GISを活用した水路システムの利水機能と多面的機能の連係的評価による基本計画策定法

農村工学研究所　土地資源研究室
島　武男

はじめに

① 農業用水路は土地改良事業によって合口が行われ、大規模化、広域化してきた。また、パイプラインの導入や水利施設の高度化によって農業用水の合理化が図られたが、施設の規模が大きくなり複雑であるため、水路の流況を的確に把握して、機能設計を確実に行うため、水路システムとした総合的な評価が不可欠になっている。

② 食料・農業・農村基本法、土地改良法は環境に配慮した施設設計を明記し、農業用排水路は利水機能だけでなく環境に配慮した設計が求められるようになった。しかし、環境に対する研究は進展が見られるが、利水機能と環境機能を連携して評価し、施設を計画し設計する技術の研究は少ない。

③ 本研究は、農業土木技術者の視点から、農業用排水路を水路システムとして利水機能と環境機能を評価して施設を計画し、設計する「基本計画策定支援システム」を提案する。

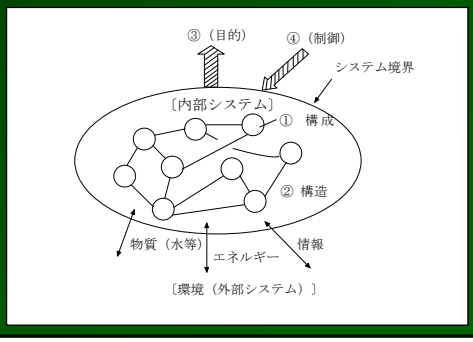
1. システムについて

「システム」

多数の構成要素が有機的秩序を持ち、同一の目的に沿って、高度の機能を発揮するように構成されるもの（JIS）

①システム単位の設定（全体の枠組みの把握）とシステムの果たすべき機能を明らかにする。

②システム構成要素の単位とシステムの中で果たすべき機能、連結性を明らかにする



農業用水路をシステム設計する際の留意点

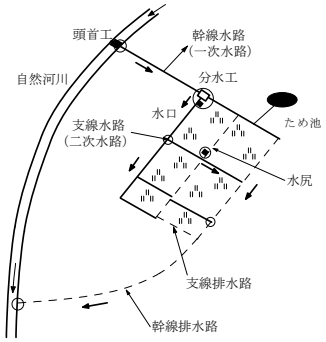
以下に示す二点を常に意識しながらシステムの設計を行うことが重要

①システムの領域（扱うべき対象：農業用水路）を明確にし，システムの目的（果たすべき機能：利水機能＋多面的機能）を達成するために，システム全体（農業用水路）を鳥瞰しシステム全体としての特性を理解しながら，構成要素（水利施設）が適切に配置されているか確認を行うこと

②システム構成要素（水利施設）の機能や構造を詳細に把握し，システムの中で果たす役割と空間的な位置づけを明確にするとともに，構成要素の機能向上によりシステム全体としての機能向上を目指すこと

2．水路システムの定義

＜水路システムの定義＞



自然河川から取水し、頭首工ー幹線水路ー支線水路ー水田ー支線排水路ー幹線排水路ー自然河川へと排水する水利施設を含んだー連の系

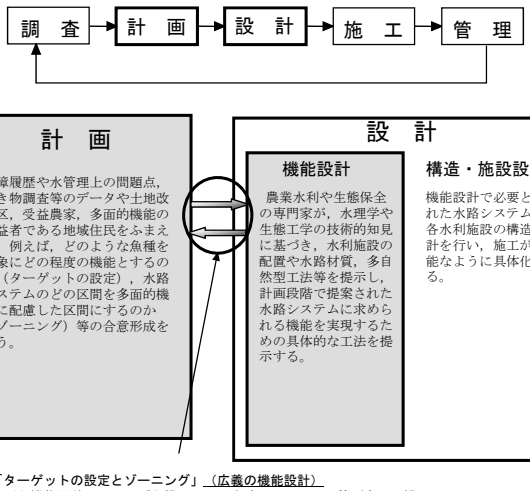
■水利システム、（潅漑システム＋排水システム）という言葉

黒田正治「農業水利システム」

■農業水利施設システム

（三野徹「水利環境工学」）

1　「機能設計」の考え方と重要性
1．1　土木技術サイクルと機能設計の位置づけ



「ターゲットの設定とゾーニング」（広義の機能設計）
計画と機能設計のステップを繰り返し，水路システムの目的（求める機能）をより具体化する。多面的機能にも配慮する場合，このターゲットの設定とゾーニング（広義の機能設計）が重要となる。

計画と機能設計の連携の強化

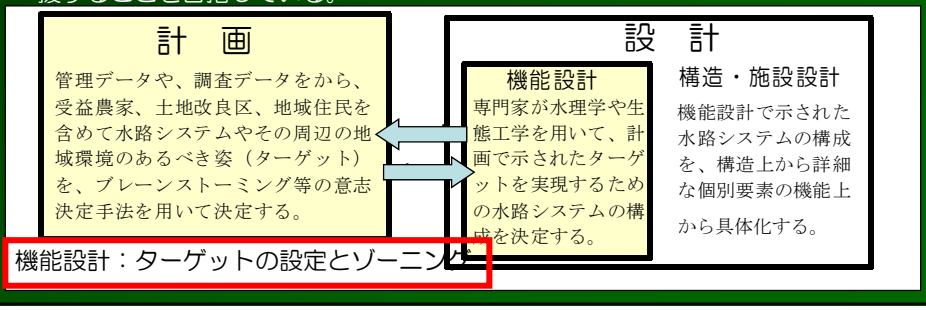
●利水機能だけを対象とする場合、システムのターゲットは明確である。

●多面的機能に配慮した機能設計を行う場合、各機能のバランスを図るため、システムのターゲットの設定と配慮する区間（ゾーニング）を決定する作業がより重要になる。

●多面的機能の受益は地域住民にも広がるため、将来的には地域住民を含めて機能設計を行う必要があり、意見の調整が必要となる。

●この場合、専門家による機能設計をうけ再度計画を再検討し、機能設計と計画の連携を強化しシステムのターゲットの設定とゾーニングを行う必要がある。

●本研究で提案する連携的評価手法は、評価結果を分かりやすく表示させ、水路システムのターゲットの設定とゾーニングを決定する際の意志決定を支援することを目指している。



2．多面的機能の整理

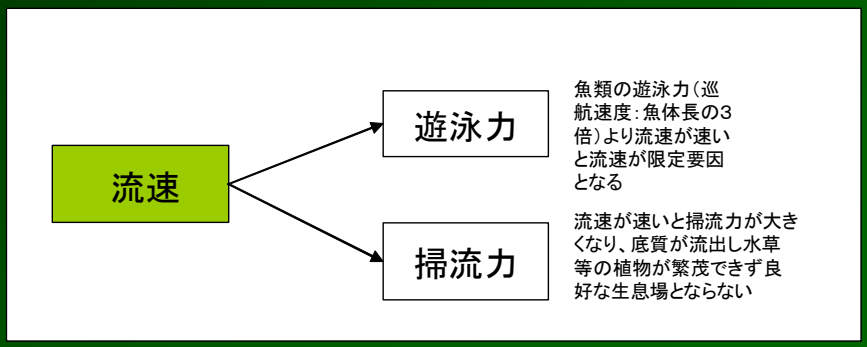
機能	利水機能	水質保全機能	生態保全機能	親水機能
機能の分類	本来機能	多面的機能	多面的機能	多面的機能
評価尺度	数値尺度	数値尺度	順位尺度	順位尺度
施工後からの機能の推移	施工直後から機能は発揮される。	施工直後から機能は発揮される。	施工後、時間が経過し二次的自然が形成されてから機能が発揮される。	施工直後より時間が経過した方が機能が発揮される。
機能の特徴	本来機能であり、最も重要視される機能である。	機能を維持させるためには、維持管理が必要であり、農業以外の負荷も大きい。	ターゲットとする指標、魚種数とレベルを明確に決定することができない。	ターゲットの設定が難しく、地域の歴史的背景や文化の影響を強くうける。

3．多面的機能を総合的に評価する意義

水路システムの多面的機能は、これまで個別に研究が進められてきたが、各機能は関連が深く、土木技術として機能を評価する場合は連携的・総合的に評価する必要がある。

●各機能の関連性と総合化＜利水機能ー魚類生態保全機能＞

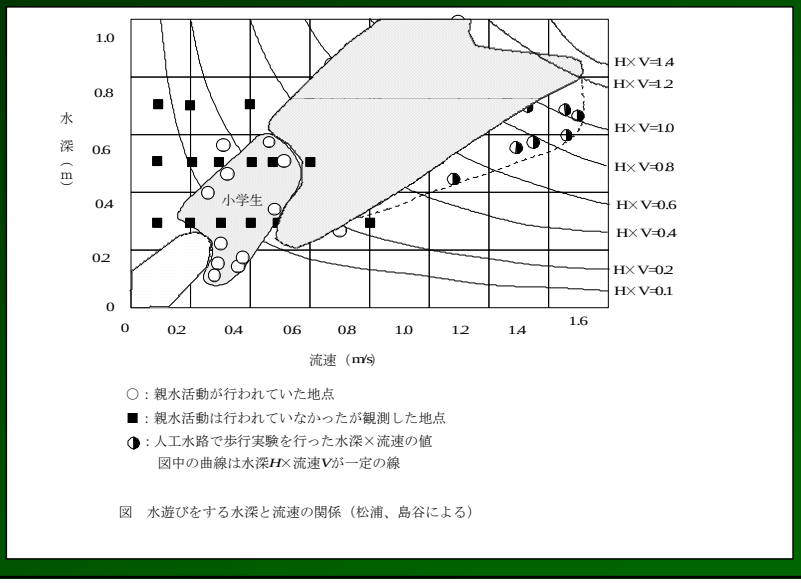
流速は水路の構造で決る。利水機能の中で、流速は通水能力に関わるが、生態保全機能の魚類生態保全機能にも重要な因子となっている。



多面的機能の総合化の意義

各機能との総合化＜利水機能ー親水機能＞

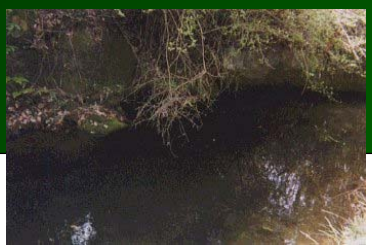
●親水活動の場は適切な水深Hと流速Vになるように設計することが重要である。



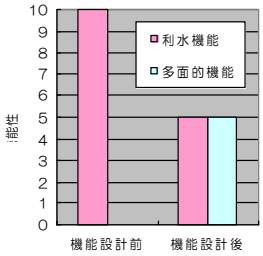
○：親水活動が行われていた地点
■：親水活動は行われていなかったが観測した地点
◑：人工水路で歩行実験を行った水深×流速の値
図中の曲線は水深*H*×流速*V*が一定の線

図　水遊びをする水深と流速の関係（松浦、島谷による）

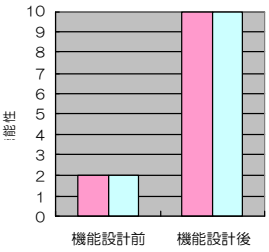
各機能間の関係



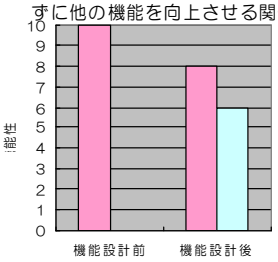
●トレードオフの関係



●両機能とも向上する関係



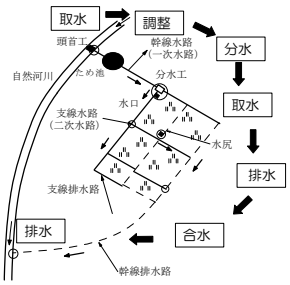
●利水機能できるだけ低下させずに他の機能を向上させる関係



水路システム構成要素の総合的評価

●ため池も利水機能で、利水機能では利水調整機能を果たすが、
魚類生態保全機能でも良好な生息空間とみなすことができる。

Ⅰ　1．水路システムの構成



機能	操作の対象	施設名（水路システム構成要素）	特性
取水	河川水	頭首工・取水工	河川から水路システム内へ用水を取水する
	圃場用水	水口・給水栓	水路と水田の連結点
排水	河川水	排水工	水路から自然河川とシステム外へ排水
	圃場用水	水尻	水田から排水路への連結
調整	水位	チェック工	ゲート、堰から構成され水路の水位を制御する
	圧力	ポンプ	送水や取水へ不足となる圧力を供給する
		減圧弁	高圧パイプラインを減圧させる
	流速	減勢工	急な配水路での過剰な流速エネルギーを調整する
		落差工	急な配水路での過剰な流速エネルギーを調整する
	流量	調整池	需要変動の調整と開水路とパイプラインの水理学的調整
		放水工	余水をシステム外へ放水
分水	幹線から支線への分岐	分水工	幹線水路から支線水路への分水
合水	支線から幹線への合流	合水工	支線排水路から幹線排水路へ
送水		開水路	自由水面をもった流れ
		水路トンネル	自由水面をもった流れ
		サイホン	開水路と開水路を連絡する管水路
		パイプライン	自由水面を持たない流れ
計測		計測施設	流量、水位、圧力を計測する
施設安全管理		沈砂池	システム内へ流入する土砂を沈降させる
		空気弁	パイプライン内へ混入した空気を排気させる
		制水弁	故障時等にパイプライン中の水を遮水させる

Ⅰ.2　水管理方式

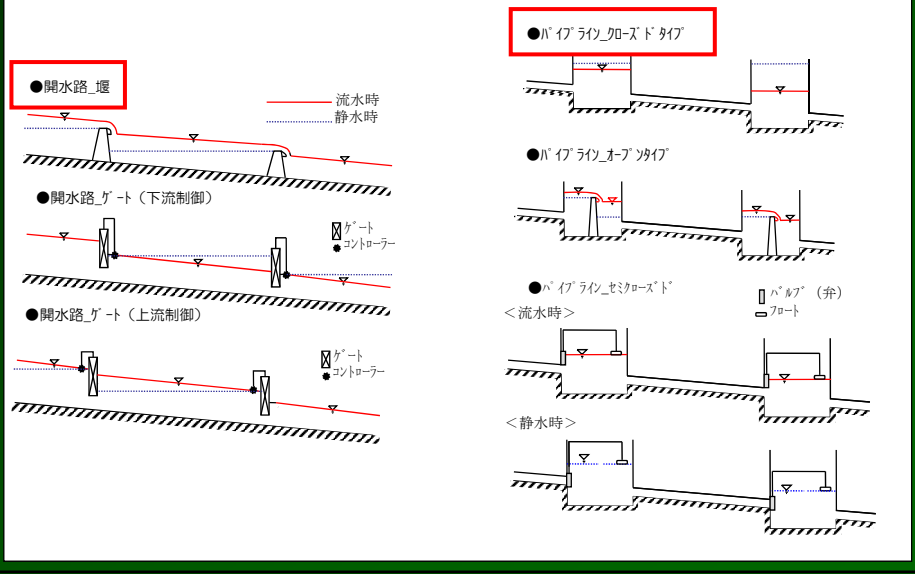
かんがい用水路の水管理方式は

①供給主導型
　土地改良区等、水利施設の管理者が計画的に送水する水管理方式

②需要主導型
　農家が必要水量を自由に取水できる水管理方式

にわけることができる。

Ⅰ.3　流量・水位制御方式と分水方式
3.1　水路形式と水路の水位制御方式



3　流量・水位制御方式と分水方式
3.2　分水方式

分水工（口）地点における水理学上の分水制御方式は、下記の５つの形態に分類できる。

①定比分水

一次および二次水路から流量を一定比率で分水し、連続的に送水する方法。具体的分水工構造として、背割分水工、射流分水工および円筒分水工などがある。

②間断分水

分水工（口）ゲートをON-OFFすることにより、計画最大流（配水）量を間断的に分水する方法。

③可変定流量分水

分水工（口）において、分水量を制御・計測することにより、ある制御範囲内で定流量を連続する方法。自動弁形とオープンスタンド形があり、流量制御弁やフロートバルブなどにより、各定流量設定値は、段階的に操作でき、可変である。

④上限付可変流量分水

任意に分水量を操作可能にする分水方法。なお、分水量の上限は供給者が定量化することができる。

⑤可変流量分水

流量0から水理的、施設容量的に可能な分水量までの範囲を捜査可能な分水方法。具体的分水構造は、スライドゲート、バタフライバルブなどである。

4．利水機能図の作成と定性的評価

①水管理方式　②幹線水路の水路形式＋水位・流量制御方式　③分水工の分水方式＋施設の種類　④システムの階層性（次数）⑤調整池、頭首工、放余水工等の水利施設の配置　等を定性的に把握できる利水機能図を作成

●水管理方式に応じて、施設の適切な配置、水位・流量制御方式、分水方式の選択が行われているか、システム設計の際、着目すべき事項を確認できる。

(a) 頭首工：　Ⓘ：河川取水型，　Ⓡ：貯水池，　Ⓟ：揚水機場

(b) 水　路：　：一次，　：二次，　：三次，　：四次以下（開水路）

：　：一次，　：二次，　：三次，　：四次以下（管水路）

(c) 調整(圧)施設：　(UP)：手動，(機側電動含む)　(DU)：無動力自動，or自然調節　(UP)：電動(遠隔または自動制御)(上流制御(UP)，下流制御(DU)を明記)

(d) 分水工：　：定比，　：可変分水，　：（分水口含む）

：　(D)ON-OFF間断，分水工　(D)可変流量，分水工　(D)可変定流量，分水工　(D)上限付可変流量，分水工

（操作の主体をS(供給)，D(需要)で(　)内に表記）

(f) 水路貯留区間　：　記号で表示

(g) 調整池：　◇（需給の時間差調整(F.P.)，操作管理用(B.P.)，維持管理用(M.P.)などを明記）

(h) 放余水工：　（水路および水理構造物より取り出し明記）

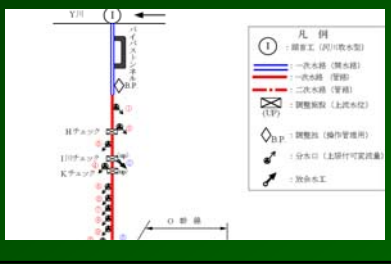
(i) 水利的不連続点：　（水路以外の水理構造物については併記する。EX.　）

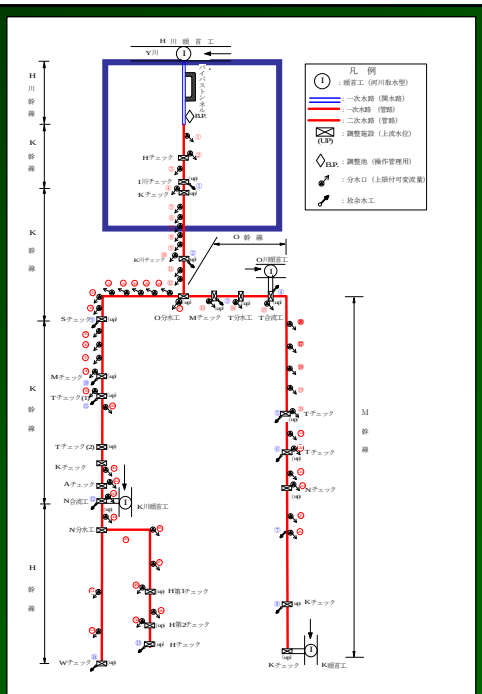
(j) 計測施設：　Ⓗ：水位計，　Ⓠ：流量計

4．利水機能図による定性的評価

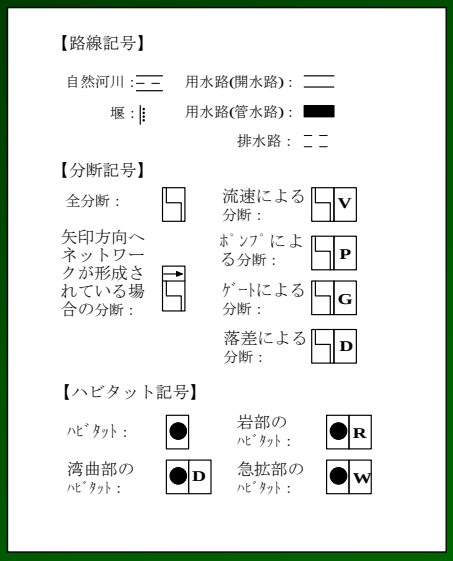
●水路システムは、事業計画図、水路模式図、配水系統図、水路縦断図に表されるが、流量、水位の制御方式等の表記は現場の技術者が独自に定めるもので、担当者が変わると分かりにくい。

●水路システムの制御方式を分かりやすく表記する図が必要である。機能図を使用することにより、システム上の問題点が明らかになる。



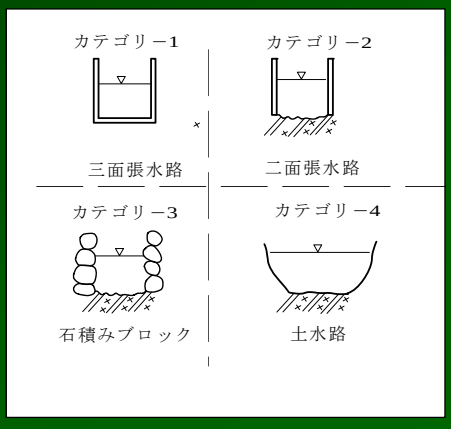


１．魚類生態保全機能の評価法
１．１生態環境評価の凡例

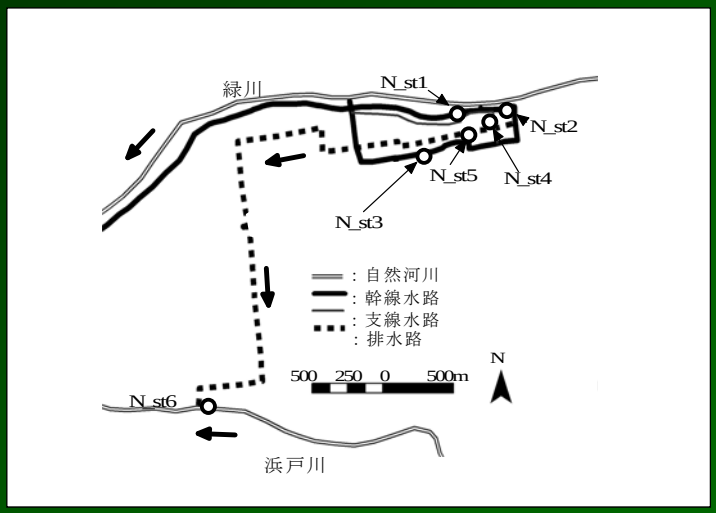


1.2　水路システム構成要素としての評価項目

- 水理量（①水深、②流速）
- 水路形状（③水路幅、④施工法）
- 水質（⑤水温、⑥水質）



２魚類の捕獲調査法と調査地区
2.1丹生宮地区における水路の概要図
熊本県城南町



調査地点の写真

N_st1

N_st4

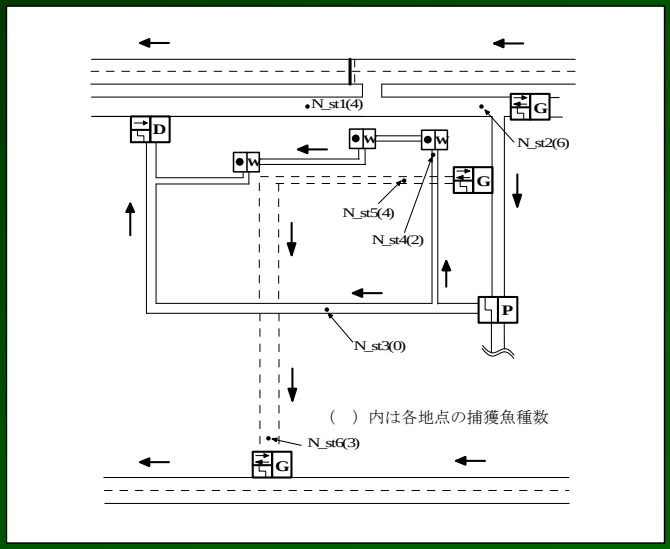
N_st2

N_st5

N_st3

N_st6

３　魚類生態保全機能の調査結果と機能評価
3.1　水路システム単位の評価

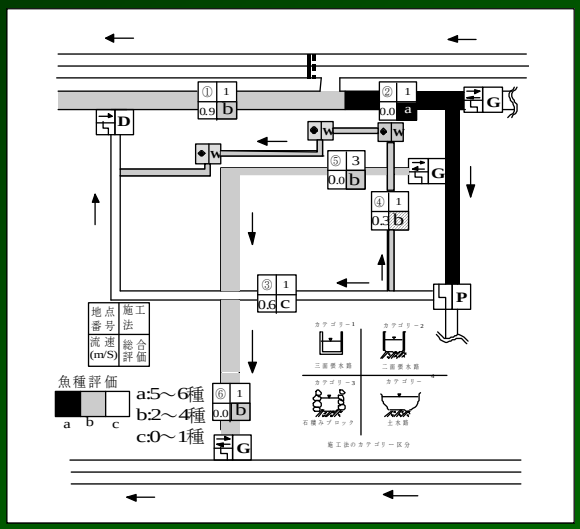


３．２　構成要素単位の評価

測点	形状			流速	水質_EC	水温
	幅（cm）	水深（cm）	施工法	(m/s)	(μS/cm)	℃
N_st1	180.0	138.0	1	0.907	126.0	28.0
N_st2	91.0	112.0	1	0.000	141.3	27.9
N_st3	147.0	39.5	1	0.627	141.8	28.5
N_st4	40.0	27.5	1	0.302	149.0	28.0
N_st5	340.0	44.0	3	0.000	172.6	31.7
N_st6	1576.0	176.0	1	0.000	166.0	28.7

3.3　農業水路の生態環境評価図

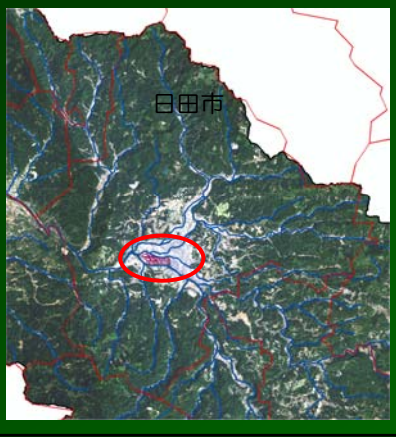
●水路システムとしての評価と構成要素としての評価、魚類捕獲調査結果をあわせて表記したもの



1.調査対象地区の特徴

●日田市のＳ地区を対象地区とした。S地区は輪中地帯であり、市内を流れる一級河川の中州の沖積地に立地し、日本の市街中心に近く、住宅地と農地が錯綜する混住化地域であり、洗い場や防火用水等の地域用水として利用されている。

●地区全般の水路の通水量は、主にA地点の取水量で決定される。本地区の取水量は水利権ベースで、潅漑期で0.78～1.01m^3/s、非潅漑期で0.47m^3/sであり、年間を通じて取水されている。

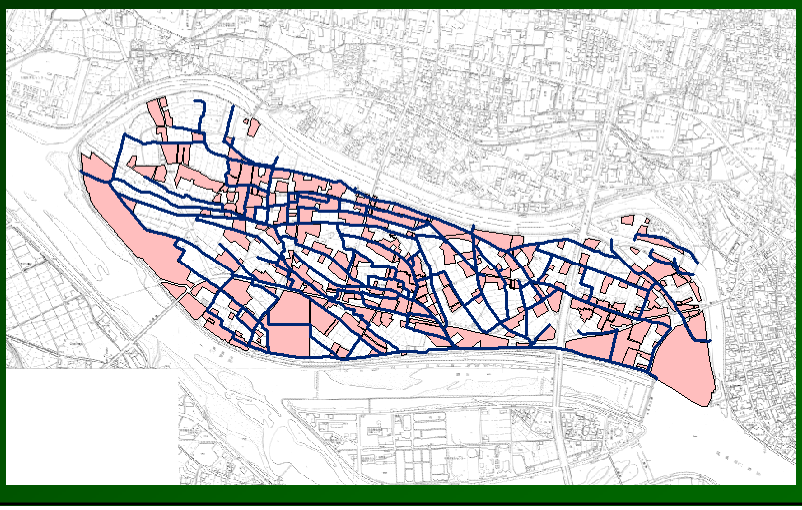


2.親水機能の調査・解析方法

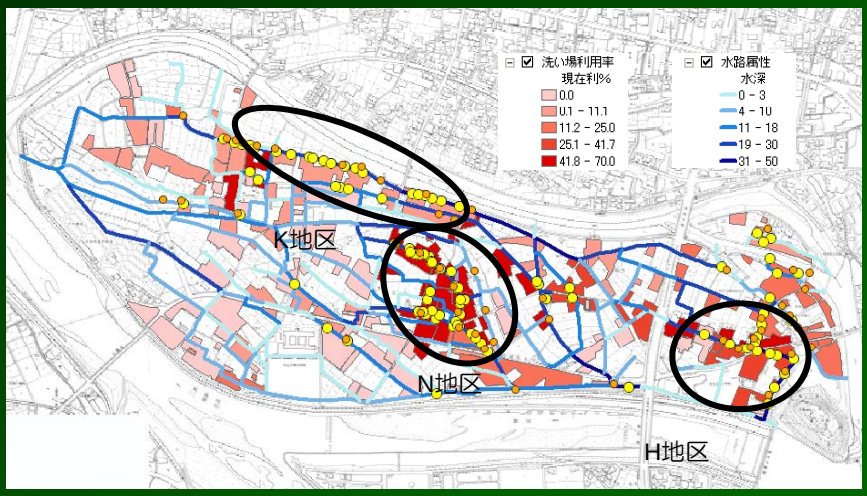
●地区内の班ごとに地域用水の利用状況、意識に対するアンケート調査

●水路の水深、流速、水質、地域用水施設の位置については現地調査

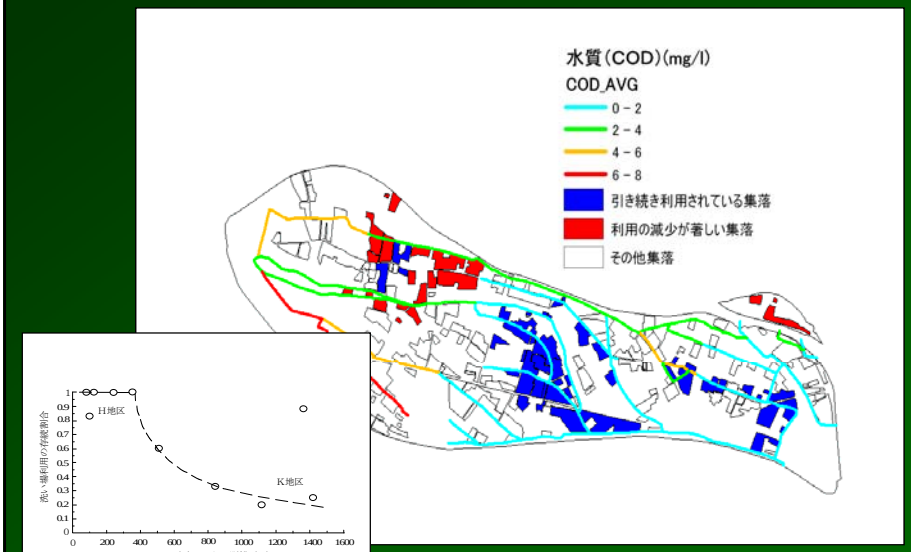
●これらをGISデータベースにより整理し、親水機能を分析する

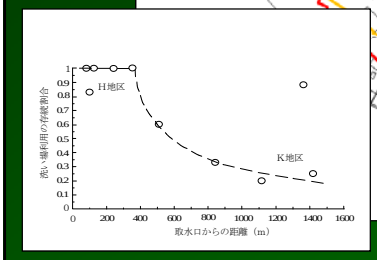


3.地域用水の地理的分布
3.2　洗い場の利用率と水深の関係

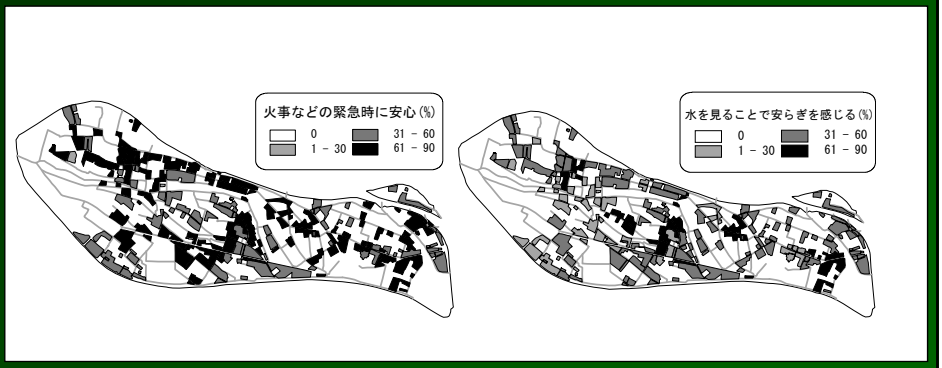


3.地域用水の地理的分布
3.3　洗い場の利用率と水質





3.地域用水の地理的分布
3.4　住民の水路システムに対する意識の分布

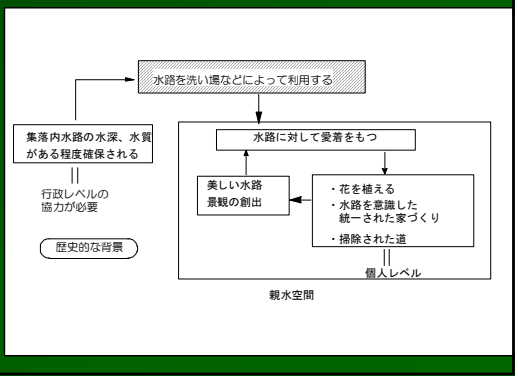


●４親水機能が発揮されるフロー図（親水機能のまとめ）

日田市S地区内のH地区の水路と洗い場周辺

●洗い場に利用されるには必要な水理量、満たすべき水質がある。また地域用水としての機能を発揮するために、これまで培われてきた歴史的な背景が重要である。

●人々に洗い場等に利用されている用水施設は、周りが清掃され、花が植えられる等によって用水施設の周辺は線状の親水空間を形成している。



研究方法

- 水路システムの利水機能　と多面的機能の中で①水質保全機能　②魚類生態保全機能　③親水機能を対象に、GISを利用した連携的評価手法を提案する。

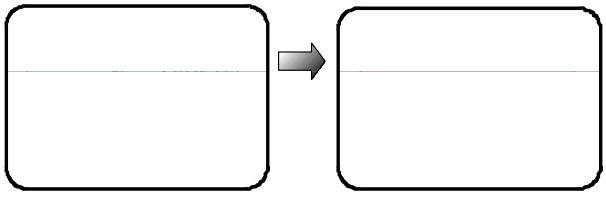
- 熊本県緑川下流地区の水路システムを対象に、路線と受益水田は利水現況図で判別し、水利施設と流量等は仮想して、他地区の調査結果や既存の文献資料を用いて評価した。

●1.2各機能の関連

	利水機能（流速，水深等）	水質保全機能（COD等）	魚類生態保全機能	親水機能
利水機能		●農業用水としての利用は，COD 6mg/L以下，DO 5ppm以上が望ましい（農水省公害研究会，1970）		●学習活動等を通じた親水機能の向上により，土砂さらい，清掃等の利水機能維持のための地域活動が活発になる（石田ら，2001）
水質保全機能	●流速は水路内の滞留時間を決定し，浄化能との関連が深い（白谷ら，2005） ●流量は希釈用水量 ●材質、水路幅は自浄係数と関係が深い（谷山ら，1989）			●学習活動等を通じた親水機能向上により地域住民による水質保全活動が活発になる（石田ら，2001）
魚類生態保全機能	●小型の魚が多いため遊泳力を考慮して、流速0.3m/s～0.4m/s以下が望ましい（鈴木，1998） ●水利施設は、ネットワークの分断要因となる（島ら，2004） ●ため池や水路の湾曲部はハビタットにもなる（杉原ら，2001）	●BOD 5mg/l以下，DO 6mg/L以上が望ましい（日本水産資源保護協会,1995）		●生き物調査等を通じた親水機能向上により生物の保全活動も活発になる(関，2006）
親水機能	●子供の遊び場として、流速0.4m/s、水深0.4m程度が望ましい（松浦ら，1987） ●石積み水路では，25%水深が水路景観に美しさを与える（小林ら，2003）	●COD濃度が2mg/L以下の場合、洗い場の使用頻度が高い（久保田ら，2000） ●水路景観の美しさの評価は，透視度が大きく影響を与えている（島谷，1992）	●子供たちが農業体験や水路の生き物とふれあうことによる学習機能と親水機能の向上（山田，2006）	

1.3　連携的評価の手順（三つのSTEP）

ＧＩＳデータベースの各レイヤーより各機能の診断図を作成する



機能を検討し、水利施設の配置や属性等を変更し、表示させる

診断図により、機能の特性を鳥瞰した上で定量的評価を行う

●STEP2 定性的評価

診断図により、機能の特性を鳥瞰した上で定量的評価を行う

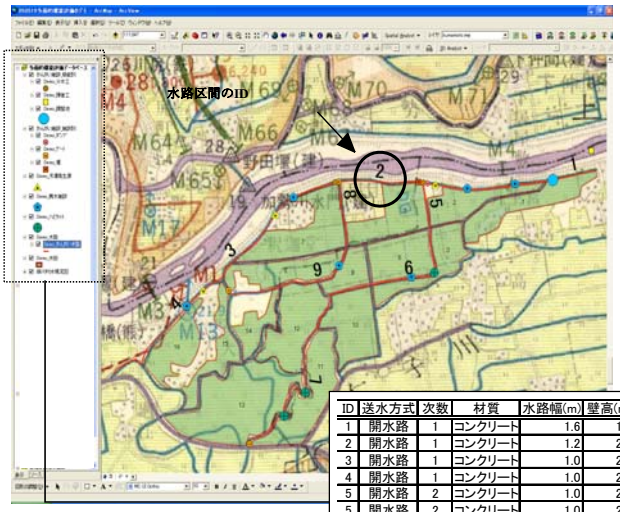
●GISデータベースの各レイヤー（データ）から、各機能の特性を表す凡例を作成し、診断図を作成する。

●水路システム全体を鳥瞰することにより、システム全体から、その特性を把握する。システムとしての大きな失敗をなくすための図

●STEP3　定量的評価

$$C/C_0=\exp(-kL/U)$$

2．連携的評価の水路システムGISデータベース



- 水利施設_機能別
  - Demo_分水工
  - Demo_頭首工
  - Demo_調整池
- 水利施設_構造別
  - Demo_ﾎﾟﾝﾌﾟ
  - Demo_ｹﾞｰﾄ
  - Demo_堰
- Demo_汚濁発生源
- Demo_親水施設

ID	送水方式	次数	材質	水路幅(m)	壁高(m)	粗度係数	平均勾配	区間長(m)
1	開水路	1	コンクリート	1.6	1.5	0.015	0.001	1434.64
2	開水路	1	コンクリート	1.2	2.0	0.015	0.001	729.24
3	開水路	1	コンクリート	1.0	2.0	0.015	0.001	1229.79
4	開水路	1	コンクリート	1.0	2.0	0.015	0.001	1236.17
5	開水路	2	コンクリート	1.0	2.0	0.015	0.001	343.98
5	開水路	2	コンクリート	1.0	2.0	0.015	0.001	1245.44
7	開水路	2	コンクリート	0.8	2.0	0.015	0.001	1599.01
8	開水路	2	コンクリート	1.0	2.0	0.015	0.001	483.94
9	開水路	2	コンクリート	0.8	2.0	0.015	0.001	1134.17

水路システムGISﾃﾞｰﾀﾍﾞｰｽの各レイヤーとその属性

各レイヤーの分類		属性
水利施設__機能別	分水工	●分水方式(・定比分水　・ON-OFF間断　・可変定流量　・上限付き可変流量　・可変流量)　●分水流量
	頭首工	●取水方式(・河川取水型　・貯水池型　・揚水機場型)●　取水量
	調整池	●調整目的(・需給の時間調整　・操作管理)　●調整容量　●壁高　●底面積
	落差工	●落差高
	放水工	●放水量
水利施設__構造別	ポンプ	●ポンプのタイプ　●実揚程　●総揚程　●揚水量
	ゲート	●作動方式(・手動　・無動力自動　・電動)　●ゲートタイプ　●ゲート幅　●開口高
	堰	●堰の形状(直線堰、斜長堰、ダックビル)　●越流幅
水路		●送水方式(・開水路・管水路)●次数　●材質　●水路幅　●　水路壁高　●粗度係数　●勾配　　●区間長
水田		●乾田・湿田　●圃場整備の有無　●取水方式(・自動給水栓　・手動給水・堰)
汚濁発生源		●点源・面源　●点源(・家庭排水−住民数　・畜産ー頭数　・工場)　●面源(水田、畑、調整池)
浄化施設		●浄化施設
ハビタット		●ハビタットのタイプ(・岩部　・湾曲部　・急拡部　・保全施工)
親水施設		●施設のタイプ(・洗い場　・公園　・歴史的施設　・遊び場　・景勝地)

利水機能診断図の凡例①

【水利施設_機能別の凡例】

頭首工；Ⓘ：河川取水型，Ⓡ：貯水池，Ⓟ：揚水機場

分水工；

：定比分水，

：ON-OFF間断，(D) 分水工

：可変流量，(D) 分水工

：可変定流量，(D) 分水工

：上限付き可変流量，(D) 分水工

（操作の主体をS(供給)，D(需要)で( )内に表記

調整池；◇(需給の時間差調整F.P.)，操作管理用(B.P.)，維持管理用(M.P.)等を明記

放余水工；○(水路および水理構造物より取り出し明記)

利水機能図の凡例②

【水利施設_構造別の凡例】

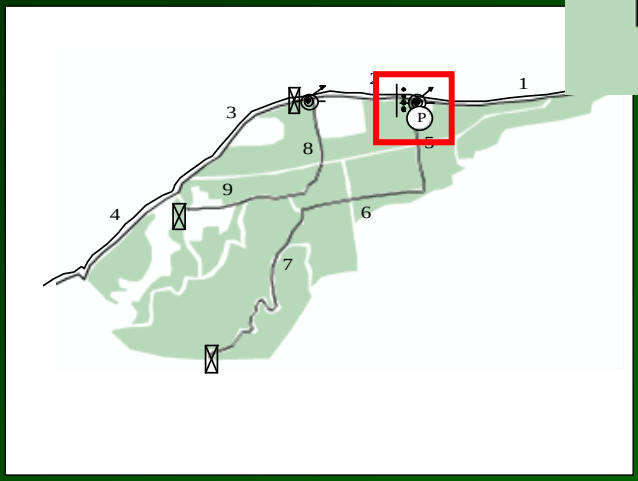
ゲート；
(UP)（機側電動含む）：手動，
(DU) or自然調節：無動力自動，

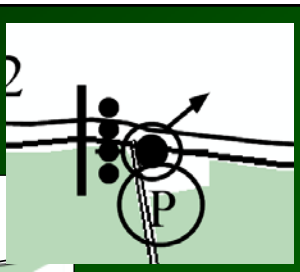
(UP)：電動（遠隔または自動制御）
（上流制御(UP)，下流制御(DU)を明記）

ポンプ；Ⓟ　堰：

【水路の凡例】

利水機能の診断図





●固定堰で構成されている分水工

●可変流分水工

●上限が定められていないので、分水工から支線へ配水する場合、①幹線水路に潤沢な用水が確保されているか　②調整池を確保する　③水管理ルールを徹底する

ことなどがシステムとして鳥瞰し、必要なことが分かる

水質保全機能の診断図とその凡例

【発生源 ●:点源 ◯ :面源】

H 家庭雑排水　Pad 水田

DA 畜産排水　Pon 調整池

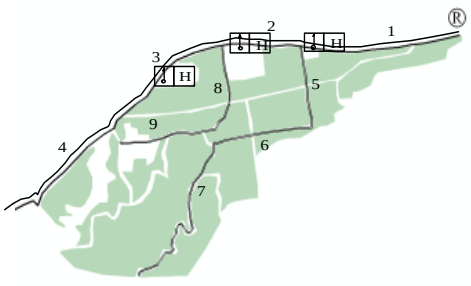
Fac 工場排水　Fir 畑地

【浄化要素】

Pl 浄化施設

Pad 水田

Pon 調整池



魚類生態保全機能の診断図とその凡例

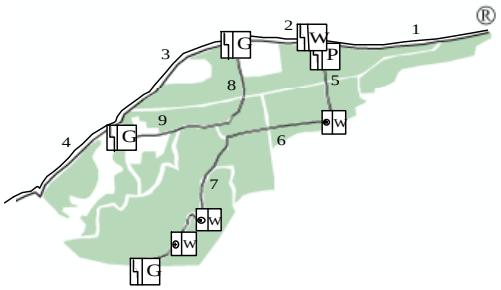
【分断記号】

G ｹﾞｰﾄによる分断　D 落差による分断

W 堰による分断　P ﾎﾟﾝﾌﾟによる分断

【ハビタット記号】

R 岩部のﾊﾋﾞﾀｯﾄ　D 湾曲部のﾊﾋﾞﾀｯﾄ　W 急拡部のﾊﾋﾞﾀｯﾄ



親水機能の診断図とその凡例

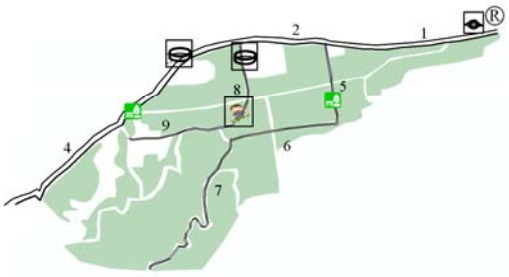
洗い場

遊び場

公園

景勝地

歴史的施設



計算条件

■水利機能を満たす水理計算の条件

●対象地区は約300haの水田と維持管理用水量を勘案し、1.1m^3/sの計画流量を想定

●その流量を送水するために各区間の流速、材質（粗度係数）、水路幅を定めた

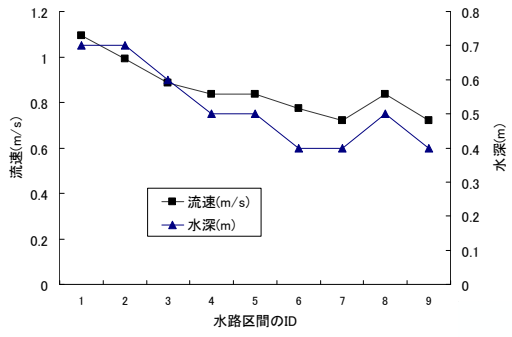
■水質計算の条件

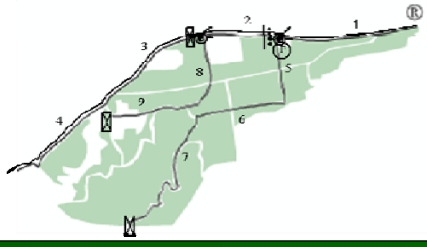
●水利システム内に流入するCOD濃度を農業用水基準値の上限6mg/Lと想定

●家庭雑排水は3地点から流入し、上流の発生集落は居住人口が100人、500人、250人と仮定している

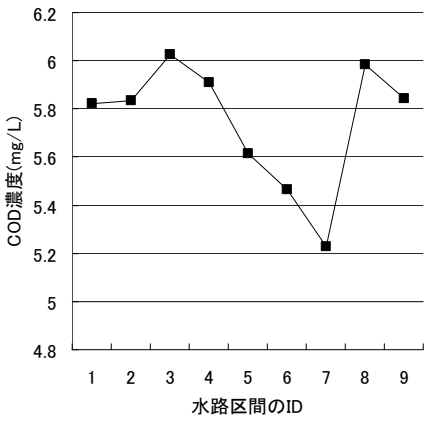
●発生源単位は、31g/人・day

水理量と水質の計算結果　①水理量

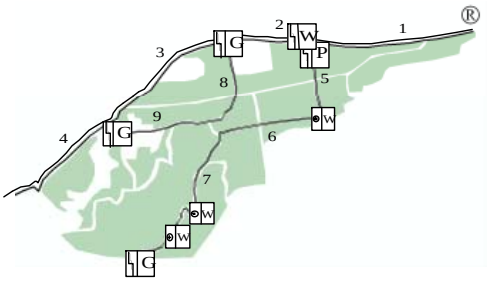




水理量と水質の計算結果　②水質



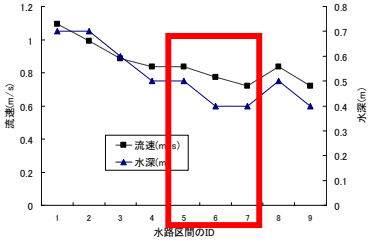
魚類生態保全機能を向上させる場合の検討



二次水路（支線水路）ID5,6,7を対象とする場合

●システムとしては入り口のポンプが問題となる

●また、流速が小型魚種にしては大きいため、拡幅等の措置が必要

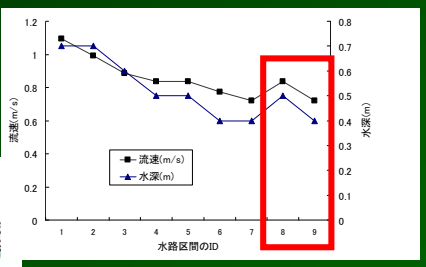


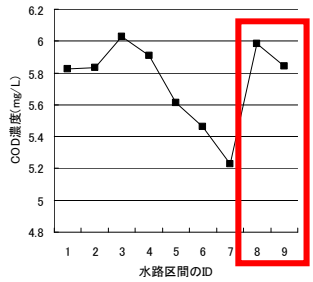
親水機能を向上させる場合の検討

二次水路ID8,9を対象とする場合

●水深・流速はおおむね洗い場や遊び場としての条件を満たしている。

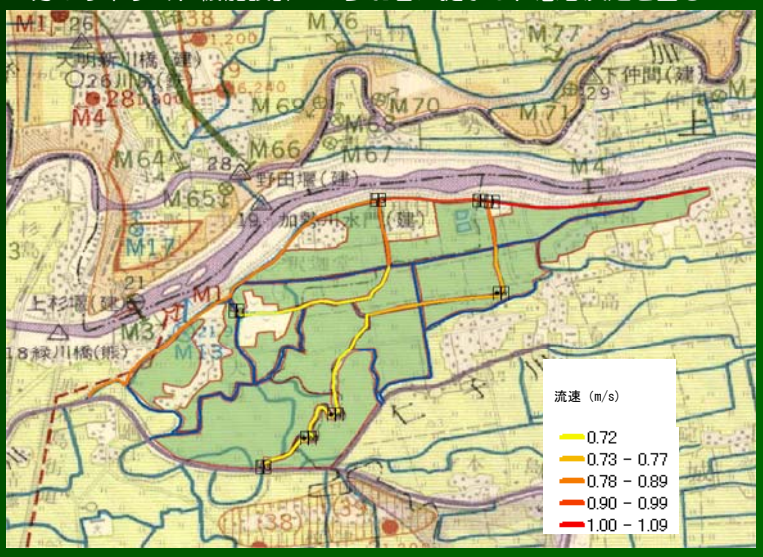
●水質の向上の対策を検討する。





GISでの表示

●診断図と計算結果をGIS上に表示させ、機能評価をできるだけ分かりやすく、機能設計への参加者に提示し、意志決定を図る



おわりに　①

①農業用水路をシステムとしてとらえ、水管理方式、幹線水路の水位・流量制御方式、分水方式等を凡例により表示した利水機能図を提案した。この図を用いることにより、水路システムの定性的評価、注意すべき事項を分かりやすく理解できる。

②魚類生態保全機能でも同様に、システム全体としての評価と構成要素としての評価を総合化した魚類生態保全機能図を作成した。システムとしての評価はネットワークの分断性が、構成要素としての評価は流速が重要な要因であることが確認できた。

③洗い場として使用されやすい水深、満たすべき水質基準が認められた。また、親水機能は、地理的・歴史的背景をもとに形成される機能であり、洗い場等地域用水として利用されることにより助長される機能といえる。

おわりに　②

これまで、利水機能と多面的機能は個別に論じられることが多かったが、各機能の関連から連携して評価することが望ましく。そのためには、本研究で提案した

①GISデータベースの作成（対象の明確化）
②診断図による定性的評価
（システムとして鳥瞰し特性を理解）
③定量的評価
（水理量と水質の定量的データの追加）

の手順で行う評価手法は、水路システムの機能の設定（ターゲットの設定）、多面的機能に配慮する区間の設定（ゾーニング）を行う手法として有効である。