総説 REVIEW

生物多様性保全のための河川における侵略的外来植物の管理

宮脇 成生¹⁾・鷺谷 いづみ²⁾

1) 株式会社建設環境研究所 〒170-0013東京都豊島区東池袋2-23-2

2) 東京大学農学生命科学研究科 〒113-8657 東京都文京区弥生1-1-1

Shigenari MIYAWAKI¹⁾ and Izumi WASHITANI²⁾: Management of invasive alien plants in riparian habitats of Japan for biodiversity conservation. *Ecol.Civil Eng.* 6(2), 195-209, 2004.

1) Civil Engineering and Eco-Technology Consultants Co., Ltd, 23-2, Higashi-Ikebukuro 2-chome, Toshima-ku, Tokyo 170-0013, Japan

2) Institute of Agricultural and Life Sciences, University of Tokyo, 1-1-1, Yayoi, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8657, Japan

Abstract: Native riparian plant communities are profoundly threatened by invasions of alien plants in Japan. At present, the proportion of vegetation area dominated by alien plants accounted for about 15 percent in the rivers administrated by the Ministry of Land Infrastructure and Transport. Displacement of native plant communities by invasive alien plant species is altering riparian ecosystems substantially. To preserve riparian plant communities, active management to suppress the dominance of invasive alien plants is urgently required. Weed control methods in agricultural ecosystems, which usually have strong side effects on various organisms and tend to simplify the ecosystem, are not suitable for the control measures for biodiversity conservation. Ecosystem approaches, focusing both management of invasive species and restoration of sound ecosystems simultaneously are desirable. Ecosystem management on the invasive species populations and habitat restoration should be based on sufficient information on the population ecology, and the causal factors enhancing ecosystem invasibility.

Key words: adaptive management, alien plant control methods, catchment area strategy, invasive alien plants, riparian habitats

はじめに

過去 100~150 年の間に交通機関の発達や経済活動のグローバル化に伴う人や物資の移動が活発になるとともに、それに伴う生物学的侵入が頻繁に起こるようになり (di Castri 1989; Ashton & Mitchell 1989), 河川においても在来植物のみで構成される植生は現在まれになった (Cronk & Fuller 1995). 日本の河川も例外でなく, 多くの外来植物の侵入をみることができる. 1999 年の時点で,

国の各直轄河川 (109 水系 123 河川) で確認された植物種の 1~3 割が外来植物で占められるまでになっている (外来種影響・対策研究会 2001; 鷺谷 2002a).

河川への外来植物の侵入は, 生態系だけでなく人間の健康や産業活動にまで様々な負の影響を及ぼす (日本生態学会 2002). それらの悪影響を回避し, 健全な河川環境を保全するためには, 河川管理の現場においても外来植物への対策が必要である (外来種影響・対策研究会 2001; 国土交通省北陸地方整備局千曲川工事事務所 2003). しかし, 日本の河川における外来植物の生態に関する情報は限られているため, 外来植物が問題となって

2003 年 5 月 14 日受付, 2004 年 1 月 16 日受理

1) miyawaki@kensetsukankyo.co.jp

いる現場において、適切な生態の研究にもとづいた駆除方法等の検討を行う必要がある。

本稿では、日本の河川における外来植物の侵入状況およびその影響、効果的な外来植物対策を実施するための、流域を視野においた管理戦略および戦術（駆除方法）について、保全生態学の立場、すなわち、生物多様性と健全な生態系の保全（鷲谷 1999）を目指すという立場から、筆者らの公表済みの研究成果、河川水辺の国勢調査など既存データの分析などを交えながら概説する。

日本の河川における外来植物の侵入状況

日本の河川における外来植物侵入の概況は、「河川水辺の国勢調査」の結果から把握することができる。「河川水辺の国勢調査」は、平成2年度より建設省（現国土交通省）が全国109水系の直轄河川123河川で実施しており、その一環で「植物調査」として各河川の直轄管理区間において、およそ5年に1回の間隔で植物相の調査および植生図の作成が行われている（建設省河川局河川環境課 1997c）。

河川別に作成された植生図から、植生区分ごとに合計面積が算出されている（建設省河川局治水課 1994, 1995; 建設省河川局河川環境課 1996, 1997a, 1997b, 1998, 1999, 2000; 国土交通省河川局河川環境課 2001）。それにもとづき、外来植物が優占する植生（以降、「外来植物群落」と記す）の面積および各河川の全植生面積を集計した。集計対象としたのは、平成3年度（1991年）から平成11年度（1999年）の期間に実施された調査のうち、各河川の最新の結果である。なお、外来植物群落としては、植生図における植生区分名（群落名）に外来植物種名が含まれているもののみを取り上げた。外来植物種名は「日本の外来種リスト（維管束植物）」（日本生態学会 2002）に従って表記した。

集計の結果、平成3年度から平成11年度までの調査で確認された外来植物444種（外来種影響・対策研究会 2001）のうち87種について、その種が優占する群落が確認された。それら外来植物群落面積の調査河川における合計は約12000 haに達し、これは全植生面積の約15%にあたる。河川別にみると、植生において外来植物群落が占める面積の割合は平均値で約17%だった（Fig. 1）。なお、植生の50%以上が外来植物群落で占められている河川として、中川（綾瀬川を含む）、猪名川、草津川、白川、肝属川の5河川が確認された。

外来植物群落を優占種別にみると、全調査河川での合計面積が100 ha以上となるものは18タイプが確認され

Fig. 1. Frequency distribution of % vegetation area dominated by alien plant species in the total vegetation area among 123 rivers in Japan.

た（Table 1）。この18タイプの合計面積は、全外来植物群落面積の約90%を占めていた（Fig. 2）。圧倒的な優占を誇るのが多年生草本のセイタカアワダチソウ *Solidago altissima* L., 木本のハリエンジュ（ニセアカシア）*Robinia pseudoacacia* L., 次いでカモガヤ *Dactylis glomerata* L., オオバタクサ *Ambrosia trifida* L., オオアワダチソウ *Solidago gigantea* Aiton var. *leiophylla* Fernaldであった。これらのみの合計で、全外来植物群落面積のおよそ3分の2である64%を占めていた。この上位5タイプの優占種はすべて“日本の侵略的外来種ワースト100”（日本生態学会 2002）に挙げられた種であった。“侵略的外来種（invasive alien species）”とは、外来種のうち、導入もしくは拡散した場合に、生物多様性を脅かす種を指す（UNEP 2002; 日本生態学会 2002）。“日本の侵略的外来種ワースト100”に選定されているものも、日本において生態系や人間活動への影響が大きく、優先的に対策を行うべき外来種である（日本生態学会 2002）。

なお以上の集計では、「牧草地」「採草地」「人工草地」といった主に外来牧草で占められる領域を含めていないため、外来植物群落の合計面積および外来牧草（ネズミムギ *Lolium multiflorum* Lam., カモガヤ等）の面積を過小評価している。「牧草地」「採草地」「人工草地」の合計面積は約18,000 haであり、この値は先述の外来植物群落の合計面積を上回っている。

Table 1. Total area occupied by vegetation dominated by alien plant species over investigated rivers. Only those with the area above 100ha are presented. Total investigated area accounted for about 81 thousand hectares in the rivers administrated by the Ministry of Land Infrastructure and Transport.

Family	Dominant species of vegetation		Vegetation area (ha)
Compositae	セイトカアワダチソウ	<i>Solidago altissima</i> L.*	3369
Leguminosae	ハリエンジュ	<i>Robinia pseudoacacia</i> L.*	2197
Gramineae	カモガヤ	<i>Dactylis glomerata</i> L.*	835
Compositae	オオブタクサ	<i>Ambrosia trifida</i> L.*	603
Compositae	オオアワダチソウ	<i>Solidago gigantea</i> Aiton var. <i>leiophylla</i> Fernald*	579
Gramineae	セイバンモロコシ	<i>Sorghum halepense</i> (L.) Pers.	550
Compositae	ヒメムカシヨモギ	<i>Erigeron canadensis</i> L. var. <i>canadensis</i>	386
Gramineae	シナダレスズメガヤ	<i>Eragrostis curvula</i> (Schrud.) Nees*	379
Cucurbitae	アレチウリ	<i>Sicyos angulatus</i> L.*	319
Compositae	オオアレチノギク	<i>Conyza sumatrensis</i> (Retz.) Walker*	254
Leguminosae	イタチハギ	<i>Amorpha fruticosa</i> L.*	230
Gramineae	オオクサキビ	<i>Panicum dichotomiflorum</i> Michx.	216
Compositae	コセンダングサ	<i>Bidens pilosa</i> L. var. <i>pilosa</i>	151
Gramineae	メリケンカルカヤ	<i>Andropogon virginicus</i> L.	134
Gramineae	ナガハグサ	<i>Poa pratensis</i> L. var. <i>pratensis</i>	132
Gramineae	タチスズメノヒエ	<i>Paspalum urvillei</i> Steud.	124
Hydrocharitaceae	オオカナダモ	<i>Egeria densa</i> Planch*	121
Gramineae	アメリカズズメノヒエ	<i>Paspalum notatum</i> Flüge.	115
All alien plant species			11882

*100 of The Worst Invasive Alien Species in Japan (The Ecological Society of Japan 2002)

河川における外来植物侵入の影響

外来種の侵入は、生物多様性に対して大きな脅威として認識されている (Primack 1993; 鷺谷・矢原 1996; McNeely et al. 2001; Wittenberg & Cock 2001; 環境省 2002). また、植物は陸域から水域の生態系において生物群集の

骨格を成しているため、多様な在来植物で構成されていた植生が、外来植物で優占される植生で置き換えられることは、生態系が全く異質なものに変わすることを意味する (Schmitz et al. 1997; Blossey 1999).

外来植物が侵入先の生物多様性や生態系に与えた影響に関しては、すでに世界中から多くの報告がなされている (例えば, Mooney & Drake 1986; Drake et al. 1989; Mooney & Hobbs 2000; 日本生態学会 2002). 外来植物が与えた明瞭な影響としては、水文パターンの変化 (van Wilgen & Richardson 1985; Busch & Smith 1995; Le Maitre et al. 1996), 土壌中の栄養塩類濃度の変化 (Vitousek 1986; Vitousek et al. 1987; Busch & Smith 1995), 土砂堆積の促進 (MacDonald et al. 1989; Busch & Smith 1995; 中坪 1997), 在来植物との置き換え (Ewel 1986; Busch & Smith 1995; Gould & Walker 1997), 在来種の成長抑制 (Wilson 1989; Matsumoto et al. 2000) などが挙げられている.

日本の河川においても、外来植物の侵入により、河川固有の植物の存続が危ぶまれるようになった事例 (村中・鷺谷 2001 b), 植物種の多様性が減少している事例 (宮脇・鷺谷 1996) などが報告されている (Fig. 3).

一方、外来植物侵入による高次の相互作用や間接的な

Fig. 2. Cumulative proportion of total vegetation area dominated by alien plant species for top 50 species.

Fig. 3. Relationship between species richness and the density of *Ambrosia trifida* in the Tajimagahara Nature Reserve. Species richness and density are defined, respectively, as the number of vascular plant species and the number of individuals of *A. trifida* in each quadrat of 0.25m². (Redrawn from Miyawaki & Washitani 1996)

影響（例えば、生態系レベルでのエネルギーや物質循環への影響、生物間相互作用への影響など）については、研究例が少なく、その知見は極めて限られたものでしかない（Mack & D'Antonio 1998; Blossey 1999）。

これらの外来植物の侵入が生態系に対して与える変化は“不可逆的”である可能性を持つ（安島 2001; 鷺谷 2002a）。すなわち、一時的あるいは長期にわたる外来植物個体群の成立は、地域における種子供給源の成立を意味し、ここから供給される種子は土壌シードバンクとして蓄積される（鷺谷 2002a）。

土壌シードバンクとは、土壌中あるいはリター層中に存在する生存種子の集団をさす（Simpson et al. 1989; 荒木ほか 2003）。土壌シードバンクは、その持続性にもとづいて、季節的シードバンク（seasonal seed bank）と永続的シードバンク（persistent seed bank）に分類することができる（Thompson & Grime 1979; 荒木ほか 2003）。永続的シードバンクが存在する場合には、土壌シードバンクの消長と地上の個体群の消長は必ずしも一致しない。種子の長い寿命に応じて地上の個体群が消失した後も、土壌シードバンクは持続するからである（Leck et al. 1989）。

したがって、外来植物の土壌シードバンクは植生遷移の初期相を本来とは全く異なるものに変化させる可能性を持つ（安島 2001; 鷺谷 2002a）。すなわち、土壌シ-

ドバンクが維持されていれば、たとえ遷移が進んでその外来植物の群落が地上から姿を消したとしても、その場所が攪乱を受けるたびにその外来植物が優占する可能性がある（鷺谷 2000b）。

外来植物の河川への侵入は、治水上の安全性にも影響を及ぼす場合がある（Busch & Smith 1995）。例えば、河道周辺の礫河原など、本来、植生密度が疎らで裸地的な場所にシナダレスズメガヤ *Eragrostis curvula* (Schr.) Nees のような外来牧草が密生した場合、あるいは草本や低木の在来種が生育していた場所にハリエンジュのような高木が侵入し樹林を形成した場合、河道の洪水流下能力にも影響が及ぶ可能性が大きい（例えば、清水・長田 2002）。

また、外来植物の侵入は農業、林業などの経済活動に対しても損失を与える（Mack & D'Antonio 1998; Pimentel et al. 2000; Pimentel et al. 2001; 清水 2000）。日本の河川の直轄管理区間における農耕地面積は、17000 ha を越える（建設省河川局治水課 1995; 建設省河川局河川環境課 1996, 1997a, 1997b, 1998, 1999, 2000; 国土交通省河川局河川環境課 2001）。河川への外来植物の侵入は、これらの農耕地の生産性に直接的な影響を与えるだけでなく、農耕地における除草剤等の使用量の増加を通じて、間接的に周辺の生物や河川の水質へ悪影響を及ぼす可能性がある。畑等の農耕地に侵入して作物生産を阻害するいわゆる“害草”には、外来の草本植物も多く含まれている（清水 2000）。また、炭疽病菌の宿主となることを通じてハリエンジュやイタチハギ *Amorpha fruticosa* L. が、リンゴ等の果樹生産に病害をもたらすことも知られている（例えば、飯島 1999）。

河川の堤防などを外来のイネ科牧草（例えば、ネズミムギ *Lolium multiflorum* Lam., カモガヤ *Dactylis glomerata* L., ヒロハウシノケグサ *Festuca pratensis* Huds. など）が覆っている場合、これら風媒植物が大量に散布する花粉が、周辺住民の花粉症の原因となることも知られている（斉藤・井手 1994）。これまでに多摩川や江戸川において学童の集団花粉症発症の事例が知られている（斉藤・井手 1994）。また、河川敷で大規模な群落を形成することのあるオオブタクサも風媒植物であり、同様に花粉症の原因となる可能性がある（斉藤・井手 1994）。

流域を視野においた外来植物管理戦略の必要性

外来植物対策を成功させるには、生態学的な視点からの適切な戦略が必要である。外来種の駆除あるいは管理活動は世界各地で実施されているものの、不適切な計

画・方法による失敗例も報告されている (MacDonald et al. 1989; Randall et al. 1997; Simberloff 2003). これまでに、外来植物の根絶に成功した例はそれほど多いとはいえないが (Simberloff 1997), その目標は原則的には根絶にすることが重要である (Cronk & Fuller 1995; 鷺谷・村上 2002). なぜなら、根絶に成功すればその後の生物多様性および生態系への影響や経済的な損失を回避できるが、ある水準で侵入拡大を抑制し続けるような制御の場合は、生物多様性および生態系への不可逆的な影響と経済的な損失が継続することになるためである (Wittenberg & Cock 2001; 鷺谷 2002a).

根絶を成功させるためには、外来種侵入後の早い段階で対策を開始することとともに、集中的に労力および費用を投入することが必要である (Hobbs & Humphries 1995; 鷺谷・村上 2002). 個体群が存続可能な程度の個体数が駆除しきれずに残っていたり、継続年数が十分でないなどといった不徹底な対策では、効果が得られない可能性が高い (例えば、宮脇・鷺谷 1996; Parker 2000).

また、たとえ対象とする外来植物を一旦根絶できたとしても、再侵入の可能性があるため、同時に侵入源への対策が必要である (Usher 1988; MacDonald et al. 1989; Zavaleta et al. 2001).

一方、外来種対策自体が在来種および生態系に影響を与える可能性についても考慮しなければならない (Zavaleta et al. 2001; 外来種影響・対策研究会 2001). すなわち、外来種対策の計画策定に際しては、駆除実施による外来植物個体および個体群の反応だけでなく、他の生物および生態系が示す反応を把握する必要がある (Cronk & Fuller 1995; 西廣・皆川 2002).

外来種対策に伴う影響には、いくつかのタイプが考えられる. 例えば、外来植物を駆除するために除草剤を使用した場合、標的生物以外の生物への影響、食物連鎖を通じた生物濃縮などの副次作用をもたらす可能性がある. 加えて、特に河川での除草剤の使用は、河川への流入による水質への影響が問題となる.

また、複数の外来種が侵入している場合、単に1種の外来種を除去することは、他の外来種にとっての生育に適した場所をつくり出すことになる可能性もある (Zavaleta et al. 2001). そのため、多くの場合、外来種対策は1種のみでなく、複数種を対象に同時に進めることが必要である (Hobbs & Humphries 1995).

外来種の侵入状況によっては、土壌中の栄養塩の組成や濃度を在来種の生育に適さない状態に変えてしまい、外来種を除去するだけでは生態系が回復しないこともあ

る (El-Ghazeeb 1991). このような場合は、外来種の根絶とともに、生育条件の修復も必要となる (Randall et al. 1997; Myers et al. 2000; Zavaleta et al. 2001).

以上の問題に対処しつつ、外来種の効果的な管理を行うには、個別の種の駆除にのみ焦点を当てた戦術的なアプローチだけでなく、生態系を視野に入れた長期的かつ広範囲の戦略が必要である (Simberloff 1997; Mack et al. 2000). このような戦略は、目前の外来種に対処することだけに集中するのではなく、同時に何種もの外来種の侵入および分布拡大をもたらしている要因を十分に把握し、それを取り除く根本的な解決をめざすものである (Mack et al. 2000). また、外来種対策を、それだけで単独に実施するのでなく、生態系の回復というより広い目標のもとに位置づけることは、生態系や生物多様性への好ましくない影響を防ぐ上でも有効である (Zavaleta et al. 2001; 日本生態学会 2002). ただし、生態系に対する人為的な働きかけがもたらす影響の予測には限界がある (鷺谷・松田 1998; 鷺谷 1999). あらかじめ予期しない影響に対応するためにも、河川における外来植物への対策は、モニタリングを重視し、順応的管理手法 (鷺谷 1998) により進める必要がある (鷺谷・村上 2002).

これまでそのように生態系の問題を十分に考慮した、あるいは広範囲・長期を対象とした戦略にもとづいて実施された外来植物管理の例はそれほど多くはなかった (Luken & Thieret 1997). しかし、いくつかの国においてはすでにこのような外来植物管理が始められている. 例えば、オーストラリアは、侵略的外来植物の影響を抑制することを目的とした国家雑草戦略を策定して実践している (Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand et al. 1999). また、南アフリカ共和国では、20年計画ですべての侵略的外来木本植物を伐採するプロジェクトを開始し、着実に成果を上げつつある (The Working for Water Programme 2000, 2001, 2002). このプロジェクトは、侵略的木本外来種の占有面積が170万haにも及び、それらが蒸散作用によって大量に水を消費することを通じて、流域の利用可能な水量を著しく減少させている (van Wilgen & Richardson 1985; Le Maitre et al. 1996; Le Maitre et al. 2000) という現状認識にもとづくものでもある. このプロジェクトには年間約2千万USドルが投資されているが、これは水供給を確保するために大規模ダム建設する場合と比較して、はるかに低コストである (van Wilgen et al. 1998). さらに、外来植物の伐採という労働集約的な作業を多く要することを通じて、新たな雇用を創出するとともに、最貧層の

生活を支援するといった面から社会的な意義も大きい (The Working for Water Programme 2000; 2001; 2002).

流域の外来植物管理戦略立案において考慮すべき事項

適切に侵略的外来植物の駆除を行うには、その生態学的特性、とくに生活史および個体群動態に係る諸特性、および外来植物の侵入・分布拡大を助長するような環境要因を十分に把握した上で管理計画を立てる必要がある (Groves 1989; Curnutt 2000).

ここでは、流域での外来植物管理戦略を立案する際に考慮すべき事項について、河川への侵略的外来植物の侵入をその3つの構成要素、すなわち“侵略的外来植物の生態学的特性”、“河川の特長”、“人間活動”に着目して述べる。

(1) 侵略的外来植物の生態学的特性

駆除計画の立案においては、対象となる外来植物の生態的な特性や侵入場所での個体群動態を把握した上で、有効な方法をとる必要がある (Cronk & Fuller 1995; 鷲谷・矢原 1996). 植物の個体群動態に関する分析や予測においては、「隠された地下の個体群」ともいえる土壌シードバンクを考慮に入れることが必要である (Kalisz & McPeck 1992; 鷲谷 1993; Silvertown & Charlesworth 2001; Doak et al. 2002). 外来植物には、攪乱依存的な生活史戦略を持つものが多く、このような種の多くが永続的シードバンクを形成するからである (Grime 1979; 鷲谷・森本 1993). そのため、永続的シードバンクを形成する種の駆除を行う場合、根絶のためには土壌シードバンクの持続性に応じた継続的な取り組みが必要となる (宮脇・鷲谷 1996; Drayton & Primack 1999).

外来植物に対する効果的かつ効率的な駆除方法を選択する際には、個体群動態モデルを用いた個体群の将来予測が有力なツールとなる (鷲谷 1997; Byers et al. 2002). 個体群動態モデルは、絶滅危惧種の保全管理の結果を予測するために多くの事例で使用されてきた (Menges 2000). 外来種管理においても個体群の成長に対して重要な生活史段階を明らかにし、その存続可能性を低下させる対策を見出すためには、個体群動態モデルを用いた予測が有効である (宮脇・鷲谷 1996; Drayton & Primack 1999; Parker 2000).

例えば、宮脇・鷲谷 (1996) は、荒川河川敷の特別天然記念物保護区内に侵入したオオブタクサについて、土壌シードバンクを考慮した個体群動態モデル (Fig. 4) を用いたシミュレーションにより駆除効果の予測を行っ

た. その結果、保護区内のオオブタクサを根絶するためには、少なくとも発芽個体の 90% 以上を数年間継続的に駆除しなければならないことが明らかになった (Fig. 5). その後、同保護区では、徹底した外来植物駆除を継続的に実施し効果を上げつつある (浦和市教育委員会 2001).

すでに河川の広範囲に生育している外来植物の管理においては、対象種のメタ個体群の構造とその動態を把握しておくことが必要である. メタ個体群とは、個体群間を流動する個体や遺伝子によって相互作用をもつ、地域に散在する個体群 (局所個体群) のあつまりと定義される (Hanski & Gilpin 1996; 鷲谷・矢原 1996). 一般に、局所個体群の種子生産と分散により新たな局所個体群の成立が保障されていれば、一部の局所個体群が衰退あるいは消失しても、そのメタ個体群は存続する (Hanski 1999). したがって、河川での外来植物侵入による影響を抑制するためには、種子供給源をつくらないための対策に加えて、すでに形成されている種子供給源を消滅させるための管理が必要となる (鷲谷 2000a). 例えば、メタ個体群構造にソース個体群とシンク個体群 (Pulliam 1988) の明瞭な区別が認められる場合には、まずソース個体群、すなわち十分な種子生産を示し、確実な実生の定着が認められる個体群の種子生産を抑制することに重点を置く必要がある (鷲谷 2000a).

河川においては、流水によって植物体の一部や種子等の繁殖体の下流へ分散されやすい (例えば、Staniforth & Cavers 1976; Schneider & Sharitz 1988). この流水による散布は、新たな場所へ種子等を供給することで水辺の植生の多様性維持に貢献する一方で、外来植物の種子等の分散にも寄与している (Campbell et al. 2002). 流水で運ばれる種子は、必ずしも水に浮く構造を持つものに限られておらず、これらが増水時に運搬されたのち、到着した場所に定着する事例が報告されている (米森・倉本 2000). このことは、河川に外来植物が侵入した後の流域レベルでの種子による分布拡大速度が、流水による分散効果がない場合に比べて、ずっと大きいものである可能性を示唆する (鷲谷 2000a).

(2) 河川の特長

河道改修、砂利採取、河道横断構造物の建設などに伴い、河床の低下や河道の複断面化などの変化が生じていることが明らかになってきた (例えば、李ほか 1999; 末次ほか 2001; 末次 2002). これに伴い礫河原の減少、高水敷の冠水頻度低下に伴う樹林化の事例が多くの河川で報告されている (例えば、李ほか 1999; 萱場 2000; 清水ほか 2000; 末次ほか 2001; 末次 2002).

Fig. 4. Schematic representation of a simple model for population dynamics of *A. trifida* including soil seed bank components. In this scheme, the number of seeds N in the $y+1$ year is described as $N_{y+1} = \text{Min} [K, faN_y] + (1-a-d)N_y$ (Redrawn from Miyawaki & Washitani 1996)

一方、河川に生育する植物種の分布あるいは種構成は、地盤の水面からの高さ (Franz & Bazzaz 1977; Lindsey et al. 1961; 倉本ほか 1993), 冠水頻度 (Conner et al. 1981; Johnson et al. 1976), 土壌の質 (Lindsey et al. 1961; 倉本ほか 1993) などの要因の影響を受ける。これらの要因の変化は、河辺に生育する植物種の分布あるいは種構成に対して不可避免的に変化をもたらすこととなる (Busch & Smith 1995)。

このような河岸地形の複断面化や高水敷の冠水頻度低下は、河川に固有な在来植物の生育適地を減少させる一方で、外来植物が侵入しやすい条件をつくりだすとともに、すでに侵入していた外来植物の分布拡大をもたらす可能性がある (Kolar & Lodge 2000)。例えば、日本の河川においても、河岸地形の複断面化とこれに伴う高水敷の冠水頻度低下により、かつては裸地や疎らな草原であった場所がハリエンジュなどの樹林に移行した事例が報告されている (李ほか 1999; 末次ほか 2001; 末次 2002)。

(3) 人間活動

1) 移入

原産地から河川へ外来植物が到達するまでには、いくつかの段階がある。それぞれの段階における成否は、むしろそれぞれの植物が持つ生物学的特性よりも、人間活動の諸相に依存するところが大いと考えられている (di Castri 1989)。外来植物が河川に到達する経路には、“人間活動に伴う導入”と“河川周辺からの分布拡大”

がある (外来種影響・対策研究会 2001)。人間活動に伴う導入には、利用目的に応じた“意図的な導入”，および“非意図的な持ち込み”の2つの場合がある (村上・鷺谷 2002)。

河川における意図的な導入としては、お花畑造成 (“フラワーベルト”，“フラワーカナル”などの名称で呼ばれる) などの観賞目的の導入 (外来種影響・対策研究会 2001)，牧草としての導入 (矢野 1988)，堤防法面の緑化材料としての利用 (外来種影響・対策研究会 2001; 鷺谷 2002b)，水質浄化への利用 (藤田ほか 2001) などが挙げられる。

一方、非意図的な持ち込みには、輸入飼料・牧草などに混入した外来植物種子を食べた家畜の糞の農耕地への肥料としての導入 (西田 2002)，河川工事等に伴う外来植物種子の混入した土砂の持ち込み (外来種影響・対策研究会 2001)，流域からの非意図的な種子分散などをあげることができる。

このような経路による外来植物導入の防止・抑制は、定着個体数の抑制だけでなく、駆除後の再侵入を防ぐ点からも重要である。特に、緑化に用いられる外来植物については、すでに多くの河川で大群落を形成し、大きな種子供給源すなわちソース個体群が存在する。これらに対しては、地域の在来種による緑化方法および緑化材料供給システムなどの早急な検討が必要である (日本緑化工学会 2002)。

Fig. 5. Simulations of soil seedbank dynamics of *A. trifida* for proportion of removed individuals (p) at different fecundity (f) (Redrawn from Miyawaki & Washitani 1996)

先進的な取組みとして六角川においては、国土交通省、学識者等で組織される「在来種による河川緑化検討委員会」により、六角川に生育する在来種による緑化資材供給計画策定のための検討が、平成14年度(2002年)より始まっている(外来種影響・対策研究会 2003)。

2) 土地利用

人間による土地利用パターンは、外来種による生態系への侵入可能性に大きな影響を及ぼす(Hobbs 2000)。特

に農業や開発に伴う在来種のハビタットの分断化や攪乱地の拡大は、外来種の蔓延を助長する(Vitousek et al. 1996)。したがって、外来植物が侵入しやすい立地をつくらないように配慮することも、外来植物の分布拡大を抑制する上では重要である。

現在の日本の河川では、ヨシ原やオギ原など既存の植生が裸地化されると、最初に侵入して優占するのは多くの場合、外来植物である。したがって河川敷での公園や運動施設などの造成や、護岸工事などに伴う重機や資材の置き場所確保などによる既存植生の破壊は、外来植物の侵入に適した場所をつくることを意味する(Washitani 2001; 西廣・皆川 2002)。

すでに河川に侵入した外来植物の対策

河川に侵入した外来植物への対策の目的は、外来植物による生物多様性、生態系および人間活動への影響を抑制し、外来植物が侵入する前の環境を取りもどすことである。そのためには、河川に定着している外来植物の個体数および占有面積を減少させる必要がある。その対策に際しては、次のようなことを考慮すべきである。

(1) 早期発見・早期対策

根絶あるいは許容可能なレベルでの制御に成功した例のほとんどは、外来種の侵入初期に対策・管理が始められたものである(MacDonald et al. 1989; Simberloff 2003)。また、外来種の個体数がまだ少ない侵入初期に対策を開始することは、外来植物侵入に伴う社会的コストを低く抑えるために必須である(Hobbs & Humphries 1995)。したがって、侵入初期においては、その種に関する生態情報等が少なく、駆除手法に関する知見が不十分であったとしても、何らかの駆除の取り組みを始めることが肝要である(Simberloff 2003)。

外来植物の侵入初期に駆除を開始するためには、侵入の初期段階で駆除すべき外来植物を検出するシステムが必要である。現在、日本の直轄河川においては、5年に1回程度の頻度で実施される「河川水辺の国勢調査」で植物相の調査および植生図の作成がなされているため、比較的初期の外来植物侵入の検出が可能である。

すでにいくつかの河川において生育地の拡大がみられ、何らかの問題を起こしている外来植物は(例えば、Table 1)、他の河川でも問題を起こす可能性をもっている。それらがまだ侵入していない河川、あるいはまだ広い生育地を占めるに至っていない河川において、これらを「警戒種」として早期発見・早期駆除の対象とすることが望まれる。

(2) 優先的に駆除を実施すべき対象

河川において外来植物駆除を実施するとき、上流から下流までのすべての生育場所で同時に実施するのが理想的であるが、現実的には様々な制約によって困難なことも考えられる。その場合には、生物多様性保全上重要な場所、あるいは流域からの外来植物根絶にとって効果が高いと期待される場所から実施すべきである (Cronk & Fuller 1995)。

生物多様性保全の観点から価値の高い場所としては、絶滅危惧種およびその流域内で希少な種あるいは減少しつつある種の生育・生息場所や、在来種から構成される良好な生物群集が残存している場所などが挙げられる (西廣・皆川 2002)。

これに対して、その場所自体の保全上の重要性はそれほど高くなくとも、流域全体への影響を考慮したとき、対策の優先順位を高くすべき場所もある (Hobbs & Humphries 1995)。前述のように、河川では洪水時等の流水による下流側への種子の運搬により、植物が分布を拡げる可能性が高い。したがって、上流から再び侵入が起らないように、まず上流側の種子供給源となっている個体群 (ソース個体群) の対策に着手すべきであろう (鷺谷 2002a)。

(3) 外来植物駆除方法の設定

河川などの自然生態系で行う外来植物駆除の目的は、対象とする外来植物の根絶や抑制だけでなく、地域の生物多様性を維持すること、あるいはこれを回復することである (Groves 1989)。これは、農地でおこなわれる雑草管理と大きく異なっている点である。農地での雑草管理は、目的作物のみの生育に資するように、生物相を単純化する (Groves 1989)。また、そのほとんどが、空間的にごく限られた範囲を対象とする (Hobbs & Humphries 1995)。生物多様性保全のための駆除においては、その方法が対象とする外来植物のみに選択的な効果を持つとともに、駆除活動自体が人間を含めた他の生物および生態系に影響を及ぼすことがないよう厳格な配慮が求められる。

植物の駆除方法は、人手および機械による方法、化学的方法、生物学的方法、生育地条件の改変による方法などに分類される (Cronk & Fuller 1995; Madsen 1997; Cronk & Fennessy 2001; Wittenberg & Cock 2001)。これらの駆除方法は、対象とする植物種の生活史、生態的特性、周囲に生育・生息する他の生物を考慮し、その場所の状況に応じて適切なものを選択する必要がある。また、同じ種であっても地方ごとの気候の違いなどにより、フ

ェノロジー、すなわち、発芽、開花、結実の時期、あるいは地上部と地下部への物質分配の季節パターンなどが異なるため、駆除時期については個別に検討を行うことが必要である。

1) 人手および機械による方法

人手および機械による方法には、植物体の抜き取り、刈り取りなどがある。特に抜き取りは、対象とする外来植物の選択的駆除が可能であるため、他の方法と比較して、対象種以外の種への副次的影響が小さいという利点がある (Wittenberg & Cock 2001)。また、根系などの地下部も含めた除去が確実にできることも大きな利点となる。

一年生草本あるいは多年生草本・木本の実生など根の浅い植物については、根系を含めて植物体全体を抜き取ることは、たやすいだけでなく効果も大きい (Wittenberg & Cock 2001)。しかし、定着後数年経過した多年生草本や木本の成木などの根系が地下深くあるいは水平方向に広がっている植物に対しては、別途、根系の掘取りなどを実施する必要があるだろう。

なお、駆除対象とする外来植物が多年生草本であり、その種が優占群落を形成している場合には、草刈機などを用いた刈り取りにより地上部の成長を抑制することもできる。その場合、効果的な刈り取りのためには、実施時期の十分な検討が必要である。そのためには、対象とする植物が地上部の刈り取りに対して示す反応 (補償的な成長、シュートの再生など) および地上部/地下部への物質分配の季節パターンに配慮する必要がある (例えば、富沢・鷺谷 1998)。その際、刈り取りに対する植物の物質分配やその他の生理生態学的反応に関するモデル (例えば、Iwasa & Roughgarden 1984; Iwasa & Cohen 1989) を用いて、適切な刈り取り時期や頻度を検討することも有効である。

対象とする外来植物が木本の場合は、根元付近からの伐採がおもな駆除手法となる。木本植物に対する繰り返しの伐採は、根系に貯蔵した資源を消耗させ、枯死に至らせる効果を持つ (Wittenberg & Cock 2001)。ただし、多くの種が伐採後再び萌芽するため、伐採面 (切株) へ除草剤などの薬剤を塗布するか、あるいは重機などを用いた抜根が必要となる (Cronk & Fuller 1995; Wittenberg & Cock 2001)。なお、切株処理に薬剤を用いる場合は“化学的方法”を用いる場合と同様、薬剤による環境影響を考慮する必要がある。

2) 化学的方法

化学物質すなわち除草剤等の使用は、農地において最

も一般的な害草駆除の方法となっている（伊藤 1993）。農地における駆除対象は、目的作物以外の不特定多数の植物であり、そのために開発された除草剤は、特定の種のみにも効果を持つものではない。したがって、除草剤を外来種駆除に用いた場合には、対象でない植物に対してもその影響が生じる。また、除草剤は、動物、微生物だけでなく、人間に対して毒性を有するものも少なくない（Cronk & Fuller 1995; Tu et al. 2001; Wittenberg & Cock 2001）。生物多様性や水質の保全を併せて考慮すべき場所において、対象を限定することのできない除草剤の使用は問題が多いといえる（Cronk & Fuller 1995; Tu et al. 2001）。

3) 生物学的方法

生物学的方法とは、対象とする植物の天敵（例えば、その植物種を食べる昆虫や動物、病原菌）を用いて、その植物の成長を減少させる防除方法である。多くの場合、生物学的方法によって、対象とする植物を根絶させることはできないため、その個体群を許容可能なレベルに抑制するために用いられる（DeLoach 1997）。しかし、生物学的方法の事例は、成功よりも失敗、すなわち防除効果の認められなかった事例の方が多いため（Williamson 1996）。

また、天敵の導入に際しては、在来種や生態系への影響に関する十分な事前評価が必要であるが、間接的影響までを含めそれを予測・評価することは、一般にきわめて困難である（Simberloff & Stiling 1996a; 日本生態学会 2002）。

かつて生物学的方法は、自然生態系における雑草管理において、効果的で環境に対しても比較的安全な手法であると考えられてきたが、生物学的方法のために導入した生物が防除対象とした外来種以外の在来種や生態系に対して、直接的あるいは間接的に影響を与える事例や可能性が多く指摘されている（Simberloff & Stiling 1996b; Louda et al. 1997; Cory & Myers 2000）。予期しなかった生態学的影响が生じている事例として、Louda & O'Brien (2002) は、外来植物カナダアザミ *Cirsium arvense* (L.) Scop. の駆除のために導入した外来ゾウムシ *Larinus planus* Fabricius が、むしろ保全対象である在来アザミの一種 *Cirsium undulatum* (Nutt.) Spreng. var. *tracyi* (Rydb.) Welsh の種子生産を減少させていたことなどを報告している。

4) 生育地条件の改変による方法

外来植物の生育場所およびその周辺の物理条件等を、外来植物の生育に適さないかつての状態に復元することも、駆除方法の選択肢となる。この方法の利点としては、

外来植物を除去しただけでは在来種を回復させることのできない場合、回復させるための生育条件の整備を駆除と同時にを行うことが挙げられる。例えば、ブルドーザーなどを用いて、表土とともに外来植物を取り除く方法（西廣・皆川 2002; 島谷 2003）が適用できる場合もある。

ただし、このような手法は、対象とする外来植物のみを選択的に駆除するわけではないため、その場に生育・生息する他の生物への影響を十分に考慮しなければならない。また、表土除去の結果生じた裸地に他の外来種が侵入してくる可能性も考慮しなければならない（Randall et al. 1997）。

外来植物シナダレスズメガヤが優占する鬼怒川の河原においても、ブルドーザーを用いてシナダレスズメガヤを根系ごと剥がす試験が実施されている（西廣・皆川 2002）。ここでは、絶滅危惧植物カワラノギク *Aster kantoensis* Kitam. 個体群の著しい衰退が確認されており（村中・鷺谷 2001a）、緊急的な保全措置としてカワラノギクの系統を維持するための播種場所を造成するために、この試験が行われた（萱場ほか 2002; 鷺谷 2003）。

本試験は、絶滅危惧種保全のための人工河原造成の一環として河原植物に関する生態学的知見を用いるだけでなく、河川工学などの知見を総合して試験的に外来植物を駆除するものである（萱場ほか 2002）。この試験ではカワラノギク、カワラニガナ *Ixeris tamagawaensis* Kitam. などの河原に特有な植物の生育に適した砂礫質河原を復元するために、ポンプ車からの放水によって、シナダレスズメガヤを剥がした後の地表から砂を除去するという手法も用いられた（萱場ほか 2002）。これらのシナダレスズメガヤ駆除手法は、砂礫質河原へ砂の堆積が進行しているという知見に加えて、保全対象種であるカワラノギクおよびカワラニガナが永続的の土壌シードバンクを形成しない植物であり（倉本ほか 1994; Washitani et al. 1997; 本田・倉本 2001）、そのため地表の砂を保全する必要がないという判断に基づいて立案されたものである（西廣・皆川 2002）。

市民・NPO 等との連携

現在、日本の河川において実施されている外来種対策は、市民のボランティア活動として実施されているものも多い（例えば、小川 2000; 外来種影響・対策研究会 2001, 2003）。また、植物を対象とし、“抜き取り”や“刈り取り”を手法とする場合、市民・学童などの参加を得やすい。そのような実践への参加を含めて、外来植

物対策の円滑な実施には市民の理解と協力が必要であり、そのためには小冊子などを用いた広報・啓発は重要である (Cronk & Fuller 1995; 外来種影響・対策研究会 2001)。

また、先述したように、河川における外来植物対策は、流域の上流から下流までの広い地域を対象とした戦略のもとに進めていかなければ、効果を得ることが難しい。したがって、市民の協力を得ながら外来植物対策を進めていく上では、地域間の連携が必要となる。

おわりに

日本の河川にはすでに多くの外来植物が侵入し、広い生育地面積を占めるに至っているが、その大部分はたかだか 20 種程度の侵略的外来植物が優占する群落で占められていることが明らかになった (Fig. 2)。これら、セイタカアワダチソウ、ハリエンジュ、カモガヤ、オオバタクサ、オオアワダチソウなどといった種は、日本の河川における“警戒種”として優先的に外来植物対策の対象とすべきである。

実践においては、市民の参加・協力が得られれば、外来植物対策はより効果的に進められるだろう。しかし、外来植物群落が広範に拡がっている河川においては、市民参加によるボランティアな活動だけでは、根絶に必要な労力が不足する可能性がある。また、侵入・拡大要因の根本的な解決には、河川における様々な物理条件を変える必要がある場合もあるだろう。

このようなことを考慮すると、河川における外来植物対策は、市民の協力の下、自然再生事業など河川環境の保全に関わる事業の一環として、例えば絶滅危惧種の保全と一体のものとして進めていくことが必要だろう。

摘 要

日本の河川において外来植物の侵入が進行している。国が管理する河川において、外来植物群落の占める面積の割合はすでに約 15 % に及び、その大部分はわずか数種類の“侵略的外来植物”の群落によって占められている。

このような外来植物の侵入は、生物多様性に対する大きな脅威であるだけでなく、生態系を全く異質なものに変えてしまう可能性を持っている。そして、外来植物侵入によって生物多様性や生態系へもたらされる変化は、不可逆的なものである可能性がある。したがって、生物多様性および健全な生態系を保全するためには、早急に外来植物対策を進める必要がある。

一方で、外来植物対策を成功させるためには、自然再生事業などといった生態系管理の一環として対策を位置づけることが重要である。また、1) 可能な限り外来種侵入後の早い段階で対策を開始し、2) 根絶のために十分な労力を集中させ、3) 対策自体がその他の生物や生態系に与える影響を極力小さくし、4) 生態的な復元と併せて実施し、5) 広域・長期的の視点に立ち、順応的管理手法に基づいて実施することが必要である。

そのためには、外来植物の土壌シードバンク特性をはじめとする生活史および個体群動態などといった生態学的特性、侵入・分布拡大を助長する要因を明らかにする必要がある。さらに、駆除方法の設定においても、管理の戦略にもとづき環境負荷の小さい方法を選ぶだけでなく、より効果が得られるような実施タイミングを選ぶようにしなければならない。このとき、外来種の生態学的知見だけでなく、周辺に生育・生息する生物、河川工学などさまざまな専門分野の知見を統合する試みが必要である。

さらに、広域・長期的な戦略に基づく外来植物管理のためには、それぞれの地域の市民・NPO などが個別に対策を実施するのではなく、流域内の他地域の主体との連携のもとに対策を進めることが不可欠である。

引用文献

- Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand, Australian and New Zealand Environment and Conservation Council & Forestry Ministers (1999) National Weeds Strategy: A Strategic Approach to Weed Problems of National Significance in Australia.
<http://www.affa.gov.au/index.cfm> (2003 年 1 月 8 日)。
安島美穂 (2001) 埋土種子集団への外来種子の蓄積。保全生態学研究 6: 155-177。
荒木佐智子・安島美穂・鷺谷いづみ (2003) 土壌シードバンクを自然再生事業に活かす。「自然再生事業」(鷺谷いづみ・草刈秀紀編), pp. 187-211. 築地書館, 東京。
Ashton P. J. & Mitchell D. S. (1989) Aquatic plants: Patterns and modes of invasion, attributes of invading species and assessment of control programmes. In: Biological Invasion: A Global Perspective (eds. J. A. Drake, H. A. Mooney, F. di Castri, R. H. Groves, F. J. Kruger, M. Rejmánek & M. Williamson), pp. 111-154. John Wiley & Sons, Chichester.
Blossey B. (1999) Before, during and after: The need for long-term monitoring in invasive plant species management. Biological Invasions 1: 301-311.
Busch D. E. & Smith S. D. (1995) Mechanisms associated with decline of woody species in riparian ecosystems of the South-western U.S. Ecological Monographs 65: 347-370.
Byers J. E., Reichard S., Randall J. M., Parker I. M., Smith C. S., Lonsdale W. M., Atkinson I. A. E., Seastedt T. R., Williamson M., Chornesky E. & Hayes D. (2002) Directing research to re-

- duce the impacts of nonindigenous species. *Conservation Biology* **16**: 630-640.
- Campbell G. S., Blackwell P. G. & Woodward F. I. (2002) Can landscape-scale characteristics be used to predict plant invasions along rivers? *Journal of Biogeography* **29**: 535-543.
- Conner W. H., Gosselink J. G. & Parrondo R. T. (1981) Comparison of the vegetation of three Louisiana swamp sites with different flooding regimes. *American Journal of Botany* **68**: 320-331.
- Cory J. S. & Myers J. H. (2000) Direct and indirect ecological effects of biological control. *Trends in Ecology & Evolution* **15**: 137-139.
- Cronk C. B. & Fuller J. L. (1995) *Plant Invaders: The Threat to Natural Ecosystems*. Chapman & Hall, London.
- Cronk J. K. & Fennessy M. S. (2001) *Wetland Plants: Biology and Ecology*. Lewis Publishers, Boca Raton.
- Curnutt J. (2000) Host-area specific climatic-matching: similarity breeds exotics. *Biological Conservation* **94**: 341-351.
- DeLoach C. J. (1997) Biological control of weeds in the United States and Canada. In: *Assessment and Management of Plant Invasions* (eds. J. O. Luken & J. W. Thieret), pp. 179-194. Springer, New York.
- di Castri F. (1989) History of biological invasions with special emphasis on the old world. In: *Biological Invasion: A Global Perspective* (eds. J. A. Drake, H. A. Mooney, F. di Castri, R. H. Groves, F. J. Kruger, M. Rejmanek & M. Williamson), pp. 1-30. John Wiley & Sons, Chichester.
- Doak D. F., Thomson D. & Jules E. S. (2002) Population viability analysis for plants: Understanding the demographic consequences of seed banks for population health. In: *Population Viability Analysis* (eds. S. R. Beissinger & D. R. McCullough), pp. 312-337. The University of Chicago Press, Chicago.
- Drayton B. & Primack R. B. (1999) Experimental extinction of garlic mustard (*Alliaria petiolata*) populations: implications for weed science and conservation biology. *Biological Invasions* **1**: 159-167.
- Drake J. A., Mooney H. A., di Castri F., Groves R. H., Kruger F. J., Rejmanek M. & Williamson M. (eds.) (1989) *Biological Invasion: A Global Perspective*. John Wiley & Sons, Chichester.
- El-Ghareeb, R. (1991) Vegetation and soil changes induced by *Mesembryanthemum crystallinum* L. in a Mediterranean desert ecosystem. *Journal of Arid Environments* **20**: 321-330.
- Ewel K. C. (1986) Invasibility: Lessons from South Florida. In: *Ecology of Biological Invasions of North America and Hawaii* (eds. H. A. Mooney & J. A. Drake), pp. 214-230. Springer-Verlag, New York.
- 藤田正憲・森本和花・河野宏樹・Silvana Perdomo・森一博・池道彦・山口克人・惣田訓 (2001) 水質浄化に利用可能な植物データベースの構築. *環境科学会誌* **14**: 1-13.
- Franz E. H. & Bazzaz F. A. (1977) Simulation of vegetation response to modified hydrologic regimes: A probabilistic model based on niche differentiation in a floodplain forest. *Ecology* **58**: 176-183.
- 外来種影響・対策研究会 (2001) 河川における外来種対策に向けて [案]. リバーフロント整備センター, 東京.
- 外来種影響・対策研究会 (2003) 河川における外来種対策の考え方とその事例—主な侵略的外来種の影響と対策—. リバーフロント整備センター, 東京.
- Gould W. A., Walker M. D. (1997) Landscape-scale patterns in plant species richness along an arctic river. *Canadian Journal of Botany* **75**: 1748-1765.
- Grime J. P. (1979) *Plant Strategies and Vegetation Processes*. Wiley, Chichester.
- Groves R. H. (1989) Ecological control of invasive terrestrial plants. In: *Biological Invasion: A Global Perspective* (eds. J. A. Drake, H. A. Mooney, F. di Castri, R. H. Groves, F. J. Kruger, M. Rejmanek & M. Williamson), pp. 437-461. John Wiley & Sons, Chichester.
- Hanski I. (1999) *Metapopulation Ecology*. Oxford University Press, New York.
- Hanski I. & Gilpin M. E. (eds.) (1996) *Metapopulation Biology: Ecology, Genetics, and Evolution*. Academic Press, San Diego.
- Hobbs R. J. & Humphries S. E. (1995) An integrated approach to the ecology and management of plant invasions. *Conservation Biology* **9**: 761-770.
- Hobbs R. J. (2000) Land-use changes and invasions. In: *Invasive Species in a Changing World* (eds. H.A. Mooney and R.J. Hobbs), pp. 55-64. Island Press, Washington, D. C.
- 本田裕紀郎・倉本宣 (2001) 多摩川における絶滅危惧植物カワラナガナの現状とその休眠・発芽特性. *ランドスケープ研究* **64**: 583-588.
- 飯島章彦 (1999) リング炭疽病の発生生態と防除. *植物防疫* **53**: 253-256.
- 伊藤操子 (1993) *雑草学概論*. 養賢堂, 東京.
- Iwasa Y. & Cohen D. (1989) Optimal growth schedule of a perennial plant. *The American Naturalist* **133**: 480-505.
- Iwasa Y. & Roughgarden J. (1984) Shoot/root balance of plants: Optimal growth of a system with many vegetative organs. *Theoretical Population Biology* **25**: 78-105.
- Johnson W. C., Burgess R. L. & Keamner W. R. (1976) Forest overstory vegetation and environment on the Missouri river floodplain in North Dakota. *Ecological Monographs* **46**: 59-84.
- Kalish S. & McPeck M. A. (1992) Demography of an age-structured annual: Resampled projection matrices, elasticity analysis, and seed bank effects. *Ecology* **73**: 1082-1093.
- 環境省編 (2002) 新・生物多様性国家戦略: 自然の保全と再生のための基本計画. ぎょうせい.
- 萱場祐一 (2000) 雫石川におけるハビタットの变化と冠水頻度との関連について. *環境システム研究論文集* **28**: 347-352.
- 萱場祐一・千葉武生・力山基 (2002) 鬼怒川におけるカワラノギタ保全のための人工河原造成について. *土木学会第57回年次学術講演会* **Ⅶ-058**: 115-116.
- 建設省河川局河川環境課 (1996) 平成5年度 (BOOK & CD-ROM) 河川水辺の国勢調査年鑑植物調査編. 山海堂, 東京.
- 建設省河川局河川環境課 (1997a) 平成6年度 (BOOK & CD-ROM) 河川水辺の国勢調査年鑑 (河川版) 植物調査編. 山海堂, 東京.
- 建設省河川局河川環境課 (1997b) 平成7年度 (BOOK & CD-ROM) 河川水辺の国勢調査年鑑 (河川版) 植物調査編. 山海堂, 東京.
- 建設省河川局河川環境課 (1997c) 平成9年度河川水辺の国勢調査マニュアル河川版 (生物調査編). 財団法人 リバーフロント整備センター, 東京.

- 建設省河川局河川環境課 (1998) 平成 8 年度 (BOOK & CD-ROM) 河川水辺の国勢調査年鑑 (河川版) 植物調査編。山海堂, 東京。
- 建設省河川局河川環境課 (1999) 平成 9 年度 (BOOK & CD-ROM) 河川水辺の国勢調査年鑑 (河川版) 植物調査編。山海堂, 東京。
- 建設省河川局河川環境課 (2000) 平成 10 年度 (BOOK & CD-ROM) 河川水辺の国勢調査年鑑 (河川版) 植物調査編。山海堂, 東京。
- 建設省河川局治水課 (1994) 平成 3 年度河川水辺の国勢調査年鑑底生動物調査, 植物調査, 鳥類調査, 両生類・爬虫類・哺乳類調査, 陸上昆虫類等調査編。山海堂, 東京。
- 建設省河川局治水課 (1995) 平成 4 年度河川水辺の国勢調査年鑑植物調査編。山海堂, 東京。
- 国土交通省北陸整備局千曲川工事事務所 (2003) 千曲川・犀川のアレチウリ: 河川の自然を保全するための外来植物対策。http://210.131.8.12/~tikuma/index.html (2003 年 3 月 10 日)。
- 国土交通省河川局河川環境課 (2001) 平成 11 年度 (BOOK & CD-ROM) 河川水辺の国勢調査年鑑 (河川版) 植物調査編。山海堂, 東京。
- Kolar C. S. & Lodge D. M. (2000) Freshwater nonindigenous species: interactions with other global changes. In: *Invasive Species in a Changing World* (eds. H.A. Mooney and R.J. Hobbs), pp. 3-30. Island Press. Washington, D. C.
- 倉本宣・井上健・鷺谷いづみ (1993) 多摩川中流の流水辺における河辺植生構成種の分布特性についての研究。造園雑誌 **56**: 163-168。
- 倉本宣・鷺谷いづみ・牧雅之・増田理子・井上健 (1994) 多摩川におけるカワラノギクの種子期の動態。造園雑誌 **57**: 127-132。
- Le Maitre D. C., van Wilgen B. W., Chapman R. A. & McKelly D. H. (1996) Invasive plants and water resources in the Western Cape Province, South Africa: modeling the consequence of a lack of management. *Journal Applied Ecology* **33**: 161-172。
- Le Maitre D. C., Versfeld D. B. & Chapman R. A. (2000) The impact of invading alien plants of surface water resources in South Africa: A preliminary assessment. *Water SA* **26**: 397-408。
- Leck M. A., Parker V. T. & Simpson R. L. (eds.) (1989) *Ecology of Soil Seed Banks*. Academic Press, San Diego.
- Lindsey A. A., Petty R. O., Sterling D. K. & van Asdall W. (1961) Vegetation and environment along the Wabash and Tippecanoe Rivers. *Ecological Monographs* **31**: 105-156。
- 李參熙・藤田光一・山本晃一 (1999) 礫床河道における安定植生拡大のシナリオ—多摩川上流部を対象とした事例分析より—。水工学論文集 **43**: 977-982。
- Louda S. M., Kendall D., Connor J. & Simberloff D. (1997) Ecological effects of an insect introduced for the biological control of weeds. *Science* **277**: 1088-1090。
- Louda S. M. & O'Brien C. W. (2002) Unexpected ecological effects of distributing the exotic weevil, *Larinus planus* (F.), for the biological control of Canada thistle. *Conservation Biology* **16**: 717-727。
- Luken J. O. & Thieret J. W. (eds.) (1997) *Assessment and Management of Plant Invasions*. Springer. New York.
- MacDonald I. A. W., Loope L. L., Usher M. B. & Hamann O. (1989) Wildlife conservation and the invasion of nature reserves by introduced species: A global perspective. In: *Biological Invasion: A Global Perspective* (eds. J. A. Drake, H. A. Mooney, F. di Castri, R. H. Groves, F. J. Kruger, M. Rejmánek & M. Williamson), pp. 215-256. John Wiley & Sons, Chichester.
- Mack M. C. & D'Antonio C. M. (1998) Impacts of biological invasions on disturbance regimes. *Trends in Ecology & Evolution* **13**: 195-198。
- Mack R. N., Simberloff D. S., Lonsdale W. M., Evans H., Clout M. & Bazzaz F. A. (2000) Biotic invasions: causes, epidemiology, global consequences, and control. *Ecological Applications* **10**: 689-710。
- Madsen J. D. (1997) Methods for management of nonindigenous aquatic plants. In: *Assessment and Management of Plant Invasions* (eds. J. O. Luken & J. W. Thieret), pp. 145-171. Springer. New York.
- Matsumoto J., Muraoka H. & Washitani I. (2000) Whole plant carbon gain of an endangered herbaceous species *Aster kantoensis* and the influence of shading by an alien grass *Eragrostis curvula* in its gravelly floodplain habitat. *Annals of Botany* **86**: 787-797。
- McNeely J. A., Mooney H.A., Neville L. E., Schei P. J. & Waage J. K. (eds.) (2001) *Global Strategy on Invasive Alien Species*. IUCN, Gland, Switzerland, and Cambridge, UK.
- Menges E. S. (2000) Applications of population viability analyses in plants conservation. *Ecological Bulletins* **48**: 73-84。
- 宮脇成生・鷺谷いづみ (1996) 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ボタクサの駆除効果の予測。保全生態学研究 **1**: 25-47。
- Mooney H. A. & Drake J. A. (eds.) (1986) *Ecology of Biological Invasions of North America and Hawaii*. Springer-Verlag, New York.
- Mooney H. A. & Hobbs R. J. (eds.) (2000) *Invasive Species in a Changing World*. Island Press. Washington, D.C.
- 村上興正・鷺谷いづみ (2002) 外来種と外来種問題。「外来種ハンドブック」(日本生態学会編), pp. 3-4. 地人書館, 東京。
- 村中孝司・鷺谷いづみ (2001a) 鬼怒川砂礫質河原における外来牧草シナダレスズメガヤの侵入と河原固有植物の急激な減少: 緊急対策の必要性。保全生態学研究 **6**: 111-122。
- 村中孝司・鷺谷いづみ (2001b) 鬼怒川砂礫質河原の植生と外来植物の侵入。応用生態工学 **4**: 121-132。
- Myers J. H., Simberloff D. S., Kuris A. M. & Carey J. R. (2000) Eradication revisited: dealing with exotic species. *Trends in Ecology & Evolution* **15**: 316-320。
- 中坪孝之 (1997) 河川氾濫原におけるイネ科帰化草本の定着とその影響。保全生態学研究 **2**: 179-187。
- 西廣淳・皆川朋子 (2002) 河川に侵入した外来植物の駆除・管理。土木技術資料 **44**(10): 50-55。
- 西田智子 (2002) 飼料畑・草地における外来雑草の侵入—外来雑草の飼料畑・草地への侵入と蔓延—。Grassland Science **48**: 168-176。
- 日本生態学会編 (2002) 外来種ハンドブック。地人書館, 東京。
- 日本緑化工学会 (2002) 生物多様性保全のための緑化植物の取り扱い方に関する提言。日本緑化工学会誌 **27**: 481-491。
- 小川早枝子 (2000) 私たちのフィールドの氾濫原でオオボタクサが激減した (概要) 生物多様性の維持管理—外来植物

- から在来希少植物を守る. 多自然研究 1月号 (第52号): 31-35.
- Parker I. M. (2000) Invasion dynamics of *Cytisus scoparius*: A matrix models approach. *Ecological Applications* **10**: 726-743.
- Pimentel D., Lach L., Zuniga R. & Morrison D. (2000) Environmental and economic costs of nonindigenous species in the United States. *BioScience* **50**: 53-65.
- Pimentel D., McNair S., Janecka J., Wightman J., Simmonds C., O'Connell C., Wong E., Russel L., Zern J., Aquino T. & Tsomondo T. (2001) Economic and environmental threats of alien plant, animal, and microbe invasions. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **84**: 1-20.
- Primack R. B. (1993) *Essentials of Conservation Biology*. Sinauer Associates, Massachusetts.
- Pulliam H. R. (1988) Sources, sinks, and population regulation. *The American Naturalist* **132**: 652-661.
- Randall J. M., Lewis III R. R. & Jensen D. B. (1997) Ecological restoration. In: *Stranger in Paradise: Impact and Management of Nonindigenous Species in Florida* (eds. D. Simberloff, D.C. Schmitz & T.C. Brown), pp. 206-220. Island Press, Washington D.C.
- 齊藤洋三・井手武 (1994) 花粉症の科学. 化学同人, 京都.
- Schmitz D. C., Simberloff D., Hofstetter R. H., Haller W. & Sutton D. (1997) The ecological impact of nonindigenous plants. In: *Stranger in Paradise: Impact and Management of Nonindigenous Species in Florida* (eds. D. Simberloff, D. C. Schmitz & T. C. Brown), pp. 39-61. Island Press, Washington D. C.
- Schneider R. L. & Sharitz R. R. (1988) Hydrochory and regeneration in a bald cypress -water tupelo swamp forest. *Ecology* **69**: 1055-1063.
- 島谷幸宏 (2003) 多摩川永田地区の河道修復. 応用生態工学 **5**: 233-240.
- Silvertown J. & Charlesworth D. (2001) *Introduction to Plant Population Biology*. 4th Ed. Blackwell Science, Oxford.
- Simberloff D. (1997) Eradication. In: *Stranger in Paradise: Impact and Management of Nonindigenous Species in Florida* (eds. D. Simberloff, D.C. Schmitz & T.C. Brown), pp. 221-228. Island Press, Washington D. C.
- Simberloff D. (2003) How much information on population biology is needed to manage introduced species? *Conservation Biology* **17**: 83-92.
- Simberloff D. & Stiling P. (1996a) Risks of species introduced for biological control. *Biological Conservation* **78**: 185-192.
- Simberloff D. & Stiling P. (1996b) How risky is biological control? *Ecology* **77**: 1965-1974.
- 清水矩宏 (2000) 新たに侵入している強害外来雑草の農耕地へのインパクト. 生物科学 **52**(1): 17-28.
- 清水義彦・小葉竹重機・岡田理志・新船隆行・岩崎工 (2000) 洪水攪乱によるハリエンジュの破壊・再生と河道内樹林化について. 河川技術に関する論文集 **6**: 59-64.
- 清水義彦・長田健吾 (2002) 礫床河川における河道内樹林地の洪水破壊について. 河川技術論文集 **8**: 301-306.
- Simpson R. L., Leck M. A. & Parker, V. T. (1989) Seedbanks: general concepts and methodological issues. In: *Ecology of Soil Seed Banks* (eds. M. A. Leck, V. T. Parker & R. L. Simpson), pp. 3-8. Academic Press, San Diego, California.
- Staniforth R. J. & Cavers P. B. (1976) An experimental study of water dispersal in *Polygonum* spp. *Canadian Journal of Botany* **54**: 2587-2596.
- 末次忠司 (2002) 洪水流と土砂動態との相互作用 (その1). 水利科学 **45**(6): 33-51.
- 末次忠司・服部敦・瀬崎智之 (2001) 洪水攪乱に伴う植生の変化—千曲川を例にとって—. 水利科学 **45**(4): 33-47.
- The Working for Water Programme (2000) Annual Report 1998/99. <http://www.dwaf.gov.za/wfw/AnnualReports/> (2002年12月22日).
- The Working for Water Programme (2001) Annual Report 1999/2000. <http://www.dwaf.gov.za/wfw/AnnualReports/> (2002年12月22日).
- The Working for Water Programme (2002) Annual Report 2000/1. <http://www.dwaf.gov.za/wfw/AnnualReports/> (2002年12月22日).
- Thompson K. & Grime J. P. (1979) Seasonal variation in the seed banks of herbaceous species in ten contrasting habitats. *Journal of Ecology* **67**: 893-921.
- 富沢美和・鷺谷いづみ (1998) フジバカマとセイタカアワダチソウの夏季における地上部喪失に対する反応—復元植生の管理計画を立てるために—. 保全生態学研究 **3**: 57-67.
- Tu M., Hurd C. & Randall J. M. (2001) *Weed Control Methods Handbook: Tools and Techniques for Use in Natural Areas*. The Nature Conservancy. <http://tncweeds.ucdavis.edu/handbook.html> (2003年2月11日).
- UNEP (2002) Decisions Adopted by the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity at its sixth meeting. UNEP/CBD/COP/6/20. <http://www.biodiv.org/doc/decisions/cop-06-dec-en.pdf> (2003年12月21日).
- 浦和市教育委員会 (2001) 特別天然記念物田島ヶ原サクラソウ自生地保護増殖実験調査事業報告書 (平成12年度).
- Usher M. B. (1988) Biological invasions of nature reserves: A search for generalizations. *Biological Conservation* **44**: 119-135.
- van Wilgen B. W. & Richardson D. M. (1985) The effects of alien shrub invasions on vegetation structure and fire behaviour in South African fynbos shrublands: A simulation study. *Journal of Applied Ecology* **22**: 955-966.
- van Wilgen B. W., Le Maitre D. C. & Cowling R.M. (1998) Ecosystem services, efficiency, sustainability and equity: South Africa's Working for Water programme. *Trends in Ecology & Evolution* **13**: 378.
- Vitousek P. M. (1986) Biological invasions and ecosystem properties: Can species make a difference?. In: *Ecology of Biological Invasions of North America and Hawaii* (eds. H. A. Mooney & J. A. Drake), pp. 163-176. Springer-Verlag, New York.
- Vitousek P. M., Walker L. R., Whiteaker L. D., Mueller-Dombois D. & Matson P. A. (1987) Biological invasion by *Myrica faya* alters ecosystem development in Hawaii. *Science* **238**: 802-804.
- Vitousek P. M., D'Antonio C. M., Looops L. L. & Westbrooks R. (1996) Biological invasions as global environmental change. *American Scientist* **84**: 468-478.
- 鷺谷いづみ (1993) 生物多様性の保全と絶滅危惧植物の繁殖生態. 個体群生態学会会報 **50**: 19-26.
- 鷺谷いづみ (1997) 保全生態学と個体群動態: 種子植物の場合. 日本生態学会誌 **47**: 185-187.

- 鷺谷いづみ (1998) 生態系管理における順応的管理. 保全生態学研究 **3**: 145-166.
- 鷺谷いづみ (1999) 生物保全の生態学. 共立出版, 東京.
- 鷺谷いづみ (2000a) 外来植物の管理. 保全生態学研究 **5**: 181-185.
- 鷺谷いづみ (2000b) 生物多様性を脅かす「緑の」生物学的侵入. 生物科学 **52**: 1-6.
- Washitani I. (2001) Plant conservation ecology for management and restoration of riparian habitats of lowland Japan. *Population Ecology* **43**: 189-195.
- 鷺谷いづみ (2002a) 不可逆的に生態系が変化した時代：外来植物の侵入. 科学 **72**: 77-83.
- 鷺谷いづみ (2002b) 緑化による外来牧草の侵入. 「外来種ハンドブック」(日本生態学会編), pp. 46-47. 地人書館, 東京.
- 鷺谷いづみ (2003) 今なぜ自然再生事業なのか. 「自然再生事業」(鷺谷いづみ・草刈秀紀編), pp. 2-42. 築地書館, 東京.
- Washitani I., Takenaka A., Kuramoto N. & Inoue K. (1997) *Aster kantoensis* Kitam., an endangered flood plain endemic plant in Japan: Its ability to form persistent soil seed banks. *Biological Conservation* **82**: 67-72.
- 鷺谷いづみ・村上興正 (2002) 外来種対策に関する基本的な考え方. 「外来種ハンドブック」(日本生態学会編), pp. 39-41. 地人書館, 東京.
- 鷺谷いづみ・森本信生 (1993) 日本の帰化生物. 保育社, 大阪.
- 鷺谷いづみ・矢原徹一 (1996) 保全生態学入門. 文一総合出版, 東京.
- 鷺谷いづみ・松田裕之 (1998) 生態系管理および環境影響評価に関する保全生態学からの提言 (案). 応用生態工学 **1**: 51-62.
- Williamson M. (1996) *Biological Invasions*. Chapman & Hall, London.
- Wilson S. D. (1989) The suppression of native prairie by alien species introduced for revegetation. *Landscape Urban Planning* **17**: 113-119.
- Wittenberg R. & Cock M. J. W. (eds.) (2001) *Invasive Alien Species: A Toolkit of Best Prevention and Management Practices*. CAB International, Wallingford.
- 矢野悟道編 (1988) 日本の植生: 侵略と攪乱の生態学. 東海大学出版会, 東京.
- 米森由佳・倉本宣 (2000) 多摩川における増水による種子散布と増水後の護岸植生についての研究. ランドスケープ研究 **63**: 527-530.
- Zavaleta E. S., Hobbs R. J. & Mooney H. A. (2001) Viewing invasive species removal in a whole-ecosystem context. *Trends in Ecology & Evolution* **16**: 454-459.