

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

LANDUSE AND CROPPING PATTERN CLASSIFICATION USING SATELLITE DERIVED VEGETATION INDICES AND SURFACE METEOROLOGICAL DATA

甲山 治¹・山田 賢治²・田中 賢治³・池淵 周一⁴

Osamu KOZAN, Kenji YAMADA, 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学生会員 工学 京都大学大学院 工学研究科都市環境工学専攻 (〒 606-8501 京都市左京区吉田本町)

³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)

⁴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)

The Huaihe River Basin is vast granary in China, therefore landuse and cropping cycle information is important for water usage and hydrological analysis. In this study, landuse and cropping pattern classification in the Huaihe River Basin is produced from satellite derived vegetation indices (30sec resolution) and surface meteorological data. And agricultural statistic data of 187 prefectures in Henan Province is used for validation. Firstly, using some notable features in the NDVI and NDWI time series, all meshes (1320 × 600) are classified into 7 categories. Secondly, accumulated degree-days temperature data during growing period is calculated from NDVI time series and surface air temperature data, and it is used for cropping type classification. Lastly, VSW (Vegetation, Soil and Water) index is applied for evaluation of the mixed-cell effect. The results of this study show the importance of mixed-cell effect and the availability of VSW index for cropland classification.

Key Words : landuse/landcover, crop type, NDVI, NDWI, VSW index

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、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. (2003)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。しかし対象流域における地表面は非常に多様であることから、既往のデータセットでは解像度、精度ともに十分でなく、実際の地表面状態をモデル内で表現することは困難であった。

広域における土地被覆/耕地分布を評価したものととして NOAA-AVHRR データを使用した USGS global land cover characteristics data が挙げられるが、実際の耕地面積との検証を行っていないことから精度が不十分である。一方では、高頻度と高解像度観測データを併用して農耕地を評価する手法が提案されているが(例えば David et al. 2004²⁾)、高解像度の検証点が必

要で広域への展開は困難である。

そこで本研究では現地調査で得られた土地利用、農耕地の特徴を元に、衛星起源の2種類の植生指標(NDVI, NDWI)と地上気象観測データより作成した日気温メッシュデータを用いて、面的な土地被覆と農耕地の判別を行う。そして推定結果を河南省の県別農業統計データを用いて検証することにより、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する。

2. 解析対象領域と用いたデータ

(1) 解析対象領域

解析対象領域(東経 111~122 度, 北緯 31~36 度)は、中国淮河流域を取り囲むように設定されている。流域の特徴としては、淮河と西方に位置する秦嶺山脈を結ぶ線が、中国における気候・植生・農業についての南北の特徴を示す移行帯であることが挙げられる。例えば気候について淮河以北は暖温帯半湿润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润気候区に属し雨量が多い。それに伴って淮河以北の農業は畑作が中心となり、淮河以南では稲作が多くなる。

(2) 衛星データの概要

a) SPOT-VEGETATION データ

本研究ではSPOT-VEGETATION 10days-composite データを解析に利用した (<http://free.vgt.vito.be/index.php>). 期間は1998年4月から1999年3月までの36期間である. このデータは10日間に衛星から観測されたデータのうち、各メッシュのNDVI値が最大となる時刻のデータを用いて合成している. 雲の影響を含んだNDVI値は実際よりも低くなるため、影響を減少させることができる.

SPOT-VEGETATION から得られるデータの概要を表-1に示す. VEGETATION は1998年の3月に打ち上げられたSpot-4号搭載のマルチスペクトル・センサで、2400kmに及ぶ視野全域で1kmの分解能を保持し、ほぼ1日で地球全域をカバーすることができる. なお2002年5月以降はSpot-5号のデータも用いられている.

表-1 SPOT-VEGETATION の観測波長

Band	波長	名称
Band1	0.45~0.52 μ m	青
Band2	0.61~0.68 μ m	赤
Band3	0.78~0.89 μ m	近赤外
Band4	1.58~1.75 μ m	中間赤外

植物の持つクロロフィルは赤色波長帯の波長を吸収し、近赤外波長帯の波長を反射するという特性がある. つまり一般に植生のあるところでは、可視域の赤の反射率と近赤外域の反射率の差が大きくなる. また中間赤外波長帯の波長は水分、特に水面に対する吸収率が高い. 例えば中間赤外波長帯の波長の反射率と近赤外波長帯の反射率の差は、植物の葉の乾燥に伴って小さくなる. なお本研究においては、水面の出現により中間赤外帯と近赤外波長帯の反射率の差が小さくなることから、水田の分布の検出に用いる.

これらの特性の差を指標として分かりやすく正規化したのがNDVI(正規化植生指標)とNDWI(正規化水分指標)³⁾である. NDVIとNDWIは以下の式で与えられる.

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

ここでREDは可視域における赤色帯、NIRは近赤外域、SWIRは中間赤外域の反射率を表す.

NDVIが大きい値を示すことは植物の葉が光合成を行い植生が活性化していることを示し、逆に小さいことは活性化していない、もしくは植生の被覆割合が少ないことを示す. またNDWIが大きい値を示すことは、植生地においては植物の葉に十分水分が行き届いていることを示し、逆に小さいと不十分であることを示す. ただしこれらの波長帯は雲上端で反射されることから、雲が多い日には正確なデータを取得できないという難点がある.

b) 雲の影響の除去

NDVIとNDWIのデータは10日間の中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. 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、BISE(The Best Index Slope Extraction)法⁴⁾を導入した.

BISE法では雲の影響を検出するための探索期間を設定する必要があり、本研究では原著論文と同じく30日に設定した. しかし農耕地においては、人為的な収穫や水田における水面の出現によるNDVI・NDWI値の急激な減少が存在する. BISE法ではこれらの変化に対処できないことから5,6月の作物転換期には探索期間を20日に変更した. さらに転換期における極小点を明瞭にするために、前後の期間の値と比較して0.1以上小さい場合を除き元データ(極小点)をそのまま適用した. BISE法による任意点のNDVI時系列のデータの改正の例を、図-2に示す.

(3) 農業統計と地上気象データの概要

本研究で使用した農業統計データは河南農村統計年鑑1999⁵⁾で、1998年の市区県別の様々な作物の作付面積、収穫量データが存在する. 河南省の面積は16.7万km²で市区県数は187地区存在することから、各市区は平均で1000km²弱の面積を有する. また県境のデータは中国資源環境数値地図1/400万(中国国家リモートセンシングセンター)を使用した. 空間解像度は1分(約2km)である.

地上気象データはNCDC(National Climatic Data Center)から得られた、流域に存在する日平均気温のデータを元にメッシュデータを作成し解析に用いた. 標高補正にはUSGS作成のGTOPO30を用いた.

3. NDVI時系列と積算温度法を用いた土地被覆分類

(1) NDVI指標による森林と都市・水体の判別

土地被覆分類を行うに当たって、まず対象領域(1320×600=792000メッシュ)を森林、水体・都市、農耕地に大別することを行った.

常緑樹は多年生植生であり冬でも落葉しないことから、季節性はあるものの年間を通してNDVI値は0.5から0.8程度の高い値を維持する. 従って年間NDVI積算値が19.0以上であれば常緑樹森林であるとした. これに対して落葉樹は一年生植生であり、冬から夏にかけて植生が密になり夏から冬にかけて疎になるというフェノロジーを示す. 農耕地における1期作のフェノロジーと類似しているが、落葉樹の方がNDVI値の高い期間が長いことから、NDVI値が0.4を連続して超える期間が年間21期以上であれば落葉樹であるとした.

水は可視光線に対して小さいながらもアルベドを持つが、近赤外についてはほぼ吸収してしまうので、水体でのNDVI値は負となる. 一方、砂地や都市では0~0.3程度の小さな値をとり、水体との境界域である湖岸・海岸・河岸においても同様に小さな正の値をとる. そ

表-2 主要夏収穫作物の作付面積 (河南省)

生育作物	全作物	小麦	油菜
作付面積 (千 ha)	5272	4964	237
面積割合 (%)	42.0	39.5	1.9

表-3 主要秋収穫作物の作付面積 (河南省)

生育作物	全作物	水稻	玉米	大豆	落花生	綿花
面積 (千 ha)	5657	498	2153	601	791	800
割合 (%)	45.0	4.0	17.1	4.8	6.3	6.4

ここで年間 NDVI 積算値が 10.5 以下 (平均 0.292) のメッシュを都市・水体・砂地に設定し、年を通して NDVI 値が負となるメッシュを水体に設定した。小規模な水体、都市など判別しづらいメッシュに関しては、中国資源環境数値地図と USGS 土地利用図も併用して判別した。図-1 に水体と森林を判別した土地被覆分類を示す。

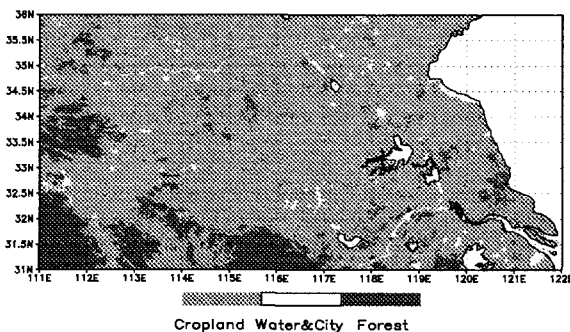


図-1 農耕地, 都市・水体, 森林の判別

(2) 農耕地における解析対象作物

淮河流域では生育作物を収穫時期によって、夏季収穫作物と秋季収穫作物に大別する。1998 年の河南省全省における総耕地面積 (反復利用も個別にカウント) を 100% としたときの各作物の生育面積を表-2, 表-3 に示す⁵⁾。統計データより河南省では夏収穫作物の大部分 (約 90%) が冬に播種し 5 月から 6 月頃にかけて収穫する冬小麦であり、残りは油菜等である。一方秋収穫作物は稲, とうもろこし (玉米), 大豆, 落花生, 綿花で大半 (約 86%) を占め、残りは高粱, 粟, さつまいも, 胡麻等である。なおその他の作物 (13%) の大部分が野菜と果物であり、統計データでは分類されていないが 2 期作で生育されているものが多い。

したがって河南省を含む淮河周辺域の畑地においては 2 期作が主体で、秋から翌夏にかけて主に小麦を成育し、夏から秋にかけて様々な作物を生育していることが分かる。一方、淮河以南に分布する水田では主に 1 期作水稻が生育されており、生育期間は 5 月から秋にかけてである。その他に下流域に分布する水田では小麦と水稻の 2 毛作が行われており、生育期間は 2 期作畑地とほぼ同時期である。そこで本研究ではまず水田と畑地を判別し、水田を 1 期作と 2 毛作水田に判別を行う。畑地においては夏収穫作物のほとんどは小麦であるため、秋収穫作物のみ判別を試みる。なお作物転換期 (5,6 月) に NDVI 値が 12 期までの最大値を下回らない場合は耕地以外の可能性が高く、解析の対象から外した。

(3) 秋収穫作物の生育期間

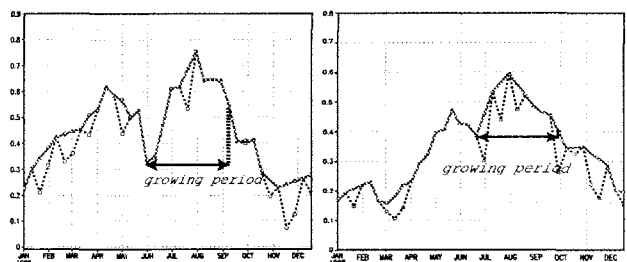
作物の生育期間には大きく分けて播種～発芽～開花～登熟～成熟の段階がある。播種後発芽までに要する時間は通常 7～10 日間であり、1 期間 (10 日) 後には NDVI 値が上昇し始めると考えられる。しかし休耕状態が長い場合には雑草の繁殖とも考えられることから、13 期から 17 期 (5 月～6 月) の作物転換期において 2 期間以上連続で NDVI 値が上昇 (発芽～生育開始に相当) することが播種期を決定する条件であるととした。

作物の登熟が進み成熟期に入ると、一部で葉の黄化が始まることから NDVI 値が低下し始め、さらに作物の収穫期には図-2 左図のように急激な減少が見られる。そこで転換期における NDVI の最小値と、生育期における最大値の差を DIFF と定義し、1) NDVI が最大となった後、1 期間に DIFF の 25% 以上減少する。2) 減少した値が最小値 + DIFF の 50% を下回るとき、以上の 2 条件を満たしたときに、収穫が行われたとする。ただし図-2 右図のように農耕地の特徴が明確でなく急激な低下が見られない場合は、1) 最小値を再び下回る。2) NDVI 値の低下が増加に転ずる。以上のどちらかを満たしたときに、収穫が行われたとする。

上記のように NDVI 時系列において NDVI 値が 2 期間連続で上昇する期間から、NDVI 値が DIFF 以上減少する期間の一つ前までを、本研究における作物の生育期間として定義した。参考までに淮河流域における秋収穫作物の生育時期を表-4 に示す⁶⁾。

表-4 播種・収穫期と作物生育期間 (秋季収穫作物)

作物名	播種期	収穫期	生育期間
一期作水稻	5 月	9 月	100～130
二毛作水稻	5 中～6 上	9 中下	90～120
とうもろこし	5 下～6 中	9 上中	90～110
大豆	6 上中	9 中下	90～120
落花生	6 上中	9 中～10 上	90～130
綿花	5 月	9 下～11 上	130～160



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)

(4) 水田と畑地の判別

a) NDWI 時系列を用いた水田の検出

水田と畑地に分別するにあたり、導水期にあたる 13 期から 17 期 (5 月～6 月) は畑地においてもちょうど作物転換期にあたることから、NDVI の低下だけでは水面の検出が困難であった。そこで水面と土壌を区別するために、NDWI 時系列を用いた判別を行った。

土壌では赤色可視波長、近赤外波長の反射率がともに高い値を示すのに対し、中間赤外波長に対する反射率はやや低い値を示す。これに対して水面は可視波長・近赤外波長・中間赤外波長に対して一律に非常に低い反射率を示す。この性質により水面ではNDVI・NDWIともに低い値を示すが、土壌ではNDVIのみ低い値を示す。そこで本研究ではNDWIを水田における水面の検出に利用し、導水期の13期から17期にNDWI値が0.15以下まで落ち込むメッシュを水田と判別した。

b) 1期作水田と2期作水田の判別

水稻の生育後に植える代表的な作物は小麦、油菜などで、2期作の畑地の生育期間とほぼ重なる。ただし畑地と異なり1期作のみの水田や、水田の一部にのみ作付けを行うケースも多い。そこで7期から13期まで(3月～5月上旬)の7期間のうち上位3期間の平均値を夏収穫作物の代表的なNDVI値、19期から25期まで(7月～9月上旬)の7期間のうち上位3期間の平均値を秋収穫作物の代表値として両者を比較し、夏収穫の代表値が秋収穫の70%以上、かつ0.5以上を満たすときに、2期作水田に設定した。

(5) NDVI時系列と積算温度法を用いた作物判別

NDVI値の低い状態から単調増加し、一定期間後急激に減少するという一連の時系列は、作物の播種～生育～成熟～収穫という農耕地の状態をモニタリングしている。このような生育段階を考慮し、気象条件と作物生育の関係をもとに作物の判別を試みた。生育に関係する気象条件(温度、降雨、日射、日照時間等)の中でも、特に温度は発育の進み方の速さを支配する要因である。そのうち基準温度以上の気温は作物の成長に影響を及ぼし、30℃あたりまで成長速度と温度はほぼ比例関係にあると考えられる⁶⁾。そこで本研究では、作物が順調に生育するのに最低限必要な温度とされる10℃を基準温度として、播種期からの基準温度以上の温度の積算(有効積算温度)によって生育作物を推定した。

k日目の日平均温度 T_k 、基準温度 T_b 、播種期 a 、成熟期 b とすると、有効積算気温は、以下の式で表される。

$$\sum_{k=a}^b (T_k - T_b) \quad (1)$$

a) 積算温度法による栽培作物の推定

中国では一般に、有効積算温度(日平均気温が10℃以上の期間の年間積算値)を用いた気候区分がなされ、農業分野でも活用されている。雲南農業省の気象水利資料(<http://www.ynagri.gov.cn/>)によると10℃以上必要積温によって可能栽培作物を決定しており、主要な作物を生育に必要な温度が少ない順に1)小麦、2)大豆、3)落花生、4)綿花、5)水稻、以上の4段階に区分されている。

積温によって栽培可能作物が異なることから、生育期間内を通して成熟するのに必要な温度も作物によって異なると考えられる。そこで淮河流域においても、生育期間内における10℃以上積算温度によって生育作物

を分類できると仮定した。推定した生育期間に従って期間中の有効積算気温を算出し、生育期間内10℃以上積算温度による分類と閾値を決定した。表-5に各作物ごとの生育期間の積算温度帯を示す。

b) とうもろこしと大豆の分類

とうもろこしと大豆は混合で作付けされていることが多い。そこで統計資料からとうもろこし栽培面積の多い県、大豆が多い県を選び出し、それぞれ解析を行った。登熟開始期までのNDVI時系列に着目し比較したところ、大豆は播種期から登熟開始期までの間一定の増加を示すのに対して、とうもろこしは播種期から登熟開始期までの前半に一気に増加し後半は緩やかに増加する特徴があった。そこで登熟開始期をNDVI値の最も高くなった期間とし、その4期間前から2期間前のNDVI値の増加率をG1、2期間前から登熟開始時までのNDVI値の増加率をG2とすると、とうもろこし畑ではG1/G2が大きくなり、大豆畑ではG1/G2が小さくなった。なおとうもろこしと大豆の混合畑ではG1/G2がその中間になると推測し、閾値を1)とうもろこし; 3.0以上, 2)大豆; 1.2以下, 3); 混合地; 1.2 < G1/G2 < 3.0のように設定した。

表-5 土地被覆分類と指標

被覆分類	指標
常緑樹林	年間積算 NDVI19.0 以上
落葉樹林	NDVI0.4 以上の期間が連続 21 期以上
都市	年間積算 NDVI10.5 以下 数値地図を併用
水田	年間積算 NDVI10.5 以下 数値地図を併用 NDVI が常に負
裸地・砂地	年間積算 NDVI0.5 以下 上記以外
水稻のみ	13 期～18 期の NDWI が 0.15 以下
小麦+水稻	上条件+春季の NDVI 値が高い
小麦+とうもろこし	積算気温 1450～1700, 0 < G1/G2 < 1.2
小麦+大豆	積算気温 1450～1700, 0.8 < G1/G2 < 3.0
小麦+落花生	積算気温 1700～1900
小麦+綿花	積算気温 1900～2450
小麦+その他の作物	積算温度 1450 以下, 2450 以上
その他	上記のいずれにも該当しない

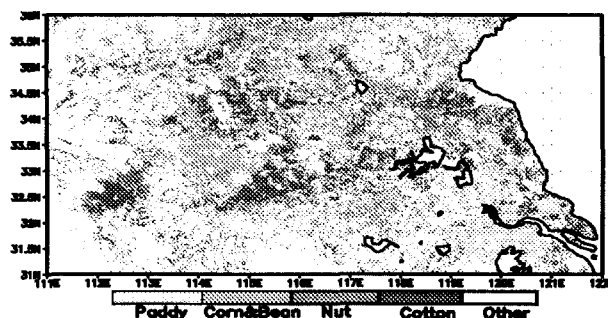


図-3 新たに作成した土地被覆分類図

(6) 対象領域における土地被覆分類

前節で決定した土地被覆分類の決定に基づいて総計12種類の土地被覆に分類することができた。分類の基準と種類を表-5に、分類結果図を図-3に示す。次にこの土地被覆の推定結果を、河南省県別農業統計データを用いて検証した。図-4は縦軸を推定値、横軸を統計値として、全187県における推定結果を示している。プロット、RMSEのほかに、回帰直線とそれに対応する相関係数も示している。

耕地面積(図-4A)は全面積から森林・都市・水体等を差し引いた面積で、特に標高の高く起伏の大きい南西部の県において面積を過大評価する傾向が見られた。作物別では水田の推定精度が最も良く(図-4B), さらに水田面積が10km²以上の89県で評価したところRMSEは100.29と増大したが、相関係数は0.9161に向上した。またとうもろこし・綿花の精度も、相関係数は0.7前後で統計値と推定値にはある程度の相関が見られた(図-4C,D)。一方落花生は相関係数で0.6150, RMSEで146.65, 大豆はそれぞれ0.3870, 145.01と精度が十分ではなかった。また全種類で統計値よりも推定値の方が過大評価となった。

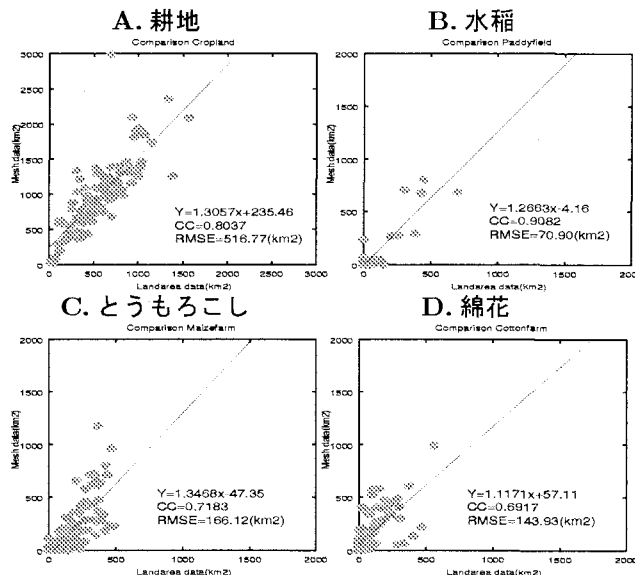


図-4 作物面積の統計値と推定値の比較(単位 km²), 横軸: 統計値 縦軸: 推定値

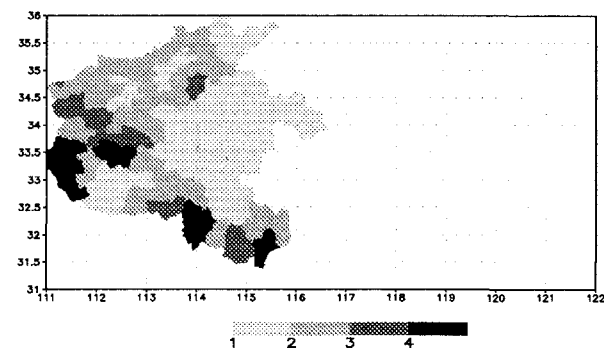


図-5 農耕地(187 県別)の過大評価率(推定値/河南農村統計データ)

4. 農耕地率の評価

図-5で示すように、山岳域に存在する県で耕地面積を過大評価する傾向にあった。主要因としては耕地と判別されたメッシュ中に占める耕地面積が、実際は少ないためと推測される。そこで植生・土壌・水の反射特性を用いたVSW指数を導入して、各メッシュ内での耕地面積率を反映・推定するとともに、推定結果を農業統計データを用いて検証する。また起伏のある地形では耕作適地が少ないだけで無く、メッシュ内の陰影の影響

で反射率が減少しNDVIとNDWIが低く算出される可能性があることから⁸⁾, 斜面についても考察を加える。

(1) VSW 指数の導入

メッシュ内における植生(V), 土壌(S), 水体(W)の面積率を推定する方法としてVSW指数が提案されている⁷⁾。VSW指数の概要を簡潔に述べると、衛星データの全メッシュスペクトルを縦軸をNIR, 横軸をVISの反射率とする散布図上にプロットすると、図-6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、スペクトルはソイル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み状態(Water), 右上頂点スペクトルを土壌のみ状態(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、植生のみが存在する状態(Vegetation)である。まず以上のような仮定を行う。

次に、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ることによっ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指数である。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点を結ぶ直線から観測スペクトルまでの距離をW指数, Vegetation点とWater点を結ぶ直線から観測スペクトルまでの距離をS指数と設定し、以上の指数を用いて植生(V), 水(W), 土壌(S)が占める面積率を推定する。

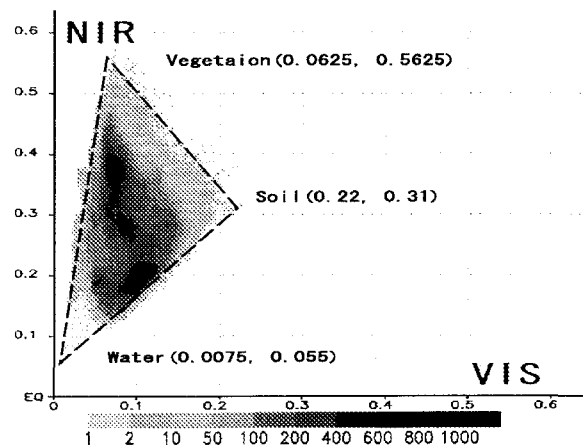


図-6 HUBEX 領域における第13期から第24期のスペクトルプロットと基準三角形

(2) 三角形の各頂点の決定

VSW指数を求めるにあたり、まず指数を決定する基準となる三角形の各頂点を決定する必要がある。そこで第13期から第24期(5月から8月)の解析対象領域における観測データ全てを散布図上にプロットした。すると図-6のような、ほぼ三角形の領域となって現れた。図下のコンターは同座標にプロットされた観測スペクトルの数を表す。次に三角形の頂点(V,S,W)の座標を決定する必要がある。参考文献と同じ評価関数⁷⁾を設定し、

最大となるように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。結果、各頂点の最適座標は Vegetaion(0.0625, 0.5625), Soil(0.22, 0.31), Water(0.0075, 0.055) となった。

(3) VSW 指数によるメッシュ内耕地率の推定

決定した各頂点の座標を用いて、観測スペクトルから各直線までの距離により VSW 指数を決定する事ができる。メッシュに占める植生割合の指標 (rate) は式 (2) となる。ただし α は正の実数とする。

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期から24期(5月から8月)の12期間の rate を計算し、式 (3) から最大値 ($rate_{max}$) と最小値 ($rate_{min}$) の差 RATE を計算した。RATE はメッシュ内に存在する農耕地が、裸地状態から植生へと変化した割合を示す指標であるといえる。

$$rate = \frac{\alpha V}{\alpha V + S + W} \quad (2)$$

$$RATE = rate_{max} - rate_{min} \quad (3)$$

全メッシュに対して RATE を計算し、各県について平均した値を県の耕地率とした。まず各県について判別した耕地面積に耕地率をかけ合わせて耕地面積を推定し、統計データとの比較を行った。なお回帰直線に対する相関係数 (CC) が最も良くなるように、係数 α を決定した (1.280)。次に各県の推定耕地面積を β 倍することで、統計値より得られた河南省での総耕地面積と、推定した耕地面積の総計が等しくなるよう設定した。以上の結果を図-7 左図に示す。図-4A と比較して RMSE が改善された一方、 $\beta (=1.160)$ 倍しないと総面積が足り合わないことから、以前は過大評価であった耕地面積が逆に過小評価になったことが分かる。

次に標高データ GTOPO30 を用いて周囲のメッシュとの高低差を求め、各メッシュにおける起伏の度合いを表した。全 187 県のうち耕地と判別されたメッシュの平均が 30m 以上の県は 37 存在し、それらの県のみで同じ α と β を用いて解析したところ $CC=0.7023$, $RMSE=243.91$ と悪化し、37 県の平均耕地面積 ($421.74 km^2$) に対して平均推定面積率は 78.8% ($332.33 km^2$) に留まった。なお 60m 以上の場合 19 県が該当し、 $CC=0.6290$, $RMSE=187.01$, 耕地面積 $317.63 km^2$, 推定面積率 54.6% であった。現在の手法は生育期間内におけるメッシュ内の差異を用いて面積率を評価しているが、傾斜地では陰影の影響で検出される差異が過小評価であるといえる。したがって今後は、太陽高度・地表面・各センサー間の幾何学的関係性を考慮した補正を検討する必要がある。

また水田のみにおいても同じ α を用いて同様の作業を行ったところ、以前より RMSE は改善したが、 $\beta=1.545$ となったことから VSW 指数の効果による減少の効果が耕地以上に大きいことが分かった。水田と畑の違いとして、水田には転作期 (導水期) において水面が出現

することが挙げられる。現在は植生指標 (V) のみ係数をパラメータとして与え、S と W は同様に扱っているが、今後は個別に係数を設定する必要がある。

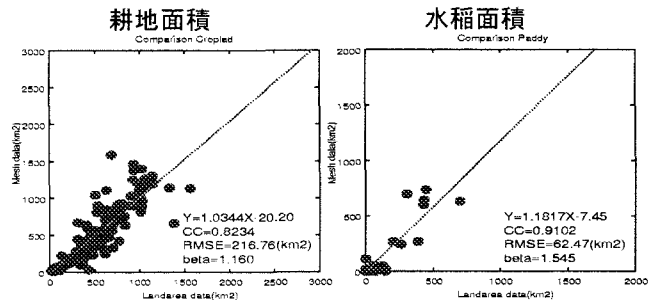


図-7 VSW 指数補正後の統計・推定値比較

5. 結論

本研究では衛星から得られた植生指標と地上気象データを併用することで、土地被覆と農作物分類を行った。次に農業統計データを用いて推定精度の検討を行ったところ多くのメッシュで推定した農耕地が過大評価であったことから、VSW 指数を導入しメッシュ内耕地率を求めることで解決した。広域における農耕地を精度良く評価出来たことから、淮河流域におけるフラックス推定の精度向上が期待できる。今後は水田と畑地、平地と傾斜地など、異なるパラメータを導入することでより精度の高い推定手法を構築する予定である。

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 1st Int. Conf. of APHW, 763-768., 2003.
- 2) David B. Lobell and Gregory P. Asner: Cropland distributions from temporal unmixing of MODIS data, Remote Sensing of Environment, 93, 3, 412-422. 2004.
- 3) 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.
- 4) 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, 1585-1590., 1992.
- 5) 河南省農村社会経済調査隊: 河南農村統計年鑑 1999, 中国統計出版社, 1999.
- 6) 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.
- 7) 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.
- 8) 竹内渉・越智士郎・安岡善文: MODIS と ASTER のスペクトル分解による地表面温度分布図の作成, 写真測量とリモートセンシング, 42(5), pp. 27-39. 2003.

(2004.9.30 受付)