

龍ヶ崎市周辺のチョウ相

—30年間の変化—

山本 道也

はじめに

1982年から始められた調査ルートを固定してのチョウ群集の帯状センサスは、1993年の中断を経て、調査開始後30年を節目に2012年をもって終了した。調査地は大規模工業団地の計画域の中にあり、1985年以降雑木林の一部伐採から始まった土工事が本格化し、当初主要な景観であった谷津田と丘陵地（雑木林、荒地地、耕作地から成る）のほとんどが造成、平坦化され、都市化が進行した。2015年現在、かつての谷津田は、調整池が整備され、隣接地にテニスコートと駐車スペースを併設する自然ふれあいフィールドとして生まれ変わった。丘陵地は総合運動公園（総合体育館、陸上競技場、野球場）の隣接する約800戸から成る住宅街に変わった。伐採前の1982～1984年までにみられた3年間のチョウ相の変化は自然変動（種内・種間競争、気候変化によるもの）の枠のなかに入るものとし、その後の人為的变化のコントロールとしての意味をもつものであった（山本、1989a, 1989b, 1991a, 1991b, 1992a, 1992b, 1993）。一方、1985

年以降、景観の変化に温暖化も加わってチョウ相も大きく変化した（山本, 1994a, 1994b, 1995, 1996a, 1997a, 1997b, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2009, 2010, 2011, 2012a, 2012b, 2013, 2014a, b, 2015）。本報告では、1993年を除く1982～2012年の30年間におけるチョウ相の変化を特に景観変化と気候変化の観点から報告、論議する。解析の手順は従来の報告を踏襲している。その主要点を列挙する。

1. 3～11月まで1旬につき2回の帯状センサスの結果を調査年ごとにまとめ、得られた種ごとの調査年別個体数（＝年個体数）を基礎データとして解析する。
2. この年個体数の30年間の変化に影響のあった気候要因、景観変化を重回帰分析により種ごとに分析する。
3. 種ごとの調査年別個体数分布の結果に、主成分分析と群分析を併用し、チョウ群集と年変動パターンの類型化を行う。
4. 上述の方法で細分化された下群集について、調査年ごとに種数、個体数、多様性、優占種の違いに言及し、30年間に起こった群集変化の全体像をとらえる。

調査地および調査方法

龍ヶ崎市郊外の海拔20～25mの段丘上（竹林、畑地、水田、照葉樹・落葉広葉樹からなる雑木林、杉・松の植林地などが含まれる）の幅2.5m、全長約2.5Kmの農道を帯状センサスのためのルートとして利用した。センサスルートは、おおよその景観の違いによって15の小区に分けられ（A区＝A₁～A₄小区、B区＝B₁～B₄小区、C区＝C₁～C₄小区、D区＝D₁～D₃小区、表1）、小区ごとに目撃されたチョウの種類と個体数が記録された。調査開始時、この農道は簡易舗装が施され、調査最終地点（D区）にある小学

校への通学路でもあった。そのため登下校時には人通りもあり、時々には自転車やバイクの通行にも利用されていたが、1985年に始まったB₃、B₄小区の造成工事のため1986年以降通行不能となり、その後、工事域の拡大と共に分断、一部では放棄され、現在では、A₁～A₂小区、B₁小区、D₂～D₃小区にその原形をとどめているに過ぎない。このため、調査後半ではかつての調査ルートの跡をなぞるかたちでセンサスが続行されて来た。上記調査ルートを使つての帯状センサスを3月上旬～11月下旬まで、1旬につき2回、計54回を1982～2012年の30年間連続で行い（1993年は休止）、記録された種類と個体数を調査年ごとにまとめ、以後の解析に処した。センサス開始時刻は10：00を予定としたが、低温期（4、5、11月）では10：30とした（その他の方法の詳細については、山本、1983を参照）。

環境変化：30年間における上記調査地での景観変化を調査小区別に表1にまとめた（2002年以前は山本、1996b、2007参照）。景観変化の程度やスピードは小区により異なる。各調査小区の環境を大まかに植被の量で4段階にクラス分けし（0：裸地、1：耕作地、2：荒地、3：低木林、4：中・高木林、ルートの左右でこのクラス値が異なる場合は平均値で代表させる）、その値から各年の林地率（クラス3・4の調査ルート全体に占める割合）と環境指数（ $\sum m_i \cdot E_i / \sum m_i$ ： m_i = 各調査小区の距離、 E_i = 各調査小区の環境クラス）を算出した。特に、伐採の始まった1985～1986年と造成地化が予定域の全てに及んだ1989～1990年、造成地の養生期間の1992～1994年に進んだ雑草群落の回復、各種建設工事が進んだ1995、1996年、その後の住宅街の整備に伴う植栽の進行と住宅街の成熟が景観変化の大きな期間であった。

気候変化：表2に茨城県気象月報・龍ヶ崎測定点の資料より、調査開始の前年から調査期間中の1～11月末までの各年の積算温度（ $\sum (T_i - 5)$ ： T_i = 日平均気温）、同期間の降雨量（日降雨量の積算）、最暑月平均

表1 1982～2012年の各調査小区別景観変化と林地率，環境指標（カッコ内の数値—0：裸地，1：耕作地，2：荒地，3：低木地，4：高木地，調査ルートの左右で平均化）

調査 小区	距離 (m)	1982年	1983～1991年の変化	1992～2002年の変化	2003年
A 1	200	(4) 人家、竹林、照葉・落葉樹の混交低木林	変化なし	側溝新設工事 (1996年)	(4)
2a	140	(1) 畑地 (ジャガイモ、ナスなど)	ルート右側造成後荒地化 (1985年)	道路拡張工事 (1994年)、新築家屋 (1995年)	(1)
2b	120	(3,5) 左：竹林、右：道周用地	右側10mを残して造成 (1987年)	右側再造成 (1997年) 後荒地化	(2)
3	160	(1) 畑地 (ジャガイモ、キャベツ、ナスなど)	変化なし	コイン洗車場開業 (1999年)	(0,5)
4a	220	(1) 畑地 (ジャガイモ)	工事用道路建設 (1984年)	住宅街、バス運行開始 (1994年)	(1)
4b	150	(1) 畑地 (ジャガイモ、ナス、キャベツ)	荒地化後、造成—道路建設 (1987年)	住宅建設 (1993～1999年)	(1,5)
B 1	90	(4) 照葉樹を低・中層木とする杉林	開伐 (1989年)		(4)
2	90	(1) 水田、沼沢地	アシ・ガマ湿地化後埋め土 (1991年)	河川改修工事 (1993～1998年)、テニスコート (1999年)	(1)
3	140	(4) 照葉・落葉樹の混交林とササ藪	伐採 (1985年)、造成 (1986年) 後荒地化	再蓋地 (1996年)、総合体育館建設開始 (2001年～)	(2)
4	100	(2,5) 左：畑地 (ピーナッツ)、右：ササ藪	造成 (1986年) 後荒地化	大形道路建設工事を完了 (1996年)	(0,5)
C 1	130	(4) コナラが優占する雑木林	南側10mを残し皆伐 (1985年)、残存林皆伐 (1987年)	シヤ吹付工事 (1997年)	(2)
2	190	(4) 赤松の多い雑木林で林床はササ	伐採 (1990年)、造成 (1991年)	荒地化	(2)
3a	130	(2,5) 左：ササ藪、右：荒地 (ススキなど)	伐採 (1990年)、造成 (1991年)	荒地化	(2) a1, a2に2分
3b	90	(3) 左：ササ藪、右：シンジュの林	左側道路建設工事 (1989年)	ササヤブ皆伐後造成工事 (1999年)	(0,5)
4	100	(2,5) 左：ササ林床の杉林、右：ピーナッツ畑	1988年以降畑荒地化	病院建設開始 (2000年)	(0,5)
D 1	100	(4) 林床植物の豊富な杉林	変化なし	杉林皆伐、造成後病院建設開始 (2000年)	(1,5)
2a	20	(3) ササ藪	大形道路工事開始 (1985年)、供用開始 (1989年)	ササヤブ、杉林	(2,5)
2b	160	(2) 左：小学校用地、右：ササ藪	右側伐採 (1990年) 後シンジュ低木林形成 (1991年)	皆伐、造成後新築 (1997年)	(0,5)
3	80	(4) 左：ササ藪、右：杉とササ藪	右側伐採 (1990年) 後シンジュ低木林形成 (1991年)	皆伐、造成後アハート (1998年)、サッカー部舎併用 (2000年)	(1)
林地率 (%)		49.4	49.4～27.1	23.1～14.2	14.2
環境指数		2.68	2.68～1.81	1.75～1.48	1.65
都市化					

表1 つづき

調査 小区	距離 (m)	2004年	2005年	2006年	2007年
A 1	200	(4) 上部林縁一部伐採	(4) 上部林縁マウント群落形成	(4) 水道工事	(4)
2a	140	(1)	(1) 新築1棟 (8/30～)	(1)	(1)
2b	120	(2)	(2)	(2)	(2)
3	160	(1)	(1)	(1)	(1)
4a	220	(1)	(1)	(1)	(1) 新築2棟
4b	150	(1.5)	(1) 新築4棟 (9/17～)	(1)	(1)
B 1	90	(4)	(4)	(4)	(4)
2	90	(1)	(1)	(1)	(0.5) 駐車場拡張工事
3	140	(1)	(1)	(1)	(4)
4	100	(0.5)	(0.5) 陸上競技場建設工事開始 (10/20)	(1) 天然芝サッカー場	(1) サッカー試合開始
C 1	130	(2)	(0.5)	(1)	(1) 駐車場整備、クチナシ植栽
2	190	(2)	(2)	(2)	(2)
3a	130	(2)	(2.5) クズ、ヨシ群落	(2.5) クズ、ヨシ群落	(2.5)
3b	90	(0.5)	(0.5)	(0.5)	(0.5)
4	100	(0.5)	(0.5)	(0.5)	(0.5)
D 1	100	(1.5)	(1.5)	(1.5)	(1.5)
2a	20	(2) 林床草刈回数	(2) 林床草刈回数	(2) 林床草刈回数	(2)
2b	160	(1)	(1)	(1)	(1)
3	80	(0.5) 回廊寿司建設工事 (5/27～)	(0.5) サッカー部第二合宿所建設工事	(0.5)	(0.5)
林地率 (%)		14.2	14.2	14.2	14.2
環境指数		1.64	1.58	1.60	1.59
都市化		D ₁ 回廊寿司オープン	B ₁ , C ₁ 陸上競技場建設工事	B ₁ , C ₁ 陸上競技場完成	B ₁ , C ₁ 陸上競技開始

表1 つづき

調査 小区	距離 (m)	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年
A 1	280	(4)	(4)	(4)	(4)	(4)
2a	140	(1)	(1)	(1)	(1) +1棟新築中	(1) 竹林5m幅伐採1/8
2b	120	(2)	(2)	(2)	(2) 造成工事開始 3/27～	(2) 竹林5m幅伐採、北面住宅復 数棟
3	160	(1)	(1)	(1)	(1)	(1) +1棟新築中
4a	220	(1)	(1)	(1)	(1) 新築2棟	(1)
4b	150	(1)	(1)	(1)	(1)	(1) アパート新築開始6/15～
B 1	90	(4)	(4)	(4)	(4)	(4)
2	90	(0.5)	(0.5)	(0.5)	(0.5)	(0.5)
3	140	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
4	100	(0.5)	(1)	(1)	(1)	(1)
C 1	130	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
2	190	(2)	(0.5)	(1)	(0.5)	(0.5)
3a	130	(2.5)	(1)	(2)	(1.5)	(1) ホームセンター建設工事開始 5/10～
3b	90	(0.5)	(0.5)	(0.5)	(0.5)	(0.5)
4	100	(0.5)	(0.5)	(0.5)	(0.5)	(0.5)
D 1	100	(1.5)	(1.5)	(0)	(0)	(0)
2a	20	(1.5)	(1.5)	(1.5)	(1.5)	(0) 通行不可
2b	160	(1)	(2)	(2)	(1)	(1)
3	80	(0.5)	(0.5)	(0.5)	(0.5)	(0.5)
林地率 (%)		14.2	14.2	14.2	14.2	14.2
築高指数		1.58	1.45	1.54	1.35	1.28
都市化		C ₁ ～C ₂ 、大規模草刈	済生会病院増築工事開始		D ₁ 、済生会療養病棟工、C ₂ 完成	D ₁ 、アパート、C ₂ 、ホームセンター

表2 2003～2012年における気候要素の変化

調査年	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
積算温度	3,333.9	3,698.4	3,465.9	3,560.6	3,645.4	3,435.2	3,515.3	3,670.1	3,614.6	3,503.4
最寒月平均気温	2.5	3	3.5	2.2	4.8	3.2	4.1	3.6	2.1	1.8
最暑月平均気温	24.2	26.1	26.3	25.8	27.3	25.4	24.6	27.9	25.9	26.9
積算降雨量	1,509	1,446	1,230	1,469	1,119	1,190.5	1,443	1,440.5	1,301	1,185.5

表3 30年間の種々の環境要素間の相関

	Y	T	Tc	Th	T8	R	E	Thp	Tcp	Thp	T8p	Rp	Ep
調査年 (Y)	/	++	+						+				
積算温度 (T)		/	+	++	++								
最寒月平均気温 (Tc)			/										
最暑月平均気温 (Th)				/	++								
8月平均気温 (T8)					/								
降雨量 (R)						/							
環境指数 (E)							/						
前年積算温度 (Tp)								/					
前年最寒月平均気温 (Tcp)									/				
前年最暑月平均気温 (Thp)										/			
前年8月平均気温 (T8p)											/		
前年降雨量 (Rp)												/	
前年環境指数 (Ep)													/

+, - : p < 0.01
 +, - : 0.05 > p > 0.01

気温, 最寒月平均気温を示した (2002年以前は山本, 1996b, 2007参照)。1981, 1983, 1984, 1993年の低温, 1990, 1994, 1999, 2004, 2007, 2010, 2011年の高温, 1984, 1987, 1994, 1997, 2002年の小雨, 1991, 2003年の多雨が特徴的であった。積算温度 ($r=0.591$, $p<0.001$), 最寒月平均気温 ($r=0.358$, $p<0.05$) は調査の後年ほど上昇し, 地球温暖化の影響が顕著となり, 環境指数は逆に後年ほど減少した ($r=-0.901$, $p<0.001$)。この結果, 調査地での環境指数が減少するほど積算温度が上昇 ($r=-0.561$, $p<0.001$) する傾向がみられた (表3)。

重回帰分析: 種数 (S), 年個体数 (I), 多様性 (H'), 均等性 (J) のいずれかを従属変数, 積算温度 (T), 最寒月平均気温 (Tc), 最暑月平均気温 (Th), 8月平均気温 (T8), 降雨量 (R), 環境指数 (E, 前出), 前年個体数 (Ip), 前年積算温度 (Tp), 前年最寒月平均気温 (Tcp), 前年最暑月平均気温 (Thp), 前年8月平均気温 (T8p), 前年降雨量 (Rp), 前年環境指数 (Ep), を独立変数とし, 逐次変数増減法 ($F>2.0$) を用いた。

結果および考察

目撃されたチョウは, 30年間で8科63種95,486個体であった。個体数は各種ごとに調査年別, 調査小区別にまとめられた (図1, 2002年以前は山本, 1996b, 2007参照)。以下, それぞれの種について調査地での目撃個体数および目撃された調査小区の年変化の概要を述べるとともに, 重回帰分析 ($I=T, Tc, Th, T8, R, E, Ip, Tp, Tcp, Thp, T8p, Rp, Ep$) により個体数の変動要因を指摘する。

1. ジャコウアゲハ: 年個体数は年によって増減が大きい。1983年に二桁の最高値を記録して以降, 1991, 1992, 1996, 2011年などは目撃されず,

1991～1996年では目撃は一桁止まりで減少傾向がうかがえたが、その後は再び二桁目撃の年も複数あり、傾向をつかみづらい種であった（年個体数と調査年との相関 = $I - Y$, $r = -0.213$, $p > 0.2$ ）。当初、 A_2 小区に多く見られ、 A_1 小区でも目撃は安定していた。一方、 B_1 , B_2 , C_2 小区では目撃されておらず、1990年以降、 A_2 小区での目撃は激減し、代わって D_2 小区で多く目撃されるようになった。林縁、荒地などを好む。年個体数の30年間の増減は、相関を示す変数はなく、重回帰式 $I = -0.009T + 36.581$ ($r^2 = 0.103$) で近似された。説明力は高くはないが、低温（高温）の年に目撃数が増加（減少）することを示している。

2. アオスジアゲハ：年個体数は、1985年の急減後、増加傾向を示し、1992年に最高値を記録。その後、急減、1997年に最低値を示し、その後再び増加した（ $I - Y$, $r = -0.033$, $p > 0.8$ ）。 $A_1 > A_2$ 小区に特に多く見られ、他の小区では散発的。飛翔力は強いが食樹との結びつきが強く、その周辺域で目撃されることが多い。年個体数の30年間の増減は前年積算温度 ($r = 0.453$, $p < 0.05$)、前年降雨量 ($r = 0.451$, $p < 0.05$) と相関があり、 $I = 0.089Rp + 11.867Thp - 0.332Ip + 0.038R + 16.174E - 393.907$ ($r^2 = 0.548$) で近似された。2年続きの多（少）雨条件下で前年の夏が暑く（涼しく）、さらに前年個体数が少なく（多く）、高い（低い）環境指数の年に目撃数が増加（減少）する。

3. キアゲハ：年個体数は、1997年までは比較的低値で安定していたが、1998年の急増を機に、増加傾向が顕著となった（ $I - Y$, $r = 0.635$, $p < 0.001$ ）。A区、特に1995年以降、 $A_4 > A_2$ 小区、 D_2 小区で比較的多く目撃され、一時期 B_2 小区の荒地化で目撃が増えた時期もあったが、2007年以降の再整備で減少した。他の小区では目撃は散発的で、耕作地に選好性をもつ種である。年個体数の30年間の増減は前年環境指数 ($r = -0.580$, $p < 0.005$)、前年個体数 ($r = 0.529$, $p < 0.005$) と相関が高く、環境指数 ($r = -0.450$,

$p < 0.05$), 積算温度 ($r = 0.370$, $r = 0.05$) との関係もあり, 重回帰式 $I = -14.774E_p + 0.334 I_p + 47.840$ ($r^2 = 0.416$) となった。前年の低い (高い) 環境指数と多い (少ない) 前年個体数の翌年に目撃数が増加 (減少) する。

4. アゲハ: 年個体数は, 時々大きく落ち込む年はあるものの, 増加傾向を示し, 特に2000年に急増, 2011年には最高値を示した。($I - Y$, $r = 0.729$, $p < 0.001$)。全ての小区で満遍なく目撃されるが, 特に, 当初, A_1 , A_2 , B_3 , C_1 , D_2 小区で多く見られ, B_3 , C_1 小区では工事開始直後は増加したが, 造成地の拡大と共に減少した。 D_2 小区では造成工事開始以降増加傾向にあり, 特に A_4 小区での目撃数の増大とともに2000年以降の急増の場となった。一方, A_1 , A_2 小区では目撃総数の年による変化は小さい。当初は森林伐採で残されたサンショウへの依存度が高かったが, 後半では D_2 小区での垣根として植栽されていたカラタチの影響が大きかった。年個体数の30年間の増減は前年積算温度 ($r = 0.748$, $p < 0.001$), 前年環境指数 ($r = -0.687$, $p < 0.001$), 環境指数 ($r = -0.662$, $p < 0.001$), 前年最暑月平均気温 ($r = -0.528$, $p < 0.005$) と相関が高く, 前年個体数 ($r = 0.470$, $p < 0.05$), 前年8月平均気温 ($r = 0.376$, $p < 0.05$) との関係もあり, $I = 0.171T_p - 54.748E_p - 357.549$ ($r^2 = 0.623$) で近似された。前年の高 (低) 温と前年環境指数の小さい (大きい) 年に目撃数が増加 (減少) する。

5. モンキアゲハ: 1984, 1986年に1個体ずつ, 1990, 1992年に2個体, 1999年に1個体, 2008年からは3年続けて目撃されたが, その後2年間の目撃はなかった。年変化の一般的傾向はつかみづらい ($I - Y$, $r = -0.003$, $p > 0.9$)。年個体数の30年間の増減は前年降雨量 ($r = 0.456$, $p < 0.05$), 前年最寒月平均気温 ($r = 0.425$, $p < 0.05$) との相関があり, $I = 0.313T_{cp} + 0.001R_p + 0.438E_p - 2.671$ ($r^2 = 0.381$) で近似できた。説明力は高くはないが, 前年が暖かい (寒い) 冬で雨が多く (少なく), 環境指数が大きい (小さい) 条件の年に増加 (減少) する。

6. クロアゲハ：1985, 1987年に年個体数は最低値を示したが³, 2002年の急増以降, 増減を繰り返しながらも増加傾向を示した (I-Y, $r=0.621$, $p<0.001$)。A₁小区で多く目撃されており, 林地への依存度が高く, 後年は更にD₂小区での増加が加わった。年個体数の30年間の増減は前年最寒月平均気温 ($r=0.577$, $p<0.005$), 環境指数 ($r=-0.498$, $p<0.005$) と相関が高く, 前年環境指数 ($r=-0.460$, $p<0.05$), 前年個体数 ($r=0.459$, $p<0.05$), 前年積算温度 ($r=0.428$, $p<0.05$), 最寒月平均気温 ($r=0.387$, $p<0.05$) との関係もあり, 重回帰式 $I=5.920T_{cp}+4.319T_c-0.016R_p+0.265I_p+11.244$ ($r^2=0.570$) が得られた。2年続きの暖(厳)冬で前年の少(多)雨, 前年個体数の多い(少ない)年に増加(減少)する。

7. オナガアゲハ：1984, 1988年に各1個体, 1992年以降も散発的に, A₁, D₁小区で目撃された (I-Y, $r=0.002$, $p>0.9$)。年個体数の30年間の増減に相関する変数はなく, 重回帰式 $I=-0.297I_p+0.535$ ($r^2=0.076$) で近似された。前年個体数が少ない(多い)条件で増加(減少)する。説明力は弱い。

8. ナガサキアゲハ：目撃は2007年から始まり, 急速に増加し, アゲハチョウ科での普通種となった (I-Y, $r=0.576$, $p<0.005$)。温暖化による北上種の一つで, A₁, D₂小区での庭木のミカン科植物の影響が大きい。年個体数の30年間の増減は前年個体数 ($r=0.643$, $p<0.001$) との相関が高く, 環境指数 ($r=-0.453$, $p<0.05$), 前年環境指数 ($r=-0.405$, $p<0.05$) との関係もあり, $I=0.901I_p-2.524T_h+1.642T_{8p}+24.181$ ($r^2=0.545$) で近似された。前年個体数が多く(少なく), 前年8月平均気温が高く(低く), 涼しい(暑い)夏の年に増加(減少)する。

9. カラスアゲハ：造成工事開始前をピークに一貫して減少傾向にある (I-Y, $r=-0.657$, $p<0.001$)。当初, A₁, B₁, C₁, D₁小区に多く目撃され, 典型的な森林性種。C₁, D₁小区では森林伐採後目撃されなくなり, A₁, B₁

小区に目撃が集中するようになった。年個体数の30年間の増減は、環境指数 ($r=0.713$, $p<0.001$), 前年環境指数 ($r=0.696$, $p<0.01$), 積算温度 ($r=-0.501$, $p<0.01$), 最寒月平均気温 ($r=-0.495$, $p<0.01$) と高い相関をもち, $I=13.676E-1.958Tc-9.290$ ($r^2=0.649$) で近似された。環境指数が大きく (小さく), 寒い (暖かい) 冬の年に増加 (減少) する。

10. モンキチョウ：年個体数は、1986年に最低値を示したが、1997、1998年と急増、造成工事開始後に大幅に増加した種の一つである ($I-Y$, $r=0.810$, $p<0.001$)。当初はA₄小区に多く見られていたが、その後の急増は、造成跡地の荒れ地化 (特にC区) に依っていた。その後、B₂小区が土工事の進行状態により増減はあったものの、クローバーの植被拡大に伴って2000年以降目撃集中区になった。年個体数の30年間の増減は、前年環境指数 ($r=-0.772$, $p<0.001$), 前年個体数 ($r=0.759$, $p<0.001$), 環境指数 ($r=-0.669$, $p<0.001$), 積算温度 ($r=0.516$, $p<0.005$) と相関が高く、最寒月平均気温 ($r=0.383$, $p<0.05$) と関係があり, $I=-105.685Ep+0.426Ip+270.063$ ($r^2=0.687$) で近似された。前年環境指数が小さく (大きく), 前年個体数の多い (少ない) 年に増加 (減少) する。

11. キチョウ：ほとんどすべての年で優占種となるほど個体数が多く、更に1994~2002年にかけて急増後、一転急減し、当初のレベルにもどりつつあった ($I-Y$, $r=0.330$, $p>0.07$)。目撃小区もすべてに及び、A₂, A₄, B₃, C₁, C₃, D₁, D₂小区で目撃個体が多い。A₂小区では造成工事が始まった1985年以降荒地として放棄される期間が続き、食草のヤハズソウ群落が優占し、本種の増加が始まり、1998年には突出して目撃数の多い小区となった。B₃小区では工事開始後は急増した期間もあったが次第に減少、C₁, D₁小区では森林伐採後減少、A₄, C₃小区では増減を繰り返し、D₂小区では1986年以降一定値を維持し、増減のパターンは小区によって様々であった。荒地及び林縁への好みが強い。年個体数の30年間の増減

は前年積算温度 ($r=0.433$, $p<0.05$), 積算温度 ($r=0.422$, $p<0.05$), 前年環境指数 ($r=-0.397$, $p<0.05$), 前年個体数 ($r=0.381$, $p<0.05$) との相関があり, $I = 0.506T_p - 0.323R_p + 0.432T - 2.516.478$ ($r^2=0.380$) で近似された。説明力は高くはないが, 2年続きの暑さ(涼しさ)と前年が少(多)雨の年に増加(減少)する。

12. スジグロシロチョウ: 年個体数は, 造成工事開始直後に減少し, 1985年は一桁目撃となった。その後増加し, 1994年に最高値を示した後再び急減した ($I-Y$, $r=-0.353$, $p>0.05$)。A₂小区に多く, A₁, D₁, D₂ 小区でも目撃は安定し, 林縁に選好性を示す種である。年個体数の30年間の増減は前年最暑月平均気温 ($r=0.491$, $p<0.01$) と高い相関を示し, 前年個体数 ($r=0.433$, $p<0.05$), 前年積算温度 ($r=-0.428$, $p<0.05$), 前年環境指数 ($r=0.398$, $p<0.05$) との相関もあり, 重回帰式 $I = 39.888E_p + 11.478T_{cp} + 9.762T_c + 5.208T_h - 248.892$ ($r^2=0.695$) で近似された。高い(低い)前年環境指数と2年続きの暖かい(寒い)冬, 更に暑い(涼しい)夏の年に増加(減少)する。

13. モンシロチョウ: 毎年, 上位1~3位を占める優占種である。1982年から年個体数は緩やかな増加傾向にあり, 2007年に最高値を示した ($I-Y$, $r=0.815$, $p<0.001$)。耕作地の多いA₂~A₄, D₂, ₃ 小区に集中して見られた。耕作地がそのまま残され目撃数が増加していったA₃小区と, 放棄後造成され目撃数が一端減少した後再び増加したA₄小区とが対照的であった。年個体数の30年間の増減は, 前年環境指数 ($r=-0.679$, $p<0.001$), 環境指数 ($r=-0.673$, $p<0.001$), 前年個体数 ($r=0.612$, $p<0.005$), 積算温度 ($r=0.520$, $p<0.005$), 最暑月平均気温 ($r=0.488$, $p<0.01$) と高い相関をもち, 前年積算温度 ($r=0.433$, $p<0.05$), 8月平均気温 ($r=0.422$, $p<0.05$) と関係があり, $I = -206.804E_p + 61.076T_h - 689.146$ ($r^2=0.626$) で近似された。低い(高い)前年環境指数で暑い(涼

しい)夏の年に増加(減少)する。

14. ツマキチョウ：年個体数は年により増減のあるものの、減少傾向がうかがえ ($I - Y$, $r = -0.590$, $p < 0.005$)、調査後半には一桁目撃がしばしばであった。 A_2 , B_3 , C_3 小区で比較的多く目撃されたが、 A_2 小区では次第に減少し、 B_3 , C_3 小区では調査後半目撃が途絶えた。代わって A_1 , D_2 小区などで目撃されるようになった。林縁で目撃されることが多い。年個体数の30年間の増減は、環境指数 ($r = 0.688$, $p < 0.001$)、前年環境指数 ($r = 0.598$, $p < 0.005$) との相関が高く、前年積算温度 ($r = -0.461$, $p < 0.05$)、前年最寒月平均気温 ($r = -0.409$, $p < 0.05$)、前年降雨量 ($r = -0.397$, $p < 0.05$) と関係があり、 $I = 7.190E + 2.333Th - 0.007Rp - 58.613$ ($r^2 = 0.693$) で近似された。環境指数が大きく(小さく)、夏が暑く(涼しく)、前年の少(多)雨の年に増加(減少)する。

15. アサギマダラ：1999年以降 A_1 , A_2 小区で1個体ずつを目撃。30年間で4個体を周辺地で目撃しており、生息地である筑波山からの移動個体と思われた ($I - Y$, $r = 0.362$, $p < 0.05$)。年個体数の30年間の増減は、相関する変数はなく、 $I = 0.112T8 + 0.103Tc - 3.083$ ($r^2 = 0.253$) で近似された。説明力は高くはないが、暖(厳)冬で夏が暑い(涼しい)年に増加(減少)する。

16. ウラギンスジヒョウモン：2008年、 A_4 小区のセイタカアワダチソウで吸蜜している姿が目撃された。筑波山からの侵入個体の可能性が高い。年個体数の30年間の増減は重回帰式 $I = 0.071Tcp + 0.056Thp - 1.628$ ($r^2 = 0.223$) が得られた。説明力は低いが、前年の冬が暖かく夏も暑い(涼しい)条件の年に増加(減少)する。

17. ミドリヒョウモン：1994~1998年にかけてそれぞれ5個体前後が目撃され、定着した可能性が高かったが、飛翔能力が大きいため、目撃が不安定な小区では他生息域からの侵入個体の可能性もあった ($I - Y$, $r =$

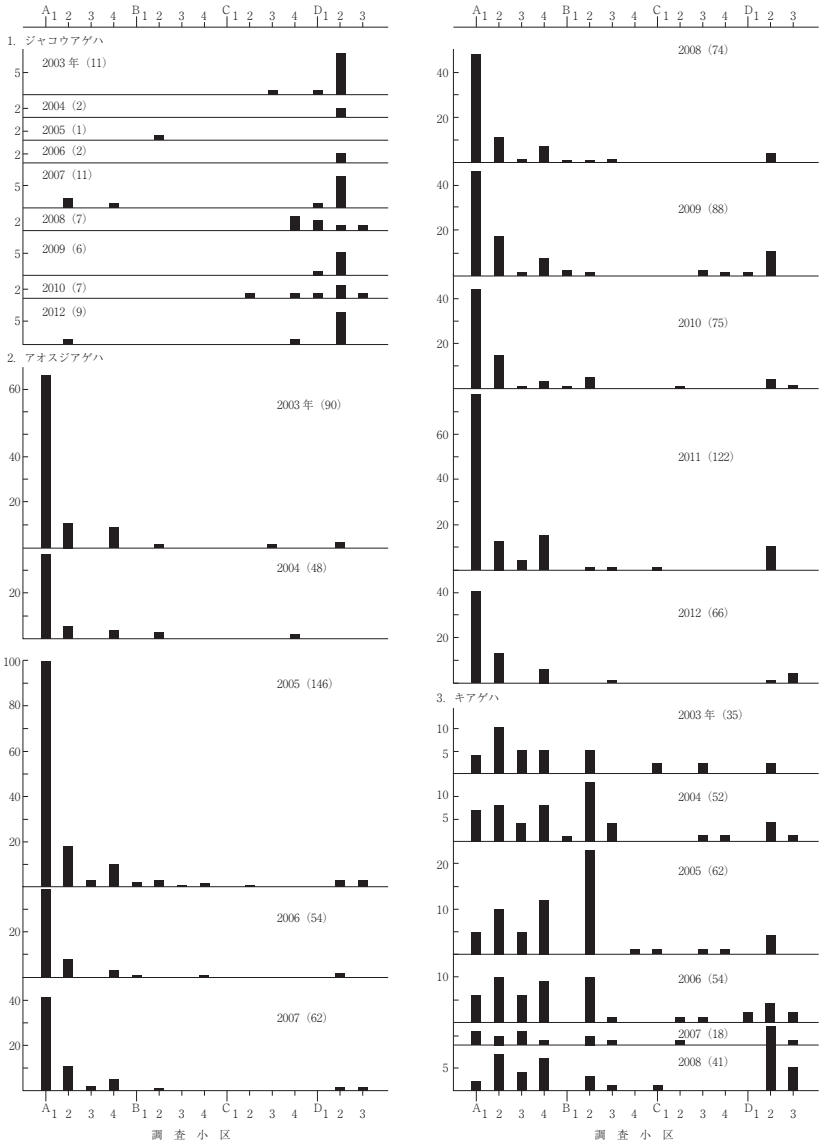


図1 目撃種63種の調査後半2003～2012年における調査小區別個体数 (カッコ内は年個体数).

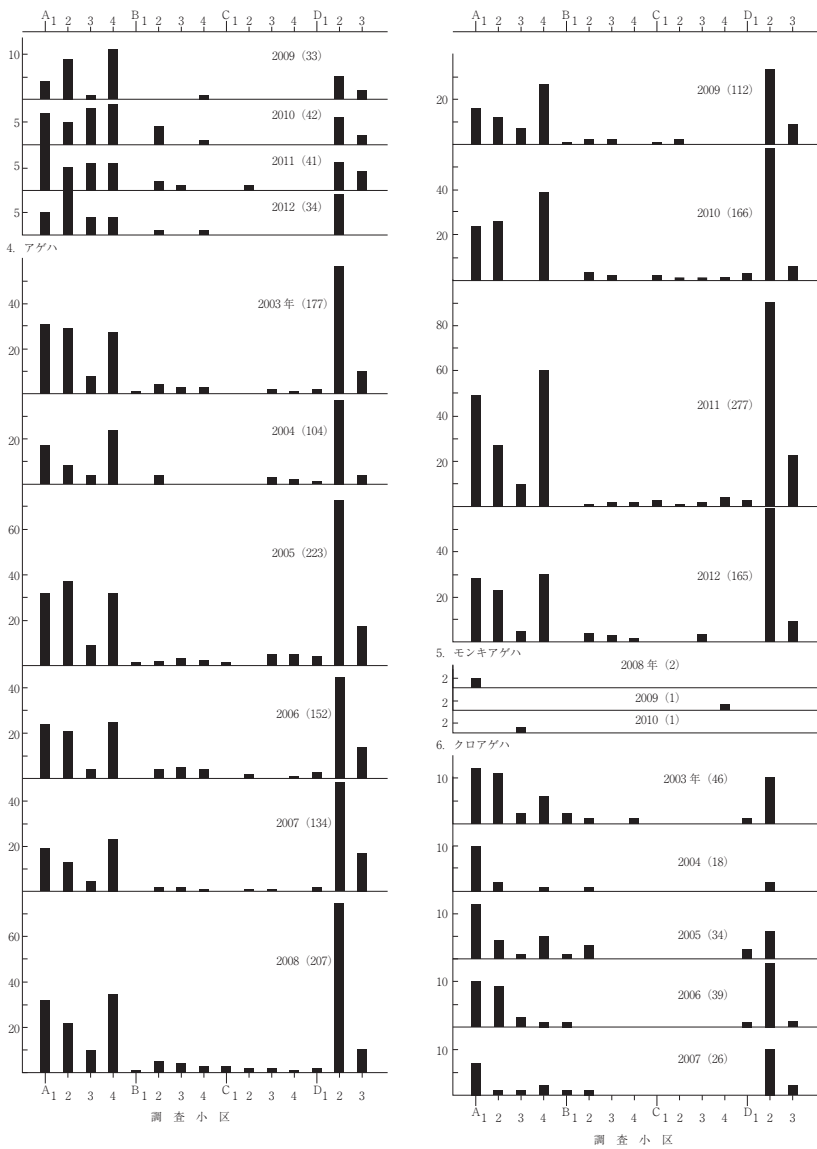


図1 つづき

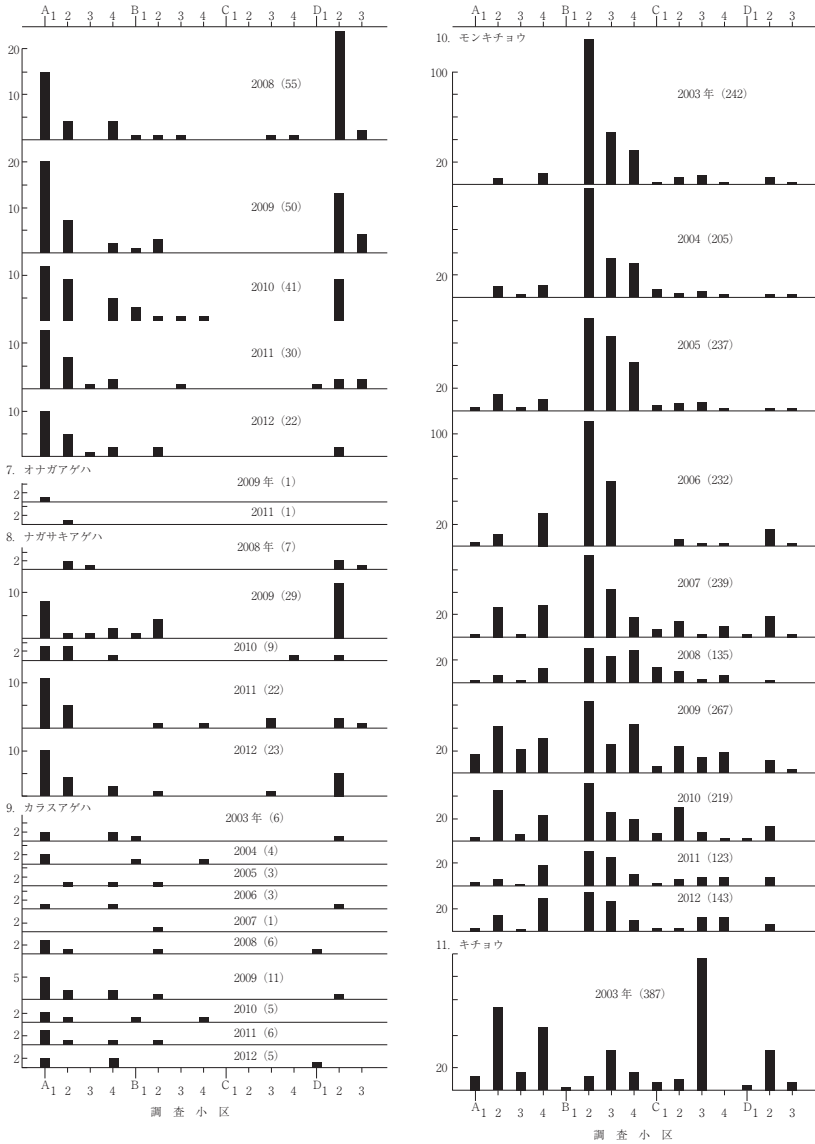


図1 つづき

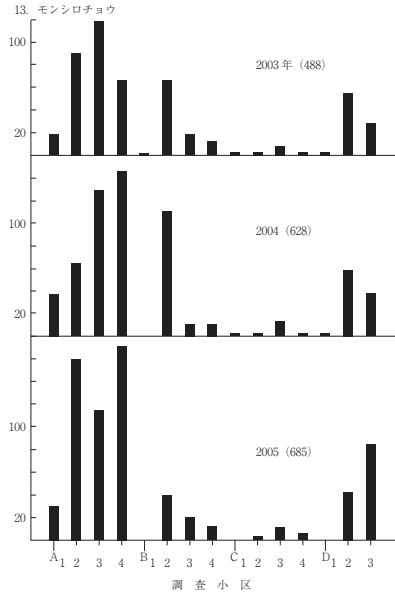
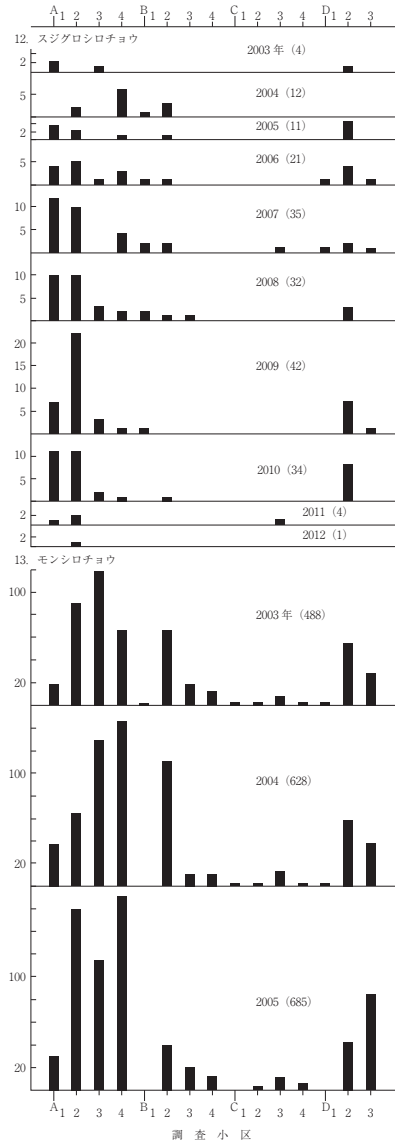
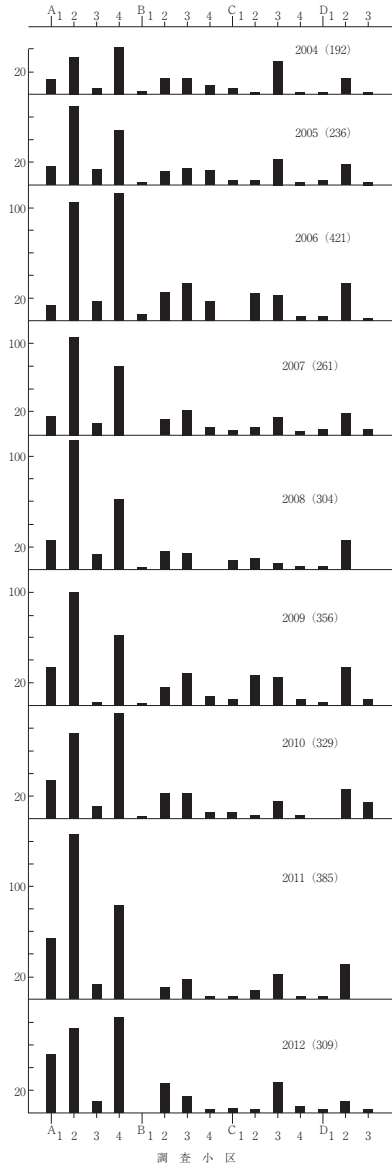


図1 つづき

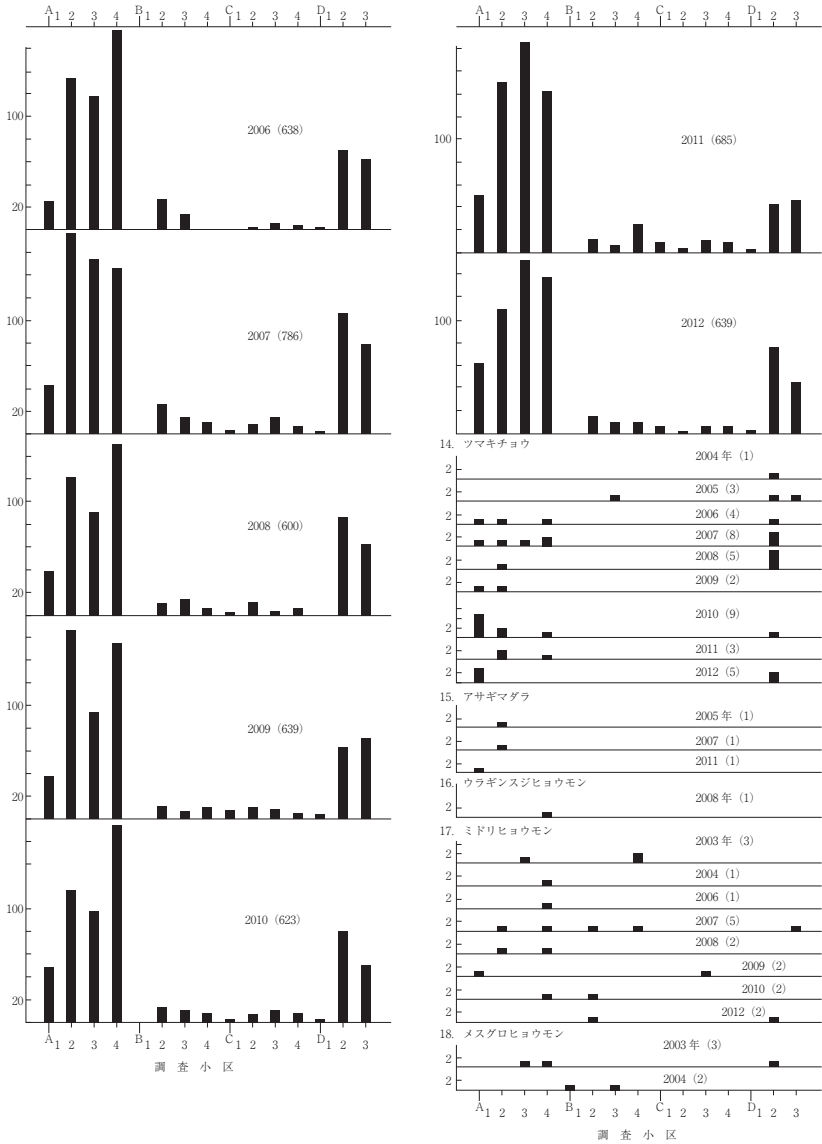


図1 つづき

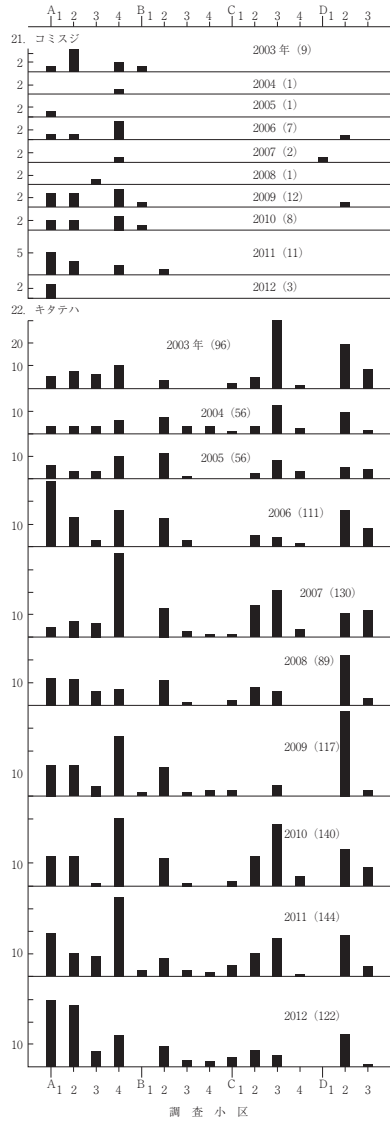
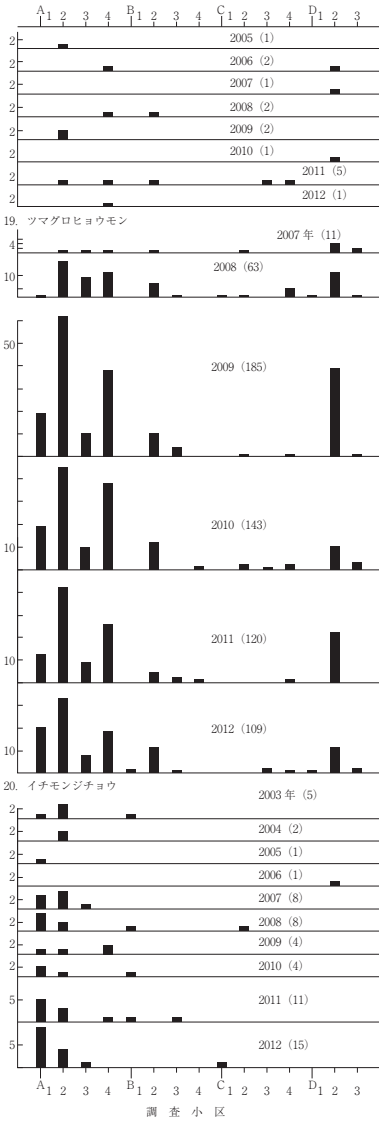


図1 つづき

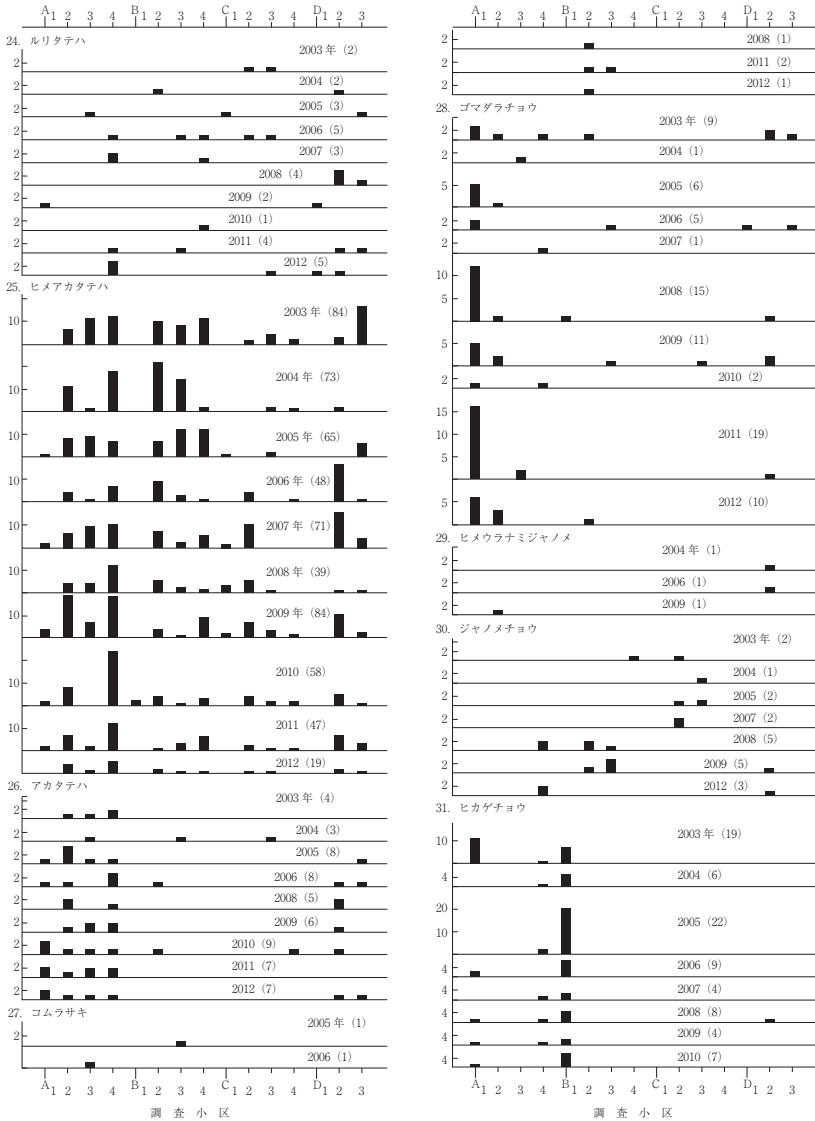


図1 つづき

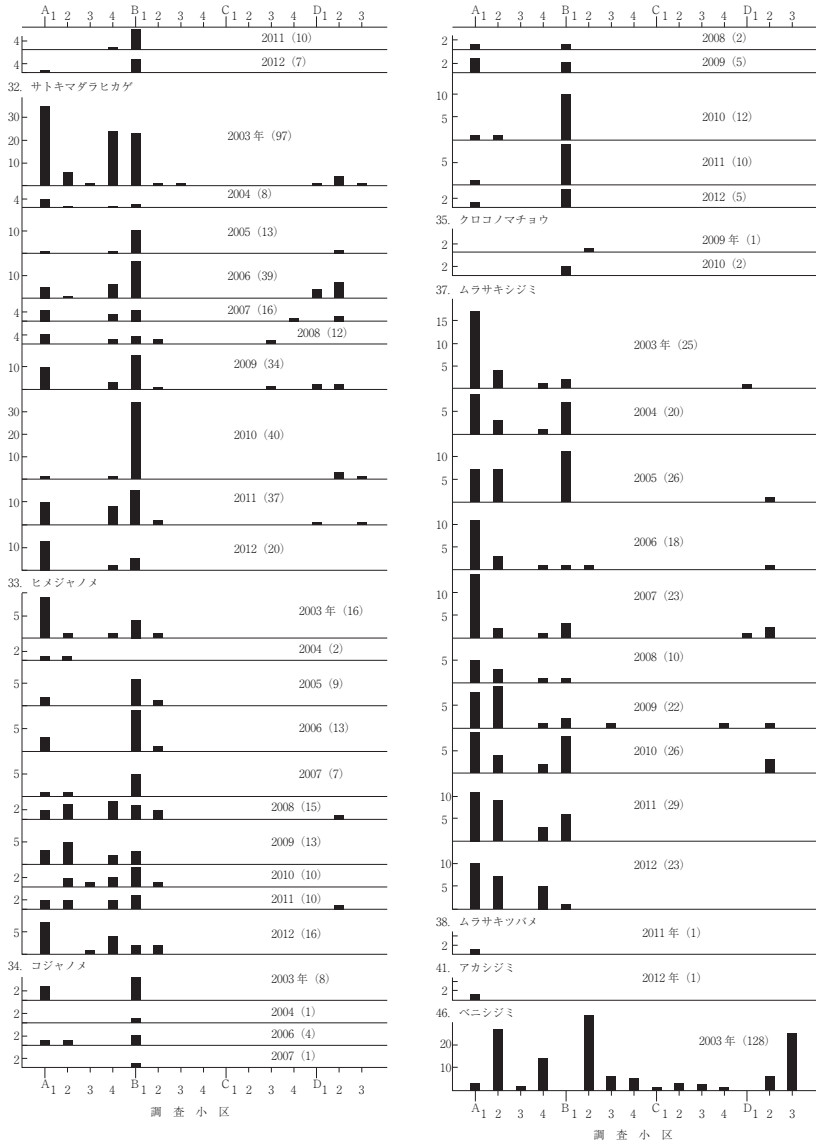


図1 つづき

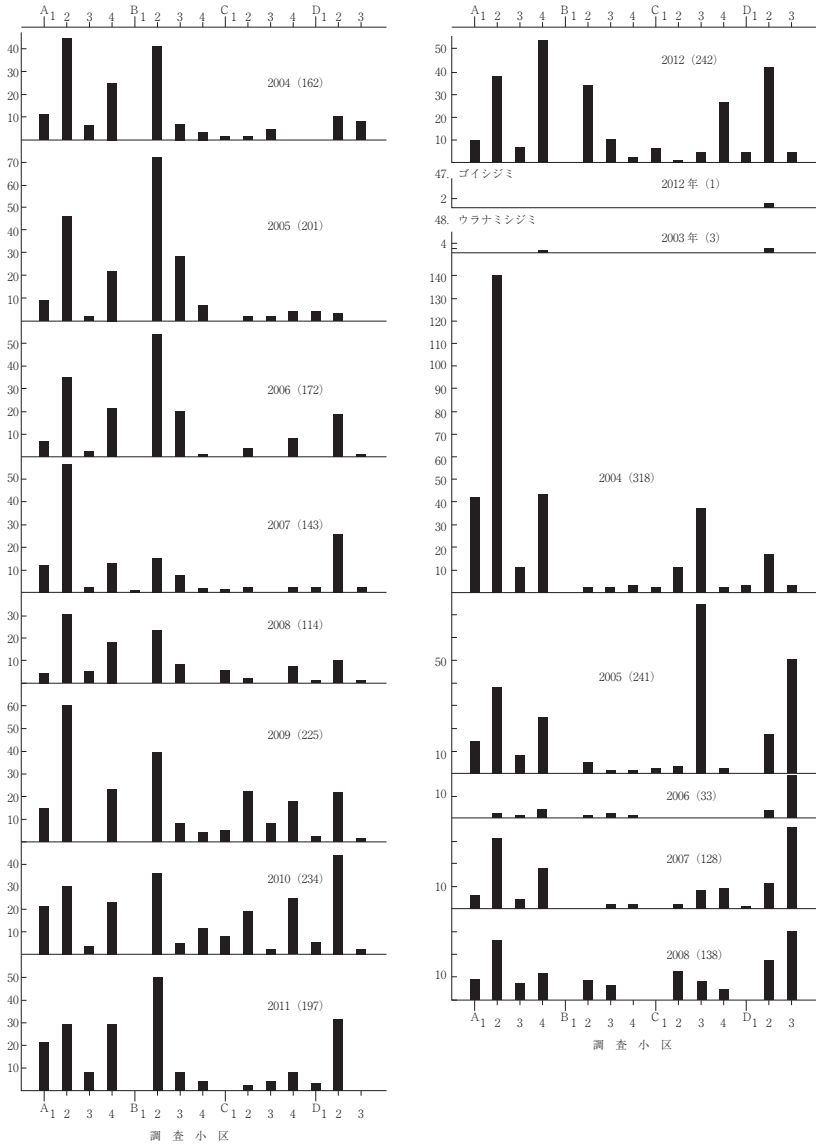


図1 つづき

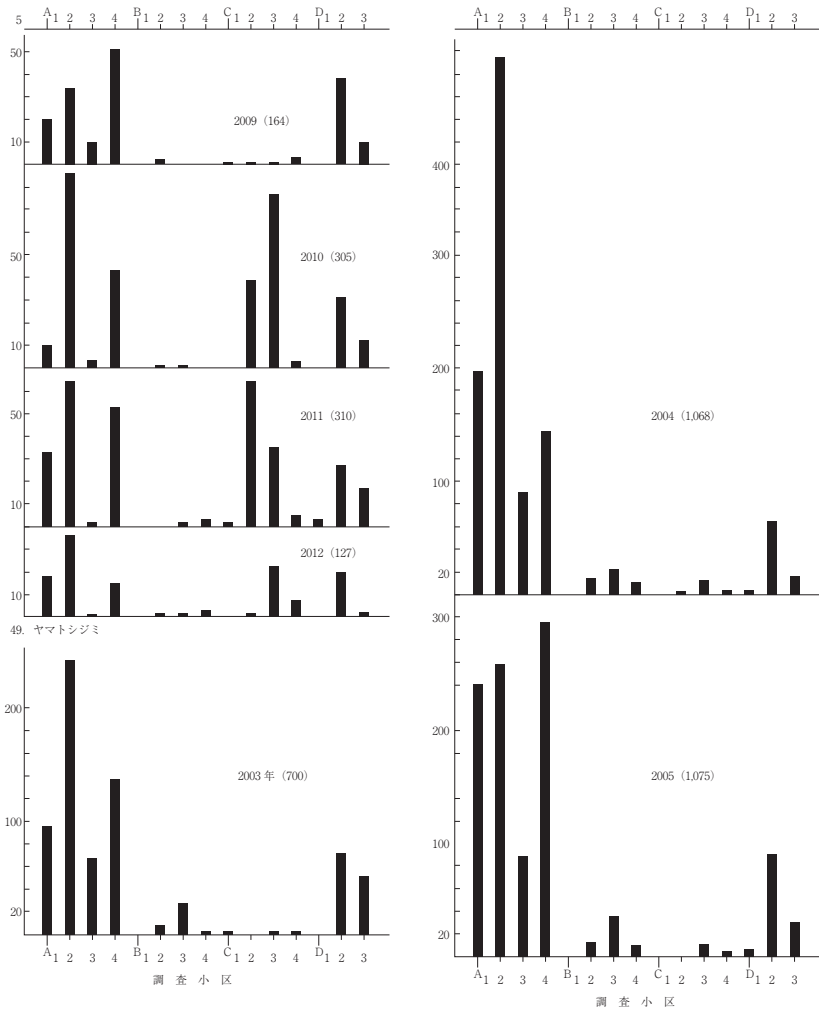


図1 つづき

60

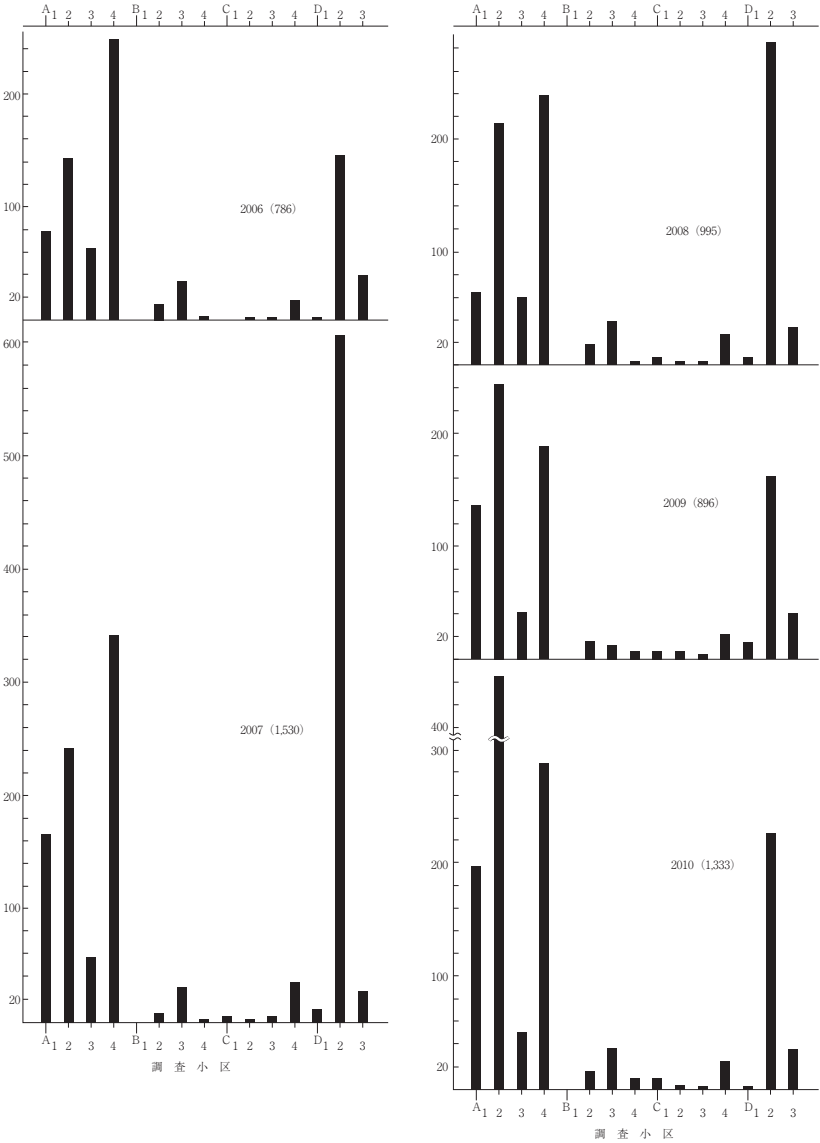


図1 つづき

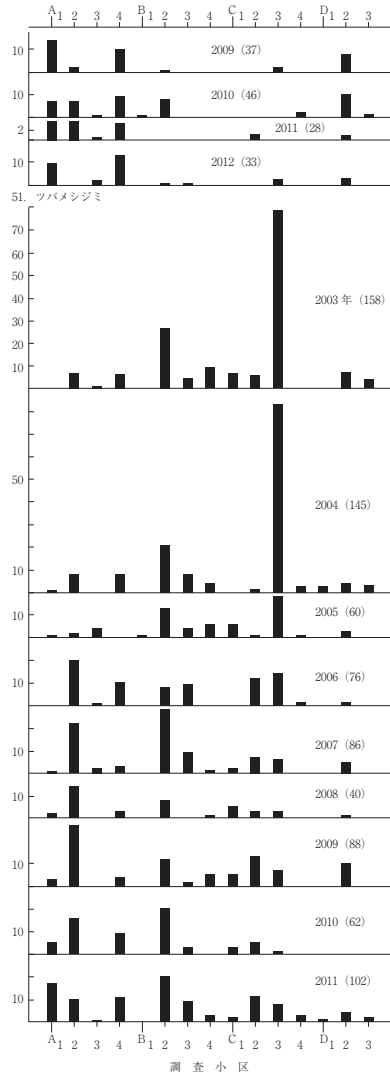
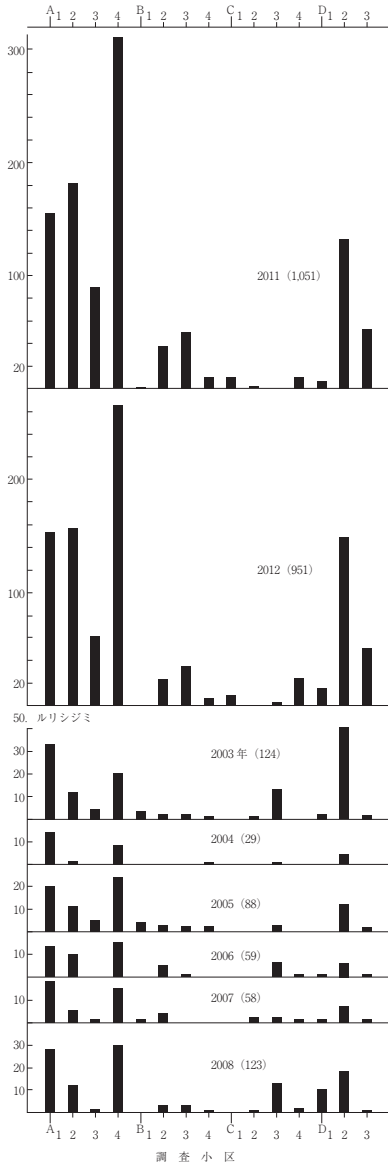


図1 つづき

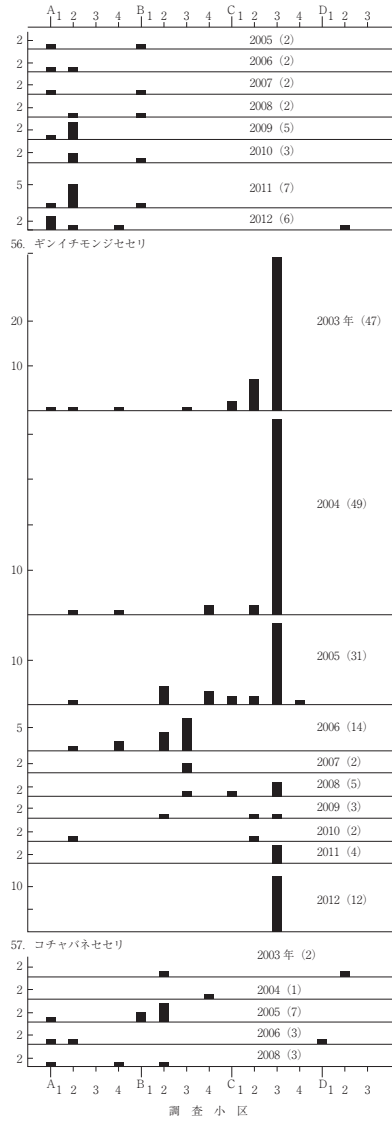
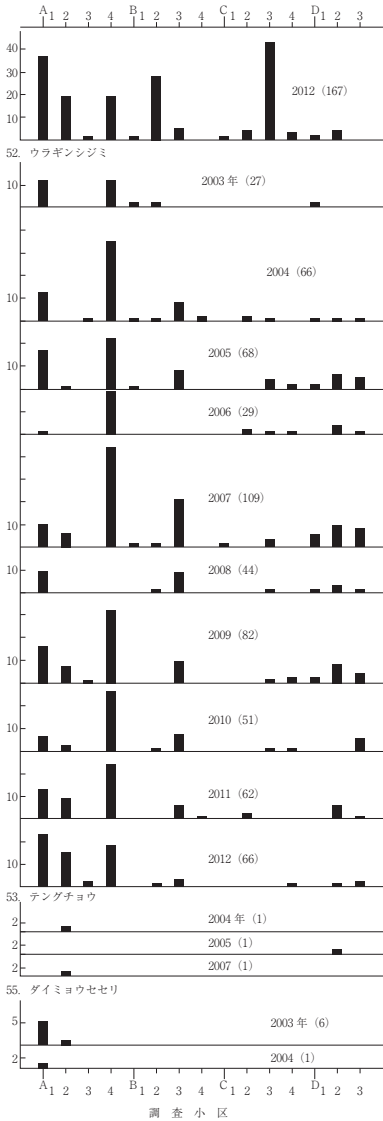


図1 つづき

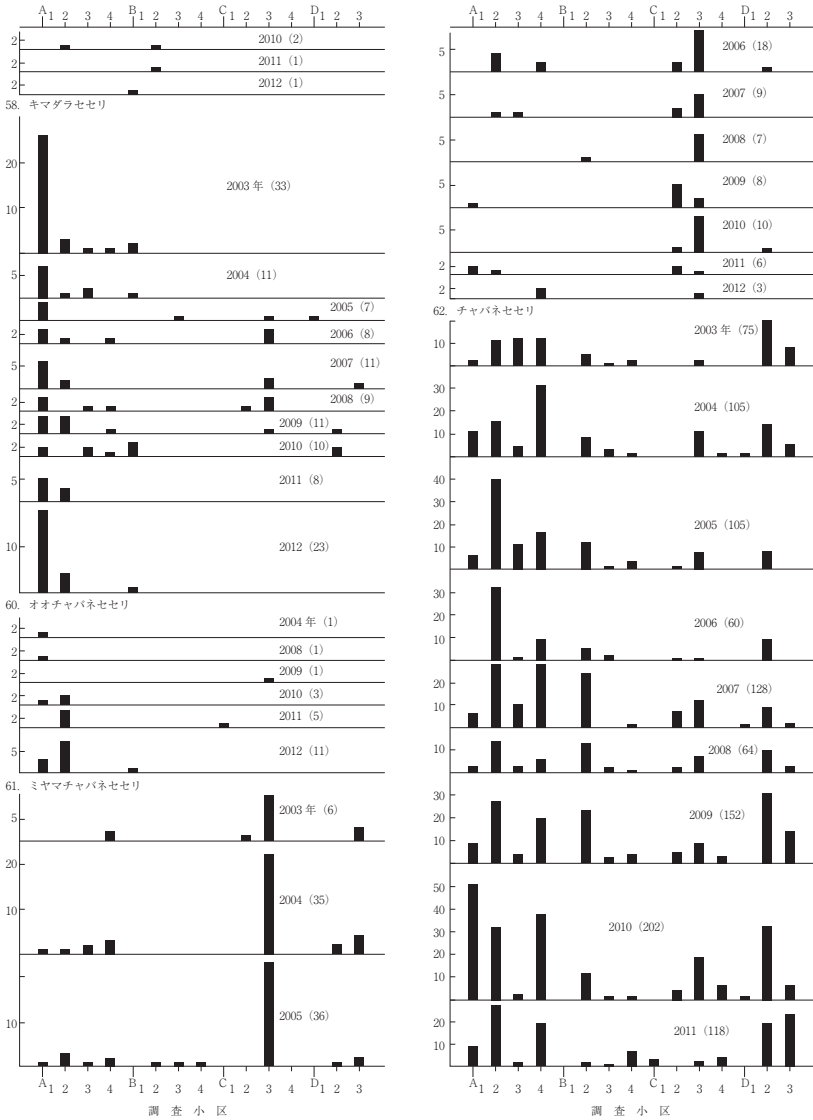


図1 つづき

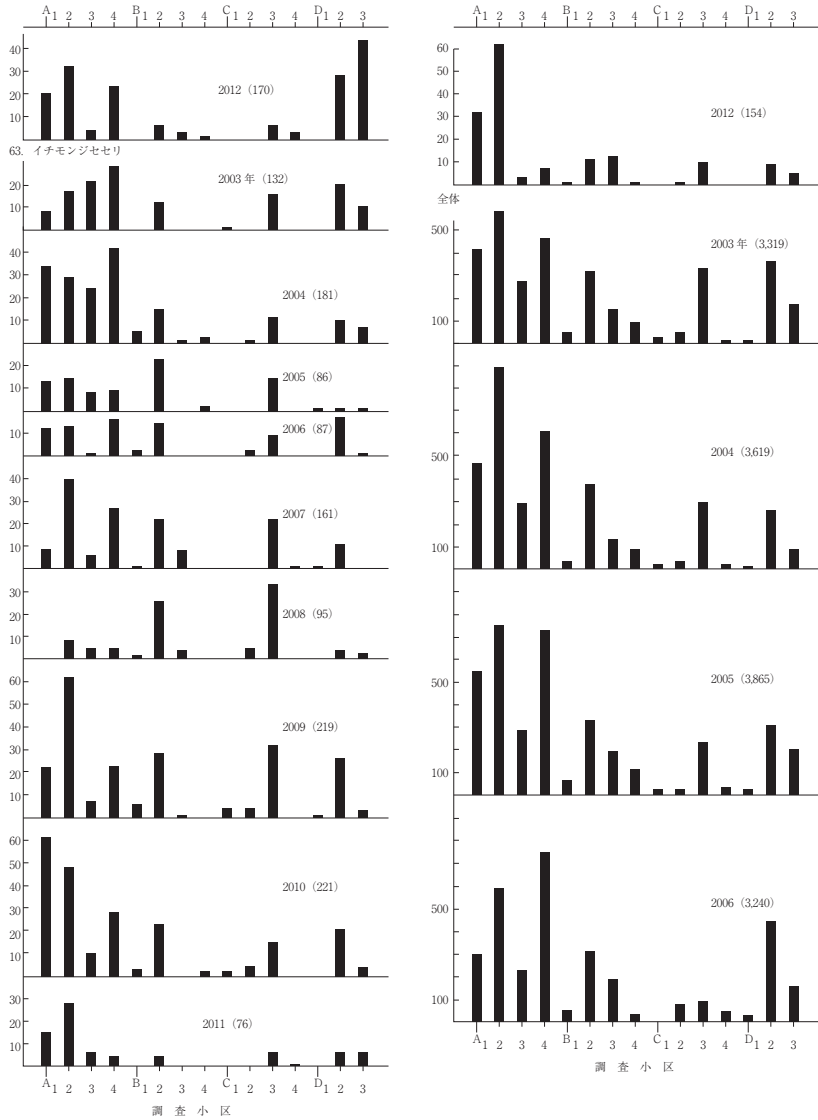


図1 つづき

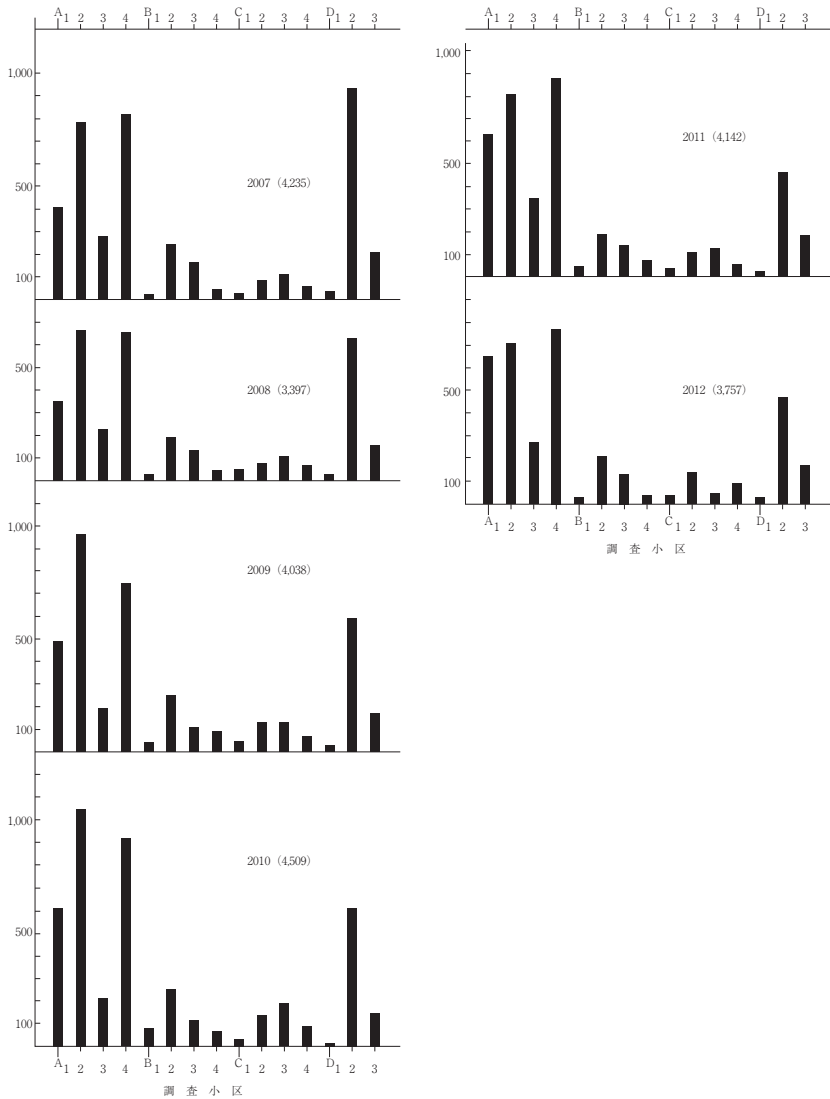


図1 つづき

0.210, $p > 0.2$)。年個体数の30年間の増減は8月平均気温との相関があり ($r = 0.411$, $p < 0.05$), $I = 0.486Tc + 0.441T8 - 0.002Rp - 9.067$ ($r^2 = 0.253$) で近似された。説明力は高くはないが, 暖(厳)冬, 暑い(涼しい)夏で, 前年が少(多)雨の年に増加(減少)する。

18 メスグロヒョウモン: 1992年に1個体が目撃されて以降, ほとんど毎年目撃されるようになり, 年によっては複数個体が目撃され, 定着した可能性が高かった ($I - Y$, $r = 0.565$, $p < 0.005$)。飛翔力が大きいため森林だけでなくオープンな場所でもしばしば目撃される。年個体数の30年間の増減は前年環境指数との相関が高く ($r = -0.576$, $p < 0.005$), 環境指数 ($r = -0.450$, $p < 0.05$), 前年積算温度 ($r = 0.386$, $p < 0.05$) とも関係があり, $I = -2.059Ep - 0.001Rp + 7.167$ ($r^2 = 0.388$) で近似された。説明力は高くはないが, 低い(高い)前年環境指数と少ない(多い)前年降雨量の年に増加(減少)する。

19. ツマグロヒョウモン: 2007年に当調査地で初めて目撃され, その後短期間で急増し, 優占種グループへの仲間入りも果たした。温暖化による北上種の典型例である ($I - Y$, $r = 0.610$, $p < 0.001$)。年個体数の30年間の増減は前年個体数と高い相関をもち ($r = 0.855$, $p < 0.001$), 環境指数 ($r = -0.453$, $p < 0.05$), 前年環境指数 ($r = -0.434$, $p < 0.05$) とも関係があり, $I = 0.967Ip - 10.343Th + 272.585$ ($r^2 = 0.764$) で近似された。前年個体数が多く(少なく), 涼しい(暑い)夏の年に増加(減少)する。

20. イチモンジチョウ: 年個体数は1982年以降増加, 1984年に最高値を示した。1985年以降は長期に渡って減少傾向にあり ($I - Y$, $r = -0.734$, $p < 0.001$), 1999年以降は一桁目撃の年が多くなった。 B_1 , B_3 , C_1 , C_2 小区に個体数が集中していたが, B_1 小区を除いて, それぞれ森林伐採と続く造成工事の進行とともに目撃されなくなり, 後年では A_1 , A_2 , B_1 小区で散発的に目撃されるだけになって来た。典型的な森林依存種である。年個

体数の30年間の増減は環境指数 ($r=0.861$, $p<0.001$), 前年環境指数 ($r=0.832$, $p<0.001$), 前年個体数 ($r=-0.829$, $p<0.001$), 積算温度 ($r=-0.601$, $p<0.001$), 前年積算温度 ($r=-0.552$, $p<0.005$), 最寒月平均気温 ($r=-0.509$, $p<0.005$) と高い相関があり, 前年最寒月平均気温 ($r=-0.383$, $p<0.05$) と関係があり, 重回帰式 $I=32.047E-45.190$ ($r^2=0.760$) が得られた。高い(低い)環境指数の年に増加(減少)する。

21. コミスジ：増減幅が大きく，減少傾向が明瞭になったのは1996年以降であった。年個体数は1983年の最高値では100を越すこともあり，増加年には優占種になるほどであったが後年は一桁台の目撃に減少してしまった ($I-Y$, $r=-0.831$, $p<0.001$)。A₂, B₁, B₃, C₁, C₂, C₃, D₃ 小區で目撃が多く，いずれの小區でも1985年に急減し，その後増減を繰り返しながら造成地の拡大とともに減少，林地として残されたB₁, D₁小區などに生息が狭められていたが，後年にはそこでも目撃は途絶えがちとなった。しかし，A区には斜面林が隣接し，生息地がなくなっているわけではない。森林性種であるが，前種よりは林縁を好む傾向をもつ。年個体数の30年間の増減は環境指数 ($r=0.858$, $p<0.001$), 前年環境指数 ($r=0.803$, $p<0.001$), 前年個体数 ($r=0.716$, $p<0.001$), 積算温度 ($r=-0.575$, $p<0.005$), 前年積算温度 ($r=-0.469$, $p<0.01$) と高い相関があり， $I=75.121E+0.034Rp-149.967$ ($r^2=0.783$) で近似された。高い(低い)環境指数で前年の多(少)雨の年に増加(減少)する。

22. キタテハ：造成開始後急増し1985年以降毎年優占種となった。年個体数は1986年に前4年間のレベルをはるかにしのぐ増加があり，30年間の最高値を示した。以後半減し，しばらくそのレベルで安定したが，2000年に再び最高値に近い急増を示し，翌年は一転30年間の最低の目撃となった。以後の10年間は増加傾向にあったが30年間を通しての全体的傾向は特にはなかった ($I-Y$, $r=0.309$, $p>0.09$)。A区，特に，A₂, A₄小區に集中し

て目撃され、そこでの増減が目撃総数の増減の原因となっていたが、その後A₄小区では、土地買収の結果耕作地が荒れ地化し、A₄、D₂小区などの耕作地周辺域にはこの種にとっての好適環境が広がった。その後、これらの小区で住宅の建設が始まるとともに減少した。一方、造成後荒れ地化したC₃小区ではセイタカアワダチソウを吸蜜源として特に2000年にかけて本種の急増がみられた。年個体数の30年間の増減は前年積算温度 ($r=0.423$, $p<0.05$), 前年8月平均気温 ($r=0.390$, $p<0.05$) との相関があり、重回帰式 $I = 12.725T8 + 11.298T8p - 522.493$ ($r^2=0.225$) で近似された。説明力は高くはないが、暑い(涼しい)夏の連続で増加(減少)する傾向がある。

23. ヒオドシチョウ：1987, 1995, 1996, 2001, 2002年に1個体ずつ目撃されたが、以降目撃されず、他生息地からの侵入種であり、短期間の定着に終わったと考えられた ($I - Y$, $r = -0.046$, $p > 0.8$)。年個体数の30年間の増減を近似する重回帰式は $I = -0.001R + 0.148Thp - 0.098T8 - 0.227$ ($r^2=0.282$) となった。説明力は高くないが、前年の涼しい(暑い)夏に続く暑い(涼しい)夏で、雨の少ない(多い)年に増加(減少)する。

24. ルリタテハ：年個体数は1987年と2002年に最高値を示したが、いずれも一桁のレベルであり、目撃のなかった年もあった。C₁小区での目撃が多かったが、森林伐採後は目撃が途絶えた ($I - Y$, $r = -0.098$, $p > 0.6$)。その後はA₄、D₂小区などでの目撃が比較的安定しており、森林への依存度が高かった。年個体数の30年間の増減に対する重回帰式は得られなかった。

25. ヒメアカタテハ：1983年に目撃数の最低値、その後、微増期を経て、1992年以降急激に個体数を増やし、1997年以降は優占種グループに仲間入りし、2002年に100個体を超えて最高値となった。以後は減少傾向を示した ($I - Y$, $r = 0.633$, $p < 0.001$)。A₂~A₄小区で目撃されることが多く、加えて後年は、B₂、C₃、D₃小区など植被の少ない荒れ地などで目撃数

を増やし、終盤ではA₄、D₂小区での目撃が目立った。年個体数の30年間の増減は前年個体数 ($r=0.679$, $p<0.001$), 前年環境指数 ($r=-0.662$, $p<0.001$), 環境指数 ($r=-0.630$, $p<0.001$), 積算温度 ($r=0.574$, $p<0.005$) と相関が強く、最寒月平均気温 ($r=0.437$, $p<0.05$) との関係もあり、 $I = 0.653I_p + 11.881T_c - 11.013T_{8p} - 0.031R_p + 304.345$ ($r^2=0.729$) で近似された。多い(少ない)前年個体数, 涼しい(暑い)夏と少(多)雨に続く暖かい(寒し)冬を経た年に増加(減少)する。

26. アカタテハ：年個体数は最高でも一桁と数は少ないがほぼ毎年目撃され、増加傾向を示した ($I - Y$, $r=0.387$, $p<0.05$)。前種とほぼ同じ環境選好性を示す。年個体数の30年間の増減は前年積算温度 ($r=0.369$, $p<0.05$) との関係があり、 $I = 0.004T_p + 0.629T_8 - 26.839$ ($r^2=0.175$) で近似された。前年が暑く(涼しく), 8月気温の高い(低い)年に増加(減少)する。説明力は高くはない。

27. コムラサキ：2002年にD₂小区で1雌を目撃。周辺からの移動個体と思われた。以後1個体目撃の年が多くなった ($I - Y$, $r=0.557$, $p<0.005$)。年個体数の30年間の増減は前年最暑月平均気温 ($r=0.468$, $p<0.01$) との相関が強く、環境指数 ($r=-0.449$, $p<0.05$), 前年環境指数 ($r=-0.412$, $p<0.05$), 前年積算温度 ($r=0.374$, $p<0.05$) との関係もあり、 $I = 0.221Th_p - 0.478E - 4.587$ ($r^2=0.374$) で近似されたが説明力は高くはない。前年の夏が暑く(涼しく), 低い(高い)環境指数の年に増加(減少)する。

28. ゴマダラチョウ：年個体数は1986年に急増して二桁の最高値を示したが、平年は一桁のレベルで安定していた ($I - Y$, $r=-0.087$, $p>0.6$)。A₁, B₁, C₁, D₃小区で目撃されることが多かったが、いずれも食樹のエノキの成木がある小区であった。C₁小区では1985年, D₃小区では1990年に伐採が進み、本種が目撃されなくなった。年個体数の30年間の増減は、積

算温度 ($r = -0.543$, $p < 0.005$) との相関が強く、前年8月平均気温 ($r = 0.428$, $p < 0.05$)、前年最暑月平均気温 ($r = 0.398$, $p < 0.05$) との関係もあり、 $I = -0.023T + 3.404T8p + 0.011Rp - 13.214$ ($r^2 = 0.549$) で近似された。前年夏が暑く(涼しく)、多(少)雨で涼しい(暑い)年に増加(減少)。

29. ヒメウラナミジャノメ：造成工事開始前には年個体数の増加が著しく、1984年には200を超える最高値を示したが、1985年に急減し、しばらく安定した後、1991年に再び急減、それまで維持し続けた優占種グループからもはずれ、最低値となり、以後、目撃されない年も多くなった ($I - Y$, $r = -0.775$, $p < 0.001$)。A₁, B₁, B₃, C₁, C₂, D₂, D₃ 小区で多く目撃され、1986年以降目撃が途絶えた小区としてB₃ 小区、1985年以降減少傾向にある小区としてA₁, C₁, C₂ 小区、1985年には減少したがその後増加し再び減少した小区としてB₁, D₂, D₃ 小区がある。1991年以降は目撃が急減したこともあり、目撃される小区は不定となった。森林、林縁などへの依存度が高い。年個体数の30年間の増減は環境指数 ($r = 0.845$, $p < 0.001$)、前年個体数 ($r = 0.836$, $p < 0.001$)、前年環境指数 ($r = 0.823$, $p < 0.001$)、前年積算温度 ($r = -0.663$, $p < 0.001$)、積算温度 ($r = -0.617$, $p < 0.001$) と高い相関があり、前年最寒月平均気温 ($r = -0.365$, $p < 0.05$) との関係もあり、重回帰式 $I = 0.638Ip - 0.132T - 15.055Thp - 0.039R + 912.546$ ($r^2 = 0.832$) で近似された。前年個体数が多く(少なく)、涼しい(暑い)、雨の少ない(多い)年に増加(減少)する。

30. ジャノメチョウ：1982年に年個体数の最高値を示したが一桁のレベルで止まり、その後目撃されない年もしばしばあった ($I - Y$, $r = -0.042$, $p > 0.8$)。植被の比較的高い荒地で目撃される。年個体数の30年間の増減を近似する重回帰式は $I = -0.002Rp + 4.360$ ($r^2 = 0.115$) となった。説明力は低いが、前年の少(多)雨条件で増加(減少)する。

31. ヒカゲチョウ：年個体数の最高値は1983年。急減した1985年を除い

て前7年間は優占種でもあったが、その後減少著しく、優占種グループからはずれ、後年では一桁目撃も珍しくなくなった ($I-Y$, $r = -0.778$, $p < 0.001$)。A₁, B₁, B₃, C₁小区に目撃のピークをもっていたが、前2小区では1985年の急減からいったん回復し再び減少という経過をたどり、後2小区では森林伐採後目撃が途絶えた。典型的な森林性種である。年個体数の30年間の増減は環境指数 ($r = 0.859$, $p < 0.001$)、前年環境指数 ($r = 0.774$, $p < 0.001$)、前年個体数 ($r = 0.709$, $p < 0.001$)、積算温度 ($r = -0.654$, $p < 0.001$)、前年積算温度 ($r = -0.513$, $p < 0.005$) と相関が高く、最寒月平均気温 ($r = -0.386$, $p < 0.05$)、前年最寒月平均気温 ($r = -0.366$, $p < 0.05$) との関係もあり、 $I = 111.381E + 0.061Rp - 0.083T + 48.633$ ($r^2 = 0.826$) で近似された。前年の多(少)雨、高い(低い)環境指数、低(高)温条件の年に増加(減少)する。

32. サトキマダラヒカゲ：年個体数の増減が激しく、増加時には200個体前後が目撃されたが、減少時には40個体を切ることもあった。最高値の1988年を境に急減し、1994年には最低値を記録し、減少傾向にあった ($I-Y$, $r = -0.587$, $p < 0.005$)。A₁, B₁, B₃, C₁小区に目撃のピークがあり、前2小区では1985年の急減期から回復後再び減少したが、後2小区では森林伐採後目撃が途絶えた。前種同様森林への依存度が高い。年個体数の30年間の増減は環境指数 ($r = 0.719$, $p < 0.001$)、前年環境指数 ($r = 0.689$, $p < 0.001$)、積算温度 ($r = -0.614$, $p < 0.001$) と高い相関をもち、前年個体数 ($r = 0.465$, $p < 0.05$) との関係もあり、 $I = 94.303E - 0.130T - 11.789Thp + 649.052$ ($r^2 = 0.738$) で近似された。前年夏が涼しく(暑く)、高い(低い)環境指数で涼しい(暑い)年に増加(減少)する。

33. ヒメジャノメ：1982~1984年にかけて年個体数は増加し、1984年に最高値を示したが、1985年に急減、以後減少傾向にあり、後年では一桁目撃の年も多くなった ($I-Y$, $r = -0.600$, $p < 0.001$)。A₁, B₁, B₃小区に

目撃が集中したが、いずれの小区でも、程度の差はあったが1985年以降減少、特にB₃小区で急減した。森林への依存度が高い。年個体数の30年間の増減は環境指数 ($r = -0.616$, $p < 0.001$), 積算温度 ($r = -0.613$, $p < 0.001$), 前年環境指数 ($r = 0.541$, $p < 0.005$), 前年個体数 ($r = 0.536$, $p < 0.005$) と高い相関をもち、前年積算温度 ($r = -0.437$, $p < 0.05$), 最寒月平均気温 ($r = -0.374$, $p < 0.05$) との関係もあり、 $I = -0.076T + 6.441T8 - 4.710Thp + 240.030$ ($r^2 = 0.557$) で近似できた。前年の涼しい(暑い)夏に続く、低(高)温年ながら夏は暑い(涼しい)年に増加(減少)する。

34. コジヤノメ：年個体数は1983年にピークをもち、その後減少して一桁のレベルまで落ちたが、後年は二桁目撃の年もあり、安定状態を維持していた ($I - Y$, $r = -0.403$, $p < 0.05$)。A₁, B₁, B₃小区に目撃が多く、前2小区では年変化が小さかったが、後小区では1985年以降目撃が途絶えた。森林への依存度が高い。年個体数の30年間の増減は前年環境指数 ($r = 0.395$, $p < 0.05$) と環境指数 ($r = 0.370$, $p < 0.05$) との関係があり、説明力は高くはないが、 $I = 5.569E + 0.372Ip + 1.697T_{cp} - 9.890$ ($r^2 = 0.371$) で近似された。前年が暖(厳)冬で前年個体数が多く(少なく)、環境指数の高い(低い)年に増加(減少)する。

35. クロコノマチョウ：温暖化に伴う北上種の一つで、1995年、茨城県各地で同種の日撃情報が多発した。その年B₁小区で1メスを目撃した。その後茨城県は定着地となったが、当調査地では2009年と2010年にそれぞれ1個体が目撃されるにとどまった。年個体数の30年間の増減に関係する変数はなかったが、重回帰式 $I = 0.198Th + 0.344Ip + 0.001R - 0.124Thp - 2.555$ で近似された ($r^2 = 0.320$)。説明力は高くはない。前年の夏が涼しく(暑く)、前年個体数が多く(少なく)、暑い(涼しい)夏の年に増加(減少)する。

36. ウスイロコノマチョウ：前種と同様の北上種の一つ。1997年D₁小

区で1個体を目撃。 $I = -0.096Thp + 0.001Rp - 0.119E + 3.100$ ($r^2 = 0.250$) で近似されたが、説明力は高くない。前年の夏が涼しく（暑く）、雨の多い（少ない）、低い（高い）環境指数の年に増加（減少）する。

37. ムラサキシジミ：激しく増減を繰り返し、1983年に最高値、1986、1996年には最低値となり、減少時には一桁のレベルとなった ($I - Y$, $r = -0.113$, $p > 0.5$)。 A_1 , A_2 , B_1 小区で多く目撃され、いずれの小区でも1985年に減少し、その後増加、再び減少という共通の年変化パターンがみられた。森林から林縁にかけて目撃される。特に相関の高い変数はないが、年個体数の30年間の増減を近似する重回帰式は $I = 4.274Tc + 7.713E - 7.717$ ($r^2 = 0.167$) となった。説明力は弱いだが、暖かい（寒い）冬と高い（低い）環境指数で増加（減少）する。

38. ムラサキツバメ：本種も温暖化に伴う北上種の一つ。近隣のつくば市では植栽されているマテバシイを食樹として1990年代後半から定着の報告がされていたが（井上，2004）、当調査地では2011年に1個体が目撃された。年個体数の30年間の増減は前年8月平均気温 ($r = 0.368$, $p < 0.05$) と前年最暑月平均気温 ($r = 0.366$, $p < 0.05$) との関係があり、説明力は弱いだが、 $I = 0.095Thp + 0.001Rp - 2.705$ ($r^2 = 0.229$) で近似された。前年の暑い（涼しい）夏と多（少）雨条件で増加（減少）する。

39. ウラゴマダラシジミ：減少傾向にあり調査後半には目撃が途絶えた ($I - Y$, $r = -0.508$, $p < 0.005$)。 C_1 小区で多く目撃されたが、森林伐採後目撃が途絶えた。森林への依存度が高い。年個体数の30年間の増減は環境指数 ($r = 0.580$, $p < 0.005$)、前年積算温度 ($r = -0.476$, $p < 0.01$)、積算温度 ($r = -0.468$, $p < 0.01$) との相関が高く、前年個体数 ($r = -0.461$, $p < 0.05$) や前年環境指数 ($r = 0.449$, $p < 0.05$) とも相関があり、重回帰式 $I = 2.082E - 3.368$ ($r^2 = 0.253$) で近似された。高い（低い）環境指数の年に増加（減少）する。説明力は弱い。

40. ウラナミアカシジミ：1985, 1986年に各1個体がC₁小区で目撃された。定着性の強い種のため、調査地内でわずかではあるが生息していると考えられたが、後20年余は目撃がなく当調査地では絶滅した可能性が高い（I-Y, $r = -0.343$, $p > 0.06$ ）。森林への依存度が高い。年個体数の30年間の増減は前年最寒月平均気温（ $r = -0.512$, $p < 0.005$ ）との相関が強く、前年個体数（ $r = 0.462$, $p < 0.05$ ）、前年環境指数（ $r = 0.431$, $p < 0.05$ ）、最寒月平均気温（ $r = -0.406$, $p < 0.05$ ）、環境指数（ $r = 0.364$, $p < 0.05$ ）との相関もあり、 $I = -0.110T_{cp} - 0.084T_c + 0.233I_p + 0.613$ （ $r_2 = 0.486$ ）で近似された。前年個体数が多く（少なく）、2年続きの寒い（暖かい）冬の条件の年に増加（減少）する。

41. アカシジミ：2012年になって初めてA₁小区の林地で目撃された。このような希少種でしかも薄暮性の種の生息状況はその種の活動時間帯での調査を併せてする必要性があることを示す例である。年個体数の30年間の増減は、説明力が弱いだが、 $I = -0.250E - 0.070T_c - 0.062T_{cp} + 0.880$ （ $r^2 = 0.282$ ）で近似された。

42. ミズイロオナガシジミ：C₁, D₁, D₂小区で目撃されたことがあるが、目撃個体が非常に少なく、後20年以上目撃されず絶滅した可能性が高い（I-Y, $r = -0.463$, $p < 0.05$ ）。森林への依存度が高い種である。年個体数の30年間の増減は積算温度（ $r = -0.534$, $p < 0.005$ ）と環境指数（ $r = 0.517$, $p < 0.005$ ）との相関が強く、前年環境指数（ $r = 0.438$, $p < 0.05$ ）との関係もあり、 $I = -0.002T + 5.580$ （ $r^2 = 0.249$ ）で近似された。説明力は弱いだが、低（高）温年に増加（減少）する。

43. オオミドリシジミ：C区などの雑木林で目撃が期待できるが、個体数が少なく、後20年余目撃されていない（I-Y, $r = -0.514$, $p < 0.005$ ）。年個体数の30年間の増減は環境指数（ $r = 0.555$, $p < 0.005$ ）、前年環境指数（ $r = 0.541$, $p < 0.005$ ）、積算温度（ $r = -0.481$, $p < 0.01$ ）との相関が高く、

前年個体数 ($r=0.415$, $p<0.05$), 前年積算温度 ($r=-0.370$, $p<0.05$) との関係もあり, $I = 1.353E_p + 0.310T_{cp} - 3.196$ ($r^2=0.424$) で近似された。高い(低い)前年環境指数と前年が暖(厳)冬の年に増加(減少)する。

44. トラフシジミ: 1987~1989年にかけて増加傾向がみられたが, その後再び, 年1, 2個体目撃のレベルに戻り, 目撃されない年も増え, 後10年間は目撃が途絶えた ($I - Y$, $r = -0.593$, $p < 0.005$)。目撃小区も安定していない。年個体数の30年間の増減は前年環境指数 ($r=0.691$, $p < 0.001$), 前年個体数 ($r=0.629$, $p < 0.001$), 環境指数 ($r=0.522$, $p < 0.005$) との相関が高く, 前年積算温度 ($r = -0.403$, $p < 0.05$) との相関もあり, 重回帰式 $I = 2.962E_p + 0.778T_c + 0.332 I_p - 7.213$ ($r^2=0.727$) で近似された。高い(低い)前年環境指数, 多い(少ない)前年個体数に続く暖(厳)冬の年に増加(減少)する。

45. コツバメ: 1996年C₃小区で1個体を目撃。 $I = -0.070T_h + 1.854$ で近似されるも説明力は低い ($r^2=0.125$)。涼しい(暑い)夏の年に増加(減少)する。

46. ベニシジミ: 1982年に年個体数の最低値となったが, 1999年以降明瞭な増加傾向を示し, 2012年には最高値となった ($I - Y$, $r=0.857$, $p < 0.001$)。当初, A₂, A₃, A₄小区で多く目撃され, 造成地の拡大とともに, 1999年以降, B₂, D₂小区などでも増加し, 優占種グループに仲間入りした。耕作地の周辺域および植被のまばらな荒地地に選好性をもつ。年個体数の30年間の増減は, 前年個体数 ($r=0.915$, $p < 0.001$), 環境指数 ($r = -0.683$, $p < 0.001$), 前年環境指数 ($r = -0.678$, $p < 0.001$) との相関が高く, 前年積算温度 ($r=0.392$, $p < 0.05$), 積算温度 ($r=0.385$, $p < 0.05$) との相関もあり, 重回帰式 $I = 0.888I_p - 10.724T_{8p} - 26.208E + 343.018$ で近似された ($r^2=0.875$)。前年個体数が多く(少なく), 前年の夏が涼しく(暑く), 低い(高い)環境指数の年に増加(減少)する。

47. ゴイシジミ：1985年になって目撃数が急増、翌年さらに増加し、3桁のレベルの最高値を示したが、例年は1桁の目撃レベルにあり、年によっては目撃できないこともあった（I-Y, $r = -0.395$, $p < 0.05$ ）。急増は伐採直後のC₁小区で起こった。森林伐採後の生息地の明化がこの種の好適環境を準備し、一方で、残された数少ない好適環境への周辺からの移入がそこでの一時的個体数の急増をもたらした例と思われた。年個体数の30年間の増減は前年個体数（ $r = 0.529$, $p < 0.005$ ）と前年最寒月平均気温（ $r = -0.481$, $p < 0.01$ ）との相関が高く、前年環境指数（ $r = 0.442$, $p < 0.05$ ）、環境指数（ $r = 0.436$, $p < 0.05$ ）との関係もあり、重回帰式 $I = 0.414 I_p - 8.217 T_{cp} - 5.839 T_c + 45.298$ （ $r^2 = 0.483$ ）で近似された。前年個体数が多く（少なく）、2年続きの寒い（暖かい）冬の年に増加（減少）する。

48. ウラナミシジミ：長い漸増期間を経て、1999年以降急増、優占種グループへの仲間入りをするとともに2002年には300個体を超えて最高値を示した。急増年の翌年は急減する傾向がある（I-Y, $r = 0.668$, $p < 0.001$ ）。耕作地を含むA₂, A₄, D₂小区では食草のアズキなどに、C₃小区では同じく先駆植物のクズに誘引されていた。耕作地だけでなくクズの分布する荒地などへも分布を拡大していた。年個体数の30年間の増減は環境指数（ $r = -0.604$, $p < 0.001$ ）、前年環境指数（ $r = -0.598$, $p < 0.005$ ）、積算温度（ $r = 0.523$, $p < 0.005$ ）、前年個体数（ $r = 0.503$, $p < 0.01$ ）と相関が高く、前年積算温度（ $r = 0.403$, $p < 0.05$ ）との相関もあり、 $I = -165.807E + 45.629Th - 762.117$ （ $r^2 = 0.486$ ）で近似された。低い（高い）環境指数と暑い（涼しい）夏の年ほど増加（減少）する。

49. ヤマトシジミ：年個体数の上位1～3位を毎年占める優占種であり、1996年までは減少気味であったが、その後急増し、特に2001年以降はしばしば1,000個体を超え、増加傾向は明らかであった。（I-Y, $r = 0.807$, $p < 0.001$ ）。A, B区, C₃, C₄, D₂小区で目撃が多かったが、A区, D₂小区

では調査全期にわたって多数が目撃されたものの、B区、C₃、C₄小区では造成工事開始後にはほとんど目撃されなくなった。食草であるカタバミへの依存度が高く、荒地地や林縁などを好む。年個体数の30年間の増減は前年個体数 ($r=0.749$, $p<0.001$), 前年環境指数 ($r=-0.698$, $p<0.001$), 環境指数 ($r=-0.647$, $p<0.001$), 積算温度 ($r=0.511$, $p<0.005$) との相関が高く、最暑月平均気温 ($r=0.401$, $p<0.05$), 前年積算温度 ($r=0.399$, $p<0.05$) との相関もあり、 $I = 0.796 I_p + 148.403 Th - 102.366 Thp + 78.031 Tc - 1,260.060$ ($r^2=0.843$) で近似された。前年個体数が多く(少なく), 前年の涼しい(暑い)夏に続く暖(厳)冬を経ての暑い夏の年に増加(減少)する。

50. ルリシジミ：年個体数は増減を繰り返し、多いときには3桁のレベルになることもあったが(1987年)、通常は30~50個体の間にあった。その後1988~2001年までは減少傾向を示したが、以降は大きく増減した($I - Y$, $r = -0.312$, $p > 0.09$)。目撃の多い年には優占種となることもあった。A₁, A₂, B₁, B₃, C₁, C₃小区などに目撃が集中したが、前3小区では増減を繰り返し、後3小区では急減と、年変化パターンは小区によって様々であった。後年の増加は特にD₂小区での目撃増の影響が大きかった。林縁、森林で目撃される。年個体数の30年間の増減は環境指数との相関が高く($r=0.467$, $p<0.01$), 積算温度 ($r = -0.368$, $p < 0.05$) との相関もあり、 $I = 33.919E - 2.632$ ($r^2=0.178$) で近似された。説明力は弱いだが、環境指数の上昇(低下)により増加(減少)する。

51. ツバメシジミ：1983年に年個体数の最低値、1995年に最高値を示し、後10年ほどはほとんどの年で3桁のレベルで目撃され、優占種になることも多かった。一方、2005年以降しばらくは初期の低レベル状態で推移したが、その後再び増加傾向となった($I - Y$, $r = 0.078$, $p > 0.6$)。当初、A₂, B₂, C₃小区に目撃のピークをもっていたが、前2小区では増減を繰り返し、

一方、C₃小区では1989年の再造成以降いったんほとんど目撃されなくなったが、荒れ地化の進行で植生が回復するとともに再び大きく増加した。荒れ地への依存度が高い。年個体数の30年間の増減は相関する変数はなく、説明力は高くはないが、 $I = -0.492 I_p + 27.232 T_8 - 638.563$ ($r^2 = 0.244$) で近似された。少ない（多い）前年個体数と暑い（涼しい）夏の年に増加（減少）する。

52. ウラギンシジミ：1987年に年個体数は70個体を超えて優占種ともなったが、以後、減少傾向がみられ、1998年に最低値を示した。その後増加傾向が顕著となり、優占種となる年も多くなった（ $I - Y$, $r = 0.333$, $p > 0.07$ ）。調査前半ではほとんどの小区で万遍なく目撃されたが、特にA₁, A₂, B₁, B₃小区, C区, D₂小区で、後半ではA区, 特に, A₄小区で目撃が多かった。これらの小区では、森林伐採後目撃がほとんどなくなったB₃小区, C区を除いて、年変化パターンがよく似ていた。林縁を好む。年個体数の30年間の増減は相関する変数はなかったものの、 $I = 8.616 T_h - 177.165$ ($r^2 = 0.121$) で近似された。説明力は弱いだが、暑い（涼しい）夏の年に増加（減少）する。

53. テングチョウ：1986年になって初めて1個体がA₂小区で目撃され、その後目撃年が続き、調査地周辺からの侵入個体が定着し増加した可能性があったが、1996年以降再び目撃が途絶え、2003年になって再び1個体目撃の年が間欠的にみられるようになった（ $I - Y$, $r = -0.302$, $p > 0.1$ ）。年個体数の30年間の増減は前年降水量（ $r = 0.486$, $p < 0.01$ ）との相関が高く、前年個体数（ $r = 0.466$, $p < 0.05$ ）、最寒月平均気温（ $r = 0.432$, $p < 0.05$ ）とも相関があり、 $I = 0.809 E_p + 0.301 T_c + 0.001 R_p + 0.001 R + 0.235 I_p - 4.464$ ($r^2 = 0.699$) で近似された。前年の環境指数が高く（低く）、個体数が多く（少なく）、2年続きの多（少）雨で暖かい（寒い）冬の年ほど増加（減少）する傾向がある。

54. ミヤマセセリ：年個体数は、1982、1987年には10個体を越えたが、例年は5個体を下回ることが多く、1995年以降目撃が途絶えた（ $I - Y$, $r = -0.642$, $p < 0.001$ ）。 C_1 小区に目撃が集中していたが、森林伐採で目撃が途絶えた。年個体数の30年間の増減は環境指数（ $r = 0.710$, $p < 0.001$ ）、前年環境指数（ $r = 0.621$, $p < 0.001$ ）、前年積算温度（ $r = -0.552$, $p < 0.005$ ）、前年個体数（ $r = 0.545$, $p < 0.005$ ）との相関が高く、前年最寒月平均気温（ $r = -0.405$, $p < 0.05$ ）との相関もあり、 $I = 5.595E + 0.004T + 0.003Rp - 27.318$ （ $r^2 = 0.535$ ）で近似された。前年の多（少）雨に続いて、環境指数が高く（低く）、暑い（涼しい）年に増加（減少）する。

55. ダイミョウセセリ：1985年を除いて10～20個体の目撃レベルにあったが、後年は減少し、一桁レベルで推移した（ $I - Y$, $r = -0.586$, $p < 0.005$ ）。当初は A_1 , A_2 , B_1 , C_1 , D_1 小区で目撃が多かったが、森林伐採後は B_1 , D_1 小区を残して激減した。後年はその2小区での目撃も途絶えた。森林から林縁にかけて目撃される。年個体数の30年間の増減は前年個体数（ $r = 0.772$, $p < 0.001$ ）、前年環境指数（ $r = 0.495$, $p < 0.01$ ）、環境指数（ $r = 0.479$, $p < 0.01$ ）と相関が高く、 $I = 0.748Ip - 1.841Th + 50.066$ （ $r^2 = 0.649$ ）で近似された。前年個体数が多く（少なく）涼しい夏の年に増加（減少）する。

56. ギンイチモンジセセリ：前半年では1個体の目撃がしばしばで、目撃がない年もあったが、1988年以降、いったん目撃されない期間を挟んで複数個体が目撃されるようになり、2003～2005年には優占種になるほどに急増し、再び急減、一桁目撃レベルに戻った（ $I - Y$, $r = 0.366$, $p < 0.05$ ）。当初は B_2 小区での目撃が多く、後、造成後の植生の回復とともに、特に、 C_3 小区などで増加したが、当該小区での植生の成熟に伴って、再び減少した。荒れ地を好む。年個体数の30年間の増減は前年個体数との相関が強く（ $r = 0.691$, $p < 0.001$ ）、重回帰式 $I = 0.691Ip - 2.783T8 + 74.368$ （ $r^2 = 0.530$ ）

となった。前年の多い（少ない）個体数と8月が涼しい（暑い）年に増加（減少）する。

57. コチャバネセセリ：年個体数の増減幅が大きく、増加時には優占種となり、三桁の目撃レベルになる一方で、急減し、一桁のレベルに落ちるときもあった。しかし、1991年以降は増加年がなく、減少傾向が顕著（ $I - Y$, $r = -0.713$, $p < 0.001$ ）。造成工事開始以前ではB, C, D区で満遍なく目撃されたが、工事開始後は、B₁, C₃小区に目撃が集中した。更に1991年のC₃小区での造成工事後はC₄小区で増加、それも1999年にはやはり工事域の拡大によりなくなり、目撃そのものが途絶えるようになった。森林、林縁で目撃されることが多い。年個体数の30年間の増減は前年環境指数（ $r = 0.692$, $p < 0.001$ ）、環境指数（ $r = 0.683$, $p < 0.001$ ）、前年積算温度（ $r = -0.530$, $p < 0.005$ ）と相関が高く、前年個体数との相関もあり（ $r = 0.481$, $p < 0.05$ ）、 $I = 116.502E + 0.121Rp - 329.728$ （ $r^2 = 0.682$ ）で近似された。高い（低い）環境指数と前年が多（少）雨の年に増加（減少）する。

58. キマダラセセリ：前8年は5個体以下の目撃が続いたが、1990、1991年と10個体を越えて目撃され、それを機に大きく増加、2002年には優占種ともなったが、以後急減し、前半の低レベル状態に戻った（ $I - Y$, $r = 0.377$, $p < 0.05$ ）。A1小区で集中的に目撃された。荒地や林縁を好む。年個体数の30年間の増減は前年個体数（ $r = 0.713$, $p < 0.001$ ）、前年環境指数（ $r = -0.535$, $p < 0.005$ ）、環境指数（ $r = -0.466$, $p < 0.01$ ）と高い相関をもち、前年積算温度（ $r = 0.416$, $p < 0.05$ ）とも相関があり、 $I = 0.584Ip - 8.117Ep + 22.282$ （ $r^2 = 0.564$ ）で近似された。前年個体数が多く（少なく）、低い（高い）環境指数の年に増加（減少）する。

59. ホソバセセリ：1982年にC₂小区で1個体が目撃されたが、その後は目撃が途絶え、当調査地では絶滅したと考えられる。

60. オオチャバネセセリ：前8年は毎年100個体を越え、当調査地で

第1～3位を占める程目撃数の多い種であった。特に、1986年には急増し、それまでのレベルをはるかに上回り、ヤマトシジミ、モンシロチョウを抜いて第一位の目撃数となった。しかし、1998年に急減して以降回復せず、2003年以降には目撃のない年も出てきた ($I - Y$, $r = -0.837$, $p < 0.001$)。A₁, A₂, B₁, B₃, C₁, C₂, C₃小区などで毎年多くが目撃されていた。1986年におけるC₁小区での森林伐採直後の目撃数の急増とその後の長期に渡っての減少傾向は特筆に値する。森林、林縁、荒地など生息環境は幅が広く、現在の急減には不可解な点が多い。年个体数の30年間の増減は環境指数 ($r = 0.864$, $p < 0.001$), 前年个体数 ($r = 0.863$, $p < 0.001$), 前年環境指数 ($r = 0.860$, $p < 0.001$), 積算温度 ($r = -0.613$, $p < 0.001$), 前年積算温度 ($r = -0.524$, $p < 0.005$), 前年最寒月平均気温 ($r = -0.502$, $p < 0.01$) と相関が高く, $I = 0.688I_p - 0.320T - 32.288T_{cp} + 0.092R_p + 1,125.216$ ($r^2 = 0.857$) で近似された。前年个体数が多く (少なく), 前年の多 (少) 雨と涼しい (暑い) 年に増加 (減少) する。

61. ミヤマチャバネセセリ: 2001年C₃小区で初めて複数個体が目撃され、その後連続して目撃されるようになった ($I - Y$, $r = 0.532$, $p < 0.05$)。C₃小区は伐採、造成の後、長期に渡って荒地の景観を呈し、ススキ、クズ、ヨシが群生、草丈も部分的に2 m近くなる場所も出てきた。イネ科草本の優占する草地を好む。年个体数の30年間の増減は前年个体数 ($r = 0.828$, $p < 0.001$) と相関が高く、前年環境指数 ($r = -0.444$, $p < 0.05$), 環境指数 ($r = -0.407$, $p < 0.05$) との関係もあり, $I = 0.838I_p - 1.789T_8p - 1.408T_8 + 83.400$ ($r^2 = 0.744$) で近似された。前年の個体数が多く (少なく), 2年続きの涼しい (暑い) 夏の年に増加 (減少) する。

62. チャバネセセリ: 1987年に初めて目撃され、その後増加傾向を示し、1999年にはさらに急増、以降優占種グループへの仲間入りをした ($I - Y$, $r = 0.838$, $p < 0.001$)。A区などで散発的に目撃されていたが、1998

年からは加えてD₂>C₃小区でも多数が、後年にはB₂、C₃小区などでも多く目撃されるようになった。耕作地やオープンな荒地などを好む。年個体数の30年間の増減は環境指数 ($r = -0.759$, $p < 0.001$), 前年環境指数 ($r = -0.751$, $p < 0.001$), 前年個体数 ($r = 0.734$, $p < 0.001$), 積算温度 ($r = 0.524$, $p < 0.005$), 前年積算温度 ($r = 0.502$, $p < 0.01$) と相関が高く, $I = -114.813E + 24.774Th - 361.043$ ($r^2 = 0.708$) で近似された。低い(高い)環境指数で暑い(涼しい)夏の年に増加(減少)する。

63. イチモンジセセリ: 1999年に年個体数の最低値を示し, 中盤を除いて, 前・後半のそれぞれ10年は目撃数も三桁のレベルに達し, 優占種になることも多かった ($I - Y$, $r = -0.040$, $p > 0.8$)。当初, A区, B₂, B₃, C₃小区に目撃が集中した。1984年にはいずれの小区でも目撃数は急減したが, B₃小区を除いてはいったん回復した後減少, その後再び増加した。その後, D₂小区も加わり, 目撃数の増加に拍車がかかった。耕作地, 荒地, 林縁など幅広い環境選好性を示す。年個体数の30年間の増減は相関のある変数は見出せず, 近似された重回帰式 $I = -23.174Thp + 724.917$ の説明力も弱い ($r^2 = 0.145$)。涼しい(暑い)前年の夏の条件で増加(減少)する。

以上目撃63種からなる龍ヶ崎市周辺域のチョウ群集について, 群集構造, 種数, 個体数, 多様性, 優占種の30年間の変化を報告, 論議する。

1. 群集構造

全構成種63種の30回の調査年に対する個体数分布マトリックスから, 群分析(小林, 1994参考)と主成分分析(=PCA)とを併用して, 三つの年変動パターン(Y-I ~ III)と二つの下群集(A-I, I', II, II')とを区別した(図2, 3)。

年変動パターン(図2): 総個体数6以上の52種の30年間の個体数分布から, 調査年間の類似度(C_s'——重なり度指数, 森下, 1979;

Kobayashi, 1987) を算出し、それを群分析するとともに、個体数分布の主成分分析を行い、妥当なクラスターを抽出した。主成分分析の第1軸は、因子負荷量の大きな要素が、+がモンキチョウ、チャバネセセリ、ヤマトシジミ、モンシロチョウ、ヒメアカタテハ、ベニシジミ、アゲハ、ウラナミシジミ ($r \geq 0.7$)、キアゲハ、メスグロヒヨウモン、ミヤマチャバネセセリ、クロアゲハ、キマダラセセリ、コムラサキ ($r \geq 0.5$)、-はオオチャバネセセリ、コムスジ、ヒカゲチョウ、ヒメウラナミジャノメ、イチモンジチョウ、コチャバネセセリ ($r \geq 0.7$)、サトキマダラヒカゲ、カラスアゲハ、ミヤマセセリ、トラフシジミ、ヒメジャノメ、ダイミョウセセリ、オオミドリシジミ、ツマキチョウ、ウラゴマダラシジミ ($r \geq 0.5$)であったことから、環境のオープン化の強さに関係しているとみなされた。第2軸は、+がツバメシジミ、キチョウ、-がウラギンシジミ、イチモンジセセリ、ベニシジミで因子負荷量が大きく ($r \geq 0.5$)、人為的影響の大きさに関係していると考えられた。これらの2軸(累積寄与率=42.7%)への主成分得点の分布(図2下)と群分析の結果(図2上)は、30の調査年が大きく三つに分けられることを示している。

Y-I : 調査初期の7年間(1982~1988年)で、造成工事着工前の期間(=前工事期と仮称)。

Y-II : 1991年と1995年を除く1989~1997年の6年間。造成工事進行中(=造成化進行期と仮称)

Y-III : 1991, 1995年と1998~2012年の17年間。(=住宅建設期と仮称)

チョウ群集(図3) : 前述52種の各調査年への個体数分布から得られたチョウ各種の年変動パターンの類似度(C_{λ} '——重なり度指数, 森下, 1979)を群分析し、主成分分析の結果と照らし合わせて妥当なクラスターを抽出した。主成分分析の第1軸は、因子負荷量がすべての調査小区で+でかつ大きなことから ($r \geq 0.7$)、個体数の多さに関係しているとみなさ

れた。一方、第2軸は、因子負荷量の+が調査年の前半に、-が後半に集中していることから、環境のオープン化を示す軸とみなされた。以上の2軸（累積寄与率=89.5%）への主成分得点の散布図（図3下）と群分析の結果（図3上）を照合すると、二つの下群集が区別できた。

A-I, I'：環境のオープン化に伴い増加していく群集（=オープン化群集と仮称）。

A-II, II'：環境の森林化に伴い増加していく群集（=森林化群集と仮称）。

これら三つの年変動パターン（前工事期，造成進行期，住宅建設期）に二つのチョウ下群集（オープン化群集，森林化群集）を対応させ，さらに目撃5～2個体種とホソバセセリの3種をそれぞれの分布中心に応じて追加し，目撃1個体の5種は移動個体としてOthersに含め，全構成種63種についての年変動パターンの全体像を示したのが表4である。移動種を除き，オープン化群集には43種，森林化群集には15種が属する。

オープン化群集：30年間で増加傾向にある種が多く，低い環境指数で増加する種（モンシロチョウ，アゲハ，モンキチョウ，ベニシジミ，チャバネセセリ，キマダラセセリ）や暑い夏で増加する種（ヤマトシジミ，アオスジアゲハ，スジグロシロチョウ，ツマキチョウ）が属し，1/3がオープンランド選好性を示す種で構成されているが，モザイク種や森林選好種も複数含まれていた。

森林化群集：30年間で大きく減少した種が多く，高い環境指数で増加する種（ヒカゲチョウ，コチャバネセセリ，ミヤマセセリ，トラフシジミ，テングチョウ）や低い積算温度で増加する種（オオチャバネセセリ，ヒカゲチョウ，ヒメウラナミジャノメ，ヒメジャノメ）が属し，そのほとんどが森林に環境選好性を示す種で構成されていた。

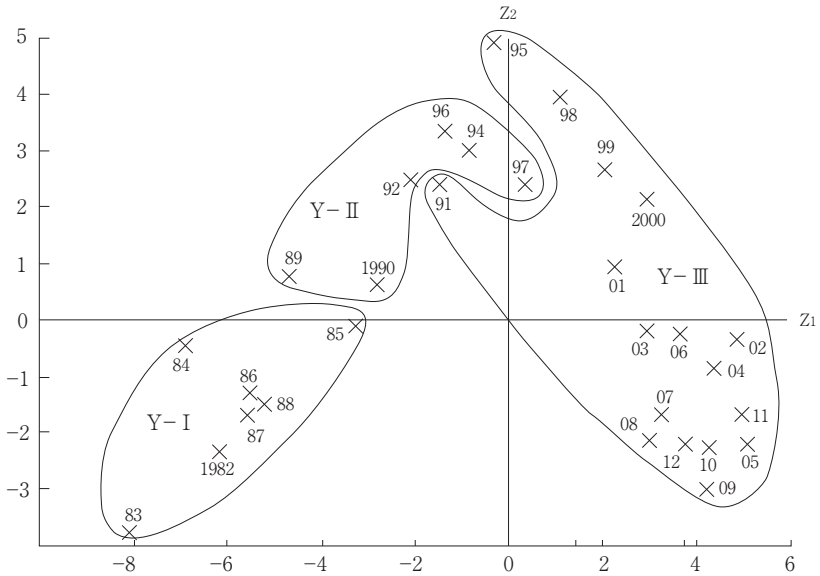
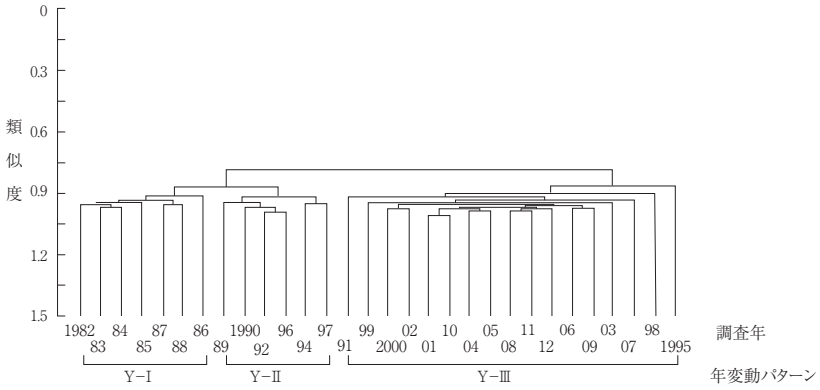


図2 チョウ相からみた調査年の類似性. 上段：群分析 (C_δ'). 下段と対応させて三つの年変動パターン (Y-I, II, III) に分類. 下段：上段と対応した各調査年群集の主成分得点の分布.

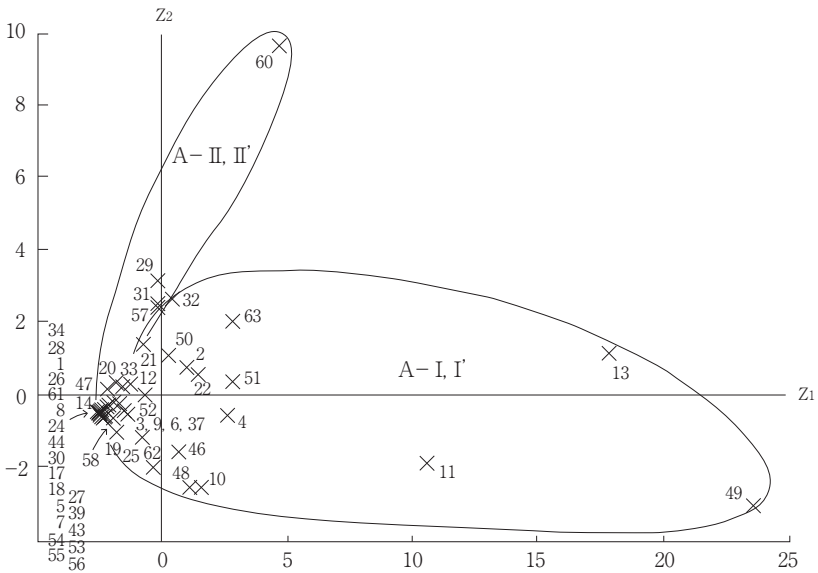
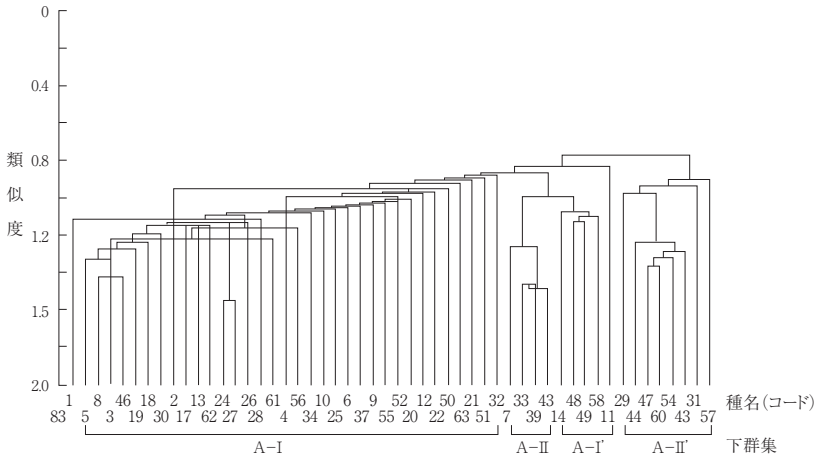


図3 総個体数6以上の52種についての年変動パターンの類似性. 上段: 群分析 (C_k). 下段と対応させて二つの群集 (A-I, I', II, II') に分類. 種名コードは図1と対応. 下段: 52種の主成分得点の分布.

表4 年個体数の年変動パターンとチョウ下群集

下群集	H	コード	年変動パターン 種名	Y-I							Y-II							
				1982	1983	1984	1985	1987	1988	1986	1989	1990	1992	1996	1994	1997		
A-I	△	5	モンキアゲハ				1						2	2				
	△	8	ナガサキアゲハ															
	○	46	ベニシジミ	6	10	38	32	26	16	48			28	61	36	26	22	29
	○	19	ツマグロヒョウモン												1	1	1	2
	○	18	メスグロヒョウモン															
	△	30	ジャノメチョウ	7			2	1	4	5			1			2		2
	●	17	ミドリヒョウモン				2				1	1			1	2	6	
	○	13	モンシロチョウ	212	371	421	455	331	342	306			299	440	382	323	477	533
	○	62	チャバネセセリ							2			1	8	14	14	10	39
	●	24	ルリタテハ	4	4		3	6			3		4	2	3		5	2
	○	27	コムラサキ															
	△	26	アカタテハ			1	3	4	6	6	3		6	4	4	5	6	2
	○	1	ジャコウアゲハ	12	16	7	3	6	15	11	7	2					6	4
	○	28	ゴマダラチョウ	6	14	7	4	3	6	33			9	3	11	15	1	3
	○	3	キアゲハ	24	16	33	14	15	22	9			13	17	12	10	19	14
	○	61	ミヤマチャバネセセリ															
	△	56	ギンイロモンジセセリ	1		1		1	7	1			3	5		3		8
	○	34	コジャノメ	6	18	16	9	3	14	7			11	9	11	6	5	8
	●	10	モンキチョウ	7	4	7	10	18	17	1			41	33	22	10	87	137
	○	25	ヒメアカタテハ	4	1	4	3	19	5	6			17	10	29	8	75	68
	△	6	クロアゲハ	10	29	18	9	9	25	15			35	16	21	12	22	13
	△	37	ムラサキシジミ	10	45	5	14	29	39	3			29	10	14	3	19	9
	●	9	カラスアゲハ	9	25	39	16	12	20	17			9	12	6	6	7	3
	●	55	ダイミョウセセリ	10	14	10	5	25	17	15			18	13	11	21	14	21
	●	52	ウラギンシジミ	48	46	53	33	73	56	32			21	59	19	26	16	28
	●	20	イチモンジチョウ	27	50	56	33	32	34	39			21	16	6	10	12	3
	△	4	アゲハ	41	56	43	55	108	80	136			53	71	119	76	77	70
	△	12	スズグロシロチョウ	39	38	43	5	35	47	16			82	57	31	5	95	3
	○	22	キタテハ	56	62	47	63	119	114	178			65	95	60	62	46	98
	○	2	アオスジアゲハ	37	94	75	32	88	80	103			128	79	136	42	52	22
	○	50	ルリシジミ	108	65	90	63	159	73	93			45	56	57	25	40	48
	△	63	イチモンジセセリ	155	202	58	189	124	267	164			71	156	92	93	44	129
	○	21	コムシジ	76	105	101	44	81	83	57			63	56	68	34	37	7
	●	51	ツハメシジミ	100	45	84	46	116	105	54			104	140	157	164	150	155
	●	32	サトキマダラヒカゲ	40	217	190	36	198	235	100			72	26	91	39	9	30
●	23	ヒオドシチョウ							1								1	
●	15	アサギマダラ																
●	35	クロノコマチョウ																
A-II	●	7	オナガアゲハ				1		1					2	1			
	●	33	ヒメジャノメ	50	64	79	18	18	14	25		15	23	43	15	12	11	
	●	39	ウラコマダラシジミ	6	9		2	2						1				
	●	43	オオミドリシジミ	1	4	1			1			1	1					
	●	42	ミスイロオナガンシジミ	1	2											2		
	●	40	ウラナミアカシジミ				1									1		
	●	59	ホソバセセリ	1														
A-I'	△	14	ツマキチョウ	23	9	16	21	6	17	6		7	7	1	4	12	2	
	△	48	ウラナミシジミ	13	7	9	13	42	1	9		35	29	10	11	28	52	
	△	49	ヤマシジミ	419	446	394	483	344	278	275		339	523	384	258	332	438	
	△	58	キマダラセセリ	5	3	1	3	3	3	1		5	13	16	5	1	17	
	△	11	キチョウ	69	140	116	87	145	161	181		179	212	192	182	409	301	
A-II'	○	29	ヒメウラナミジャノメ	190	212	290	105	97	101	88		140	67	32	2	8	7	
	○	44	トラフシジミ	2	2	1	2	4	5	2		9	2	1	1	2		
	○	47	ゴイシシジミ	5			36	44	9	115		1	4	5		2		
	●	60	オオチャバネセセリ	345	399	338	327	445	422	688		280	156	223	106	77	132	
	●	54	ミヤマセセリ	10	4	2	1	12	2	7		5	4			1		
	△	53	テングチョウ							1	1	1	3	1	2		1	
	○	31	ヒカゲチョウ	134	242	172	46	124	83	176		47	62	52	15	27	22	
	○	57	コチヤバネセセリ	85	125	161	3	199	54	82		173	164	77	33	39	11	
Others	○	16	ウラギンズジヒョウモン															
	●	36	ウスイロノコマチョウ														1	
	●	38	ムラサキツバメ															
	●	41	アカシジミ															
	●	45	コツバメ														1	
			総個体数	2,414	3,216	3,035	2,329	3,137	2,884	3,091		2,496	2,726	2,457	1,678	2,309	2,486	
			総種数	43	40	42	41	45	43	44		44	43	43	42	41	41	
			H†	4.2	4.21	4.2	3.83	4.36	4.28	4.14		4.36	4.15	4.21	4.01	3.93	3.85	
			J†	0.77	0.79	0.78	0.72	0.79	0.79	0.76		0.8	0.77	0.78	0.74	0.73	0.72	

H: 環境選好性 (○: オープンランド, ●: 森林, △: 広域)

との対応 (太実線枠). 太字 = 各調査の優占種

Y-III															合計	I-Y	I=	
1991	1999	2000	2002	2001	2010	2004	2005	2008	2011	2012	2006	2009	2003	2007				1998
	1				1			2		7	22	23		1			11	0.3137cp+0.001Rp+0.038Ep-2.671
26	55	52	98	73	234	162	201	114	197	242	172	225	128	143	30	22	2,552	90 ++ 0.901cp-2.521Th+1.642Tg+24.81
					143			63	120	109		185		11			631	0.888cp-0.721Tg+26.208E+3430.18
	1	1	2		1	2	2	2	5	1	2	2	3	1	5	4	39	0.967cp-0.343Th+27.535
				1	1	2	5	3			5	2	2	1	1		48	-0.002cp+4.360
	2	1	2		2			2	2	1	2	3	5	4	5		48	0.4867c+0.44178-0.002cp-0.067
303	507	506	448	539	623	628	685	600	685	639	638	639	488	786	364	665	14,634	+ -2.6630Ep+61.0067Th-6891.46
8	139	161	166	97	202	105	105	64	118	170	60	152	75	128	36	32	1,906	+ -11.481E+24.774Th-361.043
2	3	3	6	1	2	3	4	4	5	5	2	2	2	3	3		85	
				1		1	1	2	1	1							7	0.2217cp-0.478E-4.567
3	3	8	3	1	9	3	8	5	7	7	8	6	4		8	8	141	0.0047cp+0.6297Th-26.839
	6	12	4	9	7	2	1	7		9	2	6	11	11	4	1	181	-0.0097+36.581
	2	5		1	2	1	6	15	19	10	5	11	9	1	9		212	-0.0237+3.4047cp+0.011Rp-13.214
17	38	36	45	24	42	52	62	41	41	34	54	33	35	18	51	23	864	+ -14.747Ep+0.334cp+47.840
				9	7	10	35	36	7	6	3	18	8	16	9		164	0.838cp-1.7897Tg-1.4087Th-83.400
1	1	4	5	9	2	49	31	5	4	12	14	3	47	2	1		220	0.691cp-2.7837Th+74.368
6	11	12	8	11	12			2	10	5	4	5	8	1	11	15	245	-5.596E+0.322cp-1.8977c+5.890
16	120	138	246	91	219	205	237	135	123	143	232	267	242	239	263	40	3,350	+ -11.6658Ep+0.426cp+2.01783
5	87	94	121	52	58	73	65	39	47	19	48	84	84	71	80	44	1,320	+ 0.653cp+1.1817Th-11.037Tg-0.021Rp+304.245
20	27	29	36	23	41	18	34	55	30	22	39	50	46	26	24	24	778	+ 5.9207cp+4.3397Tg-0.056Rp+0.265cp+11.244
6	17	11	25	4	26	20	26	10	29	23	18	22	25	23	21	24	559	4.2747c+7.713E-7.717
23	8	9	2	6	5	4	3	6	6	5	3	11	6	1	17	13	309	- -13.678E-1.937E-9.290
14	9	9	2	3	1	2	2	7	6	2	5	6	2	20	22		306	- 0.748cp-1.841Th+30.066
17	17	34	77	46	51	66	68	44	62	66	29	82	27	109	12	39	1,356	8.6167Th-177.165
6	6	4	2	2	4	2	1	8	11	15	1	4	5	8	20	5	441	- -22.047E-61.90
140	132	214	215	188	166	104	223	207	277	165	152	112	177	134	109	101	3,801	+ 0.1717Th-54.785Ep-357.549
24	26	17	3	13	34	12	11	32	4	1	21	42	4	35	13	8	796	39.888Ep+11.2378Tg+5.7827c+5.2087Th-248.882
87	115	176	83	36	140	56	56	89	144	122	111	117	96	130	69	107	2,799	12.7257Th-11.2867Tg-52.465
104	79	83	80	61	75	48	146	74	122	66	54	88	90	62	75	99	2,374	0.0896cp+1.1867Tg-0.322cp+0.038E+16.174E-393.007
66	17	36	79	28	46	29	88	123	28	33	59	37	124	58	43	23	1,839	33.93E-2.632
68	36	45	135	75	221	181	86	95	76	154	87	219	132	161	104	55	3,675	-21.1747cp+724.917
20	16	10	3	2	8	1	1	1	11	3	7	12	9	2	36	98	1,652	- -75.121E+0.046cp-149.967
46	187	220	166	134	62	145	60	40	102	167	76	88	158	86	85	397	3,639	-0.492cp+27.227Th-638.563
46	12	11	44	12	40	8	13	12	37	20	39	34	97	16	70	79	1,873	- 94.303E+0.1307Th-11.7897Tg+649.052
			1	1													5	-0.001R+0.1487Tg-0.9878E-0.227
	1						1		1								4	0.11278+0.1077c-3.083
					2							1					4	0.1987Th+0.344cp+0.001R-0.1247Tg-2.555
	2								1			1					12	-0.297cp+0.535
7	30	18	15	9	10	2	9	15	10	16	13	13	16	7	19	30	626	- -0.0767+6.41178-47.077cp+240.030
																	20	2.08E-3.388
																	9	-1.353Ep+0.3107cp-3.196
																	5	-0.0027+5.580
																	2	-0.1107cp-0.0847c+0.233cp+0.613
7	2	11	3	4	9	1	3	5	3	5	4	2		8	4	11	213	- -7.194E+2.3337Th-0.007Rp-36.613
4	181	307	357	243	305	318	241	138	310	127	33	164	3	128	26	37	3,181	+ -165.807E+45.6297Th-782.117
181	832	895	991	1,084	1,333	1,068	1,075	995	1,051	951	786	896	700	1,530	576	266	20,123	+ 0.793cp+1.48.603Th-102.367Tg+78.0317c-1260.060
13	27	39	57	30	10	11	7	9	8	23	8	11	33	11	30	11	414	+ 0.5847cp-8.117Ep+22.282
286	769	481	485	240	329	192	236	304	385	309	421	356	387	261	1,052	953	9,820	0.5067cp-0.3230cp+0.4327-2516.478
12	1		3		1							1		1	17	4	1,379	- 0.638cp-0.1327-15.0557Tg+0.038E+910.256
	1																35	-2.962cp+0.7387c+0.332cp-7.213
	5	2								1					5		234	- 0.414cp-8.2177cp-5.8397c+45.298
72	14	10	2	7	3	1		1	5	11			1		54	118	4,217	- 0.682cp-0.3207-2.2887cp+0.092Rp+1125.216
																	48	-5.58E+0.0047+0.0030cp-27.318
	1				1	1									1	15	1,089Ep+0.3107Th+0.001Rp+0.001R+0.235cp-4.464	
32	17	8	14	10	7	6	22	8	10	7	9	4	19	4	42	46	1,467	- -11.381E+0.661Rp-0.0837+48.633
17	13	4		2	1	7	3	1	1	3		2		2	16		1,302	- -116.502E+0.151Rp-29.728
																	1	0.0717cp+0.567Th-1.628
																	1	-0.0957Th+0.001Rp-0.119E+3.100
																	1	0.0957Th+0.11Rp-20.015
																	1	-0.254E-0.0717c-10.6277cp+0.380
																	1	-0.0707Th+1.654
1,713	3,570	3,716	4,043	3,174	4,509	3,619	3,865	3,397	4,142	3,757	3,240	4,038	3,319	4,235	3,433	3,458	95,486	
39	43	39	40	37	43	42	40	45	43	45	40	45	38	40	41	41		
4.06	3.62	3.76	3.81	3.42	3.72	3.56	3.67	3.68	3.78	3.82	3.65	3.95	3.94	3.36	3.7	3.67		
0.77	0.67	0.71	0.72	0.66	0.69	0.66	0.69	0.67	0.7	0.7	0.69	0.72	0.75	0.63	0.69	0.69		

I - Y : 個体数の年変化の直線性 (+, - : 0.01<p<0.05, ++, -- : p<0.01)

2. 種数

1987, 2008, 2009, 2012年に目撃種数45の最高値を記録し, 前半10年はほとんど変化が認められず, 1994年以降わずかに減少, 2001年には30年間の最低値となる37種となったが, 以後は増加傾向が見出され, 30年間を通しては種数に直線的傾向は認められなかった ($S-Y$, $r = -0.026$, $p > 0.8$) (図4A)。30年間の増減は特に相関する変数がなく, 近似する重回帰式 ($S = T, Tc, Th, T8, R, E, Tp, Tcp, Thp, T8p, Rp, Ep$) は得られなかった。

オープン化群集: 30年間の種数は30~40種の間で変動し, 2008年, 2009年には30年間の最高値となり, 全体として増加傾向を示した ($S-Y$, $r = 0.876$, $p < 0.001$)。30年間の増減は, 環境指数 ($r = -0.719$, $p < 0.001$)、前年環境指数 ($r = -0.695$, $p < 0.001$) と強い相関を示し, 積算温度 ($r = 0.452$, $p < 0.05$)、前年積算温度 ($r = 0.420$, $p < 0.05$) との相関もあり, 重回帰式 $S = -4.199Ep + 42.890$ ($r^2 = 0.484$) で近似された。低い (高い) 前年環境指数の年に増加 (減少) する。説明力は強くはない。

森林化群集: 種数は30年間に1982年の12種から2012年の5種とほぼ半減, 減少傾向が顕著であった ($S-Y$, $r = -0.892$, $p < 0.001$)。30年間の増減は前年環境指数 ($r = 0.853$, $p < 0.001$)、環境指数 ($r = 0.797$, $p < 0.001$)、前年積算温度 ($r = -0.571$, $p < 0.005$) と相関が高く, 積算温度 ($r = -0.423$, $p < 0.05$)、前年最寒月平均気温 ($r = -0.402$, $p < 0.05$) との相関もあり, $S = 5.629Ep + 0.003Rp - 7.377$ ($r^2 = 0.776$) で近似された。前年の高い (低い) 環境指数と多 (少) 雨の年に増加 (減少) する。

オープン化群集の種数増加と森林化群集の種数減少が相殺し, 全種数は30年間であまり変化しなかったと言えよう。

3. 個体数

総個体数は1991年と1996年に2,000個体を切ったこともあったが、後年は全ての年で3,000個体を越えた。更に2002年には初めて4,000個体を越え、2007年には30年間の最高となった ($I - Y$, $r = 0.679$, $p < 0.001$) (図4B)。30年間の増減には前年環境指数 ($r = -0.528$, $p < 0.005$)、前年個体数 ($r = 0.491$, $p < 0.01$) との相関が強く、環境指数 ($r = -0.423$, $p < 0.05$)、8月平均気温 ($r = 0.423$, $p < 0.05$)、最暑月平均気温 ($r = 0.421$, $p < 0.05$)、積算温度 ($r = 0.398$, $p < 0.05$) との相関もあり、 $I = 288.644T8 + 0.387Ip - 568.602Ep - 165.286T8p - 80.551$ ($r^2 = 0.628$) で近似された。前年の個体数が多く (少なく)、低い (高い) 前年環境指数で前年の夏が涼しく (暑く)、暑い (涼しい) 夏の年に増加 (減少) する。

オープン化群集：当初から当調査地で優勢であったこの下群集は、特に、1998年以降、更に大幅に増加し、この調査地の主たる群集となった ($I - Y$, $r = 0.873$, $p < 0.001$)。30年間の増減は前年環境指数 ($r = -0.770$, $p < 0.001$)、前年個体数 ($r = 0.745$, $p < 0.001$)、環境指数 ($r = -0.690$, $p < 0.001$)、積算温度 ($r = 0.560$, $p < 0.005$)、前年積算温度 ($r = 0.545$, $p < 0.005$) との相関が強く、最暑月平均気温 ($r = 0.395$, $p < 0.05$) との関係もあり、 $I = -1.616.669Ep + 320.789T8 - 2,225.650$ ($r^2 = 0.729$) で近似された。前年環境指数が低く (高く)、暑い (涼しい) 夏の年に増加 (減少) する。

森林化群集：1986年に最高値を示した後は急激に減少し、1991年以降は2桁台の目撃となってしまった ($I - Y$, $r = -0.863$, $p < 0.001$)。30年間の増減は環境指数 ($r = 0.902$, $p < 0.001$)、前年環境指数 ($r = 0.882$, $p < 0.001$)、前年個体数 ($r = 0.865$, $p < 0.001$)、積算温度 ($r = -0.626$, $p < 0.01$)、前年積算温度 ($r = -0.593$, $p < 0.01$) に大きく影響され、前年最寒月平均気温 ($r = -0.434$, $p < 0.05$) との関係もあり、 $I = 843.792E + 0.388Rp -$

1,768.557 ($r^2=0.871$) で近似された。高い（低い）環境指数の年で、前年の多（少）雨の年に増加（減少）し、特に環境指数による影響が強い。

森林化群集の個体数の減少よりもオープン化群集の個体数増加がはるかに上回り、全体として目撃総個体数は30年間で増加したと言える。

4. 多様性

群集全体の多様性（=H', Kobayashi, 1981参考）は、最初の10年間は、1985年を除いて4.14~4.36の間にあり、年変化に乏しかったが、後20年間はほとんどの年で4.0を下回り、30年間全体では減少傾向が認められた（ $H' - Y$, $r = -0.718$, $p < 0.001$ ）（図4C）。均等度と非常に強い相関があり（ $r = 0.982$, $p < 0.001$ ）、目撃種数との相関も認められた（ $r = 0.415$, $p < 0.05$ ）。また、前年環境指数（ $r = 0.696$, $p < 0.001$ ）や環境指数（ $r = 0.635$, $p < 0.001$ ）、積算温度（ $r = -0.550$, $p < 0.005$ ）、前年積算温度（ $r = -0.474$, $p < 0.01$ ）と強い相関があり、最暑月平均気温との関係もあり（ $r = -0.436$, $p < 0.05$ ）、30年間の増減は重回帰式（ $H' = T, T_c, T_h, T_8, R, E, T_p, T_{cp}, T_{hp}, T_{8p}, R_p, E_p$ ） $H' = 0.445E_p - 0.103T_h + 0.0001R_p + 5.320$ ($r^2=0.678$) で近似された。高い（低い）前年環境指数と前年の多（少）雨で涼しい（暑い）夏の年に増加（減少）する。

オープン化群集：当初の10年ほどは、4.0を上回る年もあったが、2007年に30年間の最低値となって以後は増加傾向が認められ、全体として直線的傾向は認められなかった（ $H' - Y$, $r = -0.356$, $p > 0.05$ ）。均等度との相関が非常に強かったが（ $r = 0.936$, $p < 0.001$ ）、目撃種数との相関はなく（ $r = 0.145$, $p > 0.4$ ）、30年間の増減は、最暑月平均気温（ $r = -0.483$, $p < 0.01$ ）と強い相関を示し、積算温度（ $r = -0.447$, $p < 0.05$ ）、前年環境指数（ $r = 0.411$, $p < 0.05$ ）とも関係があり、 $H' = -0.089T_h + 0.170E_p + 5.682$ ($r^2=0.362$) で近似された。説明力は高くはないが、涼しい（暑い）夏で

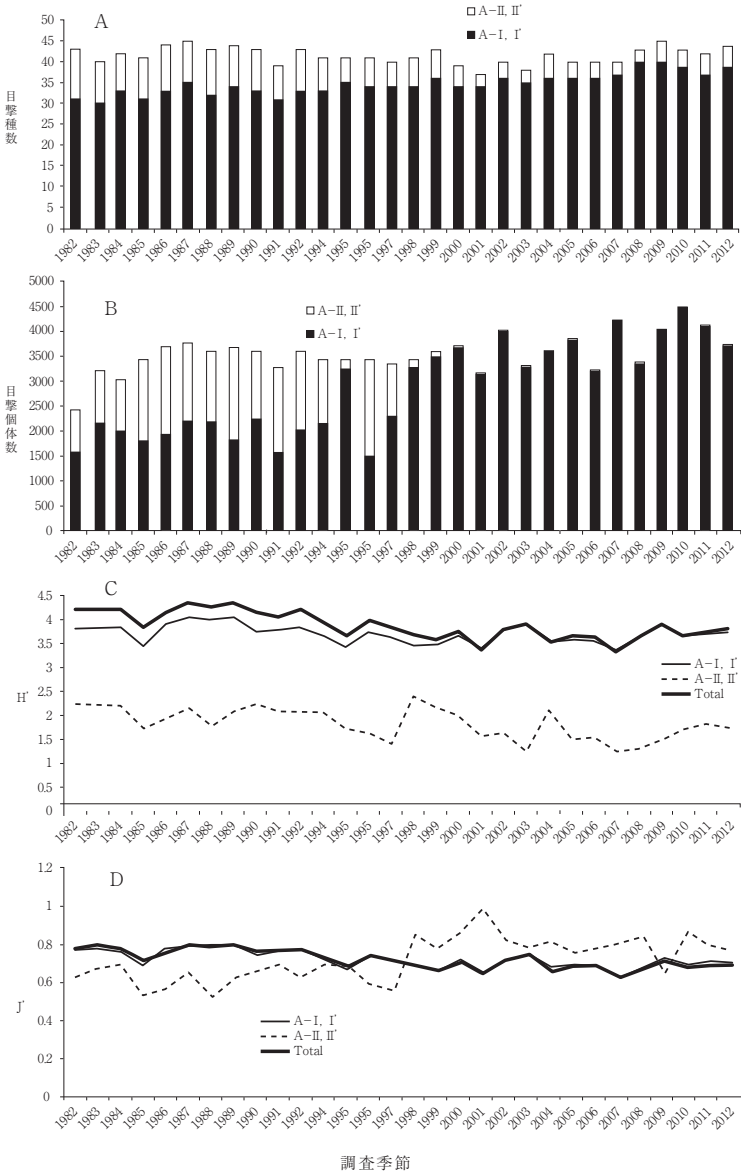


図4 種数、個体数、多様性、均等性の群集別に見た調査年における違い。

高い（低い）前年環境指数での年に増加（減少）する。

森林化群集：前10年ほどは2.0を上回る年が多かったが，後10年では2.0を切る年が多くなり，30年間の全体では減少傾向となった（ $H' - Y$, $r = -0.593$, $p < 0.005$ ）。前半10年間の多様度の増減は目撃種数との相関が強かったが，後半10年については均等度との相関が強くなり，30年間全体としては種数との相関が強かった（ $r = 0.716$, $p < 0.001$ ）。また，環境指数（ $r = 0.516$, $p < 0.005$ ）との相関が強くなり，前年環境指数（ $r = 0.459$, $p < 0.05$ ）との関係もあり，30年間の増減は $H' = 0.596E + 0.001T + 0.0001Rp - 2.690$ ($r^2 = 0.479$) で近似された。説明力は高くはないが，高い（低い）環境指数と暑く（涼しく），前年多雨（少雨）の年に増加（減少）する。

オープン化群集よりも，森林化群集での多様性の著しい低下の影響で，全体として多様性は30年間で大きく低下したと言えよう。

5. 均等性

群集全体の均等性は，前半はほとんどの年で0.7を上回っていたが，1995年を機に後年は0.7を下回る年が多くなり，全体として緩やかに減少した（ $J' - Y$, $r = -0.758$, $p < 0.001$ ）（図4D）。30年間の増減は前年環境指数（ $r = 0.701$, $p < 0.001$ ）や環境指数（ $r = 0.655$, $p < 0.001$ ），積算温度（ $r = -0.583$, $p < 0.005$ ），最暑月平均気温（ $r = -0.468$, $p < 0.01$ ）と強い相関をもち，前年積算温度とも相関があり（ $r = -0.460$, $p < 0.05$ ），重回帰式（ $J' = T, R, E, Tp, Rp, Ep, Tc, Th, Tc_p, Th_p$ ） $J' = 0.077Ep - 0.020Th + 0.00005Rp + 1.019$ ($r^2 = 0.697$) で近似された。高い（低い）前年環境指数，前年の多（少）雨に続く，涼しい（暑い）夏の年に増加（減少）する。

オープン化群集：前半はほとんどの年で0.7を上回っていたが，後半は下回る年が多くなり，30年間を通しては減少傾向となった（ $J' - Y$, $r = -0.627$, $p < 0.001$ ）。30年間の増減は前年環境指数（ $r = 0.611$, $p < 0.001$ ），

積算温度 ($r = -0.561$, $p < 0.005$), 環境指数 ($r = 0.550$, $p < 0.005$), 最暑月平均気温 ($r = -0.508$, $p < 0.005$) との相関が強く, 前年積算温度 ($r = -0.369$, $p < 0.05$) との相関も認められ, $J = 0.061E_p - 0.020Th + 0.00004Rp + 1.071$ ($r^2 = 0.623$) で近似された。前年環境指数が高く (低く), 前年降雨量が多く (少なく), 涼しい (暑い) 夏の年に増加 (減少) する

森林化群集: 前半はすべての年で0.7を下回っていたが, 1998年を境に0.8を上回る年も多くなり, 30年間の全体としては増加傾向となった ($J - Y$, $r = 0.661$, $p < 0.001$)。30年間の増減は前年環境指数 ($r = -0.700$, $p < 0.001$), 環境指数 ($r = -0.548$, $p < 0.005$), 前年積算温度 ($r = -0.497$, $p < 0.005$), 積算温度 ($r = 0.485$, $p < 0.01$) との相関が強く, 前年最寒月平均気温 ($r = 0.385$, $p < 0.05$) との関係もあり, 重回帰式は $J = -0.184E_p + 0.030Th + 0.303$ ($r^2 = 0.552$) となった。低い (高い) 前年環境指数で, 暑い (涼しい) 夏の年に増加 (減少) する。

森林化群集では群集劣化により均等性はむしろ増加したが, 特に, 後10年に圧倒的多数を占めたオープン化群集の均等性の低下により, 全体として30年間で均等性の低下が顕著になったと言えよう。

6. 優占種

30年間の均等性の低下は群集の優占種への寡占化としてあらわれた。30年間の全ての調査年で優占種 (= 平均個体数を上回った種, 平均個体数 = 56.1/1982年, 80.4/1983年, 72.3/1984年, 56.8/1985年, 70.3/1986年, 69.7/1987年, 67.1/1988年, 56.7/1989年, 63.4/1990年, 43.9/1991年, 57.1/1992年, 56.3/1994年, 84.3/1995年, 40.0/1996年, 60.6/1997年, 83.7/1998年, 83.0/1999年, 95.3/2000年, 85.8/2001年, 101.0/2002年, 87.3/2003年, 86.2/2004年, 96.6/2005年, 81.0/2006年, 105.9/2007年, 75.5/2008年, 89.7/2009年, 104.9/2010年, 96.3/2011年, 83.5/2012年) で

あったものは、ヤマトシジミ>モンシロチョウ>キチョウの3種、20年以上の年で優占種であったものがツバメシジミ>アゲハ>カタテハ>イチモンジセセリの4種で、いずれもオープン化群集に属する。、19~11年間の優占種がオオチャバネセセリ>モンキチョウ>ウラナミシジミ>アオスジアゲハ>ベニシジミ>チャバネセセリの6種（オオチャバネセセリを除いて、いずれもオープン化群集）。10~5年間ではヒメウラナミジャノメ>サトキマダラヒカゲ>コムスジ>ルリシジミ>コチャバネセセリ>ヒカゲチョウ>ヒメアカタテハの7種（オープン化群集=4種、森林化群集=3）、4~2年間ではツマグロヒョウモン>スジグロシロチョウの2種（=オープン化群集）、1年間のみの優占種はヒメジャノメ>ゴイシシジミ>ウラギンシジミの3種（オープン化群集=1、森林化群集=2）であった。森林化群集の優占種は前10年ほどを限界に急速に減衰し、オープン化群集の優占種は当初から優勢であった種群と後10年ほどになって急速に個体数を伸ばした種群から構成されている。うち、30年間を通しての優占種（ $95,486/63=1,515.7$ を上回る種）は、オープン化群集はヤマトシジミ>モンシロチョウ>キチョウ>アゲハ>イチモンジセセリ>ツバメシジミ>モンキチョウ>ウラナミシジミ>カタテハ>ベニシジミ>アオスジアゲハ>チャバネセセリ>サトキマダラヒカゲ>ルリシジミの14種、森林化群集はオオチャバネセセリ1種であった。

オープン化群集は調査後半ほど当調査地で優勢となり、調査地を代表する群集として台頭した。そのため、群集全体の優占種の30年間の変化はオープン化群集に依存した状態で推移することになった。

以上の点から、30年間の群集変化の全体像を表5のようにまとめた。オープン化群集は30年間で種数、個体数ともに増加したが、特に優占種での増加が顕著で、そのため均等性が減少し、種数増加にもかかわらず、多様性は30年間であまり変化しなかったと言える。一方、森林化群集は種数、

表5 二つの下群集と群集全体との関係

	オープン化群集	森林化群集	全群集
種類	+	-	0
個体数	++	-	+
多様性	0	-	-
均等性	--	+	-
優占種数	+	-	0

+ : 増加 - : 減少 0 : 変わらず

個体数ともに大きく減少し、均等性は増加したものの、種数減少の影響が大きく、多様性は30年間で減少傾向を示した。これらの結果、全群集では30年間で目撃種数は変わらなかったものの、均等性の大幅な減少により、多様性が減少傾向を示したことになる。

おわりに

1997年当時の調査地周辺域の将来都市計画では、谷津田（B₂小区）には調節池とその周辺域にスポーツフィールド、自然ふれあいフィールド、自然環境フィールドなどが整備され、その南側（A区）には1997年初期入居をめざして約170戸の南街区、北側には、1998、1999年、約550戸予定の中街区（B区）、さらにC区では約300戸建設予定の北街区が2000年に出現することになっていた。計画はC区を除いて順調に進み、1996年にB₄小区からC₂小区北側に大型道路が竣工し、自動車の往来も年毎に増すとともに、1999年には、B₂小区にテニスコートとパーキングエリアが完成、D₁小区は林縁5mを残し皆伐、造成された。2001年春にはC₄、D₁小区で総合病院と併設のパーキングエリアが竣工、2002年にはB₃小区に総合体育館と屋外プールが完成、さらに、2007年には総合体育館北側（B₄小区）でサッカー場兼用の陸上競技場とそれに併設のパーキングエリアが竣工され、利用者の往来も目立つようになって来た。2011年にはC₂小区からC_{3b}小区を貫通

して自動車道が完成、その脇には児童公園も開設された。更に、D₁小区にわずかに残された林地も総合病院の増築対象となり、林地はB₁、A₁小区の一部のみを残し、荒地もC_{3b}小区のみになってしまった。2012年には、C_{3a}小区に大型ホームセンターがオープンし、かつての調査ルートはこの計画域の中に完全に取込まれ、今後の変化はC_{3b}の荒地だけに絞られた。このため、調査環境は今後家屋密度は増すものの、景観として大きく変わることはない郊外型都市として安定したと考えられる。

調査開始より30年、調査地は当初の谷津田周辺域景観は一掃され、一部、センサスルート起点域(A₁)に民家と段丘崖林(=斜面林)が調査開始時点の状態のままで維持されているものの、ほぼ全域が典型的郊外型市街地へと変貌した。調査目的となっていたチョウ群集の長期的変化は、本調査地では、自然変動(気候、種内、種間関係によるもの)と環境(景観)変化の結果であろう。森林化群集は生息地のオープン化により減少の一途をたどり、前年の少雨はこの傾向に拍車をかける効果がある。逆に、オープン化群集はオープン化とともに勢力を増し、夏の暑さがさらにこの傾向を助長する。30年間の温暖化も顕著で、都市化と温暖化の相乗効果により、森林化群集にとっては厳しい局面が現実のものとなってきた。

一方で、この報告は、この地特有の谷津景観に残る斜面林の維持が、チョウを含めての生物多様性の観点からも重要度を増してきていることを裏付けている。斜面林は1)水田にとっての水源林として、2)根が深いカシ、シイなど照葉樹が多く土砂崩れ防止に対する防災上の効用という古来から認識されて来た農業上及び防災上の重要性だけでなく、3)斜面のため、耕作地・住居・道路等には適さないが、地図上の面積に比べて広いこと、4)小動物の餌となる果実、ドングリなどの種子も多く、斜面林群集とでもいべき独特の生物群集が成立し、それらが5)谷津を縁取るように位置するため、連続体としての緑の回廊を形成しているという生態

学的重要性を併せ持ってきた (<http://ja.wikipedia.org/2010/08斜面林>, 参照)。南関東域で急速に進む都市化と、一方で、生物多様性維持への意識の高まりを考えた時、改めてこの景観の重要性を再認識すべき時が来ているように思われる。

摘 要

1982～2012年にかけて龍ヶ崎市郊外でチョウ群集を対象に2.5Km-帯状センサスが行われた。各年の3～11月、1旬につき2回の調査で30年間に8科63種、95,486個体が目撃され、群集構造、種数、個体数、多様性、優占種について重回帰分析による30年間の変化が報告された。以下はその結果である。

1. 総目撃数6個体以上のチョウ52種の30年間の年個体数分布マトリックスより、群分析と主成分分析を併用して、三つの年変動パターン（前工事期、造成化進行期、住宅建設期）と二つの下群集（オープン化群集、森林化群集）を区別した。

2. オープン化群集は、ヤマトシジミ>モンシロチョウ>キチョウ>アゲハ>イチモンジセセリ>ツバメシジミ>モンキチョウ>ウラナミシジミ>キタテハ>ベニシジミ>アオスジアゲハ>チャバネセセリ>サトキマダラヒカゲ>ルリシジミが優占する計43種からなり、調査後半ほど増加傾向にあった。前年環境指数が低く、暑い夏の年ほど増加し、環境のオープン化に伴って増大する群集である。

3. 森林化群集は、オオチャバネセセリが優占する計15種からなり、調査後半には著しく減少した。低い環境指数で、前年が少雨の年ほど減少し、環境のオープン化に伴って減衰する群集である。

4. 目撃種数は、森林化群集の減少とオープン化群集の増加に相殺され、

群集全体としては30年間に定向的な変化をしめさなかったが、目撃個体は後10年間で森林群集は完全に衰退し、オープン化群集の台頭、特に、その優占種の増加が顕著となった。群集全体として、種数は変わらなかったが、優占種による寡占化が顕著となり、均等性が大きく減少、その結果、群集全体の多様性は30年間で減少傾向が明確になった。

引用文献

- 井上大成 (2004) 森林総合研究所構内のチョウ相. 森林総合研究所報告. 3(3) : 221-247.
- Kobayashi, S. (1981) Diversity indices : Relations to sample size and spatial distribution. Jap. J. Ecol., 31 : 231-236.
- (1987) Heterogeneity ratio : A measure of beta-diversity and its use in community classification. Ecol. Res., 2 : 101-111.
- 小林四郎 (1995) 生物群集の多変量解析. 194pp., 蒼樹書房, 東京.
- 森下正明 (1979) 森下正明生態学論集. 第二巻. ii+585pp. 思泉社, 東京.
- 山本道也 (1983) 竜ヶ崎市周辺のチョウ相. 流通経済大学論集, 18(1) : 28-51.
- (1989a) 竜ヶ崎市周辺のチョウ相——環境選好性. 同上, 24(1) : 32-45.
- (1989b) 竜ヶ崎市周辺のチョウ相——季節消長. 同上, 24(2) : 31-42.
- (1991a) 竜ヶ崎市周辺のチョウ相, 1982年——環境選好性. 同上, 26(1) : 1-10.
- (1991b) 竜ヶ崎市周辺のチョウ相, 1983年——環境選好性. 同上, 26(2) : 41-53.
- (1992a) 竜ヶ崎市周辺のチョウ相, 1983年——季節消長. 同上, 26(3) : 49-62.
- (1992b) 竜ヶ崎市周辺のチョウ相, 1984年——季節消長. 同上, 27(2) : 45-59.
- (1993) 竜ヶ崎市周辺のチョウ相, 1984年——環境選好性. 同上, 27(3) : 34-47.
- (1994a) 竜ヶ崎市周辺のチョウ相, 1985年——季節消長. 同上, 28(3) : 15-30.
- (1994b) 竜ヶ崎市周辺のチョウ相, 1985年——環境選好性. 同上, 29(2) : 94-113.
- (1995) 竜ヶ崎市周辺のチョウ相, 1986年——環境選好性. 同上, 29(4) : 1-20.
- (1996a) 竜ヶ崎市周辺のチョウ相, 1986年——季節消長. 同上, 30(4) : 9-23.
- (1996b) 竜ヶ崎市周辺のチョウ相, 10年間の変化. 創立30周年記念論文集, 経済学部篇 (流通経済大学創立30周年記念論文集編集委員会編). 447-491. 流通経済大学出版会.
- (1997a) 竜ヶ崎市周辺のチョウ相, 1987年——季節消長. 流通経済大学論集, 31(4) : 1-15.
- (1997b) 竜ヶ崎市周辺のチョウ相, 1987年——環境選好性. 同上, 32(2) : 38-53.
- (1998) 竜ヶ崎市周辺のチョウ相, 1988年——季節消長. 同上, 33(1) : 1-15.
- (1999) 竜ヶ崎市周辺のチョウ相, 1988年——環境選好性. 同上, 34(2) : 23-38.
- (2000) 竜ヶ崎市周辺のチョウ相, 1989年——季節消長. 同上, 35(1) : 1-16.

- (2001) 龍ヶ崎市周辺のチョウ相, 1989年——環境選好性. 同上. 36(2): 1-19.
- (2002) 龍ヶ崎市周辺のチョウ相, 1990年——季節消長. 同上. 37(1): 15-30.
- (2003) 龍ヶ崎市周辺のチョウ相, 1990年——環境選好性. 同上. 38(1): 1-16.
- (2004) 龍ヶ崎市周辺のチョウ相, 1991年——季節消長. 同上. 39(1): 17-31.
- (2005) 龍ヶ崎市周辺のチョウ相, 1991年——環境選好性. 同上. 40(1): 1-16.
- (2007) 龍ヶ崎市周辺のチョウ相——20年間の変化. 同上. 41(4): 33-67.
- (2009) 龍ヶ崎市周辺のチョウ相, 1992年——季節消長. 同上. 43(4): 11-26.
- (2010) 龍ヶ崎市周辺のチョウ相, 1992年——環境選好性. 同上. 44(4): 1-17.
- (2011) 龍ヶ崎市周辺のチョウ相, 1994年——季節消長. 同上. 45(4): 1-17.
- (2012a) 龍ヶ崎市周辺のチョウ相, 1994年——環境選好性. 同上. 46(4): 13-30.
- (2012b) 龍ヶ崎市周辺のチョウ相, 1995年——季節消長. 同上. 47(3): 1-17.
- (2013) 龍ヶ崎市周辺のチョウ相, 1995年——環境選好性. 同上. 48(2): 1-19.
- (2014a) 龍ヶ崎市周辺のチョウ相, 1996年——季節消長. 同上. 48(1): 1-18.
- (2014b) 龍ヶ崎市周辺のチョウ相, 1996年——環境選好性. 同上. 49(1): 11-30.
- (2015) 龍ヶ崎市周辺のチョウ相, 1997年——季節消長. 同上. 49(3): 1-19.

Synopsis

Yamamoto, Michiya, 2016. Thirty year change of butterfly fauna observed in and near Ryugasaki. Soritsu 50-shunen-Kinen Ronbunshu (Contributions in Celebration of the 50th Anniversary of Ryutsu-Keizai University) ed. by Rytsu-Keizai University Press. pp.717-782.

A butterfly community in Ryugasaki, Ibaraki Pref., was composed of two subcommunities (deforestation subcommunity and afforestation subcommunity) in three different annual fluctuation patterns (pre-construction period, deforestation and clearing period, road and house construction period). Deforestation subcommunity, including *Pseudozizeeria maha*>*Pieris rapae crucivora*>*Eurema hecabe mandarina*>*Papilio xuthus*>*Parnara guttata*>*Everes argiades*>*Colias erate*>*Lampides boeticus*>*Polygonia c-aureum*>*Lycaena phlaeas*>*Graphium sarpedon*>*Pelopidas mathias*>*Neope goschkevitschii*>*Celastrina argiolus* and other 29 species, had increased as open areas had been expanded (from deforestation and clearing period to road and house construction period caused by the process of urbanization) and/or in the year of a hotter summer. On the other hand, afforestation subcommunity, including *Polytremis pellucida* and other 14 species, decreased due to intenser human impacts and/or less amount of rainfalls in the previous year.

The total number of species observed per year in the total community had not been changed for 30 years surveyed, but the deforestation subcommunity had been more prosperous in later years, especially with a conspicuous occupation by the

dominant species, causing decrease of the total community equitability. Resultingly, the total community diversity had been gradually decreasing in those 30 years.