

プラナリアの無性生殖に認められた自切に関する研究

竹内昌平¹⁾・加藤幸辰¹⁾・大澤得二¹⁾

A study of autotomy in asexual reproduction in planarian

Shouhei TAKEUCHI¹⁾, Yukitoki KATO¹⁾ and Tokuji OSAWA¹⁾

要 約

扁形動物プラナリアは、再生能力が高く、切断した両片よりそれぞれ個体が再生することは良く知られているが、自切と呼ばれる無性生殖も行うことができる。本研究では、プラナリア、中でもナミウズムシを長期的に飼育し、分裂した前半部（頭側）と後半部（尾側）の様子について検討することを目的とした。

ナミウズムシを直径8cmの飼育容器にて飼育し、餌としてはトリレバーを与え、各個体に先祖および自らが頭側または尾側のどちらから発生した個体であるかを記録した。

ナミウズムシは168日の間に87回の自切を行い、175個体まで増殖した。このうち、頭側の分裂が59回、尾側の分裂が27回であり、有意に頭側の分裂割合が多かった ($p < 0.05$)。一度分裂してから、次の分裂までの日数（中央値（第一四分位点、第三四分位点））は、頭側は27日（14日、45日）、尾側は12日（6.5日、54.5日）で有意な差は見られなかった ($p = 0.17$)。自切までの日数は、先祖に含まれる尾側の回数が影響し、尾側が含まれる回数が多くなればなるほど、有意に自切までの日数が長くなることが示唆された。

キーワード：プラナリア、ナミウズムシ、無性生殖、自切

所 属：

1) 長崎県立大学看護栄養学部栄養健康学科

1) Department of Nutrition Science Faculty of Nursing and Nutrition, University of Nagasaki, Siebold

緒言

脊椎動物においても無脊椎動物においても再生の現象は良く知られている。脊椎動物ではイモリの四肢やレンズの再生が有名であるが、無脊椎動物においてはヒドラやプラナリアの再生が知られている^{1,2)}。その中でも扁形動物プラナリアは再生能力が大変高く、切断した両片よりそれぞれ個体が発生することは良く知られている。この興味深い実験については中等教育の教科書においてもしばしば取り上げられており³⁾、プラナリアと言えば再生力が高い動物であるとの認識が一般的である。

しかし、多くの動物が見せる再生現象の中で、プラナリアの再生は他の動物における再生と異なる意味を持つように思われる。プラナリアは通常、体の中央部付近で分裂することにより2つの個体を生じるという無性生殖によって増殖し、環境条件が悪化すると有性生殖をすると言われている³⁻⁷⁾。実際にプラナリアを飼育すると、外力により切断されなくても、虫体が自ら二分し、1個体から2個体を形成していく現象を容易に見ることができる。すなわちプラナリアは有性生殖も行うが、生殖における主たる方法は自切による無性生殖なのである。一般に無性生殖は有性生殖に比べ、遺伝的多様性を獲得できず、環境変化への適応に不利と考えられているが、無性生殖を行う種も広く生物界に存在しており、その進化的意義は明確になっていない⁸⁾。

このプラナリアの無性生殖における横分裂過程について、模式的な記載は見ることができるが⁶⁾、分裂の周期、また分裂した前半部と後半部がその後それぞれどのような分裂をしていくのか、詳細な報告はない。プラナリアの自切は虫体の中央で起きるのではなく、咽頭を含む大きな前半部とやや小さな後半部に分かれることが多い。前半部には咽頭その他、脳や眼杯も含まれ、自切が起きた後も活発に運動する。一方、後半部はその逆であり、脳や眼杯を含む頭部の再生には時間がかかり、かつ複雑な過程が必要ではないかと思われる。また、再生が完了した個体の次の自切は、どのようなインターバルをあげて起きるのか、またそれは前半部と後半部で異なるのか、など多くの興味深い問題を含んでいる。

本研究では、プラナリア、中でもナミウズム

シ (*Dugesia japonica*) を長期的に飼育し、全ての分裂状況を記録した。分裂した前半部(頭側)と後半部(尾側)がそれぞれどのような経過をたどったかを克明に記録し、頭側、尾側それぞれの分裂の傾向の違いを検討した。

方法

1. 飼育方法

ナミウズムシは、兵庫県立大学の織井秀文先生から提供を受けた。このナミウズムシを直径8cmの飼育容器にて飼育し、餌としてはトリレバーを与えた。飼育は室内、室温で行った。2分裂した後は、それぞれの個体を、識別記号を記載した異なる飼育容器に移し、飼育を継続した(図1)。

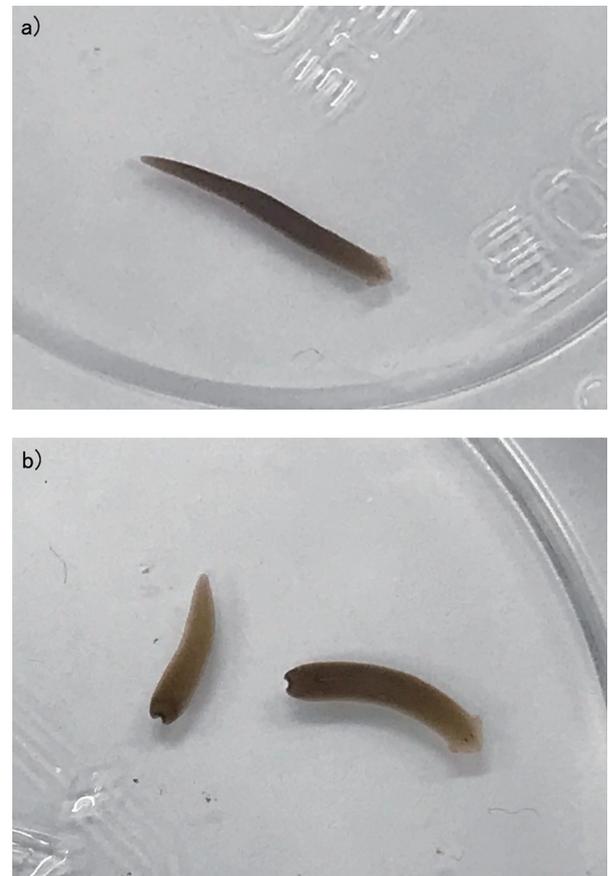


図1 ナミウズムシの飼育の様子

a) はナミウズムシの1匹ごとの飼育の様子を撮影したもので、b) は自切による分裂後のナミウズムシを撮影したもので、右側に頭側、左側に尾側が確認できる。

識別記号の記載ルールは以下の通りとした。

1) 提供を受けた最初の個体を除き、飼育期間中

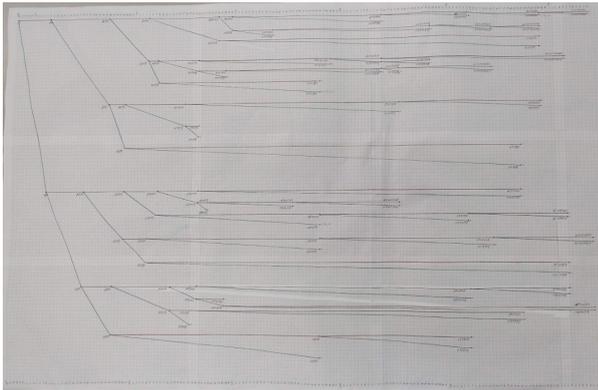
に分裂した全ての個体に、分裂前の個体の頭側、尾側のどちらから発生したのかを記載する。

2) 上記、記載は、分裂前の個体に記載された識別記号に加えて記載する。

上記の記録を続けながら、168日間飼育を継続した。本研究では、分裂の一回を世代としてカウントし（つまり、識別記号の文字列の長さがその個体の世代を表す）、分裂を確認した時刻とともに記録した（図2）。

2. 統計解析

a)



b)

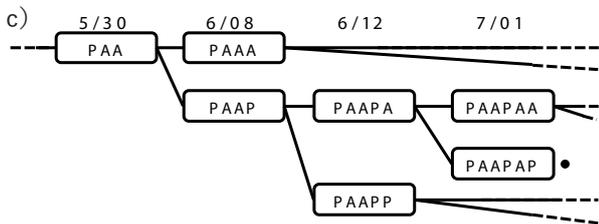
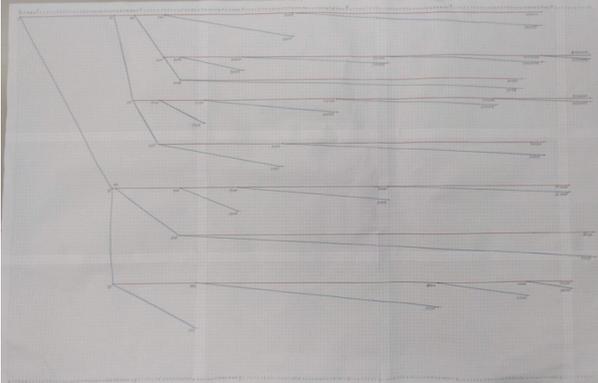


図2 ナミウズムシの自切の記録

図中、a)とb)の写真は、自切により発生した個体を時間軸に沿って記録したものである。a)は最初の個体の頭側から発生した個体、b)は尾側から発生した個体を記録している。c)はa)、b)の一部を抜き出し模式的に表したものである。P (Posterior) は尾側からの発生、A (Anterior) は頭側からの発生を示す。例えば、6月12日の個体PAAPAは、親の名前がPAAPであり、PAAPの頭側からの発生を示す。7月1日のPAAPAPの後ろにある黒丸は、以降、観察期間中に自切しなかったことを示す。

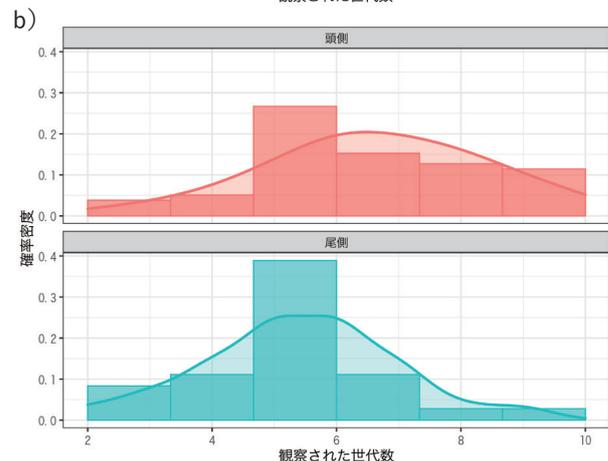
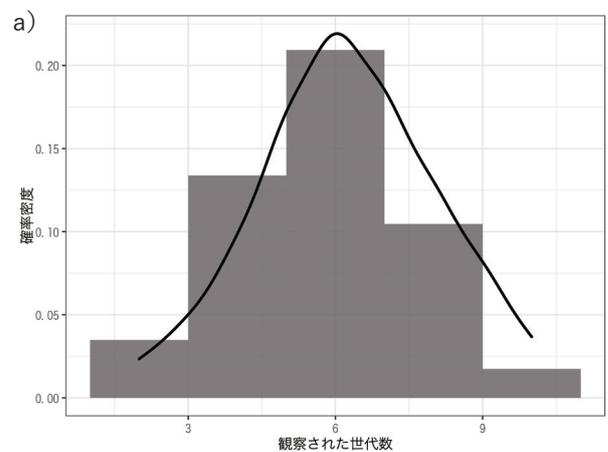
観察された世代は、平均値±標準偏差、自切までの日数は、中央値（第1四分位点、第3四分位点）で表した。割合の比較には二項検定を用いた。頭側と尾側の分裂までの日数の比較にはウィルコクソンの順位和検定を用いた。自切までの日数を先祖に含まれる頭側と尾側の回数を用いて説明するために重回帰分析を行った。有意水準は5%とし、統計解析にはR（バージョン4.1.1）を用いた。

結果

ナミウズムシは168日の間に87回の自切を行い、175個体まで増殖した。解析には、分裂して生まれたのか、そうでないのかわからない最初の個体が分裂する1回目を除いた86回の自切を用いた。このうち、頭側の分裂が59回、尾側の分裂が27回であり、有意に頭側の分裂割合が多かった ($p < 0.05$)。

168日経過した後の個体は、平均して 6.23 ± 1.82 世代目であった。このうち、もっとも世代が続いたものでは第10世代まで増殖を行っていた（図3）。

一度分裂してから、次の分裂までの日数は、



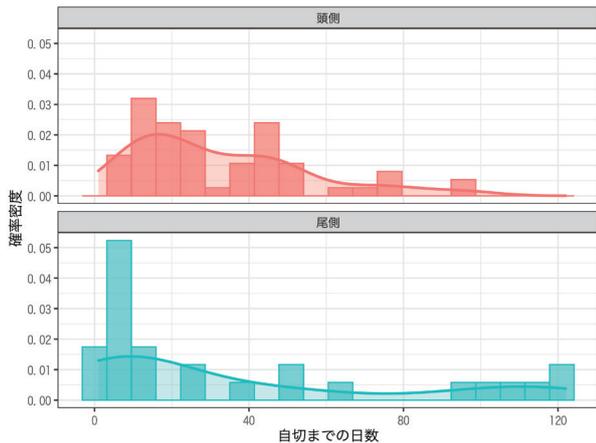


図3 168日間で観察された世代の分布
a) 観察された全プラナリアの世代を集計し分布を見たもの。b) 頭側と尾側でどの程度自切が行われるのかを確認するため、両群に分けて世代を集計したものの分布

頭側は27日(14日、45日)、尾側は12日(6.5日、54.5日)で有意な差は見られなかった(図4)($p = 0.17$)。このとき、尾側の日数の分布には、二峰性がみられた。

自切までの日数は、先祖に含まれる尾側の回数が影響し、尾側が含まれる回数が多くなればなるほど、有意に自切までの日数が長くなることが示唆された(表1)。

表1 自切までの日数と先祖に頭側と尾側が含まれる回数の関連

	偏回帰係数	標準誤差	t 値	p 値
切片	5.07	12.08	0.42	0.68
頭側が含まれる回数	1.45	1.69	0.86	0.39
尾側が含まれる回数	13.17	3.69	3.57	<0.05 *

F 値: 6.56 (自由度: 2, 83)、調整済み R^2 : 0.12、p 値: < 0.05

考察

遺伝的に同じ個体の分裂にもかかわらず、一旦分裂してしまうと、頭側での分裂が多く観察され、尾側の分裂に比べて有意にその頻度が高かった。また先祖に尾側が含まれる回数が多ければ多いほど、自切までの日数が長くなることが示唆された。分裂までの日数は、ヒストグラムを見ると、発生元が頭側であるか尾側であるかによって、異なる分布の形をしていることが確認できる。本研究では単一の分布として比較を行ったが、特に尾側の分布は二峰性を示しているため、異なる分布の混合分布になっている

かも知れない。例えば、マラリアでは、短期(26.6日)と長期(48.2週)の潜伏期間を持つものがある。これは、マラリアが流行しているその季節のうちに次の個体に伝播するときの潜伏期間(短期)と、次の年の同じ季節に伝播するための潜伏期間(長期)を生物学的な適応にて獲得したものと考えられている⁹⁾。本研究で用いたナミウズムシも尾側の自切までの日数の分布の様子をみると、数ヶ月間個体をより維持しやすくするための適応として、自切しにくい個体が生まれる仕組みを得ているのかも知れない。

本研究では自切により分裂した完全なクローンのみしか用いていないが、そのような状況でも多数の変異がみられることが報告されている⁸⁾。また、同種のナミウズムシには、環境条件によって、生殖転換が起こることが指摘されている¹⁰⁾。その原因は、まだ明らかではないが、水温や日照時間の変化なども候補になっており¹⁰⁾、本研究の中で個体によって生殖転換が起こっていた可能性も否定できない。本研究では、頭側と尾側において分裂頻度に違いが見られたが、その理由として、頭側と尾側にある遺伝的な多様性や、頭側と尾側で生殖転換の起こり易さに違いがあることなどの可能性もある。

なお、この研究には、いくつかの制限がある。もっとも大きなものは、この実験に利用された個体が1個体から始まったことである。自切を観察するにあたり、他の個体で異なる結果が得られる可能性は否定できない。しかしながら、この実験を複数の個体で始めてしまうと、飼育のスペースもすぐさま確保できなくなってしまうため、この実験デザインは避けることができなかった。同様に飼育日数もスペースの影響を受けることとなった。飼育環境の統一が難しいが、今後は、多施設での実験など、飼育環境を確保することが可能な方法が求められる。

結論

ナミウズムシの自切は、その個体が元々、頭側から発生したものに多く観察された。また、尾側から発生した先祖を多く含む場合に自切までの日数が伸びることがその理由として考えられた。

謝辞

本研究にあたり、ナミウズムシを提供してくださった織井秀文先生に感謝いたします。

利益相反

本研究にあたり著者らに報告すべき利益相反はありません。

引用文献

- 1) 石川統, 黒岩常祥, 塩見正衛, 松本忠夫, 守隆夫, 八杉貞雄, 山本正幸: 生物学辞典, 482-483, 東京化学同人, 東京, 2010
- 2) 日本動物学会(編): 動物学の百科事典, 274-275, 丸善出版, 東京, 2018
- 3) 吉里勝利(他): 高等学校, 生物, 157, 218-219, 第一学習社, 東京, 2014
- 4) 内田亨, 山下次郎, 沢田勇, 岩田文男, 山田真弓: 動物系統分類学 第3巻 左右相称動物; 扁形動物; 紐形動物; 曲形動物; 星口動物, 21-72, 中山書店, 東京, 1965
- 5) 手代木渉: プラナリアの生物学—基礎と応用と実験—, 10-23, 共立出版, 東京, 1987
- 6) 手代木渉, 渡辺憲二: プラナリアの形態分化—基礎から遺伝子まで—, 42-54, 共立出版, 東京, 1998
- 7) Kobayashi K., Maezawa T., Nakagawa H., Hoshi M.: Existence of two sexual races in the planarian species switching between asexual and sexual reproduction. *Zoological Science* 29: 265-272 2012
- 8) 西村理: プラナリア *Dugesia japonica* のゲノム解析による、脳の進化および無性/有性生殖サイクルに関する考察, 博士論文, 京都大学, 2016
- 9) Nishiura H, Lee HW, Cho SH, Lee WG, In TS, Moon SU, Chung GT, Kim TS: Estimates of short- and long-term incubation periods of *Plasmodium vivax* malaria in the Republic of Korea. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 101 (4) : 338-343, 2007
- 10) 前澤孝信, 油野木紫音, 土居真司, 岩佐典和, 磯山元輝, 小野航, 佐藤和紀, 春名亮, 藤田治希: 岡山県北の河川に生息するプラナリアの生殖様式の季節変化, 津山高専紀要, 第59号, 51-54, 2017