

機関番号：18001

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20580207

研究課題名（和文） 複雑ネットワークから読み解くイカ類の社会構造

研究課題名（英文） Social structure and social network of squid

研究代表者

池田 譲 (IKEDA YUZURU)

琉球大学・理学部・教授

研究者番号：30342744

研究成果の概要（和文）：巨大脳をもち高次脳機能を示すイカ類について、同種集団の社会構造を複雑ネットワーク分析により読み解く試みを行った。その結果、アオリイカでは群れ内にネットワークが作られていること、その形成に関わる脳の発達には、同種個体との共存という社会環境が関係すること。トラフコウイカ集団でもネットワークが形成されるが、その構成はアオリイカと異なることから、社会構造に種間変異が認められることが明らかとなった。

研究成果の概要（英文）：Social structure of squid school was investigated by the new method, namely, social network analysis. This trial revealed the following things for oval squid. Oval squid population forms network structure. Ontogeny of oval squid brain, which could contribute formation of social network, is influenced by social condition. Pharaoh cuttlefish also form network but its structure differ from oval squid network.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2009年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：水産増殖学

科研費の分科・細目：水産学・水産学一般

キーワード：イカ類、社会構造、ネットワーク、脳・神経、行動学

1. 研究開始当初の背景

イカ類は脊椎動物にも比肩し得る巨大脳とレンズ眼を有し、学習・記憶などの高次脳機能を示す。イカ類がこのような知性基盤を獲得した理由を、霊長類における脳の大型化を説明するマキャベリの知性仮説に則って考えると、社会性が重要な選択圧となったといえる。一方、イカ類は群れ行動を通じて社会

を構築するが、その構造、特に個体と個体との関係性という動的要素については不明な点が多い。

ヒトの社会を考える上で、構成員個々の繋がりを点と線により結ぶことで可視化する複雑ネットワーク（またはソーシャルネットワーク）分析が近年注目され、動物行動学分

野へも応用され始めている。これまでに申請者は、社会性イカ類であるアオリイカについて、群れの形態や発達過程などその概観を把握して来た。この基盤のもと、複雑ネットワーク分析により、アオリイカの群れの社会構造をより詳細に解き明かすことができるのではないかとこの着想に至った。また、同様の手法を他種イカ類にも適用して比較することで、イカ類の社会構造の変異を考察できるとの考えをもった。

2. 研究の目的

本研究は、上述の着想のもとに、群れとして表出されるイカ類の社会の構築と維持、すなわち社会構造を、複雑ネットワークを新たに適用し、イカ類の個性や脳神経の発達にも注目しつつ読み解くことを目的とする。目的達成のために次の3項目、(1) 社会構造のネットワーク分析、(2) ネットワークの発達過程、(3) 社会構造の変異について、アオリイカとトラフコウイカを対象とした飼育実験を基盤に解明を試みる。

3. 研究の方法

(1) 社会構造のネットワーク分析：沖縄島沿岸より採集したアオリイカ卵を室内飼育し、孵化個体の集団を育成した。これらの個体をイラストマー蛍光タグにより個体識別し、標識個体について平常時の遊泳行動、水泡などの刺激を供与した時の行動、投餌時の捕食順位などをデジタルビデオカメラによる撮影と目視観察により記録し、映像を解析した。これらのデータをもとに、複雑ネットワーク分析を行い、アオリイカの群れ内の個体間関係について解析した。

(2) ネットワークの発達過程：沖縄島沿岸より採集したアオリイカ卵を室内飼育し、孵化個体集団を得た。これら集団を育成し、群れの発達過程、および投餌場面における順位

を観察した。また、孵化時から集団より隔離して単独飼育した個体と、集団飼育した個体を対象に、孵化後の脳発達を常法のパラフィン包埋とヘマトキシリン・エオシン染色による標本に基づき組織学的に調べた。

(3) 社会構造の変異：アオリイカに比べて、社会性レベルが低いコウイカ科のトラフコウイカを対象とした。沖縄島沿岸よりトラフコウイカ卵を採集して室内飼育し、孵化個体を得た。これらを集団飼育してイラストマー蛍光タグにより個体識別し、蝟集、分散の様子など集団の日常場面をデジタルビデオカメラにより撮影し、投餌場面における捕食順位を記録した。これらのデータをもとに、複雑ネットワーク分析を行い、トラフコウイカの群れにおける個体間関係とその構築過程について解析した。

4. 研究成果

(1) 社会構造のネットワーク分析：アオリイカの群れにおいて、群れの構成員は、平常時には互いがランダムな方向を向き緩やかな広がりをもった隊形を示すのに対し、水泡などの危険刺激が供与された瞬間には、迅速な情報伝達を思わせるように各個体が遅滞なく刺激の方角に定位し、個体同士が接近する様子が観察された。これは、本種の群れが防御システムとして機能していることを明確に示すものと考えられる。

次に、行動の撮影画像から任意の2個体間の距離を求め、他の行動観察データとも対応させて複雑ネットワーク分析を群れ全体について行った。その結果、アオリイカ群れ内の構成員には明確な順位が認められた。また、特定の個体間に緊密な関係性をもつネットワーク構造がアオリイカの群れには認められ、その中には、複数の個体と関係性を持ち、多くの構成員間の情報媒介者となっている

ハブ個体が存在すること。反対に、わずかな個体とのみ関係性をもつ周辺個体が存在することなどが明らかとなった(図1)。また、これら群れ内ネットワークにおける位置づけは、個体の順位と密接な関係を持ち、ハブ個体は順位の高い個体により構成されていることが明らかとなった。

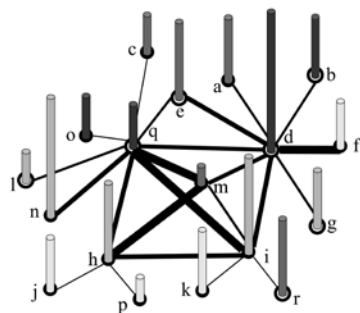


図1 アオリイカの群れにおけるネットワークグラフ(アルファベットは個体名、縦棒は体サイズ[色が濃いほど高順位]、個体を結ぶ線の太さは関係性の強弱を表す[太い方が強い関係性])

(2) ネットワークの発達過程: アオリイカ集団は、孵化時には互いにランダムな方向に遊泳していたが、1ヶ月齢から2ヶ月齢にかけて個体同士が互いに平行に遊泳し、かつ隣接する2個体間の距離も短くなるなど、全体として明瞭な群れ形態をつくる様子が観察された。群れ形成後の集団について複雑ネットワーク分析を施したところ、ハブ個体や周辺個体を擁する明瞭なネットワーク構造がみられた。また、ハブ個体を群れから取り除くと次点の順位の個体が新たにハブ個体になる様子がみられるなど、本種における群れ内のネットワーク形成過程にはある程度の可塑性が認められた。

孵化後のアオリイカの脳発達を組織学的に調べたところ、記憶・学習などの高次脳機能に関わる食道上塊に位置する垂直葉複合体が、群れの形成と同期するように孵化後から2ヶ月齢にかけて顕著に発達する様子が

観察された(図2)。

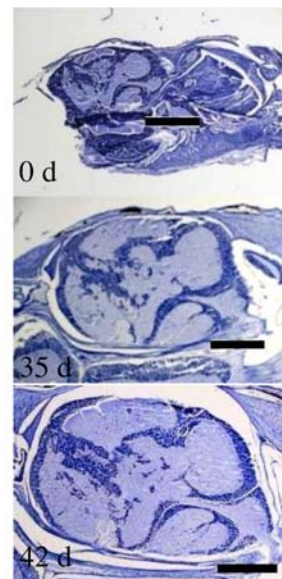


図2 アオリイカの脳(食道上塊部分)の発達過程(数字は日齢、ヘマトキシリン・エオシン染色、スケール500μm)

また、アオリイカの脳全体の発達は、個体の体成長と強い正の相関を示した。さらに、孵化時から集団より隔離飼育したアオリイカでは、集団飼育個体と比べて体成長に遅滞がみられ、これと連関する形で脳の発達も遅滞していた(図3)。

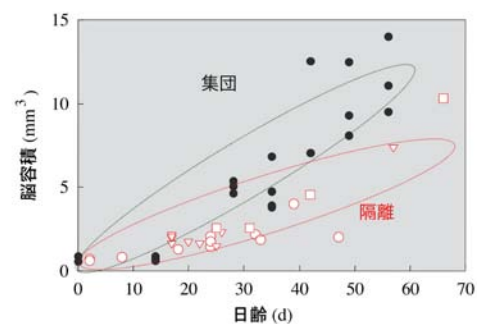


図3 アオリイカの隔離個体(赤枠)および集団個体(黒丸)における脳容積の発達過程

このように、本種における群れ内ネットワークの形成は、脳の発達と同調しており、それは同種個体という社会環境の影響を強く受けて進行する過程であることが示唆された。

(3) 社会構造の変異：トラフコウイカコウイカは、孵化後から2ヶ月齢ほどの若齢期には、隣接する個体間の距離が短く蟻集する様子が観察された。任意の個体間距離は、その後の日齢の増加に伴い変動し、亜成体期では分散する様子が観察された。

亜成体期の投餌場面の捕食に基づく解析によれば、トラフコウイカの群れには構成個体間に順位が認められた。また、任意の2個体間の距離に基づいた複雑ネットワーク分析を施したところ、特定の2個体が緊密な関係性をもち、複数の個体との情報媒介者となるハブ個体、わずかな個体としか関係性をもたない周辺個体が認められるなど、明確なネットワーク構造をもっていることが示された。しかし、アオリイカの場合とは異なり、トラフコウイカでは高順位の個体は必ずしもハブとはなっておらず、次数中心性の低い周辺個体となっており、逆に低順位の個体が次数中心性の高いハブ個体となっていた(図4)。

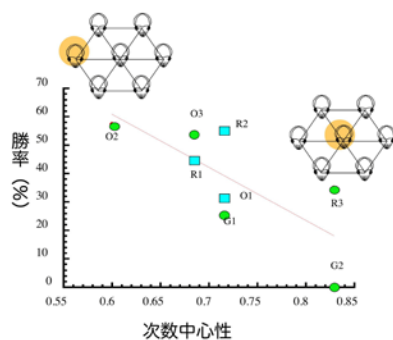


図4 トラフコウイカ集団のネットワークにおける次数中心性(関係性を表す)と捕食順位(勝率)との関係。アルファベットと数字は個体名
このように、底生・単独性という従来のコウイカ目のイメージとは異なり、トラフコウイカは同種個体と緊密な関係性をもつ集団を形成していること、集団における構成員の特性と役割は社会性のアオリイカとは異なる

ことが明らかとなった。

本研究はイカ類の社会構造の解析に、複雑ネットワーク分析を初めて適用したものである。それにより、社会性イカ類であるアオリイカの群れについて、構成個体間の関係性の全体像を、ハブ個体、周辺個体などの個体の属性も含めて明確に示すことができた。これは個体識別法を基盤として可能となったものであるが、これまで知見の少ないイカ類の群れの具体像について有効な知見を提供し得るものと考えられる。また、そのようなアオリイカの群れのネットワークが、行動の制御基盤である脳が連関しつつ発達する様子を示し得たことから、今後、脳や神経系のネットワーク形成というミクロな面と、個体間のネットワーク形成というマクロな面について、双方を関連させて解釈する可能性をもたらした。さらには、社会性レベルが低いとされたコウイカ目イカ類のトラフコウイカについても、複雑ネットワーク分析を適用し、本種が群れ内に緊密なネットワークをつくっていることを示し得たことから、野外での観察のみでは窺うことのできない種ごとの行動特性について解析する新たな道筋を導入するものとなった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計15件)

- ① 池田譲, 海の賢者の社会をのぞく-イカにみる私と貴方, 公開シンポジウム「動物行動学ってなに?島の生きもののふしぎ」, 日本動物行動学会, 平成22年11月20日, 沖縄県男女参画センターでいる。
- ② 杉本親要・池田譲, アオリイカの群れにおけるネットワークの経時的変動, 日本水産学会, 平成22年9月24日, 京都大学。
- ③ 池田譲, 頭足類の群れ行動と社会性のネ

ットワーク, ミニシンポジウム「海洋動物の群れを考える-社会性・生態・遺伝子の視座から-」. 日本水産学会, 平成22年9月22日, 京都大学.

- ④ 杉本親要・池田讓, 頭足類の社会性に関する研究-2) アオリイカの群れ内ネットワーク. 日本水産学会, 平成22年3月29日, 日本大学.
- ⑤ 池田讓・積田千恵, 頭足類の社会性に関する研究-1) 孵化後の社会環境とアオリイカの脳発達. 日本水産学会, 平成22年3月29日, 日本大学.
- ⑥ 池田讓, Sociality in cephalopods: endeavoring to look through mirror image reactions. Research Centre for Human Cognition The 5th Symposium, 平成22年3月9日, 慶應義塾大学.
- ⑦ 池田讓, 頭足類からみる社会と知性と発生と. 社会知能発生学研究会, 平成21年12月20日, ブリーズベイマリーナ.
- ⑧ 杉本親要・池田讓, ソーシャルネットワーク分析によるアオリイカの群れ内個体間関係の解明. 日本動物行動学会, 平成21年11月27日, 筑波大学.
- ⑨ 池田讓・瀬川明宏, 底で暮らすイカの繋がり: トラフコウイカにおけるソーシャルネットワーク. 日本動物行動学会, 平成21年11月27日, 筑波大学.
- ⑩ 杉本親要・池田讓, Ontogeny of schooling behavior and interactions in oval squid. International Ethological Conference, 平成21年8月20日, レンヌ第一大学.
- ⑪ 池田讓, Sociality and mirror image reactions in cephalopods. International Ethological Conference, 平成21年8月21日, レンヌ第一大学.
- ⑫ 杉本親要・池田讓, 頭足類の群れ構造と社会性に関する行動学的研究-2アオリイカ編, 日本水産学会, 平成21年3月29日, 東京海洋大学.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

○取得状況 (計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

琉球大学池田研究室ホームページ

http://w3.u-ryukyu.ac.jp/ceph_lab/index.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

池田 讓 (IKEDA YUZURU)

琉球大学・理学部・教授

研究者番号: 30342744

(2) 研究分担者

なし