

中国淮河流域における農業形態の推定と 陸面過程モデルへの適用

ESTIMATION OF AGRICULTURAL TYPE IN THE HUAIRHE RIVER BASIN
CHINA AND APPLIED TO THE 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学生会員 工修 京都大学大学院 工学研究科環境地球工学専攻 (〒 606-8501 京都市左京区吉田本町)

²正会員 工修 京都大学助手 防災研究所水資源研究センター (〒 611-0011 宇治市五ヶ庄)

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

In this study, agricultural cycle was estimated from satellite data for the evaluation of agricultural water use in the Huaihe river basin, China. Using SPOT-NDVI data from April 1998 to March 1999, all cropland are categorized into four classes (wheat + soybean, wheat + maize, rape + rice, wheat + rice). Then the harvesting time of summer harvesting crop, the planting and harvesting time of autumn harvesting crop are estimated from the time series of NDVI data at each mesh. Based on these results and water requirement data, appropriate water level and soil moisture condition is defined depending on the growing stage. In the numerical simulation, irrigation water is supplied or drained to meet this appropriate condition. Due to this method, water use of this basin is faithfully reflected in the land surface scheme.

Key Words : SPOT-NDVI data, land-use classification, crop rotation period, land-surface scheme

1. 序論

(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、典型的なモンスーン影響下の稲作地帯であると同時に、梅雨前線の停滞によって洪水の被害を被ってきた地域である。また世界でも有数の穀倉地帯であることから、対象流域における洪水被害は中国のみならず世界の食糧事情にも影響を及ぼす重要な地域であり、被害を低減するための洪水予測手法の確立は重要である。

KOZAN ら⁶⁾ 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。しかしながら対象流域においては治水・利水の両面において様々な人為的な操作が行われており、それらをモデル内で定量的に評価することは困難であった。そこで本研究では、流域内における灌漑用水等の人為的操作の影響を評価するために、衛星リモートセンシングデータを用いた農業形態の推定と、それに伴う水利利用の再現をモデル内において試みた。上記のような人間活動の定量的評価とモデルの検証を統合的に行うことで、より現実に近い地表面状態を再現することが本研究の目標である。

(2) これまでの研究

中国淮河流域において観測所データをもとに作成したメッシュデータを陸面過程モデル SiBUC (Simple Biosphere including Urban Canopy; 田中ら³⁾) に適用し、GAME/HUBEX¹⁾²⁾ 解析対象期間 (1998'5/1-8/31) の4ヶ月間において水・熱収支計算を行った。しかし従来の陸面過程モデルでは農耕地に水利用や灌漑の効果を表現できないことから、多くの地点で作物の生長に支障をきたすような土壌水分の低下が見られた。また解析に使用していた USGS (U.S. Geological Survey) 作成の土地利用データも、特に農耕地分類の精度が水利利用の議論をするには不十分であった。

そこで甲山ら⁵⁾ は従来のモデルを改良するとともに、従来の土地利用／植生タイプの情報をもとに 1995 年 2 月から 1996 年 1 月までの 36 期 (1 年分) の NOAA-AVHRR の NDVI 10day composite data を用いて、水田と畑地の判別を行った。また領域内に存在するすべての農耕地を 4 パターン (冬小麦+大豆, 冬小麦+とうもろこし, 菜種+水稻, 冬小麦+晩期水稻) に再分類し、農業従事者用の灌漑マニュアルから推定したルールをモデルに与えた。以上の条件でモデルを実行したところ、文献で得られた土壌水分状態 (除ら⁹⁾ 参照) を忠実に再現していた。また淮河中流の蚌埠を下流端とする領域 (面積約 12 万 km²) で水収支推定を行ったところ、

モデルで算出した流出量と観測された河川流量がよく一致した。

しかし広域かつ4ヶ月の積算値においては水収支が一致したもの(図-7 上図参照)、現在モデル内において同一の土地利用には一律の灌漑ルールを与えており、各メッシュにおける実際の水利用を反映しているとはいえない。また解析期間の淮河上中流域において約270億トン(単位面積あたり225mm)もの灌漑用水量を使用していることが前提であり、その検証は不十分である。したがって水利用の検証を行うためにも、各メッシュごとの農繁期とそれに伴う水利用を推定する必要がある。

2. リモートセンシングデータを用いた農耕地判別

淮河流域の農業にはいくつかの明確な特徴がある。そこで中島¹⁰⁾、除ら⁹⁾の参考資料を元に淮河中流域における農業形態の特徴を把握し、それらをもとにリモートセンシングデータとの比較を行った。本研究で利用したデータは解析対象期間を含む1998年4月から1999年3月までの36期(1年分)のSPOT NDVI 10day composite dataで、解像度は30秒(約1.1km)である。

(1) 淮河流域の農耕地形態

淮河中流域に位置する安徽省の食糧作物の生産には、明らかに地域の特徴がある。淮河北部は耕地面積の95%を畑が占め、小麦を中心とした小麦一大豆、小麦一夏とうもろこしなどの輪作方式をとる。中部の江淮農業区は畑作から水田作への移行帯で、淮河沿い一帯は畑作が主で北から南に水田の割合が多くなる。食糧作物の構成は、北部が小麦、南部が水稻主体で、中期水稻、晩期水稻の割合が増大する。長江沿岸、長江以南の沿江農業区はもっとも重要な米の生産基地であり、水田が耕地面積の約80%を占める¹⁰⁾。

また上流部に位置する河南省の農耕地は、大部分が小麦を中心とした2毛作畑地である。ただし淮河以南の一部地域では1期作水田、北部の黄河から導水を行っている一部地域では小麦一水稻の2毛作水田が存在する。

最後に下流部に位置する江蘇省の農耕地の特徴としては、淮河本流以南では2期作水田が大部分を占めるのに対し、以北では水田と畑地が混在していることである⁸⁾。

(2) 南北における農業形態の差異

a) BISE法の適用

使用したSPOT-NDVIデータは10日間のなかで雲の影響が少ない画像を用いて作成されているが、場所や時期によっては影響を完全には除去できていない(図-2 点線参照)。そこで流域内における農業形態の差異を明確に捉えるために、時系列データを用いて雲の影響を除去するViovy and Arino⁷⁾のBISE(The Best Index Slope Extraction)法を導入し雲の影響の除去処理を行った。

BISE法の特徴として、探索期間(原著論文では30日を推奨)を設定する必要がある。これは同一地点でx番目のデータからx+1番目のデータを作成するときに、

例えばx+1のデータがxの時刻のデータより上昇している場合にはx+1のデータをそのまま用いるが、低下しているときには雲の影響で値が減少した可能性があるとして、探索期間のなか(本研究ではx+2とx+3)で値が一番大きい地点のデータを用い、x番目のデータとそのデータから線形内挿してx+1のデータを求める。

ただし30日の間に低下して再び上昇するような地域や、収穫や水田への導水、生育作物の転換などの人為的操作に伴う急激な変化には対処できないことから、作物転換期(5,6月)には探索期間を20日に変更した。また農業開始時期や水面の影響を見るため、単調減少から単調増加に転じる時刻のデータを前後の時刻のデータよりも0.05以上落ち込んでいるとき以外、元データをそのまま用いた。

b) NDVI年時系列データを用いた差異の検出

上記の手法で雲の影響を除去したNDVIデータ(図-2 参照)を用い、淮河中流域の東経116度に沿って南北に年時系列を調べた。安徽統計年鑑¹¹⁾から流域の北部は畑作地帯、南部は水田地帯であることが分かっているため、基本的にはこの境界がどこにあるかを見つける作業となる。図-1は東経116度について、NDVI年次系列を南北に示した図であり、32.25度以南の地域と32.5度以北の地域のデータに大きな差異が確認できる。これらの特徴は、北部畑地では冬小麦を中心とした2毛作、水田では水稻の1期作(春季には裏作としてレンゲ草や油菜など)が行われていることを示している。

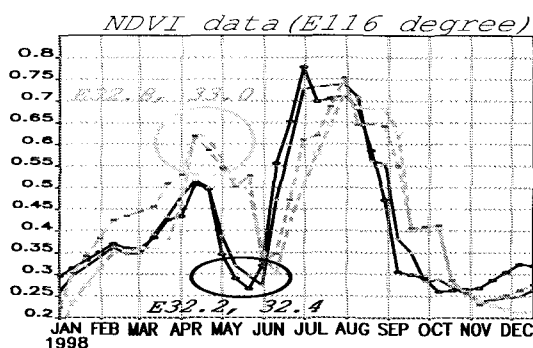


図-1 東経116度におけるNDVI年時系列の南北比較(北緯32.2-33.0度; 解像度30秒)

同様に中流域の東経113度から118度の経線に沿って、南北におけるNDVI時系列の差異を調べたところ、淮河本流に近い北緯32.5度付近を境に明確に現れた。共通する特徴として北部の畑作地帯では春先(2月～5月)のNDVI値が高く、生育作物の転換期(5月下旬～6月)には値が低下することである。一方南部の稲作地帯では春先のNDVI値の上昇は小さく、値が低下する時期は早い(5月)という特徴があった(図-2 ②③参照)。

同様に南北の差異が明確でなくなる118度以上について解析したところ、多くの地域において2つのピークが検出された(図-2 ④参照)。ただし中流域の畑地と比較すると春先の生育時期が半月程度早く、作物転換期が50日程度と長く存在する。これらの特徴は、この地域で2期作水田(小麦+水稻)を行っていることを示している(江蘇統計年鑑¹²⁾参照)。

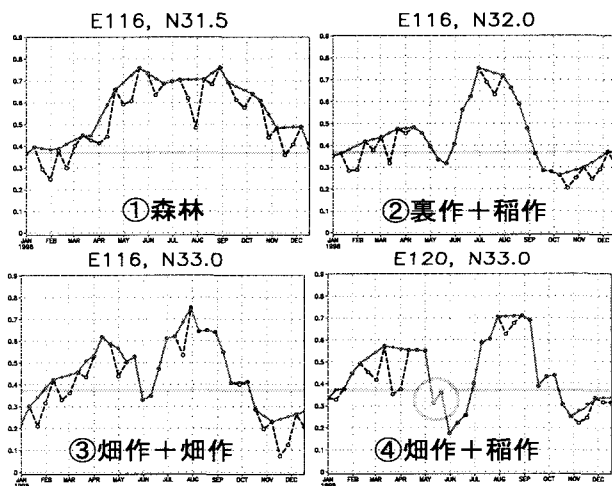


図-2 各地点における NDVI データ年時系列 (点線；BISE 法適用前，実線；適用後) と判別した土地利用

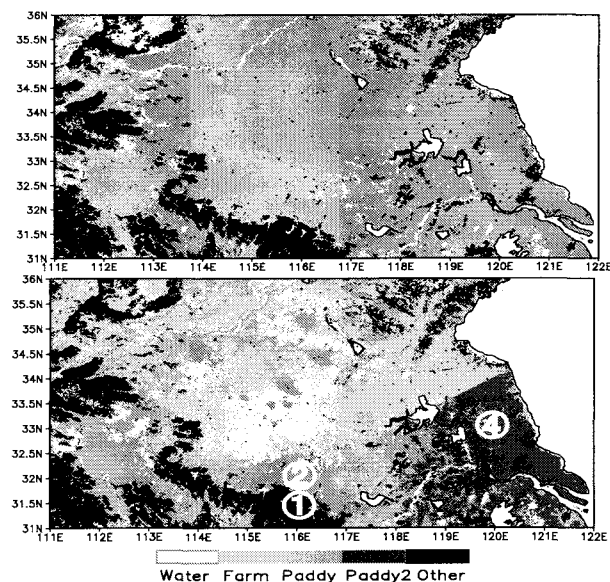


図-3 農耕地判別を行った土地利用図 (上図；USGS 土地利用図，下図；判別後，図中の番号は図-2 に対応)

(3) 淮河流域の農耕地判別

本研究では淮河流域の土地利用／植生タイプの情報として USGS のサイトからデータを取得した (<http://edcwww.cr.usgs.gov/landdaac/glcc/>)。データの解像度は 30 秒 (約 1.1km) である。しかし水田の面積比率が全体の 6 割を超えるなど、実際は畑作地帯である淮河流域北部の土地利用も水田と判別されている等の問題がある (図-3 上図参照)。

そこで現在水田と判別されている地点に関して、NDVI の年時系列に 2 つのピークが明瞭に現れるかどうかで、農業形態を判別した。具体的には、1) 春先の NDVI 値が高く、2) 作物転換期に NDVI の値が低下、という条件を満たした水田を淮河中上流部では 2 毛作畑地 (小麦＋その他) へ、118 度以東の淮河本流以南では 2 期作水田 (小麦＋水稻) へ変換し、残りの満たさなかった地域を 1 期作水田に設定した。変換に使用した条件を以下に記す。

- 1) 第 7 期から 14 期までの平均値が 0.4 以上
- 2) 第 13 期から 19 期のうち値が低い 3 つの期間の平均値が 0.425 以下

以上の変換を行った結果、淮河以北と周辺域の多くの水田が 2 毛作畑地に、淮河下流部かつ本流以南の大部分が新たに 2 毛作水田に設定され、全ての農耕地が 3 パターン (② 1 期作水田，③ 2 毛作畑地，④ 2 毛作水田) に分類された (図-3 下図参照)。新しく作成した土地利用図を淮河水利委員会作成の土地利用図⁸⁾と比較したところ、全体としては良く対応していた。

3. 流域における農繁期の推定

土地利用判別時には、NDVI 値が 0.375 で農繁期かどうかを判別した。そこで閾値を 0.375 として、1) 春季作物の収穫時期 (5 月以降初めて閾値を下回る)、2) 夏季作物の生育開始期 (下回ったあと再び上回る)、3) 夏季作物の収穫時期 (上回った後再び下回る)、以上の 3 つの時期を NDVI の時系列から推定した。

(1) 畑地における推定結果

畑地で推定した農耕時期を図-4 の上段に、推定時期から求めた作物転換に要する期間と生育期間を下段に示す。畑地においては 1) 2) の地域的な違いは小さく、一方 3) は格差が大きかった。以上の結果から、冬季から春季にかけて畑地で生育される作物は共通の冬小麦であり、一方夏季の生育作物は地域により違いがあると推測できる。具体的には生育期間が短い地域 (安徽省西北部) では夏とうもろこしを、長い地域 (河南省中部) では夏大豆、落花生等を生育している可能性が高い。

(2) 水田における推定結果

水田で推定した農耕時期を図-5 の上段に、推定時期から求めた作物転換に要する期間と生育期間を下段に示す。水田においては 1)～3) のいずれも地域的な違いが大きかった。大きく分けると 1 期作水田か 2 毛作地帯に分けられ、生育期間の推定結果からは 2 毛作地域では 100 日以上、1 期作地域では 90 日以下が多く、両者に顕著な違いがみられた (図-3 参照)。これより 1 期作地帯では中期水稻が、2 期作地帯では晩期水稻が生育されていることがわかる。またどちらの種類においても地域的な違いが明確に確認できることから、水稻の種類が異なるか、もしくは同種の場合でも水利用の制約などで生育時期が異なることが考えられる。

(3) 導水期における水面の影響

現地の水田では、6 月の田植え期以前に導水が行われている。NDVI データを用いた解析では 1 期作水田に比べ 2 毛作水田において導水期の落ち込みが顕著である地域が多く、その時期にはメッシュ内 (約 1km²) の広範囲で一斉に導水されたと推測できる。例えば図-2 の④においては、2 段階での NDVI の低下を見ることが出来る。これらは収穫による低下と、導水による低下である可能性が高い。図-6 に作物転換期の水田において NDVI 値が 0.4 以下の時に、さらに 0.1 以上の急激な低下が見られた地点とその時期を示している。低

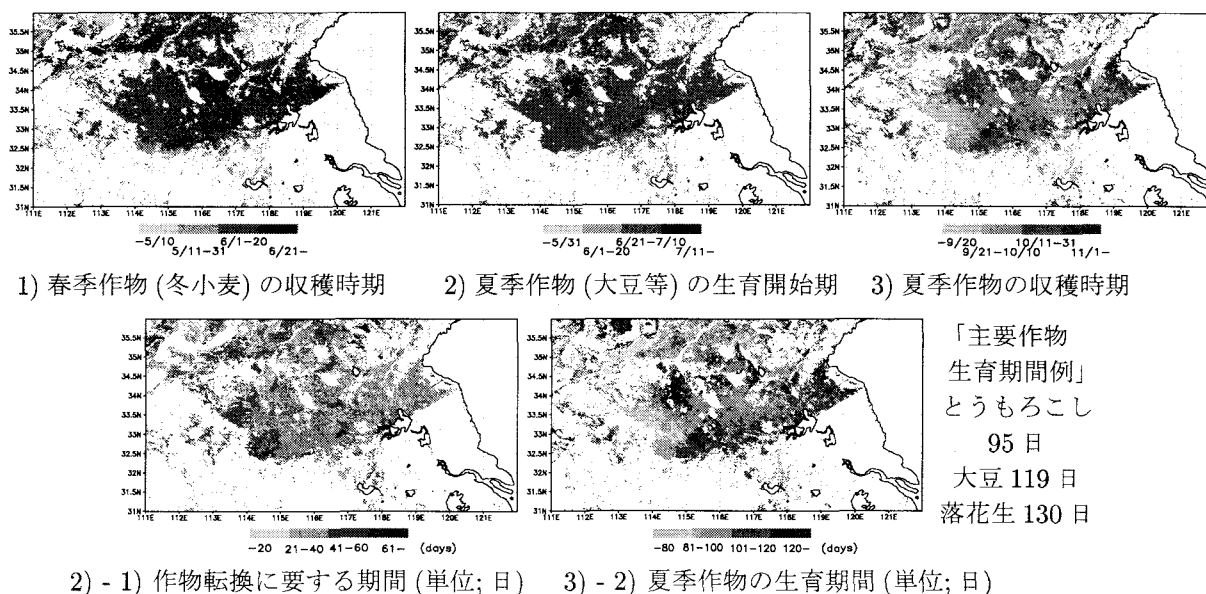


図-4 畑作地帯における農業サイクル推定

い NDVI 値からの更なる急激な低下は、水面の出現を示している可能性が高い。

これらの水利用は、ダムや取水堰など地域の水利用と密接に結びついていると考えられ、同時に陸面や河川に与える影響も大きいことから重要である。

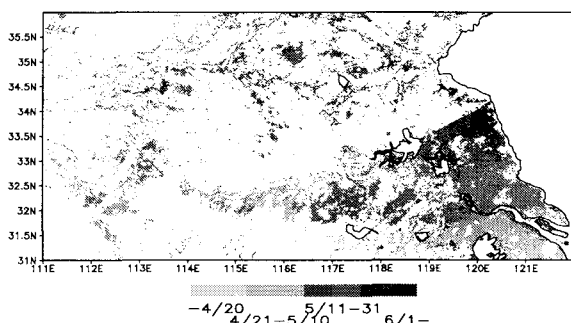


図-6 水田における導水期の分布

4. 灌漑ルール設定とモデルへの適用

解析によって得られた農繁期と生育作物の種類、導水期における水面の出現時期を陸面過程モデルに与えるためモデルの改良を行った。また流域内に存在するすべての農耕地を4パターンに分類した上で、除ら⁹⁾の農業需水量データを参考にしてモデルに与える灌漑ルールを設定した。そして以上の条件のもとでGAME/HUBEX解析対象期間(1998/5/1-8/31)の4ヶ月間において、過去に作成した気象メッシュデータ⁵⁾を陸面過程モデルへ適用して水・熱収支推定の算出を行った。

(1) 使用した陸面過程モデルの改良

従来のモデルでは、1メッシュ内(解像度5分;約10km)で緑地、水体、都市の3つの土地利用を個別に計算しているが、ただし緑地に関してはメッシュ内に占める割合が最大のものを代表させていた(甲山ら⁵⁾参照)。これまでは使用している土地利用図のうち農耕地の推定精度が悪く、モデル内においても詳細に表現す

る必要が無かったが、土地利用図(解像度1.1km)の改良によりこれらの議論が可能になった。そこでモデル内の緑地を、森林、草地、水田、とうもろこし畑等、最大で10パターンの土地・水利用を個別に設定・計算できるように改良を行った。これにより農地灌漑等、詳細な水利用の議論が可能になった。

(2) 畑地における灌漑ルールの設定

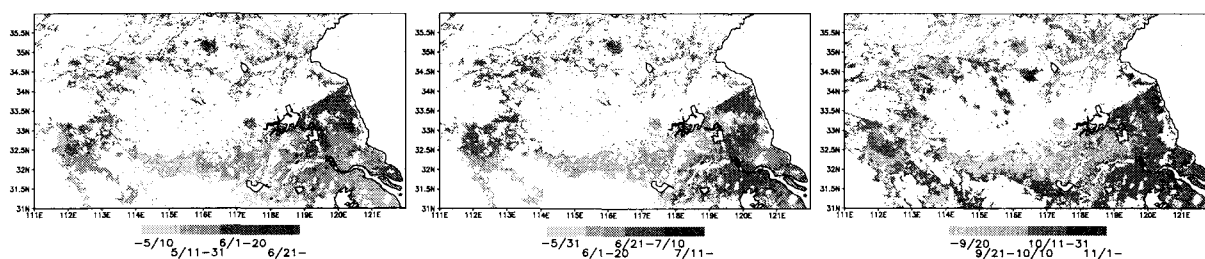
解析によって得られた生育期間(図-4 下右図参照)を用いて、105日よりも長いメッシュは夏大豆が卓越する地域、短いメッシュはとうもろこしが卓越する地域として設定し、別の畑として灌漑ルールを設定した。設定したルールは以下のとおりである。

a) 畑地; 冬小麦, 夏大豆 (生育期間 105 日以上)

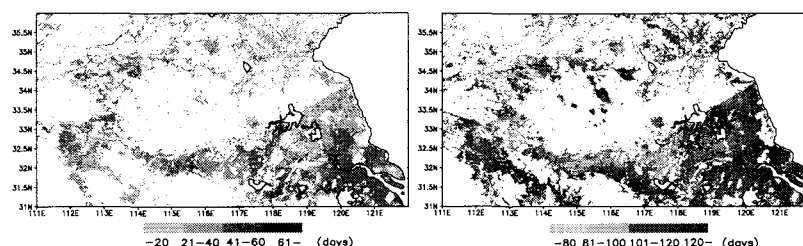
5/1(計算開始時)にモデルに与える土壌水分(ウェットネス)の初期値として、冬小麦生育末期の最適土壌水分である80%に設定した⁹⁾。解析によって得られた大豆の種蒔き(生育開始)時点まで土壌水分量は考慮せず、推定した開始時期(6月下旬前後)から、種蒔き期(5日)、分枝期(29日)、開花期(19日)、鼓粒期(33日)、成熟期(32日)の各期間を設定した。各期間の下限土壌水分量は表-1に従い、各期間の下限土壌水分量を下回った場合単位面積あたり60mmの灌漑用水を与えることとし、灌漑次数の上限は3回とした。

b) 畑地; 冬小麦, 夏とうもろこし (生育期間 105 日以下)

5/1の条件として、同様に土壌水分(ウェットネス)の初期値を80%に設定した。解析によって得られたとうもろこしの種蒔き(生育開始)時点までは土壌水分量は考慮せず、種蒔き期(5日)、分けつ期(25日)、出穂期(22日)、乳熟期(19日)、黄熟期(25日)の各期間を設定した。各期間の下限土壌水分量は表-2に従い、灌漑実施時の灌漑定量は単位面積あたり67.5mm、灌漑次数は3回までとした。



1) 春季作物 (冬小麦, 菜種) の収穫時期 2) 夏季水稻 (水稻) の生育開始期 3) 夏季作物の収穫時期



2) - 1) 作物転換に要する期間 3) - 2) 夏季水稻の生育期間

「主要作物
生育期間例」
早稲 75 日
中稲 90 日
晩稲 110 日

図-5 稲作地域における農業サイクル推定

表-1 夏大豆各生育期需水強度表 (安徽省淮北地区)

生育段階・期間	土壌水分下限 (%) (対象深度)	灌漑定量 ($m^3/6.67\%$)
種まき期 (6/16~20)	75 (~20cm)	35~45
分枝期 (6/21~7/19)	65 (~40cm)	35~40
開花期 (7/20~8/7)	70 (~40cm)	40~45
鼓粒期 (8/8~9/10)	65 (~40cm)	40
成熟期 (9/11~10/13)	—	—

表-2 とうもろこし各生育期需水強度表 (河南省北部)

生育段階・期間	最適土壌水分 (%) (対象深度)	灌漑定量 ($m^3/6.67\%$)
種まき期 (6/10~15)	75~85 (~40cm)	45
分枝期 (6/16~7/10)	65~75 (~40cm)	45
萌芽期 (7/11~8/1)	70~80 (~60cm)	45
黄熟期 (8/2~20)	75~85 (~80cm)	45
成熟期 (8/21~9/14)	68~75 (~80cm)	—

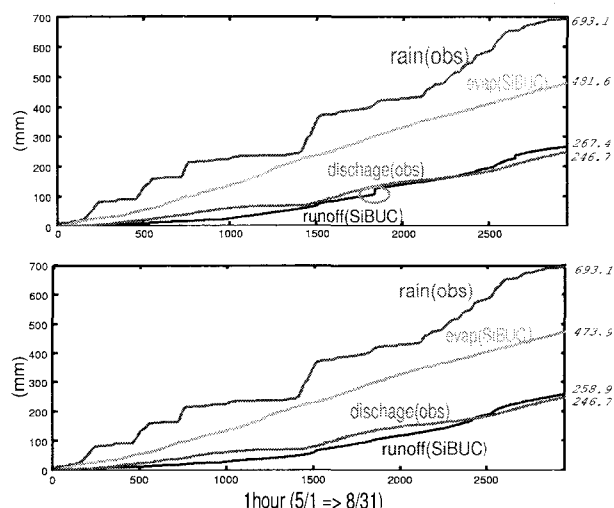


図-7 流域水収支 4 要素 (上图; 従来のモデル, 下图; 推定した生育期の適用)

(3) 水田における灌漑ルールの設定

a) 水田 (1 期作); 菜種, 中期水稻 (江淮)

5/1(計算開始時)にモデルに与える土壌水分 (ウェットネス) の初期値として, 菜種成熟期の最適土壌水分である 75%に設定した⁹⁾。次に解析で得られた生育開始時期から順に各生育期 (返青期, 分けつ期等) を設定し, 灌漑ルールを設定した。灌漑ルールとしては, 安徽省江淮地区の中期水稻のデータ (表-3 参照) を用いた。ここで最適水深の下限はその水深を下回ったら灌漑を行う深度, 上限は灌漑によって補給される深度に設定した。

水田への導水時期は水面出現時期のデータを用い (図-6 参照), 導水が検出されなかった地点では導水時期を生育開始時期の 2 日前に設定した。また成熟期には水稻を乾燥させるために, モデル内でも落水を実施した。

b) 水田 (2 毛作); 冬小麦, 晩期水稻 (江南沿江)

5/1 の条件として土壌水分 (ウェットネス) の初期値を, 冬小麦生育末期の最適土壌水分である 80%に指定した。灌漑ルールとしては, 江南江淮地区の晩期水稻のデータ (表-3 参照) を用いて設定した。そのほかの設定は 1 期作と同様に得られた解析結果を適用した。

5. 蚌埠上流域における水収支推定

陸面過程モデルに適用した生育時期と灌漑ルールの妥当性を検証するため, 蚌埠を下流端とする淮河の上中流域 (流域面積 $121330km^2$) において水収支推定を行った。解析対象期間は 1998'5/1-8/31 の 4ヶ月間, 検証には現地観測流量を用いた。

従来のモデル内の水田では灌漑ルールは 4. の設定と同じだが, 灌漑時期が 6/8 に一斉に導水し, 6/10 から水稻を生育する設定になっていたため一時期に大量の水を必要とした。また畑地においてもとうもろこし畑と大豆畑を交互のメッシュ (約 $10km$) に設定しそれぞれの畑に同一の生育期を与えていたため, モデル内に設定した土壌水分下限値が変更される時期に, 広範囲において導水を必要とした。

図-7 上图は蚌埠上流域における水収支 4 要素 (雨量, モデル蒸発散量, モデル流出量, 河川観測流量の各流域平均値) の 4ヶ月積算値を示しており, モデル流出量

表-3 水稻灌溉方式、水深、土壌水分下限表 (江淮・江南沿江地区)

生育期	返青期	返青末期	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
中期水稻 (江淮)	6/10~18	6/19~20	6/21~7/15	7/16~19	7/20~8/10	8/11~18	8/19~9/12	8/19~9/12
最適水深 (mm)	20~50	一時落水	20~50	中干し	20~60	20~60	湿润灌溉	乾燥灌溉
貯水深度高 (mm)	80~100	80~100	100~120	—	120~160	120~160	60~80	40~60
土壌水分下限 (%)	100	100	80	—	90	90	80	75
晩期水稻 (江南沿江)	6/20~29	6/30~7/1	7/2~26	7/27~30	7/31~9/4	9/5~14	9/15~10/2	9/15~10/2
最適水深 (mm)	20~50	—	20~50	中干し	20~60	20~60	湿润灌溉	乾燥灌溉
貯水深度高 (mm)	80~100	—	100~120	—	120~160	120~160	60~80	40~60
土壌水分下限 (%)	100	—	80	—	90	90	80	75

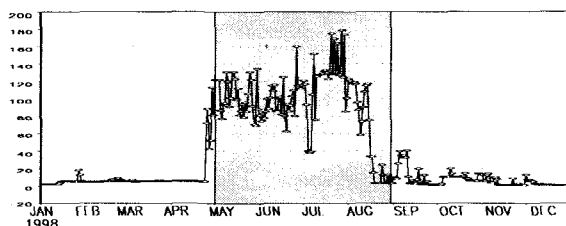


図-8 稲作地帯に存在する梅山ダムの流量年次系列 (青色は解析期間)

からも図中の円で示すような急激な排水が行われていたことがわかる。そこで解析で得られた作物生育期をモデルに与えたところ、急激な導水や排水は起こらなくなった (図-7 下図参照)。また推定した生育時期をモデルに与えることで解析期間内に必要とした流域平均灌溉用水量も 225mm から 216mm へと減少したことから、より各地の水文条件に即した水利用がモデル内で再現されていると推測できる。

ただし 5 月中旬から 8 月上旬にかけては河川流量に比べモデルの算出流量が過小評価、それ以降は過大評価となっている。現在のモデルではダムによる時間遅れの効果を考慮していないことから、今後はそれらの効果を合せて議論していく必要がある。図-8 は南部の稲作地帯に存在する梅山ダム (E115.87, N31.70) の流量年次系列 (1998 年) であり、5 月の稲作開始時期から蓄えた水を放流、雨が多い 7 月上旬には流量を減らし、8 月半ばから流量をなくして来年の稲作開始時期まで水を蓄えるという特徴を示している。河川流量の不足分を上記のような特徴をもつダム放流量が補っていると、水収支推定の整合性は増すことになる。

6. 結論

陸面過程モデルを用いた過去の解析結果から、淮河流域で利用されている灌溉用水が流域の水・熱収支に少なからず影響を与えていることが示されていた。しかしモデル内で対象流域の実際の水利用を再現することは困難であった。そこで本研究では、農業形態の差異をもとに NDVI データを用いた土地利用判別を行い、同時に農繁期の推定を試みた。その結果生育作物の特徴を確認するとともに、それらの特徴とそれに伴う水利用をモデル内に再現することが出来た。ただし営農期の判定に一律の閾値用いているなど改善すべき点が多い。したがって今後は現地調査と農業統計・水文データを用いた検証を行い、より精度の高い推定法を構築する予定である。

さらに現在は蚌埠のみで行っている陸面過程モデルを用いた水収支計算を、さらに上流部に存在する 78 観測点の流量データを用いて検証を行う。同時にダム放流量データを併用することにより、流域水収支の観点からも検証していく。そして最終的には、本研究で得られた成果を数値気象予報や洪水予測をはじめとした、様々な工学的分野へ応用していくことが本研究の目標である。

参考文献

- 1) 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.
- 2) Takeda, T.: Preliminary Research Report on Japanese GAME/HUBEX, GAME Publication No.9., 1998.
- 3) 田中 賢治・池淵 周一：都市域・水体をも考慮した蒸発散モデルの構築とその琵琶湖流域への適用, 京都大学防災研究所年報, 第 37 号 B-2, pp. 299-313., 1994.
- 4) 田中賢治・椎葉充晴・池淵周一：GAME/HUBEX-IOP の水・熱フラックス観測の速報, 京都大学防災研究所年報, 第 42 号 B-2, pp.121-140., 1999.
- 5) 甲山治, 田中賢治, 池淵周一：多様な農耕地の影響を考慮した中国淮河流域における水・熱収支推定に関する研究, 京都大学防災研究所年報, 第 45 号 B, pp.745-764., 2002.
- 6) 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.
- 7) 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.
- 8) 水利部淮河水利委員会 他：淮河流域地図集, 科学出版社, 1999.
- 9) 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.
- 10) 中島哲生：中国の水利管理 -淮河中流-, 社団法人 農業土木事業協会, 1997.
- 11) 安徽省統計局：安徽統計年鑑 1999, 中国統計出版社, 1999.
- 12) 江蘇省統計局：江蘇統計年鑑 1999, 中国統計出版社, 1999.

(2003. 9. 30 受付)