

正規化植生指標を用いた中国淮河流域における農耕サイクルの 推定

甲山 治*・田中 賢治・池淵 周一

* 京都大学大学院工学研究科

要 旨

本研究では中国淮河流域において農耕に伴う水利用の影響を定量的に評価するために、SPOT 衛星から得られた正規化植生指標 (NDVI) データを用いて、水利用と密接に関連する農業サイクルの推定を行った。1998 年 4 月から 1999 年 3 月までの SPOT-NDVI データをもちいて、1) 春先 (2 月～5 月) の NDVI 値が高い、2) 生育作物の転換期 (5 月～6 月) に NDVI の値が低下する、という条件を満たした領域を 2 毛作の畑地であると設定し、水田と畑地の判別を行った。次に各メッシュの NDVI の年次系列から、春季生育作物の収穫期と秋季生育作物の作付け・収穫期を推定した。また現地の水田では 6 月の田植え期前に導水が行われていることに注目し、4～6 月にかけての NDVI データを解析したところ、6 月の前半を中心に水面の出現による NDVI 値の低下が確認された。

キーワード：SPOT-NDVI データ、BISE 法、土地利用判別、作物転換期

1. 序論

1.1 本研究の背景

大気・陸面間の水・熱フラックスの交換は、数値気象予測にとって重要なものである。陸面における水・熱循環に関わる事象を考慮して、水・熱フラックスを推定するモデルを陸面過程モデルといい、現在世界各地で開発が進んでいる。しかしアジアモンスーン域においては、その領域でのフラックス交換の重要性がいわれているものの、観測されているデータ量やモデル展開は十分とはいえない状況である。

GEWEX (全球水・エネルギー循環観測実験) のもとで展開されている大陸スケール観測プロジェクトの 1 つとして、アジアモンスーン域を対象とした GAME (GEWEX Asian Monsoon Experiment) の集中観測がすでに実施された。GAME は 4 つの地域プロジェクト (チベット、タイ、シベリア、中国淮河) からなり、各気候帯毎の気象・水文・フラックス

観測、プロセス研究、大気陸面結合モデル開発等を通じて、アジアモンスーンの変動とその大陸スケールエネルギー・水循環との関係を理解することを目的にしている。

中国淮河で行われた GAME-HUBEX (Huaihe Basin Experiment) では、亜熱帯前線帯が停滞して甚大な水害をもたらしてきたことを踏まえ、以下の 3 点を中心的課題として研究が進められている。

1. 集中観測と 4 次元データ同化による淮河流域とその周辺域 (Fig. 1 参照) の高精度の気象・水文データベースの構築
2. 梅雨前線にともなうメソスケール雲・降水システムのエネルギー・水循環過程の理解
3. メソスケール気象-水文結合モデルによる洪水予測手法の開発

また各地域における水・熱フラックスの日変化、季節変化を定量的に評価することは GEWEX/GAME の共通課題であり、各地域で陸面過程モデルの開発が進んでいる。

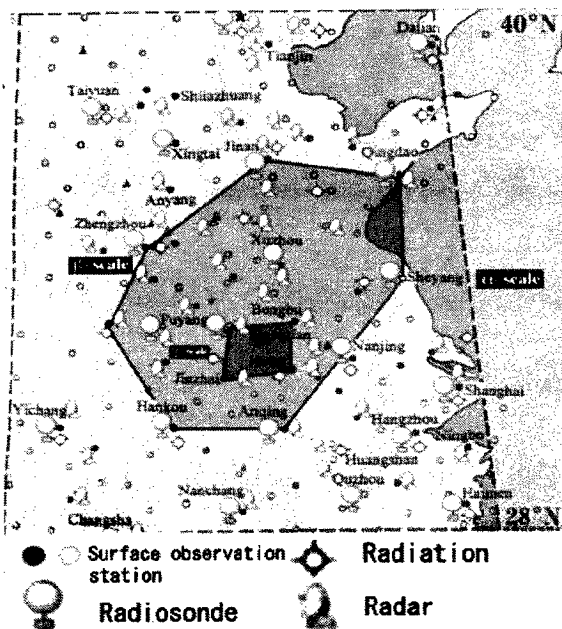


Fig. 1 Study area of GAME-HUBEX

1.2 これまでの研究

本研究はGAME-HUBEXの中心課題の一つである気象-水文結合モデルの開発にむけて、中国淮河流域に陸面過程モデル SiBUC (Simple Biosphere including Urban Canopy; 田中ら,1994) を適用し、4ヶ月間(1998/5/1-8/31)の水・熱収支計算を行った。しかし従来の陸面過程モデルでは、流域において卓越した土地利用である農耕地に水利用や灌漑の効果を表現できない。さらに使用した USGS (U.S. Geological Survey) の土地利用データの精度も、水利用の議論をするには不十分である。

そこで甲山ら (2002) は、過去の研究において USGS(U.S. Geological Survey) 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。また安徽省の農業形態を参考にして、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, 早期水稻+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12万km²)で水収支推定(1998/5/1~8/31)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の、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、各メッシュにおいて実際の水利用を反映しているとはいえない。また淮河上中流域において約300億トン(単位面積あたり250mm)もの灌漑用水量を使用していることが前提であり、その検証を行うためにも各メッシュごとの農耕サイクルとそれに伴う水利用を推定する必要がある。

2. HUBEX 領域における農耕地の特徴

中島(1997)、黒田(2000)より安徽省の農業形態を参照しながら、除ら(1987)の農業需水量(蒸発散量)データから淮河流域の農地灌漑に関連するものを選び出し、農業サイクルの推定に用いた。

2.1 安徽省の農耕サイクル

HUBEX 領域は安徽省、河南省、山東省、湖北省、浙江省、江蘇省にまたがっている(Fig. 2 参照)。中でも蚌埠、寿县が属する安徽省は、本研究で対象としている淮河の水管理、水収支推定にとってもっとも重要な省である。

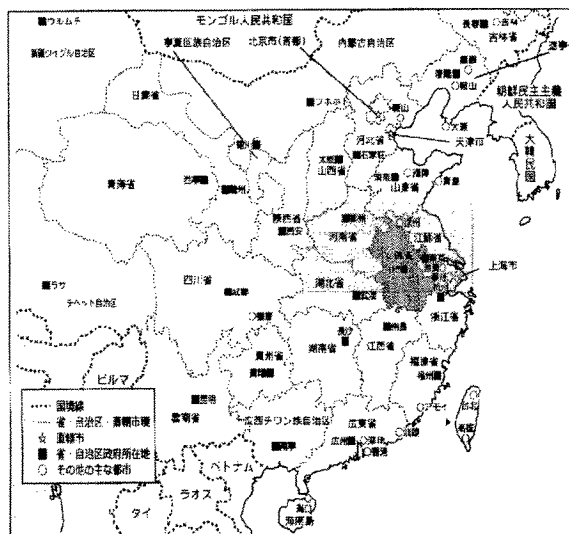


Fig. 2 Location of HUBEX area and Anhui province

淮河と秦嶺山脈を結ぶ線が中国を南北に分ける地形上の分岐点である。気候、植生、農業についても淮河流域が南北の特徴を示す移行帯になっている。淮河以北が暖温帯半湿潤気候区に属し乾燥しているのに対し、淮河以南は北亜熱帯湿潤気候区に属し雨が多い。安徽省の気候の主な特徴は、温和で適度の雨量があり、季節風の影響を受け四季の移り変わりがはっきりとしており、梅雨が在って夏に雨が集中することである。

Table 1 Paddy irrigation method, water depth, minimum value of soil moisture(Jiangnan,Yanjiang)

growing stage	transplant	roottake	branch	branch(2)	emergence	flowering	ripe	full-ripe
semiannual(former)	5/1~9	5/10~11	5/12~6/7	6/8~10	6/11~24	6/25~7/1	7/2~20	7/2~20
water depth(mm)	20~50	drainage	20~50	drying	20~60	20~90	wet	dry
maximum depth(mm)	80	80	80	—	120	160	80	60
minimum wetness(%)	100	100	80	—	100	100	80	60
annual rice	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
semiannual(later)	7/25~8/3	8/4~5	8/6~26	8/27~30	8/31~9/23	9/24~30	10/1~11/7	10/1~11/7
water depth(mm)	20~60	drainage	20~50	dry	20~60	20~90	wet	semi-dry
maximum depth(mm)	80	80	100~120	—	120~160	100~120	60	—
minimum wetness(%)	100	100	80	—	100	100	80	70

Table 2 Paddy irrigation method, water depth, minimum value of soil moisture(Jianghuai,Huaipei)

growing stage	transplant	roottake	branch	branch(2)	emergence	flowering	ripe	full-ripe
annual rice(JH)	5/15~23	5/24~25	5/26~6/19	6/20~23	6/24~7/21	7/22~31	8/1~24	8/1~24
late annual(JH)	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
water depth(mm)	20~50	drainage	20~50	dry	20~60	20~60	wet	semi-dry
maximum depth(mm)	80~100	80~100	100~120	—	120~160	120~160	60~80	40~60
minimum wetness(%)	100	100	80	—	90	90	80	75
annual rice(HP)	6/14~27	—	6/28~7/20	7/21~25	7/26~8/16	8/17~25	8/26~9/21	8/26~9/21
water depth(mm)	20~50	—	20~50	dry	20~60	20~60	wet	semi-dry
maximum depth(mm)	80~100	—	100~120	—	120~160	120~160	60~80	40~60
minimum wetness(%)	100	—	80	—	90	90	80	75

安徽省の食糧作物の生産には、明らかに地域的特徴がある。淮河北部の淮北農業区は暖温帯の南縁にあり、本省最大の畑作地帯で耕地面積の95%を畑が占める。小麦を中心として小麦-大豆、小麦-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ある。江淮農業区北部の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り、巢湖流域一帯はほとんど水田作となる。食糧作物の構成は、北部が小麦、南部が水稻主体で、中生稻、晩生稻の割合が増大する。江淮分水嶺以南では2期作水稻ができる。長江沿岸、長江以南の沿江農業区はもともと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。2期作水稻が本農業区の最も重要な食糧作物である。

2.2 水田における灌漑

この地域の水稲は大きく二つに大別され、淮河流域以北の水田では基本的に1期作水稻が、淮河最下流域や長江下流域では2期作水稻が作付けされている。中国でも日本と同様に分けつ期の後期は中干しを行っている。中国で行われている灌漑の詳細を生育期ごとにまとめたものをTable 1, Table 2に示す。これによると地域や降水量によって土壌水分量の下限や最大貯水深度が異なることが分かる。

その他に必要な用水量として、田植え前に必要である代かき用水が挙げられる。中国における用水量は、中生稻で120~150(mm)、早生稻で105~120(mm)、晩生稻(2期作)で45~90(mm)程度である。代かき用水は総量としては少ないが、同時期に大量の用水を必要とするので需要量としてのピー

クが高く、水源の総量に大きく依存している。

単期水田の裏作としては油菜を作付することが一般的で、中国南方では2期作水田の裏作としても生育される。対象領域では11月中旬に種をまき、5月中旬ごろに収穫する。沿江一帯は水田の50%に菜種が作付けされていて、江淮分水嶺以北、淮河の以南の地域においても14~20%に作付けされている。

2.3 畑地における灌漑

(1) 冬小麦

小麦は米と並んで中国の主要食糧作物である。小麦も大きく2つに大別され。中国の北部では春に種をまき、秋に収穫する春小麦が栽培されており、対象領域においては10月末に種をまき、越冬させて6月ごろ収穫する冬小麦が栽培されている。Table 3に冬小麦の栽培段階と日数、最適なウェットネスを示す。また淮河北部の小麦畑では、5月下旬から高温・乾燥の季節風が吹くので、その被害を避けるために穂ばらみ期の前に十分な土壌水分を与え穂の成長の時期を早めている。

小麦灌漑の特徴としては、地域差が大きいことが上げられる。秦嶺山脈と淮河を結ぶ線が気候・自然における中国の南北の境界線であり、冬小麦に関してもこの分類は成り立つ。淮河より南では小麦の全ての生育期において降水量が需水量を上回っているため、平水年では灌漑は行われていない。一方淮河以北では、生育期間内に3度程度の灌漑が行われている。

Table 3 Suitable soil moisture of every growing stage(winter wheat)

growing stage(d)	wetness(%)	irrigation water(m ³ /mu)
seeding(16)	70~	50~70(Oct beginning)
branch(20)	70~80	—
overwinter(62)	70~	70(Nov late~Dec)
emergence(30)	70~	—
ears forming(24)	80~	50(Mar~Apr middle)
flowering(25)	80~	—
ripe(29)	55~65	—

$$\text{mu(unit)}; 1\text{mu} = 6.67\text{a} = 6.67 \times 10^2 \text{m}^2$$

$$40(\text{m}^3/\text{mu}) = 60\text{mm}$$

Table 4 Suitable soil moisture of every growing stage(summer soybean)

growing stage(d)	wetness(%)	irrigation water(m ³ /mu)
seeding(5)	75~(0~20cm)	35~45
branch(29)	65~(0~40cm)	35~40
flowering(19)	70~(0~40cm)	40~45
ripe(33)	65~(0~40cm)	40
full-ripe(32)	—	—

(2) 大豆

生育期は6月中下旬に種蒔きし、9月中旬から10月下旬にかけて収穫する。北方で生育されている春大豆に比べ生育期間は30日から40日ほど短く、全生育期間は90日から120日である (Table 4 参照)。基本的に小麦の裏作として作付けされているが、生育期が集中観測期間と重なるため、大豆の畑作灌漑は淮河北中部の畑作の水・熱フラックス推定にとって重要な問題である。

淮北地区における灌漑の資料によると毎年灌漑が行われているわけではなく、全体の年の72.7(%)に関しては灌漑が行われている。一方少雨年には2, 3回の灌漑が繰り返し行われていて、平均すると年に1.28回の灌漑が行われている計算になる。灌漑が行われる時期に関しては種蒔き期が一番多く、次いで8月の渇水期には1度ないし2度の灌漑が行われる。

(3) 夏とうもろこし

とうもろこしは米、小麦と並んで中国の三大農産物の一つである。吉林省、遼寧省、山東省、河北省、河南省、陝西省に及ぶ地帯はとうもろこし地帯と呼ばれている。東北部や河北省では春に植えて秋に収穫する春とうもろこしが生育されており、黄淮海地区と秦嶺山脈南部では初夏に植えて秋収穫する夏とうもろこしが生育されている。

対象領域では、北西部の一部を除きほとんどの地区で夏とうもろこしを生育しており、大豆、いも類と同じく冬小麦の裏作作物として作付けされている。生育期間は90~100日ほどであり (Table 5 参照)、6月上中旬に種蒔きを行い、9月の中旬までに収穫する。

Table 5 Suitable soil moisture of every growing stage(summer corn)

growing stage(d)	target soil layer	wetness(%)
seeding~roottake(5)	0~40	75~85
roottake~branch(25)	0~40	65~75
emergence(22)	0~60	70~80
ripe(19)	0~80	75~85
full-ripe(25)	0~80	68~75

3. NDVI データの解析と土地利用分類

淮河流域とその周辺域における農耕には、北部は畑作地帯、南部は水田地帯が卓越する以外にも、地域ごとに実に様々な特徴があることが分かった。また土地利用や地域によって、灌漑用水利用が異なることが分かった。そこで以上の知見を元に、まずは衛星データを用いて各地域ごとの差異を確認することにした。

3.1 BISE 法の適用

本研究では、SPOT 衛星から得られた 10day composite NDVI データを用いて解析を行った。データの期間は、GAME 集中解析期間 (1998/5-8) を含む 1998 年 4 月から 1999 年 3 月までの 36 期間、すなわちデータ間の長さは約 10 日間である。またデータの解像度は約 30 秒メッシュ (約 1.1km) である。

このデータは 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完全には除去できていない (Fig. 4 参照)。そこで時系列データの傾きを用いて雲の影響を除去する、Viovy and Arino (1992) の BISE (The Best Index Slope Extraction) 法を導入した。

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見て、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。

したがって 30 日の間に低下して、再び上昇するようなケースには 30 日は長すぎて、収穫や水田における水面の出現などを。すなわち水田への導水や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 月, 6 月) には探索期間を 20 日に変更し、同時に単調減少か

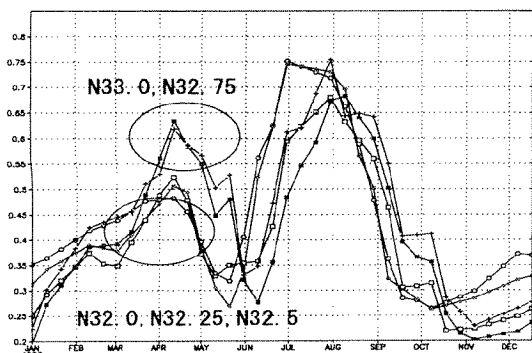


Fig. 3 Time series of NDVI at 5 points (E116°, resolution; 30 seconds)

ら単調増加に転じる時刻は水面の影響を見るために 10day composite データをそのまま用いた。ただしその時刻に関しては、雲の影響を完全除去できていない可能性があることから、その判定は今後の課題であるといえる。

3.2 南北における農業形態の差異

上記の手法で雲の影響を除去した NDVI データを用い、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。上述した通り、淮河流域の北部は畑作地帯、南部は水田地帯となっているため、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。

Fig. 3 は東経 116 度について、南北でのフェノロジーの違いを示した図であり、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。この解析結果と安徽省における農業形態(中島哲生,1997)、現地観測時の土地利用状況から判断すると、畑地では冬小麦を中心とした二毛作、水田では稲作の一期作(裏作として一部に野菜や油菜など)と推測できる。

同様に東経 114 度から 118 度のそれぞれの経線に沿って、北緯 31.75 度から 32.75 度まで 0.25 度刻みに NDVI の時系列を並べてみたところ、淮河本流に近い北緯 32.5 度付近を境に南北の差異が明確に現れた。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。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(Fig. 4 ②③参照)。

3.3 衛星データを用いた土地利用データの改良

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(U.S. Geological Survey) のサイトからデータを取得した (<http://edcwww.cr.usgs.gov>

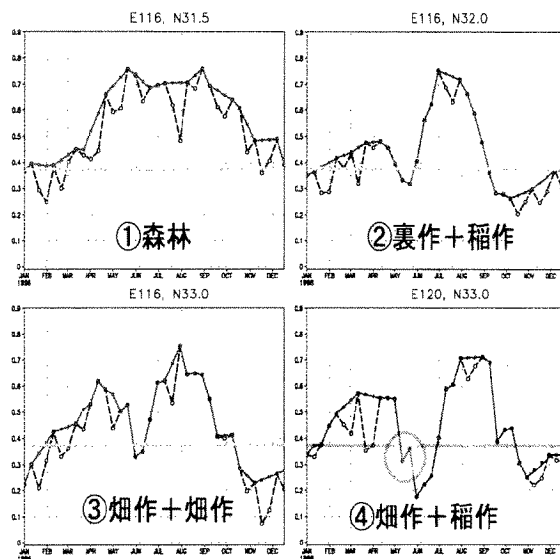


Fig. 4 Time series of NDVI data at 4 points (Dotted line; raw data, Full line; applied BISE method)

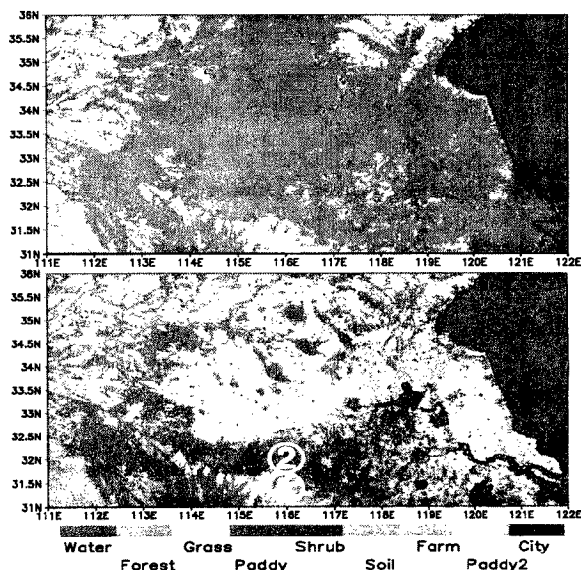


Fig. 5 Land use map of HUBEX (upper one; original data, lower one; include semiannual rice field data)

/landdaac /glcc/)。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おり、熱収支算定において蒸発散を過大に見積もる原因となっている。そこで NDVI の年時系列において 2 つのピークが明瞭に現れる場合。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、という下記の条件を満たした水田を畑地(2 毛作)へ変換した。

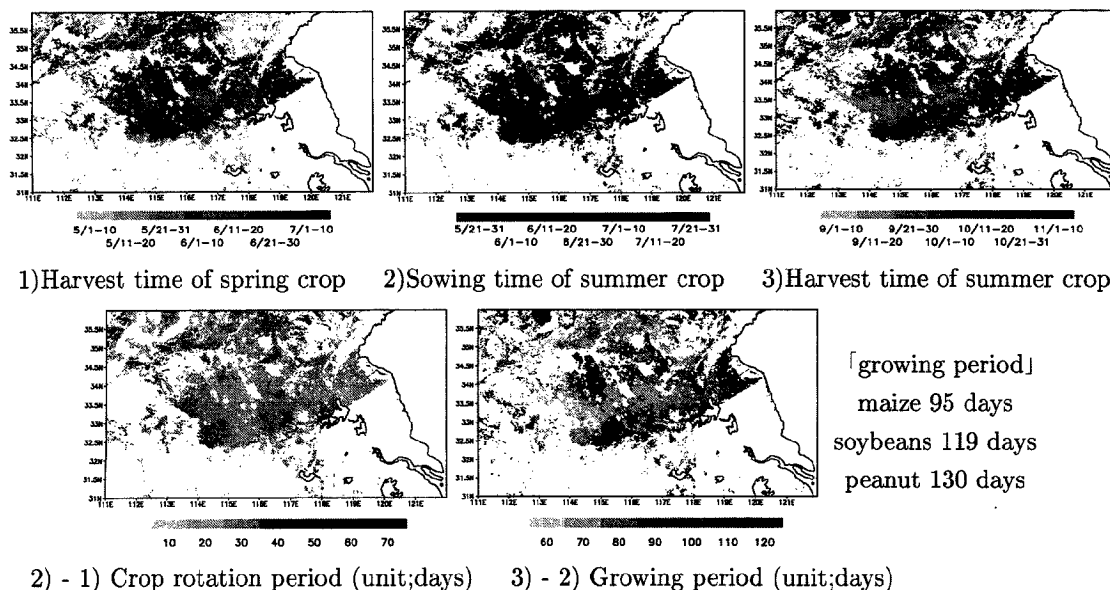


Fig. 6 Estimation of agricultural cycle at farmland

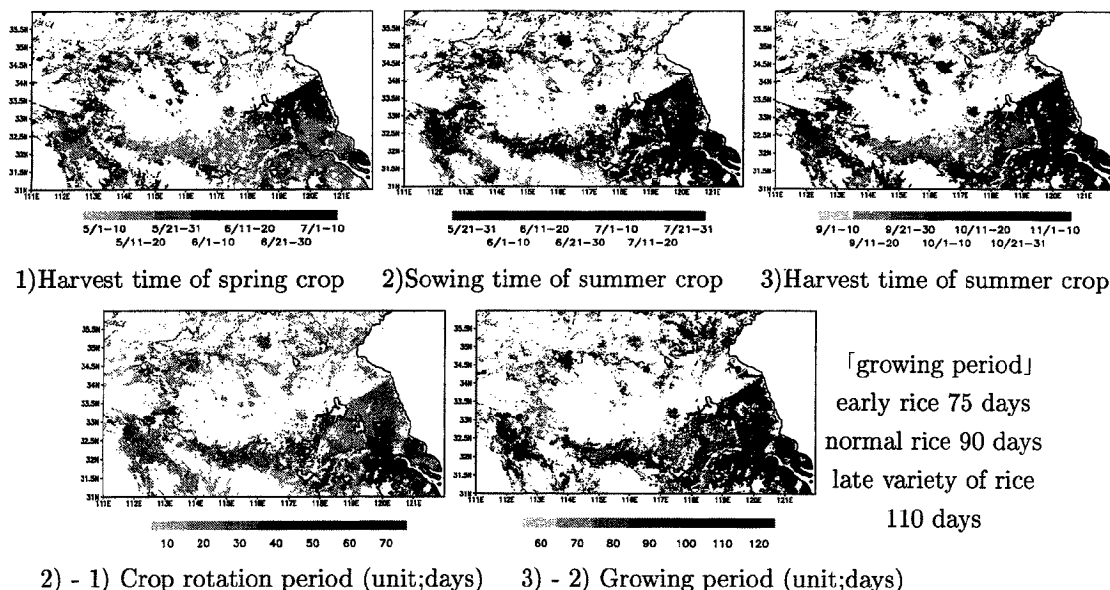


Fig. 7 Estimation of agricultural cycle at paddyfield

- 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

その結果、淮河以北と周辺域のほとんどの水田（本来は稲作地帯である長江下流域の水田も含めて）が畑地に変換された。そこで、東経120度におけるNDVIデータを調べたところ、NDVIの低下期間がやや長いものの、中流部の畑地とほぼ同様の傾向を示した（Fig. 4 ④参照）。NDVIの時系列から推測するに、この地域では二毛作（米＋冬小麦、菜種な

ど）の稲作地帯であるために、2つのピークが明瞭に現れることがわかる。そこでNDVIの南北の差異が判別しにくくなる東経118度以東で、かつ淮河本流よりも南にある領域に存在し、なおかつ上記の条件を満たしたものを新たに2毛作水田に設定した。以上の手順で淮河流域の農耕地を3パターン（②1期作水田、③2毛作畑地、④2毛作水田）に分類した。（Fig. 5 下図参照）

Fig. 5 下図は再判別後の土地利用図で、オリジナルの土地利用図（Fig. 5 上図参照）と比べ広範囲

にわたって畑地が広がっている。これらの図を 100 万分の一の土地利用図と比較したところ、より現実の土地利用に近づいたことがわかる。

4. 農業サイクルの推定

土地利用判別時には、NDVI 値が 0.375 付近で、作物が生育されているかどうかを判別した。そこで NDVI の閾値を 0.375 と設定し、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 つの時期を推定した。

4.1 畑地における推定結果

畑地での結果を Fig. 6 の上段に、推定した農耕サイクル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る、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では夏とうもろこしを、長い地域では夏大豆を、さらに長い地域では落花生を生育している可能性が高いと思われる。国家統計年鑑 (2001) には各県ごとの作付面積、作物収量のデータが存在することから、県ごとの領域と土地利用図の各メッシュを対応させることで、解析結果の検証が可能である。

4.2 水田における推定結果

水田での結果を Fig. 6 の上段に、推定した農耕サイクル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 毛作地帯では 100 日以上、1 期作地帯では 90 日以下が多く、両者に顕著な違いがみられた (図 4 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。またいずれの場合も地域的な違いが明確であることから、生育作物の種類が異なるか、もしくは同種の場合でも生育期間が異なるということが考えられる。これらは農業統計データからある程度推定することが出来るので、出来る限り詳細なデータを用いて検証を行うつもりである。

4.3 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はずである。NDVI データを用いた解析では 2 毛作水田の一部において導水期の落ち込みが顕著であり、その時期にはメッシュ内 (約 1km²) において一斉に導水されたと推測できる。例えば Fig. 4 の④において 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。

Fig. 8 上図に、作物転換期の水田において NDVI 値で 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、理由としては収穫による低下と、水面の出現による低下の 2 つが考えられる。また下図に示しているのが、1 度 0.1 以上低下したのちにさらに 0.1 以上の低下が見られた地点であり、これらの地域では、収穫による低下と水面による低下の時期が離れていることが分かる。

これらの水利用は、ダムや取水堰など地域の水利利用と密接に結びついていると考えられ、陸面や河川に与える影響も大きいと推測できる。したがって灌漑用水、河川流量などの水文データや、衛星から推定した地表面温度を用いた検証を行うことで、更なる成果が期待できる。これらの推定結果を陸面過程モデルに組み込むことで、流域水収支の視点からも更なる検証が可能である。

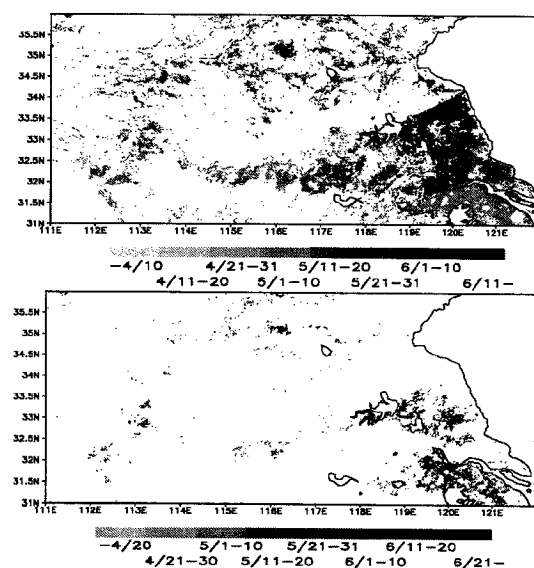


Fig. 8 The time of NDVI dropping (>0.1) in the crop rotation period (upper one; 1st drop, lower one; 2nd drop)

5. 淮河北部流域調査

以上の解析結果を元に、2003年3月24～28日にかけて淮河の蚌埠よりも上流域において土地利用、水利用調査を行った。目的は春季の地域ごとに生育されている、作物の生育状態や水利用施設の状態を見るためである。主な滞在地点は駐馬店、黄河堤防、王家堰、蚌埠の各地点である。

5.1 中西部地帯

駐馬店は西部丘陵地帯から河川が流入する場所であり、淮河上流域における重要な水文管理所が存在する。周辺域は畑地が主であり (Fig. 9 参照)、少し下流域には平地のダムとしては流域最大である宿鴨湖水牢 (海拔 53m, Fig. 10) が存在する。また水牢に流入する河川の堤防内においても、小麦作を行っていた (Fig. 11 参照)。



Fig. 9 Winter wheat (32°49.82', 114°16.98')



Fig. 10 Water reservoir in flatland (33°01.98', 114°17.76')



Fig. 11 River area and wheat (33°06.14', 114°08.71')

5.2 黄河淮河分水嶺地帯

黄河は天井川であり、淮河の流域界の一部が黄河の堤防でもあることから、淮河の最北部の畑地では黄河から導水して灌漑を行っている。黄河の水は多くの土砂を含むため、堤防では一旦黄河側で流砂を沈降させた水を淮河側への導水を行っている。沈降させた土砂は、黄河の堤防を強化するという利点もある (Fig. 12 参照)。

この付近での黄河の川幅は約 30km ほどであり、乾季である 3 月には堤防から本流を見ることは出来ない (Fig. 13 参照)。したがって乾季においては、淮河への地下流入水もさほど考慮しなくても良いと思われる。淮河へ直接導水する堰は 3 つ存在し、最大のものが、年間導水量 3～4 億トンの呈西日ゲート (Fig. 14 参照, 海拔 83.5m) である。他の堰とあわせると、年間導水量は 5 億トン程度である。



Fig. 12 Sedimentation place (34°50.82', 114°42.06')



Fig. 13 Canal from the Yellow River (34°52.83', 114°44.33')

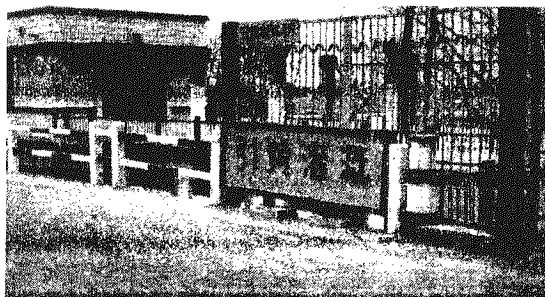


Fig. 14 Intake gate from the Yellow River (34°52.83', 114°44.33')

5.3 淮河中部地帯

淮河の北部から中部にかけての淮北平原では、一面の小麦畑が広がっている。しかしながら同じ畑地でも、地域によって水利用が大きく異なる。例えば黄河近くで見られた畑地では、河川からの灌漑用水路を多く目にしたが、南部に行くにつれ **Fig. 15** (海拔 30.2m) のような建物を目にした。小屋では地下水を汲み上げて上部に貯水し灌漑に利用していることから、地下水位が十分高いことを意味している。

また都市近郊では小麦などの穀物だけではなく、郊外では見ることの出来ないビニールハウスを利用した野菜栽培なども盛んに行われている。したがってこのような実態を、衛星データから判別できるかどうかは今後の課題である。

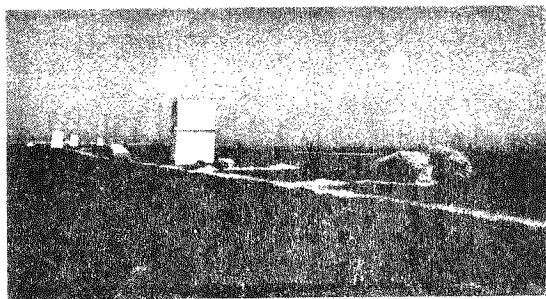


Fig. 15 Feed water tank at farmland ($33^{\circ}19.34'$, $115^{\circ}34.38'$)

5.4 江淮地帯

蚌埠は淮河本流の近くにあり畑作地帯の南端にある、一方合肥は長江流域であり都市郊外は水田地帯である。そこで蚌埠・合肥間の農耕地の差異を、GPSを用いて南北に調査した。

Fig. 16 では冬小麦の生育期間の生育期で、NDVI の値も高い。土地利用としては 1 つひとつの区画が大きい畑地であり、畦は高くない。一方 **Fig. 17** は小麦 2 毛作畑地と 1 期作水田のちょうど境界上で、冬小麦と油菜が混在して生育されている。また畦の高い畑地が多く、夏場には水田に転用している可能性が高い。**Fig. 5** 下図からも、北緯 32.5 度付近が畑作地帯・稲作地帯の境界であることが分かる。

長江・淮河分水嶺は北緯 32 度 10 分付近にあり、分水嶺以南の **Fig. 18** のあたりまで来ると、冬小麦畑に比べると生育されている作物はまばらである。これらの地域では春季の NDVI 値が低いこともあわせて考慮すると、大規模には春季作物を生育していないことが分かる。

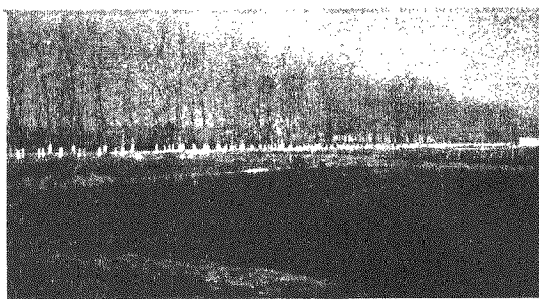


Fig. 16 Farmland ($32^{\circ}49.84'$, $117^{\circ}20.45'$)



Fig. 17 Farmland and Paddyfield ($32^{\circ}30.18'$, $117^{\circ}09.80'$)



Fig. 18 Paddyfield ($32^{\circ}06.90'$, $117^{\circ}14.03'$)

6. 結語

過去の解析結果から、淮河流域において流域内で利用されている灌漑用水が水・熱収支に少なからず影響を与えていることを示した。したがって今後の研究において、農耕地における地表面状態と、使用されている灌漑用水量の定量的な評価を行うためには、対象流域の農業形態と水利用の把握が不可欠である。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、同時に農業サイクルの推定を試みた。その結果、流域全体に生育されている作物のいくつかの特徴を見ることが出来た。

ただし、現在のところ流域に一律の閾値与えているなど改善すべき点は多い。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。また推定結果を陸面過程モデルに適用することで、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。

謝辞

本研究を進めるにあたり、貴重な助言を頂いた京都大学防災研究所水災害研究分野の立川康人助教授に衷心より感謝いたしますとともに、ここに厚く御礼申し上げます。また様々な観測データを提供して頂きました GAME-HUBEX の関係者の皆様に紙面を借りまして深く感謝いたします。

参考文献

武田喬男・坪木和久 (1996) : 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.
甲山治, 田中賢治, 池淵周一 (2002): 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.

田中賢治・椎葉充晴・池淵周一 (1999): 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.
Kozan, O., Tanaka, K. and Ikebuchi, S. (2001): Estimation of Energy and Water Budget in the Huaihe River basin, China, Proc. of the International Workshop on GAME-ANN/Radiation Phuket, Thailand, 32-35.
Viovy, N. and Arino, O. (1992): The best index slope extraction (BISE): A method for reducing noise in NDVI time series. Int. J. Remote Sensing, 13, pp.1585-1590.
除玉民・郭国双 他 (1987): 中国主要作物需水量与灌溉, 水利電力出版社
中島哲生 (1997): 中国の水利管理 -淮河中流-, 社团法人 農業土木事業協会
黒田正治 (2000): 農業水利システムの管理, 社团法人 農業土木機械化協会
国家統計局農村社会経済調査総隊 (2001): 中国農村統計年鑑 2000, 中国統計出版社

The estimation of agricultural cycle in the Huaihe River Basin China from SPOT-NDVI data

Osamu KOZAN*, Kenji TANAKA, Shuichi IKEBUCHI

* Graduate School of Engineering, Kyoto University

Synopsis

In this study, agricultural cycle was estimated using SPOT-NDVI data for the evaluation of water use connected with agriculture, in the Huaihe river basin, China. Using SPOT-NDVI data between April 1998 and March 1999, if the point fill the following 2 conditions (1), The value of NDVI in spring (from February to May) is enough high. 2), The value of NDVI in crop-rotation period is much lower than that in spring period.), it is defined as the double cropping paddy field. Then the harvesting time of spring cropping and the planting and harvesting time of summer cropping are estimated from the time series of NDVI data at each mesh. When the water surface is emerge at paddy field in the crop-rotation period, clear lowering period is confirmed in the beginning term of June.

Keywords : SPOT-NDVI data, BISE method, land-use classification, crop rotation period