

# 河川水辺の国勢調査を活用した全国一級水系における外来植物の侵入要因に関する分析

## FACTORS ASSOCIATED WITH ALIEN PLANTS INVASION UPON JAPANESE MAJOR RIVERS BASED ON THE NATIONAL CENSUS OF THE RIVER ENVIRONMENT

中村圭吾<sup>1</sup>・芳賀正崇<sup>2</sup>・岩見洋一<sup>3</sup>・宮脇成生<sup>4</sup>

Keigo NAKAMURA, Masataka HAGA, Yoichi IWAMI and Shigenari MIYAWAKI

<sup>1</sup>正会員 博(工) 国土技術政策総合研究所 環境研究部 河川環境研究室 主任研究官  
(〒305-0804 茨城県つくば市旭一番地)

<sup>2</sup>正会員 国土技術政策総合研究所 環境研究部 河川環境研究室 研究官(同上)

<sup>3</sup>正会員 工修 国土技術政策総合研究所 環境研究部 河川環境研究室 室長(同上)

<sup>4</sup>非会員 博(農) 株式会社建設環境研究所 環境部(〒170-0013 東京都豊島区東池袋2-23-2)

Alien plants invasion in the river threatens river ecosystem. In addition some species negatively affect flood and water resources management. Therefore, it is significant to understand invasion factors of alien plants and to implement countermeasures against them. In this paper, we studied invasion factors of alien species by statistical model based on the national census of the river environment in Japan. Twenty-five significant invasive species were selected based on seven criteria such as invasiveness and influence on river native species in the 109 major rivers in Japan. Invasion factors such as climate features and river characteristics on each plant were analyzed by the generalized linear mixed model (GLMM) approach. Climate factors were selected to explain invasion. Flood frequency and flow regime range were also picked up as elements to illustrate over 1-ha plant community. This indicates frequency of the disturbance restrains invasive species expansion. River basin area and population also positively enhanced invasion. We compared the difference between the model results and the river census results and considered it as invasion potential. As a result *Conyza sumatrensis*, *Eragrostis curvula*, *Sorghum halepense*, *Robinia pseudoacacia*, and *Ambrosia trifida* were selected as the species which might expand in the many watersheds in the future.

**Key Words :** *invasive species, alien species, vegetation, class A river, GLMM*

### 1. はじめに

河川は外来植物による影響をもっとも受けやすい自然環境のひとつであり<sup>1)</sup>, 日本の河川においても, 外来植物は生物多様性の大きな脅威となっている<sup>2)</sup>. また, 多様性だけでなく, ハリエンジュのように高水敷に樹林帯を形成する, あるいはシナダレスズメガヤのように平水位程度の裸地に侵入・密生する場合は, 河道の流下能力に影響し, 治水上も問題となる. 日本における外来植物の侵入状況に関する全国的なデータは欠如しているものの, 河川においては「河川水辺の国勢調査」(以下, 国勢調査)により1991年以降の動向を知ることができる<sup>3)</sup>. 国勢調査のデータを活用してこれまでも, 日本の河川に

おける外来植物の侵入状況等が明らかにされている<sup>4)</sup>. また, 個別の外来植物についても, ハリエンジュ<sup>5)</sup>, オオブタクサ<sup>6)</sup>, アレチウリ<sup>7)~9)</sup>, シナダレスズメガヤ<sup>10)</sup>など多くの研究が実施されている.

河川において外来種の効果的な管理をおこなうためには, 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, そのためには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把握するとともに, 今後の分布拡大を予測する必要がある<sup>4), 11)</sup>.

しかしながら, 侵略性の強い外来植物に関する侵入要因については, 個別の河川での検討事例が多く, 全国データに基づく横断的な検討は不十分である. そこで, 本研究では, 国勢調査の結果等を活用して, 侵略性の強

表-1 解析対象種

アレチウリ	オオナミ	オオタバムグラ	コカナダモ	ネズミムギ
アレチバナガサ	オオカナダモ	オオブタクサ	シナダレスメガヤ	ハリエンジュ
イタチハギ	オオキンケイギク	オニウシノケグサ	シンジュ	ボタンウキクサ
オオアレチノギク	オオハンゴンソウ	カモガヤ	セイヤカアワダチソウ	ホテイアオイ
オオアワダチソウ	オオフサモ	キシュウスズメヒエ	セイバンモロコシ	ミズヒマワリ

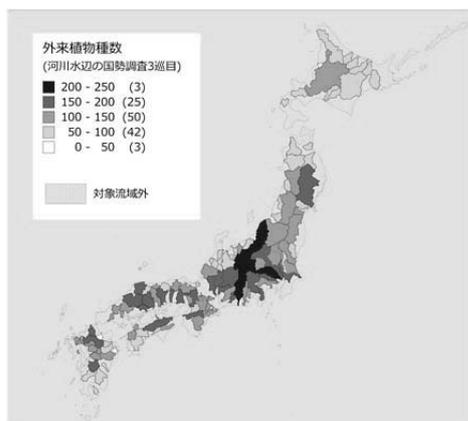


図-1 全国河川の外来植物種数 ※( )は河川数

い外来植物に関する侵入要因を侵入段階毎に明らかにすることを目的として統計解析を実施した。またその結果を活用して、今後も分布拡大の可能性が高いと考えられる外来植物を明らかにするとともに、得られた結果の河川管理への活用を考察する。

## 2. 方法

### (1) 各河川における外来植物および要因の整理

#### a) 外来植物データの整理

原則として一級水系109水系を対象に国勢調査3巡目(2001年度～2005年度)の調査結果をもとに、外来植物(3巡目までの確認種)のデータを整理した(ただし、4河川は以下の調査結果を使用。大和川:1996年, 紀の川:1998年, 松浦川:1999年, 川内川:2000年)。また、一部利根川水系, 淀川水系, 木曾川水系のように、本川と支川を別々に調査している場合は別の河川として整理したため対象河川数は123河川である。外来植物全種については、各河川における「植物調査」の「植物相調査」結果より確認状況の整理を行った(図-1)。外来植物群落面積については、「植生図」より優占群落面積を整理した。

外来植物のうち、解析対象種については、全国の河川での拡大状況、在来種への影響、特定外来生物、対策の実施状況等を考慮した選定条件を設定して、「対策を優先すべき外来植物」として表-1に示す25種を選定した。

#### b) 侵入要因データの整理

侵入要因としては、気象要因(気温, 降水量, 寒さの指数等)、河道特性(流域面積, 流量変動幅, 河川勾配等)、社会条件(人口, 家畜の飼育数等)より31項目の

表-2 外来植物の侵入要因として採用した11変数

No.	データ項目	説明	出典
1	平均年降雨量	1997年～2006年の平均値、最下流の観測所データ	気象庁:過去の気象データ検索
2	寒さの指数	植物において、低温による分布制限を表す指数	古良(1948) 参考文献12)
3	流域面積		国土交通省データ、一部国土数値情報より算出
4	河床勾配	河口と直轄区間最上流の標高差を幹川流路延長で割った値	国土数値情報より算出
5	平均氾濫回数	1997年～2006年の平均年最大流量を超える洪水の年平均発生回数	国土交通省データ、水文・水質データベース等より
6	流量変動幅	1997年～2006年の10年分の月平均を算出し、月平均を年平均で割って無次元化したうえで、最大流量月と最小流量月の差を計算。年間の流量の変動幅を示す。	国土交通省データ、水文・水質データベース等より
7	流量平滑指数	基準点における流況の平滑度合い。流量平滑指数 = 流量平滑日数 / 対象総日数、で示され、流量平滑日数とは、日流量のうち、10日間移動平均値との乖離率が10%以内となる日数。流量データは1976～2005年の30年間を対象とした。	「雨量・流量年表」
8	自然裸地面積の割合	自然裸地面積を調査範囲面積で割った値	河川水辺の国勢調査3巡目
9	木本群落面積の割合	木本群落面積を調査範囲面積で割った値	河川水辺の国勢調査3巡目
10	直轄管理区間周辺の人口	河川水辺の国勢調査年鑑「直轄管理区間内沿川市町村人口」	河川水辺の国勢調査年鑑、H11年度版
11	豚飼養頭数	流域の豚飼養頭数 = (市町村の豚飼養頭数) × 流域に重なる市町村面積 / 市町村面積) として算出。飼料に外来種の種が混入して供給源となる。	※http://www.e-stat.go.jp/ (平成18年データ)

データを整理した。予備解析として、変数間の相関分析を行い、相関係数の絶対値が0.5以上を取る場合は一方の変数については候補から除外し、最終的に表-2に示す11変数を対象とした。以下に解説が必要と思われる変数を説明する。No.2の「寒さの指数」<sup>12)</sup>は、植生の分布を制限するほどの寒さの指標で、北海道・東北では高くなっている。No.5の「平均氾濫回数」は、平均年最大流量を越える流量の年平均発生回数で大規模なかく乱の指標と考えられる。西日本で若干高い傾向がある。一方、No.6の「流量変動幅」は、各月の平均流量を年平均流量で除して無次元化し、最大と最小の月の差を求めたものであり、一年間の流量変動の幅を指標している。No.7の「流量平滑指数」は、基準点における細かな流量変動に対する平滑度合いを見ており、「流量平滑指数」=「流量平滑日数」/「対象総日数」で表現される。「流量平滑日数」は、日流量のうち、10日間移動平均値との乖離率が10%以内となる日数、すなわち細かな流量変動がみられない日数を表す<sup>13)</sup>。No.8の「自然裸地面積の割合」は、かく乱の大きさや土砂輸送量を指標すると考えられ、中部山岳地帯、紀伊山地、四国山地の南側で大きくなっている。No.9の「木本群落面積の割合」は、全体としては北日本で大きい傾向があった。No.11の「豚飼養頭数」は、飼料によく含まれる外来植物の種子からの侵入リスクを指標している。東日本や九州南部で高い数値となっている。

### (2) 解析の方法

外来植物の侵入状況は、種毎、河川毎によって異なっている。そこで、選定した解析対象種25種について、全国一級河川109水系(123河川)を対象に、選定した11の

侵入段階	定義
侵入段階 4	広域で優占群落形成 (10ha以上)
侵入段階 3	広域で優占群落形成 (1ha以上)
侵入段階 2	優占群落形成
侵入段階 1	植物相調査において確認あり
侵入段階 0	植物相調査において確認なし

図-2 侵入段階の定義

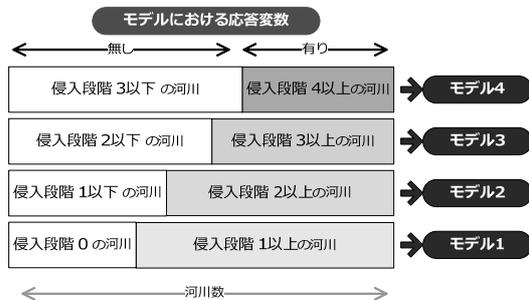


図-3 モデルと応答変数の関係

侵入要因との関係性について統計モデルを作成した。

外来植物は侵入初期段階と広域群落を形成する段階ではその要因が異なると考えられるため、各河川における解析対象種の侵入段階を「植物相調査において確認なし (侵入段階 0)」から「広域で優占群落形成 (10ha以上) (侵入段階 4)」までの図-2に示す0~4の5段階に分類した。この分類をもとに、各解析対象種について、河川が侵入段階0~4にまで進行しているか否かを気候特性や河川特性等により説明する一般化線形混合モデル (GLMM) を構築した<sup>3)</sup>。モデルは、各解析対象種について、図-3に示すモデル1~4の4タイプを作成した。各侵入段階への到達 (有(1)/無(0)の2値) を応答変数 (いわゆる目的変数) として、モデル1では、侵入段階1以上の種を「有」、侵入段階0の種を「無」とした。モデル2以降も図-3の区分に従い同様にモデル化した。

モデル1は25種すべてについて作成し、それ以上のモデルは「有」が10河川以上となる種のみ作成した。

各モデルのGLMMにおける説明変数のうち固定効果<sup>14)</sup> (通常の変数解析における説明変数) は、表-2に示す侵入要因の11変数であるが、地理的な近接が各河川の侵入段階に与える影響を考慮するため、各河川が属する地域ブロック (地方整備局単位) をGLMMにおけるランダム効果<sup>14)</sup> (解析対象ではないが無視できないばらつき) としてモデルの切片に加えた。一般化線形混合モデルの固定効果については、11の変数により取り得るすべての組合せ (2048通りの組み合わせ) についてモデルを作成し、予測の良さを重視するモデル選択基準である赤池情報量規準 (AIC)<sup>14)</sup> を算出した。

各解析対象種について、AICが小さいほうから上位10モデルを抽出し、モデルに採用されている侵入要因 (説明変数) について整理した。

表-3 解析対象種の侵入段階の百分率

種名	侵入段階0	侵入段階1	侵入段階2	侵入段階3	侵入段階4
アレチウリ	24%	47%	7%	18%	3%
アレチハナガサ	35%	50%	7%	6%	2%
イタチハギ	20%	55%	11%	9%	4%
オオアレチノギク	10%	24%	24%	31%	11%
オオアワダチソウ	53%	37%	2%	6%	3%
オオオナモミ	15%	54%	19%	11%	2%
オオカナダモ	41%	21%	23%	15%	1%
オオキンケイギク	28%	72%	0%	0%	0%
オオハンゴンソウ	64%	29%	3%	2%	1%
オオフサモ	50%	36%	14%	0%	0%
オオブタクサ	25%	33%	7%	20%	14%
オオタバムグラ	61%	31%	6%	2%	1%
オニシノケグサ	4%	79%	7%	4%	7%
カモガヤ	6%	82%	2%	3%	7%
キシュウスズメノヒエ	31%	33%	24%	11%	0%
コカナダモ	41%	45%	11%	2%	2%
シナダレスズメガヤ	11%	37%	12%	24%	16%
シシジク	36%	37%	13%	14%	1%
セイタカアワダチソウ	7%	7%	6%	20%	60%
セイバンモロコシ	33%	24%	16%	15%	12%
ネズミムギ	4%	94%	0%	1%	1%
ハリエンジュ	16%	25%	22%	20%	16%
ボタンウキクサ	76%	23%	1%	1%	0%
ホテイアオイ	50%	37%	12%	1%	0%
ミスヒマワリ	98%	1%	1%	0%	0%

表-4 侵入要因の変数間の相関係数

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1 降水量	1.00	-0.50	-0.29	0.12	0.20	0.10	-0.44	0.39	-0.18	0.20	0.00
2 寒さの指数	-0.50	1.00	0.02	-0.12	-0.16	0.06	0.42	-0.15	0.42	0.15	-0.07
3 流域面積	-0.29	0.02	1.00	-0.16	-0.21	-0.12	0.47	-0.18	-0.03	0.33	0.46
4 河床勾配	0.12	-0.12	-0.16	1.00	0.04	0.02	-0.17	0.29	0.03	0.10	-0.19
5 平均氾濫回数	0.20	-0.16	-0.21	0.04	1.00	0.36	-0.19	0.16	-0.18	0.06	-0.15
6 流域変動率	0.10	0.06	-0.12	0.03	0.36	1.00	-0.03	0.27	-0.05	0.13	-0.08
7 流量平滑指数	-0.44	0.42	0.47	-0.17	-0.19	-0.03	1.00	-0.24	0.12	0.12	0.20
8 自然裸地面積比	0.39	-0.15	-0.18	0.29	0.16	0.27	-0.24	1.00	-0.06	0.12	-0.10
9 木本群落面積比	-0.18	0.42	-0.03	0.03	-0.18	0.05	0.12	-0.06	1.00	0.21	-0.12
10 人口	-0.20	-0.15	0.33	-0.10	-0.06	-0.13	0.12	-0.12	-0.21	1.00	0.12
11 豚飼養頭数	0.00	-0.07	0.40	-0.19	-0.15	-0.08	0.20	-0.10	-0.12	0.12	1.00

### 3. 結果および考察

#### (1) 外来植物の侵入要因に関する統計モデル

##### a) 解析対象種の侵入段階

全国123河川における解析対象種25種の侵入段階の百分率を表-3に示す。解析対象種の中では、アレチウリ、オオアレチノギク、オオブタクサ、シナダレスズメガヤ、セイタカアワダチソウ、セイバンモロコシ、ハリエンジュなどが広域の群落を形成していることが分かる。

##### b) 変数間の相関

侵入要因は予備解析で相関係数0.5以下のものを抽出しているが、結果の解釈のために侵入要因11の変数間の相関係数を表-4に示す。木本群落面積比と寒さの指数、流域面積と流量平滑指数、流域面積と豚飼養頭数の相関が正で0.4以上となっている。加えて自然裸地面積比と降水量、平均氾濫回数と流量変動幅などが比較的高い正の相関を持っている。また、降水量と流量平滑指数及び寒さの指数は負の相関で絶対値が0.4以上となっている。

##### c) 得られたモデルの結果

各解析対象種について上位10モデルのうち5モデル以上に選択された変数の一覧を表-5に示す。係数が正のものは+、係数が負のものは-で表示している。また、最右列にそれぞれの変数の選択回数を表示している。結果

表-5 モデル1~4で多く選択された変数

対象外来種	モデル1																	選択回数
	アレチウリ	アレチハナガサ	イタチハギ	オオアレチノギク	オオオナモミ	オオカナダモ	オオハングウソウ	オオワダチソウ	オニウシノケガサ	カモガヤ	ハリエンジュ	ホテイアオイ	ミズヒマワリ	コナダモ	シナダレスズメガヤ	セイバシロモロコシ	ネズミムギ	
平均年降雨量	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10
寒さの指数	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22
流域面積	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	11
河床勾配	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8
平均氾濫回数	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	8
流量変動幅	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	15
流量平滑指数	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7
自然裸地面積の割合	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7
木本群落面積の割合	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6
直轄管理区間周辺の人口	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	12
豚飼養頭数	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6
モデル2																		
平均年降雨量	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7
寒さの指数	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19
流域面積	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	6
河床勾配	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9
平均氾濫回数	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11
流量変動幅	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10
流量平滑指数	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7
自然裸地面積の割合	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5
木本群落面積の割合	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6
直轄管理区間周辺の人口	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	6
豚飼養頭数	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
モデル3																		
平均年降雨量	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
寒さの指数	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13
流域面積	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	4
河床勾配	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5
平均氾濫回数	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6
流量変動幅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8
流量平滑指数	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
自然裸地面積の割合	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6
木本群落面積の割合	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7
直轄管理区間周辺の人口	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	6
豚飼養頭数	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
モデル4																		
平均年降雨量	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
寒さの指数	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
流域面積	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	4
河床勾配	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
平均氾濫回数	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
流量変動幅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6
流量平滑指数	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
自然裸地面積の割合	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3
木本群落面積の割合	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3
直轄管理区間周辺の人口	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	3
豚飼養頭数	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2

表-6 解析対象種25種のモデルのAUC

種名	モデル1	モデル2	モデル3	モデル4
アレチウリ	0.941	0.845	0.845	-
アレチハナガサ	0.958	0.934	0.851	-
イタチハギ	0.916	0.932	0.908	-
オオアレチノギク	1.000	0.796	0.811	0.904
オオアワダチソウ	0.866	0.982	0.971	-
オオオナモミ	0.997	0.683	0.802	-
オオカナダモ	0.924	0.812	0.787	-
オオハングウソウ	0.932	-	-	-
オオワダチソウ	0.835	0.852	-	-
オオフタバムグラ	0.898	0.836	0.821	0.828
オオシロハムグラ	0.885	0.905	-	-
オニウシノケガサ	0.985	0.864	0.893	-
カモガヤ	0.895	1.000	0.991	-
キシウスズメノヒエ	0.969	0.804	0.808	-
コナダモ	0.827	0.787	-	-
シナダレスズメガヤ	1.000	0.821	0.812	0.907
シンジュ	0.907	0.820	0.753	-
セイバシロモロコシ	0.979	0.939	0.916	0.872
セイバシロモロコシ	0.907	0.877	0.871	0.894
ネズミムギ	0.914	-	-	-
ハリエンジュ	0.913	0.876	0.896	0.972
ボタンウキクサ	0.831	-	-	-
ホテイアオイ	0.863	0.841	-	-
ミズヒマワリ	0.963	-	-	-

一方、自然裸地面積の割合は、種によって影響が異なっていた。オオアレチノギク、オオオナモミ、オオフタバムグラ、シナダレスズメガヤ、ハリエンジュなどは、自然裸地面積の割合が群落形成に寄与していた。これらは砂地など植生の疎らな裸地的環境を好む種であり、それを裏付ける結果となった。

d) 得られたモデルの予測性能の検討

各対象種のAICが最小となるモデル1からモデル4のベストモデルに侵入要因を代入して得られる予測値（推定される侵入段階）を実測値（国勢調査3巡目の侵入段階）と比較することによりモデルの予測性能を評価した。予測性能の指標として、ROC分析に基づくAUC (Area under the curve) を算出した。AUCの最大値は1で、このとき予測と実測が完全に一致することを意味する。この値に対する評価は、0.7~0.9を“useful applications”，0.9以上を“high accuracy”としている<sup>15)</sup>。なお、AUCが0.5の場合、そのモデルによる予測は、ランダムに数値を選んだ場合と同程度の性能しかないことを意味する。

各対象種のモデルのAUCを表-6に示す。オオオナモミのモデル2 (AUC=0.68) を除き、いずれのモデルもAUCは0.7以上の値をとり、実用に足る予測性能を示した。加えて、作成した67モデル中29モデル (43%) において、AUCは0.9以上を示し、高い予測性能を示した。したがって、モデルを用いて外来種の侵入リスクや河川管理の影響を検討することは有効と考えられる。

(2) モデルによる各河川の侵入ポテンシャルの評価

作成したモデルにより得られる外来植物の侵入段階（予測値）と実際の外来植物の侵入段階（実測値）の差

よりおおよそ次のような傾向が得られた。

直轄管理区間周辺の人口が多いほど、流域面積が大きいかほど外来植物が侵入しやすい傾向を示した。

気候的な要因については、いずれの侵入段階においても寒さの指数と関連が大きいことが示された。全体的には、寒さの指数が小さいほど、つまり温暖であるほど侵入が進行していた。逆に、分布が北日本に偏っているオオアワダチソウ、オオハングウソウ、オニウシノケガサ、カモガヤ、ハリエンジュなどは寒さの指数に比例して侵入している。これらの違いは各植物種の気温に対する嗜好性や耐性を反映した結果となっている。

かく乱要因については、全体的には平均氾濫回数や流量変動幅の値が大きいほど広域群落の形成を抑制していることが示された。降雨量、河床勾配についても値が大きいほど侵入を抑制しており、かく乱の大きい河川において侵入を抑制していることが示唆される。ただし、モデル1の侵入初期段階の河川では、平均氾濫回数や流量変動幅が多いほど外来植物が侵入する傾向が見られた。これは、かく乱依存的な生活史戦略を持つことが多い外来植物<sup>9)</sup>に対し、初期段階においては氾濫が侵入を促進しているが、その後広域的な群落を形成する段階では分布の拡大を抑制する方向に機能していると解釈できる。

表-7 各河川の侵入ポテンシャルの評価基準

評価順序	侵入ポテンシャルの評価基準	侵入ポテンシャル
1	モデル3による予測値0.5以上	侵入段階3
2	モデル2による予測値0.5以上	侵入段階2
3	モデル1による予測値0.5以上	侵入段階1
4	モデル1による予測値0.5未満	侵入段階0

表-8 侵入ポテンシャルが実測値よりも高い河川数

解析対象種	侵入ポテンシャル>3巡目侵入段階	
	河川数	順位
オオアレチノギク	34	1
シナダレスズメガヤ	34	1
セイバンモロコシ	32	3
ハリエンジュ	31	4
オオブタクサ	29	5
オオカナダモ	28	6
コカナダモ	23	7
キシウスズメノヒエ	22	8
アレチウリ	21	9
オオフサモ	21	9
イタチハギ	20	11
オオアワダチソウ	20	11
ホテイアオイ	18	13
オオキンケイギク	17	14
シンジュ	16	15
セイタカアワダチソウ	13	16
オオブタムグラ	11	17
アレチハナカサ	10	18
カモガヤ	8	19
オオハンゴンソウ	6	20
ホタンウキクサ	6	20
オニウシノケグサ	5	22
オオオナモミ	4	23
ネスミムギ	4	23
ミスヒマワリ	0	25

異は、モデルの予測性能によるものであるが、その一部は、侵入要因は満たしているものの侵入後の経過時間が短い等の理由により生じていると考えられる。そこで、予防原則の観点から、モデルによる予測値が実測値の侵入段階を上回っている場合、この予測値を外来植物の正の「侵入ポテンシャル」と考え、その評価を行った。

各解析対象種のモデル1~3に、各河川の侵入要因を代入し、各モデルから得られた値を「侵入ポテンシャル」とした。各モデルに値を代入して得られる値は、いずれも0~1の間の値をとる。ここでは、表-7に示すように予測値が0.5以上でその侵入段階に進むと評価し、侵入段階の上のモデル3より順に、侵入段階を評価した。なお、ここではモデル4を作成できた種は25種中6種と少なかったためモデル4を評価から外した。

国勢調査（3巡目）の結果に基づく侵入段階の（以下「3巡目侵入段階」）値と、「侵入ポテンシャル」の比較を行い、各解析対象種について、「侵入ポテンシャル」が「3巡目侵入段階」より大きくなる河川数を集計した（表-8）。

これより今後多くの流域で拡大する可能性が示唆される種（上位5種）として、オオアレチノギク、シナダレスズメガヤ、セイバンモロコシ、ハリエンジュ、オオブタクサが抽出された。

結果の一例としてハリエンジュの例を図-4に示す。この種では、現在すでに優占群落を形成している河川（侵



図-4 実測値と侵入ポテンシャルの比較（ハリエンジュの例）

入段階 2) においては、今後1ha以上の広域群落を形成（侵入段階 3）する可能性が高いことが示唆される。

### (3) 検討結果の河川管理への活用

国勢調査の結果を活用することにより、全国的な外来植物の侵入要因を分析することが出来た。得られた結果は河川管理者が外来植物対策を実施する上でいくつか考慮すべき示唆を含んでおり、以下に考察する。

外来植物の侵入要因は種毎に、また侵入段階によっても異なることが分かった。河川管理者は表-5を参考に、管理する河川で問題となっている外来植物の侵入要因を把握し、対象種の基本的な情報や周辺の流域の侵入段階、地域の専門家の意見などを考慮しながら、その対策を検討することが重要である。

かく乱については、今回の結果から、河川のかく乱頻度を増やすことは、外来植物の初期の侵入を促進させる可能性はあるものの、その広域な群落形成を抑制することが示唆された。このことは、河川改修による高水敷の切り下げ等によるかく乱頻度の増大が、治水対策や河原再生の手法として有効であるだけでなく、外来植物管理にとっても有効な手段となりうることを示唆していると考えられる。実際、河川高水敷の切り下げを実施した千曲川においては、冠水頻度や掃流力の増大、土壌水分量の減少によりアレチウリの繁茂抑制に成功している<sup>7)</sup>。しかしながら、河原等の自然裸地面積の割合は、シナダレスズメガヤやハリエンジュ等、植生の疎らな裸地的環境を好む種の広域な群落形成に寄与しているという結果

も今回の分析やこれまでの検討<sup>6)</sup>で得られているため、外来植物の供給源となっている上流での分布域を確認するなど個別に検討する必要がある。

外来植物に対する予防的対策としては、図-4に示した国勢調査と侵入ポテンシャルの比較検討が活用できる。現状において、侵入がない、あるいは侵入面積がわずかであっても、侵入ポテンシャルや周辺流域における侵入状況を考慮して、拡大危険性がある種については、国勢調査の結果の他、普段の巡視等においても注意して観測すべきであろう。また、外来植物の監視は管理者側だけでは限界があるので、地元のNPOや市民団体との協力<sup>4)</sup>が不可欠と考えられる。

河川管理者が外来植物を管理する手段としては、①河川高水敷の切り下げ等によるかく乱頻度のコントロール、②河川維持管理計画<sup>17)</sup>等に基づく伐採・除去の2つに大別できると考えられる。現実的には外来植物管理のみを目的とした大規模な伐採・除去は難しいと考えられるので、治水事業や自然再生事業、あるいは維持管理計画に、いかに矛盾なく外来植物対策を盛り込むかが重要である。

## 5. まとめ

河川水辺の国勢調査の結果より、外来植物の侵入要因を説明するモデルを侵入段階に応じて作成した。その結果、一般的傾向として、いずれの侵入段階においても、気候的要因(寒さの指数)との関連が示された。広域な群落形成を抑制する要因としては、氾濫回数、流量変動幅等のかく乱要因が抽出された。また、人口や流域面積に正の相関が示され、人口が多いほど流域面積が大きいほど外来植物の移入機会が増加していると考えられた。さらに得られたモデルにより種毎、河川毎の外来植物の侵入段階を計算し、実績との差異を侵入ポテンシャルと考えて、評価を実施したところ、オオアレチノギク、シナダレスズメガヤ、セイバンモロコシ、ハリエンジュ、オオブタクサ等が今後多くの流域で拡大する可能性が示された。

**謝辞:** 本研究の実施にあたり、東邦大学 西廣淳准教授、(独)土木研究所 傳田正利主任研究員、大石哲也主任研究員には、有益なアドバイスをいただきました。またデータ整理は(株)建設環境研究所 伊川耕太氏にご協力いただきました。記して感謝いたします。

## 参考文献

1) Richardson, D.M., Holmes, P.M., Esler, K.J., Galatowitsch, S.M., Stromberg, J.C., Kirkman, S.P., Pyrkman, P. and Hobbs, R.J.: Riparian vegetation: Degradation, alien plant invasions, and restoration prospects. *Diversity and Distributions*, Vol.13, pp.126-139, 2007.

- 2) 外来種影響・対策研究会: 河川における外来種対策の考え方とその事例【改訂版】—主な侵略的外来種の影響と対策—, 財団法人リバーフロント整備センター, p.15, 2009.
- 3) 宮脇成生・鷺谷いづみ: 原産地における分布特性が日本の河川域における外来植物の侵略性に与える影響, *Vol.60*, pp.217-225, 2010.
- 4) 宮脇成生・鷺谷いづみ: 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, *応用生態工学*, Vol.6, No.2, pp.195-209, 2004.
- 5) 池田裕一・亀田涼・浅枝隆・坂本健太郎: 渡良瀬川砂州上におけるハリエンジュの繁茂状況に関する基礎的調査, *河川技術論文集*, Vol.18, pp.71-76, 2012.
- 6) 石川真一・高橋和雄・吉井弘昭: 利根川中流域における外来植物オオブタクサ(*Ambrosia trifida* L.)の分布状況と発芽・生長特性, *保全生態学研究*, Vol. 8, No. 1, pp.11-24, 2003.
- 7) 傳田正利・黒川貴弘・島野光司・三輪準二: 河川高水敷掘削による物理環境変化がアレチウリの初期生育に与える影響に関する研究, *水工学論文集*, Vol.54, pp.1237-1242, 2010.
- 8) 大石哲也・天野邦彦: 出水がアレチウリ群落の拡大に及ぼす影響とその考察—実験・数値計算からの検討, *水工学論文集* Vol.50, pp.1207-1212, 2006.
- 9) 傳田正利・黒川貴弘・三輪準二: 千曲川高水敷におけるアレチウリ埋土種子の分布特性とその形成要因に関する研究, *環境工学論文集*, Vol.47, pp.39-48, 2010.
- 10) 中坪 孝之: 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*, Vol. 2, No. 3, pp. 179-187, 1998.
- 11) Gallien, L., Münkemüller, T., Albert, C.H., Boulangeat, I., and Thuiller, W.: Predicting potential distributions of invasive species: where to go from here? *Diversity and Distributions*, Vol.16, pp.331-342, 2010.
- 12) 吉良竜夫: 温量指数による垂直的な気候帯のわかちかたについて—日本の高冷地の合理的な利用のために—, *寒地農学*, Vol. 2, pp.143-173, 1948.
- 13) 藤田光一ら: 日本におけるダムと下流河川の物理環境との関係についての整理・分析, *国土技術政策総合研究所資料*, 第445号, pp.15-18, 2008.
- 14) 久保拓弥: データ解析のための統計モデリング入門, 岩波書店, 2012.
- 15) Swets, J.A.: Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science*, Vol. 240, pp.1285-1293, 1988.
- 16) 原田圭助・池内幸司: 冠水頻度、土性区分と成立する河川植生との関係に関する一考察, *リバーフロント*, Vol.38, pp.18-23, 2000.
- 17) 国土交通省: 河川砂防技術基準維持管理編(河川編), 2011, [http://www.mlit.go.jp/river/shishin\\_guideline/gijutsu/gijutsukijunn/jikanri/index.html](http://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/gijutsu/gijutsukijunn/jikanri/index.html) (2013.4.2 閲覧).

(2013. 4. 4受付)