

地球温暖化に対応した生物モニタリング手法の検討

Biological monitoring in response to global warming

研究第四部 主任研究員 竹原 正泰
研究第四部 部長 前田 諭
研究第四部 主任研究員 石井 正人
企画部 副参事 阿部 充

近年、地球温暖化に伴う気候変動により各地で異常な洪水や渇水被害等が頻発している。河川においても、洪水の増大、高潮及び海岸侵食の増大、異常渇水の頻発、生物環境への悪影響等が指摘されており、その適応策が求められている。

本調査研究は、地球温暖化を河川に係る生物の視点から把握し、今後の河川管理への活用を検討するため、河川の直轄管理区間における生物生息状況の経年変化を把握し、地球温暖化が生物生息環境に与えると想定される影響を分析・検討するとともに、生物生息状況の変化を重点的かつ効率的にモニタリングするための項目・手法、今後の河川施策における適応方策について検討したものである。

地球温暖化による生物生息環境への影響の検討にあたっては、地球温暖化に関する既往研究のレビューや学識経験者等へのヒアリング結果等を分析・整理した。地球温暖化による河川における環境の変化と生物・生態系の反応をインパクト・レスポンスとして構築し、影響について作業仮説を立案した後、河川水辺の国勢調査結果により経年変化を整理・分析し、仮説の検証を行った。また、これらの検討結果から、気候変動の影響に対して多様かつ弾力的に対応できるような今後の「川づくり」である河川の適応策の方向性を検討・提案した。

キーワード：地球温暖化、河川管理、経年変化、モニタリング、インパクト・レスポンス、適応策、予防原則

In recent years, various natural disasters, including extreme floods and drought, have frequently occurred in many locations due to climate change caused by global warming. With regard to rivers, various concerns have been mentioned, including an increase of floods, high tides and shore erosion, frequent occurrences of extreme drought, and adverse impact on the biological environment, so it is necessary to take measures to adapt.

This research study aims to understand global warming from the viewpoint of river biology, to consider how to apply such understanding to future river management by monitoring changes over time in living conditions of wildlife in the river section directly managed by the national government, and to analyze and study the impact that global warming is expected to have on the living environment of wildlife. It also aims to consider means and methods to implement intensive and efficient monitoring of changes in living conditions of wildlife, and adaptive measures in future river policies.

To study the impact of global warming on the living environment of wildlife, we analyzed and summarized previous research reviews on global warming and the results of hearings from academic experts. After assuming environmental changes in the river due to global warming and the reactions of wildlife and the river ecosystem to be an impact response, and formulating a working hypothesis of the impact, we verified the hypothesis by analyzing and summarizing changes over time, as indicated by the results of national census surveys on riverfront and waterfront areas. Based on the results of those studies, we reviewed and made a proposal of adaptive measures for rivers essential to future “river management” which can flexibly respond to the impact of climate change.

Key words : global warming, river management, change over time, monitoring, impact response, adaptive measures, precautionary principles

1. はじめに

近年、地球温暖化に伴う気候変動により、異常な洪水や渇水被害等が頻発し、その対策が求められている。

地球温暖化を河川に係る生物の視点から捉え、河川管理にどう活かすかを検討するため、直轄管理区間における生物生息状況の経年変化を把握し、地球温暖化による生物生息環境への想定影響を検討するとともに、地球温暖化によると想定される生物生息状況の変化を重点的かつ効果的にモニタリングするための項目・手法、さらに適応策のあり方を検討した。

2. 地球温暖化による生物生息環境への影響

2-1 地球温暖化と生物に関する既往研究のレビュー

まず、地球温暖化による河川に係る生物生息環境への影響について現在の知見を分析・整理する目的で、既存資料の収集・分析を行うとともに、学識経験者等からの意見聴取を行い、広範に既往研究をレビューした。

文献の収集は、JST文献情報提供サイト（(独) 科学技術振興機構）、NII論文情報ナビゲーター（国立情報学研究所）、国立国会図書館などの文献検索サービスに供せられている論文および学術図書を対象とし、「地球温暖化」や「生態系」などのキーワードで検索して得られたものを収集・分析し、区分別に体系化した。

以下に、生物分類群別に、とりまとめ結果をできるだけ具体的に示す。

(1) 地球温暖化による「魚類」への影響

【温暖化による影響が指摘・顕在化している事項】

- ・長期に及ぶ九州近海の海水魚の「種構成」変化

【温暖化による影響が想定される事項】

- ・「冷水性のサケ科魚類」は、分布域が北方や上流域へ移動することが予測されている。
- ・「ハリヨ」など「湧水性の種」は僅かな水温変化にも大きな影響を受け、絶滅が危惧される。
- ・海域を通じて移動ができる「通し回遊魚」は、温暖化により分布域が変化する可能性がある。
- ・水温により分布が狭まる結果、小規模な「局所的絶滅」を起こす頻度が高まる可能性がある。
- ・「生活史」の変化（サケ科魚類の河川型/降海型の割合の変化）
- ・「代謝速度」の変化による影響（生残率、繁殖率）
- ・「遺伝子」の変化
- ・「種間相互作用」の変化（水温変化による特定の種類の活性化）

- ・「生態系ピラミッド」の変化（特に基礎生産の変化は上位の魚類へ大きな影響が及ぶ。）

- ・「水面積・水深」の減少、「瀬切れ」の増大

- ・河川の縦横断方向の「連続性」の消失

- ・「国外外来種」の定着危険性の増大

(2) 地球温暖化による「底生動物」への影響

【温暖化による影響が指摘・顕在化している事項】

- ・温暖化に伴う水温上昇により琵琶湖「深底部」で「沿岸性種」の増加が確認されている。

- ・琵琶湖において温暖化に伴う水温上昇と集水域の積雪量減少により「湖水循環」が減少し、「貧酸素化」が指摘されている。

【温暖化による影響が想定される事項】

- ・「異常渇水」の増大

→ 流程あたりの「個体数密度」の減少

- ・「攪乱頻度・規模・流砂環境」の変化

→ ①「水際域」の環境変化により、水際域に適した「種構成」が変化、②河床等に「シルト・細砂」が堆積し、ヒゲユスリカ族が卓越、③「造網性」トビケラが卓越し、「匍匐性」底生動物が減少

- ・「降雪量」の減少に起因する湖沼の鉛直混合の減少

→ 湖底部の「貧酸素化」

- ・「水温の上昇」

→ 「水生昆虫」の「生活環、成長量、分布」の変化

(3) 地球温暖化による「陸上植物」への影響

【温暖化による影響が指摘・顕在化している事項】

- ・植物の「開花時期・紅葉時期」の変化

【温暖化による影響が想定される事項】

- ・「高山植物」の生育範囲の「縮小」
- ・「北方系植物」の生育範囲の「縮小」
- ・「南方系帰化植物」及び「南方系在来植物」の生育範囲の「拡大」
- ・自然植生の分布の変化。

(4) 地球温暖化による「鳥類」への影響

【温暖化による影響が指摘・顕在化している事項】

- ・「結氷時期」の遅れ、「結氷期間」の短期化、「積雪量」の減少により、これまでガン類の「中継地」であった場所が「越冬地」となり、このような地域が増加しつつある。

- ・「渡り」の変化、即ち、北海道のカモ類を除き、ハクチョウ類もカモ類も年々記録数が増加している。東北・中部地方の日本海側地域では、ハクチョウ類は「気温上昇」の影響を強く受け、カモ類は「積雪減少」の影響を強く受ける。

- ・コハクチョウの「越冬地の増加」には、繁殖地および越冬期の気温上昇が関係している。
 - ・コムクドリ「産卵開始日」が早まったのは繁殖地や渡り途中の中継地において気温が上昇したことが原因と推定される。
- 【温暖化による影響が想定される事項】**
- ・日本でみられなくなる「冬鳥」の増加
 - ・日本で繁殖する「夏鳥」の増加
 - ・「漂鳥」の分布域の変化（高標高地へ移動）
 - ・海面上昇による「干潟」の水没により、長距離を移動する「渡り鳥」への影響
 - ・餌となる昆虫類の「出現時期」と鳥の「渡り時期、繁殖時期」の「不一致」の増加
 - ・夏鳥の「初渡来日」が早くなる種数の増加
 - ・「一腹卵数」が増加する種数の増加
 - ・「産卵開始日」が早くなる種数の増加
- (5) 地球温暖化による「両生類・爬虫類・哺乳類」への影響
- 【温暖化による影響が指摘・顕在化している事項】**
- ・「積雪減少」に伴う「大型哺乳類（シカ、イノシシ等）」の分布拡大
 - ・「両生類」の繁殖時期の早期化
 - ・カメ類の孵化時の「性比の偏り」
- 【温暖化による影響が想定される事項】**
- ・温暖性の「外来種」の定着可能地域の拡大
 - ・「寒冷・高地環境」に適応した「小型哺乳類」（エゾナキウサギ、オコジョ等）の「生息適地の減少」とそれに伴う個体群の「孤立化」
 - ・「病原性微生物」を介した間接的な影響
 - ・「食物連鎖、種子散布や送粉」などの「生物間相互作用」を介した生態系全体への影響
- (6) 地球温暖化による「陸上昆虫類」への影響
- 【温暖化による影響が指摘・顕在化している事項】**
- ・気温上昇に伴う「南方系種」の分布北上
 - ・温暖化と「ヒートアイランド現象」の相乗影響
 - ・気温上昇により、「ウイルスの伝染特性」が害虫体内、植物体内で変化し、ウイルスの伝染可能性が増加する。
- 【温暖化による影響が想定される事項】**
- ・気温上昇による「北方系種」の分布縮小
 - ・海面上昇による「汽水域」に生息する種の衰退
 - ・「幼虫生存率」向上と「成虫」の急激な増加
 - ・気温上昇によって、早い時期に「有効積算温度」に達するため、発生時期の「早期化」。
 - ・発生時期の早期化に伴って、特に植物を餌とする種では「適合餌植物」の利用時期が合致しない場

合に衰退の恐れが生じる。

- ・「外来植生」が気温上昇や人の移動に伴い分布拡大すると、「在来植生を餌や生息環境」として特異的に利用している種は在来植生の減少とともに減少する。

(7) まとめ

以上より、端的に総括すると、絶滅危惧種・希少種・生物多様性の減少・消失（分布範囲・集団サイズの縮小）、遺伝的適応能力の低下、生物の空間シフト、移動障害・困難性、光合成の活性化等生産力の変化、食物連鎖の不適合、生活史の変化、外来種の侵入・拡大、生物季節変動等の多くの事象が課題として発生、または発生のおそれが生じている。

2-2 地球温暖化が河川へ及ぼす物理・化学的影響 —生物棲息場の観点から—

地球温暖化が河川へ及ぼす影響を物理的・化学的な棲息場の観点から整理すれば、主に、河川域での気温・水温の上昇、降水量の振幅の増大、洪水・土砂流出の増大、異常渇水の頻発、高潮及び海岸侵食の増大（河口干潟等への影響）等が挙げられる。

気温、水温の上昇については、公共用水域の現地測定データをもとに河川域における最近25年間の変動状況についてとりまとめた。また、降水量の変化等については、「水関連災害分野における地球温暖化に伴う気候変動への適応策のあり方について（中間とりまとめ）」、平成20年1月、（社会資本整備審議会河川分科会気候変動に適応した治水対策検討小委員会）で、将来の変化が予測されている。

(1) 気温・水温の上昇

公共用水域の測定結果を用いた気温・水温のとりまとめ結果から、1990年代半ばから気温、水温が1～2℃程度上昇傾向にある河川もみられたが、地球温暖化との関係は必ずしも明らかでない。河川環境において、水温上昇が水生生物環境に最も大きな影響を与えるものと分析される。今後の推移を注目していくとともに、過去に遡って水温変化の変遷を整理し、比較・検討する必要があると考えられた。

(2) 降水量の変化

100年後の降水量の変化を予測すると、現在の概ね1.1～1.3倍、最大で1.5倍程度と見込むことが妥当とされ、またこの振幅幅や季節変動も問題である。

(3) 洪水規模の増大・細砂等の流出の増加

100年後の基本高水のピーク流量を試算した結果、計画降雨量の倍率が高くなるほど基本高水のピーク流量の倍率はそれ以上の倍率で大きくなる傾向が見られた。このことから、降水量の変化が大きくなればなるほど、洪水のピーク流量の増大、それに伴い細砂・シルト等の流出量の増加が予想される。

(4) 異常渇水の頻発

我が国の降水量は、1965年頃から少雨の年が多くなっており、1973年、1978年、1984年、1994年、1996年、2005年の降水量は、年平均降水量を大きく下回り、渇水被害が発生している。また、近年では、異常少雨と異常多雨の変動が大きくなる傾向が見られる。今後、気候変動により極端な少雨となることもあり、1994年渇水等の異常な渇水の発生も懸念される。また、積雪量の減少や雪解け時期の早期化等の傾向も強まるとされている。

渇水現象は、水生生物や河川内生物の棲息場、特に水域面積の縮小、水深の低減、水温上昇、過密度化、分布範囲・位置の限定化、連続性の断絶、河原の乾燥化、湧水等の枯渇等、多大な影響を与える課題であり、適応策の立案上も重要事項である。

(5) 高潮及び海岸侵食の増大

海面水位は、長期間にわたる比較的安定した現象のため、この影響を施設設計に見込むことは可能とされている。

また、台風の激化に伴い、気圧低下により海面水位が上昇する。このため、海面水位の上昇とあわせて、台風の激化により、高潮及び海岸侵食が増大することが想定されている。特に海水面の上昇は、汽水域の塩分濃度環境の変化・干潟の水没を招く。

(6) まとめ

棲息場の物理・化学的環境への影響として、異常洪水による河川生態系の攪乱、低水流量の減少・季節変動の変化、流送土砂（細砂・シルト）の増大、水温上昇による生物化学的反応速度の増進に起因する水質汚濁、底泥からの栄養塩の溶出、DOの低下、湖沼等閉鎖域の一層の富栄養化、汽水域における塩分濃度の増

加、干潟・藻場の消失等が挙げられる。

2-3 地球温暖化による河川生態系へのインパクト・レスポンス

(1) 河川生態系へのインパクト

文献調査・聴き取りの分析・検討結果より、地球温暖化が我が国の河川生態系へ与える主なインパクトとして、以下の項目が挙げられる。

下記項目は、直接・間接的に生物の生息環境に作用し、その分布や構成を変化させる可能性がある。

○降水量（河川流量を含む）の変化

- ①降水量（洪水流量）の増加
- ②降水量（低水流量）の減少
- ③大雨・渇水の頻度増加
- ④降雪量の減少

○水温の上昇

○土砂供給量の増大

○海面上昇は、河口域・干潟域の生物生息環境を変化させる

また、地球温暖化による気温の上昇は、以下のようなインパクトを生態系に与えることにより、全ての生物に影響を及ぼすと考えられる。

○炭酸ガス濃度上昇と気温上昇は、植物の光合成や蒸発散に直接影響を及ぼし、長期的には植物群落を変化させる。

→生産者である植物群落の変化は、全ての動物群集に影響を及ぼす。

○生物の発生は積算温度に律速されるため、気温上昇は発生期間の短縮を惹起する。

○生物の発生期間の短縮は様々な影響を及ぼす。

- ①花が咲く時期、実をつける時期が変化する。
- ②年発生回数の増加
- ③発生時期の環境が通常とは違うことによる影響（餌が無い、想定しない外敵）

(2) インパクト・レスポンス・フローの検討

文献資料及び意見聴取結果の分析・検討をもとに、河川生態系に対する温暖化によるインパクトと生物のレスポンスの関係をフローに整理した。

2-4 地球温暖化による河川域の生物分布への影響検討—実証例を通じて—

本調査では、直轄管理区間における生物生息状況の経年変化から、地球温暖化の影響が顕在化していると考えられる種を抽出し、その影響の現状を予察することを目的とした。

この場合、「河川水辺の国勢調査」が極めて有効であった。多様な種、分布、個体数等を20年弱の間、統一基準で継続して全国調査を行ってきており、温暖化、外来種、生物多様性等の不確実な新領域でも柔軟に対応でき、その用途は非常に広く最適である。このため、水国調査データを用いて検討を行った。

(1) 分析対象種の絞り込み

インパクト・レスポンスフローで示した生態系のレスポンスにより、想定される生物生息環境の変化を抽出した。その変化を検出する指標として、考えられる環境変化に対して鋭敏に反応しやすい対象種を事前にできるだけ網羅的に選定し、分布域変動解析で検出が期待される項目を検討した。

(2) 分布域変化と環境要因を踏まえた指標種の事例

上記の解析結果から、分布変化がみられる種のうち地球温暖化の影響により分布が変化している可能性が高い種を抽出し、種の生態の特徴や生活史の特徴から、分布の変化要因についての仮説を立て、解析テーマを検討した。

検討事例として、ここでは、ゴクラクハゼ、ナガサキアゲハの2種に限り検討結果を以下に示す。

(3) ゴクラクハゼの分布変化と環境要因の特性

南方系の種であるゴクラクハゼは、7～10月に河川の石の裏側に産卵し、孵化した稚魚は川を下って海に下り、秋に2～3cmに成長して川に入り底生生活に移る生態をもち、海を通じて河川間の移動が可能な種（通し回遊魚）であることから、温暖化による分布変化がみられる可能性がある魚類である。

本種の分布フロントの東進は、海水温が上昇し、稚魚の成育に良好な海域環境が東進したため、その結果、ゴクラクハゼの分布域が東進したと想定される。なお、ゴクラクハゼは、アユの放流に伴う移入の可能性もあること、下流～汽水域に分布する種のため、水国調査地点（汽水域は基本的に調査地点数は1地点）で、本種が確認できなかった可能性もあることから、この分布変化が温暖化によるものかどうかはさらなる精査が必要である。

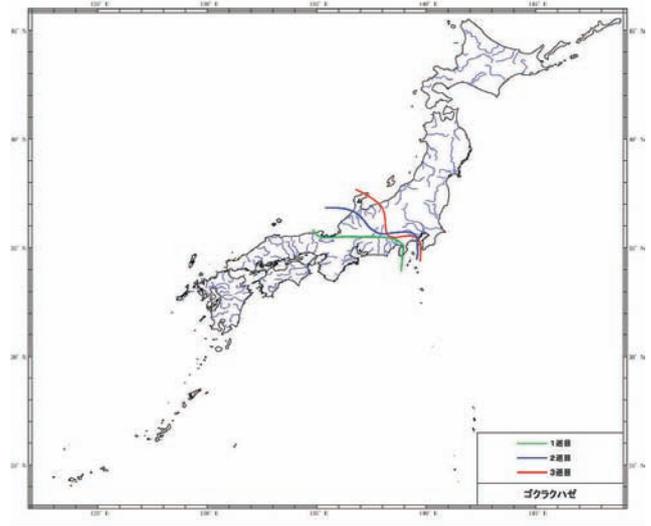


図-3 ゴクラクハゼの分布（分布北限フロント）の変化

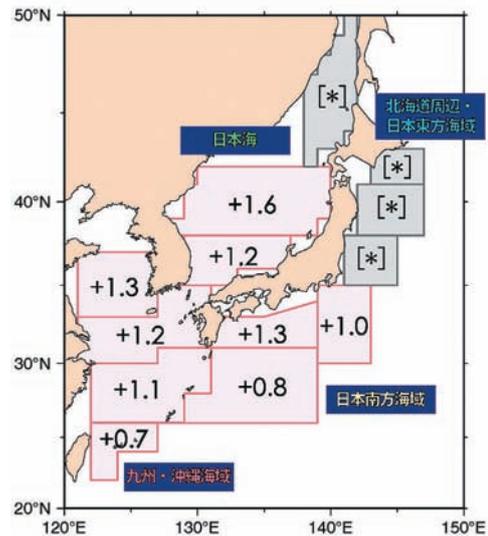


図-4 日本の周辺海域の水温の長期変化傾向
(°C/100年、気象庁)

(1898～2008年までの110年間の海域平均海面水温(年平均)の上昇率を示す)

(4) ナガサキアゲハの分布変化と環境要因の特性

ナガサキアゲハの分布域は、太平洋側で1巡目から3巡目と明らかに東進しており（図-5）、東海地方の気温との関係が伺える。

東海地方の平均気温は、長期的（1951年から2008年）には上昇傾向にあり、特に、1990年代以降は高温となる年が頻出している（図-6）。陸上昆虫類調査の1巡目が実施された期間に比べ、2巡目と3巡目では比較的気温の高い傾向が続いている。本種の分布地域の変化は、気温の上昇により年発生世代数や越冬個体数が増加し、北方への分散移動が盛んになった結果、本種の分布域が北上したものと想定される。

なお、本種は南方系種であり、グレープフルーツやキンカン等のミカン科を主な食草としている。した

がって、本種の分布変化の要因として、気温上昇と併せ、食草のミカン科等の園芸品種の植栽があるとされ、食草の分布との関係についても検討する必要があると考えられる。

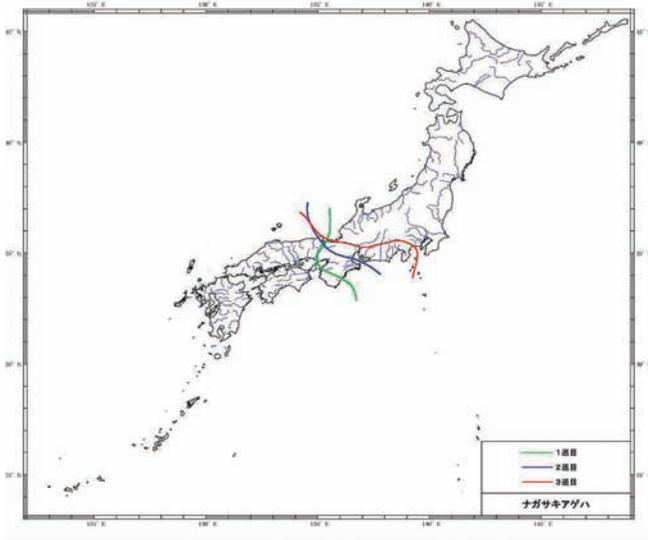


図-5 ナガサキアゲハの分布
(分布北限フロント)の変化

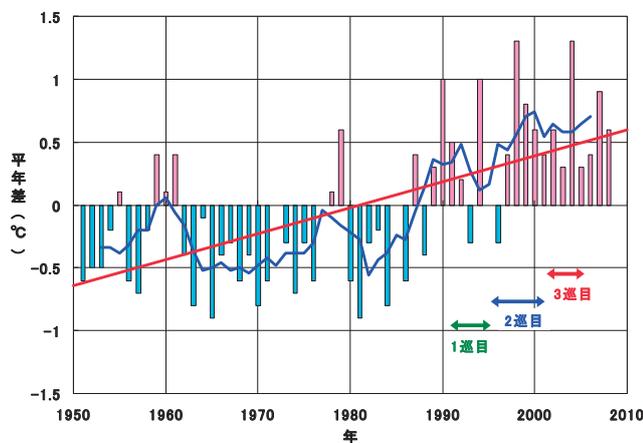


図-6 東海地方の年平均気温の年平均差

(棒グラフ：平年値との差、青線：年平均差の5年移動平均、赤線：近似曲線、平年値は1970～2000年の平均値)

3. 生物生息状況のモニタリング手法の検討

上記の検討結果をもとに、モニタリングすべき指標生物を選定するとともに、河川水辺の国勢調査における調査項目の追加拡充、他の調査との連携方策など、地球温暖化によると想定される生物生息状況の変化を重点的かつ効果的にモニタリングするために把握すべき項目、手法について整理した。

3-1 指標生物の選定

- ① 指標生物の持つべき条件としては、現在の分布や生態がよく知られていること、広く生息しており、データが集めやすいこと、温暖化など環境変化に対する反応が明確であることが挙げられる。
- ② 水国調査結果を用いた検討で、分布のフロントラインや分布の重心に既に変化傾向がみられている種、例えば魚類のゴクラクハゼ、植物のミズワラビ、鳥類のマガン、哺乳類のホンドリカ、昆虫類のタイワンウチワヤンマ、ナガサキアゲハなどは、今後も注目していく必要がある。
- ③ 現時点では変化が顕在化していない種についても、今後、温暖化の影響により挙動等の変化の可能性が高まることも予想され、注視していく必要がある。
- ④ 長期にわたる過去データ間の比較検討が不可欠であるため、種の同定の確立が早期になされ、分類上の誤同定の少ない種であることが適切である。
- ⑤ また、連続的または広範囲にわたるものや季節変化に係るものなど高頻度を実施する必要があるモニタリングについては、一般市民の参画を得ることも検討する必要がある。

例えば、ツバメの初見やセミの初鳴きなどの情報収集などが考えられるが、このような場合、関心をもたれやすい種であること、同定が難しい種ではないことなども重要な条件の一つとなる。

- ⑥ 国土交通省以外の他の省庁等で継続的に行っているモニタリング調査についても、協力・連携して情報共有し、対象生物種を選定し分析・整理することが求められる。

3-2 モニタリング手法の検討

(1) 把握すべき情報の整理

指標生物のモニタリング調査において、把握すべき情報は次の項目が考えられる。

① 生物情報

指標生物の確認状況と以下の情報が必要である。

- ・ 指標生物の分布 (河川水辺の国勢調査の調査地点、他の河川環境調査の調査地点)
- ・ 指標生物の量 (上記調査地点における個体数)
- ・ 指標生物の季節的変動 (各季における確認状況)

特に生活史に着目する場合は、越冬するかどうかの観点や、繁殖の回数に着目し、成体、幼体等の生活史段階の把握が重要である。

②物理環境情報

指標生物の生息・生育環境として、指標種の確認地点あるいは近傍の水質観測所において、以下の物理環境情報が必要である。

- ・気温・水温(月平均データ、10箇年平均の月平均データ、最低温度、最高温度、年積算温度)
- ・流量(流量とその時間分布)
- ・水質((BOD、DO、pH、窒素、リン等:当該年月平均データ、月平均データ(10箇年平均))

(2) モニタリング手法の検討

①生物情報に係るモニタリング

- イ) 水国調査を活用し、その対象種のうち、上記の指標種を抽出し、「温暖化調査」としてそれらを重点的・特定のモニタリングし、とりまとめ・明示することが適切である。水国調査は概ね定点調査であるため、時系列的・位置的な追跡は可能である。
- ロ) しかし、水国調査は、生物項目に応じた調査期間が5年若しくは10年に1回の調査である。途中の間で、大洪水や大規模河川改修など大規模攪乱があった場合、必ずしも的確に温暖化の影響を把握できないこともあり得る。

<課題等>

- ・河川水辺の国勢調査は5年に1回など、全体調査計画を基に定期的実施されるが、調査未実施の年度に、大洪水など生物の生息環境に大きな攪乱・変化があった場合は、温暖化の影響を的確に把握できない場合がある。

- ハ) このような水国調査の時間的空白を埋めるため、他の河川環境調査、例えば、河川改修工事関連の環境調査、自然再生事業関連の環境調査等の結果などの援用も検討する必要がある。
- ニ) ただし、水国調査以外に、「いつ、どの河川で、どのような環境調査が実施されているのか」という情報は一元管理されていないのが現状であり、それらのデータを有効に活用するためには、それらを一元管理するシステムが必要である。
- ホ) また、水国調査は、年2～3回の実施で、時期・期間も限られた調査データであるため、魚類の遡上時期や渡り鳥の渡来時期等の生物の生活史や生物季節の変化などが把握できない。
- ヘ) このような情報については、環境省のアンケートデータ(「いきものみつけ」)や気象庁の生物季節観測データの利用が考えられる。

<課題等>

- ・主要な調査時期での調査であるため、生物の生活史や生物季節の変化など連続的な動態は把握できない。

ト) しかし、例えば、生物季節観測は各地方の气象台や測候所が独自に行っており、必ずしもデータが一括管理されていない状況であることから、まず、「どこに、何のデータが、どのような形で存在するか」を整理しておく必要がある。その他、日本野鳥の会や自然観察を行っているNPO法人等との連携も視野に入れることが有効と考えられる。

②物理環境情報に係るモニタリング

- イ) 地球温暖化の生物の生息状況に対する影響は、既にいくつかの種について顕在化しつつある。
- 例えば、河川における気温・水温の経年変化の検討では、日本海側の姫川、子吉川では、1990年代後半から年平均気温が15℃を超える傾向がみられることから、今後、生物相への影響が更に顕在化する可能性がある。このような河川域における気温・水温や生物の生息状況の変化を効率よく継続的にモニタリングすることが重要である。
- ロ) 国土交通省の水質観測所では、現地測定項目として気温・水温が記録されていることから、河川区域内の気温・水温に関わる現象を直接把握することが可能と考えられる。例えば、自動観測所では、通常の月一回の採水による定期的な水質観測では得られない1時間ピッチでの水温、pH、DO、伝導度、濁度、CODの連続値が観測されていることから、水温では生物生息環境の質や発生・成長を規定する「積算水温」、生物の生存を規定する「最高・最低水温」およびその持続時間をモニタリングすることが可能となる。
- ハ) このことは、水位・流量観測においても同様であり、これら物理・化学的な観測値によるモニタリング法やこれらデータと生物データを一体的に組み合わせた情報のモニタリング手法を検討していくことも必要である。

<課題等>

- ・物理・化学的な観測値と生物の観測値とを一体的に重ね合わせた情報の策定とそのモニタリング手法が求められる。

4. 予防原則と適応策のあり方と方向性の考察

今までの検討・分析結果とそれらから得られた知見等をもとに、地球温暖化に伴う気候変動による河川環境の劣化に対して、「予防原則」の視点に立ち、生態系を中心とした河川環境の保全のため、河川としての「適応策」のあり方と方向性を考察し導出する。

この場合、地球温暖化の進行は緩やかであるが、河川の整備も長時間を要するものであり、「予防原則」の立場に立った「川づくりの適応策」によって、温暖化現象に適切に対応することが不可欠と考える。

4-1 対処すべき現象

(1) 渇水流量の減少

低水時流量が減少し、異常渇水に見舞われると、瀬切れ・無水区間の延長距離の増大、河川の水域面積の減少・分断化、水深の減少の結果、特に水生生物の「たまり」水域への集中と超過密化が生じ、生息不能のおそれが生じる。

(2) 水温の上昇

- ・気温上昇に伴い、水温上昇が生じる。特に、異常渇水時には、顕著であり、上記(1)に示したように水域面積の減少等により、水温上昇が大きくなり、水生生物にとって生存を脅かすものとなる。
- ・地球温暖化により河川水の水温の上昇、特に夏期の上昇が予想される。これらの上昇に対して、淡水魚類は鋭敏であり、温度上昇に対して劣弱な種が多い。
- ・水温の上昇は、有機汚泥等の分解の促進、バクテリア活動の活発化等により、DOの減少、貧酸素化等水質を悪化させ、生存の障害を招きやすい。

(3) 外来生物の繁殖・分散・拡大化

- ・ブラックバスなど侵略的外来生物は、温暖系・亜熱帯系のものが多く、気温の上昇に対応して活動等がさらに活発化することが危惧される。また、気温の変化に対しても強いものが多いときく。
- ・また、動物に限らず、オオフサモなど外来水生植物の繁殖・拡大も著しく、河岸等の水際域の浅場がオオフサモ等で覆われ、在来水生植物にとってかわり、種の多様性に大きな影響を与えている。

(4) 樹林化等の進行

- ・河道内の急激な樹林化の原因については、様々な説が提起されているが、原因の一つとして想定されるのが、気温の上昇である。光合成の活発化に伴い、草本類より木本類の成長速度を促進するという。地球温暖化に伴い、河道の樹林化が一層進展・拡充する可能性が高い。治水にとどまらず、景観、生態系、水防・河川巡視等に対して好ましくない。

- ・また、高水敷と低水路との比高差の増大による高水敷等の乾燥化・樹林化の促進が強まるものと想定される。
- ・樹林群の安定は、砂州の安定化・堆積、滲筋・河岸の固定化・単調化、瀬淵等河床環境の減失等を惹起しやすい。

4-2 適応策として求められる条件

(1) 水温上昇からの「避難場・経路」のある川

地球温暖化に伴う影響からの適応策としては、写真-1のように「多様な河床・河岸・河川敷等」が備えられているように、河岸域、河床環境、連続性、エコロジカルネットワークなど、水温上昇による影響をできるだけ分散・緩和・緩衝する「避難場・避難経路」を有した川づくりが必要である。

即ち、水温上昇等の変動に対して、多様な回避・適応活動が機動的に取れるように、複雑で変化に富む場・経路を備えた自然性・河川特性が求められる。



写真-1 岩手県土谷川が有する多様な避難場・経路

①瀬淵等起伏に富み多様な流れの河床・砂州環境

- ・水温上昇に対する避難場としての淵、餌場としての早瀬など、多様な砂州を持つ河床環境、すなわち浅瀬、瀬、淵など水深の変化に富んだ凹凸のある河床の形成が不可欠である。
- ・単調な滲筋ではなく、多様で変化に富む流れ、流路環境のある河川が望ましい。
- ・洪水による攪乱、寄州、中州、砂州等、河川内の土砂の移動が適切に行われる川づくりが必要である。

②浅場・屈曲・ワンド等のある河岸域環境

- ・河岸に浅場、緩やかで変化に富む勾配の河岸で河岸法線もワンド等の屈曲をつくることによって、小型魚類、仔稚魚等の避難場、繁殖場、休息場となる。
- ・水際植生(抽水植物、沈水植物等)により日陰となり、浅場でも直射日光が防げる。「浅場のある河岸づくり」、「湿地のある河岸づくり」の計画化が重要である。

③河畔林を設けた河岸域

直接の日射を防ぐ、オーバーハングした河畔林、草本植生の存在は水温上昇の緩和には効果が高く、この点からも重要である。特に、夏期の日射を防ぐ木陰の効果は高いものがあり、計画的に「河畔林づくり」「草本植生がオーバーハングした河岸づくり」を整備することが昇温防止効果のうえで重要である。

④湧水・伏流水を重視し、復元への取り組み

湧水、伏流水は年間を通じて一定水温を保つ。ハリヨ等湧水生態系動植物の保全が喫緊の課題となっている。気温変化に左右されず、水温上昇を抑制する湧水や伏流水のある河川がますます重要となる。

(2) 「避難」のための「連続性」を確保した川づくり

①水系として縦横断方向の連続性の確保

水温の上昇に対して、より温度の低い水域を求めて、縦横断方向に障害無く移動できる連続性のある川づくりが必要である。

②エコロジカルネットワークを有する流域・河川

- ・気温・水温上昇に対して、移動（避難）可能な生態的なコリドー（回廊）としての自然機能を有した川づくりが必要である。これは、高水敷、河岸域、水域等も含め、水生生物以外の動物の移動にも効果的なものとする。
- ・流域全体を視野に、気温変化に対応して動物が移動（避難）しやすいように、河川を骨格にして流域内の大・中・小規模の緑地群やビオトープ等水域を流域界のより低温域の山地等まで連結した、エコロジカルネットワークを形成した流域および川づくりが有効である。

(3) 有識者、市民団体、行政が連携した対応

学識者、市民団体等を交えながら、地球温暖化に対応する外来種対策・仕組み等に対する調査研究をさらに展開する必要がある。

4-3 適応策としての「多自然川づくり」

上記に挙げた「4-1 対処すべき現象」に対応するためには、「4-2 適応策として求められる条件」に挙げた諸条件を満たした川づくりが方向付けられる。

現在進めている「多自然川づくり」の考え方、計画・設計論に加えて、低水流量の減少傾向に合わせた生態系に配慮し、内部化した河道断面計画の再構築など、「地球温暖化の適応策」の上記条件事項、目標・考え方・手法を的確に導入し、現時点から「予防原則」に応じた川づくりを進めていくことが望まれる。

5. おわりに

地球温暖化が河川環境や生物等に及ぼす影響については、まだ研究も浅く、さらなる研究が求められる。

地球温暖化による環境変化は、長期間にわたることから、

- ①モニタリング等調査・研究にあたっては、影響のミクロ的な把握・実証と併せ、マクロ的に衛星写真等リモートセンシング等の新技術を積極的に検討し、導入を図っていく必要がある。
- ②モデル河川における試験・検証・モニタリングを提案したい。上記に挙げた適応策の各要素を備えた、また整備された中規模河川のモデル河川を設定し、各要素が水温上昇の抑制や生物の生存への効果等について焦点を絞って実験・検証していくことが明示的で望ましい。
- ③適応策の検討にあたっては、河川だけでなく、流域、地域全体で検討していく必要があるため、環境省等他の行政機関のみならず、研究者や市民等が意見・情報交換、研究協力ができるための組織づくりが求められる。

おわりにあたり、ヒアリングにご協力いただき、貴重なご示唆等を与えて下された学識者の方々、データ提供等の協力をいただいた国交省河川環境課担当の方々に謝意を表します。

<参考文献>

- 1) 社会資本整備審議会河川分科会気候変動に適應した治水対策検討小委員会：水関連災害分野における地球温暖化に伴う気候変動への適応策のあり方について（中間とりまとめ）（2008）