

メコン川下流域における 水田への雨期補給水量推定モデルの構築

MODEL DEVELOPMENT FOR ESTIMATING SUPPLEMENTARY WATER TO PADDY FIELDS
DURING RAINY SEASONS IN THE LOWER MEKONG RIVER BASIN

宗村広昭¹・吉田貢士²・樋口克宏³・戸田修⁴・丹治肇⁵

Hiroaki SOMURA, Koshi YOSHIDA, Katsuhiro HIGUCHI, Osamu TODA and Hajime TANJI

¹正会員 農博 特別研究員 農業工学研究所 (〒305-8609 茨城県つくば市観音台 2-1-6)

²正会員 農博 CREST 特別研究員 農業工学研究所 (〒305-8609 茨城県つくば市観音台 2-1-6)

³正会員 農修 特別研究員 農業工学研究所 (〒305-8609 茨城県つくば市観音台 2-1-6)

⁴非会員 東京大学大学院 農学生命科学研究科 (〒113-8657 東京都文京区弥生 1-1-1)

⁵正会員 農博 河海工水理研究室室長 農業工学研究所 (〒305-8609 茨城県つくば市観音台 2-1-6)

Supplementary water should be estimated even in areas where data is scarce because of the importance of proper water management. The Mekong River, particularly the lower part (Lower Mekong River Basin), is one area where supplementary water has not been well researched despite the fact that this international river runs through four countries: Laos, Thailand, Cambodia and Vietnam. Studies to grasp the amount of supplementary water are restricted due to a lack of hydrological data, thus methods for obtaining these amounts are needed. One solution is model simulations. In this study, supplementary water was estimated by calculating back from rice production targeted at a macro scale. As a result, the supplementary water in Cambodia, Laos and Thailand was estimated from 1991 to 1995 through model calibration with rice production.

Key Words: Model simulation, rice production, water management, irrigation

1. はじめに

農業において水は必要不可欠な項目であり、作物の生産に必要な水量や供給した水量を把握することは非常に重要なことである。特に畑と比べて多くの水を必要とする水田において、広範囲で補給水量が把握できれば、地域の水管理を効率的に行う上で非常に有益な情報となりうる。ここで補給水量とは、比較的大規模で明確な水源から供給される灌漑水量と、小規模で不明確な水源から小型ポンプなどによって補助的に水田へ供給される水量の総称である。この補給水量に関する研究は、水文気象データの少ない地域においては、水文モデルなどの構築が非常に困難なことから、これまで殆どなされてこなかった。一方で、そのような地域において今後農業を発展させるためにも、現在入手できるデータを活用した補給水量の推定方法や補給水量の情報が求められている。そこで本研究では、水文

気象データの少ない、もしくは限られた地域において、国・州単位を対象として、米生産量から水田への補給水量を逆推定するモデルの構築を目的に研究を進めた。なお本研究で用いる単収とは単位面積あたりの米収量を指し、水不足とは米生産に必要な水量に対する不足を指す。

2. 研究対象地域の概要

研究対象地域には、補給水量について殆ど研究がなされていない地域の一つであるメコン川下流域を選定した(図-1)。メコン川はインドシナ半島に位置し、中国、タイ、ラオス、カンボジア、ヴェトナムの5ヶ国を流れる国際河川である¹⁾。全流域面積は約795,000 km²、河川長は約4880 kmである²⁾。本研究では特にタイ、ラオス、カンボジアの3ヶ国に注目し、ヴェトナムは考慮していない。下流域の流域面積は約625,000 km²、河川長は約2500 kmである。対象とした3ヶ国は下流域面積の大部分

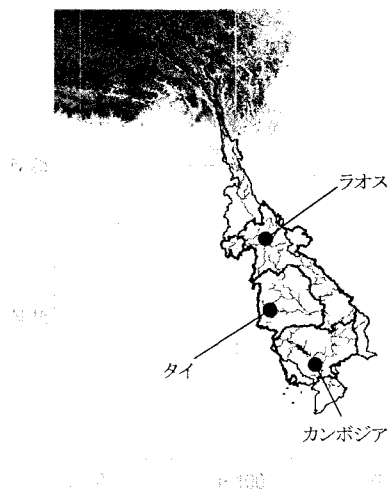


図-1 対象流域の概要

(88%)を占めている。本流域の気候は熱帯モンスーンで高温多湿である。季節は雨期(5月から10月)と乾期(11月から4月)に分かれ、年間降水量の半分以上が雨期に集中している。現在においても降水に多くを依存した農業が行われており、農業の主体は水稻栽培である。伝統的な農法が行われているため、単位面積当たりの収量は比較的低い。水の不足分は小型ポンプなどを用いて、河川や水路などから補給される。その一方で特にメコン川沿いやトンレサップ湖(カンボジア)沿いにおいては、雨期の洪水氾濫によって被害を受ける地域が存在する。

3. 研究方法

雨期における水田への補給水量を米生産量から推定するためのモデルを構築する。モデル化の初期段階のため、単純な構造のモデルを構築し、月ごとのインプットデータ(降水量と蒸発散量)や国毎の米生産量データを用いた。また、水ストレスの計算には水収支式によって求められたグリッド毎の貯留深を用いた。モデルの同定期間は1991年から1992年の2年間、検証期間は1993年から1995年の3年間と設定した。モデル構造、計算方法および使用データについて詳細を以下に示す。

(1) 補給水量推定モデルの計算順序

水田への補給水量推定モデル(SWEPモデル)の構造を図-2に示す。本モデルは2つのサブモデルから構成されている。一つはグリッド毎の貯留深を計算するグリッド貯留深推定モデル(SWSモデル)、もう一つはSWSモデルから計算された貯留深に基づいて単収減少量を推定し、グリッド毎の最終的な単収を推定する米単収推定モデル(TRPモデル)である。まずSWSモデルにおいて、降水量、可能蒸発散量、州毎の供給可能水量情報、土地利用GISデータ、土壌GISデータ

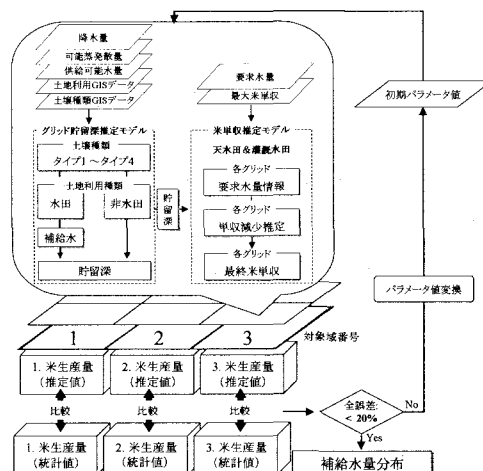


図-2 SWEPモデルの概要

およびSWSモデル初期パラメータ値が入力され、GISデータに基づいてグリッド毎の貯留深が推定される。この過程において、グリッド上に水不足が発生した場合には、供給可能水量の情報に基づいて水田と分類されているグリッドに水が補給される。現地調査結果によると、灌漑水田や二期作水田と分類されている水田においては、明確な水源を有していることが多い。一方天水田と分類される水田においては、水田に水を供給するための明確な水源を持っていない。しかしながら天水田を保有する地元農民は、水が足りないと感じた場合小水路に貯めた水や小溜池などを利用し、小型ポンプなどを用いて小規模に水を供給している。この事実に基づき、灌漑水田や二期作水田だけではなく、天水田にも水が供給される構造とした。本モデルにおいては天水田で水不足が生じた場合、最初の2ヶ月間のみ水が補給される。次に、要求水量、最大単収およびSWSモデルで計算された貯留深がTRPモデルに入力される。TRPモデルによって生育ステージ毎の単収減少量推定から最終的な単収がグリッド毎に算出され、米生産量分布が推定される。その後グリッド毎の米単収が対象域番号に基づいて集計され、対象域毎の米生産量が推定される。これらの推定米生産量と農業統計データより入手した米生産量とが比較され、誤差が計算される。もし誤差が20%以上ならRandom Search Algorithm^{3), 4)}によってSWSモデルのパラメータ値が修正され、SWSモデル初期パラメータ値と置き換えられる。一方もし誤差が20%より小さければ、このときの補給水量が推定される。この補給水量は推定された米収量を生産するために水田へ供給された水量の積算量である。

(2) 補給水量推定モデルの内部式の説明

SWEPモデルの内部式について説明する。本モデルでは、様々な単収減少要因のうち水不足による減収に着目した。対象流域では一般的に施肥を十分に行うだけの余裕がない農家が多いため、栄養塩類ストレスはすでに発生しており地域によってあまり大差がないと考えられる。

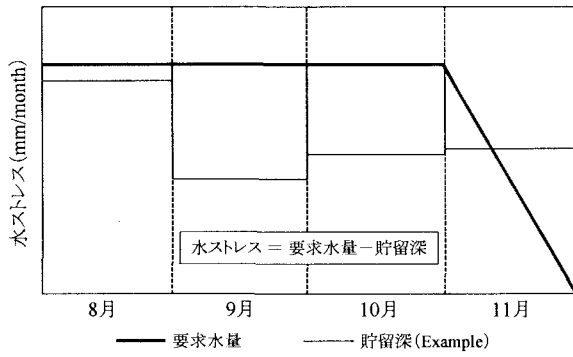


図-3 水ストレスの概念図

また、作物成長には日射などの要素も重要であるが、この流域では十分と考えられ、日射が作物成長にとって大きな阻害要因ではないといえる。水ストレスの概念図を図-3に示す。太い線が要求水量を、細い線が貯留深をそれぞれ表している。要求水量と貯留深との差から、生育ステージ毎の水ストレスが算出され単収減少量が推定される。実際には米の種類によって生育期間が異なるが、本モデルでは中間生育種を選定し、8月に作付けが行われるとした。水ストレスの影響を受ける期間を栽培開始から4ヶ月間とし、それ以降は影響を受けないと仮定した。つまりグリッド毎の貯留深の計算は1月1日から開始されるが、水ストレスの計算は8月から開始される。

SWSモデルによって計算されるグリッド毎の貯留深は式(1)によって表現される。この式には植物吸水の項目はないが、植物吸水量は蒸散量と同等と考えられるので、同式の蒸発散量に含まれているといえる。この計算過程において水不足が生じた場合、式(2)によって水が水田へ補給される。このとき畦畔の高さ(100mm)以上に補給されないように設定した。また、貯留深が畦畔の高さより高い場合、つまり氾濫している場合も補給されないとした。なお、灌漑水田や二期作水田には水不足が生じると8月から11月の間で随時水が補給されるが、天水田には8月と9月のみ水が補給される。また、畑地や草地・林地と分類されているグリッドには水は供給されない。

$$WS_{i,j}^n = WS_{i,j}^{n-1} + Rain_{i,j}^n + Pump_{i,j}^n - (W_{loss} + (\alpha \times PET_{i,j}^n \times M_{day})) \quad (1)$$

$$Pump_{i,j}^n = \beta \times PSW \quad (2)$$

$$\because WS_{i,j}^n > P_{linch} \quad Pump_{i,j}^n = 0$$

ここで、 $WS_{i,j}^n$ は貯留深(mm)、 $WS_{i,j}^{n-1}$ は前月の貯留深(mm)、 $Rain_{i,j}^n$ は月毎の降水量(mm/month)、 W_{loss} は土壌種類別の浸透による損失水量(mm/month)、 $PET_{i,j}^n$ は月毎の可能蒸発散量(mm/day)、 M_{day} は月日数(day)、 $Pump_{i,j}^n$ は補給水量(mm/month)、 PSW は州毎の供給可能水量(mm/month)、 P_{linch} は畦畔の高さ(mm)、 α は月毎のパラメータ値、 β はパラメータ値(1.0以下)、

n は月を表す。

水不足による生育ステージ毎の単収減少率は式(3)、式(4)および式(5)によって計算される。

$$SR_{i,j}^n = RD_{i,j}^n / WD_{i,j}^n \quad (3)$$

$$RD_{i,j}^n = WD_{i,j}^n - WS_{i,j}^n \quad (4)$$

$$WD_{i,j}^n = W_{loss} + (\alpha \times PET_{i,j}^n \times M_{day}) \quad (5)$$

ここで、 $SR_{i,j}^n$ は月毎の減少率(%), $RD_{i,j}^n$ は水不足量(mm/month), $WD_{i,j}^n$ は要求水量(mm/month)を表す。

生育ステージ毎の単収減少量は、最大単収(6.0t/ha)と月毎の減少率を用いて、式(6)～式(9)によって計算される。

$$YD_{i,j}^n = MY \times SR_{i,j}^n \quad (n=8) \quad (6)$$

$$YD_{i,j}^{n+1} = (MY - YD_{i,j}^n) \times SR_{i,j}^{n+1} \quad (7)$$

$$YD_{i,j}^{n+2} = (MY - YD_{i,j}^n - YD_{i,j}^{n+1}) \times SR_{i,j}^{n+2} \quad (8)$$

$$YD_{i,j}^{n+3} = (MY - YD_{i,j}^n - YD_{i,j}^{n+1} - YD_{i,j}^{n+2}) \times SR_{i,j}^{n+3} \quad (9)$$

ここで、 MY は最大単収(t/km²)、 $YD_{i,j}^n$ は8月の単収減少量(t/km²)、 $YD_{i,j}^{n+1}$ は9月の単収減少量(t/km²)、 $YD_{i,j}^{n+2}$ は10月の単収減少量(t/km²)、 $YD_{i,j}^{n+3}$ は11月の単収減少量(t/km²)を表す。

最後に、グリッド毎の最終単収量がこれまでの結果から推定される(式(10))。

$$RY_{i,j} = MY - \sum_{n=k}^{k+P_{grow}-1} (YD_{i,j}^n) \quad (10)$$

ここで、 $RY_{i,j}$ はグリッド毎の単収(t/km²)、 k は単収減少計算の開始月(month)、 P_{grow} は水ストレスの影響を受ける生育期間(month)を表す。

式(1)～式(10)までの計算がインプットデータに基づいてグリッド毎に計算され単収が推定される。その後、対象域番号毎に単収が集計され、米生産量が推定される(式(11)～式(13))。GISデータ上の水田と区分されている5kmグリッド内で、実際に全て水稻栽培が行われているわけではないので、米生産量に対象地域毎の水田面積率を掛けて補正した。また、生育時期や収穫時期に洪水による水害の影響を受けて、生産量が減少する水田も存在するが、本モデルではその影響を表現できない。実際にも氾濫がグリッド毎の生産量にどれ程影響を及ぼしているかというデータもない。そのため土壌GISデータ中の氾濫期間データを利用し、グリッド毎の氾濫期間の長さを収穫量への影響度合いとして補正係数を作成した(図-4)。このデータには氾濫期間ゼロから6ヶ月以上までの分類があり、年間何ヶ月くらい湛水しているかを表現したデータであるため、氾濫期間を1年間(12ヶ月)

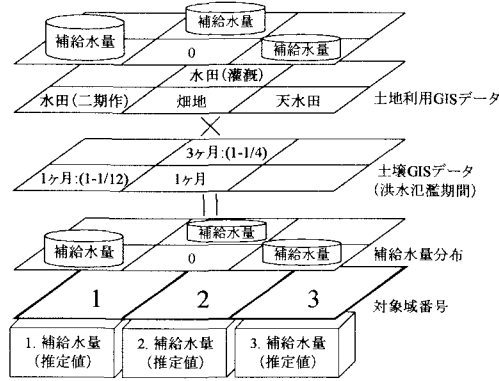


図-4 補給水量の計算過程

で割って用いた。

$$T_{RP_C} = \int^C (RY_{i,j} \times R_{paddy_C} \times ID_{i,j}) \quad (11)$$

$$R_{paddy_C} = CA_a / PF_n \quad (12)$$

$$ID_{i,j} = 1 - (DL_{i,j} / 12) \quad (13)$$

T_{RP_C} は対象地域の推定米収量 (t), R_{paddy_C} は水田面積率, $ID_{i,j}$ は洪水氾濫期間に基づく補正係数, CA_a は実耕作面積 (km^2), PF_n は土地利用 GIS データに基づく対象地域毎の水田メッシュ数 (km^2), $DL_{i,j}$ は土地利用 GIS データに基づく年間の氾濫期間 (month), C は対象域番号 (1:カンボジア, 2:ラオス, 3:タイ) を表す。

米生産量が推定された後, 対象域番号に従って水田へ供給された水量が積算され対象地域での補給水量が算出される (式 (14), 式 (15))。ここで, 米生産量と同様に補給水量にも洪水氾濫期間に基づく補正係数を適用した。本モデルは洪水による横からの水の流入は考慮していない。実際に氾濫によって横から水が来た場合, 水田への補給水はその分減少するはずなので, 過剰分に対して補正係数をかけた。

$$tPump_{i,j} = \sum_{n=k}^{k+Pgrow-1} (Pump_{i,j}^n \times R_{paddy_C} \times ID_{i,j}) \quad (14)$$

$$tPump_C = \int^C (tPump_{i,j}) \quad (15)$$

ここで, $tPump_C$ は対象地域ごとの雨期水田への補給水量 ($\text{m}^3/\text{rainy season}$), $tPump_{i,j}$ はグリッド毎の総補給水量 (m^3/km^2) を表す。

(3) インプットデータの説明

本モデルに使用したインプットデータについて説明する (図-5)。

a) 降水量データ

降水量は ISLSCP, the International Satellite Land-Surface Climatology Project, Initiative II Data Archive (http://islscp2.sesda.com/ISLSCP2_1/html_pages/islscp2_home.html) よりダウンロードした Climate Research Unit (CRU) Monthly

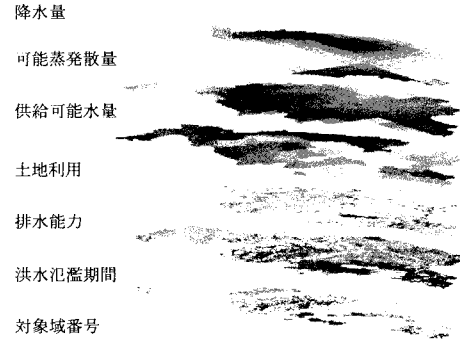


図-5 入力データ

Climate Data を利用した。このデータは月毎データで分解能は 0.5° , 単位は mm である。

b) 気温データ

気温データは ISLSCP よりダウンロードした Climate Research Unit (CRU) Monthly Climate Data を利用した。このデータは Thornthwaite 法⁵⁾ によって可能蒸発散量を算出するために使用した。データは月毎データで分解能は 0.5° , 単位は $^\circ\text{C}$ である。

c) 土地利用 GIS データ

土地利用データはメコン川委員会 (MRSC: the Mekong River Commission Secretariat) が編集した GIS データを用いた。このデータのオリジナルは USGS データで, 1992 年 4 月から 1993 年 3 月までの 1-km Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) のデータを用いて作成されている。本モデルではこのデータを 5km グリッドデータに編集し使用した。またメコン川委員会のデータには非常に多くの分類が存在するので, それを林地・草地, 畑地, 天水田, 灌漑水田, 二期作水田および水の 6 分類にまとめた。

d) 土壌 GIS データ

土壌種類データは MRCS が編集した GIS データを用いた。このデータは FAO/UNESCO 1988 分類システムのレベル 3 までのデータをもとに作成されている。本研究では土壌種類の中でも排水能力データを利用した。この分類中には, その能力によって 4 種類 (Excessive, Well, Imperfect, and Poor to very poor) の排水性が定義されている。また, 米単収の洪水による影響を表現するために, 洪水氾濫期間データを使用した。このデータには, 期間によって 5 種類 (Never flooded, Short, Medium, Mid-long, and Long) の分類が存在する。

e) 農業統計データ

米生産量と収穫面積のデータは, 対象地域毎に 3 種類の農業統計データから入手した。タイは, 農林省農業経済局 (OAE: The Office of Agricultural Economics) 発行の Agricultural Statistics of Thailand を用いた。ラオスは, 農業林業省 (MAF: Ministry of Agriculture and

表-1 メコン川下流域内に含まれる州全体に対する流域内面積率

	カンボジア	ラオス	タイ
面積割合	0.866	0.900	0.880

表-2 メコン川下流域における米生産量の推定結果

	カンボジア		ラオス		タイ	
	生産量	誤差	生産量	誤差	生産量	誤差
1991	1,474,480	16.1	724,626	4.4	6,763,153	15.0
	1,757,980		757,921		7,955,219	
1992	1,471,491	9.2	1,194,580	15.1	6,903,565	12.1
	1,620,286		1,038,091		7,850,558	
1993	1,428,240	17.9	867,870	4.7	6,787,786	7.6
	1,739,231		829,261		7,347,334	
1994	1,743,749	16.5	1,127,844	4.6	8,401,585	1.1
	1,496,864		1,077,927		8,496,089	
1995	2,325,160	4.2	811,145	15.9	7,845,474	10.6
	2,427,248		964,203		8,778,994	

単位: 生産量(t), 誤差(%)

Forestry) 発行の Agricultural Statistics を用いた。カンボジアは農林水産省 (MAFF: Ministry of Agriculture Forestry and Fisheries) 発行の Agricultural Statistics 1980-2000 を用いた。なお上記 3 ケ国でメコン川下流域に含まれる州でも州全体が流域内に含まれていないので GIS データから算出した表-1 の割合を用いて米生産量と収穫面積を補正した。

f) 州毎の供給可能水量情報

水田への補給水量を推定するにあたり、水の不足量が常に供給されるような構造にすると、過大評価の原因となり補給水量推定値の信頼性が低下するといえる。しかし、補給水量に関係すると考えられるポンプの台数や水源の情報を実際に把握することは非常に困難である。そこで、宗村ら⁶⁾の方法を用いて、単位収量あたりに必要な水量^{7), 8), 9)}と乾期の州別米生産量から乾期総使用水量を算出し、そこから乾期州別平均降水量を引いて乾期供給水量を推定した。この供給水量を数十年間で算出し、その最大値を州毎に選定して乾期水田への供給可能水量を求めた。この値をモデル内の上限値として設定すると共に、地域の違いによる補給能力の違いを表現した。なおこれらの値を雨期に適用するにあたりパラメータ値 (β) を乗じて補正した。

4. 結果と考察

(1) 対象地域における米生産量の推定

SWEP モデルを用いて、雨期における水田への補給水量を把握するために、対象地域における米生産量の推定を行った (表-2)。またモデルの同定によって決定されたパラメータ値を表-3 に示す。このモデルは 2 年間の同定期間 (1991 年から 1992 年) と 3 年間の検証期

表-3 決定されたモデルパラメータ値

	1月	2月	3月	4月	5月	6月
α	0.15	0.27	0.11	0.12	0.34	0.11
	7月	8月	9月	10月	11月	12月
	1.09	0.78	0.10	0.10	0.11	0.10
β	0.71					
W_{loss}	土壌種類1	土壌種類2	土壌種類3	土壌種類4		
	92.2	42.0	26.3	6.2		



(例: 1995年の分布図)

図-6 推定された米生産量分布

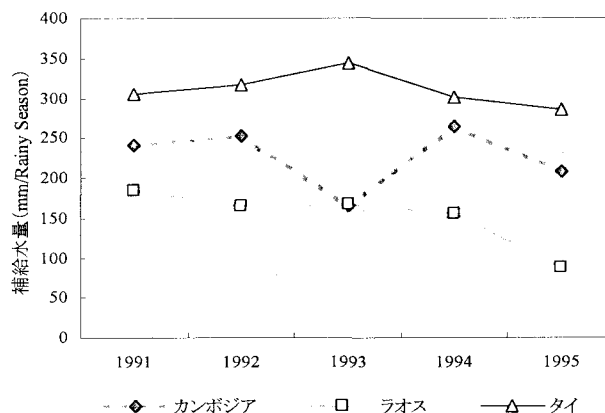


図-7 雨期の単位面積あたり補給水量

間 (1993 年から 1995 年) によって推定値の確認が行われた。推定米生産量と実米生産量との誤差がすべて 18%以下となり、おおむね良い結果といえる。加えて米生産量の分布が把握された (図-6)。この図によって 3 ケ国の中でタイが最も多く米を生産していることやカンボジアのトンレサップ湖周辺およびメコン川沿いの水田で水稻栽培が盛んに行われていることが視覚的に把握できた。

(2) 雨期における水田への補給水量の推定

米生産量を用いて推定した単位面積あたりの補給水量の推移を図-7 に示す。この表から水田への補給水量は、タイが最も多く、ラオスが最も少ないと把握された。対象地域毎の平均値を見ると、カンボジアが約 30×10^8

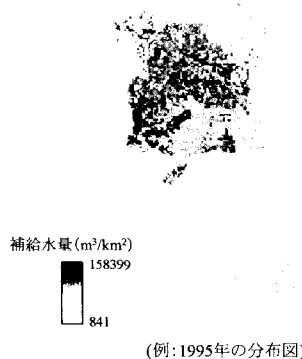


図-8 推定された補給水量分布

m³/rainy season, ラオスが約 49×10^7 m³/rainy season, そしてタイが約 14×10^9 m³/rainy season となった。また、推定期間での補給水量の変化幅を見ると、カンボジアが約 23 から 34 億 m³/rainy season, ラオスが約 3 から 6 億 m³/rainy season, タイが約 134 から 145 億 m³/rainy season となった。加えて補給水量の分布が視覚的に把握され (図-8), 特にタイの色が他国に比べて濃い色を示していることが分かる。これは現地調査に基づいて、天水田へも水が供給される構造になっているので、このような結果になったと考えられる。

5. 結論

現地データの少ない状況下において、米生産量から水田への補給水量推定が試みられた。本研究は以下のように要約される。

- (1) メコン川下流域において、米生産量から水田への補給水量を逆推定するためのモデルが構築された。
- (2) 雨期の米生産量がモデル化期間を通して誤差 18%以内で再現された。
- (3) 5 年間の水田補給水量が推定され、視覚的にその分布が把握された。
- (4) モデル化期間での補給水量の平均値を見ると、タイが約 140 億 m³/rainy season (310mm/rainy season), ラオスが約 5 億 m³/rainy season (151mm/rainy season), カンボジアが約 30 億 m³/rainy season (224mm/rainy season) と推定された。

モデル化精度の向上に向けて幾つかの課題が残されている。まず、降水量データや蒸発散量の算出に必要なデータを含む気象データ、土地利用 GIS データおよび土壌 GIS データなどをより精度の高いものにする必要がある。また他流域への適応を考えれば、水不足に

よる減収だけではなく、洪水や日照時間など稲の生育に影響を及ぼす因子を考慮できるモデルに改良していく必要がある。幾つかの改良点は残されているが、解析に必要な情報が少ない中で、米生産量から補給水量を推定できる本方法は、これまで解析が不利であった地域に対して補給水量の情報を提供できると考えられ、非常に有益であるといえる。今後、インプットデータやモデル化の精度を向上させ州や郡レベルでの解析を行うことによって、灌漑計画や水管理にも利用できると思われる。

謝辞：本研究は、人・自然・地球共生プロジェクト (RR2002) および科学技術振興機構 (CREST) の補助を受けている。GIS データを提供して頂いたメコン委員会、タイおよびラオスの農業統計書を提供して頂いた国際農林水産業研究センターの古家氏および各関係機関の皆様にこの場をお借りして深謝する。

参考文献

- 1) Hori H.: *The Mekong – Environment and Development*, The United Nations University, Japan, 2000.
- 2) ADB.: *A Compendium of Project Profiles*, prepared for Forum of Comprehensive Development of Indochina, Tokyo, 1995.
- 3) Solomatine D.P.: Random search methods in model calibration and pipe network design, In: *Water Industry Systems: Modelling and Optimization Applications*, D. Savic, G. Walters (eds.), Research Studies Press Ltd., pp 317-332, 1999.
- 4) Tao Ye and Shivkumar K.: A recursive random search algorithm for large-scale network parameter configuration, SIGMETRICS, pp 196-205, 2003.
- 5) Thornthwaite, C.W. and Mather, J.R.: *The Water Balance*, Laboratory of Climatology, 8 (1), Centerton, N.J., 1955.
- 6) 宗村広昭, 丹治肇, 吉田貢士, 樋口克宏, 戸田修: 東北タイにおける県別乾期水利用可能量の推定に関する考察, 水文・水資源学会 2004 年研究発表会要旨集, pp 40-41, 2004.
- 7) Hoekstra A.Y. and Hung P.Q.: Virtual water trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade, In *Proc. the International Expert Meeting on Virtual Water Trade 12*, Delft, pp 25-47, 2003.
- 8) Oki T., Sato M., Kawamura A., Miyake M., Kanae S. and Musiak K.: Virtual water trade to Japan and in the world, In *Proc. the International Expert Meeting on Virtual Water Trade 12*, Delft, pp 221-235, 2003.
- 9) Zimmer D. and Renault D.: Virtual water in food production and global trade: Review of methodological issues and preliminary results, In *Proc. the International Expert Meeting on Virtual Water Trade 12*, Delft, pp 93-109, 2003.

(2004. 9. 30 受付)