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

田中周平^{1),*} 高見航²⁾ 田淵智弥¹⁾
大西広華¹⁾ 辻直亨²⁾ 松岡知宏³⁾
西川博章⁴⁾ 藤井滋穂¹⁾

Estimation of Potential Habitat for Specific Alien Plant *Ludwigia grandiflora* subsp. *hexapetala* Considering Relationship between Significant Wave Height and Ground Level on Lake Biwa Shore

Shuhei TANAKA^{1),*}, Wataru TAKAMI²⁾, Tomoya TABUCHI¹⁾, Hiroka ONISHI¹⁾,
Naoyuki TSUJI²⁾, Tomohiro MATSUOKA³⁾, Hiroaki NISHIKAWA⁴⁾ and Shigeo FUJII¹⁾

¹⁾ Graduate School of Global Environmental Studies, Kyoto University, Yoshida honmachi, Sakyo-ku, Kyoto 606-8501, Japan

²⁾ Graduate School of Engineering, Kyoto University, Yoshida honmachi, Sakyo-ku, Kyoto 606-8501, Japan

³⁾ Department of Engineering, Kyoto University, Yoshida honmachi, Sakyo-ku, Kyoto 606-8501, Japan

⁴⁾ Lago Co., Ltd., Taga-chou 396-2, Ohmihachiman, Shiga 523-0821, Japan

Abstract

Vegetation surveys with portable point positioning GPS devices were carried out for a specific alien plant, *Ludwigia grandiflora* subsp. *hexapetala*, at 132 communities on the shore of Lake Biwa from 2015 to 2016. The relationship between significant wave height and ground level where the alien plant grew was studied using a database of wind speed, wind direction, and effective fetch at six observation stations around Lake Biwa. The main results are as follows: 1) *Ludwigia grandiflora* subsp. *hexapetala* was not observed at communities with significant wave height was greater than 18 cm, 2) *Ludwigia grandiflora* subsp. *hexapetala* was observed at 55 communities. They were classified into four groups on the basis of the ground level where the alien plant was observed. The submerged type was found in 20 communities (from Biwako Surface Level (B.S.L.) -150 to -50 cm). The emerged type was found in 14 communities (from B.S.L. -90 to -30 cm). The ecotone type was found in 15 communities (from B.S.L. -50 to -30 cm), and the land type was found in six communities (from B.S.L. -30 to -10 cm), 3) The average significant wave height was 5.5 cm, 9.4 cm, and 13.2 cm, respectively, for submerged, emerged, and ecotone types. The significant wave height might be one of the factors governing the ground level at which the alien plant grows.

Keywords: *Ludwigia grandiflora* subsp. *hexapetala*; Specific alien plant; Potential habitat; Lake Biwa; Significant wave height

1. はじめに

オオバナミズキンバイは中南米産の多年生草本であり、つる性でマット状に拡大し、茎の断片から再生するため生育地を拡大させやすい特徴を有する。本種は、同属に雑草がある、人間活動で広がる、栄養繁殖するなどの特徴を有し、近縁種の絶滅危惧種（ミズキンバイ）との交雑の可能性も指摘されている¹⁾。オオバナミズキンバイの雑草リスクを他の特定外来種5種（オオフサモ、アレチウリ、ナガエツルノゲイトウ、ミズヒマワリ、オオカワヂシャ）と要注意外来種4種（セイタカアワダチソウ、

ホテイアオイ、アメリカセンダングサ、キショウブ）と比較すると、国際連合食糧農業機関（FAO）の雑草リスク²⁾の評価点は13点となり、ホテイアオイ（12点）、ナガエツルノゲイトウ（11点）などよりも大きい値を示した。本種は、2007年に兵庫県で国内初確認され¹⁾、2009年に琵琶湖に侵入したと報告されている³⁾。琵琶湖岸にオオバナミズキンバイが侵入してから10年が経過し、さまざまな対策が行われているが、依然として琵琶湖岸で繁茂しているのが現状である。本研究では2015年に琵琶湖岸のオオバナミズキンバイの生育分布を単独測位携帯型GPS装置（以下GPSと記す）を付帯した状態で踏査

1) 京都大学大学院地球環境学堂 〒606-8501 京都市左京区吉田本町

2) 京都大学大学院工学研究科 〒606-8501 京都市左京区吉田本町

3) 京都大学工学部 〒606-8501 京都市左京区吉田本町

4) 株式会社ラーゴ 調査技術研究部 〒523-0821 滋賀県近江八幡市多賀町 396-2

* 連絡先: t-shuhei@eden.env.kyoto-u.ac.jp

し、群落別に生育面積を明らかにした。そして、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を作成することを主目的とし、風向風速データ、吹送距離などから有義波高を計算し、群落面積との関係を解析した。西畠、宇多ら⁴⁾は、琵琶湖における湖岸植生の繁茂限界を平均有義波高のみで与えることには限界があり、湖底勾配、粒径を考慮したC値を用いることを提案している。本研究では、琵琶湖岸の地盤高分布を詳細に調査し、特定外来種オオバナミズキンバイの分布状況を地盤高別に整理した。その結果、有義波高とオオバナミズキンバイの生育地盤高との間に関係があることを見出した。特定外来種を対象にしたポテンシャルハビタットを植生図として詳細に示した琵琶湖岸で初めての例である。

2. 調査および解析の方法

2.1 オオバナミズキンバイの生育分布踏査

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。調査地と調査日の概要をTable 1に示す。Fig. 1に示す琵琶湖岸抽水植物群落132群落⁵⁾118 haを対象に、2015年に本調査を実施した。

2.2 琵琶湖岸の地盤高分布調査

GPSを手を持ち、植物群落内の数十地点において標尺

Table 1 Date of surveys on the Lake Biwa shore in 2015.

Place name, Communities name		Date of survey
Sakaigawa	1~3	10/31
Aeba	1	
	2~4	10/31, 11/7, 16
Harie	1	10/31, 11/1, 16
	2, 3	10/31, 11/1, 16, 12/7
	4	10/31, 11/7, 16, 12/7
Adogawa-kita	1	10/31
Kanamaru R.	1, 2	
Oomizokou	1~3	
Wani	1	
Ono-kita	1~3	11/14
	4	11/14, 20
Ono-minami	1~3	11/14
	4	11/14, 20
	5, 6	11/14
Imakatata	1~5	10/25
Tenjin R.	1	
	2	10/14
Yamashitawan	1~5	10/25
Ogoto R.	1, 2	10/14, 25
Ogotokou	1~3	11/30, 12/2, 9
Nouka		10/14
Konookachou	1, 2	10/25
Hieitsuji	1	10/14, 25, 11/3
Shimosakamoto-kita		10/14
Shimosakamoto-minami		
Karasaki		

Place name, Communities name		Date of survey	
Shioduhama	1〜3	11/21	
Imanishi	1〜4		
Enshouji	1〜3		
Chounogi	1〜4		
Yagihama	1〜3		
Minamihama			
Nagasawa	1	12/6	
Shingaihama	1〜4		
Kurimidezaike	1〜3		
Hakuoucho	1, 2	11/14	
Mizugahama			
Tyomeiji R.			
Minami-tsuda	1〜3		
Maki	1〜4		
Fujigasaki	1		
Noda	1, 2		
Ayame	1		
Yoshikawa	1, 2		11/20
Misaki			
Imahama	1		
Konohama-kita	1, 2		
Konohama-minami			
Akanoiwan	1, 2	11/28, 12/18	
	3	10/24, 11/30, 12/13, 18	
	4	10/24, 12/13, 18	
Karasumahantou-higashi	1	10/12	
Karasumahantou-minami	1, 2		
Shinanaka	1		
Biyo center	1	12/2	
Shimogasa	1, 2	12/13	
Kita-yamada	1	10/24, 11/20	
	2	11/20	
Yamada	1	11/20, 12/13	
Minami-yamada	1, 2	11/20	
yabase	1, 2	11/15, 12/6, 18	
	3〜5	11/22, 12/6, 18	
	6	11/30, 12/6, 13, 18	
Shinhama	1	11/20, 12/6	
	2	11/20, 12/6, 13

Fig. 1 Survey areas on the Lake Biwa shore.

を用いて水深を測定し、当日の琵琶湖水位との関係から地盤高を計算した。水面よりも高い地盤高についてはオートレベルを用いて水準測量を実施した。2008年～2011年にかけて琵琶湖岸抽水植物群落132群落を対象に地盤高分布調査⁶⁾を実施し、3次元スプライン補間を用いて群落全体の地盤高分布データとした。踏査によって得られた位置情報データは、国土地理院の計算式⁷⁾を用いて、緯度・経度から x 軸、 y 軸からなる平面直角座標系に変換した。

2.3 風速、風向、吹送距離のデータ整理

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⁴⁾を以下に示す。

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

ここで、 $H_{1/3}$ ：有義波高（m）、 Fe ：有効吹送距離（m）、 U ：風速（ m s^{-1} ）、 g ：重力加速度（ m s^{-2} ）である。植生の繁茂条件を支配する波は比較的高波浪と考えられることから、各方向別に波高を大きい順に並べ、大きいものから1/3番目までの平均値を求めた。さらに、各方向別の出現回数を重みとして平均有義波高（ $H_{1/3}$ ）を算出した。

3. 琵琶湖岸におけるオオバナミズキンバイの地盤高別生育特性

3.1 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Fig. 2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 cm～-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 m^2 であり、B.S.L. -100 cm～-80 cmに41 m^2 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 cm～-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 cm～-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以下でも本種が確認された。総面積は13,297 m^2 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。

3.2 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

Fig. 2 Area of *L. grandiflora* in relation to ground levels on the Lake Biwa shore.

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）を行った結果を樹形図として Fig. 3 に示す。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 cm～-50 cm に分布する群落（沖型），B.S.L. -90 cm～-30 cm に概ね均等に生育する群落（準沖型），B.S.L. -50 cm～-30 cm に集中して生育する群落（準陸型），B.S.L. -30 cm～-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 Fig. 4 に示す。沖型は B.S.L. -110 cm～-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 群落は沖型に含まれた。準沖型は B.S.L. -70 cm～-50 cm で 40.3% と最も繁茂し，B.S.L. -90 cm～-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 群落は準沖型に含まれた。準陸型は B.S.L. -50 cm～-30 cm で 75.2% と最も繁茂し，全体の 95.9% が B.S.L. -70 cm～-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 群落は準陸型に含まれた。陸型は B.S.L. -30 cm～-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。

4. 地盤高別の生育特性と有義波高との関係

4.1 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 のヨシ群落における吹送距離を算出し，有義波高 ($H_{1/3}$) を計算した結果，有義波高 ($H_{1/3}$) 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 ($H_{1/3}$) 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 Fig. 5 に示す。有義波高 18 cm 以上の抽水植物群落では，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 m²～530 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 cm～-30 cm の地盤高に群落を形成した。有義波高 8 cm～12 cm では，1,240 m²～2,012 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 cm～-30 cm に群落を形成した。また，有義波高 2～8 cm では，7,862 m²～8,699 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 cm～-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。

4.2 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 ($H_{1/3}$) 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 Fig. 6 に示す。平均有義波高 ($H_{1/3}$) 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 (1%有意)、準沖型と準陸型の差 (0.1%有意) 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 (Fig. 4 参照) をポテンシャルハビタットとして抽出し、琵琶湖岸の地盤高分布図中の地盤高データと照らし合わせて当該地盤高に当たる部分を着色し、1 m² メッシュの推定図を作成した。

4.3 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分布を Fig. 7 に示す。有義波高 ($H_{1/3}$) を計算した結

Fig. 3 Dendrogram by cluster analysis for growth area of *L. grandiflora* in relation to ground levels.

Fig. 4 Percentage of growth area of *L. grandiflora* in relation to ground levels on the Lake Biwa shore.

Fig. 5 Relation between significant wave height and area of *L. grandiflora* on the Lake Biwa shore.

Fig. 6 Significant wave height on *L. grandiflora* communities.

果、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の部分をもつてハ

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⁸⁾しており、駆除対策があまり行われる前のオオバナミズキンバイ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日のオオバナミズキンバイの繁茂状況と比較すると、本研究による推定範囲とオオバナミズキンバイの侵入状況がおおよそ一致した。なお、突堤の西側については2016年3月に環境省による大規模な駆除活動が行われており、その効果が反映された結果となった。

5. 結論

琵琶湖岸の132の抽水植物群落において単独測位携帯型GPS装置を駆使したオオバナミズキンバイの分布調査と地盤高測量および有義波高($H_{1/3}$)の計算などを実施した結果、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($H_{1/3}$)に関係があることが分かった。本研究から得た主な成果を以下に記す。

- 1) 有義波高18 cm以上の群落ではオオバナミズキンバイは確認されなかった。
- 2) オオバナミズキンバイは55群落で確認され、地盤高別の生育分布を整理すると、琵琶湖標準水位 B.S.L. -150 cm~-50 cm に分布する群落 (沖型), B.S.L. -90 cm~-30 cm に概ね均等に生育する群落 (準沖型), B.S.L. -50 cm~-30 cm に集中して生育する群落 (準陸型), B.S.L. -30 cm~-10 cm に集中して生育する群落 (陸型) の4タイプに分類することができた。
- 3) 平均有義波高は沖型, 準沖型, 準陸型の順に5.5 cm, 9.4 cm, 13.2 cm であり、有義波高によりオオバナミズ

Fig. 7 Comparison between the estimated potential habitat and the actual distribution of *L. grandiflora*.

キンバイの生育地盤高をある程度説明することができた。
4) 本分析結果をもとにオオバナミズキンバイの生育可能性の高い場所をポテンシャルハビタットとして図化し、実際の分布状況と比較したところ、本研究による推定範囲とオオバナミズキンバイの侵入状況がおおよそ一致することが示された。そこで、本研究成果を基に琵琶湖岸55抽水植物群落におけるポテンシャルハビタットマップを作成し、冊子（カラー135ページ）化した。これらの資料が2019年度以降の駆除活動に有効利用されることを望む。

謝 辞

本研究の一部は、環境省の環境研究総合推進費（4-1801）の支援により実施された。また、調査において京都大学地球環境学環境調和型産業論分野の多くの大学院生、大学生の補助を受けた。ここに謝意を表する。

（原稿受付 2019年6月11日）

（原稿受理 2019年10月22日）

参 考 文 献

- 1) 須山知香, 佐藤杏子, 植田邦彦, 2008. 侵略的水草 *Ludwigia*

grandiflora subsp. *grandiflora*（新称：オオバナミズキンバイ，アカバナ科）の野外生育確認およびその染色体数. 水草研究会誌 89, 1-8.

- 2) 日本農学会, 2008. シリーズ 21 世紀の農業 外来生物のリスク管理と有効利用. 養賢堂, 東京.
- 3) 滋賀県, 2013. 外来水生植物の駆除. 滋賀の環境 2013（平成25年版環境白書）, p. 37. URL: <https://www.pref.shiga.lg.jp/file/attachment/21535.pdf>（2019年5月時点）.
- 4) 西島照毅, 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.
- 5) 水谷沙織, 田中周平, 藤井滋穂, 山崎永文, 池田大介, 國政瑛大, 鎌田正篤, Garcia, J., 伊藤依子, 西川博章, 2011. 多様度指数における種の存在比率導出手順の提案と抽水植物群落の種多様性評価への適用. 環境工学研究論文集 67(7), III_107-III_115.
- 6) 水谷沙織, 田中周平, 藤井滋穂, 山崎永文, 池田大介, 國政瑛大, 鎌田正篤, 西川博章, 2012. 種の重みづけによる抽水植物群落の植生評価手法の提案と琵琶湖岸ヨシ植栽事業の評価. 環境工学研究論文集 68, III_341-III_349.
- 7) 河瀬和重, 2011. Gauss-Krüger 投影における経緯度座標及び平面直角座標相互間の座標換算についてのより簡明な計算方法. 国土地理院時報 121, 109-124.
- 8) 滋賀県, 2018. 侵略的外来水生植物対策〈琵琶湖における対策, 対策予算の推移〉. URL: <https://www.pref.shiga.lg.jp/file/attachment/14374.pdf>（2019年5月時点）.

【論 文 要 旨】

2015年に琵琶湖岸の132の抽水植物群落を対象に、単独測位携帯型GPSを用いたオオバナミズキンバイの植生分布調査を実施した。琵琶湖岸12か所の観測所における風速、風向および有効吹送距離を元に群落ごとの有義波高を算出し、オオバナミズキンバイの生育地盤高との関係を検討した。その結果、1) 有義波高18 cm以上の群落ではオオバナミズキンバイは確認されなかった。2) オオバナミズキンバイは55群落で確認され、地盤高別の生育分布を整理すると、琵琶湖標準水位 B.S.L. -150 cm～-50 cm に分布する群落（沖型）、B.S.L. -90 cm～-30 cm に概ね均等に生育する群落（準沖型）、B.S.L. -50 cm～-30 cm に集中して生育する群落（準陸型）、B.S.L. -30 cm～-10 cm に集中して生育する群落（陸型）の4タイプに分類することができた。3) 平均有義波高は沖型、準沖型、準陸型の順に5.5 cm, 9.4 cm, 13.2 cmであり、有義波高によりオオバナミズキンバイの生育地盤高をある程度説明することができた。

キーワード：オオバナミズキンバイ；特定外来種；ポテンシャルハビタット；琵琶湖；有義波高