事例研究 Case Study

葉柄の刈払いがハス *Nelumbo nucifera* の枯死に及ぼす影響

藤本 泰文*

宮城県伊豆沼・内沼環境保全財団 〒989-5504 宮城県栗原市若柳字上畑岡敷味 17-2

Yasufumi FUJIMOTO*: Influence of cutting leaves of lotus plants *Nelumbo nucifera* on their survival. *Ecol. Civil Eng.* 21(1), 37-43, 2018

The Miyagi Prefectural Izunuma-Uchinuma Environmental Foundation, 17-2 Shikimi, Wakayanagi, Kurihara, Miyagi Pref. 989-5504, Japan

Abstract: In eutrophied lakes, water pollution and degradation of biodiversity are caused by the overgrowth of lotus (*Nelumbo nucifera*). For this reason, lotus management activities, such as mowing, have been conducted in several lakes. To develop an effective method to control lotus plants, the influence of mowing on their survival was evaluated in a test pond adjacent to Lake Izunuma-Uchinuma in Japan. Leaves of twenty-two ramets of lotuses, each with 2-36 leaves, were cut at 40 cm under the water surface. Of these leaf-bearing ramets of lotuses, eight (36.4%) were dead. The mean number of leaves of the dead lotus ramets before cutting (4.5 ± 0.8 leaves) was less than half the number of leaves of the surviving lotus ramets (11.9 ± 2.8 leaves). However, cutting the leaves of 11 ramets of lotuses prevented the growth of new leaves on the water surface within three days, after which all lotuses died regardless of the number of leaves the ramets had before cutting. These results suggest that the emergence of leaves is an important factor determining lotus survival. Therefore, it is suggested that repeatedly cutting lotus ramets when they have fewer leaves is an effective method to control lotus plants.

Key words: aquatic weed, control, cutting, Lake Izunuma-Uchinuma

はじめに

富栄養化や外来種の侵入などによる水生植物の過剰繁茂は、日本各地の湖沼やため池等で生じており、水質悪化や生物多様性の低下、船の航行阻害や悪臭といったさまざまな問題を引き起こしている (Belal 2007; 角野 2007; 芳賀 2008)。そのため、琵琶湖や手賀沼、諏訪湖などさまざまな水域で、過剰繁茂した水生植物の適正管理を目的とした活動や研究が進められている (田中 2009; 林 2013; 星河ほか 2016; 丸野・浜端 2016)。

ハス *Nelumbo nucifera* は、ハス科に属する大型の水生植物で、湖沼やため池に生育する (角野 1994)。ハスは富栄養化した環境を好む水生植物で (Kunii & Maeda 1982)、伊豆沼・内沼や長沼、手賀沼など富栄養化が進行した湖沼では大規模な群落を形成している (宮城県伊

豆沼・内沼環境保全財団 2010; 平塚・山室 2013)。ハスは観光資源となる一方、繁茂にともなう溶存酸素の低下や、沈水植物・底生生物等への影響が問題となってきた (Marwat et al. 2011; 藤本 2011; 安野ほか 2015; 嶋田ほか 2016)。このため、いくつかの湖沼ではハスの刈払いが実施されてきたが (林 2014; 芦澤ほか 2015)、その手法については試行錯誤の段階であり、有効な技術の開発が求められてきた (平塚・山室 2013)。ハスを刈払いによって効果的に管理するには、その生態を考慮した手法を選択する必要がある。レンコン農家の間では、水面下で刈ると葉柄から水が浸入し、窒息して枯死するとされている (平塚・山室 2013)。しかし、刈払われたハスは葉柄を水面に出して呼吸経路を確保することが観察されており (林 2013)、また、増水等による水没の際も、ハスは若い葉を急激に伸長させて出葉し、呼吸の回復を図ることから (川合・岩浪 1988; Nohara & Kimura 1997)、出葉等の阻害に着目した刈払いが、ハスを管理

2017 年 4 月 25 日受付, 2018 年 5 月 22 日受理

*e-mail: fjimo@hotmail.com

する上で重要な観点の一つだと考えられる。

そこで本研究では、ハスの効果的な刈払い方法の検討のため、出葉の阻害の有効性を評価する目的で野外試験を行った。ハスの刈払いでは舟から手鎌などで水中の葉柄を刈払って葉を除去するため（林 2014；芦澤ほか 2015）、水底近くや泥中に残っている地下茎の成長点や最も若い葉（以下、芽と記す）の伸長が、出葉にとって重要となる。葉数の多い株の方がこのような芽を持つ確率も高いと考えられることから、1つ目の試験では、株の刈払い前の葉数と刈払いによる生死との関係について評価した。次に、刈払いを複数回繰り返し、枯死までに必要な刈払い回数と葉数との関係を評価した。最後に、出葉を阻害した場合に、葉数に関わらず早期に枯死するかどうか、刈払いのインターバルを短くして試験した。これらの試験結果から、ハスの効果的な管理方法につい

て検討した。

材料と方法

試験池

宮城県北部に位置する伊豆沼・内沼（北緯 38°43′，東経 141°07′）に隣接するため池を試験池とした（Fig. 1）。試験地は水面面積 1,584 m²（33×48 m）、水深は約 60 cm で、岸際を除く水底部分には約 40 cm の厚さで軟泥が堆積していた。試験池で観察された浮葉植物、沈水植物や浮漂植物は、ハス、ヒシ属 *Trapa* sp., マツモ *Ceratophyllum demersum*, サンショウモ *Salvinia natans*, タヌキモ属 *Utricularia* sp. であった。

試験池に生育していた 33 株のハスを刈払い試験の対象とした。試験地ではハスは疎らに分布しており、ハス

Fig. 1. Location of the study site. Panels A and B show the locations of Lake Izunuma and the water garden neighboring the lake. Star mark in Panel C indicates the study pond. The shaded area indicates water. Lines and arrows indicate ditches and directions of water flow.

調査地位置図。パネル A は伊豆沼の位置を、パネル B は沼に隣接する植物園の位置を示す。パネル C の中の星印は植物園の中にある調査池の位置を示す。灰色は水面を、矢印は水の流れを示す。

の浮葉が観察され始めた5月中旬頃、株間の距離が2 m以上離れている株を試験用を選び、株の近傍には番号札を付けた竹竿を刺して目印とした。これらの株の葉は全て浮葉で、試験実施時の1株当たりの平均葉数は9.6枚（最小-最大：1～38枚）、葉の直径は平均28.1 cm（最小-最大：5～62 cm）、平均水深59.3 cm（最小-最大：46～76 cm）の水域に生えていた。これら33株を無作為に11株ずつ3つの群（A～C群とする）に分けた。A～C群の株の葉数はそれぞれ10.1枚（最小-最大：2～36枚）、8.3枚（最小-最大：2～31枚）、10.5枚（最小-最大：1～38枚）で、葉数の違いは見られなかった（Wilcoxon's 符号付順位検定： $p>0.05$ ）。A～C群の株について、それぞれ異なる頻度で刈払った。A群は試験開始日の6:00に1回だけ刈払い、B群は試験開始日以降3日間隔で6:00に刈払った。C群では、ハスの呼吸を阻害する目的で、水面上に出葉しないよう試験開始日から1日2回、6:00と18:00に刈払った。A～C群のハスの刈払い方法は全て同じで、胴長を着て池に立ち入った調査者が、それぞれの株の水面上への出葉数を記録した後、長柄鎌（柄長1 m）を用いて水深40 cmの深さで葉柄を刈払った。池は水深約50 cmまで目視することが可能であったため、水面上の葉や水深40 cm以浅に確認された伸長中の葉を全て目視して長柄鎌で刈払うことが可能であった。A群とB群のハスは2015年6月14日を、C群のハスは6月30日を試験開始日とし、1回目の刈払いを行った。水面上への出葉数は、試験開始日から15日間毎日記録した。また、試験開始日から30日後と60日後にもハスの出葉状況を確認した。なお、隣接する伊豆沼・内沼の測定された調査期間中の水温（水深20 cm）は平均24.4℃（最小-最大：21.0～31.0℃）であった。

データ分析

本研究では、最後の刈払いから3日間水面上に出葉しなかった株が、それ以降に出葉して回復した事例はなかったことから、4日間以上出葉しなかった株は枯死したと判定した。刈払いによる枯死と葉数との関係について評価するため、A群とB群の株の1回目の刈払い後も生残していた株と枯死した株の刈払い前の葉数の違いを、Mann-WhitneyのU検定を用いて検定した。あわせて、生残した株については、刈払い前の葉数と、刈払い後に最初に水面に葉を出すまでの日数との関係について、ケンドールの順位相関検定を行なった。また、1回目の刈払い以降、B群の株は3日間隔で刈払いを繰り返し、4回目ですべての株が枯死したため、A群とB群の枯死し

た株を対象に、刈払い前の株の葉数と、株が枯死するまでの日数との関係についてケンドールの順位相関検定を行なった。刈払い間隔が異なるB群（3日に1回）とC群（1日2回）について、実験開始から枯死までの日数の違いをカプラン・マイヤー法による生存分析で検定した。統計分析にはエクセル統計2008 for windows（株式会社 社会情報サービス社）を用い、危険率5%を有意水準とした。

結果

1) 刈払い後の生残に及ぼすハスの葉数の影響

A群とB群の22株のうち、1回目の刈払い後に8株（36.4%）が枯死した。枯死した株の刈払い前の平均葉数（ 4.5 ± 0.8 枚、最小-最大2～9枚）は、生残した株の葉数（ 11.9 ± 2.8 枚、最小-最大3～36枚）の半数以下で、有意に少なかった（Fig. 2； $p<0.05$ Mann-Whitney U-test）。生残した株が、新しい葉を刈払い後に水面上に出葉させるまでの日数は、刈払い前の葉数が多かった株ほど短かった（Fig. 3；ケンドールの順位相関行列、 $r=-0.471$, $p=0.0396$ ）。生残した株は、刈払い後3日以内に新しい葉が水面上に出葉していた。3日以内に葉が出なかった株は、60日後も葉が出ていなかったため、

Fig. 2. Comparison of the number of leaves at the start of the experiment between living and dead lotus ramets.

1回目の刈払い後に生残したハスと枯死したハスの刈払い前の葉数の比較。

Fig. 3. Relationship between the number of days until the emergence of new lotus leaf after cutting and the number of leaves at the start of the experiment.
刈払い前のハスの葉数と刈払い後の初めての出葉までの日数の関係.

Fig. 4. Relation between the number of leaves at the start of the experiment and the number of cuttings performed until the lotus died.
刈払い前のハスの葉数とハスが枯死するまでに掛かった刈払い回数との関係.

Fig. 5. Increase in the number of leaves of lotus after the cutting of leaves. Numbers on adjacent lines indicate the initial number of leaves of the lotus ramets.
1 回目の刈払い後に生残した株のその後の葉数の変化. 折れ線のそばの数字は刈払い前の葉数を示す.

そのまま枯死したと考えられた。なお、刈払われた葉の葉柄が水面まで伸長するケースも観察されなかった。A 群と B 群について、刈払い前のハスの葉数とハスが枯死するまでの日数には正の相関関係がみられた (Fig. 4; ケンドールの順位相関行列, $r=0.651$, $p=0.025$)。A 群の 1 回目の刈払い後に生残していた 7 株のうち、刈払

い前の葉数が多かった 2 株は、3 日以内に 3～4 枚出葉し、その後も葉数が徐々に増加したが、10 枚以下だった 5 株は、3 日以内の出葉数は 1 枚のみで、15 日間経っても 4 枚までしか増加せず、刈払い後の成長には大きな違いがみられた (Fig. 5)。

Fig. 6. Comparison of the effects of two types of intervals of cutting on the number of lotuses with floating leaves. Black triangles indicate the timing of cutting.
刈払い間隔の違いがハスの水面上への出葉に及ぼす影響の比較。折れ線の上にある黒三角は刈払いを実施した時点を示す。

2) 刈払い後の出葉阻害がハスの生残に及ぼす影響

1日2回の刈払いによって3日間出葉を防がれたC群の11株は、3日目までは水面下で葉を伸ばしていたものの、4日目以降は水面下でも新しい葉は見られなくなった。この試験では、水面下で刈払った葉数を記録していなかったため、C群の株の枯死日を正確に判定することができなかった。そこでC群については3日目までに枯死したとした。これらの結果を基に、刈払い間隔が異なるB群とC群の実験開始から枯死までの日数を比較したところ、平均6日（3日～12日）であったB群に対し、C群は3日目までに枯死しており、生存日数には有意な差がみられた（Fig. 6： Kaplan・マイヤー法による生存分析； $p>0.05$ ）。なお、C群の株について、刈払い後に水面下に残っていた葉柄を観察したところ、刈払い後5日目まで葉柄はほとんど伸長せず、水面下で硬い状態を保っていたが、6日目には葉柄が溶けはじめ、遅くとも14日目までには全ての葉柄が溶けて枯死していた。

考 察

本研究では、ハスの効果的な刈払い方法の検討のため、出葉の阻害の有効性を評価する目的で野外試験を行った。

A群とB群の試験で、株の刈払い前の葉数と刈払いによる生死との関係について評価した結果、刈払い後に生残したハスは、枯死した株よりも葉数が多かった（Fig. 2）。また、刈払い前の葉数の多かった株ほど、枯死までに必要な刈払い回数は多かった（Fig. 6）。刈払い後に生残した株も、その葉数の増加速度は刈払い前の葉数が多かった株の方が大きかった（Fig. 5）。これらの結果から、葉数の少ない生長初期段階に刈払う方が、枯死させやすく、またその後の生長も抑えられ、ハスの管理には有効な手法であることが示された。

C群を加えた試験で、出葉を阻害した場合には葉数に関わらず早期に枯死するかどうか評価したところ、3日以内に出葉できなかった株は葉数に関わらず枯死し（Fig. 6）、ハスの出葉の可否は刈払い後の生死を決定する重要な条件であることが示された。本研究では、ハスの葉柄の伸長速度を計測していなかったが、少なくとも40 cm以深から1日で伸長して出葉していた。この値はNohara & Tsuchiya（1990）で報告された冠水時の葉柄の最大伸長速度（25 cm/day）よりも大きかった。刈払われたハスは急激に葉柄を伸長させると言える。

このように速い成長を示すハスに対しては、C群で行ったような出葉を確実に阻害する形の刈払い方法を管理の現場で実施するのは現実的ではない。しかし、実際に

は出葉を確実に阻害しなくても、刈払いの繰り返しによりハスは全て枯死したことから、ハス管理の現場でも刈払いの繰り返しが現実的な方法となるだろう。刈払いの繰り返しによってハスが枯死するメカニズムについては、本研究の結果だけでは不明だが、大型の株を枯死させるには刈払いをより多く繰り返す必要があったこと、大型の株ほど出葉までの日数が短かったことなどから、株のサイズに応じた何らかの要素、例えば貯蔵物質や貯えた酸素の量がその生死に関係していたのかもしれない。また、大賀（1940）が記しているように、ハスは葉が数枚に達すると分枝し、成長点の数も多くなることから、大型の株ほど出葉する可能性が高かったとも考えられる。さまざまな植物の防除や管理に関わる研究で、作業後の生残に影響する要素の検証が行われており（Sale & Wetzel 1983；Sharma & Kushwaha 1990；大澤・赤坂 2007）、ハスの適正管理においてもこれらの検証が今後の研究課題の一つになるだろう。

実際の刈払い作業では、本研究では評価していなかったリスクが生じる可能性がある。本研究では、水底近くまで見通すことが可能であったため、水深 40 cm までの葉は全て発見して刈払うことができた。しかし実際の刈払い作業では、濁った水域で大量の株を対象として作業するため、全ての葉を見つけて着実に刈払うことは困難である。このような刈り残しのリスクを考えると、刈払いの繰り返しはさらに重要だと言える。伊豆沼で刈払いを実施した研究では、年 2 回以上の刈払いが効果的であり、2 年間の作業で群落が消失したことを報告している（芦澤ほか 2015）。この試験では、年 1 回の刈払いではむしろハスの葉数が増えるケースもあった。したがって、ハス群落の刈払いにおいて、刈払い作業の繰り返しは不可欠だろう。

もう一つのリスクとして抽水葉（立葉）の存在がある。ハスは成長すると立葉を出す、立葉は浮葉と比較して茎が太く刈り難い上に、刈払い後に大型の葉が水面に浮いて作業船の航行を妨げやすい（芦澤ほか 2015）。また、本研究では立葉に対する刈払い試験は行なわなかったが、立葉を刈払った事例では、立葉の茎はしばしば水面下で曲がっていて、刈払われた際は、茎の曲がっていた部分を水面に向け、切断面を水上に付き出して呼吸することが観察されており（林 2013）、浮葉とは異なる回復方法を持つと言える。これらのリスクを勘案すると、ハスの葉数が少なく浮葉で構成されている成長初期に刈払いを実施することが重要だと言える。

本研究では、富栄養化した湖沼での繁茂が問題となっ

ているハスを対象に、出葉の可否が刈払い後の枯死に関わる重要な条件であることを明らかにした。そのためには、生長初期段階の刈払いの繰り返しが効果的であることも示唆された。近年、手賀沼ではハスの葉柄を水中部で刈り、葉柄部の通気組織を水没させて窒息させることに焦点をあてた駆除試験が行われており（林 2014）、本研究はこの手法の有効性を支持した。ハス管理技術については、有効な技術の開発が求められており（平塚・山室 2013）、本研究で得られた知見は、手賀沼での駆除試験（林 2014）や、舟を利用したハス刈り装置（芦澤ほか 2015）の運用などに適用できるだろう。今後、さまざまな試験研究のデータが揃うことで、より実用的な技術の確立が期待される。

謝 辞

本研究は伊豆沼・内沼自然再生事業の一環で実施した。本研究を実施するにあたり、宮城県伊豆沼・内沼環境保全財団の嶋田哲郎氏・速水裕樹氏・芦澤淳氏（現 仙台市うみの杜水族館）・森晃氏（現 千葉県生物多様性センター）には、貴重なご意見を頂いた。記して感謝を申し上げる。

摘 要

富栄養化した湖沼ではハス *Nelumbo nucifera* の過剰繁茂による水質汚濁や生物多様性の劣化が問題となっている。このため、刈払い等によるハスの管理活動がいくつかの湖沼で行われてきた。ハスの効果的な管理手法の開発のため、刈払いがハスの生残に及ぼす影響を伊豆沼に隣接する試験池で評価した。試験池に生育していた 2～36 枚の葉を持つ 22 株のハスについて、葉の葉柄を水面下 40 cm の位置で刈払ったところ、8 株（36.4%）が枯死した。枯死した株の刈払い前の平均葉数（ 4.5 ± 0.8 枚、最小～最大：2～9 枚）は、生残した株の葉数（ 11.9 ± 2.8 枚、最小～最大：3～36 枚）の半数以下であった。この時、3 日以内に水面に新しい葉を出葉させた株は生残し、出葉できなかった株はそのまま枯死していた。そこで、葉数 1～38 枚の葉を持つ 11 株のハスについて、水面へ出葉を阻害するよう、短い間隔で刈払ったところ、刈払い前の葉数に関わらず全ての株が 3 日以内に枯死した。この結果は、出葉の可否が刈払い後の生死を決定する重要な条件であることを意味する。したがって、葉数の少ない時期を中心に、繰り返し刈払う管理方式は、

出葉の阻害に着目した有効な手法になると考えられる。

キーワード：伊豆沼・内沼、水生植物、管理、刈払い

引用文献

- 芦澤 淳・星 雅俊・藤本泰文・嶋田哲郎 (2015) 湖沼における刈払い装置を用いたハス群落の抑制方法に関する試験。伊豆沼・内沼研究報告 **9**: 61-70.
- Belal I.E.H. (2007) Controlling aquatic weeds in a Saudi drainage canal using grass carp (*Ctenopharyngodon idella* Val.). The Journal of Food, Agriculture and Environment **5**: 332-336.
- 藤本泰文 (2011) 伊豆沼・内沼に隣接するため池で観察されたハス *Nelumbo nucifera* の分布拡大にともなうコウガイモ *Vallisneria denseserrulata* 群落の消失。伊豆沼・内沼研究報告 **5**: 13-19.
- 林 紀男 (2013) ハス繁茂抑制刈り取り試行。手賀沼マシジミ・ガシャモクだより, **72**: 6. https://www.mashijimi.com/Tayori_POF/Tayori72web.pdf (2016 年 10 月 2 日確認)
- 林 紀男 (2014) 手賀沼ハス異常繁茂の刈り取り試験 (再度念押し刈り取り)。手賀沼マシジミ・ガシャモクだより, **75**: 1-3. https://www.mashijimi.com/Tayori_POF/Tayori75web.pdf (2016 年 10 月 2 日確認)
- 平塚智子・山室真澄 (2013) 国内におけるハス群落管理対策の事例。水草研究会誌 **99**: 38-43.
- 本江昭夫・福永和男 (1982) 草地雑草シバムギ、コヌカグサの防除におよぼす刈り取りと窒素施用の影響。雑草研究 **27**: 28-33.
- 星河廣樹・沢本良宏・伝田郁夫 (2016) 諏訪湖の水生植物再生調査-II。平成 26 年度長野県水産試験場事業報告: 19.
- 芳賀裕樹 (2008) 琵琶湖南湖で見られる沈水植物の増加について。日本水産学会誌 **74**: 892-894.
- 角野康郎 (1994) 日本水草図鑑。179 pp. 文一総合出版, 東京.
- 角野康郎 (2007) 達古武沼における過去 30 年間の水生植物の変遷。陸水学雑誌 **68**: 105-108.
- 川合 宏・岩浪清高 (1988) 伊豆沼・内沼のハスに関する試験。伊豆沼・内沼環境保全学術調査報告書。(伊豆沼・内沼環境保全学術調査委員会編), pp. 263-269, 宮城県。仙台.
- Kunii H. & Maeda K. (1982) Seasonal and long-term changes in surface cover of aquatic plants in a shallow pond, Ojaga-ike, Chiba, Japan. Hydrobiologia **87**: 45-55.
- 丸野慎也・浜端悦治 (2016) 琵琶湖南湖において水草刈り取りが沈水植物群落に与える影響。伊豆沼・内沼研究報告 **10**: 9-19.
- Marwat S.K., Khan M.A., Rehman F.U., Ahmad M. & Zafar M. (2011) Biodiversity and importance of floating weeds of Dara Ismail, Khan District of Kpk, Pakistan. African Journal of Traditional, Complementary, and Alternative Medicines **8** (5 Suppl): 97-107.
- 宮城県伊豆沼・内沼環境保全財団 (2010) 伊豆沼・内沼産植物リスト。伊豆沼・内沼研究報告 **4**: 41-61.
- Nohara S. & Tsuchiya T. (1990) Effects of water level fluctuation on the growth of *Nelumbo nucifera* Gaertn. in Lake Kasumigaura, Japan. Ecological Research **5**: 237-252.
- Nohara S. & Kimura M. (1997) Growth characteristics of *Nelumbo nucifera* Gaertn. in response to water depth and flooding. Ecological Research **12**: 11-20.
- 大賀一郎 (1940) 蓮根の形態とその生長について。糧食研究 **168**: 367-381.
- 大澤剛士・赤坂宗光 (2007) 特定外来生物オオハングンソウ (*Rudbeckia laciniata* L.) が 6 月の刈り取りから受ける影響: 地下部サイズに注目して。保全生態学研究 **12**: 151-155.
- Sale P.J.M. & Wetzel R.G. (1983) Growth and metabolism of *Typha* species in relation to cutting treatments. Aquatic Botany **15**: 321-334.
- Sharma K.P. & Kushwaha S.P.S. (1990) Effect of cutting of aboveground organs of *Typha angustata* Bory & Chaub on its growth and total chlorophyll content. Aquatic Botany **36**: 293-296.
- 嶋田哲郎・神山和夫・森 晃・藤本泰文 (2016) UAV を用いたマガンねぐらの環境収容力の推定。日本鳥学会誌 **65**: 161-166.
- 田中 斉 (2009) 淀川でのボタンウキクサ (通称: ウォーターレタス) 除去に関する取り組み, 平成 21 年度近畿地方整備局研究発表会論文集, 国土交通省近畿地方整備局, <http://www.mlit.go.jp/chosahokoku/h21giken/program/kadai/pdf/ippan/ippan3-09.pdf> (2017 年 4 月 2 日確認)
- Tsuchiya T. & Nohara S. (1989) Growth and life span of the leaves of *Nelumbo nucifera* Gaertn. in lake Kasumigaura, Japan. Aquatic botany **36**: 87-95.
- 安野翔・嶋田哲郎・芦澤 淳・星 雅俊・藤本泰文・菊地永祐 (2015) 伊豆沼のハス群落拡大に伴う底生動物群集への影響。伊豆沼・内沼研究報告 **9**: 13-22.