

衛星データと地理情報システムを用いた多摩川流域およびその周辺
における鳥類繁殖分布状態の変化と環境変動との相互関係解析

1 9 9 3 年

金 井 裕

日本野鳥の会研究センター

近 藤 昭 彦

東京都立大学理学部

目 次

1. 研究の目的	1
2. 調査地域	2
3. 調査方法	3
1) 鳥類生息分布	3
2) 地 形	3
3) 人工衛星画像データによる環境解析	3
4. 調査結果	4
1) 各種の生息状況と地形との関係	4
2) 平均標高と生息種数	11
3) 起伏と生息種数	12
4) 正規化植生指数と生息種数	12
5) 都市化の進行状況	14
6) 1992年の鳥類生息状況と都市化	14
5. 討 論	16
要 約	17
引用文献	18

衛星データと地理情報システムを用いた多摩川流域およびその周辺における鳥類繁殖分布状態の変化と環境変動との相互関係解析

金井 裕 (日本野鳥の会研究センター)

近藤 昭彦 (東京都立大学理学部)

1. 研究の目的

鳥類は、昆虫などの動物質のものから果実などの植物質のものまで幅広い食性を持ち、利用する空間も地上から空中まで多岐に渡るため、その群集の持つ多様性は地域の自然環境の多様性を示すことができると考えられる。森林性鳥類は、森林の持つ立体的な構造の多様性と密接な関係を持つことが知られている (MacArthur & MacArthur 1961, 石田 1987, 由井 1988)。個々の森林では面積が大きいほど生息種数が増加し (樋口ほか 1982, 由井 1988)、また、地域に占める森林の面積が多くなるほど、生息種数が増加することが示されている (藤巻 1981, 平野ほか 1985, 由井 1988, 金井・原 1992)。このような環境条件の質と生息鳥類との関係は、水域においても存在することが予想される。

自然環境の現況を把握するために、近年多くの鳥類生息分布調査が行われている。環境庁による自然環境保全基礎調査はその代表であるが、環境保全への意識の高まりから都道府県、あるいは市町村単位で行われることも多くなっている。しかし、これらの調査は分布図を示して概括的な生息状況を述べるのに止まり、環境条件と鳥類生息状況との関係を分析して環境保全への資料として活用していることは少ない。これは、鳥類生息状況の調査と同時に鳥類の生息環境条件となる植生などの調査を実施することは非常に困難であるからである。

一方で、広範囲の環境条件の資料については、国土地理院により標高などの地形データが国土数値情報としてまとめられ、環境変化についてはランドサットなどの人工衛星の画像データの解析により経時的な追跡が可能となっている。これらの地理情報と鳥類の生息分布情報とを地理情報システムとして統合して相互に分析することは、都市計画の策定など土地利用計画立案時に環境保全を図るために有用である。

多摩川流域の大部分を占める東京周辺については、過去に東京都や環境庁による調査が行われている。しかし、これらは鳥類の分布状況と環境変化との関係についての分析はほとんど行われていない。また、近年は都市化がさらに進行しているので、鳥類の生息状況は悪化していると考えられる一方で、コゲラやカワセミのように都市部に進出している鳥も知られている。

本研究では、高密度で土地利用が進められている多摩川流域において、鳥類の生息分布状況と地形や土地利用状況との関係を国土基本メッシュシステムに基づいて分析し、流域の環境保全計画の基礎とするものである。

2. 調査地域

鳥類生息分布と地形との関係については、東経139度以東の東京都内で行った(図1)。ランドサットのデータによる環境解析は、多摩川の中流から下流、東京西部の武蔵野台地とその周辺山地、丘陵地帯を含む北緯35度30分から35度50分、東経139度15分から139度45分の地域で実施した。この地域は国土地理院発行の5万分の1の地形図名で青梅、八王子、東京西北部、東京西南部に含まれる東西約45.4km、南北約37kmの地域である。

また、最近の環境変化が鳥類生息状況に及ぼした影響については、高尾と品川間に幅約2kmの調査トランセクトを設定し、調査を行った。

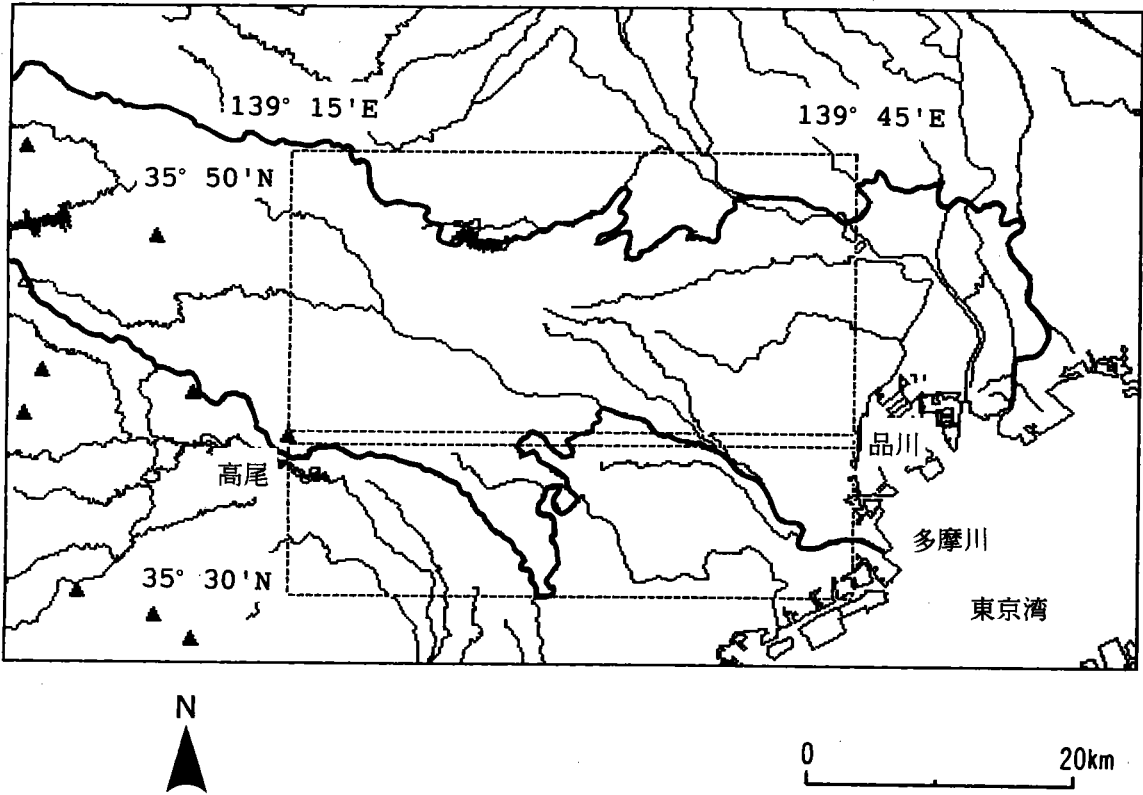


図1. 調査範囲

太線が東京都の境界を、細線が河川を示す。破線内の地域で正規化植生指数と鳥類生息分布状況との関係の分析を行った。高尾と品川間の破線部分が1992年の現地調査部分を示す。国土数値情報集約ファイルのデータより作図した。

3. 調査方法

1) 鳥類生息分布

鳥類生息分布については、過去に行われた東京都鳥類繁殖調査（東京都公害局1980）の結果を用いた。これは、東京都内を東西1.3km、南北0.9kmの標準地域メッシュシステムの第3次メッシュ（以下3次メッシュとする）に分けて、生息鳥類を記録したものである。標準地域メッシュは、一定の経緯度によって地域を格子に区切ったもので、行政管理庁告示「統計に用いる標準地域メッシュおよび標準地域メッシュコード」に定められ、国勢調査や国土数値情報の整理に用いられている。メッシュは、国土地理院発行の20万分の1地勢図に相当する第一次地域区画、2万5千分の1地形図に相当する第2次地域区画、第2次地域区画を東西南北を10等分した第3次地域区画があり、第3次区画を標準地域メッシュ、あるいは3次メッシュと呼ぶ。調査が行われたこの3次メッシュには、311の定点メッシュと1,056のそれ以外のメッシュがある。定点メッシュは調査方法が統一されているので、生息種数の相互比較が可能である。

1992年の繁殖期には生息分布状況の変化を明らかにするため、大規模な宅地開発が行われている多摩丘陵地域を含む高尾から品川に至る地域を踏査し、生息の確認できた種を国土基本メッシュごとに整理した。調査は5月下旬から7月初旬にかけての、午前5時30分から午前11時にかけて路上を歩き、国土基本メッシュをさらに東西南北に4等分したメッシュごとに出現した鳥類を記録した。

2) 地形

地形のデータについては国土地理院の国土数値情報K S 110から標高データを用いた。これは約250mごとに標高が記録されたデータベースである。3次メッシュにはメッシュの境界線上も含めて1メッシュあたり25の標高測定点が存在する。これらの平均値を求め、各メッシュの代表値とした。また、起伏が少ないメッシュでは標高測定点間の標高のばらつきは少ないが、起伏の大きなメッシュでは標高のばらつきが大きくなり標準偏差も大きくなる。そこで、各メッシュの起伏の大きさを示す指数として標高の標準偏差を用いた。

調査地域内の平均標高は、1mから1,600mまでであり、平均標高で5m以下が低地帯から埋立地、25mから50mが山の手から武蔵野台地や丘陵地域の外縁、75mから250mが多摩丘陵など丘陵地域、500m以上が山地帯に相当し、標高1,500m以上の平均標高を示したメッシュも2か所あった。

3) 人工衛星画像データによる環境解析

都市化の指標としては1972年12月14日、1979年1月6日、1988年12月1日のランドサットM S Sデータから正規化植生指数（NDVI）を求め、多年度の相互比較を行うことにより過去のおよび都市化の進行状況の分析を行った。M S Sは、可視から赤外域にかけてバンド4からバンド7の4バンドの波長帯を観測するセンサーで、1972年以降のデータが利用可能である。バンド4が青、バンド5

が緑、バンド6が赤、バンド7が近赤外に相当する波長帯で、空間分解能は約80mである。植生指数とは、植物量や植物の活性度を示す指数のことで、植物は、クロロフィルによる反射が可視域の赤の領域で低く、近赤外域の800nmから1300nmでは高いことを用いて求められる。NDVIは、MSSデータの場合、以下の式で示されるバンド5とバンド7の正規化した差で定義される。

$$NDVI = \frac{\text{バンド7} - \text{バンド5}}{\text{バンド7} + \text{バンド5}}$$

4. 調査結果

1) 各種の生息状況と地形との関係

東京都繁殖分布調査では、陸域を主な生息場所としている種の中で、10か所以上の定点メッシュから生息確認のあったものが63種あった。これらの生息確認メッシュの標高と起伏に対する頻度分布を図2に示した。

標高との関係については、平均標高を5m以下、5mから25m、25mから50m、50mから75m、75mから100m、100mから250m、250mから500m、500mから750m、750mから1,000m、1,000mから1,500mの11階級に分けて、各標高ごとに各種の記録率を示した。また、標高偏差については、1m以下、1mから5m、5mから10m、10mから20m、20mから40m、40mから80m、80mから100m、100mから120m、120mから140m、140m以上の10階級に分けて記録率を示した。図中の「+」は各階級に属する全調査メッシュ数に対する生息記録のあったメッシュ数の割合を示し、「+」1個が5%に相当する。

ヤマドリ、ジュウイチ、ツツドリ、フクロウ、アカゲラ、ビンズイ、ミソサザイ、コマドリ、コリ、マミジロ、アカハラ、メボソムシクイ、エゾムシクイ、キクイタダキ、コガラは、標高500m以上の山地帯でだけ記録された。これらの鳥は、植生や気候の上で山地を生息環境として選択しているものと考えられる。しかし、フクロウは千葉や埼玉では標高100m程度のところでも生息している。丘陵地域や台地の自然環境が悪化して、住めなくなったものと考えられる。

トビ、サシバ、アオバト、ホトトギス、ヨタカ、アオゲラ、コゲラ、イワツバメ、カワガラス、トラツグミ、クロツグミ、ヤブサメ、ウグイス、センダイムシクイ、キビタキ、オオルリ、エナガ、ヒガラ、ヤマガラ、ゴジュウカラ、イカルは、標高75mから250m以上の、丘陵地域より高い地域で記録があった。この中でアオゲラは、近年は杉並区など都内での繁殖記録もある。コゲラは、標高100mより上でのみ記録された。しかし、近年は都内にかなり生息するようになり、1992年の調査でも港区内で記録されている。イワツバメは、標高50m以上で記録されているが、あまり多くない。近年は河川沿いに低地でも繁殖しており、1992年の調査では多摩丘陵のほか世田谷区内で数か所記録

している。これらの種は、台地や丘陵地では普通に生息していた可能性がある。

キセキレイ、メジロ、ホオジロは、ほとんど全域の標高で記録があるが、標高の低い所では少なくなっている。都市化の圧迫を受けつつある状態が示されている。

キジ、アオバズク、カワセミ、ブッポウソウ、セグロセキレイ、サンショウクイ、チゴモズ、アカモズ、コサメビタキ、サンコウチョウは、標高75mから500mまでの丘陵地から山地帯下部の標高で記録された。キジは、草原性の鳥類で、河川敷や水田地域に多いので、標高50m以下で多く生息してよいはずだが、記録された場所は丘陵地域に相当する標高75mから500mまでのあいだだけだった。低地には自然草原や農耕地がほとんど残っていないため、丘陵地域の農地や草原にのみ生息可能となっていることを示す。カワセミは、標高250mの階級だけで記録された。繁殖分布調査実施当時は河川の水質悪化のため、カワセミの生息か所は極めて少なかったが、現在は多摩川の中流域まで生息するようになっている。記録のあった標高から、これらの鳥もかつては都内に広く生息していたと考えられる。しかし、チゴモズとアカモズ、コサメビタキ、サンコウチョウは、一部のメッシュで記録されただけで、近年は都内ではほとんど繁殖していない。

カッコウ、ヒバリ、ツバメ、モズ、オオヨシキリ、セッカ、カワラヒワ、スズメ、ムクドリは、標高500m以下の海岸から丘陵地までの範囲で記録された。オオヨシキリは5m以下で多く記録されているが、これは埋立地や河川敷のヨシ原が主な生息地となっていたためと考えられる。

セッカとヒバリは5m以下と50mから70mまでの間で記録率が高く、このあたりで草丈の低い草地が多いことを示している。ヒバリは、標高5m以上から50mまでで記録率が低くなっている。これは、この地域が宅地化が進んで、ヒバリの生息可能な草地が少なくなっていることを示す。現在は空き地が減っているのでオオヨシキリ、セッカ、ヒバリの生息地が減少していることと予想される。

コジュケイ、キジバト、ヒヨドリ、シジュウカラは、ほぼ全域で記録率が高かった。コジュケイは、キジ科3種の中では最も広域に生息し、標高5m以下を除いて、ほとんど全域で高い記録率を示しているが、標高75mから250mにかけてが特に多く、標高750m以上では少なくなった。

ハクセキレイは、繁殖分布調査ではほとんど記録されていないが、近年は都内で普通に繁殖している。

起伏に関しては、生息標高の高い種は起伏も大きくなっていった。

標高250m以下でも記録率が高いのはコジュケイ、キジバト、ヒバリ、ツバメ、ヒヨドリ、モズ、オオヨシキリ、セッカ、シジュウカラ、ホオジロ、カワラヒワ、スズメ、ムクドリ、オナガ、ハシブトガラス、ドバトの15種だけだったが、かつては山地帯以上だけで記録された種を除いた50種以上が広く生息していたと考えられる。

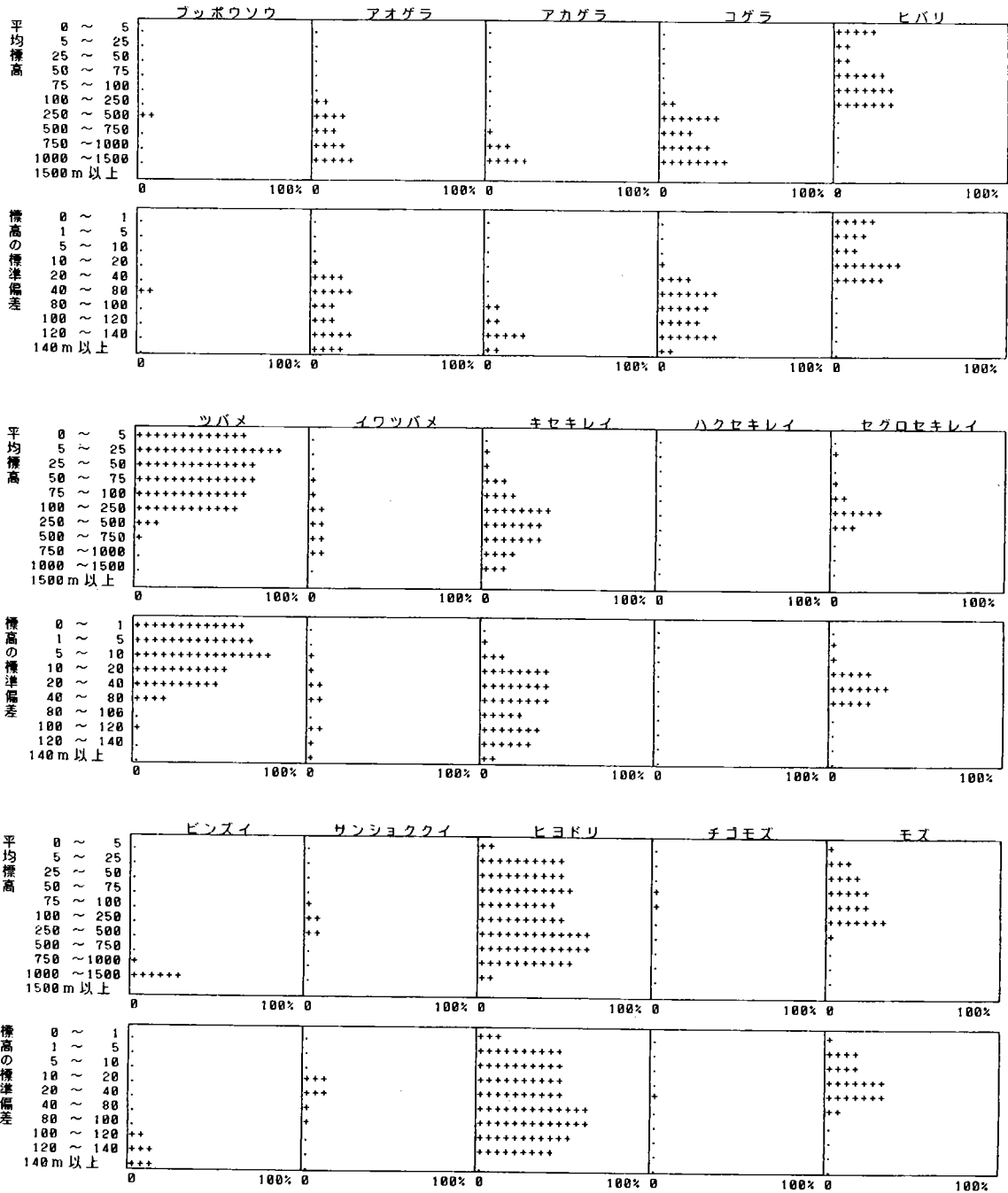


図2. 鳥類各種の生息する標高と起伏量 (その1)

縦軸に3次メッシュ内の平均標高と標高の標準偏差の階級値を示した。各メッシュ内に含まれる標高の測定点は16である。標高の標準偏差は、起伏量を示す値として採用した。横軸は各階級における全調査メッシュ数に対する生息記録のあったメッシュの割合で、「+」1個が5%に相当する。

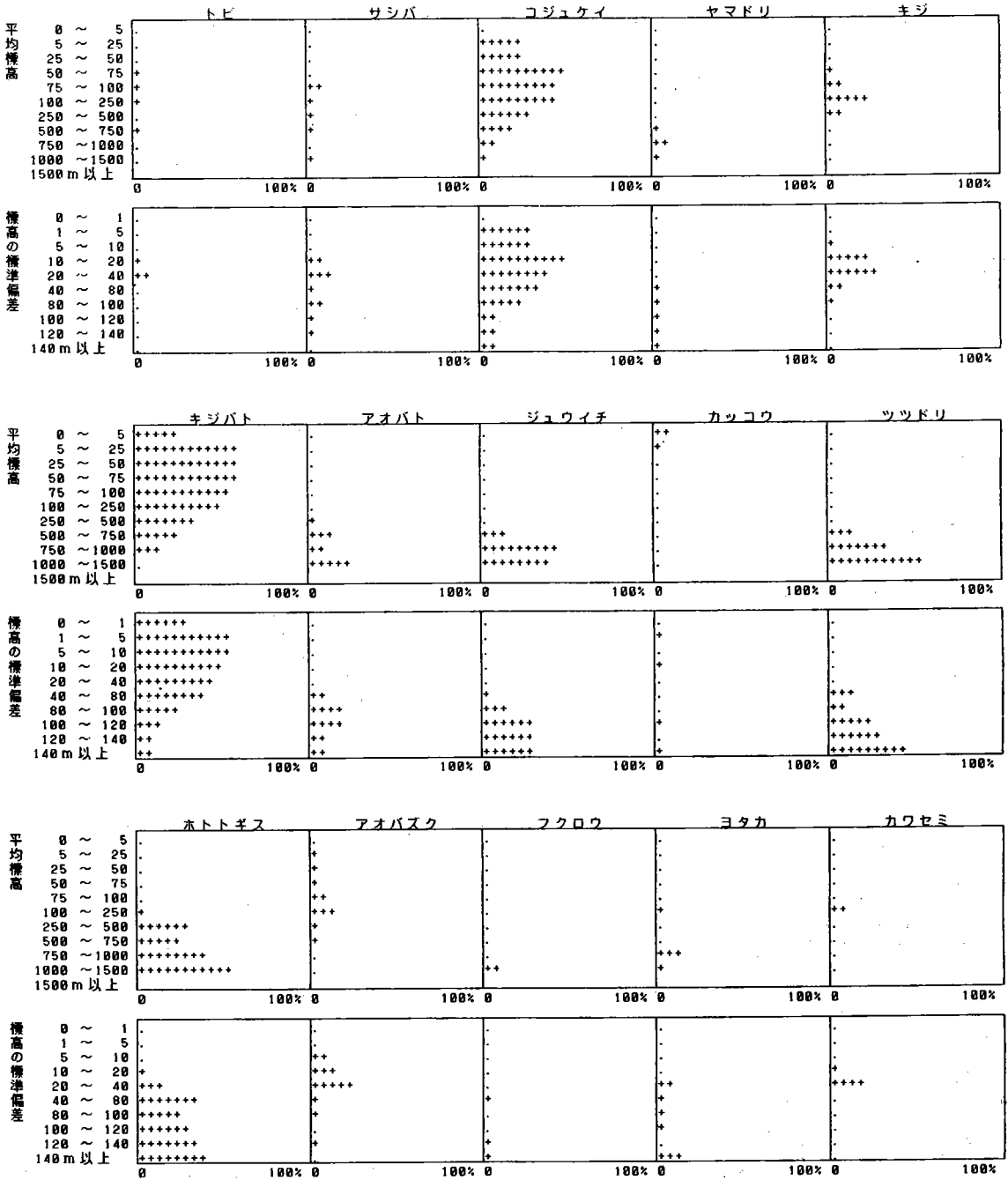


図2. 鳥類各種の生息する標高と起伏量 (その2)

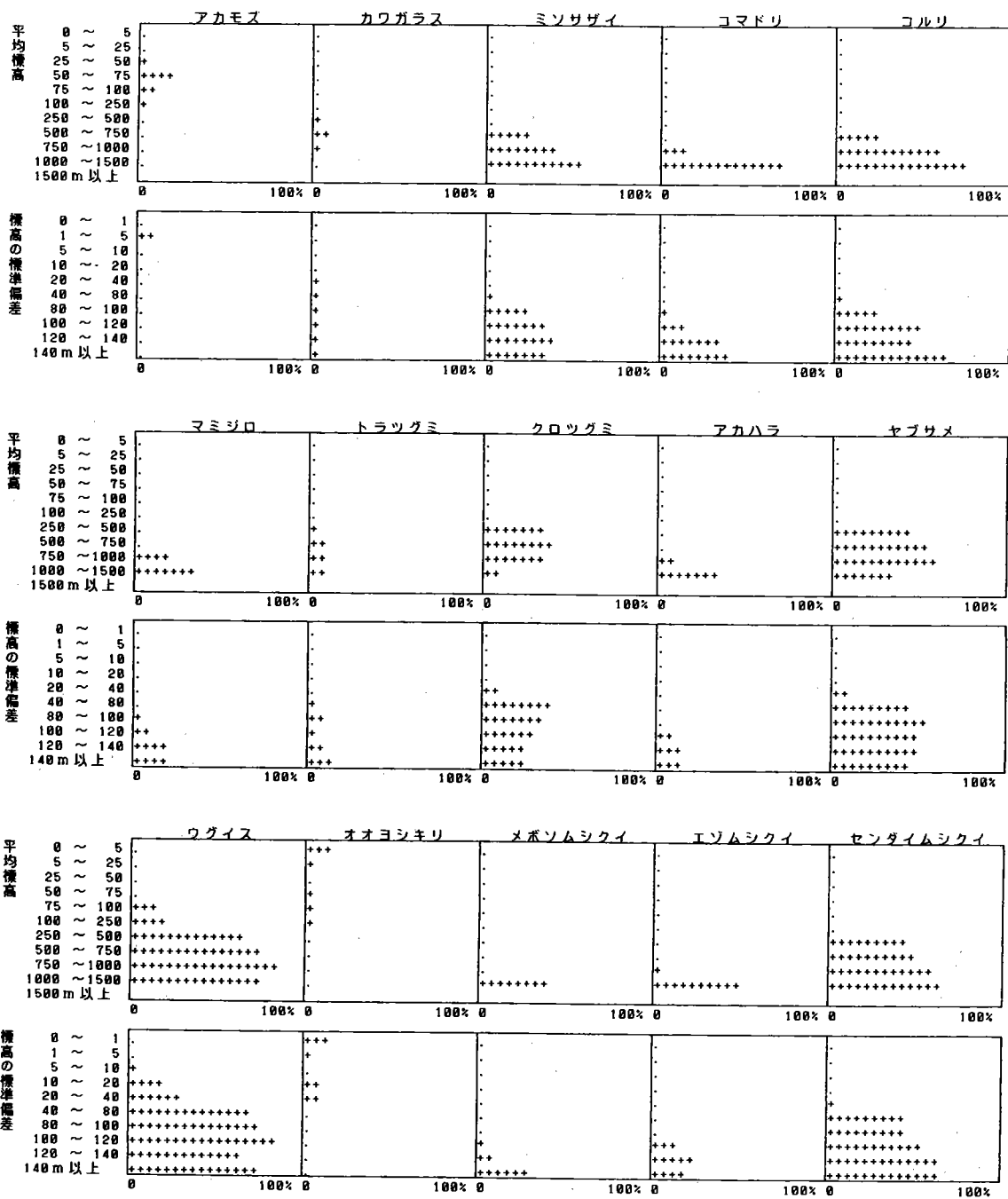


図 2. 鳥類各種の生息する標高と起伏量 (その 3)

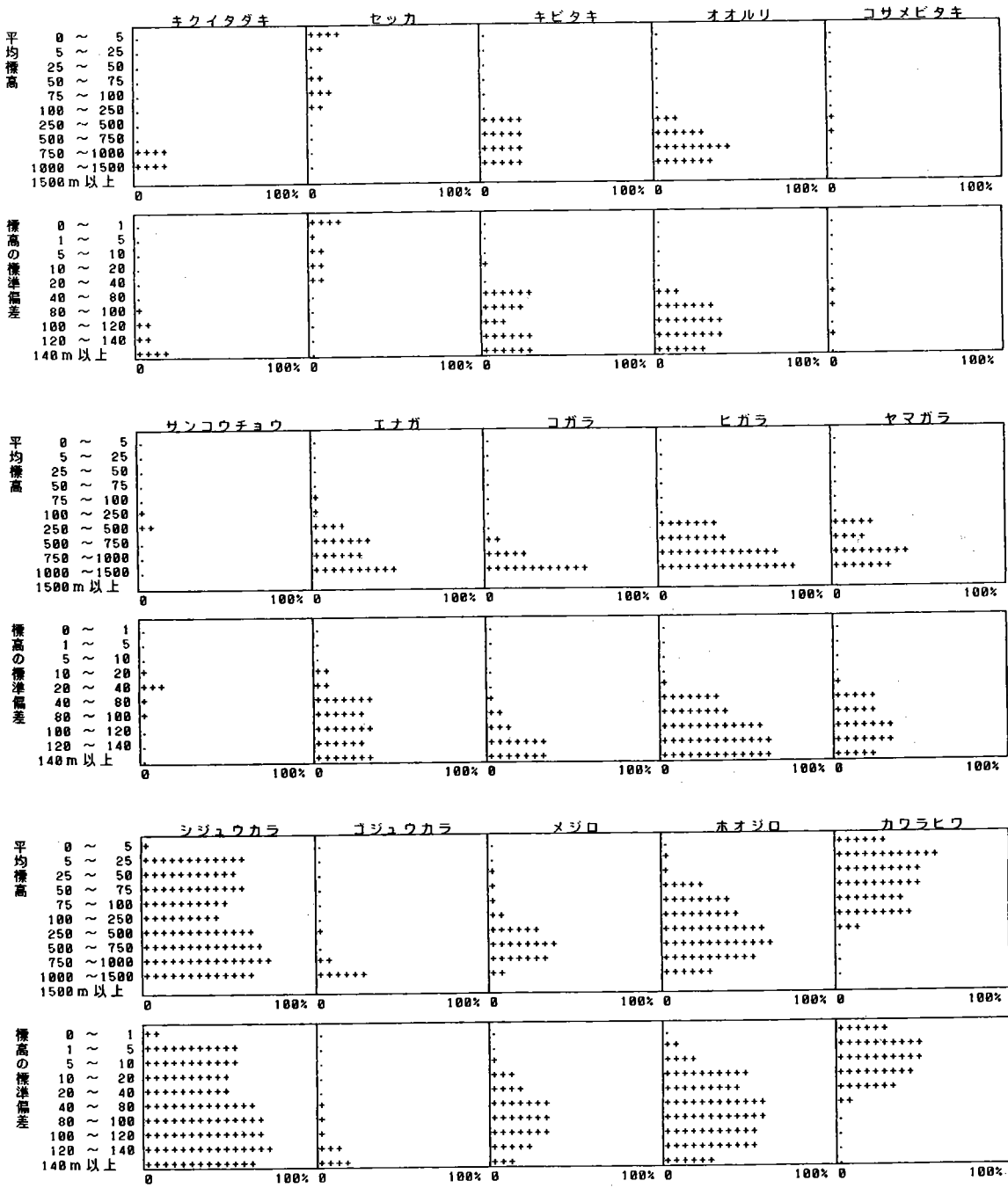


図2. 鳥類各種の生息する標高と起伏量 (その4)

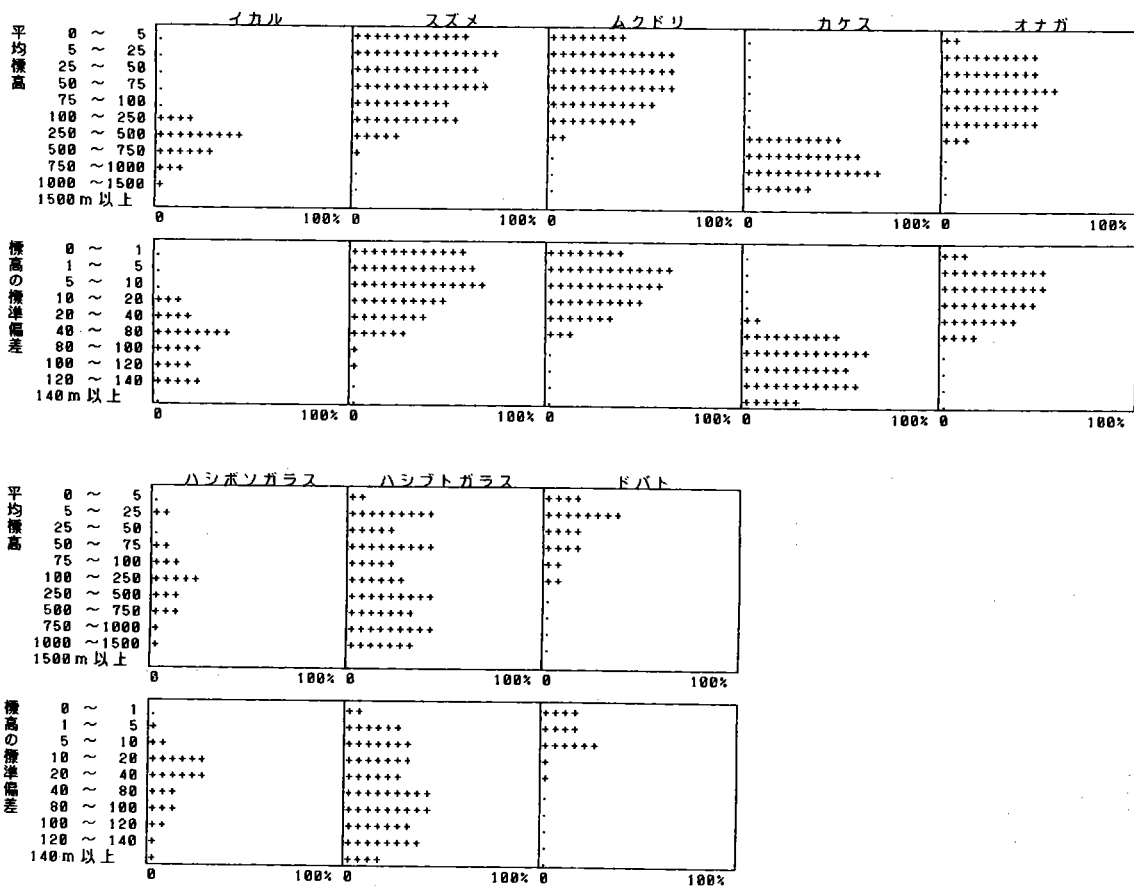


図2. 鳥類各種の生息する標高と起伏量 (その5)

2) 平均標高と生息種数

個々の定点メッシュで記録された生息種数は、最高が40種、最低が2種であった。標高と生息種数との関係について定点メッシュ間の比較を行ってみたところ、標高250m前後までの間では相関があることが示された。

標高の低い場所は都心に近く、都市化がより進行しているためであると考えられる。しかし、標高の高いところでは記録のばらつきが大きかった。これは、植林による影響と、地形が複雑なために調査が不十分であったことが考えられる。

標高 (X) と生息種数 (Y) との関係をみたところ、標高 0 m から 200 m までの間では以下の式で示される相関が見られた。

$$Y = 8.33 + 0.08X \quad (r = 0.77 \quad n = 311 \quad P < 0.01)$$

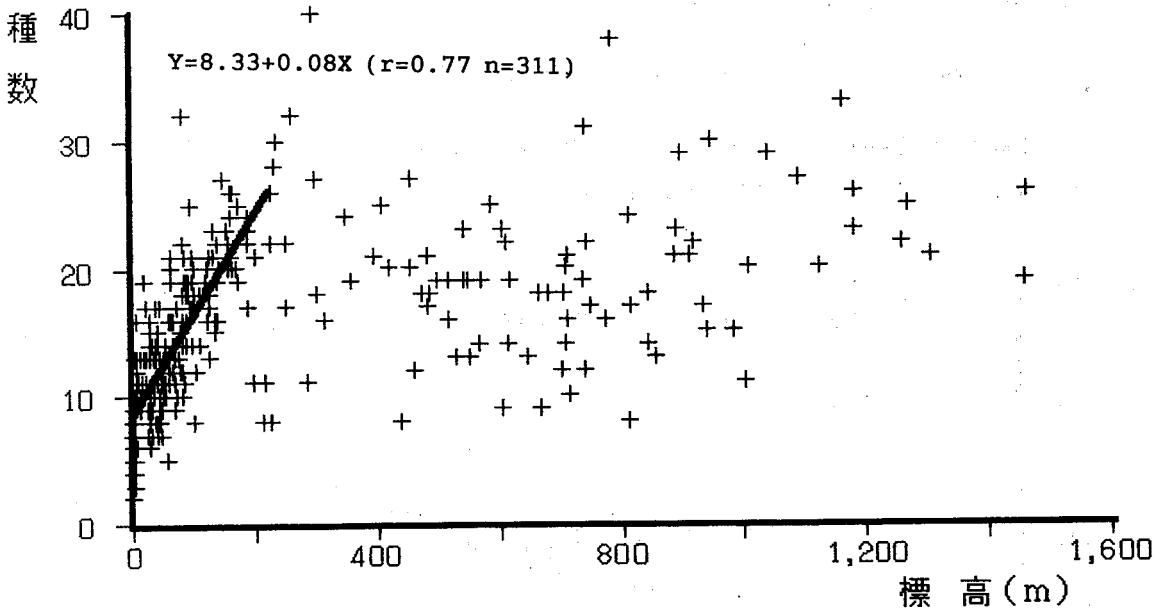


図3. 平均標高と生息種数との関係

図中の直線が回帰式をあらわす

3) 起伏と生息種数

起伏を示す平均標高の標準偏差と種数との関係では、標準偏差30mまでの間で相関が示された。しかし、標準偏差が40m以上となる起伏の大きな地域では、顕著な相関関係はみられなかった。土地の起伏と生息種数との関係では、土地の起伏が少ない場所は環境が単純なため生息種に限られること、

起伏の少ない場所は開発が容易な上に都心に近く、開発の圧力も高いことなどが考えられる。

土地の起伏量として求めた標準偏差(X)と生息種数(Y)との関係をみたところ、標準偏差0 mから30mまでの間で以下の式で示される相関が見られた。

$$Y = 9.35 + 0.68X \quad (r = 0.73 \quad n = 311 \quad P < 0.01)$$

しかし、起伏量は標高との相関が高いため、単に低地から開発が進んだ結果とも考えられる。

4) 正規化植生指数と生息種数

都市化の状況を示すものとして1972年12月14日のランドサットMSSデータから正規化植生指数(NDVI)を求めた。これは-1から+1までの値をとる指数であるが、今回の分析では画像処理を行うため-1を0、+1を254として表した。植生指数が90以下ではほとんど無植生、130以上では全域が植生に覆われていると考えられる。

植生指数(X)と生息種数(Y)との関係をみたところ、以下の式で示される相関がみられた。

$$Y = -20.14 + 0.32X \quad (r = 0.73 \quad n = 186 \quad P < 0.01)$$

植生指数は、残存樹林や公園の樹木、草地など各メッシュに占める緑地の割合を示していると考えられ、緑地の多いメッシュで生息種数が多いことが示されている。

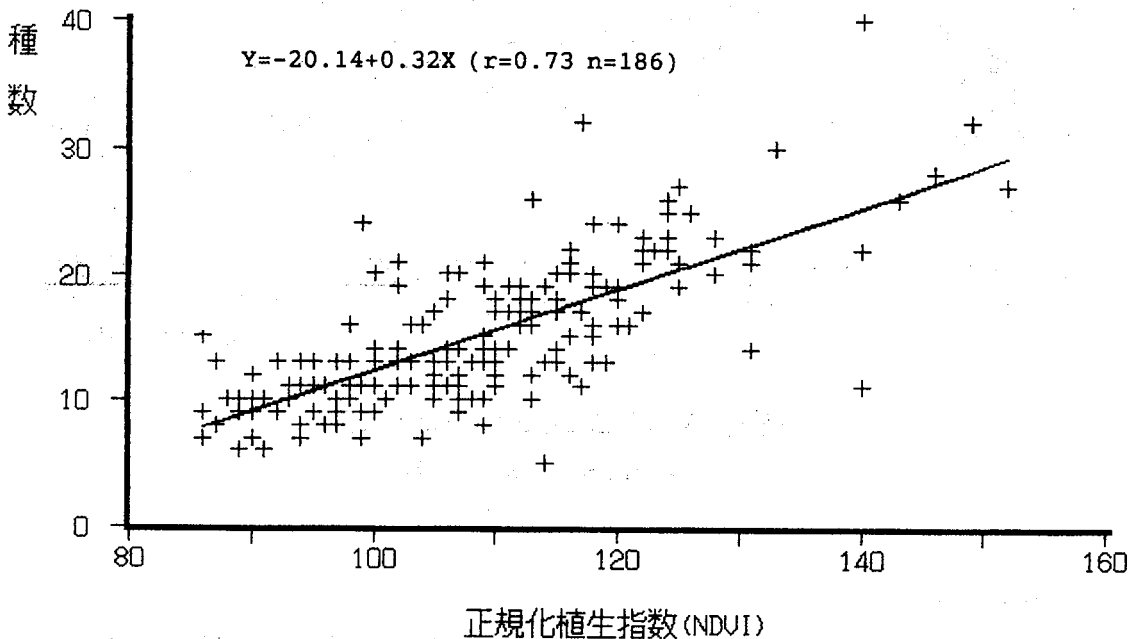


図4. 正規化植生指数と生息種数との関係

図中の直線が回帰式をあらわす

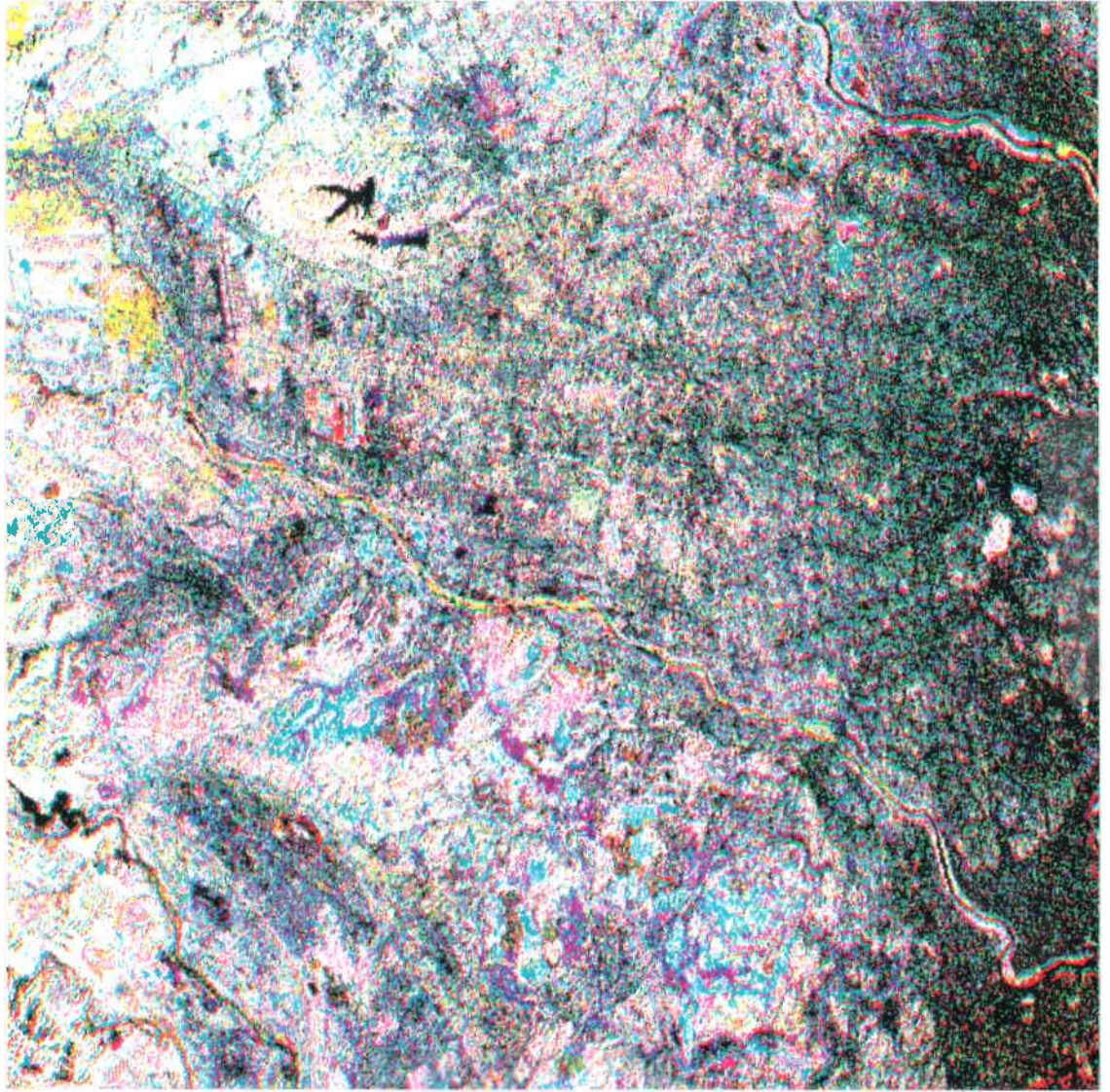


図5. ランドサット多時期データから求めた植生が除去された地域、
また回復した地域の分布

図中の黒はすべての時期で植生がほとんど存在していない場所を、白は植生に被われていた場所を示す。青は1972年から1979年の間、空色は1979年から1988年の間に植生が除去された地域を、逆に黄は1979年に、赤は1988年に植生が回復した地域を示す。

5) 都市化の進行状況

都市化の進行状況を示すために、1972年12月14日、1979年1月6日、1988年12月1日の画像を1985年1月23日の画像に対して輝度補正を行った後、正規化植生指数（NDVI）を計算した。写真は青、緑、赤のプレーンにそれぞれ1972年、1979年、1988年のNDVI画像を割り当てたものである。

青く発色している部分は1972年と1979年の間、空色に発色している部分は1979年と1988年の間に植生の除去が行われた部分であり、多摩丘陵地域における宅地開発地の輪郭と開発時期を読み取ることができる。

また、黄色は1979年、赤は1988年に植生が回復した部分であり、公園整備や造成地への植物の侵入、宅地整備によるもの等で、植生の除去だけではなく増加した地域も認められる。

白と黒の部分はそれぞれ3時期を通して植生が存在した地域と存在しなかった地域を示す。

6) 1992年の鳥類生息状況と都市化

1992年の繁殖期に行った高尾と品川間の調査では、合計44種を記録した。調査精度をそろえるため、調査時間が20分以上となったメッシュについてのみ比較を行った。高尾から品川にいたるメッシュごとの記録種数の変化を示したものが図6である。

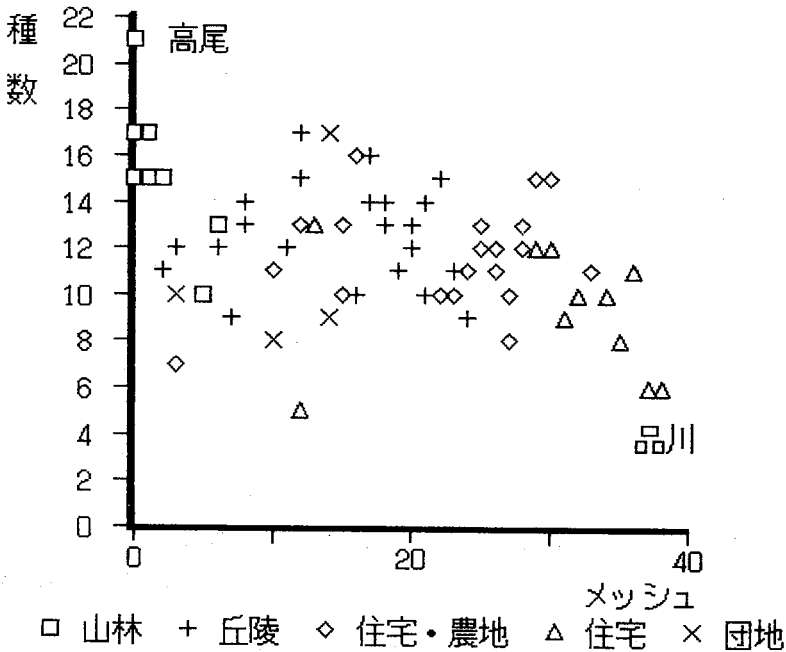


図6. 各メッシュで記録された種数

縦軸に種数、横軸は高尾から品川にいたる東西方向にメッシュの位置を示した。図の左端が高尾、右端が品川となり、高尾と品川間には40メッシュが並ぶ。

品川周辺では約10種の記録数であるが、西部に移るにつれて種数が増加する傾向が見られ、多摩川を越えた多摩丘陵から高尾周辺では約14種が記録された。大規模な宅地開発が行われた多摩ニュータウン周辺においても、1985年以前に宅地化が終了している地域では周辺の丘陵地域とほとんど記録種数に違いは見られなかった。

図6で示されるように、周辺地域に比較して記録数が少なかった地域が高尾の東側に認められた。この地域は、新たに宅地開発が進行中の地域で、大規模な土地造成が行われている。土地造成が行われている場所は、高尾周辺と開発進行中の地域、宅地化の終了した地域のメッシュで生息種数と調査メッシュの環境の構成を比較したものが表1である。環境の構成は、メッシュ内を地形図から、山林、草地、水域、農地、住宅地、高層住宅、ビル街に分けて面積比率を%単位で算出し、比較した。草地には造成後の裸地も含まれる。

平均記録種数は、高尾周辺は 15.8 ± 0.9 SE、宅地化の終了した多摩丘陵が 12.4 ± 1.0 SEであったのに対し、宅地開発が進行中の地域では 10.8 ± 0.6 SEと周囲に比較して明らかに低かった。しかし、宅地開発中の調査メッシュの環境構成は山林の比率が高く、周辺地域と顕著な差はみられなかった。3次メッシュでは、メッシュ内に土地造成が行われている場所だけでなく造成地周辺の山林や農地も含まれるため、メッシュ全体の環境構成はあまり大きく変化していなかったことが考えられる。急激な開発の進行の影響を評価するには、3次メッシュを基準とするのは問題がある。

表1. 高尾から多摩丘陵にかけての生息種数と環境構成
メッシュ内の土地利用区分の比率 (%)

	高尾周辺		開発地域		多摩丘陵	
	%	SE	%	SE	%	SE
山林	93	± 3	51	± 8	25	± 7
草地	0	± 0	2	± 2	6	± 3
水域	0	± 0	0	± 0	1	± 1
農地	3	± 2	9	± 3	8	± 3
住宅地	5	± 4	23	± 5	41	± 8
高層住宅	0	± 0	15	± 7	24	± 9
ビル街	0	± 0	0	± 0	0	± 0
種数	15.8	± 0.9	10.8	± 0.6	12.4	± 1.0
メッシュ数	8		12		11	

5. 討 論

多摩川の流域は、東京の郊外地域として都市化が進み、現在では平地部分はほとんどが住宅地か市街地となってしまった。そして、丘陵地域においても大規模なニュータウン開発が進行しつつある。しかし、1960年ころまでは、水田や畑、草地、山林が混在する景観が広がり、生息する鳥類も豊富であったと考えられる。残念なことに、この当時には生息鳥類の記録がほとんどなく、鳥類相を復元することは困難である。

本研究の基礎資料とした東京都繁殖分布調査は、広域的な分布状況を統一したシステムでとりまとめたもっとも早い調査であるが、調査が実施された1973年から1978年にはすでに多くの鳥類が東京の大部分から姿を消してしまっていた。本研究では、この調査結果と国土数値情報の標高データとを組み合わせることによって、都市化が進んだ山の手から武蔵野台地、多摩丘陵など東京の西部地域において、50種以上の鳥類が繁殖していたと推測することができた。樋口ら（1982）は東京周辺の孤立化した樹林に生息する鳥類の調査から、森林性鳥類について、樹林面積と生息種数の関係を示す上限が55種のロジスティック式を提示している。東京の丘陵地域から沿岸にかけて生息可能な森林性鳥類の種数としては、50種から60種が妥当であろう。

ランドサットMSSデータからは、生息種数は植生の残存状況との関係が示された。そして、同時に、1980年以前に残っていた多摩丘陵の樹林が消失し、一部を除いて植生の回復はほとんどなかったことも示された。

1992年の調査では、新たに進められている土地造成により、生息鳥類が影響を受けていることが示された。

これらの結果は、国土数値情報や人工衛星の画像データと野生生物の生息分布情報を自然環境保全地理情報システムとして統合し、最新のデータで補正して行くことが、自然環境の監視に有効であることを示している。しかし、鳥類の生息環境を評価するためには、国土基本メッシュではサイズが大きすぎる恐れがあることも示された。

また、丘陵地域から沿岸にかけての多摩川流域については、すでに生息鳥類が激減してしまっている以上監視を行っているだけでは不十分である。都市化がすでに進行してしまった地域では、望ましい環境の目標を設定し、環境保全の目的とした再開発計画など具体策を提示できるようなシステムとすることが要求される。今後は、より有効なシステムの検討を行うと同時に、環境改善のための具体案の検討を行ってゆきたい。

要 約

自然環境保全の基礎資料とするために行われる広域的な鳥類分布調査は、土地利用や植生・地形などの環境条件と鳥類生息分布との関係を分析することが必要である。本調査では、基準地域メッシュ（1辺約1キロメートル）ごとに生息する種を整理した東京都鳥類繁殖調査結果（東京都公害局1980）とランドサットデータおよび国土数値情報とを比較解析した。1992年の5月から7月には、品川から高尾の東西約40kmの生息鳥類を記録した。

ランドサットMSSデータの1972年12月14日、1979年1月6日、1988年12月1日の画像を1985年1月23日の画像に対して輝度補正を行った後、正規化植生指数（NDVI）を求め相互に比較した。地形については、国土数値情報の標高データを用いた。得られた主な結果は以下のとおりである。

- 1) 標高0mから200mまでの間では、標高（X）と生息種数（Y）に以下の式で示される相関がみられた。

$$Y = 8.33 + 0.08X \quad r = 0.77 \quad (n = 311 \quad P < 0.01)$$

- 2) 植生指数（X）と生息種数（Y）には以下の式で示される相関がみられた。

$$Y = -20.14 + 0.32X \quad r = 0.73 \quad (n = 186 \quad P < 0.01)$$

- 3) 多摩地域では、大規模開発により植生が失われつつあるが、一部には回復している場所があることが示された。
- 4) 大規模な住宅開発のあった多摩丘陵で生息種が減少した。

Analysis on bird distribution in Tokyo using Landsat data.

Yutaka Kanai (Research Center, Wild Bird Society of Japan)
Akihiko Kondoh (Department of Geography, Faculty of Science,
Tokyo Metropolitan University)

We analyzed the breeding bird distribution of western Tokyo. The study area included city, residential, agricultural and forest area. Data from 1 km mesh maps in the *Report of Breeding Birds in Tokyo* (Tokyo Government, 1980), Landsat MSS data and Digital National Information were combined with a field study of bird species and numbers in a sub-set region from Shinagawa to Mt. Takao, May to July 1992.

A Normalized Vegetation Index (NDVI) was calculated from Landsat MSS data of 14 December 1972, 6 January 1979 and 1 December 1988. Altitude data were obtained from Digital National Information.

We calculated the relationship between distribution and altitude for each species. The relationship between altitude (X) and the number of species (Y), based on the mesh data below 200m altitude, is shown by the following equation:

$$Y = 8.33 + 0.08X \quad r = 0.77 \quad (n = 311 \quad P < 0.01)$$

The relationships between NDVI (X) and the number of species (Y) is shown by:

$$Y = -20.14 + 0.32X \quad r = 0.73 \quad (n = 186 \quad P < 0.01)$$

引用文献

- 藤巻裕蔵. 1981. 北海道十勝地方の鳥類 3, 帯広市における植被と鳥類の関係, 山階鳥研報13: 50-60
- 樋口広芳・塚本洋三・花輪伸一・武田宗也. 1982. 森林面積と鳥の種類との関係. *Strix* 1: 70-78
- 平野敏明・遠藤孝一・仁平康介・金原啓一・樋口広芳. 1985. 宇都宮市における樹木率と鳥の種数との関係. *Strix* 4: 33-42
- 石田健. 1987. 植生断面図によって評価した森林の空間構造と鳥類の多様性. 東京大学演習林報告76: 267-278
- 金井裕・原慶太郎. 1992. 御成台研究学園都市開発による景観変化と鳥類生息状況との関係. 開発地域等における自然環境への影響予測に係る基礎調査Ⅲ: 30-42. 千葉県環境部, 千葉市
- MacArther, R. H. & J. W. MacArther. 1961. On Bird Species Diversity. *Ecology* 42(3): 594-598
- 東京都公害局. 1980. 東京都鳥類繁殖調査報告書. 日本野鳥の会, 東京
- 由比正敏. 1988. 森に棲む野鳥の生態学. 創文, 東京