

現地調査に基づく衛星解析と陸面過程モデルを用いた中国史灌河流域における水利用推定

ESTIMATION OF WATER USAGE IN THE SHIGUAN RIVER BASIN, CHINA
USING SATELLITE REMOTE SENSING BASED ON FIELD SURVEY AND
LAND SURFACE SCHEME

甲山 治¹・田中 賢治²・池淵 周一³

Osamu KOZAN, Kenji TANAKA and Shuichi IKEBUCHI

¹正会員 博士 (工) 山梨大学研究員 医学工学総合研究部 (〒 400-8511 甲府市武田 4-3-11)

²正会員 博士 (工) 京都大学助教授 防災研究所水資源環境研究センター (〒 611-0011 宇治市五ヶ庄)

³フェロー 工博 京都大学教授 防災研究所水資源環境研究センター (〒 611-0011 宇治市五ヶ庄)

The Huaihe River Basin is vast granary in China, therefore landuse and cropping cycle information are important for water resources and hydrological analysis. In this study, landuse and water usage rule are estimated from satellite remote sensing analysis and field survey, and VSW index method and agricultural statistic data are used for calibration. Estimated landuse data and water usage rule are applied to the LSS (Land Surface scheme) in the Shiguan River Basin (one part of Huaihe River Basin), and the water and heat flux are calculated for 4 months. The calculated runoff and irrigation water in LSS are validated using hydrological data.

Key Words : field survey, landuse/landcover, VSW index, irrigation water

1. 本研究の背景と目的

本研究の対象領域である淮河流域は世界有数の農耕地帯であると同時に、梅雨前線の停滞によって洪水被害を被ってきた地域である。そこで Kozan et al. ¹⁾ はこれまでに、メソスケール気象 水文結合モデルの開発に向けて陸面過程モデルを実行し、淮河流域における高精度の水・熱フラックス推定手法の構築に取り組んできた。特に対象流域における多様な地表面を表現するために、現地調査で得られた土地利用、農耕地の特徴を元に、衛星データから推定した植生指標 (NDVI, NDWI) と日気温メッシュデータを用いて土地被覆と農耕地の判別を行った。推定結果を河南省の県別農業統計データを用いて検証した結果、流域スケールにおいて十分に精度の高い土地被覆図を作成した ²⁾。

淮河以北は平坦で衛星データから土地利用・水利用を推定可能であったが、淮河以南は地形が複雑で困難であった。そこで本研究では流域水循環の把握に向け、水田が卓越する南部山岳域において水利用調査を行い、流域における灌漑用水量および灌漑ルールの把握を試みた。さらに推定したルールを陸面過程モデルに与え水・熱収支計算を行うとともに、淮河南部・史灌流域で観測された水文データを用いてモデルで算出された灌漑用水量の検証を行った。

2. 土地利用・水利用調査

(1) 淮河以北地域と以南地域の違い

淮河北中部平原の多くは畑作地帯であり、黄河および湖沼から導水可能な地域のみ水田が存在する。また畑作灌漑の有無は地域の年降水量に依存し、一部では揚水施設を利用した地下水灌漑が実施されている。調査を行った地域のうち、安徽省阜陽市 (平均年降水量 914mm) と河南省駐馬店市 (同 924mm) では畑作灌漑は行われないうが、河南省開封県 (同 628mm) では作付けの 30 日後の 7 月中旬に 75mm 程度の地下水灌漑を実施する。



図-1 北部流域調査の 3 地点と史灌流域調査の 16 村 (右上図中の数字は表-1 の各村に対応)

表-2 水稻灌漑方式，水深，土壤水分下限表（江淮地区）

生育期	返青期	分けつ期	分けつ末期	幼穂形成期	出穂開花期	乳熟期	黄熟期
一期作水稻（淮河南部）	6/1～10	6/11～7/5	7/6～15	7/16～8/5	8/6～18	8/19～9/6	9/7～9/28
最適水深（mm）	20～50	20～50	中干し	20～60	20～60	湿潤灌漑	乾燥灌漑
貯水深度高（mm）	80～100	100～120		120～160	120～160	60～80	40～60
土壤水分下限（%）	100	80		90	90	80	75

(2) 史灌流域土地利用・水利用調査

GAME/HUBEX³⁾では淮河流域南部の山岳領域の水文・気象特性を得るために、蔣家集を下流端とする史灌流域（流域面積 5930km²）を設定し集中観測を行った。史灌流域は史河と灌河の2流域に大別され上流部には2つの大きなダム（梅山，鮎魚山）があり，それぞれの集水域は1970km²，924km²である。

2004年6月には流域に存在する約600村のうち16村を抽出し，農業統計および導水量データ，水利施設の調査，GPSを用いた簡易測量，作付け・刈り入れ時期，農業従事者の水利用実態を調査した。図-1には史灌流域および村の位置を，表-1に調査で得られた統計データを示す。人口の単位は人，面積の単位はkm²である。

表-1 史灌流域16村調査（はダム上流部に位置する村）

村名	北緯	東経	人口	総面積	畑地	水田
1 通城店	31.63	115.27	1840	3.67	0	0.58
2 注冲	31.51	115.29	2100	3.37	0.2	0.53
3 河鳳	31.87	115.41	2456		0.14	0.59
4 万楼	31.92	115.37	1410		0.16	0.67
5 太平	31.97	115.44	2400	2.03	0.53	0.67
6 胡族舖	32.18	115.47	2380	1.91	0.14	1.53
7 沈管	32.10	115.43	1699	1.27	0.23	1.00
8 洪埠	32.26	115.66	4400	3.33	0.31	1.86
9 竹園子	32.32	115.66	2437	2.29	0.42	1.67
10 李瓦房	31.86	115.73	1127	2	0.07	0.57
11 徐小店	31.90	115.76	2250	3.67	0.50	1.33
12 街道	31.36	115.56	1080	8.5	0.06	0.54
13 朕盟	31.39	115.58	1092	11.07	0.26	0.47
14 花元	31.54	115.60	3100	3.2	0.14	1.13
15 葛山	31.55	115.58	2148	14.8	0.15	0.78
16 開順	31.79	115.93	4000	1.53	0.47	1.41

表中の単位；北緯，東経（度），人口（人），総面積，畑地，水田（km²）

a) 耕地面積

16村を大別すると2つのグループに分けられる。6村はダムの上流部に位置し（1,2は鮎魚山ダムの上流部，12～15は梅山ダムの上流部），残りの10村はダムの下流部に位置する。大きな違いとしては，村全体の面積に占める耕地の割合が挙げられる。上流部の6村の平均耕地率が12.08%（面積7.43km²，耕地面積0.90km²）であるのに対し，下流部10村の耕地率は64.21%（面積2.25km²，耕地面積1.45km²）である。これは上流部が起伏のある山岳地帯で，下流部は比較的平坦であることを意味する。秋季収穫作物の8割以上が水稻であり，水稻の裏作としては小麦と油菜が代表的である。

b) 水稻灌漑ルール

聞き込みで得られた生育期間と灌漑ルールを反映させるために，文献を参考に作成した灌漑ルール⁴⁾を一部改良した（表-2参照）。水深に関しては50mm前後が代表的で，水深が極端に低くなったら導水するといった単純なものであった。主な変更点は以下のとおりである。1), 田起こしと導水は，田植えから2週間から4週

間程度前に実施。2), 田植え時期は5月から6月上で，田植え前日に再度導水する。3), 中干しは田植え後一ヶ月に実施し，期間は中干しを開始して7日経過後に3日間の無降雨日が続いたときに中干しを終了・再度導水する。4), 生育期間は120から130日前後。

c) 導水施設・導水量

史灌流域では一部の野菜を除いて畑作灌漑は行われておらず，したがって導水施設は水田灌漑用である。上流部では溜池も併用しているが，河川水の利用が主体で地形を利用した灌漑が行われている。一方下流部は自前のダムを用いている。4. 万楼村と，村が用水路よりも高いところに位置する10. 李瓦房村を除けば，梅山もしくは鮎魚山ダムからの灌漑用水を用いている。ただしその他の8村も小規模ながら貯水池を持っており，例えばダムからの放水が開始されるのは5月前後であるために，それ以前に溜池の水を使用して田起こしを行っている。田起こしには多量の水を必要であり，生育期間に要する全灌漑用水量の30%程度に相当する。

導水量に関しては上流部では自由に使うためデータが存在しないが，下流部ではダムもしくは灌漑用水路に費用を払うためデータが存在する。

具体的なデータを手にした4村のうち3. 河鳳村では水田0.5867km²に対して，例年40-50万m³の導水を実施する。用水路がすぐ近いため，溜池は田起こし期と渇水時以外は使用しない（単位面積換算で681～852mm）。

4. 万楼村では水田0.67km²を灌漑するために用水路からではなく自前のダムを持っており，農繁期には25万m³の水を使用する。そのほかにも規模の小さな溜池から25万m³程度の水を利用している（同750mm）。

5. 太平村では水田0.67km²と甜菜菊0.4km²栽培用に，年間90-100万m³を用水路から導水。菊は3期作（3月，6月下，8月下に作付け）を行い水田と同程度の水を使用する（同843～938mm）。

7. 沈管村では1km²の水田が存在し，年間で75万m³程度の灌漑用水を使用する（同750mm）。なお小規模ダムは，年4,5回程度臨時用として使用する。

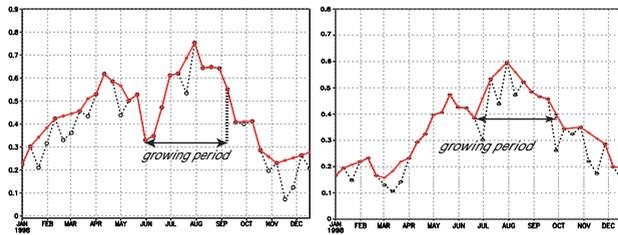
なおこの値は導水堰から村に導水された時の値であり，村の入り口から各水田までの配水時の漏水口は含んだ数値である。以上のデータから水田における灌漑用水量は少なくとも750mm程度必要である。

3. 農耕地率推定

これまでの研究では，BISE法⁵⁾を用いて雲の影響を除去したSPOT-VEGETATION/NDVI年次系列（1998年）をもとに推定した淮河流域の作物転換期（5月上～6月中旬）に，図-2のように有意な落ち込み（5月以前

の NDVI 変化量の 15%以上) が見られた衛星データのメッシュを農耕地と仮定し(図-6 参照), 作物転換期において水面検出に有効な NDWI⁶⁾ を用いて(閾値 0.15) 水田と畑地を判別した. NDVI と NDWI は以下の式で与えられ, RED は 0.61-0.68 μm , NIR は 0.78-0.89 μm , SWIR は 1.58-1.75 μm の反射率を意味している.

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}, \quad NDWI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$$



農耕地 (E116,N33) 混合地 (E112.6,N35.5)
図-2 NDVI 年時系列 (点線; BISE 適用前, 実線; 適用後)

さらに植生・土壌・水の反射特性の指標である VSW 指数を導入することでメッシュ内の耕地率を推定し, 流域内の農耕地分布図を定量的に作成した²⁾. 推定した農耕地面積は河南農村統計年鑑⁷⁾の 187 県統計データ(主要作物別の作付け面積, 灌漑面積等)で検証したが, 山岳域のように農耕地自体の占める割合が低い地域では水田の分布を検出することが困難であった.

(1) VSW 指数の概要と基準三角形

メッシュ内における植生 (V), 土壌 (S), 水体 (W) の面積率推定法として VSW 指数が山形⁸⁾によって提案されており, 観測スペクトル点と基準三角形の 3 辺からの距離を用いることでメッシュごとの植生・土壌・水分の情報を同時に抽出し評価することができる.

解析期間内における衛星データの全スペクトルを, 可視 (VIS) チャンネルを横軸, 近赤外 (NIR) チャンネルを縦軸とする散布図上にプロットすると, 図-3 に示すような三角形ができる. この三角形の右下の底辺をソイルラインと定義すると, 土壌が湿潤した状態になると赤色波長の反射率が低くなり, スペクトルがライン上を左下に移動する. つまりソイルライン上では土壌と水が共存した状態であるといえる. そこでこの左下頂点スペクトルを水の状態 (Water), 右上頂点スペクトルを土壌の状態 (Soil) と考えることができる. また残る一頂点はソイルラインから最も遠く, 植生のみ存在する状態 (Vegetation) である.

以上の仮定のもと, VSW 指数は観測スペクトル点と三角形の 3 辺からの距離を用いてメッシュごとに植生・土壌・水分の情報を同時に抽出し評価することができる. Soil 点と Water 点を結ぶ直線から観測スペクトルまでの距離を V 指数, Vegetation 点と Soil 点を結ぶ直線からの距離を W 指数, Vegetation 点と Water 点を結ぶ直線からの距離を S 指数と設定し, 植生 (V), 水 (W), 土壌 (S) が占める面積率を推定する.

VSW 指数を求めるにあたり基準三角形の各頂点の座標を決定する必要があることから, 以下のような評価

関数を設定した. V,S,W の各点を作る三角形の内側では 1, 外側では 0 の値を持つ二値の三角形分布を T とした. また頻度分布に存在する例外点を除去するため, 頻度の画素数が全画素の 95%となる三角形分布 C を設定し, 分布の内側では 1, 分布の外側では 0 の値を与えた. 面積 S1, S2 を以下のように定義する.

$$S1 = \{C = 1 \cap T = 0\}, \quad S2 = \{C = 0 \cap T = 1\} \quad (1)$$

分布 T と C が一致する時 S1 と S2 はともに 0 となり, ずれがある場合正の値をとるので, 式 (2) のように評価関数 F を定義すると, F は V, S, W の座標を変数とする関数である.

$$F = S1^2 + S2^2 \quad (2)$$

評価関数 F が最小となるように 3 点の座標をシンプレックス法により最適化し, 各頂点の最適座標を決定した. 各頂点の最適座標は, Vegetation(0.0625, 0.5625), Soil(0.22, 0.31), Water(0.0075, 0.055) となった.

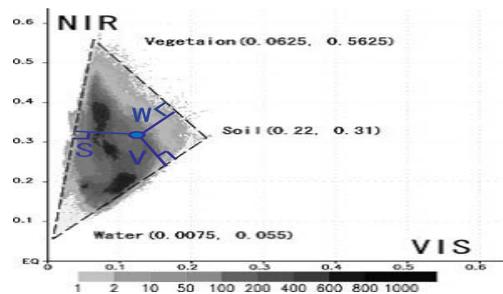


図-3 淮河領域における第 13~24 旬のスペクトルプロットと基準三角形 (図中の V,S,W はあるプロットにおける各指数, コンターは同座標にプロットされた観測数)

(2) 農業統計データを用いたキャリブレーション

観測スペクトルから各直線までの距離を用いて, VSW 指数を 10 日ごとに算出することが出来る. 作物転換期から生育期において農耕地では, 土壌, 水体が減少し植生が増加することから, VSW 指数の変化量はメッシュ内における耕地面積率と関連している.

そこで甲山²⁾は農耕地率の推定に用いたが, 植生 (V) の増加率のみに注目したために V,S,W の各指数の係数を $\alpha, 1, 1$ と S,W を等価と設定して式 (4) に与え, キャリブレーションを行った. しかし図-4 から分かるように, 実際は V の増加が S,W どちらをどれほど減少させたかも重要な情報である. そこで各係数を $1, \alpha, \beta$ と設定し, 水田と畑地それぞれにおいて面積率の推定に各係数の意味を検討した. メッシュに占める植生割合の指標 (rate) は式 (4) となる.

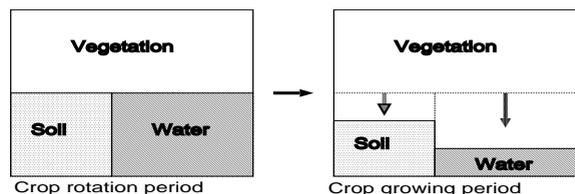


図-4 作物生育に伴う面積率変化

次に淮河流域の農耕地には作物転換期があることを利用して、13 旬から 24 旬 (5~8 月) の 12 期間について式 (3) の $rate$ を計算し、式 (4) から 13 旬から 19 旬の最小値 ($rate_{min}$) と、16 旬から 24 旬の最大値 ($rate_{max}$) の差 $rate_{diff}$ を計算した。 $rate_{diff}$ はメッシュ内に存在する農耕地が、裸地もしくは水面から植生へと変化した割合を示す指標であるといえる。

$$rate = \frac{V}{V + \alpha S + \beta W} \quad (3)$$

$$rate_{diff} = rate_{max} - rate_{min} \quad (4)$$

全メッシュに対して $rate_{diff}$ を計算し判別した耕地とかけ合わせることで、県別の農耕地面積を算出することができる。ここで各 187 県において推定した耕地を足し合わせた面積と、統計値より得られた総耕地面積が常に等しくなるように γ を決定した (式 (5) 参照)。この式の特徴としては、0 と 1 を保存すること、耕地率は 0 から 1 の値をとるために γ が 0 以上で 1 以下の時に耕地率が増加し、1 以上の時に減少することが挙げられることから、本手法の妥当性の検討に用いた。

$$RATE = (rate_{diff})^\gamma \quad (5)$$

以上のような設定で α と β を変化させ、 γ および各メッシュの RATE を求めて県別耕地面積推定した。その結果、水田と畑地を合わせた耕地全体では $\alpha=0.7$ 、 $\beta=1.6$ 、 $\gamma=0.84$ の時に、187 県全体の RMSE が最小となった。また水田と畑地の違いを見るために別々に解析を行ったところ、水田では $\alpha=0.6$ 、 $\beta=3.5$ 、 $\gamma=1.00$ となり、畑地では $\alpha=2.15$ 、 $\beta=0.5$ 、 $\gamma=0.94$ のときに RMSE が最小となった (図-5A, B, C 参照)。

耕地全体の係数は両者の中間であり相関係数も悪く、 γ による補正も必要なことから、水田と畑地は異なる係数を用いた方がよい。また水田と畑地について係数の意味を考察するに、例えば水田では W の係数 β を大きくし水面の増減を強調することで面積率を精度良く算出している。すなわち作物生育に合わせて増加する V に対して、S と W の各々の減少に与える影響が両者の係数に表れている。 γ の比較では畑地では少しの補正が必要だったことから、今後は農耕地の検出手法を再検討する必要がある。

(3) 史灌流域における水田の抽出

水田と畑地の判別には作物転換期における最小の NDWI 値 (閾値 0.15) を用いたが、この基準は平地では有効だが山岳域に存在する水田率が低いメッシュで水田を抽出することは難しい。例えば図-5B でも推定値が 0 付近のプロットは、小さな水田が分布する県である。しかし耕地率が少ないメッシュにおいて NDWI の基準のみを緩和すると、過大評価の可能性がある。

史灌流域において調査した各 16 村の水田率、畑地率、自然植生率 (水田、畑地以外) と (表-1 参照)、各村に対応する 1~20 メッシュにおける導水期最小 NDWI の平均値を式 (6) を用いて対応付けた。左辺の NDWI が対応メッシュにおける実際の NDWI 値、右辺の A,B,C

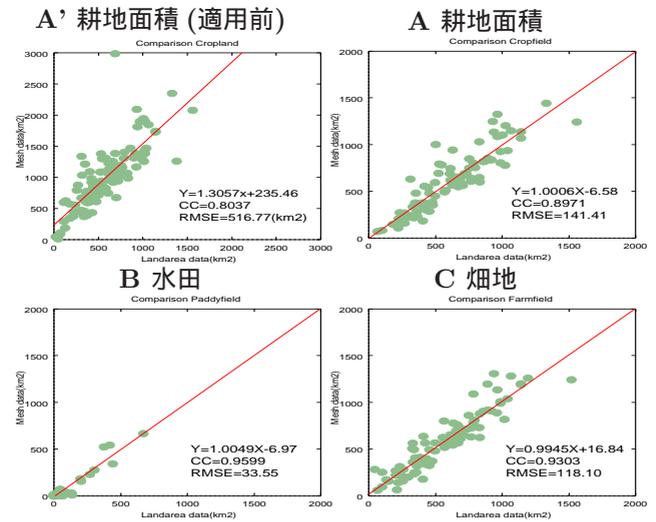


図-5 VSW 指数補正前後の統計・推定値 (横・縦軸) 比較

は水田、畑地、自然植生の面積率、 $NDWI_p$ 、 $NDWI_f$ 、 $NDWI_n$ はそれぞれの最小 NDWI 値である。村の総面積を調査出来なかった 2 村と村内に生育時期の異なる水田を含む 16. 開順村を除く 13 村のデータを用いて最小自乗法で最適化したところ、水田、畑地、自然植生の最小 NDWI 値は、0.065, 0.300, 0.448 となった。

$$NDWI = A \times NDWI_p + B \times NDWI_f + C \times NDWI_n \quad (6)$$

実際の NDWI が 0.12 以下のときは水田、0.30 以上のときは畑地に設定し、それ以外の判別を試みた。まず農耕地と判別されたメッシュにおいて全ての農耕地が水田もしくは畑地であると仮定し、それぞれの α 、 β 、 γ および推定式を用いて耕地率を推定する。メッシュ全体の土地利用および耕地率としては大きい方の値を採用するが、水田と畑地の式で求めた耕地率の差が 5% 以下の場合は両者の混在を許し、それぞれの推定した耕地率の 50% を耕地率に設定した。以上のように 13 村の統計データと VSW 指数の推定手法を併用することで推定した淮河流域のメッシュ内農耕地率の分布図と土地利用図を図-6 に、史灌流域の土地利用図を図-7 に示す。

4. 史灌流域における灌漑用水量の検討

(1) 土地利用図の検討

作成した土地利用図と耕地率データの有用性を示すために、史灌流域水利用調査の結果から推定した水利用ルールを陸面過程モデルに与えて実行し、水・熱収支計算および使用される灌漑用水量を算出した。算出された灌漑用水量は、灌漑水路の放流量データが存在する史灌流域北部において検証を試みた。解析対象である史灌河下流域 (2525.2km²) の多くは河南省固始県に属しており、固始県全体の統計データの値は水田面積 (701.3km²)、畑地面積 (107.4km²; とうもろこし、大豆等) であった。ここで推定した土地利用図のうち、固始県に対応するメッシュの耕地面積を計算したところ、面積は水田が 651.1km²、畑地が 155.1km² であった。やや畑地の割合が多いものの、水利用解析には十分な精度であるとして解析を進める。

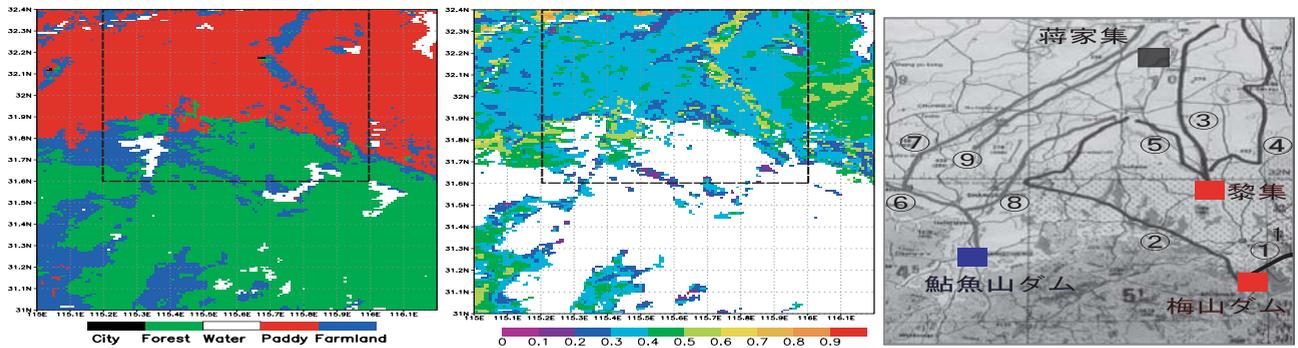


図-7 史灌流域の土地利用図および農耕地率(黒線はダム下流域を示す)とダム下流部に存在する灌漑用水路(図中の数字は文中の灌漑用水路番号に対応)

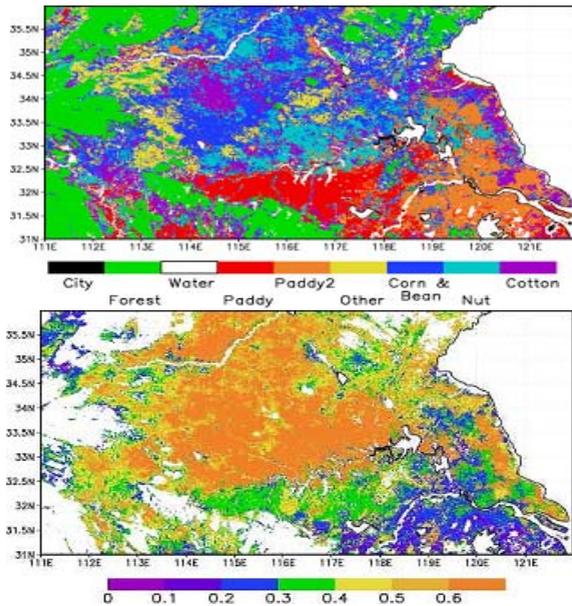


図-6 淮河流域の土地利用図とメッシュ内耕地率分布

(2) 陸面過程モデルの実行

淮河流域全体においては5分メッシュのデータセットを作成したが、史灌流域ではGAME/HUBEXで得られた集中観測データが存在することから毎時間気象データを30秒メッシュで作成し(範囲: E115.0-116.2, N31.0-32.4),集中観測期間である123日間(1998/5/15~8/31)陸面過程モデルを実行した。なお畑地にはNDVI時系列から推定した作物生育期との生育段階に合わせた最低土壌水分量を設定し、それを下回ったときに灌漑用水を与えた。水田ではNDWIから導水期を、NDVIから生育期間を推定し、水深等のルールは文献⁴⁾も参考しつつ現地の実情を反映させた(表-2参照)。

史灌流域のうちダム下流部は流域の大部分を農地が占めるとともに(図-7参照)、主要なものだけでも9つの灌漑用水路が存在しそのうちの7つが下流部で消費されている。そこで蒋家集を下流端とし、ダムの下流に位置する流域を対象流域に設定し、水収支解析及び灌漑用水量の検証を行った。算出した灌漑用水量分布を図-9に、図-10に下流域における降水量(rain)、蒸発散量(evap)、観測流量(discharge)、モデル流出量(runoff)、灌漑用水量(irrigation water)と土壌水分量(soilmoisture)の流域平均値(単位:mm)の積算を示す。

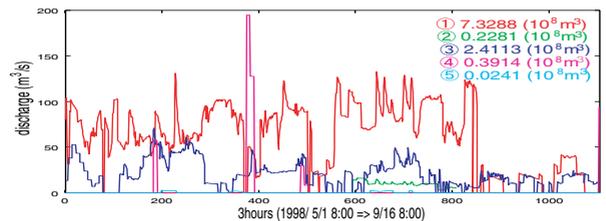


図-8 史灌灌漑放水路流量データ5地点(5/1~9/16; 右上の数字は期間内の総放流量、丸数字は図-7に対応)

(3) 史灌流域における水収支解析

ダム放流量データを用いて計算したところ、解析期間(5/1-8/31)における梅山ダムからの放流量が9.697億tで、灌漑用水路に放流された用水量は1.史河総干渠が7.106億t、2.梅山南干渠が0.228億t。さらにダムと蒋家集の間に位置する黎集から灌漑用水路への用水量は3.黎集中干渠が2.242億t、4.東干渠が0.301億t、5.西干渠が0.024億tであった(図-8参照)。梅山ダムから史河に2.363億t放流されるものの、下流の黎集で2.567億t取水されるために、蒋家集での水収支解析では0.205億t流量を減じていることになる。

一方、5月前半のデータがないので解析期間付近(5/15-9/16)における鮎魚山ダムからの放流量は4.330億tで、灌漑用水路に放流された用水量は6.鮎魚山西干渠が0.120億t、7.中干渠が0.879億t、8.東干渠が0.159億t、9.馬堤干渠が0.374億t。従って鮎魚山ダムから灌河に2.798億tが放流されていることになる。

ここで123日間の水収支を考えると降水(赤)が流域平均で738.3mm、モデル蒸発散(緑)が413.1mm、モデル流出量(青)が348.6mm、モデル灌漑用水量(水色)が149.1mmである。一方下流端の蒋家集での河川観測流量(紫)が539.1mmであることから190.6mmほど流出量が少ない計算になるが、上流部の2つのダムから河道への放流量が102.7mm(2.593億t)ほどあることから、その他の小規模ダムや5月前半に鮎魚山ダムから87.9mm程度が河道に流入しているとすると水収支は閉じる。その他の理由としては観測データの信頼性および、モデル流量の過小評価が挙げられる。

モデルの土層貯留水量(青緑)の増加は103.2mmで、解析開始時に比べ解析終了時の土壌水分もしくは水田が、これだけ多くの水を蓄えていることになる。流出パラメータを変更して流出量を増加させるとその分は土層貯留水量の増加分が減少することになるが、夏季に

土壌水分が涵養される現地の実態から判断するに、現在の設定は妥当であると考えられる。地下水に関しては考慮していないが、灌漑用井戸の水位データが存在することから今後は長期水収支と合わせて解析していきたい。

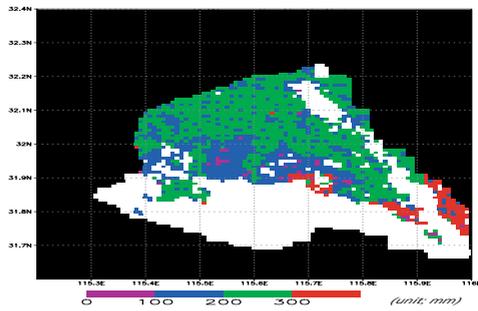


図-9 ダム下流域で推定された灌漑用水量（下流域のみ表示）

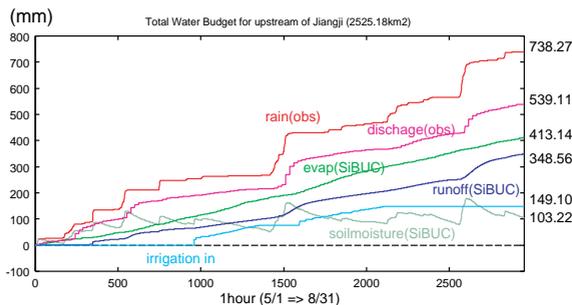


図-10 ダム下流部における水収支各要素と灌漑用水量

(4) 推定した灌漑用水の検討

流域平均 149.1mm の灌漑用水量は 3.765 億 t に相当する。そこで実際の灌漑用水量と比較して、モデル内で行われた灌漑ルール of 妥当性を検討した。流域に存在する灌漑用水路のうち 2. 梅山南干渠, 5. 黎集西干渠, 8. 鮎魚山東干渠は、全て対象流域で使用されるのでこれらの総量が 0.411 億 t で、9. 馬堤干渠と 7. 鮎魚山中干渠の灌漑地のうち 7 割程度が解析対象地に含まれることから 0.877 億 t。その他に 3. 黎集中干渠の灌漑地も 2 割程度流域内であるために 0.449 億 t 程度であるとすると、全灌漑用水量の 46% (1.736 億 t 前後) が梅山と鮎魚山ダムからの用水によることが分かる。

残りの 54% に関しては定量的なデータは存在しないが、ダム下流で訪れた 10 村のうち全ての村で田起こしと臨時用 (年 0~5 回で導水量が単位面積あたり約 50mm/回、全体の約 7%) に自前の溜め池を使っていること、なおかつ田起こしには 30% 程度の水量を要することが調査から分かっている。さらには流域内にはその他に多数の小ダムが存在し、10 村中 2 村では用水路の水を使用していないことから判断するに、不足分の 54% は十分に説明出来る値である。

また流域内に 651.10km² 存在する水田では平均で 578.25mm の灌漑用水量を使用している計算となり、現地調査で得られた 750mm よりも 200mm 程度少ない値である。この原因としてこの地域では解析開始時の 5/1 以前に田起こしを実施し、解析終了時の 8/31 以降も水稻を生育していることが挙げられる。調査の結果、田起こし時に使用する水量は全体の 30% 程度であることから、このことから 200mm 程度の用水量の不足を説明することは可能である。

5. 結論

本研究では水田と畑地における衛星解析を通して VSW 指数の新たな活用法を提案するとともに、山岳域における小規模な水田の検出方法の開発を行った。その結果山岳域では困難であった水利用解析を行うに十分な精度の農耕地分布を、県単位では 10% 以内の精度で得ることが出来、さらに得られた成果を陸面過程モデルに適用することで農耕地における実際の水利用を再現した。推定された灌漑用水量は実際の導水量データおよび現地水使用量状況によって検証出来たことから、本手法全体の妥当性を示すことが出来た。今後は HUBEX 観測期間 4 か月間だけでなく再解析データ等を用いて長期のメッシュデータを作成し、通年の水収支計算に取り組みことでさらなる推定手法の検証を行う。

謝辞：本研究は JST/CREST 『社会変動と水循環の相互作用評価モデルの構築』(代表：竇 馨) の成果の一部であり、総合地球環境学研究所プロジェクト 『地球規模の水循環変動ならびに世界の水問題の実態と将来展望』からも財政的支援を頂いた。ここに記して深く謝意を表します。

参考文献

- 1) Kozan, O., Tanaka, K. and Ikebuchi, S.: The estimation of water and heat budget in the Huaihe River Basin China, Proc. of First International Conference on Hydrology and Water Resources in Asia Pacific Region, pp.763-768., 2003.
- 2) 甲山治, 山田賢治, 田中賢治, 池淵周一: 衛星起源の植生状態量及び地上気象データを用いた土地被覆と生育作物の判別, 水工学論文集第 49 巻, 2005
- 3) 武田喬男・坪木和久: モンスーンアジア地域のエネルギー・水循環のプロセス解明-亜熱帯・温帯モンスーン地域観測研究計画 (中国淮河流域観測計画), GAME Publication No.1., 1996.
- 4) 除玉民・郭国双 他: 中国主要作物需水量与灌溉, 水利電力出版社, 1987.
- 5) Viovy, N. and Arino, O.: The best index slope extraction (BISE): A method for reducing noise in NDVI time series. Int. J. Remote Sensing, 13, pp.1585-1590., 1992.
- 6) Bo-Cai Gao: NDWI-A Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water From Space. REMOTE SENS. ENVIRON., 58, 257-266., 1996.
- 7) 河南省統計局: 河南農村統計年鑑 1999, 中国統計出版社, 1999.
- 8) 山形与志樹・杉田幹夫・安岡善文: 植生・土壌・水 (VSW) 指数アルゴリズムの開発とその応用, 日本リモートセンシング学会誌, Vol.17 No.1, pp. 54-64. 1997.

(2006. 9. 30 受付)