

埋土種子を利用した水辺植生再生のための基礎的研究

要旨

1. はじめに
2. 埋土種子調査地点の堆積物の層相
3. 試料と方法
 - 3.1. 埋土種子調査
 - 3.2. 遺伝子多様度調査
4. 結果
 - 4.1. 種子の分布と種構成、保存状態
 - 4.2. 花粉分析結果
 - 4.3. 発芽試験
 - 4.4. 遺伝子多様度調査
5. 考察
 - 5.1. 利用可能な埋土種子の分布状況
 - 5.2. 埋土種子からの水辺植生再生・修復の意義

引用文献

要旨

現在すでに消滅した水辺の植生を湖底に堆積した埋土種子から再生させることを目的に、水質汚濁によって約30年前に沈水植物が絶滅してしまった手賀沼で、約40年前の干拓による盛土の下の湖底堆積物の埋土種子を調査した。花粉分析を行って地層の堆積年代を検討した上で、埋土種子の地層中での分布状態や堆積環境、保存状態、種子群の種構成の調査、休眠種子の発芽試験を行った。その結果、埋土種子は堆積物中に均一に分布するわけではなく、堆積環境の違いで種子の分布や保存状態、種構成が変化することが明らかになった。流水環境で比較的急速に堆積した種子群では、種皮が完全な状態で保存されていれば胚乳が保存されていることが多く、センニンモの発芽も確認された。ガシャモクについて、40年以上前の埋土種子から再生した手賀沼湖畔の集団と現在自生している福岡県糸池の集団や中国アルハイ湖の集団とで、全DNAを対象としたCTAB法を用いて遺伝子多様度を検討したところ、埋土種子由来の集団が最も高かった。このことから、生育個体数が現在よりもはるかに多かった時代の埋土種子集団が豊かな遺伝子多様度を維持しており、環境の悪化で危機的状況にある水辺の植生の再生や、弱体化した植生の遺伝子多様度増強に、同じ地域から得られる埋土種子を利用することがきわめて有効であることが示された。

1. はじめに

千葉県北部の手賀沼は、かつては水生植物の宝庫であった(大滝 1975)が、1958～1965年に行われた干拓事業と流域の人口増加に伴う水質汚濁に伴って水生植物の絶滅が急速に進み、最も水質汚濁に弱い沈水植物は1973年に全種が消滅した(細谷 1993)。しかしながら、1990年に絶滅危惧ⅠA類(環境庁自然保護局野生生物課 2000)であるガシャモク *Potamogeton dentatus* Hagstr. を含む沈水植物が手賀沼湖畔の休耕田に掘られた溝に発生し(斉藤 1991)、1992年には遊水池にも発生した(千葉県環境部自然保護課 1999)。これらの水域は手賀沼干拓の際の盛土を掘り込むことで造成されたと考えられるので、手賀沼干拓前の湖底堆積物に保存された埋土種子から沈水植物が発芽再生した可能性が高い。

水生植物の種子は、還元環境にある水成堆積物中にシードバンクを形成するので、休眠種子が生きた状態で長期間保存される可能性が高い。実際に2000年以上前のハス *Nelumbo nucifera* Gaern. 種子が発芽した例がある(大賀 1953)。このことは、現在すでに消滅した水辺の植物相を他地域からの移植によらずに復活させたり、絶滅が危惧されている個体群の遺伝子多様度を増加させるのに、過去の堆積物に含まれる休眠種子の利用が有効であることを示している。

埋土種子からの植生復元は、森林土壌の播きだし(梅原・永野 1997)や、湿地(Welling et al. 1988、今橋・鷲谷 1996)や湖底(大村ほか 1999)の表層堆積物の播きだしによる方法が行われてきたが、これらはごく最近に堆積した種子を使った植生復元である。手賀沼のように数十年前に植物の絶滅が進んだ地域での植生復元を行う際には、より下位の堆積物の層相や種子の分布、保存状況を調べた上で、埋土種子を利用する必要がある。種子、果実の水成堆積物中の分布や保存状態は、堆積時の水流の状態や堆積後の続成作用が大きく影響する(百原・南木 1988、百原・吉川 1997)からである。

本研究は、過去の堆積物中の埋土種子の有効利用によって消滅した水辺植生を復活させることを目的とする。そのため、手賀沼湖畔の掘削工事によって盛土の下に現れた干拓事業以前の地層を調査し、発

芽可能な種子の地層中での分布状態や堆積環境、保存状態、種子群の種構成を調べ、地層の花粉分析結果から埋土種子の堆積年代を考察した。採取した休眠種子について発芽実験を行った。さらに、手賀沼湖畔の水域で埋土種子から発芽したと考えられるガシャモク集団と、日本で唯一自生が確認されている福岡県北九州市お糸池のガシャモク集団、および中国、雲南省アルハイ湖に自生するガシャモクの集団の計3集団についてそれぞれの集団の遺伝子多様度を調査した。それらを比較することにより埋土種子から発生する植物の遺伝子多様度を評価し、埋土種子を利用した環境修復の意義を検討した。

本研究は、市民団体「手賀沼にマシジミとガシャモクを復活させる会」、建設省利根川下流工事事務所、千葉県土木部東葛飾土木事務所の協力のもとで行われた。千葉大学古在豊樹教授からは多大なご助言、ご援助をいただいた。花粉分析は、国際日本文化研究センター藤木利之博士に分析を依頼した。これらの方々に感謝いたします。

2. 埋土種子調査地点の堆積物の層相

埋土種子を含む手賀沼干拓以前の湖底堆積物は、千葉県我孫子市浅間橋西側の手賀川北岸（Fig. 1のLoc.1、3）と岡発戸新田の手賀沼北岸（Fig. 1のLoc.4）で、護岸および人工水路建設のための掘削工事の際に露出した。浅間橋西側の手賀川北岸（Fig. 1のLoc.2）では、工事で露出した露頭の底面よりもさらに4m下位までの堆積物試料を、手掘りシンウォール・サンプラー（直径6cm）を用いて採取した。各地点での地層観察の結果、作成した地質柱状図をFig. 2に示す。

Loc.1では現在の湖岸ヨシ帯の表土の下に盛土層が見られなかったが、Loc.3とLoc.4では地表下1～2mが主にローム質土壌からなる盛土層に覆われていた。Loc.4では盛土層は標高1m以上と標高0.3～0.6mの2層に見られた。Loc.4の地層は、1958～1965年に行われた手賀沼干拓事業（細谷1993）によって造成された水田の外側に、昭和50年代に設置された湖岸遊歩道を掘り込んで露出した地層である。したがって、下位の盛土は1958～1965年のもの、上位の盛土は昭和50年代のものだと考えられる。

Loc.1の表層10cm、Loc.3の盛土直下10cm、Loc.4の上位の盛土直下24cmはヨシなどの抽水植物の根が密集する有機質塊状シルトから構成される。Loc.1とLoc.3では、この塊状シルトの下は、標高-1.3mまでラミナの発達した中細粒砂層で構成され、しばしば周辺の下総台地を構成する上部更新統木下層から洗い出されたと考えられる貝化石が層状に密集する。砂層には植物片を豊富に含むシルト層が層状ないしレンズ状に挟在される。Loc.4でも下位の盛土層の下は砂が卓越し、標高0～2.4mにシルト層が挟在する。Loc.1ないし2では、標高-1.3～-3.9mまで塊状シルトで構成され、しばしば砂層を挟在する。標高-3.9～-5.6mは砂が卓越し、標高-4.9mより下位では細礫を含む砂層となる。標高-2.6mよりも下位の地層には海生貝やウニの破片が多く含まれ、標高-5.1mでは筒状の生痕化石が認められた。

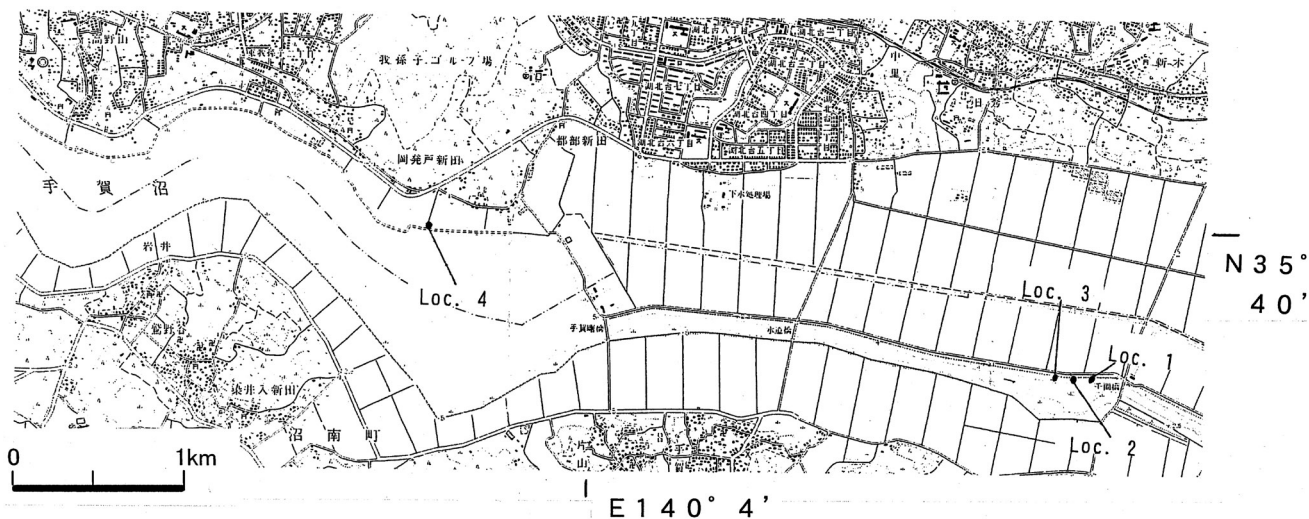


Fig.1 試料採取地点の位置 Location of sampling points
 国土地理院発行2万5千分の1地形図『取手』を使用。

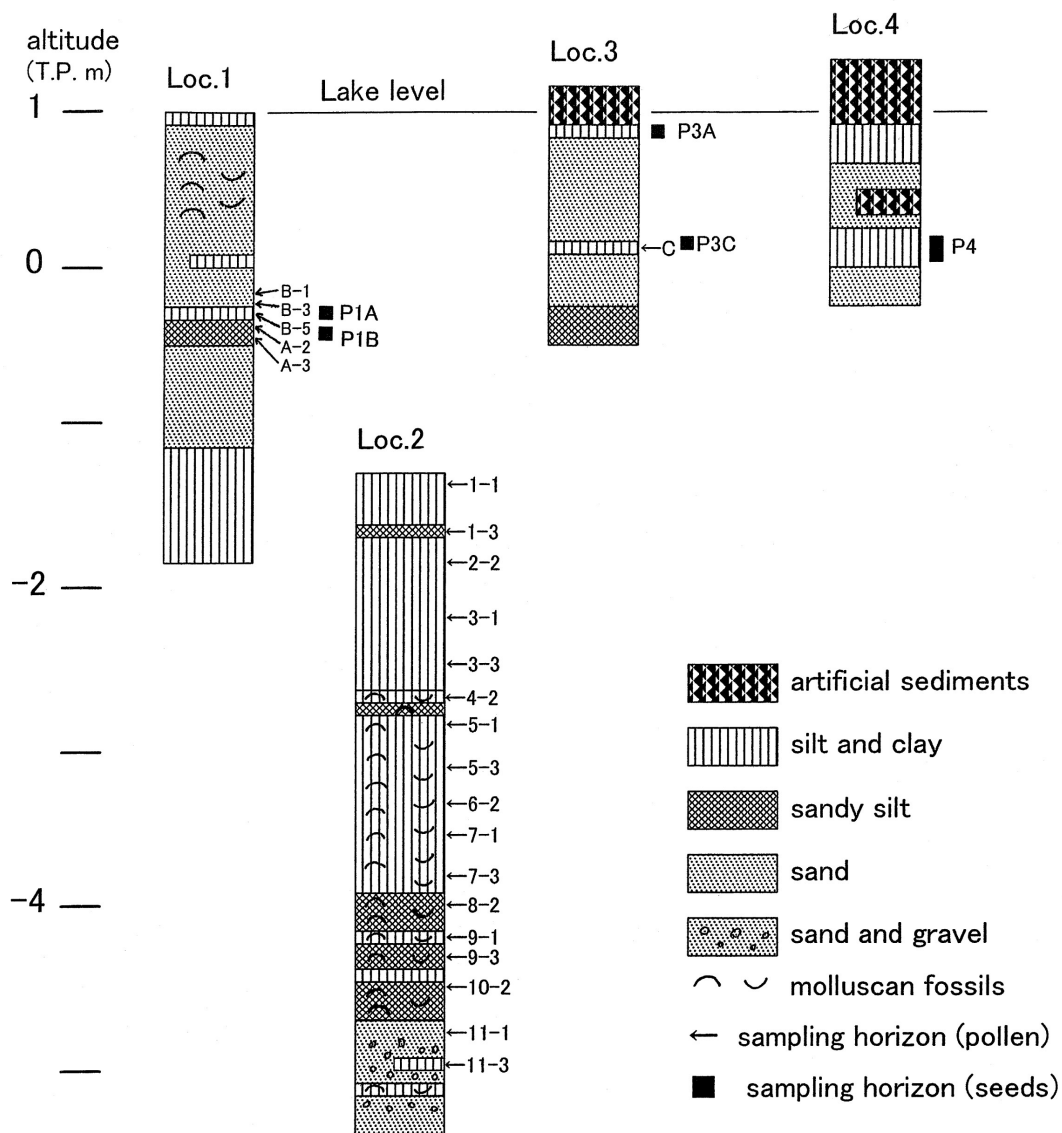


Fig.2 試料採取地点の地質柱状図

3. 試料と方法

3.1. 埋土種子調査

植物片を多く含むシルト質堆積物のうち、Loc. 1のP1A、P1B、Loc. 3のP3A、P3C、Loc.4のP4の5つの堆積物 (Fig. 2) を採取し、研究室に持ち帰って埋土種子の選別作業を行った。現地でブロック状に採取した堆積物を水中でほぐしたあと、0.5mm目の篩を用いて水洗篩分した。処理した堆積物の量は、P1Aが36リットル、P1Bが43リットル、P3Aが6.5リットル、P3Cが22リットル、P4が52リットルである。篩の上の残査をシャーレに分け、実体顕微鏡下で種皮や果皮の破損がまったくない種子・果実を拾い出した。拾い出した種子は種類ごとに分け計数したあと蒸留水の入った小瓶に分け、4℃の冷暗所に保管した。また、拾い出したあとの篩の上の残査も70%アルコールに液浸して保管している。

花粉分析は、Loc. 1のB-1、B-3、B-5、A-2、A-3の5層準、Loc. 2の1-1から11-3までの17層準、Loc. 3のCの計23層準 (Fig. 2) で行った。堆積物をKOH処理、塩化亜鉛比重分離処理、アセトリシス処理したあとグリセリンゼリーで包埋したプレパラートを作成し、樹木花粉200個を目標に同定と計数を行った。樹木花粉、草本花粉とも全樹木花粉を基数とした花粉ダイアグラムを作成した (Fig. 3)。

P1AおよびP2B層準で拾い出した種子のうちヒルムシロ属果実 (ガシャモクーセンニンモ *Potamogeton maackianus* A.Benn. type およびササバモ *Potamogeton malaianus* Miq.) とトチカガミ科種子 (コウガイモ *Vallisneria denseserrulata* (Makino) Makino、セキショウモ *Vallisneria*

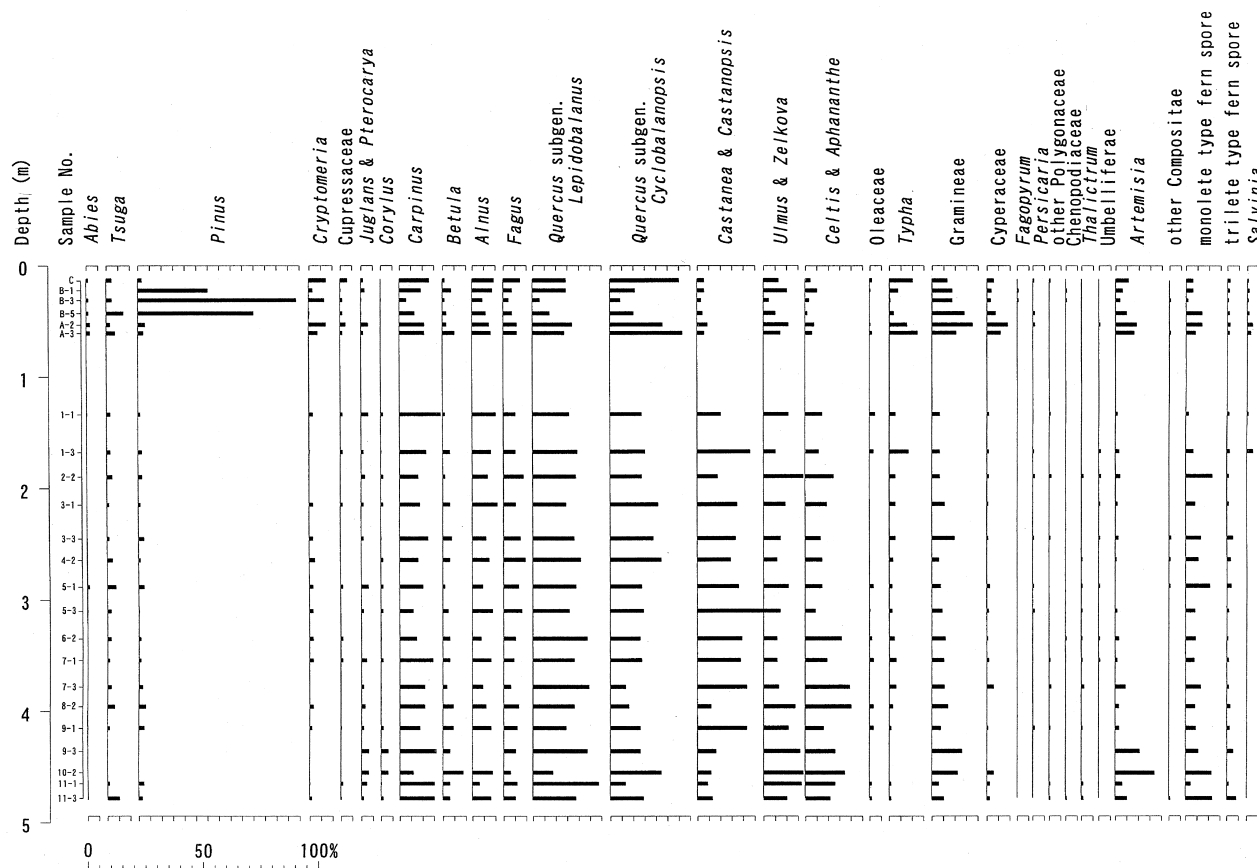


Fig.3 手賀沼湖底堆積物の花粉ダイアグラム

asiatica Miki) について人工気象器内で温度条件を変化させて種子発芽試験を行った。発芽試験は段階温度法(Gradually increasing and decreasing temperature method GT法: 鷲谷 1997)を用いて行った。段階温度法設定は、それぞれ20個の種子について、IT系(温度上昇系)では4℃ 8日、8℃ 5日、12℃ 4日、16℃ 3日、20℃ 2日、24℃ 2日、28℃ 2日、32℃ 2日、36℃ 2日、12～25℃ 5日の順で各温度条件、各期間を設定し、DT系(温度下降系)では36℃ 2日、32℃ 2日、28℃ 2日、24℃ 2日、20℃ 2日、16℃ 3日、12℃ 4日、8℃ 5日、4℃ 8日、25℃ 5日の順で各温度条件、各期間を設定して発芽試験を行った。

3.2. 遺伝子多様度調査

いったん絶滅が確認された場所での埋土種子から発芽した個体群の遺伝子多様度を測定するための材料として、手賀沼湖畔に造成された水域に現存するガシャモク集団のうち、この2-3年比較的安定した生育を示す手賀沼岡発戸新田人工池集団から、約30個体を無作為に選び、葉を数枚採取した。一方、もともと自生が確認されている現存個体群の遺伝子多様度を測定するための材料として、福岡県北九州市お糸池に現存するガシャモク集団から約30個体を、中国雲南省アルハイ湖産のガシャモク集団も約20個体を無作為に選び、葉を各個体から数枚採集した。これらを水道水で軽く洗浄した後、-80℃で保存した。これらの葉からCTAB法により全DNAの抽出を行った。

解析に有効なプライマーを選択するために、手賀沼岡発戸新田人工池集団と北九州市お糸池集団から3個体ずつを用いて予備試験を行った。ランダムプライマー(オペロン社)40種についてPCR反応を行い(RAPD法)、アガロース電気泳動で増幅断片を分離した。予備実験からランダムプライマー8種を選択し、各個体についてPCR反応(RAPD法)を行いアガロース電気泳動で増幅断片を分離した。使用したランダムプライマーの名称と塩基配列を以下に示す。

OPAA04 5' - AGGACTGCTC - 3' OPAA19 5' - TGAGGCCTGT - 3'
OPAA06 5' - GTGGGTGCCA - 3' OPV07 5' - GAAGCCAGCC - 3'
OPAA17 5' - GAGCCCGACT - 3' OPV17 5' - ACCGGCTTGT - 3'
OPAA18 5' - TGGTCCAGCC - 3' OPV19 5' - GGGTGTGCAG - 3'

RAPDデータを用いて各集団の遺伝子多様度を求めるためアプリケーションソフト POP GENE 32を用いて集団ごとのShannon's Information Indexを求めた。またアプリケーションソフト Arlequin (Schneider et al. 2000)を用いてAMOVA解析(Analysis of Molecular Variance)を行った。

4. 結果

4.1. 種子の分布と種構成、保存状態

種子群は、標高-1.5m以上の砂層中に挟在するシルト層中に、茎などの植物片とともに密集層を構成していた。砂層や標高-1.5m以下のシルト層には、種子や植物片はほとんど含まれていなかった。砂層上部、盛土直下に含まれる有機質シルト層には、植物片は多く含まれていたが種子は比較的少なかった。P3Cは単位堆積あたりに含まれる種子や種子片の量がP1A、P1B、P4に比べて非常に多かった

が、種子・果実表面が腐食していたり果皮が変質しているものが多く、保存状態は悪かった。P3Cに含まれるヒルムシロ属Dは果皮が変質し、種子が保存されていないものが大部分だった。

産出した埋土種子の種構成をTable 1に示す。沈水植物と浮葉植物の種数と個数が多く、輪藻類のフラスモ属の卵胞子、ヒルムシロ科のカワツルモ*Ruppia rostellata* Koch果実、ササバモ、ガシャモクーセンニンモ型果実、イバラモ科ではホッサモ*Najas graminea* Del.種子、トチカガミ科のセキショウモ、コウガイモ、クロモ*Hydrilla verticillata* (L.fil.) Casp.種子、ミツガシワ科のガガブタ*Nymphoides indica* (L.) O.Kuntze種子が多かった。抽水植物ではフサモ属*Myriophyllum*核が多く産出した。このうち、カワツルモとコアマモ*Zostera japonica* Aschers. et Graebn.はこれまで手賀沼では採集記録がない植物である。水生植物と比較すると産出量は少ないが、イヌシデ型*Carpinus tschonoskii* Maxim. type果実、ニワトコ*Sambucus racemosa* L. ssp. *sieboldiana* (Miq.) Hara核、カラムシ属*Boehmeria*果実などの陸生の植物も含まれていた。化石群ごとに埋土種子の種構成は異なり、P1A、P1Bではガガブタ種子が、P3Cではヒルムシロ属Dとホッサモ、コウガイモが、P4ではヒルムシロ属果実とコウガイモがそれぞれ多く含まれていた。P3Aは、種子の含有量が他の種子群に比べて少なく、スゲ属*Carex*果実が比較的多く含まれていた。

産出した種子のうち、カワツルモ、ガガブタ、フサモ、P3Cのヒルムシロ属Dは種子を割って調べたところ、すべて種子の内部が保存されていなかった。また、フラスモ属*Nittela*、コアマモ、アサザ*Nymphoides peltata* (Gmel.) O.Kuntzeについても、透過光によって種皮内部を観察したところ、胚乳が認められなかった。種皮が透明で種子内部の保存状態を観察できるトリゲモ*Najas minor* All.、ホッサモ、セキショウモ、コウガイモ、クロモでは、30～90%の種子について胚乳が保存されていることが確認された(Table 1)。これらの植物では、種皮が少しでも破れている種子は胚乳が保存されていないことが多かったが、種皮が完全な状態で保存されていれば、胚乳の保存状態が非常に良好だった。

4.2. 花粉分析結果

全23層準の花粉割合は、B-5よりも上位、すなわち標高-40cmよりも上位の層準とB-5より下位の層準、すなわち標高-40cmよりも下位の層準とで木本花粉の組成が大きく異なった(Fig. 3)。B-5よりも上位の層準ではマツ属*Pinus*花粉が高率で、その他の木本花粉の産出割合は少なかった。一方、B-5より下位の層準ではコナラ属アカガシ亜属*Quercus* subgen. *Cyclobalanopsis*、コナラ属コナラ亜属*Quercus* subgen. *Lepidobalanus*、クリ属-シイ属*Castanea - Castanopsis*、クマシデ属*Carpinus*が比較的高率で産出する。標高-3.6mの7-3よりも下位の層準ではエノキ属-ムクノキ属*Celtis - Aphananthe*とニレ属-ケヤキ属*Ulmus - Zelkova*が多くなる傾向があった。草本花粉は全体的にイネ科Gramineaeとシダ胞子の産出割合が多かったが、A-3より上位の層準でガマ属*Typha*、カヤツリグサ科Cyperaceaeが多くなり、9-3より下位とA-3より上位の層準でヨモギ属*Artemisia*が多かった。ソバ属*Fagopyrum*花粉はB-1、B-3の2層準で検出された。

4.3. 発芽試験

発芽試験を行った種子は発芽しなかった。発芽試験中にトチカガミ科種子はカビが生えて腐敗してしまった。ヒルムシロ属果実も発芽試験後に種子を割って胚や胚乳の保存状況を調べたが、もともと胚が含まれていなかったか、含まれていても大部分が溶失してしまったかどちらかであった。しかしながら、堆積物から取り出した後、約4ヶ月、冷蔵庫(4℃、暗所)に保存していたP1B層準の種子試料から4

Table 1 手賀沼堆積物中の埋土種子一覧表
括弧の中の数字は、胚や胚乳が確認された種子の数を示す +は大量に産出したことを示す

horizon	P1A	P1B	P3A	P3C	P4
volume of sediments (litter)	36	43	6.5	22	52
submerged and floating – leaved plants					
<i>Nitella</i>	31	1		53	50
<i>Ruppia rostellata</i> Koch	+	164	5	133	+
<i>Potamogeton malaianus</i> Miq. type	31	67		9	247
<i>Potamogeton dentatus</i> Hagstr.	32	43		12	910
— <i>P. maackianus</i> A.Benn. type					
<i>Potamogeton</i> A	5				
<i>Potamogeton</i> B	12			14	
<i>Potamogeton</i> C	25				6
<i>Potamogeton</i> D	2	3	1	377	1
<i>Najas marina</i> L.	12	18		5	8
<i>Najas minor</i> All.	13	(6)	14	(8)	3
<i>Najas graminea</i> Del.	1			120	(37) 3 (2)
<i>Zostera japonica</i> Aschers. et Graebn.				3	
<i>Vallisneria asiatica</i> Miki	11	(7)	12	(10)	32 (27) 48 (42)
<i>Vallisneria denseserrulata</i> (Makino) Makino	24	(10)			111 (64) 261 (250)
<i>Hydrilla verticillata</i> (L.fl.) Casp.	3	(3)	22	(21)	1 4
<i>Ceratophyllum demersum</i> L.			2		1 1
<i>Nymphoides indica</i> (L.) O.Kuntze	159		510		33 168
<i>Nymphoides peltata</i> (Gmel.) O.Kuntze	1		4		
emergent and marsh plants					
<i>Zizania latifolia</i> Turcz.				2	
<i>Carex</i> sect. <i>Carex</i>	6	3		1	
<i>Carex</i>	7		11	10	33
<i>Scirpus juncooides</i> Roxb. type	3	20		1	6
<i>Scirpus triqueter</i> L. type	4	6		4	29
<i>Alisma canaliculatum</i> A.Br. et Bouche		1			
<i>Sagittaria</i>	2				
<i>Myriophyllum</i>	175	34	1	38	927
<i>Triadenum japonicum</i> (Blume) Makino	8	7		7	1
<i>Lycopus</i>		1			
terrestrial plants					
<i>Carpinus tschonoskii</i> Maxim. type				2	
<i>Morus australis</i> Poir.				1	
<i>Broussonetia kazinoki</i> Sieb.		2			
<i>Ficus</i> cf. <i>oxyphylla</i> Miquel type		2		1	
<i>Boehmeria nipponivea</i> Koidz.				19	
<i>Persicaria scabra</i> (Moench) Mold. tyep	5	1		1	7
<i>Persicaria</i>				2	2
Chenopodiaceae — Amaranthaceae				2	
<i>Stellaria neglecta</i> Weihe				3	
<i>Stellaria alsine</i> Grimm var. <i>undulata</i> (Thunb.) Ohwi				1	
<i>Stellaria</i>	1		1		
<i>Rubus</i>		1		5	
<i>Eurya japonica</i> Thunb.		1			
<i>Actinidia arguta</i> (Sieb. et Zucc.) Planch.		1			
<i>Aralia elata</i> (Miq.) Seemann		2		1	
<i>Hypericum</i>	1				
<i>Oxalis corniculata</i> L.			1		
<i>Idesia polycarpa</i> Maxim.		1	1		
<i>Sambucus racemosa</i> L. ssp. <i>sieboldiana</i> (Miq.) Hara		17		3	1
<i>Mosla dianthera</i> (Hamilt.) Maxim.		2		1	

個体のヒルムシロ科果実が発芽した (Fig. 4)。このうち 2 個体は国立科学博物館筑波実験植物園の野外水槽で継続して育成され、約 3 ヶ月後には 2 個体ともセンニンモに同定された (Fig. 4)。

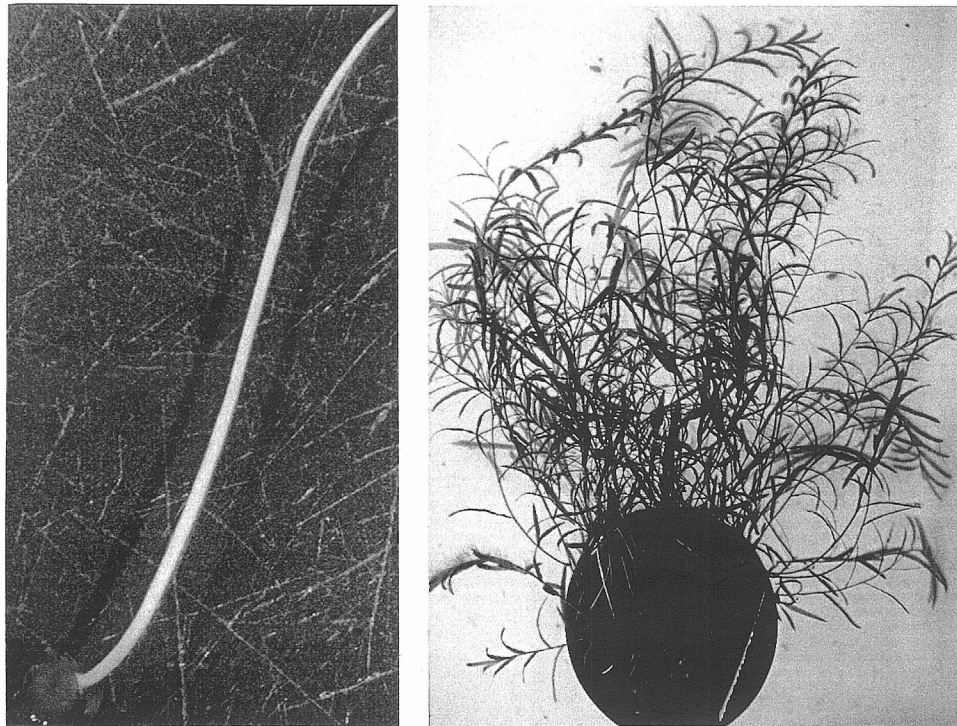


Fig.4 試料P1Bの堆積物中の埋土種子から発芽、成長したセンニンモ *Potamogeton maackianus*

4.4. 遺伝子多様度調査

当初PCRを行った3集団計64個体のうち40個体(アルハイ湖集団8個体、手賀沼岡発戸新田人工池集団19個体、お糸池13個体)について全プライマーで増幅を確認し、解析に有効な増幅断片情報が59種類得られた。

得られた増幅断片で、各集団に固有のバンドはアルハイ湖集団では9で最も多く、手賀沼岡発戸新田人工池集団で4、お糸池集団で3あった。また、2つの集団にまたがるバンドはアルハイ湖集団と手賀沼岡発戸新田人工池集団に見られるものが3、アルハイ湖集団とお糸池集団にあるものが1に対し手賀沼岡発戸新田人工池集団とお糸池集団にみられるものは2と最も多かった。全集団で認められたバンドは19あった。

得られたRAPDのデータを元に各集団の遺伝子多様度について、生物集団の多様性を示す値として用いられるShannon's Information Index (I)を各集団について求めた。その結果、

中国雲南省 アルハイ湖集団 $I=0.1799$

千葉県 手賀沼岡発戸新田集団 $I=0.3098$

福岡県 お糸池集団 $I=0.2293$

全個体 $I=0.5067$

という値がえられた。この値は高いほど生物集団の遺伝子多様度が高いことを表す。

AMOVA解析の結果、

集団間での変異は、58.70%

各集団内での変異は、41.30%

という値を得た。AMOVA解析は各集団内と集団間での遺伝的変異の蓄積の程度を表す。集団間の58.7%という値は、集団間に多くの変異が見られることを示しており、集団間での遺伝子の交流が抑えられていることが考えられる。

5. 考察

5.1. 利用可能な埋土種子の分布状況

堆積物の層相から判断すると、標高-1.3 m以上の砂層は流水下で堆積したと考えられる。昭和30年代以前は手賀沼周辺には湧水が豊富にあり、手賀沼は流水域だったとされている(大滝 1975)。その時代は砂が運搬されるほど水流のエネルギーが強く、シルトは相対的に流れの弱いところに堆積の場所が限られていたと考えられる。埋土種子は砂層には含まれず、砂層に挟在するシルト層に多く含まれていることは、種子が砂粒子よりもむしろシルト粒子とともに運搬されたことを示している。種子群P1A、P1B、P3C、P4の堆積には流水の影響があったことは、流域から流れ込んだ陸生植物の種子がかなり含まれていることから明らかである。しかしながら、それらの堆積環境は様ではなく、P3Cは種子を含まないヒルムシロ属果実が多いことから水に浮く比較的軽い種子がはきよせられて堆積したと考えられ、P1A、P1B、P4では比較的重い種子と植物片が集積したと考えられる。したがって、種子群による種構成の違いは、堆積した時代の手賀沼の水生植物群落の種構成を反映しているというよりもむしろ、形状や比重によって種子が選別された結果だろう。一方、ヨシなどの根が密集するシルト層に含まれる化石群P3Aでは水生植物よりも湿生植物の種子が多いことから、ヨシ帯で周囲に生育する植物から供給された種子によって構成されていると考えられる。

種子群に含まれるカワツルモは汽水域に生育する植物で、コアマモは海水域に生育する植物である。これらの植物の産出からは利根川を通じて手賀沼に塩水が流入していて、これらの植物が生育可能だった可能性と、縄文海進期の地層や最終間氷期の地層から洗い出された種子の再堆積の両方が考えられるが、両種ともすべての種子に胚や胚乳が保存されていなかったことから、古い時代の地層からの再堆積の可能性が高い。

標高-2.6 mよりも下位の塊状シルト層は、貝化石を豊富に含んでいること、花粉化石群でコナラ属アカガシ亜属やクリ属-シイ属の花粉が含まれており、北総地域では縄文晩期以降増加する(吉川 1999)スギ属*Cryptomeria*の花粉が少ないことから、縄文後期以前の縄文海進期に海水~汽水環境下で堆積したと考えられる。一方、標高-1.3 m以上の種子群を含むシルト層は、北総地域では14~15世紀以降に増加する(吉川 1999)マツ属花粉が優占することから、少なくとも中世以降の堆積物だと考えられる。

今回発見されたP3A以外の埋土種子群は、現湖底もしくは盛土層より60cm以上下位に分布していることから、1958~1965年の干拓事業よりも古い時代のものだと考えられる。にもかかわらず、セキショウモ属やトリゲモ属種子で胚乳が保存されていたり、一部のヒルムシロ属が発芽したことは、50年以上も古い時代の堆積物中の埋土種子でも植生再生に十分利用可能であることを示している。これらの埋土種子群は流水下で比較的急速に埋没し、その後還元環境下におかれたために保存状態が比較的よかったと考えられる。今回、盛土直下の堆積物からは保存状態のよい種子群を得られなかったが、盛土の堆積によっても埋土種子が急激に還元環境下に置かれる可能性が高い。盛土の直下に今回のような水

流にはきよせられて堆積した種子群が発見されると、堆積した時代が新しいことで高い発芽率が期待できるだろう。

今回の発芽試験では発芽に成功しなかったが、これは種子が比較的古い時代のものであることとサンプル数が少なかったこと、ヒルムシロ属の場合はもともと胚や胚乳が含まれていなかったことが原因である。今後より多くの種子を使い、光条件や温度条件の変化パターンなどの条件を変えて試験を続ける必要がある。一方、水浸で冷蔵庫（4℃）に保存していた種子が発芽したことは、休眠打破には温度と光の刺激よりもむしろ、長期間の冷暗所での保存が必要である可能性が考えられる。

今回の調査によって、埋土種子は堆積物中に均一に分布するわけではなく、堆積環境の違いで種子の分布や保存状態、種構成が変化することが明らかになった。このことから、過去の堆積物中の埋土種子を利用する場合に、前もって堆積物の調査を行った上で種子群の保存状態や種構成を確認することが必要だといえる。

5.2. 埋土種子からの水辺植生再生・修復の意義

遺伝子多様度解析を行った現存3集団の中で、Shannon's Information Indexの値は、手賀沼発戸集団が最も高かった。これは現在自生している福岡県お糸池集団や中国アルハイ湖集団よりも、埋土種子から発生した集団の方が高い遺伝子多様度をもつことを示している。AMOVA解析に関しては、これまでの種子植物のデータでは、自殖性種では60%前後、他殖性種では30%前後であるという報告がある（Bussell 1999）。本研究でも集団間で60%に近い値が出ているがこれは3集団の間での生殖的な交流が制限されて集団間での変異が大きいことを表していると考えられる。また、ガシャモクの生殖様式については詳細が解っておらず自殖を行っている可能性も否定できない。

これらの結果からは、発芽した埋土種子が作られた50年前以前の手賀沼に自生したガシャモク集団は豊かな多様性を持っており、その多様性を維持した埋土種子から複数の個体が発芽、生育して現在の手賀沼発戸新田集団を形成していると考えられる。このことは、生育個体数が現在よりもはるかに多かった時代の埋土種子集団が、豊かな遺伝子多様度を維持しており、環境の悪化で危機的状況にある水辺の植生の再生や弱体化した植生の遺伝子多様度増強に、同じ地域から得られる埋土種子を利用することがきわめて有効であることを示す。

今後、発芽可能な埋土種子の湖底堆積物中の空間分布が明らかになり、それらの埋土種子を確実に発芽させる技術が確立することで、その地域固有の遺伝子資源としての埋土種子の重要性はますます高まっていくと考えられる。水辺は開発事業が盛んな場所であるとともに、自然保護活動も活発に行われている注目度の高い場所であり、そこでの埋土種子からの植生再生は、きわめて公共性の高い新しい環境保全事業に発展する可能性がある。

引用文献

千葉県環境部自然保護課（1999）：千葉県の保護上重要な野生生物—千葉県レッドデータブック—植物編，千葉県。

細谷岑生（1993）：現代の印旛沼と手賀沼の漁業．山田安彦・白鳥孝治・立本英機（編），印旛沼・手賀沼 水環境への提言．古今書院・東京，pp.109～115．

今橋千代美・鷺谷いずみ（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, pp.131 ~ 147.
- 環境庁自然保護局野生生物課 (2000): 改訂・日本の絶滅のおそれのある野生生物—レッドデータブック—8, 植物 I (維管束植物). 財団法人自然環境研究センター・東京.
- 百原 新・南木睦彦 (1988): 大型植物化石のタフオノミー. 植生史研究, No.3, pp.13 ~ 23.
- 百原 新・吉川昌伸 (1997): 蛇行河川内での大型植物化石群の堆積過程. 植生史研究, 5, pp.15 ~ 27.
- 大賀一郎 (1953): 古ハスの果実の寿命とラジオ・カーボンのテスト. 文藝春秋, 31, pp.44 ~ 47.
- 大村理恵子・村中孝司・路川宗夫・鷺谷いづみ (1999): 霞ヶ浦の浚渫土まきだし地に成立する植生. 保全生態学研究, 4, pp.1 ~ 19.
- 大滝末男 (1975): 水生植物の分布と生態. 千葉県生物学会 (編), 新版千葉県植物誌. 井上書店・東京, pp.216 ~ 232.
- 斉藤吉永 (1991): 幻のガシヤモクの出現. 水草研究会報, No.43, pp.24 - 26.
- Schneider, S., Roessli, R., and Excoffier, L. (2000): Arlequin ver. 2000. University of Geneva, Switzerland.
- 梅原 徹・永野正弘 (1997): 「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, 2, pp.9 ~ 26.
- 吉川昌伸 (1999): 関東平野における過去 12,000 年間の環境変遷. 国立歴史民俗博物館研究報告, No.81, pp.267 ~ 287.
- 鷺谷いづみ (1997): 保全「発芽生態学」マニュアル—休眠・発芽特性と土壌シードバンク調査・実験法 (連載第 3 回). 保全生態学研究, 2, pp.77 ~ 86.
- Welling, C.H., Pederson R.L. & van der Valk, A. G. (1988): Recruitment from the seed bank and the development of zonation of emergent vegetation during a drawdown in a prairie wetland. *Journal of Ecology*, 76, pp.483 - 496.

