巨椋池・横大路沼干拓地の表層土壌中における水生植物散布体の残存状況とその鉛直分布

Persistence and Vertical Distribution of Diaspores of Aquatic Plants in the Surface Soil Layer of Oguraike and Yokoojinuma Drained Lands

松本 仁* 今西亜友美** 今西 純一** 森本 幸裕** 夏原 由博**
Hitoshi MATSUMOTO Ayumi IMANISHI Junichi IMANISHI
Yukihiro MORIMOTO Yoshihiro NATUHARA

Abstract : The nature restoration of wetlands is strongly required as they have been severely altered. We focused on the drained lands, widely spread in the 20th century. It is important to study the diaspores of aquatic plants in the soil to grasp the regeneration potential of the drained lands. The purpose of this study was to reveal the vertical distribution of diaspores of aquatic plants in the soil of Oguraike and Yokoojinuma drained lands, where more than 50 years passed after the reclamation. The soil cores with the length of 50 cm were collected from nine locations. The cores were cut into five sections and studied on the germination ability of the diaspores in the soil under 0-cm and 5-cm depth of water. As a result, we found that the number of species and individuals exponentially decreased when depth of soil sampling became greater. Six endangered plant species were germinated in the experiment and the two among them were the species that could not be found on site at the locations of soil core samplings.

Keywords: aquatic plant, diaspore, drained land, emergence method, endangered species

キーワード: 水生植物, 散布体, 干拓地, 撒き出し実験, 絶滅危惧種

1. はじめに

干拓事業は、水田拡張、食糧増産を目的として積極的に推進されてきた¹⁾。一方で、豊かな湿地の生態系が失われたという側面もある。近年、早崎内湖（1963-1970 年干拓）²⁾、河北潟（1963-1970 年干拓）³⁾や手賀沼（1958-1965 年干拓）⁴⁾などでは、湿地植物の復元を目指した干拓地の自然再生が試みられている。

植生の復元には、根株移植、種子播種、表土撒き出しなどの方法があるが、生物学的侵入や遺伝的攪乱を防止するために、自然再生を行う現場かその付近の郷土種を用いることが望ましい⁵⁾。

農耕地^{6), 7)}、河川氾濫原^{8), 9)}や湖底¹⁰⁾の土壌シードバンクに関しては多くの研究がある。しかし、干拓地における散布体バンクに関する研究は少ない。百原ら⁴⁾は、約 40 年前に干拓された場所において、発芽試験によりセンニンモが発芽することを見出し、堆積物中の土壌シードバンクが自然再生に利用可能であることを示した。また、1963 年から 1970 年に干拓が完了した早崎内湖では土壌シードバンクを用いた自然再生事業が行われているが、干拓が行われたのは比較的新しい²⁾。

干拓地の土層は、干拓前に成立していた植生の散布体を含みながら堆積したものである¹¹⁾。また、埋土種子は、時間の経過とともに発芽力が低下する。これまでに埋土種子を連続的に鉛直分布を調べた研究には三角州の湿地で 14cm の深さまでの土層を 9 層に分割し撒き出し試験を行った研究¹¹⁾、淡水の湿地で 10cm の深さまでの土層を 2 層に分割して撒き出し試験を行った研究¹²⁾等がある。しかし、干拓地においてさらに深い部分の土壌の連続的な鉛直分布は研究されていない。散布体バンクの鉛直方向の分布を調べることで、絶滅危惧種や外来種の分布を知ることができ、干拓地の自然再生を行う上での土層の選定に有用な情報が得られると考えた。

本研究は、干拓後 50 年以上が経過した干拓地における水生植物の散布体の鉛直方向の分布と、散布体バンクの有効性を明らかにすることを目的とした。

2. 方法

(1) 調査対象地

京都府京都市伏見区、宇治市、久御山町の巨椋池干拓地と、京都市伏見区の横大路沼干拓地を調査対象地として選定した。調査対象地は、桂川、宇治川、木津川が合流する三川合流地点の北東約 6 km の場所である。巨椋池は、1933 年（昭和 8 年）から 1941 年（昭和 16 年）にかけて国営第 1 号の干拓事業として干拓された¹³⁾。横大路沼は 1954 年（昭和 29 年）に干拓された¹⁴⁾。

巨椋池とその周辺の湿地は、干拓前は豊かなフロラで知られており、三木¹⁵⁾による水生植物フロラの調査では、47 科 96 属 153 種 3 変種が記録された。この属数は、日本産の水生植物の 8 割強を占めた。巨椋池干拓地と周辺低湿地は、近畿圏の都市環境インフラのランドデザイン¹⁶⁾において、水と緑のネットワークの重点拠頭に位置づけられ、湿地環境の保全・再生が望まれている。

(2) 土壌の採集

干拓前の池あるいは沼における位置、干拓後の土地利用を考慮し、巨椋池干拓地にて 5 ヶ所、横大路沼干拓地にて 4 ヶ所の調査地点を選定した（図-1、表-1）。

図-1 調査地点の位置
(詳細図の輪郭線は明治 42 年正式二万分の一地形図をもとに描いた)

* 京都大学大学院地球環境学舎 ** 京都大学大学院地球環境学舎

表－１ 調査地点

地点No.	干拓前の池・沼における位置	土壌採集時点までの土地利用	優占種(休耕田)
1	池の周辺部から最深部への移行部分	水田として利用	—
2	池の最深部付近	近年は休耕田として放置	セイカアワダチソウ
3	池の周縁水域	水田として利用	—
4	池の周縁水域	畑として利用	—
5	池と陸の移行部	水田として利用	—
6	沼の周縁水域	土地区画整理事業で掘	—
7	沼の周縁水域	畑地の横の水路	—
8	沼の最深部付近	放棄田であり樹林化	クス
9	沼の周縁水域	近年は休耕田として放置	セイカアワダチソウ

土壌の採集は、2007年3月から4月にかけて実施した。ハンドオーガー（穴径φ3cm）により、地表面から深さ50cmまでの土壌コアを1調査地点あたり5本採集した。4本は土壌の撒き出し実験に、1本は土壌断面の観察と放射性炭素による土壌の年代測定に用いた。客土の有無については、近畿農政局職員から、現

図－２ 土壌断面の観察

表－２ 撒き出し実験により発芽した種

和名	学名	水生植物	絶滅危惧種	外来種	三木 (1927)	坂東 (2001)	現地フロラ	湛水条件
シャジクモ	<i>Chara braunii</i>	○	VU	○	○	○	○	0cm 4 14
ジュズフラスコモ	<i>Nitella axillaris</i>	○	CE	△	○	○	○	0 3
ミズワラビ	<i>Ceratopteris thalictroides</i>	○	準 要	○	○	○	○	21 0
トキンソウ	<i>Centipeda minima</i>	○		○	○	○	○	35 1
タカサブロウ	<i>Eclipta prostrata</i>	○		○	○	○	○	7 0
アメリカアゼナ	<i>Lindernia dubia</i>			○	○	○	○	3 1
アゼナ	<i>Lindernia procumbens</i>			○	○	○	○	205 57
トキワハゼ	<i>Mazus pumilus</i>			○	○	○	○	9 0
ムシクサ	<i>Veronica peregrina</i>			○	○	○	○	2 0
カワヂシャ	<i>Veronica undulata</i>		準	○	○	○	○	4 0
セリ	<i>Oenanthe javanica</i>	○		○	○	○	○	2 0
アメリカミズキンバイ	<i>Ludwigia decurrens</i>	○		○	○	○	○	32 0
チョウジタデ	<i>Ludwigia epilobioides</i>	○		○	○	○	○	16 2
ホソバヒメミソハギ	<i>Ammannia coccinea</i>			○	○	○	○	6 4
キカシグサ	<i>Rotala idica</i> var. <i>uliginosa</i>	○		○	○	○	○	2 15
ミズマツバ	<i>Rotala pusilla</i>	○	VU C 危惧	○	○	○	○	4 2
タネツケバナ	<i>Cardamine flexuosa</i>			○	○	○	○	26 0
ノミノフスマ	<i>Stellaria alsine</i> var. <i>undulata</i>			○	○	○	○	8 0
スベリヒユ	<i>Portulaca oleracea</i>			○	○	○	○	2 0
イヌタデ	<i>Polygonum longisetum</i>			○	○	○	○	2 0
コウガイゼキショウ	<i>Juncus leschenaultii</i>	○		○	○	○	○	0 1
ミズアオイ	<i>Monochoria korsakowii</i>	○	NT A 寸前	○	○	○	○	1 1
コナギ	<i>Monochoria vaginalis</i>	○		○	○	○	○	2 3
アオウキクサ	<i>Lemna paucicostata</i>	○		○	○	○	○	5 2
タマガヤツリ	<i>Cyperus glomeratus</i>	○		○	○	○	○	13 3
コゴメガヤツリ	<i>Cyperus iria</i>	○		○	○	○	○	5 0
ヒデリコ	<i>Fimbristylis miliacea</i>	○		○	○	○	○	204 6
ホタルイ	<i>Scirpus juncoides</i> var. <i>hotarui</i>	○		○	○	○	○	1 2
メヒシバ	<i>Digitaria abscendens</i>	○		○	○	○	○	3 0
イヌビエ	<i>Echinochloa crus-galli</i>	○		○	○	○	○	4 2
ケイヌビエ	<i>Echinochloa crus-galli</i> var. <i>caudata</i>	○		○	○	○	○	4 1
ニワホコリ	<i>Eragrostis multicaulis</i>	○		○	○	○	○	12 0
アゼガヤ	<i>Leptochloa chinensis</i>	○		○	○	○	○	7 2
スズメノカタビラ	<i>Poa annua</i>			○	○	○	○	1 0
イチゴツナギ	<i>Poa sphondylodes</i>			○	○	○	○	1 0

「○」は水生植物や外来種であること、あるいは発芽や生育が確認されたことを示す。
「△」は三木(1927)において属レベルまでしか同定されていないことを示す。

湛水条件の列の数値は、発芽個体数/156cm²を表す。

※ 括弧内は本表における略号を示す

環境省RDB: 絶滅危惧I類(CE), 絶滅危惧II類(CR), 絶滅危惧III類(EN), 絶滅危惧I類(VU), 準絶滅危惧(NT)

近畿RDB: 絶滅危惧種A(A), 絶滅危惧種B(B), 絶滅危惧種(C), 準絶滅危惧種(準)

京都府RDB: 絶滅寸前種(寸前), 絶滅危惧種(危惧), 準絶滅危惧種(準), 要注目種(要)

在の巨椋池干拓地の地形データから巨椋池の地形は基本的に改変されていないこと、また、調査地点3において、干拓前の巨椋池と横大路沼を知る80歳代の土地所有者から、畑地以外は客土は行われていないことを聞きとった。

(3) 土壌撒き出し実験

プラスチック容器（底面積約78cm²）に、2cmの厚みで高熱処理済みの砂を入れ、その上に10cm毎に切り分けた土壌コアを置き、ヘラを用いて平らにならした。本研究においては、水生植物を対象としたので、湛水条件として0cm区と5cm区の2水準を設定し、それぞれの条件にて各2サンプルで実験を行った。また、種子を含まない水生植物栽培用土壌を用いて対照区を同様に設定した。容器は、京都大学フィールド科学教育研究センター北白川試験地（京都市左京区）のビニールハウス内にランダムに配置し、2007年4月から12月にかけて、発芽した植物の種名と個体数を

記録した。発芽した植物は種子散布前に同定し抜き取った。種子散布前の同定が困難なものについては、別容器に移植栽培後、同定した。記録された種は、角野¹⁷⁾、佐竹^{18)~20)}および清水²¹⁾を用いて、湿地に生育すると記載されている種を水生植物として区分した。絶滅危惧種は、環境省²²⁾、近畿²³⁾および京都府²⁴⁾のレッドデータブックに記載されている種であるかどうかを調べた。分析は各2サンプルのデータを合わせて行った。

(4) 現地フロラ調査

各調査地点において、ボーリングを行った地点から半径5m以内を調査区域とし生育する

植物の種を記録した。調査は、2007年7月、2007年9月および2008年5月に実施した。

(5) 土壌の年代測定

巨椋池干拓地（調査地点No.2）および横大路沼干拓地（調査地点No.6）の深さ50cmの土壌堆積物の年代を、放射性炭素年代測定（AMS測定）により測定した。

3. 結果

(1) 調査地点の土壌

各調査地点の地表面から深さ50cmまでの土壌は、基本的には粘土質であった（図－2）。また、No.6とNo.7を除く調査地点において鋤床層が観察された。鋤床層とは、水田の作土層の湛水後の代かきによる土粒子分散と緻密化により形成される土層である²⁵⁾。No.5とNo.8では、鋤床層

図-3 土壌深さと発芽した種数あるいは個体数の関係

図-5 発芽個体数（底を10とする対数値）と土壌深さの関係

(ii) 湛水条件について

0 cm区と5 cm区では、それぞれ33種653個体と19種122個体の発芽があり、その内、水生植物は17種329個体、15種59個体であった（表-2）。0 cm区の方が種数、個体数ともに多くの発芽が見られた。シャジクモ、ジュズフラスコモ、キカングサ、コナギ、ホタルイの5種

は、5 cm区の方が0 cm区よりも発芽数が多かった（表-2）。種により、発芽に適した湛水深さが異なる傾向が見られた（表-2、図-6）。

(iii) 調査地点について

全体に巨椋池干拓地の方が横大路沼干拓地よりも種数や個体数が多い傾向が見られた（図-7）が、Mann-Whitney U検定では有意な差はなかった（それぞれ $p=0.137$, $p=0.085$ ）。また、調査地点における干拓前の池・沼における位置や土壌採集時点までの土地利用と、水生植物の種数および個体数との関係を検討したが、明確な関係は見られなかった。

(iv) 干拓前および現在のフロラとの比較

三木¹⁵⁾で記録された153種のうち11種の水生植物が土壌撒き出し実験により発芽した。ミズアオイは三木¹⁵⁾に記録されているが、坂東²⁶⁾や今回の現地調査では生育が記録されなかった。また、ジュズフラスコモは三木¹⁵⁾において種としては確認されておらず（*Nitella* sp.の記録はある）、坂東²⁶⁾や今回の現地調査でも生育の記録はなかった。しかし、これらの絶滅危惧種が土壌撒き出しにより発芽したことが確認された。

図-4 各調査地点において水生植物が発芽した土壌深さと種数あるいは個体数との関係

より下部にも根の侵入が観察された。

(2) 土壌撒き出し実験

車軸藻植物2種、シダ植物1種、被子植物32種、計775個体の発芽があった（表-2）。その内、水生植物は19種388個体の発芽があった。外来種は、アメリカアゼナ、アメリカミズキンバイ、ホソバヒメミソハギの3種が記録された。また、絶滅危惧種は、シャジクモ、ジュズフラスコモ、ミズワラビ、カワヂシャ、ミズマツバ、ミズアオイの6種が記録された。

(i) 土壌深さについて

土壌の深さが増すほど、水生植物の種数と個体数が減少するという傾向が見られた（図-3）。0~10cmと10~20cmの土層の比較を行うと、個体数は著しく減少するのに対し、種数には違いが見られなかった（図-3）。また、鋤床層のある調査地点（No. 1~No. 5, No. 8, No. 9）であっても、土壌深さ50cmまで水生植物の発芽が記録された（図-4）。外来種は、20~30cmの土層をのぞくすべての土層において発芽した（図-3）。在来種において水生植物と水生植物でない種の間、違いは見出せなかった（図-3）。図-5に撒き出し試験により得られた個体数と土壌深さの関係を示す。個体数の対数値と土壌の深さとの間には、強い負の相関が認められた（回帰係数 $r = -0.977$ ）。

絶滅危惧種のうち、ミズワラビとミズマツバは、表層に近い土壌深さから多く発芽する傾向があった（図-6）。一方、シャジクモおよびジュズフラスコモは、土壌深さ40~50cmにおいても発芽が記録された（図-6）。ミズアオイは調査地点No. 7において10~20、20~30cmの土壌深さにおいて1個体ずつが発芽した。

外来種については、アメリカミズキンバイは、表層に近い土壌で最も多く発芽するものの深部まで発芽し、ホソバヒメミソハギは、表層付近のみから発芽が見られた（図-6）。

調査地点No. 2およびNo. 6の深さ50cmの土壌堆積物の年代は、それぞれ 560 ± 30 年、 930 ± 30 年であった。

4. 考察

土壌の深さが増すほど、水生植物の種数と個体数が減少するという傾向が見られた（図-3、4）。土壌堆積物の年代は、既往研究とほぼ一致する内容であった²⁷⁾。横大路付近の粘土層の年代

図-6 絶滅危惧種あるいは外来種の発芽した土壌の深さ

測定によると、土壌深さと絶対年代はほぼ比例関係にあることが示されており²⁷⁾、図-5でわかった土壌深さが大きくなると個体数が指数関数的に減少することと合わせて考えると、土壌シードバンク中の生存種子の量は、時間経過とともに指数関数的に減少するという知見が得られる。このことは既往文献²⁸⁾と一致している。

土壌深さが大きくなると生存種子の数が減少する原因としては、一般に、土壌深さが大きくなるほど堆積年は古くなり、深い層の散布体ほど生存率が低くなると、地表面からの散布体の供給が考えられる。これは、土壌採集地点の5 m以内で生育が確認されたミズワラビとミズマツバは、現地で生育が確認されなかったシャジクモやジュズフラスコモ、ミズアオイと異なり、表層0-10cmからの発芽が多かったことから推察された(図-6)。

シャジクモやジュズフラスコモ等では、深さ40-50cmの土層からも発芽が確認された(図-6)。放射性土壌堆積物の推定年代は約560-930年前であった。これが直ちに散布体の生産された年代であるとは限らない。土壌動物や植物の根の活動、地震によるひび割れ等の影響を受けて、微小な散布体が土壌の深部に移動したことが考えられる。車軸藻植物については、数十年たった散布体バンク(胞子バンク)により植生の回復の可能性があることが報告されており²⁹⁾、干拓後50年以上が経過した本研究の結果と一致する。車軸藻植物は、散布体が長寿命であり、深さ40-50cmの土層からも発芽する可能性があると考えられる。

湛水条件については、種により発芽に適した条件があること、全体でみると5cm区よりも0cm区の方が、種数、個体数ともに多いことがわかった(表-2)。これは、Liuら¹²⁾の結果と一致していた。

土壌シードバンクを用いた植生復元を行う場合、外来種の種子を含まない土壌を用いることが望ましい²⁸⁾。本研究においては、土壌深さ20-30cmの土層において外来種の種子発芽が見出されなかった(図-3)が、土壌中の散布体バンクの分布は局所的であるため、さらに検討が必要である。

5. まとめ

干拓後50年以上が経過した干拓地において、土壌深さ50cmまでの土壌を採集し、撒き出し実験を行った結果、6種の絶滅危惧種の発芽が確認された。これらには、現在生育が確認されていないジュズフラスコモやミズアオイが含まれており、土壌中の散布体バンクを利用した自然再生の有効性が示された。また、土壌の深さが増すほど、発芽する水生植物の種数と個体数は指数関数的に減少するという傾向が見られた。この原因としては、散布体の寿命と、地表からの散布体の供給が考えられた。絶滅危惧種であるシャジクモやジュズフラスコモは、土壌深さ40-50cmの層からも発芽することが明らかとなった。

巨椋池干拓地、横大路沼干拓地における、土壌シードバンクを用いた植生復元の可能性が示唆された。しかし、外来種の埋土種子との混在があること、季節的シードバンクを形成する種では植生復元が困難であり永続的シードバンクを形成する種に限られること²⁸⁾などについては、さらに検討が必要である。

図-7 各調査地点における水生植物の発芽種数及び個体数

引用文献

- 1) 山崎明男 (2006) : 日本の干拓地:農林統計協会, 227 pp
- 2) 滋賀県 (2008) : 早崎内湖再生計画案:滋賀県ホームページ<http://www.pref.shiga.jp/d/biwako/hayasaki_naiko/hayasaki_01.htm>, 2008.9.1 参照
- 3) 河北潟自然再生協議会 (2002) : 河北潟の自然再生構想:河北潟自然再生協議会ホームページ <http://sizensaisei.yupapa.net/>, 2008.9.1 参照
- 4) 百原新・上原浩一・藤木利之・田中法生 (2001) : 千葉県手賀沼湖底堆積物中の埋土種子の分布と保存状態: 筑波実験植物園研究報告 20, 1-9
- 5) 亀山章 (2002) : 生態工学: 朝倉書店, 168 pp
- 6) 佐合隆一 (1995) : 農耕地における埋土種子: 雑草研究 40(4), 252-261
- 7) 嶺田拓也・沖陽子 (1997) : 雑草防除法, 耕起法および作付け様式の異なる水田における埋土種子の比較: 雑草研究 42(2), 81-87
- 8) 伊藤浩二・加藤和弘・高橋俊守・石坂健彦・藤原宣夫 (2003) : 河川氾濫原における土壌シードバンクの分布特性と水流の影響: ランドスケープ研究 66(5), 591-594
- 9) 荒川香織・亀山章 (2006) : 河川氾濫原の埋土種子の分布と発芽特性: 日本緑化工学会 32(1), 56-61
- 10) 西廣淳・高川晋一・宮脇成生・安島美穂 (2003) : 霞ヶ浦岸域の湖底土砂に含まれる沈水植物の散布体バンク: 保全生態学研究 8, 113-118
- 11) Bonis, A. and Lepart, J. (1994): Vertical structure of seed banks and the impact of depth of burial on recruitment in two temporary marshes: Vegetatio 112, 127-139
- 12) Liu, G., Zhou, J., Li, W. and Cheng Y. (2005): The seed bank in a subtropical freshwater marsh: implications for wetland restoration: Aquatic Botany 81, 1-11
- 13) 巨椋池土地改良区 (2001) : 巨椋池干拓六十年史: 巨椋池土地改良区, 102 pp
- 14) 佐合隆一 (1984) : 京都大事典: 淡交社, 965 pp
- 15) 三木茂 (1927) : 巨椋池の植物生態: 京都府史跡名勝地調査会報告 8, 81-145
- 16) 国土交通省 (2006) : 近畿圏の都市環境インフラのグランドデザイン: 環境省ホームページ<http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha06/02/020809_.html>, 2008.9.23 参照
- 17) 角野康郎 (1994) : 日本水草図鑑: 文一総合出版, 179 pp
- 18) 佐竹義輔・大井次郎・北村四郎・亘理俊次・富成忠夫 (1981) : 日本の野生植物 草本Ⅲ 合弁花類: 平凡社 259 pp
- 19) 佐竹義輔・大井次郎・北村四郎・亘理俊次・富成忠夫 (1982) : 日本の野生植物 草本Ⅰ 単子葉類: 平凡社 305 pp
- 20) 佐竹義輔・大井次郎・北村四郎・亘理俊次・富成忠夫 (1982) : 日本の野生植物 草本Ⅱ 離弁花類: 平凡社 318 pp
- 21) 清水建美編 (2003) : 日本の帰化植物: 平凡社 337 pp
- 22) 環境省 (2007) : レッドデータブック: ホームページ<<http://www.rdbplants.jp/>>, 2008.9.1.参照
- 23) レッドデータブック近畿研究会 (2001) : 改訂・近畿地方の保護上重要な植物 レッドデータブック近畿 2001: 平岡環境科学研究所, 164 pp
- 24) 京都府: 京都府レッドデータブック: ホームページ<<http://www9.pref.kyoto.lg.jp/kankyo/rdb/index.html>>, 2008.9.16 参照
- 25) 山根一郎 (1982) : 水田土壌学: 農山漁村文化協会, 347 pp
- 26) 坂東忠司・谷川幸江・櫻井真由美 (2001) : 巨椋池干拓地(京都)の植物相: 京都教育大学環境教育研究年報 9, 85-99
- 27) 林屋辰三郎・藤岡謙二郎 (1974) : 宇治市史 2: 宇治市役所, 577 pp
- 28) 鷺谷いづみ・草刈秀紀 (2003) : 自然再生事業—生物多様性の回復をめざして: 築地書館, 371 pp
- 29) Bonis, A. and Grillas, P. (2002) : Deposition, germination and spatio-temporal patterns of charophyte propagule banks: a review: Aquatic Botany 72, 235-248