

河川環境総合研究所報告

第11号

平成17年12月

(財)河川環境管理財団
河川環境総合研究所

はじめに

(財)河川環境管理財団に河川環境総合研究所が開設して13年が経過しました。現在、各地域のニーズに対応するため、研究第1部、2部、3部、4部、大阪研究所(5部)、北海道事務所、名古屋事務所において調査研究業務を行っており、目下取り組んでいる調査研究の主なテーマは以下のとおりです。

① 水系一貫の視点に立った河川環境の総合的な計画に関する調査研究

- A 河川整備計画に関する調査研究
- B 河川環境管理計画に関する調査研究
- C 河川の自然再生に関する調査研究
- D 湖沼の整備に関する調査研究
- E 樹林帯の整備・管理に関する調査研究

② 水環境改善および河川水質浄化に関する調査研究

- A 河川の新たな水質問題に関する調査研究
- B 河川の水質浄化技術に関する調査研究
- C 河川水水質浄化計画の策定に関する調査研究
- D 下水処理水のなじみやすい放流等に関する調査研究
- E モニタリング等に関する調査研究

③ 河川管理施設の維持管理に関する調査研究

- A 河川維持管理計画の策定に関する調査研究
- B 堤防の機能維持のための調査研究
- C 河道の質的安全性の評価に関する調査研究
- D 河川巡視・点検システムに関する調査研究
- E 堤防の植生管理に関する調査研究

④ 河川環境の整備・保全のための技術研究開発

⑤ 河川環境学習の推進、流域の連携・交流に関する調査研究

本報告は、このような調査研究の成果を広く関係の方々に活用していただくため発行しており、今年で第11号を発行することができました。これもひとえに国土交通省をはじめ関係各位のご指導、ご支援の賜物であり、ここに厚く御礼申し上げます。次第です。

また、本報告は現場での活用を念頭においており、現場の第一線における河川環境への取り組みに資することができれば幸いです。

当研究所では、河川環境に対する取り組みを拡充し、社会の要請に的確に答えていくべく、一層の努力をしまいる所存ですので、今後とも関係各位の温かいご指導、ご支援をお願い申し上げます。次第です。

平成17年12月

財団法人 河川環境管理財団
理事長 鈴木 藤一郎

○ 研究所報告の編集について

本研究所報告の編集に際しましては、下記の編集委員からなる編集会議(2005. 8. 26)を行っております。

・編集委員

佐合 純造 (財)リバーフロント整備センター 技術普及部長

[前(独)土木研究所 水循環研究グループ長]

村本 嘉雄 (財)河川環境管理財団 研究顧問 兼大阪研究所長

山本 雅史 (財)河川環境管理財団 常務理事

山本 晃一 (財)河川環境管理財団 河川環境総合研究所長

佐藤 和明 (財)河川環境管理財団 技術参与

・事務局

(財)河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究第1部

目 次

I 水系一貫の視点に立った河川環境の総合的な計画に関する調査研究

I-1 河川整備計画に関する調査研究

1. 平成16年台風18号による石狩川河道内の風倒木に関する調査…………… 1
千葉則夫・小松俊一・小本智幸
2. 河川を軸とした土砂及び栄養塩類の動態に関する研究…………… 9
阿部 徹・斐 義光・並木嘉男

I-2 河川環境管理計画に関する調査研究

3. 流量変動の変化が沖積河川生態系に及ぼす影響…………… 21
山本晃一・阿部 徹・岸田弘之・斐 義光・並木嘉男

I-3 湖沼の整備に関する調査研究

4. 霞ヶ浦湖岸植生帯の緊急対策工法の検討及びモニタリングとその評価…………… 41
戸谷英雄・谷村大三郎・小野 諭・坂口喜久二

II 河川管理施設の維持管理に関する調査研究

5. イネ科花粉対策を考慮した堤防植生管理の研究…………… 63
山本晃一・戸谷英雄・谷村大三郎・石橋祥宏・平田真二

III 河川環境学習の推進、流域の連携・交流に関する調査研究

6. 河川環境教育の活性化のための支援方策検討…………… 79
山本雅史・入江 靖・中山 尚
7. 河川環境学習に関する取組み(子どもの水辺再発見プロジェクト)の推進方策に関する研究…………… 89
山本雅史・入江 靖・矢野克己・菅原一成

I 水系一貫の視点に立った河川環境の総合的な計画に関する調査研究

I - 1 河川整備計画に関する調査研究

1. 平成 16 年台風 18 号による石狩川河道内の風倒木に関する調査

千葉則夫*・小松俊一**・小本智幸***

1. はじめに

平成 16 年 9 月 8 日に北海道の西海上を北上した台風 18 号は、北海道各地に暴風による大きな被害をもたらしたが、石狩川においても河道内樹木に多量の風倒木が発生した。河道内の風倒木は、出水時には、流水阻害の原因となるほか、河川管理施設や海域等にも影響を及ぼすことが懸念される。

河道内樹木は流下断面の阻害要因であり、治水上は伐採を行っていく必要があるが、河川環境上は重要な要素であり、治水と環境の両立を行うためには、適正な管理を行っていくことが必要となる。

本調査では、河道内樹木の適正な維持管理方策の検討を進めていくうえでの知見を得ることを目的として、風倒木の発生状況を調査・把握し、今後の河道内樹木管理のための基礎資料とした。

2. 平成 16 年台風 18 号と風倒木

札幌管区气象台によると、台風 18 号は平成 16 年 8 月 28 日にマーシャル諸島付近で発生し、発達しながら西北西に進み、9 月 7 日 9 時頃に九州の長崎市付近に上陸した。その後、大型で強い勢力を保ったまま日本海を北東に進み、8 日早朝から昼過ぎにかけて北海道の西海上を北上し、15 時に宗谷海峡付近で温帯低気圧となった(図 2・1)。

北海道では、広い範囲を暴風域に巻き込みながら進み、札幌気象官署では 8 日 11 時頃、最大瞬間風速 50.2m/s が観測されるなど、各地の気象官署で観測開始以来の極値を更新した。

石狩低地帯では、図 2・1 に示すように、突風は主に南の方向から北上するように吹きつけたことがわかる。河道内の風倒木が顕著であった箇所は滝川付近であったことから、低地帯を北上した突風は、谷底幅の狭まる美唄付近から地形的な影響を受け、滝川付近で被害が顕著になったと考えられる。

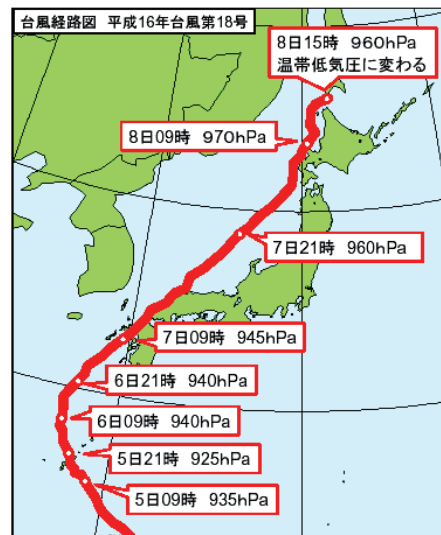


図 2・1 平成 16 年台風 18 号の移動経路
※札幌管区气象台(2004)より転載

3. 調査概要

3.1 調査対象地

現地の河道内樹木は、高水敷が採草地などとして利用されており、主に河岸付近の中水敷箇所や土砂堆積地上にオノエヤナギやエゾノキヌヤナギを主体としたヤナギ林が成立していた。

調査対象地は、被害が顕著であった滝川付近で 5

* (財) 河川環境管理財団 北海道事務所次長
** (財) 河川環境管理財団 北海道事務所調査課長
*** (財) 河川環境管理財団 北海道事務所業務係長

地点の被害林分，1 地点の被害なし林分*，美唄付近で 1 地点の被害林分，というように被害林分 6 地点，被害なし林分 1 地点とした(図 3・1，表 3・2)．なお，調査対象とした林分は，水際から堤防側へと連続しているような，まとまって成立している林分としたが，St.7 については高水敷の自転車道沿いに列状に成立していたものである．なお，St.7 については，後述するように，解析の際には除外しているが，事象を説明する際の比較のため調査した．

※ 林分：樹種などがほぼ一様で隣接する森林と区分できるような森林の固まり

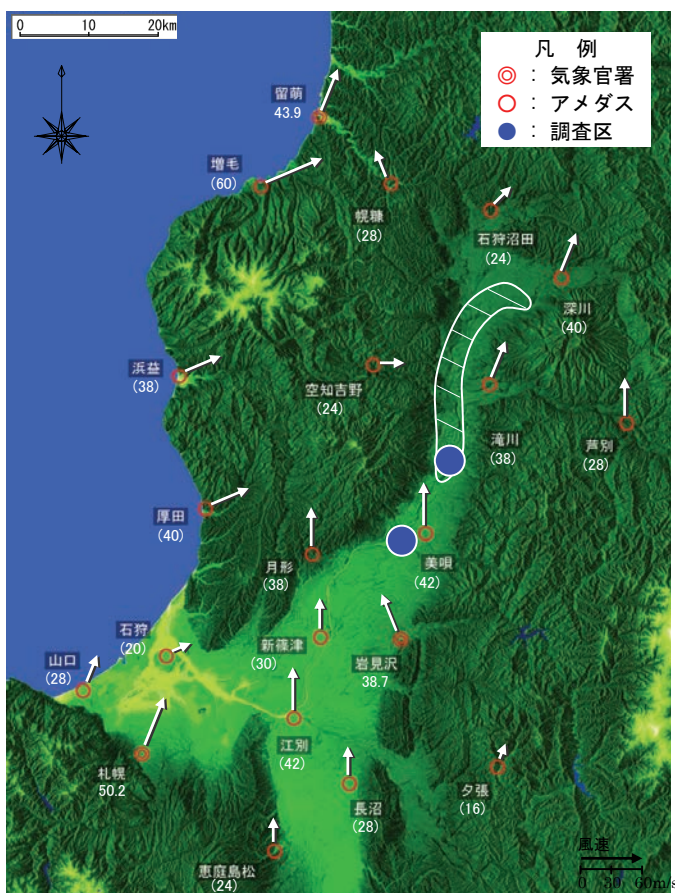


図 3・1 台風 18 号通過時の石狩低地の突風の様相と風倒木の顕著な箇所

- ※ ◎は気象官署，○はアメダスを示し，観測所名の下の数値は最大瞬間風速 (m/s) を示す．
- ※ 括弧内の数値は，最大風速に突風率 2.0 を乗じた値である．
- ※ 突風率とは，最大瞬間風速と最大風速の比であり，今回の突風率は，札幌 2.31，岩見沢 2.07，留萌 1.73，旭川 2.42 であった．
- ※ 風情報は札幌管区気象台 (2004)，陰影図は国土地理院 (1999) より作成した．
- ※ 図中の斜線部は，河道内樹木の風倒木が顕著な箇所であり，平成 16 年 9 月 11 日にヘリコプターから撮影したビデオよりまとめたものである．

3.2 調査方法

調査対象とした林分において，代表的な箇所には方形区を設置して毎木調査及び林分単位の調査を行った(表 3・1)．方形区の大きさは，林分高を参考に設置した(表 3・2)．毎木調査では，種，樹高，DBH*，樹齢，風倒被害区分，腐朽の有無を調べた．このほか，方形区の水面からの比高，風倒方向などを計測した．

前記のように大半の樹種がヤナギ属 (Salix) であったことから，種についてはまとめてヤナギ類とし，樹齢は DBH から予測する回帰式より算出した．算出に際しては，各調査地点から数サンプルずつ成長錐によりコアをサンプリングし (地上高 1.3m)，室内に持ち帰り年輪判読をして求めた．風倒被害区分については，被害なし，枝折れ，幹折れ，根返り (高木・亜高木) とした (写真 3・1)．腐朽の有無については，地上高 1.3m で成長錐によりコアをサンプリングし現地で調べた．

※ DBH：胸高直径 (diameter at breast height) 樹木の地際から 1.3m 程度の高さの部分の直径

表 3・1 調査項目

調査種類	調査内容
毎木調査	<ul style="list-style-type: none"> ・ 種 ・ 樹高 ・ DBH (胸高直径) ・ 風倒被害区分 (被害なし・枝折れ・幹折れ・根返り) ・ 腐朽の有無^{注 2)} ・ 樹齢
林分単位の調査	<ul style="list-style-type: none"> ・ 水面からの比高 ・ 風倒方向 ・ 林床土性・植生

4. 結果と考察

4.1 樹齢解析

樹齢を予測する回帰式の算出にあたり，各調査地点から数本ずつのあわせて 15 サンプル，さらに周辺の幼木から 5 サンプル，計 20 サンプルのコアを室内に持ち帰った．これらのコアから年輪を判読し，DBH を説明変数 (x)，樹齢を従属変数 (y) とする回帰式を算出した (式 4・1)．なお，算出に際しては，コアのサンプリングは地上 1.3m で行ったため，北海

表 3-2 調査林分の概要

No	位置		林分名	林齢 ¹⁾	密度 (本/ha)	林分高 ¹⁾ (m)	被害状況 ²⁾	風倒方向	河岸からの 距離 ³⁾ (m)	平水位から の比高 ⁴⁾ (m)	融雪最大出水位 からの比高 ⁵⁾ (m)	方形区
	河口からの 距離(km)	左右岸										
St.1	64.5	L	ヤナギ林	26	489	13	B・C・E	N20°E	430	3.96	0.15	15m×15m
St.2	98.5	R	ヤナギ林	23	889	15	B・C	N20°E	30	3.17	1.23	15m×15m
St.3	103.0	R	ヤナギ林	23	1,225	13	B・C	N20°W	130	1.97	0.08	10m×40m
St.4	105.0	L	ヤナギ林	32	711	15	B・C	N10°W	170	1.13	-0.76	15m×15m
St.5	109.0	R	ヤナギ林	17	3,900	11	A	N40°W	80	1.19	-0.57	10m×10m
St.6	112.5	R	ヤナギ林	29	622	17	B・C・E	N20°E	120	2.90	1.26	15m×15m
St.7	108.0	L	ヤナギ林	17	-	11	D	N10°W	190	5.01	3.25	-

- 1) 林齢については階級値 3 年毎，林分高については階級値 2m の頻度分布を作成し，最頻値の中央値とした。
- 2) 被害状況については，A: 無被害，B: 枝折れ，C: 幹折れ，D: 根返り(亜高木)，E: 根返り(高木)を示す。
- 3) 河岸からの距離は，河川環境情報図(平成 15 年 2 月に作成)から計測した。
- 4) 平水位からの比高は，調査時の水位の比高を，近隣の観測所の 10 ヶ年平均(1991-2000 年)で補正した。
- 5) 融雪最大出水位(3 月～6 月の最大水位)からの比高は，近隣の観測所の 10 ヶ年平均(1991-2000 年)を基に算出した。



写真 3-1 河畔のヤナギ林でみられた主な風倒タイプ

道におけるヤナギの一般的成長量 1 m/年を勘案して，年輪判読の際には樹高 1.3m に到達するまで 2 年かかると想定し，判読した樹齢に 2 年を

加えた。

$$y = 1.133x + 3.750 \quad (R^2 = 0.818, p < 0.01) \quad (4 \cdot 1)$$

4.2 調査地の概要

調査林分は、表 3・2 に示すように、林齢 17～32 年、林分高 11～17m、主な風倒方向は、N40° W～N20° E であり、主に南からの突風で倒れたと考えられる。調査林分の林分構造と立地位置との関係をみると、河岸からの距離、平水位からの比高、融雪最大水位からの比高と、林齢、密度、林分高には有意な相関はみられなかった(表 4・1)。特に、St. 4 は、河岸付近の土砂堆積微高地の背後地に位置し、融雪出水時に冠水するが 32 年生の比較的大きな林分となっているなど(表 3・2)、攪乱の影響は少ないと考えられる。これより、今回の調査林分では、河岸からの距離や比高が林分構造に大きな影響を与えていないと考え、また調査地点での最大風速が図 3・1 に示したように、ほぼ同じであるので、以降では全調査地の樹木をまとめて解析した。

表 4・1 調査林分の林分構造と立地位置の相関

項目		林分高 (m)	林齢	密度 (本/ha)
河岸からの 距離(m)	相関係数	-0.184	0.213	-0.384
	判定	n.s	n.s	n.s
	n	7	7	6
平水位からの 比高(m)	相関係数	-0.169	-0.292	-0.578
	判定	n.s	n.s	n.s
	n	7	7	6
融雪最大水位 からの比高(m)	相関係数	-0.110	-0.401	-0.453
	判定	n.s	n.s	n.s
	n	7	7	6

※ 密度については、St. 7 が列状であったため除外し、n=6 となっている。

※ 位置に関する項目については、表 3.2 に同じである。

※ n. s : 相関がないことを示す(Pearson's test; $p > 0.05$)。

4.3 風倒被害の傾向

4.3.1 樹齢と風倒被害

調査対象木の樹齢と、樹高、形状比で表したのが図 4・1 である。形状比(H/DBH)とは、林業における風害や雪害の指標にされており、形状比が 100 を越えるとモヤシ状で被害を受けやすく、どっしりとした安定感のある状況が形状比 50 程度といわれている(日本林業技術協会編, 1998)。

図 4・1 より、樹齢の増加とともに形状比が小さくなり、どっしりとした状況になることがわかる。ま

た、若く形状比が大きい段階では被害なし、根返り(亜高木)が多く、中庸な段階で枝折れや幹折れが多く、老年になり形状比が小さい段階では幹折れ(高木)が多くなっている。

被害なし(図 4・1 白丸;主に St. 5)と亜高木の根返り(図 4・1 緑三角;St. 7)は若い段階で同じ範囲にプロットされているが、被害タイプが異なっている。河岸付近の土砂堆積上に位置する St. 5 では、出水ごとに土砂を捕捉し不定根を発生させるなど、地中深くまで根系を発達させていた(写真 4・1)。一方、流水の影響の少ない高水敷上の自転車道路沿いに位置する St. 7 では、造成された地盤上に浅い根系(根鉢径 1.20m, 根鉢深 0.33m)で定着していた。これらより、若い段階の被害なし(St. 5)では土砂堆積により発生した不定根が杭効果を生み出し、被害を抑制していたと考えられる。

次に、若い段階、中庸な段階、老齢な段階の境界の目安を把握するため、樹齢と形状比を変数とした判別分析を行った。なお、若い段階では St. 5(被害

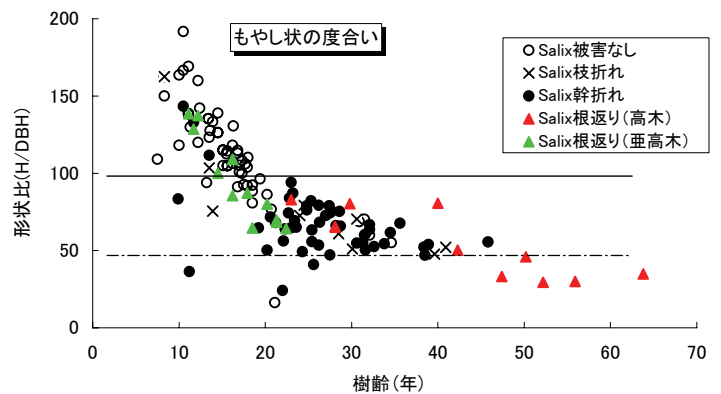
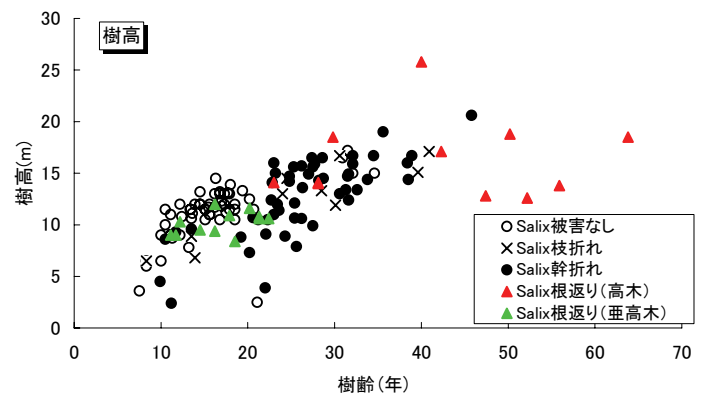


図 4・1 Salix の樹齢と、樹高・形状比の関係(n=141)

※ 巻き込まれて共倒れたもの、白骨化しともと腐朽していたものは除外した。

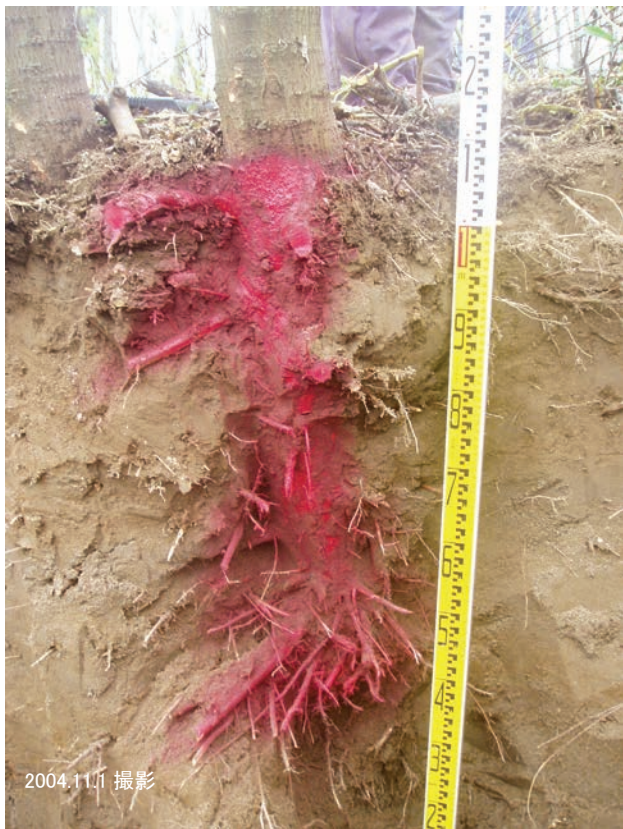


写真 4-1 St. 5 の根系の様相

なし)と St. 7(亜高木の根返り)がみられたが, St. 7は高水敷上の自転車道路沿いに列状に成立しており, 他の河岸付近から連続する河畔林とは様相が異なるため除外した. また, 枝折れと幹折れについては, 図 4-1 で同様な箇所にもプロットされており, グループ間に差がなかったため(判別分析; $p=0.394$), 枝折れ&幹折れとして扱った.

解析の結果, 被害なしと枝折れ&幹折れの判別関数 z_1 , 枝折れ&幹折れと高木根返りの判別関数 z_2 を, それぞれ式 (4.2), 式 (4.3) のように得た(両者ともグループ間に有意差を検出; $p<0.01$). また, ヤナギ類の樹齢(Age)と形状比の関係を式 (4.4) のように回帰した.

$$z_1 = -0.0581(\text{Age}) + 0.0256(\text{形状比}) - 1.0696 \quad (4.2)$$

$$z_2 = 0.1359(\text{Age}) + 0.0178(\text{形状比}) - 5.0534 \quad (4.3)$$

$$(\text{形状比}) = 22.9285 + 1206.10 / (\text{Age}) \quad (4.4)$$

これらは図 4-2 のように表され, 樹齢-形状比線と判別関数の交点が, 被害タイプの境界の目安となる. $z=0$ とし, 式 (4.2) と式 (4.4), 式 (4.3) と式 (4.4) の連立方程式より, それぞれの交点は $\text{Age}=19.3, 28.7$ となった. よって, 枝折れや幹折れ被害が生じるのは樹齢 20 年で形状比 85 の付近からであり, 高木の根返りが生じるのは樹齢 30 年で形状比 65 の付近からといえる.

4.3.2 年輪幅

樹木の幹折れについては, 年輪幅が広くなりすぎると曲げに対する抵抗が小さくなるといわれ(中谷 2002), 針葉樹の場合には年輪幅が 5~6mm を越えると一般に密度が低下し強度が低下, さらに 1mm 以下と極端に狭い場合にも低密度になり強度が低下するといわれている(日本林業技術協会編, 2001).

今回サンプリングしたヤナギ類のコアの年輪幅は, 若い段階では年輪幅の広い材が蓄積され, 10 年程度になるとある程度年輪幅の狭い材が蓄積されはじめる傾向であった(図 4-3). これらより, 若い段階では強度が低く, 弾性の高い材で構成されていると考えられ, 前記の土砂堆積による杭効果に加え, しなり効果を有していたため風倒被害が少なかったと考えられる. 樹齢が 20 年程度を越えると年輪幅の狭い材が蓄積され, 強度は増すものの弾性が失われることでしなり効果が減少し, 枝折れや幹折れ被害が発生したと考えられる. さらに, 30 年程度まで年輪幅の狭い材が蓄積されると, 強靱な幹となるうえ, 樹冠の発達とともに樹冠の受ける風圧が大きくなり, これが根系の支持力を越えたため, 根返り被害が発生したと考えられる.

4.3.3 腐朽の有無

腐朽については, コアサンプリングにより判断したが, 腐朽は髄から同心円状には広がっておらず, 髄から離れたところに点在して腐朽しているものが多かったことから, 実際は部分的な腐朽であったと推測される. 部分的な腐朽である場合には, コアのサンプリングの際に腐朽箇所がはずれることも考えられるなど, 不確実さを兼ね備えていることに留意したい.

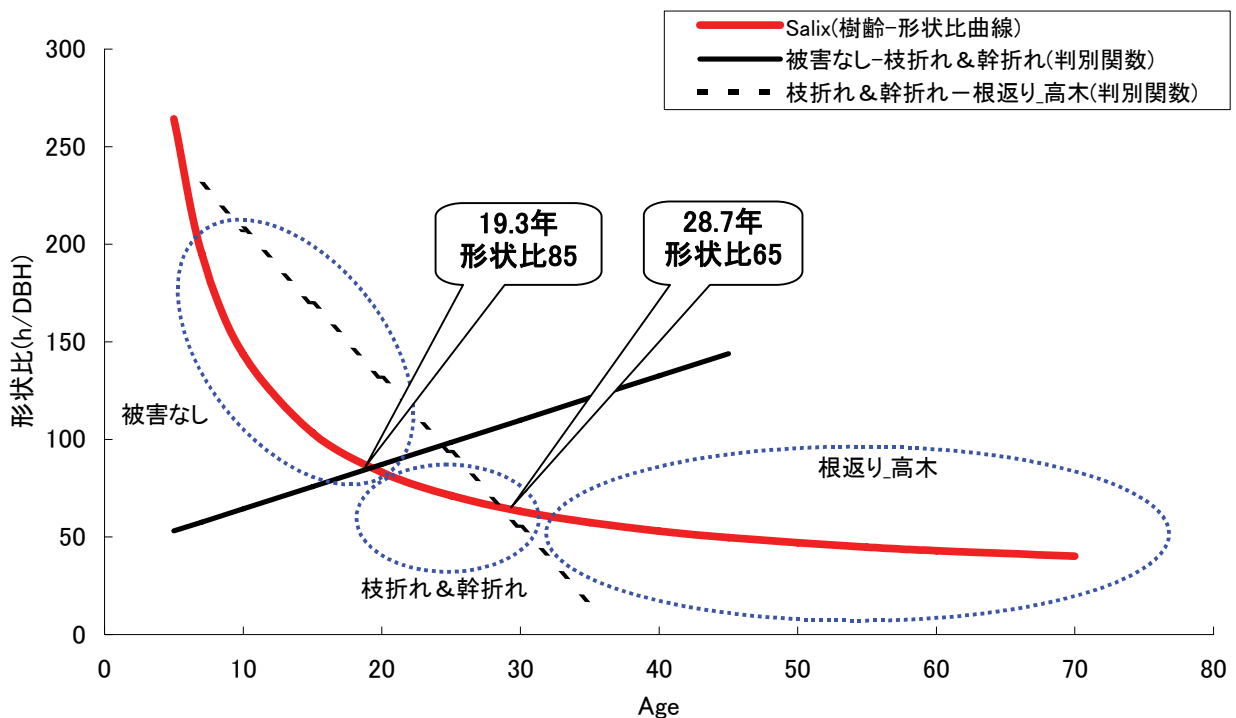


図 4-2 Salix の樹齡-形状比曲線と判別関数

- ※ 図 4-1 の樹齡と形状比のグラフより作成したものである。
- ※ 図 4-1 中では、若い段階では St. 5(被害なし)と St. 7(亜高木の根返り)がみられたが、St. 7 は自転車道路沿いに列状に成立しており、他の河岸付近から連続する河畔林とは様相が異なるため除外した。
- ※ また、図 4-1 に示すように、枝折れと幹折れについては、同様な箇所にプロットされているが、グループ間に差がなかったため(判別分析;p=0.394)、枝折れ&幹折れとして扱った。
- ※ 解析には樹齡(Age)と形状比を変数として用いた。この結果、以下の判別関数を得た(両者ともグループ間に有意差を検出;p<0.01)。また、Salix の樹齡と形状比の関係を以下のように回帰した。
 被害なし-枝折れ&幹折れ(判別関数) ⇒ (形状比)=2.2695(Age)+41.7813
 枝折れ&根返り_高木(判別関数) ⇒ (形状比)=-7.6348(Age)+283.8989
 Salix(樹齡-形状比曲線) ⇒ (形状比)=22.9285+1206.10/(Age)

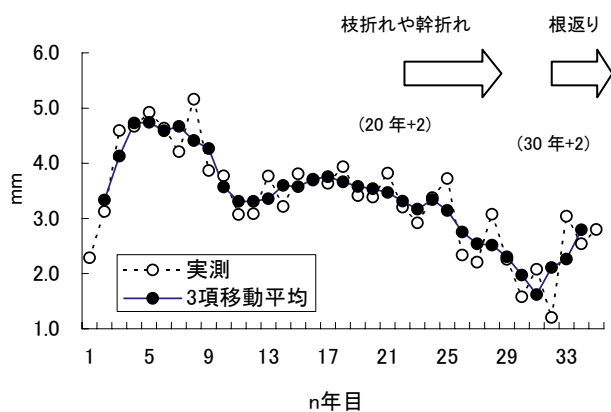


図 4-3 ヤナギ類の年輪幅(n=15)

- ※ 図中の矢印は、図 4-2 で得られた境界の目安であり、コアは地上 1.3m でのサンプルであるため 2 年を追加している。

前記の判別分析で判別が妥当とされた被害タイプ 3 区分(被害なし・枝折れ&幹折れ・根返り(高木))において、被害なしの腐朽割合を基準に、枝折れ&幹折れ、根返り(高木)を比較すると、枝折れ&幹折れの腐朽割合が高い傾向であった(表 4-2)。

これより、枝折れや幹折れ被害の発生には、前記の年輪幅の狭い材が蓄積されることによるしなり効果の減少のほか、腐朽による影響も関与している可能性が高いと考えられる。また、根返り(高木)になると、被害なしの腐朽割合と同等になるため、枝折れや幹折れ段階での淘汰された樹木が生き残っていると考えられる。なお、幹折れの折れ高については、全体で 4.8m±2.7m(平均±標準偏差)とばらつきが

大きく、腐朽の有無による折れ高の違いはなかった (t-test;p=0.6483).

表 4・2 風倒木状況タイプと腐朽の有無

	p<0.01			(本)
	被害なし	枝折れ & 幹折れ	根返り	
腐朽無	31	19	6	56
腐朽有	25	43	5	73
合計	56	62	11	129

※ Fisher's exact test

5. まとめ

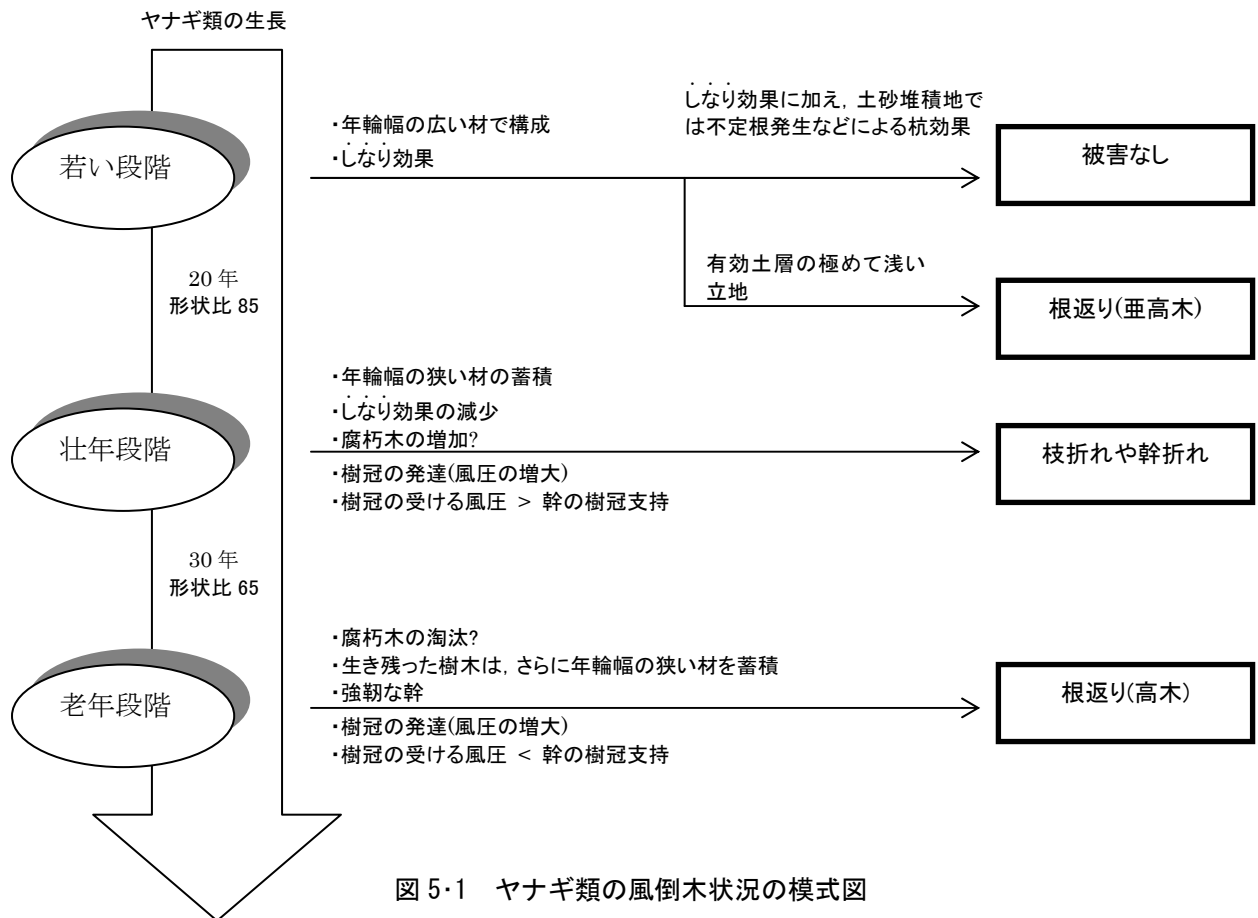
前記までを模式的にまとめると図 5・1 のようになる。若い段階では、年輪幅の広い材で構成され、しなり効果を有していた。さらに土砂堆積地であれば、しなり効果に加え不定根発生による杭効果なども考

えられ、被害なしの状況であった。同じく若い段階でも、高水敷上の自転車道路沿いといった有効土層の極めて浅い立地の樹木は根返りとなっていた。

樹齢 20 年程度、形状比 85 程度の壮年段階になると、年輪幅の狭い材が蓄積され、しなり効果が減少する。また、腐朽木の割合が増加傾向となる。この程度の樹齢になると、樹冠が発達し樹冠の受ける風圧が大きくなり、枝折れや幹折れが生じた。

樹齢 30 年程度、形状比 65 程度の老年段階になると、ある程度の淘汰が進行し、年輪幅の狭い材の蓄積により強靱な幹となる。樹冠はさらに発達し樹冠の受ける風圧は増大するものの、幹の樹冠支持力が強いので根返りが生じた。

以上が、今回得られた河道内のヤナギ類における風倒被害の様式と考えられる。



6. おわりに

本調査で得られたヤナギ類の風倒被害様式より、風倒被害を抑制するためには、樹齢 20 年程度になったヤナギ林を伐採し、それよりも若い段階の樹木がしなる状態で維持することが考えられる。

風倒による被害は、まれな現象であり、これを基に河道内樹木管理について言及することはできないが、今回の調査結果は洪水時の流木発生のメカニズムにも共通する部分があるものと考えられる。

今後は洪水流を対象とした樹木の安定性や流木被害の予測などについて研究を重ね、河道特性と河道内樹木の関係、治水や環境を考慮した河道内樹木のあり方といった総合的な観点からの適正な樹木管理の方法について検討する必要がある。

参考文献

- 1) 中谷 浩(2002)： スギ造林木の冠雪害に対する樹木力学的な取り組み，北方林業，635.
- 2) 日本林業技術協会編(2001)： 森林・林業百科事典，丸善.
- 3) 日本林業技術協会編(1998)： 森を調べる 50 の方法，東京書籍.
- 4) P. Thomas 著・熊崎 実ら訳(2001)： 樹木学，築地書館.
- 5) 札幌管区气象台(2004)： 平成 16 年台風第 18 号 気象速報.
- 6) 新城明久(1996)： 新版生物統計学入門，朝倉書店.
- 7) 渡邊定元(1994)： 樹木社会学，東京大学出版会.

2. 河川を軸とした土砂及び栄養塩類の動態に関する研究

阿部 徹*・裊 義光**・並木嘉男***

1. 研究の目的

水産資源の減少、青潮・赤潮の発生、磯焼け等、近年顕在化しているわが国の河川水域・海域における異変が流域内の森林、農地、都市等における水や土地の利用形態の変化に伴う物質循環の変化に起因するとの指摘がある。これまでは、水溶性の栄養素に着目した研究が多く進められてきているが（財）河川環境管理財団，2000），最近になって土砂及び土砂とともに移動する物質が河川水域及び海域の生態系に多大な影響を与えていることが示されている。

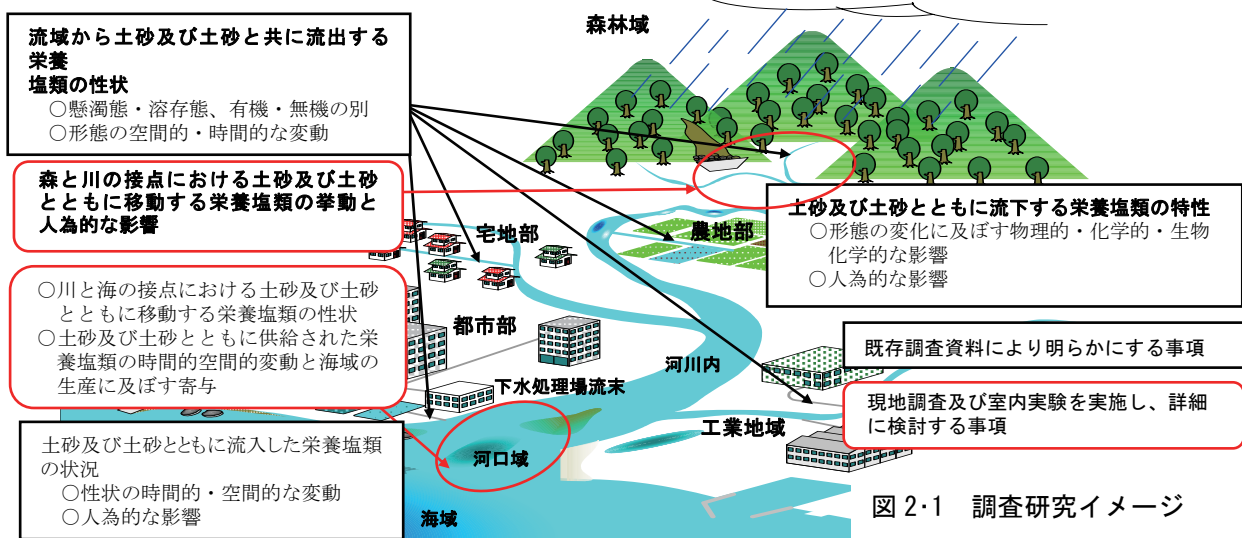
（有明海・八代海総合調査評価委員会会議録，環境省 HP）

本研究は、流域における水循環の望ましいあり方を構築するための流域・河川・沿岸域における今後の施設整備方策検討に資することを目的とし、河川

を軸として森から海へと移動する土砂及び栄養塩類の動態と生態系の健全さの関係に関する調査検討を行ったものである。栄養塩類として、土砂とともに移動する窒素，リン，ケイ酸を対象とした。

2. 研究内容

研究内容の概略を把握するために、既往の調査研究成果をもとに、森林域・河川域・沿岸域の各領域における土砂及び栄養塩類の動態に関する知見をとりまとめた（栗原康，1998）。また、愛知県豊川流域及びその河口前面の三河湾をモデル地域として、森と川，川と海の境界における土砂及び土砂とともに移動する栄養塩類の挙動について現地調査を実施した。調査研究の実施イメージは図 2・1 に示すとおりである。



* (財) 河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究第二部長
 ** (財) 河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究第二部次長
 *** (財) 河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究第二部主任研究員

本研究で対象とする流域とは、対象とする河川の集水域であり、そのうち森林についてのみを検討する場合は森林域と称する。また、河川及び河岸を河川域とし、海域は河川の影響が及ぶ沿岸域とした。

3. 既往文献に基づく知見

3.1 土砂の一般的な流出特性

1) 森林からの流出

図 3-1 は降雨強度に対する土砂流出量を示しており、降雨強度が強くなるにつれて森林からの土砂流出量は増大することがわかる。

また、森林は裸地と比べ、雨滴の衝撃防止、浸透能向上、流出抑制、流出速度抑制などの効果があることから、土砂流出量は少ない。なお、荒廃した山地は、戦後盛んに行われた植林などによって減少したため、現状では土砂の流出は減少していると考えられる(村井宏・岩崎勇作, 1976)。

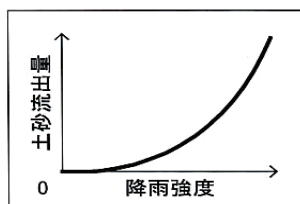


図 3-1 降雨強度に対する土砂流出量

2) 河川での流下

図 3-2 は河床材料の粒径加積曲線を河川の領域別に示したものである。これより、河道に流出した土砂は流速や河床形態、川幅などの影響を受けて滞留・再移動を繰り返しながら流下し、粒径の大きな順に上流側から沈降・堆積することが読取れる。

また、山地から流入して河道を流下する土砂量は、降雨強度の他、地被状況、流域の面積、標高差、土

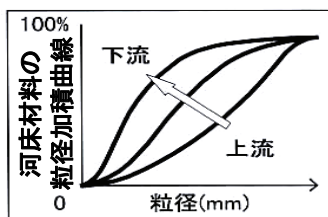


図 3-2 河床材料の粒径加積曲線(河川領域別)

壤の圧縮強度等により変化することも知られている(村井宏ら, 1980)。

図 3-3 は、河口部まで移動する粒径の小さい土砂は、河口部で海水と交わることでそのほとんどが凝集・沈降・堆積することを示す模式図である。

河川の上流部から河口部に流下する土砂量は砂防施設や河川横断施設及び河道掘削などの影響も受けて変動し、河川横断施設に捕捉される土砂の一部は沈降し、そのまま施設内に留まる場合もある。

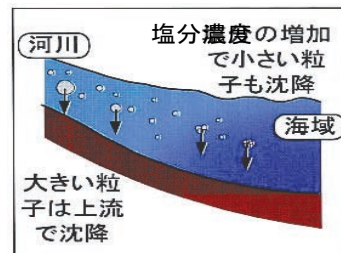


図 3-3 流出土砂の河口部における凝集・沈降・堆積

3) 流域からの流出(森林を除く)

図 3-4 は降雨強度に対する農地からの土砂流出量を示すものである。農地からの土砂流出量は降雨強度の増加に対して指数関数的に増加し、農地の傾斜が急なほど土砂流出量が多いことが知られている。

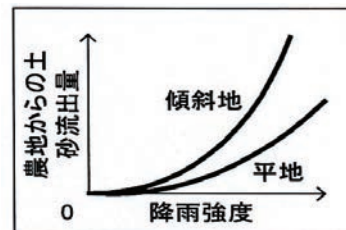


図 3-4 降雨強度に対する農地からの土砂流出

図 3-5 は河川流出量の時間的変動と土砂流出量の関係を示したものである。流域からの土砂流出量は、洪水の増水期に急激に増大し、その後は速やかに減少する傾向を有していることが知られている。

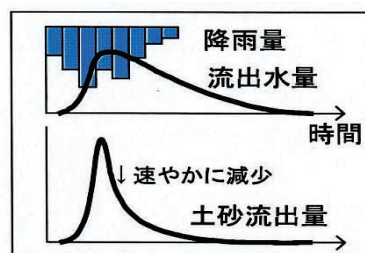


図 3-5 河川流出量の時間的変動と土砂流出

図 3・6 は下水処理場での懸濁物質（SS）処理実態をモデル化したものであり、下水処理場へ流入した懸濁物のほとんどは除去されることを示している。なお、合流式の下水処理場の一部では降雨時の処理能力を上回る流入水を一次処理水または越流水として排出しているのが現状である。

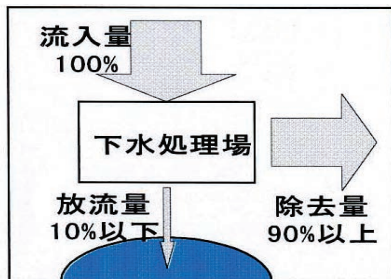


図 3・6 下水処理場の汚泥処理実態モデル

4) 海域での土砂の挙動

図 3・7 は河川域から河口部に流出した土砂の動態を模式的に示したものである。河川から流出した土砂は、その大部分が河口部から沿岸域に沈降し、堆積する。出水時の土砂流出により、土砂が堆積し滞筋や周辺高地で地形が前進したり、地形や底質が変化する。河口部に堆積した土砂は出水後には潮汐や波浪の作用により移動し、土砂移動がバランスを保っている場合には、河口部の地形は出水前の地形に復元する。

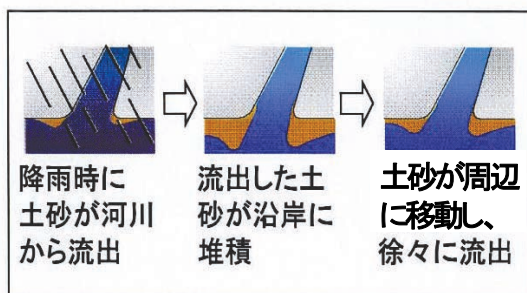


図 3・7 河口部に流出した土砂の動態

5) 土砂と海域生物との関係

底生性の魚介類にとって粒度分布等の底質条件は重要な環境要素であり、底生生物にとって良好な生息環境が維持される条件ではこれらの環境要素は最適な値と耐性範囲を有している。したがって、大量の土が急激に河口部に流出した場合、底生生物の斃死など生物環境に対して悪影響を及ぼすことがある。

3.2 栄養塩類の一般的な形態別の特性

3.2.1 降雨による栄養塩類の供給

降雨によって流域に供給される栄養塩類はほとんど窒素であり、主に溶存態として、大半は硝酸態窒素とアンモニア態窒素で占められている。

1) 森林からの流出

図 3・8 は降雨時における栄養塩類濃度の時間変化を模式的に示したものである。これより、森林から流出する栄養塩類は降雨時に濃度が急激に増加し、この増加は懸濁態の流出によるところが大きいことが知られている。

森林植生の存在が地表流出量（土砂流出量）を抑えていること、森林の植物の養分吸収が窒素、リンなどの流出を抑制していることも知られている。また、伐採と同時に地表が露出すると地表流出量は増大することは多くの事例でも知られている。

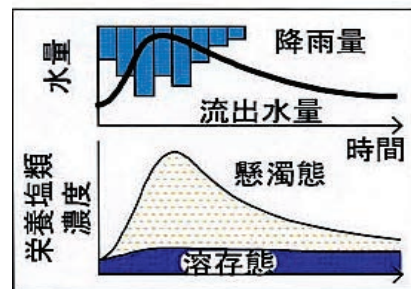


図 3・8 降雨時に流出する栄養塩類濃度分布

2) 河川内での流下

図 3・9 は河川を軸として流下する有機物の流出量を形態別に模式的に示したものである。森林域から流出した粗粒有機物は淵や横断構造物内に貯留され、流下の過程で細粒化し、溶存態へと形態を変化させながら、海域に流出することを示している。

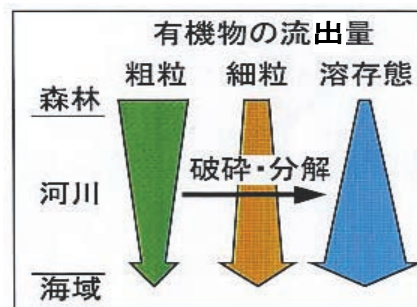


図 3・9 有機物の流出量（形態別）

河川域における窒素，リン，ケイ酸などの栄養塩類の濃度と河川流量との関係は3タイプに大別され，河川流量に対する栄養塩類濃度はタイプごとに異なる。図3-10にこの内容を模式的に示す(有田正光編，1998)。

タイプⅠ：流量増加で希釈され濃度が低くなる。

(固定発生源から流出する栄養塩類)

タイプⅡ：流量増加で濃度が高くなる。

(面源から流出する栄養塩類のうち，懸濁態)

タイプⅢ：流量に対して濃度変化が少ない。

(面源から流出する栄養塩類のうち，溶存態)

溶存態有機物の一部は感潮河川では金属と結合し，懸濁態粒子に取り込まれたり吸着することにより，沈降する。また，リンは多くが微細粒径の土壤に吸着して粗い粒径の土壤(土砂)とともに流出する。

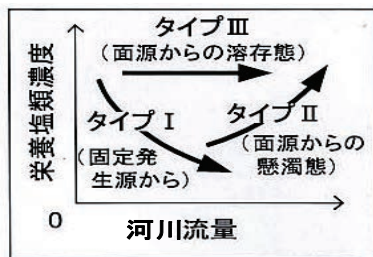


図3-10 河川における栄養塩類の濃度と河川流量との関係

3) 流域からの流出(森林を除く)

図3-11は降雨時に流出する栄養塩類濃度分布を土地利用別に模式化したものである。これより，農地から降雨時に流出する栄養塩類は懸濁態が多いこと，市街地から流出する栄養塩類のうち，溶存態は降雨の流出終了まで徐々に濃度を減少させながら流出し続けるが，懸濁態は流出開始直後に多く流出し，その後は速やかに減少する。

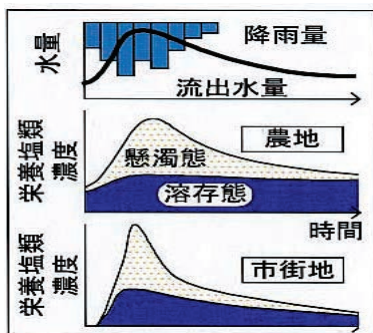


図3-11 降雨時の栄養塩類濃度分布

図3-12は下水処理場に流入した栄養塩類の状況であり，懸濁態栄養塩類の多くは下水処理場で除去されること，大半が溶存態として放流されることを示している((社)日本下水道協会，2003)。

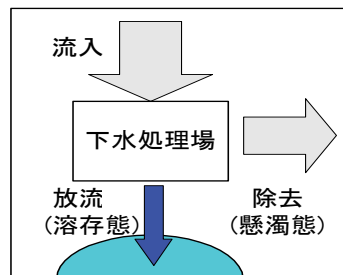


図3-12 下水処理場における栄養塩類の処理状況

4) 河口部・海域での栄養塩類の挙動

図3-13は，塩分濃度に対する栄養塩類濃度の関係を示しており，塩分濃度が増加するにつれて，河川から流出した土壤懸濁物や土壤コロイド粒子の表面の電荷が変化し，凝集，沈殿することによって水中の栄養塩類濃度(硝酸態窒素，リン酸態リン，ケイ酸濃度は減少する(A.J.Paluson, R.A.Feely, H. F.Gengrron,1984)。

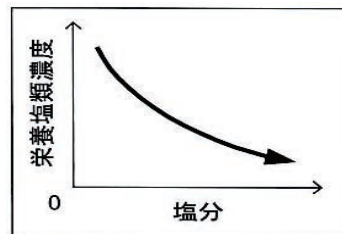


図3-13 塩分濃度に対する栄養塩類濃度の関係

海底に堆積した懸濁態栄養塩類は微生物によって分解・無機化され，溶出する。図3-14は海底に堆積した窒素及びリンの溶出量の模式図であり，窒素の溶出量は好気条件より嫌気条件において多いこと，リンは好気条件ではほとんど溶出せず，嫌気条件になると溶出することを示している。

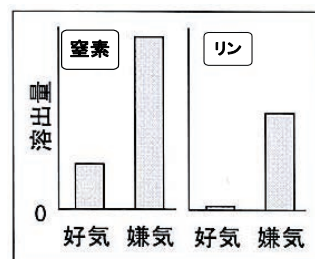


図3-14 海底に堆積した窒素及びリンの溶出

5) 栄養塩類と海域生物との関係

図 3-15 は栄養塩類濃度と生物生産量の関係を模式的に示したものである。これより、栄養塩類濃度が増加すると、植物プランクトンと植物プランクトン食性魚は生産量が増大すること。藻場、ベントス及び底生魚等の生産量は栄養塩類濃度の増加に対し、ある程度までは増加するが、栄養塩類濃度が高くなりすぎると藻場は海中の懸濁物が多くなることで、ベントス及び底生魚等は溶存酸素濃度が低くなることで、それぞれの生産量は低下する（(社)日本水産資源保護協会, 1991）。これらのことから、生物が利用する窒素やリンなど栄養塩類の濃度には適度なバランスが必要であることが理解される。

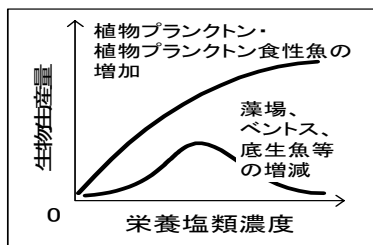


図 3-15 栄養塩類濃度と生物生産量の関係

4. 現地調査に基づく検討

4.1 現地調査地点

関連情報が多くあること、流域及び河川の影響を強く受け、海域の生物生息環境に問題が生じているフィールドとして、愛知県豊川流域及びその前面海域を現地調査フィールドとした。調査の地点を図 4-1 に示す。

4.2 流域における特性

1) 流出水の性状（平水時）

懸濁物質（SS）、窒素、リンとも濃度は低く、平水時は森林域からほとんど流出していないと考えられる。有機炭素、ケイ酸は河川下流と比べ同程度の値であり、溶存態が大半を占めていた。

2) 土壌の性状

森林土壌は、地表流が発生したときに河川に流出

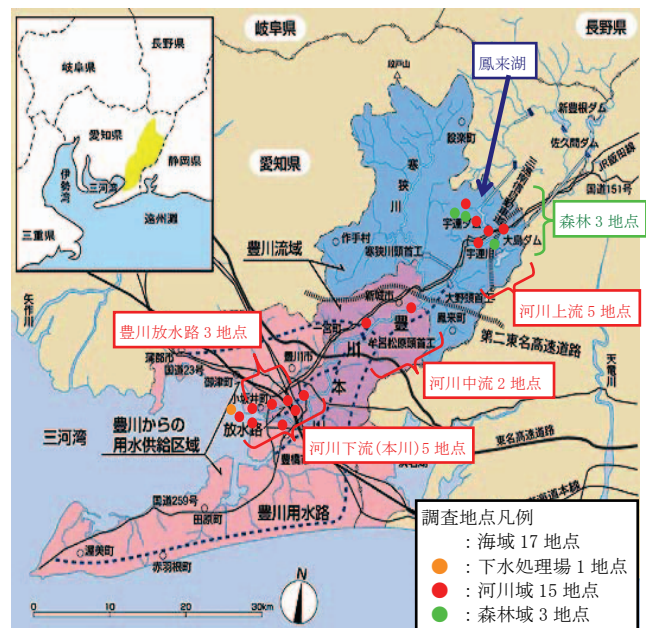


図 4-1 現地調査地点

すると予想される最も上位の A0 層（堆積有機物層）のうち、分解の進んだ層を調査対象とした。有機物を除いた後の調査土壌の粒度分布は粘土シルト分が約 8 割を占めるが、固形物全体では 0.425mm 以上の粒子が大半を占める。

調査土壌中の固形物の約半分程度を炭素が占め、窒素は 15～30 分の 1、リンは 20～50 分の 1 を占めている。調査土壌のうち、針葉樹林の堆積有機物中の有機物は 9 割、窒素は約 1.5%、リンは約 0.04% で、広葉樹林の有機物は約 6 割、窒素は約 2%、リンは約 0.4% であった。

間伐未実施のヒノキ林においては、形のある落葉落枝が既に流出して極めて少ない状態にあり、降雨時に前述の堆積有機物の中で分解の進んだ層が流出すると考えられる。

3) 森林と河川上流の境界での性状

平水時の水質は、森林溪流から河川上流にかけて大きな違いは見られなかった。

治山施設の堆積物や溪流河岸、河川上流における土壌及び底質は、森林土壌で多かった粘土・シルトがほとんど見られず、有機物の割合も減少していた。これは、流出した土砂のうち粒径が大きい粒子のみ堆積し、そのうち分解しない無機物が溪流河岸から上流河床に堆積している結果であると考えられる。

なお、鳳来湖では他の河川上流の地点と比べて底質が森林土壌に近い組成であることから、流速の低下により粘土シルト分も堆積していると考えられる。

栄養塩類のうち、窒素濃度は森林土壌より溪流河岸や河川上流で相対的に高かったことから、有機物の分解とともに流下していると考えられる。一方、リン濃度は森林土壌と同程度であることから吸着などの作用で堆積したものがその場に留まっていると考えられる。

土壌及び底質の間隙水と流水水質とを比較すると、有機物及び栄養塩類とも土壌間隙水のほうが概ね高濃度となっているが、有機炭素濃度は針葉樹林の調査地点で流水水質より土壌間隙水が低く、ケイ酸濃度は全ての森林調査地点で土壌間隙水が低かった。

4) 下水処理場からの排水

豊川浄化センターから放流されるSSは、河口部や海域より低い値であり、有機物の占める割合が多い。粒径分布のピークは、海域や河口部では10 μ m程度であるのに対し、豊川浄化センターでは30 μ mとなっている。

栄養塩類の流出特性については、平水時においては、豊川浄化センターから、炭素、窒素、リン及びケイ酸は河口部や海域より高い濃度で放流されていること、炭素、窒素、ケイ酸は溶存態が半分以上を占めているのに対して、リン及びケイ酸は懸濁態が約半分を占めていることがわかった(図4-2)。

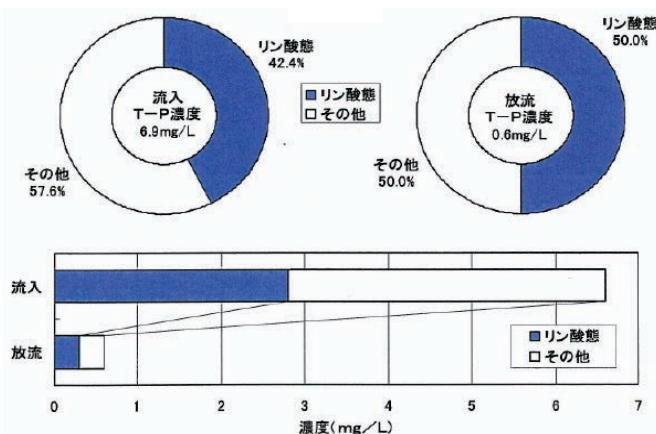


図4-2 豊川浄化センターにおける処理水のリンの形態別内訳

下水処理場から放流される栄養塩類の負荷量は、平水時の豊川河口部からの負荷量に対し、炭素、窒素、リン、ケイ酸は無視できない量である。

4.3 河川域における特性

1) 河川水の性状(平水時)

懸濁物質(SS)は、下流の順流末端付近まで低い値を保ったまま流下し、豊橋市街を流れる河口部付近では有機物、無機物とも濃度が増加する傾向がみられた。

懸濁物質の粒径分布は、順流末端付近より上流で20 μ m以下の粒子が分布しているが、河口部に近い地点では10 μ m前後に明瞭なピークがみられ、塩分濃度の増加に伴う微細粒子の凝集と沈降の考え方を支持する結果となった。

有機物は溶存態が大半を占めており、平水時に懸濁物質とともに流下し海域へ流出する物質はほとんどないと言える。また、BODは上流から河口部まで大きな変化が見られないのに対し、CODは鳳来湖周辺や河口部付近で増加する傾向が見られた。CODの傾向がTOCとほぼ一致していることから、これらの地域では難分解の有機物が増加しているものと考えられる。

窒素の濃度分布を図4-3に示す。これより、上流から下流まで硝酸態が大半を占めている。流下に伴う傾向は、当古橋で濃度が急激に増加しており、河川中流の石田との間で窒素の負荷が生じていると考えられる。

リンの濃度分布を図4-4に示す。これより、溶存態の割合が半分以上を占めるものの、他の水質項目と比べ懸濁態の割合が多い。流下に伴う傾向として、河口部で増加しており、懸濁態の割合も多くなっている。

ケイ酸は、森林溪流から順流末端付近までは変動は大きいがほぼ一定の値となっているのに対し、河口部付近では減少する傾向がみられ、形態別の内訳は溶存態が大半を占めている。この傾向は窒素及びリンの場合と異なる。

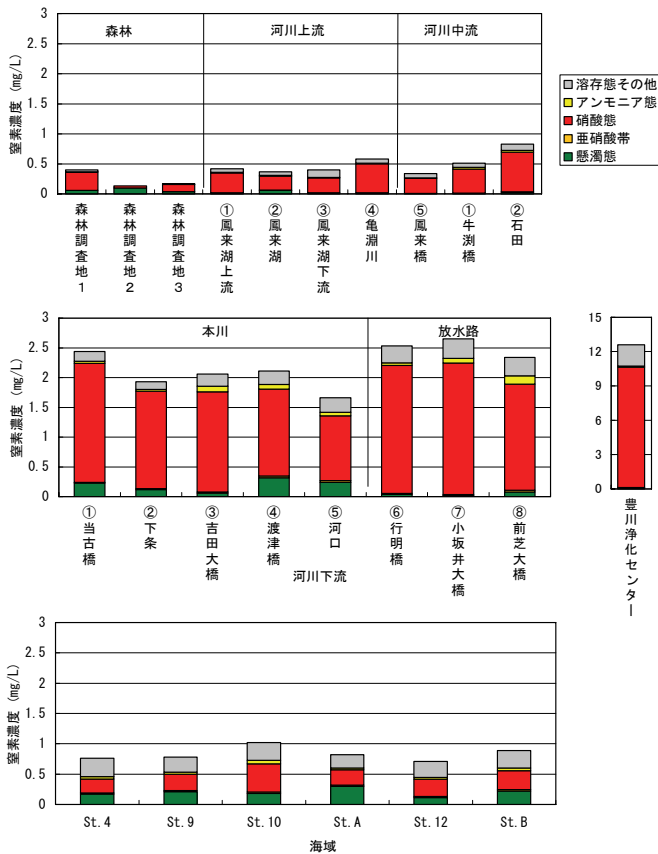


図 4-3 平水時の水質分析結果（窒素濃度）

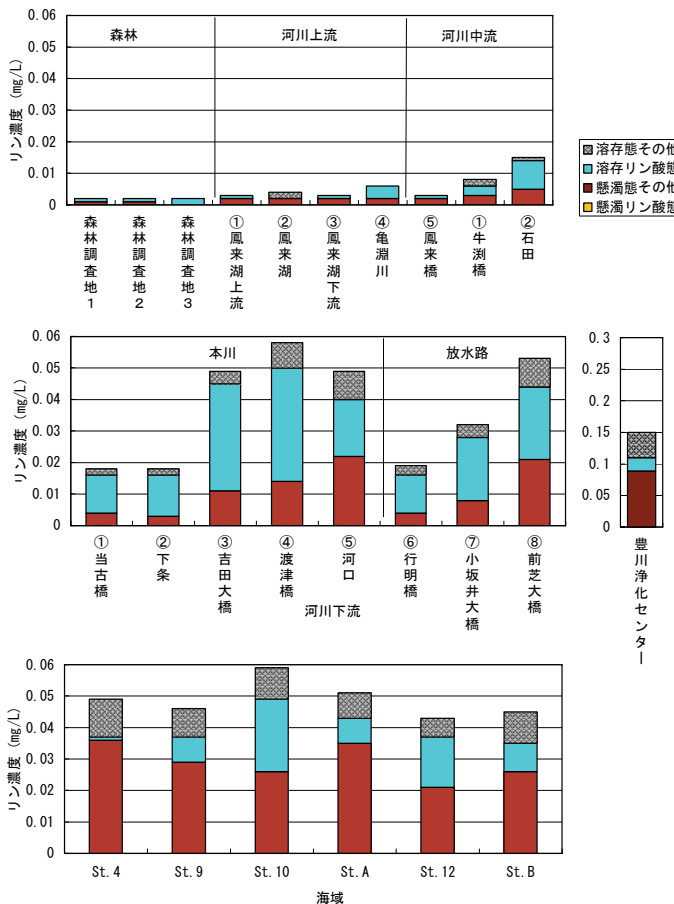


図 4-4 平水時の水質分析結果（リン濃度）

2) 底泥の性状

河川における底質の粒度組成を図 4-5 に示す。これより、粒径は、粗砂より大きい粒子（粒径 0.425mm 以上）が大半を占めており、河川縦断方向で見ると、河口部に近くなるほど細粒化傾向が見られる。

図 4-6 より、強熱減量は河川縦断方向にみると上流で高い傾向がみられるが、含有量としてはわずかであり、有機物の堆積はほとんど生じていない。図 4-7 及び図 4-8 より、リンは土砂や懸濁有機物への吸着・沈降などの作用により、窒素と比べて河床に留まりやすいと考えられる。

図 4-9 より、ケイ酸については、強熱減量の増減と相反する形で増減しており、これは無機物の大半が鉱物由来の土砂であることによると考えられる。

なお、鳳来湖では前述のとおり、流速の低下に伴う堆積などにより他地点と底質特性が異なる。

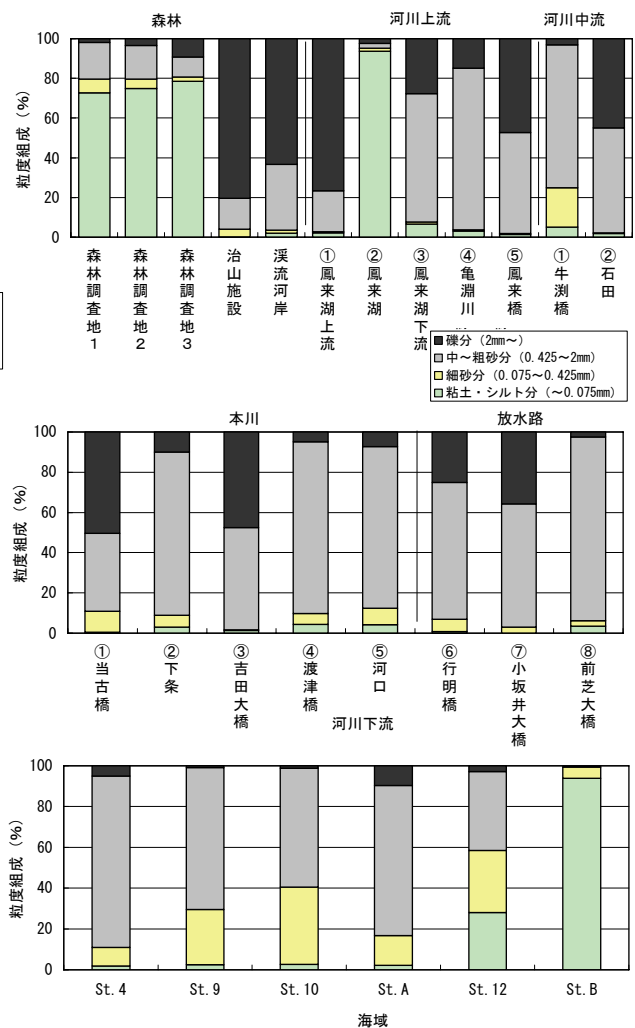


図 4-5 底質及び土壌の粒度分布

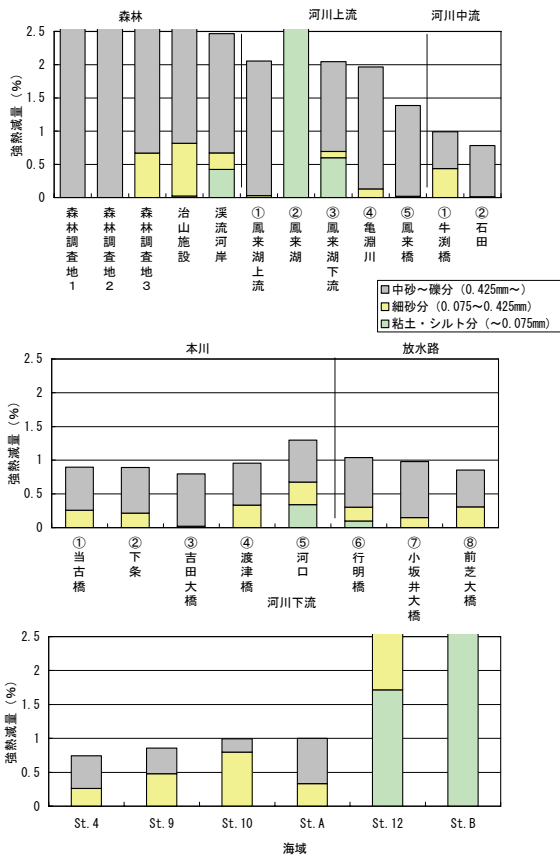


図 4-6 底質及び土壌の強熱減量の粒径別内訳

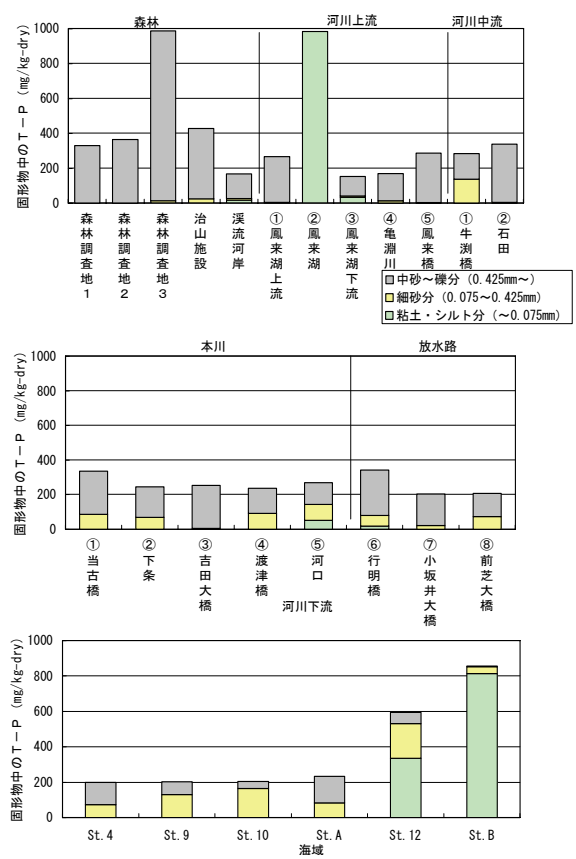


図 4-8 底質及び土壌に含まれるリンの粒径別内訳

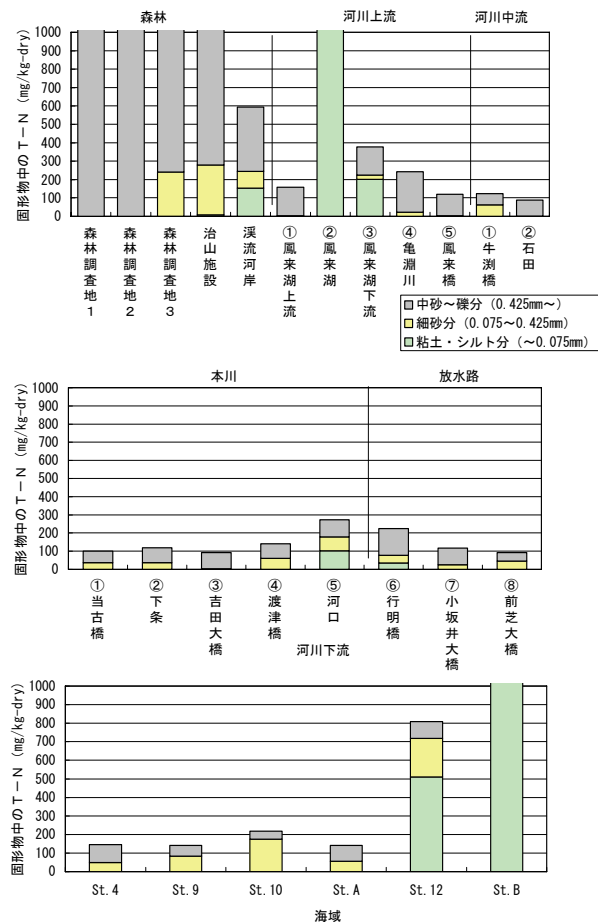


図 4-7 底質及び土壌に含まれる窒素の粒径別内訳

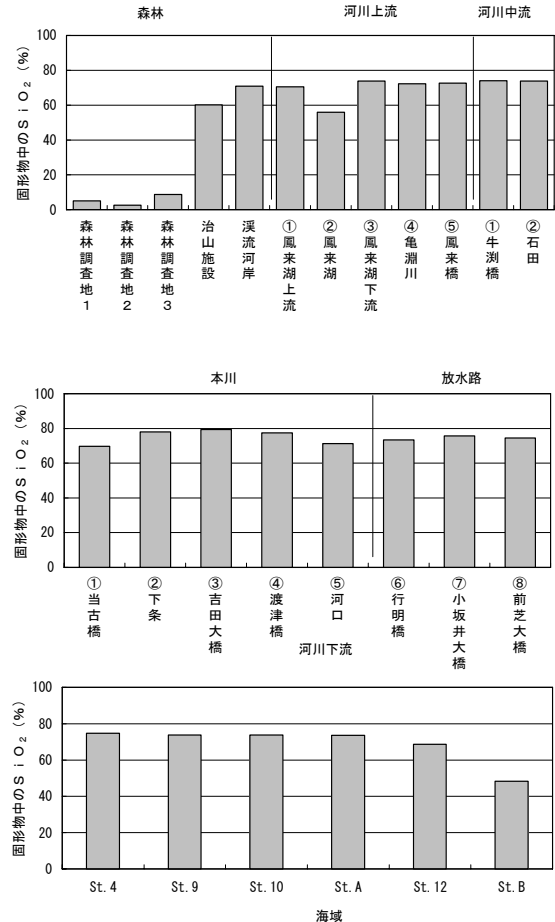


図 4-9 底質及び土壌に含まれるケイ酸の含有量

3) 底生生物の生息状況

上流部に生息する底生生物は、河川外から流入する生物に寄生したりデトリタスを捕食したりするものが大半を占める。流下に従って河川内で生産される藻類などを捕食する濾過食者や剥ぎ取り食者が増え、河川において多様な生物環境が形成される。

鳳来湖では、堆積したデトリタスを収集する生物が大半を占めている。また、河口部では、海域でも確認される種が多くなる。

4.4 海域における特性

1) 海水の性状（平水時）

懸濁物質（SS）は、河口部に近い場所では有機物、無機物とも河口部より高い濃度となった。海域でのこの濃度増加は波浪や潮汐などにより底泥が巻き上げられたことによると考えられる。

懸濁物質の粒径は、河口部におけると同様、順流末端付近より上流と比べ粒径が $10\mu\text{m}$ 前後のものが多い。

有機物濃度は溶存態が大半を占めており、BOD と COD を河川河口部と比較すると COD は若干減少しているのに対し、BOD は増加がみられる。

図 4-3 より、窒素濃度は、河口部と比べ、硝酸態窒素がかなり少なくなる。

図 4-4 より、リン濃度は、河口部と同程度であるが、リン酸態の割合は減少し、懸濁態の占める割合が高くなっている。これより、プランクトンへの取り込みや底泥の巻き上げが生じていることが考えられる。

ケイ酸濃度は、溶存態の濃度が減少し、懸濁態の占める割合が多くなっていることから、海域に流入した後に珪藻類によって取り込みが行われたことが示唆される。

2) 海域への負荷（平水時）

平水時における河川河口部からと豊川浄化センターからの負荷量について試算した結果、SS は河口部からの負荷に比べ豊川浄化センターからの負荷

は極めて少ない。他方、TOC、リン、ケイ酸は豊川浄化センターからの負荷が河口部からの負荷の 5 分の 1 程度となる。また窒素負荷は、河口部の値と比べて約半分程度となっている。豊川河口部周辺には、大規模な処理場が他に 3 箇所あり、そのうち 1 箇所は豊川河口部から 4 km 上流に処理水を放流しているが、豊川浄化センターを含むその他の 3 箇所は海域へ処理水を直接放流している。このため、平水時の負荷を検討するにあたっては、豊川を介さず直接海域へ放流されている負荷量を考慮する必要がある。

3) 底質間隙水と河川水との関係

河川域から海域にかけての有機炭素、窒素及びリン濃度については、底質の間隙水濃度が河川水の水質濃度を上回っている。

間隙水中のケイ酸濃度は、河川域や海域では岸に近い場所では流水と同程度の濃度であるが、沖の場所になるほど増加する。

4) 底泥の性状

図 4-5 より、海域における底質の粒径は、河口部に近い場所では河川域と同様の傾向であり、河口部や岸から離れた沖側の場所において、微細粒分が多くなる傾向がみられる。河口部から流出した微細粒分は、河口付近には堆積せず、沖方向に運ばれて沈降・堆積すると考えられる。

強熱減量は、河口部から遠い沖の場所で高く、10%程度であり、堆積物の多くは無機物である。

窒素濃度は TOC に対して $1/3\sim 1/8$ の値となっているが、沖の場所ほど低くなる。

リン濃度は、沖の場所を除き河川域と同様、窒素と同程度の値となっているが、沖の場所では窒素の約 3.5 倍となる。

ケイ酸濃度は、河川域におけると同様、強熱減量の増減と反対の傾向を示している。

5) 溶出量

豊川河口前面の三河湾から底泥採取して行った

溶出試験結果（表 4-1）より、アンモニア態窒素とリン酸態リンの溶出が確認された。嫌気状態と飽和状態について比較した結果、リンは嫌気状態で多く溶出することが確認された。なお、窒素とリンとの溶出量の比は 2 : 1 程度であり、リンは底泥からの溶出によって多くが供給されていると言える。

表 4-1 溶出試験結果 (単位 : mg/m²・日)

項目	河口		St. 9	St. 10		St. B	
	嫌気	飽和	嫌気	嫌気	嫌気	飽和	
IN	溶出速度	-0.9	-0.4	-0.4	-0.7	-1.8	-0.4
IN	溶出速度	29.8	20.9	1.8	0.5	-0.3	1.8
IN	溶出速度	17.0	20.7	2.6	21.9	26.0	16.2
IP	溶出速度	14.2	4.2	0.0	6.1	15.3	0.3
SiO ₂	溶出速度	15.3	20.2	0.8	1.7	-2.6	-7.6

6) 底生生物の生息状況

底生生物は水深の浅い場所で多くの種が確認され、水深が深い場所では確認種数が少なくなる傾向が見られる。

7) アサリの生息と土砂との関係

アサリの稚貝は、河口近傍の、中砂～粗砂に分類される砂分が多く、有機物が少ない場所に多く生息する傾向が得られた。また、河口に近い場所でも底質に粘土・シルト分を多く含み、水深が浅い場所では生息を確認することができなかった。

5. 現地調査結果に基づく形態別の栄養塩類の挙動

現地調査結果をもとに、形態別の栄養塩類の挙動を整理すると次の通りとなる。

5.1 窒素の形態別挙動

平水時に流下する窒素は、溶存態が大半を占めており、本研究での調査結果によると、森林や河川上流から下流までのいずれの区域においても、溶存態の割合が 9 割以上を占めていた。

森林溪流では窒素濃度が低く森林からの窒素流出量が少ないのに対し、農地や都市部が多くなる中流から下流で濃度が高くなる。

下水処理場から流出する窒素はほぼ全量が溶存態である。

平水時において河川域から海域へ流出する窒素と下水処理場から直接海域へ流出する窒素の割合は、現地調査結果に基づいて算出すると、河川 2 に対し豊川浄化センターが 1 程度であり、その他の処理場からも豊川浄化センターの約 2 倍の窒素が海域へ流出している。

出水時においては、既存資料調査結果によると、とくに懸濁態の流出が多くなる。

以上の内容をモデル化した結果を図 5-1 に示す。

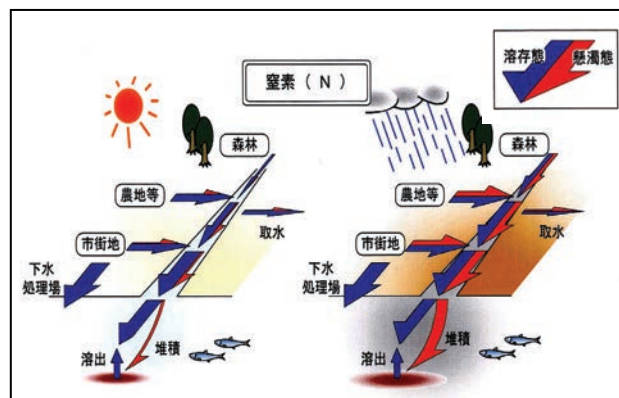


図 5-1 窒素の形態別の動態モデル図

5.2 リンの形態別挙動

平水時に流下するリンは、溶存態が多くを占めているが、本研究で実施した平水時の調査結果によると、懸濁態の割合が多く、窒素の場合と比べると逆の傾向を示す結果となった。

平水時においては、森林溪流や河川上中流ではリン濃度が低く、都市部が多くなる下流で濃度が高くなる。

下水処理場から河川に流出するリンは懸濁態が半分程度を占める。

平水時において河川域から海域へ流出するリンと下水処理場から直接海域へ流出するリンとの割合は、平水時の現地調査結果に基づき算定すると、河

川4に対し豊川浄化センターが1程度で、その他処理場から豊川浄化センターの約4倍のリンが海域へ流出している。

なお、出水時においては、既存資料調査結果によると、窒素の場合よりも懸濁態の流出が多くなる。

現地調査結果に基づき、平水時に供給されるリンと溶出によって供給されるリンを試算した結果、溶出による供給量が上回る。このことから、リンは出水等により懸濁態として海域へ流出し、その後溶出によって溶存態として海域に存在することが示唆された。

以上の内容をモデル化した結果を図5.2に示す。

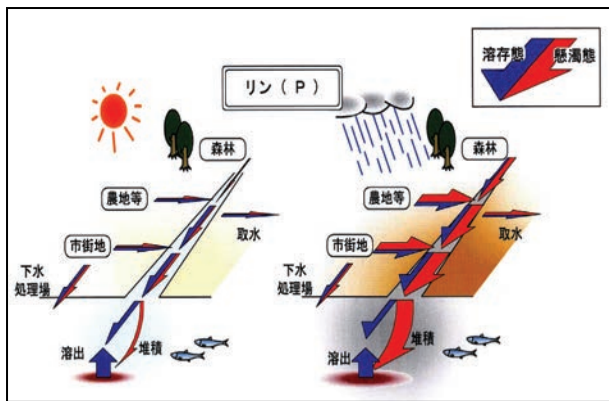


図5.2 リンの形態別の動態モデル図

5.3 ケイ酸の形態別挙動

平水時に流下するケイ酸や、下水処理場から供給されるケイ酸は多くが溶存態で占められていた。

平水時においては、森林溪流から河川下流まで溶存態のケイ酸の濃度に大きな変化は見られない。

下水処理場から流出するケイ酸は、溶存態ケイ酸であり、濃度は森林溪流や河川よりも高い。

出水時に多くの懸濁態ケイ酸が土砂として海域に流出するが、底泥からは溶存態ケイ酸がほとんど溶出しておらず、溶存態ケイ酸は陸域が主な供給源であると考えられる。

以上の内容をモデル化した結果を図5.3に示す。

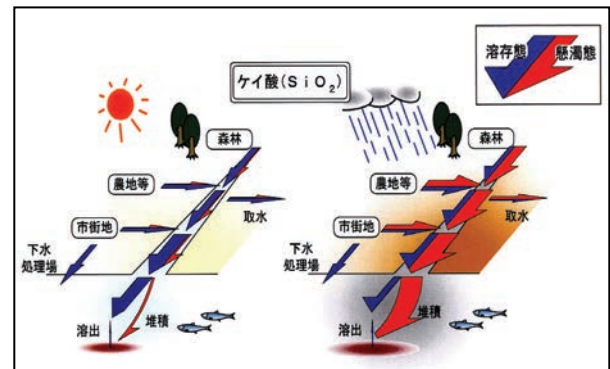


図5.3 ケイ酸の形態別の動態モデル図

6. おわりに

一般に、海洋中の植物プランクトンは、光合成によって、海水に溶け込んでいる炭素、窒素、リンを一定のバランス（炭素：窒素：リン=106：16：1）で取り込むことが知られている。この関係はレッドフィールド比（Redfield ratio）と呼ばれる。

豊川流域及び豊川河口前面の三河湾の現地調査より、レッドフィールド比と比べて、当該地域においては河川上流では炭素の比率が高く、河川下流や海域ではリンの比率が高い傾向があることが確認された。

また、海域における底泥の溶出試験結果から得られた窒素とリンの比にもとづいて海底におけるリンの溶出について整理すると、平常時においては、河川から窒素が多く供給されるのに対して、海域では窒素に対してリンの溶出が多いことがわかった。このことは、リンの溶出経路には、出水時に土砂とともに海域へ流出し、海底に堆積した後に溶出する場合と、長期に渡って海底に堆積した底泥から溶出する場合が考えられ、これらの経路は海底におけるリンの溶出機構解明において重要であることが示唆された。

今後は、出水時における栄養塩類の動態調査を行い、本研究において得られた平常時における栄養塩類の動態と合わせてとりまとめを行う必要がある。

謝辞

検討に際しては、「栄養塩類に着目した森・川・海の土砂移動に関する検討会」(委員長：高橋正征，高知大学海洋学部教授)の委員の皆様にご指導をうけたことをここに記述して御礼申し上げます。

参考文献

- 1) (財)河川環境管理財団(2000)：感潮河川の水環境特性に関する研究。
- 2) 栗原康(1998)：河口部・沿岸域の生態学とエコテクノロジー，東海大学出版会，pp.150～160。
- 3) 村井宏・岩崎勇作(1976)：林地の水および土壌保全機能に関する研究(第2報)，林試研究報告，286。
- 4) 村井宏・岩崎勇作・照井隆一・金田宣昭(1980)：北上流域における山地土壌の貯水能の推定について，91回日本林学会論文集，pp.405～407。
- 5) 有田正光編(1998)：水圏の環境，東京電機大学出版社。
- 6) (社)日本下水道協会(2003)：平成13年度下水道統計。
- 7) A. J. Paluson, R. A. Feely, H. C. Curl, F. F. Gendron(1984)：Water Res., 18, pp.633～641。
- 8) (社)日本水産資源保護協会(1991)：漁場環境容量策定事業報告書(第一分冊)

I - 2 河川環境管理計画に関する調査研究

3. 流量変動の変化が沖積河川生態系に及ぼす影響

山本晃一*・阿部 徹**・岸田弘之***・婁 義光****・並木嘉男*****

1. はじめに

多くの河川では、洪水等の攪乱を受け砂利河原であった河道が、近年、みお筋が固定され、植生が繁茂する、樹林化が進行するなど、河道の形態や河道内の動植物の状況の変化が目立っている。

河川およびその周辺域は、流水および流送土砂によって侵食堆積などの攪乱を受ける特異な場所である。この攪乱の形態と規模および頻度が河川およびその周辺域に生息する植物・動物などの生態系の構造と変動を規定している。これが河川生態系を特異なものとし、生物多様性の根拠となっている。

平成9年の河川法改正により、河川管理の目的に治水・利水に加えて河川環境が加えられ、この特異な場所である生態系の保全・復元が大きな事業目的となってきた。しかしながら、河川生態系の構造とその変動形態については十分な研究調査がなされておらず、また既存の知見も各学問領域の方法と情報編集方式によるため、河川生態系に影響を与える諸要因間の相互作用について体系的な記述がなされているものは少ない。また、流域の開発や河川構造物の建設・操作による攪乱要因の変化という人為的インパクト（作用）が河川生態系にどのような影響を与えているかについても明確にされていない。

本研究は、主に山間部に築造される大ダム等による流量レジームおよび流送土砂量の変化による沖積河川の地形変化と河川生態の応答特性を明らかにし、河川生態系の変化量を予測・評価しえるようにする

ことを目的としている。

研究は、既往の研究論文を収集整理し、知見の集約を行い、また河川管理者へのアンケートから流量変動や河道、生態系の変化の認知度を調査した。さらに、その実態を把握するため、流量変動の生じている代表的な河川における河道の変化や生態系の変化の実例についてとりまとめた。そして、既往の研究論文や実河川での実態から、人為的インパクトによる流量変動と流送土砂量の変化による沖積河川の河道変化と生態系の変化シナリオを作成した。

なお、本研究では、河道特性の変化等を捉えるにあたり、河道を縦断的にセグメント区分して研究を行った。セグメント区分とは、沖積河川の縦断形状は多くの場合、同一勾配を持ついくつかの区間に区分することが可能であり、その区間内においては、洪水時に河床に働く掃流力や低水路幅・深さも概略同じような値を持っていることから、河床勾配が同一で、似たような特徴を持つ区間ごとに河道を区分することをいう（山本, 1994）（4章参照）。

2. 河川流量変動の変化による河川生態系の応答変化に対する認知状況

2.1 既往河川環境研究論文の状況

流量変動と河川環境の関連性に関する既往の調査研究事例を収集し、その内容について整理した。文献は、流量と環境の2つの項目について関連する和

* (財)河川環境管理財団 河川環境総合研究所長
** (財)河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究第2部長
*** 国土交通省 河川局 海岸室長 (前, 河川環境総合研究所 研究第2部長)
**** (財)河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究第2部 次長
***** (財)河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究第2部 主任研究員

文の既往文献を JICST 等を用いて抽出した 110 文献を対象とした。

1) テーマ別研究文献数

収集した文献を“ダム放流と生態系”，“洪水攪乱と生態系”及び“流量変動と生態系”といった3つのテーマに区分すると図 2・1 のようになる。その数の割合は，“洪水攪乱と生態系”に関する文献が 42%，“ダム放流と生態系”に関する文献が 27%を占め、この2つの分野で全体の 69%を占めた。“ダム放流と生態系”については、ほとんどがダムの弾力的運用による河川環境の変化に関する文献である。また，“洪水攪乱と生態系”については、48 文献のうち 25 文献(52.1%)が河川生態学術研究会(多摩川・千曲川・木津川)に関する文献であった。

さらに、既往文献の調査地区から推定されるセグメントについて整理すると図 2・2 のようになる。既往

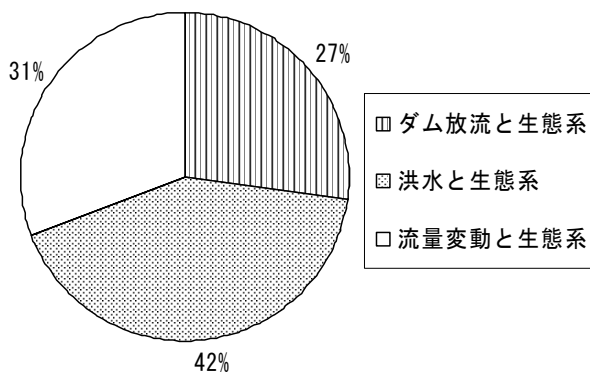


図 2・1 既往文献のテーマ別割合

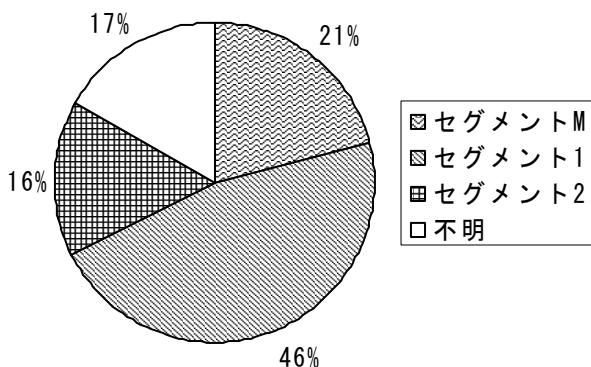


図 2・2 調査対象領域のセグメント

文献のうちほぼ半数がセグメント 1 を調査対象としている。セグメント M は、ダム等直下を対象としているものが多い。セグメント 2, 3 に関する研究報告は比較的少ない。

2) 調査対象生物種の数

調査対象生物種で見ると、植物(樹木)に関する文献が全文献の 27%を占め、次いで植物(草本)17%、付着藻類 17%、底生動物 16%、魚類 11%、水質 9%の順となっている(図 2・3)。これ以外の鳥類及び陸上昆虫類の洪水前後の挙動に関する研究はわずかである。

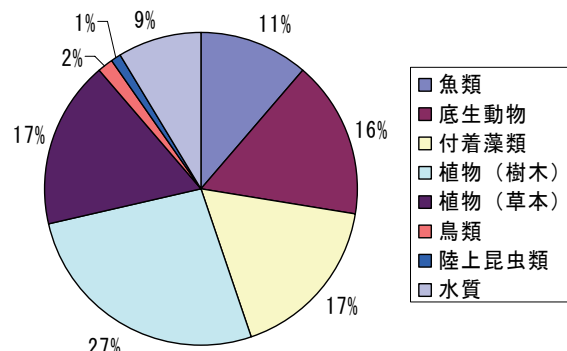


図 2・3 既往文献の調査対象生物別割合

また、テーマ別に見ると、植物(樹木)及び植物(草本)については、“洪水攪乱と生態系”のテーマで多く研究されており、特に、河床低下、洪水による比高差拡大、細粒土砂に伴う植生繁茂に関する研究が多い(多摩川・千曲川・渡良瀬川・手取川・矢作川・神流川)。

これに対して、底生動物、付着藻類および魚類では“ダム放流と生態系”のテーマでの研究成果が多く、底生動物では、流量安定化による造網性トビケラ類等の安定した河床に生息する生物の増加など、付着藻類では流況の安定化に伴う藻類の異常繁殖及びそれに伴う腐敗、魚類では水量減少や水温変化による遡上阻害、仔稚魚の減少、礫底を生息・繁殖場とする魚類の減少等が報告されている。

2.2 河川管理者の認知状況

河川管理者の流量変動と河川環境との関連性に関

する意識を把握するために、流量変動が及ぼす生態系への影響の実態把握のためのアンケート調査を全国の直轄河川を対象として実施した。

アンケートでは、

- ①ダムによると思われる流量変動の変化が見られるか。
- ②ダムによる流量変動の変化によって影響を受けたと考えられる下流域の河川環境の変化が見られたか

という観点について、質問を行った。回答は、ダム下流の河川管理者から76件、得られた。

1) ダムによると思われる流量変動の変化の有無について

「ダムによると思われる流量変動の変化が見られるか?」という設問に対して、直轄管理ダム下流の直轄管理区間76件のうち、41件(54%)で「ダムによると思われる流量変動の変化が見られる」と回答している。

これをセグメント別に見ると、セグメント M、セグメント1、セグメント2、セグメント3の順となっている。このことはダムが建設されている上流部に近い場所ほど、ダムによる流量変動の変化が認知されやすいことを示している(図2・4)。

2) ダム下流域の河川環境の変化について

流量変動による変化があると回答のあった河川に

ついて、表2・1のような質問をした。その結果、ダム下流域における物理環境の変化としては、河床への泥の堆積、アーマ化、中州の固定化、みお筋の固定化等が見られるという回答が総回答の25%以上を占めた。生物環境の変化として河道内樹林化、河道内の植生繁茂、乾燥した立地の植物が増加した等が総回答数の25%以上を占めた。このうち河道内樹林化についてはほぼ半数で変化が確認されている(図2・5)。

3) 生物関係の変化の因果関係

生物に関する環境変化が他のどの項目と同時に認知されているかを整理することにより、項目間の相互関係を関連の強さを把握した。表2・2にその整理結果を示す。この表は河川環境の変化についての動植物に関する各質問(質問 No. 13~24: 表中の「A」で示したもの)の回答が「変化あり」という場合の、

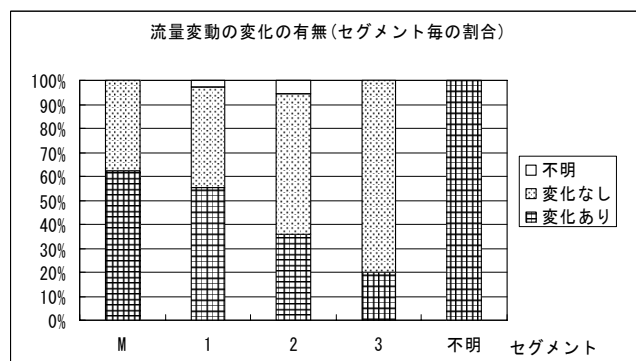


図2・4 流量変動の変化の有無

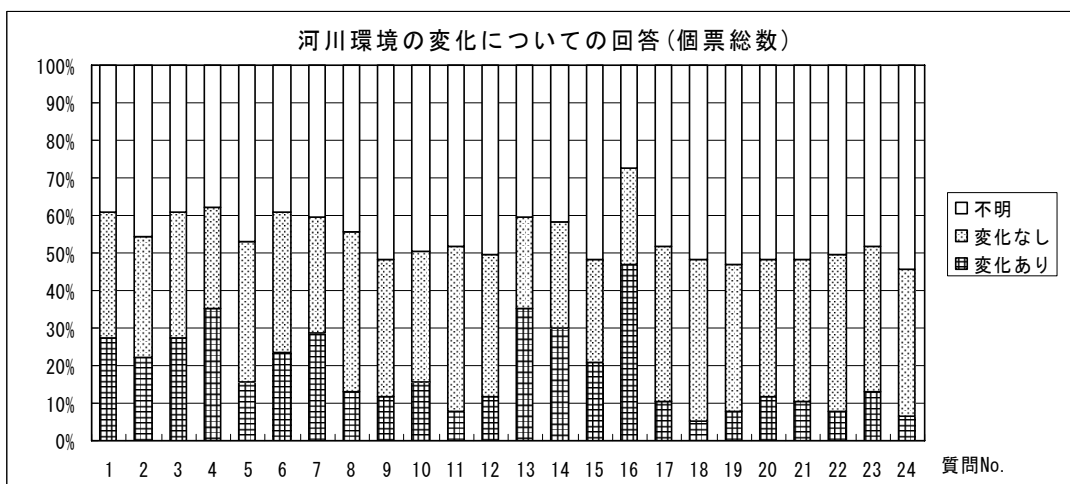


図2・5 河川環境の変化に対する項目別変化認知度(上図の質問No.の内容は表2・1に示す)

表2-1 質問項目の内容

物理環境	1	河床に泥が堆積するようになった
	2	早瀬によく見られる浮き石帯が減少した
	3	河床材料が粗粒化（アーマー化）した
	4	かつては出水の度に形状が変化していた中州の固定化が進んだ
	5	淵が浅くなった
	6	低水路（みお筋）の幅が狭くなり、干出した場所が広がった
	7	低水路（みお筋）の固定化が進んだ
	8	河川横断方向の複断面化が進んだ
	9	河川敷のワンドが本川と連結する機会が減少した
	10	かつての早瀬が平瀬の様相を呈するようになった
	11	よどみやワンドなどの止水域が増えた
植物関係	12	湧き水の量が減少したり、湧き水の場所が少なくなった
	13	河原に植物が繁茂するようになった（例：オウソノケガサ、シダレスメガヤ）
	14	河原固有の植物が少なくなった（例：カラノキク、カラハハコ）
	15	乾燥した立地に見られる植物群落が増加した（例：オウソノケガサ、クス）
	16	河道内が樹林化した（例：ハリエンジュ、ヤギなど）
	17	糸状藻類の大発生が見られるようになった（例：アオミドロ、カシオケガサ）
動物関係	18	早瀬の平瀬化に伴い、シルトや細砂に生息する底生動物が増えた（例：ユスリカ類）
	19	浮き石帯に生息する水生昆虫が減少した（例：マダラカゲロウ類）
	20	浮き石帯の砂礫に産卵する魚類が減少した（例：カムツウケイ・アマゴ）
	21	早瀬が減少し、砂礫の川底を主な生息空間とする魚類が減少した（例：カガカ類）
	22	早瀬が平瀬化したため、平瀬でよく見られる魚類が増加した（例：オイカワ）
	23	水位低下に伴い魚類の移動障害が見られるようになった（例：アユ、サケ）
	24	湧水の減少によりこれに依存する魚類が減少した（例：ホケドシヨウ、スヤツメ）

表2-2 表2-1における生物の変化項目と他の変化項目との同時認知率（単位：％）

質問No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
A 13	21	33	45	67	14	48	52	29	17	26	10	12	69	43	79	10	5	26	19	17	24	24	10	
14	22	34	39	71	12	56	61	27	27	27	15	15	71	46	78	7	5	27	20	17	24	37	12	
15	21	29	58	79	29	54	75	42	21	17	0	17	75	79	92	13	4	13	25	17	13	33	13	
16	21	28	38	57	21	45	53	22	14	16	5	12	57	55	38	10	2	16	16	12	12	22	7	
17	73	73	64	73	27	27	27	18	27	27	18	27	36	27	27	55	18	18	45	18	0	27	18	
18	50	75	25	25	25	25	25	0	25	75	25	75	50	50	25	25	50	25	25	50	0	25	25	
19	42	67	33	58	17	67	58	25	25	33	33	33	92	92	25	75	17	8	42	33	42	25	33	
20	69	77	54	85	23	31	62	38	23	23	8	38	62	62	46	69	38	8	38	38	8	15	31	
21	42	42	17	67	25	42	67	33	17	58	8	50	58	58	33	58	17	17	33	42	33	42	25	
22	15	31	15	54	23	54	38	15	31	62	15	23	77	77	23	54	0	0	38	8	31	31	23	
23	22	28	44	61	28	67	61	17	39	61	17	22	56	83	44	72	17	6	17	11	28	22	22	
24	50	63	38	63	38	50	38	38	75	50	13	88	50	63	38	50	25	13	50	50	38	38	50	

他の質問の回答との相関をみたものである。「A」の質問の回答が「変化あり」で、表中の他の質問も「変化あり」だった場合の確率(%)を示した。なお、橙色のマスは50%以上の値である。

これを見ると生物に関する環境の変化項目の9割以上が他の項目と同時に変化として認識されている。このことから、何らかの流量変動に起因する動植物の河川環境の変化が起こっている場所では、陸域植生の変化(植生繁茂・樹林化など)が起こっていることが認知されている。また、これらの陸域植生の繁茂に関連する物理環境の変化として「4. 中州の固定化」が同時に認知されている。

3. 個別河川における変化の事例

アンケート調査の結果、流量変動の変化による河道や生態系に対する変化があるとされている4河川を対象に事例調査を行った。ここでは、砂利河川の手取川、砂利河川の矢作川について、ここで紹介する。

3.1 手取川

1) 河川概況

手取川は、石川県の霊峰白山(標高2,702m)に源を発し、尾添川、大日川などを合わせながら石川郡鶴来町地先に至り、これより山間部を離れ、石川県の誇る穀倉地帯である加賀平野を西に流れて石川郡美川町にて日本海に注ぐ流域面積809km²、幹川流路延長72kmの一級河川で、全流域面積の91%を山地が占めている(図3-1)。

上流部は白山を中心とした白山国立公園となっており、全国有数の良好なブナ自然林や高山植物の宝庫であり、中流部では手取川峡谷がその美しい姿を見せながら、下流に行くに従って大扇状地を形成している。上流～中流部にかけては、瀬・淵がよく発達しているが、下流部の扇状地についてはほとんどが瀬に近い状態で、上流部で見られる深い淵はみられない。

手取川の基本高水流量は、鶴木地点で(1994年改定)6,000m³/sである。

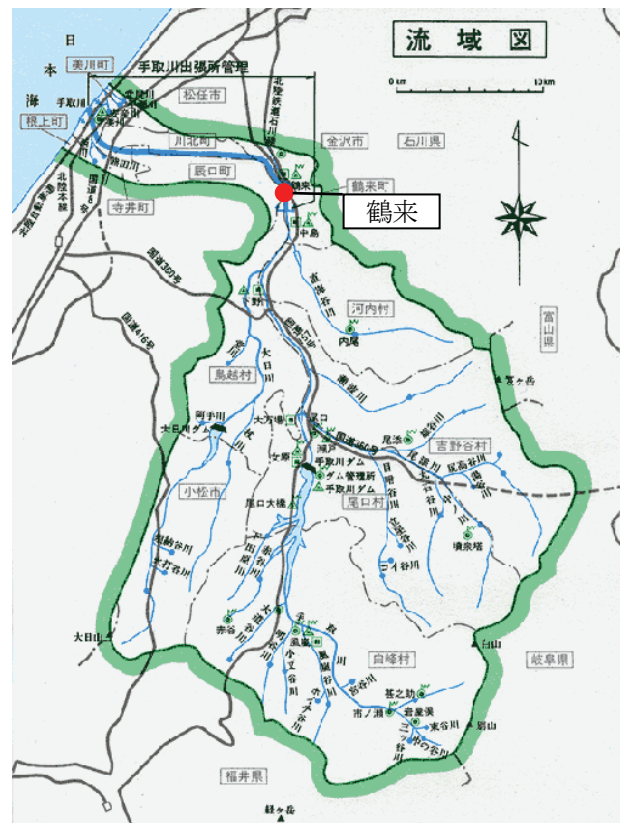


図3-1 手取川流域図

2) 流量調節施設建設等による流況の変化と土砂環境の変化

河口より約40km上流に位置する手取川ダムは1979(昭和54)年に竣工した有効貯水量190,000×10³m³の多目的ダムである。手取川ダムの集水面積は247.2km²で手取川流域の約31%を占めている。また、近年10ヶ年の年間流入水量が1,112.1×10⁶m³であることから、ダム回転率(総流入量/総貯水量)は約4.8回/年で手取川に対する人為的インパクトとしての位置付けは大きい。左支川大日川の建設された大日川ダム(1996年竣工)は流域面積89km²で総貯水量は27,200×10³m³であり、本川への影響はそれほど大きくない。図3-2に手取川ダム及び大日川ダムの計画洪水調節図を示す。

河口より19.0km上流の中島地点でダムの建設による平均年最大流量の変化を見ると図3-3のようになる。ダム建設前の1954年から1979年で1,694m³/sが完成後1980～2001年で1,081m³/sとなり(ダム完成前の64%)、ダム建設前後で約610m³/sの減少(36%減)となっている。

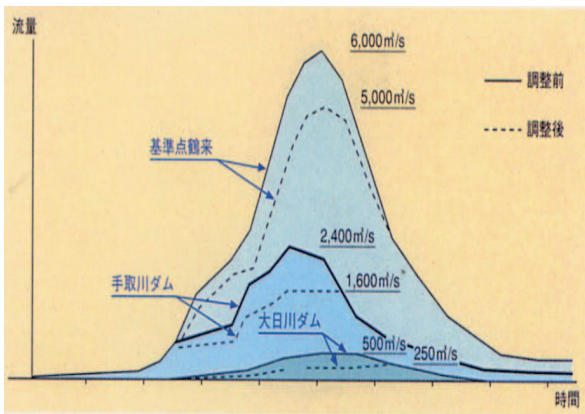


図 3-2 計画洪水調節図

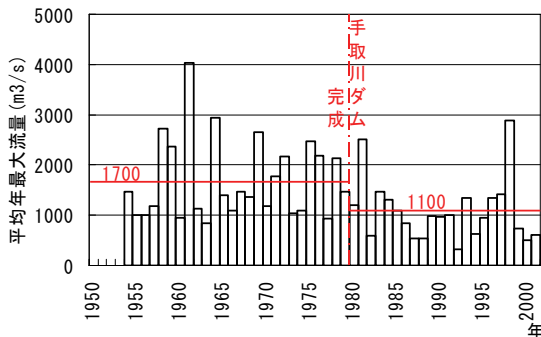


図 3-3 中島地点の年最大流量変化

また、手取川ダムの回転率は約 4.8 回/年であることから Brune による回転率と補足率の関係 (Brune, 1956) を用いて評価すると、ダムによる土砂の補足率は 90~95% 程度と推定される。手取川ダムの集水面積が手取川の全体の 31% を占めるため手取川の河道の土砂環境に及ぼす影響は大きい。

一方、砂利採取は 1955 年頃より開始され、1967 年には用途規制指定河川に指定され、1982 年には計画採取は終了している。

3) 河床材料特性とその変化

河床材料は 1979 年当初で平均粒径が河口部を除いて 50~60mm 程度であった。しかし、次第に粗粒化が進行し、1993 年、1999 年の調査資料によれば、平均粒径は 2 倍以上の値に変化しアーマ化している。

河口部付近の平均粒径については、大きな変化はみられない。

4) 河道特性量とセグメント区分

河床縦断面形、河床材料、川幅より、河口より上流の 17km の区間を河道形状、河床材料等の河道特性量より以下の 4 区間に小セグメント区分した。ここで、小セグメントとは、同一セグメント内でも、河道特性によっていくつかの小セグメントに分けることができることから、特性に応じてセグメントをさらに区分して 1-①~1-④とした (表 3-1)。

表 3-1 代表区間のセグメント区分

区間	17~13.5km	13.5~7km	7~2km	2~0km
代表粒径 (60%粒径)	121mm	149mm	70mm	38mm
平均河床勾配	1/130	1/150	1/200	1/410
セグメント区分	1-①	1-②	1-③	1-④

5) 各セグメントにおける河道変化

手取川ダムの建設等による流量変動の変化による河道及び植生の変化について、航空写真を示すとともに、変化状況を取りまとめた。

(1) 17~13.5km (セグメント 1-①)

平均河床勾配はダム建設前後ともに 1/130 で変化はない。1965 年から現在までに平均河床高は 1m 程度低下している。ダム完成以前から徐々に低下の傾向があり 0.3m 程度低下していたが、ダム完成後の 5 年間で 0.2m 程度低下した。さらに、1991 年以降に 0.5m 低下した。滞筋は、ダム完成以前から、固定化しており、本区間の上流部にはベドロロックが露出していた。砂州形状は単列砂州であった。ダム完成以前から本区間は河床低下傾向にあり、河床材料も大きくアーマ化の傾向があった。平均年最大流量時の川幅も 125m 程度で下流のセグメントの 1/2 程度しかなかった。ダム完成後は、平均年最大流量が減少したため、湾曲部外岸の標高の高いところは洪水攪乱の減少により草原化、樹林化が進行し、高水敷幅が増加した (図 3-4)。

(2) 13.5~7km (セグメント 1-②)

平均河床勾配はダム建設前後ともに 1/150 で変化はない。1965 年から現在までに平均河床高は 2m 程



(1960年)



(2000年)

図3-4 手取川(14.0km付近)

度低下している。ダム完成前の10年間で1m程度低下した。これは掘削によるものである。さらにダム完成後の5年間で0.3m低下した。その後一時、河床低下が治まったが1991年以降に0.2mの低下があった。ダム完成以前においては2~3列の多列砂州であったが、洪水流量の減少により、砂州の標高の高いところは掃流力が減少し攪乱されなくなり、草本やヤナギが進入、活着し、島状地形の発達とみお筋の固定化が進行しつつある。また河床材料も大きくなりC集団の割合が増加している(図3-5)。

(3) 7~2km (セグメント1-③)

平均河床勾配はダム建設前後ともに1/200で変化はない。1965年から平均河床高は0.5m程度低下している。1965年から1970年までの間に0.3m程度低下し、その後一時、河床低下は治まった。しかし、ダム完成後に0.2m程度低下した。ダム完成以前においては4列の多列砂州であったが、洪水流量の減少により、砂州の標高の高いところは掃流力が減少し



(1960年)



(2000年)

図3-5 手取川(9.0km付近)

攪乱されなくなり、草本やヤナギが進入、活着し、島状地形の発達とみお筋の固定化が進行しつつあるのは、セグメント1-②と同様であるが、その進行程度はセグメント2-②より遅い。本区間は堆積空間であることがこの差異を生み出しているであろう(図3-6)。

(4) 2~0km (セグメント1-④)

平均河床勾配はダム建設前後ともに1/410で変化はない。本区間は1960~1970年代の河床掘削によって形成された小セグメントであり、河床材料中には砂分が30%ほどあった。ダムの完成後の河床低下は小さく平均粒径も大きな変化はない。砂州の頂部には草本やヤナギの進入が見られる(図3-7)。



(1960年)



(2000年)

図 3-6 手取川(3.0km 付近)



(1960年)



(2000年)

図 3-7 手取川(1.0km 付近)

3.2 矢作川

1) 河川概況

矢作川は、その源を中央アルプス南端の長野県下伊那郡大川入山（標高 1,908m）に発し、根羽川、名倉川等の支川を合わせながら山岳地帯を貫流し、平野部に出て巴川、乙川と合流した後、矢作古川を分派し、三河湾に注ぐ、幹流路延長 117km、流域面積 1,830km²の一級河川である(図 3-8)。流域の地形は、上流域では、標高 1,000m 前後の三河高原からなり、中下流域では、西三河平野として丘陵地や低地からなっている。

縦断勾配は、矢作古川分派点までは 1/1,100～1/2,200 程度となり、それより河口部までは、1/2,100～1/4,600 程度である。源流から小原村（60km 付近）までは溪流の様相を、小原村より下流の中畑橋（5km 付近）までは瀬と淵が混在する中流域の様相を呈し、中畑橋より河口までは瀬と淵の区別が明瞭でない静水域が広がる。矢作川の基本高水流量は、岩津地点で（1994 年改定）8,100m³/s である。



図 3-8 矢作川流域図

2) 流量調節施設建設等による流況の変化と土砂環境の変化

河口より約80km上流に位置する矢作ダムは、1971（昭和46）年に竣工した有効貯水量 $65,000 \times 10^3 \text{m}^3$ の多目的ダムである。

矢作ダムの集水面積は 505.5km^2 で矢作川流域の約28%を占めている。また、近年10ヶ年の年間総流入量が $768.4 \times 10^6 \text{m}^3$ であることから、ダムの回転率は13.2回/年である。なお、電力ダムである船戸ダムが1929年に完成している。このダムは総貯水量 $2,876 \times 10^3 \text{m}^3$ で流域面積 941km^2 である。また、35km地点に明治用水取水堰がある。矢作川下流河道に与えた直接的な人為的インパクトとして影響の大きいものは、この3つの施設である。

図3-9に矢作ダムの計画洪水調節図を示す。

河口より29.2km上流の岩津地点におけるダム建設(1971年)による日流量の流況の変化を比較すると表3-2のとおりである。豊・平・低・渇流量はすべて減少傾向にある。これは明治頭首工地点より取水され、その水が還流しないためと考えられる。

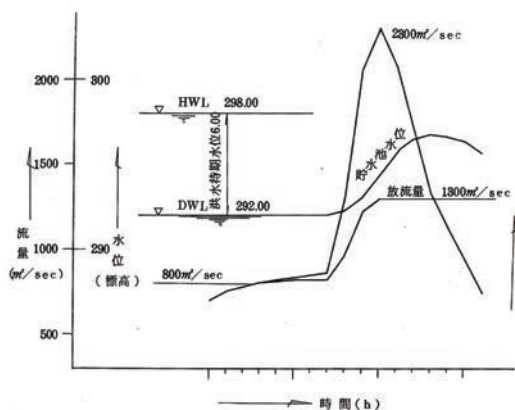


図3-9 矢作ダムの計画洪水調節図

表3-2 矢作川の流況（岩津地点）

	平均流況 (m^3/s)	
	1950～1971年	1972～2001年
豊水流量(95日)	55.1	39.6
平水流量(185日)	37.1	23.7
低水流量(275日)	26.5	13.6
渇水流量(355日)	12.2	4.8

平均年最大流量は図3-10はダム建設前の1946年から1971年で $1,754 \text{m}^3/\text{s}$ が完成後1972～2000年で $1,240 \text{m}^3/\text{s}$ となり（完成前の71%）、約 $500 \text{m}^3/\text{s}$ の減少となっている。

矢作ダムの回転率は13.2回/年である事から、ダムによる土砂の補足率80～90%程度と推定される。ただし、ダムから流出するのはシルト・粘土性分で、砂分以上はほとんど補足される。矢作ダムの集水面積は矢作川流域山地面積(60.1%)の45%を占め、矢作川ダム下流河道の土砂環境に及ぼす影響は大きい。

砂利採集は1961年頃には年間55万 m^3 /年に達し、それとともに矢作川の河床低下が問題となり、1963年には砂利採取の規制が始まった。その後、1974年に特定砂利採集計画が実施され、1988年には採集計画は終了している。

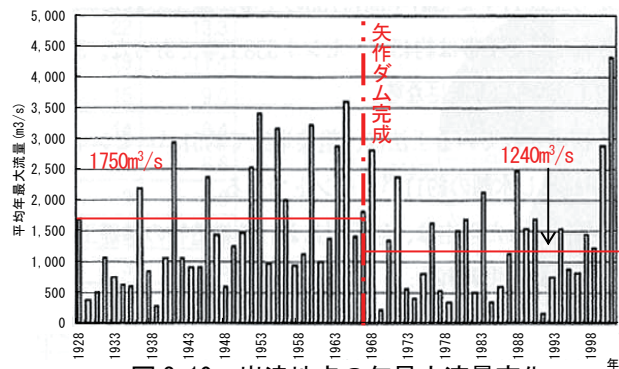


図3-10 岩津地点の年最大流量変化

3) 河床材料特性とその変化

1961年以降の河床材料の変化を図3-11に示す。河床材料は1961年当初は対象の全区間にわたって

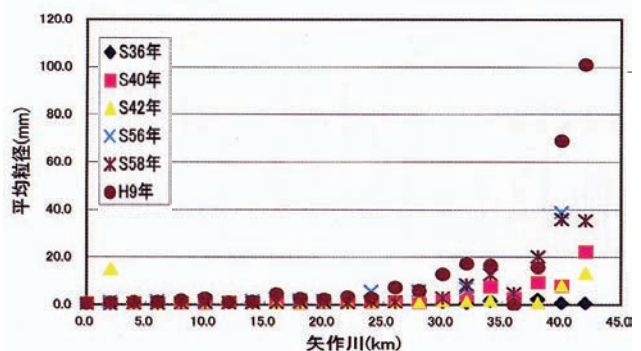


図3-11 河床材料の平均粒径縦断面図

平均粒径が2mm前後であった。しかし近年、上流側より粗粒化が進行し、上流区間（34～30km）では、1997年の調査資料によれば20mm程度の平均粒径となっている。さらに、この傾向は下流側へと移動している

4) 河道特性量とセグメント区分

河口より上流の34kmの区間を、現況の河道形状、河床材料等の河道特性量より以下の3区間にセグメント区分した。なお、セグメント2-1の区間はダム建設前の河床材料は粗砂のセグメント2-2の特性を持つ区間であった(表3-3)。

表3-3 代表区間のセグメント区分

項目 \ 区間	34～30km	30～13km	13～0km
代表粒径 (60%粒径)	20mm	2mm	2mm
平均河床 勾配	1/1,100	1/1,350	1/5,200
セグメント 区分	2-1	2-2-①	2-2-②

5) 各セグメントにおける河道変化

矢作ダムの建設等による流量変動の変化による河道及び植生の変化について、航空写真を示すとともに、変化状況を取りまとめた。

(1) 34～30km (セグメント2-1)

平均河床勾配はダム建設前後ともに1/1,100で変化は殆どない。しかし、河床は3m程度低下し、さらにみお筋の固定と河床材料の粗粒化により河床は移動しにくくなっている。

河床材料は、小礫(粗砂)の供給減により砂利に変化している。32.0kmの低水路幅は中水敷が形成され、横断面の経年変化からみると250mから130mに減少し、ダム建設以前の比ベ52%となっている。32km地点は縮小率の大きな断面であり、本セグメントの平均では、65%程度である。

また、30.0km付近における植生変化を見ると、1948年には植生はほとんど見られなかったが、1973年以降、木本を中心に植生面積が増加していることが判る。上流部の矢作ダム建設が1971年であることから、

ダム建設以降に植生繁茂が進行したことが示唆される(図3-12)。



(1958年)



(1996年)

図3-12 矢作川(32.0km)

(2) 30～13km (セグメント2-2-①)

平均河床勾配は1/1,250から1/1,350にやや緩やかになっている。平均河床は2m程度低下し、さらにみお筋の固定により河床は移動しにくくなっている。

河床材料は上流側の一部で砂利化は進行している。13.6km断面の低水路幅は中水敷が形成され230mから150mに減少し、ダム建設以前の比ベ65%となっている。13.6km地点は縮小率の大きな断面であり、本セグメントの平均では、80%程度である。

また、14.0km付近における植生変化を見ると、上流部と同様に植生の経年的な増加が見られるが、樹林が顕著に確認されるのは1996年以降であり、34～30kmほどには樹林化が進行していないことが判る。このことは河道内樹林化が上流から進行していることを示唆する(図3-13)。



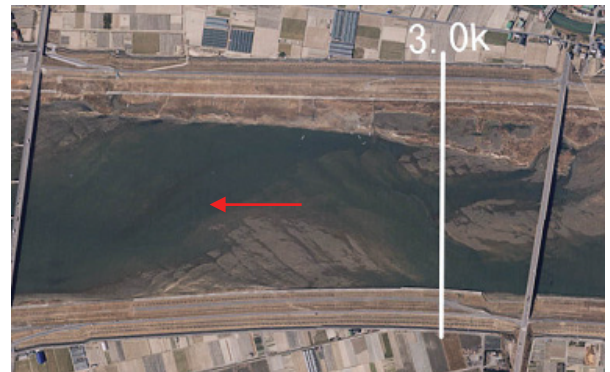
(1958年)



(1958年)



(1996年)



(1996年)

図 3-13 矢作川(14.0km)

図 3-14 矢作川(3.0km)

(3) 13~0km (セグメント 2-2-②)

平均河床勾配は 1/3,300 から 1/5,200 へと緩やかになっている。平均河床は 0~2m 程度低下している。うろこ状の砂州は人為的な掘削も加わり列数が減少し、3~6km は単列的になっている。

河床掘削により 0~3km 区間は汽水域化し、川幅の減少は少ないが、それより上流は川幅が減少している。

また、6.0km 付近の植生変化を見ると、植生の発達は見られるが、1973 年以降ではむしろ減少傾向を示している。理由としては人為的掘削による汽水域環境の上流への移動が考えられる(図 3-14)。

4. セグメントごとの生態系の変化シナリオの作成

4.1 河道と河川環境の変化の基本的考え方

ダム等の流量調節施設の建設は、洪水による被害の軽減、平常時の流量の安定、渇水流量の増加など、人々の生活や生物の生息環境に恩恵をもたらしている。しかし、以上のように、ダム等の流量調節施設が建設され、洪水流量等が変化、特に、減少することにより、河道や河川環境にも大きな変化も生じている。

今回収集した文献、河川管理者へのアンケート調査および個別河川における河道の変化の整理より浮かび上がる大ダム築造および取排水による河川流量変動と流送土砂の変化がもたらす河川生態系の主な変化は、以下のものである。

- ・川幅の縮小
 - ・河床低下
 - ・河床材料表層のC集団の増加(アーミング化)
 - ・淵・瀬の消滅と平瀬化
 - ・島状地形の発達⇒川幅の縮小
 - ・高水敷の樹林化, 鳥類相の変化
 - ・攪乱の減少による植生相の変化(河原性植生の減少)
 - ・島状地形上と高水敷への草本類の侵入, 樹林化
 - ・付着藻類種の変化(糸状藻類の増加)
 - ・造網性昆虫の増加
 - ・魚種と量の減少(アユの産卵場の減少)
 - ・アジサシ等の河原礫上に産卵する鳥類の営巣数の減少
 - ・砂川生態系から礫床生態系への変化
- これら河道及び河川環境の変化は, 相互に関係して生じており, 河川の形態や場所によってそのプロ

セスが異なってくる。

ここでは, 流量変動の変化による河道及び河川環境の変化について, シナリオとしてそのプロセスをセグメント区分ごとにとりまとめた。なお, シナリオを作成するにあたり, 流量と河道の変化の関係, 河道と河川環境のつながりについて, 次のような観点を基本とした。

1) セグメント区分

本研究で用いているセグメント区分における, 各セグメントと地形区分, 河床材料, 勾配等の概略の関係は表4-1に示す通りである。

各セグメントでは, 河道特性が似ていることから, 流量変動の変化によって生じる河道の変化も同様な現象が現れるものと考えられる。また, 一般的に河川生態系についても, 河道特性の変化に応じて変わるものと考えられる。

表 4-1 セグメント区分(山本, 2004)

セグメント区分	セグメントM	セグメント1	セグメント2		セグメント3
			2-1	2-2	
地形区分	山間地	扇状地	谷底平野	自然堤防帯	デルタ
河床材料の代表粒径 dr	さまざま	2cm 以上	3cm~1cm	1cm~0.3mm	0.3mm 以下
河岸構成物質	河床河岸に岩が出ているところが多い	表層に砂, シルトが載ることがあるが薄く, 河床材料と同一物質が占める	下層は河床材料と同一, 細砂, シルト, 粘土の混合物		シルト・粘土
勾配の目安	さまざま	1/60~1/400	1/400~1/5000		1/5000~水平
蛇行程度	さまざま	曲がりがない	蛇行が激しいが, 川幅水深比が大きいところでは8字蛇行または島の発生		蛇行が大きいものもあるが小さいものもある
河岸侵食程度	非常に激しい	非常に激しい	中, 河床材料が大きい方が水路はよく動く		弱, ほとんど水路の位置は動かない

2) 流量と低水路の関係

図4-1は、日本の一級河川沖積河道区間において平均年最大流量 Q_m 時に低水路河床に働く平均掃流力（流水により河床に作用する摩擦力である。ここでは掃流力 τ を水の密度 ρ_w で除した摩擦速度の2乗 $u_*^2 = g \cdot H_m \cdot I_b$ で表してある。 g は重力加速度、 H_m は平均水深、 I_b は河床勾配である。 $1\text{cm}^2/\text{s}^2$ は、 $0.1\text{N}/\text{m}^2$ に相当する）と代表粒径 d_R （河床材料のうち小粒径成分であるマトリックス材を除いた河床材料の平均粒径）の関係を示したものである（山本, 1994）。

この図は洪水という中規模攪乱の累積積分を時間平均化したものを場の状態量でもあり、潜在的自然河道（動的平衡河道）といえるものである。

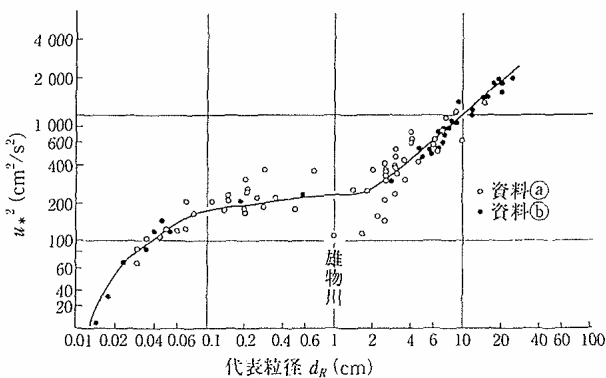


図4-1 日本の沖積地河川の u_*^2 と d_R の関係
(山本, 1994)

低水路のスケール、すなわち、川幅 B 、河積 A 、水深（低水路満杯流量時の水深） H_m は、図4-1および平均年最大流量時の流速係数 ϕ と代表粒径 d_R の関係を示す図4-2より（山本, 1994）、平均年最大流量 Q_m 、河床勾配 I_b 、代表粒径 d_R の3量でほぼ評価される。なお低水路満杯流量は平均年最大流量に近い。

図4-2より、 ϕ は d_R と I_b によってほぼ定まるので

$$\Phi = f_1(d_R, I_b) \quad \dots\dots\dots (4.1)$$

図4-1より

$$u_*^2 = f_2(d_R) \quad \dots\dots\dots (4.2)$$

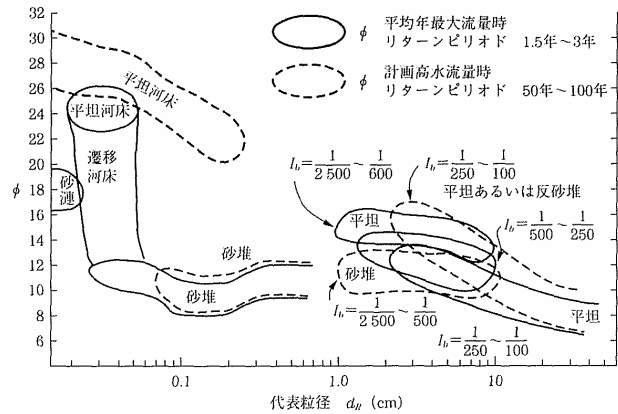


図4-2 ϕ と代表粒径の関係（山本, 2004）

であるので、

$$u_*^2 = g \cdot H_m \cdot I_b \quad , \quad Q_m = B \cdot V_m \cdot H_m$$

より

$$H_m = g^{-1} \cdot f_2 \cdot I_b^{-1} \quad \dots\dots\dots (4.3)$$

$$B = f_1^{-1} \cdot f_2^{-3/2} \cdot g \cdot I_b \cdot Q_m \quad \dots\dots (4.4)$$

$$A = f_1^{-1} \cdot f_2^{-1/2} \cdot Q_m \quad \dots\dots\dots (4.5)$$

となる。

平均年最大流量時の水深と代表粒径、勾配の関係は、図4-3のようになる。

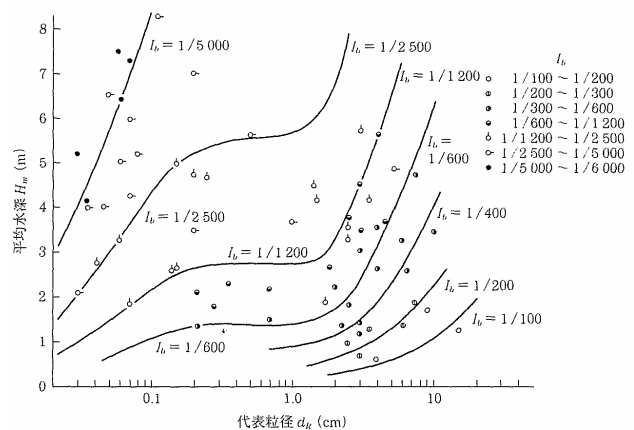


図4-3 平均年最大流量時の平均水深 H_m と d_R 、 I_b の関係
(山本, 2004)

以上のように、河道の平均的なスケールは、 Q_m 、 d_R 、 I_b の3量の関数として表現しうる。

よって、本研究では流量（平均年最大流量）が変

化することにより、低水路のスケールが変化するということを念頭にとりまとめた。

3) 河道と植生の関係

河川およびその近傍に生える植生は、洪水という攪乱を受け、これに耐えられる植生が生き残り河川植生という独自の植物景観を形づくる。河川周辺の環境は、植物の生育環境として他の陸上の環境とは明らかに異なった性質を有している。それは時々起こる冠水と通常の著しい乾燥という水分条件の両極端にまたがる状態を交互に繰り返すことや、時には生育基盤である表土が洪水により破壊されるということに代表される。そればかりでなく水湿地から乾燥地までの環境傾度に従った植生立地を見出すことができる。それは川の横断方向に見ていった場合にも、縦断方向に見ていった場合にも見出される。

河川微地形さらには河床材料、氾濫原土壌、氾濫原表層土壌水分は、セグメントごとに変わるので、河川生態系の一般的特性を河川水質とセグメントにより分類・記述可能である。すなわち、セグメントは河川生態系の河川縦断方向空間区分（空間方向の変化）として適用し得る。

こうした環境上の特殊性は、そこに生育する植生の状態（群落組成、生活型、相観等）を規定し、逆に植生の状態からその立地の環境条件を推定できることを示している。つまり河川敷に生育する植生の状態は、その場所の環境条件の指標となり得る。

4) 事例調査による河道の変化の共通性

既往研究成果のとりまとめ、前項で示したような実河川における河道変化をみると、河道の変化には、共通性が見られる。前述のように、平均年最大流量が、低水路のスケールを規定しているといえ、流量が減少すれば、河道は、その流量に見合った河道スケールに自然に変化しようとする。そのため、流量の変化した河道のほとんどでは、川幅の縮小やみお筋の固定化が見られている。また、セグメント1の河川では、砂州頂部の冠水頻度の減少による砂州の固定化や島状地形の発達が共通的にみられる。さらに、セグメント2の河川では、多列砂州であった河

道の砂州の数が減少する、湾曲部内岸側の砂州の発達などの共通性がみられる。

このように、実河川の状況等をみると、流量が減少したことによる河道の変化は、セグメントによって同じような変化がみられるといえる。

4.2 セグメントごとのシナリオ

1) シナリオの全体構成

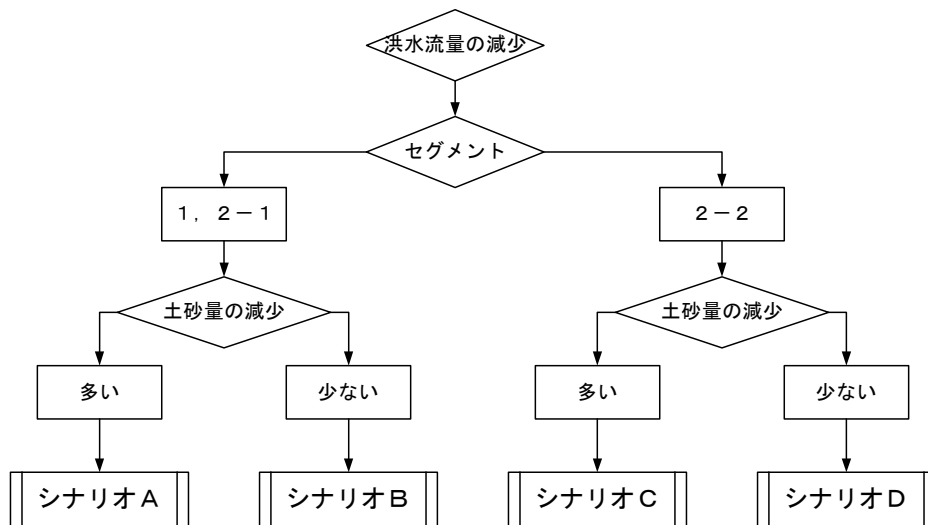
以上のように、既往の研究成果や実河川における河道の変化などを勘案すると河道及び河川環境の変化のシナリオは、前述のようにセグメントごとに変わるとともに、流量調節施設より下流で、支川等による土砂供給がなされるなど、土砂量の変化も影響している。そこで、セグメントと土砂供給量の変化量も考慮して、シナリオを作成した。なお、本研究では、沖積河川における河道及び河川環境の変化を対象としており、セグメント1、セグメント2-1、セグメント2-2について、シナリオを作成した。また、セグメント2-1の区間については、河道の変化は概ねセグメント1と同様な挙動を示し、ただし、その変化速度が遅いことから、セグメント1と同様なシナリオとした。

本研究でとりまとめたシナリオは図4-4に示すような4つである。それぞれのシナリオを以下に示す。

2) シナリオA

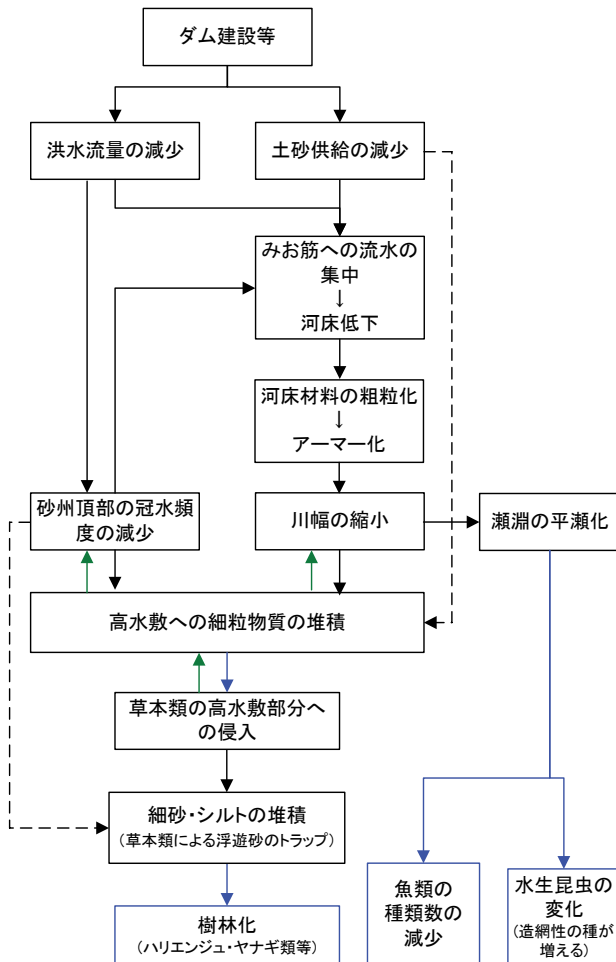
シナリオAは、セグメント1の扇状地河川の扇頂部から扇中央部の河道を考えた。扇状地上流近くに大規模な流量調節施設等が建設され、平均年最大流量が減少した場合である。流量調節施設建設により流量に対応する砂分より粗粒の土砂が供給されないとする（流量調節施設地点と検討対象区間の距離が短く、土砂の供給源がない）。シナリオAのプロセスを以下に記す（図4-5）。

○ステップ1: 河道には複列砂州が形成されている。砂州頂高は、平均年最大流量時の平均河床高より2~5割程度高い所にある。草本が豊水流量より高いところに馬蹄形状をして生える。これは平均年



※セグメント2-1は、セグメント1同様な変化をするが、応答速度が遅い。

図 4-4 シナリオの構成



(セグメント 1, 2-1 洪水流量および流送土砂量の減少)

図 4-5 シナリオ A

最大流量程度の洪水が生じると破壊され川原となる。

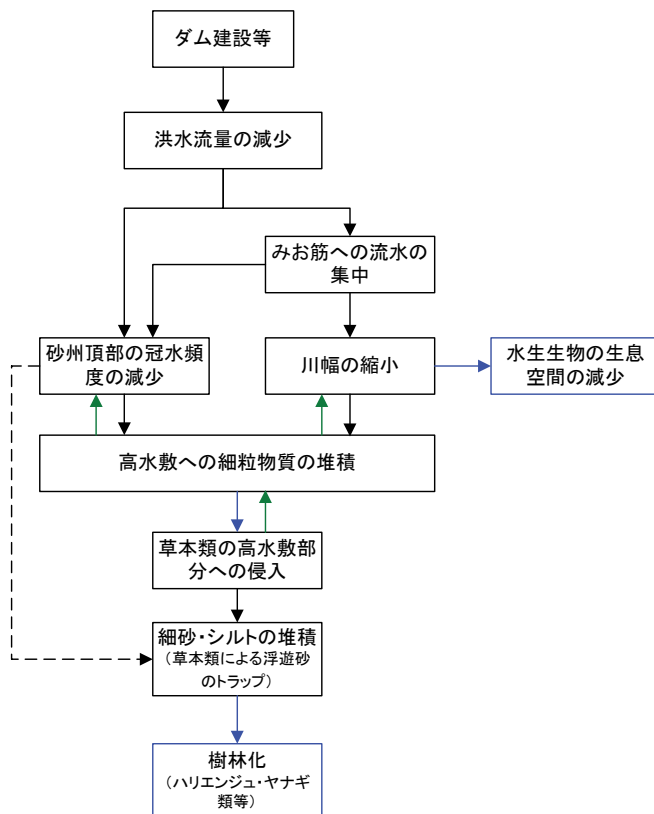
- ステップ 2：洪水流量および供給土砂量が急減するため、改変前の滞筋に流水が集中し、上流から滞筋部の河床低下が進む。瀬のところは上流から供給土砂の減少のため河床が低下しC集団の河床材料が多くなる。
- ステップ 3：砂州頂部の冠水頻度が滞部の河床低下および洪水流量の減少に伴って減少し、そこに小粒径のものが堆積する。ただし、細粒分の供給土砂も減少するため堆積速度が小さく、細粒土層の形成が貧弱で、草本類が侵入し始める。
- ステップ 4：草本類の繁茂によりさらに、細粒分が堆積し、そこに、ヤナギ、アキグミ、ハリエンジュ、オニグルミ、エノキなど木本類が侵入する(5~15年程度経過)。
- ステップ 5：C集団が河床面の60%程度を覆うと河床低下は止まり(パラレルデグラデーション, 山本, 1976)平瀬状となる。アーマ化される区間は時間とともに延伸する。アーマ化の進行中は、流水部の瀬と淵の標高差が小さくなり、瀬の標高に高いところは河床低下により粒径が大きくなる。アーマ化されたところは大洪水でも動かなくなる。川幅は粒径が大きくなるので、洪水流量減少比以上に縮小する。

○ステップ 6：河道は淵と瀬の標高差が小さくなり平瀬状となる。低水路幅は平均年最大流量相当となり静的安定状態となる(15~40年経過)。高水敷化された空間は樹林となる。水生生物の種が変化する、造網性の水生昆虫が増える。魚類は種が少なくなる(砂、小礫を生育環境とする種の減少)。

3) シナリオB

セグメント1の扇状地河川の扇央部から扇端部の河道を考えた。河川上流の大規模な流量調節施設等が建設され、平均年最大流量が減少した場合である。流量に対応する砂分より粗粒の土砂は供給されるとする(建設した施設と検討対象区間の距離があり、途中の支川等から土砂の供給もある)。

シナリオBのプロセスを以下に記す(図4-6)。



(セグメント1, 2-1 洪水流量の減少)

4-6 シナリオB

○ステップ 1：河道には複列砂州が形成されている。砂州頂高は平均年最大流量時の平均河床高より平均年最大流量時の平均水深の 2~5 割程度高い

所にある。草本が豊水流量より高いところに馬蹄形状をして生育している。草本は平均年最大流量程度の洪水が生じると破壊され川原となる。

○ステップ 2：洪水流量が減少するため、砂州頂部の冠水頻度が減少し、そこに小粒径(砂・小礫)のものが堆積し、保水性が高まり草本類が侵入する。流水は滞筋に集中し、細粒物質は標高の高い所に堆積する。平均年最大流量では、砂州の全面的移動が生じない。

○ステップ 3：草本類により浮遊砂がトラップされ、細砂が堆積する(1~10年経過)。さらにシルトも堆積し、草本、ハリエンジュ、ヤナギなどの木本類が侵入する(5~15年経過)。

○ステップ 4：砂州の島状化、砂州の高水敷化が進み、かつ標高が高くなり、河原部の平均年最大流量時の水深が年々上昇し、河岸侵食も生じる。川幅は島状化、高水敷化されたところを除けば縮小する。島は上流部が侵食され下流部は延伸する。

○ステップ 5：川幅は平均年最大流量の減少比に比例して縮小する。砂州は川幅変化に対する列数となる。動的安定状態となる(20~40年経過)。水生生物は川幅の減少比に比例して生息空間が減少する。その種は大きくは変わらない。高水敷にはエノキ、ムクノキなどの樹木が侵入する。河原性植生の生育基盤が川幅の減少比に応じて減少する。

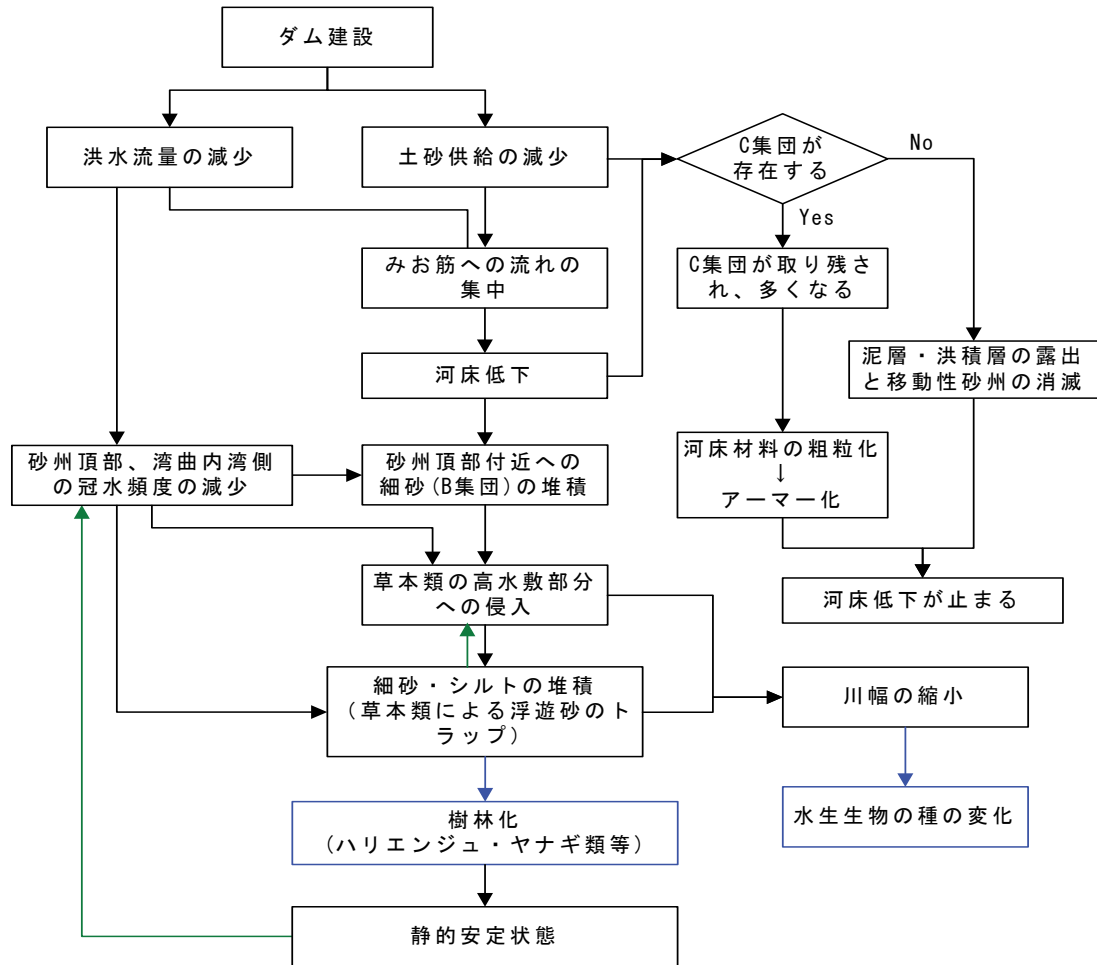
4) シナリオC

セグメント2-2の粗砂を河床材料に持つ河道を考える。沖積地上流近くに大規模な流量調節等が建設され、平均年最大流量が減少した場合である。流量に対応する砂分以上の土砂は供給されないとする(建設した施設と検討対象区間の距離が短く、土砂の供給源がない)。

シナリオCのプロセスを以下に記す(図4-7)。

○ステップ 1：河道には多列の砂州が形成されている。砂州頂高は豊水位程度で水面に露出する程度の高さである。草本類は低水路には侵入していない。

○ステップ 2：洪水流量および供給土砂量が急減す



(セグメント2-2 洪水流量および流送土砂量の減少)

図4-7 シナリオC

るため、変更前の滞筋に流水が集中し、上流から滞筋部の河床低下が進む。砂州の頂部および湾曲内湾側は冠水頻度の低下によりB集団である細砂が掃流形式で運ばれ河床が高くなる。滞筋部では上流からの砂分の供給減少のため河床中に少量存在したC集団である砂利が取り残され、C集団の割合が多くなる。C集団が存在しない場合は河床低下が進行し、難侵食層の露出によって止まる。

○ステップ3：砂州頂部の冠水頻度が滞筋部の河床低下および洪水流量の減少により、そこに小粒径のものが堆積する。ただし、細粒分の供給土砂も減少するため堆積速度は遅くなる。豊水位程度以上のところに草本類の進入を見る。

○ステップ4：草本類の進入が生じたところでは、ワッシュロード（シルト・粘土）の堆積が生じ、

自然堤防地形が生じる。

- ステップ5：高水敷化されたところでは、ヤナギ、エノキなどの木本類が侵入する（5～15年経過）。
- ステップ6：河床はC集団が多くなり河床低下は止まる。アーマ化される区間は時間とともに延伸する。川幅は流量減少比より小さくなる。C集団が少ない場合は、泥層・洪積層の露出と移動性砂州が消滅する。水生生物は砂川対応種から砂利川、軟岩・粘土層対応種に変化する。
- ステップ7：静的安定状態となる（20～40年経過）。

5) シナリオD

セグメント2-2の粗砂を河床材料に持つ河道を考える。沖積地上流近くに大規模な流量調節等が建設され、平均年最大流量が減少した場合である。流量

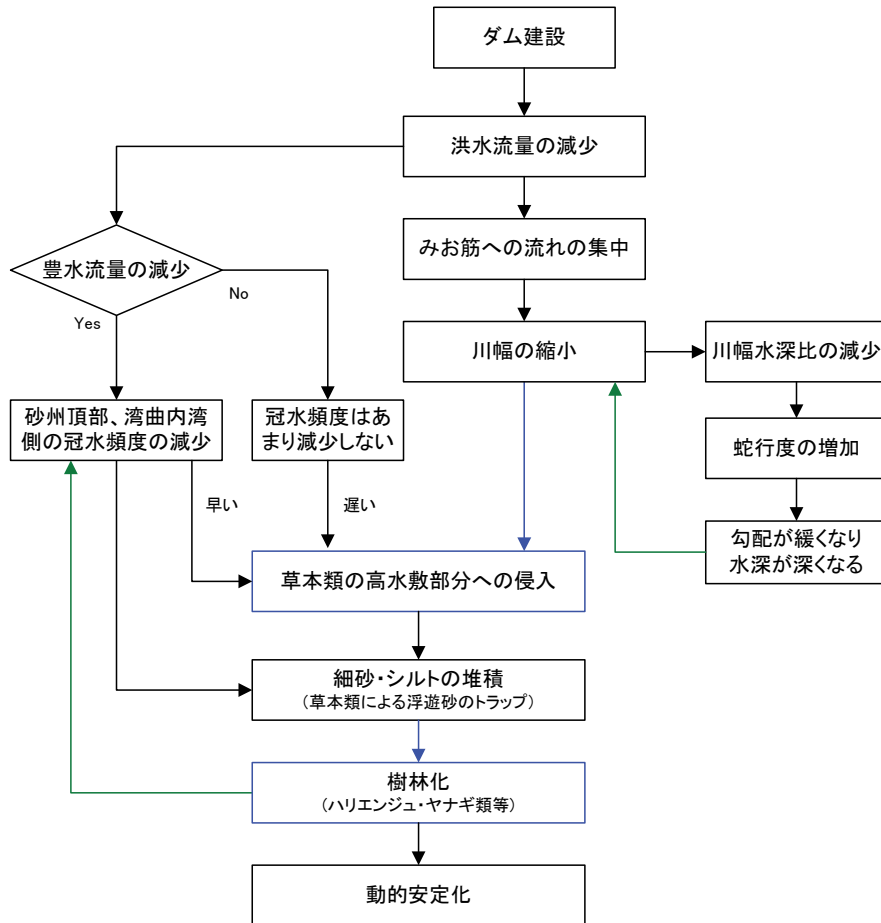
に対応する砂分以上の土砂は供給されるとする（建設した施設と検討対象区間の距離が長く、中砂が補給される）。

シナリオDのプロセスを以下に記す（図4・8）。

- ステップ 1：河道には砂州が形成されている。砂州頂高は豊水位程度で水面にでる程度の高さである。草本類は低水路には侵入していない。
- ステップ 2：洪水流量が急減するため、砂州の移動速度が減少する。小出水でB集団である細砂が掃流形式で運ばれ砂州上河床が高くなる。ただし少し大きい洪水で細砂は再移動する。
- ステップ 3：豊水流量が変化しなければ砂州の頂部および湾曲内湾側は冠水頻度がそれほど低下しないので、草本類の侵入それほど早くない。豊

水流量が減少すると冠水頻度が減少し、減少しない場合に比べて草本類の侵入が早くなる。

- ステップ 4：草本類の繁茂によりワッシュドードがトラップされ、急速な堆積が始まる（5～15年経過）。
- ステップ 5：川幅は流量減少比程度の幅に減少する。この減少速度は、豊水流量の減少比が大きいほど早い。ヤナギなど木本類が河岸非侵食部に侵入する。侵食部は崖状となる。
- ステップ 6：単列砂州的な河道となり蛇行度が増加する。
- ステップ 7：蛇行度の増加により勾配が緩くなり、かつ水深が深くなる。川幅はさらに減少する
- ステップ 8：動的安定化に至る（20～50年経過）。



(セグメント 2-2 洪水流量の減少)

図 4・8 シナリオD

5. おわりに

本研究でとりまとめたシナリオは、河道や河川環境の変化の要因として様々ある中で、大規模な流量調節施設ができたことによる、流量変動の変化に着目したものである。このシナリオは、流量変動の変化に起因する河道の変化とその後の植生や生息する魚類等の変化のプロセスをまとめたものであり、河川環境の変化の要因分析等に参考となるものと考えている。

よって、河川環境管理においては、

- ①河道形状の変化や樹林化、魚類の生息場、産卵場の変化などの現象が生じている河川の区間において、その要因とプロセスを分析し、対策を検討する際の利用。
- ②大規模な流量調節施設の建設や河道改修、自然再生などにより河道断面を変化させる場合などにおいて、将来、河道や河川環境がどのように変化していくかを推測する際の利用

が可能であると考えられる。

ただし、前述の通り河道や河川環境の変化には流量以外に、大きな要因として土砂があり、また、それ以外にも、地下水位、水質、植物・動物相互間の関係など、様々な要因が絡み合っている。

なお、国土技術政策総合研究所では、扇状地礫床河道における植生の消長に着目したシミュレーションモデルを開発している(藤田光一ら 2003)。このシミュレーションモデルを用いることにより、高水敷における出水による土砂の堆積とフラッシュ、堆積土砂を基盤とする植生の消長の経年的な変化を再現することができる。本研究においても、セグメント 1 及びセグメント 2-1 の代表河川について、このシミュレーションモデルを用いて、ダム建設前から現在にかけての植生の消長を検討した。その結果、本研究で示したシナリオのように、ダム建設前は、高水敷や中州には土砂が堆積しにくく、植生の繁茂はあまり見られなかったが、ダム建設後、流量変動の変化が減少すると、高水敷や中州に土砂が堆積するようになり、植生が繁茂しその植生が安定化していく状況が再現された。

今後は、今回作成したシナリオを様々な河川に適用させ、シナリオの整合を検討していくとともに、流量以外の要因についても、様々な研究の進捗に合わせてシナリオに組み込んでいくことで、河川環境管理にさらに活用可能なものに更新していきたいと考えている。

謝辞

最後に本研究を進めるにあたり、国土交通省河川局河川環境課、国土交通省国土技術政策総合研究所の方々には、貴重なご意見、ご指導を頂きました。また、国土交通省北陸地方整備局金沢河川事務所、関東地方整備局渡良瀬川河川事務所、静岡河川事務所、中部地方整備局豊橋河川事務所、近畿地方整備局淀川河川事務所、中国地方整備局三次河川国道事務所、浜田河川国道事務所、太田川河川事務所、四国地方整備局大洲河川国道事務所からは、貴重な資料をご提供頂きました。ここに深く感謝の意を表します。

参考文献

- 財団法人河川環境管理財団(2002)自然的攪乱・人為的インパクトと河川生態系の関係に関する研究
末次忠司、藤田光一、服部敦、瀬崎智之、伊藤政彦、榎本真二(2004)礫床河川に繁茂する植生の洪水攪乱に対する応答、遷移および群落の拡大の特性、国土技術政策総合研究所資料、No. 161。
辻本哲朗(1993)手取川扇状地区間の河原の植生群落と河道特性、金沢大学日本海域研究所報告第25号 pp. 83-99
藤田光一、季参熙、渡辺敏、塚原隆夫、山本晃一、望月達也(2003)扇状地礫床河道における安定植生域消長の機構とシミュレーション、土木学会論文集 No. 747/II-65, pp. 41-60
山本晃一(1978)河口処理論[1], 土木研究所資料第1394号
山本晃一(1994)沖積河川学, 山海堂
山本晃一(2004)構造沖積河川学, 山海堂
Brune G. M. (1953) Trap efficiency in reservoirs, Tran. A. G. U., 34(3)

I - 3 湖沼の整備に関する調査研究

4. 霞ヶ浦湖岸植生帯の緊急対策工法の検討及びモニタリングとその評価

戸谷英雄*・谷村大三郎**・小野 諭***・坂口喜久二****

1. はじめに

霞ヶ浦では、これまで湖岸の植生帯保全に関して、ヨシの植栽や波浪対策等の対策がなされてきた。しかし、図 1・1 に示すように近年の湖岸植生帯の減退は著しく、特に絶滅危惧種であるアサザを含む浮葉植物等の減少が確認されている。

このため、アサザを含む霞ヶ浦の湖岸植生の減退原因究明と保全対策を検討する目的で、国土交通省、有識者、NPO から構成された「霞ヶ浦の湖岸植生帯の保全に係る検討会」を平成 12 年度に設立し、平成 13 年度まで 5 回の検討会を公開制で開催した。

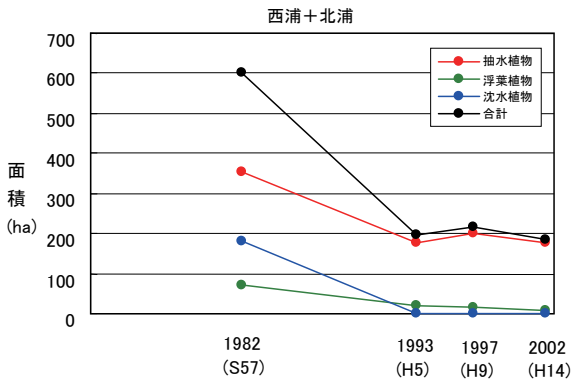


図 1・1 霞ヶ浦の湖岸植生の面積変化

また、検討結果を基に平成 13 年度には、11 地区で緊急対策工の整備事業が実施され、平成 14 年度以降現在までモニタリング調査が実施されている。

さらに、平成 15 年 10 月に、「霞ヶ浦湖岸植生帯の緊急保全対策評価検討会」が第 3 者評価検討会として設立され、モニタリング結果によって、対策の評価、評価結果を踏まえた順応的管理手法の検討、今後の湖岸保全のあり方を現在まで検討している。

本報告では、図 1・2 に示す「霞ヶ浦湖岸植生帯保全緊急対策事業」の流れの中で、4 年目に入ったモニタリング調査結果、これまでに得られた知見及び今後の課題について報告する。

2. 霞ヶ浦湖岸植生帯緊急保全対策の概要

2.1 霞ヶ浦湖岸植生帯減退要因と対策の考え方

これまでの霞ヶ浦湖岸植生帯の変遷、人為(湖岸堤の整備、水位管理の移行)の変遷、地形的特性、現地での植生帯の課題などをまとめ、これらのデータに基づき減退要因を図 2・1 のように分析し、減退要因の関係及びそれから考えられる有効な対策案を検討した。

その結果、抽水、浮葉植物の減退には波浪による湖岸の侵食や湖岸堤築造による生育場の減少が大きく影響しており、また、沈水植物の減退には流入負荷増加に伴う植物プランクトン増大による透明度の低下が大きく影響していると想定された。この減退要因に対して有効な対策案は、以下の 2 つの対策が有効であると考えられた。

* (財)河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究第 4 部長
** (財)河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究第 4 部次長
*** (財)河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究第 4 部主任研究員
**** 株式会社 建設環境研究所 環境計画部部長代理

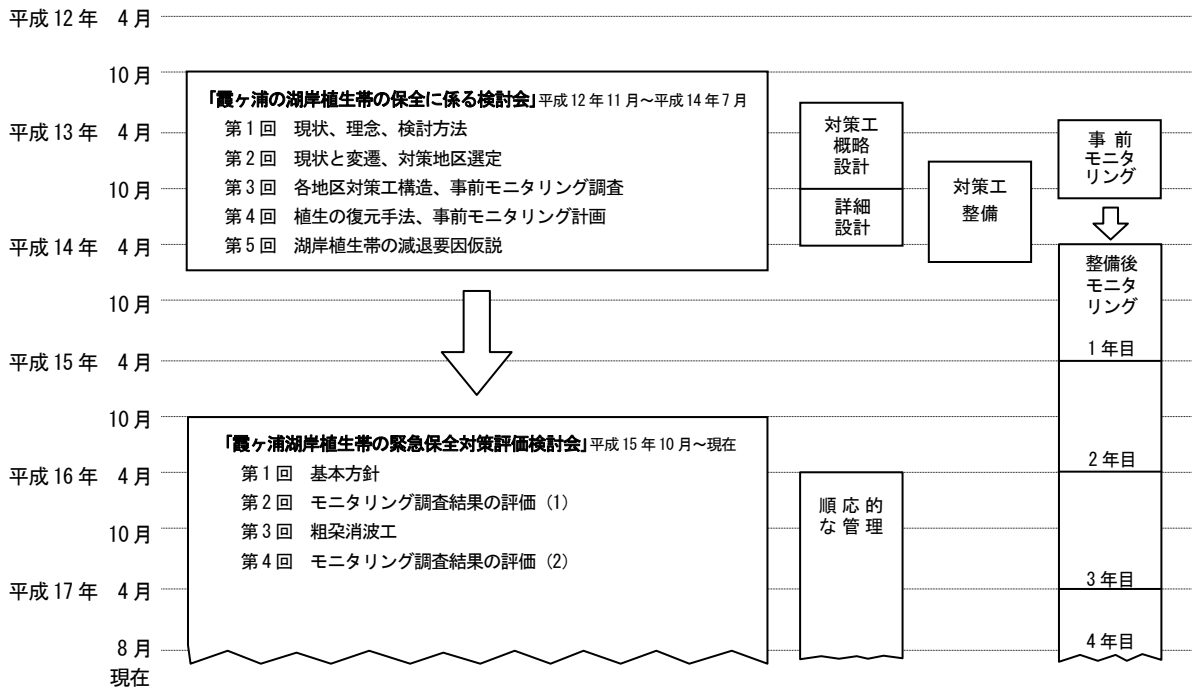


図 1・2 霞ヶ浦湖岸植生帯保全緊急対策事業の経緯

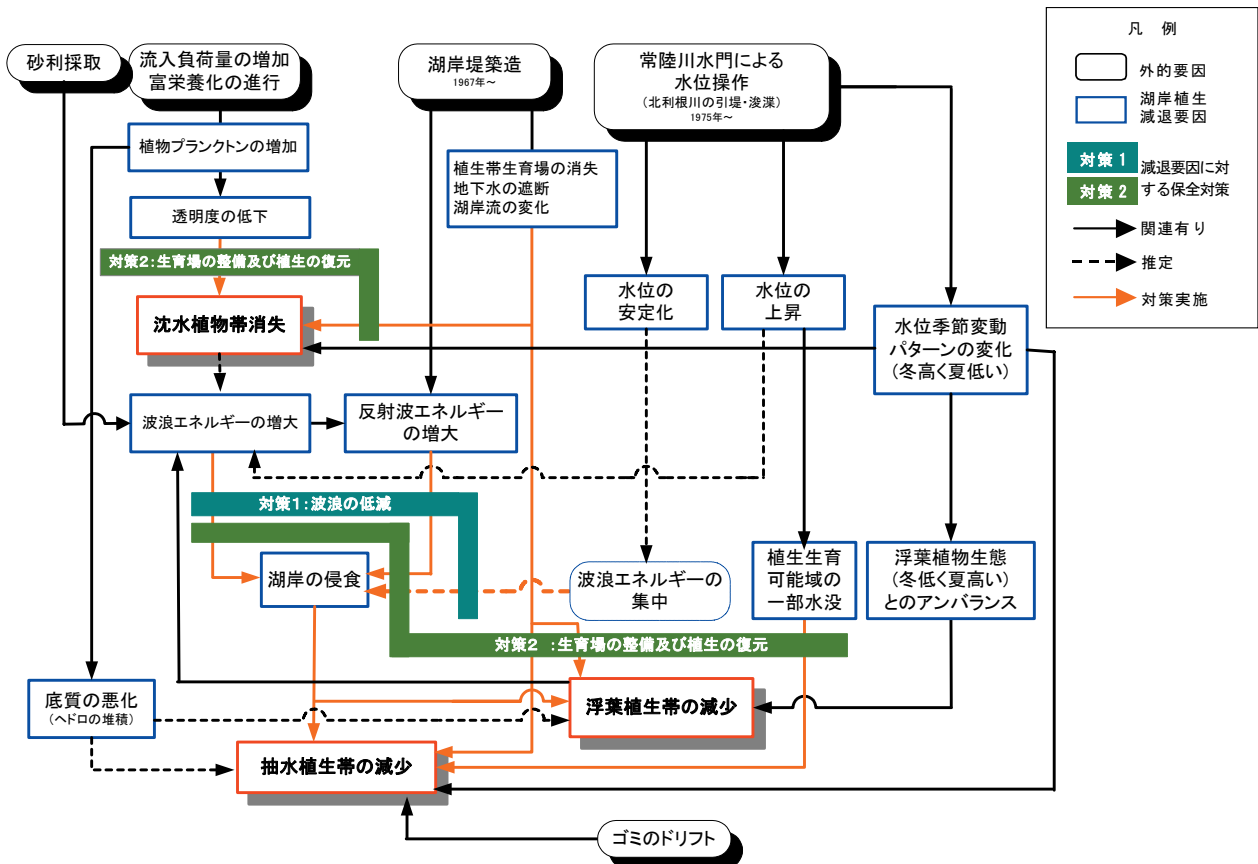


図 2・1 霞ヶ浦湖岸植生帯減退要因と対策の考え方

対策1：波浪の低減

地区の特性に合わせ、粗朶消波工、石積み工、群杭工、人工リーフ、島堤等の消波施設を整備することにより波浪を低減し、湖岸の侵食を抑制する。

対策2：生育場の整備及び植生の復元

築堤や水位の上昇による生育場の減少に対して、緩傾斜養浜工や捨砂工により抽水、浮葉植物の生育場を整備する。また、養浜工内に静水域としてワンドや導水クリーク、内水クリークにより、浅く透明度の高い水域を創出し、沈水植物の生育に適した場を整備する。さらに、植生復元のためシードバンクの敷設、植物の植栽・播種を実施し、植生を復元する。また、人工バーム、杭柵、板柵等の実生活着補助施設の設置により実生の定着を促進する。

なお、もう1つの大きな要因である水位操作については、水需要に対応するという制約条件の下で、水利用と湖岸環境の共存を目指した新たな水位運用方法の試行を現在行っている。

- また、ここでは以下の先進的な取り組みを導入した。
- ・霞ヶ浦の舟溜りの維持浚渫で発生した浚渫土に含まれる「土壌シードバンク」からの植物の発芽を期待し、新しい生育場の上に撒き出す。

- ・この対策はあくまで仮説の上に有効と思われるものを採用したため、将来の植生復元には不確実性が伴う。このため、モニタリング調査を行いつつ、実際起こる事象を判断しながら適切な対応を取っていく「順応的な管理」手法を採用する。

2.2 湖岸植生帯緊急保全対策施設の整備について

湖岸植生帯保全の基本方針は、湖岸植生の緊急的な対策を行いつつ、「できる限り自然の復元力を活用し、浮葉植物とともに、抽水、沈水植物群落も回復させ、長期的には霞ヶ浦本来の水辺の復元を目指す」こととした。対策実施地区は、霞ヶ浦の中で、近年アサザ等の植生帯の減少が著しい地区から11地区を選定した。

また、各地区の対策工整備計画を検討するに当たっては、当該地区の過去の地形・植生分布状況を十分把握して、地区の自然特性に合った対策工法を選定した。

緊急対策工整備の基本的な考え方は、アサザの現在の有無、消波して保全するか、生育場としての養浜を整備するかという視点で、表2-1に示すとおり整理した。

整備イメージを図2-2、2-3に、植生復元モデルを図2-4に、整備状況を図2-5に示す。

表2-1 緊急対策工整備の基本方針

地区	目的	保全・創出される環境	対策工法	対象地区
現在アサザが生育している地区 5地区	1. 現存するアサザ群落等植生を保全する	1. ある程度静穏な水域(波浪の低減)	1. 消波工 ・粗朶消波工 ・石積み消波工	5地区 6工区 古渡、石田、麻生、爪木、梶山
過去にアサザが生育していた地区 6地区	1. 現在アサザは生育していないが、アサザ実生がみられる地区では、実生の定着、新たな生育場の創出をする	1. ある程度静穏な水域(波浪の低減) 2. 実生成長の生育場(生育場の整備)	1. 粗朶消波工 2. 捨砂工 3. 板柵盛土工	1地区 1工区 鳩崎
	2. 湖岸植生の新たな生育場を創出する	1. 植物生育場となる緩傾斜地形(生育場の整備) 2. ある程度静穏な水域(波浪の低減) 3. 水域から陸域までの連続した生物生息空間	1. 養浜工 1) 石積みあるいは矢板突堤 2) 緩傾斜養浜 2. 消波工 ・粗朶消波工 ・石積み消波工 3. 浚渫土(シードバンク)の敷設 ・浚渫土を養浜の上にまき、埋土種子からの発芽を期待する 4. 植物実生活着補助施設 1) 人工バーム 2) 杭柵工	5地区 12工区 境島、根田、石川、永山、大船津

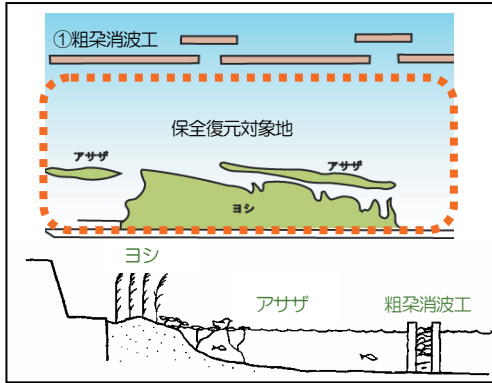


図 2・2 現存するアサザ等植生を保全する対策工法

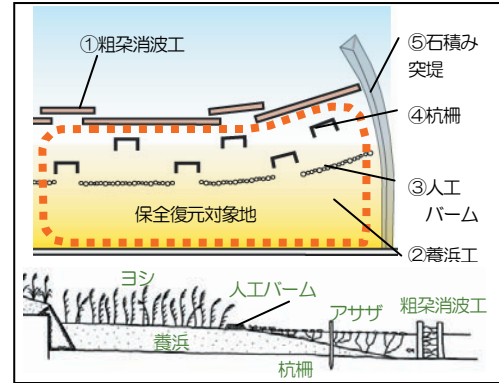


図 2・3 新しい生育場を創出する対策工法

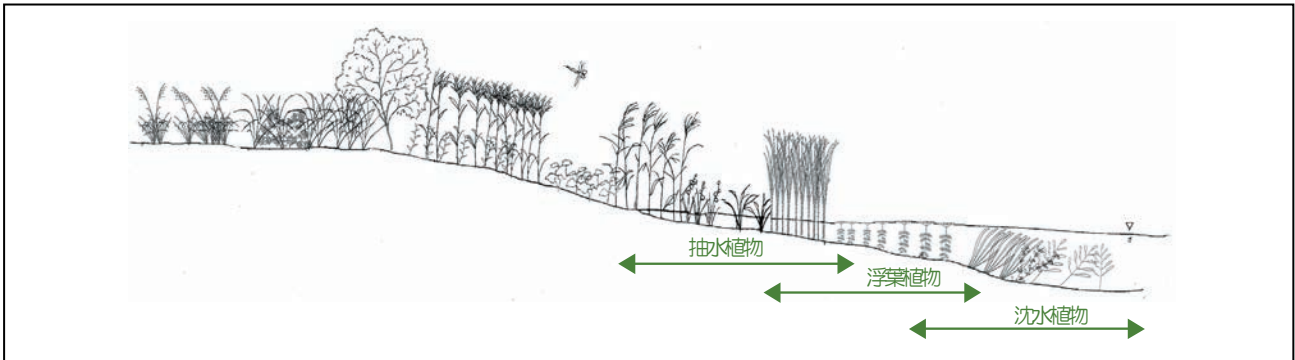


図 2・4 霞ヶ浦の湖岸植生復元モデル

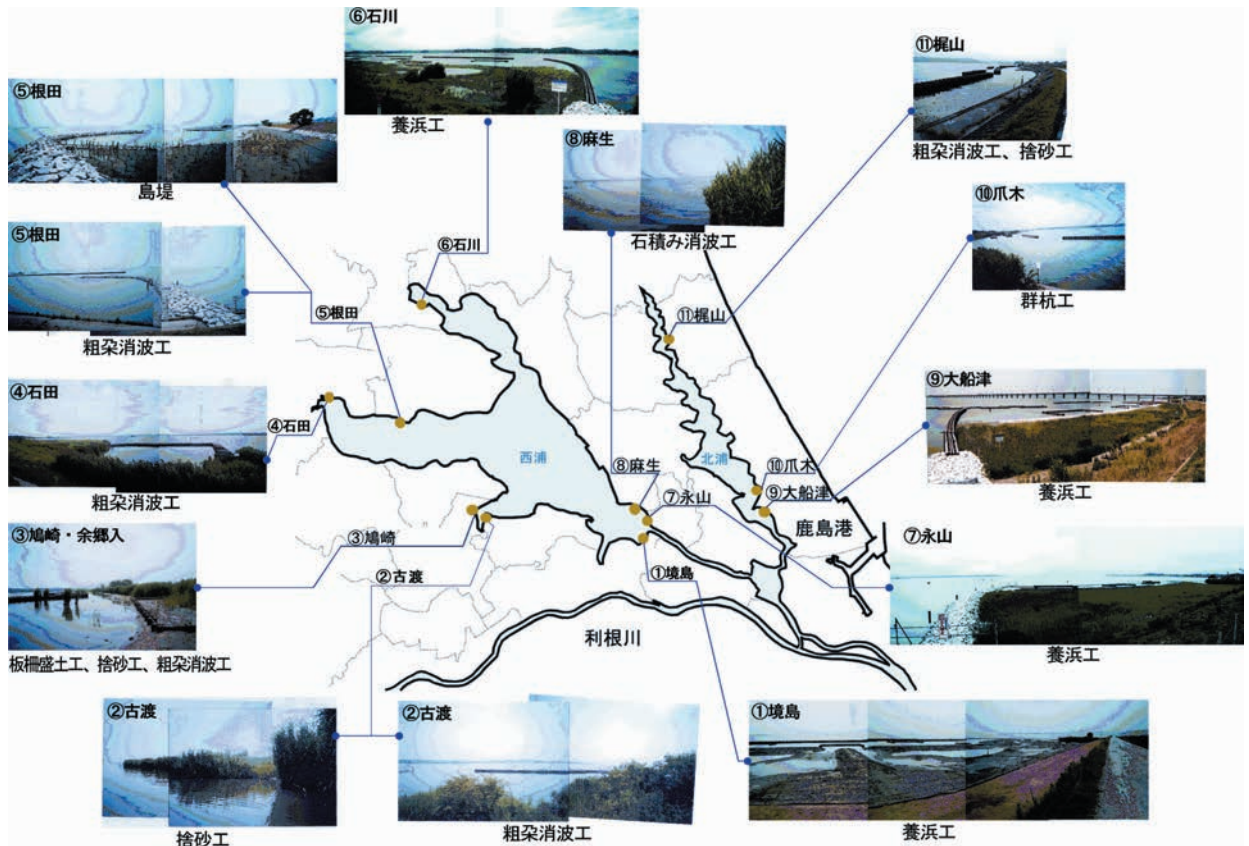


図 2・5 霞ヶ浦湖岸植生帯保全緊急対策工の整備地区と主な整備施設

3. 評価検討会での中間評価について

3.1 モニタリング調査について

モニタリング調査は各年度において前年度までの施設維持状況、物理環境状況、植生復元状況、生物生息環境状況（表 3・1 参照）などの調査結果に基づき調査内容を検討して毎年必要な項目を実施してきている。

3.2 評価検討会での主な検討内容について

1) 検討の基本方針（順応的な管理）

緊急対策に当たっては、湖岸植生帯の減退要因から有効と考えられる対策案を検討し実施した。しかし、

減退要因自体が明確に検証されたものではなく、湖岸植生の生態も十分把握されておらず、また、対策案自体の影響度も未知のものである。

このような不確実性に対応するため、明確な仮説を設定し、仮説に基づいた検証を実施する。

まず、その対策の影響と効果を把握するために、物理的及び生態的にモニタリング調査を行い、その結果により、この仮説が科学的に正しかったかどうかを検証する。次にこの検証結果に基づいて、より効果が期待される新しい仮説を設定、改善対策を実施し、さらにモニタリング調査を行う。図 3・1 に示すこのような方法を「順応的管理（アダプティブマネジメント）」と呼ぶが、本事業の管理及び評価はこの考え方を原則としている。

表 3・1 モニタリング調査内容と目的

調査種類	調査項目	調査内容	頻度	目的
環境調査	地形調査	横断測量	2回/年	生育場の地形の変形状況
	水質調査	現地観測	1回/年	施設整備による水質の嫌気化等の把握
	底質調査	底質分布概略調査	2回/年	施設整備による底質の細粒化の把握
底質詳細調査		1回/年	施設整備による底質の悪化の把握	
施設調査	機能調査	波浪調査	12ヶ月間	消波機能の把握
	粗朶消波工整備後状況調査	粗朶工状況調査	1回/年	粗朶消波工の状況把握
生物調査	魚介類調査	採捕調査	1回/年	魚類の生息状況把握
		定性調査	1回/年	底生動物の生息状況の把握
	植物調査	定量調査	1回/年	同上
		植物図作成調査	1回/年	マクロ的な植生分布状況の把握
		植物相調査	3回/年	緊急対策地区に生息する植生種の把握
アサザ調査	アサザ調査	ベルトトランセクト調査	1回/年	ミクロ的な植生分布状況の把握
		実生分布調査	2回/年	アサザの実生発生状況の把握
		現況調査	1回/年	既存アサザの生育状況の把握

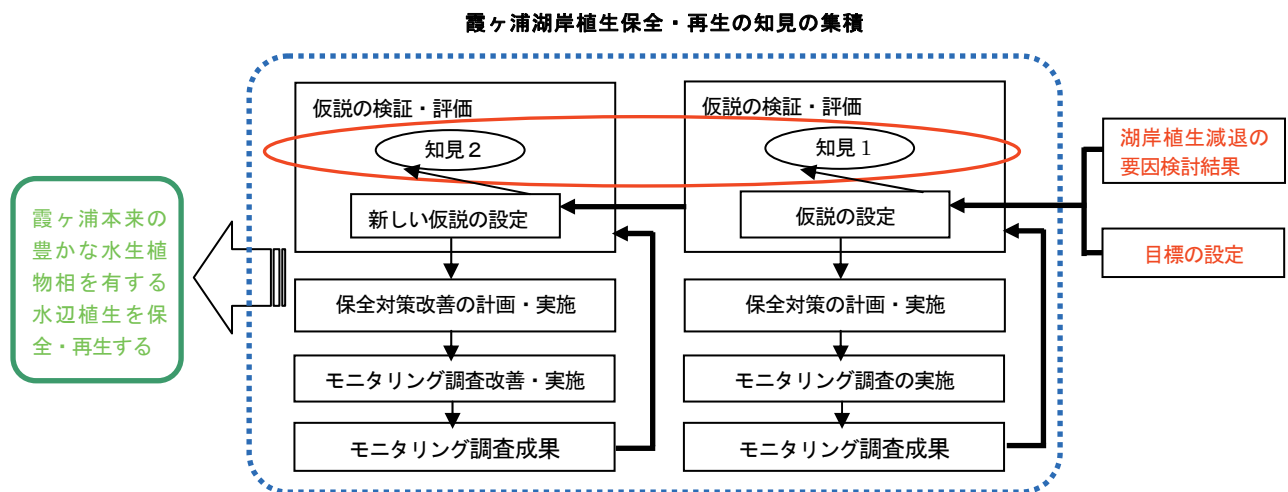


図 3・1 順応的管理のイメージ

2) 評価検討の主な内容

緊急保全対策工を整備するに当たっては、各対象地区の特性に合わせたより詳細な仮説を設定して、その仮説に基づいた有効な対策を選定した。

評価検討では、その3つの仮説に対して整備後モニタリング調査データを分析し、科学的な根拠に基づいて対策工の効果と有効性を評価した。(図3・2 参照)

3.3 湖岸植生帯緊急対策の中間評価

対策実施後の現時点(2年半経過後:H16年度データ)では、当初設定した仮説に対して様々な課題はあるものの、概ね良好な植生保全・再生ができています。

以下に、各仮説毎の現時点の中間評価を示す。

なお、現在の管理水位は、対策工整備前の夏季

YP+1.3m, 冬季YP+1.1mから、暫定として、整備後通年YP+1.1mに移行している。この影響を定量的に評価することはできないが、消波工の有無箇所で植生生育状況に明確な差がみられるため、消波工の効果は十分あるものと考えられる。

1) 仮説1. 消波による波浪低減で既存植生帯の保全が可能である。→概ね良好な保全ができています。また、アサザ浮葉株は減退以前の規模に回復した。ただし、年々消波工に詰めた内蔵粗朶の劣化がみられ、粗朶消波工の消波機能低下が課題となっている。

(1) 既存植生帯の保全状況

粗朶消波工により波浪低減を行った古渡地区(図3・3)、石田地区(図3・4、3・5)では、既存植生帯の保全及び再生が見られた。

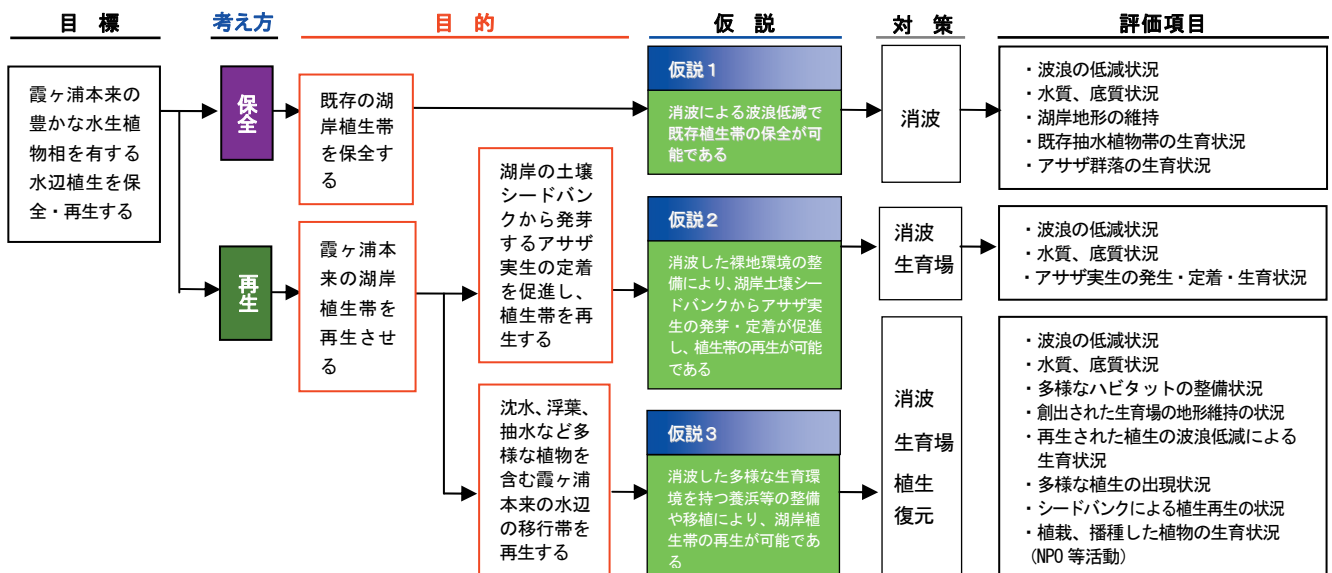


図3・2 評価検討の主な内容

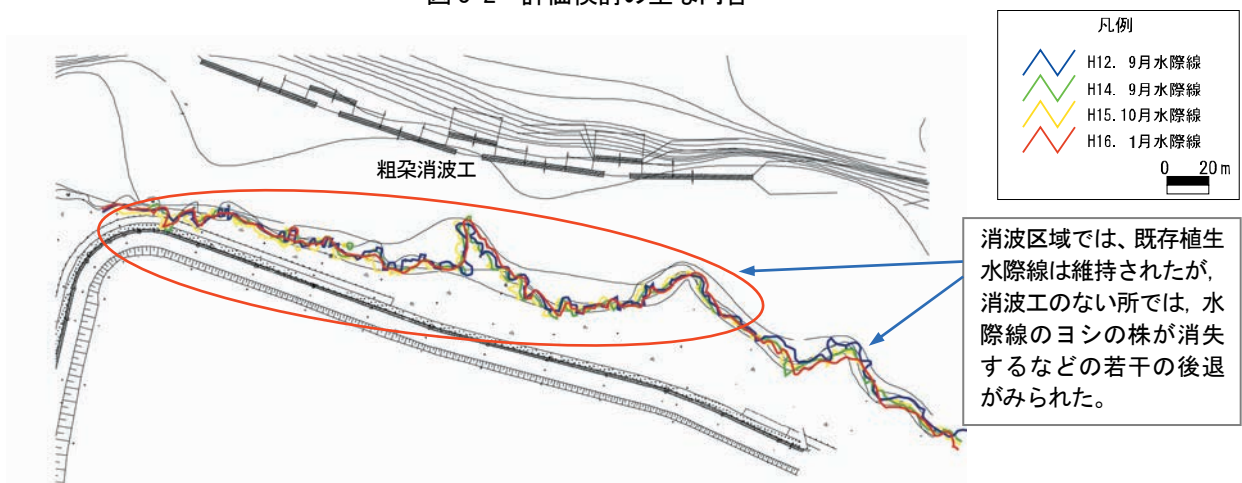
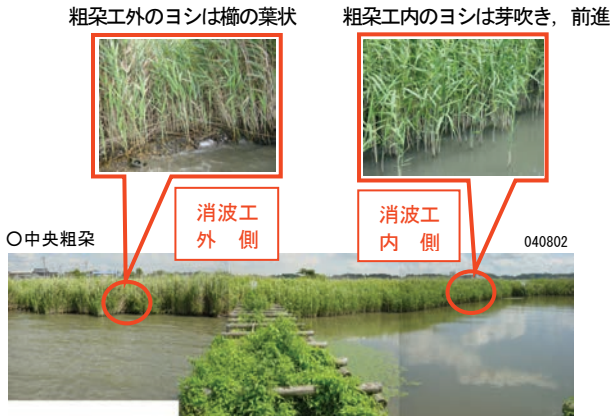


図3・3 古渡地区の既存植生の保全状況



石田地区：粗朶消波工によって保全された湖岸植生帯
 図 3-4 石田地区の既存植生の再生・前進

(2) アサザ既存株の保全状況

絶滅危惧種であるアサザ既存浮葉株の消波による保全状況は、全地区で効果があり、爪木 (図 3-6, 表 3-2 参照), 梶山, 麻生地区 (図 3-7 参照) では植生減退以前の規模に再生した。

表 3-2 爪木地区のアサザ展葉面積の増加

年度	アサザの展葉 面積 (m ²)						
	H6・H8	H11	H12	H13	H14	H15	H16
面積 (m ²)	1,805	696	552	925	1,134	1,734	1,773

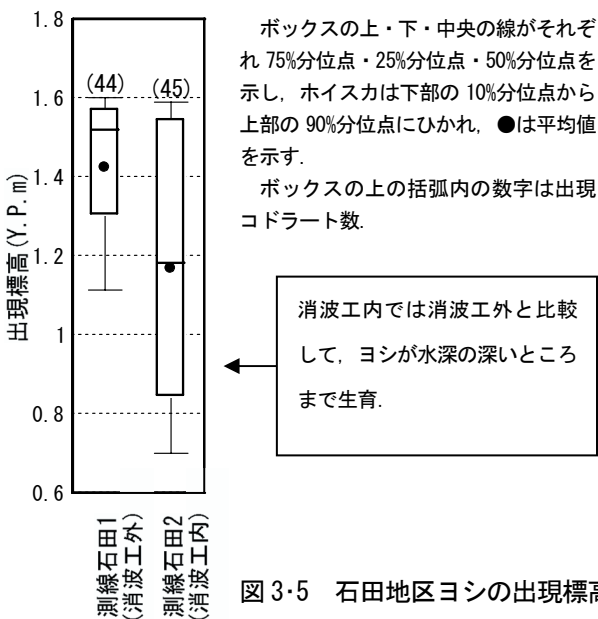
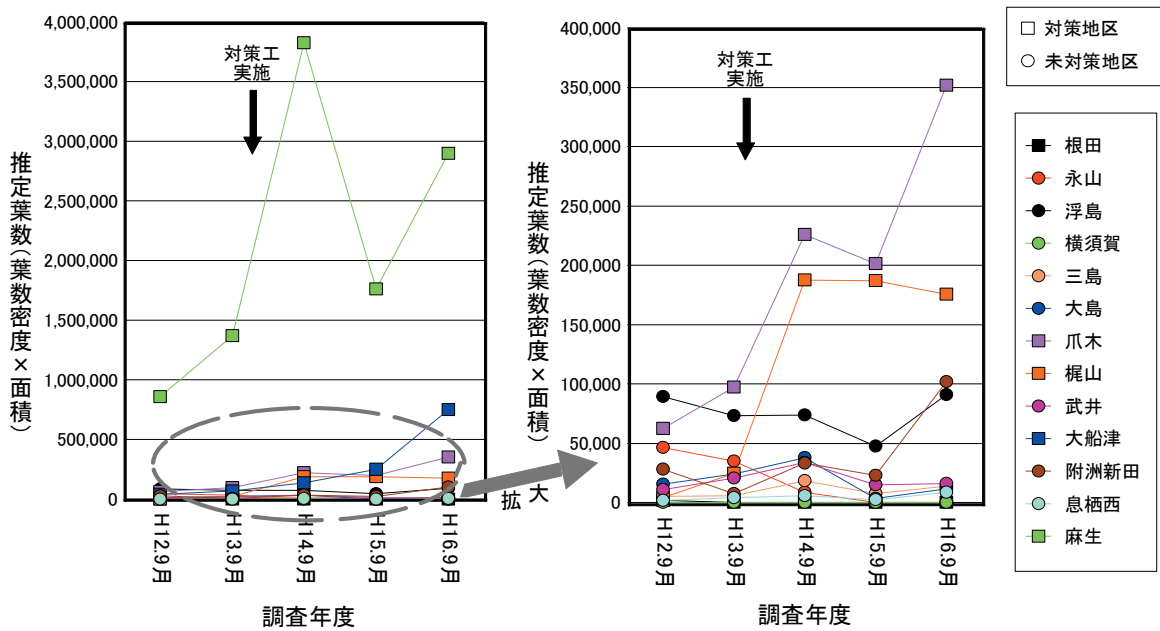


図 3-5 石田地区ヨシの出現標高



図 3-6 爪木地区のアサザ面積の増加



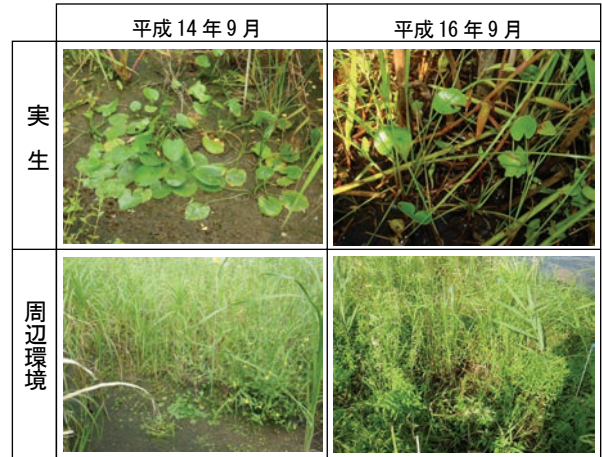
個体群全体の葉の枚数の推定値(単位:枚).
 葉の密度(50cm 四方あたりの葉の枚数)×4×面積 により求めた。

図 3-7 個体群の推定葉数

2) 仮説2. 消波した裸地環境の整備により、湖岸土壌シードバンクからアサザ実生の発芽・定着が促進し、植生帯の再生が可能である。→裸地環境の整備により、アサザ実生の発芽・定着が増加した。ただし、年々自然のシードバンクが消費され続け、種子の再生産がされていないため、発芽・定着は減少傾向である。課題としては、定着株の浮葉化が起きない点、裸地環境が植生繁茂で維持できない点などがある。

(1) アサザ実生の発芽及び実生の定着状況

アサザは実生発芽、実生の定着、浮葉株の順で生育していくものである。鳩崎地区では、アサザにとって有利な裸地環境を板柵盛土工により整備し、図 3・8、3・9、3・10 に示すように自然の湖岸土壌から実生が発生し、定着までは促進された。



・板柵工内では、平成 16 年 9 月には、裸地的な環境はほとんどなくなった。

図 3-10 鳩崎地区 板柵盛土工の定着実生

(2) 「捨て砂+消波」対策による効果

図 3・11、3・12 に示すように捨て砂工による既存植生の前進は著しく、かなり効果があった。

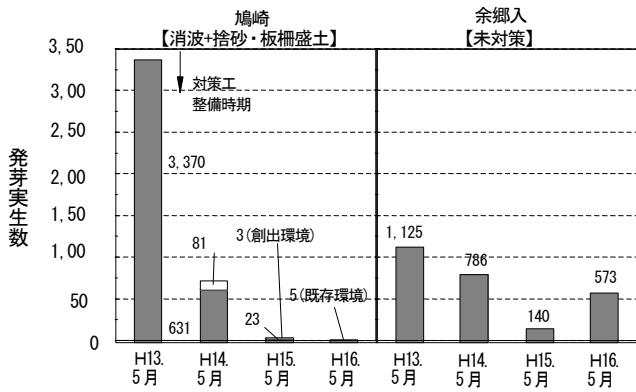


図 3-8 鳩崎地区板柵盛土工での実生発生数の増加

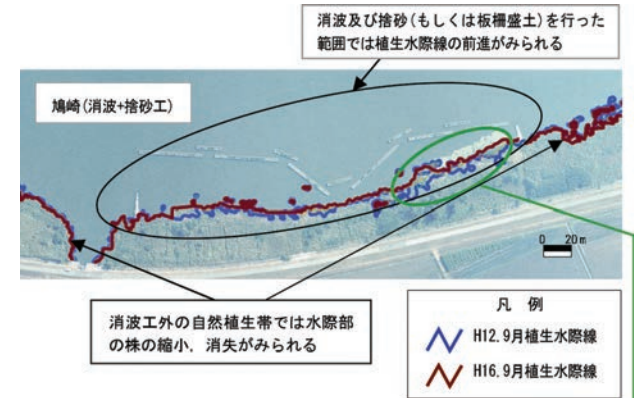


図 3-11 鳩崎地区の H12~H16 年植生水際線の変化

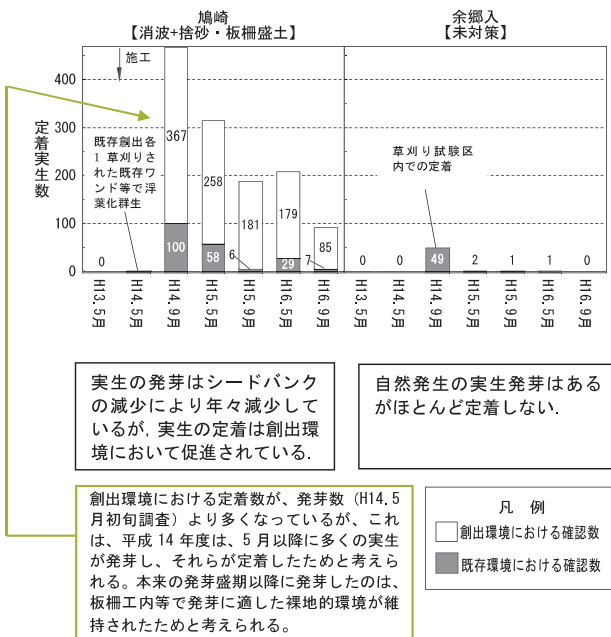


図 3-9 鳩崎地区実生定着の増加

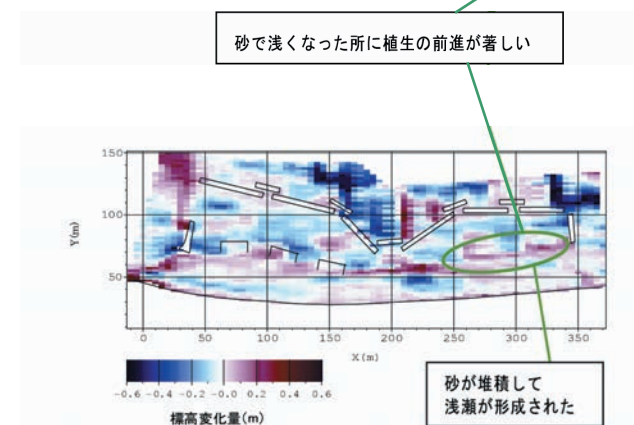


図 3-12 捨て砂工部の H14~H16 年標高変化

3) 仮説3. 消波した多様な生育環境を持つ養浜等の整備や移植により、湖岸植生帯の再生が可能である

→霞ヶ浦固有のシードバンク活用により比較的短期間に、植生は単調なものから様々な生育環境に対応して、霞ヶ浦にかつてあった多様な植生帯へ変化した。ただし、植物の生長とともに、環境が変化し、明るい草地から暗い草地へ移行しつつあり、種の優占状態が強まっている。また、外来種の繁茂の問題もある。

(1) 植生帯の復元状況

早期にシードバンクの効果が現れ、数ヶ月で植生が復元でき、その後多くの攪乱を受けながら図3・13のように、多様な植生が再生した。現在は、初期の明るい草地から暗い草地へと遷移している。

(2) 養浜工区における植物確認種数の経年変化

養浜地区では、図3・14のように、多様な湖岸植生帯

が形成され、また、以下の植物確認種数の経年変化特性がみられた。

- ・陸側養浜部では、施工後1年目の平成14年には、多数の沈水・浮葉・抽水・湿生植物等の水辺に特徴的な植物が確認された。
- ・施工後3年目の平成16年度調査結果においても、ほぼすべての工区において、確認種の半数以上を水辺に特徴的な植物が占め、多様な湖岸植生帯が形成された。しかし、一部地区(大船津)において、沈水植物や抽水植物の確認種数の減少がみられた。これは上層の植生繁茂による被陰の影響等が考えられる。
- ・確認種数は経年的に増加しているが、「その他の陸上植物」の増加が多い。
- ・わずかではあるが、木本植物や外来種の割合が増加する傾向がみられた。



図3・13 境島地区養浜部の植生の再生及び遷移状況

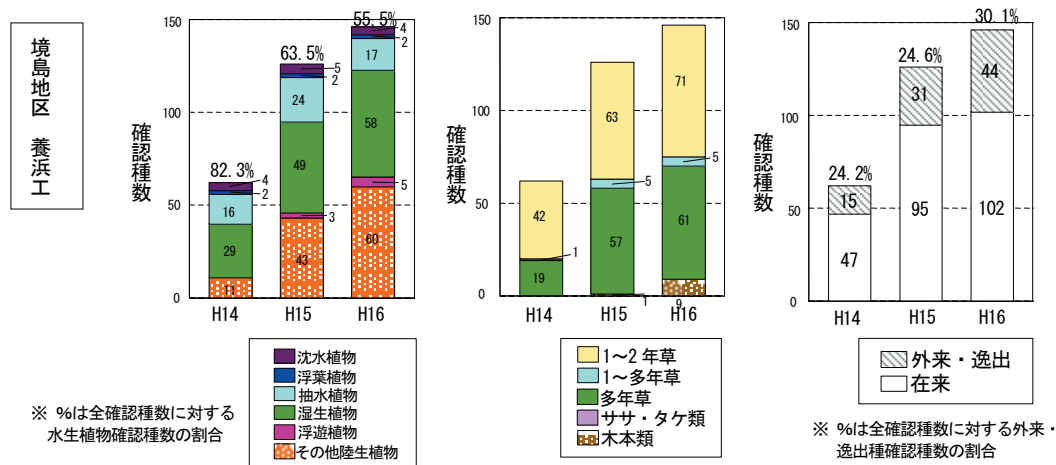


図3・14(1) 養浜工区における植物確認種数の経年変化

(3) 養浜工区の植物群落面積の経年変化

養浜工区の面積的な植物群落の変化は、図3・15に示すように、H14～H16年の2年間で、抽水-浮葉-沈水植物の面積が9割程度を占めるまでに変化した。特に境島地区では、初期は外来種一年草本植物群落が多かったが、2年間の霞ヶ浦の攪乱を受けて大きく変化した。同様に群落種類でも H14 年は単純であったが、H15, H16 年には次第に多様化して湿性化が強まっており、開放水面への進入による面積増大とともに、各群落面積の細分化が発生している。

どを占めていたが、2年間の霞ヶ浦の攪乱を受けて大きく変化した。同様に群落種類でも H14 年は単純であったが、H15, H16 年には次第に多様化して湿性化が強まっており、開放水面への進入による面積増大とともに、各群落面積の細分化が発生している。

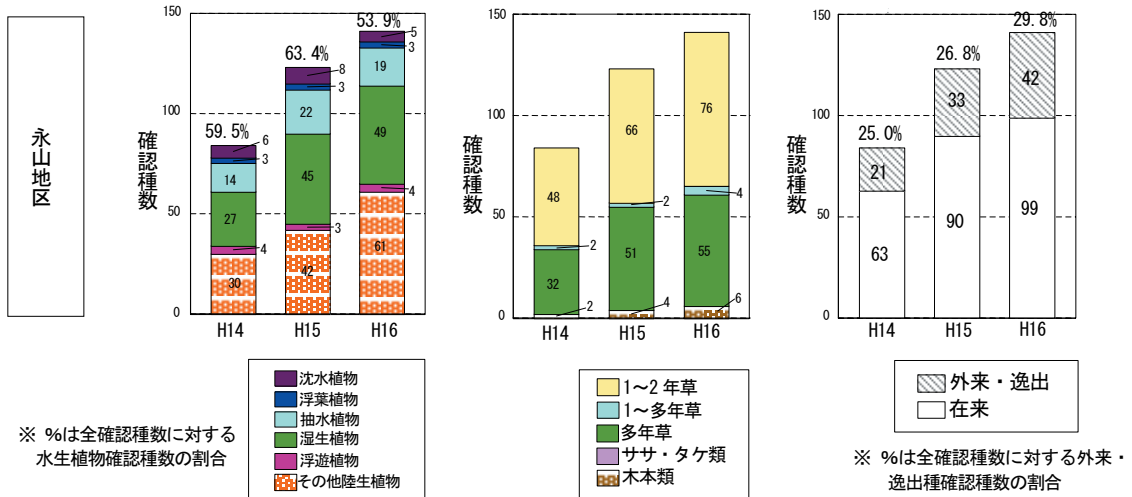
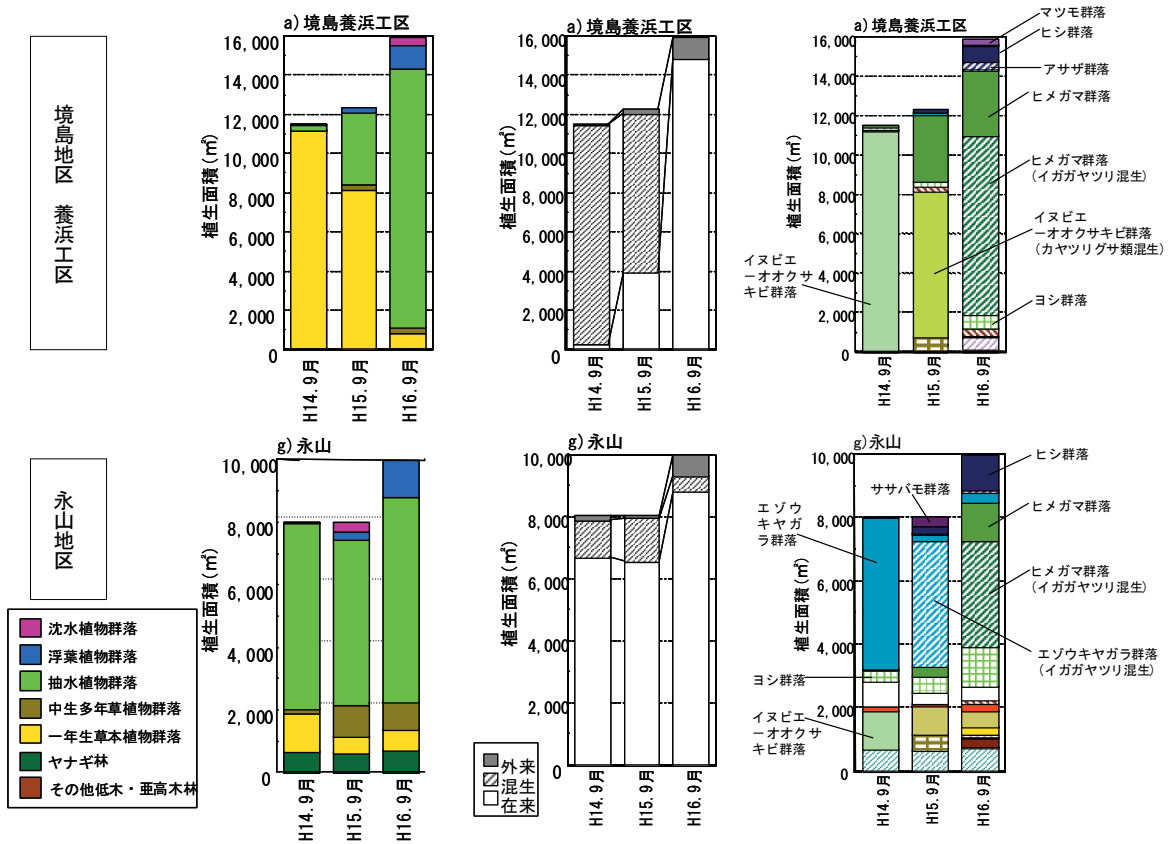


図3・14(2) 養浜工区における植物確認種数の経年変化



(4) 養浜工区における水生植物出現頻度の経年変化

水生植物は霞ヶ浦らしい特性を示すものであるが、その確認種数の変化は表 3・3 に示すように、H14～H16 年では、沈水、浮葉、抽水とも大きな変化はなく、多様な湖岸植生帯が再生されている。

しかし、確認工区数を見ると、優占している草丈の高い抽水植物の成長により、明るく多様な植物が生育できる環境条件から、被陰等による暗い草地への変化や開放水面の減少が起っており、H16 年は沈水植物（セキシヨウモ、コウガイモ、ホソバミズヒキモの4種）、抽水植物（ホタルイ、ミズハコベ、クログワイなど7種）で確認されない種があったり、確認工区数が減少傾向（ミズアオイやコナギ、オモダカ）にある植物がみられるようになった。

(5) 養浜工区の線的な比高別植物出現頻度の変化

養浜工区におけるベルトトランセクト測線上の比高別の植物種出現状況では、図 3・16 に示すように H14 年に比べ H16 年において、出現標高範囲の拡大（H14: Y.P. 1.2～1.1m→H16: Y.P. 1.7m～0.6m）、種数、コードラート数の増加が、明確になっており、多様な湖岸植生帯が微細な測線上でも再生されていることがわかる。

また、種別の比高出現特性としては、ヒメクグ、セイタカアワダチソウは Y.P. 1.2m より高い範囲に多く出現し、キシウスズメノヒエ、ヒメガマ、ガマは Y.P. 1.1m より低い範囲に多く出現する傾向がみられた。

(6) 養浜工区の線的な標高区別の植物出現頻度の経年変化

養浜工区においてはベルトトランセクト測線上の標高区別の植物出現頻度の変化について、図 3・17 に示すようにさらに詳細な分析を行った。

それによると、微細な測線上のコードラート出現頻度では、年々出現順位が異なっており、めまぐるしい植物間の競争が起っていることがわかる。

また、H14 年に比べて、H16 年は多年草の在来種が増加している傾向がみられ、多様な湖岸植生帯が再生されている。

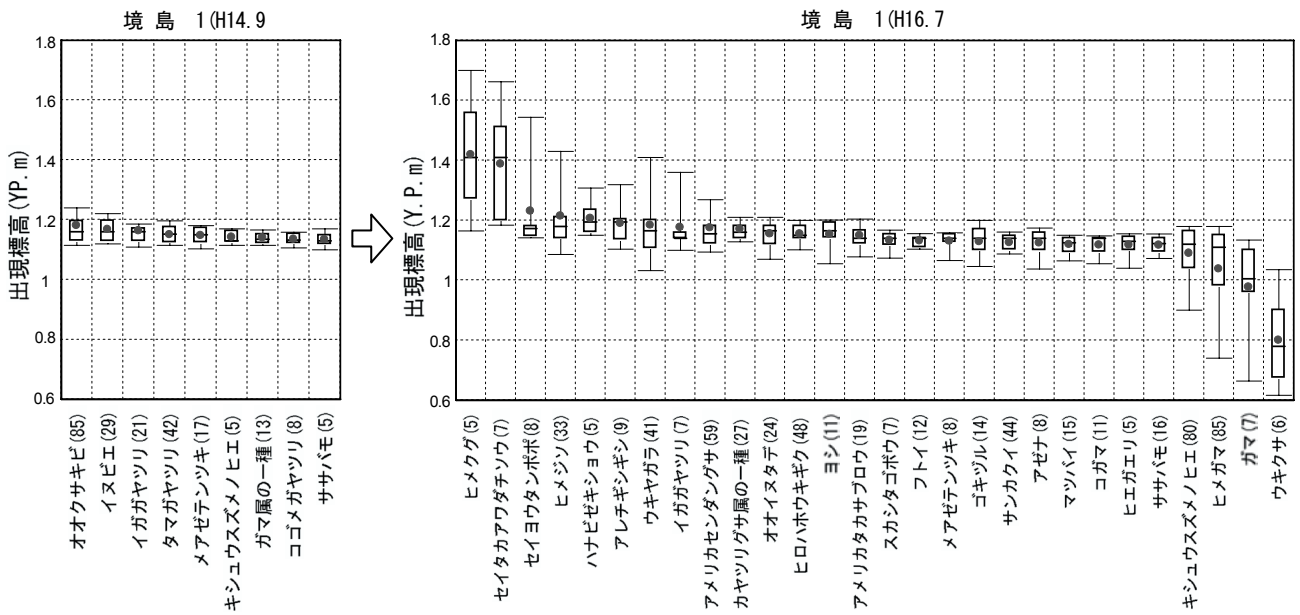
特に頻度の高いものとして平成 16 年 7 月には、Y.P. 1.1～1.2m の標高区分では、ヒメガマ、キシウスズメノヒエ、アメリカセンダングサ、サンカクイ、ヒロハホウキギクなどがあげられる。

また、10%程度の出現頻度でヨシが出現しており、今後、更に分布を拡大する可能性がある。

表 3・3 養浜工区で確認された水生植物の出現頻度（確認工区数）

水辺区分	生活型(概略)	科名	種名	確認工区数					
				H14	H15	H16			
沈水	多年草	マツモ科	マツモ	2	4	4			
		アリノトウグサ科	ホザキノフサモ	4	5	4			
		トチカガミ科	オオカナダモ		1	3			
		トチカガミ科	コカナダモ	1	6	7			
		トチカガミ科	クロモ		2				
		トチカガミ科	セキシヨウモ	3	2				
		トチカガミ科	コウガイモ	1	2				
		ヒルムシロ科	エビモ	3	3	3			
		ヒルムシロ科	ヒルムシロ	1	5	2			
		ヒルムシロ科	ササバモ	8	9	8			
		ヒルムシロ科	ホソバミズヒキモ		1				
		ヒルムシロ科	ヤナギモ	1	4	3			
		ヒルムシロ科	リュウノヒゲモ	2	2	1			
		沈水植物確認種数合計				10	13	9	
		浮葉	1～2年草	スイレン科	オニバス		3	1	
				ヒシ科	ヒシ	3	2	2	
ヒシ科	オニビシ			1	5	3			
多年草	ミツガシワ科		アサザ	8	9	9			
	浮葉植物確認種数合計				3	4	4		
	抽水		1～2年草	ミズウラボシ科	ミズウラボシ		1	2	
				ミソハコベ科	ミソハコベ		1		
				ミソハコベ科	キカシグサ			1	
				ゴマノハグサ科	アゼナ	7	9	9	
				ミズアオイ科	ミズアオイ	7	9	2	
ミズアオイ科		コナギ		6	7	2			
ツユクサ科		イボクサ		5	7	5			
カヤツリグサ科		ホタルイ		1	2				
カヤツリグサ科		イヌホタルイ		6	9	8			
1～多年草		アワゴケ科		ミズハコベ	2	2			
		カヤツリグサ科		マツバイ	8	9	8		
		カヤツリグサ科		ハリイ	1	3	2		
		デンジソウ科		デンジソウ	1	2	2		
		スイレン科		ハス	5	7	4		
		アブラナ科		オランダガラシ	1				
		アリノトウグサ科		オオフサモ	3	5	5		
		セリ科		ドクセリ		7	9		
		セリ科		セリ	5	9	9		
		ゴマノハグサ科		キクモ	2	2	1		
多年草		オモダカ科		ヘラオモダカ	4	1			
		オモダカ科		オモダカ	6	8	3		
		アヤメ科		キシウソウ	2	7	7		
		イネ科		ヨシ	8	9	9		
		イネ科		マコモ	7	9	9		
		サトイモ科		ショウブ		5	4		
		ミクリ科		ミクリ	5	8	6		
		ガマ科		ヒメガマ	5	9	9		
		ガマ科		ガマ	9	9	9		
		ガマ科		コガマ	1	9	9		
		カヤツリグサ科		ミズガヤツリ		1			
		カヤツリグサ科		クログワイ		3			
		カヤツリグサ科		タタラカンガレイ		3	3		
		カヤツリグサ科		エソウキヤガラ	6	9	8		
		カヤツリグサ科		フトイ	7	8	6		
		カヤツリグサ科		カンガレイ	1	1			
		カヤツリグサ科		サンカクイ	7	9	9		
		カヤツリグサ科		ウキヤガラ	8	9	8		
		カヤツリグサ科		スジヌマハリイ			4		
		抽水植物確認種数合計				29	35	30	

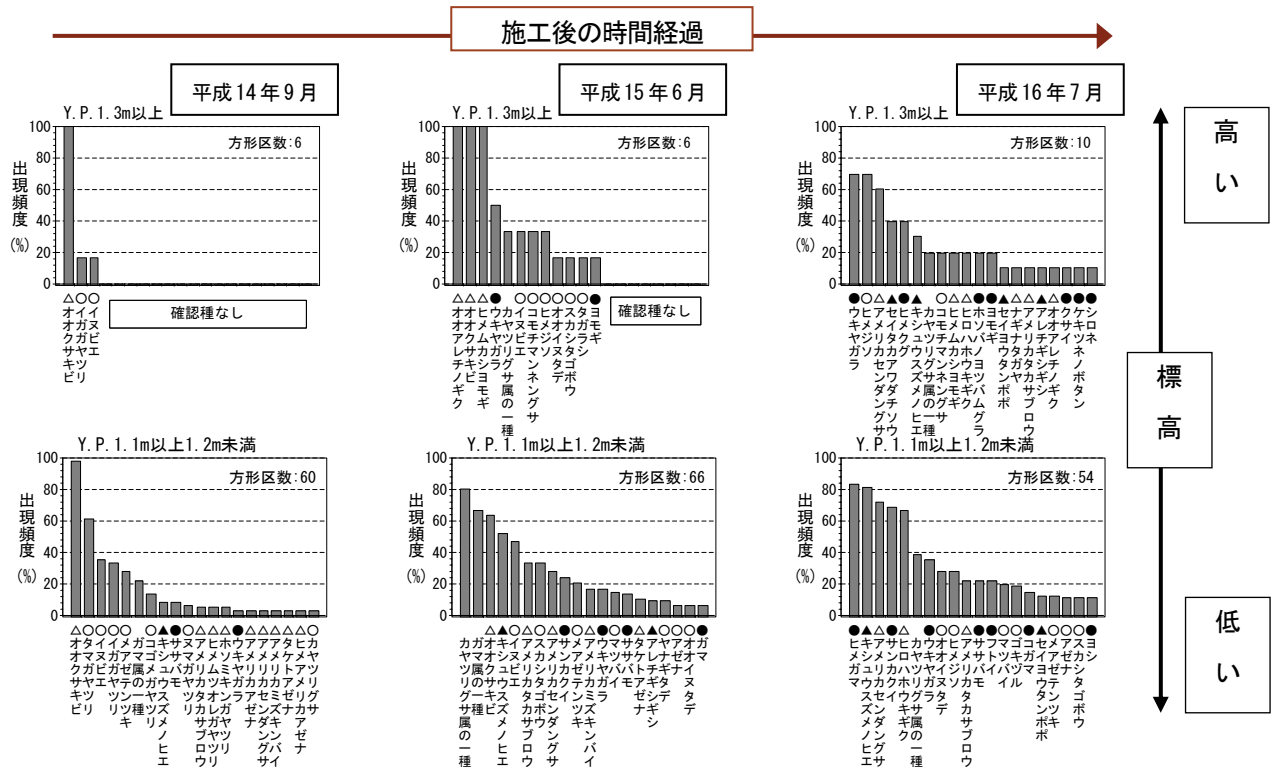
は、確認された工区なし



地形測量を行った測線の両側1mに50cm四方のコドラートを連続して設置し、その中の出現種を記録したベルトトランセクト調査結果を元に作成。確認コドラート数が5以上の種について、確認コドラートの標高（以降、出現標高と表記）を示した。種の並び順は出現標高の平均値の高い順に配列した。種名の横の括弧内の数字は出現コドラート数を示す。

ボックスの上・下・中央の線がそれぞれ75%分位点・25%分位点・50%分位点を示し、ホイスカは下部の10%分位点から上部の90%分位点にかけてひかれ、●は平均値を示す。

図3-16 境島地区養浜工区の測線上における植物種の出現標高



施工後3年間の各調査回における、標高区別の出現種とその出現頻度（調査コドラート数に対するその種の出現コドラート数の割合）を、上位20種について多い順に示した。種名の上のシンボルは、白抜：一年草、黒塗：多年草、丸：在来種、三角：外来種を示す。

図3-17 境島地区養浜工区の測線上標高区別の植物出現頻度の経年変化

(7) 養浜工区の標高別にみた面的な植生分布

図3-18に示すように、H14年から2年間で単調な植生から霞ヶ浦らしい多様な植生が再生された。

養浜部の標高分布(0.1m間隔)と植生分布を比較すると、標高の高いところ(Y.P. 1.3m以上)で、オオアレチ

ノギク-ヒメムカシヨモギ群落などの陸生の群落は、Y.P. 1.2m以下ではヒメガマ群落が、水際～水面では浮葉、沈水植物が確認されるなど、いくつかの群落で、標高とのおおまかな対応がみられた。

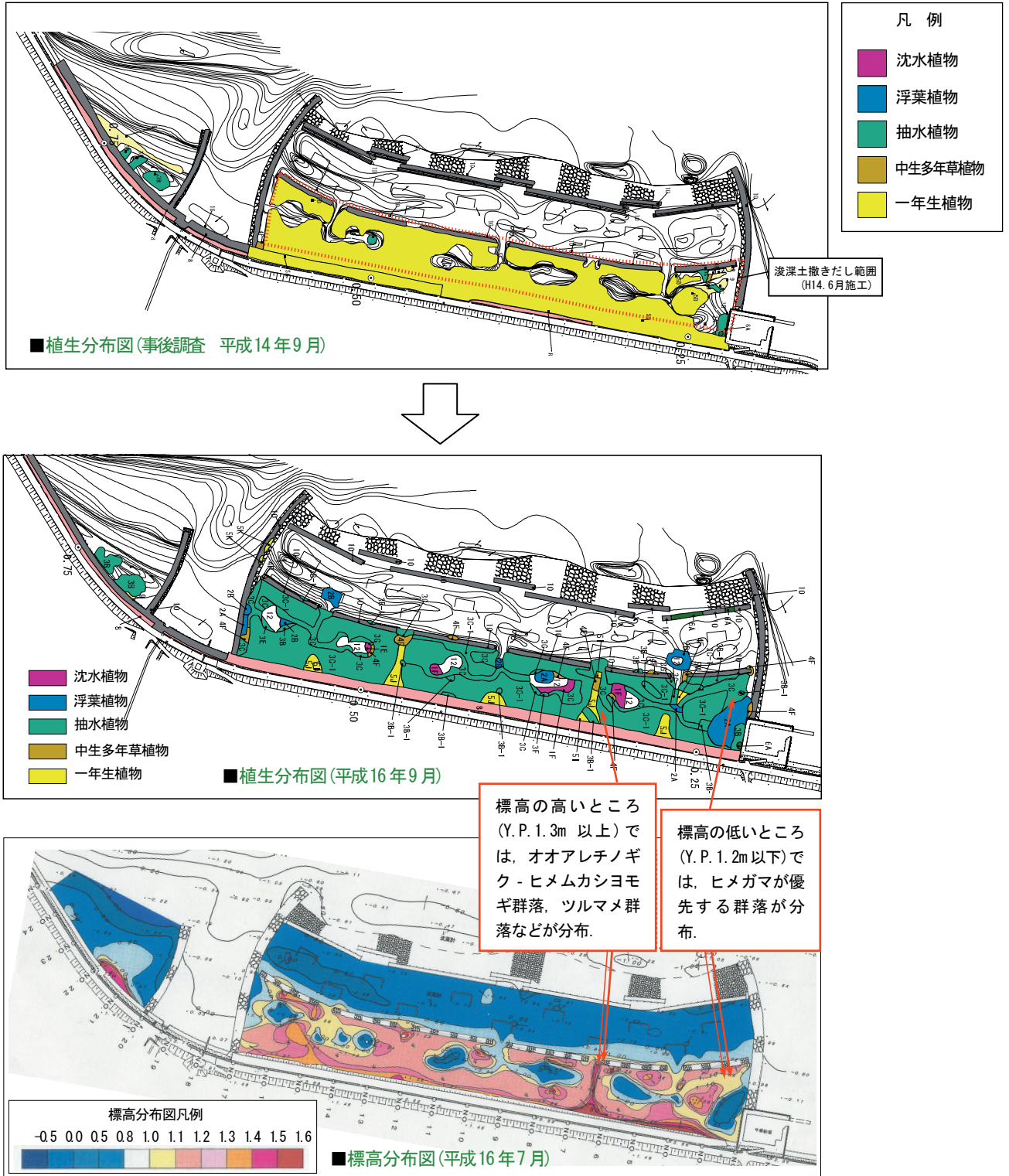


図3-18 境島地区養浜工区の植生の変遷と標高別にみた植生分布

4) 湖岸植生帯緊急対策の中間評価

霞ヶ浦湖岸植生帯の緊急対策の現時点（平成16年度調査結果分析）での中間評価としては、概ね表3・4のようになっており、現時点ではいくつかの課題はあるものの、仮説を設定して実施した対策は効果があるものと評価される。

4. 緊急保全対策地区の環境特性

緊急保全対策工の整備により創出した新たな植生生育場は、長期に渡って維持されている既存の霞ヶ浦湖岸植生帯に比べ、非常に異なった環境特性を持っている。特に、整備直後の養浜は大規模な明るい草地であるため、そこに生育する植物の遷移とそれを利用する

生物の変化に注目する必要がある。ここでは、整備後モニタリング調査で得られた緊急保全対策地区の環境特性の概要を述べる。

4.1 物理環境

物理環境は水質、底質、地形などを調査しているが、整備後2年半（H14.3～H16.10）では、大きな変化は発生していない（図4・1参照）。

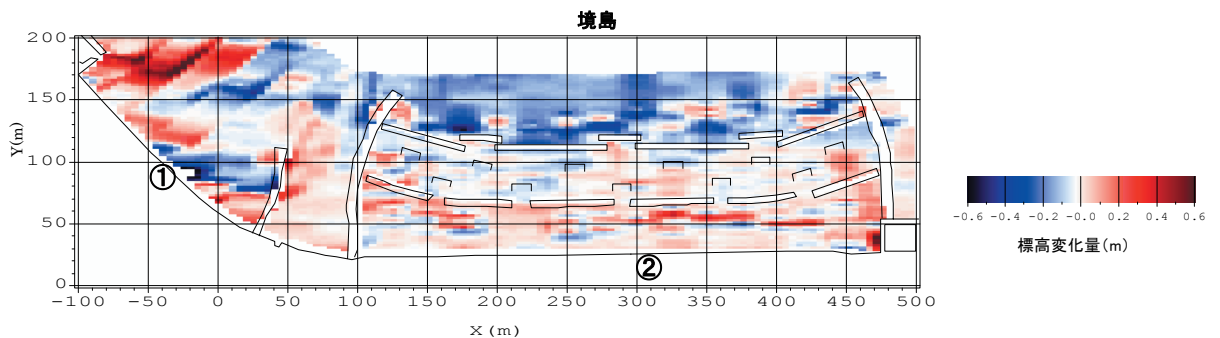
水質：施設整備による夏季の嫌気化は起こっていない
底質：ORPの酸化還元、底質の有機物堆積及び細粒化による植物生育環境の悪化はみられない。

地形：消波施設の整備された地区では、小規模な変動はあるものの、深刻な浸食は起きていない

表3・4 霞ヶ浦湖岸植生帯保全緊急対策の現時点（H16年度）での中間評価

仮説テーマ		評価	仮説の中間検証結果
保全	生育場の保全	○	概ね地形を維持できている
	既存植生の保全	○	粗朶消波工は損傷したが、既存抽水植生帯は現状維持・アサザ群落が増大
再生	アサザ実生の発芽・定着	○	消波工、板柵盛土工は、実生の発芽、定着に大きな効果があったが、浮葉化できない
	多様な生育場の維持	○	粗朶消波工は損傷したが、背後地形は維持され、多様な生育場を維持できた
	再生した植生の保全	○	静穏水域の内側の汀線側では植生が復元・保全された
	多様な植生の再生	○	多様な生育場整備で多様な植生が再生した
		△	上層植生の繁茂に伴い沈水植物等の減少・外来種の出現（標高の高い範囲）
	シードバンクによる植生帯の復元	○	浚渫土播き出しによって短期間で多様な水辺植生を再生できた
移植による植生帯の復元	○	移植による植生復元は効率よく再生できた	

◎：仮説の検証度が高い、○：中位、△：低い



閉鎖的な生育場と開放的な生育場の地形変化特性

開放的な生育場		閉鎖的な生育場		地形変化の比較検討	植生生育状況の比較検討
①対象地区	地形変化特性	②対象地区	地形変化特性		
境島捨て砂工区：突堤1基のみ、消波工なし	・汀線が護岸まで後退した ・捨て砂工は維持できなかった ・標高変化量は全地区二番目に大きく10cm程度であった	境島養浜工区：粗朶消波工、突堤2基、人工バーム	・汀線は維持でき、養浜では再生した植生が繁茂した ・特に増減したエリアはない ・変化量は全地区最小で、ほとんどなかった	・消波施設の有無が地形変動の大きな原因と考えられる ・人工バームが汀線地形を維持していると評価できる	・捨て砂工は生育場に植生はみられず、養浜工区は植生が水際まで繁茂していた

境島地区では、粗朶消波工、突堤により②工区は地形変化がなく、植生も生育できたが、隣接する①工区（消波工、突堤なし捨砂工のみ）では、地形変化が大きく、植生も生育できなかった。このことから、緊急対策工は生育場維持に効果がみられたと考えられる。

図4・1 境島地区のH14～H16年標高変化と地形維持特性

4.2 施設維持状況

1) 消波施設

緊急保全対策工の各施設は、H14.4月～現時点までのところ、台風、低気圧による高波・浪強風などを受けても大きな被災状況は見当たらず、施設は維持されている。その中で、図4・2、4・3のように粗朶消波工の内蔵粗朶の流出現象が目立ち、流出した粗朶の影響や消波機能の低下が見られる(図4・4参照)。

2) 植物実生活着補助施設

再生した水際の植生帯がしっかりと成長し、波浪等の自然撓乱に耐えられる時期まで植物実生を活着化する補助施設として、「人工バーム」という小規模な石積み堤を整備した。またアサザ等の移植浮葉植物を定着させるためには、「杭柵工」という簡易な松杭の柵を整備した。両施設とも、仮施設としての位置づけを持ち、植生帯の復元状況に応じて、撤去を前提とした施設である。

(1) 人工バーム

人工バームは当初植物の成長を波浪から守る反面、植物の前進を阻害する危険性が想定されていた。実際はほとんどの場合、人工バーム上に砂が溜まり、その背後の植生を守りつつも、その砂の上に植生が繁茂し、水際植生帯の保全と前進が可能となった(図4・5、4・6参照)。ただし比高の高い部分では陸生植物が増加する課題もある。



図4・2 粗朶消波工の損傷



図4・3 内蔵粗朶流出

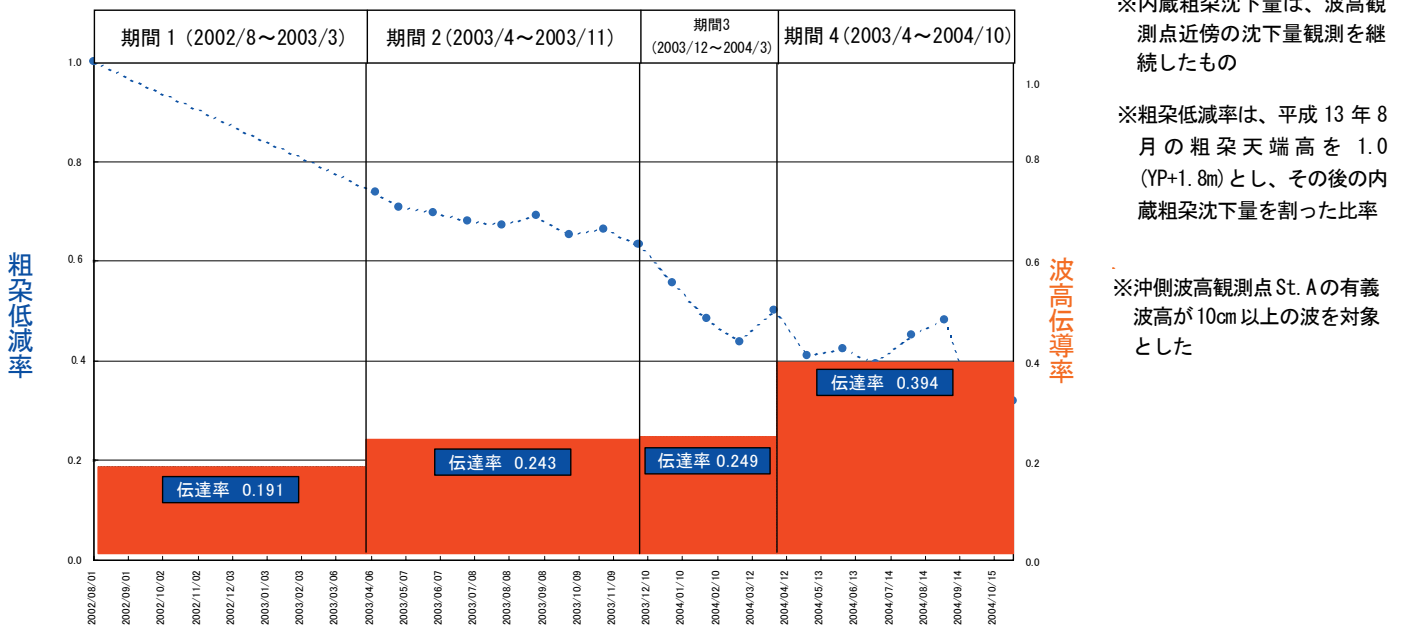


図4・4 境島地区粗朶消波工の機能低下



図4・5 永山地区人工バームの砂侵入防止状況

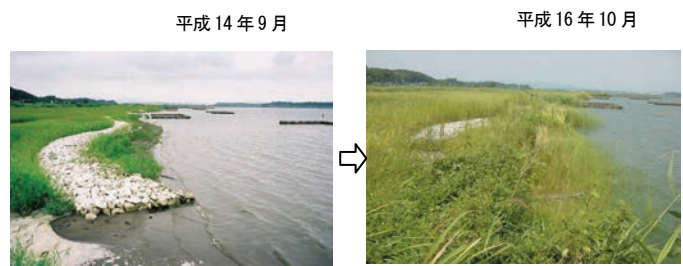


図4・6 石川地区水際線を守る人工バーム周辺での水際植生の前進状況

(2) 杭柵工

杭柵工はかなり簡易な施設であるため、その効果が予想できなかったが、どの地区でもアサザ移植株は成長し、特に大船津地区では図 4-7 のようにアサザが杭柵工外に自然拡大し、成果が上がった。



図 4-7 大船津地区で杭柵工による移植アサザの拡大

(3) シードバンクの活用

シードバンクを含む舟溜りの航路浚渫土を境島、根田、石川、永山、大船津地区の 5 地区において、養浜、ワンド、クリークの上に撒き出した。5 地区とも初年度数ヶ月後から霞ヶ浦固有の植物種が繁茂し、効果が確認された(表 4-1, 図 4-8 参照)。ただ、以下の点で問題があり、この情報から、シードバンク活用の重要な観点が把握できた。

- ・ 境島、根田、石川の 3 地区で一年生草本の優占が見られたことから、施工時期、土の由来が影響していると考えられる。
- ・ YP+1.3m 程度の高比高箇所では一年生草本が繁茂した
- ・ 2 年目以降は 3 地区でも次第に一年生草本が減少したが、これは、水位・波浪の攪乱を受け、水生植物が次第に生長する環境へ変化したものと考えられる

以上の状況より、シードバンク活用のポイントは、下記のように考えられる。

- 撒き出し厚さは今回実施した 10cm 程度で十分効果がある
- 土の由来の管理
- 撒き出す生育場の比高の管理
- シードバンク撒き出し時期の管理

表 4-1 シードバンクの活用状況

地区	砂の由来	撒き出し 施工時期	植生生育状況の特性
境島 根田 石川	西浦	平成 14 年 6, 7 月末 完成	イヌビエ、オオクサキ ビ、一年生草本優占の 植生
永山 大船津	北浦	平成 14 年 3 月末完 成	エゾウキヤガラ優占の 植生

平成 14 年 4 月 25 日

平成 14 年 6 月 18 日



(永山) 平成 14 年 2~3 月北浦由来の浚渫土撒きだした。撒きだし 3 ヶ月後の 6 月には、全域にエゾウキヤガラの優占する植生が成立。施工後 3 年目の平成 16 年 9 月には、ヒメガマが優占する植生が広い面積を占めた。

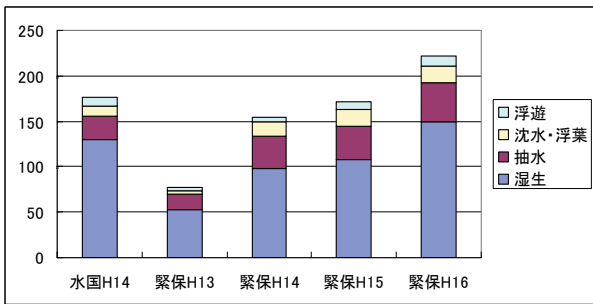
図 4-8 永山地区シードバンク効果

4.3 生物生息特性

緊急保全対策地区に生息する植物、魚介類、陸上昆虫類などについて、植物以外は適宜夏季のみの調査を実施してきた。なお、植物調査は河川水辺の国勢調査(水国)と同じレベルで実施している。

1) 植物

植物は最新の国勢調査(H14 年度)と緊急対策地区調査(H13~16 年度)との陸生植物を除く水生植物だけを比較した(図 4-9 参照)。養浜等の広い湿地環境、ワンド・クリークなどの水域環境などを持つため、水国 176 種に対して、年々増加し H16 年度では 222 種となって、霞ヶ浦全体と比べ緊急対策地区ではより多くの種が確認されている。特徴的なのは、抽水植物と沈水植物がいずれも、水国の約 2 倍となっている点である。特に東大の研究などでは、これまで霞ヶ浦で失われてしまったと思われていた沈水植物が 12 種再生したとの指摘もある。



H14	H13	H14	H15	H16	
176	77	154	171	222	合計
130	53	98	108	150	湿生
26	17	35	37	42	抽水
11	3	16	18	19	沈水・浮葉
9	4	5	8	11	浮遊

図4-9 水国と緊急保全対策地区の水生植物種数の比較

また、特定種は国勢調査(H14年度)では、20科29種に対して、最新の緊急保全対策地区(H16年度)では、20科25種が確認されており、ほぼ同じ状況になっている。

2) 魚介類

魚介類は最新水国(H16年度夏季のデータのみ、採捕手法が異なる)と過去の緊急保全対策地区(H13~H17年度、H17年度は速報)を比較した(図4-10参照)。

- 生活型別にみた場合、一番変化がみられるのは純淡水魚である
- 水国のデータは、常陸川水門下流のデータを含む。そのため、汽水・海水魚の割合が高くなっていて、種類数が増加している
- これまでに確認されている特定種は5種である
- 特定種の出現状況は、どの調査でも概ね似ている

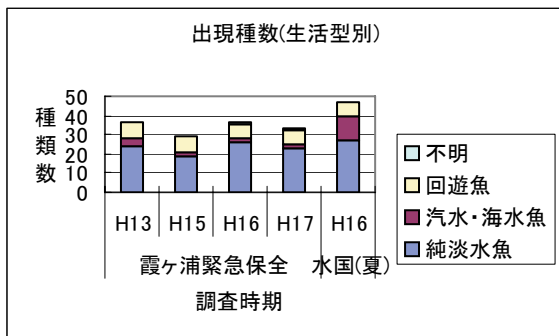
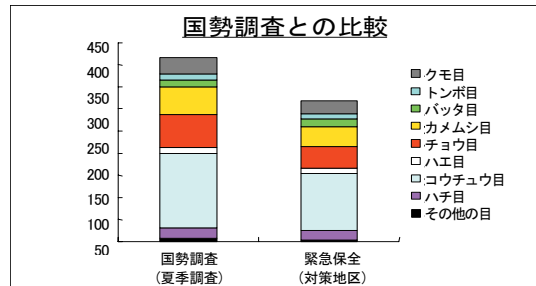


図4-10 水国と緊急保全対策地区の魚介類の比較

3) 陸上昆虫類

陸上昆虫類は最新水国(H15年度夏季のデータのみ抽出)と過去の緊急保全対策地区(H15年年度夏季のみ調査実施)を比較した(図4-11参照)。

- 同時期に実施した両調査結果比較で緊急保全対策地区が水国と比べ、確認種数が100種程度少ない
- 目別種数の割合はほぼ同じだが、コウチュウ目の種数が少なく、オサムシ科のゴミムシ類など移動分散力の低い種がまだ進入してきていないと考えられる
- 緊急保全対策地区では、水国地区と比べ乾性草地に生息する種が多い
- 緊急保全対策地区内では、養浜等の多様な環境を保有する地区での確認種数が多い傾向である



※比較にあたっては、「〇〇科の一種」など種名が未確定のものは対象外とした。また、いずれも調査はH15年夏季実施

図4-11 水国と緊急保全対策地の昆虫類の比較

4.4 現地での様々な環境

緊急保全対策では以上の他に現地で様々な現象が起こっている。その特徴的なものを図4-12~4-25に示す。

1) 植生の復元景観

平成15年8月



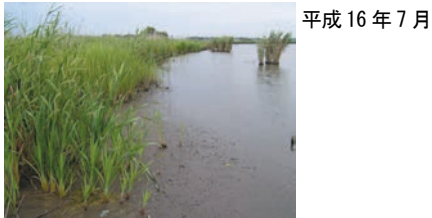
平成16年7月



図4-12 鳩崎地区の水際植生の復元状況



平成 15 年 8 月



平成 16 年 7 月

図 4-13 鳩崎地区の水際植生の復元状



大船津中流

平成 16 年 8 月

図 4-14 大船津地区のアサザの復元状況



平成 16 年 9 月

図 4-15 根田地区の湖岸植生帯の復元状況

2) いろいろな植物の再生

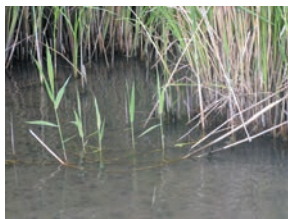


図 4-16 ヨシの芽吹き



図 4-17 幡種による
オニバスの再生



図 4-18 エコトーン



図 4-19 アサザ

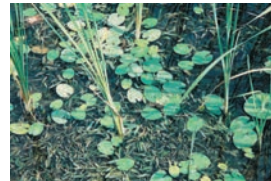


図 4-20 沈水植物の再生



図 4-21 鳥の利用



図 4-22 ジョウロウスゲ



図 4-23 ミズアオイ



図 4-24 ミクリ



図 4-25 カンエンガヤツリ

5. 現在の課題と順応的な管理の実施

5.1 現時点での課題

湖岸植生帯緊急保全対策地区は、前述のように様々な変化を見せているが、現時点では以下のような課題が把握されている。

- ・ 外来種の繁茂
- ・ 繁茂した植物の陰影による沈水植物の減少
- ・ アサザ実生の浮葉化の停滞
- ・ 粗朶消波工の劣化
- ・ アサザ移植株の拡大，成長への対応
- ・ 沖側内水面の未活用

これらの課題について、順応的な管理による対応を試みている。

5.2 順応的な管理の実施

現在の課題に対しては、解決のための仮説を設定した上で想定される効果的手法により、順応的な管理が行われている。その実施は、インターネットHPなどで参加者を募りながら行政、学識者、NPO、住民の協働によって行っている。

1) 外来種繁茂の抑制手法

侵略的外来種で増加傾向にある、セイタカアワダチソウ、キシウスズメノヒエ、ヒロハホウキギクなどを抑制するため、一部試験区を設け、抜き取りを行い観察している(図5・1参照)。



セイタカアワダチソウの除去(石川地区、H16年8月)
図5・1 行政・東大・住民が中心になって実施している外来種除去活動

2) ガマ除去による沈水植物生育環境の維持

永山地区などワンドを持つ養浜では、初年度は裸地状態で光が到達しやすかったため、沈水植物が繁茂したが、ガマなどの抽水植物が成長し被陰されると、繁茂できなくなった。そのため、永山地区ワンド内に一部試験区を設け、ガマ除去部分を作り、沈水植物の生育状況を観察している(図5・2参照)。



ガマの除去(永山地区平成17年5月)
図5・2 沈水植物生育環境の維持

3) アサザ実生の浮葉化試験

鳩崎地区の板柵盛土工のアサザは初年度実生が多数発芽・定着したが、浮葉化できなかった。これは、霞ヶ浦水域との連続性が欠けているためと考えられ、試験区を設け、一部板柵盛土工を撤去することにした。現在、アサザの実生を波浪や水位変動などの霞ヶ浦の自然攪乱に触れさせ、自然に崩れた地形や水域との接触などの生育環境の変化によって、浮葉化するか観察している(図5・3参照)。



板柵工の一部撤去(鳩崎地区 平成16年7月)
図5・3 アサザ実生の浮葉化試験

4) 粗朶消波工の改良試案

粗朶消波工の内蔵粗朶の劣化や波浪による流出現象のため、結果的に内蔵粗朶が減少し、消波能力が低下してきている。これを改善するため、粗朶消波工の改良試案を検討し、一部の地区で試験区を設け、改修する計画である。

具体的な試案の一例としては、内蔵粗朶の流出は、

- ・高波浪に対する粗朶の激しい動きで金網から直接流出する
- ・湖水による湿乾の繰り返しで、内蔵粗朶自身が物質的に劣化し、長い粗朶が細分割され高水位時に金網網目より流出する。

などが想定されている(図 5・4 参照)。

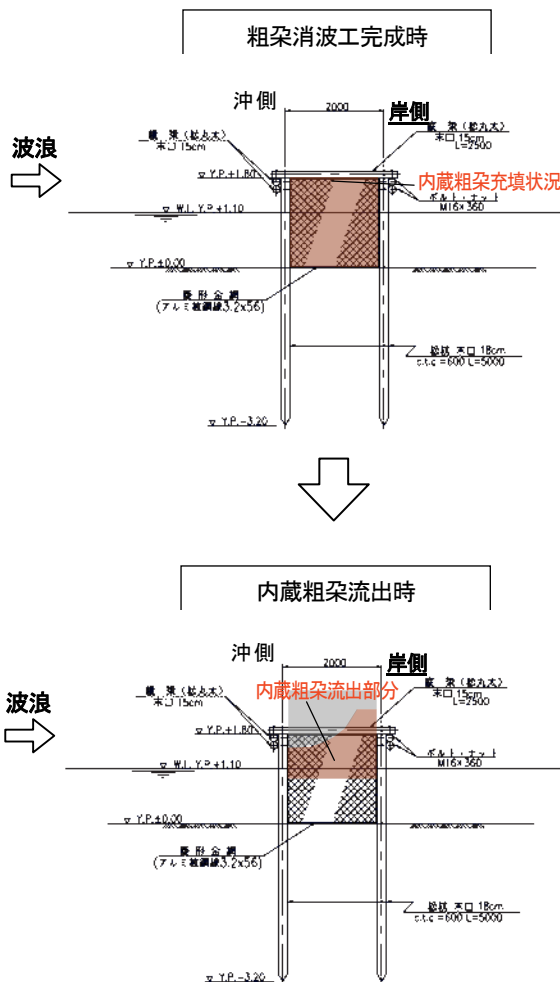


図 5・4 粗朶消波工の損傷状態

これに対する対策としては、

- ・平水位より上に袋詰玉石を載せ、下の内蔵粗朶を固定しかつ、波浪には、袋詰玉石で対抗する。
- ・内蔵粗朶劣化を防止するため、内蔵粗朶を平水位以下(水中部)に限定して配置する。

が有効と考えられ、以下の粗朶消波工天端袋詰め玉石設置案が考えられた(図 5・5 参照)。

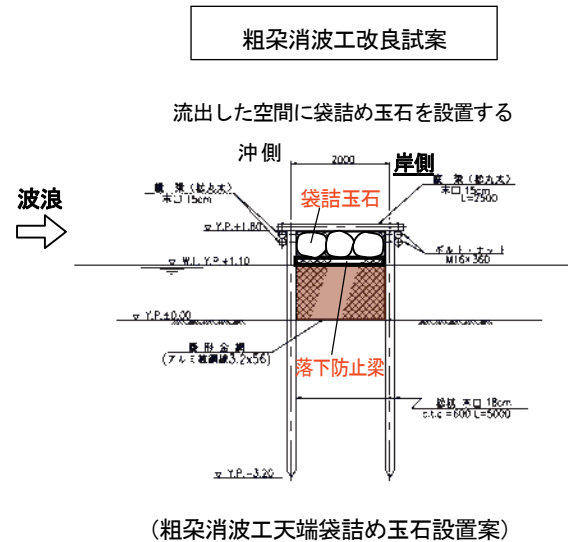


図 5・5 粗朶消波工の改善試験

5) アサザ株の植物実生活着補助施設(杭柵工)の一部撤去

大船津地区のアサザ移植株が杭柵工の中で大きく展葉して、地下茎を伸ばし杭柵工の外側周辺部にまで拡大した。この植生の再生状況から、当初想定した補助施設の役割は果たしたと考えられた。このため、次のステップとして、アサザ株が自然攪乱に耐えられるか試すため、一部試験区を設け杭柵工の撤去を実施し、その様子を観察している(図 5・6 参照)。



杭柵工の一部撤去(大船津 平成 17 年 7 月)

図 5・6 アサザ株の実生活着施設の一部撤去

6. 今後の課題

現在はモニタリングの途上ではあるが、これまでに以下の点が明らかになった。

1. 現時点では、緊急対策は様々な課題もあるが、概ね良好に湖岸植生帯の保全・再生に機能している。
2. 各仮説は、調査結果により検証されつつある。
3. 植物群落の優占状態は、今後さらなる変化が予想される。
4. 再生した植生帯に生息する生物も回復しつつある。
5. シードバンク活用、植物実生活着補助施設（人工ドーム、杭柵工）、生育場施設（養浜工、捨砂工、消波工、突堤）などは現在も維持されており、植生復元に概ね有効であった。
6. 現在の課題に対して、順応的な管理が有効に機能している。

平成 17 年 8 月現在、11 地区の緊急対策工は整備から、約 3 年半が経過したところである。整備後モニタリング調査も第 4 年目となった。評価検討会は第 4 回を平成 17 年 3 月に行い、順応的な管理は外来種対策、沈水植物生育環境の維持、アサザ実生の浮葉化試験、粗朶消波工の改良試案、アサザ株拡大に伴う杭柵工の一部除去などさまざまな取り組みが、行政、学識者、NPO、住民の協働で行われている。このような事業状況から考えると、今後の取り組むべき課題は次のように考えられる。

1. 行政、研究者、地元住民・NPO の協働による順応的な管理実施を更に促進し、その成果を共有するための情報発信を行う。
2. 平成 18 年度で最終となる緊急対策工モニタリング調査の長期的な取り組み視点、維持管理のあり方など、今後の基本的な方針を検討し、共有する。
3. また、このモニタリング調査で得られた新しい知見について、情報を十分整理し、新しい環境技術として公開していく。

4. 現在までの湖岸植生再生の現地を流域住民の方々も手軽に触れられるような利活用施設の整備、イベントの開催を検討していく。
5. この成果を基に次なる湖岸植生再生へのステップとして、今後の目指すべき霞ヶ浦の湖岸植生帯のあり方を検討し、実現のための戦略を設定する。

謝辞

本研究は、国土交通省関東地方整備局霞ヶ浦河川事務所委託業務の調査研究の一環として実施されたものである。なお、本研究を実施するにあたり、「霞ヶ浦湖岸植生帯の緊急保全対策評価検討会」の先生方や霞ヶ浦河川事務所には、貴重なご意見、ご指導を頂きました。ここに記して深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 宮脇成生、西廣淳、中村圭吾、藤原宣夫「霞ヶ浦湖岸植生の変遷とその要因」
2001.9 応用生態工学研究会 第 5 回研究発表会講演集
- 2) 「霞ヶ浦湖岸植生の緊急保全対策工詳細設計業務」
平成 14 年 3 月 国土交通省関東地方整備局霞ヶ浦工事事務所
- 3) 「霞ヶ浦水際線保全検討業務」平成 13 年 3 月
財団法人 河川環境管理財団
- 4) 「霞ヶ浦水際線保全検討（その 2）業務」
平成 14 年 3 月 財団法人 河川環境管理財団
- 5) 「霞ヶ浦湖岸植生の緊急保全対策工周辺モニタリング調査」平成 14、15、16 年 3 月
国土交通省関東地方整備局霞ヶ浦河川事務所

Ⅱ 河川管理施設の維持管理に関する調査研究

5. イネ科花粉対策を考慮した堤防植生管理の研究

山本晃一*・戸谷英雄**・谷村大三郎***・石橋祥宏****・平田真二*****

1. はじめに

河川堤防は法面保護の目的で植栽が行われている。堤防の植生は築堤時においてはノシバが植栽されているが、その後、周辺から様々な植物が侵入することや除草により、徐々に植生が遷移している。

現在の江戸川堤防においては、この遷移の過程において、ネズミホソムギやオニウシノケグサなどの寒地型の外来牧草類が広く分布するようになってきている。これらの外来牧草類は春季の花粉飛散によって強いアレルギー症状を引き起こす植物として知られ、江戸川沿川においても小中学校の児童・生徒の集団発症や、沿川住民からの苦情や対策の要望等が寄せられている。

しかし、これらの外来牧草類がいつ、どのような状態で、どの範囲まで花粉を飛散させているかについては、知見がほとんど蓄積されていなかった。また、河川沿川地域において、どうすればイネ科花粉の健康被害を防ぐことが出来るかについても、技術論的に裏付けのある手法が全く確立されていなかった。そのため、江戸川をモデルとした花粉対策の実証的研究を行い、イネ科花粉を考慮した堤防植生管理手法を提案した。研究期間は平成14年度から16年度までの3ヶ年である。

2. 研究の目的と調査・検討方法

本研究を始めるにあたり、イネ科植物を原因とする花粉症の現状に関する文献等を収集・整理したが、日本国内における花粉症の研究はスギを対象としているものがほとんどで、「イネ科花粉症」については、その存在は認知されているものの、実証的研究は少なく、いくつかの集団発症に関する報告があるだけであった。

そのため、江戸川堤防に調査区を設定し、イネ科花粉の飛散量を現地で実際に捕集・計測するとともに、堤防上の外来牧草類開花穂数の変化を継続観察することによって、現地データを取得した。また、花粉症対策の検討にあたっては、花粉症の原因植物の生態を考慮した上で、飛散する花粉量を減らすための試験除草区を設定し、実際の花粉量変化を把握することで、対策効果を検証することとした。

なお、これらの検討にあたっては、河川工学、植物生態学、アレルギー臨床医学等の学識者、イネ科花粉症を研究している市民グループの代表、河川管理者からなる「堤防植生花粉対策調査検討委員会」(委員長：山本 晃一)を平成15年2月から平成16年3月までに6回開催し、委員の意見に基づいて実験・検証計画の策定・調査結果の評価を行った。

* (財)河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究所長
** (財)河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究第4部長
*** (財)河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究第4部次長
**** (財)河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究第4部研究員
***** (株)エコー 河川環境本部

3. イネ科外来牧草と健康被害の実態

3.1 河川沿川におけるイネ科花粉症被害の現状把握

3.1.1 イネ科花粉被害の事例収集

イネ科草本による花粉症被害については、牧草地の多いヨーロッパやアメリカで知られており、日本でこれらが問題化したのは近年である。

河川敷に生育するイネ科花粉による花粉症が問題となったのは昭和 59 年 6 月に東京都府中市の多摩川沿いの小中学校で延べ 1398 名が眼のかゆみや鼻汁等の健康被害を訴えた事例が国内で初めてである。この被害は当初光化学スモッグの影響と想定されたが、花粉量調査や皮膚反応検査、血液中抗体検査を実施した結果、多摩川堤防に生育するホソムギ等の花粉が原因であることが確認された(大里ら 1984)。

江戸川においても平成 6 年頃に葛飾区の金町小学校において、イネ科花粉症の集団発生が生じ、地元の「イネ科花粉症を学習するグループ」が調査・提言活動を行っていることもあり、花粉症被害防止のための芝張り替えや除草時期・回数の調整を行っている(中山 2004)。

さらに、平成 15 年 5 月には松戸市の古ヶ崎中学校で集団発症があり、生徒の約 3 割に症状が見られた。

その他、江戸川上流部左岸の野田市岩名地区や、荒川下流や荒川上流においても花粉症被害の苦情・要望等が知られている。関東の都市河川においては、堤防除草に関する苦情・要望の内 18.5%が花粉症防止に関するものであり、植生管理に関する苦情のうち第 2 位であった。(表 3・1 参照)

このように、河川堤防周辺ではイネ科外来牧草を原因とする花粉症の集団発生が見られ、この原因の一つとして、河川堤防において大量の原因植物が優占生育していることが指摘されている。都市域においては、これらイネ科花粉症原因植物が大量に生育する場所は、河川堤防や高水敷に限られるため、深刻な健康被害を軽減するため、花粉対策に配慮した堤防植生管理が望まれる。

表 3・1 植生管理に関する苦情・要望

項目名	件数	割合
植生繁茂への苦情	71	36.4%
花粉症の防止	36	18.5%
利用安全確保	15	7.7%
刈草飛散被害	34	17.4%
自然環境の保全	10	5.1%
煙被害(芝焼き)	10	5.1%
枯草火災防止	5	2.6%
その他	14	7.2%
合計	195	

※平成 8～10 年の多摩川、荒川下流、荒川上流及び平成 8～14 年の江戸川河川事務所に寄せられた苦情・要望を集計。

3.1.2 アンケート調査

江戸川沿川の花粉症の患者数及び、イネ科花粉症に関する認識度を把握するため、江戸川の堤防利用者を対象にアンケート調査を実施した。調査は、堤防利用者の多い 6 地区を選定し、平成 15 年 2 月、5 月の年 2 回実施した。サンプル数は各地区 50 人とし、計 600 人を対象とした。

その結果、600 人中 108 名、20%程度の堤防利用者が何らかの花粉症の症状があるとの回答を得た(表 3・2 参照)。

表 3・2 花粉症の症状がある、なしの回答人数

	①行徳	②金町	③松戸	④流山	⑤三郷	⑥岩名	合計
	冬:春	冬:春	冬:春	冬:春	冬:春	冬:春	冬:春
症状あり	9:10	7:7	12:13	10:24	4:7	7:8	49:69
症状無し	41:40	43:43	38:37	40:26	46:43	43:42	251:231
合計	50:50	50:50	50:50	50:50	50:50	50:50	300:300

さらに、花粉症の症状がある人に対し、イネ科花粉の飛散時期に当たる春(5～7月)に症状があるかアンケートを行い、症状があったとした人を、イネ科花粉患者と仮定すると、600 名のうち 37 名(6%)がイネ科花粉症患者と推定された(図 3・1 参照)。

しかし、調査結果では春の流山地区におけるイネ科花粉症患者数が極端に多い傾向があり、原因を考察したところ、アンケート時において該当箇所ではイネ科外来牧草類が満開となっており、調査日当日に症状を感じる人が多かったものと推定された。他の調査地点では、除草等により花粉が飛散する状況ではなかった。この流山地区の患者率は、回答者の約 3 割強にあたる。この比率は、平成 16 年 5 月の古ヶ

崎中学校での発症比率とほぼ同じであった。以上から、堤防で花粉症対策を実施しない場合、花粉飛散ピーク時に利用者の約3割強に症状が発生する可能性があることが推測される。

	①行徳 冬:春	②金町 冬:春	③松戸 冬:春	④流山 冬:春	⑤三郷 冬:春	⑥岩名 冬:春	合計 冬:春
イネ科花粉症	1:3	0:1	2:1	2:19	1:1	3:3	9:28
その他	49:47	50:49	48:49	48:31	49:49	47:47	291:272
合計	50:50	50:50	50:50	50:50	50:50	50:50	300:300

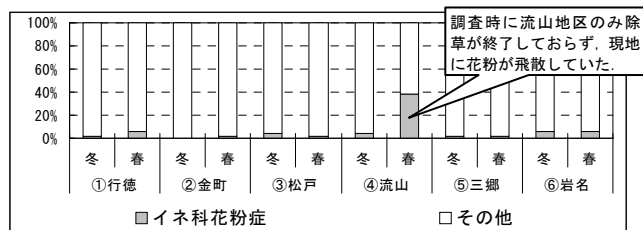


図 3-1 イネ科花粉症の症状があると回答した割合

3.2 イネ科花粉症原因植物

3.2.1 文献調査による原因植物の整理

草本類の花粉症原因植物としては、イネ科、キク科(ブタクサ属, ヨモギ属)が知られている。このうち、ブタクサ属のブタクサ, オオブタクサ, ヨモギ属のヨモギについては、堤防法面は最低でも年2回の除草が行われることにより、ほとんどの個体は開花しないと考えられるので、堤防植生で考慮すべき花粉症植物としてはイネ科植物が対象となる。

文献に記載されたイネ科花粉症原因植物は表 3.3 の通りである(写真 3-1 参照)。

表 3-3 イネ科花粉症原因植物一覧

植物名	牧草名	花期	生活形	摘要欄
オニウシノケグサ	トールフェスク	6-8月	多年草	
ヒロハウシノケグサ	メードフェスク	6-8月	多年草	江戸川では少ない
ナガハグサ	ケンタッキーブルーグラス	5-7月	多年草	
スズメノカタビラ		2-11月	1-2年草	高水敷に多い
カモガヤ	オーチャードグラス	7-8月	多年草	江戸川では少ない
ネズミムギ	イタリアンライグラス	5-7月	1-2年草	
ホソムギ	ペレニアルライグラス	5-7月	多年草	
ネズミホソムギ	—	5-7月	1-2年草	ネズミムギ及びホソムギの交雑型
コヌカグサ	レッドトップ	5-6月	多年草	
ハルガヤ	スイートバーナルグラス	5-7月	多年草	
オオアワガエリ	チモシー	6-8月	多年草	江戸川では少ない
スズメノテッポウ		4-5月	1年草	
イネ		8-10月	1年草	
ギョウギシバ		5-7月	多年草	
ヨシ		8-10月	多年草	

※オニウシノケグサは文献に記載がないが、ヒロハウシノケグサの近縁種で、イネ科植物は共通抗原性が高いと考えられるため、ここでは花粉症原因植物とした。また、ネズミホソムギは、ネズミムギとホソムギとの交雑型であり、ネズミムギ・ホソムギとも花粉症原因植物として挙げられているので、花粉症原因植物とした。

原因植物は、NPO 花粉情報協会(2002)及び、齋藤・井出(1984)で掲載された種を挙げた。花期及び生活形は「増補日本イネ科植物図譜」に従った。



ネズミホソムギ

オニウシノケグサ

カモガヤ

写真 3-1 代表的な花粉症原因植物

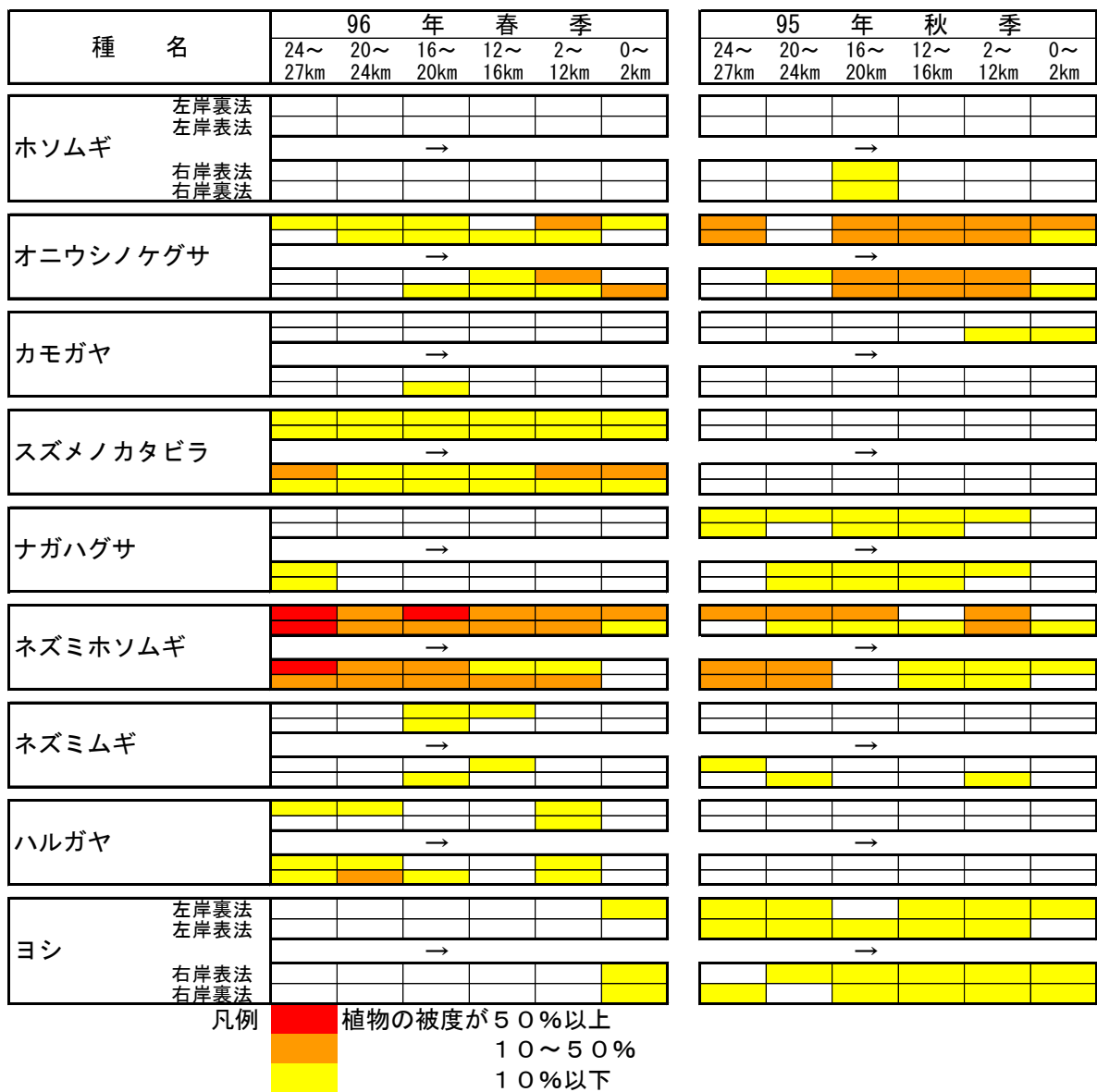
3.2.2 江戸川における原因植物分布状況の把握

江戸川における原因植物の生育状況を把握するため、平成7年度秋季及び8年度春季に実施された植物相(フロラ)調査結果を用いて、花粉症原因植物の分布状況等について整理した。

調査は、河口から流山橋(27km)周辺までを対象とし、288種の植物が確認されている。このうち表3・3に該当する植物は9種であり、その分布量の状況は図3・2の通りである。

この中では、ネズミホソムギがその分布量、密度ともに最も高く、次にオニウシノケグサの分布量が多かった。

原因植物の生態は種によって異なるため、原因植物の種類が違えば対策を変えてゆく必要があるが、江戸川においてはネズミホソムギの分布量が群を抜いて多いことから、本研究では第一段階として、ネズミホソムギを対象に花粉症対策の検討を行うこととした。



※河口～流山橋までを対象に4kmピッチで堤防に生育する植物種をリストアップしたもの。

図3・2 江戸川で確認されたイネ科花粉症原因植物の分布状況

江戸川の堤防については平成 11 年度に全川の植生分布調査が実施されている。関東の河川堤防の植生については、大きくシバタイプ・チガヤタイプ・外来牧草タイプの 3 つの種類に分かれることが分かっている(佐々木ら 2000)。

このうち、「外来牧草タイプ」と呼ばれる植生は春にネズミホソムギなどの越年型の牧草類が繁茂し、夏以降にメヒシバなどの秋に開花する一年草類が繁茂するものを示しているの、主にイネ科花粉症対策が必要な場所であると考えられる。この外来牧草タイプは図 3・3 から江戸川中流部に広く分布している。

実際に江戸川の現地を踏査した結果、及びイネ科花粉症に対する苦情発生箇所を精査したところ、実際には「チガヤタイプ」の堤防においても、イネ科花粉症の被害が報告されている。これは、チガヤの成長時期と、外来牧草類の成長時期がややずれており、チガヤが繁茂する夏～秋以前に外来牧草類が繁茂するためと考えられる。そのため、チガヤタイプ堤防においても、外来牧草類の混生が認められる場所では、花粉症対策を検討する必要がある。

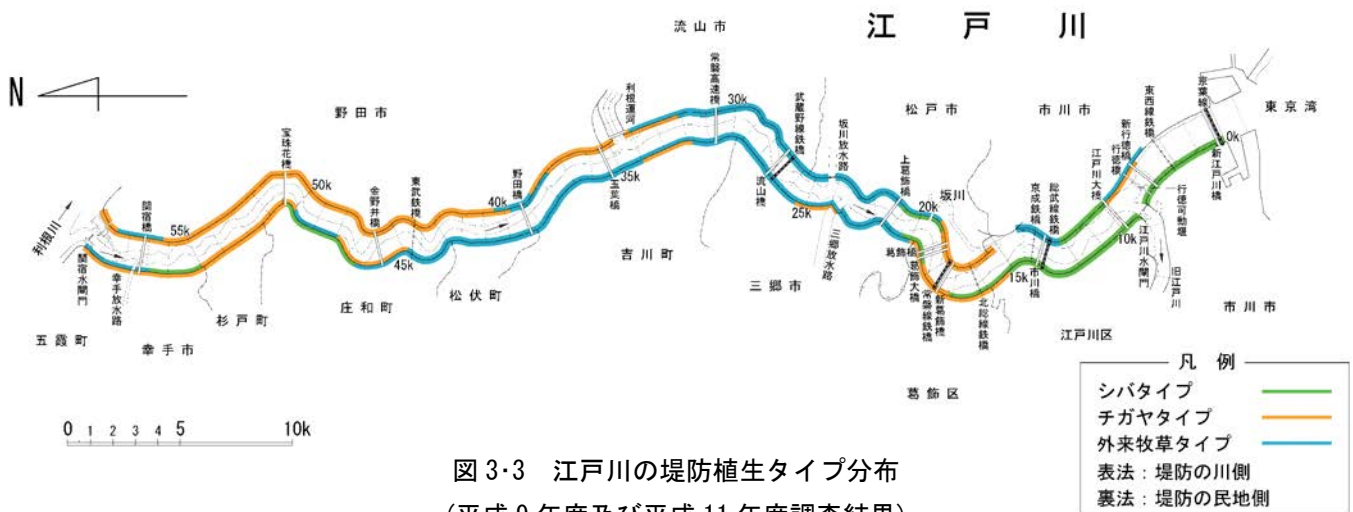
外来牧草タイプとチガヤタイプの堤防では、前者が主に 1 年草と越年草で構成され種子繁殖を行うものに対し、後者は多年草で栄養繁殖が主体となっているという違いがあり、植生管理の方法も違った方法をとる必要がある。

4. 花粉症原因植物の花粉飛散特性

4.1 ネズミホソムギの生態

花粉症対策の対象となるネズミホソムギは、1～2 年生(越年生)の外来牧草である。ネズミホソムギはネズミムギとホソムギの交雑種であるが、この両種は国内でも重要な牧草であり、その生態について様々な研究がなされている。これらの情報と、現地における観察結果等から、次のような生態を持っていることが整理された(図 4・1, 図 4・2, 写真 4・1 参照)。

- ・秋(9～10月)に種から発芽。(気温 20℃前後で発芽する)
- ・発芽後に 11 月頃までは日光を浴びて成長するが、真冬は休眠状態となる。
- ・暖くなると休眠が解け、春(3～4月)に急激に分けつ・伸長する。
- ・5月になると出穂し、5月中旬～8月上旬に開花。
- ・開花後に結実し、枯死。開花から 10 日程度で発芽能力のある種子を形成する。
- ・結実前に除草した場合、すぐに再伸長し二番穂・三番穂をつける。
- ・夏季は種子として地表部に存在。その期間、堤防上にはメヒシバやエノコログサなどの一年草類が繁茂する。



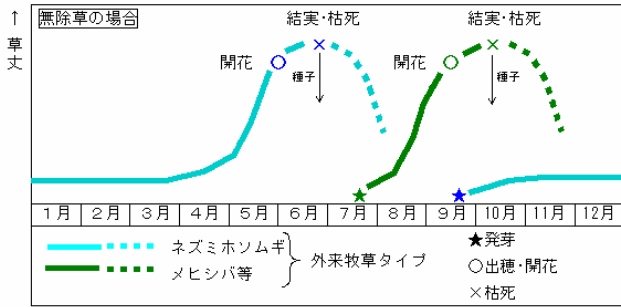


図 4-1 外来牧草タイプ草地の生態的特性の模式図

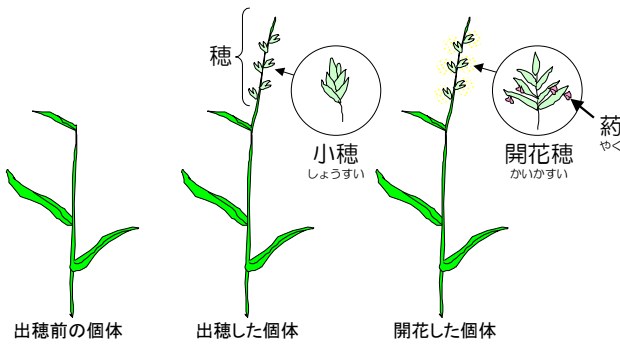


図 4-2 ネズミホソムギの開花プロセス



写真 4-1 ネズミホソムギの開花

4.1.1 花粉飛散時期

外来牧草が優占する千葉県流山市地先の江戸川堤防において、無除草の試験区を設定し、一週おきに植生調査を、花粉飛散時期と想定される5～8月に花粉飛散調査を集中的に実施した。

花粉の捕集には定量型のパーソナル式花粉捕集器を使用した(写真4-2参照)。この捕集器は大気を毎分5L吸引し、内部にセットしたスライドガラスに花粉を吸着させる。このスライドガラスを1時間おきに交換し、室内で顕微鏡を用いて、イネ科花粉の数を計測し、1000L(1m³)当たりの数値に変換したもの

が花粉量となる(個/m³)。



写真 4-2 パーソナル式花粉捕集器

試験区における観察結果から除草を行わない場合、ネズミホソムギは5月上旬に出穂し、5月中旬から開花が始まり、5月下旬に開花のピークを迎え、以降7月中旬まで開花期が継続している状況が確認された。また、6月下旬から開花後の個体は枯れ始め、夏の終わりには植物体が見られなくなった(図4-3参照)。ネズミホソムギは北方系の植物であるため、暑い夏を越えることが出来ず、種子で越冬する生活様式となっている。

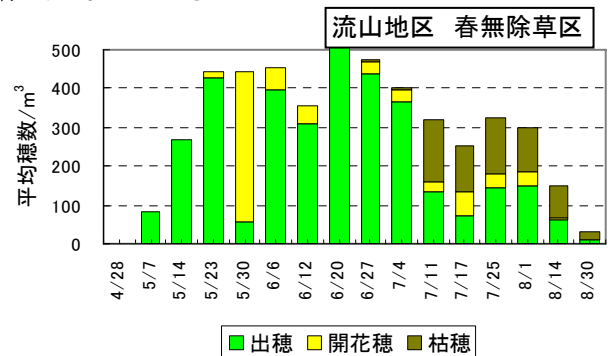


図 4-3 無除草地区におけるネズミホソムギの出穂状況(平成15年度流山地区)

本調査では開花状況の調査にあわせて、堤防天端上において空中花粉の捕集を行った。その結果、図4-4に示すとおり、堤防天端は1時間当たり12～4623個/m³・hの花粉が捕集された。イネ科花粉の飛散時期は5月上旬～7月中旬で、5月下旬がピークであった(2003年)。ただし、生長が早い個体はこれよりも早い時期から花粉を飛ばしていると考えられる。

捕集器で得られた花粉量は、堤防上の開花穂数とほぼ相関しており、開花状況を確認することにより、花粉の飛散状況も把握できると考えられる。

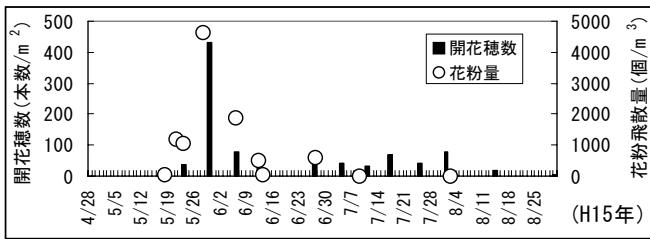
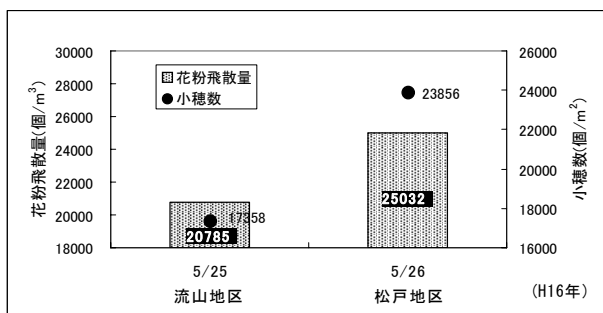


図 4-4 花粉飛散量と開花穂数との関係 (流山地区)

本試験区では除草を行わない条件で開花状況を確認している。ネズミホソムギの1つの穂の開花期間は10～14日間であるため、6月以降に少量づつ飛散する花粉は、草地の下部から分けつして伸長した新しい穂から発生しているものと想定される。

除草を行った場合は、花粉発生源である穂が失われるため、次の出穂があるまで花粉飛散は停止する。また、一般的には花粉飛散期間が延びる傾向にある。

なお、図 4-5 に示す通り、花粉源(堤防)におけるピーク時の花粉発生量は、ネズミホソムギの生育密度でかなり異なっている。



※各地区の無除草区において、最も花粉飛散量が多い日(一番穂)の調査時間内の天端・法尻の花粉飛散量の総数、及び、1m²内の小穂数で比較

図 4-5 各地区の無除草区における花粉飛散量の差

4.2 イネ科花粉の飛散距離

イネ科花粉はスギ花粉よりも花粉の直径が大きく重いので、その飛散距離は数百メートル以内といわれているが、正確な飛散距離に関するデータはない。そこで、実際に堤防周辺で花粉を捕集することにより、花粉の飛散距離を把握した。

4.2.1 飛散調査区設定手法

花粉の飛散距離とその距離毎の花粉量を把握するため、外来牧草が優占する千葉県流山市地先の堤防において、花粉捕集器を使用して空中花粉の量を平成 15 年及び平成 16 年に測定した。

平成 15 年には、流山地区の 2 箇所において、法尻から 40m 間隔で 160m までの区間を対象に調査を実施した。平成 16 年の調査では、流山地区の 1 箇所において法尻から 10m 間隔で 40m までの区間を対象に調査を実施した。また、花粉飛散調査実施時には、現地の天候、気温、湿度、風向・風力を測定した。

1) 配置方法

平成 16 年度の調査方法は以下の通りである(図 4-6 参照)。

- ・調査器具は「パーソナル式花粉捕集器」を使用
- ・捕集器の配置はいずれの方向からの風に対応できるように、堤内側と堤外側の両方に同配置
- ・捕集器の配置間隔は 10m とし、法尻から 40m までに 4 箇所設置

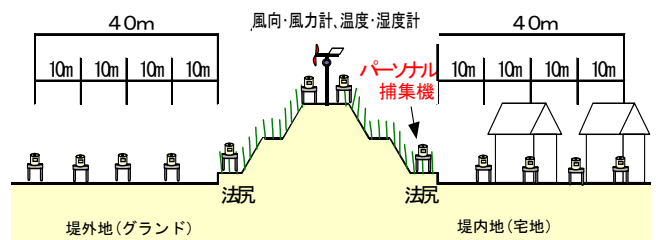


図 4-6 花粉飛散調査 (H16 年) の捕集器配置概要

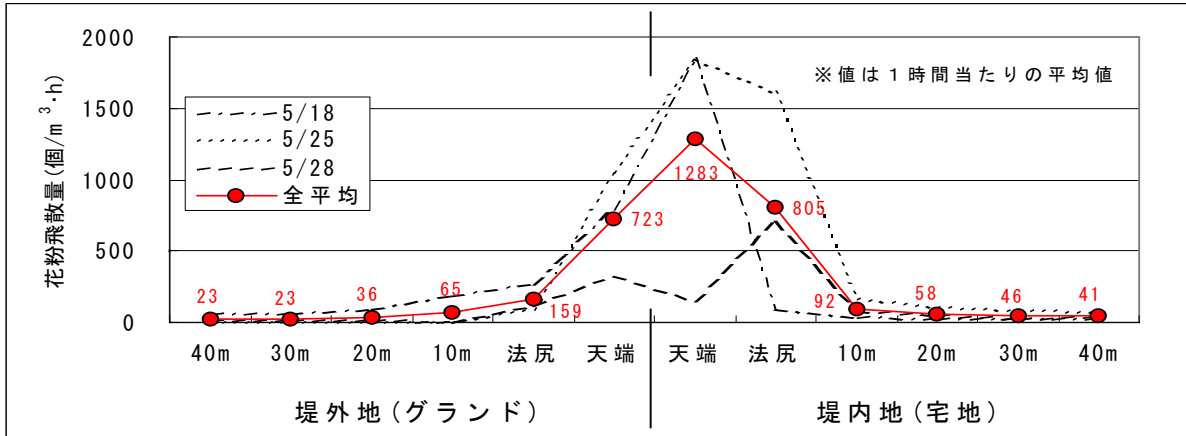
2) 調査時期・回数

- ・調査時期は花粉が最も飛散する 5 月中～下旬
- ・調査日は早朝から晴れている日を選び、3 回実施 (5 月 18, 25, 28 日に実施)
- ・調査時間は午前 8 時～午後 2 時の 6 時間実施

4.2.2 花粉飛散距離

平成 15 年度の流山地区の調査によると、法尻から 40m の距離で花粉飛散量が急激に減衰することが分かった。

平成 16 年度における流山地区で実施した花粉飛散実験の結果を図 4-7 に示す。その結果、晴天で強風下でない場合、その飛散量は堤防天端及び堤防法



※試験的に除草を遅らせネズミホソムギの一斉に開花させた状態で計測した値
図 4-7 ネズミホソムギ花粉の飛散距離 (H16 年度, 流山地区)

尻付近で非常に高い濃度を示すが、堤防から 10m 離れれば急速に減衰し、花粉の飛散が堤防周辺の狭い範囲に限られることが確認された。

ただし、堤防における花粉の濃度はネズミホソムギの生育密度等により異なるため、この花粉飛散量は全ての地区で同様の値を示すわけではない。そのため、一般的には**図 4-8**のように、花粉源からの減衰率で評価することが妥当である。

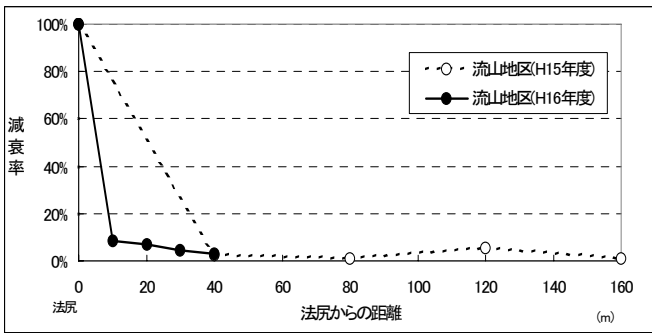


図 4-8 法尻を 100 とした場合の距離別花粉減衰率

4.2.3 風との関係

花粉の飛散距離は風により大きく変化することが想定される。今回調査した距離別の花粉量と一時間毎に堤防からの直交成分の風量との相関結果を**図 4-9**に示す。

調査結果によれば、風が弱い状態では法尻から 10m 離れると、法尻の花粉量の 20%程度となり、法尻から 40m で 5%程度、140m で 2%程度となった。

一方、風が強い場合に花粉飛散距離が伸びる傾向にあり、風速 3m/s 程度では、10m で 60%程度、40m で 20%程度の減衰率となった。

今回の結果では、風が堤防方向に吹いている場合でも、風が弱いときに比べて多くの花粉が遠方に到達する傾向が見られ、地形や障害物の影響も無視できないことが分かる。

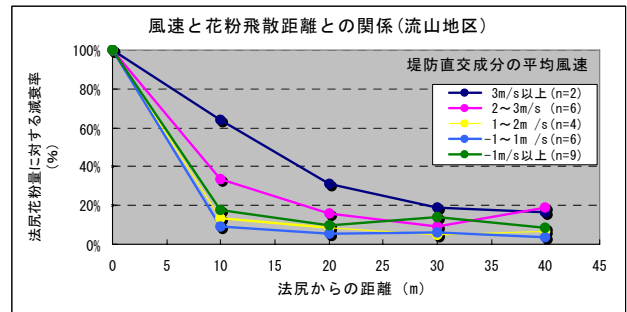


図 4-9 風速と花粉飛散距離との関係

4.3 花粉の飛散時間帯

時間帯別の花粉量を整理した結果、晴天の条件において、イネ科花粉は午前中に大半が飛散することが分かった(**図 4-10** 参照)。飛散のピークは 8 時~10 時であり、気温が高いほど早い時間帯から花粉が飛散する傾向が見られた。この結果から、イネ科花粉被害を回避するためには、午前中の時間帯に花粉源に近づかない、または、花粉を室内に取り込まないようにすることが有効と考えられた。

調査日	時間	気温(°C)	湿度(%)	天気	風向	風速(m/s)
H16 5/27	08-09	26.0	55.8	晴	南南西	1.5
	09-10	28.1	51.8	晴	南西	3.0
	10-11	30.8	45.1	晴	南西	3.6
	11-12	32.8	44.6	晴	南南西	2.8
	12-13	30.2	48.8	晴	南西	3.7
	13-14	32.4	40.0	晴	南南西	4.1

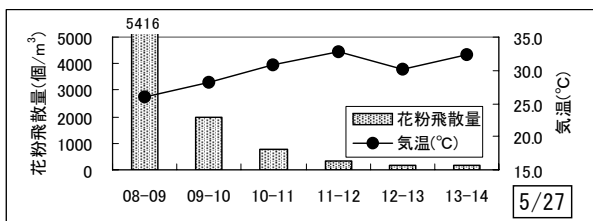


図 4-10 時刻別の花粉飛散量(晴天時の一例)

しかし、午前中に低温で、午後気温が上昇した場合などは午後に飛散量が増加するケースも確認されているため、天候に注意して判断する必要がある(図 4-11 参照)。

調査日	時間	気温(°C)	湿度(%)	天気	風向	風速(m/s)
H15 5/23	08-09	-	-	-	-	-
	09-10	-	-	-	-	-
	10-11	16.6	15.6	曇	北	0.4
	11-12	18.4	15.8	曇	北	1.3
	12-13	20.0	17.4	曇	東北東	3.0
	13-14	20.5	18.6	曇	北東	1.3

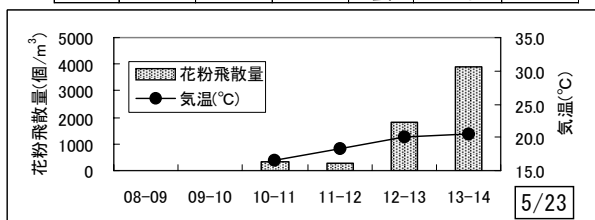


図 4-11 時刻別の花粉飛散量(曇天時の一例)

5. 除草による花粉対策の検討

5.1 除草により花粉飛散を抑制する方法の検討

本研究ではイネ科花粉の飛散特性を把握するとともに、堤防上のイネ科花粉が周辺に大量に飛散しないための、調査・試験を行った。外来牧草が優占する堤防においては、外来牧草類を根絶させることは困難であることから、当面の対策として、開花前に除草を行うことで、花粉の飛散を抑制する方策について検討を行った。

5.1.1 抑制試験区の設定手法

1) 調査目的

外来牧草が優占する堤防において、除草回数及び除草時期の工夫等により、効果的に花粉飛散の抑制を図る方法を見極める。

除草は春～初夏にかけて 0～3 回実施した。時期は外来牧草の花粉飛散時期の 5 月中旬に第 1 回除草を実施し、以降は現場の開花状況を把握して、法面のネズミホソムギが開花する直前の時期に実施した。その結果、2 回目の除草は 6 月中旬、3 回目は 7 月下旬に実施した。

2) 試験区構成(図 5-1)

抑制試験区①【流山地区】

: 左岸 26.25～26.65km 付近(表法)

抑制試験区②【常磐道上地区】

: 左岸 32.25～32.7km 付近(裏法)



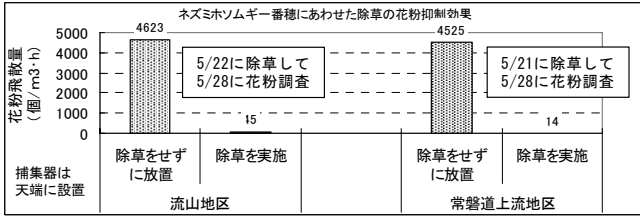
※各地区に 4 カ所ずつの定点を設定し、ネズミホソムギの穂数、開花穂数、平均小穂数を計測した。

図 5-1 抑制試験区の概略図

5.1.2 調査結果

1) 除草と花粉飛散の関係

除草試験と花粉飛散量を組み合わせた実験の結果、図 5-2 に示す通り、ネズミホソムギの開花時期に合わせた除草により、花粉飛散量の著しい抑制効果があることが確認された。また、前述の通りネズミホソムギ花粉の飛散距離は大きくないため、除草を行った区間においては直接効果が発揮され、隣接地を発生源とする花粉が侵入するケースはほとんどなかった。そのため、例えば、堤内地への花粉飛散を抑えるためには、裏法面の除草で十分効果があると考えられる。



※各工区の延長は100mで、捕集器は隣接工区の末端から50m離れている。花粉飛散量は調査時間中の平均値。

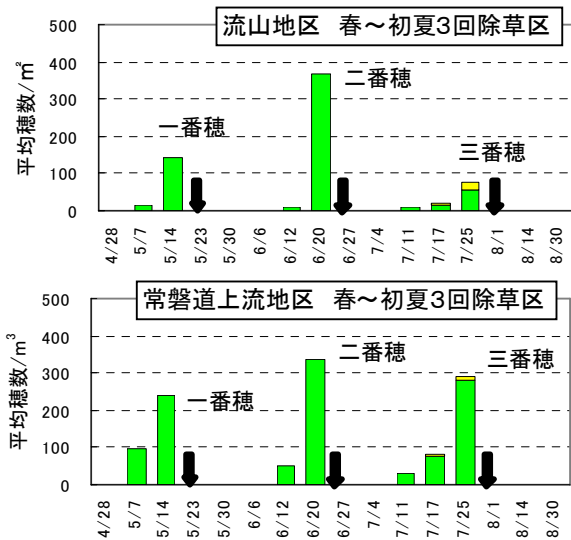
図5-2 除草による花粉抑制効果(平成15年度)

除草のタイミングは、堤防上のネズミホソムギが穂の付いた状態で、開花(葯が開く)する直前に実施することが最も効果が高いと考えられる。

春季における最初の開花は気象条件等によって異なるが、5月上旬～中旬から始まる。全く花を付けさせないことを目的とすれば、4月下旬から除草を行う必要があるが、効率を重視すれば、花が一斉に咲き揃い、花粉量が急増する直前に除草を実施することが適当であると考えられる。

2) 除草後の再出穂への対応

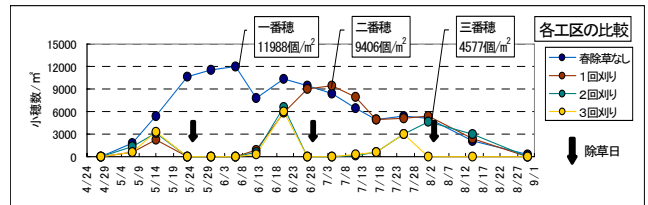
ネズミホソムギは4～7月の期間が成長の盛んな季節にあたり、除草により刈り取りを行っても、すぐに次の葉を伸ばし、開花する特性を持っている。平成15年度のネズミホソムギの抑制試験結果(図5-3)では、除草後の三番穂までは出穂したが、8月以降は出穂がなく、四番穂は形成されなかった。



※黄色は開花穂 矢印は除草時期

図5-3 春～初夏3回刈り除草試験区におけるネズミホソムギの出穂数

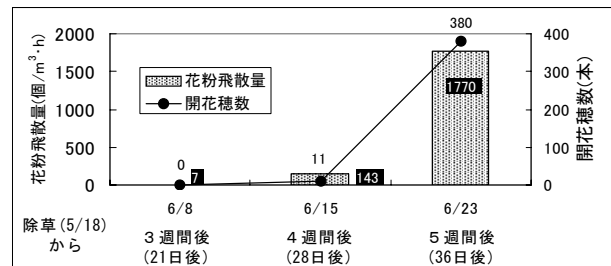
また、平均小穂数の計測結果(図5-4)から、単位当たりの小穂の数(花の数)は一番穂が最も多く、二番穂・三番穂になるに連れ、減少するという結果が得られた。三番穂は一番穂の半分の小穂数となっている。これは、二番穂・三番穂になるほど、発芽から開花までの時間が短くなり、穂の長さが短くなるためと考えられる。



※H15年度、流山地区・常磐道上流地区の平均値

図5-4 花粉抑制試験地における小穂数の計測結果

次に、堤防上において除草後の二番穂がどれ位の時間で形成されるかを現地において開花穂数と花粉量と合わせて調査した結果を図5-5に示す。



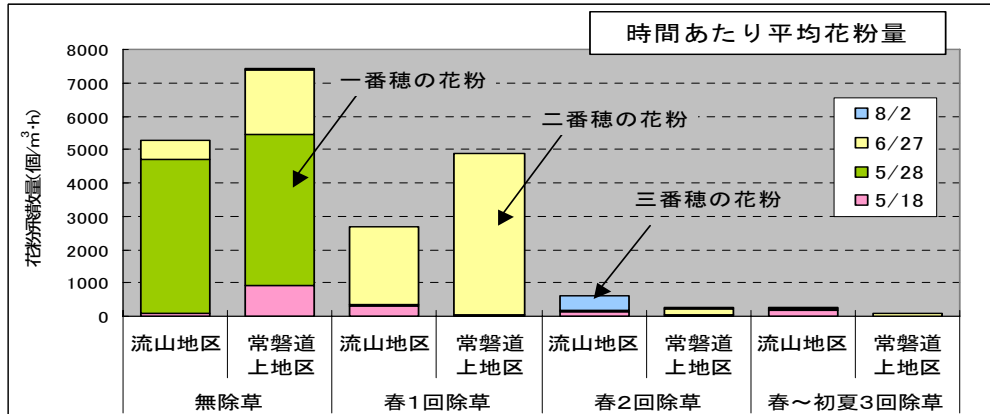
※堤防天端と法尻の平均/1時間当たりの花粉飛散量/開花穂数は1m²の値

図5-5 除草間の花粉飛散推移(H16年度、流山地区)

この結果から、除草後の再出穂・開花は概ね4週間後から見られ、5週間後には大量の花粉を飛散させている。このことから、除草後の再出穂に対応するためには、除草後約1ヶ月以内に次の除草を行う必要がある。

3) 除草回数と花粉飛散量の関係

花粉飛散の抑制には除草が有効であるが、その適切な回数を検討する必要がある。4～7月の間に、何回の除草を実施することが適正かを見極めるために、0回～3回刈りの4種類の除草区を設けて試験を実施し、各除草が実施された数日後に堤防上の花粉量を測定した(図5-6参照)。



※4回の花粉飛散調査で捕集された花粉量の合計

図 5・6 除草回数と花粉飛散量との関係(平成 15 年度, 流山地区)

その結果, 一・二番穂では 4000 個/m³・h 前後の大量の花粉が飛散しているが, 春 2 回除草区における三番穂の花粉飛散量は最大でも 419 個/m³・h であり, それほど多くないという結果が得られた。

よって, ネズミホソムギの開花時期を見極めて適切な時期に除草を行った場合, 春 2 回の除草で大部分の花粉飛散を抑制することが可能と評価される。しかし, 三番穂の花粉量でも症状を起こす人がいることも想定されるため, 3 回の除草が不必要とは言えない。

5.1.3 まとめ

以上の調査結果から, ネズミホソムギの開花に合わせて除草を行った場合, 花粉飛散の抑制効果があることが分かった。また, その除草間隔は 1 ヶ月以内に実施する必要がある。除草の回数は開花する小穂数が二番穂, 三番穂ほど減っていくので, 2 回の除草で花粉の大量飛散を抑えることは可能であるが, 花粉の飛散量をより少なくしようとするならば, 春～初夏にかけて 3 回の除草が必要である。

5.2 除草により花粉症とならない植生へ遷移させる方法の検討

イネ科花粉を減らす方法として, 原因植物そのものを減らすことが挙げられる。ただし, 堤防植生は法面保護の役割を果たしているため, 実際には原因

植物を花粉症を起こさせない他の植物に置換することが目的となる。前述の通り, 江戸川ではネズミホソムギとイネ科の在来植生で花粉症の原因とならないチガヤが混生している堤防が多い。このタイプの堤防については除草により, ネズミホソムギを減らし, 純粋なチガヤタイプの植生に遷移させるアプローチ手法が考えられる。

5.2.1 遷移試験区の設定手法

1) 試験の目的

現況でチガヤとネズミホソムギが混在している堤防を対象に, 除草時期の工夫によって, 外来牧草類の生育を阻害してチガヤの生育を助け, チガヤ等の在来多年草を主体とした草地へ遷移を図る方法について, 見極めを行うものである。

ネズミホソムギ対策としては, 春の除草による直接的なネズミホソムギ除去と秋のネズミホソムギの発芽抑制という 2 つの面から試験を行うこととした。

具体的には除草は, 春に 1～2 回, 秋に 0～1 回実施し, 秋については除草時期に変化を持たせた。

春除草については, 外来牧草の花粉飛散時期である 5 月中旬に第 1 回除草を実施し, 第 2 回は現場の開花状況を調査により把握し, 開花直前に実施した。

秋除草については, 無除草, 秋早い(8 月上旬～9 月上旬), 秋遅い(10 月下旬～11 月上旬)工区の 3 パターンを設定した。

2) 試験区構成 (図 5・7)

遷移試験区①【岩名地区】

: 左岸 42.6～43.3km 付近(表法)

遷移試験区②【関宿地区】

: 左岸 52.7～53.35k 付近(表法)

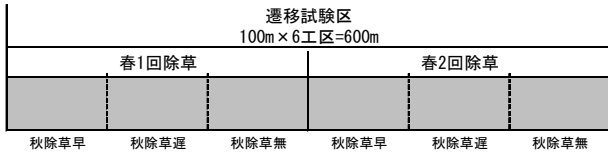


図 5・7 遷移試験区の概略図

5.2.2 調査結果

平成 15 年 4 月～平成 17 年 3 月までの調査結果を基に、各試験パラメータ毎に結果を整理する。

1) 春の除草回数

春 2 回刈り試験区では三番穂の開花が多少見られたが、ネズミホソムギの開花穂数がある程度少なくすることが出来た。春 1 回刈り試験区では二番穂が多く付いたため、花粉飛散抑制効果は限定的となった(図 5・8 参照)。

チガヤの被度に着目すると、春 2 回刈り試験区の方が、1 回刈り試験区よりチガヤの被度が低く、春の 2 回刈りがチガヤへダメージを与えていることが分かる(図 5・9 参照)。

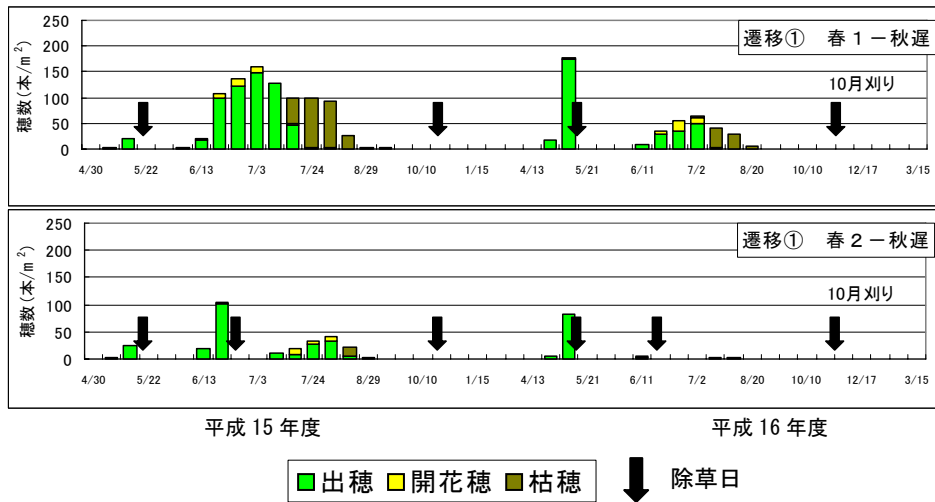


図 5・8 春除草によるネズミホソムギの穂数の状況変化

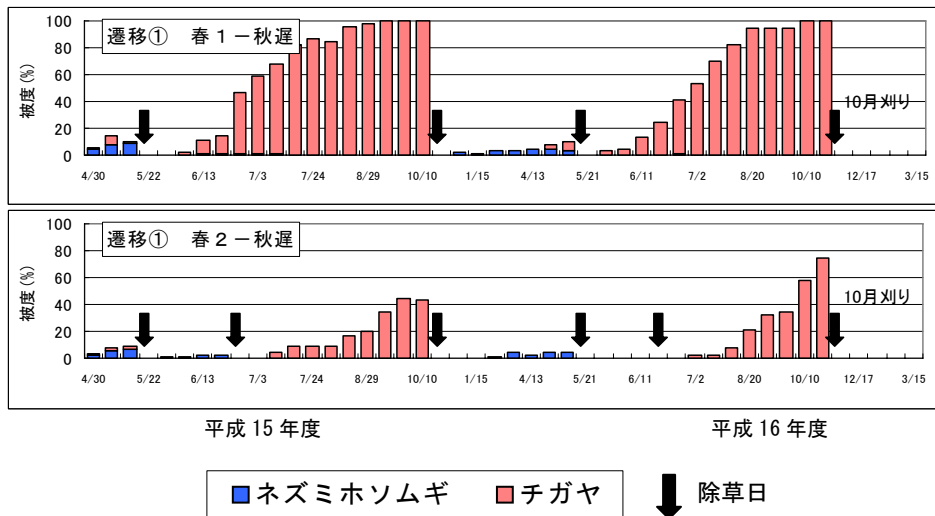


図 5・9 春除草によるチガヤ・ネズミホソムギの被度の状況変化

2) 最終の除草時期

秋に発芽するネズミホソムギの発芽を抑制するために、除草時期の調整を行った(図5・10参照)。

その結果、最終除草をとりやめ、チガヤを伸ばし放しにすると、翌年のネズミホソムギの出穂がほとんどなくなった。ただし、冬季の草丈は1m近くになり、かつ大型植物が混入するため、景観的には好ましくない状況となった。

最終除草を通常より早い9月上旬に実施した場合、ネズミホソムギがいち早く伸長し、むしろ翌春以降のネズミホソムギ被度(出穂数)が多くなった。

そのため、平成16年は秋早い時期の除草をさらに8月中旬に繰り上げた場合、冬季までに40cm程度のチガヤ草地が形成され、冬季のネズミホソムギの被度もほとんど抑えられていた。

また、全体を通じてネズミホソムギの出穂数は平成16年から著しく減少した。これは、ネズミホソムギの開花直前期に合わせて除草をすることにより、堤防に落下するネズミホソムギの種子量が減っているためと考えられる。

5.2.3 まとめ

試験結果により、ネズミホソムギの混じるチガヤ

タイプ堤防において、純粋なチガヤタイプへ遷移させる方法としては以下の方法が適切であると考えられる。

春の除草回数はチガヤへのダメージがあるものの、花粉対策の観点からは1回刈りより2回刈りが良い。

また、秋の除草については、最終除草を実施せずにチガヤを伸ばしたままに放置すれば、ネズミホソムギの発芽をほぼ完全に抑えることが可能である。

しかし、堤防管理及び景観面に問題があるため、現実的には、最終除草を8月に実施する方法が比較的良好と思われる。この場合、冬季の草丈は40cm程度となる。

6. 堤防イネ科花粉対策の検討

6.1 イネ科花粉対策の基本方針検討

6.1.1 イネ科花粉発症に対するリスク閾値

花粉捕集調査により、イネ科牧草類の開花期間中における河川堤防上及び周辺地区における花粉量(日花粉量及びピーク時の花粉量)について把握することが出来た。しかし、この結果を元に河川管理者としての対応方針を検討するためには、これらの

ことが出来た。しかし、この結果を元に河川管理者としての対応方針を検討するためには、これらの

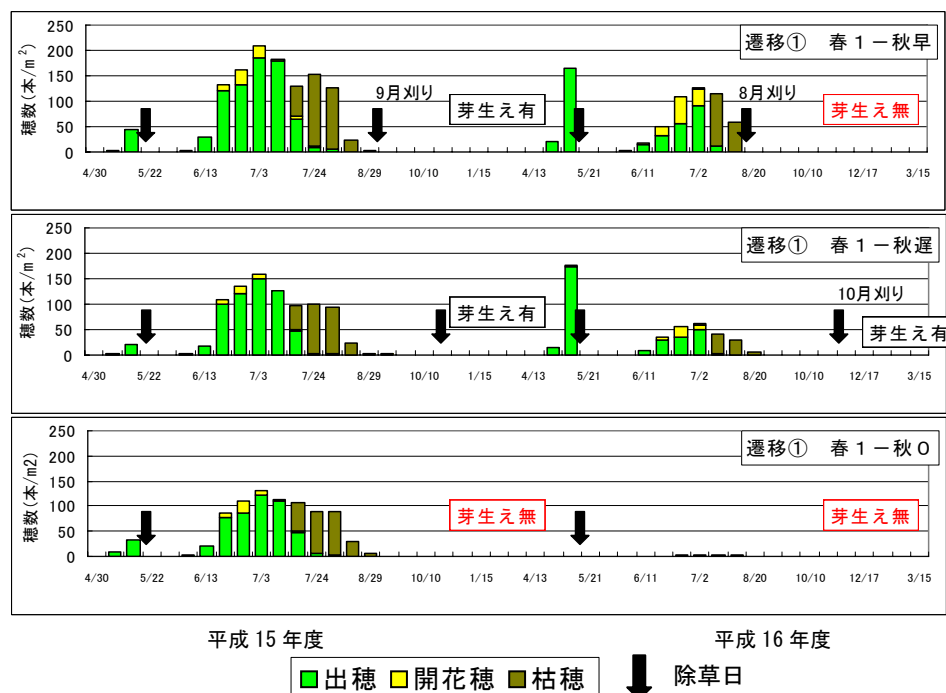


図5・10 秋除草によるネズミホソムギの出穂状況変化

花粉量が花粉症の発症頻度とどの程度相関しているかを把握する必要がある。

日本国内の花粉症研究はスギ花粉症に関するものがほとんどで、イネ科花粉の空中濃度と花粉症の発症頻度の関係に関する国内データは取得されていない。また、医学的には花粉濃度と花粉症症状の発生率には個人差があり、アレルギー反応が鋭い人は極端に言えば1個の花粉を吸い込んでも発症することがあるので、症状の有無を基準とするならば、その数値を設定することは不可能である。

また、スギに関する花粉濃度と発症の関係については、かなり明らかになっているが、スギ花粉とイネ科花粉ではアレルギーとして種類・強さが異なるので、この値を援用することは適当ではない。

※上記は神尾記念病院 齋藤洋三顧問及び NPO 花粉情報協会 佐橋紀男理事へのヒアリングによる。

そのため、イネ科花粉症による健康被害が多く、研究が進んでいるヨーロッパの知見について把握するため、イギリス・ウースター大学に設置されている「国立花粉・空中生物学研究所」へ照会し、次のような情報を得た。

ヨーロッパにおいては、SPRING (System for Pollen Related Information Gathering: 花粉関連情報収集) プロジェクトが5カ国6団体の参加により2001年に立ち上がり、アレルギー性花粉に関する日常飛散情報とリスク閾値の標準化に取り組んだ。その結果、イネ科花粉飛散と花粉症発症の目安として、以下の基準値が提示されている(表6・1参照)。

表 6・1 SPRING プロジェクトが設定したイネ科花粉のリスク閾値

国	イネ科花粉のリスク閾値(個/m ³ ・h)			
	低い	やや高い	高い	非常に高い
オーストリア	1-25	26-50	51-80	>80
フランス	1-10	11-35	36-100	>100
イタリア	1-9	10-29	30-100	>100
スペイン	1-25	26-50	51-100	>100
イギリス	1-29	30-50	51-150	>150

※24時間捕集した花粉の時間当たりの平均

この結果、ヨーロッパでは日平均花粉量がおおむ

ね30~50個/m³・hを越えると、花粉症発症のリスクが高くなることが理解できる。このデータは、日本国内での適用の可否について検討する必要があるが、参考値としては利用できる。

この数値と、本研究で得られた花粉飛散量を比較すると、5月下旬及び6月中旬の牧草類が繁茂している時期の堤防天端における花粉量が約600~4,600個/m³・hに達しており、花粉症被害を考慮すべきレベルといえる。また、堤内地への飛散については、距離による減衰があるが、堤防法尻から10m地点において、30~167個/m³・hが記録されている。以上から、花粉対策を実施しない場合においては、堤防の利用者や、沿川住民において大きな健康被害が生じることが懸念される。

6.1.2 花粉症対策の目標設定

堤防の植生管理を実施している河川管理者においては、堤防除草の目的は堤防の裸地化を防止し、均質な植生で堤防表面が密に覆われるようにすること、草丈を抑制して堤防点検を容易にすることが第一目的である。除草により、花粉症対策を行う場合でも、これらの目的は確保される必要がある。また、堤防除草のための費用についても限られた予算の中で実施していることも考慮される必要がある。

そのため、花粉対策については、現状で花粉症原因植物が優占する区域に絞って実施することとした。花粉対策のレベルについては、堤内外地の利用状況、対策要請の有無等を基準として、2段階のレベルを設定することとした。すなわち、イネ科の花粉飛散を可能な範囲で出来るだけ抑える地域と、堤防法面の牧草類が満開となり周辺に大量の花粉が飛散することを避ける地域(多少の飛散は許容する)に区分した。

さらに、花粉防止対策は堤防植生タイプにより、対策が異なるため、春季に外来牧草が優占種となる堤防と、チガヤと外来牧草が混在する堤防に分けて対策案を提案することとした。

6.1.3 花粉対策の基本的考え方

上記の目標設定により、江戸川を対象とした、イ

ネ科花粉対策の基本的考え方を次のように設定した。

江戸川堤防植生花粉対策の当面の運用方針(案)

【基本方針】

- ・江戸川における堤防植生のイネ科花粉対策は植生のコントロールにより、原因植物を減少させることを目標とする。対策により原因植物の減少が図られた場合は、通常の植生管理へ移行するものとする。
- ・イネ科花粉対策は、沿川からの花粉症被害抑制の要請や、堤外地・堤防の利用状況、堤防の植生状況を見極めた上で区間を定めて実施する。
- ・対策区間においては、堤防に生育する植生の状況を見極め、堤防の外来牧草類が開花する前に除草を実施し、周辺へのイネ科花粉の飛散を抑制するとともに、外来牧草類の種子生産を抑える。
- ・花粉対策は、原因植物が優占種となっている「外来牧草タイプ」と原因植物と在来種が競合状態にある「チガヤタイプ」で異なる手法を用いる。
- ・イネ科花粉症に関する情報を発信し、利用者・沿川住民が自ら花粉症予防行動がとれるようにする。

【外来牧草タイプ堤防における対策】

- ・外来牧草タイプ堤防においては、ネズミホソムギ等の種子生産抑止及び花粉飛散抑制の観点から、春季に生育状況を見極めて適切な時期(開花の直前)に除草を実施する。
- ・沿川地域での「イネ科花粉飛散に特に配慮する」場合は、植物の生長を見ながら3週間おきに春3回の除草を実施する。第1回目の除草はネズミホソムギが開花する直前に実施する(一般的には5月上旬)。
- ・沿川地域での「イネ科花粉大量飛散を抑える」場合は、植物の生長を見ながら4週間おきに春2回の除草を実施する。第1回目の除草は法面のネズミホソムギが一斉に開花する直前に実施する(一般的には5月中旬)。
- ・特別な理由等で所定の除草間隔で除草が実施できない場合は、堤内地への影響が大きい裏法面を先行して除草する。

【チガヤタイプ堤防(牧草混)における対策】

- ・チガヤタイプ堤防においては、外来牧草の開花・結実を抑止し、かつチガヤの生長を助ける時期に除草を実施する。また、最終除草時期の調整により牧草類の出芽を抑制する。
- ・春の除草については、植物の生長を見ながら4週間おきに春2回の除草を実施する。第1回目の除草は法面のネズミホソムギが一斉に開花する直前に実施する(一般的には5月中旬)。
- ・最終除草時期は8月とし、秋季～春季までチガヤが少し伸びた状態(40cm程度)で管理する。ただし、冬季の草丈が高めに維持されるため、堤防管理上問題が無い場合にのみ実施する。

6.2 地域住民への広報

堤防のイネ科花粉対策としては、堤防除草が最も有効であるが、堤防上に生育するネズミホソムギの伸長・開花速度にはばらつきがあり、また、堤防の延長が長いことから、全ての区間において必ず最適な時期に除草が実施できるとは限らない。

イネ科花粉症の被害を防ぐには、花粉を吸い込まないことが重要であり、花粉の飛散範囲が花粉源の周囲に限定されるイネ科花粉については、自己防衛策によって、発症を回避できる部分も大きい。

そのため、ハード面でのイネ科花粉対策に並行して、イネ科花粉に関する基本的知識を地域住民や河川利用者に周知し、イネ科花粉に対する予防行動を普及させる必要がある。

6.3 イネ科花粉対策の手引き作成

イネ科対策の実施にあたっては、前項までにおいて整理したイネ科花粉症原因植物の生態及び花粉飛散特性と花粉対策のための手法について、実際に除草工事を発注する各出張所や除草業者が正確に把握する必要がある。そのため、これらの情報について簡便にとりまとめた、「江戸川堤防に生育するイネ科植物の花粉対策の手引き」を作成した。

また、河川利用者や沿川住民等においては、江戸

川堤防の植物により花粉症となることについて、ほとんど情報が伝わっておらず、保育園の引率者が外来牧草類が繁茂する堤防で子供を遊ばせたり等の例も見られた。そのため、一般市民を対象とした、イネ科花粉症に関するリーフレットを作成し、花粉症の原因植物やその見分け方、開花時期、開花期間における注意事項等を整理した。特に、イネ科花粉症はスギ花粉のように遠くまで運ばれないため、原因植物が開花した場所に近寄らないようにすることや、開花時間帯を避けることで、被害を予防することが出来るため、情報の周知が特に重要と考えられた。

また、イネ科花粉症の集団発症が起きやすい、江戸川堤防沿いの小中学校には、河川管理者から直接説明を行うとともに、江戸川河川事務所のウェブサイトに掲載することで、広く一般にも情報を提供することを提案した。

7. 今後の課題

本研究では最新のイネ科花粉情報及び管理実験の知見に基づいて手引き(案)を作成したが、イネ科花粉の現状及び対策手法については、未だ解明されていない部分が多く、今後も除草結果の検証及び知見の蓄積が必要である。イネ科花粉症対策について今後取り組むべき事項を整理すると以下のようである。

- 1) 今回提示した対策案に従って除草を実施した場合、各区間において適切な時期に除草が実施することが可能かどうかのモニタリング(開花状況、草丈)
- 2) 花粉症に対する苦情等の発生状況の確認(除草による花粉抑制効果の確認)
- 3) 外来牧草タイプ堤防において、秋の除草時期の調整により、ネズミホソムギの生育本数を制限することが可能かどうかの検証
- 4) 花粉症の原因となる外来牧草タイプ堤防において、人為的に花粉症の問題の少ない植物(例えばチガヤ)を導入し、花粉症の問題が少ない堤防へ遷移させるための技術的手法
- 5) ネズミホソムギ以外の原因植物への対応必要性の検証(例えば、オニウシノケグサ)

- 6) 地域との協働による花粉症対策(除草実施可否)の検討(例えば、地域住民による堤防除草の実現性)等
- 7) 堤防利用者及び周辺住民に対する花粉症被害の認識、軽減のための広報活動手法

謝辞

本研究にあたり、堤防植生花粉対策調査検討委員会に参加された埼玉大学佐々木寧教授、東京大学大学院鷺谷いづみ教授、神尾記念病院斎藤洋三顧問、イネ科花粉症を学習するグループ中山啓子代表をはじめ多くの方にご指導ご協力を頂いた。空中花粉の観測ではNPO花粉情報協会佐橋紀男理事の熱心なご指導を頂き、独立行政法人農業技術研究機構畜産草地研究所小松敏憲上席研究官、藤森雅博氏、荒川明氏からは牧草育種に関する貴重なデータを提供して頂いた。ここに記して深く感謝の意を表します。

また、本研究の機会を与えて下さった国土交通省江戸川河川事務所の皆様にも厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 大里敏雄, 木下正彦, 高尾幸江, 正山正博, 徳谷泰, 古川誠, 松井美奈子, 池田信也, 湊孝治, 浅井葵, 坪根昭代, 生田恵子, 中島茂, 田原由起子, 木ノ内良治, 渡辺泰男, 依田修, 遅塚令二(1984): 府中市におけるイネ科花粉症集団発生事例について. 東京都衛生局学会誌No.73, pp. 128-129.
- 2) NPO花粉情報協会(2002): 平成13年度花粉予測のための基礎的調査研究. 環境省報告書, 1.
- 3) 斎藤洋三, 井手武(1994): 新バイオサイエンスシリーズ 花粉症の科学 - 話題のアレルギー病を探る -. 化学同人.
- 4) 佐々木寧, 戸谷英雄, 石橋祥宏, 伊坂充, 平田真二(2000): 堤防植生の特性と堤防植生管理計画. 河川環境総合研究所報告資料, 第5号.
- 5) 関塚清蔵(1962): 牧草ライグラス類の採種に関する研究[1]~[3], 畜産の研究, 16(1)~(3).
- 6) 中山啓子(2004): 江戸川のイネ科花粉症防止対策とミズヒマワリ除去の取り組み, 河川60(7), pp. 46-50.

Ⅲ 河川環境学習の推進，流域の連携・交流に 関する調査研究

6. 河川環境教育の活性化のための支援方策検討

山本雅史*・入江 靖**・中山 尚***

1. 背景

河川は、古来より人間の生活基盤を支えるとともに、文明や文化を育んできた。人は灌漑や移動、運搬の手段として河川を利用し、一方、時には大規模な氾濫などにより多くの人命や財産が失われるなど、「治水」及び「利水」という点で、人々は真剣に河川と向き合ってきたといえる。

ところが、治水安全度及び利水利便性の向上と相まって、洪水や濁水が減り、人々から河川の重要性の認識が薄まっていった。また、高度成長期には河川水質の悪化、工事による河岸構造の変化等により、河川の生態系は貧弱化するとともに、川は危険な存在として認識されるようになってしまった。川は物理的にも心理的にも人々から離れた存在となってしまったのである。

このような中、昨今の人々の環境への関心の高まりを受け、河川は身近な環境学習の対象として注目されるようになった。

また、次世代を担う子どもたちが、これからの環境の保全を考えていくための環境教育の必要性がますます強く認識され、平成 10 年 7 月の河川審議会「川に学ぶ小委員会」報告では、「河川」を環境教育・体験活動の題材として着目し、川と人との関係を再構築し、今後の流域管理・河川の維持管理への理解の促進を図り、河川愛護意識のより一層の啓発を図ることを目的とする、「川に学ぶ社会の実現」が必要であると提言を行っている。

さらには、平成 11 年 12 月には中央環境審議会から「これからの環境教育・環境学習－持続可能な社会をめざして－」が答申され、また平成 15 年 10 月

には「環境保全活動・環境教育推進法」が施行された。

そして、現在、学校における「総合的な学習の時間」等での取り組みや、市民団体等が実施している活動等において、河川を題材とした環境教育への取り組みが、広まりを見せつつある。

2. 河川環境教育の目的と効果

河川環境教育は、人と河川環境との関わりについて理解を深め、責任ある行動がとれるようにすることを主な目的として、そしてひいては円滑な河川事業の推進のための啓発活動として、良好な河川環境の保全・創出を目的として行われるもので、全国各地で様々な取り組みが行われている。

河川環境教育の効果としては、上記目的の他、意のままにならない自然と向き合うことで自然や世の中の厳しさを学び、そのことが豊かな人間性をも育くむこと、さらには老若男女が集うことで人々の社会性が養われることがあげられる。

しかし、様々な事例などから、河川環境教育に取り組むにあたり様々な課題が内在していることが判明しており、この課題の解決が河川環境教育の活性化には必要であると考えられる。

そこで、平成 13 年度から河川環境教育に取り組んでいる遠賀川（九州）と平成 16 年度に着手した利根川（関東）のタイプの異なる 2 つの河川（流域）のケーススタディにより河川環境教育の活性化の支援方策について検討してみたい。（表 2・1）

* (財)河川環境管理財団 常務理事兼子どもの水辺サポートセンター長

** (財)河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究第一部長兼子どもの水辺サポートセンター次長

*** (財)河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究第一部長兼子どもの水辺サポートセンター研究員

表 2-1 ケーススタディの位置付け

	遠賀川（九州）	利根川（関東）
流域規模	人々の生活に応じた適度な流域規模 (1,021km ²)	あまりに大きく、河川との関わりを感じにくい (16,763km ²)
河川への関心	水質や環境など関心が高い。 (九州ワースト2位： H15一級河川)	利根川本川よりも身近な支川へ関心がある
河川環境教育への取り組み	早期から河川環境教育へ取り組みを開始	取り組んでいる学校もあるが流域全体では未着手
学校からの期待	総合的な学習の時間における活用などに期待	不明
環境教育に関する市民活動	体験活動や清掃活動など市民活動が活発	あまり活動していない

遠賀川は人々の生活に応じた適度な流域規模を持ち、治水整備も概ね達成している河川である。また、九州内で水質(BOD値)がワースト2位(平成15年度一級河川)ということ、川が石炭産業で汚れたという歴史を有することなどから、水質や環境について流域の関心が高い。さらには、総合的な学習の時間などを通じて河川管理者と学校との連携が進んでいる。そして、流域で活動する市民団体等も数多く、体験活動や清掃活動等が頻繁に実施されている河川である。

一方、利根川は、治水・利水の両面から関東圏の人々の生活に非常に密着した存在であるが、日本一の流域面積を誇るがために、あまりに大きく、流域住民にとっては、物理的にも心理的にも距離感がある河川である。それゆえ、人々の関心は遠い本川よりも身近な支川に関心があり、沿川の学校や市民団体等は主として支川での活動を行っており、本川での活動はあまり見受けられない。

3. ケーススタディによる河川環境教育の方策検討

3.1 遠賀川における取り組み

3.1.1 現状と課題

1) 現状

遠賀川においては、平成13年度に小中学校の教

諭、市民団体、河川管理者等で構成された「遠賀川河川環境教育研究会(以下「研究会」という)」が設立され、遠賀川での河川環境教育の活性化について研究するとともに、学校相互で河川環境教育の協力関係の構築を図っている。この研究会において、河川環境教育を推進する上での課題及び解決策が提案されている。

また、平成15年度からは教育関係者、市民団体等、河川管理者等による情報交換等を目的とした「河川環境教育に関するフォーラム」が開催されている。

2) 課題

先に述べた研究会から以下の5つの課題が提言されており、本ケースにおいて、これらの課題を解決することで河川環境教育の活性化を図ることとした。

- ①河川情報及び河川環境教育の情報不足
- ②人、道具、交通手段の不足
- ③学校教諭や市民団体の専門知識の不足
- ④学習時の安全確保
- ⑤河川環境教育への動機付け

3.1.2 支援方策の検討

上記のように5つの課題が提案されたが、これらの5課題の解決に向け、研究会は以下の対応を図ることとした。

1) 提供情報及び情報ツールの検討

課題①「河川及び河川環境教育の情報不足」への対応として、河川に関する基礎情報(遠賀川の情報)、河川環境教育を実施する際に必要な情報(河川環境教育の手法、資機材等)、川で活動するための位置情報等の収集・提供手段の検討を行うこととした。

情報発信のツールとしては、遠賀川の情報をもっと多くの人々に提供するため、遠賀川河川環境教育のホームページの検討を行った。(図3-1)

コンテンツの検討にあたっては、まず遠賀川の河川情報として、遠賀川の延長や流域面積といった諸元、

遠賀川の成り立ちや炭鉱の歴史といった遠賀川流域の歴史・文化、遠賀川の生きものや自然環境など、河川に関する調べ学習に対応できるように配慮した。

また、河川環境教育を実施するために、特に必要となる位置情報を示した「学び場マップ」を作成した(図3・2)。学び場マップには、急に深くなる場所や水位の変化によっては危険になる場所を示す他、その場所で活動できるメニューを例示し、また、学習に必要な周辺施設(トイレや駐車場、図書館等)を併せて表示した。

さらには、河川環境教育に必要な資機材の調達やレンタルなどの情報についても掲載した。

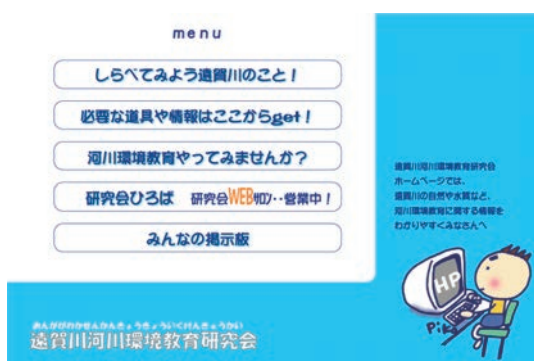


図3・1 遠賀川河川環境教育のホームページ



図3・2 学び場マップ

2) 人材育成の検討

課題②「人・道具・交通手段の不足」ならびに、課題③「河川環境教育関係者の専門知識の不足」、課題④「学習時の安全確保」への対応策として、水に関する教育プログラムである「プロジェクト WET」

の講習会を開催することとした。

プロジェクト WET(Water Education for Teachers)とはアメリカで開発された水に関する教育プログラムで室内でできるアクティビティを豊富に持つプログラムである。

このプロジェクト WET は、実際に川へ行かなくても、また大がかりな道具を使わなくても簡単かつ安全に「水」や「川」について学ぶことができるプログラムであり、上記の様な課題の対応には非常に有効なプログラムであると考えられる。平成16年度には、主に学校の教師を中心に呼掛け、計3回の講習会を実施した(図3・3)。



図3・3 プロジェクトWETの講習会状況

3) 動機付けの検討

学校等において河川環境教育を実施するには、子どもたちや指導する教師に、取り組むための動機付けが必要である。そこで、研究会は以下に示す対応策を検討した。

①「いけいけチャレンジ！遠賀川」発表会

子どもたちの河川学習を取り組むにあたっての動機付けとして、発表会を開催することとした(図 3・4)。

教育委員会を通じて流域の小中学校に募集したところ、流域内上流から河口まで7校の小中学校からの参加があった。

発表内容は、水質や生きものをテーマとしたものが多く、歴史を取り扱った発表もあった。

この発表会では、子どもたちの発表に対して他校の子どもたちから質問する形式としたことで、子どもたちが発表会に飽きることなく集中して参加することができた。また、そのことで、自分たちの発表だけでなく、人の発表・質問にも耳を傾けることができ、より多くのことを学べたと考えられる。休憩時間には、自然発生的に学校間で情報交換やアイデア交換が始まり、子どもたちが主体的に活動する光景が見られた。

さらには、河川環境教育の実施に理解が必要な保護者たちも、この発表会や河川環境教育への期待感を持ち、次年度以降も継続してほしいといった意見も得られた。

この発表会では、教師や子どもたちだけでなく、保護者にも活動への動機を与えられたと考えられる。

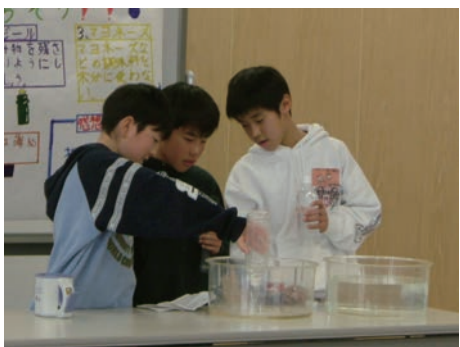


図 3・4 「いけいけチャレンジ！遠賀川」発表会

②河川学習施設を活用したモデル授業の実施

学校や教師が河川環境教育に取り組むための動機付けとして、遠賀川の河川学習施設「遠賀川水辺館」を活用したモデル授業を開催した(図 3・5)。

これは、総合的な学習の時間に限らず、様々な科学学習で河川が教材として魅力あることを知ってもらうことで、学校教育から見ての有益性を教師に理解してもらうことを狙ったものである。

モデル授業の対象となった単元は、5年生理科の「流れる水の働き」で、通常8時間程度を少しずつ分けて授業を実施するのに対し、今回は8時間のうち6時間を遠賀川及び遠賀川水辺館を活用して授業が実施された。

このモデル授業の後に実施された復習テストの結果、平均点 96 点と非常に高い得点が得られ、子どもたちの理解が高いことが実証されたものと考えられる。

また子どもたちも、普段の教室での授業と異なり、単に知識を頭に入れ込むのではなく、授業で学んだことをすぐに川で体験することができ、また、直に川にふれることができたことで、楽しみながら学習する、また体感することができたのではないかと考えている。



図 3・5 モデル授業の実施

ただし、こういった授業の組み方は、先生及び学校の理解と柔軟性が必要と考えられる。また周辺に授業に適した河川及び河川学習施設があることも重要な要件であると考えられる。

③河川を題材とした学習カリキュラムの検討

モデル授業での成果を鑑み、教科学習や総合的な学習の時間等において、遠賀川や遠賀川水辺館の活用の可能性について、遠賀川河川環境教育研究会において検討を行った。

その結果、遠賀川を題材とした2つの学習カリキュラムが研究会のより提案された。

一つは、小学校4年生を対象に総合的な学習の時間を活用した“川とふれあう活動を通じた調べ学習”である。これは、川とのふれあいを通じて、自ら考えを持ち、その考えを伝え、考えに基づき周囲と協力して行動し、考えを深める活動を体験するものである。これはまさに「川に学ぶ社会の構築」の提言の中にあるものである。意のままにならない自然を対象としながら、その中で感じたこと、考えたことを、互いの違いを大切にしつつ、共通の目標に向かって努力する力を養うものである。

もう一つは、同じく小学校4年生を対象に総合的な学習の時間を活用した“川とふれあう活動を通じた「生活科学習」”で、遠賀川に関する課題を自ら探し、その解決方法を見出し、調べ、活動する力を養うものである。

これらの提案は、学校の先生が考えたものであり、学校の授業で実現できる可能性が高いものと考えられることから、遠賀川を活用した学習として評価できる。

3.2 利根川における取り組み

3.2.1 現状と課題

1) 現状

広大な流域を持ち、生活用水、農業用水、工業用水とあらゆる面で首都圏を潤す利根川は、太古より治水と利水に関して先人たちの努力が注がれた河川

である。そのため、流域の人々にとって利根川は感謝と畏敬の対象であったといえる。

その後、上流ダム群の整備や堤防等の整備により、治水安全度が向上し、また上水道の普及等も相まって利水利便性が高まった。

そして、人々の生活が豊かになるにつれ、生活の中で利根川を感じる要素が少なくなり、利根川と人々とのかかわりは希薄になってしまった。

また、利根川はあまりにも大きいため、人々とは物理的・心情的に距離感があり、さらに川が県境や市町村境となっているところも多く、地域の川という認識が薄れている。

それは、利根川を活用した河川環境教育や市民活動等があまり活発でないことから伺い知ることができる。

2) 課題

上記のような現状から、利根川における河川行政の展開に際し、以下の2つの課題があげられる。

- ①首都圏に住む人々も含め、利根川の恩恵（治水・利水・環境等）を再認識してもらうことが必要である。
- ②利根川を地域の川として再認識してもらうことが必要である。

3.2.2 支援方策の検討

先述の2つの課題を解決するために、次世代を担う子どもたちに河川を題材とした学習を展開することを検討した。

これは、子どもたちに利根川を学習してもらうことで、その親または大人への波及効果が期待できるとともに、河川学習をテーマとすることで、子どもたちから大人まで地域の人々が参画することができ、ひいては、河川を軸とした地域コミュニティの再構築が期待できるためである。

そこで、河川学習を展開するために3つの支援方策を検討することとした。

1) 子どもたちの学習を支える母体づくり

河川学習を普及・啓発する方法としては、自治体首長や教育長からのトップダウン方式、地域の学校や熱心な先生からのボトムアップ方式の、双方からアプローチをとることを検討した。

利根川の場合は、流域内の自治体の数も多いことから、ボトムアップ方式による積み上げよりも、トップダウンに方式による流域の連携の方が効果的な環境学習の実施が可能と判断し、平成16年度はまずトップダウン方式として利根川上流河川学習連絡会を設置することとした。なお、利根川上流河川学習連絡会の会議の中から、地域の子どもの組織できる大人（自治会や市民団体等）が必要であるといった意見も出されており、これについても引き続き検討が必要である。

この連絡会の立上げにあたっては、関係各県及び沿川市町の河川部局、教育部局に参加を呼びかけ、担当者会議を開催し、その中で河川学習を実施・普及させるための協議を行った。その中で直面する課題として以下の5点があげられた。

- ①河川及び河川学習の情報不足
- ②指導のできる人材不足
- ③安全性の確保
- ④資金不足
- ⑤川までの距離、交通の悪さ

2) 学校教育における河川学習のニーズ・期待の把握

河川学習の継続的实施に向け、沿川34市町441校の小中学校に河川を題材とした学習の取り組み状況を把握するとともに、小中学校が河川学習に寄せるニーズや期待を把握し、今後の学校連携の基礎資料とすることを目的として、アンケート調査を実施した(図3・6)。

その結果、233校(52.8%)から返答があった。

結果、利根川に係わる河川学習を学校教育に取り入れることについては、137校(回答校の58.8%)が関心を示した。また、利根川における河川学習プログラムの作成することについては、一緒に考えたい

とする学校が9校、関心があるとする学校が97校あった。(合わせて回答校の45.5%)

このアンケートの結果より、学校教育における河川学習については、学校からの関心が比較的高く、今後、連携を進めていくにあたっての重要なデータが得られたものとする。

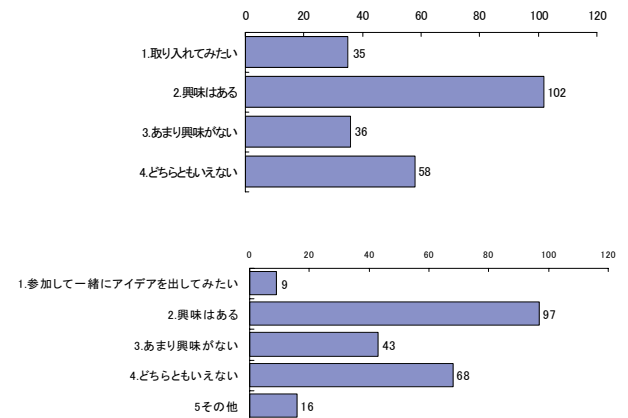


図3・6 河川学習のアンケート結果

3) 河川学習を普及させるためのきっかけづくり

利根川での河川学習に向け、子ども達に利根川に関心を持ってもらうためのツール作成を検討した。このツールは、副読本やホームページといった従来のツールではなく、子どもたちの感性に訴えるツールとして検討を行った。検討の結果、利根川の水の音を収録し、その音に楽曲を重ねた音楽を制作することとした。

利根川の水の音は「川の聴診器」という水中マイクを使い、利根川の代表的な地点(源流の雪田や下流部の利根大堰、霞ヶ浦など)で収録を行った。録音した音は環境音楽等でよく聞くせせらぎの音ではなく、水中の水の動きによる音で、透明感のあるとても神秘的な音である。この音にシンセサイザーによる楽曲を重ね、「利根川の旅詩」の音楽を制作した。

また、このツールを活用し、子どもたちに利根川に関心を持ってもらうために、「利根川の旅詩」コンサートを企画・開催した。このコンサートには、利根川中流部に位置する埼玉県栗橋町の小学生約

300名が来場した(図3・7)。コンサートでは、まず利根川の風景を見ながら、水の音を試聴した。子どもたちは初めて聞く水の音に目を輝かせていた。その後、作曲者の生演奏による楽曲披露があり、子どもたちは聞き入っていた。

さらには、このコンサートを聞いた子どもたちから、利根川への関心が広がったとの感想の発表があった。また、子どもたちから感謝状が用意されており、この催しに主催者側だけでなく、子どもたちも意義を感じたと思われる。



図3・7 利根川の水の音によるコンサート

4. 考察

遠賀川と利根川におけるケーススタディを紹介したが、河川環境教育に取り組むにあたっての経緯が異なること、河川環境教育の進捗が異なること等があり、取り組み内容については大きく差異がある。

ここで2つのケーススタディについて、整理する。

1) 遠賀川のケーススタディ

遠賀川では小中学校の総合的な学習の時間が学校

教育で実施されるとほぼ同時期に、河川環境教育への取り組みが開始されている。これは、学校側からの要望と河川行政の取り組みが一致したためと考えられる。以降、小中学校の教諭、市民団体、河川管理者等からなる遠賀川河川環境教育研究会が遠賀川における河川環境教育の牽引役として機能しており、その取り組みの中で、課題を具体的に解決することを試みている。

今後も、学校と市民団体、河川管理者の連携がますます発展していくものと考えられる。

2) 利根川のケーススタディ

利根川では、利根川の啓発を目的として、河川環境教育に取り組み始めたところである。河川環境教育を実施するには、小さな単位で実践し広げていく方法もあるが、目的達成のためには流域での連携が必要と考え、まず支援組織である「利根川上流河川学習連絡会」の設置に着手した。

また、沿川の学校の意向を確認し、今後の具体的な活動に結びつけるための準備を行った。さらには今後の学校連携等に活用することを狙い、子ども達の感性に訴える河川学習用ツールを開発した。

今後は、支援組織の設置により、河川学習が実施されるとともに、学校連携による一層の河川学習の普及・推進が期待される。

5. 今後の河川環境教育の展開

遠賀川及び利根川のケーススタディを踏まえ、今後、河川環境教育を展開させていくにあたっての方策を検討した。

5.1 直面する課題への対応

遠賀川のケース及び利根川のケースにおいて、直面する共通の課題があることが把握された。また、当財団で支援している河川環境教育の他事例でも似通った傾向にあることを把握している。

今後、河川環境教育を円滑に行っていくためには、

あらかじめ想定される直面する課題の解決が重要と考えられる。

①河川及び河川環境教育に関する情報提供

河川環境教育に取り組むにあたっては、河川の基礎的情報、地理情報等の提供が不可欠である。また、河川環境教育の手法や実践例等の情報提供があることで、河川環境教育に取り組みやすくなるものと考ええる。

②指導者育成

河川環境教育を実施するにあたっては、特に安全の確保が重要であり、取り組む者にとってのハードルとなっている。そこで川での安全な指導ができる人材育成を行っていくことが必要であり、こういった人材の参画によりリスクの軽減が果たせるものと考ええる。

さらには、河川環境教育に関する専門的な知識やノウハウの習得が望まれる。

③河川環境教育への動機付け

河川環境教育に取り組む動機が多くの人に理解されることが重要である。特に学校が河川環境教育に取り組むにあたっては、先生方の理解、保護者の理解が不可欠といえる。そのために、河川環境教育と学校教育の融合が求められると考える。また、主体である子どもたちが河川環境教育の楽しさ、学んだことなどを発表する機会を設けることで、子どもたちへのインセンティブになると考える。こういった発表会は、先生方や保護者の理解を得るためにも有効であると言える。

④資金のかからない活動方法

河川環境教育に係わる経費を継続的に維持していくことは難しい。また、予算面が取り組みのネックになっているケースもある。

よって河川環境教育を継続的に実施するにあたっては、資金のかからない活動が重要であり、これらの情報等を提供していく必要がある。また、各種助成制度の活用も重要と考える。

5.2 支援組織の設置

河川環境教育に関わる関係者間の連携を促進し役割分担を明確にしていくためには、河川管理者、教育関係者、市民団体などによる支援組織の設置が有効である。

特に5.1であげた直面する課題は、それぞれ単独の主体では解決が困難な場合が多いと想定される。これらの課題の解決に向けても、河川環境教育の支援組織は重要な役割を担うと考える。

5.3 河川環境教育と学校教育の融合

現在のところ、河川行政機関が主体となって河川環境教育に取り組んでいるケースが多い。これは、円滑な河川事業の推進、河川環境の保全・創出といった河川行政の目的の達成を期待してのものである。

一方、学校教育においては、小中学校では基本的に学習指導要領に則った教育を実施することが求められており、また総合的な学習の時間と、各教科の横断的・総合的学習を狙ったものであるため教科内容と関連していることが多く、現状では一部の熱心な学校や先生のみが河川を教材とした学習を実施しているものと考えられる。

そこで、今後、河川管理者が学校等と連携した河川環境教育を推進していくためには、学校カリキュラムと融合した河川環境教育手法を提案することが必要と考える。

特に小学校においては、教員の約7割が女性であるため、誰でもできる河川を教材にした学習カリキュラムづくりが必要であると考ええる。

また、そのための学校支援について今後検討していく必要があり、支援の内容としては、河川情報の提供、指導者の派遣や育成などが考えられる。

6. おわりに

今回、遠賀川と利根川の2つの実例をもとに河川

環境教育の活性化のための支援について検討・実施したが、この河川環境教育は全国に広まりつつあるとは言え、まだまだ多くの解決すべき課題がある。

子どもの水辺サポートセンターを有し、河川環境教育の推進を主要業務の一つとして先駆的に取り組んでいる当財団の果たすべき役割は大きいと考える。

今後は、当財団としても今までの河川環境教育のレビューを行うとともに、解決すべき課題の整理、課題の解決等の手法を検討し、河川環境教育の目的の達成と効果の発現のための努力を続けていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 建設省河川局河川環境課（1998）：「川に学ぶ」社会をめざして、河川審議会川に学ぶ小委員会概要。
- 2) 山本雅史・吉野英夫・山田浩次・佐藤聖介（2004）：河川環境教育の活性化のための支援方策検討，河川環境総合研究所報告，第10号，PP. 93-103.
- 3) プロジェクトWETのWEBページ
URL ; <http://www.kasen.or.jp/wet/>
- 4) 川に学ぶ体験活動協議会
URL ; <http://www.rac.gr.jp/>

7. 河川環境学習に関する取組み(子どもの水辺再発見プロジェクト)の推進方策に関する研究

山本雅史*・入江 靖**・矢野克己***・菅原一成****

1. はじめに

近年、川の持つ価値が見直され、子ども達へ川に学ぶ機会を提供し、河川の利用を促進することが重要であるとの認識が広まってきている。

その理由を裏付けるものの一つとして、平成10年7月に文部省(当時)が約11,000人の小中学生を対象に実施した「子ども体験活動に関する調査」結果を、図1-1に示す。図からわかるように、「自然体験がある(豊かな)」子どもは、「道徳観・正義感がある(高い)」結果となっている。このことから、川をはじめとする自然の中での体験活動というものは子どもたちの豊かな人格形成に有意義なものであることが伺える。

平成14年度から小中学校に取り入れられた「総合的な学習の時間」における題材としても河川は期待を集めている。本格実施前の平成13年度全国総合学習セミナーにおいて、小中学校の先生に対して行った、「総合的な学習の時間の対象として注目しているもの」、「環境学習の対象として注目しているもの」に関するアンケート調査結果を、それぞれ図1-2、図1-3に示す。図1-2より、「総合的な学習の時間」の対象として「環境学習」に対する注目の割合が抜きんでており、さらに図1-3よりその「環境学習」の対象として「河川」が多く注目を集めていることがわかる。

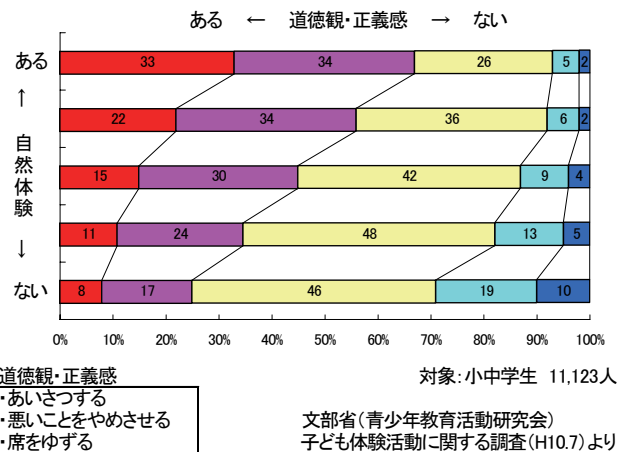


図1-1 自然体験と道徳観・正義感

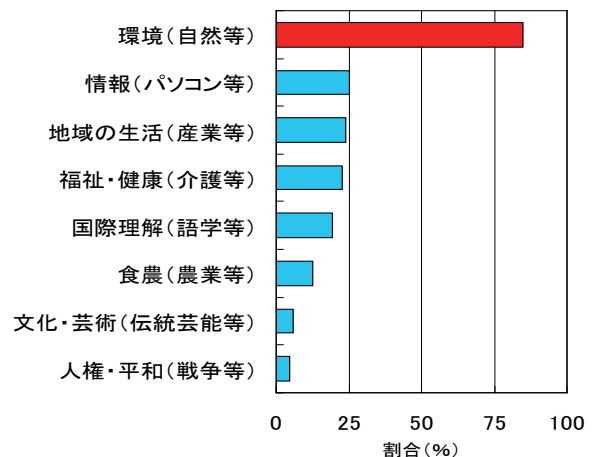


図1-2 「総合的な学習の時間」の対象として注目しているもの(2つまで回答)

* (財)河川環境管理財団 河川環境総合研究所 常務理事兼子どもの水辺サポートセンター長
 ** (財)河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究第一部長兼子どもの水辺サポートセンター次長
 *** (財)河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究第一部長兼子どもの水辺サポートセンター研究員
 **** (財)河川環境管理財団 子どもの水辺サポートセンター研究員

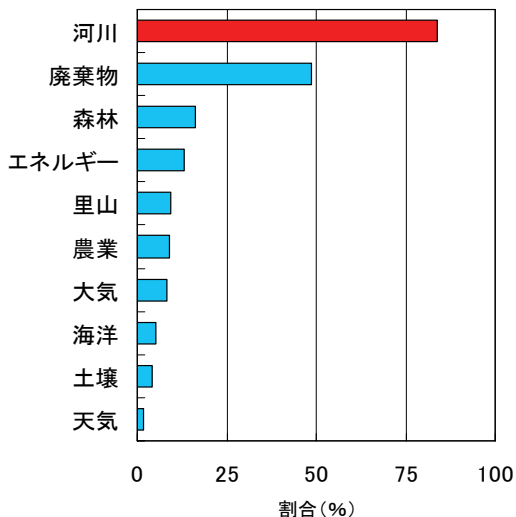


図1-3 「環境学習」の対象として注目しているもの（2つまで回答）

2. 「子どもの水辺」再発見プロジェクト

2.1 「子どもの水辺」再発見プロジェクトについて

平成9年の河川法改正を契機として、当時の河川審議会総合政策委員会に「川に学ぶ小委員会」が設置され、翌平成10年6月に、この小委員会において、「川に学ぶ社会の実現」を目的とした以下の4つの基本方針が報告された（建設省河川局河川環境課，1998）。

- 1) 人々の関心を高める魅力ある川づくり
- 2) 川に関連した広範囲な知識・情報の提供
- 3) 「川に学ぶ」機会の提供
- 4) 主体的・継続的な活動

この方針のもと、「川に学ぶ社会」の実現に向けて、具体的な取り組みがスタートすることとなった。

そのひとつとして、平成11年度には文部省・建設省・環境庁（いずれも当時）の連携施策として『「子どもの水辺」再発見プロジェクト』が展開されることとなった。当プロジェクトは、子どもが活動するのにふさわしい水辺の周辺の市町村教育委員会、河川管理者、自治体環境部局、市民団体等が連携し、4者のいずれかが事務局を担当して「子どもの水辺協議会」を設置し、「子どもの水辺」に登録することで、子どもたちの水辺での活動の促進・充実を図ろうとするものである。

これについては、「総合的な学習の時間」の本格実施

を迎え、平成14年7月には、『「子どもの水辺」再発見プロジェクトの更なる推進』を図るために、(財)河川環境管理財団内に「子どもの水辺サポートセンター」が設置され、活動を一層支援する体制が整えられた(図2-1)。

2.2 「子どもの水辺サポートセンター」の支援活動

「子どもの水辺」の登録箇所数は、平成17年8月末現在、215件となっている。(図2-2)

「子どもの水辺」についてはその地域の行政、教育、市民団体が一体となって協議会を構成し、より質の高い活動を目指すところに大きな意義がある。これらに対する支援活動としては、活動内容や人物、運営の仕方などについての情報提供を第一にしている。

また、「子どもの水辺サポートセンター」は子どもの水辺協議会への支援以外にも、河川環境に対する理解を深め、活動を普及させるために、本研究所報告の別稿（山本雅史ほか，2005）で述べた水に関する教育プログラム「プロジェクトWET」（写真2-1）の普及や全国各地の川で活動するNPO法人や市民団体などで構成される「川に学ぶ体験活動協議会（通称：RAC）」との連携により、川での活動を実践できる指導者の養成なども行っている（写真2-2）。

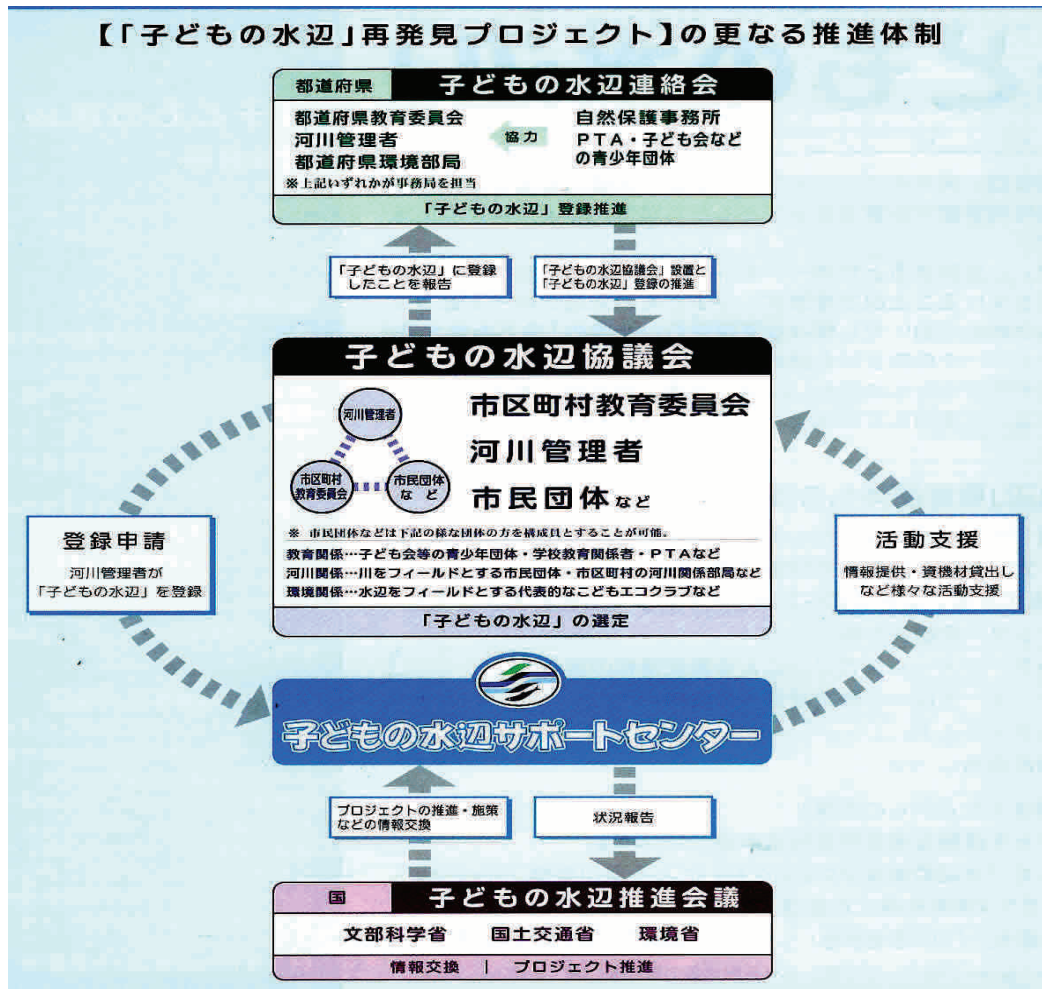


図 2-1 「子どもの水辺」再発見プロジェクトの更なる推進体制

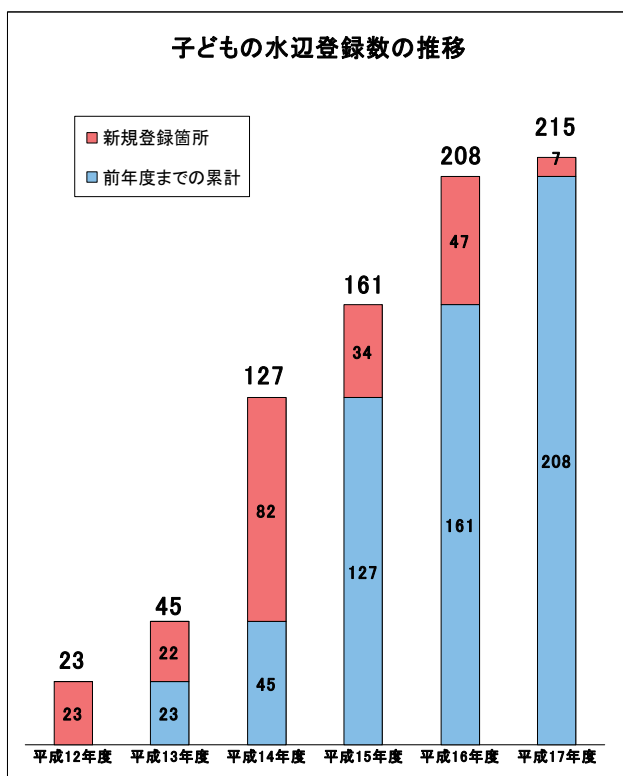


図 2-2 子どもの水辺登録数の推移



写真 2-1 プロジェクト WET の実践状況
 (子ども霞ヶ関見学デーH17.8.24-25)



写真 2-2 子どもの水辺安全講座 (東京都 多摩川)

3. 「子どもの水辺」再発見プロジェクトの推進についての中間評価

「子どもの水辺」再発見プロジェクトが平成11年より展開されて6年が経過しており、今後も同プロジェクトの推進を支援し、「子どもの水辺」での活動をより充実させていくために、以下の2つの手段により、現状における「子どもの水辺」での活動について整理を行い、課題・問題点についての分析を行った。

- 1) 「子どもの水辺」登録団体へのアンケート調査実施・分析
- 2) 「子どもの水辺」ブロック連絡会議における意見の整理・分析

3.1 「子どもの水辺」登録団体へのアンケート調査実施・分析

「子どもの水辺」登録箇所の活動状況等について把握するために、平成16年3月時点での「子どもの水辺」登録団体158団体に活動状況等に関するアンケート調査を実施した。その結果、105団体から回答があり（回答率66%）、そのうち活動を継続的に実施していると回答した団体は59団体であった。登録団体数に対する活動率は37%となったが、未活動団体からの回答には、「現在活動計画策定中」とか「現在水辺整備事業を実施中であり、事業完了後本格的に活動」というものもあり、この37%の数字の評価については、今後調査を続けて行く必要がある。

図3-1に事務局別活動率を示す。この図からわかるように、河川管理者や教育委員会が事務局を担当するところは活動率が低く、市民団体や市町村が担当しているところは活動率が比較的高い傾向にある。これは、河川管理者や教育委員会が事務局を担当していた場合、担当者の異動により、活動が継続されなくなってしまうケースが多いことを示している。一方、担当者の異動が少ない、いわゆる「核」となる人材がいる市民団体や市町村が事務局を担当したところは活動率が高い（活動が活発である）ことがわかる。このことより、まだまだ活動は“人”に依存する度合いが高いことがわかる。

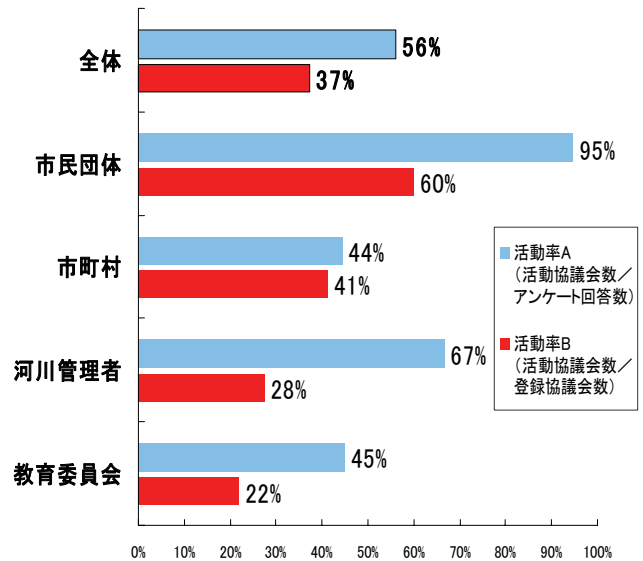


図3-1 活動状況（事務局別）

次に登録年度別の年間活動回数について、図3-2に示す。この図より、登録年度が古い団体は活動回数が少ないことがわかる。ただし、「活動なし」の団体についてはむしろ、登録年度が新しい団体に多い傾向となっている。これは、前述の未活動団体からの回答にもあったように、活動計画が策定中もしくは活動場所在整備中といったことも、ひとつの原因と考えられる。

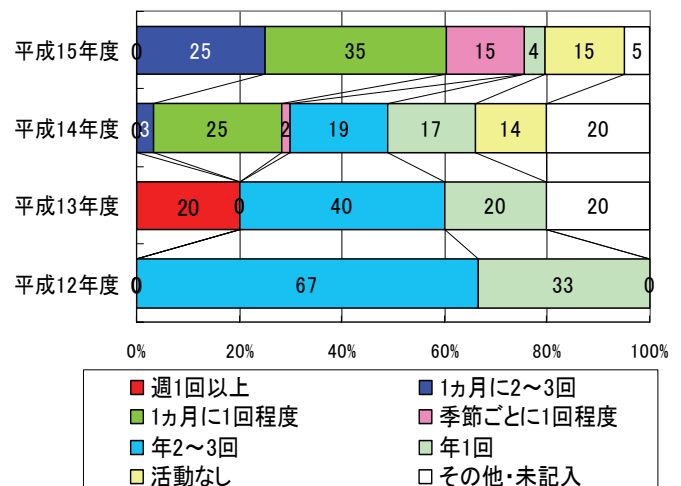


図3-2 登録年度別年間活動回数

また、事務局別の年間活動回数、活動時期について図3-3、図3-4に示す。市民団体や市町村が事務局の場合、図3-1での考察と同様に活動率が高く、その年間活動回数も多くなり、活動の実施時期についても通年で実施されていることがわかる。これは、市民団体等が主体となって、通年で水辺体験などの行事や講習会等の開催を活発に行っているからだと考えられる。

次に、主な活動内容についての結果を図3-5に示す。「生物調査・保全活動」「川の学習活動」「水質調査・美化活動」の回答が多く挙げられている。

また、今後実施したい活動内容についての結果を図3-6に示す、上述の現在の主な活動と同様に、「生物調査・保全活動」「川の学習活動」「水質調査・美化活動」が回答として多く挙げられており、それに加えて、「歴史・文化活動」が注目されている。

一方、図1-1を使って有効性を述べた「子ども達が体ごと川に入って、川の自然を体感する」④の「カヌー・釣り等川を利用したスポーツレクリエーション活動」は現在の活動も今後の活動希望も少ない。このことは、「川を体験する」ためには、安全性の確保や指導者の確保などがまだまだ大きな課題であることを示している。

最後に、「子どもの水辺」での活動の課題・問題点についての調査結果を図3-7に示す。「資金不足」「指導者不足」「安全性の問題」が回答として多く挙げられている。

逆にこれらの諸問題を解決することが、今後の水辺での活動を活性化させるために必要な事項であると言える。

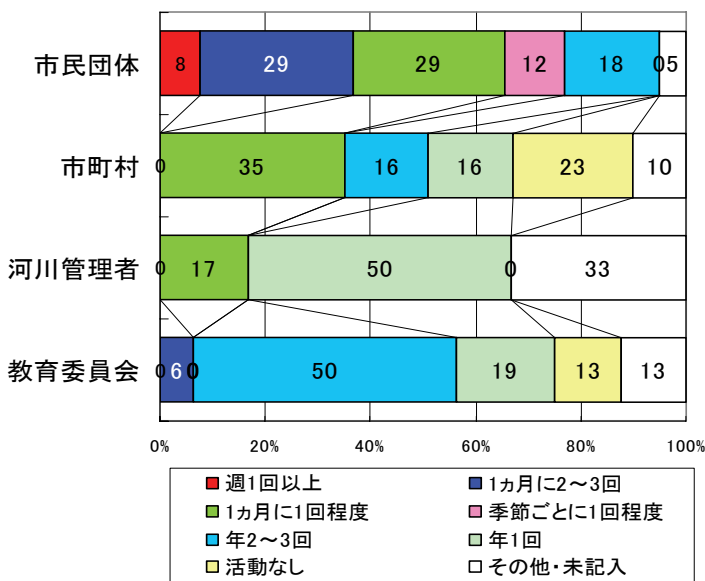


図3-3 事務局別年間活動回数

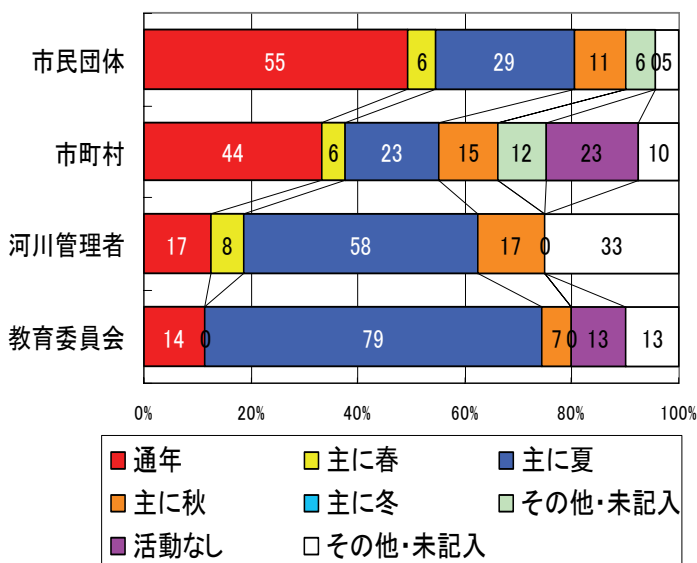


図3-4 事務局別活動実施時期

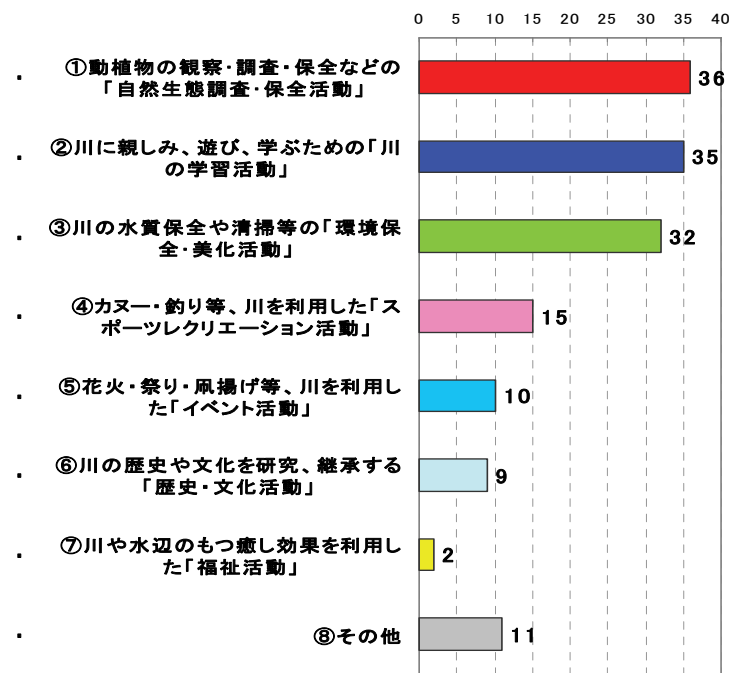


図3-5 「子どもの水辺」での主な活動内容 (複数回答あり)

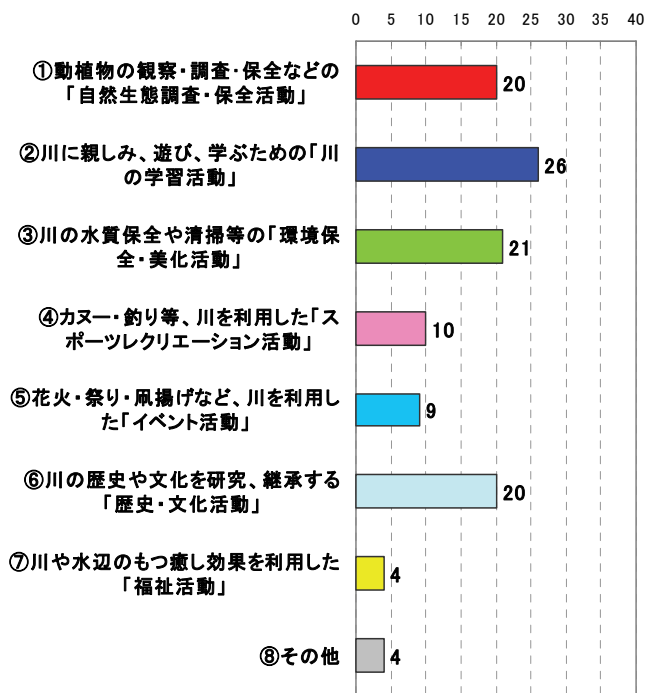


図 3-6 今後実施したい活動内容（複数回答あり）

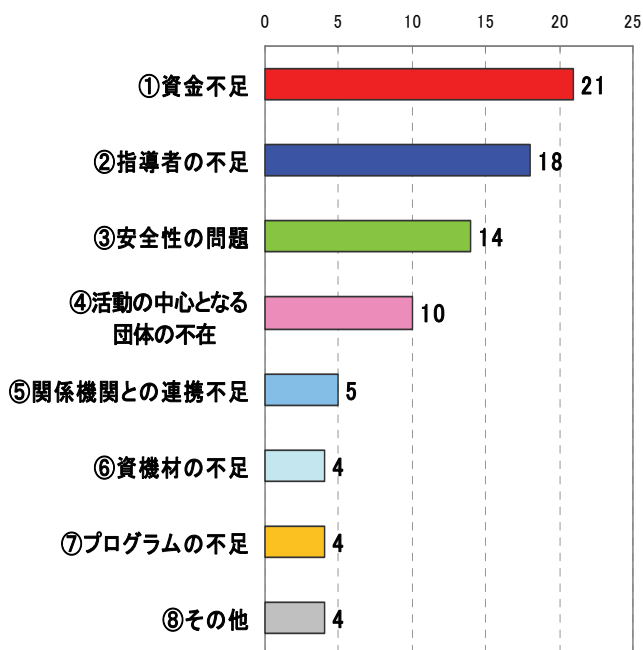


図 3-7 「子どもの水辺」での活動の課題・問題点（複数回答あり）

3.2 「子どもの水辺」ブロック連絡会議における意見の整理・分析

「子どもの水辺」ブロック連絡会議は、平成 15 年 2 月の中部ブロックに始まり、平成 16 年 11 月の四国ブ

ロックをもって全国 9 ブロックを一巡し、延べ参加人数は 1,781 名となった。同会議は、『「子どもの水辺」再発見プロジェクト』を推進している文部科学省、国土交通省、環境省の 3 省が主催となり、「子どもの水辺サポートセンター」が事務局を行って開催された（写真 3-1）。



写真 3-1 東北ブロック連絡会議（H15. 2. 7）

同会議では、「子どもの水辺」協議会関係者が参加し、さまざまな立場の人々が情報交換や連携を深め「子どもの水辺」における活動の活性化方策や問題点等について、さまざまな検討を行った。特に、都道府県レベルでの「子どもの水辺連絡会議」の形成を目指して行った都道府県単位の分科会においては、活発な意見交換が行われた。その中で多く挙げられた活動に関する実態と問題点について示すと、「資金不足」「情報不足」「指導者不足」「安全性の確保」が主な意見であり、これは前述の「子どもの水辺」登録団体へのアンケート調査と同様の結果となっている。また、東京・大阪ブロックにおいては、「水辺の不足」が都市部での課題として挙げられた。

「情報不足」を補うものとして、ブロック会議のような会議を継続して実施することを求める意見が多く聞かれた。事実、都道府県単位での分科会において、関係者間での情報交換が進められる場面が多く見られた。すでにこれを契機に青森県、宮城県、大阪府、長崎県等では、都道府県レベル関係者が主体となって「子どもの水辺連絡会」が設置されているところであり、

今後の活躍が期待される。

次に、ブロック会議ごとの所属別参加者の割合を、**図3・8**に示す。各ブロックとも「河川管理者」「市民団体等」の参加割合が多いが、北海道・中部・中国ブロックでは「市民団体等」の参加が多く見られる。さらに、この図から東京ブロックでは「教育関係者」が、北海道ブロックでは「農水関係者」が、中部・大阪ブロックでは「環境部局関係者」の参加割合が多いという傾向が見られる。これより、活動には地域ごとの特徴があることが伺える。

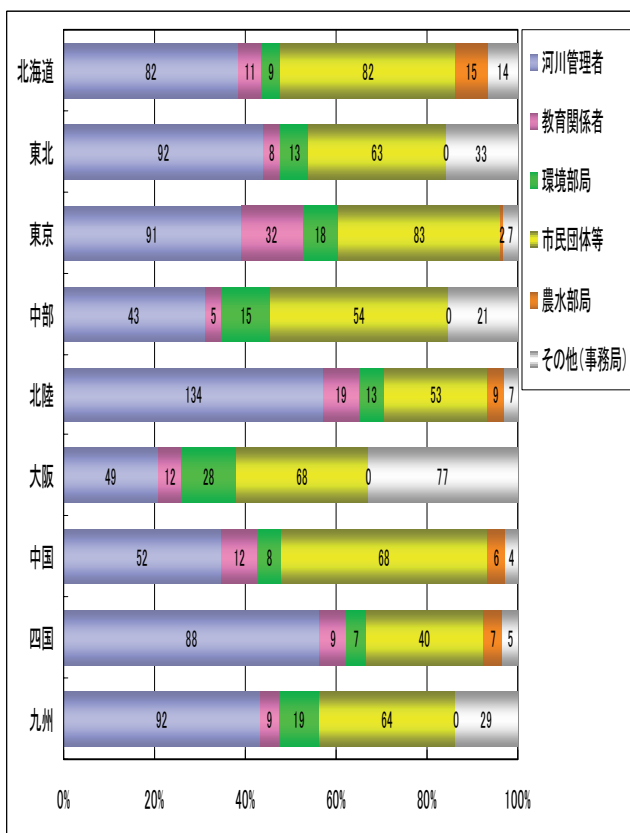


図3・8 所属別参加者の割合

4. 「子どもの水辺」での活動の推進支援について

今後、「子どもの水辺」登録箇所での活動をさらに推進していくために、前述の活動に関する問題点として挙げられた「情報不足」「指導者不足」「安全性の確保」「資金不足」などの課題の解決が重要であると考えられる。

そこで「子どもの水辺サポートセンター」において

は、これらの課題の解決に向けて次のような3つの方策を提案し、今後の「子どもの水辺」での支援活動を推進していきたいと考える。

- ①情報の集積・整理・発信<水辺での活動のための総合情報コーディネーター>
 - ・人材、指導者育成講座等に関する情報の収集提供システムの構築
- ②河川環境学習のあり方研究
 - ・活動の安全性評価の研究
 - ・経済面での活動の工夫についての研究
 - ・学校カリキュラムへの対応についての研究
- ③支援施設のサテライト化
 - ・地域拠点施設の設置による地域ネットワークの実現
 - ・地域拠点施設の設置によるきめ細かな支援

4.1 情報の集積・整理・発信<水辺での活動のための総合情報コーディネーター>について

図4・1に「情報の集積・整理・発信<水辺での活動のための総合情報コーディネーター>」のイメージを示す。図4・1に示すとおり関係各省庁、市民団体、自治体、学校や「子どもの水辺」登録団体と連携し、資金・人材・指導者育成講座などの情報や活動団体からの情報提供、各省庁からの活動に関する情報などを幅広く収集し、同センターにて情報の整理を行い、情報が必要な人たちに、必要な情報をわかりやすく提供出来る水辺での活動のための総合情報コーディネーターとして情報収集システムの構築を図り、「子どもの水辺」での活動支援を行う。

4.2 河川環境学習のあり方研究について

次に、図4・2に「河川環境学習のあり方研究」についてのフローを示す。現在、行われている「子どもの水辺」での活動事例を幅広く収集して、その傾向を分析し、好事例につながる活動の仕組みについて抽出・整理を行うとともに、課題についても整理し、経済面での活動の工夫、学校カリキュラムへの対応について

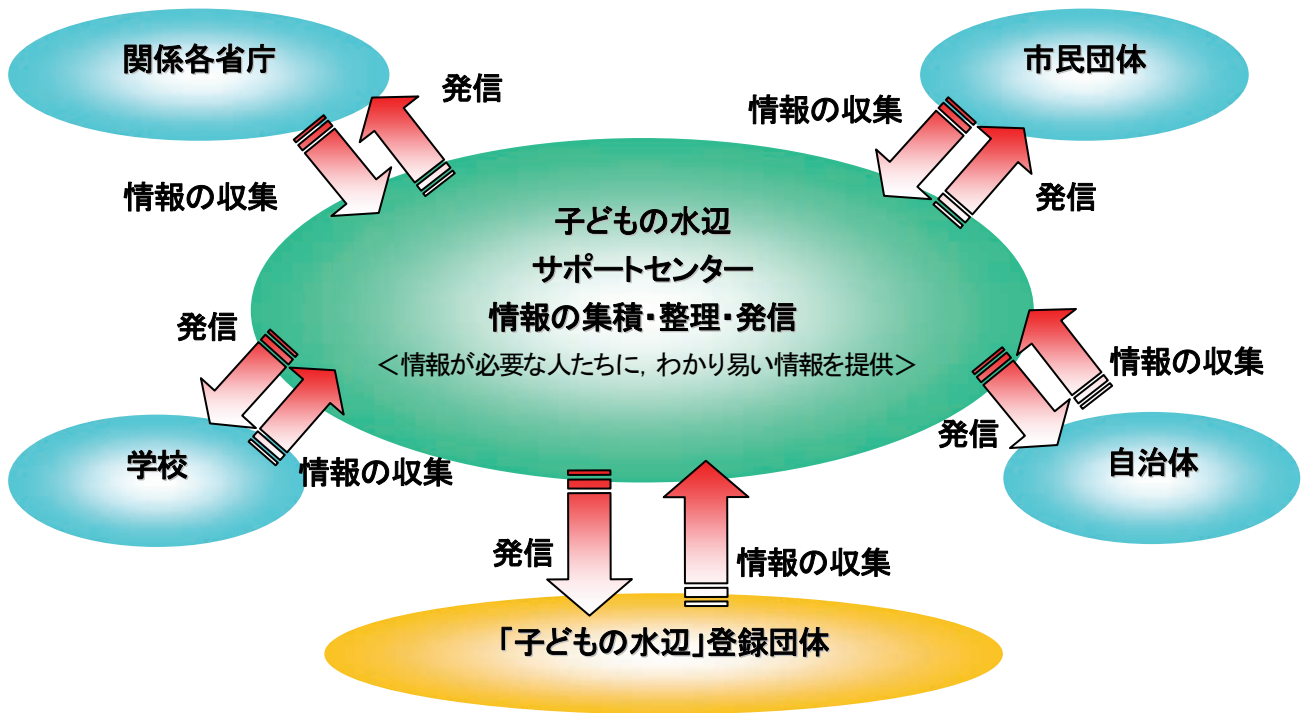


図 4・1 情報の集積・整理・発信<水辺での活動のための総合情報コーディネーター>

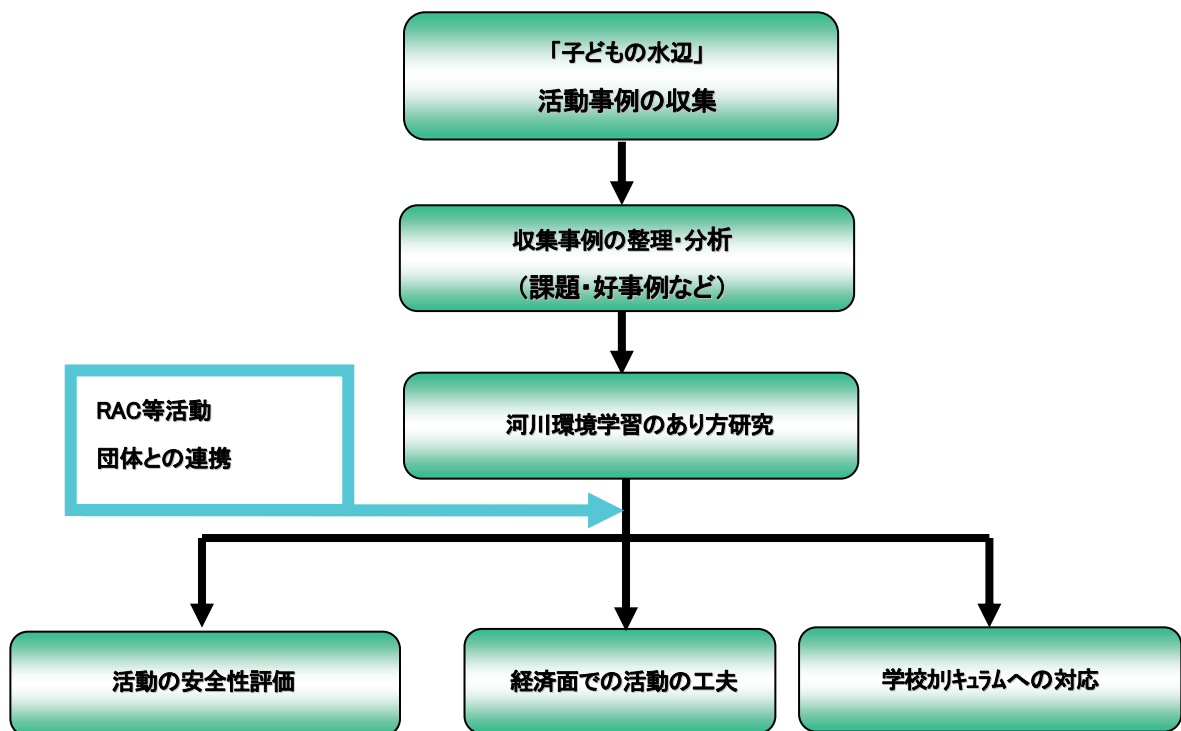


図 4・2 河川環境学習のあり方研究のフロー

の河川環境学習のあり方に関する研究を行う。さらには、川に学ぶ体験活動協議会（通称：RAC）と連携しながら、指導者育成方策に関する研究や活動の安全性評価についても研究を行っていく。

4.3 支援施設のサテライト化について

最後に、支援施設のサテライト化についてであるが、「子どもの水辺サポートセンター」は東京（河川環境管理財団内）に設置されており、資機材などの貸出しにかかる送料については使用者負担としているため、これ以上拡大することが困難な状況である。

そこで、各地域でのネットワークの実現を目指し、きめ細かな支援を行うためには、各地域ブロックへ拠点施設を設置することが有効であると考え、そのパイロットケースとして、平成16年4月に子どもの水辺北海道地域拠点センター（呼称：北海道エールセンター）

（写真4・1）が北海道帯広市の十勝川と札内川、帯広川の合流点にある「治水の森」公園内に設置された。同地域拠点センターは、北海道内の市民団体の代表等で構成される運営協議会のもとで、地元のNPO法人が中心となり施設の運営管理を行っている。総合的な学習の時間での環境学習・体験活動にも利用されており、開設1年で、延べ7,855人が来所している（写真4・2）。



写真4・1 北海道エールセンター

今後、支援施設のサテライト化をどのように他の地域へ展開していくかであるが、既存の公共施設をうまく

活用させてもらうことでスピードアップを図れないかと考えている。当然、サテライト化の一番のねらい目である「きめ細かな支援」の実現については、うまく運営してもらえる組織の存在が必要不可欠である。



写真4・2 センター前（札内川）でのカヌー体験

5. おわりに

「子どもの水辺」再発見プロジェクトが平成11年より展開されて6年が経過し、同プロジェクトの推進を支援するために、「子どもの水辺」での活動の課題・問題点について分析をおこなった。今後も、「子どもの水辺」での体験活動をより一層充実させていくために、本研究で得られた成果について引き続き研究を進めていきたい。

参考文献

- 1) 建設省河川局河川環境課（1998）：「川に学ぶ」社会をめざして、河川審議会川に学ぶ小委員会概要。
- 2) 山本雅史・入江靖・鈴木茂樹・中山尚（2005）：河川環境教育の活性化のための支援方策検討，河川環境総合研究書報告，第11号，PP. 79-87。
- 3) 子どもの水辺サポートセンターのWEBページ
URL ; <http://www.mizube-support-center.org/>
- 4) プロジェクトWETのWEBページ
URL ; <http://www.kasen.or.jp/wet/>
- 5) 川に学ぶ体験活動協議会のWEBページ
URL ; <http://www.rac.gr.jp/>

河川環境総合研究所報告第11号

平成17年12月発行

ISSN 1344-2910

編集・発行 財団法人 河川環境管理財団 河川環境総合研究所

〒103-0001 東京都中央区小伝馬町11番9号 TEL 03-5847-8303 FAX 03-5847-8309

ホームページ『河川環境情報ステーション』 <http://www.kasen.or.jp/>

E-mail info@kasen.or.jp

印刷・製本 (株)サンワ 〒102-0072 千代田区飯田橋 2-11-18 TEL 03-3265-1816 FAX 03-3265-1847
