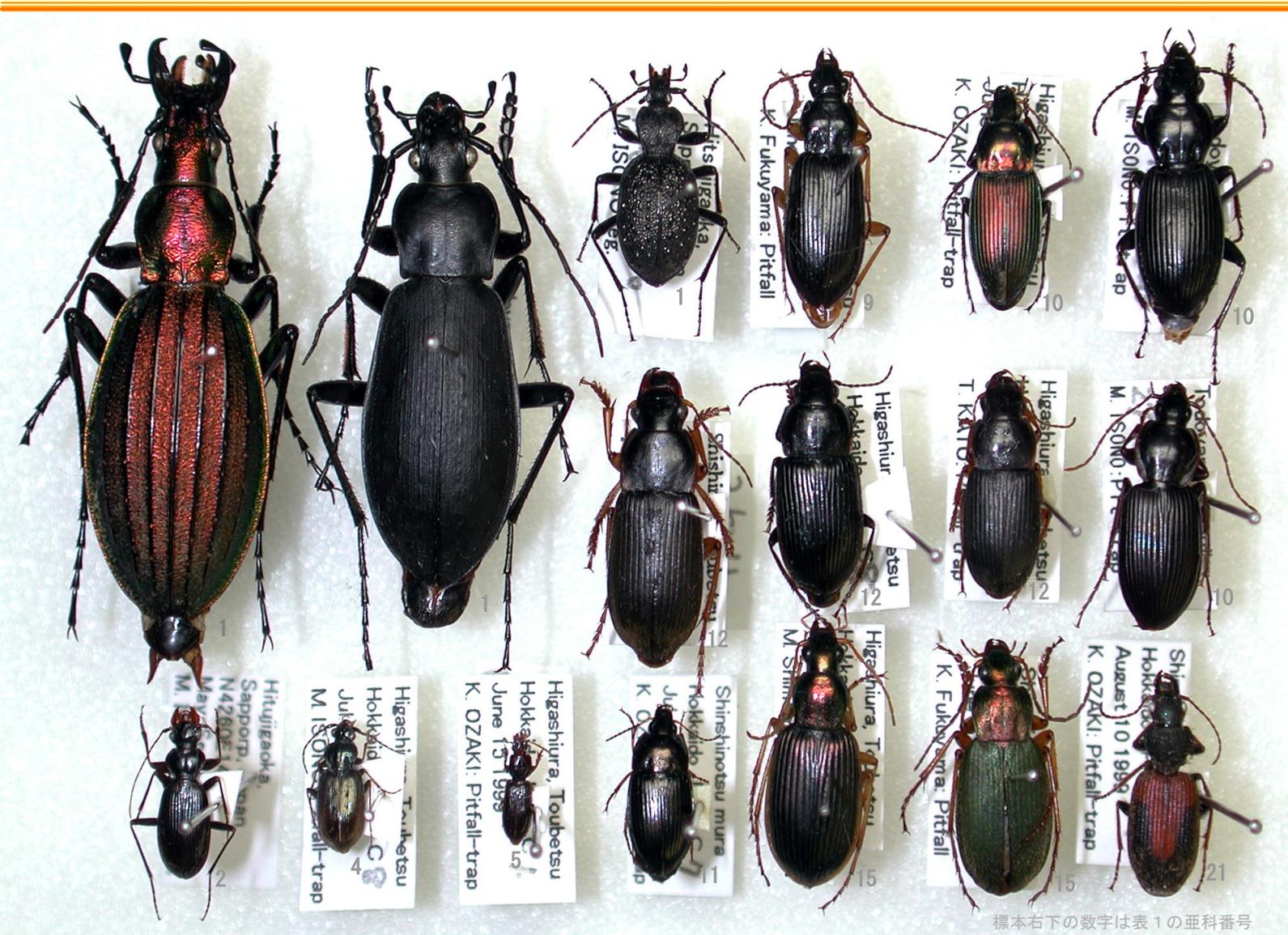


落とし穴トラップを使った オサムシ科甲虫調査の 手順と方法

— 計画から解析まで —



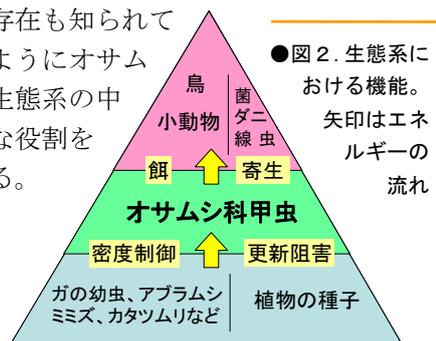
標本右下の数字は表1の亜科番号

はじめに

落とし穴トラップ 落とし穴トラップは、カップを地中に埋めて作る人工の落とし穴である(図1)。身近な材料で簡単に作ることができることから、地表面を活発に歩き回る昆虫の調査法として広く普及している。このトラップで捕獲される昆虫の中で、種類数・量とも多いのがオサムシ科甲虫(Carabidae)である。

環境指標生物としての利用 オサムシ科甲虫は、陸域のあらゆる環境に進出している。これらの昆虫は、歩行をおもな移動手段としていることから、移動分散能力は低く、環境の変化に敏感に反応すると考えられている。また、調査者の技量に依存しない簡便なデータの収集方法が存在することや、分類や生態に関する豊富な知見が集積されていることから、温帯域を中心に世界各地で環境指標生物として注目されている。

生態系における機能 オサムシ科甲虫の多くは捕食性であると考えられており、さまざまな生き物の密度制御にかかわっている。その一方で、鳥や小動物の餌となり、それらの生存を支えている。なかには、植物の種子を食害し更新を阻害する種や、逆に、種子の分散に一役かっている種の存在も知られている。また、このグループに特異的に寄生するカビやダニ、線虫などの存在も知られている。このようにオサムシ科甲虫は生態系の中でさまざまな役割を担っている。



●図1. 落とし穴トラップ



分類 オサムシ科甲虫は日本から1300種程が知られており、23の亜科に分けられている(表1)。

●表1. 日本のオサムシ科甲虫

亜科名	種数	図版*
1. オサムシ亜科 Carabinae	40	3-1
2. マルクビゴミムシ亜科 Nebriinae	28	11-1
3. ハンミョウモドキ亜科 Elaphrinae	6	11-24
4. ツノヒゲゴミムシ亜科 Loricarinae	1	12-2
5. ヒョウタンゴミムシ亜科 Scaritinae	27	12-3
6. オサムシモドキ亜科 Broscinae	4	12-23
7. チビゴミムシ亜科 Trechinae	269	12-27
8. ミズギワゴミムシ亜科 Bembidiinae	123	17-1
9. スレチゴミムシ亜科 Patrobiniae	19	19-19
10. ナガゴミムシ亜科 Pterostichinae	286	20-1
11. マルガタゴミムシ亜科 Zabrinae	30	25-13
12. ゴモクムシ亜科 Harpalinae	110	26-1
13. スナハラゴミムシ亜科 Licininae	11	28-1
14. ヨツボシゴミムシ亜科 Panagaeinae	14	28-8
15. アオゴミムシ亜科 Callistinae	44	28-20
16. ホナシゴミムシ亜科 Perigoninae	5	30-1
17. クビナガゴミムシ亜科 Odacanthinae	10	30-4
18. ヒラナガゴミムシ亜科 Ctenodactylinae	3	30-13
19. ツブゴミムシ亜科 Pentagonicinae	6	30-16
20. トゲアトキリゴミムシ亜科 Cyclosominae	1	30-19
21. アトキリゴミムシ亜科 Lebiinae	77	30-20
22. スジバネゴミムシ亜科 Zuphiinae	4	32-17
23. ホソゴミムシ亜科 Dryptinae	4	30-21

* 原色日本甲虫図鑑(Ⅱ)における初出の図版-小番号 (1989年現在)
・表紙の各標本右下の数字は亜科の番号

野外調査

調査計画 どのような情報を得たいのかをよく考え調査の目的を定める。目的が明確になれば、調査すべき場所や、設置するトラップの数、調査の時期や回数などの具体的な方法が決まってくる。立案にあたっては結果の公表に至るまでに必要となる人的、経済的、時間的制約についても十分に考慮しておく必要がある。特に、サンプルの処理には、予想以上に多くの時間や労力が必要となるので注意が必要である。また、野外調査と並行して測定しておくべき環境要因や、得ら

れたデータの処理手順についてもよく考えておく（表2）。

トラップの設置 使い捨てのプラスチックカップを用意する。カップの上方には、あらかじめ直径3mm程の排水孔を4個程あけておく。根堀で地面に穴を掘り、カップの口の部分が地表面と同じか、低くなるように埋め込む。周囲の土を踏み固めたあと、殺虫と防腐のために、50cc程のプロピレングコールと数滴の洗剤をカップに注ぐ。雨避けのために透明な樹脂製の屋根を、角材や竹串などを使って、カップの上空5cm程の高さに固定する（図1）。

サンプルの回収と保存 カップを地中から抜き出し、捕獲された昆虫を水切り袋にあげ、水分をよく切ったあと、サンプルラベルとともに、チャック付のビニール袋に入れる。サンプルラベルには、調査地やトラップ番号、日付など必要な事項を記入しておく。袋はクーラーボックスに入れて持ち帰り、その後は冷凍庫で保管する。常温のままだと、生存している昆虫が、ビニール袋を食い破って逃げ出したり、他の個体を傷つけ、同定が困難になることもあるので注意が必要である。

●表2. 調査をはじめるとにあたり考えておくこと

1. 調査の目的:
生物目録作り/保護区の選定/人為の影響評価など
2. 利用可能な資源:人、経費、時間
3. 対象とする空間スケール:
単一林分/複数林分/10km²の地域など
4. 対象とする時間スケール:単年度/5年間/10年間など
5. 必要なデータの精度:
どの程度の差異や変化を検出したいのか
低密度種も捕獲する必要があるのか
6. トラップのデザイン:
サイズ、形状、屋根併設の有無、防腐液の種類など
7. トラップの設置数:12個程度がいちおうの目安
必要とされる精度とサンプルの処理コストを考慮して決める
8. トラップの配置様式:
線状/格子状/ランダム/層別化の必要性
9. トラップ間の距離: 1m/10m/25m/50mなど
個々のトラップの独立性を確保するには25m以上離す必要があるが、間隔を離しすぎると回収時に発見できなくなる可能性が高まる
10. 調査の時期:
春から秋まで連続的に/春から秋まで1ヶ月おきに/
春、夏、秋に各1回など
11. サンプルの回収間隔: 毎日/3日毎/1週間毎/2週間毎など
屋根を併設し、防腐液としてプロピレングリコールを使用すれば2ヶ月くらい迄延長できる
12. サンプルの回収方法: 個別回収/全トラップを1つの袋で回収
解析の際、トラップあたりの平均値とばらつきが必要かどうかを考慮して決める
13. 測定しておくべき環境要因:
気温、土壌タイプ、土壌湿度、落葉層の厚さ、林床照度、植生など
14. データの解析:処理手順、検定の方法など
15. 結果の公表:方法と時期

サンプルの処理

サンプルの分別 冷凍庫から取り出したサンプルを解凍し、バットにあげ（図3）、昆虫を拾いあげる（図4）。トラップに混入している落葉の間隙には小型の個体が付着していることが多いので注意を要する。また、土の混入が多いときには、水の濁りで小型種を見落しやすくなるので、少量ずつバットに取り分け、水で薄めながら、作業をすすめるのがよい。排水槽には泥が流れ込むので、作業をする場所には注意が必要である。

集合標本の作製 体の水分を吸収紙で拭きとったあと（図4）、大きさや形態の似かよった個体どうしをグループにまとめながら、脱脂綿の上に並べていく（図5）。脱脂綿は、あらかじめ厚手の台紙に貼りつけ、調査地名や採集した日付を書き込んでおく。台紙には重複のない一連の番号をつけて管理する。標本は、ピンセットを使い、触角や脚の形を整えたあと、2週間程乾燥させてから、チャック付のナイロン袋に入れて保管する。標本には強い臭気があるので保管場所には配慮が必要である。

●図3. 解凍したサンプル



針ざし標本の作製 集合標本の中から、見慣れない種や、すぐには種名がわかりそうもない個体を選びだし、針ざしの標本にしていく。針ざしの標本は、昆虫針を、右翅の上からまっすぐに刺し、胴体を貫通させ、中脚と後脚の間から先端が出るようにしてつくる（図6）。針の上方約1/3は標本がつまみやすいように残しておく。小型の種は、直接針を刺さずに、厚紙で作った小型の台紙に、木工用のボンドで貼り付けたあと、台紙を針で留める（表紙の標本写真参照）。

標本には、必ずラベルをつける（図6）。ラベルには採集した場所と日付、採集者の名前を記入する。必要に応じて、調査地のコードや個別のトラップ番号なども併記する。

同定と参照標本の整備 針に刺した標本は、形態的に識別可能なグループ（形態種）に分けていく。十分に検討し納得のいく状態にまで整理できたら、図鑑を参照しながら、これらのグループに名前をつけていく。同定できたものには種名ラベルをつける。種名が特定できないものについては、重複のない一連の番号を与え、当面は、その番号で参照する。これらの中から、それぞれの種ごとに数個体の標本を選びだし、同定のための参照標本を形成する（図7）。以後は、この標本にもとづいて名前をつけていく。参照標本は、折をみて、専門家の同定をうけ、種名を確定する。

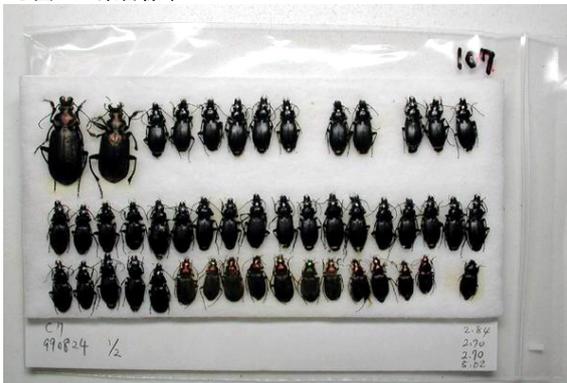
オサムシ科甲虫は非常に多くの種を含んでおり、互いによく似た形態をしている。しかし、頻繁に捕獲される種類はそう多くはないので、50~60種ほどの種が同定できるようになれば、ほとんどのサンプルが処理できるようになる。

集合標本の同定 集合標本を、袋に入ったままの状態のコピー機にかけ、記録シートを作る（図8）。同定結果はこのシートに記入していく。種名の確定できないものが出てきたら、針ざしの標本にし、あとで、検討する。この際、シート上の該当個体には、マークをつけておき、標本を抜き取ったことがわかるようにしておく。

●図4. 分別されたサンプル



●図5. 集合標本



●図6. 針ざし標本

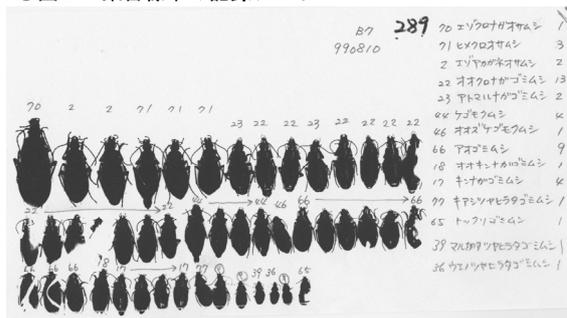


●図7. 参照標本



標本の保管 同定の終わった集合標本は、入力データや同定に疑義が生じた際に確認できるように、台紙の番号順に積み重ね、ナフタリンを入れた容器の中で保管しておく。針ざしの標本は、証拠標本として、調査ごとに個別の標本箱に保管しておく。

●図8. 集合標本の記録シート



データの処理

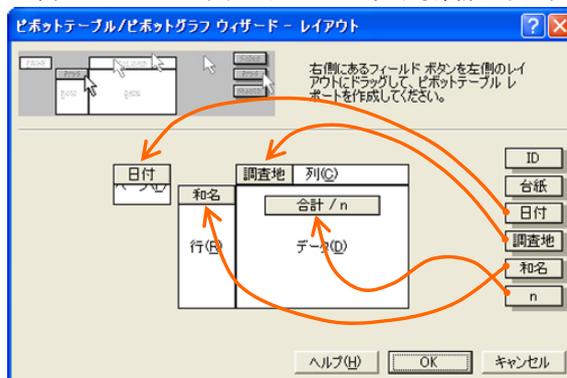
データの入力 データの入力は、表計算ソフトを使っておこなう。列の見出しとして、行番号、集合標本の台紙番号、日付、調査地、和名、個体数、そして必要ならば、トラップの個別番号をとり、集合標本の同定シートと針ざし標本のラベルをみながらデータを入力していく（図9）。集合標本の台紙番号は、あとで標本を探し出す際のキーとなる。針ざし標本については、この欄に“9999”などの値を入れて区別する。

●図9. データの入力シート

	A	B	C	D	E	F	G
1	ID	台紙	日付	調査地	和名	n	
2	1	1	2001/06/15	Forest_1	オオルノオサムシ	3	
3	2	1	2001/06/15	Forest_1	エゾクロガネオサムシ	6	
4	3	1	2001/06/15	Forest_1	エゾマイカブリ	12	
5	4	1	2001/06/15	Forest_1	ヒメクロオサムシ	1	
6	5	2	2001/06/15	Forest_1	エゾアカガネオサムシ	35	
7	6	3	2001/06/15	Forest_1	ツルヘルタガゴミムシ	5	
8	7	3	2001/06/15	Forest_1	アトマルナガゴミムシ	5	
...
2112	2111	9999	2001/08/10	Crop_2	ムネナガマルガゴミムシ	1	
2113	2112	9999	2001/06/15	Crop_3	ムネナガマルガゴミムシ	1	
2114	2113	9999	2001/06/15	Paddy_1	ムネナガマルガゴミムシ	1	
2115	2114	9999	2001/06/15	Crop_3	ヨツホシミスキリゴミムシ	1	
2116	2115	9999	2001/08/10	Crop_3	ヨツホシミスキリゴミムシ	1	
2117							

データの集計 入力したデータに誤りがないことを確認したら集計をおこなう。使っているソフトがExcelの場合には、メニューの[ツール]から、[ピボットテーブルとピボットグラフレポート]を選択しウィザードを立ちあげれば簡単に集計できる。レイアウト画面で、表示される項目を図10のように配置すると、種名と調査地からなる集計表が出力される（図11）。出力された表のセルB1にある[▼ボタン]を使えば日付の絞込みもおこなえる。また、レイアウト画面に戻り、調査地と日付の位置を入れ替えれば、調査地ごとの季節変化を集計することもできる。出力された集計表は直接編集することはできないので、一旦、別のシートに値複製してから、さまざまな加工をおこなう。

●図10. Excelのピボットテーブルにおける集計レイアウト



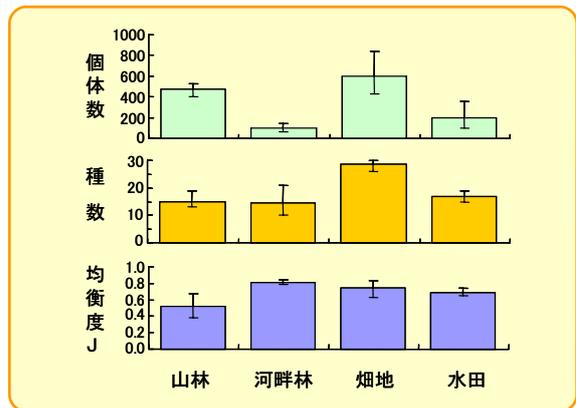
●図11. Excelのピボットテーブルを使った集計結果

	A	B	C	D	E	F	G
1	日付	(すべて)					
2							
3	合計 / n	調査地					
4	和名		Crop_1	Crop_2	Crop_3	Forest_1	Forest_2
5	アオガビラゴミムシ		0	0	0	0	0
6	アゴゴミムシ		47	37	121	1	0
7	アシミナガゴミムシ		1	0	0	0	0
8	アシミナガヒラゴミムシ		0	0	0	0	0
9	アトマルナガゴミムシ		0	0	0	10	4
10	ウエノツバキゴミムシ		0	2	0	2	0
11	ウスアカゴモクムシ		9	1	141	0	0
12	ウスアカミスキリゴミムシ		0	0	0	0	0
13	エゾアカガネオサムシ		0	0	0	44	0
14	エゾアカガネオサムシ		0	0	0	0	0
15	エゾアカガネオサムシ		21	7	4	0	0
16	エゾアカガネオサムシ		0	0	0	114	21
17	エゾアカガネオサムシ		n	n	n	n	n

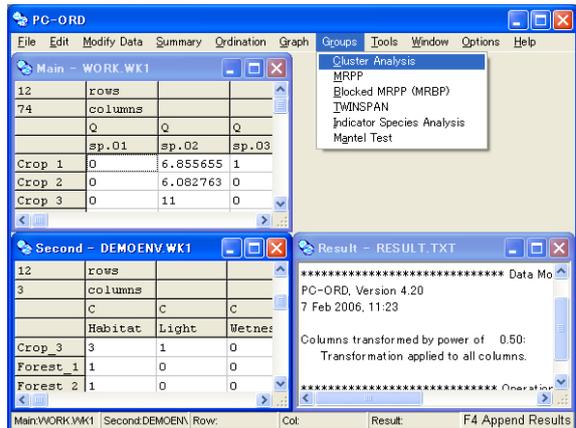
生き残っているかや、本来は森林に生息しない種がどれほど入り込んできているかが検討されたり、森林の面積や周囲長、あるいは、周辺の土地利用様式との関係が解析されるだろう。森林施業の影響を評価したいのであれば、施業の前後で、あるいは、施業をおこなった場所と未施業の場所との間で種数や個体数の比較がおこなわれたり、施業の影響を受けやすい種の抽出がおこなわれるだろう。このように、解析においては、さまざまな時間・空間スケールの中で、昆虫サンプルのもつ特性と、調査地のもつさまざまな属性との関係が解析されていく。

データの要約 昆虫サンプルのもつ特性は、個体数や各種の多様度指数として要約される。多様度指数には2つの要素がある。ひとつは、種の豊富さを表す要素であり、その測度として、しばしば、サンプルに含まれる種の数もちいられる。他のひとつは、種ごとの個体数配分の均一性をあらわす要素で、均衡性と呼ばれている。その測度としては、Pielouの指数Jがよくもちいられる。これら両要素を統合したのがShannonの指数H'である。また、サンプルの中から2個体を無作為に抽出したときに、それらが異なる種である確率、Simpsonの1- λ もよくもちいられる。これらの結果は、処理区ごとに、平均値とばらつきをもつ図としてまとめるとわかりやすい(図12)。さらに、観察された差異の有意性が、さまざまな統計的手法をもちいて解析される。解析にあたっては、データのもつ情報を効果的にひき出すために、平方根や対数への変換や外れ値の除外など、データの調整がおこなわれることが多い。さらに、サンプル間相互の関係が、クラスター分析や座標づけの手法をもちいて解析されていく。こうした解析には、PC-ORD(図13)やCANOCO、ADE-4などの群集解析のためのコンピューターソフトが使われる。

● 図12. Excelの作図機能を使ったデータの要約



● 図13. 群集解析ソフトPC-ORDを使ったデータの解析



クラスター分析 クラスター分析は、すべての調査地点間で、種構成の重なりを距離指数により評価し(図14)、距離の近い地点、すなわち、種構成の類似した調査地点どうしを、一定のアルゴリズムに従って、順次、グループにまとめていく手法である(図15)。図示した例では、種構成の類似性が高い地点ほど図の左寄りで連結されており、類似性の低い地点は右寄りの位置で連結されている。この図から、12の調査地点の種構成は、環境ごとにまとまりをもっていることが読み取れる。また、山林環境は、決して種数が多いとは言えないものの(図12)、他の環境とは大きく異なる種構成を有していることが読み取れる。

● 図14. Bray-Curtis指数による二地点間の距離マトリックス

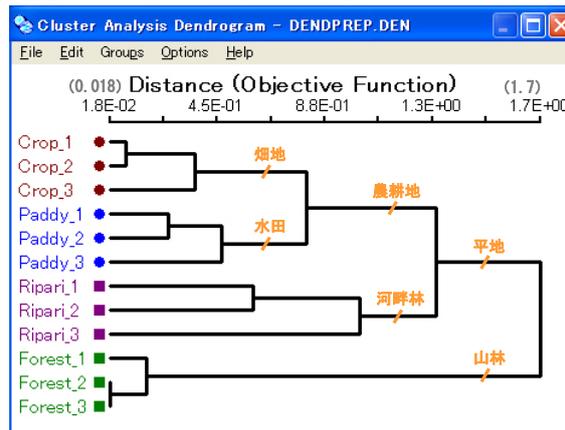
Site	C1	C2	C3	F1	F2	F3	P1	P2	P3	R1	R2	R3
畑地 1: C1	0.00											
畑地 2: C2	0.13	0.00										
畑地 3: C3	0.21	0.20	0.00									
山林 1: F1	0.89	0.83	0.88	0.00								
山林 2: F2	0.95	0.95	0.93	0.19	0.00							
山林 3: F3	0.96	0.96	0.94	0.14	0.04	0.00						
水田 1: P1	0.39	0.36	0.40	0.78	0.92	0.94	0.00					
水田 2: P2	0.41	0.50	0.44	0.82	0.92	0.94	0.17	0.00				
水田 3: P3	0.43	0.41	0.43	0.83	0.94	0.95	0.23	0.20	0.00			
河畔林 1: R1	0.64	0.62	0.76	0.46	0.69	0.66	0.52	0.59	0.50	0.00		
河畔林 2: R2	0.59	0.57	0.67	0.55	0.86	0.76	0.40	0.45	0.49	0.25	0.00	
河畔林 3: R3	0.73	0.65	0.82	0.54	0.86	0.82	0.57	0.60	0.65	0.43	0.43	0.00

座標づけ 座標づけは、類似したものどうしは近くに、異質なものは遠くに配置するように、多数の要素間での整合性をとりながら、調査地点や種を数次元の座標空間の中に配置する手法である。このため、配置された要素間の遠近が、相互の関係の強弱をあらわす。これまでに、さまざまな手法が考案されてきたが、生態学の分野では多次元尺度法 NMDS (Non-metric Multidimensional Scaling) や、除歪対応分析 DCA (Detrended Correspondence Analysis、図 16) が使われることが多い。図示した例では、調査地点が環境ごとに斑状に配置されていることから、昆虫の種構成は環境タイプごとにまとまりをもっていることが読み取れる。さらに、相互の位置関係からそれらの環境を特徴づけている種を特定することもできる。

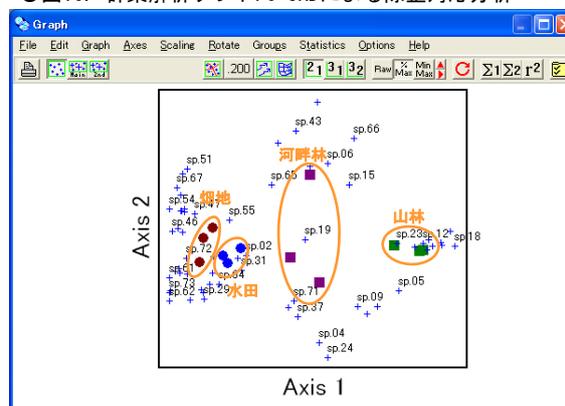
データの解釈 落とし穴に限らずトラップを使って得られたサンプルには偏りがある。偏りとは、実際に生息している生物群集の実態からのズレのことである。落とし穴トラップの場合、偏りは、生息数が同じであっても、地表面を活発に歩き回る種や個体ほど捕獲の機会が増加することにより生ずる。さまざまな要因が、トラップされる昆虫の質と量に影響を与える(表3)。このため、データの解釈や結論づけにあたっては、観察されたサンプル間の差異や変化が生物学的にどういう意味をもっているかを慎重に見極める必要がある。

結果の公表とデータの保管 結果は、図や表を使って、わかりやすくまとめ、報告書として公表する。未加工の一次データ(図9)は、時として、有用な情報源となる。バックアップをとり保管しておくとともに、可能であれば、報告書の文末に付録として添付する。また、調査のなかで生じた問題点や課題は整理しておき、次回の調査に役立てるとよいだろう。

●図15. 群集解析ソフトPC-ORDによるクラスター分析



●図16. 群集解析ソフトPC-ORDによる除歪対応分析



●表3. トラップされる昆虫の種組成と数に影響を与える要因

カテゴリ	要因
気象条件	気温、湿度、降雨、照度
周辺環境	土壌のタイプ、植被のタイプ、落葉層の厚さ、脱出経路となる落枝の有無
トラップの特性	材質、落下穴の周囲長、形状、屋根の有無、保存液の種類、ベイトの併用、漏斗の併用
トラップの設置	設置のための土壌の掘り起こし、トラップ間距離、トラップの空間配置(相互遮蔽)、埋め込み不足による開口部の突出
昆虫の生理状態・行動特性	性別、飢餓状態、移動分散能力、採餌戦略、体サイズ、跗節粘着毛の有無

おわりに

これまでに、非常に多くの落とし穴トラップを使った調査がおこなわれてきた。しかし、それらの膨大な量の情報は、十分に活用されないまま眠っている。これらも含めて、得られたデータを有効に活用していくためには、データの互換性や精度を確保するための手法の開発や、情報を共有し蓄積していくための仕組みづくりが望まれる。

PC-ORDは米国 MjM Software Designの商標です
Excelは米国 Microsoft Corporationの登録商標です

参考となる資料

【オサムシ科甲虫と落とし穴トラップについて】

- 上野俊一・黒澤良彦・佐藤正孝(編), 1985. 原色日本甲虫図鑑(Ⅱ), 保育社. 514 pp.
- 八尋克郎, 1996. 日本産陸生オサムシ上科の科及び亜科への絵解き検索. 昆虫と自然, 31(13): 34-40.
- 井上 寿, 1969. ゴミムシ類の生態. 昆虫と自然, 4(9): 2-6.
- Thiele, H. U. 1977. Carabid beetles in their environments. Springer-Verlag. 369 pp.
- Lövei, G. L. & Sunderland, K. D. 1996. Ecology and behavior of ground beetles. Annual Review of Entomology, 41: 231-256.
- Holland, J. M. (ed.) 2002. The agroecology of carabid beetles. Intercept. 356 pp.
- Woodcock, B. A. 2005. Pitfall trapping in ecological studies. In Leather, S. R. ed. *Insect sampling in forest ecosystems*. Blackwell. pp 37-57.
- Niemelä, J. (ed.) 1996. Population and conservation of carabid beetles. Annales Zoologici Fennici, 33(1): 1-241. (<http://www.sekj.org/AnnZool.html>)

【データの解析法と群集解析のためのコンピューターソフトについて】

- 日本環境動物昆虫学会編, 1998. チョウの調べ方. 文教出版, 288 pp. (対象はチョウであるが参考となる点が多い)
- Krebs, C. J. 1999. Ecological methodology, 2nd edn. Benjamin Cummings. 624 pp.
- Hill, D., Fasham, M., Tucker, G., Shewry, M. & Shaw, P. 2005. Handbook of Biodiversity Methods. Survey, Evaluation and Monitoring. Cambridge University Press. 573 pp.
- McCune, B. & Grace, J. B. 2002. Analysis of Ecological Communities. MjM Software Design. 300 pp.
- Leš, J. & Šmilauer, P. 2003. Multivariate analysis of ecological data using CANOCO. Cambridge University Press. 269 pp.
- PC-ORD <http://www.pcord.com>
- CANOCO <http://www.microcomputerpower.com/>
- ADE-4 <http://pbil.univ-lyon1.fr/ADE-4/>

【標本作製用具取り扱い業者】

- 志賀昆虫普及社 〒150-0002 東京都渋谷区渋谷1-7-6 TEL:03-3409-6401
- むし社 <http://homepage2.nifty.com/mushi-sha/katalogu.html>
- 六本脚 <http://kawamo.co.jp/roppon-ashi/index-j.html> など

【必要な道具・機材】

- トラップの作成・加工:** 使い捨てのプラスチックカップ、雨よけ屋根(OHPシート、塩ビ板など)、屋根の支柱(角材、竹串、割り箸など)、目打ち、はさみ、カッターナイフなど
- トラップの設置:** 落とし穴トラップ、防腐液(プロピレングリコール、酢酸など)、界面活性剤(洗剤)、根堀、根切鉋
- サンプルの回収と保存:** 防腐液、界面活性剤、水切り袋(台所用の目の細かいもの)、ポリチャック付きビニール袋、サンプルラベル、予備の落とし穴トラップ、根堀、手洗い水、クーラーボックス、保冷剤、冷凍庫
- サンプルの分別:** バット、ピンセット、小型のピーカー、シャーレ、ティッシュ
- 集合標本の作製:** カット綿、台紙、のり、チャック付ビニール袋、ピンセット、ナフタリン
- 針ざし標本の作製と保管:** 昆虫針(5号、3号、0号)、昆虫貼付用台紙、木工用ボンド、平均台、採集ラベル、種名ラベル、標本箱、ユニットボックス、ナフタリン
- 標本の同定:** 昆虫図鑑、双眼実体顕微鏡、冷光照明装置
- データ処理、報告書の作成、ラベルの作成:** パソコン、プリンター、表計算ソフト、統計ソフト、多変量解析ソフト

第1期中期計画成果15

発行日 2006年3月

編集 森林昆虫研究領域 磯野昌弘

発行 独立行政法人 森林総合研究所
〒805-8687 茨城県つくば市松の里1
TEL:029-873-3211 FAX:029-874-0844