

論文の内容の要旨

論文題目 A Distributed Water Balance Model in Large-scale Complex
 Watersheds (LCW) and Its Application to the Kanto Region
(和訳 大規模複雑流域における分布型水収支モデルの
 開発及び関東地方へ適用)

氏名 羅 強

過去十年間に、コンピューター技術は迅速に発展し、その結果、物理則に直接基づいた分布型流域モデルの開発を可能した。今では、物理的な分布型流域モデルは円熟期に到達し、色々なソフトが流通している。しかし、大規模複雑流域(LCW)においては規模の大きさと大面積の平野と都市化の影響により、物理的な分布型流域モデルは色々な困難に直面している。主にこの困難は：1)非均質性と分布型データの欠乏、2) 水平に近い大きな平野、3) 手広い人間活動の影響に起因している。以上の認識に基づいて、本研究は LCW における有効な分布型水収支モデルの開発を試みた。最初に、LCW における流域モデルの特性を研究し、一次元流域データ構造を導入した。それから、数個のモデル：河道網と流域境界を作成するモデル、河道網構造のモデル、浸透モデル、蒸発散モデル、三つの地下水モデル、と地表水流出モデルを作った。最後に、これらのモデルを組み立てて水収支モデルを構成した。そして、この水収支モデルを日本の関東地域へ適用した。

コンピューターの記憶容量と計算時間を省くために、本研究では従来の二次元流域データ構造の代わり一次元の流域データ構造が導入された。この一次元流域データ構造に基づくモデルは流域グリドのデータしか貯えない、流域グリドしか処理しない、だからコンピューターの記憶容量と計算時間を省ける。

LCW の特性のために DEM は正確な流域境界と河道網を作成できない。補足河道網流域境界作成モデル(CSWGGM)は GIS によって DEM データを用いて一セットの河道網と流域境界を作成する。このようにして作成された河道網と流域境界は平坦な地域と人間活動が影響された地域では必ずしも正しくない。PhotoShop によって地形図を用いて、もう一つのセットの河道網と流域境界を作成する。この二セットの河道網と流域境界を互いに比べて、合わない箇所を改正し、GIS 上で正しい河道網と流域境界を作成する。

従来の河道網構造は流域の統計的性質を知ること地球物理的な分析と行なうには有用であった。現代では、詳細な構造を明らかにすることができる物理的な分布型モデルが圧倒的多数を占める趨勢

になってきた。河道網の統計特性のみでは不十分で、もっと有効な新しい河道網構造が必要になっている。本研究は格子による線形の河道網構造モデル(GLSSM)を作って、自由順序木構造を導入し、新しい河道網構造を提供する。格子による分布型流域モデルのために、この GLSSM は GIS を活用することにより外の方法で作成した河道網にベクトル化のツールを提供することができる。この河道網構造は一次元流域データ構造と一貫性がある。

Green-Ampt モデルは共通の浸透モデルの一つである。二層の Green-Ampt モデルでは、条件として上層の水理浸透係数(k) が下層のそれより大きいことが必要である。しかし、関東平野の土壌はこの条件を満足していない。この土壌の浸透計算のために、簡単な二層浸透と地下水補給モデル(STIRM)が作られた。上層の完全飽和の前には、上層の浸透率は一層の Green-Ampt モデルによって計算される；飽和に達した後は、二層の浸透率は上層の飽和浸透率に等しいと近似されている。地下水の補給は一次元の方程式により計算される。

本研究における蒸発散モデルでは、参照作物蒸発散または潜在蒸発散がエネルギー収支法と空気力学的方法を合成することによって計算される。土壌水補給が十分なときは、実際の蒸発散は参照作物蒸発散または潜在蒸発散に作物係数と土壌係数を乗じて計算される。土壌水補給が足りない場合には、実際の蒸発散は土壌水の補給に支配される。気象データの内挿法には逆距離加重法を用いた。

地下水モデルは 1)河川と地下水の水交換モデル、2)地下水位推定モデル、3)帯水層パラメーターを推定する逆問題モデル、の三つから構成されている。関東地域では分布型帯水層パラメーターの観測値があまりないので、関東地域における分布型帯水層パラメーターを推定するために、大規模流域地下水モデリングにおける逆問題の非最適化直接方法モデル(NODMIP)を作った。地下水モデルにおける逆問題ではイル・ポストネス(ill-posedness, 不良問題)の致命的な問題がある、たしかに、測量誤差が大きい場合、この不良問題の結果、最適方法は適用することができない。この問題を解決するため、本研究では非最適化方法を逆問題モデルに導入した。本研究はこの方法を導入した最初の研究だと考えられる。NODMIP では次のような段階を経て、帯水層パラメーター推定する。1)クリギング技術を用いて地下水位の観測データを内挿し、外挿する；2)時間または空間の各ステップごとに支配方程式を解く；3)方程式の解き間に事前情報をモデルのアウトプットの制約条件とする；4)各時間ステップの計算値の算術平均値を各格子点の推定値とする。関東地域の水収支モデルにおいて、河川と地下水の水交換モデルと地下水位推定モデルでは NODMIP が推定した帯水層パラメーターを用いて地下水のシミュレーションを行なっている。

もと物理的な地表水流出過程をために、河道のみを対象とする格子点を作成すると、流域における地表水流出と結合する際に困難となる。この難点を解決するために、本研究ではルオ-タマイ(LUO-TAMAI)・モデルと呼ばれる地表水流出一体追跡モデルが作られた。ルオ-タマイ・モデルは陸域流出と河川流出を同じ物理体系で取り扱う。陸域格子点と河川格子点を同じ性質を有する流域一般格子点としているので、河川格子点は陸域格子点の境界条件とならない。この基本的な特性を持つルオ-タマイ・モデルは、一セットの支配方程式により陸域流出と河川流出を一体的に追跡できる。ルオ-タマイ・モデルは支配方程式によって陸域格子点と河川格子点の間の質量交換ばかりでなく運動量交換もまた勘

定に入れている。このモデルでは一次元特別河川格子点の流出をより簡単に物理的に追跡できる、また、二次元体系を持っているので、特別の処理なく二次元特別河川格子点での陸域を含めた流出を追跡できる。連結(カップルド)モデルと他の分布型モデルと比べて、以上の三点はルオ-タマイ・モデルの主要な長所である。ルオ-タマイ・モデルでは二次元の拡散波方程式を地表水流出の支配方程式として、陸域流出と河川流出の一体的な差分支配方程式を導いている。LCW の大面積は平坦な部分である、この平坦な部分の流れ特性を考慮して、千鳥状配列(Staggered scheme) で支配方程式を離散化する。SIMPLE 法を利用して数値解を得る。また、三因子対角行列方法を用いて一体的な支配方程式を解く。ルオ-タマイ・モデルにおいては都市の舗装、下水道と灌漑の効果も考慮した。

以上のモデルを組み立てて水収支モデルを構築した。この水収支モデルは利根川流域で検定し、有効であることを確認した。検定は流量観測所点の河川流量の観測値と計算値を比較することによって行う。このモデルは毎月の降雨、蒸発散量、浸透量と地下水量分布を計算することができ、毎時間と毎日の流域総量も算定できる。このモデルにより毎月の地表水深度、土壌水と地下水位の流域分布を予測することも可能である。全ての河川格子点流量の月平均値も記録する。この水収支モデルにより利根川で、豊水年、渇水年と普通年の流域分布水収支と流域総合水収支を明らかにした。