



平成26年度研究助成 【サウンド技術振興部門】より

農薬アトラジンがカエルの 発声回路に及ぼす影響

ユタ大学 生物学部
教授

山口 文子

人も含める高等動物の雄と雌は形態的に異なるだけでなく、脳の機能も分化していることが知られている。この雌雄の形態的、機能的な性分化は、雄性ホルモンに制御されていることが解っている。雄の体内では、精巣から分泌される雄性ホルモンが生殖器官、及び脳を雄化させる。逆に雌の体内では雄性ホルモンがほとんど分泌されないため、生殖器官と脳は雌化される。つまり、血中雄性ホルモンの有無が性分化のスイッチとなっているのである。この雄化の鍵を握る雄性ホルモンの分泌量がオスの体内で低下すると、脱雄化が起こることが知られている。通常の場合、雄における雄性ホルモン分泌は一定のレベルに保たれているが、環境や体内からのなんらかの刺激によってこの内分泌メカニズムに狂いが生じることがある。

アトラジンは日本や米国で幅広く使われている除草剤であり、その毒性は高濃度に限られるものと考えられてきた。しかし、欧州諸

国では地下水を汚染するとして2004年にその使用が禁止された。そして、最近の研究ではアトラジンが低濃度でも両生類の内分泌攪乱物質として作用することが発覚した。カリフォルニア大学バークレー校のタイロン・ヘイズ教授の研究グループの報告によると、アトラジンは低濃度（0.1ppb、100億分の1）でもアフリカツメガエルの脱雄化を促す作用があるのである。この研究で使用されたアトラジンの濃度は米国環境保護庁の定める許容濃度の300分の1である。この脱雄化現象は、アトラジンが低濃度でも雄性ホルモンの分泌を抑制することに起因すると考えられている。本研究では、アトラジンがアフリカツメガエルの発する音声にどのような影響を与えるかを調べることを目的とする。

大多数の種類のカエルは繁殖期になると雌雄特有の音声を出して互いにコミュニケーションをとる。例えば、アフリカツメガエルの雄はアドバタイズメントコールという雄特有の音声を使って求愛し（図1、上）、雌は雄の求愛を拒

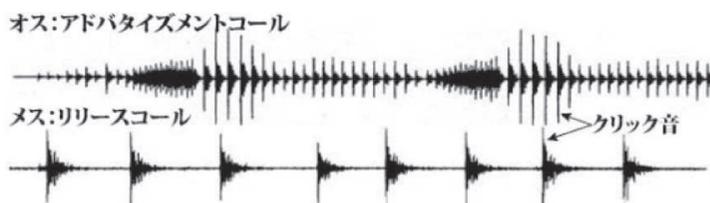


図1 アフリカツメガエルの雌雄の音声

否するときリリースコールという雌特有の音声を発する（図1、下）。アフリカツメガエルのコールはクリック音から構成されるが、オスではこのクリック音が早い頻度で、メスではこのクリック音が遅い頻度で繰り返される。この雌雄特有の音声は、脳内にある音声神経回路から喉頭筋にむけて神経信号が出力され、喉頭筋肉を連続的に収縮、緩和させることによって発声される。私の研究室では、今までにカエルがどのような神経メカニズムを用いて雌雄特有の音声を発するかを研究してきた。一般に、行動を司る脳内神経回路の解析は非常に難しいとされている。というのも、麻酔をかけた動かない動物では運動神経回路が作動していないため行動に関連した神経活動が記録できない。逆に行

動中の動物では、脳内神経回路は作動しているものの、自由に動き回る動物から神経の記録をとることは技術的に困難である。私の研究室では、この困難を以下のような手法を用いて克服することに成功している。ツメガエルの脳を摘出し、セロトニンという神経伝達物質を投与すると、体外でも体内と同じように脳内音声神経回路が作動することを発見したのである。つまり、体外に摘出された脳（図2左）が神経伝達物質に刺激されることによって、雄が雌に向けてアドバタイズメントコールを歌っている際に体内から記録できるものと全く同じ神経活動を喉頭運動神経から出力するのである（図2右）。この「体外で歌う脳」を使うことによって、作動中の脳内神経回路から記録をとることが可

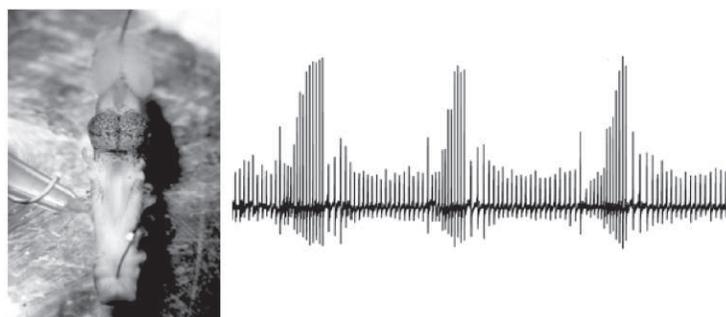


図2 体外で歌う脳。体外に摘出したオスのツメガエルの脳(左)。神経伝達物質であるセロトニンを体外に摘出した脳に投与した際に脳内音声回路から喉頭神経に出力される神経信号(右)。この信号は、雄がアドバタイズメントコールを歌う際に体内で記録される神経信号と全く同じである。

能になったのである。(余談ではあるが、この「体外で歌う脳」は、私が学生と一緒に他の目的の実験をしている際にたまたま発見したものである。私の研究室では神経記録をとる際、神経から出力される電気的信号を音に変換してスピーカーから流しながら実験をしているが、セロトニン投与によって脳が突然歌いだしたときには、学生も私も椅子から転げ落ちそうになった。)

この「体外で歌う脳」を使って、以下のことが明らかになった。アフリカツメガエルの脳内音声神経回路は雌雄で分化しており、雄の回路からは早いリズムの発火信号が30から70Hz(毎秒30から70回)の頻度で喉頭筋に向けて出力されるのに対し、雌の回路からは遅いリズムの発火信号が5から20Hzの頻度で出力される。つまり、出力される神経信号の発火頻度が雌雄で異なるのである。また、ツメガエルの性分化は、他の動物の性分化と同様に雄性ホルモンに制御されていて、成体の雄を去勢すると神経回路から出力される発火信号の頻度が徐々に低下し、逆に成体の雌に雄性ホルモンを投与すると発火信号の頻度が徐々に上昇することがわかった。この結果をもとに、本研究ではアトラジンがア

フリカツメガエルの音声を司る脳内神経回路にどのような影響を及ぼすかを検証する。アトラジンが雄性ホルモンの分泌を抑制するのであれば、雄特有の脳内神経回路も脱雄化をとげ、脳内神経回路から出力される発火信号の頻度が低下することが予想される。その結果として、低濃度のアトラジンにさらされたツメガエルの雄は不完全なアドバタイズメントコールを発するのではないかと、という予測がたてられる。この研究は、ヘイズ教授と共同で進め、アトラジンが神経回路に及ぼす影響だけでなく、筋肉、行動への影響も総合的に解析する。

アトラジンがアフリカツメガエルの音声に及ぼす影響が証明されれば、ツメガエルの生息地であるアフリカの環境水域における残留アトラジンの存在が、オスのツメガエルの声を聞くことで識別することができるようになることが期待される。また、このような結果は、アフリカだけでなく、アトラジンの使用が禁止されていない日本や米国国内に生息する野生のカエルや鳥類の音声への影響も予測される。この研究は、農薬の副作用が、自然界の音環境にまで及ぶことを検証する為の第一歩となると考えられる。