

ランドサットTMデータを利用した水田表面排水性区分

八槇 敦・安西 徹郎

キーワード：ランドサットTMデータ、水田、体積水分率、表面排水性、排水性区分図

I 結 言

米のミニマムアクセスの実施と食糧法の施行から、産地間競争が一層激しくなることが予想され、さらなる米生産の低コスト化が求められている。その対策の大きな柱として、水稻直播栽培の導入が上げられる。乾田直播栽培では透水性の良いほ場が栽培可能条件であるが、湛水土壤中直播栽培においても、播種から苗立ちまでにきめ細かな水管理を行わなければならないので、田面水の排除が常時行える必要がある（千葉県、2000）。また、平成11年に「水田を中心とした土地利用型農業活性化対策大綱」がまとめられ、食糧自給率の向上を目指して水田においてムギ、ダイズ、飼料作物の生産が振興されようとしている。農業機械の走行性や砕土性との関係から、降雨後における表層土壌の水分低下程度、すなわち表面排水性が水田の畑利用に大きく関係し（中島ら、1984）、地表排水量を明確にすることが、ほ場整備計画上重要であるといわれている（四方・三浦、1982）。これらの点から、水田の表面排水性を表す図は、水田農業の振興計画の立案に際して有効な情報となる。

これまでに農耕地土壌図と土壌調査情報を利用して、栽培適地図が作成されている（加藤、1986；安田・天野、1994）。しかし、農耕地土壌図では水田土壌は地下水位の状況を反映する強グライ土、グライ土、灰色低地土に分類され、表面排水性は表されていない。人工衛星による地球観測データを利用するリモートセンシング技術では、地表面の状態を広範囲に評価することができる。千葉県は高い山がなく、平地に分布する水田が多く、冬季の水田で作物栽培が少ないことから、衛星データから水田表面の情報を得やすい。ランドサット衛星に搭載されているセマティック・マップセンサで観測されたデータ

（以下TMデータ）によって、水田分布の把握と（小川ら、1990）、表層土壌の水分特性の推定ができる（HATANAKAら、1995）ことは明らかにされている。著者らも、30日間ほとんど降雨がない状況で観測されたTMデータから、千葉県において乾田、半湿田、湿田の区分が可能であることを示した（八槇ら、2000）。

このようなりモートセンシング技術を利用した水田の水分状況を把握する研究をさらに進めて、TMデータを利用して千葉県全域の水田について表層土壌の水分率を推定することから、その表面排水性を階級区分することができたので報告する。

なお、本研究は、宇宙航空研究開発機構（旧宇宙開発事業団）との共同研究である「水田乾湿区分図の作成」の一環として行い、衛星データはSpace Imaging[®]／同機構から提供され、その所有権は米国政府にある。データの提供などに便宜を図っていただいた、同機構および（財）リモートセンシング技術センターの方々に感謝の意を表す。

II 方 法

1. 対象地域及び使用データ

（1）対象地域

北緯34度53分～36度8分、東経139度43分～140度54分の範囲に含まれる千葉県全域の水田を対象とした。県北部には九十九里低地や利根川沿いの平坦地に水田が広がっていると同時に、下総台地を河川が侵食して作られた谷地形に谷津田が分布している。一方、房総丘陵が大部分を占める県南部では、加茂川、湊川などの河川沿いと高度400m以下の山に囲まれた中山間地に水田が分布する。

（2）衛星データ

TMセンサは地表分解能が約30m×30m（バンド6を除く）、地上観測幅が185kmであるが、千葉県全域が収まるようにシーン・センサ移動したパス107、ロウ35のデータを用いた。表層土壌の水分率は、観測前の降水量の違いから土壌水分率が大きく異なると推測される1993年10月28日、1995年12月21日、1996年11月21日及

2003年9月10日受理

本報告の概要は2001年度日本土壌肥科学会関東支部大会において発表された。

び1996年12月23日観測の4時期のTMデータから推定した(第1表)。1995年12月のデータでは観測前30日間にほとんど降雨がなく土壌は非常に乾いた状況にあり、1996年11月のデータでは観測前10日間で70mmの降雨があり、最も湿潤であると判断される。

第1表 ランドサットTMデータ観測前の降水量 (mm)

観測日	観測前 10日間	観測前 20日間	観測前 30日間
1993年10月28日	12	30	127
1995年12月21日	0	0	1
1996年11月21日	70	114	124
1996年12月23日	13	33	40

注) 降水量はアメダスデータ(観測地点千葉)による。

(3) 水田表層体積水分率の地上調査データ

1999年の11月19日、11月24日、12月6日及び12月10日に、FDR土壌水分計(大起理化学工業製DIK-310A)を用いて、土性や腐植含量が様々に異なり、水田が広く分布する地域の68地点において、1地点3ほ場の耕起されていない水田の表層土壌(0~5cm)のFDR値(体積水分率の大小を表す)を測定し、平均をその地点の値とした。土壌が飽水状態にあってもFDR値は490以上とならず、水田表面が湛水状態であることを表せないため、水深2cm以下で湛水状態にある水田のFDR値は500に、2cm以上は550と規定した。また、水田の表面排水性の状況を把握するために、1999年11~12月に現地水田6カ所にFDR水分計を設置して、降雨後における表層土壌のFDR値の変化を1時間ごとに記録した。

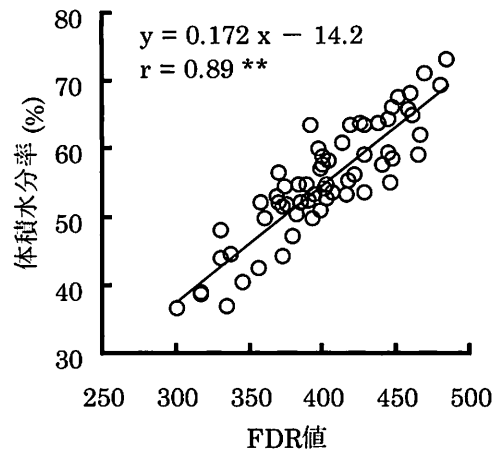
21ヶ所の水田作土を採土管で採取し、体積水分率を変化させてFDR値と体積水分率との関係を求めたところ、FDR値が高いほど体積水分率は高く、両者の間には $r=0.89$ 、 $y=0.172x-14.2$ の高い正の相関関係が認められた(第1図)。この関係に腐植含量や土性の影響は認められなかったため、この回帰式から現地で計測したFDR値を体積水分率に変換した。

2. 衛星データ解析方法

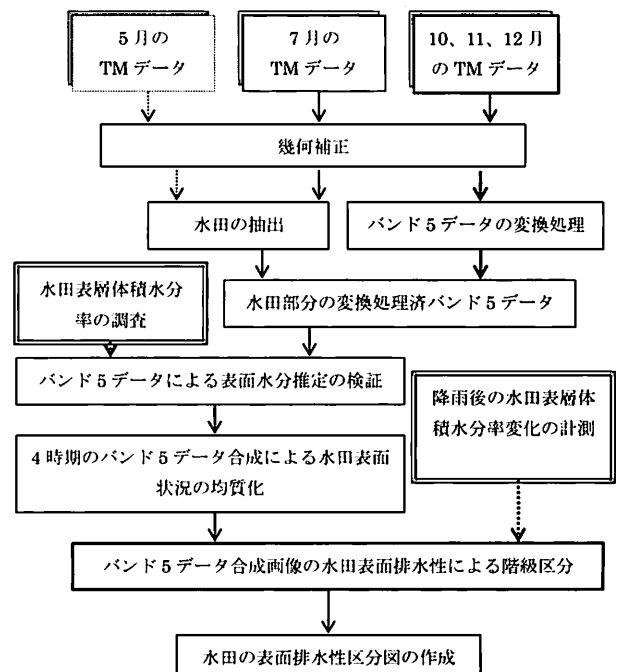
(1) TMデータの補正・変換処理

衛星データは第2図に示した手順に従って解析した。解析に先立って、すべてのTMデータは1ピクセル(画素)を30m×30mとして、1/2.5万地形図(国土地理院刊行数値地図25000)に位置を合わせる幾何補正を行った。水稲移植直後でほとんどの水田が湛水状態にある5月下旬に観測されたデータと、水田表面が繁茂した水稲に覆われている7月上旬のデータから解析対象となる千

葉県全域の水田を抽出した(八横ら、2000)。TMバンド5データCCT値(1.55~1.75μmの中間赤外光の反射強度)は地表面の水分状況を表し(HATANAKAら、1995)、水は中間赤外光を吸収するため、水が多い地表面のCCT値は低くなる。1993年10月、1995年12月、1996年11月及び1996年12月のTMバンド5データを気象条件や太陽高度などの観測時の影響を除いて比較をするために、以下の方法で変換処理を行った。すなわち、原画像においてバンド5データCCT値が高く、地表面の水分が最も少ないと判断される成田空港滑走路周辺のCCT値を255、最も多い海域のCCT値を0と規定して、原画像のCCT値



第1図 水田土壌におけるFDR値と体積水分率との関係
注) **は1%有意水準。



第2図 TMデータの解析手順

のヒストグラムを直線的に引き伸ばす線形濃度変換を行った(日本リモートセンシング研究会、1996)。原画像の成田空港の滑走路周辺と、海域のバンド5データCCT値は、1993年10月のデータがそれぞれ114と5、1995年12月が88と4、1996年11月が92と6、1996年12月が61と5であった。

III 結果及び考察

1. バンド5データCCT値と水田表層土壌の体積水分率との関係

観測前の降水量の違いから表層土壌の水分状況は大きく異なると考えられるので、1993年10月、1995年12月、1996年11月及び1996年12月観測のそれぞれのバンド5データCCT値が127以下で、中間赤外光の反射強度が小さく、水田表面が比較的湿潤な状態にあると推測される水田を抽出した。多少雲で覆われた部分があるため、各データにおける全水田面積は若干異なるが、CCT値が127以下の水田が全水田面積に占める割合は、1996年11月のデータでは65%、1996年12月では41%、1993年10月では29%、1995年12月では17%であった。このように、観測前の降水量が多いデータほど、バンド5データが127以下で表面が湿潤な状態にあると判断される水田面積は多かった(第2表)。また、4時期のバンド5データにおいて、68地点の表層土壌の体積水分率は、それらの地点が位置する場所のCCT値は低いほど高い傾向があり、両者の間には高い負の相関関係が認められた(第3表)。

第2表 ランドサットTMバンド5データCCT値が127以下の水田面積とその割合

観測日	水田面積 (ha)	湿潤水田面積 (ha)	面積割合 (%)
1993年10月28日	63.550	18.302	29
1995年12月21日	65.392	10.958	17
1996年11月21日	64.506	42.056	65
1996年12月23日	63.104	26.076	41

第3表 現地水田表層の体積水分率 (x) とランドサットTMバンド5データCCT値 (y) との関係

TMデータ観測日	回帰式	相関係数
1993年10月28日	$y = -2.94x + 327$	$r = -0.70^{**}$
1995年12月21日	$y = -2.59x + 331$	$r = -0.75^{**}$
1996年11月21日	$y = -2.88x + 287$	$r = -0.77^{**}$
1996年12月23日	$y = -3.48x + 343$	$r = -0.81^{**}$

注) **は1%有意水準。

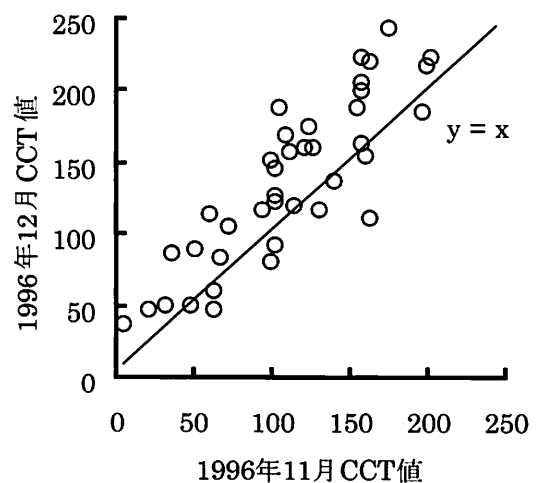
バンド5データが観測された10~12月には、水田表面には2番穂が成長していたり、刈り株や稲ワラが広がっているために、地表面が直接見える割合は少ない。しかし、これらのデータは表層土壌の水分状況を表し、CCT値から体積水分率が推定できることが確認された。

2. バンド5データ合成画像の作成

1996年の11月と12月のバンド5データにおいて、土壌水分を計測した地点のCCT値を比較すると、概括的には観測前の降水量が少ない12月のデータの方が、CCT値は高かった(第3図)。しかし、一部の地点では、12月より降水量の多い11月のデータの方がCCT値は高かった。このように、同一年のデータにおいて降水量とCCT値との関係に違いが生じることには、降雨の地域差と耕起の有無による表面状況の違いが影響していると推測された。

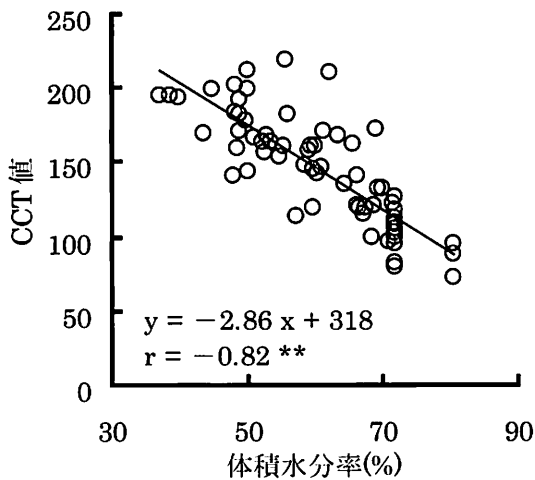
アメダス観測14地点におけるTMデータ観測前10日間の降水量の差は、1995年12月のデータでは2mmで小さかったが、1993年10月のデータでは150mm、1996年11月のデータでは140mmで大きく、1996年12月のデータでは34mmであった。このような降水量の地域差とともに耕起の有無などの影響を少なくするために、4時期のバンド5データを重ね合わせて、各ピクセルのCCT値を平均した画像(以下データ合成画像とする)を作成した。

この合成画像では、表層土壌の体積水分率が高いほどCCT値は低く、両者の間には相関係数 $r = -0.82$ の負の相関関係があり(第4図)、この関係は個々のバンド5データにおける両者の関係(第3表)より高い負の相関があった。観測前の降水量が異なる2時期のTMデータから畑地の保水力が評価されている例がある(HATANAKA



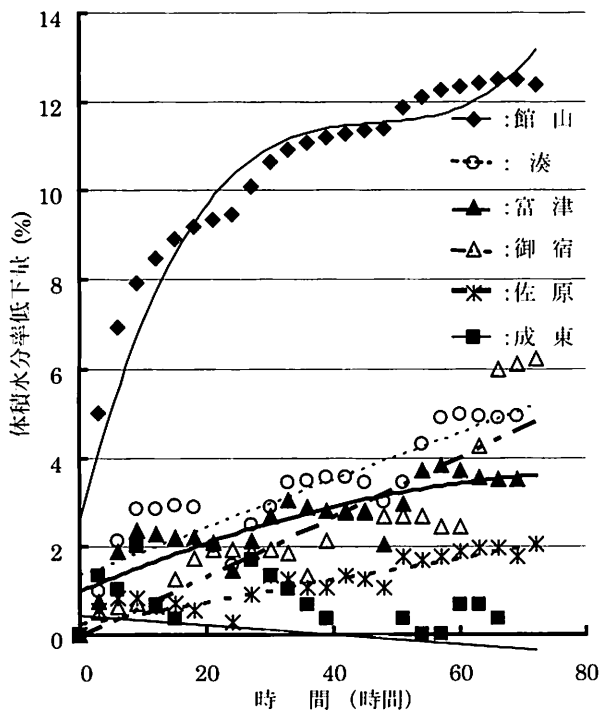
第3図 水田体積水分率計測地点における1996年の11月CCT値と12月CCT値との関係

ら、1995)が、本報告ではバンド5データを合成することによって、降雨の地域差と耕起などの表面状況の違いによる影響を小さくして、表面土壌の水分状況を評価する画像が作成できたと判断された。



第4図 水田表層の体積水分率と4データ合成画像のCCT値との関係

注) **は1%有意水準。

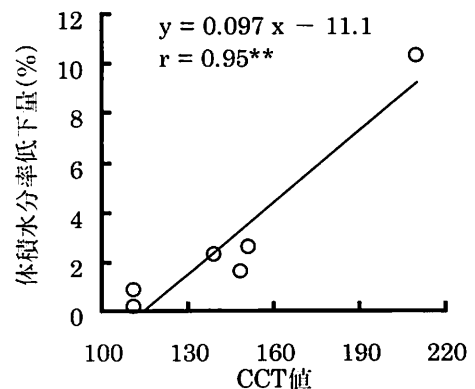


第5図 降雨後の水田表層体積水分率低下量の推移

3. データ合成画像のCCT値と水田表層土壌の体積水分率低下量による表面排水性区分

降雨や耕起などの影響を低く抑えて、表層土壌の水分状況をあらわす合成画像が作成できたので、この画像から水田の表面排水性を推定するために、水田6ヶ所で降雨後における表層土壌の体積水分率の変化を計測した。降雨が終了してから2時間ごとに、その時点の水分率から降雨終了直後の水分率を差し引いて、水分率の低下量を求めた(第5図)。館山では12mm、富津、湊では18mm、佐原、成東では23mm、御宿では27mmの降雨があったが、成東のほ場を除いて時間の経過とともに低下量は増加した。館山のほ場では、低下量は降雨後に急速に増加し、降雨24時間後の低下量は10.3%であった。低下量は次いで湊のほ場が2.6%で多く、富津が2.3%、御宿が1.6%、佐原が0.8%であった。データ合成画像における各調査ほ場が位置する場所のCCT値を読み取ったところ、CCT値が大きいほど、降雨24時間後の体積水分率の低下量が多かった(第6図)。

土性や有機物含量がバンド5データに及ぼす影響は小さいので(八槇ら、2000)、データ合成画像は県内に均一に近い降雨があった後の水田表層の水分状況を表した画像とみなすことができる。水分率低下量が多いことは、表面排水性が良好であることを表している。そこで、CCT値と水分率低下量との回帰式、 y (水分率低下量) $= 0.097x$ (CCT値) $- 11.1$ ($r=0.95$) から降雨24時間後に体積水分率が0~8%まで、2%ごとに低下するCCT値を算出した。その結果、10~20mm程度の降雨24時間後に体積水分率がほとんど変化しない地点のCCT値は115以下、0~2%低下する地点は116~135、2~4%は136~156、4~6%は157~176、6~8%は177~197、8%以上は198以上とCCT値によって排水性を区分した。



第6図 TMバンド5データ合成画像のCCT値と体積水分率低下量との関係

注) **は1%有意水準。

4. 水田表面排水性区分図の作成

以上のように、降雨後における表層体積水分率の低下量とデータ合成画像のCCT値との関係から、降雨24時間後に体積水分率が一定量低下する水田のCCT値が推定できた。この値から、排水性を6段階に階級区分した表面排水性区分図を作成した(第7図)。降雨24時間後の体積水分率の低下量が0%で、常に湛水状態であるような水田は、利根川下流沿いの佐原市周辺や、九十九里低地の海岸沿いに多かった。低下量が2~6%で排水性がやや低い悪い水田は九十九里低地の内陸側や養老川、小櫃川、小糸川沿いに多い。低下量が6%以上で排水性が比較的高い水田は印旛、手賀沼周辺や県南部に多かった。

それぞれの排水性区分の水田面積を算出したところ、体積水分率の低下量が0%である水田面積は13,173haで、面積割合は21%、0~2%の割合は19%、2~4%は26%、4~6%は21%、6~8%は11%、8%以上は3%であった(第4表)。水分率の低下量が6%以上で排水性が比較的良好な水田の割合は14%で少なく、4%以下の水田は45%の面積を占めていた。

千葉県ではグライ土の水田が多いが、グライ土の転換畑での降雨後の表面水の消失日数は3~7日であることが明らかにされている(金子・松本、1985)。この排水性は、10mmの降雨があったとすると、24時間の体積水分率の低下量が3~1%に相当する。水田は降雨後の表面水の消失日数が転換畑と大きな差がないか、やや多いと考えられるので、このことはTMデータから求めた体積水分率の低下量が4%以下の水田が大きな面積を占めることと一致すると判断された。また、筆者らは千葉県の乾田、半湿田、湿田の面積割合をそれぞれ13%、31%、56%と推定しているが(八楨ら、2000)、乾田の面積と排水性が良好な水田の面積割合はほぼ等しく、分布地域も県南部に多いというように同様な結果であった。以上のように、TMデータと降雨後の水分率の低下程度から、千葉県全域に広がる水田の表面排水性の現状を表すことができた。

第4表 降雨24時間後の体積水分率低下量と水田面積

体積水分率 低下量	面積	
	(ha)	(%)
0%	13.173	21
0~2%未満	11.447	19
2~4%未満	15.824	26
4~6%未満	12.832	21
6~8%未満	6.483	11
8%以上	1.968	3
合計	61.727	100

土地改良事業設計計画基準では、乾田直播播種作業における降雨水の排除日数が1~2日以内とされている(農業土木学会、2000)。10mmの降雨が1~2日で排除されることは、降雨24時間後における体積水分率の低下量が5~10%に相当する。このことから、千葉県の水田の排水性が悪く、乾田直播栽培に適さない水田が多いといえる。

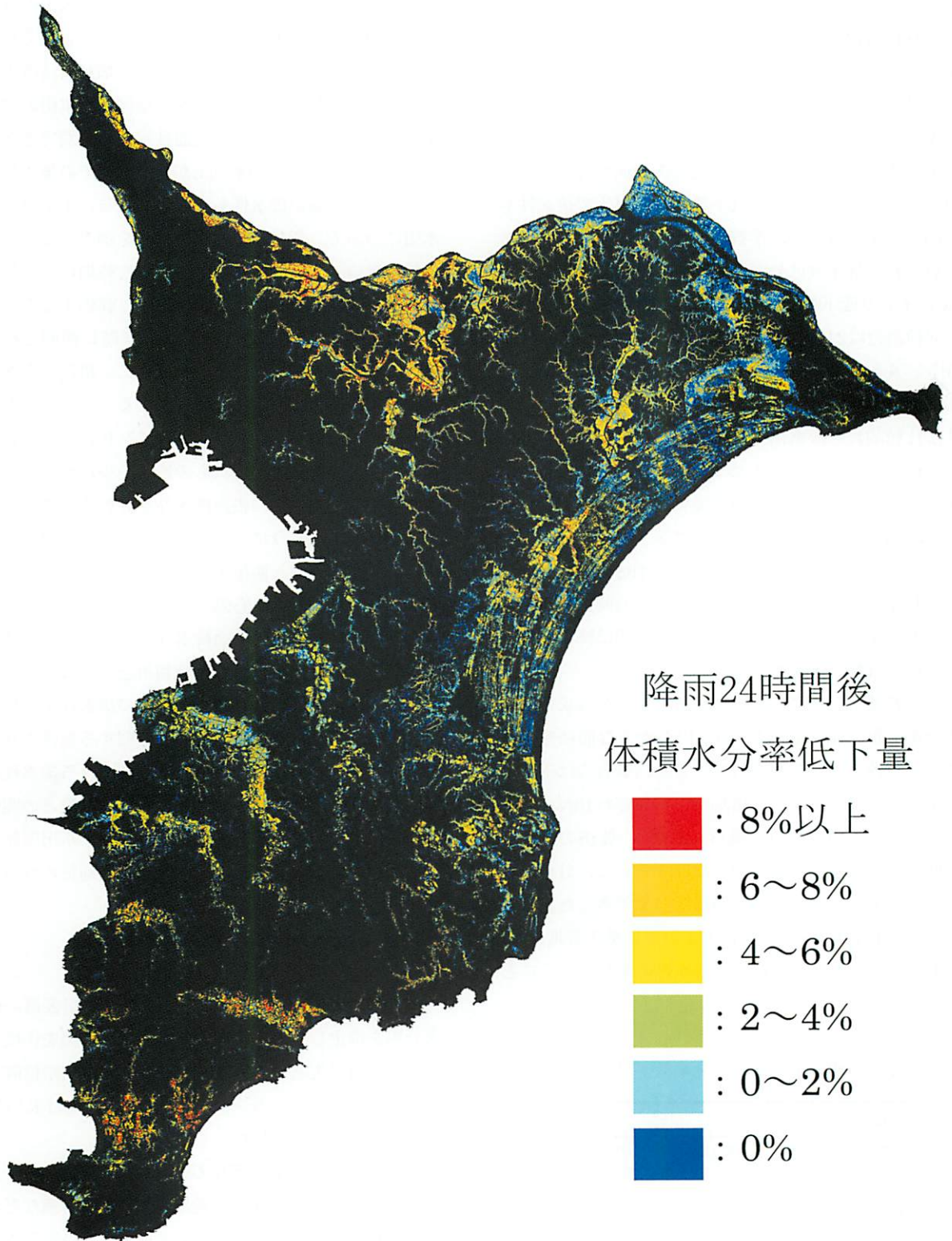
水稲直播栽培の適・不適や、水田の畑利用には表面排水性が大きく関係する。農耕地土壌図では水田の地下水位の状況は判別できるが、表面排水性を区別できないだけでなく、作成から20年以上が経過し、その後の基盤整備によってほ場の排水性も変化している。千葉県全域の水田について、新たに排水性の現状を調査することは不可能に近い。また、降水量には地域と時期により差があるので、県内全域を等しい条件により評価することも難しい。TMデータでは千葉県全域が同時に観測されているが、降水量の地域差があるとともに、耕起の有無などによって表層土壌の水分状況は異なる。しかし、本報告のように数時期に観測されたTMバンド5データを平均化することによって、これらの影響を少なくして、土壌の水分率を推定して、表面排水性を評価することが可能であった。このように、広範囲に地表面の状況を把握し評価するためには、衛星データを利用したリモートセンシング技術は、非常に有効な手段として利用できる。

今回作成した水田の表面排水性を表した区分図は、水稲直播栽培適地図や、水田の畑利用適地図などの作成において利用できるだけでなく、水田の排水性を高めるための基盤整備事業や水田農業振興に関する施策を立案する上でも有用である。また、地域内における排水性に影響を及ぼす要因や、水田と水資源及び水環境との関係、水質浄化における水田の役割の解析など、水田関係における研究面においても活用されることが期待される。

IV 摘 要

ランドサットTMバンド5データから水田表層の体積水分率を推定して、表面排水性を表す区分図を作成した。

1. 水田表層土壌の体積水分率と、その水田が位置するところのバンド5データCCT値との間には高い負の相関関係が認められた。
2. 観測前の降水量が異なる4時期のバンド5データを合成することで、降水量の地域差や耕起の有無などの影響を低く抑えて、降雨後の水分率低下量を推定できた。
3. 降雨24時間後の体積水分率の低下量が6%以上で表面排水性が良好な水田の面積割合は14%、2~6%は47%、0~2%は40%で、千葉県では排水性が悪い水田が多いことが確認された。



第7図 水田表面排水性区分図

引用文献

- 千葉県 (2000). 改訂版水稲直播栽培技術. 千葉県. 17-22.
- HATANAKA, T., NISHIMUNE, A., NIRA, R., and FUKUHARA, M. (1995). Estimation of Available Moisture Holding Capacity of Upland Soils Using Landsat TM Data. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 41, 577-586.
- 金子文宜・松本直治 (1985). 千葉県におけるグライ土転換畑の物理性. *千葉農試研報*, 26, 71-78.
- 加藤好武 (1986). 山梨県におけるブドウ生育適地図の作成. *土肥誌*, 57, 447-455.
- 中島啓亜・飯島 桂・岡部達雄・深山政治・木川義昭・長島 正 (1984). 湿田地帯の転換畑における営農排水法と作物栽培 第1報 転換畑における機械作業のための条件. *千葉農試研報*, 25, 45-53.
- 日本リモートセンシング研究会 (1993). わかりやすいリモートセンシングと地理情報システム. 86-95.
- 農業土木学会(2000). 土地改良事業計画設計基準、計画、圃場整備 (水田). 189.
- 小川茂男・深山一弥・福本昌人・MUBEKUTI (1990). リモートセンシングによるデジタル土地利用分類の検討. *農土学会北海道支部研究発表会講演要旨集*, 30-33.
- 安田典夫・天野洋司 (1994). 農業生産環境情報システムによる水田転作ダイズ生育適地図の作成と検証. *土肥誌*, 65, 282-289.
- 八槇 敦・岡本勝男・川島博之・安西徹郎 (2000). ランドサットTMデータを用いた千葉県水田の乾湿区分. *土肥誌*, 71, 27-34.
- 四方田穆・三浦健志 (1982). 水田転換畑からの地表排水量の検討. *農土誌*, 50, 1027-1031.

The surface drainage of paddy field estimating from Landsat TM data

Atsushi YAMAKI, Tetsuo ANZAI

Key words : Landsat TM data , paddy field , surface drainage ,
volume moisture percentage, surface drainage figure

Summary

By estimating volume moisture percentage of paddy field surface layer from Landsat TM band 5 data, a division figure that showed the surface drainage was produced.

1. There was the negative strong correlation between the volume moisture percentage of the paddy field surface layer soil and the band 5 data CTT value of the place where the paddy field was located.
2. By synthesizing band 5 data in the four periods in which the precipitation before the observation differ, and holding down the effects of regional difference of the precipitation and existence of the plowing, etc., the water lowering quantity after a rainfall was able to be estimated.
3. At 24 hours after a rainfall, the area proportions of paddy field of which the decrease in the volume moisture percentage were over 6% (good surface drainage), 2-6%, and 0-2%, were 14%, 47% and 40%, respectively. It was confirmed that there were many paddy fields with bad surface drainage in Chiba Prefecture.