

河川・海岸環境の再生 絶滅危惧種の埋土種子からの復元

名古屋工業大学 社会工学科 准教授 増田 理子
京都大学大学院 工学研究科都市環境工学専攻 准教授 西村 文武

1. はじめに

河川、海岸は水流によって、攪乱、堆積、流出などが継続的におこり、維持されてきた環境である。この作用が生物にとって特徴のある多様な生育環境を形成してきた。しかし、高度経済成長に伴い、水辺空間は安全のためから環境が劇的に変化してしまった。河川は氾濫防止のため低水敷と高水敷に区分され、河道が変化することがまれになった。さらに、ダムなどの建設によって水位が一定に保たれることになり、降雨時においても堤防の内部が攪乱されることはほとんど無くなってしまった。攪乱が無くなったため、河川は安定した環境となり、遷移が進んだ。攪乱のない安定した環境ではこれまで出現しなかったような競争力の強い植物が生育し、多様性の高い河川植生はほとんど見られなくなってしまった。また海岸部では港湾の整備、レジャー環境の整備によって、自然海岸が失われ、多くの植物が絶滅危惧種として記載されている。レッド・データ・ブックによると¹⁾河川、海岸部に生育する植物の多くが保護を必要としていると報告されている。

平成9年、自然開発が進むにつれて、国民の環境への関心が高まってきたのを受けて、河川法が一部改正された。河川環境の整備については治水・利水に加え環境についても検討することが義務づけられた。これにともない、様々な環境に対する配慮がなされた河川改修が行われてきている。自然景観を考慮した上での護岸整備などが行われつつある。また、海岸部ではラムサール条約の登録地が日本国内でも増えることにより、海岸の生態系の保護が考えられるようになってきている。

その流れを受けて、これまで、様々な河川、海岸部で環境保護のための生態系の復元がなされてきている。多自然型川づくりは河川整備を環境に配慮して行おうという取組の一例である。生態系の復元には、植生回復が必要である。この植生復元の方法としては挿し木や地下茎など植物体の一部、すなわち、クローンを利用する方法と、種子や栽培した植物個体を利用する方法がとられている。クローンを利用する方法については古くは柳を用いて挿し木をする柳枝工など、伝統的河川工法などが現

代でも利用されるようになってきている²⁾。種子を利用する方法としては、別の地域に生育する植物から種子を採集する方法と埋土種子を用いて再生する方法がある。

別の生育地から種子を採集し、自然植生を復元することは、現在、あまり推奨されていない。植物は固着性であるため、長距離の移動が難しい。そのため、各地域で独自の分化をとげ、遺伝的な多様性が保たれている場合が多い。特に河川などでは河川間の流動は頻繁ではなく、河川内の流動が盛んであることも指摘されている。このため、他地域から採取した種子で環境の復元はあまり望ましくないと考えられている。

もう一つの再生方法の埋土種子とは土壌中や土壌表面の腐植層に発芽することなく保存されている種子の集団のことである。そのうち、一年以上の期間を連続して存在するものは永続的埋土種子と呼ばれる。特に、発芽条件が満たされないために永続的に存在する埋土種子は植物個体群の維持や、攪乱後の植生回復に重要な役割を果たすと考えられている^{3), 4), 5)}。それは自然の持つ回復力を生かすというだけでなく、生物の遺伝的多様性を持つ植生の復元が可能であるというメリットを持っている。又、永続的埋土種子には100年をこえる寿命を持つ種子が含まれている。そのため、埋土種子内には過去の植生の歴史が組み込まれており、すでに地上部植生が破壊されたあとでも、その地域固有の植生を復元できる可能性がある。とくに、水辺や湿地では埋土種子集団が形成されやすく、河川環境では植生復元の材料として埋土種子は有望であると考えられており、ダム建設の際の植生回復では先駆的な例が知られている^{6), 7), 8)}。

これまでの研究例はほとんど河川に限られている。海岸部での埋土種子の形成についてはほとんど調べられて来なかった。この理由としては耐塩性のある植物の発芽があまり調べられていないことが上げられる。また、塩分濃度の高い条件下で埋蔵種子の形成が可能かどうかについてもほとんど検討されていない。

そこで、本研究では海岸部に生育するギシギシ (*Rumex japonicus*)、ウラギク (*Aster tripolum*)、ヨシ (*Phragmites australis*) の種子の発芽特性について、様々な塩分条件下での休眠解除の条件、発芽速度、発芽率、未発芽種子の休眠解除についての実験を行い、埋

蔵種子集団からの個体群の復元の可能性について検討を行った。

2. 実験方法

(1) 材料

ギシギシ (*Rumex japonicus*) はやや湿ったところに生える高さ0.6から1mの多年生草本で、日本全国に分布している。海岸部から山地まで植生の少ない比較的荒れたところに生える。

ウラギク (*Aster tripolum*) は海岸近くや内陸産の塩分のある湿地にしばしば大群生する高さ25～55cmの越年生草本である。関東以西の太平洋側、四国、九州に分布している。海岸域の開発によって生育地が減少し、絶滅危惧種II類 (VU) として日本のレッド・データ・ブックに記載されている。

ヨシ (*Phragmites australis*) は、池や沼、河岸などに生える高さ1.5～3mの多年草である。太い地下茎を張り巡らし、大群落をつくる。生育地は日本全土に及び、河川上流部から河口部の汽水域までいたる所に見られる。特に河川では広大な湿地群落を形成し、種多様性の宝庫とも言われる生物多様性の宝庫を形成する。

それぞれの種が海岸部で埋土種子をつくることが出来るかどうかを検討するため、それぞれの種の耐塩性、発芽率についての実験を行った。

(2) 採集地・採集方法

ギシギシ、ウラギクは愛媛県宇和島市津島町を流れる岩松川流域において1998年から2000年にかけて採集した。ギシギシは上流域、中流域、河口域、干潟域の4カ所から採集し、ウラギクは生育地の河口域のみで採集した。ヨシは1995年10月から11月にかけて福岡県の5カ所において採集した。種子採集は親個体ごとに分別して行い、各集団とも20～30親個体から60～180個の種子を採集した。採集した種子は黄熟のため室内で1ヶ月間自然乾燥させてから異物を取り除き、蒸留水で洗浄させ、乾燥させた。



図-1 ギシギシ、ウラギクのサンプリング場所



図-2 ヨシのサンプリング場所

一般的に野生植物の種子は散布時期には休眠状態にある。このため発芽適正温度条件下に置かれても発芽することはない。発芽能力、埋蔵種子の可能性を探るために、休眠条件を打破して発芽実験を行う必要がある。そこで採集した種子は発芽実験条件（ここでは蒸留水、200mMNaCl、400mMNaClの塩分濃度条件）におき、4で30日間または90日間、保存した。又比較のため、実験開始まで前処理を行わず、室温条件で保存する種子も用意した。

(3) 発芽実験

シャーレ (90mm) に濾紙 (Advantec #2 90mm) を一枚いれ、様々な塩分濃度条件 (に対する発芽能力の試験を行った。このとき、シャーレの塩分濃度が変化しないようにシーリングをして発芽試験をおこなった。

ギシギシの発芽試験は1998年9月1日から9月30日にかけて10親個体ごと、18条件 (3前処理条件×2発芽温度条件×3塩分濃度条件)、未発芽のものに関しては、再度、発芽試験の塩分条件を変え、蒸留水で再度試験を行った (11月1日から11月30日)。

発芽試験には段階的溫度処理発芽実験法 (GTM法)⁹⁾ を用いた。段階的溫度処理発芽実験では二つの系 (IT系: 恒温庫の温度を4 から36 まで4 ずつ上昇させる系, DT系: 恒温庫の温度を36 から4 まで4 ずつ下降させる系) を利用した。一般に生理的溫度域では温度が高くなるほど発芽速度が大きくなる事を考慮して、同一の温度にさらず期間は2日から8日とし温度が高くなるほどその期間を短くなるように設定した。それぞれの温度にさらず期間は4 が8日間, 8 が4日間, 12 が4日間, 16 が4日間, 20 ~36 が2日間とした。発芽数は温度を変化させるごとにカウントした。

ウラギクの発芽試験は2000年12月22日から2001年1月16日にかけて、20親個体から60個ずつの種子をサンプリングし、6条件下 (2温度条件×3塩分濃度条件) で発芽実験を行った。塩分濃度条件は冷湿処理を行った蒸留水、200mMNaCl、400mMNaClの3条件、温度条件は5 /12hr 15 /12hr と10 /12hr 20 /12hr の2条件で行った。未

発芽だった種子に関しては蒸留水の条件下で再度発芽試験を2001年2月1日から2月28日にかけて行った。

ヨシの発芽実験は1996年1月20日から2月20日にかけて行った。5カ所の生育地ごとに10親個体から60個の種子をサンプリングし、8条件下(2発芽温度条件×4塩分濃度条件、0mM NaCl, 100mM NaCl, 200mM NaCl, 300mM NaCl)で発芽実験を行った。未発芽のものに関しては、再度、発芽試験の塩分条件を変え、蒸留水で再度試験を行った(3月1日から3月31日)。発芽の温度条件は段階

的溫度処理発芽実験法を用いて行った。

3. 結果

(1) ギシギシの休眠性と発芽能力

実験の結果、ギシギシは生育地によって、耐塩性に違いがあることが示された。表-1は発芽実験の結果をまとめて示したものである。

表-1 ギシギシの発芽実験によって得られた干潟域、河口域、中流域、上流域から採集した種子集団の発芽率、発芽速度、発芽可能温度域、再実験後の発芽率

採集場所	塩分条件 (mMNaCl)	冷湿処理期間 (month)	発芽率(%)		発芽速度(/day)		発芽可能温度域 ()	再実験時の 発芽率
			IT	DT	IT	DT		
干潟	0	0	98±0.67	90±2.16	0.095	0.096	12-24	-
		1	98±0.67	89±2.18	0.100	0.104	4-36	-
		3	66±1.34	0	0.078		12-	-
	200	0	14±2.19	0	0.009		20-	96±1.33
		1	49±3.87	0	0.033		16-	93±2.21
		3	23±2.87	0	0.015		20-	-
	400	0	0	0				100±0.00
		1	0	0				100±0.00
		3	0	0				-
河口	0	0	90±2.11	89±2.67	0.082	0.103	12-32	-
		1	97±0.95	89±1.55	0.093	0.500	4-36	-
		3	64±3.66	0	0.066		12-	-
	200	0	0	0				91±1.52
		1	6±0.84	0	0.004		16-	90±1.76
		3	9±1.29	0	0.006		20-	-
	400	0	0	0				82±3.16
		1	0	0				85±3.24
		3	0	0				-
中流	0	0	87±1.8	61±3.37	0.091	0.071	12-20	-
		1	94±1.33	90±1.22	0.112	0.090	4-36	-
		3	44±1.51	0	0.029		12-	-
	200	0	0	0				86±1.51
		1	0	0				83±2.43
		3	6±1.33	0	0.004		20-	-
	400	0	0	0				93±1.32
		1	0	0				80±2.65
		3	0	0				-
上流	0	0	96±1.13	77±2.14	0.098	0.068	12-24	-
		1	100±0	87±1.50	0.090	0.168	4-36	-
		3	67±3.44	0	0.063		12-	-
	200	0	0	0				74±2.67
		1	6±1.51	0	0.004		20-	100±0.00
		3	7±0.95	0	0.005		16-	-
	400	0	0	0				77±3.72
		1	0	0				93±1.25
		3	0	0				-

干潟域および河口域の群落から採集した種子は200mM NaClの条件下でも発芽が可能であったが、中流域および上流域に生育する個体から採集した種子は蒸留水以外ではほとんど発芽が認められなかった。また、発芽しなかった種子を再度、蒸留水条件下で発芽実験した結果では、いずれの4地域からとった種子も90%近くの発芽率を示した。つまり、塩分濃度が高く発芽に適さない条件下にあっても種子が死亡することが無く、耐塩性があることが示された。また、冷湿処理は1ヶ月では休眠解除の効果が大きかったが、3ヶ月の処理では休眠が誘導された可能性が示唆された。この結果から塩分濃度が濃く、発芽しなかった種子でも発芽能力を失っておらず、条件を整えば発芽することが示された。

(2)ウラギクの休眠性と発芽能力

ウラギクの発芽実験の結果、ウラギクはいずれの塩分濃度条件下でも70%以上の発芽が認められた(図-3.4)。又、再実験において、発芽しなかった個体を含めた最終発芽率は棒グラフに示したとおり80%以上となった。特に400mM NaCl, 10 /20 の条件では他の条件に比べ最終発芽率が低かったが、再実験ではほぼ同様の発芽率まで回復した。この結果から、塩分濃度が高く発芽しにくい場合には埋蔵種子となって蓄積されることも可能であることが示された。また、温度条件は10 /20 と5 /15 の交代温度条件でも発芽速度、最終発芽率ともにそれほど違いは認められなかった。しかし、どちらの温度条件下でも、発芽速度は塩分濃度が高くなるに従って低くなるという傾向が認められた。

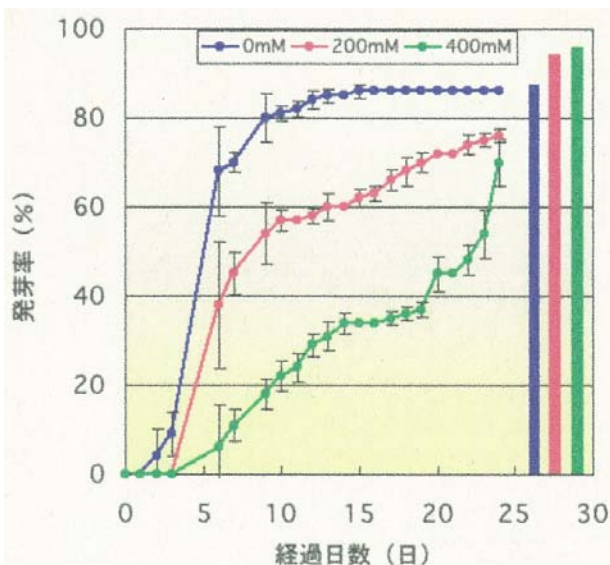


図-3 5 /15 交代温度条件下でのウラギクの発芽曲線。0mMNaCl, 200mMNaCl, 400mMNaClの実験後、発芽しなかった種子をすべて純水条件下において発芽実験を行った後の最終発芽率を右の棒グラフで示している。

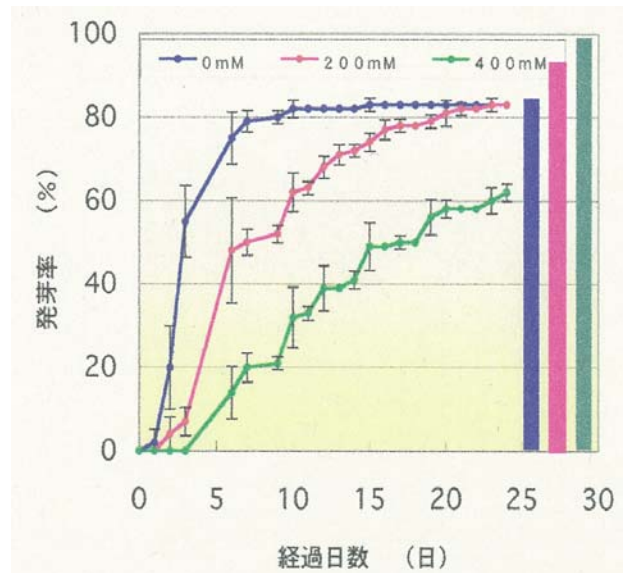


図-4 10 /20 交代温度条件下でのウラギクの発芽曲線。0mMNaCl, 200mMNaCl, 400mMNaClの実験後、発芽しなかった種子をすべて純水条件下において発芽実験を行った後の最終発芽率を右の棒グラフで示している。

(2) ヨシの休眠性と発芽能力

ヨシの発芽率の集団間変異、発芽速度の集団間変異は図-5、図-6に示した。ヨシは干潟から3集団、淡水域から2集団採集してきているが、0mM NaCl条件下での発芽率、発芽速度には生育域によって、有意な違いが見られた(t-test, $P < 0.05$)。干潟域のヨシ集団は淡水域のヨシの集団に比べ、いずれの塩分濃度条件下でも発芽速度が大きく、また、発芽率も高い傾向が認められた。又、未発芽種子を純水条件下に戻して発芽実験をした結果、いずれの種子も高い発芽率を示し(トータルで80%以上)、塩分条件下に置かれても種子が死亡することなく、耐塩性を持つことが示された。

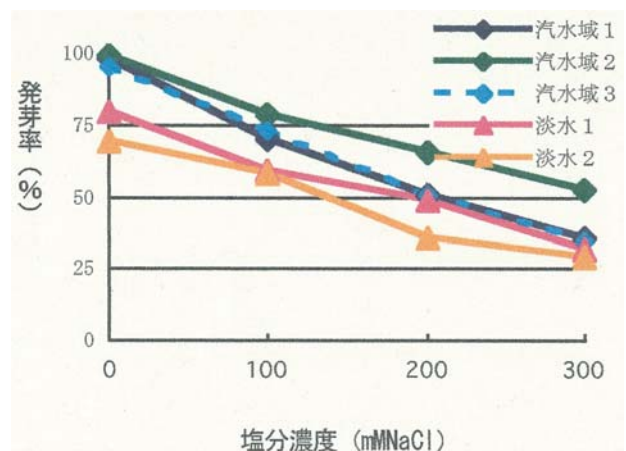


図-5 0mMNaCl, 100mMNaCl, 200mMNaCl, 300mMNaClにおける各集団のヨシの最終発芽率

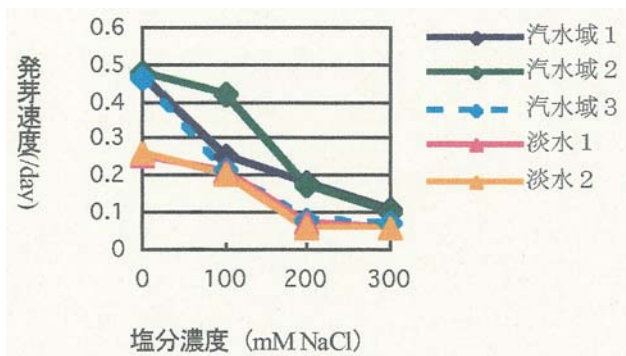


図-6 0mMNaClから300mMNaClにおける各集団のヨシの発芽速度

4. 考察

これまで、湿地における自然植生の復元では埋蔵種子集団が非常に大きな役割を果たすことが示されてきている。河川や湿地、ため池の堆積土から絶滅危惧種が復元した例が多々知られている^{10)・11)}。しかし、海岸の塩性湿地、干潟域における埋蔵種子集団のデータはほとんど考慮されていなかった。これは一つには塩性湿地に生育する植物の種子発芽があまり調べられていない現状を反映している。土壌水分中の塩分濃度は耐塩性植物の発芽における最も重要な要因である。耐塩性植物には様々なレベルの耐塩性が確認されている。塩化ナトリウム濃度は種子の発芽率を下げるが知られているが¹²⁾、一般的に耐塩性植物の種子は高塩分濃度条件下では純水中よりも発芽率が低いことが知られている。しかしながら一部の種子では (*Atriplex undulata*, *Desmostachya bipinnata*, *Suaeda, deprssa*, *S. fruticosa*, *Salsola baryosma*, *Salicornia bigelovii*, *S. Brachata*, *Ruppia tuberosa*, *Carex lyngbyei*) 高い塩分濃度条件下での発芽率が純水での発芽率よりも高いことが知られている。今回の実験で用いたギンギシ、ヨシはいずれも純水での発芽率の方が高塩分濃度条件下での発芽率よりも高いことが示され、多くの塩性湿地に生育する植物と同様の耐塩性が認められた。ウラギクに関してはどちらも異なり、塩分濃度に依存した発芽率の違いは認められなかった。

ギンギシは山地から海岸部の非常に広い範囲にわたって生育する植物である。このうち海岸部に生育する個体群は耐塩性を持っている可能性がある。今回の結果からはギンギシは生育地によって、耐塩性の度合いが異なることが示された。河口域、干潟域の個体群から採集した種子は200mM NaClの条件下でもある程度は発芽し、また、純水条件下での発芽速度も中流域、上流域よりも大きいことが示された。中流域、上流域の個体群由来の種子は純水以外ではほとんど発芽が確認されなかった。しかし、200mM NaCl, 400mM NaClで発芽しなかったいずれの個体群由来の種子も純水条件で再度発芽実験を行うと高い発芽率を示した。このことはすべての生育域におけるギシ

の種子は塩分条件下でも死亡することがないというレベルの耐塩性を持っていることが示された。また、干潟、河口などある程度の塩分濃度があるところに生育する個体群由来の種子は、低レベルの塩分濃度であっても発芽するという耐塩性を持っていることが示された。この個体群由来の種子は純水条件下においても中流域、上流域由来の種子に比べ発芽速度が速いことから、吸水能力が高く、種皮が薄いことで耐塩性を持っている可能性も考えられる。

ウラギクの発芽速度は塩分濃度が高くなるにつれて低くなる傾向があったものの、最終発芽率には影響を与えないレベルの耐塩性が確認された。この耐塩性はこれまでに確認された耐塩性のレベルとは異なり、塩分条件によらず一定の発芽率を持つという種子の発芽能力自体に耐塩性があることが示された。又、未発芽種子を純水条件に置くことによってさらに発芽率が高くなったことから埋蔵種子を形成する可能性も示された。これまでキク科植物の休眠性は非常に低いことが報告されてきているが¹²⁾¹³⁾、ウラギクの場合塩分濃度の条件から非常に少ない割合であるが、埋蔵種子になる可能性も示唆された。

ヨシもギンギシと同様、河川の上流から干潟域まで広範囲に生育する植物である。ギンギシと同様、塩分濃度が高い生育地由来の種子は淡水域由来の種子に比べ、純水条件下での発芽速度が速く、発芽率も高い傾向が認められた。ギンギシと異なっている点はいずれの生育地由来の種子も100mM NaCl, 200mM NaCl, 300mM NaClの条件下で一部が発芽した点である。ギンギシ塩分があると発芽はほとんど認められなかったが、ヨシは生育地に依存することなく、一部の種子はある程度の塩分濃度があっても発芽する能力を持つという耐塩性を持っていることが示された。又、他の種と同様、未発芽種子も純水条件下で再度実験することによって高い発芽率を示した。汽水域由来の種子は純水条件下で発芽速度が速いことから吸水しやすい特徴を持っていることが示唆された。これはギンギシと同様、種皮が薄いことによって、塩分濃度が高い環境でも吸水し発芽しやすい特徴を持った個体が選択されてきた可能性を示している。

5. まとめ

1) 干潟域に生育する植物が埋蔵種子集団を形成する可能性の有無について検討した結果、今回実験を行った3種類については埋蔵種子集団を形成する可能性が示唆された。

2) ギンギシの耐塩性は種子が塩分条件下では死亡することなく発芽するという耐塩性をもち、埋蔵種子集団を形成することが可能であることが示された。

3) 湿地にのみ生育するウラギクの種子発芽の耐塩性はこれまで報告されてきたものとは異なり、塩分濃度の高

低にかかわらず一定の発芽率を示すという傾向が認められた。しかし、ある程度の休眠性が確認され、埋蔵種子集団を形成することが可能であることが示された。

4) ヨシはどのような生育地に生育していてもある程度の塩分濃度で発芽することが可能であるという耐塩性を持つことが示され、さらに休眠状態にある種子は塩分存在下でも腐食することがない耐塩性を持つことが示された。

5) この研究では干潟域に生育する3種類の植物の発芽特性、耐塩性特性に関する実験を行ったが、いずれの植物種も異なった耐塩性を持つことが示され、生物の戦略の多様性が干潟域に生育する植物でも存在することが示された。

謝辞：本研究の遂行に当たり、愛媛大学工学部環境建設工学科の沿岸海洋学研究室学生諸氏の多大なる協力を得ました。最後に記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 日本植物分類学会編：「我が国における保護上重要な植物種の現状」レッド・データ・ブック，農村文化社，1993。
- 2) 富野章：日本の伝統的河川工法[1]，信山社サイテック，2002。
- 3) Grime, J. P. Seed banks in Ecological Perspective. *Ecology of Soil Seed Banks*, Leck, M. A., Parker, V. T., and Simpson, R. L. eds, pp.xv-xxii, Academic Press, SanDiego, 1989.
- 4) Silvertown, J. W. and Doust, L. J.: *Population Dynamics. Introduction to Plant Population Biology*, pp. 72-92. Brackwell, Oxford, 1993.
- 5) 宮脇成生，鷲谷いづみ：土壌シードバンクを考慮した個体群動態モデルと侵入植物オオバタクサの駆除効果の予測，保全生態学研究，Vol.1, pp. 25-47, 1996.
- 6) 梅原徹，永野正弘，麻生順子：森林表土のまきだしによる先駆植生の回復法，緑化高技術，9巻，pp. 1-8, 1984.
- 7) 梅原徹，永野正弘：まきだした森林表土から発達した群落埋土種子の発芽・定着・成長，種子生態，15巻，pp. 30-40, 1984.
- 8) 梅原徹，永野正弘：「土を撒いて森をつくる！」研究と事業をふりかえって，保全生態学研究，vol.2, pp. 9-26, 1997.
- 9) Washitani, I.: A convenient screening test system and a model for thermal germination responses of wild plant seeds: behavior of model and real seeds in the system, *Plant Cell and Environ.*, vol. 10, pp. 587-598, 1988.
- 10) 柚木秀雄，高村典子，西廣淳，中村圭吾：浚渫土に含まれる水生植物の散布体バンクとバイオマスニッチングを活用して霞ヶ浦湖岸に沈水植物群落を再生する試み，保全生態学研究，vol.8, pp. 99-111, 2003。
- 11) 西廣淳，高川晋一，宮脇成生，安島美穂：霞ヶ浦沿岸域に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，vol.8, pp. 113-118, 2003.
- 12) Baskin, C. C., and Baskin, J. M.: *Seeds*, Academic Press, San Diego, 1998.
- 13) Washitani, I., and Masuda, M.: A comparative ecology of the germination characteristics of seeds from a moist tall grassland community. *Functional Ecology* vol. 4, pp. 543-557, 1990.

(2007.9.28受付)