

2017 年度（第 53 回）水工学に関する夏期研修会講義集

水工学シリーズ 17-A-7

河川植生の維持管理～基本と実践～

土木研究所自然共生研究センター 主任研究員

大石哲也

土木学会

水工学委員会・海岸工学委員会

2017 年 8 月

河川植生の維持管理～基本と実践～

Maintenance Method for River Vegetation, the Basic Theories and Practices

大 石 哲 也

Tetsuya OISHI

1. はじめに

筆者には学生時代からお世話になっている 2 人の恩師がいて、それぞれから「日本の川は、管理をしないと藪化する」、「江戸時代の人々が今の川をみたら煮炊きに使える木や草が豊富なのに、これを利用しない現代人はなんでもったいないことをしているかと言うだろうね」と話をしていただいたことがある。少なくとも昭和の初期ごろまでは、まだガスも普及していなかった時代でもあり、子供が朝飯前とばかりに川へ行き、窯へくべる枝葉や落ち葉を拾い集めていた。木の下草は刈り取られ、川面への見通しも良かった。人々は川と共存する生活を余儀なくされており、必然的に川の植物は管理されてきた。河原が広がっている所でも子供たちは遊び、木々を集めていたし、大人たちの中には流れてきた大木を取るため、腰に命綱を巻いて飛び込んで取っていた者もいたという。田舎にも徐々にガスが普及し人が川の利用から遠ざかり、人の暮らしと密着して生きてきた生き物もだんだんに減少して、川が草木に覆われるようになってしまった。そして現在は、環境と治水の両面から植生管理の必要性が問われる時代になった。

また、近年、河川に広がる外来種の問題も植生管理を複雑にしている。古くは山腹や崩壊斜面の安定化を図るため緑化材に外来樹木のハリエンジュが利用されていたことや、1960 年代ごろからは、道路のり面のガリ浸食の防止や景観保護の観点から外来牧草が利用されるようになった。外来牧草は、明るい箇所を好み、乾燥に強く、さらに流通性の高い種で早期緑化に最適であった。当時、のり面に外来牧草が生育するのは一時的なもので、数年後～十数年後には地域の周辺植生と一体化すると考えられていた^{例えば 1)}。実際に、名神・東名高速道路の切土のり面は、10 年後にアカマツ・ヤシャブシが定着し、在来種に置き換わった例もある²⁾。しかしながら、導入された緑化材は、のり面や崩壊跡地から河川に逸脱して河川の生態系に影響を与えるようになった。緑化材に利用されたシナダレスズメガヤ、オニウシノケグサなどは、かつて乾燥が著しく植物が生育できなかった河原や、在来種の生育していた場所まで侵入し旺盛に繁茂している。便利で安全な世の中を実践するため、様々な技術革新が行われてきたが、一方で長い間人と共に暮らしてきた植物にとっては、住み難い環境になってしまった。

現在は、人の管理行為の低下、外来植物の侵入によって、川には木や草が生育し易い環境下にあるという認識を持つておく必要があり、今後は川に植物が生育することを前提とした河道計画や管理が必要とされている。このためにも植物に限らず生き物が関わる計画や事業を扱うときは、生き物の行動パターンを把握したうえで予測・対処することが治水、環境と維持管理にとって何よりも肝要である。

さて、これまでに水工学では、川に生きる植物を生き物というよりもむしろ河川地形に抵抗を与えるものとして捉えてきている(図-1 a))。一方、植物学では、気候・土地・地形といった無機的要因と人為・生物といった有機的要因との関係からこういった植物が生育しそうかという捉え方をしている(図-1 b))。河道の植生管理を行う場合、いずれの考え方も有用だが、管理の実態を目の当たりにすると、河道内に木が増えると重要種でない限り、治水のためにその場しのぎに伐採をする例を良く見る。この他、河積が足りないという理由から河川敷を平水位面ぎりぎりまで地盤を切下げる例が近年増えて、湿

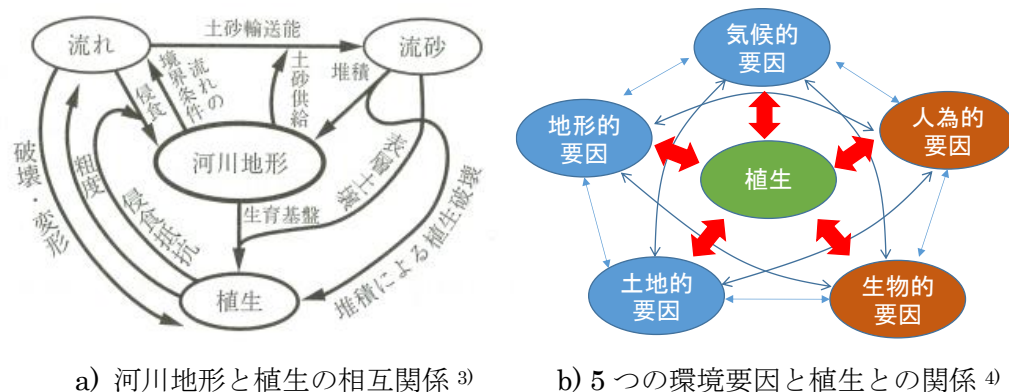


図-1 河川工学と植生学での植生の捉え方の違い

性環境を好むヤナギの増加につながっているケースもある。整備跡地には植物は必ず生えるという考えをもって、どのような植物が生育しそうかを予測し、維持管理を踏まえて事の本質に対処することが重要である。河川の植生管理を行う基本は、その地域、その河川に生育する植物が与えられた環境に対してどのような振る舞いをしそうかを予測することである。植物の特性を踏まえれば、必要に応じて十分な対処方法の検討が可能となる。

本稿では、第2章で河川に生育する植物の特徴や種（タネ）の発芽に関する基本事項を示し、河原に植物が生育する理由を解説する。第3章では、扇状地から自然堤防帯に成立する群落の特徴について解説する。第4章では、河川の植生変化の現状と河川整備による河川植生への影響について解説する。また、地変を伴う整備が多いことを踏まえ、ここでは管理の現場で役立つように地形に対する植物の応答を中心に整理した。地形と植物の関係は、植物のもつ形態的適応を解明するうえでも実に興味深い。例えば、山地に生育するハリエンジュ、ヤシヤブシ、河川に生育するツルヨシ、湖沼に生育するコウガイモ、海岸に生育するオヒルギ（マングローブ）、これらの共通点は、いずれも攪乱の著しい水域と陸域に接する地点で生きる植物である。これらの種の生育特性は地上に根を張り巡らせて、母体の安定化を図り、栄養を吸収し成長する戦略を採っている。いずれもの種も必要とする生育場所も栄養も異なるが、地上部を支える根は似通った形態戦略をとっている点に驚かされる。地形と植物は、双方に関連しあっており山地から海岸まで、どこでも適用可能な考え方なので、河川整備や河川管理の場で生かしてもらいたい。

2. 河川に生育する植物の特徴

2.1 河川における植物の種類相

日本全土に生育する植物のうち、維管束類（種子植物、シダ植物）は種レベルで約 5,500 種あり、そのうち約 2,900 種が日本固有の種と言われている⁵⁾。さらに、亜種・品種を含むと約 8,000 種もの植物が野外で観察されている。河川には、河川水辺の国勢調査結果から全 8,000 種の約 70%にあたる約 5,600 種（亜種、品種を含む）が確認されている。種の内訳に着目すると、約 600 種（日本全土で約 1700 種）が環境省の指定する絶滅危惧種で、約 1,200 種（日本全土で約 1700 種）が国外から持ち込まれた外来種となっている。在来種が減少し、外来種が増えている背景には、河川の水際域、湖沼の湖岸帯などの地形改変によって生育場そのものが消失してしまったこと⁶⁾、流域から外来植物の侵入によって在来植物の生育場が奪われたこと⁷⁾、また河川敷にある雑木林の利用減少により遷移（succession）が進行したこと⁸⁾などが考えられる。これらの結果として、河川における植物の多様性（diversity）が低下しているとも言われている。

2.2 植物が持つ機能

河川に生きる植物に限らず全ての植物は、光合成によって酸素や有機物を作り出すといった一次生産者（primary producer）としての機能を持つ。また、植物は動物に生息場（habitat）も提供する。例えば、抽水植物のヨシはオオヨシキリの営巣場として利用されたり、沈水植物のいくつかの種はトンボ類の産卵基質として利用されたりしている。さらに、植物は減災・防災への対策として利用されることも多い。例えば、アカマツや竹などは洪水による被害を軽減するため水害防備林として、ヤシヤブシや一部の草本などは降雨によるのり面表層の侵食防止として利用されている。この他にも、底生昆虫にとっての栄養源（樹葉のリターなど）の供給や、ヨシ等の抽水植物帯での流速低減による懸濁物質（SS）の沈降、土壌中に酸素を供給することで根毛近傍に酸化層が形成され、還元状態の土壌との間で硝化・脱窒作用が行われることによる水質の浄化機能が知られている（表－1）。

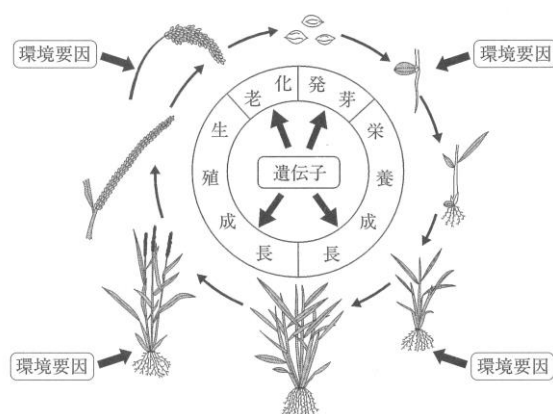
表－1 河川の植物が有する機能^{9), 10)}

防災・減災	環境			
	魚類	鳥類	昆虫類	その他
水害防備, 防風	隠れ家(水中根なども含む)	隠れ家	隠れ家	リター供給
のり面の侵食防止	河畔林からの餌供給	営巣地	幼虫の生息場	栄養元素の交換
洪水時の流水の貯留効果	河畔林の被陰による日射量の減少	採餌場	成虫の産卵場	水質浄化
	流速低下に伴う稚仔魚の生息場の創出	休息場	食草	
		棲家		

2.3 植物の生育特性

2.3.1 植物の生活環

生物の一生を生活環と呼ぶ。植物の生活環は、図－2に示すように種子の発芽→栄養成長→生殖成長→老化の4段階で捉えられる。各素過程は、遺伝子プログラムによって制御されており、その発生のタイミングに合わせて環境要因が合致すれば、植物ホルモンが活性化され発芽から結実まで全うできる。植物は移動ができないため、各素過程間で必要となる環境要因が供給されないと、発芽はできたが成長できず枯死に至ることがある。このように、魚や鳥などの移動性の生物と比較すると植物は、環境の変化に対して直接的な影響を受け易い。



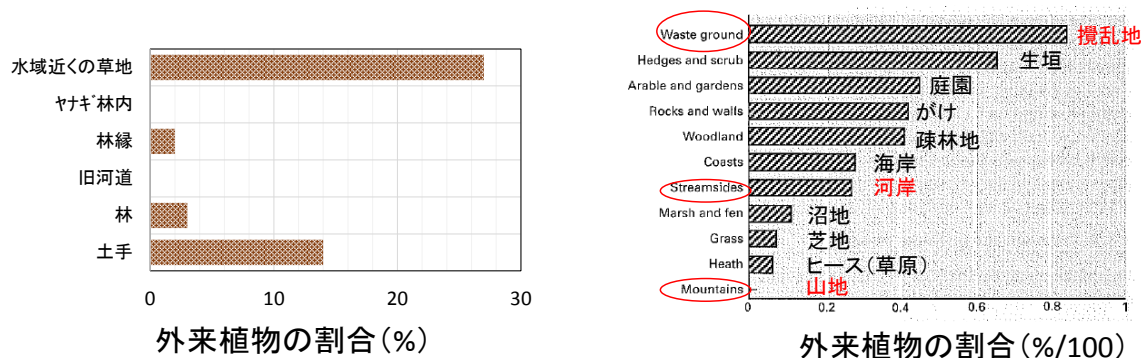
図－2 植物の生活環¹¹⁾

2.3.2 種子の発芽条件と生育適地との関係

ここでは、植物の成長に繋がる種子の発芽と生育適地との関係を考えてみたい。種子の発芽には、水、温度、光の3条件が整う必要がある¹²⁾。これらの中でも、水は全ての種子の発芽に必要で、一定量の水を吸収した後でなければ発芽しない。水の吸水は、種子内部での酵素作用を活性化し、生長ホルモン類（ジベレリンなど）が活動し発芽を促す。温度も重要な要素で、発芽に適した温度帯や、低温（冬）を経験することで発芽が可能になるなど、温度条件によって発芽力が異なることがある¹³⁾。ただし、水分条件と比較すると種類によって特性が様々で一般論を述べるのが難しい。光も発芽にとって欠かせない。一般に農作物に使われる種子の多くは明暗いずれでも発芽するものが多いが、野外で見られる植物の多くは、明発芽性種子の方が暗発芽性種子よりもはるかに多く、とくに牧草類や路傍の雑草類の大部

分は明発芽性の特徴を有する¹⁴⁾。日本では道路やダム建設が盛んになった1960年代以降に、のり面緑化に外来の牧草類が使用された経緯があり、街路や河原のような明るい環境下では外来植物が多い。

図-3 a)は、茨城県小貝川周辺の土地条件と外来植物との関係を示している。同図から、水域近くや土手などの明るい箇所に外来種が多く、ヤナギ林内や林などの暗い箇所には外来種が少ないことが分かる。例えば、山を登った時に山道には街の道路脇に見られるような明るい箇所に生きる外来の路傍雑草が多くみられるが、林床下では光の獲得が容易でないため、在来種が多いことに気が付く。また、このような傾向は日本だけでなく図-3 b)に示されるようにヨーロッパ（イギリス）でも見られる¹⁶⁾。



a) 茨城県小貝川における外来植物の割合¹⁵⁾ b) イギリスの主な生育地における外来植物の割合¹⁶⁾

図-3 土地別に見た外来植物の割合

安定している系（林や山地）ほど、在来植物が優占し、不安定な系（かく乱地や土手といった解放景観）ほど、外来植物が優占する

2.3.3 河原に生きる植物の生育特性

礫河原には、実に多くの種子が存在している。木曽川（岐阜県）で行った近年の検討¹⁷⁾から、1回の洪水で砂礫が交換された土砂を採取・分析したところ、平均で深さ10 cmに約600(個/m²)の種子が存在していることが分かっている。さらに、種子の多さは細粒成分（細砂やシルト以下の成分）の存在量との関係性が高いという結果が得られている。また、複数回の洪水を経験した那賀川（茨城県）の礫河原でも、平均で深さ10 cmに約1,000(個/m²)の種子が存在している¹⁸⁾。森林では、深さ5 cmから10 cmあたり、200~3,300(個/m²)¹⁹⁾の種子が存在していることが報告されており、この例からすると、礫河原には植物が地表を覆うのに十分な種子が存在していると考えて良い。しかし、実際には礫河原に植物がまだらであったり、旺盛に繁茂していたり場所によって異なっている。これはなぜなのだろうか。

そこで、礫河床で見られるいくつかの砂礫の構造に模したものをプランター（縦38cm×横14cm×高さ20cm）に作成し、砂礫構造が植物の生育にどういった影響があるかを調べた例²⁰⁾を紹介しよう。

実験では、プランター内に、細砂、シルト、粘土を比率8.5:1:0.5で混合した基礎土を10 cm敷き詰め、その上に種を均質に撒いたのち、礫の被覆率や被覆厚を変化させて図-4に示すような5つのタイ



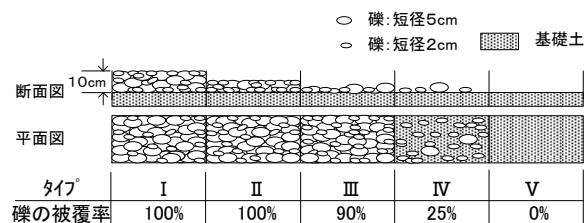
写真-1 木曽川の礫河床

礫の下には多くの種が存在しているため、発芽・生育はその場の環境条件による。洪水による地形形成と植物の発芽・成長を切り分けて考える必要がある。

ブの砂礫構造を作成した。使用した種は、河原で見られる明るい条件下で発芽する種類（ヤナギタデ、シロザ、メドハギ、ヨモギ、コセンダングサ、セイタカアワダチソウ、ケイヌビエ、アキノエノコログサ）で、実験で使用する前に休眠処理（4℃で2週間保存）を施した。礫は短径2cmと5cmを混合させたもので、とくに、タイプⅠ（礫厚さ10cm、礫被覆率100%）、タイプⅡ（礫厚さ5cm、礫被覆率100%）では、礫と礫の間になるべく隙間ができないように敷き詰めた。基礎土（種子）に届く光の測定は、実験開始前に別途用意したプランター内に光量子計を入れた上にガラス板をはめ、その上に砂礫を敷き詰め、板下へ透過する光量子量をタイプ別に計測している（表－2）。

実験開始時の条件は、各プランターを恒温室内に入れ明期12時間を暗期12時間に設定し、温度条件を明期に28℃、暗期に15℃とした。また、灌水（水やり）の頻度（3日おき、7日おき、14日おき）を変え、3日おきに土壤水分率（体積含水率）を計測（水やりと重なる日は、水やり前に実施）したほか、発芽した植物については種名、発芽数を記録した。実験は約1ヶ月間実施した。

実験終了時の各プランターでの植物の成長の様子を写真－2に、結果を図－5に示す。個体数が最も少なかったのはタイプⅠで、以下、タイプⅡ～Ⅴと礫の被覆厚と被覆率が小さくなるに連れて個体数が増加している。一方、水やりの頻度別でみると3日おきがどのタイプも生存個体数が多く、14日おきになると生存個体数が少なくなっている。とくにタイプⅣ、ⅤはタイプⅡ、Ⅲと比較し生存個体数が少ない。実験開始からの累積発芽数（図－6）を見ると、まず、タイプⅠは、水やりの頻度によらず累積発芽数がほぼ0個であるが、タイプⅣやⅤは、水やり頻度14日のⅣ-14で50個以上、Ⅴ-14で20個以上もある。タイプⅠで生存個体数が少なかったのは、光の条件によって発芽そのものが難しかったと考えられるが、Ⅳ-14、Ⅴ-14では、発芽はできたが実験途中の段階で枯死したと考えられる。実際に、枯死率をみるとⅣ-14、Ⅴ-14で枯死率が90%を超えていた（図－7）。植物が枯死に至るのは、



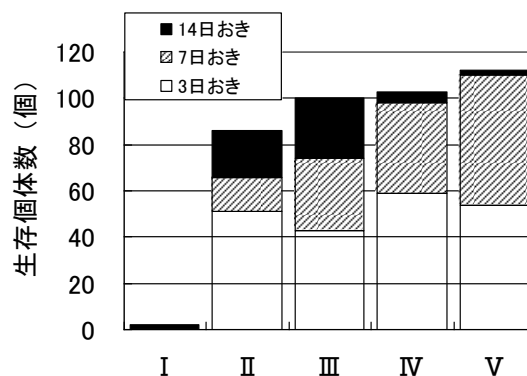
図－4 砂礫構造のタイプと礫の被覆率

表－2 タイプ別の光量子量

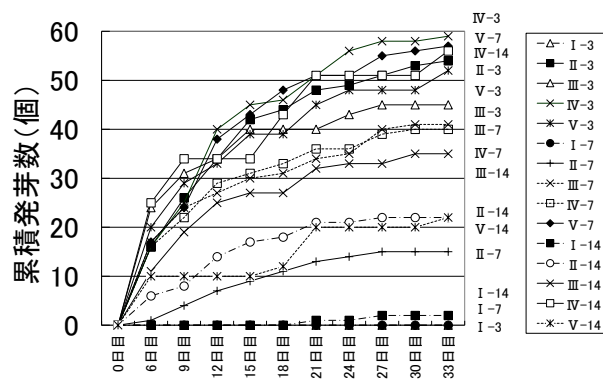
礫層タイプ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ
光量子量 ($\mu\text{mol/s/m}^2$)	0.00	0.21	0.35	29.31	49.66



写真－2 実験終了時のプランター内の様子
（水やり3日おき）



図－5 タイプ別の生存個体数（実験終了時）



図－6 実験開始からの累積発芽数の変化

葉から蒸散する水分量に見合った水分を根から吸い上げることができない⁹⁾からで、各プランターでの体積含水率の変化(図-8)をみると、枯死率の高いIV-14やV-14の体積含水率は、他と比べても中央値(平均値と考えて良い)も最小値も低い傾向にある。

もっともVIやVのタイプは、礫が少ないか全くない構造であり、基礎土が直接大気に触れる面積も多いため、水やりの頻度に関わらず総じて体積含水率が低い。なお、IV-3やV-3も低いが、これは水やりを行う前に計測を行っていたためであり、枯死率が14日おきに比べて低いのは、植物の成長を阻害する前に水の吸水が可能になっていたからと考えられる。

一方、水やりの頻度が14日おきでも体積含水率が維持されていたI-14やII-14は、礫の被覆が土壌の保水性に関与していたと考えられる。では、III-14のように体積含水率は低い枯死率が20%にとどまっていたのはなぜだろうか。実験終了時に、III-14のケースで生存していた植物の特徴を見ると、礫の下に根茎を伸ばしていることが確認できた(写真-3)。すなわち、生存していた個体は、礫の下の局所的に含水の高い場所から水分を獲得していたと考えられる。

ここでは種類の違いによる分析を割愛したが、植物の発芽・成長と枯死に至る関係が砂礫構造の違いによって異なることを分かってもらえたのではないと思う。

以上から、洪水などの流れによって形成される地形やこれに伴って形成される土壌条件と生育する植物との関係について、その概念を図-9に示す。流れによって、砂礫等の土壌構造が形成され、これが土壌水分に影響を与え、植物の生育に制限を与える。土壌構造は、粒径や砂礫量によって決まっており、土壌水分は、土壌構造以外にも粒径(粒度成分)や地下水位による影響も受ける。一般的に粒径が細かく、地下水位面が高いほど地表の土壌の保水性が高く湿性的な植物が多く生育し易いし、逆に、粒径が粗く地下水位面が低いほど、乾燥に強い植物が多くなる。流れによって地形ができ、それを植物が利用していることが整理できるかと思う。

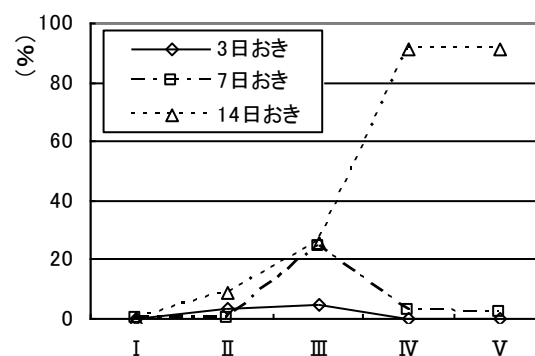


図-7 タイプ別の植物枯死率(実験終了時)

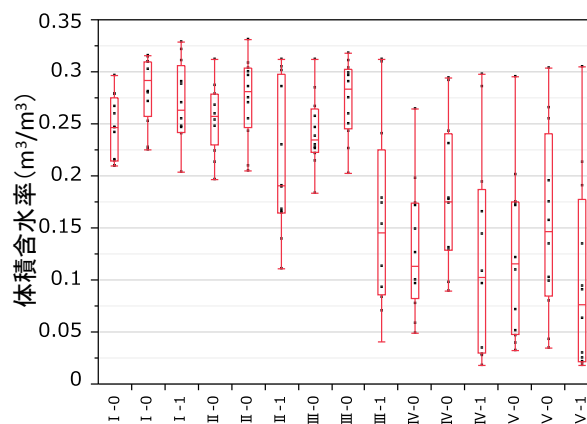


図-8 タイプ・水やり頻度別にみた体積含水率



写真-3 礫下を利用する根系

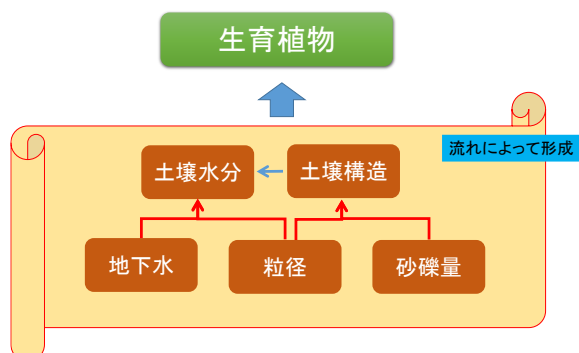


図-9 土壌条件と生育する植物との関係(概念図)

3. 植物群落と群集

3.1 河川に成立する植物群落

地表面に生育する全植物の集団を植生 (vegetation) あるいは植被 (plant cover) と呼ぶ。植生を草原や森林、あるいはオギ原やアカメヤナギ林などと識別した場合に、この識別した集団を植物群落 (plant community) と呼ぶ (植生群落は誤用)。一定の環境条件の集合に対応して、ある決まった種の集合が存在する。これが植物群落の基本的な性質である。植物群落の成立は、大きくは地形的要因 (凹凸、傾斜、地表の変動など)、気候的要因 (温度、日射、風当など)、土地的要因 (土壌の粒径、含水、栄養塩の多寡など) で決定されている²¹⁾。例えば、地表が平滑であれば、単一の植生が成立しやすくなるが、凹凸が生ずることで植生が異なる。大きな起伏から生まれる高度差は、温度差を生み出し、ケッペンの気候区分や吉良の温量指数 (暖かさの指数) に代表されるように気候変化 (温度変化) によって植生が異なることが示される。河川でも、北ほどヤナギが多く南ほどタケ・ササ類が多くなっており、この変化は気候的要因によるものと説明できる。このように気候的要因は、植物が生育できる分布範囲を特定するのに役立ち、各所の地域で調査を行う際や種間競争を考え上でも重要な制限因子である。

また、起伏は斜面を生み出し、これが日射の受け方や土壌中の含水量にも影響を与え、それが植生へ反映される。極端な例だが、お城の生け垣を観察すると、太陽に面する側では植物が生育していないが、太陽を背にする側では植物 (主にシダ類) が生育していることをよく目にする。これは、光と温度は十分だが土壌中の含水量の違いによるもので、日射の受け方の違いによって含みに影響を与え、その結果によって植物の生育可否が決まっていることを示している。もちろん、河川に生育する植物にも似たような現象を観察できる。

表-3 は、河川水辺の国勢調査結果をもとに、セグメントごと、地域別 (地整の管理している河川で整理) に群落割合を集計して順位付けを行ったものである。データは全国 117 河川で 1999~2008 年度に調査されたデータから、各河川の最新データを使用している。まず、目につくのは北海道を除き、東北から九州にかけて似通った群落が多いことだろう。北海道の群落の多くは、農地由来の群落が多いように感じるが、河川周辺に耕作地が多いのも一因と考えられる。

大局的にみると東北から九州にかけて、セグメント 1 (主に扇状地) ではツルヨシ群落 (植物社会学の定義に従って群集名で整理されているが、この場合、優占種がツルヨシなので以下では他の群落と同様に群落名で示す。3.2 で詳述する。) の出現や、ヨモギ・メドハギ群落、カワラヨモギ群落といった乾燥した礫河原に良く見られる種²²⁾などの出現や、外来種のシナダレスズメガヤ群落やセイタカアワダチソウ群落が目立つ。

ツルヨシ群落は、セグメント 1 からセグメント 2-2 と扇状地から自然堤防帯へ行くにしたがって、その割合が小さくなっている。ツルヨシ群落が自然堤防帯に行くにしたがって少なくなるのは、ツルヨシの実生が生長し易い粗砂²¹⁾が扇状地に多く、生長し難い細砂が自然堤防帯で多いことが原因として考えられる。細砂が多くなるセグメント 2-2 では、オギ群落、ヨシ群落、セイタカアワダチソウ群落、カナムグラ群落が多くなり、これらの群落だけで約 50%以上を占めている。一般的に、粒度組成が細かくなると透水係数が小さくなり、土壌中の水分や栄養塩濃度が高くなる傾向にある。とくにヨシやオギといった高茎草本は、細粒成分の堆積厚が十分あると根 (地下茎) の伸展がはかれ、成長に利用する水分や養分を土壌中から十分に獲得できるため、時間的な経過によって低茎草本よりも広域に優占し易くなる。ただし、セグメント 1 でも関東に見られるようにオギ群落が目立つ地域は、河川敷に堆積厚のある細粒成分の土壌を広域に有している場所が多いものと考えられる。なお、セイタカアワダチソウ群落やカナムグラ群落は、ヨシやオギが生育していた箇所と同じような箇所に出てくるが、これらは乾燥化 (細粒成分が薄いあるいは土壌が硬い) が進むと増加し易い群落²³⁾と考えられる。

表-3 地域別に見た主要な草本群落

特徴	礫質に生育	細粒土砂の堆積に生育	細粒土砂の堆積 と湿生に生育	外来種
対応する群落	ツルヨシ群落	オギ群落	ヨシ群落	○×群落

	北海道	東北	北陸	関東	中部	近畿	中国	四国	九州	
Seg1	1 カモガヤ・オオアワゲエリ群落	40% ススキ群落	34% ススキ群落	24% オギ群落	33% シナダレスズメガヤ群落	15% ツルヨシ群落	26% ツルヨシ群落	42% ツルヨシ群落	18% ツルヨシ群落	49%
	2 セリークサシヨシ群落	11% ツルヨシ群落	19% ツルヨシ群落	12% シナダレスズメガヤ群落	16% ツルヨシ群落	13% ヨモギ群落	18% セイタカアワダチソウ群落	12% シナダレスズメガヤ群落	17% セイタカアワダチソウ群落	9%
	3 オオヨモギ・オオイカリ群落	10% チガヤ群落	15% ヨモギ・メドハギ群落	11% ツルヨシ群落	10% オギ群落	10% オギ群落	12% チガヤ群落	12% ヒメムカヨモギ・オオアレチノギク群落	10% チガヤ群落	9%
	4 カゼクサー・オオバコ群落	8% ヨモギ・メドハギ群落	6% オギ群落	9% ヨシ群落	7% ススキ群落	9% ヨモギ・メドハギ群落	5% オギ群落	9% ヨモギ・メドハギ群落	9% ススキ群落	8%
	5 メンバー・エノコグサ群落	8% オギ群落	5% カワラヨモギ・カワライハコ群落	8% ススキ群落	7% カナムグラ群落	8% チガヤ群落	4% カナムグラ群落	6% カワライハコ群落	7% オギ群落	7%
	6 オオアワダチソウ群落	7% カナムグラ群落	5% チガヤ群落	6% セイタカアワダチソウ群落	5% メンバー・エノコグサ群落	6% カワラヨモギ群落	4% ヨモギ・メドハギ群落	4% セイタカアワダチソウ群落	6% セイバンキコロシ群落	5%
	7 ツルヨシ群落	6% セイタカアワダチソウ群落	3% オオイスタデー・オオクサキ群落	5% カナムグラ群落	4% セイタカアワダチソウ群落	5% カナムグラ群落	3% カワライハコ群落	4% カワラヨモギ・カワライハコ群落	4% メンバー・エノコグサ群落	3%
	8 オオイスタデー・オオクサキ群落	2% カワラヨモギ・カワライハコ群落	3% シバ群落	3% メンバー・エノコグサ群落	3% ヨモギ・メドハギ群落	5% ススキ群落	3% ススキ群落	2% ススキ群落	4% オオバツササ群落	2%
	9 ススキ群落	2% メンバー・エノコグサ群落	3% メンバー・エノコグサ群落	3% カワラヨモギ・カワライハコ群落	3% チガヤ群落	4% ツンプンキエノコ群落	3% ヤナギタデ群落	1% チガヤ群落	3% カナムグラ群落	2%
	10 カワラヨモギ・カワライハコ群落	1% クズ群落	2% カナムグラ群落	3% オオイスタデー・オオクサキ群落	3% カワラヨモギ・カワライハコ群落	4% セイタカアワダチソウ群落	2% ススキ群落	1% コサダマ群落	3% シナダレスズメガヤ群落	1%
Seg2-1	1 カモガヤ・オオアワゲエリ群落	39% ヨシ群落	21% オギ群落	24% オギ群落	42% セイタカアワダチソウ群落	18% カナムグラ群落	18% ツルヨシ群落	21% カナムグラ群落	15% ツルヨシ群落	21%
	2 オオヨモギ・オオイカリ群落	19% チガヤ群落	15% カナムグラ群落	15% カナムグラ群落	13% オギ群落	15% セイタカアワダチソウ群落	15% オギ群落	17% セイバンキコロシ群落	13% オギ群落	21%
	3 オオアワダチソウ群落	12% オギ群落	15% ヨモギ・メドハギ群落	8% セイタカアワダチソウ群落	11% ツルヨシ群落	12% ツルヨシ群落	14% セイタカアワダチソウ群落	16% ツルヨシ群落	12% チガヤ群落	16%
	4 セリークサシ群落	10% ツルヨシ群落	9% オオニクササ群落	6% ヨシ群落	8% シナダレスズメガヤ群落	11% オギ群落	9% チガヤ群落	9% セイタカアワダチソウ群落	12% セイバンキコロシ群落	11%
	5 エノオヤマ・ハコベークサシ群落	5% オオイスタデー・オオクサキ群落	6% オオイスタデー・オオクサキ群落	6% メンバー・エノコグサ群落	6% カナムグラ群落	10% ヨモギ群落	9% カナムグラ群落	6% メンバー・エノコグサ群落	11% セイタカアワダチソウ群落	8%
	6 ヨシ群落	3% ヨモギ・メドハギ群落	5% ツルヨシ群落	5% ツルヨシ群落	5% メンバー・エノコグサ群落	5% ツンプンキエノコ群落	5% ヨモギ・メドハギ群落	5% ヨモギ・メドハギ群落	9% セイタカアワダチソウ群落	4%
	7 ツルヨシ群落	3% メンバー・エノコグサ群落	5% ススキ群落	5% シナダレスズメガヤ群落	3% チガヤ群落	5% オオバツササ群落	3% シナダレスズメガヤ群落	3% ヨモギ・メドハギ群落	5% メンバー・エノコグサ群落	3%
	8 メンバー・エノコグサ群落	2% ススキ群落	5% ヨシ群落	5% オオイスタデー・オオクサキ群落	2% ヨモギ・メドハギ群落	4% オオニバアキメ群落	3% ヤナギタデ群落	3% チガヤ群落	4% タチスズメノエ群落	3%
	9 ススキ群落	2% カナムグラ群落	3% セイタカアワダチソウ群落	4% ヨモギ・メドハギ群落	2% オオイスタデー・オオクサキ群落	3% ヨモギ・メドハギ群落	3% ススキ群落	2% シナダレスズメガヤ群落	3% ススキ群落	3%
	10 オオハコソノノノ群落	2% カワバササ群落	3% アレチウリ群落	4% アレチウリ群落	1% ヤナギタデ群落	2% オオイスタデー・オオクサキ群落	1% メンバー・エノコグサ群落	2% セリークサシ群落	2% シナダレスズメガヤ群落	2%
Seg2-2	1 エノオヤマ・ハコベークサシ群落	35% ヨシ群落	35% オギ群落	32% オギ群落	47% オギ群落	25% オギ群落	18% オギ群落	21% オギ群落	16% オギ群落	20%
	2 カモガヤ・オオアワゲエリ群落	24% オギ群落	24% ヨシ群落	12% カナムグラ群落	13% カナムグラ群落	15% セイタカアワダチソウ群落	13% ツルヨシ群落	18% セイバンキコロシ群落	15% チガヤ群落	16%
	3 ヨシ群落	7% チガヤ群落	7% カナムグラ群落	11% セイタカアワダチソウ群落	12% セイタカアワダチソウ群落	10% カナムグラ群落	11% ヨシ群落	16% セイタカアワダチソウ群落	13% セイタカアワダチソウ群落	14%
	4 セリークサシ群落	5% メンバー・エノコグサ群落	5% セイタカアワダチソウ群落	7% ヨシ群落	11% ヨシ群落	8% セイタカヨシ群落	8% セイタカヨシ群落	13% ヨシ群落	9% セイバンキコロシ群落	12%
	5 オオヨモギ・オオイカリ群落	4% ヨモギ・メドハギ群落	4% チガヤ群落	7% メンバー・エノコグサ群落	3% ヨシ群落	7% ヨシ群落	8% ヨシ群落	6% ヨシ群落	9% ヨシ群落	11%
	6 イノガリヤス・ヨシ群落	4% カナムグラ群落	4% メンバー・エノコグサ群落	7% アレチウリ群落	2% アレチウリ群落	5% セイバンキコロシ群落	8% カナムグラ群落	5% メンバー・エノコグサ群落	6% ヨシ群落	6%
	7 カモガヤ・コサグヤ群落	3% ツルヨシ群落	3% オオイスタデー・オオクサキ群落	6% オオオノモミ群落	2% オオオノモミ群落	4% チガヤ群落	5% チガヤ群落	5% チガヤ群落	6% アミナスズメノエ群落	4%
	8 クサシ群落	3% セリークサシ群落	3% シバ群落	3% ツルヨシ群落	1% ツルヨシ群落	4% ツルヨシ群落	4% ヨシ群落	2% ヨモギ・メドハギ群落	3% タチスズメノエ群落	3%
	9 オオアワダチソウ群落	3% セイタカアワダチソウ群落	3% ヨモギ・メドハギ群落	3% オオイスタデー・オオクサキ群落	1% オオイスタデー・オオクサキ群落	4% ヨモギ・メドハギ群落	4% ヨモギ・メドハギ群落	2% ツルヨシ群落	2% メンバー・エノコグサ群落	2%
	10 ツルヨシ群落	3% オオイスタデー・オオクサキ群落	3% ススキ群落	3% オオバツササ群落	1% オオバツササ群落	2% ヤナギタデ群落	3% ウキギリ・マコハ群落	2% ウキギリ・マコハ群落	2% セイタカヨシ群落	2%

このように河川の植物は、洪水によって形成された地形や土石を利用して、また、洪水作用による攪乱の程度によって、それに適応した植物が生育していることが分かる。図-10は、生育箇所の粒径や水分条件から、植物（群落）が主に生育している範囲を模式的に示した例である。例えば、河床に砂成分が多く陸域に近くなるにつれて（土壌が乾燥している）オギが優占するが、水域に近づくにつれて（土壌が湿っている）ヨシが優占し易くなる。一方で、河床に礫成分が多いと、発芽するための光が礫下にある種に十分供給されないため無植生の河原が成立し易くなる。流れの作用が強く働く場所ほど、形成される土壌の粒径は大きくなり易く、ツル

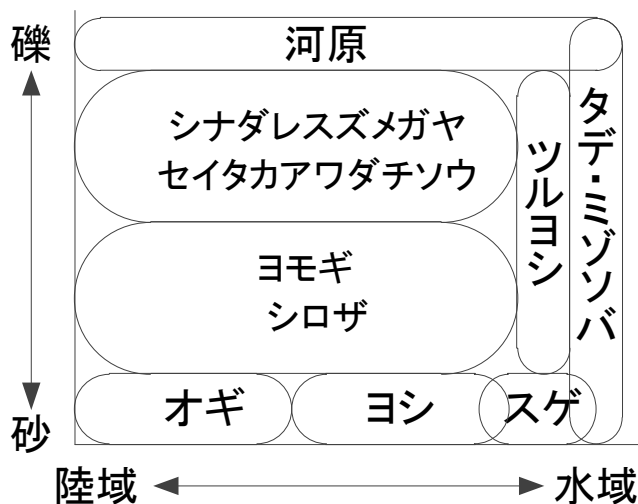


図-10 物理的環境と草本群落との対応
関係を示した模式図（例）

ヨシなどの礫の上に根を張って生育できる植物が優占し易い。また、タデやミゾソバなどの植物群落は、砂質の方が生育箇所としては適地だろうが礫河原の水際域にも広く生育するタイプである。この他、礫

と砂が混じるような場合は、ヨモギを主体に路傍雑草が成立する場合が多くなる。これらの傾向は、当然ながら地域ごと河川ごとに異なっているが、現場で物理条件と対応する植物（群落）を対応付けておくと、洪水などによる自然攪乱や河川整備後の植生成立を予測するのに役立つ。

3.2 群集

植物群落の類型化には様々な方法があるが²⁴⁾、日本では1960年代から、Braun-Blanquet（ブロンブランケ）が提唱した植物社会学²⁵⁾をもとにした方法が広く利用されている。植物社会学を基本とした調査方法は、1976年に環境庁（現環境省）が始めた「緑の国勢調査」、1990年に建設省（現国土交通省）が始めた「河川水辺の国勢調査」、この他にも道路、ダムなどの環境アセスメント時に利用されている。また、地被を覆う植物は多種、多様、多量ではあるが無秩序に生育しているわけではなく、長い歴史を背景として「同じ環境条件下で、そこを生活の場とする植物の集団（群落）が認められる」²⁶⁾と理解されている。このため、群落内で構成される種類組成には一定の決まりがあつて、他の群落との比較を通して、ある特定の群落にだけに結びつく種（これを標徴種（character species）という）が検出でき、標徴種を基準として群落を体系的に整理することが可能と考えられている²⁵⁾。この方法で定義された植物群落を群集（association）と呼ぶ。このため群集名は、必ずしも優占種の種名を元に命名されているとは限らない。また、群集は、植物個体の分類と同じように、植物群落の分類単位の基本単位（植物個体の分類だと種にあたる）とされている。植物個体の分類では、門→綱→目→科→属→種に対して、植物群落の分類では、上群網→群網→群目→群団→群集の順で整理される。群団もまた群集の中にある標徴種から群団名が決まっており、以下、群目、群網においても同様に整理される。なお、魚類等で用いる魚類群集あるいは生物群集（biological community）の用語は、以上節召した群集と考え方が異っており、植物群落の方が意味合いとして近い。

3.3 生態多軸系列

植物群落は、各々単独で存在することはまれで、常に隣り合つて別の群落が存在する。この植物の隣接関係を生態系列という。例えば、川岸では、水際の前線にヤナギタデ（タウコギ群網の1種^{例えば9)}などの1年草がみられ、岸に近づくにつれヨシ（アシ群網の1種）などの多年生群落、低木群落へと変化する。このような環境の傾度（例えば、土壌含水率など）に対応した群落の系列は、氾濫による破壊度の強弱に応じた河川の生態系列など、空間的、時間的植生系列が見られる。大場²⁷⁾は、この方法で体系化された植物群落と、それを取りまく環境との関係や発達段階を、多軸座標平面に配置することで、地域の植生の構造を表現している（図-11）。これは、同一の気候下、同一の植物相を有する地域での植物群落の生態的な位置づけを表したもので、定性的で専門性の高い情報ではあるが、地域植生を俯瞰的に把握する際に有用な指針を与えてくれる。

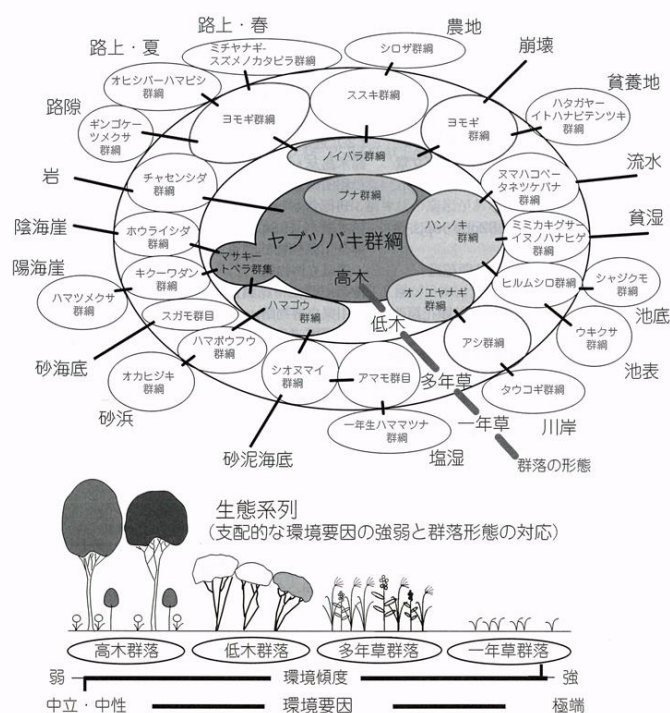


図-11 多軸生態系列による地域生態空間～群網レベルでの群落配分（千葉県）²⁸⁾

4. 植生管理

4.1 自然的・人的攪乱と河川植生

河川の植物群落（以下、河川植生という）は、洪水攪乱や人的攪乱の影響を受け、時間的、空間的にも多彩な場で成立している。温暖な日本では、攪乱作用が減少すると草地や樹林地が増加する傾向にある。実際に 1990 年以降、扇状地に位置する河川（図-12）や自然堤防帯に位置する河川（図-13）で見られるように、自然攪乱や人的攪乱の減少と共に河道内の草地や樹林地が増え続けている^{8),29)}。この背景については、各河川で異なった影響が考えられるが、山腹緑化や砂利採取により河道を流れる砂利が減少したことで川幅の縮小や河床低下の進行が起き易くなったこと³⁰⁾、河川管理行為の変化、耕作地の放棄などが考えられる^{例えば 31)}。河川植生に与える様々な攪乱は、大まかには直接的に群落の破壊に作

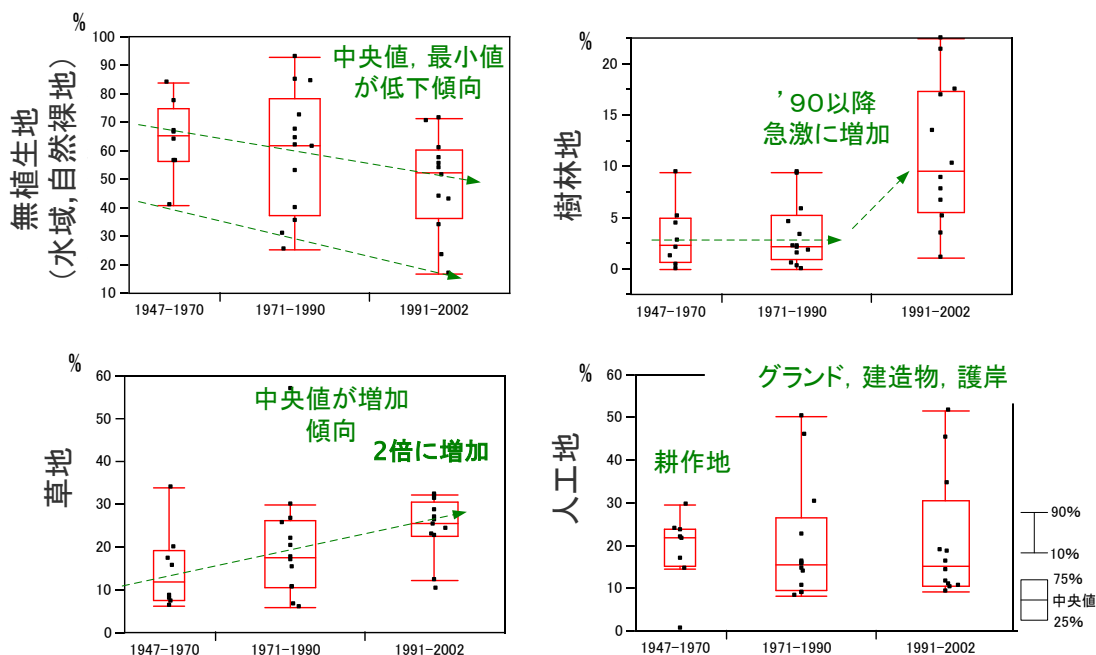
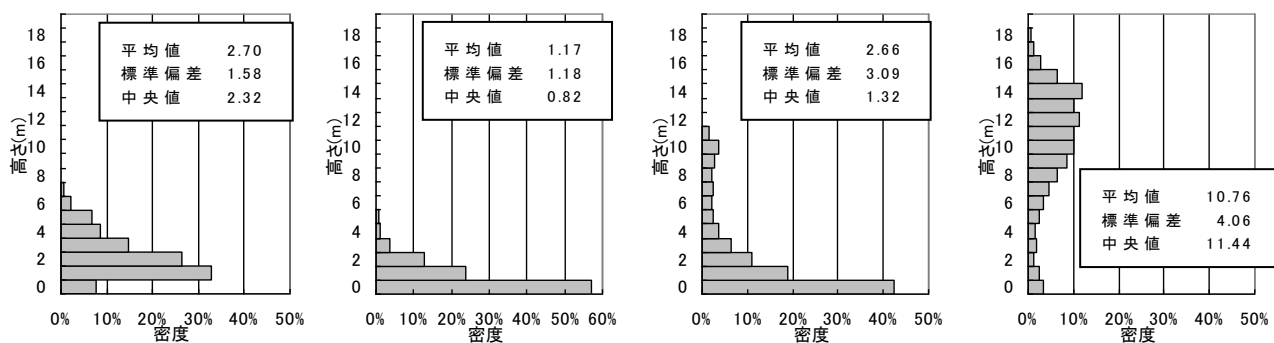


図-12 河川における各地被状態の面積割合の経年的変化

手取川、大井川、木曽川、猪名川、九頭竜川、天竜川、菊地川の河川を対象に空中写真から地被状態を分析している。無植生地や草地は 40 年代以降に徐々に増加し、樹林地は 90 年代以降に急激に増加した。人工地も使用用途が変化した。x 軸の幅は標本数に比例。

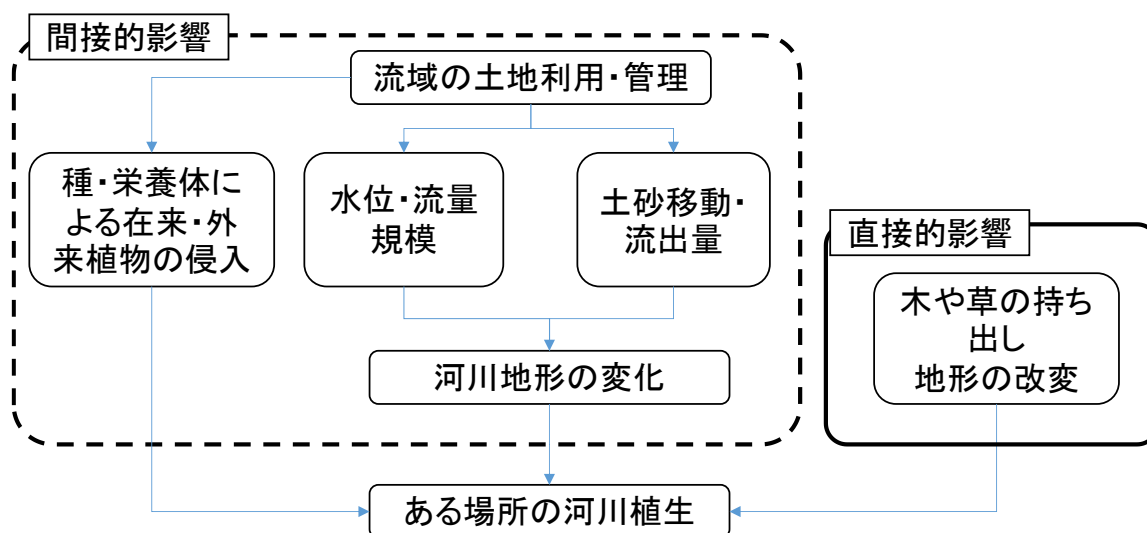


草地在近年になり樹林地となるパターン 草地(47)→草地(61)→草地(74)→樹林地(90) (右岸 17km)

図-13 各年の地物高分布と密度との関係（小貝川）

過去から現在にかけて地被状態の変化を示している。図化機を用い空中写真を立体視することにより地物の高さを求める方法で、表層高情報を取得した。読み取り区域は、約 1ha (100m×100m) 内とし、区域内における表層高を判読し、各年の密度分布（面積）を示している。

用するものと、間接的に流域の土地利用・管理等の変化を通じて作用するものに分けられる（図－14）。直接的な作用としては、煮炊きの燃料や工作材としての落ち葉や樹木の持ち出し、セメントの骨材利用としての砂利採取や河川敷の整備といった人的な土地改変などに伴う事象があげられる。間接的な作用としては、上流にダムや堰、あるいは低水護岸などによって、下流の流況や土砂輸送量が減少し、河床低下などにより陸域と水域に比高が生じることで洪水攪乱による群落の破壊と再生のプロセスが循環し難くなることがあげられる。この他にも、流域の土地利用の変化や人の生活様式の変化に伴って、治山や道路の法面の緑化に早期活着性の外来植物が利用されたり、観賞用の園芸植物が川へ逸出しときには蔓延したりするケースも少なくない。



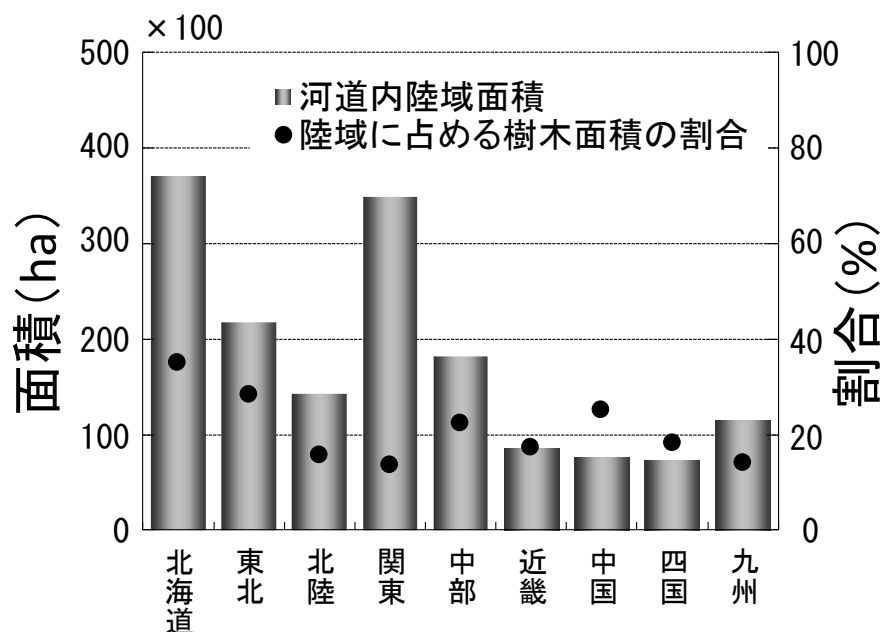
図－14 河川植生の成立に係わる周辺環境の直接的・間接的影響

4.2 絶滅危惧種の保全と外来種の管理

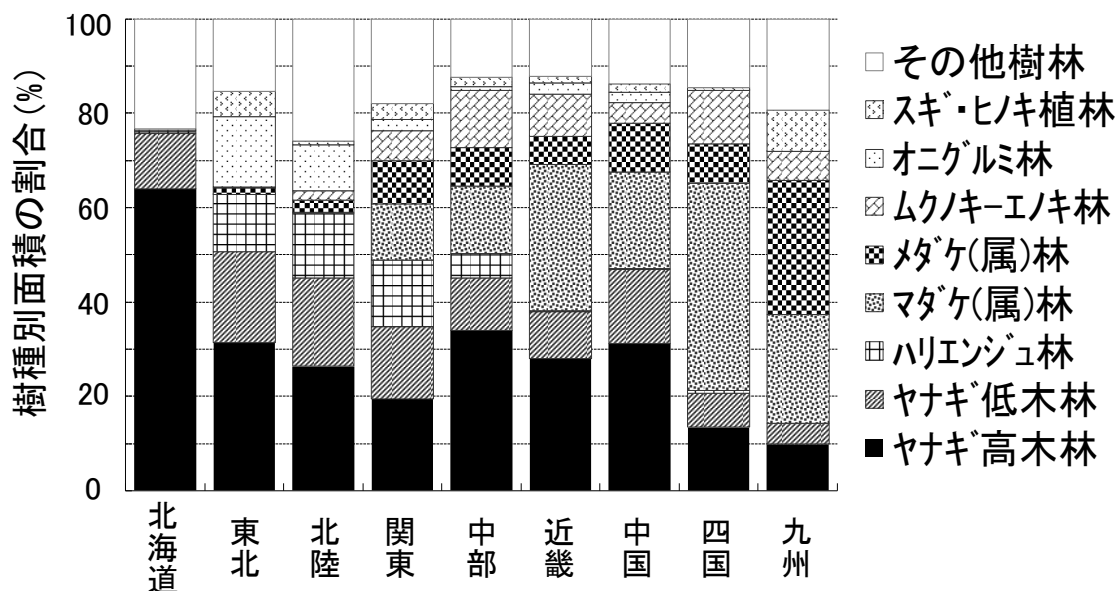
現在、地域の植物の保護には、貴重な、あるいは絶滅の危機に瀕している植物を保護するだけでは不十分で、外来種を除去、あるいはその増殖を抑える事が必要である²⁸⁾。扇状地や自然堤防帯を流れる河川で多く見られる外来植物の群落には、セイタカアワダチソウ群落、シナダレスズメガヤ群落、ヒメムカシヨモギ・オオアレチノギク群落、オオブタクサ群落、アレチウリ群落などがあり、今や河川植生の一般的な群落となりつつある。例えば、シナダレスズメガヤ群落は、河原と結び付きの強いカワラノギク、カワラハハコといった植物の生育適地を奪ってしまっている³³⁾。外来種が爆発的に拡大する要因の1つには、洪水を契機として種子や栄養体が広く分散され、洪水によって新たに形成された裸地面を利用して生育地を拡大することが少なく無い^{34), 35)}。このため、外来種の管理には、河川上流にある発生源を特定し「流入となる場所からの供給を止める」、地先で「種子が熟成する前に抜き取りや刈り取りによる除去をする」、除去後に「寿命の長い種子からなる土壌シードバンク (soil seed bank) の改良をする」といったことが基本的な管理方針となる³⁶⁾。また、根絶を成功させるためには、早期に対策を始めて、集中的に労力や費用をかけることが必要である³⁷⁾。ただし、すでに蔓延しているような場合は、逐次的に行った費用と対策の効果を評価するとともに、土壌改良により植物の生長要因を抑制する方法や³⁸⁾、海外で植生管理に利用されているように薬剤を用いて防除する方法³⁹⁾も視野に入れて、他生物への安全性に配慮した上で管理方法を検討することが重要である。

4.3 樹木管理とその対策

河道内の陸域に占める樹木面積の割合は平均で約 20%あり、このうち約 60～70%がヤナギ類、ハリエンジュ、タケ・ササ類に関する群落である（図－15）⁴⁰⁾。樹木管理を行う場合は、すでに大きく育った樹木を河川から持ち出す場合が多く、その主な対策が伐採や除根である。対策を有効なものとするためには、対策を行った事で新たに樹林帯が形成されないように実施する必要がある。しかし、現状では、



a) 陸域に占める樹木面積



b) 樹種別面積割合

図－15 地域別にみた河川内の樹木面積 ³²⁾

- 1) 各河川（117 河川）で 1999 年から 2008 年度に実施された水国の最新データを集計
- 2) 北に行くほどヤナギが多く南に行くほどタケ・ササ類が多くなる。ハリエンジュは東北から関東にかけて多いが、その多くは礫の多い上流に分布・拡大している。

伐採を行った場合も除根を行った場合も効果に差が見られない⁴⁰⁾。これは、双方ともに処理の仕方に問題があるためだ(図-16)⁴¹⁾。

ヤナギ類、ハリエンジュ、タケ・ササ類はそれぞれ、樹種の持つ生理的特性により再生戦略が異なるため(表-4、図-17)、伐採、除根時の処理の仕方も再生戦略に即して選択するのが肝要である。例えば、ヤナギ類は、枝や株(幹)からの再生が強いが、根からの再生は乏しい。このため株を取り除けば、根は取り残してもよい。ただし、枝打ちした残枝が作業現場に残ると枝から再生する可能性が高くなるので、翌年にも整備の効果を確認して、必要に応じて残枝の抜き取りなど適切な処置を行うのが良い。一方、ハリエンジュは株や根からの再生が強いため、株と根を取り除かない限り、再樹林化の起こりうる可能性が極めて高いと言える。

また、河川敷の切下げといった大きな地形改変を伴う場合、新たに形成される地盤面は、切下げ前の地盤面よりも低くなるため、水面および地下水位面に近くなることにより土壌の湿潤度が高くなる可能性が高い。揖斐川では、平成13年から平成18年にかけて治水と氾濫原域の確保のため、切下げ高さを年度ごとに変更して事業を実施したが(表-5)、平成24年には渇水位面を除いて切下げ前以上に樹林化が進行した(図-18)⁴²⁾。

ヤナギの種子は、散布されてから2週間以内は90%以上の発芽率を保つが、その後急

激に発芽率が低下し、40日後には発芽率が0%に近づく⁴³⁾ため、定着した背景にはヤナギの発芽・成長に適した条件(土壌の保水性が高くかつ明るい箇所)が揃っていたと考えられる。通常、河川の整備は出水期前(6月)までに終え、出水期後の10月ごろ(地整によって異なる)に再開するサイクルが取られる。これまでの実績から河川敷の切下げの多くは、冬場に集中して行われるため、裸地状態まま春を迎え明発芽性の種が芽吹く機会が必然的に多くなる。実際に揖斐川の例でも3月末の整備であったことや、いずれの切下げも地下水位面が高かったことで、多くの箇所ではヤナギが定着したものと考えられる。この例では、河道内の切下げ高さを考える場合、河道の管理水位面(豊・平・低・渇水位)で考えるよりもむしろ地下水位面の状況を踏まえ堤内地から来る水の流れの方が河川の樹林化に与える影響が多いことを示してくれる。河道内だけでなく、河川周辺の田んぼや、切下げ高さが堤内地よりも低くなるかどうかなどの整理が重要である。

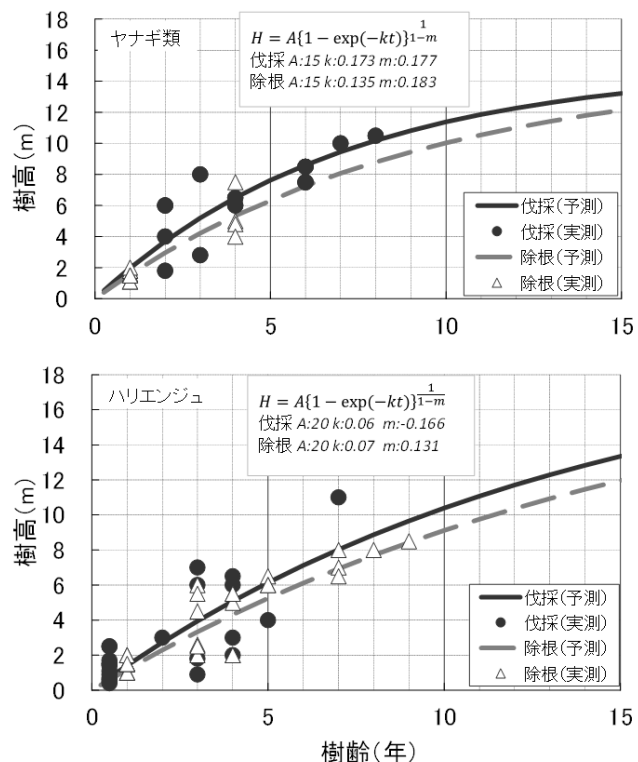


図-16 伐採と除根による効果の違い⁴⁰⁾

伐採対策と除根対策を行った14河川で、それぞれの対策跡地での現況を調査した。伐根を行った箇所においても、ヤナギは枝打ちした残枝が地表に残っていたため、またハリエンジュは除根しきれない地下茎が残っていたため再樹林化している。

表-4 主要3種の再生戦略様式の違い

再生戦略	ヤナギ類	ハリエンジュ	タケ・ササ類
枝からの再生	○	×	×
株(幹)からの再生	○	○	×
根(地下茎)からの再生	×	○	○



a) ヤナギは株（幹）と枝から再生する



b) ハリエンジュは株と根茎から再生する



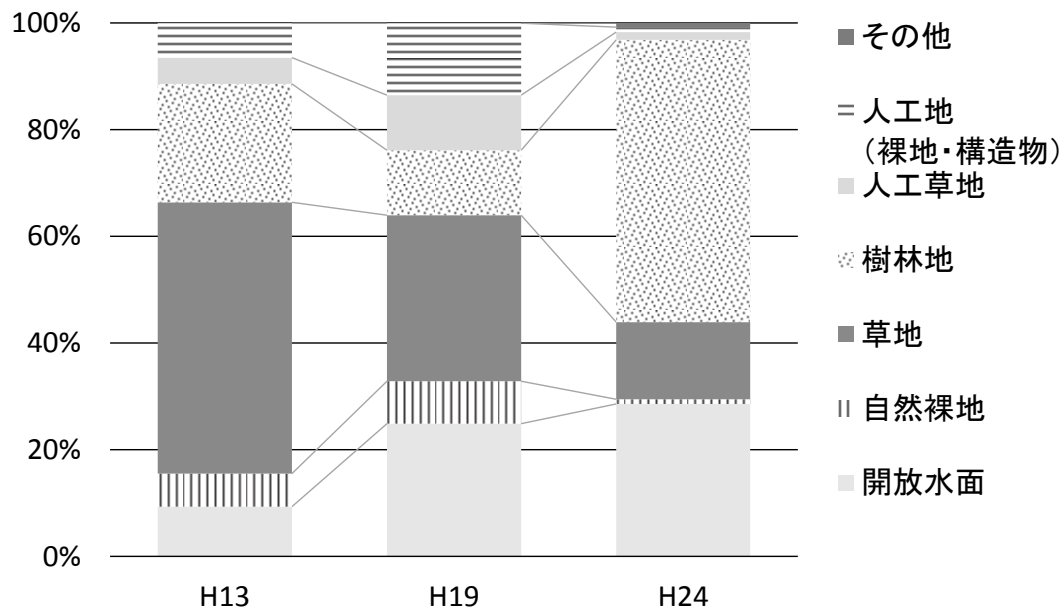
c) タケは根茎から再生する

図-17 再生様式の違い

また、この他にも、同じ高さで切下げた箇所でも、切下げ面の土壌構造や土壌条件による影響で異なる植生が成立することがある。例えば、小貝川の 40kp 付近で 10 年ほど前に河川敷の切下げが行われた。同じ高さで切下げたが、切下げた箇所の土壌の環境条件から一方はヤナギが増え、もう一方はオギ原が増えた（図-19）。ヤナギが生育している個所は、不透水層面の上に 20 cm の中砂がありかつ水のたまりができていたほど湿潤であったが、オギの生育している個所は、不透水層面の上に 50 cm のシルト・粘土があり、ヤナギが生育している個所と比較すると非常に乾燥していた。初期の環境条件がその後の植生変化に影響する例と言える。

表－5 掘削年度と掘削高さとの関係（揖斐川）

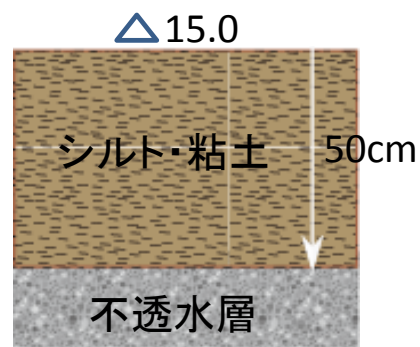
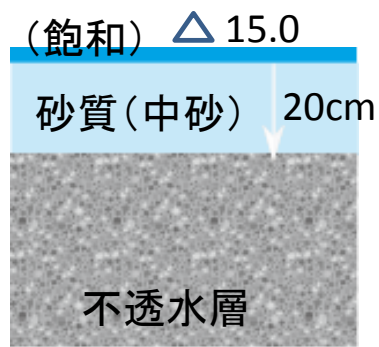
掘削年度 掘削高さ	H13	H14	H15	H16	H17	H18
濁水位面		○		○		
低水位面	○					
平水位面					○	
平-豊 水位面	○			○		○
豊水位面		○			○	



図－18 河川敷切下げに伴う植生変化（揖斐川）⁴²⁾

- 1) 平成 13 年から 18 年にかけて、切下げ高さを変更して事業を実施したが、平成 24 年には濁水位面を除いて切下げた面の約 50%がヤナギに置き換わり切下げ前以上に樹林化が進行した
- 2) 揖斐川は、地下水位面が平水位面よりも上にあったため、豊水面で切下げてもヤナギの樹林化進行した。切下げ地盤高を決めるときには、堤内地の状況も考慮する必要がある。

以上の例で見たように、植物は、時期やその場の環境条件に応じて生育の適・不適が決まる生物である。したがって、改変した地形に対して、植物の種子が生産される時期や開花時期、生理的条件などを考慮して、どういった植物が生育し、それが治水・環境や維持管理にとってどのような影響を与えそうかを考慮し、適切な対策を実施することが重要である。



ヤナギが優占する環境

オギ原が優占する環境

a) 切下げ後の状況（概略図）



b) 10年後の現況

図- 19 小貝川での切下げ箇所の事例

約 10 年前に同じ高さで切下げた箇所（T.P. 15m）でも，切下げ面の土壌構造や土壌条件による影響で異なる植生が成立した．

5. おわりに

野外で植物を観察している人にとって、植物の種類を見ると、その場所がどのような環境条件を有しているかをある程度想定することができる。これは少しの訓練と少しの経験を積むことで誰でも獲得できる技術である。この技術を獲得するコストは、家の周りや会社の周りの植物のうち、花の咲いている時期に特徴を覚えることである。花が咲いていれば、色や花びらから検索も容易であるし、何よりも植物の全体像が印象に残り易い。この他、表-3 にあげた群落名にある種から覚えるのも良いだろう。種を認識できるようになると、河川管理にとって危なそうな植物が侵入・成長した際には、いち早く対策を立てることができる。

このように植物の種そのものの特性を知ることは、河川整備や河川植生の管理にとって工学者が学ぶべき主要な技術である。今回、ここに示した事例のうち、植物の生理的特性を踏まえないで整備をすると、樹林化が進行し治水・環境にリスクを与え、維持管理の手間を増やしてしまう例も紹介した。

植物を単なる緑と捉えるのではなく、地形に対応しようとする植物の振る舞いを楽しみながら理解して、植物を見る目を磨いて今後の河川の植生管理に生かしてもらいたい。

参考文献

1. 星子隆, 亀山章, 高速道路のり面における木本植物の侵入とアカマツの成長, 日本緑化工学会誌, Vol.22(3), pp.155-162, 1997.
2. 亀山章, 高速道路のり面の植生遷移に関する研究, 造園雑誌, Vol.47(1), pp.52-55, 1983.
3. 山本晃一, 構造沖積河川学, 山海堂, 690p, 2004.
4. 宮脇昭, 日本の植生, 学研教育出版, 535p, 1977.
5. 環境省, いのちはつながっている生物多様性を考えよう, 環境省自然環境局, 5p, 2012.
6. 平井幸弘, 霞ヶ浦の湖岸・沿岸帯における人為的要因による環境変化, 第四紀研究, Vol.45(2), pp.333-345, 2006.
7. 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, pp.195-209, 2004.
8. 大石哲也, 天野邦彦, 人的利用が河川高水敷の地被状態変化に及ぼす影響の定量的把握方法とその考察, 水工学論文集, Vol.52, pp.685-690, 2008.2.
9. 奥田重俊, 佐々木寧, 河川環境と水辺植物, ソフトサイエンス社, 261p, 1996.
10. 福岡捷二, 洪水の水理と河道の設計法—治水と環境に調和した川づくり, 森北出版, 448p, 2005.
11. 藤井宏一, 鷺谷いづみ, 生態学・生物のくらし-, (財)放送大学教育振興会, 170p, 1987.
12. 鷺谷いづみ, 保全「発芽生態学」マニュアル: 休眠・発芽特性と土壌シードバンク調査・実験法 (連載第5回), 保全生態学研究, Vol.2, pp.221-230, 1996.
13. 鷺谷いづみ, 保全「発芽生態学」マニュアル: 休眠・発芽特性と土壌シードバンク調査・実験法 (連載第4回), 保全生態学研究, Vol.2, pp.161-173, 1996.
14. 中山包, 発芽生理学, 内田老鶴圃, 354p.1960.
15. 鷺谷いづみ, 森本信生, 日本の帰化生物, 保育社, 191p, 1994.
16. Crawley, M.J., Plant Ecology, Blackwell Science, 619p, 1997.
17. 大石哲也, 宮本仁志, 洪水に伴う砂礫内への種子供給と土砂移動特性との関係性の解明, 河川整備基金助成事業 (285211037), pp.1-20, 2017.
18. Oishi, T., T. Sumi, M. Fujiwara, K. Amano, Relationship between the soil seed bank and standing vegetation in the bar of a gravel-bed river, JHHE, Vol.28(1), pp.103-116, 2010.
19. Cook R., The Biology of Seeds in the Soil. In: Solbrig, O. T. (ed.) Demography and Evolution in Plant Populations, Blackwell Scientific Publications, pp.107-129, 1980.

- 20.大石哲也, 天野邦彦, 中村圭吾, 砂礫構造の違いからみた河原植物の生育環境特性について, 河川技術論文集, 土木学会, Vol.12, pp.477-482, 2006.6.
- 21.石川慎吾, 揖斐川の河辺植生I.扇状地の河床に生育する主な種の分布と立地環境, 日生態会誌, Vol.38, pp.73-84, 1988.
- 22.四国技術事務所, 四国の河川植生解説, <http://www.skr.mlit.go.jp/yongi/syokusei/kaisetsu/index.html>
- 23.綾史郎, 有馬忠雄, 紀平肇, 井田康夫, 淀川における位況と冠水域, 水工学論文集, Vol.45, pp.1117-1122, 2001.
- 24.伊藤秀三, 植物生態学講座 2 群落の組成と構造, 朝倉書店, 332p, 1977.
- 25.Braun-Blanquet, J. Pflanzensozioologie. 3 Aufl., Wien (鈴木時夫訳(1971), 植物社会学 I, II, 朝倉書店), 865p, 1964.
- 26.菅原久夫, 植物群落, ニュー・サイエンス社, 112p, 1985.
- 27.大場達之, 日本の植生「土木工学体系 3 自然環境論 II/植生と環境保全(土木工学大系編集委員会)」, 彰国社 pp.67-210, 1982.
- 28.(財)千葉県史料研究財団, 千葉県の自然誌, 千葉県, 181p, 2003.
- 29.大石哲也, 萱場祐一, 天野邦彦, 全国 7 河川の河道特性及び地被の長期変動の実態とその関連性, 河川技術論文集, 土木学会, Vol.12, pp.357-362, 2005.6.
- 30.Dietrich, W.E., J.W. Kirchner, H. Ikeda, F. Iseya, Sediment supply and the development of the coarse surface layer in gravel-bedded rivers, Nature, Vol. 340, pp. 215-217, 1989.
- 31.中村圭吾, 世界の河川復元(自然再生)の現状と課題, 水利科学, Vol.50(2), pp.1-28, 2006.
- 32.宮本仁志, 大石哲也, 河川の樹林化, 「環境水理学(環境水理部会)」, pp.223-230, 2015.
- 33.河川環境総合研究所, 鬼怒川の河道特性と河道管理の課題—沖積層の底が見える河川—, 河川環境総合研究所資料, Vol.25, 128p, 2009.
- 34.村中孝司, 鷺谷いづみ, 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, Vol.4(2), pp.121-132, 2001.
- 35.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・数値解析からの検討, 水工学論文集, 土木学会, Vol.50, pp.1207-1212, 2006.2.
- 36.宮脇成生, 鷺谷いづみ, 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ブタクサの駆除効果の予測, 保全生態学研究, Vol.1, pp.25-47, 1996.
- 37.Richard J. H., Stella E. H., An integrated approach to the ecology and management of plant invasions, Conservation Biology Vol. 9, pp. 761-770, 1995.
- 38.平舘俊太郎, 楠本良延, 森田沙綾香, 小柳知代, 土壌環境制御による植生制御—外来植物であるセイタカアワダチソウの草原から在来植物であるチガヤの草原へ—, 植調, Vol.46(3), pp.89-95, 2012.
39. Gardener, M.R., R. Atkinson, J.L. Rentería, Eradication of potentially invasive plants with limited distributions in the Galapagos Islands, Restoration Ecology, Vol. 18(1), pp. 20-29, 2010.
- 40.佐貫方城, 大石哲也, 三輪準二, 全国一級河川における河道内樹林化と樹木管理の現状に関する考察, 河川技術論文集, Vol.16, pp.241-246, 2010.
- 41.田屋祐樹, 槇島みどり, 赤松史一, 中西哲, 三輪準二, 萱場祐一, 河道内樹林の効率的な管理に向けた伐採後の萌芽再生抑制方法の検証, 河川技術論文集, Vol.19, pp.459-464, 2013.
- 42.大石哲也, 萱場祐一, 河川敷切り下げに伴う初期条件の違いが植生変化に及ぼす影響に関する一考察, 環境システム研究論文発表会講演集, Vol.41, pp.351-356, 2013.
- 43.Niiyama, K., The role of seed dispersal and seedling traits in colonization and coexistence of Salix species in a seasonally flooded habitat, Ecological Research, Vol. 5(3), pp. 317-331, 1990.