

3 水物質循環モデルの構築

3.1 水物質循環モデルの概要

3.1.1 水物質循環とは

ここで、水物質循環とは、地表における巨視的な水移動のシステムを意味する「水循環」と、この水循環に伴って運ばれる物質の流れのシステムを意味する「物質循環」を合わせたものである。

水循環は、降雨、貯留（窪地、湿地、湖沼等）、表面流出（河川等）、地下浸透（地下水の流れ等）、蒸発散といった自然系の水の循環と人工的に構築された上水道（河川からの導水、地下水の汲み上げ等）や下水道による雨水排水、汚水排水といった人工系の水の循環から構成されている。例えば、自然系と人工系の水循環系をそれぞれ模式化すると図-3.1.1.1、図-3.1.1.2のようになり、水が存在形態と存在場所を変えながら循環していることが分かる。また、この水循環に伴う汚濁負荷等の物質移動は、取水・排水等の人為的な現象と希釈、拡散、移流、沈殿、吸着・脱着、溶解・分解、浸透、掃流、生物による取り込み・排泄等の自然現象から構成されており、物質の移動過程で生物化学的な変化も生じている。

この水物質循環は、河川、湖沼等における水質、水量の問題を考えるに当たっての最も基本的かつ普遍的な工学的システムと言える。

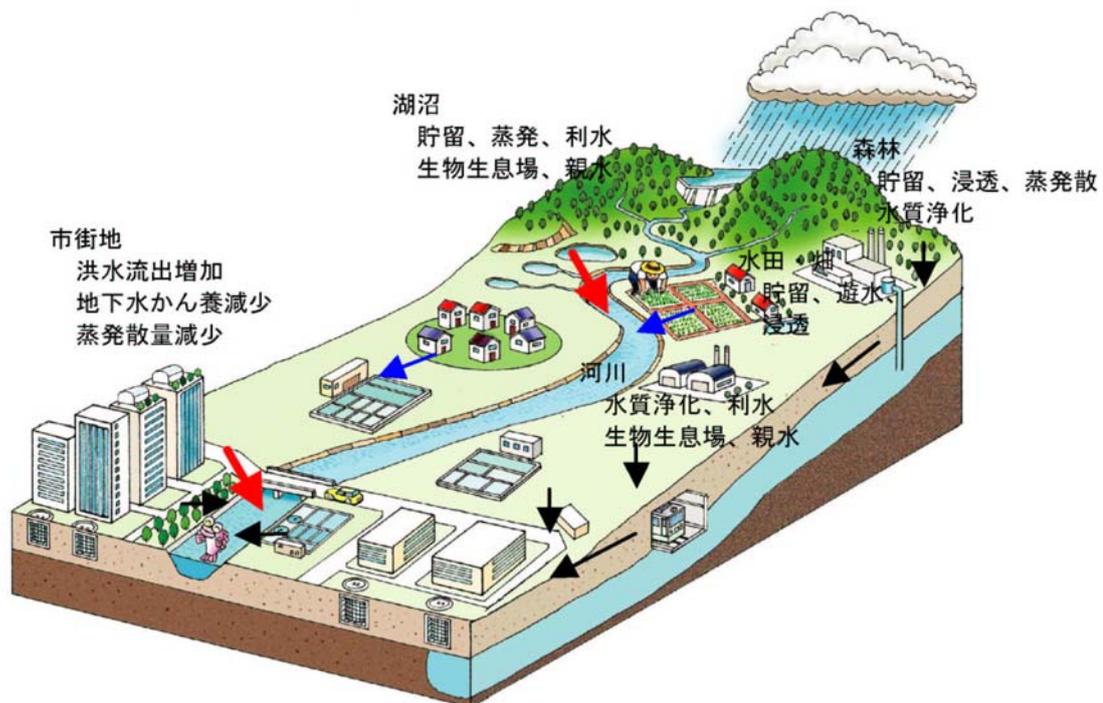


図- 3.1.1.1 自然系の水循環系のイメージ¹⁾

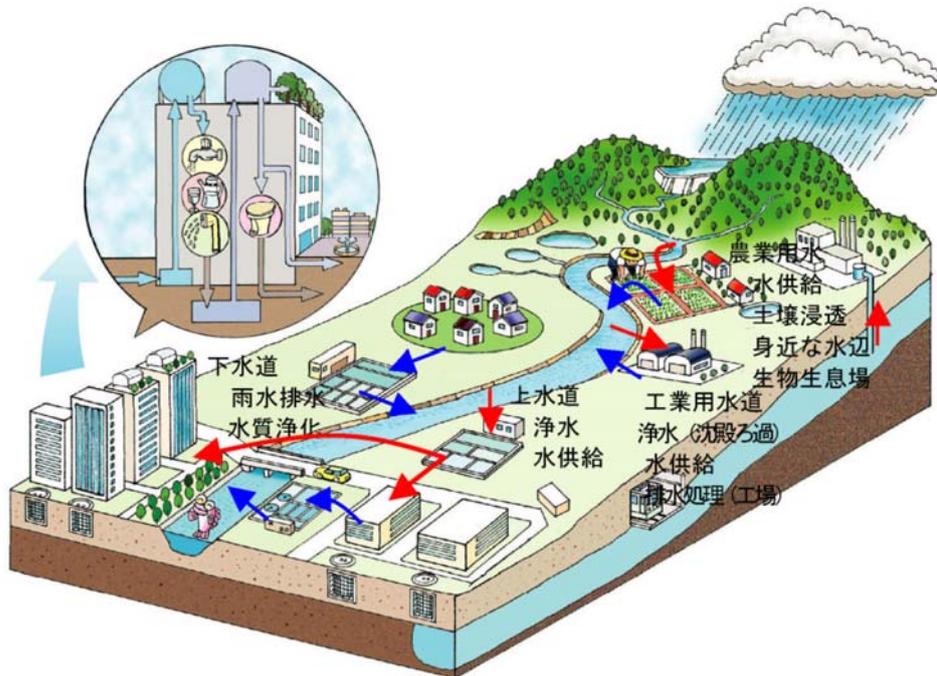


図- 3.1.1.2 人工系の水循環系のイメージ¹⁾

3.1.2 水物質循環モデルとは

流域における水物質循環は、流域の状態を捉え、流域の健全性を診断し、流域再生のあり方を探るための最も基本的な現象である。水物質循環モデルには「水循環モデル」と「物質循環モデル」に分類される。水量を推定する水循環モデルには、表- 3.1.2.1 に示すように年間総量ベースの大まかな四則演算により静的な水収支を定量化する簡便な方法（年間水収支法）から、経路毎の水量の時系列変動を推定できる精度の高いものまで種々の方法がある。

水物質循環におけるシミュレーション・モデルとして、物理的な基礎式に基づいているか否かで、物理モデルと概念モデルに分けられる。概念モデルとしては単位図、タンクモデル、貯留関数法等が挙げられる。概念モデルは複雑な事象を単純化していることから、モデルパラメータの同定は、経験的であったり、試行錯誤的となる。一方、物理モデルは、各種提案されてきており、モデルパラメータは、水循環については基本的には対象流域の物性値で与えることができる。このことは、水循環系の将来予測や施策の効果の評価において、物理モデルのシミュレーション結果に一定の信頼性をおくことができる事を意味する。しかしながら、多くの要素をモデルに組み込み、複雑になるほどパラメータの数が膨大になることから、表- 3.1.2.1 で示されているように、物理モデル構築に必要なデータや費用は莫大なものとなり、実務上の課題となっている。

表- 3.1.2.1 水循環の定量化手法の特徴¹⁾

分類	年間水収支法	概念モデル	物理モデル
概要	降雨量、流量、人工系給排水量などの観測結果と地目別流出率などの経済的な係数により経路毎の循環量を概略推定するもの。計算は貯留量の時間変化を無視するため四則演算で実行される。 計算は極めて容易であるが、計算結果は年間値の目安程度の利用に留まる。	流出の各プロセスをタンクモデル、貯留関数などの概念的なモデルで表現したもの。モデル中のパラメータは観測流量と一致するように設定する。 年間水収支法、物理モデルの中間的な特徴を持つ。	流出の各プロセスを数理モデルで表現したもので、計算上の流向の仮定により1次元モデルから3次元モデルに分かれる。モデル中の定数は計測可能な物性値で設定することを前提とする。 精度の高い予測が期待されるが、演算に要するトータルコストが高い。
入力情報の多少	少	中	多
出力情報の多少	少	中	多
演算の難易度	低	中	高
結果の厳密性	低	中	高
計算時間単位	年	日	秒～時間
計算空間単位	流域一括	流域一括 あるいは小分割流域毎	計算格子点毎
入力条件 (計算空間単位毎)			
降雨量	年間値を入力	計算単位で入力	計算単位で入力
蒸発散量	実蒸発散量を入力	実蒸発散量を入力	可能実蒸発散量を入力
土地利用情報	浸透・不浸透の別を入力	浸透・不浸透の別を入力	浸透・不浸透の別、 等価精度係数を入力
人工系給排水量	年間値を入力	計算単位で入力	計算単位で入力
自然系保水特性	考慮せず	タンク孔定数、貯留量関数 等を入力	透水係数、不飽和帯特性 を入力
可動特性	考慮せず	考慮せず	形状、精度係数を入力
算定項目			
経路毎の年循環量	算定可	算定可	算定可
日流量・流況	算定不可	算定可	算定可
高水流量	算定不可	一部のモデルで算定可	算定可
地下水流出量	算定不可	一部のモデルで算定可	算定可
地下水位・かん養量	算定不可	一部のモデルで算定可	算定可

注)入力条件、算定項目は一般的な構成、内容を掲げたものであり、個別のモデルにより多少変化する。

水質を定量化するためのモデルには、流域全体を対象とした発生汚濁負荷量を算定し、水量との関係からこれを水質に変換するモデル、また、湖沼や河川における一定の領域を対象に有機物の内部生産を考慮した水質シミュレーションモデル等がある。前者は河川や湖沼に流出する汚濁物質の発生源を流域全体で把握し、水域の将来水質を予測する際に有効である。後者は河川や湖沼に排出された汚濁の集中や拡散等の状態を一定の領域内で把握する場合に有効である。

なお、水物質循環モデルの概論については、「都市小流域における雨水浸透、流出機構の定量的解明」研究会から出版されている「都市域における水循環系の定量化手法」に詳しく解説されているので参考にされたい²⁾。

3.1.3 水物質循環モデルの開発の意義

流域水物質循環モデルの検討対象としている東京湾とその流域では、流域の高度な土地利用と閉鎖性水域における沿岸域の開発などにより水環境など悪化を招いている。これに対応するため様々な政策や事業が実施されてきているが、閉鎖性水域を抱える流域については未だ根本的な解決に至っていないケースが少なくない。このため、土地利用等流域条件や取排水条件の異なる様々な流域の水物質循環現象の再現が可能な分布型水物質循環モデルである「陸域モデル」と、流域からの外部負荷、底泥溶出等の内部負荷及び植物プランクトンの内部生産による水域の水質形成機構を表現できる「水域モデル」の統合モデルを構築することにより干潟などの自然再生や下水道整備などのインフラ整備をはじめとする様々な環境改善施策に対する検討を行うことが可能となる。また既存の知見の範囲内で過去の人口条件、土地利用状況、気象条件などを設定することにより、過去から現在に至る水環境の変遷を理解することができる。

3.1.4 水物質循環モデルの開発目標

以下の点に留意して水物質循環モデルを構築する。

① 水環境の改善に係わる政策検討を目的とした水物質循環モデル

水問題の中でも特に平常時の水質・水量に係わる水環境問題の解決に資する「水物質循環モデル」を構築する。このため、流域の流出については、日平均流量のレベルで高水及び低水の再現を図るとともに、物質に関しては COD、N、P の汚濁負荷を対象の基本とする。

② 汎用型の水物質循環モデル

検討対象とする東京湾流域のみならず、全国各地域・水域の水物質循環現象の再現や水環境問題への適用が可能な汎用型モデルとする。このため、土地利用等流域条件や取排水条件の異なる様々な流域の水物質循環現象の再現が可能な分布型水物質循環モデルである「陸域モデル」と、流域からの外部負荷、底泥溶出等の内部負荷及び植物プランクトンの内部生産による水域の水質形成機構を表現できる「水域モデル」を構築する。

③ 操作性の高い水物質循環モデル

開発する水物質循環モデルについては、今後普及し、全国の水環境問題の解決に資することを開発目的としており、このためには、シミュレーション・モデルについて特別の知識を有しない現場管理者のレベルで、容易に使いこなせることが重要と考えている。このため、図-3.1.4.1に示すように GIS をベースとしたユーザーインターフェイスを整備し、土地利用の改変等流域条件の変化や水環境に係わる様々な施策の入力や計算結果の出力を容易にする。

④ 理論構造や計算内容が分かりやすい水物質循環モデル

開発対象とする水物質循環モデルについては、当該流域の水物質循環現象を限りなく精緻に再現するというよりも、関係者による現象や課題の共通理解、合意形成等を支援することを目的としており、政策議論に必要な精度・信頼性は確保しつつも、モデルの構造や計算の内容が分かりやすいモデルとすることとし、水物質循環の基本的現象に対応するモ

デルとする。なお、適用する流域や現象の特殊性により、本モデルの原理だけで対応できない場合に対して、その特殊性に対応する個別的・部分的モデルを作成し、本モデルに連結することによる適用性を確保する。

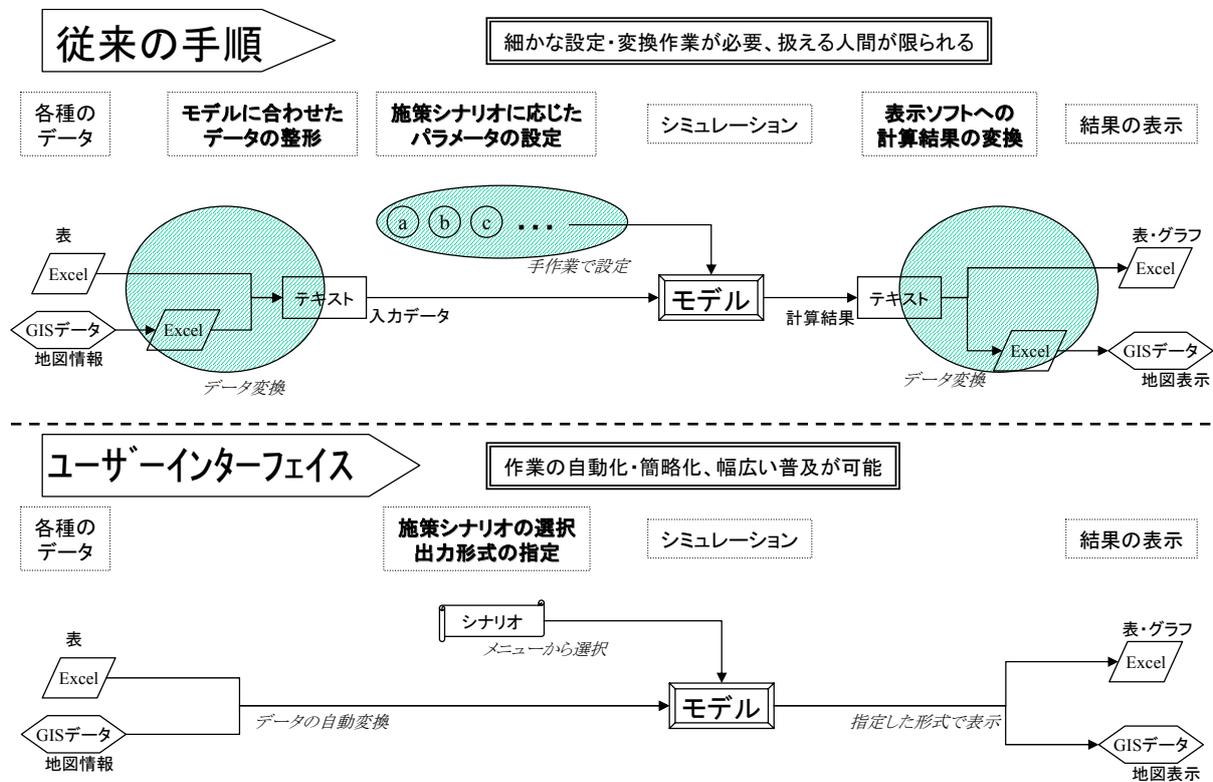


図- 3.1.4.1 ユーザーインターフェイスの意義

3.1.5 本研究における水物質循環モデルの特徴

本モデルの特徴としては、以下のことが挙げられる。

- ① 分布型モデル：流域をメッシュに分割し、メッシュ単位で解析を行うことから、任意地点（メッシュ）での水・物質の挙動の解析・出力が可能
- ② 非定常モデル：平常時、降雨時を含めた任意時間での解析が可能
- ③ 水量・物質連成解析モデル：水の挙動および物質の挙動の同時解析が可能
- ④ 統合型モデル：流域内の諸現象（蒸発散・地下水・地表流・河道流・水域）に応じて、各モデルにより解析し、それらを連成することによって流域全体の現象を解析
- ⑤ GIS連成型モデル:GISを介しての流域データのモデルへのインプットデータ作成、解析結果の格納、可視化
- ⑥ 施策指向型モデル：雨水浸透柵設置や生活排水対策等、様々な水循環健全化施策による改善効果を解析することが可能

参考文献

1) 健全な水循環系構築に関する関係省庁連絡会議：健全な水循環系構築のための計画づくりに向けて， pp37-45， 2003.

<http://www.mlit.go.jp/tochimizushigen/mizsei/junkan/keikakudukuri.html>

2) 「都市小流域における雨水浸透、流出機構の定量的解明」研究会：都市域における水循環系の定量化手法-水循環系の再生に向けて-， pp.44-82， ， 2000.

3.2 水物質循環モデルの開発

本研究で構築した水物質循環モデルは流域モデル及び水域モデル（湾モデル）から構成される。以下、3.2.1では流域モデルの概要を3.2.2では水域モデルの概要を説明する。

3.2.1 流域モデルの概要

流域モデルは、流域全体の水物質循環を表現する“流域水循環モデル”と、流域内における汚濁物質流動を表現する“流域物質循環モデル”により構成される。

“流域水循環モデル”は、図-3.2.1.1に示すように、降雨、蒸発散等の自然系水循環を領域とするモデルと、農業用水・上水等の人工系水循環を領域とするモデルとからなり、両者をあわせることにより流域内の水循環を表現するものである。

また、“流域物質循環モデル”は、降雨や大気由来、及び人為的に地表面に散布される等の汚濁源を特定されない面源負荷（ノンポイントソース）を対象とするモデルと、下水処理場などの生活系や工業系由来などの汚濁源の特定される点源負荷（ポイントソース）を対象とするモデルとからなり、両者にあわせることにより流域内における物質流動を表現するものである。ここで、これら汚濁源の流出は、上述の“流域水循環モデル”により導出される“水の流れ”に規定され、地表面に堆積する物質は掃流され、また水域内に建濁している物質は流達することになる。

以上より、両モデルの関係を示せば「流域水物質循環モデル＝流域水循環モデル＋流域物質循環モデル」と表すことができる。実流域に流域水物質循環モデルを適用する場合は、①水循環ならびに汚濁物質流動を表現するためのモデルを構築し、②流域水循環モデルによって流域内水理量を解き、③流域内水理量をもとに汚濁物質流動を解く、という手続を踏むことになる。

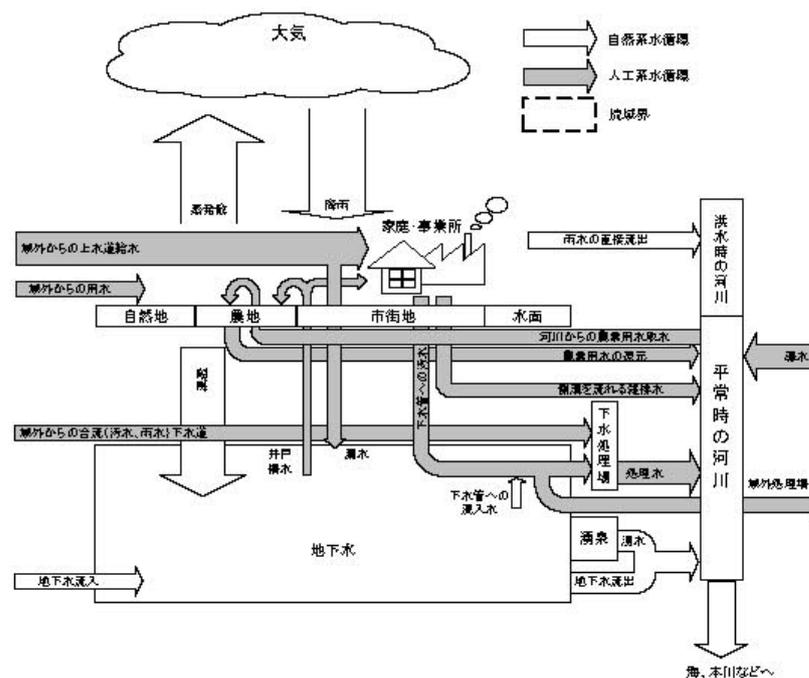


図- 3.2.1.1 流域水循環モデルの定量化項目のイメージ¹⁾

本検討での流域モデルは、タンクモデルを対象としその概念図を図- 3.2.1.2、図- 3.2.1.3に示す。

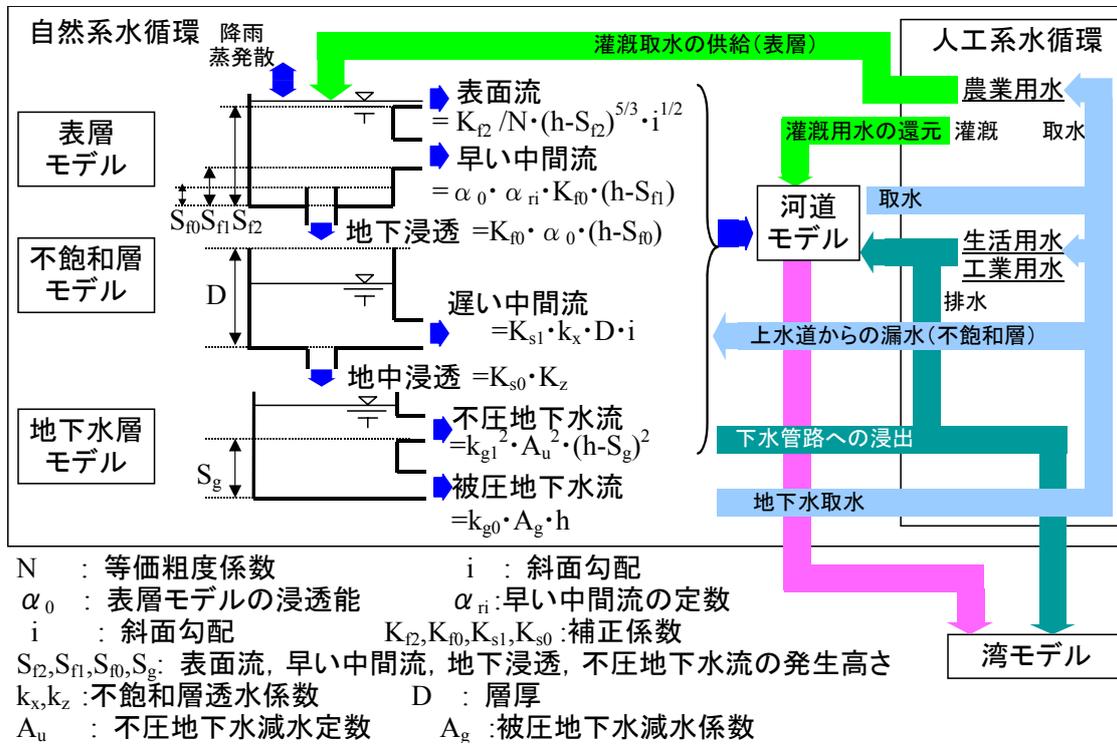


図- 3.2.1.2 流域水循環モデルの概念図

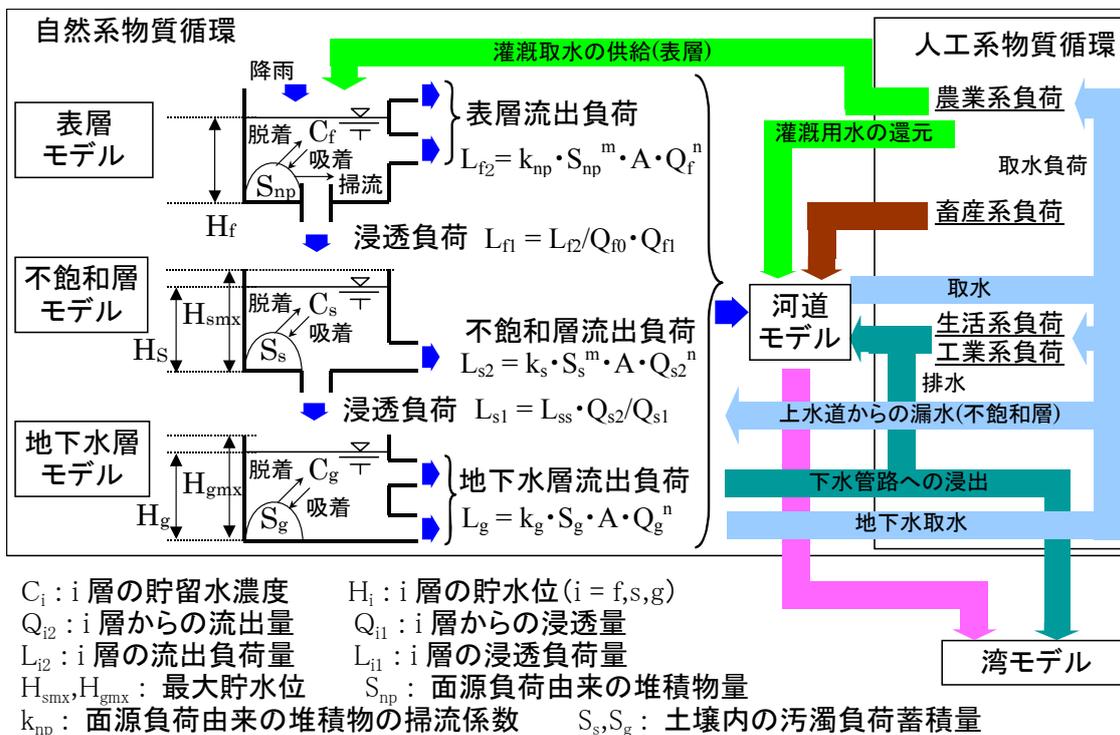


図- 3.2.1.3 流域物質循環モデルの概念図

(1) 流域水循環モデルの概要

分布型の自然系水循環モデルは流域をメッシュ分割して、メッシュ毎で降雨－流出－地下浸透などの計算を行い、表面流・地中流をメッシュ間の移動として計算するものである。

図-3.2.1.4 に、自然系水循環モデルのメッシュ単位での計算概念図を示し、各タンクでの解析方法を次ページ以降に説明する。

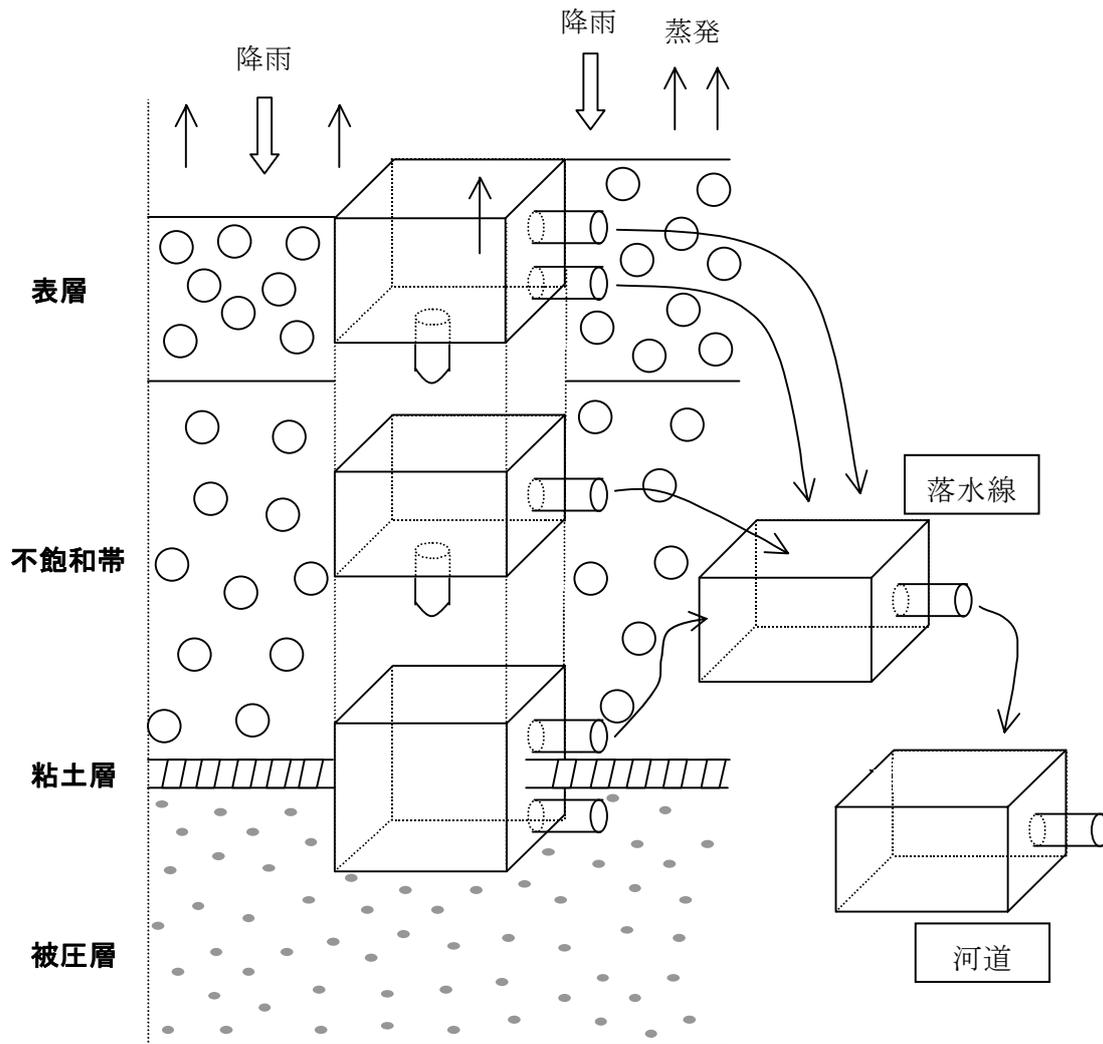


図- 3.2.1.4 自然系水循環モデルのメッシュ単位での計算概念図

1) 表層モデル

表層モデルの構造は右図のとおりである。雨量を表面流、早い中間流、地下浸透流に分離するモデルである。上から1番目の穴が表面流の穴で、2番目の穴が早い中間流の穴で、下の穴が地下浸透の穴である。

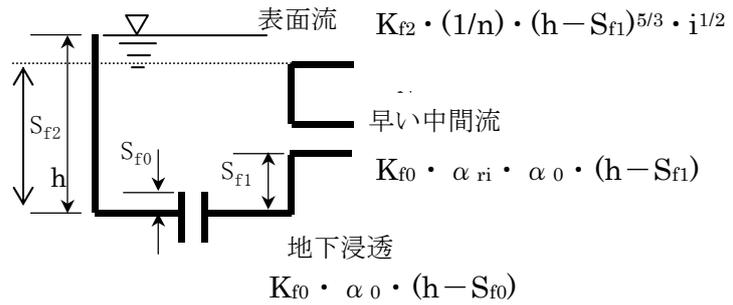


図- 3.2.1.5 表層モデルの概念図

S_{f2} : 表面流の発生する高さ(m)

S_{f1} : 早い中間流の発生する高さ(m)

S_{f0} : 地下浸透の発生する高さ(m)

h : タンク内水位(m)

L : メッシュ長(m)

N : 等価粗度係数($m^{-1/3} \cdot s$)

i : 斜面勾配 (落水線方向の勾配: メッシュ内は一様に傾いていると仮定)

α_{ri} : 早い中間流の定数 (地下浸透量に対する比率)

α_0 : 表面タンクの浸透能(cm/s/m)

K_{f2}, K_{f0} : 補正係数

① 表面流

表面流はManning則が成り立つものとして基礎式を決定している。

- Manning平均流速公式

$$V = (1/n)R^{2/3}i^{1/2} \quad V: \text{平均流速(m/s)}, n: \text{粗度係数(m}^{-1/3} \cdot \text{s)}, R: \text{径深 (m)}, i: \text{勾配 (流れは等流と仮定し勾配を水路の河床勾配と同一とする)}$$

上式を表面タンクの構造に当てはめ、他のタンクからの流出量とのバランスをとるための補正係数を考慮して、

$$q_{f2} = K_{f2} \times (1/N) \times (h - S_{f2})^{5/3} \times i^{1/2}$$

K_{f2} : 補正係数 (= $1/L$ (L : メッシュ長(m)) で取り扱っている)

となる。

② 早い中間流出量、地下浸透量

早い中間流出量、地下浸透量は浸透能に比例するものとする。

地下浸透量は浸透能から決定されるものとし、算定式を以下としている。

$$q_{f0} = K_{f0} \cdot f$$

q_{f0} : 地下浸透量高(m/s)、 K_{f0} : 補正係数、 f : 浸透能(m/s)

ここで、表面タンクの浸透能はタンク水位が表面流を発生するときの高さ $h = S_{f2}$ の時の値が最終浸透能と等しくなり、 $h = S_{f0}$ の時ゼロとなることとした。

(浸透能は降雨強度により異なり、降雨開始直後にきわめて大きな値を示し、急激に減

少し、最終的に一定値（最終浸透能）に近づくように変化する。最終浸透能は土壌の性質により異なり、降雨強度が浸透能を超えると地表流が発生することとなる。）

従って、浸透能 f はタンクの水深（ $h - S_{f0}$ ）に比例して最終浸透能 f_0 を配分して与えるものとした。

$$f = \alpha_0 \times (h - S_{f0}) \quad : \quad \alpha_0 = f_0 / (S_{f2} - S_{f0}) \quad f_0 : \text{最終浸透能(m/s)}$$

従って、地下浸透量は以下の式で表現される。

$$\mathbf{q_{f0} = K_{f0} \times \alpha_0 \times (h - S_{f0})}$$

一方、早い中間流出量は浸透量の一部が地下に浸透する能力を上回る強度で供給された場合に表層タンクの底部から横方向に移動する量として与えられるものとし、 $h - S_{f1}$ に比例する値により得られるものとして算定する。その比例定数を α_{f1} として、以下のように記述される。

$$\mathbf{q_{f1} = \alpha_{f1} \times K_{f0} \times \alpha_0 \times (h - S_{f1})}$$

表面タンクの連続式は以下のとおりである。

① $h \geq S_{f2}$ の場合

$$\frac{\partial h}{\partial t} = R - E_{ps} - q_{f0t} - q_{f1t} - q_{f2t} \quad (\text{式- 3.2.1.1})$$

② $S_{f1} \leq h < S_{f2}$ の場合

$$\frac{\partial h}{\partial t} = R - E_{ps} / S_{f2} \cdot h - q_{f0t} - q_{f1t} \quad (\text{式- 3.2.1.2})$$

③ $S_{f0} \leq h < S_{f1}$ の場合

$$\frac{\partial h}{\partial t} = R - E_{ps} / S_{f2} \cdot h - q_{f0t} \quad (\text{式- 3.2.1.3})$$

④ $h < S_{f0}$ の場合

$$\frac{\partial h}{\partial t} = R - E_{ps} / S_{f2} \cdot h \quad (\text{式- 3.2.1.4})$$

ここに、 R : 雨量(m)

q_{f0t} : 地下浸透量高(m)

E_{ps} : 蒸発量(m) : 5)で詳述

q_{f2t} : 表面流出量高(m)

S_{f2} : 表面流の発生する高さ(m)

q_{f1t} : 早い中間流出量高(m)

S_{f1} : 早い中間流の発生する高さ(m)

h : タンク内水位(m)

S_{f0} : 地下浸透の発生する高さ(m)

2) 不飽和帯モデル

不飽和帯モデルは不飽和帯の水分移動を考えたモデルである(タンク内の水分を層厚に対する水分量(比)で取り扱う)。モデルの構造は右図のとおりである。遅い中間流は不飽和透水係数に比例し動水勾配が近似的に地形勾配に等しいとして流出量を計算する。地中浸透量は不飽和透水係数に比例し、動水勾配を1として計算する。

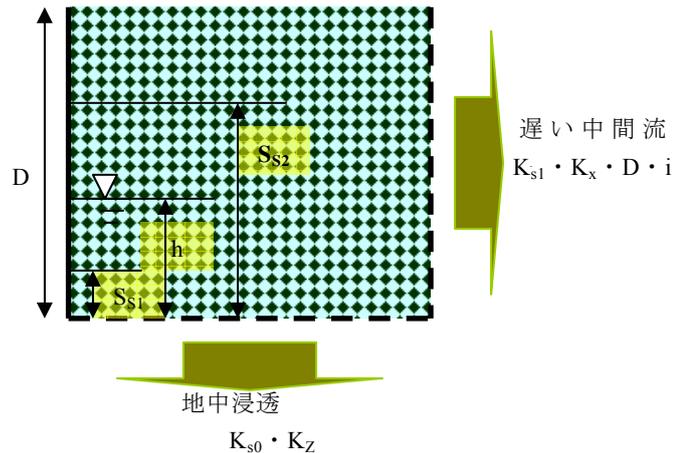


図- 3.2.1.6 不飽和帯モデルの概念図

(透水係数について：透水係数は多孔質体中の水の流速の大きさを示す指標で、飽和時の透水係数を飽和透水係数、不飽和時は不飽和透水係数といい、不飽和透水係数は飽和透水係数に較べかなり小さい値となる。また、地下水の流れはダルシーの法則により得られるとし、これはフランスの水道技師Henry Darcy (1856)が、砂ろ過の実験から明らかにした地下水流動に関する法則である。地下水の流速は透水係数と動水勾配の積で表わされるとするものである。)

S_{S2} : 飽和水分量相当高 S_{S1} : 最小水分量相当高 h : タンク内水分量相当高 D : 層厚(m) K_x : 水平方向の不飽和透水係数(m/s) K_z : 鉛直方向の不飽和透水係数(m/s) i : 斜面勾配 (落水線方向の勾配：メッシュ内は一様に傾いていると仮定) K_{s1}, K_{s0} : 補正係数	}	不飽和モデルは水分量で水の移動を考えるため、 これらは概念的な諸量である。
---	---	--

① 遅い中間流出

遅い中間流はDarcy則に従うものとし、タンク内の水分量により透水係数が変化するものとする。つまり、不飽和透水係数を水分量に応じて推定して算定することとする。

・ Darcy則

$$q = k \times i \quad q : \text{流出高 (m/s)}, k : \text{透水係数(m/s)}, i : \text{動水勾配}$$

動水勾配が近似的に斜面勾配に等しいと仮定し、上式を不飽和タンクの構造に当てはめ、補正係数を考慮し、以下のとおりとなる。

$$\underline{q_{s1} = K_{s1} \times K_x \times D \times i} \quad q_{s1} : \text{流出高(m/s)}, K_{s1} : \text{補正係数 (=1/Lで取り扱っている)}, K_x : \text{水平方向の不飽和透水係数(m/s)}, D : \text{層厚(m)}, i : \text{動水勾配}$$

ここで、不飽和透水係数は水分量に比例するものとし、 $h = S_{s2}$ で飽和透水係数と等しくなり、 $h = S_{s1}$ で0となるよう、次式により推定する。

$$K_x = K_{sx} / 100 \cdot \frac{\exp(b \cdot \theta) - \exp(b \cdot \theta_w)}{\exp(b \cdot \theta_s) - \exp(b \cdot \theta_w)}$$

K_x : 水平方向の不飽和透水係数(m/s),

K_{sx} : 水平方向の飽和透水係数 (cm/s,定数として与える),

b : 定数, θ : 水分量 (h/D),

θ_s : 飽和水分量 (S_{S2}/D) (定数として与える),

θ_w : 最小水分量 (S_{S1}/D) (定数として与える),

S_{S2} : 飽和水分量に相当する貯留高,

S_{S1} : 最小水分量に相当する貯留高

② 地中浸透

地中浸透もDarcy則に従うものとし、タンク内の水分量により透水係数が変化するものとする。

・ Darcy則

$$q = k \times i \quad q : \text{流出高(m/s)}, k : \text{鉛直方向不飽和透水係数(m/s)}, i : \text{動水勾配}$$

上式を不飽和タンクの構造に当てはめ、補正係数を考慮すると、以下のとおりとなる。

$$q_{s0} = K_{s0} \times k_z \times i$$

ここで、不飽和透水係数は水分量に比例するとして、次式のとおりとする。

$$k_z = k_{sz} \cdot \frac{\exp(b \cdot \theta) - \exp(b \cdot \theta_w)}{\exp(b \cdot \theta_s) - \exp(b \cdot \theta_w)}$$

k_z : 垂直方向の不飽和透水係数(m/s),

k_{sz} : 垂直方向の飽和透水係数 (m/s,定数として与える),

b : 定数, θ : 水分量 (h/D),

θ_s : 飽和水分量 (S_{S2}/D) (定数として与える),

θ_w : 最小水分量 (S_{S1}/D) (定数として与える),

S_{S2} : 飽和水分量に相当する貯留高,

S_{S1} : 最小水分量に相当する貯留高

- ※ 不飽和透水係数は土壌内の水分量との関係は基本的に実験や回帰によって得られるものであるが、計算を簡便化するために用いた関係式である。水理公式集ではBrooks and Coreyによって提案された下記の不飽和透水係数と飽和透水係数との関係式を紹介している。

$$k_z = k_{sz} \cdot \left(\frac{\theta - \theta_w}{\theta_s - \theta_w} \right)^{3+2/\lambda}$$

λ : 土壌の特性による経験的パラメータ・0.1~10程度の範囲で変化する。

- ※ 次ページに定数**b**を変化させたときの飽和透水係数にかかる比率とBrooks and Corey式のパラメータ**λ**を変化させたときの飽和透水係数にかかる比率との比較図を示した。これより本モデルの定数**b**を15とした場合の比率がBrooks and Corey式のパラメータ**λ**の一般値上限である10以下の場合と整合がよいため、定数**b**=15とした。

飽和水分量 θ_s	0.6			
最小水分量 θ_w	0.3			
定数b	1	10	15	100
タンク内水分量 θ	0.30	0.000	0.000	0.000
	0.32	0.058	0.012	0.004
	0.34	0.117	0.026	0.009
	0.36	0.177	0.043	0.016
	0.38	0.238	0.064	0.026
	0.40	0.301	0.090	0.039
	0.42	0.364	0.122	0.057
	0.44	0.430	0.160	0.081
	0.46	0.496	0.207	0.113
	0.48	0.564	0.265	0.156
	0.50	0.633	0.335	0.214
	0.52	0.703	0.420	0.293
	0.54	0.775	0.525	0.400
	0.56	0.849	0.653	0.544
	0.58	0.924	0.809	0.738
	0.60	1.000	1.000	1.000

不飽和透水係数算出のさいの飽和透水係数にかかる比率

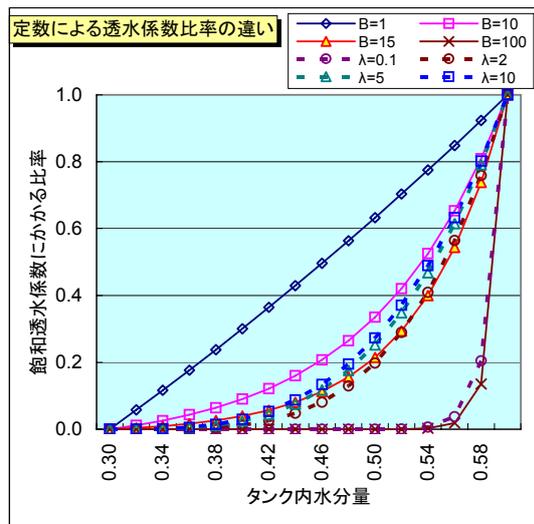


図- 3.2.1.7 不飽和帯モデルの係数と透水係数の関係

不飽和タンク層から地中への浸透は不飽和層での地下水流動の鉛直方向移動量として把握されるべき量として見積もられ、ここでは近似的に動水勾配を1.0とし、不飽和透水係数に比例して地下浸透量が発生するものとして取り扱う。

$$q_{s0} = K_{s0} \times K_z$$

不飽和タンクの連続式は以下のとおりである。

① $h \geq S_{s2}$ の場合

飽和状態であるため上段の表面タンクから不飽和タンクへは浸透しないと考える。両タンク間の動的な結合は計算を複雑にすることから、不飽和タンク水分量相当高が S_{s2} を越える場合は表面タンクからの浸透量を落水線下流の表面タンクに流入させる。

② $S_{s2} > h \geq S_{s1}$ の場合

$$\theta_s \frac{\partial h}{\partial t} = q_{int} - E_{ps} - q_{s0t} - q_{s1t} \quad (\text{式- 3.2.1.5})$$

③ $h < S_{s1}$ の場合

$$\theta_s \frac{\delta h}{\delta t} = q_{in} - E_{ps} / S_{s1} \cdot h \quad (\text{式- 3.2.1.6})$$

※タンク内の水分量が最小水分量より小さいときは遅い中間流も地中浸透も発生しない

ここに、 S_{s2} : 飽和状態の貯留高(m)

q_{s0t} : 地中浸透量高(m)

S_{s1} : 最小水分量に相当する貯留高(m)

q_{s1t} : 遅い中間流出量高(m)

q_{int} : 表面モデルからの流入量高(m)

θ_s : 飽和水分量

E_{ps} : 蒸発量(m)

h : 不飽和モデルの貯留高(m)

3) 地下水モデル

地下水モデルの構造は右図のとおりである。横の穴の上から1番目は不圧地下水の穴で、2番目が被圧地下水の穴である。地下水の流出は被圧地下水が h に比例し、不圧地下水が $(h - S_g)^2$ に比例すると考える。

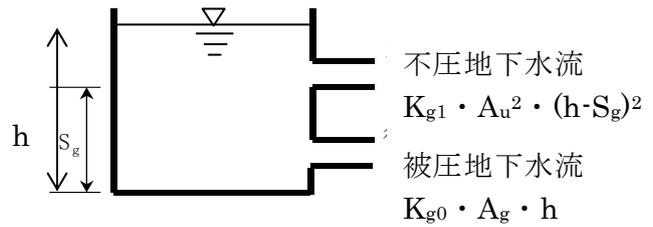


図- 3.2.1.8 地下水モデルの概念図

- h : タンク水位(m)
- S_g : 不圧地下水発生高(m)
- A_u : 不圧地下水減水定数($\text{mm}^{-1/2} \cdot \text{day}^{-1/2}$)
- A_g : 被圧地下水減水定数(1/day)
- K_{g1}, K_{g0} : 補正係数

不圧地下水の貯留量と流出量の対応関係は貯留関数としてCoutagneとDingにより次式のように示されている²⁾。

$$Q_g = K^2 S_g^2 \quad (\text{ここで、} K : \text{定数、} S_g : \text{地下水貯留量})$$

また被圧地下水の流出量は同じく地下水貯留量と線形関係で得られることが同様に示されていることから、本検討での不圧地下水と被圧地下水の流出量は次式に示す通りとした。

$$q_{g1} = K_{g1} \times A_u^2 (h - S_g)^2 \quad (\text{式- 3.2.1.7})$$

$$q_{g2} = K_{g0} \times A_g h \quad (\text{式- 3.2.1.8})$$

q_{g1} : 不圧地下水流出高 (m/s)、 q_{g2} : 被圧地下水流出高 (m/s)

地下水タンクの連続式は次のとおりである。

① $h \geq S_g$ の場合

$$\frac{\partial h}{\partial t} = q_{\text{int}} - q_{g1t} - q_{g2t} \quad (\text{式- 3.2.1.9})$$

② $h < S_g$ の場合

$$\frac{\partial h}{\partial t} = q_{\text{int}} - q_{g2t} \quad (\text{式- 3.2.1.10})$$

ここに、 q_{int} : 地中浸透量高(m)

q_{g1t} : 不圧地下水流出量高(m)

q_{g2t} : 被圧地下水流出量高(m)

h : 地下水モデルの貯留高(m)

S_g : 不圧地下水流出が発生する高さ(m)

4) 河道モデル

河道モデルの構造は図- 3.2.1.9のとおりである。流出はManningの式に従うものとする。基礎式は式-3.2. 1.11のとおりである。

$$\frac{\partial h}{\partial t} = q_{in} - q_r \quad (\text{式- 3.2.1.11})$$

ここに、 q_{in} : 表層・不飽和帯・地下水モデル
及び上流河道モデルからの
流入量高(m)

q_r : 河道流出量(m³/s)

n : 粗度係数(m^{-1/3}・s)

h : 河道水位(m)

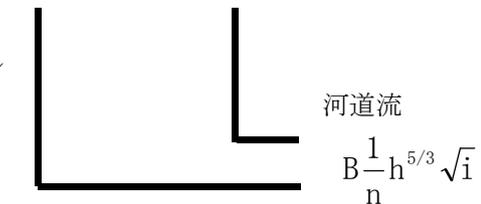


図- 3.2.1.9 河道モデルの概念図

河道の流れはマンニングの等流公式が成り立つとすると次のとおりである。

$$q_r = (1/n)h^{5/3}i^{1/2} \quad (\text{式- 3.2.1.12})$$

ここに、 i : 河道（河床）勾配

※河道勾配 i が1/10万以下となる場合は一律勾配を1/10万としている。

河道流出量高から河道流出量を算出する際には、河道長 L (m)および河道幅 B (m)を考慮する。河道幅 B は対象とする河道の測量結果が得られれば、そのまま用いるが、測量結果が得られない場合は、レジューム則より河道幅を設定するものとした。

$$B = cA^s \quad (\text{式- 3.2.1.13})$$

ここに、 c , s : 定数 (s は一般に1以下である。)

A : 流域面積(m²)

河道長 L (m)は落水線の方角により下記のように設定するものとした

落水線の方角	河道長設定
縦および横（下図 2, 4, 6, 8）	メッシュ長
斜め（下図 1, 3, 7, 9）	メッシュ長× $\sqrt{2}$

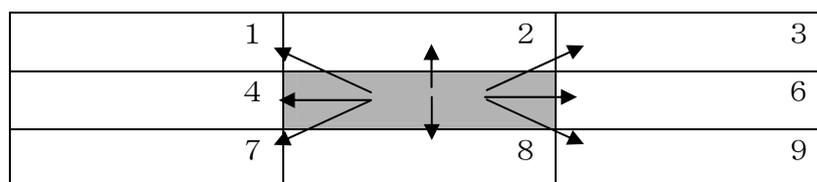


図- 3.2.1.10 モデル上の河道の設定方法

5) 蒸発モデル

蒸発量は、可能蒸発散量に係数を乗じる方法とする。

$$E_{ac} = fE_p \quad (\text{式- 3.2.1.14})$$

ここに E_{ac} : 実蒸発散量
 E_p : 可能蒸発散量
 f : 係数

係数 f は日毎の可能最大日照時間と実際の日照時間との比率により設定する。
 また、本モデルでは可能蒸発散量を推定するモデルとして、Penman の式を採用している。

【Penman の式】

a. 可能蒸発散量の推定

$$E_p = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (Q_a / L) + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} f(u)(e_{sa} - e_a) \quad (\text{式- 3.2.1.15})$$

$$f(u) = 0.026(0.5 + 0.54u_2) \quad (\text{式- 3.2.1.16})$$

ここに E_p : 可能蒸発散量 (cm/day)
 Q_a : 正味放射量 (cal/day)
 Δ : 飽和水蒸気曲線の温度に対する勾配 (hpa/°C)
 L : 水の気化熱 (=597.31 - 0.563T) (T : 気温 ; °C)
 γ : 乾湿計定数
 e_{sa} : 飽和水蒸気圧 (hpa)
 e_a : 実水蒸気圧 (hpa)
 $f(u)$: 風速関数
 u_2 : 地表面から 2m の高さの風速 (m/s)

b. 正味放射量

$$Q_a = (1 - \alpha)R_{sc}(a + b \cdot n/N) - \sigma T_a^4(a' - b'\sqrt{e_a})(a'' - b'' \cdot n/N) \quad (\text{式- 3.2.1.17})$$

ここに α : アルベド (土地利用・季別で設定、表- 3.2.1.1参照)
 R_{sc} : 1 日の大気外太陽放射量 (cal/day)
 n/N : 日照率 (n : 日照時間, N : 可照時間)
 σ : Stefan - Boltzman 定数 (=8.132×10⁻¹¹ cal/min/k⁻⁴)

T_a : 絶対温度 (k) ($=273.15+T$) (T : 温度 ; $^{\circ}\text{C}$)

a, b, a', b', a'', b'' : 経験的に決まる定数 (下表)

a	b	a'	b'	a''	b''
0.18	0.55	0.56	0.080	0.1	0.9

$$R_{sc} = R_o (r_m / r)^2 \cdot I \quad (\text{式- 3.2.1.18})$$

$$I = 1/\pi(\varpi_o \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \sin \varpi_o) \quad (\text{式- 3.2.1.19})$$

- ここに
- R_o : 太陽定数 (1.98 cal/min=2851.2 cal/day)
 - r : 太陽と地球との距離
 - r_m : 太陽と地球との平均距離
 - I : 緯度, 太陽の傾き, 地形勾配を考慮した係数
 - ϕ : 緯度
 - δ : 太陽の傾き (赤道上が 0, 北半球が正)
 - ϖ_o : $\cos^{-1}(\tan \phi \tan \delta)$

土地利用別の月毎のアルベドを表-3.2.1.1 に示す。

表- 3.2.1.1 アルベド設定値

季別(月)	山地	水田	畑	市街地	水域
1	0.095	0.160	0.190	0.290	0.100
2	0.100	0.150	0.190	0.290	0.090
3	0.100	0.100	0.188	0.275	0.080
4	0.100	0.080	0.188	0.275	0.070
5	0.120	0.080	0.185	0.260	0.060
6	0.135	0.100	0.188	0.250	0.060
7	0.135	0.130	0.193	0.265	0.060
8	0.135	0.220	0.193	0.275	0.060
9	0.135	0.180	0.190	0.275	0.070
10	0.125	0.150	0.185	0.275	0.080
11	0.120	0.150	0.190	0.275	0.100
12	0.100	0.150	0.190	0.285	0.110

c. 乾湿計定数 (γ)

$$\gamma = C_p \cdot P / 0.622 / L \quad (\text{式- 3.2.1.20})$$

$$C_p = C_{pd}(1 + 0.846q) \quad (\text{式- 3.2.1.21})$$

$$q = 0.622e_a / P \quad (\text{式- 3.2.1.22})$$

ここに C_p : 水蒸気圧を考慮した定圧比熱

C_{pd} : 完全乾燥時の定圧比熱 (0.240cal/g/°C)

q : 比湿

p : 大気圧 (hpa)

d. 飽和水蒸気圧 (e_{sa})

飽和水蒸気圧と温度の関係は次の Tetens(1930)の式により算定した。

$$e_{sa} = 6.11 \times 10^{aT/(b+T)} \quad (\text{式- 3.2.1.23})$$

水面上 (気温 $T > 0$) $a=7.5$ $b=237.3$

氷面上 (気温 $T \leq 0$) $a=9.5$ $b=265.3$

e. 飽和水蒸気圧の勾配 (Δ)

Tetens(1930)の式では、

$$\Delta = m \cdot ab / (b+T)^2 e_{sa} \quad (\text{hpa} / ^\circ\text{C}) \quad (\text{式- 3.2.1.24})$$

ここに $m = \ln 10$

f. 実水蒸気圧 (e_a)

$$e_a = C_{rh} \cdot e_{sa} \quad (\text{式- 3.2.1.25})$$

ここに C_{rh} : 相対湿度

6) 融雪モデル

入力条件として与えた日雨量が雨か雪かを判断する基準に日最低気温を用いている。日最低気温が 0°C を下回る場合は降雪と見なし、融雪モデルによる計算を実施する。

融雪のモデルは、熱収支法を採用するものとし、顕熱交換量・潜熱交換量の式は、吉田 (1962) の式を用いる。

a. 基礎式

$$Q_M = Q_R + Q_A + Q_E + Q_P \quad (\text{式- 3.2.1.26})$$

ここに Q_M : 融雪熱量
 Q_R : 放射収支量
 Q_A : 大気と雪面の温度差に基づく顕熱交換量
 Q_E : 雪の蒸発または大気中の水蒸気の雪面への凝結による潜熱交換量
 Q_P : 雨または雪が与える熱量

b. 融雪熱量

$$Q_M = Lm \cdot q \quad (\text{式- 3.2.1.27})$$

ここに Lm : 氷の融解潜熱 (79.7cal/g)
 q : 融雪量 (g/cm²/hr=10mm/hr : 時間単位の場合)

式-3.2.1.26 から融雪熱量を算出し、式-3.2.1.27 より融雪量を求め、この融雪量が表層モデルへ流入するものとする。

c. 放射収支量

放射収支は短波放射収支 (第 1 項) と長波放射収支 (第 2 項) からなる。長波放射収支は Brunt の実験による。

$$Q_R = k(z)I(1 - \alpha) + \left\{ \sigma T_s^4 - \sigma T^4 (0.51 - 0.0066\sqrt{e}) \right\} (1 - n \cdot k) \quad (\text{式- 3.2.1.28})$$

ここに $k(z)$: 雪に吸収される短波放射量の割合で積雪深(z)の関係
 [雪の中の日射の衰弱係数を a とすると $k(z)=1-esp(az)$]

σ : Stefan-Boltzman 係数 ($4.986 \times 10^{-9} \text{cm/cm}^2/\text{hr/k}^4$)

l : 緯度, 太陽の傾き, 地形勾配を考慮した係数

α : アルベド

T_s : 雪の表面の温度 (k)

T : 表層付近の温度 (k)

e : 地表付近の水蒸気圧 (hpa)

k : 雲の種類により決まる定数

(下層雲 : 0.86 中層雲 : 0.77 上層雲 : 0.21、本モデルでは 0.86 を採用)

n : 雲量

d. 顕熱交換量

経験的に次の式で表される。

$$Q_A = f_A(u) \cdot T \quad (\text{式- 3.2.1.29})$$

ここに $f_A(u)$: 風速関数で風速の一次式
 経験式としては吉田の式等がある。

e. 潜熱交換量

経験的に次の式で表される。

$$Q_E = L \cdot E \quad (\text{式- 3.2.1.30})$$

$$E = f_E(u) \cdot \Delta e \quad (\text{式- 3.2.1.31})$$

ここに E : 蒸発量 ($\text{g/cm}^2/\text{hr} = 10\text{mm/hr}$)

$f_E(u)$: 風速関数で風速の一次式

L : 氷の融解潜熱と水の気化熱 (667cal/g)

Δe : 雪の表面と表層付近の水蒸気圧の差

経験式としては吉田の式等がある。

f. 吉田の式

$$Q_A = 0.306 \{1 + 2.03(2 - u_\tau)^3\} (T_{1.2} - T_0) \quad (\text{式- 3.2.1.32})$$

$$0.5 < u_\tau < 2.0 \quad (\text{m/s})$$

$$Q_A = 0.306 u_\tau (T_{1.2} - T_0) \quad (\text{式- 3.2.1.33})$$

$$u_\tau \geq 2.0 \quad (\text{m/s})$$

ここに Q_A : 顕熱交換量 ($\text{cal} \cdot \text{cm}^{-3} \cdot \text{hr}^{-1}$)

T_a : 雪面上 a m の高さの気温 (°C) ($T_{1.2}$ はメッシュ平均気温、 T_0 は 0°C とした)
 u_τ : 風速

$$E = 0.844 \times 10^{-3} \{1 - 2.03(2 - u_\tau)^3\} (e_{1.2} - e_0) \quad (\text{式- 3.2.1.34})$$

$$0.5 < u_\tau < 2.0 \quad (\text{m/s})$$

$$E = 0.844 \times 10^{-3} u_\tau (e_{1.2} - e_0) \quad (\text{式- 3.2.1.35})$$

$$u_\tau \geq 2.0 \quad (\text{m/s})$$

ここに E : 蒸発量 ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hr}^{-1}$)

e_a : 雪面上 a m の高さの水蒸気圧 (hpa) (Tetens の式-3.2.1.25 より算出)

g. 雨または雪が与える熱量

$$Q_p = C \cdot R \cdot T / 10 \quad (\text{式- 3.2.1.36})$$

ここに C : 雨または雪の比熱 (cal/g)

R : 雨または雪の強度 (mm/hr)

T : 雨または雪の温度 (°C)

7) ダムモデル

ダム地点のメッシュを特定し、下記3種の設定を行うことが可能である。

設定1 : ダム無し (流入量 = 放流量)

設定2 : ダム放流量入力 (ファイルで放流量データを与え、当該メッシュ流出量とする)

設定3 : ダム調節量入力 (ファイルで調節量データを与え、当該メッシュ流入量 + 調節量を当該メッシュ流出量とする)

本モデルでは上記の内、設定2を採用した。考慮したダムは利根川流域で7ダム、荒川流域で2ダム、多摩川流域で1ダムである。

[モデルに組み込んだダム]

○利根川流域

- ・奈良俣ダム
- ・矢木沢ダム
- ・藤原ダム
- ・相俣ダム
- ・菌原ダム
- ・草木ダム
- ・下久保ダム

○荒川流域

- ・二瀬ダム
- ・滝沢ダム

○多摩川流域

- ・小河内ダム

(2) 人工系水循環モデルの概要

水循環モデルに取り込む人工系水循環は、以下に示す 3 種類の系統とした。

- a) 農業用水
- b) 上水道・工業用水道
- c) 下水道排水

これらのモデル化方法は、以降に示すとおりである。

1) 人工系水循環のモデル化

a) 農業用水

農業用水として対象となるのは、水田かんがい、畑地かんがい、その他用水等があげられる。この中でも年間を通じた大部分が水田かんがい用水である事から、水田かんがい用水を対象にモデル化する。

水田かんがい用水は、表流水（河川水）を取水し、農業用排水路を経由して各水田で利用する方法と、ポンプにより揚水し注水する方法とがある。ここでは、この両方法をモデル化し取り扱う。水田は、季節により表面の状態が変化するとともに、水が貯まるという特徴がある。

地点別の取水量は、水利権量による取水パターンを設定して、その量を対象となるかんがい区域内の各タンクに面積割合に応じて配分するものとする。

なお、取水後の還元水が河川に戻る地点が特定できないため、取水地点で還元量分を割り引いて取水するものとした。

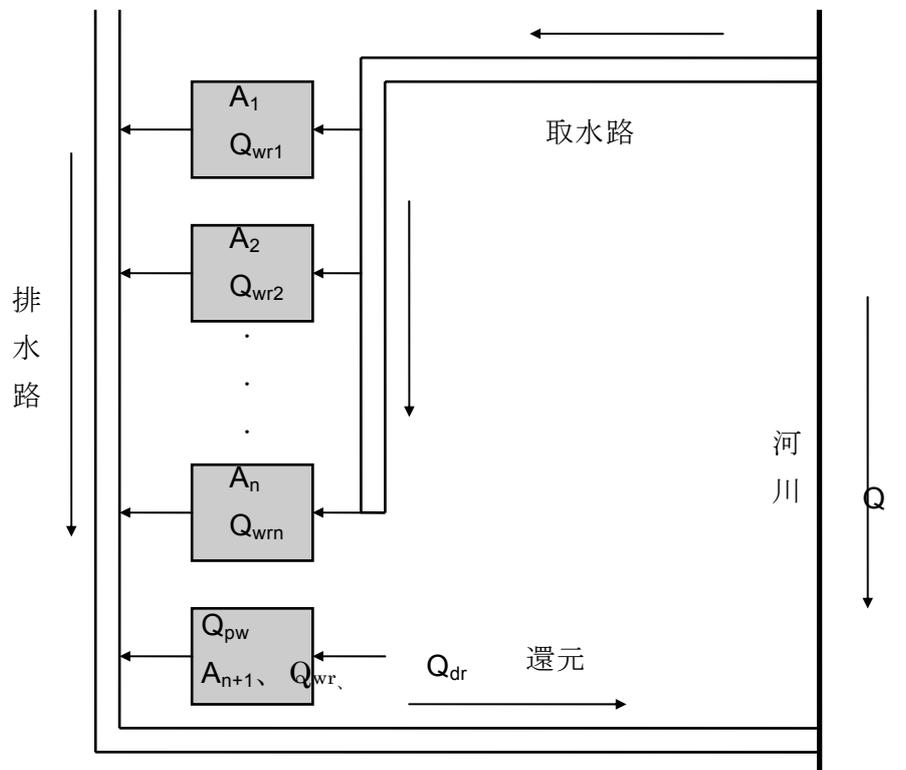


図- 3.2.1.11 農業用水モデル化の概念図

○かんがい取水量・揚水量・還元水量

$$Q_{wri} = \frac{A_i}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} Q_{wr}$$

$$Q_{wr} = (1 - \alpha_n) \cdot Q_{tn}$$

$$Q_{dr} = \beta_n \cdot Q_{wr}$$

ここに

- A_i : 第 i-th メッシュ面積(m²)
- Q_{wri} : 第 i-th メッシュかんがい流量(m³/day)
- Q_{tn} : 河川からのかんがい取水量(m³/day)
- Q_{wr} : かんがい用水量(m³/day)
- Q_{pw} : ポンプによる揚水量(m³/day)
- Q_{dr} : かんがい還元水量(m³/day)
- α_n : かんがい取水路漏水率
- β_n : かんがい用水還元率

○還元率

$$\beta_n = \frac{Q_{dr1}}{Q_{wr1}} = \frac{Q_{dr2}}{Q_{wr2}} = \dots = \frac{Q_{dri}}{Q_{wri}} = \frac{Q_{dr}}{Q_{wr}}$$

ここに、

h : モデルの貯留高(mm)

R : 雨量(mm)

E_{ps} : 蒸発量(mm)

S_{f2} : 表面流の発生する高さ(mm)

q_0 : 浸透モデルへの浸透量高(mm)

q_{sf} : 表面流出高(mm)

q_{ri} : 早い中間流出高(mm)

q_{in} : 浸透モデルからの流入高(mm)

q_{g1} : 不圧地下水流出高(mm)

q_{g2} : 被圧地下水流出高(mm)

S_g : 不圧地下水流出が発生する高さ

(m³/day)

q_{rin} : 上流河道からの流入高(mm)

○かんがい水深

$$h_{wri} = 1000 \cdot \left\{ \frac{(1 - \beta_n) Q_{wri}}{A_i} + \frac{\alpha_n Q_{in}}{A_i} \right\} \quad (mm)$$

○表層タンク水位変動量 ($h \geq S_{f2}$)

$$\frac{\partial h}{\partial t} = R + h_{wri} - E_{ps} - q_0 - q_{sf} - q_{ri}$$

○地下水タンク水位変動量 ($h \geq S_g$)

$$\frac{\partial h}{\partial t} = q_{in} - q_{g1} - q_{g2} - Q_{pw} / A_i$$

○河道タンク河道貯留変動量

$$\frac{\partial h}{\partial t} = q_{rin} + (Q_{dr} - Q_{tn}) / A_i - q_r$$

b) 上水道・工業用水道

都市生活用水量は、地点別の取水実績データもしくは、これらのデータから予測される取水量を用いる。同じく工業用水量は、取水点の実績データもしくはこのデータから予測される取水量を用い、給水区域で消費されるものとしている。

(利根大堰→秋ヶ瀬といった河川間の導水等についても取水地点と排水地点をつなぐことによりモデル化している)

○不飽和・地下水の減水深

$$\Delta h_{ss} = \alpha_k q_{tk} + \alpha_c q_{tc} \quad : \text{不飽和タンク減水深}$$

$$\Delta h_{sg} = -q_{pk} - q_{pc} \quad : \text{地下水タンク減水深}$$

○不飽和タンク水位変動量 ($S_{s1} = h < S_{s2}$)

$$\theta_s \frac{\partial h}{\partial t} = q_{in} - E_{ps} - q_{s0} - q_{s1} + \Delta h_{ss}$$

○地下水タンク水位変動量 ($h \geq S_g$)

$$\frac{\partial h}{\partial t} = q_{in} - q_{g1} - q_{g2} + \Delta h_{sg}$$

ここに、

α_k :工業用水取水管の漏水率

α_c :都市生活用水取水管の漏水率

q_{tk} :工業用水取水量高(mm)

q_{tc} :都市生活用水取水量高(mm)

q_{pk} :地下水からポンプによる工業用水揚水量高(mm)

q_{pc} :地下水からポンプによる生活用水揚水量高(mm)

○河道タンク河道貯留変動量

$$\frac{\partial h}{\partial t} = q_{rin} - q_r - q_{tk} - q_{tc}$$

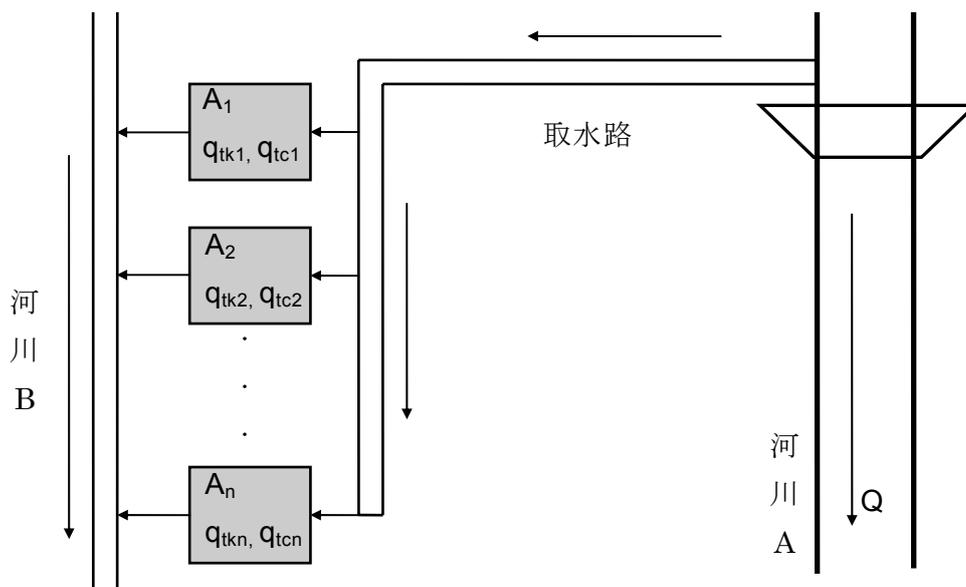


図- 3.2.1.12 上水道・工業用水道のモデル化の概念図

c) 下水道排水

下水管に地下水が浸出していることは、晴天日における汚水発生量と下水処理量に差があるため、この点を地下水タンク・河道タンクへ反映する。

○地下水の減水深

$$\Delta h_c = \beta_c q_{dc}$$

○地下水タンク水位変動量 ($h \geq S_g$)

$$\frac{\partial h}{\partial t} = q_{in} - q_{g1} - q_{g2} + \Delta h_c$$

○河道タンク河道貯留変動量

$$\frac{\partial h}{\partial t} = q_{rin} - q_r + Q_{dc} / A$$

ここに、

β_c : 下水管への地下水の浸出率
(0.13)

Q_{dc} : 処理場生活污水排水量(m^3/s)

A : 処理場集水面積(m^2)

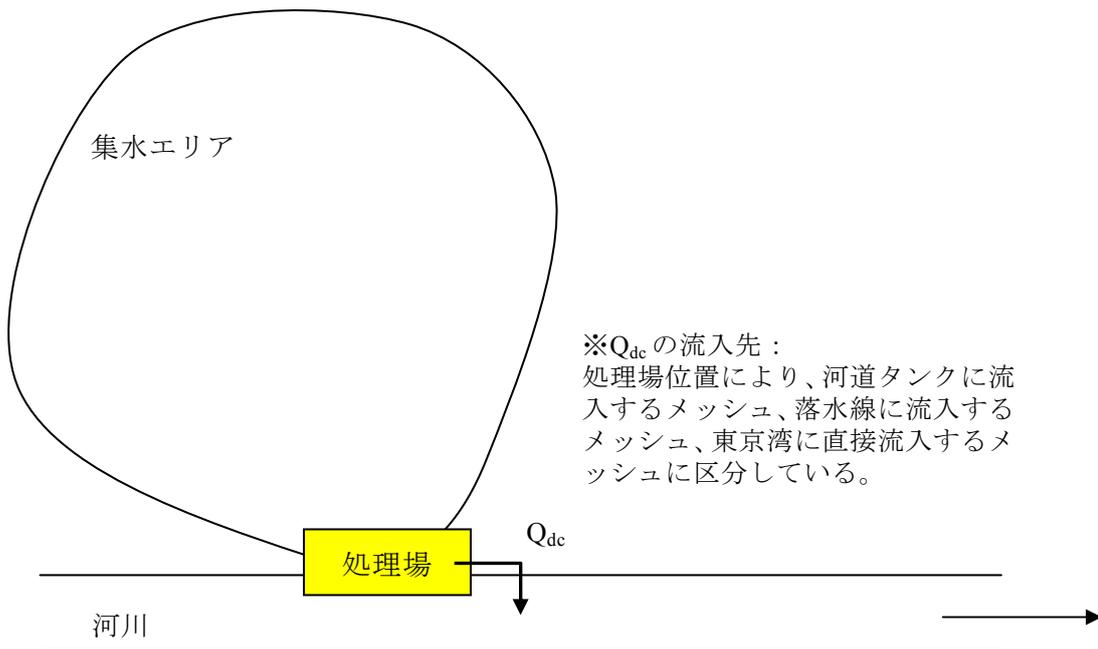


図- 3.2.1.13 下水道排水のモデル化の概念図

d) 人工系水循環モデルの組み込み

人工系の水循環を自然系水循環モデルに考慮する方法として、以下①～③のゾーンを想定する。

- ① 表層タンクに位置し、供給された水量は早い中間流と不飽和帯への供給源となる。
- ② 不飽和帯タンクに位置し、供給された水量は遅い中間流及び不圧地下水の供給源となる。
- ③ 地下水タンクに位置し、供給された水量は不圧地下水の供給源となる。

これらの仮定をもとに、各人工系の諸量を、表- 3.2.1.2の通り取り扱うものとする。

表- 3.2.1.2 人工系諸量の取り扱い

カテゴリ	取り扱い
農業用水	①に適用する。表面流としての流出はないが、中間流の一部及び地下浸透の源と仮定する。
上水道用水	漏水量が対象となり、②に適用する。
工業用水	同上。
下水道用水	③に適用する。下水道は基本的に地下水面より低い位置に埋設される事を考慮する。
ポンプ揚水	③に適用する。

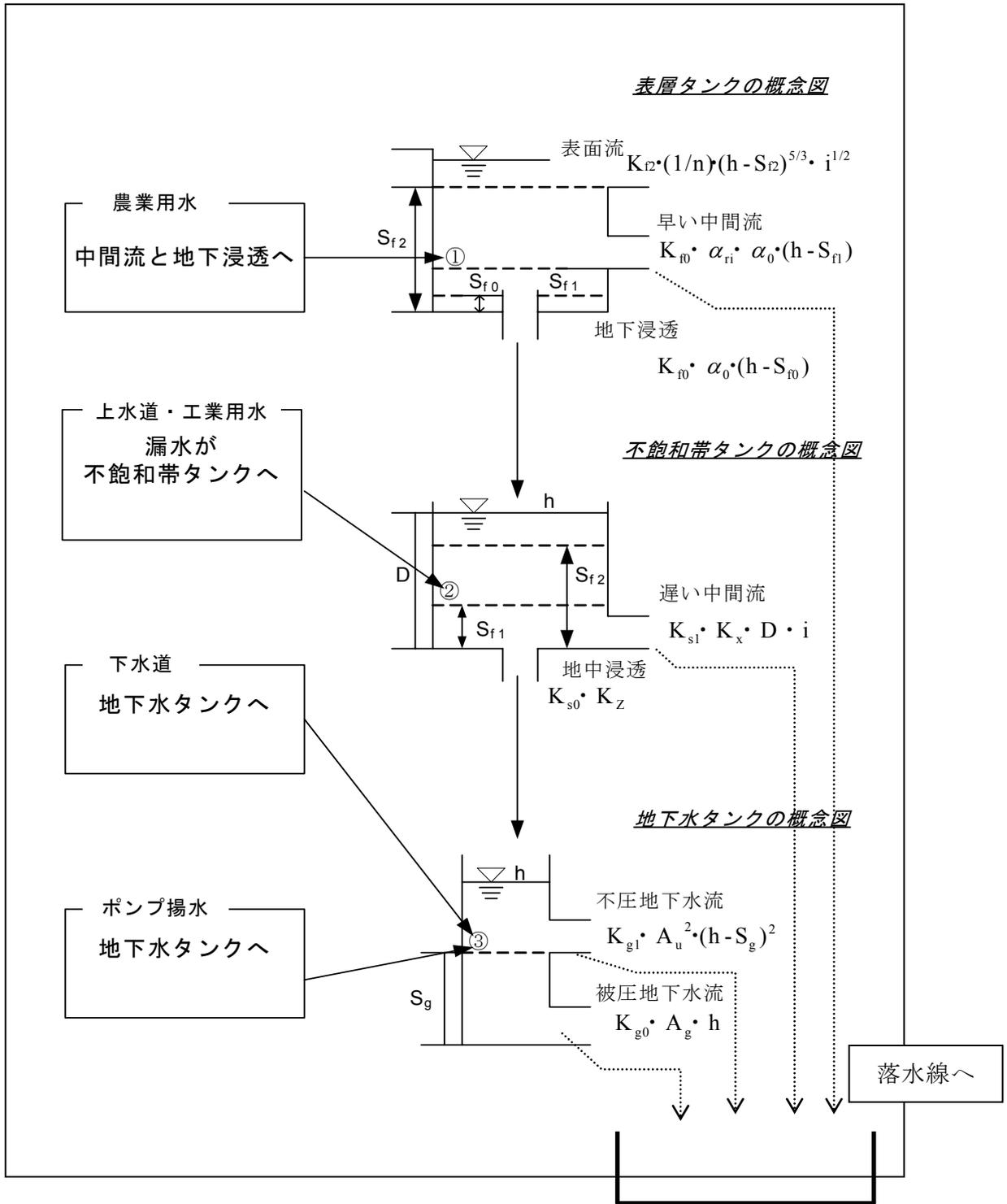


図- 3.2.1.14 人工系水循環モデルの組み込み概念図

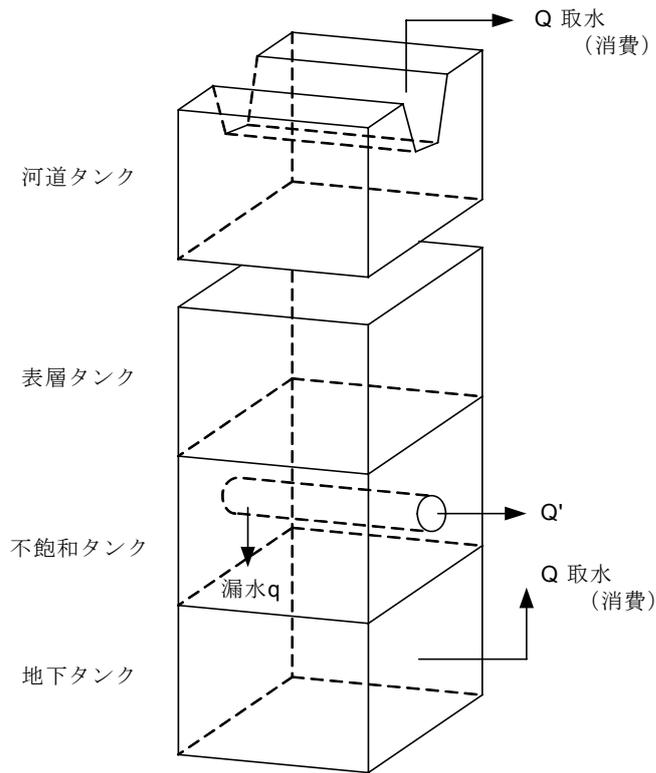


図- 3.2.1.15 上水道用水のモデル化概念図

(1) 取水量の推定 (Q' $m^3/日$)

各計算ブロックについて、漏水量 (q $m^3/日$) を推定するために日取水量を推定し、日取水量に漏水率を乗じて漏水量を算出し、シミュレーションの入力データとした。

$$\text{漏水量 (} q \text{ } m^3/日) = \text{日取水量 (} m^3/日) \times \text{漏水率}$$

日取水量は、月別取水量 (A $m^3/日$) をもとにし、市町村人口 (B 人) 割合で市町村別日取水量 (C $m^3/日$) を求め、この値を市町村面積 (D km^2) を用い、1 格子面積 (1 km^2) に分け、各格子の平均の取水量 (E $m^3/月$) とした。さらに、この取水量を月間日数で除して日取水量 (Q' $m^3/日$) を求めた。

(2) 漏水率

漏水率は、年間給水量の合計と無効水量の合計の比較より 0.7% とした。

ここで各種資料の出典は、以下の通りである。

- 月別取水量 $A(m^3/日)$ 水道統計
- 市町村人口 $B(人)$ 都県勢要覧
- 市町村面積 $D(km^2)$ 都県統計年鑑
- 年間取水量合計 水道統計

H13	年間給水量(千 m^3)	年間無効水量(千 m^3)	漏水率
茨城	306,910,000	26,002	0.8%
栃木	243,639,000	33,258	1.4%
群馬	315,563,000	37,149	1.2%
埼玉	898,498,000	62,764	0.7%
千葉	658,541,000	39,882	0.6%
東京	1,704,373,000	116,392	0.7%
神奈川	1,164,913,000	77,318	0.7%
合計	5,292,437,000	392,765	0.7%

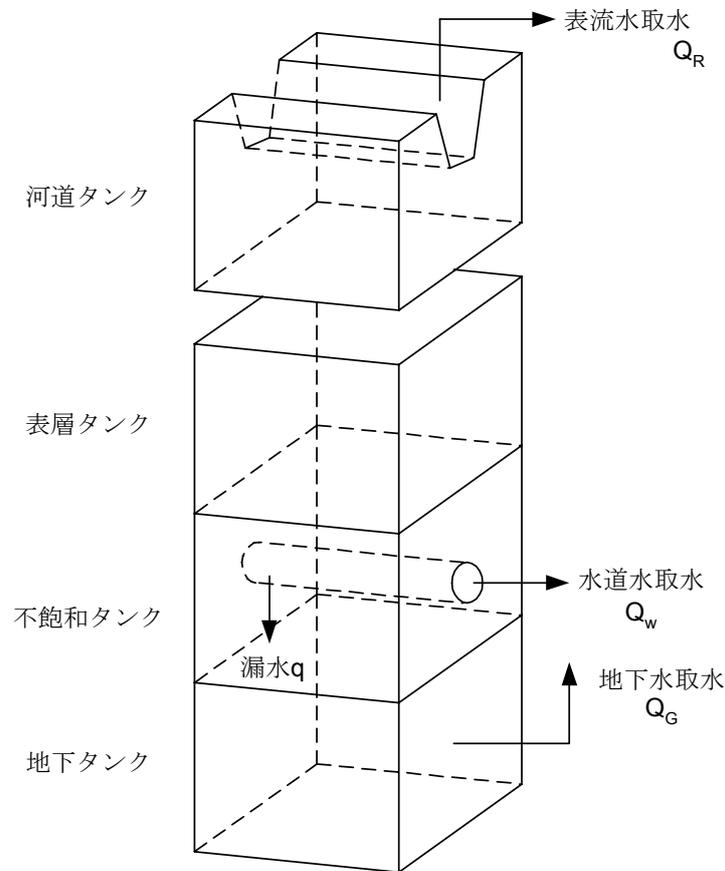


図- 3.2.1.16 工業用水のモデル化概念図

工業用水道として利用される水量の取水内訳は、河川水（地表水）、水道水及び地下水に区分される。

$$\text{工業用水}(Q_M) = \text{地表水}(Q_R) + \text{水道水}(Q_W) + \text{地下水}(Q_G)$$

工業統計表では、県別の年間の水源別用水量（ Q_R 、 Q_W 、 Q_G ）が取りまとめられていることより、これらの諸量を市町村別に、工業出荷額の規模に比例させて配分する。

次に各市町村毎の水源別工業用水を市町村面積で除して 1km^2 当りの用水量を求め、その値を各ブロックの用水量とした。さらに各ブロックの水源別用水量を年間日数で除して日量に換算し、シミュレーションの入力データとした。

水源別の取水方法、漏水量の取り扱いは①上水道用と同一と仮定する。ここで漏水率は、0.7%とした。

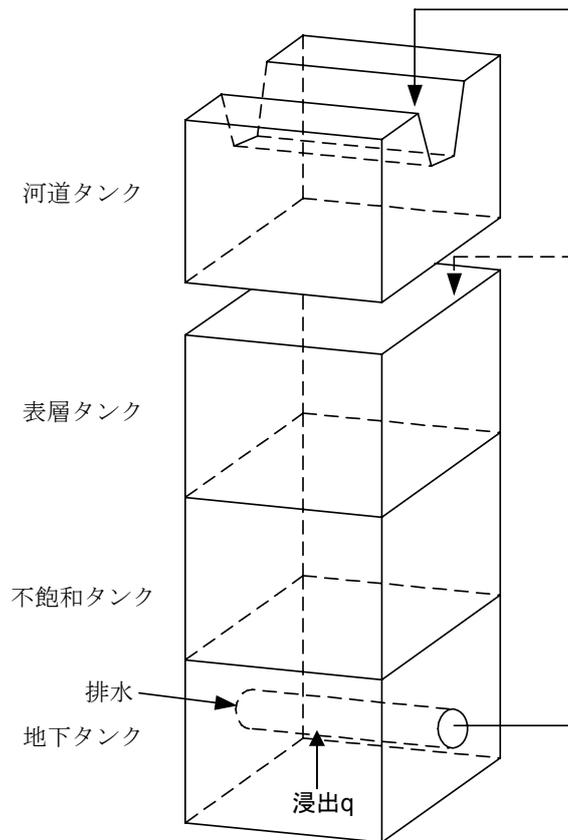


図- 3.2.1.17 下水道のモデル化概念図

(1) 汚水処理量

下水道統計より、県別の年間汚水処理量 (Q_M m³/年) が集計されている。この値をもとに、各市町村の人口比で市町村別汚水処理量を算出した。さらに、市町村別汚水処理量を市町村面積で除し、市町村別にブロック 1 km² あたりの年間汚水処理量を求め、この値を年間日数で除して日平均の処理水量とした。

(2) 浸出量

地下水の下水管路への浸出量は、下水道統計を用い、年間の汚水処理量と総有収水量の差から求めた。

$$\text{地下水浸出量(m}^3\text{/年)} = \text{年間総汚水処理量(m}^3\text{/年)} - \text{総有収水量(m}^3\text{/年)}$$

得られた地下水浸出量を市町村人口比で各市町村に配分し、さらに市町村面積及び年間日数で除して各市町村の 1 ブロック当りの地下水浸出量とした。

H13	年間汚水処理量(百万 m ³)	年間総有収水量(百万 m ³)	漏水量(百万 m ³)	漏水率
茨城	231,709	200,059	31,650	14%
栃木	146,304	104,522	41,782	29%
群馬	125,401	102,704	22,697	18%
埼玉	602,699	570,116	32,583	5%
千葉	452,956	377,024	75,932	17%
東京	1,789,244	1,646,602	142,642	8%
神奈川	1,155,183	917,010	238,173	21%
合計	4,503,496	3,918,037	585,459	13%

合計の漏水率 13%を浸出率とした。

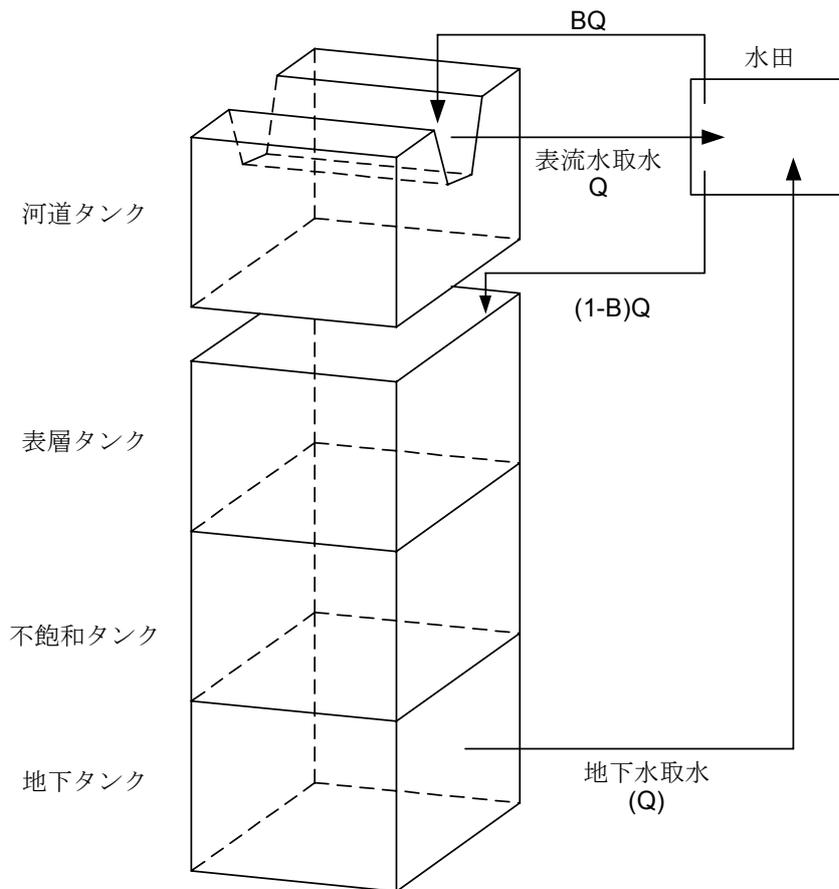


図- 3.2.1.18 農業用水のモデル化概念図

- (1) 農業用水取水量
 $\text{農業用水取水量}(\text{m}^3/\text{日}) = \text{かんがい面積}(\text{km}^2) \times \text{期別減水深}(\text{mm}/\text{日}) \times 1000 / (1 - \text{水路損失率})$
- (2) 期別減水深
 農業土木ハンドブックより、標準的な値として次頁(表-3.2.1.3)の数値を用いる。
- (3) かんがい面積
 都県農林水産統計年報より、各年の市区町村別水田面積および畑地面積を用いる。
- (4) 水路損失
 15%を見込んだ。
- (5) 農業用水取水量
 これらの値をもとに、市町村の農業用水取水量を算定し、市町村面積をもとに、シミュレーションブロック 1km^2 あたりの水量を算出し、農業用取水量として、設定した。
 取水水源は地表水（河川水）と地下水（ポンプ取水）に区分される。その振り分けは、平成15年度水資源白書の地域別用途別地下水依存率から「地表：地下=81：19」とした。さらに、取水量に対して還元率 B を考慮し、田面からの蒸発及び地下浸透で消費される分は、 $(1-B) \times Q$ となり、 $B \times Q$ は直接河川に還元されるものとした。

表- 3.2.1.3 期別減水深一覧

[水田]

期 別	早期栽培 (mm/日)	普通期栽培 (mm/日)
4/21~30	代かき (150)	
5/01~10	25	
5/11~20	26	
5/21~30	27	
5/31~6/09	28	
6/10~6/19	28	代かき (150)
6/20~6/29	27	26
6/30~7/09	28	28
7/10~7/19	27	28
7/20~7/29	29	29
7/30~8/08	27	28
8/09~8/18	26	28
8/19~8/28		27
8/29~9/07		27
9/08~9/17		28
9/18~9/27		26
9/28~10/07		25
上記以外	9.6	9.6

早期・普通期栽培の面積割合は、それぞれ 50%ずつとした。

[畑地]

期 別	減水深 (mm/日)
4/1~9/30	4
上記以外	0

2) 合流式下水道の取扱い

a) 合流改善に関する評価

合流改善事業は、合流式下水道において降雨の初期段階における汚濁濃度の高い汚水を公共水域へ放流することを極力抑えることを目的としている(貯留施設による対応やポンプ所などの施設運用による対応など)。東京都においては、晴天時汚水の流量(1Q)に対してある程度までの初期雨水を貯留するものとしている。合流改善事業の概要について以下に整理した。

- 東京都の基本対策：下水道は 3Q 以上（総雨量 5mm 程度）で雨水流出となる。（雨水ポンプにて排水を開始する）
 - 現状では 5mm 程度までは放流が行われない（3Q 対応の場合、処理場で処理されて廃水される）が、それを超えると直接雨水が河川に排水され、生活排水も含まれることとなる。
 - 降雨開始から累加雨量 5mm までは現状の処理場での処理を経由して排水され、ポンプ運転による初期雨水の排水は行わない。
 - 累加雨量が 5mm を超過した場合には初期汚濁を含めてポンプにて直接河川に排水される。
 - 合流改善事業では初期雨水の 8mm までは流域貯留を対策案として用いる。また、リアルタイムコントロール(RTC)による対策を推進中。
 - 東京都の下水道区域は 82%が合流式、79 ポンプ所で 100,000m³/分（1,670 m³/s）を排水。
 - 合流改善事業で、低平地での事例では、年間約 75 回の降雨に対し、ポンプ運転が 55 回行われており、雨量が 5mm を超過した段階で排水が始まる。つまり、5mm を超過する降雨回数が 55 回見込まれる（江東区での事例流域での実績値）。
- （例えば H13 の東京（大手町）では 1mm 以上が 97 日、5mm 以上が 63 日、20mm 以上が 25 日、最大で 186mm が観測されている。）

b) モデルでの表現方法

合流式下水道が流入する下水処理場について、ある一定以上の降雨があった場合に、汚水が処理場を経由されず直接公共水域へ排水されるという現象をモデルへ反映させる。

したがって、日雨量に対する判断基準値を設定し、基準値を超える際には処理場からの放流負荷濃度を変化させるという方針で合流改善の施策をモデルに反映させることとした。反映方法を以下に整理した。

- 下水道区域について、日降雨量 5mm 以下については現状のモデルでの処理場からの処理後の負荷量排出のみとする。排水量も処理場からの排水量で表現する。
- 日雨量で 5mm を超過する日の当該日負荷量は 5mm 超過分について未処理相当水質分が各メッシュからポンプ場に集計され、ポンプ場から排水される。(処理水と未処理水の比率に応じ、排水水質を決定する)
- 雨水排水と汚水排水は異なる場所で行われるケースも多いが、ここでは同一地点で排水されるものとする。
- 合流式下水道雨天時越流水(CSO)対策は東京都を例として、5mm 対策（3Q）であったものをクイックプラン対応の 8mm に引き延ばす対策を第一とし、次いで、RTC 制御などの導入で 25mm 対応までの対策を適用する。

降雨規模（日雨量）毎の晴天時流量に対する雨水流量の比率、処理水と未処理水の割合を図- 3.2.1.19に示した。この処理水と未処理水の割合に応じて下水処理場からの排水水質を変化させるものとした。

$$\text{降雨時負荷量} = \text{通常時負荷量} + \text{通常時負荷量} \times \text{比率A} \times \text{比率B}$$

比率A: 処理水質と未処理水質の比率(未処理水質/処理水質)

比率B: 下記で算定される、降雨規模別の処理水量と未処理水量の比率(未処理水質/処理水質)

ケース①現状: 5mm・3Qまでは全て処理し、3Qを超える流量が未処理で排出されると想定。

ケース②クイックプラン対応: 8mm・4.2Qまでは全て処理し、4.2Qを超える流量が未処理で排出されると想定。

ケース③RTC制御対応: 25mm・11Qまでは全て処理し、11Qを超える流量が未処理で排出されると想定。

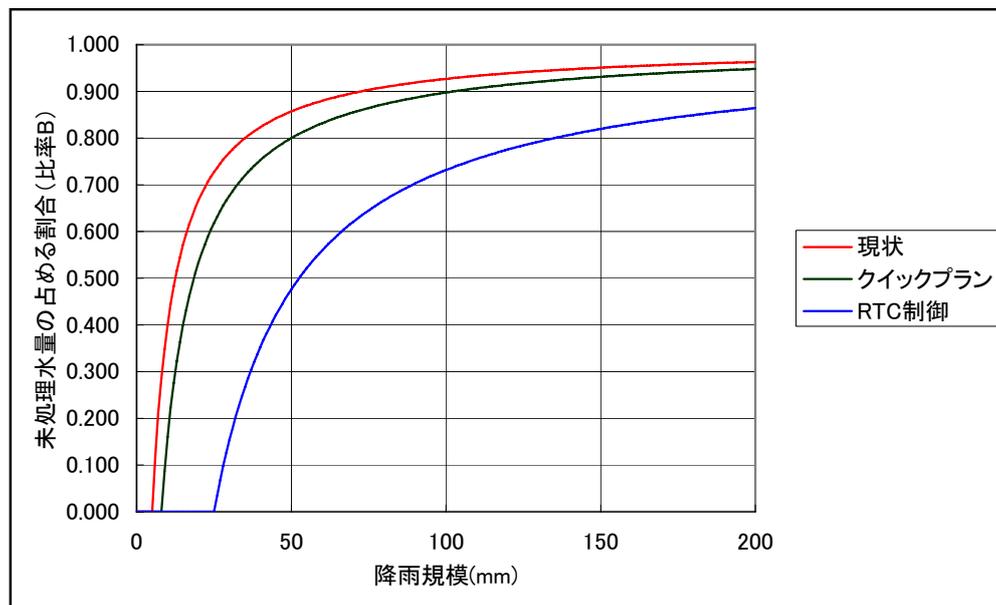


図- 3.2.1.19 合流式下水道の処理場からの排水負荷量算定方法

(3) 流域物質循環モデルの概要

1) 物質循環モデルの基礎式

物質流動モデルの基礎式を以下に示す。

a) 表層物質流動モデル

降雨負荷、面源負荷の地表面堆積・掃流、堆積物への吸脱着等を下記のモデルにより表現する。表層に堆積・吸着する汚濁負荷は表層流（表面流＋早い中間流）の掃流力によって流出するものとする。堆積物の流出負荷量は流量のべき乗に比例するものとした。また、流出負荷量と同じ水質で地中浸透するものとした。

①運動式

$$L_{f2} = k_{np} \cdot S_{np}^m \cdot A \cdot Q_{f2}^n \quad (\text{式- 3.2.1.37})$$

$$L_{f1} = L_{f2} / Q_{f2} \cdot Q_{f1} \quad (\text{式- 3.2.1.38})$$

②連続式

$$A \cdot \frac{dS_{np}}{dt} = S_u \cdot (1 - e^{-Ks \cdot T}) + C_r \cdot R \cdot A - k_{np} \cdot S_{np}^m \cdot A \cdot Q_{f2}^n - L_{f2} / Q_{f2} \cdot Q_{f1} \quad (\text{式- 3.2.1.39})$$

- ここに、
- L_{f2} : 表層モデルの流出負荷量 (g/d)
 - L_{f1} : 表層モデルから不飽和タンクへの浸透負荷量 (g/d)
 - Q_{f1} : 表層モデルの流出量 (m³/d)
 - Q_{f2} : 表層モデルから不飽和タンクへの浸透量 (m³/d)
 - k_{np} : 面源由来堆積物の掃流係数 (d/m⁶)
 - S_{np} : 面源由来堆積物量 (g/m²)
 - S_u : 極限堆積物量 (g)
 - Ks : 堆積速度係数(1/d)
 - T : 堆積 0 からの経過日数(d)
 - C_r : 降雨濃度 (g/m³)
 - R : 降雨量 (m/d)
 - A : 面積 (m²)
 - m, n : 定数

b) 不飽和層物質流動モデル

表層モデルより地中浸透した汚濁負荷は土壤内に蓄積し、蓄積物に吸脱着する過程を下式により表現する。蓄積物から溶脱した汚濁負荷は中間流によって流出する。また、流出負荷量と同じ水質で地中浸透するものとした。

①運動式

$$L_{s2} = k_s \cdot S_s^m \cdot A \cdot Q_{s2}^n \quad (\text{式- 3.2.1.40})$$

$$L_{s1} = L_{s2} / Q_{s2} \cdot Q_{s1} \quad (\text{式- 3.2.1.41})$$

②連続式

$$A \cdot \frac{dS_s}{dt} = S_{su} \cdot (1 - e^{-K_{ss}T}) - k_s \cdot S_s^m \cdot A \cdot Q_{s2}^n - L_{s2} / Q_{s2} \cdot Q_{s1} + L_{f2} / Q_{f2} \cdot Q_{f1} \quad (\text{式- 3.2.1.42})$$

- ここに、
- L_{s2} : 不飽和層モデルの流出負荷量 (g/d)
 - L_{s1} : 不飽和層モデルから地下水モデルへの浸透負荷量 (g/d)
 - Q_{s2} : 不飽和層モデルの流出量 (m³/d)
 - Q_{s1} : 不飽和層モデルから地下水モデルへの浸透量 (m³/d)
 - k_s : 不飽和層モデルの吸脱着速度係数 (1/d)
 - A : 面積 (m²)
 - S_s : 不飽和層モデルの汚濁負荷の土壤内蓄積量 (g/m²)
 - S_{su} : 極限溶脱物量 (g)
 - K_{ss} : 溶脱速度係数(1/d)
 - T : 溶脱 0 からの経過日数(d)
 - m, n : 定数

c) 地下水層物質流動モデル

不飽和層モデルより地下浸透した汚濁負荷は土壤内に蓄積し、蓄積物に吸脱着する過程を下式により表現する。蓄積物から溶脱した汚濁負荷は基底流によって流出する。

①運動式

$$L_g = k_g \cdot S_g^m \cdot A \cdot Q_g^n \quad (\text{式- 3.2.1.43})$$

②連続式

$$A \cdot \frac{dS_g}{dt} = S_{gu} \cdot (1 - e^{-Kgs \cdot T}) - k_g \cdot S_g^m \cdot A \cdot Q_g^n + L_{s2} / Q_{s2} \cdot Q_{s1} \quad (\text{式- 3.2.1.44})$$

- ここに、 L_g : 地下水層モデルの流出負荷量 (g/d)
 Q_g : 地下水層モデルの流出量 (m³/d)
 k_g : 地下水層モデルの吸脱着速度係数 (1/d)
 A : 面積 (m²)
 S_g : 地下水層モデルの汚濁負荷の土壤内蓄積量 (g/m²)
 S_{gu} : 極限溶脱物量 (g)
 Kgs : 溶脱速度係数(1/d)
 T : 溶脱 0 からの経過日数(d)
 m, n : 定数

d) 河道物質流動モデル

各層のタンクからの流出負荷の自浄作用による河床への吸着等を含む河床堆積物が流量に比例して次メッシュへ流出するものとする。また、点源負荷は河道に直接排出され（河道タンクがないメッシュについては落水線に排出され）、各層からの流出負荷と共に流量に応じて次メッシュへ流出するものとする。

①運動式

$$L_{RO1} = C_R \cdot Q_{RO} \quad (\text{式- 3.2.1.45})$$

②連続式

$$C_R = (L_{RI1} + L_{I1} + L_p) / Q_{RI} \cdot e^{-(k1+k2) \cdot xt / uu} + C_{ka} \cdot (1 - e^{-(k1+k2) \cdot xt / uu}) / (k1 + k2) \quad (\text{式- 3.2.1.46})$$

- ここに、
- L_{RO1} : 次メッシュへ流出負荷量 (g/d)
 - C_R : 河道モデルの流出水濃度 (g/m³)
 - Q_{RO} : 河道モデルの流出量 (m³/d)
 - $k1$: 脱酸素係数 (1/d)
 - $k2$: 沈降・吸着による除去速度係数 (1/d)
 - Q_{RI} : 河道モデルへの流入量 (m³/d)
 - xt : 再懸濁による負荷速度定数 (1/d)
 - C_{ka} : 河道内汚濁負荷濃度 (g/m³)
 - uu : 河道水位 (m) $Q_{RO} / B / L$ (B :河道幅, L :河道長)
 - L_{RI1} : 前メッシュからの流入負荷量 (g/d)
 - L_{I1} : 流域（各層モデル）からの流入負荷量 (g/d)
 - L_p : 点源（生活系・工業系・畜産系）排出負荷量 (g/d)

2) 人工系物質循環モデルの概要

家庭排水による負荷量は、生活者の生活習慣・食習慣などを反映するので、地域（たとえば都市と農村）によって必ずしも同じではない。家庭排水は、し尿とその他の雑排水に分けられるが、下水道整備地域では両方とも下水処理場から排出される。しかし、未整備地域では雑排水は発生源で排出されるが、し尿は処理方式によって排出量・排出点が異なる。汲取り処分地域では、し尿は処理場から排出されることになり、処理場の位置によっては他流域へ持ち出されることもある。農地還元されている場合は、農地からの流出としてカウントされなければならない。し尿単独処理浄化槽で水洗化されている家庭では、一部浄化されて発生源で排出される。合併処理浄化槽によって雑排水とし尿が処理されている場合（集中浄化槽・コミュニティプラント・農村下水道など）は、両方とも処理されて発生源の近くから排出される。さらに、都市域では昼間人口の評価、観光地では入込み人口の評価などが必要になる（図- 3.2.1.20参照）。

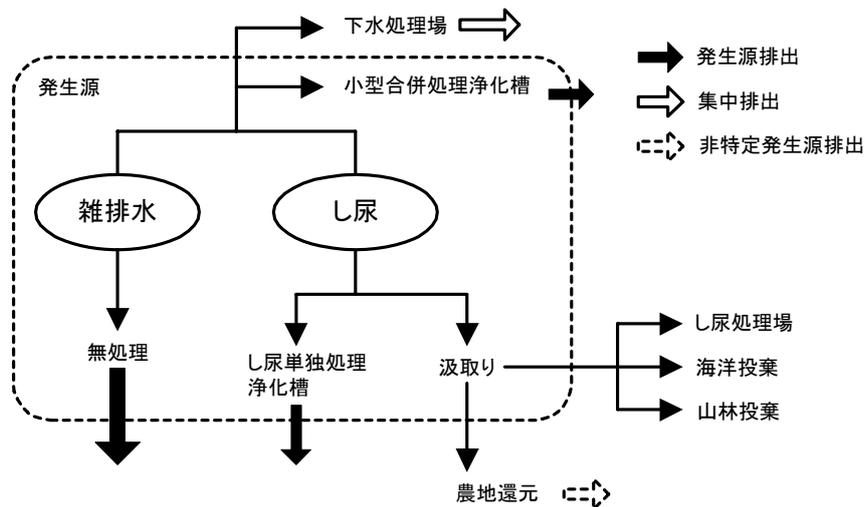


図- 3.2.1.20 家庭排水の発生形態

ここでは、生活系排水、事業所系排水、工場系排水及び畜産系排水の汚染源別に、それぞれ点源負荷系汚濁物質流動モデルを構築する。人工系物質循環モデルの設定方法を以下に示す。

a) 生活系排水モデル

生活系排水の汚濁負荷でモデルに取り込む必要のある汚濁負荷源は、下記に示す通りである。

- ① 下水処理場
- ② 農業集落排水処理場
- ③ 合併浄化槽
- ④ し尿処理場
- ⑤ 単独浄化槽
- ⑥ 自家処理
- ⑦ 雑排水処理

これらの負荷は、年間を通じて大きな変動のないものと考えられるため、時間的に一定の負荷量が近傍の落水線に流出するものとして、物質循環モデルを構築する。

① 下水処理場

下水処理場のモデル化は、処理場の位置、処理人口実績及び1人当たりの負荷量原単位をもとにしてモデルに組み込むものとする。モデル上では、下水処理場の排水口が位置しているメッシュの河道（河道タンクがないメッシュでは落水線）に汚濁負荷が流出するものとする。

② 農業集落排水処理場

処理人口実績及び1人当たりの負荷量原単位をもとにして、モデルに組み込むものとする。モデル上では、それぞれの市町村を構成する全メッシュに平均的に汚濁負荷を与え、近傍の落水線に汚濁負荷が直接流出するものとする。

③ 合併浄化槽

各合併浄化槽について、市町村毎の処理人口実績および1人当たりの負荷量原単位をもとに、モデル化を行う。モデル上の設定方法は②と同様とする。

④ し尿処理場

処理場の位置、稼働実績および市町村毎の処理人口実績をもとにモデルに組み込むものとする。モデル上の設定方法は②と同様とする。

⑤ 単独浄化槽

各単独浄化槽の市町村毎の処理人口実績、および1人当たりの負荷量原単位をもとにモデルに組み込むものとする。モデル上の設定方法は②と同様とする。

⑥ 自家処理

市町村毎の自家処理人口実績、および1人当たりの負荷量原単位をもとにモデルに組み込むものとする。モデル上の設定方法は②と同様とする。

⑦ 雑排水処理

流域で実施されている市町村毎の雑排水処理人口実績および1人当たりの負荷量原単位をもとに、モデルに組み込むものとする。モデル上の設定方法は②と同様とする。

なお、し尿処理場、単独浄化槽及び自家処理は、し尿のみを対象としているため、別途家庭排水を対象に雑排水処理を行うこととなる。したがって、市町村毎のし尿処理場対象人口、単独浄化槽処理人口及び自家処理人口の和は、雑排水処理人口に等しくなる。

b) 事業所系排水モデル

事業所系排水の汚濁物負荷についても生活系排水と同様の方法で物質循環モデルを構築する。データとしては、市町村別に排水量や汚濁負荷濃度が存在するので、それぞれの市町村を構成する全メッシュに平均的にこれらの負荷量を入力し、近傍の落水線に汚濁負荷が直接流出するものとする。

c) 工業系排水モデル

工場系排水の汚濁負荷についても生活系排水と同様の方法で物質循環モデルを構築する。データとしては、市町村別、業種別に排水量や汚濁負荷濃度が存在するので、それぞれの市町村を構成する全メッシュに平均的にこれらの負荷量を入力し、近傍の落水線に汚濁負荷が直接流出するものとする。

d) 畜産系排水モデル

畜産系排水の汚濁物負荷については、生活系排水と同様の方法で物質循環モデルを構築する。データとしては、市町村別、家畜別に汚濁負荷量が存在するので、それぞれの市町村を構成する全メッシュに平均的にこれらの負荷量を入力し、近傍の落水線に汚濁負荷が直接流出するものとする。

3.2.2 水域モデル（流動・水質モデル）の概要

(1) 流域モデルと水域モデル接続の目的

1) 対象とする時空間スケールについて

東京湾のような閉鎖性水域の水環境の再生について検討する場合、また、そのための流動・水質モデルを選定する場合、取り扱う現象やその時空間スケールを明らかにする必要がある。

例えば、河口沿岸域や汽水域の干潟、藻場等の水質（濁り、貧酸素化）や底質（粒径、Eh、IL 等）の改善を議論する場合には、塩淡水層、河口流出流、波浪変形等による物質移動を把握する事が望ましい。

一方、東京湾の広域的な水質レベルの改善を議論する場合には、湾内の富栄養化現象を扱うことが重要である。

前者では、数 m～数十 m の空間スケールで数時間～数日間の時間スケールを扱うモデルが必要であり、後者は、数百 m～数 km の空間スケールで数ヶ月間の時間を扱うモデルが必要である。今回の検討では東京湾全体の流動や水質の評価と通年を通じて検討を行うことを念頭にモデルの構築を行った。

表- 3.2.2.1 エスチャリーにおける水質変動に関わる現象の時間スケール²⁾

時間 スケール	自然現象				人為現象
	流体運動	気象・地象	生物的变化	化学的变化	
10 ⁰	渦、乱流			懸濁物質による吸脱着 酸化・還元	
10 ¹	底泥巻上げ 風波 うねり				
1分					
10 ²	懸濁物質の沈降 静振		BOD菌の増殖 脱窒菌の増殖	酸素の溶解	
10 ³					
1時間		気温変化 日射量変化 水温変動			
10 ⁴	潮位変化	風 降雨 河川水量変化	硝化菌の増殖 植物プランクトンの上下動 植物プランクトンの増殖 魚群の衆参		生活排水による負荷
1日					
10 ⁵					
1周					
10 ⁶	大潮・小潮	温度躍層の季節変化			肥料流亡 農業利水
1月					
10 ⁷	大大潮・小小潮				
1年					
10 ⁸		気象長期変動 地盤変動	生物資源の長期変化		土地利用変化
突発的		台風			汚濁物質の排出

↑ 貧酸素化

↑ 広域的
水質レベル

↓

2) 水域モデルにおいて求められる要件

閉鎖性水域の水物質循環に関わる施策（流域負荷削減、干潟再生など）による湾内の水質改善効果を評価するには、次の要件を満たす必要があると考えられる。

a) 流域水物質循環に係わる施策の評価

水質季節変化を表現できるモデルである必要がある。

b) 干潟の再生等の施策の評価

底泥の溶出や浅場の浄化機能を表現する項目が必要である。

c) 今後、下水道の合流改善等に関わる施策にも使える

大腸菌群数の移流拡散計算が可能なモデルである必要がある。

d) 水質改善効果をわかりやすい指標で表現

水質改善効果を透明度で表現する。

(2) 流動モデルの構造

1) 流れの基礎方程式

a) 連続方程式

空間的に密度が変化する水域における連続方程式は、均質流体の質量保存式

$$\frac{D\rho}{Dt} + \rho \operatorname{div}U = 0 \quad (\text{式- 3.2.2.1})$$

に対して、溶質の拡散を考慮した以下の式が成立する。

$$\frac{D\rho}{Dt} + \rho \operatorname{div}U = K\nabla^2 C \quad (\text{式- 3.2.2.2})$$

また、濃度 C の保存式は以下のようなになる。

$$\frac{DC}{Dt} + C \operatorname{div}U = K\nabla^2 C \quad (\text{式- 3.2.2.3})$$

ただし、記号はそれぞれ以下に示すとおりである。

$$\frac{D}{Dt} = \frac{\partial}{\partial t} + u \frac{\partial}{\partial x} + v \frac{\partial}{\partial y} + w \frac{\partial}{\partial z}$$

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$$

$$\operatorname{div} = \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z}$$

t : 時間

x, y, z : 空間座標（直交座標系）

ρ : 密度

U : 速度ベクトル

u, v, w : 速度ベクトルの x, y, z 方向成分

K : 拡散係数

C : 溶質濃度

ここで、密度変化の原因となる温度及び濃度の変化がそれほど大きくなく、かつ水は非圧縮性を仮定し、圧力による変化を無視すると、式-3.2.2.2 と式-3.2.2.3 から式-3.2.2.4 が導かれる。

$$\operatorname{div}U = 0 \quad (\text{式- 3.2.2.4})$$

したがって、密度差が存在する流れの場合においても密度が一様な非圧縮性流体と同様の連続式が適応可能となる。

b) 運動方程式

x , y 軸を水平方向、 z 軸を鉛直方向に設定し、鉛直方向には速度変化及び加速度が小さく、静力学平衡が成り立つと仮定すると、 x , y 方向の運動方程式 (flux form) は以下のようになる。

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} = & -\frac{\partial}{\partial x}(u^2) - \frac{\partial}{\partial y}(uv) - \frac{\partial}{\partial z}(uw) + f_0 v - g \frac{\partial \zeta}{\partial x} - \frac{g}{\rho} \int_z^0 \frac{\partial \rho}{\partial x} dz - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p_0}{\partial x} \\ & + \frac{\partial}{\partial x} \left(N_x \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(N_y \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(N_z \frac{\partial u}{\partial z} \right) \end{aligned} \quad (\text{式- 3.2.2.5})$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} = & -\frac{\partial}{\partial x}(uv) - \frac{\partial}{\partial y}(v^2) - \frac{\partial}{\partial z}(vw) - f_0 u - g \frac{\partial \zeta}{\partial y} - \frac{g}{\rho} \int_z^0 \frac{\partial \rho}{\partial y} dz - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p_0}{\partial y} \\ & + \frac{\partial}{\partial x} \left(N_x \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(N_y \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(N_z \frac{\partial v}{\partial z} \right) \end{aligned} \quad (\text{式- 3.2.2.6})$$

ここで、

- f_0 : コリオリパラメータ
- ζ : 平均水面から自由水面までの高さ
- g : 重力加速度
- p_0 : 大気圧
- N_x, N_y, N_z : x, y, z 方向の渦動粘性係数

c) 熱収支の式

熱についての移流拡散方程式を用いる。

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial t} = & -\frac{\partial}{\partial x}(uT) - \frac{\partial}{\partial y}(vT) - \frac{\partial}{\partial z}(wT) \\ & + \frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) \end{aligned} \quad (\text{式- 3.2.2.7})$$

ここで、

- T : 水温
- k_x, k_y, k_z : x, y, z 方向の熱に関する乱流拡散係数

d) 塩素量収支の式

塩素量についての移流拡散方程式を用いる。

$$\begin{aligned} \frac{\partial Cl}{\partial t} = & -\frac{\partial}{\partial x}(uCl) - \frac{\partial}{\partial y}(vCl) - \frac{\partial}{\partial z}(wCl) \\ & + \frac{\partial}{\partial x}\left(K_x \frac{\partial Cl}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(K_y \frac{\partial Cl}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(K_z \frac{\partial Cl}{\partial z}\right) \end{aligned} \quad (\text{式- 3.2.2.8})$$

ここで、

Cl : 塩素量

K_x, K_y, K_z : x, y, z 方向の塩素量に関する乱流拡散係数

e) 状態方程式

塩素量と水温から密度を計算するための状態方程式として Knudsen の式を用いる。

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{\sigma_t}{1000} + 1 \\ \sigma_t &= \Sigma_t + (\sigma_0 + 0.1324)\{1 - A_t + B_t(\sigma_0 - 0.1324)\} \\ \sigma_0 &= -0.069 + 1.4708Cl - 0.001570Cl^2 + 0.0000398Cl^3 \\ \Sigma_t &= -\frac{(T - 3.98)^2}{503.570} \cdot \frac{T + 28.30}{T + 67.26} \\ A_t &= T(4.7867 - 0.098185T + 0.0010843T^2) \times 10^{-3} \\ B_t &= T(18.030 - 0.8164T + 0.01667T^2) \times 10^{-6} \end{aligned}$$

2) マルチレベルモデル密度流モデル

基礎方程式、式-3.2.2.5～式-3.2.2.8 をセル内で Z 方向に積分すると、以下のようなマルチレベルモデルの基礎式が得られる。

a) 運動方程式

$$\begin{aligned} \frac{\partial M_k}{\partial t} \cong & -\frac{\partial}{\partial x}(M_k v_k) - \frac{\partial}{\partial y}(M_k v_k) - (uw)\Big|_{z=-H_{k-1}} + (uw)\Big|_{z=-H_k} + f_0 N_k \\ & + \frac{h_k}{\rho_k} \left\{ [\tilde{P}_x]_k - \frac{1}{2} g h_k \frac{\partial \rho_k}{\partial x} \right\} + \frac{\partial}{\partial x} \left(N_x \frac{\partial M_k}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(N_y \frac{\partial M_k}{\partial y} \right) \\ & + \frac{1}{\rho} \tau_x^{k-1,k} - \frac{1}{\rho} \tau_x^{k,k+1} \end{aligned} \quad (\text{式- 3.2.2.9})$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial N_k}{\partial t} \cong & -\frac{\partial}{\partial x}(N_k v_k) - \frac{\partial}{\partial y}(N_k v_k) - (uw)\Big|_{z=-H_{k-1}} + (uw)\Big|_{z=-H_k} - f_0 M_k \\ & + \frac{h_k}{\rho_k} \left\{ [\tilde{P}_y]_k - \frac{1}{2} g h_k \frac{\partial \rho_k}{\partial y} \right\} + \frac{\partial}{\partial x} \left(N_x \frac{\partial N_k}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(N_y \frac{\partial N_k}{\partial y} \right) \\ & + \frac{1}{\rho} \tau_y^{k-1,k} - \frac{1}{\rho} \tau_y^{k+1,k} \end{aligned} \quad (\text{式- 3.2.2.10})$$

b) 連続方程式

$$w_k = 0 \quad (k = K) \quad (\text{式- 3.2.2.11})$$

$$w_{k+1} = w_k - \frac{\partial M_k}{\partial x} - \frac{\partial N_k}{\partial y} \quad (k = 2, 3, \dots, K) \quad (\text{式- 3.2.2.12})$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} = w_1 - \frac{\partial M_1}{\partial x} - \frac{\partial N_1}{\partial y} \quad (\text{式- 3.2.2.13})$$

c) 熱収支の式

(top-レベル)

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(h_1 T_1) = & -\frac{\partial}{\partial x}(M_1 T_1) - \frac{\partial}{\partial y}(N_1 T_1) + (wT) \Big|_{z=-H_1} \\ & + \frac{\partial}{\partial x}\left(h_1 k_x \frac{\partial T_1}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(h_1 k_y \frac{\partial T_1}{\partial y}\right) - \frac{Q_s}{c_v \rho} - \left(k_z \frac{\partial T}{\partial z}\right) \Big|_{z=-H_1} \end{aligned} \quad (\text{式- 3.2.2.14})$$

(他のレベル)

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(h_k T_k) = & -\frac{\partial}{\partial x}(M_k T_k) - \frac{\partial}{\partial y}(N_k T_k) - (wT) \Big|_{z=-H_{k-1}} + (wT) \Big|_{z=-H_k} \\ & + \frac{\partial}{\partial x}\left(h_k k_x \frac{\partial T_k}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(h_k k_y \frac{\partial T_k}{\partial y}\right) \\ & + \left(k_z \frac{\partial T}{\partial z}\right) \Big|_{z=-H_{k-1}} - \left(k_z \frac{\partial T}{\partial z}\right) \Big|_{z=-H_k} \end{aligned} \quad (\text{式- 3.2.2.15})$$

d) 塩素量収支の式

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(h_k Cl_k) = & -\frac{\partial}{\partial x}(M_k Cl_k) - \frac{\partial}{\partial y}(N_k Cl_k) \\ & - (wCl) \Big|_{z=-H_{k-1}} + (wCl) \Big|_{z=-H_k} \\ & + \frac{\partial}{\partial x}\left(h_k K_x \frac{\partial Cl_k}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(h_k K_y \frac{\partial Cl_k}{\partial y}\right) \\ & + \left(K_z \frac{\partial Cl}{\partial z}\right) \Big|_{z=-H_{k-1}} - \left(K_z \frac{\partial Cl}{\partial z}\right) \Big|_{z=-H_k} \end{aligned} \quad (\text{式- 3.2.2.16})$$

ここで変数の添え字 k は、第 k 番目のセルの値を意味する。またセル内の線流量 M , N を以下のように定義する。

$$\begin{aligned} M_k & \equiv \int_{-H_k}^{-H_{k-1}} u dz \quad , \quad N_k \equiv \int_{-H_k}^{-H_{k-1}} v dz \\ [\tilde{P}_x]_k & : \\ [\tilde{P}_x] & = -\frac{\partial p_0}{\partial x} - \rho_1 g \frac{\partial \zeta}{\partial x} \\ [\tilde{P}_x]_k & = [\tilde{P}_x]_{k-1} - g h_{k-1} \frac{\partial \rho_{k-1}}{\partial x} \quad (k \geq 2) \end{aligned}$$

y 方向も同様

h_k : 第 k 番目のセルの高さ ($= H_k - H_{k-1}$)

$\tau_x^{k-1,k}, \tau_y^{k-1,k}$: 第 1 番目セルと第 k 番目セルの間に働く

x, y 方向の剪断力

7) 自由水面上に働く剪断力 (風による粘性応力)

$$\begin{aligned} \tau_x^{0,1} & = \rho_a \gamma_a^2 W_x \sqrt{W_x^2 + W_y^2} \\ \tau_y^{0,1} & = \rho_a \gamma_a^2 W_y \sqrt{W_x^2 + W_y^2} \end{aligned}$$

ρ_a : 空気密度

γ_a^2 : 海面摩擦係数

W_x, W_y : 風速ベクトルの x, y 方向成分

イ) 海底面に働く剪断力

$$\tau_x^{K,K+1} = \rho \gamma_b^2 u_K \sqrt{u_K^2 + v_K^2}$$

$$\tau_y^{K,K+1} = \rho \gamma_b^2 v_K \sqrt{u_K^2 + v_K^2}$$

γ_b^2 : 底面摩擦係数

ウ) レベル間に働く剪断力

$$\tau_x^{k-1,k} = \rho \gamma_i^2 (u_{k-1} - u_k) \cdot \sqrt{(u_{k-1} - u_k)^2 + (v_{k-1} - v_k)^2}$$

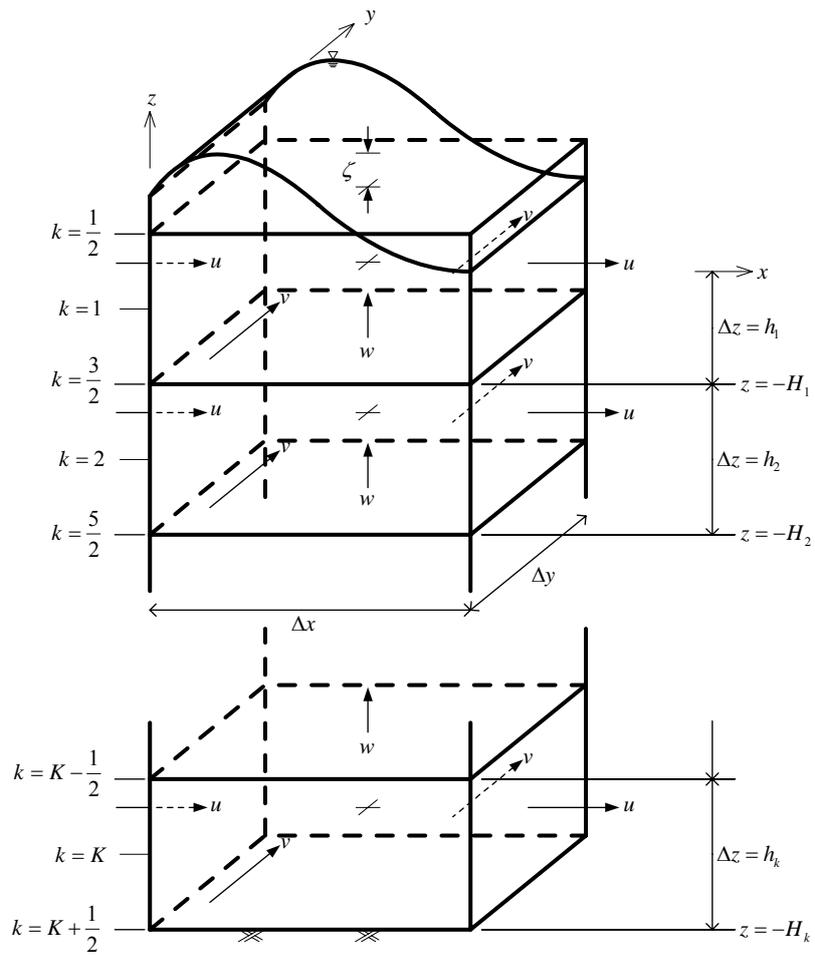
$$\tau_y^{k-1,k} = \rho \gamma_i^2 (v_{k-1} - v_k) \cdot \sqrt{(u_{k-1} - u_k)^2 + (v_{k-1} - v_k)^2}$$

($k = 2, 3, \dots, K$)

γ_i^2 : 内部摩擦係数

Q_s : 大気への放熱係数

C_v : 比熱



図・3.2.2.1 マルチレベルモデルの座標系と変数の配置

3) 拡散の基礎方程式

3次元の物質拡散の基礎方程式は、

$$\begin{aligned} \frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} + w \frac{\partial c}{\partial z} \\ = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_{hx} \frac{\partial c}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_{hy} \frac{\partial c}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_v \frac{\partial c}{\partial z} \right) + S_c \end{aligned} \quad (\text{式- 3.2.2.17})$$

である。ここで、

S_c : 内部変化項 ※大腸菌群数の計算ではゼロとする

c : 物質濃度 (g/m³)

h : 水深 (m)

u, v, w : x, y, z 方向の平均流速成分 (m/s)

D_h, D_v : 水平、鉛直渦動拡散係数 (m²/s)

t : 時間 (s)

・境界条件は

水底 ($z = -h$) で、

$$-D_v \frac{\partial c}{\partial z} = R_b \quad (\text{式- 3.2.2.18})$$

ここで、 R_b : 底面からの溶出量 (g/m²/s)

境界層 ($z = -h_i$) で、

$$D_v \frac{\partial c}{\partial z} \Big|_{z=-h_i} = D_v \frac{c_i - c_{i+1}}{h_i} \quad (\text{式- 3.2.2.19})$$

水面 ($z = \zeta$) で、

$$D_v \frac{\partial c}{\partial z} = 0 \quad (\text{式- 3.2.2.20})$$

式-3.2.2.17 をセル内で Z 方向に積分すると次式になる。

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} (h_k C_k) = & -\frac{\partial}{\partial x} (M_k C_k) - \frac{\partial}{\partial y} (N_k C_k) \\ & - (wC) \Big|_{z=-H_{k+1}} + (wC) \Big|_{z=-H_k} \\ & + \frac{\partial}{\partial x} \left(h_k K_x \frac{\partial C_k}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(h_k K_y \frac{\partial C_k}{\partial y} \right) \\ & + \left(K_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) \Big|_{z=-H_{k+1}} - \left(K_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) \Big|_{z=-H_k} + S_c \cdot h_k \end{aligned} \quad (\text{式- 3.2.2.21})$$

(3) 生態系（富栄養化）モデルの考え方

本モデルで取り扱う水質項目は表- 3.2.2.2 に示す 8 項目である。生態系モデルの概念図は、図- 3.2.2.2 のとおりである。

表- 3.2.2.2 水質項目及びその主成分、単位

項 目	主 成 分	変 数 名	単 位
植物プランクトン (Phytoplankton)	クロロフィル a (Chlorophyll-a)	P	$\mu\text{g} - \text{chla} / \text{l}$
動物プランクトン (Zooplankton)	動物炭素量— Zooplankton Carbon	Z	mgC / ℓ
無機態窒素 (IN —Inorganic Nitrogen)	Ammonia Nitrogen、 Nitrite Nitrogen、 Nitrate Nitrogen	C_{IN}	mgN / ℓ
有機態窒素 (ON —Organic Nitrogen)	非生物（命）体 Organic Nitrogen	C_{ON}	mgN / ℓ
無機態リン (IP — Inorganic Phosphorus)	リン酸態リン— Orthophosphate	C_{IP}	mgP / ℓ
有機態リン (OP — Organic Phosphorus)	非生物（命）体 Organic Phosphorus	C_{OP}	mgP / ℓ
化学的酸素要求量 (COD)	非生物（命）体有機物 Chemical Oxygen Demand	C_{COD}	mgO_2 / ℓ
溶存酸素 (DO)	Dissolved Oxygen	C_{DO}	mgO_2 / ℓ

有機態の窒素及びリンの定式化には、生物（命）体を含める場合と含めない場合があるが、本モデルでは、プランクトンの死骸や排泄物などを非生物体の有機物とし、生物体の植物プランクトン・動物プランクトンと分離して計算する方法をとる。すなわち本モデルにおける有機態窒素、有機態リン及び COD の算出は、まず河川などから流入するのが非生物体であるとして、デトリタスなどによって生産される非生物体物質を微分方程式によって計算する。次に全有機態窒素、全有機態リン及び全 COD は、この非生物体と別途計算される植物プランクトン、動物プランクトンによって生産される生物体との合計で構成されるものとする。このようなモデル化により、有機態窒素、有機態リン及び有機物 COD が生物体と非生物体の両方を含むことによる物質生産を、合理的に計算することが可能である。何が有機物の生産や分解に関与するかが明確になる。

したがって、全有機態窒素 TON (Total Organic Nitrogen) は植物プランクトン及び動物プランクトンの生物体有機態窒素と非生物体有機態窒素との加算となり、全有機態窒素 TON と無機態窒素との累加は全窒素 TN (Total Nitrogen) となる。同じく、全有機態リン TOP (Total Organic Phosphorus) は植物プランクトン及び動物プランクトンの生物体有機態リンと非

生物体有機態リンとを加算したものとなり、全有機態リン TOP と無機態リンとの累加は全リン TP (Total Phosphorus) となる。また、全 COD ($TCOD$ —Total Chemical Oxygen Demand) は植物プランクトン及び動物プランクトンの生物体 COD と非生物体の有機物 COD との累加となる。

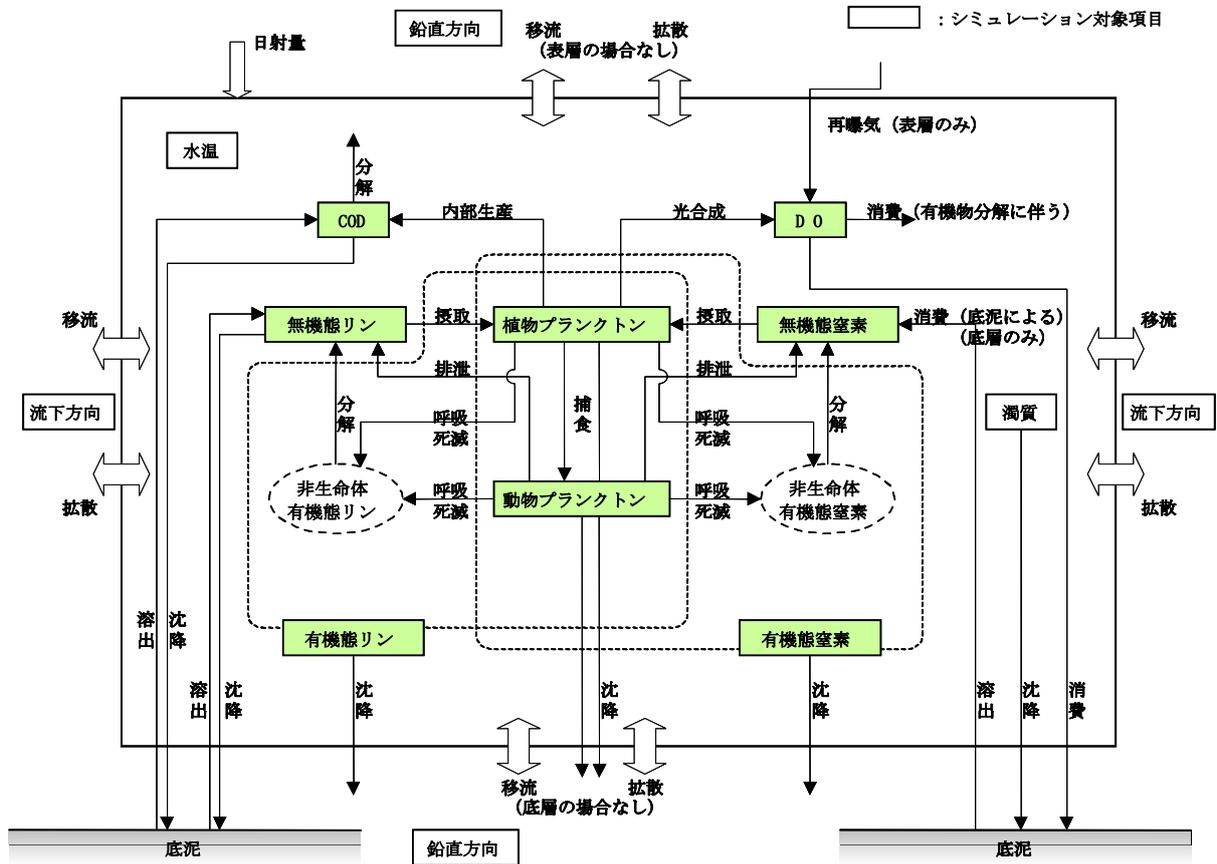


図- 3.2.2.2 生態系モデルの概念図

生態系モデルによる内部領域における各水質の発生及び消滅濃度率は、濃度収支式 (式-3.2.2.17) の右辺 S_i 項となる。以下、図- 3.2.2.2で示したモデルの概念図に基づき、各水質項目ごとの発生及び消滅濃度率の算定法を示す。

1) 植物プランクトン (Phytoplankton)

植物プランクトンはクロロフィル a で表示される。これは、植物プランクトン個体数を計算する方法に比べ測定者による誤差が少なく、また、有機物生産などを考える場合には光合成の直接の担い手であるクロロフィル a がよい指標となりうるからである。

細胞が無限に増殖しない理由は多く存在するが、一般の環境では、基質や栄養塩の枯渇によるものである。ダム湖、湖沼や湾のように閉鎖性が強く、水が長期に滞留する水域では、植物プランクトンが、律速栄養塩として窒素やリンなどを摂取して、光合成により水中の無機炭素より有機物を合成し増殖する。水域で窒素及びリンの濃度が高くなり植物プランクトンが異常増殖し、これに伴って種々の水質障害が生じる現象は富栄養化とよばれ、水質保全上の重要な問題となっている。

植物プランクトンの細胞（又は濃度）の増加速度 dP/dt は、単位濃度当たりの増殖速度である比増殖速度 μ_p を用いて表示される。

$$\frac{dP}{dt} = \mu_p P$$

ここで、 μ_p は植物プランクトンの比増殖速度、 P は植物プランクトン濃度 ($\mu\text{g-chla}/\ell$) である。植物プランクトンの比増殖速度に影響する因子としては、日照強度、水温、無機態窒素濃度、無機態リン濃度及びスペース効果を考慮する。

$$\mu_p = \mu_{p\max} \cdot F_I \cdot F_N \cdot F_T$$

ここで、 $\mu_{p\max}$ はその最大比増殖速度、 F_I 、 F_N 、 F_T はそれぞれ日照強度、栄養塩濃度及び温度に関する影響関数である。

光の影響関数 F_I としては照度（あるいは日射量） I に関して直線、飽和型又は指数型の近似法のいずれかがよく用いられる。ここで、日照強度効果は植物プランクトン増殖に対する強光阻害を考え、Dituro らの考えをもとに以下の式（強光阻害も連続表示）で与える。

$$F_I = \frac{I_z}{I_s} \exp\left(1 - \frac{I_z}{I_s}\right)$$

ここで、 F_I は日照強度とスペース効果による影響の修正係数、 I_s は最大増殖速度を与える最適照度 (lux 、あるいは最適日射量)、 I_z は水深 z 位置における照度 (lux 、あるいは日射量) である。最適照度あるいは最適日射量 I_s は種によって異なるが、 $2000 \sim 20000 \text{ lux}$ あるいは $300 \sim 350 \text{ cal}/(\text{cm}^2 \cdot \text{day})$ 程度の値が日本ではよく用いられる。

光は水中で Lambert-Beer (ランベルト - ベール) の法則に従って減衰する。したがって、水深 z 位置における照度 I_z は

$$I_z = I_0 \exp(-\lambda(\zeta - z))$$
$$\lambda = \lambda_g P + \lambda_h$$

ここで、 I_0 は水面における照度 (lux 、あるいは日射量)、 ζ は水位、 λ は光の減衰係数であり、植物プランクトンによるもの (係数 λ_g) と、その他のもの (λ_h) とに分ける必要がある。

栄養塩類濃度による影響 F_N は律速栄養塩である無機態窒素及び無機態リンの濃度 C_{IN} 及び C_{IP} に関する Michaelis-Menten 型の式で近似する。

生物の生育収量は、必須栄養分の中で不足する養分量に支配されるため、最小値が選ばれて

$$F_N = \text{MIN}\left(\frac{C_{IN}}{K_{IN} + C_{IN}}, \frac{C_{IP}}{K_{IP} + C_{IP}}\right), \quad (\text{式- 3.2.2.22})$$

又は複数乗じられて
$$F_N = \frac{C_{IN}}{K_{IN} + C_{IN}} \frac{C_{IP}}{K_{IP} + C_{IP}} \quad (\text{式- 3.2.2.23})$$

の二つの計算法がある。ここで、 K_{IN} 及び K_{IP} は半飽和定数である。

本モデルでは式-3.2.2.22 を採用する。

したがって、

$$\mu_P = \mu_{P\max} \cdot F_T \cdot F_I \cdot \text{MIN}\left(\frac{C_{IN}}{K_{IN} + C_{IN}}, \frac{C_{IP}}{K_{IP} + C_{IP}}\right), \quad (\text{式- 3.2.2.24})$$

又は
$$\mu_P = \mu_{P\max} \cdot F_T \cdot F_I \cdot \frac{C_{IN}}{K_{IN} + C_{IN}} \frac{C_{IP}}{K_{IP} + C_{IP}} \quad (\text{式- 3.2.2.25})$$

がある。本モデルでは式-3.2.2.24 を採用する。

温度条件は微生物増殖・分解や物質変換経路にとって重要である。微生物による変換反応に関与する酵素は蛋白質であり、温度が高いほどその活性は高い一方で蛋白質の変質が生じるため温度の上限があり、最適温度範囲が存在する。水温による影響 F_T は以下の式を適用する。

$$F_T = \frac{T}{T_s} \exp\left(1 - \frac{T}{T_s}\right) \quad (\text{式- 3.2.2.26})$$

ここで、 θ ($=1.02 \sim 1.06$) : 定数、 T : 水温、 T_s : 最適温度、 T_s : $\mu_{P\max}$ を決定したときの基準温度、一般的には $T_s = 20^\circ\text{C}$ 。

ここに、

- T : 水温 ($^\circ\text{C}$)
- μ_P : 植物プランクトン増殖速度 (1/day) ;
- $\mu_{P\max}$: 20°C における植物プランクトン最大増殖速度 (1/day) ;
- C_{IN} : 無機態窒素濃度 (mgN/l) ;
- C_{IP} : 無機態リン濃度 (mgP/l) ;
- K_{IN} : 無機態窒素の Michaelis 定数 (mgN/l) ;
- K_{IP} : 無機態リンの Michaelis 定数 (mgP/l) ;
- F_T : 水温による影響の修正項 ;
- T_s : 最適水温 ($^\circ\text{C}$) ;

である。

植物プランクトンの変化速度は増殖速度と死滅速度とを加算した形で示される。したがって、植物プランクトンの増殖活動は一次反応型として次式で表される。

$$S_p = \mu_p P - D_p$$

ここで、 D_p は植物プランクトンの減少である。植物プランクトンの減少項としては、自己分解項、動物プランクトンによる捕食項及び沈降項を考慮する。動物プランクトンはフィルターフィーダーであり、捕食速度については、動物プランクトン濃度と捕食率（濾水速度 C_g ）に比例するものとし、飽食効果を併せて考慮した。沈降項については現存量に比例して沈殿するものと考えた。

$$D_p = (R_p \theta_p^{T-20} + C_g Z) P - \omega_p \frac{\partial P}{\partial z} \quad (\text{式- 3.2.2.27})$$

$$S_p = \mu_p P - (R_p \theta_p^{T-20} + C_g Z) P + \omega_p \frac{\partial P}{\partial z} \quad (\text{式- 3.2.2.28})$$

動物プランクトンの濾水速度 C_g は温度が上昇するとともに大きくなり、また植物プランクトン濃度が高くなるにつれて減少する。したがって、

$$C_g = C_{g \max} \theta_{Pg}^{T-20} \frac{K_{Pg}}{K_{Pg} + P} \quad (\text{式- 3.2.2.29})$$

ここで、

- D_p : 植物プランクトン減少速度 (1/day) ;
- R_p : 20°Cにおける植物プランクトン死滅率 (1/day) ;
- θ_p : 植物プランクトン死滅率の温度補正係数 ;
- C_g : 動物プランクトンの濾過（捕食）率 ($\ell / mgC.day$) ;
- $C_{g \max}$: 20°Cにおける最大濾過率 ;
- θ_{Pg} : 動物プランクトンの濾過率の温度補正係数 ;
- Z : 動物プランクトン濃度 (mgC/l) ;
- K_{Pg} : 飽食効果に対するMichaelis定数 ($\mu g - chla / \ell$)、動物プランクトンによる植物プランクトンの捕食の半飽和定数 ;
- ω_p : 動物プランクトンの沈降速度 (m/day)

である。

2) 動物プランクトン (Zooplankton)

動物プランクトン（濃度 Z ）は動物炭素量で表示する。増殖項 μ_z については、植物プランクトン捕食によるもののみを考える。捕食では前述のとおり、捕食速度が動物プランクトン濃度と濾水速度に比例するものとして、飽食効果も考慮する。減少項としては自己分解項及び自然死滅を考慮し、大型動物による摂取は考慮していない。また、自泳性を有することから沈降項も考慮しない。

したがって、動物プランクトンの変化速度は次式で表される。

$$S_z = (\mu_z - R_z \theta_z^{T-20} - D_z)Z \quad (\text{式- 3.2.2.30})$$

$$\mu_z = \gamma_{PZ} a_z C_g P \quad (\text{式- 3.2.2.31})$$

ここで、

- μ_z : 動物プランクトン生成速度 (1/day) ;
- γ_{PZ} : $C/chla$ 比 ($mgC/\mu g - chla$)、植物プランクトン量からの動物プランクトン炭素量への換算係数 ;
- a_z : 植物プランクトン同化率 (摂食効率、0.40~0.85) ;
- R_z : 動物プランクトンの呼吸による分解速度定数 (1/day) ;
- θ_z : 動物プランクトンの呼吸による分解速度の温度補正係数
- D_z : 動物プランクトンの自然死滅速度 (1/day) ;

である。

3) 無機態窒素 (IN : Inorganic Nitrogen)

無機態窒素濃度は河川などからの流入量その他、増加項として有機窒素の分解による増加、底泥からの溶出（最下層コントロールボリュームのみ）による増加、さらに植物プランクトンの自己分解による回帰、動物プランクトンの自己分解による回帰があると考えられる。

減少項としては、植物プランクトン増殖に伴う摂取、吸収による減少を考慮する。したがって、無機態窒素の変化速度は次式で表される。

$$\begin{aligned}
 S_{IN} = & - (\text{植物プランクトンによる摂取}) + (\text{植物プランクトンの自己分解による回帰}) + (\text{動物プランクトンの自己分解による回帰}) + (\text{非生物体有機態窒素のバクテリアによる分解}) + (\text{底泥からの溶出}) \\
 = & \gamma_{PN}(-\mu_P + a_{PI}R_P\theta_P^{T-20})P + \gamma_{ZN}a_{ZI}R_Z\theta_Z^{T-20}Z \\
 & + k_N\theta_{ON}^{T-20}C_{ON} + W_{IN}\theta_{IN}^{T-20}\frac{A}{V}
 \end{aligned}
 \tag{式- 3.2.2.32}$$

ここで、

- C_{IN} : 無機態窒素濃度 (mgN/ℓ) ;
- C_{ON} : 非生物体有機態窒素濃度 (mgN/ℓ) ;
- γ_{PN} : 植物プランクトン中の窒素クロロフィルa ($N/chla$) 比 ($mgN/\mu g - chla$)、植物プランクトン量からの窒素量への換算係数 ;
- a_{PI} : 植物プランクトンの回帰率 (≈ 0.5) ;
- k_N : 有機態窒素の無機化分解速度 ($1/day$) ;
- θ_{ON} : 窒素分解速度の温度補正係数 ;
- γ_{ZN} : 動物プランクトン中の窒素炭素量 (N/C) 比 (mgN/mgC) ;
- a_{ZI} : 動物プランクトンの回帰率 (≈ 0.5) ;
- W_{IN} : 底泥からの無機態窒素溶出速度 ($gN/m^2 \cdot day$) ;
- θ_{IN} : 底泥からの無機態窒素溶出速度の温度補正係数 ;
- A : 最下層コントロールボリュームに対する底面積 (m^2) ;
- V : 最下層コントロールボリューム (m^3)

である。

4) 有機態窒素 (ON : Organic Nitrogen)

本モデルでは、非生物体有機態窒素を取り扱う。非生物体有機態窒素濃度の変化は流入量及び放流量などからの影響のほかに、増加項として植物プランクトン及び動物プランクトンの自己分解による回帰、動物プランクトンからの排泄、動物プランクトンの自然死滅であり、減少量としては、バクテリアによる無機態窒素への交換、非溶存態の非生物体有機態窒素の沈殿であると考えられる。なお、底泥からの溶出については有機態窒素としての溶出はないものとする。したがって、有機態窒素の変化速度は次式で表される。

$$\begin{aligned}
 S_{ON} = & \text{(植物プランクトンの自己分解による回帰)} + \text{(動物プランクトンからの排} \\
 & \text{泄)} + \text{(動物プランクトンの自己分解による回帰)} + \text{(動物プランクトンの} \\
 & \text{自然死滅)} - \text{(非生物体有機態窒素のバクテリアによる分解)} + \text{(沈降)} \\
 = & \gamma_{PN}((1-a_{PI})R_P\theta_P^{T-20} + (1-a_z)C_g Z)P \\
 & + \gamma_{ZN}((1-a_{ZI})R_Z\theta_Z^{T-20} + D_Z)Z - k_N\theta_{ON}^{T-20}C_{ON} \\
 & + (1-f_{ON})\omega_{ON}\frac{\partial C_{ON}}{\partial z}
 \end{aligned} \tag{式- 3.2.2.33}$$

ここで、 ω_{ON} は有機態窒素沈降速度 (m/day)、 f_{ON} は溶存態非生物体の有機態窒素成分である。

以上から、全有機態窒素および全窒素の濃度は下式により与えられる。

全有機態窒素：

$$\begin{aligned}
 TON = & \text{(植物プランクトン態窒素)} + \text{(動物プランクトン態窒素)} + \text{(非} \\
 & \text{生物体有機態窒素)} \\
 = & \gamma_{PN}P + \gamma_{ZN}Z + C_{ON}
 \end{aligned}$$

全窒素：

$$\begin{aligned}
 TN = & \text{(植物プランクトン態窒素)} + \text{(動物プランクトン態窒素)} + \text{(非} \\
 & \text{生物体有機態窒素)} + \text{(無機態窒素)} \\
 = & \gamma_{PN}P + \gamma_{ZN}Z + C_{ON} + C_{IN}
 \end{aligned}$$

5) 無機態リン (IP : Inorganic Phosphorus)

無機態リン濃度変化については河川からの流入量及び堰から放流量などの影響のほか、有機態リンの細菌による無機態リンへの変換量、底泥からの溶出量、さらに動物プランクトンからの排泄などにより増加する。また減少量については、植物プランクトンの摂取及び、懸濁物に吸着され、沈殿による減少を考える。したがって、無機態リンの変化速度は次式で表される。

$$\begin{aligned}
 S_{IP} = & - (\text{植物プランクトンによる摂取}) + (\text{植物プランクトンの自己分解による回帰}) + (\text{動物プランクトンの自己分解による回帰}) + (\text{非生物体有機態リンの細菌による分解}) + (\text{底泥からの溶出}) + (\text{沈降}) \\
 = & \gamma_{PP}(-\mu_P + a_{PI}R_P\theta_P^{T-20})P + \gamma_{ZP}a_{ZI}R_Z\theta_Z^{T-20}Z \\
 & + k_P\theta_{OP}^{T-20}C_{OP} + W_{IP}\theta_{IP}^{T-20}\frac{A}{V} + (1-f_{IP})\omega_{IP}\frac{\partial C_{IP}}{\partial z}
 \end{aligned}
 \tag{式- 3.2.2.34}$$

ここで、

- C_{IP} : 無機態リン濃度 (mgP/l) ;
- C_{OP} : 有機態リン濃度 (mgP/l) ;
- k_P : 有機態リンの無機化分解速度 (20°C) (1/day) ;
- θ_{OP} : 有機態リンの無機化速度の温度補正係数 ;
- W_{IP} : 底泥からの無機態リン溶出速度 (gP/m²·day) ;
- θ_{IP} : 底泥からの無機態リン溶出速度の温度補正係数 ;
- ω_{IP} : 無機態リンの沈降速度 (m/day)
- f_{IP} : 溶存態又は吸着されない無機態リン成分

である。

無機態リンが懸濁物に吸着されやすいため、本モデルでは吸着沈殿過程による無機態リンの減少も考慮する。

6) 有機態リン (OP : Organic Phosphorus)

本モデルでは、非生物体有機態リンを取り扱う。非生物体の有機態リン濃度の変化については河川からの流入・堰及び水門からの放流などの影響のほか、増加項として植物プランクトン及び動物プランクトンの自己分解による回帰、動物プランクトンからの排泄、動物プランクトンの自然死滅であると考えられる。減少項については、有機態窒素と同様にバクテリアによる無機態リンへの変換量、非溶存態の非生物体有機態リンの沈殿を考慮する。なお、底泥からの溶出については有機態リンとしての溶出はないものとする。したがって、有機態リンの変化速度は次式で表される。

$$\begin{aligned}
 S_{OP} &= (\text{植物プランクトンの自己分解による回帰}) + (\text{動物プランクトンからの排} \\
 &\quad \text{泄}) + (\text{動物プランクトンの自己分解による回帰}) + (\text{動物プランクトンの} \\
 &\quad \text{自然死滅}) - (\text{非生物体有機態リンのバクテリアによる分解}) + (\text{沈降}) \\
 &= \gamma_{PP}((1-a_{PI})R_P\theta_P^{T-20} + (1-a_z)C_g Z)P \\
 &\quad + \gamma_{ZP}((1-a_{ZI})R_Z\theta_Z^{T-20} + D_Z)Z - k_P\theta_{OP}^{T-20}C_{OP} \\
 &\quad + (1-f_{OP})\omega_{OP}\frac{\partial C_{OP}}{\partial z}
 \end{aligned} \tag{式- 3.2.2.35}$$

ここで、 ω_{OP} は有機態リン沈降速度 (m/day)、 f_{OP} は溶存態非生物体有機態リン成分である。

以上から、全有機態リンおよび全リンの濃度は下式により与えられる。

全有機態リン：

$$\begin{aligned}
 TOP &= (\text{植物プランクトン態リン}) + (\text{動物プランクトン態リン}) + (\text{非} \\
 &\quad \text{生物体有機態リン}) \\
 &= \gamma_{PP}P + \gamma_{ZP}Z + C_{OP}
 \end{aligned}$$

全リン：

$$\begin{aligned}
 TP &= (\text{植物プランクトン態リン}) + (\text{動物プランクトン態リン}) + (\text{非生} \\
 &\quad \text{物体有機態リン}) + (\text{無機態リン}) \\
 &= \gamma_{PP}P + \gamma_{ZP}Z + C_{OP} + C_{IP}
 \end{aligned}$$

7) 化学的酸素要求量 (COD : Chemical Oxygen Demand)

有機物の化学的酸素要求量 COD は水中の易分解性有機物の存在量を示す指標であり、生物では植物、動物のプランクトン、非生物では懸濁態有機物や溶存態有機物のコンパートメントの挙動を知れば COD の時間変化を知ることができる。ここでは非生物体有機物の COD の変化速度を次式で表す。

$$\begin{aligned}
 S_{COD} = & \text{(植物プランクトンの自己分解による回帰)} + \text{(動物プランクトンからの排泄)} \\
 & + \text{(動物プランクトンの自己分解による回帰)} + \text{(動物プランクトンの自然死滅)} \\
 & - \text{(非生物体有機物のバクテリアによる分解)} + \text{(底泥からの溶出)} + \text{(沈降)} \\
 = & \gamma_{PC} ((1 - a_{PI}) R_P \theta_P^{T-20} + (1 - a_z) C_g Z) P \\
 & + \gamma_{ZC} ((1 - a_{ZI}) R_Z \theta_Z^{T-20} + D_Z) Z - k_C \theta_C^{T-20} C_{COD} + W_{COD} \theta_{COD}^{T-20} \frac{A}{V} \quad (\text{式- 3.2.2.36}) \\
 & + \omega_C \frac{\partial C_{COD}}{\partial z}
 \end{aligned}$$

ここで、

- C_{COD} : 化学的酸素要求量 (mgO_2 / ℓ) ;
- γ_{PC} : 植物プランクトンの COD への換算係数 ($mgO_2 / \mu g - chla$) ;
- γ_{ZC} : 動物プランクトンの COD への換算係数 (mgO_2 / mgC) ;
- k_C : 有機物分解速度定数 ($1 / day$) ;
- θ_C : 有機物分解速度定数の温度補正係数 ;
- W_{COD} : 底泥からの COD 溶出速度 ($gO_2 / m^2 \cdot day$) ;
- θ_{COD} : 底泥からの COD 溶出速度の温度補正係数 ;
- ω_{COD} : COD の沈降速度 (m / day)

である。

以上から、全 COD の濃度は下式により与えられる。

$$\begin{aligned}
 \text{全 } COD : \\
 T_{COD} = & \text{(植物プランクトン態 } COD) + \text{(動物プランクトン態 } COD) + \\
 & \text{(非生物体有機物 } COD) \\
 = & \gamma_{PC} P + \gamma_{ZC} Z + C_{COD}
 \end{aligned}$$

8) 溶存酸素 (DO : Dissolved Oxygen)

溶存酸素 DO の変化は、水塊にすでに含まれている溶存酸素と飽和酸素との差を推進力とする水面からの再曝気、植物プランクトンの光合成作用に伴う溶存酸素の生成、また、有機物分解に伴う消費、底泥における消費などより表すことができる。

植物プランクトンによる光合成作用が活発な場合には、過飽和となる状況がみられ、また、水塊中に有機物が多量に含まれている場合には、低濃度となる富栄養化の影響側面を考える上で重要な水質項目である。 DO の変化速度は下式により与えられる。

$$\begin{aligned}
 S_{DO} &= (\text{植物プランクトンによる生産}) - (\text{植物プランクトン呼吸}) - (\text{動物プランクトン呼吸}) - (\text{非生物体有機物のバクテリアによる分解}) + (\text{再曝気}) \\
 &\quad - (\text{底泥による消費}) \\
 &= \gamma_{PO}(\mu_P - R_P\theta_P^{T-20})P - \gamma_{ZO}R_Z\theta_Z^{T-20}Z - k_C\theta_C^{T-20}C_{COD} \\
 &\quad + k_{Os}\theta_{Os}^{T-20}(C_{DOs} - C_{DO})\frac{A_s}{V_s} - SOD\theta_{SOD}^{T-20}\frac{A_b}{V_b}
 \end{aligned}
 \tag{式- 3.2.2.37}$$

ここで、

- C_{DO} : 溶存酸素濃度 (mgO_2 / ℓ) ;
- γ_{PO} : 光合成による溶存酸素生産速度又は植物プランクトンの DO への換算係数 ($mgO_2 / \mu g - chla$) ;
- γ_{ZO} : 動物プランクトンの DO への換算係数 (mgO_2 / mgC) ;
- SOD : Sediment Oxygen Demand—底泥による溶存酸素消費速度 ($gO_2 / m^2 \cdot day$) ; 底面のみ
- θ_{SOD} : 底泥による溶存酸素消費速度温度補正係数 ;
- k_{Os} : 再曝気係数 (m/day) ; 水面のみ
- θ_{Os} : 再曝気係数温度補正係数 ;
- C_{DOs} : 飽和溶存酸素濃度 (mgO_2 / ℓ) ;
- $C_{DOs} = (10.291 - 0.2809T + 0.006009T^2 - 0.000063T^3) \times 32.0 / 22.4$
- A_s, V_s : 表層elementの表面積・体積 ;
- A_b, V_b : 底層elementの表面積・体積 ;

である。

(4) 干潟の浄化機能について

1) 干潟・浅場の機能

干潟の機能として、生息生育基盤としての機能、水質浄化機能および親水機能等があげられる。この内、水質浄化機能には次のものがあり、これらの機能による沿岸域の水質浄化効果を評価することが一般的な技術的課題となっている。

- 海水中の懸濁物質の濾過（物理的作用）
- 曝気作用（物理的作用）
- 底生動物等による栄養塩、有機物の摂取（生物的作用）
- 底生動物→魚類・鳥類の捕食→系外への移動（生物的作用）
- 微生物による分解、無機化、脱窒（生物的作用）

2) モデルの要件

海水中の懸濁物質の濾過（物理的作用）

干潟（潮間帯）の微地形や潮位変化に伴う干出域の変化を表現するような空間分解能が必要である。干出⇔冠水の変化の計算技術も必要である。

曝気作用（物理的作用）

干潟、浅場の流れ場と波浪場を表現するモデルが必要である。また、貧酸素水の湧昇に対する曝気効果を評価するには密度成層を表現するような鉛直方向の空間分解能や計算技術（ $k-\epsilon$ 、CIP等）を導入する必要がある。

底生動物等による栄養塩等の摂取（生物的作用）

モデル構造としては、海底に単位面積当たりの摂取量（ mg/day/m^2 ）を与えれば、水中の栄養塩・有機物の収支は計算できる。（事例はあるものの摂取量に関する知見は少ない。）

底生動物→魚類、鳥類の捕食→系外への移動（生物的作用）

基本的に食物連鎖による物質収支を表現するモデルが必要であると考えられるが、その計算手法は確立されていない。

微生物による分解、無機化、脱窒（生物的作用）

分解、無機化及び脱窒は水温関数で与えるのが通常の方法であるが、干潟の評価のためには、干潟・浅場と沖合での異なる分解・無機化・脱窒速度を与える必要がある。干潟と沖合で異なる速度を与えた事例は少ない。

以上のような作用の定量的評価法については、現時点では未だ研究途上にあるが、三番瀬について一定の評価事例³⁾があるため、これを参考に、(3)の生態系モデルにより浄化効果を組み込んだ。

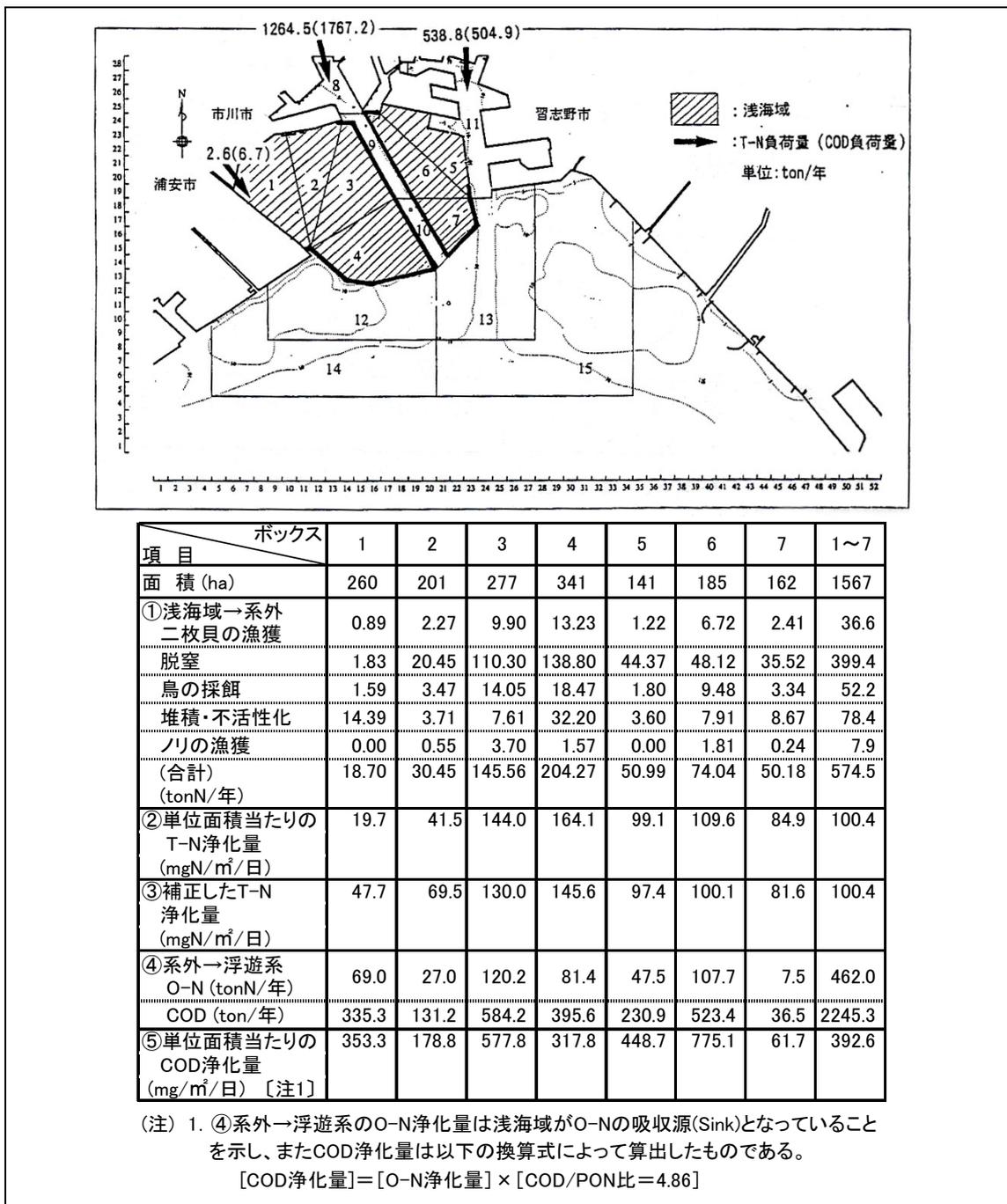


図- 3.2.2.3 干潟の浄化機能に関する文献³⁾

参考文献

- 1) 都市水文研究会: 多摩ニュータウン流出試験地調査報告, p333, 1986
- 2) 楠田哲也: 感潮河川における物質輸送と変換, (財) 河川環境管理財団 河川水質勉強会資料, p36, 2000
- 3) 環境庁水質保全局: 平成10年度 藻場・干潟等の環境保全機能定量評価基礎調査 報告書, 1999

3.3 モデルの構造およびインターフェイスの構築

3.3.1 システム構築の基本方針

既存の水物質循環モデルのプログラムは、データを入力しシミュレートする一連作業に手間と経験を要する等の問題が存在する。この状況を鑑み、一般のユーザーが容易に操作できるように、ユーザーインターフェース（システム）を作成する。

ここでシステム作成にあたっての基本方針は、以下によるものとする。

シミュレーションシステム構築方針

- ① 開発は、Esri 社が販売する ArcGIS9.0 を利用する。
- ② 動作環境は、PC を考える。また OS は、WindowsXP を考える。
- ③ システムには、以下に示す機能を持たせる。
 - ・ 入力データ（タンク情報、落水線網、気象関係データなど）は、既存ファイルの選択と外部アプリケーション（テキストエディタ）による修正を可能とする。
 - ・ 計算結果を左右する基礎パラメータについては、システム上からの入力を可能とする。
 - ・ 計算の実行は、システム上から操作可能とする。
 - ・ 計算に入力するデータセットを識別し、既往計算の再現が可能とする。
 - ・ 計算結果の表示は、グラフ表示及び数値表表示を可能とする。

モデルを実行するにあたり必要なソフト・作業環境は下記の通りである。

ArcView9.0、VB ランタイム

(ArcView9.0 をインストールするために、以下動作環境が必要)

基本ソフトウェア

Windows 2000 Professional、Windows NT 4.0、Windows XP Home Edition、
Windows XP Professional Edition、Windows 2000 Advanced Server、Windows Server
2003

サービスパック／パッチ

Windows 2000 : SP1、SP2、SP3、SP4 (オプション)

Windows NT 4.0 : SP 6a

Windows XP : SP1、SP2 (制限付きサポート*)

プロセッサ Intel Pentium または Intel Xeon プロセッサ (32 bit)

CPU の速度 800 MHz (必須) 1.0 GHz (推奨)

メモリ/RAM 256 MB (必須) 512 MB 以上 (推奨)

ディスク容量 605MB NTFS 695MB FAT32

3.3.2 システム構成

本システムは、以下の図- 3.3.2.1に示す構成を考える。ユーザー側の操作は、計算に使用する基礎データの選択と、モデル定数の設定、及び計算結果の表示とし、残りの作業はすべてシステム側に持たせるものとする。

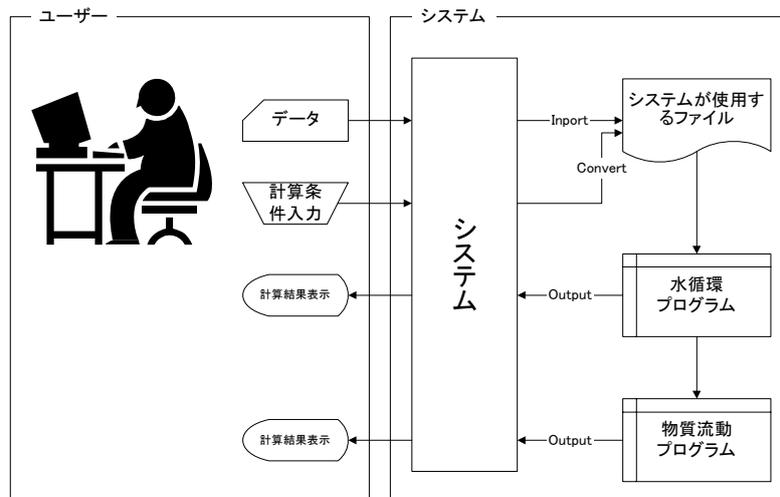


図- 3.3.2.1 システムを使用した操作状況図

3.3.3 機能概要

今回構築するシミュレーションシステムは、以下の機能を有するものである。

- ・ 施策設定

人口や土地利用などのフレーム設定および流域での対策による境界条件データの設定を行う。以前の計算において作成した施策の境界条件については、政策を選択することにより条件設定できるものとする。フレーム設定の変更があった場合には、境界条件の平面分布を ArcView 上で表示する。

- ・ 計算パラメータの設定

計算に用いる水文データ、計算モデルの自然流出系パラメータおよび湾内モデルのパラメータを画面に表示し、変更可能な機能を持たせる。

- ・ 陸域モデル、湾内モデルの実行

入力データおよびパラメータの設定後、計算実行ボタン等により、自動的に陸域・湾内の水・物質流動計算を行う。計算終了後、結果の保存ができる機能も持たせる。

- ・ 計算結果の表示

下記の形態で計算結果を表示する。

- A) 陸域特定地点時系列グラフ（流量・濃度）表示
- B) 陸域の河道メッシュ年平均濃度の面表示
- C) 湾内特定地点時系列グラフ(濃度・透明度)表示
- D) 湾内指定日の面表示（濃度）

3.3.4 システムのフォルダ構成

本シミュレーションシステムは、データセット毎のファイル管理を容易にするため、下記に示すディレクトリ構成で構築するものとする。

(1) フォルダ全体構成

フォルダ構成		ファイル・フォルダ内容の概要
%Home%	¥東京湾.mxd	シミュレーションシステムの実行ファイル
	¥CaseDir.txt	計算時の参照・格納フォルダを規定するファイル
	¥BASEDATA 変更	メッシュ基本情報などを格納するフォルダ
	¥dataedit	施策変更結果変換プログラムを格納するフォルダ
	¥System	ArcView 関連のファイルを格納するフォルダ
	¥ORG	フレームや施策変更前のオリジナルセット
	¥Folder01	ユーザが指定する計算ケースフォルダ
	¥Folder02	ユーザが指定する計算ケースフォルダ
	¥Folder03	ユーザが指定する計算ケースフォルダ
	

(2) ¥ORG や¥Folder**以下のフォルダ構成

フォルダ構成		ファイル・フォルダ内容の概要	
¥Folder**	¥Hsimulation		陸域モデル水循環計算
	¥bin		実行形式(***.exe, ***.bat)
	¥cntl		計算条件ファイル
	¥data		気象データ・人工系データ
	¥result		計算結果データ
	¥src		ソースプログラム
	¥Psimulation		陸域モデル物質循環計算
	¥bin		実行形式(***.exe, ***.bat)
	¥cntl		計算条件ファイル
	¥data		人工系データ
	¥result		計算結果データ
	¥src		ソースプログラム
	¥Tokyo_bay		湾内モデル計算
	¥bin		実行形式(***.exe, ***.bat)
	¥cntl		計算条件ファイル
	¥data		陸域モデル計算結果・境界データ
	¥result		計算結果データ
	¥src		ソースプログラム
	¥BASEDATA		計算ケース毎のメッシュ基本情報などを格納するフォルダ
	¥Flame		計算ケース毎のフレームデータを格納するフォルダ
¥気象データ		計算ケース毎の気象データを格納するフォルダ	

(3) 陸域水循環モデルのフォルダ構成およびファイル構造など

① フォルダ構成



- Bin : プログラム実行形式、バッチファイルを格納
- Cntl : 計算条件ファイルを格納
- Data : 計算元データファイルを格納
- Result : 計算結果ファイルを格納
- Src : 計算プログラムを格納

② 使用ファイルの一覧

Unit No.	File Name*	File I/O		ファイル格納 フォルダ	フ ァ イ ル 説 明
		Read	Write		
99	hfilelist.dat	○		CNTL	入出力ファイルリスト
1	tran.dat	○		CNTL	タンク構成情報を記述したファイル
2	tnlake.dat	○		CNTL	湖沼周辺メッシュと計算メッシュとの対応をとるファイル
3	contrlf.dat	○		CNTL	シミュレーションを制御するコントロールデータ
5	tntank.dat	○		CNTL	シミュレーションの基礎定数データファイル
41	precip.dat	○		DATA	降水量データファイル
42	tmmean.dat	○		DATA	平均気温データファイル
43	tmmmin.dat	○		DATA	最低気温データファイル
44	humity.dat	○		DATA	湿度データファイル
45	suntim.dat	○		DATA	日射量データファイル
46	windsp.dat	○		DATA	風速データファイル
47	daminf.dat	○		DATA	ダム流入量データファイル
48	hamon.dat	○		DATA	HAMONモデル定数を指定するファイル
51	manwat.dat	○		DATA	人工系水循環シミュレーション基本定数
52	supwat.dat	○		DATA	人工系取水量
53	supcod.dat	○		DATA	人工系水循環用水番号
60	INTAKE.dat	○		DATA	農業用水取水量データ
61	WATER.dat	○		DATA	都市用水取水量データ
62	SUWAGE.dat	○		DATA	下水排水量データ
65	FORT_MESHDATA.dat	○		DATA	メッシュ番号毎属性データ
66	FORT_CITYDATA.dat	○		DATA	生活用水データ
67	FORT_PREFDATA.dat	○		DATA	県別データ
68	FORT_IRRIDATA.dat	○		DATA	農業用水データ
71	tnline.dat	○		CNTL	流域メッシュの落水線番号とモデル領域X,Y座標を記述したファイル
72	tnflow.dat	○		CNTL	河道タンクがあるメッシュ番号とモデル領域X,Y座標を記述したファイル
7	tnkflow.dat		○	RESULT	タンクからの流出量データ(物質流動モデルへとインプットされる)
11	hypre.dat		○	RESULT	シミュレーションに使用された降水量のリスト
12	hytma.dat		○	RESULT	シミュレーションに使用された最低気温のリスト
13	hytmm.dat		○	RESULT	シミュレーションに使用された平均気温のリスト
14	hyhum.dat		○	RESULT	シミュレーションに使用された湿度のリスト
15	hysun.dat		○	RESULT	シミュレーションに使用された日射量のリスト
16	hywin.dat		○	RESULT	シミュレーションに使用された風速のリスト
17	hyflw.dat		○	RESULT	シミュレーションに使用されたダム流入量のリスト
18	hyevp.dat		○	RESULT	シミュレーションに使用された蒸発散量データ(時間計算のみ)
21	level1.dat		○	RESULT	指定メッシュ1・日付の水位(表層・不飽和・地下・川・融雪・融雪+雨)
22	level2.dat		○	RESULT	指定メッシュ2・日付の水位(表層・不飽和・地下・川・融雪・融雪+雨)
23	rivflw.dat		○	RESULT	指定メッシュ河道流量
24	flwtot.dat		○	RESULT	指定メッシュ成分流量
25	flw804.dat		○	RESULT	指定メッシュ(804)からの流出量(使用していない)
26	flw614.dat		○	RESULT	指定メッシュ(614)からの流出量(使用していない)
27	flw698.dat		○	RESULT	指定メッシュ(698)からの流出量(使用していない)
28	rivstr.dat		○	RESULT	指定メッシュ河道貯留量
31	parain.dat		○	RESULT	計算対象モデルの基礎情報リスト
32	parout.dat		○	RESULT	タンクのパラメータ出力リスト
33	liscon.dat		○	RESULT	流出計算結果の出力リスト
34	listres.dat		○	RESULT	流出計算結果の出力リスト
35	nenpyq.dat		○	RESULT	タンクの流量リスト(タンク毎に時系列出力)
36	riverq.dat		○	RESULT	河道タンクの流出量
37	netflw.dat		○	RESULT	(使用していない)
38	tnstor.dat		○	RESULT	表層・不飽和帯・地下水タンクの貯留高
39	lakflw.dat		○	RESULT	湖沼メッシュへの流出量
75	tnline.dat		○	RESULT	指定タンクからの流出量
76	tnflow.dat		○	RESULT	指定タンクからの流出量(詳細出力)
80	tmp.dat		○	RESULT	テンポラリ
85	sum.dat		○	RESULT	(使用していない)
90	tmp1.dat		○	RESULT	テンポラリ
86	X_Y_No.prn	○		DATA	メッシュのXY座標とメッシュ番号対応
87	Z_Agr_Area.prn	○		DATA	大口農業取水の受益エリア
88	Z_Cit_Area.prn	○		DATA	大口生活取水の受益エリア

※必要に応じてファイル名に流域番号を付けている

③ 入力ファイルフォーマット

FILE-1 : TRAN. DAT (機番 1)

【1 行目】

NTANK - タンクの数 (流域内メッシュの格子点の数) (I₅)
NSTORE - 流出計算結果を記憶させておく領域の大きさ(表層・不飽和・地下・河道) (4I₅)
NLTANK - 流域モデルの数=タンクの数-ダム湖のタンク数 (I₅)

【2 行目以降】 (1 行が 1 メッシュに関する情報)

(読み取りなし) - 計算順序 (I₅)

ITANK - タンクの番号 (I₅)

IRSW - フラグ: =0, 河道のないモデル

=1, 表層タンクと不飽和帯タンクの流出量が河道に流入する。

=2, 表層タンクと不飽和帯タンクと地下水タンクの流出量が河道に流入する。

=3, 2 と同じ流出量が河道に流入し特性曲線法により洪水追跡をする。

=4, ダム湖の計算

IN1 - 表層タンクへの流入量の番地 (I₃)

IN2 - 不飽和帯タンクへの流入量の番地 (I₃)

IN3 - 地下水タンクへの流入量の番地 (I₃)

IN4 - 河道タンクへの流入量の番地 (I₃)

I01 - 表層タンクの流出量の番地 (I₃)

I02 - 不飽和帯タンクの流出量の番地 (I₃)

I03 - 地下水タンクの流出量の番地 (I₃)

I04 - 河道タンクの流出量の番地 (I₃)

IA - 流域面積=数値×メッシュ面積/8 (I₇)

IPRC - 雨量観測所番号 (I₃)

ITMP - 気温の観測所番号 (I₃)

IHUM - 湿度の観測所番号 (I₃)

ISSD - 日照時間の観測所番号 (I₃)

IWS - 風速の観測所番号 (I₃)

MDF - 表層タンクの識別番号 (I₂)

MDS - 不飽和帯タンクの識別番号 (I₂)

MDG - 地下水タンクの識別番号 (I₂)

MDR - 河道タンクの識別番号 (I₂)

MSE - (使用していない) (I₂)

IDAMC - ダムの番号 (I₂)

RSLOP - 河道勾配 (F_{10.6})

SSLOP - 斜面勾配 (F_{10.6})

ALPHA - 係数, 係数×メッシュの面積=タンクの面積 (F_{10.6})

ALTIT - 標高 (F_{10.6})

WDTH - 河道幅 (F_{10.6})

IWET - 降雨割増係数の識別番号 (I₂)

FILE-2 : TNLAKE. DAT (機番 2)

内容 : 湖の周辺のメッシュに対応する計算区間の番号 (東京湾では使用していない)

FILE-3 : CONTRL. DAT (機番 3)

- 【1 行目】 IDE - 蒸発散モデル識別番号(I₅)
 =1, Penman モデル
 =2, Hamon モデル
 =3, Morton モデル
 =4, Brutsaert-Stricker モデル
- 【2 行目】 IMW - 人工系水循環シミュレーションフラグ(I₅)
 =0, 人工系水循環シミュレーションしない
 ≠0, 人工系水循環シミュレーション
- 【3 行目】 JMW - 人工系水循環取水地点の最大数(I₅)
- 【4 行目】 IGWAT - 地下水タンクコントロール変量(I₅)
- 【5 行目】 KINEM - 特性曲線法コントロール変量(I₅)
 DTK - 標準計算時間、単位は分(I₅)
 NTK1 - 時間分割数(I₅)
 NTK2 - 解の安定のための時間分割数(I₅)
- 【6 行目】 ITDEL - 日計算及び時間計算を指定するフラグ (0:日計算, 1:時間計算)

FILE-4 : TNTANK. DAT (機番 5)

【1 行目】

- NENS - 計算開始年 (西暦) (I₅)
MONS - 計算開始月 (I₅)
NDYS - 計算開始日 (I₅)
NENE - 計算終了年 (西暦) (I₅)
MONE - 計算終了月 (I₅)
NDYE - 計算終了日 (I₅)
NENDS - 雨量・気象データの開始の年 (I₅)
MONDS - 雨量・気象データの開始月 (I₅)
NDYDS - 雨量・気象データの開始日 (I₅)
NENDE - 雨量・気象データの最後の年 (I₅)
MONDE - 雨量・気象データの最後の月 (I₅)
NDYDE - 雨量・気象データの最後の日 (I₅)

【2 行目】

- NDAM - ダムの数 (I₅)
MAXS - 不飽和帯のタンクの鉛直方向の最大個数 (I₅)
LDPRINT-フラグ(I₅): =0, 雨量・気象データを出力しない。
 =1, 雨量・気象データを出力する。
ISWINP -フラグ(I₅): =0, 初期水位を仮定値で与える。
 =1, 初期水位を入力する。
ISWOUT -フラグ(I₅): =0, ある月日の水位を DISK に出力しない。
 =1, ある月日の水位を DISK に出力するが、PRINTER には出力しな

い。

=2, ある月日の水位を DISK に出力し、さらに PRINTER に出力する。

ISWICK -フラグ(I₅): =0, 計算の進行状況を出力しない。

=1, 計算の進行状況を出力する。

ISPDAM -フラグ(I₅): =0, ダム調節計算の結果を出力しない。

=1, ダム調節計算の結果を出力する。

【3行目】

NPRC -雨量のデータの数 (I₅)

NTMP -気温のデータの数 (I₅)

NHUM -湿度のデータ数 (I₅)

NSSD -日照時間のデータの数 (I₅)

NWS -風速のデータの数 (I₅)

NIF -流入量のデータの数 (I₅)

【4行目】

IBAS -フラグ (I₅)

【5行目】

NMDF -表層タンクの定数の種類 (I₅)

【6行目】

SKF -表層タンクの定数: 最終浸透能(cm/s) (F_{10.0})

HFMXD -表層タンクの定数: 表面の最大貯留高(m) (F_{10.0})

HFMND -表層タンクの定数: 早い流出が発生する高さ(m) (F_{10.0})

HFOD -表層タンクの定数: 地下浸透が発生する高さ(m) (F_{10.0})

SNF -表層タンクの定数: 地表面の粗度係数 ($\text{m}^{-1/3}\text{s}^{-1}$) (F_{10.0})

FALFX -表層タンクの定数: 早い中間流の流出量を規定する係数 (F_{10.0})

HIFD -表層タンクの定数: 計算のための初期値(mm) (F_{10.0})

【6+NMDF行目】

NMDS -不飽和帯タンクの定数の種類 (I₅)

【7+NMDF行目】

NSTAND -不飽和帯タンクの段数 (I₅)

【8+NMDF行目】

SKD -不飽和帯タンクの定数: 鉛直方向の透水係数(cm/s) (F_{10.0})

【9+NMDF行目】

SKX -不飽和帯タンクの定数: 水平方向の透水係数(cm/s) (F_{10.0})

【10+NMDF行目】

HMXSD -不飽和帯タンクの定数: 層厚(m) (F_{10.0})

【11+NMDF行目】

STS -不飽和帯タンクの定数: 飽和水分量を想定する (F_{10.0})

【12+NMDF行目】

STW -不飽和帯タンクの定数: 最小水分量を想定する (F_{10.0})

【13+NMDF行目】

SBD -不飽和帯タンクの定数: $\phi \sim \theta$ 関係を設定する定数 (F_{10.0})

【14+NMDF行目】

HISD -不飽和帯タンクの定数: 計算のための初期値 (水分量で与える) (F_{10.0})

【7+NMDF+NMDS×8行目】

NMDG -地下水タンクの定数の種類 (I₅)

【8+NMDF+NMDS×8 行目】

- AUD ー不圧地下水の流出係数(1/mm/day) (F_{10.0})
AGO ー被圧地下水の流出係数(1/day) (F_{10.0})
HCGD ー不圧地下水の流出する貯留高(mm) (F_{10.0})
HIGD ー計算のための初期値(mm) (F_{10.0})

【8+NMDF+NMDS×8+NMDG 行目】

- NMDR ー河道タンクの定数の種類 (I₅)

【9+NMDF+NMDS×8+NMDG 行目】

- RBW ー係数、実際の川幅から設定する (F_{10.0})
RBS ー係数、0.3~0.5 程度である。(F_{10.0})
RNS ーManning の粗度係数 (m^{-1/3}s⁻¹) (F_{10.0})
RRID ー計算のための初期値(m) (F_{10.0})

【10+NMDF+NMDS×8+NMDG 行目】

使用しない

【9+NMDF+NMDS×8+NMDG+NMDR×2 行目】

- ISDAM1 ーダム機能の番号 (I₅)
ISDAM2 ーダム機能の番号 (I₅)
DAMNAM ーダム名 (A₂₀)

【9+NMDF+NMDS×8+NMDG+NMDR×2+NDAM 行目】

- DAA ーメッシュの面積(m²) (F_{10.0})

【10+NMDF+NMDS×8+NMDG+NMDR×2+NDAM 行目】

- RRAT ー雨の割増係数 (F_{10.0})
TEMPGR ー気温の増加量(℃) (F_{10.0})
TDCOF ー気温の減率 (℃/m) (F_{10.0})
EVC1 }
EVC2 } EVC=EVC1+EVC2 Sin $\left[\frac{2\pi}{365.25}(T-EVC3)\right]$
EVC3 } で計算する蒸発量の補正係数 (F_{10.0})

【11+NMDF+NMDS×8+NMDG+NMDR×2+NDAM 行目】

- NWET ー降雪の割増係数の個数 (I₅)

【12+NMDF+NMDS×8+NMDG+NMDR×2+NDAM 行目】

- TICOF ー降雪の割増係数 (F_{10.0})
COMELT ー降雪のおくれ係数 (F_{10.0})

【12+NMDF+NMDS×8+NMDG+NMDR×2+NDAM+NWET 行目】

NPOINT ー計算結果の詳細リストを出力するタンクの個数

【13+NMDF+NMDS×8+NMDG+NMDR×2+NDAM+NWET 行目】

- LP ー出力するタンクの番号 (NPOINT 分) (6I₅)

【14+NMDF+NMDS×8+NMDG+NMDR×2+NDAM+NWET 行目】

NPOINT－河道タンクの流出量を年表で出力するタンクの個数

【15+NMDF+NMDS×8+NMDG+NMDR×2+NDAM+NWET 行目】

LP －出力する河道タンクの番号（NPOINT 分）（6I₅）

【16+NMDF+NMDS×8+NMDG+NMDR×2+NDAM+NWET 行目】

HOSEI2－年表形式の出力データにかかる係数。HOSEI2 倍のデータが出力される。（6F_{10.0}）

【17+NMDF+NMDS×8+NMDG+NMDR×2+NDAM+NWET 行目】

NPOINT－河道タンクの流出量を DISK に出力するタンクの個数

【18+NMDF+NMDS×8+NMDG+NMDR×2+NDAM+NWET 行目】

LP －出力する河道タンクの番号を入力する。（NPOINT 分）（6I₅）

【19+NMDF+NMDS×8+NMDG+NMDR×2+NDAM+NWET 行目】

HOSEI3－ DISK 出力データにかかる係数。HOSEI3 倍にデータが出力される。（6F_{10.0}）

【20+NMDF+NMDS×8+NMDG+NMDR×2+NDAM+NWET 行目】

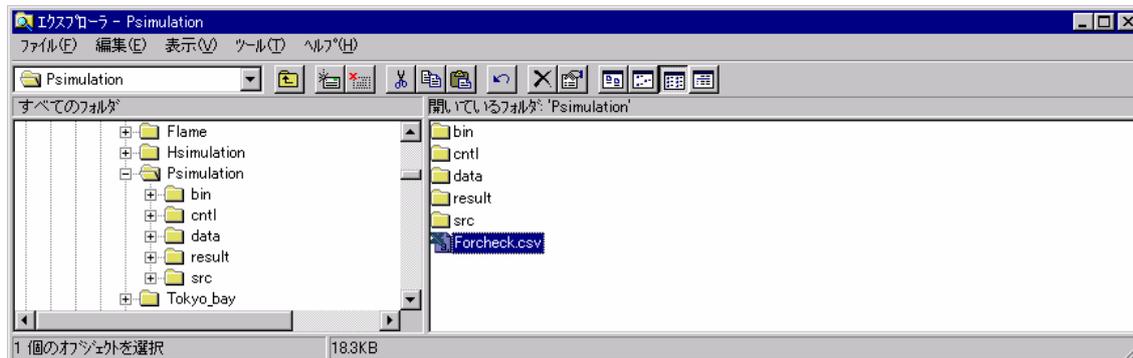
NPOINT－タンクの定数を出力するタンクの個数

【21+NMDF+NMDS×8+NMDG+NMDR×2+NDAM+NWET 行目】

LP －タンクの定数を出力するタンクの番号を入力する。（NPOINT 分）（6I₅）

(4) 陸域物質循環モデルのフォルダ構成およびファイル構造など

① フォルダ構成



- Bin : プログラム実行形式、バッチファイルを格納
- Cntl : 計算条件ファイルを格納
- Data : 計算元データファイルを格納
- Result : 計算結果ファイルを格納
- Src : 計算プログラムを格納

② 使用ファイルの一覧

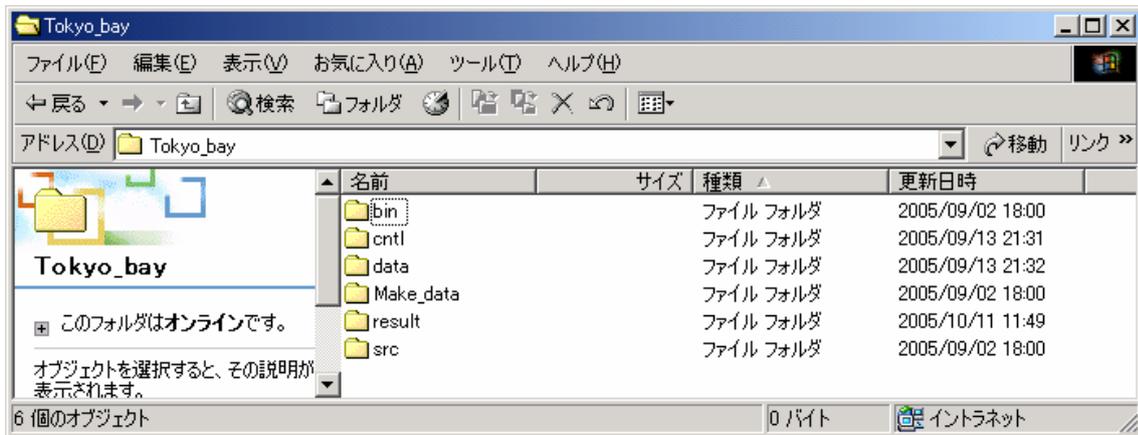
Unit No.	File Name	File I/O		入出力箇所	ファイル説明
		Read	Write		
99	Pfilelist.dat	○		CNTL	入出力ファイルリスト
1	TRAN.DAT	○		CNTL(水)	タンク構成情報を記述したファイル
2	LOADCOD.DAT	○		DATA	人工系物質循環データ番号
3	TNKFLOW.DAT	○		RESULT(水)	シミュレーションの基礎定数データファイル
4	PARAMET.DAT	○		CNTL	ノンポイントソース系物質循環モデル定数
5	TNTANK.DAT	○		CNTL(水)	構築プログラムの出力ファイル
23	SUWAGE.DAT	○		DATA	下水排水量データ
31	FORT_MESHDATA.DAT	○		DATA	メッシュ番号毎属性データ
32	FORT_CITYDATA.DAT	○		DATA	生活用水データ
33	FORT_PREFDATA.DAT	○		DATA	県別データ
34	FORT_LOADDATA.DAT	○		DATA	人工系汚濁濃度データ
51	PARAIN.DAT		○	RESULT	入力した水循環モデルの定数
52	PAROUT.DAT		○	RESULT	入力した物質循環モデルの定数
53	FLOWLS.DAT		○	RESULT	流出計算結果
54	LOADLS.DAT		○	RESULT	負荷量計算結果
55	TABLEP.DAT		○	RESULT	年表形式で負荷量計算結果
56	OutDiskp00.dat		○	RESULT	DISKに出力した負荷量
60	PLTOT.DAT		○	RESULT	流域出口においてタンクの成分出力
80	tmp.dat		○	RESULT	テンポラリ
90	tmp1.dat		○	RESULT	テンポラリ
61	A_Seibun.dat		○	RESULT	土地利用別流出負荷量出力ファイル
43	湾直接.csv	○		DATA	湾直接放流下水処理場判別ファイル
91	Syori2bay.dat		○	RESULT	湾モデル計算のための中間ファイル
62	paverage.dat		○	RESULT	メッシュ毎年平均水質データ

モデル計算後湾モデル計算の為のプログラムで使用されるファイル

	Temp_tokyo.txt	○		CNTL	東京(大手町)日平均気温
	To-Baymodel.cnt	○		CNTL	湾計算境界データ作成時の設定ファイル
	E_kasen_hokan.dat	○		CNTL	湾計算境界データ時刻内挿時の中間ファイル
	CHECK.csv		○	RESULT	テンポラリ
	v_kasen2001_day-c1.prn		○	RESULT	湾モデル計算境界条件(河川流量)中間ファイル
	e_kasen2001_day_**.prn		○	RESULT	湾モデル計算境界条件(河川水質)中間ファイル

(5) 東京湾モデルのフォルダ構成およびファイル構造など

① フォルダ構成



- Bin : プログラム実行形式、バッチファイルを格納
- Cntl : 計算条件ファイルを格納
- Data : 計算元データファイルを格納
- Result : 計算結果ファイルを格納
- Src : 計算プログラムを格納

② 使用ファイルの一覧

入力データ 1 (¥cntl)

ファイル名	内 容	Unit 番号
1-1 coefficient.txt	水質モデルのパラメータ	(16)
1-2 coefficient_area.dep	・水深データ形式の海底面の境界条件設定ファイル ・各計算格子毎に coefficient_area.txt で定義されるどの番号の値を設定するか定義されている。	(51)
1-3 coefficient_area.txt	溶出速度、DO 消費速度の設定値(単位 : g/m ² /day)	(16)
1-4 ml3eco.dep	河川の流入位置、水深値等定義	(1)
1-5 ml3eco.drw	モニターする点の指定	(5)
1-6 ml3eco.jcl	入力データや出力ファイルの指定	(4)

入力データ 2 (¥data)

	ファイル名	内 容	Unit 番号
2-1	v_kasen2001_mit.txt	各河川の流量	(72)
2-2	e_kasen2001_mit.txt	各河川の水質・水温	(73)
2-3	e_kyokai2001_mit.txt	境界の水温、塩分、水質	(2)
2-4	TIDE2001_mit.txt	推算潮位データ	(3)
2-5	k_kyokai2001_mit.txt	海域の気象条件(気温・北方, 東方風速, 日射量)	(2)

出力データ(¥result)

	ファイル名	内 容	Unit 番号
3-1	choryu.cc1	メッシュ毎植物プランクトン濃度計算結果(バイナリ)	(21)
3-2	choryu.cc2	メッシュ毎動物プランクトン濃度計算結果(バイナリ)	(22)
3-3	choryu.cc3	メッシュ毎 I-N 濃度計算結果(バイナリ)	(23)
3-4	choryu.cc4	メッシュ毎 O-N 計算結果(バイナリ)	(24)
3-5	choryu.cc5	メッシュ毎 I-P 濃度計算結果(バイナリ)	(25)
3-6	choryu.cc6	メッシュ毎 O-P 計算結果(バイナリ)	(26)
3-7	choryu.cc7	メッシュ毎 COD 濃度計算結果(バイナリ)	(27)
3-8	choryu.cc8	メッシュ毎 DO 計算結果(バイナリ)	(28)
3-9	choryu.cc9	メッシュ毎 T-N 濃度計算結果(バイナリ)	(29)
3-10	choryu.cc0	メッシュ毎 T-P 計算結果(バイナリ)	(30)
3-11	choryu.den	メッシュ毎密度計算結果(バイナリ)	(14)
3-12	choryu.flw	メッシュ毎潮流計算結果(バイナリ)	(11)
3-13	choryu.prt	計算結果リスト(テキスト)	(7)
3-14	choryu.sal	メッシュ毎塩分濃度計算結果(バイナリ)	(13)
3-15	choryu.temp	メッシュ毎水温計算結果(バイナリ)	(12)
3-16	choryu_cc1.csv	メッシュ毎植物プランクトン濃度計算結果(CSV)	(41)
3-17	choryu_cc2.csv	メッシュ毎動物プランクトン濃度計算結果(CSV)	(42)
3-18	choryu_cc3.csv	メッシュ毎 I-N 濃度計算結果(CSV)	(43)
3-19	choryu_cc4.csv	メッシュ毎 O-N 計算結果(CSV)	(44)
3-20	choryu_cc5.csv	メッシュ毎 I-P 濃度計算結果(CSV)	(45)
3-21	choryu_cc6.csv	メッシュ毎 O-P 計算結果(CSV)	(46)
3-22	choryu_cc7.csv	メッシュ毎 COD 濃度計算結果(CSV)	(47)
3-23	choryu_cc8.csv	メッシュ毎 DO 計算結果(CSV)	(48)
3-24	choryu_cc9.csv	メッシュ毎 T-N 濃度計算結果(CSV)	(49)
3-25	choryu_cc0.csv	メッシュ毎 T-P 計算結果(CSV)	(50)
3-26	choryu_flw.csv	メッシュ毎潮流計算結果(CSV)	(31)
3-27	choryuv_sal.csv	メッシュ毎塩分濃度計算結果(CSV)	(33)
3-28	choryuv_temp.csv	メッシュ毎水温計算結果(CSV)	(32)
3-29	monitor.csv	特定地点計算結果リスト(CSV)	(35)

③ 入力ファイルフォーマット

【1-4 ml3eco.dep】

1行目

カラム	1～	11～	21～	31～
変数名	DT	DTD	DX	TINR
FORMAT	F10.0	←	←	←
単位	秒	秒	m	秒
内容	潮流計算のタイムステップ	拡散計算(内部生産)のタイムステップ	格子間隔	移流項のタイムステップ

*1 DT、DTD は以下の C.F.L(Courant-Friedrichs-Lewy) 条件を満足しなければならない。

$$DT < \frac{DX}{\sqrt{2gH_{\max}}}$$

$$DTD < \frac{(DX)^2}{2K}$$

g : 重力加速度

Hmax : 領域の最大水深

K : 水温・塩分の拡散係数

(K は次頁の THD・SHD のうち大きい値を用いる。)

*2 移流項は他の圧力項・粘性項等に較べてオーダーが低いため毎タイムステップ計算しない。

2行目

カラム	1～	11～	21～	31～	41～	51～
変数名	START	ENDD	FMAP	TMAP	FFLO	TFLO
FORMAT	F10.0	←	←	←	←	←
単位	時	時	時	秒	時	秒
内容	計算開始時刻	計算終了時刻	リスト出力開始時刻	リスト出力間隔	図化ファイル出力開始時刻	図化ファイル出力間隔

3行目

カラム	1～	21～	31～
変数名	STARTD	FDIF(未使用)	TDIF(未使用)
FORMAT	F10.0	←	←
単位	時	時	秒
内容	水温・塩分の拡散計算開始時刻	拡散プログラム(DIF3D)用ファイル出力開始時刻	拡散プログラム(DIF3D)用ファイル出力間隔

*1 拡散計算用ファイルの出力間隔は、拡散計算に用いる拡散係数から C.F.L.を用いて決定する。

4行目

カラム	1～	11～	21～
変数名	GAV	COR	GAM
FORMAT	F10.0	←	←
単位	cm/S ²	度	無次元
内容	重力加速度	緯度	海底摩擦係数

5行目

カラム	1～	11～
変数名	HVS	VVS
FORMAT	F10.0	F10.0
単位	cm ² /S	cm ² /S
内容	水平渦動粘性係数	鉛直摩擦係数

*1 拡散計算用ファイルの出力間隔は、拡散計算に用いる拡散係数から C.F.L.を用いて決定する。

6行目

カラム	1～	11～
変数名	THD	TVD
FORMAT	F10.0	F10.0
単位	cm ² /S	cm ² /S
内容	水温の水平拡散係数	水温の鉛直拡散係数

7行目

カラム	1～	11～
変数名	SHD	SVD
FORMAT	F10.0	F10.0
単位	cm ² /S	cm ² /S
内容	塩分の水平拡散係数	塩分の鉛直拡散係数

8行目

カラム	1～
変数名	KV
FORMAT	I5
単位	
内容	層数

9行目

カラム	1～	11～	21～	31～			101～
変数名	HH(1)	HH(2)	HH(3)	HH(4)			HH(10)
FORMAT	10F10.0	←	←	←	←		←
単位	cm	←	←	←	←		←
内容	層厚(1層)	層厚(2層)	層厚(3層)	層厚(4層)			*1

10行目

カラム	1～	11～	21～	31～			101～
変数名	TINT(1)	TINT(2)	TINT(3)	TINT(4)			TINT(10)
FORMAT	10F10.0	←	←	←	←		←
単位	℃	←	←	←	←		←
内容	初期水温(1層)						*1

11行目

カラム	1～	11～	21～	31～			101～
変数名	SINT(1)	SINT(2)	SINT(3)	SINT(4)			SINT(10)
FORMAT	10F10.0	←	←	←	←		←
単位	PSU	←	←	←	←		←
内容	初期塩分(1層)						*1

12～19行目(8行分)

カラム	1～	11～	21～	31～			71～
変数名	C?INT(1)	C?INT(2)	C?INT(3)	C?INT(4)			C?INT(10)
FORMAT	10F10.0	←	←	←	←		←
単位	PSU	←	←	←	←		←
内容	初期水質濃度 (1層)						*1

*1 C1INT～C8INT は植物プランクトン,動物プランクトン, 無機態窒素, 有機態窒素, 無機態リン, 有機態リン, COD, DO の順

*2 KV層分定義する。(KV=1(単層)の場合は最大水深より大きい値を入力する。)

上層から1、2、3、・・・KV層と数える。

▽

HH(1)	k=1
HH(2)	k=2
HH(3)	k=3
HH()	
HH(KV)	k=KV

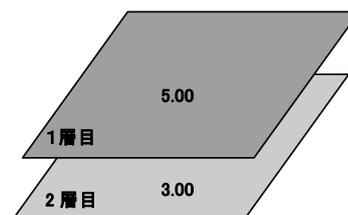


図- 3.3.4.1 初期濃度の設定

20行目

カラム	1～
変数名	KAS
FORMAT	I10
内容	開境界数

21行目

カラム	1～	6～	11～	16～
変数名	IAS	JAS	IBS	JBS
FORMAT	I5	←	←	←
内容	始点開境界の X 座標	始点開境界の Y 座標	終点境界の X 座標	終点開境界の Y 座標

*1 次ページのデータを入力する。(KAS=0 の場合は不用)

*2 通常潮位境界と同じ位置となる。(17/22 参照)

層数分の行

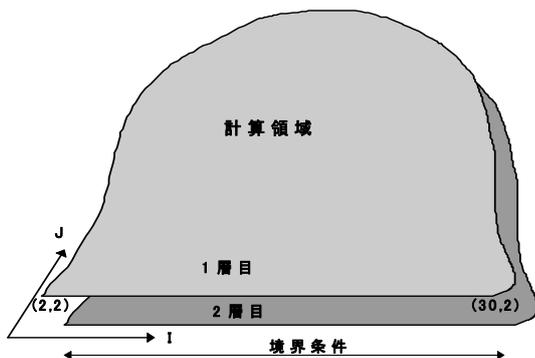
カラム	1～	11～	21～	31～
変数名	TKS(1)	SKS(1)	TKB(1)	SKB(1)
FORMA T	F10.0	F10.0	F10.0	F10.0
単位	℃	PSU	℃	PSU
内容	始点境界水温	始点境界塩分	終点境界水温	終点境界塩分

1* 計算層の数必要,計算全域に設定した層数を持たない境界も定義(0.0を)する.

層数分の行×8

カラム	1～	11～
変数名	C?KS(1)	C?KB(1)
FORMA T	F10.0	F10.0
単位	℃	PSU
内容	始点境界水質	終点境界水質

.....KV 層分×8 項目分 必要



1層目

水温	20.0	21.0
塩分	32.0	32.0

2層目

水温	19.0	19.0
塩分	33.0	33.0

図- 3.3.4.2 開境界条件の設定

21 + (KV*9) + 1行目

カラム	1～
変数名	UNH
FORMAT	F10.0
内容	水深の出力パラメータ

21 + (KV*9) + 2行目

カラム	1～	11～	21～
変数名	UNZ	UNUV	UNW
FORMAT	F10.0	←	←
内容	水位の出力 パラメータ	水平流速の出 力パラメータ	鉛直流速の出 力パラメータ

21 + (KV*9) + 3行目

カラム	1～	11～	21～
変数名	UNSA	UNTMP	UNDEN
FORMAT	F10.0	←	←
内容	塩分の出力 パラメータ	水温の出力パ ラメータ	密度の出力パラ メータ

21 + (KV*9) + 4行目

カラム	1～	11～	21～
変数名	WDEN	TAWX	TAWY
FORMAT	F10.0	←	←
単位		cm/S	cm/S
内容	空気の密度	X方向の風速成分	Y方向の風速成分

- *1 風は吹き去る方向で扱うことに注意
- *2 北方向とメッシュを分割方向にも注意

北西の風 3 m/秒の場合

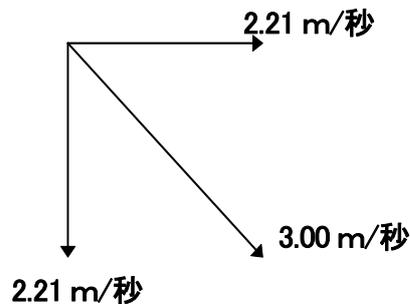


図- 3.3.4.3 風速成分の設定方法

21 + (KV*9) + 5行目 (未使用)

カラム	1～
変数名	OMG (未使用)
FORMAT	F10.0
単位	時
内容	境界潮汐の周期

半日周潮の場合は 12.5 時間 (45000 秒)

21 + (KV*9) + 6行目 (未使用)

カラム	1～
変数名	KAK (未使用)
FORMAT	I10
単位	
内容	開境界のライン数

*1 KAK は1にする事、境界のラインは今のところ1つしか設定できない。

21 + (KV*9) + 7行目 (未使用)

カラム	1～	6～	11～	16～	21～	26～	31～	36～	41～	46～
変数名	IA	JA	APA	PHA	SCA	IB	JB	APB	PHB	SCB
FORMAT	I5	I5	F5.0	←	←	I5	I5	F5.0	←	←
単位			cm	度	cm			cm	度	cm
内容	始点 開境界 の X 座 標	始点 開境界 の Y 座 標	(IA,J A) の 潮汐 振幅	(IA,J A) の 遅角	(IA,J A) の 平均 水面	終点 開境界 の X 座 標	終点 開境界 の Y 座 標	(IB,JB) の潮 汐振 幅	(IB,JB) の遅 角	(IB,JB) の平 均水 面

*1 IA,JA,IB,JB 以外は使用しない。境界の潮位は別のファイルでステップ毎のデータが入力される。



図- 3.3.4.4 開境界での潮位振幅の定義方法

21 + (KV*9) + 8行目

カラム	1～	6～
変数名	NX	FLOWN
FORMAT	I5	F10.0
単位		時
内容	X方向に流入河川数	河川流量の増加時間

*1 河川流入量が大きい場合、急激にその値を境界に与えると計算が発散することがある。

そのために徐々に流入量を増加させる。(未定義の場合は1時間とする)

21 + (KV*9) + 9行目～

カラム	1～	6～	11～	16～	21～	26～	31～
変数名	ILNF	IINF	IJNF	IKNF	IXFUGO	IXCH	UTR(未使用)
FORMAT	I5	←	←	←	←	←	F10.0
単位							m ³ /秒
内容	海 域 段階	流入地点 の X 座標	流入地点 の Y 座標	流 入 地 点の K 層	流入方向	流 入 量 の 番号	流入量

21 + (KV*9) + 9行目～のつづき

カラム	41～	51～
変数名	UTB(未使用)	USB(未使用)
FORMAT	F10.0	←
単位	℃	PSU
内容	水温	塩分

.....NX 回分必要

- *1 流量の符号(IXFUGO)は流入・流出でなく座標系に対しての方向であることに注意
- *2 IXCH は河川流入のファイルのケース番号を指定する。
- *3 UTR, UTB, USB はステップ毎のデータが与えられる。(ここでの設定は必要ない)

21 + (KV*9) + 9 + NX + 1行目

カラム	1～
変数名	NY
FORMAT	I10
内容	Y方向に流入河川数

21 + (KV*9) + 9 + NX + 2行目～

カラム	1～	6～	11～	16～	21～	26～	31～
変数名	JLNF	JINF	JJNF	JKNF	JYFUGO	JYCH	VTR(未使用)
FORMAT	I5	←	←	←	←	←	F10.0
単位							m ³ /秒
内容	海域段階	流入地点の X 座標	流入地点の Y 座標	流入地点の K 層	流入方向	流入量の番号	流入量

21 + (KV*9) + 9 + NX + 2行目～のつづき

カラム	41～	51～
変数名	VTB(未使用)	VSB(未使用)
FORMAT	F10.0	←
単位	℃	PSU
内容	水温	塩分

.....NY 回分必要

- *1 流量の符号(JYFUGO)は流入・流出でなく座標系に対しての方向であることに注意
- *2 JYCH は河川流入のファイルのケース番号を指定する。
- *3 VTR, VTB, VSB はステップ毎のデータが与えられる。(ここでの設定は必要ない)

21 + (KV*9) + 10 + NX + NY + 1行目

カラム	1～
変数名	MBAR
FORMAT	I5
内容	線境界の X 座標

21 + (KV*9) + 10 + NX + NY + 2行目～

カラム	1～	6～	11～	16～	21～
変数名	MBL	MBX	MBY	MBZ	MBT
FORMAT	I5	←	←	←	←
内容	海域段階	X 座標	Y 座標	Z 座標	タイプ

..MBAR 回分必要

21 + (KV*9) + 11 + NX + NY + MBAR + 1行目

カラム	1～
変数名	MARK
FORMAT	A3
内容	データ区切り 'END'

21 + (KV*9) + 11 + NX + NY + MBAR + 2行目

カラム	1～	6～	11～	16～
変数名	IAREA	IBUN	UNBR	AMSL
FORMAT	I5	I5	F10.0	F10.0
単位				cm
内容	海域数	分割数	水深変換係数	加算水深

*1 入力する水深値を cm 単位に変換するパラメータ, ここで入力した値を計算結果に乗じて出力する。

例	入力値	UNBR	変換後(cm)
	1.0	1	1
	1.0	10	10
	1.0	100	100

*2 一般的に水深値の読取りは海図を用いて行なうが、海図の基準面は基本水準面となっているため、平均水面に補正する値。

21 + (KV*9) + 11 + NX + NY + MBAR + 3行目

カラム	1～	6	11～	16～
変数名	MMX	MMY	IMOX	IMOY
FORMAT	I5	←	←	←
内容	X軸のメッシュ数	Y軸のメッシュ数	大海域上のX原点	大海域上のY原点

21 + (KV*9) + 11 + NX + NY + MBAR + 4行目

カラム	1～
変数名	FMT
FORMAT	A50
内容	データ読み込み FORMAT

21 + (KV*9) + 11 + NX + NY + MBAR + 5行目

カラム	1～	6～				61～	66～
変数名	H(1)	H(2)				H(13)	H(14)
FORMA T	前レコー ドに従う						
内容	水深						水深

カラム	1～
変数名	MARK
FORMAT	A3
内容	データ区切り 'END'

【1-5 ml3eco.drw】

上3行はダミーである。(作図用のヘッダー)

行	...	+	...	1	...	+	...	2	...	+	...	3	...	+	...	4	...	+	...	5	...	+	...	6	...	+	...	7	
1				60																									
2				3.0																									
3				0.5																									
4				11																									
5				28				71																					
6				分																									
7				42				70																					
8				68				78																					
9				81				68																					
10				53				57																					
11				73				54																					
12				46				23																					
13				35				46																					
14				24				36																					
15				15				27																					
				26				2																					

3.3.5 システム利用時の流れ

改良システム利用時に必要なユーザーの操作は、入力条件変更(変更が必要なときのみ)、計算ケース(施策別)の指定、パラメータ設定、計算の実施、計算結果表示である。その他の手続きは、システム側で実行されることになる。

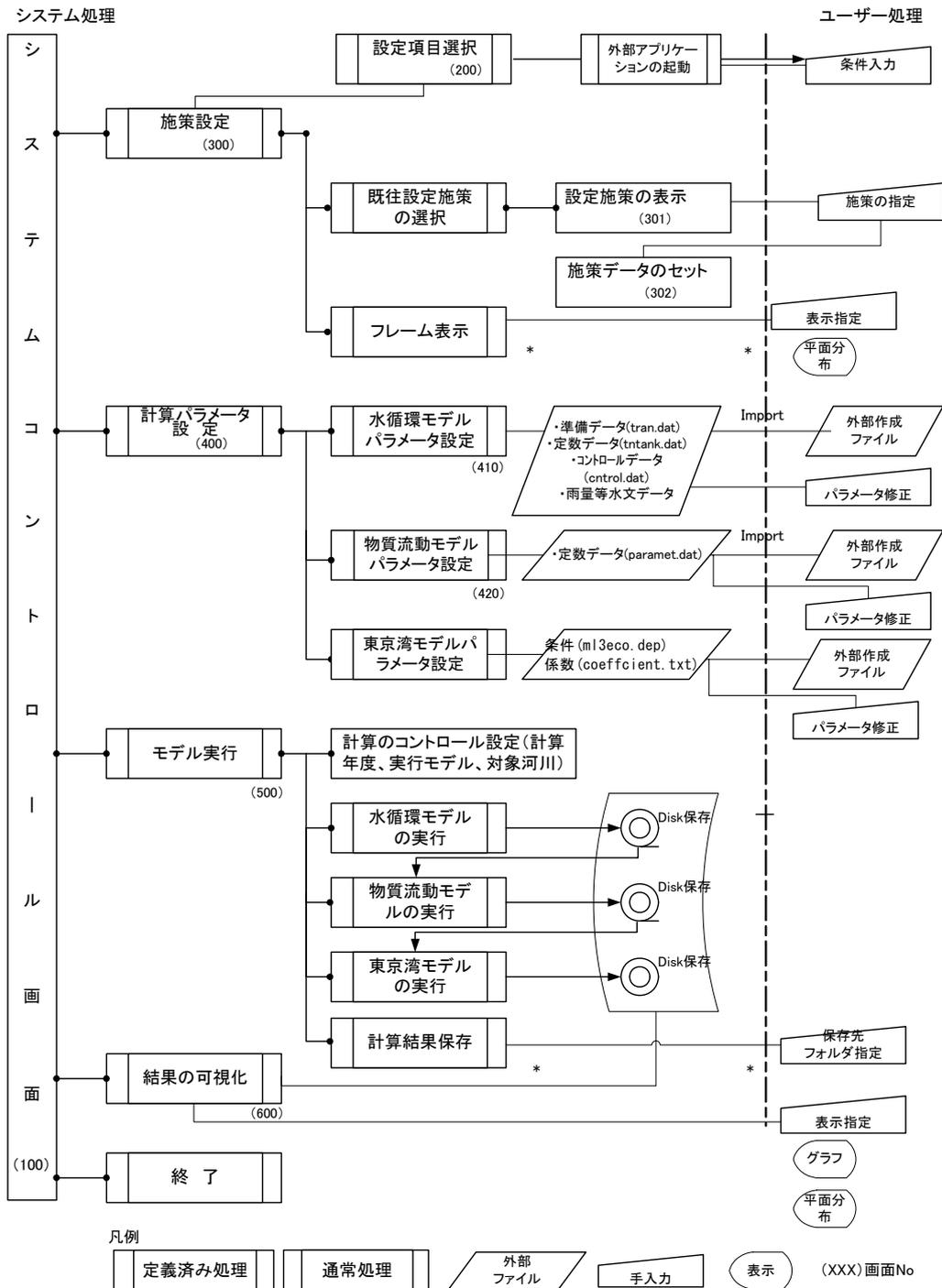


図- 3.3.5.1 システムフロー図

なお、操作マニュアルを巻末に参考資料として整理した。