

1958年から1995年の37年間における 日本本土の蝶相の激しい変化について

細見 彬文

On the Severe Alternation of Japanese Butterfly Fauna during 37 Years between 1958 and 1995

Akimichi Hosomi*

はじめに

環境庁は1991年「日本の絶滅の恐れのある野生生物、無脊椎動物編」で蝶に関しては最も絶滅危険度の高い絶滅危惧種にゴイツバメシジミとオオウラギンヒョウモンを取り上げ、次のランクである危急種にギフチョウ、ルミスシジミ、ヒョウモンモドキ、タカネヒカゲを、そしてさらに稀少種として37種をリストアップしている。すなわち、全体で44種となり、これは日本産蝶類の土着種全233種の約2割にあたる。生物の種の2割ものものに、絶滅の危機がせまっていることは重大なことである。

この蝶類の減少の原因をある研究者は草刈り場としての草原の放置による生態系の変化に求めたり、またある場合には観光開発に求めたり、道路、用水路のコンクリート化、道路工事、河川改修に求めたり、蝶採集者による乱獲に求めたり、また地球温暖化による北方種の減少を指摘したりしている、しかし筆者は本当の原因は解明されていないと考える。

研究者が1種の蝶だけに興味を示し、その種の減少の原因を追求することで、種にかかわる具体的な問題、例えば草地の放置による生態系の変化が浮かび上がったとしても、そうした研究を積み上げたからといって真の原因が見えてくるものではないと考える。蝶類は多様性と複雑さを持った群集であり、そこには群集全体の法則性が働いていると考えるならば、群集全体を取り扱わなければ、真の原因が見えて来ないと考える。例えば、いくら炭素や窒素の性質を研究しても、蛋白質の働きは永久にわからないのと同じである。著者はそうした考え方にもとずいて、1958年から1995年に至る日本本土の蝶相の変化を46都道府県と主な10島を単位として扱い、それらの単位区域別に全ての種の減少と増加を数値化して、さまざまな計算によって、その原因にせまろうとした。

資料と方法

都道府県単位で日本の動物相の在・不在を明確にした資料は蝶を置いて他にない。近年になって、環境庁が関係学会の協力で動植物分布調査報告書を1993年にまとめた。蝶を除いて他は脊椎動物、蝶以外の昆虫、陸産貝類で合計9分冊が出版されたが、それらの動物群の在・不在データを統計解析してみた、蝶ほど実態が正確にとらえられている動物群は他にないことがわかった。これはアマチュア研究者の数が非常に多いことに起因している。

1958年から1995年までの蝶相の変化を調べるための資料は、1958年出版の白水隆『日本産蝶類分布表』（北陸館）を現在との比較の出発点として用いた。一方、現在についてのデータは、環境庁、1993年出版の動植物分布調査報告書、蝶類の部を基本とした、1994年以降のデータの追加は、蝶研出版発行の蝶類年鑑、1995年度版を用いた。これらの資料から現在の蝶相がどう変化したかを追った。

環境庁の報告書は種別、都道府県別の種の確認報告数が記載されており3次元データとなっている。この確認報告数は個体数とある関数関係にあると想像できるが、確実なことは不明なので、報告数そのものは用いることは行わず全てを在・不在の2元データ（1：0データ）として扱った。そして、これをコンピュータ入力するときは、1958年も在、1995年も在、すなわち在：在のときはコードを1とし、1958年で在、1995年で不在のときはコードを-1、1958年で不在、95年で在の場合は2、どちらも不在の時は0という4種類のコード化した情報として扱った。

そしてこのデータから各都道府県についての減少種数、増加種数を算出し減少、増加の原因となりそうなあらゆるファクター、すなわち、年平均気温、年平均最低気温、同最高気温、降水量、1958年度の生存種数、山岳高度、人口密度とその変化数、40年間の気温上昇の地理的分布、山林面積、丘陵地：低地：山地面積、そして最後には政府による公共投資額、自動車密度のような社会的要因に

* 神戸市長田区五位ノ池町2-1, 五位ノ池南ビル513
513 Goinoike South Bldg. 2-1, Goinoike, Nagata,
Kobe 653-0851 Japan

まで手を広げて種の減少と増加の原因をもとめた。

蝶の種別の減少と増加に関しては、特別な2元データを作成して解析を行った。減少については、減少していればコードを1とし、減少がなければ0として別に表を作り、都府県間の減少パターンの類似度、相違度をそれぞれOchiai指数 $a/\{(a+b)(a+c)\}^{0.5}$, (Ochiai, 1957), Hosomi第2指数 $|bc/(a+b)(a+c)|$, (Hosomi, 未発表)でもって測定した。ここでいうa,b,c,dは、種AについてP県で在、Q県でも在ならばa、P県で不在、Q県でも不在ならばd、在：不在ならばb、不在：在ならばc、とし1種ごとにa,b,c,dのどれかに1が与えられる。こうしたことを全ての種について調べ、P県で在Q県で不在のケースが23あったとすると、bは23が与えられる。そのように計算すると、a,b,c,dそれぞれにある数値が与えられるので、その数値を指数式にあてはめると、都府県間の類似度、相違度が計算できるわけである。

そして、本研究では普通度、稀少度指数 (CR Index) を開発して、もとの1958年における各都道府県の蝶相の持つ稀少度と、消滅した種の稀少度を比較した。2元データの1と0をN、全都道府県と主な鳥の数をL、各県の種数をSとすると、CR Indexは次の式で表される。

$$CR = (1/S) \sum |N_i (\sum N_i / L)|_j$$

ただし、 $S = \sum N_j$

それでiは横方向に計算する時の番号で、jは縦方向に

計算するときの番号である。この計算によって、消滅した種は消滅しない種に比べて稀少度が格段に高く(稀少度が高いほど、数値は小さくなる)それをウエルヒのt検定でもってその差を検定した結果、有意な差を得ることによって証明した。

結 果

都道府県における蝶種の減少

蝶種数の減少の原因を調べるために、大まかな減少パターンを図1の日本地図で示す。図1では色の濃い都道府県ほど減少種数が多いことを示している。最も激しい減少を示すのは37種が減少した神奈川県で、ここを軸にして、関東では東京都(23種)、千葉県(21種)、埼玉県(17種)が続く。そしてこの減少種数の多い県は東海道を西進して、静岡県(25種)愛知県(22種)滋賀県(11種)大阪府(20種)とほぼ日本列島の社会的基幹軸をおきていることがわかる。このことから種の減少の原因は社会的要因でないかと思当をつけることができる。それに対してあまり問題がないはずの新潟県(23種)、福井県(23種)、奈良県(24種)については別の原因が考えられる。これらの都府県に対して、東北5県、長野、山梨、中国4県、四国3県など社会の基軸から遠いところは減少が穏やかである。

さて、1988年度の1km当たりの政府の公共投資額と蝶

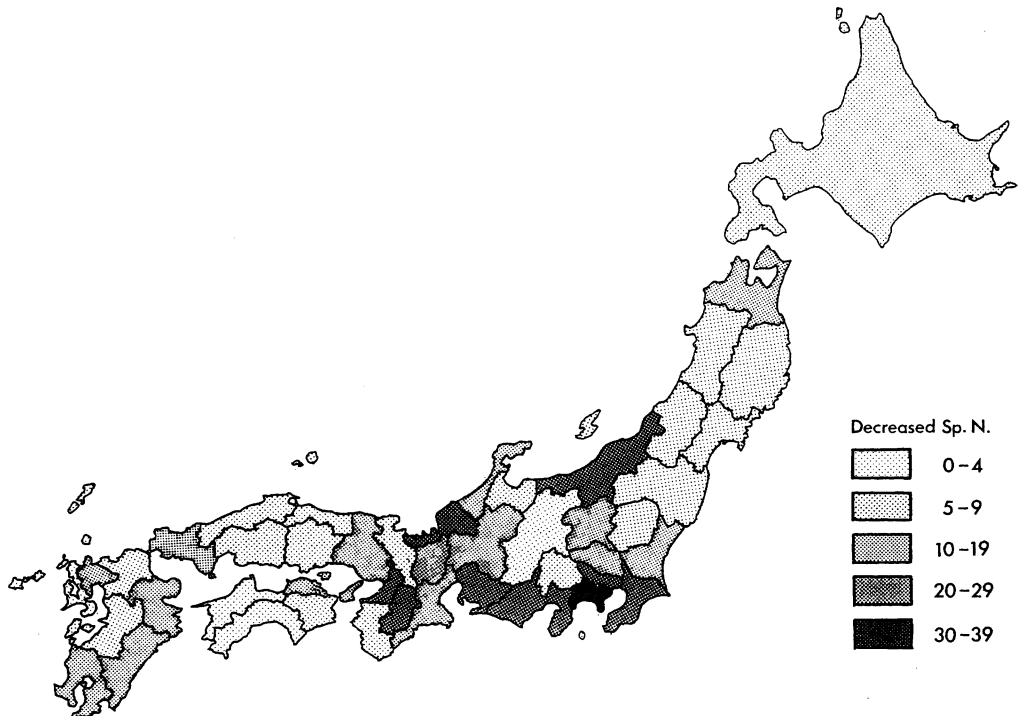


図1 1959年から1995年に至る都道府県における蝶の減少種数の段階図

Fig.1 Ranking map of decreased numbers of butterfly species in Japanese prefectures from 1958 to 1995

の減少種数をとってみると、図2のようになり、その関係は相関係数 $r = 0.5641$ ($Pr. < 0.001$, $DF = 44$) の相関を得る。公共投資というのは道路、橋、ダムなどの建設に使われる投資で、こうした大掛かりな国土工事が、自然破壊と密接な関係を持っていることを示している。統計値を1988年だけにしぼったのは、こうした統計では毎年貨幣価値が変動するので、加算や平均値は意味をなさなくなるので1年だけの統計で代表させたわけである。

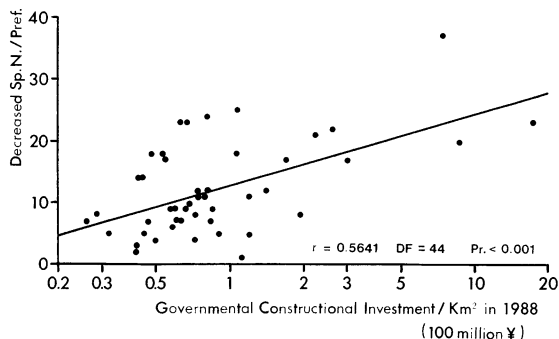


図2 各都道府県における蝶の減少種数と1988年度の政府の1平方キロあたりの公共投資額(億円)

Fig.2 The relationship between decreased numbers of butterfly species in Japanese prefectures and governmental constructional investment (100 million yen/km²) in 1988.

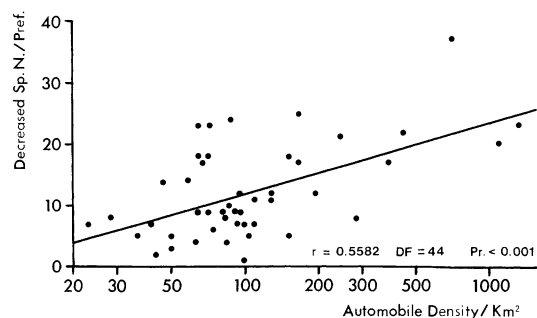


図3 各都道府県における蝶の減少種数と1980年度の1平方キロあたりの自動車密度

Fig.3 The relationship between decreased numbers of butterfly species in Japanese prefectures and automobile densities/km² in 1980.

公共投資によって生じた国道の密度長(都道府県面積1km²あたりの長さ, km)と蝶の減少種数の関係は、相関係数 $r = 0.4405$ ($Pr. < 0.01$, $DF = 44$) となる。ここで言うDFとは自由度(Degree of Freedom)のことで、相関係数を求めるときは、資料数-2で、本土の都道府県数は46なので、DFは44となる。

1980年度の都道府県別自動車台数から、それを都道府県の面積で割って1km²あたりの自動車密度を求めた。すると東京での密度が最高で1320台、大阪が1110台、神奈川が711台となって、蝶種数の減少が激しいところばか

りが自動車密度が高いことがわかる。密度の低いのは北海道の23台、岩手の29台というように、蝶の減少種数も少ない、この密度にはあまりにも大きな開きがあるので、対数にして蝶の減少種数との関係を求めたのが図3である。この時、相関係数 $r = 0.5582$ ($Pr. < 0.001$, $DF = 44$) となり、1平方キロあたりの自動車密度が大きいほど、蝶の種数は減少が激しいといえることができる。

図は示さないが1960年から1995の35年間に都道府県に流入した人口を都道府県面積で割って1km²あたりの人口密度の変化数を出し、それを対数化して蝶の減少種数との間で相関係数を求めると、 $r = 0.6477$ ($Pr. < 0.001$, $DF = 44$) となつてかなり高い値を示す。最も蝶種の減少している神奈川県で35年間のkm²あたりの人口密度の変化はプラス2012人で、蝶種の減少の少ない高知県(2種)では逆にkm²あたりマイナス5人、長崎県(1種)ではマイナス52人/km²となっている。このような短期間における異常な人口の集中も自然破壊の1要因となっている。

次にどのようなタイプの蝶が減少しているのかを調べるため、それぞれの種の分布区域数(46都道府県+主な島10島)と減少率の関係を調べてみた、蝶は分布区域が広いほど一般的には普通性が高く、分布区域が狭いほど稀少性が高い。1993年の環境庁による種の確認報告数はある程度まで個体数の多少を反映していて、分布区域数をD、報告数をRとすると、 $R = aD + b$ という一次式が成り立つことから、種の分布域の広いものは普通性が高いと判断できる。

ここで言う減少率は減少区域数を1958年の分布区域数で割った値である。例えば、直接、減少区域数を使うと次のようなことが起きる。1958年当時2県だけに分布していた種が1県で減少するのと、46都道府県+10島の56地域に分布している種が1県で減少するのは、同じ1

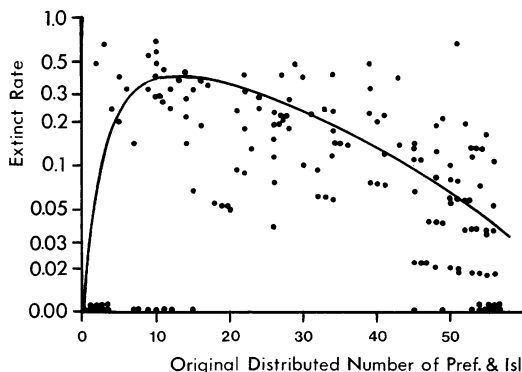


図4 蝶の種別消滅率(種の消滅した都道府県と主な島の数/1958年の分布:都道府県数)と1958年の分布都道府県数

Fig.4 Extinct rate of butterfly species which means number of prefectures in which the butterfly extinguished divided original distributed number of prefectures in 1958.

表1 蝶の減少の2次元データから求めた類似度と相違度

Ochiai 指数(類似度指数)

| | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|----|
| 新潟 | 福井 | 愛知 | 奈良 | 大分 | |
| 0.1739 | 0.2730 | 0.3556 | 0.2667 | 0.1517 | 東京 |
| | 0.4095 | 0.3112 | 0.0889 | 0.3034 | 新潟 |
| | | 0.2326 | 0.1861 | 0.2117 | 福井 |
| | | | 0.2276 | 0.3620 | 愛知 |
| | | | | 0.2585 | 奈良 |

Hosomi第2指数(相違度指数)

| | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|----|
| 0.6824 | 0.5279 | 0.4149 | 0.5375 | 0.7160 | 東京 |
| | 0.3478 | 0.4743 | 0.8301 | 0.4783 | 新潟 |
| | | 0.5887 | 0.6622 | 0.6190 | 福井 |
| | | | 0.5970 | 0.4010 | 愛知 |
| | | | | 0.5453 | 奈良 |

Ochiai 指数は数値が高いほど、Hosomi第2指数は数値が低いほど両者の関係は近い。

県の減少でも意味がまったく異なる。それで減少率でもって表したのが図4である。この図でははっきり言えることは、分布区域の狭い種、すなわち稀少種における減少が極めて高い率を示すのである。これは稀少種ほど滅亡しやすいことを物語るものである。

しかし、たった1~2県にしか分布しないような超稀少種は多くが高山性の蝶であるため、そうしたものは減少せずに安定している。最も減少率が高いのは5~25都府県に分布する程度の稀少種である。

蝶の減少の原因が主として国土開発や、自動車の増大、

人口の集中など社会的要因で起きていることははっきりしたが、新潟県や福井県、奈良県などの激減はかならずしも同じ原因で起きているとは考えにくい。それで特徴がはっきりしている東京、愛知を含めて、新潟、福井、奈良、大分の6都県をとってその減少パターンを県別、種別の2次元データにとり、類似性を見るOchiai指数(Ochiai, 1957)と相違度をみるHosomi第2指数(Hosomi, 未発表)でもって解析した結果、表1に示すような数値を得た。ここでは、上下両表とも新潟と福井、東京と愛知にいくぶんの共通性があることを示すが、他は共通性の値が低く、各都県でランダムに減少が起きており、そこに一定した傾向性がないことがわかる。

またもとの2次元データから減少県数に対する減少種数の頻度分布のグラフを作り、端切れポアソン分布に当てはめてみると、 $\chi^2=9.341$ (DF=4, Pr. >0.05) となって、端切れポアソン分布で近似できることがわかった。このことは、蝶の減少が一定の法則性を持たずに、ランダム(でたらめ)に起きていることを示すものである。このグラフのことについて説明すると、例えば1県で減少した種数が18、2県で減少したのが36種というようにとると、県の数に対する減少種数がポアソン分布をするという意味である。

先に示した6都県に佐賀と熊本を加えて8都県として減少傾向を比較してみた。この比較には稀少度指数(CR Index)を使って1958年時の減少の起きない蝶群全体稀少度と、減少した種だけの稀少度を測定してみた。稀少度指数は値域が0.00-1.00の範囲にあって、数値が低いほど稀少性が高いことを示す指数である、全体の稀少度と減少種の稀少度では佐賀県を例外として、減少し

表2 全体の稀少度と減少した種の稀少度の比較とウエルヒのt検定結果(上)、北方系種と温帯系種の減少率の差のU検定結果(下)

| | | | | | | | | |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 東京 | 新潟 | 福井 | 愛知 | 奈良 | 大分 | 佐賀 | 熊本 |
| 1958年種数 | 105 | 127 | 99 | 102 | 101 | 105 | 73 | 97 |
| 減少種数 | 23 | 23 | 23 | 22 | 24 | 18 | 11 | 8 |
| 全体の稀少度 | 0.756 | 0.668 | 0.764 | 0.768 | 0.778 | 0.751 | 0.825 | 0.756 |
| 減少種の稀少度 | 0.515 | 0.439 | 0.531 | 0.607 | 0.682 | 0.642 | 0.899 | 0.482 |
| Welchのt test結果 | *** | *** | *** | *** | * | - | - | * |
| 減少種の内わけ | | | | | | | | |
| 北方系 | 11 | 7 | 8 | 7 | 4 | 0 | 3 | 1 |
| 南方系 | 1 | 3 | 2 | 4 | 4 | 7 | 2 | 2 |
| 温帯系 | 11 | 13 | 13 | 11 | 16 | 11 | 5 | 5 |
| 広域系 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 北方系種全体 | 19 | 34 | 21 | 22 | 19 | 23 | 12 | 21 |
| 温帯系種全体 | 39 | 50 | 32 | 33 | 31 | 36 | 20 | 34 |
| 北方系減少率 | 0.578 | 0.205 | 0.380 | 0.318 | 0.210 | 0.000 | 0.250 | 0.047 |
| 温帯系減少率 | 0.282 | 0.260 | 0.406 | 0.333 | 0.516 | 0.305 | 0.250 | 0.147 |
| 減少率の差のU検定 | * | - | - | - | * | ** | - | - |

***...P<0.001 **...P<0.01 *...P<0.05 ---NO Difference

た種は稀少性の高い種であることがわかる、これら2つの稀少度をウエルヒのt検定でテストしてみると、明らかに有意な差が存在することがわかる(表2)。

そして、特に減少したもののなかには北方系と温帯系の種が多いので、それら2つの減少率の差をu検定してみたが、北方系と温帯系の間では有意な差はないことがわかった。

これらのことから結論として、減少する種は稀少種で、稀少種が特に被害を受けているということ以外は、なにか特定の傾向をもった蝶が特に被害を受けるのではなく、減少はまったくランダム(てたらめ)におきているといえる。

都道府県における蝶種の増加と分布域の拡大

蝶種数の増加は減少に比べて約1/3程度の数にとどまり、減少を補完するほどのものではない。都道府県数を f_i 、減少種数を x_i 、とすると $\sum f_i x_i = 625$ 県種で、増加種数を n_i とすると $\sum f_i n_i = 229$ 県種であり、減少と増加の間には2.72倍の差が存在する。極めて増加種数が多いのは佐賀県(15種)長崎県(12種)熊本県と山口県(11種)鳥根県、福井県(10種)などである。

次に緯度に対する増加種数をとってグラフ化してみると図5のようになる。緯度と蝶の増加種数の関係は相関係数 $r = -0.4001$ (Pr. < 0.01, DF=44)となり、充分有意であることがわかる。このことは、南部ほど種の増加が多いことを物語る。これは後で述べる気温上昇が日本本土の南西部ほど大きいことと関係している。それで増加の著しい佐賀、長崎、熊本、山口、鳥根の5県に新しく定着した蝶種がどんなものか、その種構成は表3のようになる。

佐賀県と長崎県の増加種の種構成は極めて似通っていて、南方系の種が圧倒的に多いこと、この2県は熊本、

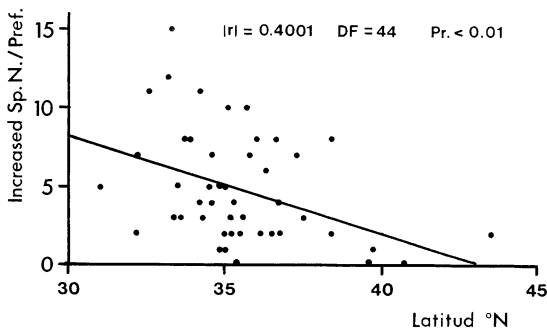


図5 各都道府県の蝶の増加種数と緯度の関係
Fig.5 The relationship between increased numbers of butterfly species in Japanese prefectures and the latitudes.

山口、鳥根の3県とは種構成がまったく異なっていること、これら3県の間では共通種がほとんどないが、北方

表3 西日本5県に1958年以後に定着した蝶

| | 系 | 長崎県 | 佐賀県 | 熊本県 | 山口県 | 鳥根県 |
|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| ミカドアゲハ | 南方系 | | ○ | | | |
| ホシボシキチョウ | 南方系 | ○ | ○ | | | |
| ウラナミシロチョウ | 南方系 | | ○ | | | |
| ウスキシロチョウ | 南方系 | ○ | ○ | | | |
| タイワンモンシロチョウ | 南方系 | | ○ | | | |
| タッパルリシジミ | 南方系 | ○ | ○ | ○ | | |
| スジグロカバマダラ | 南方系 | ○ | ○ | | | |
| カバマダラ | 南方系 | ○ | ○ | | | |
| アオタテハモドキ | 南方系 | ○ | ○ | | | |
| タテハモドキ | 南方系 | ○ | ○ | | | |
| メスアカムラサキ | 南方系 | ○ | | | | |
| リュウキュウムラサキ | 南方系 | ○ | ○ | | | |
| クロセセリ | 南方系 | | | | ○ | |
| サツマシジミ | 南方系 | | | | | ○ |
| ミヤマチャバネセセリ | 北方系 | ○ | | | | |
| コキマダラセセリ | 北方系 | | | | ○ | ○ |
| エソスジグロシロチョウ | 北方系 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| アカシジミ | 北方系 | | ○ | | | |
| ミズイロオナガシジミ | 北方系 | ○ | ○ | | | |
| オナガシジミ | 北方系 | | | ○ | | |
| メスアカミドリシジミ | 北方系 | | | ○ | | |
| アイノミドリシジミ | 北方系 | | | ○ | | |
| ヒメシジミ | 北方系 | | | ○ | | |
| ヒロオビミドリシジミ | 北方系 | | | | | ○ |
| ウスイロオナガシジミ | 北方系 | | | | | ○ |
| ウラジロミドリシジミ | 北方系 | | | | ○ | |
| ジョウザンミドリシジミ | 北方系 | | | | ○ | |
| カラスシジミ | 北方系 | | | | ○ | ○ |
| スギタニルリシジミ | 北方系 | | | | | ○ |
| クロツバメシジミ | 北方系 | | ○ | ○ | | |
| キマダラモドキ | 北方系 | | | | ○ | |
| ウラキンシジミ | 温帯系 | | | ○ | | |
| クロミドリシジミ | 温帯系 | | | ○ | | ○ |
| エゾミドリシジミ | 温帯系 | | | ○ | | |
| ダイセンシジミ | 温帯系 | | | | ○ | |
| フジミドリシジミ | 温帯系 | | | | ○ | |
| ウラクロシジミ | 温帯系 | | | ○ | | |
| ヒョウモンモドキ | 温帯系 | | | | | ○ |

種と温帯種の定着が盛んなことがわかる。

そこで1921年から1950年までの30年間の月平均気温と1960年から1990年までの30年間の月平均気温から正確な2つの年平均気温を求めてその差を出してここ40年間の地球温暖化による気温の上昇として、地図上に数値をプロットして0.2℃の間隔でコンター(等温線)を入れたのが図6である、この地図からわかることは、この40年間の気温上昇は、日本本土に限って言えば、内陸部は海上よりも気温上昇が著しい、そして南西部ほど気温の上昇が大きいことがわかる。九州西部では0.8℃以上の気温上昇が認められる。0.6℃のコンターは九州から関東

地方まで届いている。0.4℃のコンターは東北地方のほぼ全域を囲み、0.2℃のコンターは北海道にまで伸びる。日本本土では南ほど気温上昇が大きいことである。山陽道、東海道沿いに気温上昇の著しいスポットがあるのは都市のヒートアイランド現象である。

ヒートアイランド現象を除いて、気温上昇が最も著しいのは九州西部地域である。ここでは0.8℃以上の上昇が認められる。長崎県、佐賀県はこの気温上昇の顕著な

地域の中でも中心位置を占め、1.0℃以上の気温上昇が認められる。このことと、長崎県、佐賀県での南方系の蝶の増加現象がびたりと一致するのである。

一方、1958年の各都道府県の蝶の存在種数に対し、増加した蝶種数をとると、図7のごとくなる。1958年に棲息していた蝶が少なかった県では、この37年間の増加数が大きい、1958年当時まで多くの蝶種のいた府県では移入数は少ない。図7での相関係数は $r = -0.4655$ (Pr.



図6 日本本土における1950年から1990年に至る40年間の年平均気温の上昇度の地理的分布
 Fig.6 The geographical distribution of yearly average temperature increment during 40 years from 1950 to 1990 in Japan.

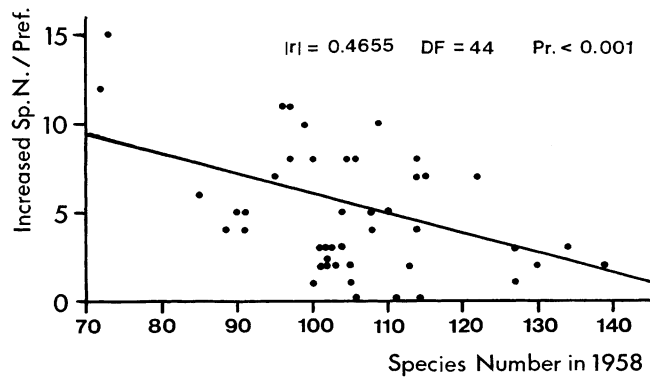


図7 各都道府県における1958年の蝶種数に対する各都道府県における38年間の蝶の増加種数
 Fig.7 The relationship between original number of butterfly species in 1958 and the increased number of species in Japanese prefectures.

<0.001 , $DF=44$) となる。このことから次のように言える。もともと蝶種数の少ない地方は、それだけ蝶にとって競争が少ないわけで、競争の少ないそうした地域へ他の場所にいた蝶が競争をさける意味で移入したのである。ここでは、南方系蝶の分布域の拡大とともに、北方系の蝶が、中国地方や九州地方へ南進していることである。一般的に蝶の研究者に信じられているのは、地球温暖化による南方系の蝶の北進であるが、北方系の蝶の南進も多くの種でおきているのである。しかし北方系の蝶の移住先と南方系蝶のそれとはかなり異なり、違った場所を選んで定着していることである。

考 察

蝶種数減少と増加の原因

蝶の減少の原因をさぐるべく、まずはさまざまな自然現象の変化などに原因を求め、できるかぎり多くの相関関係のグラフを作ったが、そのどれもに有意性がなく、最後に求めたのが、政府による公共投資額、道路建設、自動車密度といったものであった。これらは政府の基本政策である国土開発、内需拡大と経済発展の方向に一致するもので、蝶を減少させているのは、まさに政府の政策である経済発展と国土開発という車の両輪による自然破壊であることがはからずも明らかになったのである。こうしたデータはすべて政府の発表した統計が元になっており、政府のデータを使って、はからずも自然破壊の真の原因が政府の政策にあることを明確にしたわけである。

本研究では蝶を扱っただけであるが、扱えない動物群が極めて多数にのぼる。蝶は1958年発行の蝶類分布表があったので、過去のデータと比較することができた。しかし、他の動物群ではそのようにはゆかない。たとえば、陸産貝類（カタツムリ）でも、トンボ類でも甲虫でも両生類でも、過去の県別分布を調査したデータは皆無であった、さかのぼって調べる方法がないのが現状である、こうした生物もおそらくは極めて深刻な種数の減少が起きているものと推測される。蝶はまだ移動能力が大きいので、逃避行動などがとれるわけであるが、例えばカタツムリのように、移動力の小さな動物だと、被害ははるかに深刻なものとおもわれる。蝶の実態は他のすべての動物群にかわって、代表して発言すべき位置にある。

考察を蝶の増減問題に立ち返らすことにして、具体的問題に論及することにする。蝶の減少が草刈り場や雑木林の手入れの放置によって、生態系が変化して、従来いた蝶、たとえばオオウラギンヒョウモンがすめなくなったということは事実であろう。しかし個々の種についてたしかにそうであっても、もう一段、そのことを追求すれば、神奈川県で蝶が減少したのとおなじ原因が現れる

と思われる。草刈り場や雑木林が放置されたのは、牛の農耕での使用がトラクターの導入によってやまり、農家は薪炭材からプロパンガスに燃料を切り替え、肥料は昔の有機農業で必要とした堆肥用の草が、化学肥料に置き換わったわけで、これらはすべて国土開発と経済発展の政策の枠内にあるものである。

生方（1997）は蝶の減少原因に温暖化をあげ、北方種が南限から消滅しつつあることに懸念を表明している。著者はそれで各県の北方系種の減少数と40年間の気温上昇の関係を求めたが、有意な関係は得られなかった。気温上昇の最も激しい長崎・佐賀両県でさえ北方種の減少はゼロかもしくは1種で、まだ北方種の南限からの減少は確認できない。

石井（1986）は温暖化によってナガサキアゲハその他の蝶が北上するためには、冬の休眠適応のある蝶でないこと、事実上北上できないことを述べていてすべての南方系の蝶が北上可能ではないことを強調している。本研究で確認できた、ナガサキアゲハ、モンキアゲハ、イシガケチョウ、クロコノマチョウ、サツマジミなどは休眠適応能力のある蝶である。

こうした南方系の蝶の北上は1970年頃から指摘されていたが、温暖化そのものが正確にはわからなかったため、北上はおそらく温暖化のためだろうという推測の域をでることができなかった。この研究では、ここ40年間の日本列島の気温上昇の具体的な分布地図を示して、長崎・佐賀両県を含む九州西部地域の気温上昇が 1.0°C 以上に高いことを示し、そこをねらってウスキシロチョウ、アオタテハモドキ、タテハモドキ、リュウキュウムラサキ、タッパナルリジミなどの蝶が大挙して進出していることを明らかにした。おそらく気象庁には気温上昇の分布地図は作られているはずであるが、我々がそうした地図を眼にすることはなかった。そうしたことにおいて、この地図は意義があるものと思われる。

もうひとつ問題となるのは、30年とか40年とかの長い間隔をとれば、自然破壊といったものがなくとも、いくつかの種が消え、いくつかの別の種が移入してきて、自然な種の入れ替わりといったことが、どこでも起きるのであろう。事実、今回の調査においても、そのような入れ替わりが起きていると考えられる県もたくさんあるのである。そうした県のなかには、逆に種数が増えた県も10県ばかりある。種の減少を考える場合、そうした健全な交代と、自然破壊による減少とははっきり区別してゆく必要がある。

普通度・稀少度指数について

本論文ではあまり耳慣れない普通度・稀少度指数という公式を使って解析が一部で行われた、これは在・不在

データ（1：0データ）を扱う式であるが、これまで在・不在データを扱う数学は、2つの群集を比較するための類似度、相違度を求めるものばかりであった。これらは多くの群集が存在するとき、種の在・不在から群集間の比較をするもので、有名なものにはJaccard (1901) のJaccard指数、Ochiai (1957) のOchiai指数、Dice (1945) のDice係数、Sneath (1968) の2元距離係数、Pearson (1901) の点相関係数 Φ などがよく知られている。しかし、在・不在データから群集そのものの性質を算定する方法はなかった。最近になってHosomi (1999) によって2つの指数が開発された、それは多様性指数Bと、自然破壊度指数Qaである。普通度・稀少度指数Crもその発展線上にあるものである。たとえば日本本土46県と主な10島の56区画に分布する蝶のことを考えてみると、モンシロチョウのような普通種は56の全ての区画に分布するし、ツマベニチョウのように鹿児島県にしかないものもある。それで分布する区画数を全区画数56で割ると、モンシロチョウでは $56/56=1.0$ となり、ツマベニチョウでは $1/56=0.0178$ となる。全ての蝶種についてそうした数値を出して、鹿児島県なら鹿児島県に分布する全ての種のそれらの値を合計する。そして鹿児島県にいる蝶の種数で割ると、鹿児島県の蝶の普通度・稀少度指数がえられる。その県に稀少種が多いと値は低くなるし普通種ばかりだと値は高くなる。本論文ではもともと1958年に分布していた蝶の指数と、1958年から95年にかけて減少した蝶の指数を比較している。それはどうやって計算するかというと、もともと分布していた蝶については、すべての存在する種について値を計算すればよいが、減少した蝶については、減少する以前の分布域の数から値を出して、減少した種についてのみ合計し、減少した種の数で割るわけである。そうすることによって、この論文では減少した種では、もともといた全ての種よりもかならず指数値が低いという結果を出した。すなわち、稀少種ほど減りやすいという結果なのである。その2つの値はどちらも平均値であるので、平均値の差の検定ができるので、ウエルヒのt検定をおこなって、差が有意であることを証明した。

参考文献

- Dice, L.R. 1945. Measures of the amount of ecologic association between species. *Ecology*, 26 : 297-302.
- Hosomi, A. 1999. On the new mathematical indexes B & Qa analysing the binary data & representing the biodiversity and measuring the grade of nature destruction, and those application in butterfly fauna of Southwestern Archipelago.

- Japan, *Hyogo Biol.*, 11 : 233-240.
- 石井 実. 1986. アゲハチョウ類—北上と季節適応, in 桐谷編, 日本の昆虫・侵略と攪乱の生態学, 24-32. 東海大学出版会, 東京.
- Jaccard, P. 1901. Distribution de la flore alpine dans le Bassin des Dranses et dans quelques regions voisines. *Bull. Soc. Vaudoise Sci. Nat.* 37 : 241-272.
- 環境庁. 1991. 日本の絶滅の恐れのある野生生物, 無脊椎動物編, 1-470. 日本政府環境庁.
- 環境庁. 1993. 動植物分布調査報告書, 蝶類, 1-326. 日本政府環境庁.
- 国土地理院. 1993. 地理データハンドブック, 1-197. 日本政府建設省.
- 国立天文台. 1960. 理科年表, 1-608. 国立天文台, 東京.
- 国立天文台. 1994. 理科年表, 1-1042. 丸善, 東京.
- 小路義明. 1990. 蝶類年鑑, 1990, 1-600. 蝶研出版, 大阪.
- 小路義明. 1995. 蝶類年鑑, 1995, 1-688. 蝶研出版, 大阪.
- Ochiai, A. 1957. Zoogeographical studies on the soleoid fishes found in Japan and its neighboring regions. II. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.*, 22 : 526-530.
- Pearson, K. 1901. Mathematical contributions to the theory of evolution—VII, On the correlation of characters not quantitatively measurable. *Philos. Trans. Roy. Soc. (Lond.)*, Ser. A, 195 : 1-47.
- 白水 隆. 1958. 日本産蝶類分布表, 1-283. 北隆館, 東京.
- Sneath, P.H.A. 1968. Vigour and pattern in taxonomy. *J. Gener. Microbiol.*, 54 : 1-11.
- 統計局. 1956. 国勢調査報告, 1-820. 日本政府総務庁.
- 矢野恒太郎記念会. 1998. 日本国勢図会, 地域統計版, 県勢, 1-510. 国勢社, 東京.
- 生方秀紀. 1997. 地球温暖化の昆虫へのインパクト, in 堂本・岩槻編, 温暖化に追われる生き物たち, 273-307. 築地書館, 東京.

Summary

During 37 years between 1958 and 1995, Japanese butterfly fauna drastically decreased in their species numbers in major prefectures along trunk way of Japanese mainland. For instance, 23 species extinguished from Tokyo prefecture and neighbor Kanagawa lost 37 species, also Chiba, 21 species. The major reason of butterfly fauna decrease that was caused by

governmental constructional investment building highways, bridges or dams etc. Highway construction caused increment of immense number of automobiles that goes into environmental destruction to let to decrease the the number of species. The relationship between the automobile density/km² and the decreased numbers of butterfly species hold significant high correlation with probability less than 0.001. Human population concentration also affects butterfly fauna. The characteristics of butterfly extinction trend is that rare species have high risks as endangered species. But there is no biological rule in the decreasing phenomenon without random process. Usually rare species distribute narrower areas less than 20 prefectures in all to be 46. Such narrow range distributors are easy to decrease. On the otherhand, increased number of species are some 1/3 of the decreasing ones. Resent years, due to the global warming, the southerly species, enlarge their distribution range toward northern regions. During 40 years up to date, yearly average temperature increased by 0.5°C in average. The distribution of the increased temperature shows that it concentrates Western Kyushu in some 1.0°C as a hot spot, but it decrease from the western to the eastern Japan. Nagasaki and Saga prefs. are situated in the increased temperature spot, that invited the tropical butteflies in 12 species from Ryukyu Archipelago. The decreasing phenomena of boreal butterfly species distributing southern limit area is not observed .