

メダカの保全を目的とした都市近郊用水路網の 環境改善手法に関する研究

要旨

1. 目的

2. 用水路調査

2.1 調査内容

2.1.1 調査地域

2.1.2 物理環境調査

2.1.3 生物調査

2.2 調査結果

3. メダカの生息環境に関する解析

3.1 解析方法

3.1.1 データ処理

3.1.2 相関関係による変数のスクリーニング

3.1.3 単変量解析による変数のスクリーニング

3.1.4 データの階級化

3.2 ロジスティック回帰分析

3.2.1 方法

3.2.2 結果

3.3 抽出された変数の解釈

3.4 メダカの生息場のネットワーク化に向けた水路環境の修復

4. 結論

参考文献

徳島大学 大学院 工学研究科 エコシステム工学専攻

村上 仁士・上月 康則・倉田 健悟

徳島県立博物館 自然課

佐藤 陽一

要旨

本研究では、かんがい期と非かんがい期に総延長71.3kmに及ぶ都市近郊用水路網の調査を年4回行った。その結果を基に絶滅危惧Ⅱ類に指定されたメダカの生息ポテンシャル評価を行い、個体群を維持するためのネットワーク化手法を提案した。

以上から得られた主要な結果を下記に記し、結論とする。

- 1) 本用水路網内では、かんがい期には15種、非かんがい期には11～13種の魚種の生息が確認された。メダカは、全780区間中かんがい期には92の区間で確認されたが、非かんがい期になると38区間に減少した。この傾向は他の魚種の方が顕著であった。
- 2) メダカの生息に影響を与えている要因は、季節による水路環境の変化にともない変化していたが、共通した要因は水路床に泥や細砂が堆積し植物で覆われている環境であった。
- 3) ロジスティック解析によってメダカの生息ポテンシャルを定量評価することができた。
- 4) 環境の季節的変動の大きい用水路内でメダカの個体群を保護するためには水路の連続性を保ち、生息場をネットワーク化することが有効と考えた。ネットワーク化にはメダカの生息ポテンシャル値を用い、それに必要な水路環境の修復項目とその程度を具体的に提案することができた。ここでは社会的負担の比較的小さな方法としてコンクリートの河床を泥や細砂などの材料にすること、水草や抽水植物で水路床を覆うなどが挙げられた。

以上、メダカ個体群を用水路網内で効率的に保護する手法を提案することができた。ここで提案した方法は実際には単一の対策で目的が達成されるというものではなく、修復にあたっての目標値を示したという点に本研究の成果の意義がある。

1. 目的

近年、各地の農村環境で日本在来の生物種が絶滅の危機に瀕している。その一方で農村社会の維持も厳しい状況に置かれており、社会的負担を最小とする生物保全手法が緊急の課題となっている。本研究では絶滅危惧Ⅱ類のメダカを対象に、用水路内での個体群保護手法を具体的に示すことを目的とした。対象は徳島市国府町を流れる延長71kmに及ぶ以西用水路網で、四季の調査結果を基にロジスティック解析によって生息ポテンシャルを評価し、生息場のネットワーク化を目指した環境修復策を提示する。

2. 用水路調査

2.1 調査内容

2.1.1 調査地域

現地調査は図2.1に示す徳島県徳島市国府町に広がる以西用水路網の一部で行った。この用水路は徳島平野を流れる吉野川の支流鮎喰川の伏流水を水源として飯尾川、東大堀川、西大堀川を経て吉野川へ流れ込んでいる。調査対象地域は水源である月ノ輪集水池を頂点とする国道192号線までの南北約3km、東西約2.5kmの扇状形の水路網であり、総延長は71.3kmである。調査は全て踏査によって行った。

本水系は伏流水を水源としているため、魚類の移動は水源の池および下流からという半閉鎖的な環境である。また水源である集水池の水質はAA類型～A類型¹⁾に分類される程度であるが、本地域では下水道敷設が十分でないため3 kmほど流れた後は河川E類型に分類されるほど生活排水、農業排水等により汚濁が進行しているところもある。また、かんがい期には一部の水田では地下水の汲み上げられていた。用水路の大半の護岸はコンクリートに覆われており、典型的な都市近郊用水路と言える。

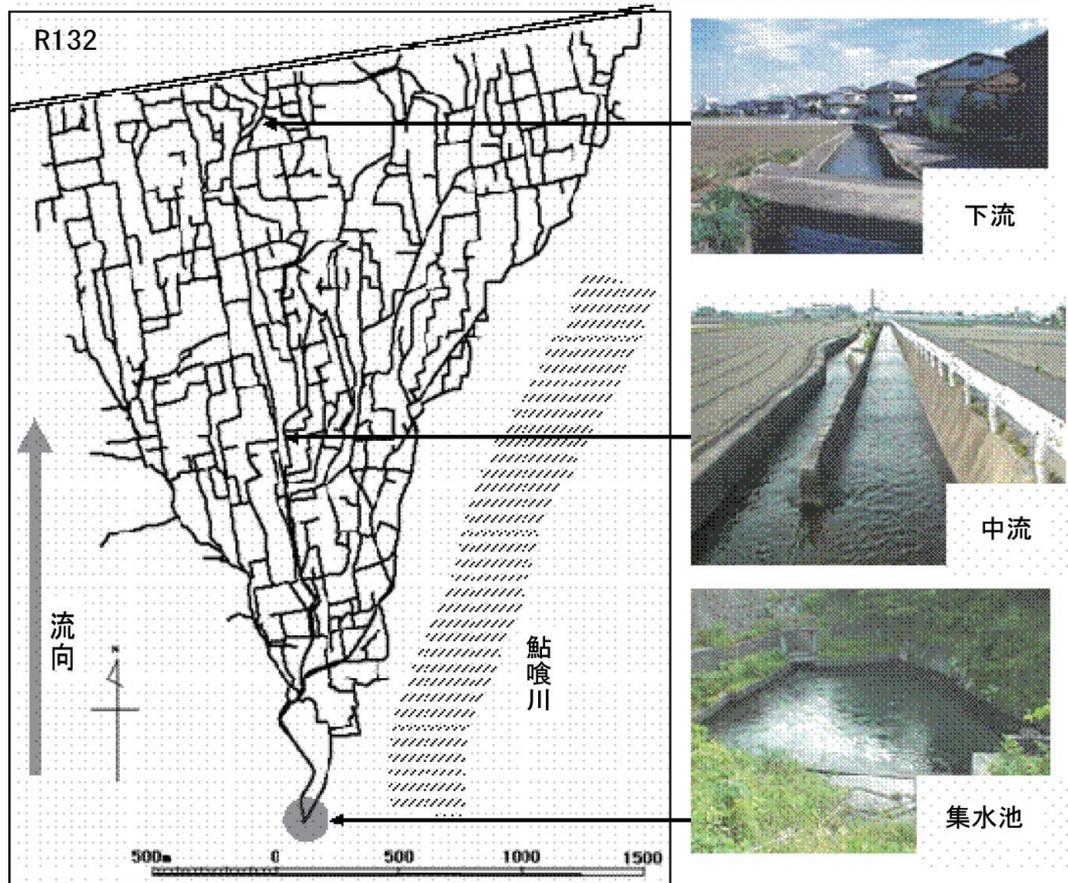
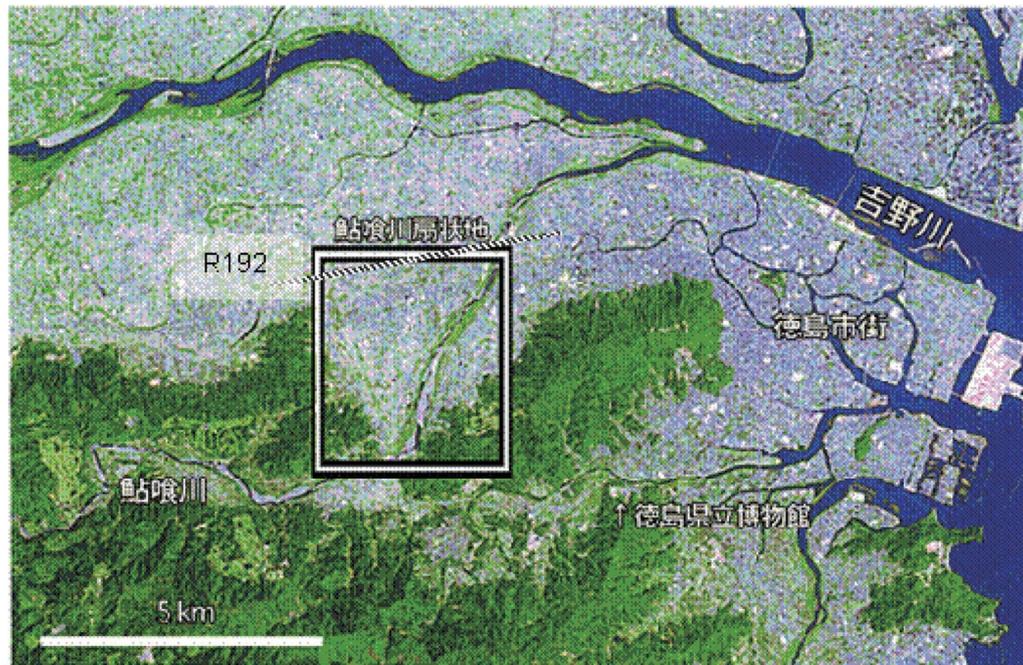


図2.1 調査地域（徳島市国府町以西用水路網）

2.1.2 物理環境調査

a) 水路区分

本研究では水路が終始する点、交わるか分岐する点、また開きよから暗きよへと変わる点を境界に水路を区切り、調査1区間として合計780区間に分割した。区間長の範囲は5～459mにあり、水路の状態がコンクリート護岸から石積み護岸に変化するような場所では、さらに区間を分割するなどの工夫を行った。また区間を10等分し「地点」として、詳細な底質、周辺環境、植物の繁茂状況を把握した。

b) 調査期間

農業用水路の特徴の一つに、水稻栽培に伴う水量の変化がある。この水量変化にあわせて、田植えの前後、土用干し日(中干し)、稲刈り後の計4回行った。具体的には調査時期は1999年8月16—28日と11月11—21日、2000年3月8—20日と5月8日—6月16日に行った。以降、かんがい期における調査を6月と8月、非かんがい期における調査を3月と11月と呼ぶ。

c) 水路構造

水路構造については暗きよ、工事中や湛水していない水路を除き、水路幅、水面幅、水深、平均流速、護岸材料、底質、周辺の土地利用状況を区間単位で調査した。水路幅、水面幅、水深、平均流速については、原則として区間の最下流で測定したが、最下流の環境がその区間全体の環境を代表していないと考えられた場合には、区間を代表する地点で調査を行った。平均流速は水面から6割の深さで電磁流速計(本体:ケネックVP1000、検出器:ケネックVPT200-09PS & VPT400-18F)で一点測定²⁾した。護岸材料は、土、石積み、コンクリートの3種がそれぞれの区間に占める割合を求めた。周辺の状況も、田、畑、休耕田、藪、林、家、事業所、道路、空き地に区分し、それぞれの割合を目視により調査した。底質は、泥(M: $\phi < 1/16\text{mm}$)、細砂(Fs: $1/16-1/2\text{mm}$)、粗砂(Cs: $1/2-2\text{mm}$)、細レキ(G: $2-4\text{mm}$)、中レキ(P: $4-64\text{mm}$)、大レキ(C: $64-256\text{mm}$)、コンクリート(Cr)、その他の8項目に区分し、被覆率を記録した。泥、砂の区別は、手に取った場合に粒子が確認できない程度に細かいものを泥、粒子が確認できるものを砂とした。

d) 水質

水質調査は現地調査時に水質計(堀場製作所U-10)を用い、pH、電気伝導度、DO、水温、濁度を区間単位で測定した。pH、電気伝導度、濁度については3回測定し、その平均値を記入した。DOについては水深が約20cm以上の区間では表層と底層の2点で測定した。

2.1.3 生物調査

a) 採捕方法

メダカはタモ網を用いて水路内を踏査して採捕し、区間内のおおよその生息個体数を調べた。なお採捕された魚種は全て現地にて、中坊編³⁾に従い同定を行った後放流した。

b) 水生植物

水路内部や周辺に生育する植物については、植物は沈水植物、抽水植物、カバー植物の3項目に区分した。繁茂状態については区間単位で被覆率を求めた。

沈水植物はさらに水草、水苔、糸状藻類、水綿の4種に分類し、それぞれの被覆率を目視によって求めた。葉と茎と根をもつエビモやササバモなどの水生の顕花植物を水草、カワシオグザなどの緑藻類を糸状藻類とした。なお、河床に綿上に広がる水綿は糸状菌類で、植物ではないが便宜的にこの項目に含

めた。抽水植物はヨシに代表される水面下より生育している植物を指し、カバー植物は、護岸壁あるいは護岸上から水路上へ張り出し、水面までの距離が30cm以内に達することで水面に影が映える植物と定義した。2000年6月の調査では、沈水植物のなかの茎や根を持つ顕花植物の種類の間定も行った。

2.2 調査結果

a) 魚類の分布

調査によって確認された魚種を表2.1に示す。各調査期間中に全水路で一度も確認されなかった魚種については空白にしている。本用水路では、8月にはオイカワ *Zacco platypus*、オオクチバス *Micropterus salmoides*、カマツカ *Pseudogobio esocinus esocinus*、カワムツA型 *Zacco sp.*、カワムツB型 *Zacco temminckii*、カワヨシノボリ *Rhinogobius flumineus*、ギンブナ *Carassius auratus subsp. 2*、コイ *Cyprinus carpio*、タイリクバラタナゴ *Rhodeus ocellatus ocellatus*、タモロコ *Gnathopogon elongatus elongatus*、トウヨシノボリ *Rhinogobius sp.*、ナマズ *Silurus asotus*、ニゴイ *Hemibarbus barbus*、メダカ *Oryzias latipes*、ヤリタナゴ *Tanakia lanceolata* の15種が確認された。11月にはこれからオオクチバスとニゴイを除く13種の生息が確認され、3月ではさらにコイとタイリクバラタナゴを除く11種が確認された。このように干出区間が増加する非かんがい期には数も少なくなる傾向がみられた。

回遊性魚種としては、淡水域で生まれ海に下り、産卵とは無関係に川に遡上する両側回遊魚であるトウヨシノボリが確認されている。また降河回遊魚であるウナギは、調査範囲より下流であるが確認されている。

b) メダカの分布

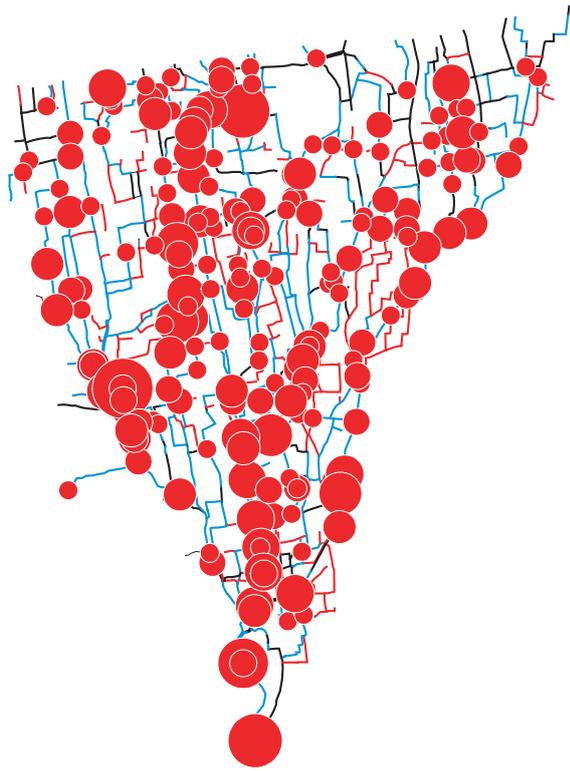
図2.2に調査の同一区間における確認魚種数を示す。湛水している水路を線で、確認された魚種数を丸印の大きさで表している。

また図2.3にメダカ確認区間の分布とメダカ以外の魚種の生息状況を示す。水路を表す線の太さは水面幅を、丸の大きさは魚種数を示している。●は確認魚種の中にメダカが含まれる区間、○はメダカ以外の魚種が確認された区間、▲はメダカのみが生息していた区間であったことを示す。

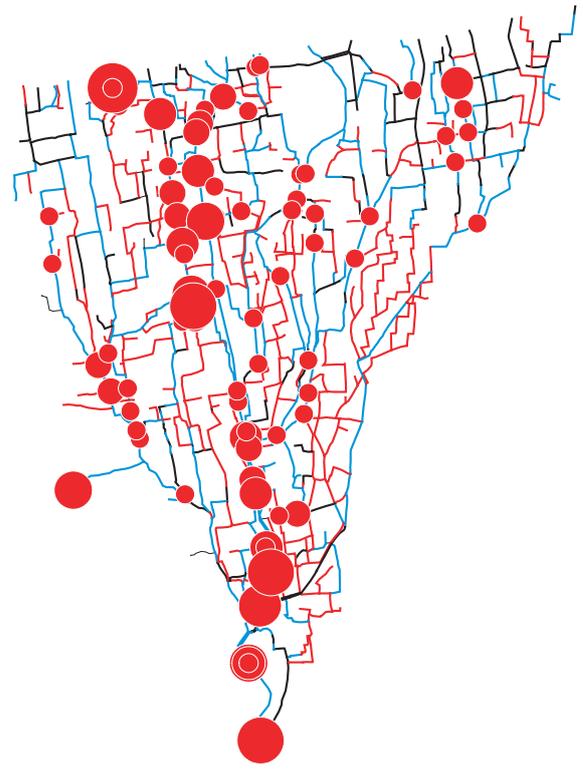
魚種の多かった水路は、いずれの季節も中央か西側を流れる水面幅の大きな幹線水路であった。一方で小規模な水路では、非かんがい期に湛水している場合でもメダカ以外の魚類の生息が未確認であった

表2.1 確認魚種数

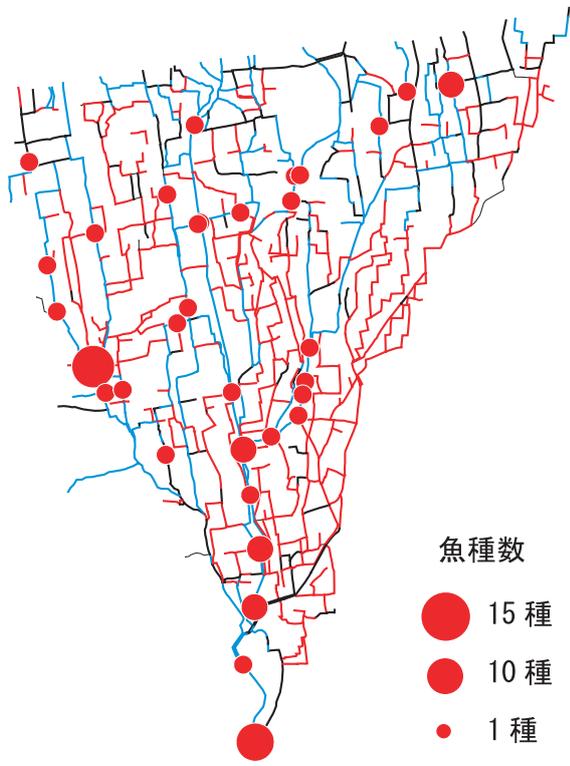
魚種	学名	1999年8月	1999年11月	2000年3月	2000年6月
オイカワ	<i>Zacco platypus</i>	○	○	○	○
オオクチバス	<i>Micropterus salmoides</i>	○			○
カマツカ	<i>Pseudogobio esocinus esocinus</i>	○	○	○	○
カワムツA型	<i>Zacco sp.</i>	○	○	○	○
カワムツB型	<i>Zacco temminckii</i>	○	○	○	○
カワヨシノボリ	<i>Rhinogobius flumineus</i>	○	○	○	○
ギンブナ	<i>Carassius auratus subsp. 2</i>	○	○	○	○
コイ	<i>Cyprinus carpio</i>	○	○		○
タイリクバラタナゴ	<i>Rhodeus ocellatus ocellatus</i>	○	○		○
タモロコ	<i>Gnathopogon elongatus elongatus</i>	○	○	○	○
トウヨシノボリ	<i>Rhinogobius sp.</i>	○	○	○	○
ナマズ	<i>Silurus asotus</i>	○	○	○	○
ニゴイ	<i>Hemibarbus barbus</i>	○			○
メダカ	<i>Oryzias latipes</i>	○	○	○	○
ヤリタナゴ	<i>Tanakia lanceolata</i>	○	○	○	○
合計		15	13	11	15



a) 8月



b) 11月



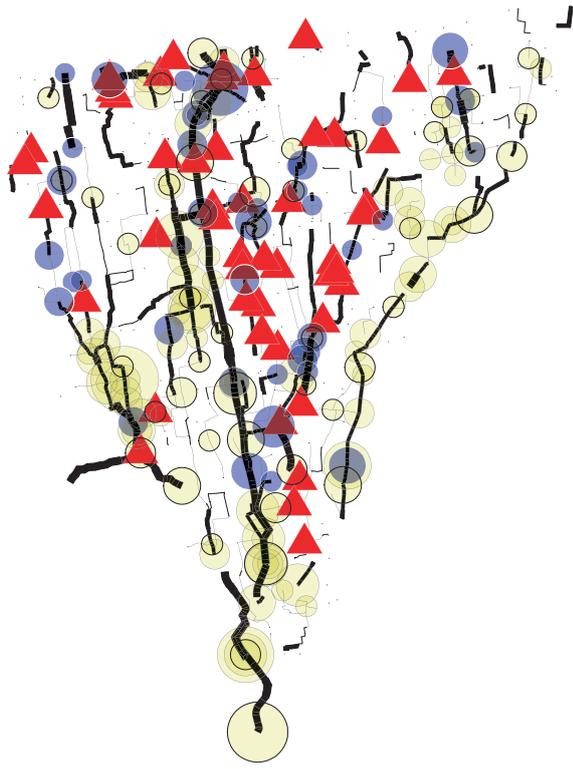
c) 3月



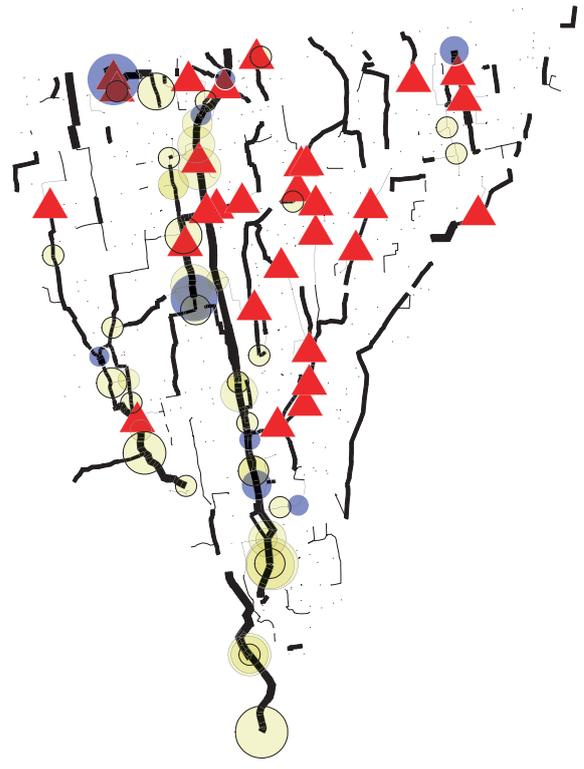
d) 6月



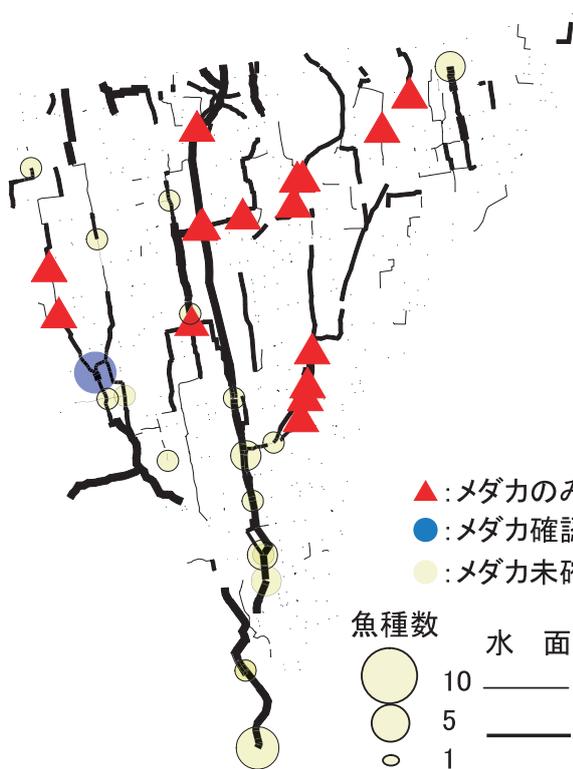
図2.2 確認全魚種数



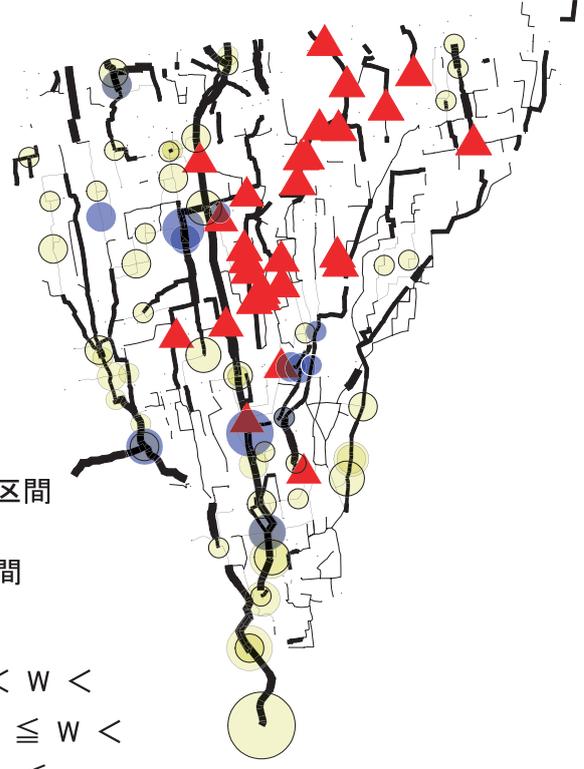
a) 8月



b) 11月



c) 3月



d) 6月

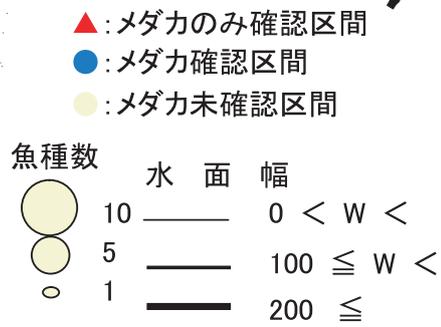


図2.3 メダカの分布

区間も数多くみられた。現段階ではメダカ以外の魚種について詳細な調査を行っていないためその原因を明らかにすることはできないが、水量の低下に伴い、上下流の連続性が途絶えたことも一因と考えられる。流量が十分でない水路や限られた水域では水温の変動や生活排水の影響を受けやすく、かつサギ類などの鳥類の捕食圧も高くなるために、生活が困難になったことも考えられる。

3. メダカの生息環境に関する解析

3.1 解析方法

3.1.1 データ処理

本章では、各区間の水路環境を把握し、魚類特にメダカに対する生息要因を抽出することにより、メダカの出現を予測するロジスティック回帰モデル(式3・1, 3・2)を作成した。

$$Z = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 \cdots + \beta_n X_n \quad (3 \cdot 1)$$

β_0 : 定数 β_n : 各変数の回帰係数 x_n : 各変数値

$$P = \frac{e^z}{1 + e^z} \quad (0 \leq P \leq 1) \quad (3 \cdot 2)$$

P: 出現確率

ここで、ロジスティック回帰分析を行うにあたって、全変数に対しスクリーニングを行った⁴⁾。特にロジスティック回帰分析は変数値の増減に伴い、メダカの出現の対数オッズ比も増減する直線関係を前提としている⁵⁾ため、各変数に対してこれを検討する必要がある。また、これに全く当てはまらない場合は階級を区分し、離散値等に変数変換しなければならない⁶⁾。以下に変数の処理方法と結果を示す。

(1) 変数の定義

湛水していた水路は、8月で422区間、11月で307区間、3月で238区間、6月では519区間あったが、水質が測定可能であった箇所かつ欠測値のない箇所はそれぞれ395区間、222区間、186区間、417区間あった。各区間に調査項目である全32項目を変数として設定し、これらのデータを用いて各季節のメダカの出現に影響を及ぼす要因を抽出し、詳細な検討を行った。また全季節の調査を通して各区間で湛水していた回数を「湛水回数」、水源池からの最短経路長を「池からの流下距離」、隣接する水路の中で水草が連続して繁茂する割合を「水草連続率」を変数として加えた。

(2) 変数の整理

まず、測定した各項目の内、各グループで頻度の低いものおよび重複する変数を除外した。周辺の土地利用状況では水路に水田が面しているものを代表値とし、底質(水路床被覆材料)は、粒径の小さい順に、底質一小(泥、細砂)、底質一大(粗砂、細レキ、中レキ、大レキ)、コンクリート底質(何も被覆しておらずコンクリートが露出しているもの)の3つに分類した。護岸については、調査区間の大半を占めていたコンクリート護岸のみを用いた。水質については、ハンディ水質チェッカーを用いて測定した、水温(°C)、pH、電気伝導度、DO、濁度の各項目の3回測定した平均値を各項の値とし、全てを連続変数として用いた。なおDOは全て表層での測定値を用いている。また水路長や水路幅等の物理的環境は連続変数値として、そのまま変数として用いた。設定した変数の一覧を表3.1に示す。

表3.1 変数一覧

変数名	尺度水準	8月	11月	3月	6月	(区間数)
湛水回数	比率尺度	395	222	186	417	
水路長	比率尺度	395	222	186	417	
池からの流下距離	比率尺度	395	222	186	417	
水路幅	比率尺度	395	222	186	417	
水面幅	比率尺度	395	222	186	417	
水深	比率尺度	395	222	186	417	
流速	比率尺度	395	222	186	417	
田	比率尺度	395	222	186	417	
コンクリート護岸	比率尺度	395	222	186	417	
底質-小	比率尺度	395	222	186	417	
底質-大	比率尺度	395	222	186	417	
コンクリート(底質)	比率尺度	395	222	186	417	
水草	比率尺度	395	222	186	417	
糸状藻類	比率尺度	395	222	186	417	
水綿	比率尺度	395	222	186	417	
抽水植物	比率尺度	395	222	186	417	
カバ-植物	比率尺度	395	222	186	417	
pH	比率尺度	395	222	186	417	
電気伝導度	比率尺度	395	222	186	417	
DO	比率尺度	395	222	186	417	
水温	間隔尺度	395	222	186	417	
濁度	比率尺度	395	222	186	417	

3.1.2 相関関係による変数のスクリーニング

相関の高い変数群は、それらの中の1変数で代表させる必要がある。これは相関の強い変数を同時に投入した場合、数例の出現状況に左右され、本来のその変数の寄与の大きさを表さないことがあるためである⁵⁾。そこで、各変数に対して因子分析を行うことによりその特徴を表すいくつかの因子を抽出し、因子のなかで代表とみなされる変数を決定して変数として解析に用いる。因子抽出法は、主成分分析法を用いた。また因子数の決定は「固有値が1以上」と「累積寄与率が70%～80%以上」という区切り基準を用いた⁶⁾。また算出された因子負荷量は直交バリマックス回転を行い、回転後の因子負荷量から各変数の因子への寄与の大きさを読み取った。表3.2～3.5に各季節の因子負荷量を比較的負荷量が高かったものに網かけして示した。

a) 8月

因子分析では、いくつかの変数から構成される因子ごとに潜在的な意味を持っている。例えば因子1は、「水路幅」、「水面幅」、「水深」、「湛水回数」で表現された水路の規模を表す因子であるといえる。因子1の中では「水路幅」と「水面幅」の相関係数は0.964と非常に相関が高いため「水路幅」を除外した。次に因子2の「底質-小」と「コンクリート底質」の相関係数は-0.676と負の相関が高かったため、「コンクリート底質」を除外した。「pH」と「DO」の間でも相関係数は0.628とやや相関が高かったが、どちらを除外するかについてはMann-WhitneyのU検定の後に決定することとした。

表3.2 各変数の因子負荷量（8月）

	因子1	因子2	因子3	因子4	因子5	因子6	因子7	因子8	因子9
水路長	0.184	-0.063	-0.036	-0.062	-0.018	0.019	0.056	0.811	-0.058
池からの流下距離	0.074	-0.055	0.255	0.321	0.567	0.300	-0.072	-0.203	0.132
田	-0.319	-0.005	0.183	0.189	0.071	-0.184	-0.140	0.615	0.105
コンクリート護岸	0.012	-0.123	-0.876	0.036	0.055	0.092	-0.128	0.049	0.032
底質-小	-0.125	0.653	0.275	-0.109	0.231	0.023	-0.495	-0.167	-0.127
底質-大	0.022	0.140	0.095	-0.038	0.078	-0.067	0.942	-0.039	0.093
コンクリート底質	0.101	-0.713	-0.327	0.138	-0.276	0.015	-0.274	0.187	0.055
水草	0.245	0.718	0.022	0.151	-0.186	0.043	0.120	-0.011	0.229
水苔	-0.087	0.024	0.004	0.000	0.039	0.101	0.112	0.025	0.755
糸状藻類	-0.098	0.018	-0.074	-0.037	0.867	0.028	0.033	0.031	-0.051
抽水植物	-0.090	0.230	0.549	-0.189	-0.002	0.334	-0.232	0.074	0.062
カバー植物	-0.050	0.040	0.859	-0.054	-0.034	0.040	0.019	0.083	-0.015
水路幅	0.912	-0.108	0.051	0.100	-0.039	0.049	-0.032	0.039	-0.028
水面幅	0.913	-0.114	-0.005	0.100	-0.053	0.047	-0.051	0.062	-0.007
水深	0.591	0.343	-0.133	-0.015	-0.084	-0.179	0.066	0.069	0.084
pH	0.010	0.050	-0.156	0.853	0.106	-0.078	-0.014	0.053	-0.159
電気伝導度	-0.047	-0.034	0.168	-0.371	0.210	0.648	0.076	-0.017	-0.264
DO	0.163	-0.198	-0.056	0.787	0.135	-0.199	-0.032	-0.034	0.205
水温	-0.150	0.186	0.054	0.554	-0.187	0.331	0.125	0.129	-0.521
濁度	-0.051	0.063	-0.051	-0.004	0.053	0.769	-0.097	-0.077	0.177
水草連続率	0.136	0.302	-0.138	0.164	0.584	0.060	0.050	0.101	0.139
湛水回数	0.675	-0.014	-0.106	-0.087	0.289	-0.148	0.127	-0.149	-0.109
流速	0.345	-0.626	-0.094	0.119	-0.208	-0.104	0.013	-0.109	0.231

b) 11月

8月と同様に相関係数の高かった、因子1の「水路幅」と「水面幅」については、「水面幅」を除外し、因子2の「pH」と「DO」についてはMann-WhitneyのU検定の後に決定することとした。因子3では「底質-小」と「コンクリート底質」の内、「コンクリート底質」を除外した。またどの因子でも因子負荷量が大きくなかった「水温」は除外した。

表3.3 各変数の因子負荷量（11月）

	因子1	因子2	因子3	因子4	因子5	因子6	因子7	因子8	因子9
水路長	0.177	-0.122	0.135	-0.146	-0.085	0.100	0.041	-0.016	0.732
池からの流下距離	-0.020	-0.073	-0.153	0.778	0.156	0.030	-0.152	0.041	-0.151
田	-0.188	0.231	-0.009	0.094	0.193	-0.040	0.001	-0.016	0.686
コンクリート護岸	-0.083	0.090	0.207	-0.030	-0.682	-0.320	0.067	0.104	-0.016
底質-小	-0.055	-0.174	-0.795	0.030	0.138	-0.345	-0.047	0.122	-0.189
底質-大	-0.079	0.035	-0.022	-0.028	0.048	0.949	0.006	0.045	0.049
コンクリート底質	0.135	0.178	0.795	-0.009	-0.159	-0.366	0.014	-0.137	0.130
水草	-0.028	0.132	-0.237	-0.160	0.140	0.002	0.101	0.801	-0.051
糸状藻類	0.051	0.015	-0.032	0.770	-0.123	-0.046	0.031	0.047	0.049
抽水植物	-0.156	-0.164	-0.005	-0.043	0.745	-0.158	0.103	0.258	-0.073
カバー植物	0.136	-0.051	-0.097	0.039	0.800	-0.004	0.061	-0.073	0.101
水路幅	0.887	0.023	0.198	0.085	0.047	-0.054	-0.023	0.040	-0.103
水面幅	0.901	-0.009	0.184	0.025	0.060	-0.059	-0.005	0.034	-0.012
水深	0.617	0.164	-0.243	-0.340	-0.059	0.053	-0.072	0.006	0.254
pH	-0.187	0.793	-0.094	0.229	-0.102	-0.007	0.266	0.095	0.036
電気伝導度	-0.092	-0.598	-0.163	0.473	0.134	-0.023	0.290	0.022	0.039
DO	0.132	0.845	0.229	-0.087	-0.165	-0.029	-0.084	-0.052	0.024
水温	-0.095	-0.015	0.203	0.349	0.268	0.198	0.202	-0.261	0.126
濁度	0.081	0.041	0.019	0.008	0.191	0.127	0.817	-0.002	-0.112
水草連続率	0.128	-0.131	0.010	0.369	-0.127	0.070	-0.106	0.730	0.039
湛水回数	0.207	0.077	0.200	0.079	0.161	0.227	-0.641	-0.003	-0.269
流速	0.196	0.033	0.683	-0.275	-0.066	-0.046	-0.258	-0.067	-0.134
水綿	-0.189	-0.543	-0.159	0.438	-0.034	-0.126	0.055	-0.001	-0.103

c) 3月

因子1では、相関係数から「底質-小」と「コンクリート底質」の内、「コンクリート底質」を除外、因子2では「水路幅」と「水面幅」の内、「水路幅」を除外、因子3では「pH」と「DO」は前述のように保留した。

表3.4 各変数の因子負荷量(3月)

	因子1	因子2	因子3	因子4	因子5	因子6	因子7	因子8
水路長	-0.081	0.155	-0.320	-0.090	-0.435	-0.149	0.012	0.547
池からの流下距離	0.285	-0.017	-0.093	0.287	0.612	0.011	0.222	0.010
田	0.044	-0.041	0.046	0.104	0.021	0.033	0.041	0.738
コンクリート護岸	-0.211	-0.032	0.014	0.053	-0.049	-0.784	0.232	0.093
底質-小	0.797	-0.087	-0.132	-0.030	0.346	-0.099	-0.114	-0.049
底質-大	-0.131	-0.306	0.017	-0.047	-0.418	0.562	0.323	-0.153
コンクリート底質	-0.701	0.315	0.120	0.065	-0.036	-0.319	-0.127	0.162
水草	0.414	0.072	0.034	-0.552	0.007	0.108	-0.029	-0.055
糸状藻類	0.006	-0.266	0.199	0.007	0.170	0.014	0.617	0.318
抽水植物	0.002	-0.014	-0.076	0.201	0.171	0.659	0.043	0.176
カバー植物	0.327	-0.104	0.139	0.016	-0.168	0.112	-0.565	0.018
水路幅	-0.193	0.917	0.102	-0.086	-0.033	0.001	-0.044	-0.029
水面幅	-0.222	0.906	0.110	-0.103	-0.049	-0.037	-0.057	0.028
水深	0.021	0.186	-0.095	-0.688	-0.135	-0.037	0.068	0.025
pH	0.012	0.087	0.887	0.108	-0.150	-0.053	0.102	0.042
電気伝導度	0.323	0.003	-0.470	0.598	0.133	0.181	0.145	0.178
DO	-0.211	0.162	0.818	-0.257	-0.082	-0.035	-0.087	0.030
水温	0.050	0.008	-0.095	0.010	0.748	0.077	0.127	-0.020
濁度	0.297	0.102	-0.115	0.608	0.113	0.348	0.111	0.055
水草連続率	0.254	-0.022	-0.001	0.084	-0.035	0.008	0.710	-0.086
湛水回数	0.182	0.288	0.262	-0.042	-0.435	-0.089	0.177	-0.037
流速	-0.656	0.224	0.038	-0.220	0.066	-0.067	-0.093	-0.123
水綿	0.227	-0.025	-0.305	0.523	-0.182	-0.165	0.116	-0.522

d) 6月

因子1では、相関係数から「水路幅」と「水面幅」の内、「水路幅」を除外し、因子3では「底質-小」と「コンクリート底質」の内、「コンクリート底質」を除外した。因子4では「pH」と「DO」は前述のように保留した。また、どの因子でも因子負荷量が大きくなかった「池からの流下距離」は除外した。

表3.5 各変数の因子負荷量（6月）

	因子1	因子2	因子3	因子4	因子5	因子6	因子7	因子8
水路長	-0.005	0.029	-0.058	0.154	0.066	0.069	0.694	0.074
池からの流下距離	0.248	0.192	0.140	-0.054	0.398	0.361	-0.369	0.036
田	-0.413	0.262	-0.038	0.231	-0.067	0.210	0.316	0.056
コンクリート護岸	0.055	-0.858	-0.120	0.066	0.031	0.136	0.036	0.106
底質-小	-0.030	0.371	0.786	-0.075	0.026	0.186	-0.155	-0.042
底質-大	0.098	0.040	-0.026	0.086	0.081	-0.861	-0.132	0.135
コンクリート底質	-0.032	-0.375	-0.725	0.018	-0.074	0.356	0.228	-0.043
水草	0.295	0.046	0.225	-0.144	-0.100	-0.377	0.211	0.016
水苔	0.112	0.026	-0.009	-0.064	0.015	-0.033	0.592	-0.018
糸状藻類	-0.012	-0.056	0.281	0.086	-0.063	0.085	0.045	0.765
水綿	-0.079	-0.061	-0.062	-0.004	0.677	-0.089	0.116	0.003
抽水植物	0.032	0.595	0.115	-0.047	0.045	0.115	0.039	0.117
カバー植物	-0.123	0.822	0.105	-0.031	-0.024	-0.044	0.085	-0.032
水路幅	0.912	0.033	-0.061	0.055	-0.025	0.010	0.164	-0.005
水面幅	0.901	-0.008	-0.078	0.044	-0.042	0.024	0.178	-0.005
水深	0.063	-0.144	0.595	-0.137	-0.233	-0.043	0.224	0.180
pH	0.043	-0.060	-0.081	0.886	0.046	-0.025	0.027	0.052
電気伝導度	-0.029	-0.007	0.124	-0.467	0.537	0.052	-0.016	-0.052
DO	-0.001	-0.089	-0.173	0.845	-0.194	0.019	0.040	0.068
水温	0.215	-0.037	0.284	0.521	0.439	-0.047	0.085	-0.227
濁度	0.180	0.359	0.017	-0.009	0.430	0.346	-0.212	0.035
水草連続率	0.083	0.058	-0.013	0.001	0.020	-0.203	0.021	0.781
湛水回数	0.715	-0.099	0.012	0.096	0.057	-0.111	-0.176	0.106
流速	0.190	-0.141	-0.589	0.085	-0.230	-0.026	0.063	-0.190

3.1.3 単変量解析による変数のスクリーニング

有意でない変数をロジスティック回帰分析に投入すると、得られたモデルの中では有意となっても、解釈が困難であったり、モデルが不安定になることがあるため、単変量解析によってメダカの出現状況に影響を与えていない変数は除外する必要がある⁷⁾。そこで、目的変数をメダカの出現／非出現としてMann—WhitneyのU検定を行った。ここで有意水準は20%とした。またメダカの出現頻度が非常に小さくアンバランスであったため、変数選択法として通常の漸近法ではなくモンテカルロ法⁸⁾（リサンプリング数：50,000回）を用いた。また、有意であった変数は網かけをした。

表3.6からわかるように、8月と6月では17、15個と多くの変数がメダカの出現／非出現に対して有意であったが、11月や3月では12、5個と有意な変数は少なかった。ここで、有意でない(p>0.20)変数を除外した全変数を、以降のロジスティック回帰分析に投入する。また、相関関係によるスクリーニングの際には、pHとDOのいずれかを選ぶこととなっていたが、ここではpHの方がメダカの出現／非出現に有意な差を示しているため、DOを除外することとした。

表3.6 Mann—WhitneyのU検定での各変数の有意確率

調査期	水路長	池からの流下距離	水面幅	水深	流速	湛水回数	田	コンクリート護岸	底質-小	底質-大	水草
8月	0.019	0.000	0.000	0.054	0.000	0.003	0.916	0.129	0.000	0.133	0.000
11月	0.209	0.018	0.123	0.075	0.003	0.266	0.882	0.028	0.000	0.491	0.000
3月	0.218	0.878	0.705	0.151	0.469	0.604	0.202	0.189	0.019	0.302	0.005
6月	0.031	0.266	0.000	0.475	0.178	0.007	0.408	0.099	0.002	0.003	0.001
調査期	水苔	糸状藻類	水綿	抽水植物	カバー植物	pH	電気伝導度	DO	水温	濁度	水草隣率
8月	0.592	0.018	-	0.000	0.000	0.071	0.922	0.255	0.000	0.022	0.000
11月	-	0.375	0.050	0.143	0.152	0.234	0.926	0.579	0.682	0.043	0.000
3月	-	0.419	0.532	0.556	0.924	0.382	0.759	0.526	0.973	0.037	0.259
6月	1.000	0.222	1.000	0.000	0.028	0.031	0.179	0.405	0.000	0.000	0.107

※-：確認されなかった項目

3.1.4 データの階級化

メダカの出現率から求めた対数オッズ比の値が各変数の値の増減に対し、単調増加あるいは減少するように階級に区分し、離散値化した。ここで、出現オッズは出現度数と非出現度数の比、オッズ比は初階級の出現オッズに対する各階級での出現オッズの比、対数オッズ比はオッズ比の自然対数をとる。例えば、水面幅を10の階級に区分し、対数オッズ比との関係を表3.7と図3.1に示す。この結果、単調増加していなかったために、再度階級化し表3.8と図3.2が示された。例を以下に示す。

変数名：8月 水面幅 (m)

方法：目安として最小値から最大値までを10等分に区分する。各階級のメダカの出現度数から出現オッズを算出し、オッズ比の対数を取ったものが単調に増加しているかを検討する⁵⁾。

表3.7 水面幅とメダカの対数オッズ比

階級値	出現	非出現	出現オッズ	オッズ比	対数オッズ比
0～59	16	137	0.117	1	0
60～119	42	91	0.462	3.952	1.374
120～179	16	44	0.364	3.114	1.136
180～239	12	22	0.545	4.670	1.541
240～299	2	7	0.286	2.446	0.895
300～359	2	2	1	8.563	2.147
360～419	0	0	-	-	-
420～479	0	0	-	-	-
480～539	0	2	-	-	-
540～599	0	0	-	-	-
600～	0	0	-	-	-

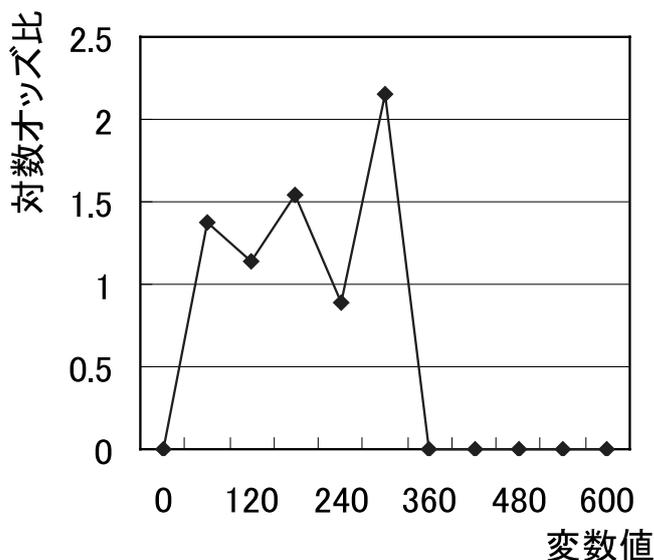


図3.1 水面幅とメダカの対数オッズ比の変化

表3.8 再階級化した水面幅とメダカの対数オッズ比

階級値	出現	非出現	出現オッズ	オッズ比	対数オッズ比
0～59	16	137	0.117	1	0
60～179	58	135	0.430	3.679	1.303
180～299	14	29	0.483	4.134	1.419
300～	2	4	0.5	4.281	1.454

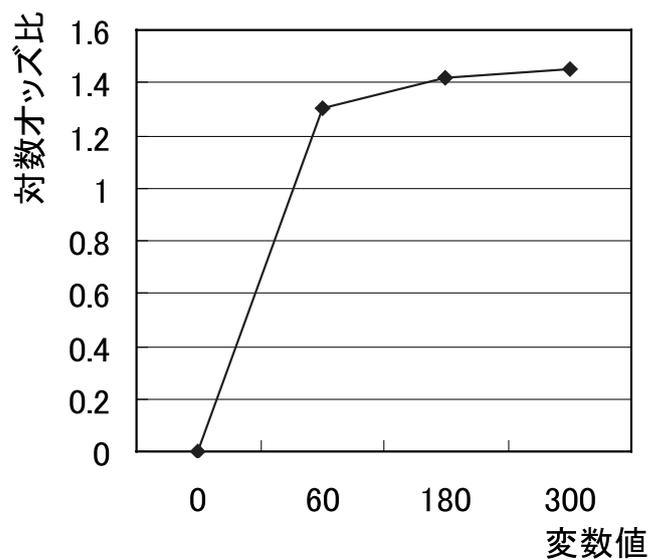


図3.2 再階級化した水面幅とメダカの対数オッズ比の変化

表3.9に各季節の離散値化した変数と階級の一覧を示す。

表3.9 変数の階級化一覧

a) 8月

階級値	0	1	2	3	4	5
湛水回数	1・2	3	4			
水路長	<50	50~99.99	100~199.99	≥200		
池からの流下距離	<800	800~1199.99	1200~1599.99	1600~1999.99	2000~2399.99	≥2400
水面幅	<60	60~179.99	180~299.99	≥300		
流速	<20	20~39.99	40~59.99	60~79.99	≥80	
底質-小	<0.1	0.1~0.95	1			
底質-大	<0.1	0.1~0.45	0.5~0.55	0.6~1		
抽水植物	<0.1	0.1~0.15	0.2~0.25	0.3~0.45	0.5~0.75	0.8~1
水草連続率	<0.1	0.1~0.25	0.3~0.75	0.8~1		
水温	<21.9	21.9~23.8	23.9~25.8	25.9~29.8	≥29.9	
コンクリート護岸	<0.1	0.1~0.25	0.3~1			
水草	<0.1	0.1~0.15	0.2~0.35	0.4~0.45	0.5~1	
糸状藻類	<0.1	0.1~0.25	0.3~1			
カバー植物	<0.1	0.1~0.45	0.5~0.85	0.9~1		
水深	<6	6~11.99	12~23.99	24~29.99	≥30	
pH	<6.64	6.64~6.97	6.98~7.99	8~8.33	8.34~9.01	≥9.02
濁度	<60	≥60				

b) 11月

階級値	0	1	2	3	4
池からの流下距離	<1600	1600~1999.99	2000~2399.99	2400~3199.99	≥3200
水面幅	<80	80~159.99	160~239.99	≥240	
流速	<20	20~39.99	≥40		
底質-小	<0.2	0.2~0.65	0.7~1		
抽水植物	<0.1	0.1~1			
水草連続率	<0.1	0.1~0.15	0.2~0.45	0.5~0.65	0.7~1
コンクリート護岸	<0.1	0.1~0.45	0.5~1		
水草	<0.1	0.1~0.25	0.3~0.35	0.4~1	
カバー植物	<0.3	0.3~0.45	0.5~1		
水深	<8	8~19.99	≥20		
濁度	<100	≥100			

c) 3月

階級値	0	1	2	3
底質-小	<0.3	0.3~0.65	0.7~1	
コンクリート護岸	<1	1		
水草	<0.1	0.1~1		
水深	<10	10~14.99	15~19.99	≥20
濁度	<40	40~79.99	≥80	

d) 6月

階級値	0	1	2	3	4	5
湛水回数				-		
水路長	<100	100~249.99	250~299.99	≥300		
水面幅	<240	≥240				
流速	<9	9~35.99	36~53.99	≥54		
底質-小	<0.1	0.1~0.35	0.4~0.55	0.6~1		
底質-大	<0.1	0.1~0.35	0.4~0.55	0.6~1		
抽水植物	<0.1	0.1~0.25	0.3~0.45	0.5~1		
水草連続率	<0.2	0.2~0.65	0.7~1	1		
電気伝導度	<50	≥50				
水温	<15	15~18	≥18			
コンクリート護岸	<0.2	0.2~0.65	0.7~1			
水草	<0.1	0.1~0.25	0.3~1			
カバー植物	<0.1	0.1~0.35	0.4~1			
水深	<7	7~28	≥28			
pH	<6.02	6.02~7.51	7.52~8.01	8.02~8.51	8.52~9.01	≥9.02
濁度	<40	40~79.99	≥80			

3.2 ロジスティック回帰分析

3.2.1 方法

①目的変数と投入変数

目的変数をメダカの出現、非出現とし、各季節のスクリーニングされた変数を用いてロジスティック回帰分析を行った。その結果を以下に示す。なお、変数の抽出方法はステップワイズ法の一つである尤度比に基づく変数増加法を用いた。この方法では、モデルで予測されるメダカの出現度数に対する実際の出現度数の比が変数を投入する前後の有意差の有無（尤度比検定）で変数を用いるかの判断を行う⁹⁾。モデルに採用するかの基準は有意水準が0.15以下とし、変数の除去基準は0.25とし¹⁰⁾、有意と判断された変数を投入した。なお、メダカが出現したと判断する規準は出現／非出現の出現確率の分割値については、0～1.0まで0.1刻みで解析し、検討を行った。出現確率とは、ロジスティック回帰分析で算出される各変数の持つ回帰係数を用いて表されるメダカの出現する確率を指す。

②各変数の尤度比検定結果

表3.10に各季節で抽出された変数と尤度比検定の結果を示す。

表3.10 抽出された変数と尤度比検定結果 (p<0.15)

変数名	8月	11月	3月	6月	(P値)
湛水回数	0.013	—	—	0.009	
水路長	0.006	—	—	0.007	
池からの流下距離	0.011	—	—	—	
水面幅	0.001	0.038	—	—	
流速	0.002	—	—	—	
底質-小	0.012	0.001	0.060	0.001	
底質-大	0.049	—	—	0.002	
抽水植物	0.000	—	—	0.002	
水草連続率	—	0.081	—	0.165	
水温	0.002	—	—	—	
コンクリート護岸	—	—	0.057	—	
水草	0.016	0.094	0.007	—	
水深	—	—	0.157	—	
pH	—	—	—	0.007	
濁度	—	—	0.063	—	

※ —：除外された変数

3.2.2 結果

①モデルの適合性

各季節のデータから作成したロジスティックモデルの適合性について以下の方法で検定を行った⁷⁾。その方法と結果を以下に示す。

[カイ2乗検定]

モデルに変数を投入した場合と投入しない場合の尤度比に対してカイ2乗検定を行った。その結果、全季節とも有意水準5%で有意な差がみられた (p: 0.000～0.002)。

[Wald検定]

上記の検定で抽出された変数を用いて作成した各季節の予測モデルにおいて、各変数でWald検定を

行った。これは、各モデルで各変数の持つ係数とその誤差との比の2乗が χ^2 分布することを仮定するものであり、有意水準を5%とした。その結果、8月では、すべての変数が有意とされたが、他の季節では1、2個が0.073～0.154と多少有意でないものが見られたが、比較的メダカの出現を予測するのによい変数が抽出されていた。

[決定係数]

変数を投入しない場合の対数尤度 L_0 と投入した場合の対数尤度 L_n との差の比である決定係数 R^2 （式3・3）は1に近いほど回帰式の当てはまりの良いことを表す。また、どれほどまで大きければよいという基準はないものの少なくとも0.30以上であるのが望ましいといわれている。各モデルの決定係数は8月では、0.432と最低の基準を満たしていたが、11月、3月、6月では0.218、0.208、0.265と少々信頼性に疑問が残った。

$$R^2 = (L_0 - L_n) / L_0 \quad (0 \leq R^2 \leq 1) \quad n: \text{変数の数} \quad (3 \cdot 3)$$

[Hosmer—Lemeshowの方法]

モデルより得られたメダカの出現期待値と観測値の分布（図3.3）には有意水準5%で有意な差はなかったため、モデルにより予測されたメダカの出現状況は再現性がよいものと言える。（ χ^2 -test $p < 0.05$ ）。

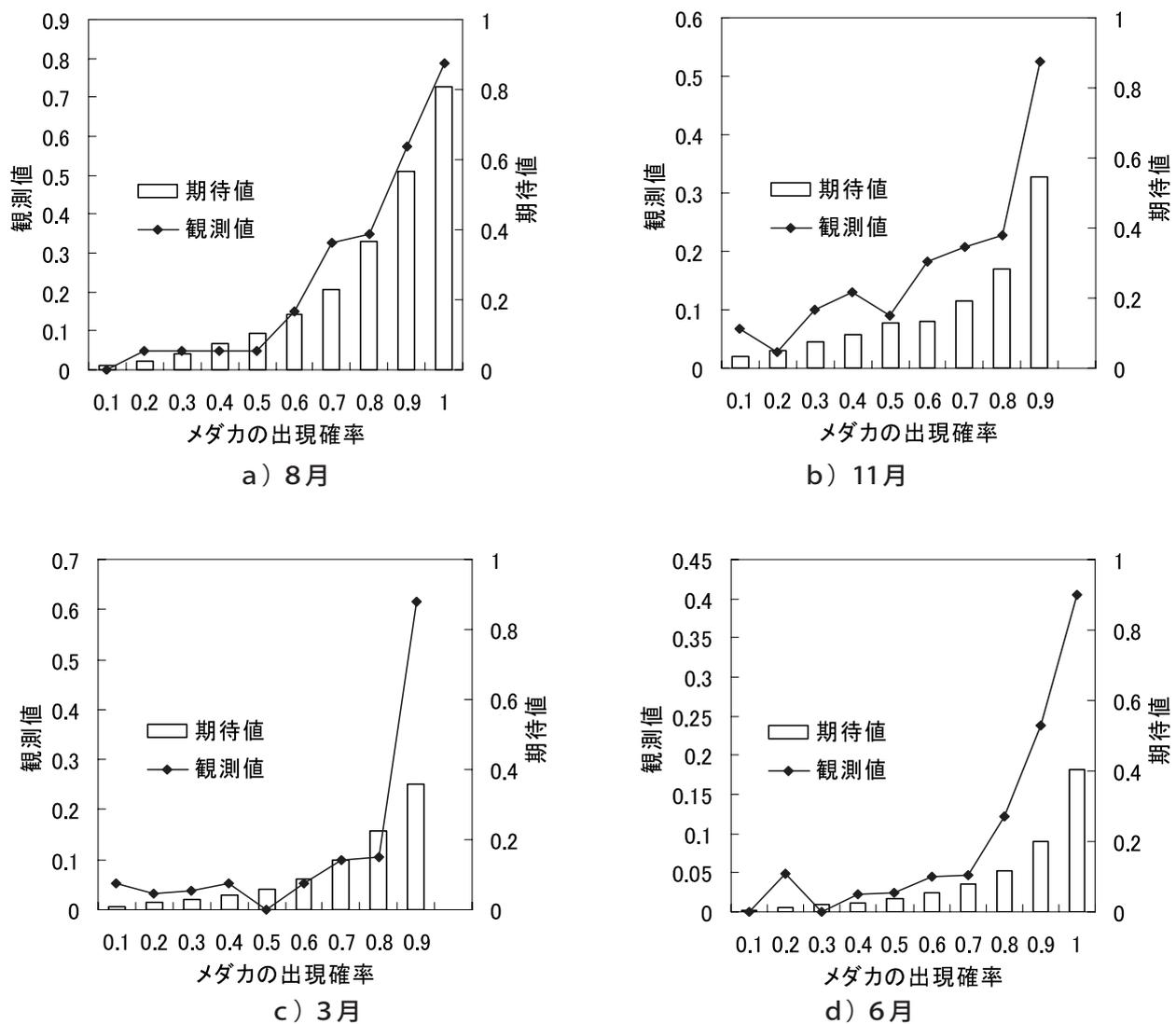


図3.3 メダカの出現期待値と観測値

[ROC 曲線]

視覚的に回帰式が優れているかをみる方法を知る方法として、ROC 曲線がある。図 3.4 に縦軸にメダカの出現予測率、横軸に 1 - 非出現予測率をとりプロットした。この曲線によって下方に囲まれる面積の大きいモデルは、適合性が高いといえる。0 から 1 に向かって 50% の確率で当たるモデル（役に立たないモデル）を Base line として引いた。各モデルでは、これより左上方にあるため適合性が高いといえる。

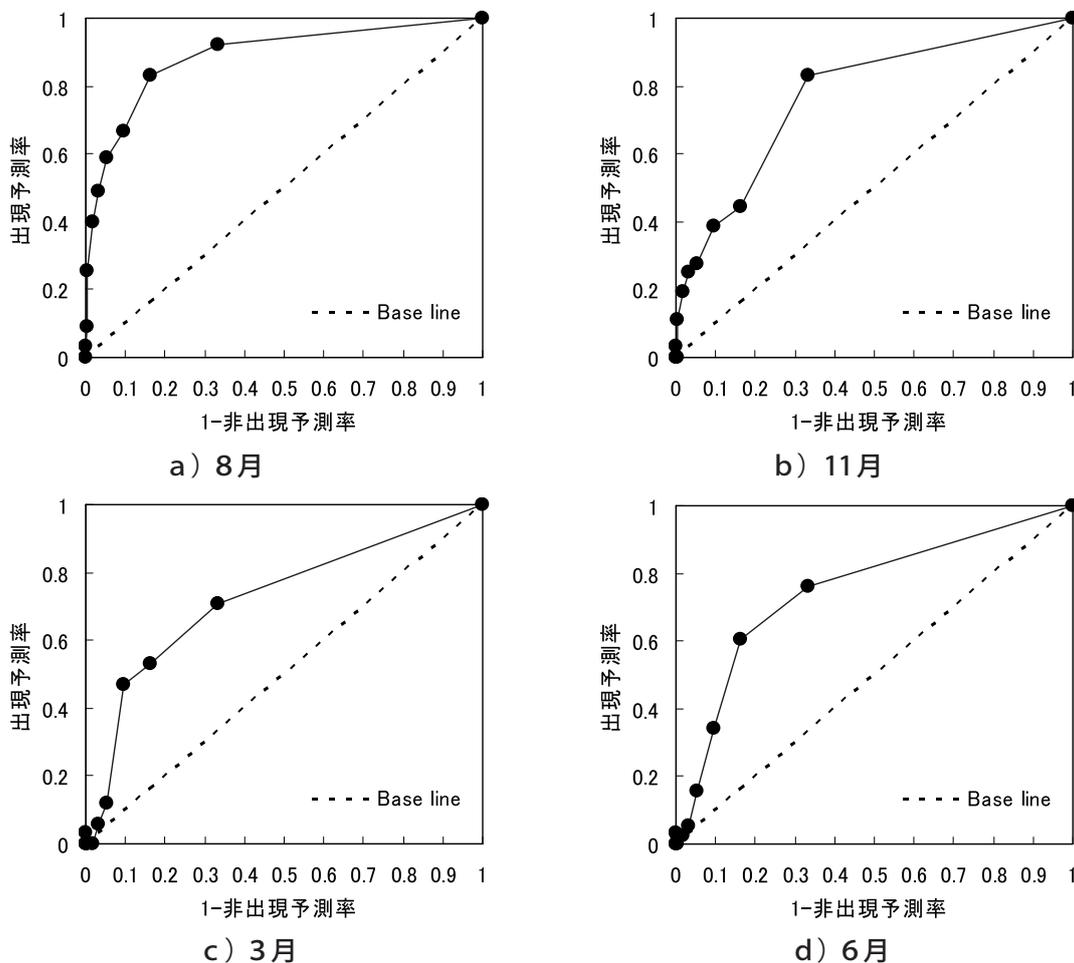


図3.4 ROC曲線

[cookの距離、てこ比]

各データがモデルに与える影響を知るものに、cookの距離、てこ比がある。cookの距離は、データが予測結果にどの程度影響を与えているかを表す量であり、大きいときは外れ値の可能性があるとされている。また、てこ比は予測に与える影響の大きさを示し、この値が0.5より大きい場合、そのデータはモデルから除外する方が望ましいといわれている¹¹⁾。各季節のcookの距離、てこ比を表3.11に示す。cookの距離、てこ比ともに大きすぎる値はなく、外れ値の可能性のあるデータはなかったと思われる。

表3.11 cookの距離とてこ比

	cookの距離の最大値	てこ比の最大値
8月	0.330	0.113
11月	0.242	0.117
3月	1.559	0.205
6月	0.652	0.202

以上より各モデルは有意なモデルであることが言えた。

②メダカの出現／非出現を判断する分割値の検討

予測モデルとしては出現、非出現ともに高い予測率を持つことが好ましい。この図から互いに高い予測率を示したのは各季節で分割値が0.10～0.25の場合であったが、分割値を移動させると図3.5のように予測率は一方が上昇するものの他方は低下する。メダカの出現／非出現予測率が実際の出現／非出現率を下回るモデルは予測の役に立たない⁸⁾ため、実際の出現／非出現率を超える予測率が必要である。これらのことと予測の精度を表す総合予測率の高い分割値を本モデルで使用することとした。

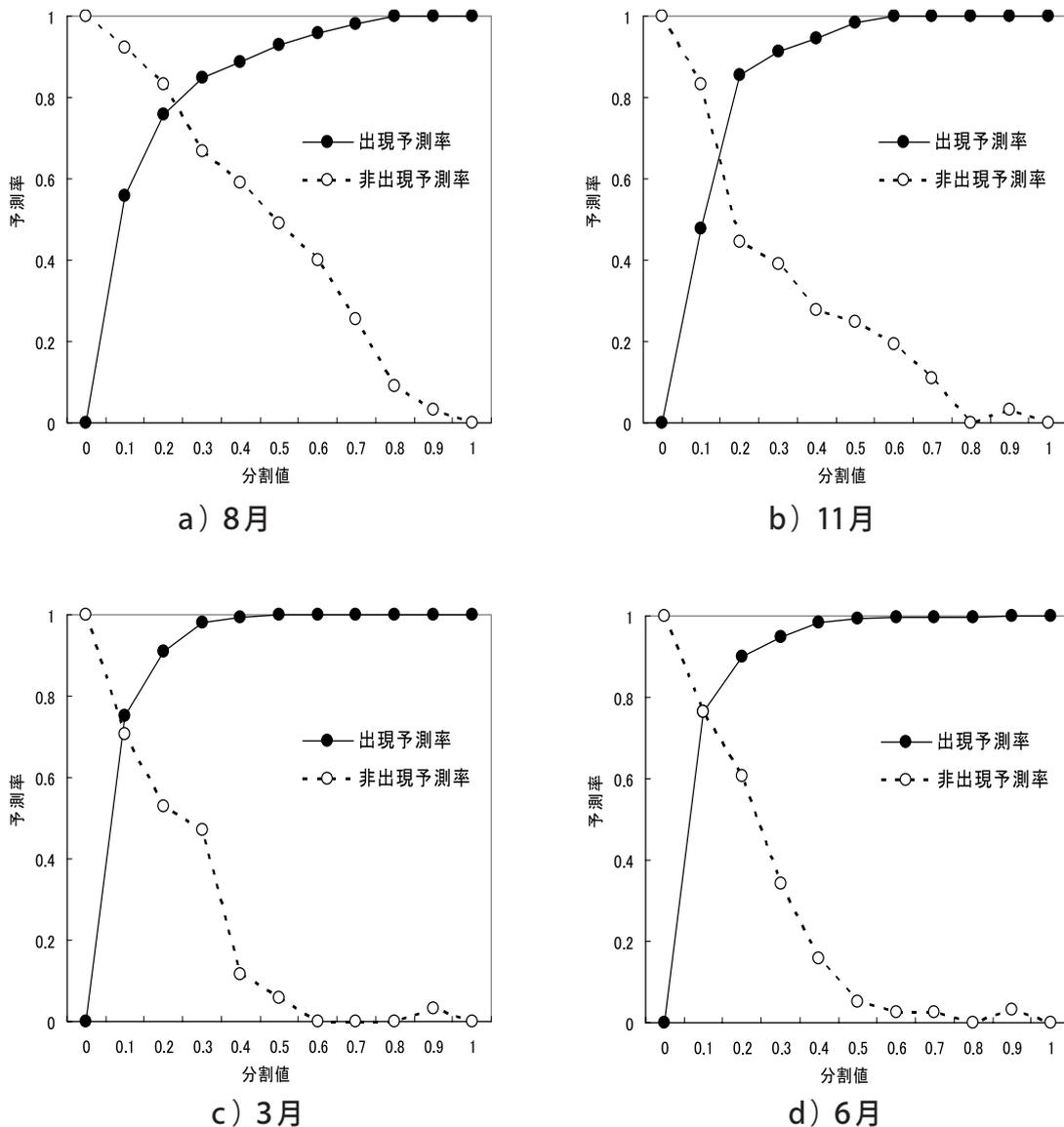


図3.5 分割値の移動と予測率の変化

図3.6に出現率（非出現）率と出現（非出現）予測率の比と総合予測率の分布を示す。実際の出現（非出現）率と出現（非出現）予測率の比が1のところをBase lineを引いてある。その結果、出現、非出現予測率が実際の出現、非出現率をともに超えていた分割値は8月で、0.4～0.7、11月で0.2～0.6、3月で0.3のみ、6月で0.3～0.4であった。この中からもっとも総合予測率が高かった場合の分割値をみると、それぞれ0.4、0.3、0.3、0.3であった。

以上の結果から、各季節の予測モデルでの分割値を上述した場合で予測するともっとも精度よくメダカの出現／非出現を予測できた。

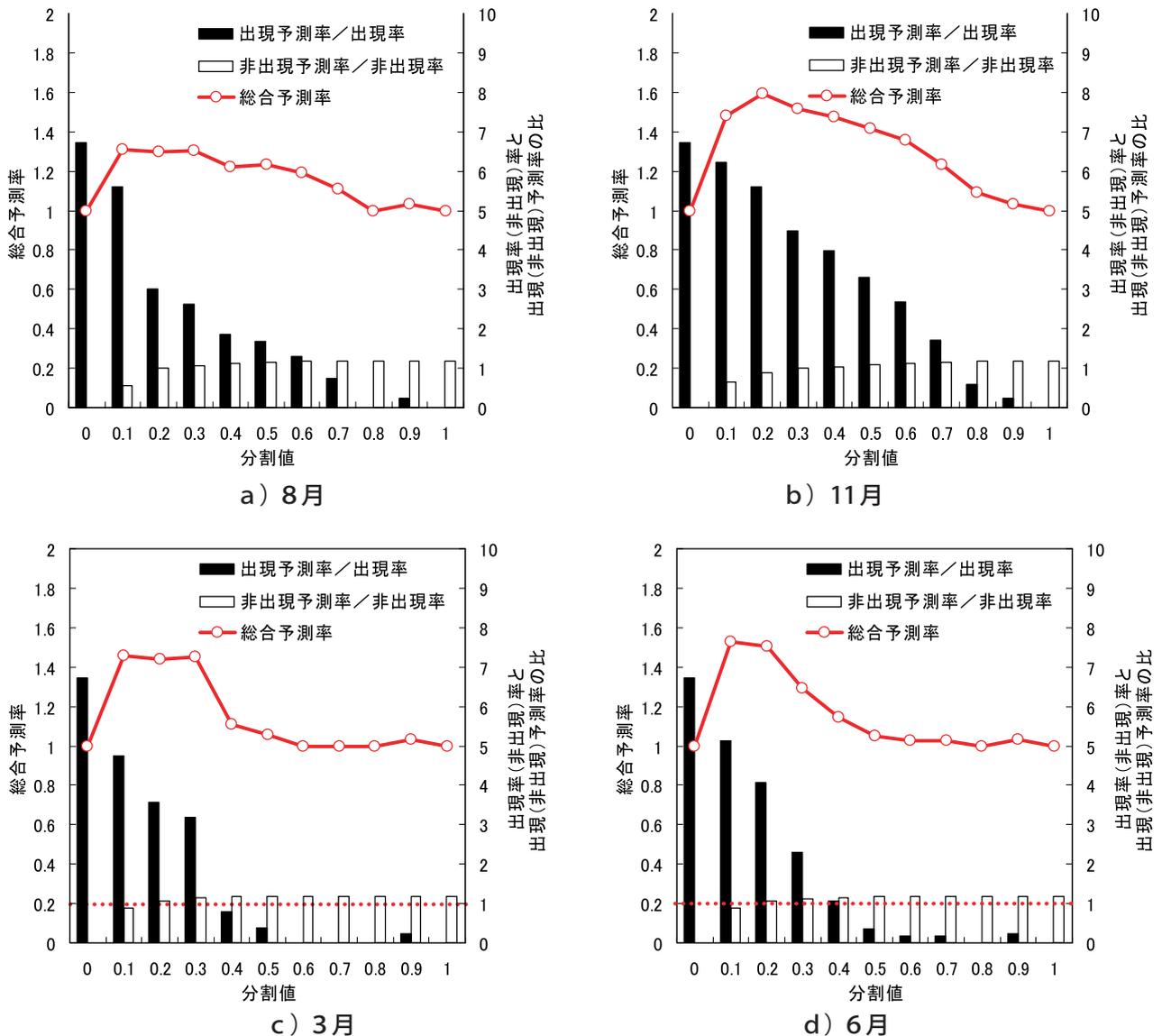


図3.6 分割値の移動と出現率と予測率の比と総合予測率の分布

③メダカの出現／非出現の予測結果

各モデルでメダカの出現に影響を及ぼしていた変数とその影響の大きさを各変数の係数として式3・4～3・7中に付加して以下に示す。また、各モデルでメダカの出現／非出現が予測できた区間数と予測率、また全体の予測の精度を表す出現予測率と非出現予測率の和である総合予測率（0～200%の値を取る）を表3.12～3.15に示す。

a) 8月

表3.12 メダカの出現／非出現の予測結果（8月）

	判別	予測		計	予測率
		出現	非出現		
観測	出現	53	37	90	58.9%
	非出現	34	271	305	88.9%
	計	87	308	395	147.7%

$$Z = -6.242 + 0.979x_1 + 0.593x_2 + 0.552x_3 + 0.538x_4 - 0.537x_5 + 0.527x_6 + 0.439x_7 + 0.342x_8 + 0.331x_9 + 0.292x_{10}$$

(3・4)

x_1 ：水面幅 x_2 ：底質一小 x_3 ：湛水回数 x_4 ：水温 x_5 ：流速
 x_6 ：抽水植物 x_7 ：水路長 x_8 ：池からの流下距離 x_9 ：水草
 x_{10} ：底質一大

b) 11月

表3.13 メダカの出現／非出現の予測結果（11月）

	判別	予測		計	予測率
		出現	非出現		
観測	出現	14	22	36	38.9%
	非出現	16	170	186	91.4%
	計	30	192	222	130.3%

$$Z = -3.412 + 0.757x_1 + 0.503x_2 + 0.342x_3 + 0.299x_4$$

(3・5)

x_1 ：底質一小 x_2 ：水面幅 x_3 ：水草連続率 x_4 ：水草

c) 3月

表3.14 メダカの出現／非出現の予測結果（3月）

	判別	予測		計	予測率
		出現	非出現		
観測	出現	8	9	17	47.1%
	非出現	3	166	169	98.2%
	計	11	175	186	145.3%

$$Z = -5.588 + 1.723x_1 + 1.645x_2 + 0.931x_3 + 0.556x_4 + 0.381x_5$$

(3・6)

x_1 : コンクリート護岸 x_2 : 水草 x_3 : 濁度 x_4 : 底質一小 x_5 : 水深

d) 6月

表3.15 メダカの出現/非出現の予測結果(6月)

	判別	予測		計	予測率
		出現	非出現		
観測	出現	13	25	38	34.2%
	非出現	20	359	379	94.7%
	計	33	384	417	128.9%

$$Z = -6.856 + 0.972x_1 + 0.707x_2 + 0.590x_3 + 0.551x_4 + 0.537x_5 + 0.515x_6 + 0.353x_7$$

(3・7)

x_1 : 抽水植物 x_2 : 水路長 x_3 : 底質一大 x_4 : 湛水回数

x_5 : 水草連続率 x_6 : 底質一小 x_7 : pH

表3.16に、全季節のロジスティック回帰分析で抽出された変数の影響の正負と適合性を示す。

表3.16 メダカの生息に与える変数の影響

投入変数	抽出された変数				計
	8月	11月	3月	6月	
水路長	+			+	2
池からの流下距離	+				1
水面幅	+	+			2
水深			+		1
流速	-				1
湛水回数	+			+	2
コンクリート護岸			+		1
底質-小	+	+	+	+	4
底質-大	+			+	2
水草	+	+	+		3
糸状藻類					0
抽水植物	+			+	2
カバー植物					0
水草連続率		+		+	2
pH				+	1
電気伝導度					0
水温	+				1
濁度			+		1
計	10	4	5	7	
適合性	◎	○	○	○	

+ : 出現率増加 - : 出現率減少 ◎ : 適合性がよい ○ : 比較的適合性がよい

3.3 抽出された変数の解釈

メダカの生息に影響を与えていた変数は、8月では水路の規模を表す水路長と水面幅、水源からの位置を表す池からの流下距離、流速、湛水回数、底質一小、底質一大、水草、抽水植物、水温であった。この中で流速のみが負の影響を与えており流速が大きいほどメダカの出現確率Pは低下することがわかった。その他の変数は互いに多重共線性には触れないが、流速の影響を受けている。底質は流速が低下するほど砂や細砂によって被覆される率が増加し(図3.7)、その結果水草、抽水植物が定着しやすくなる(図3.8)。なお水温は流速が小さいほど高くなる傾向にあった(図3.9)。また湛水回数から通年して湛水している水路ほど出現確率は高くなることがわかる。

次に11月では、選択された変数の数は8月よりも減少し、変数は水面幅、底質一小、水草、水草連続率となった。変数として流速が除かれたが、これは流量が8月よりも減少したため、流速も全体的に低下し、他の変数に比べ影響の大きさが減少したためと思われる(図3.10、3.11)。また水草が隣接する水路に連続しているという水路間の隣接性がここで選ばれたのも特徴である。湛水回数は、非かんがい期の11月に湛水する水路の大半は通年水枯れしないために変数として選ばれなかったと考えられる(図3.12)。抽水植物も冬期には一年草もしくは干出して枯死するものが多いために、その影響は相対的に小さくなったと思われる。

次に3月では、水深、コンクリート護岸、底質一小、水草、濁度が正の影響を与えていた。コンクリート護岸の割合、水深、濁度が変数に選択されたのは、規模の大きな水路で底質が泥や細砂に覆われ、かつ水草があり、やや濁りのある水路でメダカは越冬することを表している。

6月は、水路規模を表す水路長、底質一小、底質一大、抽水植物、湛水回数、水草連続率(隣接水路へ水草の連続区間率)、pHが変数として選ばれた。pHは高いほど出現確率が増加するというものの解釈は困難であるが、pHとともに増加する相関係数が0.628と高いDOは、生物の生息には必要不可欠なものであるため、これが上昇することにより生息ポテンシャルが増加することは理解できる。

ここで各季節の選択された変数の数を比較するとかんがい期の6月、8月には7、10個選ばれ、非かんがい期の11月、3月には4、5個となった。これは湛水することによって水路網内に多様な環境が生まれ、複数の要因が影響を及ぼしメダカの生息環境を作っていることを表している。かんがい期にのみ共通して選ばれた変数は水路長、湛水回数、抽水植物であった。一方、非かんがい期には影響を及ぼす変数は減り、かつ上述したように3月には他の季節で選ばれなかった変数が選ばれた。このように、変数の内容やその数を比較することからも水路環境は大きく変化し、それがメダカの生息に大きな影響を及ぼしていることがわかる。最後に、多くの季節を通して選択された変数は底質一小と水草で、底質に泥や細砂が堆積しやすく、水草で覆われた環境がメダカの生息によって重要であることが示された。

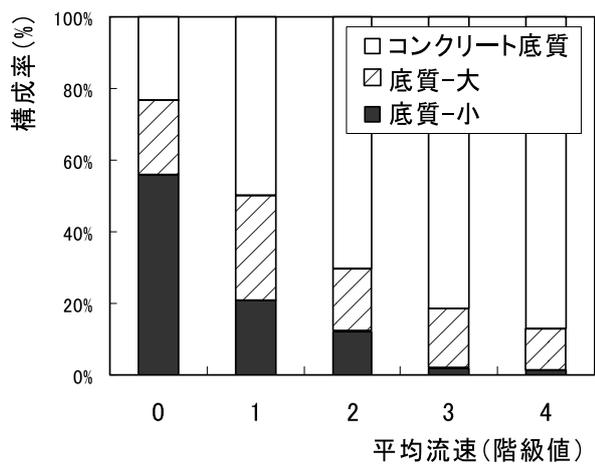


図3.7 流速と底質の関係

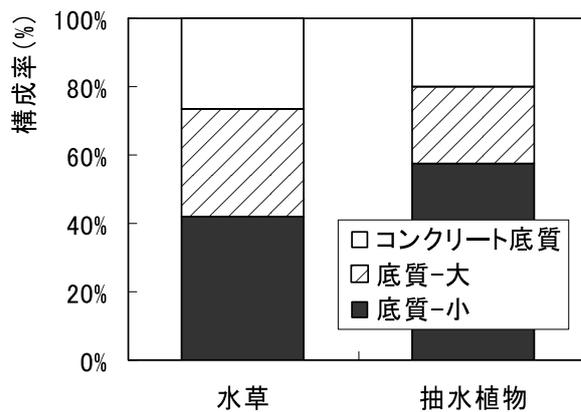


図3.8 底質と植物の関係

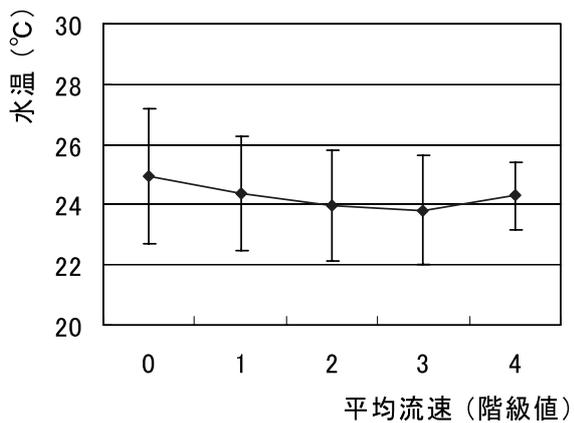


図3.9 流速と水温の関係

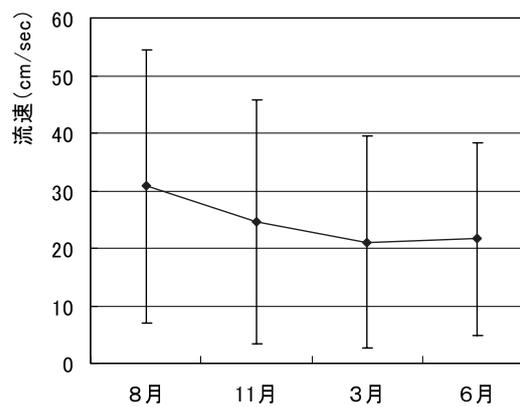


図3.10 季節による流速の変化

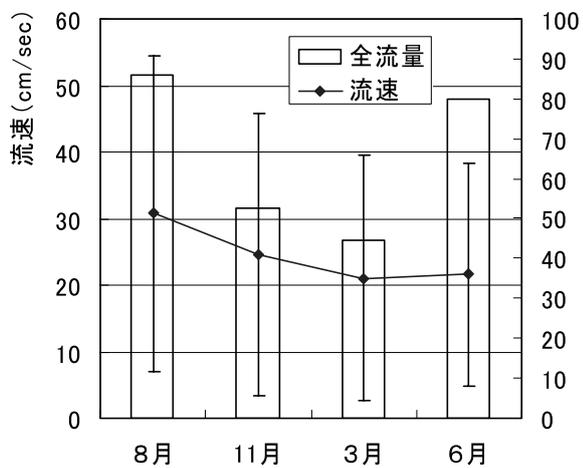


図3.11 流量と流速の変化

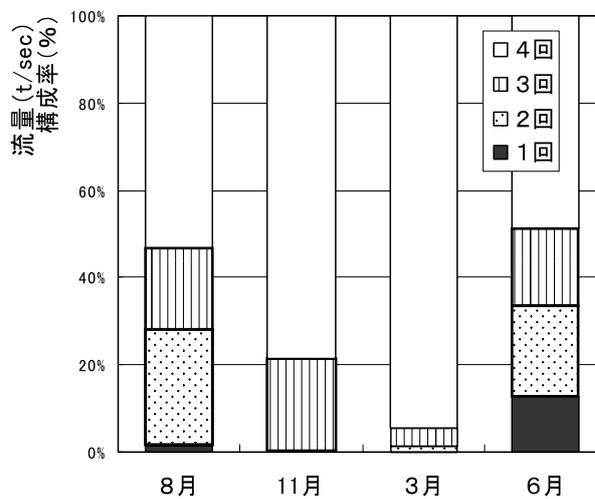


図3.12 湛水回数の変化

3.4 メダカの生息場のネットワーク化に向けた水路環境の修復

ロジスティック回帰モデルで算出された出現確率 P はメダカの生息できる可能性（以下、生息ポテンシャル）を表していると解釈できる。そこで、8月を例に得られたモデル式からメダカの生息ポテンシャルを評価し、メダカの安定した生息環境を作るための水路網のネットワーク化について検討した。

検討手順を以下に示す。

- ① メダカの個体数の多い（100個体以上）水路を抽出
- ② ①の水路間を結ぶ水路の生息ポテンシャルを評価（干出水路および暗きよは対象外とした）
- ③ 実際にメダカが生息していた水路の再現性をもっとも高かった出現／非出現の出現確率 P の分割値（ $P=0.40$ ）を超えるように接続水路環境の修復手法について検討

ここで、 $P \geq 0.40$ 以上ある水路は修復を不要とした。また、修復方法についてはその実現性を考慮し、式3・4の変数の中から、底質に関するもの、植物に関するものとした。

図3.13にメダカの個体数が100個体以上いた水路を番号付けし、区別して示す。その結果、個体数の多いネットワーク化の核となる水路は23区間あり、多くは中流以下に分布していた。

次に、それらの水路間にある水路の変数、生息ポテンシャルと基準の判別を表3.17に示す。これより、修復対象となった水路は33区間あり、このうち比較的生息ポテンシャルの高い水路（ $P \geq 0.35$ ）は5区間、 $0.35 > P \geq 0.30$ は2区間、その他の26区間はそれ以下（0.013～0.293）の生息ポテンシャルであったことがわかる。（図3.14）

一方、周辺の水路が暗きよなどによりネットワーク化が不可能で、孤立していると思われた、または調査地域よりも下流につながっており解析不能であった水路は23区間中4区間（(18)、(20)、(22)、(23)）あった。

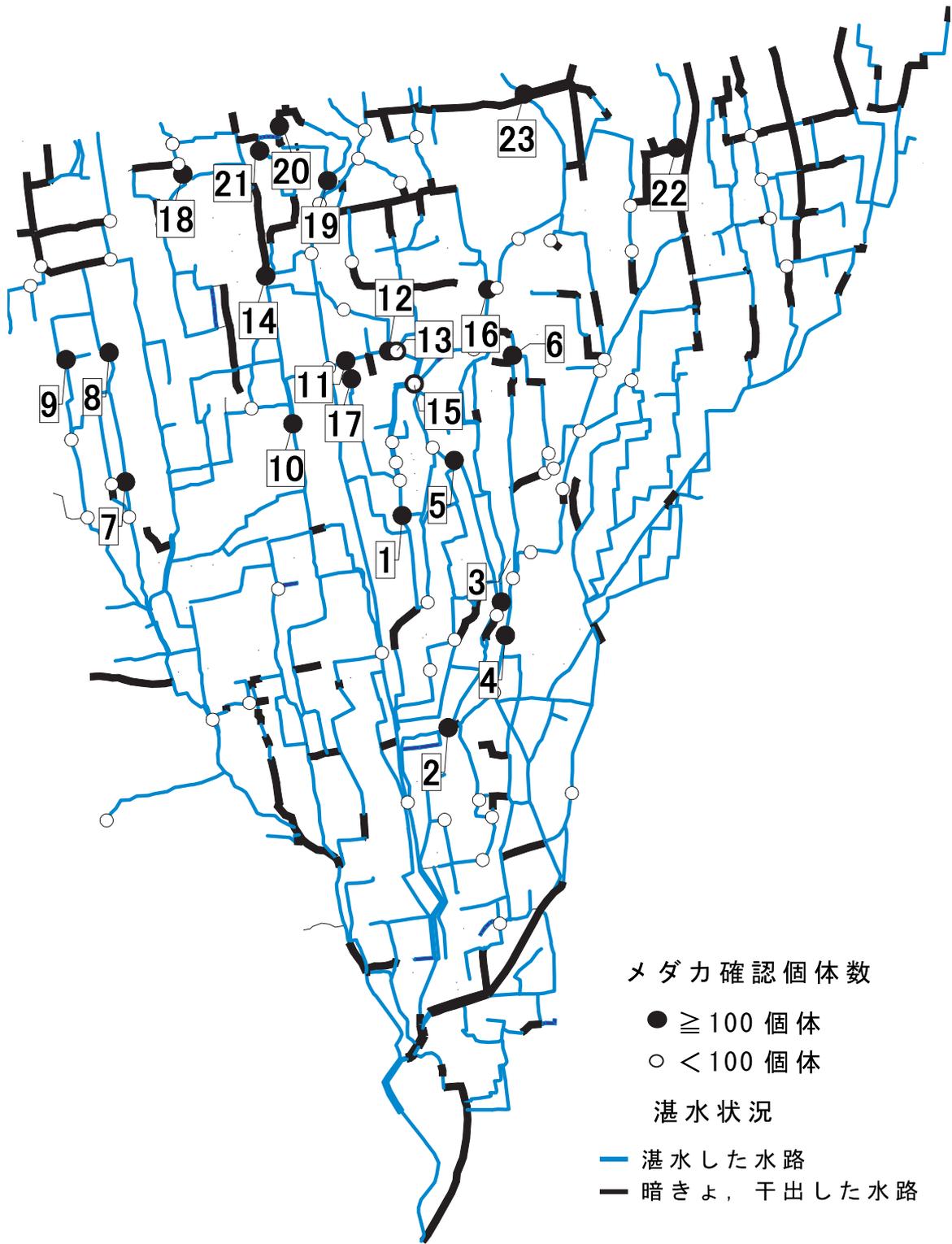


図3.13 水路状況とメダカの確認個体数

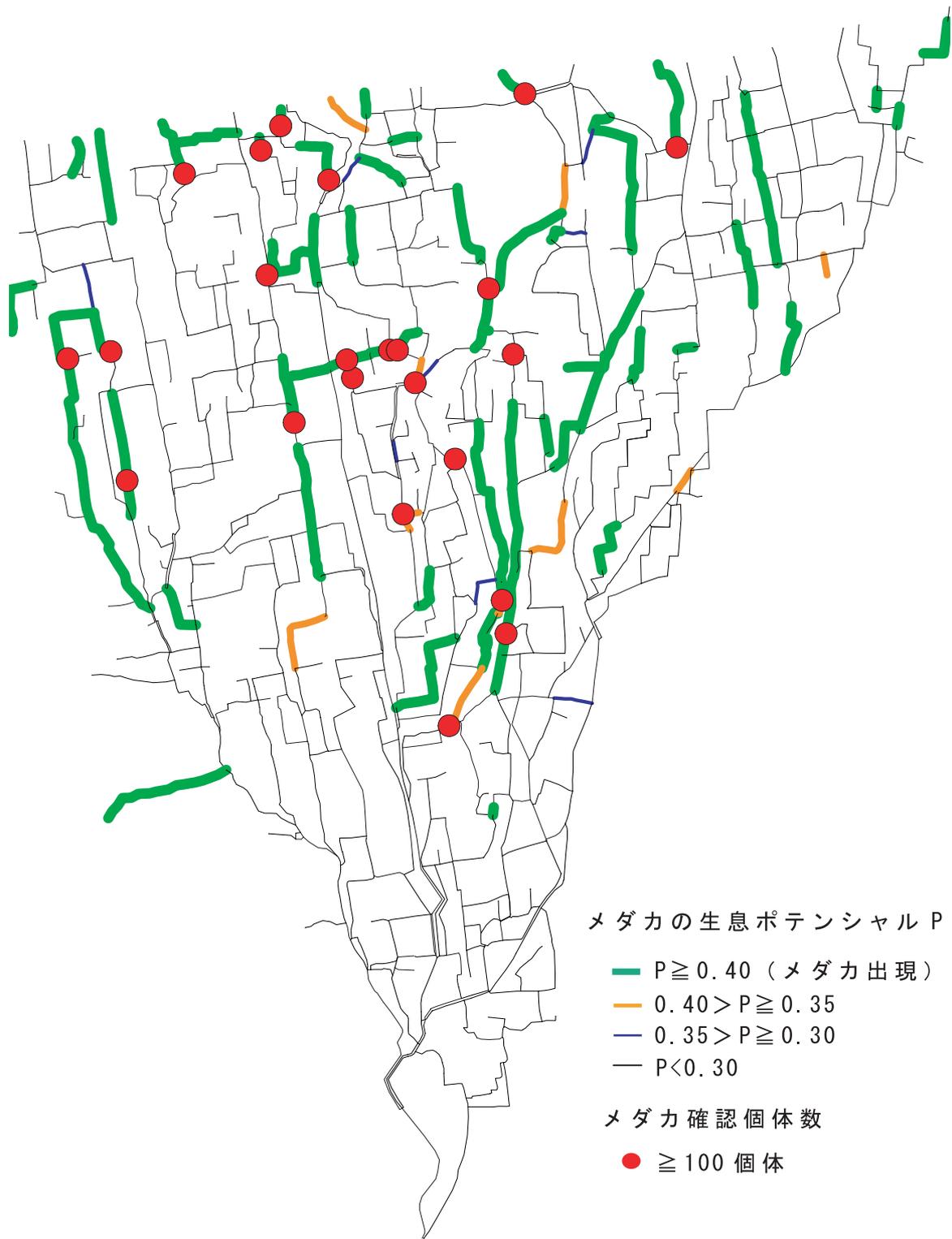


図3.14 各区間の生息ポテンシャルの分布

表3.17 核となる水路間にある区間の変数とその生息ポテンシャル

水路番号	底質-小 Max 2	底質-大 Max 3	水草 Max 4	抽水植物 Max 5	生息ポテンシャル P	判別
(1)-(15)						
514	0	3	0	1	0.216	×
517	0	3	0	2	0.231	×
518	0	3	0	2	0.318	×
519	0	3	0	0	0.127	×
(2)-(3)						
602	2	0	2	0	0.365	×
648	1	1	3	3	0.723	○
646	2	0	0	4	0.508	○
647	1	3	3	0	0.383	×
(2)-(4)						
601		暗きよ				-
603	0	0	0	0	0.042	×
643	1	0	2	0	0.434	○
642	2	0	2	0	0.582	○
(3)-(5)						
630	1	1	1	4	0.760	○
622	0	3	0	0	0.013	×
621	0	0	0	0	0.151	×
(4)-(6)						
647	1	3	3	0	0.383	×
651	2	0	2	0	0.752	○
639	1	0	0	0	0.415	○
640	2	0	0	0	0.256	×
638		暗きよ				-
730	2	0	0	0	0.238	×
(4)-(23)						
647	1	3	3	0	0.383	×
651	2	0	2	0	0.752	○
722		暗きよ				-
724		暗きよ				-
721	2	0	0	2	0.601	○
720	0	3	0	1	0.615	○
820	1	0	0	0	0.439	○
1308		暗きよ				-
1309	0	0	0	0	0.202	×
1310	1	3	0	0	0.763	○
1312		暗きよ				-
1322		暗きよ				-
1321		暗きよ				-
(5)-(1)						
645	1	0	0	0	0.171	×
618	0	3	0	0	0.056	×
529	0	3	0	1	0.293	×
536		干出				-
524	2	0	1	5	0.371	×
(8)-(7)						
911	0	0	0	0	0.198	×
926	0	3	0	0	0.051	×
935	1	3	2	0	0.674	○

表3.17 核となる水路間にある区間の変数とその生息ポテンシャル(つづき)

水路番号	底質-小 Max 2	底質-大 Max 3	水草 Max 4	抽水植物 Max 5	生息ポテンシャル P	判別
(8)-(9)						
936	2	0	3	0	0.685	○
937	1	1	0	0	0.736	○
(10)-(14)						
954	0	3	3	0	0.563	○
903	0	3	2	0	0.758	○
953	0	0	2	0	0.107	×
904	0	0	0	0	0.087	×
(11)-(17)						
1055	2	0	2	1	0.747	○
(11)-(10)						
1039	2	0	3	0	0.614	○
1040	2	0	3	0	0.614	○
1041	2	0	0	0	0.688	○
902	0	1	3	0	0.634	○
(12)-(11)						
1007	2	0	3	0	0.809	○
1004	2	0	3	0	0.809	○
(13)-(12)						
1010	2	0	3	0	0.731	○
(14)-(21)						
1018	2	0	4	0	0.689	○
1017	2	0	0	0	0.477	○
1042		暗きよ				-
1202		暗きよ				-
1204	0	0	0	1	0.127	×
1205	0	2	0	0	0.226	×
(14)-(19)						
1018	2	0	4	0	0.689	○
1016	1	1	2	0	0.626	○
1020	0	1	0	0	0.475	○
1207	0	0	0	0	0.203	×
1209	0	1	0	0	0.254	×
(15)-(16)						
1021	0	3	2	0	0.308	×
1062		暗きよ				-
1046	0	0	0	0	0.140	×
1048	1	1	3	0	0.646	○
1022	1	0	0	0	0.440	○
(15)-(6)						
1021	0	3	2	0	0.308	×
1062		暗きよ				-
1046	0	0	0	0	0.140	×
1048	1	1	3	0	0.646	○
1047	0	3	0	4	0.548	○
636		暗きよ				-
733	2	0	0	0	0.167	×
732		暗きよ				-

表3.17 核となる水路間にある区間の変数とその生息ポテンシャル(つづき)

水路番号	底質-小 Max 2	底質-大 Max 3	水草 Max 4	抽水植物 Max 5	生息ポテンシャル P	判別
(15)-(13)						
1045	0	3	3	0	0.375	×
1009	0	0	0	0	0.000	×
1008	2	0	1	0	0.560	○
(16)-(22)						
1023	1	1	4	0	0.814	○
1301	1	1	2	0	0.777	○
1334	0	3	0	0	0.510	○
1307	0	1	0	0	0.367	×
1332		暗きよ				-
1317	0	0	0	0	0.324	×
1313	1	1	1	0	0.694	○
1312		暗きよ				-
1322		暗きよ				-
1321		暗きよ				-
(16)-(23)						
1023	1	1	4	0	0.814	○
1301	1	1	2	0	0.777	○
1334	0	3	0	0	0.510	○
1307	0	1	0	0	0.367	×
1340		暗きよ				-
(19)-(20)						
1210	2	0	1	3	0.905	○
1221		干出				-
1222		干出				-
1223		暗きよ				-
(21)-(20)						
1253	2	0	0	4	0.928	○
1254		暗きよ				-
1223		暗きよ				-
(21)-(18)						
1253	2	0	0	4	0.928	○
1206		暗きよ				-
1130	0	1	3	0	0.115	×
1126	1	3	0	0	0.632	○
1133	2	0	0	0	0.806	○
1132	2	0	0	0	0.729	○

各水路で環境修復を行った場合の効果を生息ポテンシャルで評価、P=0.40を満たした方法を採用することとした。各変数を1あるいは2階級増加させた場合の生息ポテンシャルの変化と複数の変数の階級を増加させた場合の生息ポテンシャルの変化を検討し、生息ポテンシャルが基準を満たした項目を表3.18にまとめた。

表3.18 生息ポテンシャルの基準を満たす修復方法

水路番号	1階級	2階級	複合
(1)-(15)			
514		底質-小2, 抽水植物2	
517		底質-小2, 抽水植物2	
518	底質-小1, 抽水植物1	底質-小2, 水草2, 抽水植物2	
519			底質-小1+水草4
(2)-(3)			
602	底質-大1, 水草1, 抽水植物1	底質-大2, 水草2, 抽水植物2	
647	底質-小1, 水草1, 抽水植物1	抽水植物2	
(2)-(4)			
603			底質-小2+底質-大1+水草4
(3)-(5)			
622			底質-小2+水草3+抽水植物1
621			底質-小2+水草1
(4)-(6)			
647	底質-小1, 水草1, 抽水植物1	抽水植物2	
640		抽水植物2	
730		抽水植物2	
(4)-(23)			
647	底質-小1, 水草1, 抽水植物1	抽水植物2	
1309		底質-小2, 抽水植物2	
(5)-(1)			
645		底質-小2	
618			底質-小2+水草4
529	底質-小1, 抽水植物1	底質-小2, 水草2, 抽水植物2	
524	底質-大1, 水草1	底質-大2, 水草2	
(8)-(7)			
911		底質-小2, 抽水植物2	
926			底質-小2+水草3+抽水植物1
(10)-(14)			
953			底質-小2+水草2
904			底質-小2+水草3
(14)-(21)			
1204			底質-小1+水草3
1205		底質-小2	
(14)-(19)			
1207		底質-小2, 抽水植物2	
1209		底質-小2, 抽水植物2	
(15)-(16)			
1021		底質-小2, 水草2, 抽水植物2	
1046			底質-小1+水草3
(15)-(6)			
1021		底質-小2, 水草2, 抽水植物2	
1046			底質-小1+水草3
733			水草4
(15)-(13)			
1045	底質-小1, 水草1, 抽水植物1		
1009			底質-小2+水草2+抽水植物1
(16)-(22)			
1307	底質-小1, 底質-大1, 水草1, 抽水植物1	底質-小2, 底質-大2, 水草2, 抽水植物2	
1317	底質-小1, 抽水植物1	底質-小2, 底質-大2, 水草2, 抽水植物2	
(16)-(23)			
1307	底質-小1, 底質-大1, 水草1, 抽水植物1	底質-小2, 底質-大2, 水草2, 抽水植物2	
(21)-(18)			
1130			底質-小2+抽水植物1

1 階級増加させる程度の環境修復で生息ポテンシャル ($P \geq 0.40$) の基準を満たしたものは、述べ23 区間あり、重複しているものを除くと9 区間であった。また2 階級増加させると20 区間が生息ポテンシャルの基準を満たした(この内の9 区間は先の9 区間を含んでいる)。また、その他の13 区間については複数の修復方法が必要であった。これらの各変数に対する生息ポテンシャルの変化を元に最低限の変数の増加を各区間の修復方法として、**図3.15**にプロットする。

この手法を講じると以西用水路網では2つのネットワーク網内に17の核となる区間ができた。なお、下流とつながらない完全に孤立しながらも生息個体数の多い区間は2つ((6)、(21))あった。

以上の結果より、メダカ個体群を保護するためにメダカの生息場をネットワーク化するために必要な手法と修復内容について具体的に示すことができた(**表3.19**)。なおここで、修復方法として選択した底質と植物については具体的には、底質は適した材料を散布することが考えられるが、流速が大きい場合には安定しないかもしれない。また水草もプランタを設置するなどの方法も考えられるが、他の要因によって成育を妨げられるかもしれない。このように今後は個々の修復技術についての検討が課題である。

表3.19 ネットワーク化に必要な水路の修復方法

水路番号	修復方法	水路番号	修復方法
(1)-(15)		(10)-(14)	
514	底質-小2	953	底質-小2+水草2
517	底質-小2	904	底質-小2+水草3
518	底質-小1	(14)-(21)	
519	底質-小1+水草4	1204	底質-小1+水草3
(2)-(3)		1205	底質-小2
602	底質-大1	(14)-(19)	
647	底質-小1	1207	底質-小2
(2)-(4)		1209	底質-小2
603	底質-小2+底質-大1+水草4	(15)-(16)	
(3)-(5)		1021	底質-小1
622	底質-小2+水草3+抽水植物1	1046	底質-小1+水草3
621	底質-小2+水草1	(15)-(6)	
(4)-(6)		1021	底質-小1
647	底質-小1	1046	底質-小1+水草3
640	抽水植物2	733	水草4
730	抽水植物2	(15)-(13)	
(4)-(23)		1045	底質-小1
647	底質-小1	1009	底質-小2+水草2+抽水植物1
1309	底質-小2	(16)-(22)	
(5)-(1)		1307	底質-小1
645	底質-小2	1317	底質-小1
618	底質-小2+水草4	(16)-(23)	
529	底質-小1	1307	底質-小1
524	底質-大1	(21)-(18)	
(8)-(7)		1130	底質-小2+抽水植物1
911	底質-小2		
926	底質-小2+水草3+抽水植物1		

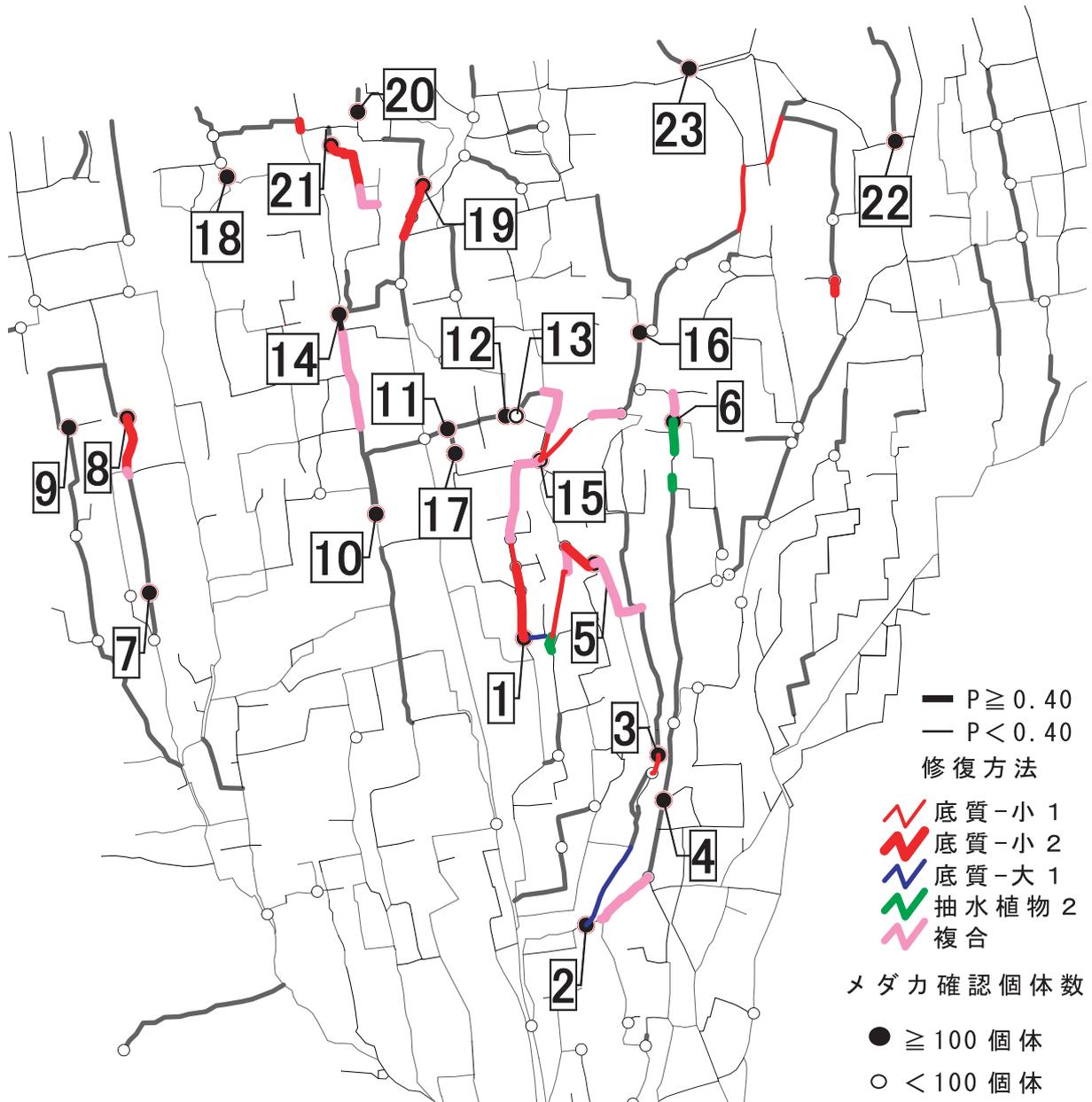


図3.15 メダカの生息場ネットワーク化のための水路修復

4. 結論

本研究では、かんがい期と非かんがい期に総延長71.3kmに及ぶ都市近郊用水路網の調査を年4回行った。その結果を基に絶滅危惧Ⅱ類に指定されたメダカの生息ポテンシャル評価を行い、個体群を維持するためのネットワーク化手法を提案した。

以上から得られた主要な結果を下記に記し、結論とする。

- 1) 本用水路網内では、かんがい期には15種、非かんがい期には11～13種の魚種の生息が確認された。メダカは、全780区間中かんがい期には92の区間で確認されたが、非かんがい期になると38区間に減少した。この傾向は他の魚種の方が顕著であった。
- 2) メダカの生息に影響を与えている要因は、季節による水路環境の変化にともない変化していた

が、共通した要因は水路床に泥や細砂が堆積し植物で覆われている環境であった。

- 3) ロジスティック解析によってメダカの生息ポテンシャルを定量評価することができた。
- 4) 環境の季節的変動の大きい用水路内でメダカの個体群を保護するためには水路の連続性を保ち、生息場をネットワーク化することが有効と考えた。ネットワーク化にはメダカの生息ポテンシャル値を用い、それに必要な水路環境の修復項目とその程度を具体的に提案することができた。ここでは社会的負担の比較的小さな方法としてコンクリートの河床を泥や細砂などの材料にすること、水草や抽水植物で水路床を覆うなどが挙げられた。

以上、メダカ個体群を用水路網内で効率的に保護する手法を提案することができた。ここで提案した方法は実際には単一の対策で目的が達成されるというものではなく、修復にあたっての目標値を示したという点に本研究の成果の意義がある。なお一般には水田と用水路の連続性を保つことが重要と言われているが、本研究で扱ったような圃場整備の進んだ都市近郊の農地ではそのための社会的負担は大きく、社会的受容性は低いと考え、考慮しなかった。

参考文献

- 1) 生活環境の保全に関する環境基準（河川，環境庁告示第59号，公害対策基本法第9条の規定に基づく水質汚濁に関わる環境基準別表2.1（1））。
- 2) 杉山昭典（1978）：水質汚濁一現象と防止対策一．技報堂，p.605
- 3) 中坊徹次編（1993）：日本産魚類検索全種の同定．東海大学出版会 p.415
- 4) 佐藤陽一，岡部健士，竹林洋史（2002）：徳島県勝浦川に生息する魚類の出現／非出現の予測モデル．魚類学雑誌49（1），pp.41—52
- 5) 浜島信之（1993）：多変量解析による臨床研究．名古屋大学出版会，214pp.
- 6) 朝野熙彦（2000）：入門多変量解析の実際．講談社サイエンティフィク，pp.62—64
- 7) 高橋善弥太（1997）：医者のためのロジスチック・Cox回帰入門．日本医学館，98pp.
- 8) Marija J. Norusis（1995）：SPSS Exact Tests Release 6.xJ．SPSS Inc，2—14
- 9) 浜田知久馬（1997）：学会・論文発表のための統計学．真興交易医書出版部，186pp.
- 10) 石村貞夫（1998）：SPSSによる多変量データ解析の手順．東京図書，242pp.

