

大津市瀬田丘陵の里山林における 地表性昆虫群集の多様性と環境異質性

谷垣 岳人・奥崎 穰

1. はじめに

里山では、定期的な伐採や毎年の下刈りや落葉かきなどの人為管理が行われてきた。しかし、昭和30年代に始まる高度経済成長期における燃料革命や化学肥料の普及により、里山の経済的価値は大きく低下し、里山の管理はほとんど行われなくなった。この里山管理の消失により里山林における植生のモザイク構造が消失し、それに伴う生物多様性の減少が報告されている。例えば植物相では、管理放棄林は植物の遷移により林床が暗くなり、林床植生の出現種数が減少する（細木ほか, 2001）。動物相では、管理放棄による生物多様性の増減は分類群によって異なり、チョウ類の多様性は減少する（石井, 2005）が、地表性甲虫類は長期放置区でもっとも種数・個体数が多い（谷脇ほか, 2005）。長期放置区で地表性甲虫類の多様性が高い理由は、土壌の発達だと予測されている（谷脇ほか, 2005）。一方、地表性甲虫類の多様性には、放棄時間に応じた土壌の発達だけでなく、空間的異質性も影響すると考えられる。例えば、管理放棄された里山林の内部環境は一般的に均一ではなく、相対的に乾燥した尾根や湿潤な谷を繰り返すなど異質な環境要因を含む。さらに過去の管理様式の異なる多様な植生を含むなど、比較的移動能力の小さい地表性昆虫類にとって里山林内部はモザイク状のマイクロハビタット構造と考えられる。このような環境の異質性は生物の多様性を増加させることが知られているが（Tews et al. 2004）里山林において環境の異質性が地表性昆虫類の多様性に与える影響についてはよく分かっていない。そこで本研究では、管理放棄後約40年経過した里山林内部の環境異質性と落葉かきというかく乱が地表性昆虫の多様性に与える影響について、ビットフォールトラップ法を用いて調べた。

2. 材料と方法

2.1. 調査地

調査地は滋賀県大津市の瀬田丘陵にある龍谷大学が所有する約38haの里山林「龍谷の森」とした。瀬田丘陵は、東西約5km南北約2kmの孤立林で北側は住宅地、南側はおもに水田が広がる。瀬田丘陵は1960年代の燃料革命に伴い、薪炭林としての利用が減少した。植生は、かつてはアカマツが優占していたが1960年代に伐採されその後放置された。同時期に小面積だがヒノキが植林された。現在はコナラ・ソヨゴが高木・亜高木層に優占し、ヒサカキが低木層に多い。調査地の土壌は古琵琶湖層群の砂礫層であり、年間平均気温は14.8℃、年間降水量は1577mmである（気象庁）。この林内に尾根や谷筋や植林地を含む調査地を15カ所設けた（図1、表1）。調査地CVO・VO・V1・CV1・QS・V2・V14・E3・E4・W1・W2・W3・W4は、高木層の優占種はコナラ

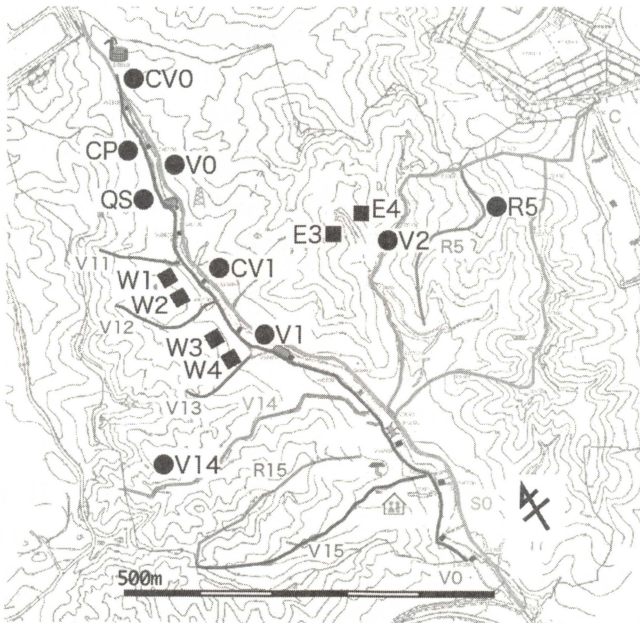


図1. 調査地の位置

表1. 調査地の概要

調査地	植生	標高 (m)	ルート杭番号
CVO	コナラ二次林	140	S ₀ 0870
V0	コナラ二次林	135	S ₀ 0765
CV1	コナラ二次林	130	S ₀ 0615
V1	コナラ二次林	125	S ₀ 0535
CP	ヒノキ植林地	135	S ₀ 0800
QS	コナラ二次林	135	S ₀ 0725
R5	ソヨゴ・アカマツ二次林	160	R5 0060
V2	コナラ二次林	130	C 0865
V14	コナラ二次林	140	V14 0390
E3	コナラ二次林	140	-
E4	コナラ二次林	140	-
W1	コナラ二次林	135	-
W2	コナラ二次林	135	-
W3	コナラ二次林	135	-
W4	コナラ二次林	135	-

で低木層の優占種はヒサカキである。V14周辺は粘土層が露出しており林床には湿性環境に多いリョウメンシダが林内で唯一出現する。E3, E4, W1～W4は、それぞれ20m×20mの方形区となっている。CVOとV0、V1とCV1、E3とE4、W1とW2、W3とW4はそれぞれの対で類似した植生・斜面方位となるよう調査地を選んだ。R5は調査地点の中ではもっとも高い標高160mの尾根で、高木層は発達せず亜高木層の優占種はソヨゴ・アカマツである。CPは面積約2100m²のヒノキの植林地で低木層の優占種はヒサカキである。

2.2. 調査方法

2.2.1. ピットフォールトラップ

調査はE3, E4, W1～W4では、2005年6月から2007年10月まで6, 8, 10月の年3回計9回行った。それ以外の調査地点では、2004年8月から2007年10月まで毎月1回計40回調査した。ただしV14は2006年6月から2007年10月まで毎月1回計16回調査した。地表性昆虫の採集にはピットフォールトラップ法を用いた。このトラップは口径7cmのふた付きプラスチックカップの口を地面と同じ高さになるように地中に埋め、調査日に二晩だけふたをあけた。トラップの誘因剤は用いず、採集個体の相互捕食

を避けるため約100mlの水を入れた。ただし5月から9月は腐敗防止のため10%エチレングリコール溶液を約100ml入れた。トラップの配置は、方形区E3, E4, W1~W4ではIBOY法 (Nakashizuka & Stork, 2002) に従い、トラップを1m間隔で十字に計5個配置した。それ以外の調査地点では、トラップを5m間隔で一列に計5個設置した。採集した個体は乾燥標本または70%エタノールの液浸標本にした。

2.2.2. 落葉かき

里山管理である落葉かき (A₀層のうちのL層のかき取り) が地表性昆虫類に与える影響を調べるため、落葉かきとりを行う管理区 (W4) とコントロールである未管理区 (W3) を設定した。管理区では20m×20mの方形区内の落枝・落葉を熊手で取り除いた。落葉のかきとりは、葉がすべて落ちた2006年1月と2007年1月に行った。

2.2.3. 環境計測

調査地点 (V1・CV1・V2・R5・V14・E3・W1・W2・W3・W4) では、マイクロステーションロガー (Onset社) を用いて、光量子・気温・湿度・土壌水分を記録した。ロガーデータは15分毎に記録した。ロガーデータから、2006年1月から2007年6月までの1ヶ月毎の平均値、最大値、最小値を算出し、その中から土壌水分が最も少なかった8月と通年の最高・最低気温のデータを解析に用いた (表2)。土壌水分値が0%を下回る地点があったので一番低い値を0%として、該当地点の全データを修正した。A₀層の厚さは2月に計測した。

2.3. 統計解析

採集した昆虫のうち、個体数が多く全種が同定できたオサムシ科の多様性度には Shannon-Weaver指数 (H') を用いた。

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$$

Sは群集に含まれる種の数、 p_i は種*i*の個体数が群集の全個体数に占める割合を表す。さらにオサムシ科優占種については、里山林内の微細環境の環境選好性を調べるため重回帰分析を行った (表6)。従属変数は、オサムシ科のShannon-Weaver指数 (H') お

よび100個体以上採集できた種：クロツヤヒラタゴミムシ・マルガタナガゴミムシ・キボシアオゴミムシ・オオクロツヤヒラタゴミムシ・ホソモリヒラタゴミムシ・マルガタツヤヒラタゴミムシ・ヒメツヤヒラタゴミムシ・オオオサムシの個体数を用いた。独立変数は、ロガーデータから年間を通じてもっとも土壌水分が少なかった2006年8月の平均気温・平均湿度・光量子・土壌水分と2006年1月から2007年6月までの最高気温・最低気温とA₀層の2月の厚さを用いた。独立変量の選択は赤池情報量基準（AIC）に基づいてステップワイズ法で行った。重回帰分析は、SPSS ver.15を用いた。解析に用いたピットフォールデータは、調査地点で調査頻度が異なるため、全調査地のデータがそろっている6, 8, 10月のデータを20日5トラップあたりの個体数に換算して解析に用いた（表5）。環境要因間の相関関係を調べるためPearsonの相関係数を求めた（表3）。

3. 結果

3.1. 地表性昆虫相

全調査を通じて採集された昆虫類は合計7310個体であった（表4）。総種数は未同定のハチ亜目・トビムシ目・ハエ目を除いて108種が確認できた。目レベルの分類群別種数（個体数）は、コウチュウ目76種（4979個体）・ハチ目アリ科17種（1592個体）・ハチ目ハチ亜目（20個体）カメムシ目6種（67個体）・バッタ目3種（306個体）・チョウ目3種（40個体）・ナナフシ目1種（2個体）・ゴキブリ目1種（12個体）・シミ目1種（47個体）・ハエ目（118個体）・トビムシ目（125個体）とコウチュウ目の個体数は全体の68%を、次いでハチ目アリ科が22%を占めた（図2, 3）。トビムシ目の採集は2004年と2005年の2年だけ行った。全調査を通じて採集された種別の個体数はオサムシ科のクロツヤヒラタゴミムシが1159個体と最も多く、コガネムシ科のマメダルマコガネが788個体と次に多く、オサムシ科のマルガタナガゴミムシが700個体、アリ科のイソアシナガアリが647個体、オサムシ科のキボシアオゴミムシが507個体、オサムシ科のオオクロツヤヒラタゴミムシが301個体と多かった。ピットフォールトラップで採集された地表性昆虫でもっとも種数・個体数が多かったコウチュウ目については、科別の種数・個体数も示した（図4, 5）。科レベルの分類群別種数（個体数）は、オサムシ科16種（3784個体）がもっとも多く、コウチュウ目の全個体数の

表4. ビットフォールトラップで採集された地表性昆虫の個体数

			調査地																合計
目/科	和名	学名	V0	CV0	V1	CV1	V2	CP	RS	GS	V14	E3	E4	W1	W2	W3	W4		
コウチュウ目/ オサムシ科	オオオサムシ	<i>Carabus dehaanii</i>	22	28	21	22	32	19	2	38	3	5	7	9	3	3	3	217	
	オオウロガオサムシ	<i>Leptocarabus kumagaii</i>	2	4	1					2	4	1						17	
	マイマイカブリ	<i>Damaster biaplecter</i>	4	4	5	4	3	1		2	1				1	2	1	32	
	オオクワツヤヒラタゴムシ	<i>Synuchus nitidus</i>	9	7	74	19	52	6	13	16			40	28	1	5	9	22	301
	クロツヤヒラタゴムシ	<i>Synuchus cyclicolor</i>	68	44	172	114	163	71	280	39	2	44	28	26	18	43	47	1159	
	ヒメツヤヒラタゴムシ	<i>Synuchus dufignieri</i>	8	1	15	26	21	5	58	10	4	10	2	8	11	4	183		
	マルガツヤヒラタゴムシ	<i>Synuchus arcuaticollis</i>	11	7	20	24	22	7	44	19	3	9	10	8	3	17	1	205	
	コガシラナガゴムシ	<i>Pterostichus microcephalus</i>	4	9	7	12	14	17	3	9	3	1		3	4	1		87	
	マルガタナガゴムシ	<i>Pterostichus subvatus</i>	92	124	67	45	34	153		102	18	2	13	9	20	19	2	700	
	ホソモリヒラタゴムシ	<i>Colpodes speculator</i>	9	72	10	4	5	6		11	53	3	3	12	32	8		228	
	クビボリゴムシ	<i>Galerita orientalis</i>	7	4	2	7	7	12		6	1	1	1	2		5	3	58	
	ムナピロアトゴムシ	<i>Chlaenius tetragonodermis</i>	10	4	1	6	7	9	2	5	1	6	3	4	3	6	1	68	
	キボシアトゴムシ	<i>Chlaenius posticalis</i>	45	62	38	47	48	81	5	72	4	12	16	26	19	17	15	507	
	アトボシゴムシ	<i>Chlaenius naeviger</i>	1		1	1	3		1	1	1	1	3		2		14		
	オオキアリアトゴムシ	<i>Epomis nubricans</i>			1													1	
	スジゾアトゴムシ	<i>Haplochaenius costiger</i>						1		1	2		1					7	
アリモドキ科	アリモドキ	<i>Anthicidae sp.</i>						1										1	
カミキリムシ科	ビウドロカミキリ	<i>Acalolepta fraudatrix</i>						8										8	
	キウスイモドキカミキリ	<i>Asaperda rufipes</i>						1										1	
キクイムシ科	キクイムシ	<i>Scolytidae sp.</i>			1													2	
キクコムシ科	アカハネコムシ	<i>Pisemus insignis</i>							1									1	
	ケチキムシ	<i>Alicula sinicola</i>								3				1				3	
ケンキスイ科	アシナガマルケンキスイ	<i>Pallodes cyrtoides</i>						1										1	
	マルクマダラケンキスイ	<i>Stelidota multiguttata</i>								1				1				2	
	アカマダラケンキスイ	<i>Lasiodactylus pictus</i>								1								1	
コガネムシ科	ツヤエンマコガネ	<i>Onthophagus nitidus</i>	2	3	4		1	1	3				1	1		2	1	19	
	コブマルエンマコガネ	<i>Onthophagus atripennis</i>	2	1			1	1										4	
	センチコガネ	<i>Geotrues laevistriatus</i>	1	6	4	1	1	4	8					2		5	1	33	
	マメダルマコガネ	<i>Panelus parvulus</i>	55	63	94	40	112	55	2	95	9	43	101	37	31	35	16	788	
	ビウドロコガネ	<i>Melolontha japonica</i>								3				1				4	
	カンシコガネ属	<i>Apogonia sp.</i>						1										1	
コケムシ科	コケムシ	<i>Scydmaenidae sp.</i>						1										1	
ゴミムシ科	ヨツゴミムシ	<i>Uloa bonifica</i>							1	1					2			4	
	クロツヤキマワリ	<i>Plesiophthalmus spectabilis</i>					1									2	2	8	
	ホソヒゲナガキマワリ	<i>Ainu tenuicornis</i>	5	2	1	1	11	1	3							1	5	30	
	クロホシテントウゴミムシ	<i>Derispa maculipennis</i>												1				1	
コマツキムシ科	カバイロコマツキ	<i>Ectinus sericeus</i>								1	1							2	
	アカアソウコマツキ	<i>Melanotus cete</i>								1								1	
	ナガナガロコマツキ	<i>Dalopius exilis</i>						1										1	
	ヒシモワコマツキ	<i>Actenicerus orientalis</i>								1								1	
ゾウムシ科	マツアナアゾウムシ	<i>Hybolithus haroldi</i>			2													2	
	ハスジカゾウムシ	<i>Lixus acutipennis</i>								1								1	
	クロキボシゾウムシ	<i>Pissodes obscurus</i>								2								2	
	ミドリクサトゾウムシ	<i>Cyphocerus viridulus</i>			1						2							3	
	オオクサトゾウムシ	<i>Macrocyrtus variabilis</i>						1							1			2	
	ホソヒメカタゾウムシ	<i>Asphaltus japonicus</i>	16	18	14	11	5	19	1	11	1		4	10	5	1	6	122	
	ケンシチゾウムシ	<i>Trachyphloeosoma setosum</i>													1			1	
	イコムサケンシチゾウムシ	<i>Trachyphloeosoma advena</i>	1	2														4	
	ツツジノメケルゾウムシ	<i>Mecynoderes fulvus</i>									1							1	
	チビカヤヒメケルゾウムシ	<i>Pseudococcus brachypus</i>					1	1		8	1							11	
	ゾウムシ	<i>Curculionidae sp.</i>								1								2	
タマノコムシ科	オビシタマノコムシ	<i>Anisotoma didymata</i>			1													1	
シデムシ科	キョウトコシデムシ	<i>Sciorepoides tsukamotoi</i>						1										1	
	ヨツボシシデムシ	<i>Microphorus quadripunctatus</i>	1	2	1					2	1		1					8	
デオキコムシ科	ケンデオキコムシ	<i>Scaphisoma sp.</i>			2	1		1	1	1		1						8	
テントウムシ科	ナミテントウ	<i>Harmonia axyridis</i>	1															1	
テントウムシ科	テントウムシ	<i>Danae orientalis</i>			1													1	
ネスイムシ科	ホソデオネスイ	<i>Europs temporis</i>								1								1	
ハネカクシ科	シャープキハネカクシ	<i>Lordithon sharpianus</i>			1													1	
	ムネピロハネカクシ	<i>Alogon grandicollis</i>	3	4	12	4	1	2		1		1		2	1		1	32	
	ハネアカバチハネカクシ	<i>Anisolinus tsuringiensis</i>	2	4	1		6	1		5	2			2	1	1	1	26	
	アカハネカクシ	<i>Staphylinus paganus</i>												1				1	
	オオマルハネカクシ	<i>Domene crassicornis</i>			2	1						2						6	
	クロガハネカクシ	<i>Staphylinus inornatus</i>												4				4	
	アシマダラガハネカクシ	<i>Stenus cicindeloides</i>				1		1	1									3	
	O cyopus	<i>Ocyopus sp.</i>			1				1					1	1			4	
	ヤマトマルクビハネカクシ	<i>Tachinus japonicus</i>			1									1				3	
	ハネカクシ	<i>Staphylinidae sp. 1</i>			1		1										2	3	
	ハネカクシ	<i>Staphylinidae sp. 2</i>				1												1	
	ハネカクシ	<i>Staphylinidae sp. 3</i>																1	
ハムシ科	カサハラハムシ	<i>Deromita modesta</i>			1			2						1	1			4	
	ハムシ	<i>Chrysomelidae sp.</i>																1	
ハムシ科	アラマシガハムシ	<i>Luprops crabrifrons</i>															1	1	
ハムシ科	ニワハムシ	<i>Cicindela japonica</i>			1	4	1	6	1	5	3							22	
マルトゴムシ科	シムシ	<i>Simplicaria sp.</i>			1		1			1								3	
ミジンシムシ科	クロミジンシムシ	<i>Aphanocephalus hemisphericus</i>									1							1	

			調査地																
目/科	和名	学名	V0	CV0	V1	CV1	V2	CP	RS	GS	V14	E3	E4	W1	W2	W3	W4	合計	
ハチ目/ アリ科	イソアシナガアリ	<i>Aphaenogaster osimensis</i>	67	72	45	29	73	77	92	61	14	11			26	24	28	28	647
	アミメアリ	<i>Pristomyrmex pungens</i>	9		1				1	1	3	2	3	2	41				64
	アメイロアリ	<i>Paratrechina flavipes</i>	11	1	2	7	40	4	145	7	40	4	6	11	8	6	1		293
	ウロコアリ	<i>Strumigenys lewisii</i>	1																1
	ミカドオオアリ	<i>Camponotus kinsuiensis</i>			1	5	1	2	1								1		12
	ムネアカオオアリ	<i>Camponotus obscuripes</i>	13	16	14	11	27	13	29	10	5	8	5	1	2	9	8		171
	ウタセカギバラアリ	<i>Proceratium watasei</i>								1									1
	カドフシアリ	<i>Myrmecina nipponica</i>	2	4	4	3		5		2	1			1	2		1	3	28
	ヒゲナガケアリ	<i>Lasius productus</i>			12	1			8		2				28				51
	キイロシリアゲアリ	<i>Crematogaster osakensis</i>	1		6	8	70		64	1	16		11			1	2	9	189
	テラニシリアゲアリ	<i>Crematogaster teranishii</i>						1		1					1				4
	チクチトゲアリ	<i>Polyrhachis moesta</i>																	1
	トグズネハリアリ	<i>Cryptopone sauteri</i>	5	3				2		1	1				6	1			19
	ヒゲナガニセハリアリ	<i>Hypoponera nippona</i>					1	3											5
	オオハリアリ	<i>Pachycondyla chinensis</i>			4	14	7	25	1	1		34	7	7			1	1	102
	ヒメムネソソアリ	<i>Leptothorax arimensis</i>							2										2
	クロヤマアリ	<i>Formica japonica</i>				1								1					2
	ハチ重目 spp.	<i>Apocrita</i> spp.	4	3	2	1	4	2	1	1					1		1		20
チョウ目	ガ(成虫) sp.	<i>Lepidoptera</i> sp.					1	1	1										3
	ガ(幼虫) sp.	<i>Lepidoptera</i> sp.	1	4	2	2	7	1	3	4			2	1		2	1	4	34
	アオハバタキリガ	<i>Valeriodes viridimacula</i>	1																1
ハエ目/ ガガンボ科	カ重目 spp.	<i>Nematocera</i> spp.	1	2	6	1	4	2	43	36			1	1					97
	ガガンボ科 sp.	<i>Tipulidae</i> sp.				1		1											2
ハエ重目 spp. アブ科	ハエ重目 spp.	<i>Brachycera</i> spp.			1	8		1	3	2	1								16
	アブ科 sp.	<i>Tabanidae</i> sp.											1						1
カメムシ目/ セミ科	アブラゼミ(幼虫)	<i>Graptopsaltria nigrofuscata</i>	1																1
	ツクツクボウシ(幼虫)	<i>Miomima opalifera</i>						1											1
	ヒダシラ(成虫)	<i>Tanna japonensis</i>	1																1
	ツチカメムシ	<i>Adrisa magna</i>		1		1	2	1			4	2			11	1	6	1	30
	ナガカメムシ科	<i>Metochus abbreviatus</i>	2		4	1	6	5	2	1		1	4				2	5	33
	オオホシカメムシ科	<i>Physopelta cincticollis</i>							1										1
バッタ目/ カマドウマ科	コシタウマ	<i>Tachycines elegantissima</i>	7	1	23	25	92	1	13	5	1	37	21	5	2	27	7		267
	コオロギ科	<i>Loxoblemmus sylvestris</i>	2	1					14	1					3				21
	ヒシバッタ科	<i>Tetrix japonica</i>	5	1	1	2	1	1	35	2					3			1	52
	ナナフシ目																		
ゴキブリ目/ チャバネゴキブリ科	ナナフシ目 sp. 幼体	<i>Phasmda</i> sp.	1							1									2
	モリチャバネゴキブリ	<i>Blattella nipponica</i>							4										4
シミ目/ イシノミ科	ヒメイシノミ属 sp.	<i>Pedetontinus</i> sp.			1	1		5					4	1					12
トビムシ目	トビムシ目 spp.	<i>Collembola</i> spp.	13	24	12	8	7	15	11	3			5	4	9	7	8	1	127
合計			533	635	733	519	928	629	908	616	236	267	289	330	196	290	201		7310
総種数*			46	49	45	38	46	44	40	48	31	27	31	42	24	37	29		

*未分類のハチ重目、ハエ目、トビムシ目は除く

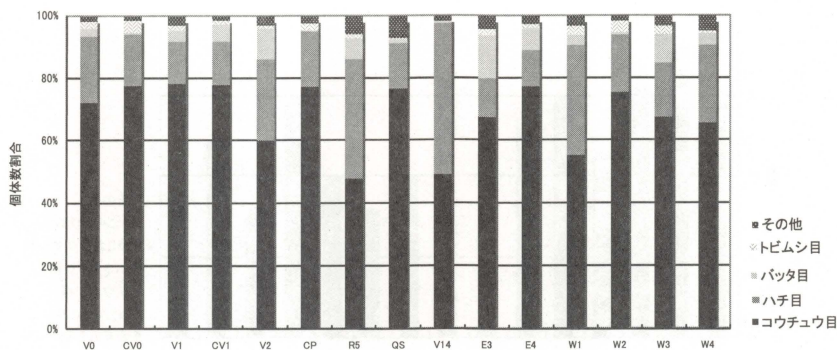


図2. ビットフォールトラップで採集された地表性昆虫の分類群別個体数割合

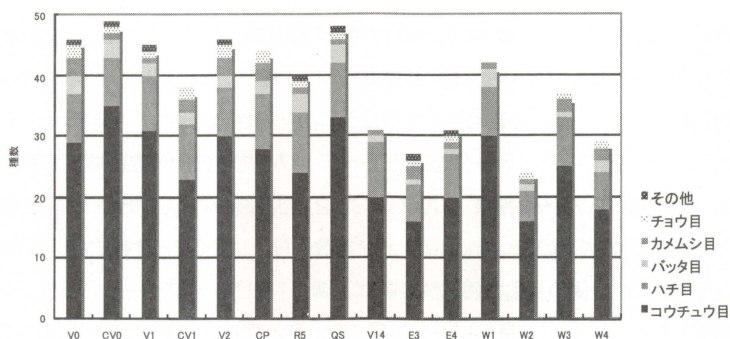


図3. ビットフォールトラップで採集された地表性昆虫の分類群別種数
未分類のハチ目、ハエ目、トビムシ目を除く。

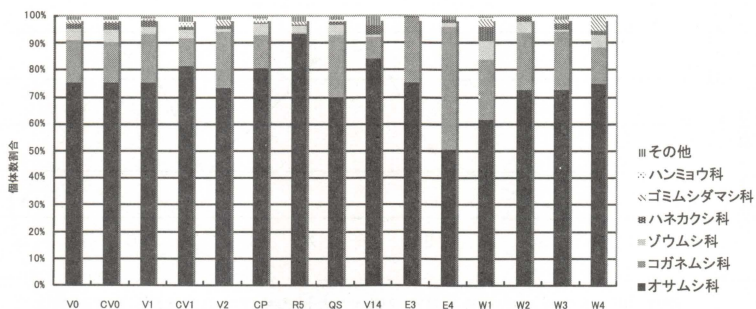


図4. ビットフォールトラップで採集された地表性甲虫類の科ごとの個体数割合

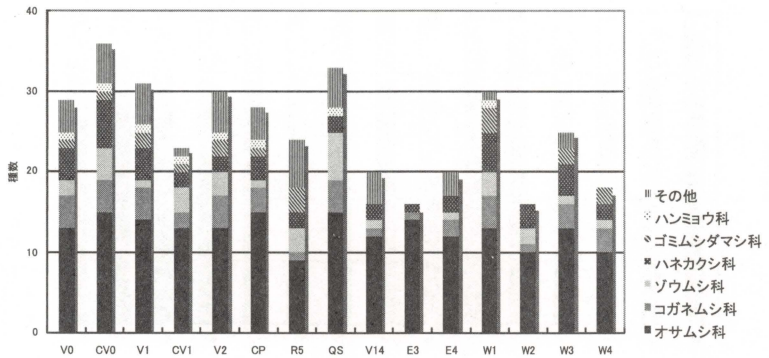


図5. ビットフォールトラップで採集された地表性甲虫類の科ごとの種数

76%、全調査を通じて採集された地表性昆虫の個体数の52%を占めた。次いで個体数ではコガネムシ科6種（849個体）ゾウムシ科11種（151個体）、ハネカクシ科12種（86個体）が多かった。調査地点とオサムシ科の多様性の関係は、全調査地のデータがそろっている6、8、10月のデータを20日5トラップあたりの個体数に換算して比較したところ、Shannon-Weaver指数（ H' ）はQSが2.20と最も高く、R5が1.11と最も低かった（表5）。植林地CPのShannon-Weaver指数（ H' ）は2.02と比較的高い値であった。

地表性昆虫類全体の月別の個体数変動は、調査1晩ビットフォールトラップ1つあたりに換算すると、6月と10月にピークを持つ2山型となり、最も多いのは10月の3.75個体、最も少ないのは2月の0.02個体であった（図6）。

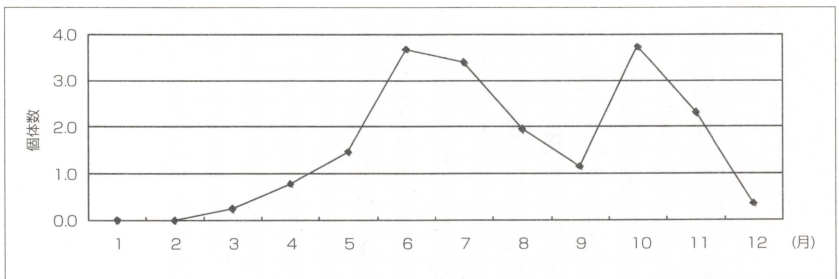


図6. ビットフォールトラップで採集された地表性昆虫の個体数変動個体数は1日1トラップあたりに換算した。

3. 2. 林床環境

尾根の調査地R5の2006年8月の平均光量子は49.4 μ Eと調査地点中で最も高い数値を示した一方、平均湿度は70.78%と最も低い値を示した（表2）。またR5はA₀層に植物の根系が発達しており120mmと最も厚かった。落葉かきを行っているW4のA₀層は5mmと最も小さい値を示した。粘土が露出するV14の8月の平均土壌水分は0.14m³m³、平均湿度は97.22%とそれぞれ調査地点中最も高い数値を示した。一方V14の8月の平均気温は24.65℃、年間最高気温は29.10℃と調査地点中最も低い数値を示した。W4の年間最低気温・W2の平均湿度・W1の平均光量子・E3の平均土壌水分のデータは、ロガーの故障のため得られなかった。環境要因間の相関関係は、8月の平均湿度と平均気温や平均光量子の間に負の相関があった（ $p<0.01$ ；表3）。8月の平均気温や平均光量子との間に正の相関があった（ $p<0.01$ ）。年間最高気温と平均土壌水分の間に負の相関があった（ $p<0.01$ ）。8月の平均光量子とA₀層の厚さに正の相関があった（ $p<0.05$ ）。

表2. 調査地の物理環境

調査地	平均気温 (°C) ^a	最高気温 (°C) ^b	最低気温 (°C) ^b	平均湿度 (%) ^a	光量子 (μ E) ^a	土壌水分 (m ³ /m ³) ^a	A ₀ 層 (mm) ^c
V1	24.88	33.59	-5.81	95.18	16.83	0.03	35
CV1	24.79	31.12	-5.31	98.78	12.49	0.05	55
V2	25.21	32.34	-4.82	93.34	12.57	0.05	70
R5	26.35	33.59	-4.33	70.78	49.42	0.01	120
V14	24.65	29.10	-4.33	97.22	8.89	0.14	45
E3	25.42	33.17	-4.82	88.71	15.33	-	80
W1	25.20	31.52	-5.81	91.65	-	0.05	35
W2	25.17	31.12	-5.31	-	13.48	0.08	80
W3	25.29	31.93	-5.31	88.11	11.01	0.01	65
W4	25.34	31.93	-	90.39	6.61	0.01	5

a: 2006年8月の平均値, b: 年間の最高・最低気温, c: 2月の計測値

表3. 環境要因どうしの相関係数^d

	平均気温 (°C) ^a	最高気温 (°C) ^b	最低気温 (°C) ^b	平均湿度 (%) ^a	光量子 (μ E) ^a	土壌水分 (m ³ /m ³) ^a	A ₀ 層 (cm) ^c
平均気温 (°C) ^a	-						
最高気温 (°C) ^b	0.62	-					
最低気温 (°C) ^b	0.38	-0.15	-				
平均湿度 (%) ^a	-0.98**	-0.56	-0.42	-			
光量子 (μ E) ^a	0.82**	0.54	0.41	-0.87**	-		
土壌水分 (m ³ /m ³) ^a	-0.60	-0.83**	0.32	0.53	-0.35	-	
A ₀ 層 (cm) ^c	0.63*	0.33	0.62	-0.69*	0.75*	-0.65	-

a: 2006年8月の平均値, b: 年間の最高・最低気温, c: 2月の計測値, d: Pearsonの相関係数
両側検定を行った: * $p<0.05$, ** $p<0.01$

3. 3. 地表面昆虫相と林床環境の関係

里山林の調査地における林床環境とオサムシ科のShannon-Weaver指数 (H') およびオサムシ科の優占種の個体数 (表5) との重回帰分析結果を表6に示す。オサムシ科全体の多様性は、光量子 (t 検定, $p<0.01$) および土壌水分 (t 検定, $p<0.05$) に有意に負の関係があった (調整済みの R^2 値0.96)。その他の環境要因には統計的に有意な関係がなかった。全調査を通じて里山林内の地表面昆虫で最も個体数が多かったオサムシ科のクロツヤヒラタゴミムシは、調査地R5で最も個体数が多く、年間最高気温に有意な正の関係 (t 検定, $p<0.01$) があった。一方、R5で全く採集されなかったマルガタナガゴミムシは A_0 層の厚さと年間最低気温に有意な負の関係 (t 検定, $p<0.01$) があった。湿性環境のW14でもっとも個体数が多かったホソモリヒラタゴミムシは、8月の平均土壌水分に正の関係があった (t 検定, $p<0.01$)。R5でもっとも個体数が多かったヒメツヤヒラタゴミムシは、 A_0 層の厚さに正の関係があった (t 検定, $p<0.01$)。オサムシ科優占種のうち、キボシアオゴミムシ・オオクロツヤヒラタゴミムシ・マルガタツヤヒラタゴミムシ・オオオサムシの個体数と環境要因との間には統計的に有意な関係がなかった。

表5. ビットフォールトラップで採集されたオサムシ科昆虫の個体数^a

和名	学名	調査地																合計
		CV0	V0	CV1	V1	V2	CP	R5	QS	V14	E3	E4	W1	W2	W3	W4		
オオオサムシ	<i>Carabus dehaanii</i>	16	10	8	8	15	5		10	5	6	8	10	3	3	3	111	
オオクロナガオサムシ	<i>Leptocarabus kumagaii</i>	4	1				2		1	5	1		1				14	
マイマイブリ	<i>Damaster blaptoides</i>	3	1	3	1	2			1					1	2	1	17	
オオクロツヤヒラタゴミムシ	<i>Synuchus nitidus</i>	5	5	12	48	35	4	7	9	1		44	31	1	6	10	243	
クツヤヒラタゴミムシ	<i>Synuchus cycloderus</i>	28	33	60	81	79	37	96	9	3	49	31	29	20	48	52	656	
ヒメツヤヒラタゴミムシ	<i>Synuchus dulcigradus</i>	1	6	19	9	15	5	32	5	7	11	2	9	3	12	4	138	
マルガタツヤヒラタゴミムシ	<i>Synuchus arcuicollis</i>	4	9	22	15	18	5	26	14	5	10	11	9	3	19	1	170	
コガシラナゴミムシ	<i>Pterostichus microcephalus</i>	5	1	5	1	1	3	3	15	5	1		3	4	1		45	
マルガタナガゴミムシ	<i>Pterostichus subovatus</i>	61	41	25	35	17	45		37	20	2	14	10	22	21	2	353	
ホソモリヒラタゴミムシ	<i>Colopodes speculator</i>	33	10	1	6	3	5		4	77	3	3	13	36	9		203	
クビソツゴミムシ	<i>Galerita orientalis</i>	5	5	3	1	5	6		4	3	1	1	2		6	3	44	
ムナビロアトシオオゴミムシ	<i>Chlaenius tetragonodermis</i>	3	5	5	1	4	7	2	3	2	7	3	4	3	7	1	56	
キボシアオゴミムシ	<i>Chlaenius posticalis</i>	23	13	14	16	24	37		17	3	13	18	29	21	19	17	264	
アトシゴミムシ	<i>Chlaenius naeviger</i>	1		1		1	3		1		1	1	3		2		14	
オオキベリアオオゴミムシ	<i>Epomis nigricans</i>	2			1												1	
スシアオゴミムシ	<i>Haplochaenius costiger</i>									3		1					4	
合計個体数		192	140	176	223	219	165	164	129	138	151	126	124	120	159	110	2337	
合計種数		15	13	13	13	13	14	5	14	12	14	12	13	10	13	10		
多様性指数 H'		2.06	2.07	2.05	1.82	1.97	2.02	1.11	2.20	1.65	1.90	1.99	2.17	1.88	2.15	1.53		

^a個体数は20日、5トラップあたりに換算した。調査月を統一するため6、8、10月の調査データだけを用いた。

表6. オサムシ科の多様性指数 H' およびオサムシ科昆虫の優占種の個体数と林床環境との重回帰分析 (標準偏回帰係数)

	平均気温 (°C)	最高気温 (°C)	最低気温 (°C)	平均湿度 (%)	光量子 (uE)	土壌水分 (m ³ /m ³)	A_0 層 (cm)	自由度調整済み R^2 値
オサムシ科 H'	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	-1.10**	-0.54*	n.s.	0.96
クロツヤヒラタゴミムシ	n.s.	0.94**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	0.85
マルガタナガゴミムシ	n.s.	n.s.	-0.40**	n.s.	n.s.	n.s.	-0.72**	0.99
キボシアオゴミムシ	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	-
オオクロツヤヒラタゴミムシ	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	-
ホソモリヒラタゴミムシ	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	0.92**	n.s.	0.82
マルガタツヤヒラタゴミムシ	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	-
ヒメツヤヒラタゴミムシ	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	0.91*	0.79
オオオサムシ	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	-

a. 2006年8月の平均値。b. 年間の最高・最低気温。c. 2月の計測値。標準偏回帰係数の検定には t 検定を用いた。* $p<0.05$, ** $p<0.01$, n.s. 有意差なし

3. 4. 落葉かきとオサムシ科昆虫の多様性

落葉かき区W4ではA₀層の厚さが5mmであり、未管理区W3の65mmに比べて小さい値を示した(表2)。一方、両地点の平均気温・最高気温・平均湿度・土壌水分はほぼ同じ値であった。オサムシ科甲虫類の種数・個体数は、未管理区W3が12種159個体、落葉かき区W4が9種・110個体であった(表5)。オサムシ科のShannon-Weaver指数(H')は、未管理区W3が2.15、落葉かき区W4が1.53であった。種組成は、W3・W4ともにR5のような乾燥した環境に多いクロツヤヒラタゴミムシが最も多かった。両地点の違いとしては、W3と比べて落葉かき区W4では、マルガタツヤヒラタゴミムシ・マルガタナガゴミムシの個体数が少なく、重回帰分析から土壌水分と正の関係のあるホソモリヒラタゴミムシが確認できなかった。

4. 考察

都市近郊の孤立した丘陵にある里山林内の環境の異質性が地表性昆虫の多様性に与える影響を調査した。総個体数・総種数に占める割合は、コウチュウ目が最も高く、そのなかでもオサムシ科が個体数・種数ともに最も多かった。すべての調査地においてオサムシ科の個体数・種数が最も多く、放置里山林の地表性昆虫の優占種はオサムシ科であった。かく乱から時間の経過した比較的安定した環境の指標種(石谷, 1996)であるツヤヒラタゴミムシ類(*Synuchus*属)が種数・個体数ともに多かった。森林環境は、尾根R5と湿性環境のV14では物理的環境要因が大きく異なり、オサムシ科の種構成も大きく異なっていた(表5)。

Niemelä et al. (1992) は、ピットフォールトラップ法により異なる5つの生息環境(森林環境4カ所と牧草地)を調査した結果から、ゴミムシ類を4つの生息型に分類した：(1)すべての環境に広く分布するハビタットジェネラリスト、(2)森林環境4ヶ所に広く分布する森林ジェネラリスト、(3)森林環境の1-2カ所だけに生息する森林スペシャリスト、(4)草地だけに生息する草地種。本研究の重回帰分析から、オサムシ科甲虫類は、特定の環境に個体数が多い森林スペシャリストとあらゆる環境に出現する森林ジェネラリストが認められた(表5, 6)。したがって、起伏に富む里山林の環境異質性がオサムシ科甲虫の多様性を高めていることが示唆された。

オサムシ科のShannon-Weaver指数(H')は、光環境に最も強い負の関係があった(表6)。つまり林床が暗いほどオサムシ科の多様性が高いことを示す。林床照度の低下要因は、

里山の管理放棄に伴い植物が生長または遷移が進行し、林床環境が暗くなることが考えられる。相関係数を用いた解析から、林床の照度が低下すると湿度が低下し、 A_0 層も薄くなる関係がある。 A_0 層の落葉の分解速度は、雨量・温度などの物理化学的要因がもっとも大きく影響している（金子, 2007）ことから、照度の低下により A_0 層からの水分の蒸散速度が抑えられ、生物の分解活動が促進されていると考えられる。したがって A_0 層に生息する生物の捕食者である森林性のオサムシ科昆虫は、里山の管理放棄に伴い正の影響を受けている可能性が示唆された。この里山の管理放棄による森林環境の変化の影響は、分類群によって異なることも示唆された。例えば、ホソモリヒラタゴミムシは、土壤水分量が高いほど個体数が多いことから（表6）、植物の生長に伴う照度低下に正の影響を受けやすいと考えられた。一方、ヒメツヤヒラタゴミムシは、 A_0 層が厚いほど個体数が多いことから（表6）、植物の生長に伴う照度低下に負の影響を受けやすいと考えられた。また、キボシアオゴミムシ・オオクロツヤヒラタゴミムシ・マルガタツヤヒラタゴミムシ・オオオサムシは、重回帰分析からあらゆる環境に出現する森林性ジェネラリストの傾向があるため、森林環境の変化の影響を受けにくい分類群だと考えられた。オオクロツヤヒラタゴミムシは、都市近郊では A_0 層が発達した林齢15年以上で出現する森林性種（谷脇ほか, 2005）、また森林性ジェネラリストである（石谷, 1996）とされるが、本研究でも同様の結果となった。オオオサムシは、滋賀県では山地広域分布種（八尋, 2003）とされているが、さらに本研究から森林内でも特定の環境を選択しないジェネラリストだと考えられた。

落葉かき区W4と未管理区W3の比較から、オサムシ科昆虫は落葉かきにより種数・個体数・Shannon-Weaver指数（ H' ）のいずれも低下した。これは落葉かきにより A_0 層が減少し土壌の表層硬度が高く孔隙率が低くなるため（辻, 1992）、この環境に適さない種が消失した可能性がある。実際に湿性環境に個体数の多いホソモリヒラタゴミムシは、未管理区W3で採集されたが落葉かき区W4では採集されなかった。また森林ジェネラリストであるマルガタツヤヒラタゴミムシも落葉かき区で個体数が少なかった。

今後さらにオサムシ科以外の甲虫類の多様性と環境要因との関係について解析し、遷移過程の里山林における生物多様性の現状を明らかにする必要がある。

5. 参考文献

- 金子信博 (2007) 土壤生態学入門. 東海大学出版
- 石井実 (2005) 生態学からみた里やまの自然と保護. 講談社
- 石谷正宇 (1996) 環境指標としてのゴミムシ類 (甲虫目:オサムシ科,ホソクビゴミムシ科) に関する生態学的研究. 比和科学博物館研究報告. 34, 1-110
- 細木大輔・久野春子・新井一司・深田 健二. (2001) 都市近郊林の林床管理の有無による植生と環境の特徴: その1 上層木の生育および林床植生の特徴. 日本緑化工学会誌. 27 (1), pp.14-19.
- Nakashizuka T.・Stork N. (2002) Biodiversity research methods: IBOY in western Pacific and Asia. Kyoto Univ. Press
- Niemelä, J.・Spence, J. R.・Spence, D. H. (1992) Habitat associations and seasonal activity of ground-beetles (Coleoptera, Carabidae) in central Alberta. CanadianEntomologist 124: 521-540.
- 谷脇徹・久野春子・岸洋一 (2005) 都市近郊林の林床管理区および短期・長期放置区における地表性甲虫相の比較. 日本緑化工学会誌. 31 (2), pp. 260-268
- Tews J.・Brose U.・Grimm V.・Tielbörger K.・Wichmann M.C.・Schwager M.・Jeltsch F. (2004) Animal species diversity driven by habitat heterogeneity/diversity: the importance of keystone structures. Journal of Biogeography. 31 (1), pp. 79-92
- 辻誠治・星野義延 (1992) コナラ二次林の林床管理の変化が種組成と土壤に及ぼす影響. 日本生態学会誌. 42 (2), pp.125-136.
- 八尋克郎 (2003) 滋賀県のオサムシの分布 / 滋賀オサムシ研究会編. 琵琶湖博物館研究調査報告, 第20号