

第十章 餌の選び方と探し方¹

生物の生態・行動が効率よく機能するように設計されている。生物のとり挙動は、様々な可能性（戦略）の中で生涯に渡る繁殖成功を最大にする適応戦略だとみなす。最適制御理論・統計的決定理論・ゲーム理論→「進化生態学」

10.1 餌の選び方

「餌選択モデル」

i : i 種の餌: $i = 1, 2, \dots, n$ 種類

λ : λ_i の確率で出会う

g_i : i 種の餌から g_i カロリー得られる

h_i : 餌を捕まえて処理し再び次の餌探しを始められるまでの処理時間

p_i : 捕食者が i 種の餌に出会ったときに食べる確率（処理に時間のかかる割に余り栄養のない餌は無視した方がよいのかもしれない）

「餌を探し、それに会って判断し、(もし食べるなら)処理する」というサイクルを多数回繰り返す場合（補食速度の長時間平均 = 1 サイクル辺りに得られるカロリーの平均を 1 サイクルにかかる平均時間で割った値に等しい）

→ (10.1)

$$r(p_1, p_2, \dots, p_n) = \frac{\sum_i \lambda_i p_i g_i / \sum_i \lambda_i}{1 / \sum_i \lambda_i + \sum_i \lambda_i p_i h_i / \sum_i \lambda_i}$$

補食速度の長時間平均 = 【一つの餌の平均カロリー利用】 / 【一つの餌を処理してから次の餌を見つけるまでの平均時間】 + 【一つの餌の平均処理時間】

(10.1) → (10.2) 式の計算の導出 (演習 10.1)

$$\frac{\partial r}{\partial p_k} = \left\{ \lambda_k h_k / (1 + \sum_i \lambda_i h_i p_i) \right\} \left\{ g_k / h_k - r \right\}$$

(導出: 手書き)

P_i は確率だから $0 \leq p_i \leq 1$ の範囲

したがって (10.2) 式から $g_k/h_k > r$ となる大きい餌の種類は確実に食べられ ($p_i = 1$), r より小さな餌は確実に避けられる。よって (10.3) 式が導出される

$$g_1/h_1 > g_2/h_2 > \dots > g_k/h_k > r^* > g_{k+1}/h_{k+1} > g_n/h_n$$

g_i/h_i が大きい物かものから k 種類の餌が食べられ、残り $i = k+1, \dots, n$

は無視される。 r^* は最適行動において無視されるべき餌の量にはよらないため、 $k+1$ 番目の餌種が利用されるかどうかは、それ自体の g_{k+1}/h_{k+1} とそれより好まれる k 種類の餌の量によって決まり、自らの量 λ_{k+1} は全く関与しないことになる。もっとも好まれる第一種の餌が十分にあると、他の餌は全て無視される。第一種の餌が少ないときには第二種も食べられるが、それが十分にあると第三種以下は無視される。第一種・第二種とも少ない

¹ 木村 雄一 (京都大学大学院経済学研究科博士後期課程, 現代経済学・経済学史専攻, 八木・根井研究室所属) yuichik@wg7.so-net.ne.jp

と第三種も食べられるようになる(演習 10.2 → 餌の種類が二種類の場合,「1 だけを食べる」「両方を食べる」のそれぞれが、より高い長時間平均補食速度をもたらす、「2 だけを食べる」は最適戦略とはならない→「一方だけ」から「両方とも」への餌選択行動の切り替えは最適解の示すようなものではなくて、よりなだらか)

10.2 どうして生物が適応的行動をとると考えるのか

効率よく餌を探し出す能力→「繁殖成功度」

採餌行動の差異が個体の持つ遺伝子の違い→進化の過程で「効率の高い行動を取らせる」遺伝子ばかり残る,餌を効率よく探し出す遺伝子残る。「突然変異」によって生じる個体が競合してもやはり,もっとも効率の良い採餌行動を取らせるような遺伝子が残る。

だからこそ,「最適化問題」「戦略」~「経済学」との関連性(必要性)

10.3 採餌場所の決定

今までの餌選択モデルでは、全ての餌が完全に混ざっていて、捕食者はそれあの餌にランダムに出会うと仮定。ランダムに混ざり合わないとき,たとえば,二種の昆虫のうち,森と草原にそれぞれ多いとすれば,これらをともに利用する鳥は,森と草原のどちらで餌探しをするのかを決定する必要が生じる。つまり両方の餌を同時に狙わない。

(10.4)式

$$\lambda_1 g_1 / (1 + h_1 \lambda_1) > \lambda_2 g_2 / (1 + h_2 \lambda_2)$$

「ある餌の密度が十分に高くなると、その餌が急に食べ出される」

「先の餌選択モデルの結論:ある餌が食べられるかどうかは,それ自体の密度によらない」とは全く異なる。」

10.4 餌の探し方:パッチ使用

「パッチ使用モデル」

「一つのパッチの中で餌を探し続けていると,餌の数が減少して補食速度は次第に落ちてくるので,適当なときに次のパッチへ移る」→図 10.3

それぞれのパッチでは,すっかり餌がなくなるまで探すべきだろうか。それとも早く切り上げて次のパッチに移るべきか?

n 種類のパッチ:餌となる昆虫の量や見つかりやすさの異なるパッチ

$G_i(t_i)$:探索時間 t_i の増加関数:一つのパッチに滞在して獲得できる餌の量:形状は上に凸→図 10.4,餌がたくさんある豊かなパッチでは, $G_i(t_i)$ は速く増加する。

パッチを渡り歩いて長い時間の間に食べられる餌の速度は,餌選択モデルでの餌をパッチに置き換えることによって考えることができる。

(10.5)

$$r(p_1, p_2, \dots, p_n) = \frac{\sum_i \lambda_i G_i(t_i) / \sum_i \lambda_i}{1 / \sum_i \lambda_i + \sum_i \lambda_i t_i / \sum_i \lambda_i}$$

10.5 → 10.6a), 10.6b) (演習 10.3)

$$dG_i(t_i^*)/dt = r^* \quad i=1,2,\dots,k \quad (10.6a)$$

$$dG_i(0)/dt < r^* \quad i=k+1,\dots,n \quad (10.6b)$$

$$r^* = r(t_1, \dots, t_n)$$

(簡単な導出)

図 10.4 (演習 10.4)

質の悪いパッチでは、すぐに餌が無くなってしまうので、早く切り上げることになり、たくさんの餌がいた質の良いパッチで、より長く餌探しをする結果になる。

「あきらめ時間」

経済学では「限界値」「限界値定理」。

図 10.5 を参考にすること。

「餌選択」「餌場の選択」「パッチ使用」→「環境の変化の学習」をモデル化できる

10.5 収量の変動の効果

経済学で言う「リスク回避的」行動を生物が取る→「穀物などの種子を食べる鳥が冬に群れをなしていること」: 図 10.6 を参考にすること。

演習 10.7: 問題がそのまま解答。

10.6 様々な発展

後継の次章にて扱う

残りの演習問題

演習 10.5

なわばり問題

演習 10.6

一次回帰: 最小二乗法

数理生物学と経済学