

# 東北タイ・大規模貯水池灌漑地区における水利用のモデル化に関する研究

水利用学分野 岩瀬 輝彦

キーワード：メコン河，乾季稲作，流出モデル，灌漑モデル，貯水池管理

## 1. はじめに

メコン河下流国はアジアモンスーン気候に属している。この地域における水利用は主に農業用水である。また、明確な雨季と乾季が存在し、雨の降らない乾季に作付けするためには、雨季に貯水池へ貯めた水を灌漑水として利用する必要がある。なかでも東北タイ地域は、大規模な貯水池が多く建設されてきた。この東北タイ地域の乾季作農業は、さまざまな規模の貯水池灌漑によって成り立っている。そのため貯水池に貯められた水は有効に、かつ計画的に使う必要がある。したがって、まず現在の貯水池の水管理、水利用の実態を把握する必要がある。そこで、本研究は、水循環に与える影響が大きい大規模な貯水池灌漑地区における貯水池の水管理、水利用の実態を明らかにすることを目的として、大規模貯水池灌漑地区における水利用のモデル化を行い、乾季の水管理、水利用の現状を評価した。

## 2. 対象地域の概要

本研究で対象とした大規模貯水池灌漑地区は、東北タイの北東部サコンナコン県にあるナムウンダム灌漑地区である。東北タイは北部、東北部、中部、南部の4地域に分割されるタイ王国の1地域である。この地域はコラート高原と呼ばれる標高100~200mほどの起伏の少ないならかな台地であり、メコン河流域に含まれる。メコン河は延長4,800km、流域面積約80万km<sup>2</sup>で中国雲南省・チベットに源を発し、中国、ミャンマー、ラオス、タイ、カンボジア、ベトナムの6カ国を流れ、最後は南シナ海に注ぐ世界でも有数の大河である。気候は先述したようにアジアモンスーン気候に属しており、明確な雨季と乾季が存在する。東北タイ地域も例外ではなく雨季と乾季が存在し、年平均降雨量1,200mmのほとんどが5月から9月の雨季に集中している。図2にサコンナコンの2003年の月降雨量と月平均気温を示す。サコンナコンの2003年における年間降雨量は1,302mmであり、2003年の雨季にあたる5月から9月の総降雨量は1,095mm、2002年10月から2003年4月の乾季は227mmであった。年平均気温は25.2℃である。

メコン河流域の主な農作物は米であり、他にキャッサバやサトウキビ、トウモロコシなどが栽培されている。下流4カ国の流域内での米生産量は1,763万トン、平均収量は1haあたり2.5トン<sup>1)</sup>である。東北タイ地域の平均収量は1.8トン<sup>2)</sup>とメコン河流域の平均値を大きく下回っている。本研究で対象としたナムウンダムの諸元を表1に示す。なお、ナムウンダムは乾季の灌漑と雨季の洪水緩和のため建設された。



図1 対象地域

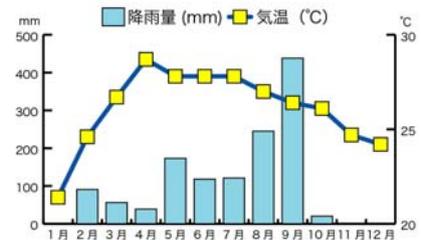


図2 サコンナコン

2003年 月降雨量と月平均気温

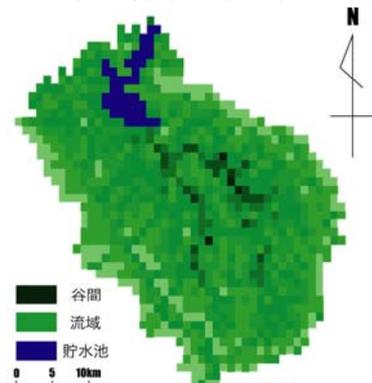


図3 ナムウンダム流域 (1kmメッシュ)

表1 ナムウンダム諸元

北緯 17度 18分 34秒	東経 103度 44分 34秒
1967年着工	1974年完成
総貯水量	7億8千万m <sup>3</sup>
有効貯水量	4億8千万m <sup>3</sup>
堤高30m	堤幅3000m
アースダム	
管理 王立灌漑局	
受益灌漑面積	32,000 ha
最大通水量	左岸幹線 9m <sup>3</sup> /s 右岸幹線 21m <sup>3</sup> /s

### 3. 水管理モデルの構築

#### 3.1 水管理モデル

水管理モデルは集水域から貯水池への流出量を推定する流出サブモデル、受益灌漑地区の灌漑に必要な水量を求める灌漑サブモデルと流出量、灌漑必要水量の計算に必要な基準蒸発散量を推定する蒸発散量推定モデルから構成される。そこから得られた供給可能水量および水需要量のバランスに加え、貯水池の管理規定やルールカーブ、貯水量、放流量データを用いてダム管理操作の評価を行う。図4にナムウンダムの貯水量とルールカーブを示す。

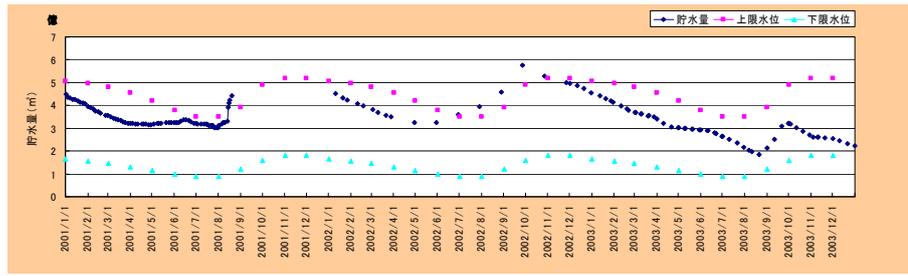


図4 ナムウンダムの貯水量とルールカーブ

図4にナムウンダムの貯水量とルールカーブを示す。

#### 3.2 流出サブモデル

本研究では流出サブモデルに TOPMODEL (Topography-based variable contributing area hydrological model) <sup>3)</sup> を用いた。本モデルは K.J.Beven と M.J.Kirkby によって開発された半分分布型モデルであり、メッシュ分割された流域内の地形特性 (標高および集水面積) から特定した変動流出寄与域からの流出量を計算するところに特徴がある。メッシュの土層は根群域、不飽和帯、飽和帯の3層に分けられ、各層からの流出を合計して流域からの流出量としている。なお、モデルに必要な入力データは、標高データ、降水量と基準蒸発散量である。モデル構造の概念を図5に示す。各層の水収支および流出計算は次のように行われる。まず、根群域では、浸入能を上回る降雨に対してはその余剰分を地表流とする。なお、浸入能の計算には Green-Ampt の式を用いる。降雨から地表流を除いた降雨量を入力降雨とし、土壤水分量が可能貯留量 ( $SR_{max}$ )、つまり、圃場容水量を越えると不飽和帯への浸透が起こる。実蒸発散量は、可能貯留量に対する根群域水分量の割合を基準蒸発散量に乗じて求められる。

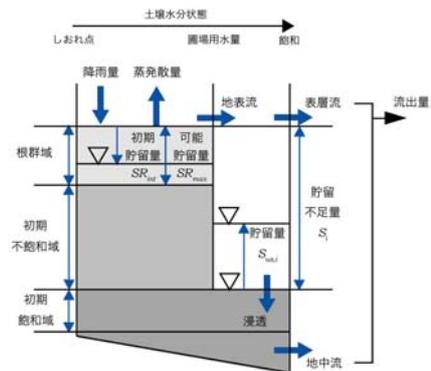


図5 TOPMODEL 構造概念

次に、不飽和帯では、根群域から浸透した水が一旦貯留される一方で、飽和帯へ浸透が起こる。貯留量 ( $S_{uz,i}$ ) が貯留不足量 ( $S_i$ ) を越える、すなわち、飽和すると余剰分は流出となる。なお、 $S_i$  は地形特性により決まるメッシュ固有の値である。最後に、飽和帯での水分貯留は流域全体からの集中量として扱い、地下水流出量を算出する。

このように、本モデルは、根群域および不飽和帯からの流出を分布型で、飽和帯からの流出を集中型で計算する半分分布型モデルである。また、パラメータが少ない (根群域の最大貯留量と初期貯留不足量、透水量係数と飽和帯までの深さ)、GISとの連携が容易であるなどの特徴をもつことから世界で広く適用されている。

#### 3.3 灌漑サブモデル

灌漑サブモデルは東北タイ地域で主に栽培されている作物、米、キャッサバ、サトウキビを選定し1日あたりの各作物の必要水量の和を求めた。図6にその計

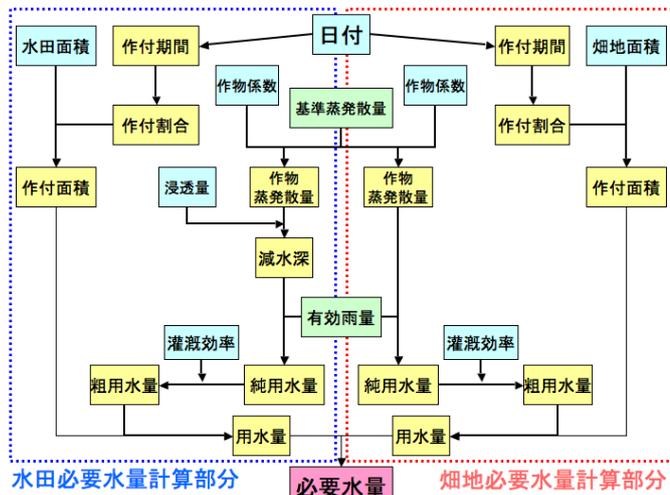


図6 灌漑必要水量の計算フロー

算フローを示す。水田面積、畑地面積は王立灌漑局 (Royal Irrigation Department) の灌漑プロジェクト公称値を採用した。ここでの水田面積、畑地面積は耕作可能面積を表す。作付期間は作付割合を算出するために図 7 のように考え、作付開始日、生育期間をそれぞれ与えた。また、作付は一斉に始まらず、段階的に進められることを考慮して、各作物の作付遅れ日数を 40~60 日<sup>4),5)</sup>の間で設定した。この設定された作付期間から算出した作付割合を水田面積、畑面積に乗じて任意の日の作付面積を計算した。

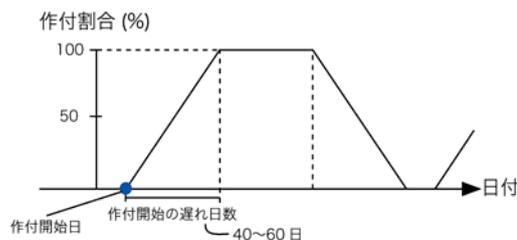


図 7 作付割合

基準蒸発散量( $ET_0$ )は、蒸発散量推定モデルからの出力を入力データとする。蒸発散量推定モデルでは、 $ET_0$ の推定に FAO の修正ペンマン・モンティス法<sup>5)</sup>を用いた。 $ET_0$ は次式から求められる。

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \left( \frac{900}{T + 273} \right) u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (1)$$

ここで、 $R_n$ : 純放射量[MJ/m<sup>2</sup>/d]  $G$ : 地熱[MJ/m<sup>2</sup>/d]  $\gamma$ : 乾湿計定数[kPa/°C]  $T$ : 平均気温[°C]  $u_2$ : 風速[m/s]  $e_s$ : 飽和蒸気圧[kPa]  $e_a$ : 蒸気圧[kPa]  $\Delta$ : 温度-飽和蒸気圧曲線の勾配[kPa]を表す。

次に  $ET_0$ に作物係数を乗じ、作物蒸発散量を算出する。各作物の作物係数は生育ステージ毎に与えられているが、本モデルでは各ステージでは各ステージの作物係数を日数で重み付けして求めた値を生育期間を通して適用した。また、水田では作物蒸発散量に浸透量を加え、減水深を求めた。ここでは、浸透量を 1.5mm/d<sup>6)</sup>とした。

水田の減水深、畑地の作物蒸発散量から有効雨量を減じてそれぞれ純用水量、日消費水量を計算した。純用水量、日消費水量をそれぞれ灌漑効率で除して粗用水量を求めた。なお、灌漑効率については、東北タイ地域で一般に報告されている 60%<sup>6)</sup>を用いた。求められた粗用水量に作付面積を乗じて、各作物の用水量を求め、それらを合計して 1日あたりの灌漑必要水量とした。表 2 に必要水量を算定するのに用いたパラメータを示す。

表 2 灌漑必要水量算定に用いたパラメータと入力値

計算開始年	1999
水田面積 (ha)	20,000
サトウキビ面積 (ha)	6,000
キャッサバ面積 (ha)	6,000
水稲乾季作付開始日 (d)	-30 <sup>*</sup>
水稲乾季作付遅れ日数 (d)	60
水稲乾季生育日数 (d)	105
水稲雨季作付開始日 (d)	145
水稲雨季作付遅れ日数 (d)	40
水稲雨季生育日数 (d)	120
水稲代掻き用水量 (mm/d)	150
浸透量 (mm/d)	1.5
サトウキビ作付開始日 (d)	15
サトウキビ作付遅れ日数 (d)	45
サトウキビ 1 年目生育日数 (d)	405 <sup>**</sup>
サトウキビ 2 年目生育日数 (d)	280
キャッサバ作付開始日 (d)	100
キャッサバ作付遅れ日数 (d)	50
キャッサバ 1 年目生育日数 (d)	210
キャッサバ 2 年目生育日数 (d)	360
灌漑効率-水田 (%)	60
灌漑効率-畑地 (%)	60
作物係数 (米)	1.125
作物係数 (サトウキビ)	0.982
作物係数 (キャッサバ)	0.634

<sup>\*</sup>前年の 12 月からの作付開始を意味する。  
<sup>\*\*</sup>2 年で 2 回栽培する。1 回目収穫までの生育日数が 405 日かかることを意味する。

#### 4. 結果および考察

1999 年 1 月 1 日から 2003 年 12 月 31 日の期間を対象に日単位で各モデル計算を行った。なお、計算に必要な気象データ

(最高気温、最低気温、相対最高湿度、相対最低湿度、風速)は(財)気象業務支援センター発行の気象庁月報 CD-ROM に収録されている世界気象資料の日観測・統計値ファイルより、降雨量データは HYMOS データより、標高データはアメリカ地質調査所 (USGS) GTOPO30 より入手した。

##### 4.1 流出サブモデル

TOPMODEL パラメータを 1999 年、2000 年雨季を対象に降雨量、ダム貯水量と推定された流出量が合うように決定した。2001 年から 2003 年のシミュレーション結果を図 8 に示す。ハイドログラフの減衰部は乾季のはじめの 10 月ごろに開始して毎年同様の曲線を描いている。2003 年の平均流出量は 20m<sup>3</sup>/s、2002 年から 2003 年にかけての乾季平均流出量は 16m<sup>3</sup>/s であった。

## 4.2 灌漑サブモデル

図9に2001年から2003年の灌漑必要水量の計算結果を示す。乾季水稲作付期間の平均灌漑必要水量は20m<sup>3</sup>/sになった。推定された最大必要水量は約30m<sup>3</sup>/sであり、灌漑プロジェクトの計画流量30m<sup>3</sup>/s内にはほぼ収まっている。このことから、ナムウンダム灌漑地区での必要水量の推定に用いたパラメータ入力値は、妥当であるといえる。また、乾季の中頃、2月に必要水量が落ちるのは、乾季の水稲作付に必要な代掻き用水量が不要になったことによる減少である。

## 4.3 水管理モデル総合結果

貯水量と流出サブモデルの結果から7日間隔で放流量を推定した。また、灌漑サブモデルの結果から同じく7日間隔で灌漑必要水量を平均した。その結果を図10に示す。2003年は無効放水が多く見られるが2001年2002年はほぼ推定放流量と灌漑必要水量は近い値を示した。各年の乾季全体を通してみても放流計画は比較的適切に行われているといえる。

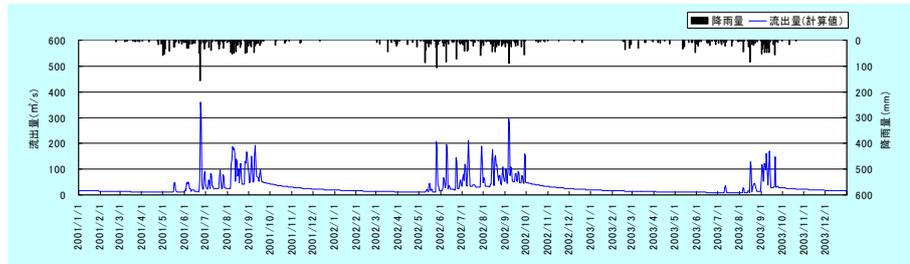


図8 TOPMODEL シミュレーション結果

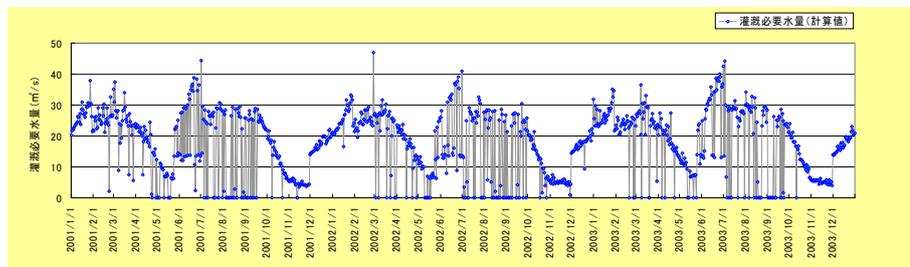


図9 灌漑必要水量計算結果



図10 推定放流量と灌漑必要水量

## 5. 終わりに

本研究では乾季の農業水利用の実態を評価するために、流出モデルと灌漑モデルを組み合わせることにより貯水池管理モデルを構築し、水利用の現状を評価した。

今後の課題として、個々のサブモデルの精緻化と東北タイに多数存在する大規模貯水池の水管理が流域の水循環に及ぼす影響の評価があげられる。

## 参考文献

- 1)FAOSTAT : <http://faostat.fao.org/>
- 2)Center for Agricultural Information (1998) : Agricultural Statistics of Thailand, Bangkok, Ministry of Agriculture & Co-operatives, pp.254-257
- 3)K.J. Beven et.al.(1995) : Ch.18 TOPMODEL, Computer Models of Watershed Hydrology (Edited by Singh, V.P.),WRP, pp.627-668
- 4)白岩立彦ら(2002) : タイ稲作の生産変動実態ならびに降雨量が生産変動に及ぼす影響, 地球環境 vol.6 No.2, pp207-215
- 5)FAO(1998) : Crop evapotranspiration, Irrigation and Drainage Paper 56
- 6)堀川直紀(2005) : タイにおける農業開発による水収支の変化, 応用水文 No.18, pp.1-6
- 7)堀博(1998) : メコン河-開発と環境-, 古今書院