

令和 4 年 6 月 16 日現在

機関番号：62603

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2018～2021

課題番号：17K18718

研究課題名（和文）社会的状況における学習戦略の統計モデリング：認知の可塑性の外縁を探る

研究課題名（英文）Statistical modeling of learning strategies in social situations: Exploring the outer edges of cognitive plasticity

研究代表者

川森 愛（Kawamori, Ai）

統計数理研究所・リスク解析戦略研究センター・外来研究員

研究者番号：50648467

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究はニワトリ雛の採餌行動データを説明するため、状態空間モデル技術を応用した統計モデルを作成した。その際、認知モデルを複数設定し行動への当てはまりを比較することで、動物内部の認知機構の探究を試みた。その結果、ニワトリ雛がどのような計算過程を経て行動を表出しているか、その方向性を示すことができた。また、認知モデルの当てはまりには個体差があったことから、個体によって行動戦略に違いがあることも示唆された。次に競合採餌状況下での行動と認知の変化を検証したところ、ニワトリ雛がリーダーとフォロワーの役割を入れ替えながら採餌している可能性が示された。このことは今後のモデル作成の指針となる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

言語を持たない動物が何を考えて行動を決定するのか、その生々しい思考過程を知ることは容易ではない。しかし、思考の産物である行動を説明することによって、ある程度窺い知ることができる。時系列解析の統計技術を用いることによって、行動の裏に隠れた認知を炙り出すことは可能であると考えられるが、そのような行動解析の問題意識を持って適用された研究はこれまでほとんどなかった。本研究が開発した手法によって、社会性も含めた高次行動の認知研究への道筋が開かれたと考える。

研究成果の概要（英文）：In this study, we developed a statistical model based on state-space modeling techniques to explain the foraging behavior data of chicks. We attempted to explore the internal cognitive mechanisms of the animals by comparing multiple cognitive models and comparing their fits to the behavior. As a result, we were able to show the direction of the computational process by which chicks express their behavior, and the differences in the fit of the cognitive models among individuals suggested that behavioral strategies differ among individuals. Next, we examined behavioral and cognitive changes under competitive foraging conditions, and found that chicks may switch roles between leader and follower while foraging. This will be a guideline for future modeling.

研究分野：動物認知

キーワード：認知モデル 状態空間モデル ニワトリ雛 採餌行動 競争採餌

### 1. 研究開始当初の背景

長期利益率の最大化を目指す採餌において、報酬量が確率的に変動する場合は期待値に基づいて選択を行うことが最善である。しかしながら、動物の選択は確率的変動を避ける方向に「歪んで」いる。このことは、進化的観点を導入することで解釈が可能である。運悪く少ない報酬が続けば、個体は生命の危機に曝される。死亡してしまえば取り返しがつかないため、長期的に損をするとしてもリスクを回避し、確実な報酬を好むような認知形質が進化するのである。リスク回避の方向性は普遍的であるものの、その程度は動物種の生態条件によって異なる。見つけにくい小動物など(リスクの高い餌)を餌にする種は、ある程度リスクに寛容でなければやっけない。

階層ベイズモデルの技術を用いることで、さらに個体レベルの解析が可能となり、実験条件群間で学習方策に違いがあることを発見した。期待する報酬量からの誤差を計算して逐一修正する学習方策と、おおまかに獲得報酬量の積算だけを考える単純な学習方式があった時、前者の方が学習結果の分散は小さく、学習が長期間にわたる場合には精確な学習が可能となる。ニワトリ雛では報酬条件が厳しい(リスクが大きい)時ほど前者の学習方策を採用する傾向がみられた。厳しい条件ほど精確性が必要になるという点で、このような学習戦略は理解できる。これらのことから、学習を含む認知能力は環境条件に適応するため細やかに調整されると考えられる。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、学習能力の可塑性を調べ、種が持つ認知能力の外縁を明らかにすることであった。それはすなわち、どのような種類の学習方策を持ち、どのように使い分けるか、という学習戦略を調べることに他ならない。本研究では特に、種が持つ学習戦略をその機能と関連付けて明らかにすることを考えた。より具体的には、採餌行動をモデルケースとして用い、学習戦略と結びつく社会採餌戦略を明らかにするため、以下の3点について研究を遂行することを目標とした。(1)探索系列データを説明するための学習統計モデルを開発する。このモデルにより、各個体の学習及び探索パラメータ、各個体の経験が学習戦略に与える影響を明らかにする。また、学習戦略の時間発展についても検討する。(2)個体が採用する学習戦略と社会採餌戦略の関係を明らかにする。社会採餌戦略とは生産者かまたは略奪者であり、どちらを選ぶかによって適切な学習方策は異なると考えられる。社会採餌戦略に適した学習戦略を採用するかどうか調べる。(3)同一個体が社会採餌戦略を切り替える時、学習戦略もまた適切な方策に切り替わるかどうかを明らかにする。

### 3. 研究の方法

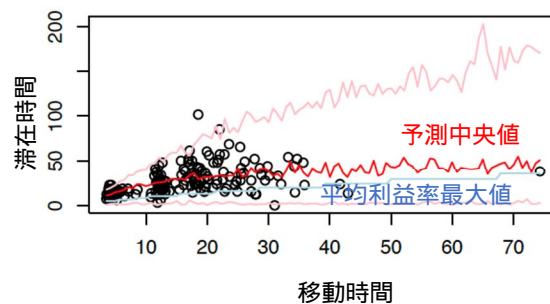
#### [データ]

行動実験として、両端に餌場があるI字型装置内を用い、ニワトリ雛に自由探索させた。餌場に到達すると自動的に粟が一粒ずつ供給されるが、供給までの待ち時間は指数関数的に増加させた。装置の足場はトレッドミルとなっており、移動距離を人為的に3種類の長さで操作した。このような餌環境における、ニワトリ雛が餌場に入ってから離脱するまでの「滞在時間」とその餌場に入るまでの「移動時間」の間の関係について、限界値定理(MVT; Charnov 1976)による予測を念頭におきながら実験的に検証した。ニワトリ雛の装置内座標(1次元データ)は超音波センサーにより自動的に、ニワトリ雛の行動とは無関係におよそ一定間隔で記録された。従ってデ

ータとしては、滞在開始時刻として餌供給開始時刻( $t$ )、餌場内での最終観測時刻( $l$ )および餌場外での最初期観測時刻( $m$ )の3つの時刻が得られた。また、離脱から次の滞在開始までの時間を移動時間( $t$ )として算出した。これらのデータを用いてヒヨコの離脱時刻を説明する確率的意思決定モデルを作成し、行動データとのフィッティングを調べた。

#### [行動データへのフィッティング比較]

作成したモデルに対しパラメータを最尤推定した上で、移動時間1点につき100回のシミュレーションを行うことにより、滞在時間の予測値を求めた。最も成功したモデルの予測結果を一例として図に示す。赤線が予測中央値、上下のピンク線が予測95%範囲、青線は最適滞在時間の近似値、黒丸は実際の行動データを示している。行動データは移動時間とともに分散が増大していく特徴がみられるが、このモデルはその様子をうまく捉えられている(図1)。

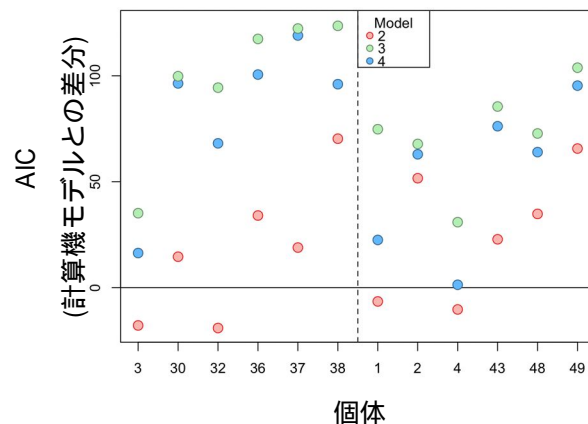


(図1) モデルに基づいた滞在時間予測

複数の認知アルゴリズムを仮定したモデルを作成し検証した結果、ニワトリ雛がMVT理論通りの最適滞在時間そのものを計算できている可能性は低いと判断できた。また、採餌効率を随時モニタリングするアルゴリズムにより滞在時間を決めると想定したモデルは全般的に、行動の分散を説明できる点で良いモデルであった。さらに、そのようなモデルの中でもどの変数を使用するかが重要であり、瞬間利益率のように認知的負荷が小さい指標を使用するモデルがニワトリ雛の行動にはよく当てはまった。

#### 4. 研究成果

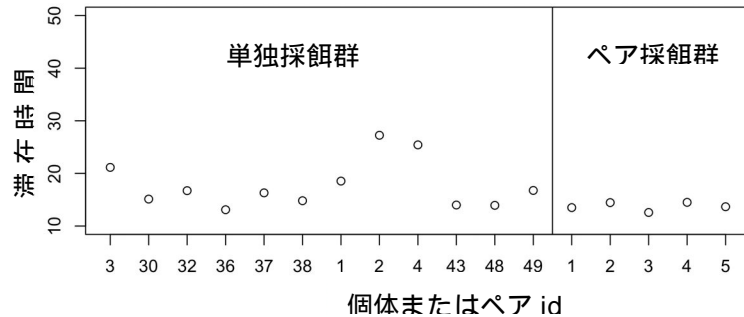
本研究の目的は動物がどのような学習方策を持つか調べることであった。モデルの当てはまりには個体差があり、個体によって行動戦略に違いがあることが示唆された(図2)。



(図2) 個体ごとの各モデルに対する当てはまり

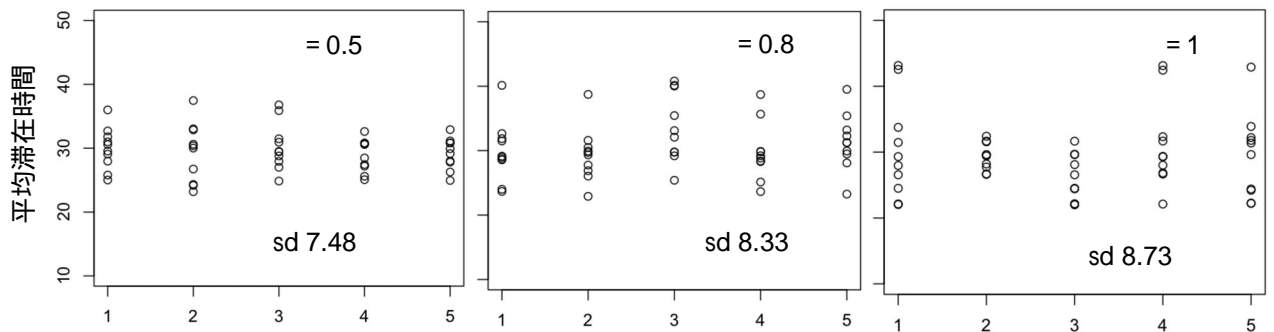
また、同じ行動実験を複数個体で同時に採餌する、社会的競争の文脈に変更した時、個体の行動戦略がどのように変わるかを調べた。行動においては採餌場への滞在時間平均値の個体間分

散が顕著に小さくなることを発見した(図3). もしも複数個体間でリーダー(生産者)とフォロワー(略奪者)の役割が固定化されていれば,滞在時間分布は誰かの分布に一致するので,単独個採餌群と異なることはない.そうではなく,ヒヨコは随時リーダーとフォロワーの役割を交代するために,滞在時間が複数個体間の混合分布として与えられるために分散が小さくなったと考えられる.



(図3) 個体ごとまたはペアごとの平均滞在時間

次に,前のモデルから推定されたパラメータを用いて架空の競争条件でシミュレーションし,リーダー/フォロワーの役割交代の頻度を変えることにより分散が小さくなることを確かめた(図4).これらのことから,ヒヨコは常にリーダーとフォロワーの役割を変えながら採餌していることが示唆された.これは野外での観察やゲーム理論の知見とも一致しており,最適性を高める行動であると考えられる.



(図4) 平均滞在時間のシミュレーション計算.  
横軸は擬似ペア id. は対象個体がペア個体をフォローする率であり,1 ならばリーダーとフォロワーが固定されている状態を意味する.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Toshiya Matsushima, Ai Kawamori and Yukiko Ogura	4. 巻 -
2. 論文標題 Construction of Roman roads toward Neuroeconomics	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Behavioral and Brain Sciences	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1017/S0140525X21000303	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 川森愛
2. 発表標題 観測不可能なプロセスを推定する：便利な統計モデリングー状態空間モデルー
3. 学会等名 新学術領域「超適応」ポジティブ感情分科会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川森愛，小倉有紀子，藤川雄基，松島俊也
2. 発表標題 二ワトリ雛の採餌行動解析 理論最適解から乖離する理由を探す
3. 学会等名 「予測モデリングの理論と応用」シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川森愛
2. 発表標題 数理モデルから乖離するヒヨコー統計モデルから探る脳内計算機構ー
3. 学会等名 「生物と数理生物：似ているようで異なる生物へのアプローチ」研究集会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松島俊也, 小倉有紀子, 藤川雄基, 川森愛
2. 発表標題 ヒヨコの餌パッチ利用行動の確率的意思決定モデル
3. 学会等名 日本動物行動学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 川森愛, 小倉有紀子, 藤川雄基, 松島俊也
2. 発表標題 最適採餌理論と行動の乖離：認知プロセス解明のための確率的意思決定モデル
3. 学会等名 日本生態学会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関