

# 低平地の水環境

～クリークの変遷と  
新たな活用～

---

佐賀大学

教育研究院自然科学域理工学系  
(都市工学部門)

講師

三島悠一郎



# 自己紹介

氏名：三島 悠一郎

所属：佐賀大学理工学部都市工学科

職名：講師

研究分野：水処理工学、水環境工学、資源循環

研究テーマ：リン回収、吸着材の開発、  
下水処理場の能動的水質管理



# 目次

## 1. はじめに

佐賀県南部の水環境、水環境の考え方

## 2. 佐賀低平地のクリーク

クリークの成り立ち、戦後以降の大きな変化

## 3. 新しいクリークの積極的な活用

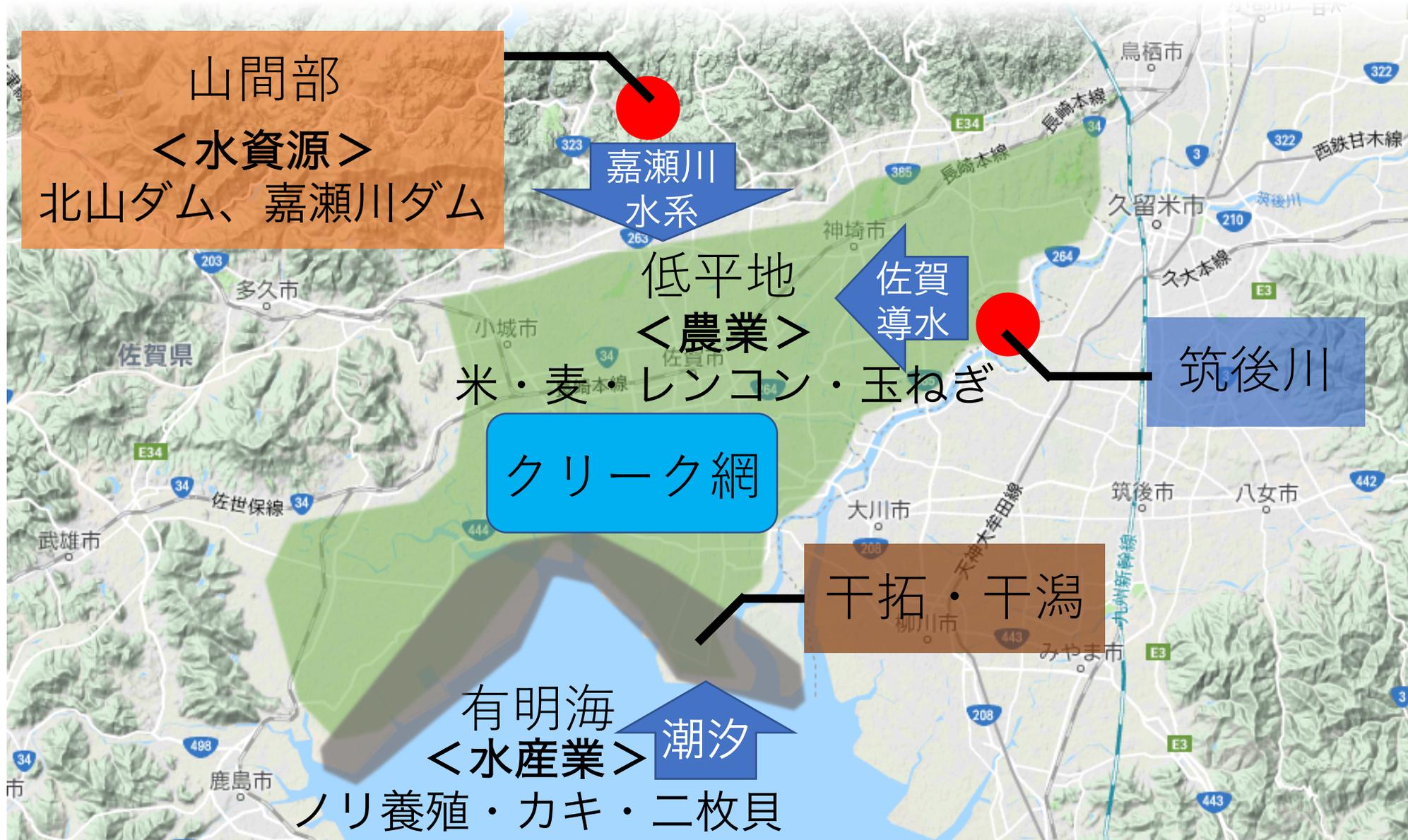
有用資源の回収、バイオマス資源の活用

## 4. おわりに



# 1. はじめに

- 佐賀県南部の特徴1：山間部から有明海で連携する水系システム



## ○佐賀県南部の特徴2：低平地タイプの水系の効果

### • 反復利用・長い滞留時間

- クリークの水は下流に達するまでに、圃場との間で**導入と排水**が繰り返される。（反復利用による水資源確保）
- 配水だけでなく**貯留**も（＝一年を通して安定した水位の水場が形成）

### • 生物の棲息域

- **昆虫類、魚類棲息の基盤**となり、それを捕食する**鳥類**が集う。

### • 水生植物の栽培



人間社会と自然を繋ぐ佐賀低平地ならではの水環境が形成



## ○クリークを取り巻く課題

- ・ 滞留時間が長いいため水質が**富栄養**の状態に。
  - ・ 懸濁物質、窒素、リンの濃度が上昇
  - ・ 水生植物の過剰な繁茂
  - ・ 農地からの流出した土砂の堆積
- ・ 生態系の変化
  - ・ トンボの減少
- ・ クリークの維持管理
  - ・ 法面保護、懸濁物質の堆積、底質の悪化



社会

**「トンボ王国・佐賀」異変 15年間で個体4割減 佐賀大と国立環境研 原因究明へ**

2016/12/31 17:24



生息環境が整っていることから「トンボ王国」と言われてきた佐賀市で、トンボの主な種類の個体数が15年間で4割減少していることが、佐賀大農学部徳田誠准教授（昆虫学）研究室の定点調査で分かった。赤トンボは10分の1以下に激減しており、農薬などに加え、川やクリークの外来植物の繁殖や護岸整備による環境変化が要因とみている。

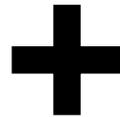
国立環境研究所は「多種類のトンボの生息減少を示すデータは国内にほとんどなく貴重」として2017年度から佐賀大と共同研究に乗り出す方針。

2016/12/31：西日本新聞

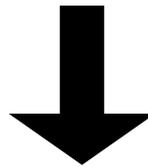


# ○クリークの水環境問題への研究取り組み

＜環境の理解を得るための必須情報＞  
現在と過去のデータ



＜地域的な特徴＞  
クリークを取り巻く産業・文化の変化



＜持続可能な社会形成へ向けたクリークの活用＞  
クリーク環境の変遷と新しい活用方法を研究



# ○水環境の考え方

- 水草、藻類などの増殖は水に溶けている栄養成分の濃度が影響
  - 水質（成分の濃度）を分析することで汚濁の度合いを明らかにする。
  - 農業用水基準や環境基準が設定

農業（水稻）用水基準（農水省）

項目	基準値
pH（水素イオン濃度）	6.0 ~ 7.5
COD（化学的酸素要求量）	6 mg/L 以下
SS（無機浮遊物質）	100 mg/L 以下
DO（溶存酸素）	5 mg/L 以上
T-N（全窒素濃度）	1 mg/L 以下
EC（電気伝導度）	300 $\mu$ S/cm 以下
As（砒素）	0.05 mg/L 以下
Zn（亜鉛）	0.5 mg/L 以下
Cu（銅）	0.02 mg/L 以下

生活環境の保全に関する環境基準（湖沼）

項目 類型	利用目的の 適応性	基準値					該当水域
		水素イ オン濃 度(PH)	化学的 酸素要 求量 (COD)	浮遊物 質量 (SS)	溶存酸 素量 (DO)	大腸菌群数	
AA	水道1級 水産1級 自然環境保全及 びA以下の欄に 掲げるもの	6.5以上 8.5以下	1mg/L 以下	1mg/L 以下	7.5mg/ L以上	50MPN/ 100ml 以下	第1の2の(2) により水域類 型ごとに指定 する水域
A	水道2,3級 水産2級 水浴 及びB以下の欄 に掲げるもの	6.5以上 8.5以下	3mg/L 以下	5mg/L 以下	7.5mg/ L以上	1,000MPN/ 100ml 以下	
B	水産3級 工業用水1級 農業用水及びC の欄に掲げるもの	6.5以上 8.5以下	5mg/L 以下	15mg/ L以下	5mg/L 以上	—	
C	工業用水2級 環境保全	6.0以上 8.5以下	8mg/L 以下	ごみ等 の浮遊 が認め られな いこと。	2mg/L 以上	—	



# ○水質（濃度）の制御方法ならびに時間変化の解析

- ある水域に着目して濃度を観測

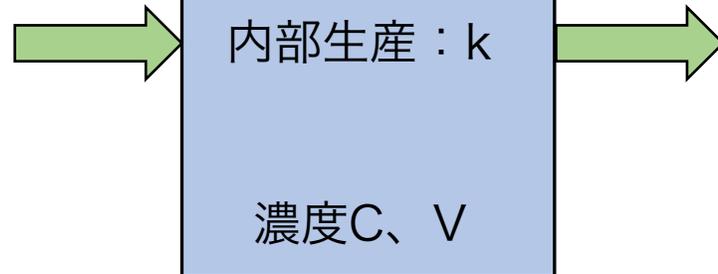
→物質の流入量と流出量、内部の反応

$$\text{濃度} = \frac{\text{質量}}{\text{溶媒体積}} \quad (\text{mg/L、g/m}^3、\text{ppm})$$

→その水域の水量 = クリークの容量

クリークの体積、形状の変化  
物質の流入量の変化

流入速度（負荷：g/日）  
流量（m<sup>3</sup>/日）x 濃度（g/日）



一池完全混合モデル

①内部生産を無視する場合：

流入速度－流出速度＝蓄積速度（濃度変化）

②内部生産を考慮する場合：

流入速度－流出速度±消費or増加速度＝蓄積速度



## 2. クリークの変遷

- クリークの生い立ち
  - 滞筋を利用したクリーク
  - 条里制から始まる人工堀
- 水環境の視点から考察するクリーク文化
  - アオ取水、堀干し、ごいあげ、生活との関わり
- クリークを取り巻く環境の急速な変化
  - 農業の産業構造と社会環境の変化
  - クリークの統廃合による圃場整備
  - 農業方法の変化、生活水準の向上（農薬、窒素、リン）



## ○クリークの自然成因

滞筋：河川水によるガタ土掘削

潮汐：河口部へのガタ土輸送



徐々に陸地化され“江湖”となる

- 標高4mが海水と陸水の会合点
- 水運の拠点として利用される



樋門設置と流下した淡水の取り込み

- アオ取水の始まり
- 樋門からの人工堀の延伸



本庄江（佐嘉漁港付近）



# ○クリークの人工成因

中世：条里制にともなうクリーク開発

近世：環濠の発達

＜江戸時代における急速な発展＞

- ・ 統制の取れた利水事業の開始
- ・ 溜池の建設（＝水資源開発）
- ・ 水路開削と水理構造物の設置（＝灌漑開発）
- ・ 干拓造成（＝圃場開発）

現代の水システムの基礎が形成  
経済的発展と共にクリーク文化基盤の形成



# ○水環境の視点から考察するクリーク文化 1

## • “堀干し”と“ごいあげ”

- クリークの一定区間の水を排し、**水底を露出**させる。
- 魚取りと**底泥の回収**を実施する。
- 部落総出によって行われる年に一度の作業



西山田堤の泥浚い



## ○水環境の視点から考察するクリーク文化 1

### • “堀干し”と“ごいあげ”

- 一定区間のクリークで水を排し、**水底を露出**させる。
- 魚取りと**底泥の回収**を実施する。
- 部落総出によって行われる年に一度の作業



- 底泥が酸素と触れることで**有機物が分解**され、肥料に適した成分が増加
- 栄養成分を含む底泥を**肥料として再利用**
- **客土の抑制**
- クリークから栄養成分が取り除かれるため、**富栄養状態が改善**

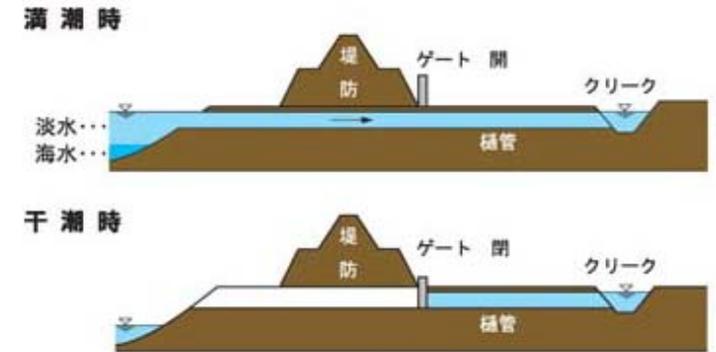


## ○取水文化

- 山間部の水源池から遠い沿岸部では常態的に、または渇水時にアオ取水を実施
  - 水を味見することで塩分濃度を判断し、ゲート进行操作。
- クリークから圃場への水の引き込みは人力によるもの



極めて不安定かつ多大な労力を要する  
取水方式



アオ取水

(農林水産省 九州農政局ウェブサイト)



踏み車による用水

(佐賀県土改良史)



## ○生活との関わり

### ・ゆどね

- 生活雑排水は浅い池に一時貯留されクリークへ排出
- 水深が浅いので酸素が十分に供給され、有機物が酸化分解され、**栄養成分がクリークへ還元**される（＝生活排水のリサイクル）
- 大正以降にはレンコン栽培池で生活雑排水を一時貯留。

### ・たんぼがめ

- し尿や腐敗した食品などを圃場脇の大きなかめに貯留。有機物の分解によって作物栽培に適した**栄養成分を回収**。液肥として利用可能。
- 下水処理場で行われているような反応を各家庭で行っていた。

衛生環境は良好とは言い難いものの

クリークへの**汚濁物質の排出を抑制し、肥料として農地へ還元**



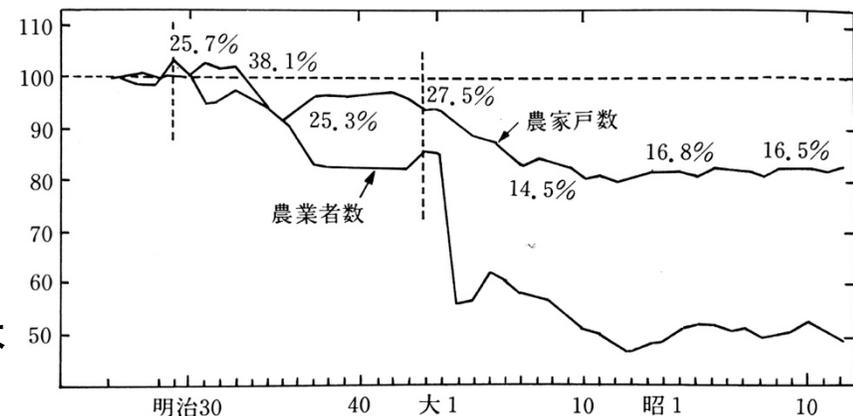
## ○クリークを取り巻く環境の急速な変化

- **多大な労力を要する**ものの**水質保全・リサイクル**の観点から考察すると優れた文化といえる。

→しかし、現代では技術の代替や社会的要因により殆どが**消失**

## ○農業の産業構造と社会環境の変化

- 大正時代に入ると長崎、北九州への人口流出に伴い、急激に農業人口が低下
- これを契機に揚水の機械化が促進
- 電気ポンプの積極的導入
- 揚水に伴う年雇は減少し家族経営へ
- ただし、田植時期に外部労働力の確保

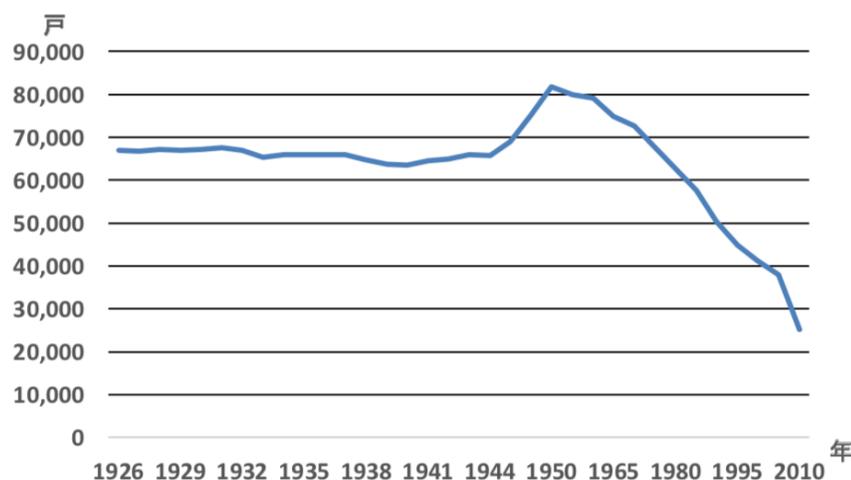


農業者数および戸数の推移

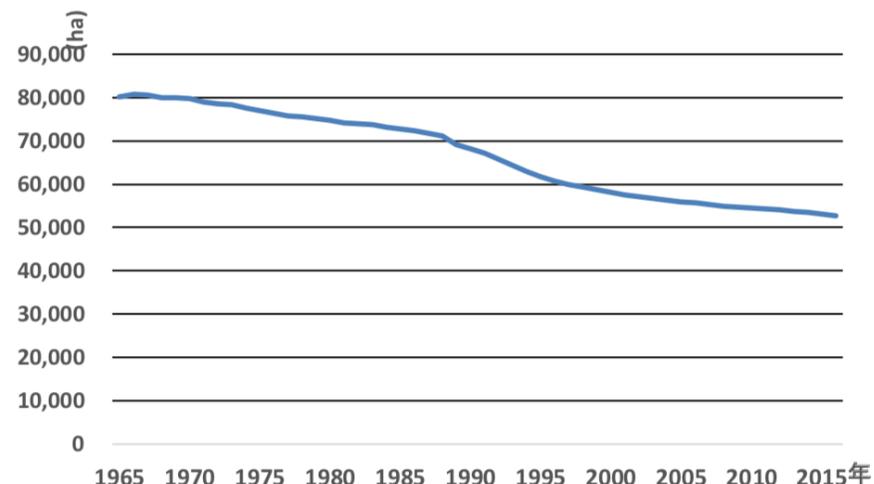


## ○さらなる労働力低下

- 大正から大東亜戦争後にかけての産業構造と社会情勢の変化により労働力不足が深刻化
  - クリーク文化の衰退（ごいあげなどの消失）
- 昭和40年代から農業機械の導入と産業構造の変化により農業人口の低下
- 耕作地よりも戸数の方が減少しており、労働人口密度は低下



佐賀県の農家数の推移



佐賀県の耕作面積の推移



## ○クリークの統廃合による圃場整備

- 昭和50年代から大規模機械化営農のためのクリーク統廃合
  - クリークの直線化
  - 小規模クリークの統合によって幹線クリークの造成

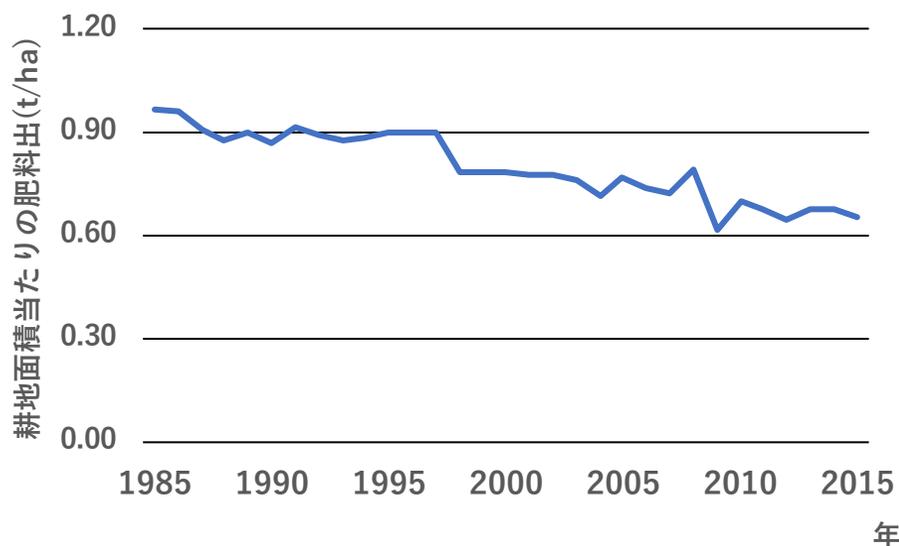


クリークの貯水量に変更はないものの  
行き止まり箇所が減少、幅と深さの増加

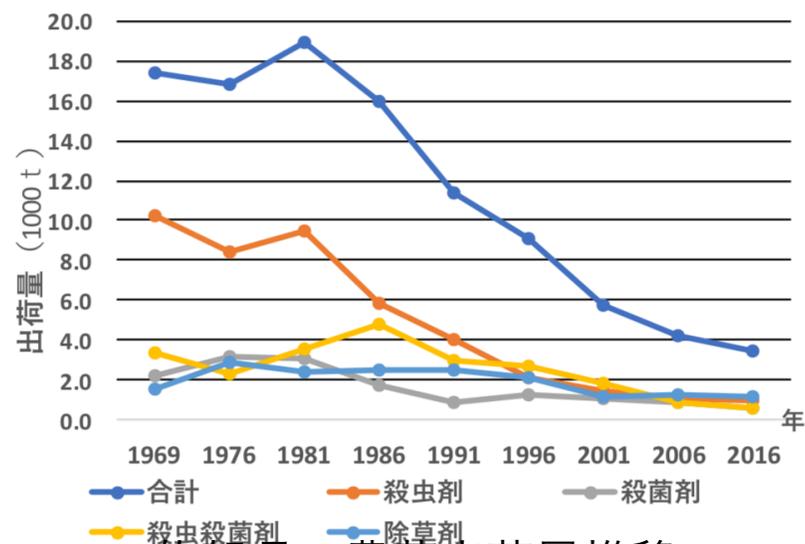


# ○農業方法の変化

- 戦後からは化学肥料（窒素、リン）の積極的利用、それに伴い農薬量が増加
- 乾田化のために圃場に暗渠を施工  
→昭和40～50年代にはクレークへの栄養成分の流出量が増加
- 農薬には時代によって種類が異なるため、環境への影響も変化



佐賀県の耕地面積あたりの肥料出荷量の推移



佐賀県の農薬出荷量推移

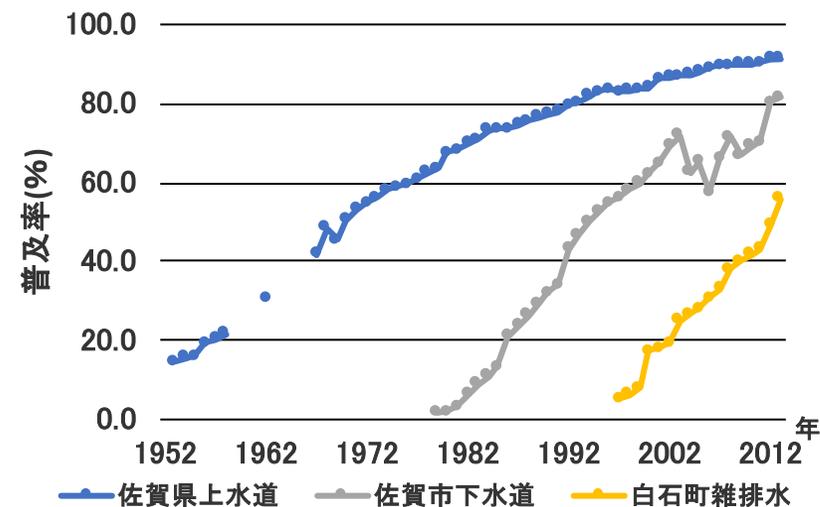


# ○生活水準の向上

- 経済発展に伴い、生活様式が変化
  - 洗濯機、洗剤、風呂の普及などにより生活雑排水量の増加
  - ゆどねの浄化能力を超える量の排水が発生
  - 一方で、下水道の普及は上水道よりも大きく遅れる。
  - 浄化槽による汚染防止措置などは講じられたものの、クリークへ生活雑排水が流入したことは考えられる。



衛生環境改善のために下水道は不可欠  
ゆどねやたんぼがめの消失したものの、その機能を大規模化した下水処理場が担う。  
例：堆肥生産、下水処理水の農業・漁業利用



上下水道の普及率推移



# クリークの変遷まとめ

## ○容積の変化

- ・総容積の変化は小さいと推測、形状（線形、断面積）は大きく変化

## ○流入物質の増加

- ・昭和において肥料、農薬使用量の増加に伴い窒素、リン、農薬の流入量増加
- ・生活排水の流入
- ・現在は流入負荷は減少している。

## ○クリーク維持管理文化の消失

- ・堀干し、ごいあげを行えないので流出土と栄養成分が継続的に蓄積
- ・富栄養化が常態化し、水草の繁茂の原因に。
- ・下水道や污水处理施設がゆどねやたんぼがめにとって代わる



### 3. クリークの積極的な活用

- 佐賀低平地にとってクリークは必須要素
  - 持続的な営農、水資源の確保、生態系の維持、内水の一時貯留



クリークの価値を再度見直すための  
積極的な活用方法の提案

低平地のクリークを活用した  
リン資源回収

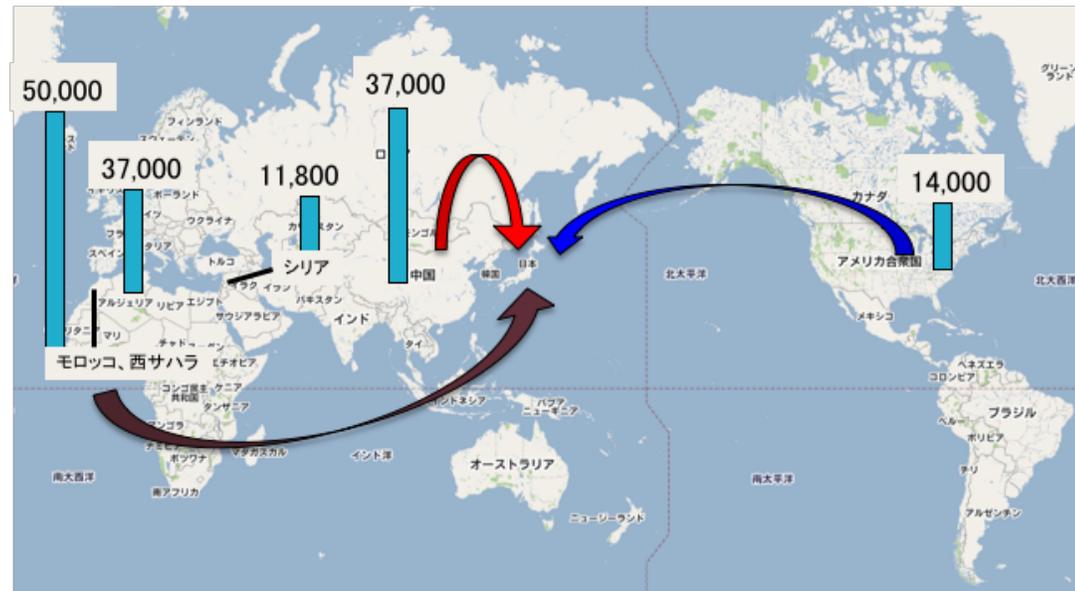
クリーク由来の  
バイオマス活用



# ○リン資源の回収

- リンは肥料の三要素の一つ。
  - リン不足が生じると作物の収量が30%低下
  - 原料のリン鉱石ならびに肥料の**価格高騰**
  - 国内消費量の全量を輸入に依存
  - 資源分布が偏在している

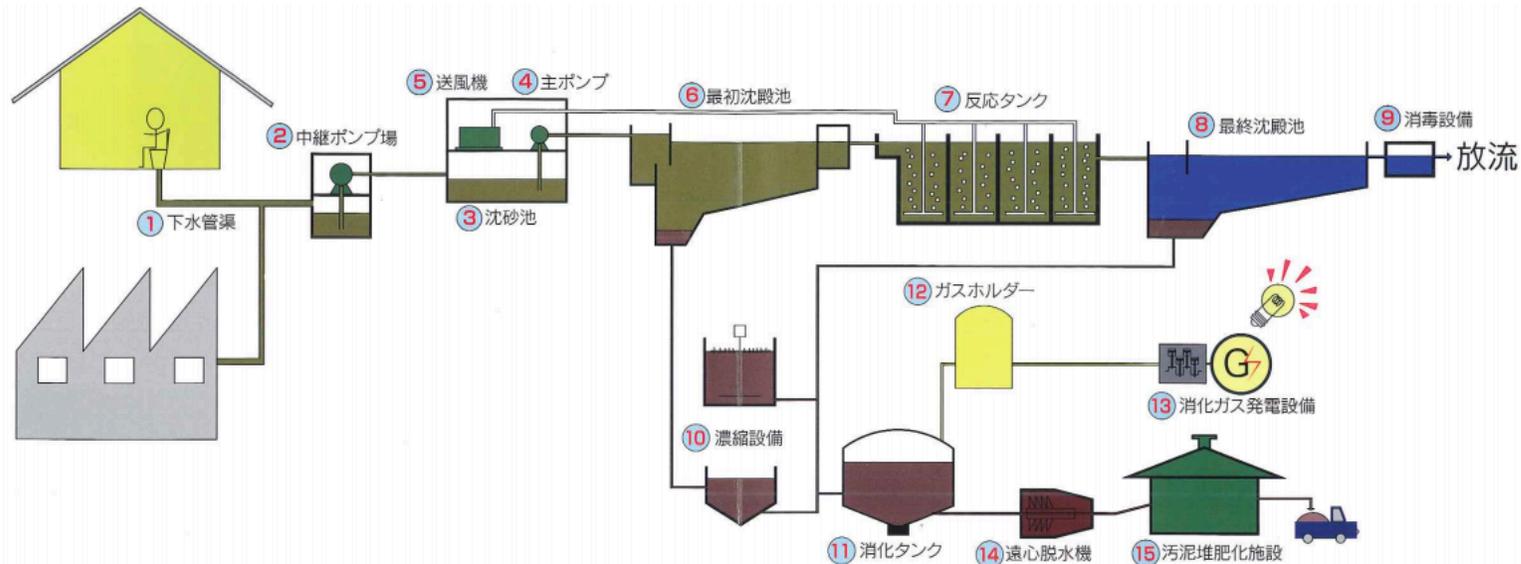
※USGS(米地質調査所)リン鉱石情報



# ○リン資源の回収

- 2009年の価格高騰を受け、国土交通省は下水道におけるリン資源化を推進

- 肥料として消費されたリンが高濃度で集積するポイント
- 下水処理工程の中でもリンが蓄積しやすい汚泥をリン資源化 (図⑩)
- 吸着材を用いた下水処理水からのリン回収法を開発 (図⑧)



佐賀市下水浄化センター





## ○低平地のクリークの利用

＜クリークの課題＞  
長い滞留時間  
懸濁物質の堆積



圃場から流出した土粒子は沈殿しやすい  
灌漑期においても流速は遅いため、一年を通して堆積傾向

土粒子に含まれる鉄、アルミニウムとリンが結合  
すなわち、リンは土粒子と共に保存

低平地では回収が困難なリンを回収できる可能性  
クリーク底泥のリン蓄積量を試算



# ○底泥のリン含有量の測定

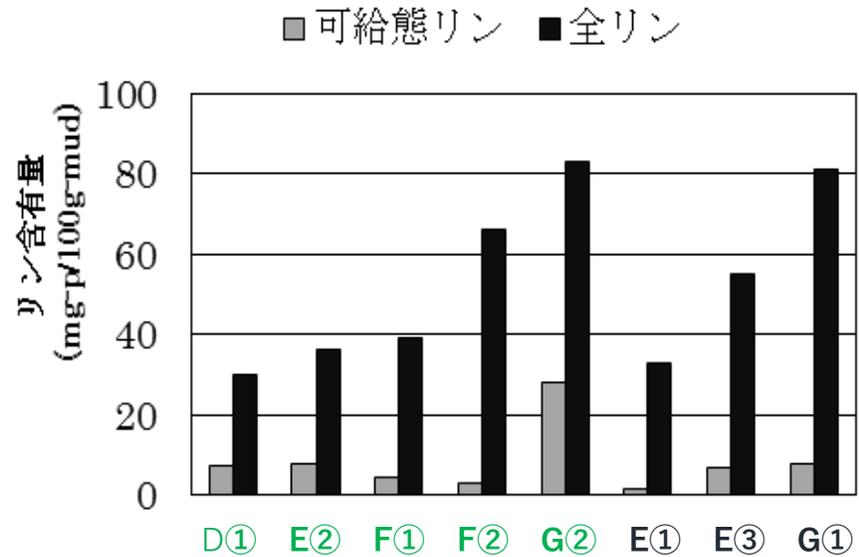
- 各地点の幹線ならびに支線クreekから底泥の表層のサンプルを採取
- 所定の手順に従いリンを抽出し、乾燥した底泥100gあたりの全リン含有量 (mg/100g) を測定

※全リンとは無機態と有機態リンの合計



# ○底泥のリン含有量

**D①E②F①F②G②** → 幹線クリーク  
**E①E③G①** → 支線クリーク



- 幹線クリークかつ下流地点ほど全リンの含有量が多い
- 細粒分の土壌が下流ほど蓄積していることが影響



# ○底泥のリン含有量

$$\begin{aligned} & \text{対象地のクレーク面積} : 1.69 \text{ km}^2 \\ & \times \\ & \text{表層底泥} 1.4 \text{ cm} \\ & \times \\ & \text{密度} 1.00 \text{ g/cm}^3 \\ & (\text{※有明粘土の密度を仮想的に適用}) \end{aligned} = \begin{aligned} & \text{底泥蓄積量} \\ & 2.35 \times 10^4 \text{ (t)} \end{aligned}$$

- 全リンの平均含有量63.4mg/100g (634g/t) との積をとると、調査対象区域のクレークには148tのリンが蓄積。
- 佐賀市の年間施肥量541tの27%に相当。ごいあげは極めて有意義
- 但し、回収可能量の推定にはリンの蓄積速度が必要。

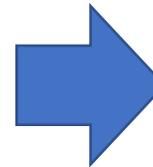


# ○クリーク由来のバイオマス活用

## ・富栄養化に伴う水質障害

### <藻類の異常増殖>

- ①滞留時間が長い
- ②栄養成分の濃度が高い
- ③水温が高くなりやすい (25~30°C)
- ④栄養成分を蓄積した底質



- ・有毒物質の放出
- ・溶存酸素濃度の低下
- ・悪臭
- ・魚類への影響

堀干し・**ごいあげ**によって増殖要因の②と④を除去可能・・・、  
ではあったものの、現在は**全ての要因**が生じている。

藻類は微細なため直接除去が困難であり、増殖防止が肝要



# ○繁茂する水草に着目

## • 藻類と競合する水草

- 藻類が求める栄養成分（窒素とリン）を水草が摂取
- 水草の水面被覆による太陽光の遮蔽から藻類の増殖能力を制限



水草を積極的に繁殖させることで  
遮光と栄養成分除去により藻類増殖を抑制  
＜従来の水生植物の活用の再興＞



菱の実栽培  
(西九州大学)



佐賀城お濠の蓮  
(佐賀新聞)



## ○繁茂する水草に着目

- 旧来（菱の実や蓮）とは異なる水草
  - 例えばホテイアオイの窒素吸収能力を利用
  - 堆肥化資材として適正があると指摘（鈴木ら、1982）
  - 外来種ではあるものの既に自生していることから根絶は困難なため、積極的な利用の可能性を模索。
  - 但し、枯れ茎の有明海の流出を防止



水系バイオマスを活用した環境保全と緩やかな資源回収



# 4. おわりに

- 佐賀県南部低平地の水環境の大きな要素であるクリークを中心に考察
  - ・クリークの容積や物質の流れ
  - ・クリーク文化の水質維持管理機能
  - ・産業構造や社会の変遷
  
- 旧来の文化に倣った新しいクリーク活用方法
  - ・クリーク文化の機能を見直し、新たな活用目的を検討
  - ・低平地のクリークによるリン資源回収
  - ・バイオマス活用の可能性

特徴的な佐賀低平地ならではの水環境の持続性向上

