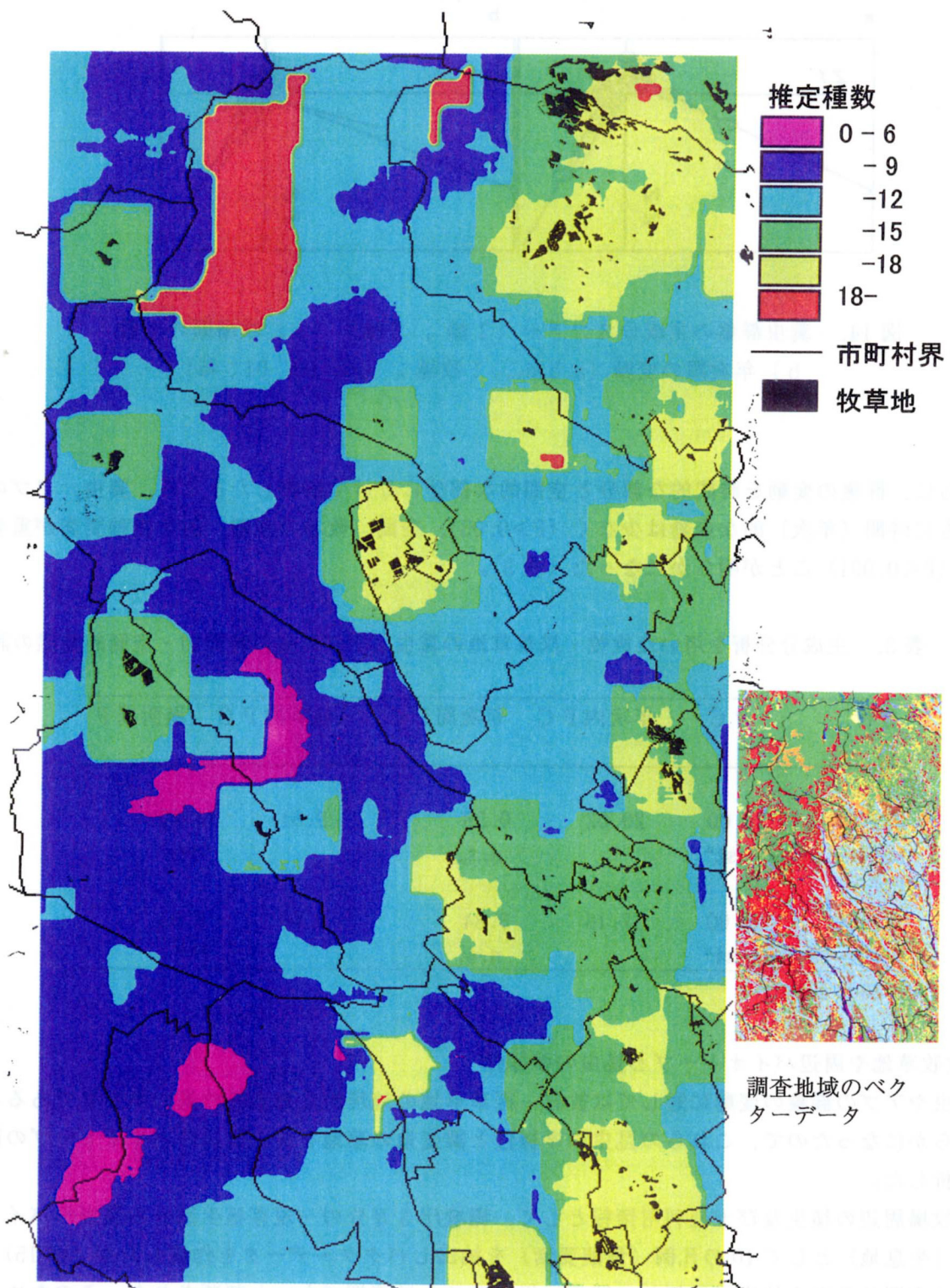


図15. GISデータ(右縮小図)を用いて多様性予測モデルから算出した栃木県北東部の糞虫の多様性マップ

数選択型重回帰分析の結果、多様性（種数）に対して糞虫では落葉広葉樹林と牧草地が増加要素、人工林が減少要素として評価された（表4）。またアブでは落葉広葉樹林と水域が増加要素、人工林や市街地が減少要素と評価された。糞虫では糞虫の主要な生息地（バイオトープ）である牧草地や多様な環境と動物糞資源が存在する落葉広葉樹林の相互作用が糞虫の多様性をもたらすものと考えられる。加えてアブでは、水域は幼虫にとっての重要な生息地である。

表 4. 放牧草地における調査地点周辺（4 km×4 km）の景観要素のフラクタル次元を説明変数とした変数選択型重回帰分析による糞虫種数の予測モデル

景観要素	偏回帰係数
落葉広葉樹	6.38
人工林	-16.10
牧草地	7.44
（切片）	16.83
R ²	0.65 ^{***}

^{***} P < 0.001

これらの結果から、糞虫やアブの多様性を保全するためには放牧草地を保全するだけでなく、周辺の景観（バイオトープ）も含めた保全を行うことが必要であることが明らかになった。

⑦ 地理的スケールにおける糞虫の多様性の予測マップ

草地の景観の定量的評価のためのフラクタル次元と糞虫の調査データから得られた前項の多様性予測モデルを用いて、栃木県北東部の糞虫の多様性の分布予測マップを作成した（図15）。自然景観に囲まれた放牧草地の点在する地域の多様性が高く予測され、糞虫の保全すべき地域を示唆している。図中の18種以上の予測地域（赤で表示）は本モデルでは予測範囲外であり、今後の詳しい調査が必要である。

(2) 外来侵入雑草の分布とそれに関わる地理的要因

① 外来雑草発生の概要

2年間の調査をあわせると、のべ1,816地点で調査対象種の発生が認められた（表5）。最も発生が多かったのは、アメリカセンダングサで、全体の半数以上の地点で発生していた。次に、イチビ、シヨクヨウガヤツリ、イヌホオズキ類の順に発生が多かった。発生している生育地は表5のように12種類に分類され、さらに、農耕地（飼料用トウモロコシ畑、牧草地、飼料畑の畦、家畜糞尿集積圃場、普通畑、水田、水田のあぜおよび樹園地）、非農耕地（空き地、路傍、水路・河川敷、林縁）に分けたところ、全体の79%が農耕地であった。最も多かった生育地は、輸入飼料経路で侵入する外来雑草の一次侵入地と考えられる飼料用トウモロコシ畑で、次いで、水田のあぜであった。このことから、飼料畑環境だけでなく、あぜの管理についても外来雑草の発生に大きな影響を与えていることが示唆された。

② 各草種の生育地の特徴

最も発生が多かったアメリカセンダングサは、発生地点の75%が水田および水田のあぜで、水田が多い、調査地域の中部から南部にかけて多く分布していた。この植物は、水陸

表5. 調査対象外来雑草種が発生していた生育地

草種名	生育地													発生割合(%)		
	農耕地						非農耕地							計	農耕地	非農耕地
	飼料用トウモロコシ畑*	牧草	飼料畑畦	糞尿集積圃場	畑	水田	水田畦	樹園地	空き地	路傍	水路・河川敷	林縁				
イチビ	277	5	5	11	8	0	10	1	24	5	0	0	346	91.6	8.4	
アメリカセンダングサ	20	1	10	6	4	267	418	3	57	123	5	1	915	79.7	20.3	
シヨクヨウガヤツリ	127	6	3	3	0	1	6	0	9	1	0	0	156	93.6	6.4	
シロバナチョウセンアサガオ	5	1	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	9	77.8	22.2	
イヌホオズキ類	31	1	8	3	4	0	34	1	11	18	0	0	111	73.9	26.1	
ワルナスビ	30	1	4	1	1	0	19	0	3	27	0	3	89	62.9	37.1	
アレチウリ	12	1	1	7	1	0	1	0	11	10	3	3	50	46.0	54.0	
オオオナモミ	5	1	1	0	0	0	0	1	6	5	0	0	19	42.1	57.9	
ブタクサ	19	1	5	1	0	0	7	1	21	28	0	0	83	41.0	59.0	
センナリホオズキ	0	0	2	0	0	0	2	0	0	1	0	0	5	80.0	20.0	
コセンダングサ	2	0	3	1	0	0	0	0	5	5	0	1	17	35.3	64.7	
ゼニバアオイ	4	0	1	1	0	0	1	0	2	0	0	0	9	77.8	22.2	
アメリカキンゴジカ	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	100.0	0.0	
合計	539	18	44	34	18	268	498	7	151	223	8	8	1816	78.1	21.9	

*ソルガム畑を含む

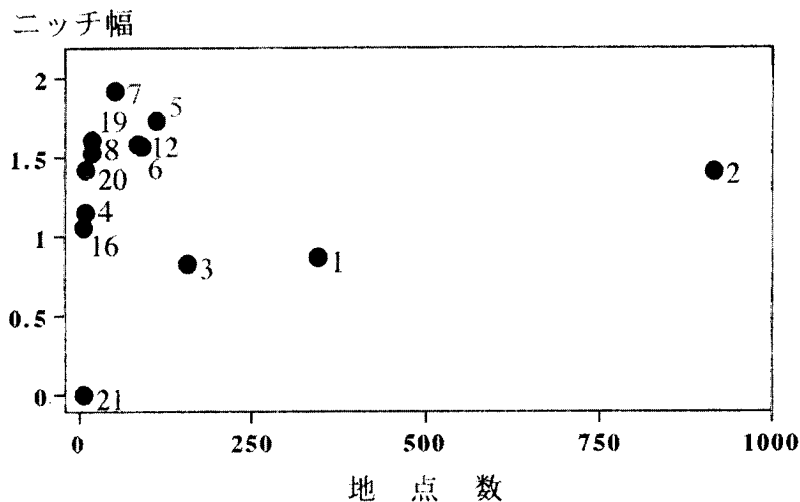


図16. 調査対象外来雑草種の発生地点数とニッチ幅の関係
 ニッチ幅は12種類の生育地(表1)をニッチとしてShannon-Wiener 関数により計算した。
 番号はそれぞれ、1:イチビ、2:アメリカセンダングサ、3:シヨクヨウガヤツリ、
 4:シロバナチョウセンアサガオ、5:イヌホオズキ類、6:ワルナスビ、7:アレチウリ、
 8:オオオナモミ、12:ブタクサ、16:センナリホオズキ、19:コセンダングサ、
 20:ゼニバアオイ、21:アメリカキンゴジカを示す。

表6. 地理的要因を説明変数とした発生地点数上位7草種のロジスティック回帰式

種名	存在確率を示す回帰式
アメリカセンダングサ	$P(x) = \frac{1}{1 + \exp(49.84 - 0.02\text{Pad} + 0.06\text{Gra} + 0.25\text{Wat} + 0.03\text{Cit} - 2.24\text{T}_2 - 0.02\text{P}_2 - 0.01\text{P}_3)}$
イチビ	$P(x) = \frac{1}{1 + \exp(-3.38 - 0.03\text{Fie} + 0.21\text{Wat} + 0.03\text{Cit} + 0.97\text{T}_4 - 0.03\text{P}_2 + 0.04\text{P}_4)}$
シヨクヨウガヤツリ	$P(x) = \frac{1}{1 + \exp(-14.47 - 0.02\text{Pad} - 0.04\text{Fie} + 3.96\text{T}_3 - 0.04\text{P}_2 + 0.04\text{P}_3 - 3.43\text{R}_1 - 2.64\text{R}_3)}$
イヌホオズキ類	$P(x) = \frac{1}{1 + \exp(128.6 - 0.01\text{Pad} - 0.02\text{Dec} + 0.22\text{Wat} - 0.06\text{P}_2 + 0.01\text{P}_3 + 0.06\text{P}_4 - 7.35\text{R}_2)}$
ワルナスビ	$P(x) = \frac{1}{1 + \exp(15.38 - 0.03\text{Fie} + 0.26\text{Wat} - 1.41\text{R}_4)}$
アレチウリ	$P(x) = \frac{1}{1 + \exp(-54.24 - 0.04\text{Pad} - 0.06\text{Fie} - 0.03\text{Con} + 1.69\text{T}_1 + 0.02\text{P}_3 + 3.15\text{R}_3)}$
ブタクサ	$P(x) = \frac{1}{1 + \exp(-4.36 - 0.05\text{Fie} + 0.33\text{Wat} + 0.04\text{Cit} - 2.25\text{T}_1 - 0.01\text{P}_3 + 2.19\text{R}_4)}$

P(x): 存在確率

Pad: 水田、Fie: 畑・牧草地、Con: 人工・針葉樹林、Dec: 落葉広葉樹林、Grass: 草本・低木、Wat: 水域、

Cit: 市街地、 $T_{1\sim 4}$: 1年を4に分けた時のそれぞれの平均気温、

$P_{1\sim 4}$: 1年を4に分けた時のそれぞれの降水量、 $R_{1\sim 4}$: 1年を4に分けた時のそれぞれの日平均日射量

両用と言われているが、畑環境での発生は少なかった。これは、この種の種子散布が、動物によるものだけでなく、水によっても行われることが知られており、この地域では下流側の大部分が水田で占められていたためかもしれない。

イチビおよびシヨクヨウガヤツリは、発生している生育地が非常に良く似ており、圧倒的に農耕地に偏っていた（それぞれ 91.6%、93.6%）。特に、飼料用トウモロコシ畑で発生が多く（それぞれ 80.1%、81.4%）、飼料畑が分布しているところに限定して発生していた。このような植物は、農耕地からの逸出が少ないと考えられ、自然生態系に対する直接的な影響は小さいかもしれない。

次いで発生の多かった、イヌホオズキ類とワルナスビでは、農耕地だけでなく、非農耕地でも発生が確認されており（25%以上）、特に、路傍での発生が多かった。今後、さらに非農耕地への逸出が進むのかどうか注目される。

非農耕地での発生が農耕地での発生を上回った種としては、アレチウリ、オオオナモミ、ブタクサがあり、農耕地での影響よりも、わが国固有の自然生態系への影響が懸念される植物として注目される。

③ ニッチ分析

本調査によって分類された、12種類の生育地を外来雑草の生存可能なニッチとみなして Shannon-Wiener 関数からニッチ幅を計算し、発生地点数との関係を見たところ（図 16）、アメリカセンダングサ、イチビおよびシヨクヨウガヤツリは、調査地域内での発生地点数が比較的多いにもかかわらず、ニッチ幅は他の草種に比べてそれほど大きくなかった。このことは、これらの種が特定の生育地にのみ適応していることを示しており、今後発生地点数がさらに増加しても、他のニッチに拡大する可能性は小さいと考えられる。

一方、アレチウリ、イヌホオズキ類、ワルナスビ、ブタクサおよびオオオナモミのように、発生地点数が比較的少ないにもかかわらずニッチ幅が非常に大きいものも見られ、これらは様々な環境に適応できる草种群であると考えられる。特に、アレチウリ、ブタクサなどは様々な場所で大発生し問題になっていることを裏付けるデータであると考えられる。これらの種は自然生態系へのインパクトが大きい種であるかもしれない。

④ 分布に関わる地理的要因

50 地点以上で発生が見られた 7 種（アメリカセンダングサ、イチビ、シヨクヨウガヤツリ、イヌホオズキ類、ワルナスビ、アレチウリおよびブタクサ）について、1km²を単位として、発生の‘有’‘無’と、地理的要因（土地利用面積および気象データ）との間で、変数選択法によりロジスティック回帰式を計算したところ、すべての種において有意な回帰式が得られた（表 6）。選択された変数は種によって異なっており、最も発生地点数が多かったアメリカセンダングサでは、水田（Pad）、草本・低木（Grass）、水域（Wat）、市街地（Cit）、4月～6月の平均気温（T2）、4月～6月の降水量（P2）および7月～9月の降水量（P3）が選ばれた。イチビでは、畑・牧草地（Fie）、水域（Wat）、市街地（Cit）、10月～12月の平均気温（T4）、4月～6月の降水量（P2）および10月～12月の降水量（P4）が選ばれた。これらの式による存在確率と実際の発生地点を地図上で重ねてみると、アメリカセンダングサ、イチビ、シヨクヨウガヤツリなどは非常によく一致しており、地理的要因から発生地点を予測できる可能性が示された（図 17）。一方、ワルナスビやイヌホオ

ズキ類などあまり一致していないような種も見られ、これらの種は地理的要因のみで分布を説明することは難しいと考えられた。外来雑草の発生には、輸入飼料や作業機械によって運ばれるという、人為的な要因が非常に大きく関わる事が予想され、より正確に発生地の子測を行うためには人為的な要因を考慮する必要であると考えられる。しかし、今回地理的要因だけである程度分布を説明できた種があったことは意義が大きく、これらの種の回帰式については、他地域での検証を行った上ですぐに全国規模の調査に応用できると考えられる。

5. 本研究により得られた成果

- (1) 栃木県の放牧草地の糞虫と吸血性アブの広域的な分布と群集構造が明らかになった。
- (2) 生物学要因である種内・種間関係は、糞虫のニッチ幅（草地間の分布）には影響を与えていないが、種間のニッチの重なりを大きくする傾向にあり、糞虫の群集において種間の協同作用の重要性が示唆された。
- (3) 多変量解析により、気温、放牧頭数や放牧期間などの気象・放牧要因が広域的な糞虫の群集構造に関わっていることが示された。
- (4) 主成分分析 (PCA) によって昆虫群集の変動を時間的な部分と空間的な部分に分けて解析したところ、糞虫と吸血性アブの両群集ともに時間（年次）的な変動は少なく、空間（牧場の地理）的な変動要素が重要であることが明らかになった。
- (5) GIS 情報を作成し、草地と周辺バイオトープの空間分布をフラクタル次元によって評価した。重回帰分析の結果、多様性（種数）に対して糞虫では落葉広葉樹林と牧草地が、またアブでは落葉広葉樹林と水域が増加要素と評価された。これらの結果から、糞虫やアブの多様性を保全するためには放牧草地を保全するだけでなく、周辺の景観（バイオトープ）も含めた保全を行うことが必要であることが明らかになった。
- (6) 得られた糞虫の多様性予測モデルを用いて栃木県北東部の広域的な糞虫の多様性マップを作成した。
- (7) 那珂川流域における主要外来雑草の発生地を地図上にプロットすることができた。
- (8) 発生地点の生育地情報から、発生が農耕地に限定されている種と非農耕地まで生育可能な種に分けることができた。
- (9) 各種地理情報を独立変数としてロジスティック回帰を行った結果、発生を説明できる回帰式を得ることができ、これらの雑草の発生予測図を作成した。

6. 引用文献

- 1) 環境省 (2001) 第5回自然環境保全基礎調査
- 2) 中越信和 (1999) 特集 I 日本の草地が危ない. 遺伝 53: 14-47.
- 3) Milne, B. T. (1991) Lessons from applying fractal models to landscape pattern. In Quantitative Methods in Landscape Ecology. (Turner, M.G. and R.H. Gardner eds.) Springer-Verlag, pp.199-235.
- 4) Thioulouse, J., D. Chessel, S. Doledéc and J-M. Olivier (1997) ADE-4: a multivariate analysis and graphical display software. Statistics and Computing 7, 75-83.

(<http://pbil.univ-lyon1.fr/ADE-4/ADE-4.html>も参照)

- 5) Colwell, R. K, and E. R. Futuyma (1971) On the measurement of niche breadth and overlap. Ecology 52, 567-576.
- 6) Lawlor, L. R. (1980) Structure and stability in natural and randomly constructed competitive communities. Am. Nat. 116, 394-408.
- 7) Lawlor, L. R. (1979) Direct and indirect effects of N-species competition. Oecologia 43, 355-364.
- 8) 島根県 (1997) 島根レッドデータブック 島根県環境生活部景観自然課, 417pp.

[国際共同研究等の状況]

- ① 中国内モンゴル自治区フーリンベール区と草原の生物多様性保全について共同研究を検討中 (未実施)。
- ② 国際生態学会議 (2002年8月, 韓国, ソウル) で, 東アジアの草地の生物多様性の保全と管理についてシンポジウムを行う。

[研究成果の発表状況]

(1) 誌上発表 (学術誌・書籍)

- ① 井村 治: 農業及び園芸 76, 1151-1157 (2001)
「農業と生物多様性」
- ② 渡辺修、黒川俊二、佐々木寛幸、西田智子、尾上桐子、吉村義則: 草地学会誌 48, 印刷中 (2002)
「地理的スケールからみた外来雑草の分布と発生」

著者「」

(2) 口頭発表

- ① 森本信生、井村 治: 日本応用動物昆虫学会 (2000)
「栃木県の放牧地におけるアブ相」
- ② 井村 治、森本信生、時 坤: 第48回日本生態学会 (2001)
「放牧場の糞虫群集の構造と多様性」
- ③ 時坤、井村 治、森本信生、佐々木寛幸: 日本草地学会 (2001)
「放牧草地における鳥類群集の環境選択」
- ④ 森本信生、井村 治、時 坤: 日本草地学会 (2001)
「放牧草地におけるアブ群集の構造」
- ⑤ 佐々木寛幸、小路 敦、神山和則、井村 治、森本信生、時 坤: 日本草地学会 (2001)
「標高等の連続値に対するフラクタル次元の適用性」
- ⑥ 井村 治、森本信生、時 坤、佐々木寛幸: 日本生態学会大会 (2002)
「放牧草地の昆虫の多様性をもたらす立地条件」
- ⑦ 時 坤、井村 治、森本信生、佐々木寛幸: 日本生態学会大会 (2002)
「放牧草地における鳥類の環境選択」
- ⑧ 森本信生、井村 治、時 坤、佐々木寛幸: 日本応用動物昆虫学会大会 (2002)

「地理的要因がアブの群集構造に与える影響」

- ⑨ O. Imura, H. Sasaki, K. Shi, and N. Morimoto: International Congress of Ecology (2002)
"Landscape conserving dung beetle diversity in Japanese pastures"
 - ⑩ N. Morimoto, O. Imura, H. Sasaki, and K. Shi: International Congress of Ecology (2002)
"The effect of geographical factors on the community structure of horseflies in the pastures of Japan"
 - ⑪ K. Shi, O. Imura, N. Morimoto, and H. Sasaki: International Congress of Ecology (2002)
"Habitat selection of grassland birds in Japan"
 - ⑫ 渡辺 修、黒川俊二、尾上桐子、吉村義則：日本雑草学会第39回講演会（2000）
「GPSを利用したデータベースで見た外来雑草の圃場・地区レベルでの拡散について」
 - ⑬ 渡辺 修、黒川俊二、尾上桐子、吉村義則：第12回関東雑草研究会（2000）
「GPSおよびGISを用いた雑草発生地点のデータベース化」
 - ⑭ 渡辺 修、黒川俊二、尾上桐子、吉村義則：第48回日本生態学会（2001）
「外来雑草の生物的侵入と分布に関する地理的要因」
- (3) 出願特許
なし
- (4) 受賞など
なし
- (5) 一般への公表・報道等
- ① 草地試ニュース86号（2000年8月、放牧草地の昆虫の多様性について紹介）
 - ② 農業技術研究機構研究成果情報（2002）「糞虫の多様性をもたらす放牧草地の立地環境」
- (6) その他成果の普及、政策的な寄与・貢献について

今後、本研究成果である糞虫の多様性予測モデルや外来雑草の地理的要因による発生回帰式を学会誌における論文発表などを通じて広報・普及に努める。