

GIS を用いたホタル生息環境の評価

EVALUATION OF FIREFLY HABITAT BASED ON GIS

松本 哲¹・風間 聡²・沢本 正樹³

Satoru MATSUMOTO, So KAZAMA, Masaki SAWAMOTO

¹ 学生員 東北大学大学院 工学研究科 (〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 06)

² 正会員 工博 東北大学大学院助教授 環境科学研究科 (同上)

³ フェロー 工博 東北大学大学院教授 工学研究科 (同上)

The relation between firefly habitat and the environment factors in the Natori River basin is investigated. We prepared digital information maps based on GIS and hydrological simulation results. Seven habitats were detected by some interviews and field surveys in the basin and sample data were collected from the maps. The habitat has the specific conditions for firefly habitat. We made the distribution map of a number of habitat suitability in the whole Natori River basin and found eight regions scoring high habitat suitability. The result of field survey in the regions proved the affectivity of this methodology.

Key words: River Basin Environment, Hydrological Simulation, Firefly Habitat, Natori River

1. はじめに

近年, 社会全体で環境への関心が高まっており, 様々な分野で環境への配慮が求められている。水工学の分野では, 平成9年には河川法が改正され, これまでの治水・利水に加え, 河川環境の整備と保全も河川管理の目的の1つとなっている¹⁾。また環境影響評価法により, ダム, 大規模林道, 干拓事業などの際に環境アセスメントを行うことが定められている。整備・保全に際して定量的な評価が必要となるが, 自然の豊かさを定量化する際, 生物の生息を調査することによってその対象地域の環境を評価する場合が多い。

しかし, 生物は生態系の一部であり, 生態系は環境の一部である。つまり, 生物の生息とその環境は1対1に対応するとは限らず, ある特定の生物のみから一概に環境を評価することはできないはずである。特に河川水辺およびその周辺の陸域の環境は, 河川流量・流速の変動により攪乱されるため多様な構造を持ち, 生物の種類も多様である。この環境では水の作用が制限要因となり, 生物の生息を決定していると考えられる。逆に河川の流出特性は流域の地形だけでなく植生によっても影響されるので, 流域の生態系と流出特性は相互作用しているといえる。

既往の研究でも河川の構造と植生が魚類や水辺の生物の生息を制限することが示されている^{2), 3)}。しかし, こ

れまでの手法では河川の一部の区間を対象にして生物と環境を詳細に調査する必要があり, 広域を対象とするには莫大な時間と労力を要してしまう。

本研究では, GIS (数値地図情報) と流出モデルから対象生物生息地域のデータを抜き出すことによって生息条件を導いた。導出した条件に適合する地域を推定し, その地域の生息分布を調べ推定の検証を行った。

この手法は GIS データを利用することにより, 現地調査・実測を最小限に抑えることができるため, 水系単位の適用が容易であり, 実用的である。また生物分布を巨視的に解析することも可能である。

本文では, 周辺環境の変化に敏感であること, 成虫に発光能力があり視認性が良く生息確認が容易であることから, ホタルを研究対象とした。

2. 研究対象流域とホタルの生態の概要

(1) 流域の概要

名取川水系(図-1)は, 宮城県中央部に位置し, 主流である名取川は水源の蔵王山系から仙台平野を流れて仙台湾へと注ぐ。幹線流路延長は55km, 流域面積は939km²(山地 675.1km², 平地 245.1km², 河川区域 20.7km²)で, 流域内は西部の山地, 東部の海岸平野, その中間の丘陵部に分けられ, 山地が 72%を占めている。年降水量は約 1,600mm であり, 流量は 6~9 月の梅雨, 台風期に

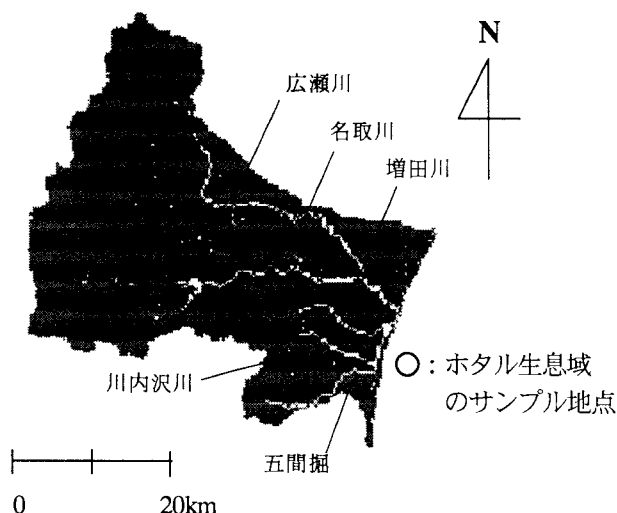


図-1 名取川水系

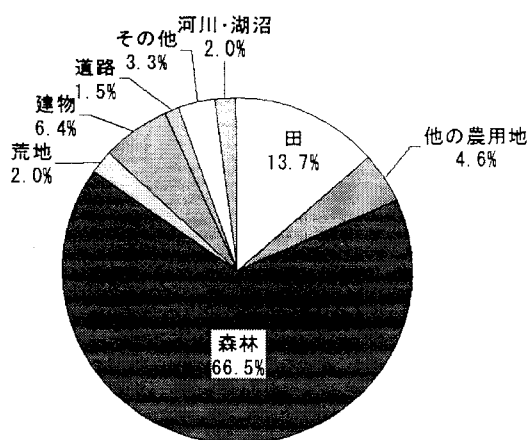


図-2 名取川水系の各土地利用の面積割合

多く冬季に少なくなる。流域は2市1町により構成され、その下流域には東北地方の中心都市である仙台市を有し、仙台市民をはじめとする約 43 万人の生活用水の取水源として利用されている。さらに仙台平野に広がる水田地帯等への農業用水、港湾周辺の工業地域への工業用水として重要な役割を果たしており、莫大な量が様々な用途に使われている。上中流域のほとんどは森林に覆われ、名取川水系全体の森林面積の割合は約 70%に達する。水系内の土地利用面積の割合を図-2 に示す。

(2) ホタルの生態の概要

日本では 46 種のホタルが確認されている^{4), 5)}。その中でも、生涯に渡って水辺で過ごし周辺環境の変化に敏感なため水環境を代表する生物と言われ、成虫の期間に強く発光するため生息の確認が容易なことから、ゲンジボタルとヘイケボタルを研究対象とした。本研究におけるホタルとはこれら 2 種をさす。

ホタルは 7 月中旬ごろ小川や水路などの水辺の湿ったコケに産卵し、1 ヶ月後幼虫が孵化する。幼虫はすぐに水中に入りカワニナ(巻貝)を食べ脱皮を繰り返しながら翌年の 5 月まで水中過ごす。その後、水辺の土に潜り

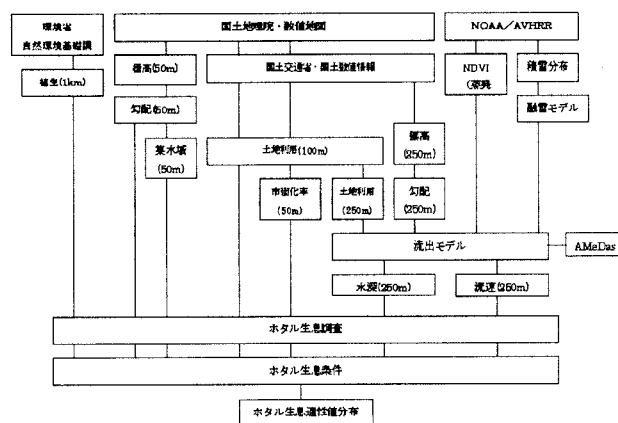


図-3 データの概要

サナギとなり、6 月下旬から 7 月上旬ごろ成虫となる。成虫は発光によるコミュニケーションにより交尾を交わし、約 2 週間で一生を終える。ただし、これは宮城県の例であり南ほど時期は早まり、気候によっても影響を受ける。

3. データセットおよび流出解析の概要

(1) 地理データについて

国土交通省の国土数値情報⁶⁾より、土地利用(100m×100m)、ならびに国土地理院の数値地図より、標高(50m×50m)を使用した。これらのデータを元に、勾配(50m×50m)、集水域(50m×50m)、市街化率(50m×50m)の各マップを作成した。また、環境省の自然環境保全基礎調査⁷⁾より植生マップ(1km×1km)を作成した。データセットの概要を図-3 に示す。

勾配マップは、標高マップにおいて対象メッシュと周囲 8 メッシュの標高差から勾配を求め、それらの中で勾配が最大になる方向を流下方向、その値を対象メッシュの勾配とした。

集水域マップは勾配マップ作成時に得た流下方向データを利用し、対象メッシュに流入するメッシュ数をカウントして作成した。ただし標高が周囲と同じ場合など、周囲から流入がないメッシュの集水域は自身のみとし、「1(×2500m²)」とした。

市街化率は、50m×50m に再配列した土地利用マップにおいて、対象メッシュの周囲 81 メッシュ(450m 四方)に定める建物および幹線交通用地面積の占める割合である。

植生マップは、植生帯、自然植生・代償植生、立地の別などにより、市街地等の人為的なものを含め、植生が 10 種類に区分されている。

(2) 流出モデルについて

流出解析では、国土数値情報の標高マップ(250m×250m)から作成した勾配・流下方向マップを用いた。土地利用マップについては、対象メッシュ(250m×250m)

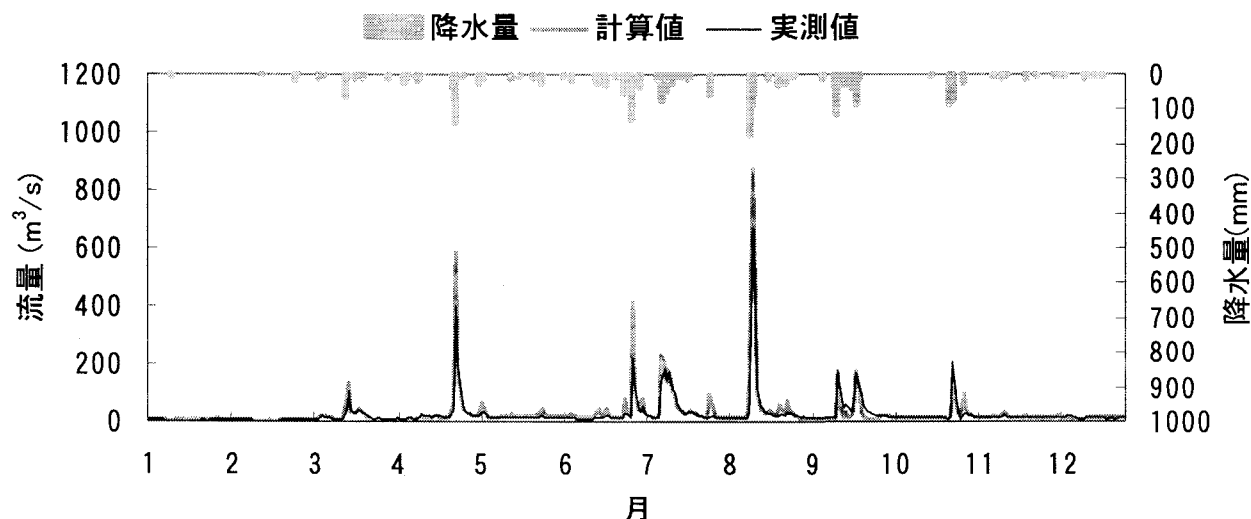


図-4 流出モデルによる解析結果 (1999 年)

内の土地利用 (100m×100m) のうち面積が最大のものを対象メッシュの土地利用として 250m×250m に変換して用いた。

また、融雪や蒸発散を考慮するため、人工衛星 NOAA/AVHRR の画像から朝岡ら⁸⁾ が作成した積雪マップ、ならびに渡辺ら⁹⁾ が作成した蒸発散マップを使用した。気温・降水量のデータは気象庁月報 1999 年分を使用した。解析には土田ら¹⁰⁾ が作成したモデルを用いた。

このモデルでは各月の蒸発散値、釜房・大倉ダムからの放流量に加え、1 月・4 月では融雪による流出、7 月には名取頭首工からの灌漑用水の取水を考慮した。図 1 に示す名取水系のうち、名取川、広瀬川、増田川、川内沢川、五間堀の 5 河川は河川として扱い dynamic wave 法で、それ以外は斜面として扱い kinematic wave 法で計算した。解析値と名取頭首工での実測値と比較した結果を図-4 に示す。ピーク流量時の一致や降水に対する応答はよく再現されていると言える。この結果から、水深・流速の年最大・最小値マップを作成した。

4. ホタル生息域の推定

(1) 生息条件の抽出

地元住民からの情報により生息を確認した図-1 中に○で示す 7 地点の緯度・経度を特定し、その地点のデータをホタルの生息環境のサンプルとして各データマップから抜き出した。

地理データについては、1 地点につき生息を確認した地点を中心とした周囲 25 メッシュ (250m 四方) を抽出し合計 175 メッシュ、流速および水深は 1 地域毎に 9 メッシュ (750m 四方)、合計 63 メッシュを抽出

した。抽出したサンプルから頻度分布図を作成し、比較のため名取水系全域 (地理データ 395056 メッシュ、流出モデルデータ 15820 メッシュ) の頻度分布も同様に求めた (図-5 から 11)。

(2) ホタル生息環境の特徴

図-5 から 11 に示した生息域サンプルと名取水系の頻度分布図を比較すると、ホタルの生息環境の特徴は以下のように考えられる。

勾配については、名取水系は 0.05 未満ならびに 0.45 以上の勾配の頻度が高いのに対して、ホタル生息域のサンプルは 0.15 未満の頻度が高い (図-5)。このことから、急勾配はホタルの生息に適さず、平野部や緩勾配の地域が適しているといえる。

土地利用については、図-2 に示す通り、名取水系の約 70% を森林が占めているが、ホタルは森林よりも田を好み、畑、荒地、建物用地にも見られることが分かる (図-7)。これはホタルが森林に覆われた自然のままの地域よりも、適切な範囲で人の手が加えられた地域を好むことを示していると考えられる。

市街化率については、土地利用と同様に、市街化がほとんど進んでいない山奥よりも、人為的な影響が入ったほうがホタルの生息に適していると思われる (図-8)。植生についても土地利用、市街化率と同様のことが言える (図-9)。

水深については、名取水系では 100mm 未満が大部分を占めるのに対し、ホタル生息域では 100mm 以上 500mm 未満も頻度が高い (図-10)。つまり、ホタルは流域全体の平均よりも水深が深く水に浸かりやすい地域を好むことが分かる。この結果、数値自体はモデル上の値であるが、流出モデルを用いて生息域の水理的特長を抽出できることが確かめられた。

しかし、集水域と流速については明確な特徴を見出

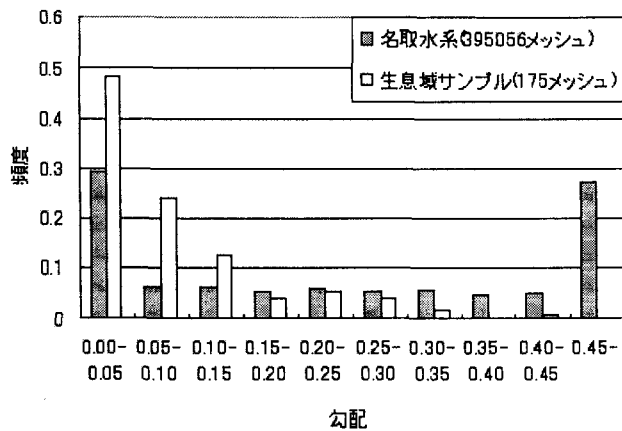


図-5 勾配の頻度分布

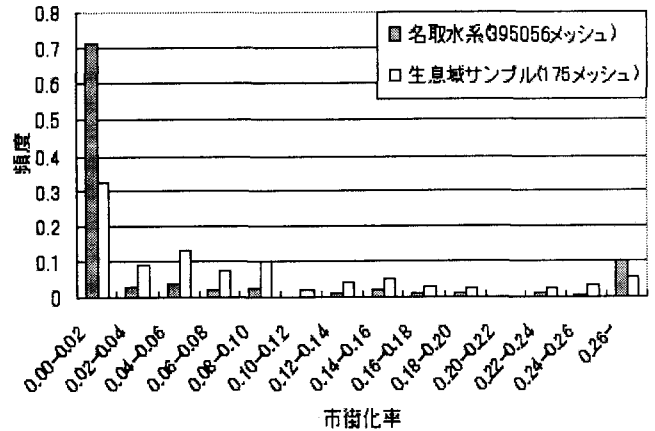


図-8 市街化率の頻度分布

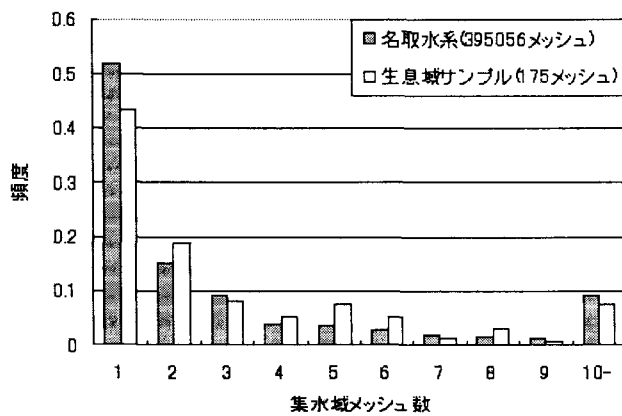


図-6 集水面積の頻度分布

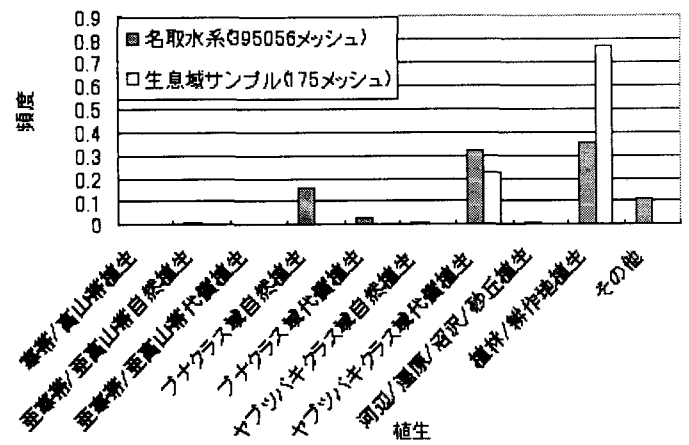


図-9 植生区分の頻度分布

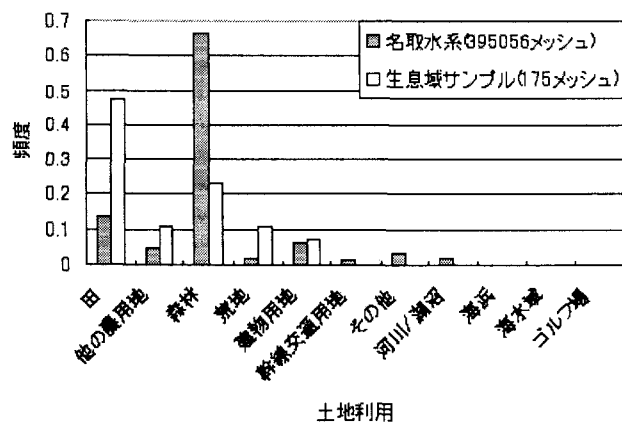


図-7 土地利用の頻度分布

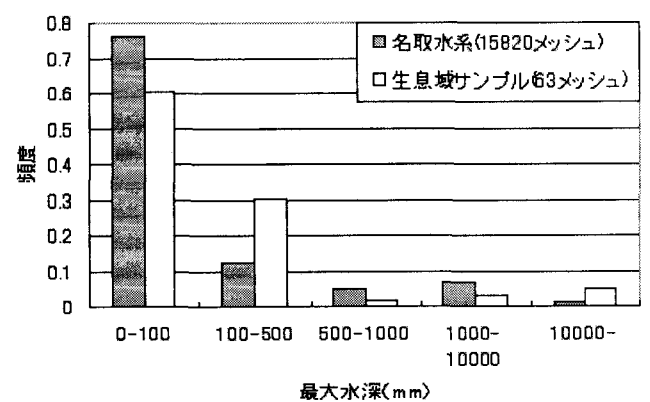


図-10 最大水深の頻度分布

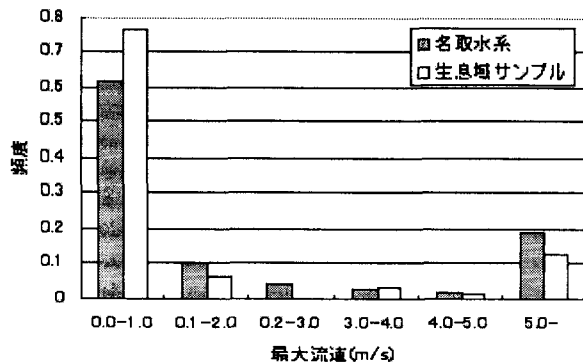


図-11 最大流速の頻度分布

表-1 データごとのポイントの与え方

データ	ポイント			
	3	2	1	0
植生区分	—	植林・ 耕作地植生	ヤブツバキ クラス域 代償植生	それ以外
土地利用	田または 森林	他の農用地 または荒地	建物用地	それ以外
市街化率	0.05 未満	0.10 未満	0.15 未満	0.15 以上
勾配	0.05 未満	0.10 未満	0.15 未満	0.15 以上
集水面積	—	2500m ²	5000m ²	それ以外
流速	0.5m/s 未満	1.0m/s 未満	1.0m/s 以上	—
水深	100mm 未満	500mm 未満	500mm 以上	—

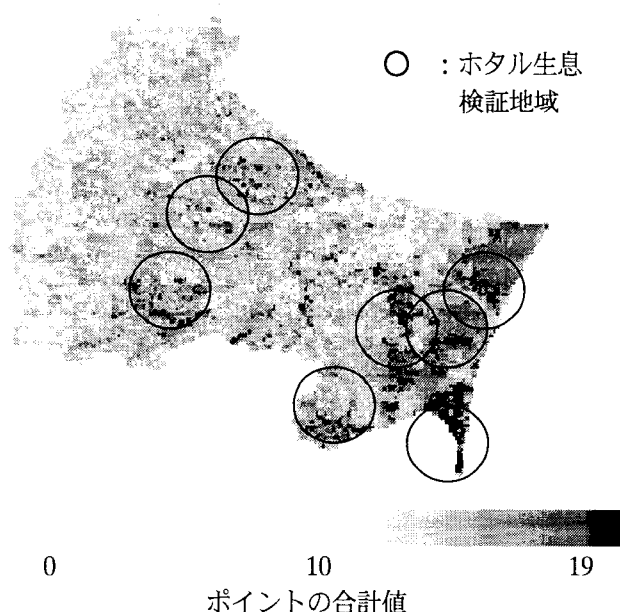


図-12 ホタル生息適性値分布

すことはできなかった(図-6および11)。また両図において、それぞれ集水メッシュ10以上、最大流速5m/s以上の場所が生息域として抽出されている。しかし、これらの値は実測値ではなくモデル上の値であり、生息域サンプルを抽出する際に近傍の河川部も抽出されたため適性値より大きな値が得られたと考えられ、実際には生息に適していないと考えられる。

4. 結果および考察

(1) ホタル生息域の推定および検証

各データについて、図-5から11の頻度の高さに応じて0から3のポイントを各クラスに割り当て、全データの合計ポイントを対象メッシュの生息適性値とした。表-1にポイントの割り当て方を示す。つまり生息適性値は0から19の値をとる。

表-1に示すポイントの名取川水系全域に与えた結果、ホタル生息適性値分布(50m×50m)を得た(図-12)。与えられたポイント数が多いほど濃い色で示し、ホタルが生息している可能性が高いことを表す。

大きなポイントを持つメッシュが密集している図-12中に○で示す地域について、地元住民や有識者らの情報により推定を検証した。その結果、生息規模に差はあるが、検証した全ての地域で生息が確認された。ただし図-1に示した生息域サンプル地点は、図-12において必然的に高い適性値を持つので検証は省略した。

逆に、色の薄い地域は仙台市中心部や高山地帯など明らかにホタルの生息に適さない地域であったため、生息していない可能性が高い地域については検証を省略した。

(2) 微視的な生息条件

ホタルの生態はよく研究されており、詳細な生息条件の検討が既になされているが^{5), 11), 12), 13)}、例えば、南の研究によって以下の条件が挙げられている。ただし、値は研究地域によって多少異なる。

- ・ 流速：0.1m/s から 0.4m/s
- ・ 水深：15cm から 80cm (特に 30cm から 40cm)
- ・ 川幅はあまり関係なく、1～3m程度
- ・ 水温：0℃から 27℃ (特に 10℃から 20℃)
- ・ 河床材料：泥質 10%から 20%、砂質 80%から 90%でレキが散乱
- ・ 川岸に草木が繁茂
- ・ 流域に落葉広葉樹が存在
- ・ 排水流入が無い

GIS データでは上記の環境を直接表現することはできないが、検証時に現地へ行くと、このような環境との類似が多く見られた。例えば、GIS では「田」と表現されているだけでも、地図に無いような小川や農業用水路などが見られることが多く、その周りに草木が生えている場合も少なくない。

GIS を用いて抽出した巨視的な環境が、生物学上の微視的な生息環境を内包している可能性が高いため、GIS によって間接的な生息分布の推定が可能であると考えられる。

(3) 生息条件抽出時の問題点

生息条件は既知の生息域から抽出することにより決定したが、今回用いた生息域サンプルが普遍性を欠いていた場合、抽出した生息条件は本来の生息条件と差がある可能性がある。つまり生息域サンプルを異なる地域から取ると、抽出した条件も異なる場合もあると考えられる¹⁴⁾。よって、生息適性値も変化するため、生息の有無を分ける閾値を断定することは困難である。

また、今回はゲンジボタルとヘイケボタルを区別せずに扱っているが、個々の種を分けて扱えば生息条件をより厳密に決めることができ、生息域推定の精度の向上が期待できる。

GIS の根本的な問題として、GIS 上では同じ条件でも、地域によって環境が異なる場合があり得るため、同じ生息適性値でも生息の有無が分かれる可能性もある。例えば、同様の水路でも一方が自然な小川で、もう一方がコンクリート溝である場合などが考えられる。この問題は、1) データの精度・解像度を上げる、2) 新たなデータを用意することにより、改善が期待できると思われる。

6. まとめ

本研究では数値地図情報から得られるデータから名取川流域におけるホタル生息域の推定を行った。その結果得られた結論を以下に示す。

- ・ 流出解析は水生生物の生息分布推定にも有効な手段となり得る
- ・ 生物の生息環境を GIS によって定量化することにより生息分布を推定することができる

今後は、ホタル生息に及ぼす影響の大きさをデータごとに考慮することによって推定をより正確にし、他の生物へも適用可能な手法を確立することによって、生物学的な流域環境評価手法の開発に貢献することが求められる。

謝辞：本研究を進めるにあたり名取川水系の住民の皆さん、青葉区はたるの里作り実行委員会の兵庫淑子氏、太白区蛸の里作り部会の遠藤富雄氏、仙台市生出小学校赤石分校主任の斎藤昭雄氏から貴重なご意見をいただいた。また本研究は河川環境管理財団の援助を受けた。ここに記して深く感謝します。

参考文献

- 1) 国土交通省・河川局：
<http://www.mlit.go.jp/river/index.html>
- 2) 玉井信行・奥田重俊・中村俊六：河川生態環境評価法，東京大学出版会，2000。
- 3) 玉井信行・水野信彦・中村俊六：河川生態環境工学，東京大学出版会，1993。
- 4) 古河義人・東京に育つホタル：
<http://members.jcom.home.ne.jp/hotaru-net/>
- 5) 南 喜一郎：ホタルの研究，大田書店，1963。
- 6) 国土交通省・国土数値情報：
<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>
- 7) 環境省・生物多様性センター：
<http://www.biodic.go.jp/>
- 8) 朝岡良浩・風間聡・沢本正樹：広域積雪水資源量の変動特性とその地理・気候依存性，水文・水資源学会誌，第15巻3号，pp.481-491。
- 9) 渡辺浩明・風間聡・澤本正樹：名取川水系におけるNDVIを用いた蒸発散量解析，土木学会東北支部技術研究発表会，平成13年度，pp.114-115。
- 10) 土田恭平・朝岡良浩・澤本正樹：名取川水系の積雪，蒸発散を考慮した水資源解析，土木学会東北支部技術研究発表会，平成13年度，pp.120-121。
- 11) 植村三香・石川貴子・首藤要介・福井吉孝：ゲンジボタルの生息条件について，水工学論文集，第47巻，pp.1117-1122
- 12) 渋谷桂子・大場信義・藤井英二郎：谷戸田を中心とするヘイケボタルの生息環境の解析，水環境学会誌，Vol.19，4号，74-81，1996
- 13) 渋谷桂子・大場信義・藤井英二郎：三浦半島野比地区におけるゲンジボタルの成虫固体数に影響を及ぼす生息環境要因の解析，日本造園学会誌，Vol.58，5号，121-124，1995
- 14) A.H.Hirzel，J.Hausser，D.Chessel，and N.Perrin：Ecological-Niche Factor Analysis：How to Compute Habitat-Suitability Maps without Absence Data？，Ecology，83(7)，2002，pp.2027-2036

(2003.9.30)