

作物生育情報測定装置による水稲 生育診断のための [利用マニュアル]



平成23年3月

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構
生物系特定産業技術研究支援センター

宮城県古川農業試験場

新潟県農業総合研究所 作物研究センター

兵庫県立農林水産技術総合センター 農業技術センター

目次

I	携帯式作物生育情報測定装置の概要	1
1.	作物生育情報測定装置の測定原理	1
1)	リモートセンシングの手法を応用	1
2)	植生指数で作物の状態を表現	2
3)	携帯式装置で植生指数を算出	3
2.	装置の構造・機能と取扱方法	4
1)	携帯式装置の構造	4
(1)	携帯式装置を構成する要素	4
(2)	コントローラ部操作ボタンの役割	5
2)	携帯式装置の機能	6
(1)	2種類の計測モード	6
(2)	その他の機能	8
(3)	GPS 機器接続による位置情報の取得	8
3)	測定の手順と留意点	9
(1)	測定準備	9
(2)	電源を投入する	10
(3)	測定する	11
(4)	測定データの確認、PCへのデータ転送	12
4)	測定方法	13
(1)	ほ場一筆の平均値を求める測定方法	13
(2)	畦畔からの斜め測定方法による簡易生育診断	15
II	水稻生育診断のための基礎データ取得	16
1.	基礎データの取得方法	16
1)	調査の目的	16
2)	調査方法	16
(1)	供試ほ場	16
(2)	調査日	16
(3)	調査の手順	17
3)	調査における留意点	18
2.	基礎データ調査結果の例	19
1)	稲体窒素吸収量（窒素量）との関係	
(宮城県：ひとめぼれ、ササニシキ、まなむすめ等)		19
(1)	正規化植生指数(NDVI)と窒素吸収量	19

(2) NIR 反射率比/R 反射率比と窒素吸収量	20
2) 籾数との関係 (宮城県：ひとめぼれ)	21
3) 葉色との関係 (宮城県：ひとめぼれ)	22
4) 稲体窒素量 (窒素吸収量) との関係 (新潟県：コシヒカリ、こしいぶき、五百万石)	23
5) 茎数との関係 (新潟県：コシヒカリ、こしいぶき、五百万石)	24
III 水稻生育診断への応用例	25
1. 宮城県における応用例 (品種：ひとめぼれ)	25
1) 利用目的・活用場面	25
2) 生育診断の手法	25
3) 留意点等	25
2. 新潟県における応用例 (品種：コシヒカリ)	26
1) 利用目的・活用場面	26
2) 生育診断の手法	26
3) 留意点等	27
2. 兵庫県における応用例 (品種：ヒノヒカリ) (畦畔からの斜め測定方法の活用事例)	27
1) 利用場面・活用場面	27
2) 生育診断手順	27
3) 生育診断に用いる数値の考え方	28
4) 生育診断結果	29
IV 他用途への応用例、その他	30
1. 水稻の収穫適期判定 (宮城県における調査例)	30
2. 水稻の粗玄米タンパク含有量の推定	
1) 宮城県における調査例	31
2) 新潟県における調査例	32
3. 麦類の生育診断 (宮城県における調査例)	33
4. 産業用無人ヘリで利用	35
1) 無人ヘリセンサシステムの概要	36
(1) ヘリの飛行高度と移動速度	36
(2) 上下センサの取付位置	36
2) 無人ヘリセンサシステムの性能	38
(1) 地上測定値との比較	38
(2) 作業能率	39
V 【参考】慣行の水稻生育診断法	40

1. 宮城県における水稻の肥培管理と栄養診断	40
1) 基肥窒素	40
(1) 春季雨量に応じた基肥窒素の減肥	40
(2) 籾数増加割合に基づく基肥窒素量の判定	41
2) 追肥窒素	41
(1) 分けつ期追肥	41
(2) つなぎ肥	41
(3) 穂肥	41
3) 窒素施肥による籾数制御の考え方	42
4) 地力窒素の影響	43
5) 品種特性に応じた基肥量	43
6) 追肥にあたっての生育診断・栄養診断法	43
(1) 期待生育量による診断	44
(2) カラースケールによる葉色診断法	44
(3) 葉緑素計による葉色診断法	44
(4) 倒伏診断	45
(5) 草丈、茎数、葉緑素計値による稲体窒素吸収量の推定法	46
2. 新潟県における水稻の肥培管理と栄養診断	47
1) 理想生育相	47
2) 後期栄養	47
3) 生育診断と適正穂肥	47
3. 兵庫県における施肥基準と良食味に向けた生育指標	48
1) 施肥基準	48
(1) 地帯別施肥基準について	48
(2) 施肥基準の使用上の注意	48
(3) 省力施肥の基準	49
2) 兵庫県におけるコシヒカリ、キヌヒカリ、ヒノヒカリの良食味化栽培指標	51
(1) キヌヒカリの良食味化栽培指標	51
(2) キヌヒカリの心白米対策	51
(3) コシヒカリの高品質・多収栽培指標	52
(4) ヒノヒカリの良食味化栽培指標	53
(5) 【参考】山田錦の生育診断による穂肥の施用	54
VI 担当者一覧	56

I 作物生育情報測定装置の概要

1. 作物生育情報測定装置の測定原理

1) リモートセンシングの手法を応用

リモートセンシングとは、対象物より離れたところから各種センサを利用して光や音、圧力、温度などを計測する方法のことを指します。人工衛星や航空機から地球を観測し、地表付近の対象物より反射または放射される電磁波を計測・分析する手法、いわゆる「衛星リモセン」、「航空機リモセン」と呼ばれるものが知られています。図 I-1 は、地球の外側を周回する観測衛星から地上の様子を観測する衛星リモセンのイメージを示したものです。

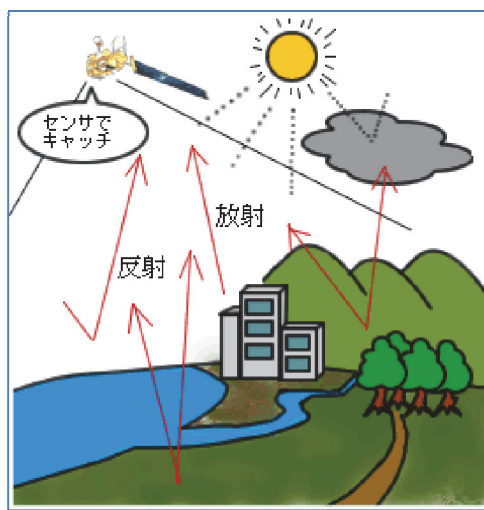


図 I-1 地球観測衛星による観測(リモートセンシング)のイメージ
(JAXA ホームページより)

一般に、地上のあらゆる物質から反射または放射される電磁波は、図 I-2 のようにその物質の種類や状態によって各波長帯における反射の強さに特徴があります。このような性質を利用することによって、対象物の種類や状態を判別することが可能となります。

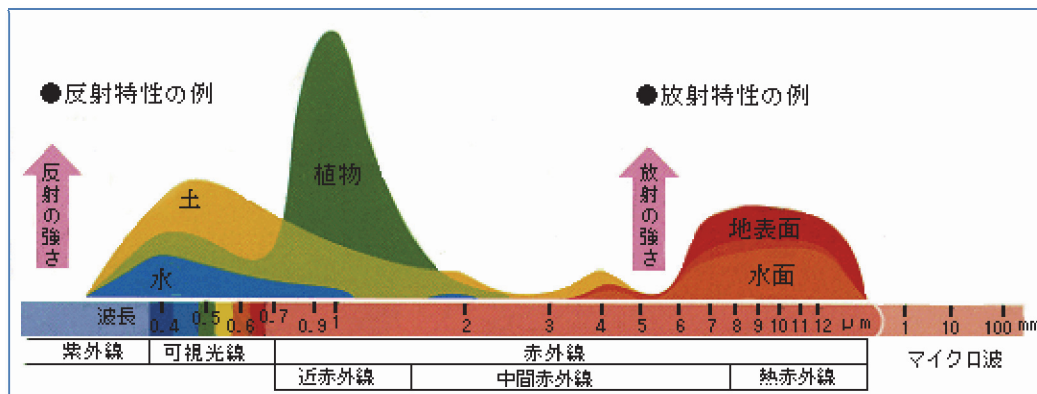


図 I-2 波長帯における植物、土、水の電磁波の反射と放射の強さ
(JAXA ホームページより)

植物の場合、栄養状態や健康状態が違っていても反射は異なります。こうした特徴を利用し、反射され光の強さを分析することによって植物の活性や繁茂度などを知ることが可能になると考えられています。

作物生育情報測定装置は、このようなリモートセンシングの手法を応用し、作物（主に水稻を対象）の状態を観測することを目的に開発したものです。水稻の生育期間中にリアルタイムで栄養状態や健康状態を知ることができれば、追肥など適切な管理を行うことで収量や品質の安定を図ることが可能になります。

2) 植生指数で作物の状態を表現

植生指数とは、リモートセンシングにおいて植生（植物の群落）の状態を表す指標に用いられる演算式を指します。植物の生葉は、図 I - 3 のように 700~1300nm（ナノメータ）の近赤外域ではその反射率（NIR）が 40%を超えるのに対し、500~700nm の可視光（緑～赤色）域の反射率（G、R）は 20%未満となります。生育の旺盛な時期は、赤色域の光を強く吸収し近赤外域の光をより反射するようになるため、両者の差はさらに広がります。また、植生（植物の群落）として見た場合、繁茂度が増す（植被率が增加する）につれ全体として NIR が高くなるため、同様に G、R との差が広がる傾向となります。このような植物の活性や繁茂度などの特性を表現するのが植生指数です。植生指数には NIR と R の差や比を組合せたものが多く、代表例として下記のものが挙げられます。

$$\text{RVI (Ratio Vegetation Index : 比植生指数)} = \text{NIR/R}$$

$$\text{DVI (Difference Vegetation Index : 差植生指数)} = \text{NIR-R}$$

$$\begin{aligned} \text{NDVI (Normalized Difference Vegetation Index : 正規化 (差) 植生指数)} \\ = (\text{NIR-R}) / (\text{NIR+R}) = (\text{RVI}-1) / (\text{RVI}+1) \end{aligned}$$

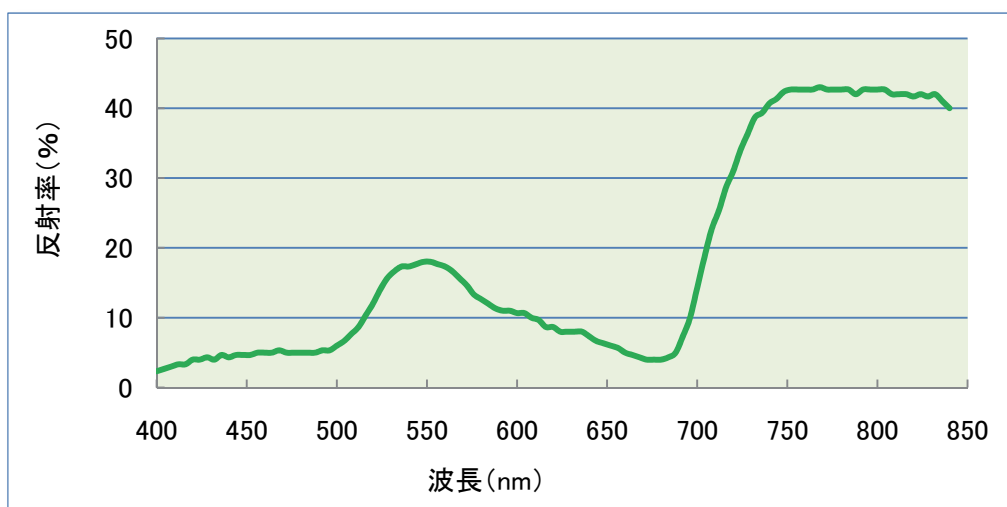


図 I - 3 水稻(単葉)の分光反射測定例

3) 携帯式装置で植生指数を算出

携帯式作物生育情報測定装置（携帯式装置）は、簡単なボタン操作によって作物からの反射を測定し植生指数の算出・表示を行う光学式の計測装置です。

図 I - 4 は、携帯式装置の外観です。センサ部に組み込んだ分光フィルタ付きフォトセンサで太陽光と作物からの反射光を同時に測定し、各波長域の反射率 NIR、R、G を求めたのち植生指数を算出し、液晶パネルに表示します。

液晶パネルには2種類の植生指数が表示されますが、一つは衛星リモセンなどで最もよく利用されている NDVI で、もうひとつは、以下に示した演算式の中から用途に応じて任意に選択したものです。

- a : NIR/R (植生指数 RVI)
- b : NIR^2/R
- c : $\sqrt{\{(1-\text{NIR})^2+\text{R}^2\}} \times 100$
- d : NIR/G
- e : NIR^2/G
- f : $\text{NIR} \times 100$
- g : $(\text{NIR}-\text{G})/(\text{NIR}+\text{G}) \times 100$

NDVI ($= (\text{NIR}-\text{R}) / (\text{NIR}+\text{R})$) は、 $-1 \sim +1$ の範囲の値となる演算式ですが、水稻などの作物を対象とした場合 $\text{R} < \text{NIR}$ と考えられるため、演算結果は $0 \sim +1$ の範囲となります。 $\text{R}=0$ の場合も排除すると、表示範囲は $0 \sim 0.999\cdots$ ということになります。

そこで、本装置では、有効な表示桁数を多くするため演算結果を 100 倍し、 $0.0 \sim 99.9$ の範囲でパネルに表示することにしました。生研センターでは、このように NDVI を 100 倍した値を GI 値 (Growth Index) と呼び、本装置の固有の値として使用しています。

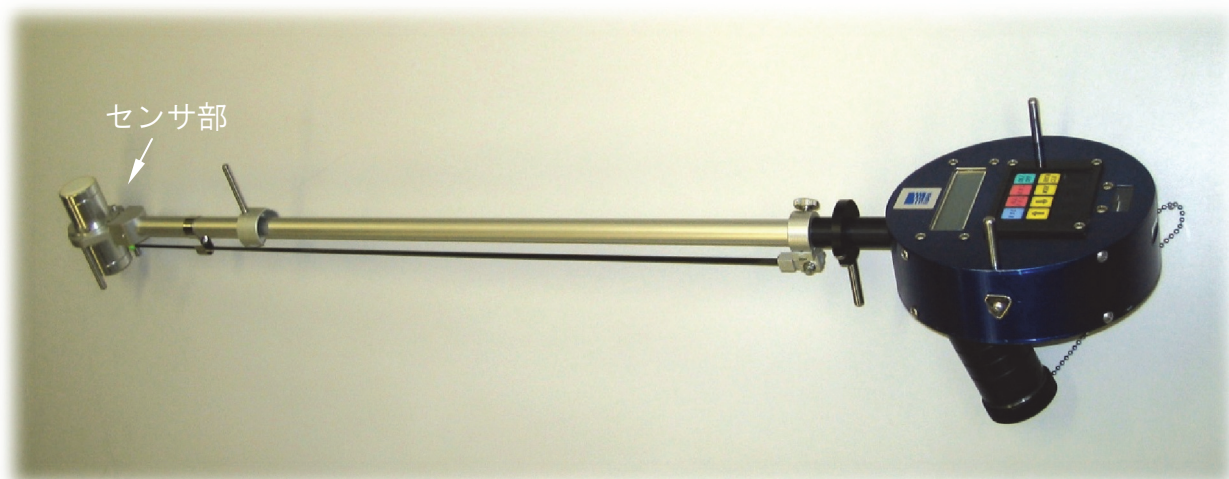


図 I - 4 携帯式装置の外観

2. 構造・機能と取扱方法

1) 携帯式装置の構造

(1) 携帯式装置を構成する要素

①センサ部

上向きセンサで入射光（太陽光）強度を、下向きセンサで作物からの反射光強度を測定します。上下センサに組み込まれた各3個のフォトダイオード受光面には緑・赤・近赤外の分光フィルタが貼付されおり、それぞれ中心波長と半値幅は以下のとおりです。

緑色域の分光フィルタ:550nm、50nm(中心波長、半値幅)

赤色域の分光フィルタ:650nm、50nm(")

近赤外の分光フィルタ:880nm、80nm(")

②コントローラ部

電源の入切をはじめ、各種操作はコントローラ部上面のボタンで行います（操作ボタンの名称と役割は次ページをご覧ください）。コントローラ部下方には電池収納を兼ねたグリップが取り付けられており、グリップ前方上部のトリガーボタンを押すと測定が行われます。

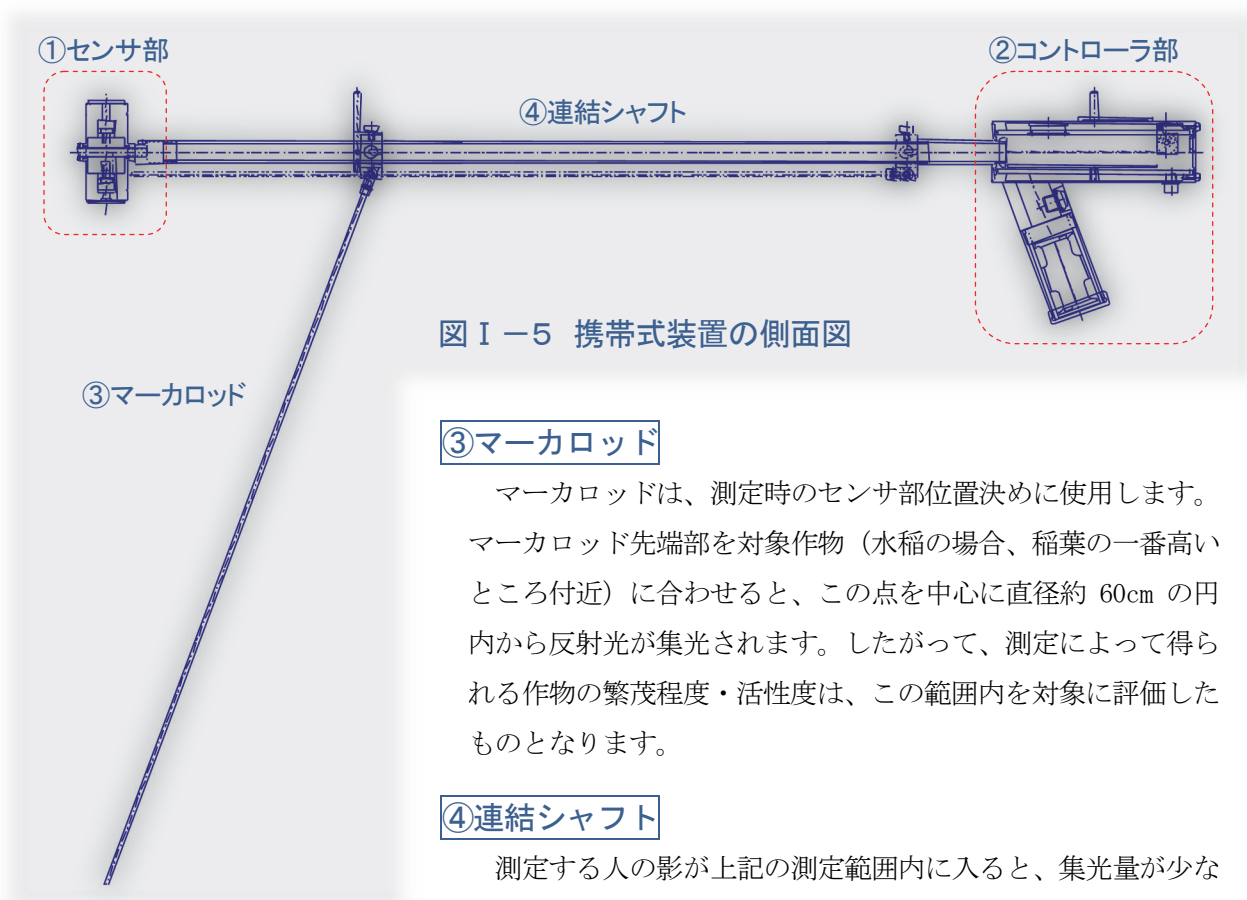


図 I - 5 携帯式装置の側面図

③マーカロッド

マーカロッドは、測定時のセンサ部位置決めに使用します。マーカロッド先端部を対象作物（水稻の場合、稲葉の一番高いところ付近）に合わせると、この点を中心に直径約 60cm の円内から反射光が集光されます。したがって、測定によって得られる作物の繁茂程度・活性度は、この範囲内を対象に評価したものとなります。

④連結シャフト

測定する人の影が上記の測定範囲内に入ると、集光量が少なくなり繁茂程度・活性度を正しく評価することが出来なくなってしまいます。そこで、センサ部を測定者の体から遠く離れた位置にするため、シャフトで連結する構造としています。

(2) コントローラ部操作ボタンの役割

- ① 表示部 LCD パネル : データ番号や演算結果などを表示します。
- ② **ESC** キー : 動作の取り消しや中止を行うスイッチです。
トリガーボタンと同時に押して自動連続測定を開始することもできます。
- ③ **ALL DEL** キー : メモリ内の全てのデータの消去を行います。
- ④ **DEL** キー : 表示されているデータの消去を行います。
- ⑤ **ON/OFF** キー : 電源の ON/OFF を行います。
- ⑥ **↑** キー : メモリ内もしくはバッファ内データの閲覧を行うことができます。
ラベル変更モードでは、ラベル変更に使用します。
- ⑦ **↓** キー : 同上
- ⑧ **MODE** キー : ダイレクトモードと平均値モードの切り替えを行います。
[ESC] キーと同時に押すとラベル変更モードに切り替わります。
- ⑨ **REC&CLR** キー : 平均値モードで使用するボタンです。
バッファ内のデータを平均して内部メモリに記録し、同時にバッファ内のデータ消去を行います。



図 I —6 コントローラ部上面の液晶パネルと各種操作ボタン

上記の「平均値モード」、「ダイレクトモード」、「ラベル変更モード」については、携帯式装置の機能の項目で説明します。

2) 携帯式装置の機能

(1) 2種類の計測モード

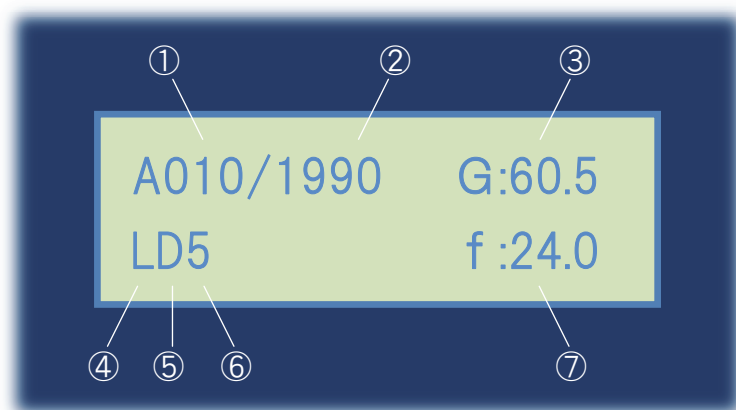
携帯式装置には2種類の計測モードがあります。以下に、各モードの内容を紹介します。

ダイレクトモード

ダイレクトモードでは、トリガーボタン（測定ボタン）を押した瞬間のデータがすべて内部メモリに記録されます。

図 I-7 は、ダイレクトモード時の液晶パネル表示例です。表示例では、A ラベル名（データ番号先頭のアルファベット）を持つデータが 10 点記録されており、あと 1990 点の測定・記録を行うことができます。データ番号 A10 の GI 値は 60.5 です。下段左端に「L」が表示されているときは電池交換が必要です。GPS 機器が接続されているため、衛星補足数が 5 個であることを示す「D5」が表示されています。第二表示値の演算式は「f」が選択されています（4 ページ参照）。

この例では、ラベル名「A」のデータのみ記録されていますが、「B」以降のラベル名を持つデータが記録されている場合もありますので、メモリー残量に注意し必要に応じて PC へのデータ転送や不要データの削除を行ってください。



- ①データラベル: (ラベル名+3桁の番号)直前に測定されたデータの番号を表示します。ラベル名の変更方法は取扱説明書で確認してください。
- ②メモリー残数
- ③演算式と演算結果: GI 値 (NDVI×100)が表示されます。
- ④ローバッテリー表示: (通常時は空欄)
- ⑤D-GPS 表示: (GPS 未接続時は空欄)
- ⑥GPS 衛星補足数: (GPS 未接続時は X を表示)
- ⑦第二演算式の種類と演算結果: (この例では NIR×100)

図 I-7 ダイレクトモード時のパネル表示例

なお、GPS を使用する時は測定間隔を 2 秒以上空けて測定を行う必要があります。測定間隔が短いと GPS 位置情報が記録されない場合があります。

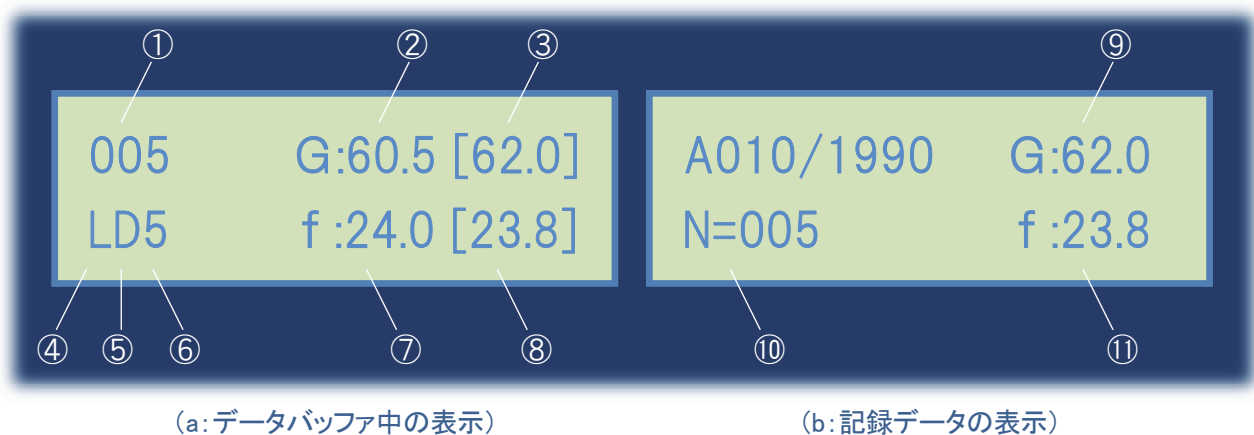
平均化モード

平均化モードでは、測定データはいったんバッファ内に保存されます。任意回数の測定を行ったのち **REC&CLR** キーを押すと、バッファ内のデータの平均値のみが記録されます。

図 I-8 は、平均化モード時の液晶パネル表示例です。データバッファ中の表示例 (a) とメモリに記録したときの平均値データの表示例 (b) を示しています。

データバッファ中には、測定を行うたびにバッファ内に保存されているデータの平均値が計算され、カッコ内に計算結果が表示されます。

REC&CLR キー押し、バッファ内のデータの平均値が内部メモリに記録されると、パネル表示が図 I-8 (b) のように変わります。このように平均値データが記録・表示されるとバッファ内のデータはすべて消去され、引き続きスタートボタンを押すとバッファ内への新たなデータ保存を始めます。



- ①データラベル: (3桁の番号)直前に測定されたデータの番号を表示します。バッファ内に保存されているデータで、ラベル名は付与されません。
- ②演算式と演算結果: GI 値($\text{NDVI} \times 100$)が表示されます。
- ③演算結果: バッファ内の保存データの平均値が表示されます。
- ④ローバッテリー表示: (通常時は空欄)
- ⑤D-GPS 表示: (GPS 未接続時は空欄)
- ⑥GPS 衛星補足数: (GPS 未接続時は X を表示)
- ⑦第二演算式の種類と演算結果: (この例では $\text{NIR} \times 100$)
- ⑧演算結果: バッファ内の保存データの平均値が表示されます。
- ⑨演算式の種類と演算結果: 内部メモリに記録された GI 値($\text{NDVI} \times 100$)を表示します。
- ⑩データ数: 平均値の計算に用いたデータ数を表示します
- ⑪第二演算式の種類と演算結果: 内部メモリに記録された値を表示します。
(この例では $\text{NIR} \times 100$)

図 I-8 平均化モード時のパネル表示例

以上の2種類の計測モードは、**MODE** キーを押すことによって切り替えることができます。

(2) その他の機能

データラベル付与とラベル名変更モード

内部メモリに記録するデータには図 I—9 のようなデータラベル (①) が付与されます。

データラベルは、先頭のラベル名 (アルファベット 1 文字) と後に続く 3 ケタの連番数字で構成されています。ラベル名は初期値が「A」で、ラベル変更モードで任意に変更することができます。ラベル名の変更を行う操作方法の詳細は取扱説明書で確認してください。



図 I—9 パネル表示例

連続自動測定

本装置は、一定の時間間隔で自動的に連続測定を行う機能を備えています。測定時間間隔は最短 1 秒から 1 秒単位で設定することができます。測定時間間隔と連続測定点数は附属ソフトウェアを使って設定することができます。設定方法の詳細は取扱説明書で確認してください。なお、連続測定時はラベル変更を行うことができないため、測定点数は最大 999 点となります。

(3) GPS 機器接続による位置情報の取得

本装置のみでは位置情報を取得することはできませんが、別途 GPS 機器を用意しコントローラ部背面の GPS コネクタに接続すると、測定と同時に位置情報を記録することができます。



図 I—10 コントローラ部下面の各種接続コネクタ

3) 測定の手順と留意点

(1) 測定準備

新品の単三乾電池または満充電した充電電池 4 本を電池ボックスに入れます。位置情報を同時に取得する必要がある場合は、コントローラ部下面の GPS コネクタに GPS 機器を接続します。



図 I —11 電池ボックス兼用のグリップ



図 I —12 GPS 機器を接続して測定

【留意点】

- ・センサ面に泥や汚れが付着していないことを確認する必要があります。センサ面に汚れがある場合は、ウェットティッシュなどで拭き取ります。下側センサの保護ガラス面はほ場内移動時に泥が付着することがあるため特に注意して下さい。

(2) 電源を投入する

装置の電源を投入すると、液晶パネルに図 I-13 のような表示が現れます。

電源投入直後は、前回終了時の計測モード（ダイレクトモードまたは平均化モード）が引き継がれています。使用するモードと異なる場合は、**MODE** ボタンを押してモードの切り替えを行います。記憶データが残っている場合、すべてのデータの削除は **ALL DEL** キーで行います。

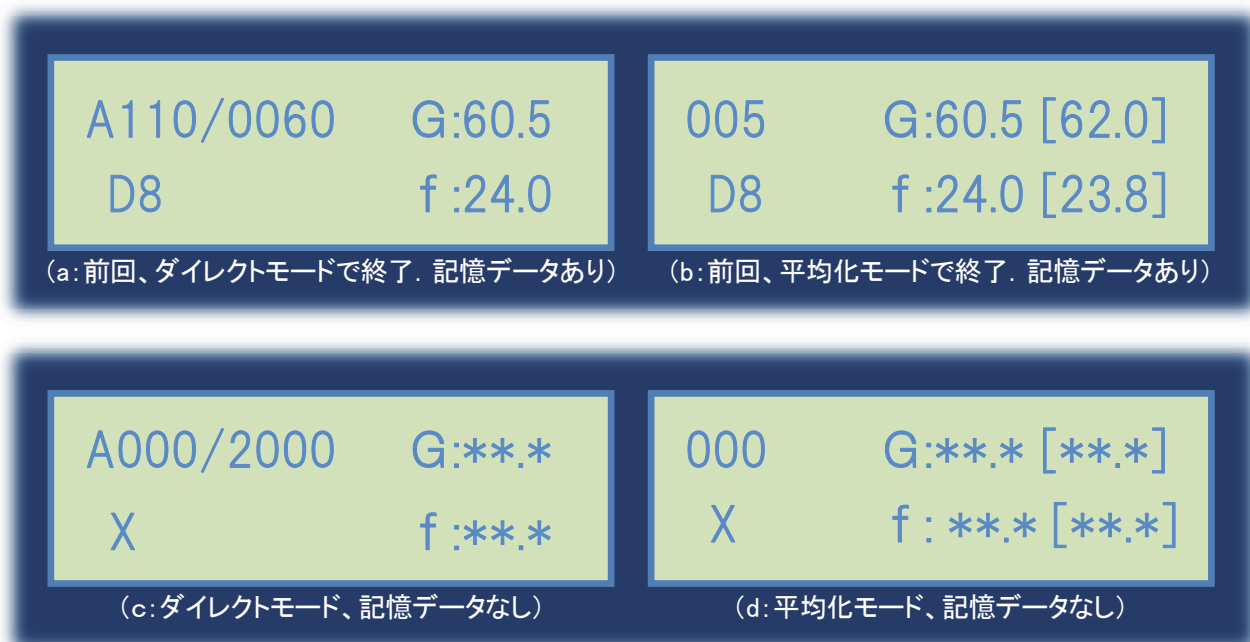


図 I-13 電源投入時のパネル表示例

【留意点】

- ・液晶パネル下段の左端に「L」が表示されたときは、バッテリー残量が少なくなっています。新しい電池に交換するか充電済みの充電電池に交換する必要があります。
- ・図 I-13 の表示例 a では、メモリ残量が残り 60 点となっています。このようにメモリ残量が少なくなっている場合は必要なデータを PC へ転送し不要データを削除することが必要です。すべてのデータは削除する場合は **ALL DEL** キーを押します。表示例 b の場合も内部メモリにデータが残されていますので、必要に応じて同様の操作を行ってください。
- ・GPS 機器を接続した場合、図 I-13 の表示例 a や b のように、液晶パネル下段左に補足衛星数が表示されます。表示例の「D8」は、8 個の衛星が補足されていることを示します。少なくとも 5 個以上の衛星が補足されていることを確認し測定を行うようにしてください。GPS 機器を接続している状態で「X」が表示される場合は、衛星が補足できない環境にあるか接続に何らかの異常があることが考えられます。

(3) 測定する

測定地点に近づいたら、図 I—14(左)のように測定装置のグリップを片手で持ち、センサ部を測定対象の上方にかざします。測定装置が重いと感じたときはもう片方の手でコントロール部を支えるか両手で持ってもかまいません。マーカポールを使ってセンサの位置及び高さ決めを行い、グリップ前方にあるトリガーボタン（測定ボタン）を押します。



図 I—14 測定時の姿勢

【留意点】

- ・測定時はセンサ部を水平に保つことが重要です。前後・左右方向の傾きは、コントローラ部手前の水準器やマーカポールの向きを見て確認してください。前後方向の傾きについては、装置を斜め後方から見てシャフト部の水平を確認する方法も有効です。
- ・測定者の影が測定範囲に入らないように注意する必要があります。曇天時であっても太陽の位置に注意しながら測定を行うことが望まれます。
- ・太陽に向かって測定を行うことによって測定者の影が測定範囲に入ることは回避できますが、衣類等からの反射がある場合、反射率が高めになることも考えられます。測定者は、なるべく反射の少ない衣類を着用することが望まれます。
- ・測定者の影や衣類からの反射などの影響を少なくするためには、センサ部をできるだけ測定者の体から離して測定することが望まれます。長時間にわたり測定を行う場合や装置が重いと感じた場合、腕への負担軽減のため図 I—14(左)のようにベルトを利用することが有効です。
- ・ほ場内を移動するときは、マーカロッドを畳み、センサ部への泥の付着や破損を防ぐため図 I—14(右)のように測定装置を持ちながら移動します。
- ・GPS 機器を接続して測定を行う場合は少なくとも 2 秒以上の間隔を空けて測定を行ってください。測定間隔が短い場合、位置情報が記録されない場合があります。

(4) 測定データの確認、PC へのデータ転送

スタートボタンを押すと、図 I-15 のように測定結果が瞬時にパネル表示されます。測定を行うごとに表示内容を確認し、以下の点に注意することが望めます。

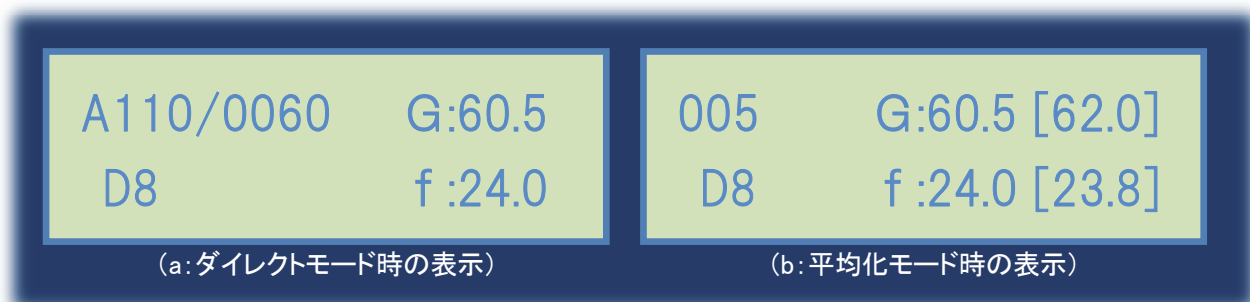


図 I-15 測定結果表示例

(1) 異常値が観測されていませんか。

水稻を対象に測定を行った場合、水面反射などの影響で異常値を観測することがあります。直前の測定値と比較し異常値と判断される場合はこれを削除して測定しなおすとよいでしょう。平均化モードの場合、カッコ内の平均値と比較することで異常値の確認が容易になります。

(2) ラベル変更を忘れていませんか。

同一ラベル名で測定・記憶できるデータ点数は999点までです。1000点以上測定する場合は、必ずラベル変更操作を行ってください。ラベル名の変更は、変更後の最初の測定結果に初めて変更内容が反映されます。正しく変更されているか表示画面で確認を行ってください。

(3) メモリ残量に余裕がありますか。

メモリ残数、ローバッテリー表示の有無は常に確認するよう心がける必要があります。

PC へのデータ転送は、付属のソフトウェア「ZBase3.0A」(2011年4月1日現在)を使って行うことができます。携帯式装置とPCをRS232Cケーブルで接続し、ソフトウェア起動画面(図I-16)で「データダウンロード」ボタンを押し、支持にしたがって操作を行います。RS232Cコネクタが無いノートパソコン等では、USBのシリアル変換アダプターを使って接続することが出来ます。

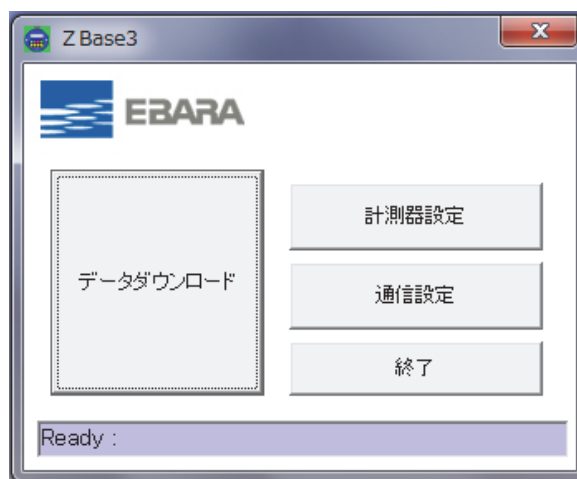


図 I-16 「ZBase3.0A」起動画面

【留意点】

・「ZBase3.0A」を使ってPCへデータを転送

する際、エラーメッセージが出る場合は、通信設定(ポート番号等)を確認し、設定が間違っている場合は正しく設定しなおしてください。設定変更を行った場合は、ソフトウェアの再起動を行ってください。

(生研センター 堀尾光広、吉野知佳、重松健太、林 和信、紺屋秀之)

4) 測定方法

(1) ほ場一筆の平均値を求める測定方法

ほ場一筆の値を求める場合、そのほ場で生育が中庸な場所を選んで測定します。ほ場を隈なく測定する方法、ほ場を短辺方向に横切りながら測定する方法、対角を斜めに移動しながら測定する方法がありますが、ほ場全体の生育ムラを見て所要時間も勘案し適切な測定方法を選ぶ必要があります。実際にほ場全体を測定した結果を図 I—17 及び図 I—18 に示します。GPS 位置情報とあわせることで生育量マップを作成することもできます。

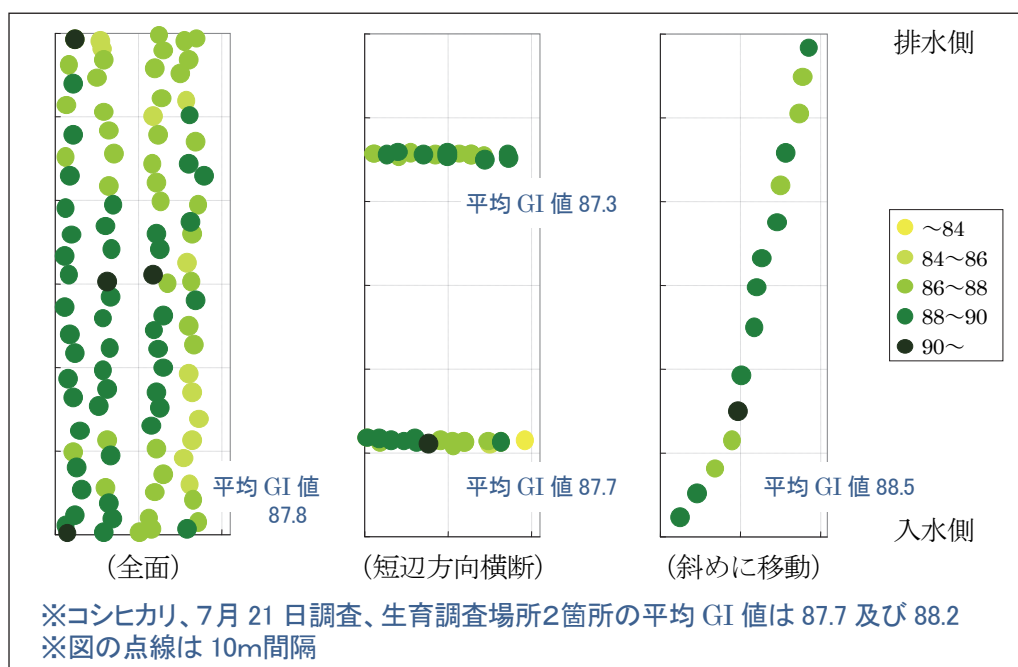


図 I—17 調査方法による平均 GI 値の違い(測定場所及び GI 値)測定例①

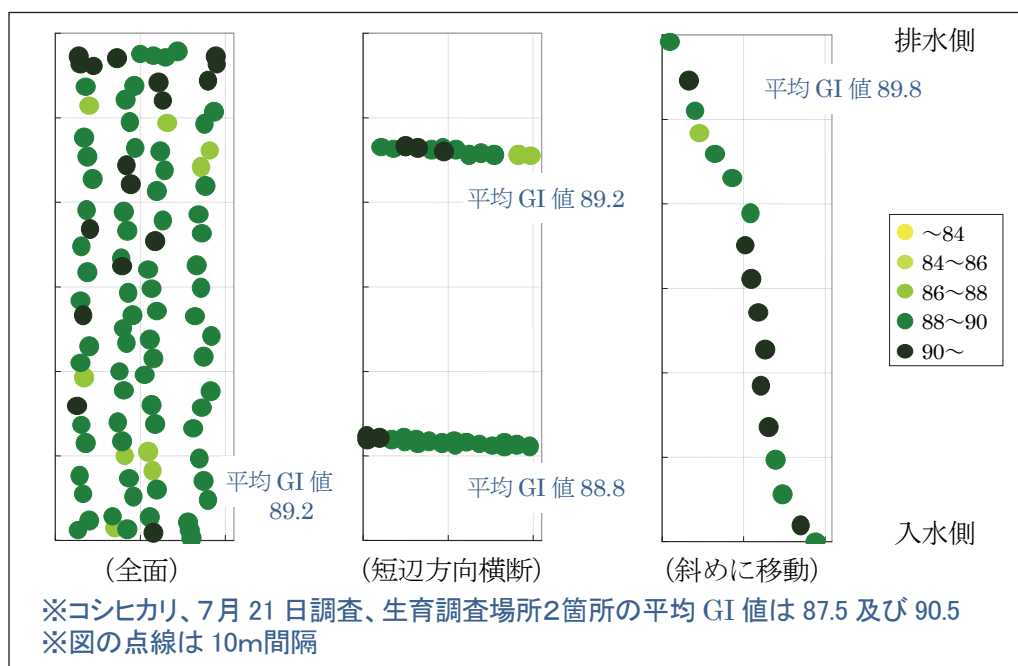


図 I—18 調査方法による平均 GI 値の違い(測定場所及び GI 値)測定例②

(新潟農総研 樋口泰浩)

表 I-1 は、短辺約 30m (長辺 60~100m) のほ場を長辺方向に歩きながら測定を行う方法において、短辺方向の測定間隔を変えて平均値を比較したものです (平成 15 年度生研センター事業報告 No. 生-1-1)。進行方向は 2~2.5m の間隔で測定を行っています。

生育のムラが大きいほ場では、ほ場全面を隈なく測定する方法 (短辺方向の測定間隔約 2.5m) と比べ、長辺方向 1 往復の作業では平均値に差が見られる場合があります。このような場合は、ほ場全体を見渡し生育の中庸なところを選んで作業をすることが必要です。図 I-17、図 I-18 の結果と同様に、対角線方向に測定する方法では、生育ムラが大きいほ場でもほ場全面を測定する方法と比べ大きな差は見られませんでした。

図 I-19 は、同一ほ場で長辺方向 1 往復と対角線方向でそれぞれ作業したときの所要時間を比較したものです。幼穂形成期の生育診断のように真夏の炎天下で作業を行う場合には、労働負担の面からもより短時間で作業が可能でほ場内の移動距離も少ない対角線方向の作業が望ましいと考えられます。ただし、ほ場の状態によっては対角線方向に移動しづらく、かえって労働負担が増す場合もあると思われれます。生育ムラなどの状態に応じて、より効率的でかつ測定誤差が少なくなるような作業方法を選択することが望まれます。

表 I-1 1筆平均の GI 値¹⁾と標準偏差

ほ場 番号	短辺方向の測定間隔						対角線 測定	
	約 2.5m(8 条)		約 10m		約 15m ²⁾		測定 点数	GI 値 (標準偏差)
	測定 点数	GI 値 (標準偏差)	測定 点数	GI 値 (標準偏差)	測定 点数	GI 値 (標準偏差)		
1	344	77.3 (4.2)	98	76.3 (4.0)	62	79.3 (3.4)	31	78.4 (3.2)
2	299	77.2 (3.9)	81	77.3 (3.9)	59	76.9 (3.1)	30	77.0 (4.7)
3	466	85.6 (2.7)	125	86.0 (1.7)	62	86.0 (0.5)	42	85.4 (1.2)

1) GI 値: Growth Index、NDVI(正規化植生指数)×100

2) 30×100mほ場では、長辺方向 1 往復の作業となる

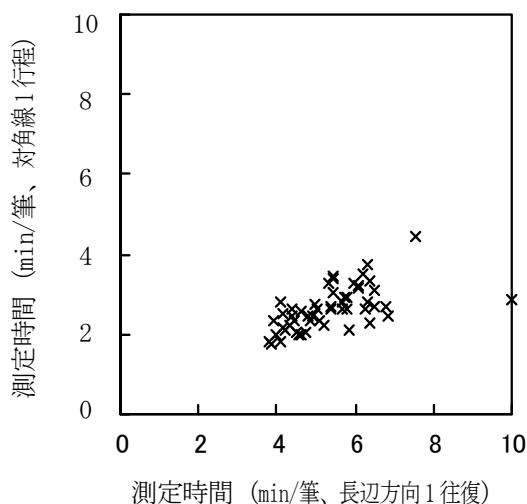


図 I-19 1筆測定時間の例(測定方法の違いが作業時間に与える影響)

(2) 畦畔からの斜め測定方法による簡易生育診断

携帯式作物生育情報測定装置は、一つのほ場の数カ所で作物群落の直上にセンサーをかざして生育診断します。その方法では、大区画ほ場や多数のほ場をまとめて計測するには手間と時間がかかります。そこで、多数のほ場について、畦畔から迅速、簡易に計測する方法を紹介します。

【測定方法】

この測定方法は、圃場内へ足を踏み込むことなく、畦畔から、装置のセンサー部を作物群落に対して斜め方向にかざして計測します。計測方法や留意点は以下の通りです。

- (1) 圃場の南側畦畔に沿って、東西方向に計測します。長辺が南北方向の場合、太陽を背にする畦畔側から計測します。
- (2) 測定箇所および測定点数は、畦畔を均等配分して、圃場規模（畦畔の長さ）に応じて 30～50 とし、その平均値を生育診断に用います。
- (3) 計測方法は、まず、センサー下部を圃場内にかざせるようにして、地面に対して角度が 45° 付近になるように保持します。
- (4) センサー上部ができるだけ太陽の方角に向くようにして、機体を同じ姿勢に保って畦畔沿いに移動しながら、適当に間隔をおいて計測します。
- (5) 曇天で照度が低いときには測定できません。目安として、人影の形がかすかでも判別できれば測定できます（ほぼ 1～2 万 Lux が境界。快晴時の直射日光は 8 万～10 万 Lux）。
- (6) 午前 9 時から午後 3 時の間に計測作業を行います。同じ圃場の生育推移を測定する場合は、前回と同時刻に計測することで測定精度の向上が図れます。
- (7) 測定にかかる時間は 30a 区画ほ場で約 1 分（畦畔 100m の場合）です。



図 I - 20 斜め計測作業

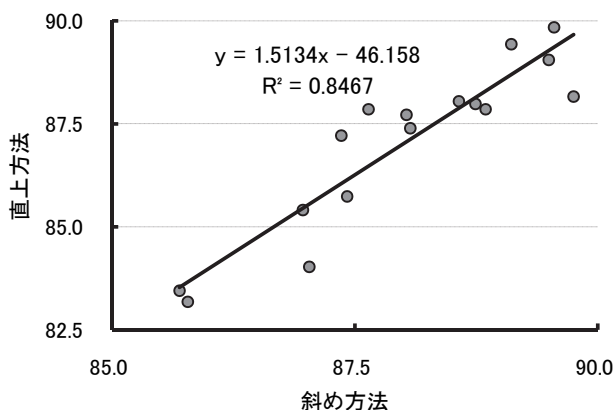


図 I - 21 GI 値 (NDVI) における斜め方法と直上方法の関係

品種: ヒノヒカリ、測定日: 2010 年 8 月 10 日

【簡易生育診断のポイント】

この方法は、移植時期や栽植密度がほぼ同じに作付けされた同じ品種の生育量を相対的に比較するときに有効です。斜め測定方法と従来の直上測定方法の相関は高く、実用に十分な精度を確保しています（図 I - 21）。したがって、分散した多数の圃場を管理するなかで農作業の効率化が求められている集落営農組織、大規模稲作農家や請負作業組織向けに、管理する圃場の収量や品質の高位安定化に寄与できます。（斜め測定による生育診断の実例は別項を参照）

（兵庫農総セ 牛尾昭浩）

Ⅱ 水稻生育診断のための基礎データ取得

1. 基礎データの取得方法

1) 調査の目的

抜取調査

水稻生育診断の指標となる草丈、茎数、葉緑素計値（SPAD502）及び窒素吸収量と、装置による測定値の関係について明らかにすることを目的とします。

定点調査

幼穂形成期や穂揃期、登熟期における装置による測定値と収量構成要素、玄米品質等との関係について明らかにすることを目的とします。

2) 調査方法

(1) 供試ほ場

様々な窒素吸収パターンのお稲についてのデータを得るため、これまで作況試験ほや各種施肥試験、現地調査ほ等を供試しました（表Ⅱ-1）。また、供試ほ場の栽植密度は、現地では坪 50~70 株植え、試験場内は機械移植の場合、坪 60~70 株植えて、手植えの場合は 22.2 株/ m²であり、土壌条件は、試験場内は灰色低地土、現地は泥炭土、黒泥土、灰色低地土、グライ土、黒ボク土です。

表Ⅱ-1 供試ほ場及び試験区の設置例

ほ場	試験の特徴	試験区の設置例
作況試験ほ	移植時期別(5/1・10・20 植え)、 無窒素栽培、複数品種	
	基肥及び追肥窒素量を変えた 最大 32 の試験区	基肥窒素 0・3・6・9 × 幼穂形成期追肥窒素 0・1・2・3 × 減数分裂期追肥窒素 0・1・3
施肥試験ほ	窒素供給パターンを変えた試験区	早期供給型・後期供給型・中間型・有機質肥料 × 穂肥の有無(窒素供給パターンは硫安追肥で表現)
	資材試験	側条施肥、基肥一発型肥料、追肥試験等
現地調査ほ	県内各地域の生育調査ほ(慣行栽培) 大豆後復元田(無施肥栽培) 環境保全米(化学肥料節減栽培)生産ほ	

なお、新たにデータを得る場合には、生育量に幅を持たせるため、基肥 3~4 水準×穂肥 2~3 水準程度あるのが望ましいと考えられます。

(2) 調査日

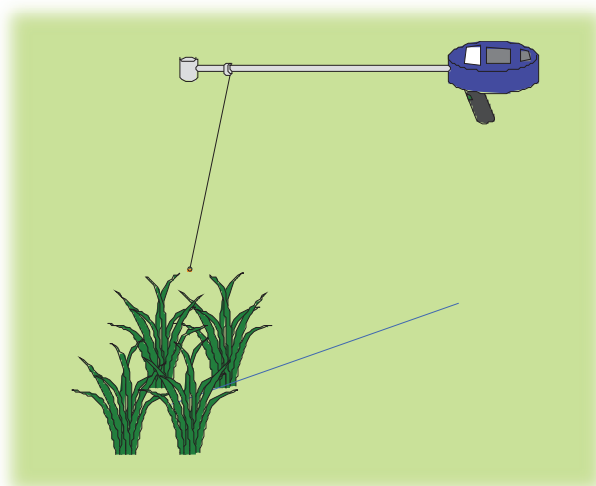
場内試験については、6月1日頃から概ね10日おきに調査し、出穂後は穂揃期を最終調査としました。現地については、年度によっては場内と同様に10日おきに調査しましたが、多くは本来の試験の調査日に併せて実施したため、幼穂形成期や穂揃期のみ調査となります。

(3) 調査の手順

抜取調査

- ① 周囲に欠株のない平均的な生育の4株を選び、4株の中心部に装置のマーカを併せて5回計測し、平均値を使用します。その際、細めの調査棒を株と重ならないよう刺して目印とすると、連続的に装置による測定ができるので効率的です(図Ⅱ-1)。
- ② 計測した4株は、移植ベラで抜取りし、根部に付着した泥を流水で洗い落として、草丈、茎数、葉緑素計値(SPAD502値)を株毎に調査します。
- ③ 調査した稲株は、茎毎にばらして根部を再度流水で良く洗い、根を切除し、茎葉(穂)に分け、80℃で48時間通風乾燥します。
- ④ 乾燥後、部位別に乾物重を測定し、粉碎、湿式分解し、稲体窒素濃度を定量します。

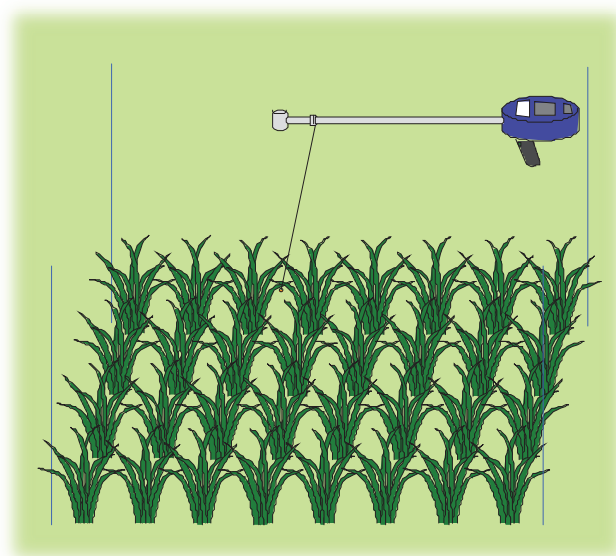
古川農試では、茎葉の粉碎はウィレー粉碎機、穂の粉碎は卓上ミキサーにより行い、湿式分解は硫酸一過酸化水素分解法により、また、分解液の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の定量には連続流れ分析装置(オートアナライザー3)を使用しています。



図Ⅱ-1 抜取調査の方法

定点調査

- ① 周囲に欠株のない平均的な生育の32株(8株×4条)を将来の坪刈地点として確保し(調査棒等で目印を付ける)、定期的に装置による測定や生育調査を行います(図Ⅱ-2)。
- ② 装置による測定は全体を15回(条間が3列なので3列×5回)測定し、平均値を使用します。
- ③ 成熟期に定点32株を坪刈りし、収量調査に供します。



図Ⅱ-2 定点調査の方法

3) 調査における留意点

- ① 装置による測定は南中時刻の前後（11～13時）と夕方以降（15時～）は測定値が不安定となるので避けます。また、天候は晴天より曇天の方が値は安定します。雨天時も小雨程度であれば本体内部への水浸に注意すれば、比較的安定した値が測定できます。
- ② 雑草や表層はく離は測定値に影響するので、測定前に除去するなど注意が必要です。
- ③ 測定時は、測定範囲に装置や自分の陰が入らないよう測定方向に注意します。
- ④ 抜取調査は、測定時に、細めの調査棒を抜取株と重ならないように田面に刺して目印にすると、連続的に測定ができ、測定が終わった後でまとめて抜取りすることで効率的に調査ができます。
- ⑤ 抜取株の生育量が小さく、4株では乾物分解に必要なサンプル量（500mg×連数）を確保できない場合があるので、6月上～中旬までは抜取株数は6株とすると良いでしょう。
- ⑥ 通常、6条植えの田植機による移植が多いので、定点を設置する際は、6条のうち両側2条を含まない中4条を定点とすると、不斉一になりやすい条間の影響を排除できます。
- ⑦ 定点の北端の1条を生育調査の対象株とし、装置による測定は北側から行うようにすると、効率的な調査ができます。
- ⑧ 測定値は籾数との関係が強いので、定点の収量調査を全籾回収法で行うと正確な籾数が得られ、検討しやすくなります。

（宮城古川農試：小野寺博俊）

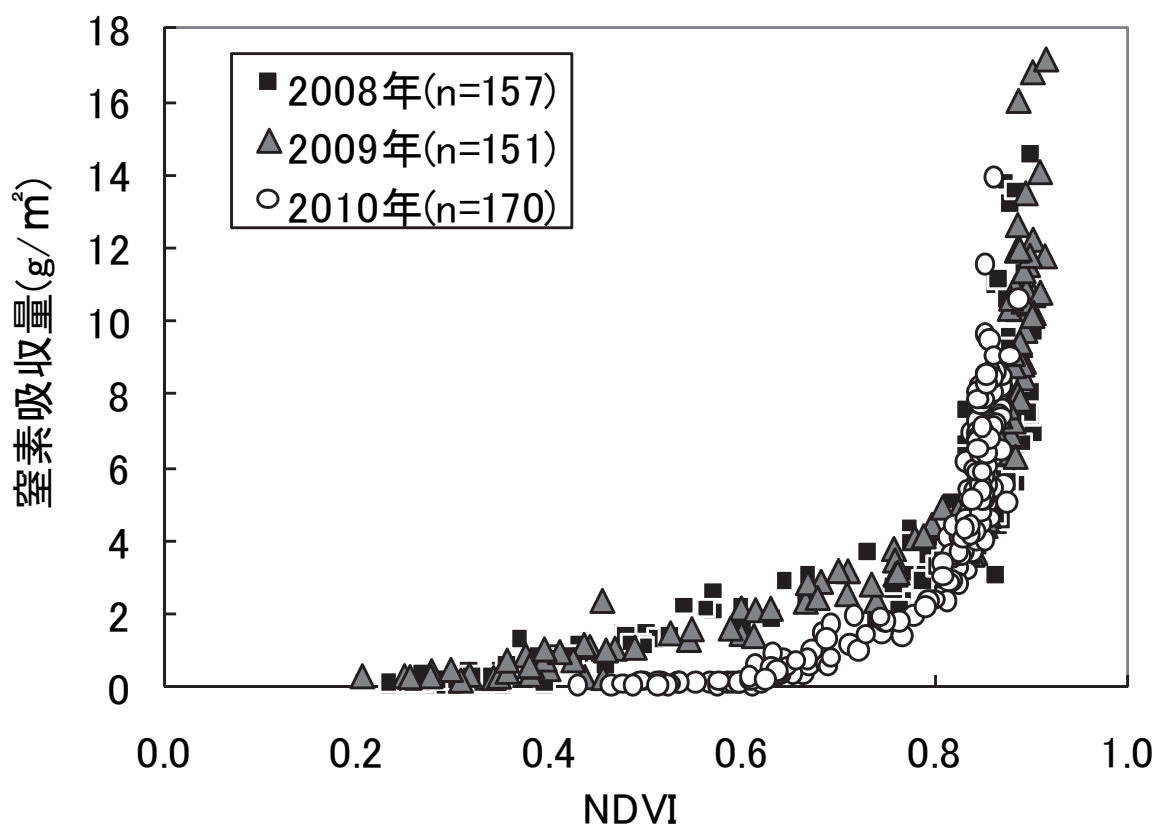
2. 基礎データ調査結果の例

1) 稲体窒素吸収量との関係（宮城県：ひとめぼれ、ササニシキ、まなむすめ等）

(1) 正規化植生指数（NDVI）と窒素吸収量

2010年までの抜取調査の測定値と稲体窒素吸収量との関係をみたところ、NIR（近赤外域）反射率及びR（赤色域）反射率から計算される正規化植生指数（ $[\text{NIR 反射率} - \text{R 反射率}] / [\text{NIR 反射率} + \text{R 反射率}]$ ；以下、NDVIとといいます。なお、装置の測定時に表示される「GI値」はNDVIに100を乗じた値です。）は窒素吸収量と相関関係にあり、その関係は品種や栽培条件が異なっても同じ指数関数式で表されました（図Ⅱ-3）。

なお、2010年については、その前年までと比較してNDVIが大きい傾向が見られ、この要因がNIR反射率が大きいことにあることから、この年に多発した表層はく離が大きく影響したものと考えられます。また、NDVIが0.8~0.9の間で窒素吸収量は3~18g/m²と大きく変化するため、NDVIから窒素吸収量を推定するためには、生育ステージ別、具体的には節間伸長前、穂ばらみ期及び穂揃期の3つのステージに分けて検量線を作成し、毎年、検量線があっているかどうかキャリブレーションを行う必要があると考えられます。



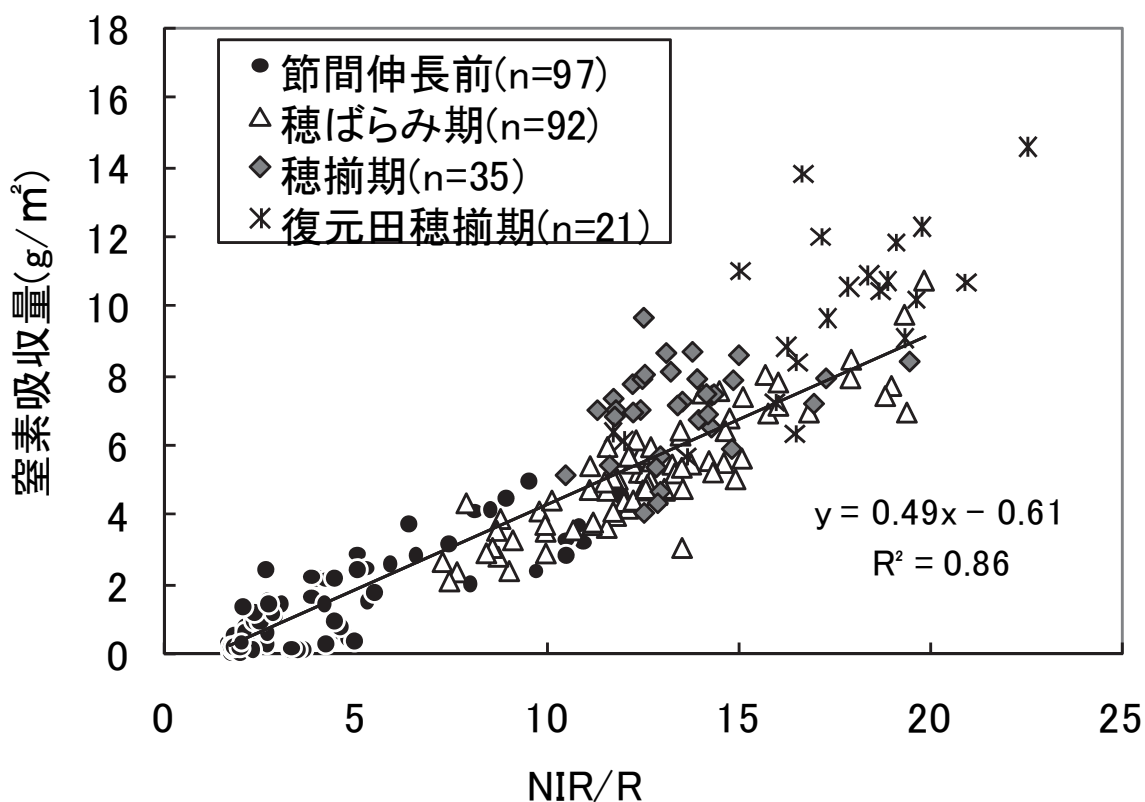
図Ⅱ-3 正規化植生指数(NDVI)と稲体窒素吸収量との関係（2008~2010年）

注) 品種はひとめぼれ、まなむすめ、ササニシキ、コシヒカリを含む。

(2) NIR 反射率/R 反射率比と窒素吸収量

2010年までの抜取調査の測定値と稲体窒素吸収量との関係について、ひとめぼれに限定して検討したところ、NIR 反射率/R 反射率比（以下、NIR/R といいます。）と稲体窒素吸収量との関係は、復元田の穂揃期等の窒素吸収量が著しく大きい場合を除けば、生育ステージに依らず年次を越えて同じ1次式で表され、当てはまりも決定係数（ R^2 ）で0.86と良好でした。また、この関係では、NDVI と窒素吸収量でみられた年次間差もみられませんでした（図Ⅱ-4）。

以上の結果から、多様な品種、栽培様式が存在する現地において、装置により窒素吸収量の推定を行うためには、品種や推定可能範囲を限定して（例えば、「ひとめぼれの場合窒素吸収量 $10\text{g}/\text{m}^2$ 以下」等）、NIR/R を用いる方法が有効かつ簡便であると考えられました。



図Ⅱ-4 ひとめぼれの NIR 反射率/R 反射率比と稲体窒素吸収量との関係
(2008～2010年)

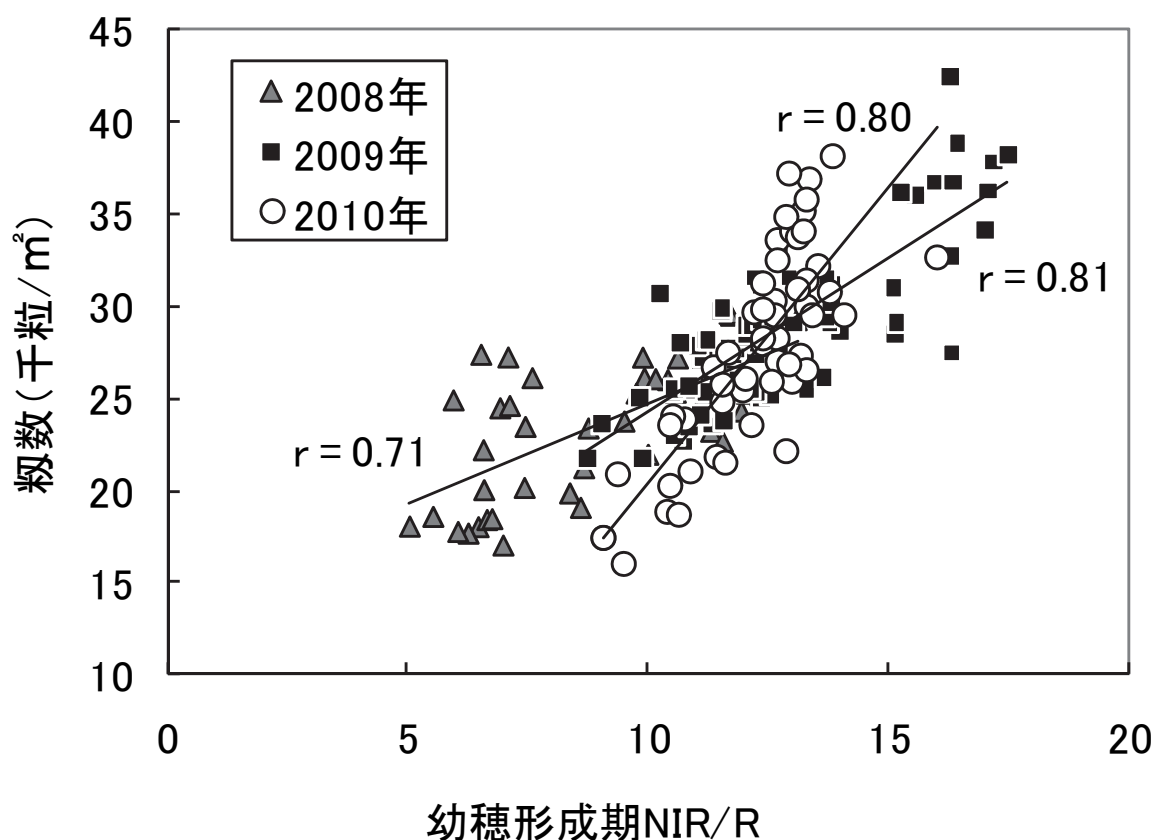
2) 籾数との関係（宮城県・ひとめぼれ）

2010年までの定点調査の測定値と m^2 当たり籾数との関係について、ひとめぼれに限定して検討したところ、幼穂形成期の NIR/R と籾数は、年次によって傾きが異なるもの、年次ごとには高い相関関係が認められました（図Ⅱ-5）。

年次によって傾きが異なるのは、年次で調査ほ場の施肥（とくに追肥）条件が異なることが影響していると考えられます。ひとめぼれの籾数は「幼穂形成期の窒素吸収量」と「幼穂形成期から穂揃期までの窒素吸収量」によって決まるため、幼穂形成期時点での窒素吸収量を評価しても、幼穂形成期から穂揃期までの窒素吸収量によって籾数が左右されると考えられます。

なお、穂揃期の NIR/R と籾数との間にも相関はみられますが、穂揃期頃になると窒素吸収量が $6\text{g}/\text{m}^2$ を超え、測定値のばらつきも大きくなるため、幼穂形成期より当てはまりは悪い傾向にあります。

幼穂形成期に籾数が予測できれば、ひとめぼれの場合目標籾数が 28~30 千粒であるので、不足する場合には目標籾数に近づくよう追肥量を判定したり、過剰の場合は追肥を控えるといった、これまで経験に頼っていた診断が簡易にできるようになります。



図Ⅱ-5 ひとめぼれの幼穂形成期 NIR 反射率/R 反射率比と m^2 当たり籾数との関係
(2008~2010年)

3) 葉色との関係 (宮城県・ひとめぼれ)

機体差校正に利用するために生研センターが制作した中央部に円形孔がある黒色の薄板 (以下、標準板といいます。) を用い、円形孔の下板にカラースケールを当てて測定した G (緑色域) 反射率とカラースケール値との関係を見ると、曇天時と晴天時で異なる 3 次関数式で表されました。また、標準板を用いて計測 (右写真) した水稻葉の G 反射率と葉緑素計値 (SPAD502) との間には 2 次関数式が当てはまりました (図 II-6)。

しかし、同じ G 反射率に対して分布する葉緑素計値は 5~10 ポイント程度の開きがあるため、実用化に当たっては G 反射率の計測精度の向上が必要と考えられます。

装置により葉色を評価できれば SPAD502 やカラースケールとともに利用者の選択の幅が広がり、値の相互変換も可能になると考えられます。

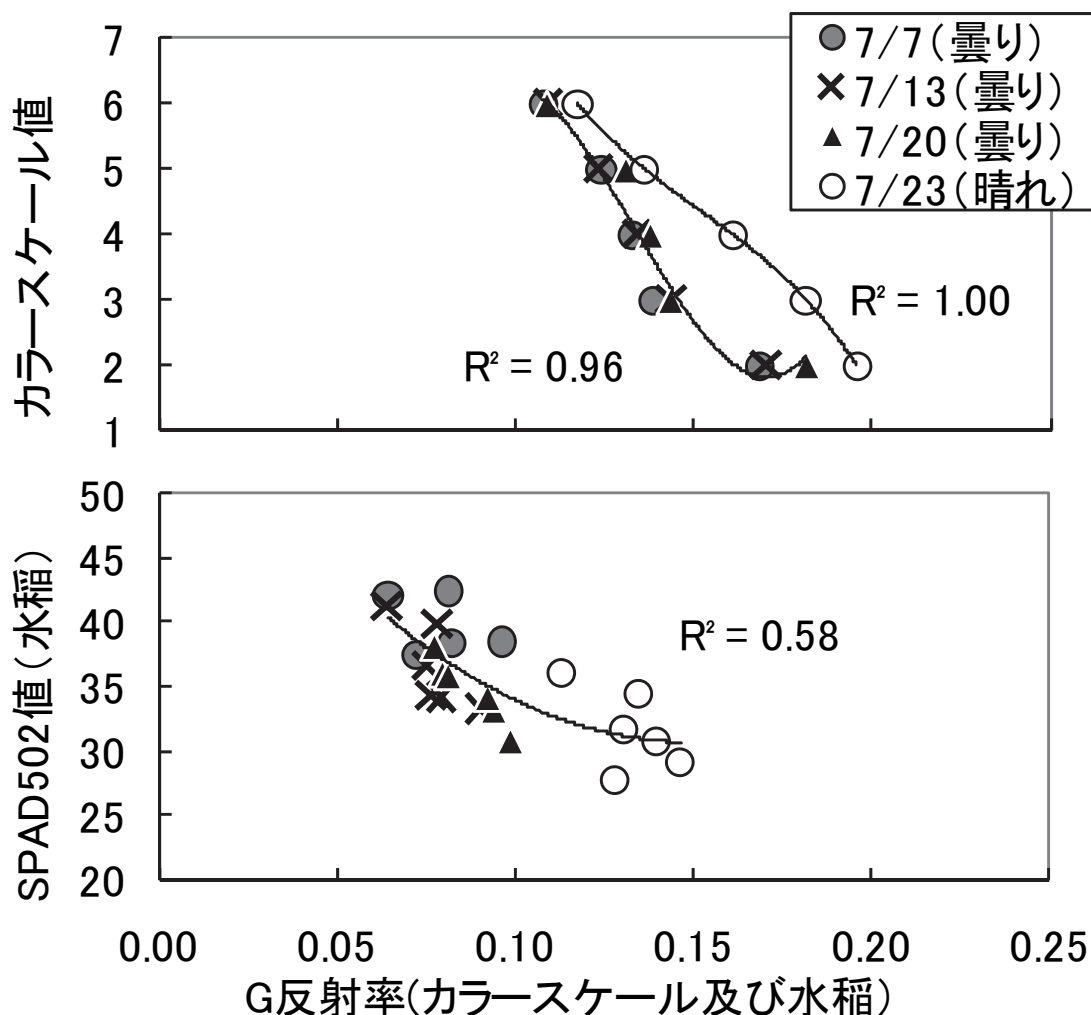


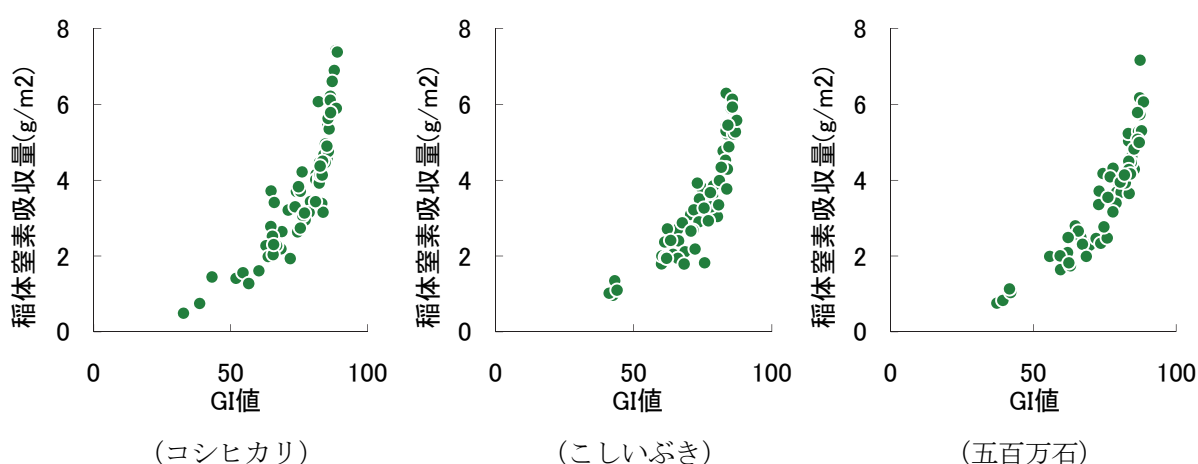
図 II-6 カラースケール及び水稻葉の G 反射率とカラースケール値、SPAD502 値の関係 (ひとめぼれ)

(宮城古川農試 小野寺博俊)

4) 稲体窒素量との関係（新潟県：コシヒカリ、こしいぶき、五百万石）

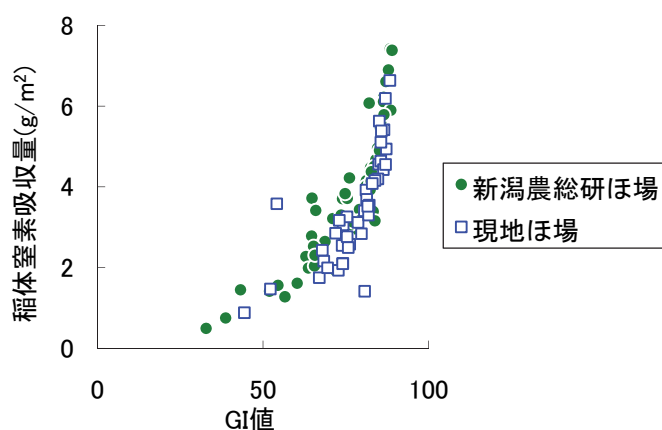
水稻の生育状況を把握するには草丈、茎数、葉色を測定します。稲体窒素量はこれらの積と関係があります。水稻の生育期間でGI値と関係が深いのは稲体窒素量でした。2008年～2010年におけるコシヒカリ、こしいぶき、五百万石での調査結果を図Ⅱ-7に示します。6月中旬から7月下旬（GI値で35～85）において関係が深く、コシヒカリの穂肥診断への活用が期待されます。6月上旬以前は水稻の植被が小さくGI値の測定精度が低く、また、出穂期頃の8月上旬ではGI値が低下し始めるため稲体窒素量の推定には適しません。

現地ほ場でのサンプルと農総研ほ場でのサンプルとを比較するとほぼプロットが重なるため同じ関係式で表せます（図Ⅱ-8）。しかし、全体を一つの式で表すのは難しいためGI値のレベルで分割して稲体窒素吸収量の推定式を作成する必要があります。



図Ⅱ-7 稲体窒素量とGI値との関係

※2008～2009年、基肥窒素量0～5kg/10a



図Ⅱ-8 稲体窒素量とGI値との関係（産地の違い）

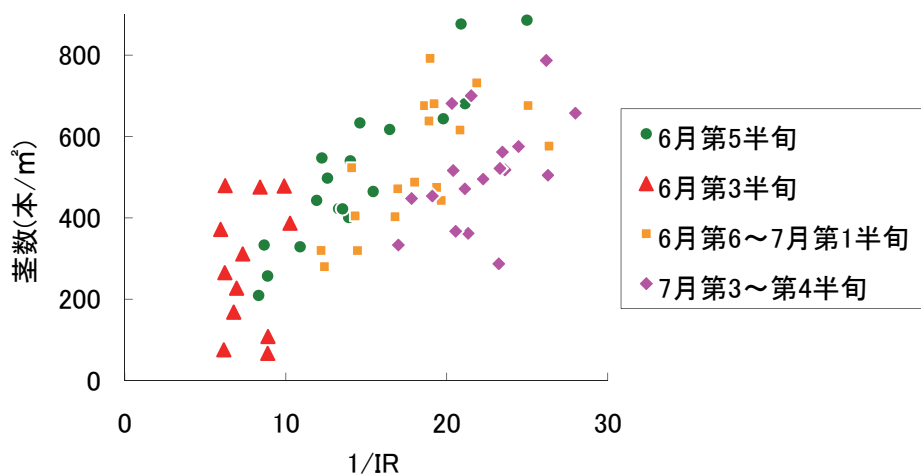
※2008～2009年

※新潟農総研は基肥窒素量0～5kg/10a

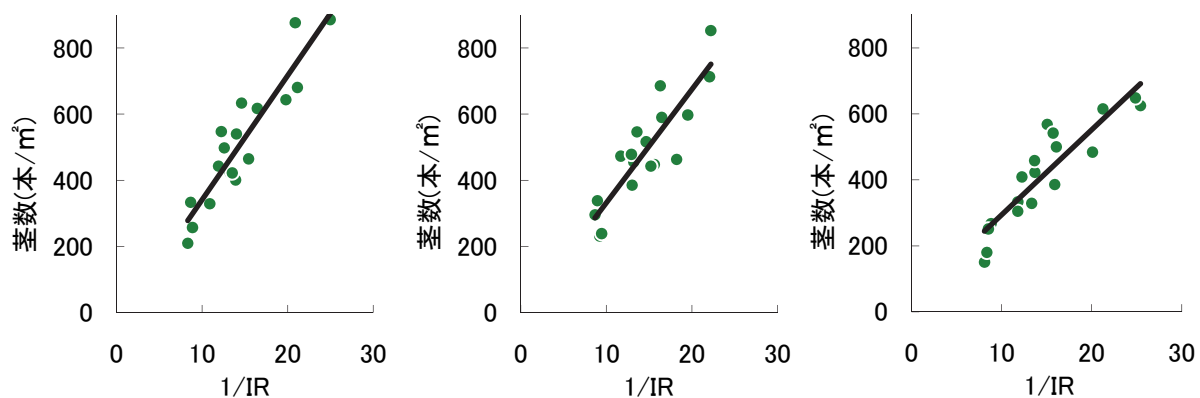
※現地ほ場の肥培管理は現地慣行

5) 茎数との関係（新潟県：コシヒカリ、こしいぶき、五百万石）

茎数と測定値との関係を見ると6月下旬に IR 反射率との間に関係が見られます。茎数との関係は時期毎、品種毎に異なる近似式になりますが、6月下旬頃に最も強い相関関係が見られます。



図Ⅱ-9 茎数と1/IRとの時期別関係（コシヒカリ）



図Ⅱ-10 茎数と1/IRとの関係

※2008/6/25、2009/6/22、2010/6/22

※基肥窒素量 0～5kg/10a

(新潟農総研 樋口泰浩)

Ⅲ 水稻生育診断への応用例

1. 宮城県における応用例（品種：ひとめぼれ）

1) 利用目的・活用場面

水稻穂肥要否判定への装置の利用について、2010年にひとめぼれにおける実証試験を行いました。以下にその内容について紹介します。

2) 生育診断の手法

基肥窒素を $0.2 \cdot 4 \cdot 6 \text{g/m}^2$ 施用した試験区を用意し、各区について幼穂形成期に装置で測定しました。

そこで得られた NIR/R を、前年の NIR/R と籾数の関係式に当てはめて籾数を予測し、目標籾数 30千粒/m^2 との差を、穂肥窒素 1g/m^2 による増加効果 2.0千粒/m^2 で除して穂肥量を算出しました。

その結果、2010年の特異的な気象条件下では目標籾数には到達できませんでしたが、N0区を除き無追肥区でみられた収量差が、追肥区ではみられなくなりました（表Ⅲ—1）。

以上のことから、幼穂形成期の NIR/R による追肥の要否判定は可能と考えられましたが、判定した追肥窒素量の妥当性は、2010年の結果からは明らかにできませんでした。

3) 留意点等

2010年は、移植後の低温によって初期生育が停滞した後、夏期の異常高温に遭遇したため、急激な乾物重増加と葉色値の低下がみられ、さらに登熟期の9月上旬に降雹・突風があったため、想定した追肥による籾数増加効果が得られませんでした。

このため、追肥量の判定手法については、継続調査が必要と考えられます。

表Ⅲ—1 ひとめぼれにおける NIR 反射率/R 反射率に基づく追肥要否判定の実証結果

区 (基肥 N 量)	幼穂形成期			追肥料 (N 成分 g/m^2)	籾数(千粒// m^2)			精玄米重(g/m^2)		
	NDVI	NIR/R 反射率比	予測籾数 (千粒/ m^2)		無追肥 区	追肥区	増加量	無追肥 区	追肥区	増加量
N0区(0g/m^2)	0.81	9.3	23.0	3.0	16.7	19.1	2.4	315	357	42
N2区(2g/m^2)	0.83	10.5	25.1	1.9	19.5	23.7	4.3	387	488	101
N4区(4g/m^2)	0.83	10.6	25.3	1.8	19.9	23.9	3.9	408	471	63
N6区(6g/m^2)	0.85	12.3	28.0	0.5	22.6	26.4	3.9	463	498	35

(宮城古川農試：小野寺博俊)

2. 新潟県における応用例（品種：コシヒカリ）

1) 利用目的・活用場面

高品質・良食味米の安定生産のためには、水稻の生育状況を的確に把握し、それに見合った栽培管理をする必要があります。GI 値を測定して水稻の栄養状態を把握し、穂肥診断に活用します。

2) 生育診断の手法

コシヒカリの幼穂形成期における適正窒素吸収量を m^2 当たり 4(3~5) g とすると、適正な GI 値は 77 (73~80) と推定されます。所内の事例では、GI 値 73~80 の範囲内で慣行穂肥（窒素成分で 10 a 当たり 1kg ずつ 2 回分施）した場合、収量 540kg/10 a 以上、良質粒歩合 75%以上、玄米タンパク質含有率 6.0%以下、倒伏 3 以下であったので、GI 値 73~80 は適正な生育量と判断できます（表 III-2）。

表 III-2 NDVI 別の穂肥量と収量、品質等との関係(平成 16~18 年所内)

幼穂形成期 GI 値	穂肥量 1-2 回目 kg/10a	調査 点数	収量 kg/10a	良質粒歩合 重量%	玄米タンパク質 含有率%	収穫期 倒伏程度
73 未満	2-0	2	501	69.7	5.2	3.5
	1-1	1	505	88.2	5.7	4.0
	0-2	2	520	82.7	5.7	3.0
	2-2	1	556	67.3	5.7	3.0
73~80	2-0	6	516	75.3	5.2	2.8
	1-1	9	547	77.4	5.5	2.7
	0-2	10	521	83.3	5.9	2.6
80 以上	2-0	10	552	71.4	5.9	4.6
	1-1	8	551	73.3	6.1	4.4
	0-2	6	566	76.7	5.9	3.8
	0-0	5	556	75.4	5.8	4.6

3) 留意点等

現在の測定器では、適正窒素吸収量を m^2 当たり 4(3~5)g とすると、適正な GI 値は 82 (78~86) と推定されます。（図 III-1）

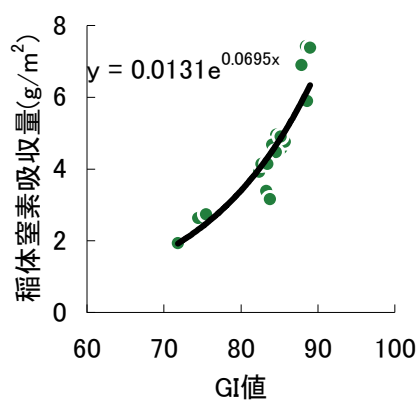


図 III-1 GI 値と稲体窒素吸収量との関係（コシヒカリ）

（新潟農総研：樋口泰浩）

3. 兵庫県における応用例（品種：ヒノヒカリ）

「あぜ際から簡単・手軽に水稻の生育診断が可能に」

畦畔からの斜め測定方法の活用事例

1) 利用目的・活用場面

広域に分散した多数のほ場を管理する集落営農組織や大規模稲作農家にとっては、農作業を効率化するために、ほ場の地力差にかかわらず田植同時施肥機を用いて一律に施肥することが多く、ほ場ごとの収量や品質にばらつきが生じています。従来、7月にはいるとほ場の中に入り、草丈、茎数、葉色値を測定して生育を診断し、追肥の可否や量を決めていました。しかしながら、この作業は、時間を要し、熟練した技術が必要なので、広域に分散した多数のほ場をまとめて診断するのは困難です。そこで、迅速、簡便に生育診断することが可能な「畦畔からの斜め測定方法」を活用して、生育が低位で追肥が必要なほ場を選定して適正に追肥して穂数を確保することにより、収量の高位平準化が図れます。

2) 生育診断手順

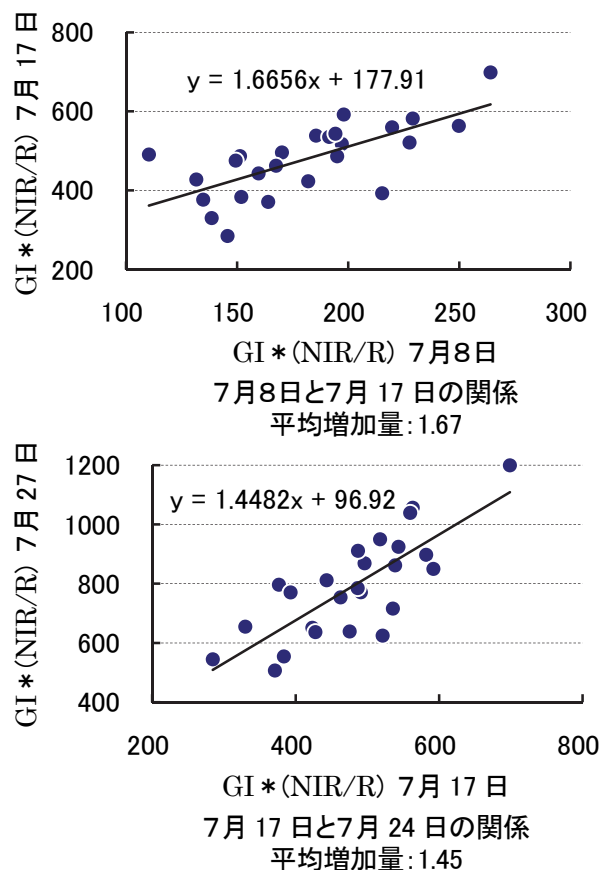
- (1) 田植 2～4 週間後、苗が活着して生育が安定してから、あぜ際に沿ってほ場全体へセンサを向けて、作物の反射光を測定します（測定方法の詳細は別項を参照）。計測に要する時間は 30a 区画ほ場でほぼ 1 分ぐらいです。
- (2) 1 週間から 10 日後、同様の方法で反射光を測定し、前回測定値と比較して生育診断します。
- (3) 生育診断に用いる値は GI 値（ $NDVI \times 100$ ）と NIR/R 値（RVI）で、2つの値を積算した値の増加量から追肥の必要なほ場を選定します。
- (4) 生育診断結果に基づいて生育量が低位なほ場を選定し、出穂 40 日前をめどに窒素成分で 3kg/10a 追肥します。
- (5) 移植日がほぼ同じで、栽植密度が同等であれば、活着後に 2 回の測定結果から追肥が必要なほ場を選定できます。調査圃場の移植日が特定できない場合は、3 回測定して、その増加量に基づいて判定が可能です（図Ⅲ－3）。



図Ⅲ－2 畦畔からの測定

数値はGI値とNIR/R値の積である

ほ場名	a	b	c	(b-178)	(c-97)
	7月8日	7月17日	7月24日	/a	/b
A1	186	539	862	1.9	1.4
A2	110	491	771	2.8	1.4
A3	160	443	812	1.7	1.6
A4	229	582	897	1.8	1.4
A5	170	496	869	1.9	1.6
A6	152	384	554	1.4	1.2
A7	135	377	796	1.5	1.9
A8	146	285	545	0.7	1.6
A9	228	521	625	1.5	1.0
A10	197	518	950	1.7	1.6
A11	164	371	507	1.2	1.1
A12	139	330	655	1.1	1.7
A13	215	393	771	1.0	1.7
A14	250	563	1056	1.5	1.7
A15	264	699	1199	2.0	1.6
A16	182	423	651	1.3	1.3
A17	151	487	911	2.0	1.7
A18	191	535	716	1.9	1.2
A19	198	592	850	2.1	1.3
A20	194	543	925	1.9	1.5
A21	132	427	637	1.9	1.3
A22	149	475	639	2.0	1.1
A23	220	560	1039	1.7	1.7
A24	195	486	785	1.6	1.4
A25	167	463	754	1.7	1.4
最小	110	285	507	0.7	1.0
最大	264	699	1,199	2.8	1.9

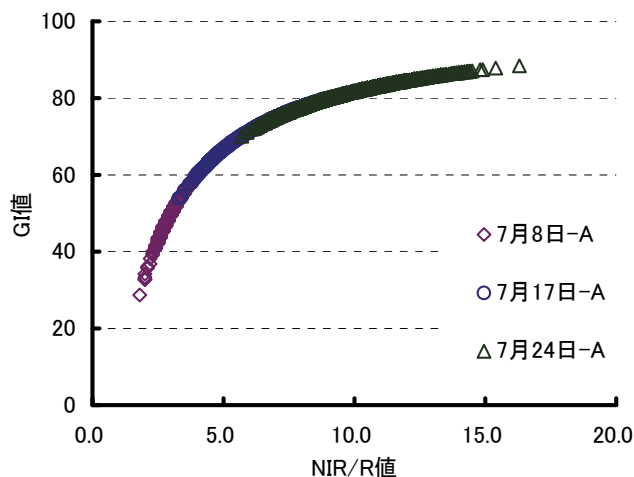


図Ⅲ-3 携帯式作物生育情報測定装置の斜め測定法による生育量判定方法

(3回の測定結果から、その増加量が2回とも劣るところに追肥した)

3) 生育診断に用いる数値の考え方

GI値 (NDVI) は、正規化植生指数として群落の生育量を表しますが、茎葉が繁茂した80付近からその値の変化量が小さくなります。NIR/R値は、従来から比植生指数 (RVI) として単位面積当たりの葉緑素量が多いほど高い値を示すことが知られています。一方、GI値が飽和する80付近から、NIR/R値は増加する比率が大きくなります (図Ⅲ-4)。そこで、GI値とNIR/R値を積算することで、生育量の差をより明瞭に表すことが可能と考えられます。また、計測時の太陽高度や日照条件によってGI値にずれが生じる場合がありますが、生育量の相対的な違いを時系列で診断する場合、ほぼ同じ時刻に同一圃場を計測すると、その測定差を緩和することができます。



図Ⅲ-4 GI値とNIR/R値の関係

4) 生育診断結果

収量を高位平準化するには、各ほ場の穂数を確保する必要があることから、各ほ場について、移植後3～4週間後から機器計測を実施し、追肥が有効と思われるほ場を選定しました。7月8日、17日、24日の測定結果に基づいて、7月27日にほ場を選定し、低位ほ場について、同日に追肥(N成分量で3kg/10a)しました。その結果、追肥した区は穂数の増加により無肥区よりも96～138g/m²(18～28%)増収し、グループ内の収量高位ほ場と概ね同等の収量が得られました(表Ⅲ-3)。以上より、ほ場内での植物体の株直上測定に代えて、畦畔沿いから斜め測定することで、生育診断に必要な数値が取得でき、その結果に基づいて追肥することにより、大幅に増収することがうかがえました。

表Ⅲ-3 収穫期における生育収量調査結果

区名	追肥	収穫期立毛調査			収量調査				対無追肥区比%
		稈長 cm	穂長 cm	穂数 本/m ²	穂数 本/m ²	籾重 g/m ²	わら重 g/m ²	精玄米重 g/m ²	
A6	施	85	19.2	399	397	828	1046	646	118
	無	80	19.6	346	321	715	946	550	100
A9	施	79	18.9	395	388	768	931	605	122
	無	72	19.1	337	360	623	829	497	100
A11	施	80	18.3	407	438	803	881	631	128
	無	72	19.4	348	340	635	804	493	100
A5	—	81	20.3	408	399	823	852	631	—
A17	—	81	20.0	367	385	771	929	596	—

品種:ヒノヒカリ、

施肥:LP140-E80(窒素成分8kg/10a)基肥全量施用

追肥:NK化成(18-0-16)窒素成分3kg/10a

移植期:6月中旬、出穂期:8月末、収穫期:10月中旬

(兵庫農総セ 牛尾昭浩)

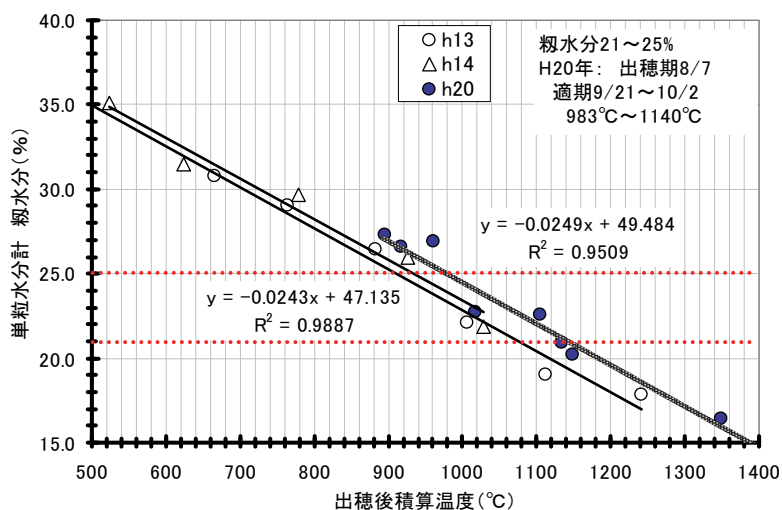
IV 他用途への応用例、その他

1. 水稻の収穫適期判定

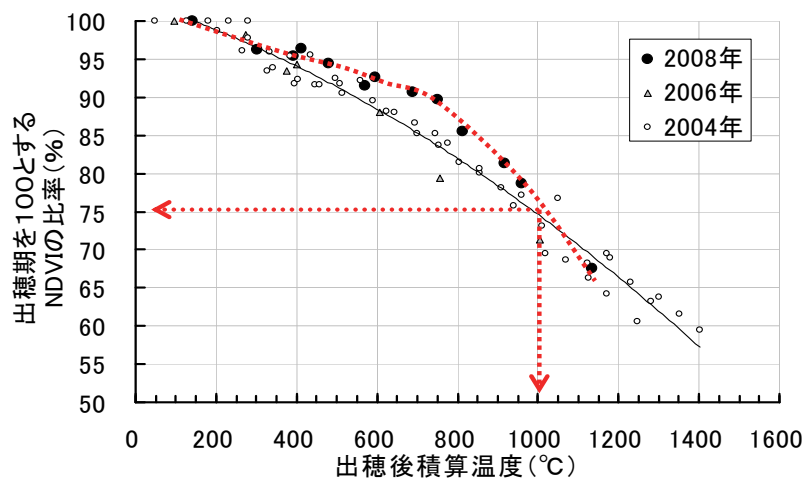
1) 宮城県における調査例

出穂後の NDVI は、出穂～穂揃期頃をピークに、登熟が進んで稲体が黄化するにつれ、低下していきます。この事象を刈取適期判定に活用できないか検討しました。

その結果、調査年次におけるひとめぼれの刈取適期とされる出穂後積算温度 1,000℃時の籾水分は 22.8～24.6%で、刈取可能な籾水分 25%を下回っていました。また、出穂後積算温度と出穂期を 100 とした出穂後 NDVI 比率の関係を見ると、年次によって推移にばらつく場合はあるものの、いずれの年次においても刈取適期の積算温度 1,000℃のときの NDVI は 75、刈取終期 1,100℃のときの NDVI は 70 でした。このことから、ひとめぼれの刈取り適期は出穂後 NDVI 比率で 75～70 であると考えられました。



図IV-1 出穂後積算温度と籾水分の関係(ひとめぼれ)



図IV-2 出穂後積算温度と出穂期を 100 とする NDVI 比の関係(ひとめぼれ)

(宮城古川農試：小野寺博俊)

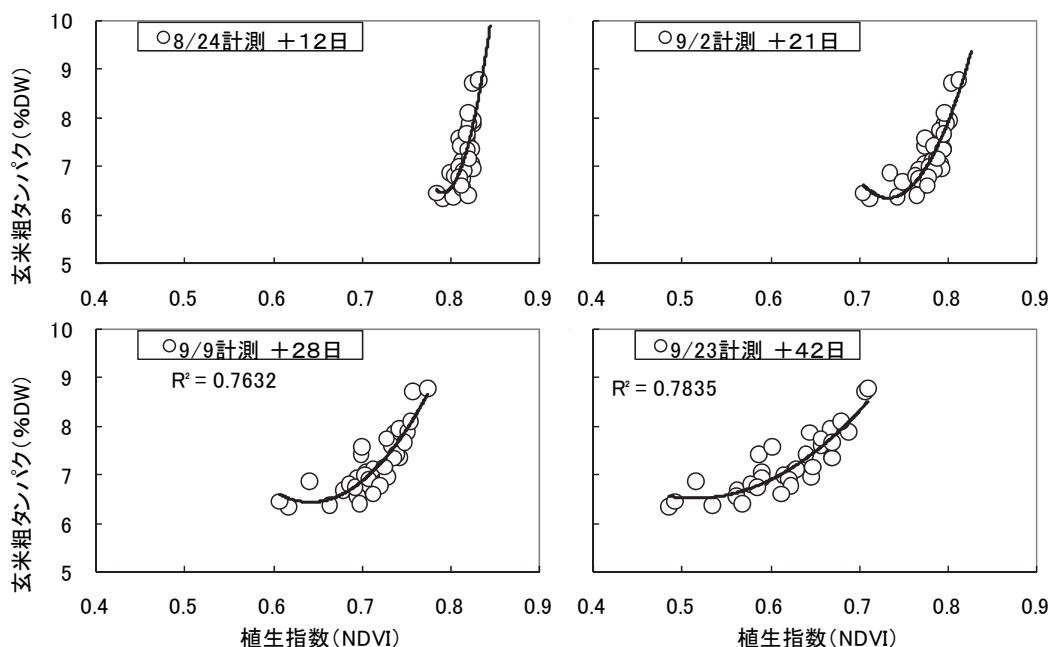
2. 水稻の粗玄米タンパク含有量の推定

1) 宮城県における調査例

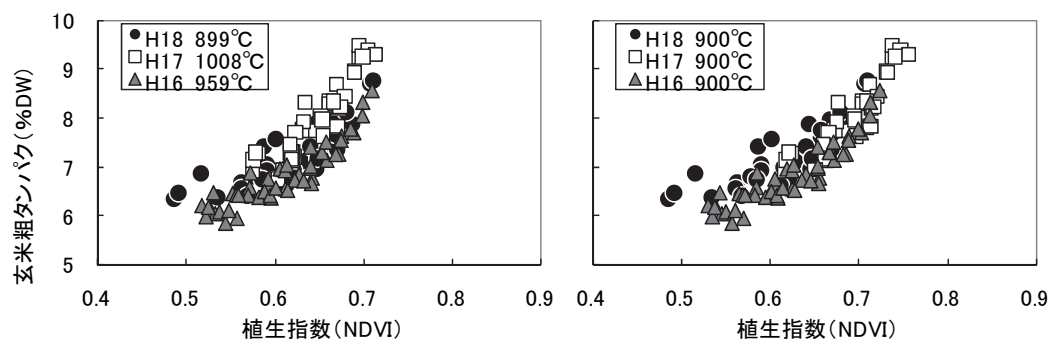
装置を用いた粗玄米タンパク率の推定（予測）の可能性について検討しました。

その結果、出穂後の NDVI は、出穂後 21 日（出穂後積算気温 500℃）頃から玄米粗タンパク含有率との相関が高くなり、収穫直前になるほど回帰式の当てはまりが良い傾向がみられました（図 IV-3）。ただし、倒伏した群落の NDVI と玄米タンパクとの間には相関が認められず、倒伏した群落には適応できませんでした（データ省略）。

一方、積算気温で 900~1,000℃に当たる収穫直前頃の NDVI と玄米粗タンパク含有率との関係を見ると、調査した 3 か年で年次間差が認められました。そこで、積算温度が 900℃となるよう NDVI を補正してみたところ、2 か年は年次間差が解消されましたが、もう 1 か年のずれは解消されませんでした（図 IV-4）。このことから、装置の測定値から玄米タンパク含有率を推定するためには、現在のところ年次ごとに NDVI と玄米粗タンパクの関係を確認する必要があると考えられました。



図IV-3 登熟期間中の NDVI と玄米粗タンパク含有率との関係



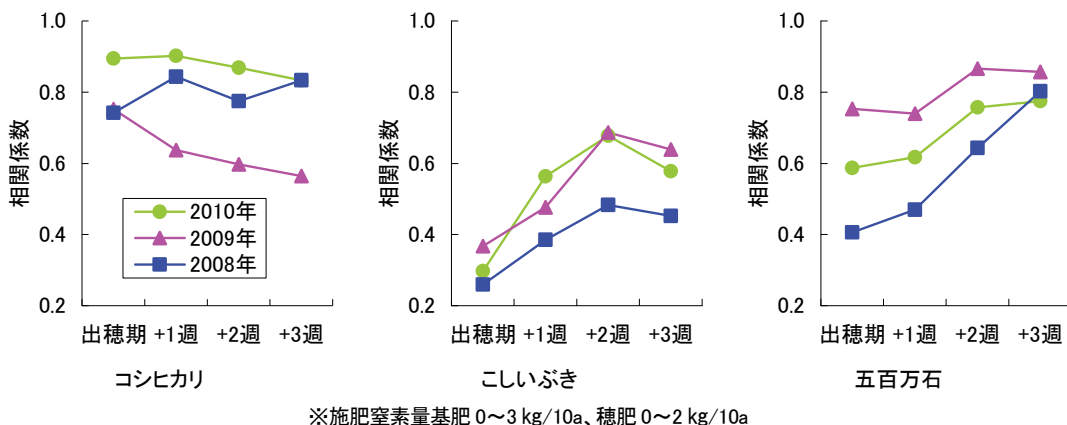
図IV-4 収穫直前の NDVI と玄米粗タンパク含有率との関係

(宮城古川農試：小野寺博俊)

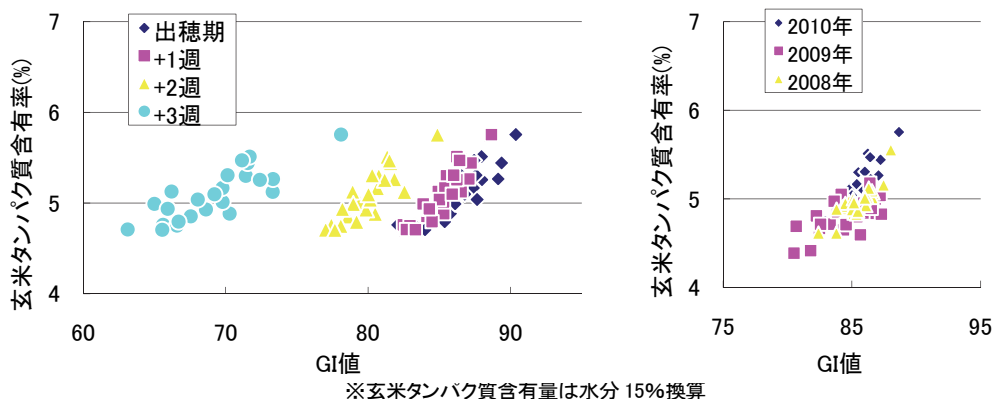
1) 新潟県における調査例

出穂期以降の GI 値は徐々に低下しますが、植被程度はほぼ変化しないので葉色の低下によるものと考えられます。葉色の低下傾向と玄米タンパク質含有率との間に関係があり、収穫後の玄米タンパク質含有率と出穂期後の GI 値との関係を見るとコシヒカリでは出穂期、出穂 1 週間後、2 週間後で相関係数が高くなっています。しかし、品種によっては相関係数が高くないものもあります。

GI 値は出穂後低下するため図IV-5 のとおり測定時期により関係式がずれます。そのためこの関係式を用いて収穫後のタンパク質含有率の推定に用いる場合、測定時期を出穂後日数で揃える必要があります。また、年次間差は大きくありません。



図IV-5 収穫後玄米タンパク質含有率と GI 値との相関係数の推移



図IV-6 収穫後玄米タンパク質含有率と GI 値との関係 (コシヒカリ)

表IV-1 NDVI 別の穂肥量と収量、品質等との関係(平成 16~18 年所内)

幼穂形成期 NDVI	穂肥量 1-2 回 目 kg/10a	調査点数	収量 kg/10a	良質粒歩合 重量%	玄米タンパク 質含有率%	収穫期 倒伏程度
0.73 未満	2-0	2	501	69.7	5.2	3.5
	1-1	1	505	88.2	5.7	4.0
	0-2	2	520	82.7	5.7	3.0
0.73~0.80	2-2	1	556	67.3	5.7	3.0
	2-0	6	516	75.3	5.2	2.8
	1-1	9	547	77.4	5.5	2.7
0.80 以上	0-2	10	521	83.3	5.9	2.6
	2-0	10	552	71.4	5.9	4.6
	1-1	8	551	73.3	6.1	4.4
	0-2	6	565	76.7	5.9	3.8
	0-0	5	556	75.4	5.8	4.6

(新潟農総研：樋口泰浩)

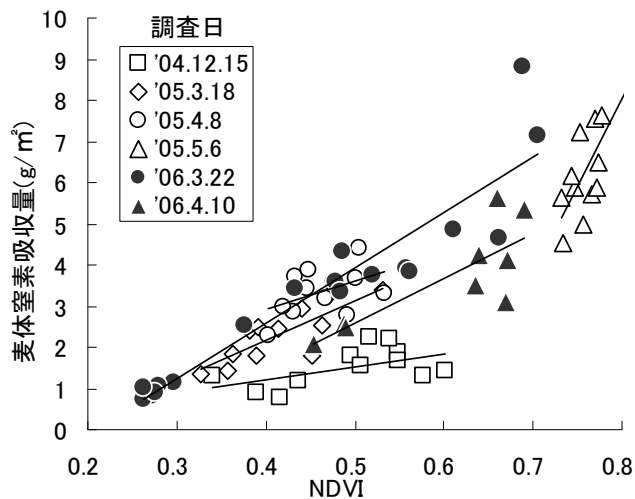
3. 麦類の生育診断

1) 宮城県における調査例

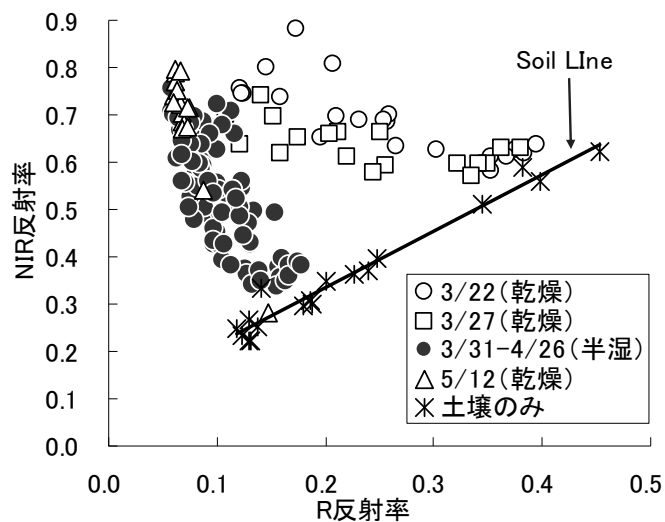
麦類の高位安定生産を目指すためには、播種期や気象条件によって生じる生育量の差を的確に把握し、それに応じた肥培管理を行うことが重要となります。そこで、麦類生育診断への装置の適応性について検討しました。

まず、大麦及び小麦の NDVI は、品種や年次が異なっても穂揃期までは麦体窒素吸収量と相関関係にあり、同じ指数関数式が当てはまりましたが、生育量が小さい出穂前までに限定してみると測定日によるばらつきも認められます（図IV-7）。

そこで、同一ほ場における植生と裸地土壌の R 反射率-NIR 反射率分布をみると、出穂前の3～4月は土壌の乾燥状態によって植生点の分布が異なりました（図IV-8）。このことから、生育量が比較的小さい時期の測定日によるばらつきは、土壌表面からの反射光の影響を受けたことが原因と考えられました。



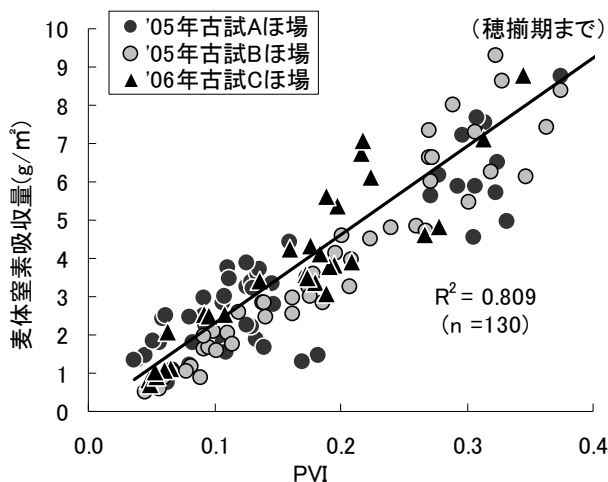
図IV-7 出穂前までの NDVI と麦体窒素吸収量との関係（2005～2006年・大麦及び小麦）



図IV-8 植生と裸地土壌の R 反射率-NIR 反射率分布（2005年・大麦及び小麦）

注) 古川農試内同一ほ場におけるデータ。凡例の()内はその調査日の土壌の乾燥程度を示す。

以上のことから、土壌の影響を除去する植生指数が必要と考えられ、Soil Line ($NIR_{soil} = a \cdot R_{soil} + b$) が得られた3ほ場について、PVI (鉛直植生指数 = $(NIR_{veg} - a \cdot R_{veg} - b) / \sqrt{1 + a^2}$) を算出して穂揃期までの窒素吸収量との関係を見たところ、両者は高い相関関係にあり、その関係は1次式で表されました(図IV-9)。また、PVI及びNDVIと窒素吸収量との関係について、出穂前と出穂期～穂揃期の2つの期間に分けてみると、前者ではPVI、後者ではNDVIの当てはまりが良かったことから、出穂前はPVIの回帰式、出穂後はNDVIの回帰式を用いて、未知サンプルの窒素吸収量を推定したところ、二乗平均平方根誤差(RMSE) $0.53g/m^2$ の精度で推定できました(表IV-2、図IV-10)。

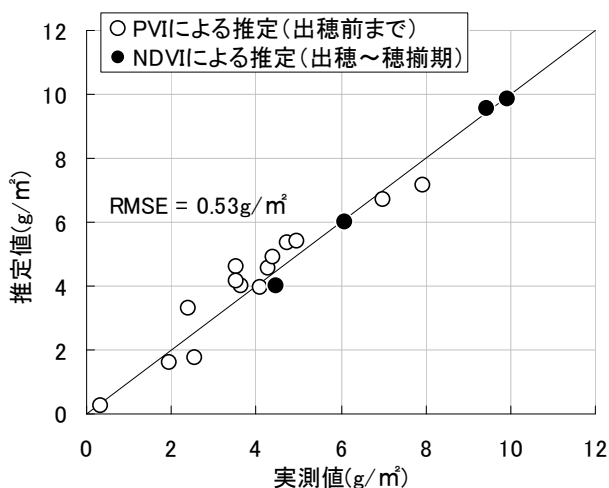


図IV-9 PVIとNDVIによる麦体窒素吸収量の推定

注) 未知サンプル(2007年大麦・小麦)について、下表の回帰式により推定

表IV-2 時期別の植生指数と麦体窒素吸収量の関係(2005～2006年・大麦及び小麦)

植生指数	越冬前～出穂前			出穂～穂揃期		
	サンプル数(n)	回帰式	R ²	サンプル数(n)	回帰式	R ²
NDVI	117	$y = 0.34e^{3.9x}$	0.66	17	$y = 0.006e^{9.14x}$	0.88
PVI	113	$y = 20.94x$	0.81	17	$y = 1.59e^{4.9x}$	0.62



図IV-10 PVIと麦体窒素吸収量との関係(大麦及び小麦)

注) ほ場により Soil Line が異なる

(宮城古川農試：小野寺博俊)

4. 産業用無人ヘリで利用

高能率な生育情報測定の可能性を検討するため、防除作業などに利用が進んでいる産業用無人ヘリコプターへ作物生育情報測定装置を搭載し測定を行う方法について、作業性能や能率を確認しました。以下、これを無人ヘリセンサシステムと呼びます。(図IV-11、図IV-12)



図IV-11 無人ヘリセンサシステムによる測定の様子
(産業用無人ヘリコプター:YAMAHA RMAX Type I)

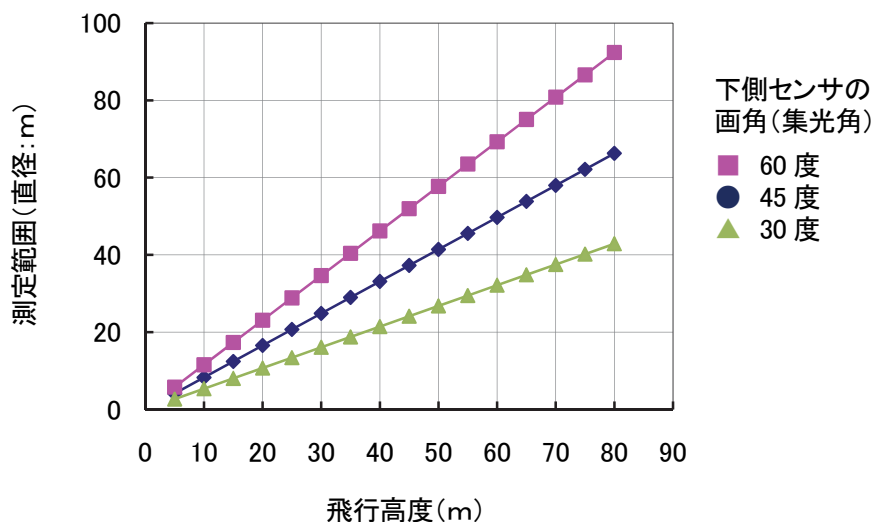


図IV-12 無人ヘリセンサシステムの外観

1) 無人ヘリセンサシステムの概要

(1) ヘリの飛行高度と移動速度

任意の場所でヘリをホバリング（空中の一点に留まっている状態）させて測定を行うときは、ヘリのローター（メインローター：機体上部で回転する翼）によって発生する下向きの気流（DW：ダウンウォッシュ）が稲姿を乱すのを防ぐため、少なくとも30m以上の飛行高度を保つことが必要です。しかしながら、画角60度の携帯式装置のセンサを使用した場合、飛行高度30m以上では畦畔などは場外の場所も測定範囲に入ってしまうことがあります。そこで、画角を30度に変更したものを下側センサに使用しました。飛行高度と測定範囲との関係は、図IV-13のとおりです。



図IV-13 無人ヘリの飛行高度と測定範囲との関係

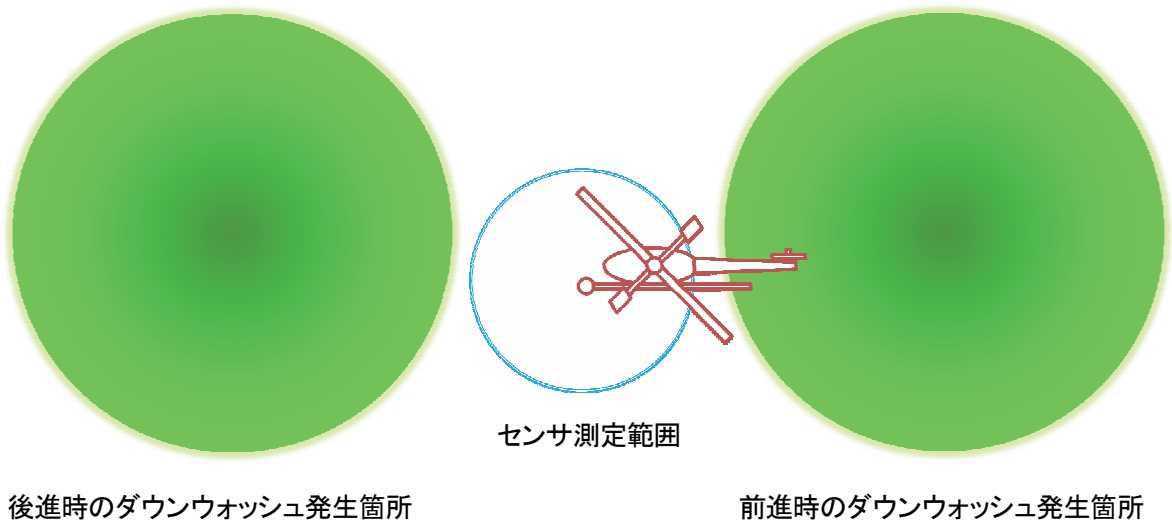
短辺20m以下の小画面ほ場でも畦畔などが測定範囲内に入らないように、低空でヘリを移動させながら測定する方法を検討しました。防除作業のように前後進しながら飛行する場合、ダウンウォッシュは機体の進行方向に対し後方側に現れる傾向があります。したがって、下側センサを機体の進行方向側に配置することによって、低高度でもダウンウォッシュの影響を避けて測定することが可能になると考えられます。

移動しながら測定する場合の飛行高度および移動速度は、防除作業と同様にそれぞれ3~5m、10~20km/h (2.8~5.6m/s) とします。安全面を考慮すると、防除作業と同じ条件とすることが望ましく、オペレータへの負担を少なくすることにも繋がると考えています。

(2) 上下センサの取付位置

ヘリが前後移動するときの機体の傾斜角は、最大でも3度（後進時）程度で、ほぼ水平状態を保っています。横方向の傾斜もほとんど無いことから、上下センサの取付けには水平制御など特別な装置は不要と考えられます。

下側センサ取付位置は、低高度で移動測定する場合、ダウンウォッシュの影響を受けない位置にすることが必要です。前後進時の稲葉の様子から、メインローター中心より前方120cmの位置にすることが望ましいとわかりました。図IV-14は前後進時のダウンウォッシュ発生箇所とセンサ測定位置との関係を示したものです。



図IV-14 前後進時のダウンウォッシュ発生箇所とセンサ測定範囲

上側センサは、下側センサと同じ位置に取り付けることによって、エンジンカバーからの反射などの影響を少なくすることができると考えられます。ローターが回転し上側センサ上方を通過するときにセンサへの入射光を遮りますが、通過時間はごく短く、また測定値の演算は上下センサの計測を複数回繰り返し平均化する処理を行っているため、影響は少ないと考えています。

図IV-15 a は、1フライトで6ほ場の測定を行った時のヘリの移動軌跡と測定範囲を表示したものです。離陸前に自動連続測定（1秒間隔）を開始し、対象ほ場の上を移動させたもので、飛行中は機体の操作のみで測定に関する操作は行いません。着陸後にデータを回収し、図IV-15 b のように不要部分を削除して平均値を求めました。



a. ヘリ移動軌跡及び測定範囲の表示



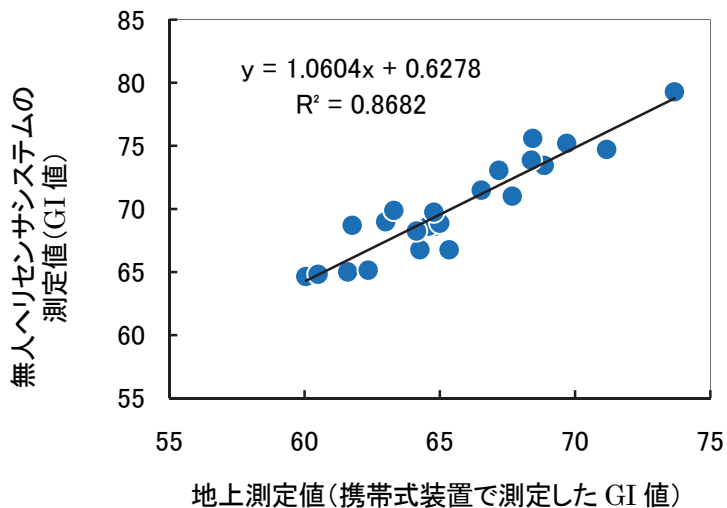
b. 不要部分削除後の測定範囲の表示

図IV-15 移動測定時のヘリ移動軌跡及び自動連続測定の測定範囲

2) 無人ヘリセンサシステムの性能

(1) 地上測定値との比較

- (a) 高度約 50m でホバリングした状態で測定した値と、同日に同ほ場で携帯式装置で測定した値との間には、図IV-16のような高い相関が認められました。



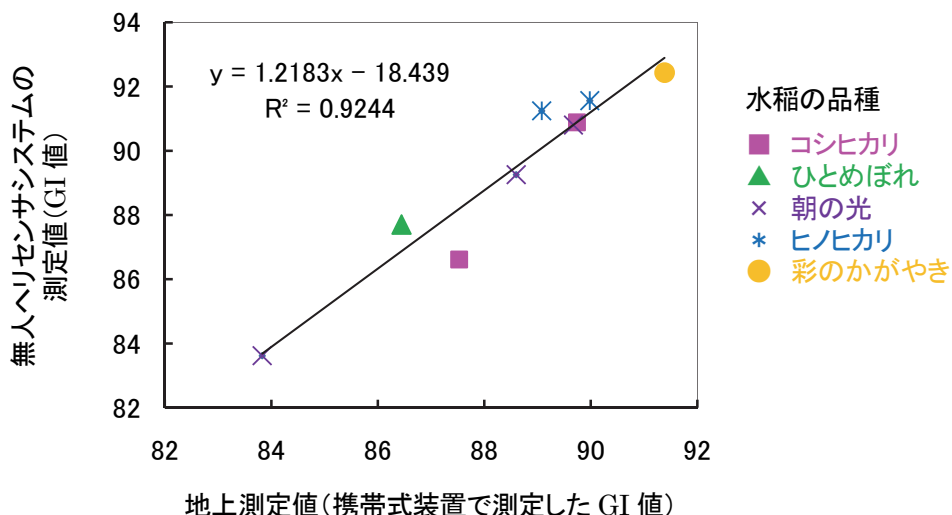
図IV-16 無人ヘリセンサシステムの測定値と地上測定値の比較(ホバリング測定)

無人ヘリセンサシステムの下側センサは画角 30 度のものを使用

調査対象: 6a~120a の現地農家ほ場(45 筆、品種ひとめぼれ)

携帯式装置の測定方法: 長辺方向1往復作業、約 2.5m 間隔で測定

- (b) 高度 3~5m で移動しながら測定した値と、同日に同ほ場で携帯式装置で測定した値との間にも、図IV-17のような高い相関が認められました。なお、この場合の下側センサには画角 45 度のものを使用しています。



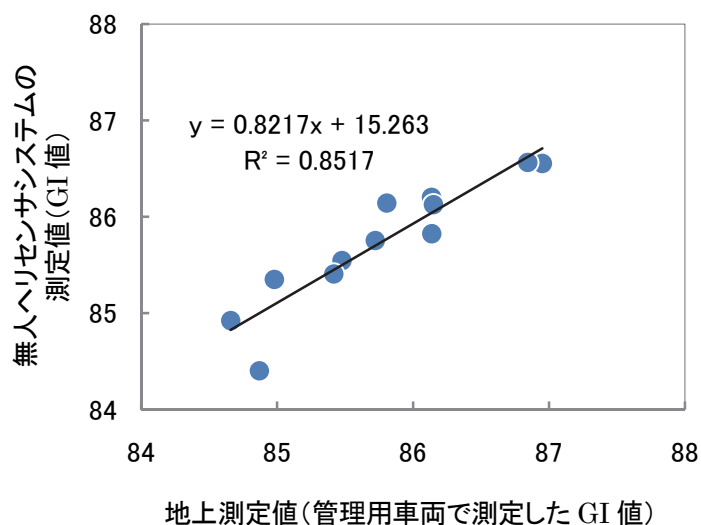
図IV-17 前後進時のダウンウォッシュ発生箇所とセンサ測定範囲

無人ヘリセンサシステムの下側センサは画角 45 度のものを使用

ヘリの測定方法: 長辺方向1往復作業、1 秒間隔で自動連続測定

携帯式装置の測定方法: 長辺方向1往復作業、約 2.5m 間隔で測定

(c) 図IV-18は、センサをヘリに取り付けて5m程度の高さから測定した値と、管理用車両に取り付けて約1mの高さから測定（図IV-19）した値とを比較したものです。この結果から、センサ高さの違いによる測定値への影響は、5m程度までは考慮する必要はないと考えられます。



管理用車両に搭載して測定
(センサ高さ:稲草高より1m上)

図IV-18 測定値へのセンサ高さの影響調査結果

(2) 作業能率

無人ヘリを利用した水稻生育情報測定に要する時間は、長辺 100mのほ場で長辺方向に1往復する測定方法を取った場合、1ほ場あたり1~2分程度となります。したがって、たとえば面積30a (100×30m)の隣り合ったほ場を連続して測定する場合、ほ場間の移動時間も含め1フライト約30分で5~10haの測定が実施できます。1日の作業時間を5時間として、オペレータの休憩時間も考慮すると、1機1日あたり30~60haの作業量が可能となります。

3) 留意点等

使用した機器は、産業用無人ヘリへの装着を容易にするため上下センサ部を本体から分離するなど特別な改良を加えたものです。また、当初は30m程度の高度で使用することを想定し、畦畔などほ場外からの情報が入るのを防ぐため集光角30度または45度のものを使用しました。しかしながら3~5mの低高度で測定を行う場合は、携帯式装置と同様の60度でも問題はありません。したがって市販の携帯式装置を無人ヘリに装着して測定を行うことも可能です。ただし、この場合には、機体バランスの確保などに留意したうえで、病害虫防除作業に準じ安全面に十分留意しながら作業を行うことが必要です。実際に作業を行なう場合は、関係機関等にご相談ください。

(生研センター 吉野知佳、堀尾光広、紺屋秀之、重松健太)

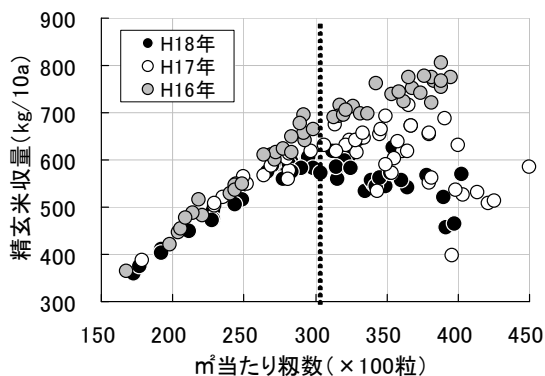
V 【参考】慣行の水稲生育診断法

水稲栽培において収量の安定、高品質米生産を実現するには、生育期間中に栄養状態を診断し適切にコントロールすることが必要です。以下に、3県で行われている慣行の生育診断法を紹介します。

1. 宮城県における水稲の肥培管理と栄養診断

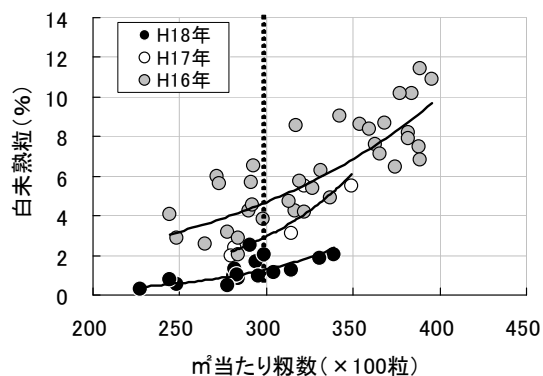
宮城県の主力品種「ひとめぼれ」は、籾数が28~30千粒/m²で安定した収量・品質が得られます(図V-1、V-2)が、籾数の決定には水稲の窒素栄養状態が大きく影響しています。また、高温登熟による玄米品質低下が全国的な問題となっていますが、過剰な初期生育や穂揃期以降の栄養ちょう落が白未熟粒の発生を助長するとの報告もあり、高品質米の安定生産のためには、適正な栄養状態を維持する肥培管理が必要となります。

以下は、適正に窒素栄養状態を維持するための肥培管理と生育診断手法について、宮城県稲作指導指針から抜粋し、加筆修正したものです。



図V-1 m²当たり籾数と収量の関係
(ひとめぼれ)

注) 基肥:N0~9kg/10a、穂肥:N0~6kg/10aの施肥試験結果。



図V-2 m²当たり籾数と白未熟粒割合の
関係 (ひとめぼれ)

注) 白未熟粒の判定はサタケ穀粒判別機 RGQI10Aによる(乳白粒、腹白粒、基部未熟粒の合計)。

1) 基肥窒素

基肥の目的は、初期生育の促進による有効穂数の安定確保であり、過剰な基肥窒素は倒伏や過繁茂等による登熟不良、あるいは病害虫抵抗力の低下の要因となります。したがって、基肥窒素は目標穂数が確保できれば少ない方が安全で、速効性の化成肥料の場合は、栄養生長から生殖生長へ転換する6月末~7月初めには消失し、それ以降は、水稲の生育状況に応じて追肥により調整するのが理想です。

(1) 春季雨量に応じた基肥窒素の減肥

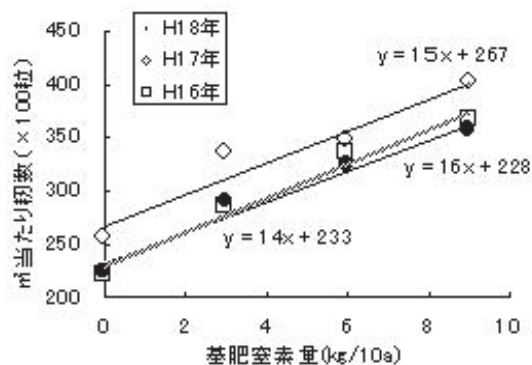
春季雨量(3~4月の合計降水量)が、ササニシキでは150mm以下、ひとめぼれでは100mm以下になると、乾土効果により総籾数が増える傾向が認められ、とくに80mm以下となった場合には、施肥窒素で約2kg/10a相当以上の窒素が土壌から供給されると予想されるので、表V-1により春季雨量に応じて基肥窒素を減肥します。

表V-1 慣行の基肥窒素量に
対する減肥量

	(窒素成分量 kg/10a)				
	3・4月降水量(mm)				
	80	90	100	125	150-
ひとめぼれ	-1.0	-0.5	0	0	0
ササニシキ	-1.5	-1.0	-0.5	-0.5	0

(2) 籾数増加割合に基づく基肥窒素量の判定

ひとめぼれでは、年次にかかわらず基肥窒素 $1\text{g}/\text{m}^2$ に対し、籾数が約 1.5 千粒/ m^2 増える傾向が認められます (図V-3)。籾数が過剰であったり不足しているほ場では、この増加割合を参考に基肥窒素量を加減します。同様に、幼穂形成期追肥により、追肥窒素 $1\text{g}/\text{m}^2$ に対して $1.5\sim 2.0$ 千粒/ m^2 の籾数増加効果が期待できるので、追肥窒素量を決める際の参考となります。



図V-3 基肥窒素量に対する籾数の反応 (ひとめぼれ)

2) 窒素追肥

基肥窒素の消失後、穂数や籾数といった収量構成要素の不足が予測される場合や登熟の良化を狙うには、追肥により生育を調整します。

(1) 分けつ期追肥

追肥主体の施肥法において、あるいは基肥や地力の窒素肥効が見込めないとき、分けつを促進するため分けつ期に追肥することがあります。田植直後に施用するいわゆる「活着肥」も、実質的には分けつ期追肥と同様の効果を見込むものです。ただし、初期生育が極端に小さい場合は、施肥以外の原因によることが多いので、その究明が先決です。

分けつ期追肥では、表層施肥された窒素が稲体に吸収されるまでの期間が長く、脱窒作用を受けやすいため、施肥窒素の利用効率は穂肥に比べて低くなります。

(2) つなぎ肥

分けつ終期から穂首分化期頃に、施肥法 (とくに側条施肥の場合) や気象的要因によって窒素肥効の切上がりが早いことがあり、その後の栄養ちょう落が予想される場合に、穂肥までのつなぎとして追肥するものです。

ただし、この時期の過剰な窒素施肥は、下位節間の伸長による倒伏や籾数過剰により登熟不良となる危険性があるので、実施の際は窒素栄養状態に十分注意します。

(3) 穂肥

幼穂形成期頃になると、いわゆる「うわ根」が良く発達し、施肥窒素の吸収能力が高まるため、穂肥による窒素の吸収期間は短く、利用効率も高くなります。穂肥は、通常施用後4~7日で吸収速度が最大となり、10日程度で追肥由来の窒素がほぼ消失します。

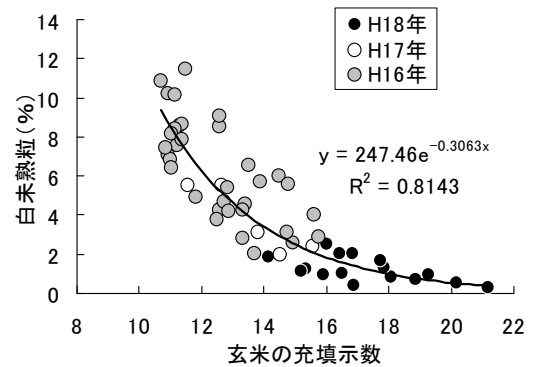
穂肥の必要性は、後述する「生育時期別生育量の目安」や「倒伏診断指標」等によって判断し、また施用時期によって効果が異なることから、品種や地力窒素発現の特徴等に応じて施用時期、施用量を決定します。品種ごとの標準的な穂肥の目安は表V-2のとおりです。追肥作業は、出穂前には終了し、穂揃期以降の追肥は玄米粗タンパク質含有率を高め、食味の低下を招くので避けます。

近年、穂肥を控える事例も多く見られますが、穂揃期の窒素栄養状態と白未熟粒の発生との間に密接な関係が認められることから (図V-4)、生育量が過剰でなく倒伏の心配がない場合には穂肥を確実に実施します。

なお、最近の水稲基肥用の肥料の中には、緩効性や肥効調節型の窒素成分を含むものも多く、穂肥を省略できる場合があるので、基肥に使用した肥料の特徴を良く理解することも重要です。

表V-2 標準的な穂肥の目安

品種	窒素施用量	
	出穂 25~0 日前 (幼穂形成期)	出穂 15 から 0 日前 (減数分裂期)
ひとめぼれ	1.0kg/10a	1.0kg/10a
ササニシキ コシヒカリ	—	1.0~1.5kg/10a
まなむすめ たきたて	2.0kg/10a	—



図V-4 玄米の充填示数と白未熟粒の関係 (ひとめぼれ)

注) 玄米の充填示数: 白未熟粒の発生リスクを評価するため、穂揃期の栄養状態(止葉葉色及び窒素吸収量)や登熟期の気温等から算出する。

表V-3 穂肥窒素の施用時期と生産要因への影響

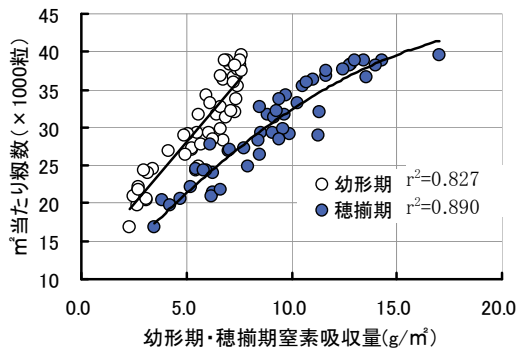
生産要因への影響		穂数の増加	1穂穎花数の増加	1穂穎花数の減少防止	登熟の良化	下位節間の伸長と倒伏	玄米タンパク質増加
施用時期	幼穂形成期	○	◎	○		×	
	減数分裂期		○	◎	◎		
参考	穂首分化期 穂揃期	○	○		×	××	×

◎ 効果高い、○ 効果あり、× 悪影響あり、×× 悪影響強い

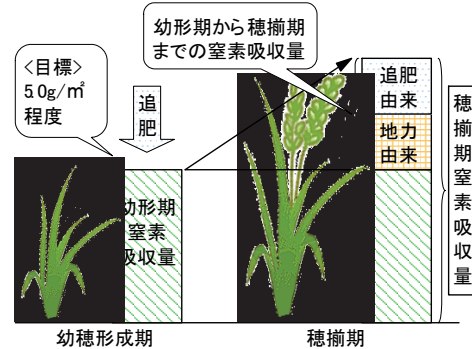
3) 窒素施肥による籾数制御の考え方

水稲の収量構成要素のうち、光合成産物の受け皿となる籾数は、穂数と1穂籾数から成り立っており、穂数がほぼ決まる幼穂形成期や1穂に分化した穎花が籾となって出現する穂揃期における稲体窒素吸収量と密接な関係があります(図V-5)。このため、幼穂形成期の窒素吸収量がわかれば、28~30千粒/m²の籾数を得るために、幼穂形成期から穂揃期までに窒素をどれくらい吸収すれば良いかがわかることとなります(図V-6)。

表V-4はひとめぼれとササニシキにおいて適正籾数を得るための「幼穂形成期窒素吸収量」と「幼穂形成期から穂揃期までの窒素吸収量」の目安です。この表から、ひとめぼれの場合、適正籾数である28~30千粒/m²を得るためには、幼穂形成期の窒素吸収量としては5g/m²程度が理想的であり、その後穂揃期までに3~4g/m²の窒素を吸収すれば良いことがわかります。



図V-5 幼穂形成期及び穂揃期窒素吸収量と籾数の関係 (ひとめぼれ)



図V-6 籾数制御のための窒素吸収イメージ

このようにして得られる「幼穂形成期から穂揃期までの窒素吸収量」から地力窒素発現量を差し引き、追肥の窒素利用効率（幼穂形成期で80%程度）で割り戻せば、必要な追肥窒素量を求めることができます。この期間の地力窒素発現量は、平均的な灰色土壌で2~3g/m²程度ですが、ほ場ごとの地力に応じて加減する必要があります

表V-4 「ひとめぼれ」と「ササニシキ」における適正籾数を得るための窒素吸収パターン

＜ひとめぼれ＞		＜ササニシキ＞		
幼形期-穂揃期窒素吸収量(g/m ²)		幼形期-穂揃期窒素吸収量(g/m ²)		
	2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0		1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5	
幼形期窒素吸収量 (g/m ²)	4.0	24 24 25 26 26 27 27	24 25 26 28 29 30	適正な籾数範囲
	4.5	25 26 26 27 28 28 29	25 27 28 29 31 32	やや過剰な籾数範囲
	5.0	27 27 28 28 29 30 30	27 28 30 31 32 34	過剰な籾数範囲
	5.5	28 29 29 30 30 31 31	29 30 31 33 34 35	
	6.0	29 30 30 31 32 32 33	30 32 33 34 36 37	(単位:千粒/m ²)
	6.5	31 31 32 32 33 34 34	32 33 35 36 37 39	
	7.0	32 33 33 34 34 35 36	34 35 36 38 39 40	
	7.5	33 34 35 35 36 36 37	36 37 38 39 41 42	
		(g/m ²) 7.5	37 39 40 41 42 44	
		(g/m ²) 7.5	39 40 42 43 44 45	

4) 地力窒素の影響

気温が上昇する生育中期以降の窒素吸収量には、地力窒素の発現時期と発現量の多少が大きく影響します。肥培管理、とくに穂肥の実施にあたっては、ほ場ごとの地力窒素発現の特徴を把握しておくことが重要です。地力窒素は、一般に泥炭土、黒泥土、グライ土等で発現しやすく、褐色低地土や粘土含量の少ない土壌では少ない傾向にあります。

有機物の施用の有無も窒素発現に影響を及ぼし、有機物の種類や畜産由来のたい肥では、畜種・副資材等によっても含まれる窒素の量や分解の速さが異なります。さらに、有機物の施用継続年数によって、土壌に蓄積された有機物からの窒素発現量も変化します。

5) 品種特性に応じた基肥窒素量

表V-5に本県における主な奨励品種の標準的な基肥窒素量の目安を土壌型別に示します。品種によって分けつが多く穂数が確保しやすいものや、倒伏しやすいものがあるので、品種の特性を考慮した施肥設計が必要となります。

表V-5 品種別の基肥窒素量の目安 (単位:kg/10a)

土壌型	a 標準的施用量の品種	b やや減肥が必要な品種	c 減肥が必要な品種
多湿黒ボク土	3~5	3~4	2~4
灰色低地土	4~6	4~5	3~5
グライ土	3~5	3~4	2~4
泥炭・黒泥炭	3~5	3~4	2~4

- a 標準的施用量で良い品種 :おきにいり、ひとめぼれ、まなむすめ、トヨニシキ、こいむすび、たきたて
 b やや減肥の必要な品種 :ヒメノモチ、もちむすめ
 c 減肥の必要な品種 :ササニシキ、コシヒカリ、みやこがねもち

6) 追肥にあたっての生育診断・栄養診断法

追肥の要否判定は、稲の草姿や見た目の葉色から経験的に行われるのが一般的ですが、最近では、客観的かつ迅速に栄養状態を判定する方法としてカラスケールや葉緑素計（SPAD502）も広く利用されています。また、草丈、茎数及び葉緑素計値を乗じた値により、窒素吸収量の推定や倒伏診断を行うこともできます。

(1) 期待生育量による診断

いつの時期にどの程度の生育量を確保するかを目安となる期待生育量や収量構成要素は表V-6～表V-9のとおりです。これは、ササニシキで600kg/10a（粒厚1.7mm以上）、ひとめぼれで550kg/10a（粒厚1.9mm以上）の収量を得るための目標となるものです。

表V-6 収量600kg/10a(1.7mm以上)を得るためのササニシキの期待生育量

項目	田植後			最高分げつ期 (7/7)	幼穂形成期 (7/16)	減数分裂期 (7/27)	出穂期 (8/10)	成熟期 (9/30)
	30日 (6/10)	40日 (6/20)	50日 (6/30)					
乾物重(g/m ²)	20	60	160	230	350	600	900	1400
稲体窒素濃度(%)	4.00	3.50	2.50	2.25	1.70	1.70	1.17	0.79
窒素吸収量(g/m ²)	0.8	2.1	4.0	5.2	6.0	7.0	8.5	11.0
葉身窒素濃度(%)			3.00	2.80	2.60	2.20	2.00	1.00
葉緑素計値(±1)	42	43	42	40	38	33	38	27
草丈(cm)	26	33	44	51	64	—	—	—
茎数(本/m ²)	300	600	770	800	760			

注)葉緑素計値はSPAD502

表V-7 収量600kg/10a(1.7mm以上)を得るためのササニシキの期待収量構成要素

稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m ²)	1穂粒数 (粒)	m ² 当粒数 (粒)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)
80	17.7	520	72	37,500	76	21.1

注)品質・食味を考慮した適正なm²当たり粒数は35,000～36,000粒

表V-8 収量550kg/10a(1.9mm以上)を得るためのひとめぼれの幼穂形成期における期待生育量

窒素吸収量 (g/m ²)	稲体乾物重 (g/m ²)	草丈 (cm)	茎数 (本/m ²)	葉緑素計値 (SPAD502)
5.3～5.8	330～380	63～68	650～700	37～39

表V-9 収量550kg/10a(1.9mm以上)を得るためのひとめぼれの期待収量構成要素

穂数 (本/m ²)	1穂粒数 (粒)	m ² 当粒数 (粒)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)
480～500	57～62	28,000～30,000	85～90	22.0～22.5

(2) カラースケールによる葉色診断法

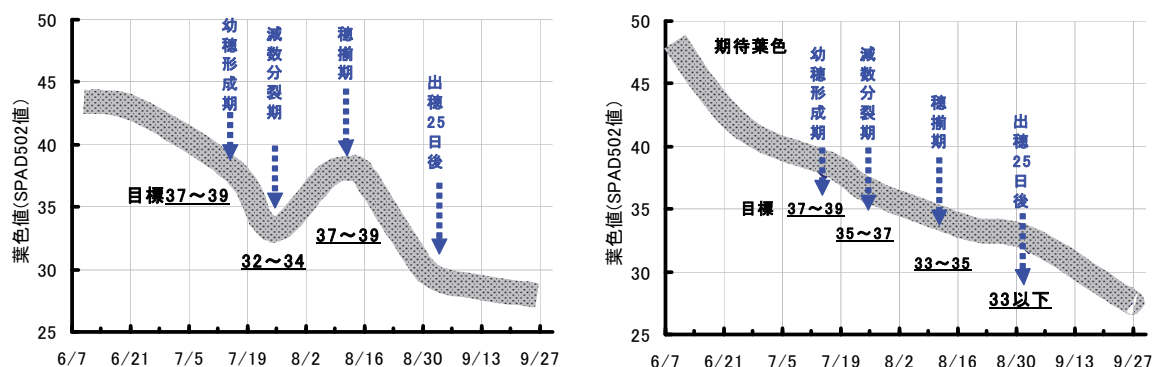
カラースケールによる葉色診断は、支柱等に固定したカラースケールを株の最上展開葉群の中央部に設置し、太陽を背に約3m離れた位置から見て、群落葉のカラースケール値を判定して行います。ササニシキの場合、減数分裂期のカラースケール値で3.5が穂肥の要否判定基準となります。また、カラースケール値と葉緑素計値（SPAD502）の間には次式の関係があり、相互に変換利用できます。

$$Y = 0.162 X - 1.061 \quad (Y = \text{カラースケール値、} X = \text{葉緑素計(SPAD502 値)})$$

(3) 葉緑素計による葉色診断法

葉緑素計（SPAD502）は、葉身を透過する光の強さが葉緑素の多少によって変わることを利用し、数値で葉色を評価する器械です。平均的な株の主茎またはこれに準ずる茎の展開第2葉身（展開葉とは抽出が完了し次の葉が抽出し始めている葉）の中央部について、中肋の左右両側を測定し、10株以上の平均値で診断します。

葉緑素計値が期待葉色値（図V-7）に対して±1程度の範囲内であれば、窒素栄養的に健全な生育をしているとみなします。それを下回る場合は、追肥その他によって窒素の吸収促進を図る必要がありますが、葉色が淡くても茎数が多い場合などは、全体の窒素吸収量は確保されているので追肥が必要ない場合もあります。



図V-7 期待葉色曲線（左図;ササニシキ、右図;ひとめぼれ）

(4) 倒伏診断

倒伏は、稈長（とくに下位節間）の伸びすぎや、分げつ過多による細稈化により発生しやすくなります。穂ばらみ期の窒素栄養状態は倒伏に大きく影響し、幼穂形成期から減数分裂期の間に草丈、茎数、葉緑素計値を得ることによって、倒伏の危険性を判定できます（表V-10）

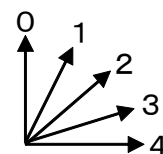
表V-10 ササニシキ、ひとめぼれの幼穂形成期及び減数分裂期における倒伏診断指標

＜幼穂形成期の指標値＞							＜減数分裂期の指標値＞								
茎数 (本/㎡)	草丈 (cm)	葉緑素計値 (SPAD502型)					茎数 (本/㎡)	草丈 (cm)	葉緑素計値 (SPAD502型)						
		38	40	42	44	46			48	34	36	38	40	42	44
600	65	14.8	15.6	16.4	17.2	17.9	18.7	550	75	14.0	14.9	15.7	16.5	17.3	18.2
600	70	16.0	16.8	17.6	18.5	19.3	20.2	550	80	15.0	15.8	16.7	17.6	18.5	19.4
600	75	17.1	18.0	18.9	19.8	20.7	21.6	550	85	15.9	16.8	17.8	18.7	19.6	20.6
600	80	18.2	19.2	20.2	21.1	22.1	23.0	550	90	16.8	17.8	18.8	19.8	20.8	21.8
700	55	14.6	15.4	16.2	16.9	17.7	18.5	600	65	13.3	14.0	14.8	15.6	16.4	17.2
700	60	16.0	16.8	17.6	18.5	19.3	20.2	600	70	14.3	15.1	16.0	16.8	17.6	18.5
700	65	17.3	18.2	19.1	20.0	20.9	21.8	600	75	15.3	16.2	17.1	18.0	18.9	19.8
700	70	18.6	19.6	20.6	21.6	22.5	23.5	600	80	16.3	17.3	18.2	19.2	20.2	21.1
700	75	20.0	21.0	22.1	23.1	24.2	25.2	600	85	17.3	18.4	19.4	20.4	21.4	22.4
700	80	21.3	22.4	23.5	24.6	25.8	26.9	600	90	18.4	19.4	20.5	21.6	22.7	23.8
800	50	15.2	16.0	16.8	17.6	18.4	19.2	650	60	13.3	14.0	14.8	15.6	16.4	17.2
800	55	16.7	17.6	18.5	19.4	20.2	21.1	650	65	14.4	15.2	16.1	16.9	17.7	18.6
800	60	18.2	19.2	20.2	21.1	22.1	23.0	650	70	15.5	16.4	17.3	18.2	19.1	20.0
800	65	19.8	20.8	21.8	22.9	23.9	25.0	650	75	16.6	17.6	18.5	19.5	20.5	21.5
800	70	21.3	22.4	23.5	24.6	25.8	26.9	650	80	17.7	18.7	19.8	20.8	21.8	22.9
800	75	22.8	24.0	25.2	26.4	27.6	28.8	650	85	18.8	19.9	21.0	22.1	23.2	24.3
800	80	24.3	25.6	26.9	28.2	29.4	30.7	650	90	19.9	21.1	22.2	23.4	24.6	25.7
900	50	17.1	18.0	18.9	19.8	20.7	21.6	700	60	14.3	15.1	16.0	16.8	17.6	18.5
900	55	18.8	19.8	20.8	21.8	22.8	23.8	700	65	15.5	16.4	17.3	18.2	19.1	20.0
900	60	20.5	21.6	22.7	23.8	24.8	25.9	700	70	16.7	17.6	18.6	19.6	20.6	21.6
900	65	22.2	23.4	24.6	25.7	26.9	28.1	700	75	17.9	18.9	20.0	21.0	22.1	23.1

＜倒伏危険域＞

倒伏危険域	倒伏度2を 超える確率	生育状態	対策
I 未満	0~5%	正常	
Ⅰ	5~25%	やや過剰	追肥は控える。
Ⅱ	25~50%	過剰	追肥不可。飽水管理。倒伏軽減剤散布
Ⅲ	50%以上	かなり過剰	追肥不可。飽水管理。早めに倒伏軽減剤散布

＜倒伏度＞



※指標値＝茎数×草丈×葉色値÷100,000

この倒伏指標値は、平成3年の気象要因により倒伏したササニシキのデータを基にしており、ひとめぼれは、ササニシキに比べて品種特性上の耐倒伏性はやや強いのですが、両品種は同じ指標値で倒伏していることから、共通の倒伏指標を使用できます。

(5) 草丈、茎数、葉緑素計値による稲体窒素吸収量の推定法

幼穂形成期の窒素吸収量の推定

幼穂形成期の草丈、 m^2 当たり茎数及び葉緑素計値を乗じ、これを 10^5 で除した値（生育指標値）により、ひとめぼれの稲体窒素吸収量を推定することができます。

$$\text{生育指標値} = \text{草丈(cm)} \times m^2\text{当たり茎数(本)} \times \text{葉緑素計値(SPAD502)} \times 10^{-5}$$

$$\text{稲体窒素吸収量} = 0.342 \times \text{生育指標値}$$

なお、この時期は、節間伸長が始まり草丈の伸びが著しい時期であることから、生育ステージによって生育指標値と稲体窒素吸収量との間の回帰直線の傾きが異なるので、この推定が適用できるのは幼穂形成期のみです。

ひとめぼれの幼穂形成期の期待窒素吸収量を $5.0g/m^2$ とすると、生育指標値としては15が目安になります。また、表V-10に示した幼穂形成期の倒伏指標値を窒素吸収量に換算すると、倒伏危険域Vの窒素吸収量は $6.5\sim 7.1g/m^2$ 、同じく危険域IIでは $7.2\sim 7.8g/m^2$ 、危険域IIIでは $7.9g/m^2$ 以上となります。

移植から出穂前までの窒素吸収量の推定

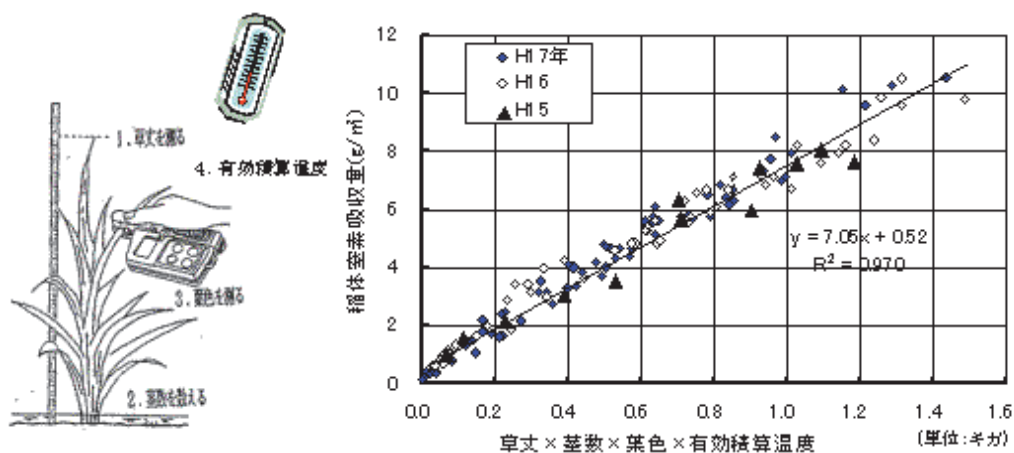
従来までの草丈 $\times m^2$ 当たり茎数 \times 葉緑素計値に生育ステージの差を解消するために有効積算温度の項目を加えることで、移植後から出穂前までの窒素吸収量を随時推定できます。

ひとめぼれの m^2 当たり稲体窒素吸収量の推定式は次式のとおりで。

$$\begin{aligned} \text{稲体窒素吸収量} = & 7.05 \times \text{草丈(cm)} \times m^2\text{当たり茎数(本)} \\ & \times \text{葉緑素計値(SPAD502)} \times T \times 10^{-9} + 0.52 \end{aligned}$$

ただし、Tは移植翌日から調査前日までの有効積算温度(基準温度 $10^\circ C$)

この推定式は、ひとめぼれにのみ適用でき、葉色が測定できる移植後3週目頃から出穂10日前頃までです。



図V-8 草丈 $\times m^2$ 当たり茎数 \times 葉緑素計値 \times 有効積算温度による稲体窒素吸収量の簡易推定

(宮城古川農試 小野寺博俊)

2. 新潟県における水稲の肥培管理と栄養診断

新潟県農林水産部の稲作指導指針（平成17年3月）から抜粋。

1) 理想生育相

表V-11 コシヒカリの生育目標（一般的な地域）

生育時期	月日	草丈 (cm)	茎数		葉数 (L)	葉色 (SPAD)
			(本/株)	(本/m ²)		
移植期	5月10日	12	3~4	60~80	2.0	
有効分げつ終止期	6月18日	38	18~20	380~400	8.0	
最高分げつ期	6月25日	45	28~30	500~550	9.5	36~39
幼穂形成期	7月15日	65~70	24~26	480~520	11.2	32~35
出穂期	8月7日		19~20	380~400	13.0	32~33
成熟期	9月18日	90(稈長)				

2) 後期栄養

- 良好な食味を確保するための玄米タンパク質含有率の目標値は、コシヒカリは6.0%、こしいぶきは6.2%(6.0~6.4%)である。
- 適正生育量を遵守して目標とする稲体を作り、適正な穂肥施用により栄養状態を高く維持する。

タンパク質含有率が6.0%の玄米を生産するには、これまでの栽培管理を確実にを行い、穂肥が適正に施用できるような生育量に調整することが前提である。

標準的に穂肥窒素を10a当たり2~3kg程度施用するためのコシヒカリの生育量の目安は、幼穂形成期の草丈65~70cm、m²当たり茎数480~520本、葉色32~35(SPAD502)程度で、健全な稲体にすることが重要である。

3) 生育診断と適正穂肥

- 生育診断に基づく穂肥施用は品質・食味を良好にし、収量を安定させる。
- 生育指標の活用と穂肥施用の目安で適正穂肥を実施する。
- 穂肥施用時期は必ず幼穂形成期を確認して決定する。コシヒカリは出穂前18日と10日、こしいぶきは出穂前23日と14日に分施する。

生育状況は草丈や茎数と稲の栄養状態を表す葉色値を指標とする。葉色は葉緑素計を用いて数値化する。

穂肥が施用できるかどうかをあらかじめ生育量により判断する。このときの生育量はm²当たり茎数と葉色票による葉色値の積値を用いる。

各時期における生育量が指標値以下であれば穂肥の施用効果が期待できる。この指標は地域によって適合しないことがあるので修正して使用する。

表V-12 コシヒカリの時期別生育状態の目安（新潟県農業試験場）

葉齢指数	出穂前日数 (日)	葉色×茎数 値	葉色	
75~77	40	2,300	4.0~4.5	◎穂肥を2kg施用したときに成熟期の倒伏程度が3以下、登熟度(千粒重×登熟歩合)が1,700以上となる生育状態の上限 注)葉色は葉色板による群落測定、茎数はm ² 当たり
83~85	30	1,900	3.5	
90	20	1,400	3.0~3.5	

(新潟農総研：樋口泰浩)

3. 兵庫県における施肥基準と良食味に向けた生育指標

(兵庫県稲・麦・大豆等栽培指針より抜粋)

1) 施肥基準

北は日本海、南は瀬戸内海（太平洋）に面し、中央部に中国山地が東西に横たわる兵庫県では、多様な自然環境のもと、それぞれの地域の気候・風土に根ざした稲作が営まれています。主要品種は「コシヒカリ、キヌヒカリ、ヒノヒカリ」と酒米「山田錦」であり、地域の特性に応じた作期や栽培法で取り組まれています。したがって、各品種の特性に応じて、地帯別、品種別に施肥基準が設けられています。施肥基準の考え方と注意点は以下の通りです。

(1) 地帯別施肥基準について

- (a) 施肥は、気象、土壌条件、灌がい水質等の自然条件や品種、作付体系、栽培管理等の栽培条件の相違により異なるので、それらを考慮して、地域ごとに目安となる施肥基準を定めた。
- (b) 経済的、効率的な効果をあげるために土壌条件を把握し、地力保全調査事業に基づく土壌図の活用やきめ細かな土壌診断を実施して、効率的な施肥を推奨する。
- (c) 施肥設計は、県の施肥基準に基づいて、農業改良普及センター、市町、農業協同組合の関係者及び肥料取扱業者等の関係機関において作成する。その作成にあたっては、環境諸条件を十分考慮して農家の理解と納得のもとに、実施可能なものとする。
- (d) 施肥設計の効果を確認するため、常に農家と連絡協調を保ち、その成果の把握に努める。

(2) 施肥基準の使用上の注意点

この基準は主として機械移植栽培について記載しているが、施肥設計を作成するに当たっては、次の事項を十分考慮するものとする。

- (a) 目標収量：各地域とも500～550kg（10a当たり）を目標収量として作成した。
- (b) 土壌区分及び地域区分：土壌区分は、別表のとおり、6施肥土壌区分に分類した。
- (c) 有機質資材の施用：堆きゅう肥、稲わら等の有機質資材の施用を心がける。なお、これら有機質資材の施用ができない場合にこれを化学肥料に依存して多用することはかえって危険を伴うので注意する。
- (d) 土づくり肥料の施用：土づくり肥料の施用はその施用推進を図る。
- (e) 栽植密度及び苗令：機械移植栽培での栽植密度は㎡当たり15～22株、稚苗は20日苗（3.5葉程度）、中苗は35日（4.5葉程度）を標準とした。
- (f) 品種別補正：窒素成分について、品種ごとに必要とされる成分量が異なるので、品種に応じて施肥量を補正する（表V-13）。
- (g) 前作の種類による補正：前作物の種類または施肥の方法により施肥量を加減する必要があるときは、土壌診断等により補正をして使用する。
- (h) 施肥田植機により側条施肥する場合：基肥と分けつ肥の合計量の20%減を基肥量として側条施肥し、分けつ肥は施用しない。穂肥は基準どおりとする。但し、施肥位置は、現在市販されている施肥田植機の側条施肥位置（株横2～4cm、深さ5cm）を基本とした。また、田植機の施肥機能に対応した肥料を使用すること。

(12ページに続く)

表V-13 施肥土壌区群と施肥成分量（基肥-分けつ肥-穂肥1-穂肥2 kg/10a）

施肥土壌区	土壌群または土壌統群	区分上の概念並びに特徴	基準窒素成分量および特記事項
I 有機質湿田 〔泥炭黒泥土壌〕	黒泥土 泥炭土 灰色低地土・下層有機質 グライ土・下層有機質	地表下60cm以内に泥炭あるいは黒泥を含む湿田土壌である。有機物が過剰であるため、塩基が不足しやすく酸性を呈するものが多い。夏季、地温の上昇に伴う急激な有機物の分解により生育遅延または根腐れを起こしやすく、種々の病害虫の被害も大きく、倒伏しやすい。但馬地域にごくわずか分布する。	6-0-1.5-0 穂肥で減肥する
II 一般湿田 〔グライ土壌〕	グライ土(グライ土・下層有機質を除く)	作土及び作土直下からグライ層(いつも水がついて青灰色を呈する層)になる湿田である。またグライ層でなくても地下水の極めて高い湿田も含まれる。斑鉄が深くまで多くみられる水田は、収量がやや高く、斑鉄が認められないものは収量が低い。また、夏季に地下水位の低下するものと上昇するものがあり、前者は収量が高い。一般に潜在地力に富み、腐植、全窒素及び遊離酸化鉄含量が他の土壌より多い。夏季高温時に有機物が急激な分解を始めるので、無効分けつが多くなりやすく、また、根腐れを起こしやすく倒伏しやすいので、水管理には十分注意すること。	6-0-2-0 穂肥で減肥する
III 一般半乾半湿田及び粘土質乾田 〔灰色土壌〕	細粒灰色低地土・灰色系 中粗粒灰色低地土・灰色系 灰色低地土・下層黒ボク 多湿黒ボク土	作土下1mの全層にわたって灰色を呈するかあるいは下層がグライ層となる土壌である。さらに下層が灰褐色であるが、粘質の土壌を含む。前二者は地下水位がやや高く、困難な場合もあるが、一般に二毛作が可能である。土性は地下水位の低い所では砂壤土～壤土の場合があるが、一般には埴壤土～壤土の場合が多い。この土壌区は欠陥の少ない土壌で水稻の収量の高い所が多い。所によっては遊離酸化鉄含量が少なく、老朽化の進んでいることもあるので、注意が必要である。	6-0-2-0 穂肥で減肥する
IV 中間質乾田 〔灰褐色土壌〕	細粒灰色低地土・灰褐色系 中粗粒灰色低地土・灰褐色系	全層が灰褐色を呈する乾田土壌であるが、時には斑紋が多いため褐色を帯びることがある。また砂礫層が地下60cm以下に存在する土壌並びに下層に角礫を含む崩積土壌あるいは熟田化した台地土壌(第三紀層、洪積層)なども含まれる。土性は壤土～埴壤土で水もちがやや悪い。老朽化が進んでいるものは対策を必要とする。下層の密度が高く深耕の効果が高い。	4-2-3-0 気象条件生育状態によって穂肥を減量、あるいは分施する
V 砂礫質漏水田 〔礫質礫層土壌〕	礫質黄色土・斑紋あり 礫質褐色低地土・斑紋あり 礫質灰色低地土・灰色系 礫質灰色低地土・灰褐色系	作土直下あるいは30～60cmから砂礫層になる乾田である。水もちが悪く肥料も流亡しやすい。また各種養分の溶脱が激しく、特に、ケイ酸、苦土、マンガン等が欠乏した老朽化水田が多く、地力が低いので、なにより土づくりが必要である。	4.5-2-2-1 分施して肥料利用率を高める
VI 台地性未発達田 〔黄褐色土壌〕	細粒黄色土・斑紋あり 細粒褐色低地土・斑紋あり 中粗粒褐色低地土・斑紋あり 暗赤色土	一般に埴土で強粘質である。また、水田としての歴史が浅く黄色を呈し、第三紀層、洪積層が多い。自然肥沃度が低く、養分も溶脱し、腐植、全窒素等が少なく酸性を呈する。なお、地下水位は低い構造が未発達で、作土、下層土の土性が粘質～強粘質土壌なので透水性が不良な土壌が多い。	6-0-3-0

◎リン酸成分の施肥量: 窒素成分の60～70%を基肥として施用する

◎カリ成分の施肥量: 窒素成分と同量を、基肥および追肥として施用する。

品種補正值(窒素成分量に対する%)

- 100 日本晴、はりもち
- 95 キヌヒカリ、きぬむすめ、ヒノヒカリ、兵庫夢錦
- 85 どんとこい、ヤマフクモチ、五百万石、兵庫北錦
- 75 コシヒカリ
- 60 山田錦

- (i) 汚濁水流入田に対する適用：汚濁水の流入田などは、水質及び土壌診断によって適切な土壌の改良を行う。なお、特に窒素過剰となるところでは、節水栽培などをとり入れ、併せて生育状態を診断して窒素肥料を減量する。
- (j) 被覆肥料による省力型施肥法では、その肥料の特性と栽培品種への適応性をよく把握すること。

【参考】土壌図の活用

県下各地域の土壌図がインターネットで公開されている。品種や作期にあわせて土壌図を活用して、的確な指導にあたること。

(http://agrimesh.dc.affrc.go.jp/soil_db/figure/figure_map.phtml?def_code=28)

(3) 省力施肥の基準

(a) 側条施肥

施肥基準の基肥と分けつ肥の合計量の 20%減を基肥量として側条施肥し、原則として、分けつ肥は施用しない。

(b) 被覆尿素配合肥料の施用

被覆肥料の主な窒素成分である被覆尿素は、水稻の生育期間中に窒素成分を徐々に溶出する特性を持っている。その溶出パターンは、施用初期から溶出する「リニア型(放物線型)」と一定期間溶出が抑制されている「シグモイド型」の 2 タイプがある。一般に流通している被覆尿素配合肥料は、1~2 種類の溶出期間の異なる被覆尿素と速効性の窒素成分にリン酸、カリを配合しており、被覆尿素と速効性窒素成分の配合比率によって肥効パターンが異なる。したがって、品種や作期、土壌条件に応じて配合されている肥料の種類と施肥量を考慮する必要がある。

(c) 被覆尿素配合肥料を側条施肥した場合

側条施肥では初期生育が旺盛となるが肥効が持続しないため、被覆尿素配合肥料等の緩効性肥料の使用が望ましい。被覆肥料を全量基肥施用する場合は、下表に示した施肥量に 0.8~0.9 を乗じた量とする。

被覆肥料を使用する場合の品種別施肥量(全量を基肥として全層施用する場合)

コシヒカリ:窒素 6kg/10a、リン酸 6kg/10a、カリ 6kg/10a

キヌヒカリ:窒素 8kg/10a、リン酸 6kg/10a、カリ 8kg/10a

ヒノヒカリ:同上

【参考】品種別の被覆肥料の使用例

コシヒカリ (極早生) : 茎数は比較的確保しやすい・・・100 日溶出リニア型あるいは 100 日溶出 (45 日抑制)シグモイド型

キヌヒカリ (極早生) : 分けつの増加が緩慢である・・・100 日溶出リニア型

ヒノヒカリ (中生) : 移植から出穂までの期間が長い・・・140 日溶出リニア型あるいは 100 日溶出(30 日抑制)シグモイド型

即効性窒素成分との配合率は、リニア型で 80%、シグモイド型で 50%以下が望ましい。

2) 兵庫県におけるコシヒカリ、キヌヒカリ、ヒノヒカリの良食味化栽培指標

(1) キヌヒカリの良食味化栽培指標

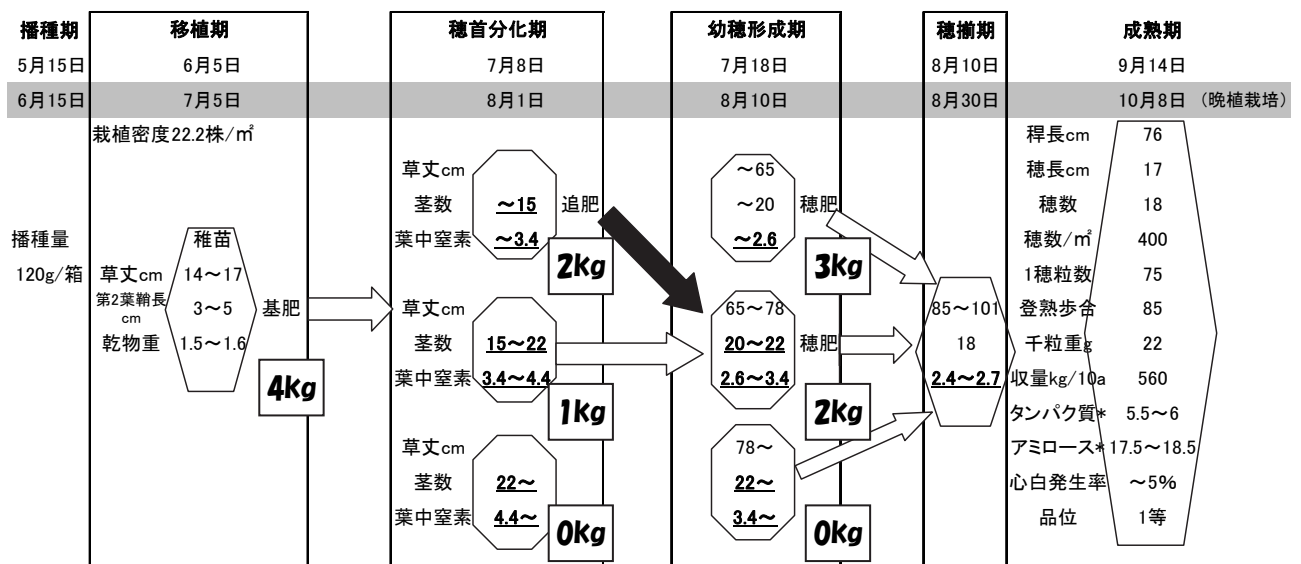
キヌヒカリは、良食味の極早生品種として 1996 年に兵庫県奨励品種（認定品種）に採用されて以来、着実に作付面積をのばし、平成 21 年度では 11,100ha で、コシヒカリについて県下第 2 の作付面積を占めます。しかし、栽培面積が増加するにしたがって、キヌヒカリの品質、食味のばらつきが問題となりました。そのため、良質・良食味米としての品質、収量、米中タンパク質含有率の許容範囲を決定し、その許容範囲に入るよう、肥培管理により、生育を制御する栽培法を確立しました。



兵庫県では、おいしい米の目標値を次のように設定しています。

白米中アミロース含有率 20%以下、白米中タンパク質含有率 6.0 以下、玄米中 Mg/K 当量比 1.5 以上

そこで、キヌヒカリの品位、米中タンパク質含有率及び収量に影響を与えている形質と時期を特定し、上記の目標値を基に、時期別の生育指標を策定しました。



注) * タンパク質、アミロースは白米中含有率を示す。
 稚苗移植による栽培が前提
 表中の施肥量(基肥、追肥、穂肥)は、圃場ごとに適正值が異なる。
 □内の数値は 10 アール当たりの窒素施肥量を示す。

図 V-9 キヌヒカリの良食味化栽培指標

(2) キヌヒカリの心白米対策

近年のキヌヒカリの品質低下は、白未熟粒の中でも心白米の発生によるところが大きく、心白米の抑制対策が急務となっています。キヌヒカリはもともと、心白を生じやすい特性を持っていますが、栽培法により、その発生程度が異なることも知られています。そこで、基肥窒素量、栽植密度などの栽培条件と心白発生との関係を調査しました。その結果、密植により 1 株の占有空間を制限して、生育を抑制すると、心白が抑制されることがわかりました。その概要は以下の通りです

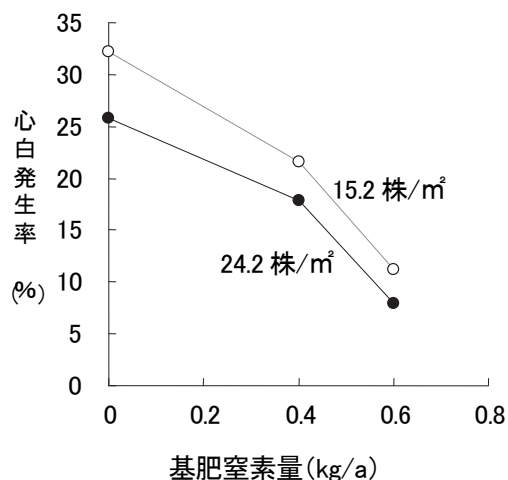
(1) 密植イネ (24.2 株/m²) のほうが疎植イネ (15.2 株/m²) より心白発生率が低く、また、基肥

窒素量が増加するにしたがって、心白発生率は減少している。

(2) 密植イネは疎植イネに比べて「小出来」であり、1株当たりの収量も少ないが、栽植密度が高いので、単位面積当たりの収量は遜色ない。

(3) 心白米は、完全粒よりも大粒であり、大きな穂や生育旺盛な部位に多く発生することが知られている。密植栽培のように、1株の占有空間を制限することにより、強制的に穂数を制限し、1穂粒数を制限することが心白の発生抑制につながると考えられる。その反面、密植栽培では玄米中タンパク質含有率が高まりやすいので、施肥量に注意する必要がある。

ただし、昨今の夏季高温化は我々の経験を超えたものであるため、密植栽培などの栽培技術だけでは高品質栽培に対応できない場合が想定されます。その際、成熟期の高温化対策のため、思い切った作期移動（生育指標では7月5日稚苗移植を想定）も必要でしょう。

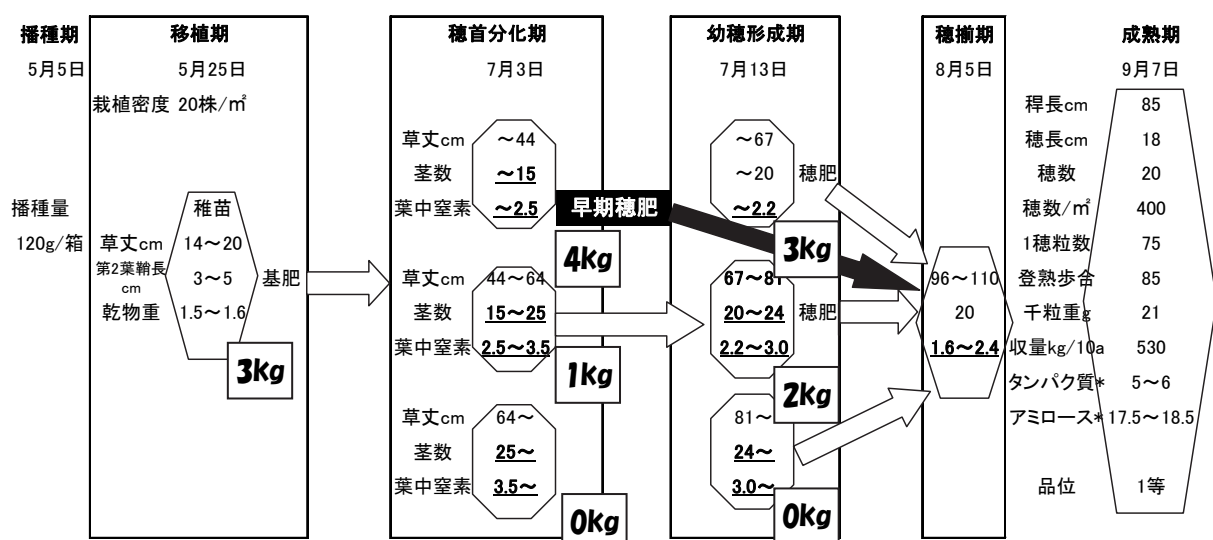


図V-10 基肥量・栽植密度と心白発生率 (2002年)

図V-10に栽植密度、基肥窒素量と心白発生率、玄米中タンパク質含有率の関係を示しました。

(3) コシヒカリの高品質・多収栽培指標

コシヒカリは、県北部を中心に県下全域で14,700ha（平成21年度）栽培されています。温暖地で栽培するコシヒカリなので、基本的に少肥栽培ですが、収量と品質の両立を図るために、生育しように基づいて適正施肥を心がけましょう。

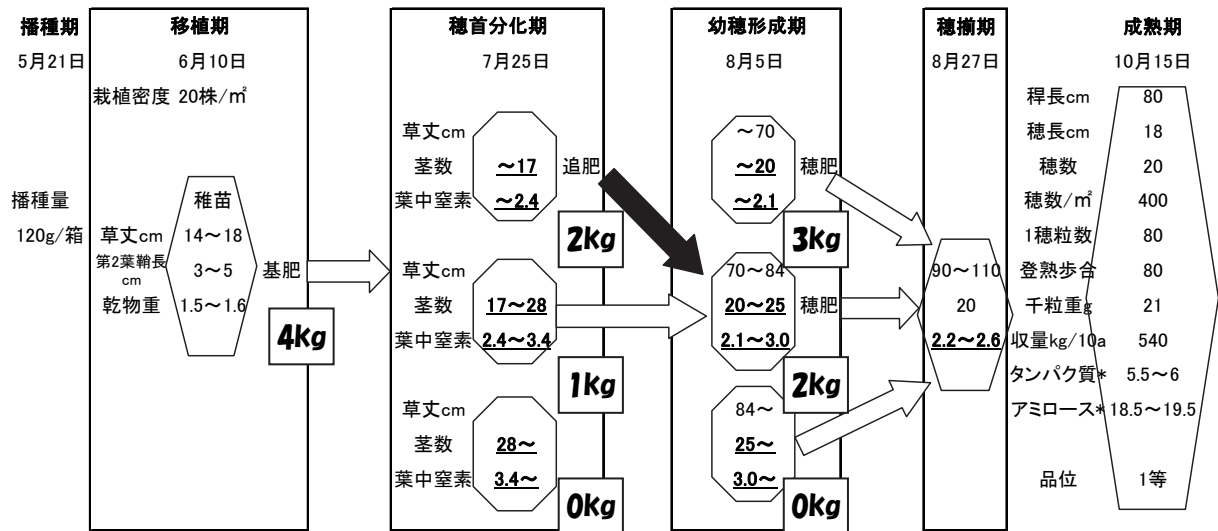


注) * タンパク質、アミロースは白米中含量を示す。
 稚苗移植による栽培が前提
 表中の施肥量(基肥、追肥、穂肥)は、圃場ごとに適正值が異なる。
 □内の数値は10アール当たりの窒素施肥量を示す。

図V-11 コシヒカリの良食味化栽培指標

(4) ヒノヒカリの良食味化栽培指標

ヒノヒカリは、県南部を中心に6,810ha（平成21年度）栽培されています。中生品種なので茎葉が繁茂しやすいことが、品質の低下につながります。生育診断に基づく適正施肥により籾数制限することで、高品質、良食味化を図ります。



注) * タンパク質、アミロースは白米中含有率を示す。
 稚苗移植による栽培が前提
 表中の施肥量(基肥、追肥、穂肥)は、圃場ごとに適正値が異なる。
 口内の数値は10アール当たりの窒素施肥量を示す。

図V-12 コシヒカリの良食味化栽培指標

【参考】葉中窒素測定装置と葉緑素計の関係

葉中窒素測定装置（携帯型近赤外分析装置、S社CCN5000）は、葉中窒素含有率を水稻の生葉の状態ですべて測定できます。兵庫県では、従来からの葉緑素計（K・M社SPAD502）に代えて、水稻の生育診断に活用する取り組みを進めています。測定方法は葉緑素計とほぼ同様で、その装置を用いることにより、植物体を傷つけることなく、窒素栄養状態の追跡調査が可能となりました。なお、品種や作期によって若干の補正が必要となります。また、従来から使用されている葉緑素計との互換性を保つため、以下の関係式を用いて数値を読み替えることにより葉中窒素値に基づく生育診断に活用できます。



図V-13 葉中窒素濃度測定機

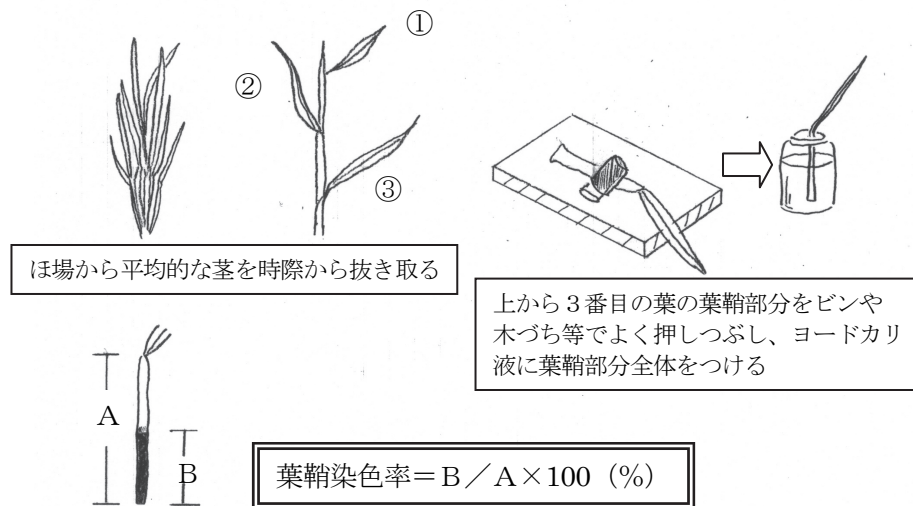
幼穂形成期前: $y = -3.751 + 0.181x$ ($y =$ 葉中窒素値、 $x =$ 葉色値(SPAD502) $r = 0.866$)

幼穂形成期後: $y = -0.840 + 0.099x$ ($r = 0.831$)

(5) 【参考】山田錦の生育診断による穂肥の施用

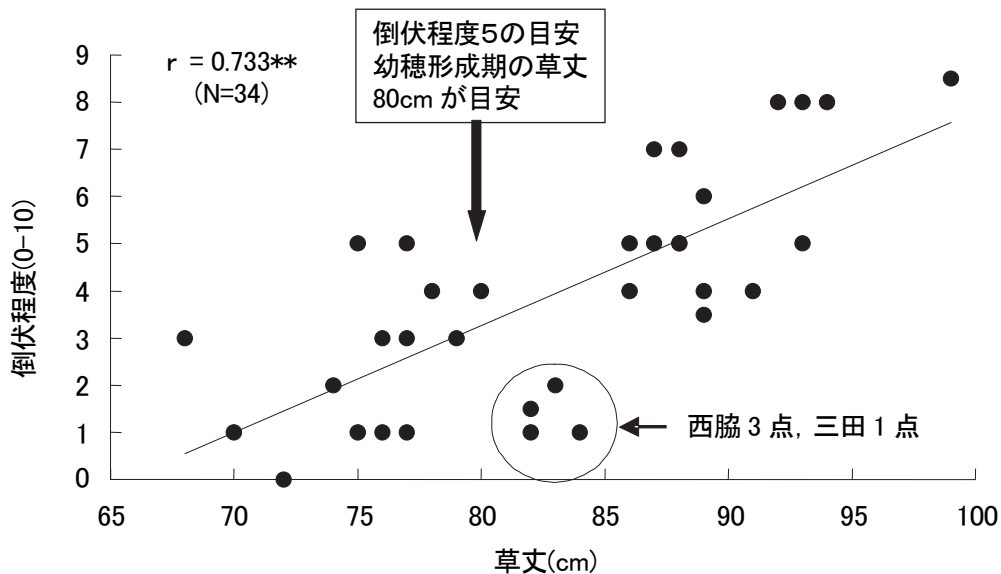
穂肥の1回目の施用は、幼穂が2mm程度になった出穂前20日頃の幼穂形成期に行う。この時期は下位節間の伸長時期であり、「山田錦」などの長稈品種では、施肥のタイミングと量を適切に行うことが大切である。穂肥の2回目は出穂前10日目の減数分裂期に施用する。

幼穂形成期の生育診断は、まず、幼穂長を確認し、施用時期を決定する。そして、ヨード反応による葉鞘染色率、葉色板、葉緑素計、葉中窒素濃度測定計を用い、幼穂形成期の稲体がつ窒素濃度を推定し、窒素肥料の施用量を決定する。



図V-14 ヨード反応による葉鞘染色率の調査方法と「山田錦」の穂肥施用基準

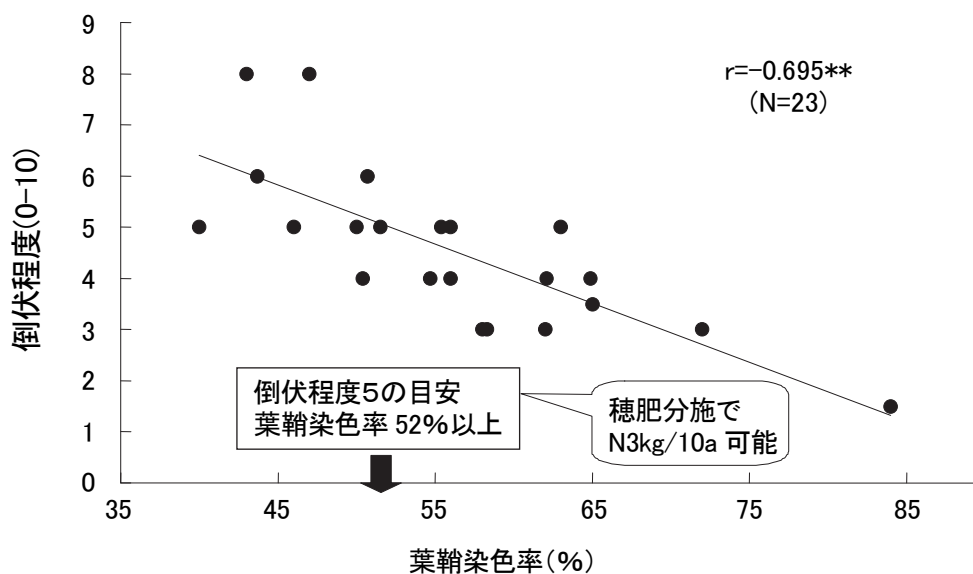
よう素よう化カリウム溶液は、5%のよう素カリウム水溶液100mLに、よう素1gを溶かして、1%よう素よう化カリウム溶液を作る(ヨードチンキを約10倍にうすめても良い)。



図V-15 幼穂形成期の草丈と倒伏程度の関係

ヨード反応による「山田錦」の穂肥施用基準は、図V-15のとおりである。倒伏程度を5(中)程度にする場合は、幼穂形成期の葉鞘染色率が50%以上であれば、穂肥を分施する方法で、窒素成分で合計3kg/10aの施用が可能と考えられる。ただし、ほ場の土性により、施肥量は調整する必要がある。

ヨード反応以外でも、幼穂形成期の草丈と倒伏程度とには図V-16のような相関があり、幼穂形成期の草丈が80cm以下であれば、穂肥を分施する方法で、窒素成分で合計3kg/10a施用しても倒伏程度は5(中)程度であり、草丈も穂肥施用の目安となる。



図V-16 葉鞘染色率と倒伏程度 (サンプル数 23 点)

(兵庫農総セ 牛尾昭浩)

IV 担当者一覧

宮城県

宮城県古川農業試験場土壌肥料部	副主任研究員	小野寺博稔
宮城県農林水産部農業振興課	技術次長	佐々木次郎

新潟県

新潟県農業総合研究所 作物研究センター		
栽培科 水田高度利用研究チーム	主任研究員	樋口泰浩

兵庫県

兵庫県立農林水産技術総合センター		
農業技術センター 農産園芸部	研究主幹	松本 功
	主任研究員	牛尾昭浩

農研機構（農業・食品産業技術総合研究機構）

生研センター 生産システム研究部		
土壌管理システム研究単位	主任研究員	堀尾光広
	研究員	重松健太
	特別研究員	吉野知佳
大規模機械化システム研究単位	主任研究員	林 和信
	研究員	紺屋秀之