

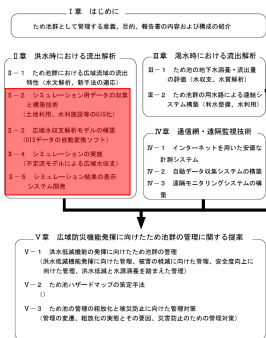
ため池群の持つ洪水軽減 効果シミュレータの開発



(独)農業工学研究所
地域資源部土地資源研究室
吉迫 宏・小川茂男

【広域防災機能の発揮に向けたため池群の管理のあり方】

－ 全 体 構 成 －



研究の背景と目的

1. ため池や農業用ダムは、空き容量や豪雨時に洪水吐を越流する洪水の水深と水面面積によって一時的に形成される貯留容量によって、洪水を軽減する効果がある。
2. 多数のため池が存在する流域において、これらのため池群が果たす洪水軽減効果については、これまで十分明らかにされていない。
3. そこで、ため池群の持つ洪水軽減効果を定量的に明らかにし、その効果を発揮する上で有効なため池の管理や整備のあり方を提言するために、ため池群の持つ洪水軽減効果を計測・評価するためのシミュレータを開発。



空き容量による貯留

満水位と現在水位との水位差、これとため池の水面面積の積が空き容量です。



越流水深による貯留

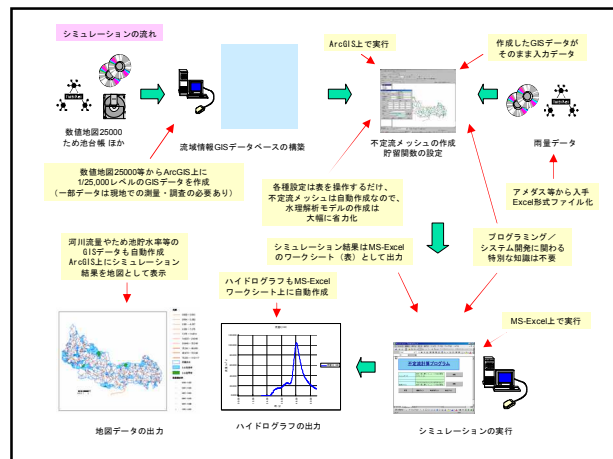
洪水吐の水路底と洪水時の水面との水位差、これとため池の水面面積の積が豪雨時に一時的に形成される貯留量です。

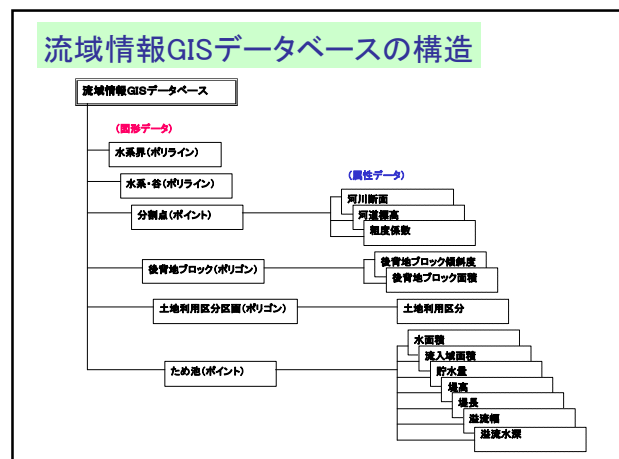
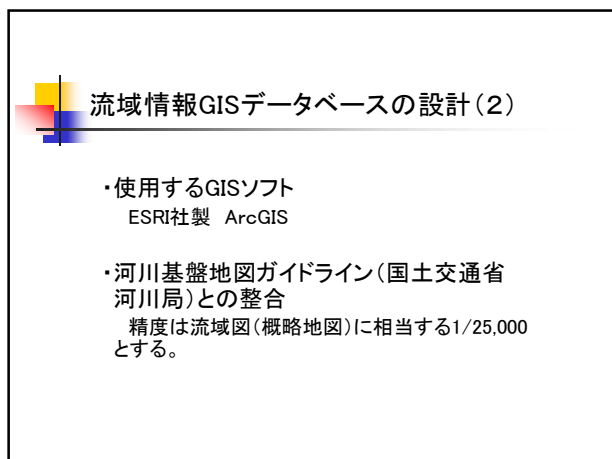
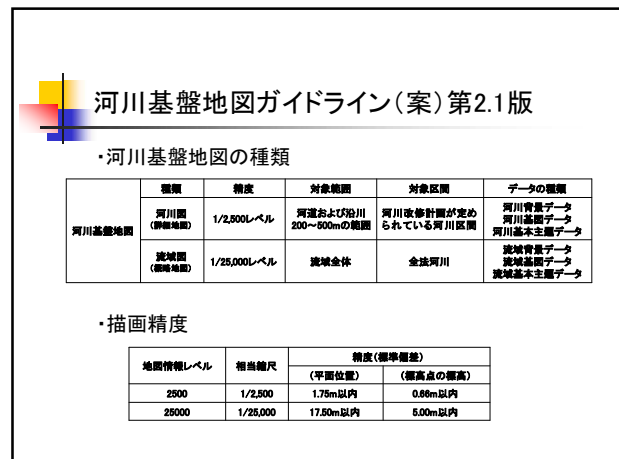
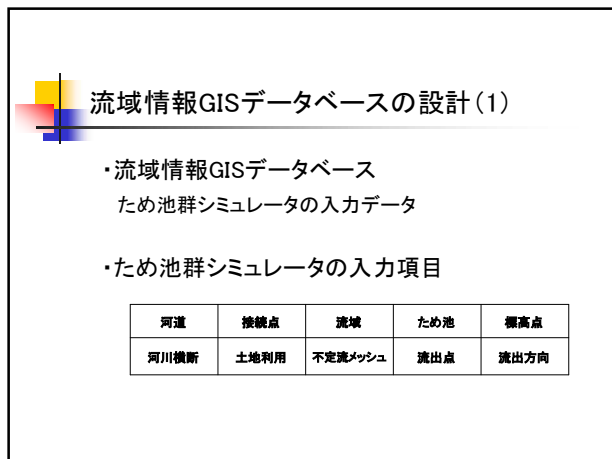
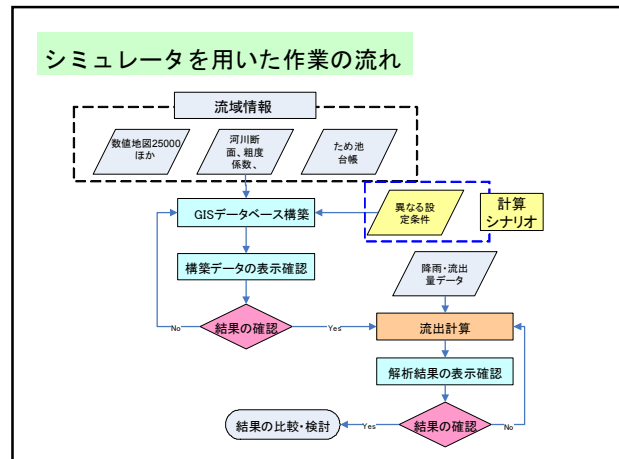
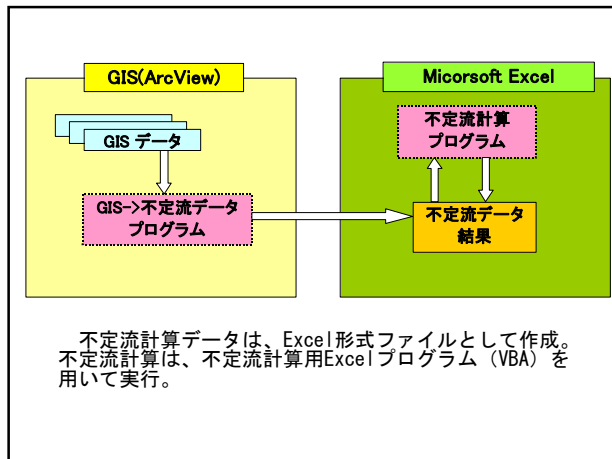
ため池群の持つ洪水軽減効果 シミュレータの開発

1. シミュレータの開発

※ (株)ハイドロシステムとの共同研究

2. 流域情報GISデータベース構築手法の開発





データ構築・作成作業(1)

- ・作業地域
沼田川・棕梨ダム上流域(東広島市／三原市)
- ・作業に用いる地理データ
一般に公開された空間データ
ため池台帳



空間データの整備

- 1995年度 地理情報システム関係省庁連絡会議の設置
- 1996年度 国土空間データ基盤の整備及びGISの普及の促進に関する長期計画の決定
- 2001年度 「GISアクションプログラム2002-2005」の決定

- ・従前、1/25,000地形図など、紙地図や冊子で提供されていた地理データの電子データ化と電子媒体／インターネットでの提供
- ・各府省における空間データ利用促進

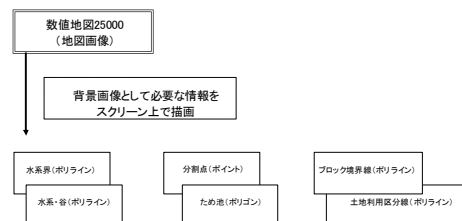
データ名	データ形式	整備・提供範囲
数値地図2500 (空間データ基盤)	ベクター	縮尺1/2,500図(都市計画基礎図:紙地図)の発行範囲(都市部)
数値地図25000 (空間データ基盤)	ベクター	全国
数値地図25000 (地図画像)	ラスタ	全国
数値地図50000 (地図画像)	ラスタ	全国
数値地図200000 (地図画像)	ラスタ	全国
数値地図25000 (行政界・海岸線)	ベクター	全国
数値地図25000 (地名・公共施設)	ベクター	全国
数値地図10m メッシュ (火山標高)	ラスタ	縮尺1/5,000及び1/100,000火山基本図の発行範囲
数値地図5m メッシュ (標高)	ラスタ	東京都・埼玉県内の各一部地域
数値地図50m メッシュ (標高)	ラスタ	全国
数値地図250m メッシュ (標高)	ラスタ	全国
精密数値情報 (10mメッシュ 土地利用)	ラスタ	宅地利用計画調査 新都市・中核圏・近畿圏 土地利用計画 山林・荒地等、田・畑・その他の農地、造成中地、空地、一般低層住宅地、密集低層住宅地、中高層住宅地、工業用地、商業・業務用地、道路用地、公園・緑地等、その他の公有施設用地、河川・湖沼等、その他

使用する空間データ

種 類	概 要
数値地図25000(地図画像)	1/25,000地形図を画像データ化したもの
数値地図50mメッシュ(標高)	1/25,000地形図の等高線より求めた50mメッシュ標高値

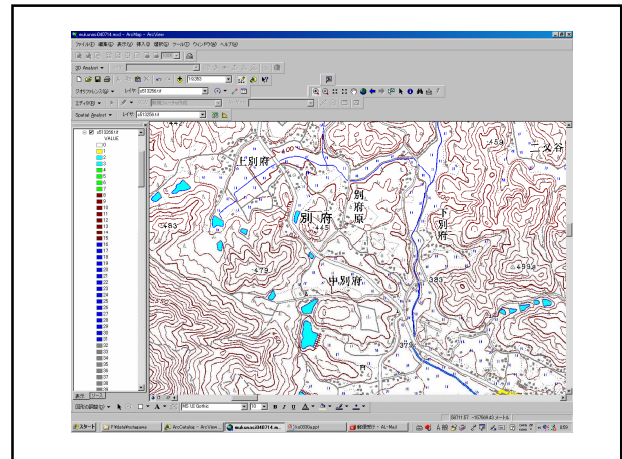
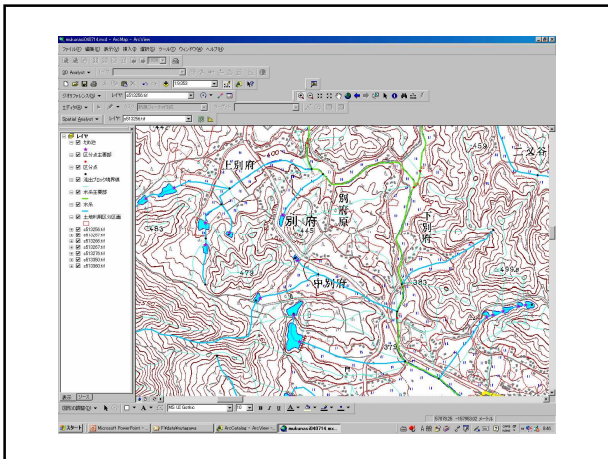
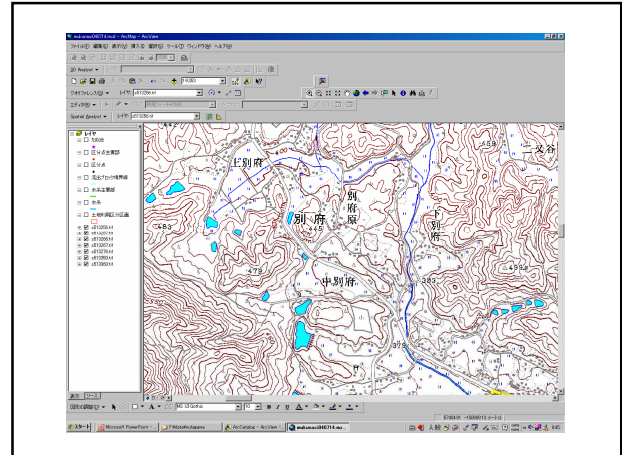
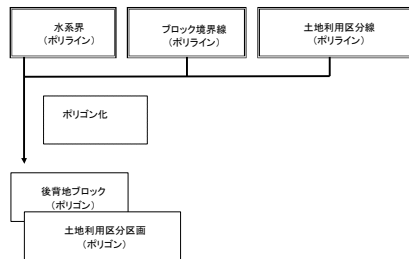
データ作成の流れ(1)

・図形情報の作成(1)



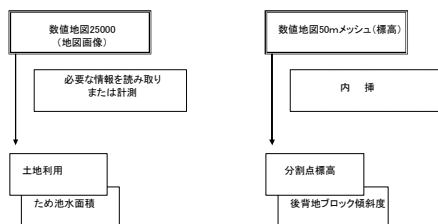
データ作成の流れ(2)

・図形情報の作成(2)



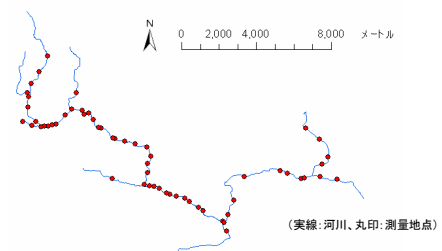
データ作成の流れ(3)

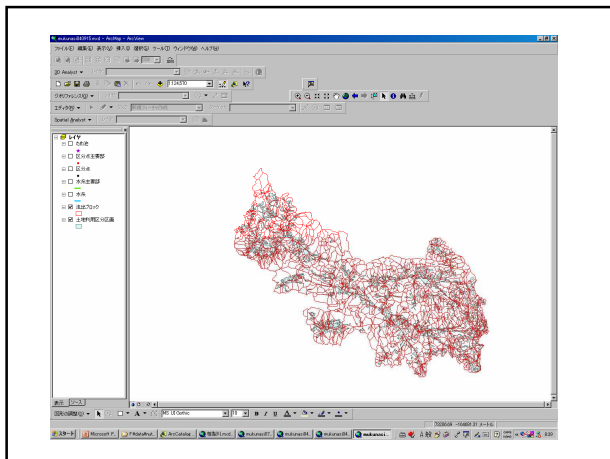
・属性情報の作成



データ作成の流れ(4)

・河川断面の簡易測量





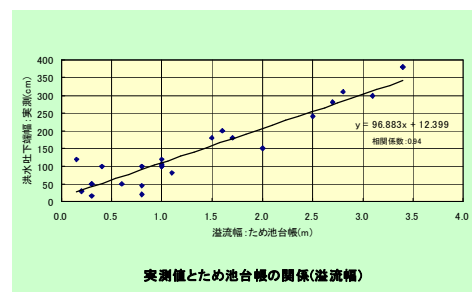
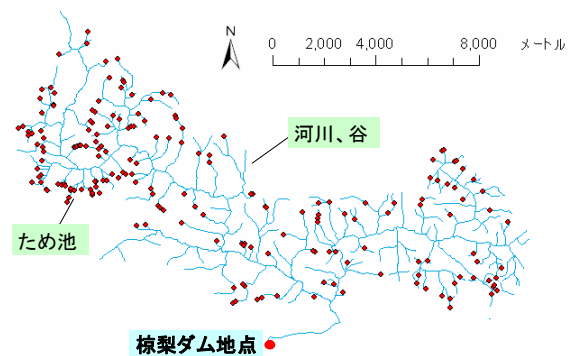
今回用いた方法の利点

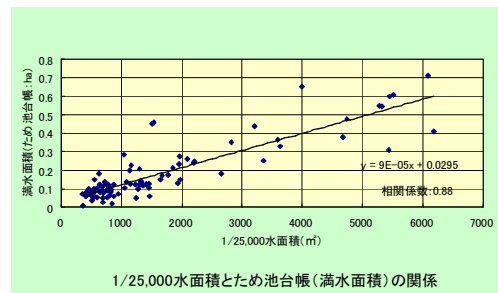
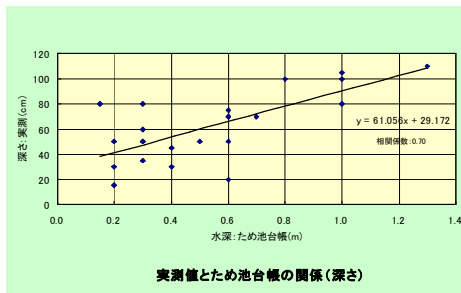
- ・紙の乾湿による誤差の発生から開放
- ・適切な倍率で背景画像として数値地図を表示して入力作業可能
 - 入力精度の向上
- ・数値地図50mメッシュ(標高)の利用により、等高線の入力作業が不要
 - 入力作業の省力化・効率化

ため池属性値の検証

- ・ため池台帳の信頼性
ため池の改修等に対応して台帳が更新されているか。
- ・洪水吐の構造としての諸元と現況との差
ため池の持つ洪水軽減機能は、洪水吐の越流水深によって形成される洪水貯留機能の効果が大きいと考えられる。

棕梨ダム上流域のため池





ため池属性値の検証結果

- 今回作成したデータは妥当
- しかし、台形状の洪水吐や竪樋形式の洪水吐の取り扱い、推定部分の検証等も詰める必要がある。



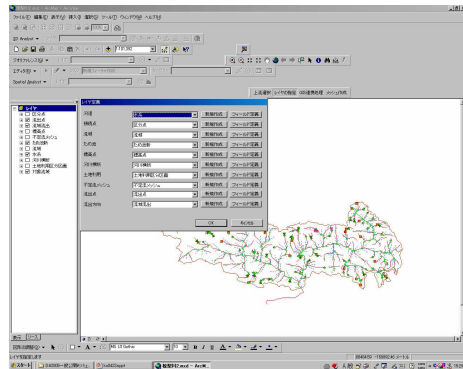
開発したシミュレータの特徴(1)

1. ため池群を持つ流域を対象に、ため池群の機能を考慮した降雨時の流出特性の把握を目的として、GISと水理解析モデル(不定流モデル/貯留関数法)を結合したソフトウェアを開発。
2. 降雨量やため池空き容量等の設定条件を様々に設定して、豪雨時の流域全体としてのため池群の洪水軽減効果、及びため池の貯水率や河川の任意地点の流量変化をシミュレーションできる。

開発したシミュレータの特徴(2)

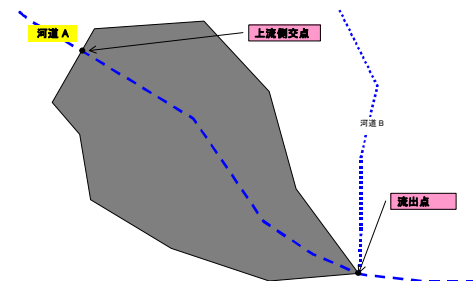
1. GISソフトを用いることにより、入力データとして必要な地理情報を容易に構築・修正できる。
2. 入力したGISデータを自動処理することにより、人的なミスを防ぐことができる。
3. 洪水流出解析に実績のある解析モデル(不定流モデル/貯留関数法)を用いており、多くの解析事例から標準的な係数等を設定できる。
4. 市販のソフト(ArcGIS/MS-Excel)をベースとしており、操作性が良い。

入力画面(1)



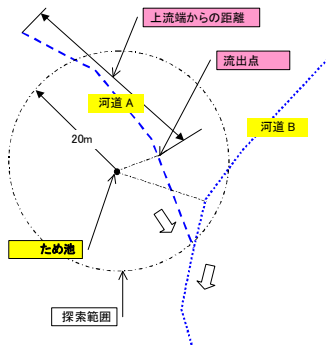
自動処理プログラムー流域流出点の作成ー

流域レイヤと河道レイヤの位置関係から流域流出点を求めるプログラムを開発。



自動処理プログラムーため池流出点の作成ー

別々に作成した、ため池レイヤと河道レイヤの位置関係から、ため池の流出点を求めるプログラムを開発。

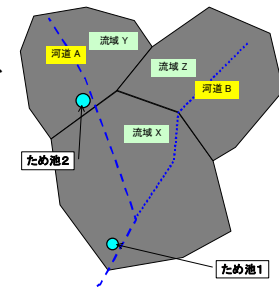


自動処理プログラムーため池上下流の判定ー

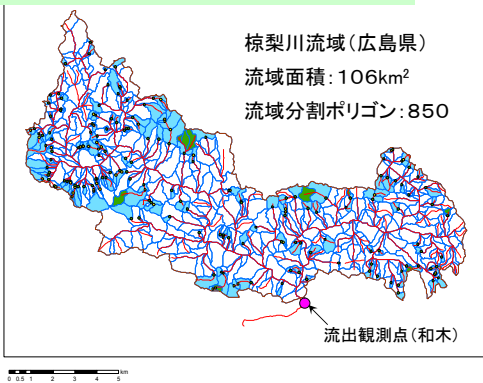
ため池流出点の情報を使用して、直列するため池及びため池間接流域を判定するプログラムを開発。

左図で、ため池1と同一の流出河道を持つため池2は、ため池1の直列上流ため池となる。

河道Bは、ため池1とため池2の間に合流するから、探索河道となり、流域Zはため池1の間接流域となる。

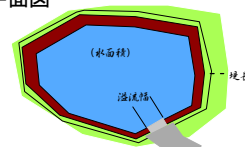


河道・ため池、流出ブロック

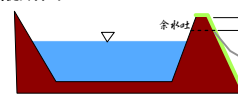


ため池

平面図

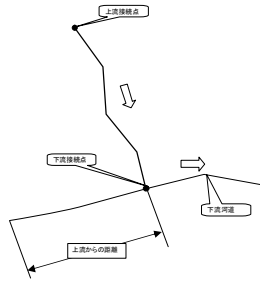


縦断面図



レイヤ種類	ため池
ジオメトリ	ポイント
制約条件	一つのため池に一つ
属 性	
名称	型 内容
識別名	文 字 観測点の識別名 一意に識別可能なもの
流出河道	文 字 ため池が流出する河道の識別名(*)
河道距離	数値 ため池が流出する河道の下流端からの距離(*)
下流ため池	文 字 ため池が直列する番きの下流ため池の識別名(*)
水面積	数値 m ²
貯水量	数値 m ³
堤高	数値 m
堤長	数値 m
溢流幅	数値 m
溢流水深	数値 m

河道

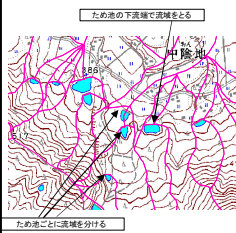


レイヤ種別	河道
ジオメトリ	ポリライン
制約条件	下流を始点、上流を終点とする必要がある 下流端及び上流端ポイントは接続点レイヤの一つと一致する必要がある
属 性	
名称	型 内容
識別名	文字列 河道の識別名 一意に区別可能なもの
下流点	文字列 接続点の識別名(*)
上流点	文字列 接続点の識別名(*)
下流河道	文字列 当該河道下流で河道に含まれる場合の下流側河道識別名 下流河道のない場合Null(*)
下流河道距離	数値 下流河道への合流点の下流側河道終点からの距離 下流河道のない場合Null(*)
下流ため池	文字列 当該河道の下流側河道にため池がある場合、ため池識別名(*)

接続点

レイヤ種別	接続点	
ジオメトリ	ポイント	
制約条件	河道の下流端及び上流端ポイントと一致する必要がある 河道編集時にプログラムにより自動作成される	
属 性		
名称	型	内容
識別名	文字列	接続点の識別名 一意に区別可能なもの
タイプ	数値	0:河道の下流端で他の河道と接続しない 1:河道の下流端で他の河道と接続する 2:河道の上流端
下流側河道	文字列	タイプ1のとき 下流側の河道識別名
上流側河道	文字列	タイプ1のとき 上流側の河道識別名
下流河道距離	数値	タイプ1のときの 距離 合流点の下流河道終点からの

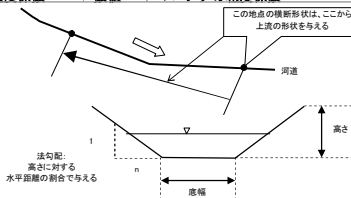
流域データ(流出ブロック)



レイヤ種別	流域	
ジオメトリ	ポリゴン	
制約条件	対象領域を意図なく分割したもので、隣接流域は境界を共有する必要がある	
属 性		
名称	型	内容
識別名	文字列	接続点の識別名 一意に区別可能なもの
流出河道	文字列	流域が流出する河道の識別名(*)
河道距離	数値	流域が流出する河道の下流端からの距離(*)
ため池	文字列	流域に含まれるため池の識別名(*)
下流ため池	文字列	当該流域がため池の間接流域である場合、下流側のため池の識別名(*)
流出タイプ	数値	0：河道に流出、1：ため池直接流出、2：ため池間接流域(*)

河川横断

レイヤ種別	河川横断	
ジオメトリ	ポイント	
制約条件		
属 性		
名称	型	内容
河川識別名	文字列	横断形状を与える河川の識別名
底幅	数値	m
法勾配	数値	
高さ	数値	m
粗度係数	数値	マンニングの粗度係数



河川標高点



河道標高点

レイヤ種別	標高点	
ジオメトリ	ポイント	
制約条件		
属 性		
名称	型	内容
標高	数値	当該地点の標高

河道の標高を決めるときに使用するので、河道に沿って縦断方向にたどったときに勾配の変わる地点に配置することが望ましい。

必ずしも河道上に配置する必要はない。

自動処理プログラム－流域別土地利用－

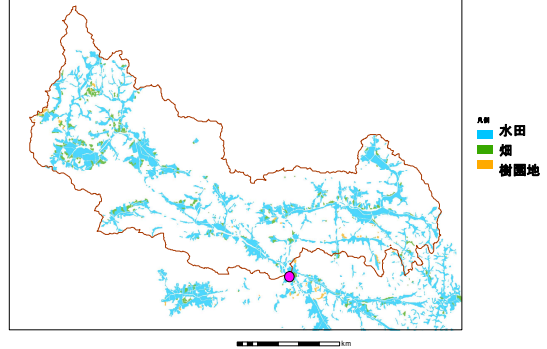
流域レイヤと土地利用レイヤから、流域ごとの土地利用面積を集計するプログラムを開発。

属 性		
名称	型	内容
流域識別名	文字列	流域識別名
土地利用種別名称1	数値	土地利用面積比率
土地利用種別名称2	数値	土地利用面積比率
土地利用種別名称3	数値	土地利用面積比率
土地利用種別名称4	数値	土地利用面積比率



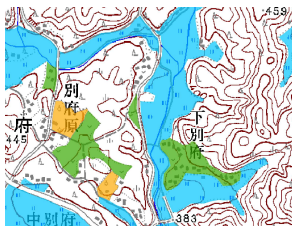
ここでは、土地利用区分を「水田」、「畑」、「樹園地」、「林野、その他」とし、その面積比率で求めた。

土地利用



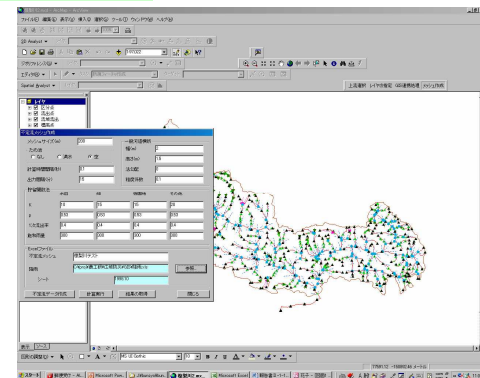
土地利用

レイヤ種別	土地利用		
ジオメトリ	ポリゴン		
制約条件			
属 性			
名称	型	内容	
種別コード	文字列	土地利用コード (水田、畑、樹園地、その他)	

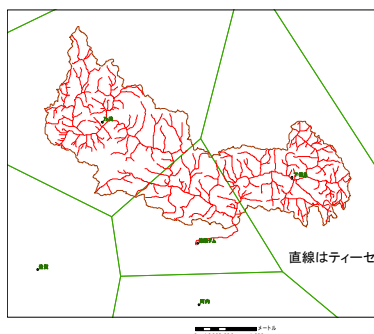


流域流出量の計算に土地利用を反映させる場合に作成。

入力画面(2)

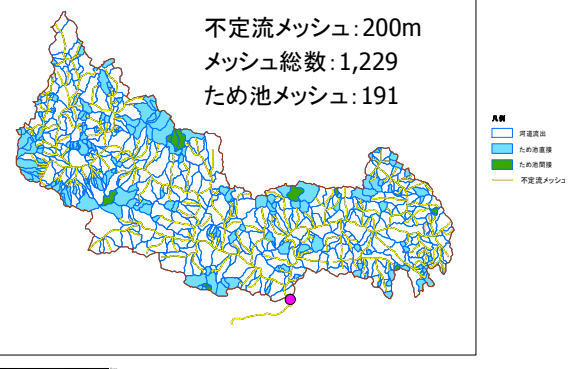


雨量観測地点



ダム管理事務所により「流域平均降雨」として加重平均された雨量を使用

自動生成した不定流メッシュと流域図



不定流計算法—モデルの基礎方程式—

河道の不定流解析は、流れを一次元的にあらわしたときの運動方程式と連続方程式を使用して行う。

摩擦抵抗にマンニングの法則を使った一次元の運動方程式は次式で表わされる。

$$\frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{g} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{v^2}{2} \right) + S + \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{n^2 |v| v}{R^{4/3}} = 0 \quad (1)$$

横流入量を考慮した連続方程式は次式であらわされる。

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q = 0 \quad (2)$$

ここで

X:流れの方向を正とする距離,t:時間,g:重力加速度(9.8m/sec²)

v:流速(断面平均流速),h:水深(河道底から水面までの高さ)

R:径深,S:河道底勾配,n:マンニングの粗度係数

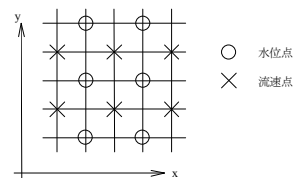
A:通水断面積,Q:流量(=Av)

q:河道単位長さ当りの横流入量

基礎方程式の解法—差分格子 ①

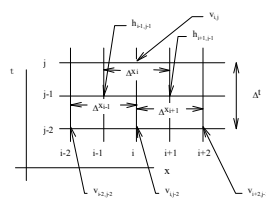
(1)の基礎方程式は解析的には解くことができないので数値解法を用いる。

ここでは次に示すような差分法を採用する。差分格子は流量、流速を求める流速点と、水位、水深を求める水位点を交互に配置したものとする。横軸に河道に沿った座標、縦軸に時間をとって差分格子を示すと図のようになる。



基礎方程式の解法—差分格子 ②

運動方程式(1)式の各項の差分展開を図の添字を使ってあらわすと以下の通りとなる。



$$\begin{aligned} \frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} &\approx \frac{1}{g} \frac{v_{i,j} - v_{i,j-2}}{\Delta t} \\ \frac{1}{g} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{v^2}{2} \right) &\approx \frac{1}{2g} \frac{v_{i+2,j-2}^2 - v_{i-2,j-2}^2}{\Delta x_{i-1}} (v_{i,j-2} \geq 0) \\ &\approx \frac{1}{2g} \frac{v_{i+2,j-2}^2 - v_{i-2,j-2}^2}{\Delta x_{i+1}} (v_{i,j-2} < 0) \\ S &\approx \frac{Z_{i+1} - Z_{i-1}}{\Delta x_i} \\ \frac{\partial h}{\partial x} &\approx \frac{h_{i+1,j-1} - h_{i-1,j-1}}{\Delta x_i} \\ \frac{n^2 |v| v}{R^{4/3}} &\approx \frac{1}{2} \frac{n^2 |v_{i,j-2}| (v_{i,j} + v_{i,j-2})}{R_{i,j-1}^{4/3}} \\ R &\approx \frac{R_{i,j-1} + R_{i+1,j-1}}{2} \end{aligned}$$

基礎方程式の解法—差分格子 ③

連続方程式(2)式の差分展開を図の添字を使って表すと次の通り。

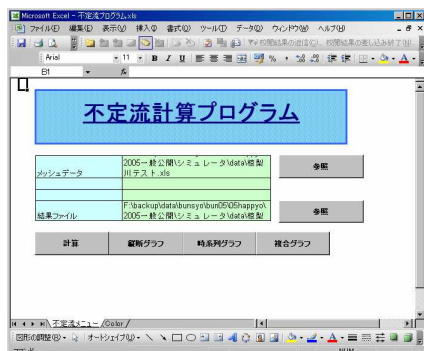
$$\frac{\partial A}{\partial t} = \frac{\partial A}{\partial h} \frac{\partial h}{\partial t} = W \frac{\partial h}{\partial t}$$

水面幅WはΔxの区間に貯留される水面積の平均幅とする。

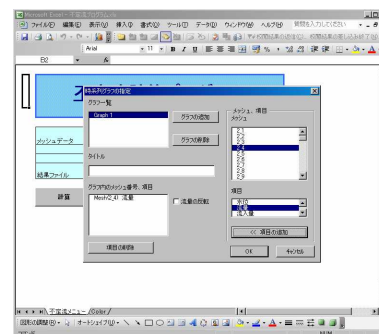
前後の水面幅(W_{i-2}, W_{i+2})を利用して次のように求める

$$h_{i,j} = h_{i,j-2} - \frac{\Delta t}{W_{i,j-2}} \left(\frac{1}{\Delta x_i} \left(\frac{A_{i+2,j-2} + A_{i,j-2}}{2} v_{i+1,j-1} - \frac{A_{i-2,j-2} + A_{i,j-2}}{2} v_{i-1,j-1} \right) - q_{i,j-1} \right)$$

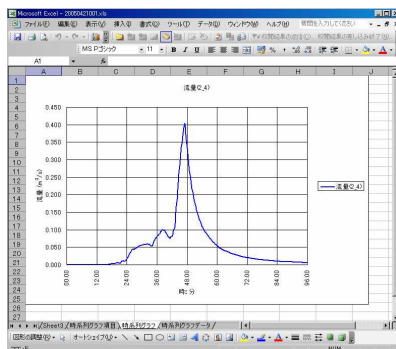
入力画面(2)



出力処理(1)

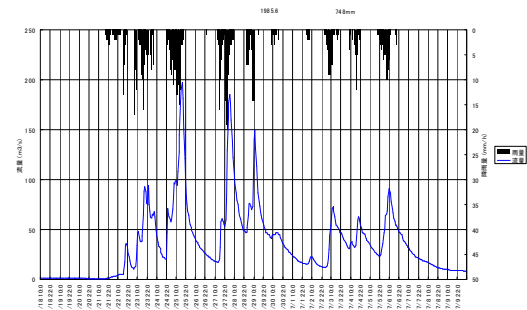


出力処理(2)



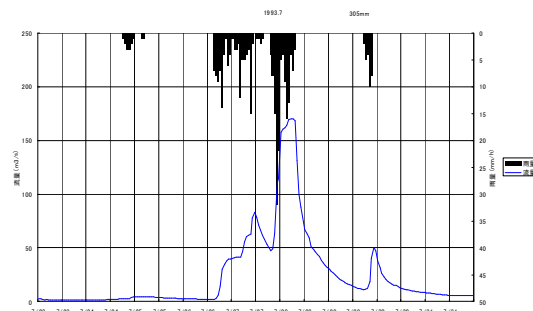
対象流域の降水量と観測流量①

1985年(昭和60年)6月20日～7月9日



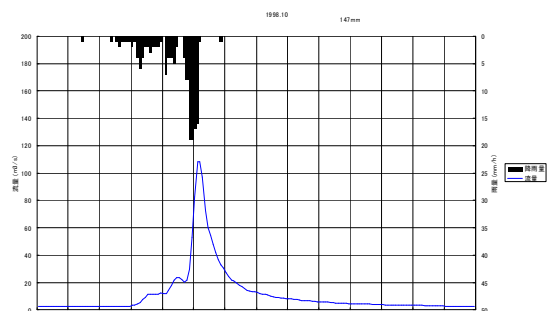
対象流域の降水量と観測流量②

1993年(平成5年)7月 23日～7月31日



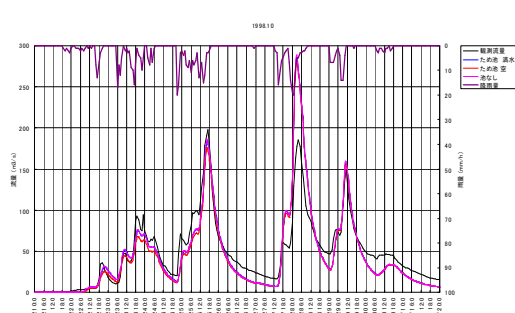
対象流域の降水量と観測流量③

1998年(平成10年)10月 15日～10月21日



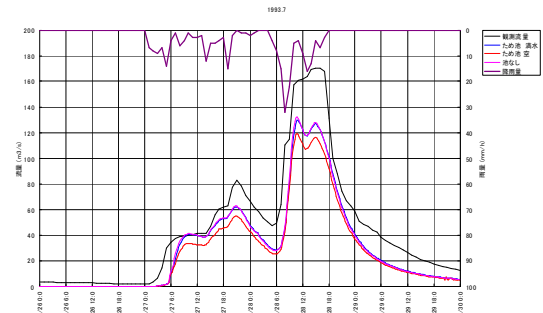
観測流量とシミュレーション結果①

1985年(昭和60年)6月20日～7月9日



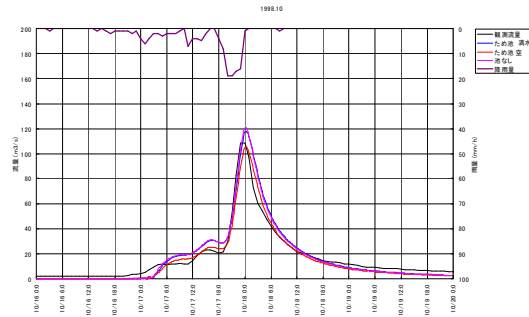
観測流量とシミュレーション結果②

1993年(平成5年)7月 23日～7月31日



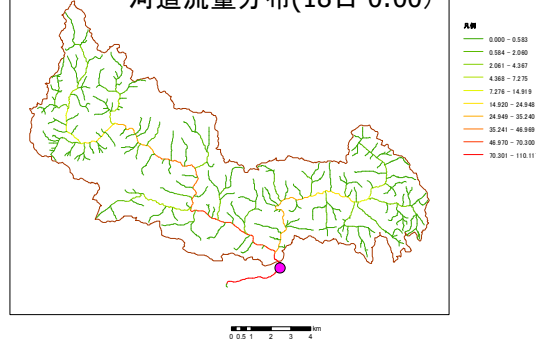
観測流量とシミュレーション結果③

1998年(平成10年)10月15日～10月21日



シミュレーション結果③

河道流量分布(18日 0:00)



シミュレーション結果③

ため池貯水率(17日 18:00)

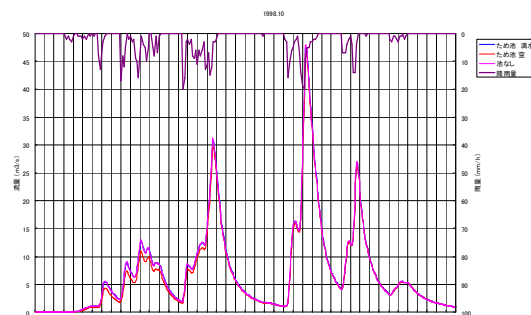


上流部のため池が多い地区の結果



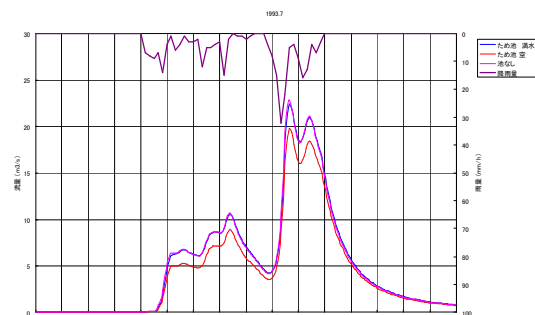
観測流量とシミュレーション結果①

1985年(昭和60年)6月20日～7月9日



観測流量とシミュレーション結果②

1993年(平成5年)7月23日～7月31日



観測流量とシミュレーション結果③

1998年(平成10年)10月15日～10月21日

