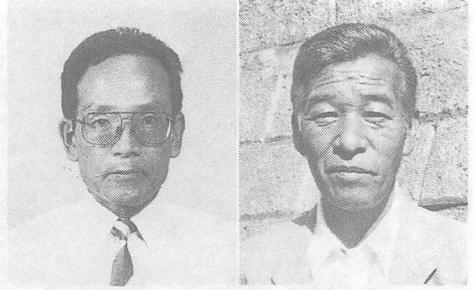


## ■ 展望・解説 ■

淡水生シダ植物・アゾラの収集、  
順化および資源化Collection, Growth Characterization and Use of *Azolla*

汐見 信行\*・鬼頭 俊而\*\*

Nobuyuki Shiomi Shunji Kitoh



## はじめに

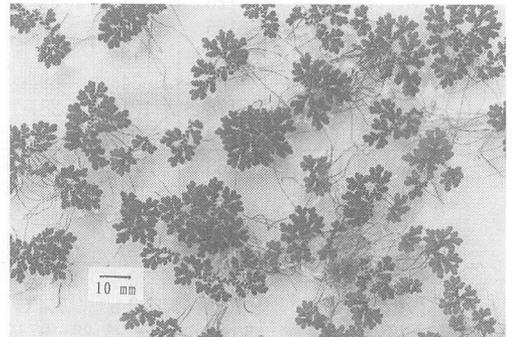
地球上、工業化による窒素ガス固定量は増加する一方で、日本など先進国の、農業における窒素需要の大半は化学肥料でまかなわれている。しかし発展途上国における窒素需要はその多くを生物による窒素固定に頼っており、食料増産の立場から、住民の生活を安定させるためにはこの生物的窒素固定を向上させ、植物生産を増やすことがきわめて重要といわれている。というのは生物による窒素固定は化石エネルギーを消費することなく、間接的に太陽エネルギーを利用して、無尽蔵に存在する窒素ガスを固定した生物を緑肥として利用できるため、クリーンな、食料増産の担い手として古くから注目を集めてきた。しかし大部分の生物は窒素ガスを直接利用することができない。原核生物(細菌、放線菌、ラン藻)の中にはニトロゲナーゼにより窒素ガスをアンモニアに還元できるものがあり、一部の植物はこのような原核生物と共生して間接的に窒素ガスを利用している。中でもマメ科植物と根粒菌の共生系が最も良く知られている。

一方、大気中の炭酸ガスは年率1.5ppmの割合で増加しているといわれ、酸性雨、富栄養化による水質源の悪化など大気、水の両者の汚染が進行している。植物はさしあたり、無限のエネルギー源・太陽の最も巧妙な貯蔵システムであり、環境保全機能を持つ既存の森林、有用植物の保存、開発は人間生活にとって一層重要な課題である。筆者らは本稿で、日本では過去水田雑草であるとして、省みられなかったラン藻とシダ植物の共生体であるアゾラ<sup>1)</sup>を良質な有機物を提供するリサイクル資源として利用する立場から解説して研究の展望をしたい。

## 1. アゾラとは

アゾラは温帯から亜熱帯の水生環境に生息する水生シダ植物で、水田や小川、沼などに見られる(写真1)。上下2枚のりん片葉があり、下片葉で水に浮き、厚い上片葉の下部にはcavityという穴があり、そこに共生しているラン藻が窒素固定能を持っている。宿主の内壁に発達しているhairという突起との間でラン藻は物質のやりとりをしている。ラン藻も光合成ができるが、分離して単独で培養したり、宿主と再構成させたりはまだできていない。およそ温度20-30℃、pH 4-7、窒素以外の栄養源は豊富な方が生育により。塩濃度は0.3%以下、長日を好み20-50kluxが好適照度で、他の水生植物との競合はない方がよく育つ。病虫害には、特に熱帯多雨地域において弱い。アゾラの窒素固定を含めた生理学については渡辺<sup>2)</sup>、Peters et al.<sup>3)4)</sup>、生育環境についてはBecking<sup>5)</sup>の論文が詳しい。

写真2は共生しているラン藻の写真で、特徴的なことは、矢印で示した大きくて、濃く写っているヘテロシスト(異形細胞)が窒素固定をし、その占める割合がこの植物では大変高いことである。成熟した葉で

写真1 京都府、田辺町で採取した *Azolla filiculoides*

\* 大阪府立大学付属研究所助教授

\*\* " " 講師

〒593 大阪府堺市学園町1-2

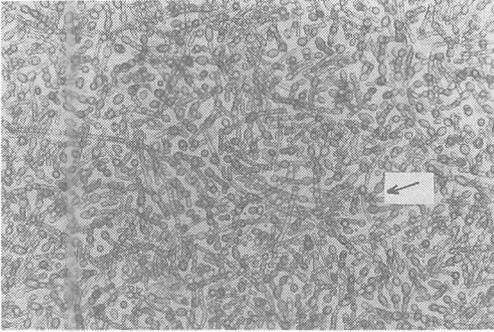


写真2 共生するラン藻 (矢印はヘテロシスト)

は20-30%をも占め、従って窒素固定能が高く、窒素固定率はヘクタール・1日あたり1.0-3.6kgの範囲にあつて<sup>6)</sup>、マメ科植物より高い。化学肥料の高騰にあえぐ発展途上国ではこの窒素含有率の高いアゾラを作物、特に稲作の肥料として利用することで注目を集めている。

現在までに知られていて、世界に分布するアゾラは、6種、2亜種 (*Azolla filiculoides* (FI), *A. rubra* (RU), *A. microphylla* (MI), *A. mexicana* (ME), *A. caroliniana* (CA), *A. nilotica* (NI), および

*A. pinnata* (var. *pinnata* (PP)と*imbricata* (PI))である。日本には*A. filiculoides*と*A. pinnata* var. *imbricata*の2種が棲息していて、1950年代頃までは水田にひんぱんに繁殖したようであるが、水温を下げるということで雑草として駆除されたり<sup>7)8)</sup>、農業で消滅したりして近年は身近に見られなくなった。アゾラは通常は栄養繁殖で増えるが、生育条件によっては大きさの異なる雄、雌の胞子を作り有性繁殖をする。この胞子を作らせる条件を筆者らもいろいろ調べているが再現性がまだ確定できていない。このようなアゾラ植物を筆者らはフィリッピン、中国などから収集してきて、現在約120株のジーンバンクとして水耕培養と、頂端の芽を寒天培地で育てる方法で保存している。

## 2. アゾラの日本 (大阪) における順化

採集してきたアゾラを大阪府立大学・網室 (屋外) で育て、増殖能力と窒素含量、窒素固定能を調べた (表1)。春、夏、秋を通じて常に生育がよいのはなかなか見あたらない。春先に多くのものは生育が良く、日本在来の種FI 1090, OsakaやCA 3005, MI 4028, 4072などが良い。その時の窒素含量は、2%台から5

表1 大阪におけるアゾラの増殖、窒素含量および窒素固定能

Azolla code	増殖 (g新鮮重/m <sup>2</sup> /日)			窒素含量* (mg/100mg乾燥重)	窒素固定能* (nmoleC <sub>2</sub> H <sub>4</sub> /hr・g新鮮重)
	5月	8月	11月		
FI 1001	146	31	21	4.88	800-900
1042	65	47	30	4.03	
1524	145	53	51	4.08	
1090	169	89	73	5.04	
Osaka	178	73	43	4.80	
ME 2010	130	85	28	4.25	200-300
2027	135	54	34	3.78	
CA 3005	165	80	53	4.14	300-400
3028	56	70	36	4.11	
MI 4018	125	51	32	4.65	300-400
4021	155	30	65	4.12	
4028	161	13	34	5.25	
4041	83	34	33	4.71	
4072	178	101	28	3.73	
4510	159	99	35	4.83	
NI 5001	63	78	10	2.39	
RU 6502	93	70	19	3.14	
PP 7002	71	61	18	3.02	500-600
PI Kyoto	128	98	59	3.14	
最高气温	33.2	39.1	26.5°C		
最低气温	7.8	20.5	7.4°C		
湿度	30-95	41-96	28-97%		

\*10月に採取したアゾラを分析

%を越えるものまでかなりばらつきがある。NI, RU, PPは日本の環境では生育が悪い。アセチレン還元能で調べた<sup>9)</sup>窒素固定能は全体に低い値であるが、在来種や、MI 4028, FIなどは高くNIは低い。冬期はほとんどの種が増殖せず、枯死するか赤く紅葉した。そんな中で在来種のFI 1090はかなり低温に強かった。和名ではこの植物をアカウキクサというが、生育条件がよければ緑色であり、養分欠乏、低・高温、高日射などの悪い環境で紅色を呈するためであろう。ほとんどの種が30℃前後に至適温度があるが、在来種はやや低めに、ME, CA, MI, PPはやや高めにある。

### 3. ため池でのアゾラの栽培と栄養塩吸収

大阪府には約2,200ヶ所のため池があり香川県に次いで全国第2位である。しかし、これらのため池は生活雑排水や、その他の排水の流入により富栄養化する一方である。特に筆者らの大学のある堺市はため池の多いところでその汚れ具合は住民の苦情の対象にこそなれ、かって龍神を祭って地域の憩いの場であった面影はない。堺市はこれらのため池をできるだけ残して、水を浄化しながら公園化しようと試みている。湖や池などにおける浄化（栄養塩除去）に水生植物が大きな効果があることは琵琶湖のヨシ条例などでよく知られている。ホテイアオイ<sup>10)</sup>、ウキクサ類<sup>11)</sup>、オランダガラシ<sup>12)</sup>、タイバックブソ<sup>13)</sup>などを利用した研究がおこなわれている。しかしこれらの水生植物の窒素とリンの吸収比は松本が指摘するように<sup>14)</sup>約6:1と考えられる。このことは処理水の窒素とリンの比が6:1であれば両者の除去は良好におこなわれるが、この比が崩れるといずれか一方が残存してしまう結果となる。アカウキクサは処理水中の窒素が消費されつくした後も、空中窒素と処理水のリンを利用して旺盛に生育し、その結果きわめて高率のリン除去が期待される。

堺市土塔町の菰池の一角をオイルフェンスで仕切って(10x10m)、夏約1kgのアゾラを投入したが約20日で一区画を全面おおうほど増殖した。約100日間の栽培で1,200kgのバイオマスを得た。栽培期間中、適当に間引いて密殖を軽減すれば増殖はさらに旺盛になると思われる。また栽培池の水質、水温、深さなどの条件によっても変わるであろう。屋外でのアゾラ栽培は供試株および気象条件に大きく左右される。通年栽培が可能な東南アジア諸国の水田における増殖量と比較すると、冬期はほとんど増殖が認められない堺市・菰池における増殖量は劣るが、中国・福建省における量

と拮抗しており<sup>15)</sup>量的には充分である。しかしこの増殖も実験室における合成無機培地および尿二次処理水中での増殖と比較すると劣った。三者の水質を比較するとため池水ではリン濃度が極端に低く、これが合成無機培地より約50%低い増殖と窒素固定能の原因であった。事実、ため池水にリンを添加してやると両者とも回復した。二次処理排水はアンモニア、リンそれに塩素濃度が非常に高く、10倍に希釈してアゾラを培養すると増殖はほぼ合成無機培地に匹敵したが窒素固定能は低下した。培地中の窒素がラン藻の窒素固定能を抑制するという研究は多く、筆者らの場合もアンモニアが最も抑制し、ついで硝酸態窒素、尿素での順に抑制した<sup>15)</sup>。20mMのアンモニアの存在でアゾラを培養して電子顕微鏡で調べるとラン藻がほとんど存在しなかった<sup>16)</sup>。

多くの水生植物の増殖、栄養塩吸収には長所と欠点があるが数種の水生植物の吸収能を比較すると表2のようになる。能力的にはホテイアオイが高い（生長係数ではアゾラの2.8倍）が、植物の大きさ、収穫後の植物体の処理のしやすさ、低温期の増殖などを考慮するとアゾラも優れている。アゾラは培地中に窒素栄養が無いほうが生長が顕著なためリン濃度の高い排水中で効果が期待される。リン資源は数字上は地球規模で枯渇する資源でありその回収にも役立つ。また池全面を覆うとヒシの繁殖を抑制するという副次的な効果も観察された。タイではシャジクモの生育を抑制してその分、雑草管理の労働力が軽減されて経済効果が上がったという<sup>17)</sup>。

表2 水生植物による栄養塩吸収

植 物	窒素 (mg/m <sup>2</sup> ・日)	リン (mg/m <sup>2</sup> ・日)
<i>Azolla filiculoides</i> (アゾラ)	155-250	60-75
<i>Azolla pinnata</i>	140-228	58-68
<i>Spirodela polyrrhiza</i> (ウキクサ)*	160-278	40-65
<i>Lemna paucicostata</i> (コウキクサ)*	245-268	38-58
<i>Eichhornia crassipes</i> (ホテイアオイ)*	265-280	50-72

\*松本<sup>14)</sup>による

### 4. ガリウムの吸収

水生植物の濃縮特性を利用して重金属の回収を試みた。鉄、銅、亜鉛、鉛、ニッケルなども調べたが、ここではガリウムの吸収について若干紹介する。ガリウム(Ga)は半導体の原料として重要な希少資源で、地殻においてはアルミニウムの存在するところに見い

だされ、それ自身を本質成分とする鉱物はまれである。先端産業で用いられた材料の研磨くずなどの廃棄物に含まれるガリウムの除去回収について廃棄物処理の面だけでなく資源リサイクルの面からも関心を集めている。アゾラ7種、10株を用いてガリウムの回収資源化に利用できるかどうか調べた。いずれの株も培地中のガリウム濃度が上がれば増殖は抑制されるが3.27ppmではMI以外は対照と大きな違いはなかった。26.16ppm添加すると9日目では各株とも40-50%減少した。ガリウムの植物体への吸収は培地中濃度が上がれば生体中濃度も上がったが、3日目までに急速な吸収が進み濃度的には6日目、9日目はほとんど増えなかった。従って濃縮係数も3日目がいちばん高かった。アゾラ種間ではFI, ME, CAの吸収は高く、NI, RU, PIは低かった。その時、共生するラン藻を抽出してこれへのガリウムの取り込みを調べたがほとんど取り込まれていなかった。ガリウム濃度が高くなるとラン藻の破壊も進んでいた。海水中には微量のガリウムが存在する<sup>18)</sup>ため、海水からのガリウム回収が関心を集めていて緑藻による回収が試みられているが<sup>19)</sup>、耐塩性のアゾラを育種することによりアゾラも利用できる可能性はある。

## 5. 飼料化

インドネシア・ジャワ島の農家には家の横手に魚池があって、そこでは自生のアゾラが魚の餌になっている。一方中国や、フィリピンでは組織的に魚、豚、アヒルの餌として栽培・供給がなされている。日本の栽培漁業では栄養価の高い高品質な配合飼料が用いられている。そして小麦粉などが「つなぎ」として大量に使われている。このつなぎとしてアゾラ粉末を利用することを考え試験をおこなった。

淡水魚ティラピアを供試して飼育試験をおこなった。ティラピアは植物性プランクトン嗜好でかつ高タンパク質を要求する。表3に飼育試験飼料組成を、表4に増重率 = (最終体重 - 初発体重) / 初発体重 × 100 でみた試験結果を示す。対照飼料(A)はつなぎに小麦粉を用い、アゾラは含まない。試験飼料は(B) - (D)とアゾラをB: 20.7%, C: 34.5%, D: 48.2%含み、3週間飼育した。実験飼料の人工消化率は対照飼料(A)が90%前後の消化率を示したのに対してB: 81.3%, C: 74.6%, D: 75.5%, であった。小麦粉の20.7%をアゾラで置き換えた飼料(B)で飼育したティラピアは対照の増重率とほとんど同様な増加を示した。

表3 ティラピア飼育試験の飼料組成

成分	試験飼料組成 (%)			
	A (対照)	B	C	D
魚粉	28.1	28.1	28.1	28.1
小麦粉	68.9	48.2	34.5	20.7
乾燥アゾラ	0	20.7	34.5	48.2
ビタミン類	2.0	2.0	2.0	2.0
ミネラル	1.0	1.0	1.0	1.0

表4 ティラピアの飼育試験結果 (増重率)

試験飼料	増重率 (%)		
	1	2	3週間
A	15.1	30.8	56.3
B	15.3	29.7	50.1
C	11.5	20.6	36.8
D	8.2	18.5	36.1

アゾラの配合率が上がるとともに増重率は低下するが全飼料の48.2%をアゾラで占める飼料(D)においても3週間目の増重率は36.1%を示していた。これらの結果は飼料の人工消化率の結果とも一致していて、ティラピアの飼料として20%はアゾラで置き換えることが推察され、意義がある。

飼料としてリサイクル資源を利用する条件としては以下の5点から検討する必要がある。すなわち1)嗜好性、2)量の確保、3)栄養価、4)安全性、5)生産物への影響である。このうち嗜好性は歴史的に東南アジアや中国では自生の飼料として食べられてきており、量的問題も富栄養化したため池や河川で栽培すれば安価にかつ大量に得られ問題ない。そこで栄養価であるが、新鮮なアゾラは柔らかく、栄養成分は日本産アゾラで、乾物重当たり、20.0-31.2%の粗タンパク質、6.0-7.6%の粗脂肪、9.2-11.5%の粗繊維、9.0-9.5%の灰分を含み他の水性植物に比べても栄養価は高い。アミノ酸組成はメチオニン、ヒスチジン、トリプトファンが少ないという水生植物一般の組成を示したがリジンは比較的多く含まれていた<sup>20)</sup>。脂肪酸組成を調べるとパルミチン酸とリノレン酸で60%以上を占めるが、生育と共にパルミチン酸は減少、リノレン酸は増加する傾向を示した。ビタミンの一つとしてアスコルビン酸を調べると量的には多くないがDehydro型の割合が100%近いのが特徴的で、増殖後3日という若い時期が最高でその後減少して7日以後は定常状態になった<sup>21)</sup>。この特徴は野菜より果実に近い組成である。次に安全性の問題であるが、ラットに市販飼料(オリエンタル酵母M)の20%を乾燥アゾラ粉末で置

き換えた試験飼料を4週間与えて飼育試験をおこなった後臓器を摘出して重量などを調べた。また全血液を採血して血液生化学的所見を調べた<sup>22)</sup>。ラットもアゾラの忌避はなく摂取量も対照と変わらなかった。いずれの臓器も病的症状は認められなかったが、肝臓は雄で対照より減少した。腎臓は雌で増加して、脾臓と生殖器には変化がなかった。生化学的所見でグルタミン酸・オキザロ酢酸トランスアミナーゼ、グルタミン酸・ピルビン酸トランスアミナーゼ、アルカリフォスファターゼの酵素活性にはアゾラ飼料区のラットと対照ラット間に差異はなく、病的症状は認められなかった。しかし、総タンパク質、アルブミン、トリグリセライド、総コレステロール(脂質)、血糖といった栄養学的パラメーターが雄において対照よりも低かった。また二次処理排水で培養したアゾラの重金属を分析すると銅、亜鉛、ニッケル、鉛はいずれも1ppm以下であった。また薬学的見地からアゾラのアルコール抽出物の検索をおこなったが毒性物質は認められなかった。最後に生産物への影響であるが、先に種々の割合でアゾラを含む飼料で育てたティラピア魚体の肉質を調べた結果、アゾラ飼料区のティラピアはタンパク質の割合が高く、脂肪が低くなる。試験開始時のティラピアは、タンパク質:61.2%、脂肪:17.5%、灰分:14.5%であるが、3週間後のティラピアは対照区でそれぞれ55.1%、33.8%、12.9%となる。その時のアゾラ飼料区ティラピア(B)はそれぞれ56.5%、21.5%、13.1%と対照の成分とほとんど変わらない肉質を示した<sup>22)</sup>。これらのティラピアとラットの試験結果から判断してアゾラは市販飼料の少なくとも10-20%は代替できるのではと考えられる。

## 6. 土壌還元資材

水田でのイネに対するアゾラの緑肥効果は大きいことが中国や<sup>23)</sup>、東南アジア諸国<sup>24)</sup>の稲作で報告されており、アゾラ利用が推奨されている。例えばベトナムでは必要窒素量の1/3をアゾラで、他の堆肥で1/3を、残りの1/3を化学肥料で与える時、収量は最大になると報告されている<sup>25)</sup>。著者らは畑地土壌を対象に、地力の乏しい新開発農地へアゾラを還元して土壌改良資材としての効果を検討した。

堺市・長峰整備地区は未耕作地で洪積世に堆積した粘土層、砂層、シルト層から成るCEC10-17meq/100gの土壌でマグネシウム含量が特に高く、リンならびにカリ含有率が低い。添加したアゾラの化学成分は、N;

4.15%, P; 0.56%, K; 0.85%, Ca; 0.21%である。11月に新鮮アゾラを鋤込み、十分分解の進んだ翌年3月にバレイシヨを植えた。その耕種概要は、5区画をアゾラ無施用区+化学肥料施用区(kg/10a当たり、窒素15, リン15, カリ20=化肥), アゾラ1t/10a+化肥施用, アゾラ2.5t+化肥施用, アゾラ施用2.5t+化肥無施用, アゾラ5.0t+化肥無施用であった。収量調査した結果は、やはり化学肥料の効果が顕著で、化肥施用区は30個以上の収穫があり全重量は2kgを越えた。最も収量および一個当たりの平均重量が良かったのはアゾラ2.5t+化肥施用区であった。アゾラのみでは5.0t区は収穫、20個、全重量0.7kgで2.5t区(16個、0.5kg)よりやや良好な収量を示した。化学肥料のみ施用区の収量も標準的な畑での収量に比べるとかなり劣っていて、この条件では未耕作土壌の影響が最も強く表れたものと考えられた。アゾラ1tあたりの窒素含有率は約2kgに相当するが速効性は見られなかった。数年継続してアゾラを鋤こんだ後、耕作試験をおこなえばより明確な影響が出るだろう。同時に土壌の化学性を調べた結果ではアゾラ施用区で交換性カリ、可給態リン酸、硝酸態窒素が上昇した。これらの値は還元後1ヶ月後にピークに達した。水生植物の土壌還元効果は長期的な還元が必要と思われる。水田ではイネ移植前に水田に鋤込むことにより無機化が進行し、化学肥料の急速な窒素溶出より恒常的な溶出がなされて肥効が上がるという。近年は日本においても化学肥料を極力使わずに栽培する特別栽培米の需要が増し、生産量も上昇しつつある。このような米作りの基本は安全で豊かな土作りにあり、有機質肥料の見直しがいネの耐久力を増し病害虫の予防につながる。九州地方を中心として飛躍的に発展しているアイガモ農法は、田植え時にふ化したアイガモの幼鳥を水田に



写真3 水田に繁殖したアゾラを食べるアイガモの幼鳥

放し水草、微小生物などを餌としてアイガモは生長、排泄する排泄物を肥料にする農法である。筆者らはこの農法にアゾラを一枚加えることを提案して、春先まず水田一面にアゾラを繁殖させた後、アイガモの幼鳥を放す方法を現在試みてもらっている。アイガモは喜んでアゾラを食べ、かつ水田で繁殖している(写真3)。餌の量と増殖用に残す量のバランスが問題だが残ったアゾラは肥料となり、好結果を期待している。

## 7. エネルギー回収と生産

水生植物のように燃焼利用が不可能な湿性バイオマスのエネルギー回収法としてはメタン発酵が唯一の回収法である<sup>26)</sup>。アゾラのC/N比は10.1, C/P比は100とメタン発酵の至適域にあり水生植物の中でも良好な材料と考えられる。前処理を施さないアゾラのガス化は立ちあがりが遅いが到達ガス化率は50%を越える。加速・増収のために前処理として粉碎、100℃加熱を施すと顕著に加速し、熱処理では10日後に80%近くに達した。総発生量は200-300 l/kgに達し、メタンガス組成は63-67%と比較的高かった。発酵後の残渣が問題となるがアゾラは天日で乾燥が十分早く土壌還元も容易と考える。

共生しているラン藻の持つ窒素固定酵素ニトロゲナーゼは窒素をアンモニアに固定すると同時に水素ガスの発生を伴う( $N_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow 2NH_3 + H_2$ )。この時気相に窒素が存在しなければニトロゲナーゼは一方的にクリーンエネルギーである水素を発生させる。事実、空気中ではほとんど水素ガスを発生しなかったがアルゴン気流中では水素ガスが発生した<sup>27)</sup>。また一酸化炭素は窒素固定を阻害するが水素発生は阻害しないこともわかった。まだ量的には独立ラン藻や光合成細菌の水素発生量におよばないが高い水素発生能力を持つアゾラ株の選択、反応時の気相条件の改善などの今後の研究によっては水素の大量発生が期待される。

### まとめ

アゾラは多集約型農業がきわめて高度に発達した日本の稲作において、春先、水田で繁茂すると水温を下げるといって雑草として扱われてきた。しかしその高い窒素固定能に注目し、通年、日本の環境で旺盛に増殖する品種を選抜して、休耕田として疲弊し、増加する一方の休耕田で転作作物として栽培すれば地力が保てるであろう。現に休耕田の多くは荒れて、稲作不良だからといって直ちに米づくりをおこなおうとし

ても無理であるといわれている。他用途米の生産や、有機栽培による米生産の需要は増加する一方で、安全で豊かな土壌を持つ水田は維持されていかねばならない。

近年都市化が進み、宅地化されていく中のため池はかつての灌漑水としての役目が薄れ、富栄養化が進行し住民に嫌われている。しかし水辺はきれいな環境に保てば、本来人々の憩いの場になるものであり、富栄養化を逆手にとって水生禾本科植物などを栽培することによる公園化で残されていくべきものと考え、ため池や排水で栄養塩を吸収しながら旺盛に増殖するアゾラは公園の樹木、芝地への還元が容易である。

発展途上国において緑肥として用いるためには低・高温に強く、病虫害に抵抗性があり、より高い窒素固定能を持つアゾラを選抜と新品種育成が大事である。そのため筆者らは放射線照射による育種を試みている。高い窒素固定能は高い栄養価を持つことにつながり、飼料としての価値は増す。

土壌還元する前にメタンガスとしてエネルギーを回収すれば残渣のコンポスト化も容易である。また共生ラン藻の水素ガス発生の効率化はクリーンエネルギー生産の期待を増す。

### 参考文献

- 1) 安部五一ほか2名; オオアカウキクサの被害と防除, 日作北陸会報, vol.2, 51-54 (1966)
- 2) 渡辺巖; アカウキクサーラン藻の共生による生物的窒素固定とその利用, 日本土肥誌, vol.52, 455-464 (1981)
- 3) Peters, G.A. et al.; Characterization and comparisons of five N-fixing *Azolla-Anabaena* associations, I. Optimization of growth conditions for biomass increase and N content in a controlled environment, Plant Cell Environ., vol.3, 261-269 (1980)
- 4) Peters, G. A. et al.; The *Azolla-Anabaena* symbiosis. Basic Biol., vol.40, 193-210 (1989)
- 5) Becking, J.; Environmental requirements of *Azolla* for use in tropical rice production, Nitrogen and Rice(1979), p.345-373, IRRI, Los Banos, Philippines.
- 6) 菊池貞夫, 渡辺巖; 熱帯稲作におけるアゾラの緑肥利用—その経済的潜在力と技術確率上の制約要因, 農業総合研究, vol.37, 71-121 (1983)
- 7) 藤原彰夫, ほか2名; アカウキクサの遊離窒素固定作用について(予報), 農学, vol.1, 361-363 (1947)
- 8) 志村良雄; オオアカウキクサとアカウキクサにおける形態的相違点についての総説, 静岡大学教育学部研究報告(自然科学編), vol.17, 40-45 (1966)
- 9) Tung, H. F. and Shen, T. C.; Studies of the *Azolla pinnata-Anabaena azollae* symbiosis: Growth and nitrogen fixation, New Phytol., vol.87, 743-749 (1981)

- 10) Cornwell, D. A. et al. ; Nutrient removal by water hyacinth, Journal WPCF, vol.49, 57-65, (1977)
- 11) 松本聡 ; ウキクサによる富栄養塩吸収とその利用, 化学と生物, vol.19, 594-600 (1981)
- 12) 桜井良雄, ほか2名 ; 農村における生活排水の処理, 日本水処理生物学会第15回大会講演要旨集, 11-4, 5 (1978)
- 13) 橋本奨 ; Channel flow system による汚水処理と食糧生産, 水処理技術, vol.24, 17-24 (1983)
- 14) Liu C.C. ; Use of *azolla* in rice production in China, Nitrogen and Rice, (1979), p.375-394, IRRI, Ros Banos, Philippines
- 15) Kitoh, S. and Shiomi, N. ; Effect of mineral nutrients and combined nitrogen sources in the medium on growth and nitrogen fixation of the *Azolla-Anabaena* association. Soil Sci.Plant Nutr., vol. 37, 419-426 (1991)
- 16) Kitoh, S., Shiomi, N. and Uheda, E. ; Disappearance of symbiotic algae in the *Azolla-Anabaena* association subjected to transitory exposure to ammonium, Soil Sci. Plant Nutr., vol. 37, 323-329 (1991)
- 17) New approach for submerged weeds control by *Azolla*, WSST Newsletter No.7, Thailand (1984)
- 18) 山本俊夫 ; 海洋生物の微量元素, 海洋科学, vol. 1, 226-231 (1969)
- 19) 山岡到保, ほか3名 ; 緑藻 *Dunaliella* による海水ガリウムの回収, 日本化学会誌, No.5, 506-508 (1992)
- 20) 汐見信行, 鬼頭俊而 ; アカウキクサの多目的利用, 水処理技術, vol. 27, 123-130 (1986)
- 21) Shiomi, N. and Kitoh, S. ; Culture of *Azolla filiculoides* in a pond and its use as feed, Nitrogen Fixation with Non-Legumes (1994) p.463-468, American University of Cairo, Egypt
- 22) 汐見信行, ほか2名 ; アカウキクサの飼料としての利用の可能性, 畜産の研究, vol. 41, 523-526 (1987)
- 23) Lumpkin, T.A. and Plucknet, D.A. ; *Azolla*: Botany, physiology and use as a green manure, Econ. Bot., vol. 34, 111-153 (1980)
- 24) *Azolla* Utilization (1987), ed. by IRRI, IRRI, Los Banos, Philippines
- 25) Ngo-gia-Dinh ; The effect of *Azolla pinnata* R. Br. on rice growth, Biotro Report, The 2nd Indonesian Weed Sci. Conference (1973), Yogya Karta, Indonesia
- 26) 山本武彦, 大井進 ; 生物による環境浄化 (1987) 東大出版会
- 27) 川島圭子 ; アカウキクサーラン藻共生系の生育と水素発生に関する研究 (1993), 三重大学大学院, 修士論文

協賛行事ごあんない

## 「第24回 ガスタービンセミナー」について

〔日 時〕平成8年1月25日(木), 26日(金)

〔場 所〕東京ガス(株)本社二階大会議室

(港区海岸1-5-20, TEL03-3433-2111)

〔テーマ〕「ガスタービンの信頼性向上技術」

〔内 容〕

- ・1月25日(木)
  - ・阪神大震災でのガスタービンの信頼性  
(東大 吉識晴夫氏) 他3件
- ・1月26日(金)
  - ・航空用ガスタービンの診断技術と保守技術  
(全日空 杉岡 進氏) 他3件

〔講演時間〕70分(内質疑応答10分)

〔事務局並びに担当委員〕

・事務局 〒160 新宿区西新宿7-5-13

第3工新ビル402

(株)日本ガスタービン学会事務局

TEL 03-3365-0095 FAX 03-3365-0387

・担当委員 ガスタービン学会 企画理事

東京ガス(株)

トータルエネルギーシステム部

宮川健男

TEL 03-5322-7591 FAX 03-5322-7579