

世界の蝶と昆虫種数の推定

細見 彬 文

An Estimation of the World Butterfly and Insect Species Numbers

Akimichi HOSOMI*

はじめに

最近、数多くの論文が熱帯雨林の伐採とそれにとまなう蝶や昆虫相の多様性が破壊されることを警告している。また多くの出版物で種の多様性の重要性が議論されまた世界の三大熱帯雨林に典型的な種の多様性が見られることが指摘されている。しかしながら熱帯雨林やそれらを含む世界の生物圏に蝶を含めた全昆虫の種数を推定した論文は極めて少ない。

しかし一方では、数多くの生物学者は地球上の動物や植物の多様性を記載するために長い間格闘を続けてきた。は乳動物や鳥のような脊椎動物、昆虫のなかでも特に蝶のような生物はよく記載がすすんで、最近では新種の記載が極めて少なくなっていることから、地上のすべての種がほぼ確認されたと考えられるようになってきている。しかし熱帯の昆虫では新種の記載がいまでも続いており、Hodkinson や Casson (1991) によればパナマで採集される植物食性のカメムシはすべてが新種であると述べている。

40年前の1952年に Sabrosky は地上の昆虫種数は、10,000,000種だと推定しているが根拠は不明確である。Erwin (1982) は中米の熱帯雨林で *Luehea seemanni* という木に留まっている昆虫を殺煙剤を使って落とし、1143種の甲虫を得てそれをもとに全昆虫相を推定した。彼は1143種のなかで160種がその木と直接関係している種であると考えた。そして、甲虫は全昆虫の40%を占めており、林床には樹上の約1/2の昆虫がおり、世界の樹木種数は50,000種だから、次のような計算をした。

$$\{160 + 1/2(160)\} \times (1/0.4) \times 50,000 = 30,000,000$$

上記の計算から、世界の昆虫種数は3千万種とした。

Hodkinson と Casson (1990) は世界の昆虫種数を推定するためセレベスの熱帯雨林でカメムシ目の昆虫を採集した。彼らはいくつかの方法を使ってさまざまな環境を選んで約1年間かけて採集を行った。その結果、1690種のカメムシ目の昆虫が採集され、そのうちで62.5%のものが未記載の種であった。このことは1種のセレベスの記載された種は全カメムシ目の114種の記載され

た数に相当することになる。114と1690をかけ合わせると、193000がえられる。この数は世界の全カメムシ目昆虫の推定値になる。カメムシ目の昆虫は昆虫世界の7.5%を占めているので世界の昆虫種数は275万種になるというのが彼らの主張である。

これらの推定値は大きく異なり、どれが正しいのかわからない。そこで私は昆虫のなかで最もよくわかっている蝶を使って世界の蝶と昆虫種数を推定した。

資料と方法

熱帯雨林の面積については、Sommer (1976)、Presson (1974)、Kricher (1974) のしめすデータを使用した。彼らによれば、もともと熱帯雨林の面積は、中南米が803万平方キロ、中部アフリカが362万平方キロ、東南アジアが435万平方キロで、全体で1600万平方キロ、温帯林は1200万平方キロ、寒帯林は同じく1200万平方キロである。その他、疎林、サヴァンナ、温帯草原、農耕地を合わせるとその面積は4650万平方キロとなっている。

塚田悦造 (1980) による東南アジア島嶼の蝶全5巻はフィリピン、インドネシアの島々の蝶の分布を亜種にいたるまで詳細に記述している。しかし残念なことにシジミチョウとセセリチョウが扱われていない。この資料からフィリピンとインドネシアの24の島を選んでそこに住む蝶の種数を数えた。そして島の面積に対する蝶の種数を両対数グラフにとると Fig.1に示すようなきれいな直接関係を得た。このグラフの特徴は、島の面積が10,000倍になると、蝶の種数は10倍になることである。すなわち直接の傾斜が0.25となることである。そこで蝶の種類を N_s 、島の面積を S とすると次の関係がかなりたつ。

$$\log N_s = 0.25 \log S + \log B \quad (1)$$

そしてこの場合 B の値は11.74となる。

この $z = 0.25$ という関係が、どの場所でも一般的に成り立つのかどうかということはこの研究をすすめる上で極めて重要である。そこで九州から台湾にかけて弧状に分布する南西列島に住む蝶の種類と島の面積から同様に両対数グラフ上で面積・種数関係をもとめた。蝶の種数は日本産昆虫総目録 (1989) 九州大学農学部昆虫学教室

* 513, Goinoike South Bldg, 2-1, Goinoike, Nagata, Kobe 653, JAPAN

発行から算出した。この場合も面積・種数の関係は同様に、Fig. 2 に示すごとく $z=0.25$ となり蝶ではこの数値がユニヴァーサルな値として確認できる。(ただしこのグラフでは石垣島、西表島、与那国島の3島の蝶が他の島々の作る直線から離れて上部にもう一本の直線となって現れる。これには別の原因が隠されている。)

熱帯、亜熱帯、温帯、寒帯各林の蝶数の比較は次のような方法に従って。例えば九州の蝶の数と屋久島の蝶の数を直接比較することはできない。それはあまりにも島の面積が違い過ぎるからである。それですべての島の面積がもし10,000平方キロに縮小または拡大した時にその島には何種の蝶が住めるかということを経験で出してその数値でもって比較するわけである。ボルネオを例にとると、ボルネオは745,950平方キロで、蝶は319種が住んでいる。この2つの点を直線で結合して、10,000平方キロのところの蝶の種数を読むと107種という数値がえられる。この107種という数値がボルネオが10,000平方キロに縮小した時に生きて行ける蝶の数である。これを一応、変換種数と呼ぶことにする。

この変換種数を北はサハリンから南はインドネシアのスンバ島まで緯度に添って並べると、蝶の種数は北から南に行くに従って多様性が大きくなるのがわかる。この変化の傾向は一応、太陽輻射と関係しているとみられてコサインカーブを当てはめると Fig. 3 にしめすようになる。カーブは $N_s = 329 \cos L^\circ - 213$ で最もよくあてはまり、この時 $\chi^2 = 11.112$, $P < 0.001$ となる。このようにコサインカーブがよく当てはまるとことは生物の種多様性が直接的、または間接的に太陽輻射の影響を受けているものと考えられる。(台湾、石垣、西表で点が高いところにあるのは別に原因が作用している。)

熱帯雨林の平均的緯度を $0^\circ L$ 、他の森林についても同様に亜熱帯林は $15^\circ L$ 、温帯林は $30^\circ L$ 、亜寒帯、寒帯林を $45^\circ L$ 、とすると蝶の変換種数はそれぞれ116、110、72、19となる。この数値で面積・種数関係をつかってアマゾンの蝶の数を推定すると602種、中央アフリカでは501種、東南アジアでは525種、全体で1628種となる。同様に亜熱帯林で510種、温帯林で417種、亜寒帯林、寒帯林で115種となる。

世界の土地は森林だけでなく、疎林、サバンナ、温帯草原、農耕地があり、それらを合すると4650万平方キロになる。これらの土地の蝶の変換種数を一応20種とすると、世界で174種となる。

ところで東南アジアの蝶の面積・種数関係から推定された数は525種であるが、塚田(1980)、D'abrela(1990)の示す実際の種数を数えると1280種となる。ここでいう東南アジアとはフィリピン、マレーシア、イリアンジャヤを含むインドネシア、パプア・ニューギニア

で全面積は435万平方キロである。推定種数と実際種数の違いの原因は隔離による種形成によるものである。東南アジアは多くの島々から成り立っている。そうした島々の間に隔離効果が働き推定値より多くの種が形成されたと考えられる。アマゾンや中央アフリカは大陸で島ではないが、こうした広大な地域ではやはり隔離(作用)による種形成があったものと考えられる。東南アジアの推定種数と実際種数は525対1280でその比は2.438となる。この2.438の数値を広大な地域の種形成率とする。この数値をアマゾンやアフリカに当てはめるのはいくぶん難点があるが、ほかに資料がないのでこの数値を使うことにする。それで、世界の蝶の推定種数は2859であるので、2.438を乗ざると6970を得る。この数はシジミチョウとセセリチョウを除いた世界の蝶の種数である。

台湾に棲息する蝶は360種であるが、そのなかにシジミチョウとセセリチョウが160種存在する。シジミチョウとセセリチョウの補正を行うために360から160を差し引いた数、200で360を割ると1.80を得る。(この補正値を得るために日本の蝶で計算しても1.808という極めて近い値をえることができる。)世界の蝶の分類スペクトルの頻度が台湾や日本と大きくは違わないものと仮定してそれぞれの数値にこの1.80を乗ざると、全三大熱帯雨林で蝶の種数は7144種、亜熱帯林で2238種、温帯林で1828種、亜寒帯及び寒帯林で2238種、温帯林で1828種、亜寒帯および寒帯林で504種、その他の地域で763種、これらを加算した全世界の蝶は、12,546種となる。下2桁は意味がないので丸めると世界全体の蝶は約12,500種と推定される。

日本産昆虫総目録(1989)によると学名があたえられ確認されている日本の昆虫は29,286種である。このリストはすべての科について、解明率をA-Eの5段階で示している。コードAは蝶やトンボのようにほとんどの種が解明されている、解明率が90-100%の昆虫である。同様にBは解明率70-89%(中間値、0.8)、Cは50-69%(0.6)、D、10-49%(0.25)、E、0-9%(0.05)である。この解明率の判断は日本の89名の専門家がそれぞれの科について行ったもので信用できる数値であると考えられる。昆虫のすべての目について、科の解明率を表にしたのが Table(2) である。ある科のすでに解明されている種数に解明率の逆数を乗ざるとその科の推定存在種数が算出される。例えばある科でわかっている種の数が39、解明率中間値0.6とすると、推定存在種数は $39 \times 1 / 0.6 = 65$

となって、まだ発見されていない種も含めて65種のもので存在する可能性があることを示している。すべての科について推定存在種数をだし、それらをたし合すと76,503種となり、これが日本の昆虫の推定存在種数とす

る。

日本の蝶の数は台風時に台湾やフィリピンから風で運ばれてくる迷蝶を除いて284種である。この数で日本の推定存在種数76,503を割ると269.37を得る。この数を世界の蝶の推定存在種数にかけた世界の昆虫の推定存在数が求められる。

結 果

世界の蝶の推定存在種数は12,500種である。世界の3大熱帯雨林のうち、中南米の蝶は2650種、中央アフリカは2200種、東南アジアは2300種と推定される。そして、亜熱帯地域には2250種、温帯林に1800種、亜寒帯、寒帯林で500種、その他の地域に750種の蝶が生息するものと推定される。

世界の全昆虫の推定存在種数は、3,400,000種である。そのうち710,000種が中南米に、590,000種が中央アフリカに、620,000種が東南アジアに生息されると推定される。また亜熱帯地域に600,000種が、温帯林に490,000種が、亜寒帯、寒帯林域に135,000種が、その他の地域に200,000種が生息するものと推定される。

考 察

エルビンの推定に対する批判

Erwin (1982) は世界の全節足動物（そのほとんどが昆虫で占められる）の数を樹木 *Luehea seemannii* に付く甲虫1143種から3000万種と推定した。しかしパナマの熱帯雨林で採集した1143種の甲虫はおそらくそのほとんどが未記載種で図鑑にもでていない種であろうと思われる。ところが彼はそれらの甲虫を植物食性、昆虫食性、菌食性、糞食性と4つのカテゴリーに分け、それをもとに *Luehea seemannii* と直接関係しているものが14%であると査定している。分類学的に未確定な昆虫をもとにカテゴリー分類、植物との直接の関係性を査定することはおおきな無理があるものと考えられる。

May (1986) や Stock (1988) がすでに指摘していることであるが、その樹木に種特殊性 (host-plant specificity) を持つ甲虫の査定率が変化すれば結果としての推定値も大きく変化する。エルビンの言う樹木への種特殊性14%が7%に変化すれば推定昆虫種数は3000万種から1500万種に低下する。Hodkinson と Casson 特殊性は極めて低く、樹木に付く昆虫のほとんどがたまたまその木に来ているだけのもので放浪性が極めて高いものであることがわかっている。

Hodkinson と Casson (1991) も指摘していることだが、樹木への昆虫の種特殊性から全昆虫数を推定することは不適当であると考えられる。もしある場所に100種の昆虫と1000種の樹木があったとすると、極端な場

合、それぞれの樹木種を食う昆虫が1種ずついる場合もあれば、それぞれの樹木種が1000種の昆虫によって食われている場合も考えられる。この2つの例は、昆虫種数と樹木種数が同じであるが、推定結果は甚だしく異なってくる。

さらにもうひとつの疑問であるが、資料採集のやりかたが殺虫燻煙法だけでやられていることである。一般的に昆虫採集の方法は数多く開発されていて、燈下採集、果物トラップ、糖蜜地中トラップ、腐肉、糞トラップ、風下採集などいろいろある。こうしたいろんな採集法をつかった方が実際を正しく反映する資料が集められるのではなからうか。

これらの理由からエルビンの推定は甚だしい過剰推定になっていると考えられる。

ホジキンソンとカッソンの推定法に対する批判

Hodkinson と Casson (1991) の推定法は次のようにまとめることができる。

- (1). セレベスの熱帯雨林で採集したカメムシ目の昆虫を記載種と未記載種の2つのカテゴリーに分けた。
- (2). セレベスの記載種数と世界の記載種の比からセレベスの記載種1種に対する比、114を出した。
- (3). セレベスで採集した全種数1690に、比114をかけて、世界のカメムシ目の全推定種数193,000を算出した。
- (4). 世界の記載昆虫全体に対するカメムシ目昆虫は7.5%であることから、193,000に0.075の逆数13.3をかけて2,650,000種の世界の昆虫の推定種数を算出した。

この研究で問題となるのは記載種と未記載種の比率である。極端な場合、もし記載種が0の場合は世界の昆虫種数は無限大になり、記載種の比率が低ければ、それは極めて大きな数になるわけである。もし、彼らがパナマやイリアンジャヤでこの研究を行っていたら、推定値は非常に大きな数になっていたらうと考えられる。また同じ研究をイギリスでやっていたら、世界の昆虫の推定値は極めて小さなものになっていたと考えられる。世界の昆虫の推定値はいろんな場所において、その記載種の比率だけで大きく変化するわけである。この場合、記載種の比率が10%だったとすると、世界の昆虫種数は、1048万種となり、30%なら349万種、50%なら210万種、70%なら148万種という推定値を全採集種数が同じなら得ることになる。もし彼らがバブア・ニューギニアやアンデスのアマゾン側で研究していたらおそらく結果は2倍の値になっていたであろうし、ヨーロッパや日本でやっていたら、おそらく結果は10分の1になっていたであろう。だから記載種と未記載種の比をもとにして世界の昆虫種数を推定することはできないものと考えられる。

本研究における難点

この研究では世界の蝶と昆虫の存在種数を推定した。しかし、基本的には東南アジアの蝶を基にしていることは事実である。世界の蝶のシジミ、セセリの補正も台湾の蝶の持つ数値を使った。しかし東南アジアで得られた数値を中南米に当てはめるのはいくぶん無理がある。種分化係数の2.438も東南アジアで得られた数値である。

特にアマゾンの蝶のアジアに居ない科が存在する。ヘリコニュース科、トンボマダラ科、モルフォチョウ科、フクロチョウ科などである。アジアに存在する蝶の科はすべてアマゾンには存在する。アジアに存在しないこれらの科がアジアの蝶とは異なった別のニッチェを持っているのか、同じニッチェのなかにくり込まれて生活しているのかよくわからないので明確なことは言えないが、もし前者だとするとアマゾンの蝶と昆虫の推定種数は過小に査定されている恐れがある。

東南アジアの蝶の実際の数と推定数は大きく食い違いその比は2.438倍にも達した。このことは非常に広大な

地域の種数は面積・種数関係からは推定することはできないことを示している。それは非常に広大な地域では、隔離効果によって種分化が促進され面積、種数関係以上の種が存在するようになっていることである。東南アジアの場合、多くの島々によって隔離されており、島が異なると近縁な蝶で種や亜種になっていることはよく経験することである。東南アジアでは面積・種数関係からの推定値と実際値が2.438倍の違いになってそれが現れた。

問題はこの数値を他の大陸地域に適用したことである。大陸域では島と同様な隔離作用が働くとは考えられない。といって面積・種数関係がそのままあてはまるとも考えられない。しかし他にデータがないので、この数値を利用する以外になかった。

謝辞

本研究に当たり、重要なデータの存在をお教えいただき、研究上の御示唆をいただいた、神戸大学名誉教授、奥谷禎一博士に感謝の意を表するものである。

Key Words:

Estimation, Species Number, world Butterflies and Insects, Species/area relationships, Speciation Coefficient.

Summary

World butterfly and insect species numbers were estimated by means of species/area relationship, speciation coefficient for broad area, and the ratio between the numbers of butterfly species and insects in Japan. World butterfly species, 12,5000, and world insect species, 3,400,000 are estimated numbers of those.

The species/area relationship of butterflies within 24 islands of Indonesia and Philippines was obtained which became $\log N_s = 0.25 \log S + \log B$ as a straight linear on both logarithmic graph. Converted butterfly species numbers were obtained if the islands were shrunken or enlarged into 10,000 km² from Sakhalin to southernmost Indonesian island, Sumba, using the above logarithmic relationship. The relationship between converted species number and latitude showed trigonometric cosine function. The butterfly species number in tropical, subtropical, temperate and boreal forests were obtained by those two relationships through which estimated world total butterfly species is 2859. However, the real number of butterflies in Southeast Asia is 1280 against estimated number 525 by species/area relationship of which ratio becomes 2.438. Reason of difference between two values caused from speciation in isolation of broad area. Supposing that 2.438 is speciation rate in broad area, 6970 is a world butterfly species number produced 2895 to be timed 2.438. However, this value exclude the number of Licaenidae and Hesperidae. Taiwan butterflies contents 160 species of these two families in total butterflies in 360. It produces 1.80 as compensation value. Where 6970 is timed with 1.80, 12546 is produced as the total butterfly species number of the world. Japanese insect species have been confirmed 29,286 in which elucidated rate reaches 0.382. That the estimated Japanese insect species 76,503 was divided by 284 of Japanese butterflies, we could get 269.3 as a quotient. 12546 was multiplied with the quotient, it produced 3,400,000 as the world total insect species.

REFERENCES

- 1). Dept. Insect, Kyushu Univ. A Check List of Japanese Insect. Fac.Agric., Kyushu Univ. (1989).
- 2). Erwin, T.L. Coleopt.Bull.36, 74.(1982).
- 3). Hodkinson, I.D. & D. Casson, (1991). Biol. J. Linn. Soc 43 : 101-109.
- 4). Kricher, J.C. Neotropical Companion; An Introduction to the Animal, Plants, and Ecosystem of the New World Tropics. Princeton Univ.Press.(1989).
- 5). Persson, R. World Forest Resources, Royal College of Forestry, Stockholm.(1974).
- 6). Sabrosky, C.W. Insects, The Year of Agriculture. U.S.Department of Agriculture, Washington,D.C. (1952).
- 7). Sommer, A. Unasyuva 28,112.(1976).
- 8). Tsukada,E. Butterflies of the Southeast Asian Islands, Vol.1-5. Plapac Publisher, Tokyo.(1980).
- 9). Wilson, E.O. Science 234,14.(1986).

Table (1).

The Table for Estimation of World Butterfly & Insect Species Numbers

(A) Area (million km²)

(B) Estimated butterfly species number living in 10,000 km²

(C) Estimated butterfly species number by means of species/area relationship

(D) Compensated species number by speciation rate in broad area (C×2.438)

(E) Compensated butterfly species number of Licaenidae and Hesperidae (D×1.80)

(F) Estimated insect species number (E×269.37)

	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)
Forests				C×2.438	D×1.80	E×269.37
Tropical Forests						
Latin America	8.03	116	602	1468	2642	711,675
Central America	3.62	116	501	1221	2198	592,075
South East Asia	4.35	116	525	1280	2304	620,628
Subtropical Forests	7.50	110	510	1243	2238	602,872
Temperate Forests	12.00	72	417	1016	1828	492,408
Boreal Forests	12.00	19	115	280	504	135,762
Others	46.50	20	174	424	763	205,529
Total	94.09		2859	6970	12,546	3,379,633

Table (2).

The elucidation levels of Japanese insect families estimated by 89 taxonomists, estimated species numbers in orders and average elucidated rate of Japanese insects.

	A	B	C	D	E	No Judge	Family Number	Species Number	Estimated Number	Elucidated Rate
Mean Elucidated Level	.95	.80	.60	.25	.05					
Collembola	1	7	1	4			13	374	1180	0.316
Protura			4				4	55	92	0.599
Diplura				3			3	12	60	0.250
Microcoryphia				1			1	14	70	0.250
Thysanura				2			2	9	45	0.250
Ephemeroptera		2	5	1			8	104	229	0.454
Odonata	13						13	204	212	0.062
Plecoptera		3	6				9	162	249	0.650
Blattaria	11						11	59	60	0.983
Isoptera	2	2					4	20	23	0.869
Orthoptera	9	3	1			3	16	229	292	0.784
Dermaoptera		5					5	21	26	0.800
Grylloblat			1				1	6	10	0.600
Psocoptera		1	6	11			18	83	363	0.228
Mallophaga	6		2				8	150	236	0.635
Anoplura	9						9	32	34	0.950
Thysanoptera	4						4	178	187	0.950
Hemiptera	59	25	7	11			102	2763	4501	0.613
Neuroptera	7	5		2			14	160	195	0.820
Coleoptera	52	36	26	11			125	9304	16801	0.553
Strepsiptera	4		1				5	31	44	0.704
Hymenoptera	14	9	9	7		29	68	4431	26800	0.165
Mecoptera		2					2	44	56	0.780
Siphonaptera						8	8	72	1420	0.050
Diptera	40	11	13	16	9	3	92	5153	15328	0.336
Trichoptera	1	7	3	3		4	19	356	1610	0.221
Lepidoptera	36	9	34			2	79	5230	6343	0.824
Total	270	129	119	72	9	49	648	29286	76503	0.3828

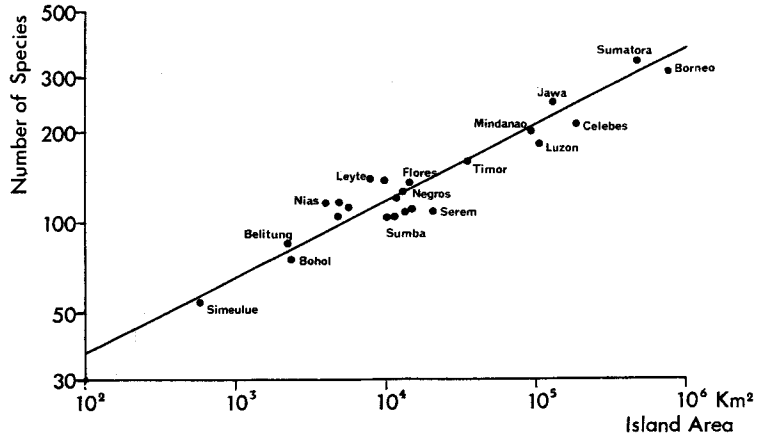


Fig. 1 Species/area relationship of butterflies on the 24 islands of Indonesia and Philippines.
インドネシア、フィリッピン島の島々で見られる蝶の種数・面積関係

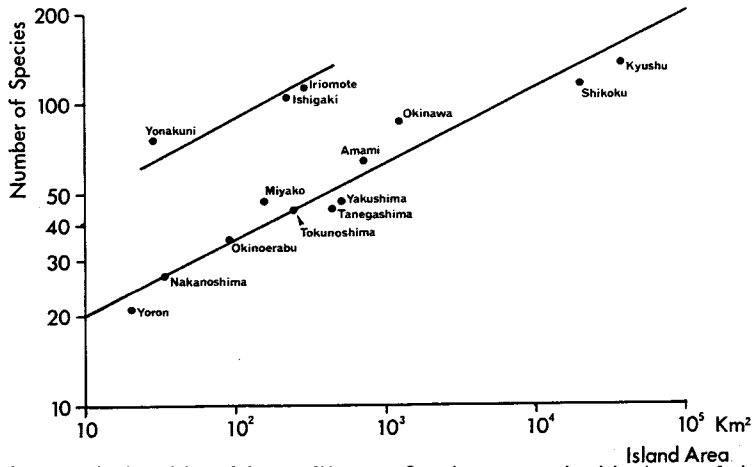


Fig. 2 Species/area relationship of butterflies on Southwestern Archipelago of Japan.
日本の南西列島でみられる面積・種数関係

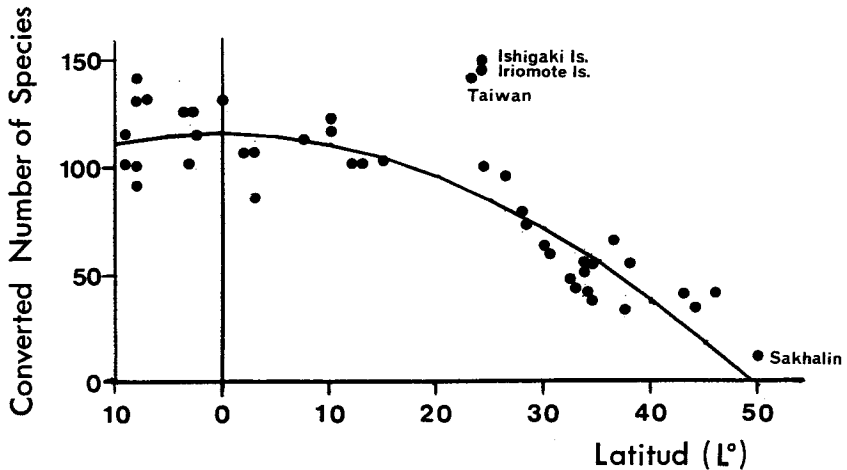


Fig. 3 The relationship between converted number of butterfly species in 10,000km² calculated by means of the species/area relationship and latitude of islands.
種数・面積を用いて計算された蝶の10,000km²の変換種数と島の経度との関係