

## Spatial Variation in the Water Requirement Rate for Paddy Fields in Flat and Lower Areas

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2019-03-30 キーワード (Ja): キーワード (En): Paddy field, Water requirement rate, Percolation, GIS, Necessary sampling number, Quantification Theory Type I, Levee management 作成者: 福本, 昌人, 進藤, 惣治 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://doi.org/10.24514/00001146">https://doi.org/10.24514/00001146</a>

© 国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構

National Agriculture and Food Research Organization, Japan

# 低平地水田における減水深の空間的ばらつき

福本昌人\* 進藤惣治\*\*

\*農地基盤工学研究領域農地利用ユニット

\*\*農地基盤工学研究領域用水管理ユニット（現 農林水産省関東農政局）

## 要 旨

減水深は、水田の計画用水量の算定に必要な水量の一つである。本研究では、新潟県西蒲原地域で行われた減水深調査の資料を用い、減水深の広域的なばらつきの特性を分析した。分析に供したのは、心土の土性が強粘質で、かつ、土壌タイプがグライ土である、851枚の調査圃場で得られた水稻生育ステージ別の期別減水深データである。分析の結果、①期別減水深には大きなばらつきが見られること（変動係数 70.6～79.4）、②水稻の生育が進むにつれて期別減水深の平均値（11.0mm/d→17.5mm/d）が大きくなること、③期別減水深の母平均を±2mm/dの範囲で区間推定（信頼係数 90%）するために必要な標本数（調査圃場数）は、46～113個であること、④計測時の湛水位が期別減水深に大きく影響していること、⑤配水ブロック毎の期別減水深の平均値にブロック間で大きな違いが見られることが明らかになった。

キーワード：水田、減水深、浸透量、GIS、必要標本数、数量化理論 I 類、畦畔管理

## 1 緒 言

水田の計画用水量の算定に必要な水量は、代かき用水量、期別の蒸発散浸透量、栽培管理用水量、施設管理用水量等である（農林水産省農村振興局，2010）。このうち蒸発散浸透量は、減水深とも呼ばれている（本稿では、「減水深」を使う）。減水深は、蒸発散量と浸透量の和を時間当たりの水深で表したもので、一枚の水田圃場における水の減り具合を示す。蒸発散量は、水面からの蒸発量と水稻葉面からの蒸散量からなり、浸透量は、耕盤を通して下方へ浸透する降下浸透量と畦畔を通して排水路や隣接圃場に浸出する畦畔浸透量からなる。

減水深の計測方法には、降雨および取水・排水のない条件下でモノサシ等を用いて湛水位の低下量を計測する方法（以下、「モノサシ法」と呼称）と、取水量、排水量、湛水位等を連続観測し、水収支から算出する方法がある。よく使われているのは、モノサシ法である。また、減水深調査にあたって、対象地域を土性、土壌タイプおよび地下水位の高低によって減水深タイプ別に区分し、減水深タイプ毎に所定の密度（例えば、300ha 以上の場合、100ha 当たり 1 点の割合）で調査地点（調査圃場）を設定することとされている（農林水産省農村振興局，2010）。このように減水深タイプを土壌条件と地下水位から区分する方法は、浸透量が土壌の透水性と水理的条件によって決まるという考えに基づいている（農林水産省農村振興局，2010）。

減水深調査における大きな問題点は、同じ減水深タイプに区分される場所であっても減水深が空間的に大きくばらつくことである。華山（1964）は、ある団地内の 35～43 枚

の圃場で測定された期別の減水深を統計解析した結果、大きなばらつきが見られたことから、調査圃場の減水深を機械的に平均し、それをそのまま団地全体の減水深と見なすのは適切ではない、と指摘している。谷口ら（2010）は、ある地区の 3 つの農区に位置するすべての圃場（48 枚）で減水深の測定を行い、狭い範囲であっても同じ日の減水深に大きなばらつきが見られた、と報告している。また、李ら（2003）は、乾田直播栽培の 15 枚の圃場と移植栽培田の 16 枚の圃場で減水深の測定を行い、乾田直播栽培の方が減水深の空間的なばらつきが大きかった、と報告している。このように減水深の空間的ばらつきについて検討した研究は、まだ非常に少なく、減水深のばらつきの実態は十分に明らかにされていない。そこで、本研究では、広い地域を調査対象とした既存の減水深調査の資料を用い、土壌条件（土性、土壌タイプ）が同じ圃場で得られた減水深の計測値を整理し、統計解析により、減水深の広域的なばらつきの特性を分析する。

## 2 方法

### 2.1 用いた減水深調査資料と調査対象地の水田整備状況

北陸農政局信濃川水系土地改良調査管理事務所が 2007 年に新潟県西蒲原地域（信濃川下流域の平野部）で行った減水深調査の資料を用いた。その資料は、調査圃場の位置情報等が記された圃場ファイルと、計測値等が記された減水深ファイルからなる。

調査対象は、西蒲原土地改良区の管内（Fig. 1）にある水田（水田面積は約 1.9 万 ha）である。水田の区画と用水路



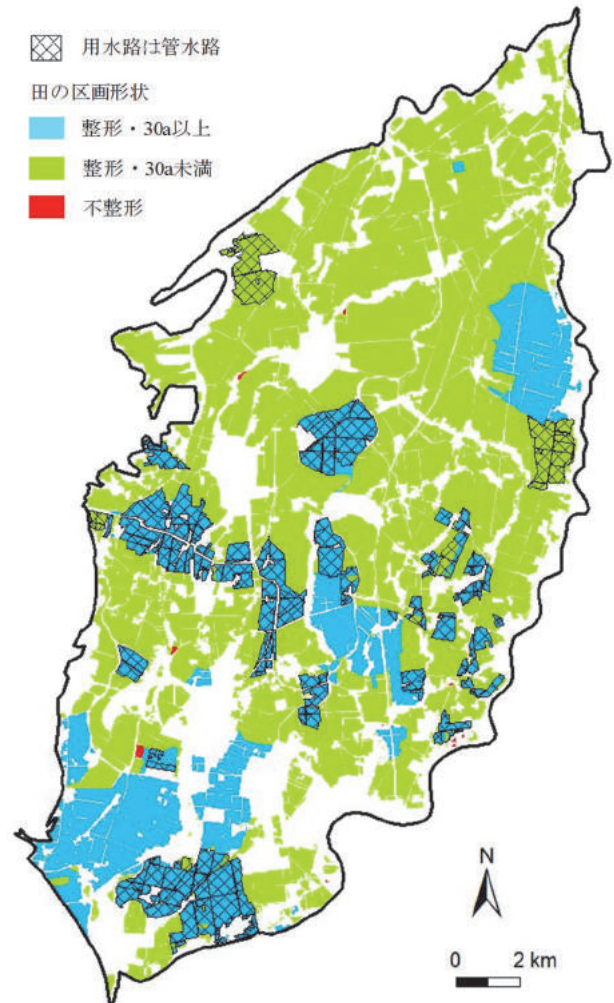
※背景は2017年5月30日撮影のLANDSAT8号の衛星画像  
(中間赤外2バンド, 中間赤外1バンド, 赤バンドの値を  
それぞれR, G, Bに割当ててカラー合成; 紺色は水域)

**Fig. 1** 西蒲原土地改良区の管内区域  
Jurisdictional area of Nishikanbara Land Improvement District

の整備状況を **Fig. 2** に示す。その整備状況は、後述する農業基盤情報基礎調査の農地ポリゴンデータ (2013年3月31日現在) を用いて把握した。2013年に30a以上の区画に整備されていた水田は27% (面積割合) と少なく、残りのほとんど (72%) は区画が整形かつ30a未満の水田 (圃場整備事業の創設前に主に10a区画を標準区画として整備され、かつ、それ以降に再整備が行われていない水田) であった。また、2013年に用水施設として管水路が完備されていた水田は、15%と非常に少なかった (残りは開水路が完備)。

### 2.1.1 調査圃場の土性、土壌タイプ

減水深調査は、1,000枚の圃場で行われた。地理情報システム (GIS) を用いて、まず、圃場ファイルに記されている位置情報 (緯度・経度) をGISデータ化し、調査圃場の位置を示す調査圃場ポイントデータを作成した。次に、それを地力保全基本調査 (都道府県農業試験場が1957年から



**Fig. 2** 水田の区画と用水路の整備状況 (2013年時点)  
Status of improvement of paddy lots and irrigation canals

1978年に実施) の土壌図ポリゴンデータ (日本土壌協会, 2003) に重ねて、調査圃場ポイントが位置する土壌図ポリゴンの属性「土性次表層」と「土壌群名」の値を読み取り、各調査圃場の心土の土性と土壌タイプを把握した。

調査圃場の位置 (調査圃場ポイント) と西蒲原土地改良区管内の土壌分布 (土壌図ポリゴンを属性値毎に集約) を **Fig. 3** に示す。また、土性別・土壌タイプ別に調査圃場の数を集計した結果を **Table 1** に示す。心土の土性が強粘質で、かつ、土壌タイプがグライ土 (以下、「強粘質・グライ土」と呼称) である調査圃場の枚数 (851枚) が最も多く、全体の85%を占めていた。そこで、本研究では、強粘質・グライ土の調査圃場のみに着目する。

### 2.1.2 期別減水深データ

減水深の計測は、モノサシ法で行われた。モノサシ法では、釘を打った木杭を圃場内に垂直に立て、モノサシを木杭と釘にあてがって釘の位置 (基準点) から水面までの距離を測定し (**Fig. 4**), その距離を湛水位とする。その距離測定を時刻Aとその24時間後の時刻Bに行い、時刻Aに

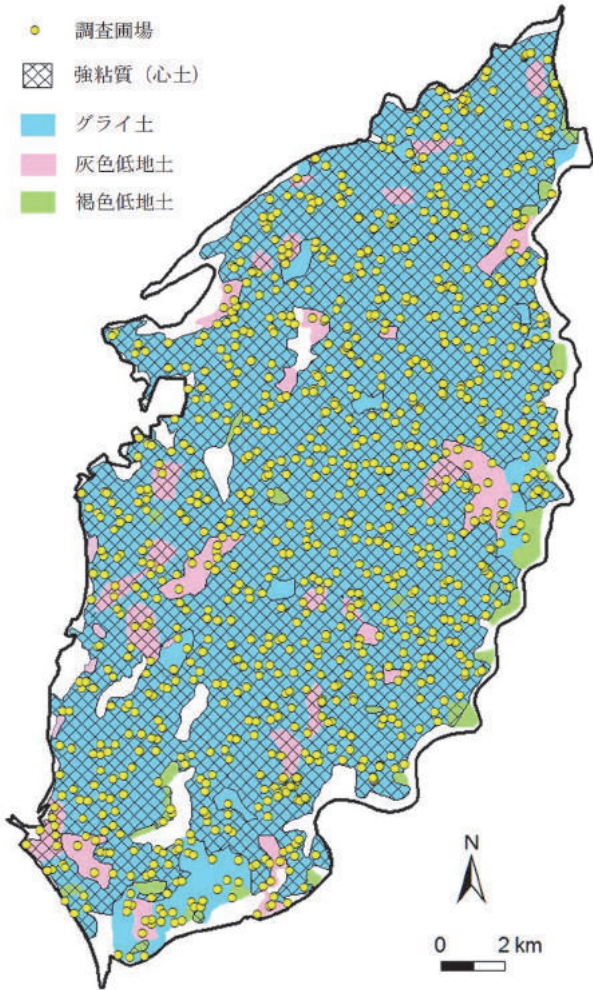


Fig. 3 調査圃場の位置と土壌分布  
Positions of the survey fields and soil distributions

における湛水位と時刻 B における湛水位の差を 1 日で除して減水深 (mm/d) を算出する。このモノサシ法による減水深の計測が水稲の生育ステージ毎 (活着期, 分けつ期, 中干し期, 幼穂形成期, 出穂期, 登熟期) に 3 回行われた。計測者は, 調査圃場を耕作している農家である。

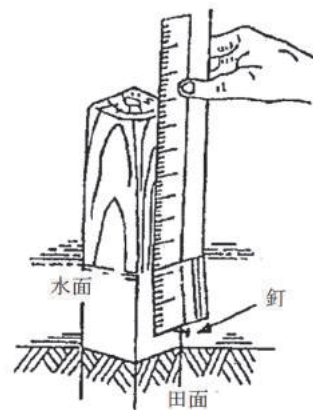
減水深ファイルには, 計測日, 時刻 A・B, 時刻 A・B の湛水位, 減水深等が記録されている。時刻と湛水位の記録をチェックしたところ, ①ある生育ステージにおいて減水深の計測回数が 2 回以下だったもの, ②時刻 A から時刻 B までの時間が 24 時間よりかなり短かったもの, および, ③時刻 B の湛水位が 0mm であったものが見られた。湛水位が 0mm であった場合には, 実際には湛水位は 0mm ではなく, マイナス値 (水面が木杭の釘の位置より下) であった可能性がある。

そこで, 時刻 A から時刻 B までの時間が 21 時間以下または 27 時間以上の計測, および, 時刻 B の湛水位が 0mm であった計測を無効とした。ただし, 減水深の大きな計測値 (便宜上, 30mm/d 以上の計測値) を過度に除外しないようにするため, 水位低下が大きかったために時刻 B の湛水

Table 1 土性別・土壌タイプ別の調査圃場数  
Number of survey fields counted by classification by soil textures of subsoil and soil types

		土壌群			計
		グライ土	灰色低地土	褐色低地土	
心土の土性	強粘質	851	33	3	887
	粘質～壤質	22	0	0	22
	壤質	0	57	0	57
	砂質	25	0	9	34
	計	898	90	12	1000

※単位は枚



※農林水産省農村振興局 (2010) の技術書より

Fig. 4 モノサシ法による水位計測  
Measurement of water level using a scale

位が 0mm になってしまっていた場合の計測, つまり, 時刻 B の湛水位が 0mm であっても時刻 A の湛水位が 30mm 以上であった計測については, 無効としなかった。そして, 無効な計測を除いた上で, 計測が 3 回行われていた各生育ステージの記録について, 減水深の計測値を平均した。以下, 各生育ステージにおけるその計測値の 3 点平均値を「期別減水深」と呼称する。

強粘質・グライ土の調査圃場 (851 枚) のうち, 活着期, 分けつ期, 中干し期, 幼穂形成期, 出穂期, 登熟期に期別減水深が算出された圃場の数は, それぞれ 640 枚, 667 枚, 195 枚, 432 枚, 470 枚, 396 枚であった。本研究では, その強粘質・グライ土の調査圃場の期別減水深データを統計解析に供した。

なお, 減水深ファイルによると, 期別減水深が得られた主な時期は, 活着期が 5 月上旬, 分けつ期が 5 月下旬, 中干し期が 6 月上旬, 幼穂形成期が 7 月上旬, 出穂期が 8 月上旬, 登熟期が 8 月中旬であった。中干し期の期別減水深については, 中干しの実施日が記録されていなかったため, 中干し前に得られたものか, 中干し後に得られたものかは不明であった。

また, 圃場ファイルによると, 項目「直播区分」に「直播あり」と記されていた調査圃場はわずか 7 枚で, 直播裁

培が行われていた調査圃場はほとんどなかった。統計解析に供した期別減水深データには、この調査圃場の期別減水深も含めている。

## 2.2 期別減水深の基本統計量と必要標本数

強粘質・グライ土の調査圃場の期別減水深データを用いて、生育ステージ毎に期別減水深の基本統計量を算出した。また、信頼係数(確率)90%で期別減水深の母平均(母集団全体の平均)を $\pm 2\text{mm/d}$ の範囲で区間推定するために必要な標本数 $n$ を次式により算出した(石村, 1993)。

$$n = (t \cdot s / E)^2 \quad (1)$$

ここで、 $t$ は $t$ 分布表で与えられる値、 $s$ は不偏標準偏差、 $E$ は許容誤差(2mm/d)である。

## 2.3 数量化理論I類による影響要因分析

強粘質・グライ土の調査圃場の期別減水深データを用いて、数量化理論I類を適用して期別減水深に大きく影響する要因を把握した。外的基準(目的変数)は、各生育ステージの期別減水深であり、アイテム(説明変数)は、次に述べる「泥炭層」、「標高」、「地下水位」、「区画整備水準」および「計測湛水位」である。これら(計測湛水位を除く)を選んだ理由は、西蒲原土地改良区管内の全域についてデータ化が可能であることと、浸透量を規定する「灌漑期の水田の地下水位」に間接的に関係している可能性があると考えたことによる。例えば、泥炭層が見られれば、昔、常に地下水位が高かったことが伺えるので、「灌漑期の水田の地下水位」は相対的に高い可能性があると考えた。

### (1) 泥炭層

GISを用いて、前述の地力保全基本調査の土壤図ポリゴンデータに調査圃場ポイントデータを重ねて、調査圃場ポイントが位置する土壤図ポリゴンの属性「泥炭」の値を読み取り、調査圃場の深さ80cmまでの土壤断面に泥炭層が出現するか否かを把握した。その結果に基づいて、強粘質・グライ土の調査圃場を「泥炭層あり」と「泥炭層なし」の2つのカテゴリーに区分した。

### (2) 標高

GISを用いて、国土地理院(2008)の基盤地図情報ダウンロードサービスからダウンロードした標高ラスターデータ(航空レーザ測量に基づく5mメッシュの数値標高モデル)に調査圃場ポイントデータを重ねて、調査圃場ポイントが位置する地点の標高値を読み取り、各調査圃場の田面標高を把握した。その結果に基づいて、強粘質・グライ土の調査圃場を「標高0m未満」と「標高0m以上」の2つのカテゴリーに区分した。なお、0mという閾値は便宜的に設定した。

### (3) 地下水位

GISを用いて、農業基盤情報基礎調査(農林水産省農村振興局が毎年実施)の農地ポリゴンデータ(2013年3月31日現在;同局の計画調整室長に使用承認申請書を提出し、承認されれば入手可能)に調査圃場ポイントデータを重ねて、調査圃場ポイントが位置する農地ポリゴンの属性「排

Table 2 農地ポリゴンデータの属性「排水」の区分

Classification of the attribute "drainage" for farmland GIS polygon data

地表排水条件	地下排水条件	区分番号
4時間排除	地下水位70cm以深	1
	地下水位70cm以浅	2
日排除程度	地下水位70cm以深	3
	地下水位70cm以浅	4
排水不良	地下水位70cm以深	5
	地下水位70cm以浅	6

水」の値(Table 2に示す区分番号)を読み取り、各調査圃場の地下排水条件を把握した。その結果に基づいて、強粘質・グライ土の調査圃場をTable 2に記されている「地下水位70cm以浅」と「地下水位70cm以深」の2つのカテゴリーに区分した。

その農地ポリゴンデータは、第4次土地利用基盤整備基本調査で整備された農地ポリゴンデータ(2001年3月31日時点)を基にして作成されたもので、圃場整備完了地区の農地ポリゴンのみ整備状況に関する属性情報が毎年更新されている。第4次土地利用基盤整備基本調査の記入要領(農林水産省農村振興局, 2001)に、「地下水位70cm以浅」の目安として、「高畝栽培等を行わなければ普通作物の栽培に困難が伴うもの」と記されている。このことから、ここでいう地下水位は、浸透量を規定する灌漑期の水田の地下水位ではなく、畑作時の水田あるいは非灌漑期の水田の地下水位を指している、と判断される。

### (4) 区画整備水準

Google Earth Pro(Google社)を用いて、2009年9月24日(減水深調査の2年後)に撮影された高解像度衛星画像に調査圃場ポイントデータを重ねて、ポリゴンの面積測定機能を活用(畦畔内側をトレースして圃場区画ポリゴンを描画し、その面積を測定)して、調査圃場の位置する圃場が30a程度以上に区画の整備が行われているか否かを把握した。その結果に基づいて、強粘質・グライ土の調査圃場を「30a程度以上」と「それ以外」の2つのカテゴリーに区分した。

### (5) 計測湛水位

期別減水深(3点平均値)の算出に関わった3回の計測について、時刻Aの湛水位の計測値を平均した。その3点平均値を「計測湛水位」と呼称し、アイテムとするとともに、調査圃場を生育ステージ毎に「計測湛水位50mm未満」と「計測湛水位50mm以上」の2つのカテゴリーに区分した。なお、50mmという閾値は便宜的に設定した。

## 2.4 配水ブロック毎の期別減水深の集約

西蒲原土地改良区管内の配水ブロック(各樋管・揚水機からの用水の水掛かり範囲)の中から、面積が比較的大きく、かつ、強粘質・グライ土の分布割合が高いものを12個選択した。Fig. 5に、選択した配水ブロック(A~L)を河川、樋管等とともに示す。

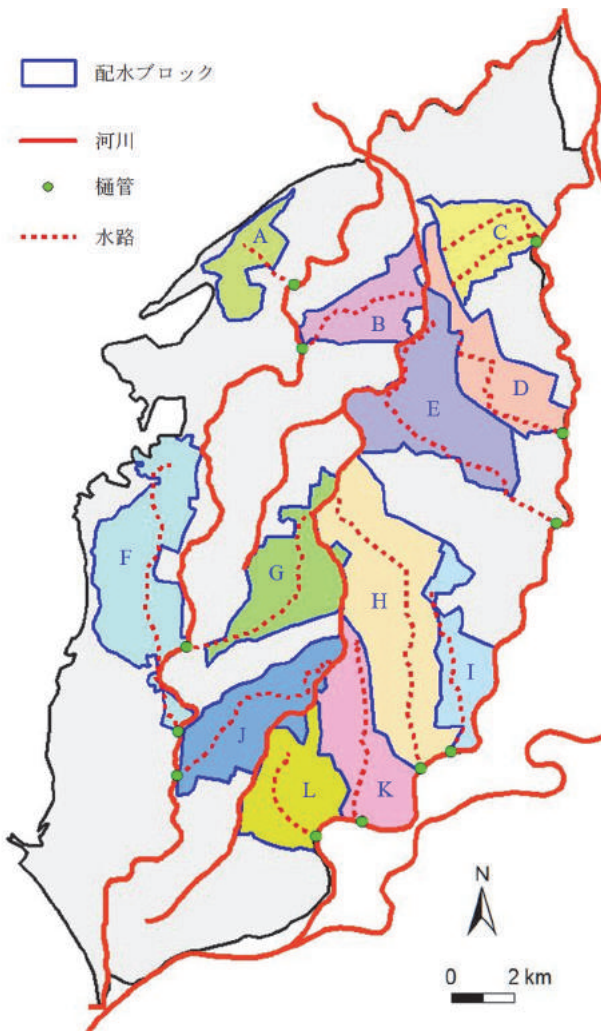


Fig. 5 配水ブロック  
Irrigation water distribution blocks

まず、その各配水ブロックに位置する強粘質・グライ土の調査圃場を抽出した。次に、期別減水深データを用いて、抽出した調査圃場の期別減水深を配水ブロック毎に平均し、生育ステージ毎にその平均値を比較した。すなわち、期別減水深を配水ブロック毎に集約（平均）した場合、配水ブロック間で平均値にどの程度の違いが生じるのかを調べた。

### 3 結果と考察

#### 3.1 期別減水深の基本統計量と必要標本数

強粘質・グライ土の調査圃場の期別減水深に関する基本統計量および必要標本数を **Table 3** に示す。各生育ステージとも変動係数は 70.6~79.4 と大きく、調査圃場によって期別減水深に大きなばらつきが見られた。

期別減水深の平均値は、活着期が 11.0mm/d、分けつ期が 11.8mm/d、中干し期が 14.1mm/d、幼穂形成期が 16.0mm/d、出穂期が 17.4mm/d、登熟期が 17.5mm/d であり、水稻の生育が進むにつれて大きな値を示した。

別途、新潟地方気象台で 2007 年に観測された日射量、気温、相対湿度および風速の日平均値を用いて水田の蒸発散量を推定し、降水のなかった日の推定値を月毎に平均した。その推定は、近藤・徐 (1997) が定義したポテンシャル蒸発量の計算値に、近藤 (1998) の文献の図 12 に示されている、宮城県の水田で水稻の葉面積指数が 0~5.4 の期間に得られた蒸発散比の平均値 (0.78) を乗じて行った。蒸発散量の推定値の月平均値は、5 月が 5.6mm/d、6 月が 5.0mm/d、7 月が 4.5mm/d、8 月が 6.1mm/d であった。その最大値と最小値の差は 1.6 mm/d と小さいことから、期別減水深の平均値の期別変化 (最大値と最小値の差は 6.5 mm/d) には、蒸発散量の変化より浸透量の変化が大きく関係していたと考えられる。

期別減水深の最小値は 0~1.0mm/d、最大値は 66.7~99.3mm/d であった。0~1.0mm/d という非常に小さい値が得られた調査圃場では、計測時に隣接水田より水面の高さ (標高) が低かったことに起因して、畦畔を通じて隣接水田から比較的多くの水が浸入していた可能性がある。また、66.7~99.3mm/d と非常に大きな値が得られた調査圃場では、ザリガニ等の小動物による掘削穴の影響で畦畔の透水性が非常に高かったことに起因して、畦畔を通じて排水路に多くの水が浸出していた可能性がある。

強粘質・グライ土の期別減水深の母平均を ± 2mm の範囲で区間推定するために必要な標本数は、活着期が 46 個、分けつ期が 50 個、中干し期が 69 個、幼穂形成期が 111 個、出穂期が 113 個、登熟期が 113 個であった。水稻の生育が進むにつれて必要な標本数が多くなっているが、それは、

Table 3 強粘質・グライ土の調査圃場の期別減水深に関する基本統計量および必要標本数

Basic statistic and necessary sampling number on water requirement rate in fields where subsoil is strongly clayey and soil type is gray soil

	標本数 (個)	最小値 (mm/d)	最大値 (mm/d)	平均 (mm/d)	標準偏差 (mm/d)	変動係数 (%)	必要標本数 $n$ (個)
活着期	640	0.7	66.7	11.0	8.1	73.3	46
分けつ期	667	0.7	76.7	11.8	8.4	71.0	50
中干し期	195	1.0	70.0	14.1	9.9	70.6	69
幼穂形成期	432	0.0	95.0	16.0	12.7	79.4	111
出穂期	470	0.0	99.3	17.4	12.8	73.4	113
登熟期	396	0.0	87.7	17.5	12.8	73.0	113

標準偏差 (≒不偏標準偏差) が水稻の生育が進むにつれて大きな値を示したこと (Table 3) に対応している。なお、平均値が11.0~17.5mm/dであったので、その10~20%を目安に± 2mm という範囲を設定した。

3.2 数量化理論 I 類による影響要因分析

3.2.1 各アイテムの 카테고리 値の分布

Fig. 6 に、西蒲原土地改良区管内における、数量化理論 I

類で用いた各アイテムの 카테고리 値の分布を示す。Fig. 6 の (a), (b), (c), (d), (e) がそれぞれアイテム「泥炭層」, 「標高」, 「地下水水位」, 「区画整備水準」, 「計測湛水位」に対応している。なお, Fig. 6 の (a), (b), (c), (d), (e) には、それぞれ活着期、分けつ期、幼穂形成期、出穂期、登熟期に期別減水深が算出された強粘質・グライ土の調査圃場の位置も比例シンボル「○」で示した。そのサイズ (半径) は、対応する期の期別減水深の値に比例している。

Fig. 6 の (a) では、強粘質・グライ土のうち、泥炭層の

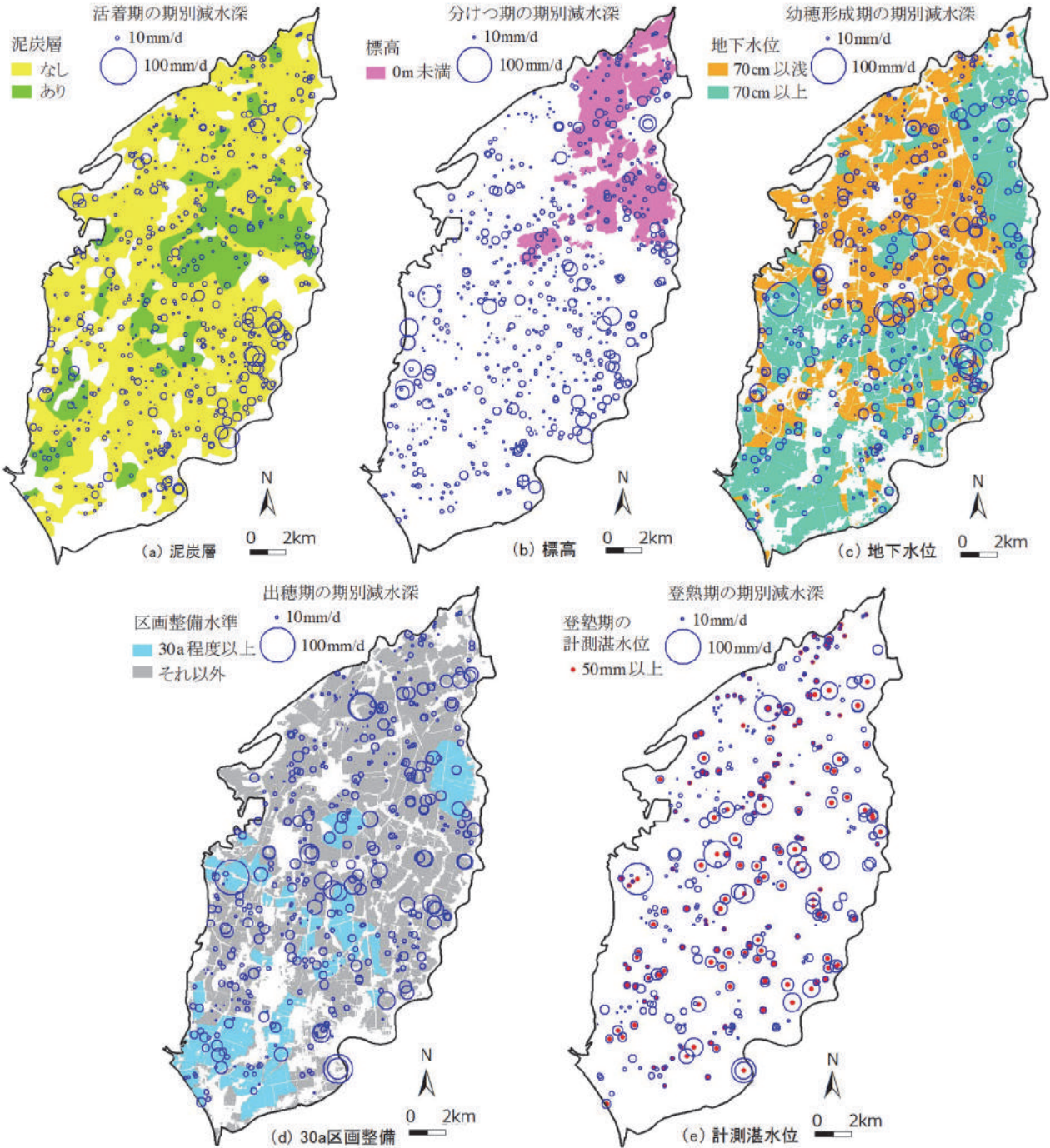


Fig. 6 各アイテムの 카테고리 値と期別減水深 (強粘質・グライ土) の分布  
Distribution maps of the category value for each item and the water requirement rate

あるものを黄色, 泥炭層のないものを黄緑色で表示した。強粘質・グライ土の分布エリアに占める, 泥炭層のあるエリアの面積割合は20%であった。

Fig. 6の(b)では, 標高が0m未満の土地を桃色で表示した。西蒲原土地改良区管内の土地全域に占める, 標高が0m未満の土地の面積割合は15%であった。

Fig. 6の(c)では, 地目が田であった農業基盤情報基礎調査の農地ポリゴンのうち, 地下排水条件が「地下水位70cm以浅」であったものを橙色, 「地下水位70cm以深」であったものを青緑色で表示した。地目が田であった農地ポリゴンに占める, 「地下水位70cm以浅」であったポリゴンの面積割合は47%であった。

Fig. 6の(d)では, 2009年に30a程度以上に区画整備がなされていたエリアを薄青色で表示し, 地目が田であった農業基盤情報基礎調査の農地ポリゴンのうち, そのエリアを含まない部分を灰色で表示した。地目が田であった農地ポリゴンに占める, 30a程度以上に区画整備がなされていたエリアの面積割合は, 22%であった。

Fig. 6の(e)では, 登熟期の計測湛水位が50mm以上であった強粘質・グライ土の調査圃場の位置を赤色の点で示した。登熟期に期別減水深が算出された強粘質・グライ土の調査圃場のうち, 計測湛水位が50mm以上であったものの枚数割合は, 52%であった。

### 3.2.2 数量化理論I類による分析結果

数量化理論I類による分析結果をTable 4に示す。重相関係数は0.32(分けつ期)~0.45(登熟期)と小さく, 十分な分析精度は得られなかった。しかし, 各アイテムのレンジ(カテゴリースコアの最大値と最小値の差)や偏相関係数を比較することで, 外的基準に相対的に強く影響しているアイテムを把握することができる。

その比較の結果, すべての生育ステージにおいてアイテム「計測湛水位」がレンジ, 偏相関係数とも値が最も大きく, 各生育ステージとも計測湛水位が期別減水深に最も大きく影響していた。また, レンジの値が2番目に大きかったアイテムは, 活着期と分けつ期では「区画整備水準」, それら以外の生育ステージではアイテム「地下水位」であった。「泥炭層」のレンジの値はすべての生育ステージにおいて2より小さく, 各生育ステージとも泥炭層の有無が期別減水深に与える影響は非常に小さかった。

### 3.2.3 計測湛水位が期別減水深に与える影響

減水深の計測時に計測される湛水位は, 木杭に打たれた釘の位置を基準とした水位である。その釘の位置と田面との距離は, 減水深ファイルには記録されていないが, Fig. 4や筆者の計測経験から10~20mm程度であると推察する。すなわち, 計測湛水位が50mmであれば, 田面を基準とした水位は60~70mm程度と考えられる。期別減水深に対する影響が最も大きかったこの計測湛水位について考察する。

カテゴリー「計測湛水位が50mm以上」のスコア値は正であり(Table 4), 計測湛水位が大きいほど期別減水深は大

きい, という関係が見られた。計測湛水位が大きくなるにつれて期別減水深が大きくなる原因として, ①土層中の動水勾配の増大に伴う降下浸透量の増大, ②隣接水田より水面の高さ(標高)が高くなることに伴う隣接圃場への畦畔浸透の発生, ③畦畔の接水面積の増大に伴う排水路への畦畔浸透量の増大が考えられる。

計測湛水位の大きい調査圃場が5枚まとまって見られたある地区について, 圃場ファイルを用いてそれらの調査圃場の減水深の計測者を調べたところ, いずれも同じ農家であった。計測湛水位が大きかったことには, 人為的な要素が関係していると考えられる。例えば, その農家は普段から深水で水管理していた, あるいは, 減水深の計測時だけ深水で水管理した可能性がある。隣接水田が深水で水管理されていない場合には, 減水深の計測時に深水で水管理すると, 水位差に伴って隣接圃場への畦畔浸透量が多くなり, 期別減水深に影響するので, 減水深の計測時だけ深水で水管理することは避けるようにする必要がある。なお, 減水深の計測時だけ深水で水管理した場合, その理由の一つとして, 田面の起伏が大きく, 深水で水管理しないと減水深の計測中に田面の一部が水面から露出する心配があったことが考えられる。その心配がないように, 田面の均平度の良好な圃場を調査圃場とする必要がある。

人為的な要素として, 畦畔管理(畦塗り等)の精粗も期別減水深に大きく影響していると考えられる。谷口ら(2010)は, 地区上流部の圃場の平均減水深が地区下流部の圃場の平均減水深よりも大きな値を示したことについて, 地区上流部は用水が豊富に使える条件にあり, 浸透量が多くても浸透量を補うだけの水量を取水できることから, 畦畔管理のような浸透抑制作業に力を入れていなかったことがその要因になっている, と推察している。調査にあたり, 調査圃場の畦畔管理が周辺の圃場と同程度に行われていることを確認する必要がある。

### 3.3 配水ブロック毎の期別減水深の集約

配水ブロック(Fig. 5)毎に強粘質・グライ土の調査圃場の期別減水深を集約(平均)した結果をFig. 7に示す。図中には, 平均処理に用いたデータ数も括弧内に示した。

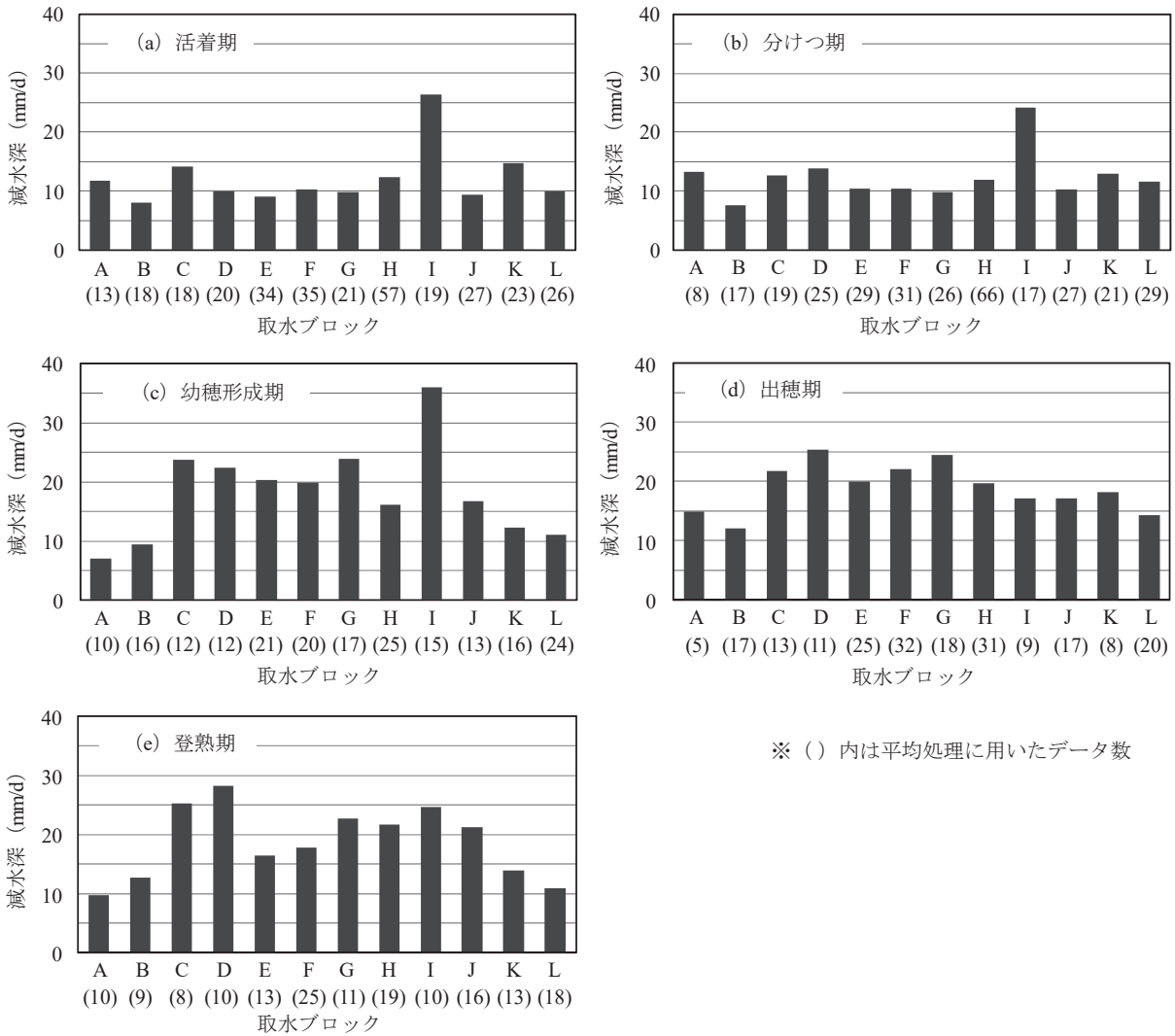
中干し期については, そのデータ数が半数の配水ブロックで7個以下と少なかったため, 集約しなかった。

期別減水深の平均値は, 活着期が8.0(最小)~26.3(最大)mm/d, 分けつ期が7.6(最小)~24.2(最大)mm/d, 幼穂形成期が7.1(最小)~36.0(最大)mm/d, 出穂期が12.0(最小)~24.4(最大)mm/d, 登熟期が9.7(最小)~28.2(最大)mm/dであり, 配水ブロックによって平均値は大きく異なった。分けつ期, 幼穂形成期および出穂期には, 配水ブロック「I」の平均値が他の配水ブロックと比べて特に大きかった。また, 出穂期と登熟期には, 配水ブロック「D」の平均値が最も大きかったが, 同程度に大きい配水ブロックも他にいくつか見られた。なお, 前述した, 計測湛水位の大きい調査圃場が5枚(計測者は同じ農家)まとまって見られた地区は, 配水ブロック「I」に位置していた。



Table 4 数量化理論I類による分析結果  
Analysis by Quantification Theory Type I

外的基準	アイテム	カテゴリー	データ数	平均 (mm/d)	カテゴリースコア	レンジ (順位)	偏相関係数
活着期の 期別減水深	泥炭層	なし	521	11.2	0.14	0.76 (5)	0.04
		あり	119	10.3	-0.62		
	標高	0m未満	121	9.7	-1.43	1.77 (4)	0.09
		0m以上	519	11.3	0.33		
	地下水位	深さ70cm未満	339	9.9	-1.65	3.50 (3)	0.21
		深さ70cm以上	301	12.3	1.85		
	区画整備水準	30a程度以上	99	8.9	-3.23	3.83 (2)	0.17
		それ以外	541	11.4	0.59		
	計測湛水位	50mm未満	401	8.8	-2.14	5.74 (1)	0.35
		50mm以上	239	14.7	3.60		
重相関係数 =0.43							
分けつ期の 期別減水深	泥炭層	なし	524	11.8	-0.13	0.62 (5)	0.03
		あり	143	11.8	0.49		
	標高	0m未満	132	11.2	-0.91	1.13 (4)	0.06
		0m以上	535	12.0	0.22		
	地下水位	深さ70cm未満	334	11.0	-1.35	2.70 (3)	0.15
		深さ70cm以上	333	12.7	1.35		
	区画整備水準	30a程度以上	132	10.7	-2.54	3.17 (2)	0.14
		それ以外	535	12.1	0.63		
	計測湛水位	50mm未満	314	9.4	-2.40	4.54 (1)	0.27
		50mm以上	353	13.9	2.14		
重相関係数 =0.32							
中干し期の 期別減水深	泥炭層	なし	152	13.7	-0.42	1.91 (3)	0.08
		あり	43	15.6	1.49		
	標高	0m未満	17	14.9	-0.75	0.82 (5)	0.02
		0m以上	178	14.0	0.07		
	地下水位	深さ70cm未満	91	12.0	-1.91	3.57 (2)	0.17
		深さ70cm以上	104	16.0	1.67		
	区画整備水準	30a程度以上	37	15.5	-1.28	1.58 (4)	0.06
		それ以外	158	13.8	0.30		
	計測湛水位	50mm未満	82	10.7	-3.19	5.51 (1)	0.27
		50mm以上	113	16.6	2.32		
重相関係数 =0.34							
幼穂形成期の 期別減水深	泥炭層	なし	343	15.7	-0.25	1.19 (5)	0.04
		あり	89	17.4	0.94		
	標高	0m未満	75	14.9	-1.72	2.08 (4)	0.07
		0m以上	357	16.3	0.36		
	地下水位	深さ70cm未満	252	14.0	-1.99	4.77 (2)	0.17
		深さ70cm以上	180	18.9	2.78		
	区画整備水準	30a程度以上	60	17.5	-2.35	2.73 (3)	0.07
		それ以外	372	15.8	0.38		
	計測湛水位	50mm未満	139	11.2	-3.81	7.55 (1)	0.30
		50mm以上	293	18.3	3.74		
重相関係数 =0.36							
出穂期の 期別減水深	泥炭層	なし	368	17.3	-0.17	0.78 (4)	0.03
		あり	102	18.0	0.61		
	標高	0m未満	82	17.0	-0.51	0.62 (5)	0.02
		0m以上	388	17.5	0.11		
	地下水位	深さ70cm未満	259	14.8	-2.77	6.17 (2)	0.22
		深さ70cm以上	211	20.7	3.40		
	区画整備水準	30a程度以上	78	19.3	-2.10	2.52 (3)	0.07
		それ以外	392	17.1	0.42		
	計測湛水位	50mm未満	242	13.7	-3.59	7.41 (1)	0.30
		50mm以上	228	21.4	3.82		
重相関係数 =0.37							
登熟期の 期別減水深	泥炭層	なし	314	17.0	0.06	0.28 (5)	0.01
		あり	82	19.4	-0.22		
	標高	0m未満	65	16.1	-1.95	2.34 (3)	0.08
		0m以上	331	17.1	0.38		
	地下水位	深さ70cm未満	223	15.2	-2.38	5.45 (2)	0.20
		深さ70cm以上	173	20.5	3.07		
	区画整備水準	30a程度以上	66	20.0	-0.52	0.63 (4)	0.02
		それ以外	330	17.0	0.10		
	計測湛水位	50mm未満	206	12.8	-4.85	10.11 (1)	0.40
		50mm以上	190	22.7	5.26		
重相関係数 =0.45							



※ ( ) 内は平均処理に用いたデータ数

Fig. 7 配水ブロック別の期別減水深 (強粘質・グライ土) の集約結果  
Averages of water requirement rate obtained from the survey fields located in each of 12 irrigation water distribution blocks

平均処理に用いたデータ数は、活着期が 13~57 個、分けつ期が 8~66 個、幼穂形成期が 10~25 個、出穂期が 5~32 個、登熟期が 8~25 個であった。その数は、3.1 節に記した必要標本数と比較するとかなり少なく、配水ブロック毎の期別減水深の平均値は、十分な数のデータから得られたものではない。データ数が少ない場合、その平均値は配水ブロック内の母平均 (配水ブロック内のすべての圃場の平均値) からかけ離れている可能性がある。すなわち、ある配水ブロックの平均値が対象地域全体の期別減水深の平均値 (Table 3) と大きく異なっていたとしても、それはデータ数が少なかったことに起因している可能性がある。したがって、例えば、このように配水ブロック毎に期別減水深を集約する場合には、特に、同じ土性・土壌タイプに関する対象地域全体の期別減水深の平均値と比べて平均値が大きく異なっている配水ブロックについて、配水ブロック内の圃場条件 (土壌の透水性、水理的条件等) に他の配水ブロックとは大きく異なる点が見られるのか、人為的な要

素 (畦畔管理の精粗) の影響はなかったのか、といったことを別途に調べて確認する必要がある。

#### 4 結 言

本研究では、新潟県西蒲原地域で行われた減水深調査の資料を用い、減水深の広域的なばらつきの特性を分析した。分析に供したのは、心土の土性が強粘質で、かつ、土壌タイプがグライ土である、851 枚の調査圃場で得られた水稻の生育ステージ別の期別減水深データ (計測値の 3 点平均値) である。得られた結果は、次の通りである。

(1) 各生育ステージの期別減水深の変動係数は 70.6~79.4 と大きく、期別減水深は圃場によって大きくばらついていた。また、各生育ステージの期別減水深の平均値は 11.0~17.5mm/d であり、水稻の生育が進むにつれて大きな値を示した。

(2) 各生育ステージにおいて信頼係数 90% で期別減水深

の母平均を±2mm/dの範囲で区間推定するために必要な標本数は、46～113個であった。

(3) 数理化理論I類を適用して5つのアイテム(泥炭層, 標高, 地下水位, 区画整備水準および計測湛水位)のうちどれが期別減水深に最も影響しているのかを調べたところ, 各生育ステージとも計測湛水位の影響が最も大きかった(ただし, 重相関係数は0.32～0.45と小さく, 分析精度は低かった)。

(4) 各生育ステージの期別減水深を配水ブロック毎に平均したところ, 配水ブロックによって平均値は大きく異なっていた。

同じ土性・土壌タイプであっても, 期別減水深は地区によっても圃場によっても大きく異なるので, 調査はかなり多くの圃場で行う必要がある。また, 調査にあたり, 人為的な要素の影響や隣接圃場との間における畦畔浸透による水の流入・流出を極力抑えることが重要であり, そのため耕作農家が同一である調査圃場の数はできる限り少なくする(例えば3枚程度まで)ようにしたり, 隣接水田との間で顕著な水位差(水面の標高差)がないことを確認してから計測を行うようにしたりする必要がある。

**謝辞:** 本研究は, 農研機構生研支援センター「生産性革命に向けた革新的技術開発事業」の支援を受けて行った。また, 農林水産省北陸農政局信濃川水系土地改良調査管理事務所には, 貴重な減水深調査資料を提供して頂いた。記して謝意を表す。

#### 引用文献

華山 謙 (1964): 減水深法の再検討, 農業土木研究, 32(1), 15-23

石村貞夫 (1993): すぐわかる統計解析, 東京図書株式会社, 94-113  
 国土地理院 (2008): 基盤地図情報ダウンロードサービス, <https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php> (閲覧日: 2018年11月15日)

近藤純正・徐 健青 (1997): ポテンシャル蒸発量の定義と気候湿度, 天気, 44(12), 43-50

近藤純正 (1998): 種々の植生地における蒸発散量の降水量および葉面積指数への依存性, 水文・水資源学会誌, 11(7), 679-693

李 尚奉・千家正照・伊藤健吾・林 博康 (2003): 不耕起乾田直播栽培が水田減水深に及ぼす影響 - 岐阜県美南地区を対象とした減水深の事例研究 -, 農業農村工学会論文集, 224, 159-166

日本土壌協会 (2003): 地力保全土壌図データ CD-ROM, <http://www.japan-soil.net/soilmaps.html> (閲覧日: 2018年11月15日)

農林水産省農村振興局 (2001): 第4次土地利用基盤整備基本調査記入要領, <http://www.tiritoukei.co.jp/noutinogenkyou/thyousa/dai4jithyousa.pdf> (閲覧日: 2018年11月15日)

農林水産省農村振興局 (2010): 土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 計画「農業用水(水田)」技術書「6. 用水量調査」, 農業農村工学会, 117-143

谷口智之・遠藤千春・佐藤政良 (2010): 水田灌漑地区における減水深の空間的变化 - 茨城県福岡堰地区を対象として -, 平成22年度農業農村工学会大会講演会講演要旨集, 480-481

---

原稿受理 平成30年11月19日

## Spatial Variation in the Water Requirement Rate for Paddy Fields in Flat and Lower Areas

FUKUMOTO Masato\* and SHINDO Soji\*\*

\* Agricultural Land Management Unit, Division of Agricultural Environment Engineering

\*\* Water Management Unit, Division of Agricultural Environment Engineering

### Abstract

We examined the characteristics of spatial variation in the water requirement rate, which consists of evapotranspiration and percolation, with data from a water requirement rate survey conducted in 2007 in the Nishikanbara Region of Niigata Prefecture. Data used for the analysis were the averages of three water requirement rate measurements obtained from each of six growth stages of rice plants (hereafter, the averages are called WRR) from 851 survey fields where the subsoil is strongly clayey and the soil type is grey soil. The results obtained were as follows. (1) The variation coefficient of the WRR obtained for all survey fields was 70.6 to 79.4 for each growth stage. (2) The average of the WRR obtained in all survey fields was 11.0 to 17.5 mm/d for each growth stage. (3) The necessary sampling number for interval estimation of the population mean of the WRR within a range of  $\pm 2$  mm/d and confidence coefficient of 90% was 46 to 113 for each growth stage. (4) Among the five items (presence of peat layer, elevation of a paddy field, groundwater level, lot area of a paddy field and flooded water level), the item most affecting the WRR was flooded water level for all growth stages. (5) The averages of the WRR obtained in the survey fields located in each of the 12 irrigation water distribution blocks varied largely by block for all growth stages.

**Key words** : *Paddy field, Water requirement rate, Percolation, GIS, Necessary sampling number, Quantification Theory Type I, Levee management*