

Title	社会的場面における一般対応法則の適用：他個体と共有する餌場の選択行動の分析
Author	北野, 翔子 / 伊藤, 正人 / 佐伯, 大輔 / 山口, 哲生
Citation	人文研究. 64 巻, p.115-131.
Issue Date	2013-03
ISSN	0491-3329
Type	Departmental Bulletin Paper
Textversion	Publisher
Publisher	大阪市立大学大学院文学研究科
Description	衣笠忠司教授退任記念

Placed on: Osaka City University Repository

社会的場面における一般対応法則の適用： 他個体と共有する餌場の選択行動の分析

北野翔子 伊藤正人 佐伯大輔 山口哲生

本研究では、ハトを対象に、他個体と餌場を共有する状況における選択行動を測定し、得られた選択データに一般対応法則を適用することにより、一般対応法則の社会場面への拡張を試みた。さらに、各餌場で呈示される強化量を餌場間で同量とし、条件間で操作することにより、絶対強化量の効果を調べた。実験1では、2つの餌場の間で、共有個体数を、1個体と1個体から1個体と5個体まで4条件間で変化させた。強化量条件は、餌ペレット7個条件と10個条件の2条件を設定した。実験2では、実験1と同じ共有個体数条件を用い、強化量条件として、餌ペレット4個条件と10個条件を設定した。その結果、どちらの実験においても、選択比の群平均値に対して、一般対応法則は良い当てはまりを示した。また、有意な絶対強化量の効果は見られなかった。これらの結果は、一般対応法則が、社会的場面における動物の選択行動に適用可能であることを示している。加えて本研究で提案された一般対応法則と理想自由分布理論の関係が論じられた。

ヒトを含む動物は、動きまわる、つまり行動する生き物である。動物がある行動を行うことは、その動物が取り得る行動レパートリー（行動目録）の中から選んだものといえる。このように考えると、行動の研究とは、選択行動の研究に他ならないが、選択行動は、個体の生命維持のための食物選択から、種の維持のための配偶者の選択まで多岐にわたる。選択行動を研究する場合には、一つの実験手続きとして、複数の選択肢（最も単純な場面では二者択一の選択肢）を設け、個体の選択が2つの選択肢に対してどのように行われるかを定量的に調べることになる。個体の選択行動を観察したとき、一方の選択肢がどの程度他方より好まれるかは、その選択肢が選択された頻度や時間によって定量的に測定される。ある選択肢の「好ましき（主観的価値： V ）」は、一般に、他方の選択肢の好ましきとの比 (V_1/V_2) や割合 ($V_1/[V_1+V_2]$) など、2つの選択肢に対する好ましきの相対的な関係として表現される（伊藤, 2009）。

また、ヒトを含む動物は、他個体と何らかの関わりをもって行動する社会的な生き物でもある。選択行動も、自己の選択だけで結果が決まる場合もあるが、他方で他者の選択により影響を受ける場合も多い。例えば、動物がある餌場で採餌する場合、そこに他個体が存在すれば、他個体と競合することが考えられる。その餌場の資源が有限の場合、他個体が多く採餌すれば、自己の採餌は少なくなる。このように、餌場に存在する他個体は、餌場の好ましき（主観的価値）に影響すると考えられる。本研究は、ハトを対象に、他個体と競合的に餌を摂食する餌場

の好ましさが、他個体の増加と共に、どのような影響を受けるのかを選択行動の原理である一般対応法則を適用することにより検討した。またこのような他個体の影響が餌場で得られる餌の量により変化するか否かについても検討した。

選択行動研究は、Herrnstein (1961) によるハトを対象とした同時選択手続きの開発と選択行動の規則性の発見から始まったといえる。彼は、ハト用実験箱の左右の反応キーを選択肢とした同時選択手続きを用いて、一方の選択肢の強化率（1分当たりの強化頻度）を固定し、他方の選択肢の強化率を組織的に変化させたところ、ハトの各選択肢への選択反応率（1分当たりの反応頻度）は、各選択肢から得られる強化率に一致することを見出した。これを対応法則（matching law）といい、(1) 式または (2) 式で表される。

$$\frac{R_1}{R_1+R_2} = \frac{r_1}{r_1+r_2} \quad (1)$$

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{r_1}{r_2} \quad (2)$$

ただし、 R は選択肢への反応率、 r は選択肢から得られた強化率、数字は各選択肢を表し、(1) 式と (2) 式は代数的に等しい。

実際の選択反応データは、しばしば (1) 式あるいは (2) 式から逸脱することがある。対応法則の予測からの典型的な逸脱には以下のように3種類ある。ひとつは過小対応（undermatching）と呼ばれるもので、強化率の変化に対し反応率の変化が小さい場合である。これは、選択肢間の弁別が困難であるような場合に生じる。一方、過小対応とは逆に、強化率の変化に対して反応率の変化が大きい場合である。これを過大対応（overmatching）という。これは、選択肢間での反応の切り替えのために、大きな労力（コスト）を必要とするような場合に生じる。さらに、3つめの逸脱は、一方の選択肢への偏向（bias）が挙げられる。これは強化率が変化しても一貫して一方の選択肢が選択されることであり、特定の反応キーへの偏向（位置や色偏向など）がある場合である。これらの逸脱を記述するため、Baum (1974, 1979) は、(3) 式のべき関数にもとづく一般化を提案した。これを一般対応法則（generalized matching law）という。

$$\frac{R_1}{R_2} = b \left(\frac{r_1}{r_2} \right)^a \quad (3)$$

ただし、 a は強化率比に対する感度を表す経験定数であり、 b は一方の選択肢への偏向を示す経験定数である。その他の記号の意味は、(1) 式と同じである。 b と a がともに 1.0 であれば、(3) 式は (2) 式になる。 $a = 1.0$ の場合には完全対応（perfect matching）、 $a > 1.0$ の場合には過大対応、 $a < 1.0$ の場合には過小対応となる。(3) 式の両辺を対数変換し、一次関数の形にしたものが (4) 式である。

$$\log \left(\frac{R_1}{R_2} \right) = a \log \left(\frac{r_1}{r_2} \right) + \log b \quad (4)$$

得られた選択反応比データ (R_1/R_2) に (4) 式を当てはめることにより、傾き a と切片 $\log b$ が推定される。

一般対応法則は、選択の決定次元が強化率以外にも、強化量 (Ito, 1985) や強化までの遅延時間 (Omino & Ito, 1993) においても成立することが明らかになっているが、本研究では新たに、他個体と餌場を共有する餌場間の選択場面という社会的場面への拡張を試みた。各餌場における他個体の数を選択の決定要因とした場合、以下の (5) 式のように拡張が可能と考えた。

$$\log\left(\frac{R_1}{R_2}\right) = s \log\left(\frac{N_1}{N_2}\right) + \log b \quad (5)$$

ただし、 N は餌場を共有する他個体 (共有個体) の数、 s は共有個体数比に対する感度を表す経験定数である。それ以外の記号の意味は、(3) 式と同じである。共有個体数が増加するほどその餌場は、選ばれなくなると予測されるので、完全対応は $s = -1.0$ の場合、過大対応は、 $s < -1.0$ の場合、過小対応は、 $s > -1.0$ の場合となる。すなわち、(5) 式では、 s の値が低いほど、共有個体数比に対する感度は高いことを示す。本研究の第 1 の目的は、餌場の共有選択に対する (5) 式の適用可能性を明らかにすることで、一般対応法則を社会場面での選択行動に拡張することである。

次に、一般対応法則は、「選択比が 2 つの選択肢の強化に関する変数の相対値により決定されることを前提としており、これらの変数の絶対値は選択行動に影響しない」ことを前提としている。例えば、餌ペレットが 2 個と 1 個の間の選択場面と 10 個と 5 個の間の選択場面の間では、選好は変化しないことを予測する。しかしながら、先行研究では、強化率や強化遅延時間について、相対値が等しくても絶対値が異なると選好が変化することが示されてきた。

例えば、Fantino, Squires, Delbruck, & Peterson (1972) は、ハトを対象に、全体強化率が高くなると、相対強化率に対する感度が高くなることを示した。彼らは並立 VI VI スケジュールを用いて、相対強化率を 2:1 に固定し、全体強化率を 2 つの選択肢間で、VI 6 秒と VI 12 秒、VI 60 秒と VI 120 秒、VI 600 秒と VI 1200 秒という 3 つの条件間で変化させた。その結果、より強化率の高い選択肢に対するハトの選好は、全体強化率が高いほど強くなった。この全体強化率の効果は、その後の研究でも概ね再現されている (Alsop & Elliffe, 1988; Davison, 1988; 内田・伊藤, 2000)。

Ito (1985) は、ラットを対象に、並立連鎖スケジュールを用いて、強化量の異なる選択肢間の選択に及ぼす絶対遅延時間の効果について検討している。強化遅延時間は終環の FI 値により定義された。FI 値は選択肢間で同じ値とされ、FI 5 秒と FI 20 秒の 2 条件が設定された。得られた選択比データに対して、強化量次元に一般化された対応法則を適用した結果、強化量比に対する感度は、FI 20 秒条件の方が FI 5 秒条件よりも高くなることが明らかになった。

このように、強化率と強化遅延時間については、絶対値の効果が報告されている一方で、絶

対強化量の効果はまだ明らかにされていない。Grace (1999) は、ハトを対象に、並立連鎖スケジュールを用いて、強化遅延時間の異なる選択枝間の選択に及ぼす絶対強化量の効果について検討した。強化量は選択枝間で同量とし、条件間で 2.5 倍の差をつけた。その結果、4 個体の被験体のうちすべての個体において、強化遅延時間比に対する感度は、小強化量条件の方が大強化量条件よりも高くなったが、統計的有意差はなかった。

上述のように、一般対応法則は強化に関する変数の絶対値が選好に影響しないこと前提としているので、本研究で新たに社会的場面に一般対応法則を適用する場合、この前提が満たされるかどうかを検討する必要がある。本研究における第 2 の目的は、2 種類の共有餌場間で強化量を等しくし、条件間で絶対量を変化させることにより、共有個体数比に対する感度 ((5) 式の s) に対する絶対強化量の効果を検討することである。

本研究で用いる選択場面では、個体が餌場で他個体と競合的に採餌を行うので、採餌に影響する重要な要因の一つとして考えられるのが、その個体の集団内における社会的順位 (social order) である。群れで生活する動物集団においては、集団内順位が高い個体は、低い個体に比べて餌や配偶者を多く獲得することなど、社会的順位が影響を及ぼすことが多くの研究で示されている (例えば、Giraldeau & Caraco, 2000)。従って、動物の社会的相互作用を扱う研究では、各個体の社会的順位を把握することが重要である。

山口・伊藤・佐伯・大西 (2008) は、生物学分野で頻繁に用いられる BBS (Batchelder, Bershad, & Simpton) 法 (Jameson, Appleby, & Freeman, 1999) を用いて、ハトにおいて社会的順位が存在することを示している。BBS 法は、サーストンの一対比較法 (Thurstone, 1927) に基づいているが、データに欠損値がある場合や、順位決定のための対戦において勝敗がつかない場合があっても順位を決定できるという利点を持つ。このため、本研究では、集団を形成しているハトの集団内での社会的順位を BBS 法を用いて測定し、その結果得られた尺度値に基づいて、選択行動測定の対象となる実験個体と、各餌場で実験個体と餌場を共有する共有個体の選定を行い、共有個体の各餌場への配置を決定した。具体的には、8 個体からなるハト集団において、社会的順位が 3~6 位の 4 個体を実験個体とし、社会的順位が 1、2、7、8 位の 4 個体を共有個体とした。

実験 1

目的

他の個体と競合的に採餌を行う餌場間の選択場面を用いて、共有個体数次元について、一般対応法則が成立するかどうかを確認するとともに、報酬量 (餌ペレット 7 個と 10 個) の効果を調べることを目的とした。

方法

被験体：集団飼育室で、他の個体を含め計 16 個体で飼育されている雄のハト (*Columba livia*) 8 個体からなる集団を使用した。個体番号はそれぞれ、M0113、M0132、M0237、M0247、M0289、M0377、M0402、M0467 であった。BBS 法による社会的順位測定（「手続き」を参照）の結果は、順位の高い順に、M0467、M0113、M0377、M0237、M0402、M0132、M0289、M0247 であった。実験個体として、社会的順位が 3 位～6 位であった M0377、M0237、M0402、M0132 の 4 個体を用い、共有個体として、社会的順位が 1 位、2 位、7 位、8 位の個体 (M0467、M0113、M0289、M0247) 及び実験個体の一部を使用した。いずれも今回と同様の実験を既に経験済みであった。実験中はすべての個体について、体重を自由摂食時の約 75%～80% に維持した。実験中はハト用餌ペレット (1 個 20mg, BioServ) が与えられたが、実験終了後の集団飼育室では、体重維持のために配合飼料が与えられた。どの個体も、集団飼育室において塩土・ボレー粉・水を自由に摂取できた。集団飼育室の室内灯は自動制御されており、午前 7 時から午後 7 時までの 12 時間点灯した。実験は室内灯が点灯中の時間帯に実施した。

装置：図 1 に示したように、両端に八角形の餌場を設けた実験箱を使用した。実験個体は、ニュートラルゾーンから 2 つの餌場間を自由に行き来できた。ニュートラルゾーンに隣接する台形状の領域の床下にマイクロスイッチ (V-154-1A5, OMRON) が取り付けられており、

これらが実験個体の移動反応を検出した。餌場の前面壁には、床上 25 cm の高さで、壁の左右両端から等距離の位置に発光ダイオード (24VDC) 1 個 (図 2 の “Trial lamp” を指し、以下、試行ランプと呼ぶ) が設置されていた。試行ランプは、試行が有効である時に白色に点灯した。また、床上 22 cm の高さに、左右の位置関係で餌場を示すための発光ダイオード (24VDC) (図 2 の “Discriminative stimulus” を指し、以下、弁別刺激ランプと呼ぶ) が設置されていた。弁別刺激ランプは赤または緑に点灯した。実験個体は開口部 (図 2 の “Opening”) から餌場に頭を出すことで、共有個体と一緒に採餌が可能であった。餌場の周りの小部屋 (実験個体が行き来することのできる 1 部屋を除く) には

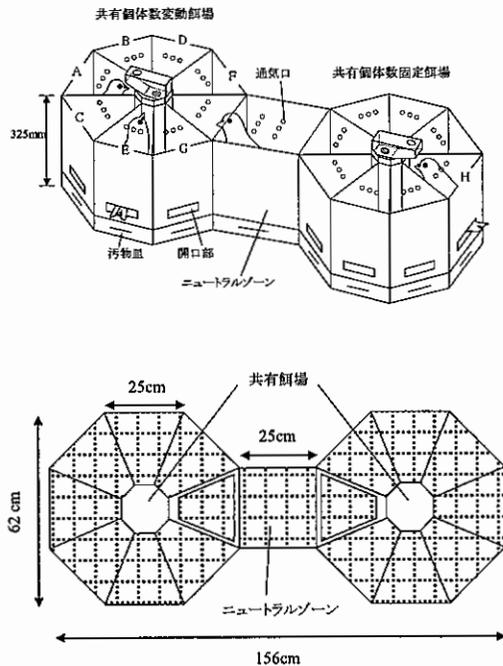


図 1 実験装置模式図。左右 2 つの餌呈示領域上部に自動給餌装置が設置され、餌呈示領域には被験体のほか、周囲の小部屋に配置された共有個体が頭を出して採餌できる。

共有個体をそれぞれ個別に収容することができ、各小部屋の前面壁に、同様の開口部が設けられていた。実験装置の床は、ステンレス製の網でできており、小部屋の壁は、灰色不透明の塩化ビニールでできていた。強化子呈示時には、餌場上に設置された豆電球 (24VDC、以下、フィーダランプと呼ぶ) が点灯し、自動給餌装置 (H14-22M-2D, Coulbourn) から餌ペレットが呈示された。実験は Windows XP (Microsoft) 上で作動する Visual Basic (Ver. 6.0, Microsoft) によって作成されたプログラムにより制御し、プログラムの実行と反応の記録は隣室に設置されたノート型パーソナルコンピュータ (PCG-4D2N, Sony) を用いて行なわれた。自動給餌装置や発光ダイオードなどの外部機器の駆動のために、入出力ボード (EHC(PC)BE-H2B, Contec)、自作のインターフェイス、安定化電源 (PMC35-3A, Kikusui) を用いた。このような集団実験箱を2台用意し、それぞれに実験個体2個体を割り当てた。

手続き：まず8個体からなるハト集団について、BBS法による社会的順位測定を行い、その後、本実験へと移行した。どの個体も本研究と同じ実験装置での実験経験があったため、予備訓練は行わなかった。

社会的順位の測定：BBS法で社会的順位の尺度値を算出するため、1対1の総当り対戦を行なった。この実験ではニュートラルゾーン及びスイッチ部分は使用せず、対戦する2個体はそれぞれ、図1における「共有個体数変動餌場」(以下、変動餌場と呼ぶ) のA~Fの小部屋のいずれかに隣り合うように入れられた。

1試行の流れは、まず、変動餌場のフィーダランプが点灯し、3秒後に餌ペレットが1個呈示された。呈示から7秒後にフィーダランプが消灯するまでを対戦時間とし、フィーダランプ消灯後、10秒の試行間隔が挿入された。従って、1試行は20秒であった。1セッションは30試行からなり、1日4組ずつ、計7日間行なった。餌場における対戦の様子をCCDカメラ (CCD-MC100, Sony) によって撮影し、ハードディスクレコーダー (PSX, Sony) に録画した。各試行における「勝ち」「負け」「引き分け」の判断は、以下の基準に基づいて行った。(1) フィーダランプ点灯中に餌を取得した個体を「勝ち」とした。(2) フィーダランプ点灯中に餌が取得されなかった場合には「引き分け」とした。(3) 一方の個体が明らかに優位であるにも関わらず、餌を取得する技能が低いためにフィーダランプ点灯中に餌が取得されなかったが、次試行のフィーダランプ点灯までに取得された場合は、取得した個体の「勝ち」とした。(4) 引き分けが連続し、餌が餌場に残った場合、次試行において、残っている餌を1つでも先に取得した個体を「勝ち」とした。(5) 餌が餌場の外に飛び出してどちらの個体も餌を取得できなかった場合には「引き分け」とした。(6) 一方の個体を「勝ち」とした場合、他方の個体を「負け」とした。

このような基準に基づいて勝ち数、負け数、引き分け数を評定し、BBS法に基づいて尺度値を求めた。結果として得られた順位は、「被験体」で示した通りである。

本実験：2つの餌場のうちの一方の餌場 (図1の「共有個体数固定餌場」、以下、固定餌場

と呼ぶ)では共有個体を1個体とし、他方の変動餌場では共有個体数を1個体、2個体、3個体、5個体と条件ごとに変化させ、共有個体数の増加に伴う選好の変化を調べた。

本研究では8個体からなる集団を用いたことから、被験体と上位2個体を除く5個体の変動餌場における共有個体数の上限となる。関数を当てはめるにあたり、条件の範囲は広い方が望ましいため、変動餌場における共有個体数は1~5個体の範囲で変化させた。また、共有個体数比を対数変換した場合、4個体条件と5個体条件ではそれぞれ-0.602と-0.699となり、値が近似しているため、本研究では4個体条件を省略した。強化量は、2つの餌場間で同量とし、7個条件と10個条件の2条件を設けた。これら2つの強化量条件は、すべての共有個体数条件において実施した。

共有個体の配置は、次のように決定した。固定餌場における共有個体として、最上位である2個体(M0467, M0113)のうち的一方が割り当てられ、図1のHの小部屋に配置された。一方、変動餌場における共有個体として、共有個体数が1の条件では、最下位である2個体(M0247, M0289)のうち的一方が割り当てられ、他の共有個体数条件では、他の個体が追加された。変動餌場における共有個体は、図1におけるA~Eの小部屋に配置された(表1)。

表1 実験1における条件実施順序

Subject	Condition	Amount	Variable alternative	Other pigeons at each alternative							
				Constant	Variable A	Variable D	Variable E	Variable B	Variable C		
M0377	1:1	7	Front	M0467	M0289						
	1:2	7		M0467	M0289	M0132					
	1:5	7		M0467	M0289	M0132	M0237	M0247	M0402		
	1:3	7		M0467	M0289	M0132	M0237				
	1:1	10		M0467	M0289						
	1:2	10		M0467	M0289	M0132					
	1:5	10		M0467	M0289	M0132	M0237	M0247	M0402		
	1:3	10		M0467	M0289	M0132	M0237				
	M0402	1:1		7	Front	M0113	M0247				
		1:2		7		M0113	M0247		M0237		
		1:5		7		M0113	M0247	M0377	M0237	M0132	M0289
		1:3		7		M0113	M0247	M0377	M0237		
		1:1		10		M0113	M0247				
1:2		10	M0113	M0247			M0237				
1:5		10	M0113	M0247		M0377	M0237	M0132	M0289		
1:3		10	M0113	M0247		M0377	M0237				
M0237	1:1	10	Back	M0467	M0289						
	1:3	10		M0467	M0289	M0402	M0377				
	1:5	10		M0467	M0289	M0402	M0377	M0132	M0247		
	1:2	10		M0467	M0289	M0402					
	1:1	7		M0467	M0289						
	1:3	7		M0467	M0289	M0402	M0377				
	1:5	7		M0467	M0289	M0402	M0377	M0132	M0247		
	1:2	7		M0467	M0289	M0402					
	M0132	1:1		10	Back	M0113	M0247				
1:3		10	M0113	M0247		M0402	M0377				
1:5		10	M0113	M0247		M0402	M0377	M0289	M0237		
1:2		10	M0113	M0247			M0377				
1:1		7	M0113	M0247							
1:3		7	M0113	M0247		M0402	M0377				
1:5		7	M0113	M0247		M0402	M0377	M0289	M0237		
1:2		7	M0113	M0247			M0377				

共有個体数条件および強化量条件の実施順序の効果や、実験室の入口から見て奥の餌場・手前の餌場といった、餌場の位置に対する偏好を考慮し、これらの条件について個体間でカウンターバランスを行った。条件実施順序を表1に示す。表1の、“Variable alternative”は変動餌場の位置を示し、“Front/Back”はそれぞれ実験室入口からみて手前/奥を示している。実験は、表1に記載された順番で実施された。

1セッションは80試行からなり、最初の8試行は強制選択、後続する72試行は自由選択とした。1試行の所要時間は、試行間間隔(10秒)+試行開始から餌場への移動までの時間+強化期(10秒)からなった(図2)。

自由選択試行では、10秒の試行間間隔(図2の“ITI”)の後、試行が開始すると、試行ランプおよび各餌場で赤または緑の弁別刺激ランプが点灯した(図2の“Choice”)。実験個

体がどちらか一方の餌場に移動することで床下のスイッチが閉じると、1選択反応として計測された。その後、強化期(図2の“Reinforcement period”)が開始し、その餌場に設置された自動給餌装置が駆動し、フィーダランプが点灯して強化量条件で定められた数の餌ペレットが呈示された。自動給餌装置が駆動を開始してから10秒後にすべてのランプが消えて強化期が終了し、1試行が終了した。

一方、強制選択試行では、試行が開始すると、試行ランプと2つの餌場のうちの一方の弁別刺激ランプのみが点灯し、実験個体は、その餌場しか選択できなかった。それ以外の手続きは自由選択試行と同様であった。強制選択試行において、どちらの餌場が選択可能であるかは、8試行を通して、無作為な順序で等頻度とした。

実験セッション開始から3,600秒経過しても80試行に至らない場合には、実験セッションを終了した。1セッションに含まれる試行数が49未満のものは分析の対象外とした。実験セッションは、各実験個体について、1日1セッション実施した。

各実験条件で実施されるセッション数は、次に述べる安定基準に基づき、実験個体ごとに判断した。自由選択試行における固定餌場の選択率(固定餌場の選択反応数÷総選択反応数)が安定基準の対象として用いられた。1条件あたり最低14セッション行い、最終6セッション

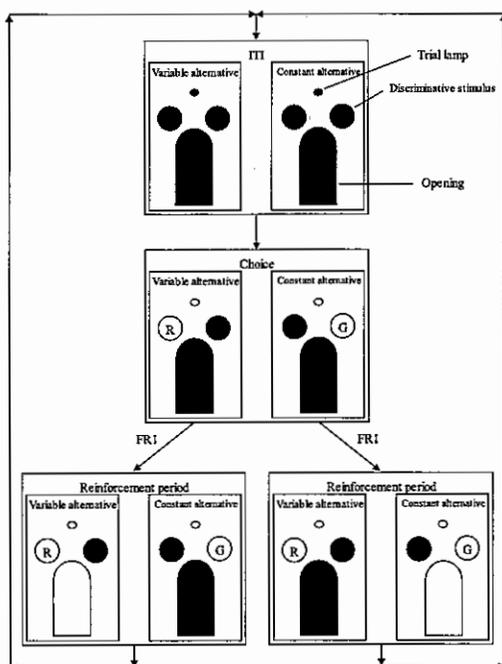


図2 1試行の流れ。図は各餌場に面した正面壁の模式図である。RまたはGは呈示されるランプの色を示し、Rは赤、Gは緑である。被験体は開口部(Opening)から餌場に接近することが可能であった。

について、連続する2セッションごとに固定餌場の選択率の平均値を算出し、これら3つの平均値の差が互いに0.05以内であり、かつ、上昇傾向・下降傾向のいずれにもなれば、反応が安定したとみなした。この安定基準を満たせば次の条件へ移行し、満たさない場合は最大25セッションまで同一の実験条件を継続した。

結果

7ペレット条件では、M0402の共有個体数比1:1条件と、M0132の共有個体数比1:5条件を除いたすべての条件において、反応は安定基準を満たした。10ペレット条件では、M0377、M0237、およびM0132について、それぞれ1条件ずつ安定基準を満たさない条件があったものの、それ以外の条件では安定基準を満たした。

図3は各条件最終6セッションにおける選択反応比の群平均値を算出し、その対数変換値に(5)式の一般対応法則を適用したものである。(5)式において、数字の1は固定餌場、2は変動餌場を示すものとした。横軸は共有個体数比の対数を、縦軸は平均選択反応比の対数を表しており、破線は、完全対応を表す。また、図3には、データ点に直線回帰を行った結果として得られた回帰式と決定係数(r^2)を示した。

決定係数の値は、7ペレット条件と10ペレット条件のそれぞれについて、0.82と0.86と高い値を示した。この結果から、(5)式の一般対応法則は、他個体と餌場を共有する状況における選択行動をうまく記述できると言える。

次に、回帰直線の傾きは、7ペレット条件で-2.67、10ペレット条件で-2.35であり、どちらの条件においても過大対応であることがわかる。この事実は、ハトが共有個体数に敏感に反応した(共有個体数が増加すると、共有個体数よりも高い選択比で固定餌場を選択した)ことを示している。一方、絶対強化量の効果については、 t 検定を用いて、強化量条件間で、直線の傾きを比較したところ、有意な差は見られなかった($t(3)=-1.00, p=0.39, n. s.$)。

考察

図3より、共有個体数の異なる2つの餌場間の選択が、(5)式で示した一般対応法則によっ

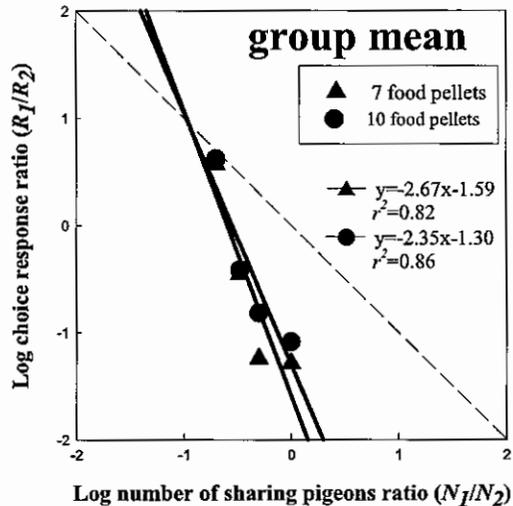


図3 各条件最終6セッションにおける選択反応比の群平均値に対して、一般対応法則を適用した結果。▲が7ペレット条件、●が10ペレット条件のデータを示す。破線は、完全対応を示す。

て高い信頼性をもって記述できることが明らかになった。この事実は、一般対応法則が、餌場の共有という社会的場面での選択行動に適用できることを示しており、社会場面における動物の選択行動が、強化率、強化量、強化遅延を要因とした場合と同様に、ベキ関数で記述できることを示している。

しかしながら、本実験で得られた感度の値は、先行研究と必ずしも一致しない。一般対応法則を用いて強化量や強化遅延時間などの次元について感度を推定した場合には過小対応が見られることが多く、過大対応が生起することは稀である。例えば、Ito (1985) が報告した強化量比に対する感度は、最も高い個体でも 1.8 前後である。一方、本研究では、いずれの強化量条件においても過大対応が見られたことと、感度の絶対値が 2.0 を上回ったことから、他の次元に比べて共有個体数次元に対して敏感と言える。また、本研究で用いた選択手続きが、刺激呈示とそれに対する反応を単位とする試行によって区切られる試行反応場面 (伊藤, 2005) であり、先行研究で使用された並立スケジュールや並立連鎖スケジュールなどのような、被験体が自由に反応できる自由オペラント (free operant) 場面とは異なっていることも、先行研究と異なる結果が得られた原因として考えられる。このほか、本研究では、測定対象とされた反応が、選択行動研究で頻繁に用いられるキーつき反応ではなく、餌場への移動反応であったことにより、選択肢間の弁別が促進されたために、先行研究よりも高い感度値が得られた可能性がある。

本実験では、共有個体数比に対する感度について、2つの強化量条件間で比較を行ったが、有意差は認められなかった。このことは、ある強化量条件で測定された共有個体数比への感度が、別の強化量条件においても変化しないこと、すなわち、強化量と共有個体数は、選択行動に対して独立に影響する要因であることを示唆している。しかしながら、本実験で使用した強化量条件は、7ペレットと10ペレットであり、条件間の違いは1.43倍と小さかった。このため、実験2では、強化量条件を4ペレットと10ペレットの2条件とすることで、強化量を条件間で2.5倍に変化させ、絶対強化量の効果を検討した。

実験 2

目的

実験1と同様の手続きを用いて、共有される餌場間の選択行動を測定する。強化量条件を、餌ペレット4個と10個とし、実験1よりも強化量を条件間で大きく変化させることで、共有個体数比に対する感度に及ぼす絶対強化量の効果を検討した。

方法

被験体：実験1とは異なる8個体からなる雄のハト集団を用いた。個体番号はそれぞれ、

M9401、M9417、M9426、M9463、M9604、M9696、M0361、M0382であった。実験1と同様の方法によって社会的順位を測定した。結果は、上位からM9463、M0361、M9401、M0382、M9417、M9426、M9696、M9604であった。いずれもキーつつきを反応として用いた実験経験はあったが、本実験のような移動反応を用いた実験は未経験であった。

実験装置：実験1と同じ装置を使用した。

手続き：8個体を対象に社会的順位の測定を行い、その後、移動反応を形成するための予備訓練を個別に実施した。予備訓練終了後、本実験へと移行した。社会的順位測定の手続きは実験1と同様であったので説明を省略する。

予備訓練：各被験体が2つの餌場を同程度の割合で選択するように移動反応形成を行った。1試行は、10秒の試行間隔の後、2つの餌場のうちの一方の試行ランプが点灯することで開始した。試行ランプ点灯後、3秒以内に被験体はその餌場に移動すれば、フィーダランプの点灯とともに自動給餌装置から1ペレットが呈示され、1試行が終了した。試行ランプ点灯から3秒以内に被験体はその餌場へ移動しなかった場合には、試行ランプが消灯し、10秒間の試行間隔が挿入された後、次試行が開始した。

1セッションは100試行からなり、各試行において、どちらの餌場で強化されるかは、セッションを通して、無作為な順序で等頻度とした。訓練は、各被験体につき、1日1セッション行った。いずれの個体も、1セッションの時間が700秒を下回ったならば、移動反応が十分に学習されていると判断し、本実験へと移行した。

本実験：本実験における手続きは、強化量条件を4個および10個の2条件とした点を除き、実験1と同様であった。4ペレット条件では、どちらの餌場においても4個の餌ペレットが呈示され、10ペレット条件では、どちらの餌場においても10個の餌ペレットが呈示された。社会的順位が8個体の中で、3~6位であったM9401、M0382、M9417、M9426の4個体を実験個体として使用し、社会的順位が1位、2位、7位、8位の個体（M9463、M0361、M9696、M9604）および実験個体の一部を共有個体として使用した。実験条件の実施順序を表2に示す。

結果

4ペレット条件において、M9417の共有個体数比1:3条件を実施中に、固定餌場の共有個体であったM9463が死亡したため、M9417の4ペレット条件では、共有個体数比1:1条件と1:3条件のデータを用いて分析を行った。これ以外では、M9401の共有個体数比1:5条件以外の全ての条件で安定基準を満たした。一方、10ペレット条件では、M0382の共有個体数比1:5条件とM9417の共有個体数比1:2条件以外の全ての条件で安定基準を満たした。

図4は、各条件最終6セッションにおける選択反応比の群平均値を算出し、その対数変換値に(5)式の一般対応法則を適用したものである。図3と同様に、横軸は共有個体数比の対数を、縦軸は平均選択反応比の対数を表しており、破線は完全対応を表している。ただし、M0382

表2 実験2における条件実施順序

Subject	Condition	Amount	Variable alternative	Other pigeons at each alternative					
				Constant	Variable A	Variable D	Variable E	Variable B	Variable C
M9401	1:1	4	Front	M9463	M9604				
	1:2	4		M9463	M9604	M9426			
	1:5	4		M9463	M9604	M9426	M9417	M9696	M0382
	1:3	4		M9463	M9604	M9426	M9417		
	1:1	10		M9463	M9604				
	1:2	10		M9463	M9604	M9426			
	1:5	10		M9463	M9604	M9426	M9417	M9696	M0382
	1:3	10		M9463	M9604	M9426	M9417		
M0382	1:1	4	Front	M0361	M9696				
	1:2	4		M0361	M9696		M9417		
	1:5	4		M0361	M9696	M9401	M9417	M9426	M9604
	1:3	4		M0361	M9696	M9401	M9417		
	1:1	10		M0361	M9696				
	1:2	10		M0361	M9696		M9417		
	1:5	10		M0361	M9696	M9401	M9417	M9426	M9604
	1:3	10		M0361	M9696	M9401	M9417		
M9417	1:1	10	Back	M9463	M9604				
	1:3	10		M9463	M9604	M0382	M9401		
	1:2	10		M9463	M9604	M0382			
	1:5	10		M9463	M9604	M0382	M9401	M9426	M9696
	1:1	4		M9463	M9604				
	1:3	4		M9463	M9604	M0382	M9401		
	1:2	4		M9463	M9604	M0382			
	1:5	4		M9463	M9604	M0382	M9401	M9426	M9696
M9426	1:1	10	Back	M0361	M9696				
	1:3	10		M0361	M9696	M0382	M9401		
	1:2	10		M0361	M9696		M9401		
	1:5	10		M0361	M9696	M0382	M9401	M9604	M9417
	1:1	4		M0361	M9696				
	1:3	4		M0361	M9696	M0382	M9401		
	1:2	4		M0361	M9696		M9401		
	1:5	4		M0361	M9696	M0382	M9401	M9604	M9417

の10ペレット条件では、共有個体数が増えるにつれて、固定餌場の選択率が低下し、M9426の4ペレット条件では、すべての共有個体数条件で、固定餌場への排他的な選択が見られた。これらの反応傾向は、他の条件とは著しく異なっていたために外れ値とみなし、図4には、この2条件の結果を含めなかった。

図4には、データ点に直線回帰を行った結果として得られた回帰式と決定係数を示した。決定係数の値は、4ペレット条件と10ペレット条件のそれぞれについて、0.71と0.95であった。回帰直線は、4ペレット条件では中程度の当てはまりであるが、10ペレット条

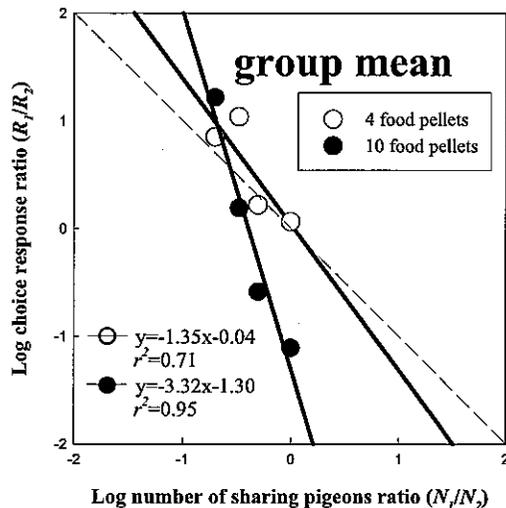


図4 各条件最終6セッションにおける選択反応比の群平均値に対して、一般対応法則を適用した結果。○が4ペレット条件、●が10ペレット条件のデータを示す。破線は完全対応を示す。

件では良い当てはまりを示した。

回帰直線の傾きは、4ペレット条件で-1.35、10ペレット条件で-3.32となり、実験1と同様に、どちらの強化量条件においても過大対応となった。傾きの値は、4ペレット条件より10ペレット条件の方が急であるが、 t 検定の結果、これら間に有意差は見られなかった ($t(2) = 3.05, p = 0.09, n. s.$)。

考察

実験2では、実験1とは異なるハトを対象に、異なる強化量条件を用いて、他個体が存在する餌場間の選択が、一般対応法則により記述可能か否かを検討した。その結果、(5)式の一般対応法則のデータへの当てはまりは比較的良好であった。このことから、(5)式はハトの餌場共有場面での選択行動の数理モデルとして妥当であると考えられる。また、回帰直線の傾きは、過大対応を示していた。この結果は、実験1と同様に、ハトの共有個体数に対する感度が高いことを示している。上述の2つの結果はいずれも実験1と同様であることから、実験1で見出された現象の一般性が確認されたと言える。

また、実験2では、実験1よりも条件間の差が大きくなるように強化量条件を設定し、絶対強化量が共有個体数比への感度に及ぼす効果を検討した。その結果、実験1とは異なり、強化量の増加に伴って共有個体数比への感度が上昇したが、統計的有意差は得られなかった。この結果は、共有餌場間の選択に対して、絶対強化量は効果を持たないことを示唆している。しかしながら、強化量条件の差が大きい実験2の方が、条件間における傾きの差は大きいことから、強化量条件間の差をさらに大きくすると、効果が見られる可能性がある。

総合考察

本研究では、2つの実験を通して、強化量は等しいが共有個体数の異なる餌場間におけるハトの選択行動が、一般対応法則によってどの程度うまく記述できるのかという問題と、一般対応法則の適用により推定される共有個体数比に対する感度が、絶対強化量によって影響されるか否かという問題を検討した。実験1では、強化量を7ペレットと10ペレットの2条件を設定し、これらの問題を検討した。選択比データに(5)式の一般対応法則を適用した結果、どちらの強化量条件においても当てはまりは良く、共有個体数次元において一般対応法則が成立することが示された。一方、強化量条件間で、共有個体数比に対する感度に統計的有意差はなく、絶対強化量の効果は見られなかった。

実験1では、設定した強化量条件間の差が小さかった可能性が考えられたため、実験2では、4ペレットと10ペレットの2条件を設定した。その結果、共有個体数比に対する感度は、10ペレット条件の方が4ペレット条件よりも高くなったが、統計的に有意な違いは見られなかつ

た。

10ペレット条件は、実験1と実験2の両方で実施しているので、ここでは、これらのデータをまとめ、2つの実験で実施した3つの強化量条件（4ペレット、7ペレット、10ペレット）の結果を比較することで、絶対強化量の増加に伴う共有個体数比への感度の変化を検討する。図5は、3つの強化量条件について、選択反応比の群平均値を示したものである。ただし、4ペレット条件はM9401、M0382、M9417の3個体の平均値、7ペレット条件はM0377、M0402、M0237、M0132の4個体の平均値、10ペレット条件はM0377、M0402、M0237、M0132、M9401、M9417、M9426の7個体の平均値である。*t*検定の結果、各直線の傾きの間には有意な差は見られ

なかった。しかしながら、図5から、強化量が増えるにしたがって直線の傾きが急になっていることがわかる。このことは、絶対強化量が増えると、共有個体数比に対する感度が強まることを示唆している。

4ペレットと7ペレット、7ペレットと10ペレットは、いずれも3ペレットの差であるにも関わらず、図5において、7ペレット条件と10ペレット条件の間では、傾きにほとんど差が無いのに対し、4ペレット条件の結果は、他の2条件に比べて緩やかな傾きを示している。この事実は、刺激量が増加するに伴い、それに起因する感覚量の増加が減少することを示したフェヒナーの法則（Fechner's law）と整合的である。

Grace (1999) は、異なる強化遅延時間の間の選択場面において、絶対強化量の効果を検討した結果、有意な効果は見られなかった。選択場面が異なっているが、このGrace (1999)の結果は、本研究の結果と類似している。Grace (1999)の手続きでは、強化量条件間における強化量の違いが2.5倍であった。一方、本研究における、強化量条件間の最も大きな差は、4ペレット条件と10ペレット条件の間の差であり、それは2.5倍であった。従って、今後の研究では、条件間で2.5倍よりも大きい違いが出るように強化量条件を設定して、絶対強化量の効果を検討する必要がある。

本研究で用いた選択場面は、他個体の存在する餌場間の選択場面であり、このような社会的場面における個体の選択行動に対して一般対応法則を適用した先行研究はない。しかしながら、本研究は、生物学の一分野である行動生態学（behavioral ecology）で研究されている理想自

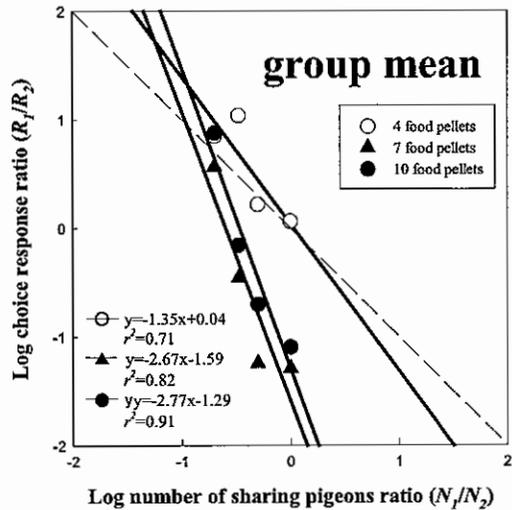


図5 各条件最終6セッションにおける選択反応比の群平均値に対して、一般対応法則を適用した結果。○が4ペレット条件、▲が7ペレット条件、●が10ペレット条件のデータを示す。破線は完全対応を示す。

由分布理論 (ideal-free distribution theory) に対して示唆を与えるものと思われる。以下では、本研究と理想自由分布理論の関係について論じ、今後の展望としたい。

理想自由分布理論は、餌場が複数ある状況において、各餌場に存在する資源（餌あるいは水など）量の比と、各餌場に分布する個体数の比が一致することを予測する。例えば、餌場が2カ所あるとし、資源が3:1の比で各餌場に存在している場合、動物の集団も3:1の個体数比で各餌場に分布することが予測される。理想自由分布理論は、動物が、各餌場についての完全な情報を持っていること、餌場間をコストなしに移動できること、同じ餌場で採餌を行う個体間で競争力に差が無いこと等を前提としている。しかしながら、自然場面ではこれらの前提がすべて満たされることは少なく、予測からの逸脱が生じる。この予測からの逸脱を記述するための数理モデルとして、以下の一般理想分布理論が提案されている (Baum & Kraft, 1998; Fagen, 1987; 山口・伊藤, 2006)。

$$\frac{F_1}{F_2} = b \left(\frac{A_1}{A_2} \right)^e \quad (6)$$

ただし、 F は餌場に分布する個体数、 A は餌場に存在する資源量、添字は餌場、 e は資源量比に対する動物集団の感度、 b は資源量比とは独立した餌場への嗜好を表す。(6)式と、(5)式の一般対応法則は、「餌場に分布する個体数比」と、「個体の餌場選択比」というように従属変数は異なっているが、複数の個体が餌場に存在するという極めて類似した選択場面における選択行動を予測する。

Baum & Kraft (1998) は、約30個体からなるハト集団を対象に、2種類の餌場間における集団の分布を測定し、(6)式を適用した。この研究では、各餌場に存在する資源量は、単位時間あたりの餌の呈示頻度によって定義され、餌場の広さを操作することで、個体間の相互作用の効果が検討された。その結果、どの条件においても、資源量比に対する集団の分布の感度((6)式の e)は、1.0よりも低い値となり、過小対応が見られた。Baum & Kraft (1998) は、各個体の選択行動についても観察しており、個体レベルでの選択行動の集積は、集団の分布とは必ずしも一致しないと結論した。しかしながら、彼らは、餌場間における資源量や共有個体数の違いに対する感度を個別に測定しておらず、各個体の集団内における社会的順位についても把握していないため、個体の選択行動から集団分布を厳密に予測することは難しいだろう。

このような理想自由分布理論で扱われる問題は、本研究で用いた集団用実験装置や一般対応法則を用いることで、定量的に検討可能と思われる。ただし、Baum & Kraft (1998) の選択場面は、「資源量」と「共有個体数」の両方において異なる餌場によって構成されているため、このような選択場面での各個体の選択行動を予測するには、(5)式の一般対応法則を、強化量次元に拡張した以下の(7)式を用いる必要がある。

$$\frac{R_1}{R_2} = b \left(\frac{A_1}{A_2} \right)^{s_A} \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^{s_N} \quad (7)$$

ただし、 A は餌場で得られる強化量（資源量）、 S_A は強化量比に対する感度を表す経験定数、 S_N は共有個体数比に対する感度を表す経験定数であり、その他の記号の意味は、(5) 式と同じである。本研究のように、餌場間で強化量が等しい場合 ($A_1 = A_2$)、(7) 式の両辺対数をとると (5) 式になる。(7) 式は、各餌場の選択が、 S_A と S_N の相対的關係によって決まることを予測する。強化量比と共有個体数比が等しい状況 ($A_1/A_2 = N_1/N_2$) では、 $S_A + S_N > 0$ の場合には、強化量が多いが共有個体数も多い餌場が選好され、 $S_A + S_N < 0$ の場合には、強化量は少ないが共有個体数も少ない餌場が選好され、 $S_A + S_N = 0$ の場合には、選好は無差別となることが予測される。(7) 式が、個体の選択行動をどの程度記述可能であるかを検討すること、さらに、記述可能な場合には、個別に測定された S_A と S_N の値に基づいて、動物集団の分布をどの程度の正確さで予測可能であることを明らかにすることは今後の課題である。それに際しては、本研究で試みたように、強化量と共有個体数の次元が独立であるか否かを確認する必要がある。各次元の絶対量が増加した場合に、もし他方の次元の感度が影響を受けるならば、次元間の関係は独立ではないことになる。その場合には、次元間の相互作用を考慮した数理モデルを新たに構築する必要がある。

また、各個体の集団内の社会的順位が選択に及ぼす効果についても今後の研究で明らかにする必要がある。本研究では、BBS 法を用いて、餌を巡る競争の結果に基づいて社会的順位を決定した (山口他, 2008)。従って、本研究では測定できなかったが、社会的順位の高い個体ほど、より多くの餌を摂取できたと考えることができる。このことは、餌場に存在する他個体の数に加え、集団内での社会的順位が選択に影響することを示唆している。本研究では示していないが、BBS 法により算出される社会的順位の尺度得点の尺度水準は、間隔尺度であるため、(7) 式のような数理モデルに社会的順位の尺度得点を組み込むことにより、社会的順位が選択に及ぼす影響を示すことができるかもしれない。

これらの問題を解決することにより、他個体と資源を争うような社会的場面における動物の選択行動を記述し、予測できる数理モデルが構築できると思われる。

引用文献

- Alsop, B., & Elliffe, D. 1988 Concurrent-schedule performance: Effects of relative and overall reinforcer rate. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 49, pp. 21-36.
- Baum, W. M. 1974 On two types of deviation from the matching law: Bias and undermatching. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 22, pp. 231-242.
- Baum, W. M. 1979 Matching, undermatching, and overmatching in studies of choice. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 32, pp. 269-281.
- Baum, W. M. & Kraft, J. R. 1998 Group choice: Competition, travel, and the ideal free distribution. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 69, pp. 227-245.
- Davison, M. 1988 Concurrent schedules: Interaction of reinforcer frequency and reinforcer duration. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 49, pp. 339-349.
- Fagen, R. 1987 A generalized habitat matching rule. *Evolutionary Ecology*, 1, pp. 5-10.
- Fantino, E., Squires, N., Delbrück, N., & Peterson, C. 1972 Choice behavior and the accessibility of

- the reinforcer. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 18, pp. 35-43.
- Giraldeau, L.-A., & Caraco, T. 2000 *Social foraging theory*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Grace, R. C. 1999 The matching law and amount-dependent exponential discounting as accounts of self-control choice. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 71, pp. 27-44.
- Herrnstein, R. J. 1961 Relative and absolute strength of response as a function of frequency of reinforcement. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 4, pp. 267-272.
- Ito, M. 1985 Choice and amount of reinforcement in rats. *Learning and Motivation*, 16, pp. 95-108.
- 伊藤正人 2005 『行動と学習の心理学—日常生活を理解する』, 昭和堂
- 伊藤正人 2009 「マッチング関数を使う」坂上貴之 (編) 『意思決定と経済の心理学』, 朝倉書店
- Jameson, K. A., Appleby, M. C., & Freeman, L. C. 1999 Finding an appropriate order for a hierarchy based on probabilistic dominance. *Animal Behaviour*, 57, pp. 991-998.
- Omino, T., & Ito, M. 1993 Choice and delay of reinforcement: Effects of terminal-link stimulus and response conditions. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 59, pp. 361-371.
- Thurstone, L. L. 1927 A law of comparative judgment. *Psychological Review*, 34, pp. 273-286.
- 内田善久・伊藤正人 2000 ラットの餌選択における相対強化率と全体強化率 動物心理学研究, 50, pp. 49-59.
- 山口哲生・伊藤正人 2006 理想自由分布理論に基づく個体分布の実験的検討—絶対報酬量と集団サイズの効果— 心理学研究, 76, pp. 547-553.
- 山口哲生・伊藤正人・佐伯大輔・大西佑佳 2008 ハト集団における社会的順位の尺度化 動物心理学研究, 58, pp. 133-138.

【2012年9月6日受付, 10月31日受理】

An application of generalized matching law to social situations: An analysis of choice behavior between feeding sites shared with others

Shoko KITANO, Masato ITO, Daisuke SAEKI,
& Tetsuo YAMAGUCHI

The present study measured pigeons' choices between two feeding sites that should be shared with other pigeons, and applied a generalized matching law to choice data to extend the applicability of it to social situations. Further, the absolute reinforcer-magnitude effect was examined by manipulating reinforcer magnitudes between conditions where they were equal between the two feeding sites. In EXPERIMENT 1, numbers of other pigeons at the two feeding sites were varied from 1 pigeon and 1 pigeon to 1 pigeon and 5 pigeons across 4 conditions. Reinforcer-magnitude was varied between 7 food pellets and 10 food pellets conditions. In EXPERIMENT 2, 4 and 10 food pellets conditions were conducted under the same conditions of number of other pigeons as in EXPERIMENT 1. As a result, for both experiments, the generalized matching law was found to well describe group means of the choice data, and significant absolute reinforcer-magnitude effects were not obtained. These results show that the generalized matching law can be applied to animal choice behavior in social situations. Implications of the generalized matching law proposed in the present study for the ideal-free distribution theory were discussed.