

植物種多様性ホットスポットとしての ワンドの機能

要旨

1. はじめに
 2. 調査地
 3. 調査方法
 3. 1 植生調査
 3. 2 環境調査
 3. 3 解析方法
 4. 結果
 4. 1 各調査サイトの環境特性
 4. 2 植物の環境選好性
 4. 3 環境要因と攪乱要因が各植物種の出現に与える影響
 4. 4 環境要因と攪乱要因によって形成される河川域の植物種組成
 5. 考察
 5. 1 環境要因と植生の関係
 5. 2 ワンドの植生と環境特性
 5. 3 多様な植物が分布する環境の創出
 6. まとめ
- 引用文献

要旨

河川域では、様々な頻度や規模の洪水攪乱によって創出された複雑な環境が、多様な植物種の生育を可能にしている。しかし、洪水制御と水利用のためにダムによる流量管理がなされるようになると、河川水位は安定し、洪水の頻度、規模はともに激減した。ところが、流路から離れた場所の窪地にできるワンドと呼ばれる環境では、多くの植物種が観察される。本研究では、河川域におけるワンドとその周辺の環境において、多様な植物の生育を可能にする環境要因を明らかにすることを目的とした。調査地は新潟県早出川である。

ワンドは、湿生種の出現に対して正の影響を与えていた。さらに、1年生草本をはじめとする多くの生活型の植物にも正の影響を与えていた。その結果、調査地の河川域に生育する植物種のおよそ3分の1がワンドに依存して出現していた。ワンドでは、増水の度に起こる湛水状態、低い比高、細砂質の土壌によって、一年を通じて時空間的に多様な水分環境が創出されたことで、種数が高くなったものと考えられる。ワンドでは、湛水が起こらない春先から秋までに発芽から結実までの生活史を終えることが可能な1年生草本が特に多く、ミクリ、カワヂシャ、タコノアシといった準絶滅危惧種、絶滅危惧II類の植物も確認された。このようにワンドは湿生種の生育にとって好適な環境を提供し、河川域の種多様性の維持に貢献していることが明らかになった。

さらに、各植物種の出現頻度と環境要因との関係性を評価するために、乾燥頻度、細砂の割合、合計乾燥時間、最長乾燥時間、本川からの比高を環境変数として、正準対応分析(CCA)をおこなった。得られた序列図の第1軸と乾燥頻度、最長乾燥時間、乾燥時間、本川からの比高とは、強い相関があった。同様に第2軸では細砂の割合と強い相関があった。第1軸は、冠水の有無による攪乱頻度を示していると考えられ、それに沿った外来種の配置は、高水敷が洪水攪乱を受けず乾燥化することで外来種が繁茂しやすくなるというこれまでの報告と同様の傾向を示した。

水位管理された河川では、常に水が流れる低水流路と乾燥化する高水敷への環境の2極化が進行するため、湿生種をはじめとする汎濫原種の生育地が減少する。これらの植物種が生育できるワンドのような「移行帯(Ecotone)」的な環境を、河川の営力で動的に維持していくことを可能にする河川管理の方法を発展させていく必要がある。

1. はじめに

自然河川では、様々な頻度や規模の洪水攪乱によって創出された複雑な環境が、多様な植物種の生育を可能にしている^{1), 2), 3)}。そのような河川域では、流路から氾濫原に向かって、冠水草地、自然堤防、後背湿地というように、環境が連続的に変化し、その緩やかで幅広い環境傾度に沿って様々な植物種が分布する⁴⁾。しかし、水利用と流量確保のためにダムによる流量管理がなされるようになると、河川水位は安定し、洪水の頻度、規模はともに激減した。そのために、低水流路には常に水が流れ、比高の高い高水敷は乾燥するという、環境の二極化が進んだ。現在、世界の多くの河川域では、河川が本来有する環境傾度が失われたために、河川域の氾濫原に特有な植物種の多様性が著しく低下している⁵⁾。

日本の河川においても同様の現象が起きており、河川域を主な生育地とする多くの植物種が絶滅危惧種に指定されている⁶⁾。さらに、比高が高く乾燥した高水敷では、セイタカアワダチソウを始めとする多くの外来種が侵入・繁茂したことによって、在来種の生育地が奪われるという問題が生じている^{7), 8)}。

一方で、ダムにより流量が管理されていても、低水護岸は設置されておらず、堤外地の農地・公園利用もなされていない河川では、ワンドと呼ばれる河川域特有の環境が出現することがある。ワンドは、流路から離れた場所の窪地にできる水たまりのことを指し、出水時の網状流路が水位低下後に本川から取り残されて、もしくは伏流水の湧出によって形成される。したがって、ワンドの水位は本川の水位変動と連動して季節的に変化する。河川域において、定期的に冠水と乾燥が繰り返される環境の存在は、河川本来の植物種組成を維持する上で非常に重要である^{9), 10), 11), 12), 13), 14)}。ダムで流量が管理されている河川においても、季節的な水位変動が起きるワンドのような環境では、高い植物種多様性が維持されている可能性がある^{15), 16)}。そのようなワンドにおいて、その多様性を支えている環境条件を特定することができれば、植物種多様性を保全するための河川管理手法の開発につながる可能性がある。

そこで本研究では、河川域におけるワンドとその周辺の環境において、植物種多様性とそれに影響を与える環境要因を評価した。得られた結果をもとに、植物種多様性を保全するために必要な河川管理の在り方について議論する。

2. 調査地

調査地は、新潟県五泉市の早出川（流路延長44.8km; 流域面積264km²; 北緯37°45′, 東経139°11′）の中流域である（図・1a）。早出川は、川内山塊の一部である矢筈岳（標高1295m）を源流とする阿賀野川の支流であり、調査地は阿賀野川の河口からは31.5km、合流点からは8.5km上流に位置する。早出川は早出川ダムによって流量管理が行われており、年平均流量は21.04m³/s（2003年）である。流量管理が行われているものの、堤外地の河川敷の人的利用はほとん

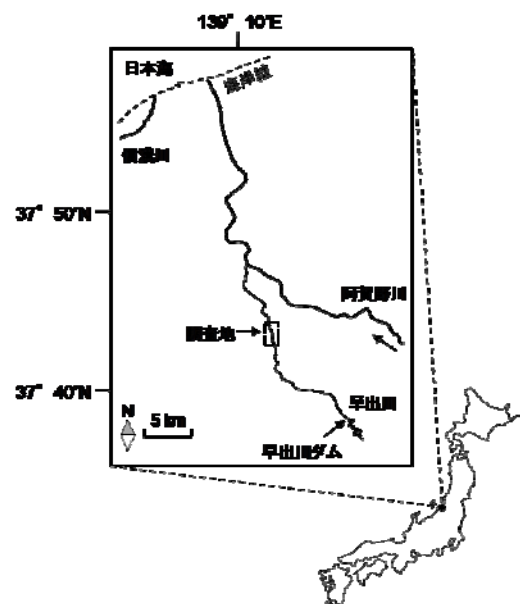


図.1a 調査地の位置

どないために、洪水時には大きな流路変動が起こる。現在の地形は、2004年の大洪水（7・13水害）によって形成されたものである。

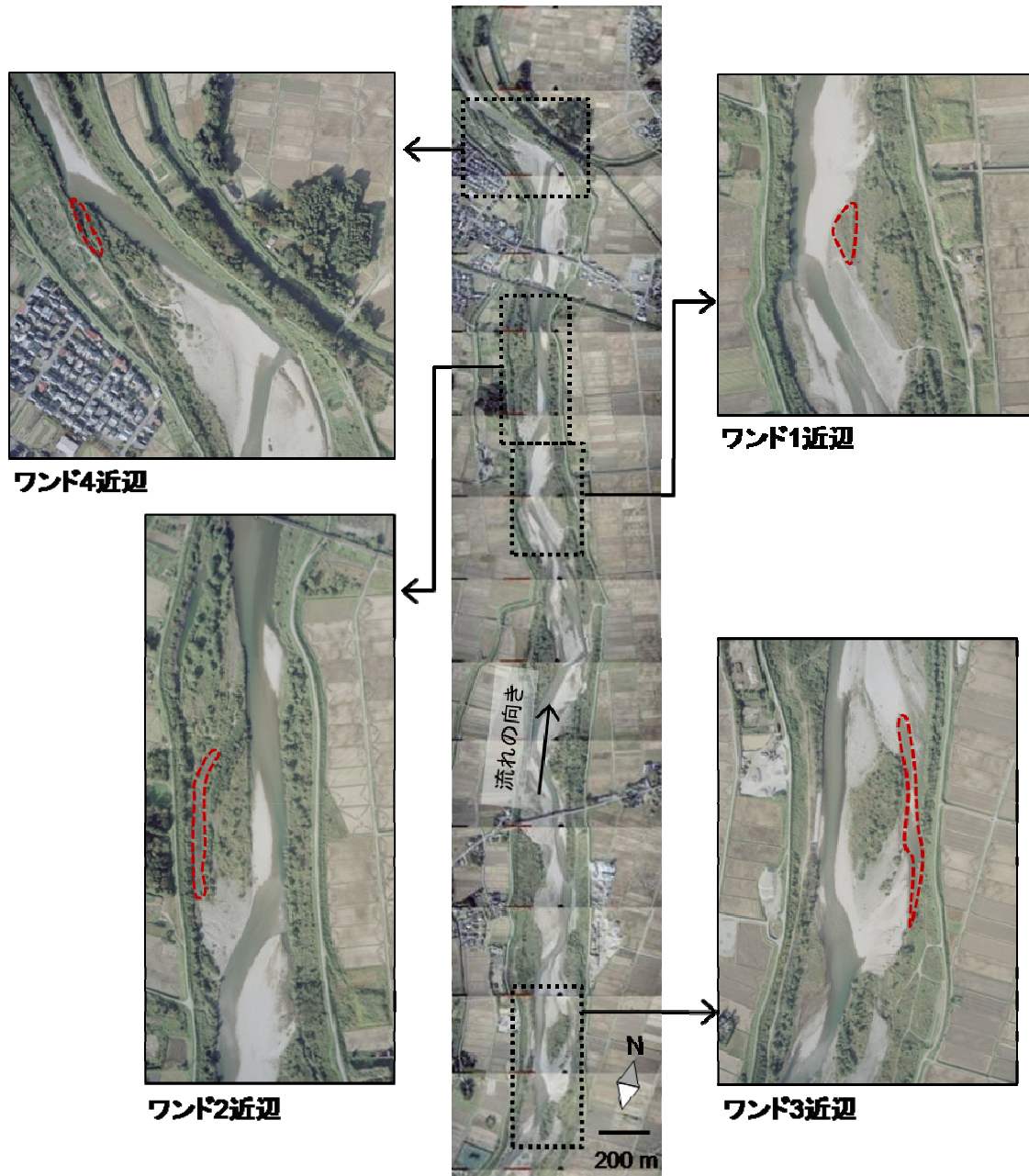


図.1b 調査地全景の空中写真（中央）と、各ワンドの周辺環境の拡大写真（左右）
拡大写真内の赤線は、ワンドの位置を示している。

調査は、4個のワンドが存在する河道に沿った5kmの区間で行った(図・1b)。この区間の植生を相観によって以下の15サイトに分類した。右岸に位置するサイトは、上流からワンド3・カワラハハコ群落3・メマツヨイグサ群落3・ヤナギ林3・ワンド1・カワラハハコ群落1・ヨモギ群落1・ヨシ群落1・石原1で、左岸に位置するサイトは、ワンド2・ススキ群落2・石原2・ワンド4・ススキ群落4・砂原4である。ここで、各サイトに付されている数字は、同じ数字の着いたワンドの周辺に位置することを示している。以後、これらをサイト名として用いる。

水の溜まり方はワンドによって異なる。ワンド1は、増水時でも河川本川から直接水が流入することはなく、伏流水によって湛水する。ワンド2、3は、増水時にワンドの上流部と本川が連結し、直接水が流入して湛水する。ワンド4では、増水時にワンドの下流部と本川が連結し、そこから水が逆流して湛水する。

3. 調査方法

以下の調査方法により、植生調査と環境調査を実施した。各調査サイトには、面積に応じて、1m×20mの調査ベルトを2-5本設置し、連続する20個の1m×1mのコドラートに分割した(計56ベルト1120コドラート)。ベルト数、コドラート数の内訳は表・1に示した。

表.1 各サイトの植生調査ベルト数とコドラート数

	ベルト数	コドラート数
ワンド1	5	100
カワラハハコ群落1	3	60
ヨシ群落1	2	40
ヨモギ群落1	3	60
石原1	3	60
ワンド2	5	100
ススキ群落2	5	100
石原2	3	60
ワンド3	5	100
カワラハハコ群落3	3	60
メマツヨイグサ群落3	3	60
ヤナギ林3	5	100
ワンド4	5	100
ススキ群落4	3	60
砂原4	3	60
合計	56	1120

各サイトに付されている数字は、同じ数字の着いたワンドの周辺に位置することを示す。

3. 1 植生調査

各コドラート（計 1120 個）において、出現した全ての維管束植物の種名を記録し、各種の 1 ベルト（20 コドラート）あたりの出現頻度を算出した。調査は、2008 年 5-7 月と同 10 月に実施した。

3. 2 環境調査

環境調査で計測した項目は、土壌粒径組成、本川からの比高、水位である。

土壌粒径組成は、各ベルトの 10 個のコドラート（1m おき）において表層土壌を採取し、60℃ で 24~36 時間乾燥させた後、篩にかけて細砂 (< 0.425 mm)、粗砂 (< 2 mm)、細礫 (> 2 mm) の 3 つの粒型に分類した。その後、各粒径の乾燥重量を測定した。

本川からの比高は、レベル測量によって全てのコドラートで計測した。

各ワンドにおける年間の水位変動を記録するために、水位計を設置した。設置期間は 4 月~11 月までの約 8 ヶ月間で、記録は 30 分おきとした。ワンド以外のサイトには水位計は設置しなかったが、国土交通省が提供している 2008 年の早出川の水位データとレベル測量によって得られた各コドラートの比高データより、ワンド以外のサイトでは 2008 年には一度も冠水しなかったことが明らかになっている。水位データおよび各コドラートの比高から、各コドラートの乾燥頻度（水位が 0cm になった回数）、最長乾燥時間（水位が 0cm になった最長期間）及び合計乾燥時間（水位が 0cm になった合計の期間）を算出した。ただし、ワンド 4 では、設置した水位計が盗難に遭ってしまったため、水位のデータを得ることができなかった。

各ワンドの季節的な水位変動の様子を視覚的に明らかにするために、ワンド 4 を除く全てのワンドに自動撮影カメラを設置した。ワンド 4 では、盗難の恐れがあるために設置しなかった。撮影は 2009 年 4 月から開始した。撮影間隔は 1 時間である。ワンド 1、2 では 1 年間撮影した。ワンド 3 では、堤防敷以外にカメラの設置場所がなかったため堤防敷に設置したが、人通りが激しく盗難に遭う恐れが出たために、8 月初旬に回収した。

3. 3 解析方法

各サイトにおける植物種の多様性を評価するために、各サイトの種数及び Shannon-Wiener の多様度指数 (H') を算出した。

各環境要因が各植物種の出現に与える影響を評価するために、全サイトを通じて出現頻度が 5% 以上だった植物種に対して、各種の出現の有無を応答変数、細砂の割合、本川からの比高、ワンドでの出現の有無を説明変数として、ロジスティック回帰分析を行った。同様に、各生活型の出現の有無を応答変数とした場合についても解析を行った。この解析には統計パッケージ SPSS for Windows 15.0J¹⁷⁾を使用した。

各植物種の出現頻度と環境要因との関係性を評価するために、全サイトを通じて出現頻度が 10% 以上だった 43 種について、ベルトあたりの出現頻度を使用して正準対応分析 (Canonical Correspondence Analysis, 以下 CCA) を行った。環境変数には乾燥頻度、細砂の割合、合計乾燥時間、最長乾燥時間、本川からの比高を使用した。この解析には統計パッケージ PC-ORD ver. 4¹⁸⁾を使用した。なお、ワンド 4 のデータについては、水位データが得られなかったためにこの解析からは除外した。

4. 結果

4. 1 各調査サイトの環境特性

各調査サイトで、土性の構成比は異なっていた（図・2）。細砂の割合が多かったのはヨモギ群落1、ヤナギ林3、ヨシ群落1であった。逆に、少なかったのはワンド3、カワラハハコ群落3、石原2、石原1であった。その他のサイトについては複数の土性が混在した。本川からの比高は、石原2やススキ群落4で高かった（図・3）。ワンドについては、全てのワンドで比高は低かった。特にワンド3は、全サイトを通じて最も比高が低かった。

各ワンドの水位変動については、ワンド1とワンド2が同様の傾向を示したのに対して、ワンド3では明らかに冠水期間が長かった（図・4）。自動撮影カメラによって、ワンドが湛水している状況が視覚的に把握できた（図・5）。写真からは、現地の水位変動の様子や、植生が発達・冠水する様子を確認することができる。

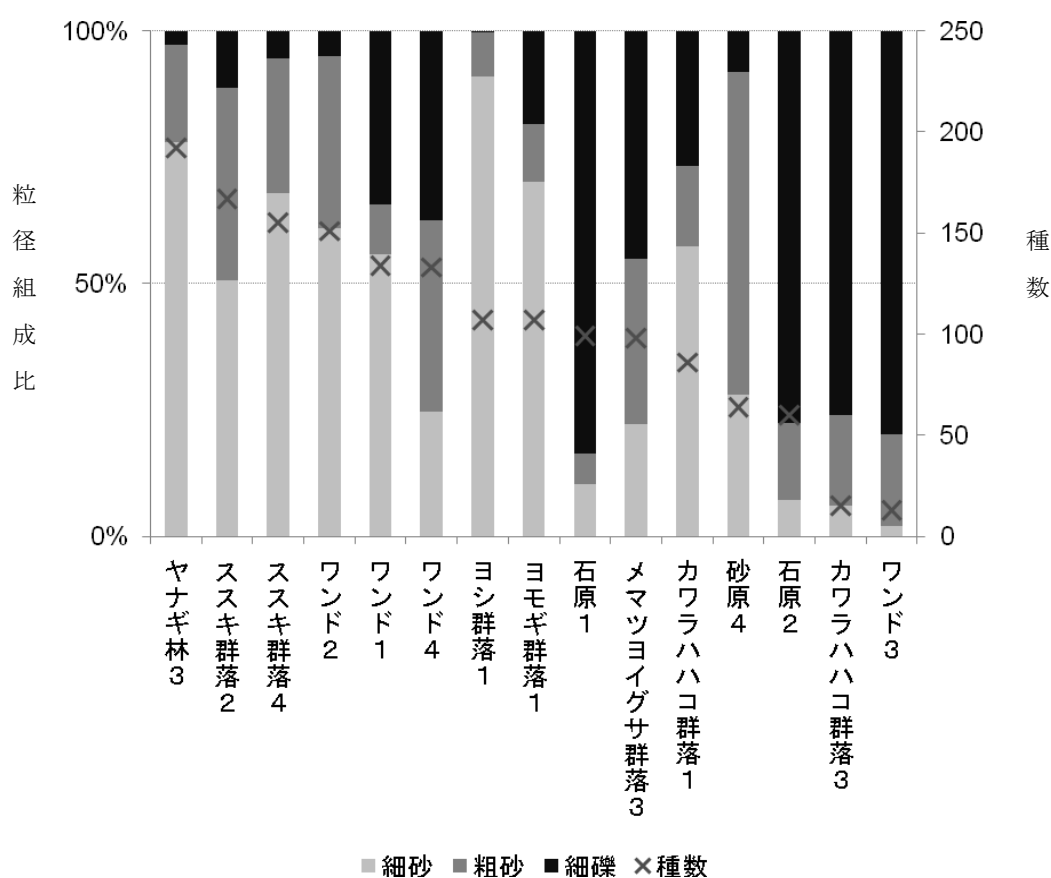


図. 2 各サイトの土壌粒径組成と総出現種数

4. 2 植物種の環境選好性

各調査サイトに出現した生活型別の種数を表・2 に、Shannon-Wiener の多様度指数を表・3 に示す。これらの結果から、ワンド1、2、4、ススキ群落2、4、ヤナギ林3において高い植物種多様性が維持されていることが明らかになった。

生活型ごとの植物種の出現の有無を応答変数としたロジスティック回帰分析の結果、細砂以下の割合や、本川からの比高は多くの生活型に対して正の影響を与えていることが明

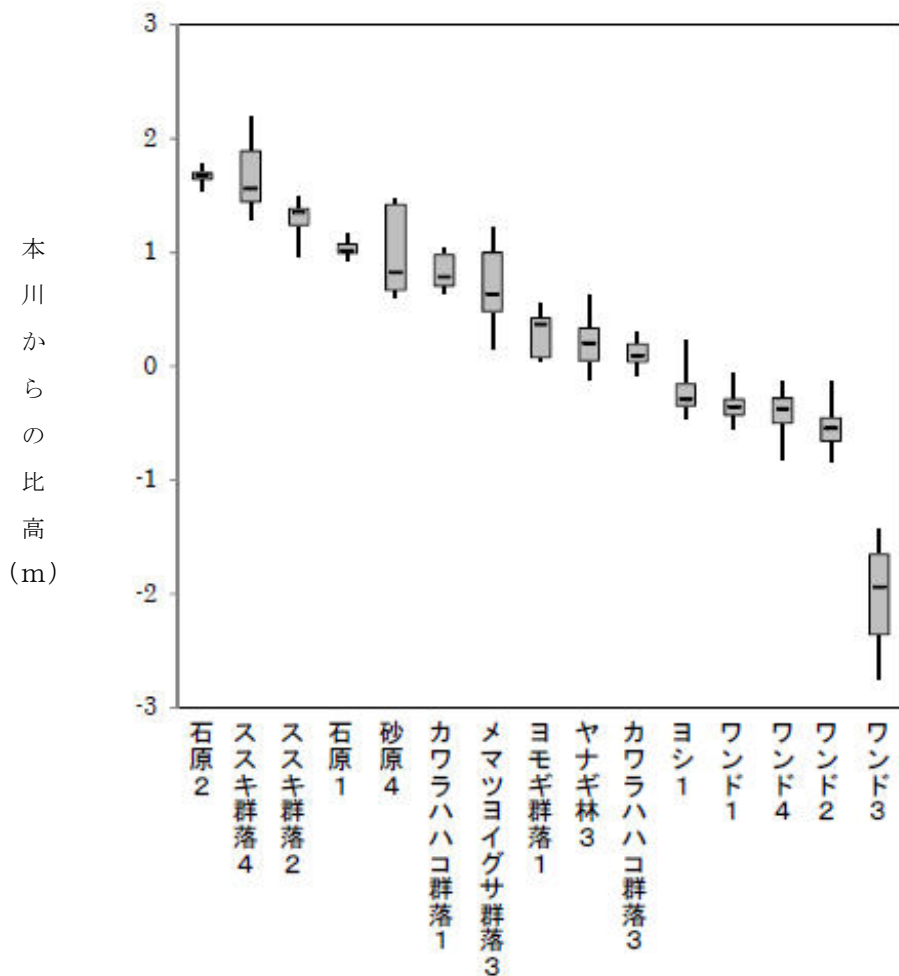


図.3 各サイトの比高

らかになった(表・4)。ワンドは、湿生種の出現に対して正の影響を与えていた。さらに、1年生草本をはじめとする多くの生活型の植物にも正の影響を与えていることが明らかになった。一方で、藤本(ツル植物)については、ワンドに出現しにくいことが示された。

全サイトを通じて出現頻度が5%以上だった90種に対して、同様のロジスティック回帰分析をおこなったところ、ワンドの環境が出現に正の影響を与える種が34種、負の影響を与える種が30種、影響を受けなかった種が26種であった(表・5)。すなわち、調査地の河川域に生育する植物種のおよそ3分の1がワンドに依存して出現していた。

次に、各植物種の出現頻度と環境要因との関係を評価するために、乾燥頻度、細砂の割合、合計乾燥時間、最長乾燥時間、本川からの比高を環境変数として、全サイト中の出現頻度が10%以上だった43種の出現頻度を使用してCCAをおこなった。その結果、解析に使用したすべての環境変数がこれらの植物種の出現に影響を与えていることが明らかになった($P < 0.001$, ベルトの序列は図・6aに、種の序列は図・6bに示す)。序列図の第1軸は乾燥頻度、合計乾燥時間、最長乾燥時間、本川からの比高と強い相関があり、植物種の分布の19.9%を説明した。第2軸は細砂の割合と強い相関があり、植物種の分布の8.4%を説明した。

表.2 各調査サイトの総出現種数と生活型別内訳

	総種数	乾生種	湿生種	1年生 草本	越年生 草本	多年生 草本	木本	シダ	藤本	帰化植 物
ワンド1	134	49	61	56	10	61	6	1	0	19
カワラハハコ群落1	86	51	11	28	16	58	2	3	0	20
ヨシ群落1	107	43	34	28	16	58	2	3	0	14
ヨモギ群落1	107	61	16	28	13	55	11	0	0	25
石原1	99	61	13	35	18	39	7	0	0	27
ワンド2	151	62	60	71	17	52	11	0	0	27
ススキ群落2	167	74	34	47	21	75	19	4	1	28
石原2	60	40	7	23	12	24	1	0	0	19
ワンド3	13	6	4	10	0	1	1	0	1	1
カワラハハコ群落3	15	11	0	2	4	8	1	0	0	7
メマツヨイグサ群落3	98	54	10	30	14	43	10	1	0	19
ヤナギ林3	192	61	43	35	18	90	32	12	5	24
ワンド4	133	56	54	51	15	55	11	1	0	20
ススキ群落4	155	57	25	33	15	60	36	8	3	21
砂原4	64	42	3	31	8	20	5	0	0	21

表.3 各サイトの Shannon-Wiener 多様度指数 (H')

	全体	外来種
ワンド 2	4.32	2.55
ワンド 4	4.11	1.90
ワンド 1	4.09	2.11
ワンド 3	1.88	0.00
ヤナギ林 3	4.55	2.69
ススキ群落 4	4.46	2.49
ススキ群落 2	4.29	2.74
ヨシ群落 1	4.14	2.11
石原 1	3.87	2.56
メマツヨイグサ群落 3	3.83	2.39
ヨモギ群落 1	3.95	2.85
カワラハハコ群落 1	3.71	2.54
砂原 4	3.40	2.39
石原 2	3.28	2.37
カワラハハコ群落 3	1.87	1.38

表. 4 環境要因が生活型ごとの植物種の出現に影響を与える影響

	細砂以下の割合	本川からの比高	ワンド
乾生		1.02	
湿生	1.04	1.01	17.92
中生	1.02	1.02	
1年生草本	1.07	1.06	107290.70
多年生草本		1.04	10.41
越年生草本	1.02	1.02	2.81
木本	1.02	1.01	1.74
藤本	1.04		0.09

表中の値はオッズ比。値が1より大きいほど正の影響が大きいことを、1より小さいほど負の影響が大きいことを示す。

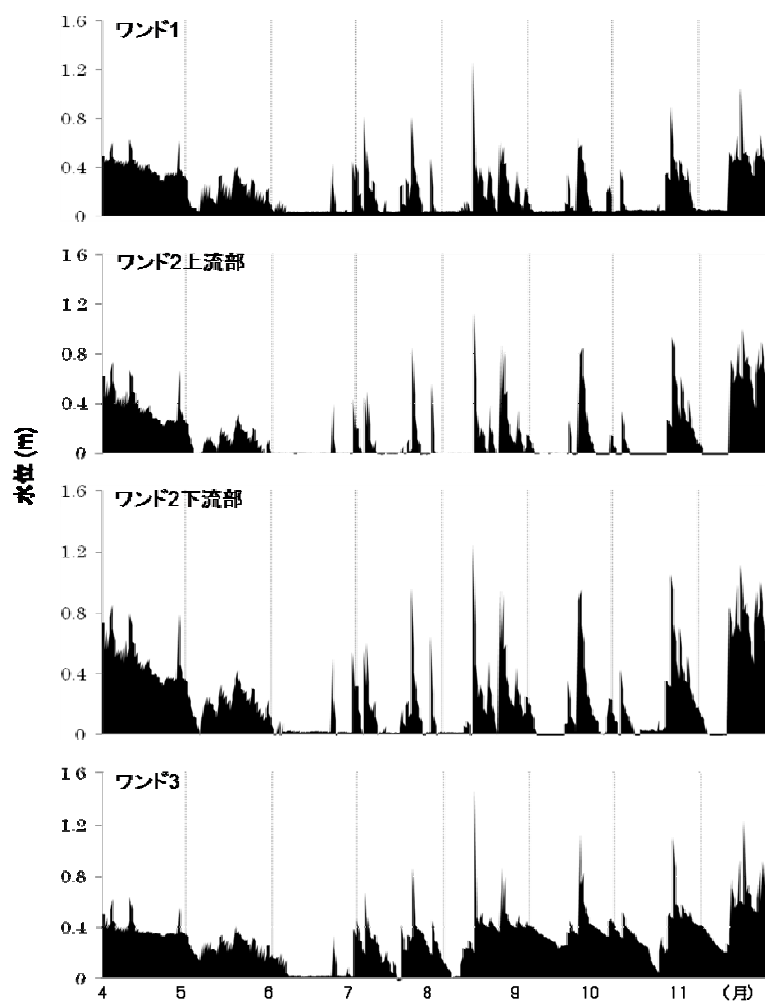
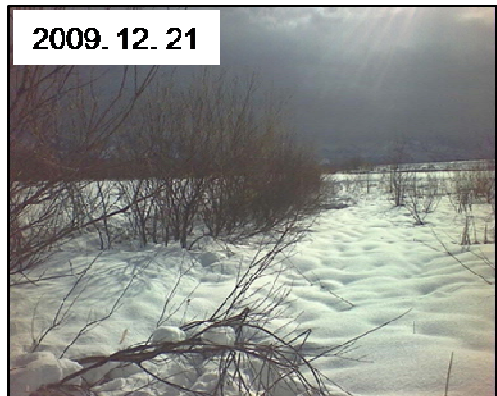
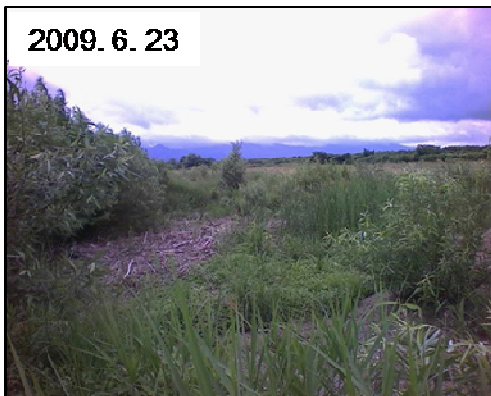
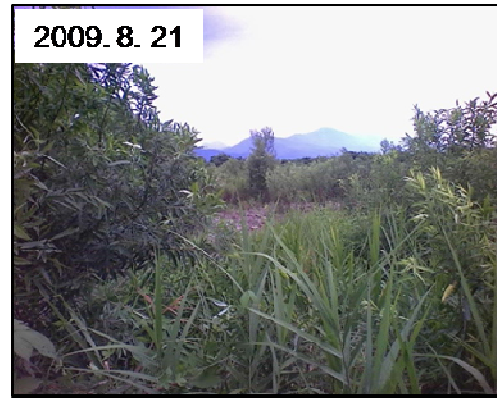
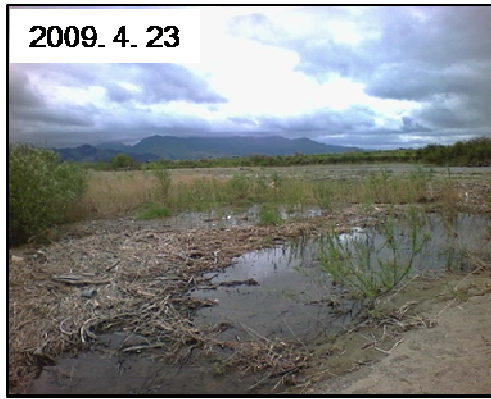


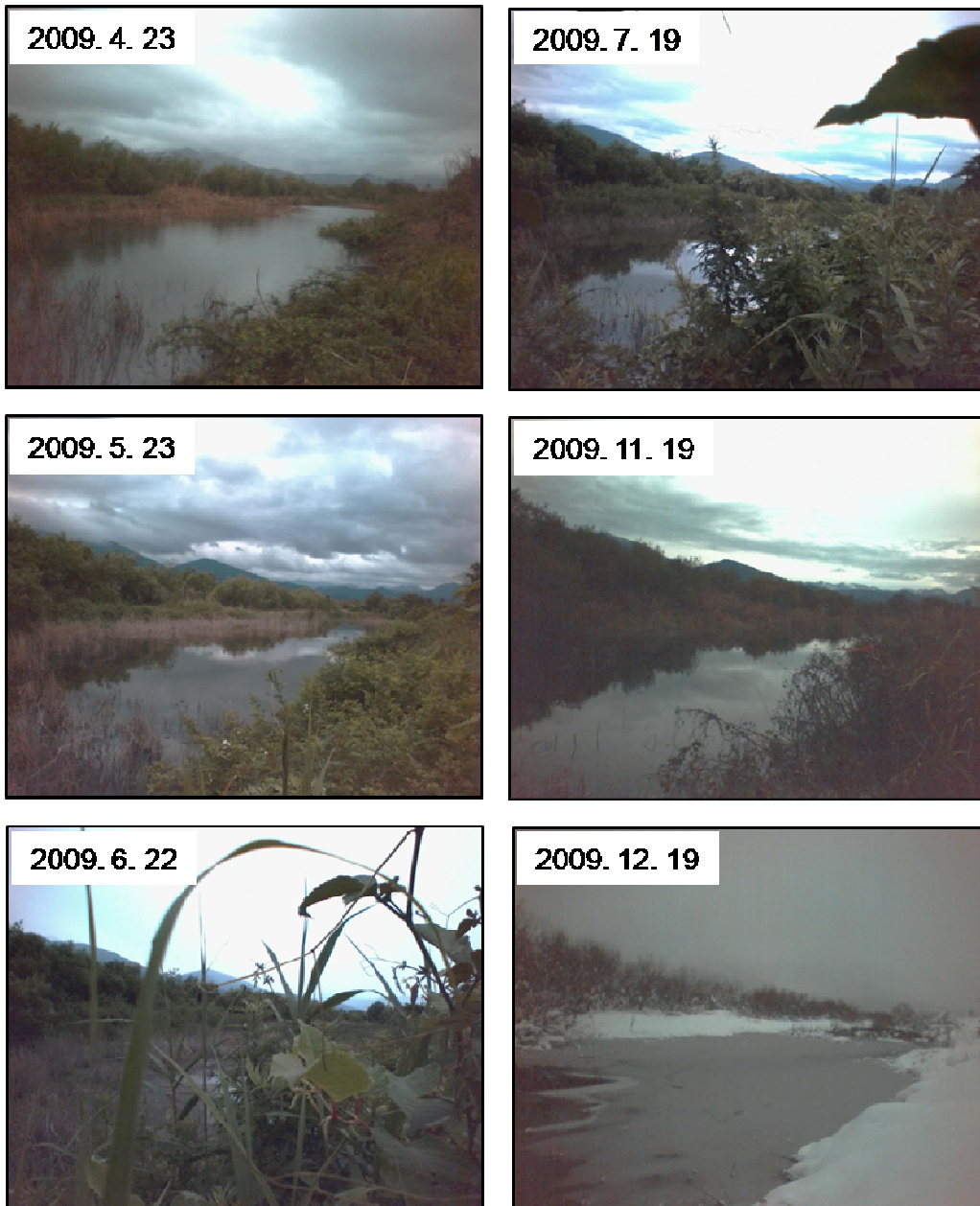
図. 4 各ワンドの年間水位変動 (2008年)

ワンド4については、設置していた水位計が盗難に遭ったため、水位データは得られなかった。

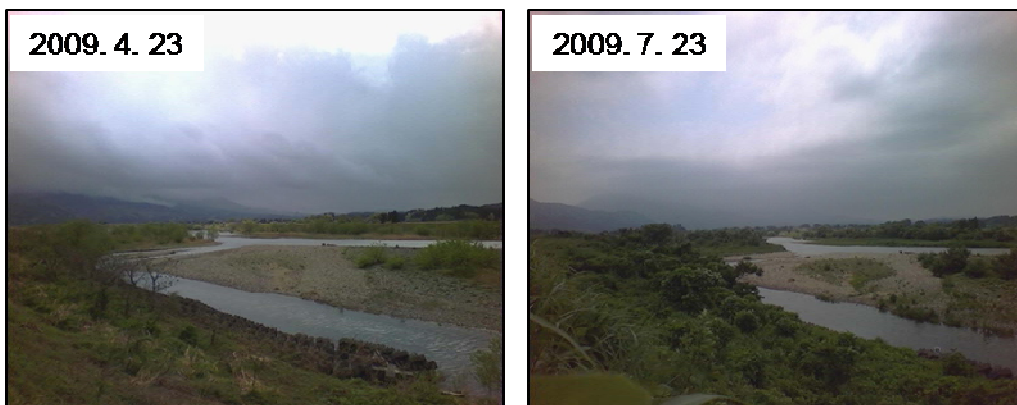


ワンド1

図. 5a ワンド1における水分環境の時系列変化
自動撮影カメラで撮影した画像



ワンド2



ワンド3

図. 5b ワンド2とワンド3における水分環境の時系列変化

表.5 ロジスティック回帰分析による植物種の出現に影響を与える環境要因の評価

	細砂以下	本川からの比高	ワンド
クサイ		1.03	12127.24
イ	1.02	1.03	5410.96
チョウジタデ	1.01	1.01	1857.17
ヒメクグ	1.02	1.02	574.92
アメリカアゼナ	1.04		301.8
イボクサ	1.04	1.01	293.93
ヤナギタデ	1.02	1.01	288.25
タマガヤツリ	1.03		139.01
カヤツリグサ	1.02	1.01	124.7
スベリヒユ	1.02		100.35
ヤノネグサ		1.01	95.63
スカシタゴボウ	1.01	1.01	66.17
アブラガヤ	1.03		58.56
ツルヨシ	1.02	1.01	39
カワヤナギ	1.02		20.66
ケアリタソウ		1.01	18.55
イヌタデ	1.01	1.01	11.51
スズメノカタビラ	0.98	1.01	10.42
アメリカセンダングサ	1.01	1.01	9.39
オオイヌタデ	0.99	1.01	7.85
ミゾソバ	1.03		7.52
スギナ	1.02		7.35
タネツケバナ	1.02	1.01	6.55
オオクサキビ		1.01	3.83
ヒメムカシヨモギ	0.99	1.03	3.46
ノゲシ	1.01	1.01	2.8
ノミノフスマ	1.02	1	2.66
ヌカキビ	1.02	1.01	2.61
メヒシバ	0.99	1.01	2.46
アキノウナギツカミ	1.01		2.33
ツボスミレ	1.03		2.14
チャガヤツリ	1	1.01	1.99
ヒメジソ	1.01	1	1.98
コブナグサ	1.02		1.87
ヨモギ	1.01	1	0.63
オオアレチノギク		1.01	0.53
ツユクサ	1.01	1	0.51
アキノエノコログサ	0.99		0.35
ツルマンネングサ	1.01	1.01	0.29
ハナタデ	1.03		0.25
ガガイモ	1.02	1.01	0.24
カキドオシ	1.02		0.24
ハルガヤ	1.01	1.01	0.24
ムラサキケマン	1.03		0.2
ヤハズソウ	1.01		0.18
シロザ	0.97		0.18
メマツヨイグサ		1.01	0.17

	細砂以下	本川からの比高	ワンド
ノイバラ	1.02		0.16
ニガナ	1.01		0.15
ノブドウ	1.02		0.11
タチイヌノフグリ		1.01	0.1
オランダミミナグサ	1.01	1.01	0.09
カナムグラ	1.04		0.08
ヘクソカズラ	1.03		0.08
ヒメジョオン	1.02		0.07
セイタカアワダチソウ	0.98	1	0.05
ブタクサ	1.01	1	0.05
カニツリグサ	1.02	1.01	0.04
ムシトリナデシコ	0.97	1.01	0.04
ヤエムグラ	1.02		0.03
ヤブガラシ	1.02		0.02
ヒメスイバ	1.01		0.02
カワラハハコ	0.96	1.01	0.01
ヨシ	1.01	0.98	0
ウシクグ	1.04		
キツリフネ	1.1	1.01	
コゴメガヤツリ	1.03		
ミズハコベ	0.98	1.01	
アオコウガイゼキショウ		1.1	
オオタチツボスミレ			
コウガイゼキショウ		1.04	
マルバヤハズソウ			
ヤハズエンドウ	1.02	1.01	
ヤブマメ			
マメグンバイナズナ	0.98	1	
オトコヨモギ	1.02	1.01	
オニウシノケグサ	1.03	1.01	
カタバミ			
カモジグサ		1.01	
コナスビ	1.03		
シナダレスズメガヤ	1.02	1.01	
スイバ	1.01	1.01	
トウバナ	1.03	1	
コモチマンネングサ	1.02	1	
イヌコウジュ	1.01	1	
クサソテツ	1.05		
オオバナニガナ	1.01	1.01	
クズ	1.02	1.01	
ススキ	1.02	1.01	
ヤマグワ	1.03	0.99	

表中の値はオッズ比。値が1より大きいほど正の影響が大きいことを、1より小さいほど負の影響が大きいことを示す。

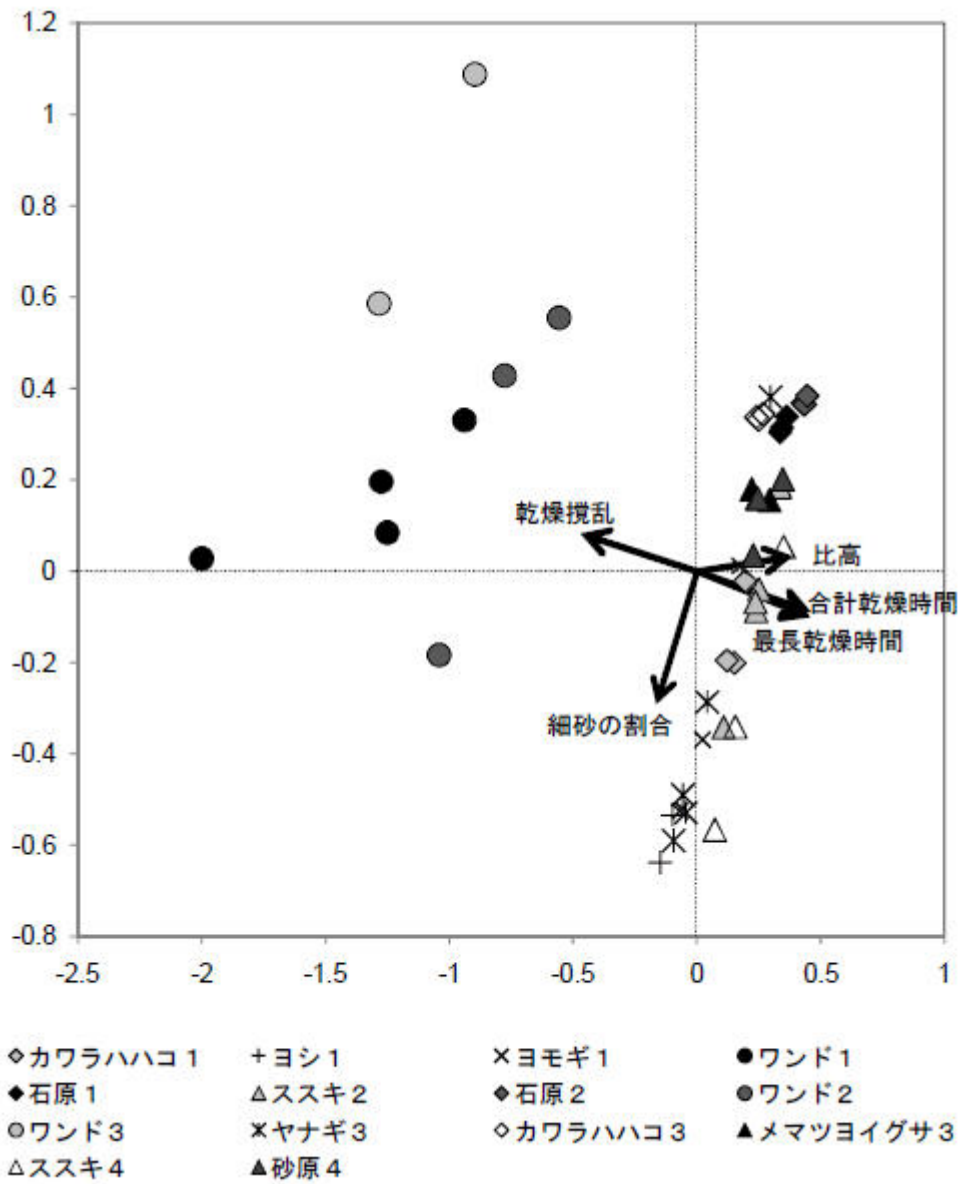


図. 6a CCA による種の出現頻度に基づく各調査ベルトの序列化

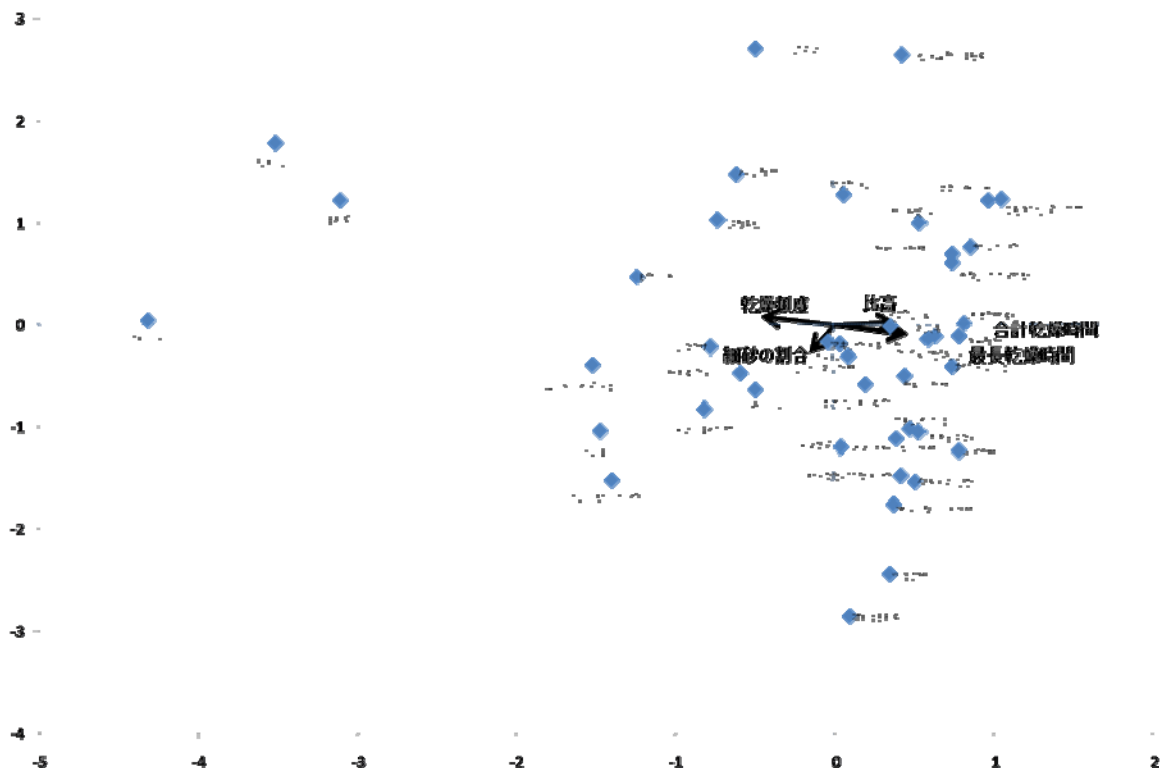


図. 6b CCA による植物種の出現に影響を与える環境要因の評価

5. 考察

5. 1 環境要因と植生の関係

各植物種の出現頻度と環境要因との関係を解析した CCA の結果、乾燥頻度、合計乾燥時間、最長乾燥時間、本川からの比高は第 1 軸と強い相関があった(図・6)。これら 4 つの環境要因を総合的に捉えると、乾燥－水湿の軸を示唆することから、第 1 軸は、冠水の有無による攪乱頻度を表していると考えられる。そのために、攪乱頻度のプラス方向（第 1 軸の負の方向）には、ワンドに高頻度で出現する種が多く配置された。一方、攪乱頻度のマイナス方向（第 1 軸の正の方向）には、安定した場所を好む多年生草本や越年生草本が多く配置された。さらに、今回の調査で出現した外来種のほとんども、攪乱頻度のマイナス方向に配置された。この結果は、高水敷が洪水攪乱を受けず、乾燥化することで外来種が繁茂しやすくなるという報告^{7,8)}と一致した。植物種は全体として土壤の保水性の指標となる細砂の割合のベクトルに沿っても配置されたことから、第 2 軸方向の配置の違いは土壤水分に対する選好性、すなわち植物種の耐乾性の違いを表していると考えられる。比高が高く、土壤が礫質な石原とカワラハハコ群落では、夏季には厳しい高温・乾燥状態にさらされる。この 2 サイトには、そのような過酷な環境に適応した少数の多年生草本や越年生草本しか出現できないために、植物種多様性が低くなったものと考えられる。一方、ワンドでは、増水の度に起こる湛水状態、低い比高、細砂質の土壤によって、一年を通じて時空間的に多様な水分環境が創出されたことで、種数が高くなったものと考えられる。

しかし、ススキ群落やヤナギ林においても種数は高くなった(表・2)。これは、他のサイトと比べて、これらのサイトにおいて多くの木本種が出現したためであると考えられる。ヤナギ林やススキ群落は、比高が高いため洪水攪乱を受けにくく、さらに土壤は主に細砂で構成されており保水力が高いことから、木本種を含む多くの種の定着・生長にとって好適な環境であると言える。また、ヤナギ林やススキ群落に存在する樹木に、鳥類が営巣していたのが確認できた。ヤナギ林やススキ群落では、そのような鳥類などの動物による種子散布によって、今後さらに植生遷移が進行すると考えられる¹⁹⁾。

5. 2 ワンドの植生と環境特性

ヤナギ林やススキ群落と同様に、ワンド 1・2・4 では種数が多く、他のサイトに比べて湿生種や 1 年生草本の割合が高かった(表・2)。これは、ワンド特有のすり鉢状で起伏に富んだ地形と、増水の度に起こる湛水による多様な水分環境によるものだと考えられる。ワンドで 1 年生草本が特に多くなった理由としては、湛水が起こらない春先から秋までに発芽から結実までの生活史を終えることが可能なためであると考えられる。ワンド 1・2・4 とワンド 3 では、明らかに種の豊かさに違いが表れた。ワンド 1・2・4 の種の豊かさを支えたのは、適度な湛水攪乱とそれによって運ばれた細砂によるものと考えられる。リターや土砂などが堆積するようになることで、植物にとって負の影響があるといわれている²⁰⁾が、高い植物種多様性を保つためには、適度な流水により堆積した土砂が流し出されることと、新たに種子を含む土砂が供給されることが必要である²¹⁾。このような環境下では、高い在来植物種多様性が維持される。本研究では、ワンド 1・2・4 がこの環境下にあったと考えられる。特に、ワンド 2 ではミクリが、ワンド 4 ではカワヂシャ、タコノアシといった準絶滅危惧種、絶滅危 II 類の植物が確認された。ワンド 1 は他の 2 つのワンドより多年性草本の割合が多くなった。これは、ワンド 1 の地形的な要因にあると考えられる。

ワンド 1 は、増水時にも本川とは連結しないため、流水による攪乱を受けない。このような安定した環境が、多くの多年生草本の出現を可能にしたのではないかと考えられる。しかし、ワンドが創出されてからの経過年数も植生に影響すると考えられることから、今後は長期的にワンドの環境変化を調査することが必要である。種数が少なかったワンド 3 では、本川からの比高が低く、年間を通して冠水していた場所もあった。まとまって水が抜ける期間がないと、一年草といえども生活史を完了させることは難しい。さらに、土壌が礫質のため、水が抜けたとしても出現可能な種は限られる。このような要因が重なった結果、ワンド 3 では極端に植物種多様性が低くなったものと考えられる。

5. 3 多様な植物種が分布する環境の創出

植物種に影響を与える環境要因は、乾燥頻度（つまり冠水頻度）や細砂の割合、本川からの比高だった。特にワンドでは、本研究で確認した主な植物の 3 分の 1 以上が高い頻度で出現していた。また、現在絶滅が危惧されている湿生種をはじめ、在来種の生育の場として重要な空間であることも示唆された。このようにワンドは湿生種の生育にとって好適な環境を提供し、河川域の種多様性の維持に貢献していることが明らかになった。

本研究が調査地とした河川は、ダムによって水位管理されてはいるものの、ワンドが存在することで、河川全体の植物種多様性が高まっていた。しかしワンドは本来、洪水の度に出現と消滅を繰り返しながら、動的に維持されている環境である。現在の河川管理では、堤外地内でさえ大規模な洪水攪乱はほとんど生じない。今回の調査で確認されたワンドにおける高い植物種多様性も、時間の経過、すなわち植生遷移の進行に伴って、減少していく可能性が高い。多様な植物種を育む豊かな河川環境を再生するためには、堤外地内（河川敷も含む）の流路変動を許容し、ワンド環境の動的維持を可能にする河川管理に変更していくことが必要である。

6. まとめ

本研究では、扇状地河川の様々な環境要素において、植物種多様性と環境要因との関係を明らかにした。その結果、ワンドは時空間的に多様な水分環境を保持することで、多くの希少種を含む湿生植物にとって好適な生育場であることが明らかになった。そして、ワンドの環境が存在することで、河川全体の植物種多様性が高まっていた。

水位管理された河川では、常に水が流れる低水流路と乾燥化する高水敷への環境の 2 極化が進行するため、湿生種をはじめとする氾濫原種の生育地が減少する。これらの植物種が生育できるワンドのような「移行帯 (Ecotone)」的な環境を、河川の営力で動的に維持していくことを可能にする河川管理の方法を発展させていく必要がある。

引用文献

- 1) Naiman RJ, and Décamps H (1997) The ecology of interfaces: riparian zones. *Annual Review of Ecology and Systematics* **28**: 621-658
- 2) Poff NL, Allan JD, Bain MB, Karr JR, Prestegard KL, Richter BD, Sparks RE, Stromberg JC (1997) The natural flow regime: a paradigm for conservation and restoration of river ecosystems. *Bioscience* **47**:769-784
- 3) Pollock MM, Naiman RJ, Hanley TA (1998) Plant species richness in riparian wetlands: a test of biodiversity theory. *Ecology* **79**:94-105
- 4) Merritt DM, Cooper DJ (2000) Riparian vegetation and channel change in response to river regulation: a comparative study of regulated and unregulated streams in the Green River Basin, USA. *Regulated Rivers: Research and Management* **16**:543-564
- 5) Leyer I (2005) Predicting plant species' responses to river regulation: the role of water level fluctuations. *Journal of Applied Ecology* **42**: 239-250
- 6) Yoshimura C, Omura T, Furumai H, Tockner K (2005) Present state of rivers and streams in Japan. *River Research and Applications* **21**:93-119
- 7) Nakamura F (1999) Influences of dam structure on dynamics of riparian forests. *Ecology and Civil Engineering* **2**:125-139 (in Japanese)
- 8) Washitani I (2001) Plant conservation ecology for management and restoration of riparian habitats of lowland Japan. *Population Ecology* **43**:189-195
- 9) Davis MM, Sprecher SW, Wakeley JS, Best GR (1996) Environmental gradients and identification of wetlands in north-central Florida. *Wetlands* **16**:512-523
- 10) Hill NM, Keddy PA, Wisheu IC (1998) A hydrological model for predicting the effects of dams on the shoreline vegetation of lakes and reservoirs. *Environmental Management* **22**:732-736
- 11) Odland A, del Moral R (2002) Thirteen years of wetland vegetation succession following a permanent drawdown, Myrkdalen Lake, Norway. *Plant Ecology* **162**:185-198
- 12) Riis T, Hawes I (2002) Relationships between water level fluctuations and vegetation diversity in shallow water of New Zealand lakes. *Aquatic Botany* **74**:133-148
- 13) Hölzel N, Otte A (2004) Inter-annual variation in the soil seed bank of flood-meadows over two years with different flooding patterns. *Plant Ecology* **174**:279-291
- 14) Van Geest GJ, Coops H, Roijackers RMM, Buijse AD, Scheffer M (2005) Succession of aquatic vegetation driven by reduced water-level fluctuations in floodplain lakes. *Journal of Applied Ecology* **42**:251-260
- 15) Robertson HA, James KR (2007) Plant establishment from the seed bank of a degraded floodplain wetland: a comparison of two alternative management scenarios. *Plant Ecology* **188**:145-164
- 16) Toogood SE, Joyce CB, Waite S (2008) Response of floodplain grassland plant communities to altered water regimes. *Plant Ecology* **197**:285-298
- 17) SPSS, Inc. (2006) SPSS for Windows 15.0J. SPSS, Inc., Chicago, IL
- 18) McCune B, Mefford MJ (1999) PC-ORD. Multivariate analysis of ecological data, version 4. MjM Software Design, Gleneden Beach, OR

- 19) Takahashi K, Kamitani T (2004) Factors affecting seed rain beneath fleshy-fruited plants. *Plant Ecology* **174**: 247-256
- 20) Xiong S, Nilsson C, Johansson ME (2001) Effects of litter accumulation on riparian vegetation: Importance of particle size. *Journal of Vegetation Science* **12**:231-236
- 21) Johnson WC (2002) Riparian vegetation diversity along regulated rivers: contribution of novel and relict habitats. *Freshwater Biology* **47**:749-759

助成事業者紹介

紙谷智彦

現職：新潟大学大学院自然科学研究科教授（農学博士）

主な著書（いずれも共著）：消える日本の自然、恒星社厚生閣(2008). 生態学からみた身近な植物群落の保護、講談社サイエンティフィック(2001). 種子散布(助けあいの進化論 I) , 築地書館(1999). 他。