〔研究ノート〕

神奈川県秦野市の水田から採取された土壌散布体バンクの種組成

藤吉 正明*・深谷 玲奈*・高松 愛子*・川口 幸恵*・江川 絢子*・小室 俊介*・中山 史隆*・藤森 大輔*・小澤 空*・小野 風香*・赤司 健太郎*・志賀 裕太*・吉野 佑基*・室田 憲一*

はじめに

秦野市は，一部平野が存在するものの，その大部分は北部の丹沢山地と南部の大磯丘陵に挟まれた盆地状の地形となっている。また，市内には，丹沢山地に源を発する四十八瀬川，金目川，水無川，葛葉川などの複数の河川や，多くの湧水群が存在し，水に恵まれた環境を有している。そのため，秦野盆地周辺では，これらの豊かな水を利用した稲作農業が盛んであり，人と自然とのつながりの深い里山的風景が維持されてきた。

一方で秦野市は，首都圏の中核都市として発展してきた経緯があり，戦後70数年間で里山的環境は大きく変化した。また，農業従事者の減少や農業形態の変化から，近年では耕作が放棄された水田も増加している。さらに水田内の素堀り水路のような自然水路は，コンクリート水路に置きかわり，生物の定着を困難なものにした。この様な水辺環境の変化によって，それらの環境を好む生物が減少している。秦野市では，2005年より里地里山保全再生モデル事業がスタート（里地里山保全再生モデル事業，2005）し，地元行政を中心とした「生き物の里」と呼ばれる水辺生物保全地区の維持管理活動（秦野市役所，2016）や多くの市民ボランティアグループによる水辺環境の保全を目的とした活動が進められている。

近年，水辺の水生植物保全の一手法として，土壌中に存在及び休眠する種子などの活用が注目されている。その研究では，河川や水田，湖沼などの水辺湿地の土壌シードバンクや散布体バンク（種子・胞子・栄養繁殖体などの集団）を用いた植生復元や多くの希少種出現などが報告されている（今橋・鷲谷1996，越水ら1997，西廣ら2003，黒田ら2009，今西ら2012，林2013）。西廣ら（2003）では，霞ヶ浦沿岸の湖底土砂の散布体バンクから絶滅危惧種に選定されているリュウノヒゲモやオオトリゲモなど９種の沈水植物が確認されている。また，越水ら（1997）では，土壌シードバンクから出現した植物種は，調査地に生育していた植物とほぼ同

受理日2018年11月28日
＊教養学部人間環境学科自然環境課程

じであったらことから，植生復元のための種子材料として有効であることも報告されている。このように，土壌中に休眠状態で存在している散布体を活かすことは，地域の水辺植物保全をさらに推進し，生物多様性を高めることにもつながるため，それらの積極的な利用が望まれる。

本研究では，水辺管理などの保全活動が行われている秦野市の水田土壌において，散布体バンクの中にどのような湿生及び水生植物が存在しているのかを明らかにするため，採取した土壌を撒き出し，栽培することで発芽実生の記録を行った。本研究では，調査地水田内の畦で囲まれた区画を「本田」と呼ぶことにするが，具体的には３つの条件の異なる本田土壌を用いて実験を行った。実験の種類としては，調査地内の耕作が行われている本田内からの出現種の把握（実験 A），耕作本田周辺のタイプの異なる湿地からの出現種の把握（実験 B），長期間稲作が行われていない休耕本田からの出現種の把握（実験 C）とした。

方法

調査地

調査地は，神奈川県西部に位置する秦野市内（名古木）の斜面に形成された区画整備の行われていない階段状の棚田とした（図１）。本調査地は，環境保全に取り組む NPO 団体により管理が行われている。また，その棚田内水路は，U 字溝などの人工物は一切使用されていなく，全て人の手により掘られた自然水路となっている。水田は，中央に小川が存在し，その両脇に水田が作られている。

実験 A の土壌は，調査地内に存在する30ヶ所の本田から採取した（図１）。対象の本田は，

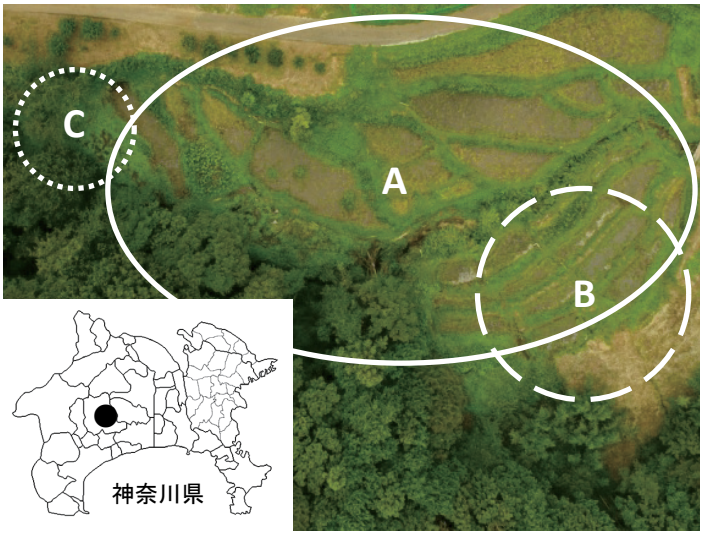


図１　調査地と土壌採取場所
神奈川県内の黒丸が調査地を示す。
A：耕作が行われている30ヶ所の本田を含む（実験 A の土壌採取地）
B：耕作本田とその周辺の湿生植物群落を含む（実験 B の土壌採取地）
C：20年以上耕作が行われていない休耕本田（実験 C の土壌採取地）

毎年全て代かきが行われているが，その年の都合により稲作が行われない本田も存在した。それら全ての本田は，１年を通してほぼ冠水状態であり，湿田となっていた。実験Ｂの土壌は，山際の湿田とし，そこに存在する本田に加えて，本田周辺の湿地に低茎草本群落（ミゾソバ・イヌビエ・イヌホタルイ・アゼガヤツリなど）や高茎草本群落（主にヨシ）が形成されている群落内からも採取した（図１）。実験Ｃの土壌は，棚田の最下流部に位置し，そこは少なくとも20年以上にわたり稲作が行われていない休耕本田から採取された（図１）。その休耕本田には，ヤマグワやヤナギ類，イヌシデ，エノキなどの樹高５～10 m 程度の樹木が散在し，その林床は薄暗い環境で春から秋までクサヨシやミゾソバなどが広がっていた。

土壌採取

本研究では，調査地に存在する大小様々な大きさの本田及びその周辺湿地の土壌を実験ごとに分けて，冬期の１月もしくは２月に採取した。

実験Ａでは，調査地Ａの範囲に存在する30ヶ所の本田から，それぞれ35個の土壌試料を採取した。採取に用いた土壌コアは，小さな円柱型容器（直径５cm× 深さ５cm）を使用し，容器は小さいが広域的にサンプル数を増やすことで本田内の出現植物の割合を高めた。一方，実験ＢとＣでは，それぞれの調査地から，大きな円柱型容器（直径10 cm× 深さ33 cm）を使用してより深い場所からの土壌散布体の出現を試みた。実験ＢとＣの試料数は，40と60であった。

撒き出し栽培実験

調査地Ａ・Ｂ・Ｃから集められた土壌は，採取後すぐに栽培容器（内寸37 cm×25 cm× 高さ14 cm）に移し，水を注ぎ入れた。その後，容器内の水量は，栽培開始から終了の11月末まで，約10ヶ月間雨水もしくは散水することで水深10cm 前後を維持した（図２）。調査地Ａ・Ｂ・Ｃの容器数は，それぞれ30，40，60であった。

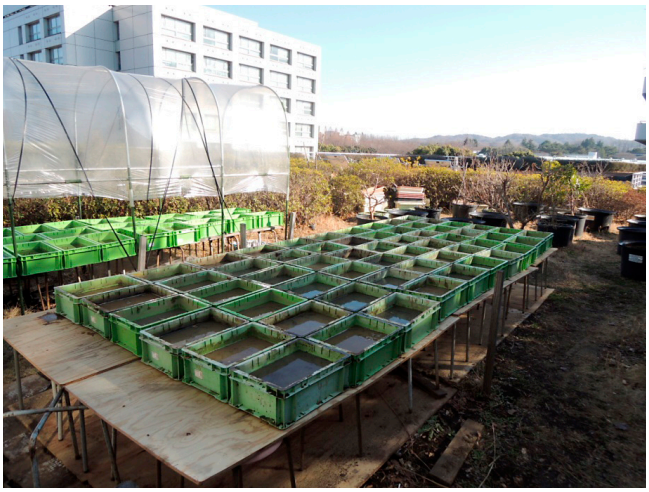


図２　撒き出し栽培実験の様子

栽培１ヶ月後から，容器内に土壌散布体由来の実生が確認され始め，その後生長した植物体の形態や開花を確認し，定期的に種の同定を行った。同定には，神奈川県植物誌調査会編（2001, 2018）を活用した。

結果及び考察

耕作本田土壌からの出現種（実験 A）

撒き出し栽培実験の結果，17科26種の植物が確認された（表１）。本田の代表的な種としては，栽培作物であるイネやマコモ，イヌビエ，タイヌビエ，オモダカ，コナギ，アゼナ，コウガイゼキショウ，タマガヤツリ，イヌホタルイ，キカシグサなどが確認された。中でも，オモダカとコナギ，アゼナ，イヌホタルイは，個体数も多く確認された。その他，本田内の浮遊植物であるコウキクサ，ウキクサ，イチョウウキゴケも確認された。調査地は，市街地から離れた丘陵地の棚田になっていることから，外来種はアメリカセンダングサ１種と少なく，その他25種は在来種という内訳であった。土壌を採取した調査地では，本田以外の畦畔や草原含めて現存植生が明らかにされており，57科214種の植物が確認されている（藤吉ら未発表）。その本田内の結果と比較してみると，本実験で出現した植物種は全て現存植生でも確認されていた。

また，近年個体数が減少し，絶滅危惧種に指定されているコケ植物のイチョウウキゴケ，シダ植物のミズニラ，種子植物のイトトリゲモが確認された。イチョウウキゴケは，イチョウの葉に似た扇形をしており，主に分裂することで，個体数を増やしていった。ミズニラは，植物体全体が柔らかく，葉の付け根に胞子嚢を形成していた（図３A-B）。ミズニラは異形胞子性であり，大胞子と小胞子が別々の胞子嚢で生み出されていた（図３C-D）。また，ミズニラ同様に，イトトリゲモも植物体全体が柔らかく，節ごとにすぐちぎれてしまう状態であった。イトトリゲモは，主に節に大きさの異なる種子を２つ形成し，その種子表面の模様は縦長であった（図３E-G）。イトトリゲモは，本田水中で沈水もしくは浮遊状態で生育していた（図３H）。それらの危惧度のカテゴリーとして，イチョウウキゴケは，神奈川県において絶滅危惧Ⅱ類，環境省において準絶滅危惧種に選定されている（高桑ら2006，環境省2018）。ミズニラは，神奈川県のカテゴリーとして絶滅危惧ⅠB類，環境省のカテゴリーとして準絶滅危惧種に選定されている（高桑ら2006，環境省2018）。イトトリゲモは，神奈川県のカテゴリーとして絶滅危惧Ⅱ類，環境省のカテゴリーとして準絶滅危惧種に選定されている（高桑ら2006，環境省2018）。イチョウウキゴケとミズニラは，数ヶ所の本田土壌からしか出現していないが，イトトリゲモはほぼ全ての本田土壌から出現し，耕作本田に土壌散布体が広範囲に分布していることが確認された。このように，散布体バンクからの出現における個体数の差はあるものの，３種の絶滅危惧種が耕作本田中の土壌散布体バンクから出現したことは，貴重な記録となった。

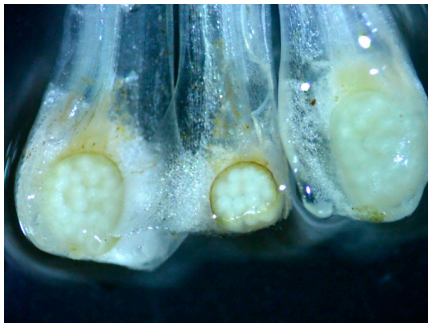
タイプの異なる湿地土壌からの出現種（実験 B）

実験Ａでは，神奈川県における絶滅危惧種３種が確認され，その中でもイトトリゲモが広範囲の本田から確認された。そのため，実験Ｂでは本田に加え，その周辺の湿生植物群落内

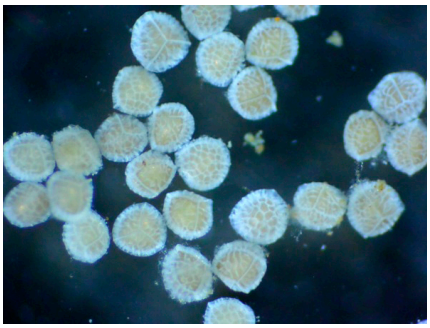
表１　実験Ａの撒き出し法により確認された植物の目録

分類	科名	和名	学名
コケ植物	ウキゴケ科	イチョウウキゴケ	*Ricciocarpos natans*
シダ植物	ミズニラ科	ミズニラ	*Isoetes japonica*
種子植物	サトイモ科	コウキクサ	*Lemna minor*
		ウキクサ	*Spirodela polyrhiza*
	オモダカ科	オモダカ	*Sagittaria trifolia*
	トチカガミ科	イトトリゲモ	*Najas japonica*：*Najas gracillima*
	ツユクサ科	イボクサ	*Murdannia keisak*
	ミズアオイ科	コナギ	*Monochoria vaginalis*
	ガマ科	ガマ類	*Typha* spp.
	イグサ科	コウガイゼキショウ	*Juncus prismatocarpus* subsp. *leschenaultii*：*Juncus leschenaultii*
	カヤツリグサ科	タマガヤツリ	*Cyperus difformis*
		マツバイ	*Eleocharis acicularis* var. *longiseta*
		ハリイ	*Eleocharis congesta* var. *japonica*：*Eleocharis japonica*
		イヌホタルイ	*Scirpus juncoides*
	イネ科	イネ	*Oryza sativa*
		マコモ	*Zizania latifolia*
		ヨシ	*Phragmites australis*
		イヌビエ	*Echinochloa crus-galli* var. *crus-galli*
		タイヌビエ	*Echinochloa oryzicola*
	ミソハギ科	ヒメミソハギ	*Ammannia multiflora*
		キカシグサ	*Rotala indica*：*Rotala indica* var. *uliginosa*
	アカバナ科	チョウジタデ	*Ludwigia epilobioides* subsp. *epilobioides*：*Ludwigia epilobioides*
	タデ科	ミゾソバ	*Persicaria thunbergii* var. *thunbergii*
	ゴマノハグサ科	アゼナ	*Lindernia procumbens*
	キク科	アメリカセンダングサ	*Bidens frondosa*
	セリ科	セリ	*Oenanthe javanica* subsp. *javanica*：*Oenanthe javanica*

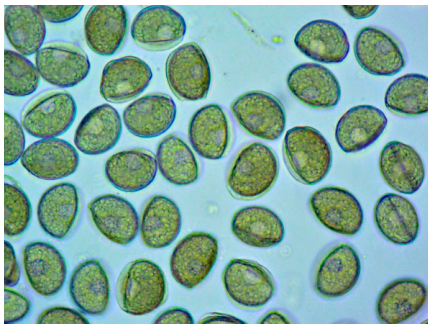
A：ミズニラの形態



B：ミズニラの胞子嚢



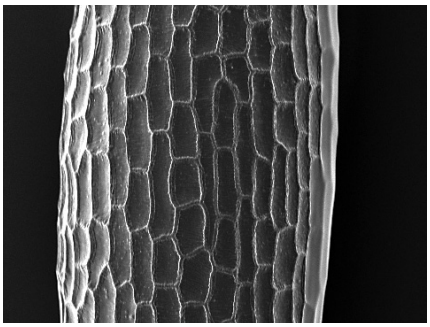
C：ミズニラの大胞子



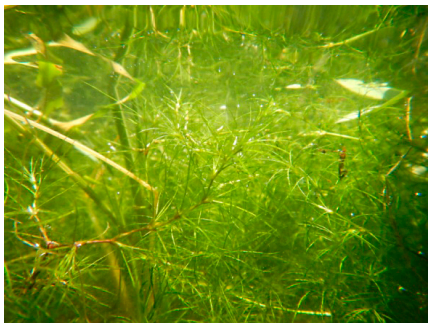
D：ミズニラの小胞子

E：イトトリゲモの形態

F：種子と葉鞘の形態



G：種子表面の模様



H：水中での生育の様子

図3　埋土種子発芽により確認されたミズニラとイトトリゲモ

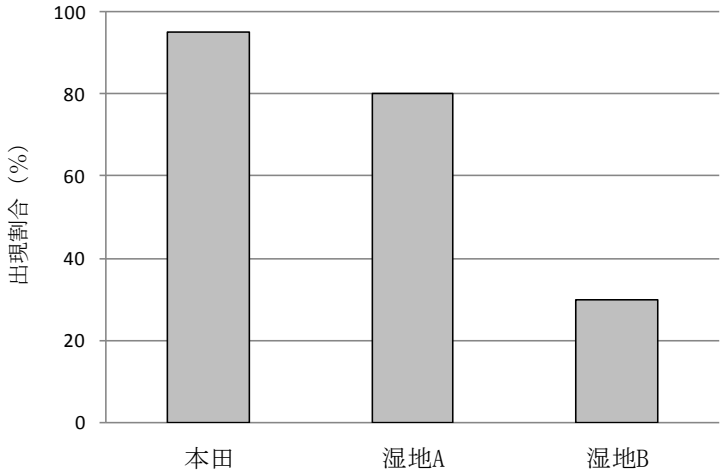


図４　実験Ｂの撒き出し法により確認されたイトトリゲモの出現割合
本田は、稲作が行われている耕作田である。湿地Ａは、低茎草本群落の湿地である。湿地Ｂは、ヨシが優占する高茎草本群落である。

の土壌も対象にして，撒き出し栽培実験を実施した。その結果，本田内の土壌を撒き出した栽培容器からは，95％という高い確率でイトトリゲモの出現が確認された（図４）。一方，本田周辺に存在する湿生植物群落の土壌からは，ヨシが密生している群落で30％，ヨシ以外の草本植物が生育している群落では80％という割合でイトトリゲモが記録された（図４）。湿生植物群落の植物の移り変わり（遷移）においては，低茎草本群落から高茎草本群落へ移り変わることが知られており，湿地における高茎草本の代表はヨシである（沼田1969）。そのため，ヨシが密生しているヨシ群落はより時間が経過した群落と言える。ヨシ群落の形成にかかる時間については，その種子供給源になる別のヨシ群落の存在が必要不可欠になるが，本調査においてはヨシ群落が比較的近いところに存在しているため，群落形成までにそれほど時間がかかっているとも思えないが，それを考慮に入れたとしても数年程度でできる群落ではない。そのため，本調査地におけるヨシ群落の形成には，少なくとも10年以上の時間は経過していると推測される。そのような状態の土壌散布体バンクの中から30％とはいえ，イトトリゲモの発芽が確認されたのは驚きである。これらの結果より，イトトリゲモの種子は，土壌散布体バンク中で長期間休眠状態が維持されていることが示唆された。

休耕本田土壌からの出現種（実験Ｃ）

本調査地には，20年以上にわたり耕作が行われていない休耕本田が存在し，そこから土壌を集めることで撒き出し栽培実験を試みた。その結果，オモダカ，アゼナ，イヌホタルイ，ミズニラ，タマガヤツリ，ガマ類，コナギ，キカシグサ，アメリカセンダングサ，コウガイゼキショウ，チョウジタデの10科11種の植物が確認された。出現割合の高かった植物としては，オモダカ68％，アゼナ55％，イヌホタルイ52％，ミズニラ50％であった（図５Ａ）。その他の植物は，数％から25％までの出現割合であった。それら11種の出現個体数は，ほぼ割合と同様の結果で

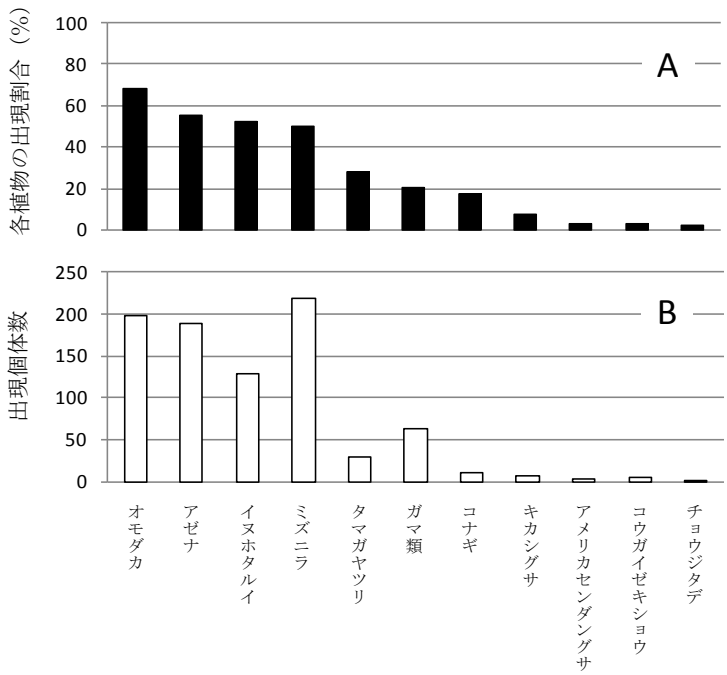


図５　撒き出し法により確認された各植物の出現割合と個体数

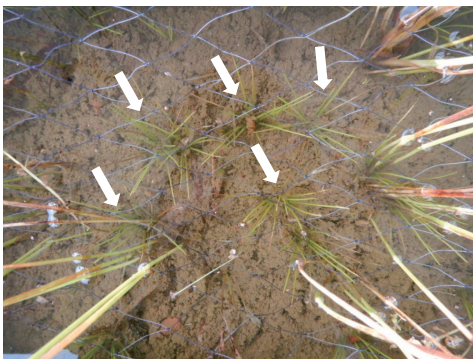


図６　休耕本田散布体バンクからの撒き出し法により出現したミズニラ（矢印がミズニラを示す）

図７　休耕田に生育するミズニラ個体群（矢印がミズニラを示す）

あったが，50％頻度で確認されたミズニラが最も個体数（219個体）が多く，容器中に複数のミズニラ個体が観察された（図５B，図６）。藤吉ら（2019）では，本調査地において現存する植物の調査が実施されており，その調査でミズニラも確認されているが，その個体数はわずか６個体のみである。その極めて個体数が少ないミズニラが，休耕本田の土壌散布体バンクから多数出現したということは，注目すべき結果である。ミズニラの生育特性を明らかにした研究では，ミズニラの生育を高めるためには30％以上の遮光を行うことが必要（黒田・勝野2013，小島ら2015）との見解もあることから，樹木や多くの植物が生育することで被陰状態となった

休耕本田の環境がミズニラの生育を促しもしくは良好な生育環境を生み出し，胞子などの散布体量の増加につながったものと推測される。実際，休耕本田中には，良好なミズニラ個体群も確認された（図７）。

土壌散布体バンクの保全活動への活用に向けて

本研究では，水田土壌の散布体バンクを通して，神奈川県で絶滅危惧種に指定されている３種の水生植物の確認や現在耕作を行っている本田以外の場所からもそれらが複数個体観察され，水田の自然植生復元に向けた土壌散布体活用の有効性が示された。しかしながら，水田であればどこの土壌散布体バンクからも絶滅危惧に指定されている希少な植物種が確認されるとは限らない。本研究の調査地は，地域の NPO 団体が2002年より耕作放棄地の水田を再生し，その後15年以上にわたりほぼ耕作機械を使用せず，かつ無農薬で有機質の肥料のみを用いた昔ながらの稲作栽培を行っている場所である。このような管理の影響もあり，この地域は周辺も含めて秦野市内でも生物多様性の高い地域となっている（NPO 法人自然熟丹沢ドン会編，2006，高橋ら2007，藤吉ら2010）。そのような活動があったからこそ，またそれが現在でも継続されているからこそ，このような良好な土壌散布体バンクにつながったものと思われる。

その土壌散布体バンクの実験では，調査地土壌を栽培容器内に撒き出し，水深10 cm 程度を保つ形で実験を行った。しかしながら，土壌散布体バンク中の植物繁殖体の中には，発芽や生長により多くの酸素を要求するものも存在するため，散布体土壌を冠水状態にするだけでなく，水位の低い湿潤状態でも発芽を促す必要があった。異なる水位条件で土壌散布体の撒き出し実験を行った八木ら（2009）では，湿潤状態で出現した植物種と冠水状態で出現した植物種は異なることが示されているため，本調査では土壌散布体バンクが過小評価されている可能性がある。そのため，湿潤状態での土壌散布体バンクの実験を追加し，土壌散布体バンクの再評価を行うことが必要である。

それに加えて，土壌散布体バンクから出現した希少植物種の保全も今後の重要な課題となる。水辺湿地などで行われた土壌散布体バンクの研究では，希少植物の出現が多く報告されている（西廣ら2003，今西ら2012，林2013）が，その出現した植物種の定着や維持管理については，外来種アメリカザリガニなどによる食害や他の植物による生育競争などで復元しても移植した希少種などがその後衰退・減少していく事例（林2013）が示されるなど，多くの課題が残されているのが現状である。そのため，水田の自然植生復元のための一手段としての土壌散布体バンクの有効性を明らかにしつつ，その研究で得られた希少植物を活用し，それらの植物定着及び維持管理のための実践研究も調査地で進めていくことが今後の課題である。

謝辞

本研究は，NPO 法人自然熟丹沢ドン会のご支援及びご協力により調査を実施することができた。また，東海大学教養学部人間環境学科の小栗和也博士には，植物種子の走査型電子顕微鏡観察においてご協力いただいた。ここに厚く御礼申し上げる。

引用文献

藤吉正明・北野忠・小早川和也・高橋耕平・羽生直人・渡邉将司，2010．秦野市の雑木林及び水田における指標生物を用いた環境評価の試み．東海大学教養学部紀要，**41**：283-301.

藤吉正明・深谷玲奈・市川佳奈・小栗和也・室田憲一，2019．秦野市名古木の水田に生育する絶滅危惧植物の記録．神奈川自然誌資料，**40**：15-18

秦野市役所，online. 秦野市役所環境産業部環境保全課，2016．生き物の里． http://www.city.hadano.kanagawa.jp/www/contents/1001000000491/index.html（accessed on 2018-September -8）

林紀男，2013．印旛沼・手賀沼における沈水植物再生の試みと課題．八郎湖流域管理研究，49-58.

今橋美千代・鷲谷いづみ，1996．土壌シードバンクを用いた河畔冠水草原復元の可能性の検討．保全生態学研究，**1**：131-147.

今西亜友美・小田龍聖・今西純一・夏原由博・森本幸裕，2012．琵琶湖の浚渫土中の散布体バンクの種組成と空間的分布．日本緑化工学会誌，**38**：85-90.

神奈川県植物誌調査会編，2001．神奈川県植物誌2001．1580pp．神奈川県立生命の星・地球博物館，小田原.

神奈川県植物誌調査会編，2018．神奈川県植物誌2018．1803pp．神奈川県立生命の星・地球博物館，小田原．電子版 PDF

環境省，online．環境省自然環境局野生生物課，2018．環境省レッドリスト2018．https://www.env.go.jp/press/105504.html（accessed on 2018- September -8）

小島仁志・黒田貴綱・島田正文・勝野武彦，2015．湿生植物ミズニラの保全に向けた流水環境下における生育・発芽特性．環境情報科学　学術研究論文集，**29**：29-32.

越水麻子・荒木佐智子・鷲谷いづみ・日置佳之・田中隆・長田光世，1997．土壌シードバンクを用いた谷戸植生復元に関する研究．保全生態学研究，**2**：189-200.

黒田英明・西廣淳・鷲谷いづみ，2009．霞ヶ浦の浚渫土中の散布体バンクの種組成とその空間的不均一性．応用生態工学，**12**：21-36.

黒田貴綱・勝野武彦，2013．希少種ミズニラの保全・管理に向けた基礎的な生育特性把握．環境情報科学　学術研究論文集，**27**：17-20.

西廣淳・高川晋一・宮脇成生・安島美穂，2003．霞ヶ浦沿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.

NPO 法人自然熟丹沢ドン会編，2006．名古木の水生生物・ほ乳類と野の花たち．59pp．夢工房，秦野.

沼田真，1969．図説　植物生態学．286pp．朝倉書店，東京

里地里山保全再生モデル事業，online．里地里山保全再生モデル事業神奈川秦野地域事務局，2005．はだの里地里山，http://satochi.net/hadano/archives/aa_aboutus/（accessed on 2018-September -8）

高橋史帆・菅原のえみ・加藤寛子・井上和宏・座安彰男・大嶋千尋・三上雄司・関本真央里・石川康裕・関晋平・北野忠・藤吉正明，2007．秦野市名古木における水田の植物相．東海大学教養学部紀要，**38**：13-26.

高桑正敏・勝山輝男・木場英久　編集，2006．神奈川県レッドデータ生物調査報告書2006．442pp．神奈川県立生命の星・地球博物館，小田原.

八木健爾・関岡裕明・渡邉修・嶺田拓也・鈴木正貴，2009．異なる水位における土壌シードバンクからの水田雑草の発生．日本緑化工学会誌，**35**：178-181.