



## 岡山県南部地域の乾田直播少量播種栽培における 貫入式土壌硬度計による苗立ち予測法の開発

望月秀俊<sup>1</sup>・藤本 寛<sup>1</sup>・清水裕太<sup>1</sup>・高橋英博<sup>1</sup>・松森堅治<sup>1</sup>

Development of prediction formula on rice establishment with corn penetrometer measurements for dry-seeding of rice with lower sowing rate in southern part of Okayama Prefecture

Hidetoshi MOCHIZUKI<sup>1</sup>, Hiroshi FUJIMOTO<sup>1</sup>, Yuta SHIMIZU<sup>1</sup>, Hidehiro TAKAHASHI<sup>1</sup> and Kenji MATSUMORI<sup>1</sup>

**Abstract:** Because farming fields have recently been getting consolidated and farmers land also have been getting large-scale, dry-seeding of rice is widely introduced by the farmers. Our objective of this paper was to clarify whether the penetration resistance distribution measured using a corn penetrometer (SR-II) can be used to diagnose soil-layers affecting rice establishment rate and to develop a formula to predict the averaged establishment rate level of rice based on the results of diagnoses. We measured the penetration resistance distribution using a corn penetrometer and evaluated the establishment rate of rice at 52 dry-seeding paddy fields with lower sowing rate in southern part of Okayama prefecture. We analyzed the trend of measured penetration resistance distributions for each level of the establishment rate. We proposed 5 sets of the diagnose index and criterion based on the trends of penetration resistance distribution, and the previous cultivation guidelines for rice. By using these sets of index and criterion, we gave scores to all the fields, and calculated the averaged level of establishment rate for each field-score. There was a high correlation between the given field-score and the averaged levels of establishment rate. We concluded that the penetration resistance distribution can be used for the diagnosis on the soil-layers of paddy fields, and we developed a formula to predict the averaged establishment rate level of rice by using the field-score according to the indices and criteria.

**Key Words :** corn penetrometer, establishment, dry-seeding of rice, classification index, drainage property

### 1. はじめに

近年の水稲作では、農地の集約化が進み、生産体系の大規模化が進行している。一方で、現行の移植（田植え）による水稲栽培様式を前提としたさらなる規模拡大は、生産者が所有する農業機械数やオペレータ数からも困

難である。これは、育苗・田植え等の春作業と収穫等の秋作業における労働ピークの押し上げが顕著なためである。そこで、多くの大規模生産者が、育苗・田植え作業の省略による春作業の軽減と、生育ステージのズレによる労働ピークの分散が可能な水稲直播栽培技術を導入しはじめている。（農林水産省生産局生産支援課, 2010）。農林水産省（2015）によると、2013年には、全国で25,889 ha（前年比109%）に水稲直播栽培技術が導入されている。水稲作付面積全体に占める割合は1.6%であるが、今後一層の増加が見込まれる。

水稲直播栽培は、大きく湛水直播と乾田直播の2つに分類される。湛水直播は播種前に湛水する播種様式であり、乾田直播は播種前の湛水を伴わない播種様式である（農林水産省農業研究センター, 1997）。湛水直播に較べて、乾田直播は、播種時期を大幅に前倒しできるため、労働ピークを分散させる効果大きい。今後、地域農業の担い手に農地が集積していくことを併せて考えると、大規模な圃場を有する担い手にとっては乾田直播栽培技術の導入が不可欠であると考えられる。

乾田直播の播種前圃場準備において、これまでのロータリ耕に代わってプラウ耕-レーザ均平-鎮圧の機械作業体系が大規模生産者を中心に導入され始めている。本作業体系を導入すると、後述の通り、圃場が余剰水分を保持することがないため、苗立ち率が向上する。その結果、出芽・苗立ちに対して、過度の神経を使う必要がなくなった。そこで現在では、苗立ち不良のリスクを回避できるように播種量を多めに設定するのではなく、余剰水分を含まない播種床作りで苗立ち不良を回避することで、播種量を慣行量から著しく削減した様式（少量播種）によって、一層の低コスト化を図る方向の技術開発が生産者と共同で進められている。特に熱心な篤農家の一部では、播種量を極限まで削減した1粒点播、3粒点播等に挑戦している（日本農業新聞, 2012）。播種量は1粒点播では0.4 kg/10a、3粒点播では1.2 kg/10aとなり、推奨されている播種量3.5-4.0 kg/10a（農林水産省農業研究センター, 1997）と比較すると、7~9割の播種量の削

<sup>1</sup>NARO Western Region Agricultural Research Center, 6-12-1 Nishifukatsu-cho, Fukuyama, Hiroshima 721-8514, Japan, Corresponding author: 望月秀俊, 農研機構 西日本農業研究センター  
2016年1月13日受稿 2016年6月14日受理

減になる。

とはいえ、水稲直播栽培の最大のリスクが、出芽・苗立ち不良や、倒伏・鳥等による食害等に起因する収量の不安定性にあることに変わりはない。この収量の不安定性を回避するには、まずは高い苗立ち率を安定して得る必要がある。そのため、乾田直播の苗立ちに影響を与える要因に関する研究が進められ、高い苗立ち率を得るために最も重要な要因は、「好適な土壌水分条件を安定して維持することである」とも提言されている(大野ら, 1998)。干ばつ年には走水等を用いて、出芽・苗立ちを促進できるため、多雨年の湿害対策がより重要であり、好適な土壌水分条件の安定維持には圃場が良好な排水性を有する必要がある(藤本ら, 2011)。ただし、ここでいう排水性とは、水稲栽培における有効土層厚として推奨される50 cm深までの土壌層としての排水性のことを意味する。

現在の大規模生産者の多くは、生産者自身の所有する圃場のみで大規模化したのではなく、周辺の生産者等から農作業を請け負う等で規模が拡大した。すなわち、多くの場合、栽培暦や圃場の特性等を熟知した圃場で水稲栽培を行っているのではなく、離散した圃場で水稲栽培を行っている。このため、各圃場の特性を十分に把握した上で、圃場毎に適した栽培様式(移植栽培や乾田直播栽培等)を決定することが困難である。栽培様式を決定するためには、管理する各圃場の特性(ここでは、排水性)を把握する必要があり、簡便な手法が求められて

いる。

現在までのところ、数十筆の圃場を有する生産者自身が現地で土壌層としての排水性を調査できる手法は確立されていない。一方で、簡易かつ迅速に土壌層の情報を集められるツールとしては、貫入抵抗を測定する貫入式土壌硬度計(コーンペネトロメータ(以下、コンペネと呼ぶ): SR-II型)が挙げられる。コンペネは、土壌断面調査用のピットを掘らずに、土壌に垂直に挿入することで、深度ごとの貫入抵抗が記録される装置であり、その簡便性から機械走行性に関連する地耐力調査等に使用されている(土壌環境分析法編集委員会, 1997)。一般に、同じ土壌でも貫入抵抗は、充填密度(乾燥密度)が高いほど、水分量が低いほど、また団粒構造が発達していないほど、高くなる(山崎, 1971)。一方、圃場の排水性を支配する透水系数は、乾燥密度が高いほど、水分量が低いほど、団粒構造が発達していないほど、小さくなる(中野ら, 1995; 農業土木学会土の理工学性実験ガイド編集委員会, 1983)。このように貫入抵抗と透水性が正反対の傾向を示すため、この特性を圃場の排水性の簡易診断に利用することを考え、本研究では、少量播種技術を導入した乾田直播栽培圃場におけるコンペネによる測定結果(以下、コンペネデータ)と苗立ちの良否の関係を調査し、コンペネによる測定が土壌層診断技術となり得ることを検証した後、コンペネデータに基づく診断結果から、苗立ちを予測する式を提案することを目的とした。

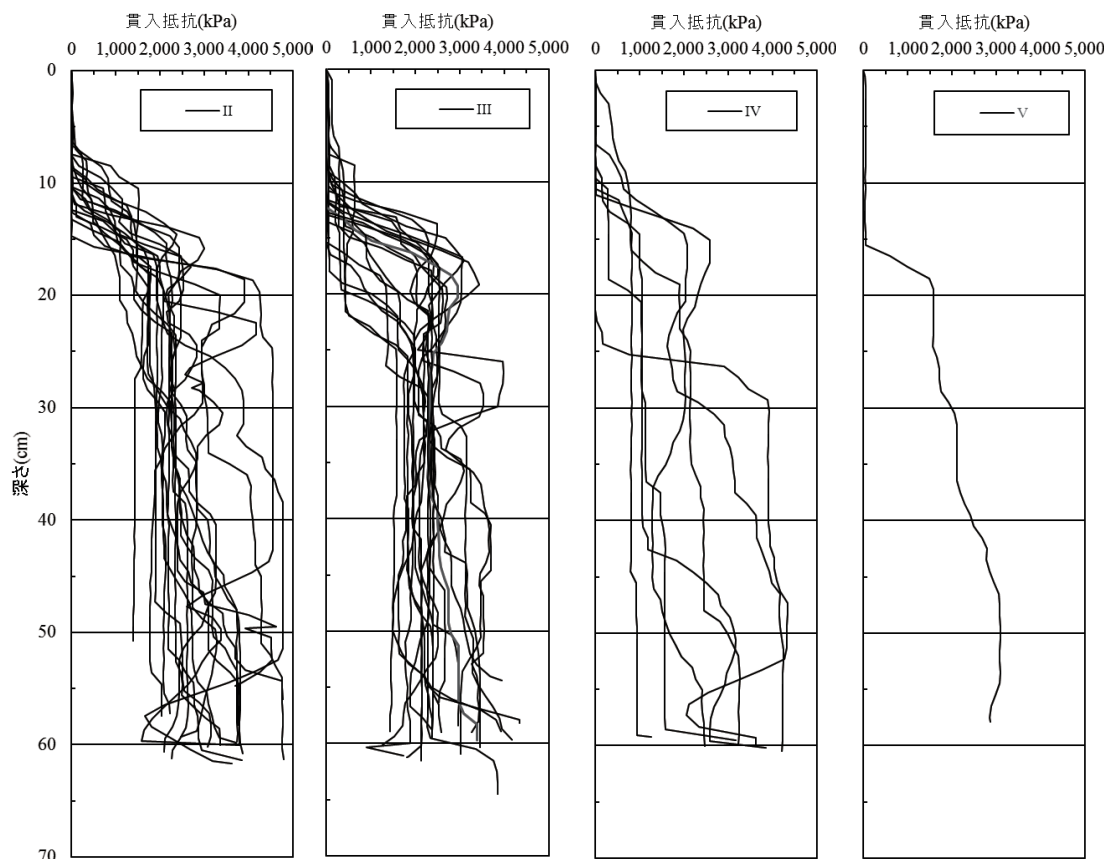


Fig. 1 苗立ち評価の階級に基づいて分類したコンペネデータ(左から II, III, IV, V)。

Corn-penetrometer measurement profiles for each rice establishment classification (From left: II, III, IV, V).

## 2. 材料と方法

### 2.1 調査地

本研究では、岡山県南部に位置する岡山市・瀬戸内市の乾田直播少量播種（3粒点播）圃場52圃場（品種：アケボノ、ヒヨクモチ、きぬむすめ、吟のさと等）で測定を実施した。この中から前作や播種日の異なる圃場を除いた49圃場を解析の対象とした。本研究では、前年の水稲作以来、冬作の作付けを行っていない圃場を選んだ。対象圃場は、10a未満の12圃場、10–20aの26圃場、20–30aの10圃場、30a以上の1圃場で構成され、平均圃場面積は14.9aであり、標準区画（30a）と比べて決して大きな圃場ではない。また、対象圃場の土壌は、中粗粒～細粒グライ土に分類される（農業環境技術研究所、2010）。

乾田直播技術導入の際に、本研究の対象圃場のうち合筆した圃場などの比較的大きな圃場は、前述のプラウ耕–レーザー均平–鎮圧を施して播種床を作ったが、小さな圃場ではプラウの導入やレーザーレベラによる精密な均平が困難であるため、ロータリ等で耕起後、バーチカルハローシーダで播種床を作りつつ播種を行っている。また、プラウ耕–レーザー均平は毎年実施するのではなく、圃場面の凹凸が目立つようになった場合にのみ実施している。少量播種は、全ての対象圃場において、同一のバーチカルハローシーダを用いて、1.0–1.2 kg/10aの播種量で播種深度を1 cm程度に設定し実施した。冬期の圃場作業については、雑草の生育量を見つつ、草抑えのためのロータリ耕を0–2回施した。

岡山県南部地域は5月中旬から6月上旬の播種期に降雨が少なく、乾田直播栽培に適している（菅原、1970）。当地域では、手植えから田植機による田植えを経ることなく乾田直播栽培が普及するという、全国的に見ても珍しい乾田直播栽培の歴史を重ねてきたが（昭和農業技術発達史編纂委員会、1993；山本ら、2000；牧山、2003）、現在も岡山県では、直播栽培技術導入面積に占める乾田直播栽培技術導入面積が、湛水直播技術栽培導入面積よりも圧倒的に多い（山本ら、2000）。春作業から移植作業の時期にあたる3–6月の岡山市の月間降雨量の平年値の

合計（476 mm）は温暖少雨な瀬戸内式気候のため、経度の近い日本海岸式気候の鳥取市（533 mm）よりも少ない。また、太平洋岸式気候の高知市（1,073 mm）と比較すると、圧倒的に少ない。ただし、本研究を実施した2011年は播種作業（5月17–21日）後の5月下旬の降雨量が192.0 mmと平年値37.2 mm（1981–2010年）を大幅に上回る多雨年であった。

### 2.2 測定方法

貫入抵抗分布の測定は、大起理化学社製貫入式土壌硬度計（DIK-5521）に60 cmのシャフトを付けて、枕地を外した圃場中央付近において実施した。なお、測定を簡便にし、より多くの圃場を測定の対象とするため、1筆につき1地点で測定した（以下、コンペネ測定と呼ぶ。）

また同時に、作物栽培分野の研究で用いられる連観評価法によって、苗立ちを目視によって、ほぼ無し（I）（苗立ち率の目安：0–15%）、不良（II）（同：15–30%）、並（III）（同：30–50%）、やや良（IV）（同：50–70%）、良好（V）（同：70%以上）の5階級で評価した（以下、苗立ち評価と呼ぶ。）なお、本研究で測定対象とした水稲の苗成ちは、一般に播種床や土壌水分の影響が圧倒的に大きく、品種間差異はないと考えられる。コンペネ測定は2011年6月20、21日に、苗立ち評価は2011年7月28日に、それぞれ実施した。

### 2.3 解析

コンペネの記録紙をスキャナーで読み込み、画像処理ソフトで傾き補正およびノイズ除去を施した後、デジタル画像として保存した。つづいて、グラフ画像数値化ソフト（Graphcel）を用いて、1 cm深度毎の貫入抵抗を数値化し、表計算ソフト（Microsoft社製Excel 2010）によりゼロ点補正を施した。

数値化されたコンペネデータを、苗立ち評価の階級（I～V）毎に図示し（Fig. 1）、各階級のコンペネデータの傾向を分析した。また分析結果と併せて、栽培指針等の既存の評価項目と目標値等から、①作土層の厚さ、②鋤床層の貫入抵抗、③有効土層の厚さ、④難透水層の発達程度、⑤下層土の透水性、の5つの評価項目を設定した（Table 1）。各評価項目に対して、コンペネデータから抽出できる評価指標と閾値を以下のように設定した（Table 1）。

**Table 1** コンペネデータの評価指標と閾値。

Evaluation criteria, index and thresholds for corn-penetrometer measurements.

番号	項目	指標	閾値 得点		
			2	1	0
①	作土層の厚さ	貫入抵抗が初めて244 kPaを超える深度 (cm)	20 <	10–20	< 10
②	鋤床層の貫入抵抗	作土下端から20 cm深までの貫入抵抗の最大値 (kPa)	< 1,700	1,700–2,550	2,550 <
③	有効土層の厚さ	貫入抵抗が初めて4,500 kPaを超える深度 (cm)	50 <	25–50	< 25
④	難透水層の発達程度	最大貫入抵抗 (kPa)	< 1,700	1,700–3,400	3,400 <
⑤	下層土の透水性	20–40 cm層の平均貫入抵抗 (kPa)	< 1,700	1,700–2,550	2,550 <

藤原ら (1996) は、水稻栽培に望ましい土壌条件を物理性・化学性の両面から掲げている。その中で土壌層を対象とした項目は、1) 作土層の厚さ: 13–20 cm と 2) 山中式硬度計による鋤床層の硬さ: 15–20 mm, 3) 有効土層の厚さ: 50 cm 以上、の 3 つである。長野間 (1993) は、有効土層とは作物の根が自由に伸長して正常に養分を吸収できる物理的・化学的性質をもった土層と定義している。また、藤原ら (1996) は、作土層の硬さは山中式硬度計で 3–10 mm を目標とすることとしており、硬くて根が入らないのは 25 mm 以上としている。これらの土壌条件は山中式硬度計の値で示されているため、コンペネデータに反映させるためには、土壌硬度を貫入抵抗に変換する必要がある。在原 (1997) は、水田土壌における山中式硬度計の値とコンペネデータの変換式 (Eq. (1)) を提示している。

$$Y = -18.4 + 11.9 \log X \quad (1)$$

ここで、 $Y$  は山中式硬度計の読み (mm)、 $X$  はコンペネデータの値 (kPa) である。

藤原ら (1996) の示した水稻栽培に望ましい 3 つの指標を、Eq. (1) を用いて貫入抵抗に変換すると、1) 貫入抵抗が 63–244 kPa である作土層の厚さ: 13–20 cm, 2) 鋤床層の貫入抵抗: 641–1,686 kPa, 3) 貫入抵抗が < 4,437 kPa となる有効土層の厚さ: 50 cm 以上、となる。

以上を踏まえ、初めて 244 kPa を超える深度までの土層を作土層と考え、①作土層の厚さに対する指標を、貫入抵抗値が初めて 244 kPa を超える深度とし、苗立ちへの貢献度を数値化して評価する得点 (0, 1, 2 点) について、作土層の厚さが 10 cm 未満の場合は 0 点、10–20 cm の場合を 1 点、20 cm 以上の場合を 2 点とした。

②鋤床層の貫入抵抗に対しては、鋤床形成位置 (作土層下 5–10 cm: 藤原ら, 1996) と鋤床層の厚さを考慮して、鋤床層に相当する対象深度を作土下端から 20 cm と仮定して、作土下端から 20 cm 深までの貫入抵抗の最大値を指標とし、藤原ら (1996) の鋤床層の山中式土壌硬度計で表した土壌硬度を貫入抵抗に変換した値を参考に、当該層の最大値が 1,700 kPa 以下である場合は 2 点とした。また基準となる 1,700 kPa の 1.5 倍の 2,550 kPa を次の閾値に採用し、1,700–2,550 kPa の場合を 1 点、2,550 kPa 以上の場合を 0 点とした。

③有効土層の厚さについては、貫入抵抗が 4,500 kPa を超える深度を指標とし、4,500 kPa を超える深度が 50 cm 以深である場合は 2 点とした。また、基準となる 50 cm の半分の 25 cm を次の閾値に採用し、25–50 cm 深の場合は 1 点、25 cm よりも浅い場合には 0 点とした。

上記 3 つの指標は、藤原ら (1996) で示された既存の評価基準をもとにした指標である。これらに加えて、本研究では、土壌層の排水性を大きく左右すると考えられる④難透水層の発達程度と⑤下層土の透水性の 2 つの項目を設けた。

④難透水層の発達程度については、その指標を土壌の有効土層として推奨される 50 cm までの層の貫入抵抗の最大値とした。これは、透水性を支配する一要因と考えられる乾燥密度が高いと貫入抵抗が高い値を示すため、貫入抵抗の最大値が大きいくほど、土壌層内に難透水層が発達していることが推察されるからである。また、⑤下層土の透水性については、20–40 cm 層の貫入抵抗の平均値を指標として評価した。対象を 40 cm 深までとしたのは、40 cm 以深では測定限界 (4,500 kPa) を超えていると考えられるコンペネデータが増えているからである。以上を踏まえ、上記 1,700 kPa の 1.5, 2.0, 2.5 倍値とした場合の平均苗立ち評価を解析し、④難透水層の発達程度の閾値を 1,700, 3,400 kPa, ⑤下層土の透水性の閾値を 1,700, 2,550 kPa とした。平均苗立ち評価の解析結果の詳細については後述する。

これらの分類指標と閾値を用いて、コンペネデータに基づいて、苗立ちへの貢献度を数値化して評価する得点を各項目最大 2 点、最低 0 点として得点をつけ、5 項目の合計点 (0–10 点) をコンペネデータに基づく得点とした。また、圃場の苗立ち評価およびコンペネデータに基づく得点を 2 次元ヒストグラムに落とし、コンペネデータに基づく得点毎に、分類された圃場の苗立ち評価の階級 I–V をそれぞれ 1–5 に数値化し、その平均値を算出した。

### 3. 結果と考察

#### 3.1 苗立ち評価

49 対象圃場の苗立ち評価の結果を Table 2 に示した。苗立ち評価では、不良 (II) と並 (III) に分類されたものが多く、ほぼ無し (I)、やや良 (IV)、良好 (V) は少なかった。階級 I–V をそれぞれ 1–5 に数値化して求めた全体の平均苗立ち評価は 2.71 であった。なお、苗立ち評価 I に分類された 2 圃場については、周囲を宅地に囲まれている、もしくは標高が周囲の圃場よりも低いため、周辺に降った雨が圃場に流れ込んでいた。そのため、対象地域における一般的な圃場とは著しく条件が異なっていたため、以後の解析から外すこととした。当該圃場を外した後の 47 圃場の平均苗立ち評価は 2.79 であった。

**Table 2** 苗立ち評価の圃場数。  
The number of fields for the rice establishment classification.

苗立ち評価	圃場数
I	2
II	19
III	20
IV	7
V	1
合計	49



前述の通り、当該年は異常な多雨年であったため、降雨量が平年並みの年であれば、より高い平均苗立ち評価が得られると推察される。

### 3.2 コンペネデータの傾向

コンペネデータを苗立ち評価の階級に基づいて、Fig. 1 に示した。各階級に分類されたコンペネデータは、③有効土層の厚さについては、II に分類された3圃場を除いて、50 cm 以上であった。これは、全ての対象圃場が吉井川と千町川に挟まれた地下水位の高い地域に位置するため、下層の土壌水分量も高く、下層土の貫入抵抗が小さいためである。その他、①作土層の厚さや②鋤床層の貫入抵抗、⑤下層土の透水性（貫入抵抗）については、明確な傾向を見いだせなかった。

そこで、コンペネデータの傾向を明確にするため、V を除いた各階級の深さごとのコンペネデータの平均値を Fig. 2 に示した。各階級の平均値を比較すると、①作土層の厚さについては、II, III, IV については、階級間の明白な差は確認されなかった。これは、作業体系の中で目標とされる耕深（ロータリ耕 12 cm, プラウ耕 22–25 cm, スタブルカルチ 18 cm）に大きな差がなかったためであると考えられた。また、②鋤床層と思われる 20 cm 深周辺の貫入抵抗は、高い階級ほど小さい値を示した。⑤ 20–40 cm 層の貫入抵抗は階級値が高いほど小さかった。また、40 cm 以深の貫入抵抗は、コンペネの測定限界を超えていたものがあつたが、II が他の階級よりも高い値を示した。

### 3.3 評価指標の閾値の設定と検証

コンペネデータに基づく圃場の得点を計算するため、Table 1 に示した5つの項目について、指標と閾値を設定した。①作土層の厚さや②鋤床層の貫入抵抗、③有効土層の厚さについては、既存の基準値を貫入抵抗に変換して用いた (Table 1)。また、④難透水層の発達程度と⑤下層土の透水性の閾値については、既存の基準値と、Table 3 に示した閾値の候補となる数値を設定して、苗立ち評価との関係（例えば、④難透水層の発達程度については、2点と1点の間の閾値を 2,550 kPa とすると、2点に分類される圃場は 16 筆となり、これらの圃場の平均苗立ち評価は 2.81 になる。）を解析して決定した。2点と1点の間の閾値については、②鋤床層の貫入抵抗と同様に、1,700 kPa とした。これは、下層土を対象とした④難透水層の発達程度と⑤下層土の透水性についても、②鋤床層の貫入抵抗と同様の貫入抵抗であれば、水稻の苗立ちに悪影響を及ぼすような排水不良を起こすことはないと考えたためである。また、1点と0点の間の閾値については、1,700 kPa の 1.5, 2.0, 2.5 倍値を閾値とした場合の 0, 1 点にそれぞれ区分される圃場数が過度に偏らないことと、区分された圃場の平均苗立ち評価が全体の苗立ち評価よりも明確に低くなり始めることを基準に、④難透水層の発達程度については 3,400 kPa, ⑤下層土の透水性については 2,550 kPa を閾値として選んだ。

なお、③有効土層の厚さについては、本研究の対象圃場では、ほとんどの圃場で 50 cm 以上となったため、適

切な評価項目とは言い切れない。一方で、今後様々な乾田直播水田におけるデータを蓄積することで、有効な評価項目となる可能性も否定しきれないため、本研究では1つの評価項目として残すこととした。

これらの指標と閾値を、平均苗立ち評価をもとに検証した (Table 4)。すべての評価項目について、高得点を獲得した圃場ほど、平均苗立ち評価が高く、評価指標として使用できると判断された。

### 3.4 コンペネデータに基づく対象圃場の得点

本研究では、Table 1 の5つの項目の得点の和を当該圃場の得点とした。その結果、6点を獲得した圃場が17圃場と最も多く、10圃場が4点を獲得し、これに続いた。最高得点は9点 (3圃場)、最低得点は1点 (1圃場) であり、47圃場の平均値は 5.02 点であった。

コンペネデータに基づく得点と苗立ち評価の関係を Fig. 3 に示した。また、各得点に該当する圃場数を括弧内に示した。得点が低いほど、低い苗立ち評価の階級の割合が高く、得点が高いほど、高い苗立ち評価の階級の割合が高くなる傾向が示され、本研究で提案した手法によって、苗立ちに影響を与える土壌層の診断が可能であることが示された。

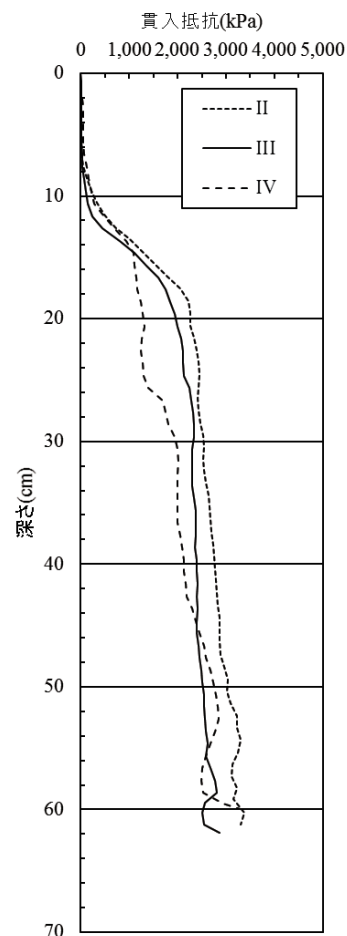


Fig. 2 苗立ち評価の階級ごとのコンペネデータの平均値。Averaged corn-penetrometer measurement profiles for the rice establishment classification of II to IV.

**Table 3** 閾値に対する平均苗立ち評価と圃場数の変化.

Changes in average rice establishment evaluation and the number of fields to thresholds of criterion.

番号	項目	閾値				
		平均苗立ち評価 (圃場数)				
2点と1点の間の閾値：2点となる圃場数						
①	作土層の厚さ (cm)	5 2.76 (46)	10 2.86 (35)	15 3.33 (6)	20 4.00 (1)	25 4.00 (1)
②	鋤床層の貫入抵抗 (kPa)	4,250 2.80 (46)	3,400 2.82 (39)	2,550 2.83 (29)	1,700 3.75 (4)	850 4.00 (1)
③	有効土層の厚さ (cm)	12.5 2.79 (49)	25 2.80 (46)	37.5 2.82 (45)	50 2.84 (44)	62.5 3.00 (1)
④	難透水層の発達程度 (kPa)	4,250 2.83 (42)	3,400 2.88 (33)	2,550 2.81 (16)	1,700 3.67 (3)	850 - (0)
⑤	下層土の透水性 (kPa)	4,250 2.80 (46)	3,400 2.82 (45)	2,550 2.86 (35)	1,700 3.33 (6)	850 4.00 (1)
1点と0点の間の閾値：0点となる圃場数						
①	作土層の厚さ (cm)	5 4.00 (1)	10 2.62 (13)	15 2.71 (41)	20 2.76 (46)	25 2.76 (46)
②	鋤床層の貫入抵抗 (kPa)	4,250 2.00 (1)	3,400 2.63 (8)	2,550 2.72 (18)	1,700 2.70 (43)	850 2.76 (46)
③	有効土層の厚さ (cm)	12.5 - (0)	25 2.00 (1)	37.5 2.00 (2)	50 2.00 (3)	62.5 2.78 (46)
④	難透水層の発達程度 (kPa)	4,250 2.40 (5)	3,400 2.57 (14)	2,550 2.77 (31)	1,700 2.73 (44)	850 2.79 (47)
⑤	下層土の透水性 (kPa)	4,250 2.00 (1)	3,400 2.00 (2)	2,550 2.58 (12)	1,700 2.71 (41)	850 2.76 (46)

塗りつぶしたセルは、本研究で採用した閾値

### 3.5 コンペネデータに基づく得点による苗立ち予測モデル

本研究で提案した評価指標と閾値から、コンペネデータに基づいた圃場の得点と圃場の苗立ち評価の関係が示された。そこで、苗立ち評価の階級を数値化し、コンペネデータに基づいた圃場の得点ごとの平均苗立ち評価を算出し、Fig. 3に示した。この平均苗立ち評価と圃場の得点との相関係数は0.935 ( $p < 0.001$ )であり、相関が高かったため、直線回帰で導かれた式を、コンペネデータに基づいた圃場の得点から平均苗立ち評価を予測する式とした (Eq. (2))。

$$y = 0.223x + 1.802 \quad (R^2 = 0.8750, p < 0.001) \quad (2)$$

ここで、 $x$ はコンペネデータに基づいた圃場の得点、 $y$ は平均苗立ち評価である。この式を用いることで、コンペネデータに基づく得点から苗立ち評価をある程度予測することが可能になった。

ただし、現時点では当該予測式の適用範囲は岡山県南

部の乾田直播少量播種圃場に限定される。また、当該予測式は、得点が0点でも1.80の平均苗立ち評価、10点(満点)でも4.03の平均苗立ち評価となり、苗立ちが極端に悪い圃場と良い圃場を評価できないことが、本モデルの限界である。しかしながら、経営上問題ない苗立ち(苗立ち評価III相当)以上を得るためには、5点以上の得点が得られるように土壌層を改良する必要があり、8点以上の得点が得られた圃場では旺盛な苗立ち(苗立ち評価IV相当)が期待できる、といった形であれば、現時点でも利用可能である。一方で、特に有効土層の厚さ等、今後もデータ蓄積を継続し、各項目の重み付けや項目の加除等によって、予測式を精緻化・汎用化を試みる必要がある。

## 4. おわりに

岡山県南部における乾田直播少量播種圃場の苗立ち評価とコンペネデータを併せて解析し、既存の栽培指針等も参考にして、コンペネに基づく得点を算出する5つの

Table 4 評価項目ごとの平均苗立ち評価。

Average rice establishment evaluation for each criterion.

番号	項目	平均苗立ち評価 (圃場数)		
		2	1	0
①	作土層の厚さ	4.00 (1)	2.82 (34)	2.58 (12)
②	鋤床層の貫入抵抗	3.75 (4)	2.68 (25)	2.72 (18)
③	有効土層の厚さ	2.84 (44)	2.00 (2)	2.00 (1)
④	難透水層の発達程度	3.67 (3)	2.80 (30)	2.57 (14)
⑤	下層土の透水性	3.33 (6)	2.76 (29)	2.58 (12)

謝辞

本研究に関わる調査の実施にあたっては、株式会社 歓喜ファーム 嘉数末弘氏、株式会社 夢ファーム 奥山孝明氏から多大なご協力を戴いた。また、現地調査においては、農研機構西日本農業センター業務第1科員の協力を得た。記して、謝意を表します。

引用文献

在原克之 (1997): B. 貫入式土壌硬度計法, 土壌環境分析法編集委員会編, 土壌環境分析法, pp. 36-38. 博友社, 東京.

土壌環境分析法編集委員会 (1997): 土壌環境分析法, pp. 36-38. 博友社, 東京.

藤本 寛, 佐藤達也, 森 伸介, 高橋仁康, 窪田 潤 (2011): 水稲乾田直播における少量播種技術の開発とその苗立ち. 日本作物学会紀事, 80 (別): 48-49.

藤原俊六郎, 安西徹郎, 加藤哲郎 (1996): 土壌診断の方法と活用, pp. 62-86, 181-188. 農山漁村文化協会, 東京.

牧山正男 (2003): 日本型直播稲作に関する水田工学的研究, 東京大学学位論文, pp. 42-43.

長野間宏 (1993): 有効土層, 久馬一剛ら編, 土壌の事典, p. 491. 朝倉書店, 東京.

中野政詩, 宮崎 毅, 塩沢 昌, 西村 拓 (1995): 土壌物理環境測定法, pp. 89-136. 東京大学出版会, 東京.

日本農業新聞 (2012): 乾田直播に挑戦⑤. 2012年6月21日 14面.

農業土木学会土の理工学性実験ガイド編集委員会 (1983): 土の理工学性実験ガイド, pp. 102-113. 農業土木学会, 東京.

農業環境技術研究所 (2010): 土壌情報閲覧システム [http://agrimesh.dc.affrc.go.jp/soil\\_db/](http://agrimesh.dc.affrc.go.jp/soil_db/) (2016年1月12日)

農林水産省 (2015): 水稲の直播栽培について. [http://www.maff.go.jp/j/seisan/ryutu/zikamaki/z\\_genzyo/pdf/zikamaki\\_zyoukyou\\_25.pdf](http://www.maff.go.jp/j/seisan/ryutu/zikamaki/z_genzyo/pdf/zikamaki_zyoukyou_25.pdf) (2016年1月12日)

農林水産省農業研究センター (1997): 日本型直播稲作導入指針, p. 2, pp. 4-5, pp. 75-77.

農林水産省生産局生産支援課 (2010): 水稲直播栽培技術の普及状況 (プレスリリース) <http://www.maff.go.jp/j/press/seisan/sien/100611-1.html> (2016年1月12日)

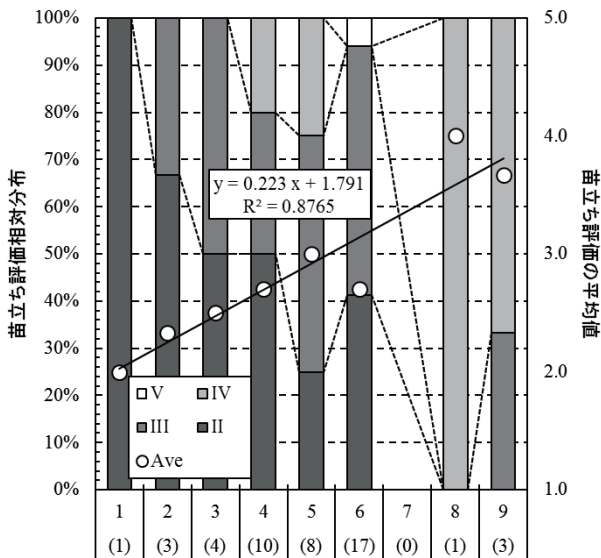
大野智史, 小野信一, 高橋 茂, 野々山芳夫, 住田弘一 (1998): 耕うん処理及び土壌水分条件が乾田直播水稲の出芽に及ぼす影響. 土壌の物理性, 79: 35-39.

昭和農業技術発達史編纂委員会 (1993): 昭和農業技術発達史 第2巻 水田編, pp. 146-155. 農山漁村文化協会, 東京.

山本晃郎, 坂本定禱, 富久保男 (2000): 岡山県における水稲乾田直播栽培の減少継続要因と不耕起乾田直播栽培の位置付け. 岡山県農試研報, 18: 41-49.

菅原友太 (1970): 日本の農業, 69, 農政調査委員会, pp. 45-47.

山崎不二夫 (1971): 農地工学 上, pp. 272-278. 東京大学出版会, 東京.



コンペネデータに基づく得点 (括弧内は圃場数: 0, 10は該当なし)

Fig. 3 コンペネデータに基づく得点と苗立ち評価相対分布の関係。

Relative rice establishment evaluation vs. points based on corn-penetrometer measurements.

指標と閾値を策定した。策定した指標と閾値によって算出したコンペネデータに基づく圃場の得点は、平均苗立ち評価と相関が高く、コンペネデータは土壌層の診断技術となり得ることが示された。そして、これらの関係をもとに、コンペネデータに基づいた得点から、平均苗立ち評価を予測する式を提案した。ただし、本研究で導出された苗立ち評価予測式の適用範囲は、岡山県南部の乾田直播少量播種圃場にとどまり、かつ極端に良好・劣悪な圃場の評価には向きである。このため、今後は他地域での検証を加え、予測式の汎用化に向けたデータの蓄積と改良が必要である。

## 要 旨

近年、農地の集約化と生産体系の大規模化が進み、乾田直播水稻栽培技術の導入が進んでいる。本研究では、貫入式土壌硬度計 (SR-II) による貫入抵抗分布が、乾田直播水稻の苗立ちに影響を与える土壌層の診断技術となり得るかを検証した後、貫入抵抗分布に基づく診断結果から苗立ちを予測するモデル式を提案することを目的として、岡山県南部の 52 筆の乾田直播少量播種圃場における貫入抵抗分布と苗立ち評価の関係を調査し、苗立ち評価の階級ごとに貫入抵抗分布の傾向を分析した。得られた傾向と既往の栽培指針等から 5 つの評価指標と閾値を策定し、圃場に得点をつけた。得点と苗立ち評価の階級の平均値の間には強い相関が見られ、貫入式土壌硬度計による測定が土壌層の診断技術になることが示された。また、圃場の得点から平均的な苗立ち評価の階級を予測する式を提案した。

**キーワード:** コーンペネトロメータ, 苗立ち, 乾田直播, 評価指標, 排水性