

第2章 河原における樹林化・再裸地化の機構と工学的アプローチ

2.1 樹林化・再裸地化のプロセス

河原における樹林化・再裸地化の各プロセスは、定性的にはあるが図2-1-1に示すように描くことができる。図中の矢印は、表層細粒土層の形成や植生の破壊を示すものであるが、双方とも出水時に生じるイベントである。

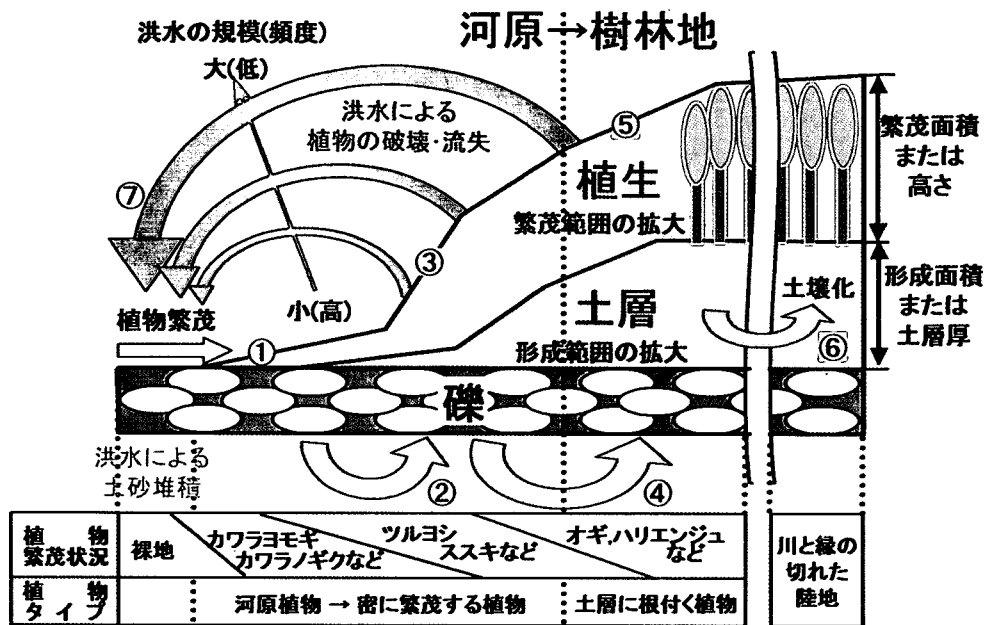


図2-1-1 裸地から樹林化に向けるプロセス

裸地化した河原を出発点とすると、樹林化⇔再裸地化と変化するサイクルは、洪水と関連づけて以下のように説明できる。

- ① 裸地化した河原（主として砂礫によって構成される河原）に、“カワラ”が付く植物のように、マトリクスの保湿性が低い場所に発芽・成長できる植物（以下、河原植物と呼ぶ）が、疎らながらも群落を形成する。
- ② 河原植物は、群落を破壊しない程度の小規模な洪水を経験し、群落内に薄い表層細粒土層厚を形成する。
- ③ 表層細粒土層の形成によって保湿性が確保されるようになった場所に、密に繁茂する植物（例えばツルヨシ）が群落を形成する。
- ④ 密に繁茂する植物は、河原植物に比べて洪水による破壊に対して抵抗力が強く、また洪水中の土砂を沈降・堆積させる機能に優れている。このため、密に繁茂する植物群落が繁茂する場所は、土砂堆積がより進行して表層細粒土層の層厚が増加する。
- ⑤ 土層厚が厚くなった場所では、密に繁茂する植物が、土層に根付く植物（例えばオギ・ハリエンジュ）に遷移して群落を形成する。土層に根付く植物が繁茂するようになった場所が、河原から比べると数mのオーダーで河床が高くなっていると、洪水時の冠水頻度も低く、破壊に至る洪水の規模も大きくなる。

- ⑥ 洪水による攪乱の影響を受けにくくなった土層に根付く植物群落は、洪水時に群落内やその背後に低流速域を形成して、土砂堆積を助長しながら群落範囲を拡大する。(このような状態を、本論では安定植生域と呼ぶ)
- ⑦ 上記に述べた裸地から樹林化へのプロセスの途中で、植物群落が完全に破壊される洪水が発生すると、①に戻って②以降の樹林化へのプロセスを繰り返す。

近年、河道内の河原の多くは、⑦に示すような再裸地化というプロセスが行われず、樹林化へのプロセスが一方向的に進展している。これが原因して、河原植物は、成長が阻害され、個体数が激減する状態になっている。

上記⑥に示すような樹林地の拡大・維持の状況について、ここ数十年の間に発生した事例を分析すると、次の2つの代表的な原因が挙げられる。ひとつは、過去から比べても洪水発生頻度が変わらない河道において、低水路の河床だけが低下したため、洪水時の攪乱頻度がより低下した高水敷が形成されたこと。もうひとつは、洪水調節施設の建設などの影響により、洪水規模が小さくなることによって攪乱頻度が低下していることである。これらの具体的な事例としては、前者に、多摩川¹⁴⁾・千曲川¹⁵⁾を対象に樹林化のプロセスやその仕組みを詳細に調べた河川生態学術研究会らの研究、後者に、ダム・灌漑による年間の流量パターンの変化をもたらした米国プラッテ川での樹林化拡大と原因を調べた Johnson (1994) の研究¹⁶⁾がある。両事例とも樹林化が拡大する要因として、攪乱頻度の低下を指摘している。すなわち、エコシステムを復元・維持するためには、樹林化に至る速度と攪乱頻度のバランスを保つことがキーになると考えられ、樹林化が拡大するより先に裸地化するという程良いサイクルを保つように仕組みが機能することが重要であると考えられる。

2. 2 エコシステム解明のための工学的アプローチ

図 2-1-1 に示す樹林化へのプロセスにおいて、エコシステムを復元・維持するためには、その仕組みを解明することが重要な手がかりになると考えられる。

エコシステムを解明する上での重要なポイントは、まず、洪水が河原に「保湿性の高い表層細粒土層の形成や比高の増加といった立地条件の変化をもたらす、草本から樹林化へと発達させる作用」と、「河原に繁茂した植物群落を破壊して再裸地化する作用」という正反対の結果をもたらすことである。

河原が樹林化あるいは裸地化のどちらの方向に進展するかは、洪水時の外力とそれに対する植物群落の抵抗力の大小関係として考えることができる。すなわち、洪水外力が植生の破壊耐力以下であれば、植物群落は維持され、群落内に土砂堆積(表層細粒土層の形成)が生じて、2.1 のプロセスに示したとおり樹林化の方向へ進展する。逆に、植物群落が洪水の外力に抵抗できずに流失する場合には、河原は裸地化あるいはそれに近い状態に戻ることになる。よって、植物群落の破壊機構を理解して、植生の洪水に対する抵抗力を見積もることができるようになることが、エコシステムに定量的な説明を加える上で重要であると考えられる。

ついで重要なポイントは、洪水による流失を免れた植物群落が、洪水中に群落内やその背後に堆積させた土砂によって、河原の性質自体を変化させることである。

植物群落の分布と、その立地条件(例えば、(微)地形特性、地下水位からの高さ、冠水頻度、土壌、河床材料など)には、河原のように乾いた場所にしか繁茂できない植生(河原植物など)や、比高が

高く土層が厚い場所にしか生息できない植生（オギ・ハリエンジュなど）が存在することが示すように、密接な関係があることが知られている。つまり、植生と立地条件の関係を解明することによって、洪水後に生じる立地条件の変化に応じて形成される植物群落の種類を、ある程度特定することが可能になると考えられる

またこのことは、別の見方をすれば、植生がある特定の立地条件のもとで群落を形成していることを示しており、河原から突然に樹林化に至るのではなく、植生が土砂を堆積させることによってもたらさせる比高や河床材料の変化が、樹林化の進展に大きく寄与していることを示唆している。すなわち、河原植物のように土砂を堆積させることに優れていない植生は、樹林化へのプロセスの中での役割が小さいものの、密に繁茂する植物のように土砂を堆積させる能力の高い植生は、土層に根付く植生が繁茂できる立地条件を整えるという点で、樹林化のプロセスにおいて重要な役割を果たしていると考えられる。このことより、植生別の堆砂能力を定量的に分析して、どの植生が、裸地から樹林化へ至るまでの重要な架け橋となる植生であるかを把握することが重要であると考えられる。

最後に重要なポイントは、洪水のない期間において、植生がどのように群落を拡大・遷移していくかである。植生は、洪水後の立地条件に応じて、他の植生との競争や成長という生物学的プロセスを展開しながら群落を拡大・遷移させていくと考えられる。このような植生の遷移状況を定量的に把握することは、エコシステムを説明する上で必要不可欠である。ただし、植生の拡大・遷移は、その植種自体の成長力などの内因的な要素や、土壌条件や気象条件、さらには他の植生との競争などの多くの要因が関わっているものと考えられる。これらの仕組みを解明するためには、個々の要因との関係を細かく分析することが正確なアプローチであると考えられる。しかし、これらの仕組みは生物学的要素が強い。本研究では、こうした生物学的要素の詳細には立ち入らず、経年的に現地調査を続けることによって得られる植生の遷移状況を分析することで遷移状況の定量的な把握を試みている。

以上のことから、エコシステムを解明するためには、まず、洪水によって植生が流失されるのか、それとも残存するのかを把握することが重要である。ついで、植生が洪水による流失を免れる場合には、残存した植生がどの程度土砂を堆積させ、洪水のない期間において、立地条件に応じてどのように群落を拡大・遷移していくかを把握することが重要であると考えられる。

すなわち、①洪水に対する抵抗力、②立地条件との関係、③堆砂能力、④遷移状況などを定量的に把握して、各々の情報をつなぎ合わせるものがエコシステムを解明するための鍵になると考えられる。

2. 3 既往の研究成果とその課題

(1) 植生と立地条件の関係に関する既往の研究成果

植生と立地条件の研究事例としては、多摩川を対象とした李らの研究⁶⁾、千曲川を対象とした服部らの研究⁷⁾が挙げられる。両研究では、植生と表層細粒土層厚および比高の間に明瞭な相関があることを明らかにし、これらの指標を用いて植生を表 2-3-1 に示すタイプ別に分類している。表 2-3-1 を整理すると、両河川で表層細粒土層厚や比高の分布範囲が若干異なるものの、以下に示す概ね共通した特徴を有していると言える。

I (i) 型：比高によらず表層細粒土層厚が薄い場所に生育する植生

II (ii) 型：I 型と III 型の中間的な特徴を有している植生

III (iii) 型：比高が 50~100cm 程度以上で表層細粒土層厚が数 cm 以上の場所に生育する植生

表 2-3-1 植物群落タイプ別の特徴

多摩川 ⁶⁾			千曲川 ⁷⁾		
タイプ	特徴	該当群落名	タイプ	特徴	該当群落名
I 型	比高によらず、ほとんどの場所では表層細粒土層厚 0 である。一部薄い(10cm 程度以下)表層細粒土層を持つ場合がある。	裸地 カワラノギク コセンダングサ など	i 型	比高によらず、ほとんどの場所では表層細粒土層厚 0~40cm である。	裸地 ヒメムカシヨモギ カワラヨモギ ヨモギ、メドハギ シナダレスズメガヤ クサヨシ
II 型	2つの離れた存在領域を持つ。すなわち、表層細粒土層厚 0 で比高が 30cm 以下の場所と、層厚 10cm 程度以上で、比高が概ね 50~100cm 以上の場所に分布する。	ツルヨシ イヌコリヤナギ など	ii 型	表層細粒土層厚は 0~100cm(またはそれ以上)、比高が 2m 以下の場所に分布する。	カワヤナギ ヨシ オオブタクサ (ツルヨシ)
III 型	表層細粒土層厚 0 の場所には存在しない(但し、ススキは層厚ほぼ 0 の場所にも存在し得る可能性がある)。比高 0 および層厚 0 近くの場所には存在しない。層厚数 cm 以上、比高 50cm 程度以上の場所に広く分布する。 ススキを III-1 型、それ以外を III-2 型と細分することもできそう。この場合は、低比高に存在せず(150cm 程度以上)、表層細粒土層厚が、薄い(10cm 前後が多い;0 でも繁茂不可能ではない可能性も)ことが特徴となる。	ススキ オギ オオブタクサ ハリエンジュ など	iii 型	表層細粒土層厚 0 の場所には存在しない。比高 0 および層厚 0 近くの場所には存在しない。層厚数 cm 以上、比高 1m 程度以上の場所に広く分布する。	オギ ハリエンジュ

(2) 植生の遷移状況に関する既往の研究成果

李ら⁶⁾は、表 2-3-1 に示す植生タイプの分類に基づき、安定植生域の拡大過程を考察し、礫床の裸地的地被(タイプ I)から安定植生域形成(タイプ III)に至る道筋についてシナリオを明らかにしている(図 2-3-1 参照)。また、このシナリオに基づき、礫床の裸地的地被(タイプ I)から安定植生域形成(タイプ III)へ移行するには、どこかのパスにおいて、表層細粒土層の堆積が必要であること明らかにし、立地条件の変化が植生の遷移状況に大きく寄与していることを明らかにしている。

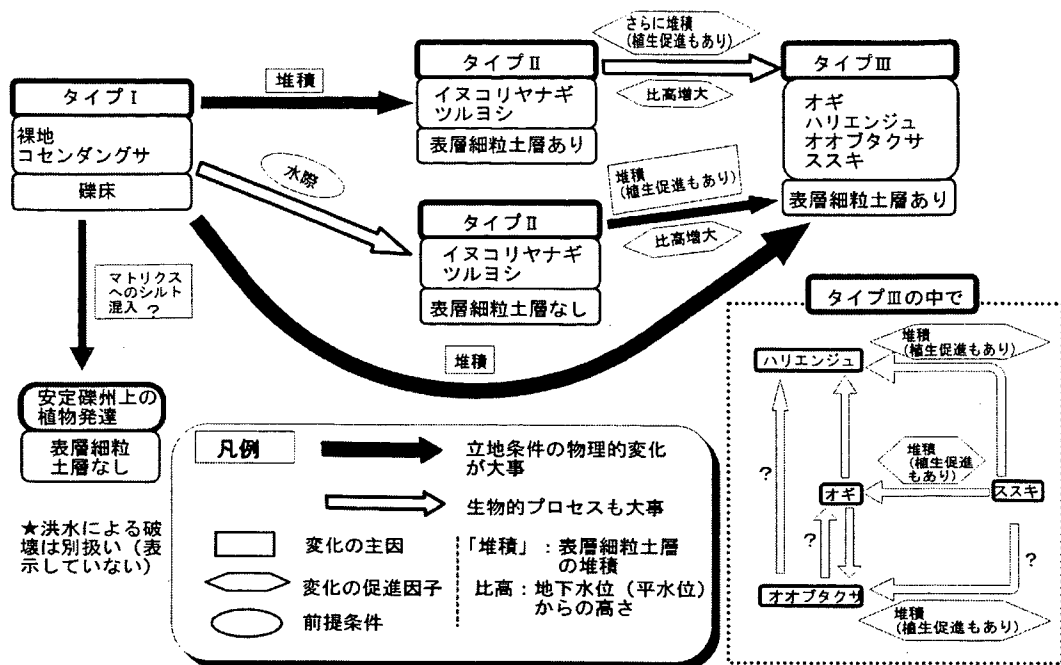


図 2-3-1 礫床裸地から安定植生域への変化の道筋についての考察⁶⁾

(3) 植生の破壊機構に関する研究成果

植生の破壊機構に関する研究には、多摩川上流域の礫州を対象に、草本植生の破壊事例を詳細に調べた藤田らの研究⁸⁾、千曲川鼠橋地区において、ハリエンジュ群落の破壊状況の倒伏機構を詳細に調べた服部らの研究⁹⁾がある。

藤田らの研究では、ツルヨシの破壊シナリオを提示し、植生の破壊が無次元掃流力の分布によって予測できることを明らかにしている。また根茎を比較的深く貫入させる植生と根茎の浅い植生の流失状況を比較し、植種によって洪水に対する抵抗力が異なることを示している。

服部らの研究では、現地調査結果より「流体力から河床低下」、「河岸侵食」に起因するハリエンジュの倒伏・流失のプロセスを明らかにし、その破壊機構を力学的観点から解明して、倒伏判定方法を示している。

(4) 既往研究成果の課題

以上に示したように、エコシステムを解明する上での個々の仕組みについては、かなり明らかにされてきているようである。しかし、エコシステムの予測を実用的レベルまで発展させようとした場合、植物群落の遷移状況が十分に解明されていないことや、洪水時に対する植生の抵抗力や堆砂能力に関する知見が十分であるとは言いがたい。

このことから、本研究では、洪水に対する抵抗力、立地条件との関係、遷移状況、堆砂能力などの仕組みについて少し踏み込んだ定量的な分析を行うとともに、それらの仕組みに基づいて、植生タイプを分類し直して試みることとした。