

研究報告**台灣北部繁殖鳥類之海拔分布型態**葛兆年^{1,4)} 李培芬^{2,3)}**摘 要**

本研究探討台灣北部陸域繁殖鳥類沿海拔梯度的變化型態。在台灣北部陸域海拔7.7至3,423 m的101個樣點，調查所得之繁殖鳥類密度資料，以降趨對應分析(DCA)及群集分析結果，將台灣北部陸域繁殖鳥類分為6個群聚。海拔梯度為決定群聚類型的重要因子。中海拔的兩群聚在鳥種數及多樣性指標皆顯著大於高與低海拔群聚，顯示中海拔鳥類群聚的種類豐富度及多樣性較高。在涵括3,400 m的海拔梯度上，鳥種豐富度在中海拔出現高峰，往高、低海拔逐漸下降。分布中點愈靠近海拔兩端的鳥種，其海拔幅寬愈小；海拔幅寬較大的鳥種，其分布中點較靠近海拔梯度的中間帶，故支持以mid-domain effect來解釋台灣北部繁殖鳥類種豐富度的駝型分布。

關鍵詞：台灣、鳥類群聚、海拔梯度、種豐富度、多樣性。

葛兆年、李培芬。2003。台灣北部繁殖鳥類之海拔分布型態。台灣林業科學18(4):349-61。

Research paper**Elevational Gradients in Breeding Birds in Northern Taiwan**Chao-Nien Koh,^{1,3)} Pei-Fen Lee²⁾**【 Summary 】**

Patterns of breeding birds along an elevational gradient were investigated in northern Taiwan. According to DCA and cluster analysis, 101 sampling sites of breeding birds were clustered into 6 communities from 7.7 to 3,423 m of elevation. The elevational gradient is an important factor in determining the community types. Two mid-elevation communities had higher species number and diversity index, reflecting that they have higher species richness and diversity than those of low or high elevations. Along the 3,400- m elevational gradient, species richness peaked at intermediate elevations and declined toward either high or low elevations. Species with midpoints closer to high or low elevations had smaller elevational ranges, while species with correspondingly larger elevational ranges had midpoints increasingly nearer the central portion of the elevational gradient.

¹⁾ 行政院農業委員會林業試驗所森林保護組，100台北市南海路53號 Division of Forest Protection, Taiwan Forestry Research Institute. 53 Nanhai Rd., Taipei 100, Taiwan.

²⁾ 國立台灣大學動物學系，106台北市羅斯福路四段1號 Department of Zoology, National Taiwan University. 1, Roosevelt Rd., Sec. 4, Taipei, Taiwan 106.

³⁾ 目前地址：國立台灣大學生態學與演化生物學研究所 Present address: Institute of Ecology and Evolutionary Biology, National Taiwan University.

⁴⁾ 通訊作者 Corresponding author, e-mail:nien@serv.tfri.gov.tw

2003年1月送審 2003年7月通過 Received January 2003, Accepted July 2003.



The hump-shaped distribution of species richness along the elevational gradient, with a peak at intermediate elevations, can be explained by the mid-domain effect.

Key words: Taiwan, bird community, elevational gradient, species richness, diversity.

Koh CN, Lee PF. 2003. Elevational gradients in breeding birds in northern Taiwan. *Taiwan J For Sci* 18(4):349-61.

緒言

長期以來，生物的分布型態一直是生態學和生物地理學的研究焦點，藉由觀察了解生物的分布型態，進而找出其背後的成因與機制，不僅具有學術研究意義，同時亦可做為經營管理的基礎，以及預測未來環境變遷時對生物的影響。

台灣因地理位置的特殊與地形的複雜，孕育豐富的鳥類相。在五百多種鳥類當中，有一百五十餘種為留鳥，這些留鳥大多棲息於森林內，其分布因海拔而有所差異。Kano (1940) 首先描述雪山地區鳥類的海拔垂直分布及其棲息環境；Jai (1977) 台灣中部山區鳥類分為低海拔、中海拔及高海拔帶；Shiu (1995) 研究台灣中海拔山區森林鳥類群聚與環境的關係，指出海拔高度為影響鳥類群聚的主要因子；Huang (2001) 研究北部陸域鳥類群聚與環境因子的關係，亦認為影響鳥類空間分布最主要的因子為海拔/溫度梯度。上述研究說明台灣陸域鳥類沿海拔梯度確實可能有一定的分布型態。

近年來Brown (1995) 提出巨觀生態學的理论，以大量可靠的生物分布資料做為分析依據，找出生物分布的特徵，並加以解釋，乃屬於大尺度的研究方法。此方法可以突破以往傳統野外實驗的尺度限制，從較大尺度找出以往未發現的生態特質(Brown 1995, Blackburn and Gaston 1998)。台灣地區以往較缺乏涵蓋完整海拔梯度的鳥類調查與研究(Huang 2001)，因此本研究採用大尺度的研究方法，來探討台灣北部地區陸域繁殖鳥類在整個海拔帶上的分布型態，包括鳥類群聚的分類及各群聚的總密度、種豐富度、多樣性及均勻度。

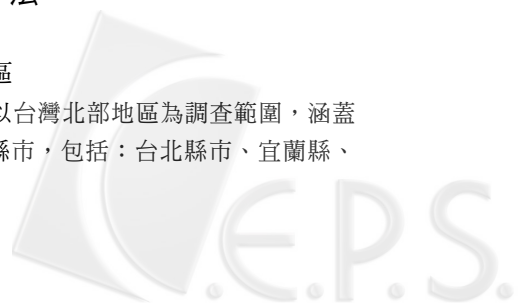
在講求生物多樣性保育的今天，已有許多生態學者研究不同分類的生物種豐富度沿海拔梯度的分布，大致獲得兩種分布型態：一是

種豐富度隨海拔梯度上升呈線性遞減(Stevens 1992)，另一是種豐富度沿海拔梯度上升呈駝型分布(Colwell and Hurtt 1994, Rahbek 1997)，這兩種分布型態分別獲得許多不同的研究結果支持。Stevens (1992) 除了認為種豐富度有隨海拔梯度上升呈線性遞減的型態，更進一步以Rapoport's altitudinal rule(以下簡稱Rapoport's rule) 來解釋此型態背後的機制，Rapoport's rule是指物種的海拔幅寬與梯度有正相關的關係，低海拔的物種因幅寬較窄，棲地間的物種補充效應(rescue effect)較容易發生，因此低海拔棲地有較高的種豐富度。而Colwell and Lees (2000) 則提出物種之分布幅寬對其分布中點有一個等邊三角形的模式：假設緯度或海拔梯度有兩個限制分布的邊界(南極與北極或海邊與山頂)，在界限之內，物種沿緯度或海拔梯度的分布位置及分布範圍均為隨機事件時，在兩端邊界之物種會有最小分布範圍(等邊三角形底邊兩端點)；而分布中點在地理中央之物種，則會有最大分布範圍(等邊三角形頂點)，所有物種的分布中點都落在此等邊三角形中，因此分布中點靠近邊界的物種會有較小分布範圍，物種間分布重疊較小，相對而言，趨近中間地帶則有較大的物種重疊，故種豐富度必然在空間梯度的中間地帶達到最高，此現象稱為mid-domain effect。本研究乃利用台灣北部陸域繁殖鳥類的資料，探討物種的豐富度沿海拔梯度有何種變化型態，其是否可以物種的海拔幅寬來加以解釋。

材料與方法

一、調查地區

本研究以台灣北部地區為調查範圍，涵蓋北台灣六個縣市，包括：台北縣市、宜蘭縣、



桃園縣、新竹縣、苗栗縣，整個研究區域海拔跨幅超過3,000 m，其中3,000 m以上之高山均位於本研究地區之南端，已由新竹、苗栗及宜蘭等縣橫跨至台中縣北境，故有部份調查地點延伸至台中縣北境(Fig. 1)。

二、調查樣點之選取設置

我們選擇鳥類調查樣點的方式，參考地理資訊系統之生態分區(Su 1992)、海拔高度分布、植被分布、道路交通等分布狀況，依照面積比例，盡可能均勻選擇調查樣點，共選取101個樣點(Fig. 1)，於每一樣點設一穿越線，沿線設置5-10個取樣站，取樣站之間至少相距150 m，共設置978個取樣站。

三、調查方法

於2001及2002年2月下旬至7月中旬之鳥類繁殖季，採用不定半徑圓圈法(Reynolds et al. 1980)，至各調查點調查鳥類族群密度。調查只在天氣良好時進行，自日出至日出後3 h之間完成。每一樣點調查一次，每一取樣站停留6 min，依序記錄目擊或聽到的鳥種、數量、距離(小於或大於50 m)及取樣站的海拔高度。記錄

之鳥種以陸域性繁殖鳥類為主，外來種、過境鳥、持續於空中飛行之鳥種則不予記錄。

四、資料分析

各樣點之鳥類族群密度以下列公式計算(Reynolds et al. 1980):

$$D = \frac{n * 10000}{\pi * r^2 * C * P};$$

其中D：鳥類族群密度(隻數/ha)，n：特定基礎半徑內所記錄之總隻數，r：特定基礎半徑，在此半徑內大部分的鳥隻皆可察覺到，單位為m，C：調查次數，p：取樣站數目。

密度計算時，平均各取樣站的鳥類密度資料，得各樣點之鳥類族群密度，經平方根之數值轉換，先去除記錄樣點少於三個之稀有鳥種(Shiu 1995)，採用PC-ORD vers. 4(McCune and Mefford 1999)進行降趨對應分析(detrended correspondence analysis, DCA)(Gauch 1982)，找出鳥類群聚的主要變異梯度，以及各樣點在鳥類群聚之主要變異梯度軸上的分布序列值。

以各樣點之鳥類群聚密度為特徵值，進行群集分析(cluster analysis)(Gauch 1982)，利用鳥類密度資料以relative Euclidean distance計算各樣點間之相異度矩陣(Ludwig and Reynolds



Fig. 1. Map of sampling locations in northern Taiwan.

1988)，再以UPGMA (unweighted pair-group method using arithmetic averages)方法，連結各樣點成一樹狀圖。將群集分析與DCA之結果綜合比較，以決定鳥類群聚類型之分類。

對各樣點之DCA第一軸分布序列值及海拔高度做迴歸分析；以變方分析及鄧肯氏多變域測驗Duncan's new multiple range test (Zar 1999)檢定以下各數值之差異：各群聚之DCA第一軸分布序列值、海拔高度、總密度、鳥種數、Shannon多樣性指數(H')及Shannon均勻度指數(E) (Magurran 1988, Krebs 1999)。計算公式如下：

$$H' = -\sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i ;$$

$$E = \frac{H'}{H_{\max}} = \frac{H'}{\log_2 S} ;$$

其中 S ：各群聚中所記錄到之鳥種數， P_i ：各群聚中第 i 種鳥種所佔的數量百分比， $H_{\max} = \log_2 S$ 。

結果

2001及2002年兩年之繁殖季共調查101個樣點(Table 1)，刪除少於3個樣點的稀有鳥種

Table 1. Elevations of 101 sampling sites in northern Taiwan and their geographical positions using the TM2 coordinate system

Site	Elevation (m)	X coordinate	Y coordinate	Site	Elevation (m)	X coordinate	Y coordinate	Site	Elevation (m)	X coordinate	Y coordinate
103	410.63	316637.75	2771391.13	207	1589.20	283422.40	2719202.20	307	1944.50	311277.10	2711725.40
104	398.30	293801.10	2750173.80	213	308.90	264122.00	2732132.60	309	1120.11	324997.22	2697529.44
108	275.30	308016.20	2749326.00	217	1967.90	261084.10	2710682.50	310	590.75	300370.88	2716784.25
109	153.00	302810.30	2775638.90	222	1034.00	245500.00	2700550.00	313	340.80	330255.30	2752453.90
110	458.40	323052.20	2761880.60	223	506.90	237530.40	2688447.90	314	75.70	333380.60	2714108.80
112	254.75	308589.50	2769383.38	224	1206.20	277572.00	2727205.40	315	92.70	325474.90	2724515.00
113	713.38	304513.88	2784096.50	225	270.50	225569.30	2707162.00	316	208.90	342622.90	2764225.80
115	98.80	304587.40	2765191.90	226	79.50	218444.10	2702864.50	317	803.70	324046.40	2699990.10
117	308.00	298737.50	2783428.20	227	266.00	225818.80	2693686.30	318	1327.10	286631.90	2702421.60
118	513.83	300222.60	2740276.70	228	1493.90	292532.20	2733656.70	319	67.60	327390.50	2704726.80
120	7.70	300573.00	2769651.40	229	526.00	244097.50	2706725.20	320	39.40	329447.60	2705338.30
126	319.60	306855.80	2777356.50	230	1713.50	278981.40	2716902.30	321	47.60	324059.80	2743670.30
127	919.60	305056.20	2747895.30	231	92.60	247777.40	2730537.90	322	1117.60	296268.00	2727105.60
128	137.90	291858.00	2756938.50	232	266.70	243132.30	2716756.70	323	144.80	325309.50	2691995.50
129	268.50	310509.40	2768214.30	234	1514.90	279587.90	2721140.80	324	204.00	310954.80	2727507.90
130	304.20	308134.40	2761926.70	235	402.80	303306.50	2754442.70	325	311.90	338005.50	2760122.80
132	1210.20	293612.60	2743875.00	236	112.80	265601.10	2767097.00	326	2040.42	308441.58	2712196.08
137	429.50	312702.60	2749113.90	237	2059.80	247101.60	2683443.60	327	153.80	320148.10	2727139.40
138	336.10	296410.80	2760846.70	238	2564.80	251825.40	2687228.80	328	2622.60	286825.80	2696176.60
147	200.10	296800.60	2785820.70	239	1975.00	251141.30	2703188.50	329	2779.20	290218.20	2697226.60
148	242.90	309616.10	2792261.30	241	327.40	276447.60	2742816.80	330	3423.10	293117.70	2697520.70
150	559.50	309962.80	2781249.30	242	209.50	290491.70	2765811.80	331	770.70	283378.30	2729347.10
151	306.40	317242.80	2754936.80	243	147.20	279520.80	2773654.70	332	1737.50	291257.10	2718644.20
152	186.40	299371.60	2791602.30	244	309.10	267991.00	2750401.70	333	1557.30	294180.40	2721440.20
153	221.50	325526.80	2774439.50	245	225.50	267250.70	2757755.20	334	388.40	334338.30	2709505.60
154	593.13	335535.10	2777087.60	246	312.50	280050.20	2749227.90	335	147.90	316511.00	2778001.50
155	662.11	307505.89	2784728.89	248	3000.00	278088.20	2702885.70	336	124.60	319863.60	2742175.80
158	192.40	284141.20	2777715.20	249	3000.00	279004.00	2703117.80	337	13.30	331109.20	2728531.90
165	91.80	285636.00	2761452.40	250	827.00	267454.80	2729119.00	338	2355.63	278861.63	2697912.75
167	25.60	301279.00	2770657.80	252	2369.40	258547.10	2710339.60	339	713.50	323576.10	2706675.60
201	2137.80	260467.40	2709906.30	253	1850.63	278825.75	2715336.63	340	1848.33	283597.22	2696871.44
202	1013.50	251114.30	2714939.50	254	1412.30	257226.70	2723143.90	342	1476.80	294465.30	2708974.90
203	1206.80	251670.20	2714144.20	302	594.86	300403.14	2715997.43	344	1108.80	287953.30	2704447.90
204	1113.40	239806.20	2695940.00	304	2029.50	285037.70	2698147.90				

Table 2. Lowest elevations, highest elevations, midpoints, and elevational ranges of species of terrestrial breeding birds surveyed in northern Taiwan from 2001 to 2002. Latin and Chinese names of species follow Wang et al. (1991)

Species	Lowest elevation (m)	Highest elevation (m)	Midpoint (m)	Elevational range (m)
Family Accipitridae 鷲鷹科				
<i>Accipiter trivirgatus</i> 鳳頭蒼鷹	75.7	713.5	394.6	637.8
<i>Spilornis cheela</i> 大冠鷲	67.6	1975.0	1021.3	1907.4
Family Phasianidae 雉科				
<i>Arborophila crudigularis</i> 深山竹雞	47.6	2622.6	1335.1	2575.0
<i>Bambusicola thoracica</i> 竹雞	47.6	2622.6	1335.1	2575.0
Family Columbidae 鳩鴿科				
<i>Columba pulchricollis</i> 灰林鴿	770.7	2059.8	1415.3	1289.1
<i>Sphenurus sieboldii</i> 綠鳩	147.9	1975.0	1061.5	1827.1
<i>Streptopelia chinensis</i> 斑頸鳩	13.3	526.0	269.7	512.7
<i>Streptopelia orientalis</i> 金背鳩	92.6	1206.8	649.7	1114.2
<i>Streptopelia tranquebarica</i> 紅鳩	13.3	506.9	260.1	493.6
Family Cuculidae 杜鵑科				
<i>Centropus bengalensis</i> 番鵲	13.3	593.1	303.2	579.8
<i>Cuculus saturatus</i> 筒鳥	39.4	3423.1	1731.3	3383.7
<i>Cuculus sparveroides</i> 鷹鵲	1013.5	2779.2	1896.4	1765.7
Family Strigidae 鴞鴞科				
<i>Glaucidium brodiei</i> 鸺鴞	398.3	2564.8	1481.6	2166.5
Family Capitonidae 五色鳥科				
<i>Megalaima oorti</i> 五色鳥	7.7	2059.8	1033.8	2052.1
Family Picidae 啄木鳥科				
<i>Dendrocopos canicapillus</i> 小啄木	270.5	1117.6	694.1	847.1
<i>Dendrocopos leucotos</i> 大赤啄木	1493.9	1975	1734.5	481.1
<i>Picus canus</i> 綠啄木	1412.3	2355.6	1884.0	943.3
Family Motacillidae 鶺鴒科				
<i>Motacilla alba</i> 白鶺鴒	67.6	1848.3	958.0	1780.7
Family Campephagidae 山椒鳥科				
<i>Pericrocotus solaris</i> 紅山椒	39.4	2622.6	1331.0	2583.2
Family Pycnonotidae 鶇科				
<i>Hypsipetes madagascariensis</i> 紅嘴黑鶇	7.7	2779.2	1393.5	2771.5
<i>Pycnonotus sinensis</i> 白頭翁	7.7	1848.3	928.0	1840.6
<i>Spizixos semitorques</i> 白環鸚嘴鶇	266.0	1327.1	796.6	1061.1
Family Troglodytidae 鸚鵡科				
<i>Troglodytes troglodytes</i> 鸚鵡	3000.0	3423.1	3211.6	423.1
Family Muscicapidae 鶇科				
Subfamily Turdinae 鶇亞科				
<i>Brachypteryx montana</i> 小翼鶇	1476.8	2779.2	2128.0	1302.4
<i>Cinclidium leucurum</i> 白尾鶇	308.9	3000.0	1654.5	2691.1
<i>Erithacus johnstoniae</i> 栗背林鶇	2040.4	3423.1	2731.8	1382.7
<i>Erithacus indicus</i> 白眉林鶇	2355.6	3000.0	2677.8	644.4
<i>Myiophoneus insularis</i> 紫嘯鶇	98.8	2622.6	1360.7	2523.8
Subfamily Timalinae 畫眉亞科				
<i>Actinodura morrisoniana</i> 紋翼畫眉	2029.5	2779.2	2404.4	749.7
<i>Alcippe brunnea</i> 頭烏線	39.4	1589.2	814.3	1549.8
<i>Alcippe cinereiceps</i> 灰頭花翼	1589.2	3000.0	2294.6	1410.8
<i>Alcippe morrisonia</i> 繡眼畫眉	47.6	2779.2	1413.4	2731.6
<i>Garrulax caerulatus</i> 竹鳥	340.8	1975.0	1157.9	1634.2
<i>Garrulax canorus</i> 畫眉	79.5	1034.0	556.8	954.5
<i>Garrulax morrisonianus</i> 金翼白眉	1476.8	3423.1	2450.0	1946.3
<i>Heterophasia auricularis</i> 白耳畫眉	713.5	2779.2	1746.4	2065.7
<i>Liocichla steerii</i> 藪鳥	827.0	2779.2	1803.1	1952.2
<i>Pnoepyga pusilla</i> 鱗胸鶇	1476.8	2779.2	2128.0	1302.4

Continue				
<i>Pomatorhinus erythrogenys</i> 大彎嘴	47.6	1975.0	1011.3	1927.4
<i>Pomatorhinus ruficollis</i> 小彎嘴	13.3	2040.4	1026.9	2027.1
<i>Stachyris ruficeps</i> 山紅頭	39.4	2779.2	1409.3	2739.8
<i>Yuhina brunneiceps</i> 冠羽畫眉	803.7	2779.2	1791.5	1975.5
<i>Yuhina zantholeuca</i> 綠畫眉	47.6	1850.6	949.1	1803.0
Subfamily Paradoxornithinae 鸚嘴亞科				
<i>Paradoxornis webbianus</i> 粉紅鸚嘴	67.6	1713.5	890.6	1645.9
Subfamily Sylviinae 鶯亞科				
<i>Abroscopus albugularis</i> 棕面鶯	266.7	2622.6	1444.7	2355.9
<i>Bradypterus seebohi</i> 褐色叢樹鶯	1327.1	3423.1	2375.1	2096.0
<i>Cettia acanthizoides</i> 深山鶯	1944.5	3423.1	2683.8	1478.6
<i>Cettia fortipes</i> 小鶯	308.9	2369.4	1339.2	2060.5
<i>Cisticola exilis</i> 黃頭扇尾鶯	79.5	506.9	293.2	427.4
<i>Cisticola juncidis</i> 棕扇尾鶯	266.0	827.0	546.5	561.0
<i>Prinia flaviventris</i> 灰頭鷓鴣	13.3	1514.9	764.1	1501.6
<i>Prinia polychroa</i> 斑紋鷓鴣	79.5	1206.8	643.2	1127.3
<i>Prinia subflava</i> 褐頭鷓鴣	13.3	1713.5	863.4	1700.2
<i>Regulus goodfellowi</i> 火冠戴菊鳥	2137.8	3423.1	2780.5	1285.3
Subfamily Muscicapinae 鶇亞科				
<i>Ficedula hyperythra</i> 黃胸青鶇	1117.6	2779.2	1948.4	1661.6
<i>Hypothymis azurea</i> 黑枕藍鶇	47.6	1476.8	762.2	1429.2
<i>Muscicapa ferruginea</i> 紅尾鶇	1034.0	3423.1	2228.6	2389.1
<i>Niltava vivida</i> 黃腹琉璃	306.4	2622.6	1464.5	2316.2
Family Aegithalidae 長尾山雀科				
<i>Aegithalos concinnus</i> 紅頭山雀	1034.0	2779.2	1906.6	1745.2
Family Paridae 山雀科				
<i>Parus ater</i> 煤山雀	1514.9	3423.1	2469.0	1908.2
<i>Parus holsti</i> 黃山雀	1034.0	1975.0	1504.5	941.0
<i>Parus monticolus</i> 青背山雀	1113.4	2779.2	1946.3	1665.8
<i>Parus varius</i> 赤腹山雀	312.5	1850.6	1081.6	1538.1
Family Sittidae 鶇科				
<i>Sitta europaea</i> 茶腹鶇	1493.9	2779.2	2136.6	1285.3
Family Dicaeidae 啄花鳥科				
<i>Dicaeum concolor</i> 綠啄花鳥	268.5	1975.0	1121.8	1706.5
<i>Dicaeum ignipectus</i> 紅胸啄花鳥	803.7	2779.2	1791.5	1975.5
Family Zosteropidae 繡眼科				
<i>Zosterops japonica</i> 綠繡眼	7.7	1206.2	607.0	1198.5
Family Fringillidae 雀科				
<i>Carpodacus vinaceus</i> 朱雀	2040.4	3423.1	2731.8	1382.7
<i>Pyrrhula nipalensis</i> 褐鶇	1013.5	2622.6	1818.1	1609.1
Family Ploceidae 文鳥科				
<i>Lonchura punctulata</i> 斑文鳥	13.3	506.9	260.1	493.6
<i>Lonchura striata</i> 白腰文鳥	13.3	1589.2	801.3	1575.9
<i>Passer montanus</i> 麻雀	7.7	1327.1	667.4	1319.4
Family Oriolidae 黃鸝科				
<i>Oriolus traillii</i> 朱鸝	144.8	594.9	369.8	450.1
Family Dicruridae 卷尾科				
<i>Dicrurus aeneus</i> 小卷尾	39.4	1589.2	814.3	1549.8
<i>Dicrurus macrocercus</i> 大卷尾	13.3	309.1	161.2	295.8
Family Corvidae 鴉科				
<i>Corvus macrorhynchos</i> 巨嘴鴉	67.6	3423.1	1745.4	3355.5
<i>Dendrocitta formosae</i> 樹鵲	7.7	1589.2	798.5	1581.5
<i>Garrulus glandarius</i> 松鴉	590.8	2779.2	1685.0	2188.4
<i>Nucifraga caryocatactes</i> 星鴉	2137.8	3423.1	2780.5	1285.3
<i>Urocissa caerulea</i> 台灣藍鵲	47.6	513.8	280.7	466.2

後，共計有22科80種鳥類(Table 2)。以所有樣點之鳥類密度進行DCA運算，並配合群集分析結果，將所有樣點分為6群聚(Fig. 2)，以變方分析檢定6個群聚之各樣點在DCA第一軸的分布序列值(Table 3)，6個群聚間確實有顯著差異，再以鄧肯氏多變域測驗檢定兩兩群聚之差異，任意兩群聚間皆有顯著差異。以各樣點的海拔高度為自變項、各樣點在DCA第一軸的分布序列值為應變項進行迴歸分析，海拔高度可解釋各樣點在DCA第一軸的分布序列值之92.8%的變異($p < 0.0001$)，顯示海拔梯度為影響鳥類群聚變異之重要因子。對照海拔高度後，第1、2、3群聚之海拔高度互有重疊，但均在1,000 m以下(稱為低海拔I、II、III群聚)，第4群聚之樣點介於1,000-1,700 m間(稱為中海拔I群聚)，第5群聚之樣點介於1,700-2,700 m間(稱為中海拔II群聚)，第6群聚之海拔樣點均在2,700 m以上(稱為高海拔群聚)。

6個群聚中各鳥種的平均密度如Table 3。各群聚的海拔高度、總密度、鳥種數、多樣性指

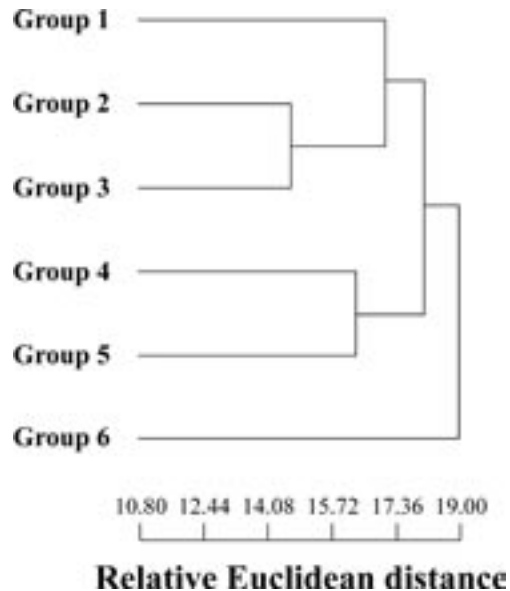


Fig. 2. Dendrogram from a cluster analysis based on bird densities of 101 sites, utilizing relative Euclidean distances and the unweighted pair-group method using arithmetic averages.

Table 3. Average density (no./ha) of each bird species, the score on the first axis of DCA, elevation, and community parameters of each community in northern Taiwan

Species	Low	Low	Low	Mid	Mid	High
	Elevation I	Elevation II	Elevation III	Elevation I	Elevation II	Elevation
<i>Accipiter trivirgatus</i> 鳳頭蒼鷹		0.0065	0.0059			
<i>Oriolus traillii</i> 朱鸛		0.0058	0.0076			
<i>Cisticola juncidis</i> 棕扇尾鶯			0.0255			
<i>Centropus bengalensis</i> 番鵲	0.0260	0.0413	0.0312			
<i>Cisticola exills</i> 黃頭扇尾鶯			0.0331			
<i>Dicrurus macrocercus</i> 大卷尾	0.1819	0.0295	0.0416			
<i>Urocissa caerulea</i> 台灣藍鵲			0.0831			
<i>Streptopelia chinensis</i> 斑頸鳩	0.3565	0.0579	0.1324			
<i>Streptopelia tranquebarica</i> 紅鳩	1.0695	0.0926	0.1783			
<i>Lonchura punctulata</i> 斑文鳥	0.5659		0.1981			
<i>Garrulax canorus</i> 畫眉		0.0039	0.1604	0.0064		
<i>Spilornis cheela</i> 大冠鷲		0.0203	0.0208	0.0163		
<i>Dendrocopos canicapillus</i> 小啄木			0.0204	0.0191		
<i>Columba pulchricollis</i> 灰林鴿			0.0013	0.0195		
<i>Dendrocitta formosae</i> 樹鵲	0.0700	0.0326	0.1582	0.0240		
<i>Prinia flaviventris</i> 灰頭鷓鴣	0.2546	0.3357	0.2292	0.0255		
<i>Dendrocopos leucotos</i> 大赤啄木				0.0255		
<i>Dicaeum concolor</i> 綠啄花鳥			0.0424	0.0354		
<i>Prinia polychroa</i> 斑紋鷓鴣			0.0662	0.0382		
<i>Motacilla alba</i> 白鶺鴒			0.0130	0.0393		
<i>Hypothymis azurea</i> 黑枕藍鶺鴒	0.1528	0.1691	0.6779	0.0462		



Continue

<i>Streptopelia orientalis</i> 金背鳩			0.4210	0.0509		
<i>Spizixos semitorques</i> 白環鸚嘴鵲			0.0637	0.0715		
<i>Pycnonotus sinensis</i> 白頭翁	4.8330	<u>3.9806</u>	2.4754	0.1314		
<i>Pomatorhinus erythrogenys</i> 大彎嘴		0.0188	0.1703	0.1318		
<i>Dicrurus aeneus</i> 小卷尾		0.0591	0.2661	0.1667		
<i>Zosterops japonica</i> 綠繡眼	5.5881	1.3585	2.1180	0.3183		
<i>Lonchura striata</i> 白腰文鳥	0.8488		0.5517	0.5955		
<i>Alcippe brunnea</i> 頭烏線		0.1981	1.5164	1.3469		
<i>Garrulax caerulatus</i> 竹鳥			0.2806	1.7058		
<i>Passer montanus</i> 麻雀	<u>16.4108</u> ¹⁾	0.9646	0.7357	2.4758		
<i>Glaucidium brodiei</i> 鸛鵂			0.0002	0.0045	0.0022	
<i>Megalaima oorti</i> 五色鳥	0.1337	0.2564	0.3890	0.2739	0.0029	
<i>Sphenurus sieboldii</i> 綠鳩			0.0079	0.0393	0.0058	
<i>Prinia subflava</i> 褐頭鷓鴣	0.2801	0.3022	0.1706		0.0116	
<i>Picus canus</i> 綠啄木				0.0076	0.0192	
<i>Arborophila crudigularis</i> 深山竹雞		0.0116	0.0216	0.0942	0.0217	
<i>Bambusicola thoracica</i> 竹雞		0.0825	0.4603	0.1631	0.0289	
<i>Parus holsti</i> 黃山雀				0.1061	0.0347	
<i>Myiophoneus insularis</i> 紫嘯鶇			0.0752	0.0365	0.0399	
<i>Pomatorhinus ruficollis</i> 小彎嘴	0.2339	1.4186	1.8632	0.5110	0.0630	
<i>Yuhina zantholeuca</i> 綠畫眉		0.0231	0.6140	0.1280	0.0752	
<i>Parus varius</i> 赤腹山雀			0.0613	0.1140	0.0804	
<i>Pericrocotus solaris</i> 紅山椒		0.0472	0.3086	0.3697	0.2805	
<i>Paradoxornis webbianus</i> 粉紅鸚嘴		0.1286	0.5659		0.3858	
<i>Pyrrhula nipalensis</i> 褐鶇				0.2555	0.3898	
<i>Abroscopus albogularis</i> 棕面鶇			0.2164	1.7339	0.5633	
<i>Cettia fortipes</i> 小鶇			0.1019	0.6140	0.7167	
<i>Niltava vivida</i> 黃腹琉璃			0.0242	1.1378	0.8874	
<i>Cuculus sparverioides</i> 鷹鵂				0.0282	0.0127	0.0020
<i>Corvus macrorhynchos</i> 巨嘴鴉			0.0034	0.0139	0.0040	0.0080
<i>Ficedula hyperythra</i> 黃胸青鶇				0.0907	0.2604	0.0318
<i>Garrulus glandarius</i> 松鴉			0.0253	0.1174		0.0637
<i>Parus monticolus</i> 青背山雀				0.4490	0.5604	0.0637
<i>Cinclidium leucurum</i> 白尾鶇			0.0662	2.5723	0.8218	0.0637
<i>Heterophasia auricularis</i> 白耳畫眉			0.0078	2.9512	0.8012	0.0650
<i>Cuculus saturatus</i> 筒鳥		0.0569	0.0516	0.0628	0.0497	0.0796
<i>Dicaeum ignipectus</i> 紅胸啄花鳥			0.0071	0.4539	0.4099	0.0884
<i>Muscicapa ferruginea</i> 紅尾鶇				0.1415	0.6618	0.0884
<i>Carpodacus vinaceus</i> 朱雀					0.0096	0.0955
<i>Sitta europaea</i> 茶腹鶇				0.0227	0.1240	0.1137
<i>Actinodura morrisoniana</i> 紋翼畫眉					0.1408	0.1273
<i>Nucifraga caryocatactes</i> 星鴉				0.0032	0.0116	0.1592
<i>Stachyris ruficeps</i> 山紅頭	0.0255	1.0793	1.7728	2.0005	0.5980	0.1592
<i>Pnoepyga pusilla</i> 鱗胸鷓鴣				0.1832	0.4707	0.2546
<i>Troglodytes troglodytes</i> 鷓鴣						0.2865
<i>Bradypterus seebohmii</i> 褐色叢樹鶇				0.0247	0.1452	0.3086
<i>Eriothacus johnstoniae</i> 栗背林鶇					0.2440	0.3183
<i>Hypsipetes madagascariensis</i> 紅嘴黑鶇	0.6496	1.4793	2.6052	1.7361		0.3248
<i>Garrulax morrisonianus</i> 金翼白眉				0.0041	0.5349	0.5359
<i>Cettia acanthizoides</i> 深山鶇					0.3509	0.6496
<i>Eriothacus indicus</i> 白眉林鶇					0.1071	0.6684
<i>Brachypteryx montana</i> 小翼鶇				0.1082	0.9250	0.7639
<i>Liocichla steerii</i> 戴鳥			0.0255	7.0449	3.7426	1.2733
<i>Alcippe morrisonia</i> 繡眼畫眉		0.2366	<u>8.3255</u>	5.6716	2.7780	1.2733

Continue

<i>Parus ater</i> 煤山雀				0.0130	0.3750	1.6890
<i>Yuhina brunneiceps</i> 冠羽畫眉				<u>11.7931</u>	<u>12.0766</u>	2.2919
<i>Aegithalos concinnus</i> 紅頭山雀				0.4794	9.5440	3.5368
<i>Alcippe cinereiceps</i> 灰頭花翼				0.1768	2.1703	4.9515
<i>Regulus goodfellowi</i> 火冠戴菊鳥					1.0128	<u>27.4541</u>
Score on first axis of DCA	19.4 ^{f2)}	124.82 ^e	176.44 ^d	343.75 ^c	444.45 ^b	577.00 ^a
Elevation (m)	99.24 ^d	293.83 ^d	395.60 ^d	1261.48 ^c	2145.15 ^b	3050.58 ^a
Total density (no./ha)	28.31 ^{a,b}	13.66 ^b	28.58 ^{a,b}	49.24 ^a	42.88 ^a	47.85 ^a
No. of species	9.4 ^e	11.82 ^{d,e}	18.50 ^{b,c}	24.50 ^a	22.45 ^{a,b}	15.75 ^{c,d}
Shannon diversity index	1.89 ^c	2.63 ^b	3.05 ^{a,b}	3.26 ^a	3.12 ^{a,b}	1.93 ^c
Shannon evenness index	0.58 ^b	0.74 ^a	0.73 ^a	0.71 ^a	0.70 ^a	0.49 ^b

¹⁾ Density (no./ha) of dominant species (underlined) in each community.

²⁾ Means followed by different letters within columns significantly differ (by Duncan's new multiple range test, $p < 0.01$).

標、均勻度指標 (Table 3)，分別以變方分析檢定其差異，各變項在6個群聚間均有顯著差異，再以鄧肯氏多變域測驗對各群聚做兩兩比較：高海拔群聚的海拔高度顯著大於其他5群聚，中海拔II群聚的海拔高度顯著大於其他4群聚，中海拔I群聚的海拔高度顯著大於其他3群聚，但低海拔I、II、III群聚間則無顯著差異；中海拔I、II群聚及高海拔群聚的鳥族群總密度顯著大於低海拔II群聚，但與低海拔I、III群聚無顯著差異；中海拔I群聚的鳥種數與中海拔II群聚無顯著差異，但顯著大於其他群聚；中海拔I群聚的多樣性指數與中海拔II群聚及低海拔III群聚無顯著差異，但顯著大於低海拔I、II群聚及高海拔群聚；高海拔群聚及低海拔I群聚的均勻度指數無顯著差異，但顯著小於其他群聚。

本研究各樣點的鳥種數與其海拔高度的關係如Fig. 3，自海拔7.7-1,400 m，鳥種數與海拔高度有顯著的正相關 ($r^2 = 0.206$, $p = 0.00004$)，但自海拔1,400 m起，鳥種數沿海拔梯度呈平緩且略下降趨勢，鳥種數與海拔高度成負相關 ($r^2 = 0.274$, $p = 0.0072$)，因此鳥種數在整個海拔梯度上乃形成駝型分布。

以分布中點法 (Rohde et al. 1993) 檢驗各鳥種之海拔分布中點值與海拔幅寬 (Table 2) 的關係，刪除少於5個樣點的鳥種後，自海拔高度約100至1,500 m，似有如Rapoport's rule所認定之物種分布之海拔愈高，其所佔有的海拔幅寬愈大之趨勢 (Fig. 4)，但自海拔1,500 m起，此上升趨勢消失，至海拔2,500 m以後，海拔幅寬略有沿海拔分布中點值下降的味道。將海拔幅寬取

對數值後，海拔分布中點值與海拔幅寬對數值之二次迴歸模式為 $\log \text{Range} = 3.1999 - 0.0029 \times \text{Midpoint} + 0.2264 \times \text{Midpoint}^2$ ($r^2 = 0.798$)。

討論

台灣北部陸域繁殖鳥類可分為低海拔I、II、III、中海拔I、II及高海拔等6個群聚，海拔梯度是影響鳥類群聚差異之重要因子，因此可以海拔梯度做為鳥類群聚的分界，本研究之低

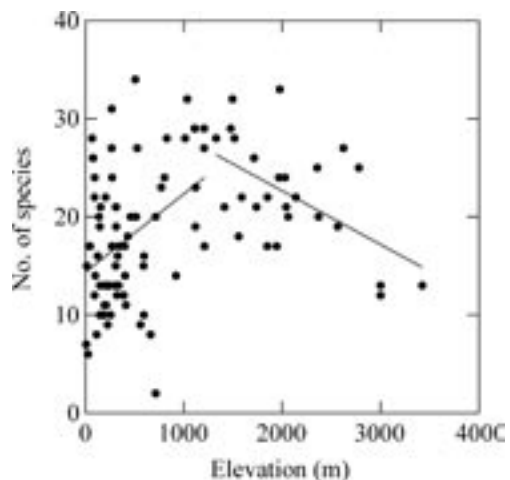


Fig. 3. Number of breeding bird species along an elevation gradient in northern Taiwan. The fit lines were calculated by linear regressions that corresponded to the ranges of elevation below 1400 m ($r^2=0.206$) and above 1,400 m ($r^2=0.274$).

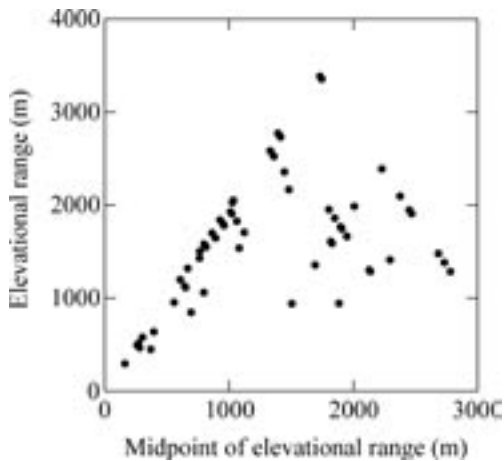


Fig. 4. Midpoint plot of elevational ranges of breeding birds in northern Taiwan.

海拔三群聚在1,000 m以下，中海拔兩群聚介於1,000-2,700 m，高海拔群聚在2,700 m以上，此結果與Jai (1977)、Huang (2001)之研究相較：Jai (1977)將台灣鳥類分成小於1,000 m的低海拔帶、1,000-2,300 m的中海拔帶及超過2,300 m的高海拔帶，Huang (2001)則以900 m做為北部繁殖鳥類之低中海拔分界，但其研究中2,100-2,800 m之調查樣點僅有1個，故無法明確指出北部繁殖鳥類之中高海拔分界。本研究結果與Jai (1977)和Huang (2001)之低中海拔分界相似，而與前者之中高海拔分界有所不同，可能是因為本研究地區局限於台灣北部，所得到的群聚分布類型乃屬於地區性的現象，故不同於Jai (1977)之全省調查結果；但也可能是因為本研究依照面積比例取樣，故高海拔的樣點數稍嫌不足，使得鳥類群聚在中高海拔處出現不連續現象，因而拉大了2,700 m以上樣點與其他較低樣點的差異程度，因此需要累積更多的調查資料，才能了解差異的原因。至於低海拔3群聚之海拔分界不明顯，Huang (2001)的研究曾指出對低海拔鳥類群聚最重要的影響因子為植被覆蓋狀況，其次才為海拔梯度，此應可以解釋低海拔三群聚在海拔上無明顯差異的現象。

鳥類群聚除了受海拔梯度的影響之外，亦有研究者認為植群係重要影響因子(Jai 1977, Ding 1993)。Su (1984)以溫度梯度將台灣山地

植群帶依低至高溫劃分為高山帶、冷杉帶、鐵杉雲杉帶、櫟林帶、楠櫟林帶及榕楠林帶，各帶大致分布在一固定海拔段。若以Su (1984)所列之台北木柵、烏來山區、宜蘭哈盆至雙連埤、太平山、大元山、拉拉山北及南坡、南湖大山北坡及大霸尖山北坡(以上等地皆在本研究範圍內)之植群及海拔分布範圍來看，則本研究地區內之植群分布大致為：高山帶在3,100-3,700 m間、冷杉林帶在2,600-3,400 m間、鐵杉雲杉林帶在2,000-2,800 m間、櫟林帶上層在1,800-2,200 m間、櫟林帶下層在1,200-1,800 m間、楠櫟林帶在300-1,200 m間、榕楠林帶低於300 m，以其與本研究地區之鳥類群聚相對照：高海拔鳥類群聚約分布在高山帶及冷杉林帶、中海拔II鳥類群聚約分布在鐵杉雲杉林帶及櫟林帶上層、中海拔I鳥類群聚較接近櫟林帶下層、低海拔三群聚大致分布在楠櫟林帶及榕楠林帶，故本研究之鳥類群聚更迭與其整個區域之植被變動可謂大致互相吻合。Jai (1977)認為其研究中，中海拔鳥類群聚至高海拔鳥類群聚所發生的鳥類組成更動與植被變化一致，在該海拔高度範圍內，植被由針闊葉混淆林轉為針葉林；但在低海拔鳥類群聚至中海拔鳥類群聚，其間之變動與植被的變化卻不一致，即植被未有明顯的林型變化，這可能是因為其調查範圍涵括全台灣，而全台灣的植被與海拔高度的關係會因區域的不同而有所差異，故由全台灣的尺度來看鳥類群聚與植群的關係時，似乎無法得到明確的結果，反之，在較小的尺度下應可看出鳥類群聚與植被間的關係，如Ding (1993)研究玉山地區成熟林之鳥類群聚，在不同植群內做鳥類調查，結果發現鳥類群聚依不同植群而劃分為低層闊葉林、高層闊葉林、針闊葉混合林、雲杉林、鐵杉冷杉林及圓柏灌叢等六個群聚。因此研究尺度的差異，可能會對鳥類群聚與植群的關係產生不同的結論。

比較各群聚的鳥類總密度，中海拔I群聚的鳥類總密度顯著大於低海拔II、III群聚，其他群聚則介於其間；大體而言，中、高海拔地區可以支持較大的鳥類族群密度，乃較適合鳥類生存的環境。中海拔群聚的鳥種數顯著大於

其他群聚，其鳥類多樣性指標亦顯著大於其他群聚(惟與低海拔III群聚無顯著差異)，表示中海拔地區的鳥類群聚有較為豐富且多樣性較高的鳥種。均勻度指標在低海拔II、III群聚及中海拔群聚皆無顯著差異，但在高海拔群聚及低海拔I群聚顯著較小，可能是分別有特別優勢的鳥種如麻雀(*Passer montanus*)及火冠戴菊鳥(*Regulus goodfellowi*) (Table 3)，造成均勻度的降低；相對來說，其他群聚的鳥種就較為平衡。

一般公認種豐富度沿緯度梯度呈遞減的變化(Begon et al. 1996)，許多研究更認為種豐富度在海拔梯度上有類似緯度梯度的變化，即沿海拔梯度呈線性遞減的趨勢(Stevens 1992, Begon et al. 1996)，但是Rahbek(1995, 1997)與其他人(Lees et al. 1999, Colwell and Lees 2000)認為種豐富度隨海拔上升在中海拔區到達高峰的駝型分布應該比遞減分布更為常見。以本研究結果而言，鳥種數沿海拔梯度的分布雖有線性遞增的趨勢，但在中海拔1,000-2,000 m間達到高峰，往海拔2,000 m以上則遞減，此現象符合Rahbek所提出的駝型分布，但不論是海拔前段的上升或後段的下降直線，其對於鳥種數的預測能力都不高，這或許是由於各調查點之自然度(或受人為干擾的程度)可能相差很多，因而造成鳥種數的變異度很大，未來必須再蒐集各調查點的環境背景資料，以求得較佳之迴歸模式。

種豐富度在海拔梯度上呈駝型分布，有許多可能的解釋機制(Begon et al. 1996)，除了mid-domain effect之外，本研究另就生產力假說及人類活動之干擾來說明：(一)生產力假說：種豐富度與地表植被生產力的關係可能是線性遞增(MacArthur 1972, Brown 1988)或種豐富度在中度生產力達到高峰(Rosenzweig and Abramsky 1993, Rosenzweig 1995)，Ding (2001)認為台灣鳥類種豐富度與地表植被生產力呈正相關，地表植被生產力在中海拔帶最高，故可解釋鳥類種豐富度在中海拔有高峰的現象。(二)人類活動的干擾：人為干擾會造成地表植被及景觀的改變，進而影響鳥類的分布範圍。如偏好森林棲地的鳥類可能因平地及低海拔的過度開發，而造成其海拔分布下限向上退縮，因此降低平地

及低海拔的鳥種豐富度，另一方面，中海拔地區也因森林砍伐、農墾及聚落發展等現象，使得低海拔農耕地的優勢鳥種向上入侵中海拔，因而增加了中海拔區的鳥種豐富度。故此項因素應可解釋鳥類種豐富度由中海拔往低海拔遞減的趨勢。

本研究中鳥種分布之海拔與其海拔幅寬之關係，以分布中點法所得之結果：自海拔100-1,500 m，鳥種之海拔幅寬似有隨分布之海拔高度逐漸上升的趨勢，在中海拔約1,500-2,500 m區間，鳥種的海拔幅寬沒有明顯趨勢，至海拔約2,500 m後則呈下降趨勢，這樣的結果不符合Rapoport's rule，該原則指明物種的海拔高度與其海拔幅寬有正相關的關係，亦即物種的海拔高度愈高，其分布的海拔幅寬愈大。雖然一些研究曾得到類似Rapoport's rule的結果(Fleishman et al. 1998, Sanders 2002)，並且以此原則當作是種豐富度在海拔梯度呈線性遞減的可能原因之一(Stevens 1992)，但也有學者指出Stevens (1992)所展示的資料中，其實有部分顯示出物種分布的海拔幅寬在中海拔段有高峰(Colwell and Hurtt 1994, Rahbek 1997)。本研究結果較符合Colwell and Lees (2000)所提之三角形模式：分布中點在海拔較低或較高的鳥種有較小的海拔幅寬，分布中點在中海拔地區的鳥種，則有部份鳥種有較大的海拔幅寬。Jai (1977)自海平面至接近4,000 m的高山進行台灣陸棲繁殖鳥類的調查，在中部山區記錄124種台灣陸棲繁殖鳥類於繁殖期的海拔分布高度，所有鳥種的海拔幅寬沿其海拔分布中點值的型態(Fig. 5)，亦與本研究結果有類似之處：自平地至海拔高度1,000 m，鳥種的海拔幅寬沿其海拔分布中點值呈上升趨勢，但自1,000 m起，鳥種的海拔分布幅度散布在900至2,800 m之寬度間，直至3,000 m後才有下降趨勢；亦即分布中點愈靠近海拔兩端的鳥種，其海拔幅寬愈小，而分布中點靠近海拔中段的鳥種，則有部份鳥種具有較大的海拔幅寬，故此項結果亦大致符合Colwell and Lees (2000)所提之等邊三角形模式，足見該模式確實可以描述台灣局部地區鳥種之海拔分布與幅寬的關係。因此本研究認為

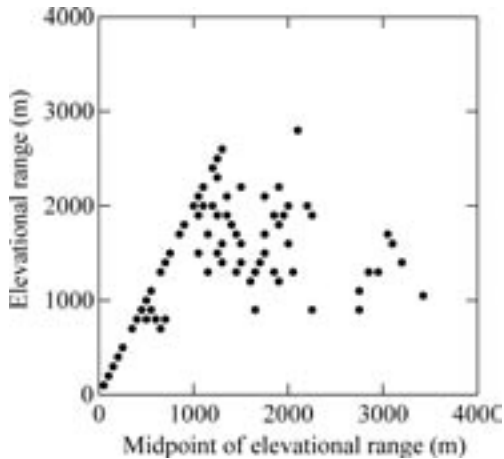


Fig. 5. Midpoint plot of elevational ranges of breeding birds in central Taiwan. (data from Jai 1977)

Colwell and Lees (2000)所論述之mid-domain effect - 物種因受地理邊界限制其分布範圍，而造成物種豐度在中間地帶產生高峰，較能夠解釋台灣北部繁殖鳥類豐富度在中海拔地區有高峰的現象；而Rapoport's rule在本研究中則無法獲得支持。但是若將冬季鳥類分布資料涵蓋進來，原來由中海拔往兩端下降的三角形模式是否可能改變成Rapoport's rule的線性曲線或其他曲線，則有待更多的調查研究。

謝誌

本研究由行政院農業委員會保育基金及林業試驗所公務預算計畫92農科-2.4.2-森-G1(07)經費支助，研究期間許皓捷、黃佩俐、吳采諭、鄭蕙如、林芳儀協助調查，特此致謝，並感謝兩位審查委員的寶貴意見。

引用文獻

Begon M, Harper JL, Townsend CR. 1996. Ecology: individuals, populations and communities. 3rd ed. Oxford, UK: Blackwell Scientific Publications. 1068 p.
Blackburn TM, Gaston, KJ. 1998. Some

methodological issues in macroecology. *Am Nat* 151:68-83.

Brown JH. 1988. Species diversity. In: Myers AA, and Giller PS, editors. Analytical biogeography: an integrated approach to the study of animal and plant distribution. London, UK: Chapman and Hall. p 57-89.

Brown JH. 1995. Macroecology. Chicago, IL: Univ of Chicago Press. 269 p.

Colwell RK, Hurtt, GC. 1994. Nonbiological gradients in species richness and a spurious Rapoport effect. *Am Nat* 144:570-95.

Colwell RK, Lees DC. 2000. The mid-domain effect: geometric constraints on the geography of species richness. *Trends Ecol Evol* 15:70-6.

Ding TS. 1993. Avian community ecology of mature forest in Mt. Yushan. MS Thesis. Taipei, Taiwan: National Taiwan Univ. 80 p. [in Chinese with English summary].

Ding TS. 2001. Species diversity at different spatial scales: birds in Yushan, Taiwan, and East Asia. PhD Dissertation. Davis (CA): Univ of California. 129 p.

Fleishman E, Austin GT, Weiss A. 1998. An empirical test of Rapoport's rule: elevational gradients in montane butterfly communities. *Ecology* 79:2472-83.

Gauch HG. 1982. Multivariate analysis in community ecology. Cambridge, UK: Cambridge Univ Press. 298 p.

Huang PL. 2001. Distribution pattern of breeding birds in northern Taiwan. MS Thesis. Taipei, Taiwan: National Taiwan Univ. 70 p. [in Chinese with English summary].

Jai P. 1977. Study in ecological isolation of birds in Taiwan. MS Thesis. Taichung, Taiwan: Tunghai Univ. 73 p. [in Chinese with English summary].

Kano T. 1940. Zoological studies of the Tsugitaka Mountains of Formosa. Tokyo: The Shibusawa Institute for Ethnographical Researches. 145 p.

Krebs CJ. 1999. Ecological methodology. 2nd

- ed. Menlo Park, CA: Benjamin/Cummings. 620 p.
- Lees DC, Kremen C, Andriamampianina L. 1999.** A null model for species richness gradients: bounded range overlap of butterflies and other rainforest endemics in Madagascar. *Biol J Linn Soc* 67:529-84.
- Ludwig JA, Reynolds JF. 1988.** *Statistical ecology: a primer on methods and computing.* New York: Wiley. 337 p.
- Magurran AE. 1988.** *Ecological diversity and its measurement.* London: Croom Helm. 179 p.
- MacArthur RH. 1972.** *Geographical ecology.* Princeton, NJ: Princeton Univ Press.
- McCune B, Mefford MJ. 1999.** *PC-ORD. Multivariate analysis of ecological data, vers. 4.* Gleneden Beach, OR: MjM Software Design. 237 p.
- Rahbek C. 1995.** The elevational gradient of species richness: a uniform pattern? *Ecography* 18:200-5.
- Rahbek C. 1997.** The relationship among area, elevation, and regional species richness in Neotropical birds. *Am Nat* 149:875-902.
- Reynolds RT, Scott JM, Nussbaum RA. 1980.** A variable circular-plot method for estimating bird numbers. *Condor* 82:309-13.
- Rohde K, Heap M, Heap D. 1993.** Rapoport's rule does not apply to marine teleosts and cannot explain latitudinal gradients in species richness. *Am Nat* 142:1-16.
- Rosenzweig ML. 1995.** *Species diversity in space and time.* Cambridge, UK: Cambridge Univ Press. 436 p.
- Rosenzweig ML, Abramsky Z. 1993.** How are diversity and productivity related? In: Ricklefs R, Schluter D, editors. *Species diversity in ecological communities: historical and geographical perspectives.* Chicago, IL: Univ of Chicago Press. p 52-65.
- Sanders NJ. 2002.** Elevational gradients in ant species richness: area, geometry, and Rapoport's rule. *Ecography* 25:25-32.
- Shiu HJ. 1995.** The relationships between avian community structure and environmental factors in mature forests of mid-elevation mountain areas in Taiwan. MS Thesis. Taipei, Taiwan: National Taiwan Univ. 98 p. [in Chinese with English summary].
- Stevens GC. 1992.** The elevational gradient in altitudinal range: an extension of Rapoport's latitudinal rule to altitude. *Am Nat* 140:893-911.
- Su HJ. 1992.** *Vegetation of Taiwan: mountainous vegetation zone and geological climatic zone.* Taipei, Taiwan: Institute of Botany, Academia Sinica Monograph Series No. 11, p 39-53.
- Wang CS, Wu SS, Huang KY, Yang SY, Tsai CH, Tsai MC, Shao CL. 1991.** *A field guide to the birds of Taiwan.* Taipei, Taiwan: Ya-shae Book Co. 274 p.
- Zar JH. 1999.** *Biostatistical analysis.* 4th ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall. 929 p.

