日本でのアゾラ利用の現状と将来 ーアゾラ外来種が侵略的植物として法規制の対象にー

渡辺 巖*

キーワード: アゾラ, オオアカウキクサ, 絶滅危惧種, 特定外来生物法, アイガモ農法

Keywords: *Azolla*, *Azolla japonica*, Endangered plant, Invasive-Alien-species-Act, Rice-duck-system

1. 外来アゾラは使用できない?

2005年6月6日の東京版読売新聞朝刊に“アイガモ農法, 環境省が外国産水草の使用「ダメ」”というショッキングな記事がでた。以下引用

「アイガモ農法」とよばれる稲の無農薬栽培で使われることがある外国産の水草「アゾラ」について, 環境省は, 希少な在来種と交雑したりする恐れがあるとして, 特定外来生物被害防止法の規制対象に指定, 使用を禁止する方針を決めた。環境に優しい農業として注目されているアイガモ農法だが, 生態系保護の観点からは, 慎重な配慮が求められそうだ。アイガモ農法は, 雑草や害虫の除去にアイガモやアヒルを活用する稲作。水生シダの一種のアゾラは, 窒素分が豊富で肥料になるため, アイガモと組み合わせる農法が広がっている。アゾラはカモのエサになり, 水田をびっしり覆って雑草の生育を抑制する効果もある。日本にも在来種のアゾラがあるが, 夏の高温に弱く, アイガモ農法には使えない。かつて雑草として駆除され, 絶滅危惧種となっている。外国産のアゾラが全国に広まるにつれ, こうした在来種がさらに衰退すると懸念されている。(以下略)

アイガモ農法に外来種を含むアゾラの利用をすすめた“張本人”である筆者^{注)}は驚いた。これでは長年かけて研究したアゾラの水稲作への利用の努力は, す

べて水泡に帰してしまうのではないか。いくら何でも専門家への相談も無しに, いきなり駄目というはずはない。早速, 環境省の担当部局の野生生物課に問い合わせてみたら, 確かに「特定外来生物による生態系等に係る被害の防止に関する法律」(特定外来生物法)による規制対象種の候補としてあげて, 現在専門家による検討をお願いしているとのこと。従って, 上記の記事はやや誇張で正しくは“禁止する方向で検討を始めた”ということだ。いかにも新聞記事らしいパンチをきかせる書き方だった。その後のいきさつや特定外来生物法については後でのべることにして, (1) アゾラとは, (2) その利用の歴史, (3) 特定外来生物法の規制とアゾラ利用の順で説明しよう。

2. アゾラとは

アゾラ (和名アカウキクサ *Azolla*) 属植物 (アカウキクサ科 *Azollaceae*) は水生シダで水田, 湿地, 小さな池の水面に浮遊している0.5-5cmほどの大きさの水草である (例外: *A. nilotica* は茎の長さが20cmにもなる)。小葉の小孔に共生窒素固定シアノバクテリアが住んでいるので, 窒素成分の少ない環境でも良く育つ^{注)}。通常は孢子体 (栄養繁殖) で増殖するが, 系統によっては配偶体を作って, 有性生殖をするものもある。共生シアノバクテリアは大孢子のう果に潜んでいて, 次世代の孢子体に移る。

1) 現生アゾラの種類

アゾラ属植物は, 世界中の温帯・熱帯に広く分布する。その分類を第1表に記す。基準は主にEvrard⁶⁾とSaunders²⁹⁾による。従来はSvenson³⁷⁾とLumpkin and Placknett²²⁾の記述に従い *A. microphylla*, *A.*

* 三重大学名誉教授: 182-0011 東京都調布市深大寺北町 6-58-18

gan2@asahi.email.ne.jp

Iwao Watanabe: Whither *Azolla* use goes? - Regulation by Invasive-Alien-Species-Act - (2006年7月3日受理)

注) 筆者のアゾラについてのウェブサイト

<http://www.asahi-net.or.jp/~it6i-wtnb/azolla.html>

注) 1) 我が国のいろんな植物図鑑のアカウキクサ属の記述には窒素固定能力の記述はないものが多く, 記載の誤りも多々みうけられる。

日本雑草学会ウェブサイト (http://wssj.jp/DB/weed_name/weed_name_list.html) にあるように, 属する科は *Salviniaceae* サンショウモ科とするのは妥当ではない²⁹⁾。

2) 共生シアノバクテリアはまだ純粋分離されていない。

第1表 *Azolla*属の分類

節 (section)	種 名	原 産 地	雌 (大) 胞子のう果	雄 (小) 胞子のう果	形態的特徴	その他
<i>Rhizosperma</i>	<i>A. nilotica</i> Decene. Ex Mett.	中央一東アフリカ	Float 9枚	Massulaeの 突起わずか	最長20cmにも なる。根は分枝 の基部から群生。 茎と葉に突起	胞子のう果 4個組み
<i>Rhizosperma</i>	<i>A. pinnata</i> R.Br.	アジア、オセニア、 アフリカ	Float 9枚	Massulaeの 突起にかぎ なし	平面的に生育。 個体は三角形。 茎と葉に突起。 葉の突起は2細胞	胞子のう果 2個組み
<i>Azolla</i>	<i>A. filiculoides</i> Lam.	ラテンアメリカ	Float 3枚 Megasporoderm の表面に大きな 陥没	Massulaeの 突起にかぎ あり、隔壁 はないか1つ	密集すると上に 茎伸長。葉のみ に1細胞の突起	胞子のう果 2個組み
<i>Azolla</i>	<i>A. rubra</i> R.Br.	オセニア	Float 3枚	Massulaeの 突起にかぎ あり、隔壁 はないか1つ	葉のみに突起が あるが、小さく 目立たない	胞子のう果 2個組み
<i>Azolla</i>	<i>A. cristata</i> Kaulf.	ラテンアメリカ	Float 3枚 Megasporoderm の表面の陥没は 細かい	Massulaeの 突起にかぎ あり、隔壁 は2つ以上	密集すると上に 茎伸長。葉のみ に細長い2細胞 以上の突起	胞子のう果 2個組み

- 1) *A. nilotica*は他の種の染色体数 $2n=44$ と違って $2n=52$ なので*Tetrasporocarpia nilotica*とする提案がある²⁹⁾。
 2) *A. rubra*を*A. filiculoides*の亜種とする提案もある¹⁷⁾。
 3) *A. pinnata*は*A. p. subsp. asiatica*(アジア原産)、*A. p. subsp. pinnata*(オーストラリア、ニュウカレドニア原産)、*A. p. subsp. africana*(アフリカ原産)に分かれる²⁸⁾。*A. p. subsp. asiatica*は*A. pinnata* var. *imbricata*もしくは*A. imbricata*に相当する。
*A. p. subsp. pinnata*は*A. pinnata* var. *pinnata*に相当する。
 4) Massulaeの突起の写真はSuzuki et al. 2005にある³⁶⁾。

mexicana, *A. caroliniana*の3種を記載していたが形態的、遺伝的³⁰⁾にこの3種を明瞭に区別することは困難だった⁴⁶⁾、標準標本の記述に混乱がみられた。そこでEvrardとVan Hoveは、1867年のMetteniusの記述に従って*A. cristata*として3種を統合した(2005年)⁶⁾。

国際稲研究所(IRRI)には世界中のアゾラの500近い“株”の生きたコレクションがあり、寒天培地に茎の先端部分を植えついで保存している。コレクションにはコード番号(IRRI Code)がつけられている⁴⁴⁾。分類はLumpkinらの記述に準じた²²⁾。これらのコレクションは、アゾラ研究者と利用者に貴重な材料を提供している。

2) 日本産アゾラ

オオアカウキクサ(*Azolla japonica* Franch. et Sava.)とアカウキクサ(*Azolla imbricata* Nakai)の2種が記載されている。雑草学会のホームページにも、この両種は雑草として記載されている。この学名は上記の世界的分類には登場しないが、オオアカウキクサは*Azolla* sectionの*A. filiculoides*、アカウキクサは

Rhizosperma sectionの*A. pinnata*かそれに近いとするのが、現在の知見ではもっとも妥当である^{34, 35, 註)}。高温耐性の強いアカウキクサは本州西南部と沖縄に、低温耐性のある(*A. filiculoides*の特徴⁴⁷⁾)オオアカウキクサはその北東に分布する^{34, 50)}。

筆者は日本産オオアカウキクサの世界的分類基準の位置を知るため、そのDNA近縁関係をRAPIDで調べたところ、少なくとも2種類の明瞭に区別できる型があることがわかった⁴⁸⁾。ほぼ同時に、白岩は大阪周辺のオオアカウキクサと兵庫県日本海側のものとは生活史、形態にちがひがあることを観察していた³⁰⁾。兵庫県立人と自然博物館の鈴木は酵素多形からオオアカウキクサには“但馬型”と名付けたものと、“大和型”と名付けたすくなくとも2つの型があることを見つけていた^{35, 36)}。筆者がDNA多形で区分したものと、鈴木は酵素多形からの区分けとはびたり一致した。“大和型”は*A. filiculoides* (IRRI code FI1001)

注) 本邦出版の植物図鑑にこの両者の記述があるが、上記*Azolla*の分類の基準となる性質を対比して記述したものはない。白岩³⁰⁾の記述はさらに詳しく、分類にてがかりを与えてくれる。

第2表 オオアカウキクサの2つの型

型	胞子のう果	小胞子のう果	葉と突起
大和型	大小の胞子のう果をつける	Massulaeの突起の隔壁は0~1個	葉の突起は細長く1細胞
但馬型	まれに小胞子のう果のみをつける	Massulaeの突起の隔壁は3~4個	葉の突起は小さく1細胞

と区別できなかった。“但馬型”は特有で、今のところ *Azolla* Section内での位置づけは *A. rubra* に近いようだか明瞭でない。区別する特徴は第2表に示した。生育良好なとき外観上、但馬型は小葉の幅が広く肉厚だが、この形態は環境条件で変わるので、あまり信用できる基準にはならない。但馬型は主に排水の悪い水田でみられる。非常に脆弱で、農業利用には困難がある。

本土のアカウキクサはアジアに広く分布する *A. pinnata* subsp. *asiatica* であるが、沖縄のものは形態や酵素多形から見て本土のものと違い、*A. pinnata* subsp. *pinnata* (オーストラリア、ニュウカレドニア原産)かもしれない^{28, 29, 35)}。

3) アゾラの雑種

アゾラの農業利用にあたり、野生のものは概して、脆弱で扱いにくかったので、改良すべく“育種”が中国、ベトナム、IRRI などで行われた。

(1) 母親 *A. microphylla* IRRI-MI4018 × 父親 *A. filiculoides* IRRI FI100 系統名 IRRI-MI4028, MI4030⁵⁾。

同じ組み合わせは中国福建省アゾラ研究所でも得られた (IRRI-MI4087)¹⁹⁾。形態的には両親の中間 (密集状態での伸長は *A. filiculoides* ほどでない)、温度耐性も中間、葉の突起の細胞数は1細胞のものと2細胞のものが混在。窒素含量と最適時の成長は両親に勝る (正のヘテロシス)^{19, 47)}。

(2) 母親 *A. filiculoides* IRRI FI1001 × 父親 *A. microphylla* IRRI-MI4018。

上記のものの逆交雑。負の雑種強勢を示し、生育はきわめて悪いか、共生シアノバクテリアを欠き、多くは生育初期アルビノでやがて死滅した⁴⁵⁾。いずれの場合も、数百近い交雑個体からかろうじて生き残った数個体を酵素多形で交雑を確かめたものである。

(3) そのほか中国福建省アゾラ研究所やフィリピン大

注) 沖縄から採取した IRRI - PI101 は *A. pinnata* subsp. *pinnata* となっている²⁹⁾。

学で *A. cristata* 内の交雑系統が沢山つくられて、IRRI に保存されている⁴⁴⁾。中国ではそのいくつかが優良系統として使われている¹⁹⁾。*Rhizosperma* section では人為交雑は成功していない。

4) 本邦産アゾラは絶滅危惧種

昭和40年くらいまではオオアカウキクサ、アカウキクサは各地に広くみられた。その後、排水事業の進展による水田の冬季乾田化、除草剤の使用、水田の耕作放棄 (耕作を放棄すると背の高い草本が侵入し、アゾラは日陰になりやがて消滅)、湿地埋め立てなどで次第に生育環境がせめめられて、存在地が減少してきた (倉田編 日本羊歯植物図鑑¹⁶⁾ に1985年ころまでの分布図記載)。その結果、この両種は“絶滅危惧種Ⅱ類” (Vulnerable-絶滅の危機が増大しつつある) に指定された⁵⁰⁾ (平成9年8月レッドリストに、平成12年7月レッドデータブックに記載、http://www.biodic.go.jp/rdb/rdb_f.html に分布、生育状況の記載あり)。

3. 利用の歴史

1) アゾラは単なる雑草ではない

我が国ではアカウキクサ、オオアカウキクサは水田雑草として記載され、かつてはその除去が行われた^{1, 25)}。しかし、十分に利用可能な“有用な”植物でもある。雑草管理ハンドブック¹⁵⁾にも害と有用性の両方が記述されている。利用上の特性として以下の2つがある。

(a) 高い窒素固定能力と高い窒素含量

窒素固定能力は最適条件ではヘクタール当たり1日で2kg N/ha (5g/m²/d 乾物生産、4%窒素)、バイオマス量でヘクタール当たり60kgN (最高バイオマス乾物1.5t/ha、4%窒素) にもなる⁴⁷⁾。生長量は最適条件では3日で倍になる。動物の餌としてややアミノ酸のバランスに偏りがある (イオウを含むアミノ酸が少ない) が、栄養価は高い²⁷⁾。

(b) 水面の全面をおおうと他の水草の伸長をおさえる (雑草抑制効果)^{7, 33, 38)}

一方、水稻苗が活着しないうちにアゾラが水面に広がると、風で吹き寄せられたアゾラの集団が幼苗の上にかぶり、稲の生長をおさえるので“雑草”として知られるのであろう (水田に生育した稲以外の植物を有効に利用するという発想はなかったのか)。

2) アジアでの利用

アゾラは主に水田緑肥として、それ以外に魚や家畜、家禽の餌として中国、北部ベトナムで古くから

(利用記録は11世紀までさかのぼる)利用されてきた。特に革命後の中国、北ベトナムで開放経済政策がとられた1980年中ごろまで、さかんに利用され研究されていた^{4, 18)}。

筆者は、国際稲研究所で1975年以来アゾラの水田での利用を研究してきた⁴³⁾。1975年ころは石油危機で化学合成窒素肥料の価格が高騰し、生物的窒素固定の研究と利用が注目されていた。そして、当時の中国やベトナムでのアゾラの利用技術を学び、東南アジアでの利用の普及に努めた。

一方、世界のアゾラ研究者と協力しながら、アゾラのすべての種をふくむアゾラの生きたコレクションを確立した⁴⁴⁾。しかしながら、フィリピンのミンダナオ南部のリン酸に富んだ土壌地帯をのぞき¹²⁾、あまり普及しなかった。その理由は水利条件が不適当¹⁴⁾(乾期に水がないとアゾラを通年生かしておくことができない、田植え後の排水が悪いと、稲に害をあたえる)、リン酸分の不足(水田での生育にリン酸の供給が一番きく)⁴²⁾、ミズノメイカ類によるアゾラの蚕食害²⁶⁾(特に30℃以上)、知識普及の不十分さなどがその要因だろう¹⁴⁾。化学肥料の使用が盛んとなった1985年頃からの中国でも福建省では、水田での養魚とアゾラ利用を組み合わせた方法(水稻-アゾラー魚システム)が一部の山間部地域で成功した^{19, 20)}。フィリピンでもアゾラー稲-魚同時作が試みられた²⁾。最近の利用状況はVan Hoveらがまとめた⁴⁰⁾。

4) 日本での利用の開拓

1993年頃、水稻の無農薬栽培をアイガモ飼養と組み合わせる形で実行していた福岡の古野隆雄に筆者は上記の福建での水稻-アゾラー魚システムが念頭にあったので、アゾラの利用をすすめた。早速、古野はこれを巧みにとりいれ、さらに魚の飼養まで組み合わせた水稻作を確立した^{8, 9)}。合鴨-水稻同時作の実践家や研究者の自主的な団体“全国合鴨水稻会”でも、アゾラを使った合鴨-水稻同時作の普及を図った。この技術の科学研究も鹿児島大学²¹⁾、岡山大学¹³⁾で行われ、岡山大学の岸田からは希望する農家にアゾラの接種源(苗)の配布もおこなわれた。中国でも合鴨-水稻同時作が試みられ、アゾラの利用も組み合わせられた(2004年中国蘇州省鎮江での見聞)。三重県名張の1農家はアゾラで水田の除草をはかる取り組みを行い、ほぼ成功をみた⁷⁾。筆者の知る限り、アカウキクサは利用されていない。アカウキクサは本州では生育しにくく、窒素含量、栄養価値も低いので、筆者は

あまり利用価値がないと判断している。このように無農薬水田農法への関心の高まりと、そのための技術の進歩で日本でも、アゾラの農業利用が可能となった³²⁾。

4. 外来の侵略的植物の規制とアゾラ

1) その後のいきさつ

1990年後半頃から、少しずつ日本のアイガモ水稻同時作実践家にオオアカウキクサの利用がひろがっていった。在来オオアカウキクサのほかに、筆者が三重大学でIRRIから得た外来種のうち、生育がよさそうなもの3~4系統⁴⁷⁾が使用された。ところが、全国合鴨水稻会の雑誌「合鴨通信」に“アゾラ利用の方向転換を”という題で、絶滅危惧種になっている在来オオアカウキクサ、アカウキクサを保護することを考慮して、安易な外来アゾラ種の導入を控えるよう提案があった²³⁾。それを受けて、続く32号にやはり外来種の導入に慎重な意見が投稿された⁴¹⁾。これらの情勢を考慮し、2001年7月に関係者(主に研究者)が集まって、相談し「合鴨通信」34号に「アゾラ導入指針」を発表し、在来オオアカウキクサと区別ができ、不稔のため、在来種の遺伝子を変化させるおそれのない交雑種(IRRI MI 4030, 4087)を使用するようにすすめた。在来のオオアカウキクサは夏期の成長が弱く、絶滅危惧種の地理的分布をかえるおそれがあるので、使用しないようにというもの^{49, 注)}。それから、岸田のところからは交雑種のみが配布されたようだ。この頃から、主に関西のあちこちの池でアゾラが池の全面を覆ったという報告がジャーナリズムにとりあげられるようになった。その中には在来種もあったが、地元の人には見慣れなかったり、従来見ていたのと違うので、もしかして外来種ではないかという疑いもでてきた。

兵庫県立人と自然博物館の鈴木武氏らは、全国のオオアカウキクサを集めてその酵素多形で遺伝的性質を調べた結果、あちこちで在来種とは違うものが見つかった。そのなかには交雑種 IRRI CODE MI4087(琵琶湖周辺や岡山県)のほかに*Azolla cristata*の旧 *A. caroliniana*(和歌山、兵庫、岡山県)、旧 *A. microphylla*(徳島県)と似たものがあった³⁶⁾。明らかにアゾラの水田からの逸出が証明されてきた。

このような状況が、今回アゾラ外来種の“特定外来生物法”による規制の対象にねらわれた背景であ

注) <http://www.asahi-net.or.jp/~it6i-wtnb/azollaintroduce1.html>

ろう。角野は外来水生植物の移入をめぐる、アゾラが最近局地的に大繁殖しているとして警告を発していた¹⁾。

2) “特定外来生物法”による規制の対象になる

侵略的外来生物による環境汚染や農林漁業、人の健康への悪影響を排するための法律「特定外来生物による生態系等に係る被害の防止に関する法律」(特定外来生物法または外来生物法)が平成17年10月から施行された。

冒頭に記した読売新聞の記事を受けて、筆者やアゾラの研究をしていた研究者は環境省野生生物課の担当者と連絡を取り、規制対象植物種(第2次)を指定する植物部門専門家会議(委員は角野康郎:座長,岡野邦夫,勝山輝男,黒川俊二,小林達明,濱野周泰,真鍋徹,矢原徹一各氏)に提出する資料の補強をおこなった。この専門家会議は、平成17年7月14日に公開で行われた。結局、農業利用の余地を残すため、交雑種(*A. cristata* × *A. filiculoides*)を除いた*A. cristata*を選定した。

“特定外来生物法”については、法の概要、規制種選定経過、指定された生物の取り扱いなど、細かい点まで環境省の“特定外来生物による生態系等に係る被害の防止に関する法律(外来生物法)”ウェブサイト <http://www.env.go.jp/nature/intro/> に記載されているので、ここでは詳しい記述を省略する。情報の公開はこのウェブサイトを通じて、よくおこなわれていたので、関係者は規制種の最終決定にいたるまでに、意見を述べることができた。

3) 今後のアゾラ使用

合鴨水稲同時作でのアゾラ利用は肥料や飼料の節約、除草剤不使用などの効果で“環境にやさしい”技術だが、一方では生物が逸出すると、ときには環境に影響を与える“両刃の剣”である。筆者自身やアゾラ研究者も逸出したアゾラがどういう影響を与えるか、十分に考慮してこなかった。ポルトガル³⁾(その後消滅との私信)、南アフリカ¹⁰⁾(天敵害虫いないので、繁殖したという)、エジプト⁵¹⁾で*A. filiculoides*が大量繁殖して問題を引き起こした例は報告されている。

現在の知識からして、*A. cristata*の“侵略性”はきわめて高いとはいえないと考えられる。その理由は(a)在来種への遺伝的かく乱

オオアカウキサの但馬型は今のところ大胞子のう果をつけることが知られていない。雌の繁殖器官ができないのでは遺伝的かく乱はおこりえない。

大和型は大小胞子のう果をつけることがあるが、同じ*A. filiculoides*を母親としたときには負の雑種強勢を示し、両親よりも生育が劣るので⁴³⁾、大和型が外来*A. cristata*と雑種を作る可能性は低い。しかし、すべての*A. cristata*を父親にして交雑実験をしたわけではないので、可能性を完全には否定できない。そこで、不稔の小胞子のう果のみをつける交雑種の利用をすすめた⁴⁹⁾。

(b) 水質環境での過繁殖

最近、あちこちの池でオオアカウキサまたは外来オオアカウキサと思われるものが、池の全面を覆うほど繁殖した例が報告されている。静岡県掛川の場合はウェブサイトで報告したが1年で消失した¹²⁾。多くの場合1年で消失した。たとえ消失したとしても、オオアカウキサから窒素成分が放出されたり、底に沈んだ植物遺体が腐って酸素ガス欠乏を起こす可能性がある。*A. filiculoides*は密生すると、植物体が5cmにもなり、からまって排水口をふさぐことになるので注意が必要だ²⁴⁾。特に、日本の小さなため池は生活排水が入り込み、リン酸が豊富で、窒素固定性のアゾラには好適であろう(逆に、リン酸に富む水域のリンの除去に使える³¹⁾)。

アゾラはミズノメイガに蚕食されたり、窒素過多となって他の窒素固定しない水草(多くはアオウキサや緑藻)に交代されたりして、消失する(これが水田での利用上問題点だが)ので、持続的な侵略種になりにくいであろう。しかし、在来種でもしばしばみられるように、一度は消滅したかのようにみえて、再発したり、場所をかえて出現することもありうるので、発生地では注意深く観察する必要がある。

(c) 在来種の駆逐

在来の但馬型オオアカウキサは通年湿地の谷地田などで、細々と生活していることが多い。ここに成長力の大きなオオアカウキサ(在来、外来を問わず)が侵入すると、弱い在来系統が駆逐されてしまう可能性が考えられる。しかし、これが起こりうるか、注意深い研究が必要である。

4) 問題点

アゾラが水稲作で利用され、農業上利用価値があることは特定外来生物法の規制対象種として選定するときに考慮され、農業利用の道を完全に封じることのないよう、交雑種(*A. cristata* × *A. filiculoides*)の利用が可能とな

注) <http://www.asahi-net.or.jp/~it6i-wtnb/azol-lanews036.html>

った。しかし、*Azolla section* のオオアカウキクサ但馬型、同じく大和型 (*A. filiculoides*)、交雑種 *A. cristata* の区別は簡単ではない。肉眼でみて誰でも区別可能というわけではない。慣れれば形態でおおよその区別はつくが(交雑系統は個体の中心部分が紅くなる)、信頼できる特徴は第1表に示した背面小葉の先端表面にある突起の大きさと細胞の数である。交雑種では、1細胞型と2細胞型が混ざっている。在来種との区別が肉眼では容易でないものを規制の対象にして効果があるかという疑問が残る。

東南アジアでは水稻作農家が水田や周辺湿地、河川で育つ魚、家禽、植物を多目的、総合的に利用してきた。そのなかの一つにアゾラの利用があった。益と害が対立する場合は慎重な配慮が必要であろう。利益と害の両面がある場合、“外来種は益よりも弊害が大きい”といちがいに割り切ってしまう¹¹⁾、もはや思考停止である。

引用文献

- 1) 安部五一・中川清・児玉三郎 1966. オオアカウキクサの被害と防除. 日作北陸会報 **2**, 51-54.
- 2) Cagauan, A. and S.V.Pullin 1994. *Azolla* in Aquaculture: Past, present and future. In "Recent Advances in Aquaculture" Vol.5. ed. by J.T.Muir, and R.J.Roberts, Blackwell Science, Cambridge, pp. 104-130.
- 3) Carrapico, F., M.H.Costa, M.L.Costa, G.Teixeira, A.Frazaio, M.C.R.Santos and M.V.Baioa 1996. The uncontrolled growth of *Azolla* in the Guadiana River. *Aquaphyte* **16**, 11.
- 4) Dao, T.T. and Q.T.Tran 1979. Use of *Azolla* in rice production in Vietnam. In "Nitrogen and Rice" IRRI, Philippines, pp.395-405.
- 5) Do Van Cat, I.Watanabe, W.J.Zimmerman, T.A.Lumpkin, and T.de Waha Baillonville 1989. Sexual hybridization among *Azolla* species. *Canad.J.Bot.* **67**, 3482-3485.
- 6) Evrard, C. and C.Van Hove 2004. Taxonomy of the American *Azolla* species (Azollaceae): a critical review. *Systematics and Geography of Plants* **74**, 301-318.
- 7) 藤山嘉雄 2003. アゾラを用いた私の無農薬稲作. 合鴨通信 **37**, 1-3.
- 8) 1997. 無限に広がるアイガモ水稻同時作. 農山漁村文化協会, 東京, 173pp.
- 9) Furuno, T. 2002. The Power of Duck, Tagari Pub. Tasmania, 94 pp.
- 10) Hill, M.P. and C.J. Cilliers 1999. *Azolla filiculoides* Lamarck (Pteridophyta : Azollaceae), its status in South Africa and control. *Hydrobiologia* **415**, 203-206.
- 11) 角野康郎 2004. 水草ブームと外来水生植物. 用水と廃水 **46**, 63-68.
- 12) 菊池真夫・渡辺厳, 1983. 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立上の制約要因- 農業総合研究 **37**, 71-121.
- 13) 岸田芳朗・宇都宮尚子, 1998. 総合技術としてのアゾラ-合鴨水稻同時作に関する農業生産システム 1. 水稻と合鴨の生産性に及ぼすアゾラの影響. 総合農学 **46**, 19-23.
- 14) Kulasooriya, S.A. 1990. Constraints for the widespread use of *Azolla* in rice production. In "Nitrogen Fixation, Proc. 5th Internatl. Symp. Nitrogen Fixation with Non-legumes". ed. by M.Polsinelli, R.Materassi and M.Vicentini, Kluwer Academic Pub., pp.473-479.
- 15) 草薙得一・近内誠登・芝山秀次郎編 1994. 「雑草管理ハンドブック」, 朝倉書店, 東京, 597pp.
- 16) 倉田悟・中池敏之編 1987. 「日本のシダ植物図鑑 第5巻」東京大学出版会, 東京, p.784, p.790.
- 17) Large M.F. and J.E.Braggins 1993. Spore morphology of New Zealand *Azolla filiculoides* Lam. *New Zealand J. Botany* **31**, 419-423.
- 18) Liu C.C. 1979. Use of *Azolla* in rice production in China. In "Nitrogen and Rice". IRRI, Philippines, pp.375-394.
- 19) Liu Chungchu and Zheng weiwen 1985. *Azolla* in China, Agricultural Publishing House, 429 pp (In Chinese, English summary).
- 20) Liu Chungchu 1987. Reevaluation of *Azolla* utilization in agricultural production In "Azolla Utilization". IRRI, Philippines, pp.67-76.
- 21) 劉翔・高山耕二・山下研人・中西良孝・万田正治・稲永淳二 1998. 飼料資源としてのアカウキクサ (*Azolla*) の栽培条件と栄養価値. 日本草地学会誌 **44**, 266-271.
- 22) Lumpkin T.A. and D.L.Placknett 1980. *Azolla*: Botany, physiology, and use as a green manure. *Economic Botany* **34**, 111-153.
- 23) 増田茂 2000. アゾラ利用方向の転換を. 合鴨通信 **31**, 5-7.
- 24) Mathews, L.J. 1963. Weed identification and control. *New Zealand J. Agric.* **106**, 297.
- 25) Matsumoto, H., T.Tanaka, S.Hirata and N.Kudo 1968. Experiments on the control of *Azolla* by herbicides. Some experiments on chemical control of *Akaiukusa (Azolla japonica)* with several herbicides. *Kyushu Nougyou Kenkyuu* **30**, 83.
- 26) Mochida, O., Y.Yoshiyasu and D.Diamano 1987.

- Insect pests of Azolla in the Philippines In "Azolla Utilization". IRRI, Philippines, pp.207-222.
- 27) Sanginga, N. and C.Van Hove 1989. Amino acid composition of Azolla affected by strains and population density. *Plant Soil* **117**,263-267.
 - 28) Saunders, R.M.K. and K.Fowler 1992. A morphological taxonomic revision of *Azolla* Lam. section *Rhizosperma* (Mey.) Mett.(Azollaceae). *Bot. J. Linn. Society* **109**,329-357.
 - 29) Saunders, R.M. and K.Fowler 1993. The supraspecific taxonomy and evolution of the fern genus *Azolla* (Azollaceae). *Plant Syst. Evol.* **184**,175-193.
 - 30) 白岩卓己 2000. 絶滅危惧植物－水性シダは生きる. 個人刊行 255pp.
 - 31) 汐見信行・鬼頭俊治・佐野寛 1992. 淡水性シダ植物. アゾラのため池での栽培とその資源化. *日本化学会誌* **1992**(5), 512-516.
 - 32) 汐見信行・鬼頭俊治・渡辺巖 2000.アカウキクサ属植物の飼料利用と「アイガモ稲作農法」への導入. *農業及び園芸* **75**,287-293.
 - 33) 庄籠徹也・吉岡哲也 1999. アゾーラ(オオアカウキクサ)による水稻の雑草抑制. *福岡総合農業試験場研究報告* **18**, 21-25.
 - 34) 杉野孝雄 1975. アカウキクサ線の提唱. *日本シダの会会報* **2**(22), 349-350.
 - 35) 鈴木武 2002. 現場最前線での植物保全と遺伝子多様性(6章). 種生物学会編「保全と復元の生物学-野生生物を救う科学的思考-」. 文一総合出版, pp.159-190.
 - 36) Suzuki, T., I.Watanabe and T.Shiraiwa 2005. Allozyme types of water fern *Azolla japonica* and its relatives (Azollaceae) growing in Japan. *Acta Phytotaxo. Geobot.* **56**,71-83.
 - 37) Svenson H.K. 1944. The new world species of *Azolla*. *Amer. Fern J.* **34**,69-84.
 - 38) 高林実・中山壮一・蘭道生 1986. 水田におけるアゾラの生態とその利用 第2報 田面被覆による雑草防除効果と水稻の生育・収量に及ぼす影響. *雑草研究* **31**(別),115-116.
 - 39) Van Coppenolle, B., I.Watanabe, C.Van Hove, G.Second, N.Huang and S.R.MacCouch 1993. Genetic diversity and phylogeny analysis of *Azolla* based on DNA amplification by arbitrary primers. *J. genome* **36**,686-693.
 - 40) Van Hove, C. and A.Lejeune 2002. Applied aspects of *Azolla-Anabaena* symbiosis. In "Cyanobacteria Synthesis" ed.by A.N.Rai, B.Bergman and U.Ramussen. Kluwer Academic Pub., Dordrecht, pp.179-193.
 - 41) 若宮洋 2001.「アゾラ利用方向の転換」を読んで. *合鴨通信* **32**,22-23.
 - 42) Watanabe, I. and C.M. Ramirez 1984. Relationship between soil phosphorus availability and *Azolla* growth. *Soil Sci. Plant Nutr.* **30**,595-598.
 - 43) 渡辺巖 1991. アゾラ.ラン藻共生系の窒素固定に関する研究とその応用. *肥料科学* **14**, 85-114.
 - 44) Watanabe, I., P.A.Roger, J.K.Ladha and C.Van Hove 1992. Biofertilizer Germplasm Collections at IRRI, The International Rice Research Institute, Philippines, 66 pp.
 - 45) Watanabe, I., Ma.T.Lapis-Tenorio, T.S.Ventura and B.C.Padre Jr. 1993. Sexual Hybrids of *Azolla filiculoides* with *A. microphylla*. *Soil Sci. Plant Nutr.* **39**,669-676.
 - 46) Watanabe, I. and C.Van Hove 1996. Phylogenetic, molecular and breeding aspects of *Azolla-Anabaena* symbiosis .In "Pteridology in Perspective". ed.by J.M. Camus, M.Gibby and R.J.Jones, Royal Botanic Gardens, London. pp.611-619.
 - 47) 渡辺巖・川島圭子・杉井志穂, 1996. 本邦における導入アゾラの生育について. *熱帯農業* **40**, 123-130.
 - 48) Watanabe, I., M.Sawamoto, A.Nakagawa, Y.Kowyama and T.Suzuki 1999. Diversity of *Azolla japonica* in Japan, analyzed by random amplified polymorphic DNA. *J.Jpn.Bot.* **74**,142-149
 - 49) 渡辺巖 2001. アゾラ導入の指針について. *合鴨通信* **34**, 18-19.
 - 50) 矢原徹一(監修) 2003.「レッドデータブック」山と溪谷社 pp.546-547.
 - 51) Yanni Y.G., S.N.Shalan and M.El-Haddad 1994. Potential role of *Azolla* as green manure for rice in Nile Delta under different levels of inorganic fertilization. In "Nitrogen Fixation with Non-Legumes", ed.by N.A.Hegazi, M.Fayez and M.Monib, The American University in Cairo Press, Cairo, pp.127-132.