

Environment Research and Technology Development Fund

環境研究総合推進費 終了研究成果報告書

4-1801 「特定外来種オオバナミズキンバイの拡大防止策と
効果的防除手法の開発」
(JPMEERF20184001)
平成30年度～令和2年度

Development of Measures for Expansion Prevention and Effective Reduction
of Invasive Alien Species *Ludwigia grandiflora* subsp. *hexapetala*

〈研究代表機関〉
国立大学法人京都大学

〈研究分担機関〉
公立大学法人滋賀県立大学
日本ミクニヤ株式会社

○図表番号の付番方法について

「Ⅰ. 成果の概要」の図表番号は「0. 通し番号」としております。なお、「Ⅱ. 成果の詳細」にて使用した図表を転用する場合には、転用元と同じ番号を付番しております。

「Ⅱ. 成果の詳細」の図表番号は「サブテーマ番号. 通し番号」としております。なお、異なるサブテーマから図表を転用する場合は、転用元と同じ図表番号としております。

令和3年5月

目次

I. 成果の概要	・・・・・・・・・・	1
1. はじめに（研究背景等）		
2. 研究開発目的		
3. 研究目標		
4. 研究開発内容		
5. 研究成果		
5-1. 成果の概要		
5-2. 環境政策等への貢献		
5-3. 研究目標の達成状況		
6. 研究成果の発表状況		
6-1. 査読付き論文		
6-2. 知的財産権		
6-3. その他発表件数		
7. 国際共同研究等の状況		
8. 研究者略歴		
II. 成果の詳細		
II-1 ポテンシャルハビタットマップを駆使した効果的駆除方法の開発 （国立大学法人京都大学）	・・・・・・・・・・	17
要旨		
1. 研究開発目的		
2. 研究目標		
3. 研究開発内容		
4. 結果及び考察		
5. 研究目標の達成状況		
6. 引用文献		
II-2 鳥類が行う種子散布・断片散布による拡大可能性の検討 （公立大学法人滋賀県立大学）	・・・・・・・・・・	41
要旨		
1. 研究開発目的		
2. 研究目標		
3. 研究開発内容		
4. 結果及び考察		
5. 研究目標の達成状況		
6. 引用文献		

Ⅱ－3 高温好気発酵分解技術による減容化と有効利用法の検討 (日本ミクニヤ株式会社)	55
---	----

要旨

1. 研究開発目的
2. 研究目標
3. 研究開発内容
4. 結果及び考察
5. 研究目標の達成状況
6. 引用文献

Ⅲ. 研究成果の発表状況の詳細	72
-----------------	----

Ⅳ. 英文Abstract	79
---------------	----

I. 成果の概要

課題名 4-1801 特定外来種オオバナミズキンバイの拡大防止策と効果的防除手法の開発

課題代表者名 田中 周平 (国立大学法人京都大学大学院地球環境学堂 准教授)

重点課題 主：【重点課題⑫】生物多様性の保全とそれに資する科学的知見の充実にに向けた研究・技術開発

行政要請研究テーマ（行政ニーズ） (4-10) 新たに侵入する外来種に対する被害防止技術の開発と防除事業への適用

研究実施期間 平成30年度～令和2年度

研究経費 (千円)

	契約額	実績額 (前事業年度繰越分支出額含む)
平成30年度	9,634	9,634
令和1年度	9,976	9,976
令和2年度	9,976	9,976
合計額	29,586	29,586

本研究のキーワード 外来植物、琵琶湖、オオバナミズキンバイ、ポテンシャルハビタット、効果的防除方法

研究体制

(サブテーマ1) ポテンシャルハビタットマップを駆使した効率的防除方法の検討 (京都大学)

(サブテーマ2) 鳥類が行う種子散布・断片散布による拡大可能性の検討 (滋賀県立大学)

(サブテーマ3) 高温好気発酵分解技術による減容化と有効利用法の検討 (日本ミクニヤ株式会社)

研究協力機関はない。

1. はじめに (研究背景等)

生物多様性条約第10回締約国会議で採択された「愛知目標」の達成に向け、生物多様性国家戦略2012-2020が進められている。2014年6月に改正された「外来生物法」によって、特定外来生物として新たに *Ludwigia grandiflora* (オオバナミズキンバイ、以下本種と記載) が規制対象となった。本種は、断片化した茎などから根を伸ばして繁殖し、水面にマット状の群落を形成する。国際連合食糧農業機関の雑草性リスク評価法を用いた評価では、外来生物9種と比較して最も高いリスクを示した。琵琶湖沿岸では本種を対象とした駆除活動が行われているが、繁殖力が強いいため、物理的な駆除活動では対策が追いついていない。本種が繁茂した結果、在来種の被度が減少し一部の在来種は当該地区から消失したとの報告もある。そのため、生態の解明と有効な駆除方法の開発が喫緊の課題となっている。

研究代表者らは、2008～2011年に琵琶湖岸ヨシ群落118 haを対象に単独測位携帯型GPS植生調査を実施し、383種の植物種が生育することを確認し、環境省レッドデータブック記載種13種 (絶滅危惧IB類1種, 絶滅危惧II類3種, 準絶滅危惧9種), 滋賀県RDB記載種25種 (絶滅危惧増大種3種, 希少種10種, 分布上重要種3種, その他重要種9種) の生育場所を明らかにした (総出現面積106,725 m²)。これら絶滅の恐れのある植物種の多くは、琵琶湖北湖西岸に生育していた。

本種は2009年に琵琶湖岸に侵入後、2013年12月時点では53,200 m²にまで拡大した。滋賀県は2014年度約5千万円の予算を計上し、2016年度には補正予算を含めて約3億5千万円をかけて駆除対策に乗り出したが、その後も拡大の一途をたどり、2016年12月時点で244,609 m²に拡大した。これは、琵琶湖岸に生息する383種の植物種のうち2番目の生育面積である。すなわち、2014年6月の特定外来種指定後も4倍以上に面積を拡大させたことになる。近縁種間に交雑親和性があることから、絶滅危惧II類の在来種ミズキンバイやケミズキンバイとの交雑や遺伝的攪乱を引き起こす可能性が示唆されている。

懸命な駆除活動にも関わらず、面積が拡大した要因のひとつに、生態的特性の理解が不十分なことが挙げられる。機械による大規模駆除により断片が拡散し、6か月後には本種の生育面積が2.7倍に拡大した例（矢橋地区）などがある。生態学的理解を加えた効果的な防除方法の開発が求められていた。本研究では、特定外来種を低密度状態で制御することを可能とする管理マニュアルを作成し、対策協議会などに技術提案することを主目的とし、在来種を保全し多様性のある里湖（さとうみ）の形成に寄与する。大学における学術研究と民間企業等の実用化研究とを融合させたコンソーシアム型研究を推進した。

2. 研究開発目的

本研究の最終目標は、特定外来種オオバナミズキンバイを低密度状態で制御することを可能とする管理マニュアルを作成し、対策協議会などに技術提案することである。サブテーマ（1）では、波浪条件、水位等から本種の繁茂可能性の高い場所（ポテンシャルハビタット）を予測し、保護すべき貴重植物の分布状況などから、駆除効果の高い個所を明示することを目的とした。ドローン技術や環境DNA技術を駆使することで、拡大を早期発見または予測する予防的観測・駆除方法を開発した。サブテーマ（2）では、本種の生活史特性を把握し、さらに鳥類が行う種子散布・断片散布の実態を把握することを目的とした。サブテーマ（3）では、高温好気発酵技術による本種の減容化のための最適管理条件を示すことを目的とした。拡大防止策、効果的防除方法、予防的観測方法、生物的拡大予測を組み合わせ、低密度状態での制御を可能とするより精度の高い管理マニュアルを作成し、さらに効率的減容条件を示すことで、拡大が広がった地域での対策も可能とすることを主目的とする。

3. 研究目標

全体目標	ポテンシャルハビタットマップによる踏査範囲の縮小による効率化 生活史特性、断片からの再生条件の把握による具体的な防除方法の提案 環境DNA分析を活用した外来種侵入初期における簡便な発見手法の開発 刈取り後のオオバナミズキンバイの効率的減容化技術 を盛り込んだ低密度状態での制御を可能とする管理マニュアルの作成
サブテーマ1	ポテンシャルハビタットマップを駆使した効率的防除方法の検討
サブテーマリーダー /所属機関	田中周平／京都大学
目標	<ul style="list-style-type: none"> ・琵琶湖岸抽水植物群落55群落におけるオオバナミズキンバイのポテンシャルハビタットを予測し地図化することで、防除のための踏査面積を従来の50%未満にまで削減する。 ・種々の大きさの断片からの再生に関する実験を行い、大規模駆除の後の断片回収用の網の適切なメッシュサイズを明示する。 ・ドローン技術を用いた簡易観察手法の開発による定期観測の効率化（従来法と比較して50%未満にまで削減） ・水中の環境DNA測定による本種の存在確認技術の精度の検証と琵琶湖への適用

	<ul style="list-style-type: none"> ・低密度状態での制御を可能とする管理マニュアルを作成し、琵琶湖岸の防除を担当する滋賀県、環境省に加えて、霞ヶ浦などオオバナミズキンバイの侵入が確認された国内他地域の関係者にも配布し技術提供する。
--	---

サブテーマ2	鳥類が行う種子散布・断片散布による拡大可能性の検討
サブテーマリーダー/所属機関	野間直彦/滋賀県立大学
目標	<ul style="list-style-type: none"> ・水鳥の体表（羽毛）でのオオバナミズキンバイ種子・茎の付着散布を解明するために、鳥インフルエンザのモニタリングのために調査され結果が陰性であった水鳥の死体をもらい受け調査する。琵琶湖の現状からはオオバナミズキンバイ種子を水鳥死体から得ることは難しいと考えられるが、糞により散布された種子の結果と比較し散布可能性を評価する。 ・糞によって種子を散布した水鳥の種類を、糞に含まれるDNAを分析することで明らかにする。 ・種子と植物体断片からの発芽・生育調査のこれまでの結果の総合と追加実験を行い、再生条件を定量的に明らかにする。 ・ここ2-3年で新たに確認された分布地の特性を調査し、これまでの成果と総合することで、鳥類が関係する拡大パターン特性の予測を行う。

サブテーマ3	高温好気発酵分解技術による減容化と有効利用法の検討
サブテーマリーダー/所属機関	徳岡誠人/日本ミクニヤ株式会社
目標	<ul style="list-style-type: none"> ・従来焼却や埋め立て処分されていた刈取後のオオバナミズキンバイに対して、高温好気発酵分解技術を用い、95%以上の減容化が可能となる条件（発酵槽内温度、破碎方法、送気量、攪拌頻度等）を明らかにすることで、処理場に対する負荷の軽減に資する方策を提示する。 ・バイオマス利用の促進により高騰している担体（杉チップ）の代替材を明らかにすることで、従来と同等の減容化率（95%以上）を担保し、かつ従来の発酵分解処理のコストが40%削減可能な処理プロセスを開発する。 ・杉チップおよび担体の代替材候補による減容化実験により発生した減容後の残渣について、成分分析を実施し、肥料成分および安全性の評価を行う。さらに農場によるコマツナ栽培実験により、化成肥料の代替有機肥料としての有効性を評価する。

4. 研究開発内容

サブテーマ(1) ポテンシャルハビタットマップを駆使した効率的防除方法の検討、田中周平・京都大学 駆除活動が本格化する前の繁茂状態を検討する目的で、2015年度に琵琶湖南湖52群落、北湖3群落で実施した単独測位携帯型GPS植生区分踏査の結果を整理したところ、水流が滞る湖岸に本種が繁茂する傾向が読み取れた。ブレットシュナイダー法によって計算した有義波高と本種の侵入地盤高との間には明確な関係があることが分かった。平成30年度は、物理的条件（波浪、地盤高等）により見出された繁茂可能性の高い場所を「ポテンシャルハビタット」とし、琵琶湖岸各地でのポテンシャルハビタットマップを作成した。さらに、絶滅の可能性のある貴重植物種の生息場所への本種の侵入を防ぐために、保護すべき植生を把握し、重点監視区域を設定して、駆除の効率化を図った。

令和元年度は、重点監視区域において駆除頻度を数段階（1回／3週間、1回／1か月、1回／2か月、1回／1年）に分け、適切な駆除頻度を検討した。駆除活動では、湖岸堤の下などに本種の断片が残り、そこから再増殖する様子を多く観察してきた。大規模な駆除活動により散乱した断片をネット等により回収する試みを実施した。本種は冬季にも緑色を呈することから、ドローン技術を活用した簡易観測手法の開発を行い、定期観測の効率化を図った。

令和2年度は、環境DNA技術を用いて水中から本種の遺伝子を抽出する方法を検討した。既存の研究で沈水植物のクロモとオオカナダモについて環境DNA手法の検討が行われており、本手法を参考にして本種の環境DNA手法を検討した。植生調査による本種の有無と環境DNA分析の結果とを比較することで、環境DNA測定での本種の存在量とDNA量との関係を検討した。琵琶湖北湖において大規模環境DNA調査を実施し、予防的対策手法の手順を確認した。

サブテーマ（2）鳥類が行う種子散布・断片散布による拡大可能性の検討、野間直彦・滋賀県立大学

琵琶湖南湖東岸から定着を始めた本種は、現在、琵琶湖南湖西岸にもその範囲を広げている。南湖東岸は人工護岸化が進んでおり、貴重植物種はほとんど生育していなかったが、南湖西岸には自生護岸が多く残っており、そこに貴重植物種が多数生育していた。今後、さらに貴重植物種の多い琵琶湖北湖に拡大することを防ぐことは、琵琶湖岸の生物多様性を保持するために、重要な課題である。平成30年度は、生物的拡大予測のために、野外に調査地点を設置して定期観察を実施することで、本種の生活史特性を把握した。また、特に分散に関係の深い群落の消長（成長と離脱）様式や、果実・種子の分散状況、実生の発芽状況に関して調査を実施した。さらに湖岸において糞から種子を採取し、鳥類が行う種子散布の実態調査を実施した。令和元年度は、種子からの拡大条件を検討するために、鳥類が摂食排出した種子を含む発芽生育試験を行った。また令和2年度には、鳥類の生活動態、本種の種子・断片散布頻度、種子・断片からの再生条件を加味し、生物学的拡大予測を行った。

サブテーマ（3）高温好気発酵分解技術による減容化と有効利用法の検討、徳岡誠人・日本ミクニヤ株式会社

刈取り後の本種を対象に高温好気発酵技術を適用し、減容化のための効率的発酵条件を検討した。装置には有機物減容化装置ミシマックスを利用した。本装置は、試料を脱水した後、発酵分解槽内の微生物により、試料をアンモニア、水、炭酸ガスに分解する。平成30年度は、従来、余剰汚泥の減容化に使用されていた技術を特定外来種の減容化に適用する際の最適な酸素、熱、水分量を検討した。なお、本技術は、脱水、高温好気発酵により、余剰汚泥に対して24時間で95%の減容化を成功させており、導入実績を多数有する技術である。令和元年度は、さらに微生物の働きを活性化させる条件を検討し、短時間で高効率の減容化を目指した。微生物の生息環境のため間伐材である杉チップを供給しているが、さらに多孔質の材料を投入することで、微生物の活動を活性化できると予測した。令和2年度には、減容後の試料の有効利用法として、肥料化のための栄養塩含有量分析を行った。汚泥から作られた菌体肥料は、窒素・リンを多く含むため、多種多様な農作物の生育に適していると報告されている。本種をもとにした菌体肥料中の栄養塩含有率、元素含有率を測定することで、農作物への利用適正を検討した。

上記の3つのサブテーマを進めることで、平成30年度はポテンシャルハビタットマップを利用した重点監視区域を対策協議会に提案し、令和元年度には具体的な駆除頻度を記載した拡大防止策を提案した。令和2年度には、効果的駆除方法を提案し、さらにドローン技術や環境DNA技術を利用した予防的観測方法、効率的な減容化技術についても整理した管理マニュアルを作成した。本マニュアルを滋賀県、環境省、本種の対策協議会などに提出し、低密度状態での制御可能な管理方法の実践に貢献した。

5. 研究成果

5-1. 成果の概要

ポテンシャルハビタットマップの作成による巡回・駆除範囲の削減

2018年4月から7月下旬にかけて琵琶湖岸53地区132群落における2015年度のおオバナミズキンバイ分布調査の結果を整理し、2018年8月から11月下旬にかけて、各群落における有義波高を計算し、おオバナミズキンバイの繁茂可能性の高い地盤高を「ポテンシャルハビタット」としたマップを作成し冊子化した（カラー135ページ、50冊）。本書の解説を図1に示す。その結果、琵琶湖岸の抽水植物群落における

【本書の解説】

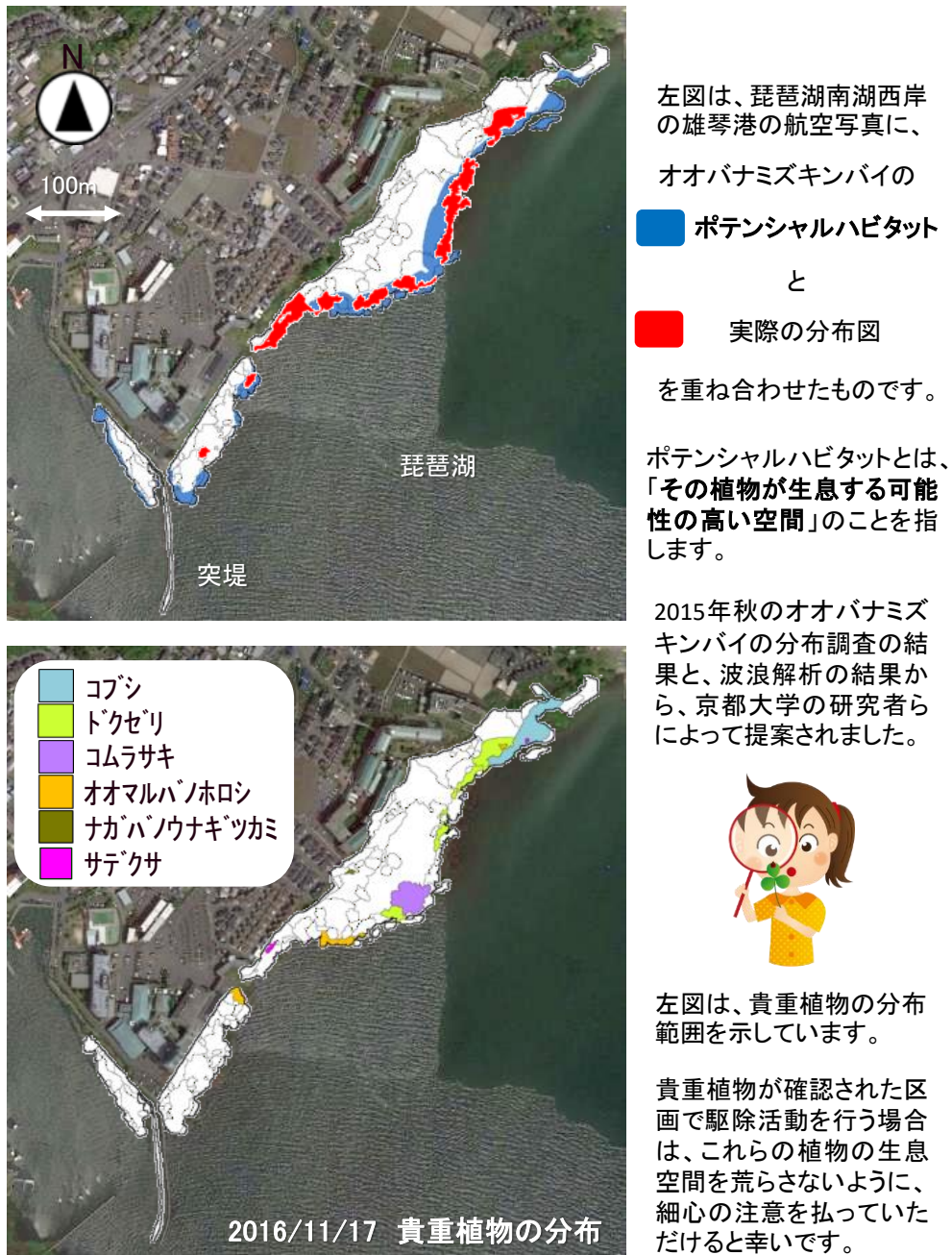


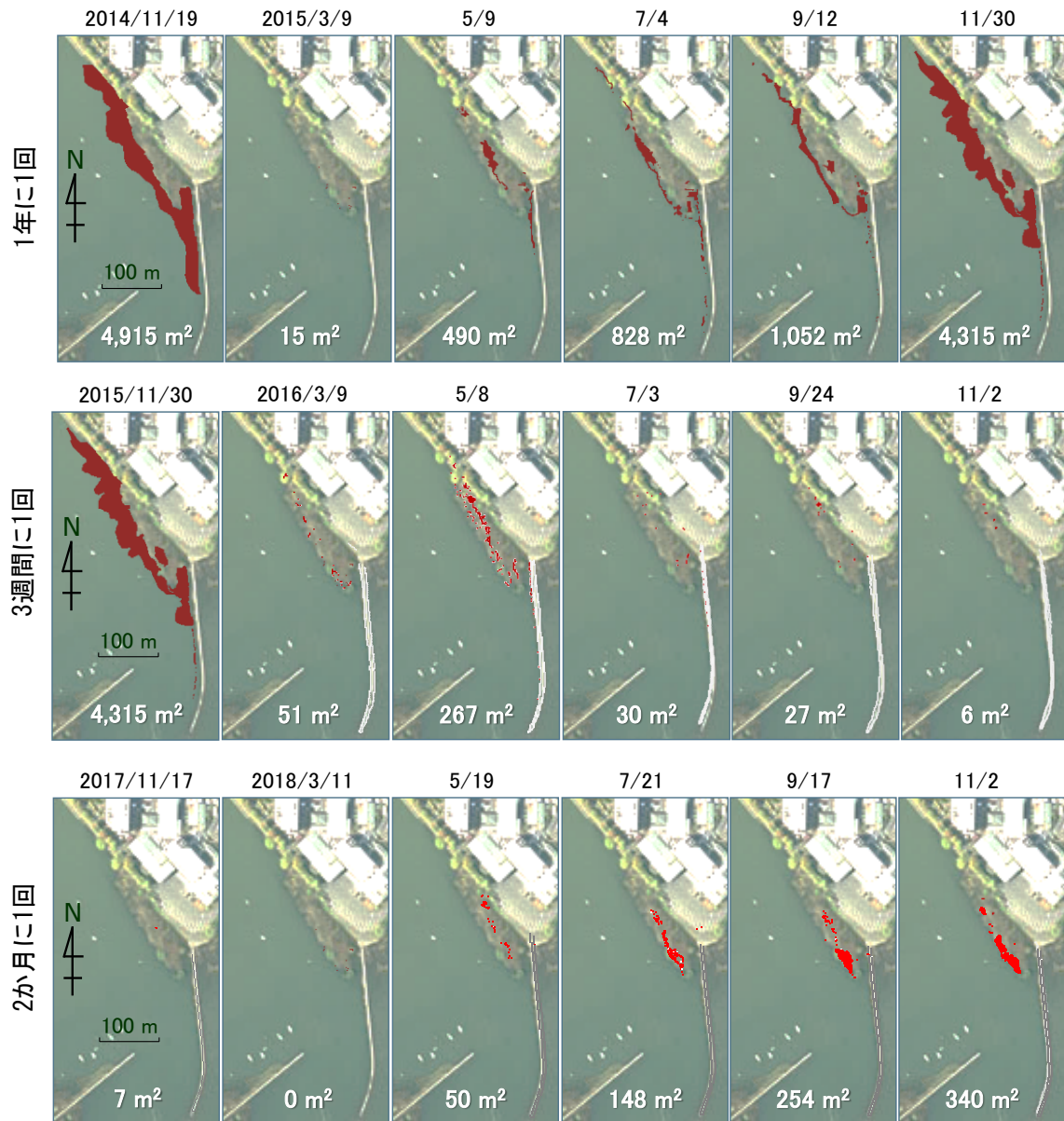
図1 ポテンシャルハビタットの解説の一部

防除のための踏査面積（＝ポテンシャルハビタット合計面積）を従来の40.1%（532,820 m²/1,329,925 m²）

にまで削減することができた（詳細な群落別のポテンシャルハビタットは別添資料1に示す）。

定点定期観察結果および再増殖を防ぐための定期的巡回・駆除の頻度

2018年5月から2020年10月まで2か月に1回の頻度で雄琴港の抽水植物群落においてオオバナミズキンバイ分布調査を定期的実施した。雄琴港におけるオオバナミズキンバイの2か月ごとの面積変化を図(1)-15に示す。その結果、3週間に1回の頻度で巡回・駆除を行うことで、低密度での管理を可能とすることができることが分かった。



図(1)-15 雄琴港におけるオオバナミズキンバイの2か月ごとの面積変化（左は巡回頻度を示す）

大規模駆除の後の断片回収用の網の適切なメッシュサイズの検討

駆除した本種の湿潤重量が12.3 kgであったのに対して、回収した断片の湿潤重量は0.5 kgであった。このことから、今回の調査では、駆除した本種の量に対して約4%が断片として発生することが示唆された。湿潤重量1t当りに換算すると、40.6 kgの断片が発生することがわかった。回収された断片を茎と葉に分け、個数および発生割合を算出した。回収された断片262個のうち茎は187個で、葉が75個であった。回収された断片のうち、71.4%が茎であったのに対して、28.6%が葉であった。

駆除後に発生した茎断片187個のうち、179個が節あり、8個が節なしであった。回収された茎断片のう

ち、95.7%が節あり、4.3%には節がみられなかった。湿潤重量1 t当たり40.6 kgの断片が発生するが、そのうち27.7 kgの茎断片に節があり再生する可能性があることが分かった。

回収した茎断片の187個のうち、茎径5 mm以上が1個、3～5 mmが56個、1～3 mmが124個、1 mm未満が6個であった。茎径1～3 mmが全体の66.3%を占め、96.8%が1 mm以上の茎断片であった。回収した茎断片187個のうち、茎長50 mm以上が134個、30～50 mmが26個、10～30 mmが20個、10 mm未満が7個であった。茎長50 mm以上が全体の71.7%を占め、96.3%が10 mm以上の茎断片であった。茎径および茎長別の分化率のデータを用いて、それぞれの茎断片の分化率を計算した結果を表(1)-7に示す。

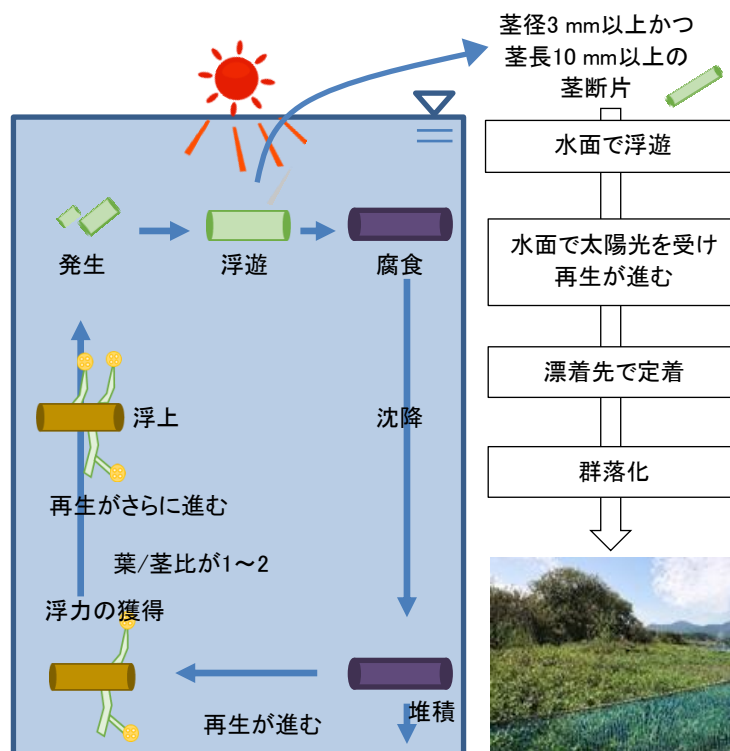
表(1)-7 発生した茎断片における分化割合

茎長(mm)	茎径(mm)			
	5以上	3～5	1～3	1未満
50以上	0.3	20.5	0	0
30以上50未満	0.1	3.6	0	0
10以上30未満	0.05	1.5	0	0
10未満	0.01	0.2	0	0

発生する茎断片の分化率:26.4% (単位:%)

これより、駆除後に発生する茎断片のうち26.4%が分化し再生する可能性が示唆された。種々の大きさの断片からの再生に関する実験を行い、大規模駆除の後の断片回収用の網の適切なメッシュサイズとして、1 mmメッシュの網を使用することで、再生を防ぐことが可能である結果を示した。

本研究で得た知見から、駆除後に発生する茎断片の水域内での挙動を検討した。茎断片の挙動の推定図を図(1)-22に示す。茎断片は、駆除直後は水面に浮遊する。節のある茎径3 mm以上かつ茎長10 mm以上の茎断片は沈降しないことを確認し、そのまま水面で太陽光を十分に受けて節から分化し、再生が進むと考えられた。その後、漂着先で定着し群落化することが推定される。一方、3 mm四方などの小さいものは日数を追うごとに茎が腐食しやすく、再生能力も低いことから、湖底に沈降する可能性がある。それらの茎断片は、湖底の日射条件で再生する。分化したのものに関しては、葉/茎比が大きくなると浮力を獲得し、水面に再び浮上し再生がさらに進むと考えられる。なお、3 mm四方よりも小さい茎断片に関しては、節からの分化が確認されなかったことから、湖底に沈降し堆積すると考えられた。



図(1)-22 駆除後に発生した茎断片の水域での挙動の推定

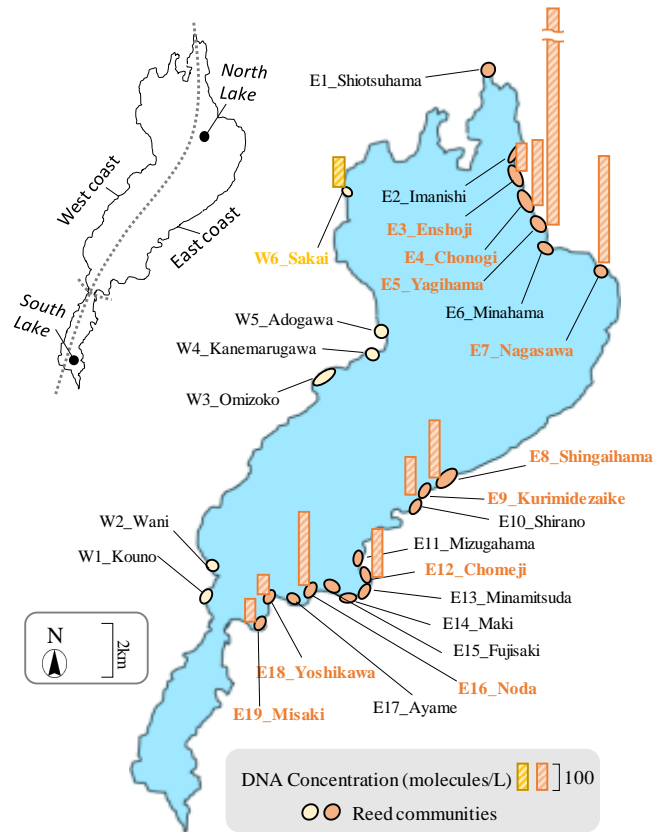
環境DNA技術を用いたオオバナミズキンバイ検出プロトコルの開発

本研究では、特定外来生物オオバナミズキンバイをモニタリングするための環境DNA分析（プライマー設計、定量PCRプログラム条件、環境DNAの採取、抽出、同定法を含む）に基づいた調査プロトコルを確立することができた。オオバナミズキンバイを水中の環境DNAから検出するプロトコルを確立し、実験室環境、実環境での検討の後、琵琶湖北湖沿岸の23か所において適用し、オオバナミズキンバイの存在可能性の高い群落を示した。

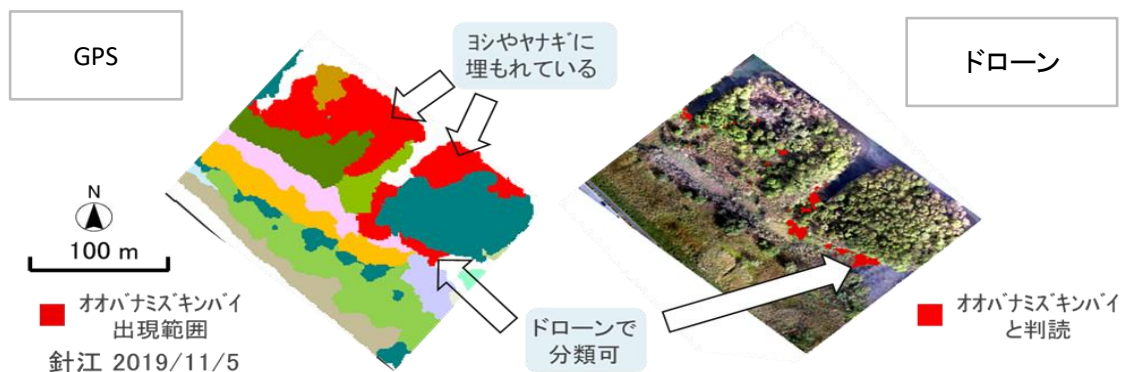
ドローンを援用した効率的なオオバナミズキンバイ調査方法

2019年11月5日に単独測位携帯型GPS植生調査法によって作成した植生図とドローンを用いた分類の結果を図(1)-27に示す。水域付近や植栽影響地では概ね一致したが、ヨシやヤナギ類と混生していた範囲ではほとんど判別できなかった。ドローンを用いた分類では、ヨシやヤナギ類といった高さのある植物と混生しているオオバナミズキンバイの判読が困難であり、水域や植栽影響地といった周囲の植物の高さが低い範囲ではオオバナミズキンバイの分類が可能と考えられた。よってオオバナミズキンバイの調査について、水域や植栽影響地ではドローンを用いた分類を適用することで労力を削減することが可能と考えられた。琵琶湖岸におけるポテンシャルハビタットは1,498,118 m²であり、水域の面積は1,128,831 m²であった。よって各地区においてもオオバナミズキンバイの分類可否が針江地区と同様と仮定した場合、75.3% (1,128,831 m²/1,498,118 m²) の範囲においてドローンの適用による労力削減が可能と考えられた。すなわち、従来法と比較して24.7%にまで削減することが可能であることを示した。

各群落のポテンシャルハビタットのうち、群落外（水域）面積が占める割合が50%未満である地区は赤野井湾、下笠、南山田、針江の4地区であり、それぞれ38%、44%、30%、36%であった。残りの23地区ではすべて50%以上であった。90%を超える地区もあり、矢橋、雄琴川ではそれぞれ91%、99%であった。地区によってはドローンを用いた分類を適用することが有効であった。



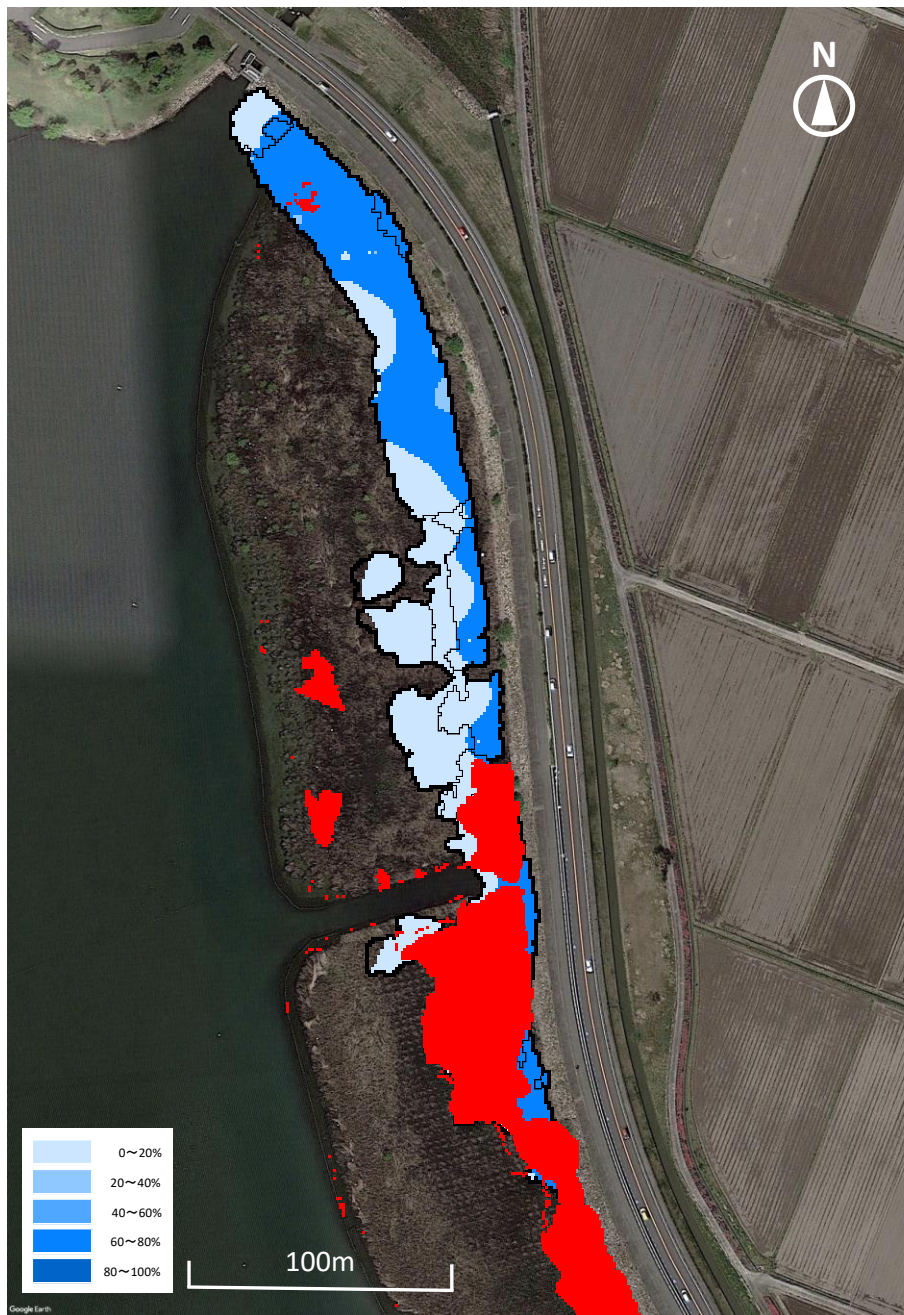
図(1)-25 琵琶湖北湖沿岸のオオバナミズキンバイ環境DNA分布



図(1)-27 単独測位携帯型GPS植生調査法によって作成した植生図とドローンを用いた分類

低密度状態での制御を可能とする管理マニュアルの作成

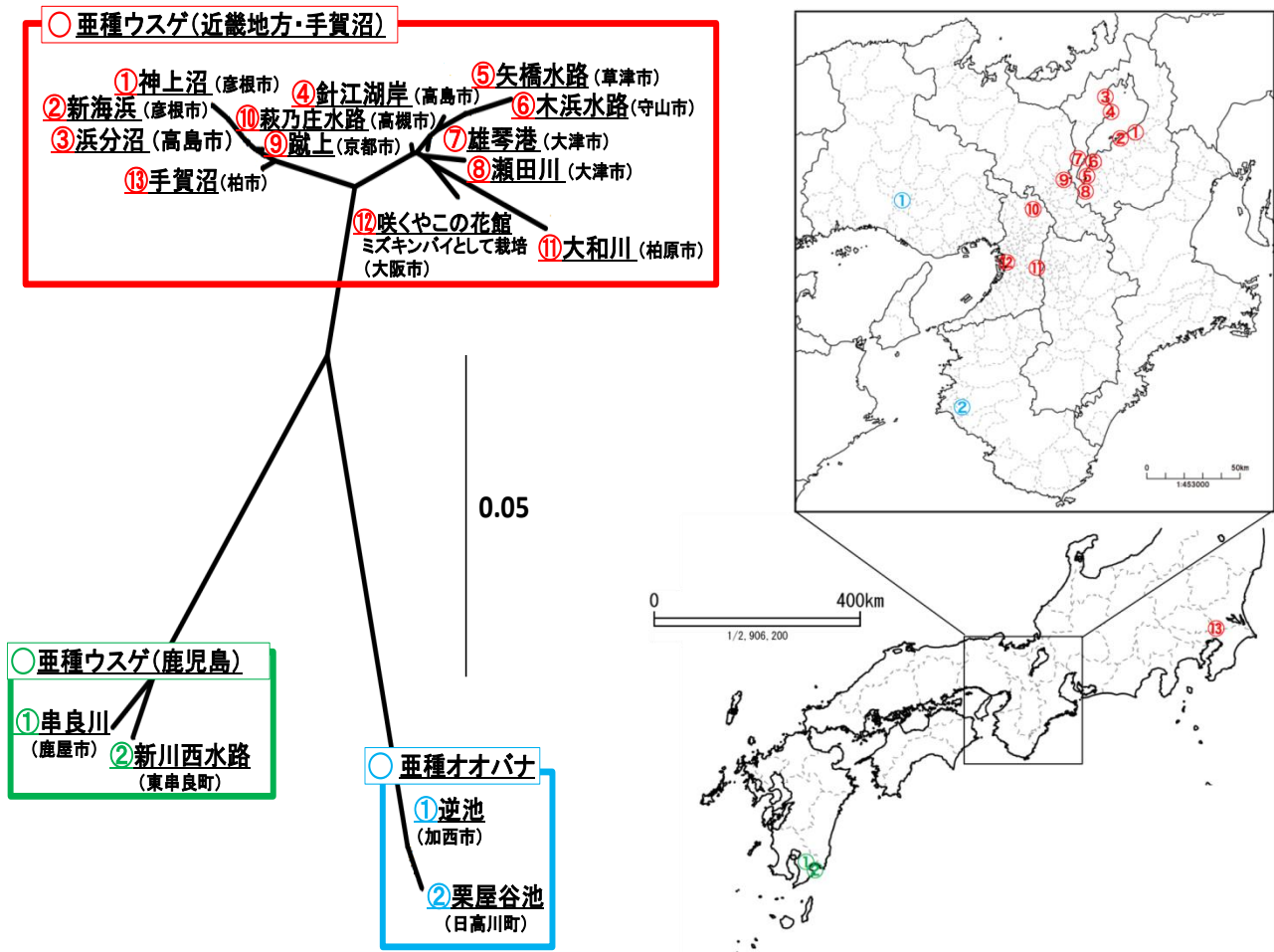
既往研究および課題、オオバナミズキンバイ侵入前後の植生構造の変化、再繁殖と雑草性リスクなどを整理し、さらにサブテーマ(2)と協力し、効果的駆除方法と注意点を整理した。断片からの再生に及ぼす影響要因や、定期的巡回駆除頻度、ドローンによる簡易観察手法の提案、環境DNA技術を用いた予防的観測技術の提案を掲載した。サブテーマ(3)により実施された減容化と堆肥化手順を一般に伝えるように記載した。2020年10月2日～12月5日に北湖東岸49群落、北湖西岸28群落、南湖東岸29群落、南湖西岸26群落の計132群落を対象にオオバナミズキンバイの分布調査を実施した結果、北湖東岸0群落、北湖西岸5群落、南湖東岸27群落、南湖西岸16群落において計33,720 m²のオオバナミズキンバイを確認し、GPS情報を地図上に整理して冊子に記載した(カラー132ページ、50部)。現存する本種の位置をポテンシャルハビタットマップとともに記し(赤野井湾を例として図(1)-28に示す。)、具体的防除方法について整理し低密度状態での制御を可能とする管理マニュアルとして冊子化し、環境省、滋賀県など関係機関に配布した。別添資料2として、当マニュアルを環境再生推進機構に送付した。



図(1)-28 赤野井湾におけるポテンシャルハビタットマップ(青)と2020年10月～12月にオオバナミズキンバイが残存した箇所(赤)

鳥類が関係する拡大パターン特性の予測

図(2)-22, 23において、琵琶湖集団と同じクラスターのうち、①②③④⑬は、比較的最近になって発見され、既存の生育地から離れており、水流によって運ばれたものではない。これ以外にも、滋賀県や大阪府で、山ぎわの溜池に侵入した例が見つっている。このような、新しい分布拡大は、水鳥が運んだ可能性がある。オオバナミズキンバイの拡大を予測する時、これまでは水流の行く先・川の下流のみ警戒してきたが、カモなどの水鳥によって運ばれる可能性のある水辺を考慮に入れる必要がある。



図(2)-22 (左図) Neiの遺伝距離に基づく樹形図 (関連成果、稗田ら未発表より)

選抜された265フラグメントを用い、集団間の遺伝的分化の程度をNeiの遺伝距離³⁾ (Nei & Li 1979, Lynch & Milligan 1994)を、AFLP-SURV (Vekemans *et al.* 2002)⁴⁾で計算し、近隣接合法で無根樹形図を作成した。

図(2)-23 (右図)解析に用いた集団の生育地の地図。番号は上図の地名と対応している (関連成果、稗田ら未発表より)

オオバナミズキンバイの適正減容化条件の把握

従来焼却や埋め立て処分されていた刈取後のオオバナミズキンバイに対して、高温好気発酵分解技術を用い、95%以上の減容化が可能となる条件 (発酵槽内温度、破碎方法、送気量、攪拌頻度等) を明らかにすることで、処理場に対する負荷の軽減に資する方策を提示した。具体的には、破碎、送気量調整、攪拌頻度を適切に管理することで刈取後のオオバナミズキンバイを約98%減容化することに成功した。

2回破碎した試料を用いた減容化実験結果を表(3)-6に示す。表より、減容化率はこれまでで最も高く98.4%であった。一方、減容化に対する発酵分解の寄与率は最も低い8.64%となった。これは試料を細分化することでより蒸発しやすくなったためであると考えられた。

表(3)-1 減容化実験結果 (Case3)

全投入重量 (kg)	減容後重量 (kg)	減容化率 (%)	発酵寄与率 (%)	蒸発寄与率 (%)
237.9	3.4	98.4	8.64	91.36

バイオマス利用の促進により高騰している担体（杉チップ）の代替材を明らかにすることで、従来と同等の減容化率（95%以上）を担保し、かつ従来の発酵分解処理のコストが40%削減可能な処理プロセスを開発した。杉と同等もしくは同等以上の発酵環境を構築できる生物担体としてマホガニーとシタケ栽培後の廃菌床を選定することができた。また、これらを用いたオオバナミズキンバイ減容化、再資源化事業費の算出によって既存の処理方法と比較して41.1%の削減が可能であるという結果が得られた。

杉チップおよび担体の代替材候補による減容化実験により発生した減容後の残渣について、成分分析を実施し、肥料成分および安全性の評価を行う。さらに農場によるコマツナ栽培実験により、化成肥料の代替有機肥料としての有効性を評価した。高温好気発酵分解残渣の成分分析を行った結果、重金属等の基準値は満足し、肥料としての利用について安全性は問題がないことが分かった。また、コマツナおよびトマトの栽培実験を行った結果、コマツナでは流通に耐えるサイズまでの生長を、トマトでは化学肥料と同等の結実数を確認することができ目標通りの成果をあげた。

5-2. 環境政策等への貢献

<行政等が既に活用した成果>

サブテーマ（1）：平成30年度は、琵琶湖岸53地区132群落におけるオオバナミズキンバイ分布調査の結果を整理し、各群落における有義波高を計算し、オオバナミズキンバイの繁茂可能性の高い地盤高を「ポテンシャルハビタット」としたマップを作成し、冊子化した（カラー135ページ、50冊）。本ポテンシャルハビタットマップを使うことにより、重点的に巡回すべき場所が明確となり、駆除活動が効率的になった。さらに琵琶湖岸全域を踏査し計73,204 m²のオオバナミズキンバイを確認し、GPS情報を地図上に整理して冊子に記載した（カラー135ページ、50部）。2018年11月に残存したオオバナミズキンバイの詳細な分布を1mメッシュの精度で地図に落とし込んだ。本情報を利用することにより、重点的に駆除活動を行うべき場所の選定がより効率化された。これらの成果は、行政ニーズ「新たに侵入する外来種に対する被害防止技術の開発と防除事業への適用」に対して貢献することができる成果である。また、琵琶湖岸において貴重植物が多く観察されてきた針江、雄琴港において、貴重種の分布図を同じく冊子化した。貴重植物の生育地にオオバナミズキンバイが侵入していることが明らかになったことから、これらの区域のオオバナミズキンバイの侵入を防除することが最優先課題であることが明確となった。令和元年度以降の滋賀県などによる防除作業の際に、実際に有効となる知見であり、琵琶湖の環境政策に直接的に貢献する成果であった（令和元年滋賀県環境・農水常任委員会）。

サブテーマ（2）：滋賀県ヨシ群落保全審議会（事務局：滋賀県琵琶湖保全再生課、委員：関係団体や自治体の代表と有識者）での審議において、成果に基づく意見を述べた。「滋賀県琵琶湖のヨシ群落の保全に関する条例」に基づく「ヨシ群落保全基本計画」の改定にあたっては、オオバナミズキンバイをはじめとする外来水生植物の悪影響からヨシ群落をはじめとする琵琶湖周辺の湿地を保全する上での考え方に、成果による知見が活用された。

国土交通省琵琶湖河川事務所からの依頼により「オオバナミズキンバイ学習会」の講師をつとめた。国際ボランティア団体所属の学生、市民、国土交通省職員を対象にした講義において成果を紹介した。その後、瀬田川畔の現場において駆除作業の実際の進め方を成果に基づき指導し、オオバナミズキンバイ、ナガエツルノゲイトウ、ミズヒマワリの駆除に役立てた。

近江ウェットランド研究会（代表：野間）の主催による外来種の調査と駆除活動（主にはナガエツル

ノゲイトウを対象)において成果を活用し、より精密で再生の起こりにくい駆除に役立てた。また参加者(市民、学生、実務家、行政担当者など)に成果を紹介し、それぞれの活動に活用された。

<行政等が活用することが見込まれる成果>

サブテーマ(1)：令和2年度は、琵琶湖岸53地区132群落におけるオオバナミズキンバイ分布調査の結果を整理し、オオバナミズキンバイの繁茂可能性の高い地盤高を「ポテンシャルハビタット」としたマップを作成した。平成30年度版では様な範囲をポテンシャルハビタットとしたが、令和2年度版では、繁茂可能性の高い地区をさらに絞り込み、5段階別に詳細に区分けを行った。さらに琵琶湖岸全域を踏査し計33,720 m²のオオバナミズキンバイを確認し、GPS情報を地図上に整理して冊子に記載した(カラー132ページ、50部)。2020年11月に残存したオオバナミズキンバイの詳細な分布を1mメッシュの精度で地図に落とし込んだ。本情報を利用することにより、残存した本種の駆除箇所をさらに絞り込むことが可能となった。今後の完全駆除に向けて有効な情報を示すことができた。

サブテーマ(1)：茎断片からの再生試験結果から、1 mmの茎断片からは再生しないことが分かった。駆除の後の断片回収用の網の適切なメッシュサイズは1 mmとすると良いことが分かった。本成果は、揚陸作業後の本種の管理にも応用することが可能である。すなわち、1 mmよりも小さく断片化することができれば、堆肥化などに有効利用できることが示された。

サブテーマ(1)：光の照射強度を変化させた茎断片からの再生試験結果から、0 luxの条件では茎径3 mmの試料のうち1つから分化が認められたが、その他の試料からは分化しなかった。すなわち、本種は0 luxの環境下で分化しにくい可能性が示された。完全遮光は、急激な拡大を抑える方策として有効である。

サブテーマ(1)：培養温度を変化させた茎断片からの再生試験結果から、5℃で培養した試料は、節が黒く変色し、茎断片の先端が裂けるものが多く観察された。本種は5℃の環境下で低温障害を引き起こし生長不全に陥っている可能性が示唆された。すなわち、水温が低くなる冬季の期間中に駆除活動を行うことで、駆除後に流出した茎断片からの再生を防止することができる可能性があることが示された。

サブテーマ(3)：現在滋賀県におけるオオバナミズキンバイの駆除後の対応は、再生のリスクがあることからすべて焼却処分されているが、焼却処理を行うためには回収した水草の水分量を減らすために仮置き場の確保が必要となる。したがって「刈取り・仮置き・焼却」という一連の作業を円滑に行う必要がある(平成29年度琵琶湖外来水生植物対策協議会事業計画(滋賀県)より)。そこで、焼却に代わるより効率的・経済的な処分方法が求められており、水草対策技術開発支援事業によって効率的な駆除・処分方法や繁茂抑制に関する技術開発支援も行っている。サブテーマ(3)の成果は最大減容化率98.4%を得られたことと、従来の刈取・処理費用に対して41.1%削減可能であると試算されたことである。また、高温発酵後の種子の発芽試験の結果から再生リスクも極めて低いことが分かり、行政の求める焼却に代わる効率的・経済的な処分方法の一つとなると考えられる。なお、社会実装に向けては実施者、実施場所によって特区申請等の特別措置が必要となるため関係省庁との連携により進めることが肝要である。

5-3. 研究目標の達成状況

本研究の全体目標として、ポテンシャルハビタットマップによる踏査範囲の縮小による効率化、生活史特性、断片からの再生条件の把握による具体的な防除方法の提案、環境DNA分析を活用した外来種侵入初期における簡便な発見手法の開発、刈取り後のオオバナミズキンバイの効率的減容化技術を盛り込んだ低密度状態での制御を可能とする管理マニュアルの作成を設定した。全体として、波の高さからオオバナミズキンバイの生育可能範囲を予測するポテンシャルハビタットマップについて、合計8回テレビや新聞報道されるなど、社会に還元される研究成果を上げた評価している。本ポテンシャルハビタットマップを含む管理マニュアルは全国の外来生物の駆除活動を行っている方々に配布され、各現場で活用されている。科学的根拠となった知見は、査読論文7編、その他発表3編、口頭発表6編で発表され、その

内1編は受賞するなど、高い評価を受けた。さらに、サブテーマ（1）で2回、サブテーマ（2）で2回、サブテーマ（1）～（3）の合同で3回の計7回、国民との科学技術対話を実施した。また、サブテーマ（1）とサブテーマ（3）が協力し、ベトナム国ダナン理工科大学内に、高温好気発酵分解の装置を設置し、国際連合工業開発機関（UNIDO）のSTePP（Sustainable Technology Promotion Platform）（http://www.unido.or.jp/en/technology_db/5022/）に2018年12月に認証されるなど、3年間の総経費29,586千円と比較的小規模のグループの成果としては、当初の予想を上回る成果を上げたと考えている。一方で、滋賀県でまん延した鳥インフルエンザや新型コロナウイルス感染症の影響により、生き物を対象とした調査に制限があったこともあり、鳥の個体を入手することができなかつたなどの事象も発生したが、その分、室内実験を増やすなどの対応をし、一定の成果を上げることができた。

サブテーマ（1）では、5つの具体的目標を掲げた。以下に達成状況を示す。

1. 「琵琶湖岸抽水植物群落55群落におけるオオバナミズキンバイのポテンシャルハビタットを予測し地図化することで、防除のための踏査面積を従来の50%未満にまで削減する。」では、ポテンシャルハビタットマップによる予測により、防除のための踏査面積を従来の40.1%にまで削減することができた。当初の計画を約10%上回る踏査面積の削減が可能となった。
2. 「種々の大きさの断片からの再生に関する実験を行い、大規模駆除の後の断片回収用の網の適切なメッシュサイズを明示する。」では、1 mmメッシュの網を使用することで、再生を防ぐことが可能である結果を示した。具体的なメッシュサイズを示すという当初の目的を達成した。
3. 「ドローン技術を用いた簡易観察手法の開発による定期観測の効率化（従来法と比較して50%未満にまで削減）」では、ポテンシャルハビタット内の75.3%にドローン技術による簡易観測手法が適用可能であることを示した。すなわち、従来法と比較して24.7%にまで削減することが可能であることを示した。当初の計画である50%未満を十分達成することができた。
4. 「水中の環境DNA測定による本種の存在確認技術の精度の検証と琵琶湖への適用」では、オオバナミズキンバイを水中の環境DNAから検出するプロトコルを確立し、実験室環境、実環境での検討の後、琵琶湖北湖沿岸の23か所において適用し、オオバナミズキンバイの存在可能性の高い群落を示した。こちらも、環境DNA測定手法開発のみではなく、琵琶湖岸への大規模調査に適用するなど、当初の計画を達成した。
5. 「低密度状態での制御を可能とする管理マニュアルを作成し、琵琶湖岸の防除を担当する滋賀県、環境省に加えて、霞ヶ浦などオオバナミズキンバイの侵入が確認された国内他地域の関係者にも配布し技術提供する。」では、サブテーマ（2）、（3）と連携し「特定外来種オオバナミズキンバイの制御管理マニュアル（カラー132ページ、50部）」を作成し、2021年3月末に滋賀県、環境省、国立環境研究所、国立研究開発法人農業環境技術研究所などに配布し技術提供した。当初の最終目標を達成することができた。

上記5つの研究目標以外にも、環境行政に貢献できる以下の2つの主な成果を上げることができた。

- 追加成果1. 光の照射強度を変化させた茎断片からの再生試験結果から、0 luxの条件では直径3 mmの試料のうち1つから分化が認められたが、その他の試料からは分化しなかった。すなわち、本種は0 luxの環境下で分化しにくい可能性が示された。完全遮光は、急激な拡大を抑える方策として有効である。
- 追加成果2. 培養温度を変化させた茎断片からの再生試験結果から、5°Cで培養した試料は、節が黒く変色し、茎断片の先端が裂けるものが多く観察された。本種は5°Cの環境下で低温障害を引き起こし生長不全に陥っている可能性が示唆された。すなわち、水温が低くなる冬季の期間中に駆除活動を行うことで、駆除後に流出した茎断片からの再生を防止することができる可能性があることが示された。これらは、目標以上の達成であった。

サブテーマ（2）では、4つの具体的目標を掲げた。以下に達成状況を示す。

1. 「水鳥の体表（羽毛）でのオオバナミズキンバイ種子・茎の付着散布を解明するために、鳥インフルエンザのモニタリングのために調査され結果が陰性であった水鳥の死体をもらい受け調査する。琵琶

湖の現状からはオオバナミズキンバイ種子を水鳥死体から得ることは難しいと考えられるが、糞により散布された種子の結果と比較し散布可能性を評価する。」では、鳥インフルエンザのモニタリングのために、野外で回収・調査され結果が陰性であった水鳥の死体を、冷凍状態でもらい受け調査することを計画した。しかし、2020年に滋賀県内で高病原性鳥インフルエンザが発生し、複数の養鶏場においてすべての鶏の殺処分が行われる事態となった。滋賀県のモニタリング体制にも大きな負担がかかる中で協力を求めるのは無理があると判断し行うことを断念した。対応策としては、水鳥の糞を詳細に調査し、糞の中にオオバナミズキンバイの種子が存在することを明らかにし、それらを培養した結果、発芽することが認められるなどの成果を上げることができた。水鳥の糞の中からの種子によるオオバナミズキンバイの発芽を確認したのは世界初の成果であり、一定の目標は達成することができた。

2. 「糞によって種子を散布した水鳥の種類を、糞に含まれるDNAを分析することで明らかにする。」では、中間報告への意見を受けて、種子が含まれていた糞のDNAを分析することで水鳥の種類を明らかにすることを計画した。種子が見出された糞から鳥のDNAの分析を行ったが、糞が腐敗しDNAが壊れており、種を明らかにすることはできなかった。糞の保存法を改良し迅速に取り出すようにした上での再調査を計画したが、2020年の春期には新型コロナウイルスが流行し調査に出ることができなかった。2020年の秋期には予備調査を始め糞の採取場所を決めたが、琵琶湖近隣の野鳥への高病原性鳥インフルエンザ感染が確認され、検討の結果、糞採取を断念した。新型コロナウイルスと鳥インフルエンザという予期しなかった状況により、2020年にオオバナミズキンバイの種子が含まれている糞を入手することができなかった。対応策としては、2015年秋に採取していた果実から種子を取り出し、培養試験を行うことで種子からの発芽条件をより詳細に検討することができた。
3. 「種子と植物体断片からの発芽・生育調査のこれまでの結果の総合と追加実験を行い、再生条件を定量的に明らかにする。」では、計画を達成できたと考える。種子について、亜種ウスゲオオバナミズキンバイの場合、水中に保存された種子は、5年後にも90%以上の発芽力を保つこと、条件がよければその後も生育すること、水鳥の糞から出た種子はその10数%が発芽力を持ち、その後生育することも可能なことが明らかになった。亜種オオバナミズキンバイにおいては、亜種ウスゲよりやや劣るが、5年後にも70%以上の発芽力を持つことが明らかになった。植物体断片について、水中においては、芽を持つ約80%の茎が再生した。二つの亜種の再生能力の違いは小さかった。亜種ウスゲについて、水中の地下茎が取り残された場合の再生能力を評価する実験を行い、50 cmまでの水深の下でも多くが再生することが明らかになった。この結果から、オオバナミズキンバイの駆除にあたっては、植物体断片や果実・種子を極力流出させないこと、水中に地下茎がある場合にはそれを残さないことが、分散や再生を抑制する上で非常に重要であることが裏づけられた。
4. 「ここ2～3年で新たに確認された分布地の特性を調査し、これまでの成果と総合することで、鳥類が関係する拡大パターン特性の予測を行う。」では、関連成果の遺伝解析によって琵琶湖集団と同じ起源を持つことがわかった分布地の中で、比較的最近になって発見された場所を検討した。琵琶湖の北部や隣接する内湖、内陸の水辺の分布地は既存の生育地から離れており水流によって運ばれたものではないものがあつた。滋賀県や大阪府で、山ぎわの溜池に侵入した例が見つかった。このような新しい分布拡大は、水鳥が運んだ可能性が高いと考えられた。オオバナミズキンバイの拡大を予測する時、これまでは水流の行く先・川の下流のみを警戒してきたが、今後は、カモなどの水鳥によって運ばれる可能性のある水辺も考慮に入れる必要がある。既存の生育地の周辺の水辺や、琵琶湖からの水鳥の渡りコースの先にあたる北陸の水辺は、特に注意が必要であると考えられた。

サブテーマ (3) では、3つの具体的目標を掲げた。以下に達成状況を示す。

1. 「従来焼却や埋め立て処分されていた刈取後のオオバナミズキンバイに対して、高温好気発酵分解技術を用い、95%以上の減容化が可能となる条件（発酵槽内温度、破碎方法、送気量、攪拌頻度等）を明らかにすることで、処理場に対する負荷の軽減に資する方策を提示する。」では、最大減容化率98.4%を得る条件を明らかにした。想定以上の目標を達成した。

2. 「バイオマス利用の促進により高騰している担体（杉チップ）の代替材を明らかにすることで、従来と同等の減容化率（95%以上）を担保し、かつ従来の発酵分解処理のコストが40%削減可能な処理プロセスを開発する。」では、95%以上の減容化率を担保し、従来の刈取・処理費用に対して41.1%削減可能である処理プロセスを示した。当初の目標を達成した。
3. 「杉チップおよび担体の代替材候補による減容化実験により発生した減容後の残渣について、成分分析を実施し、肥料成分および安全性の評価を行う。さらに農場によるコマツナ栽培実験により、化成肥料の代替有機肥料としての有効性を評価する。」では、肥料としての基準値を安全性、成分面共に満足したことを明らかにし、栽培実験ではコマツナの収穫に適した草丈（15 cm）までの生長日数（8日）で化成肥料と同等の施肥効果を示した。当初の目標を達成した。

6. 研究成果の発表状況

6-1. 査読付き論文

<件数>

7件

<主な査読付き論文>

- 1) 田中周平, 高見航, 田淵智弥, 大西広華, 辻直亨, 松岡知宏, 西川博章, 藤井滋穂: 水環境学会誌, vol.43(A), No.1, p.9-15 (2020) 琵琶湖岸の有義波高と生育地盤高に基づいた特定外来植物オオバナミズキンバイのポテンシャルハビタットの推定
- 2) 田中周平, 大島靖弘, 長谷川達朗, 高見航, Zhang Hongwei, 渡部優希, 田淵智弥, 西川博章, 藤井滋穂: 土木学会論文集G(環境), vol.76, p.III_349-III_354 (2020) 特定外来生物オオバナミズキンバイ *Ludwigia grandiflora* の茎断片からの再生に及ぼす影響要因の検討
- 3) Hongwei ZHANG, Shuhei TANAKA, Wataru TAKAMI, Masaki WATABE, Yasuhiro OSHIMA, Hiroaki NISHIKAWA, Shigeo FUJII, 土木学会論文集G(環境), vol.76, p.III_197- III_204 (2020) Effects of Specific Alien Plant *Ludwigia Grandiflora* on Endemic Vegetation in Harie Wetland, Lake Biwa
- 4) Hieda S, Noma N.: *Bulletin of Kansai Organization for Nature Conservation* 41 (2), 151-153. (2019) Leaves as propagules of the invasive aquatic plant *Ludwigia grandiflora* subsp. *hexapetala* in Lake Biwa.
- 5) 稗田真也, 植村修二, 野間直彦: 大阪市立自然史博物館研究報告, *Bulletin of the Osaka Museum of Natural History*, vol.74, p.69-73 (2020) アメリカミズキンバイとよばれる *Ludwigia decurrens* と *L. longifolia* (アカバナ科) の推奨される和名
- 6) K. Kamigawara, K. Nakai, N. Noma, S. Hieda, E. Sarat, A. Dutartre, T. Renals, R. Bullock, J. Haury, B. Bottner, J-P. Damien: *Journal of International Wildlife Law & Policy*, vol.23, p.83-108 (2020) What kind of legislation can contribute to on-site management? -Comparative case studies on legislative developments in managing aquatic invasive alien plants in France, England and Japan
- 7) Vo Diep Ngoc Khoi, Makoto Tokuoka, Shuhei Tanaka, Phan Nhu Thuc, Tran Van Quang, *Vietnam Journal of Science and Technology* 58 (5A) 190-200 (2020) STUDY ON SLUDGE TREATMENT BY THE AEROBIC STABILIZATION PROCESS COMBINED WITH BULKING AGENT AND HEATED AIR SUPPLY

6-2. 知的財産権

該当ありません。

6-3. その他発表件数

査読付き論文に準ずる成果発表

0件

その他誌上発表（査読なし）	3件
口頭発表（学会等）	6件
「国民との科学・技術対話」の実施	7件
マスコミ等への公表・報道等	8件
本研究に関連する受賞	1件

7. 国際共同研究等の状況

国際共同研究計画名：ベトナム国ダナン市における有機性廃棄物の効率的減容化技術の提案とその適用

カウンターパート情報：Tran Van Quang・ダナン理工科大学・ベトナム国

参加・連携状況：京都大学、ダナン理工科大学、日本ミクニヤ株式会社による共同研究を実施。

国際的な位置づけ：有機物を高温好気発酵分解により減容化する技術をベトナム国ダナン市に適用する内容を加えた研究申請書を、科研費国際共同研究加速基金（国際共同研究強化(B)）に、京都大学がダナン理工科大学と協同で申請し採択された。高温好気発酵分解装置ミシマックスは国際連合工業開発機関（UNIDO）のSTePP（Sustainable Technology Promotion Platform）（http://www.unido.or.jp/en/technology_db/5022/）に2018年12月に認証され、SDGsに掲げられるNo9とNo12の課題解決に貢献できる技術である。本研究を通じて特にターゲット12.5（2030年までに、廃棄物の発生防止、削減、再生利用及び再利用により、廃棄物の発生を大幅に削減する）をベトナム国において解決することを目指す。2019年3月13日にダナン理工科大学へ訪問し、共同研究内容、スケジュール等について確認を行い、覚書の締結を行った。具体的研究テーマとしては、京都大学と共に実施する研究テーマに加えて、ダナン市内で発生する汚泥、食品残渣、ファイトレメディエーション後の水草残渣、台風後に伐採する街路樹の枝等、処理が課題となっている有機性廃棄物全般に対して課題解決のための減容化実験を実施している。特に、高温好気発酵分解に用いる生物担体の杉に代わる代替材の選定・評価を行い、日本における廃棄物減容化処理のコスト軽減に繋がる木材を選定した。併せて、ベトナム国内で課題となっている余剰汚泥及び生ごみ等の処理に対して、減容化技術の技術移転を目指しベトナムにおける高温好気発酵分解技術の適応評価を継続中である。本研究においては、前者の代替材候補の選定および評価に関する研究において成果が得られた。

8. 研究者略歴

研究代表者

田中 周平

立命館大学大学院理工学研究科修了、博士（工学）、現在、京都大学大学院地球環境学堂 准教授

研究分担者

1) 野間 直彦

京都大学大学院理学研究科修了、博士（理学）、現在、滋賀県立大学環境科学部 准教授

2) 徳岡 誠人

広島大学大学院生物圏科学研究科修了、修士（学術）、現在、日本ミクニヤ株式会社 執行役員

II. 成果の詳細

II-1 ポテンシャルハビタットマップを駆使した効率的防除方法の検討

国立大学法人京都大学

地球環境学堂

田中周平

[要旨]

特定外来種オオバナミズキンバイを低密度状態で制御することを可能とする管理マニュアルを作成し、対策協議会などに技術提案することを最終目標として、サブテーマ(1)では、波浪条件、水位等から本種の繁茂可能性の高い場所(ポテンシャルハビタット)を予測し、保護すべき貴重植物の分布状況などから、駆除効果の高い個所を明示することを主目的とした。

2018年4月から7月下旬にかけて琵琶湖岸53地区132群落における2015年度のオオバナミズキンバイ分布調査の結果を整理し、2018年8月から11月下旬にかけて、各群落における有義波高を計算し、オオバナミズキンバイの繁茂可能性の高い地盤高を「ポテンシャルハビタット」としたマップを作成し冊子化した(カラー135ページ、50冊)。その結果、防除のための踏査面積を従来の40.1%にまで削減することができた。2018年5月から2020年10月まで2か月に1回の頻度で雄琴港の抽水植物群落においてオオバナミズキンバイ分布調査を定期的実施した。その結果、3週間に1回の頻度で巡回・駆除を行うことで、低密度での管理を可能とすることができることが分かった。

種々の大きさの断片からの再生に関する実験を行い、大規模駆除の後の断片回収用の網の適切なメッシュサイズとして、1 mmメッシュの網を使用することで、再生を防ぐことが可能である結果を示した。ドローン技術を用いた簡易観察手法の開発を行い、ポテンシャルハビタット内の75.3%にドローン技術による簡易観測手法が適用可能であることを示した。すなわち、従来法と比較して24.7%にまで削減することが可能であることを示した。

オオバナミズキンバイを水中の環境DNAから検出するプロトコルを確立し、実験室環境、実環境での検討の後、琵琶湖北湖沿岸の23か所において適用し、オオバナミズキンバイの存在可能性の高い群落を示した。

北湖東岸49群落、北湖西岸28群落、南湖東岸29群落、南湖西岸26群落の計132群落を対象にオオバナミズキンバイの生育分布調査を実施した。GPSを手に持ち、オオバナミズキンバイ群落の縁辺部および植生界を踏査しながら、数歩ごとにGPSに位置情報を記録した。調査は2018年10月22日～12月5日、2019年10月21日～12月10日、2020年10月2日～12月5日に実施した。2020年秋の時点で繁茂可能性の高い地区をさらに絞り込み、5段階別に詳細に区分けを行った。さらに琵琶湖岸全域を踏査し計33,720 m²のオオバナミズキンバイを確認し、GPS情報を地図上に整理して冊子に記載した。サブテーマ(2)、(3)と連携し「特定外来種オオバナミズキンバイの制御管理マニュアル(カラー132ページ、50部)」を作成し、2021年3月末に滋賀県、環境省、国立環境研究所、国立研究開発法人農業環境技術研究所などに配布し技術提供した。

1. 研究開発目的

本研究の最終目標は、特定外来種オオバナミズキンバイを低密度状態で制御することを可能とする管理マニュアルを作成し、対策協議会などに技術提案することである。サブテーマ(1)では、波浪条件、水位等から本種の繁茂可能性の高い場所(ポテンシャルハビタット)を予測し、保護すべき貴重植物の分布状況などから、駆除効果の高い個所を明示することを目的とする。ドローン技術や環境DNA技術を駆使することで、拡大を早期発見または予測する予防的観測・駆除方法を開発する。

2. 研究目標

- ・琵琶湖岸抽水植物群落55群落におけるオオバナミズキンバイのポテンシャルハビタットを予測し地図化することで、防除のための踏査面積を従来の50%未満にまで削減する。
- ・種々の大きさの断片からの再生に関する実験を行い、大規模駆除の後の断片回収用の網の適切なメッシュサイズを明示する。
- ・ドローン技術を用いた簡易観察手法の開発による定期観測の効率化(従来法と比較して50%未満にまで削減)
- ・水中の環境DNA測定による本種の存在確認技術の精度の検証と琵琶湖への適用
- ・低密度状態での制御を可能とする管理マニュアルを作成し、琵琶湖岸の防除を担当する滋賀県、環境省に加えて、霞ヶ浦などオオバナミズキンバイの侵入が確認された国内他地域の関係者にも配布し技術提供する。

3. 研究開発内容

①ポテンシャルハビタットマップの作成

2018年4月から7月下旬にかけて琵琶湖岸53地区132群落における2015年度のオオバナミズキンバイ分布調査の結果を整理し、2018年8月から11月下旬にかけて、各群落における有義波高を計算し、オオバナミズキンバイの繁茂可能性の高い地盤高を「ポテンシャルハビタット」としたマップを作成した。その後12月から2月下旬にかけて冊子化した(カラー135ページ、50冊)。

②重要監視区域の設定

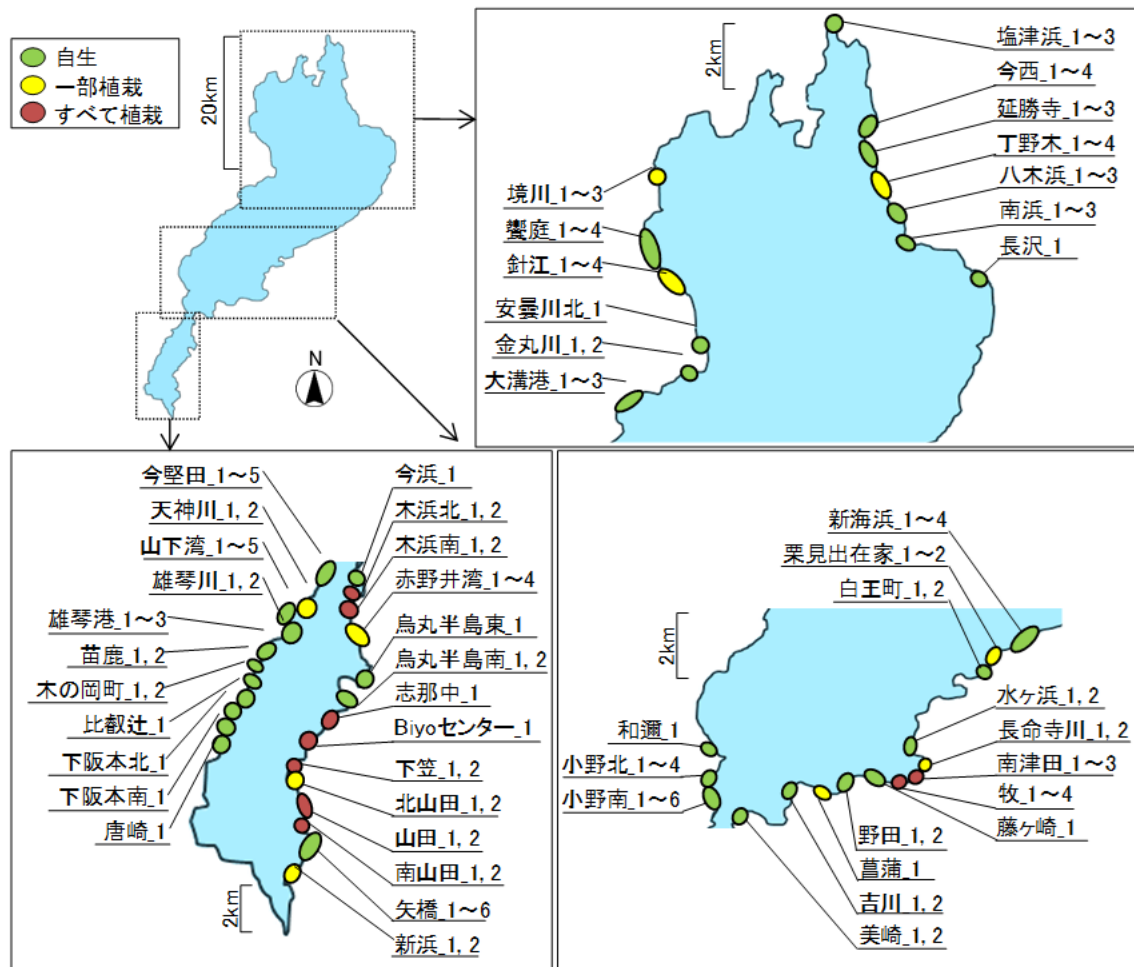
2018年6月から9月中旬にかけてデータを整理し、そこから12月下旬にかけて植物社会学的調査を実施し、針江、雄琴港の貴重種の分布図の作成を行った。本内容も冊子の中に組み入れた。

③定点定期観察

2018年5月19日、7月21日、9月17日、11月2日、2019年3月19日、5月19日、7月20日、9月1日、11月12日、2020年3月16日、5月30日、8月2日、9月16日、10月28日に雄琴港の抽水植物群落においてオオバナミズキンバイ分布調査を実施した。全域を踏査し、オオバナミズキンバイを発見した場合は、単独測位携帯型GPSにその位置を記録した。大規模の群落の場合は、植生界の位置情報をGPSに記録した。

④琵琶湖全域の生育分布調査

北湖東岸49群落、北湖西岸28群落、南湖東岸29群落、南湖西岸26群落の計132群落を対象にオオバナミズキンバイの生育分布調査を実施した。調査対象地を図(1)-1に示す。GPSmap60CSx, GPSmap62S, GPSmap64S(GARMIN社)のいずれかのGPSを手を持ち、オオバナミズキンバイ群落の縁辺部および植生界を踏査しながら、数歩ごとにGPSに位置情報を記録した。胴長での踏査が困難な場所ではカヤックを利用またはボートから双眼鏡(PROSTAFF10×42, Nikon)を用いて本種の有無を確認し、存在を確認した場合は、GPSにより位置情報を記録した。調査は2018年10月22日~12月5日、2019年10月21日~12月10日、2020年10月2日~12月5日に実施した。



図(1)-1 琵琶湖全域におけるオオバナミズキンバイの分布調査の実施場所

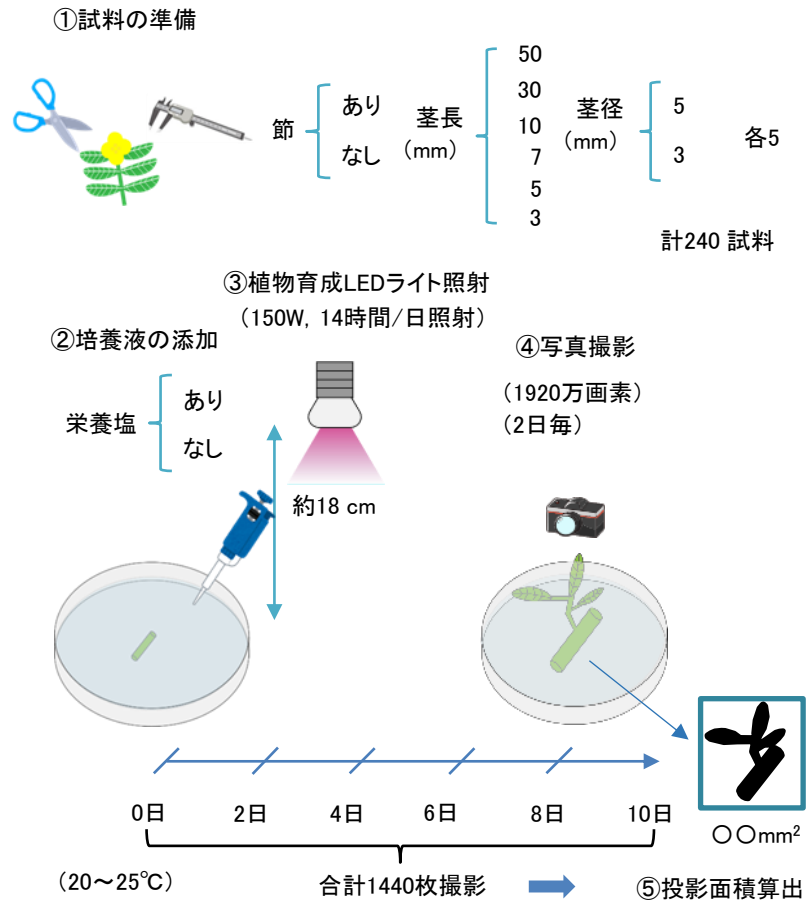
⑤断片からの再生実験

栄養塩濃度を変化させた実験

2019年11月22日に琵琶湖北湖西岸の針江地区で採取したオオバナミズキンバイを大学の実験室に持ち帰り、茎断片からの再生実験を行った。実験の概要を図(1)-2に示す。目視により節の有無別の試料に分け、茎長6段階(50, 30, 10, 7, 5, 3 mm)、茎径2段階(5 mm, 3 mm)にハサミでカットした。培養液は茎が半分以下浸かるようにシャーレに30 mL入れ、5日目に入れ替えた。植物育成LEDライト(HG-LA150, Home Grown)を1日あたり14時間照射し、水温20~25°Cで10日間培養した。実験開始時、2, 4, 6, 8, 10日後にデジタルカメラ(Xperia xz3, 1920万画素)で撮影し、投影面積をフリーソフト(!0_0! Excel長さ・面積測定)を用いて読み取った。節の有無別(2段階)、栄養塩(2段階)、茎長(6段階)、茎径(2段階)に分け、各5試料の計240試料を対象に実験を行った。

照度を変化させた実験

2020年7月22日と2020年11月16日に琵琶湖北湖西岸の針江地区で採取したオオバナミズキンバイを大学の実験室に持ち帰り、茎断片からの再生実験を行った。断片からの再生に及ぼす光の影響を検討することを目的に異なる3つの光条件を設定した。条件1は実環境を模擬し、条件2は、水深50 cmの照度を模

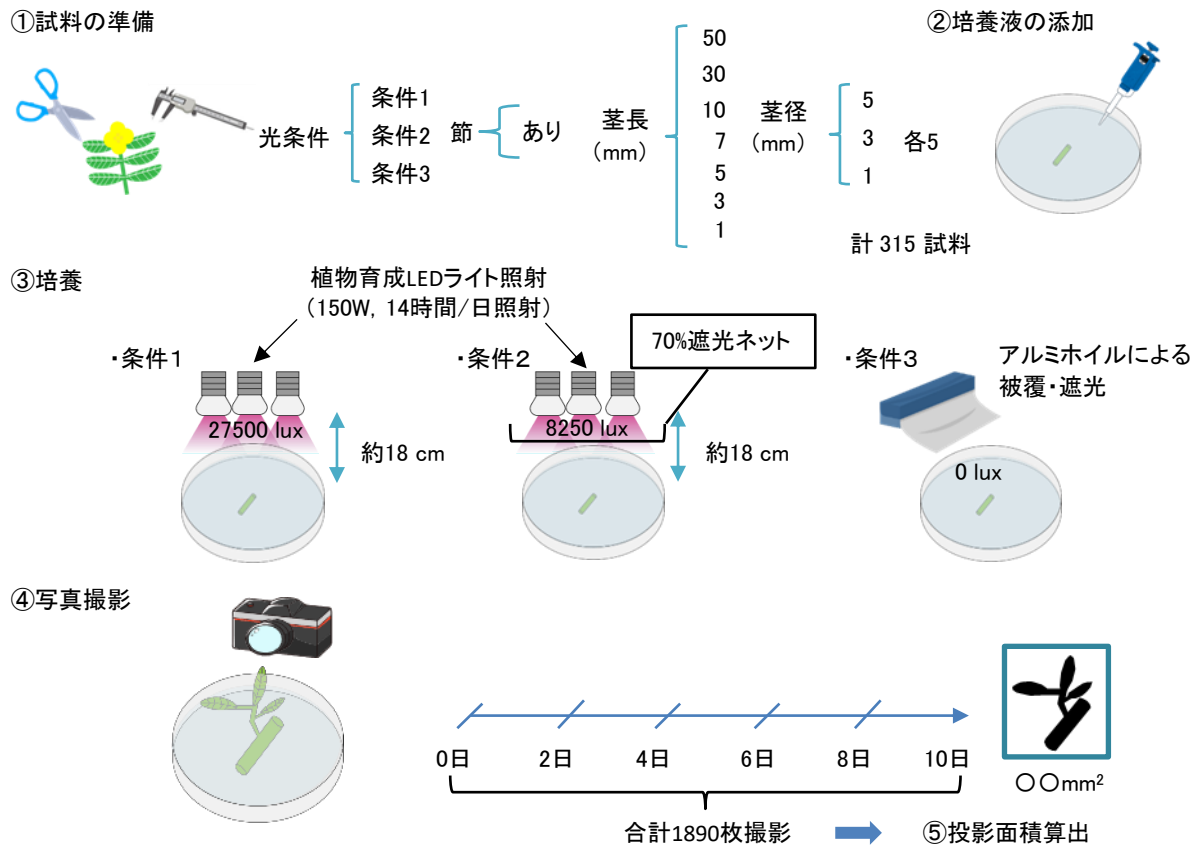


図(1)-2 培養液の窒素・リン濃度を変化させた茎断片からの再生実験の概要

擬し沈降した断片の再生傾向を検討するための実験とした。条件3は、光が当たらない環境下での再生傾向を検討するための実験とした。なお条件2の照度を決定する際に、晴れた日の針江地区においてオオバナミズキンバイが繁茂する付近で、水面および水深50 cmでの照度を測定した。実験の概要を図(1)-3に示す。目視により節のある試料を選別し、茎長7段階(50, 30, 10, 7, 5, 3, 1), 茎径3段階(5, 3, 1 mm)にハサミでカットした。培養液の成分を表(1)-1に示す。条件1では植物育成LEDライト(HG-LA150, Home Grown)を1日あたり14時間照射し、10日間培養した。条件2では、条件1に対して相対照度が30%となるように、70%遮光ネットを被覆した上述のライトを1日あたり14時間照射し、10日間培養した。条件3では、試料の入ったシャーレをアルミホイルで十分に遮光し、暗室で10日間培養した。実験開始時、2, 4, 6, 8, 10日後にデジタルカメラ(Xperia xz3, 1920万画素)で撮影し、投影面積をフリーソフト(!0_0! Excel 長さ・面積測定)を用いて読み取った。光(3段階), 茎長(7段階), 茎径(3段階)に分け、各5試料の計315試料を対象に実験を行った。

表(1)-1 培養液中の元素濃度

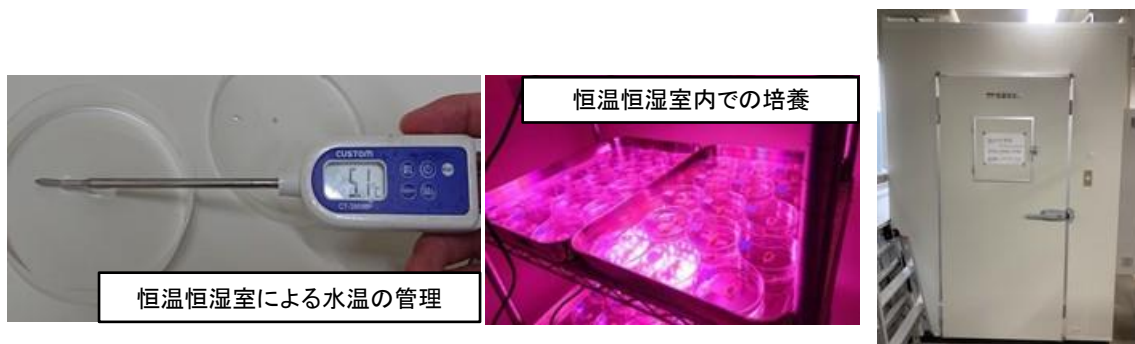
元素	濃度 (mg/L)	元素	濃度 (mg/L)
NH ₄ -N	2.00	Fe	2.17
NO ₃ -N	2.00	Si	0.46
PO ₄ -P	2.00	B	0.53
K	23.4	Mn	0.49
S	9.92	Cu	0.02
Ca	12.00	Zn	0.05
Mg	14.58	Mo	0.01



図(1)-3 照度を変化させた茎断片からの再生実験の概要

水温を変化させた実験

2020年7月22日に琵琶湖北湖西岸の針江地区で採取したオオバナミズキンバイを大学の実験室に持ち帰り、茎断片からの再生実験を行った。実験の様子を図(1)-4に示す。断片からの再生に及ぼす水温の影響を検討することを目的に2つの水温条件を設定した。条件1は植物の生育適温の範囲内である水温20～25℃に設定した。条件2は生育温度の下限である5℃に設定した。目視により節のある試料を選別し、茎長7段階(50, 30, 10, 7, 5, 3, 1mm)、茎径3段階(5, 3, 1mm)にハサミでカットした。培養液の成分は表1と同様のものを使用した。条件1では植物育成LEDライト(HG-LA150, Home Grown)を1日あたり14時間照射し、水温20～25℃で10日間培養した。条件2では上述のライトを同条件で照射し、恒温恒湿室(LP-1PH-SB, NK system)で水温を5℃で管理しながら10日間培養した。実験開始から2日毎にデジタルカメラ(Xperia xz3, 1920万画素)で撮影し、投影面積をフリーソフト(!0_0! Excel 長さ・面積測定)を用いて読み取った。水温(2段階)、茎長(7段階)、茎径(3段階)に分け、各5試料の計210試料を対象に実験を行った。



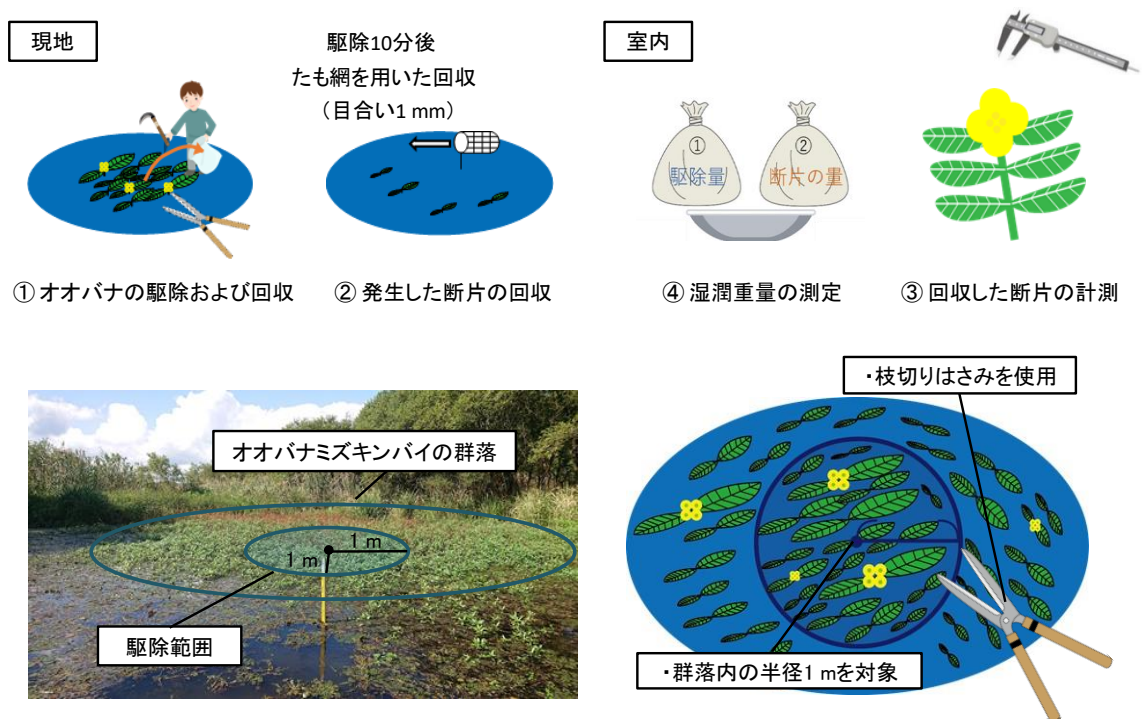
図(1)-4 水温を変化させた茎断片からの再生実験の様子

葉断片からの再生実験

葉断片からの再生の検討を行うために、2020年11月16日に琵琶湖北湖西岸の針江地区で採取したオオバナミズキンバイを大学の実験室に持ち帰り、葉断片からの再生実験を行った。本種の葉断片 ($n = 5$) と培養液30 mLをシャーレに入れ、植物育成LEDライト (HG-LA150, Home Grown) を1日あたり14時間照射し、水温20~25°Cで10日間培養した。実験開始から2日毎にデジタルカメラ (Xperia xz3, 1920万画素) で撮影し、投影面積をフリーソフト (!0_0! Excel 長さ・面積測定) を用いて読み取った。

駆除後に発生する断片の回収調査

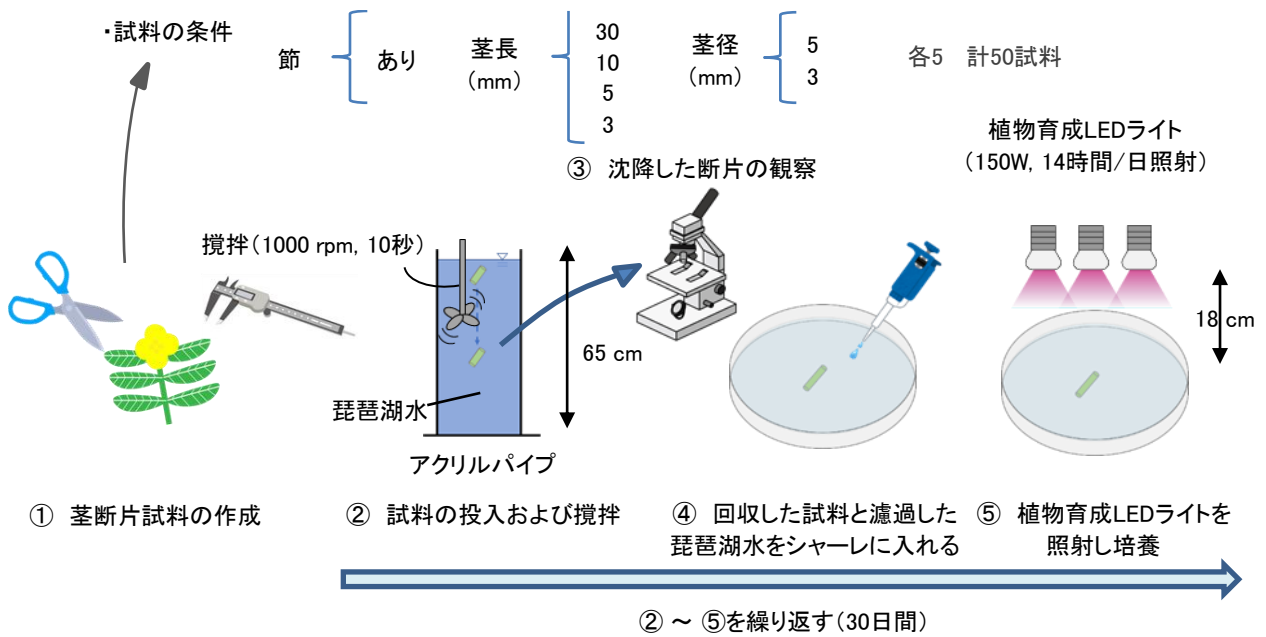
2020年10月12日に、北湖西岸の針江地区のオオバナミズキンバイの群落において人力での駆除作業を行い、駆除後に発生した断片の回収調査を行った。調査方法の概要、駆除を行った群落の概要、調査の様子を図(1)-5に示す。群落内の半径1 m内に存在する本種に対して、枝切りはさみを用いて根からすべて刈り取り、駆除完了後10分後に目合い1 mmのたも網を用いて対象範囲内の断片の回収を行った。駆除した本種および断片は大学に持ち帰って、湿潤重量を測定した後、部位、節の有無、茎径および茎長を計測した。



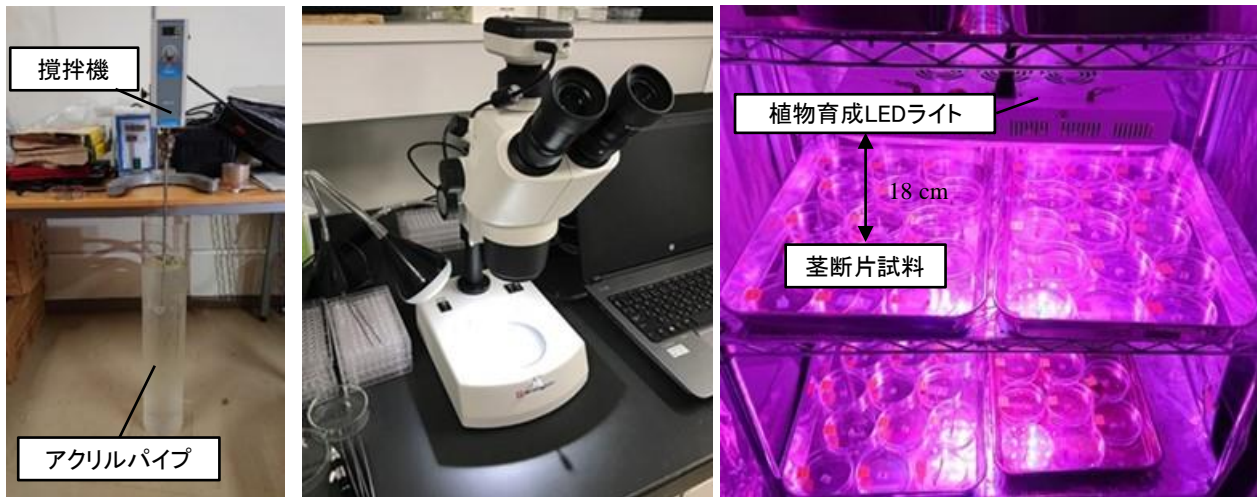
図(1)-5 断片の回収調査手法の概要と調査対象地の様子

茎断片の沈降試験

断片が発生した後の滞留位置を検討することを目的に、2020年10月12日に琵琶湖北湖西岸の針江地区で採取したオオバナミズキンバイを大学の実験室に持ち帰り、実験試料として茎断片の沈降試験を行った。実験方法の概要を図(1)-6に、実験装置、実体顕微鏡、培養の様子を図(1)-7に示す。目視により節のある試料を選別し、茎長5段階 (50, 30, 10, 5, 3 mm)、茎径2段階 (5, 3 mm) にハサミでカットした。試料採取時に持ち帰った琵琶湖水を濾過し、作成した茎断片の試料の半分以上が浸かるようにシャーレに入れ、植物育成LEDライト (HG-LA150, Home Grown) を1日あたり14時間照射し、水温20~25°Cで30日間培養した。その際、琵琶湖水は5日毎に入れ替えた。実験開始時から2日おきに、琵琶湖水を入れたアクリルパイプ内に断片試料を投入して、攪拌機 (MS3040D, ケニス製) で1,000 rpmの攪拌速度で10秒間攪拌し、断片の滞留位置を記録した。また沈降した断片については実体顕微鏡 (STZ-161-TLED, 島津理化製) で観察を行った。



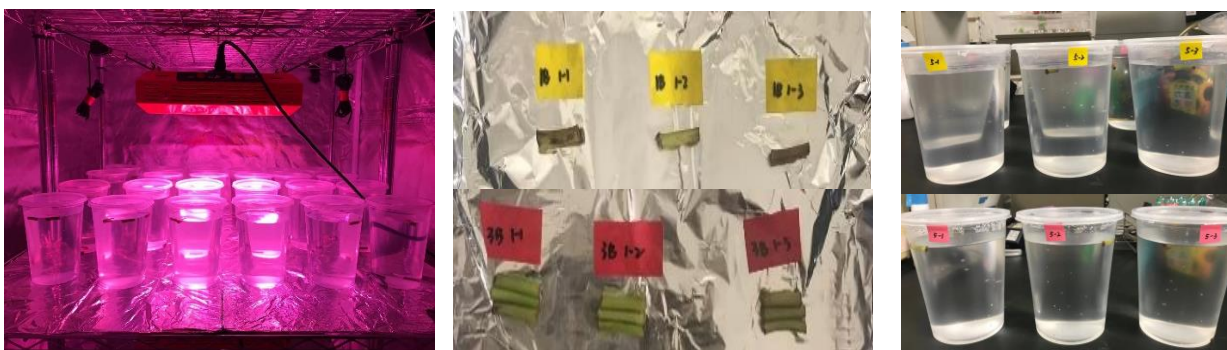
図(1)-6 断片の沈降試験の概要



図(1)-7 断片の沈降試験と培養試験の様子

⑥環境DNA技術を用いたオオバナミズキンバイ検出プロトコルの開発

定量的リアルタイム PCR実験 (MIEQガイドライン) に沿って、DNA濃度を得るために十分なプライマーを含む定量PCRプログラムを設定した。マーカーとしてtrnL-UAA gene sectionを用い、オオバナミズキンバイを対象としたPCRプライマーとTaqManプローブをデザインした。環境DNAの水中への溶出を確認した実験の様子を図(1)-8に示す。2段階のバイオマス量とし、1日16時間植物育成ライトを照射した。



図(1)-8 環境DNAの水中への溶出量の確認のための実験の様子

DNA濃度とオオバナミズキンバイの存在量の関係を検討するため、針江地区の抽水植物群落を対象に本環境DNA分析プロトコルを適用した。2020年11月28日、12月5日に、琵琶湖岸におけるオオバナミズキンバイの侵入状況調査に本環境DNA分析を適用するため、23群落において広域モニタリング調査を実施した。

⑦ドローンを援用した効率的なオオバナミズキンバイ検出手法の検討

DJI社のPHANTOM4PRO+の詳細を表(1)-2に示す。ドローンによる空撮は針江地区では高度60～80mで行い、ともにオーバーラップ率80%、サイドラップ率60%以上となるように飛行速度を5.8～7.7 m/sに、撮影のインターバルを2秒に1回に設定して行った。自動操縦アプリ(Litchi: VC Technology社)を用いて事前に飛行条件を設定することで空撮の再現性を高めた。

ドローンを用いて撮影した画像について、目視によって判断した水域、木本部、各種草本群落の代表地点をトリミングした後拡張子をbmpに変換しRGBデータを抽出した。それぞれの植物群落について10,000 pixel分のRGB値を抽出し、植物群落ごとにRGB値の特徴の傾向を調べた。横軸にR, G, Bの輝度(0～255)を、縦軸にpixel数を取りグラフを作成した。

解析については株式会社オークのSfM (Structure from Motion) ソフトであるAgisoft Metashape Professionalを用いて、ドローンによって撮影した位置情報を持つ複数の静止画から調査対象地の三次元モデルを構築した。構築したモデルからエクスポートしたオルソモザイク画像およびDEM(標高値データ)に対してGISソフトウェア(ArcGIS, ESRI社)を使用し、画素情報による教師付き分類や標高値データを用いて植生の分類を行った。画素情報による教師付き分類については、ArcGIS上で展開した調査対象地のオルソモザイク画像に対して目視によって判断した水域、木本部、各種草本群落について代表点を選択し、それぞれに含まれるRGB値を教師データ(ソフト上ではトレーニングサンプルマネージャー)とした。教師データに対して「対話的な教師付き分類」「大多数フィルター」「境界のスムージング」「リージョングループ」「Set NULL」「Nibble」を順に実行した。

本研究では野洲川、針江地区の抽水植物群落を対象に、携帯型GPSを用いた植生調査およびドローンを用いた植生調査を行った。調査日を表(1)-3に示す。抽水植物が主に生育するB.S.L.-120～60 cmを調査対象範囲としたが、その範囲外でも群落として連続している場合はその境界までを調査対象とした。樹木が繁茂し草本類がほとんど生育していない区画は対象外とし、草本層のみの区画を中心に調査を実施した。

表(1)-2 ドローンの仕様

品名	PHANTOM 4 PRO+
重量	1,388 g
縦横寸法	28.95 cm
高さ	19.6 cm
最大速度	50 km/h
最大飛行時間	約30分
有効画素数	2000万画素



表(1)-3 調査日程

調査日程	野洲川	針江
ドローン	2019/11/15	2019/11/5
	2020/5/30	
	2020/8/2	2020/7/22
	2020/10/26	2020/11/4
GPS	2019/11/30	2019/11/22
	2020/5/30	
	2020/8/2	
	2020/11/5	2020/11/9

⑧低密度状態での制御を可能とする管理マニュアルの作成

2020年10月2日～12月5日に北湖東岸49群落、北湖西岸28群落、南湖東岸29群落、南湖西岸26群落の計132群落を対象にオオバナミズキンバイの分布調査を実施し、計33,720 m²のオオバナミズキンバイを確認した。現存する本種の位置をポテンシャルハビタットマップとともに記し、サブテーマ(2)、(3)と連携し具体的防除方法について整理し、低密度状態での制御を可能とする管理マニュアルとして冊子化し、環境省、滋賀県など関係機関に配布した。

4. 結果及び考察

①ポテンシャルハビタットマップの作成

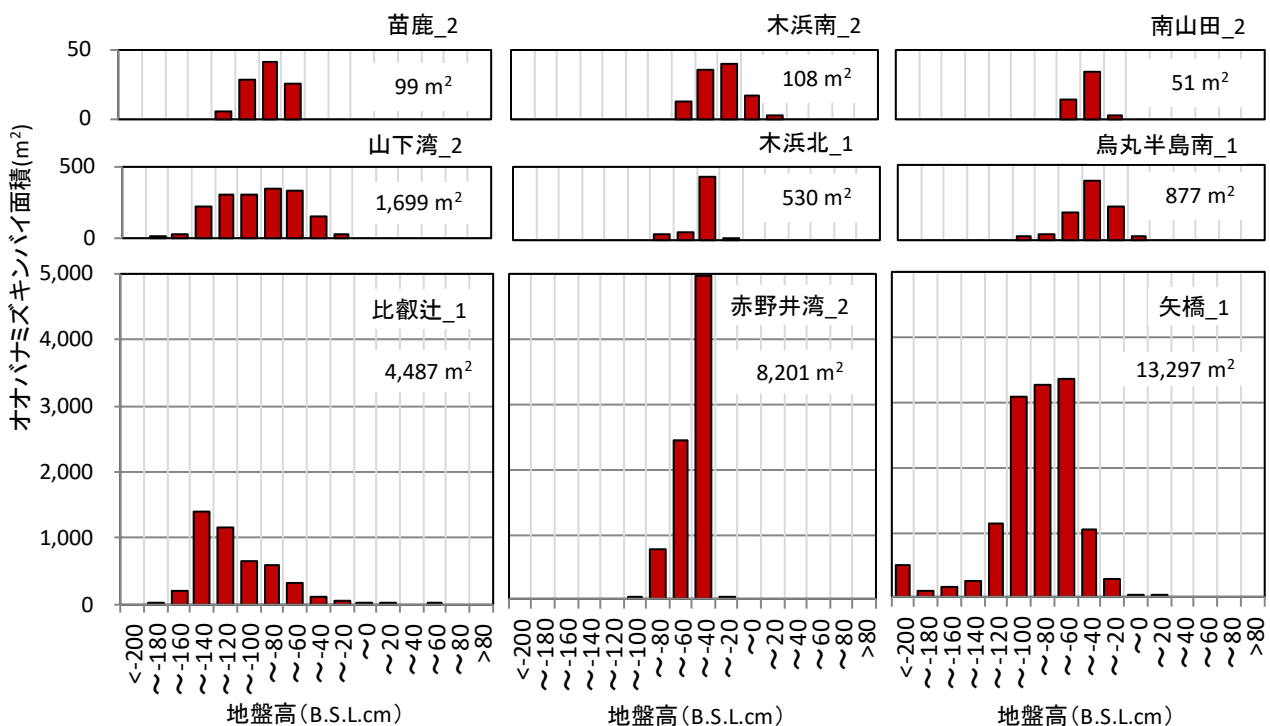
琵琶湖周辺の12か所（彦根，今津，南小松，雄琴沖，大津，琵琶湖博物館など）の観測地点における2014年1月1日～2014年12月31日までの日最大風速とその風向（16方位）データを収集し、さらに各オオバナミズキンバイ群落から対岸までの有効吹送距離（16方位）を計算し、有義波高の計算に用いた。有義波高の計算式¹⁾を以下に示す。

$$\frac{gH_{1/3}}{U^2} = 2.47 \times 10^{-3} \left(\frac{gFe}{U^2} \right)^{0.427}$$

ここで、 $H_{1/3}$ ：有義波高(m)， Fe ：有効吹送距離(m)， U ：風速(m/s)， g ：重力加速度(m/s²)である。

地盤高別の生育分布

2015年オオバナミズキンバイは132群落中55群落で確認された。オオバナミズキンバイの面積を55群落別に地盤高別に整理し、55群落中の特徴的な9群落の結果を図(1)-9に示す。なお、地盤高は琵琶湖標準水位（B.S.L.）からの比高で示した。上段に小規模群落（苗鹿_2，木浜南_2，南山田_2）、中段に中規模群落（山下湾_2，木浜北_1，烏丸半島_1）、下段に大規模群落（比叡辻_1，赤野井湾_2，矢橋_1）を示す。南湖西岸の苗鹿_2ではB.S.L.-140～-60 cmの地盤高にオオバナミズキンバイが生育していた。総面積は99 m²であり、B.S.L.-100～-80 cmに41 m²が繁茂した。同じく南湖西岸の山下湾_2では、本種はB.S.L.-200～-20 cmの地盤高に生育した。山下湾は苗鹿に比べて入り組んだ地形をしており比較的波が弱い傾向にあり、沖域まで本種が広がったと考えられた。同様に、比較的波の当たる南湖東岸の南山田_2ではB.S.L.-80～-20 cmに本種が確認され、入り組んだ地形の矢橋_1では、B.S.L.-200 cm以低でも本種が確認された。総面積は13,297 m²であり、波の弱い入り組んだ地形で本種が沖域に生育範囲を広げていることが読み取れた。

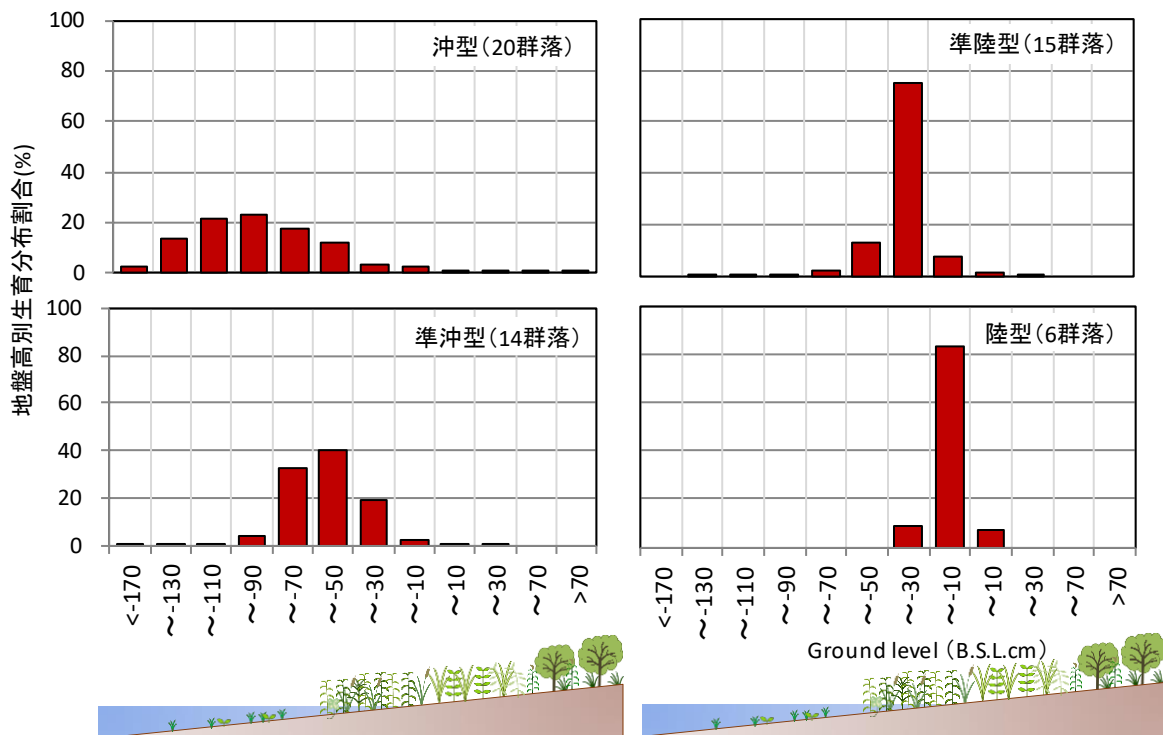


図(1)-9 琵琶湖岸のオオバナミズキンバイの地盤高別生育分布

地盤高別の生育特性による分類

地盤高別のオオバナミズキンバイ面積を各群落の総面積で割り、地盤高別の生育分布割合を55群落別に計算した。それらを目的変数として、クラスター分析（ユークリッド距離，ウォード法）を行った結

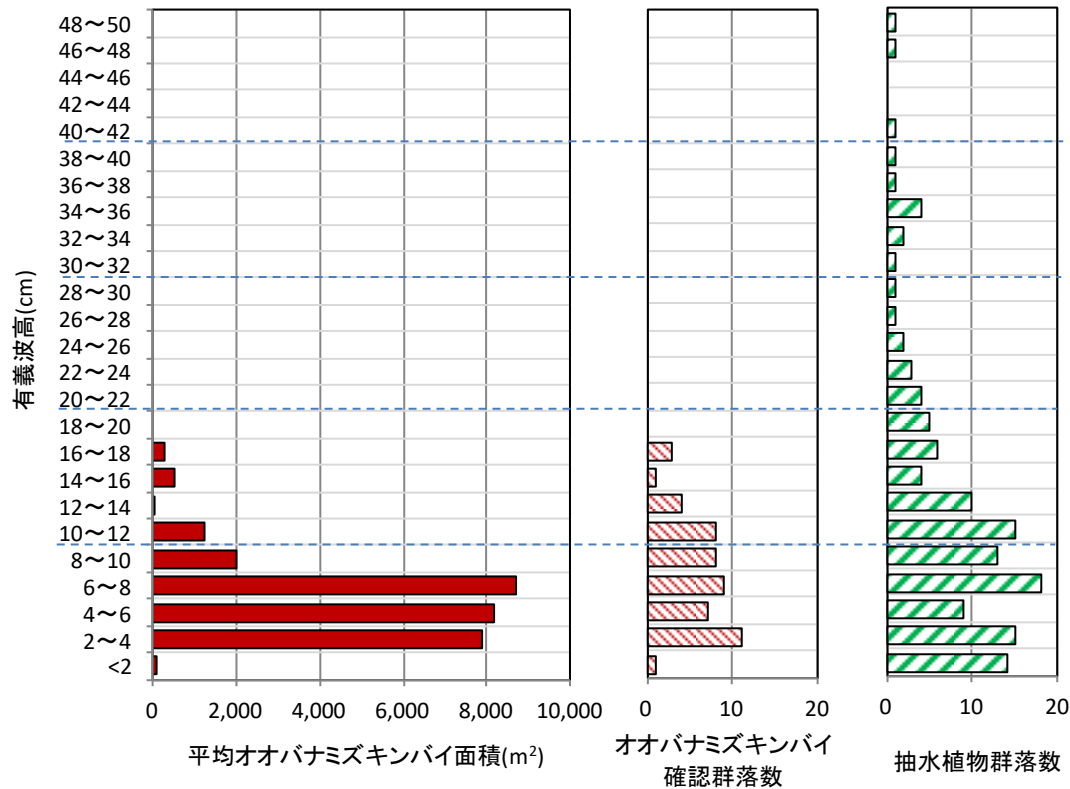
果、琵琶湖岸の55のオオバナミズキンバイ群落を4つのタイプ（B.S.L.-150～-50 cmに分布する群落（沖型）、B.S.L.-90～-30 cmに概ね均等に生育する群落（準沖型）、B.S.L.-50～-30 cmに集中して生育する群落（準陸型）、B.S.L.-30～-10 cmに集中して生育する群落（陸型））に分類することができた。各タイプの地盤高別の生育分布割合を図(1)-10に示す。沖型はB.S.L.-110～-90 cmで23.4%と最も繁茂し、深いところではB.S.L.-170 cm以低にも生育した。矢橋_1～5, 山下湾_1～5, 苗鹿_1,2, 比叡辻_1など20群落が含まれた。準沖型はB.S.L. -70～-50 cmで40.3%と最も繁茂し、B.S.L.-90～-30 cmの地盤高に全体の92.0%が存在した。赤野井湾_4, 矢橋_6, 雄琴港_1など14群落が含まれた。準陸型はB.S.L.-50～-30 cmで75.2%と最も繁茂し、全体の95.9%がB.S.L.-70～-10 cmに存在した。赤野井湾_1～3, 烏丸半島南_1,2, 北山田_1,2, 木浜北_1,2など15群落が含まれた。陸型はB.S.L.-30～-10 cmに83.3%が存在する群落であり、Biyoセンター_1, 南山田_1など6群落が含まれた。すべての群落は小規模であり、群落面積は500 m²未満であった。



図(1)-10 オオバナミズキンバイの生育特性により分類した4タイプ別の地盤高別生育割合

有義波高とオオバナミズキンバイ群落面積との関係

琵琶湖岸の132の抽水植物群落における吹送距離を算出し、有義波高を計算した結果、有義波高は0～48.8 cmであった。最小となったのは南浜漁港内であり、消波施設の影響が考えられた。最大となったのは新海浜_2であり、その他、水ヶ浜、丁野木など北湖東岸で高くなる傾向であった。有義波高とオオバナミズキンバイ群落の平均面積との関係をオオバナミズキンバイが確認された群落数、抽水植物群落数とともに図(1)-11に示す。有義波高18 cm以上のヨシ群落では、オオバナミズキンバイが確認されなかった。波が強いことでオオバナミズキンバイの定着が難しかったと示唆された。有義波高12～18 cmでは、19～530 m²の小規模群落を形成することが読み取れた。これらの多くはB.S.L.-50～-30 cmの地盤高に群落を形成した。有義波高8～12 cmでは、1,240～2,012 m²の中規模群落を形成する傾向を示した。これらの多くはB.S.L.-90～-30 cmに群落を形成した。また、有義波高2～8 cmでは、7,862～8,699 m²の大規模群落を形成する傾向を示した。これらの大部分はB.S.L.-150～-50 cmの沖域に群落を形成した。すなわち、波浪の影響が小さい沿岸では、沖域まで群落を拡大させ、波浪の影響の大きい沿岸では、比較的水際付近に群落を形成する傾向にあることが示唆された。一方で、有義波高が2 cm未満の沿岸ではオオバナミズキンバイはあまり存在しなかった。有義波高が2 cm未満となったのは、南浜、牧、白鳥川、塩津浜な

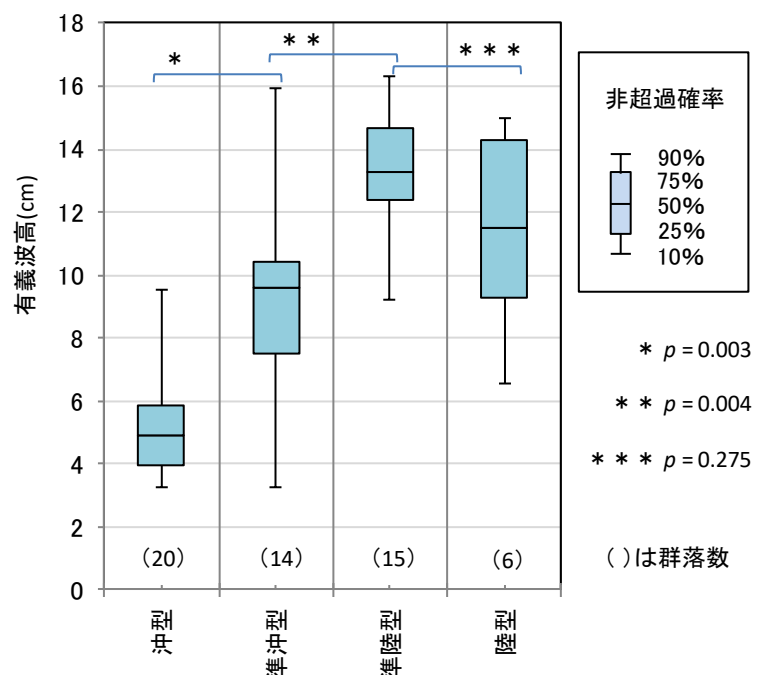


図(1)-11 有義波高とオオバナミズキンバイ群落面積、群落数、抽水植物群落数との関係

ど比較的、消波施設がしっかり設置された北湖の結果（14群落中12群落が北湖）であることが影響したと考えられる。

ポテンシャルハビタットの推定

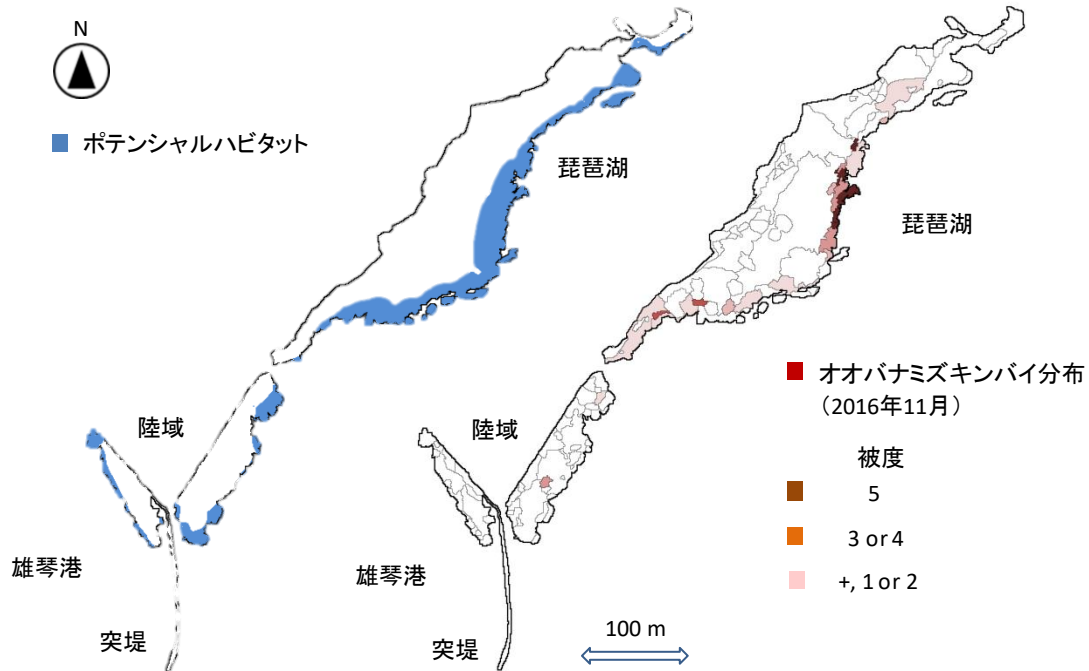
オオバナミズキンバイの地盤高別の生育特性と有義波高との関係を整理するため、沖型、準沖型、準陸型、陸型の有義波高を計算した結果を図(1)-12に示す。平均有義波高はそれぞれ5.5 cm, 9.4 cm, 13.2 cm, 11.0 cmであり、Welchの*t*検定の結果、沖型と準沖型の差 ($p = 0.003$)、準沖型と準陸型の差 ($p = 0.004$) はそれぞれ有意であり、準陸型と陸型の差は棄却された ($p = 0.275$)。陸型は6群落であり、かつすべて小規模群落であったため、沖型、準沖型、準陸型の有義波高から、それぞれの群落におけるオオバナミズキンバイのポテンシャルハビタットを推定することとした。各群落の有義波高を計算し、沖型、準沖型、準陸型に分け、それぞれのオオバナミズキンバイの生育可能性が高い地盤高をポテンシャルハビタットとして1mメッシュの推定図を作成した。



図(1)-12 オオバナミズキンバイ群落4タイプ別の有義波高の比較

雄琴港における翌年のオオバナミズキンバイの分布との比較

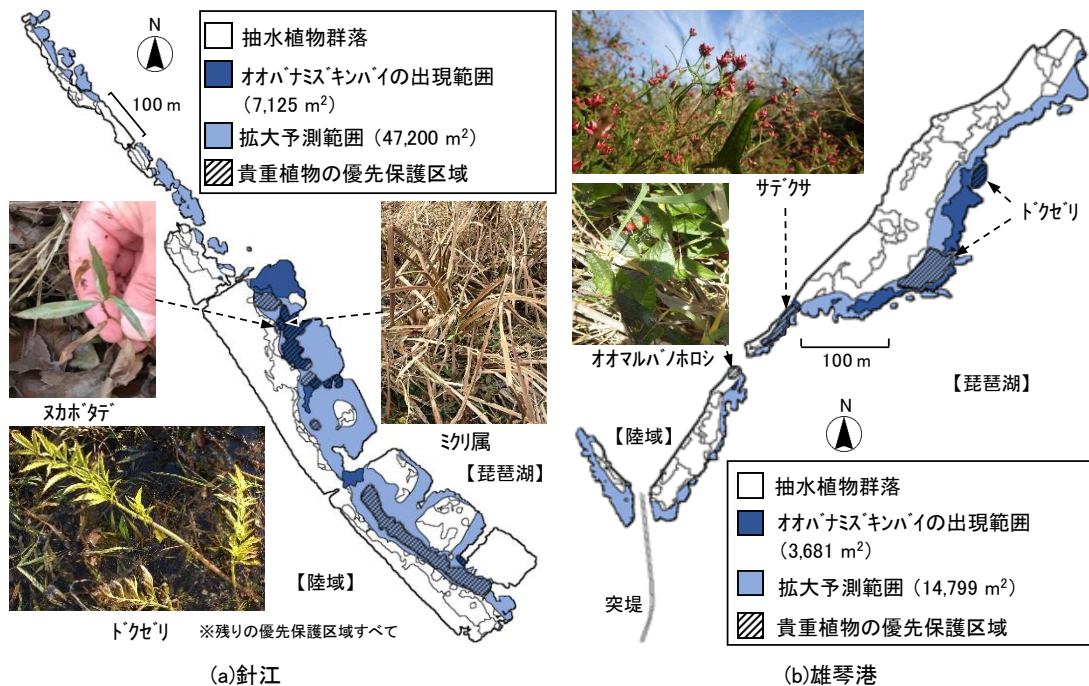
南湖西岸の雄琴港におけるポテンシャルハビタットマップと2016年11月16日におけるオオバナミズキンバイの実際の分布を図(1)-13に示す。有義波高から図下の突堤より西側は沖型、東側は準陸型に分類され、それぞれの対応する地盤高をポテンシャルハビタットとした。ポテンシャルハビタットは2015年の調査結果に基づいて作成された。なぜなら、滋賀県などは駆除対策費を2016年度から年間約4億円まで増大しており、駆除対策が大規模に行われる前の繁茂状況と波浪条件に関係があると推測したからである。2016年11月16日の繁茂状況と比較すると、本研究による推定範囲と侵入範囲がおおよそ一致した。



図(1)-13 推定したポテンシャルハビタットと実際のオオバナミズキンバイの侵入状況の比較

②重要監視区域の設定

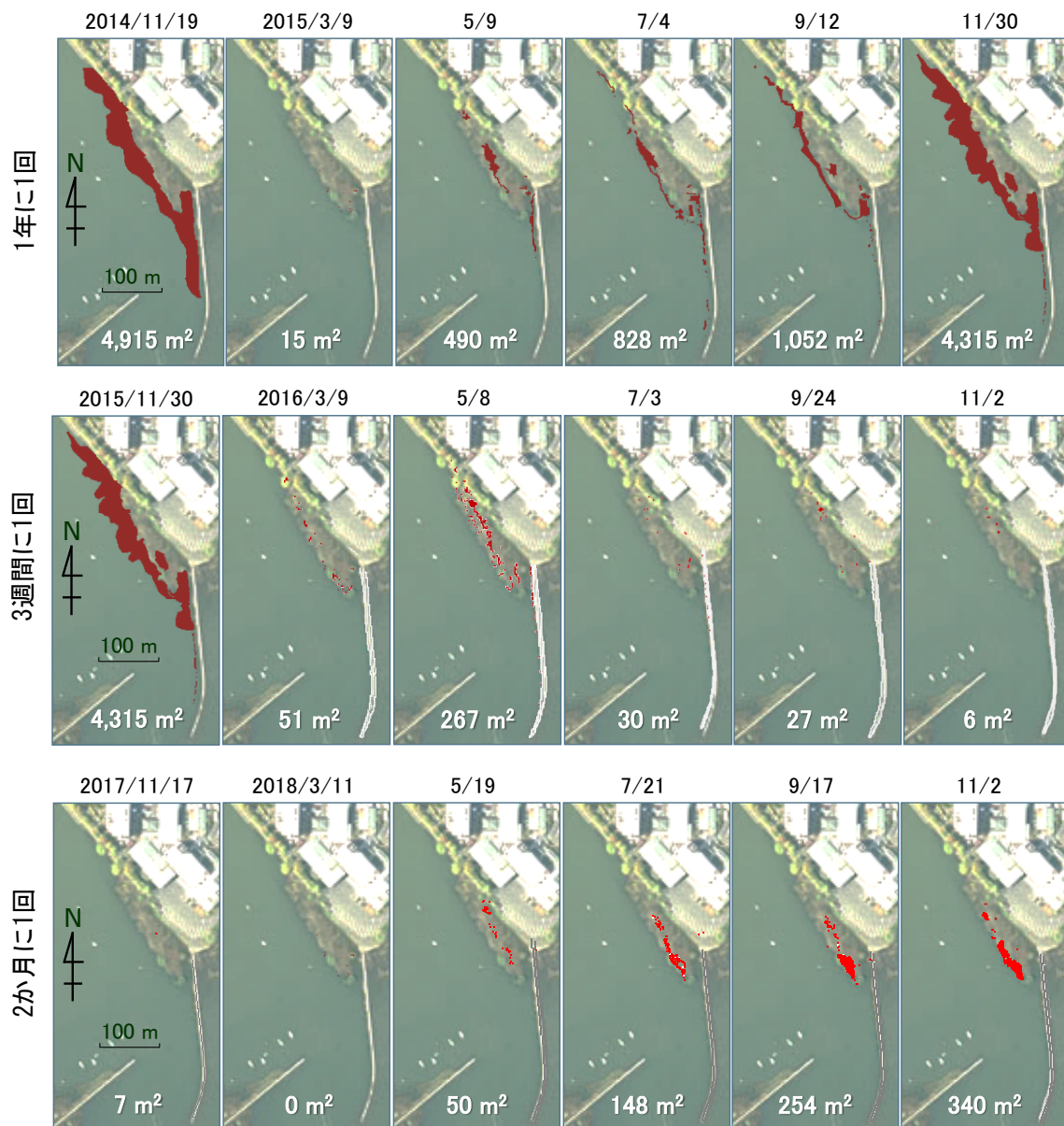
貴重植物が多く確認された針江と雄琴港における優先保護区域を重点監視区域として図(1)-14に示す。両群落において貴重植物の出現範囲にオオバナミズキンバイが侵入していることが分かった。



図(1)-14 針江と雄琴港における貴重植物の確認と重要監視区域の設定

③ 定点定期観察結果および再増殖を防ぐための定期的巡回・駆除の頻度

雄琴港におけるオオバナミズキンバイの2か月ごとの面積変化を図(1)-15に示す。定期的巡回・駆除の頻度は、2015年は1年に1回、2016年、2017年は3週間に1回であった。2018年は2か月に1回、2019年と2020年は2か月に1回の頻度での巡回・駆除が行われた。2014年12月に4,915 m²存在した本種が、環境省による駆除により2015年3月9日は15 m²にまで減少した。ところが、その後徐々に面積を拡大し、2015年11月30日には4,315 m²にまで再生した。この結果から1年に1回の駆除では不十分であることが分かった。再び環境省による駆除により、2016年3月9日に51 m²まで減少した。その後、3週間に1回の巡回・駆除活動により広がりを抑えることができ、2016年11月2日には6 m²であった。2017年3月7日に1 m²まで減少し、再び3週間に1回の巡回・駆除の結果、2017年11月17日も7 m²に抑え込むことができていた。2018年3月11日に0 m²となったが、2か月に1回の巡回・駆除となった結果、徐々に本種が増殖し、11月2日には396 m²にまで増加した。2019年3月19日に100 m²であった本種は、1か月に1回の巡回・駆除により増殖速度を弱めることができ、11月12日は182 m²であった。2020年3月16日に6 m²まで減少し、その後も1か月に1回の巡回・駆除の結果、10月28日には76 m²となった。長期間にわたる定点定期観察の結果から、雄琴港では、3週間に1回の巡回・駆除により、低密度での管理が可能となることが分かった。



図(1)-15 雄琴港におけるオオバナミズキンバイの2か月ごとの面積変化

④琵琶湖全域の分布調査の結果および考察

2018年10月22日～12月5日に北湖東岸49群落、北湖西岸28群落、南湖東岸29群落、南湖西岸26群落の計132群落を対象にオオバナミズキンバイの分布調査を実施した結果、北湖東岸0群落、北湖西岸5群落、南湖東岸27群落、南湖西岸23群落において計73,204 m²のオオバナミズキンバイを確認し、GPS情報を地図上に整理して冊子に記載した（カラー135ページ、50部）。本冊子を2019年度に駆除活動を行う方々などに配布した。

2019年10月21日～12月10日に同様の調査を実施した結果、北湖東岸0群落、北湖西岸5群落、南湖東岸26群落、南湖西岸20群落において計26,920 m²のオオバナミズキンバイを確認し、GPS情報を地図上に整理した。天神川、下阪本北、志那中では、オオバナミズキンバイが完全に駆除されていた。

2020年10月2日～12月5日に北湖東岸49群落、北湖西岸28群落、南湖東岸29群落、南湖西岸26群落の計132群落を対象にオオバナミズキンバイの分布調査を実施した結果、北湖東岸0群落、北湖西岸5群落、南湖東岸27群落、南湖西岸16群落において計33,720 m²のオオバナミズキンバイを確認した。天神川、下阪本北では2年連続で完全に駆除されていた。さらに下阪本南、苗鹿でも完全に駆除されていた。一方、志那中では再び11 m²のオオバナミズキンバイを確認した。それらGPS情報を地図上に整理し「特定外来種オオバナミズキンバイの制御管理マニュアル」（カラー132ページ、50部）に掲載し、2021年度に駆除活動を行う方々などに配布した。

⑤断片からの再生実験

茎断片からの再生に及ぼす影響要因の検討（栄養塩・茎長・茎径）

実験開始*n*日目の投影面積と実験開始時の投影面積の差を増加投影面積と定義する。節ありの試料において、実験開始10日目の増加投影面積を目的変数 (X_{ijk}) として、栄養塩 (A_i , 2水準), 茎長 (B_j , 6水準), 茎径 (C_k , 2水準) の3因子による3元配置による分散分析を行い、それらの影響要因について考察した。以下に式を示す。

$$X_{ijk} = X_0 + A_i + B_j + C_k + (ab)_{ij} + (bc)_{jk} + (ca)_{ki} + e_{ijk} \quad (\text{式1})$$

X_0 : 総平均

A_i, B_j, C_k : 主効果

$(ab)_{ij}, (bc)_{jk}, (ca)_{ki}$: 2因子交互作用

e_{ijk} : 残差

節ありの系で10日目の増加投影面積を目的変数とした分散分析表を表(1)-4に示す。全体の90.5%を主効果と2因子交互作用で説明することができた。茎長の寄与率が51.8%, 茎径の寄与率が18.9%でありF検定の結果1%有意であった。また、茎長および茎径の交互作用の寄与率は19.2%であり、再生に大きく寄与していることが分かった。これは茎長および茎径が節の大きさに影響するからであると考えられる。一方で、栄養塩の寄与率は0%となり培養から10日目の段階では再生に寄与していないことが分かった。

表(1)-4 再生に及ぼす要因と寄与率（栄養塩、茎長、茎径）

要因	分散和	自由度	不偏分散	分散比	修正分散和	ρ 値	寄与率(%)
全体	250,264	23			250,264		100.0
栄養塩(A)	1,007	1	1,007	1.0	0	0.369	0.0
茎長(B)	134,816	5	26,963	26.1	129,654	0.001	51.8
茎径(C)	48,224	1	48,224	46.7	47,191	0.001	18.9
(A×B)	6,685	5	1,337	1.3	1,523	0.392	0.6
(B×C)	53,190	5	10,638	10.3	48,028	0.011	19.2
(A×C)	1,181	1	1,181	1.1	148	0.334	0.1
残差(E)	5,162	5	1,032		23,719		9.5

茎断片からの再生に及ぼす影響要因の検討（照度・茎長・茎径）

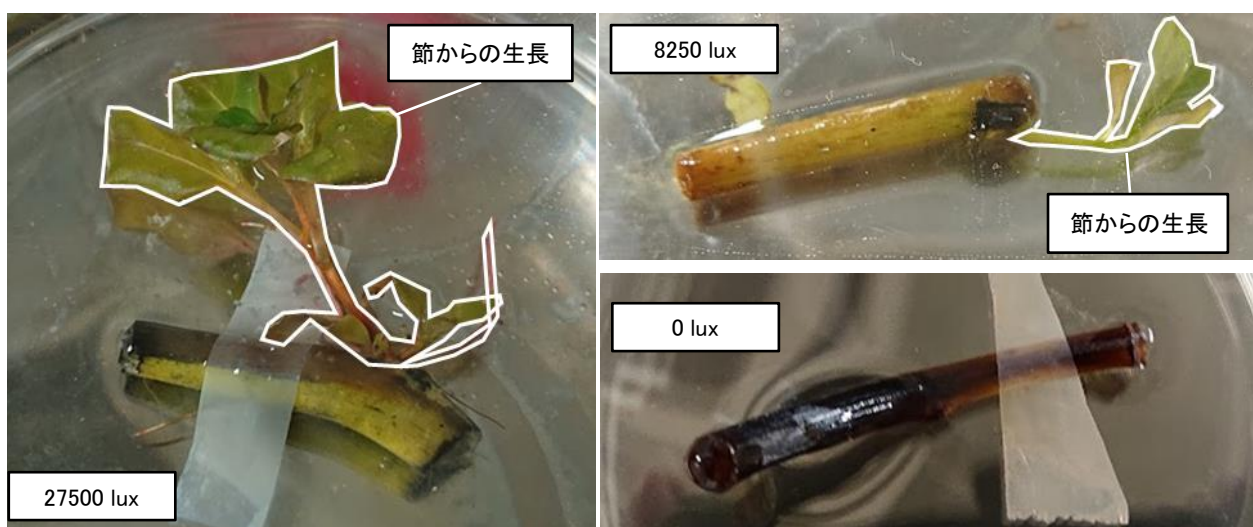
実験開始10日目の増加投影面積を目的変数 (X_{ijk}) として、照度 (A_i , 3水準), 茎長 (B_j , 7水準), 茎径 (C_k , 3水準) の3因子による3元配置による分散分析を行い、それらの影響要因について考察した。

10日目の増加投影面積を目的変数とした分散分析表を**表(1)-5**に示す。全体の74.0%を主効果と2因子交互作用で説明することができた。照度の寄与率が9.7%, 茎長の寄与率が16.4%, 茎径の寄与率が16.6%となり、 F 検定の結果それぞれ1%有意であった。茎長と茎径の交互作用 $B \times C$ は15.5%であり、茎断片の大きさが再生に大きく寄与していた。また、照度と茎長の交互作用 $A \times B$ が9.6%, 照度と茎径の交互作用 $A \times C$ が6.3%と照度と茎断片の大きさに一定の交互作用があると認められた。

表(1)-5 再生に及ぼす要因と寄与率（照度、茎長、茎径）

要因	分散和	自由度	不偏分散	分散比	修正分散和	p 値	寄与率(%)
全体	174,064	62			174,064		100.0
照度(A)	18,366	2	9,183	12.6	16,908	0.0002	9.7
茎長(B)	32,844	6	5,474	7.5	28,470	0.0001	16.4
茎径(C)	30,356	2	15,178	20.8	28,898	0.00001	16.6
(A×B)	25,371	12	2,114	2.9	16,624	0.013	9.6
(B×C)	35,796	12	2,983	4.1	27,048	0.002	15.5
(A×C)	13,835	4	3,459	4.7	10,919	0.006	6.3
残差(E)	17,496	24	729		45,197		26.0

各照度における茎径別の分化率では、27,500 luxおよび8,250 luxの実験条件では5 mmおよび3 mmの試料から分化が認められたが、1 mmの試料からは分化しなかった。どちらの条件においても5 mmの方が分化率は高かったが、条件ごとに大きな差はなかった。0 luxの条件では茎径3 mmの試料のうち1つから分化が認められたが、そのほかの試料からは分化しなかった。以上より、本種は茎径1 mmの茎断片からは分化せず、0 luxの環境下で分化しにくい可能性が示された。各照度における実験開始10日後の試料の様子を**図(1)-16**に示す。0 luxの試料は他の条件に比べて茎の全体が黒く変色していた。27,500 luxと8,250 luxでは分化率に明確な差が見られなかったが、観察より、節からの生長量が27,500 luxの方が大きくみえた。



図(1)-16 各照度における試料の様子（10日目）

各照度における茎長別の分化率では、27,500 luxおよび8,250 luxの実験条件では茎長が小さくなるにつれて分化率が低下する傾向が見られ、どちらの条件においても茎長3 mmの試料の分化率は20%であった。

なお27,500 luxにおける茎長7 mmの試料は分化率が0%となり分化が認められなかったが、これは作成した茎断片の試料の節部分が枯死していた可能性が考えられる。0 luxの条件では50 mmの試料で6.7%分化したが、そのほかの試料では分化が見られなかった。以上より、茎長1 mmの茎断片からは分化しない可能性が示唆された。

茎断片からの再生に及ぼす影響要因の検討（水温・茎長・茎径）

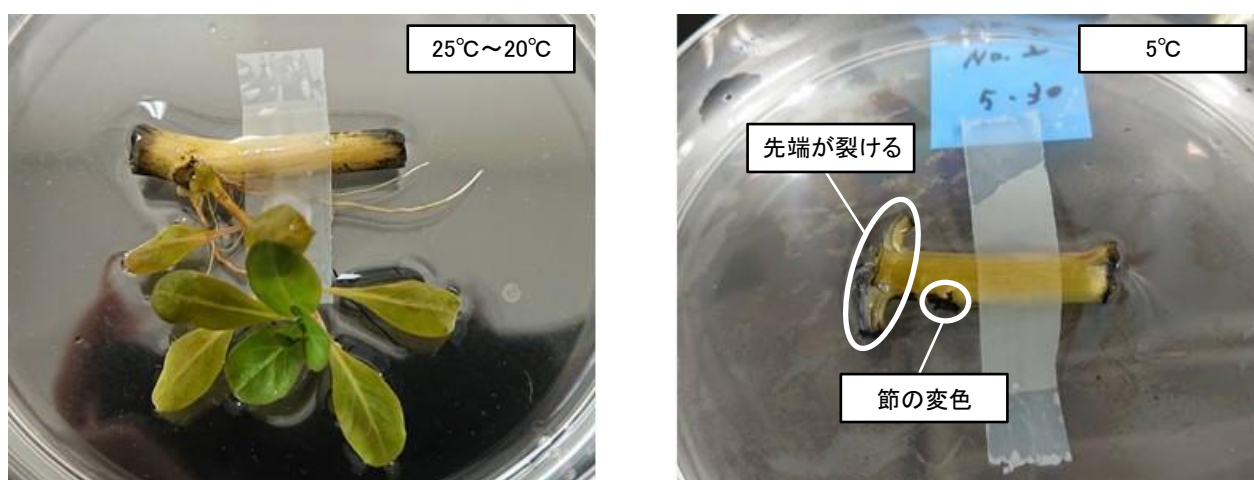
実験開始10日目の増加投影面積を目的変数 (X_{ijk}) として、水温 (A_i , 2水準), 茎長 (B_j , 7水準), 茎径 (C_k , 3水準) の3因子による3元配置による分散分析を行い、それらの影響要因について考察した。

10日目の増加投影面積を目的変数とした分散分析表を表(1)-6に示す。全体の69.2%を主効果と2因子交互作用で説明することができた。水温の寄与率が9.9%, 茎径の寄与率が15.6%となり、 F 検定の結果、1%有意であった。また茎長の寄与率は15.8%であり5%有意であった。茎長と茎径の交互作用 $B \times C$ は11.1%であり、茎断片の大きさが再生に大きく寄与していた。また、水温と茎長の交互作用 $A \times B$ が10.7%, 水温と茎径の交互作用 $A \times C$ が6.0%と水温と茎断片の大きさに一定の交互作用があると認められた。

表(1)-6 再生に及ぼす要因と寄与率（水温、茎長、茎径）

要因	分散和	自由度	不偏分散	分散比	修正分散和	p 値	寄与率 (%)
全体	143,349	41			143,349		100.0
水温(A)	15,320	1	15,320	14.2	14,245	0.003	9.9
茎長(B)	29,115	6	4,852	4.5	22,662	0.013	15.8
茎径(C)	24,575	2	12,288	11.4	22,424	0.002	15.6
(A×B)	21,741	6	3,624	3.4	15,289	0.035	10.7
(B×C)	28,876	12	2,406	2.2	15,971	0.089	11.1
(A×C)	10,817	2	5,408	5.0	8,666	0.026	6.0
残差(E)	12,905	12	1,075		44,093		30.8

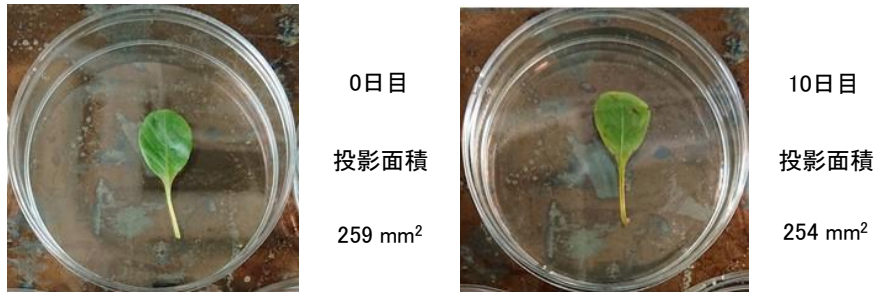
いずれの条件においても茎径および茎長1 mmの茎断片からは分化しなかったことから、以降は水温の影響に着目するために1 mm系の試料を除いた結果を明記する。25°C~20°Cで培養した試料は67%が分化した一方で、5°Cの試料は分化率が0%であり、分化が認められなかった。各水温における実験開始10日後試料の様子を図(1)-17に示す。5°Cで培養した試料は、節が黒く変色し、茎断片の先端が裂けるものが多く観察された。植物の中には生長中に低温に見舞われると、白色化、クロロシス（クロロフィルの緑が薄くなり、黄化すること）、ネクロシス（傷害が進み細胞死を起こすこと）²⁾などの生長不全や低温傷害症状が見られるものがある。また傷害は不可逆的である³⁾。観察の結果から本種は5°Cの環境下で低温障害を引き起こし生長不全に陥っている可能性がある。水温が低くなる冬季の期間中に駆除活動を行うことで、駆除後に流出した茎断片からの再生を防止することができる可能性があると考えられた。



図(1)-17 各水温における試料の様子（10日目）

葉断片からの再生実験

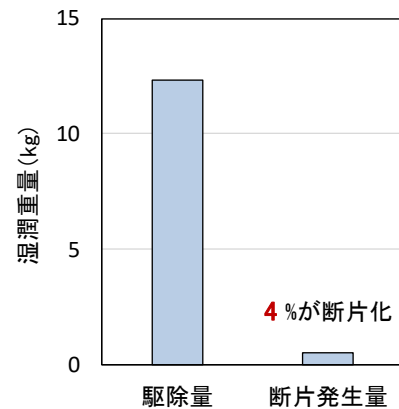
葉断片の試料の実験開始時と10日目の様子を図(1)-18に示す。実験開始時と比較して10日目の大きさに変化は見られず再生している様子はなかった。実験開始後 n 日目の投影面積を分子に、実験開始時の投影面積を分母にとり、生長倍率と定義した。0日目の投影面積が 259 mm^2 であったのに対して、10日目は 254 mm^2 であり、生長倍率は0.98倍であった。全5サンプルの平均生長倍率は1.01倍であり、本種の葉断片からはほとんど再生しないことが分かった。



図(1)-18 葉断片の0日目および10日目の様子

駆除後に発生する断片の特徴

駆除量に対する断片の発生量を図(1)-19に示す。駆除した本種の湿潤重量が12.3 kgであったのに対して、回収した断片の湿潤重量は0.5 kgであった。このことから、今回の調査では、駆除した本種の量に対して約4%が断片として発生することが示唆された。湿潤重量1 t当たりに換算すると、40.6 kgの断片が発生することがわかった。回収された断片を茎と葉に分け、個数および発生割合を算出した。回収された断片262個のうち茎は187個で、葉が75個であった。回収された断片のうち、71.4%が茎であったのに対して、28.6%が葉であった。



図(1)-19 駆除量に対する断片の発生量

節とは、茎から葉が生えている周囲より若干太い部分のことで、一般的な植物は節から葉柄を発生させることから、生長および再生に大きく関与する組織である。駆除後に発生した茎断片187個のうち、179個が節あり、8個が節なしであった。回収された茎断片のうち、95.7%が節あり、4.3%には節がみられなかった。湿潤重量1 t当たりに40.6 kgの断片が発生するが、そのうち27.7 kgの茎断片に節があり再生する可能性があることが分かった。

回収した茎断片の187個のうち、茎径5 mm以上が1個、3~5 mmが56個、1~3 mmが124個、1 mm未満が6個であった。茎径1~3 mmが全体の66.3%を占め、96.8%が1 mm以上の茎断片であった。回収した茎断片187個のうち、茎長50 mm以上が134個、30~50 mmが26個、10~30 mmが20個、10 mm未満が7個であった。茎長50 mm以上が全体の71.7%を占め、96.3%が10 mm以上の茎断片であった。茎径および茎長別の分化率のデータを用いて、それぞれの茎断片の分化率を計算した結果を表(1)-7に示す。これより、駆除後に発生する茎断片のうち26.4%が分化し再生する可能性が示唆された。

表(1)-7 発生した茎断片における分化割合

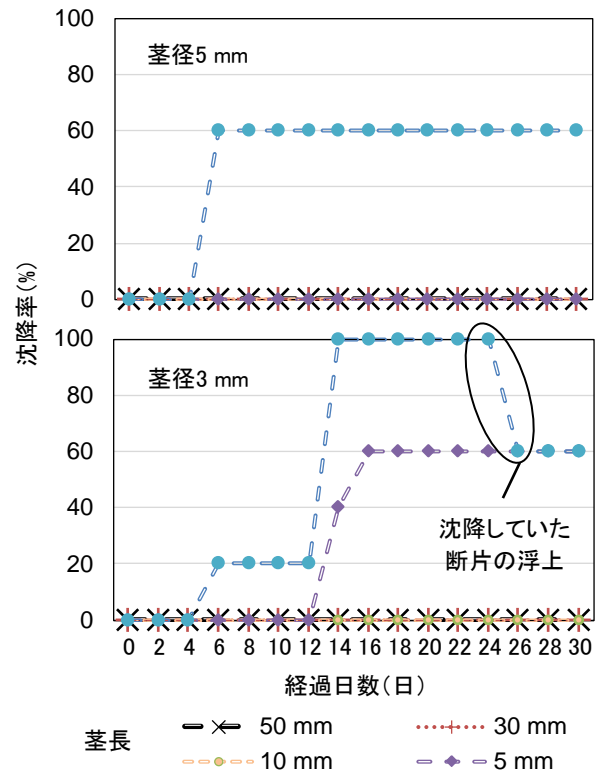
茎長(mm)	茎径(mm)			
	5以上	3~5	1~3	1未満
50以上	0.3	20.5	0	0
30以上50未満	0.1	3.6	0	0
10以上30未満	0.05	1.5	0	0
10未満	0.01	0.2	0	0

発生する茎断片の分化率:26.4% (単位:%)

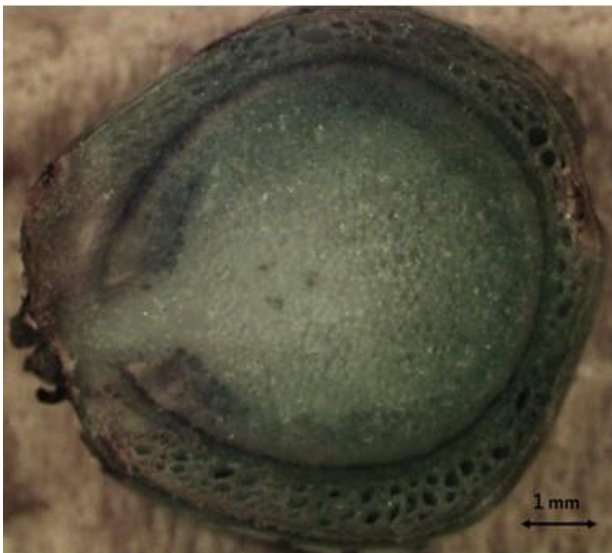
茎断片の沈降試験による水域における鉛直挙動の推定

各試料における経過日数別の沈降率を図(1)-20に示す。沈降率は、アクリルパイプ底に沈降した試料数を分子に、試料数を分母にして計算した。茎径5 mmの試料では、茎長3 mmの試料のみ沈降が確認された。6日目に60%が沈降し、そこから実験終了まで沈降率は一定であった。茎径3 mmの試料においては、茎長5 mmおよび3 mmの断片の沈降が確認され、その他の試料は沈降しなかった。茎長5 mmの試料においては14日目に40%が沈降し、16日目から実験終了までの沈降率は60%で一定であった。一方、茎長3 mmの試料は5 mmの断片よりも早い段階で沈降が始まり、14日目には沈降率が100%となった。一方、24日目には沈降していた試料の浮上が確認され、最終的な沈降率は60%となった。以上より、試料の大きさが小さいほど沈降しやすい傾向にあり、茎長10 mm以上の試料においてはいずれの茎径においても沈降しないことが示された。

浮遊する断片と沈降する試料の断面を顕微鏡で観察を行った。それぞれの試料の断面の様子を図(1)-21に示す。浮遊する試料は表皮に多数の空隙があり、それらに空気を蓄え、浮力を働かせることで浮遊する⁴⁾と考えられる。一方、沈降する試料は茎全体が黒く腐食しており、それに伴い表皮部分の空隙が消失している。以上の結果および観察から、沈降の主要因は腐食に伴う表皮内の空隙の消失であり、小さい試料の方が腐食しやすい傾向にあることが示された。



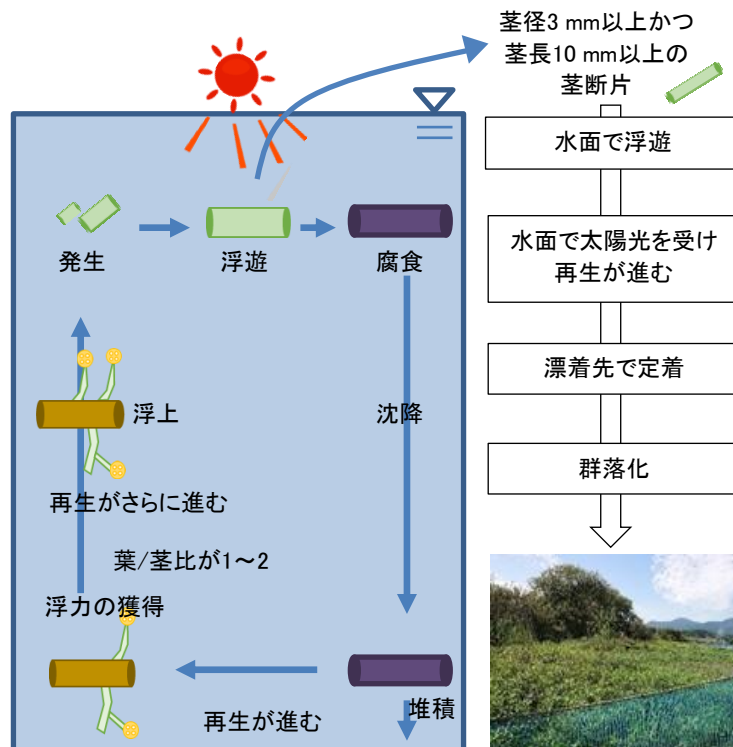
図(1)-20 経過日数別の沈降率



図(1)-21 浮遊する試料(左)および沈降する試料(右)の断面の様子

本実験で得た知見から、駆除後に発生する茎断片の水域内での挙動を検討した。茎断片の挙動の推定図を図(1)-22に示す。茎断片は、駆除直後は水面に浮遊する。節のある茎径3 mm以上かつ茎長10 mm以上の茎断片は沈降しないことが分かっており、そのまま水面で太陽光を十分に受けて節から分化し、再生が進むことが考えられる。その後、漂着先で定着し群落化することが推定される。一方、3 mm四方などの小さいものは日数を追うごとに茎が腐食しやすく、再生能力も低いことから、湖底に沈降する可能

性がある。それらの茎断片は、湖底の日射条件で再生する。分化したものに関しては、葉/茎比が大きくなると浮力を獲得し、水面に再び浮上し再生がさらに進むと考えられる。なお、3 mm四方より小さい茎断片に関しては、節からの分化が確認されなかったことから、湖底に沈降し堆積すると考えられる。



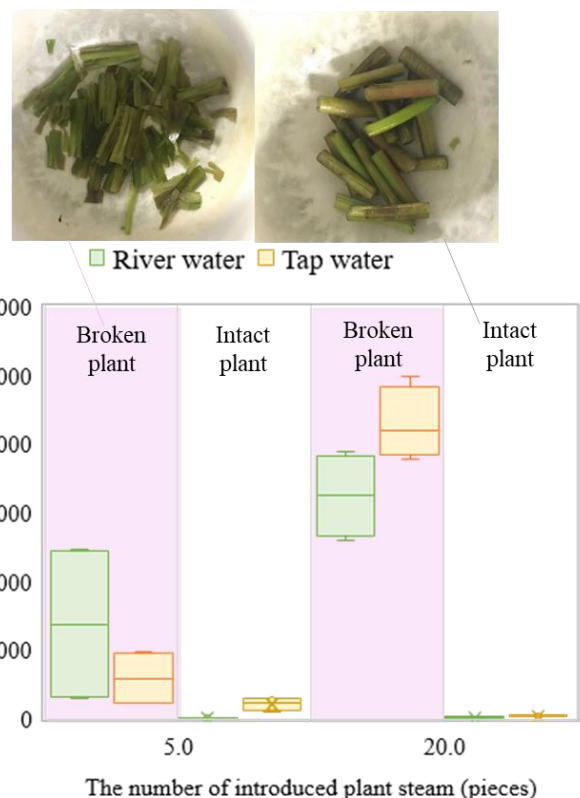
図(1)-22 駆除後に発生した茎断片の水域での挙動の推定

⑥環境DNA技術を用いたオオバナミズキンバイ検出プロトコルの開発

オオバナミズキンバイの茎の粉碎有無別の環境DNA濃度を図(1)-23に示す。河川水試料、水道水試料とも、粉碎することで環境DNAを溶出することが分かった。

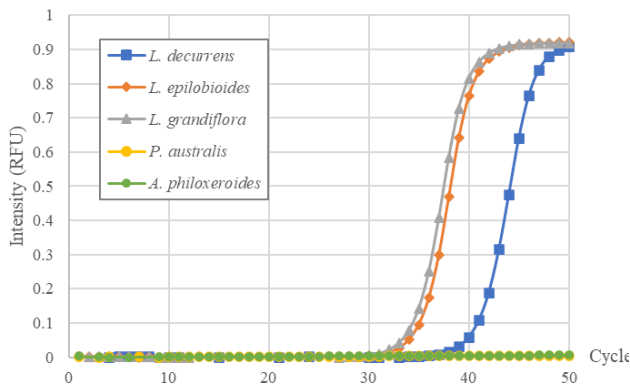
抽水植物群落内の他の植物を混合した系における定量PCRの分析結果を図(1)-24に示す。本プライマーを使用するとチョウジタデ (*Ludwigia epilobioides*)、ヒレタゴボウ (*Ludwigia decurrens*) も増殖するが、オオバナミズキンバイ (*Ludwigia grandiflora*) とは増殖 Cycle が異なることが示された。

琵琶湖北湖沿岸23か所の植物群落においてオオバナミズキンバイの環境DNAを分析した結果を図(1)-25に示す。オオバナミズキンバイが目視で確認されなかった地区においても低濃度の環境DNAを確認することができた。分析結果の信頼性を改善するための C_q 値の定量下限は38であることが示された。11群落においてオオバナミズキンバイの環境DNAが検出されたことから、それらの群落において、詳細にオオバナミズキンバイの存在を調査する必要がある。

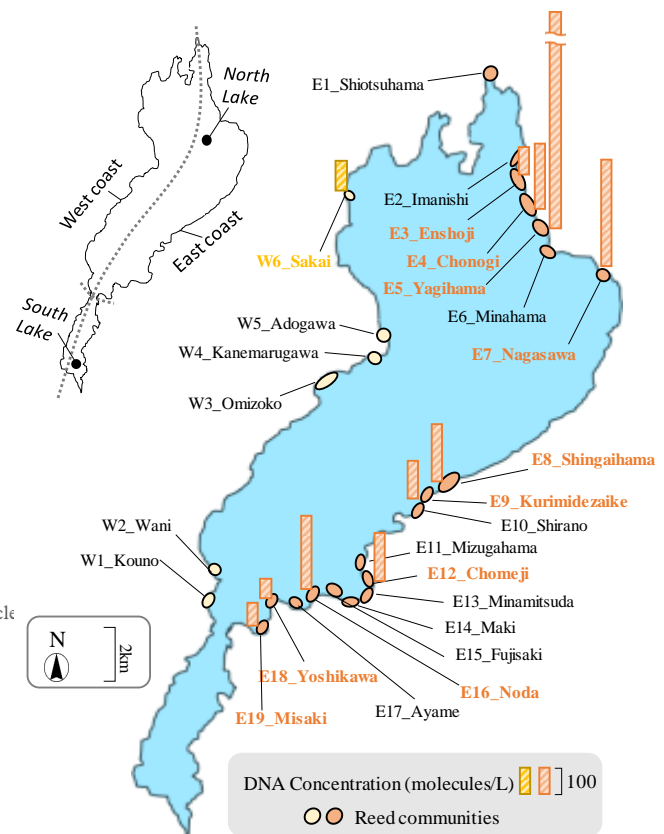


図(1)-23 茎の粉碎有無別の環境DNA濃度

ることが示された。本研究では、特定外来生物オオバナミズキンバイをモニタリングするための環境DNA分析（プライマー設計、定量PCRプログラム条件、環境DNAの採取、抽出、同定法を含む）に基づいた調査プロトコルを確立することができた。



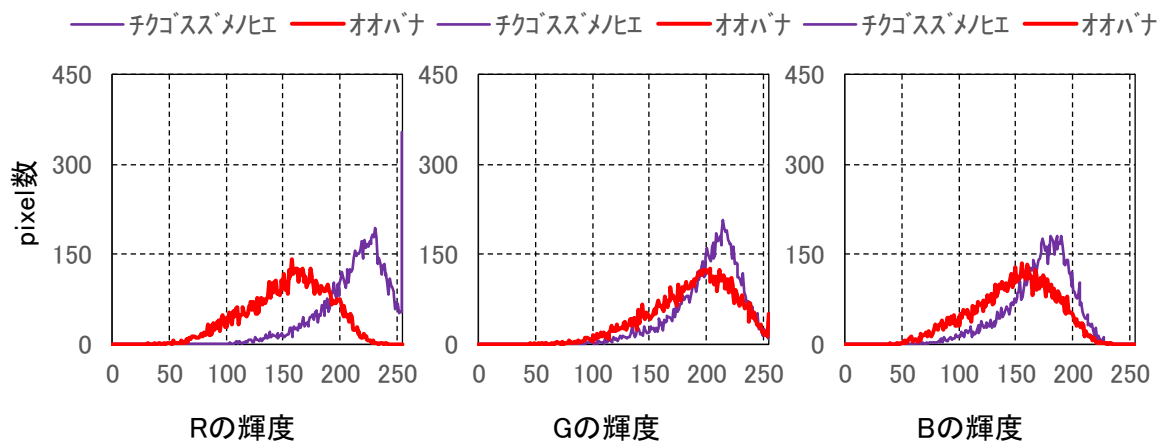
図(1)-24 抽水植物群落内の他の植物を混合した系における定量PCRの分析結果



図(1)-25 琵琶湖北湖沿岸のオオバナミズキンバイ環境DNA分布

⑦ ドローンを援用した効率的なオオバナミズキンバイ調査方法

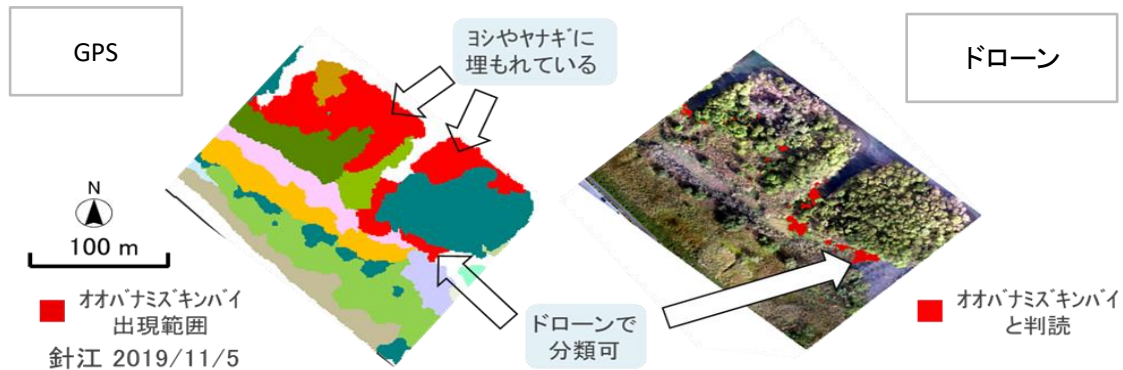
植栽影響地におけるチコスズメノヒエ群落とオオバナミズキンバイ群落のRGB値取得地点とRGB別のpixel数の比較を図(1)-26に示す。Rのグラフの関しては輝度150付近、Gのグラフに関しては輝度200付近、Bのグラフに関しては輝度140付近においてチコスズメノヒエ群落が大きく、その他の部分では小さな値をとり、オオバナミズキンバイとはRGB値の比較により分類することが可能であった。



図(1)-26 チコスズメノヒエ群落とオオバナミズキンバイ群落のRGB特徴量比較

2019年11月5日に単独測位携帯型GPS植生調査法によって作成した植生図とドローンをを用いた分類の結果を図(1)-27に示す。水域付近や植栽影響地では概ね一致したが、ヨシやヤナギ類と混生していた範囲ではほとんど判別できなかった。ドローンをを用いた分類では、ヨシやヤナギ類といった高さのある植物と混生しているオオバナミズキンバイの判読が困難であり、水域や植栽影響地といった周囲の植物の高さが低い範囲ではオオバナミズキンバイの分類が可能と考えられた。よってオオバナミズキンバイの調査について、水域や植栽影響地ではドローンをを用いた分類を適用することで労力を削減することが可

能と考えられた。



図(1)-27 単独測位携帯型GPS植生調査法によって作成した植生図とドローンを用いた分類

針江地区における抽水植物群落の概要を表(1)-8に示す。群落総面積は97,137 m²であり、その内自生部の面積は43,289 m²、植栽部の面積は38,602 m²、植栽影響地の面積は15,246 m²であり、群落総面積に占める植栽影響地の割合は15.7%であった。よって針江地区における抽水植物群落全体を対象としてオオバナミズキンバイの調査を行うと仮定した場合、15.7%の範囲においてドローンの適用による労力削減が可能であると考えられた。

表(1)-8 針江地区における抽水植物群落の概要

	合計群落 面積(m ²)	自生・植栽区分別面積(m ²)		
		自生	植栽	植栽影響
群落全体	97,137	43,289	38,602	15,246
群落全体に占める割合		44.6%	39.7%	15.7%

琵琶湖岸におけるポテンシャルハビタットは1,498,118 m²であり、水域の面積は1,128,831 m²であった。よって各地区においてもオオバナミズキンバイの分類可否が針江地区と同様と仮定した場合、75.3% (1,128,831 m²/1,498,118 m²) の範囲においてドローンの適用による労力削減が可能と考えられた。すなわち、従来法と比較して24.7%にまで削減することが可能であることを示した。

各群落のポテンシャルハビタットのうち、群落外(水域)面積が占める割合が50%未満である地区は赤野井湾、下笠、南山田、針江の4地区であり、それぞれ38%、44%、30%、36%であった。残りの23地区ではすべて50%以上であった。90%を超える地区もあり、矢橋、雄琴川ではそれぞれ91%、99%であった。地区によってはドローンを用いた分類を適用することがかなり有効であった。

⑧低密度状態での制御を可能とする管理マニュアルの作成

既往研究および課題、オオバナミズキンバイ侵入前後の植生構造の変化、再繁殖と雑草性リスクなどを整理し、さらにサブテーマ(2)と協力し、効果的駆除方法と注意点を整理した。断片からの再生に及ぼす影響要因や、定期的巡回駆除頻度、ドローンによる簡易観察手法の提案、環境DNA技術を用いた予防的観測技術の提案を掲載した。サブテーマ(3)により実施された減容化と堆肥化手順を一般に伝えるように記載した。2020年10月2日～12月5日に北湖東岸49群落、北湖西岸28群落、南湖東岸29群落、南湖西岸26群落の計132群落を対象にオオバナミズキンバイの分布調査を実施した結果、北湖東岸0群落、北湖西岸5群落、南湖東岸27群落、南湖西岸16群落において計33,720 m²のオオバナミズキンバイを確認し、GPS情報を地図上に整理して冊子に記載した(カラー132ページ、50部)。現存する本種の位置をポテンシャルハビタットマップとともに記し(赤野井湾を例として図(1)-28に示す。)、具体的防除方法について整理し低密度状態での制御を可能とする管理マニュアルとして冊子化し、環境省、滋賀県など関係機関に配布した。別添資料として、当マニュアルを環境再生推進機構に送付した。



図(1)-28 赤野井湾におけるポテンシャルハビタットマップ（青）と
2020年10月～12月にオオバナミズキンバイが残存した箇所（赤）

5. 研究目標の達成状況

本研究の全体目標として、ポテンシャルハビタットマップによる踏査範囲の縮小による効率化、生活史特性、断片からの再生条件の把握による具体的な防除方法の提案、環境DNA分析を活用した外来種侵入初期における簡便な発見手法の開発、刈取り後のオオバナミズキンバイの効率的減容化技術を盛り込んだ低密度状態での制御を可能とする管理マニュアルの作成を設定した。全体として、波の高さからオオバナミズキンバイの生育可能範囲を予測するポテンシャルハビタットマップについて、合計8回テレビや新聞報道されるなど、社会に還元される研究成果を上げた評価している。本ポテンシャルハビタットマップを含む管理マニュアルは全国の外来生物の駆除活動を行っている方々に配布され、各現場で活用されている。科学的根拠となった知見は、査読論文3編、その他発表2編、口頭発表5編で発表され、その内1編は受賞するなど、高い評価を受けた。さらに、サブテーマ(1)で2回、サブテーマ(1)～(3)の合同で3回の計5回、国民との科学技術対話を実施した。また、サブテーマ(1)とサブテーマ(3)が協力し、ベトナム国ダナン理工科大学内に、高温好気発酵分解の装置を設置し、国際連合工業開発機関(UNIDO)のSTePP(Sustainable Technology Promotion Platform)(http://www.unido.or.jp/en/technology_db/5022/)に2018年12月に認証されるなど、当初の予想を上回る成果を上げたと考えている。

サブテーマ(1)では、5つの具体的目標を掲げた。以下に達成状況を示す。

1. 「琵琶湖岸抽水植物群落55群落におけるオオバナミズキンバイのポテンシャルハビタットを予測し地図化することで、防除のための踏査面積を従来の50%未満にまで削減する。」では、ポテンシャルハビタットマップによる予測により、防除のための踏査面積を従来の40.1%にまで削減することができた。当初の計画を約10%上回る踏査面積の削減が可能となった。
2. 「種々の大きさの断片からの再生に関する実験を行い、大規模駆除の後の断片回収用の網の適切なメッシュサイズを明示する。」では、1mmメッシュの網を使用することで、再生を防ぐことが可能である結果を示した。具体的なメッシュサイズを示すという当初の目的を達成した。
3. 「ドローン技術を用いた簡易観察手法の開発による定期観測の効率化(従来法と比較して50%未満にまで削減)」では、ポテンシャルハビタット内の75.3%にドローン技術による簡易観測手法が適用可能であることを示した。すなわち、従来法と比較して24.7%にまで削減することが可能であることを示した。当初の計画である50%未満を十分達成することができた。
4. 「水中の環境DNA測定による本種の存在確認技術の精度の検証と琵琶湖への適用」では、オオバナミズキンバイを水中の環境DNAから検出するプロトコルを確立し、実験室環境、実環境での検討の後、琵琶湖北湖沿岸の23か所において適用し、オオバナミズキンバイの存在可能性の高い群落を示した。こちらも、環境DNA測定手法開発のみではなく、琵琶湖岸への大規模調査に適用するなど、当初の計画を達成した。
5. 「低密度状態での制御を可能とする管理マニュアルを作成し、琵琶湖岸の防除を担当する滋賀県、環境省に加えて、霞ヶ浦などオオバナミズキンバイの侵入が確認された国内他地域の関係者にも配布し技術提供する。」では、サブテーマ(2)、(3)と連携し「特定外来種オオバナミズキンバイの制御管理マニュアル(カラー132ページ、50部)」を作成し、2021年3月末に滋賀県、環境省、国立環境研究所、国立研究開発法人農業環境技術研究所などに配布し技術提供した。当初の最終目標を達成することができた。

上記5つの研究目標以外にも、環境行政に貢献できる以下の2つの主な成果を上げることができた。

- 追加成果1.光の照射強度を変化させた茎断片からの再生試験結果から、0 luxの条件では茎径3mmの試料のうち1つから分化が認められたが、その他の試料からは分化しなかった。すなわち、本種は0 luxの環境下で分化しにくい可能性が示された。完全遮光は、急激な拡大を抑える方策として有効である。
- 追加成果2.培養温度を変化させた茎断片からの再生試験結果から、5°Cで培養した試料は、節が黒く変色し、茎断片の先端が裂けるものが多く観察された。本種は5°Cの環境下で低温障害を引き起こし生長不全に陥っている可能性が示唆された。すなわち、水温が低くなる冬季の期間中に駆除活動を行うことで、駆除後に流出した茎断片からの再生を防止することができる可能性があることが示された。

6. 引用文献

- 1) 西嶋照毅, 宇多高明, 中辻崇浩, 1997. 湖岸植物の繁茂限界波高の算定－琵琶湖東岸を例として－. 海岸工学論文集 44, 1111-1115.
- 2) 農業・食品産業技術総合研究機構編 ; 農業技術辞典
- 3) 日本光合成学会HP ; 低温傷害 (冷温傷害)
- 4) 田中法生 (2012) ; 水草を科学する, pp.83-85. ベレ出版

II-2 鳥類が行う種子散布・断片散布による拡大可能性の検討

公立大学法人滋賀県立大学
環境科学部 環境生態学科

野間直彦

[要旨]

本研究では、オオバナミズキンバイ種子の鳥による種子散布の解明を目指し、琵琶湖岸で採集された水鳥の糞中から本種の種子を発見し、自然条件下において水鳥による本種の種子の周食型散布の世界初確認となった。さらに糞中に含まれる種子数の季節変化と、その種子の発芽能力について研究した。琵琶湖南端近くの2ヶ所で、5月から12月にかけて水鳥の糞採集と種・個体数調査を行った。採集した糞は水で洗って中から種子を取り出し、また、2018年に水鳥の糞から取り出した種子を用いて発芽実験を行った。種子は9、11、12月に採集した糞212個から103個見つかった。調査地で見られた水鳥は、10月下旬まではマガモとカルガモのみだったが、11月上旬以降はオオバン、ホシハジロ、ヒドリガモなどの様々な冬鳥が出現した。発芽実験では122個中4個の種子が発芽し、実生は5.4cmまで成長した。留鳥や冬鳥により種子が散布され、排泄された先で発芽・成長している可能性があるため、生息地から離れた場所でも注意する必要がある。さらに、2つの亜種の、5年間水中で保存していた種子の発芽力と、茎断片からの再生能力を比較した。亜種ウスゲのほうが再生力が強いことがわかった。

1. 研究開発目的

本研究の最終目標は、特定外来種オオバナミズキンバイを低密度状態で制御することを可能とする管理マニュアルを作成し、対策協議会などに技術提案することである。サブテーマ(2)では、本種の生活史特性を把握し、さらに鳥類が行う種子散布・断片散布の実態を把握することを主目的とした。

2. 研究目標

・水鳥の体表(羽毛)でのオオバナミズキンバイ種子・茎の付着散布を解明するために、鳥インフルエンザのモニタリングのために調査され結果が陰性であった水鳥の死体をもらい受け調査する。琵琶湖の現状からはオオバナミズキンバイ種子を水鳥死体から得ることは難しいと考えられるが、糞により散布された種子の結果と比較し散布可能性を評価する。

・糞によって種子を散布した水鳥の種類を、糞に含まれるDNAを分析することで明らかにする。

・種子と植物体断片からの発芽・生育調査のこれまでの結果の総合と追加実験を行い、再生条件を定量的に明らかにする。

・ここ2~3年で新たに確認された分布地の特性を調査し、これまでの成果と総合することで、鳥類が関係する拡大パターン特性の予測を行う。

3. 研究開発内容

①水鳥によるオオバナミズキンバイの周食型種子散布

琵琶湖南湖周辺にある湖岸緑地北山田1(以下、北山田1)と矢橋帰帆島公園の向かいの湖岸(以下、矢橋)で水鳥の排泄物採集と、周辺で見られた水鳥の種、個体数調査を行った(図(2)-1)。調査は北山田1では5月から月1回、矢橋では9、10、12月は月1回、水鳥が多い11月は月2回の頻度で行った。



図(2)-1 排泄物のサンプリングを行った湖岸緑地北山田1と矢橋帰帆島公園向かい

水鳥の排泄物の採集は、鳥インフルエンザや衛生面を考慮してマスクとゴム手袋、ピンセットを用いて行った。採集した排泄物はジップロックに1サンプルずつ入れて保存した。採集した水鳥の排泄物は、中から種子を探すまでの間は暗所4℃の条件下で保存した。排泄物は0.25mmメッシュのふるいで水洗いしてからシャーレに移し、LEDライト付きスタンドルーペを用いて中から種子を探した。種子の観察は肉眼では困難なためKEYENCE(デジタルマイクロスコープVHX-100)で行い、植物の種子について詳しく載っている図鑑(浅井ら2013、浅野2005、鈴木ら2018)を用いて種子を同定した。排泄物中から見つかった種子は暗所4℃の条件下で保存した。周囲で見られた水鳥は双眼鏡を用いて観察し、種の同定は、水鳥の図鑑(口分田2004、叶内2012、谷口2013)を用いて行った。

調査地周辺のオオバナミズキンバイの繁殖状況としては、北山田1は付近の湖岸に沿ってオオバナミズキンバイの群落があり9月20日に調査をした時には果実をつけた群落の確認ができたが、10月20日の時点で北山田1において草刈りが行われてそのほとんどが刈り取られていた。植物体を刈り取った後の岩場には、成熟して落ちたオオバナミズキンバイの果実が点在していた。また、矢橋周辺には、昨年度までオオバナミズキンバイの大きな群落が存在していたが、今年度大規模な駆除作業が行われたために調査

地付近で果実をつけたオオバナミズキンバイを確認することはできなかった。

②水鳥の排泄物から採取されたオオバナミズキンバイ種子の発芽

水鳥の排泄物から得られ保存していたオオバナミズキンバイの種子の発芽・生育能力の有無について明らかにすることを目的とした。2018年度の成果で水鳥の排泄物から採集したオオバナミズキンバイの種子を用いて、2019年8月2日から9月11日に種子の休眠打破を、2019年9月11日から10月16日に種子の発芽実験を行った。

オオバナミズキンバイの種子や果実は湿潤土壌に埋土することで休眠打破と考えられているため（稗田,博士論文¹⁾）、今回の実験でも種子を休眠打破させるための操作を行った。暗所4℃の条件下で保存していた永岑（2019）で採集したオオバナミズキンバイの種子を、胚の状態が良いものを○、胚が少し傷ついているものを△、胚が抜け落ちているもしくは胚の部分に泥が詰まっているものを×として種子の状態ごとに3段階に分けた。

種子は散らばらないように不織布のお茶パックの中に入れ、半分まで腐葉土を入れたプラカップ（KP-200）の上にお茶パックを置いてから容器一杯に腐葉土を被せた。さらにその上からプラカップ上面まで水を入れ、空気孔を開けたフタをした。種子を光から遮るためにプラカップを二重のアルミホイルで包み、室温25℃の条件下で40日間静置した。

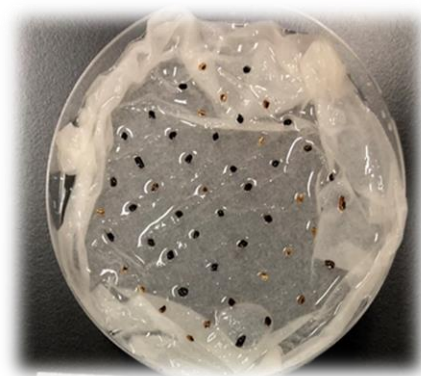
休眠打破させたオオバナミズキンバイの種子の発芽実験を行った。シャーレの上に水を含ませたキムワイプを敷き、そこにプラカップから取り出した種子を等間隔に並べた。フタをしたシャーレをインキュベータに移し、25℃明条件/15℃暗条件を12時間交代で、35日間の発芽実験を行った。実験期間中最初の20日間は毎日、それ以降は1日おきに種子の発芽状況を観察し、キムワイプが乾燥していたらその都度水を加えた。発芽した種子は別のシャーレに移し、同条件で実験を続けた。35日経過しても発芽しなかった種子は、胚を横断するように輪切りにし、TTC試薬（TTC試薬0.5 gを蒸留水100 gに溶かして調整したもの）に十分に浸してから容器に光が入り込まないようにアルミホイルで二重に包んで24時間静置することで生存確認を行った。

発芽実験にて発芽したオオバナミズキンバイの実生がその後成長するのか、温室で観察を行った。プラスチック容器にヨシの腐葉土を入れ、そこに土が浸る程度の水を入れてオオバナミズキンバイが生育しやすい環境を整えた。土の上にキムワイプごとオオバナミズキンバイの実生を置いた後、プランターの周囲に支柱を立てて防虫ネットを張り、その四方をブロックで固定した。生育した温室の温度は最高で28.0℃、最低で10.1℃であった。観察時にプランターの水が減っていた場合はその都度水を加えた。

③種子の発芽・茎断片からの再生の視点から亜種オオバナと亜種ウスゲの生態的特性の比較

日本に侵入したオオバナミズキンバイには、亜種オオバナミズキンバイ *L. g. subsp. grandiflora*（亜種オオバナ）と、亜種ウスゲオオバナミズキンバイ *L. g. subsp. hexapetala*（亜種ウスゲ）の2亜種がある。亜種ウスゲは、欧州でも古く侵入して問題となっており、特にフランスで繁殖拡大が見られている。そのような事情から亜種ウスゲに関しては欧州で盛んに研究が進められているが、亜種オオバナに関する研究は少なく、生態的特性は亜種ウスゲと違いがあるのかどうかわかっていない。そこで、種子の発芽・茎断片からの再生の視点から亜種オオバナと亜種ウスゲの生態的特性の比較を行った。加えて、5年間水中保存されていた果実中の種子に発芽能力を保持しているのかどうかを検証した。

2015年11月15日からインキュベータで水中保存されていた亜種ウスゲと亜種オオバナの果実から、種子を取り出し発芽実験を行った。また水中保存の種子と乾燥保存の種子を比較するために、2015年から乾燥保存されていた2亜種の種子についても同様の実験を行った。



図(2)-2 発芽試験でシャーレに置いた種子

栽培している亜種オオバナと亜種ウスゲの地上茎の断片を用いた再生実験を、温室とインキュベータで行った。測定項目は、根の長さ、茎の太さ、茎の全長、1つの節から再生した根の本数である。



図(2)-3 カップに入れた茎断片 図(2)-4 再生・発根した茎断片

駆除の際に、水中の地下茎は取り残されやすく、その再生力を知ることは重要である。そこで、亜種ウスゲの水中の地下茎の、水深による再生能力の違いを検証するために水中での再生実験を行った。水深2～4 cm（水深1）と水深10～12 cm（水深2）、さらにその後水深約50 cm（水深3）の3つの条件で、15 cmに切った地下茎から再生した茎の数と全長を測定した。

4. 結果及び考察

①水鳥によるオオバナミズキンバイの周食型種子散布

2地点で採集した水鳥の排泄物は全部で212個であり、その中から見つかった種子は全体で13種類（うち不明3種）、合計198種子であった。最も多く得られた種子はオオバナミズキンバイの種子で計103個見つかった。

北山田1で採集した水鳥の排泄物は全部で112個であり、その中から見つかった植物の種子は9種（うち不明2種類）、合計163種子であった。夏頃の調査ではアレチギシギシやミズヒキなどのタデ科の植物が多く見られたが、秋から冬にかけてはアカバナ科のオオバナミズキンバイやイネ科のアキメヒシバが多くなった（表(2)-1）。

表(2)-1 北山田1で採集した水鳥の排泄物数とその中から見つかった植物の種子数

科名	属名	種名	採集日								合計	
			5月30日	6月5日	7月9日	8月5日	9月20日	10月20日	11月6日	11月30日		12月19日
アカバナ科	チョウジタデ属	オオバナミズキンバイ <i>Ludwigia grandiflora</i>	0	0	0	0	0	0	49	24	4	77
イネ科	カズノコグサ属	カズノコグサ <i>Beckmannia syzigachne</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
		アキメヒシバ <i>Digitaria violascens</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	42	43
	メヒシバ属	メヒシバ <i>Digitaria ciliaris</i> Koel.	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
キク科	タカサブロウ属	タカサブロウ <i>Eclipta thermalis</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
タデ科	イヌタデ属	ミズヒキ <i>Persicaria filiformis</i>	0	0	0	4	0	0	0	0	0	4
		ギンギン属 <i>Rumex conglomeratus</i>	0	0	34	0	0	0	0	0	0	34
不明A			0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
不明B			0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
合計			0	0	34	5	0	1	50	27	46	163
採集した排泄物数			1	0	4	9	2	6	8	13	69	112

北山田1で最も多く得られた種子はオオバナミズキンバイの種子であり、11月6日に49個、11月30日に24個、12月19日に4個の計77個見つかった。

矢橋で採集した水鳥の排泄物は全部で100個であり、その中から見つかった植物の種子は7種（うち不明1種類）、合計35個であった。オオバナミズキンバイの種子が全体を通じて多く見られたが、秋に赤い実をつけるマルバアキグミの種子や湿気の多い土地に生えるタカサブロウなども見られた（表(2)-2）。

表(2)-2 矢橋で採集した水鳥の排泄物数とその中から見つかった植物の種子数

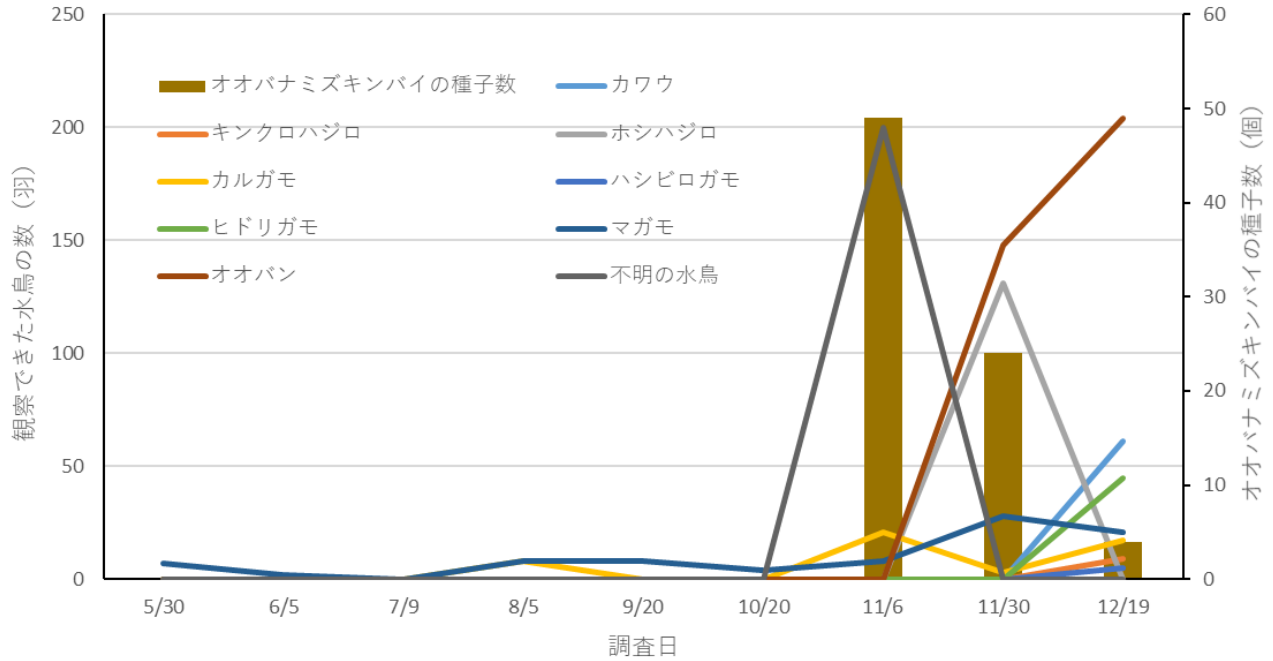
科名	属名	種名	採集日					合計
			9月20日	10月20日	11月6日	11月30日	12月19日	
アカバナ科	チョウジタデ属	オオバナミズキンバイ <i>Ludwigia grandiflora</i>	18	0	0	7	1	26
アヤメ科	ニワゼキショウ属	ニワゼキショウ <i>Sisyrinchium rosulatum</i>	0	0	1	0	0	1
イネ科	メヒシバ属	アキメヒシバ <i>Digitaria violascens</i>	0	0	0	0	1	1
キク科	タカサブロウ属	タカサブロウ <i>Eclipta thermalis</i>	0	0	0	2	0	2
シソ科	イヌコウジュ属	ヒメジソ <i>Mosla dianthera</i>	0	0	0	1	0	1
グミ科	グミ属	マルバアキグミ <i>Elaeagnus umbellata</i> var. <i>roundifoli</i>	0	0	3	0	0	3
不明C			0	0	0	0	1	1
合計			18	0	4	10	3	35
採集した排泄物数			9	4	13	42	32	100

矢橋で最も多く得られた種子はオオバナミズキンバイの種子であり、9月20日に18個、11月30日に7個、12月19日に1個の合計26個見つかった。水鳥の排泄物を採集した地点とオオバナミズキンバイの群落の距離としては、北山田1の地点では草刈りが行われる以前は採集地の近くに大きな群落があったが、草刈り後は100m程度離れた場所に小さな群落と50m程度離れた地点に草刈りの際に回収し損ねたと思われる果実がいくつか落ちていた。矢橋の周辺では、少なくとも1kmの範囲内に果実を形成した群落は見られなかった。

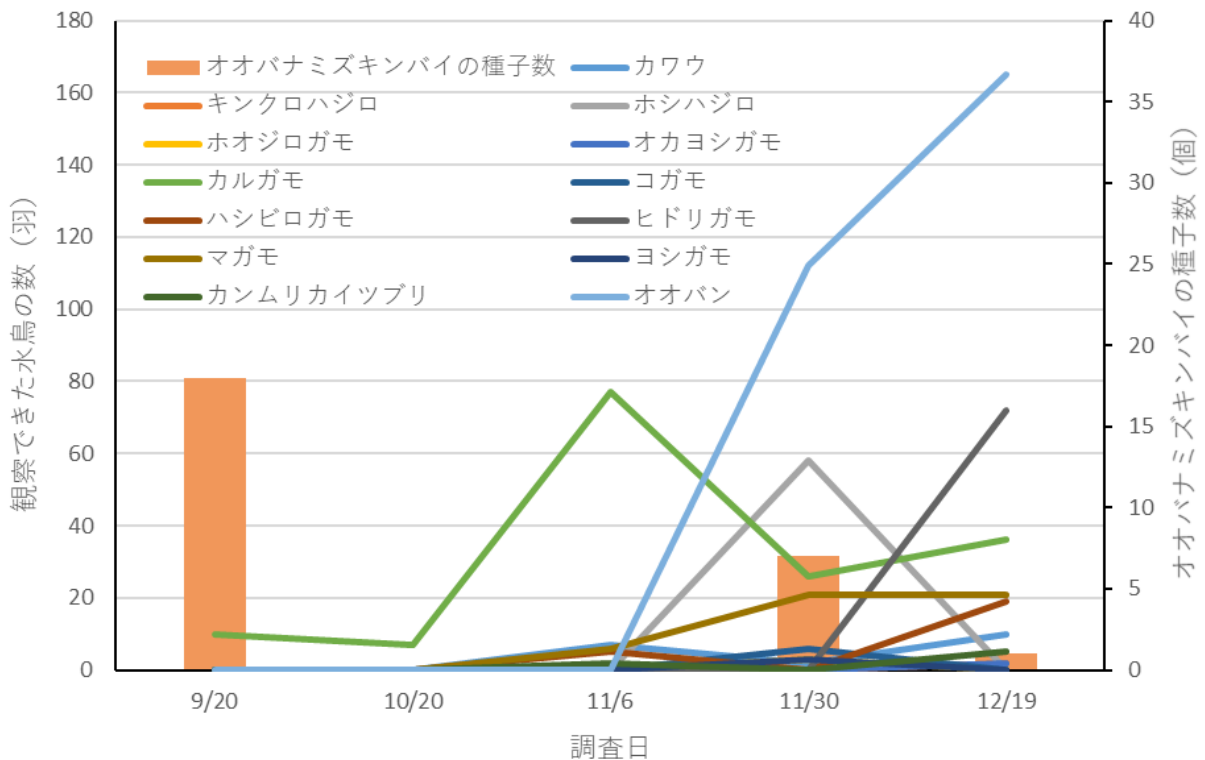
2地点で見られた水鳥は全体で13種、のべ合計1415羽であった（判別不明の水鳥は除く）。両地点において10月20日の調査までは観察できたのはマガモとカルガモのみであったが、11月6日以降の調査では冬鳥が飛来し、オオバンやホシハジロ、ヒドリガモを始めとした様々な水鳥が見られるようになった。

北山田1で観察できた水鳥は、5月30日から10月20日にかけてはマガモとカルガモのみであったが、11月6日以降は冬鳥であるオオバンやホシハジロ、ヒドリガモなどが多く見られるようになった。表(2)-2における11月6日の判別不明の水鳥とは、調査時の天候が悪く水鳥がいた場所が沖寄りであったことで種の同定が出来なかった水鳥のことを示している。北山田1で観察できた水鳥の種・個体数と排泄物中から見つかったオオバナミズキンバイの種子数の季節変動を照らし合わせると、種子が初めて確認された11月6日には調査地付近で判別不明の水鳥やカルガモなど見られ、11月30日にはオオバンやホシハジロが多く見られた（図(2)-5）。

矢橋で確認できた水鳥は、9月20日と10月20日はカルガモのみだったが、11月6日以降は北山田1と同様にオオバンやホシハジロ、ヒドリガモ、カルガモを始めとした様々な種類の水鳥が見られるようになった。矢橋で観察できた水鳥の種・個体数と排泄物中から見つかったオオバナミズキンバイの種子数の季節変動を照らし合わせてみると、種子が見つかった9月20日は調査地付近ではカルガモしか見られず、11月30日と12月19日にはカワウやカルガモを始めとした様々な種類の水鳥が見られた（図(2)-6）。



図(2)-5 北山田1で観察できた水鳥の種・個体数（左軸）と排泄物中から得られたオオバナミズキンバイの種子数（右軸）の季節変動



図(2)-5 矢橋で観察できた水鳥の種・個体数と排泄物中から得られたオオバナミズキンバイの種子数の季節変動

いずれの調査地点においても、採集した水鳥の排泄物数は冬鳥が見られるようになった時期に増加した。

オオバナミズキンバイの種子は北山田1ではオオバンやホシハジロなどの冬鳥が多く見られるようになった11月6日以降に見つかっており、冬鳥がオオバナミズキンバイの種子散布に関与している可能性が示唆される。一方、矢橋では渡り鳥が飛来するよりも早い時期である9月20日にオオバナミズキンバイの

種子が見つかっており、これはカルガモが散布した可能性が高いと考えられる。

今回の調査では、矢橋において周囲にオオバナミズキンバイの果実が見られなかったのにも関わらず水鳥の排泄物中からオオバナミズキンバイの種子が見つかった。この理由として2つの可能性が考えられる。

まず1つ目の可能性として、水鳥がどこか離れた場所で摂食したオオバナミズキンバイの果実を矢橋まで運んできたということが考えられる。オオバナミズキンバイの種子散布が行われたと考えられるものの一つとして、大阪府岸和田市にある久米田池があげられる。久米田池は2018年にオオバナミズキンバイの侵入が確認されたが（横川²⁾, 2018）、周囲にオオバナミズキンバイが生えている流入河川はないため、植物断片によって侵入したとは考えにくい。その一方、久米田池は鳥の国際空港と呼ばれるほど毎年多くの水鳥が飛来するため（岸和田市ホームページ）、水鳥によってオオバナミズキンバイが侵入した可能性があると考えられる。また、このような例は高島や米原、彦根などの水域でも確認されており、水鳥によるオオバナミズキンバイの種子の散布は自然条件下で行われている可能性が高いと考えられる。しかし、2016年時点で29.9haあったオオバナミズキンバイの生育面積は、駆除活動によって2018年には11.4 haまで減少したことが報告されており（琵琶湖外来水生植物対策協議会, 2018）、また2019年にはさらに減少した。水鳥がオオバナミズキンバイの種子を摂食できる場所はごく限られていると考えられる。よって、オオバナミズキンバイの種子が外部から運び込まれ・発芽する頻度はさほど高くないと考えられる。

2つ目の理由としては、湖岸から湖底の泥中に埋土していたオオバナミズキンバイの種子が水鳥の採餌の際に掘り起こされ、排泄物として地上に出てくることが考えられる。永岑（2019）では泥中にあるオオバナミズキンバイの種子についての調査が行われたが、オオバナミズキンバイが繁茂していた周囲の泥中には、多くの果実や種子が含まれていることが確認された。よって、昨年度までオオバナミズキンバイの広い群落が存在していた矢橋には、群落が刈り取られた後でもその泥中にオオバナミズキンバイの種子が残っている可能性が考えられる。しかし、琵琶湖では台風や洪水などの大きい攪乱が起こると深度の浅い場所に埋土されている種子は容易に流されてしまうと考えられる。また、泥の奥深くに種子が埋土されていた場合は水鳥に採餌できないということも予測される。よって、オオバナミズキンバイの種子が水流に流されず、かつ水鳥が採餌することができる場所に埋土されている場合にオオバナミズキンバイの埋土種子は水鳥によって散布されることが可能であると考えられる。

どちらの場合においても、一定の条件が満たされた場合にはオオバナミズキンバイの種子散布が十分に起こりうると考える。

②水鳥の排泄物から採取されたオオバナミズキンバイ種子の発芽

休眠打破を行ったオオバナミズキンバイの種子（ $n = 122$ ）の内訳は、胚がきれいに残っていた種子（○）が6個、胚が少し傷ついていた種子（△）が8個、胚が抜け落ちていたもしくは胚の部分に泥が詰まっていた種子（×）が108個であり、大部分の種子が劣化していた。

水鳥の排泄物から採集したオオバナミズキンバイの種子の発芽実験を行ったところ、2018年10月19日に矢橋で採集した種子2個体（地点①-△、地点⑥-○）と2018年11月3日に矢橋で採集した種子2個体（地点②-○、⑨-x）が発芽した（図(2)-7）。



図(2)-7 発芽したオオバナミズキンバイの種子

また、発芽しなかった種子 ($n = 118$) を用いてTTC染色を行ったところ、2018年10月19日に矢橋で採集した種子 (地点⑤-△) のみ胚の周りにわずかな色づきが見られたが (図(2)-8)、他の種子の生存は確認できなかった。



図(2)-8 TTC染色でわずかに染色した種子

水鳥の排泄物から採集したオオバナミズキンバイの種子の発芽率は、胚の状態が良かった種子では6種子中2種子の33.3%、胚が少し傷ついていた種子では8種子中1種子の12.5%、胚が抜け落ちていたまたは泥が詰まっていた種子では0.9%であり、種子の状態が良いものほど発芽率は良くなる傾向がみられた。発芽したオオバナミズキンバイの種子4個体のうち、2018年11月3日に矢橋で採集した種子1個体 (地点①-○) が大きく成長した。実生は2020年2月5日時点で全長5.4 cmに成長し、葉の枚数は15枚にまで増加した (図(2)-9)。



図(2)-9 成長したオオバナミズキンバイの実生

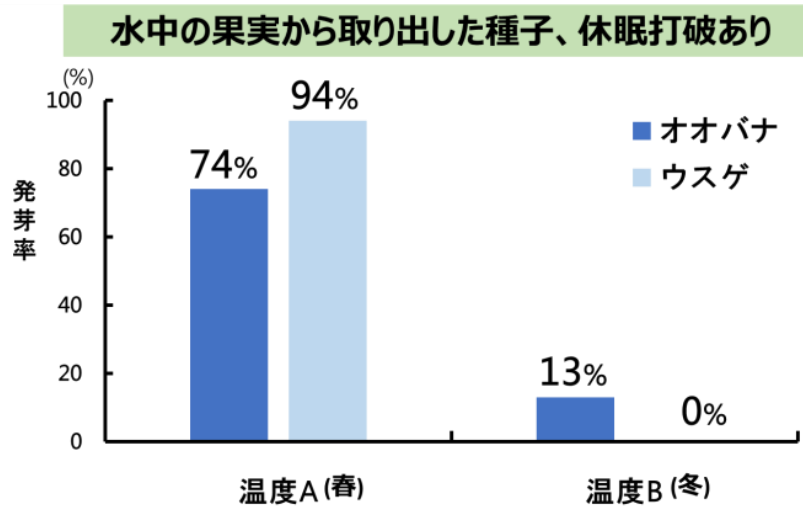
今回の発芽実験では、自然条件下において水鳥に一度食べられたオオバナミズキンバイの種子は発芽能力を維持したまま周食型散布されることが可能であるということが初めて明らかになった。さらに、発芽した種子の実生は大きく成長することが可能であるということも分かった。このことから、琵琶湖周辺において、オオバナミズキンバイの分布拡大は植物断片の流出だけでなく、水鳥による種子散布も寄与している可能性が示唆される。

今回は水鳥の排泄物中から採集したオオバナミズキンバイの種子を、胚の状態によって三段階に分けて発芽実験を行った。発芽実験で発芽した種子は122個中4個体と一部の種子であったが、個数自体は多かったはずの胚が損傷した種子は1つしか発芽せず、個数が少なかった胚の状態の良い種子の方が多く発芽した。このことから、自然条件下で水鳥によって摂食されるオオバナミズキンバイの種子は、散布されるまでの過程でその多くが胚が損傷することによって発芽能力を失うが、一部の種子は胚が損傷せずにその発芽能力を有したまま散布されていると考えられる。

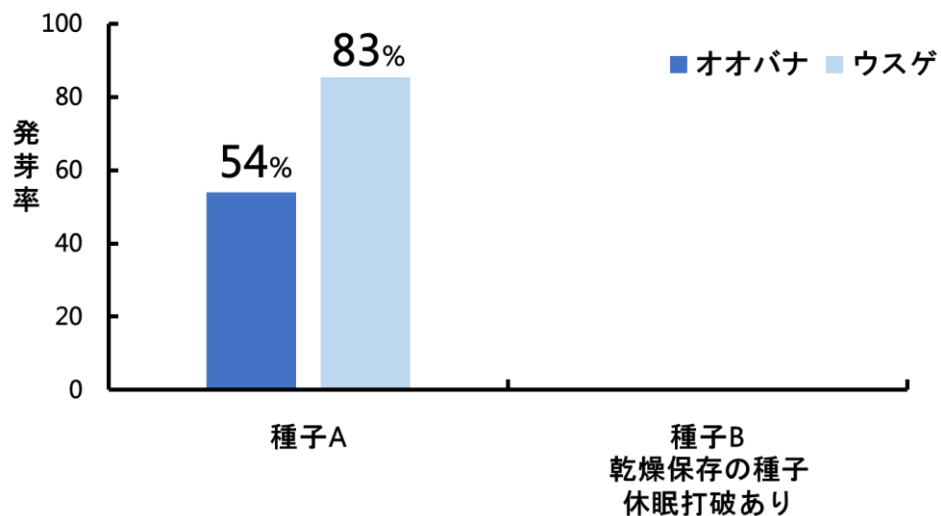
③種子の発芽・茎断片からの再生の視点から亜種オオバナと亜種ウスゲの生態的特性の比較

水中保存していた果実から取り出した種子からは、亜種オオバナ、亜種ウスゲとも発芽した（図(2)-10）。乾燥状態で保存していた種子は、亜種オオバナ、亜種ウスゲともに発芽しなかった（図(2)-11）。

亜種ウスゲ、亜種オオバナともにおよそ4年にわたって果実の状態ですべてに浮遊していても、発芽能力が失われないことがわかった。しかし同様の期間乾燥状態にあると、発芽能力が失われると考えられる。



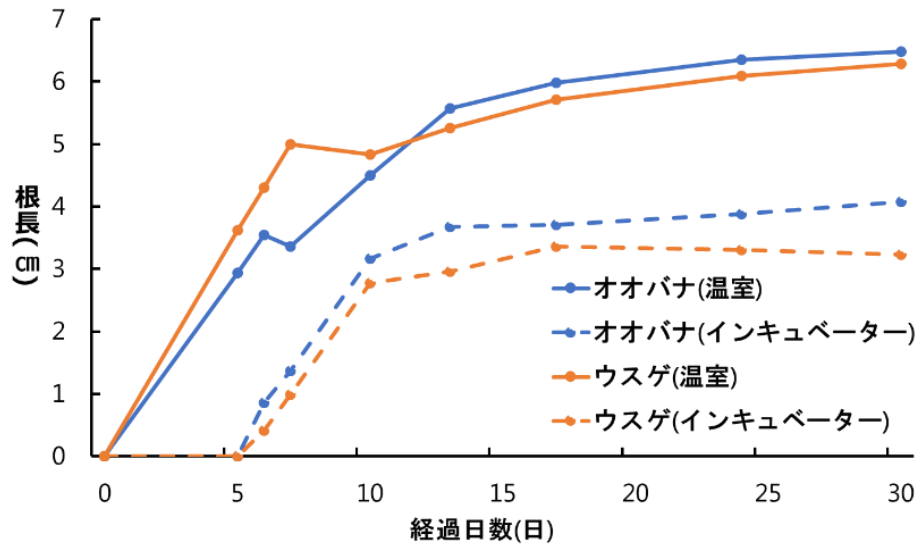
図(2)-10 水中の果実から取り出した種子、休眠打破ありの条件での発芽率



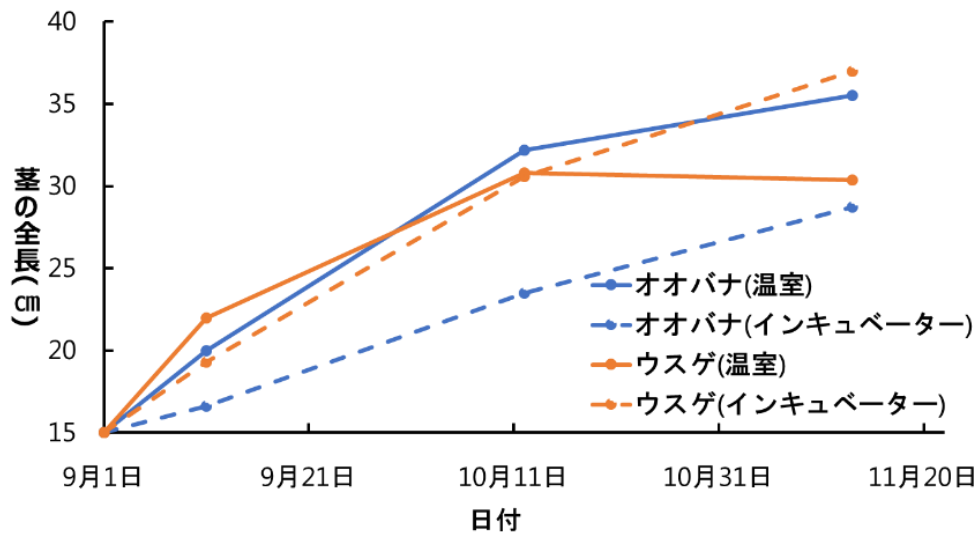
図(2)-11 明条件12時間25℃、暗条件12時間15℃での発芽率

茎断片からの再生実験では、根の長さは、亜種間に違いは見られなかった。茎の全長、茎の直径、1つの節から再生した根の本数はそれぞれ、温室の亜種オオバナは35.5 cm、1.49 mm、2.8本、亜種ウスゲは30.4 cm、2.36 mm、4.6本、インキュベータの亜種オオバナは28.7 cm、1.40 mm、3.0本、亜種ウスゲは37 cm、1.20 mm、3.0本となった（図(2)-12~15）

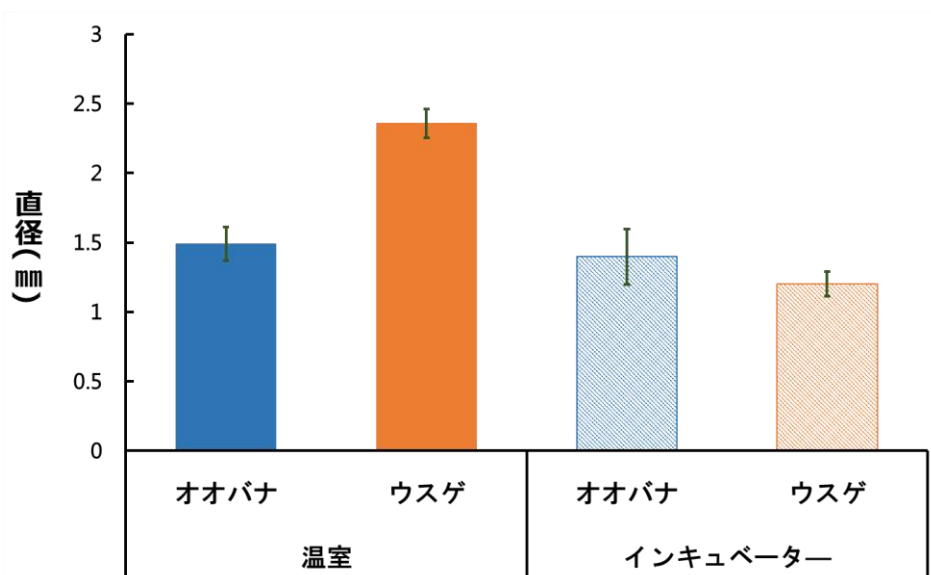
茎断片からの再生実験では、亜種ウスゲは光が十分に当たる環境下では、茎を太くし、1つの節から再生する根の本数を増やし、水面と垂直方向に茎を伸ばすことで、より光合成を効率的に行っていることがわかった。それにより光をめぐる他種との競争で有利になると考えられる。



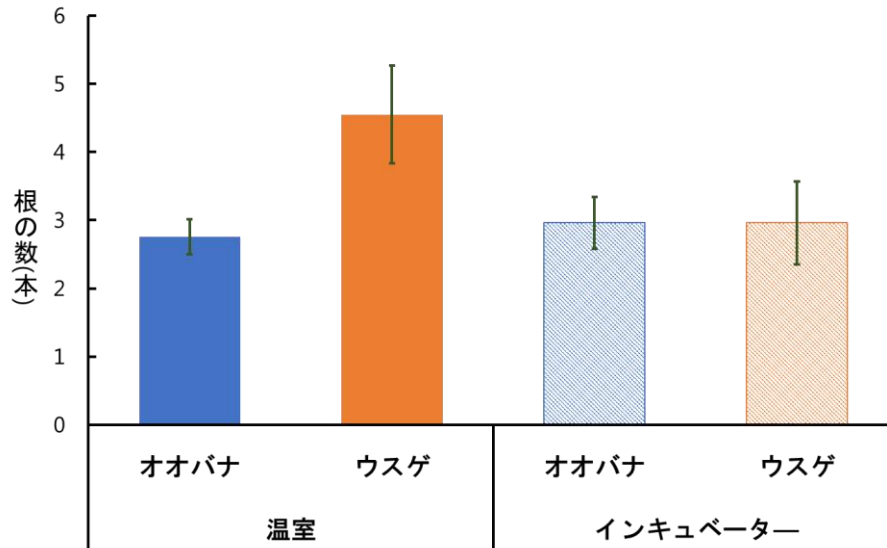
図(2)-12 再生した根の長さ



図(2)-13 再生した茎の長さ



図(2)-14 再生した茎の直径



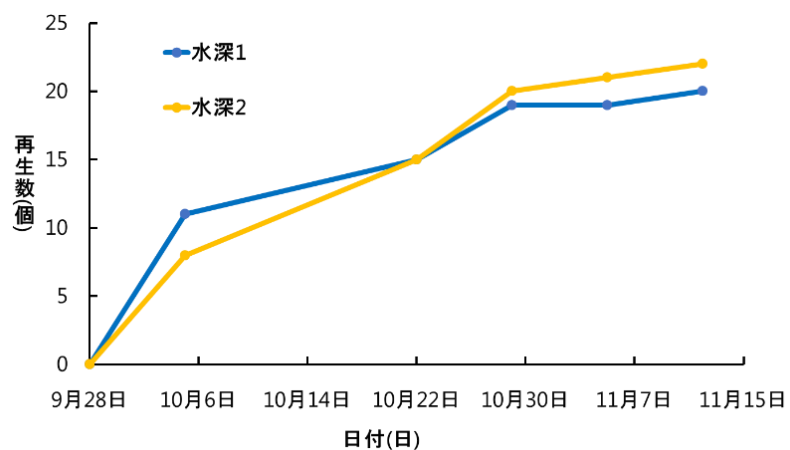
図(2)-15 再生した根の本数



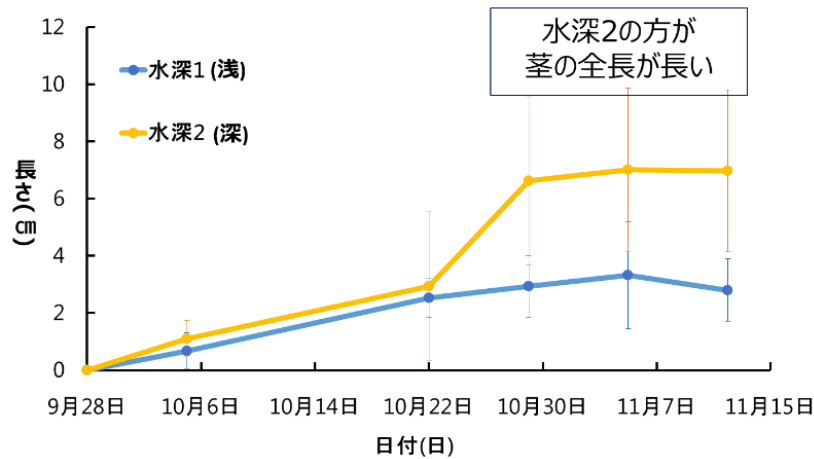
図(2)-16 亜種オオバナの再生した茎 図(2)-17 亜種ウスゲの再生した茎

水中の地下茎の再生実験では、水深1、水深2ともに再生が見られた。水深3においても再生が見られた(図(2)-18~21)。水深1、2、3において再生が見られたことから、駆除を行った際に水中地下茎を取り除かなければ、数日で再生することがわかった。

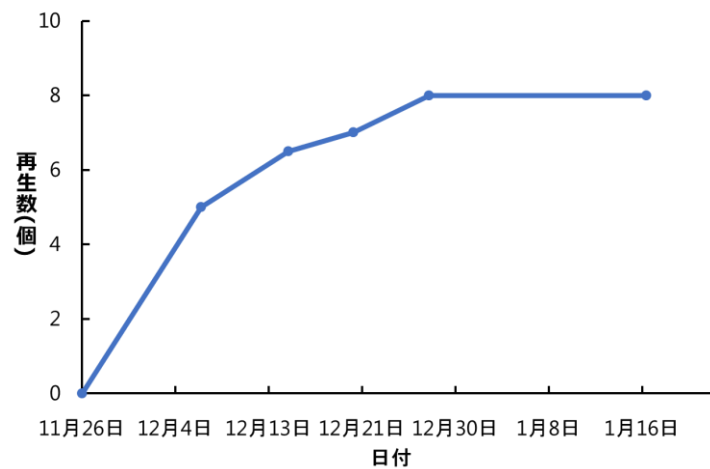
以上より、実際の駆除を行う際には、果実、茎断片の流出を防ぎ、水中地下茎も除去する工夫が求められると言える。



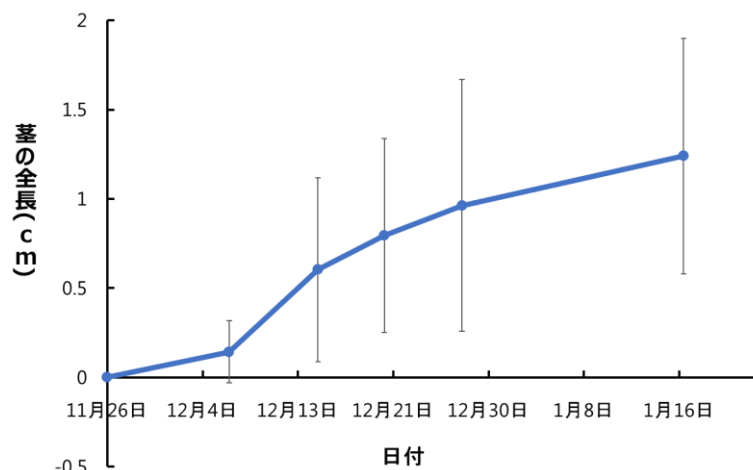
図(2)-18 水中茎再生(水深1, 2)の結果(再生数)



図(2)-19 水中茎再生（水深1, 2）の結果（全長）



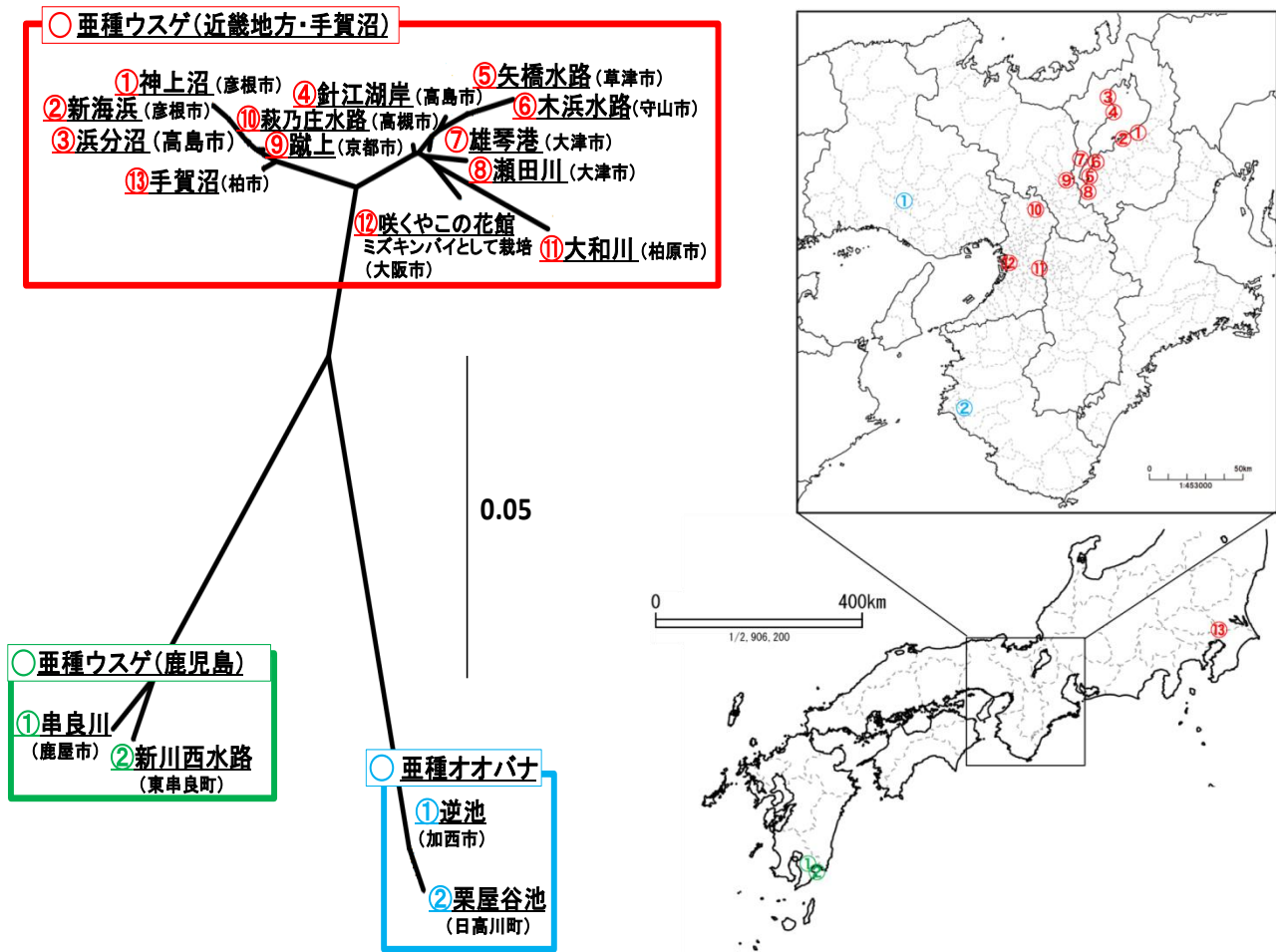
図(2)-20 水中茎再生（水深3）の結果（再生数）



図(2)-21 水中茎再生（水深3）の結果（茎の全長）

以上を踏まえて、鳥類が関係する拡大パターン特性の予測を行った。

図(2)-22, 23において、琵琶湖集団と同じクラスターのうち、①②③④⑬は、比較的最近になって発見され、既存の生育地から離れており、水流によって運ばれたものではない。これ以外にも、滋賀県や大阪府で、山ぎわの溜池に侵入した例が見つかっている。このような、新しい分布拡大は、水鳥が運んだ可能性がある。オオバナミズキンバイの拡大を予測する時、これまでは水流の行く先・川の下流のみ警戒してきたが、カモなどの水鳥によって運ばれる可能性のある水辺を考慮に入れる必要がある。



図(2)-22 (左図) Neiの遺伝距離に基づく樹形図 (関連成果、稗田ら未発表より)

選抜された265フラグメントを用い、集団間の遺伝的分化の程度をNeiの遺伝距離 (Nei & Li 1979, Lynch & Milligan 1994)を、AFLP-SURV (Vekemans *et al.* 2002) で計算し、近隣接合法で無根樹形図を作成した。

図(2)-23 (右図)解析に用いた集団の生育地の地図。番号は上図の地名と対応している (関連成果、稗田ら未発表より)。

5. 研究目標の達成状況

本研究の全体目標として、ポテンシャルハビタットマップによる踏査範囲の縮小による効率化、生活史特性、断片からの再生条件の把握による具体的な防除方法の提案、環境DNA分析を活用した外来種侵入初期における簡便な発見手法の開発、刈取り後のオオバナミズキンバイの効率的減容化技術を盛り込んだ低密度状態での制御を可能とする管理マニュアルの作成を設定した。

サブテーマ(2)では、4つの具体的目標を掲げた。以下に達成状況を示す。

1. 「水鳥の体表(羽毛)でのオオバナミズキンバイ種子・茎の付着散布を解明するために、鳥インフルエンザのモニタリングのために調査され結果が陰性であった水鳥の死体をもらい受け調査する。琵琶湖の現状からはオオバナミズキンバイ種子を水鳥死体から得ることは難しいと考えられるが、糞により散布された種子の結果と比較し散布可能性を評価する。」では、鳥インフルエンザのモニタリングのために、野外で回収・調査され結果が陰性であった水鳥の死体を、冷凍状態でもらい受け調査することを計画した。しかし、2020年に滋賀県内で高病原性鳥インフルエンザが発生し、複数の養鶏場においてすべての鶏の殺処分が行われる事態となった。滋賀県のモニタリング体制にも大きな負担がかかる中で協力を求めるのは無理があると判断し行うことを断念した。対応策としては、水鳥の糞を詳細に調査し、糞の中にオオバナミズキンバイの種子が存在することを明らかにし、それらを培養した

結果、発芽することが認められるなどの成果を上げることができた。水鳥の糞の中からの種子によるオオバナミズキンバイの発芽を確認したのは世界初の成果であり、一定の目標は達成することができた。

2. 「糞によって種子を散布した水鳥の種類を、糞に含まれるDNAを分析することで明らかにする。」では、中間報告への意見を受けて、種子が含まれていた糞のDNAを分析することで水鳥の種類を明らかにすることを計画した。種子が見出された糞から鳥のDNAの分析を行ったが、糞が腐敗しDNAが壊れており、種を明らかにすることはできなかった。糞の保存法を改良し迅速に取り出すようにした上で再調査を計画したが、2020年の春期には新型コロナウイルスが流行し調査に出ることができなかった。2020年の秋期には予備調査を始め糞の採取場所を決めたが、琵琶湖近隣の野鳥への高病原性鳥インフルエンザ感染が確認され、検討の結果、糞採取を断念した。新型コロナウイルスと鳥インフルエンザという予期しなかった状況により、2020年にオオバナミズキンバイの種子が含まれている糞を入手することができなかった。対応策としては、2015年秋に採取していた果実から種子を取り出し、培養試験を行うことで種子からの発芽条件をより詳細に検討することができた。
3. 「種子と植物体断片からの発芽・生育調査のこれまでの結果の総合と追加実験を行い、再生条件を定量的に明らかにする。」では、計画を達成できたと考える。種子について、亜種ウスゲオオバナミズキンバイの場合、水中に保存された種子は、5年後にも90%以上の発芽力を保つこと、条件がよければその後も生育すること、水鳥の糞から出た種子はその10数%が発芽力を持ち、その後生育することも可能なことが明らかになった。亜種オオバナミズキンバイにおいては、亜種ウスゲよりやや劣るが、5年後にも70%以上の発芽力を持つことが明らかになった。植物体断片について、水中においては、芽を持つ約80%の茎が再生した。二つの亜種の再生能力の違いは小さかった。亜種ウスゲについて、水中の地下茎が取り残された場合の再生能力を評価する実験を行い、50 cmまでの水深の下でも多くが再生することが明らかになった。この結果から、オオバナミズキンバイの駆除にあたっては、植物体断片や果実・種子を極力流出させないこと、水中に地下茎がある場合にはそれを残さないことが、分散や再生を抑制する上で非常に重要であることが裏づけられた。
4. 「ここ2～3年で新たに確認された分布地の特性を調査し、これまでの成果と総合することで、鳥類が関係する拡大パターン特性の予測を行う。」では、関連成果の遺伝解析によって琵琶湖集団と同じ起源を持つことがわかった分布地の中で、比較的最近になって発見された場所を検討した。琵琶湖の北部や隣接する内湖、内陸の水辺の分布地は既存の生育地から離れており水流によって運ばれたものではないものがあった。滋賀県や大阪府で、山ぎわの溜池に侵入した例が見つかった。このような新しい分布拡大は、水鳥が運んだ可能性が高いと考えられた。オオバナミズキンバイの拡大を予測する時、これまでは水流の行く先・川の下流のみを警戒してきたが、今後は、カモなどの水鳥によって運ばれる可能性のある水辺も考慮に入れる必要がある。既存の生育地の周辺の水辺や、琵琶湖からの水鳥の渡りコースの先にあたる北陸の水辺は、特に注意が必要であると考えられた。

6. 引用文献

- 1) 稗田真也：「琵琶湖に侵入した特定外来生物オオバナミズキンバイの分類と生活史特性」2020年3月、滋賀県立大学博士論文
- 2) 横川昌史：「身近な池で大きな発見：久米田池の水草の話」from M, vol.70 (2018)

II-3 高温好気発酵分解技術による減容化と有効利用法の検討

日本ミクニヤ株式会社

徳岡誠人

〔要旨〕

本研究では、特定外来生物であるオオバナミズキンバイの処理に、減容化、再資源化に適した技術である高温好気発酵分解技術を適用させるための条件把握を行うことを目的とした。また、生物担体として近年コストが上昇している杉のチップの代替材を選定することで技術導入時の事業費全体のコストダウンについて検討を行った。

オオバナミズキンバイは刈取後の試料を20～30 mmに破碎し、送気量70～80Nm³の送気と5min/2hの攪拌によって発酵槽内を好気状態で維持することによって減容化率98.4%まで減容化することが明らかとなった。ただし、上記サイズでの破碎が困難な場合は30～60mm程度の破碎であっても91.5%までは減容化可能であることが分かった。

杉に代わる生物担体として、流通・入手が容易であることを条件に国内外から計12種の候補木材を入手し、SEMによる細孔構造の計測と室内発酵試験、コマツナおよびトマトの栽培試験を行い、マホガニーもしくはシイタケ栽培後に発生する腐菌床が代替材として適当であると考えられた。いずれも流通もしくは廃棄が課題になっている木材であり安価かつ安定した入手が可能である。

代替材を用いた琵琶湖でのオオバナミズキンバイ処理への高温好気発酵分解技術の適応事業について事業費を算出した結果、従来の乾燥、運搬、焼却処理に比べて処理費が13,863円/tのコスト削減に繋がり、従来手法に比べて41.1%の事業費削減に繋がると算出された。

1. 研究開発目的

本テーマでは、刈取後のオオバナミズキンバイの処理に関して、乾燥処理後、焼却または埋立処理を行っている従来の処理に代わる処理手法として、減容化に特化した高温好気発酵分解のオオバナミズキンバイ処理への適応を検討することを目的とした。また、分解後の残渣について肥料としての有効活用の可能性に関して併せて検討を行った。加えて本手法の事業化を想定した場合の事業費を算出し、処理費用の削減提案を行うことを目的とした。

一般的に発酵技術には嫌気発酵と好気発酵に分類されるが、嫌気発酵は近年ではメタン生成によるエネルギーとしての利用などに用いられる技術である。嫌気発酵の技術管理は容易であるものの硝化汚泥と呼ばれる残渣が多量に残ることからその処理が課題となっている。一方、好気発酵は処理対象に対して常に好気状態を維持させる必要があることから管理方法が嫌気発酵技術に比べると困難であると言われている¹⁾。好気発酵技術の特徴として、発酵時に55～60℃程度の発酵熱が発生することから水分蒸発効果も促され、残渣量が極めて少量になるという特徴を持っている。特に、中等度好熱菌が活性化するとされている55℃～70℃の範囲で発酵環境を管理することで、世界中で生息場所を問わず、発酵に寄与する*Bacillus*属の細菌や、植物の分解に寄与する*Cellulomonas*が活性化することが分かっている²⁾。本研究では多量のオオバナミズキンバイを効率よく処理することが求められていることから、減容化に適した高温好気発酵分解技術の適応可能性について研究を行った。

なお、研究背景として、刈取後のオオバナミズキンバイを焼却処理する際は、前処理として乾燥と鉍物の除去が必要であり、刈取後の仮置き場の確保や当該植物が特定外来生物であるため徹底した飛散防止対策、作業に掛かる労務等、多大な負荷が生じている。さらに十分な乾燥や鉍物の除去が行われていない場合、焼却施設への負荷が大きいことが課題として挙げられている。また、埋立処理を行う場合は、処理場建設の際に計画している利用可能年数の短縮がそれぞれ課題となっている。これらの背景より、焼却・埋立に代わる処理手法の開発が求められている^{3) 4)}。

2. 研究目標

・従来焼却や埋め立て処分されていた刈取後のオオバナミズキンバイに対して、高温好気発酵分解技術を用い、95%以上の減容化が可能となる条件（発酵槽内温度、破碎方法、送気量、攪拌頻度等）を明ら

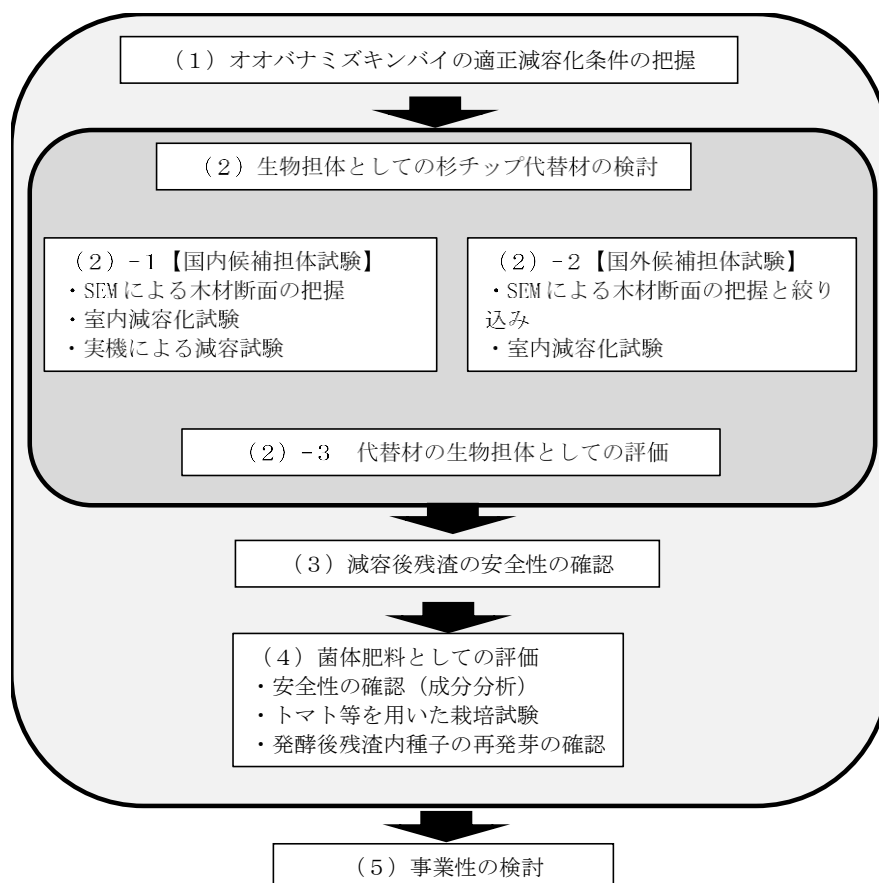
かにすることで、処理場に対する負荷の軽減に資する方策を提示する。

- ・バイオマス利用の促進により高騰している担体（杉チップ）の代替材を明らかにすることで、従来と同等の減容化率（95%以上）を担保し、かつ従来の発酵分解処理のコストが40%削減可能な処理プロセスを開発する。

- ・杉チップおよび担体の代替材候補による減容化実験により発生した減容後の残渣について、成分分析を実施し、肥料成分および安全性の評価を行う。さらに農場によるコマツナ栽培実験により、化成肥料の代替有機肥料としての有効性を評価する。

3. 研究開発内容

本研究は図(3)-1に示すフローで実施した。



図(3)-1 サブテーマ3の研究フロー

(1) オオバナミズキンバイの適正減容化条件の把握

刈取り後のオオバナミズキンバイを対象に高温好気発酵分解技術を適用し、効率的減容化条件を検討した。装置には高温好気発酵分解装置（日本ミクニヤ（株）製）を利用した。本装置は、処理対象を発酵分解槽内の微生物により、試料をアンモニア、水、炭酸ガスに分解する技術である。従来、余剰有機汚泥の減容化に使用されていた技術を特定外来種の減容化に適用する際の最適な酸素、熱、水分量の検討を行った。

連続投入減容化実験では、入手したオオバナミズキンバイを市販の破砕機で破砕後毎日一定量投入し、約1ヵ月後に残渣重量と投入重量の比率から減容化率を求めた。Case1では既に事業化している有機汚泥の減容化施設の条件に合わせて実施し、得られた減容化率から課題を抽出することでCase2、Case3の実験条件を決定した。また、各Caseにおける減容化率計測後は減容化に対する蒸発および発酵の寄与率を求めた。表(3)-2に各Caseの実験条件を示した。なお、減容化率はオオバナミズキンバイ全投入量と残渣重量から算出し、蒸発および発酵の寄与率については含水率から水分蒸発量を求め、それぞれ算出した。

表(3)-2 連続投入減容化実験 実験条件一覧

	Case1	Case2	Case3
送気量	70~80 Nm ³ /h	30~35 Nm ³ /h	70~80 Nm ³ /h
破碎回数	1回	1回	2回
攪拌頻度	5min/2h	5min/2h	5min/2h
発酵槽内温度	55~60°C	55~60°C	55~60°C

(2) 生物担体としての杉チップ代替材の検討

近年の再生可能エネルギーの普及に伴い、生物担体として利用している杉のコストが高騰していることを受け、事業コストの低減を行うために代替材の検討を行った。代替材としての選定基準は安定して入手できること、購入コストが杉よりも安価であることとして、国内およびベトナムから複数の候補選定を行った。

また、生物担体としての機能の有無については木材の細孔構造に依存するとの報告⁵⁾があることから、入手した木材表面をスライサー (LIECA製RM2165) にてスライスし、断面構造をSEMにて撮影し細孔構造の計測を行うことで候補の絞り込みを行った。

次に、絞り込んだ木材を対象に、塩村ら⁶⁾を参考に以下の手順で室内発酵分解試験を実施した。

【手順1】各木材を1~3cm程度にチップ化し、ビーカーに1,250 mLを充填。

【手順2】種菌となる発酵汚泥を35 g添加した後、35 g/dayで生の有機汚泥を投入。

【手順3】2NのH₂SO₄とメチルレッドを充填した洗瓶にてNH₃を回収。

【手順4】5°Cに維持した洗瓶で水蒸気を回収。

【手順5】データロガーにてCO₂の発生を1回/10秒で計測しながら発酵状態を確認。

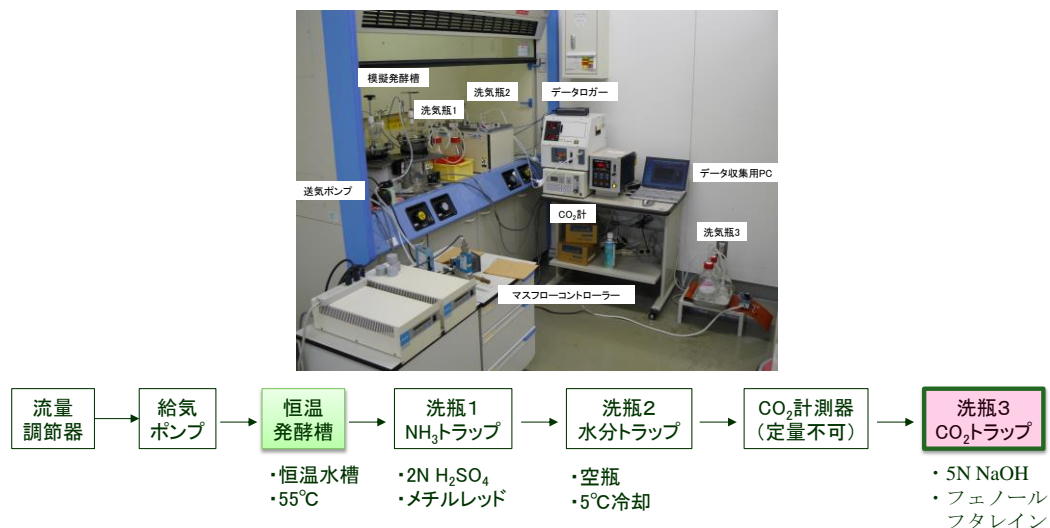
【手順6】5NのNaOHおよびフェノールフタレインを充填した洗瓶にて発酵により発生したCO₂を回収。

【手順7】CO₂を回収した洗瓶内溶液を2NのH₂SO₄にて滴定し、CO₂発生量を計測。

【手順8】SEMを用いて試料の観察を行い、微生物の発生状況についても視覚的に確認。

【手順8】CO₂発生量から発酵の多寡を把握し、代替材の選定を行った。

図(3)-2に示す実験系を構築し上記手順にて、二酸化炭素の発生量を最終的に滴定により求めることで発酵の多寡を判断し、代替材候補を選定した。



図(3)-2 代替材候補木材を用いた発酵実験

(3) 減容後残渣の安全性の確認

減容後の残渣は肥料としての使用を想定しているため、肥料としての安全性について確認を行った。分析項目を表(3)-3に示す。

表(3)-3 成分分析項目一覧⁷⁾

分析項目	定量下限値	検定方法
窒素全量	0.01	肥料分析法
全リン	0.01	肥料分析法
カリウム	0.01	肥料分析法
マグネシウム	0.5	肥料分析法
カルシウム	0.5	肥料分析法
ナトリウム	0.1	肥料分析法準拠
全炭素	0.1	肥料分析法
銅	0.1	肥料分析法
亜鉛	0.2	肥料分析法
カドミウム	0.05	肥料分析法
炭素・窒素比	0.1	計算による
含水率	0.1	肥料分析法

また、減容後残渣内に含まれるオオバナミズキンバイの種子からの発芽の可能性を確認するため、残渣から30粒の種子を取り出し、5粒×6ポットによる発芽試験を実施した。ポット内には以降に示す栽培試験で実施した土壌と同様のものを用い、市販の肥料を施肥したうえで発芽状況を確認した。

(4) 菌体肥料としての評価

発酵後の残渣の肥料としての評価を行うために、コマツナおよびトマトを用いた栽培実験を実施した。実験方法は以下の通りとした⁸⁾。

- 【手順1】 1/5000a(内径約16cm)ワグネルポットにコマツナを1ヵ月栽培（ミニトマトは3ヵ月間栽培）
- 【手順2】 供試土壌は風乾後、5～10 mmふるいにてレキおよび植物残渣を除去
- 【手順3】 土壌2.5 kgに対し、各ポット内のN、P₂O₅、K₂Oが1g以上となるように各肥料を施肥
- 【手順4】 水やり条件：毎朝ポット重量を計測し、前日からの水分流出量を添加
- 【手順5】 残渣内に含まれるオオバナミズキンバイの種子部を各ポットに5粒（合計30粒）ずつ入れ、再発芽の有無について確認



図3 コマツナおよびトマト栽培試験

施肥対象は発酵実験後の残渣であり、生物担体は杉、もみ殻、竹、廃菌床の4種とし、比較対象として無施肥、化学肥料の計6種で実施した。栽培後の試料はそれぞれ株数、草丈、トマトは果実数を計測し肥料としての性能を評価した。

(5) 事業性の検討

事業性の検討では、高温好気発酵分解装置を活用したオオバナミズキンバイの効率的な処理方法及び残渣の再資源化事業の社会実装を想定した条件設定および事業費の算出、従来の処理手法で掛かるコストとの比較を行った。なお、従来の処理手法に係る情報は受託者からのヒアリング及び滋賀県からの事

業発注額を参考に算出した^{9) 10)}。

4. 結果及び考察

(1) オオバナミズキンバイの適正減容化条件の把握

(Case1)

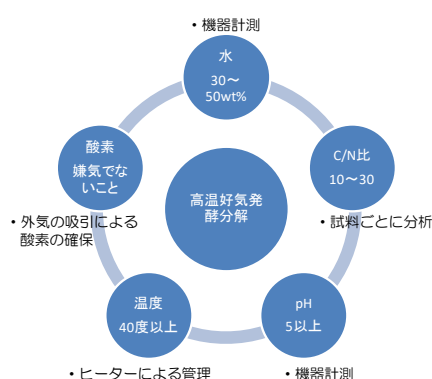
表(3)-4に減容化実験の結果を示す。表よりCase1では減容化率は91.5%であったが、減容化には蒸発が90%程度寄与していることが分かった。

余剰有機汚泥を減容化する場合、残渣の含水率が20%前後で維持されており、さらに減容化率は概ね95%程度である。したがって、減容化に対する発酵の寄与率を上げることができればオオバナミズキンバイの減容化率が向上する可能性が考えられた。

なお、発酵分解を促進させる手段としては、図(3)-4に示す発酵分解条件を調整することが必要であるが、Case1の残渣の含水率は13.9%であったことから水分不足である可能性が考えられた。そこで、Case2では通気量を減らすことで含水率を上昇させ、発酵を促すことで減容化をCase1よりも促進させることを狙いとした。

表(3)-4 減容化実験結果 (Case1)

全投入重量 (kg)	減容後重量 (kg)	減容化率 (%)	発酵寄与率 (%)	蒸発寄与率 (%)
142.4	12.1	91.5	10.05	89.95



図(3)-4 高温好気発酵分解に必要な条件

(Case2)

表(3)-5にCase2の実験結果を示す。前述の実験条件一覧より通気量をCase1で70~80Nm³/hで調整したのに対してCase2では約半分の30~35Nm³/hとした。その結果、発酵寄与率は4.7%程度向上したが、一方で減容化率はCase1に比べて10.3%低下した。原因として、オオバナミズキンバイと有機汚泥を比較した際、有機汚泥は微細粒状であり、かつ均一性も高く接触面積が大きい状態にあるのに対して、オオバナミズキンバイはリグニンやセルロースといった難分解性成分が含まれているうえ、有機汚泥と比較すると担体との接触面積が小さく、発酵分解が促進しにくいのではないかと考えられた。また、市販の破砕機を用いて試料の細分化を図っているが、その大きさにはばらつきがあり、一部短期間では発酵せず、乾燥による減容化のみが起きていることが考えられた。

従って、本研究ではオオバナミズキンバイの減容化を第一義として適正環境を把握することを目的としていることから、Case2の条件よりもCase1の方が目的に合致していた。

表(3)-5 減容化実験結果 (Case2)

全投入重量 (kg)	減容後重量 (kg)	減容化率 (%)	発酵寄与率 (%)	蒸発寄与率 (%)
86.3	16.2	81.2	14.72	85.28

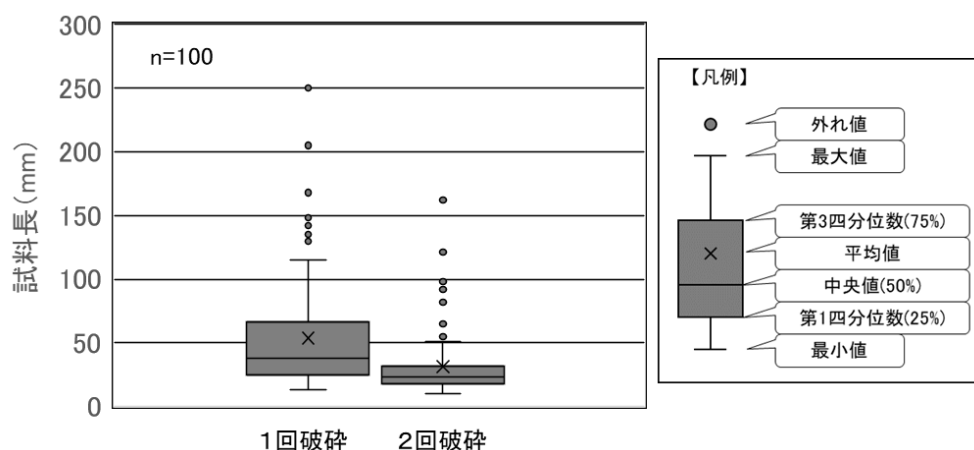


図(3)-5 破碎後のオオバナミズキンバイ試料

以上より、オオバナミズキンバイは通気量の制御のみでは減容化率は促進しないことが分かった。また、破碎による試料のばらつきが減容化の制限因子の一つとなっている可能性が考えられたため、Case3では破碎回数を増やすことで、試料サイズを小さくし、減容化率の向上の多寡について検証した。

(Case3)

Case3ではCase2の結果を受けてオオバナミズキンバイの破碎を2回行い減容化実験に供した。図(3)-6に破碎回数の違いによるオオバナミズキンバイの長さの違いを示す。図より1回破碎に比べて試料長は短くなり、かつ均一化を図ることができた。



図(3)-6 破碎回数による試料長の違い

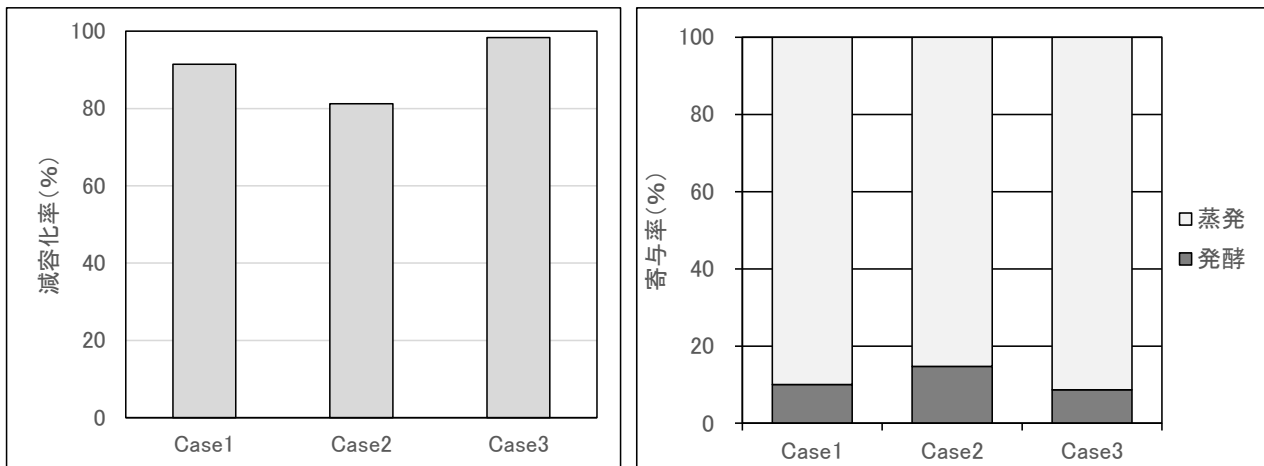
次に2回破碎した試料を用いた減容化実験結果を表(3)-6に示す。表より、減容化率はこれまでで最も高く98.4%であった。一方、減容化に対する発酵分解の寄与率は最も低い8.64%となった。これは試料を細分化することでより蒸発しやすくなったためであると考えられた。

表(3)-6 減容化実験結果 (Case3)

全投入重量 (kg)	減容後重量 (kg)	減容化率 (%)	発酵寄与率 (%)	蒸発寄与率 (%)
237.9	3.4	98.4	8.64	91.36

以上Case1～Case3の結果を図(3)-7にまとめた。オオバナミズキンバイの減容化率はCase3が最も高く98.4%であった。一方、減容化に対する発酵分解の寄与が最も高かったのはCase2であった。

本研究の目的は、採取後のオオバナミズキンバイを減容化し、処理に係る費用や作業をいかに軽減化させるかが最優先であるため、オオバナミズキンバイの減容化条件としてはCase3が最適であると考えられる。



図(3)-7 (左) Caseごとの減容化率 (右) Caseごとの蒸発・発酵寄与率

(2) 代替材の検討

1) 代替材の入手とSEMによる計測結果

前述の通り、国内におけるバイオマスの利活用の活性化に伴い、杉の単価の高騰が近年顕著である。そのため、事業化を想定した場合のランニングコストを軽減するために生物担体としての杉の代替材の検討を行った。代替材の条件として、流通しているもしくは安定的に入手可能なものであることが必要であり、この条件から国内3種、海外（ベトナム）9種を入手した。

日本国内で候補として選定したものは、もみ殻、廃菌床（シイタケ栽培用）、竹の3種である。共通点として大量に発生し、効利用法が求められながらもその方策が確立していない点である。加えて、滋賀県内（琵琶湖周辺）で入手可能なものであることを条件として選定した。



図(3)-8 (左) もみ殻、(中) 廃菌床 (右) 竹

次にベトナムにて入手した代替材候補としては、多くの木質系の端材が廃棄されることが考えられる製材所、家具製作所、街路樹剪定業者へそれぞれ弊社現地駐在員が訪問し、合計9種の候補を選定した。候補木材一覧を表(3)-7に示す。特に街路樹の選定は、定期的に襲来する台風に備え、定期的な剪定が行われており、その量の多さから焼却処分も追いつかず、現状は野積みになっているとのことであった。これらを生物担体として活用することが可能となれば、安価でかつ入手がしやすく、樹種の均一性も高いという特徴を有する。

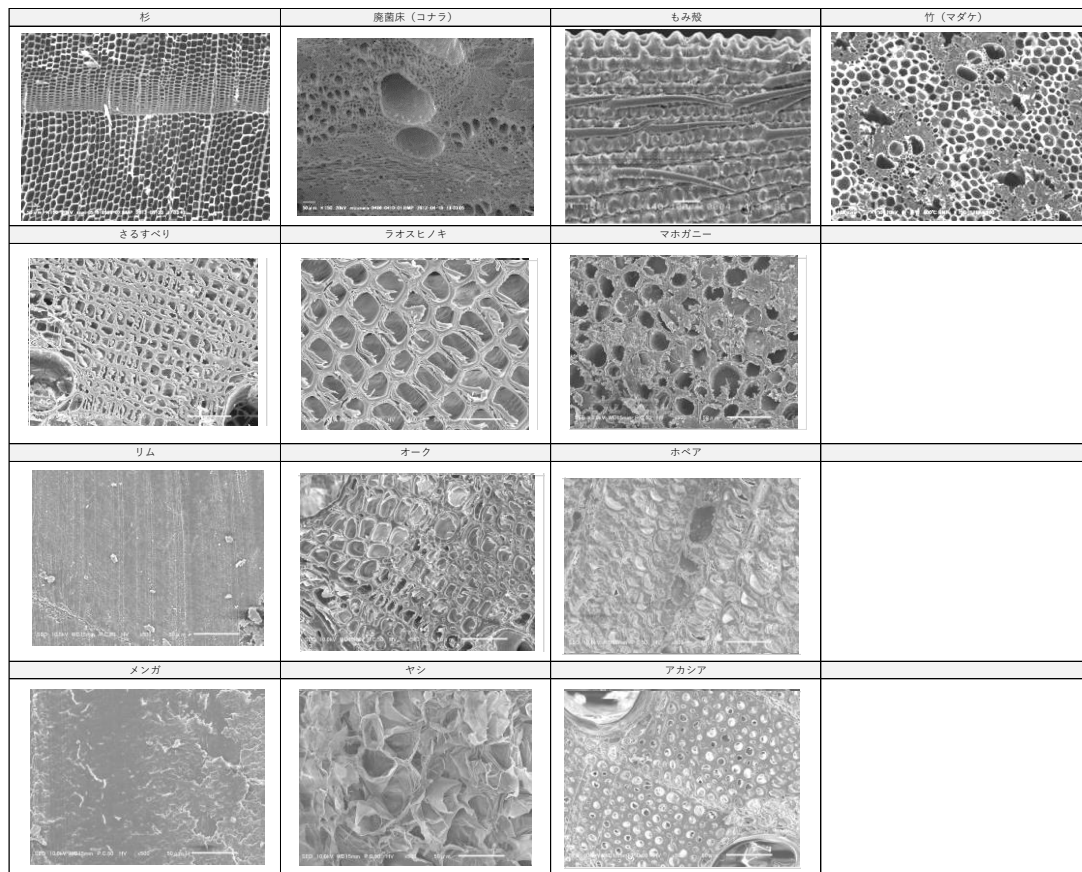


図(3)-9 (左) 製材所、(中) ベトナムの街路樹、(右) 家具製作所

表(3)-7 代替材候補木材一覧(ベトナム)

No	樹種(和名)	入手先
1	サルスベリ	製材所
2	ラオスヒノキ	製材所
3	マホガニー	街路樹
4	リム	家具製作所
5	オーク	家具製作所
6	ホペア	街路樹
7	メンガ	製材所
8	ヤシ	屋台
9	アカシア	街路樹

生物担体としての条件として、前述のとおり木質断面の細孔構造の孔径および均一性に起因することが分かっているため、各試料についてSEMを用いて細孔構造の有無と平均孔径の計測を行った。その後、国内の候補木材はすべて発酵分解試験に、ベトナムの候補木材は9種から3種程度の絞り込みを行った後に発酵分解試験にそれぞれ供した。各試料のSEMによる撮影結果を図(3)-10に、ベトナム木材の各所見を表(3)-8に示す。



図(3)-10 代替材候補のSEM撮影結果(×500)

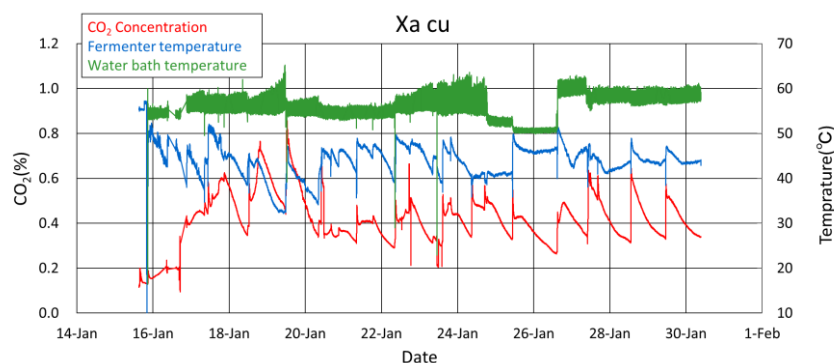
表(3)-8 代替材候補（ベトナム）の所見

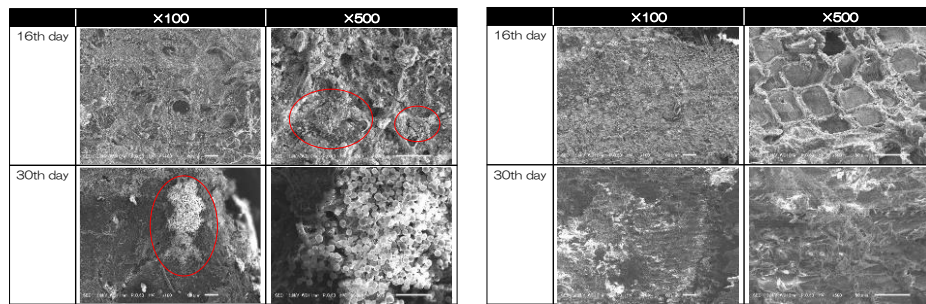
	和名	ベトナム名	平均孔径 (μm)	所見	選定結果
1	サルスベリ	Bang	8.5	均一性は高いが径が小さい	
2	ラオスヒノキ	PoMu	21.4	均一性が高い	○
3	マホガニー	XaCu	35.7~11.4	外輪と内輪で構造が異なる	○
4	リム	LIM	Measurement not possible	孔が確認できない	
5	オーク	CaySoiNga	21.4~5.7	孔径にばらつき大きい	
6	ホペア（メラワン）	SAO	Many clogs	孔が目詰まりしている	
7	メンガ	Menga	Measurement not possible	孔が確認できない	
8	ヤシ	Palm	28.6~11.4	孔径は良いサイズもあるが、担体としての効果は不明	○
9	アカシア	Keo	11.4~2.9	孔径が小さい	

表(3)-8より細孔構造を有し、かつ平均孔径が杉(25 μm)に近いものとしてラオスヒノキ(21.4 μm)、マホガニー(11.4~35.7 μm)、ヤシ(11.4~28.6 μm)の3種を代替材候補として絞り込み、室内実験を実施した。

2) 室内発酵分解試験

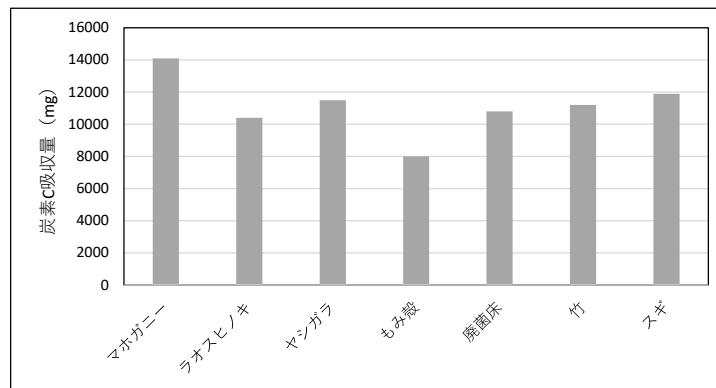
国内候補3種、ベトナム候補3種の計6種について、室内発酵分解試験を実施した。試験中は図(3)-11に示すようにデータロガーで発酵槽内環境をモニタリングしており、発酵が進んでいる場合にはCO₂のピークを確認することができた。また、発酵中の試料について適宜SEMによる撮影を行い(図(3)-12)、微生物の付着等を適宜確認することで代替材の選定の判断基準とした。特に、SEMによる断面計測時には杉の形状に近い細孔構造を有しており、代替材として期待していたラオスヒノキは微生物の付着が確認できず、一方、細孔の平均径にばらつきの大きかったマホガニーには多くの微生物の付着が確認できた。

図(3)-11 マホガニーのCO₂モニタリング（データロガー）結果



図(3)-12 発酵試験中の試料のSEM画像（左：マホガニー、右：ラオスヒノキ）

30日間の試験終了後に、5NのNaOHでトラップしたCO₂を2NのH₂SO₄で滴定し、試験期間中に発生した総CO₂量を求めた。図(3)-13に結果一覧を示す。図よりマホガニーは減容化実験時において杉を超える14,100 mgのCO₂量が発生しており、杉よりも発酵を促す生物担体としての機能を有することが分かった。一方もみ殻は7,990 mgと最も低く、生物担体としての機能は最も低い結果となった。廃菌床や竹については、杉の11,900 mgにはやや劣るもののそれぞれ10,800 mg、11,200 mgのCO₂が発生しており、代替材としての可能性が考えられた。

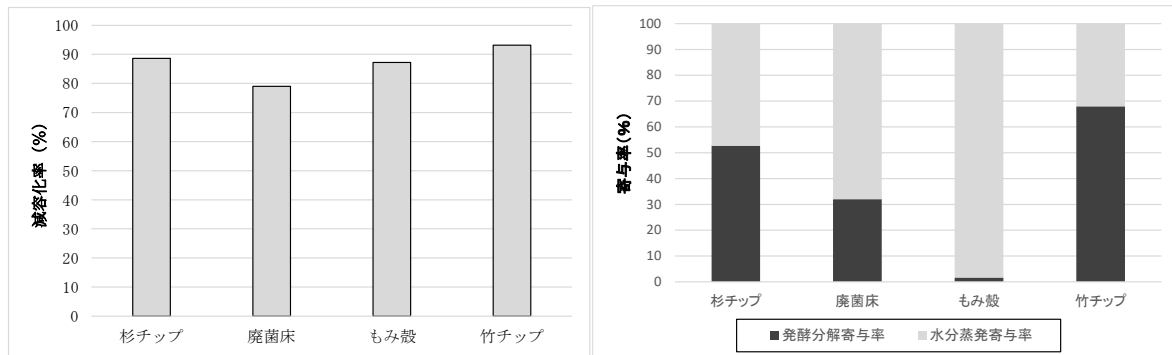


図(3)-13 CO₂量滴定結果

3) 実機による減容化試験

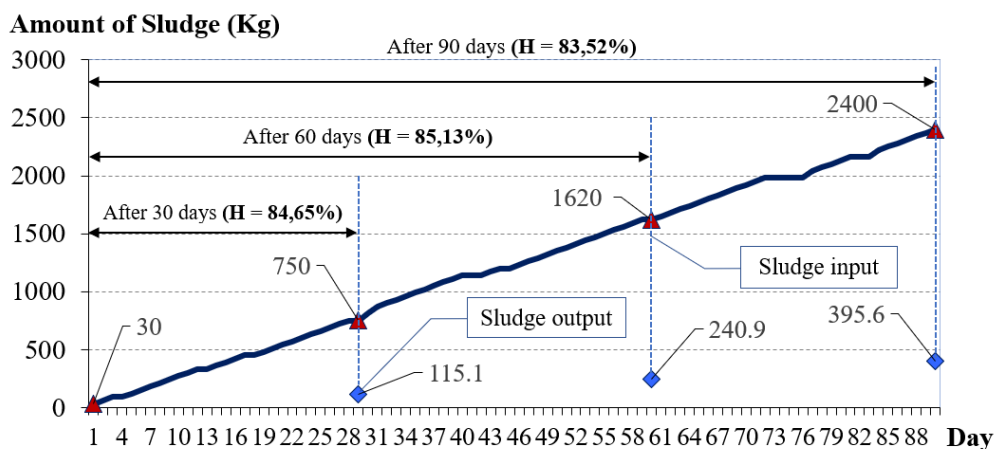
次に国内代替材候補3種および、マホガニーを用いた実機による減容化試験を行った。国内代替材候補については日本ミクニヤ（株）しまねオフィスにて実施し、減容対象を庄原市山内農業集落排水処理場の余剰汚泥を用いた。マホガニーについてはベトナムのダナン工科大学に協力を得て実験を行い、減容対象はダナン市内の公共下水道施設（WWTP）の余剰汚泥を用いた。日本の代替材候補による減容化試験結果および発酵分解寄与率と蒸発寄与率に関する比較を図(3)-14に示す。

図より、減容化率は竹が最も高く杉を上回る結果が得られた。さらに発酵分解の寄与率も70%程度と高く、肥料としての利活用に対しても効果が期待できる結果が得られた。一方で、もみ殻の減容化率は杉と同等であったが、蒸発の寄与率が高く、発酵を促す効果は低いことが分かった。これは図(3)-13の結果からも生物担体として発酵分解を促す効果が低い結果が得られていることから妥当であると考えられた。



図(3)-14 (左) 代替材候補による減容化試験結果 (右) 発酵・蒸発寄与率の比較

次にマホガニーを用いた減容化試験を図(3)-15に示す。マホガニーを担体とする減容化率は83.52～85.13%となり、杉の減容化率である89.2%にはやや劣るものの代替材として有効であることが分かった。



図(3)-15 マホガニーを生物担体として利用した減容化試験結果

(3) 減容後残渣の安全性の確認

表(3)-9にオオバナミズキンバイ内の肥料成分および重金属含有量の分析結果を示す。分析に用いた試料は滋賀県草津市八橋地先、東近江市大同川、高島市安曇川河口地先でそれぞれ採取されたオオバナミズキンバイを粉碎混合したものを試験に供した。表より基準値を超える重金属の含有が確認されなかった。

表(3)-9 発酵前(オオバナミズキンバイ)の成分分析結果

分析項目	分析結果	定量下限値	検定方法	品質推奨基準
窒素全量	0.30 %	0.01	肥料分析法	乾物1以上
全りん	0.10 %	0.01	肥料分析法	乾物1以上
カリウム	0.24 %	0.01	肥料分析法	乾物1以上
マグネシウム	260 mg/kg	0.5	肥料分析法	-
カルシウム	1200 mg/kg	0.5	肥料分析法	-
ナトリウム	170 mg/kg	0.1	肥料分析法準拠	-
全炭素	5.2 %	0.1	肥料分析法	-
銅	5.9 mg/kg	0.1	肥料分析法	乾物600以下
亜鉛	14.8 mg/kg	0.2	肥料分析法	乾物1800以下
カドミウム	ND mg/kg	0.05	肥料分析法	5以下
炭素・窒素比	16.0	0.1	計算による	30以下
含水率	85.8 %	0.1	肥料分析法	現物70以下

次に、発酵後の残渣の成分分析を実施した。結果を表(3)-10に示す。表より肥料としての品質推奨基準を満足しており、オオバナミズキンバイの発酵後残渣を肥料として再利用することについて成分としては安全であることが分かった。

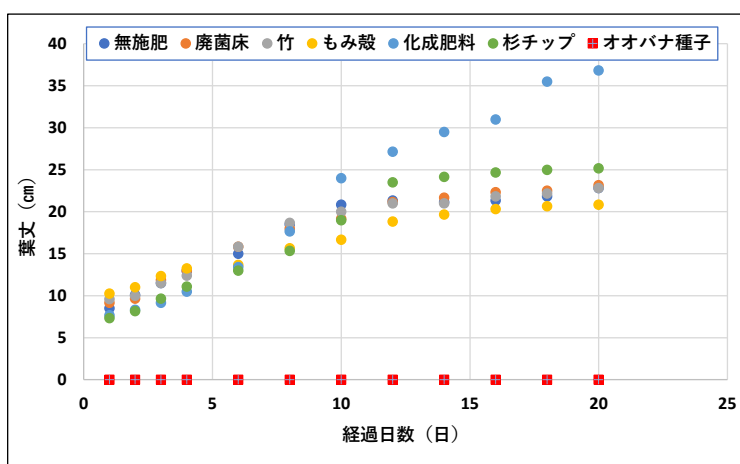
表(3)-10 発酵後残渣の成分分析結果

分析項目	分析結果	定量下限値	検定方法	品質推奨基準
窒素全量	1.25 %	0.01	肥料分析法	乾物1以上
全りん	0.80 %	0.01	肥料分析法	乾物1以上
カリウム	2.5 %	0.01	肥料分析法	乾物1以上
マグネシウム	430 mg/kg	0.5	肥料分析法	-
カルシウム	2800 mg/kg	0.5	肥料分析法	-
ナトリウム	390 mg/kg	0.1	肥料分析法準 拠	-
銅	22.0 mg/kg	0.1	肥料分析法	乾物600以下
亜鉛	313.6 mg/kg	0.2	肥料分析法	乾物1800以下
カドミウム	0.15 mg/kg	0.05	肥料分析法	5以下
炭素・窒素比	29.3	0.1	計算による	30以下
含水率	21.1 %	0.1	肥料分析法	現物70以下

(4) 菌体肥料としての評価

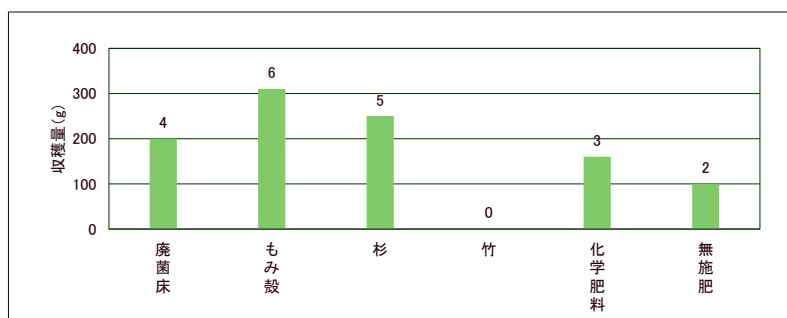
図(3)-16に代替材候補ごとに減容化試験を実施した後の残渣を用いたコマツナ栽培試験の結果を示す。また、併せて発酵残渣内のオオバナミズキンバイの種子の発芽試験も実施した。

図より葉丈の生長が最も良好であったのは化学肥料であった。一方もみ殻は無施肥試験区よりも生長が悪く、肥料としての効果が最も低い結果となった。代替材の中では杉を除くと廃菌床が最も生長が良かったものの、化学肥料(N:P:K=8:8:8%)に比べるとオオバナミズキンバイの自体の肥料成分が少ないことが原因と考えられた。ただし、コマツナはJAの報告によると通常15~20 cm程度で収穫し、30 cm以上になると繊維質が強くなり食用には不向きとなるとのことであり、農業として利活用する場合にはいずれの代替材も一定の生長を促す効果が確認され十分活用可能であると考えられた。なお、オオバナミズキンバイの発酵後の種子からの発芽は試験期間中0/30で確認されなかった。



図(3)-16 コマツナ栽培試験およびオオバナ種子発芽試験結果

次に施肥効果の多様性を把握するために、葉物野菜であるコマツナに加えて、トマトの栽培試験を実施した。栽培結果を図(3)-17に、表(3)-11に収穫後のトマトの1個当たりの平均重量を示す。図より、コマツナの結果とは異なり、もみ殻のトマト結実数が最も高く、竹は結実数が0という結果であった。また、化学肥料と比べても竹以外の代替材は同等以上の結実数を確認していた。トマトの重量についても化学肥料と同等の大きさまで生長が確認できており、肥料としての利用が可能であることが分かった。



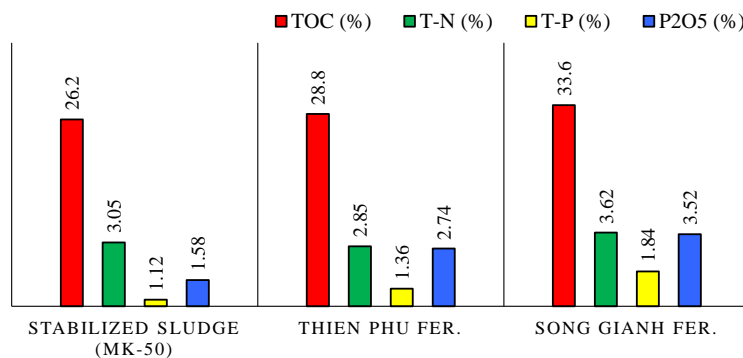
図(3)-17 トマト栽培試験結果

表(3)-11 収穫後のトマトの1個当たりの平均重量

1個当たりの平均重量 (g)	廃菌床	もみ殻	杉	竹	化学肥料	無施肥
	50.0	51.7	50.0	0	53.3	50.0

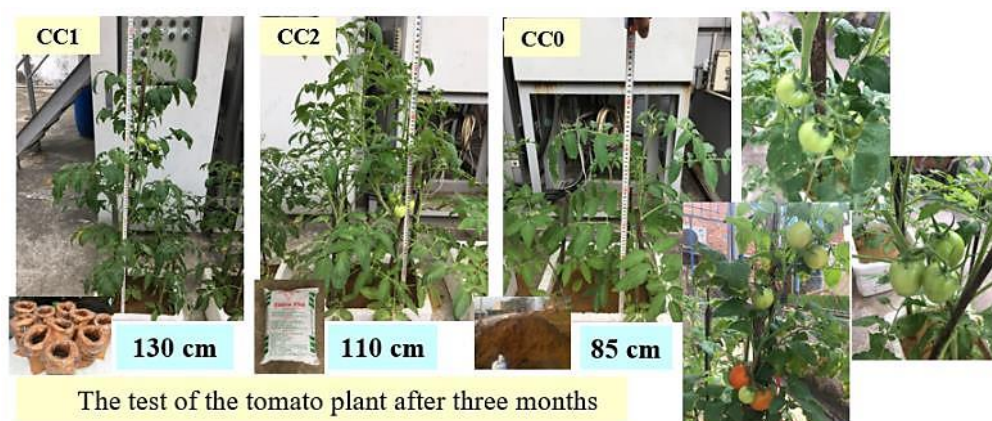
葉物野菜であるコマツナと実のなる野菜であるトマトではそれぞれ育成方法が異なり、生長に求められる成分も異なってくるが、いずれの試験においても一定の生長が確認できた廃菌床は杉の代替材として有効であると考えられた。

次にベトナムにおける栽培実験結果を示す。試験に用いた肥料は図(3)-15の試験で発生した残渣とし、トマト栽培試験を行った。比較対象として市販の肥料との生長比較を行った。用いた肥料成分一覧を図(3)-18に、栽培結果を図(3)-19に示す。図(3)-19より高温好気発酵分解残渣が3ヵ月で130 cmと最も良い生長を示し、次に市販の汚泥肥料、最も生長が悪かったのが85cmで市販コンポスト肥料であった。一方、表(3)-12に示す通り、結実数は市販汚泥由来肥料が最も多く7個体の結実が確認され、肥料の機能としてはやや劣る結果とはなったが、1個当たりの重量では56.0gと最も高かったことから肥料としての活用は十分可能であると考えられた。



図(3)-18 ベトナムでのトマト栽培試験に用いた肥料成分一覧

(左) 高温好気発酵分解残渣、(中) 市販汚泥由来肥料、(右) 市販コンポスト肥料)



図(3)-19 トマト栽培試験（マホガニー）結果
（（左）高温好気発酵分解残渣、（中）市販汚泥由来肥料、（右）市販コンポスト肥料）

表(3)-12 収穫後のトマト結実数と平均重量

	高温好気発酵分解残渣	市販堆肥由来肥料	市販コンポスト肥料
結実数（個）	4	7	5
1個当たりの平均重量（g）	56.0	52.0	54.2

（5）事業性の検討

高温好気発酵分解技術の導入による減容化、再利用事業のコストと、既往の処理に係るコストを算出し、コストの削減効果について算出した。事業想定としては以下の通りとした。

- ①オオバナミズキンバイの繁茂しているエリアに該当する漁港1か所に50 kg/day処理タイプの減容装置を設置する。
- ②減容処理は漁港施設内で実施することで、刈取後のオオバナミズキンバイをその場で減容処理する。
- ③乾燥処理は不要であり、破碎後即投入。
- ④該当漁港を抽出し、琵琶湖全体のオオバナミズキンバイを再資源化する。
- ⑤再資源化した菌体肥料は農地での再利用を行う。

これらの条件のもと、1漁港あたりの装置導入による事業費の算出と既往の処理コストとの比較を表(3)-13に示す。なお、刈取作業自体は漁業者が自ら実施することを前提としている。結果からオオバナミズキンバイ18,250 kg（50 kg×365日）処理した場合の処理には年間で300,859円のコスト削減に繋がると算出された。これは約41.1%のコストカットに繋がることとなる。

表(3)-13 1漁港あたりの高温好気発酵分解技術導入による処理コストと既往処理コストの比較

1.計画

機械設備	50kg/日処理タイプ		
対象バイオ	オオバナミズキンバイ		
変換量	オオバナミズキンバイ	50	kg/日
	稼働日	365	日/年
	減容化率	95	%
	堆肥量	912.5	kg/年

2.建設費

建設費	4,000	千円
補助金率	0	%
実質建設費	4,000	千円
耐用年数	13	年

3.支出及び収入

項目		数量	単位	単価	単位	金額	単位	備考
支出	人件費	1	人	50,000	円/年・人	50,000	円/年	1台当たりの年間メンテナンス費用
	基本電気料金	0.7	kW	15,708	円/kW・年	10,996	円/年	関西電力 高圧電力A
	従量電気料金	6,132	kWh/年	13	円/kWh	82,230	円/年	
	上水道	0	t/年	0	円/t	0	円/年	
	工水	0	t/年		円/t	0	円/年	
	下水道	0	t/年		円/t	0	円/年	
	消耗品費	0	kg/年		円/t	0	円/年	
	燃料費	0	ℓ/年		円/ℓ	0	円/年	
	減価償却費					307,692	円/年	定額法で計算
	点検・補修費	2	回/年	8,000	円/回	16,000	円/年	使用木材：マホガニーもしくは廃菌床
	計					466,918	円/年	
収入	原料受入費	18,250	kg/年	0	円/t	0	円/年	
	製品販売費	912.5	kg/年	40	円/kg	36,500	円/年	
	副産物販売費		t/年		円/t	0	円/年	
	計					36,500	円/年	
年間総事業費						430,418	円/年	

4. 廃棄物としての従来の処分費との比較

処分費	18,250	kg/年	40.07	円/kg	731,278	円/年	除去量と事業費から算出
事業費削減効果					-300,859	円/年	

次に琵琶湖全域におけるオオバナミズキンバイの再資源化を想定した事業費の算出を行った。回収する際に対象となる漁港は京都大学田中周平准教授の調査結果を参考に対象水域が漁業区となっている漁港を調査し¹¹⁾ 該当漁港とした。対象漁港の抽出結果と、オオバナミズキンバイの総処理費用および削減コストの算出結果を図(3)-20に示す。現在琵琶湖には大きく南部と北部においてオオバナミズキンバイの生育が確認されている。生育エリアを漁場に持つ漁港は6漁港であることが分かった。これらの漁港に再資源化装置を設置し、漁港内で減容化処理を行った場合の総事業費は2,870千円であることが分かった。一方、従来手法による処理コストは同量を処理することを想定した場合、4,388千円掛かる計算となり、コストの削減量は年間で1,518千円/年である。なお、単位当たりの処理費用としては13,863円/tの削減となり、処理コストの大幅な削減効果が得られると考えられる。



図(3)-20 琵琶湖全体のオオバナミズキンバイ処理コストの算出とコスト削減量

5. 研究目標の達成状況

・従来焼却や埋め立て処分されていた刈取後のオオバナミズキンバイに対して、高温好気発酵分解技術を用い、95%以上の減容化が可能となる条件（発酵槽内温度、破碎方法、送気量、攪拌頻度等）を明らかにすることで、処理場に対する負荷の軽減に資する方策を提示する。

⇒ 破碎、送気量調整、攪拌頻度を適切に管理することで刈取後のオオバナミズキンバイを約98%減容化することに成功したため、目標を上回る成果をあげた。

・バイオマス利用の促進により高騰している担体（杉チップ）の代替材を明らかにすることで、従来と同等の減容化率（95%以上）を担保し、かつ従来の発酵分解処理のコストが40%削減可能な処理プロセスを開発する。

⇒ 杉と同等もしくは同等以上の発酵環境を構築できる生物担体としてマホガニーとシイタケ栽培後の廃菌床を選定することができた。また、これらを用いたオオバナミズキンバイ減容化、再資源化事業費の算出によって既存の処理方法と比較して41.1%の削減が可能であるという結果が得られた。

・杉チップおよび担体の代替材候補による減容化実験により発生した減容後の残渣について、成分分析を実施し、肥料成分および安全性の評価を行う。さらに農場によるコマツナ栽培実験により、化成肥料の代替有機肥料としての有効性を評価する。

⇒ 高温好気発酵分解残渣の成分分析を行った結果、重金属等の基準値は満足し、肥料としての利用について安全性は問題がないことが分かった。また、コマツナおよびトマトの栽培実験を行った結果、コマツナでは流通に耐えうるサイズまでの生長を、トマトでは化学肥料と同等の結実数を確認することができ目標通りの成果をあげた。

6. 引用文献

- 1) 大島泰郎：高熱性細菌，p16,東京大学出版（1978）
- 2) 副資材として竹チップを活用した場合の高温好気発酵技術を用いた減容化装置の高効率化：大森誠紀他 平成27年度NPO広島循環型社会推進機構 研究課題成果最終発表 一般4
- 3) 塩村隆信：島根発の水質浄化技術開発の試み, 月刊マテリアルインテグレーション, 2008, Vol.21, No04, pp49-51
- 4) 松本真悟, 野中資博：宍道湖における水草・ヨシ等の有効活用及び処理方法に関する研究, 平成26年国土交通省中国地方整備局受託研究
- 5) 土井俊伸, 中井智司, 西嶋渉, 奥田哲士：下水汚泥の高温好気発酵に好適な水分調整材とその特性, 第48回日本水環境学会年会, 汚泥・廃棄物処理 廃棄物処理(1), 1-G-16-1
- 6) 高温好気法を用いた余剰汚泥の発酵分解処理における物質収支：塩村隆信他 島根県産業技術センター研究報告 2006, 42, p.17-20

- 7) 肥料分析法：農林水産省農業環境技術研究所法 1992版
- 8) 土壌肥料試験ハンドブック：関東東海土壌肥料技術連絡協議会（2011）
- 9) オオバナミズキンバイ等の状況について：環境・農水常任委員会資料，平成27年10月6日
- 10) 水草・オオバナミズキンバイ等の状況について：環境・農水常任委員会資料,平成29年7月5日
- 11) 都道府県別漁港管理者別漁港数一覧：水産庁

Ⅲ. 研究成果の発表状況の詳細

(1) 誌上発表

<査読付き論文>

【サブテーマ1】

- 1) 田中周平, 高見航, 田淵智弥, 大西広華, 辻直亨, 松岡知宏, 西川博章, 藤井滋穂: 水環境学会誌, vol.43(A), No.1, p.9-15 (2020) 琵琶湖岸の有義波高と生育地盤高に基づいた特定外来植物オオバナミズキンバイのポテンシャルハビタットの推定
- 2) 田中周平, 大島靖弘, 長谷川達朗, 高見航, Zhang Hongwei, 渡部優希, 田淵智弥, 西川博章, 藤井滋穂: 土木学会論文集G(環境), vol.76, p.III_349-III_354 (2020) 特定外来生物オオバナミズキンバイ *Ludwigia grandiflora* の茎断片からの再生に及ぼす影響要因の検討
- 3) Hongwei ZHANG, Shuhei TANAKA, Wataru TAKAMI, Masaki WATABE, Yasuhiro OSHIMA, Hiroaki NISHIKAWA, Shigeo FUJII, 土木学会論文集G(環境), vol.76, p.III_197- III_204 (2020) Effects of Specific Alien Plant *Ludwigia Grandiflora* on Endemic Vegetation in Harie Wetland, Lake Biwa

【サブテーマ2】

- 1) Hieda S, Noma N.: *Bulletin of Kansai Organization for Nature Conservation* 41 (2), 151-153. (2019) Leaves as propagules of the invasive aquatic plant *Ludwigia grandiflora* subsp. *hexapetala* in Lake Biwa.
- 2) 稗田真也, 植村修二, 野間直彦: 大阪市立自然史博物館研究報告, *Bulletin of the Osaka Museum of Natural History*, vol.74, p.69-73 (2020) アメリカミズキンバイとよばれる *Ludwigia decurrens* と *L. longifolia* (アカバナ科) の推奨される和名
- 3) K. Kamigawara, K. Nakai, N. Noma, S. Hieda, E. Sarat, A. Dutartre, T. Renals, R. Bullock, J. Haury, B. Bottner, J-P. Damien: *Journal of International Wildlife Law & Policy*, vol.23, p.83-108 (2020) What kind of legislation can contribute to on-site management? -Comparative case studies on legislative developments in managing aquatic invasive alien plants in France, England and Japan

【サブテーマ3】

- 1) Vo Diep Ngoc Khoi, Makoto Tokuoka, Shuhei Tanaka, Phan Nhu Thuc, Tran Van Quang, *Vietnam Journal of Science and Technology* 58 (5A) 190-200 (2020) STUDY ON SLUDGE TREATMENT BY THE AEROBIC STABILIZATION PROCESS COMBINED WITH BULKING AGENT AND HEATED AIR SUPPLY

<その他誌上発表(査読なし)>

【サブテーマ1】

- 1) 大島靖弘, 田中周平, 藤井滋穂, 長谷川達朗, 渡部優希, Zhang Hongwei: 環境技術学会年次大会予稿集, vol.20, p.47-48 (2020) 特定外来生物オオバナミズキンバイ *Ludwigia grandiflora* の茎断片からの再生試験
- 2) 田中周平, 高見航, 大島靖弘, 渡部優希, 張宏蔚, 西川博章: 用水と廃水, vol.62, No.1, p.34-39 (2020) 特定外来種を対象としたポテンシャルハビタットマップを駆使した効果的駆除方法の提案

【サブテーマ3】

- 1) 徳岡誠人, 田中優司, 安部裕巳, 福岡和明: 用水と廃水, vol.62, No.1, p.40-46 (2020) 刈取後の特定外来種の水生生物への高温好気発酵分解技術の適用による減容化

(2) 口頭発表(学会等)

【サブテーマ1】

- 1) 田中周平, 高見航, 西川博章, 嘉村優輝, 犬賀昂希, 和田一将, 藤井滋穂: 第21回日本水環境学会シンポジウム(2018) 特定外来種オオバナミズキンバイの侵入前後の琵琶湖岸抽水植物群落内の植生構造
- 2) 渡部優希, 田中周平, 嘉村優輝, 和田一将, 藤井滋穂, 西川博章: 第22回日本水環境学会シンポジウム講演集 (2019) 琵琶湖岸の針江地区, 雄琴港地区における特定外来植物オオバナミズキンバイの在来植生に及ぼす影響評価
- 3) 張宏蔚, 田中周平, 今藤夏子, 藤井滋穂, 渡部優希, 大島靖弘: 第54回日本水環境学会年会講演集 (2020) Environmental DNA as A Survey Procedure To Assist in the Detection of *Ludwigia grandiflora* Invasion in Lake Biwa, Japan
- 4) 大島靖弘, 田中周平, 藤井滋穂, 長谷川達朗, 渡部優希, Zhang Hongwei: 第54回日本水環境学会年会講演集 (2020) 特定外来種オオバナミズキンバイの断片からの再生に及ぼす水中の栄養塩濃度の影響に関する検討
- 5) 渡部優希, 田中周平, Zhang Hongwei, 大島靖弘, 水谷沙織, 藤井滋穂, 西川博章: 第23回日本水環境学会シンポジウム講演集(2020) 琵琶湖抽水植物群落における植生図作成へのUAV (Unmanned Aerial Vehicle) の適用

【サブテーマ2】

- 1) 永岑吉祥, 小崎和樹, 稗田真也, 野間直彦: 第18回日本植物分類学会 (2019) : 琵琶湖に侵入したオオバナミズキンバイ種子の水鳥による散布の発見

(3) 「国民との科学・技術対話」の実施

【サブテーマ1】 【サブテーマ2】 【サブテーマ3】

- 1) 琵琶湖外来水生植物対策協議会2018年度第2回総会 (主催: 滋賀県自然環境保全課、2019年2月13日、滋賀県庁、観客約40名) にて成果を発表
- 2) 一般公開シンポジウム「琵琶湖岸に侵入した特定外来種オオバナミズキンバイの拡大予測と効率的防除に関するシンポジウム」 (主催: 京都大学地球環境学堂、2019年5月26日、京都大学益川ホール、観客約50~100名) にて講演。図に示す冊子を駆除活動の関係者に配布した。
- 3) 一般公開「琵琶湖岸に侵入した特定外来種オオバナミズキンバイの拡大予測と効率的防除に関する川の生態系を守る学習会と駆除活動」 (主催: 国土交通省琵琶湖河川事務所、2019年8月20日、アクア琵琶、参加者50名) 田中周平, ポテンシャルハビタットマップを駆使した効果的駆除方法の開発、野間直彦, 鳥類が行う種子散布・断片散布による拡大可能性の検討、徳岡誠人, 高温好気発酵分解技術による減容化と有効利用法の検討を発表

【サブテーマ1】

- 1) エコプロ2019 (主催: (一社) 産業環境管理協会、日本経済新聞社、2019年12月5日 (木) ~7日 (土)、東京ビッグサイト) にて成果のパネルを展示。
- 2) 一般公開「琵琶湖・瀬田川に侵入した「オオバナミズキンバイ」の対策に向けた研究」 (公益財団法人河川事務所からの依頼により、「水のめぐみ館ウォーターステーション琵琶」に常設の研究紹介パネルを設置)

環境研究
総合推進費
2019

外来植物の侵入区域を 波の高さと地盤高から予測する

京都大学 地球環境学 准教授 田中 周平

特定外来種を低密度状態で制御することを可能とする方法を提案

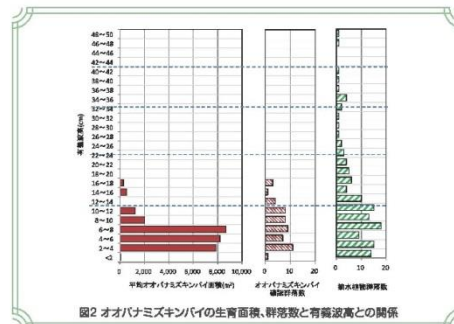
2014年6月改正の「外来生物法」により、新たにLudwigia grandiflora(オオバナミズキンバイ)が規制対象となりました。オオバナミズキンバイ(図1)は中南米産の多年生草本で、2007年に兵庫県で国内初確認され、2009年に琵琶湖に侵入したと言われています。つる性でマット状に拡大し、茎の断片からも再生するため生育地を拡大させやすく、近縁種の絶滅危惧種との交雑の可能性も指摘されています。

有義波高*と群落面積の関係(図2)から、有義波高18cm以上では群落を形成せず、10cm程度では準陸タイプ、8cm程度では準沖タイプ、5cm程度では沖タイプの群落に分類できることが分かりました。

※ある地点で連続する波を観測したとき、波の高さの1/3から1/4に全体の1/3の倍の波の高さの平均値、観測した観測者が日中で観測する波高に近いとされています。



図1 琵琶湖で繁殖した特定外来種オオバナミズキンバイ(2018年11月17日)



ポテンシャルハビタットマップの冊子を作成

有義波高と群落面積の関係から、オオバナミズキンバイが生育する可能性の高い空間を地図化したポテンシャルハビタットマップを作成し、冊子化しました。2015年秋の調査結果から予測したポテンシャルハビタットマップと2016年秋の生育範囲を図3に示します。ほぼ予測範囲内にオオバナミズキンバイが分布していることが分かります。冊子には貴重植物の分布状況(図4)も載せています。オオバナミズキンバイを駆除することにより、貴重植物や在来植物の生育環境を荒らしてしまわないよう、特に貴重植物の生育が確認された区域では、より慎重にオオバナミズキンバイを駆除し、その断片の回収に努めることも重要です。

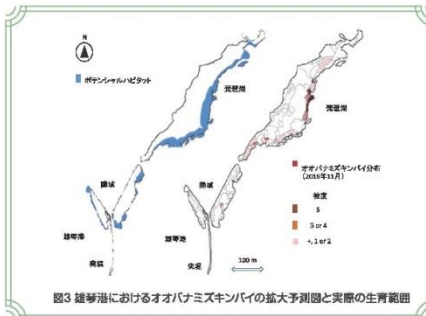


図3 琵琶湖におけるオオバナミズキンバイの拡大予測図と実際の生育範囲

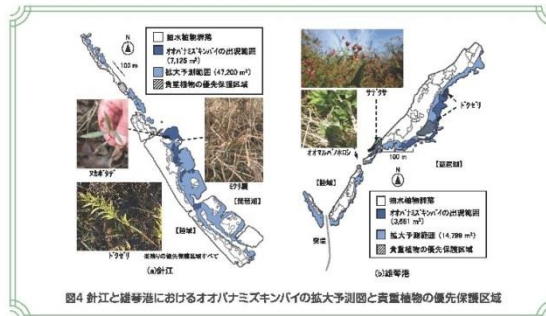


図4 針江と雄略港におけるオオバナミズキンバイの拡大予測図と貴重植物の優先保護区域

ポテンシャルハビタットマップを駆使した効率的防除方法の展開

ポテンシャルハビタットマップにより、重点的に巡回すべき場所が明確となり、駆除活動が効率的になります。また、琵琶湖岸全域を調査しオオバナミズキンバイのGPS情報を地図上に整理して冊子に記載しました。これにより、重点的に駆除活動を行うべき場所の選定がより効率化されます。ポテンシャルハビタットマップによる駆除活動の効率化により、南湖における低密度管理にむけた地域行政との連携方法が明確となりました。今後は北湖への拡大防止を目指し、鳥類による種子および断片散布の可能性を考慮した環境DNAによる予見的監視技術を開発する予定です。



■ 課題番号:4-1801 ■ 課題名:特定外来種オオバナミズキンバイの拡大防止策と効果的防除手法の開発(2018~2020年度)

図 エコプロ2019(主催:(一社)産業環境管理協会、日本経済新聞社、2019年12月5日(木)~7日(土)、東京ビッグサイト)にて成果のパネル



図 ポテンシャルハビタットマップの冊子の表紙（カラー135ページ、50部作成）

【サブテーマ2】

- 1) 龍谷大学里山学研究センターシンポジウム「SDGsと里山モデル ～持続可能社会に向けて～」(主催：龍谷大学里山学研究センター、2019年3月9日、ピアザ淡海ピアザホール)にて成果のポスターを展示。「特定外来生物オオバナミズキンバイの水鳥による種子散布」永岑吉祥, 小崎和樹, 稗田真也, 野間直彦
- 2) 龍谷大学里山学研究センターシンポジウム「SDGsと里山モデル ～持続可能社会に向けて～」(主催：龍谷大学里山学研究センター、2019年3月9日、ピアザ淡海ピアザホール)にて成果のポスターを展示。「琵琶湖における特定外来生物オオバナミズキンバイの形態可塑性と駆除」稗田真也, 野間直彦, 中井克樹

(4) マスコミ等への公表・報道等>

【サブテーマ1】

- 1) NHKニュースおはよう関西 (2019年4月25日、琵琶湖岸における外来種の水草の繁殖条件を解明について3分ほど紹介)
- 2) NHKニュースおうみ発630 (2019年4月25日、琵琶湖岸におけるオオバナミズキンバイのポテンシャルハビタットマップについて4分ほど紹介)
- 3) NHKニュースおうみ845 (2019年4月25日、琵琶湖岸におけるオオバナミズキンバイの繁茂と波浪条件との関係について4分ほど紹介)
- 4) NHK NEWS WEB (2019年4月25日、外来種の水草 繁殖条件を解明、研究成果の説明記事(下図)と研究代表者のインタビューなど4分ほどの動画を掲載)
- 5) 京都新聞 (2019年5月25日、京都版、26頁、「“厄介者”駆除に生息予測マップ 琵琶湖に大量繁茂・オオバナミズキンバイ」)
- 6) 中日新聞 (2019年6月16日、滋賀版、10頁、「琵琶湖の特定外来植物 波の高さで繁殖場所予測」)
- 7) つくばサイエンスニュース (2019年7月2日、「厄介な水草は波の高さを参考に駆除せよ！」研究成果の説明記事と琵琶湖岸におけるオオバナミズキンバイの繁茂と波浪条件との関係について紹介)
- 8) 毎日新聞 (2019年7月15日、京都版、27頁、「波高が繁殖力に影響 琵琶湖外来植物 分布予測を図に」)



図 NHK NEWS WEB (2019年4月25日、外来種の水草 繁殖条件を解明、研究成果の説明記事)

つくばの科学がわかる！

つくばサイエンスニュース

わかる科学

厄介な水草は波の高さを参考に駆除せよ！

(2019年7月02日)

南アメリカなどが原産の水草のオオバナミズキンバイ（写真）は、元々日本には分布していませんでしたが、2007年に和歌山県で初めて確認されました。駆除を防止するために、野外に放つことをはじめ、栽培や移動などが禁じられる「特定外来種」に指定されていますが、各地の湖や沼に分布を拡大。琵琶湖では2009年に発見されて以降、急速に分布を拡大しました。



オオバナミズキンバイ (写真提供：筑波大学)

このままでは本来の生態系に悪影響を及ぼしかねないため、琵琶湖は年間4億円もの予算を投じてオオバナミズキンバイの駆除に取り組んでいます。オオバナミズキンバイは非常に生命力の強い水草で、駆除しきれずに残った葉や茎から再び繁殖するため、駆除は難しい付いていませんでした。そこで京都大学地球環境学部の田中真生准教授らの研究グループは、限られた予算で効果的に駆除を行うため、オオバナミズキンバイが生えている場所を予測する方法の開発に取り組みました。

2015年に琵琶湖の湖岸にある132の植群落を、118ヘクタールもの広大な面積の調査を実施。既まである長靴（履長）を履いて入っていけないところでは自分の足で歩き、履長を測りてち入っていけないところではボートに乗って移動しながら、自分の位置が示されるGPS装置を参考に位置情報を記録していきました。併せて深さを測定して、その日の琵琶湖の水位と照らし合わせることで調査した場所の波の高さも明らかにしました。

その結果、波の高さが平均で18cm以上になると指定される場所ではオオバナミズキンバイは繁茂しなかったのに対して、8cm~18cmだと湖岸に近い場所に限って繁茂し、8cm以下だと湖岸から離れた場所でも繁茂することが分かりました。波の高さとオオバナミズキンバイが繁茂するかどうかの関係が分かれば、琵琶湖のどこにオオバナミズキンバイの群集ができるかを予測できるようになるでしょう。

その予測をもとに研究グループはカラー135ページの冊子『琵琶湖における特定外来種オオバナミズキンバイ ポテンシャルハビタットマップ』を50部作成して配布しました（図）。この冊子を参考にすれば湖岸にオオバナミズキンバイを探さことなく、高い確率で繁茂している場所を狙うことができるので、効果的に駆除できるようになると期待されています。

トピックス Topics

NEW 二つの親子の間に働く競争「三体力」を提案する：東北大学大学院農学（農工）学部 田中真生准教授ほか

NEW 動物状態(きょうせう)を予測する新生物形成のメカニズムに迫る：筑波大学ほか

相対的熱水産物の開成に相関：金沢大学総合科学研究

熱電変換の高性能化法と高効率の有機材料を提案：物質・材料研究機構ほか

天然スチレンから出る「炭」の作り直し：筑波大学/住友化学/大阪大学/山形大学共同研究ほか

イネの葉の乾燥過程が炭化過程に類似：筑波大学ほか

ハダカが繁殖で生き延びるために行動を調節：東京農工大学研究センターほか

つくばニュース [Tsubaki News](#)

国内ハイライト [Inland Highlights](#)

コラム [Column](#)

子供の科学「こどものかがく」

小・中学生を対象にした小学生向け科学雑誌。毎月10日発行。発行・販売会社30文芸春秋刊。

最新号2019年7月号（6月10日発行、定価400円）は、『雲』の大特集。雲の電荷の帯び、雲の形成の仕組みから雲の予測方法、レアな雲の仕組みまで、雲の謎に迫る。また「おのれんげし」を徹底レポート！

その他、タブレット/パソコンを使ったプログラミングの自由研究イベント、サイコロの研究新聞をとおして門下生と先生とのやり取りの面白さを、読み取れる記事が満載！

記事配信：英語版も

<https://www.shogakukan.com/>

← 前の記事へ

次の記事へ →

公益財団法人 つくば科学万博記念財団
〒305-0031 茨城県つくば市南2丁-9番地 TEL 029-858-1100
サイトポリシー | お問い合わせ



公益財団法人
つくば科学万博記念財団
TSUKUBA SCIENCE WORLD MEMORIAL FOUNDATION

Copyright (C) 2016 Tsukuba Expo'88 Memorial Foundation All Rights Reserved.

図 つくばサイエンスニュース（2019年7月2日、「厄介な水草は波の高さを参考に駆除せよ！」研究成果の説明記事と琵琶湖岸におけるオオバナミズキンバイの繁茂と波浪条件との関係について紹介）

(5) 本研究費の研究成果による受賞

1) 2020年03月17日 大島靖弘 サブテーマ (1)

第54回日本水環境学会年会 年会優秀発表特別賞 (クリタ特別賞)

「特定外来種オオバナミズキンバイの断片からの再生に及ぼす水中の栄養塩濃度の影響に関する検討」

IV. 英文Abstract

Development of Measures for Expansion Prevention and Effective Reduction of Invasive Alien Species
Ludwigia grandiflora subsp. *hexapetala*

Principal Investigator: Shuhei TANAKA

Institution: Yoshida honmachi, Sakyo-ku, Kyoto, 606-8501, JAPAN

Tel: +81-75-753-5171 / Fax: +81-75-753-3335

E-mail: t-shuhei@eden.env.kyoto-u.ac.jp

Cooperated by: Graduate School of Global Environmental Studies, Kyoto University

[Abstract]

Key Words: Invasive alien species, Lake Biwa, *Ludwigia grandiflora*,

With the final goal of creating a management manual that enables the control of a specific alien plant, *Ludwigia grandiflora* subsp. *hexapetala* in a low density state and proposing technology to the countermeasure council, the sub-theme (1) predicts the potential habitat with high growth potential of this species from wave conditions, water level, etc., and the main objective is to clarify the location with high extermination effect from the distribution situation of valuable plants to be protected.

From April to late July 2018, the results of the 2015 *Ludwigia grandiflora* subsp. *hexapetala* distribution survey in 132 areas in 53 districts on Lake Biwa shore were arranged, and from August to late November 2018 by calculating the height of the significant wave in each community, a potential habitat map was created and bookletized using the ground height with high growth potential of the species as "Potential Habitat" (color 135 pages, 50 volumes). As a result, the inspection area for removing was reduced to 40.1% of the conventional inspection area.

From May 2018 to October 2020, a regular survey of the distribution of *Ludwigia grandiflora* subsp. *hexapetala* was conducted once every two months in the reed communities in Ogoto Port. As a result, it was found that it was possible to manage at low density by patrolling and exterminating once every three weeks.

Experiments on regeneration from fragments of various sizes were carried out, and the results showed that regeneration can be prevented by using a net of 1 mm mesh as an appropriate mesh size for fragment recovery after large-scale extermination.

This study showed a simple observation method using drone technology, and it was shown that a simple observation method using drone technology can be applied to 75.3% of potential habitats. That is, it is possible to reduce it to 24.7% compared with the conventional observation method.

A protocol for detecting *Ludwigia grandiflora* subsp. *hexapetala* from environmental DNA in water was established, and after examination in the laboratory environment and the real environment, it was applied in 23 places along the Lake Biwa shore, and the highly likely community of the species was shown.

In cooperation with sub-themes (2) and (3), a "control management manual (132 pages of color, 50 parts) for specific alien species *Ludwigia grandiflora* subsp. *hexapetala*" was created, and at the end of March 2021, it was distributed to Shiga Prefecture, the Ministry of the Environment, the National Institute of Environmental Research, and the National Institute of Aeronautics and Environmental Sciences.