

短 報

最適採餌理論の情報探索行動への応用：
情報量の測定に関する提案

The Application of Optimal Foraging to Information Seeking Behavior :
Suggestion for Measuring Information Gain

安 形 輝, 金 宣 伶
Teru Agata Sun Young Kim

Résumé

There are some researches that try to apply the optimal foraging theory in ethology to information seeking behavior. The optimal foraging is the theory on foraging behavior of an animal and explains what range of prey type it searches and how long it stays in patches, in term of their foraging time and calorie gain. The former researches on the optimal foraging in information seeking and information retrieval measure information gain by the number of acquired documents. Those researches are inevitably limited only to the case where information gain can be measured by the number of documents and differences among documents are negligible. A method is proposed that measures information gain by user's relative estimation. This method extends the area of application of the optimal foraging theory to information seeking behavior.

- I. はじめに
- II. 最適採餌理論
 - A. 最適メニューモデル
 - B. 最適パッチモデル
 - C. 代表的なモデルにおける基本要素
- III. 最適採餌理論を応用した従来の研究
 - A. サンドストロムの研究
 - B. ピロリ等の研究
 - C. クローニン等の研究
 - D. 先行研究のまとめ

安形 輝, 金 宣伶: 慶應義塾大学大学院文学研究科図書館・情報学専攻, 東京都港区三田 2-15-45
Teru Agata, Sun Young Kim: Graduate School of Library and Information Science, Keio University, 2-15-45, Mita, Minato-ku, Tokyo.

E-mail: itasan@slis.keio.ac.jp, young@slis.keio.ac.jp

受付日: 1997年5月22日 改訂稿受付日: 1997年8月11日 受理日: 1997年8月30日

IV. 最適採餌理論の情報探索行動への応用

- A. 情報量の測定における問題
- B. 最適採餌理論における仮定
- C. 情報量の測定手法に関する提案
- D. 最適採餌理論による情報探索行動の解釈

V. おわりに

I. はじめに

近年、人間の情報探索行動に、動物行動学における最適採餌理論を応用する試みがなされている。動物行動学における最適採餌理論は、動物が餌、獲物を探すさいの行動に関する理論であり、なぜ動物がある餌を選択するのかを、得られる餌量や探索・処理時間などの要素から説明するものである。

情報探索行動は人間が情報を探す行動であり、動物が餌を探す行動との間には多くの類似性があると考えられる。サンドストロム (Sandstrom, P. E.)¹⁾ の論文中にある動物の採餌行動と人間の情報探索行動の共通点をまとめると以下のようになる。

- 1) いくつかの資源の中からどれを選択するかは、時間や労力により制限を受ける
- 2) どちらの資源も環境によって不規則に分布している
- 3) 資源の入手には不確実性やリスクが伴い、すべての探索者(捕食者)は限られた時間のなかで資源の選択をしながら、経験を積んでいく

最適採餌理論を情報探索行動に応用することによって得られる利点には、1) 情報探索者がある情報源をどのように評価するかを説明できる、2) 最適採餌理論は定量的な理論であり、応用することで情報探索行動についても定量的な説明が可能になることがあげられる。

II. 最適採餌理論²⁾

最適採餌理論は、動物行動学において、動物一

個体の餌を取る行為に焦点を当てた理論である。この理論は、1966年にマッカーサー等 (MacArthur, R. H.; Piank, E. R.)³⁾ によって最初のモデルが提案された。その後、応用範囲の狭かったこの初期モデルを土台に、1976年にチャノフ (Charnov, E. L.)^{4), 5)} が提案した二種類のモデルを理論の中心として、“自然界での資源利用パターンを研究する強力な定量的な理論”⁶⁾ として評価されるほどに成長してきた。二種類のモデルとは、最適メニューモデルと最適パッチモデルである。これ以外にも、最適採餌理論には採餌グループサイズの決定、居住パターンといったモデルがあるが、ここでは触れない。

A. 最適メニューモデル

最適メニューモデルは次のような問題を扱っている。動物はどの種類の餌をどれだけ取ったら、評価関数である平均採餌効率が最大になるだろうかという問題である。一頭の動物が生息場所で採餌している生息場所には n 種類の餌があり、動物はそれぞれの餌がどの種類であるかを発見と同時に識別できる。採餌中の動物の時間は探索時間と処理時間に分けることができるとする。

このような場面で、動物が、どの種類の餌でも食べることにすると、餌への遭遇確率が高くなるため、探索時間は短くなるが、餌量が少なくて処理時間がかかる効率の悪い餌も食べることになるので、処理時間は長くなる。逆に餌が多く処理時間がかからない効率の高い餌だけを取ると探索時間は長くなる。そのため、動物は経験的に探す餌の種類をある範囲に決めて、探索時間と処理時間の関係から効率が高くなるようにする。

最適メニューの決定については基本的には以下のようなアルゴリズムで決定される⁷⁾。

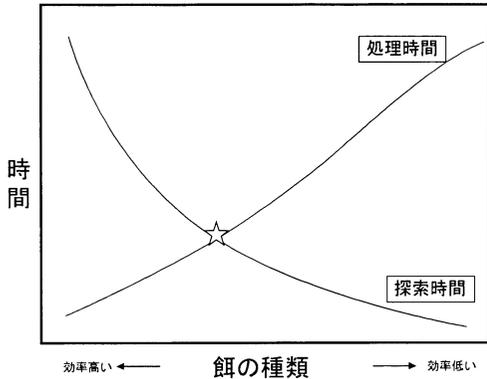


図1 最適メニューの決定 (処理時間と探索時間の関係)

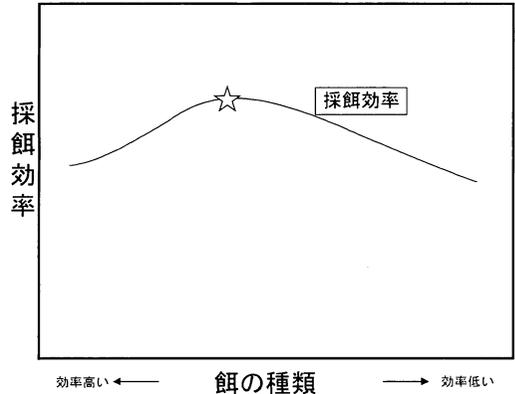


図2 最適メニューの決定 (採餌効率)

まず、ある餌に対する採餌効率は式(1)の形で算出される。

$$\begin{aligned} \text{採餌効率} &= \frac{\text{得られた餌量}}{\text{採餌に使う時間}} \\ &= \frac{\text{得られた餌量}}{\text{探索時間} + \text{処理時間}} \end{aligned} \quad (1)$$

式(1)よりある順位 X までの餌を含めた場合の平均採餌効率は式(2)のようになる。

$$\begin{aligned} \text{順位 } X \text{ まで含めた平均採餌効率} &= \\ &= \frac{\sum^X \text{餌量}}{\sum^X (\text{探索時間} + \text{処理時間})} \end{aligned} \quad (2)$$

平均採餌効率を使い、最適メニューの決定は以下のように行う。まず、各餌を以下の式(3)で示される餌自体の効率で順位付けする。

$$\begin{aligned} \text{餌自体の効率} &= \frac{\text{餌一つあたりの餌量}}{\text{餌一つあたりの処理時間}} \end{aligned} \quad (3)$$

ある種類の餌を取るかどうかは、餌の効率の高い順位のものから順次、不等式(4)で判定していく。これが成り立つ場合にはメニューに含め、次の順位の餌を判定し、成り立たなければ、それ以下の順位の餌はメニューに含まれない。

$$\begin{aligned} \text{順位 } X \text{ までの平均採餌効率} < \\ \text{順位 } X+1 \text{ までの平均採餌効率} \end{aligned} \quad (4)$$

どのような点で最適メニューが決まるかを示したのが図1,2である。これらの図では餌一つあたりの処理時間と探索時間、採餌効率を示しており、横軸は餌を左側から効率の高い順に並べた餌の種類となっている。図1では餌一つあたりの処理時間と探索時間は実線による曲線で示されており、縦軸がかかる時間となっている。この図は、探す餌の種類が増えるほど、採餌者が餌と遭遇する確率も高くなるので探索時間は減少し、逆に探す餌の種類が増えるほど効率の低い餌も処理することになるため、処理時間は増加することを示している。図2では探索時間と処理時間の合成関数である採餌効率が山形の曲線で示されている。縦軸は効率を示しており、上に行くほど効率が高くなっている。つまり、星印の部分における採餌効率が最も高くなるため、星印で示される餌の種類までを含めて餌を探すのが、最も効率の高い探索となることを示している。

B. 最適パッチモデル

最適パッチモデルでは、生息場所にいくつものパッチ(餌場)がある場合に、どの種類のパッチを選択すれば採餌効率が大きくなるか、それぞれのパッチにどれだけの時間滞在し採餌すると平均採餌効率がもっとも大きいかという問題を扱う。

各パッチの選択については最適メニューと同様のアルゴリズムを使い、どの種類のパッチまでを含めるかを決定する。各パッチの滞在時間を決定

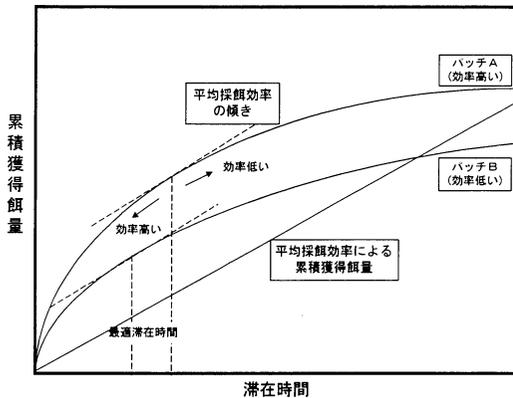


図3 滞在時間の決定

する評価関数も採餌効率である。各パッチの採餌効率は、滞在時間が経つにつれ、次第に低下していく。

動物がどのように滞在時間と移動時間を決定するかを説明すると以下ようになる。動物は、そのパッチでの採餌効率が生息場所全体での平均採餌効率まで低下したと判断した時点でパッチを離脱することになる。つまり、そのパッチに滞在し続けるよりも他のパッチに移動した方が、より多くの餌を得ることができると予測される時点で、パッチを離れることになる。

このことを図に示すと図3のようになる。図3は、二つのパッチ A, B の滞在時間と累積獲得餌量の間関係を表している。パッチ A と B を比べると、同じ滞在時間における獲得餌量は A の方が多いため、A の方が効率の高いパッチになる。図3における斜めの直線は平均採餌効率による累積獲得餌量を示しており、この直線の傾きが滞在時間決定の基準となるため、それぞれのパッチの曲線との接線が破線で示してある。ここで、破線とパッチの曲線の関係についてみると、接点より左側は曲線の傾きが平均採餌効率より大きい、つまり効率が高いが、右側は効率が低いことになる。そこで、動物は効率を最大化するために、破線と曲線の接点、図では最適滞在時間となっている時点でパッチを離脱することになる。

C. 代表的なモデルにおける基本要素

最適採餌理論の代表的な二つの最適メニュー、最適パッチモデルを見てきたが、ここで重要な点はどちらのモデルも評価関数は採餌効率である。また、その採餌効率は獲得した餌量と時間という要素から決定されることから、最適採餌理論においては、この二つが基本要素といえる。

III. 最適採餌理論を応用した従来の研究

最適採餌理論の情報探索行動、あるいは情報検索研究への応用は、後述のように現在までにいくつかの研究^{1), 8), 9)}でなされている。最適採餌理論は図書館・情報学に限らず、様々な分野に応用されている。しかし、多くの研究が餌量をどのように測定するかという問題から、単なるメタファーに留まっている。そこで、ここでは情報探索行動における餌量である情報量に焦点を当て、従来の研究を見ていく。

A. サンドストロムの研究¹⁾

最適採餌理論を図書館・情報学分野に初めに応用したのは、サンドストロムである。彼女は、最適採餌理論の情報探索行動への応用可能性を考察している。この論文は、最適採餌理論の基本的なモデルである「最適メニューモデル」、「最適パッチモデル」等に関して詳細に解説をしている。最適採餌理論の応用について、情報検索と、情報源の評価という二つの方向性をあげている。そして、獲得した情報量を測る基準として、探索者にとっての目新しさ、つまり新奇性を取り上げている。さらに、その新奇性を測る具体的な方法として引用情報を使うことを提案している。引用情報は研究者が研究において引用している文献の情報である。

獲得した情報量を引用情報から測定するという手法には、1) 間接的すぎる、2) 研究者は得られた情報量すべてを引用するわけではない、3) パッチの概念が引用の対象となりうるものに限定される、という点に問題があると考えられる。

表1 従来の研究における情報量測定とパッチ

	研究対象	情報量	情報量の測定方法	パッチ
サンドストロム	情報探索行動	新奇性	引用情報	引用可能な情報源
ピロリ	情報検索	情報の価値	適合文献数	システムの検索集合
クローニン	インターネット	新奇性	なし	インターネット上の情報源

B. ピロリ等の研究⁸⁾

ピロリ等は、情報検索システムにおける利用者インターフェースへ最適採餌理論の応用を試みた。彼らは Scatter/Gather という情報検索システムを使い、最適採餌理論による利用者—システム間の相互作用を説明している。Scatter/Gather システムは概念的に関連する文献がクラスタ化されているもので、各クラスタをパッチとしている。情報量は情報の価値と考え、適合文献数で測定するものとしている。

この研究は情報検索において最適採餌理論の具体的な応用を検討した点が評価できる。また、情報採餌理論 (information foraging theory) という語を初めて使用したのもこの研究である。しかし、原則的には情報検索システムの枠組みにおける研究であり、これをそのまま、情報探索行動一般に応用できるわけではない。

C. クローニン等の研究⁹⁾

クローニン等は、WWW 検索への最適採餌理論の応用を検討している。WWW 上の検索は、時間的、経済的制約があり、ノイズが多いという特徴がある。そのため、そのような検索の際には、適合情報を探す従来の検索よりも、新奇性を最大化する検索方法が求められるとし、その戦略として最適採餌理論の最適パッチモデルを検討している。また、パッチの捉え方は、利用者、あるいは、検索目的により異なるとし、最適パッチモデルを使う場合にはパッチそのものの概念についてきちんと規定する必要があると述べている。

彼らの研究は、WWW 検索への最適採餌理論の応用を提案するという段階に留まっている。つまり、1) 情報探索行動と採餌行動との類似性を指摘しているのみである、2) 情報量である新奇性の

測定方法については具体的に述べられていない、といった問題がある。

D. 先行研究のまとめ

以上のように情報探索行動あるいは情報検索において最適採餌理論を応用した研究は現在までに三つ行われている。しかし、これはまだ新しい試みであるだけに、1) 応用する研究者によって情報量測定方法に違いが見られる、2) 理論的な説明のみである、あるいは応用されていてもごく一部分の限られた部分に留まっている、と言える。前者については、各研究における情報量の測定方法の違いをあげることができる。また、後者についてはパッチの捉え方に現れている。表1は、各研究の研究対象、情報量の測定方法、パッチをまとめたものである。

IV. 最適採餌理論の情報探索行動への応用

A. 情報量の測定における問題

ベイツ (Bates, M. J.)¹⁰⁾ の摘果 (berrypicking) モデルに代表されるように、従来の情報探索行動の研究では、利用者が探索の過程で様々な種類の情報源を使うことが指摘されてきた。しかし、従来の最適採餌理論を応用した研究では、引用情報、適合文献数によって情報量を定量的に測定することが提案されてきた。これらの方法では、情報量をそのような尺度で測れる情報源にしか、最適採餌理論を適用できない。つまり、従来の情報量の測定方法では、原則的に、同じタイプの情報源に関してしか比較できないために、情報探索行動の限られた一部分にしか適用できないことになる。例えば、情報量を文献数で測定すると、文献から構成される OPAC などの情報源には適用できるが、文献という形を取らない口頭での情報に

は適用できない。また、従来のように文献単位で測定する場合には、文献間の量的な差異は無視される。例えば、非常に有益な情報が含まれている文献一件と部分的には使える文献一件が同じ一件となってしまう。また、図書一件と雑誌論文一件の場合にも同じ一件となってしまう。

B. 最適採餌理論における仮定

最適採餌理論の仮定の一つとして、「採餌個体は一頭」ということがある。この理論は基本的には一頭の採餌する動物の効率最大化を扱うものであり、他の個体に対する、あるいは他の個体からの影響を無視する。理論上は、対象個体の行動を解釈するため対象個体の行動間の比較ができれば、対象個体と他の個体の行動を比較する必要はないのである。この点からは、従来の研究では情報量を測定する尺度として、個体間の比較できる引用情報、適合情報を考えていたが、必ずしもそのような尺度である必要はないことになる。つまり、情報量を測定する尺度が満たすべき要件としては対象個体の行動間の比較ができることであり、必ずしも物理的に測定できる、あるいは、客観的な尺度である必要はないのである。

C. 情報量の測定手法に関する提案

今までの検討をまとめると、次のようになる。

- 1) 最適採餌理論では、得られた「餌量」と「時間」が評価のための基本要素である。これは、最適採餌理論を情報探索行動に応用する場合には、「情報量」と「時間」となる。
- 2) 従来の研究では、原則的には文献単位で情報量の測定を行っていた。そのため、文献から構成される情報源にしか適用できない、文献間の差異を無視しているという問題があった。
- 3) 最適採餌理論における餌量については、対象となる一頭について量的でありさえすれば、必ずしも文献数などの尺度である必要はない。

このような三点を踏まえると、情報量の測定が重要であるが、従来の研究における情報量の測定方法には問題があり、従来は、引用情報、適合情報と言った尺度を使って情報量を測定しようとしているが、そのような制限の強い尺度は使う必然性はない。そこで、本研究では、得られた情報量を測定するために、利用者による相対的な価値判断を使うことを提案する。具体的には、対象とする利用者に、その利用者が認識する得られた累積情報量を尋ねるものとする。

しかし、得られた情報量を直接的に利用者尋ねるのでは文献といった物理的な単位に縛られることでバイアスがかかるという従来の研究と同様の問題を抱えることになる。そこで、実際には、何らかの代替尺度に情報量を変換するのが良いであろう。代替尺度としては、1) 金銭、2) 時間、3) 文献への重み付け、などが考えられる。

代替尺度をそれぞれ具体的に説明すると以下のようになる。第一に、「金銭」とは情報探索行動の利用者に対して、得られた情報量の「金銭的な価値」を尋ねるものである。この手法は、アンケート調査などにおいて一般的に使われているものであり、もっとも手近にある量的な価値を使うということである。こうすることによって、「文献」という尺度に縛られずに、得られた情報量が測定できると考えられる。第二に「時間」については、情報探索行動の利用者に対して、得られた情報によって「節約できた時間」を尋ねるものである。この手法も「金銭」と同様の考えに基づくものである。第三に「文献の重み付け」は利用者が得た文献数の情報とともに、各文献の重みを補足的に尋ねるものである。これによって、文献間の差異が無視されるという問題が回避できる。例えば、パッチ A では新聞記事 5 件、パッチ B では図書 2 冊が得られた場合に、文献数だけではパッチ A の方が得られた情報量が多いという結果がでるが、利用者による各文献に対する重み付けによってそれが変わるかもしれない。

どのような手法を取るにしても、利用者の主観に基づく尺度であるため、各利用者によって評価の単位や基準が大きく異なることも考えられる。

例えば、利用者 A は情報量を 1000 円、1500 円という金額の単位で考えるが、利用者 B は 1 円、2 円という単位で考えるかもしれない。しかし、前述のように最適採餌理論に必要な情報は各一対象個体の行動間の比較であるため、このような対象個体間の差異は問題にならないと考えられる。

D. 最適採餌理論による情報探索行動の解釈

従来の情報探索行動研究では、質的な研究は多く行われてきたが、量的な研究は非常に少なかった。結果として、情報探索行動における情報源の選択、その情報源への滞在時間などの様々な行動については、状況に応じた個別的な解釈、あるいは、選択後に得た情報からの結果的な解釈しかされてこなかった。一方、最適採餌理論では効率を最大化するという戦略から、情報探索行動に関して全体的な解釈を行うことができる。しかし、理論上はそのようなことができるはずであるが、最適採餌理論の応用を考えた従来の研究では情報量の測定方法の問題から、情報探索行動において応用可能な場面が限られるものであった。

ここで提案した情報量測定手法を使うことで、文献という単位に縛られなくなり、最適採餌理論の応用範囲を大きく広げることになる。さらには、パッチ、つまり情報源を様々なレベルで考えることができるようになる。例えば、図書館全体を一つのパッチとして、あるいは、一つの OPAC を一つのパッチとして、さらには、一つの文献をパッチとして考えることができるようになる。つまり、ここでの手法を使うことで、最適採餌理論を情報探索行動の様々な局面に適用し、情報探索行動を全体的戦略から解釈できるようになる。

V. おわりに

本研究では新たな情報量の測定手法を提案することで、最適採餌理論の応用範囲を大きく拡張することができた。

今後は、最適採餌理論におけるモデルによって情報探索行動についての解釈が可能かどうか、こ

の手法を使った具体的な調査を行うことが必要であろう。

引用文献

- 1) Sandstrom P. E. "An Optimal Foraging Approach to Information Seeking and Use". *Library Quarterly*. Vol. 64, No. 4, p. 414-449 (1994)
- 2) 粕谷英一. 行動生態学入門. 東京, 東海大学出版会, 316 p. (1990)
- 3) MacArthur, Robert H.; Pianka, Eric R. "On Optimal Use of a Patchy Environment". *American Naturalist*, No. 109, p. 603-609 (1966)
- 4) Charnov, Eric L. "Optimal Foraging: the Marginal Value Theorem". *Theoretical Population Biology*, No. 9, p. 129-136 (1976)
- 5) Charnov, Eric L. "Optimal Foraging: Attack Strategy of a Mantid". *American Naturalist*, No. 109, p. 343-352 (1976)
- 6) Goul, S. J. *The Mismeasure of Man*. New York, W. W. Norton. 352 p. (人間の測りまちがい. 鈴木善次, 森脇靖子訳. 東京, 河出書房新社, 1989, 444 p.)
- 7) 実際に採餌効率は、以下のように変形した形で算出される。平均採餌効率を R , 探索時間を T_s , 一つの餌の餌量を e , 一つの餌の処理時間を h , 単位時間に遭遇する餌数を λ , 餌量は $T_s \cdot \lambda \cdot e$ とすると以下ようになる。

$$R = \frac{T \cdot \lambda \cdot e}{T + T \cdot \lambda \cdot h} = \frac{\lambda \cdot e}{1 + \lambda \cdot h} \quad (4)$$
 さらに n 種類の餌の場合には式 (3) のようになる。

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (\lambda_i \cdot e_i)}{1 + \sum_{i=1}^n (\lambda_i \cdot h_i)} \quad (5)$$
 本文中の不等式 (3) はこの式 (5) を使って計算される。
- 8) Pirolli, P.; Card, S. "Informatin Foraging in Information Access Environment". *Human Factors in Computing Systems. CHI'95 Conference Proceedings*. p. 51-58 (1995)
- 9) Cronin, B.; Hert, C. A. "Scholarly Foraging and Network Discovery Tools". *Journal of Documentation*. Vol. 51, No. 4, p. 338-403 (1995)
- 10) Bates, M. J. "The Design of Browsing and Berrypicking Techniques for the Online Search Interface". *Online Review*. Vol. 13, No. 5, p. 407-424 (1989)